

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-01-0170-1_改3
提出年月日	2021年7月5日

補足-170-1 外部火災への配慮に関する説明書の補足説明資料

2021年7月

東北電力株式会社

添付書類に係る補足説明資料

「外部火災への配慮に関する説明書」に係る添付書類の記載内容を補足するための説明資料を以下に示す。

工認添付書類	補足説明資料
VI-1-1-2-5 外部火災への配慮に関する説明書	補足-170-1 外部火災への配慮に関する説明書の補足説明資料

目次

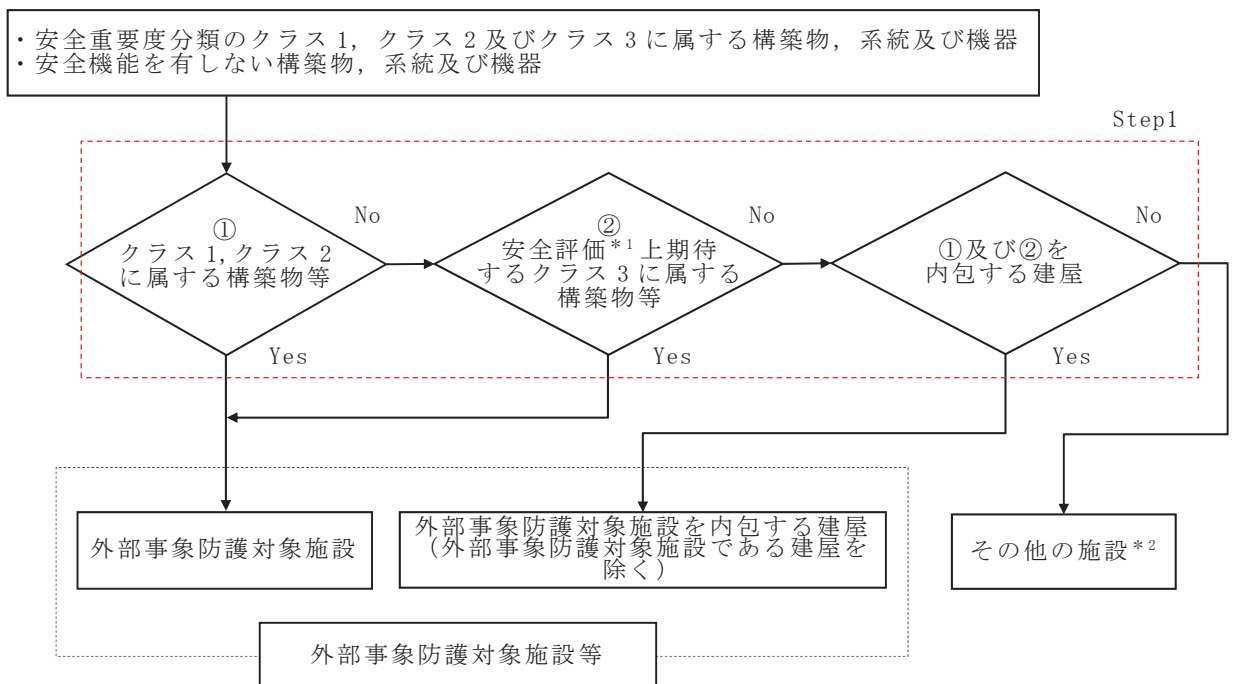
1. 外部火災より防護すべき施設について.....	1
2. 発電所敷地内の火災源	23
2.1 森林火災について	23
2.2 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災について.....	28
2.3 航空機墜落による火災について.....	31
3. 発電所敷地外の火災源	64
3.1 石油コンビナート施設等の火災・爆発について.....	64
3.2 危険物貯蔵施設の火災について.....	65
3.3 高圧ガス貯蔵施設の火災・爆発について.....	68
3.4 燃料輸送車両の爆発について.....	72
3.5 漂流船舶の火災について	75
4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について.....	79
4.1 外部火災の影響を考慮する施設への影響.....	79
4.2 有毒ガスによる中央制御室居住性への影響.....	85
5. 評価で使用するパラメータの設定根拠について.....	87
5.1 森林火災	87
5.2 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災.....	89
5.3 航空機墜落による火災	91
5.4 発電所敷地外の危険物貯蔵施設の火災.....	93
5.5 発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設の火災・爆発.....	95
5.6 燃料輸送車両の火災	97
5.7 漂流船舶の火災	99

