

表 4-21 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、最大飛散距離に対し発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、原子炉施設への影響がないことを確認した。

※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。

表 4-22 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した。

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

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、発電所との離隔距離が 4,300m あることから、飛来物による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。
- ・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)



図5-1 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。

表 5 - 1 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による火災を想定する。

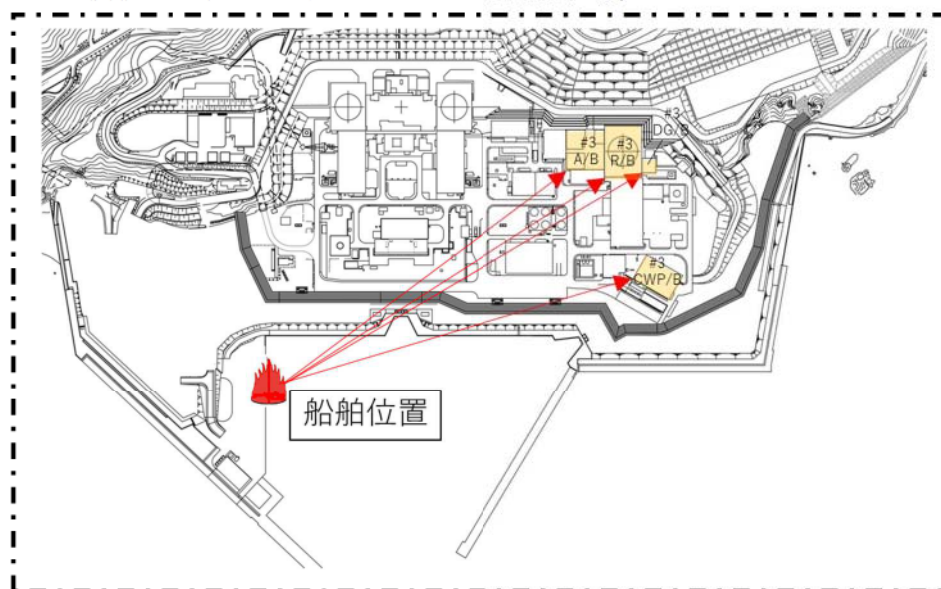


図 5 - 2 船舶火災想定位置

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。

表5-2 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)

表5-3 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)

表 5-4 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	9,998

(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表 5-5 に示す。

表 5-5 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[°C]), T_0 : 初期温度(50[°C]), E : 輻射強度(W/m²)
 α : コンクリート温度拡散率(= $\lambda / \rho C_p$) (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(9,998[s])
 x : コンクリート壁表面深さ(0[m])

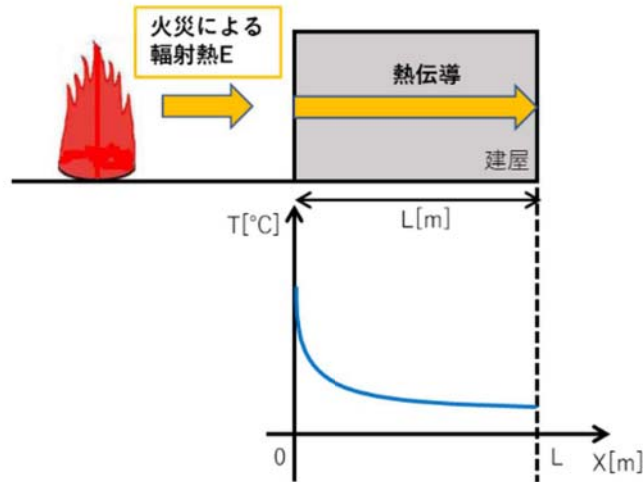


図 5-3 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

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

表 5-6 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	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、当該漂流船舶から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

天井スラブの評価概念図を図5-4に示す。

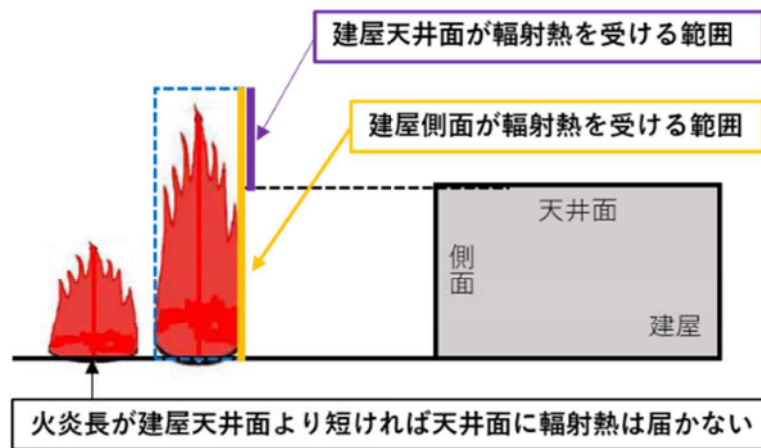


図5-4 建屋天井面の評価概念図

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、危険輻射強度を表5-7に、危険距離を表5-8に示す。

表5-7 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	2,530
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	

表 5-8 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

排気筒仕様を表 5-9 に、排気筒外形図を図 5-5 に示す。

表 5-9 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

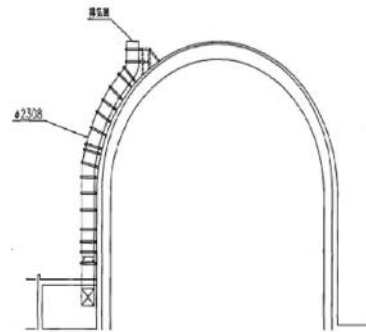


図 5-5 排気筒の外形図

(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表 5-10 に示す。

表 5-10 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/m^2], h : 熱伝達率 ($17 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$)*1, T_0 : 初期温度 ($50 [^\circ\text{C}]$)

* 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 $17 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ を用いる。)

表 5-1-1 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/m^2), R_f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

表 5-1-2 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。

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

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

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図5-6に示す。

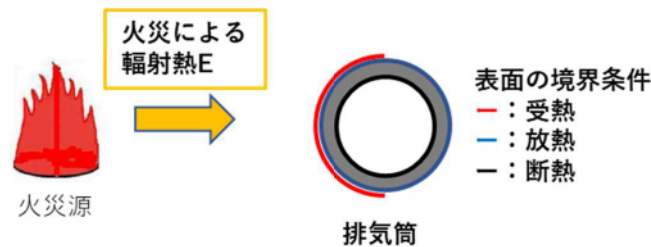


図5-6 排気筒の評価概念図

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。評価結果を表5-13に示す。

表5-13 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電動機は、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モータは、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表5-14に示す。

表5-14 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、モーター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80.9℃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80.9℃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図5-7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（湿き空気として算出）

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]

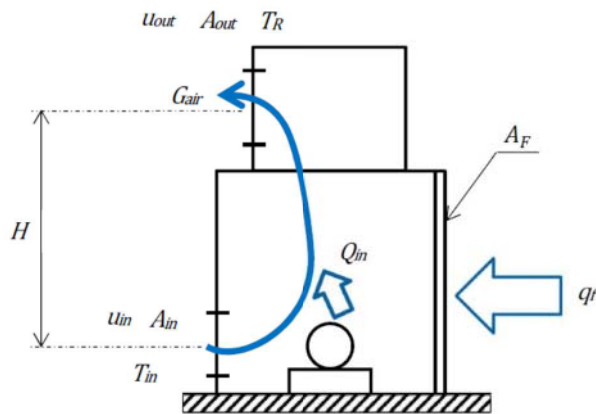


図5-7 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

表5-15 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

表 5-16 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 (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。評価結果を表 5-17 に示す。

表 5-17 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表 5-18 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原子炉施設の間に設置している防潮堤によって遮られるが、保守的に輻射は全て届くものとして評価している。

表 5-18 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

(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、原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価できる。

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、T.P. -約 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原子炉施設（海水系ポンプ）への影響はない。

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

また、オイルフェンスは構内の保管庫に格納しており、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号機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。図6-1のフローに基づき評価対象を抽出した。表6-2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. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎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危険物施設位置から原子炉施設までの直線距離とした。

(2) 評価手法の概要

本評価は、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。

表6-1 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(表6-2, 表6-3)より、評価対象とする危険物施設等を抽出する(図6-1)。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、屋外施設で原子炉施設までの距離が近く貯蔵量が多い3号機補助ボイラー燃料タンク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図6-2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。

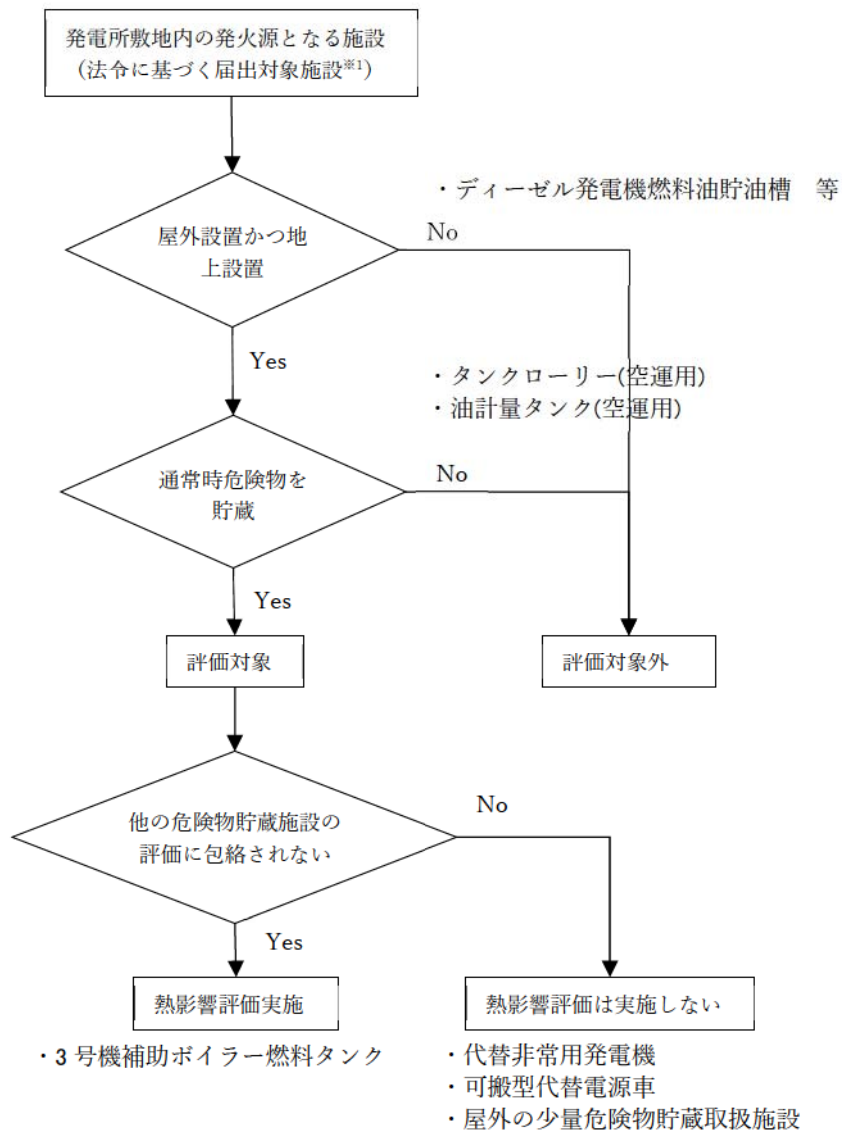
(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

発電所敷地内には、危険物施設の他にタンクローリ(3.86kL×4台)を配備している。タンクローリは通常時「空」の状態で開催している。通常時「空」の状態であるタンクローリは発火の可能性はないことから評価対象から除外する。同様に、発電所構内には3号油計量タンクがあるが、航空機落下とタンク火災の重畳による評価を踏まえ、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、各号機の補助ボイラー燃料タンク、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。

ここで、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号機補助ボイラー燃料タンクに比べて貯蔵量が少なく、3号機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。屋外の少量危険物貯蔵取扱施設は、3号機補助ボイラー燃料タンクに比べて、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号機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、1,2

号機補助ボイラー燃料タンクは、3号機補助ボイラー燃料タンクに比べて、原子炉施設との距離が離れた位置に配置しており、3号機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

図6-1 敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー

表6-2 危険物製造所等許可施設一覧(1/2)

号機	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
1号機	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	×(地下式※4)
2号機	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	×(地下式※4)
3号機	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	×(地下式※4)
3号機	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	×(地下式※4)
1,2号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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号機	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)
共用	第2危険物倉庫	屋内貯蔵所	4	第1石油類 第2石油類 第3石油類	シンナー 塗料 塗料	0.6 kL 1.0 kL 2.0 kL	×(屋内設置)
1号機	代替非常用発電機 (1A)	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号機	代替非常用発電機 (1B)	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号機	代替非常用発電機 (2A)	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号機	代替非常用発電機 (2B)	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号機	代替非常用発電機 (3A)	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号機	代替非常用発電機 (3B)	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)

表6-2 泊発電所敷地内危険物施設一覧(2/2)

号機	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
共用	可搬型代替電源車 (1号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (2号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (3号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (4号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (5号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (6号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (7号車)	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)
共用	可搬型代替電源車 (8号車)	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)
共用	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)
共用	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)
共用	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)
共用	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号機補助ボイラー燃料タンクに比べて、原子炉施設との距離が離れた位置に配置している又は貯蔵量が少ないことから、3号機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。

※4: ディーゼル発電機設備燃料油貯油槽について

「ディーゼル発電機設備燃料油貯油槽」は、消防法に基づきコンクリート構造物に収納された地下埋設タンクであり、構造物とタンクの間には乾燥砂をつめて、不燃物に囲われた状態で埋設し設置している。また、燃料補給時にはアース線の取り付けを行っているが、消火器の設置も義務付けられているため、万が一火災が発生しても、即座に消火活動が可能となっている。

さらにCO₂消火設備も設置しており、熱感知器が100℃を検知すると消火設備が自動で動作し、DG室1室、サービスタンク室1室、燃料油貯油槽1室が同時に火災発生した場合でも対処可能なCO₂量を確保している。

このため、地表面で火災が発生するような火災になる可能性は極めて低いと考えられる。

《3号機ディーゼル発電機設備燃料油貯油槽の消火設備について》

危険物として軽油を貯蔵し、「危険物の規則に関する政令第13条第1項第1条」より、その他の製造所等に該当する地下タンク貯蔵所としている。

「危険物の規則に関する規則第35条第1項1号」より、第5種の消火設備を2個設けている。

また、「原子力施設の火災防護指針 (JEAG4607-1999)」より、二酸化炭素消火設備を自主設置している。

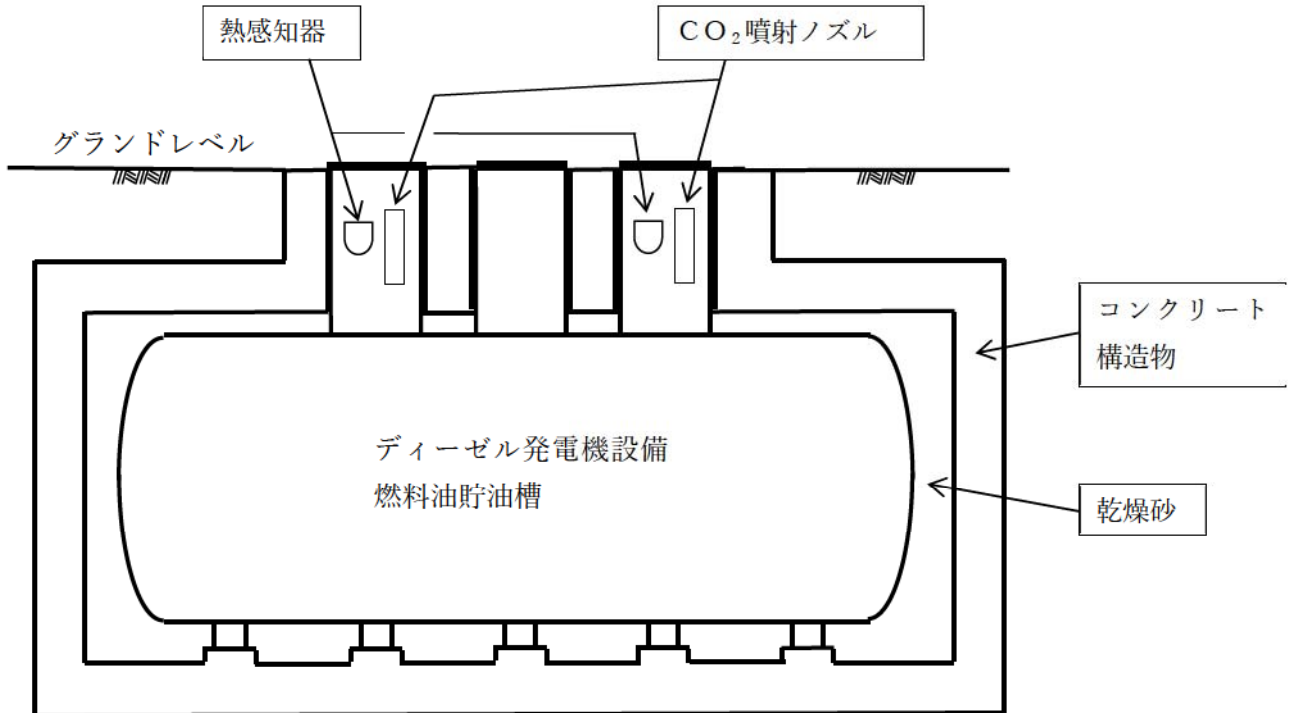
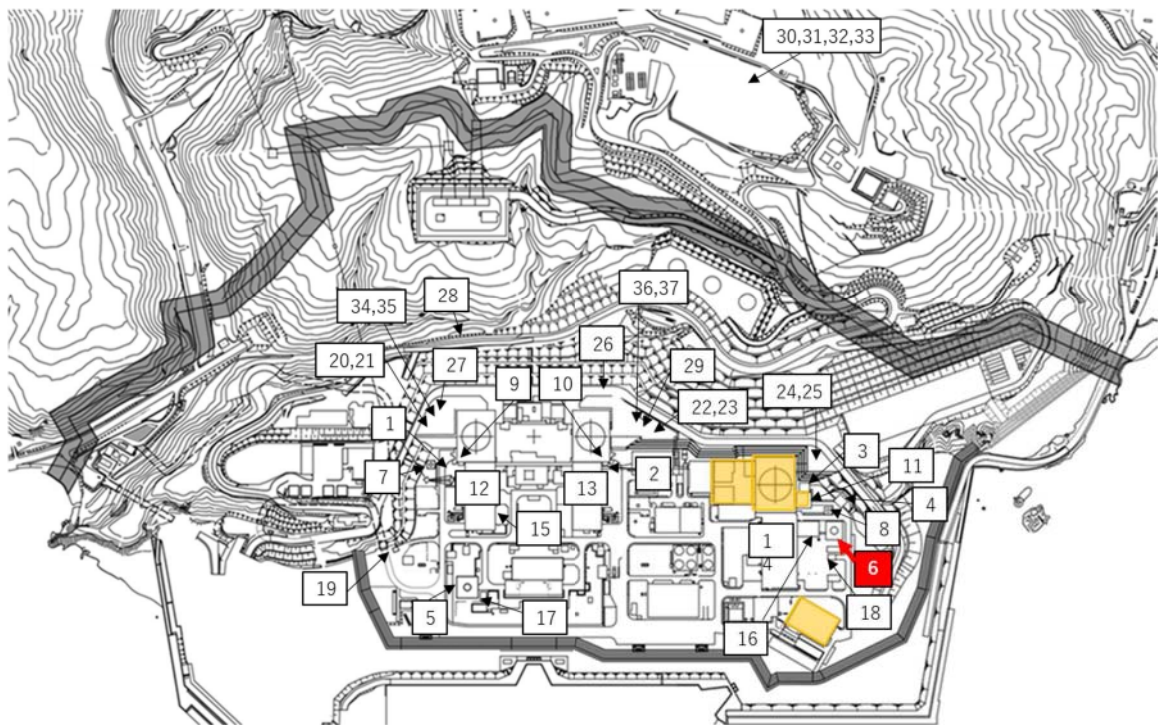


表 6 - 3 少量危険物貯蔵取扱所施設一覧

号機	施設名	危険物			数量	詳細評価要否
		類	品名			
1, 2 号機	給排水処理建屋	4	第 2 石油類	軽油	490 L	× (屋内設置)
3 号機	給排水処理建屋	4	第 2 石油類	軽油	490 L	× (屋内設置)
1, 2 号機	循環水ポンプ建屋	4	第 3 石油類	潤滑油	1, 600 L	× (屋内設置)
3 号機	循環水ポンプ建屋	4	第 4 石油類	潤滑油	1. 310 L	× (屋内設置)
1 号機	原子炉建屋	4	第 3 石油類	潤滑油	1, 500 L	× (屋内設置)
2 号機	原子炉建屋	4	第 3 石油類	潤滑油	1, 500 L	× (屋内設置)
3 号機	原子炉建屋	4	第 4 石油類	潤滑油	1, 500 L	× (屋内設置)
共用	指揮所用発電機	4	第 2 石油類	軽油	490 L	× (※1)
共用	待機所用発電機	4	第 2 石油類	軽油	490 L	× (※1)
共用	高圧送水ポンプ車 (HS900)	4	第 2 石油類	軽油	990 L	× (※1)
共用	高圧送水ポンプ車 (HS900)	4	第 2 石油類	軽油	990 L	× (※1)
共用	高圧送水ポンプ車 (HS1200)	4	第 2 石油類	軽油	990 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 1	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 2	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 3	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 4	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 5	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 6	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 7	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)
共用	可搬型直流電源用発電機 8	4	第 2 石油類	軽油	250 L	× (※1)

※1：3号機補助ボイラー燃料タンクに比べて、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号機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。



