

図 2-24 可搬型モニタリングポスト設置位置

(1)モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水計画

森林火災が発生した場合、防火帯内側にある原子炉施設の防護を第一に考える。ただし、可能な限り影響の軽減を図るため、外部からの情報により森林火災を認識し、風向き等から森林火災が発電用原子炉施設に影響を与えないと判断した場合、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合は、モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水を行う。森林火災時のモニタリングポスト及びモニタリングステーション対応フローを図2-25に示す。

モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水計画を表2-22に示す。

モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水エリアを図2-26に示す。

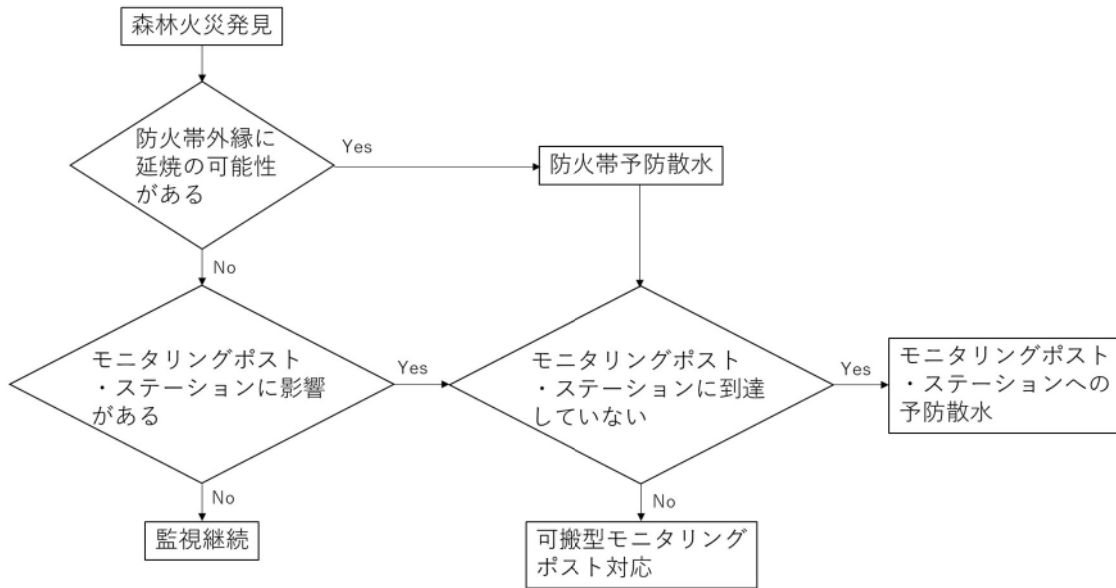


図 2-25 森林火災時のモニタリングポスト・ステーション対応フロー図

(2) 予防散水の検証結果

a. 森林火災を想定した予防散水（モニタリングポスト）

実施日：平成 25 年 9 月

想定火災到達地点：モニタリングポスト No. 5

訓練内容：出動連絡，移動，ホース展開，消防車連結，散水

所要時間：実施結果は表 2-23 に示す。訓練の様子を図 2-26 に示す。

評価：

- ・ モニタリングポストへの消防車による散水を実施し散水は可能。
- ・ 出動から散水開始までの実績時間は約 28 分となった。
- ・ 消防車 2 台連結により実施し，散水可能であった。
- ・ 予防散水のうち移動距離が最も長く実施条件が厳しいモニタリングポスト No. 5 で散水が可能であるため，全てのモニタリングポスト・ステーションに対し，所定の時間内で散水可能であると評価する。

追而【地震津波側審査の反映】

（上記の破線部分は、地震津波側審査結果を受けて反映のため）

表 2-22 モニタリングポスト付近への予防散水計画

火災到達ポイント	EPO-2	EPO-3~EPO-5 EMS-1	EPO-6
使用水源	河川水	防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1
防火水槽容量	—	60m <sup>3</sup>	60m <sup>3</sup>
消防自動車等の台数	2台	2台	2台
連絡から予防散水開始まで	—※1	28分	—※1
予防散水継続時間 (間欠)		約 158分	約 158分
対応人数	初期消火要員 11名		

※1：移動距離が EPO-5 よりも短いことから、EPO-5 の訓練結果に包絡される。

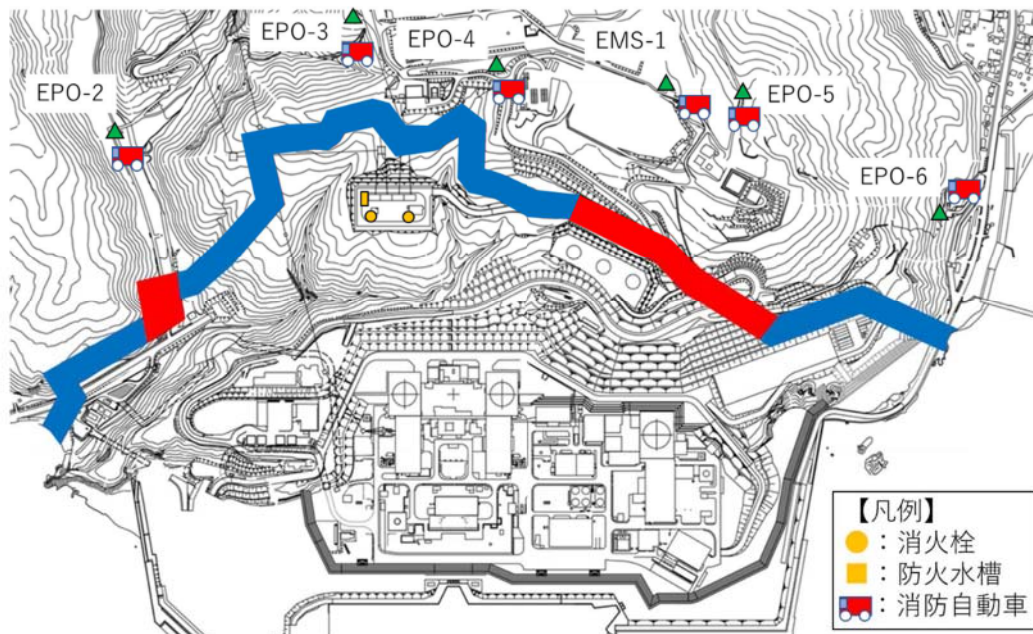


図 2-26 モニタリングポスト及びモニタリングステーション付近への予防散水

追而【地震津波側審査の反映】

(上記の「破線部分」は、地震津波側審査結果を受けて反映のため)

表 2-2-3 モニタリングポスト付近への予防放水活動時間

No.		活動内容	▼対応の起点						経過時間 (min)	備考
			0	5	10	15	20			
1		自治体（泊村、共和町）から森林火災発生を受信	■							市町村防災計画による
2		風力発電所跡地の高所より状況確認（発電所からの距離、火勢、風向（発電所方面か）し運営課長に報告	■							
3		発電所から3km程度まで接近、または発電所に到達することが予想される場合所内トラブル体制を発動	■							
4		初期消火要員を召集し、対応方法を確認のうえ出動準備を行う		■						訓練実績時間:7分（累計時間:7分）
5		消防車乗車～モニタリングポストNo.5へ移動			■					訓練実績時間:15分（累計時間:22分）
6		消防車を配置し、ホースを敷設する					■			訓練実績時間:2分（累計時間:24分）
7		延焼推定現場の森林に対し、なるべく広範囲に、むら無く樹木を濡らすよう間欠で放水を開始する						■		訓練実績時間:4分（累計時間:28分）

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



図 2 - 2 7 消防自動車による予防散水

### 3. 温度影響評価

#### 3.1 パラメータの算出

##### (1) 温度影響評価の流れ

FARSITE 出力より得られた、到達時間、反応強度及び火炎長より、各建屋のコンクリート表面温度を評価する。(図2-28参照)

なお、FARSITE 出力項目を表2-24に、発火点毎の FARSITE 解析結果を表2-25に示す。

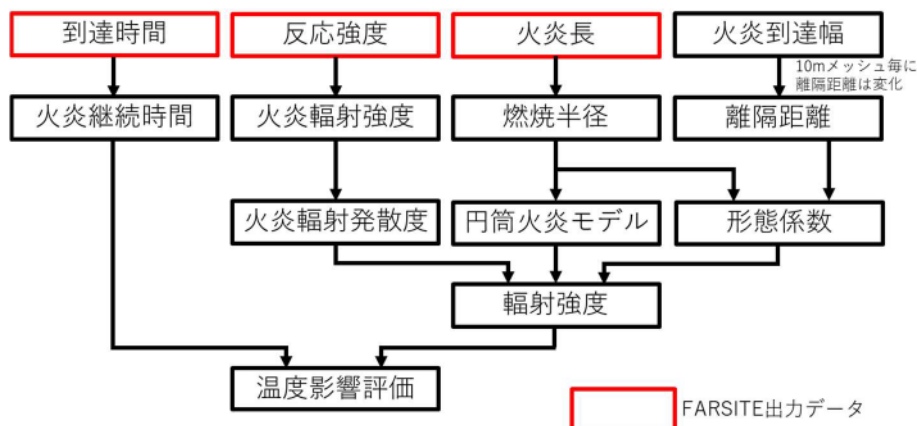


図2-28 温度影響評価 (概念図)

表2-24 FARSITE 出力項目 (温度影響評価関係)

項目	内容 (用途)	
FARSITE 出力	到達時間[h]	出火から火災の前線が該当地点に到達するまでの時間 (火炎継続時間の算出)
	反応強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の根拠となる火災規模 (火炎輻射強度の算出)
	火炎長[m]	火炎の高さ (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
FARSITE 出力から算出したデータ	火炎継続時間 [h]	到達時間から算出 (円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	火炎輻射強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	発電所防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度 (最大) に米国防火協会 (NFPA) の係数 0.377*1 を乗じて算出 (円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	燃焼半径[m]	火炎長に基づき算出 (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
	火炎到達幅[m]	発電所敷地境界の火炎最前線の長さ (円筒火炎モデル数の算出)

\* 1 発電所敷地近傍には針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、0.377 (針葉樹), 0.371 (広葉樹) のうち保守的に大きい値である 0.377 を採用した。(出典:「SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」)

表 2-25 FARSITE 解析結果

項目	発火点 1	発火点 2
発火点	道路脇の畑 (東側へ 2.5km)	集落端と森林の境界 (北西側へ 1.0km)
火炎継続時間[h]	0.118	0.021
最大火炎輻射強度[kW/m <sup>2</sup> ]* <sup>1</sup>	1,200(843)	1,200(977)
火炎長[m]	1.630	3.620
燃焼半径[m]	0.544	1.207
円筒火炎モデル数 $\hat{F}$ (10m メッシュ)	9.192	4.143
円筒火炎モデル数 F	3,257.67	1,425.42
火炎到達幅[m]	3,540	3,440
形態係数(総和)* <sup>2</sup> [-]	0.0076	0.017
輻射強度(最大)* <sup>2</sup> [kW/m <sup>2</sup> ]	311.19	692.78

\* 1 : FARSITE 出力より算出された値 (括弧内の数値) を安全側に切り上げた数値

\* 2 : 評価対象施設との離隔距離により異なる。(代表として原子炉建屋を記載)

(2) 燃焼半径

燃焼半径は火炎長から算出する。

$$R = \frac{H}{3}$$

R : 燃焼半径[m], H : 火炎長[m]

(3) 円筒火炎モデル数

円筒火炎モデル数 F 及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数 $\hat{F}$ を、火炎到達幅、燃焼半径から算出する。

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

F : 円筒火炎モデル数, W : 火炎到達幅[m]

$\hat{F}$  : 円筒火炎モデル数 (10m メッシュ), R : 燃焼半径[m]

10m メッシュ内の円筒火炎モデル数 $\hat{F}$ は火炎到達幅 W を地形データの最小単位である 10m 幅に分割したメッシュ内の円筒火炎モデル数であるため、円筒火炎モデル数 F 及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数 $\hat{F}$ の関係は以下のとおりである。

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

(4) 火炎輻射強度

火炎輻射強度は FARSITE 出力データである反応強度から算出する。

反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギーと、火炎・煙として対流放出される熱エネルギーの和から求められることから、反応強度に対する火炎輻射強度の割合を求めることで、反応強度から火炎輻射強度を算出する。「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から各樹木の発熱量を引用し、反応強度に対する火炎輻射強度の割合を算出する。

泊原子力発電所敷地近傍には、針葉樹及び落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、針葉樹 0.377 と落葉広葉樹 0.371 のうち保守的に大きい値である針葉樹の係数 0.377 を使用する。火炎輻射強度と反応強度の発熱量の関係を表 2-26 に示す。

$$\begin{aligned} \text{反応強度} [\text{W}/\text{m}^2] \\ = \text{火炎輻射強度} [\text{W}/\text{m}^2] + \text{火炎対流発散度} [\text{W}/\text{m}^2] \end{aligned}$$

表 2-26 火炎輻射強度と反応強度の発熱量

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

(出典：「SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」)

(5) 火炎輻射発散度

火炎輻射発散度は、ある空間における火災源からの輻射熱流束の大きさである。受熱面における輻射熱流束の大きさは、保守的に火災源からの輻射熱流束が減衰しないものとする、火災源の火炎輻射強度に受熱面の吸収率をかけて変換したものと表せる。

$$R_f = I_R \times \varepsilon$$

$R_f$  : 火炎輻射発散度 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $I_R$  : 火炎輻射強度 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $\varepsilon$  : 吸収率 [-]

火炎輻射強度と火炎輻射発散度のイメージについて、図 2-29 に示す。

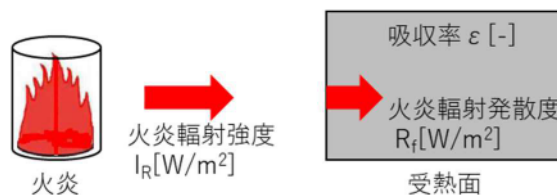


図 2-29 火炎輻射強度と火炎輻射発散度のイメージ



(6) 火炎到達幅

森林火災が収束するまでに、防火帯外縁で延焼したメッシュ数×10m（メッシュ幅）の範囲を火炎到達幅（W）とし、この範囲の燃焼が受熱面へ与える影響を輻射強度により評価する。

(7) 火炎継続時間

最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差を火炎継続時間とする。2つ以上の伝播方向がある場合は、最大時間を選択する。

火炎継続時間の概念図を図2-30に示す。

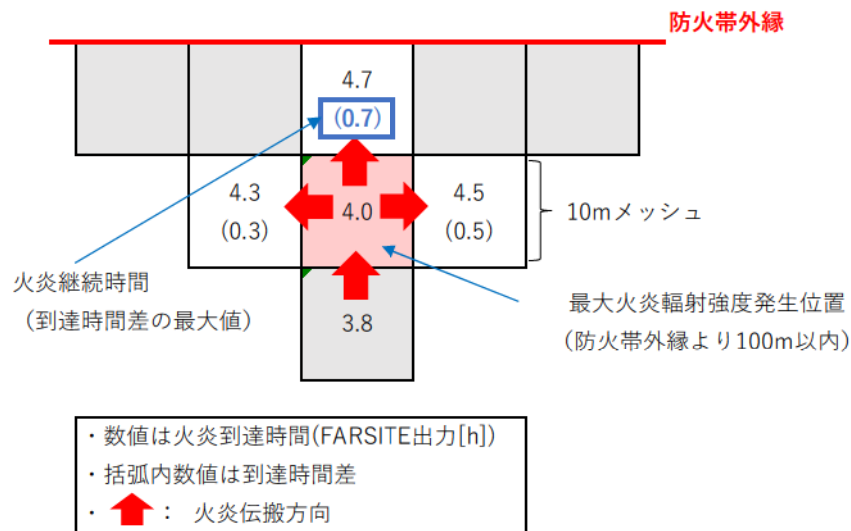


図2-30 火炎継続時間概念図

(8) 形態係数の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。なお、各円筒火炎モデルから受熱面までの距離が異なるため、各円筒火炎モデルにおける形態係数を算出する。

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

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

$\phi_i$  : 円筒火炎モデルの形態係数[-],  $L_i$  : 離隔距離[m],  $H$  : 火炎長[m],  $R$  : 燃焼半径[m]

(9) 輻射強度の算出

10m メッシュ内には燃焼半径から算出した $\hat{F}$ 個の火炎が存在するものとして、受熱面への輻射強度を算出する。

$$E = E_0 + 2 \sum_{i=1}^n E_i \text{ (受熱面への輻射強度) [kW/m}^2\text{]}$$

$$E_0 = \phi_0 \times \hat{F} \times R_f \text{ (中心火炎の場合) [kW/m}^2\text{]}$$

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

$\phi_i$  : 形態係数[-],  $R_f$  : 最大火炎輻射発散度[kW/m<sup>2</sup>],  $\hat{F}$  : 円筒火炎モデル数(10 メッシュ)

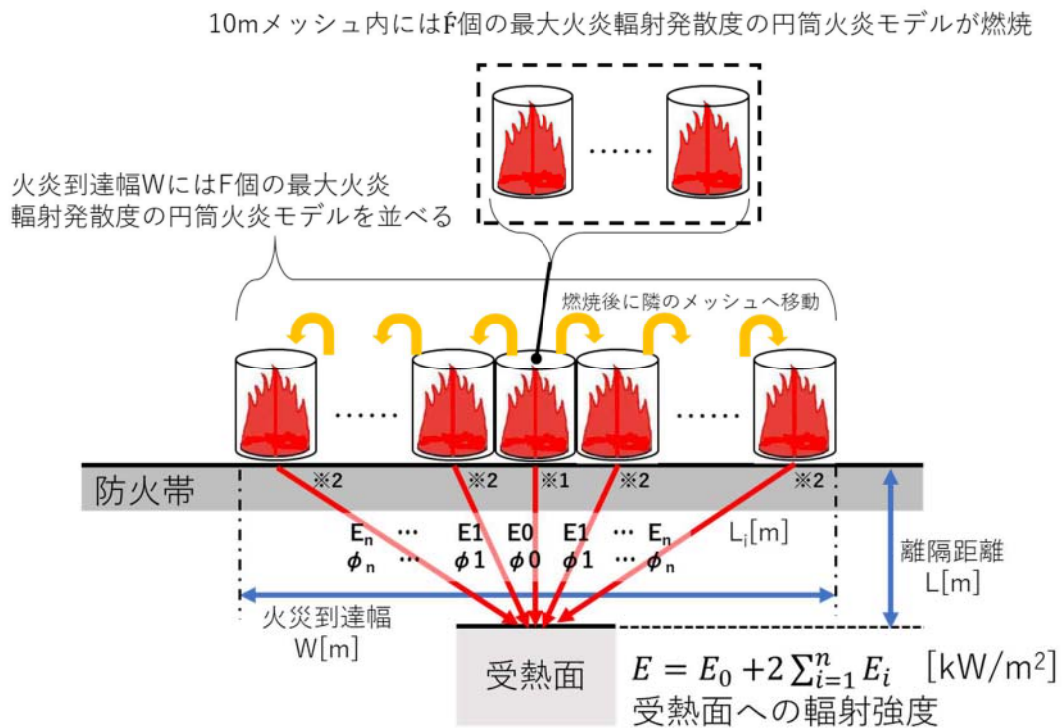
(10) 温度の算出方法

a. 評価条件

受熱面への輻射強度は、円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べ、各々の輻射強度を積算し評価する。火炎輻射強度は各々の位置で強度の違いがあるが、本評価では保守的に最大の火炎輻射発散度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。受熱面への輻射強度 $E$ は、10mメッシュの中に円筒火炎モデルを $F$ 個並べて輻射強度 $E_i$ を計算し、10mメッシュの輻射強度 $E_i$ を火炎到達幅の長さになるよう積算したものである。

円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間とする。

円筒火炎モデルの概念図を図2-31に示す。



※1  $F$ 個分の円筒火炎モデルから放射

※2  $F$ 個分の円筒火炎モデルの2箇所から放射

- ・受熱面への輻射強度 $E$ は、受熱面に対して中心の火炎からの輻射強度 $E_0$ と中心以外の火炎からの輻射強度 $E_i$ を積算したものである。なお、中心以外の円筒火炎モデルは左右対称であることから、片側を2倍して算出している。
- ・形態係数 $\phi_i$ は、受熱面と火炎の距離に依存するため、円筒火炎モデルごとにそれぞれ算出する。
- ・火炎輻射発散度は、保守的に最大火炎輻射発散度 $R_f$ を用いる。

図2-31 温度影響評価概念図

### 3.2 建屋外壁の温度評価

#### (1) 影響評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、森林火災を想定して評価を実施した。

- (2) 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を表 2-27 に示す。評価については、防火帯外縁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 2-27 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

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
森林火災	200	230	230	300

#### (3) 判断の考え方

##### a. 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（別紙 2-2 参照）。なお、外壁にはガラリ、配管貫通部等が存在するが、これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

##### b. 評価方法

火災が発生した時間から森林が燃え尽きるまでの間、時間変化する輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式を森林火災の火災源が防火帯に沿って広がりを持つことから式 2 の有限個体での差分形式により解くことで、コンクリート外壁表面の温度及びコンクリート外壁表面の温度が 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。

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

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n \quad (\text{式 2})$$

T : 温度 (下添字が空間差分, 上添字が時間差分)

x : コンクリート深さ, t : 時間, r :  $a \Delta t / \Delta x^2$ ,  $q_s$  : 輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

a : 温度伝導率 ( $7.53 \times 10^{-7}$  [m<sup>2</sup>/s]) [ $a = \lambda / (\rho \times C_p)$ ]

$C_p$  : コンクリート比熱 (963 [J/kg·K]),  $\rho$  : コンクリート密度 (2,400 [kg/m<sup>3</sup>])

$\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/m·K])

表 2-28 対象施設の危険放射強度

項目	発火点	原子炉建屋
危険放射強度 (最大) [kW/m <sup>2</sup> ]	1	10.03
	2	39.88

式 2 で求めた危険放射強度  $q_s$  となる形態係数  $\phi$  を式 3 より算出する。

$$q_s = R_f \times \phi \quad (\text{式 3})$$

$q_s$  : 放射強度 (W/m<sup>2</sup>),  $R_f$  : 放射発散度 (W/m<sup>2</sup>),  $\phi$  : 形態係数

