

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(外部火災)

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第 6 条：外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
2. 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

(別添資料 1) 外部火災影響評価について
3. 運用，手順説明資料

(別添資料 2) 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
4. 現場確認プロセス

(別添資料 3) 森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

東海第二発電所

外部火災影響評価について

目 次

1. 基本方針	
1.1 基本事項	1
1.2 想定する外部火災	1
1.3 防護対象施設	3
2. 火災の影響評価	
2.1 森林火災	4
2.2 近隣の産業施設の火災・爆発	17
2.3 航空機墜落による火災	34
2.4 二次的影響	41

添付資料

1. 外部事象防護対象施設と評価対象施設の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 燃料輸送車両の火災・爆発について
5. 漂流船舶の火災・爆発について
6. 敷地内における危険物貯蔵施設等の火災・爆発について
7. 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
8. ばい煙及び有毒ガスの影響について

<概 要>

- 1.において、想定する外部火災及び評価内容を整理するとともに、外部事象防護対象施設、評価対象施設を整理する。
- 2.において、想定する外部火災の影響評価結果について説明する。

原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について

1. 目 的

本評価は、東海第二発電所の発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が、添付資料-1 で選定した評価対象施設に影響を与えないことについて、「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」に基づき、評価を実施する。

2. 航空機墜落の火災影響評価

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりとする。

- (1) 航空機は、当該発電所における航空機落下確率評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (2) 航空機は、燃料を満載した状態を想定する。
- (3) 航空機の落下は発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) 以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- (4) 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。
- (5) 気象条件は無風状態とする。
- (6) 火災は円筒火災をモデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とする。
- (7) 輻射強度の算出としては、油火災において任意の位置にある輻射強度(熱)を計算により求めるには、半径が1.5m以上の場合で火災の高さ(輻射体)を半径の3倍にした円筒火災モデルを採用する。

3. 落下事故のカテゴリと対象航空機について

- (1) 落下事故のカテゴリ

航空機落下確率評価では、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落

下確率を求めている。

また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではないため、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。

したがって、これらを考慮して、下表に示すカテゴリ毎に航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

落下事故のカテゴリ		
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航中	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	⑤-1 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
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

(2) カテゴリ別の対象航空機（別紙 7.1）

a. 計器飛行方式民間航空機

計器飛行方式民間航空機の落下事故には、「①飛行場での離着陸時」における落下事故と「②航空路を巡航中」の落下事故がある。

①については、東海第二発電所から約 36km 離れた位置に茨城空港があり、茨城空港の最大離着陸地点（航空路誌（以下「AIP」という。）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点又は離陸態勢を終える地点）までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径とし、滑走路端から滑走路方向に対して $\pm 60^\circ$ の扇型区域内に発電所が存在するため、評価対象とする。

（別紙 7.2, 7.3）

②については、東海第二発電所上空に航空路が存在するため、評価対

象とする。

(別紙 7.4)

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。①の対象航空機は、茨城空港を離着陸する航空機が発電所に落下する事故を対象としていることから、茨城空港の定期便（B737 及び A320）*のうち燃料積載量が多い航空機（B737）を選定した。また、②については、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

※茨城空港ホームページ（H29年7月確認）

落下事故のカテゴリ		対象航空機
1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800
	②航空路を巡航中	B747-400

b. 有視界飛行方式民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の落下事故には、「③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）」の落下事故と「④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）」の落下事故がある。

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。有視界飛行方式民間航空機の落下事故においては、全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定した。

(別紙 7.5)

落下事故のカテゴリ		対象航空機
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機	B747-400
	④小型機	Do228-200

c. 自衛隊機又は米軍機

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故がある。

⑤については、東海第二発電所周辺上空には、自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため、訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

⑥については、東海第二発電所周辺の太平洋沖合上空に自衛隊機の訓練空域があり、発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲（基地と訓練空域間を往復時の飛行範囲として、想定される区域）内に位置することから、自衛隊機の落下事故を評価対象とする。

(別紙 7.4)

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。

⑤の対象航空機は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。

⑥については、百里基地と訓練空域を往復時に発電所に落下することを想定するため、百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

(別紙 7.6)

落下事故のカテゴリ		対象航空機
3) 自衛隊機 又は米軍機	⑤ 訓練空域外 を飛行中	⑤-1 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
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥ 基地－訓練空域間往復時	

4. カテゴリ別の離隔距離の評価

「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、カテゴリ毎に落下確率が 10^{-7} （回／炉・年）に相当する面積を算出し、その結果を用いて評価対象施設に対する離隔距離を求める。

（別紙 7.7, 7.8）

4.1 計器飛行方式民間航空機の落下事故

(1) 飛行場での離着陸時における落下事故

a. 標的面積

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$P_{d,a}$: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回／年）

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率（回／離着陸回）

$D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数（回）

$E_{d,a}$: 国内での離着陸回数（離着陸回）

$N_{d,a}$: 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回／年）

A : 対象施設の標的面積（ km^2 ）

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数（ ／km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
飛行場		茨城空港
$f_{d,a}^{*1}$		約 1.43×10^{-7} (=4/27,887,158)
$N_{d,a}^{*2}$		4,210
$\Phi_{d,a}(r, \theta)^{*3}$		約 2.98×10^{-4}
発電所からの距離		約 36km
滑走路方向に対する角度 *4		約 9.60°
最大離着陸距離 *5		約 56km (30nm)

※1：離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）より、平成 5 年～平成 24 年において離陸時に 1 件、着陸時に 3 件。

(別紙 7.9)

離着陸回数は、平成 5 年～平成 24 年の「航空輸送統計年報 第 1 表 総括表 1. 輸送実績」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。

(別紙 7.10)

※2：「数字でみる航空 2014」にある平成 24 年飛行場別着陸回数と同数を離陸回数とし、その和を飛行場別離着陸回数とした。

※3：別紙のとおり。

(別紙 7.11)

※4：別紙のとおり。

(別紙 7.3)

※5：A I Pを参照した。

(別紙 7.2)

これらの式より、 $P_{d,a} = 10^{-7}$ (回/炉・年) に相当する標的面積 A を求めると、約 0.56km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、**評価対象施設である** 発電用原子炉施設 (原子炉建屋、タービン建屋、海水ポンプ室 * 、排気筒) の離隔距離 L は 245m とする (評価結果は、約 245.9m)。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 393m とする (評価結果は、約 393.4m)。

※：評価対象施設である残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプについては、これらが設置されている海水ポンプ室を標的面積とする。

(別紙 7.12)

(2) 航空路を巡航中の落下事故

a. 標的面積

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

P_c ：対象施設への巡航中の航空機落下確率（回／年）

$f_c = G_c / H_c$ ：単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率（回／（飛行回・km））

G_c ：巡航中事故件数（回）

H_c ：延べ飛行距離（飛行回・km）

N_c ：評価対象とする航空路等の年間飛行回数（飛行回／年）

A ：対象施設の標的面積（ km^2 ）

W ：航空路幅（km）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所	
対象航空路※ ¹	直行経路： IWAKI (IXE)－SWAMP IWAKI (IXE)－ KISARAZU (KZE)	広域航法経路： Y30 (LOTUS－SWAMP)
f_c ※ ²	約 5.13×10^{-11} (=0.5/9,740,013,768)	
N_c ※ ³	365 (平成 24 年データ)	1,095 (平成 24 年データ)
W ※ ⁴	14.816	18.52

※¹：別紙のとおり。

(別紙 7.4)

※²：延べ飛行距離は、平成 5 年～平成 24 年の「航空輸送統計年報 第 1 表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の合計値。

(別紙 7.10)

巡航中の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）より、平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため、0.5 件発生したものと評価した。

(別紙 7.9)

※3：国土交通省航空局への問い合わせ結果（ピークデイの値）を 365 倍した値。

(別紙 7.13)

※4：直行経路については、「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については、航法精度を航空路の幅とみなして用いた。（1nm=1.852kmとして換算した。）

これらの式より、 $P_c=10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 23km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、発電用原子炉施設の離隔距離 L は $1,873\text{m}$ とする（評価結果は、約 $1,873.5\text{m}$ ）。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は $2,695\text{m}$ とする（評価結果は、約 $2,695.5\text{m}$ ）。

4.2 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

(1) 有視界飛行方式民間航空機（大型機）の落下事故

a. 標的面積

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km^2)

A : 対象施設の標的面積 (km^2)

α : 対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
f_v^{*1}	大型固定翼機 0.025 (=0.5/20) 大型回転翼機 0.05 (=1/20)
S_v^{*2}	37.2 万
α^{*3}	1

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成 28 年 6 月 原子力規制委員会)による。なお、大型固定翼機の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため、0.5 件発生したものとして評価した。

(別紙 7.14)

※2 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成 28 年 6 月 原子力規制委員会)による。

※3 : 「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。

これらの式より、 $P_v = 10^{-7}$ (回/炉・年) に相当する標的面積 A を求めると、約 0.50km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、発電用原子炉施設の離隔距離 L は 229m とする(評価結果は、約 229.4m)。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 372m とする(評価結果は、約 372.2m)。

(2) 有視界飛行方式民間航空機（小型機）の落下事故

a. 標的面積

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_v : 単位年当たりの落下事故率（回／年）

S_v : 全国土面積（ km^2 ）

A : 対象施設の標的面積（ km^2 ）

α : 対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
f_v^{*1}	小型固定翼機 1.75 (=35/20) 小型回転翼機 1.20 (=24/20)
S_v^{*1}	37.2 万
α^{*2}	0.1

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。

※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。

これらの式より、 $P_v = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.13km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、発電用原子炉施設の離隔距離 L は 89m とする（評価結果は、約 89.4m）。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 175m とする（評価結果は、約 175.4m）。

4.3 自衛隊機又は米軍機の落下事故

- (1) 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）

a. 標的面積

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

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外落下事故率（回／年）

A : 対象施設の標的面積（ km^2 ）

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
f_{so}^{*1}		自衛隊機 0.025 (=0.5/20) 米軍機 0.05 (=1/20)
S_o^{*2}		自衛隊機 29.5 万 (=37.2 万 - 7.72 万) 米軍機 37.2 万 (=37.2 万 - 0.05 万)

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。なお，自衛隊機の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であるため，0.5 件発生したものとして評価した。

(別紙 7.15)

※2 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。

これらの式より， $P_{so} = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.46km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 217m とする（評価結果は，約 217.8m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 355m とする（評価結果は，約 355.97m）。

(2) 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）

a. 標的面積

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

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外落下事故率（回／年）

A : 対象施設の標的面積（ km^2 ）

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積（ km^2 ）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
f_{so}^{*1}	自衛隊機 0.35 (=7/20) 米軍機 0.20 (=4/20)
S_o^{*1}	自衛隊機 29.5 万 (=37.2 万 - 7.72 万) 米軍機 37.2 万 (=37.2 万 - 0.05 万)

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）による。

(別紙 7.15)

これらの式より， $P_{so} = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.058km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 43m とする（評価結果は，約 43.0m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離 L は 111m とする（評価結果は，約 111.2m）。