名称	名称	名称
1. ディーゼル発電設備燃料油貯油槽 (1号)	9. ディーゼル発電設備燃料油・潤滑油装置 (1号)	17. 油倉庫
2. ディーゼル発電設備燃料油貯油槽 (2号)	10. ディーゼル発電設備燃料油・潤滑油装置 (2号)	18. 油庫
3. ディーゼル発電設備燃料油貯油槽 (3号A側)	11. ディーゼル発電設備燃料油・潤滑油装置 (3号)	19. 第2倉庫物倉庫
4. ディーゼル発電設備燃料油貯油槽 (3号B側)	12. タービン潤滑油装置 (1号)	20,21. 代替非常用発電機 (1A,1B)
5. 補助ボイラー燃料タンク (1,2号)	13. タービン潤滑油装置 (2号)	22,23. 代替非常用発電機 (2A,2B)
6. 補助ボイラー燃料タンク (3号)	14. タービン潤滑油装置 (3号)	24,25. 代替非常用発電機 (3A,3B)
7. 油計量タンク (1,2号)	15. 補助ボイラー燃料油装置 (1,2号)	26~33. 可搬型代替電源車 (1~8号機)
8. 油計量タンク (3号)	16. 補助ボイラー燃料油装置 (3号)	34~37. タンクローリー

図 6 - 2 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。

表 6-4 危険物貯蔵施設の必要データ

	3号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]	599.04
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 : 堰(24.2m×26.4m)、堰厚(0.4m)の防油堤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災を生ずるものと想定し、次の式から燃焼半径R[m]を算出する。

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

R : 燃焼半径(m), S : 燃焼面積 (m²)

表 6-5 危険物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]
3号補助ボイラー燃料タンク	599.04	13.81

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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表6-6に示す。各建屋の外壁と天井スラブの構成を表6-7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6-3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。

表6-6 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号補助ボイラー燃料タンク	57	112	43	100

表6-7 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。

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

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

H：火炎長(41.43[m])，R：燃焼半径(13.81[m])，L：離隔距離[m]

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分)は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

表 6-8 評価対象施設毎の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉建屋	0.096
ディーゼル発電機建屋	0.15
循環水ポンプ建屋	0.037

(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

表 6-9 評価対象施設毎の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉建屋	2,208
ディーゼル発電機建屋	3,450
循環水ポンプ建屋	851

(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)

表 6-10 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号補助ボイラー 燃料タンク	410	13.81	0.035	1,000	19,552

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分)は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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°C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図6-3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。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T：許容温度(200[°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(19,552[s])

x：躯体コンクリート壁表面深さ(m)

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

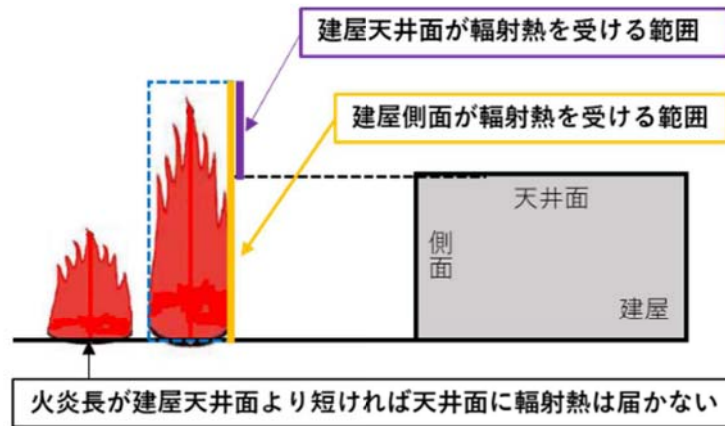


図 6 - 3 建屋天井面の評価概念図

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。評価結果を表 6 - 1 1 に示す。

表 6 - 1 1 評価対象施設毎の熱影響評価結果

対象施設	躯体コンクリート表面温度[℃]
原子炉建屋	約 159
循環水ポンプ建屋	約 117

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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。評価概念図を図 6 - 4 に示す。

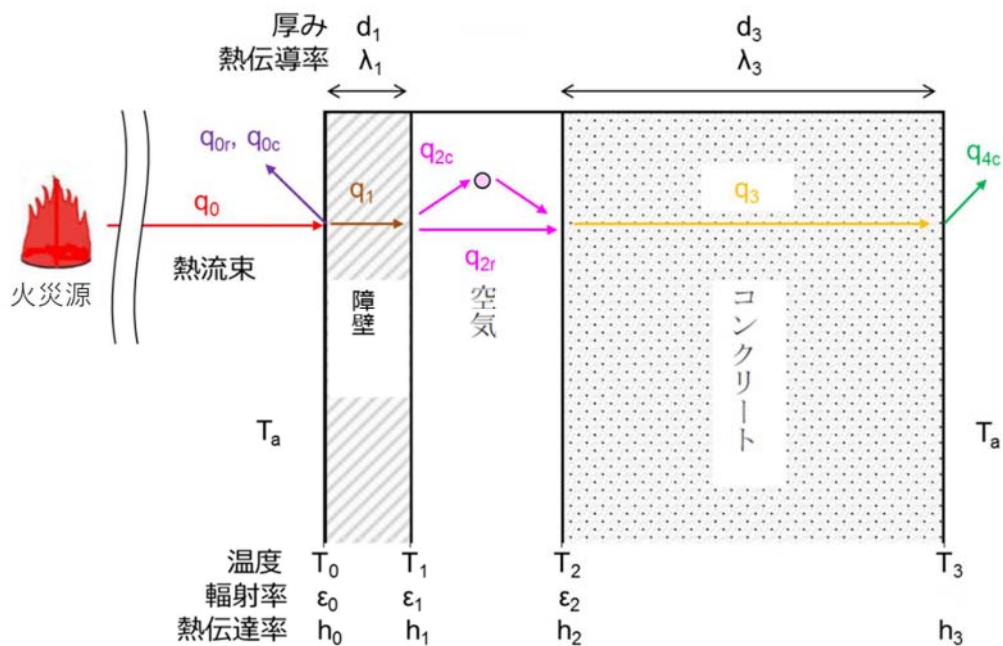


図 6-4 評価概念図

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 $\underline{\underline{[0.8]}}$, T_a : 雰囲気温度 (50[$^{\circ}C$])

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の $\underline{\underline{[0.8]}}$ は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

・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。

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

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])

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

(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。評価結果を表 6-12 に示す。

表 6-12 熱影響評価結果

対象施設	コンクリート表面温度[°C]
ディーゼル発電機建屋	約 151

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(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

排気筒仕様を表 6-13 に, 排気筒外形図を図 6-5 に示す。

表 6-13 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

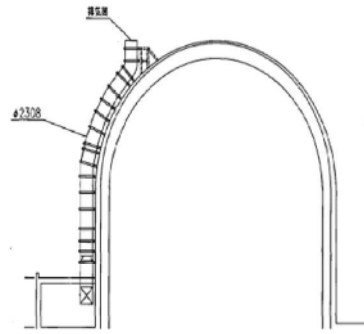


図 6-5 排気筒の外形図

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表 6-14 に示す。

表 6-14 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。

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

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

H: 火炎長(41.43[m]), R: 燃焼半径(13.81[m]), L: 離隔距離[m]

表 6-15 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数 [-]
排気筒	0.096

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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

表 6-16 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	2,208

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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。

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

ε：吸収率(1.0[-]), E:輻射強度[W/m²], h:熱伝達率(17[W/m²·K])*1, T₀: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。評価結果を表 6-17 に示す。排気筒の評価概念図を図 6-6 に示す。

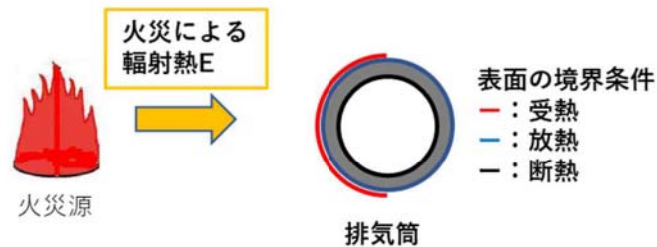


図 6-6 排気筒の評価概念図

表 6-17 排気筒への火災影響評価結果

対象施設	排気筒温度[℃]
排気筒	約 115

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(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電動機は、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モータは、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表 6-18 に示す。

表 6-18 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。算出結果を表 6-19 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 [41.43 [m]]; R : 燃焼半径 [13.81 [m]]; L : 離隔距離 [m]

表 6-19 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	0.037

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。算出結果を表 6-20 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

表 6-20 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	851

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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、モーター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 80.9℃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図 6-7 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（湧き空気として算出）

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]

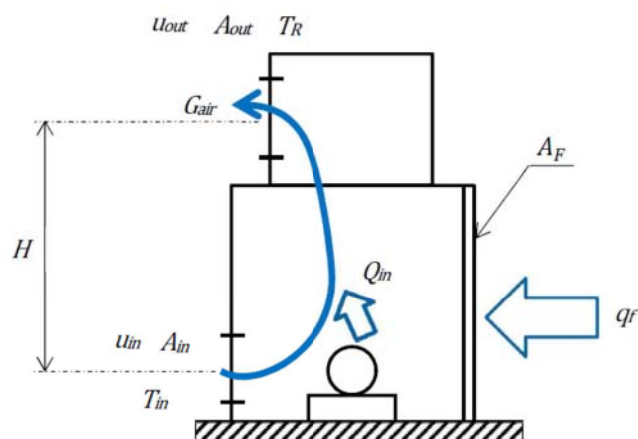


図 6 - 7 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

(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。評価結果を表 6 - 2 1 に示す。

表 6 - 2 1 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]
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 55

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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、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号機主変圧器・所内変圧器の火災を想定して、影響評価を実施する。図6-8のフローに基づき評価対象を抽出した。表6-23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、図6-8で抽出した一体型である3号機主変圧器・所内変圧器を想定した。なお、隣接する変圧器間には耐火壁があるため、隣接変圧器への延焼は考慮しない。
- ii. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう想定した変圧器位置から原子炉施設までの直線距離とした。
- iii. 変圧器の損傷による変圧器の全面火災を想定した。
- iv. 気象条件は無風状態とした。
- v. 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。
- 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。

表6-22 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

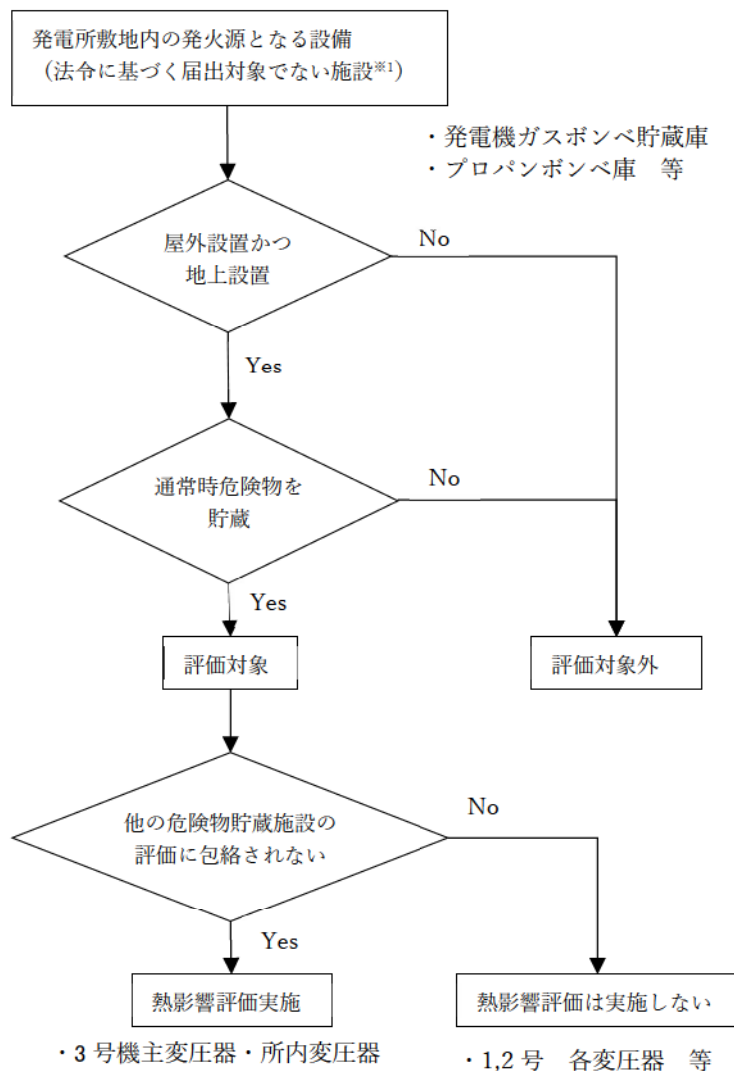
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

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

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図6-8のフローに基づき抽出する(表6-23)。危険物を貯蔵し屋外設置で原子炉施設までの距離が近く貯蔵量が多い、一体型である3号機主変圧器・所内変圧器を想定発火源とした。

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図6-9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等

図6-8 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

表 6 - 2 3 その他の危険物

号機	施設名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1号機	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	86 kL	× (※1)
1号機	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	30.3 kL	× (※1)
1号機	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	× (※1)
2号機	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	77.0 kL	× (※1)
2号機	起動変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	30.3 kL	× (※1)
2号機	所内変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	22.0 kL	× (※1)
1,2号機	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	15.9 kL	× (※1)
3号機	主変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	107.8 kL	○
	所内変圧器			
3号機	予備変圧器	1種4号 鉱油 (重油相当)	31.8 kL	× (※1)
1号機	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号機	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号機	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号機	1次系水素ボンベ室	水素ガス (ボンベ)	420 m ³	× (屋内設置)
3号機	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号機	補助ボイラー建屋	プロパンガス	180 kg	× (屋内設置)
3号機	補助ボイラー建屋	プロパンガス	120 kg	× (屋内設置)

※1 : 3号機主変圧器・所内変圧器の評価に包絡される。

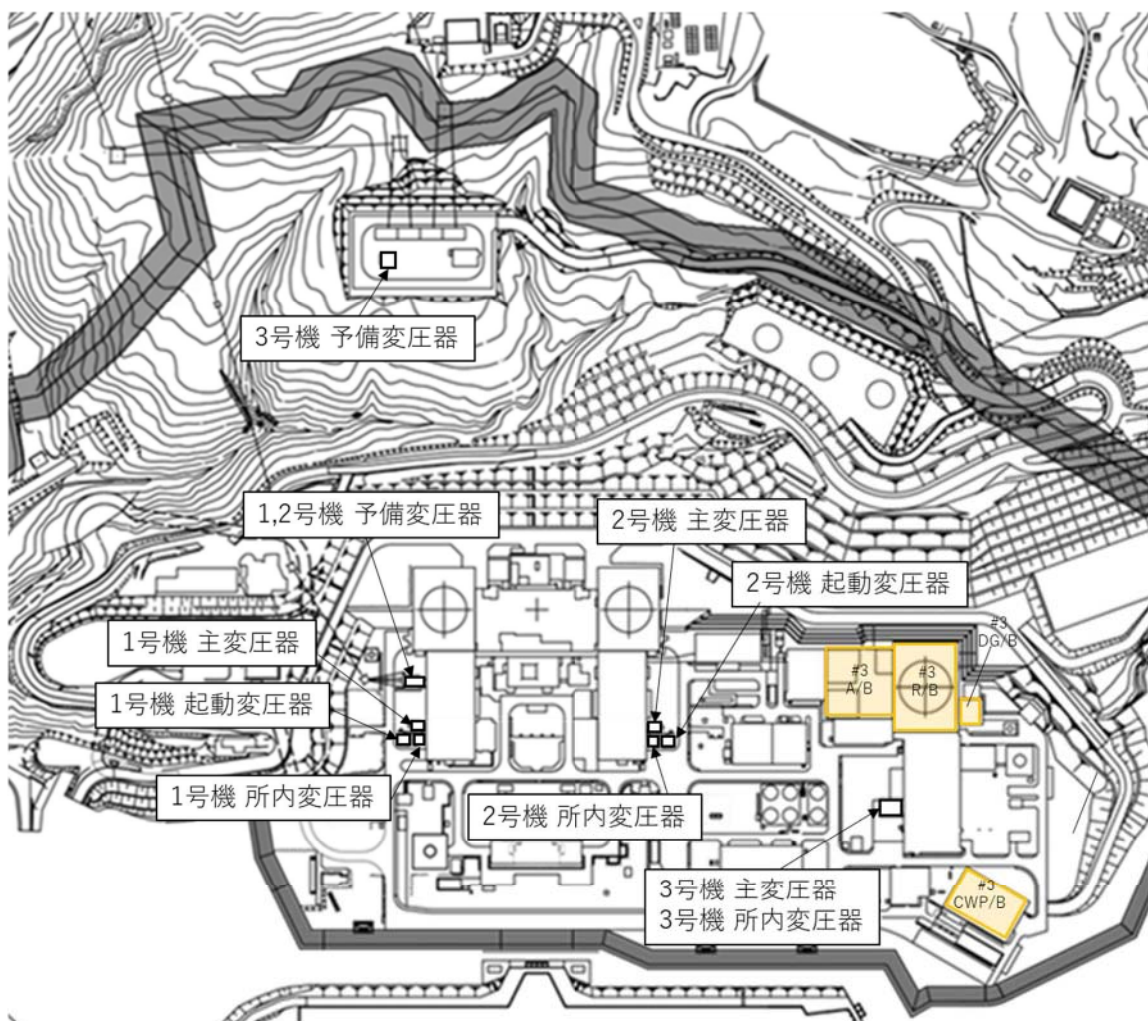


図 6 - 9 敷地内における屋外変圧器の位置（発電所全体）

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号機主変圧器・所内変圧器の火災を想定して、原子炉施設への熱影響評価を実施する。

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。

表 6-24 変圧器火災影響評価に必要なデータ

変圧器	3号機主変圧器・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

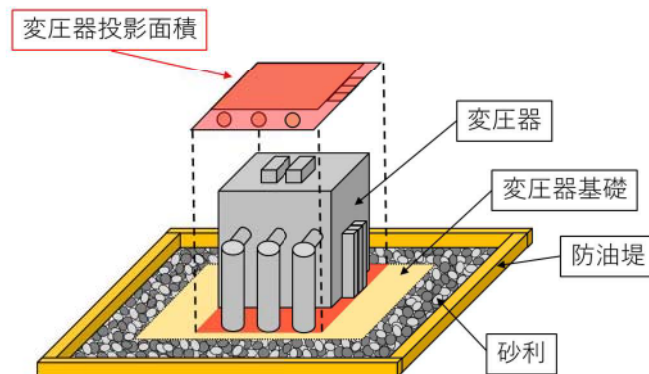


図 6-10 変圧器の投影面積

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図 6-10 に、算出結果を表 6-25 に示す。

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

R：燃焼半径(m)， S：燃焼面積 (m²)

表 6-25 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号機主変圧器・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号機主変圧器・所内変圧器の火災を想定して評価を実施した。

(b) 3号機主変圧器・所内変圧器から評価対象の原子炉施設までの離隔距離を表6-26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。

表 6-26 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号機主変圧器・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。

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

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

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

表 6-27 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

表 6 - 2 8 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)

表 6 - 2 9 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号機主変圧器・ 所内変圧器	107.8	6.14	0.035	1,000	26,006

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図6-11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。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T：許容温度(200[°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 / ρ C_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(26,006[s])
 x：躯体コンクリート壁表面深さ(0[m])

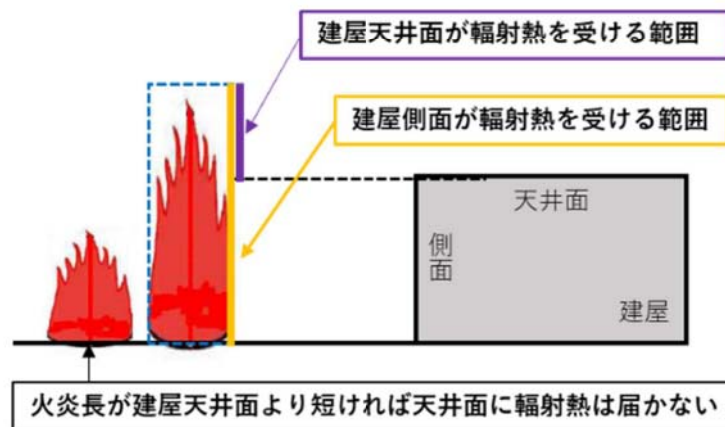


図6-11 建屋天井面の評価概念図

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。評価結果を表6-30に示す。

表6-30 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]
原子炉建屋	約 88

(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号機主変圧器・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

排気筒仕様を表6-31に、排気筒外形図を図6-12に示す。

表6-31 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

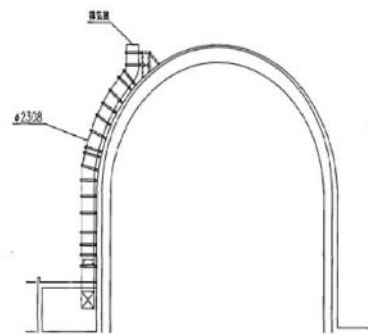


図6-12 排気筒の外形図

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表6-32に示す。

表6-32 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号機主変圧器・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。

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

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

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

表 6-33 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。

$$E = R_f \times \phi \quad (式 2)$$

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

表 6-34 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時、

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。評価結果を表 6-35 に示す。排気筒の評価概念図を図 6-13 に示す。

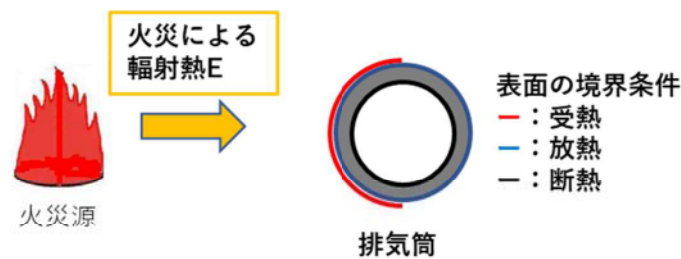


図 6-13 排気筒の評価概念図

表 6-35 排気筒への火災影響評価結果

対象施設	排気筒温度[°C]
排気筒	約 63

(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電動機は、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モータは、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表6-36に示す。

表6-36 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号機主変圧器・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。算出結果を表6-37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]

表6-37 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。算出結果を表6-38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

表6-38 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、モーター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 80.9℃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図 6-14 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（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]

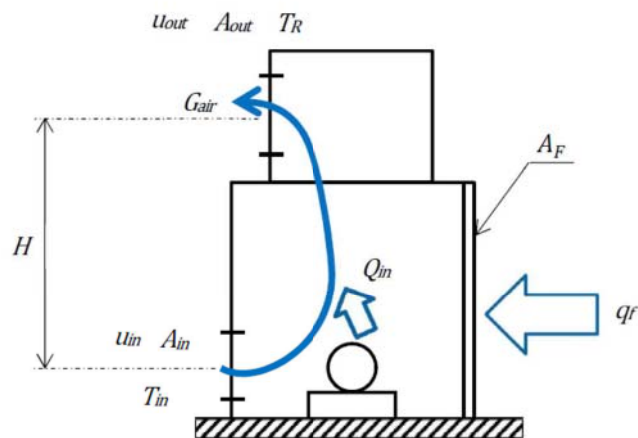


図 6-14 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

(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。評価結果を表 6-39 に示す。

表 6-39 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]
原子炉補機冷却海水ポンプ	約 46

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、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、社内文書に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱っている。また、防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認している。