別紙1 航空機落下事故に関するデータの最新データについて

1. 外部火災より防護すべき施設について

(1) 外部事象防護対象施設等の抽出

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設のうち、外部事象防護対象施設は、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器（発電用原子炉を停止するため、また停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及び安全評価上その機能に期待する安全重要度分類のクラス 3 に属する構築物、系統及び機器）とする。また、外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設を内包する建屋を併せて、外部事象防護対象施設等という。外部事象防護対象施設等の抽出フローを図 1-1 に示す。また、抽出結果（Step1）を表 1-1 に示す。



注記 *1 : 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

*2 : 構造健全性の確保, 若しくは損傷を考慮して代替設備, 修復等で安全機能を確保

図 1-1 外部事象防護対象施設等の抽出フロー

(2) 外部事象防護対象施設のうち外部火災の影響を考慮する施設の選定

屋内に設置する外部事象防護対象施設は、建屋にて防護することから、外部事象防護対象施設の代わりに外部事象防護対象施設を内包する建屋を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。また、屋外の外部事象防護対象施設は、外部火災の影響により安全性を損なうおそれがあるため、外部火災の影響を考慮する施設として選定する。外部事象防護対象施設のうち外部火災の影響を考慮する施設の抽出フローを図 1-2 に示す。また、抽出結果 (Step2) を表 1-1 に、外部火災の影響を考慮する施設の配置を図 1-3 に示す。

a. 評価対象施設

(a) 外部事象防護対象施設を内包する建屋

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋
- ・制御建屋

(b) 外部火災の影響を受ける屋外の外部事象防護対象施設

- ・排気筒
- ・復水貯蔵タンク
- ・原子炉補機冷却海水ポンプ (高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプを含む。)
- ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