表 2-29 対象施設の放射発散度及び形態係数

項目	発火点	原子炉建屋
放射発散度 [kW/m <sup>2</sup> ]	1	1,200
	2	
形態係数 (総和) [-]	1	0.048
	2	0.15

式 3 で求めた形態係数  $\phi$  となる危険距離  $L$  を, 式 4 より算出する。

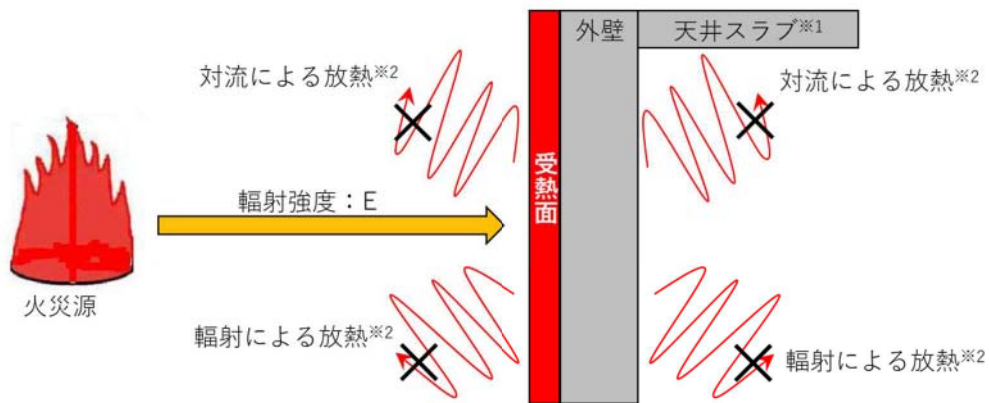
$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式 4})$$

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

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

上記のとおり危険距離を算出し, 防火帯外縁から最短距離にある評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図を図 2-32 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2-32 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

c. 評価結果

危険輻射強度より評価対象施設の危険距離を算出した結果、評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。  
 評価結果を表2-30に示す。

表2-30 原子炉施設外壁温度評価結果

項目	発火点	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
危険距離[m]	1	34.0			
	2	24.7			
防火帯外縁からの離隔距離[m]	1	200	230	230	300
	2				
外壁温度[°C]	1	約62	※1		
	2	約60			

※1:原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋は原子炉建屋よりも火災源からの距離が遠いことから、原子炉建屋の評価に包絡される。

### 3.3 内気温度評価

#### (1) 評価対象範囲

評価対象施設に対し，室内で人員の活動が必要な，3号炉中央制御室並びにクラス3に属する緊急時対策所について，最も厳しい条件となる火災を想定し，内部の温度影響評価を実施する。

#### (2) 判断の考え方

##### a. 許容温度

中央制御室の設計室温から  $40^{\circ}\text{C}$  とする。

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

##### b. 評価方法

評価は以下の手順で実施する。図2-33に評価概念図を示す。

(a) 外部火災による評価対象外壁内表面を評価する。(STEP 1)

(b) STEP 1 で得られた外壁内表面温度を基に室温を評価する (STEP 2)

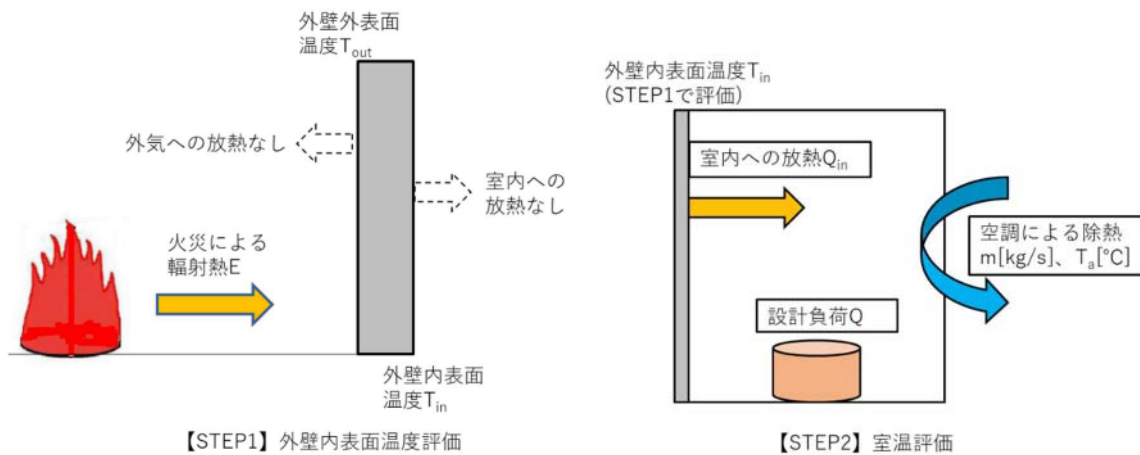


図2-33 評価概念図

(a) STEP 1 の評価モデル式

外部火災による外壁内表面温度を算出する式は次式で示される。

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

$$T_i^{n+1} = \frac{1}{1+2r} \{ r(T_{i-1}^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}) + T_i^n \} \quad (\text{式 2})$$

T : 温度 (下添字が空間差分, 上添字が時間差分)

x : コンクリート深さ, t : 時間, r :  $a \Delta t / \Delta x^2$ ,  $q_s$  : 輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

a : 温度伝導率 ( $7.53 \times 10^{-7}$  [m<sup>2</sup>/s]) [ $a = \lambda / (\rho \times C_p)$ ]

$C_p$  : コンクリート比熱 (963 [J/kg·K]),  $\rho$  : コンクリート密度 (2,400 [kg/m<sup>3</sup>])

$\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/m·K])

(b) STEP 2 の評価モデル式

室内の内包機器熱負荷は強制換気により除熱される。ここでは図 2-33 に示すように外部火災による外壁内表面温度の上昇により室温が加熱される影響をモデル化する。保守的に評価を実施するため、室内の熱容量等は考慮せず、熱バランスによる評価を実施する。

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

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

$Q_{in}$  : 室内熱負荷 [W],  $h_{in}$  : 室内壁表面熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>·K]

A : 室内壁表面積 [m<sup>2</sup>],  $T_{in}$  : 内壁最高温度 [°C],  $T_{room}$  : 室温 [°C]

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

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

Q : 室内負荷 [W], m : 風量 [m<sup>3</sup>/s],  $C_p$  : 空気比熱 [J/kg·K],  $\rho$  : 空気密度 [kg/m<sup>3</sup>]

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

表 2-31 評価結果 (原子炉施設)

評価対象	STEP1:外壁内表面温度 [°C]	STEP2:室内温度 [°C]	許容温度 [°C]
中央制御室	約 51	約 26	40

表 2-32 評価結果 (緊急時対策所)

評価対象	STEP1:外壁内表面温度 [°C]	STEP2:熱負荷 [kW]	許容熱負荷 [kW]
緊急時対策所	約 44	約 38.5	40.0



### 3.4 屋外施設の影響評価

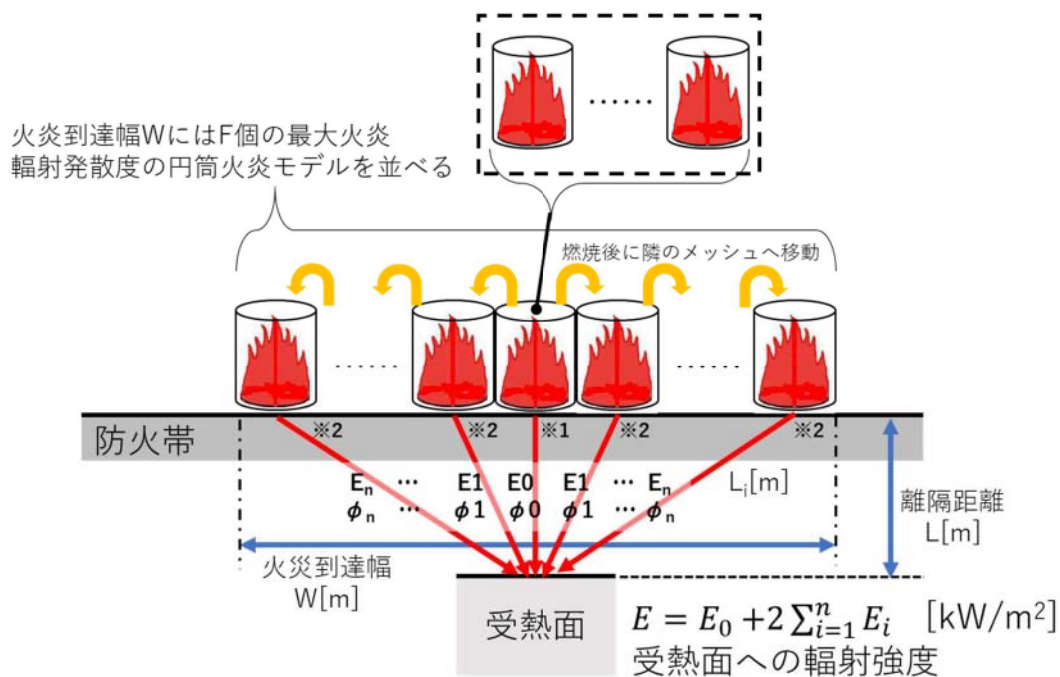
#### (1) 評価手法の概要

受熱面への輻射強度は、円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べ、各々の輻射強度を積算し評価する。火炎輻射強度は各々の位置で強度の違いがあるが、本評価では保守的に最大の火炎輻射発散度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。受熱面への輻射強度 $E$ は、10mメッシュの中に円筒火炎モデルを $F$ 個並べて輻射強度 $E_i$ を計算し、10mメッシュの輻射強度 $E_i$ を火炎到達幅の長さになるよう積算したものである。

円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間とする。

円筒火炎モデルの概念図を図2-34に示す。

10mメッシュ内には $F$ 個の最大火炎輻射発散度の円筒火炎モデルが燃焼



※1  $F$ 個分の円筒火炎モデルから放射

※2  $F$ 個分の円筒火炎モデルの2箇所から放射

- ・受熱面への輻射強度 $E$ は、受熱面に対して中心の火炎からの輻射強度 $E_0$ と中心以外の火炎からの輻射強度 $E_i$ を積算したものである。なお、中心以外の円筒火炎モデルは左右対称であることから、片側を2倍して算出している。
- ・形態係数 $\phi_i$ は、受熱面と火炎の距離に依存するため、円筒火炎モデルごとにそれぞれ算出する。
- ・火炎輻射発散度は、保守的に最大火炎輻射発散度 $R_f$ を用いる。

図2-34 温度影響評価概念図

(2) 温度評価

a. 排気筒温度の算出

(a) 評価対象範囲

排気筒について、森林火災を想定して評価を実施した。

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 2-33 に、排気筒外形図を図 2-35 に示す。

表 2-33 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

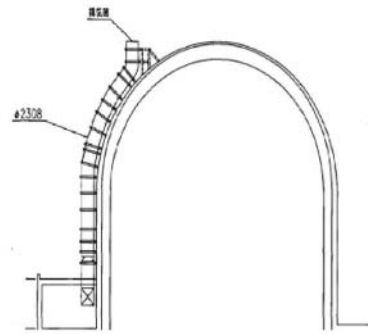


図 2-35 排気筒の外形図

(c) 評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を表 2-34 に示す。

表 2-34 評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]
排気筒	200

(d) 判断の考え方

i. 危険放射強度

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℃を越えない最大の放射強度を危険放射強度とする。

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 に火災による放射が到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の放射強度で排気筒が昇温されるとき、放射による

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。

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

$\varepsilon$  : 吸収率(1.0[-]),  $E$ : 輻射強度[W/m<sup>2</sup>],  $h$ : 熱伝達率(17[W/m<sup>2</sup>·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/m<sup>2</sup>·K を用いる。)

表2-35 対象施設の危険輻射強度

項目	発火点	排気筒
危険輻射強度	1	9,299
[W/m <sup>2</sup> ]	2	9,304

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数 $\phi$ 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<sup>2</sup>),  $R_f$  : 輻射発散度(W/m<sup>2</sup>),  $\Phi$  : 形態係数

表2-36 対象施設の輻射発散度及び形態係数

項目	発火点	排気筒
輻射発散度	1	1,200
[kW/m <sup>2</sup> ]	2	
形態係数	1	0.0078
[-]	2	

式2で求めた形態係数 $\Phi$ 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[m], R : 燃焼半径[m], L : 危険距離[m]

上記のとおり危険距離を算出し、防火帯外縁から最短距離にある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2-36に示す。

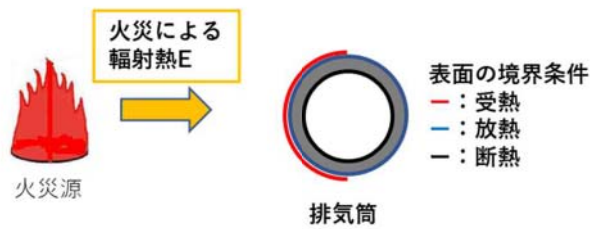


図 2-36 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

危険放射強度より排気筒の危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 2-37 に示す。

表 2-37 排気筒に対する熱影響評価結果

項目	排気筒	
	発火点 1	発火点 2
危険距離[m]	35.4	54.0
防火帯外縁からの離隔距離[m]	200	
温度[°C]	約 60	約 71

3.5 原子炉補機冷却海水ポンプの影響評価

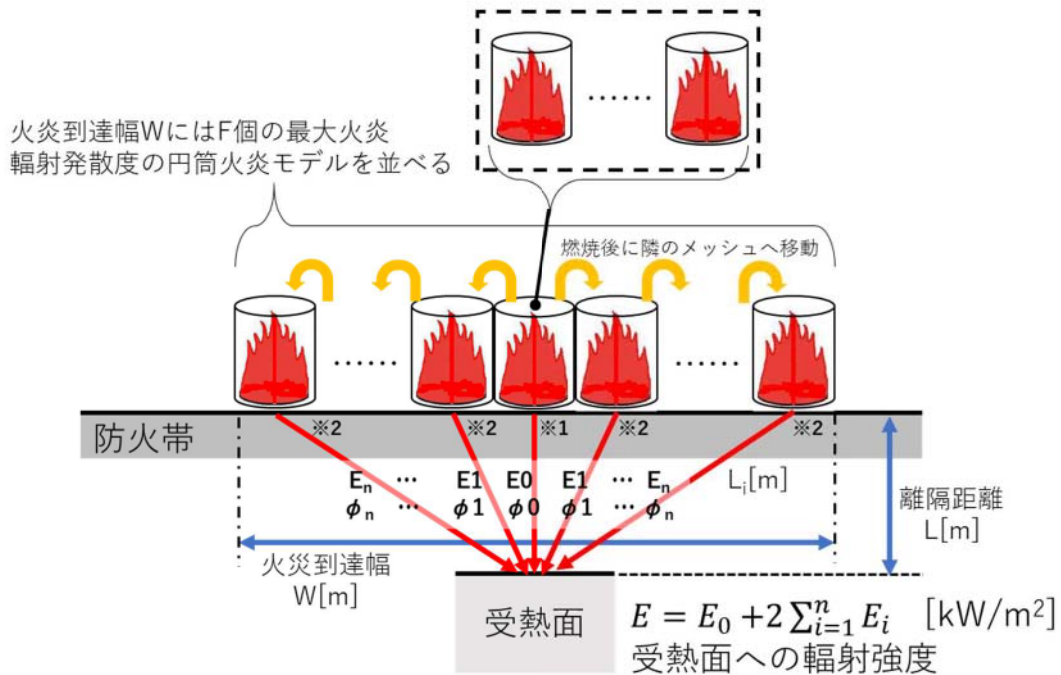
(1) 評価手法の概要

受熱面への放射強度は、円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べ、各々の放射強度を積算し評価する。火炎放射強度は各々の位置で強度の違いがあるが、本評価では保守的に最大の火炎放射発散度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。受熱面への放射強度  $E$  は、10m メッシュの中に円筒火炎モデルを  $F$  個並べて放射強度  $E_i$  を計算し、10m メッシュの放射強度  $E_i$  を火炎到達幅の長さになるよう積算したものである。

円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間とする。

円筒火炎モデルの概念図を図 2-37 に示す。

10mメッシュ内にはF個の最大火炎輻射発散度の円筒火炎モデルが燃焼



※1 F個分の円筒火炎モデルから放射

※2 F個分の円筒火炎モデルの2箇所から放射

- ・受熱面への輻射強度  $E$  は、受熱面に対して中心の火炎からの輻射強度  $E_0$  と中心以外の火炎からの輻射強度  $E_i$  を積算したものである。なお、中心以外の円筒火炎モデルは左右対称であることから、片側を2倍して算出している。
- ・形態係数  $\phi_i$  は、受熱面と火炎の距離に依存するため、円筒火炎モデルごとにそれぞれ算出する。
- ・火炎輻射発散度は、保守的に最大火炎輻射発散度  $R_f$  を用いる。

図 2-37 温度影響評価概念図

## (2) 温度評価

### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ温度の算出

#### (a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、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) 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最も近い防火帯外縁までの離隔距離を表 2-38 に示す。

表 2-38 評価対象施設までの離隔距離

評価対象施設	離隔距離[m]
循環水ポンプ建屋	300

(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を 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。

表 2-39 原子炉補機冷却海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象部位	冷却空気の許容温度[℃]	運転時の温度上昇[℃]	限界温度[℃]
固定子巻線	99.0	46.0	145* <sup>1</sup>
下部軸受け	80.9	34.1	115* <sup>2</sup>

※1：耐熱クラス 145(F)における固定子巻線の許容最高温度【JEC-2137】

※2：軸受潤滑油の潤滑能力を維持できる限界温度

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時間変化する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 2-38 に示す。

$$Q_{in} = G_{air}^0 \times C_{pin} \times (T_R^0 - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

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

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

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

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

$$W_R^n = V \times \rho_R^n \quad \dots\dots ⑥$$

\*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）

各時間ステップの値を用いて、建屋内気温上昇と次のステップの建屋内気温を算出する。

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

$Q_{in}$ ：建屋内のポンプモータの放熱量[W]， $G_{air}$ ：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/s<sup>2</sup>]， $\rho_{in}$ ：外気密度[kg/m<sup>3</sup>]，  
 $\rho_R$ ：建屋内空気密度[kg/m<sup>3</sup>]， $H$ ：換気有効高さ[m]， $\zeta_{in}$ ：給気口圧損係数[-]，  
 $\zeta_{out}$ ：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[m<sup>2</sup>]， $A_{out}$ ：排気口面積[m<sup>2</sup>]， $W_R$ ：建屋内空気重量[kg]，  
 $V$ ：建屋内空気体積[m<sup>3</sup>]， $q_f$ ：外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m<sup>2</sup>]，  
 $A_F$ ：輻射受熱面積[m<sup>2</sup>]， $C_{PR}$ ：建屋内空気比熱[J/kg・K]， $\Delta t$ ：時間刻み[s]

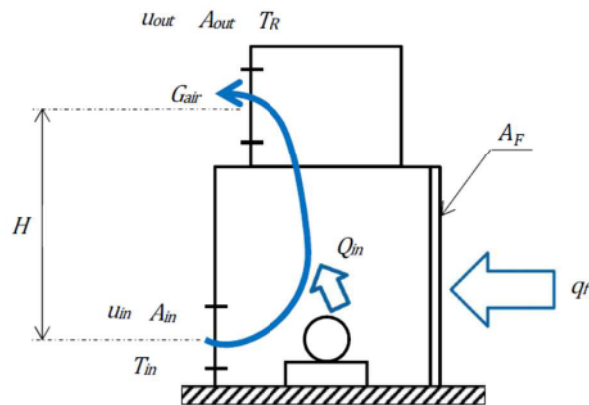


図 2-38 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

表 2-40 対象施設の危険輻射強度

項目	発火点	原子炉補機冷却海水ポンプ
危険輻射強度 (最大)	1	3,178
[W/m <sup>2</sup> ]	2	4,859

式 1 より求めた危険輻射強度 E とする形態係数  $\phi$  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<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>),  $\phi$  : 形態係数

表 2-41 対象施設の輻射発散度及び形態係数

項目	発火点	原子炉補機冷却海水ポンプ
輻射発散度 [kW/m <sup>2</sup> ]	1	1,200
	2	
形態係数 (総和) [-]	1	0.026
	2	0.048

式 2 で求めた形態係数  $\phi$  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 [m], R : 燃焼半径 [m], L : 危険距離 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、防火帯外縁から最短距離にある評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

(d) 評価結果

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、原子炉補機冷却海水ポンプ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 2-42 に示す。



表 2-4-2 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価結果

項目	原子炉補機冷却海水ポンプ	
	発火点 1	発火点 2
危険距離[m]	62.0	75.2
防火帯外縁からの離隔距離[m]	300	
温度[°C]	約 44	約 46

## 防火帯の管理方針について

## 1. はじめに

森林火災評価結果に基づき、森林火災による外部火災防護施設への延焼防止対策として、発電所構内道路及び地形等を考慮し、地点毎に 20m, 25m, 46m 幅の防火帯を設定する。防火帯内に他の法令要求等により可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限の機器等とし、防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする必要があるため、防火帯の管理方法について以下に示す。

## 2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定にあたっては、草木を伐採する等、可燃物を排除し、モルタル吹付けを行う。また、防火帯は表示板等で明確に区分すると共に、構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については、駐車禁止の措置等により、常時可燃物のない状態を維持する。