(3) 基地－訓練空域間を往復時の落下事故（想定飛行範囲内に発電用原子炉施設が存在する場合）

a. 標的面積

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

P_{se} : 対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A : 対象施設の標的面積（ km^2 ）

S_{se} : 想定飛行範囲の面積（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)
f_{se}^{*1}		0.25 (=5/20)
S_{se}^{*2}		175,720
f_{se}/S_{se}^{*3}		3.00×10^{-6}

※1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成 28 年 6 月 原子力規制委員会）より，百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲内における自衛隊機の移動時の事故件数は平成 5 年～平成 24 年において 0 件であり，全国の基地－訓練空域間往復時の落下実績（5 件）を用いた。

(別紙 7.15, 7.16)

※2 : 全国の基地－訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。

(別紙 7.16)

※3 : f_{se} , S_{se} から算出された約 1.42×10^{-6} 回／（年・ km^2 ）を保守的に 2 倍にして丸めた値。

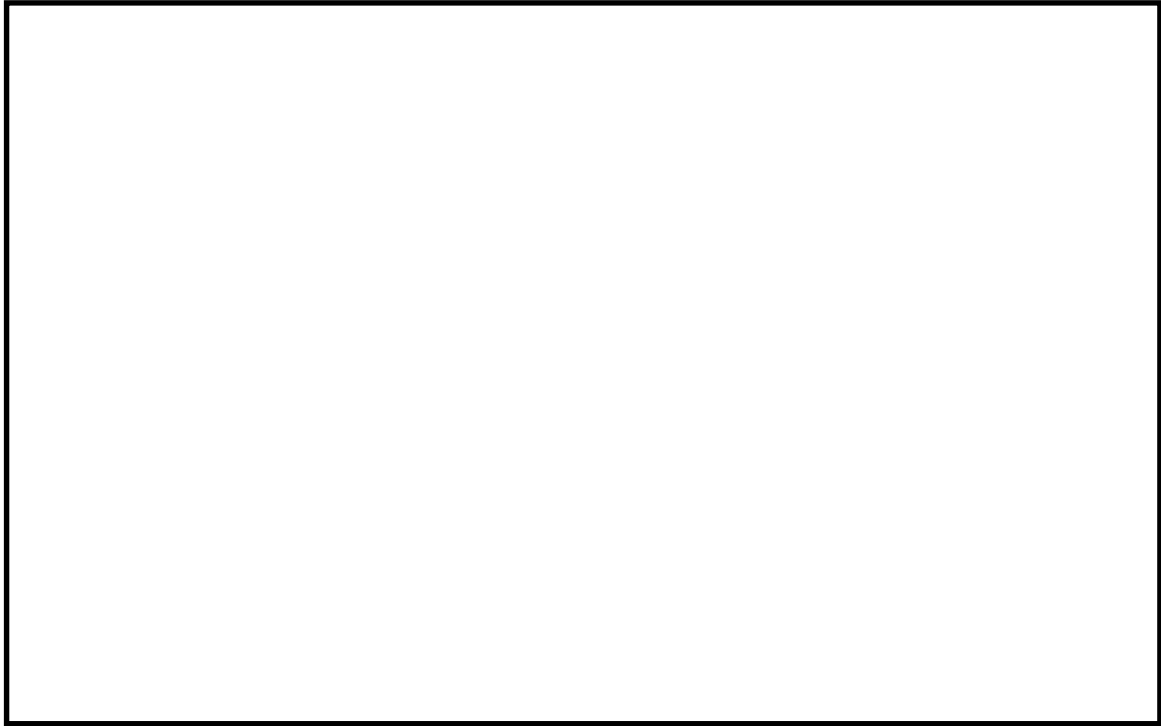
これらの式より， $P_{se} = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.033km^2 となる。

b. 離隔距離

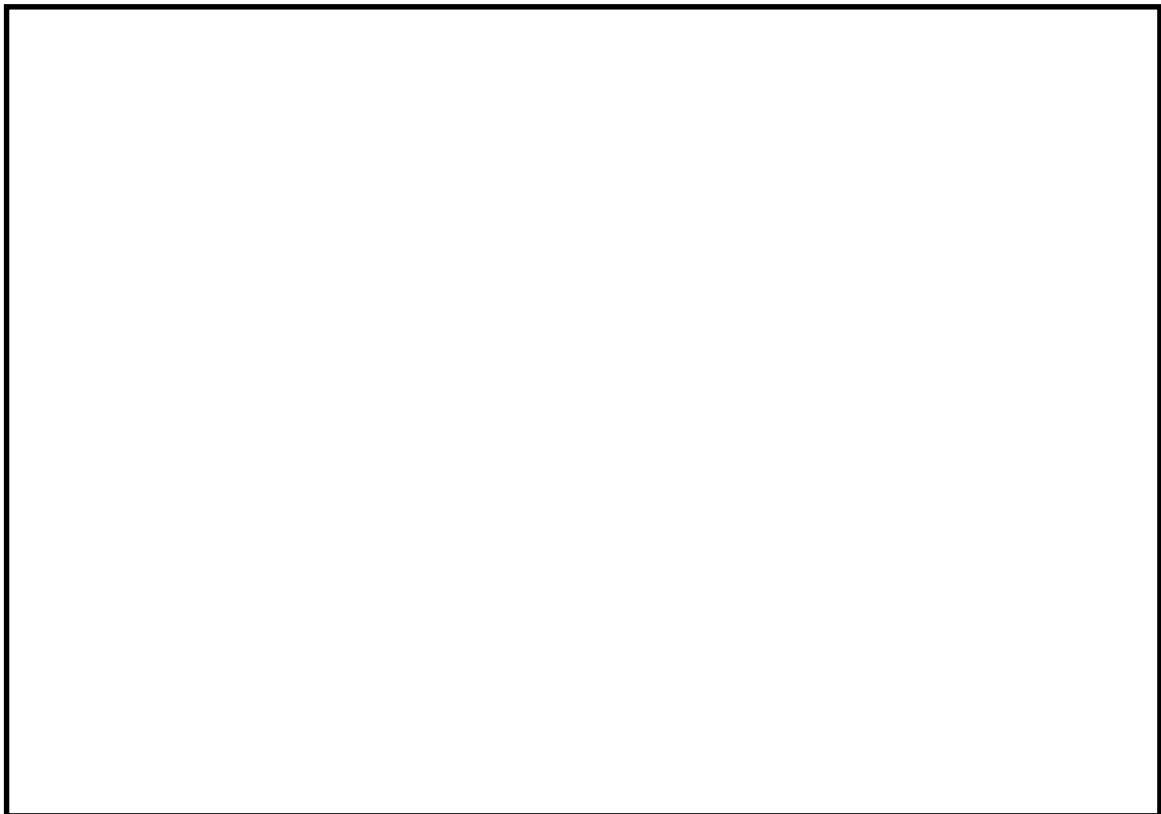
a. で求めた標的面積より，発電用原子炉施設の離隔距離 L は 22m とする（評価結果は，約 22.1m）。また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔

距離 L は 78m とする（評価結果は，約 78.6m）。

自衛隊機の基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する離隔距離を第 4.3-1 図及び第 4.3-2 図に示す。



第 4.3-1 図 基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
発電用原子炉施設の離隔距離



第 4.3-2 図 基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

5. 熱影響評価結果

5.1 評価機種の選定

評価機種は「3. 落下事故のカテゴリと対象航空機について」で抽出した航空機より選定し、他のカテゴリの評価に包絡されるものは評価対象外とした。

第 5.1-1 表、第 5.1-2 表にカテゴリごとの離隔距離と評価機種を示す。

第 5.1-1 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種
(発電用原子炉施設)

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 (m)	評価機種 ○：評価対象 ×：評価対象外	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	245	○	
	航空路を巡航時	B747-400	1,873	×※1	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747-400	229	○	
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	Do228-200	89	×※2	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC-767	217	○
		その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	43	×※3
	基地－訓練空域間往復時	F-15	22	○	

※1：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については、「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり、離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち、燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³と少量であることから、Do228-200 よりも燃料積載量が多く、かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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：「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については、「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じ F-15 であるため、離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

第 5.1-2 表 落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 (m)	評価機種 ○：評価対象 ×：評価対象外	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	393	○	
	航空路を巡航時	B747-400	2,695	×※1	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747-400	372	○	
	小型機（小型固定翼機及び小型 回転翼機）	Do228-200	175	×※2	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC-767	355	○
		その他の大型固定翼 機，小型固定翼機及 び回転翼機	F-15	111	×※3
	基地－訓練空域間往復時	F-15	78	○	

※1：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については、「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち，燃料積載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³と少量であることから，Do228-200 よりも燃料積載量が多く，かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」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：「その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」については，「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じ F-15 であるため，離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

5.2 共通データの算出

各建屋外壁，排気筒及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタに対する火災影響評価に必要となる共通データを算出する。

(1) 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータを第 5.2-1 表に示す。

第 5.2-1 表 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料の種類	燃料量 V (m ³)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃焼面積 S (m ²)	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	JET A-1	26.02 ^{*3}	840 ^{*2}	0.039 ^{*1}	110.0 ^{*4}	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	JET A-1	216.84 ^{*3}	840 ^{*2}	0.039 ^{*1}	700.0 ^{*5}	
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外を飛行中	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	KC-767	JP-4	145.03 ^{*6}	760 ^{*1}	0.051 ^{*1}	405.2 ^{*7}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	JP-4	14.87 ^{*8}	760 ^{*1}	0.051 ^{*1}	44.6 ^{*9}

※1：NUREG-1805 記載値

※2：J I S-K-2209-1991 記載の1号の値

※3：ボーイングジャパン ホームページ“737, 747 型機情報”

※4：ボーイング社ホームページ資料「737 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58325-6, July 2007)」の機体図面より、主翼・主翼と交差する胴体部面積が燃料タンク面積と同等と想定し、これらの面積を算出した値

※5：ボーイング社ホームページ資料「747 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58326-1, December 2002)」の機体図面より、主翼・主翼と交差する胴体部及び水平尾翼部面積が燃料タンク面積と同等と想定し、これらの面積を算出した値

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

※7：ボーイング社ホームページ資料「767 airplane Characteristics for Airport Planning (Document D6-58328, September 2005)」

※8：航空ジャーナル 2月号増刊 F-15 イーグル (航空ジャーナル社 昭和 55 年 2 月 5 日発行)

※9：※8 記載の機体図面より、燃料タンクの配置及び大きさを想定し、これらの面積を算出した値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は燃焼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 5.2-2 表に示す。

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

R : 燃焼半径(m), S : 燃焼面積(m²)

第 5.2-2 表 各航空機の燃焼半径

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110.0	5.918	
有視界飛行方式民間 航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747-400	700.0	14.928	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC-767	405.2	11.357
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3.768

(3) 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 5.2-3 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 5.2-3 表 各航空機の燃焼継続時間

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	燃焼速度 v (m/s)	燃焼継続時間 t (s)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	26.02	5.918	4.64×10 ⁻⁵	5,097 (約 1.4h)
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	216.84	14.928	4.64×10 ⁻⁵	6,675 (約 1.9h)
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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 KC -767	145.03	11.357	6.71×10 ⁻⁵	5,334 (約 1.5h)
	基地－訓練空域間往復時		F-15	14.87	3.768	6.71×10 ⁻⁵