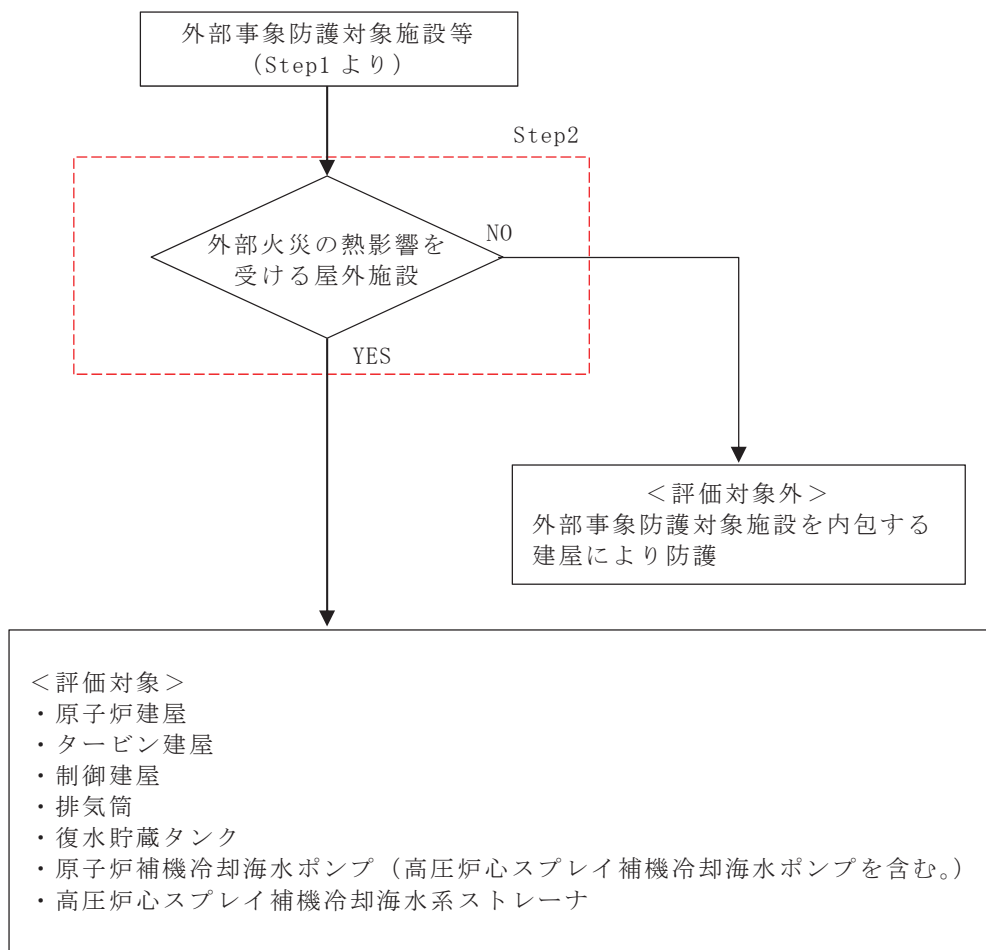
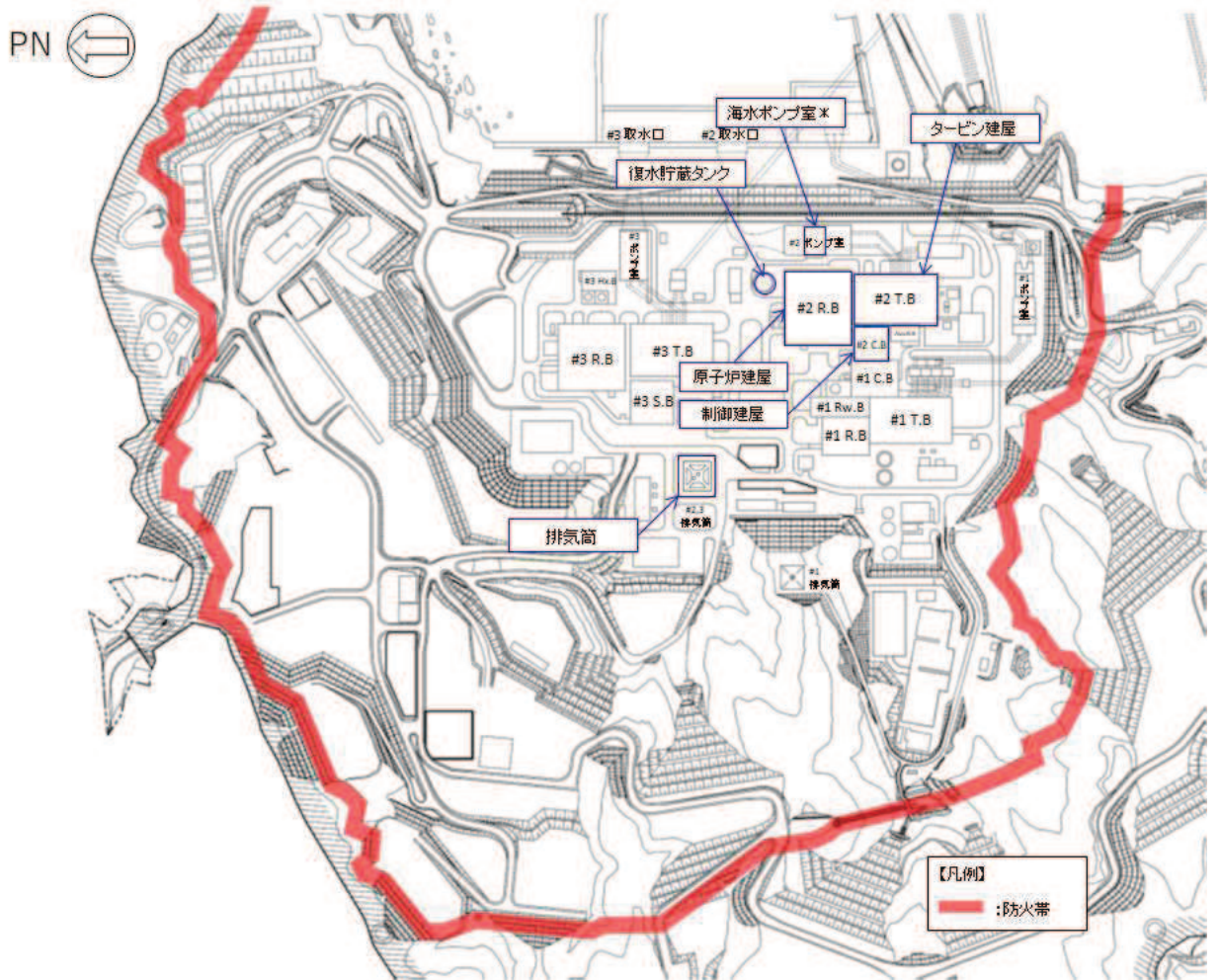