以上により、3号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. 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

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、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
- ・フード（換気空調系の給・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図6-15に示す。

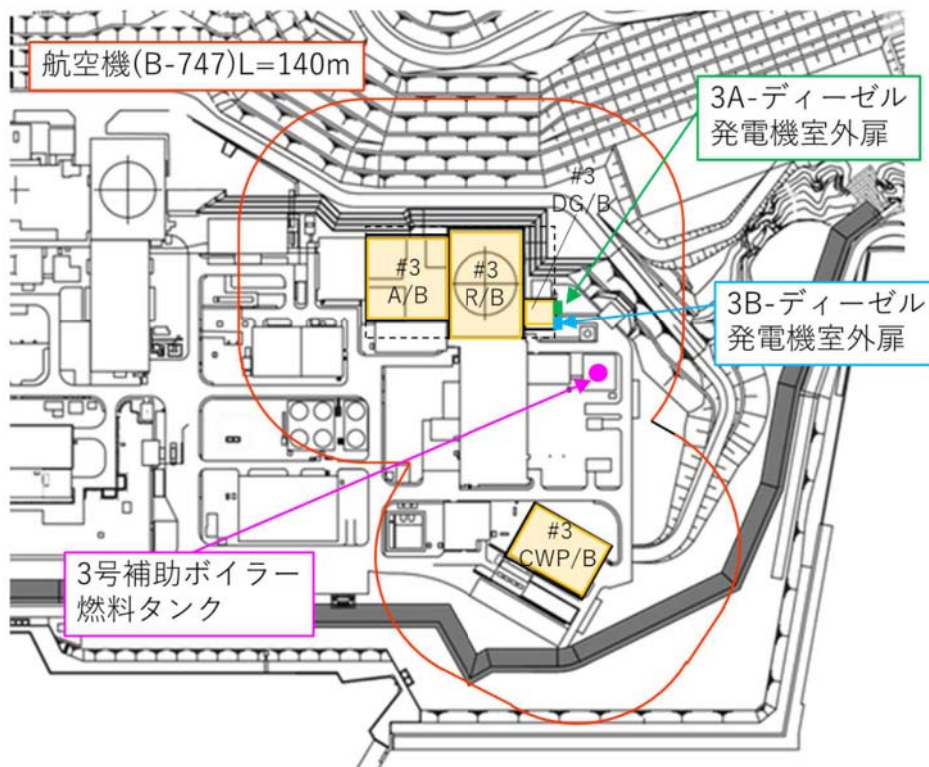


図6-15 想定する補助ボイラー燃料タンクと航空機墜落による火災の火災源と3B-ディーゼル発電機外扉の位置図

(b) 想定条件

- i. 火災源は、3号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表6-40に示す。

表6-40 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号補助ボイラー燃料タンク	43	3,298.80	19,556 !
	航空機墜落	140	1,100.52	6,677

※ ディーゼル発電機建屋までの離隔距離を採用した。

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

以下に、伝熱の概念図を示す。

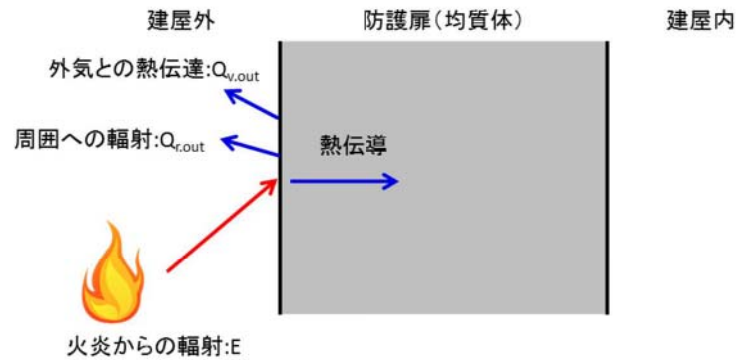


図 6-16 伝熱の概念図

(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表 6-41 に示す。

表 6-41 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 (図 6-17)。

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

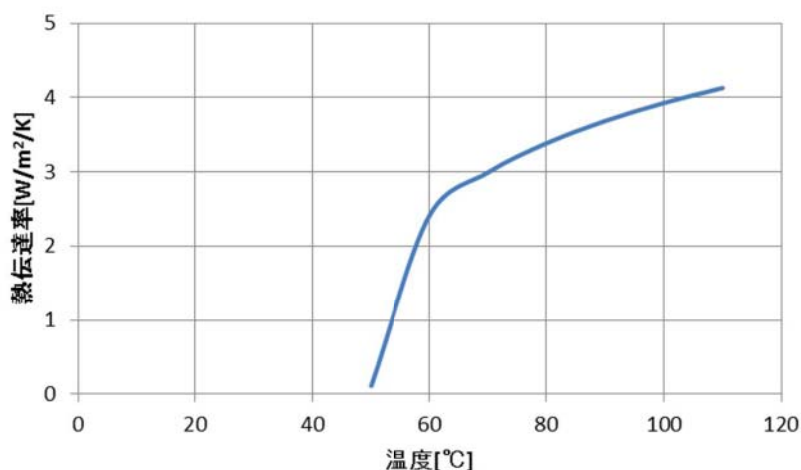


図 6 - 1 7 自然対流熱伝達 (Bayley の式)

(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。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

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、

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

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

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。

評価結果を表 6-42 に示す。

表 6-42 外扉温度評価結果

外扉外側 [°C]	外扉内側 [°C]
約 113	約 106

(f) 熱影響の有無の評価

評価の結果、3号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 113°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. 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、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
- iii. ディーゼル発電機は、運転しているものとした。
- iv. 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。

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(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。

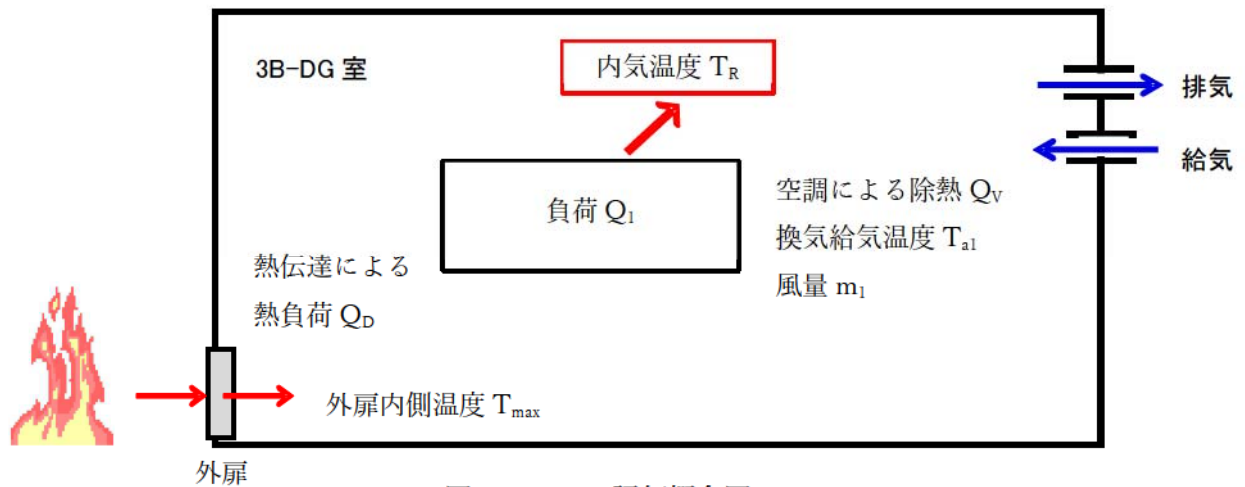


図 6 - 1 8 評価概念図

以下に評価結果を示す。

表 6 - 4 3 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

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(c) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、3号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) フードの火災影響評価について

a. 評価対象

3号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フードとしてはDG蓄熱室給気口フードがあるが、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 給気口フードを対象とする。

b. 想定条件

- ・フードへの熱影響が最大となる 3 号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。
- ・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、輻射による放熱は考慮しないものとする。

以下に、フードへの受熱面を示す。

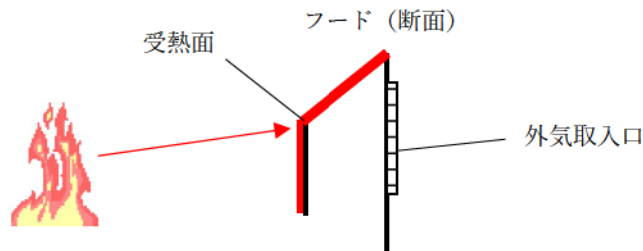


図6-19 フードの受熱面

c. 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

表6-44 フードへの火災影響評価に必要なデータ

	3号補助ボイラー燃料タンク	航空機
離隔距離[m]	56	140
燃焼半径[m]	13.809	14.928
形態係数[-]	9.79229×10^{-2}	2.20103×10^{-2}
輻射強度[W/m ²]	2,252.23	1,100.52
燃焼継続時間[h]	5.43	1.85

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

d. フード温度と膨張量

3号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輻射強度を求めた結果、フードが受ける輻射強度は 3.35kW/m^2 となり、この輻射強度にて一定でフードが昇温されるものとして、下記の式より対象フードの温度及び膨張量を算出する。

なお、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/m^2]

h : フードの熱伝達率 ($17[\text{W/m}^2\cdot\text{K}]$) ※1, T_0 : 初期温度 ($50[^\circ\text{C}]$)

※1 : 空気調和・衛生工学便覧

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

l : フード膨張量[mm], α : 熱膨張率 ($12.8 \times 10^{-6}[1/\text{K}]$)

T_0 : 初期温度 ($50[^\circ\text{C}]$), L : フード長さ ($21,235[\text{mm}]$)

以下に評価結果を示す。

表 6-45 フードの熱影響評価結果

フード温度[$^\circ\text{C}$]	: 248
フード膨張量[mm]	: 53.7

e. 火災による熱影響の有無の評価

フードの温度は 248°C となり、フード長辺方向の熱膨張量はフード長さ 21,235mm に対して、 53.7mm となったことから、フードの形状が大きく変形することはない。

また、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、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、フード内側には熱影響を受ける機器等がなく、3号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、モルタル等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。

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

3号機補助ボイラー燃料タンクの仕様について

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

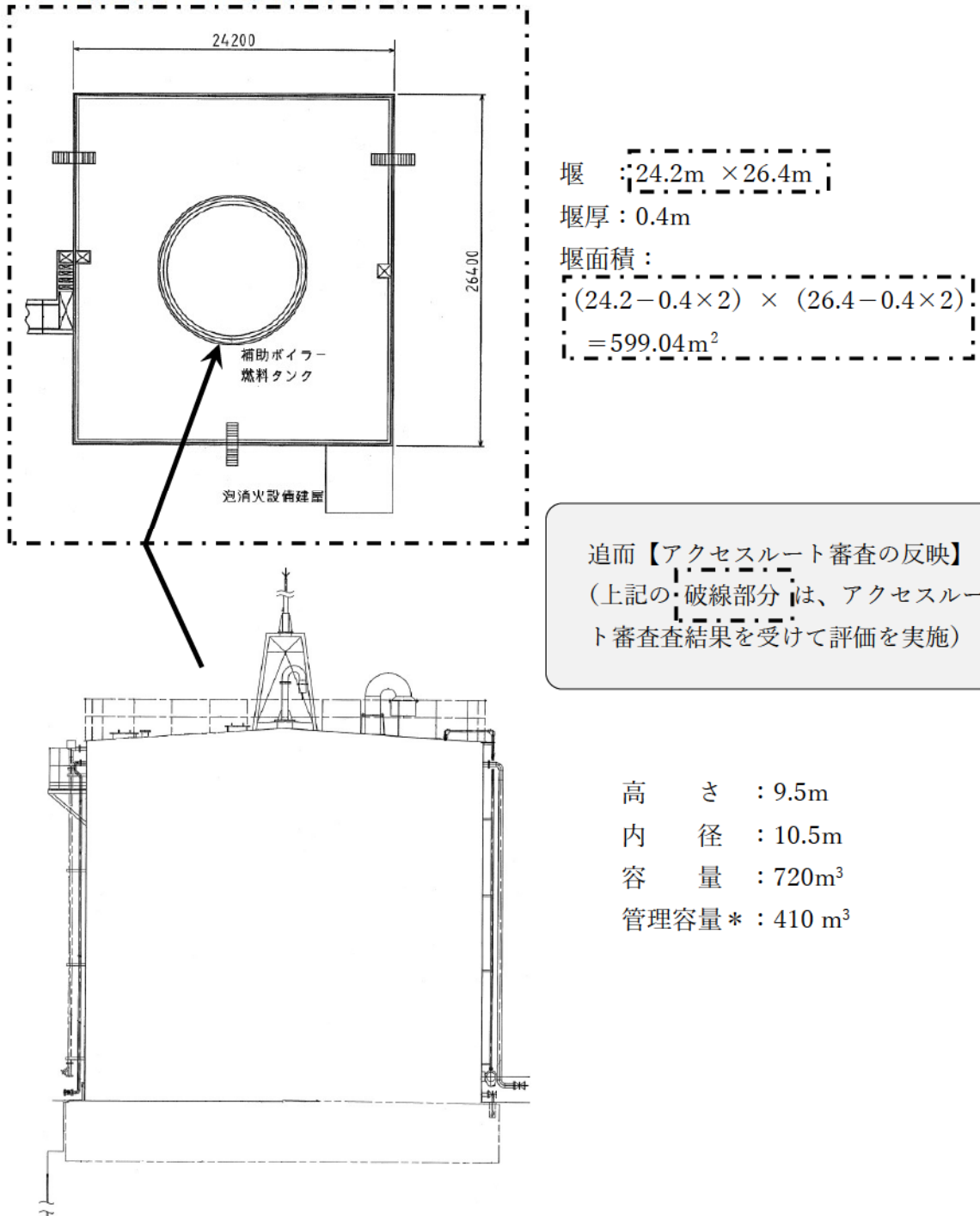


図1 3号機補助ボイラー燃料タンク外形図 (防油堤含む)

※ 3号補助ボイラー燃料タンクの管理容量について

ストレステストにて、以下の報告をしている。

泊発電所構内 T.P. 10m エリアには、A重油を貯蔵している3号補助ボイラー燃料タンクがあるが、このタンクは危険物貯蔵施設（屋外タンク貯蔵所）であり、周囲に火気が存在していないことから重油（引火点 60℃以上）による火災が発生する可能性は低い。

また、防油堤は3号補助ボイラー燃料タンクの容量に比べ十分な容量を有しているが地震および津波の発生による万一の重油の漏えいを想定し、平時より重油火災に対して有効な泡消火機材および泡消火剤を準備していること、ならびに火災負荷低減のため、プラント運転中の使用頻度が少ない1、2号機用と3号機用補助ボイラー燃料タンクの総貯蔵量を1/2程度とした。

3号機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号補助ボイラー燃料タンク容量の約 57%にあたる 410kℓで運用している。

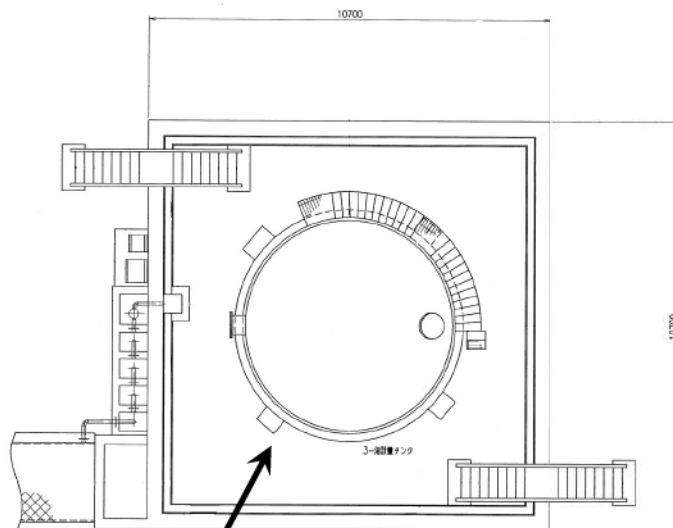
3号補助ボイラー燃料タンクの最大容量は 720kℓであるが、タンク火災の熱影響評価は、410kℓを使用して評価を行うことから、評価で用いた 410kℓを確実に下回るよう原子炉施設保安規定で管理する。

なお、運用値については、計器誤差（約±0.2 kℓ）を考慮して検討する。

燃料給油時には、必ずアースを取る手順となっており、給油時の火災防止に万全を期している。

3号機油計量タンクの仕様について

図1に3号油計量タンクの外形図を示す。また、3号機油計量タンクの管理値について、以下に示す

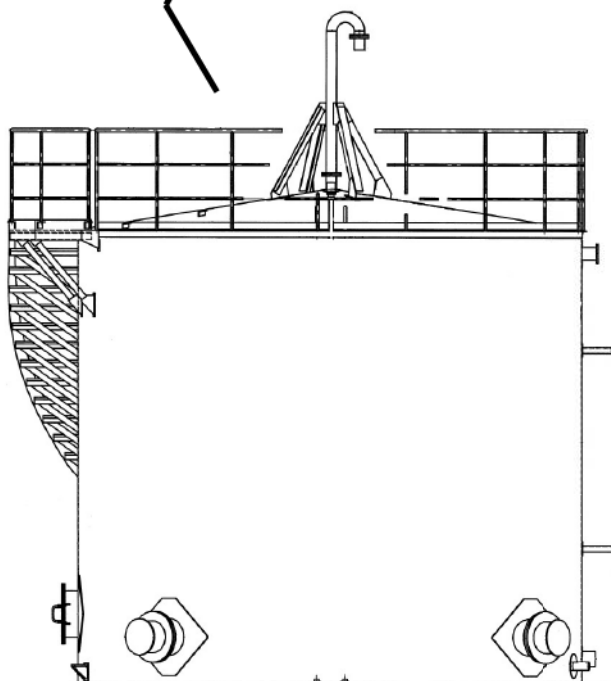


堰 : 10.7m × 10.7m

堰厚 : 0.4m

堰面積 :

$$(10.7 - 0.4 \times 2) \times (10.7 - 0.4 \times 2) = 98.01 \text{m}^2$$



高 さ : 5.0m

内 径 : 5.5m

容 量 : 110m³

管理容量※ : 0 m³

図1 3号機油計量タンク外形図 (防油堤含む)

※3号油計量タンクの管理について

3号油計量タンクは、タービン本体の点検を実施するため、定期検査毎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号油計量タンクは評価対象から除外する。

また、3号油計量タンクが空の状態(0m³)となるように原子炉施設保安規定で管理する。

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。

原子炉建屋および原子炉補助建屋外壁は、厚さ 60mm の P C 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およ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、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表 1 に示す。

表 1 各建屋の外壁と天井スラブの構成

	外壁		天井スラブ	
	P C 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板およ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）、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、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、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。

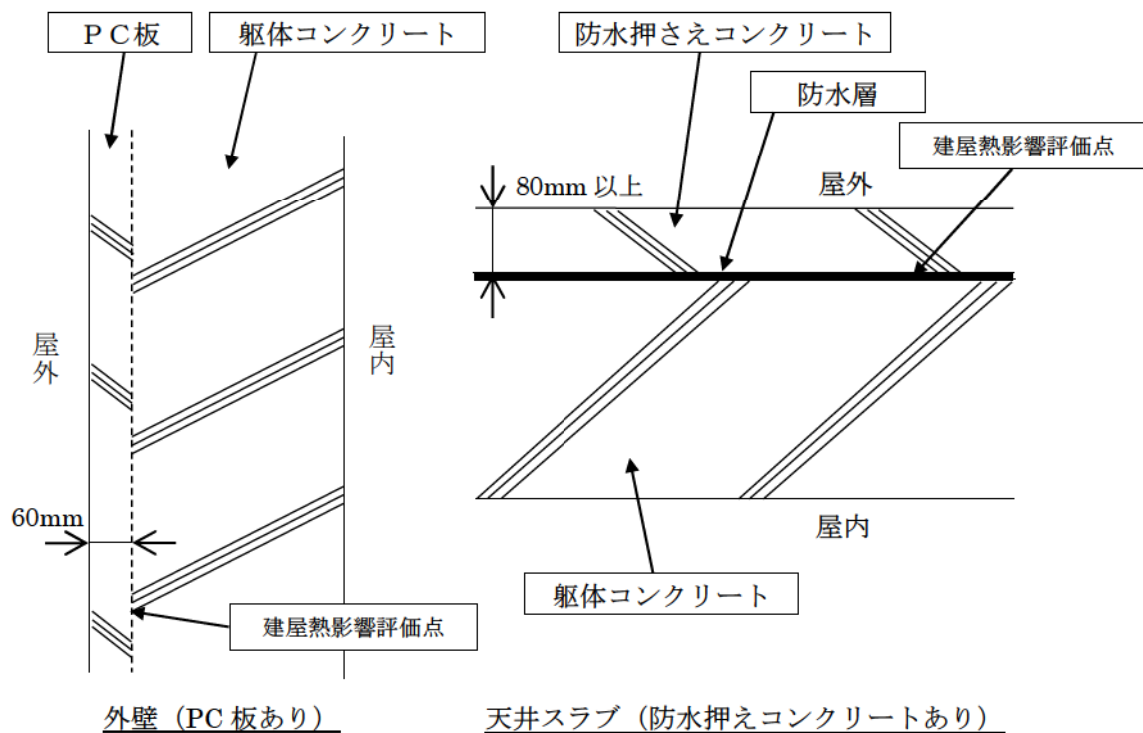


図1 外壁および天井スラブ構成図

3. 循環水ポンプ建屋および原子炉補機冷却海水ポンプの影響評価について

3号機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。

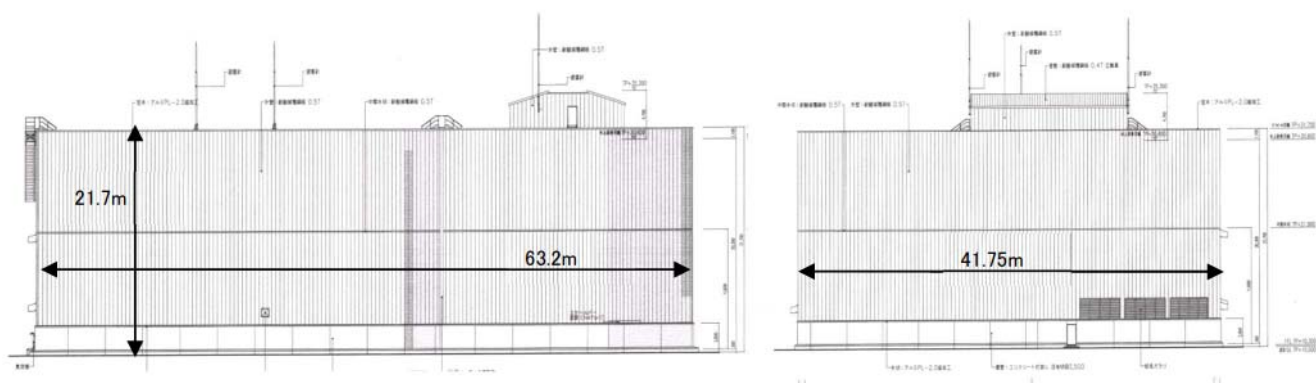


図2 循環水建屋外形図

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、モーター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 80.9℃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