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

表 1 に防火帯に設置される機器等の管理方針について示す。

表 1 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針

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

## コンクリートの許容限界温度 200°C の設定根拠について

高温時のコンクリートの圧縮強度と温度の関係を図に示す。

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

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

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

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

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

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

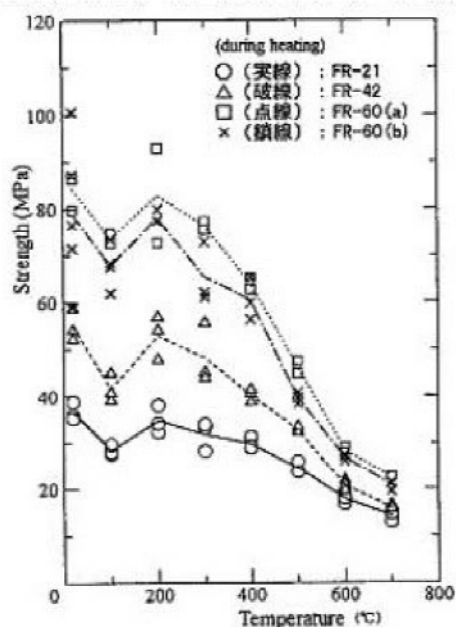


図1 圧縮強度と加熱温度の関係\*1

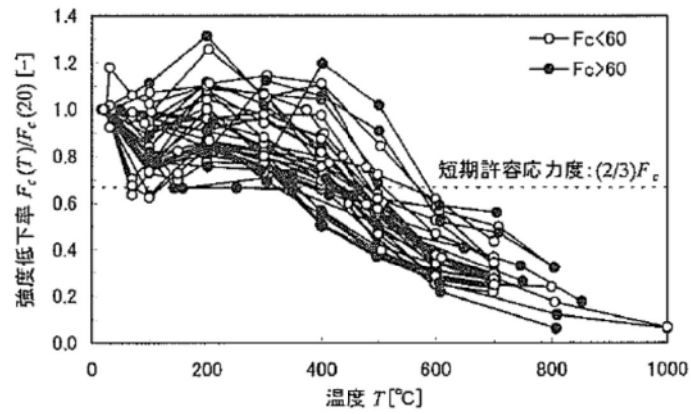


図2 コンクリートの高温時圧縮強度（常温強度に対する比）\*2

- ※1 高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎研究(日本建築学会 構造系論文集 第515号, 163-168, 1999年1月)」
- ※2 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 財団法人 日本建築センター, 2007年

## 排気筒の許容限界温度 325°C の設定根拠について

排気筒の材質はステンレス鋼(SUS304)であり、文献<sup>※1</sup>よりステンレス鋼(SUS304)は、一般的な鋼材(SS400)と比較して優れた高温強度を有していることから、排気筒の許容限界温度は保守的に一般的な鋼材と同様の温度を設定する。

一般的に、鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが、その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方、発電用原子力設備規格設計・建設規格（一般社団法人日本機械学会）では、鋼材の制限温度を 350°C としていること、また、文献<sup>※2</sup>では、一般的な鋼材の温度上昇に伴う強度低下率  $\kappa(T)$  が示されており、一般的な鋼材において温度が 325°C 以下であれば、その強度が常温時と変わらない ( $\kappa(T)=1$ ) <sup>※3</sup> としている（図 1）。

よって本評価では、保守的に一般的な鋼材の強度が常温時と変わらないとされる 325°C を許容限界温度とし、評価を実施する。

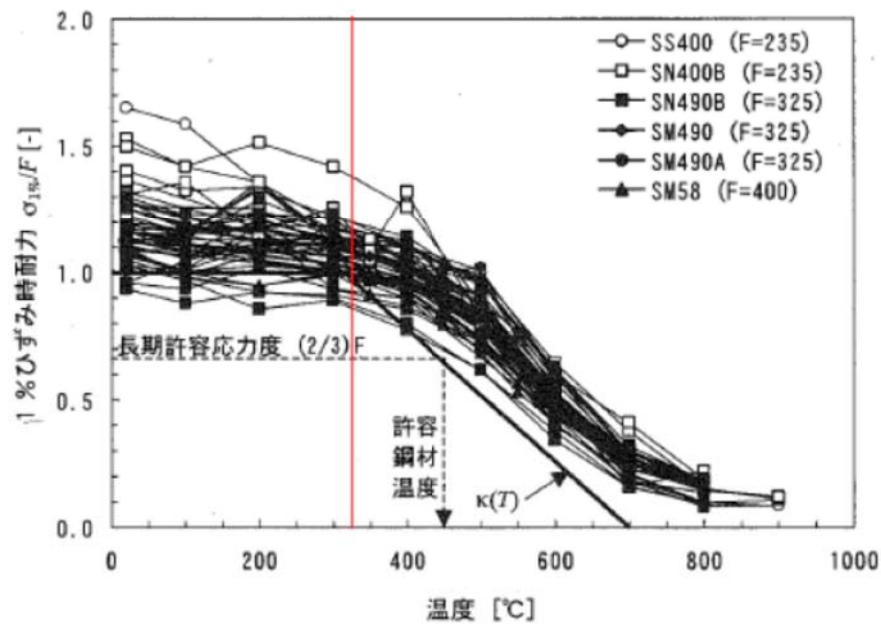


図 5 各種鋼材の高温時の 1%歪時耐力（参考文献<sup>2)~6)</sup> のデータから作成)

図 1 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率<sup>※2</sup>（一部加筆）

- ※1 ステンレス建築構造物の耐火設計について，ステンレス建築 No. 10，1998 年
- ※2 建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人 日本建築センター，2007 年
- ※3 各温度における鋼材の 1%ひずみ時耐力の測定値を常温の基準強度(F)で割ったものが強度低下率  $\kappa(T)$  であり，鋼材の強度が常温時と変わらない場合は， $\kappa(T)=1$  となる。

## 各施設等の温度評価体系

## 1. 輻射強度が時間変化する場合

## (1) 壁面（コンクリート）の温度評価体系

建屋外壁コンクリートの温度評価は、建屋コンクリートの構造的な形状の担保を目的としていることから、非定常状態におけるコンクリートの表面温度について評価する。

一次元の非定常熱伝導方程式は、温度伝導率を  $\alpha_c$ 、温度を  $T$  とし、 $x$  方向の一次元温度分布は以下で表される。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_c \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1) \quad \because \alpha_c = \frac{\lambda_c}{\rho_c C_{pc}}$$

この方程式を差分形式で記載すると、以下となる。下添字が空間差分、上添字が時間差分を表す。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i-1} - 2T_i + T_{i+1}}{\Delta x^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \quad (3)$$

時間項として、完全陰解法として右辺は  $n+1$  時刻の値を用いることとすると、熱伝導方程式は以下で表される。

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \alpha_c \frac{T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}}{\Delta x^2} \quad (4)$$

本式を変形して、以下を得る。

$$T_i^{n+1} - T_i^n = \frac{\alpha_c \Delta t}{\Delta x^2} (T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}) \quad (5)$$

$$\begin{array}{c} \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\ \searrow r \end{array}$$

$$T_i^{n+1} = \frac{1}{1+2r} \{r(T_{i-1}^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}) + T_i^n\} \quad (6)$$

ここで熱流束境界条件では、図1のように熱流束 $q_s$ と温度 $T$ の関係を表すと、

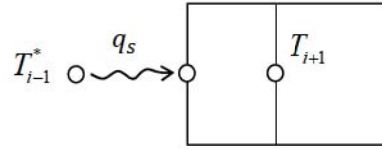


図1 温度と熱流束の関係

仮想点の温度は以下で表される。

$$q_s = -\lambda_c \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = -\lambda_c \frac{T_{i+1} - T_{i-1}^*}{2\Delta x} \quad \left( T_{i-1}^* \text{は仮想点}^* \right) \quad (7)$$

$q_s$  : 表面の熱流束(受熱面輻射強度)

※差分法で温度勾配の計算精度を高めるために仮想点を設定

$$\therefore T_{i-1}^* = T_{i+1} + \frac{2\Delta x}{\lambda_c} q_s \quad (8)$$

本式を、完全陰解法の場合の差分式に代入し、仮想点の温度を消去すると次式となる。(5)式より、

$$T_i^{n+1} = r(T_{i+1}^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}) - 2rT_i^{n+1} + T_i^n \quad (9)$$

(8)式の  $T_{i-1}^*$  を消去する為に、 $T_{i-1}^* = T_{i-1}^{n+1}$  として(8)式を(9)式に代入すれば(10)式となる。

$$T_i^{n+1} = rT_{i+1}^{n+1} + r \left( T_{i+1}^{n+1} + \frac{2\Delta x}{\lambda_c} q_s \right) - 2rT_i^{n+1} + T_i^n \quad (10)$$

以上から、熱流束境界条件における温度分布は次式で表される。

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda_c} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n \quad (11)$$

$T$  : コンクリート 温度 [°C]

$\alpha_c$  : コンクリート 温度伝導率 [m<sup>2</sup>/s]

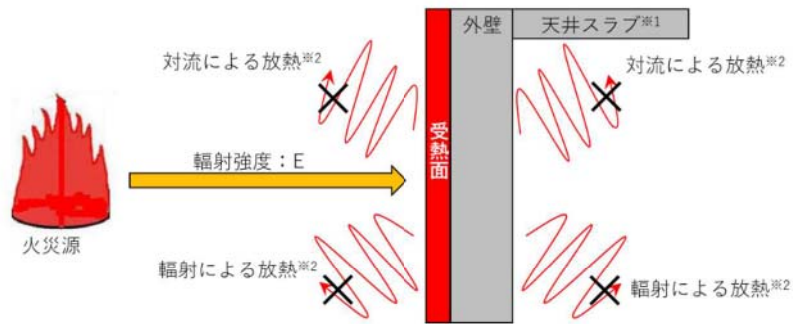
$\lambda_c$  : コンクリート 熱伝導率 [W/m・K]

$\rho_c$  : コンクリート 密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$C_{pc}$  : 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]



※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2 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

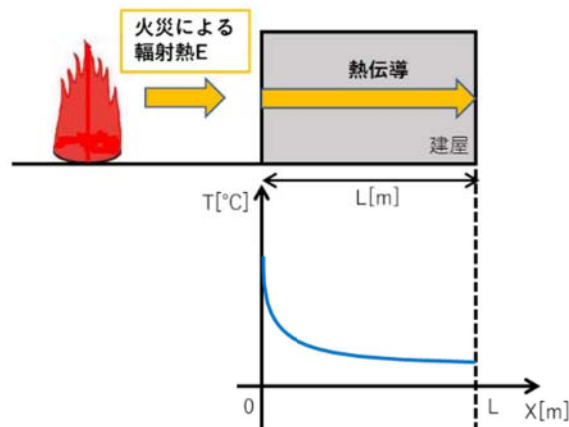


図3 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

## (2) 排気筒の温度評価体系

円筒外表面積の1/2に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。温度評価にあたっては、鋼材の制限温度である325℃を許容温度として設定する。排気筒の評価概念図を図4に示す。

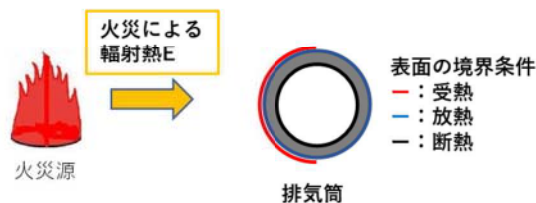


図4 排気筒の評価概念図



熱伝導のよい鋼材によって、速やかに排気筒全面に熱が伝わるため、排気筒全面の温度勾配は無いと見なすことができる。

無限時間後の熱収支のバランス式より、入熱量＝放熱量とすると以下の式が成り立つ。

$$\varepsilon E \times \frac{(\pi D \times Z)}{2} = h(T_s - T_0) \times (\pi D \times Z)$$

$T_0$  : 初期温度 [°C],  $T_s$  : 表面温度 [°C],  $E$  : 輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  : 吸収率 [ - ],  $h$  : 熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>・K]

$D$  : 排気筒の直径 [m],  $Z$  : 排気筒の高さ [m]

上式を両辺整理して、以下の評価式により排気筒の温度評価を実施する。

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

### (3) 原子炉補機冷却海水ポンプの温度評価体系

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。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を表1に示す。

表1 原子炉補機冷却海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象部位	冷却空気の許容温度[°C]	運転時の温度上昇[°C]	限界温度[°C]
固定子巻線	99.0	46.0	145*1
下部軸受	80.9	34.1	115*2

※1 : 耐熱クラス 145(F)における固定子巻線の許容最高温度【JEC-2137】

※2 : 軸受潤滑油の潤滑能力を維持できる限界温度

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冷却空気温度を算出する。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルを図5に示す。

a. 初期値検討 (熱流速  $q_r=0$ )

$$\text{熱収支: } Q_{in} = G_{air}^0 \times C_{pin} \times (T_R^0 - T_{in}) \quad \dots\dots ①$$

$$\text{圧損バランス: } \Delta P_H = \Delta P_{in} + \Delta P_{out}$$

$$\Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R^0) \times H = \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^0{}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R^0 \times u_{out}^0{}^2 \quad \dots\dots ②^{*1}$$

$$\text{建屋内空気密度: } \rho_R^0 = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R^0} \quad \dots\dots ③^{*2}$$

$$\text{給気口流速: } u_{in}^0 = \frac{G_{air}^0}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$\text{排気口流速: } u_{out}^0 = \frac{G_{air}^0}{\rho_R^0 \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

\*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）

①～⑤の5式を連立させて解くことで、森林火災の影響を受ける前の換気風量  $G_{air}^0$  と建屋内気温  $T_R^0$  を求める。

b. 建屋内気温の各時間ステップにおける温度評価

森林火災では受熱面輻射強度は時間とともに変化するので、各時間ステップ（右上添え字 n）について、評価式を立てる。

$$\text{圧損バランス: } \Delta P_H = \Delta P_{in} + \Delta P_{out}$$

$$\Rightarrow g \times (\rho_{in} - \rho_R^n) \times H = \zeta_{in} \times \frac{1}{2} \times \rho_{in} \times u_{in}^n{}^2 + \zeta_{out} \times \frac{1}{2} \times \rho_R^n \times u_{out}^n{}^2 \quad \dots\dots ⑥^{*1}$$

$$\text{建屋内空気密度: } \rho_R^n = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R^n} \quad \dots\dots ⑦^{*2}$$

$$\text{給気口流速: } u_{in}^n = \frac{G_{air}^n}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ⑧$$

$$\text{排気口流速: } u_{out}^n = \frac{G_{air}^n}{\rho_R^n \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑨$$

$$\text{建屋内空気重量: } W_R^n = V \times \rho_R^n \quad \dots\dots ⑩$$

\*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）

各時間ステップ（右上添え字  $n$ ）の値を用いて、建屋内気温上昇と次のステップ（右上添え字  $n+1$ ）の建屋内気温を算出する（初期値  $T_R^0$  については、(a)項にて算出）。

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

$Q_{in}$ : 建屋内のポンプモータの放熱量[W],  $G_{air}$ : 換気風量[kg/s],  $C_{P_{in}}$ : 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/s<sup>2</sup>],  $\rho_{in}$ : 外気密度[kg/m<sup>3</sup>],  
 $\rho_R$ : 建屋内空気密度[kg/m<sup>3</sup>],  $H$ : 換気有効高さ[m],  $\zeta_{in}$ : 給気口圧損係数[-],  
 $\zeta_{out}$ : 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[m<sup>2</sup>],  $A_{out}$ : 排気口面積[m<sup>2</sup>],  $W_R$ : 建屋内空気重量[kg],  
 $V$ : 建屋内空気体積[m<sup>3</sup>],  $q_f$ : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m<sup>2</sup>],  
 $A_F$ : 輻射受熱面積[m<sup>2</sup>],  $C_{P_R}$ : 建屋内空気比熱[J/kg・K],  $\Delta t$ : 時間刻み[s]

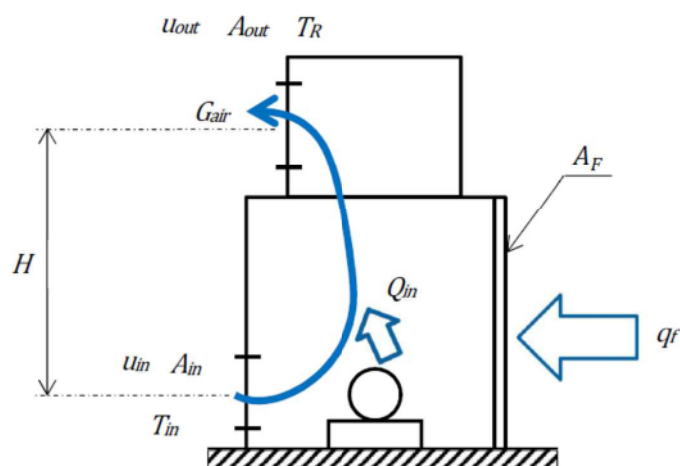


図5 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

#### (4) 建屋内気温度の温度評価体系

室内で人員の活動が必要な、中央制御室並びに緊急時対策所について、内部の温度影響評価を実施する。評価は以下の手順で実施する。図6に評価概念図を示す。

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

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

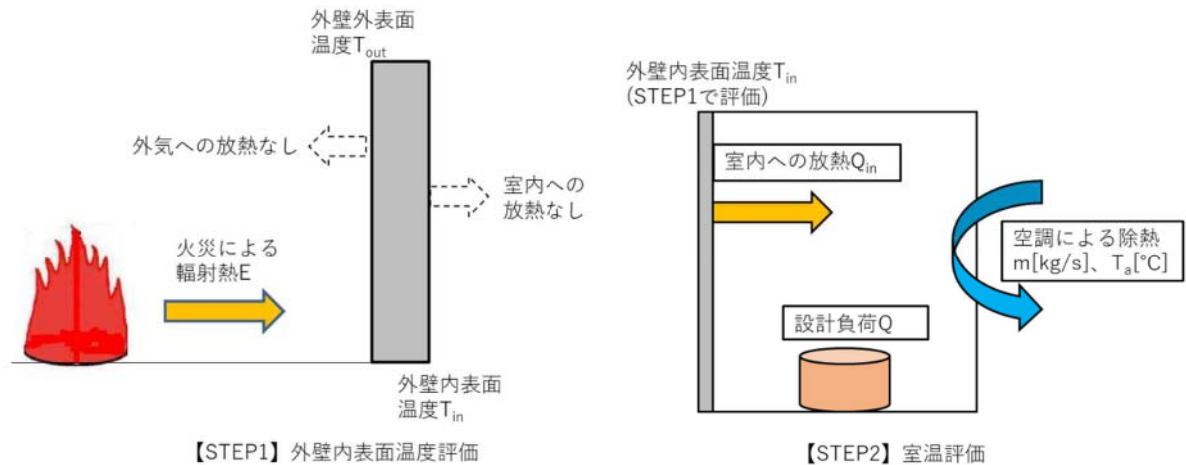


図6 評価概念図

a. STEP 1 の評価モデル式

森林火災評価においては、輻射強度の時間変化を考慮した上で、コンクリートの厚み方向温度分布を一次元非定常熱伝導により解き、コンクリート裏面温度を算出する。

一次元の非定常熱伝導方程式は、温度伝導率を  $\alpha_c$ 、温度を  $T$  とし、 $x$  方向の一次元温度分布は以下で表される。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_c \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1) \quad \because \alpha_c = \frac{\lambda_c}{\rho_c c_{pc}}$$

この方程式を差分形式で記載すると、以下となる。下添字が空間差分、上添字が時間差分を表す。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i-1} - 2T_i + T_{i+1}}{\Delta x^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \quad (3)$$

時間項として、完全陰解法として右辺は  $n+1$  時刻の値を用いることとすると、熱伝導方程式は以下で表される。

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} - \alpha_c \frac{T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}}{\Delta x^2} \quad (4)$$

本式を変形して、以下を得る。

$$T_i^{n+1} - T_i^n = \frac{\alpha_c \Delta t}{\Delta x^2} (T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}) \quad (5)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_r$

$$T_i^{n+1} = \frac{1}{1 + 2r} \{r(T_{i-1}^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}) + T_i^n\} \quad (6)$$

$T$  : コンクリート 温度 [°C] ,  $\alpha_c$  : コンクリート 温度伝導率 [m<sup>2</sup>/s]  
 $\lambda_c$  : コンクリート 熱伝導率 [W/m·K],  $\rho_c$  : コンクリート 密度 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $C_{pc}$  : 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]

## b. STEP 2 の評価モデル式

室内の内包機器熱負荷は強制換気による除熱される。ここでは図 6 に示すように外部火災による外壁内表面温度の上昇により室温が加熱される影響をモデル化する。保守的に評価を実施するため、室内の熱容量等は考慮せず、熱バランスによる評価を実施する。

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

$$Q_{in} = h_{in}A(T_{in} - T_{room}) \quad (1)$$

$Q_{in}$  : 室内熱負荷[W],  $h_{in}$  : 室内壁表面熱伝達率[W/m<sup>2</sup>·K]  
 $A$  : 室内壁表面積[m<sup>2</sup>],  $T_{in}$  : 内壁最高温度[°C]  
 $T_{room}$  : 室温[°C]

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

$$T_{room} = T_{ext} = \frac{Q + Q_{in}}{m\rho C_p} + T_a \quad (2)$$

$Q$  : 室内負荷[W],  $m$  : 風量[m<sup>3</sup>/s]  
 $C_p$  : 空気比熱[J/kg·K],  $\rho$  : 空気密度[kg/m<sup>3</sup>]

上記(1), (2)式より、求める室温は以下の式にて評価する。

$$T_{room} = \frac{Q + h_{in} \cdot A \cdot T_{in} + m \cdot \rho \cdot C_p \cdot T_a}{h_{in} \cdot A + m \cdot \rho \cdot C_p}$$

## 2. 輻射強度が一定の場合

### (1) 壁面 (コンクリート) の温度評価体系

建屋外壁コンクリートの温度評価は、建屋コンクリートの構造的な形状の担保を目的としていることから、非定常状態におけるコンクリートの表面温度について評価する。

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

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

T : 建屋温度[°C], x : コンクリート深さ[m], t : 燃焼継続時間[s]

$\rho$  : コンクリート密度(2,400[kg/m<sup>3</sup>]),  $C_p$  : コンクリート比熱(963[J/kg・K])

$\lambda$  : コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])

上式はコンクリート表面 (x=0) において, 以下の境界条件を満たす。

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

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

E : 輻射強度(W/m<sup>2</sup>), h : 熱伝達率[W/m<sup>2</sup>・K], L : コンクリート厚さ[m]

ここで, 保守的に対流による熱伝達を考慮しない (h=0) ため, 境界条件は以下のよう  
に表せる。

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = E \quad (x = 0)$$

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, 一般解の式より得られる以下の温度評価式により, 外壁表面温度の  
評価を実施する。