図 1-2 外部事象防護対象施設のうち外部火災の影響を考慮する施設の抽出フロー



注記＊：海水ポンプ室には原子炉補機冷却海水ポンプ（高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプを含む。）及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水系ストレーナを設置している。

図 1-3 外部事象防護対象施設のうち外部火災の影響を考慮する施設配置図

b. 他の施設の評価に包絡される施設

抽出施設のうち、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナについては、以下のとおり他の施設の評価により、安全機能を損なわない設計であることを確認する。

(a) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは以下の理由により同じ海水ポンプ室（補機ポンプエリア）内にあり動的機器である高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価に包絡される。

- ・海水ポンプ室（補機ポンプエリア）内にある機器の評価では、火災源から対象までの離隔距離を一律海水ポンプ室（補機ポンプエリア）外壁までとしているため、離隔距離が同じとなる。海水ポンプとストレーナの位置を図 1-4 に示す。
- ・動的機器である高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、受ける熱の躯体及び冷却空気への影響度を踏まえ、より影響が大きい冷却空気への評価を行っており、この熱影響の評価は、同様の材質であるストレーナに対しても同じ結果となる。



図 1-4 海水ポンプとストレーナの位置

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(3) 外部事象防護対象施設のうち外部火災の二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の抽出

外部事象防護対象施設のうち外部火災の二次的影響（ばい煙）を考慮する施設が二次的影響（ばい煙）により安全性を損なうおそれがないよう、以下により選定する。

外気を取り込む空調系統（換気空調系で給気されるエリアの設置機器を含む）は二次的影響（ばい煙）により人体及び室内の空気を取り込む機器に影響を及ぼすおそれがあるため、二次的影響（ばい煙）を考慮する設備として選定する。

外気を設備内に取り込む機器、外気を取り込む屋外設置機器は二次的影響（ばい煙）により機器の故障が発生するおそれがあるため、二次的影響（ばい煙）を考慮する機器として選定する。

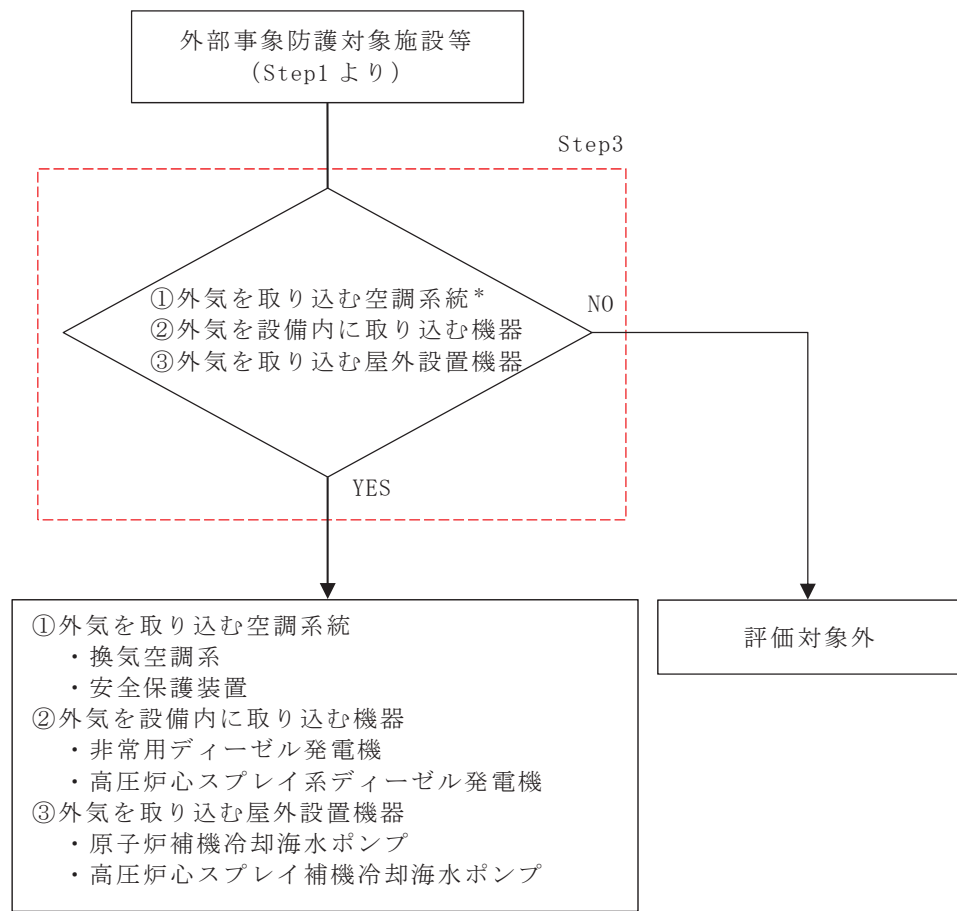
ばい煙を含む外気又は、室内空気を機器内に取り込む機構を有しない設備又は、取り込んだ場合でも、その影響が非常に小さいと考えられる設備（ポンプ、モータ、弁、盤内に換気ファンを有しない制御盤、計器、排気筒等）については、対象外とする。

