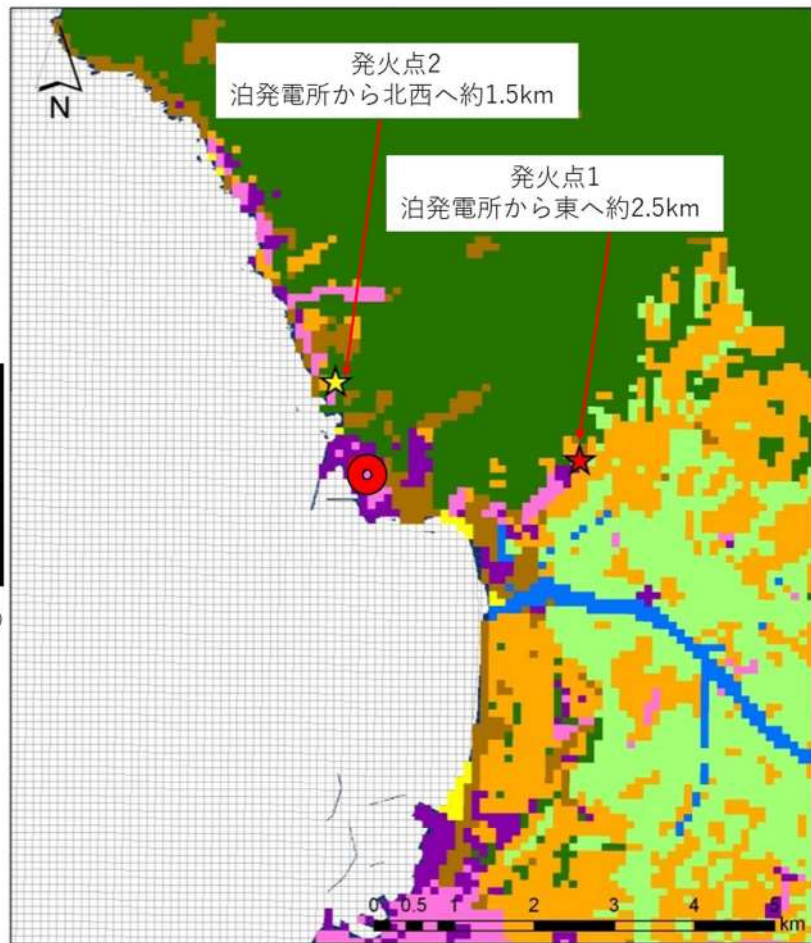


- 泊発電所
- ★ 発火点1
- ☆ 発火点2

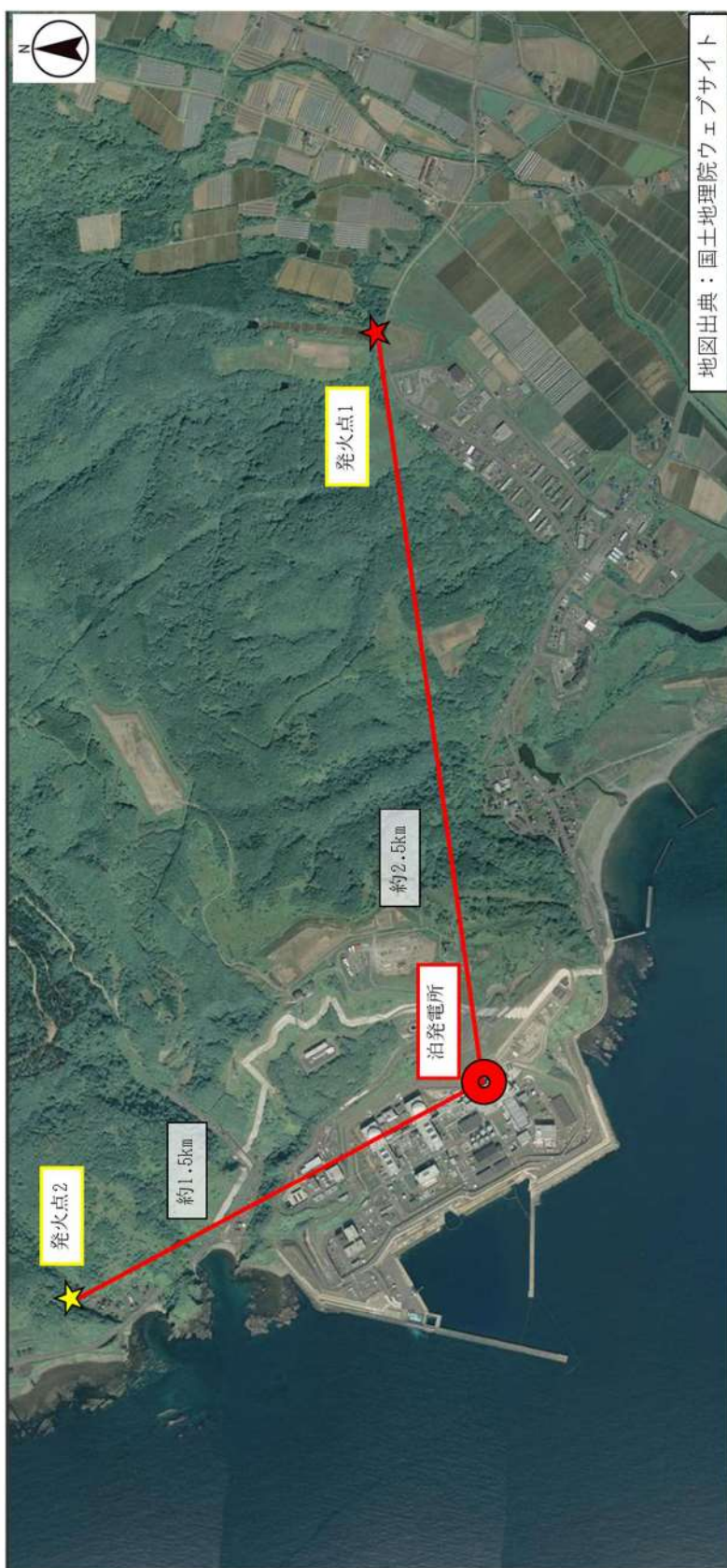
土地利用種

- 田
- その他の農用地
- 森林
- 荒地
- 建物用地
- 道路
- 鉄道
- その他の用地
- 河川地及び湖沼
- 海浜
- 海水域
- ゴルフ場

※FARSITEにおいて
非植生（延焼しない）
エリアとして設定



第2-3図 想定発火点位置



第2-4図 評価発火点位置(航空写真)



第2-5図 発火点1拡大図



第2-6図 発火点2 拡大図

2. 2 森林火災による影響の有無の評価

(1) 評価手法の概要

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

第2-3表 評価指標と観点

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

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は泊発電所から南に 13km, 北に 13km, 東に 13km, 西に 13km とする。

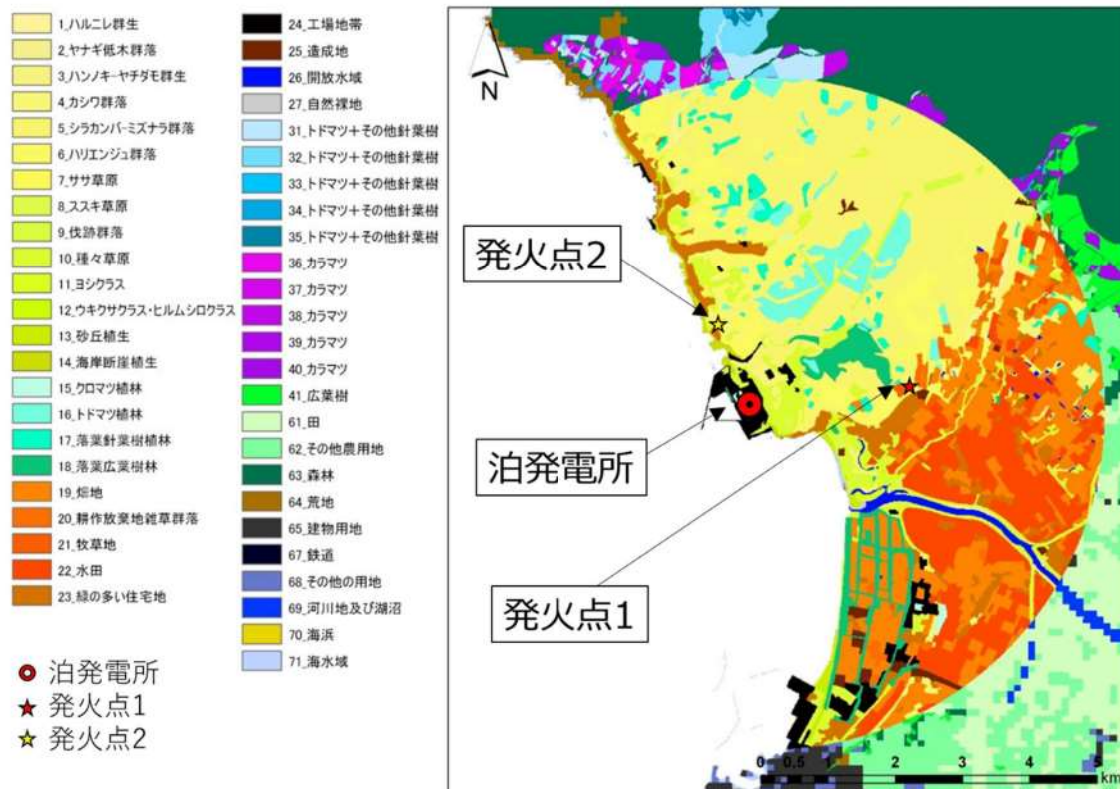
(3) 必要データ

a. 入力条件

評価に必要なデータを以下のとおり設定し、本評価を行った。

第2-4表 森林火災評価のための入力データ一覧

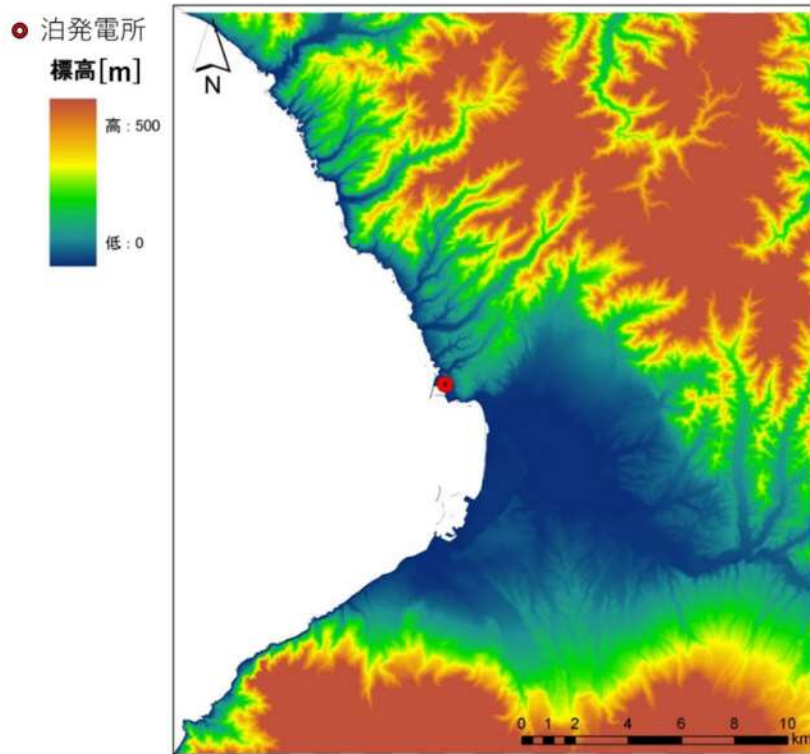
データ種類	外部火災影響評価ガイドの記載	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの土地利用データを用いる。(国土数値情報 土地利用細分メッシュ)	同左 国土数値情報(国土交通省)の100mメッシュの土地利用データを使用した。
植生データ	現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。	同左 北海道より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に発電所周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢により細分化した。
地形データ	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの標高データを用いる。 傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(基盤地図情報 数値標高モデル10mメッシュ)	同左 基盤地図情報(国土地理院)の10mメッシュの標高データを使用した。
気象データ	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	同左 北海道において森林火災発生件数の多い4月～6月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。



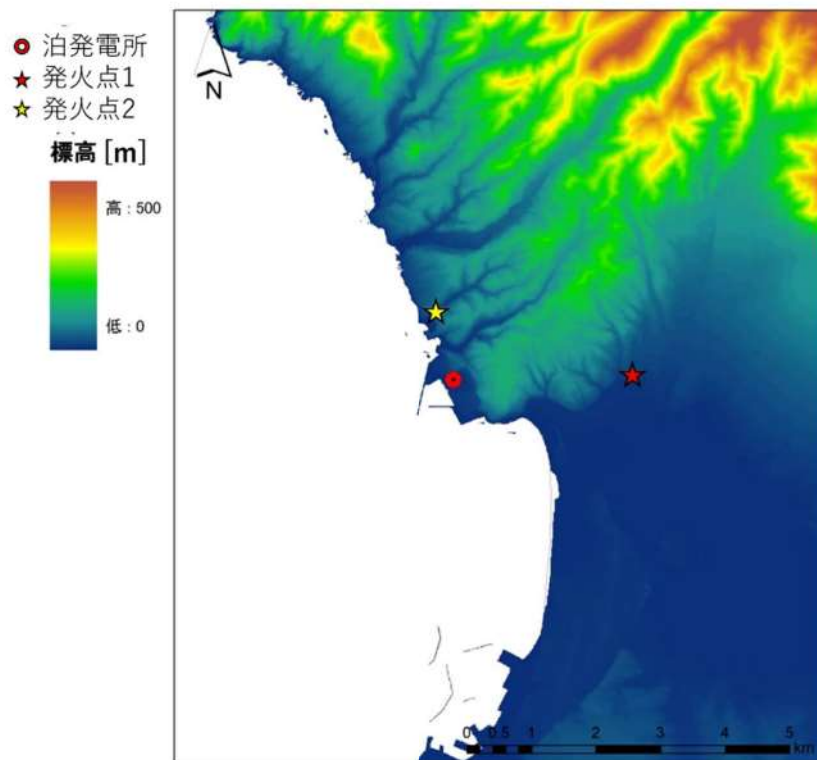
第2-7図 発電所周辺植生分布図

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

傾斜及び傾斜方位データについては、上記の標高データより算出した。



第 2-8 図 発電所敷地外の標高データ

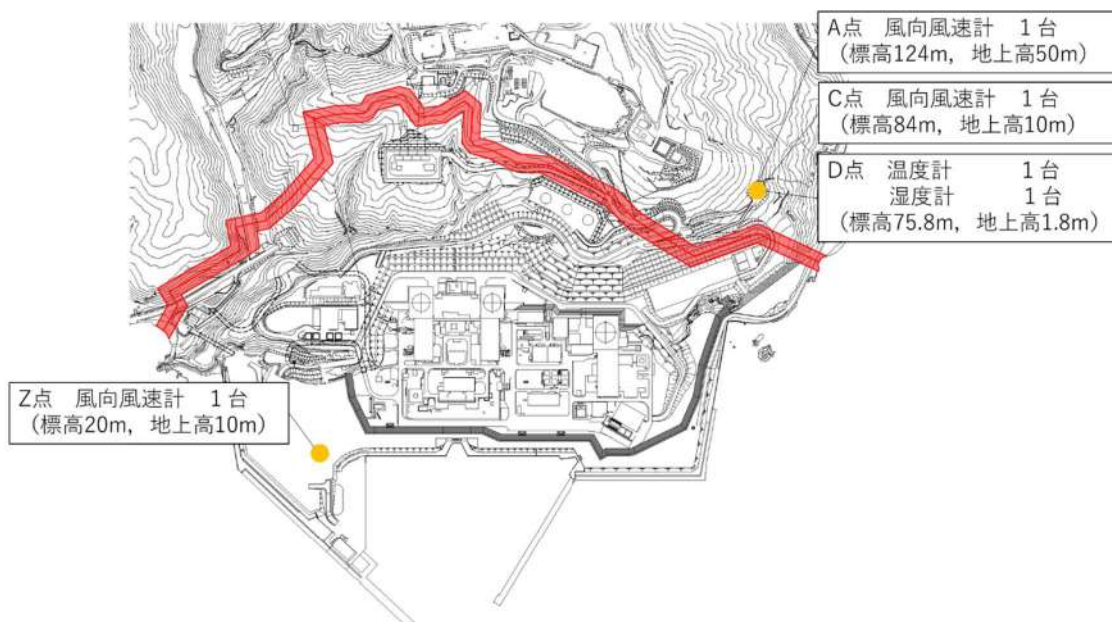


第 2-9 図 発電所周辺の標高データ

b. 気象条件の設定

気象データには発電所内の気象観測データ及び発電所敷地外の公開情報である気象庁の気象統計情報があるが、外部火災影響評価においては発火想定地点を発電所から10km以内とした敷地外の火災の発生・進展を評価することから、発火点に最も近い発電所内の気象観測データを使用し、森林火災発生件数の多い4～6月の過去10年間の気象データを調査し、卓越風向、最大風速、最高気温、最小湿度の条件を選定した(第2-5表)。

この調査結果に基づき FARSITE の入力値は第2-6表のとおり設定した。発電所内の気象観測設備の配置位置を第2-10図に示す。また、発電所内の気象観測データから設定した入力値(気温:30.0℃, 湿度:13%, 最大風速:29.7m/s)は、発電所と同じく後志地方の海沿いにある神恵内地域気象観測所(アメダス)及び寿都特別地域気象観測所における同期間のデータを組み合わせた値(気温:27.7℃, 湿度:10%, 最大風速:20.5m/s)と比較すると、気温及び湿度は同等であり、風速は約10m/s高い。FARSITEにおいて、風速の上昇は延焼速度及び火線強度を上昇させる。一方、気温及び湿度は可燃物特性(含水比)に影響を与えるが、初期条件にて含水比を低く設定しているため解析結果に大きな影響がない。以上より、発電所内の気象観測データを使用することは保守的である。



第2-10図 発電所内の気象観測設備位置

第2-5表 2003～2012年の4～6月の気象データ

月	泊発電所（観測期間：2003～2012年）					北海道 1993-2012年 月別 火災発生 頻度※1
	気温 [°C]	風速[m/s]		卓越風向	湿度 [%]	
	最高 気温	最大 風速	最大風速 記録時の 風向	最多風向	最小 湿度	
4月	22.6	29.7	西	東	13	227
5月	24.7	29.2	東	東	14	231
6月	30.0	24.4	東南東	東	18	57

※1「林野火災被害統計書（平成24年度版）北海道水産林務部」

気温，湿度：瞬間値（D点）

風速，風向：1時間値（A，C，Z点）

□：FARSITE入力データ

c. FARSITE 入出力データ

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

第2-6表 FARSITE 入力データ（気象データ）

大区分	小区分	入力値	入力値の根拠
気象 データ	風速[km/h]	100	火災の延焼・規模の拡大を図るため，森林火災発生件数が多い月の発電所の最大風速 29.7m/s に基づき入力可能な最大値である 100km/h を入力
	風向[deg]	90(東) 315(北西)	風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定
	気温[°C]	30	樹木の燃焼性を高めるため，森林火災発生件数が多い月(4～6月)の発電所の最高気温を入力
	湿度[%]	13	樹木の燃焼性を高めるため，森林火災発生件数の多い月(4～6月)の発電所の最低湿度を入力

第2-7表 FARSITE 入力データ (植生, 土地利用, 地形データ)

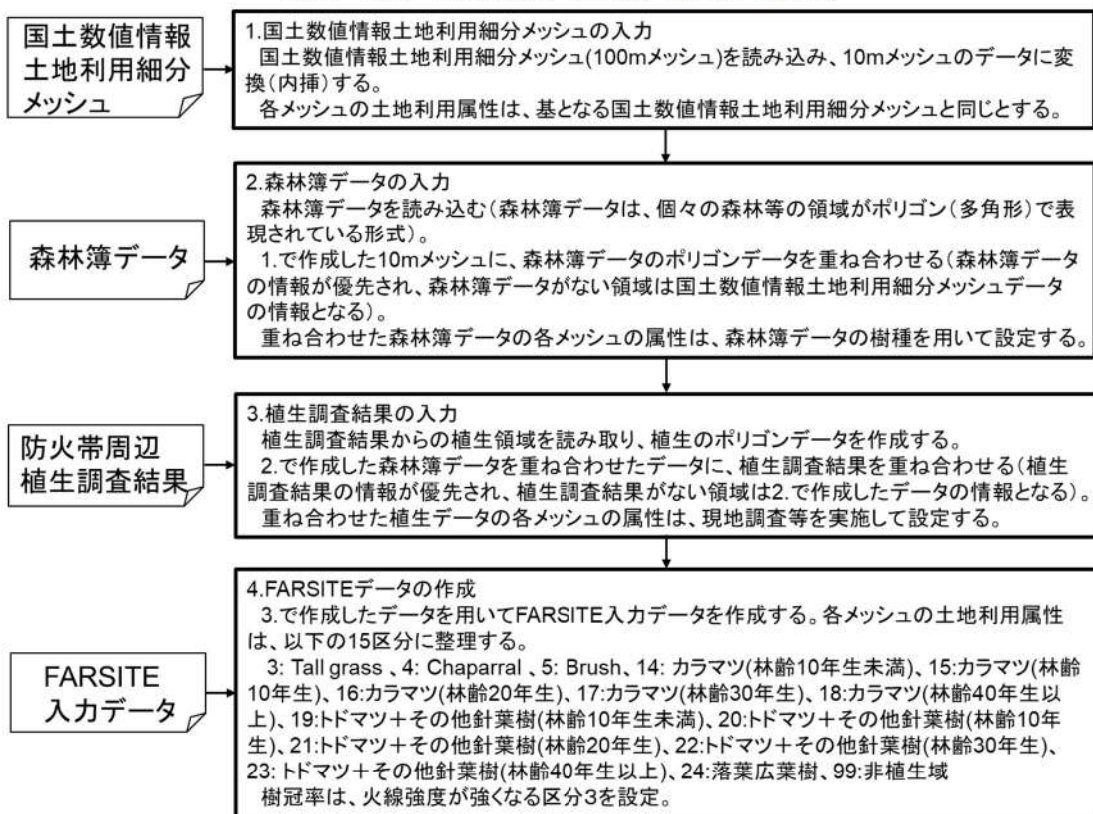
大区分	小区分	入力値	入力値の根拠
植生 データ	場所	—	土地利用データ, 航空写真, 現地調査及び森林簿で特定した樹種ごとの植生場所を入力
	樹種	15 区分	土地利用データ, 航空写真, 現地調査及び森林簿で特定した樹種を入力 3: Tall grass, 4: Chaparral, 5: Brush, 14: カラマツ(林齢 10 年生未満), 15: カラマツ(林齢 10 年生), 16: カラマツ(林齢 20 年生), 17: カラマツ(林齢 30 年生), 18: カラマツ(林齢 40 年生以上), 19: トドマツ+その他針葉樹(林齢 10 年生未満), 20: トドマツ+その他針葉樹(林齢 10 年生), 21: トドマツ+その他針葉樹(林齢 20 年生), 22: トドマツ+その他針葉樹(林齢 30 年生), 23: トドマツ+その他針葉樹(林齢 40 年生以上), 24: 落葉広葉樹, 99: 非植生域
	林齢	5 区分	植生調査データに基づき, カラマツ・トドマツ+その他針葉樹について, 10 年生未満, 10 年生, 20 年生, 30 年生及び 40 年生以上の 5 区分を設定
	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し, 針葉樹, 落葉広葉樹について, 保守的な樹冠率区分 (3: 一般的な森林) を入力
土地利用 データ	森林, 田畑, 建物用地等	—	発電所周辺の森林, 田畑, 建物用地等を入力(国土交通省データ 100m メッシュ)
地形 データ	標高, 地形	—	発電所周辺の土地の標高, 地形(傾斜角度, 傾斜方向)を入力(基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ)

※1～99 の数字は, FARSITE の植生番号に対応

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

No. 14～24 は, 現地植生を踏まえて可燃物データを独自に設定した。

第2-8表 FARSITE 入力条件の整理 (植生)



※1~99の数字は、FARSITEの植生番号に対応

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

No. 14~24 は、現地植生を踏まえて可燃物データを独自に設定した。

第 2-9 表 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係(1/3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分※1	種類	
国土数値情報土地利用細分メッシュユ	田	3	Tall grass	田・農用地においては、農産物に加え草が主な可燃物となることから、保守的に Grass のパラメータの中で、可燃物量、可燃物厚さが大きい「Tall grass」とする。
	その他農用地	3	Tall grass	
	森林	19	トドマツ+その他針葉樹（林齢10年生未満）	本領域はデータ上、樹種や林齢が不明であることから、独自設定したパラメータの中で最も火線強度等が高くなり易く、保守的と考えられる「トドマツ+その他針葉樹（林齢10年生未満）」とする。
	荒地	5	Brush	崖や岩、湿地など、特定の植生がなく、延焼しにくい領域であるが、保守的に「Brush」とする。
	建物用地	99	非植生	樹木等がないと考えられるため、「非植生（延焼おそれない）」とする。
	道路			
	鉄道			
	その他の用地			
河川地及び湖沼				
海浜				
海水域				
ゴルフ場				

※1：可燃物データの出典

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

No. 14~24 は、現地植生を踏まえた独自の可燃物データ

第 2-9 表 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係(2/3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分※1	種類	
森林簿	カラマツ	14, 15, 16, 17, 18	カラマツ (林 齢 10 年生未 満, 10 年生, 20 年生, 30 年生, 40 年生 以上)	北海道のカラマツ林及びトドマ ツ林は林床に 1~2m 程度のササ が繁茂していることを考慮し, 下草の可燃物量は林齢によらず 一定とすると共に, 大きな火線 強度が想定される保守的な 「Chaparral」の可燃物パラメー タを適用した。 ただし, 樹木の量に該当する 「生きた木質量」のパラメータ は, 林齢と共に大きくなるよう 設定した。生きた木質量は, 水分 量が多く燃えにくい効果を示 す。従って, 林齢が低い方が火線 強度等が大きくなる。 JNES-RC-Report※2 と同程度以 上の設定
	トドマツ, アカマ ツ, クロマツ, ヨー ロッパアカマツ, ストロブマツ, グイマツ, グイマ ツ雑種, アカエゾ マツ, ヨーロッパ トウヒ, その他人 口林針葉樹, 天然 林針葉樹	19, 20, 21, 22, 23	トドマツ+ その他針葉樹 (林齢 10 年 生未満, 10 年 生, 20 年生, 30 年生, 40 年生以上)	
	ポプラ, ドロヤナ ギ, ギンドロ, マカ バ, シラカンバ, ハ ンノキ, ヤマハン ノキ, コバノヤマ ハンノキ, ケヤマ ハンノキ, アサダ, カシワ, ミズナラ, ニセアカシヤ, イ タヤカエデ, ヤチ ダモ, 人工林広葉 樹, 天然林広葉樹	24	落葉広葉樹	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い ることから, JNES-RC-Report※2 と同様な考え方で独自に設定し た「落葉広葉樹」の可燃物パラメ ータを適用した。

※ 1 : 可燃物データの出典

No. 14~24 は, 現地植生を踏まえた独自の可燃物データ

※ 2 : 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価 独立行政法人原子力安全
基盤機構 (JNES) 平成 24 年 6 月

第 2-9 表 各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係(3/3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分※1	種類	
植 生 調 査	ハルニレ群生, ヤナギ 低木群落, ハンノキー ヤチダモ群生, カシワ 群落, シラカバ-ミズ ナラ群落, ハリエンジ ユ群落, 落葉広葉樹林	24	落葉広葉樹	各植生区分はすべて落葉広葉樹であることから, JNES-RC-Report※2 と同様な考え方で独自に設定した 「落葉広葉樹」の可燃物パラメー タを適用した。
	ササ草原	4	Chaparral	
	ススキ草原, 伐跡群 落, 種々草原, ヨシク ラス, ウキクサクラ ス・ヒルムシロクラ ス, 砂丘植生, 海岸断 崖植生	3	Tall Grass	
	クロマツ植林, トドマ ツ植林, 落葉針葉樹植 林	19	トドマツ+ その他針葉 樹(林齢 10 年生未満)	針葉樹の植林地であり, 林齢情報 がないことから, 独自設定した可 燃物パラメータの中で最も保守的 と考えられる「トドマツ+その他 針葉樹(林齢 10 年生未満)」を設定 した。
	畑地, 耕作放棄地, 雑 草群落, 牧草地, 水田	3	Tall Grass	
	緑の多い住宅地	5	Brush	植生が連続しておらず, コンクリ ート等の領域も多く含まれ, 延焼 しにくいと考えられるが, 保守的 な観点から「Brush」を設定した。
	工業地帯, 造成地, 開 放水域, 自然裸地	99	非植生	

※ 1 : 可燃物データの出典

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

No. 14~24 は, 現地植生を踏まえた独自の可燃物データ

※ 2 : 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価 独立行政法人原子力安全
基盤機構 (JNES) 平成 24 年 6 月

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

第2-10表 算出結果

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

※発電所近傍には針葉樹、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 を選択している。

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

d. 植生調査の詳細について

植生調査は、発電所を中心とする半径 5 km の範囲で、樹種及び下草の有無を確認した。

(a) 調査内容

発電所を中心とする半径 5 km の範囲の植生を調査し記録した。

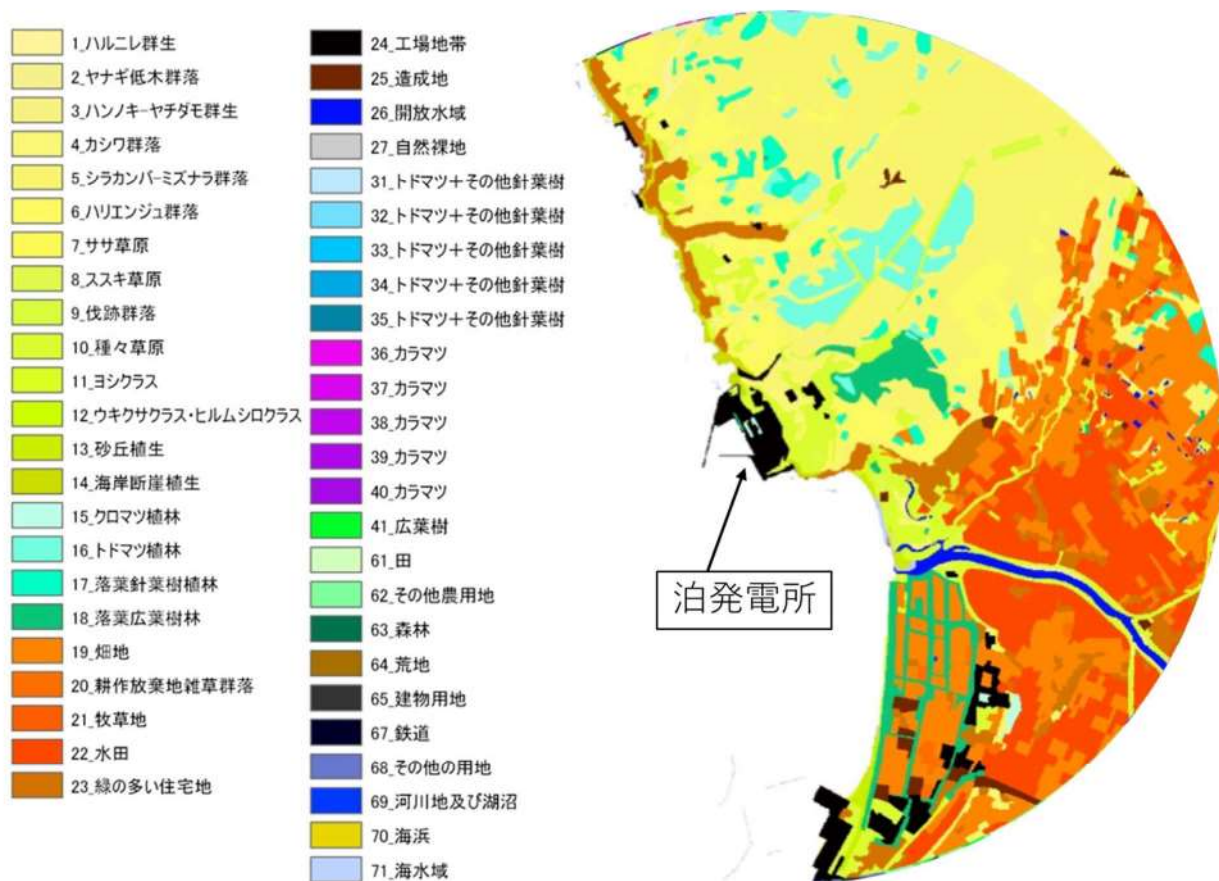
(b) 調査者の力量

調査者は平成 17 年以降国土交通省北海道開発関連業務のうち植生図作成を含む 4 件の業務に従事しており、すべての業務にて平均以上の評価点を得ている。

また、調査者は環境省の自然環境保全基礎調査植生図作成業務に従事している。

(c) 調査期間

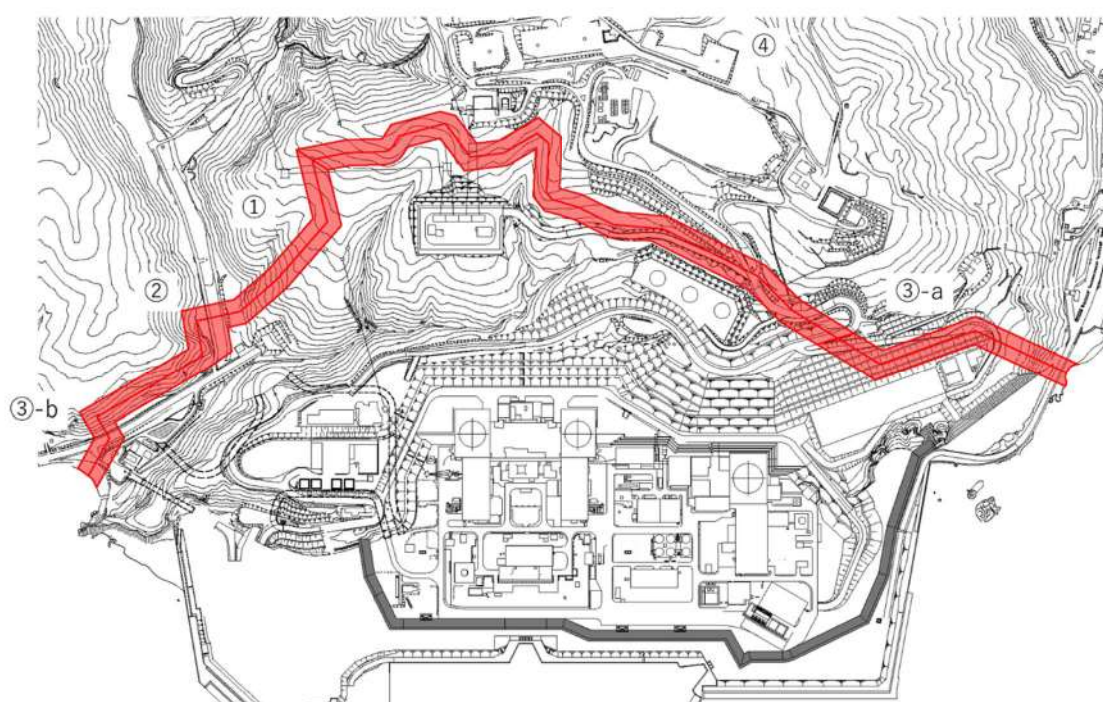
平成 24 年 5 月 10 日, 8 月 20 日～22 日



第 2-11 図 植生調査結果



第2-11表 防火帯周辺の代表的な植生調査ポイント及びFARSITE入力データ

ポイント	植生調査結果			設定する可燃物パラメータ		
	樹種	林齢	下草	樹種	林齢	下草
①	カシワ群落	-	有	落葉広葉樹	-	182.9cm
②	ササ草原	-	有	Chaparral	-	182.9cm
③-a	種々草原	-	有	Tall Grass	-	76.2cm
③-b	海岸断崖植生	-	有			
④	落葉針葉樹植林	-	有	トドマツ	10年生未満	182.9cm



第2-12図 防火帯周辺の代表的な植生調査ポイント

第2-12表 防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生

ポイント No.	植生区分	植生写真
①	<p>カシワ群落</p> <p>主に発電所北側及び堀株川河口部周辺において確認された。 林床は、多様な種が混生するほか、ササ類が独占する箇所も見られる。</p>	
②	<p>ササ草原</p> <p>主に発電所北側山地部において小面積が点在していた。</p>	
③-a	<p>種々草原</p> <p>山間部を除く調査範囲のほぼ全域で確認された草本群落である。</p>	
③-b	<p>海岸断崖植生</p> <p>発電所周辺から積丹半島に向かう海岸線において確認された草本・低木群落である。</p>	
④	<p>落葉針葉樹植林</p> <p>主に発電所北側に点在していた。 林床はササ類が独占していた。</p>	

e. 植生入力の保守性について

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

(a) 土地利用細分メッシュからの植生データ入力

i. 田及びその他農業用地の植生入力

Grass を保守的に燃えやすい Tallgrass として FARSITE の入力としている。

ii. 荒地の植生入力

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

iii. 森林の植生入力

本領域はデータ上、樹種や林齢が不明であることから、FARSITE デフォルトパラメータの中で火線強度が高くなりやすい「Chaparral」をベースに独自設定したパラメータの中で最も保守的と考えられる「トドマツ+その他針葉樹 (林齢 10 年生未満)」として FARSITE の入力としている。

(b) 森林簿及び植生調査からの植生データ入力

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

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

可燃物パラメータ入力の考え方は、植生調査結果を踏まえ、森林の下草状況、樹種及び林齢を考慮し設定した。ただし、植生調査から得られたデータの林齢は 10 年生未満として設定した。なお、林齢が低いほど fuel 量 (水分含有量等) が少ないため燃えやすい。

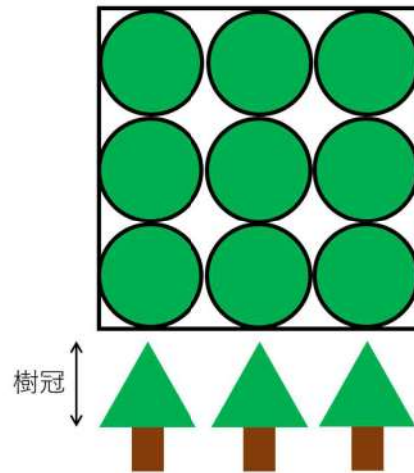
f. 樹冠率の設定

樹冠率は、上空から森林を見た場合の平面上の樹冠が占める割合をいう。

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

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

樹冠率：平面上の樹冠の割合



FARSITE 区分	樹冠率[%]	備考
1	~20	
2	21~50	非森林を含む領域
3	51~80	一般的な森林
4	81~100	原生林を含む森林

	区分 3 の場合	区分 4 の場合
風速低減効果	風速が弱まりにくい	風速が弱まる
日射低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

第 2-13 図 樹冠率の設定

g. FARSITE への入力値まとめ

第2-13表 FARSITE への入力値(1/2)

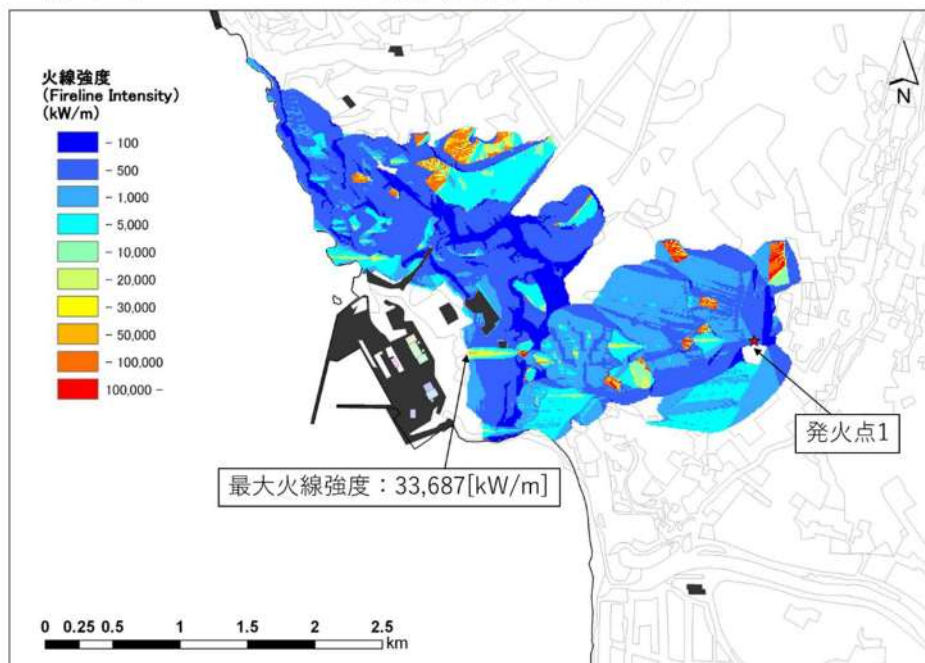
大区分	小区分	入力値	備考
気象	気温	30[°C]	気温が高い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い4～6月における過去10年間の最高気温を設定(外部火災影響評価ガイドどおり) 解析期間中最高気温が継続するように設定
	湿度	13[%]	湿度が低い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い4～6月における過去10年間の最小湿度を設定(外部火災影響評価ガイドどおり) 解析期間中最小湿度が継続するように設定
	風速	100[km/h]	風が強い方が延焼速度・火線強度が大きくなることから、森林火災が多い4～6月における過去10年間の発電所の最大風速29.7m/sに基づき入力可能な最大値である100km/h(27.8m/s)を設定(外部火災影響評価ガイドどおり) 解析期間中最大値の風速が継続するように設定
	雲量	0[%]	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため、日射量が多くなるように、雲量0%に設定
	降水量	0[mm]	降水がない方が可燃物の水分量が少なくなるため、降水量は0mmに設定
地形	高低差	数値標高モデル	現地状況を模擬するため、基盤地図情報数値標高モデルの10mメッシュデータを用いる。
	緯度	0度	日射量が多い方が可燃物量の水分量が少なくなる燃えやすくなることから、日射量が多くなるように、赤道直下に設定