(4) 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 5.2-4 表, 第 5.2-5 表に示す。

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

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

Φ:形態係数, L:離隔距離(m), H:炎の高さ(m), R:燃焼半径(m)

第 5.2-4 表 各航空機の形態係数（発電用原子炉施設）

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	245	5.918	1.1319×10 ⁻³
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	B747 -400	229	14.928	8.3278×10 ⁻³
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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 KC -767	217	11.357	5.3634×10 ⁻³
	基地－訓練空域間往復時		F-15	22	3.768

第 5.2-5 表 各航空機の形態係数（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	393	5.918	4.3767×10^{-4}
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747 -400	372	14.928	3.1444×10^{-3}
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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 KC -767	355	11.357	1.9926×10^{-3}
	基地－訓練空域間往復時	F-15	78	3.768	4.5663×10^{-3}

(5) 輻射強度の評価

火災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 5.2-6 表、第 5.2-7 表に示す。

$$E = R f \cdot \Phi$$

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

第 5.2-6 表 各航空機の輻射強度（発電用原子炉施設）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	輻射発散度 R f (kW/m ²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m ²)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	50	1.1319×10^{-3}	56.60
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747 -400	50	8.3278×10^{-3}	416.40
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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 KC -767	58	5.3634×10^{-3}	311.08
	基地－訓練空域間往復時	F-15	58	5.3368×10^{-2}	3,095.33

第 5.2-7 表 各航空機の輻射強度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	輻射発散度 R f (kW/m ²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m ²)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	50	4.3767×10^{-4}	21.89
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747 -400	50	3.1444×10^{-3}	157.23
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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 KC -767	58	1.9926×10^{-3}	115.58
	基地－訓練空域間往復時	F-15	58	4.5663×10^{-3}	264.85

5.3 建屋外壁に対する熱影響評価

(1) 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。

(2) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C 以下とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度による入熱と対流による放熱を考慮した、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、コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。

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

T : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T₀ : 初期温度 (50°C)※¹

α : 熱伝達率 (17W/m²/K)※²

κ : コンクリート温度伝導率 (= λ / ρ C_p) (7.7×10⁻⁷m²/s)

ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱 (880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.63W/m/K), E : 輻射強度 (W/m²)

t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

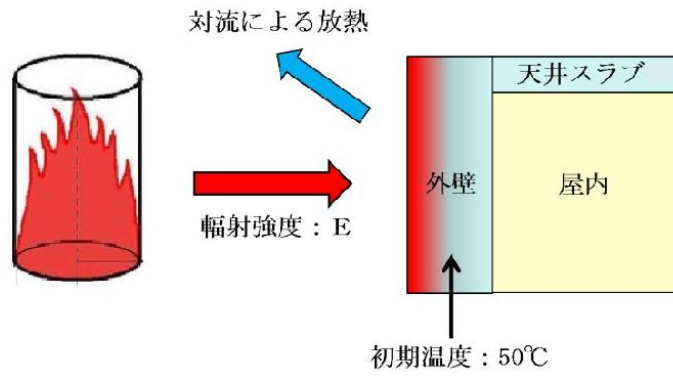
※¹ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※² : 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は, 受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが, 一般的な値として垂直外壁面, 屋根面及び上げ裏面の夏季, 冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから, これらのうち最も小さい値である 17W/m²/K を用いる。)

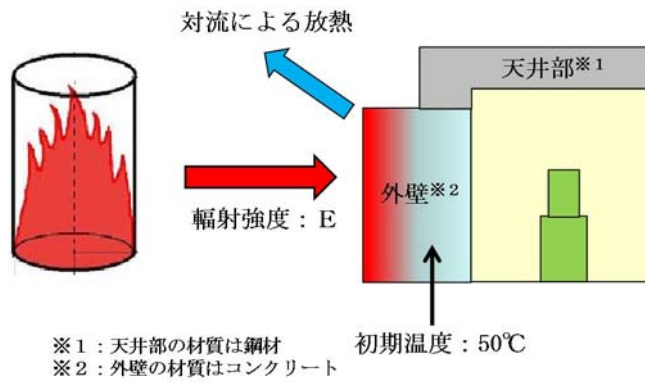
なお, 天井スラブ及び海水ポンプ室天井の評価は以下の理由により, 外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・ 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。
- ・ 海水ポンプ室の天井 (一部の側面壁含む) は鋼材, 外壁はコンクリートであるが, 危険距離が長い外壁の方が評価上厳しい。
- ・ 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。

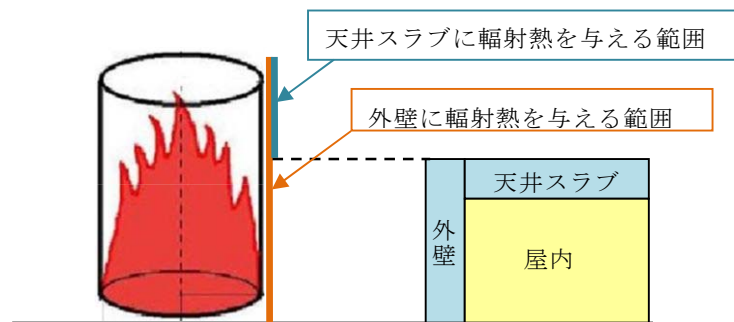
建屋外壁の評価概念図を第 5.3-1 図に, 海水ポンプ室の評価概念図を第 5.3-2 図に, 天井スラブの評価概念図を第 5.3-3 図に示す。



第 5.3-1 図 建屋外壁の評価概念図



第 5.3-2 図 海水ポンプ室の評価概念図



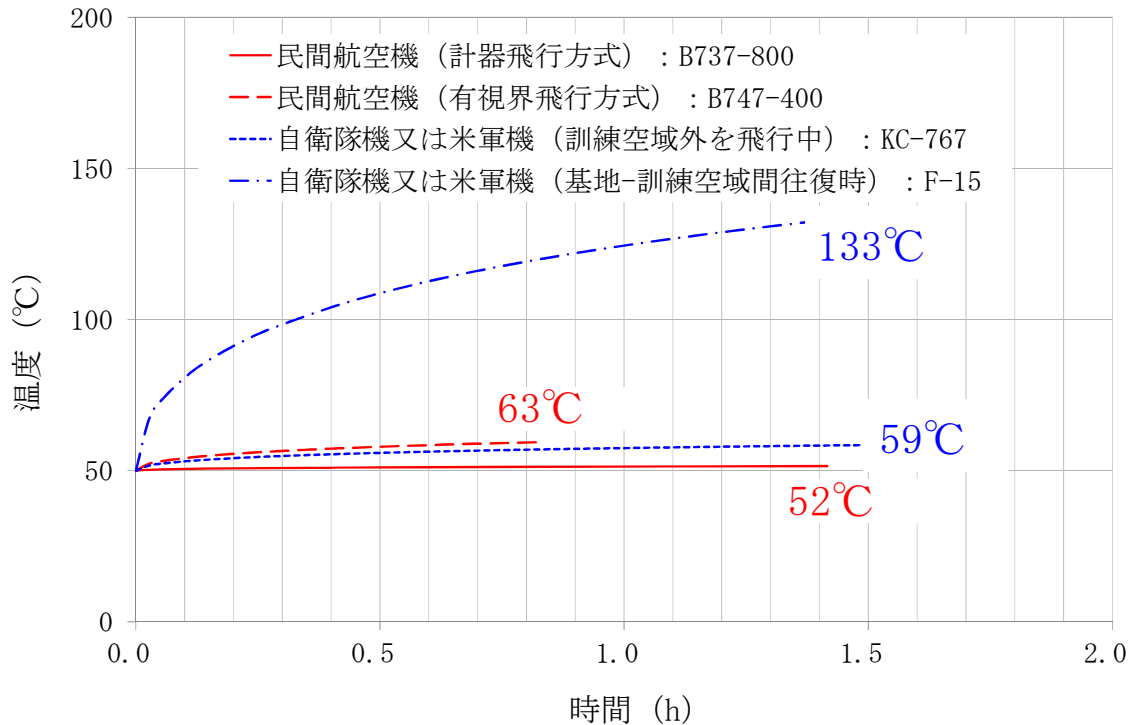
第 5.3-3 図 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200°C以下となることを確認した。評価結果を第 5.3-1 表、第 5.3-2 表に、温度変化を第 5.3-4 図、第 5.3-5 図に示す。

第 5.3-1 表 建屋表面の到達温度（発電用原子炉施設）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度※ (°C)	許容温度 (°C)	
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	110.0	56.60	5,097 (約 1.4h)	52	< 200	
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）	B747 -400	700.0	416.40	6,675 (約 1.9h)	63		
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC -767	405.2	311.08	5,334 (約 1.5h)		59
	基地-訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)		133

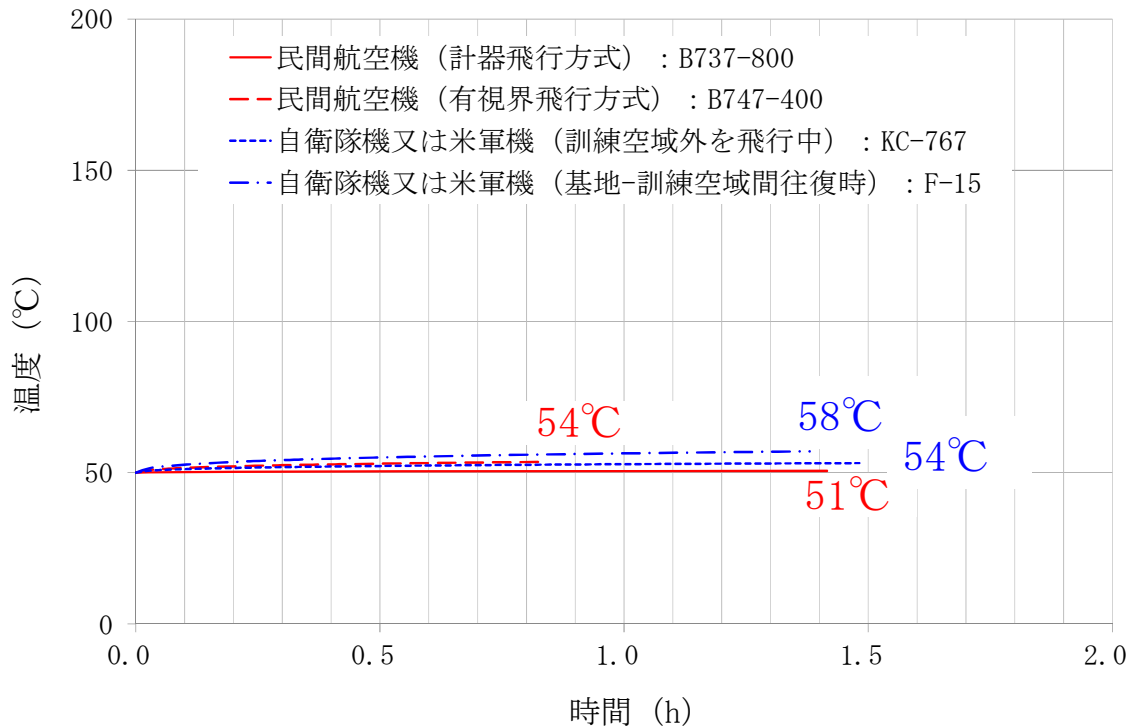
※：半無限固体を想定した評価をしているため、離隔距離が同じとなる本評価では、原子炉建屋、タービン建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。