建屋外壁およ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、防護措置実施範囲および断熱材設置イメージを図3、図4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、設置する断熱材およびコンクリート板の重量は約0.2%程度であることから、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。

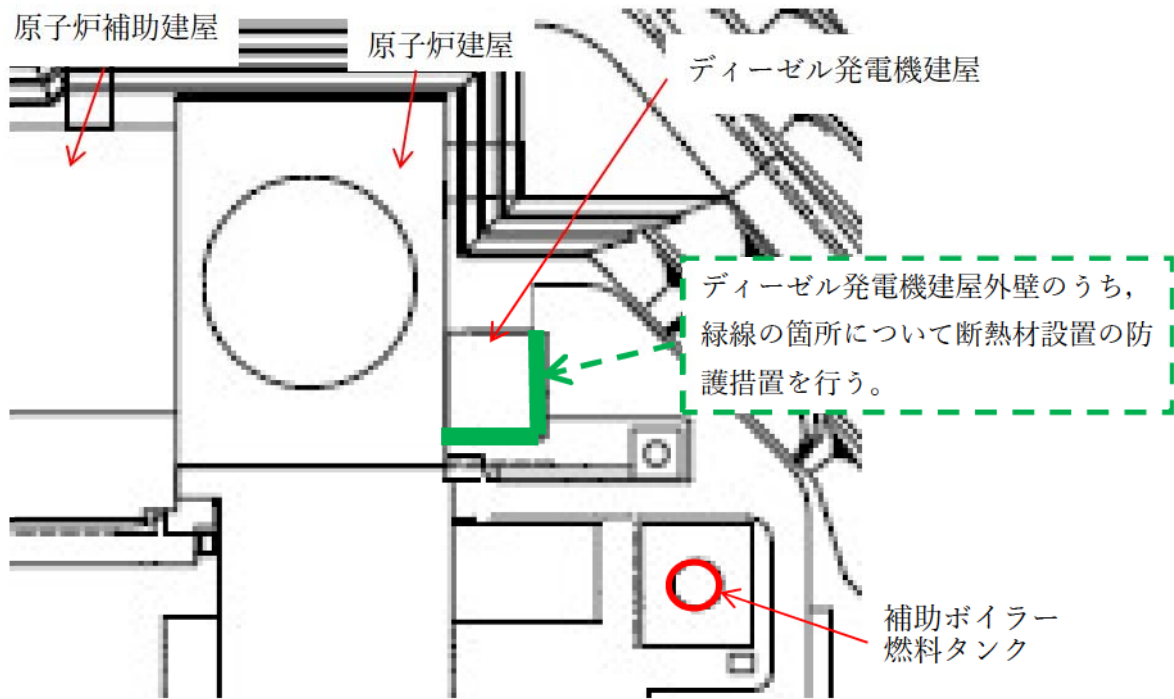


図3 ディーゼル発電機建屋の防護措置実施範囲

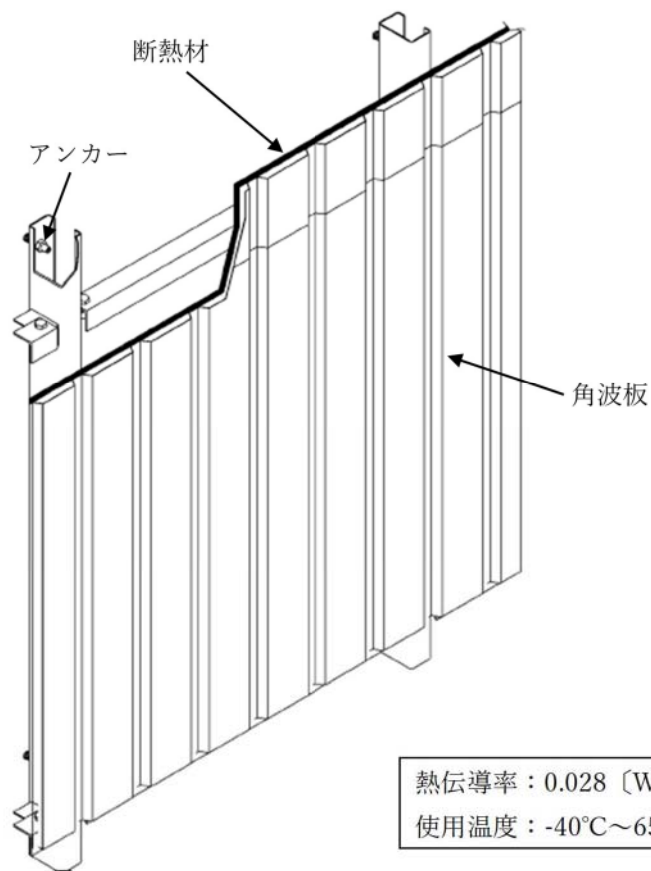
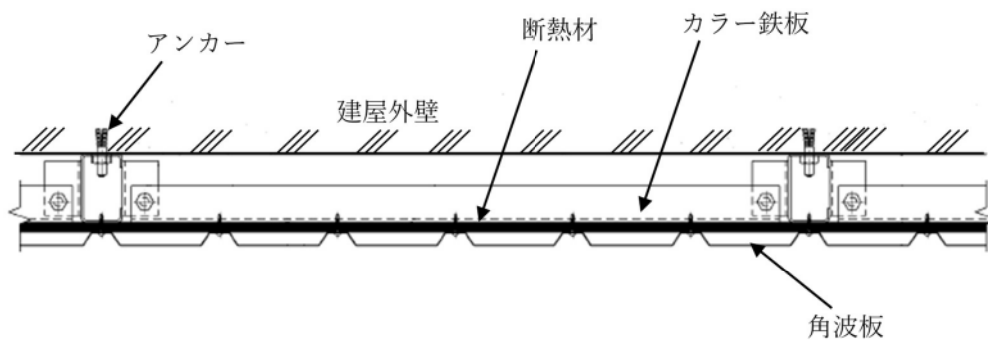


図4 断熱材設置概略図

(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°C の状況において、約 410°C 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°C 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°C 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およ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。

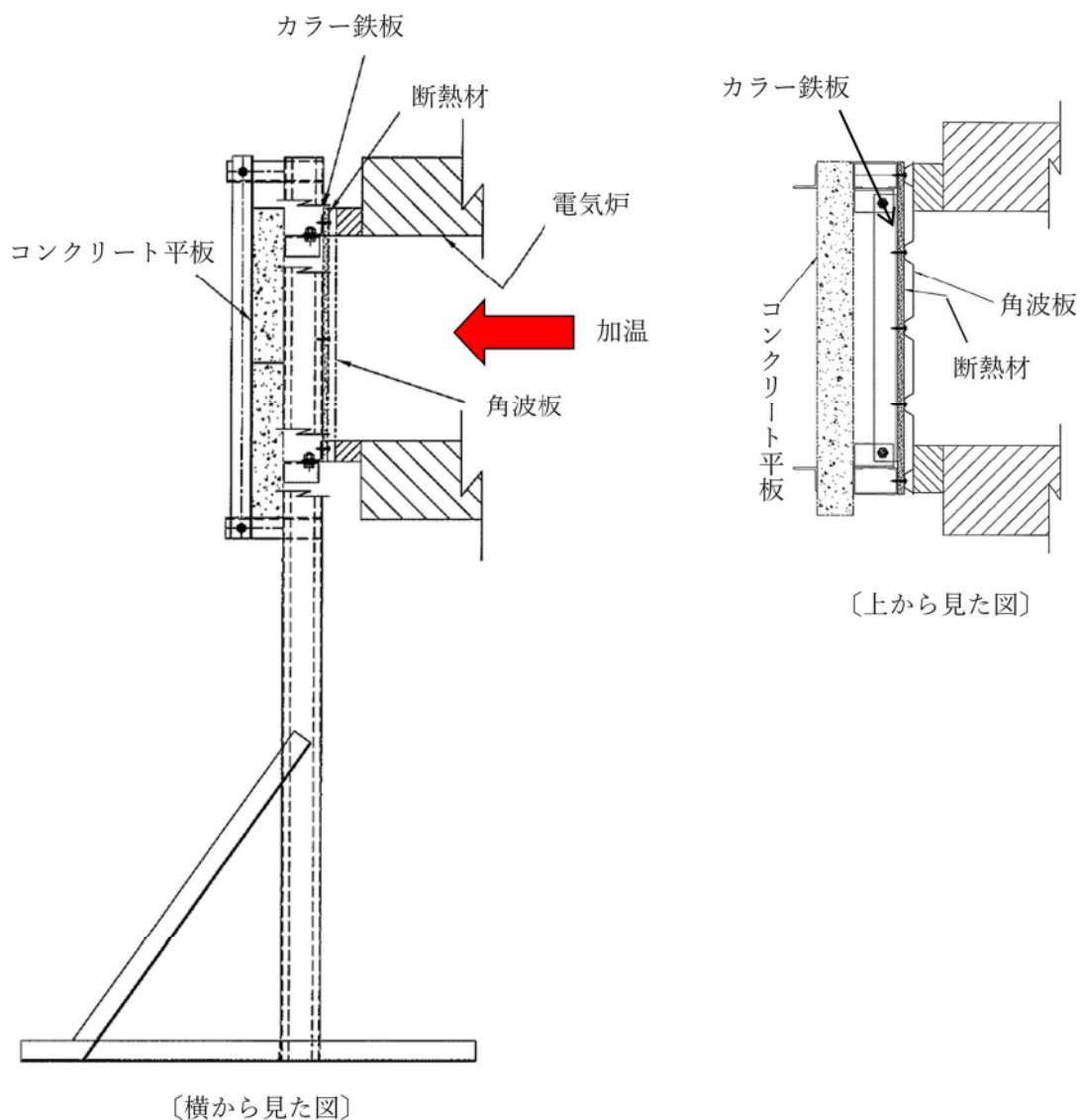


図5 試験状況図

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℃）。

試験結果を図 6 に示す。

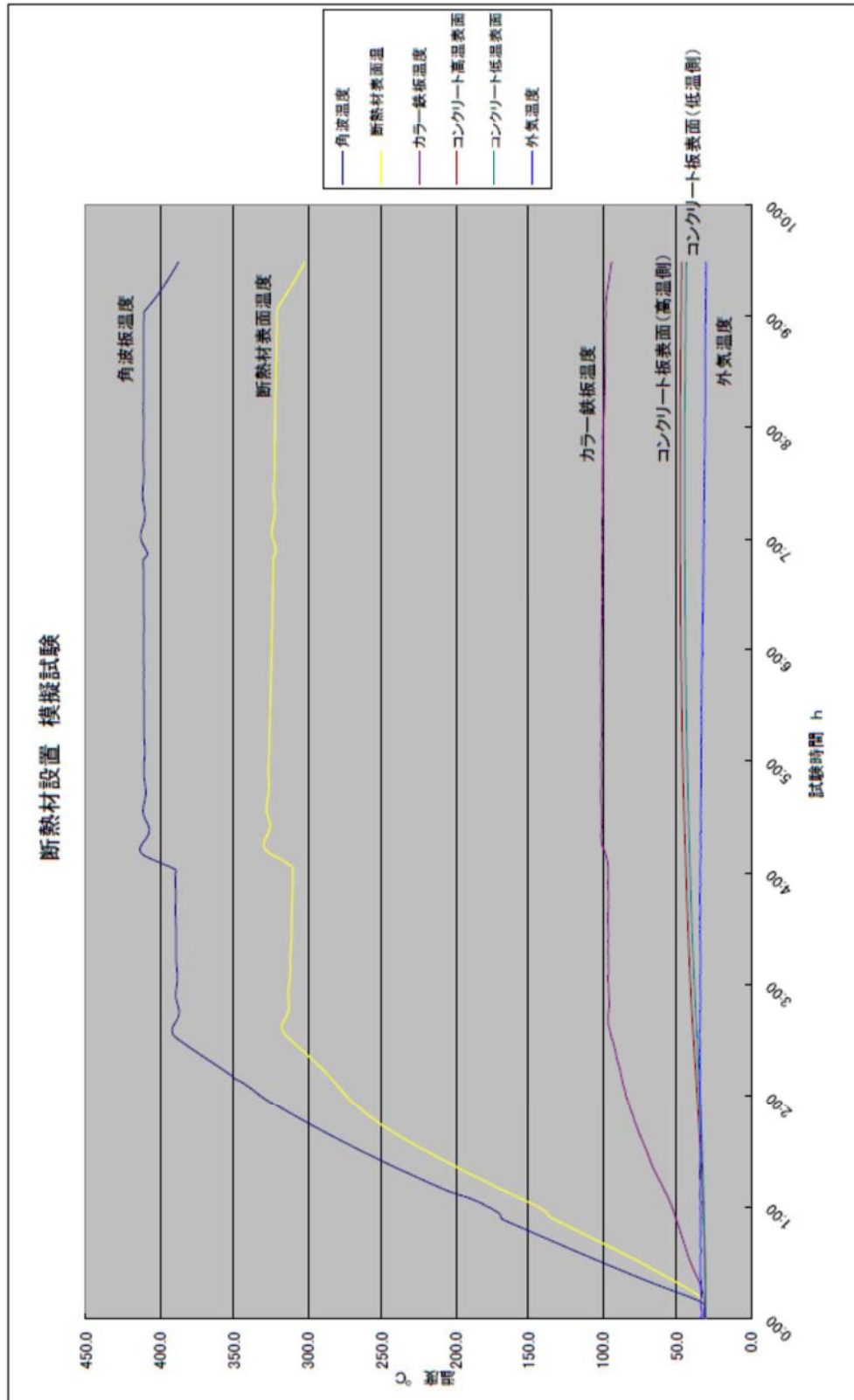


図 6 模擬試験結果

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。

表7-1 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。(表7-2)
- ・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。

表 7-2 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。

表 7-3 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]	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、表 7-1 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、表 7-1 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 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

α : 対象航空機の種類による係数

表 7-4 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 2/20=0.1
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	3.90×10^{-9}

- ※1：「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成24年9月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)による。なお、大型固定翼機については平成3年～平成22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、循環水ポンプ建屋及び原子炉補助建屋の一部(他号炉に係わる部分を除く)等の合計値(別紙7-6)

大型民間航空機の墜落確立 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、 A' は $A' = 0.29$ [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 ：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

表7-5 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 35/20=1.75 小型回転翼機 30/20=1.50
S_v^{*1}	372,000
α^{*2}	小型固定翼機, 小型回転翼機: 0.1
A^{*3}	0.0116
P_v	1.02×10^{-8}

- ※1：「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成24年9月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)による。
- ※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、循環水ポンプ建屋及び原子炉補助建屋の一部(他号炉に係わる部分を除く)等の合計値(別紙7-6)

小型民間航空機の墜落確立 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、 A' は $A' = 0.11$ [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 ：原子炉施設の標的面積（km²）

表 7-6 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 3/20=0.15
S_i^{*1}	77,200
A^{*2}	0.0116
P_{si}	2.26×10^{-8}

※1：「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」（平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋及び原子炉補助建屋の一部（他号炉に係わる部分を除く）等の合計値（別紙 7-6）

訓練空域内での自衛隊機の墜落確立 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、 A' は $A' = 0.051$ [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（ km^2 ）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

表 7-7 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：「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」（平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋及び原子炉補助建屋の一部（他号炉に係わる部分を除く）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， A' は $A' = 0.74 [\text{km}^2]$ 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）

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

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（ km^2 ）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

表 7-8 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 4/20=0.20
S_o^{*1}	372,000
A^{*2}	0.0116
P_{so}	6.24×10^{-9}

※1：「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」（平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋及び原子炉補助建屋の一部（他号炉に係わる部分を除く）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， A' は $A' = 0.18$ [km²]となる。

(5) 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 を算出した結果を表 7-9 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。

表 7-9 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]	140	76	39	263	109

(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表7-10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図7-1および図7-2に示す。

表7-10 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]	140	76	39	263	109
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。

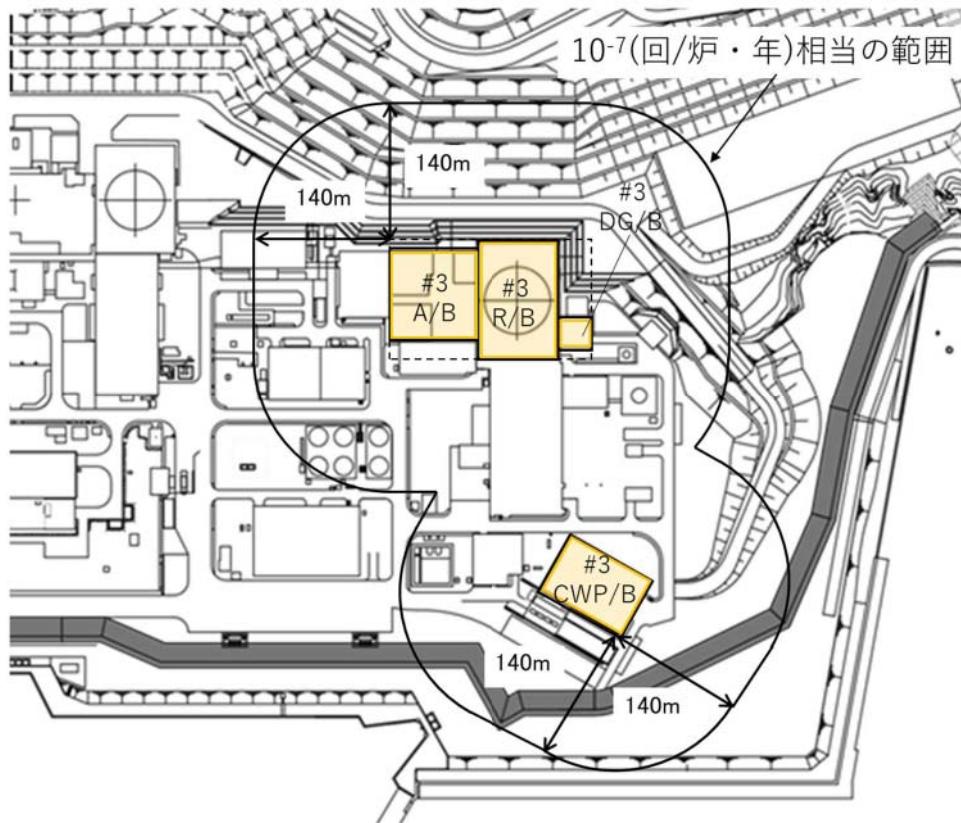


図 7 - 1 大型民間航空機の離隔距離

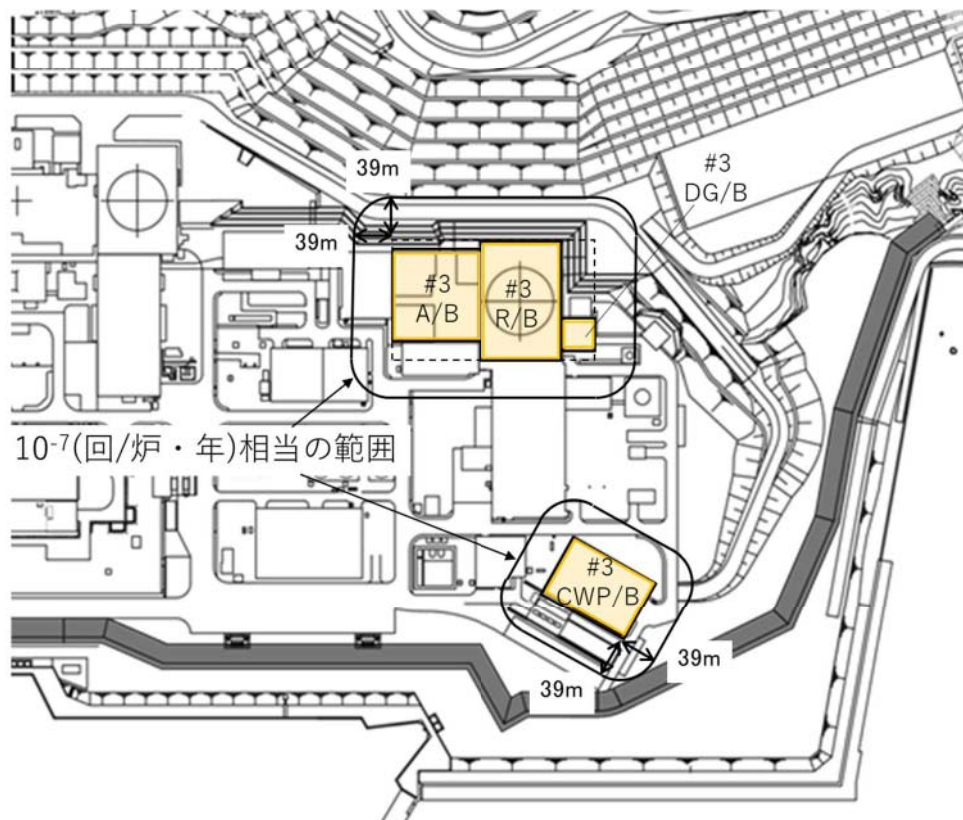


図 7 - 2 自衛隊機又は米軍機（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）の離隔距離

(7) 必要データ

評価に必要なデータを表 7-11 に示す。

表 7-11 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]	140	39

(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, 円筒火炎モデルとして評価を実施するため, 燃焼半径は対象とした航空機燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出する。