第2-13表 FARSITE への入力値(2/2)

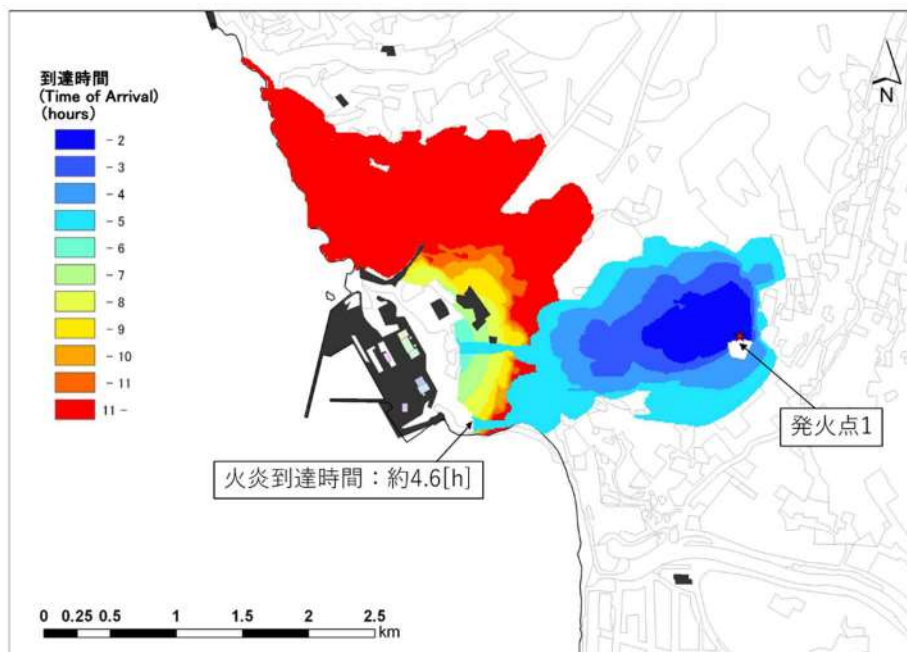
大区分	小区分	入力値	備考	
植生	樹木高さ	20.0[m]	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用	
	枝下高さ	4.0[m]		
	かさ密度	0.200[kg/m ³]		
	樹冠率	区分3	森林と定義される区分3,4のうち、風速が弱まりにくく、日射の影響を受けやすくなる区分3を設定	
	fuel 初期 水分量	1時間以内に乾燥する木質	5[%]	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用
		10時間以内に乾燥する木質	8[%]	
		100時間以内に乾燥する木質	12[%]	
		生きた草	100[%]	
		生きた木質	100[%]	

(4) FARSITE の解析結果

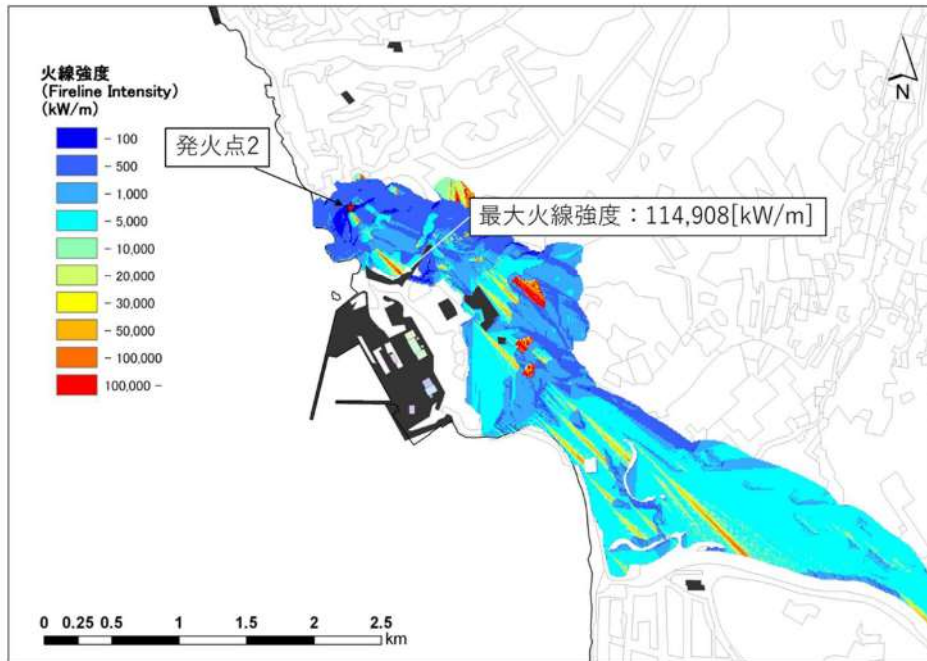
各発火点の FARSITE による解析結果図を以下に示す。



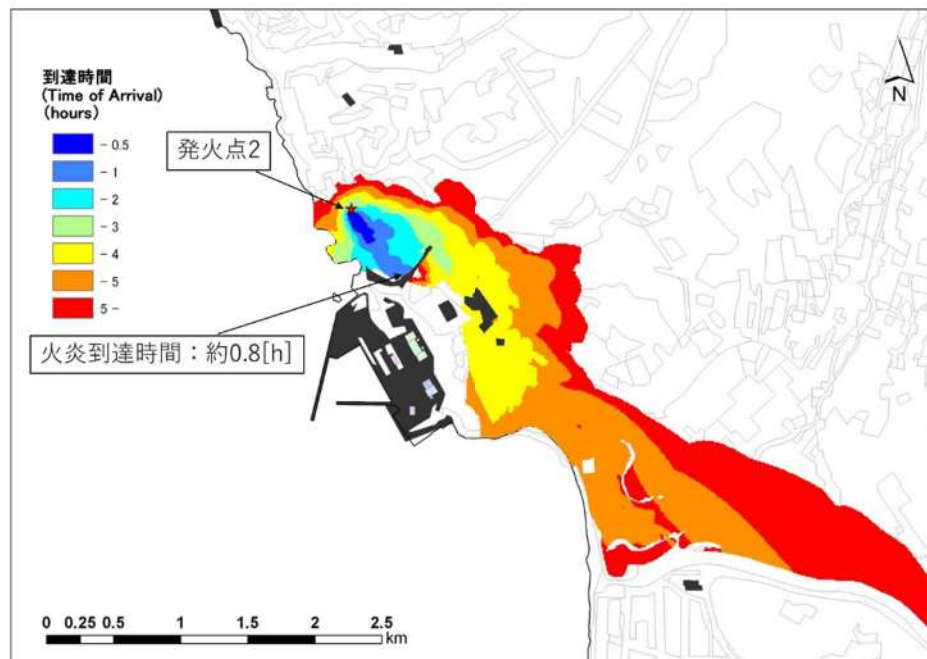
第 2-14-1 図 発火点 1：東（道路脇畑）の火線強度



第 2-14-2 図 発火点 1：東（道路脇畑）の火炎到達時間



第2-15-1 図 発火点2：北西（集落端と森林の境界部）の火線強度



第2-15-2 図 発火点2：北西（集落端と森林の境界部）の火炎到達時間

(5) 火炎到達時間と最大火線強度について

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度を第2-14 表に示す。

第2-14表 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2
延焼速度[m/s]	2.88	3.11
最大火線強度[kW/m]	33,687	114,908
火炎到達時間[h]	約 4.6	約 0.8

(6) 防火帯幅の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度から「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が無い場合）」を用いて、防火帯幅（火炎の防火帯突破確率 1% の値）を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅が 17.8m（発火点 1）であるため、20m の防火帯幅、45.3m（発火点 2）であるため、46m の防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。ただし、20m の防火帯幅とする敷地東部の防火帯の一部は、植生等による影響を考慮し、自主的に 25m の防火帯幅を確保する。（第 2-17 表 地点 B）

FARSITE 解析における主な入力パラメータは保守的な設定（参考資料 2-1）としているが、他に解析結果に影響するパラメータとしては最大火線強度の出現時刻（日射量に影響を及ぼす）がある。

最大火線強度出現時刻の保守性を確認するため、最大火線強度が最も大きい発火点 2 について 3 パターンの出火時刻を入力して最大火線強度出現時刻の感度解析を実施した。（参考資料 2-3）

第 2-15 表に示すとおり、最大火線強度は 8 時～9 時頃に高くなる傾向がある。これは傾斜の影響を踏まえた上で日射により可燃物の水分量変化を計算上考慮しているためである。

第 2-15 表 感度解析結果

発火点 2 出火時刻	最大火線強度出現時刻	最大火線強度[kW/m]
7 : 00	8 : 02	96,712
8 : 00	8 : 52	114,908
9 : 00	10 : 24	85,929

第2-16表 風上に樹木が無い場合の火線強度と最小防火帯幅の関係
(火炎の防火帯突破確率 1%)

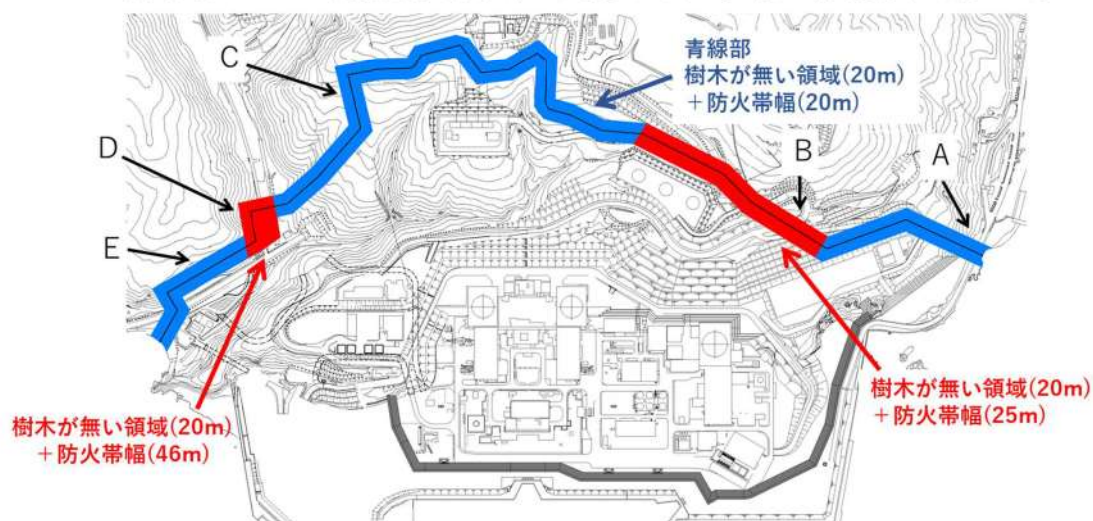
火線強度 [kW/m]	500	1,000	2,000	10,000	20,000	25,000	50,000*	100,000*	125,000*
防火帯幅 [m]	6.2	6.4	6.7	9.5	13.1	14.8	23.3	40.3	48.8

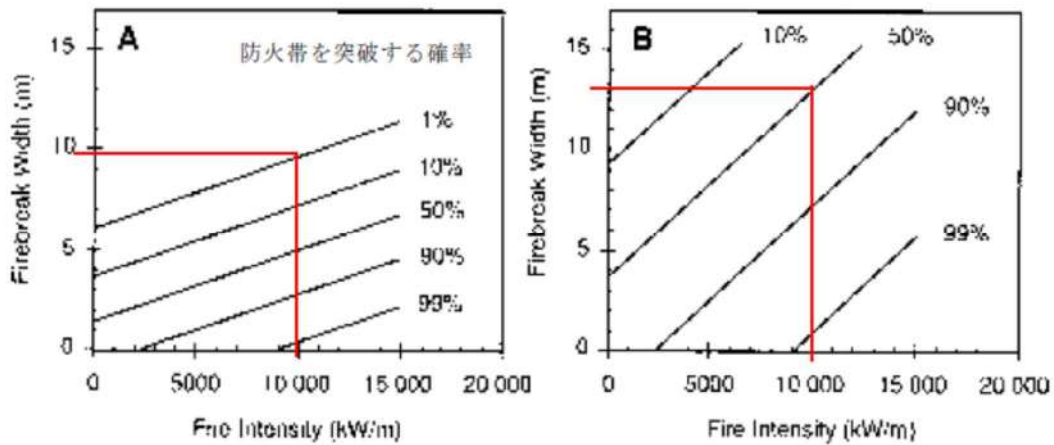
※外部火災影響評価ガイドに記載の数値から外挿して算出

第2-17表 各地点における防火帯幅の設定

地点	火線強度[kW/m]		評価上必要とされる防火帯幅[m]		防火帯幅[m]
	発火点1	発火点2	発火点1	発火点2	
A	20,738	960	13.4	6.4	20
B	33,687	720	17.8	6.3	25*
C	1,229	1,540	6.5	6.6	20
D	783	114,908	6.4	45.3	46
E	1,642	6,931	6.6	8.5	20

※防火帯幅については火線強度、風向、植生を考慮して自主的に設定 (添付資料2 別紙2-12)





第2-16図 火線強度に対する防火帯の相関図（出典：外部火災影響評価ガイド）

(7) 危険物施設の火災が森林等に延焼した場合の泊発電所への影響について

泊発電所における各発火点について危険物施設の火災を想定した場合、各発火点以遠の風上は海又は危険物施設が5km以遠であることから、泊発電所への熱影響が大きくなるような火災にはならないと考えられる。

2. 3 森林火災時の対応の評価結果

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

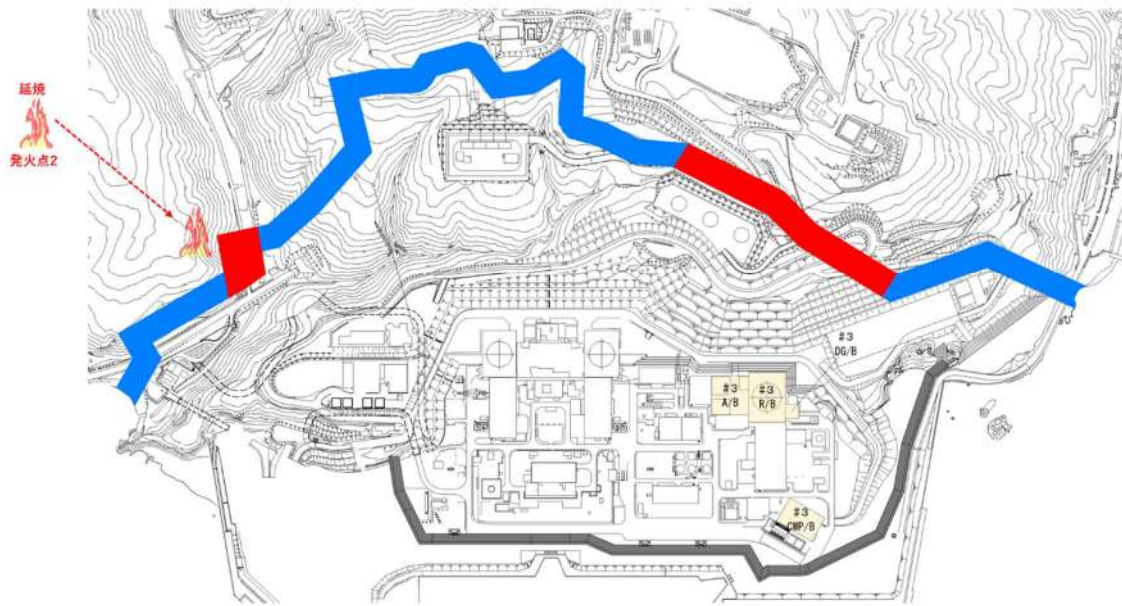
2. 3. 1 火災の到達時間の評価結果

2. 3. 1. 1 火災到達時間

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

FARSITE の解析により、森林火災を想定した場合、発火点2の火災が防火帯外縁に到達する最短時間は0.8時間（約52分）であるため、この時間以内で予防散水が可能であることを確認する。

発火点2の位置関係を第2-17図に示す。



第 2-17 図 発火点 2 との位置関係

2. 3. 1. 2 火災の覚知

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

(1) 監視カメラによる監視

想定される自然現象等の影響について、昼夜にわたり発電所周辺の状況を把握する目的で設置する監視カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。監視カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置（開閉所遮風建屋屋上）に設置し、24 時間要員が常駐する中央制御室からの監視が可能な設計とする。

(2) 発電所構内にいる者による覚知

- a. 24 時間常駐している警備員による覚知
- b. 24 時間常駐している運転員によるパトロールによる覚知
- c. 通常勤務の構内の社員及び協力会社従業員による覚知
 - (a) 発見者は、発電課長へ連絡し、その後、運営課長（夜間、休日は当番者）へ連絡する。
 - (b) 運営課長（夜間、休日は当番者）は、消防機関へ 119 番通報する。

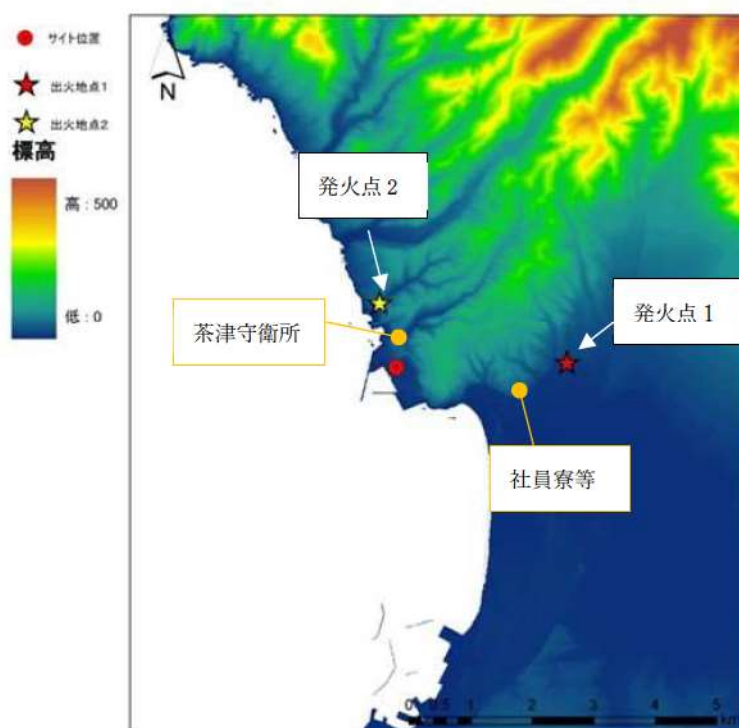
(3) 外部からの情報

- a. 守衛所に設置している地元自治体の防災行政無線傍受による覚知
- b. 消防機関からの連絡による覚知

発電所に迫る可能性があるとして消防機関が判断した火災は消防機関から連絡が入る。

(4) 発火点の火災覚知

- a. 発火点 1 付近は、民家及び当社の社員寮も近傍に立地していることから外部からの情報による覚知を行う。また、監視カメラでは、直接視認できないことから、火災による炎（明かり）、煙で覚知を行う。
- b. 発火点 2 付近は、茶津守衛所に 24 時間常駐している警備員が覚知を行う。また、監視カメラでは、直接視認できないことから、火災による炎（明かり）、煙で覚知を行う。



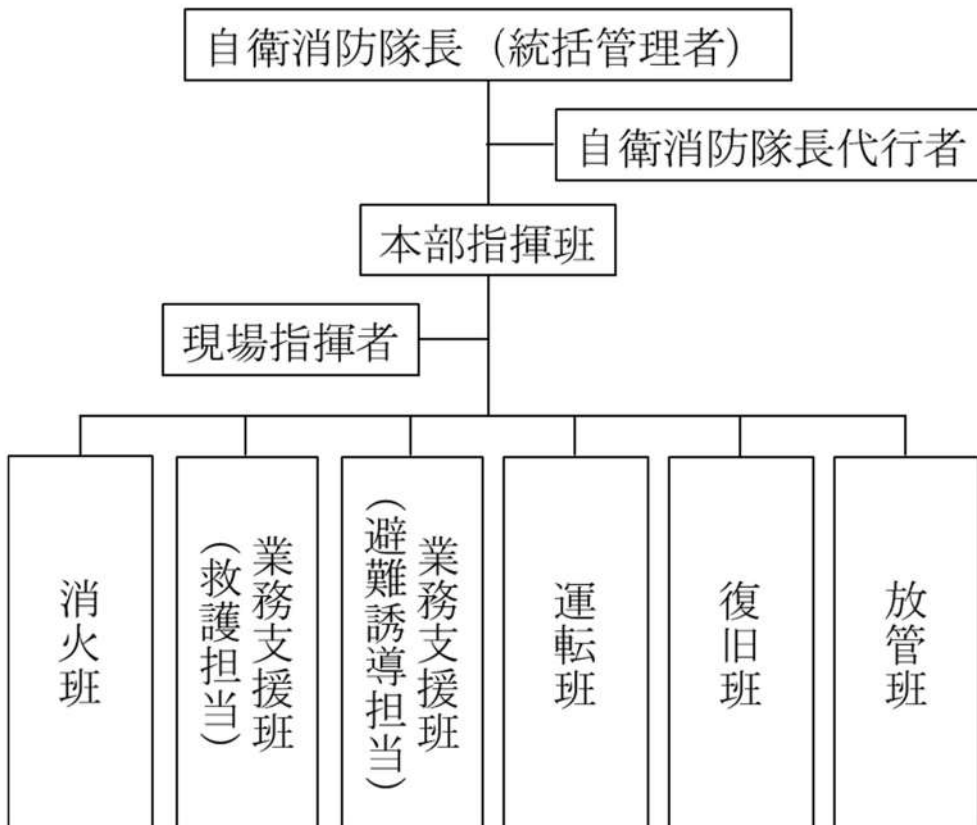
第 2-18 図 発電所周辺の標高と火災覚知

2. 3. 1. 3 消火活動

(1) 予防散水の実施体制

泊発電所においては、発電所構内の火災に対し、消防活動を行うために自衛消防隊を組織している。自衛消防隊の組織体制を第 2-19 図及び第 2-18 表に示す。

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



第 2-19 図 自衛消防隊体制

第 2-18 表 自衛消防隊編成

構成	所属等	役割	
自衛消防隊長 (統括管理者)	発電所次長(1)	a. 自衛消防隊全体を指揮・統括 b. 公設消防との活動方針を統括	
自衛消防隊長代行者	運営課長(1)	a. 自衛消防隊長不在時の任務を代行	
初期消火要員	連絡者	発電課長(当直)(1)	a. 通報者及び関係箇所への通報連絡 b. 初期消火要員への出動要請 (平日夜間・休祭日)
	通報者	・ 平日昼間 運営課長(1) ・ 平日夜間・休祭日 事務系当番者(1)	a. 公設消防及び関係箇所への通報連絡 b. 初期消火要員への出動要請(平日昼間)
	現場指揮者	・ 平日昼間 机上社員(1) ・ 平日夜間・休祭日 当直員(1)	a. 初期消火活動の総括指揮 b. 火災状況等を公設消防先着隊へ情報伝達
	消火担当	委託員(3)	a. 消火器又は消火栓による消火活動 b. 消防自動車による消火活動(筒先) c. 消防用ホースの延長 d. 泡消火薬剤の化学消防自動車への補給
	消防車操作担当	委託員(2)	a. 消防自動車の運転 b. 化学消防自動車, 水槽付消防ポンプ自動車の機関員
	消火補助担当	委託員(2)	a. 泡消火薬剤の運搬及び補給補助 b. 消火補助 c. 伝令及び伝令補助
	案内誘導担当	委託員(1)	a. 公設消防を火災発生現場近傍へ誘導
本部指揮班	班長: 運営課長(1) 副班長: 運営課副長(1) 班員: 各グループ員	a. 隊長の指示を受け, 自衛消防隊各班を指揮 b. 各班からの通報・連絡を受けると共に, 情報を収集し隊長の判断を補佐	
消火班	班長: 運営課副長(1) 副班長: 教育センター副長(1) 班員: 各グループ員 初期消火要員 (連絡者, 通報者を除く)	a. 消火器又は消火栓による消火活動 b. 火災状況等の情報収集	
業務支援班 (避難誘導担当)	班長: 総務課副長(1) 副班長: 総務課副長(1) 班員: 各グループ員	a. 避難場所への避難誘導	
業務支援班 (救護担当)	班長: 労務安全課副長(1) 副班長: 労務安全課主任(1) 班員: 各グループ員	a. 被災者への応急処置 b. 公設消防救急隊との連携 c. 被災者発生状況報告	
放管班	班長: 安全管理課副長(1) 副班長: 安全管理課員(1) 班員: 各グループ員	a. 線量当量率, 汚染レベルの測定 b. 公設消防隊員の誘導(管理区域内) c. 自衛消防隊員及び公設消防隊員の除染措置	

() 内は人数

(2) 初期消火要員の力量維持のための訓練

初期消火要員は、消火対応の力量を維持するために、訓練を計画的に実施する。

初期消火要員に係る訓練を第2-19表に示す。

第2-19表 初期消火要員に係る訓練

項目	頻度	対象者	訓練概要
総合訓練	1回/年	初期消火要員	火災を想定した総合訓練
通報連絡訓練	1回/年	発電課長（当直）、 事務系当番者	連絡者→通報者→消防署（ダミー）への通報訓練
消防用資機材取扱い訓練	1回/年	机上社員、当直員、 委託員	・防火服着用、空気呼吸器装着訓練 ・消防自動車操作補助、消火訓練
消防用設備取扱い訓練	1回/年	机上社員、当直員、 委託員	消火栓、消火器等取扱い訓練
消防自動車操作訓練	1回/年以上	委託員	運転、泡消火操作訓練
構内消防用設備教育	1回/年以上	机上社員、当直員、 委託員	構内消防用設備配置場所等の習得
構内建屋配置図教育	1回/年以上	委託員	構内建屋配置場所等の習得

(3) 予防散水計画

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

万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、初期消火要員の活動を予防散水から防火帯内側火災の消火活動に切り替え、継続して現場指揮者の指揮のもと消火活動・延焼防止活動を行う。

なお、予防散水については、火災防護計画に定める。

a. 予防散水に期待する効果

防火帯は、防火帯突破確率1%となる防火帯幅17.8m（発火点1）に対し、約20m（ただし、敷地東部の一部は自主的に約25m）の防火帯、45.3m（発火点2）に対し約46mの防火帯を設定している。

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

b. 防火帯付近への予防散水計画

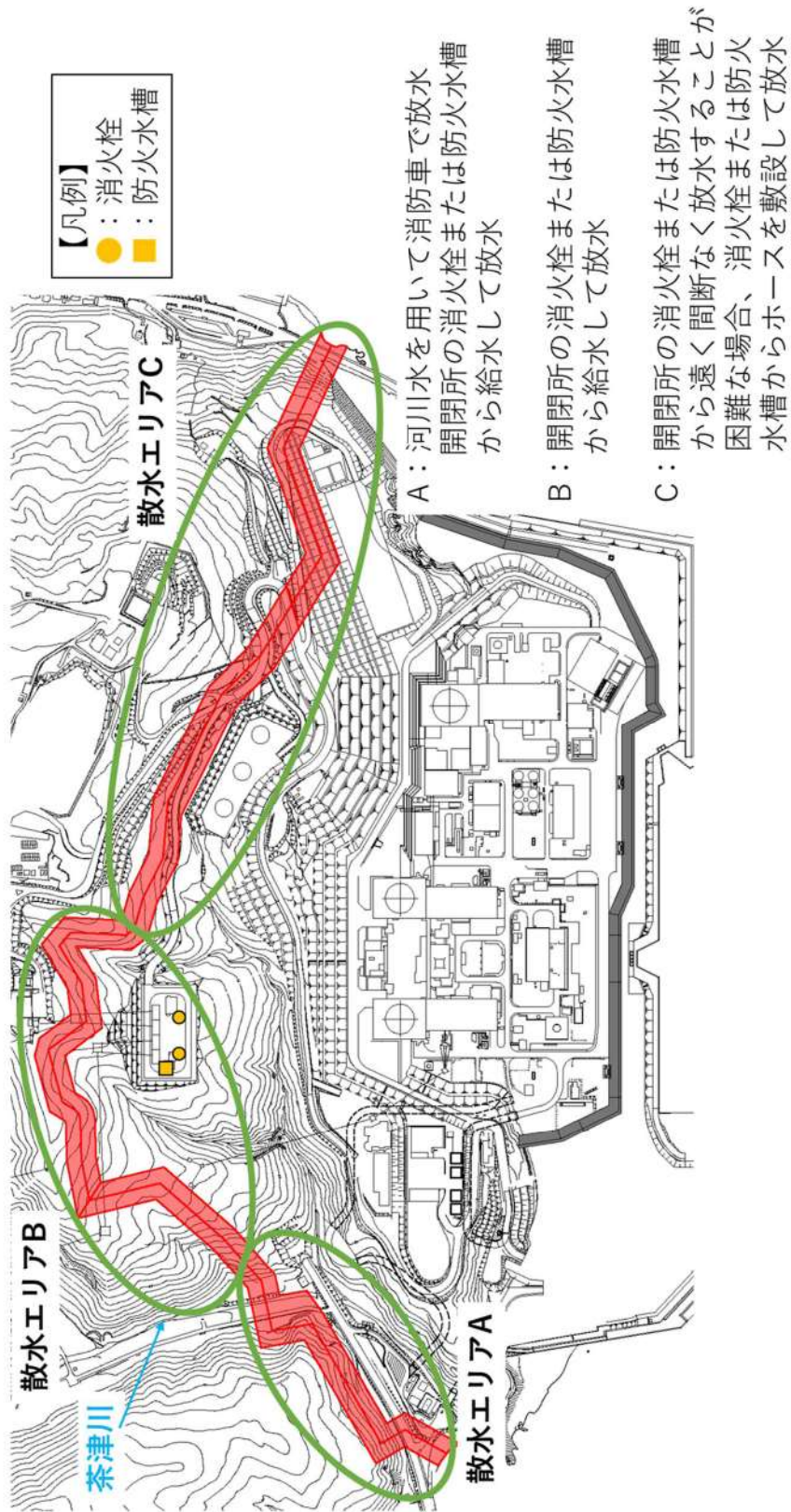
活動用水は、構内の消火栓、防火水槽及び河川水を使用する。

使用資機材は化学消防自動車（泡消火薬剤含む）1台、水槽付消防ポンプ自動車1台及び大規模火災用消防自動車1台。対応要員数は11名。

防火帯付近散水エリアと消火栓及び防火水槽位置を第2-20図に示す。また、各散水エリアの予防散水計画を第2-20表に示す。

第2-20表 防火帯付近散水エリアの予防散水計画

散水エリア	A	B	C
使用水源	河川水 防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓
防火水槽容量	(60m ³)	60m ³	60m ³
消火ホース展開距離 (最長距離)	40m	550m	900m
消防自動車等の台数	2台	2台	3台
連絡から予防散水開始まで (消火ホース展開最長箇所)	約22分	約31分	約30分
防火帯外縁到達時間	発火点2 0.8h	—	発火点1 4.6h
予防散水継続時間	(防火水槽使用時 約158分)	約158分	約158分
対応人数	初期消火要員 11名		

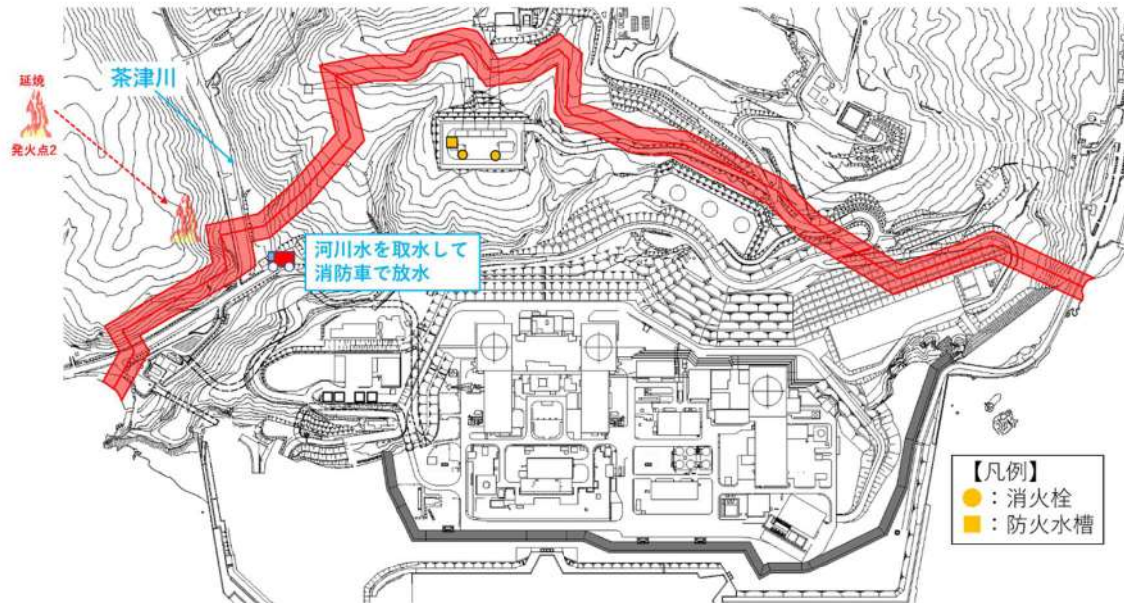


第2-20図 防火帯付近散水エリアと消火栓及び防火水槽位置

(4) 散水開始までの所要時間

a. 防火帯への散水

発電所周辺付近からの想定森林火災の火炎到達時間が最短（約 0.8 時間）となる発火点 2 から出火した森林火災が、最短で防火帯外縁に到達する散水地点において予防散水を行う。散水位置を第 2-21 図に示す。



第 2-21 図 散水位置（防火帯）

b. 所要時間

第 2-21 表に示すとおり，出動連絡後，約 22 分で散水活動が開始可能である。

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

第2-21表 散水開始までの所要時間

手順	内容	対応者	経過時間 (min)							備考				
			0	20	25	30	35	40	45		50			
①火災発生	森林火災発生	—	▲	▲										
②森林発知	警備員による発知, 監視カメラによる発知, 外部からの情報	守衛所 中央制御室		▲	▲									
③出動準備	初期消火要員へ連絡	通報者 (運営課長)		▲										
	出動準備～消防車出動まで	初期消火要員			■									訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
④移動	散水地点到着まで	初期消火要員					■							想定時間:10分 (累計時間:17分)
⑤放水準備	河川水の取水準備	初期消火要員						■						訓練実績時間:4分 (累計時間:21分)
⑥放水開始	予防散水開始	初期消火要員									■			訓練実績時間:1分 (累計時間:22分)

散水開始までの所要時間

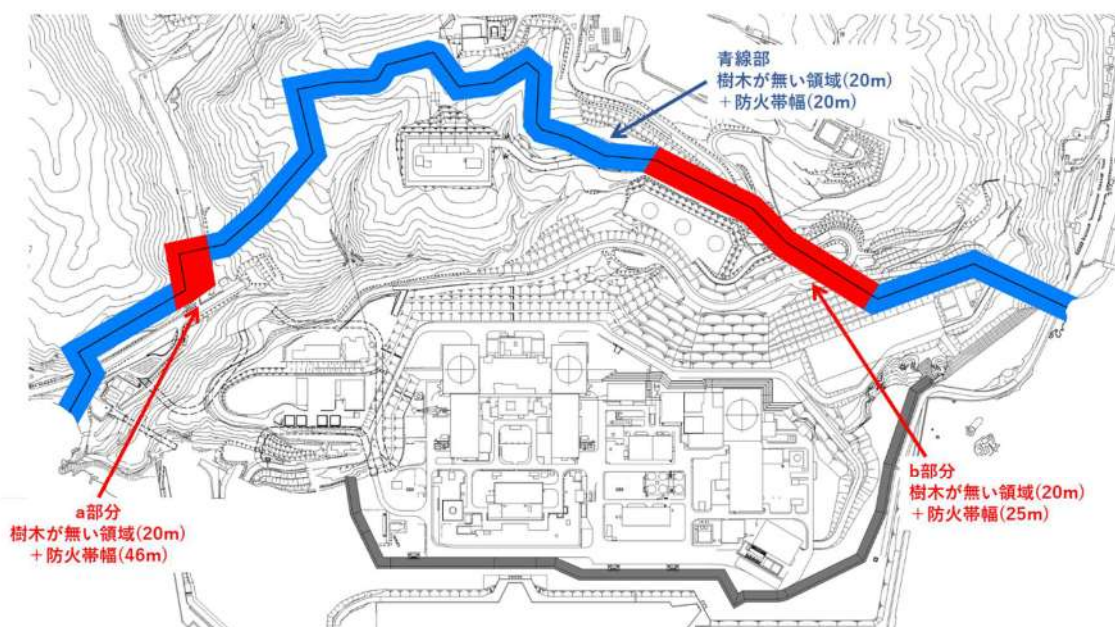
c. 評価結果

発火点 2 の火炎到達時間 0.8 時間（約 52 分）以内に予防散水が可能である。

2. 3. 2 防火帯幅の評価結果

第 2-14 表, 第 2-17 表の評価結果から, 評価上必要とされる防火帯幅約 17.8m (発火点 1) に対し, 20m 幅 (ただし, 敷地東部の一部は自主的に 25m 幅) の防火帯, 約 45.3m (発火点 2) に対し, 46m 幅の防火帯を設定する (第 2-22 図)。

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



第 2-22 図 防火帯設置位置

2. 3. 3 外部火災時のモニタリングポスト及びモニタリングステーションの対応について

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

モニタリングポスト及びモニタリングステーションについては、泊発電所の周辺監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近に8箇所（防火帯の外側は6箇所）設置している。

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

なお、森林火災の進展によりモニタリングポスト及びモニタリングステーションの機能が喪失した場合は、防火帯の内側に保管している可搬型モニタリングポスト（バッテリー駆動可能：7台）により代替測定を実施する。

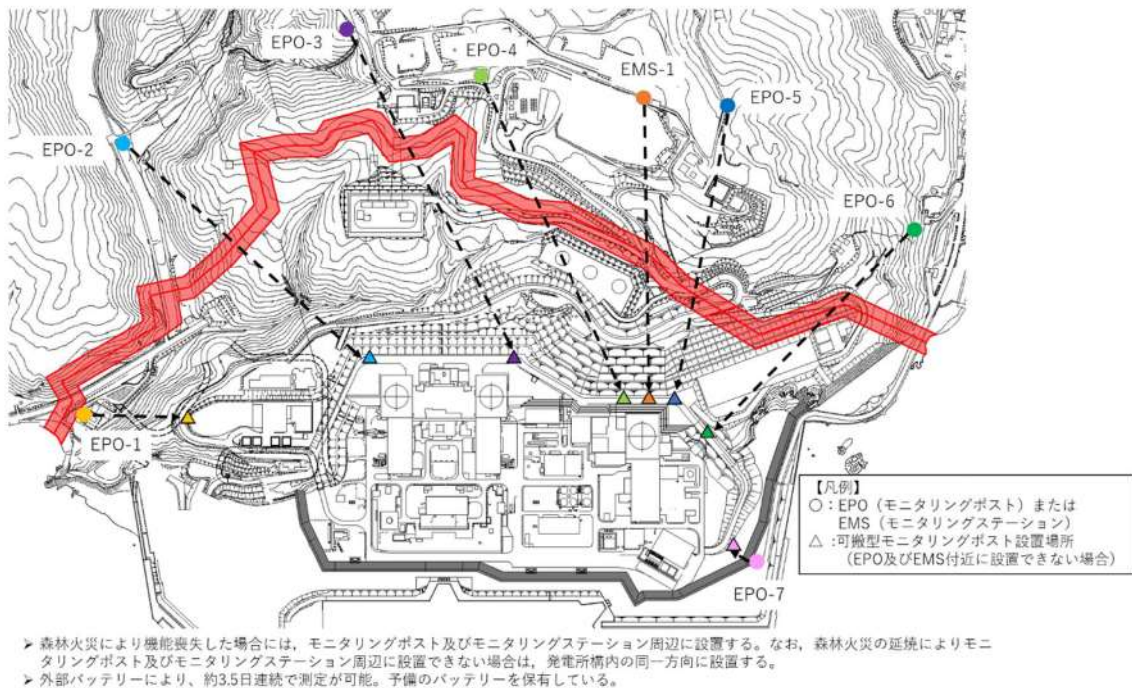
可搬型モニタリングポストがモニタリングポスト及びモニタリングステーション周辺に設置できる場合は、その周辺に設置し、森林火災の延焼によりモニタリングポスト及びモニタリングステーション周辺に設置できない場合は、発電所構内の同一方向に設置する。可搬型モニタリングポスト等を配置場所まで運搬・設置し、監視・測定を開始するまでの所要時間は、1台当たり約30分を想定（7台設置する場合は、約3時間30分を想定）。