第 5.3-4 図 原子炉建屋外壁の温度変化

第 5.3-2 表 建屋表面の到達温度（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	110.0	21.89	5,097 (約 1.4h)	51	< 200
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）	B747 -400	700.0	157.23	6,675 (約 1.9h)	55	
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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 KC -767	405.2	115.58	5,334 (約 1.5h)	54	
	基地-訓練空域間往復時	F-15	44.6	264.85	4,968 (約 1.4h)	58	



第 5.3-5 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁の温度変化

なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁表面温度が上昇し、建屋表面からの熱伝達による建屋内の温度上昇を考える。

貯蔵建屋外壁は大きな熱容量を持っているため、建屋外壁表面での温度上昇が内表面の温度に変化をもたらすまでには大きな時間遅れが伴う。

建屋外壁表面温度評価で最も厳しい結果となった F-15 の評価においても、内表面の温度上昇はほとんど生じておらず、建屋外壁表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の温度上昇は無視できると考えられる。

このため、建屋外で発生する火災が使用済燃料の除熱、閉じ込め機能の監視に影響を与えることはない。

5.4 排気筒に対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

排気筒について、カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

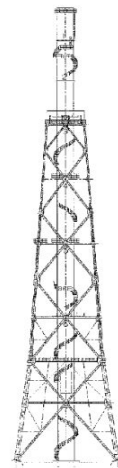
なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を第 5.4-1 表に、排気筒外形図を第 5.4-1 図に示す。

第 5.4-1 表 評価対象施設の仕様

名称	排気筒	
種類	鉄塔支持型	
主要寸法	内径 4.5m	
	地表高さ 140m	
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



第 5.4-1 図 評価対象施設の外形図

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

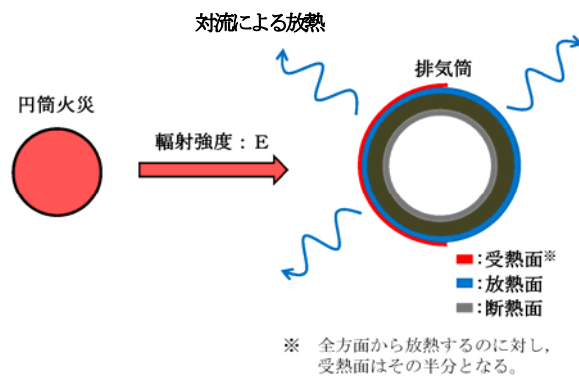
T：許容温度(325℃), T₀：初期温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²), h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。）

なお、評価に当たって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと、材質も鉄塔はSS400、STK400、筒身ではSS400であり、物性値が鉄塔、筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。排気筒の評価概念図を第5.4-2図に示す。



第5.4-2図 排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.4-2 表に示す。

第 5.4-2 表 排気筒鉄塔表面の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)	
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	110.0	56.60	52	< 325	
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）	B747 -400	700.0	416.40	63		
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC -767	405.2	311.08		60
	基地-訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33		142

5.5 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタに対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

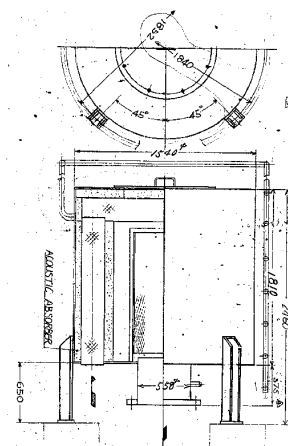
非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）機関のうち外部火災の影響がある非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタの流入空気温度について、カテゴリごとにおける航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2) 評価対象施設の仕様

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタの仕様を第 5.5-1 表に、外形図を第 5.5-1 図に示す。

第 5.5-1 表 評価対象施設の仕様

名称	非常用ディーゼル発電機(高圧炉心 スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 吸気フィルタ
種類	円筒縦形
主要寸法	フィルタ外径 : 1.54m フィルタ円筒高さ : 2.46m
材料	SS400
個数	6



第 5.5-1 図 評価対象施設の外形図

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタの流入空気の許容温度は、火災時における温度上昇を考慮した場合において、非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）機関の性能維持に必要な温度 53℃以下※とする。

※：非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタの流入空気温度が上昇すると、空気冷却出口温度が上昇し、シリンダへの必要空気量が確保できなくなる。

b. 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、一定の輻射強度による入熱が非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタに流入する空気の温度上昇に寄与することを表した下記の温度評価式により、流入する空気の温度が 53℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め、当該火災源からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し、当該火災源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。非常用ディー

ゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタの評価概念図を第 5.5-2 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

T : 許容温度 (53°C), T_0 : 初期温度 (37°C)^{※1}, E : 輻射強度 (W/m²),

G : 重量流量 (4kg/s)^{※2}, A : 輻射を受ける面積 (7.8m²)

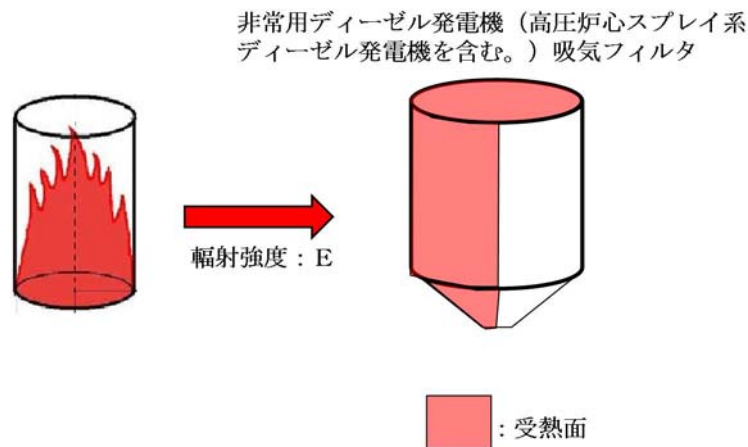
C_p : 空気比熱 (1,007J/kg/K)^{※3}, ΔT : 構造物を介した温度上昇 (5°C)^{※4}

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温

※2 : ディーゼル発電機機関の内, 給気流量が少ない高圧炉心スプレイ系を評価対象とする。
ディーゼル発電機機関吸気流量 (228m³/min) × 空気密度 (1.17kg/m³) ÷ 60

※3 : 日本機械学会 伝熱工学資料

※4 : 最高到達温度 150°C を介した温度上昇 (5°C)



第 5.5-2 図 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタの評価概念図

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタに流入する空気の温度が 53°C となる危険距離を算出した結果, 危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を第 5.5-2 表に示す。

第 5.5-2 表 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタを通して流入する空気の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	110.0	56.60	43
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機 及び大型回転翼機）		B747 -400	700.0	416.40	43
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC -767	405.2	311.08	43
	基地－訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	48

< 53

5.6 残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプに対する熱影響評価

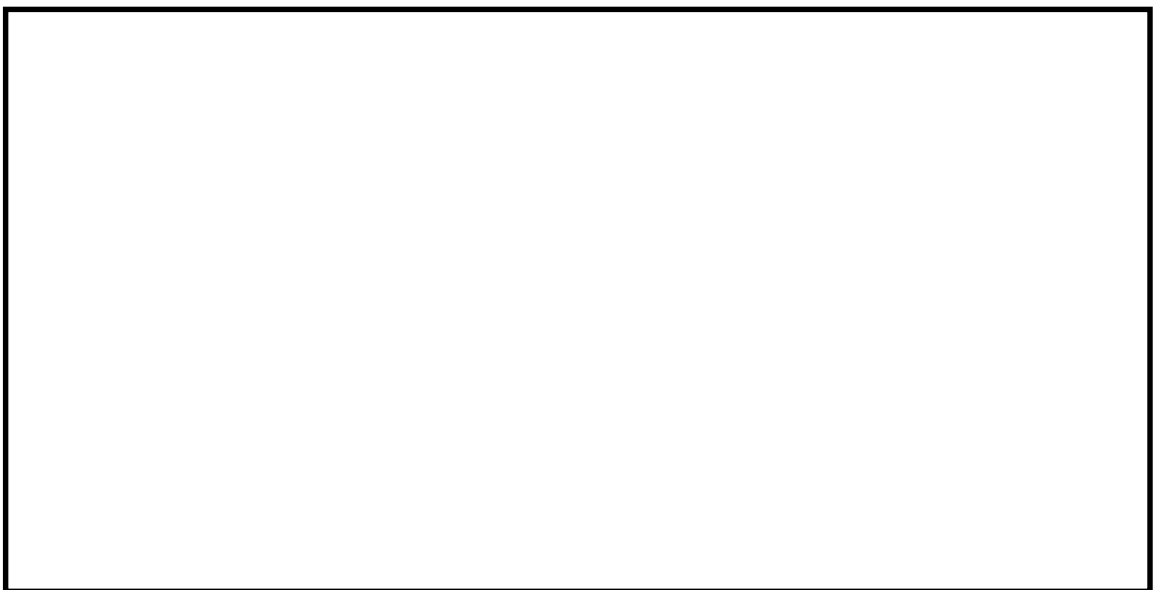
(1) 評価対象範囲

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機は、電動機本体を全閉構造とした全閉外扇形の冷却方式である。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軸受であり、そのうち許容温度が低い軸受温度の機能維持に必要となる冷却空気の温度が、許容温度以下となることを確認する。

(2) 評価対象施設の仕様

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機の配置図を第5.6-1図、外形図を第5.6-2図に示す。仕様を第5.6-1表に示す。



第5.6-1図 海水ポンプの配置図



第 5.6-2 図 海水ポンプの外形図

第 5.6-1 表 評価対象施設の仕様

名称	残留熱除去系海水系ポンプ 電動機	非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用 海水ポンプ電動機
主要寸法	全 幅 : 1.9 m 高 さ : 2.73m	全 幅 : 0.51m 高 さ : 0.98m
材 料	SS400, SUS304	SS400
基 数	4	3

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの冷却空気の許容温度は、下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を第 5.6-3 表に示す。

第 5.6-3 表 下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

名称	残留熱除去系海水系ポンプ	非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ
下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度	70℃※ ¹	60℃※ ²

※1：ポンプ運転により，下部軸受は約 10℃上昇することから，軸受の機能を維持するための最高表面温度 80℃から 10℃を差し引いた 70℃を冷却空気の許容温度に設定

※2：ポンプ運転により，下部軸受は約 35℃上昇することから，軸受の機能を維持するための最高表面温度 95℃から 35℃を差し引いた 60℃を冷却空気の許容温度に設定

b. 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，残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ電動機が受ける輻射熱によって上昇する冷却空気温度を求め，第 5.6-3 表に示す許容温度を下回るかを熱エネルギーの式より求まる下式で評価を実施した。評価に用いた諸元を第 5.6-4 表に，評価概念図を第 5.6-3 図に示す。