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

R: 燃焼半径(m), S: 燃焼面積 (=燃料タンクの投影面積) (m²)

表 7-12 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]

表 7-13 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]	140	39
形態係数[-]	0.023	0.019

(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[-]

表 7-14 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[-]	0.023	0.019
輻射強度[W/m ²]	1,150	1,102

(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)

表 7 - 1 5 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]	6,670	4,963

(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。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T_0 ：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(= $\lambda / \rho C_p$) (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])

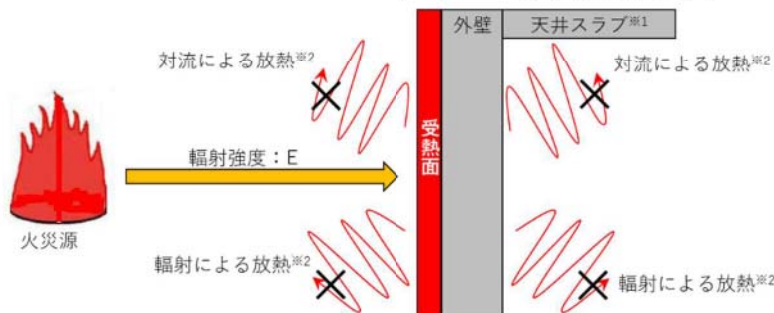
λ ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m·K])， t ：燃焼継続時間[s]

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図7-3に，天井スラブの評価概念図を図7-4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。

図7-3 建屋外壁の評価概念図

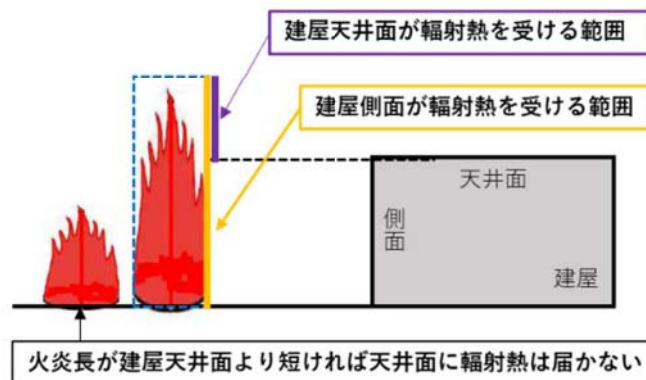


図7-4 天井スラブへの輻射熱の影響

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。
 評価結果を表 7-16 に, 温度変化を図 7-5 および図 7-6 に示す。

表 7-16 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]	1,150	1,102
燃焼継続時間[s]	6,670	4,963
表面温度[℃]	約 103	約 94

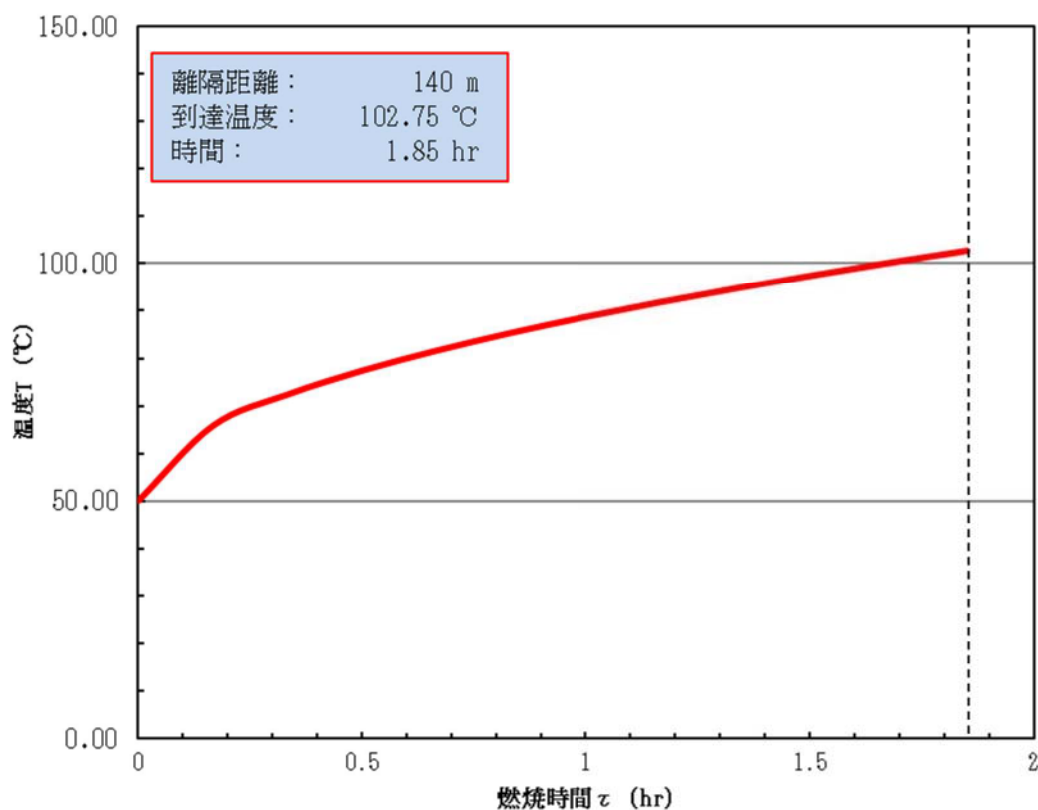


図 7-5 建屋外壁における温度上昇の評価結果 (大型民間航空機)

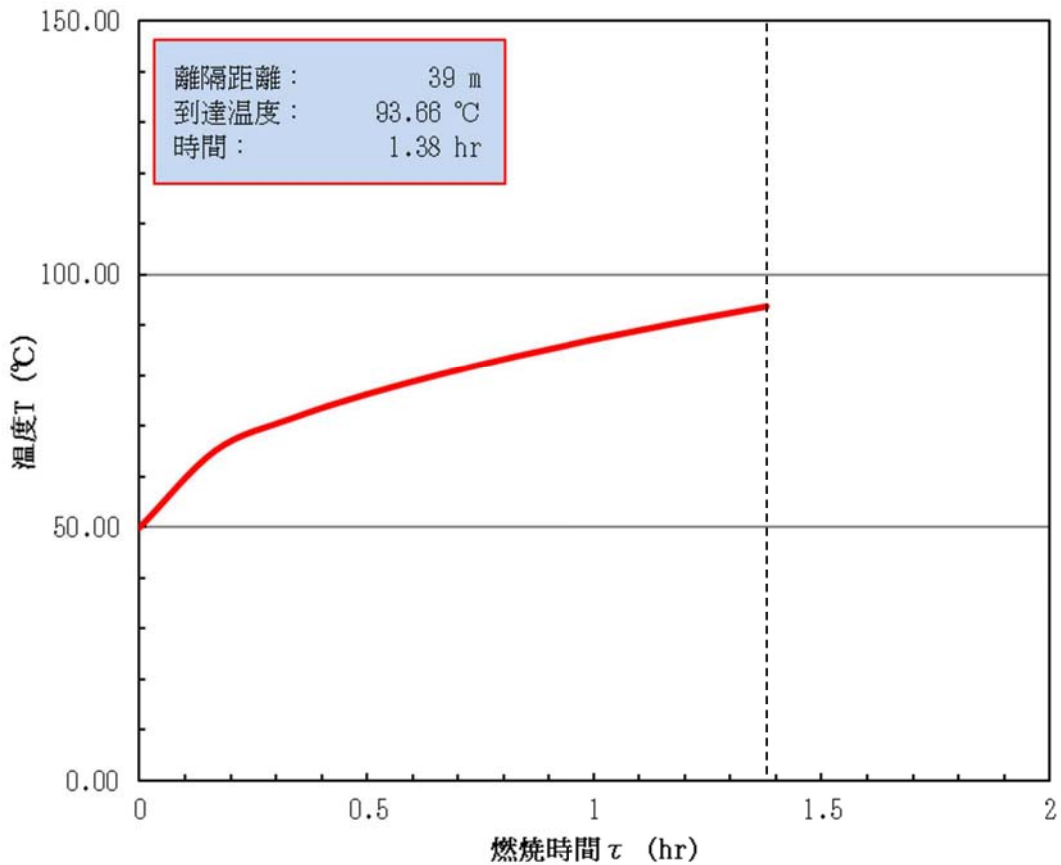


図 7-6 建屋外壁における温度上昇の評価結果
(自衛隊機 (その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機))

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

排気筒仕様を表 7-17 に、排気筒外形図を図 7-7 に示す。

表 7-17 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

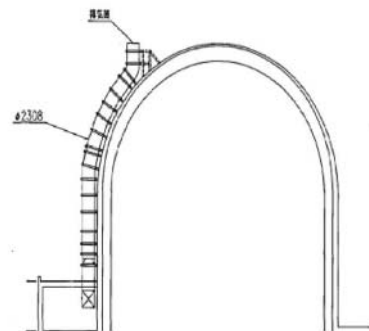


図 7-7 排気筒の外形図

(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℃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。

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

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。）

排気筒の評価概念図を図 7-8 に示す。

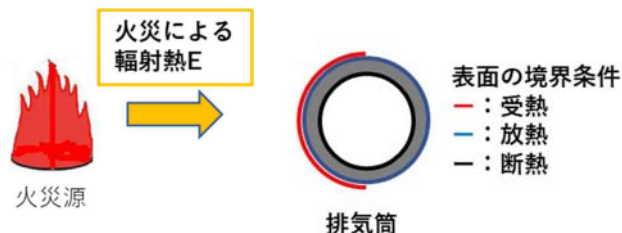


図 7-8 排気筒の評価概念図

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。評価結果を表 7-18 に示す。

表 7-18 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]	1,150	1,102
排気筒温度[℃]	約 84	約 83

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電動機は、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モータは、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、モーター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 80.9℃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。

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

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

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

表 7-19 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[-]	0.023	0.019
輻射発散度[m ²]	50,000	58,000
輻射強度[W/m ²]	1,150	1,102

(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。評価概念図を図7-9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（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]

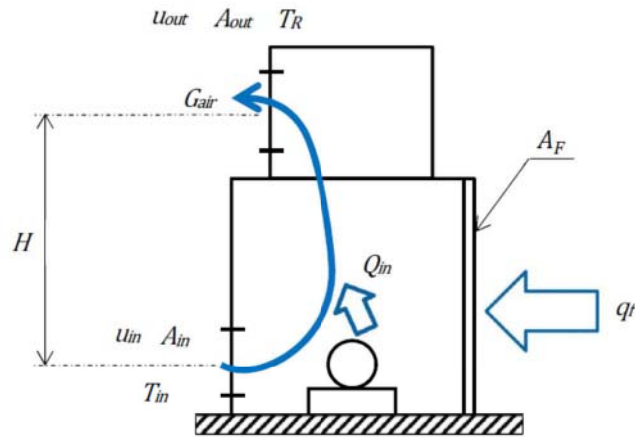


図 7-9 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

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。評価結果を表 7-20 に示す。

表 7-20 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 59	約 59

(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貯蔵施設等を検討する。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図 7-10 に示す。

航空機墜落火災として想定する機種は、上記評価結果より、最も熱影響が大きい B747-400 とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は、B747-400 の墜落火災想定位置近傍にあり、最も熱影響が大きい 3 号補助ボイラー燃料タンクとする。

なお、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。

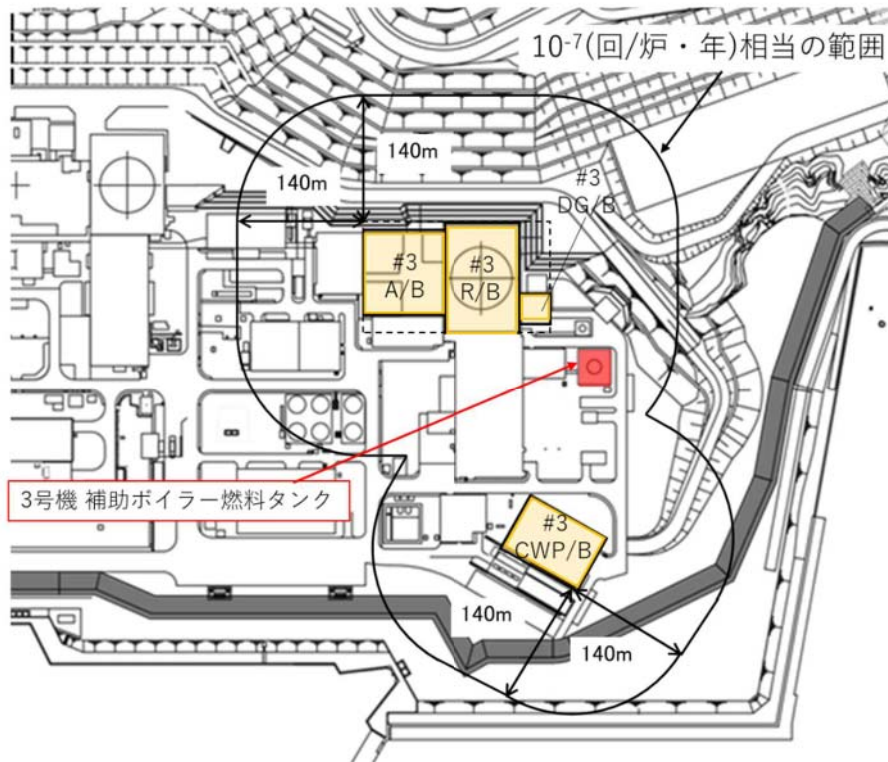


図 7-10 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設の位置

b. 評価に必要なデータ

表 7-21 重量評価に必要なデータ

項目	3号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]	599.04	700
燃焼半径[m]	13.81	14.93
燃焼継続時間[s]	19,552	6,670

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

次の式から形態係数を算出する。

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

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

H: 火炎長[m], R: 燃焼半径[m], L: 離隔距離[m]

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

表 7-22 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号補助ボイラー 燃料タンク	原子炉建屋	57	0.096	2,208
	原子炉補助建屋	112	※1	※1
	ディーゼル 発電機建屋	43	0.15	3,450
	循環水ポンプ建屋	100	0.037	851
	排気筒	57	0.096	2,208
	原子炉補機冷却 海水ポンプ	100	0.037	851
B747-400	全対象	140	0.023	1,150

※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

追而【アクセスルート審査の反映】
(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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は最大温度となることを確認した(表7-23)。

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号補助ボイラー燃料タンク火災が発生

表 7-23 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]	3,358	3,358	2,208
燃焼継続時間[h]	5.43	6.36	7.28
表面温度[°C]	約174	約173	約172

追而【アクセスルート審査の反映】
(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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、原子炉建屋およ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およ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）に係る評価式

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda_c} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n$$

T : コンクリート 温度 [°C] , r : $\alpha_c \Delta t / \Delta x^2$

α_c : コンクリート 温度伝導率 [m²/s] ($\alpha_c = \lambda_c / (\rho_c C_{pc})$)

λ_c : コンクリート 熱伝導率 [W/m・K]

ρ_c : コンクリート 密度 [kg/m³] , C_{pc} : コンクリート 比熱 [J/kg・K]

t : 燃焼継続時間 [s] , x : 壁表面から壁深さ方向の距離 [m]

- ・ディーゼル発電機建屋に係る評価式

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

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

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

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

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

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

σ : ステファンボルツマン定数 [W/m²・K⁴] , ε_0 : 障壁表面の輻射率 [-]

F_0 : 障壁表面からの輻射放熱の形態係数 [-] , T_a : 雰囲気温度 [°C]

h_0 : 障壁表面の対流熱伝達率 [W/m²・K] , λ_1 : 障壁の熱伝導率 [W/m・K]

d_1 : 障壁の厚み [mm] , ε_1 : 障壁裏面の輻射率 [-] , ε_2 : コンクリート表面の輻射率 [-]

h_1 : 障壁裏面の対流熱伝達率 [W/m²・K] , λ_3 : コンクリートの熱伝導率 [W/m・K]

d_3 : 障壁の厚み [mm] , h_3 : 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

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

T_0 : 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, 表 7-24 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。

表 7-24 重量評価結果

火災源	評価対象施設	評価温度[°C]	許容温度[°C]
B747-400 及び 3号補助ボイラー 燃料タンク	原子炉建屋	約 174	<200
	原子炉補助建屋	※ 1	<200
	ディーゼル 発電機建屋	約 176	<200
	循環水ポンプ建屋	約 142	<200
	排気筒	約 149	<325
	原子炉補機冷却 海水ポンプ	約 70	<80.9

※ 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

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(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, 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、表 1 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種類がなされている。

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。

表 1 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 自衛隊機 (T-1 等)
		不定期便：評価対象(注 3)	不定期便：評価対象 (例) 本土-離島間コミュータ (DHC-6、BN-2 等) 軽飛行機 (セスナ 172 等)	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外(注 2)	定期便：評価対象外(注 2)	評価対象 自衛隊機 (MH-53 等) 在日米軍機 (CH-53 等)
		不定期便：評価対象(注 3)	不定期便：評価対象 (例) 資材輸送 (ハブ 214B、 AS332 等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外(注 2)	定期便：評価対象外(注 2)	評価対象 自衛隊機 (OH-6 等) 在日米軍機 (UH-1 等)
		不定期便：評価対象(注 3)	不定期便：評価対象 (例) 離島間コミュータ (SA365 等) 資材輸送、緊急医療、報 道用等 (アエロスハブ AS350、川崎 BK117)	

(注 1) 計器飛行方式で飛行する大型固定翼機の不定期便は、定期便と比べて運航回数が極めて少ないことから、評価対象外とする。

(注 2) 小型固定翼機及び回転翼機の定期便については、定期航空運送事業者の登録機数の割合から、運航頻度が大型機の定期便の数%であると判断できることから評価対象外とする。

(注 3) 小型固定翼機及び回転翼機では、リクエストベースで計器飛行方式による飛行が可能となっているが、原則としては、有視界飛行方式による飛行形態を取っていることから、本基準では、全て有視界飛行方式として評価することとする。

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 ^{注1}	最大離着陸距離 ^{注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. 7nm)	対象外

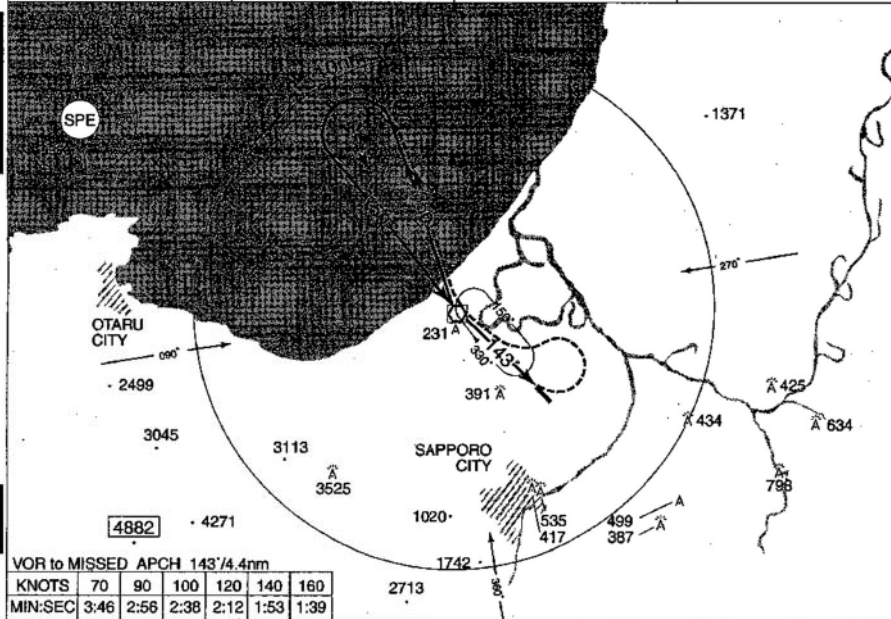
注 1：発電所と空港の緯度，経度より計測した。

注 2：航空路誌(AIP)を参照した。

AIP JAPAN
RJCO / SAPPORO

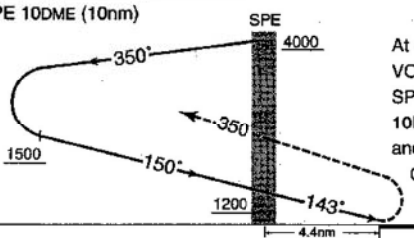
VOR RWY14

SAPPORO APP 119.225 - 121.075 315.9	SAPPORO VOR/DME 113.9 SPE CH-86X 43°10'29"N/141°18'09"E	SAPPORO TOWER 118.1 - 126.2 - 140.5 138.05 - 121.8G	GCA AVBL CALL SAPPORO APP
---	--	---	---------------------------------



Remain within SPE 10DME (10nm)

最大離着陸地点
空港からの距離：
14.4nm ≒ 27km



MISSED APPROACH
At 4.4DME(4.4nm)after passing SPE
VOR/DME,turn left climb to 4,000ft via
SPE R-350, then turn left within SPE
10DME,proceed to SPE VOR/DME
and hold.
Contact SAPPORO APPROACH.

CAT	MINIMA		THR elev. 20	AD elev. 26
	MDA(H)	RVR/ CMV	CIRCLING	
A	600 (574)	1500	MDA(H)	VIS
B		600 (574)	2000	600 (574)
C	-	-	-	2400
D	-	-	-	-

Circling to east side of RWY only.