可搬型モニタリングポストの設置イメージ図を第2-23図、配置図を第2-24図に示す。

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



第2-23図 可搬型モニタリングポスト（設置イメージ）



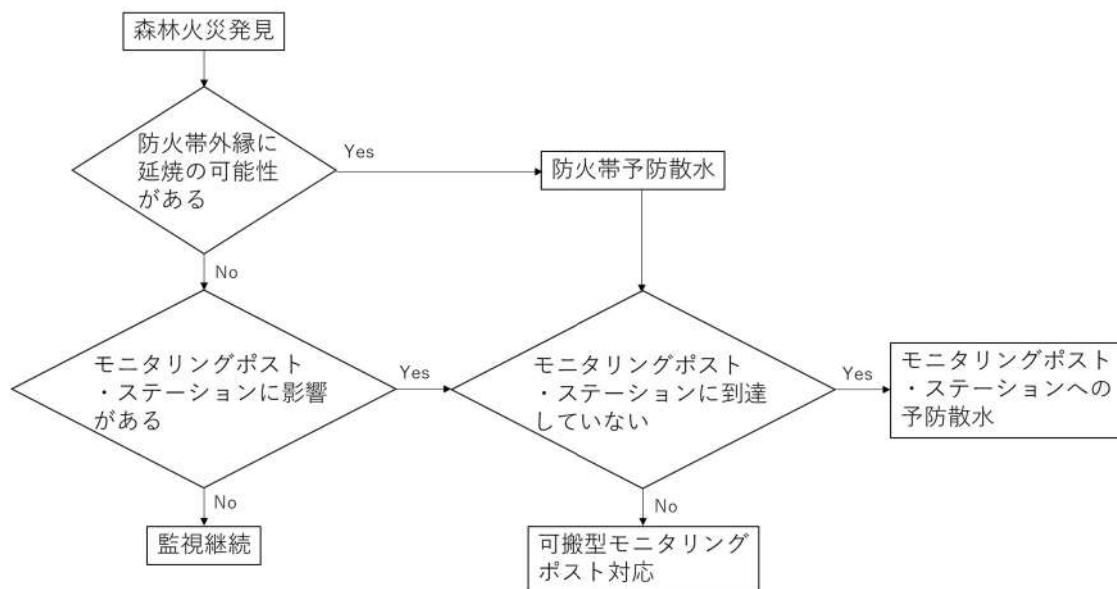
第 2-24 図 可搬型モニタリングポスト設置位置

(1) モニタリングポスト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、防火帯内側にある発電用原子炉施設の防護を第一に考える。ただし、可能な限り影響の軽減を図るため、外部からの情報により森林火災を認識し、風向き等から森林火災が発電用原子炉施設に影響を与えないと判断した場合、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合は、モニタリングポスト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第 2-25 図に示す。

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第 2-22 表に示す。

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第 2-26 図に示す。



第 2-25 図 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：実施結果は第 2-23 表に示す。訓練の様子を第 2-26 図に示す。

評価：

- ・モニタリングポストへの消防車による散水を実施し散水は可能。
- ・出動から散水開始までの実績時間は約 25 分となった。
- ・消防車 2 台連結により実施し，散水可能であった。
- ・予防散水のうち実施条件が厳しいモニタリングポスト No. 5 で散水が可能であるため，すべ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。

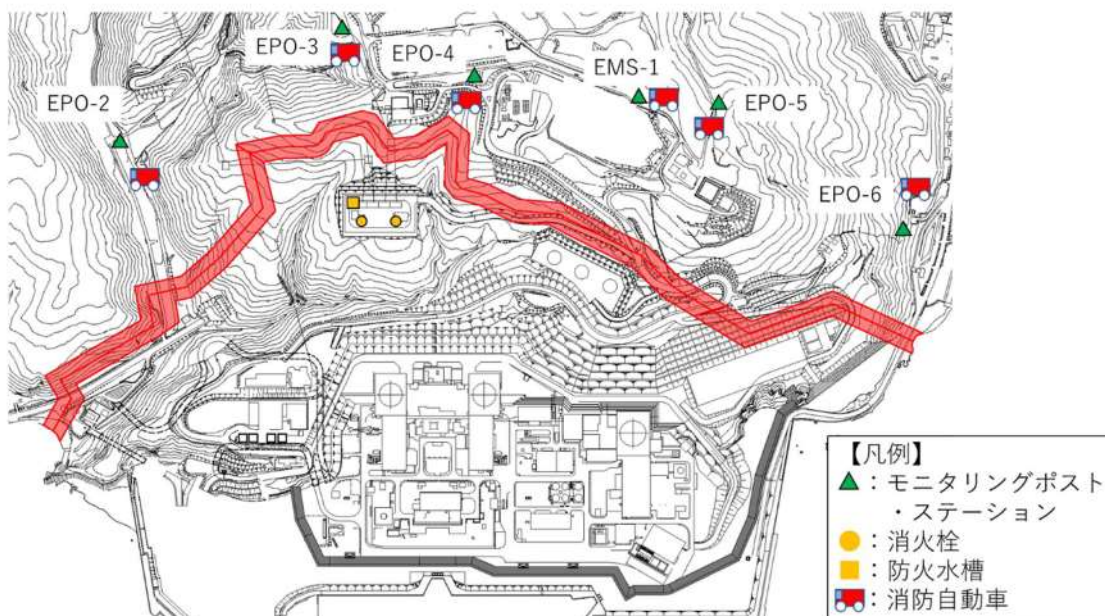
また，防潮堤の再構築により構内入構ルートが変更になるため，予防散水活動時に本ルートを通行するモニタリングポスト No. 2 及び No. 6 については，過去の実績等から想定時間を算定した結果，約 24 分及び約 34 分となり，所定の時間内で散水可能であると評価する。

第2-22表 モニタリングポスト・ステーション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 屋外消火栓	防火水槽 No. 1 屋外消火栓
防火水槽容量	(60m ³)	60m ³	60m ³
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 (訓練実績)	—※1	約25分	—※1
連絡から予防散水開始まで (過去の実績等からの想定)	約24分※2	—	約34分※2
予防散水継続時間(間欠)	(防火水槽使用時 約158分)	約158分	約158分
対応人数	初期消火要員 11名		

※1：構内入構ルート変更前は、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。

※2：構内入構ルート変更予定のため、過去の実績等から所要時間を算出した。(別紙2-9)



第2-26図 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水

第2-23表 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水活動時間
(1/3)

散水開始までの所要時間

【モニタリングポストNo.5】

手順	内容	経過時間 (min)							備考	
		0	5	10	15	20	25	30		
①出動準備	初期消火要員へ連絡	▼								
	出動準備～消防車出動まで		■							訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
②移動	モニタリングポストNo.5付近へ移動					■				訓練実績時間:15分 (累計時間:22分)
③放水準備	消防車配置、ホース敷設						■			訓練実績時間:2分 (累計時間:24分)
④放水開始	予防散水開始							■		訓練実績時間:1分 (累計時間:25分)

第2-23表 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水活動時間
(2/3)

散水開始までの所要時間

【モニタリングポストNo.2】

手順	内容	経過時間 (min)							備考	
		0	5	10	15	20	25	30		
①出動準備	初期消火要員へ連絡	▼								
		連絡								
①出動準備	出動準備～消防車出動まで									
②移動	モニタリングポストNo.2付近へ移動									訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
③放水準備	消防車配置、河川水の取水準備									想定時間:12分 (累計時間:19分)
④放水開始	予防散水開始									訓練実績時間:4分 (累計時間:23分)
										訓練実績時間:1分 (累計時間:24分)

第2-23表 モニタリングポスト・ステーション付近への予防散水活動時間
(3/3)

散水開始までの所要時間

【モニタリングポストNo.6】

手順	内容	経過時間 (min)							備考	
		0	5	10	15	20	25	30		
③出動準備	初期消火要員へ連絡	▼ 連絡								
④移動	出動準備～消防車出動まで									訓練実績時間:7分 (累計時間:7分)
⑤放水準備	モニタリングポストNo.6付近へ移動									想定時間:24分 (累計時間:31分)
⑥放水開始	消防車配置、ホース敷設									想定時間:2分 (累計時間:33分)
	予防散水開始									想定時間:1分 (累計時間:34分)



第 2-27 図 消防自動車による予防散水

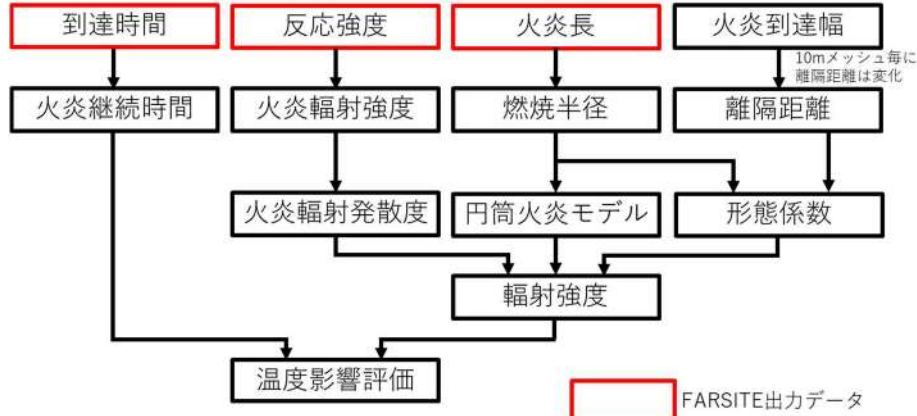
3. 温度影響評価

3.1 パラメータの算出

(1) 温度影響評価の流れ

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

なお、FARSITE 出力項目を第2-24表に、発火点ごとの FARSITE 解析結果を第2-25表に示す。



第2-28図 温度影響評価 (概念図)

第2-24表 FARSITE 出力項目 (温度影響評価関係)

項目	内容 (用途)	
FARSITE 出力	到達時間[h]	出火から火災の前線が該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 ²]	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎放射強度の根拠 となる火災規模 (火炎放射強度の算出)
	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)
	火炎放射強度 [kW/m ²]	発電所防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度 (最 大) に米国防火協会(NFPA)の係数 0.377 ^{※1} を乗じて算出(円 筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	燃焼半径[m]	火炎長に基づき算出 (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
	火炎到達幅[m]	発電所敷地境界の火炎最前線の長さ (円筒火炎モデル数の 算出)

※1 発電所敷地近傍には針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、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」)

第2-25表 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 1.5km)
火炎継続時間[h]	0.118	0.021
最大火炎輻射強度[kW/m ²] ^{※1}	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) ^{※2} [-]	0.0076	0.017
輻射強度 (最大) ^{※2} [kW/m ²]	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。

泊発電所敷地近傍には、針葉樹及び落葉広葉樹がある。

そのため、輻射熱割合は、針葉樹 0.377 と落葉広葉樹 0.371 のうち保守的に大きい値である針葉樹の係数 0.377 を使用する。火炎輻射強度と反応強度の発熱量の関係を第 2-26 表に示す。

反応強度 $[W/m^2]$

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

第 2-26 表 火炎輻射強度と反応強度の発熱量

発熱量 (ΔH)	火炎輻射強度 (ΔH_{rad})	火炎対流発散度 (ΔH_{con})	反応強度 (ΔH_{ch})	係数 ($\Delta H_{rad} / \Delta H_{ch}$)
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」)

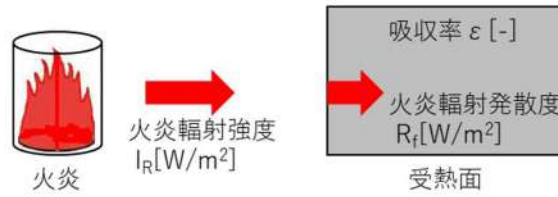
(5) 火炎輻射発散度

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 $[W/m^2]$, I_R : 火炎輻射強度 $[W/m^2]$, ε : 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、第 2-29 図に示す。



第 2-29 図 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

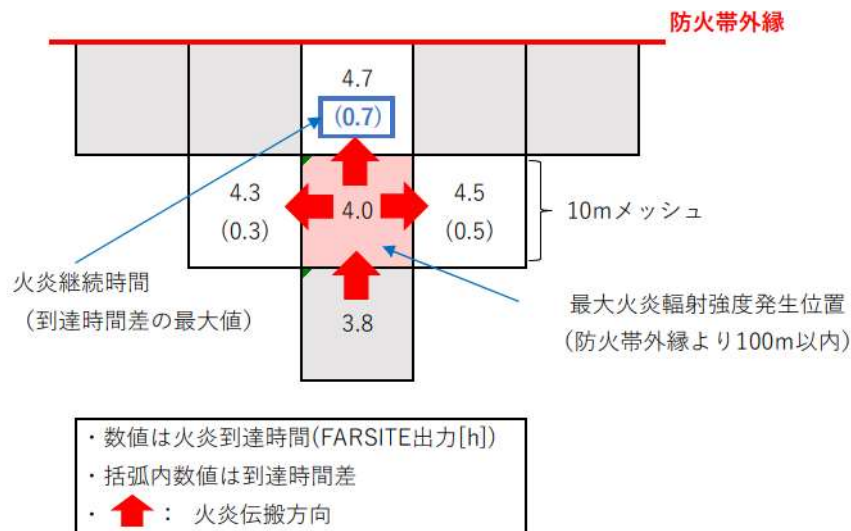
森林火災が収束するまでに、防火帯外縁で延焼している範囲を火炎到達幅 (W) とし、この範囲の燃焼が受熱面へ与える影響を輻射強度により評価する。

本評価に用いる火炎到達幅 (W) は、延焼したメッシュ数×10m (メッシュ幅) とした。

(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第 2-30 図に示す。



第 2-30 図 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。

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

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

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

(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。

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

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

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

ϕ_i : 形態係数[-], R_f : 最大火炎輻射発散度[kW/m²], \hat{F} : 円筒火炎モデル数(10 メッシュ)

(10) 温度の算出方法

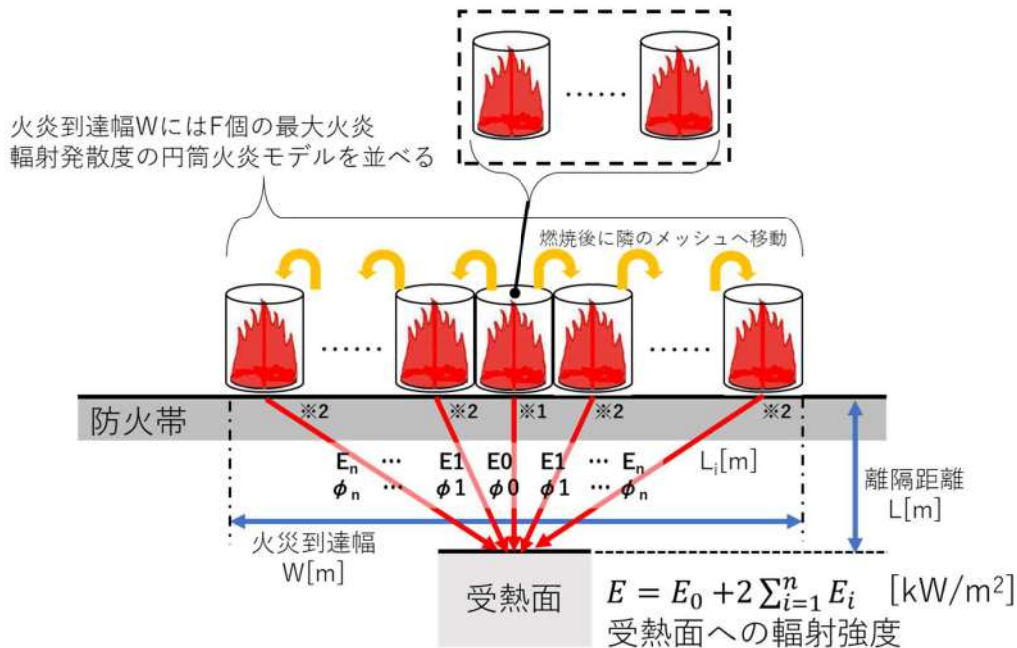
a. 評価条件

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 \hat{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第2-31図に示す。

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烧



※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E₀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φ_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。

第2-31図 温度影響評価概念図

3. 2 建屋外壁の温度評価

(1) 影響評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、森林火災を想定して評価を実施した。

- (2) 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を用いて評価を行う。評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離を第2-27表に示す。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。

第 2-27 表 評価対象施設から最も近い防火帯外縁までの離隔距離

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、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、式 1 の一次元非定常熱伝導方程式を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数値解析により解くことで、外壁表面の温度及び外壁表面の温度が 200℃となる輻射強度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 : 建屋温度[℃], x : コンクリート深さ[m], t : 時間[s],

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m・K])

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

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

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

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

第2-28表 対象施設の輻射発散度及び形態係数

項目	発火点	原子炉建屋
輻射発散度[kW/m ²] ^{※1}	1	1,200(843)
	2	1,200(977)
形態係数(総和)[-]	1	0.048
	2	0.15

※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

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。

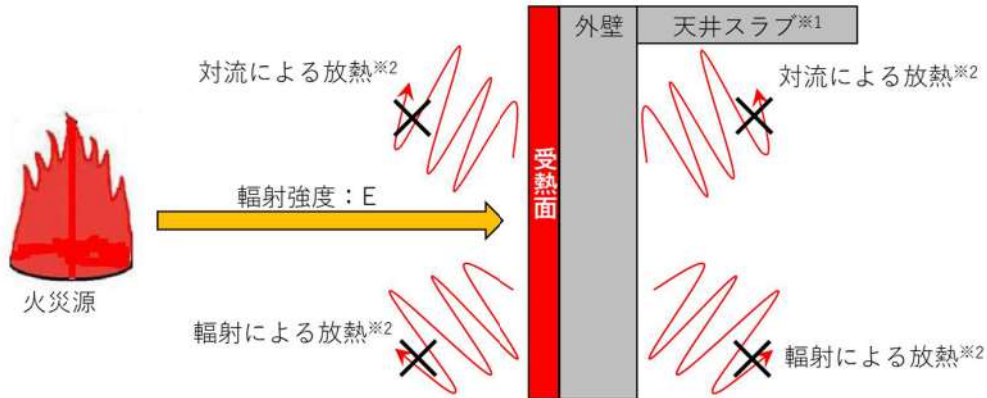
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

H：火炎長[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、最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図を第2-32図に示す。



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

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

第2-32図 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

c. 評価結果

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

評価結果のうち、危険輻射強度を第 2-29 表に、危険距離を第 2-30 表に示す。

第 2-29 表 対象施設の危険輻射強度

項目	発火点	原子炉建屋
危険輻射強度 (最大) [kW/m ²]	1	10.03
	2	39.88

第 2-30 表 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
外壁温度[°C]	1	約 62	※1		
	2	約 60			
防火帯外縁から の離隔距離[m]	1	200	230	230	300
	2				
危険距離[m]	1	34.0			
	2	24.7			

※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

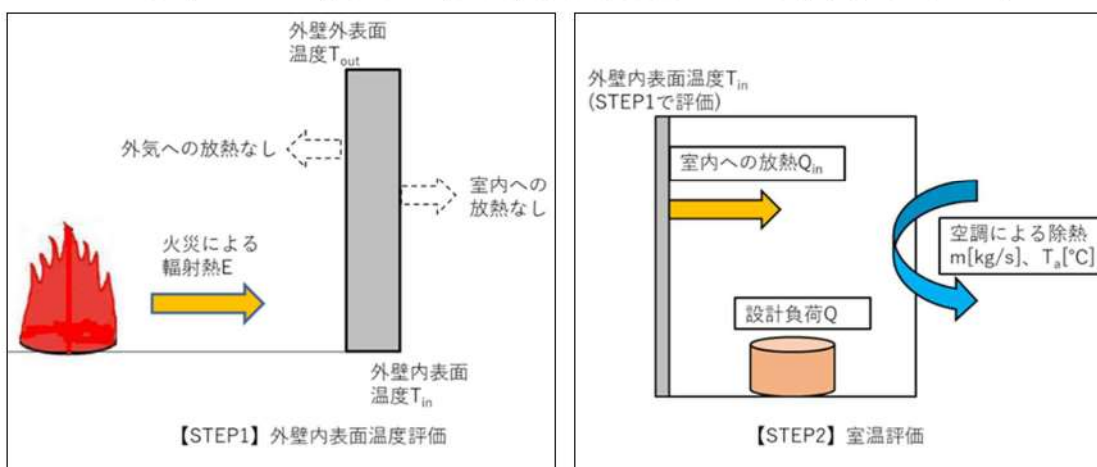
中央制御室の設計室温から 40°C とする。

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。第 2-33 図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。(STEP1)
 (b) STEP1 で得られた外壁内表面温度を基に室温を評価する (STEP2)



第 2-33 図 評価概念図

- (a) STEP1 の評価モデル式

外部火災による外壁内表面温度を算出する式は次式で示される。

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

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

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m・K])

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

- (b) STEP2 の評価モデル式

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

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

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

Q_{in} : 室内熱負荷[W], h_{in} : 室内壁表面熱伝達率[W/m²・K]

A : 室内壁表面積[m²], T_{in} : 内壁最高温度[°C], T_{room} : 室温[°C]

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

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

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

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

第2-31表 評価結果（原子炉施設）

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

第2-32表 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

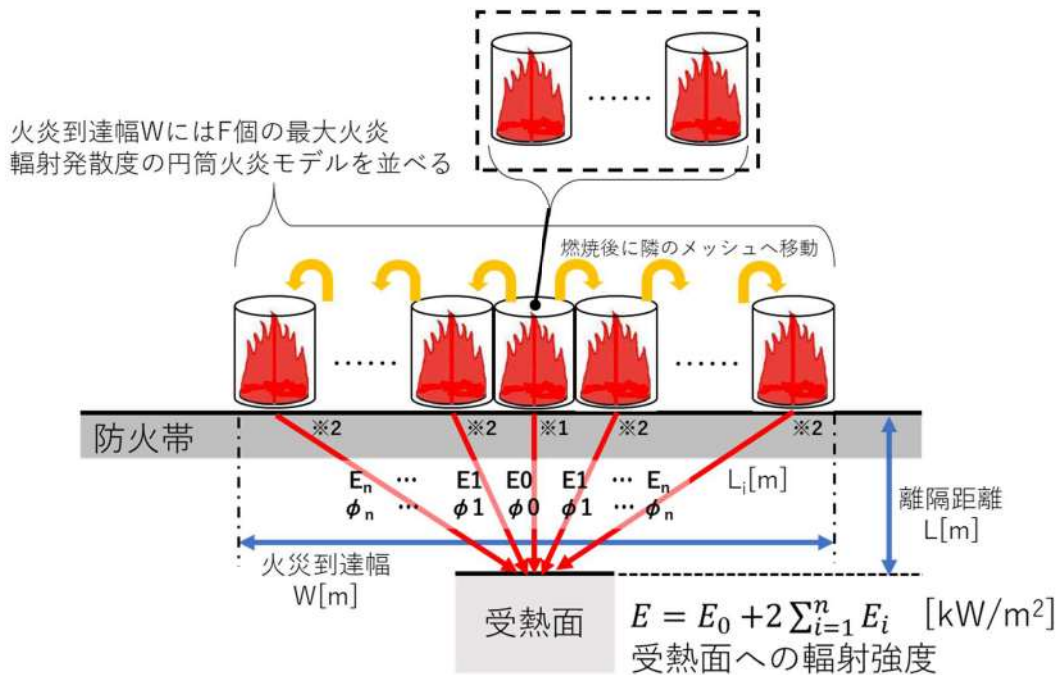
(1) 評価手法の概要

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第2-34図に示す。

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E₀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 ϕ_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。

第2-34図 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。

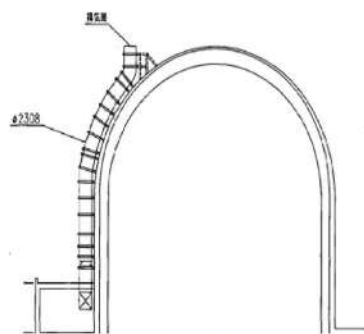
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第2-33表に、排気筒外形図を第2-35図に示す。

第 2-33 表 排気筒の仕様

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



第 2-35 図 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第 2-34 表に示す。

第 2-34 表 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. 危険輻射強度

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

ii. 評価方法

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

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

ε: 吸収率(1.0[-]), E: 輻射強度[W/m²], h: 熱伝達率(17[W/m²・K])^{※1}, T₀: 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変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²/K を用いる。)

第2-35表 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 ²]	2	9,304

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：輻射強度[W/m²], R_f：輻射発散度[W/m²], Φ：形態係数

第2-36表 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 (843)
[kW/m ²] ^{※1}	2	1,200 (977)
形態係数	1	0.0078
[-]	2	

※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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

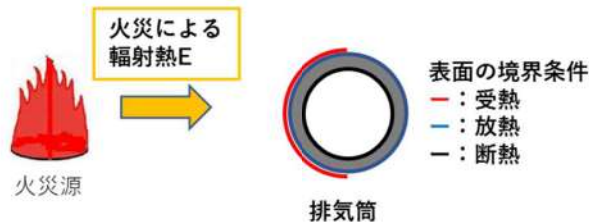
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

H：火炎長[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、最も近い防火帯外縁から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

排気筒の評価概念図を第2-36図に示す。



第2-36図 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

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

第2-37表 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
温度[°C]	約 60	約 71
防火帯外縁からの離隔距離[m]	200	
危険距離[m]	35.4	54.0

3. 5 原子炉補機冷却海水ポンプの影響評価

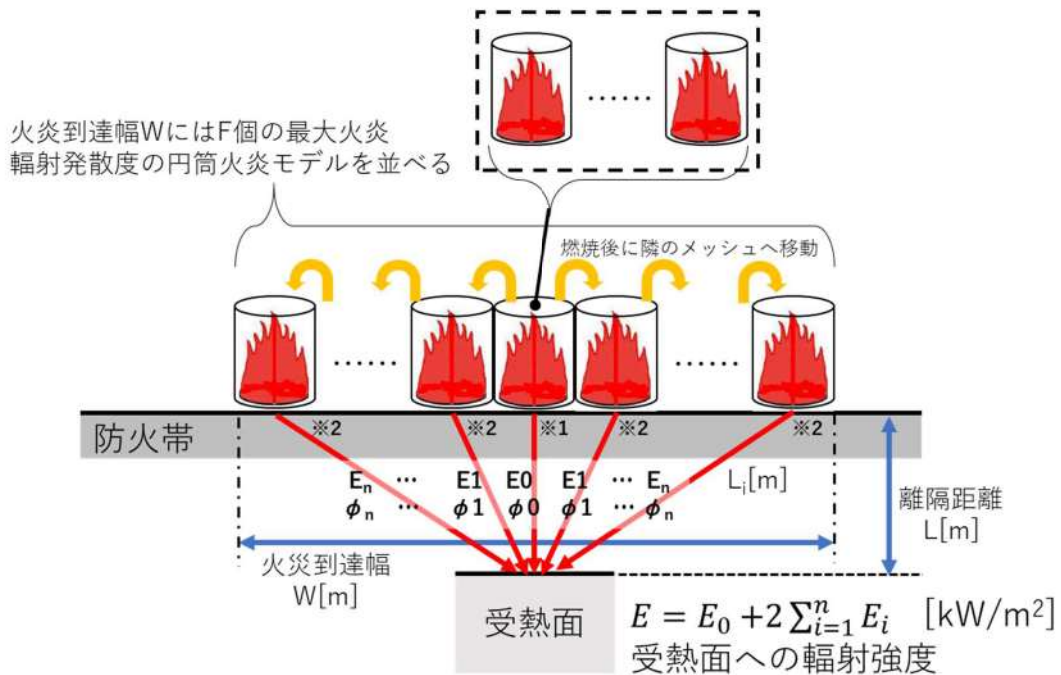
(1) 評価手法の概要

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第2-37図に示す。

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E₀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φ_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。

第2-37図 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は、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場

合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。

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

(b) 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第2-38表に示す。

第2-38表 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、電動機下部軸受を限界温度以下とするために必要な吸い込み外気許容温度を80℃とする。

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

第2-39表 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	46	145 ^{※1}
下部軸受け	80	35	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

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第2-38図に示す。

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

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

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

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

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

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

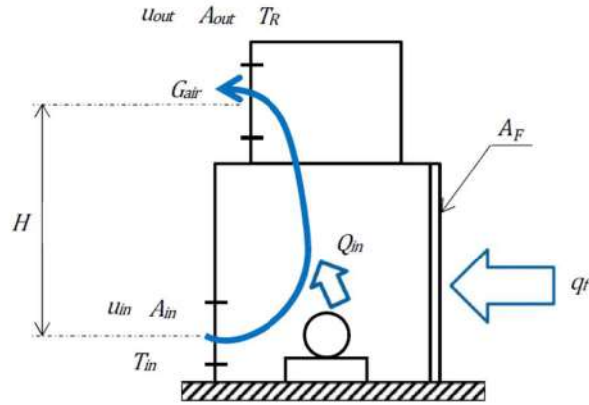
※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※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/s²], ρ_{in} : 外気密度[kg/m³],
 ρ_R : 建屋内空気密度[kg/m³], H : 換気有効高さ[m], ζ_{in} : 給気口圧損係数[-],
 ζ_{out} : 排気口圧損係数[-], u_{in} : 給気口流速[m/s], u_{out} : 排気口流速[m/s],
 A_{in} : 給気口面積[m²], A_{out} : 排気口面積[m²], W_R : 建屋内空気重量[kg],
 V : 建屋内空气体積[m³], q_f : 外部火災からの輻射熱受熱熱流束[W/m²],
 A_F : 輻射受熱面積[m²], C_{PR} : 建屋内空気比熱[J/kg・K], Δt : 時間刻み[s]



第 2-38 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第 2-40 表 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) [W/m ²]	1	3,178
	2	4,847

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

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

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

第 2-41 表 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 ²]*1	1	1,200 (843)
	2	1,200 (977)
形態係数 (総和) [-]	1	0.026
	2	0.048

※ 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

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 [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。評価結果を第2-42表に示す。

第2-42表 原子炉補機冷却海水ポンプへの危険物貯蔵施設火災影響評価結果

項目	原子炉補機冷却海水ポンプ	
	発火点 1	発火点 2
温度[°C]	約 44	約 46
防火帯外縁からの離隔距離[m]	300	
危険距離[m]	62.0	75.3

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、地形等を考慮し、地点ごとに 20m（ただし、敷地東部の一部は自主的に 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、地形等を考慮して設定したことから、防火帯内の一部には他の法令要求等による少量の可燃物を含む機器等が存在する。このため、防火帯内に設置された機器等の延焼防止効果への影響の有無を評価し、必要な対策を講ずる設計とする。

第 1 表に防火帯に設置される機器等の管理方針について示す。

第 1 表 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針

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

コンクリートの許容限界温度 200°C の設定根拠について

高温時のコンクリートの圧縮強度と温度の関係を図に示す。

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。

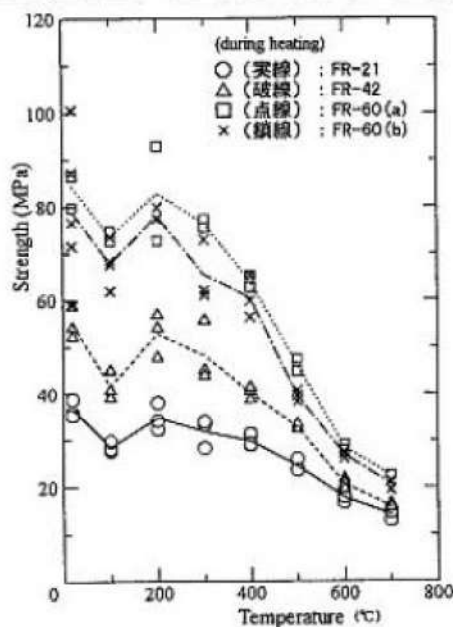
100°C 近傍の圧縮強度の低下については、コンクリートを構成する骨材が膨張すると同時にセメント水和物が 100°C 近傍から凝縮し、不均質さのため自己歪応力が発生する。この自己歪応力により、内部に微細亀裂が増加し、強度を低下させる要因と考えられている。

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。

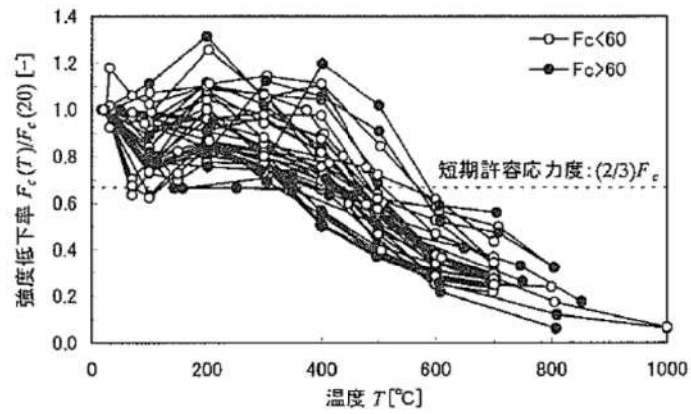
なお、圧縮強度が低下する 100°C 近傍の残存強度は、長期許容応力度 (設計基準強度の 1/3) を十分上回ることを確認している。

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。



第 1 図 圧縮強度と加熱温度の関係※¹



第2図 コンクリートの高温時圧縮強度（常温強度に対する比）※2

※1 高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎研究（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^{※1}よりステンレス鋼(SUS304)は、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^{※2}では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 $\kappa(T)$ が示されており、一般的な鋼材において温度が 325°C 以下であれば、その強度が常温時と変わらない ($\kappa(T)=1$) ^{※3} としている(第 1 図)。

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

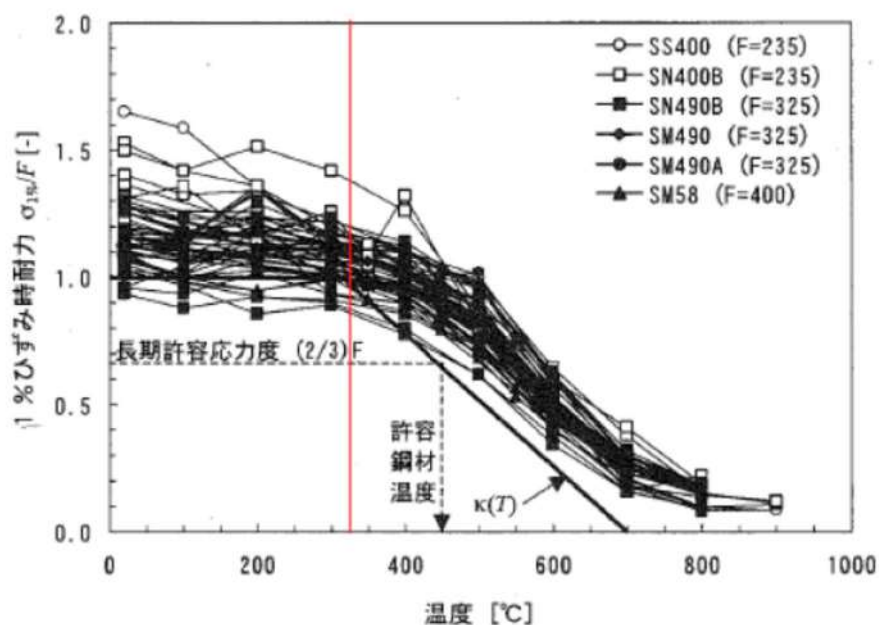


図 5 各種鋼材の高温時の 1%歪時耐力(参考文献^{2)~6)} のデータから作成

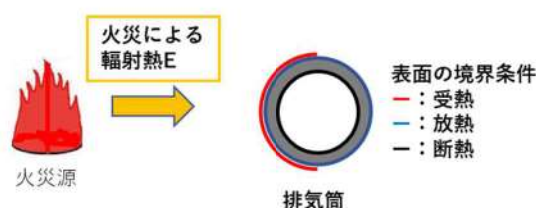
第 1 図 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率^{※2} (一部加筆)

- ※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. 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第 1 図に示す。



第 1 図 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/m²]

ε : 吸収率 [-], h : 熱伝達率 [W/m²・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。

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

2. 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に移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない全閉外扇形の冷却方式であ

り、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。

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

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第1表に示す。

第1表 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	46	145 ^{※1}
下部軸受	80	35	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第2図に示す。

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

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

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

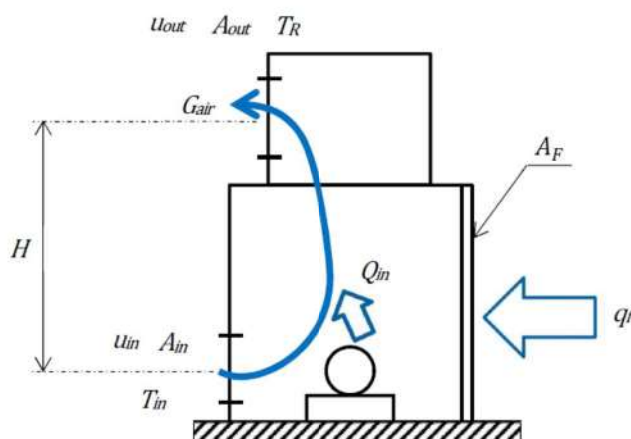
$$\text{給気口流速： } u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※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（湧き空気として算出）

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



第2図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

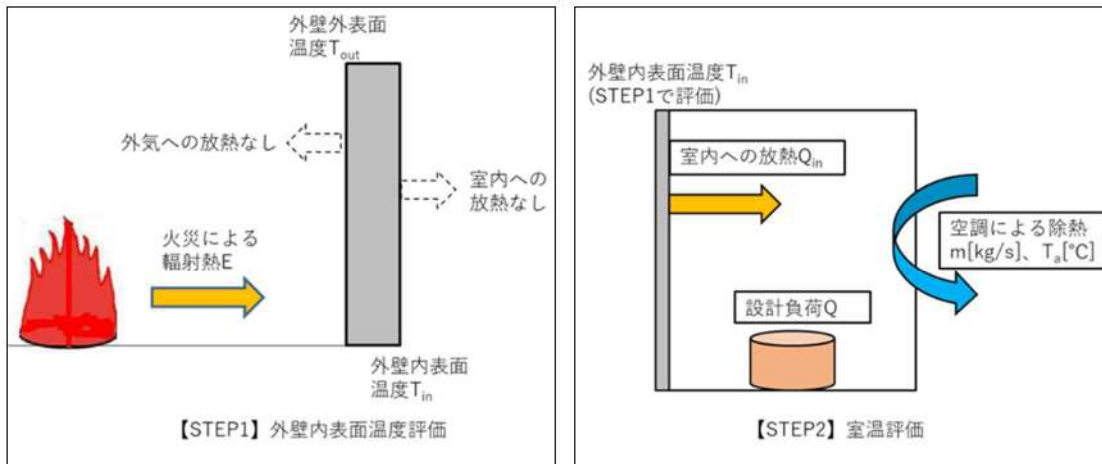
3. 建屋内気温度の温度評価体系

室内で人員の活動が必要な、3号炉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。第3図に評価概念図を示す。

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

また、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。



第3図 評価概念図

a. STEP1 の評価モデル式

外部火災による外壁内表面温度を算出する式は次式で示される。

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

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

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

λ : コンクリート熱伝導率(1.74[W/m·K])

b. STEP2 の評価モデル式

室内の内包機器熱負荷は強制換気による除熱される。ここでは第3図に示すように外部火災による外壁内表面温度の上昇により室温が加熱される影響をモデル化する。保守的に評価を実施するため、室内の熱容量等は考慮せず、熱バランスによる評価を実施する。

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

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

Q_{in} : 室内熱負荷[W], h_{in} : 室内壁表面熱伝達率[W/m²·K]

A: 室内壁表面積[m²], T_{in} : 内壁最高温度[°C]

T_{room} : 室温[°C]

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

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

Q : 室内負荷[W], m : 風量[m³/s]

C_p : 空気比熱[J/kg・K], ρ : 空気密度[kg/m³]

4. 一定の輻射強度を受ける壁面（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]

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

λ : コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])

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/m²], h : 熱伝達率[W/m²・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。

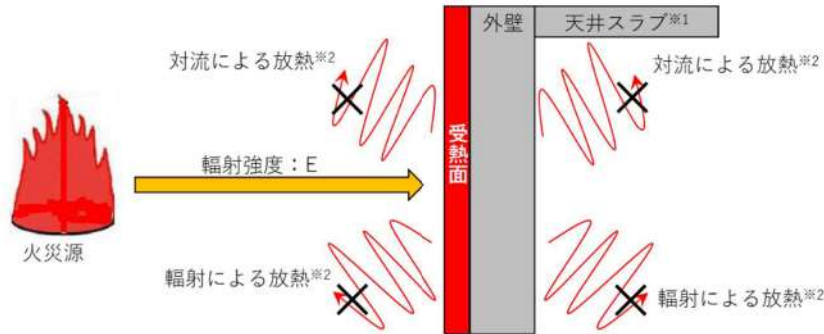
$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha t}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \right]$$

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

α : コンクリート温度拡散率 (= $\lambda/\rho C_p$) (7.53 × 10⁻⁷ [m²/s])

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

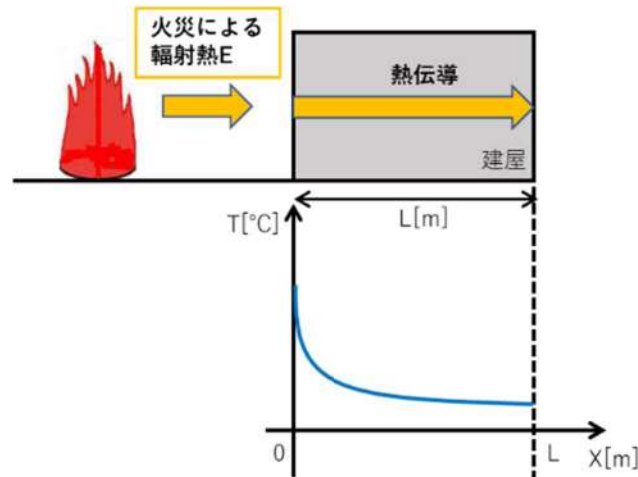
λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/m·K])



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

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

第4図 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図



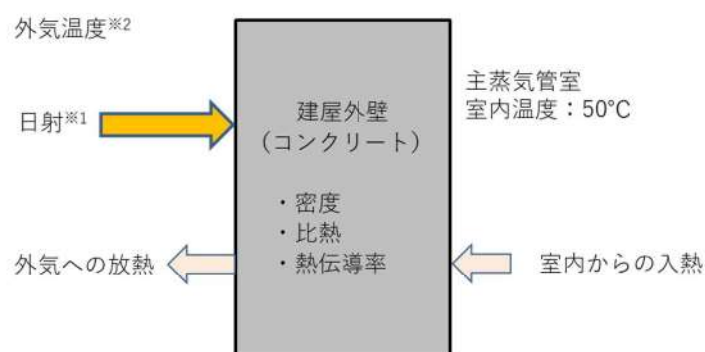
第5図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