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

T：評価温度(℃)，T₀：初期温度(37℃)※¹，E：輻射強度(W/m²)，

G：重量流量(kg/s)，A：輻射を受ける面積(m²)

C_p：空気比熱(1,007J/kg/K)，ΔT：構造物を介した温度上昇(5℃)※²

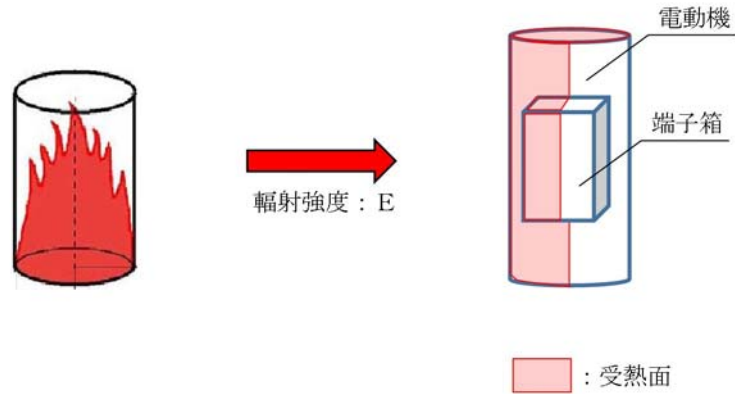
※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温

※2：構造物を介した冷却空気の温度上昇(ΔT_b=2.2℃)を包絡する 5℃に設定

第 5.6-4 表 評価に用いた諸元

	残留熱除去系海水系ポンプ	非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプ
G：重量流量	2.6 kg/s	0.72 kg/s
A：輻射を受ける面積	12 m ²	1.6 m ²
C：電動機の熱容量	6,440 kJ/K	290 kJ/K
ΔT _a ：輻射熱による構造物の温度上昇※ ¹	29 ℃	85 ℃
ΔT _b ：構造物を介した温度上昇※	2.2 ℃	2.1 ℃

- ※1：熱影響が最も厳しいF-15を対象に、熱エネルギーの式より求まる式 ($\Delta T_a = E \times A \times t / C$) より算出
- ※2：熱影響が最も厳しいF-15を対象に、熱エネルギーの式より求まる式 ($\Delta T_b = E \times A / G$) より算出



第 5.6-3 図 評価概念図

輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度を算出した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6-5 表、第 5.6-6 表に示す。

第 5.6-5 表 輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度評価結果 (残留熱除去系海水系ポンプ)

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110.0	56.60	43	< 70
有視界飛行方式民間航空機	大型機 (大型固定翼機及び大型回転翼機)	B747-400	700.0	416.40	44	
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外を飛行中	KC-767	405.2	311.08	44	
	基地-訓練空域間往復時	F-15	44.6	3,095.33	57	

第 5.6-6 表 輻射熱によって上昇する冷却空気の到達温度評価結果
 (非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機を含む。)
 用海水ポンプ)

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	燃焼面積 S [m ²]	輻射強度 E [W/m ²]	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
計器飛行 方式民間 航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	110.0	56.60	< 360
有視界 飛行方式 民間航空機	大型機 (大型固定翼機 及び大型回転翼機)		B747 -400	700.0	416.40	
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	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	KC -767	405.2	311.08	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	44.6	3,095.33	

5.6 外壁に設置されている機器に対する熱影響評価

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。熱影響を受けやすい機器は以下のとおり。

- ・ 扉
- ・ ルーバ
- ・ 配管貫通部
- ・ ブローアウトパネル

なお，複数設置されているこれらの機器のうち，最も熱影響を受ける位置にあるもの（火災源に近く，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。

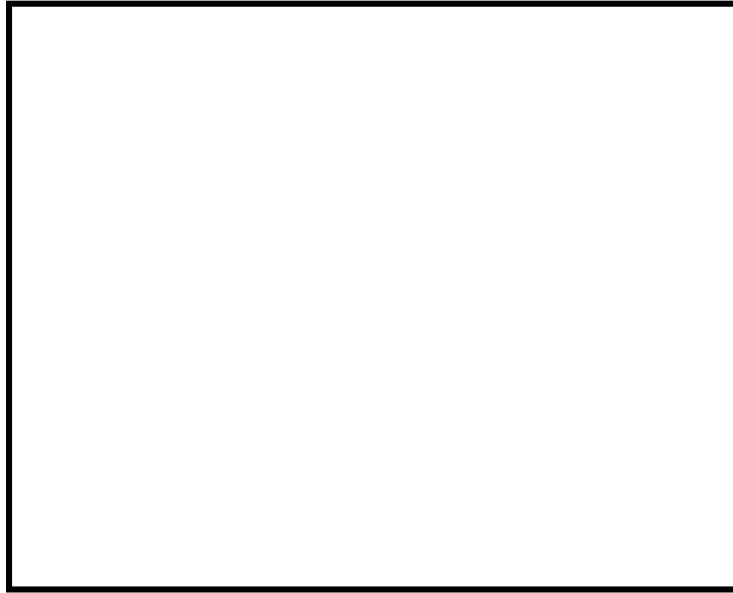
5.6.1 扉の火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つである扉について，火災影響評価を実施する。

5.6.1.1 扉温度の評価

(1) 評価対象

扉のうち，建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性がある原子炉建屋電気室扉を評価対象とする。位置関係を第 5.6.1.1-1 図に示す。



第 5.6.1.1-1 図 火災源と建屋扉との位置関係

(2) 想定条件

- a. 航空機火災については、5.3等の火災影響評価と同様の想定とした。
- b. 扉は、表面の最も熱影響を受けやすい金属を扉の構造材(均質体)とした。
- c. 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。
- d. 扉までの離隔距離は、電気室入口扉までの直線距離 27mとした。

(3) 必要データ

評価に必要なデータは5.2のとおり。

(4) 扉内外面温度の評価結果

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325°Cとする。

b. 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

で扉が昇温されるものとして、下記の1次元非定常熱伝導方程式を差分法より解くことで扉内外面温度が許容温度以下であるか評価した。評価において対流による放熱を考慮している。

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

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

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

T : 表面から x(m) の位置の温度(°C), T₀ : 初期温度(50°C)^{※1}

h : 熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}, k : 扉の温度伝導率(=λ / ρ C_p) (m²/s)

ρ : 扉の密度(7,920kg/m³), C_p : 扉の比熱(499J/kg/K)

λ : 扉の熱伝導率(16W/m/K), E : 輻射強度(W/m²)

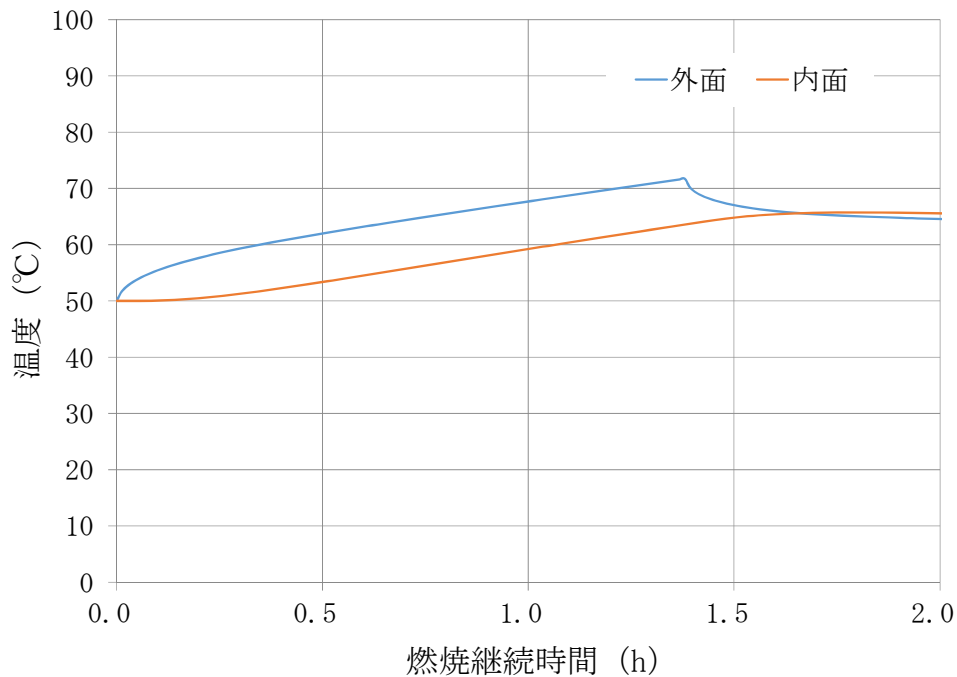
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2 : 空気調和・衛生工学便覧(外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。)

扉内外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5.6.1.1-1表、第5.6.1.1-2図に示す。

第5.6.1.1-1表 扉に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価対象	評価温度(°C)		許容温度(°C)
		外 面	内 面	
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	72	66	< 325



第 5.6.1.1-2 図 扉の到達温度

5.6.1.2 扉内側（電気室）の室内温度評価

(1) 評価条件

- a. 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 66°C一定としたときの放熱量を原子炉建屋電気室への入熱とした。
- b. 室内の設備による熱負荷を考慮した室内の初期温度は，夏期通常運転中の設計室温である 35°Cとした。

(2) 室内温度評価

a. 許容温度

原子炉建屋電気室の設計室温である 40°Cとする。

b. 評価結果

室内温度は，火災による扉外面温度上昇に伴う熱負荷による加熱を考慮して，扉内面の温度上昇による室内温度の最高到達温度を下式により

算出し、室内温度が許容温度以下であるか評価した。室内温度評価の概念図を第 5.6.1.2-1 図に示す。

$$Q_{in} = h_{in} \times A \times (T_{in} - T_a)$$

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

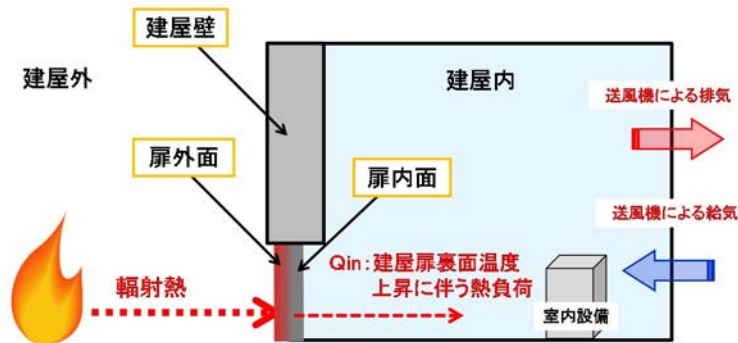
Q_{in} : 温度上昇に伴う熱負荷(W), h_{in} : 内面熱伝達率(8.29W/m²/K)

A : 扉の表面積(3.5m²), T_{in} : 扉内面温度(66℃)

T_a : 室内初期温度(35℃), T_{room} : 室内温度(℃)

m : 給気風量(4m³/s), ρ : 空気密度 (1.1kg/m³)