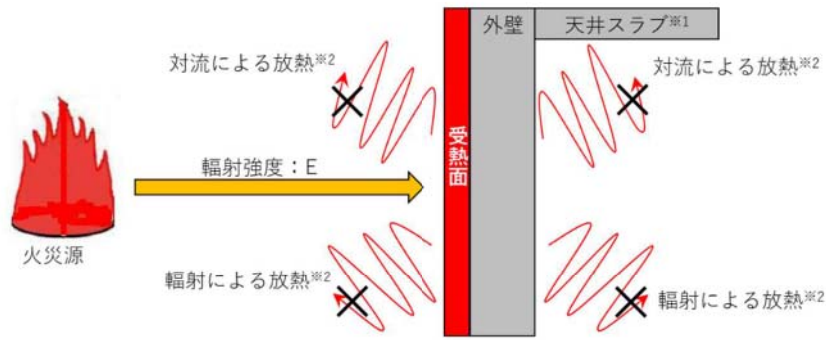
$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \right]$$

$T_0$  : 初期温度(50[°C]), E : 輻射強度(W/m<sup>2</sup>), t : 燃焼継続時間[s]

$\alpha$  : コンクリート温度拡散率(=  $\lambda / \rho C_p$ ) (7.53×10<sup>-7</sup> [m<sup>2</sup>/s])

$\rho$  : コンクリート密度(2,400[kg/m<sup>3</sup>]),  $C_p$  : コンクリート比熱(963[J/kg・K])

$\lambda$  : コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])



※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 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

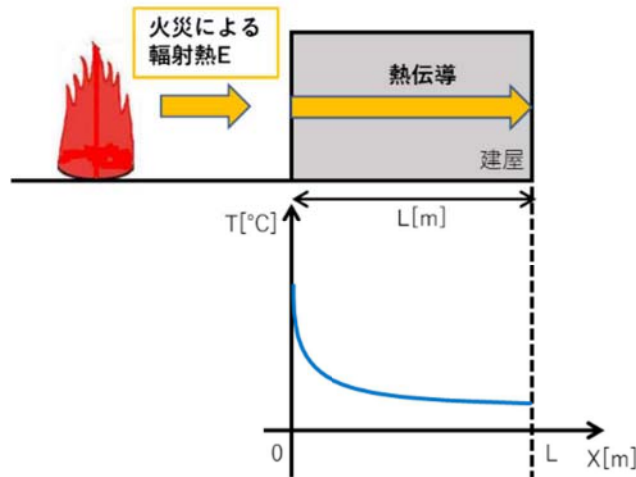


図8 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

## (2) 排気筒の温度評価体系

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。温度評価にあたっては、鋼材の制限温度である 325°C を許容温度として設定する。排気筒の評価概念図を図9に示す。

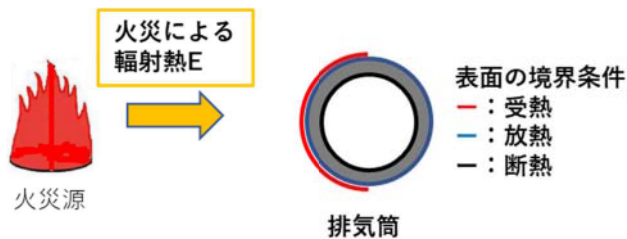


図9 排気筒の評価概念図

熱伝導のよい鋼材によって、速やかに排気筒全面に熱が伝わるため、排気筒全面の温度勾配は無いと見なすことができる。

無限時間後の熱収支のバランス式より、入熱量＝放熱量とすると以下の式が成り立つ。

$$\varepsilon E \times \frac{(\pi D \times Z)}{2} = h(T_s - T_0) \times (\pi D \times Z)$$

$T_0$  : 初期温度 [°C],  $T_s$  : 表面温度 [°C],  $E$  : 輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  : 吸収率 [ - ],  $h$  : 熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>・K]

$D$  : 排気筒の直径 [m],  $Z$  : 排気筒の高さ [m]

上式を両辺整理して、以下の評価式により排気筒の温度評価を実施する。

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

### (3) 原子炉補機冷却海水ポンプの温度評価体系

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。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を表2に示す。

表2 原子炉補機冷却海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象部位	冷却空気の許容温度[°C]	運転時の温度上昇[°C]	限界温度[°C]
固定子巻線	99.0	46.0	145*1
下部軸受	80.9	34.1	115*2

※1 : 耐熱クラス 145(F)における固定子巻線の許容最高温度【JEC-2137】

※2 : 軸受潤滑油の潤滑能力を維持できる限界温度

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冷却空気温度を算出する。循環水ポンプ建屋空気温度評価モデルを図10に示す。

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

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

$$\text{建屋内空気密度： } \rho_R = \frac{1}{0.004555 \times 0.622 \times T_R} \quad \dots\dots ③^{*2}$$

$$\text{給気口流速： } u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

$$\text{排気口流速： } u_{out} = \frac{G_{air}}{\rho_R \times A_{out}} \quad \dots\dots ⑤$$

\*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/m<sup>2</sup>]，  
 $A_F$ ：輻射受熱面積[m<sup>2</sup>]， $G_{air}$ ：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/s<sup>2</sup>]， $\rho_{in}$ ：外気密度[kg/m<sup>3</sup>]，  
 $\rho_R$ ：建屋内空気密度[kg/m<sup>3</sup>]， $H$ ：換気有効高さ[m]， $\zeta_{in}$ ：給気口圧損係数[-]，  
 $\zeta_{out}$ ：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[m<sup>2</sup>]， $A_{out}$ ：排気口面積[m<sup>2</sup>]

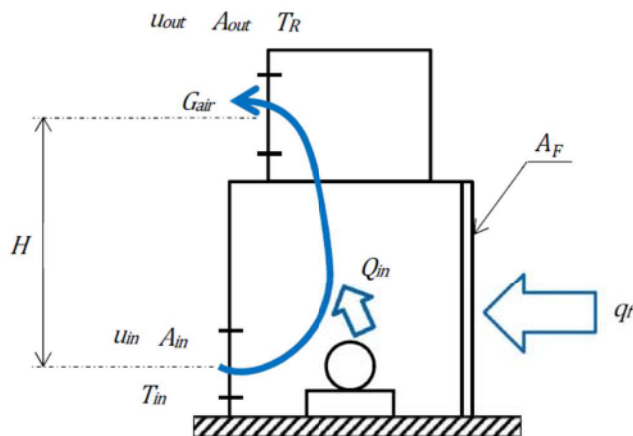


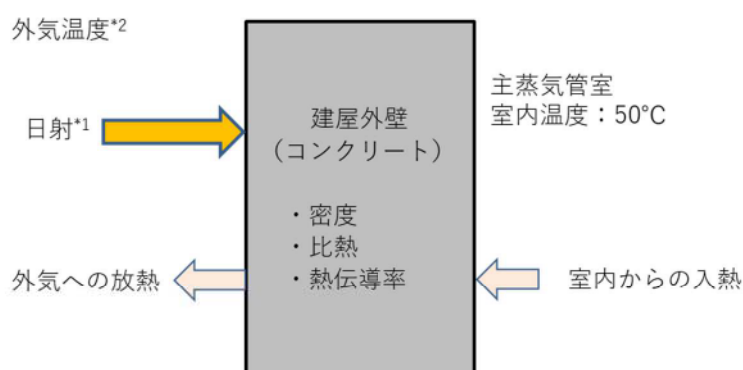
図10 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

## 初期温度の考え方

## 1. 外壁（コンクリート）面の初期温度

火災源からの輻射熱による建屋外壁の表面温度の評価において，その外壁表面温度の初期値については，建屋内の最高設計温度である主蒸気管室の 50℃がコンクリート壁内に均一に分布したと仮定して，建屋外壁の表面温度を 50℃としている。

一方，外気温や日射の影響を考慮して，1 日における建屋外壁表面の最高温度を求めた結果，約 45℃となることから，初期温度 50℃の設定は妥当なものとする。



※1：夏季の垂直面が受ける 1 時間ごとの日射量（空気調和衛生工学便覧 第 14 版）

※2：泊発電所の過去 10 年間（2003 年～2012 年）における 8 月の 1 時間ごとの平均気温の最高気温

## 2. 排気筒の初期温度

排気筒の初期温度は外気温や日射の影響を考慮し保守的に切り上げ，外壁（コンクリート）面の初期温度と同様に 50.0℃を初期温度として設定する。

## 3. 原子炉補機冷却海水ポンプの初期温度

原子炉補機冷却海水ポンプの初期温度は泊発電所の過去 10 年間の 99.97%を包含する 30.0℃を外気温及び初期温度として設定する。

## 建屋天井面への熱影響評価

建屋天井面について熱影響評価を検討する。火炎長が建屋天井面より短い場合は天井面に輻射熱は届かないことから熱影響はない。(図1)

火炎長が建屋天井面より長くなる場合は輻射熱が天井面に届くが、その輻射熱は側面の輻射熱より小さい。(図1)

火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面(側面)と水平面(天井面)の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井面の熱影響は側面に比べて小さい。(図2)

コンクリートの厚さは側面より天井面の方が薄いことから、天井面の方が建屋内側の熱伝達による放熱の効果が大きくなるため熱影響は小さい。

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

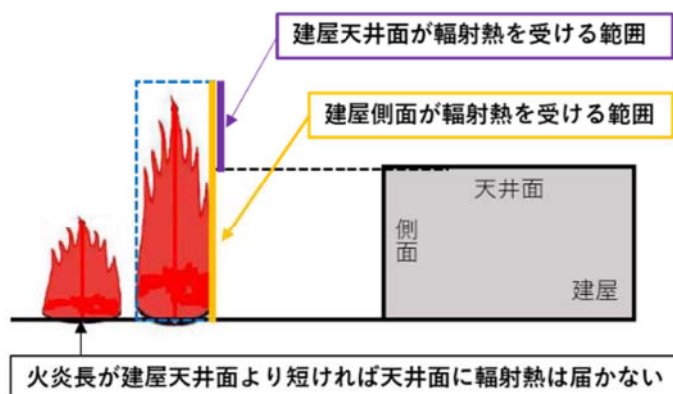


図1 天井面への輻射熱の影響

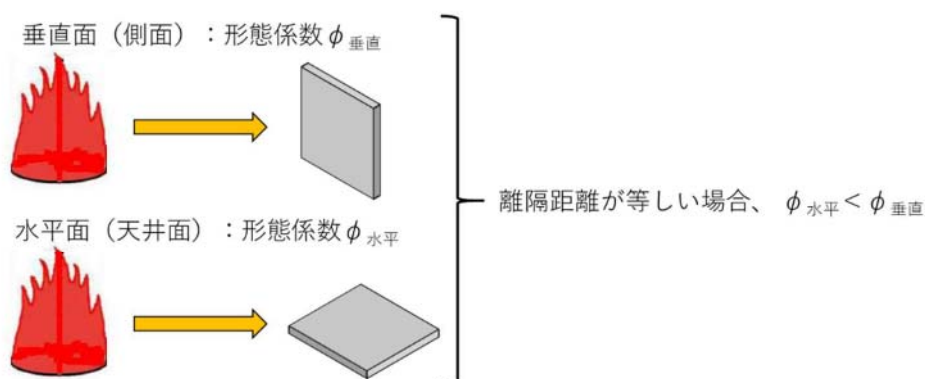


図2 垂直面と水平面の形態係数の大きさ

## 斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方について

### 1. 防火帯の概要

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

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

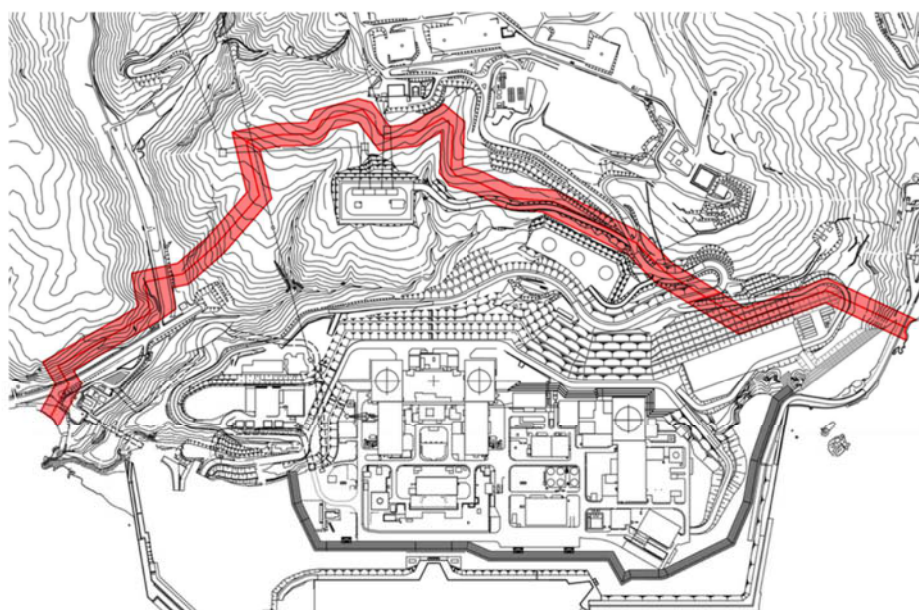


図 1 防火帯位置

### 2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価

#### (1) 評価方針について

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

#### (2) 森林火災が防火帯を突破する可能性について

森林火災（単独事象）の影響評価では、下記に示す保守的な前提条件としている。

- ① 気象条件（湿度、気温、風速）は、過去 10 年間における森林火災発生件数の多い 4～6 月のうち、最も厳しい条件の組み合わせとしている。
- ② 植生は、現地調査等で特定した樹種ごとに、より厳しい評価となるような林齢及び下草を設定している。

③ 日照時間の影響を考慮し、防火帯近傍における火線強度が最大となるように森林火災の発火時刻を設定している。

(3) 地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について

図2に防火帯とアクセスルートを示す。

防火帯については、斜面崩壊に伴い防火帯に可燃物が流入し、延焼防止機能に影響がある場合は、機能の低下を想定する。

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

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

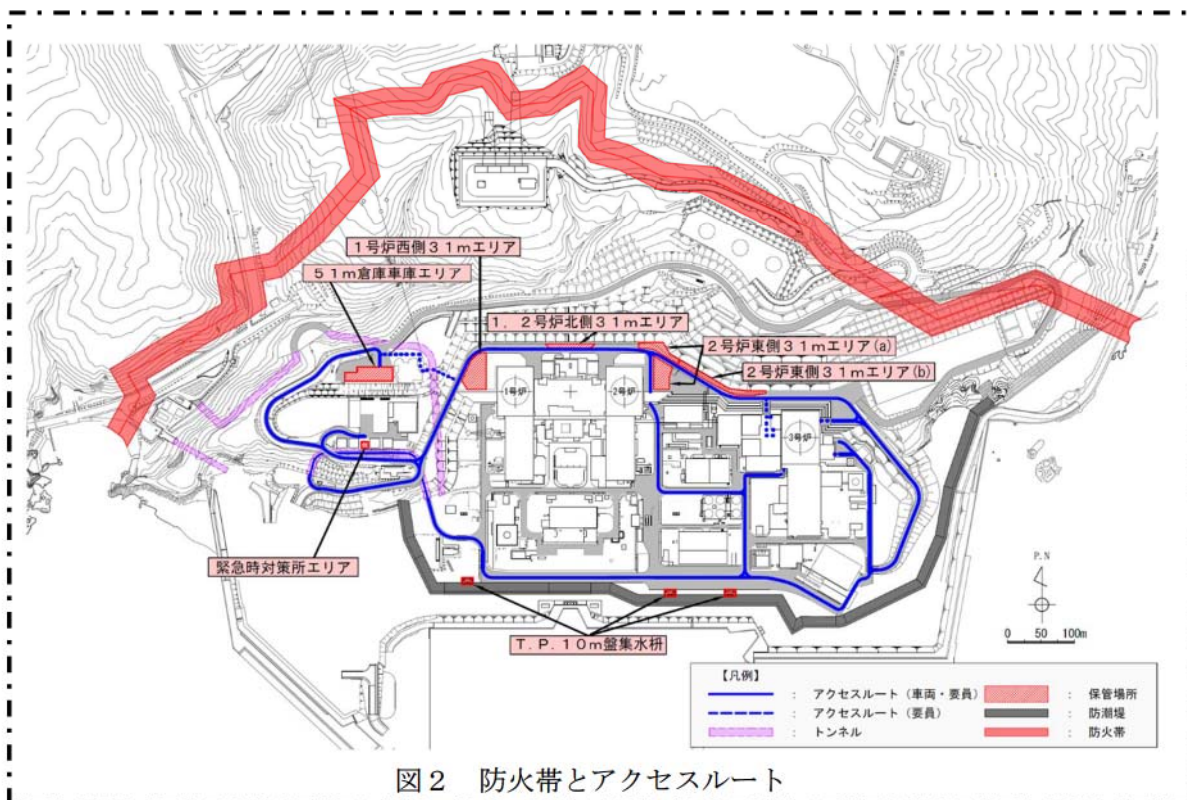


図2 防火帯とアクセスルート

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反映のため)

## 防火帯内植生による火災について

図1に防火帯付近の現状の植生調査結果（平成30年8月）を示す。原子炉施設及び重大事故等対処設備の周囲の植生は一部が落葉広葉樹であるものの大半が短い草で火線強度が低くなる植生であり、防火帯内の植生による原子炉施設及び重大事故等対処設備に対しての影響はない。

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

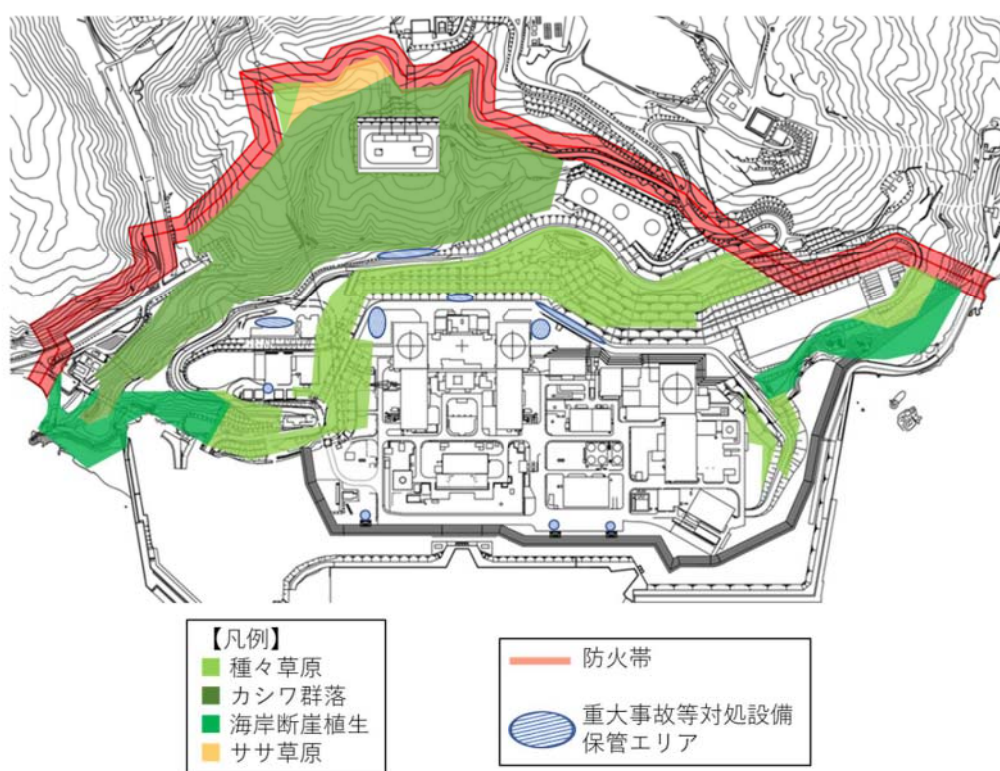


図1 防火帯付近の植生調査結果

## 森林火災影響評価に関するデータの最新データについて

## 1. はじめに

発電所敷地外で発生する森林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）の気象データ等を入力データとして、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、気象データ等が更新されていることから、その影響について確認することとする。

## 2. 森林火災影響評価入力データの更新による影響

表 1 に示す項目についてデータが更新されているが、気温・湿度・風速データが緩和されており、FARSITE による再解析の必要はない。

表 1 森林火災影響評価入力データの更新

項目	2013 年評価	最新データ	備考
基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ	2009 年	2016	2016 年 10 月 1 日にデータ更新があったが、発電所周辺で大規模な土地改変がないことを確認済み
北海道における 森林火災多い月	4 月から 6 月 (1993～2012 年)	4 月から 6 月 (2012～2021 年)	下表参照
気温	30.0℃ 2012 年 6 月 30 日 (2003～2012 年)	29.6℃ 2014 年 6 月 5 日 (2013～2020 年)	
湿度	13% 2003 年 4 月 22 日 (2003～2012 年)	14% 2016 年 5 月 15 日 2019 年 4 月 1 日 (2013～2020 年)	
風速	29.7m/s FARSITE 入力上限	25.5m/s 2020 年 4 月 21 日 (2013～2020 年)	

月別出火件数（「令和 3 年 林野火災被害統計書」北海道水産林務部より）

月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
件数	0	3	5	112	71	21	16	8	8	2	0	2

## FARSITE 入力条件の適切性について

## 1. 気象条件の適切性について

森林火災の評価に用いた気象データについては以下のとおりである。FARSITE の入力条件については、2003 年から 2012 年の 10 年間の気象データのうち、森林火災の発生件数の多い 4 月から 6 月までの厳しい条件を選定した。

## (1) 風向

10 分間の 6 秒(Z 点については 5 秒) 周期収集風向の最多風向を 10 分値としている。1 時間値は、毎正時前 10 分間の最多風向を正時の風向として統計整理している。発火点 1 の評価には 1 時間値の最多風向である東風を採用した。

## (2) 風速

6 秒(Z 点については 5 秒) 周期収集風速の 10 分平均値を 10 分値としている。正時前 10 分間の平均値を正時の 1 時間値としている。

評価には、1 時間値の最大風速を採用した。瞬時値は 1 時間値より大きくなるが、火災の継続時間が 5 時間以上あることから 1 時間値を採用するのは保守的である。また、FARSITE において風速に入力できる最大値は 100km/h(27.8m/s)であり、これ以上については 100 km/h を入力している。