初期温度の考え方

1. 外壁（コンクリート）面の初期温度

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、主蒸気管室の室内温度（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初期値を設定した場合、1日における建屋外壁表面の最高温度は約 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。



第1図 建屋外壁表面温度評価モデル

※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

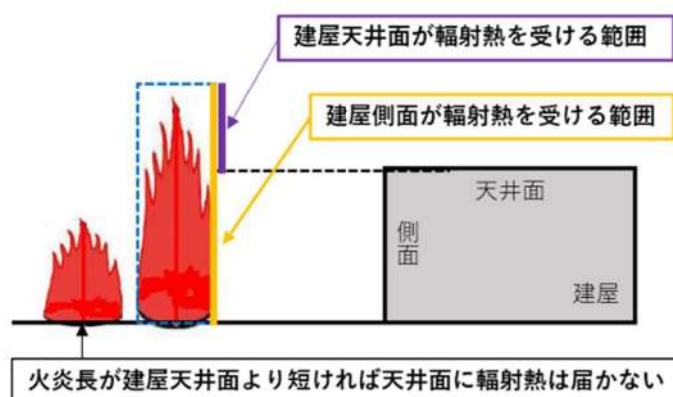
原子炉補機冷却海水ポンプの初期温度は泊発電所の過去10年間（2003年～2012年）の気温の99%を包含する 30.0℃を外気温及び初期温度として設定する。

建屋天井面への熱影響評価

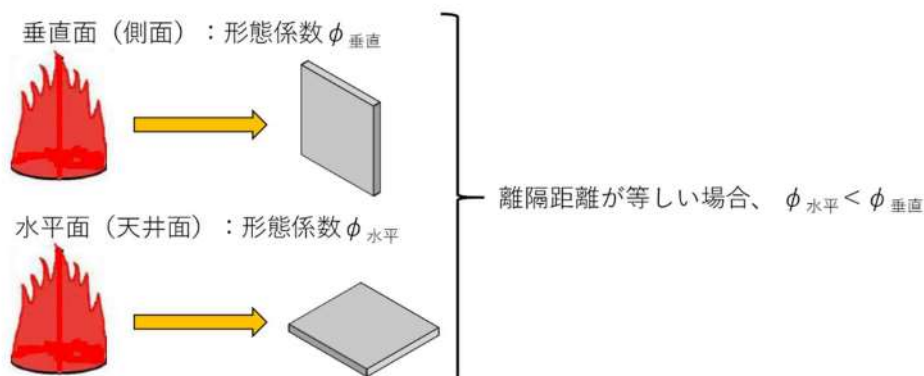
建屋側面への熱影響を実施したが、天井面についての熱影響を検討する。

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

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



第1図 天井面への輻射熱の影響



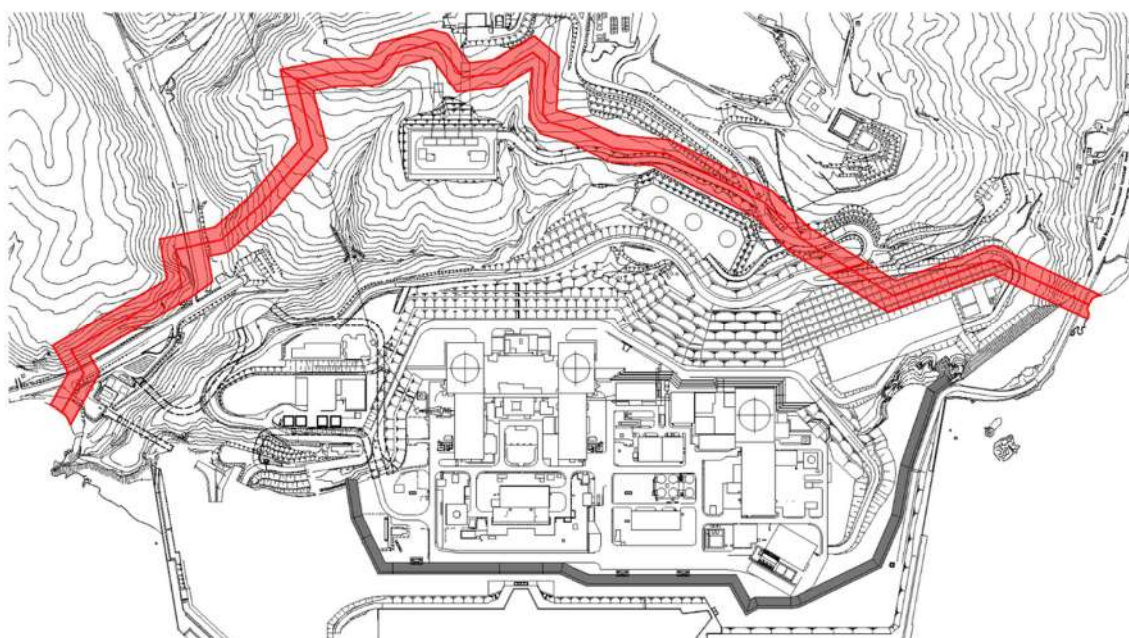
第2図 垂直面と水平面の形態係数の大きさ

斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方 について

1. 防火帯の概要

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

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



第1図 防火帯位置

2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価

(1) 評価方針について

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

(2) 森林火災が防火帯を突破する可能性について

森林火災（単独事象）の影響評価では、下記に示す保守的な前提条件としている。

- ① 気象条件（湿度、気温、風速）は、過去10年間における森林火災発生件数の多い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。

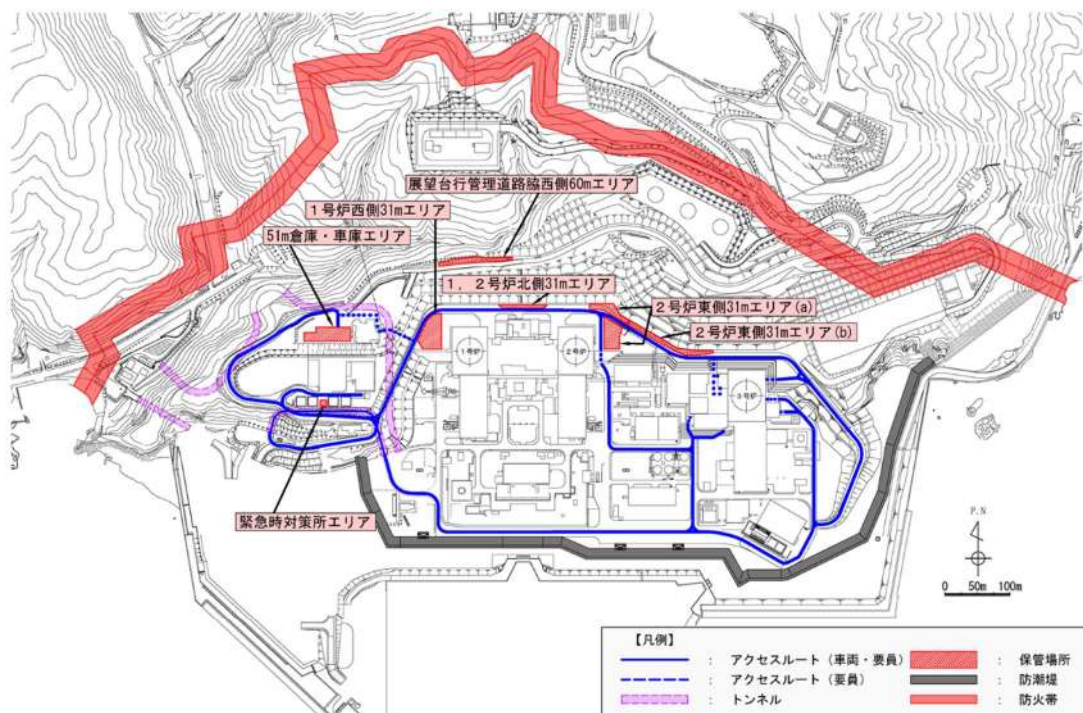
(3) 地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について

第2図に防火帯とアクセスルートを示す。

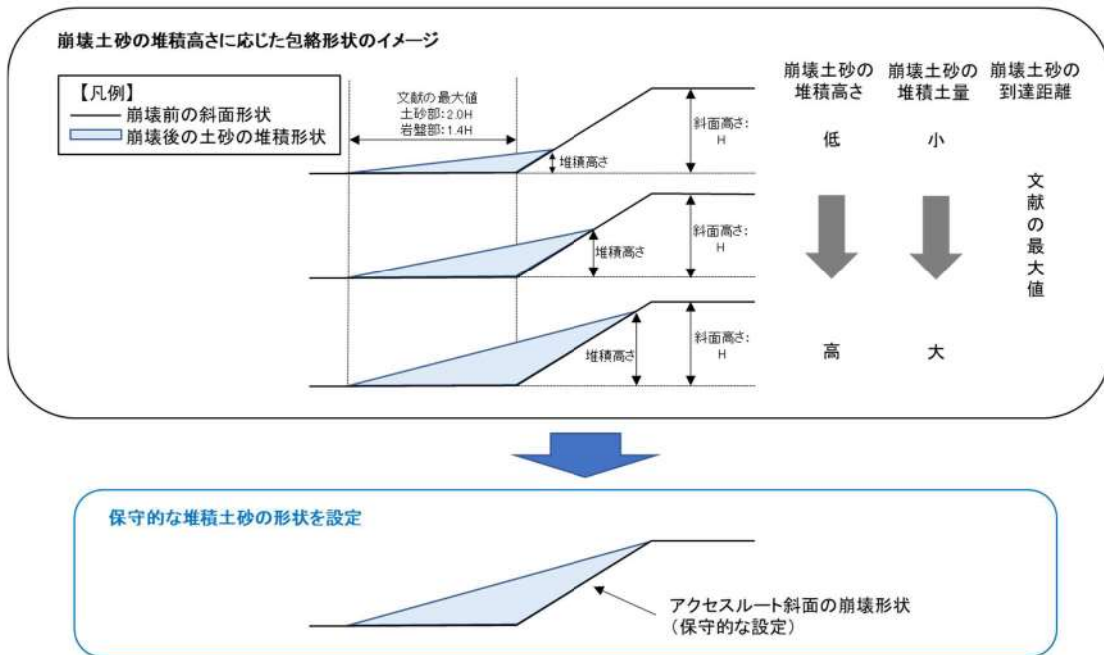
防火帯については、アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方にに基づき（第3図）、斜面崩壊に伴い防火帯に可燃物が流入し、延焼防止機能に影響がある場合は、機能の低下を想定する。

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

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



第2図 防火帯とアクセスルート

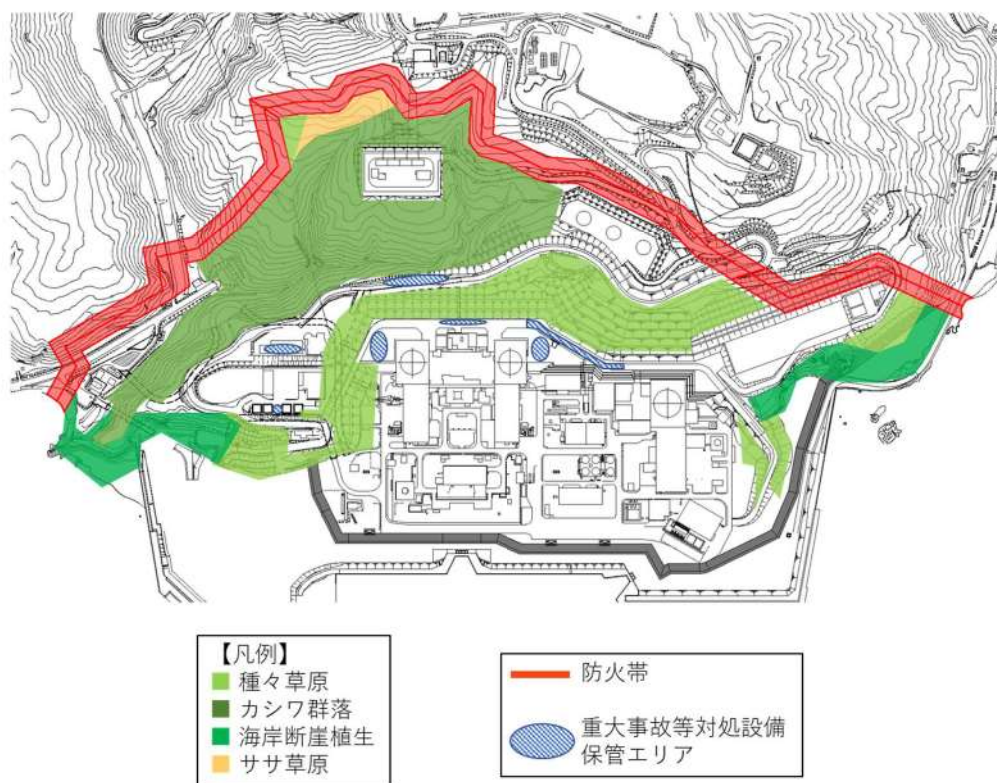


第3図 斜面崩壊時の堆積土砂の形状

防火帯内植生による火災について

第1図に防火帯付近の現状の植生調査結果（平成30年8月）を示す。発電用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発電用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、炎検出設備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。



第1図 防火帯付近の植生調査結果

予防散水開始までの想定時間算出について

防火帯付近の予防散水エリア及びモニタリングポスト・ステーションへの予防散水開始時間について、過去の実績等からの想定する時間について以下に示す。

1. 過去の実績

防火帯付近の予防散水エリア及びモニタリングポスト・ステーションへの予防散水訓練実績(平成 25 年 9 月)から算定する。

2. 消防自動車到着までの時間

移動速度が遅い防火帯付近の予防散水エリアへの予防散水訓練実績より、移動速度を 10km/h にて算定する。

3. 消火ホース敷設時間

同一作業であるモニタリングポスト No. 5 への予防散水訓練実績より、2分とする。

4. 放水開始までの時間

同一作業であるモニタリングポスト No. 5 への予防散水訓練実績より、1分とする。

5. 想定の世界算定

防火帯付近の予防散水エリア及びモニタリングポスト・ステーションに対して上記より算定を行う。算定した時間は項目ごとに1分単位に切り上げる。

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

第 1 表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。

第 1 表 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 (2013～2021 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 (2013～2021 年)	
風速	29.7m/s 2010 年 4 月 14 日 (2003～2012 年)	25.5m/s 2020 年 4 月 21 日 (2013～2021 年)	FARSITE には上限値である 27.8m/s を入力

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

発火点 1 の評価には正時前 10 分値である 1 時間値の最多風向を採用した。最多風向は東であった。

なお、10 分値は 6 秒(Z 点については 5 秒) 周期収集風向の 10 分間の最多風向である。

(2) 風速

評価には、正時前 10 分値である 1 時間値の最大風速を採用した。最大風速 29.7m/s は 2010 年 4 月 14 日に出現している。FARSITE の風速パラメータに入力できる最大値は 100km/h(27.8m/s)であるため FARSITE には 100km/h を入力している。

なお、10 分値は 6 秒(Z 点については 5 秒) 周期収集風速の 10 分平均値である。

(3) 気温

評価には、6 秒周期収集の最高気温を採用した。最高気温 30.0°C は 2012 年 6 月 30 日に出現している。

(4) 湿度

評価には、6 秒周期収集の最小湿度を採用した。最小湿度 13% は 2003 年 4 月 22 日に出現している。

採用した最高気温等が出現した日について、気象観測指針に基づき 1 時間値のデータを添付 1 に示す。添付 1 より、瞬時値を採用した評価の方が厳しくなる。なお、1 時間値は正時前 10 分値、10 分値は 6 秒周期収集の 10 分平均値である。

よって、最大風速は、FARSITE の入力上限値を上回っているが、気温及び湿度に関しては瞬時値を使用し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。

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 年ごとにグルーピングし、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、田及びその他の農用地は 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 及び発火点 2 において最大火線強度及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及びその際の風向を考慮し、2 ケース実施する。

第 1 表 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°

結果は第 1 図及び第 2 図に示す。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。

第 2 表 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)	第 1 表のとおり	Tall grass	10 時, 12 時, 14 時
ケース 4 (発火点 2)	第 1 表のとおり	Chaparral	8 時, 10 時, 12 時

結果を第3図及び第4図に示す。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、泊発電所の地形及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。

第3表 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%

第4表 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°

結果を第5図に示す。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。

第5表 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)	第1表のとおり	Chaparral	8時, 10時, 12時

解析結果を第6図に示す。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、泊発電所の地形及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。

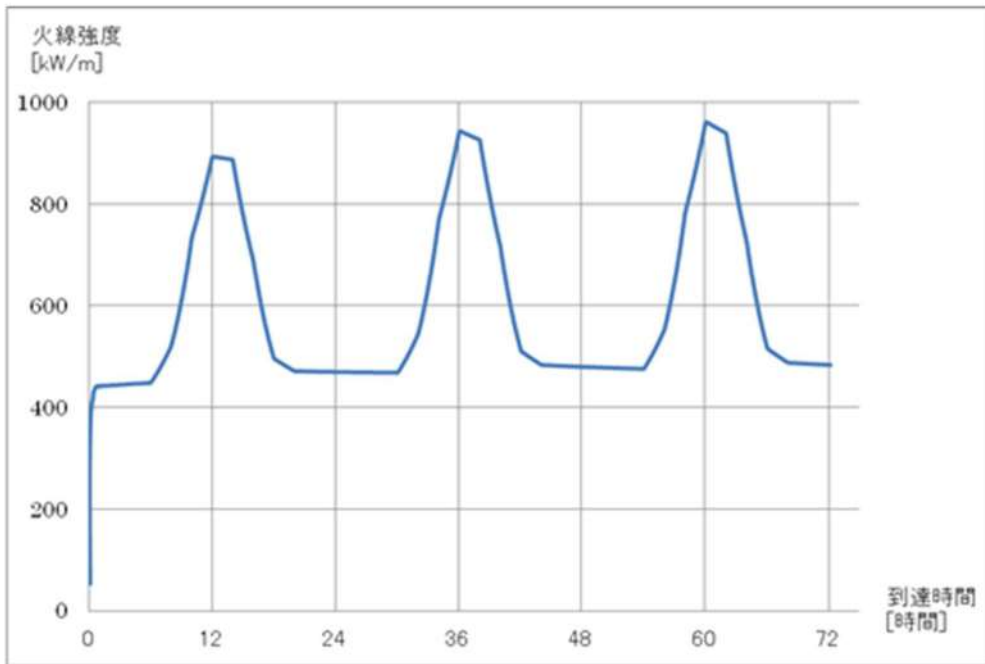
第6表 感度解析その6

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 ²]
8時00分	9時14分	977 [kW/m ²]
9時00分	10時26分	1,001 [kW/m ²]

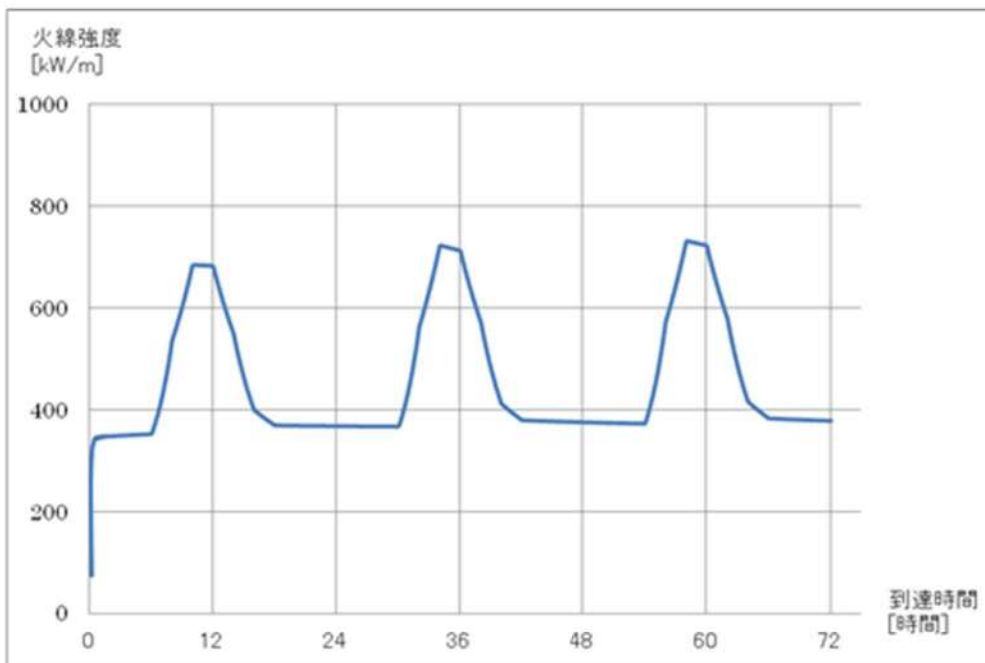
その結果、開始時間8時00分及び9時00分の解析結果は、感度解析その5の最大値とほぼ同等の値 (1,001kW/m²) を示すことが分かった。

今回の熱評価では、開始時間8時00分の結果である977kW/m²に余裕をみた1,200kW/m²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。

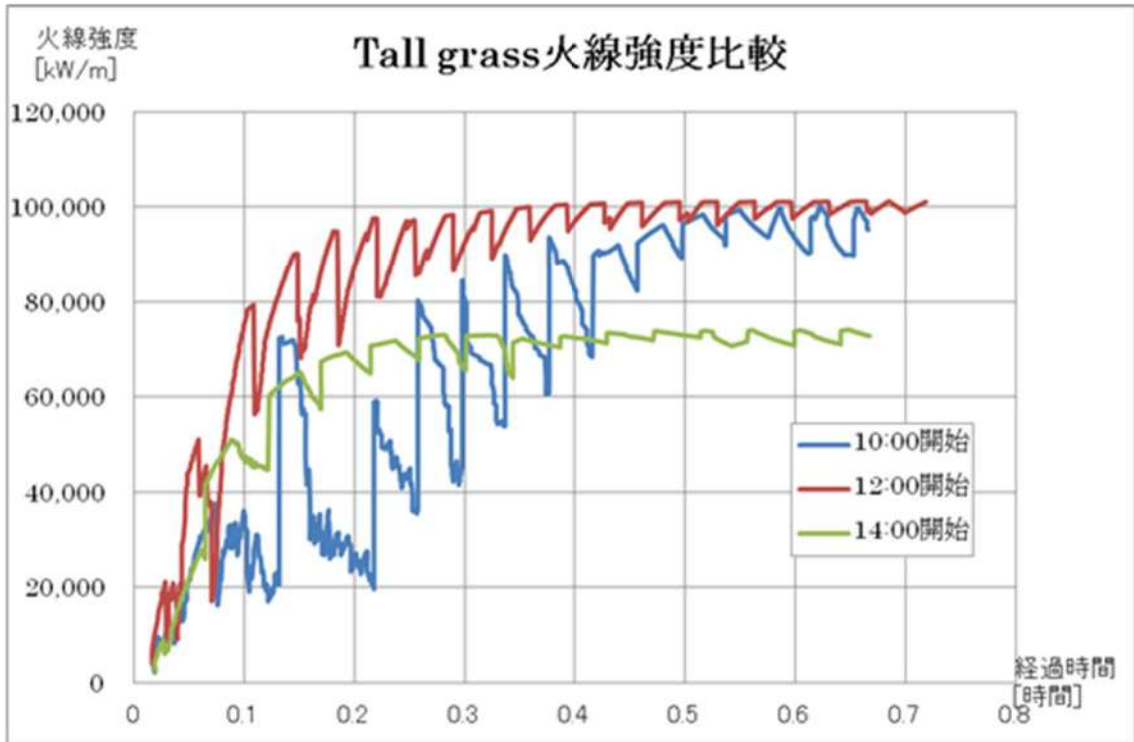
以上



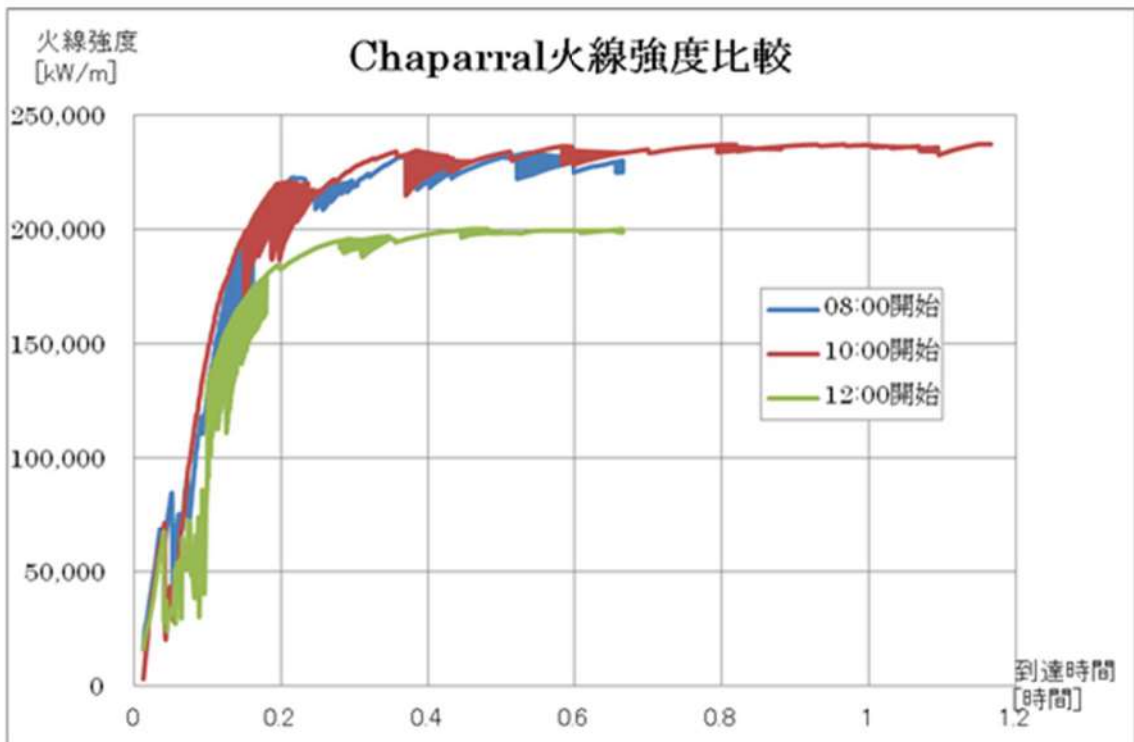
第1図 到達時刻の影響 (ケース1 広葉樹)



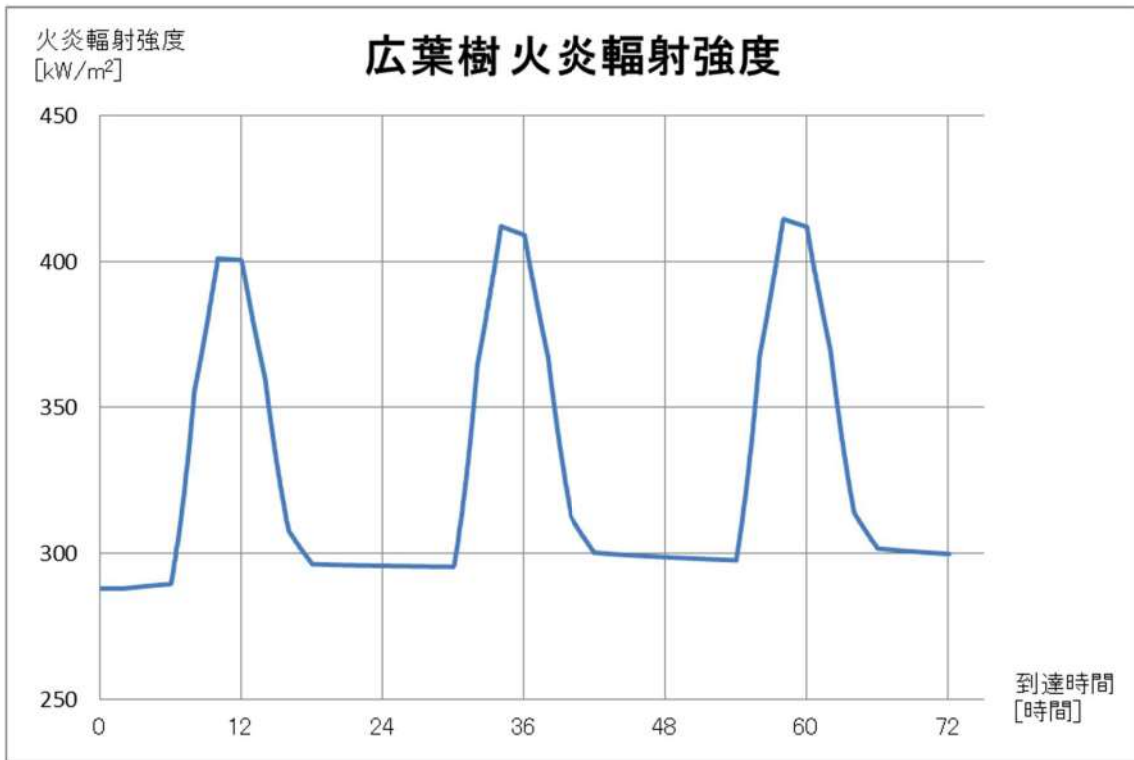
第2図 到達時刻の影響 (ケース2 広葉樹)



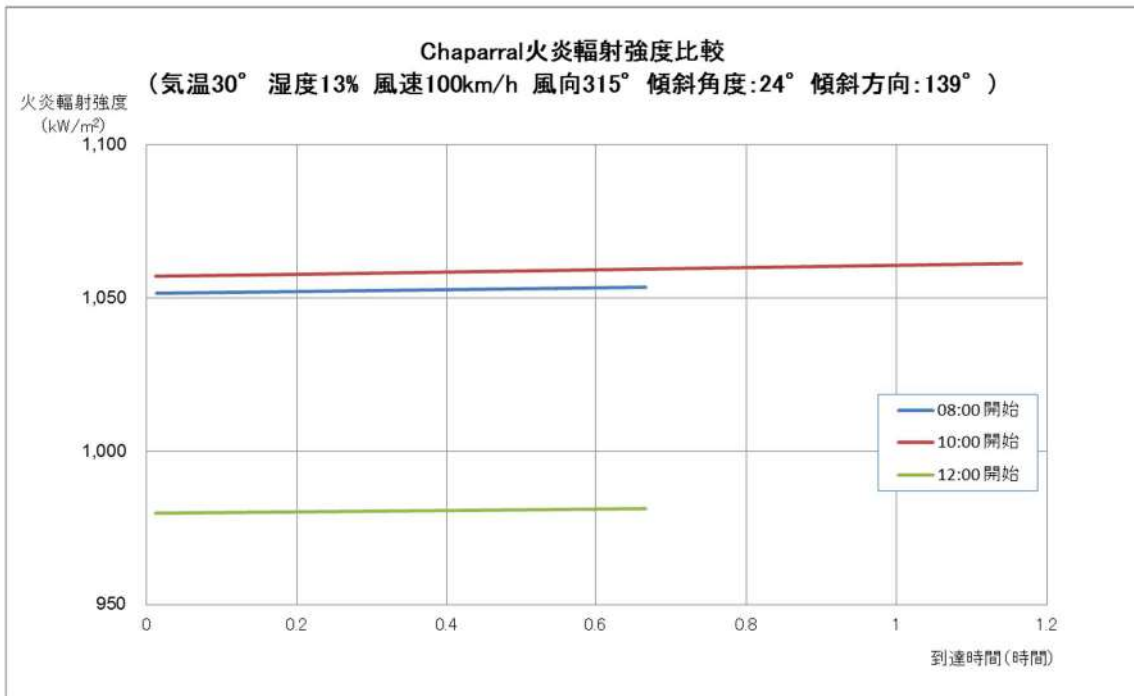
第3図 火線強度に関する到達時刻の影響 (ケース3 Tall grass)



第4図 火線強度に関する到達時刻の影響 (ケース4 Chaparral)



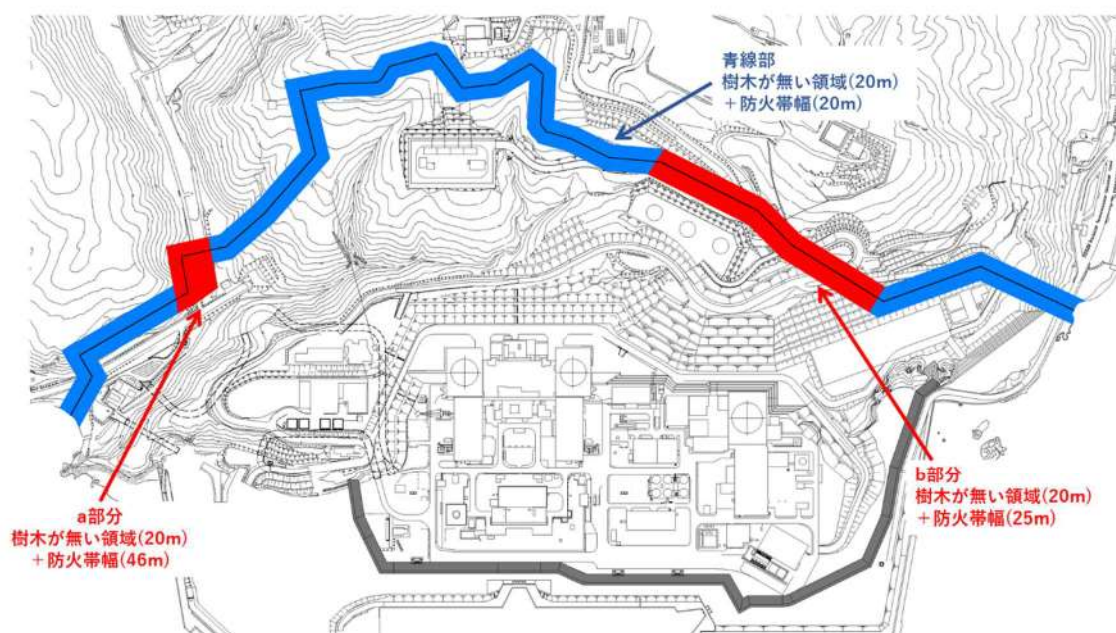
第5図 火炎輻射強度に関する到達時刻の影響 (ケース5 落葉広葉樹)



第6図 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

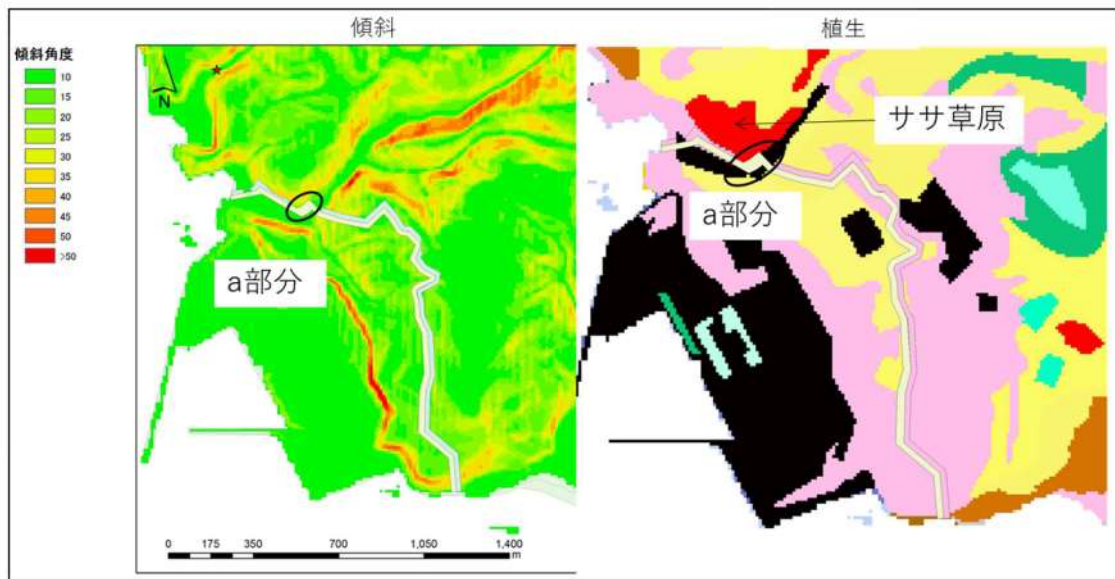
防火帯は森林火災評価結果に基づき、第1図に示すとおり地点ごとに20m（ただし、敷地東部の一部は自主的に25m）、46m幅を設定している。防火帯幅が46m及び25mの地点について、風向、傾斜及び植生を考慮した防火帯の設定の考え方について以下に示す。



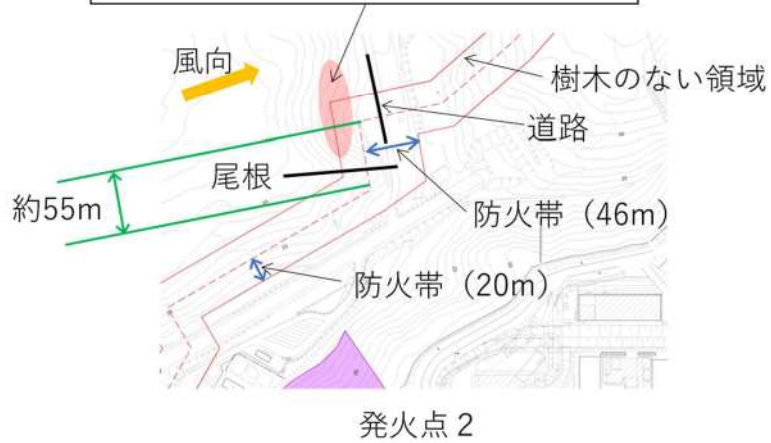
第1図 防火帯位置

1. 防火帯幅 46m の部分

発火点2の場合、第2図及び第3図に示す風上にササ草原を擁し、斜面に面していることから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。



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



第2図 防火帯 a部分

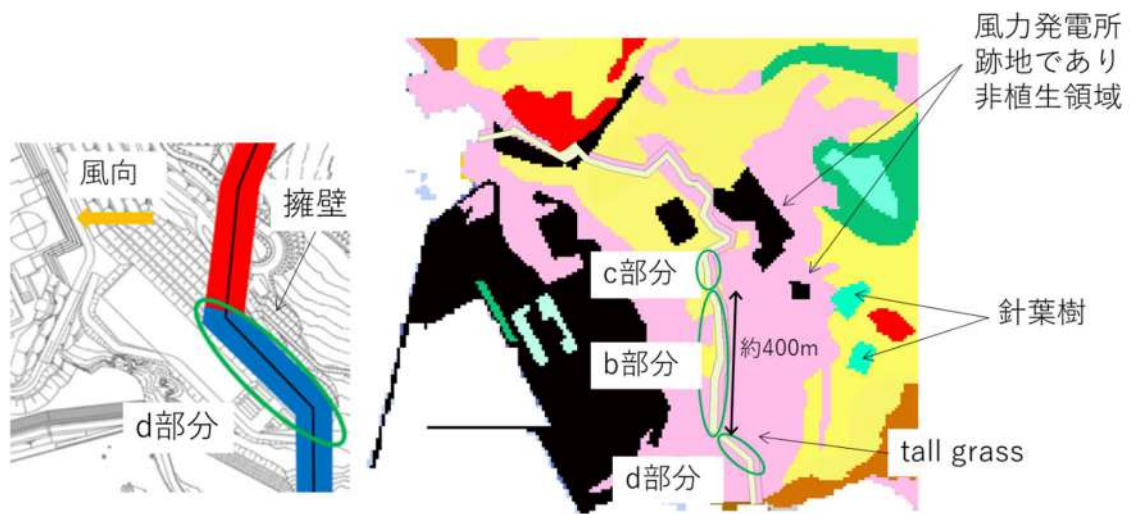


第 3 図 防火帯 a 部分鳥瞰図

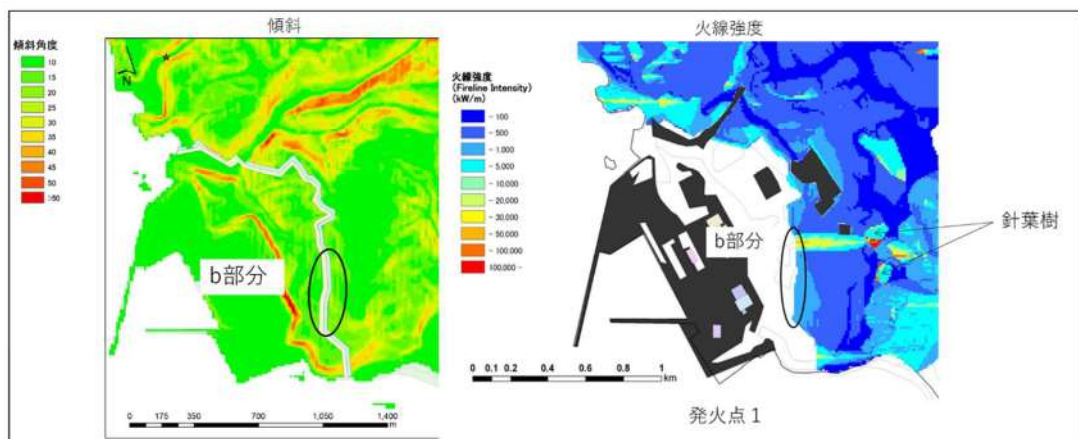
2. 防火帯幅 25m の部分

発火点 1 の場合，第 4 図，第 5 図及び第 6 図に示す風上に針葉樹等を擁し，斜面に面していることから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，余裕をもたせ自主的に 25m の防火帯を確保する。