外部事象防護対象施設のうち外部火災の二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の抽出フローを図 1-5 に、Step3 を表 1-1 に示す。

- a. 外気を取り込む空調系統（換気空調系で給気されるエリアの設置機器を含む。）
 - ・換気空調系
 - ・安全保護装置

- b. 外気を設備内に取り込む機器
 - ・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

- c. 外気を取り込む屋外設置機器
 - ・原子炉補機冷却海水ポンプ
 - ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



注記*：換気空調系で給気されるエリアの設置機器を含む。

図 1-5 外部火災の二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の抽出フロー

(4) 有毒ガスの影響を考慮する施設の選定

外部火災起因を含む有毒ガスの影響を考慮する施設については、人体に影響を及ぼすおそれがある換気空調設備を選定する。

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (1/15)

分類	定義	重要度分類指針		女川原子力発電所2号機			Step2 外部火災の影響を受ける 屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響 評価対象 施設	
		機能	構造又は機器 ^{*1}	重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	Step1			
PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷又は (b)燃料の大量の破損を引き起こす恐れのある構造物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機器・配管系(計装等を除く。)	原子炉圧力容器	○	-	×	×	×	
			原子炉再循環ポンプ						
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カププリング	○	-	×	×	×	
			制御棒駆動機構カププリング	○	-	×	×	×	
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物(炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、制御棒案内管)燃料集合体(但し、燃料を除く。)	炉心シュラウド	○	-	×	×	×
				シュラウドサポート					
				上部格子板					
				炉心支持板					
				燃料支持金具					
				制御棒案内管					
制御棒駆動機構ハウジング	○	-	×	×	×				
燃料集合体(上部タイププレート)	○	-	×	×	×				
燃料集合体(下部タイププレート)	○	-	×	×	×				
燃料集合体(スベレーサ)	○	-	×	×	×				
直接関連系(燃料集合体)	○	-	×	×	×				
チャンネルボックス	○	-	×	×	×				

注記*1：電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2：運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (2/15)