最大風速 29.7m/s は 2010 年 4 月 14 日に出現している。したがって、FARSITE には 100km/h を入力している。最大風速 29.7m/s は 100km/h を上回っているが、火災の継続時間中 100km/h を入力することに保守性があるほか、ほかの項目にも大きな保守性があることから解析全体としての保守性は保たれている。

## (3) 気温

気温の最大値を採用した。最大値は 6 秒周期収集の最大値である。また最高気温 30.0℃は 2012 年 6 月 30 日に出現している。

なお、6 秒周期収集の 10 分平均値を 10 分値としている。正時前 10 分間の平均値を正時の 1 時間値としている。

## (4) 湿度

湿度の最小値を採用した。最小値は 6 秒周期収集の最小値である。また、最小湿度 13%は 2003 年 4 月 22 日に出現している。



なお、6秒周期収集の10分平均値を10分値としている。正時前10分間の平均値を正時の1時間値としている。

これらは、同時に出現しておらず、また気温および湿度に関しては瞬時値を使用していること、最大風速についてはFARSITEの入力上限である100km/h(27.8m/s)を入力している。

加えて、発火点2で最大火線強度を示している点は風向に対して直角をなす谷にあり、地形に係らず標高の高い地点での10年間の最大風速を一様に適用している点にも保守性がある。

参考に選定した最高気温等が出現した前後のデータを添付1に示す。添付1はいずれも1時間値であるため、瞬時値を採用した気温および湿度については、採用した値は添付1からは読み取れない。

## 2. 解析の開始時間について

添付2「解析開始時間について」のとおり、火線強度が最大となるよう、解析の開始時間に係わる感度解析を実施し、開始時間を適切に設定している。

## 3. 植生の適切性について

発電所周辺の植生に応じて適切にFARSITE入力条件を設定している。

### (1) 森林簿データを使用した設定

針葉樹については林齢で10年毎にグルーピングし、森林簿データを使用し可燃物量を設定している。落葉広葉樹は一般に高齢で下草の状況は林齢によってほとんど変わらないこと、林床のササの繁茂は考慮せず、高木に加え草や灌木が存在する状況を想定して、可燃物量が多いデータを設定している。

### (2) 泊発電所周辺の植生データ

泊発電所周辺の植生データは林齢情報が得られてないため、針葉樹については火線強度がもっとも大きくなる独自設定した「トドマツ+その他針葉樹(林齢10年生未満)」を適用する。落葉広葉樹については森林簿データと同じデータを適用する。その他の植生についてはFARSITEのデフォルトパラメータの中から適切な可燃物パラメータを選択している。

### (3) 土地利用データを使用した設定

泊発電所周辺の植生データは林齢情報が得られてないため、森林については火線強度がもっとも大きくなる独自設定した「トドマツ+その他針葉樹(林齢10年生未満)」を適用する。また、田、その他の農用地はTall Grass、荒地はBrushとした。

## 最高気温等が出現した前後のデータ

2012年6月30日 気温 30.0℃記録日 気象データ (1時間値)

時刻	Z点風速[m/s]	A点風速[m/s]	気温[℃]	湿度[%]
1時	7.6	7.6	16.4	74
2時	1.9	1.9	15.7	76
3時	2.0	2.0	15.0	82
4時	5.6	5.6	14.1	80
5時	5.9	5.9	13.8	83
6時	4.7	4.7	15.3	77
7時	4.0	4.0	17.7	68
8時	4.3	4.3	20.9	59
9時	0.9	0.9	19.7	67
10時	2.5	2.5	24.5	55
11時	2.7	2.7	26.7	49
12時	4.0	4.0	28.6	36
13時	2.1	2.1	27.4	43
14時	2.5	2.5	28.9	36
15時	3.8	3.8	27.7	38
16時	2.2	2.2	25.2	49
17時	4.7	4.7	25.7	45
18時	2.3	2.3	24.6	45
19時	8.3	8.3	23.8	49
20時	11.0	11.0	22.3	56
21時	9.4	9.4	21.5	55
22時	9.6	9.6	21.0	54
23時	11.9	11.9	20.9	52
24時	9.4	9.4	20.4	54

2003年4月22日 湿度13%記録日 気象データ (1時間値)

時刻	Z点風速[m/s]	A点風速[m/s]	気温[°C]	湿度[%]
1時	1.7	1.3	2.0	81
2時	0.9	2.2	1.4	82
3時	1.1	2.6	1.8	79
4時	2.5	3.0	2.3	78
5時	2.6	2.4	2.5	77
6時	2.3	2.9	1.9	82
7時	1.4	1.5	4.7	77
8時	1.6	1.4	6.6	73
9時	1.9	1.0	7.8	66
10時	1.9	2.5	8.9	45
11時	3.4	5.4	10.1	欠測
12時	3.7	4.7	10.2	21
13時	3.8	4.4	10.8	欠測
14時	5.8	5.8	11.0	31
15時	8.4	7.3	10.7	55
16時	6.0	6.1	10.4	62
17時	4.0	5.7	9.5	63
18時	4.7	9.2	9.1	65
19時	6.8	11.4	8.8	60
20時	6.2	11.4	8.8	59
21時	6.1	9.5	8.9	62
22時	4.9	8.0	8.7	58
23時	4.3	6.7	7.8	62
24時	3.4	5.8	8.1	50

2010年4月14日 風速 29.7m 記録日 気象データ (1時間値)

時刻	Z点風速[m/s]	A点風速[m/s]	気温[°C]	湿度[%]
1時	15.8	23.7	2.9	47
2時	18.1	29.6	2.5	57
3時	17.6	26.9	2.1	57
4時	16.5	26.3	0.9	72
5時	17.3	25.8	1.1	72
6時	16.4	25.4	1.9	65
7時	16.6	26.1	1.5	77
8時	17.2	27.6	2.0	76
9時	17.4	27.2	3.1	67
10時	18.2	29.7	3.1	64
11時	17.7	29.6	3.2	59
12時	18.0	29.2	3.3	63
13時	18.7	29.5	3.5	58
14時	18.3	25.9	3.2	59
15時	17.4	24.4	3.2	59
16時	16.2	26.5	3.0	56
17時	16.1	22.8	2.8	54
18時	15.7	21.0	2.9	49
19時	15.0	19.4	3.0	50
20時	15.1	18.1	2.8	50
21時	14.2	16.8	2.7	49
22時	14.5	17.0	2.5	49
23時	14.1	16.5	2.3	48
24時	14.4	16.2	2.2	50

## 解析開始時間について

FARSITE の解析においては、日照により可燃物の水分量変化を計算していることより、日照が解析の結果に影響を与えることが知られている。発火点 1，発火点 2 において最大火線強度および最大火炎輻射強度を示した地点において、解析開始時間の妥当性を確認するために以下の感度解析を実施した。

## 1. 最大火線強度に関する考察

日照の影響は正午前後に影響が大きくなると考えられる。しかしながら、発火点 2 で最大火線強度を示した地点では南東方向に大きく傾斜していることから日照の影響が最大となる時刻が早まることが推定される。

このことを確認するため、まず解析時間を要しない広葉樹で解析を実施する。地形への影響を排除するため、それぞれ発火点 1，2 の予備解析で火線強度最大となった点の傾斜をもった広葉樹の平面を準備し、それぞれの風向を考慮し解析を実施する。

気象条件：泊発電所の森林火災と同条件

風速 100km/h

気温 30.0°C

湿度 13%

それぞれ発火点 1，2 の予備解析で火線強度最大となった点およびその際の風向を考慮し、2 ケース実施する。

表 1 感度解析その 1

	風向	傾斜方向	傾斜角度
ケース 1 (発火点 1)	90° (東)	222° (南西)	15°
ケース 2 (発火点 2)	315° (北西)	139° (南東)	24°

結果は図 1，2 に示す。いずれの場合も 12 時前後が厳しい結果となったが、ケース 2の方が若干、火線強度がピークを示す時間が早くなっていることが確認できた。以上を踏まえ感度解析その 1 と同様に地形の効果を見せず、傾斜方向と風向は考慮し、火線強度最大となった点での可燃物である tall grass 及び chaparral の平面を準備し、以下の解析を実施した。

表 2 感度解析その 2

	風向, 傾斜方向角度	可燃物	開始時間
ケース 3 (発火点 1)	表 1 のとおり	tall grass	10 時, 12 時, 14 時
ケース 4 (発火点 2)	表 1 のとおり	chaparral	8 時, 10 時, 12 時

結果を図3，図4に示す。ケース3については，10時開始と12時開始が同程度であることから，現在の発火点1の火線強度最大値が11時41分に出現していることは妥当と考える。

また，ケース4については8時開始と10時開始と同程度の結果であることより，泊発電所の地形および植生で次表のとおり3ケース開始時間を変更した解析を実施した。

表3 感度解析その3

開始時間（着火時間）	防火帯到達時間	火線強度最大値
7時00分	8時02分	96,712[kW/m]
8時00分	8時52分	114,908[kW/m]
9時00分	10時24分	85,929[kW/m]

その結果現在の発火点2の開始時間8時00分の保守性が確認できた。

## 2. 最大火炎輻射強度に関する考察

前述の火線強度の場合と同様に，地形の影響により日照の影響が最大となる時刻が早まることを確認するため，まず解析時間を要しない広葉樹で解析を実施した。具体的には，地形への影響を排除するため，火線強度の場合と同様に発火点2の予備解析で火線強度最大となった点の傾斜をもった広葉樹の平面を準備し，それぞれの風向を考慮し解析を実施した。解析条件を以下に示す。

気象条件：泊発電所の森林火災と同条件

風速 100km/h

気温 30.0℃

湿度 13%

表4 感度解析その4

	風向	傾斜方向	傾斜角度
ケース5（発火点2）	315°（北西）	139°（南東）	24°

結果を図5に示す。その結果，12時前後が厳しい結果となったが，若干，火炎輻射強度がピークを示す時間が早くなっていることが確認できた。

次に，感度解析その2と同様に地形の効果を無視し，傾斜方向と風向は考慮し，火炎輻射強度最大となった点での可燃物である chaparral の平面を準備し，火炎輻射強度に関する以下の解析を実施した。

表5 感度解析その5

	風向, 傾斜方向角度	可燃物	開始時間
ケース6 (発火点2)	表1のとおり	chaparral	8時, 10時, 12時

解析結果を図6に示す。解析結果において8時開始と10時開始と同程度の結果であったことより、泊発電所の地形および植生で次表のとおり3ケース開始時間を変更した解析を実施した。

表6 感度解析その6

開始時間 (着火時間)	防火帯到達時間	火炎輻射強度最大値
7時00分	8時02分	833 [kW/m <sup>2</sup> ]
8時00分	9時14分	977 [kW/m <sup>2</sup> ]
9時00分	10時26分	1,001 [kW/m <sup>2</sup> ]

その結果、開始時間8時00分および9時00分の解析結果は、感度解析その5の最大値とほぼ同等の値 (1,001kW/m<sup>2</sup>) を示すことが分かった。

今回の熱評価では、開始時間8時00分の結果である977kW/m<sup>2</sup>に余裕をみた1,200kW/m<sup>2</sup>の値を使用して評価を行っている。そのため本熱評価は、十分に保守的な評価であることが確認できた。

以上

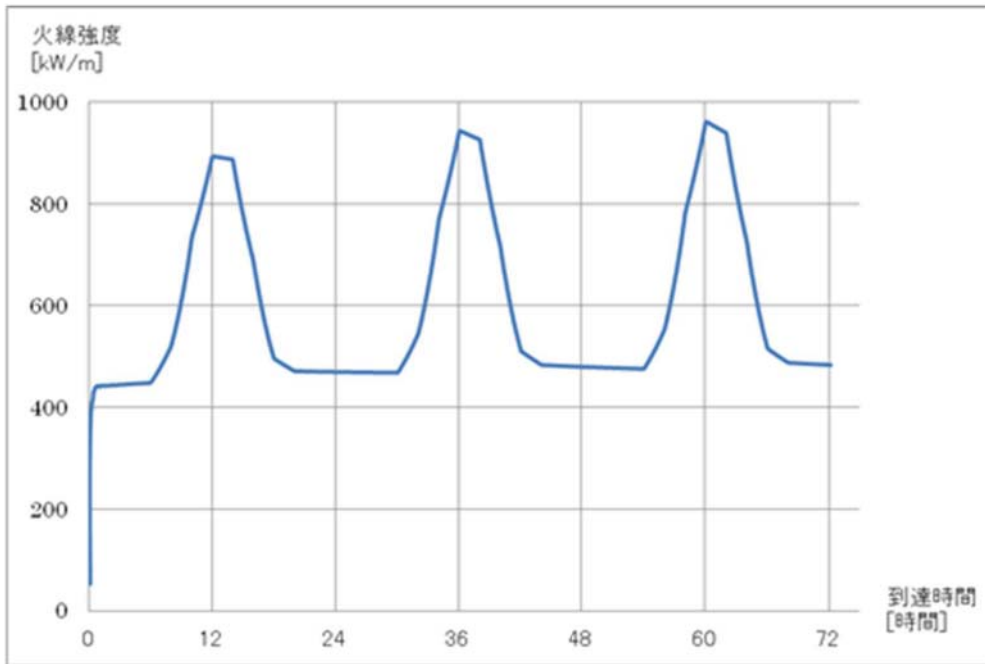


図1 到達時刻の影響 (ケース1 広葉樹)

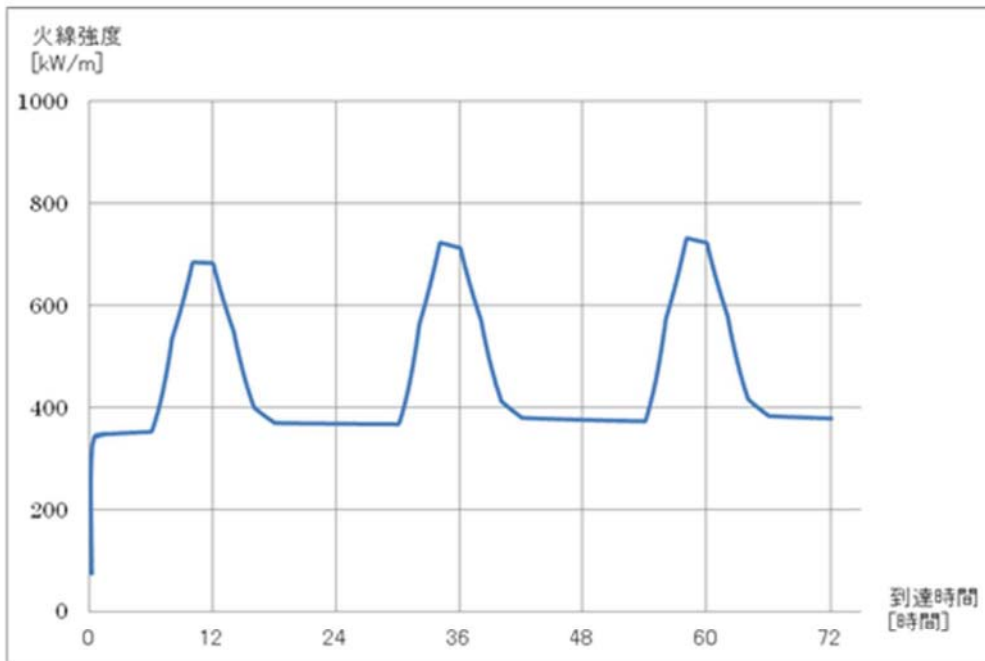


図2 到達時刻の影響 (ケース2 広葉樹)



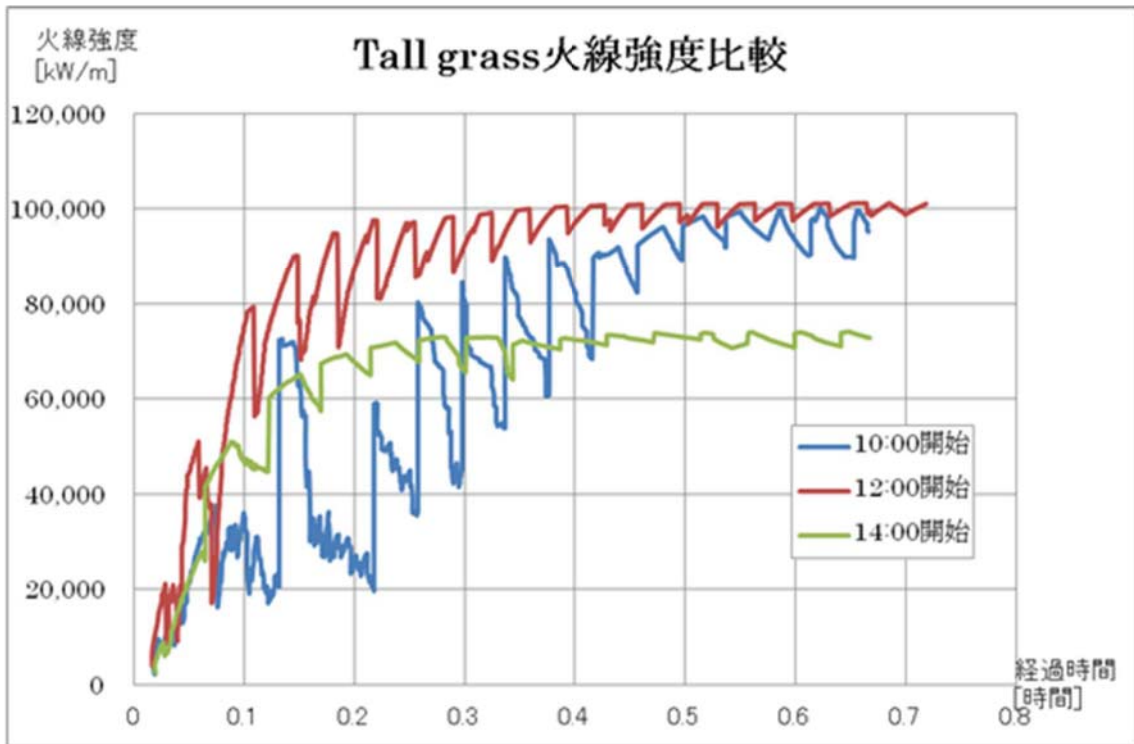


図3 火線強度に関する到達時刻の影響 (ケース3 tall grass)

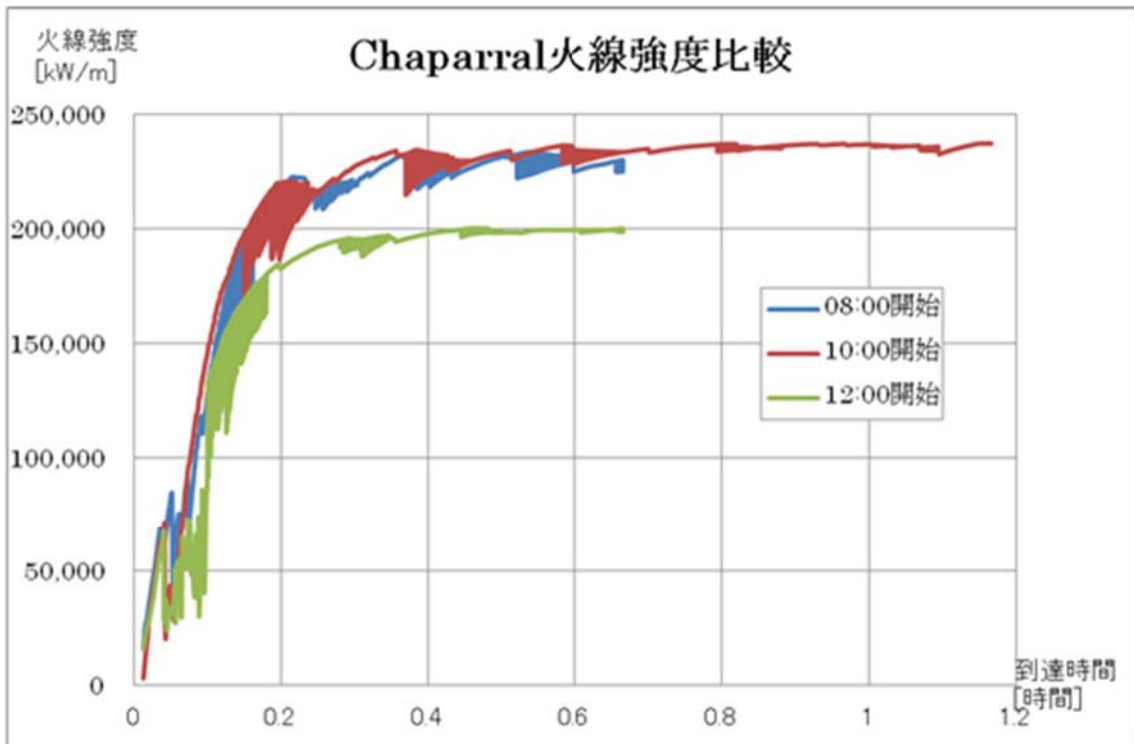


図4 火線強度に関する到達時刻の影響 (ケース4 chaparral)