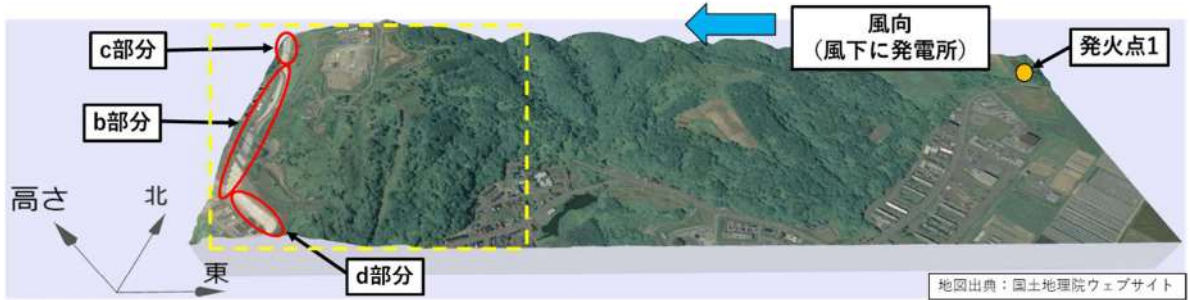
なお，第 4 図及び第 6 図に示す c 部分は風力発電所跡地であり非植生領域を風上に擁しているため，防火帯幅を積み増さない。また，d 部分は実際には非植生領域である擁壁の部分に tall grass の植生を仮定する保守的な仮定をおいて解析を実施しているため防火帯幅を積み増さない。



第4図 防火帯b~d部分



第5図 防火帯b部分



※黄破線部の拡大図を下記に示す



※視認性の観点から、高さ方向の倍率を2倍としている

第6図 防火帯b～d部分鳥瞰図

第1表 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
入力 ファイル	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) 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)	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	-
	可燃物		植生データ	国土数値情報の100mメッシュの土地利用データを入力
		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 ・田及びその他農業用地 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

第1表 主なFARSITE入力パラメータ一覧表(2/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ	保守性
入力 ファイル	樹冠率	-	-	森林に該当するカテゴリ 3(51~80%)及び4(81~100%)の中から、火線強度が強くなるカテゴリ 3を設定	◎
	樹高	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	-
	樹冠下高	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	-
	樹冠かさ密度	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	-
	評価対象範囲	-	評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を10km以内としたことにより、植生、地形等を評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕を見て南北12km, 東西12kmとする。	植生、地形等を評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕を見て南北13km, 東西13kmとして設定。	-
	Fuel 水分初期値	-	-	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	-
その他 入力 ファイル	降水量	-	-	降水があると可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に0mmを設定	◎
	最高気温			樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月(4月~6月)の最高気温を過去10年間確認し、その中で最高気温である30.0℃を入力	○
	最低気温		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。	最低気温については、保守的に上記の最高気温を入力	○
	最高湿度			最高湿度については、保守的に下記の最低湿度を入力	○
	最低湿度			樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月(4月~6月)の最小湿度を過去10年間確認し、その中で最小湿度である13%を入力	○
	観測標高	-	-	観測高さ0mを入力	-

第1表 主なFARSITE入力パラメータ一覧表(3/3)

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ	保守性
その他 入力 ファイル	風向	風向は卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。ただし、発火源が発電所の位置関係から風向きを卓越風向に設定することが困難な場合は、風向データを等から適切に設定できるものとする。		各発火点から泊発電所3号炉原子炉建屋方向へ向かう風向	◎
	風速	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、森林火災の発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。			
	雲量	-		日射量が可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に0%を設定	◎
	緯度	-		日射量が可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に日射量が最も多くなる赤道直下を設定	◎
その他	発火点 位置	発火点からの直線距離10kmの間で設定する。発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。さらに、必要に応じて想定発火点を考え評価する。		人為的行為を考え、道路脇の畑及び集落と森林の境界部の発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定。	-

初期消火要員常駐場所の妥当性について

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

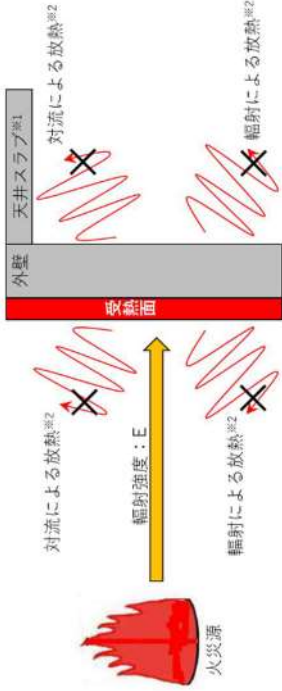
1. 常駐場所及び人数

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


2. 常駐場所の妥当性

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

第1表 各設備の温度評価条件一覧表(1/2)

初期条件		設定根拠		評価上の保守性
建屋外壁表面温度	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"> 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。
コンクリート密度		2,400 kg/m ³	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>				

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

防火帯の法面保護対策について

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

- ・モルタル吹付工

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



第1図 防火帯モルタル吹付工の施工例

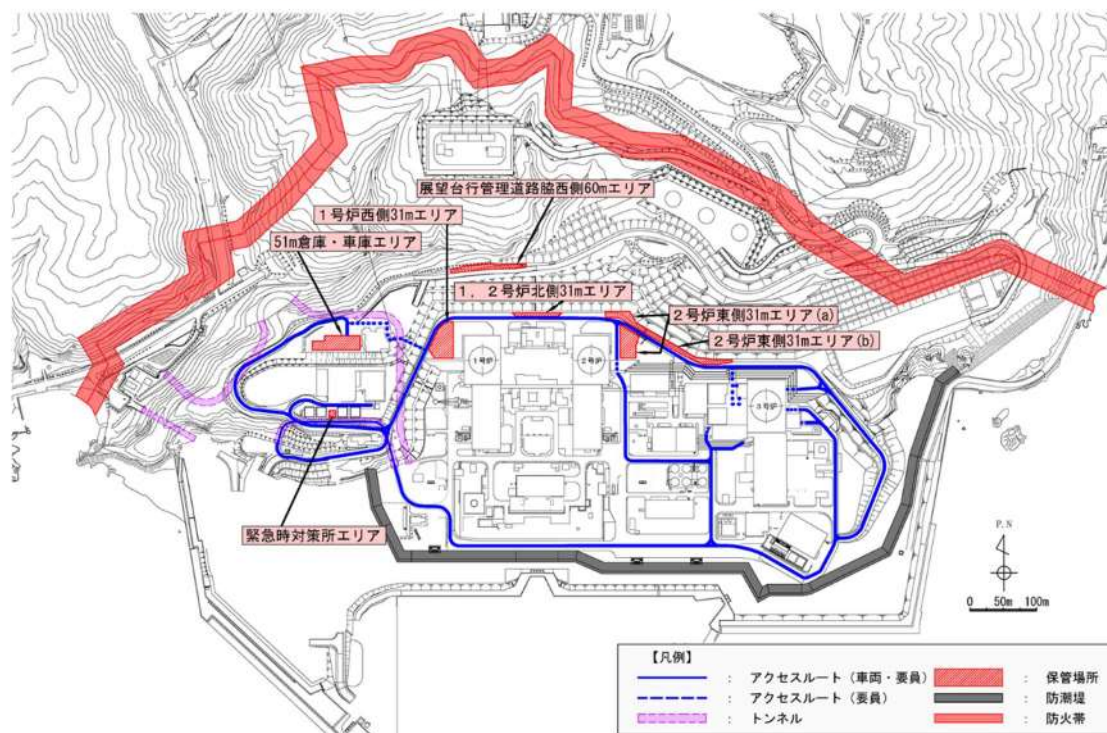
アクセスルートへの影響評価について

1. 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置について

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

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

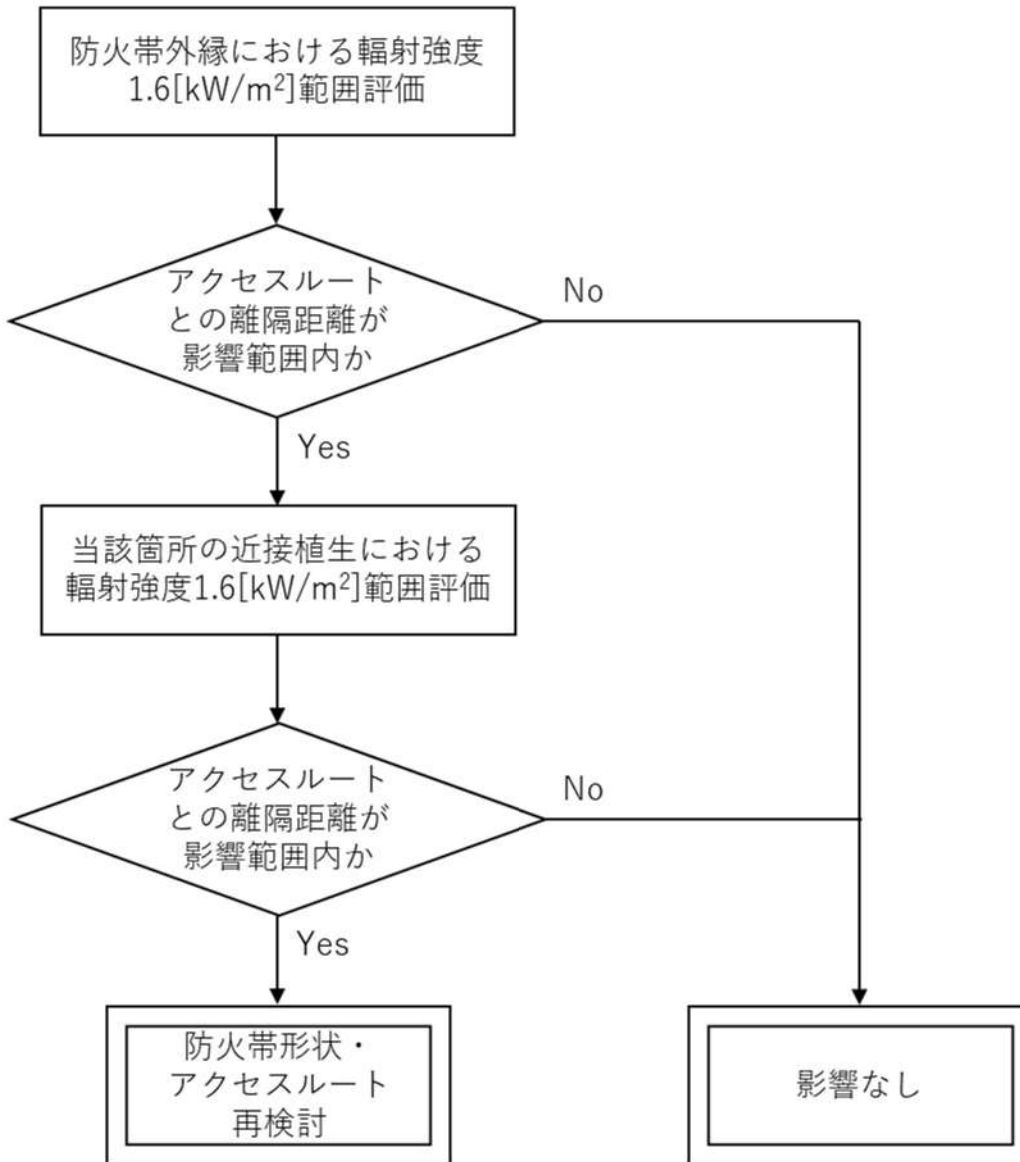
また、可搬型重大事故等対処設備のアクセスルートについても防火帯の内側とする。



第1図 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置

2. アクセスルートに対する森林火災影響について

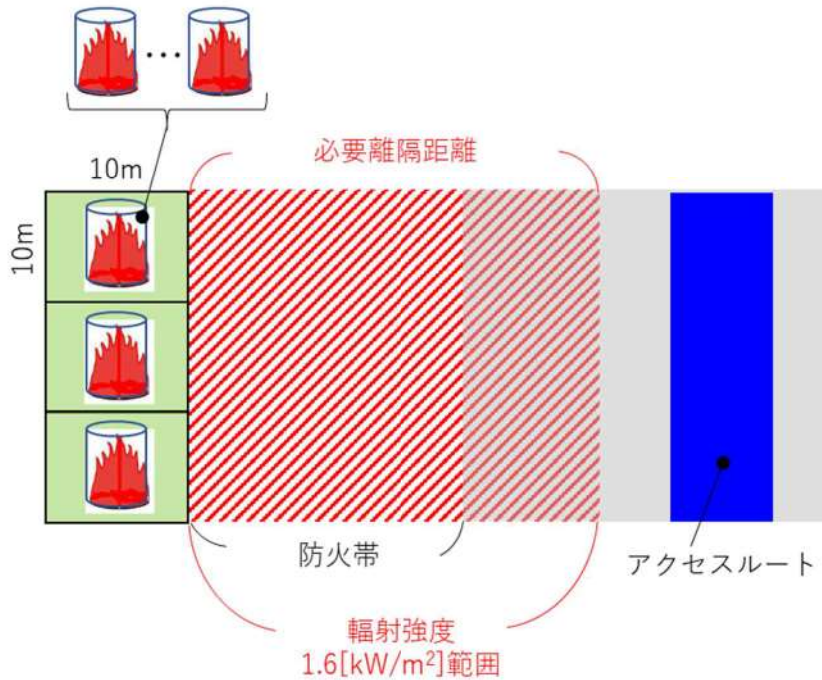
森林火災によりアクセスルートが「長時間さらされても苦痛を感じない強度」である輻射強度 $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 以下となることを第2図のフローにより確認する。



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

第2図 森林火災影響評価フロー

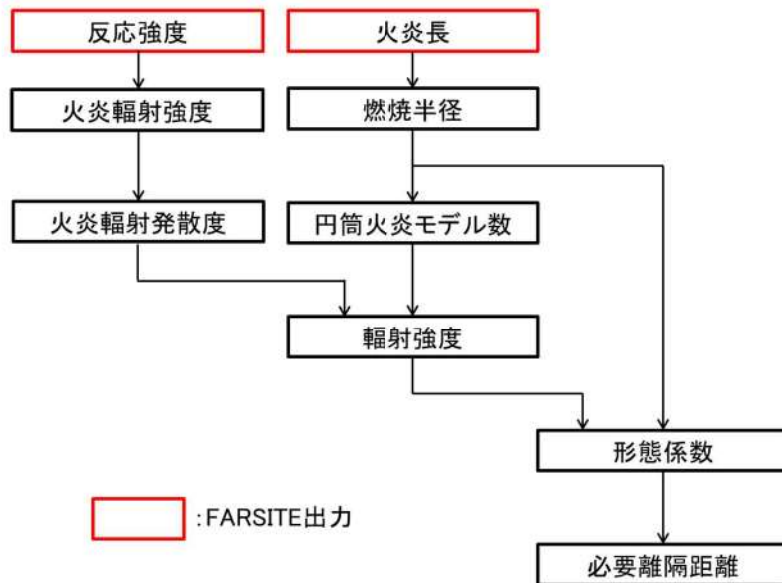
10mメッシュ内にはF'個の
円筒火炎モデルが燃焼



第3図 森林火災影響評価概要図

(1) 必要離隔距離評価の流れ

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



第4図 必要離隔距離評価（概要図）

a. 円筒火炎モデル数の算出

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

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

H: 火炎長[m], R: 燃焼半径[m]

b. 火炎輻射強度の算出

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

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

c. 必要離隔距離の算出

輻射強度Eが1.6[kW/m²]となる形態係数Φを式1より算出する。

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

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

式1で求めた形態係数Φとなる必要離隔距離Lを式2より算出する。

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

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

H: 火炎長[m], R: 燃焼半径[m], L: 危険距離[m]

(2) 評価結果

それぞれの発火点における必要離隔距離について第1表のとおり算出した。

第1表 必要離隔距離算出結果

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

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

FARSITE における気象データの扱いについて

(1) 気象条件の設定

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

(2) 気象データの選定

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

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

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

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

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

FARSITE における風速データの入力について

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

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

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

よって、FARSITEに入力している風速データの保守性は確保されている。

第1表 風向風速計の設置高さ

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

石油コンビナート等の火災・爆発について

1. 目的

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

2. 石油コンビナート等の火災・爆発影響評価

発電用原子炉施設の周りには周辺監視区域があり、一定の離隔距離が確保されている。仮に火災・爆発が発生した場合に影響が大きいと考えられるものとして、爆発物や化学物質を大量に扱う石油コンビナート等について評価を実施する。

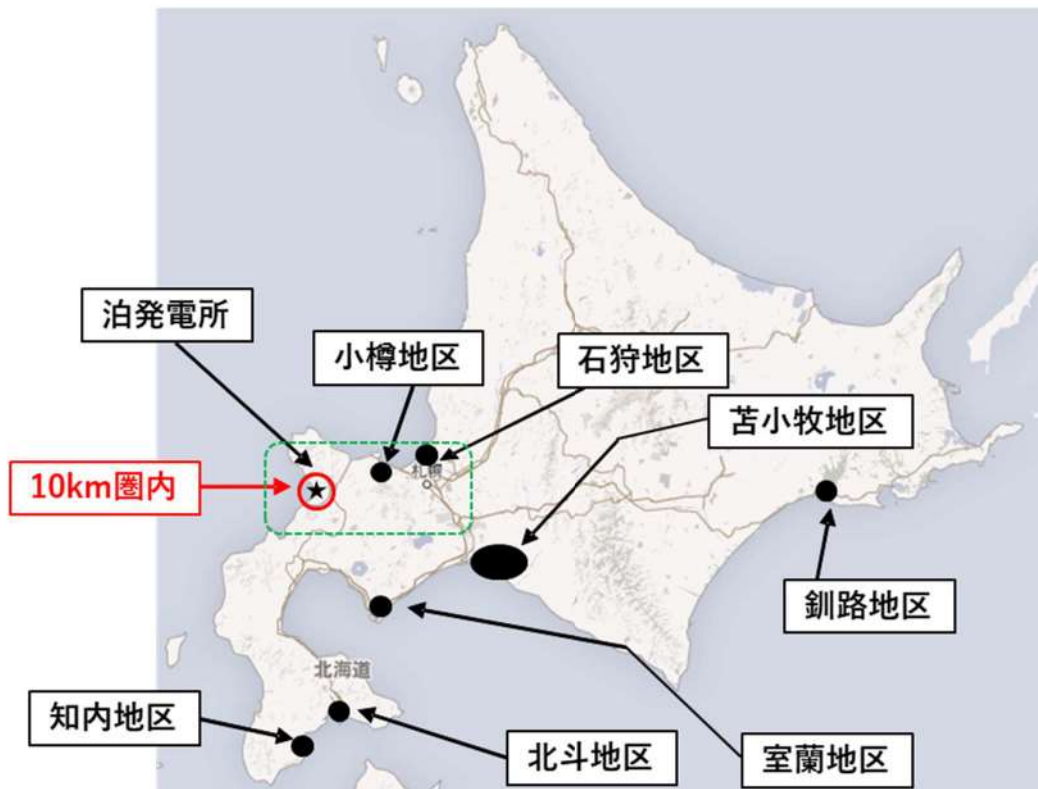
(1) 評価対象範囲

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

(2) 評価結果

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

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



※緑破線部の拡大図を下記に示す



第3-1図 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

3. 石油コンビナート等以外の火災・爆発影響評価

泊発電所から10km圏内に位置する危険物施設（危険物貯蔵施設，高圧ガス貯蔵施設）を抽出した。抽出の結果，危険物貯蔵施設は第四類危険物貯蔵施設のみが多数存在することから，火災影響評価を行う第四類危険物貯蔵施設の絞り込みを以下の方法で行った。また，高圧ガス貯蔵施設は1箇所のみであった。

なお、危険物施設については、消防法等に基づき消防署に届出されている施設について確認した。また、発電所から 10km 圏内に LPG 基地がないことを確認している。発電所から 10km 圏内の危険物貯蔵施設等を第 3-2 図に示す。

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

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

※2 算出方法は別紙-1 参照

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



第 3-2 図 泊発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等

第 3-1 表 発電所周辺に存在する第四類危険物貯蔵施設

--

※出典：岩内・寿都地方消防組合消防本部より開示（2022年6月29日現在）

a. 危険物貯蔵施設の火災影響評価

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

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

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

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

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 3-2 表 10km 圏内における評価対象の危険物貯蔵施設の貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[kL]
灯油	
ガソリン	



第 3-3 図 危険物貯蔵施設位置

(a) 評価条件

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

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

第 3-3 表 評価条件

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

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

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(b) 燃焼半径の算出

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

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

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

第3-4表 危険物貯蔵施設の燃焼半径

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

(c) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は，燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]

R：燃焼半径[m]，v：燃焼速度=M/ρ[m/s]

M：質量低下速度[kg/m²・s]，ρ：燃料密度[kg/m³]

第3-5表 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

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

■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 建屋外壁に対する危険距離評価

i. 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

ii. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第3-6表に示す。

第3-6表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]			
	原子炉建屋	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機建屋	循環水ポンプ建屋
ガソリンスタンド	1,450	1,500	1,500	1,600

iii. 判断の考え方

(i) 危険放射強度

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

(ii) 評価方法

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

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

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

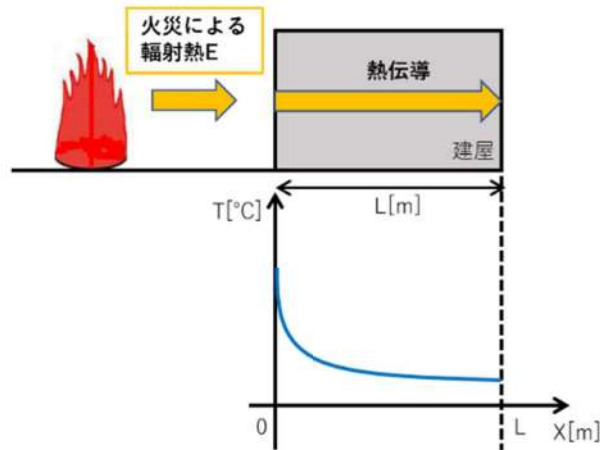
T：許容温度(200[℃])，T₀：初期温度(50[℃])，E：放射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(3,060[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])



第3-4図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：輻射強度[W/m²]，R_f：輻射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第3-7表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

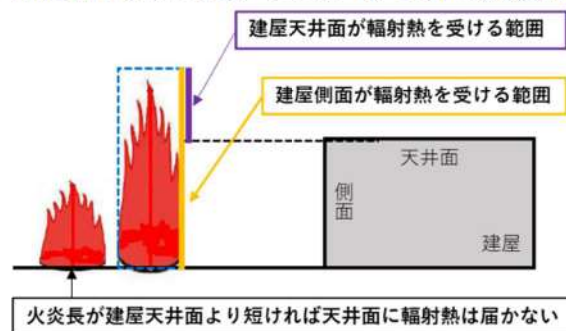
$$m = \frac{H}{R} \cong 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

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

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

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第3-5図に示す。
- ・火炎からの距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。



第3-5図 建屋天井面の評価概念図

(iii) 評価結果

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

評価結果のうち、危険輻射強度を第3-8表に、危険距離を第3-9表に示す。

第3-8表 対象施設の危険輻射強度

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

第3-9表 外壁への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

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

(e) 排気筒の温度評価

i. 影響評価対象範囲

排気筒について、危険物貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

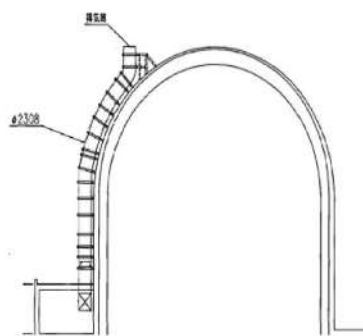
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

ii. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第3-10表に、排気筒外形図を第3-6図に示す。

第3-10表 排気筒の仕様

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



第3-6図 排気筒の外形図

iii. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第3-11表に示す。

第3-11表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
ガソリンスタンド	1,450

iv. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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

(ii) 評価方法

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

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

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

※1:空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は,受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが,一般的な値として垂直外壁面,屋根面及び上げ裏面の夏季,冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから,これらのうち最も小さい値である17 W/m²·Kを用いる。)

第3-12表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	9,280

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数 Φ を式2より算出する。

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

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

第3-13表 対象施設の形態係数

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

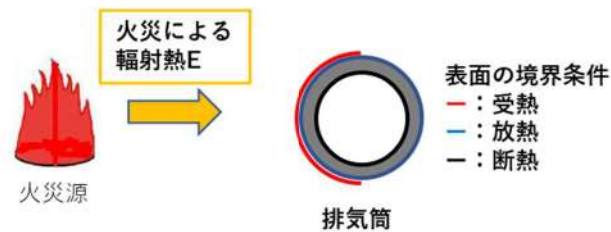
式2で求めた形態係数 Φ となる危険距離Lを式3より算出する。

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

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

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

上記のとおり危険距離を算出し,当該危険物貯蔵施設から評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。排気筒の評価概念図を第3-7図に示す。



第3-7図 排気筒の評価概念図

(iii) 評価結果

危険放射強度より排気筒の危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第3-14表に示す。

第3-14表 排気筒への危険物貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	53	1,450

(f) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

i. 評価対象範囲

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

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

ii. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプを内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第3-15表に示す。

第3-15表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

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

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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

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

(ii) 評価方法

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

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

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

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

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

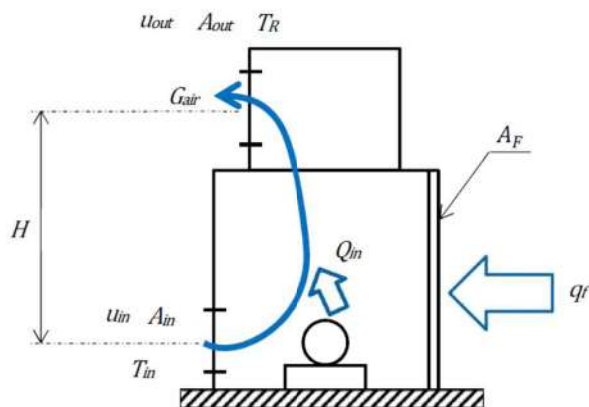
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会(湯き空気として算出)

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



第3-8図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第3-16表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,900

式①～⑤より求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

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

第3-17表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

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

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

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

iv. 評価結果

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

第3-18表 原子炉補機冷却海水ポンプへの危険物貯蔵施設火災影響評価結果

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

(g) 危険距離の評価結果

危険物貯蔵施設と評価対象設備との離隔距離は第3-19表のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

第3-19表 危険物貯蔵施設火災の評価結果

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

(h) 火災による熱影響の有無の評価

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

b. 高圧ガス貯蔵施設の火災影響評価

泊発電所から10km圏内(敷地内を除く)における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は [] であり、泊発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設までの離隔距離は約5,700[m]であった。(第3-9図)

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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

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

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



第 3-9 図 高圧ガス貯蔵施設位置

第 3-20 表 10km 圏内における最大の高圧ガスの貯蔵量

燃料の種類	貯蔵量[t]
液化石油ガス	[]

(a) 評価条件

高圧ガス貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

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

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第3-21表 評価条件

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

※1：燃焼面積は高圧ガス貯蔵施設の敷地面積とした

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

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(b) 燃焼半径の算出

燃焼面積は保守的に対象施設の敷地面積と等しいとする。

したがって、燃焼半径 R[m] の敷地面積を円筒の底面と仮定し算出する。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積 [m²]

第3-22表 高圧ガス貯蔵施設の燃焼半径

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

(c) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t：燃焼継続時間[s]，V：燃料量[m³]

R：燃焼半径[m]，M：質量低下速度[kg/m²・s]

v：燃焼速度 [m/s]，ρ：燃料密度[kg/m³]，m：質量[kg]

第3-23表 高圧ガス貯蔵施設の燃焼継続時間

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

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 建屋外壁に対する危険距離評価

i. 評価対象範囲

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

ii. 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第3-24表に示す。

第3-24表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

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

iii. 判断の考え方

(i) 危険放射強度

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

(ii) 評価方法

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

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

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

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

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(2,592[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：輻射強度[W/m²], R_f：輻射発散度[W/m²], Φ：形態係数

第3-25表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

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

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

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

(iii) 評価結果

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

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

第3-26表 対象施設の危険輻射強度

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

第3-27表 外壁への高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

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

(e) 排気筒の温度評価

i. 影響評価対象範囲

排気筒について、高圧ガス貯蔵施設の火災を想定して評価を実施した。

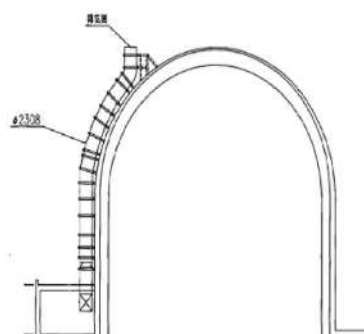
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

ii. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第3-28表に、排気筒外形図を第3-10図に示す。

第3-28表 排気筒の仕様

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



第3-10図 排気筒の外形図

iii. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第3-29表に示す。

第3-29表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
高圧ガス貯蔵施設	5,850

iv. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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

(ii) 評価方法

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

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

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

※1: 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²·K を用いる。)

第 3-30 表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	8,880

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

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

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

第 3-31 表 対象施設の形態係数

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

式 2 で求めた形態係数 Φ となる危険距離 L を式 3 より算出する。

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

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

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

危険輻射強度より排気筒の危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第3-32表に示す。

第3-32表 排気筒への高压ガス貯蔵施設火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	16	5,850

(f) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

i. 評価対象範囲

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

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

ii. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプを内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第3-33表に示す。

第3-33表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

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

iii. 判断の考え方

(i) 危険輻射強度

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

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

(ii) 評価方法

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

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

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

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

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

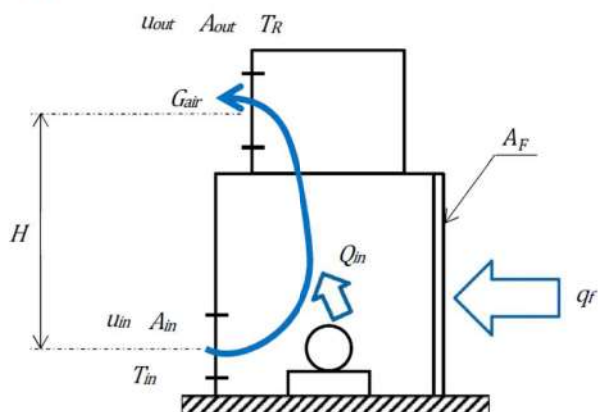
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会(湯き空気として算出)

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



第 3-11 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第 3-34 表 対象施設の危険輻射強度

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

式①～⑤より求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

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

第 3-35 表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

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

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

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

(iii) 評価結果

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

第3-36表 原子炉補機冷却海水ポンプへの高圧ガス貯蔵施設火災影響評価結果

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

(g) 危険距離の評価結果

高圧ガス貯蔵施設と評価対象設備との離隔距離は第3-37表のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

第3-37表 高圧ガス貯蔵施設火災の評価結果

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

(h) 火災による熱影響の有無の評価

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

c. 高圧ガス貯蔵施設の爆発影響評価

(a) 想定条件

高圧ガス貯蔵施設の爆発火災の想定は以下のとおりとした。

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

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

(b) 評価手法の概要

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

第3-38表 評価指標及びその内容

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

(c) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第3-39表 高圧ガス爆発の評価条件

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

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(d) 危険限界距離の算出

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

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

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]

K：石油類の定数 888,000(プロパン) [-]，

(e) 爆発による影響評価結果

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

第3-40表 危険限界距離評価結果

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

d. 高圧ガス貯蔵施設の飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成25年3月消防庁特殊災害室)
※1に基づき、高圧ガス貯蔵施設(液化石油ガス※2)からの飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、飛来物到達距離に対し、泊発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、発電用原子炉施設への影響がないことを確認した。

※1 石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するにあたって、災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

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

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 3-41 表 飛来物の評価条件

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

(a) 飛来物の最大飛散距離の算出方法

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成 25 年 3 月消防庁特殊災害室)に基づき、容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。

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

L : 破片の最大飛散範囲[m], M : 破裂時の貯蔵物質量[kg]

となり、飛来物の最大飛散距離 L は [] となる。

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

以下に「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。

(6) 飛散物

容器の破裂による破片の飛散範囲は、破裂エネルギーのほか、破片の数、重量や形状、射出角度や初速度により異なってくる。文献 11) には飛散物に関するいくつかの推定式が示されているが、防災アセスメントのような事前評価において、これらの飛散条件を考慮して評価を行うことは事実上困難といえる。ただし、LPG 容器の BLEVE に伴う破片の飛散範囲に関しては、次のような簡易式が示されている 11)。

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

$$= 465 M^{0.10} \text{ (容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器)} \quad \text{(式 31)}$$

ただし、

L : 破片の最大飛散範囲(m)

M : 破裂時の貯蔵物質量(kg)

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

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

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

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

仮想危険物貯蔵施設の危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定条件

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

(2) 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータを第1表に示す。

第1表 危険物貯蔵施設及び燃料に係るデータ

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

※1 評価ガイド付属書B記載値

※2 NUREG-1805 記載値

2. 評価結果

(1) 燃焼半径の算出

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

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

R：燃焼半径[m]，S：防油堤面積 [m²]

第2表 危険物貯蔵施設の燃焼半径

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

(2) 燃焼継続時間の算出

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

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度 = M/ρ [m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第3表 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

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

(3) 危険距離の算出

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

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

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

α : コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

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

x : コンクリート壁表面深さ(0[m])

式1で求めた危険放射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：放射強度[W/m²]，R_f：放射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

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

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

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

H：火炎長[m]，R：燃焼半径[m]，L：危険距離(m)

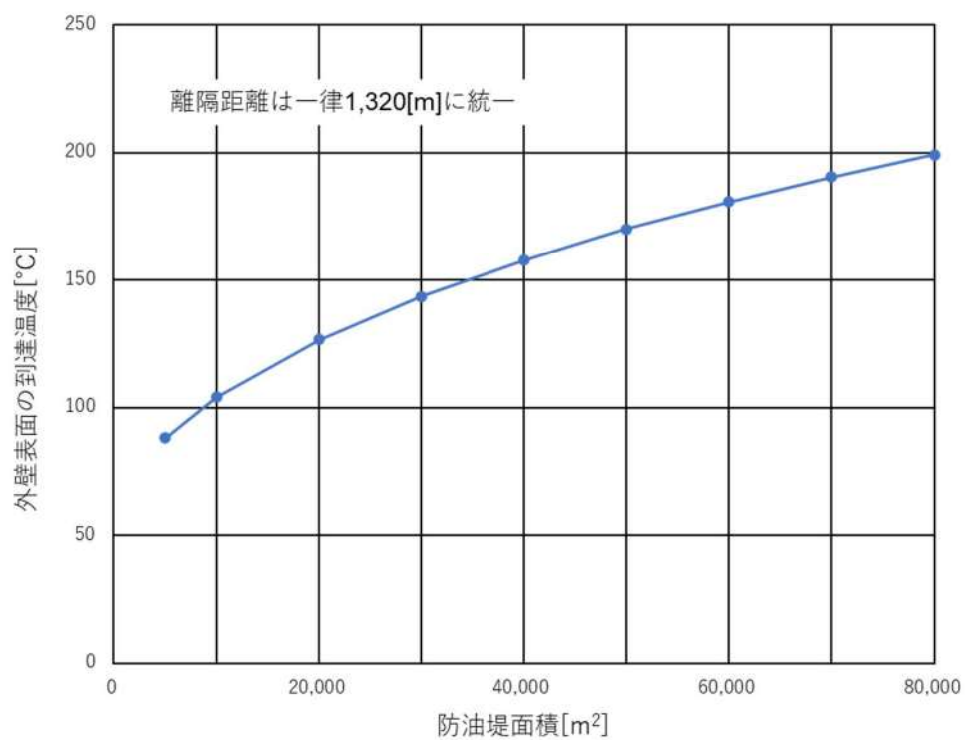
第4表 仮想危険物貯蔵施設火災の評価結果

想定火災源	危険距離 [m]
仮想危険物貯蔵施設	1,320

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

(4) 想定した防油堤面積の保守性について

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



第1図 防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

燃料輸送車両の火災・爆発について

1. 目的

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

2. 燃料輸送車両の火災影響評価

(1) 燃料輸送車両の火災の想定条件

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

(2) 評価手法の概要

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

第 4-1 表 評価指標及びその内容

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

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

輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその設備の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地外の道路において発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 229 号線上）で出火する最大規模の燃料輸送車両とする。



第 4-1 図 タンクローリー火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 4-2 表 評価条件

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

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

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

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(5) 燃焼半径の算出

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

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

R : 燃焼半径[m], S : 燃焼面積[m²]

第 4-3 表 燃料輸送車両の燃焼半径

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

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度=M/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第 4-4 表 燃料輸送車両の燃焼継続時間

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

(7) 建屋外壁に対する危険距離評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

(b) 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 4-5 表に示す。

第 4-5 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]			
	原子炉建屋	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機 建屋	循環水ポンプ 建屋
燃料輸送車両	750	700	800	850

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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

ii. 評価方法

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

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

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

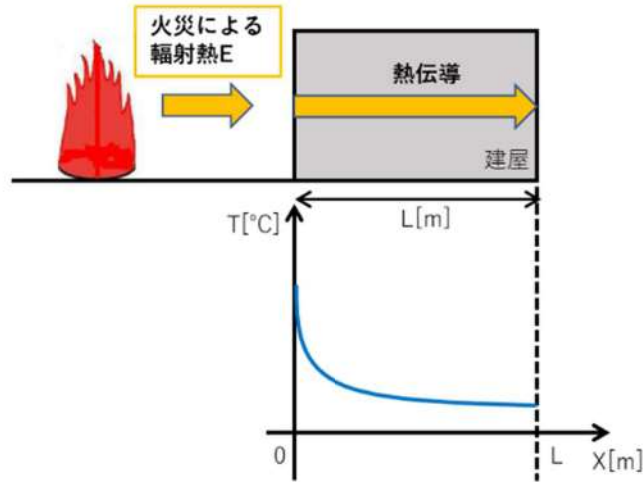
T：許容温度(200[℃])，T₀：初期温度(50[℃])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(11,520[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])



第4-2図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

式1で求めた危険放射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：放射強度[W/m²]，R_f：放射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第4-6表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

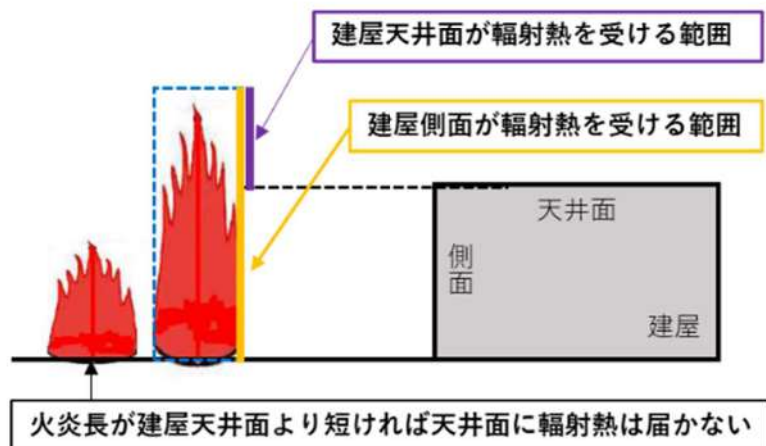
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

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

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

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



第4-3図 建屋天井面の評価概念図

iii. 評価結果

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

評価結果のうち、危険輻射強度を第4-7表に、危険距離を第4-8表に示す。

第4-7表 対象施設の危険輻射強度

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

第4-8表 外壁への燃料輸送車両火災影響評価結果

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

(8) 排気筒の温度評価

(a) 影響評価対象範囲

排気筒について、燃料輸送車両の火災を想定して評価を実施した。

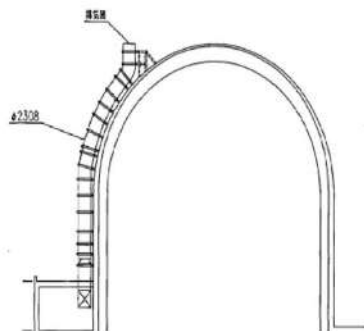
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第4-9表に、排気筒外形図を第4-4図に示す。

第4-9表 排気筒の仕様

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



第4-4図 排気筒の外形図

(c) 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第4-10表に示す。

第4-10表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
燃料輸送車両	750

(d) 判断の考え方

i. 危険放射強度

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。

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

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

※1: 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²·K を用いる。)

第 4-11 表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	9,280

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

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

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

第 4-12 表 対象施設の形態係数

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

式 2 で求めた形態係数 Φ とする危険距離 L を式 3 より算出する。

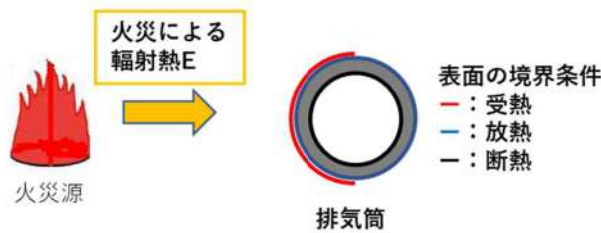
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\frac{A(n-1)}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\frac{(n-1)}{(n+1)} \right] \right\} \quad (\text{式 3})$$

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

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

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

排気筒の評価概念図を第 4-5 図に示す。



第 4-5 図 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

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

第 4-13 表 排気筒への燃料輸送車両火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	10	750

(9) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

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

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

(b) 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプを内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第 4-14 表に示す。

第 4-14 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	循環水ポンプ建屋
燃料輸送車両	850

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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