(EFF : 20 NOV 2008)

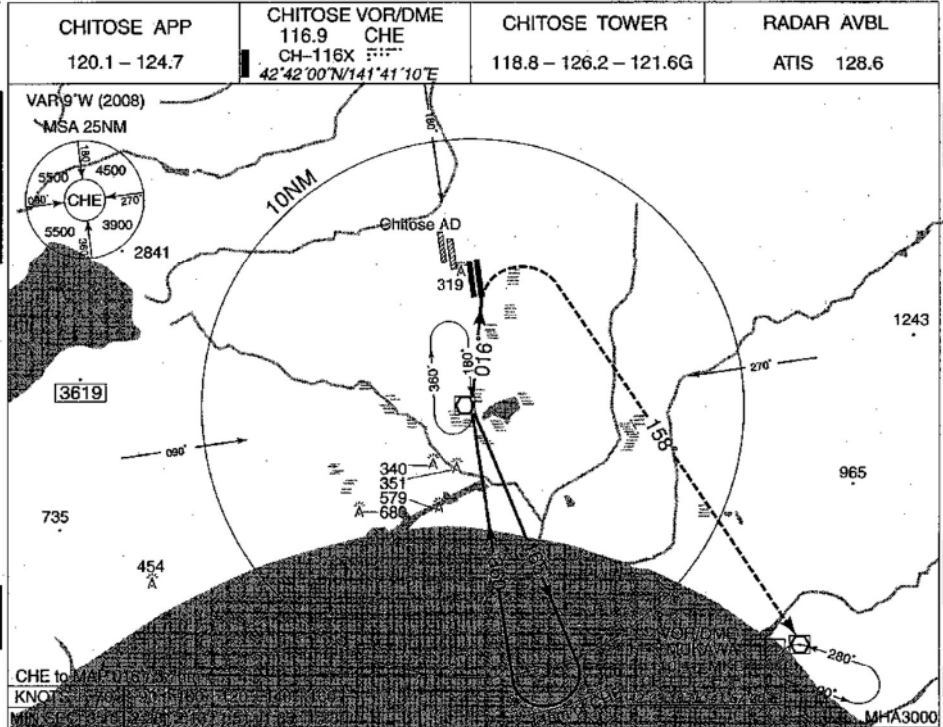
92 - 1

23/10/08

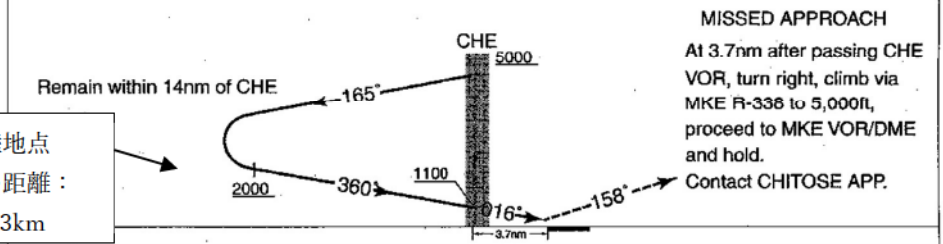
図1 札幌空港の最大離着陸地点

AIP JAPAN
RJCC / NEW CHITOSE

VOR RWY 01R



最大離着陸地点
空港からの距離：
17.7nm ≒ 33km



MISSED APPROACH
At 3.7nm after passing CHE VOR, turn right, climb via MKE R-336 to 5,000ft, proceed to MKE VOR/DME and hold. Contact CHITOSE APP.

CAT	MINIMA		THR elev. 57	AD elev. 70
	MDA(H)	RVR/CMV	CIRCLING	
A	600 (543)	1000	600 (530)	1600
B		1200		640 (570)
C			1600	
D				

Circling to EAST side of RWY only.

(EFF : 12 MAR 2009) 71 - 60 12/2/09

図2 新千歳空港の最大離着陸地点

泊発電所周辺の航空路について

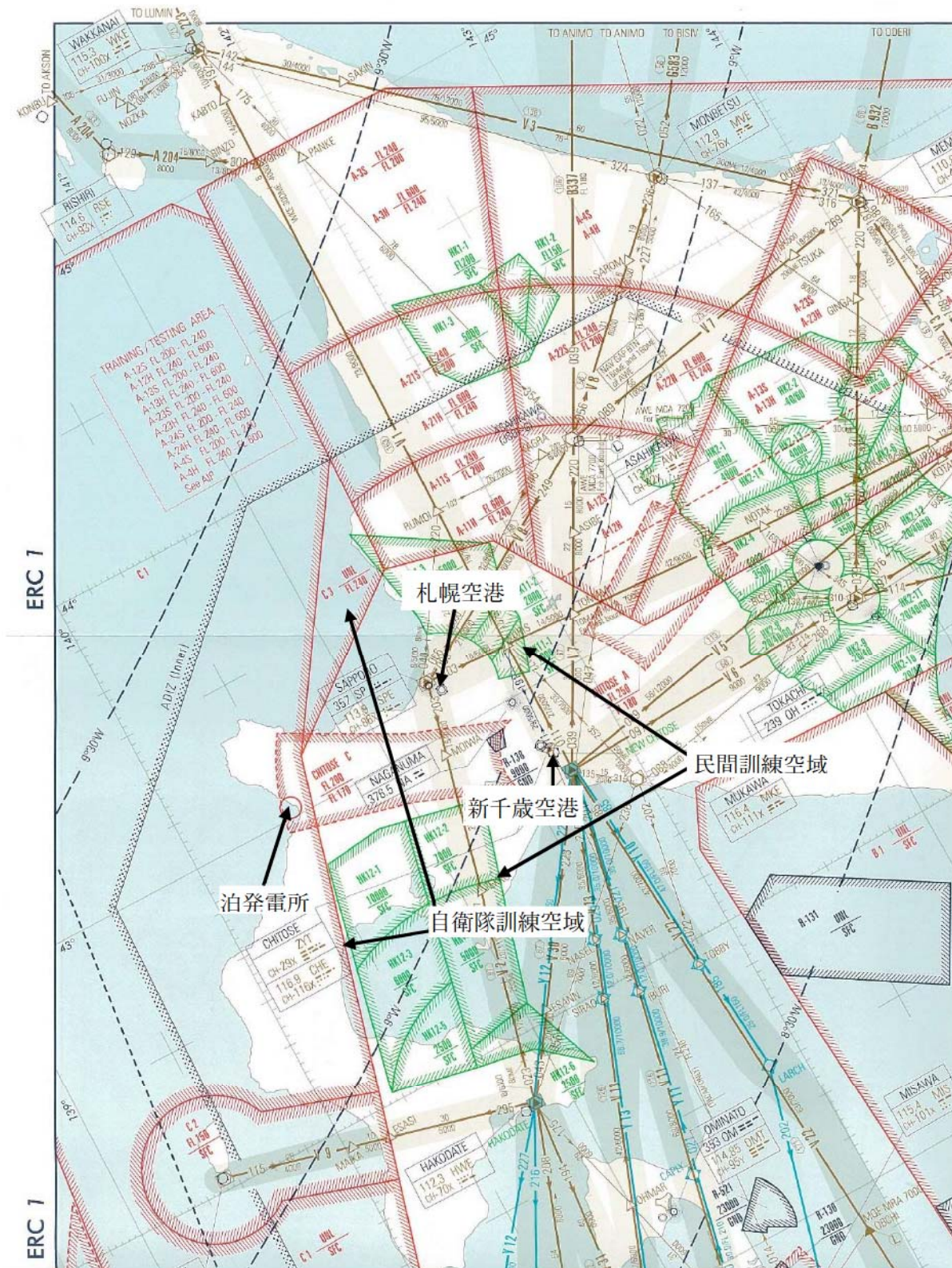


図1 泊発電所周辺の航空路等
「出典： ENROUTE CHART (ERC-1/2) (鹿児島—稚内) 27 AUG 2009」

「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

表 1 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

表 2 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。選定結果を表 1 に示す。

表 1 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。

米軍機の対象機種を選定するにあたり、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表 2 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表3に示すとおり選定した。

表2 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
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

表 3 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

表 1 及び表 3 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: km^2

発電所	号炉	原子炉建屋 ^{注1}	原子炉補助 建屋 ^{注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 ^{注5}	合計	標的面積 ^{注6}
泊発電所	3号炉	0.004582	0.003720	— ^{注3}	0.000420	— ^{注4}	0.002795	0.011517	0.0116

注1: 炉心, 安全系の機器及び使用済燃料ピットを含む

注2: 安全系の機器を含む

注3: 燃料取替用水ピットは原子炉建屋内に設置

注4: 中央制御室は原子炉補助建屋内に設置

注5: 海水ポンプを含む

注6: 落下確率の算定にあたっては, 合計を切り上げて0.0116(3号炉)を使用する

離隔距離の算出の考え方

1. 考え方

対象となる原子炉施設の投影面積の周辺に L [m]の離隔距離をとった場合の航空機墜落確率 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)

$$S_i = 4L^2 + 2L(a_i + b_i) + a_i b_i \cdots (1)$$

$$A' = \sum S_i \\ = \{4L^2 + 2L(a_1 + b_1) + a_1 b_1\} + \{4L^2 + 2L(a_2 + b_2) + a_2 b_2\} \cdots (2)$$

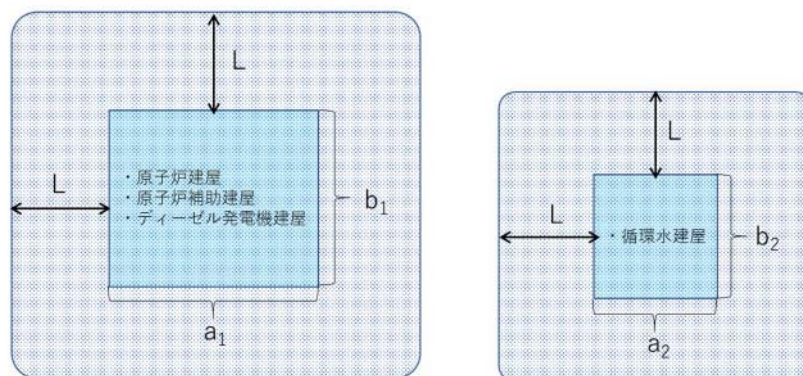


図1 離隔距離の概念図

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 $A' = 0.29$ [km²]及び評価対象施設の寸法より、 $L = 149.6$ [m]と求められ、火災影響評価で用いる離隔距離 L は安全側の値として $L = 140$ [m]と設定する。(表1, 図2)

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

表1 評価対象施設の寸法

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

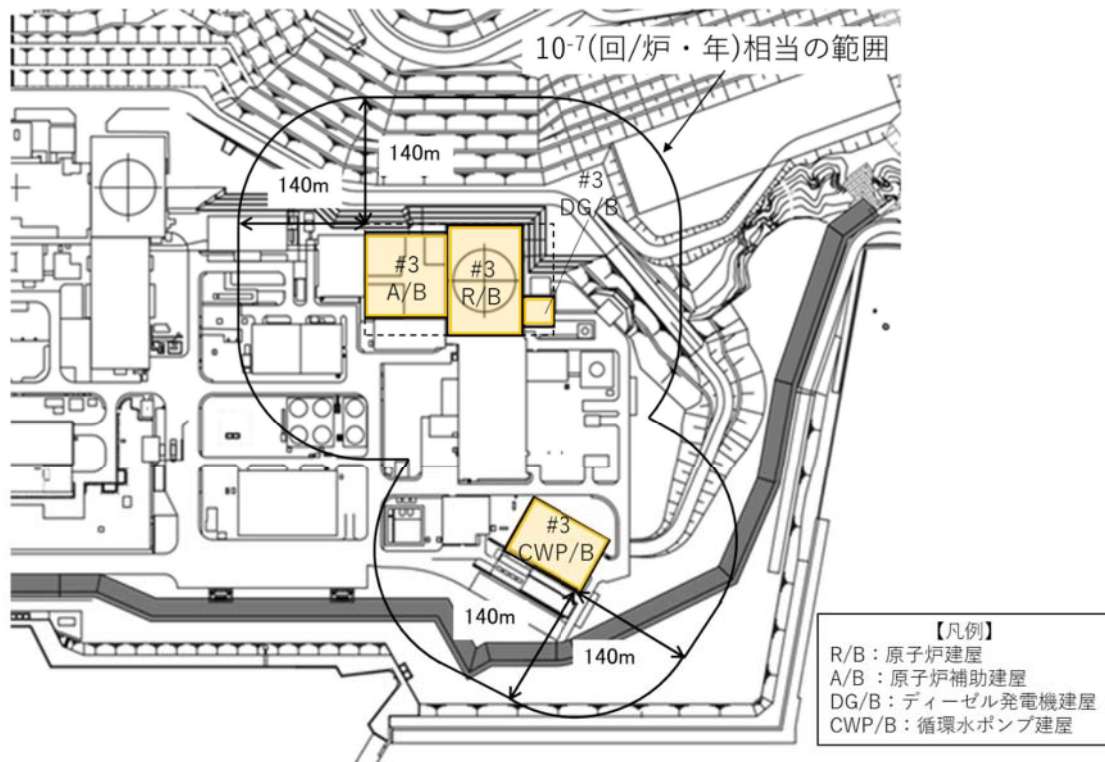


図2 評価対象施設の離隔距離（民間大型航空機）

航空機落下事故に関するデータの最新データについて

1. はじめに

発電所敷地内への航空機墜落による火災影響については、設置許可申請当時（平成 25 年 9 月）の最新データとして、「平成 23 年度航空機落下事故に関するデータの整備（平成 24 年 9 月独立行政法人原子力安全基盤機構）」に基づく航空機の墜落確率より、発電用原子炉施設からの離隔距離を算出し、熱影響評価を行っている。

しかしながら、安全審査が長期化し、その間に、「航空機落下事故に関するデータ（令和 4 年 3 月 NRA 技術報告）」がとりまとめられたことを受け、その影響について確認することとする。

2. 航空機事故等のデータ更新による影響

「航空機落下事故に関するデータ（令和 4 年 3 月 NRA 技術報告）」では、平成 12 年 1 月～令和元年 12 月までの航空機事故データ、運航実績データ及び訓練空域面積データとして更新されているが、各航空機の落下事故率は、同等若しくは低下している。このため、航空機の墜落位置から原子炉施設までの離隔距離は同等若しくは長くなり、火災による影響も軽減される傾向となっている。

表 1 航空機事故のデータ（平成 24 年版，令和 4 年版）

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
H24 年度版	2	65	3	1	4
R4 年版	2	39	1	1	2

以上より、令和 4 年 3 月版は平成 24 年 9 月版よりも離隔距離が長くなるか同一であるため、平成 24 年 9 月版の熱影響評価に包絡される。

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

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, 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、放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、放射発散度及び質量低下速度は灯油の値を使用する。

また、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。

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 ³) *4	0.051 (kg/m ³) *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、火災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、建屋外部に開口部を有する設備について影響評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気を取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。評価対象は以下のとおり。

表 8-1 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
	制御用空気圧縮設備
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、排気ガラリ（ディーゼル発電機建屋）
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外扇形の冷却方式であることから、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。

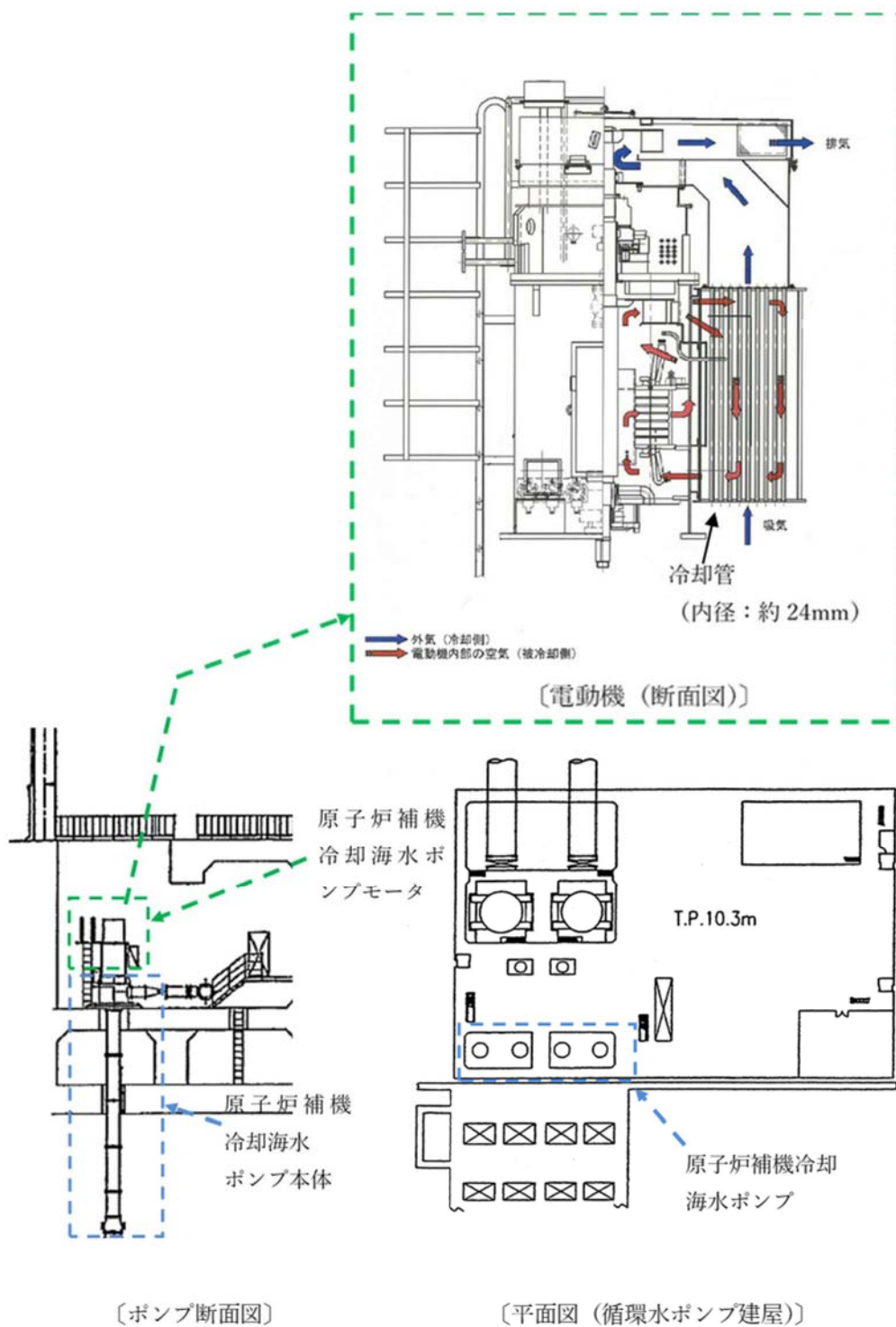


図 8 - 1 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機冷却方式

3.2 換気空調系統で給気されるエリアの設置機器

外気を取り入れている空調系統として、安全補機開閉器室（安全補機開閉器室，安全系計装盤室，安全系蓄電池室他），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，主蒸気配管室の換気空調系統がある（図8-2(a)(b)(c)）。

これらの換気空調系統の外気取入口には，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進入を阻止できる。

上記系統のうち，外気取入用ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室，安全補機開閉器室の換気空調系統については，中央制御室外気取入煙感知警報が発信するなど，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，閉回路循環運転を行うことにより，ばい煙の侵入を阻止できる（図8-2(d)）。それ以外の換気空調系統については，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。

なお，中央制御室外気取入煙感知警報が発信するなど，ばい煙の侵入が想定される場合には，フィルタ差圧計の監視強化を行い，指示値が上昇した場合，平型フィルタは，取替部品を有していることから，数時間程度で交換可能である。

(1) ディーゼル発電機

ディーゼル発電機設備は，換気空調設備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。

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，ディーゼル発電機機関吸気系統には吸気消音器が設置されており，吸気消音器に付属するフィルタ（ $120\mu\text{m}$ 以上の粒子に対して平均捕集効率90%）により粒径の大きいばい煙粒子が捕集され，フィルタにより捕集されなかったばい煙粒子が機関シリンダ内に送気される。

吸気消音器に付属するフィルタを通過したばい煙（数 μm ～10数 μm ）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（図8-3）。シリンダ内に侵入したばい煙は，シリンダ/ピストンの硬度より軟らかいと考えられることから，シリンダ/ピストンの摩擦が発生することはなく，運転を阻害するには至らない。

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おり，定期的なシリンダの分解点検においても異常は認められていないことから，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

安全保護系設備が設置されている部屋は，安全補機開閉器室空調系にて空調管理されており，本空調系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）が設置されているが，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 $5\mu\text{m}$ より小さい粒子を除去）が設置されているため，他の空調系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，外気取入ダンパを閉止し，閉回路循環運転を行うことによりばい煙の侵入を阻止可能である（図8-4）。

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 $5\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定されるが、安全保護系の盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路（IC等）の内部であり、これらの部品はモールド（樹脂）で保護されているため、ばい煙が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 程度あることから、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、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。

なお、粗フィルタについても取替部品を有していることから、中央制御室外気取入煙感知警報が発信するなど、ばい煙の侵入が想定される場合には、フィルタ差圧計監視強化を行い、指示値が上昇した場合、数時間程度で交換可能である。

（3）制御用空気圧縮設備

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系にて空調管理されており、本空調系の外気取入口には、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）が設置されている。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（図8-5）。

なお、万が一、室内にばい煙が侵入した場合、制御用空気圧縮機には吸入フィルタ消音器（主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去）が設置されているため、制御用空気圧縮機内に侵入するばい煙の粒径はほぼ $5\mu\text{m}$ 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擦発生が懸念される。シリンダライナは内面を硬質クロムメッキ処理、ピストンリングは材質がカーボンであり、ばい煙粒子はこれらより軟らかいと考えられることから、摩擦が発生し、機器内の損傷を発生させる可能性は小さい。

また、定期的なシリンダの分解点検においても異常は認められていない。

なお、中央制御室外気取入煙感知警報が発信するなど、ばい煙の侵入が想定される場合、機器の運転状況の監視強化を行い、吸入フィルタ消音器のフィルタの清掃が必要になった場合、数時間程度で対応可能である。

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、排気筒及び排気ガラリ（ディーゼル発電機建屋）があるが、仮にばい煙が内部に侵入した場合においても、その動作時には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。（図8-6）