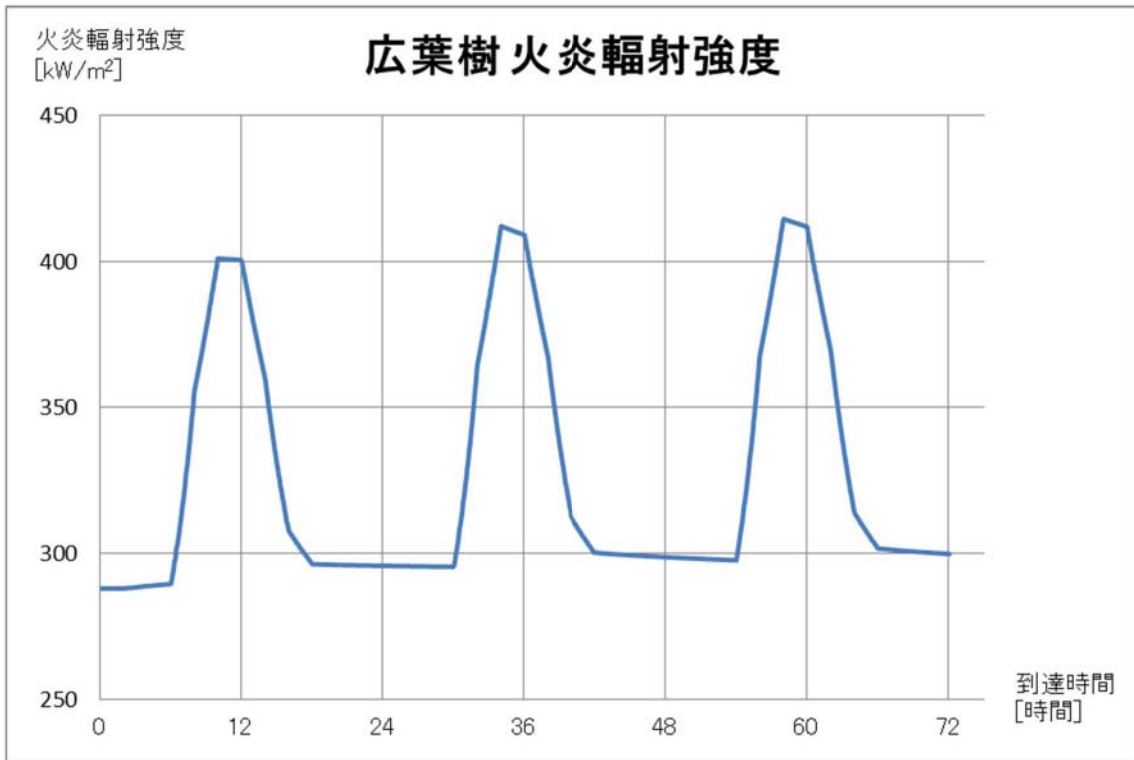


図5 火炎輻射強度に関する到達時刻の影響 (ケース5 落葉広葉樹)

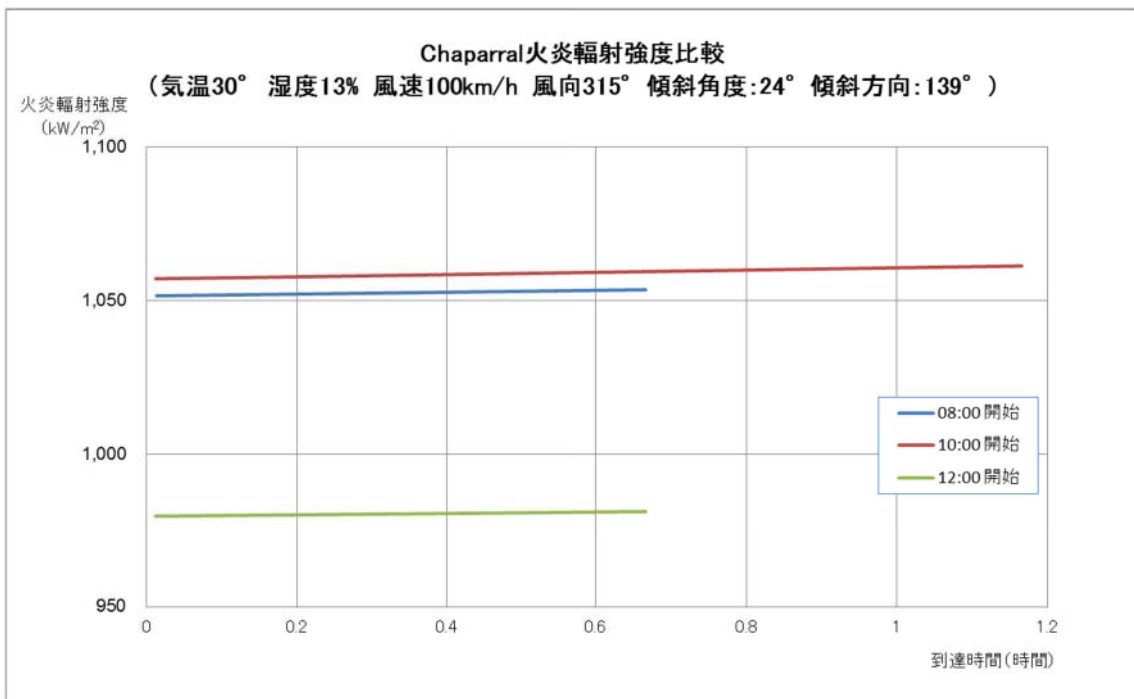


図6 火炎輻射強度に関する到達時刻の影響 (ケース6 chaparral)

## 防火帯の設定について

防火帯は森林火災評価結果に基づき、図1に示すとおり地点毎に20m, 25m, 46m幅を設定している。防火帯幅が46m及び25mの地点について、風向、傾斜及び植生を考慮した防火帯の設定の考え方について以下に示す。

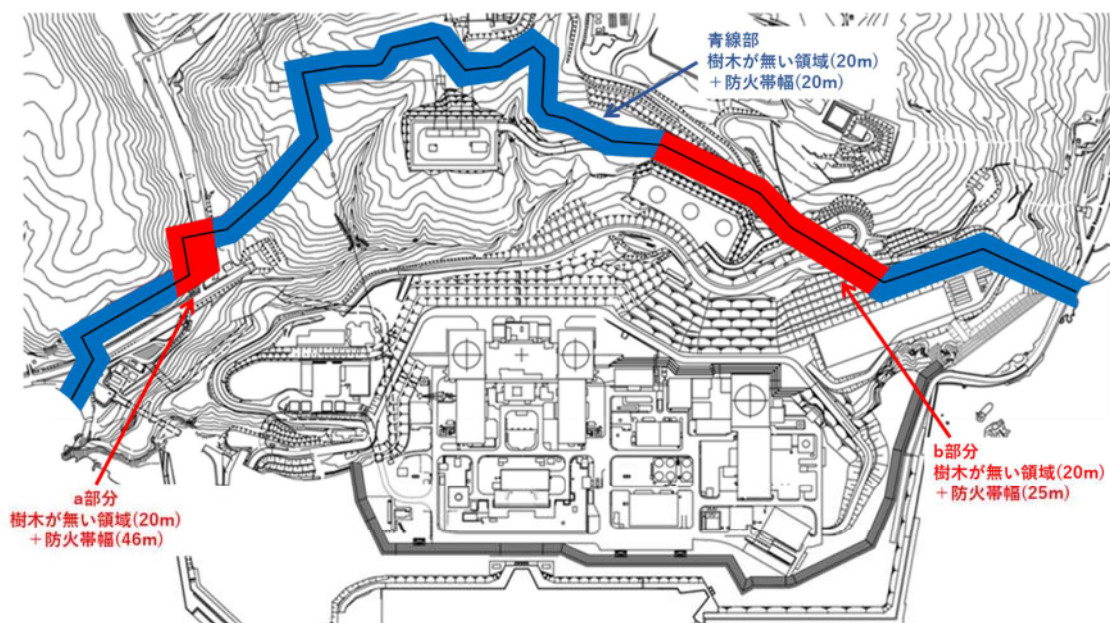
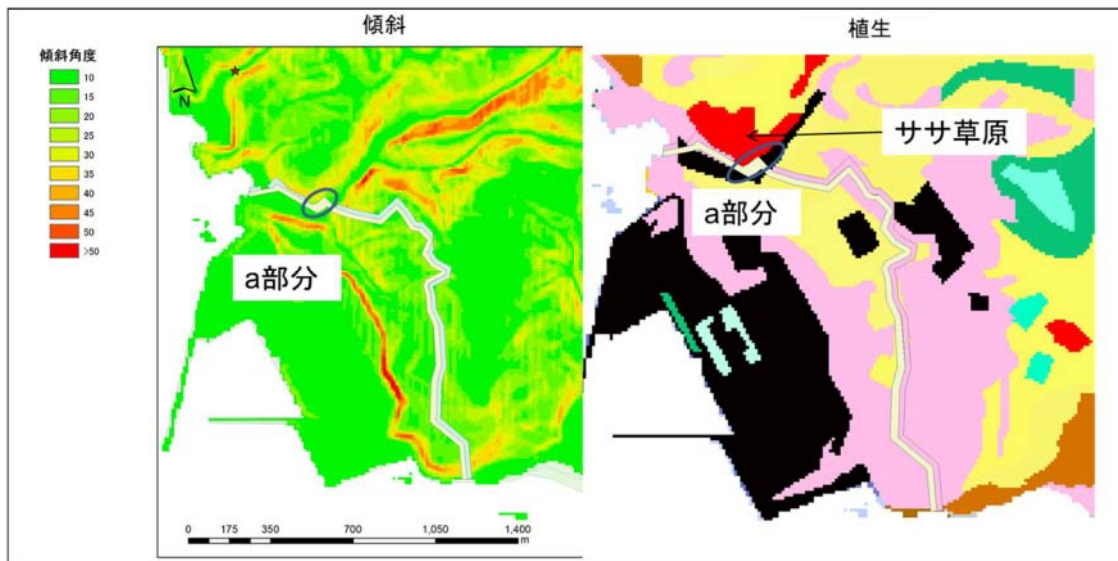


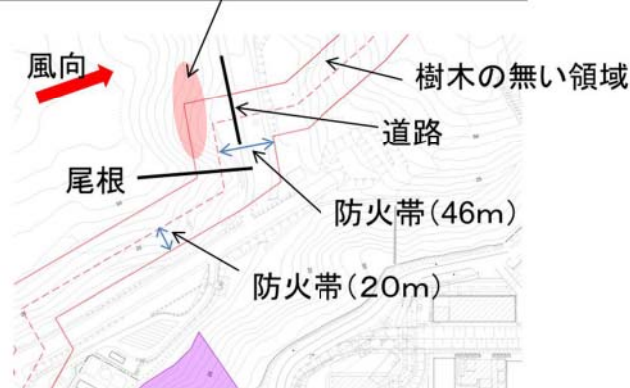
図1 防火帯位置

### 1. 防火帯幅 46m の部分

ササ草原かつ斜面に面し火線強度があがりやすいa部分については、約55mにわたって、評価上必要とされる防火帯幅45.3mに対し、46mの防火帯を確保する。ただし、火線強度が大きくなった部分は、尾根や道路により分断されているため、分断されている場所ごとに対して必要な防火帯幅を設定する。(図2)



植生を踏まえchaparralを設定、斜面で  
あり火線強度が大きい  
火線強度 >100,000kW/m



発火点2

図2 防火帯 a部分

## 2. 防火帯幅 25m の部分

風上に針葉樹等を擁し火線強度が上がりやすい b 部分については、約 400m にわたって、評価上必要とされる防火帯幅 18m に対し、余裕をもたせ 25m の防火帯を確保する。なお、図 3 に示す c 部分は風力発電所跡地であり火線強度のあがらない領域を風上に擁しているため、d 部分は擁壁の部分に tall grass の植生を仮定する保守的な仮定をおいて解析を実施しているため防火帯幅を積み増さない。

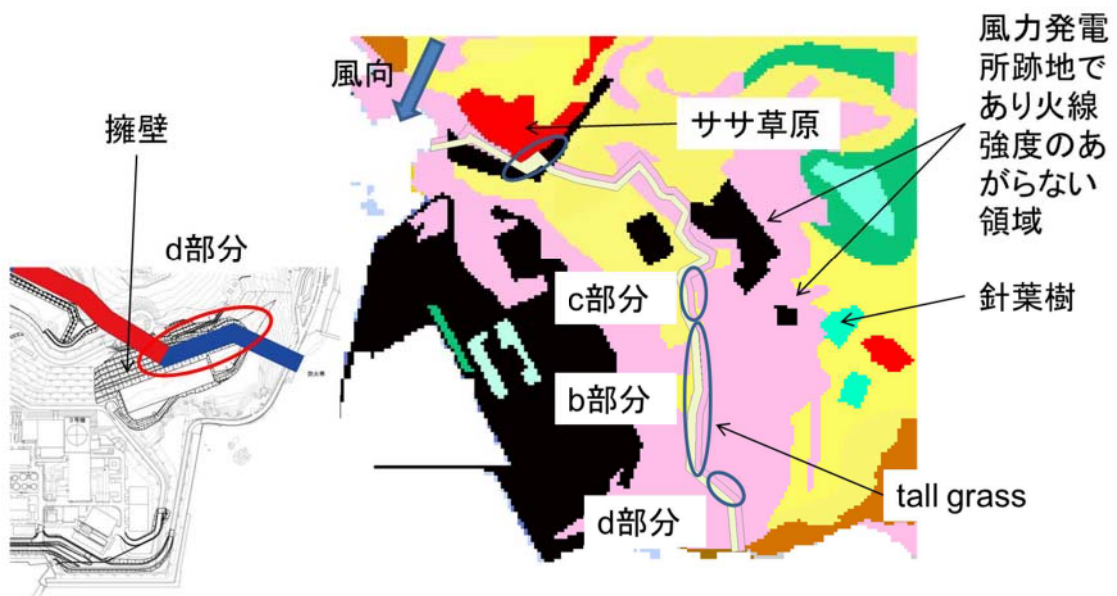


図3 防火帯 b 部分

表 1 主な FARSITE 入力パラメータ一覧表(1/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載	入力データ	保守性
	標高	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの標高データを用いる。 傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ)	基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュを入力	-
	傾斜角		標高データから計算した傾斜角を入力	-
	傾斜方向		標高データから計算した傾斜方向を入力	-
入力 ファイル	土地 利用 データ	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 100m メッシュの土地利用データを用いる。(国土数値情報 土地利用細分メッシュ)	国土数値情報の 100m メッシュの土地利用データを入力	-
	可燃物  植生 データ	現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。 森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。	植生データは、北海道より入手した森林簿の情報を基に発電所周辺の植生調査を実施し、その結果から保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を林種・林齢によりさらに細分化して入力 植生の保守性は以下のとおり ・ マツ 発電所周辺の植生調査結果を踏まえ、保守的に林齢を 10 年生未満として入力 ・ 田及びその他農用地 Grass を保守的に燃えやすい Tall grass を保守的に入力 ・ 荒地 保守的に Brush として入力	◎

保守性の凡例：○はガイドによる保守性，◎は自主的な保守性

表1 主なFARSITE入力パラメータ一覧表(2/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ		保守性	
入力 ファイル	樹冠率	-	-	森林に該当するカテゴリ 3 (50~80%)および4 (81~100%)の中から、火線強度が強くなるカテゴリ 3を設定		◎	
	樹高	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力		-	
	樹冠下高	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力		-	
	樹冠かさ密度	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力		-	
	評価対象範囲	-	評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を10km以内としたことにより、植生、地形等を評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕を見て南北12km, 東西12kmとする。	植生、地形等を評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕を見て南北13km, 東西13kmとして設定。		-	
その他 入力 ファイル	Fuel 水分初期値	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力		-	
	降水量	-	-	降水があると可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に0mmを設定		◎	
	最高気温	-	-	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月(4月~6月)の最高気温を過去10年間確認し、その中で最高気温である30.0℃を入力		○	
	最低気温	-	-	最低気温については、保守的に上記の最高気温を入力		○	
	最高湿度	-	-	最高湿度については、保守的に下記の最低湿度を入力		○	
	最低湿度	-	-	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月(4月~6月)の最小湿度を過去10年間確認し、その中で最小湿度である13%を入力		○	
	観測標高	-	-	観測高さ0mを入力		-	

表 1 主な FARSITE 入力パラメータ一覧表(3/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ	保守性
その他 入力 ファイル	風向	風向は卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。ただし、発火源が発電所の位置関係から風向きを卓越風向に設定することが困難な場合は、風向データを等から適切に設定できるものとする。		各発火点から泊発電所3号機へ向かう風向	◎
	風速	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。		火災の延焼および規模に影響を与えることから、森林火災の発生件数の多い月(4月～6月)の最大風速(10分間平均風速の最大値)を過去10年間確認し、その中で最大風速は29.7m/sであったが、FARSITEに入力可能な最大値100km/h(27.8m/s)を入力。火災の継続時間中、標高の高い地点での風速を一律に適用している点において保守性を有している。	○
	雲量	-		日射量が可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に0%を設定	◎
	緯度	-		日射量が可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に日射量が最も多くなる赤道直下を設定	◎
その他	発火点位置	発電所からの直線距離10kmの間で設定する。発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。さらに、必要に応じて想定発火点を考え評価する。		人為的行為を考え、道路脇の畑及び集落と森林の境界部の発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定。	-



## 初期消火要員常駐場所の妥当性について

発電所構内に自衛消防隊の初期消火要員（11名）が防火帯内側に24時間常駐している。予防散水活動の実施にあたり、初期消火要員常駐場所の妥当性について、以下に示す。

## 1. 常駐場所及び人数

初期消火要員	常駐場所	防火帯内外	人数
連絡者	3号機中央制御室	内	1名
通報者	総合管理事務所	内	1名
現場指揮者	総合管理事務所（就業時間帯） 3号機中央制御室（夜間・休日）	内	1名
消火担当	51m倉庫・車庫	内	3名
消火補助担当	中央警備所	内	2名
案内誘導担当	茶津守衛所	内	1名
消防車操作担当	51m倉庫・車庫	内	2名
合計			11名

## 2. 常駐場所の妥当性

3号機中央制御室、総合管理事務所、中央警備所、茶津守衛所及び51m倉庫・車庫は、防火帯の内側に配置しており、森林火災による延焼防止が図られていることから、予防散水活動に問題が生じることはない。

表 1 各設備の温度評価条件一覧表(1/2)

初期条件		設定根拠		評価上の保守性
建屋外壁表面温度	対流による放熱	なし	保守的に放熱効果は考慮しない	
	輻射による放熱	なし		
外壁初期温度		50℃	建屋内の最高設計温度である 50℃がコンクリート壁内に均一に分布したとして設定。	<ul style="list-style-type: none"> <li>外壁初期温度を外気温や日射の影響を考慮した建屋外壁表面の最高温度約 45℃より保守的に高めに設定。</li> </ul>
コンクリート密度		2,400 kg/m <sup>3</sup>	普通コンクリートの最大値 (出典：日本建築学会鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説)	
コンクリート比熱		963 J/kg・K	普通コンクリートの最大値 (出典：日本建築学会原子炉建屋構造設計 指針・同解説)	
コンクリート熱伝導率		1.74 W/m・K	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 1)	
火炎継続時間		0.021 h	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2)	
<p>評価モデル</p> <p>※1：天井スラブは外壁よりも火炎源からの距離が遠いことから、外壁の評価に包絡される。          ※2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。</p>				

表 1 各設備の温度評価条件一覧表(2/2)

排気筒温度	初期条件	設定根拠	評価上の保守性
	外表面の吸収率 1.0	保守的に輻射による放熱は考慮しないものとして設定	・排気筒表面の吸収率を保守的に1.0としている。
	輻射強度 (最大) 312W/m <sup>2</sup> 693W/m <sup>2</sup>	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 1) FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2)	
	熱伝達率 17 W/m <sup>2</sup> ・K	垂直外壁面の夏季の値 (出典：空気調和・衛生工学便覧)	・排気筒初期温度を保守的に高めに設定。
	初期温度 50℃	建屋外壁の初期温度 50℃を考慮し保守的に設定	
	評価モデル <div style="text-align: center;"> <p>火災による輻射熱E</p> <p>火災源</p> <p>排気筒</p> <p>表面の境界条件                      — : 受熱                      — : 放熱                      - - : 断熱</p> </div>		

### 防火帯の法面保護対策について

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

- ・モルタル吹付工

岩盤の風化，雨水の地山への浸透による浸食や崩壊の発生，小規模な落石の恐れがあるため，モルタルにより全面の法面を被覆する。



図1 防火帯モルタル吹付工の施工例

アクセスルートへの影響評価について

1. 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置について

原子力発電所敷地外で発生する森林火災が発電所に迫った場合においても、原子炉施設（安全機能を有する構築物、系統及び機器）に影響を及ぼさないよう防火帯を設定している。