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

ii. 評価方法

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

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

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

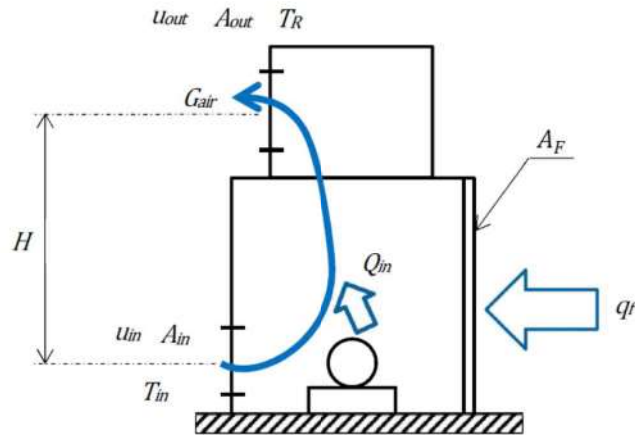
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第 11 版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第 5 版 日本機械学会(湯き空気として算出)

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



第 4-6 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第 4-15 表 対象施設の危険輻射強度

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

式①～⑤より求めた危険輻射強度 E とする形態係数 Φ を式 2 より算出する。

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

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

第 4-16 表 対象施設の形態係数

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

式 2 で求めた形態係数 Φ とする危険距離 L を式 3 より算出する。

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

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

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

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

(d) 評価結果

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

第4-17表 原子炉補機冷却海水ポンプへの燃料輸送車両火災影響評価結果

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

(10) 危険距離の評価結果

燃料輸送車両の位置と評価対象設備との離隔距離は第4-18表のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

第4-18表 燃料輸送車両火災の評価結果

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

(11) 火災による熱影響の有無の評価

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

3. ガス爆発による影響評価

(1) ガス爆発火災の想定条件

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

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(e) 発電所敷地外の道路において発電用原子炉施設に最も近い場所（想定される輸送ルートである国道 276 号線上）での高圧ガス漏えい、引火による高圧ガス貯蔵施設の爆発を想定する。

(f) 気象条件は無風状態とする。

(2) 評価手法の概要

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

第 4-19 表 評価指標及びその内容

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

(3) 評価対象範囲

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



第 4-7 図 高圧ガス輸送車両爆発想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第4-20表 高压ガス爆発の評価条件

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

(5) 危険限界距離の算出

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

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

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]

K：石油類の定数 888,000(プロパン) [-]， []

(6) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、発電所敷地外の道路において発電用原子炉施設に最も近い場所(想
定される輸送ルートである国道276号線上)で爆発が発生した場合を想定したとしても、
離隔距離(4,300m)が危険限界距離(87m)以上であることから、発電用原子炉施設に爆
風圧による影響はないと評価する。

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4-21 表 危険限界距離評価結果

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

4. 高圧ガス輸送車両の飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月消防庁特殊災害室）^{※1}に基づき、高圧ガス輸送車両（液化石油ガス^{※2}）からの飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、飛来物到達距離に対し、泊発電所までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、発電用原子炉施設への影響がないことを確認した。

※1 石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が防災計画を作成するにあたって、災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

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

第 4-22 表 飛来物の評価条件

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

(1) 飛来物の最大飛散距離の算出方法

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき、容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出する。

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

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

[]

となり、飛来物の最大飛散距離 L は [] となる。

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

[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

漂流船舶の火災・爆発について

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する漂流船舶の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第5-1表 評価指標及びその内容

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

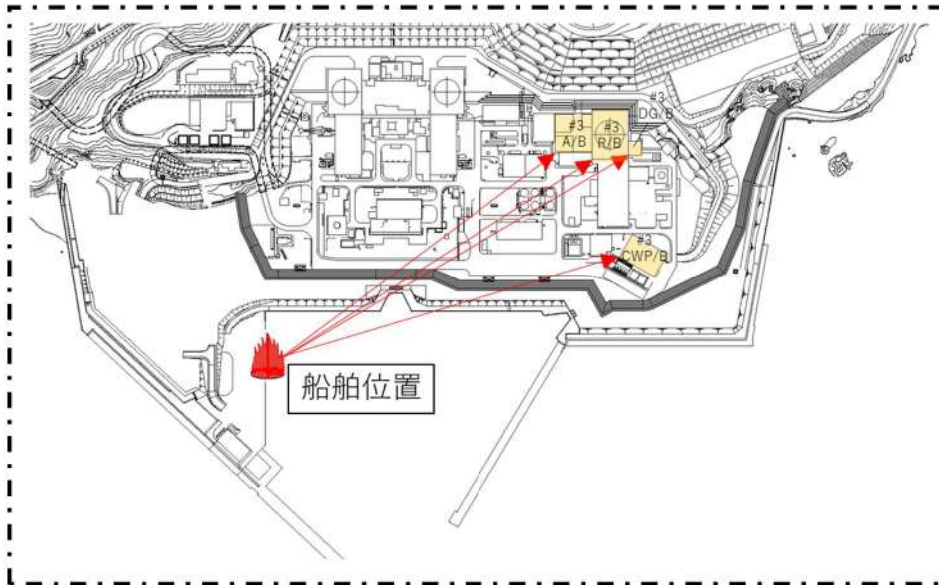
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火災面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその設備の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離(離隔距離)を確保するものとする。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所港湾内で出火する漂流船舶とし、港湾内に進入する船舶の中で燃料の積載量が最大の船舶である燃料等輸送船による火災を想定する。

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



第5-2図 燃料等輸送船火災想定位置と発電用原子炉施設との位置関係

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

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第5-2表 評価条件

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

※1：船舶の投影面積に等しいとした

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

※3：評価ガイド付属書B 記載値

(5) 燃焼半径の算出

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

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

R : 燃焼半径[m], S : 燃焼面積[m²]

第 5-3 表 漂流船舶の燃焼半径

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

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度=M/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第 5-4 表 漂流船舶の燃焼継続時間

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

(7) 建屋外壁に対する危険距離評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、漂流船舶の火災を想定して評価を実施した。

(b) 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 5-5 表に示す。

第 5-5 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]			
	原子炉建屋	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機 建屋	循環水ポンプ 建屋
漂流船舶	624	587	673	587

追而【基準津波審査の反映】

(上記の破線部分は、基準津波審査結果を受けて反映のため)

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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

ii. 評価方法

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

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

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

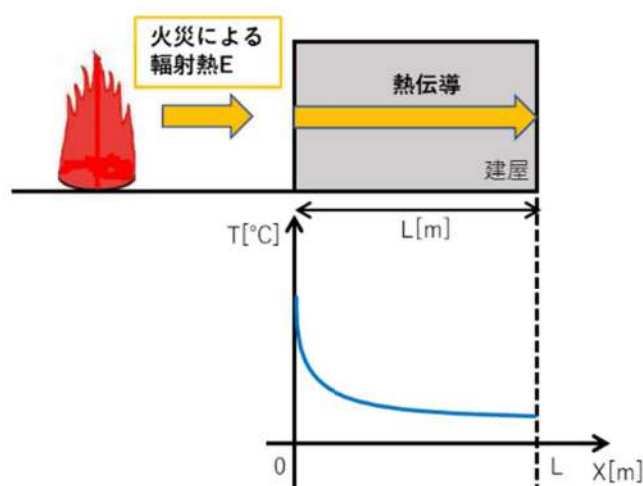
T：許容温度(200[℃])，T₀：初期温度(50[℃])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(10,008[s])

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])



第5-3図 建屋外壁の熱伝導と温度分布の概念図

式1で求めた危険放射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

E：放射強度[W/m²]，R_f：放射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第5-6表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

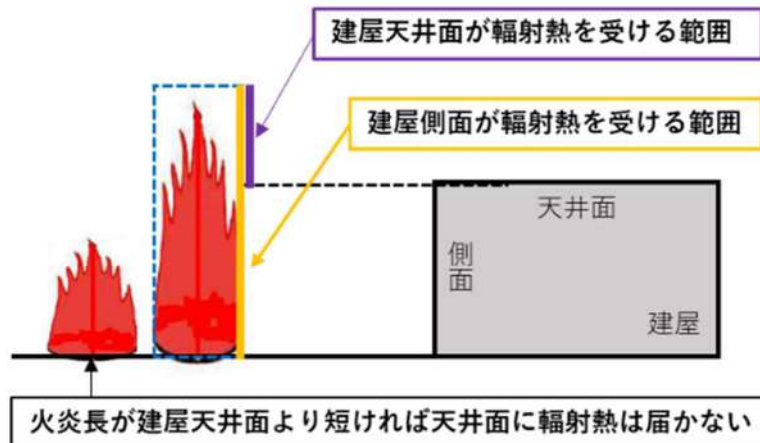
$$m = \frac{H}{R} \cong 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

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

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

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

天井スラブの評価概念図を第5-4図に示す。



第 5-4 図 建屋天井面の評価概念図

iii. 評価結果

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

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

第 5-7 表 対象施設の危険輻射強度

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

第 5-8 表 外壁への漂流船舶火災影響評価結果

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

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

(8) 排気筒の温度評価

(a) 影響評価対象範囲

排気筒について、漂流船舶の火災を想定して評価を実施した。

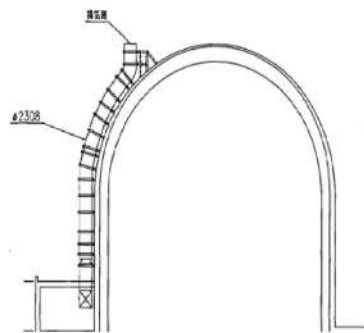
なお、排気筒の評価にあたっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第5-9表に、排気筒外形図を第5-5図に示す。

第5-9表 排気筒の仕様

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



第5-5図 排気筒の外形図

(c) 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第5-10表に示す。

第5-10表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
漂流船舶	624

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

(d) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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

ii. 評価方法

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、円筒外表面積の1/2に火災による輻射が

到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した式1により排気筒表面の温度から危険輻射強度を算出する。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

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

※1: 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²·K を用いる。)

第5-11表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
排気筒	8,970

式1で求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

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

第5-12表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

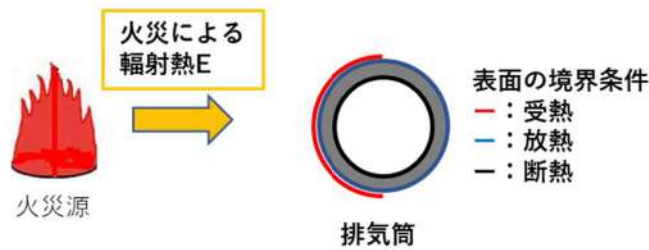
$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \quad (\text{式3})$$

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

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

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

排気筒の評価概念図を第5-6図に示す。



第5-6図 排気筒の評価概念図

iii. 評価結果

危険放射強度より排気筒の危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第5-13表に示す。

第5-13表 排気筒への漂流船舶火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
排気筒	29	624

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

(9) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

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

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

(b) 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプを内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第5-14表に示す。

第5-14表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	循環水ポンプ建屋
漂流船舶	587

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

(c) 判断の考え方

i. 危険輻射強度

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

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

ii. 評価方法

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

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

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

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

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

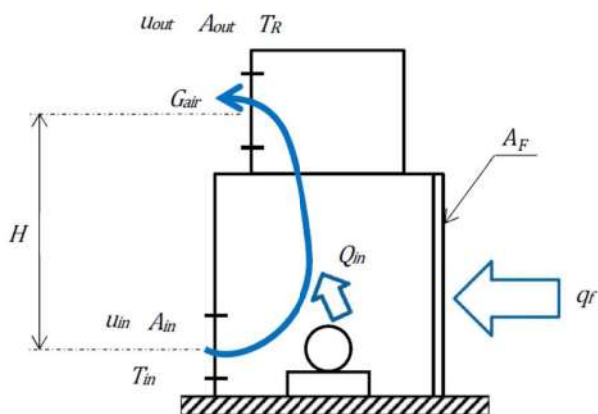
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（湯き空気として算出）

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



第5-7図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

第5-15表 対象施設の危険輻射強度

対象施設	危険輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	2,760

式①～⑤より求めた危険輻射強度Eとなる形態係数Φを式2より算出する。

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

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

第5-16表 対象施設の形態係数

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

式2で求めた形態係数Φとなる危険距離Lを式3より算出する。

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

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

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

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

iii. 評価結果

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

第 5-17 表 原子炉補機冷却海水ポンプへの漂流船舶火災影響評価結果

対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉補機冷却海水ポンプ	80	587

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

(10) 危険距離の評価結果

漂流船舶の位置と評価対象施設との離隔距離は第 5-18 表のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

なお、輻射の一部は漂流船舶と発電用原子炉施設の間に設置している防潮堤によって遮られるが、保守的に輻射はすべて届くものとして評価している。

第 5-18 表 漂流船舶火災の評価結果

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

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

(11) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、漂流船舶において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(587m)が危険距離(最大 90m)以上であることから、発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価できる。

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

漂流船舶（火災）の二次的影響について

発電所港湾内で漂流船舶が出火し重油が流出したとしても、約 T. P. -3.8m～T. P. -8.0m に設置された取水路より取水していることから発電用原子炉施設（海水系ポンプ）への影響はない。

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

オイルフェンスは構内の保管庫に格納しており、また年に一度の点検により健全性を確認している。

敷地内における危険物施設の火災について

1. 目的

本評価は、泊発電所の発電所敷地内の危険物施設の火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書B石油コンビナート火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」及び、「附属書C原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」（以下、「評価ガイド」という。）に基づき、評価するものである。

2. 発電所敷地内危険物施設の火災影響評価

(1) 敷地内危険物施設の火災の想定

評価ガイドに基づき、発電所敷地内の火災源又は爆発源となる石油類等の屋外の危険物施設のうち、3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して、影響評価を実施する。第6-1図のフローに基づき評価対象を抽出した。第6-2表に発電所敷地内の発火源となる危険物貯蔵施設の一覧と抽出フローによる抽出結果を示す。

敷地内危険物施設の火災の想定は以下のとおりとした。

- i. 評価対象とする危険物施設の燃料貯蔵量は管理上定められた上限値とする。
- ii. 危険物施設の損傷等による防油堤内の全面火災を想定した。
- iii. 気象条件は無風状態とした。
- iv. 火災は円筒火災モデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とした。
- v. 黒煙の発生による輻射発散度の低減は無いものとした。
- vi. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう i. で想定した危険物施設位置から発電用原子炉施設までの直線距離とした。

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する敷地内危険物施設の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第6-1表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	防油堤面積を火炎円筒の底面として求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	敷地内危険物施設から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	原子炉施設の外壁、排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

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

輻射熱に対する設備の温度上昇を評価し、温度上昇がその設備の熱許容限界値以下になるように発電用原子炉施設は離隔距離を確保する。

(3) 評価対象範囲

評価ガイドに基づき、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジン等の危険物施設火災の影響評価を実施する。消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設（第6-2表、第6-3表）より、評価対象とする危険物施設等を抽出する（第6-1図）。発電所敷地内の発火源となる施設のうち、建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンクは外部への火災が発生する可能性が低いことから除外し、危険物を貯蔵し屋外に設置しているタンク等を想定発火源とする。発電所敷地内における危険物施設等の位置を第6-2図に示す。

(外部火災影響評価ガイド抜粋)

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設で発生した火災・爆発により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、その二次的な影響も含めて、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお、発電所敷地外の10km以内を発火点とし、森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は(1)の森林火災として評価する。

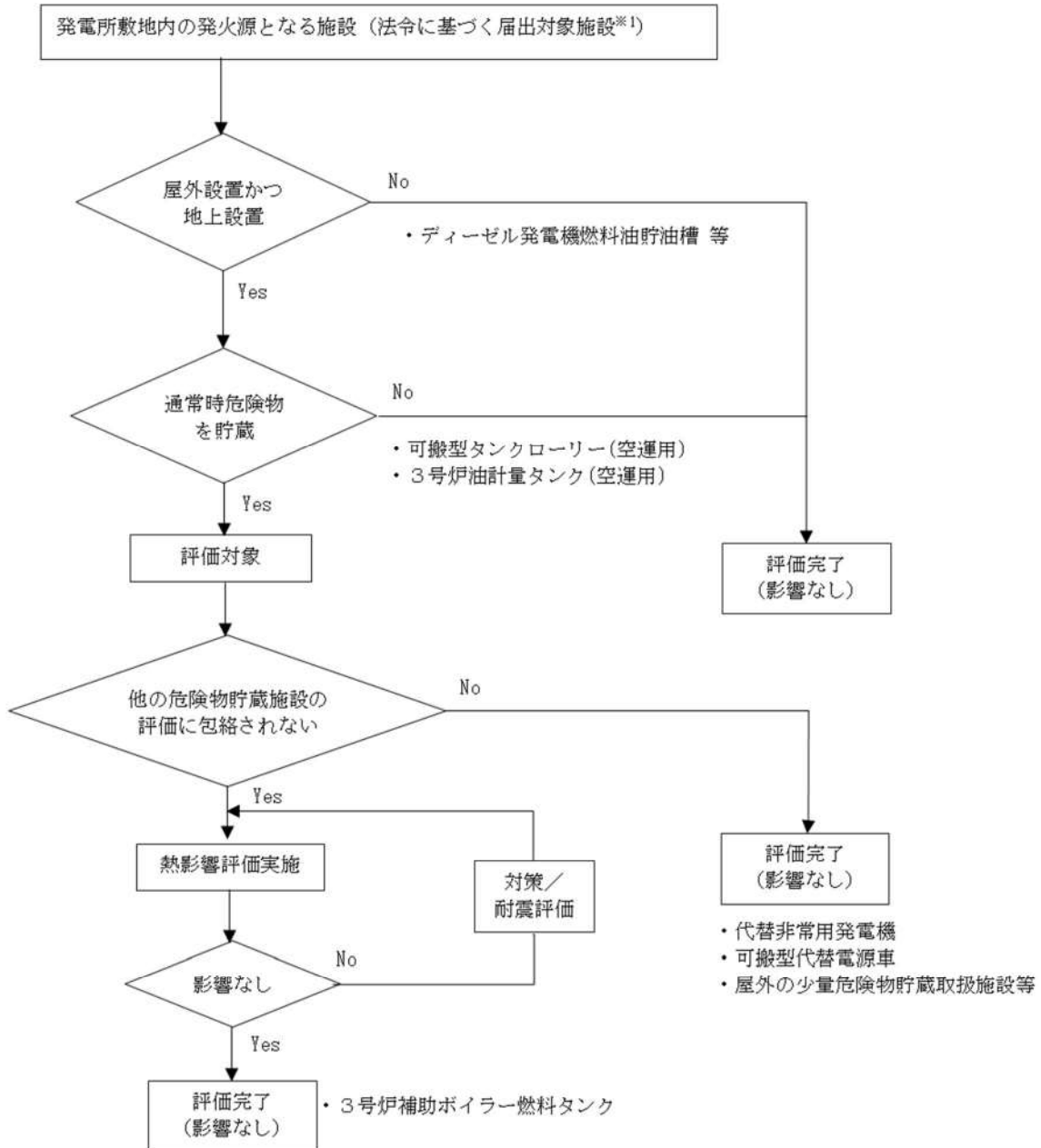
(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

発電所敷地内には、危険物施設の他に可搬型タンクローリー(3.86kL×4台)を配備している。可搬型タンクローリーは通常時「空」の状態で開催している。通常時「空」の状態である可搬型タンクローリーは発火の可能性はないことから評価対象から除外する。同様に、発電所構内には3号炉油計量タンクがあるが、航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重量による熱影響評価を踏まえ、運用を停止することとしたため評価対象から除外する。また、直接輻射熱の影響を受けない建屋内に設置している設備及び地下貯蔵タンクは壁面及び天井面に囲まれており、内部で火災が発生した場合でも、屋外への延焼の可能性が低いことから熱影響評価は実施しない。

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

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

されるため熱影響評価は実施しない。1号炉油計量タンク及び屋外の少量危険物貯蔵取扱施設は、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、発電用原子炉施設との距離が離れた位置に配置しており、貯蔵量が少なく、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。また、1号及び2号炉補助ボイラー燃料タンクは、3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、発電用原子炉施設との距離が離れた位置に配置しており、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。



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

第6-1図 敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー

第6-2表 危険物製造所等許可施設一覧 (1/2)

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

第6-2表 危険物製造所等許可施設一覧 (2/2)

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

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

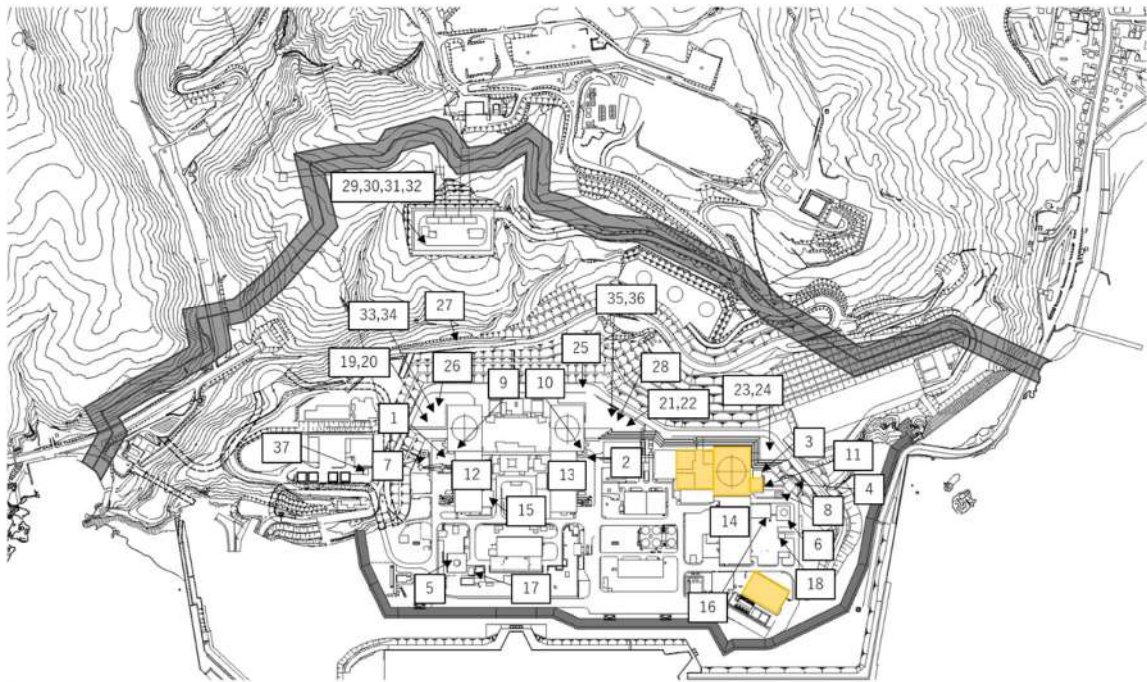
※2：空運用とするため、熱影響評価は実施しない。(別紙6-2)

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

第6-3表 少量危険物貯蔵取扱所施設一覧

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

※1: 3号炉補助ボイラー燃料タンクに比べて、発電用原子炉施設との距離が離れた位置に配置しており、貯蔵量が少なく、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。



名称	名称	名称
1. ディーゼル発電機燃料油貯油槽 (1号炉)	10. ディーゼル発電設備燃料油・潤滑油装置 (2号炉)	19,20. 代替非常用発電機 (1号炉)
2. ディーゼル発電機燃料油貯油槽 (2号炉)	11. ディーゼル発電設備燃料油・潤滑油装置 (3号炉)	21,22. 代替非常用発電機 (2号炉)
3. ディーゼル発電機燃料油貯油槽 (3号炉A側)	12. タービン潤滑油装置 (1号炉)	23,24. 代替非常用発電機 (3号炉)
4. ディーゼル発電機燃料油貯油槽 (3号炉B側)	13. タービン潤滑油装置 (2号炉)	25~28. 可搬型代替電源車 (3号炉)
5. 補助ボイラー燃料タンク (1,2号炉)	14. タービン潤滑油装置 (3号炉)	29~32. 可搬型代替電源車※
6. 補助ボイラー燃料タンク (3号炉)	15. 補助ボイラー燃料油装置 (1,2号炉)	33~36. 可搬型タンクローリー
7. 油計量タンク (1号炉)	16. 補助ボイラー燃料油装置 (3号炉)	37. 燃料タンク(SA) 【設置予定】
8. 油計量タンク (3号炉)	17. 油倉庫	
9. ディーゼル発電設備燃料油・潤滑油装置 (1号炉)	18. 油庫 (3号炉)	※2023年3月時点

第6-2図 敷地内における危険物施設の位置 (発電所全体)

3. 温度影響評価

(1) 建屋外壁に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設のうち、3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して、原子炉施設外壁への熱影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりである。

第6-4表 危険物貯蔵施設の必要データ

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

※1：防油堤の堰(20.9m×23.1m)の面積に等しいとした

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

※3：評価ガイド付属書B記載値

c. 燃焼半径の算出

防油堤には貯槽その他不燃障害物が存在し、火災面積はその面積分だけ小さくなるが、防油堤全面火災のような大規模な火災の場合は、多少の障害物も無視できる。したがって、本評価では、防油堤面積と等しい円筒火炎を生ずるものと想定し、次の式から燃焼半径R[m]を算出する。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

第6-5表 危険物貯蔵施設の燃焼半径

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

d. 外壁に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して評価を実施した。

(b) 火災源となる設備と評価対象施設までの離隔距離を第6-6表に示す。

第6-6表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]			
	原子炉建屋	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機建屋	循環水ポンプ建屋
3号炉補助ボイラー燃料タンク	57	112	43	100

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

第6-7表 各建屋の外壁と天井スラブの構成

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

※1：地表面から約2.8mが鉄筋コンクリート造の壁、上部の壁が鋼板で構成

○：設置，×：未設置

(c) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

第6-8表 評価対象施設ごとの形態係数

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

(d) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

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

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

第6-9表 評価対象施設ごとの輻射強度

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

(e) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t: 燃焼継続時間[s], V: 燃料量[m³]

R: 燃焼半径[m], v: 燃焼速度=M/ρ[m/s]

M: 質量低下速度[kg/m²・s], ρ: 燃料密度[kg/m³]

第6-10表 危険物貯蔵施設の燃焼継続時間

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

e. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている200℃とする。

(b) 耐火性能の評価結果

i. 原子炉建屋及び循環水ポンプ建屋

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体と仮定して下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より躯体コンクリート表面の温度上昇を求め、躯体コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。

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

なお、天井スラブは以下の理由により、躯体外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第6-3図に示す。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・天井スラブには、外壁より厚いコンクリートが設置されていることから、天井スラブ部躯体の熱影響は外壁部躯体に比べて小さい。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

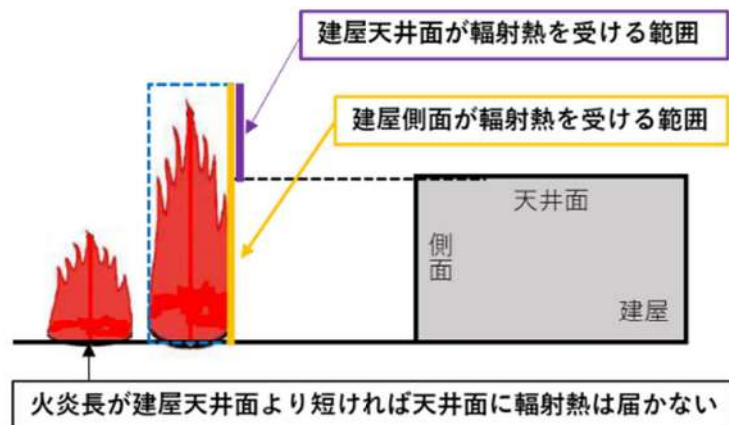
T：許容温度(200[°C])，T₀：初期温度(50[°C])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(24,264[s])

x：躯体コンクリート壁表面深さ(m)



第 6-3 図 建屋天井面の評価概念図

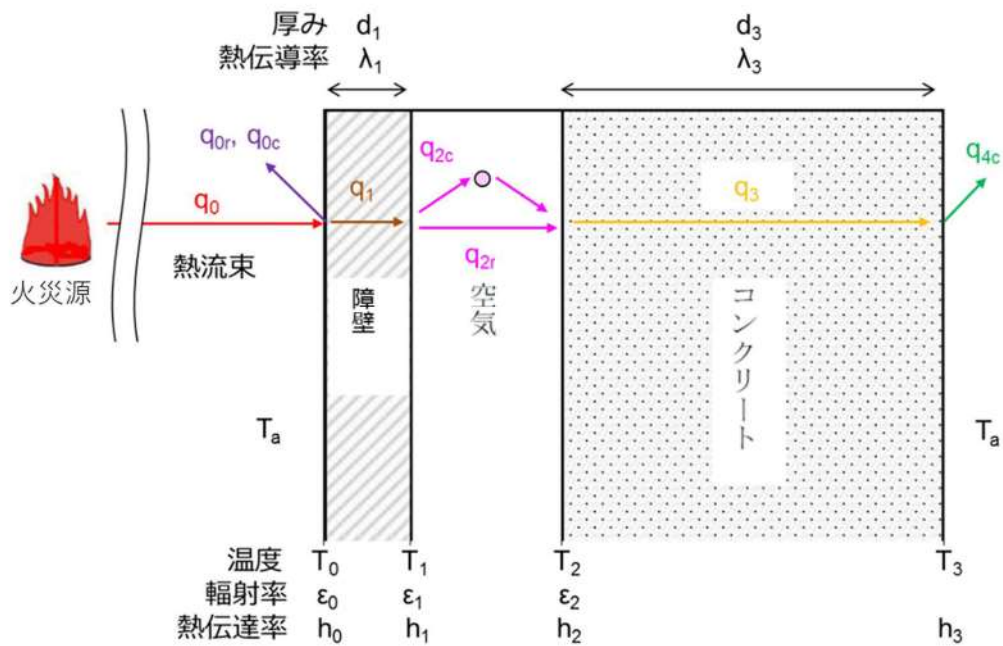
躯体コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を第 6-11 表に示す。

第 6-11 表 評価対象施設ごとの熱影響評価結果

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

ii. ディーゼル発電機建屋

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



第6-4図 評価概念図

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

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

(i) 障壁表面

・ 輻射

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

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

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

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

・ 対流熱伝達

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

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

(ii) 障壁内部

・熱伝導

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

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

(iii) 空気層

・輻射

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

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

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

ε_2 : コンクリート表面の輻射率(1)

・対流熱伝達

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

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

また、空気層からコンクリート表面への対流熱伝達についても、次式が成り立つ。

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

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

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

h_1 : 対流熱伝達率 (19[W/m²・K])

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

- (iv) コンクリート内部
 ・熱伝導

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

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

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

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

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

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

第6-12表 熱影響評価結果

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

(2) 排気筒に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設のうち, 3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定して, 排気筒への火災影響評価を実施する。

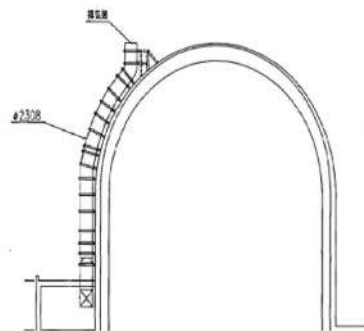
なお, 排気筒の評価に当たっては, 原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

b. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第6-13表に, 排気筒外形図を第6-5図に示す。

第6-13表 排気筒の仕様

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



第6-5図 排気筒の外形図

c. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第 6-14 表に示す。

第 6-14 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
3号炉補助ボイラー燃料タンク	57

d. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

e. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

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

第 6-15 表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
排気筒	0.081

f. 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

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

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

第 6-16 表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
排気筒	1,863

g. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

h. 判断の考え方

(a) 許容温度

「発電用原子力設備規格設計・建設規格」では、鋼材の制限温度を 350℃としていること、また、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 $\kappa(T)$ が示されており、一般的な鋼材において温度が 325℃以下であれば、その強度が常温時と変わらないとしていることから、保守的に 325℃を許容温度とする。

(b) 評価結果

排気筒は内部への伝熱はなく、熱伝導の良い表面の鋼材への伝熱のみを考慮するため、速やかに定常状態となることから、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の輻射強度で排気筒が升温される時、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により排気筒表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

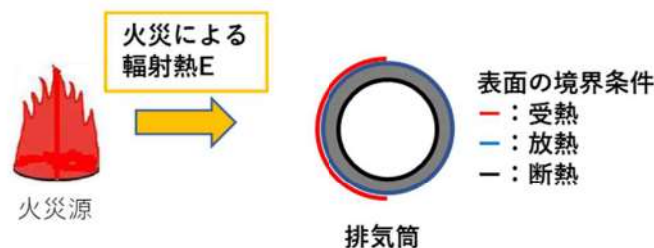
$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E}{2h} \quad (\text{式 1})$$

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

※1：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²·K を用いる。）

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

排気筒の評価概念図を第 6-6 図に示す。



第 6-6 図 排気筒の評価概念図

第 6-17 表 排気筒への火災影響評価結果

対象施設	排気筒温度[℃]	許容温度[℃]
排気筒	約 105	< 325

(3) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプは、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気温度の上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気温度を評価対象とする。

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

b. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプを内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第6-18表に示す。

第6-18表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	循環水ポンプ建屋
3号炉補助ボイラー燃料タンク	100

c. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

d. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第6-19表に示す。

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

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

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

第6-19表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	0.030

e. 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第6-20表に示す。

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

E：輻射強度[W/m²], R_f：輻射発散度[W/m²], Φ：形態係数

第6-20表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	690

f. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

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

(b) 評価方法

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

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

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

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

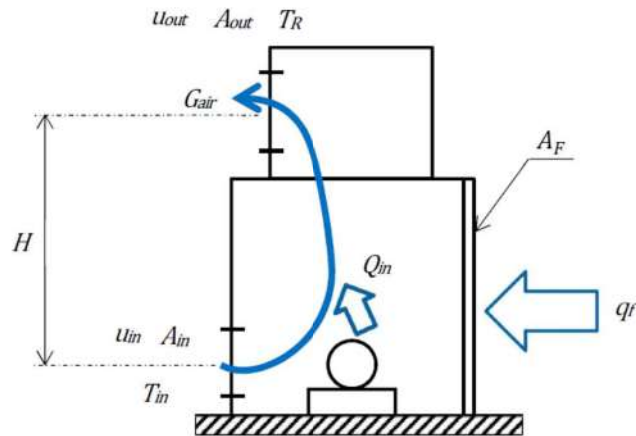
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（湯き空気として算出）

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



第 6-7 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

(c) 評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果, 許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 6-21 表に示す。

第 6-21 表 原子炉補機冷却海水ポンプへの火災影響評価結果

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

4. まとめ

以上の結果から, 発電所敷地内の危険物施設において火災が発生した場合を想定したとしても, 原子炉施設(原子炉建屋, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋)の外壁温度, 排気筒温度及び原子炉補機冷却海水ポンプ温度が許容温度を超えないことから, 発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

5. 敷地内危険物施設以外の設備の火災影響評価

(1) 敷地内危険物施設以外の設備の火災の想定

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

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

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

- i. 評価対象とする変圧器は、第 6-23 表で抽出した一体型である 3 号炉主変圧器・所内変圧器を想定した。
- ii. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう i. で想定した変圧器位置から発電用原子炉施設までの直線距離とした。
- iii. 変圧器の損傷等による変圧器の全面火災を想定した。
- iv. 気象条件は無風状態とした。
- v. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。
- vi. 黒煙の発生による輻射発散度の低減は無いものとした。
- vii. 変圧器の防火設備の消火機能等には期待しない。

(2) 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する変圧器の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第 6-22 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	変圧器規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	変圧器から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	原子炉施設の外壁、排気筒及び原子炉補機冷却海水ポンプが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

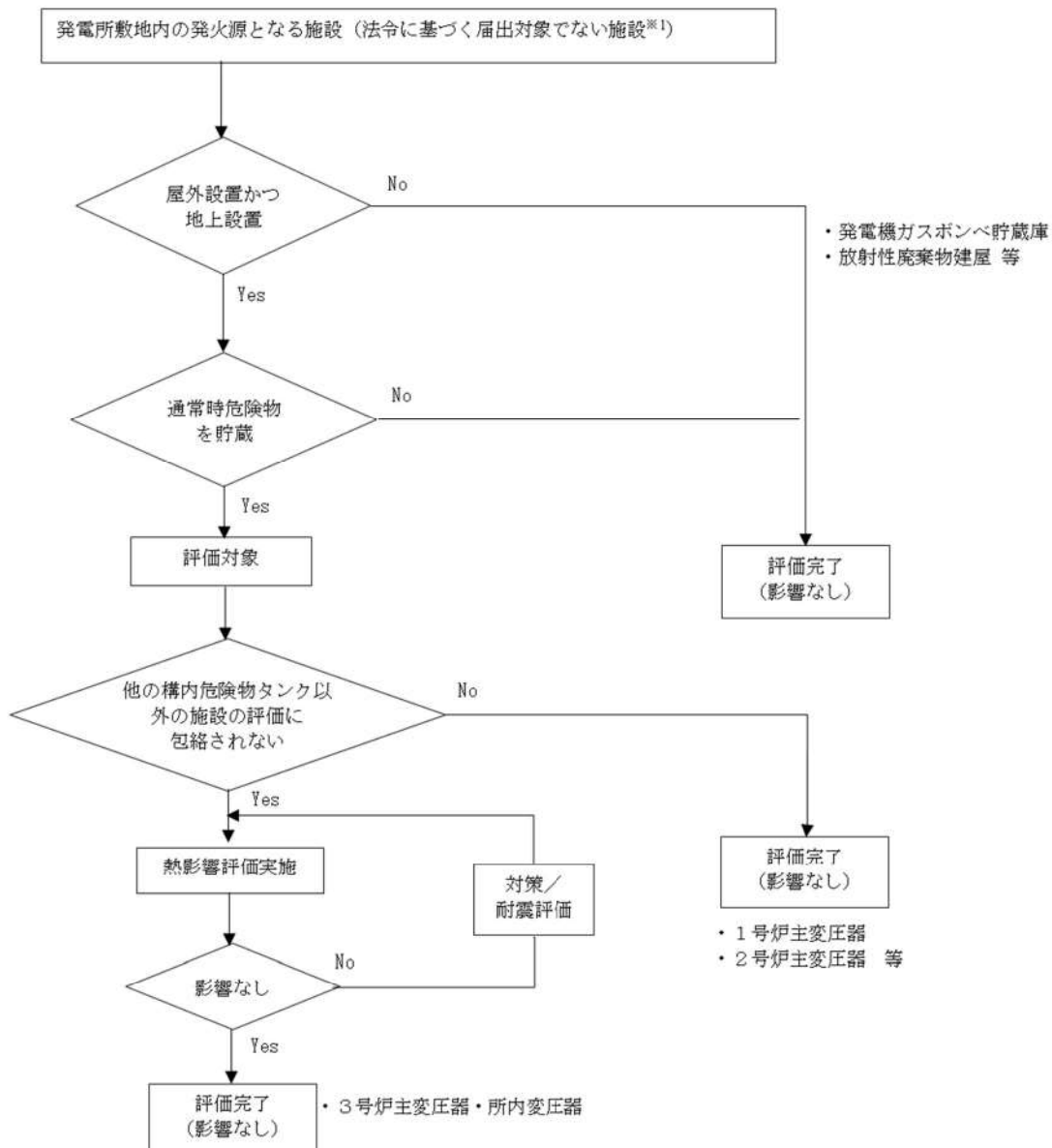
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

輻射熱に対する設備の温度上昇を評価し、温度上昇がその設備の熱許容限界値以下になるように発電用原子炉施設は離隔距離を確保する。

(3) 評価対象範囲

消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設ではない施設について、火災影響評価を実施する。評価対象とする設備を危険物施設と同様に第 6-8 図のフローに基づき抽出する（第 6-23 表）。危険物を貯蔵し屋外に設置している設備を想定発火源（主変圧器等）とする。

なお、薬品を取り扱う設備は輻射熱を受けない屋内設置であること、外部への火災が発生する可能性が低いことから、評価対象から除外する。発電所敷地内における屋外変圧器の位置を第 6-9 図に示す。



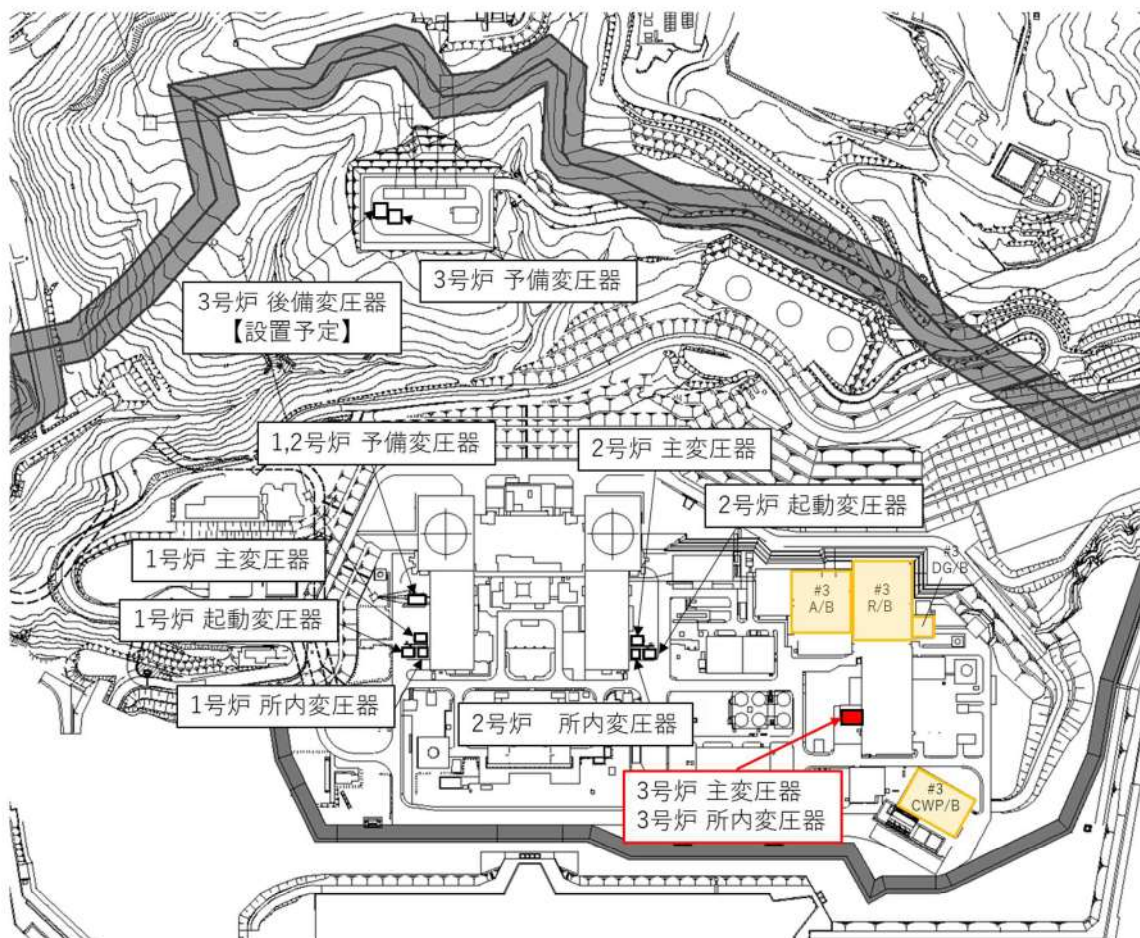
※1：消防法又は岩内・寿都地方消防組合火災予防条例に基づく届出対象施設ではない変圧器等