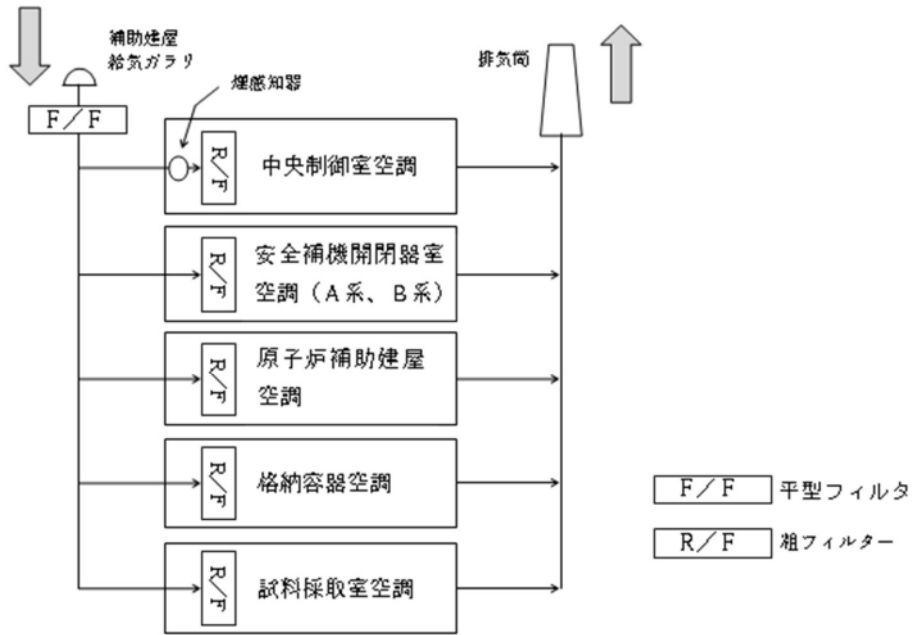


図 8 - 2 (a) 原子炉補助建屋換気空調設備全体概略図

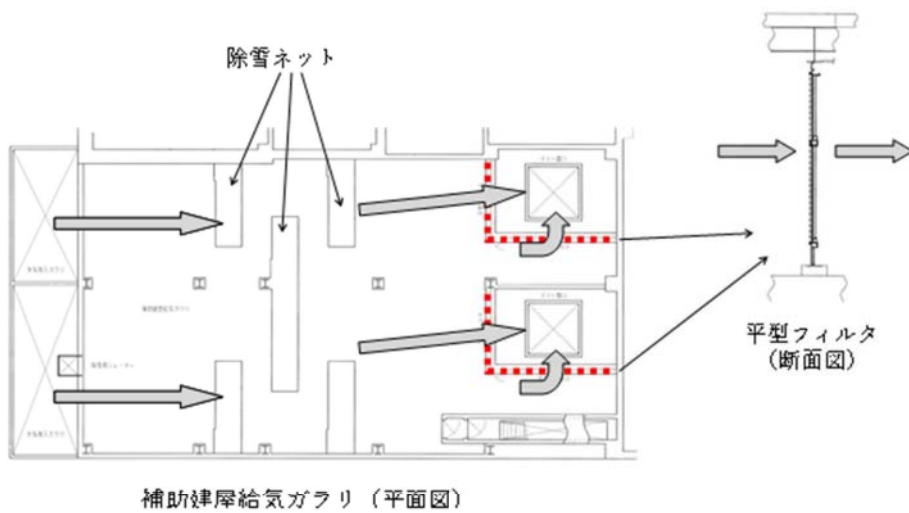
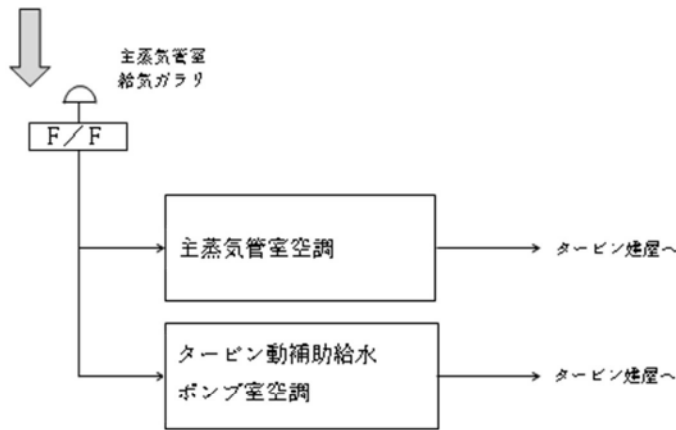
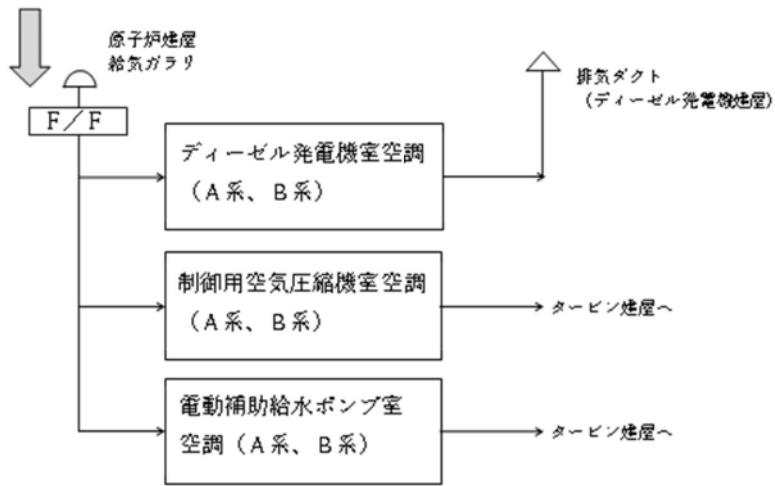


図 8 - 2 (b) 安全補機開閉器室外気取入口（補助建屋給気ガラリ）の空気の流れ



F/F 平型フィルタ

図 8 - 2 (c) 原子炉建屋換気空調設備全体概要図

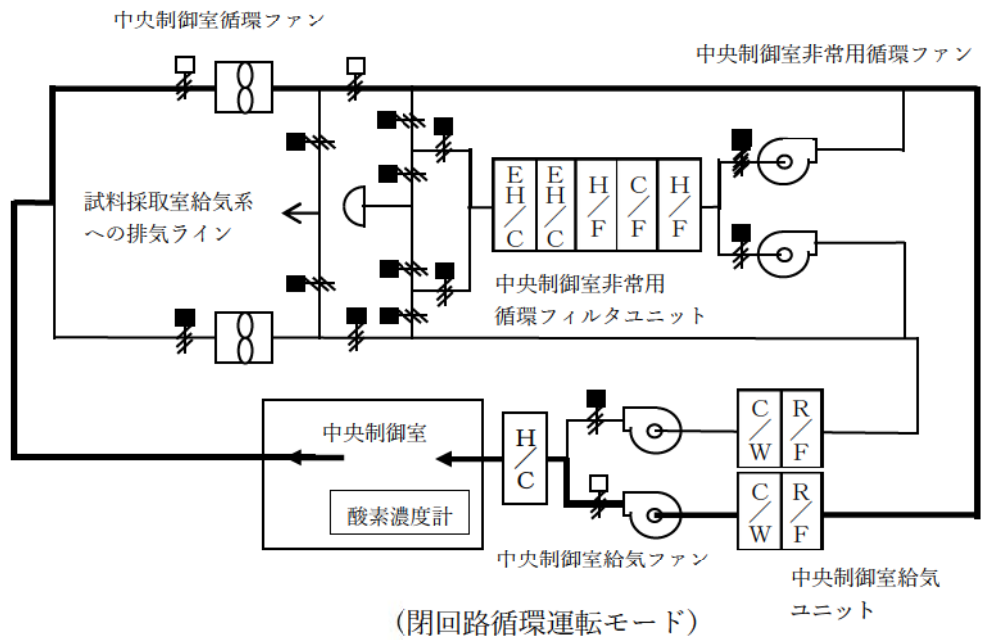
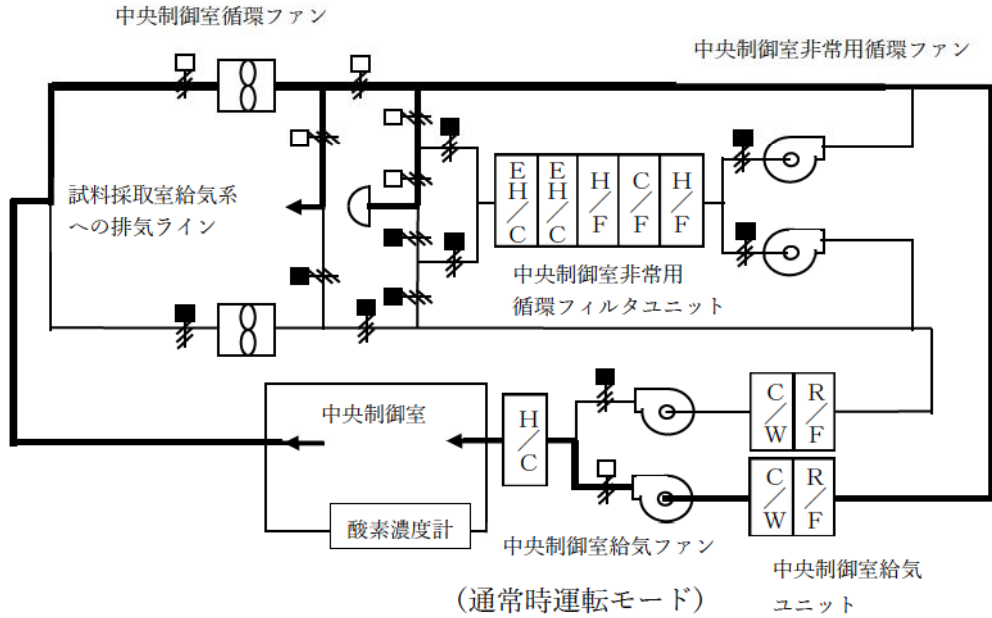
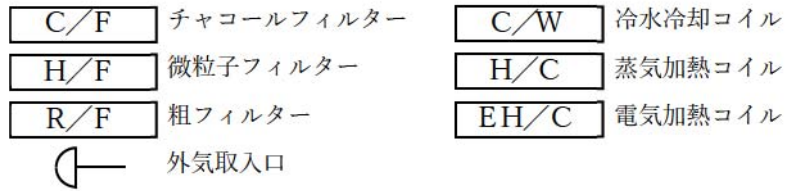


図 8 - 2 (d) 中央制御室換気空調設備系統図

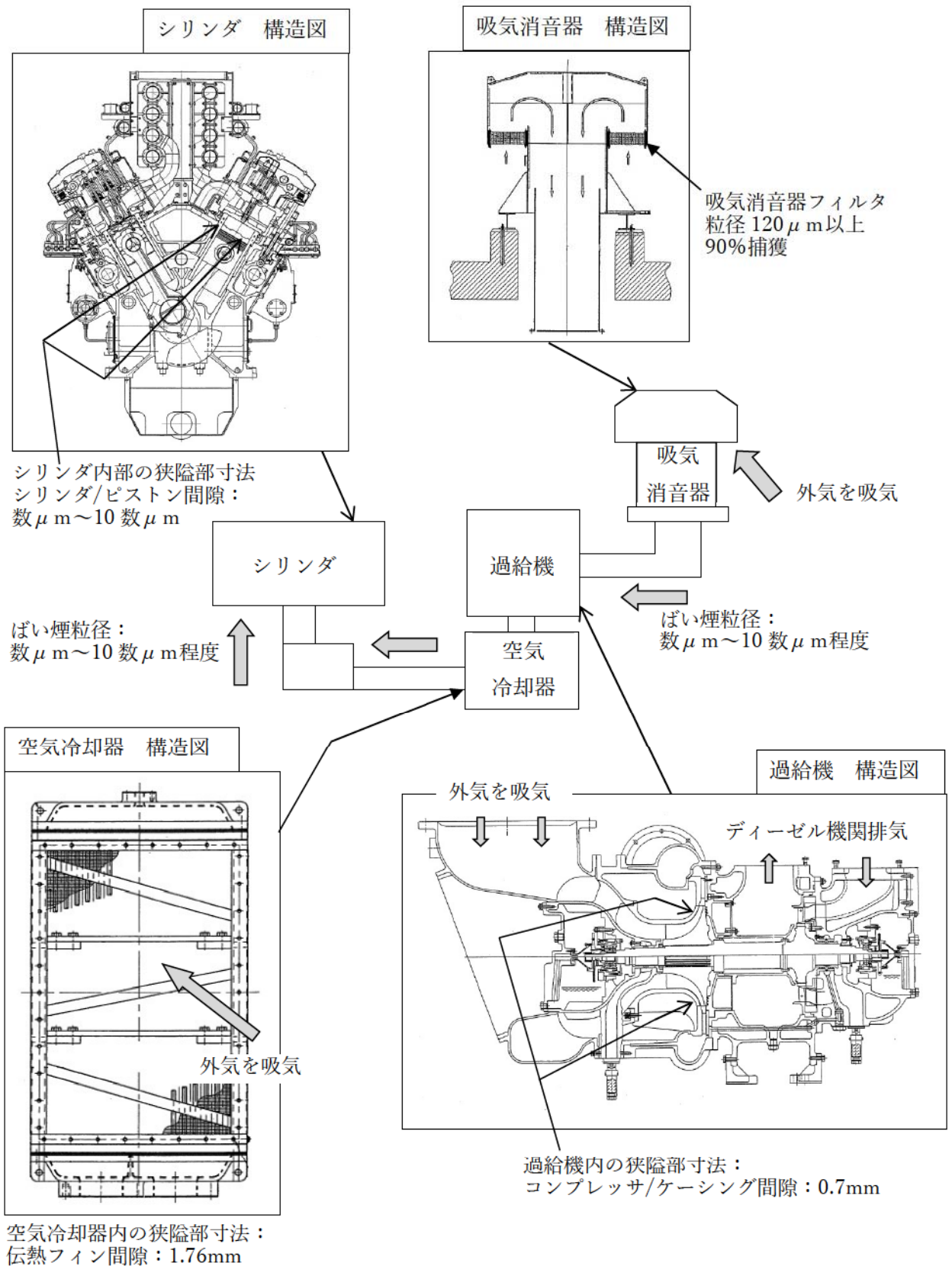


図 8-3 ディーゼル機関吸気系統構造図

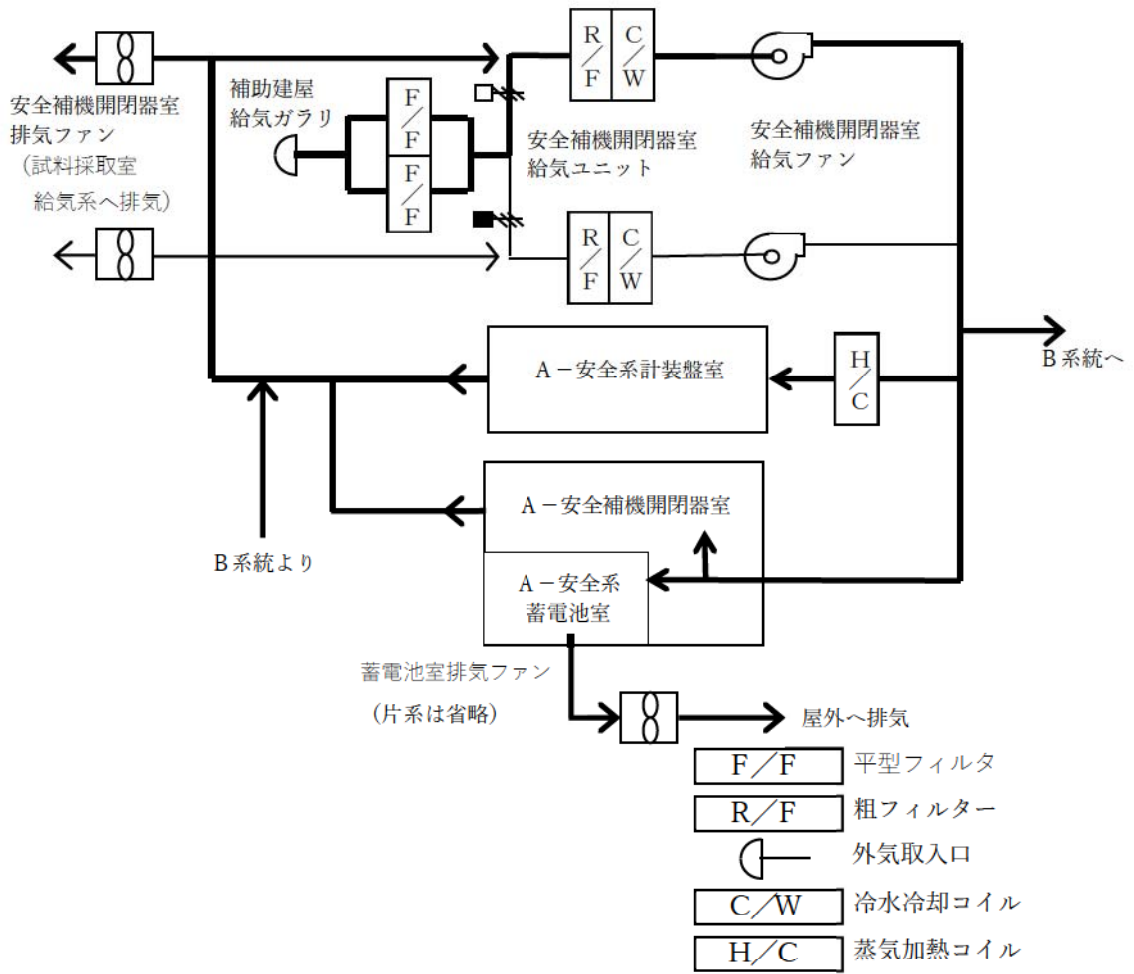


図 8-4 安全補機開閉器室空調系統図

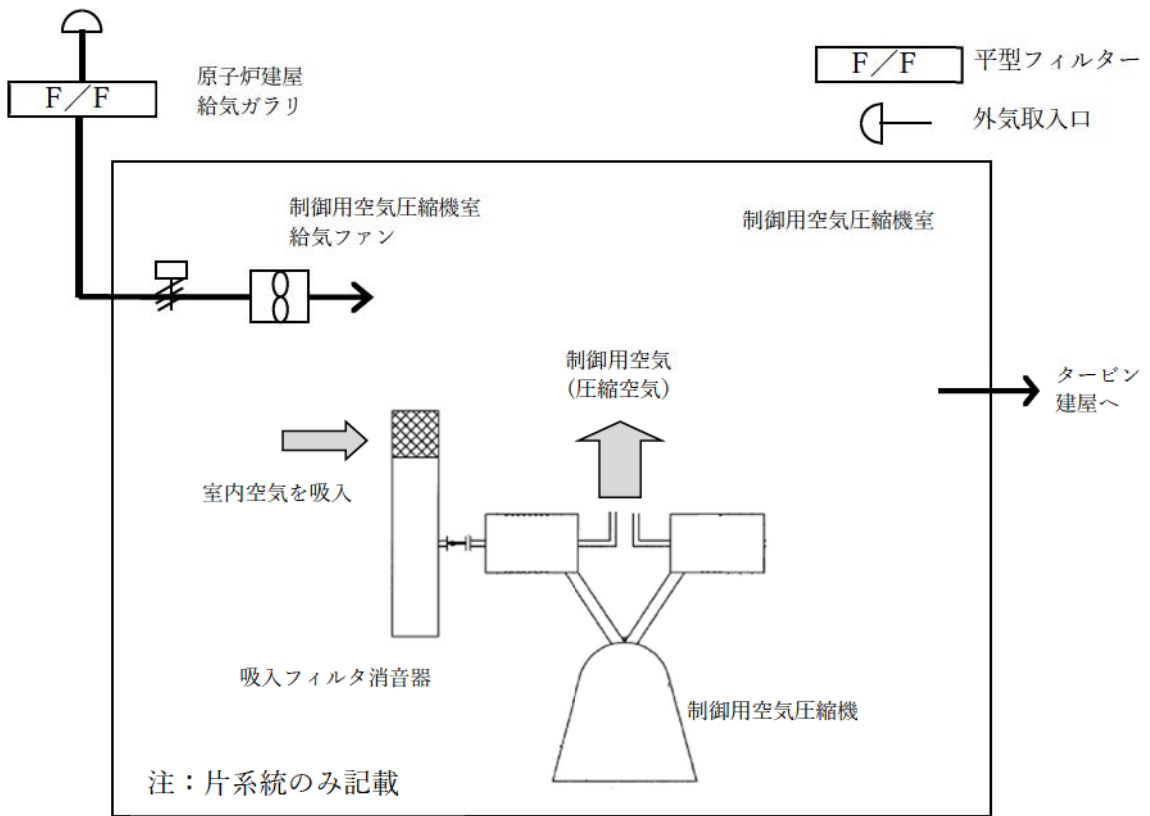


図 8 - 5 制御用空気圧縮機室空調系統図

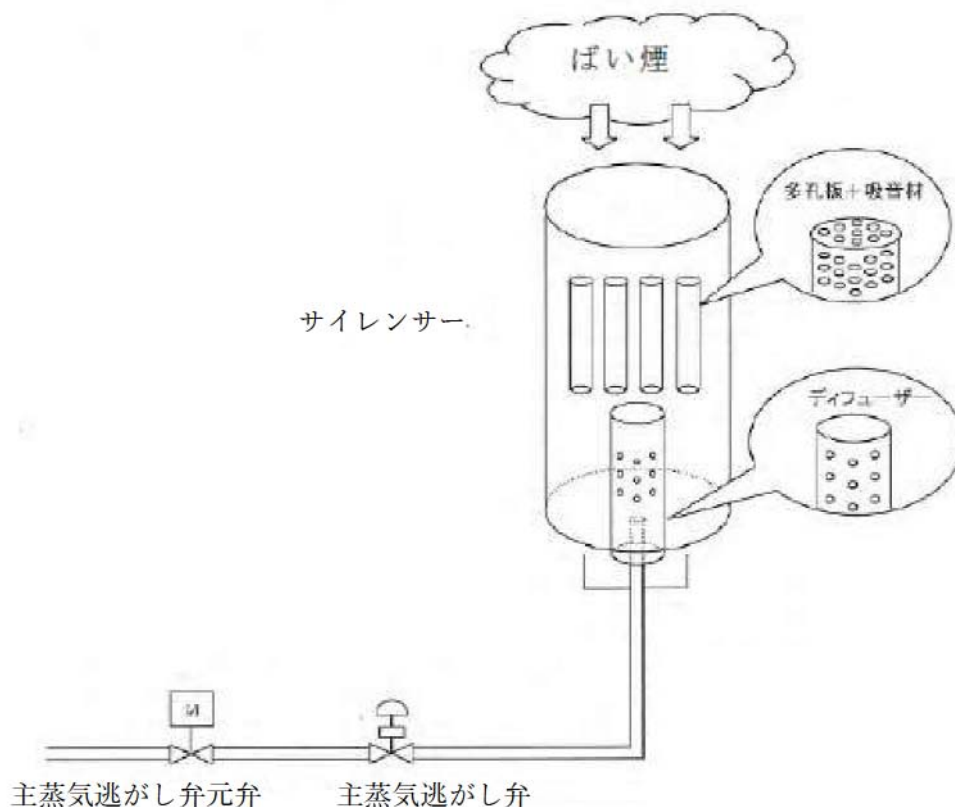


図 8 - 6 主蒸気逃がし弁出口配管形状及び消音器の構造

3.4 居住性への影響

中央制御室換気空調設備は、外気を遮断し、再循環させる閉回路循環運転に切り替えることができる。外気との遮断が長期にわたり室内の空気が悪くなった場合は、通常モードに切り替え、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号補助ボイラー燃料タンク、一体型である3号主変圧器・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、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号補助ボイラー燃料タンク火災の重畳を考慮すると，約6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。