分類	定義	重要度分類指針		建築物, 系統又は機器*1 女川原子力発電所2号機	Step1		Step2	Step3
		機能	重要度分類のク ラス1, 2に属す る建築物等		安全評価上*2期待す る重要度分類のクラ ス3に属する建築物等	外部火災の影響を受ける 屋外施設 (評価対象施設)		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する建築物, 系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒及び制御棒駆動系(スクラム機能))	制御棒	○	-	×	×
				制御棒案内管				
				制御棒駆動機構				
				制御棒駆動機構カプリング				
		直接関連系 (制御棒駆動水圧系)	水圧制御ユニット (スクラムバイロット弁, スクラム弁, アクキュムレータ, 窒素容器, 配管, 弁)					
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系, ほう酸水注入系)	制御棒	○	-	×	×
				制御棒カプリング				
		3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての開機能)	直接関連系 (制御棒駆動水圧系)	○	-	×	×
				制御棒駆動機構 制御棒駆動機構ハウジング				
		4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心スプレイ系, 逃がし安全弁(手動逃がし機能), 自動減圧系(手動逃がし機能))	ほう酸水注入系 (ポンプ, 注入弁, タンク出口弁, 貯蔵タンク, ポンプ吸込配管及び弁, 注入配管及び弁)	○	-	×	×
主蒸気逃がし安全弁 (安全弁としての開機能)								
5) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心スプレイ系, 逃がし安全弁(手動逃がし機能), 自動減圧系(手動逃がし機能))	残留熱除去系 (ポンプ, 熱交換器, 原子炉停止時冷却モードのルートとなる配管及び弁)	○	-	×	×		
		直接関連系 (残留熱除去系)						
6) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心スプレイ系, 逃がし安全弁(手動逃がし機能), 自動減圧系(手動逃がし機能))	熱交換器バイパス配管及び弁	○	-	×	×		
		原子炉隔離時冷却系 (ポンプ, サプレッションチェンバ, タービン, サプレッションチェンバから注水先までの配管, 弁)						

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (3/15)

分類	重要度分類指針		女川原子力発電所2号機				Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構築物等	Step1 安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構築物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設
	定義	機能	構築物、系統又は機器*1	タービンへの蒸気供給配管、弁	ポンプミニマムフローラインの配管、弁	サブプレッションチェンバ内のストレートナ				
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心スプレイス、逃がし安全弁(手動逃がし機能)、自動減圧系(手動逃がし機能))	直接関連系 (原子炉隔離時冷却系)	タービンへの蒸気供給配管、弁	○	-	×	×	
				高圧炉心スプレイス系 (ポンプ、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバからスプレイス先までの配管、弁、スプレイスパージャ)	ポンプミニマムフローラインの配管、弁	○	-	○		×
				直接関連系 (高圧炉心スプレイス)	サブプレッションチェンバ内のストレートナ	○	-	×		
				ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込弁	ポンプの復水貯蔵タンクからの吸込配管、弁	○	-	○		
			潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却供給配管	○	-	○	×			
			復水貯蔵タンク	○	-	○	○	×		
			主蒸気逃がし安全弁 (手動逃がし機能)	○	-	○	-	○	×	
			直接関連系 (主蒸気逃がし安全弁(手動逃がし機能))	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	○	-	×	×	×	
			自動減圧系(手動逃がし機能)	駆動用窒素源 (アキユムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管、弁)	○	-	-	×	×	
			直接関連系 (自動減圧系(手動逃がし機能))	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	○	-	-	×	×	
			駆動用窒素源 (アキユムレータから主蒸気逃がし安全弁までの配管、弁)	○	-	-	-	×	×	

注記*1：電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2：運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

*3：復水貯蔵タンク配管の一部は屋外地下埋設構造であり、外部火災による火災からの放射熱が直接到達することのない構造のため評価対象外

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (4/15)