第 6-8 図 敷地内危険物施設以外の設備のうち評価対象抽出フロー

第6-23表 その他の危険物

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

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



第6-9図 敷地内における屋外変圧器の位置（発電所全体）

6. 温度影響評価

(1) 建屋外壁に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の変圧器のうち、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して、発電用原子炉施設への熱影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりである。

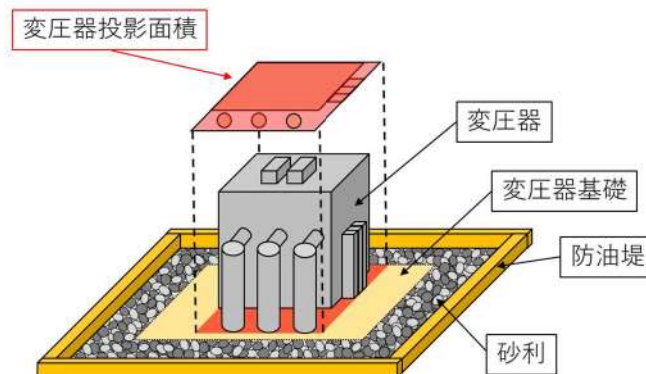
第6-24表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

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

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

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

※3：評価ガイド付属書B記載値



第6-10図 変圧器の投影面積

c. 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には砂利が敷き詰められていること及び漏えいした油を回収する地下タンクを設置していることから、防油堤の全面火災が生じることはない。したがって、変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし、燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとして燃焼半径を算出する。変圧器の投影面積を第6-10図に、算出結果を第6-25表に示す。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

第 6-25 表 変圧器火災の燃焼半径

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

d. 外壁に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

評価対象施設の外壁について、一体型である 3号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して評価を実施した。

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

第 6-26 表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]			
	原子炉建屋	原子炉補助建屋	ディーゼル発電機建屋	循環水ポンプ建屋
3号炉主変圧器・所内変圧器	64	75	90	81

(c) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

第 6-27 表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉建屋	0.018

(d) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点 (受熱点) の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

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

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

第 6-28 表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉建屋	414

(e) 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度=M/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第 6-29 表 変圧器火災の燃焼継続時間

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

e. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。

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

また、天井スラブは以下の理由により、躯体外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。天井スラブの評価概念図を第 6-11 図に示す。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

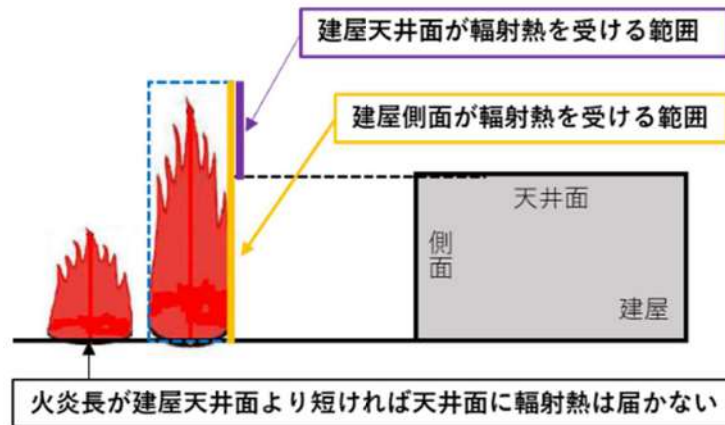
T：許容温度(200[°C])，T₀：初期温度(50[°C])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間(26,028[s])

x：躯体コンクリート壁表面深さ(0[m])



第 6-11 図 建屋天井面の評価概念図

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200°C 以下であることを確認した。評価結果を第 6-30 表に示す。

第 6-30 表 外壁への火災影響評価結果

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

(2) 排気筒に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の変圧器のうち、一体型である3号炉主変圧器・所内変圧器の火災を想定して、排気筒への火災影響評価を実施する。

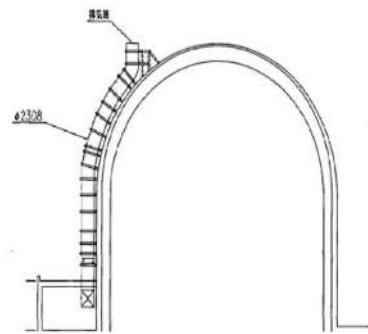
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

b. 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第6-31表に、排気筒外形図を第6-12図に示す。

第6-31表 排気筒の仕様

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



第6-12図 排気筒の外形図

c. 評価対象施設までの離隔距離

想定火災源から評価対象施設までの離隔距離を第6-32表に示す。

第6-32表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	排気筒
3号炉主変圧器・所内変圧器	64

d. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

e. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

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

第 6-33 表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
排気筒	0.018

f. 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

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

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

第 6-34 表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
排気筒	414

g. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

h. 判断の考え方

(a) 許容温度

「発電用原子力設備規格設計・建設規格」では、鋼材の制限温度を 350℃としていること、また、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」では、鋼材の温度上昇に伴う強度低下率 κ(T) が示されており、一般的な鋼材において温度が 325℃以下であれば、その強度が常温時と変わらないとしていることから、保守的に 325℃を許容温度とする。

(b) 評価結果

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

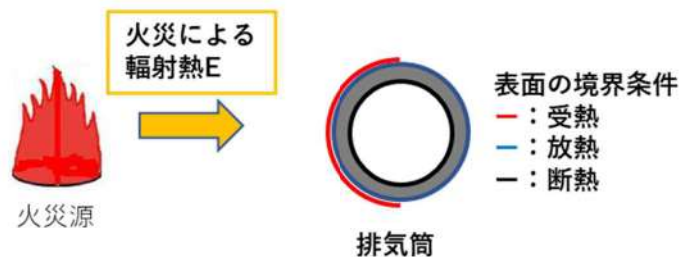
より排気筒表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。
 なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

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

※1: 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²·K を用いる。)

上式を用いて排気筒表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 325°C以下であることを確認した。評価結果を第 6-35 表に示す。排気筒の評価概念図を第 6-13 図に示す。



第 6-13 図 排気筒の評価概念図

第 6-35 表 排気筒への火災影響評価結果

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

(3) 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプは、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。電動機内部の空気冷却対象は固定子巻線及び下部軸受であり、そのうち許容温度が低い下部軸受温度の機能維持に必要な冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。

b. 火災源となる設備から評価対象施設までの離隔距離

原子炉補機冷却海水ポンプを内包する循環水ポンプ建屋から火災源までの離隔距離を第6-36表に示す。

第6-36表 想定火災源から評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
	循環水ポンプ建屋
3号炉主変圧器・所内変圧器	81

c. 燃焼半径の算出

(1) c. と同様。

d. 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。算出結果を第6-37表に示す。

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

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

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

第6-37表 評価対象施設の形態係数

対象施設	形態係数[-]
原子炉補機冷却海水ポンプ	0.012

e. 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。算出結果を第6-38表に示す。

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

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

第6-38表 評価対象施設の輻射強度

対象施設	輻射強度[W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	276

f. 燃焼継続時間の算出

(1) d. (e)と同様。

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

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

(b) 評価方法

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

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

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

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

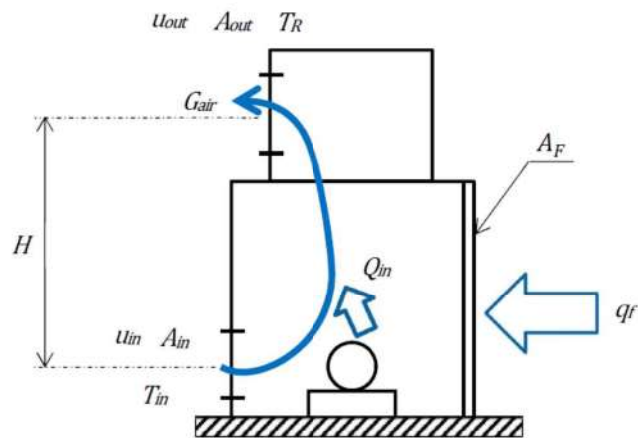
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第 11 版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第 5 版 日本機械学会（渦き空気として算出）

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



第6-14図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

(c) 評価結果

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果, 許容温度以下であることを確認した。評価結果を第6-39表に示す。

第6-39表 原子炉補機冷却海水ポンプへの火災影響評価結果

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

7. まとめ

以上の結果から, 発電所敷地内の変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても, 原子炉施設(原子炉建屋, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋)外壁温度, 排気筒温度及び原子炉補機冷却海水ポンプ温度が許容温度を超えないことから, 発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

8. 敷地内危険物施設における延焼の危険性について

3号炉補助ボイラー燃料タンク近傍で危険物を保管している設備はなく, 現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は, 社内規程類に基づき危険物や火気を管理した状態で取り扱っている。また, 防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認している。

以上により, 3号炉補助ボイラー燃料タンクの火災を想定したとしても周囲の可燃物への引火の可能性は低いと評価する。

9. 発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器の火災影響評価

発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器（防護扉等）については、外部火災の熱影響を受けやすいことから、これらの機器について、火災影響評価を実施する。

(1) 評価対象範囲

評価対象は、発電用原子炉施設の外壁に設置されている機器のうち、外部火災の熱影響を受ける以下の機器とする。

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

なお、複数設置されているこれらの機器のうち、最も熱影響を受ける位置にあるもの（発熱源に近く、機器本体だけでなく建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性のあるもの）を評価することによって、その他の機器は本評価に包絡される。

発熱源は、火災時の輻射強度が大きい3号炉補助ボイラー燃料タンク、航空機とするが、建屋内への熱影響が確認された場合は内気温度についても評価する。

(2) 3B-ディーゼル発電機室外扉及び3B-ディーゼル発電機室の熱影響評価

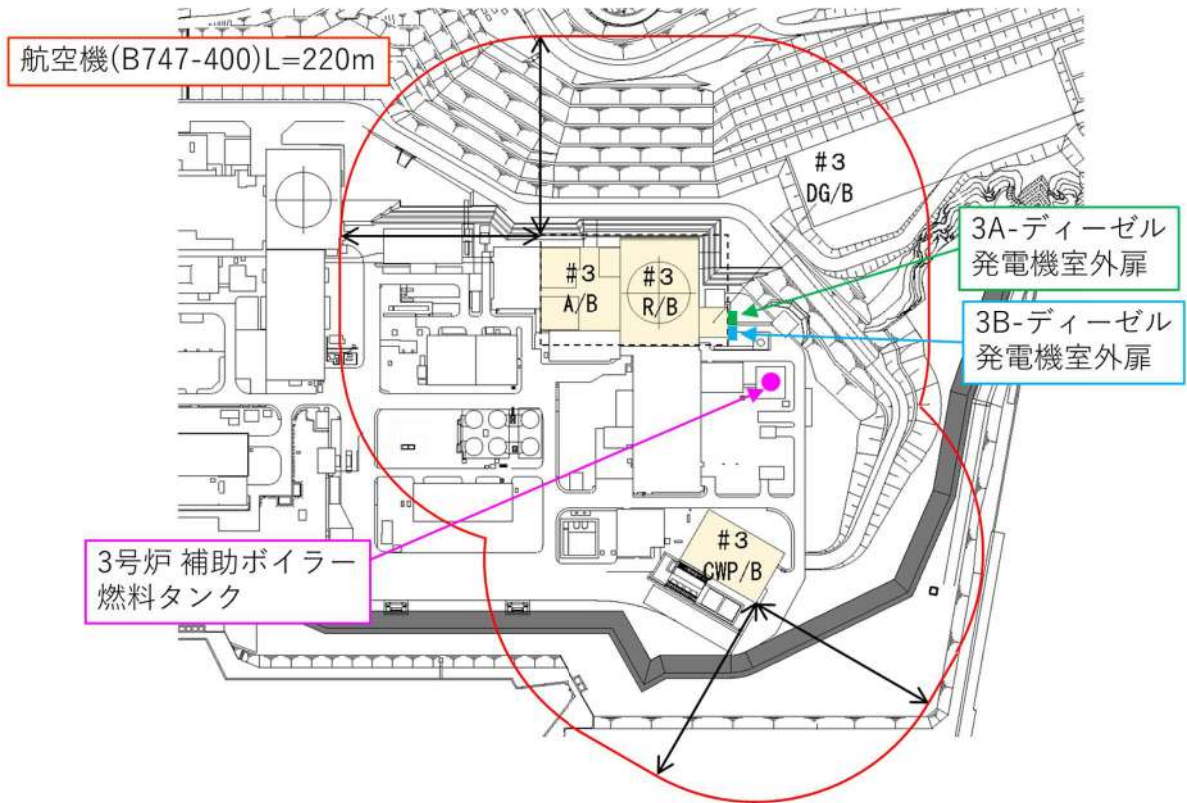
a. 外扉の温度評価

(a) 評価対象

室内に防護対象設備を内包する部屋の外扉のうち、3号炉補助ボイラー燃料タンクに最も近くに位置しており、輻射強度が最も大きくなる3B-ディーゼル発電機室の外扉を評価対象とする。

なお、室内に防護対象設備を内包する部屋の扉には、他に3A-ディーゼル発電機室の外扉があるが、3号炉補助ボイラー燃料タンクからの離隔距離は3B-ディーゼル発電機室より離れているため、熱影響評価は3B-ディーゼル発電機室の熱影響評価に包絡される。

ディーゼル発電機室外扉と火災源との位置関係を第6-15図に示す。



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

(b) 想定条件

- i. 火災源は、3 号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災とした。
- ii. 外扉は、保守的に、扉外面の最も熱影響を受けやすい金属を外扉の構造材（均質体）とした。
- iii. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度を受けるものとした。

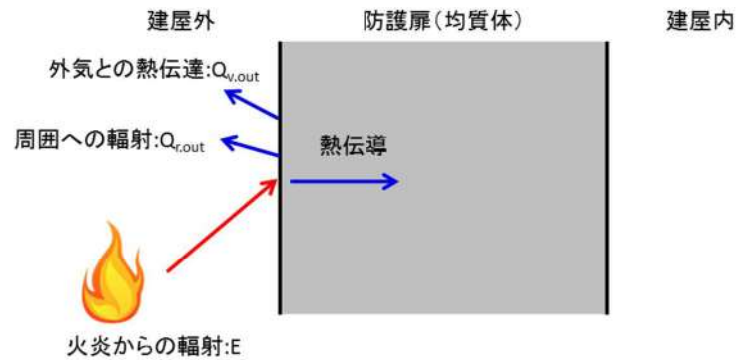
想定する火災の条件を第 6-40 表に示す。

第 6-40 表 想定する重畳火災の条件

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

※ ディーゼル発電機建屋までの離隔距離を採用した。

以下に、伝熱の概念図を示す。



第6-16図 伝熱の概念図

(c) 必要データ

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

第6-41表 建屋外扉及び隣接室の熱影響評価における初期条件の設定

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

(d) 外気への放熱条件

外扉から外気への放熱として、周囲への輻射及び外気への熱伝達を考慮する。

周囲への輻射は、外面放射率を 1.0 とする。

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

Bayley の式は以下のように表せる。

Bayley の式

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

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

より、自然対流熱伝達率 h は次式から求められる。

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

と表せる。ここで、

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

T_w : 扉の表面温度 [$^{\circ}\text{C}$]

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

Nu : ヌセルト数 [-]

L : 扉の高さ (2.525 [m])

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

Ra : レイリー数 [-]

g : 重力加速度 (9.80665 [m/s^2])

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

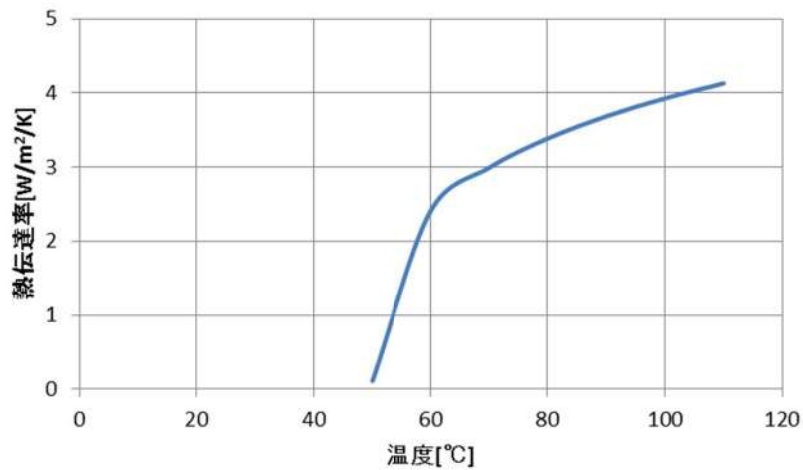
ν : 動粘性率* [m^2/s]

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

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

ρ : 空気密度* [kg/m^3]

※: 伝熱工学資料記載値から算出



第 6-17 図 自然対流熱伝達 (Bayley の式)

(e) 外扉の内外面温度評価

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外扉外面及び内面温度を求め
る。

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

ここで、

T : 3B-DG 室外扉温度 [°C]

t : 時刻 [s]

x : 外扉における外面からの距離 [m]

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

λ : 3B-DG 室外扉熱伝導率 [W/m·K]

ρ : 3B-DG 室外扉密度 (7,860 [kg/m³])

C_p : 3B-DG 室外扉比熱 (473 [J/kg·K])

上式は以下の境界条件を満たすことから、

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

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

L : 3B-DG 室外扉の厚さ (0.3353 [m])

E : 火災による輻射強度

h : 熱伝達率 [W/m²·K] (Bayley の式より算出)

T_∞ : 外気温度 (50 [°C])

T_1 : 3B-DG 室初期温度

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

評価結果を第 6-42 表に示す。

第 6-42 表 外扉温度評価結果

外扉外側 [°C]	外扉内側 [°C]
約 114	約 106

(f) 熱影響の有無の評価

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

b. 3B-DG 室の温度評価

建屋内に設置されている燃料油サービスタンクからの燃料供給により、ディーゼル発電機を運転している状態とし、その時の内気温度を算出、室内に設置している機器等への影響について評価する。

(a) 評価条件

- i. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、扉内面温度約 106°C一定としたときの放熱量を評価対象室への入熱とした。
- ii. 評価対象室から壁、床、天井への放熱は考慮しないものとした。
- iii. 3B-DG 室に隣接している部屋のうち、放熱面積と室内負荷が最も大きいのは 3A-DG 室であるが、室内容積、換気風量及び室内負荷が 3B-DG と同等であることから、3B-DG 室を対象とすることで、3A-DG 室等の隣接室内機器への評価は包絡される。
- iv. ディーゼル発電機は、100%出力一定で運転しているものとした。
- v. 換気空調設備については、ディーゼル発電機室空調装置による除熱とした。

(b) 建屋内の温度評価

内気温度は、火災による外扉内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び周囲壁と空調による除熱を考慮し、次式で求める。

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

T_R : 3B-DG 室室温[°C]

Q_1 : 3B-DG 室熱負荷(518, 500[W])

Q_D : 火災による 3B-DG 室外扉温度上昇に伴う熱負荷[W]

Q_V : 3B-DG 室における空調による除熱[W]

ρ_1 : 3B-DG 室空気密度(1.150[kg/m³])

C_{p1} : 3B-DG 室空気定圧比熱(1,007[J/kg·K])

V_1 : 3B-DG 室体積(1,858[m³])

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

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

h_1 : 3B-DG 室外扉内表面熱伝達率[W/m²·K]

A_1 : 3B-DG 室外扉表面積(7.07[m²])

T_{max} : 3B-DG 室外扉内側最高温度(106[°C])

式 1 記載の空調による除熱 Q_V は、次式のように表せる。

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

m_1 : 3B-DG 室換気風量(27.255[kg/s])

C_{p1} : 3B-DG 室の定圧比熱(1,007[J/kg·K])

T_{a1} : 3B-DG 室吹出温度(30[°C])

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

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

T_1 : 3B-DG 室内気初期温度[°C]

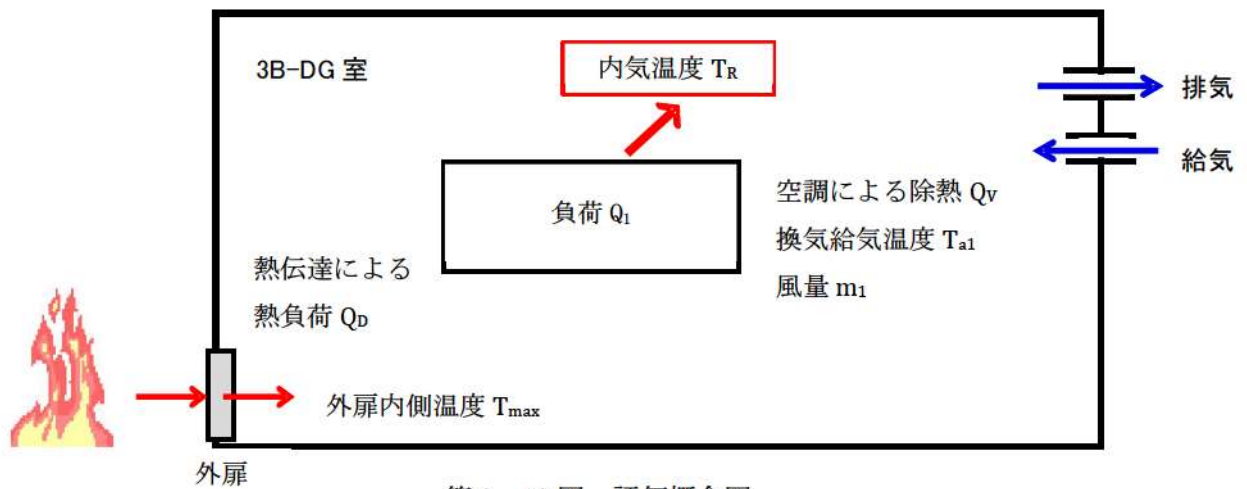
t : 火災継続時間[s]

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

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

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

である。



第6-18図 評価概念図

以下に評価結果を示す。

第6-43表 3B-DG室の熱影響評価結果

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

※1：DG室の設計最高使用温度

(c) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、3号炉補助ボイラー燃料タンク火災及び航空機墜落による火災の重畳火災による外扉の加熱を想定したとしても、建屋内の3B-ディーゼル発電機室の内気温度が、許容温度を超えないことから発電用原子炉施設の建屋内への熱影響はない。

なお、内気温度については、(a) 評価条件に加え、各部の温度に設計値を用いる等、保守的な評価を行っていることから、実際の温度上昇は更に低く抑えられると評価する。

(3) ガラリフードの火災影響評価について

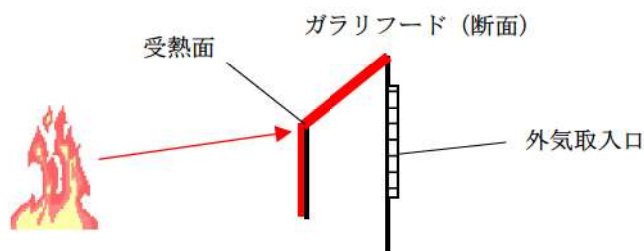
a. 評価対象

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

b. 想定条件

- ・ガラリフードへの熱影響が最大となる3号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災を火災源とする。重畳火災については、添付資料-7「2. 航空機墜落による火災の影響評価」と同様の想定とする。
- ・火災が発生してから燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でガラリフードが昇温されるものとする。
- ・保守的な評価とするため、吸収率は1.0とする。

以下に、ガラリフードへの受熱面を示す。



第6-19図 ガラリフードの受熱面

c. 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第6-44表 ガラリフードへの火災影響評価に必要なデータ

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

d. ガラリフード温度と膨張量

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

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

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

ε : 吸収率 (1.0[-]), E : 輻射強度 [W/m²]

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

※1 : 空気調和・衛生工学便覧

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

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

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

以下に評価結果を示す。

第6-45表 ガラリフードの熱影響評価結果

ガラリフード温度[°C]	190
ガラリフード膨張量[mm]	38.1

e. 火災による熱影響の有無の評価

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

また、ガラリフードの変形の有無にかかわらず、安全上支障のない期間に点検を行い、ガラリフードの使用に問題があると判断される場合には、交換等の措置が可能である。

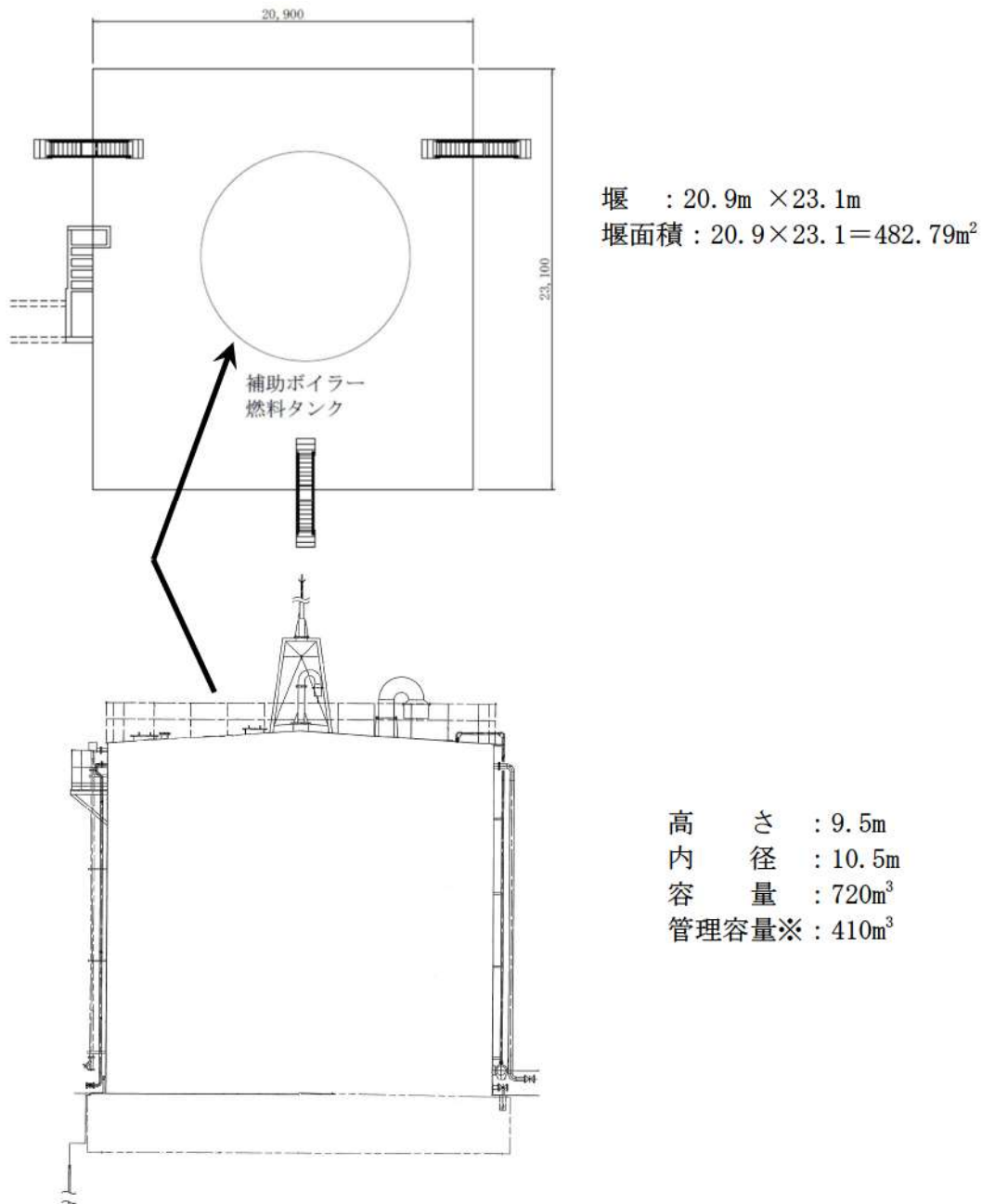
なお、ガラリフード内側には熱影響を受ける機器等がなく、3号炉補助ボイラー燃料タンク及び航空機墜落の重畳火災時は、給気温度を監視しつつ、状況に応じて換気空調設備の停止措置を講じることから、建屋内への熱影響はない。

(4) 配管貫通部の火災影響評価について

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

3号炉補助ボイラー燃料タンクの仕様について

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



第1図 3号炉補助ボイラー燃料タンク外形図

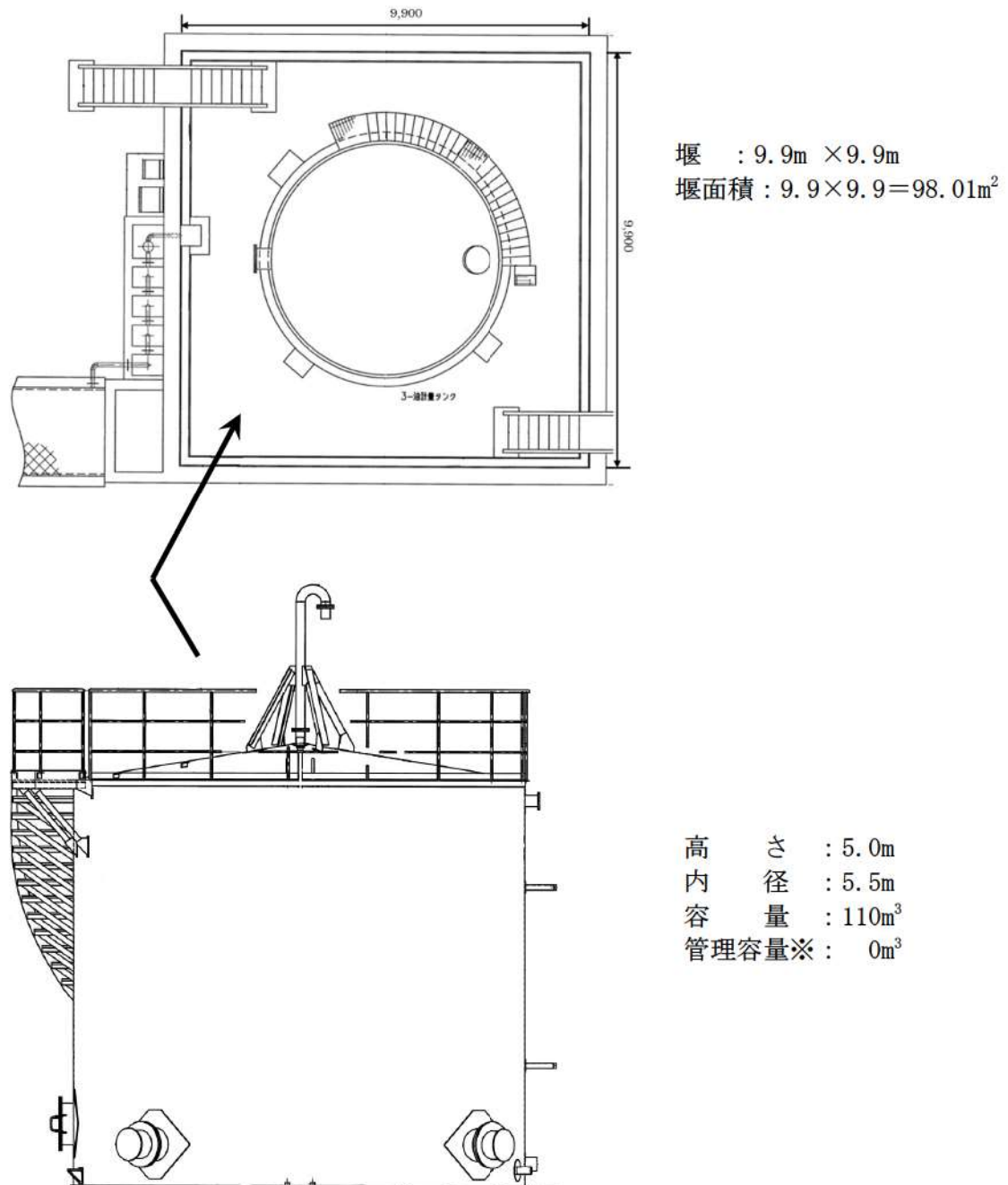
※ 3号炉補助ボイラー燃料タンクの管理容量について

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

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

3号炉油計量タンクの仕様について

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



第1図 3号炉油計量タンク外形図

※ 3号炉油計量タンクの管理について

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

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

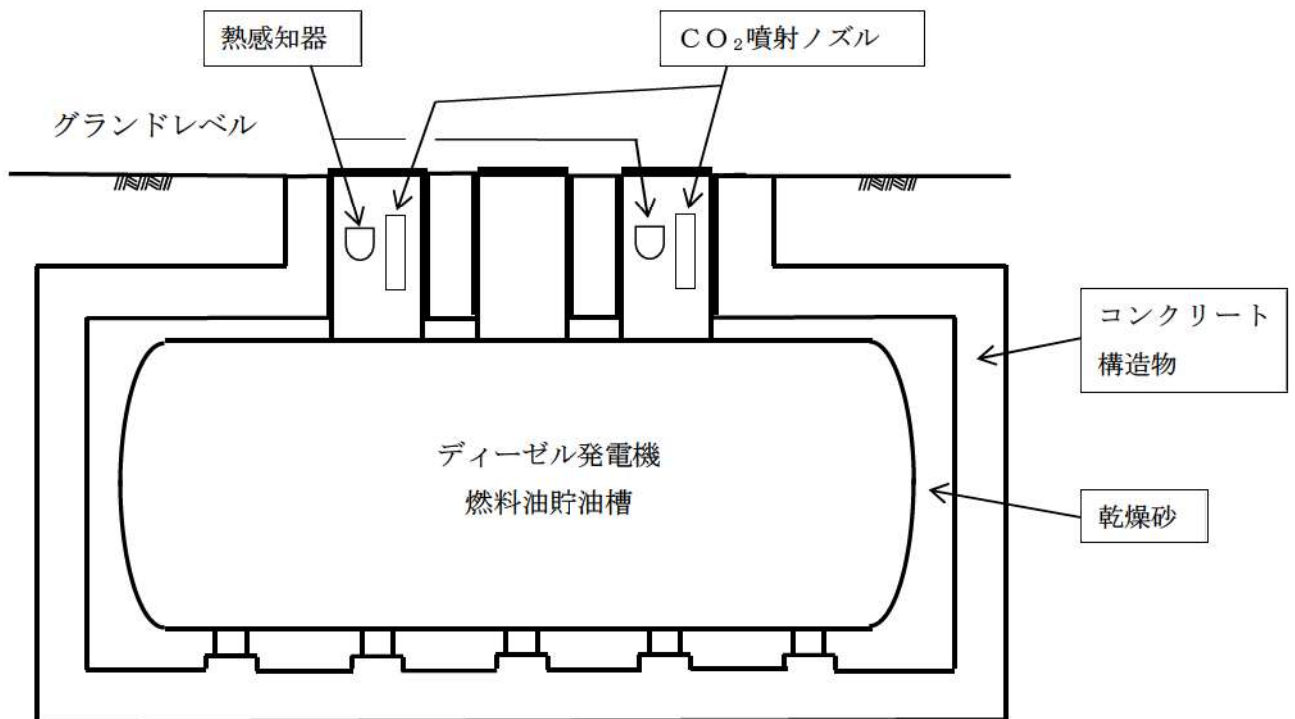
このため、3号炉油計量タンクは評価対象から除外する。また、3号炉油計量タンクが空の状態(0m³)となるように保安規定で管理する。

ディーゼル発電機燃料油貯油槽について

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

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

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



第1図 ディーゼル発電機燃料油貯油槽概要図

評価対象建屋の外壁と天井スラブの構成について

1. 概要

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

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

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

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

各評価対象建屋の外壁と天井スラブの構成を第 1 表に示す。

第 1 表 各建屋の外壁と天井スラブの構成

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

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

○：設置，×：未設置

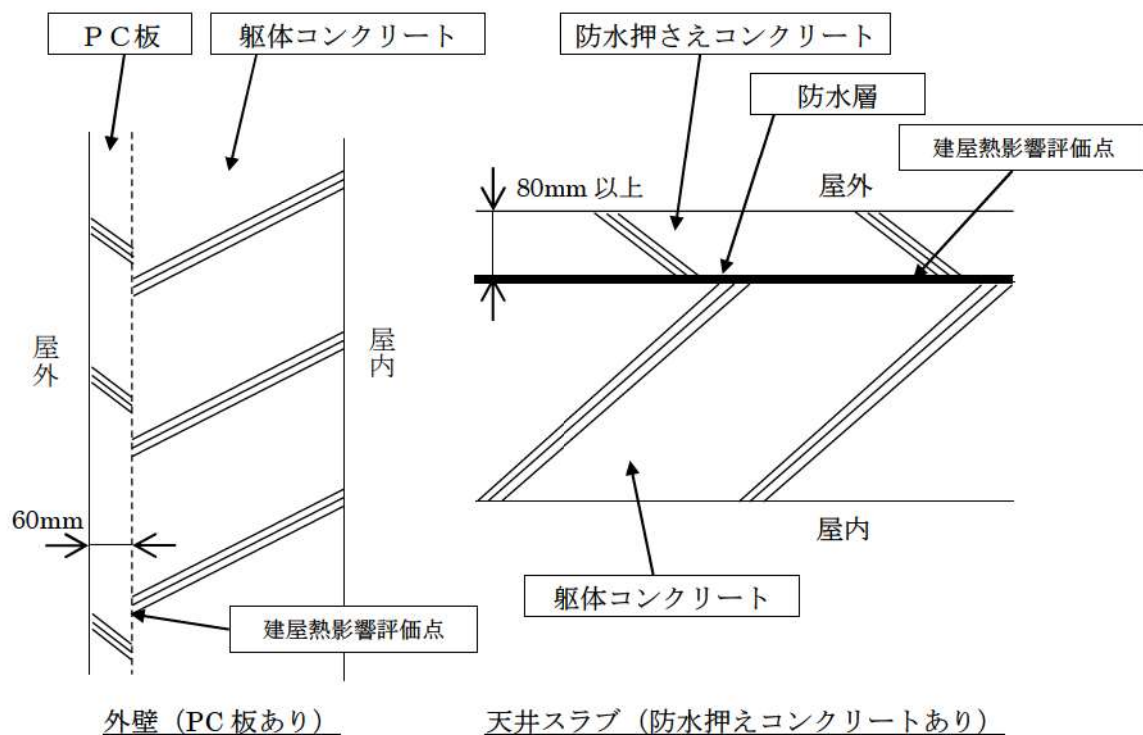
2. PC板及び防水押さえコンクリートについて

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

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

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

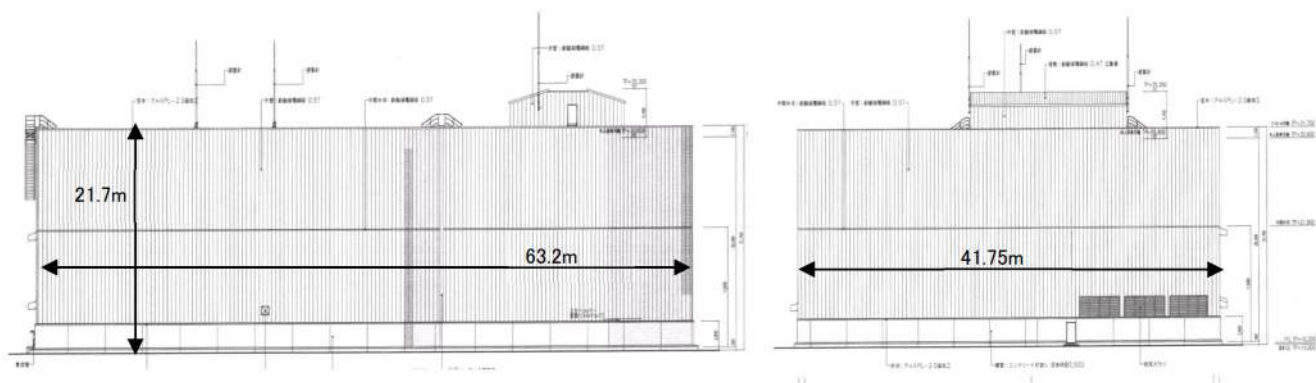
なお、この熱的性質の物性値については、JISに記載が無いことから、適切と考えられる日本建築学会規準から引用した。