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

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

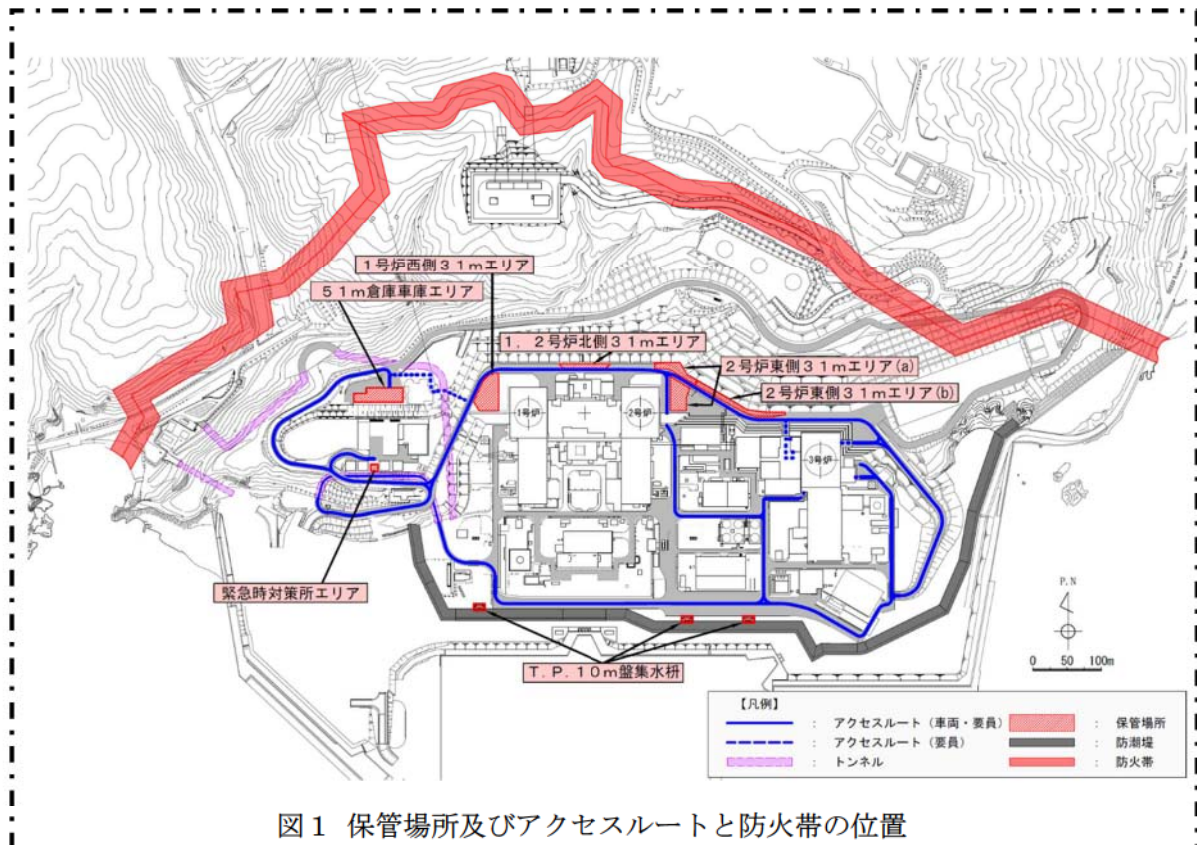
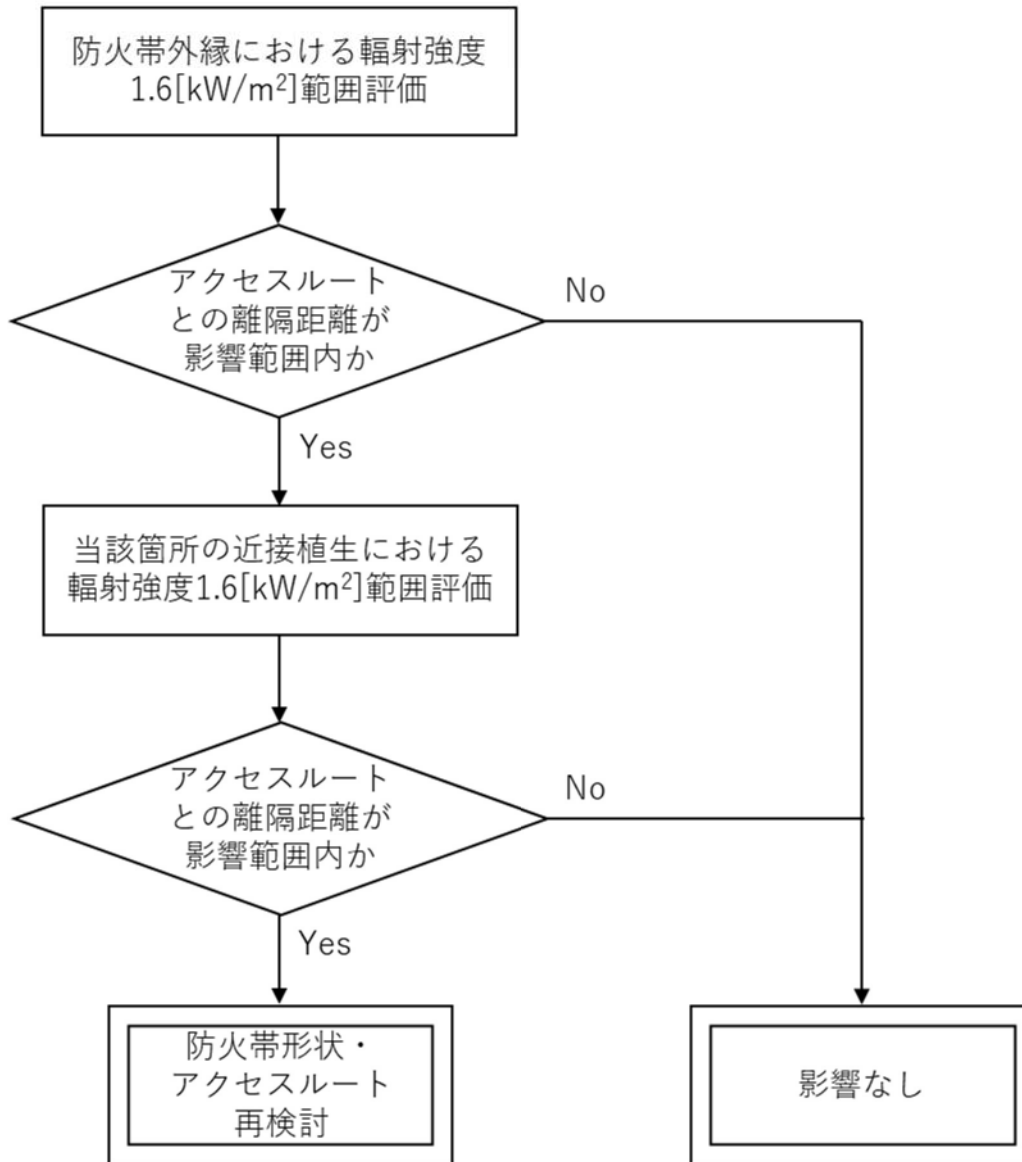


図1 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置

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反映のため)

## 2. アクセスルートに対する森林火災影響について

森林火災によりアクセスルートが「長時間さらされても苦痛を感じない強度」である輻射強度  $1.6\text{kW/m}^2$ <sup>※1</sup> 以下となることを図2のフローにより確認する。



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

図2 森林火災影響評価フロー

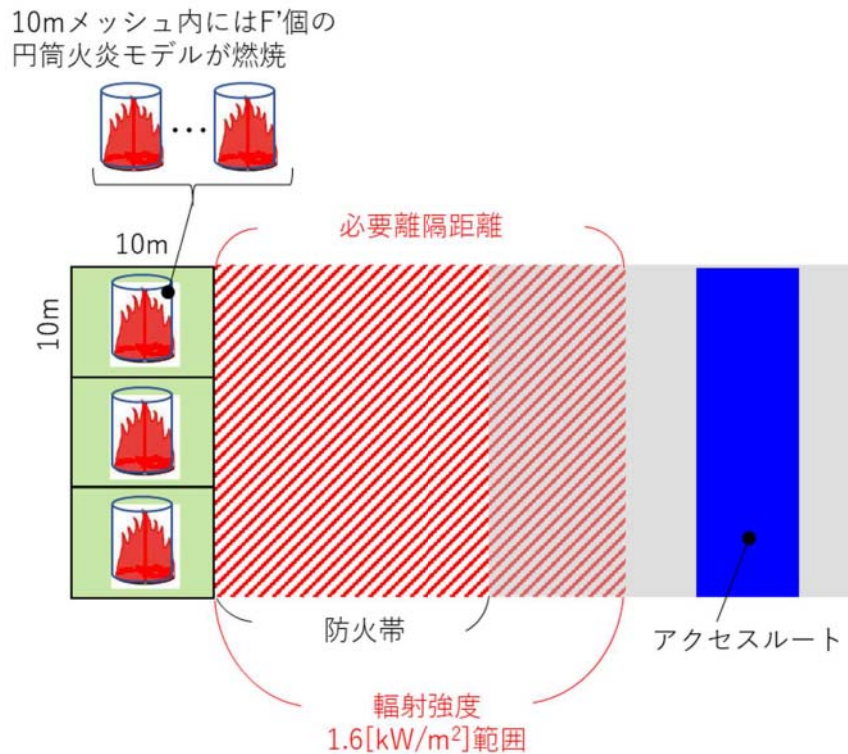


図3 森林火災影響評価概要図

(1) 必要離隔距離評価の流れ

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

a. 円筒火炎モデル数の算出

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

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

H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m]

b. 火炎輻射強度の算出

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

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

c. 必要離隔距離の算出

輻射強度 E が 1.6[kW/m<sup>2</sup>]となる形態係数Φを式1より算出する。

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

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), F' : 円筒火炎モデル数(10m メッシュ),  
R<sub>f</sub> : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>), Φ : 形態係数

式1で求めた形態係数Φとなる必要離隔距離Lを式2より算出する。

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

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

H : 火炎長, R : 燃焼半径, L : 離隔距離 (m)

(2) 評価結果

それぞれの発火点における必要離隔距離について表1のとおり算出した。

表1 必要離隔距離算出結果

発火点	最大火炎輻射発散度 [kW/m <sup>2</sup> ]	火炎長 [m]	円筒火炎 モデル数	必要離隔距離 [m]
1	1,200	1.63	9.3	63.0
2	1,200	3.62	4.2	94.1

以上の評価により最大必要離隔距離が発火点2における94.1mであったことから、防火帯外縁からアクセスルートが必要離隔距離を確保されているかを確認した結果、94.1m以上の離隔距離を確保していることから、森林火災によるアクセスルートへの影響はないことを確認した。なお、可搬型重大事故等対処設備保管場所についても防火帯外縁から94.1m以上の離隔距離を確保していることから、森林火災による影響はないことを確認した。



石油コンビナート等の火災・爆発について

## 1. 目的

本評価は、発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が泊発電所に隣接する地域で起こったとしても原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価する。

## 2. 石油コンビナート等の火災・爆発影響評価

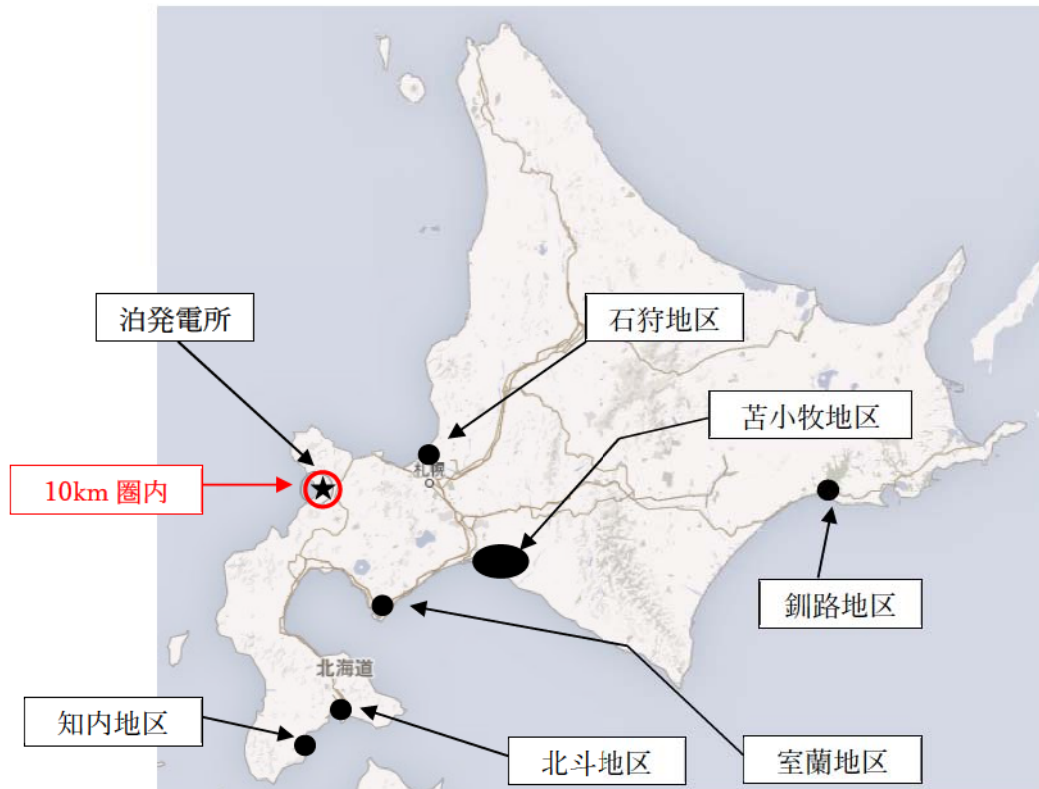
### (1) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外の半径 10km 圏内に存在する石油コンビナート等とする。なお、石油コンビナート等とは、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所とする。

### (2) 評価結果

石油コンビナート等災害防止法により規制される北海道内の特別防災区域は「釧路地区」「苫小牧地区」「石狩地区」「室蘭地区」「北斗地区」「知内地区」の六箇所が存在するが、これらは、図 3-1 に示すとおりいずれの区域も泊発電所から約 70km 以上離れており、泊発電所から 10km 圏内に該当する箇所はない。また、発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。なお、発電所と最短距離にあるガスパイプラインは小樽地区であり、発電所から約 40km 離れていることを確認した。

以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



注) 図の位置は、おおよその場所を表している。

図 3-1 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

### 3. 石油コンビナート等以外の火災・爆発影響評価

発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等（危険物貯蔵施設，高压ガス貯蔵施設）を抽出した。抽出の結果，危険物貯蔵施設は第四類危険物貯蔵施設のみが多数存在することから，火災影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。また，高压ガス貯蔵施設は 1 箇所のみであった。なお，危険物貯蔵施設等については岩内・寿都地方消防組合消防本部，事業者を確認した。

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

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

※2 算出方法は別紙-1 参照

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

表 3-1 発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設

--

a. 危険物貯蔵施設の火災影響評価

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

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

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

上記の危険物貯蔵施設による熱影響評価を実施したところ、危険距離は109m（最大）であり、泊発電所との距離1,450m よりも小さいことを確認した。

よって、発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても泊発電所への影響はない。

表 3-2 10km 圏内における評価対象の危険物貯蔵施設の貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[kL]
灯油	
ガソリン	



図 3-2 危険物貯蔵施設位置

(a) 評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

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

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。

表 3-3 評価条件

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

\* 1 : 対象施設は地下タンク貯蔵所であり、防油堤を持たない構造であるため、燃焼面積はガソリンスタンドの敷地面積と等しいとした

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

\* 3 : 評価ガイド付属書 B 記載値

(b) 燃焼半径の算出

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

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

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

R : 燃焼半径 (m), S : 燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

表 3-4 危険物貯蔵施設の燃焼半径

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

(c) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>)

R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>・s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

[ ] 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。

表 3-5 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

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

(d) 建屋外壁に対する危険距離評価

i. 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

ii. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を表 3-6 に示す。

表 3-6 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
ガソリン スタンド	1,450	1,500	1,500	1,600

iii. 判断の考え方

(i) 危険放射強度

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

(ii) 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の放射強度で外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面 (x=0) の温度が 200℃となる放射強度を危険放射強度として算出する。

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

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。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T：許容温度(200[°C])，T<sub>0</sub>：初期温度(50[°C])，E：輻射強度(W/m<sup>2</sup>)  
 α：コンクリート温度拡散率(=λ / ρ C<sub>p</sub>) (7.53×10<sup>-7</sup>[m<sup>2</sup>/s])  
 ρ：コンクリート密度(2,400[kg/m<sup>3</sup>])，C<sub>p</sub>：コンクリート比熱(963[J/kg・K])  
 λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(3,050[s])  
 x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

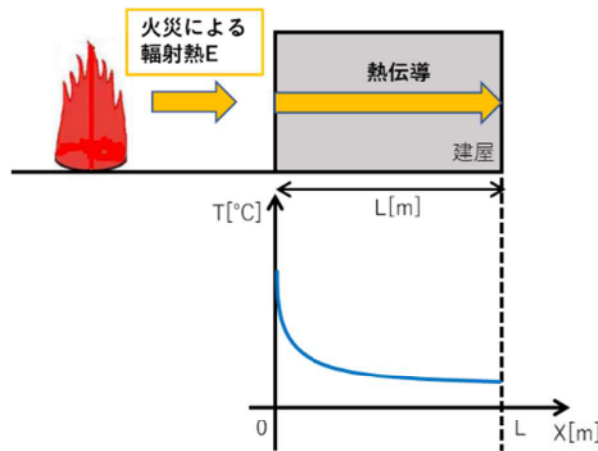


図 3-3 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

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/m<sup>2</sup>)，R<sub>f</sub>：輻射発散度(W/m<sup>2</sup>)，Φ：形態係数

表 3-7 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 <sup>2</sup> ]	形態係数[-]
原子炉建屋	灯油	50,000	0.095
原子炉補助建屋			
ディーゼル発電機建屋			
循環水ポンプ建屋			

式 2 で求めた形態係数 Φ となる危険距離 L を式 3 より算出する。

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



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

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

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

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に放射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に放射熱を与えるが、その放射熱は外壁に与える放射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を図3-4に示す。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面(外壁)と水平面(天井)の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

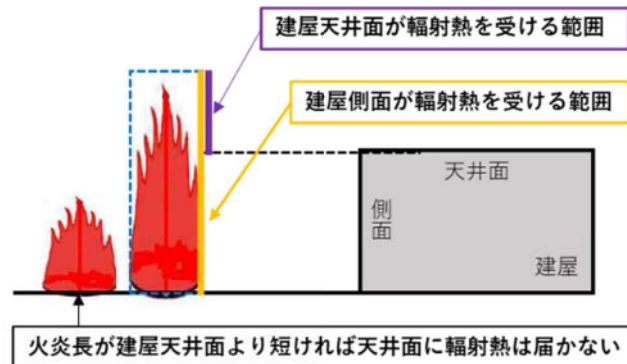


図3-4 建屋天井面の評価概念図

### (iii) 評価結果

危険放射強度より評価対象施設の危険距離を算出した結果、各評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

評価結果のうち、危険放射強度を表3-8に、危険距離を表3-9に示す。

表3-8 対象施設の危険放射強度

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

表 3-9 外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

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

(e) 排気筒の温度評価

i. 影響評価対象範囲

排気筒について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

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

ii. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を表 3-10 に、排気筒外形図を図 3-5 に示す。

表 3-10 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

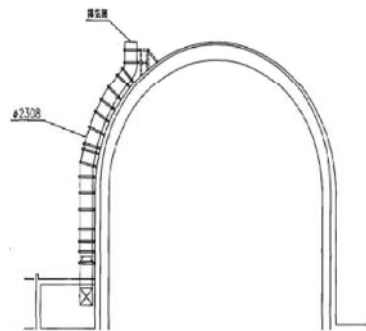


図 3-5 排気筒の外形図

iii. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を表 3-11 に示す。

表 3-11 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
ガソリンスタンド	1,450

iv. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、排気筒の鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

(ii) 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した式 1 により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

$\epsilon$  : 吸収率 (1.0[-]),  $E$ : 輻射強度 [W/m<sup>2</sup>],  $h$ : 熱伝達率 (17 [W/m<sup>2</sup>·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/m<sup>2</sup>·K を用いる。)

表 3-12 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度 [W/m <sup>2</sup> ]
排気筒	9,280

式 1 で求めた危険輻射強度  $E$  となる形態係数  $\Phi$  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<sup>2</sup>),  $R_f$  : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>),  $\Phi$  : 形態係数

表 3-13 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 <sup>2</sup> ]	形態係数 [-]
排気筒	ガソリン	58,000	0.16

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

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

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

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

上記のとおり危険距離を算出し、当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。排気筒の評価概念図を図3-6に示す。

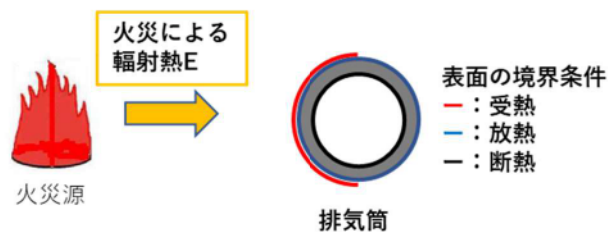


図3-6 排気筒の評価概念図

### (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3-14に示す。

表3-14 排気筒への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	53	1,450

### (f) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

#### i. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、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、火災の放射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉補機冷却海水ポンプは、電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。

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

ii. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及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 3-15 に示す。

表 3-15 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	循環水ポンプ建屋
ガソリンスタンド	1,600

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、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 3-7 に示す。

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

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

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

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

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

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

\*1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

\*2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（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/m<sup>2</sup>],  
 $A_F$ : 輻射受熱面積[m<sup>2</sup>],  $G_{air}$ : 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/s<sup>2</sup>],  $\rho_{in}$ : 外気密度[kg/m<sup>3</sup>],  
 $\rho_R$ : 建屋内空気密度[kg/m<sup>3</sup>],  $H$ : 換気有効高さ[m],  $\zeta_{in}$ : 給気口圧損係数[-],  
 $\zeta_{out}$ : 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[m<sup>2</sup>],  $A_{out}$ : 排気口面積[m<sup>2</sup>]

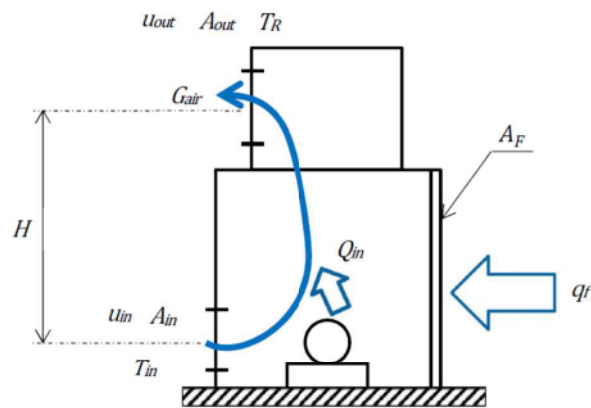


図 3-7 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

表 3-16 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,900

式①～⑤より求めた危険輻射強度 E とする形態係数  $\Phi$  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<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>),  $\Phi$  : 形態係数

表 3-17 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 <sup>2</sup> ]	形態係数 [-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	ガソリン	58,000	0.050

式 2 で求めた形態係数  $\Phi$  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 (53.52[m]), R : 燃焼半径 (17.84[m]), L : 危険距離 (m)

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

#### iv. 評価結果

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3-18 に示す。

表 3-18 原子炉補機冷却海水ポンプへの危険物貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離 [m]	離隔距離 [m]
原子炉補機冷却海水ポンプ	109	1,600

#### (g) 危険距離の評価結果

危険物貯蔵施設と評価対象設備との離隔距離は表 3-19 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。

表 3 - 1 9 危険物貯蔵施設火災の評価結果

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

(h) 火災による熱影響の有無の評価

危険物貯蔵施設における危険距離は最大でも 109m であり、離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって、発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても泊発電所への影響はない。

b. 高圧ガス貯蔵施設の火災影響評価

泊発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は [ ] であり、泊発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は 5,700[m] であった。（図 3 - 8）

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

また、飛来物の影響について評価を実施し、飛来物の最大飛散距離は [ ] となり、泊発電所との離隔距離 5,700[m] よりも小さいことを確認した。

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



図 3 - 8 高圧ガス貯蔵施設位置

[ ] 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。



表 3-20 10km 圏内における最大の高圧ガスの貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[t]
液化石油ガス	