C_p : 空気比熱 (1,007J/kg/K)



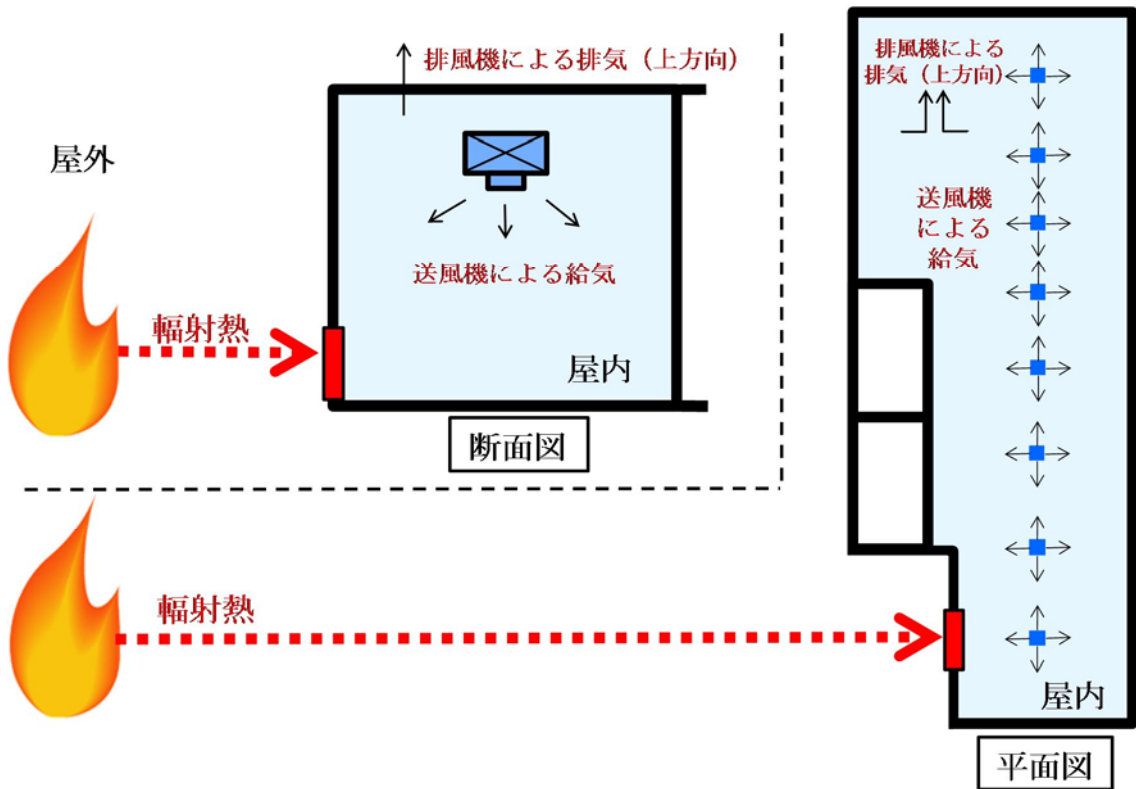
第 5.6.1.2-1 図 室内温度評価の概念図

電気室室温を評価した結果、室内温度が許容温度以下であることを確認した。評価結果を第 5.6.1.2-1 表に示す。なお、室内温度については扉内面の最高温度を一定として想定する等、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考えられる。

また、室内の給排気は、第 5.6.1.2-2 図のとおり、ホットスポット等が生じにくいレイアウトにすることで、室内の温度分布が不均一とならない設計としている。

第 5.6.1.2-1 表 室内温度の評価結果

想定火災源	評価対象	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
F-15	原子炉建屋 電気室入口扉	35.3	40



第 5.6.1.2-2 図 電気室内の給排気概念図

5.6.2 ルーバの火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つであるルーバについて、火災影響評価を実施する。

(1) 評価対象

ルーバのうち、火災源から最も近く、輻射強度が最も大きくなる2D非常用ディーゼル発電機室外壁のルーバを対象とする。

(2) 想定条件

2. 火災の想定と同様の想定とした。

(3) 判断の考え方

ルーバの許容温度は、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℃とする。

(4) 評価結果

一定の輻射強度でルーバが昇温されるものとして、輻射による入熱量と対流による放熱量が釣り合うことを表した下記の温度評価式によりルーバ表面の最大温度を求め、表面温度が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T：許容温度(℃)，T₀：初期温度(50℃)^{*1}

E：輻射温度(3,095W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)^{*2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は、受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが、一般的な値として垂直外壁面、屋根面及び上げ裏面の夏季、冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから、これらのうち最も小さい値である17W/m²Kを用いる。）

対象のルーバ表面の最大温度を求め、許容温度以下であることを確認したことから、ルーバの強度への影響はない。評価結果を第5.6.2-1表に示す。

また、ルーバの変形の有無にかかわらず、安全上支障のない期間に点検を行いルーバの使用に問題があると判断される場合には、交換等の措置が

可能である。なお、ルーバ内側には熱影響を受ける機器等がなく、航空機火災時は、熱気流を考慮し、状況に応じて空調の停止措置等を講じることから、建屋内への影響はない。

第 5.6.2-1 表 ルーバの評価結果

想定火災源	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
F-15	142	<325

5.6.3 配管貫通部の火災影響評価について

発電用原子炉施設の脆弱箇所の一つである配管貫通部について、火災影響評価を実施する。

(1) 評価対象

内側にクラス 1, 2 設備がある外壁のうち、火災源から最も近い外壁に位置する配管貫通部を想定して評価を実施した。

(2) 想定条件

- a. 航空機火災については、5.3 等の火災影響評価と同様の想定とした。
- b. 配管貫通部は、不燃材料であるモルタルによる穴仕舞がされているため、モルタルを熱影響対象とした。
- c. 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。
- d. 火災源から配管貫通部までの離隔距離が最短となるよう、火災源から配管貫通部までの離隔距離を、F-15 の離隔距離である 22m として熱影響評価を実施した。

(3) 判断の考え方

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、圧

縮強度が維持される保守的な温度 200°C*以下とする。

※：「高温加熱を受けた高強度モルタルの力学的性状，コンクリート工学年次論文集，Vol32，No.1，pp1121-1126，2010」

(4) 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，一定の輻射強度で配管貫通部が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より配管貫通部表面の上昇温度を算出した。評価結果を第 5.6.3-1 表に示す。

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

T：表面から x(m) の位置の温度(°C)，T₀：初期温度(50°C)※¹

α：熱伝達率(17W/m²/K)※²

κ：モルタル温度伝導率(=λ / ρ C_p) (1.7×10⁻⁶m²/s)

ρ：モルタル密度(1,870kg/m³)，C_p：モルタル比熱(548J/kg/K)

λ：モルタル熱伝導率(1.71W/m/K)，E：輻射強度(W/m²)

t：燃焼継続時間(4,968s)

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち最も小さい値である 17W/m²/K を用いる。）

第 5.6.3-1 表 配管貫通部の到達温度

対象 航空機	燃焼面積 [m ²]	輻射強度 [W/m ²]	燃焼継続時間 t (s)	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
F-15	44.6	3,095.33	4,968 (約 1.4h)	150	200

以上の評価により，配管貫通部表面の到達温度が許容温度以下であることを確認した。

5.6.4 ブローアウトパネルの火災影響評価について

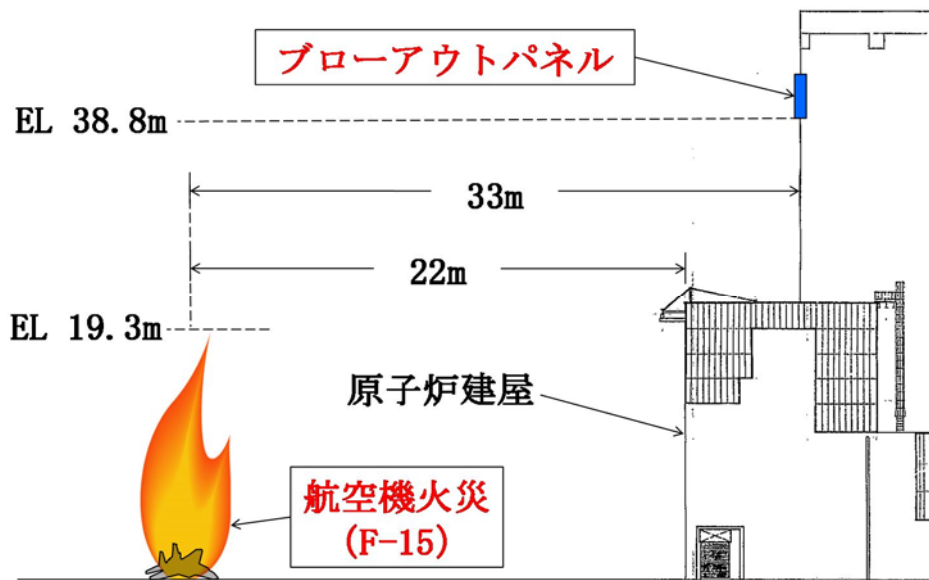
ブローアウトパネル（以下「B. P」という。）は、それぞれ原子炉建屋全方位に各3箇所設置されているが、想定する航空機火災からB. Pまでの水平距離及び鉛直高さを考慮すると、B. Pに影響を与えるような輻射強度が届くことはない。位置関係を第5.6.4-1表、第5.6.4-1図に示す。

第5.6.4-1表 火災源とブローアウトパネルとの位置関係

想定火災源	離隔距離 (m)	
	水平方向	鉛直方向
F-15	33m ^{※1}	19.5m ^{※2}

※1：F-15の航空機墜落距離22mに、原子炉建屋最外壁からブローアウトパネルまでの距離11mを加えた距離

※2：F-15の最高火炎高さ（EL. 19.3m）とB. P下端高さ（EL. 38.8m）の離隔距離



第5.6.4-1図 火災源とブローアウトパネルとの位置関係

5.7 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

(1) 重畳評価で想定するケースの検討

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施した。

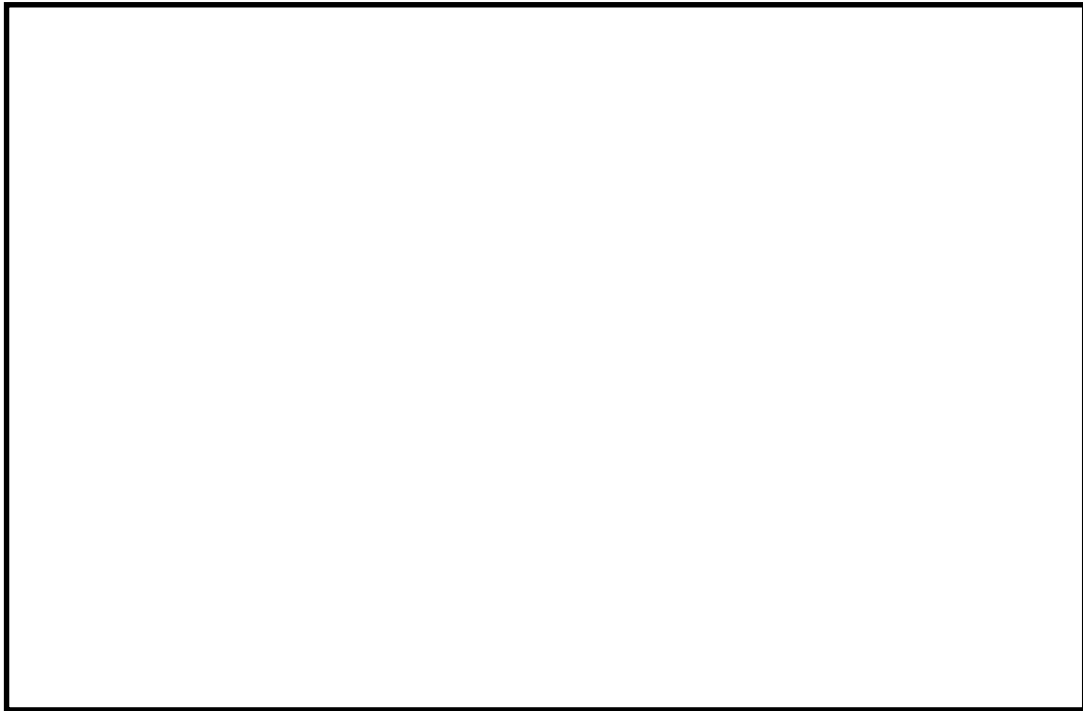
航空機墜落火災として想定する機種は、5.3, 5.4, 5.5 の評価結果より、最も熱影響が大きいF-15とする。