第1図 外壁及び天井スラブ構成図

3. 循環水ポンプ建屋及び原子炉補機冷却海水ポンプの影響評価について

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



第2図 循環水建屋外形図

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

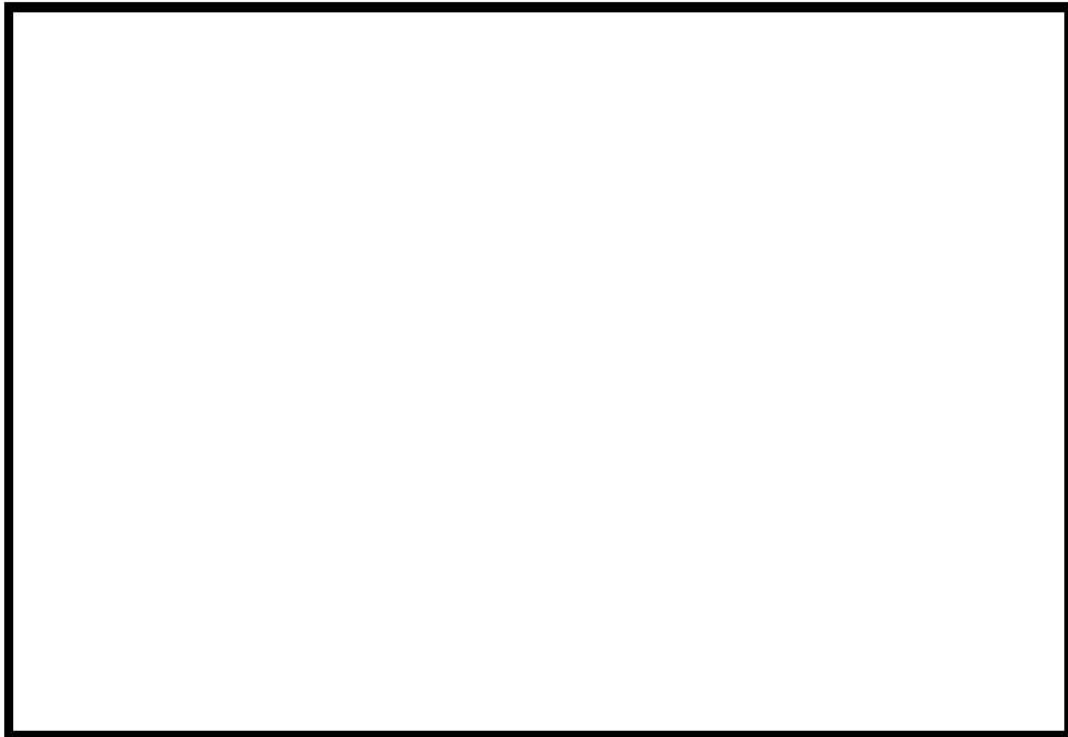
また、原子炉補機冷却海水ポンプは循環水ポンプ建屋内に収納されており、外部火災による輻射熱が原子炉補機冷却海水ポンプに直接作用することはないが、循環水ポンプ建屋の上部外壁は鋼板であることから、外部火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気へ移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。

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


4. ディーゼル発電機建屋の影響評価について

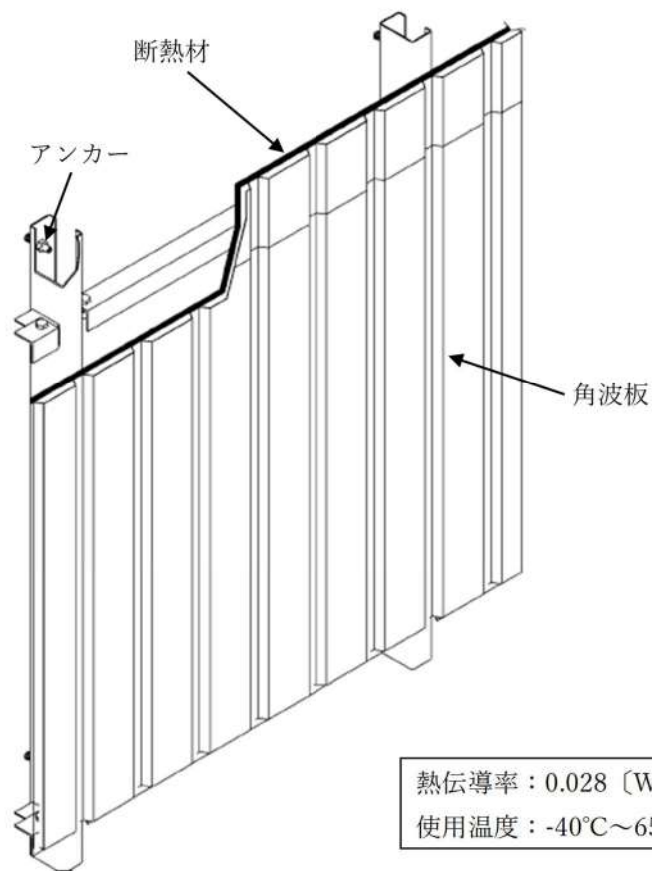
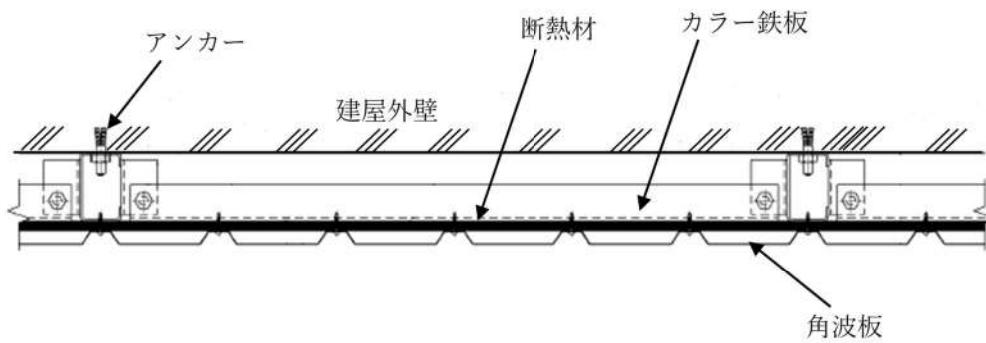
建屋外壁及び屋根スラブの防護措置は、200℃を超える範囲について実施するものとし、防護措置実施範囲及び断熱材設置イメージを第3図及び第4図に示す。なお、ディーゼル発電機建屋の上部構造物の重量に対して、設置する断熱材及びコンクリート板の重量は約0.2%であることから、防護措置に伴う重量増加を考慮しても建屋の耐震性に殆ど影響はない。

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



第3図 ディーゼル発電機建屋の防護措置実施範囲

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第4図 断熱材設置概略図

(1) 断熱材設置による模擬試験について

コンクリート板に断熱材を設置した状態を模擬し、加温試験を行った。

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

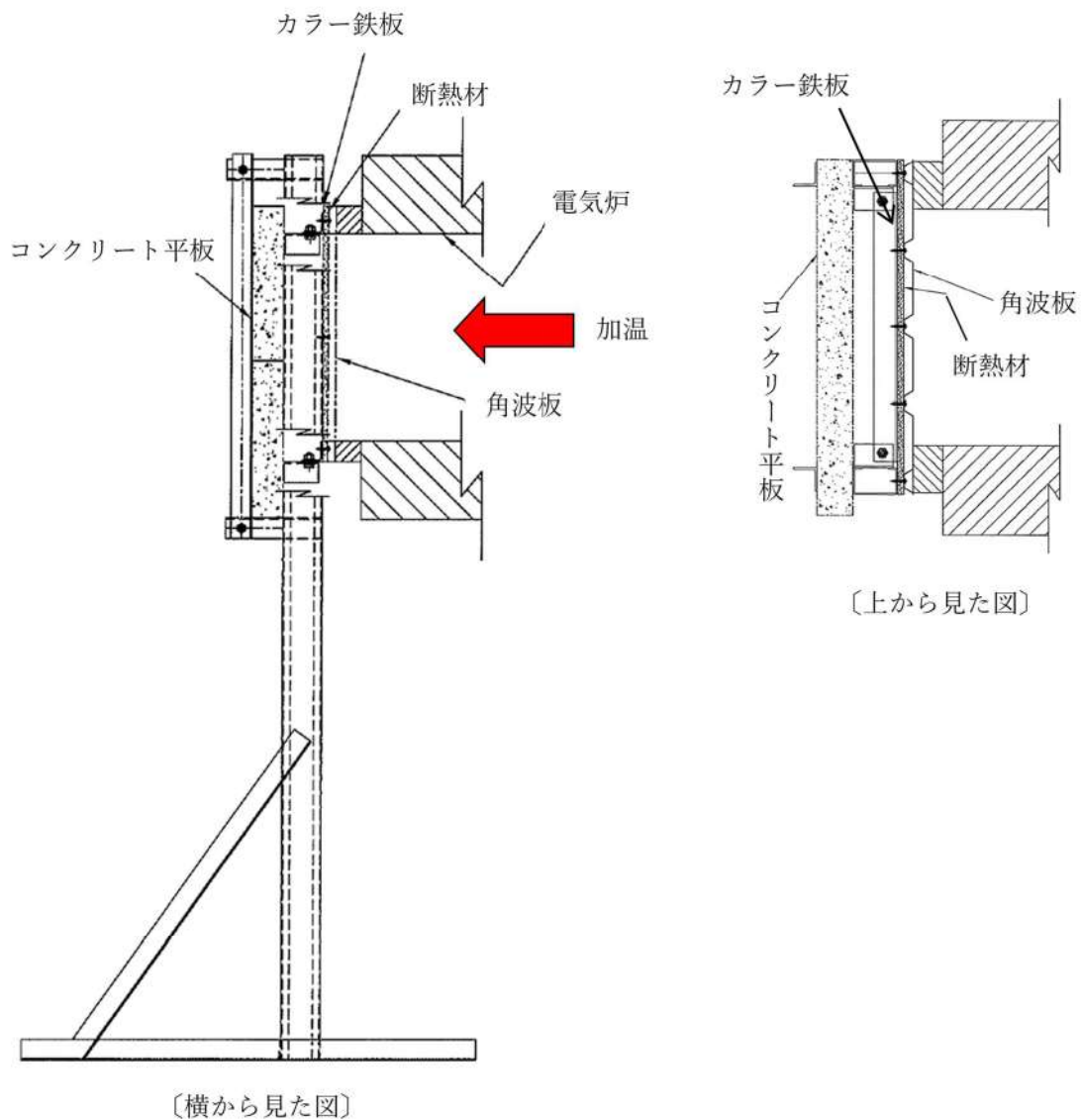
コンクリート板厚がディーゼル発電機建屋と相違があるものの、断熱材の設置により許容温度 200°C を下回ると考えられる。なお、評価結果においては模擬試験より高い温度

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

a. 試験状況

試験は以下のように実施した。

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

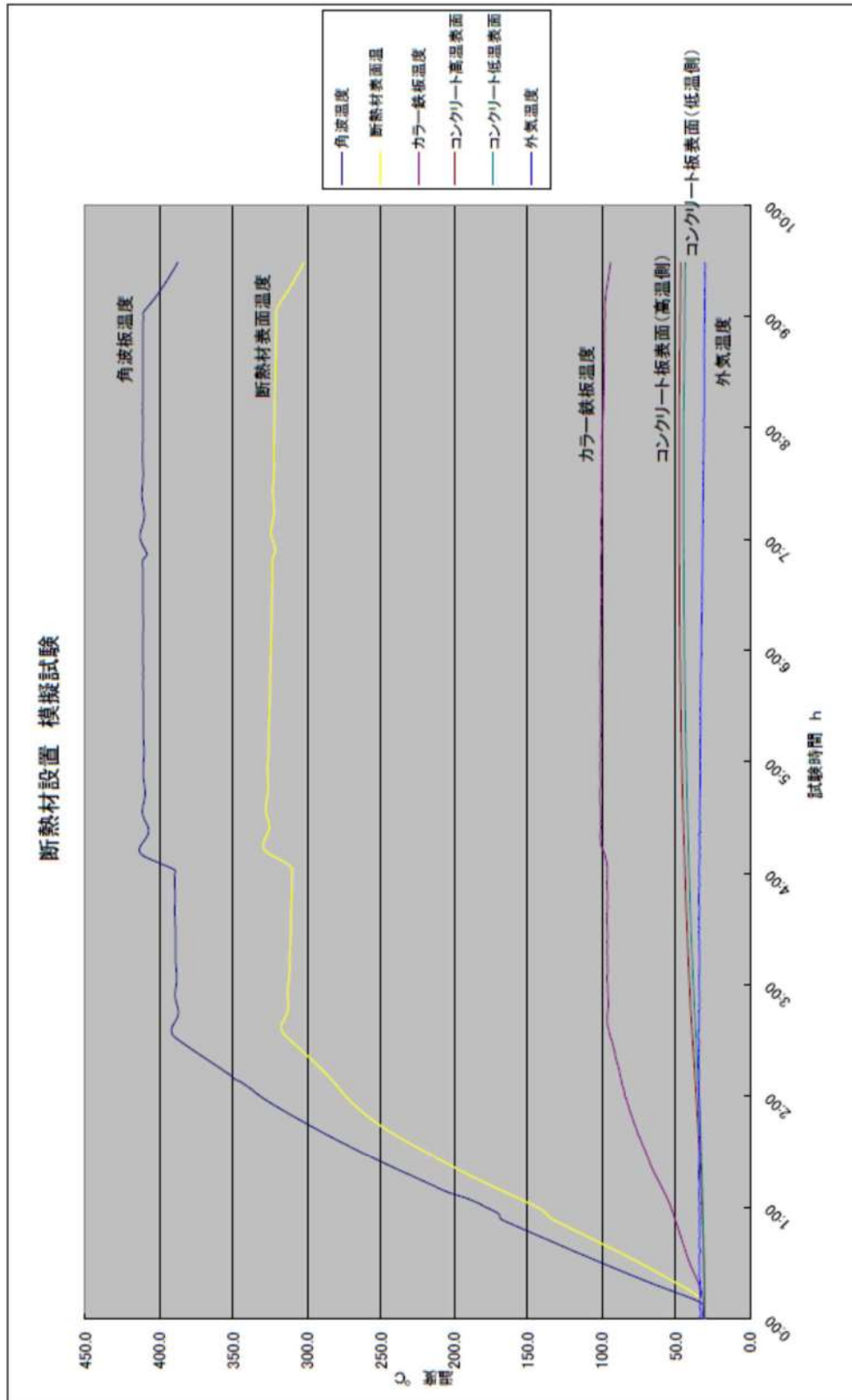


第 5 図 試験状況図

b. 試験結果

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

試験結果を第 6 図に示す。



第6図 模擬試験結果

泊発電所の敷地内への航空機墜落による火災について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地への航空機墜落による火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が泊発電所の敷地内で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

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

2. 航空機墜落による火災の影響評価

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

航空機墜落による火災の影響は、対象航空機の燃料積載量に大きく依存することから、別紙7-1に示すとおり、民間航空機と自衛隊機又は米軍機に分類し、また、大型航空機と小型航空機に分類し以下のカテゴリごとに火災影響評価を実施する。

第7-1表 落下事故のカテゴリ

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

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

※2：泊発電所上空に航空路は存在しないため対象外。(別紙7-3)

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

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

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

(1) 航空機墜落による火災の想定

- ・航空機は、泊発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち、燃料積載量が最大の機種とする。(第7-2表)
- ・航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- ・航空機の墜落は発電所敷地内であって墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- ・航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。

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

第7-2表 航空機墜落による火災影響評価の評価対象航空機

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

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

(2) 評価手法の概要

本評価は、泊発電所に対する航空機墜落による火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

第7-3表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度
形態係数[-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	航空機燃料タンクの投影面積より求めた燃焼半径
火災継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	発電用原子炉施設を中心にして墜落確立が10 ⁻⁷ [回/炉・年]以上になる地点とその地点から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋の外壁等が想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

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

輻射熱に対する設備の温度上昇を評価し、温度上昇がその設備の熱許容限界値以下になるように発電用原子炉施設は離隔距離を確保する。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、泊発電所における航空機墜落確率評価の対象航空機を、第7-1表に示すカテゴリごとに墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積を算出し、その結果から発電用原子炉施設からの離隔距離を導出する。

(4) 標的面積の算出

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

a. 大型民間航空機の標的面積の算出

(a) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

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

P_v : 対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_v : 単位年当たりの落下事故率[回/年]

S_v : 全国土面積[km²]

A : 発電用原子炉施設の標的面積[km²]

α : 対象航空機の種類による係数

第7-4表 墜落確率の算出結果(大型民間航空機)

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

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

大型民間航空機の墜落確率 P_v が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

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

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.49$ [km²] となる。

b. 小型民間航空機の標的面積の算出

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

P_v ：対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_v ：単位年当たりの落下事故率[回/年]

S_v ：全国土面積[km²]

A ：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

α ：対象航空機の種類による係数

第7-5表 墜落確率の算出結果（小型民間航空機）

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

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

小型民間航空機の墜落確率 P_v が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

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

上記より、標的面積 A' は $A' = 0.19[\text{km}^2]$ となる。

c. 自衛隊機又は米軍機の標的面積の算出

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

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

P_{si} ：訓練空域内での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{si} ：単位年当たりの訓練空域内落下事故率[回/年]

S_i ：全国の陸上の訓練空域の面積[km^2]

A ：発電用原子炉施設の標的面積[km^2]

第7-6表 墜落確率の算出結果

(自衛隊機：その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機)

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

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

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

訓練空域内での自衛隊機の墜落確率 P_{si} が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

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

上記より、標的面積 A' は $A' = 0.15[\text{km}^2]$ となる。

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

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

P_{so} ：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{so} ：単位年当たりの訓練空域内落下事故率[回/年]

S_o ：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積[km²]

A ：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

第7-7表 墜落確率の算出結果

(米軍機：空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機)

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

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

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機の墜落確率（ P_{so} ）が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

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

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.74$ [km²] となる。

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

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

P_{si} ：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{si} ：単位年当たりの訓練空域内落下事故率[回/年]

S_i ：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積[km²]

A ：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

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

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

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

※2：原子炉建屋，循環水ポンプ建屋，原子炉補助建屋等の合計値（別紙7-6）

その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機の墜落確率（ P_{so} ）が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

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

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.24$ [km²]となる。

(5) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

(4)で求めた標的面積から離隔距離 L を算出した結果を第7-9表に示す。

離隔距離の算出の考え方については別紙7-7に示す。

第7-9表 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出結果

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

(6) 評価対象航空機の選定

航空機墜落による火災の評価対象とする航空機の選定結果を第7-10表に示す。

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

各航空機の離隔距離を第7-1図及び第7-2図に示す。

第7-10表 落下事故のカテゴリごとの評価対象航空機の選定結果

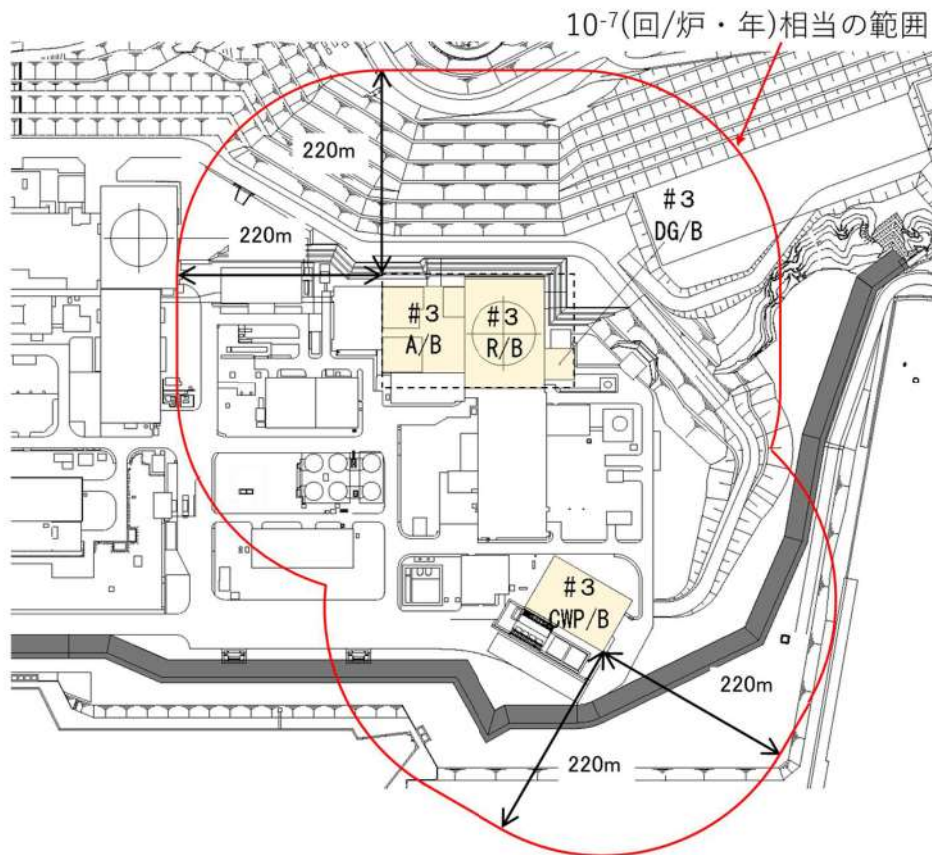
分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域内	訓練空域外	
			その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	空中給油機等、高高度での巡行が想定される大型固定翼機	その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400	Do228-200	F-15	KC-767	F-15
燃料積載量 [m ³]	216.84	2.39	14.87	145.03	14.87
離隔距離 L[m]	220	120	100	290	140
選定結果	○	× ^{※1}	○	× ^{※2}	× ^{※3}

○：評価対象 ×：評価対象外

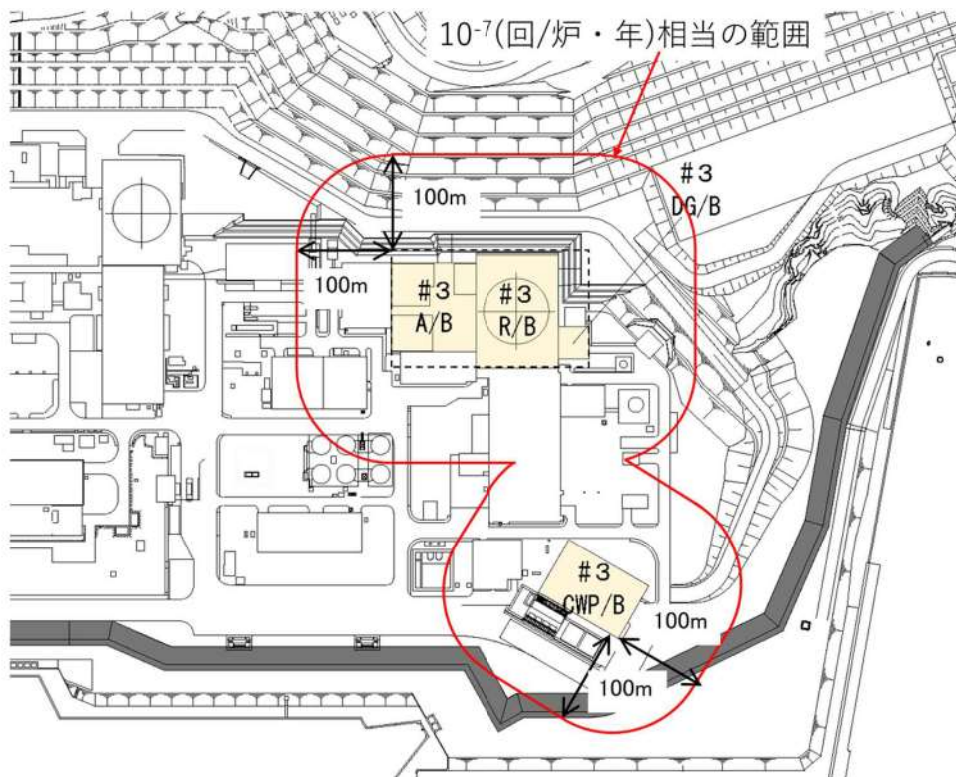
※1：燃料積載量が多く、離隔距離が短い訓練空域内の自衛隊機の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

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

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



第7-1図 大型民間航空機の離隔距離



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

(7) 必要データ

評価に必要なデータを第7-11表に示す。

第7-11表 航空機火災影響評価に必要なデータ

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

(8) 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災は、その状況によって、様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火災モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は対象とした航空機燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出する。

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

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積（＝燃料タンクの投影面積）[m²]

第7-12表 燃焼半径の算出結果

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

(9) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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

H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m], L : 離隔距離[m]

第7-13表 形態係数の算出結果

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

(10) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \Phi$$

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

第7-14表 輻射強度の算出結果

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

(11) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³]

R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度=M/ρ[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²·s], ρ : 燃料密度[kg/m³]

第7-15表 燃焼継続時間の算出結果

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

(12) 評価結果

a. 建屋外壁に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

評価対象の建屋外壁について、前項で分類したカテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(b) 判断の考え方

i. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃以下とする。

ii. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、火災源を単一の円筒火炎と見なせることから、原子炉施設外壁を半無限固体として式1の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度の評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

T₀：初期温度(50[℃])，E：輻射強度[W/m²]

α：コンクリート温度拡散率(=λ/ρC_p) (7.53×10⁻⁷[m²/s])

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

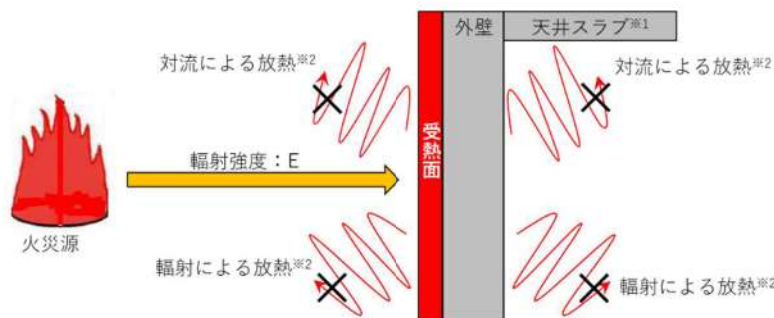
λ：コンクリート熱伝導率(1.74[W/m・K])，t：燃焼継続時間[s]

x：コンクリート壁表面深さ(0[m])

なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

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

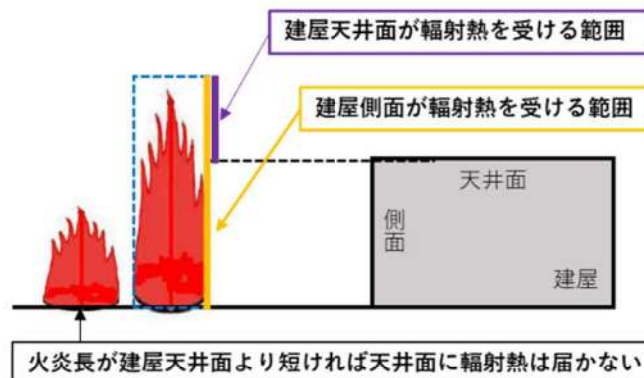
建屋外壁の評価概念図を第7-3図に、天井スラブの評価概念図を第7-4図に示す。



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

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

第7-3図 建屋外壁の評価概念図

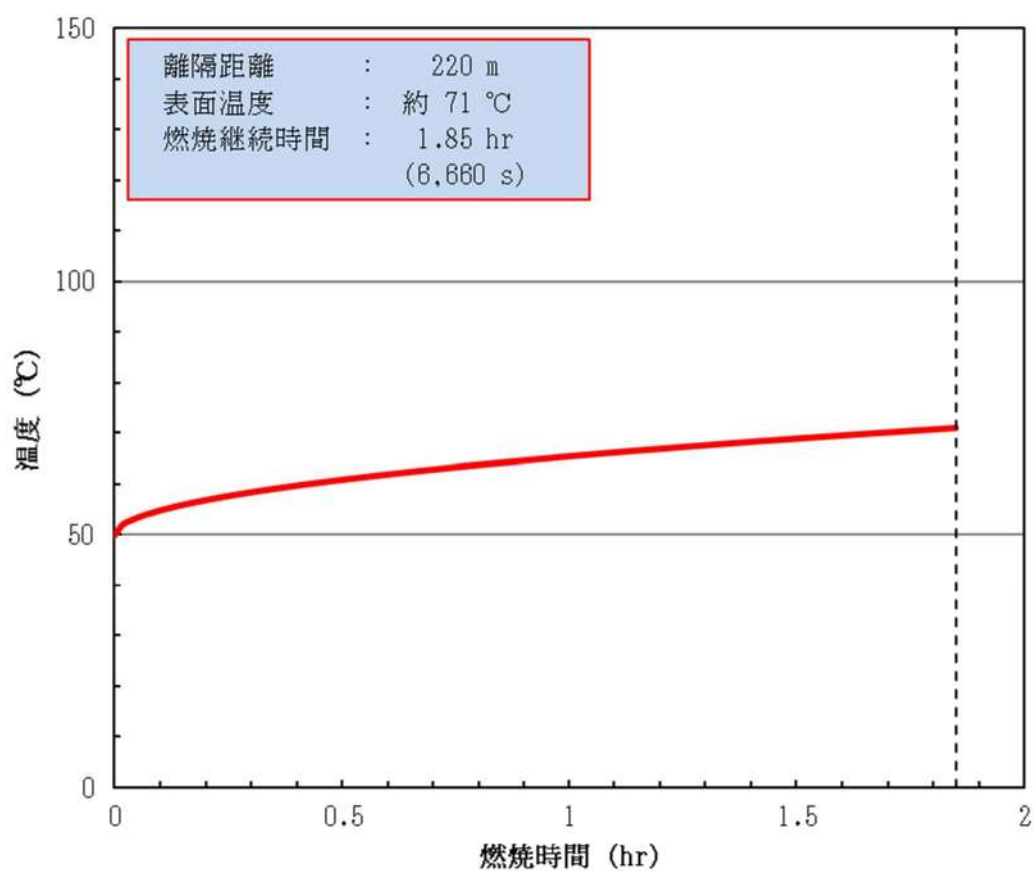


第7-4図 天井スラブへの輻射熱の影響

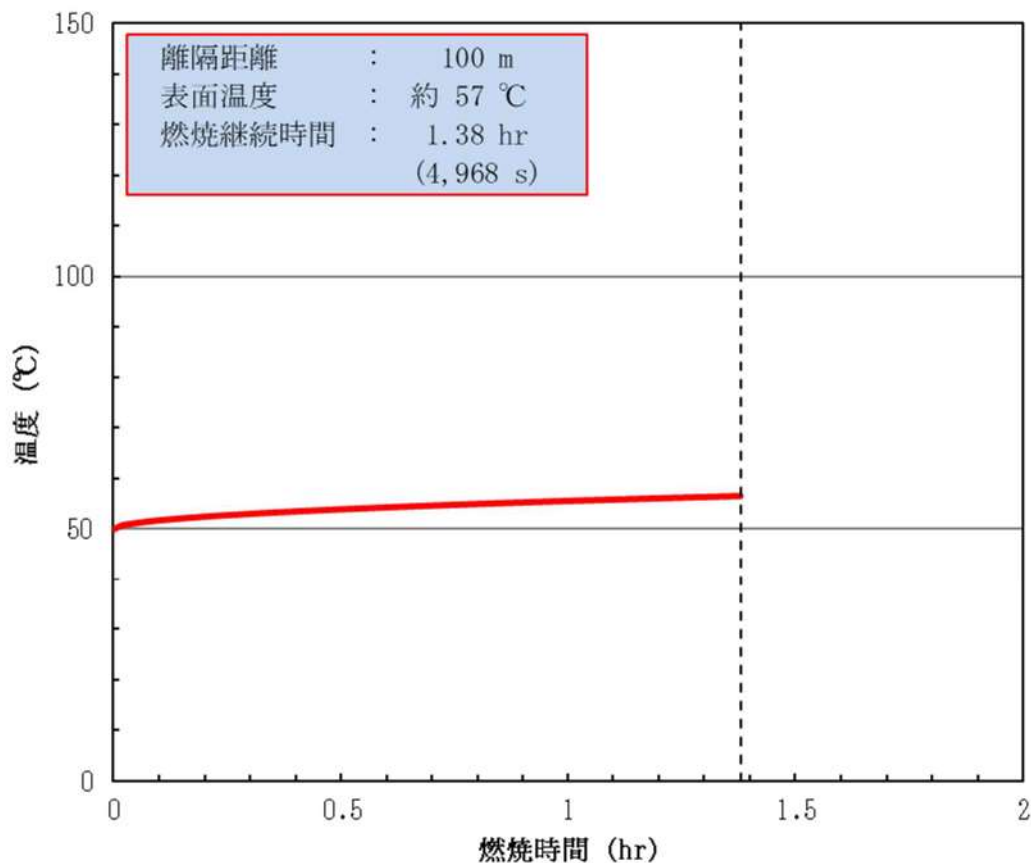
コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を第7-16表に、温度変化を第7-5図及び第7-6図に示す。

第7-16表 外壁面の温度評価結果

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



第7-5図 建屋外壁における温度上昇の評価結果 (大型民間航空機)



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

b. 排気筒に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

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

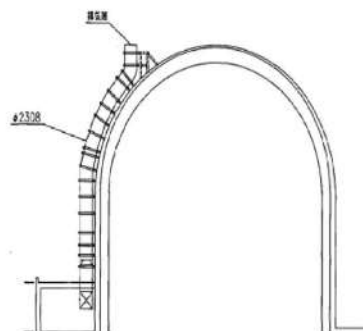
なお、排気筒の評価に当たっては、原子炉建屋に設置されていることから離隔距離は原子炉建屋までの距離とした。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第7-17表に、排気筒外形図を第7-7図に示す。

第7-17表 排気筒の仕様

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



第7-7図 排気筒の外形図

(c) 判断の考え方

i. 許容温度

排気筒 (SUS304) の許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325°C以下とする。

ii. 評価結果

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとして、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるとき、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により排気筒表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。

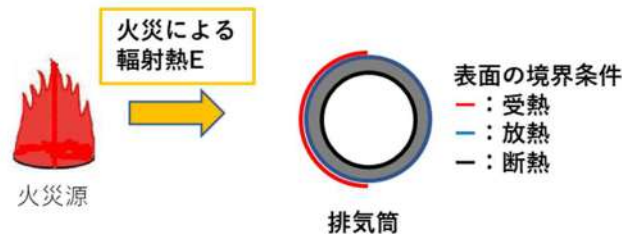
なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

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

※1: 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受けて変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である 17 W/m²·K を用いる。)

排気筒の評価概念図を第 7-8 図に示す。



第 7-8 図 排気筒の評価概念図

排気筒表面の温度上昇を評価した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 7-18 表に示す。

第 7-18 表 排気筒の温度評価結果

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

c. 原子炉補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプは、循環水ポンプ建屋内に収納されており、直接火災の影響を受けることはない。ただし、循環水ポンプ建屋内の上部外壁は鋼板であることから、火災の輻射熱が伝熱により建屋内雰囲気に移動し、建屋内雰囲気の温度が上昇する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して外気を直接電動機本体に取り込まない全閉外扇形の冷却方式であり、外部火災の影響を受けた場合には、周囲空気の温度上昇により、冷却機能への影響が懸念されることから、冷却空気の温度を評価対象とする。

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

(b) 判断の考え方

i. 許容温度

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

ii. 評価結果

(i) 輻射強度の算出

火災の火炎から直接輻射の影響を受ける位置にある循環水ポンプ建屋内の上部外壁の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \Phi$$

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

形態係数 Φ は以下式で求める。

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

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

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

第7-19表 輻射強度の算出結果

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

(ii) 温度評価結果

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

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

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

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

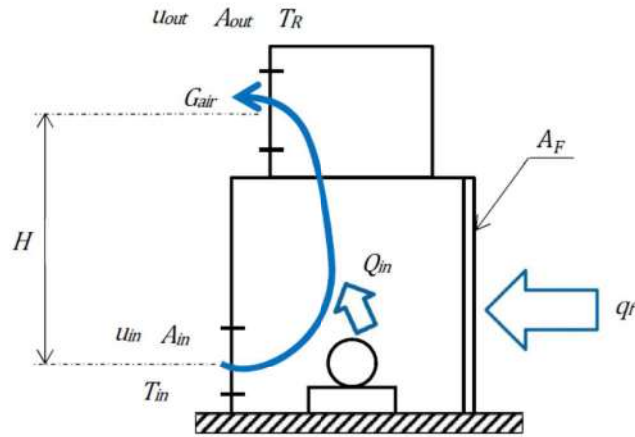
$$u_{in} = \frac{G_{air}}{\rho_{in} \times A_{in}} \quad \dots\dots ④$$

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

※1 出典：空気調和・衛生工学便覧第11版 空気調和・衛生工学会

※2 出典：伝熱工学資料第5版 日本機械学会（濁き空気として算出）

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



第 7-9 図 循環水ポンプ建屋空気温度評価モデル

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 7-20 表に示す。

第 7-20 表 原子炉補機冷却海水ポンプの評価結果

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

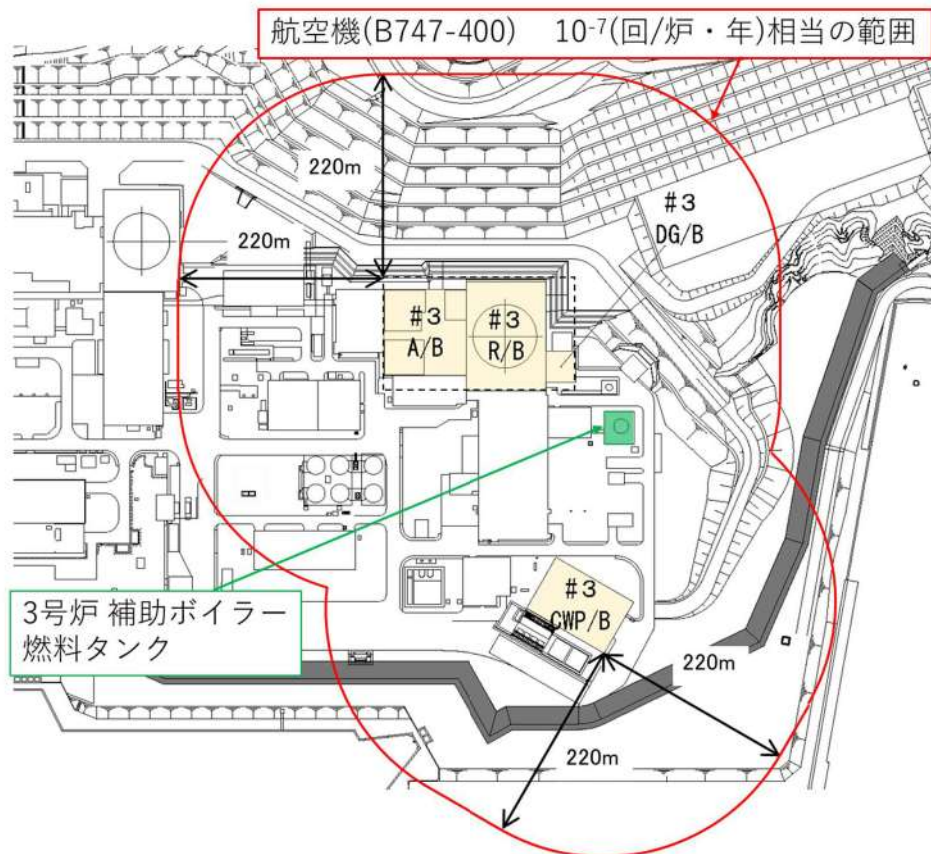
(13) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳

a. 重畳する危険物タンクの選定

航空機墜落による火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物タンクを検討する。航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機墜落位置とその周辺の危険物施設の位置を第 7-10 図に示す。

発電用原子炉施設周辺には多量の油を保有する 3 号炉補助ボイラー燃料タンクがあることから、航空機墜落による火災との重畳火災を考慮する危険物タンクは、保有量の大きい 3 号炉補助ボイラー燃料タンクとする。

なお、対象航空機は熱影響の大きい B747-400 とし、航空機墜落位置は航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。



第7-10図 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設の位置

b. 評価に必要なデータ

第7-21表 重量評価に必要となるデータ

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

次の式から形態係数を算出する。

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

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

H: 火炎長[m], R: 燃焼半径[m], L: 離隔距離[m]

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \Phi$$

E：輻射強度[W/m²]，R_f：輻射発散度[W/m²]，Φ：形態係数

第7-22表 形態係数の算出結果

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

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

c. 重畳における火災発生タイミング

ここで重畳を考慮した場合、航空機墜落による火災と同時に3号炉補助ボイラー燃料タンクが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が墜落後時間において3号炉補助ボイラー燃料タンクが発火する場合は燃焼継続時間が大きくなることから、それらを以下のケースごとに、評価を実施し、火災が同時に発生する場合が最大温度となることを確認した（第7-23表）。

ケース1：火災が同時に発生する場合

ケース2：航空機の燃料が半分となった時点で3号炉補助ボイラー燃料タンク火災が発生

ケース3：航空機の燃焼終了直後に3号炉補助ボイラー燃料タンク火災が発生

第7-23表 重畳を考慮した場合のコンクリート温度及び経過時間

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

d. 評価結果

重畳評価で想定される輻射強度及び燃焼継続時間を用いて、以下の式から評価温度を算出した。ただし、原子炉建屋及び原子炉補助建屋外壁は厚さ60mmのPC板（プレキャスト・

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

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

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

T：建屋温度[°C]，x：コンクリート深さ[m]，t：時間[s]

λ：コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m・K])

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

- ・ディーゼル発電機建屋（障壁（断熱材））に係る評価式

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

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

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

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

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

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

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

F₀：障壁表面からの輻射放熱の形態係数[-]，T_a：雰囲気温度[°C]

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

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

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

d₃：障壁の厚み[mm]，h₃：コンクリート裏面の熱伝達率[W/m²・K]

- ・排気筒に係る評価式

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

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

ε：吸収率 [-]，h：熱伝達率 [W/m²・K]