(a) 評価条件

高圧ガス貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

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

表 3-21 評価条件

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

\* 1 : 燃焼面積は高圧ガス貯蔵施設の敷地面積とした

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

\* 3 : 評価ガイド付属書 B 記載値

(b) 燃焼半径の算出

燃焼面積は保守的に対象施設の敷地面積と等しいとする。

したがって、燃焼半径 R[m] の敷地面積を円筒の底面と仮定し算出する。

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

R : 燃焼半径 (m), S : 燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

表 3-22 高圧ガス貯蔵施設の燃焼半径

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

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。

(c) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>)

R : 燃焼半径 (m), M : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>・s)

v : 燃焼速度 (m/s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>), m : 質量 (kg)

表 3-23 高圧ガス貯蔵施設の燃焼継続時間

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

(d) 建屋外壁に対する危険距離評価

i. 評価対象範囲

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

ii. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を表 3-24 に示す。

表 3-24 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 [m]			
	原子炉建屋	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機 建屋	循環水ポンプ 建屋
高圧ガス 貯蔵施設貯	5,850	5,900	5,800	5,700

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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

(ii) 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁

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。

を半無限固体として式1の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面(x=0)の温度が200℃となる輻射強度を危険輻射強度として算出する。

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

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T：許容温度(200[℃])，T<sub>0</sub>：初期温度(50[℃])，E：輻射強度(W/m<sup>2</sup>)

α：コンクリート温度拡散率(=λ / ρ C<sub>p</sub>) (7.53×10<sup>-7</sup>[m<sup>2</sup>/s])

ρ：コンクリート密度(2,400[kg/m<sup>3</sup>])，C<sub>p</sub>：コンクリート比熱(963[J/kg・K])

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(2,585[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：輻射強度(W/m<sup>2</sup>)，R<sub>f</sub>：輻射発散度(W/m<sup>2</sup>)，Φ：形態係数

表3-25 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 <sup>2</sup> ]	形態係数[-]
循環水ポンプ建屋	プロパン	74,000	0.068

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

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

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

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

(iii) 評価結果

危険輻射強度より評価対象施設の危険距離を算出した結果、評価対象施設の危険距離が離隔距離以下であることを確認した。

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

表 3-26 対象施設の危険輻射強度

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

表 3-27 外壁への高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

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

(e) 排気筒の温度評価

i. 影響評価対象範囲

排気筒について、高圧ガス貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

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

ii. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を表 3-28 に、排気筒外形図を図 3-9 に示す。

表 3-28 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

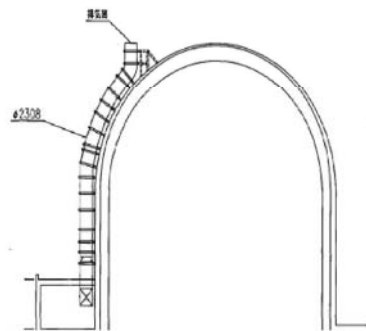


図 3-9 排気筒の外形図

iii. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を表3-29に示す。

表3-29 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
高圧ガス貯蔵施設	5,850

iv. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、排気筒の鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

(ii) 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、円筒外表面積の1/2に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した式1により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

$\varepsilon$ : 吸収率(1.0[-]),  $E$ : 輻射強度[W/m<sup>2</sup>],  $h$ : 熱伝達率(17[W/m<sup>2</sup>·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/m<sup>2</sup>·K を用いる。)

表3-30 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]
排気筒	8,880

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

$E$ : 輻射強度(W/m<sup>2</sup>),  $R_f$ : 輻射発散度(W/m<sup>2</sup>),  $\Phi$ : 形態係数

表 3-3 1 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 <sup>2</sup> ]	形態係数[-]
排気筒	プロパン	74,000	0.12

式 2 で求めた形態係数  $\Phi$  とする危険距離 L を式 3 より算出する。

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

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

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

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

(iii) 評価結果

危険輻射強度より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 3-3 2 に示す。

表 3-3 2 排気筒への高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	16	5,850

(f) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

i. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、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。

ii. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプ及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 3-33 に示す。

表 3-33 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	循環水ポンプ建屋
高压ガス貯蔵施設	5,700

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、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 3-10 に示す。

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

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

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

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

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

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

\*1 出典：空気調和・衛生工学便覧第 11 版 空気調和・衛生工学会

\*2 出典：伝熱工学資料第 5 版 日本機械学会（湯き空気として算出）

$Q_{in}$ : 建屋内のポンプモータの放熱量[W],  $q_f$ : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m<sup>2</sup>],  
 $A_F$ : 輻射受熱面積[m<sup>2</sup>],  $G_{air}$ : 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/s<sup>2</sup>],  $\rho_{in}$ : 外気密度[kg/m<sup>3</sup>],  
 $\rho_R$ : 建屋内空気密度[kg/m<sup>3</sup>],  $H$ : 換気有効高さ[m],  $\zeta_{in}$ : 給気口圧損係数[-],  
 $\zeta_{out}$ : 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[m<sup>2</sup>],  $A_{out}$ : 排気口面積[m<sup>2</sup>]

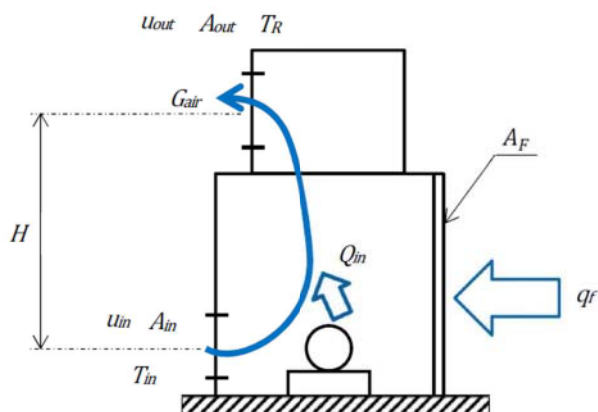


図 3-10 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

表 3-34 対象施設の危険輻射強度

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

式①～⑤より求めた危険輻射強度 E となる形態係数  $\Phi$  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<sup>2</sup>),  $R_f$ : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>),  $\Phi$ : 形態係数

表 3-35 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 <sup>2</sup> ]	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	プロパン	74,000	0.039

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

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

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

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



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

(iii) 評価結果

危険輻射強度より危険距離を算出した結果、評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3-36 に示す。

表 3-36 原子炉補機冷却海水ポンプへの高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉補機冷却海水ポンプ	30	5,700

(g) 危険距離の評価結果

高圧ガス貯蔵施設と評価対象設備との離隔距離は表 3-37 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。

表 3-37 高圧ガス貯蔵施設火災の評価結果

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

(h) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、高圧ガス貯蔵施設において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(5,700m)が危険距離(最大 30m)以上であることから、原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

c. 高圧ガス貯蔵施設の爆発影響評価

(a) 想定条件

高圧ガス貯蔵施設の爆発火災の想定は以下のとおりとした。

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

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

(b) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

表 3-38 評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離

(c) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

表 3-39 高圧ガス爆発の評価条件

データ種類	内容
石油の K 値	コンビナート等保安規則 5 条別表第二に掲げる数値 K=888,000（プロパンの最大値）
貯蔵設備又は 処理設備の W 値	コンビナート等保安規定第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて 次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単位：トン）の数 値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能力 （単位：トン）の数値）、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単 位：立法メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質 量（単位：トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換算して得 られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値） 処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位：トン）の数値 [ ]
離隔距離[m]	高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの距離 5,700m

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が高圧ガス貯蔵施設と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

X : 危険限界距離[m],  $\lambda$  : 換算距離 14.4[m $\cdot$ kg $^{-1/3}$ ],

K : 石油類の定数 888,000(プロパン) [-],

(e) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、高圧ガス貯蔵施設において爆発が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(5,700m)が危険限界距離(87m)以上であることから、原子炉施設に爆風圧による影響はないと評価する。

表 3-40 危険限界距離評価結果

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

d. 高圧ガス貯蔵施設の飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室)<sup>※1</sup>に基づき、飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、高圧ガス貯蔵施設(液化石油ガス<sup>※2</sup>)からの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、災害の想定を出来るだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

※2 液化石油ガスの貯蔵設備は貯蔵量に応じて液化石油ガス保安規則等の関係法令に基づき、保安物件と必要な距離等をとることが規定されている。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表 3-41 飛来物の評価条件

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

(a) 飛来物の最大飛散距離の算出方法

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」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 なる。

よって、発電所との離隔距離が 5,700m 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。

仮想危険物貯蔵施設の危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする危険物貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物貯蔵施設（n-ヘキサンを10万kL貯蔵）とした。
- b. 評価対象とする危険物貯蔵施設の燃料は満載した状態を想定した。
- c. 防油堤内の全面火災を想定した。
- d. 防油堤面積は、保守的に消防法で定める最大の80,000m<sup>2</sup>とした。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを表1に示す。

表1 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

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

※1 評価ガイド付属書B記載値

※2 NUREG-1805 記載値

2. 評価結果

(1) 燃焼半径の算出

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

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

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積 (m<sup>2</sup>)

表 2 危険物貯蔵施設の燃焼半径

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

(2) 燃焼継続時間の算出

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

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

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>)

R : 燃焼半径 (m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>・s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

表 3 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

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

(3) 危険距離の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より、コンクリート表面の温度が 200℃となる危険輻射強度を求める。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T : 許容温度 (200[℃]), T<sub>0</sub> : 初期温度 (50[℃]), E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

α : コンクリート温度拡散率 (= λ / ρ C<sub>p</sub>) (7.53 × 10<sup>-7</sup>[m<sup>2</sup>/s])

ρ : コンクリート密度 (2,400[kg/m<sup>3</sup>]), C<sub>p</sub> : コンクリート比熱 (963[J/kg・K])

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m・K]), t : 燃焼継続時間 (10,980[s])

x : コンクリート壁表面深さ (0[m])

式1で求めた危険輻射強度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<sup>2</sup>)，R<sub>f</sub>：輻射発散度(W/m<sup>2</sup>)，Φ：形態係数

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。算出結果を表4に示す。

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

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

H：火炎長，R：燃焼半径，L：危険距離(m)

表4 仮想危険物貯蔵施設火災の評価結果

想定火災源	危険距離 [m]
仮想危険物貯蔵施設	1,320

## 燃料輸送車両の火災・爆発について



## 1. 目的

本評価は、発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が泊発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価するものである。

## 2. 燃料輸送車両の火災影響評価

### (1) 燃料輸送車両の火災の想定条件

- ・ 発電所敷地外 10km 以内において、最大規模の燃料を搭載した燃料輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災を起こした場合を想定する。
- ・ 燃料積載量は消防法（危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号）において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30k1）を搭載可能なタンクローリとする。
- ・ 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 輸送燃料はガソリンとする。
- ・ 発電所敷地外の想定される輸送ルートである国道 229 号線上において原子炉施設に最も近い場所での燃料輸送車両の全面火災を想定する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

### (2) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する燃料輸送車両の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

表 4-1 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度 [W/m <sup>2</sup> ]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数 [-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径 [m]	燃料輸送車両の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離 [m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 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、発電所敷地外の想定される輸送ルートである国道 229 号線上において原子炉施設に最も近い場所でも出火する最大規模の燃料輸送車両とする。



図 4-1 燃料輸送車両 (ガソリン) 火災想定位置

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

表 4-2 評価条件

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

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

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

\* 3 : 評価ガイド付属書 B 記載値

(5) 燃焼半径の算出

燃料輸送車両の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は、燃料輸送車両の投影面積に等しいものとする。したがって、燃焼半径 R[m]は燃料輸送車両の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

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

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

表 4-3 燃料輸送車両の燃焼半径

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

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t：燃焼継続時間(s)、V：燃料量(m<sup>3</sup>)

R：燃焼半径(m)、v：燃焼速度=M/ρ (m/s)

M：質量低下速度(kg/m<sup>2</sup>・s)、ρ：燃料密度(kg/m<sup>3</sup>)

表 4-4 燃料輸送車両の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V [m <sup>3</sup> ]	燃焼半径 R [m]	質量低下速度 M [kg/m <sup>2</sup> ・s]	燃料密度 ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	燃焼継続時間 t [s]
燃料輸送車両	30	3.34	0.055	740	11,518

(7) 建屋外壁に対する危険距離評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(b) 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を表 4-5 に示す。

表 4-5 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
燃料輸送車両	750	700	800	850

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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

ii. 評価方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式 1 の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より外壁表面 (x=0) の温度が 200℃となる輻射強度を危険輻射強度として算出する。

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

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

(出典：伝熱工学、東京大学出版会)

T：許容温度(200[℃])、T<sub>0</sub>：初期温度(50[℃])、E：輻射強度(W/m<sup>2</sup>)

α：コンクリート温度拡散率(=λ / ρ C<sub>p</sub>) (7.53×10<sup>-7</sup>[m<sup>2</sup>/s])

ρ：コンクリート密度(2,400[kg/m<sup>3</sup>])、C<sub>p</sub>：コンクリート比熱(963[J/kg・K])

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])、t：燃焼継続時間(11,518[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

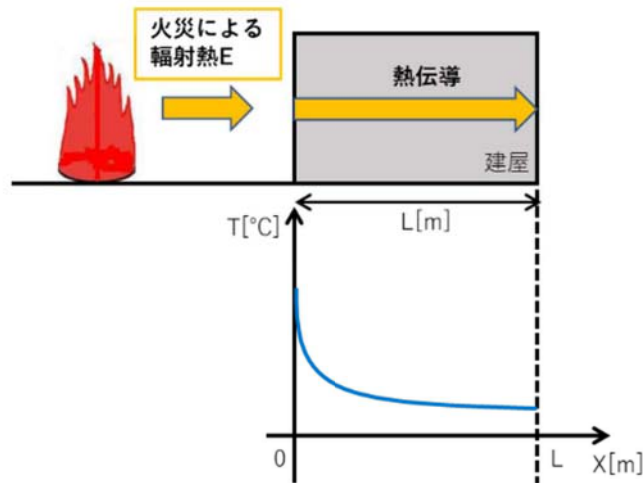


図 4-2 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

式 1 で求めた危険輻射強度 E となる形態係数  $\Phi$  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<sup>2</sup>)、R<sub>f</sub> : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>)、 $\Phi$  : 形態係数

表 4-6 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 <sup>2</sup> ]	形態係数 [-]
原子炉建屋	ガソリン	58,000	0.040
原子炉補助建屋			
ディーゼル発電機建屋			
循環水ポンプ建屋			

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

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

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

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

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

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を図4-3に示す。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。

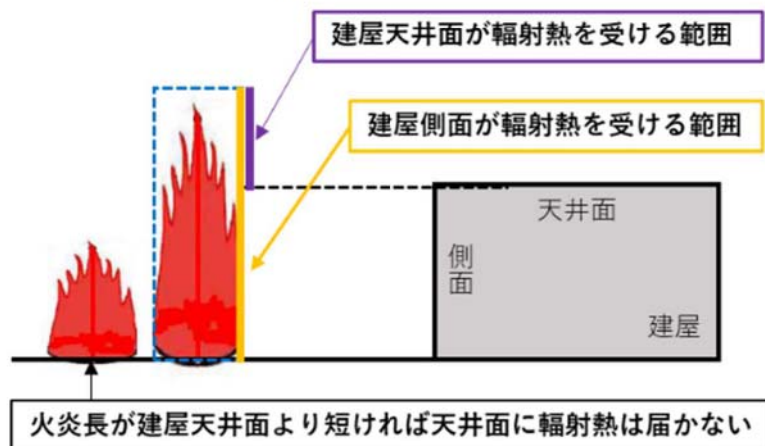


図4-3 建屋天井面の評価概念図

### 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4-7に、危険距離を表4-8に示す。

表4-7 対象施設の危険輻射強度

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

表4-8 外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

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

(8) 排気筒の温度評価

(a) 影響評価対象範囲

排気筒について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

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

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を表 4-9 に、排気筒外形図を図 4-4 に示す。

表 4-9 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

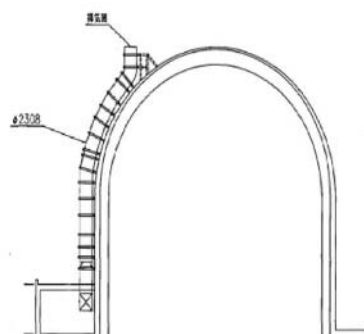


図 4-4 排気筒の外形図

(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 4-10 に示す。

表 4-10 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
燃料輸送車両	750

(d) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、排気筒の鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃を越えない最大の輻射強度を危険輻射強度とする。

ii. 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、

輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した式 1 により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

$\varepsilon$  : 吸収率 (1.0[-])、 $E$  : 輻射強度 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]、 $h$  : 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 4-1-1 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
排気筒	9,280

式 1 で求めた危険輻射強度  $E$  となる形態係数  $\Phi$  を式 2 より算出する。

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

$E$  : 輻射強度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $R_f$  : 輻射発散度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $\Phi$  : 形態係数

表 4-1-2 対象施設の形態係数

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

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

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

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

$H$  : 火炎長 ( $10.02[\text{m}]$ )、 $R$  : 燃焼半径 ( $3.34[\text{m}]$ )、 $L$  : 危険距離 ( $\text{m}$ )

上記のとおり危険距離を算出し、燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。排気筒の評価概念図を図 4-5 に示す。



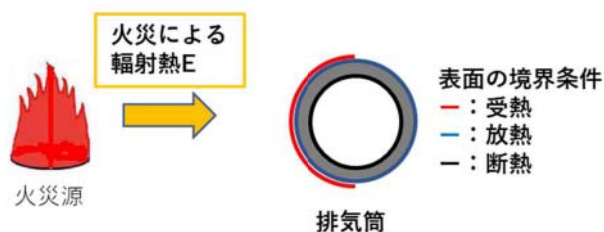


図 4-5 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

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

表 4-13 排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	10	750

(9) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、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、火災の放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) 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 4-14 に示す。

表 4-14 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
燃料輸送車両	850

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の冷却空気の許容温度は、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 4-6 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/m<sup>2</sup>],  
 $A_F$ : 輻射受熱面積[m<sup>2</sup>],  $G_{air}$ : 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/s<sup>2</sup>],  $\rho_{in}$ : 外気密度[kg/m<sup>3</sup>],  
 $\rho_R$ : 建屋内空気密度[kg/m<sup>3</sup>],  $H$ : 換気有効高さ[m],  $\zeta_{in}$ : 給気口圧損係数[-],  
 $\zeta_{out}$ : 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[m<sup>2</sup>],  $A_{out}$ : 排気口面積[m<sup>2</sup>]

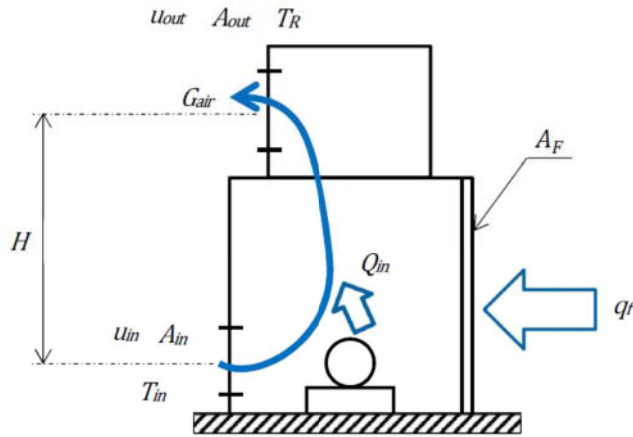


図 4-6 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

表 4-15 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,726

式①～⑤より求めた危険輻射強度 E とする形態係数  $\phi$  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<sup>2</sup>)、R<sub>f</sub> : 輻射発散度 (W/m<sup>2</sup>)、 $\phi$  : 形態係数

表 4-16 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 <sup>2</sup> ]	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	ガソリン	58,000	0.047

式 2 で求めた形態係数  $\phi$  とする危険距離 L を式 3 より算出する。

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

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

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

上記のとおり危険距離を算出し、当該燃料輸送車両から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

(d) 評価結果

危険放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4-17に示す。

表4-17 原子炉補機冷却海水ポンプへの燃料輸送車両火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉補機冷却海水ポンプ	21	850

(10) 危険距離の評価結果

燃料輸送車両の位置と評価対象設備との離隔距離は表4-18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。

表4-18 燃料輸送車両火災の評価結果

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

(11) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、燃料輸送車両において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(700m)が危険距離(最大 23m)以上であることから、原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

3. ガス爆発による影響評価

(1) ガス爆発火災の想定条件

- (a) 発電所敷地外 10km 以内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量を積載した車両が、発電所敷地外の想定される輸送ルートである国道 276 号線上において原子炉施設に最も近い場所にて、爆発を起こした場合を想定する。
- (b) 燃料積載量は発電所敷地外 10km 以内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量  とする。
- (c) 高圧ガス輸送車両は燃料を満載した状態を想定した。
- (d) 貯蔵燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- (e) 発電所敷地外の想定される輸送ルートである国道 276 号線上において原子炉施設

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。

に最も近い場所での高圧ガス漏えい、引火による高圧ガス輸送車両の爆発を想定する。

(f) 気象条件は無風状態とする。

## (2) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する発電所近傍の道路におけるガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

表 4-19 評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離

## (3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地外の想定される輸送ルートである国道 276 号線上において原子炉施設に最も近い場所にて、爆発を起こす高圧ガス輸送車両とする。



図 4-7 高圧ガス輸送車両火災想定位置

## (4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

表 4-20 高圧ガス爆発の評価条件

データ種類	内容
石油の K 値	コンビナート等保安規則 5 条別表第二に掲げる数値 K=888,000 (プロパンの最大値)
貯蔵設備又は 処理設備の W 値	コンビナート等保安規定第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて 次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単位：トン）の数 値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能 力（単位：トン）の数値）、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単 位：立法メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの 質量（単位：トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換算して 得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値） 処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位：トン）の数値 [ ]
離隔距離[m]	火災が発生した発電所敷地外の道路から発電用原子炉施設までの距離 4,300m

(5) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が高圧ガス輸送車  
両と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

X：危険限界距離[m]、λ：換算距離 14.4[m・kg<sup>-1/3</sup>]、

K：石油類の定数 888,000(プロパン) [-]、[ ]

(6) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所で高圧ガス  
輸送車両の爆発が発生した場合を想定したとしても、離隔距離（4,300m）が危険限界距離  
（87m）以上であることから、原子炉施設に爆風圧による影響はないと評価する。

[ ] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。