危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は、F-15の墜落火災想定位置近傍にある熔融炉灯油タンクと主要変圧器とする。

重畳評価で想定するケースを第5.7-1表に、航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置を第5.7-1図に示す。

第5.7-1表 重畳評価で想定するケース

想定ケース	評価対象施設
熔融炉灯油タンク 及びF-15	原子炉建屋
	タービン建屋
	排気筒
	残留熱除去系海水系ポンプ
	非常用ディーゼル発電機(高压炉心スプレィ系 ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプ
主要変圧器及びF-15	タービン建屋



第 5.7-1 図 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

(2) 評価に必要なとなるデータ

第 5.7-2 表 重畳評価に必要なとなるデータ

火災源	燃料の種類	燃料量 (m ³)	輻射発散度 (kW/m ²)	燃焼面積 (m ²)	燃焼半径 (m)	燃焼継続時間 (s)
溶融炉 灯油タンク	灯油	10	50	19.36	2.483	11,008
主要変圧器	絶縁油	136	23	97	5.6	36,131
F-15	JP-4	14.87	58	44.6	3.8	4,968

以下の式から形態係数及び輻射強度を算出した。

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

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

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

$$E = R f \cdot \Phi$$

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

第 5.7-3 表 形態係数の算出結果

火災源	評価対象施設	対象までの 離隔距離 (m)	形態係数 (-)	輻射強度 E (W/m ²)
溶融炉灯 油 タンク	原子炉 建屋	45	5.9639×10 ⁻³	298.20
	タービン建屋	77	2.0248×10 ⁻³	101.24
	排気筒	21	2.6826×10 ⁻²	1343.13
	残留熱除去系海水 系ポンプ	185	3.4734×10 ⁻⁴	17.37
	非常用ディーゼル発電 機(高压炉心スプレ イ系ディーゼル発電機を 含む。)用海水ポンプ	185	3.4734×10 ⁻⁴	17.37
主要変圧 器	タービン建屋	22	1.0160×10 ⁻¹	2,336.84
F-15	全対象	22	5.3368×10 ⁻²	3,095.33

(3) 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。

- ・ 建屋（原子炉建屋，海水ポンプ室及びタービン建屋）に係る評価式

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

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

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

T : 評価温度 (°C), E : 輻射強度 (W/m²)
 T₀ : 初期温度 (50°C)^{※1}, h : 熱伝達率 (17W/m²/K)^{※2}
 ρ : 密度 (2,400kg/m³), k : 熱伝導率 (1.63W/m/K)
 C_p : 比熱 (880J/kg/K), L : 厚さ (m)

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値
 ※2 : 空気調和・衛生工学便覧（外表面の熱伝達率は，受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが，一般的な値として垂直外壁面，屋根面及び上げ裏面の夏季，冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから，これらのうち

最も小さい値である $17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を用いる。)

・排気筒に係る評価式

$$T = \frac{E}{2h} + T_0$$

T : 評価温度 ($^{\circ}\text{C}$), T_0 : 初期温度 (50°C)^{※1}

E : 輻射強度 (W/m^2), h : 熱伝達率 ($17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)^{※2}

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2 : 空気調和・衛生工学便覧 (外表面の熱伝達率は, 受熱面の形状や周囲の環境条件を受け変化するが, 一般的な値として垂直外壁面, 屋根面及び上げ裏面の夏季, 冬季の値が示されている。評価上放熱が少ない方が保守的であることから, これらのうち最も小さい値である $17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ を用いる。)

・残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ポンプに係る評価式

$$T - T_0 = \frac{E \times A}{G \times C_p} + \Delta T$$

T : 評価温度 ($^{\circ}\text{C}$), T_0 : 初期温度 (37°C)^{※1}, E : 輻射強度 (W/m^2),

G : 重量流量 (kg/s), A : 輻射を受ける面積 (m^2)

C_p : 空気比熱 ($1,007\text{J}/\text{kg}/\text{K}$), ΔT : 構造物を介した温度上昇 (5°C)^{※2}

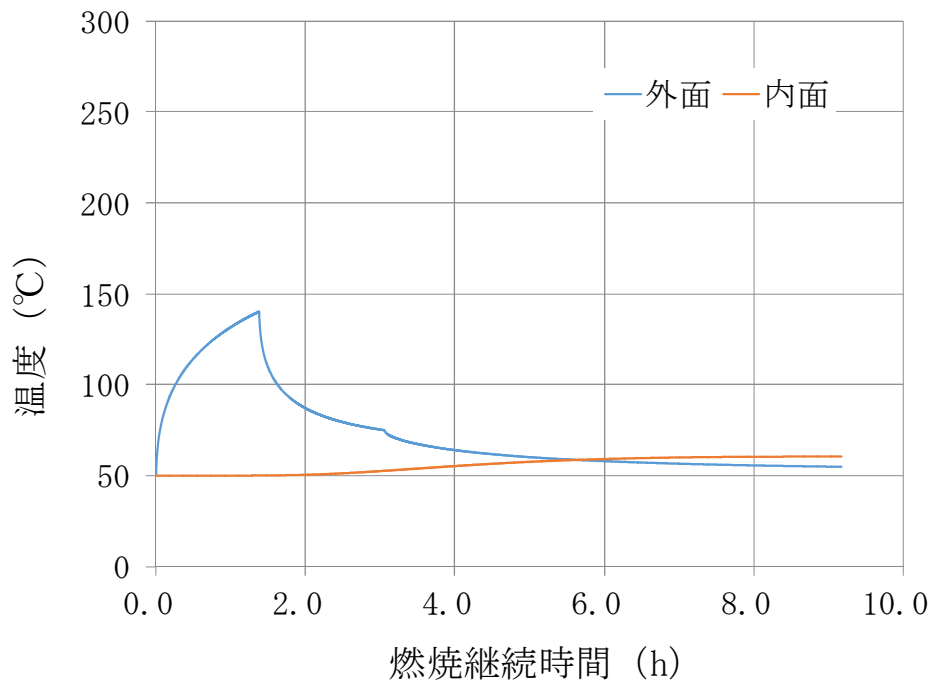
※1 : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温

※2 : 構造物を介した冷却空気の温度上昇 ($\Delta T_b = 2.2^{\circ}\text{C}$) を包絡する 5°C に設定

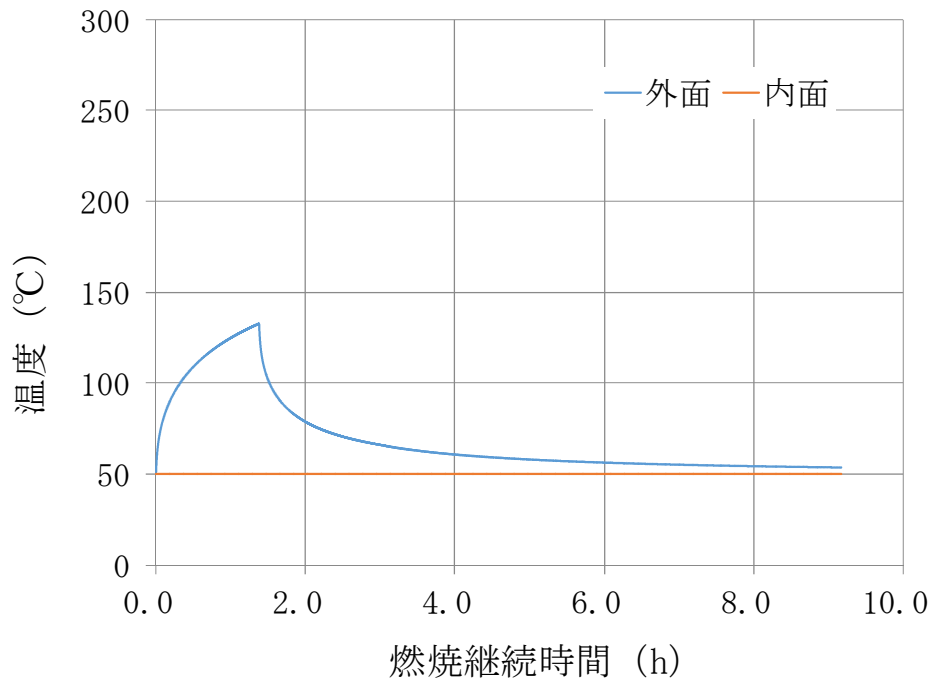
この結果, 第 5.7-4 表に示すとおり, どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