表 8-2 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。

表 8-3 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号補助ボイラー燃料タンク及び一体型である3号主変圧器・所内変圧器と航空機(F-15)を評価対象とし、表8-4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図8-7に示す。

表8-4 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号補助ボイラー燃料タンク	176	410
3号主変圧器・所内変圧器	140	107.8
航空機 (F-15)	39	14.87

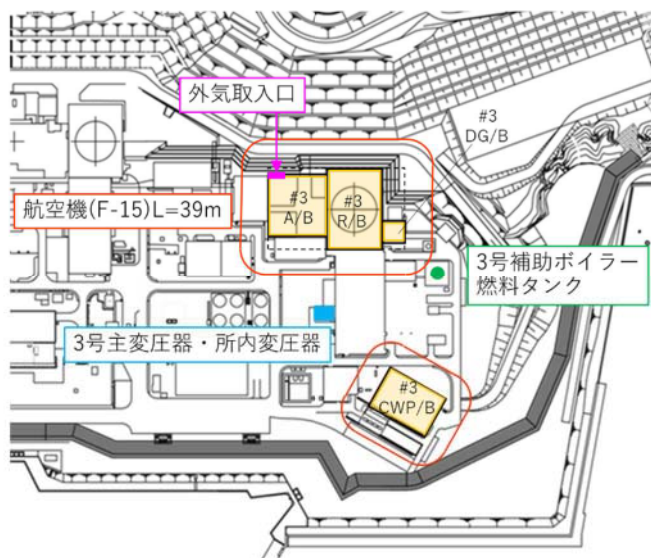


図8-7 3号補助ボイラー燃料タンク、航空機墜落、変圧器及び外気取入口の位置関係

(3) 評価方法

火災源から放出された有毒ガスは補助建屋給気口に向かう風によって、風下直線方向に拡散していくものとして、Briggs の排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と有風時プルーム式を用いて、補助建屋給気口の空気中に含まれる有毒ガス濃度を評価する。評価手法の概要を図 8-8 に示す。

(有風時プルーム式)

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

(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) = $\frac{gQ_H}{\pi C_p \rho T} = 0.037Q_H$

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

$\Delta H_{c,eff}$: 燃焼時発熱量 (kcal/kg)

A : 燃焼面積 (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

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)

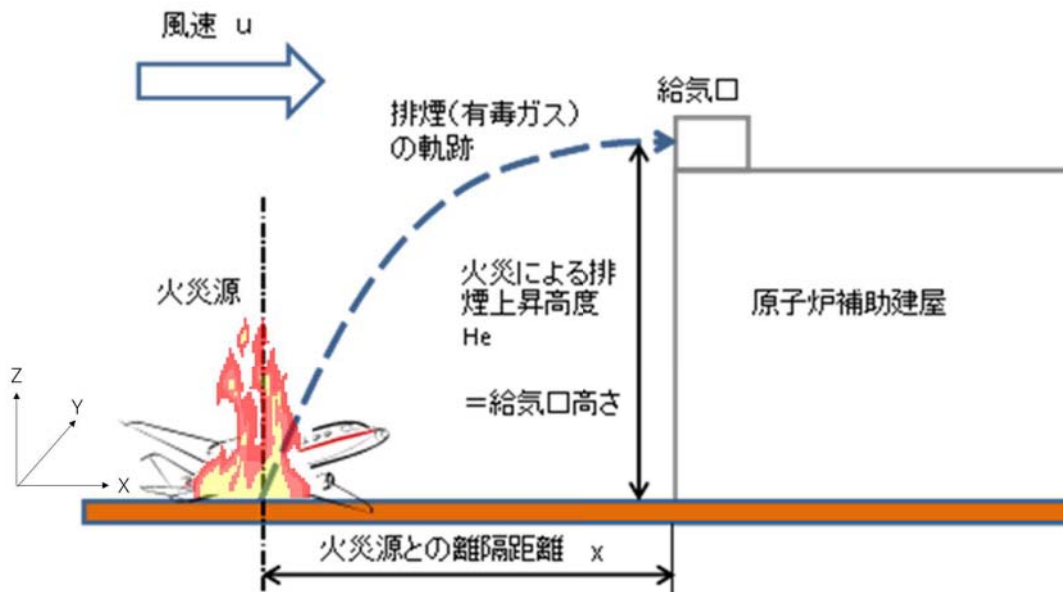


図8-8 給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

火災によって発生する有毒ガスの補助建屋給気口位置での濃度を求め、判断基準であるIDLH値と比較評価を実施する。

評価手順は以下のとおり。

- ① それぞれの火災源から発生する有毒ガス発生量 Q を算出する。
- ② 式(2)を用いて、火災源の排煙上昇高度 H_e が給気口中央の地表面からの高さと同しくなる風速 u を求める。
- ③ 式(1)を用いて、給気口における有毒ガス濃度を求める。なお、 $H_e=Z=0$ 、 $Y=0$ 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、火災源毎に下記条件を満たしていることを確認した。このため、Briggsの排煙上昇過程式を用いて、排煙高さが給気口高さと同じになる風速を求めることは可能である。

※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 (m^4/s^3)

h_s : 排煙上昇量 (m) ($h_s < 305m$)

a. 評価データ

(a) 評価対象となる給気口及び火災源との距離

評価対象となる給気口と火災源の水平離隔距離及び鉛直方向距離を表8-5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。

表8-5 給気口と火災源との距離

評価対象	補助建屋給気口	
	水平距離 [m]	高さ [m]
3号補助ボイラー燃料タンク	176	13.1
3号主変圧器・所内変圧器	140	13.1
航空機 (F-15)	39	13.1

(b) 火災発生時の有毒ガス発生量

表8-6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。

表8-6 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

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

表 8-7 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号補助 ボイラー 燃料タンク	重油	599.04	0.035	9,400	20.96	197,000	7,289
3号主変圧 器・所内 変圧器	重油 ^{※1}	118.39	0.035	9,400	4.14	38,900	1,439
航空機 (F-15)	JP-4	44.6	0.051	10,300	2.27	23,300	862

※1：変圧器に使用している絶縁油について、詳細な情報がないため、物性値の近い重油とした。

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

表 8-8 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号補助ボイラー燃料タンク	35.269	0.504	0.6750	0.0705
3号主変圧器・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

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(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。

算出結果を表 8-9 に示す。

表 8-9 算出結果

評価対象		給気口に直撃する 風速[m/s]
補助建屋給気口	3号補助ボイラー燃料タンク	74.3
	3号主変圧器・所内変圧器	37.1
	航空機 (F-15)	13.3

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

(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プ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、補助建屋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、先に求めた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プ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。有風時プルーム式の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、表 8-11 に示すガウスプルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta H^2/10$ を加えた値を採用した。なお、給気口での空気中の濃度は、有風時プ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。計算結果を表 8-10 に示す。

表 8-10 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号補助ボイラー燃料タンク	74.3	13.4	8.5
3号主変圧器・所内変圧器	37.1	10.9	7.4
航空機 (F-15)	13.3	3.3	4.6

追而【アクセスルート審査の反映】
 (上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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小によって 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、本評価では表 8-9 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。

表 8-11 大気安定度分類表

風速 (U) m/s	日射量 (T) kw/m ²				放射収支量 (Q) kw/m ²		
	T ≥ 0.60	0.60 > T ≥ 0.30	0.30 > T ≥ 0.15	0.15 > T	Q ≥ -0.020	-0.020 > Q ≥ -0.040	-0.040 > Q
U < 2	A	A-B	B	D	D	G	G
2 ≤ U < 3	A-B	B	C	D	D	E	F
3 ≤ U < 4	B	B-C	C	D	D	D	E
4 ≤ U < 6	C	C-D	D	D	D	D	D
6 ≤ U	C	D	D	D	D	D	D

表 8-12 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

表 8-13 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*

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

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

各火災で発生する補助建屋給気口での最大となる有毒ガス濃度を表 8-14 に示す。

表 8-14 評価結果

評価対象	CO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH:40, 000)	CO濃度 [ppm] (IDLH:1, 200)	SO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH:100)	NO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH:13)
3号補助ボイラー 燃料タンク	1, 309	18. 70	25. 04	2. 62
3号主変圧器・所内 変圧器	735	10. 55	14. 08	1. 48
航空機 (F-15)	5, 434	84. 68	0. 78	7. 40

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は、アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

評価結果から、全ての評価に対し IDLH 値以下であることを確認した。

中央制御室に有毒ガスが流入してくる可能性がある場合には、中央制御室の外気取入を遮断し、再循環させる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図 8-9 に示す。

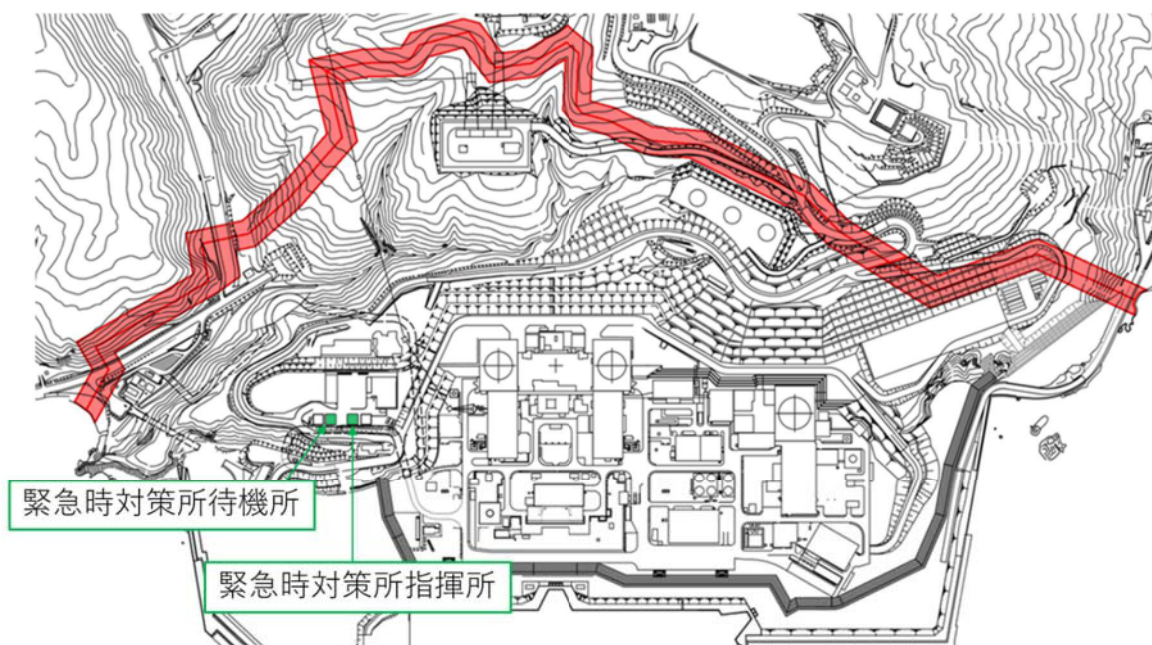


図 8-9 緊急時対策所の位置

(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 522[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: 指揮所(57人), 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 522[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、1.93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 1.86 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。

表 8-15 緊急時対策所外気遮断時の二酸化炭素濃度の時間変化

時間	1.00 時間	1.50 時間	1.93 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 522[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 109.36[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 522[m³]

A₀: 初期酸素量 109.36[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、2.72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 1.86 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。

表 8-16 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	2.72 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

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・拡散することから原子炉施設に影響を及ぼすことはない。このため、原子炉施設近傍で発生する3号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

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（図1）。

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、熱気流の原子炉施設への到達可能性を評価する。

評価の結果、3号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はない結果となった。

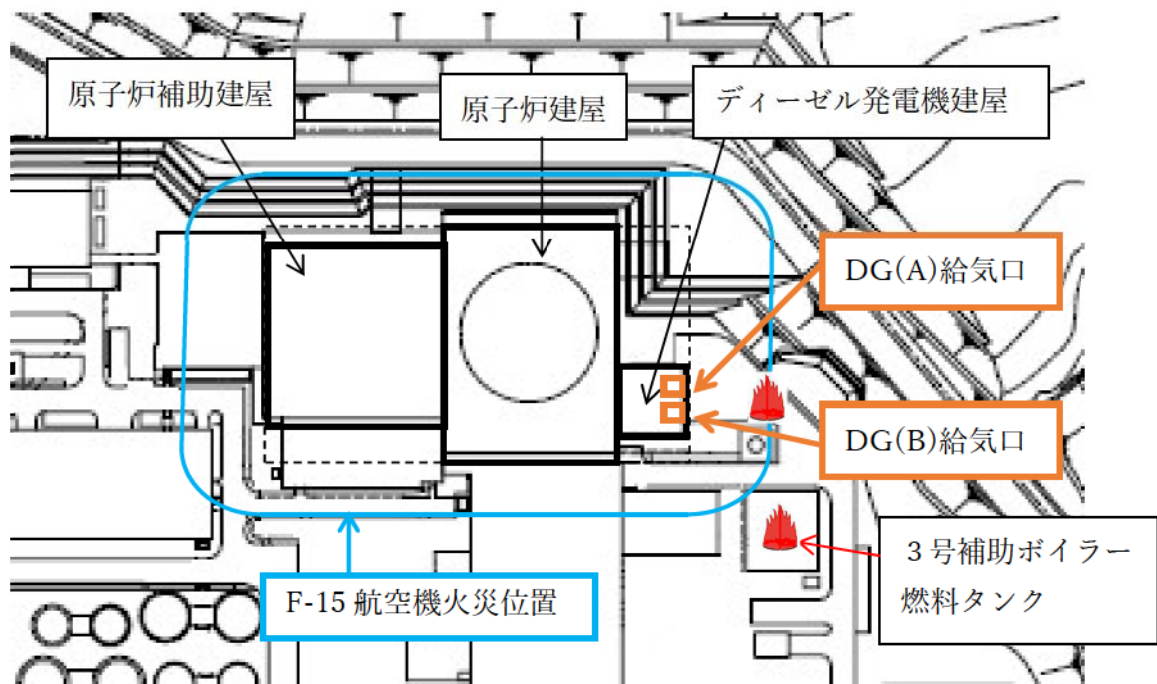


図1 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置 (3号補助ボイラー燃料タンク火災及び航空機火災)

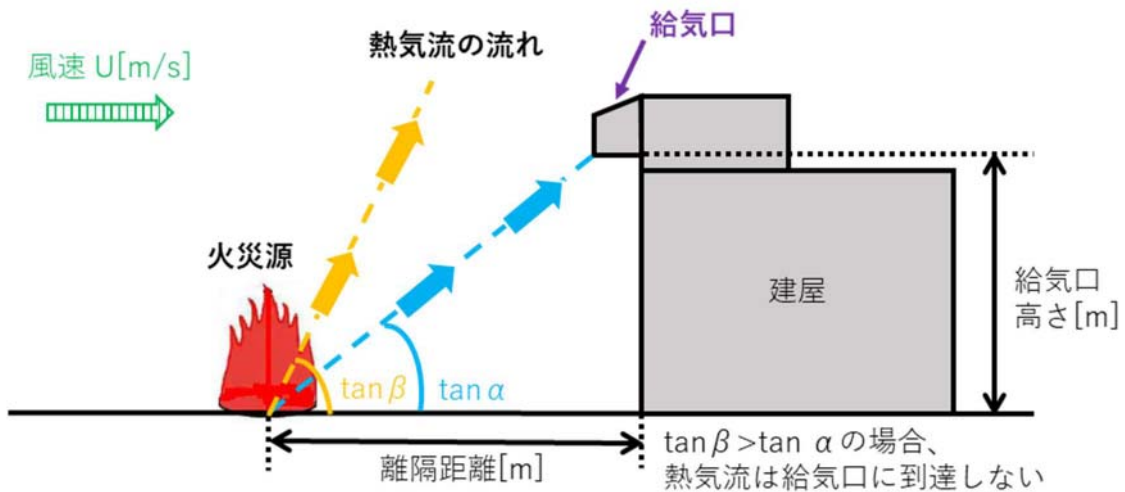


図2 熱気流評価概念図

表1 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号補助 ボイラー 燃料タンク	9.7	43	27.62	7.907×10^5	0.4435	0.249
航空機 F-15	9.7	39	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),

T_0 :周囲空気温度(50[°C]), U :風速(4.2[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

表2 評価結果

火災源	$\tan \beta$	$\tan \alpha$	結果
3号補助ボイラー燃料タンク	0.806	0.226	> 可能性なし
航空機 F-15	0.629	0.249	> 可能性なし

追而【アクセスルート審査の反映】

(上記の破線部分は,アクセスルート審査結果を受けて評価を実施)

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

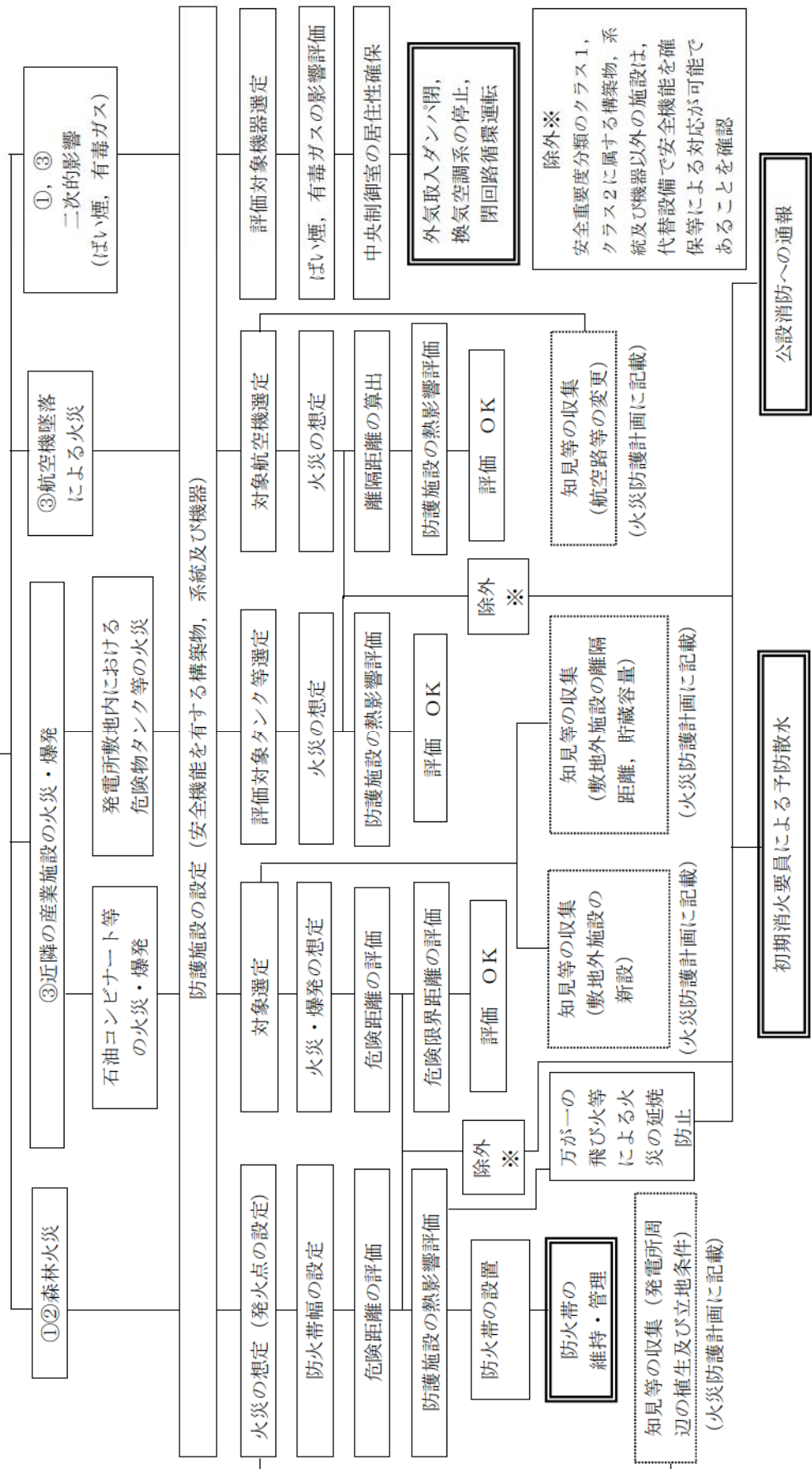
対象	項目	入力データ
評価モデル設定	航空機墜落位置	航空機火災影響評価にて算出された離隔距離で給気口に最も近い位置を設定
	給気口	火災源と給気口との間に障害物がないものとして設定
	風向	火災源から給気口に向かう風向を設定
	有毒ガス濃度	プルーム中心最大濃度で評価
	有毒ガス濃度評価位置	給気口位置で評価
有風時プルーム式	u : 風速	Briggs の排煙上昇過程式を用いて、有毒ガス発生源と外気取入口との距離と高低差から、外気取入口に有毒ガスが到達する風速を算出
	y : 排気プルーム中心軸からの水平方向距離	排気プルームの中心を外気取入口中心とするため「0」を設定
	σ_y : 拡散パラメータ	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

技術的能力説明資料 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として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与え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。



設計基準に係る運用対策等

*：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
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	・（運営課及び土木建築課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	・（安全管理課による植生の確認および防災・安全対策室による外部火災影響評価）
	知見の収集 （敷地外施設の離隔距離，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	・（運営課による敷地外施設の離隔距離および貯蔵容量の確認並びに防災・安全対策室による外部火災影響評価）
		保守・点検	—
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（外部火災影響評価を含む）
	知見の収集 （航空路等の変更）	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	・（防災・安全対策室による航空路等の確認および外部火災影響評価）
		保守・点検	—
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（外部火災影響評価を含む）

設計基準に係る運用対策等

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
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，換気空調系の停止，閉回路循環運転の手順
		体制	<ul style="list-style-type: none"> ・（発電室による運転操作）
外気取入ダンパ閉，換気 空調系の停止，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，換気空調系の停止，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、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. 記録の取り扱い

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。