第 5.7-4 表 重畳評価結果

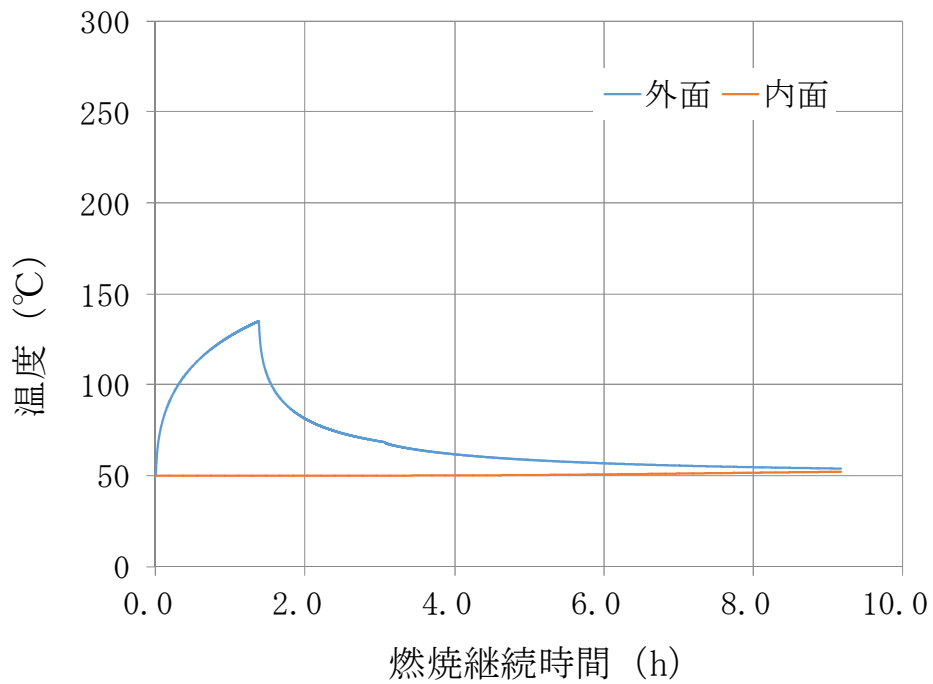
重畳評価の想定ケース	評価対象施設	評価温度 ($^{\circ}\text{C}$)	許容温度 ($^{\circ}\text{C}$)
熔融炉灯油タンク及び F-15	原子炉建屋	141	< 200
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	< 325
	残留熱除去系海水系ポンプ	57	< 70
	非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ポンプ	49	< 60
主要変圧器及び F-15	タービン建屋	195	< 200



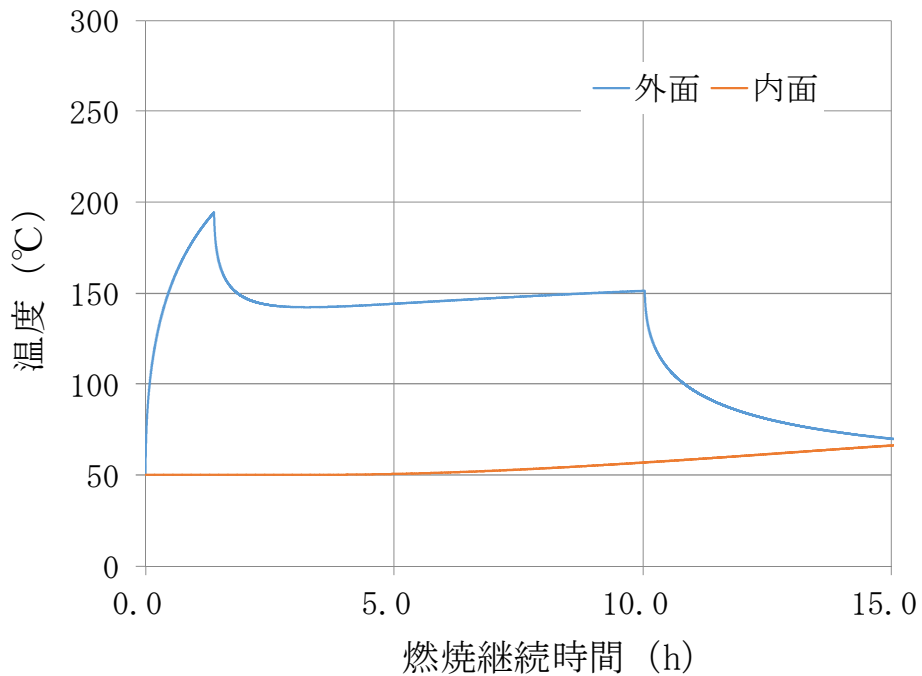
第 5.7-2 図 航空機火災と熔融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：原子炉建屋)



第 5.7-3 図 航空機火災と熔融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：海水ポンプ室)



第 5.7-4 図 航空機火災と溶融炉灯油タンク火災の重畳評価結果
(対象：タービン建屋)



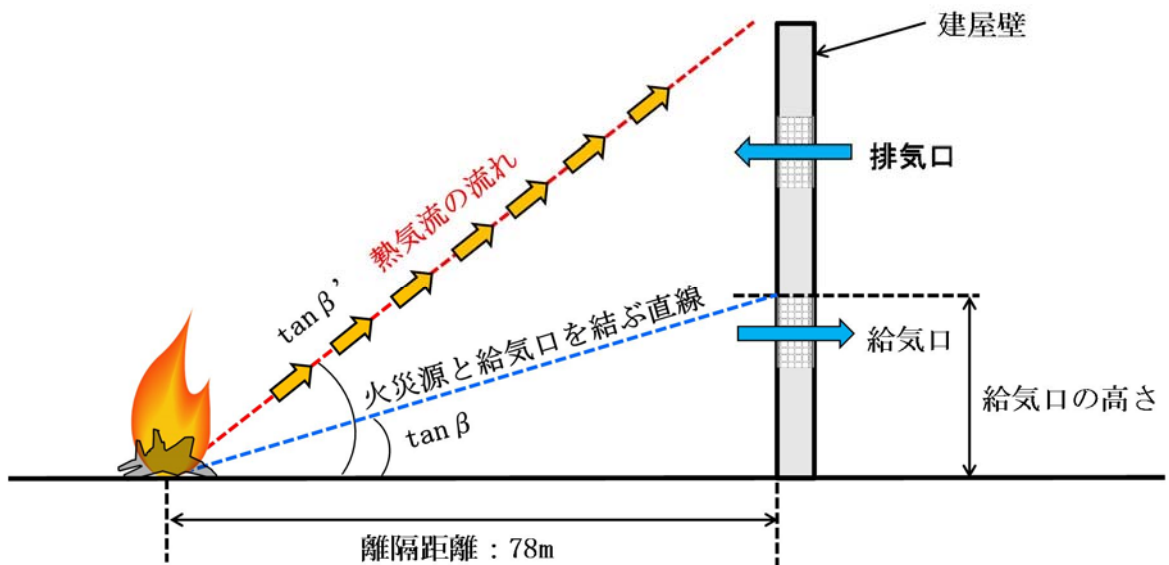
第 5.7-5 図 航空機火災と主要変圧器火災の重畳評価結果
(対象：タービン建屋)

5.8 航空機墜落火災からの熱気流による影響評価

安全重要度分類のクラス1，2設備が給気口のすぐ内側にある非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタ及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，外部火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により建屋に向かうことが想定されるため，火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から流入する事象を想定する。

評価の概念図を第5.8-1図に示す。火災による熱気流の主軸傾き角($\tan \beta'$)が，火災発生源と給気口とを結ぶ直線の傾き角($\tan \beta$)より大きい場合は，熱気流は建屋上方へ拡散し建屋内空気温度への影響はないが，本評価においては保守的に熱気流が直接給気口に当たる場合($\tan \beta' = \tan \beta$)を想定し，その際の風速を設定する。

現実的には発火点の位置や上昇気流，また気象条件の影響も考慮すれば火災からの熱気流が全て給気口に到達し流入することは考えにくい，本評価においては保守的に火災源から発生する熱気流が直接給気口に流入するような風速を設定して評価した。



第5.8-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価概念図

5.8.1 想定条件

- ・評価対象とする火災源は、最も近い位置で発生する航空機火災（対象航空機：F-15）とした。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう、想定する火災源から評価対象施設の給気口まで最短となるよう設定した。
- ・熱気流の評価では、気象条件として有風状態を想定し、発生する熱気流が直接給気口に流入するような風速を設定した。

5.8.2 評価に必要なとなるデータの算出

(1) 火災源と給気口を結ぶ直線の傾き

以下の式から火災源と給気口を結ぶ直線の傾きを算出した。算出結果を第5.8.2-1表に示す。

$$\tan \beta = \frac{\text{給気口の高さ}}{\text{火災源から給気口までの水平距離}}$$

第5.8.2-1表 火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

評価対象施設	給気口の高さ (m)	火災源から給気口までの水平距離 (m)	傾き $\tan \beta$ (rad)
使用済燃料乾式貯蔵建屋	8.8	78	0.1
非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機を含む。)吸気フィルタ	4.9	24	0.2

(2) 熱源寸法

以下の式から熱源寸法を算出した。算出結果を第5.8.2-2表に示す。

$$D=2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

D : 熱源寸法 (m)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)

第 5.8.2-2 表 各対象の熱源寸法

火災源	熱源寸法D (m)
航空機火災 (F-15)	7.5

(3) 発生熱量

以下の式から発生熱量を算出した。算出結果を第 5.8.2-3 表に示す。

$$Q = (1 - \chi) \Delta H_{c, \text{eff}} S M$$

Q : 発生熱量 (kW) , χ : 放射分率 (0.05)

$\Delta H_{c, \text{eff}}$: 発熱量 (43,500kJ/kg)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)

M : 質量低下速度 (kg/m²/s)

第 5.8.2-3 表 想定する火災源の発生熱量

火災源	発生熱量Q (kW)
航空機火災 (F-15)	9.4 × 10 ⁴

(4) 熱気流が直接給気口に流入する風速

以下の式を満たす熱気流が直接給気口に流入する風速を算出した。算出結果を第 5.8.2-4 表に示す。

$$\tan \beta = 0.37 \Lambda^{-9/8} Fr^{0.0975}$$

$$\Lambda = \frac{UD^{1/3}}{\left(Qg/C_p \rho T_0\right)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan \beta$: 火災源と給気口を結ぶ直線の傾き (rad)

Λ : 無次元パラメータ, Fr : フルード数 (-)

C_p : 空気比熱 (1.007kJ/kg/K)

ρ : 空気密度 (1.17kg/m³), T_0 : 周囲温度 (310K)

D : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積 (44.6m²)

g : 質量低下速度 (kg/m²/s)

第 5.8.2-4 表 火災源と各対象の給気口を結ぶ直線の傾き

評価対象施設	無次元パラメータ Λ (-)	フルード数 Fr (-)	熱気流が直接開口に流入する風速 U (m/s)	水戸地方気象台で観測した過去 10 年間の最大風速 (m/s)
使用済燃料乾式貯蔵建屋	3.1	2.5	21.6 ~ 40.1	17.5
非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機を含む。)吸気フィルタ	1.7	1.4	12.1 ~ 12.8	

(5) 評価結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋に対し、熱気流が直接開口に流入する風速は、水戸地方気象台で観測した過去 10 年間の最大風速未満となることから、熱気流が直接開口に流入することはなく上方へ拡散するため、熱気流の影響はない。

非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタに対する熱気流の影響は、以下理由により熱気流の回避が可能であるため、熱気流が流入することはない。

- ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機を含む。）吸気フィルタは、開口面積が狭いことから熱気流を直接取り込むため、必要となる風速が狭い範囲に限定され、直接熱気流を取り込

む可能性は低い。

- ・非常用ディーゼル発電機吸気フィルタは位置的分散が図られているため、同時に全ての設備が直接熱気流の影響を受けることは想定し難い。
- ・万一、熱気流を取り込む可能性がある場合は、影響を受けない方角に位置する非常用ディーゼル発電機を起動し、熱気流を取り込む可能性がある設備は起動しない（起動している場合は停止する）ことにより熱気流の影響を回避し、消火が確認された時点で、停止していた非常用ディーゼル発電機の運転を再開する。