分類	重要度分類指針		建築物, 系統又は機器 ^{*1}	Step1		Step2	Step3	
	定義	機能		重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等			
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物, 系統及び機器	5) 炉心冷却機能 非常用炉心冷却系 (低圧注水系, 低圧炉心スプレイス系, 高圧炉心スプレイス系, 自動減圧系)	構造物, 系統又は機器 ^{*1} 女川原子力発電所2号機	重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設	
			残留熱除去系 (低圧注水モード) (ポンプ, サプレッションチェンバ, サプレッションチェンバから注水先までの配管, 弁 (熱交換器パイプライン含む), 注水ヘッド)	直接関連系 (残留熱除去系 (低圧注水モード)) サプレッションチェンバ内のストレーナ	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×
			直接関連系 (高圧炉心スプレイス系)	低圧炉心スプレイス系 (ポンプ, サプレッションチェンバ, サプレッションチェンバからスプレイス先までの配管, 弁, スプレイスパーージャ)	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×
			直接関連系 (高圧炉心スプレイス系)	高圧炉心スプレイス系 (ポンプ, サプレッションチェンバ, サプレッションチェンバからスプレイス先までの配管, 弁, スプレイスパーージャ)	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×
			自動減圧系 (主蒸気逃がし安全弁)	自動減圧系 (主蒸気逃がし安全弁)	〇	-	○ (復水貯蔵タンク)	×
			直接関連系 (自動減圧系 (主蒸気逃がし安全弁))	直接関連系 (自動減圧系 (主蒸気逃がし安全弁))	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×
			直接関連系 (高圧炉心スプレイス系)	直接関連系 (高圧炉心スプレイス系)	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×
			直接関連系 (高圧炉心スプレイス系)	直接関連系 (高圧炉心スプレイス系)	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×
			復水貯蔵タンク	復水貯蔵タンク	〇	-	○ (復水貯蔵タンク)	×
			原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管	〇	-	× (原子炉建屋で評価)	×

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

*3: 復水貯蔵タンク配管の一部は屋外地下埋設構造であり, 外部火災による火災からの放射熱が直接到達することのない構造のため評価対象外

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (5/15)

分類	定義	機能	重要度分類指針	女川原子力発電所2号機				Step3 二次的影響評価対象施設
				Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	Step1 安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設	
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力パンプの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物、系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器 (格納容器本体、貫通部、所員用エアロック、機器搬入用ハッチ)				×
				直接関連系 (原子炉格納容器)	○	×	(原子炉建屋で評価)	
				原子炉建屋 (原子炉建屋原子炉棟 (プロローウエアパネル付き))	○	○	(原子炉建屋)	
				直接関連系 (原子炉建屋原子炉棟)	○	×	(原子炉建屋で評価)	
				原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管	○			
				直接関連系 (原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管)	○			
				主蒸気流量制限器	○	×	(原子炉建屋で評価)	
				残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード) (ポンプ、熱交換器、サブプレッションチェンバ、サブプレッションチェンバからスプレイ先 (ドライウェル及びサブプレッションチェンバ気相部) までの配管、弁、スプレイ管 (ドライウェル及びサブプレッションチェンバ))	○	×	(原子炉建屋で評価)	
				直接関連系 (残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード))	○			
				非常用ガス処理系 (乾燥装置、排風機、フィルタ装置、原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒までの配管、弁) ^{*3}	○	×	(原子炉建屋で評価)	
				直接関連系 (非常用ガス処理系) (乾燥装置 (乾燥機能部分))	○			
				可燃性ガス濃度制御系 (再結合装置、格納容器から再結合装置までの配管、弁、再結合装置から格納容器までの配管、弁)	○	×	(原子炉建屋で評価)	
				直接関連系 (可燃性ガス濃度制御系) (残留熱除去系 (再結合装置への冷却水供給をつかさどる部分))	○			
				遮蔽設備 (原子炉遮蔽壁、一次遮蔽壁、二次遮蔽壁)	○	×	(原子炉建屋で評価)	

注記*1: 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の施設は省略した。
 *2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析
 *3: 非常用ガス処理系配管の一部は屋外地下埋設構造であり、外部火災による火炎からの輻射熱が直接到達することのない構造のため評価対象外

表 1-1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (6/15)

分類	定義	重要度分類指針	女川原子力発電所2号機		Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	Step1 安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設
			機能	構造物, 系統又は機器 ^{*1}				
MS-1	2) 安全上必須なその他の構造物, 系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動信号の発生機能 2) 安全上特に重要な関連機能	安全保護系	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉保護系への作動信号の発生機構 原子炉保護系の安全保護回路 工学的安全施設への作動信号の発生機構 非常用炉心冷却系作動の安全保護回路 主蒸気隔離の安全保護回路 原子炉格納容器隔離の安全保護回路 非常用ガス処理系作動の安全保護回路 	○	-	×	○
			<p>非常用交流所内電源設備 (ディーゼル機関, 発電機, 発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路)</p> <p>燃料系 (ディーゼル機関からディーゼル機関まで)</p> <p>始動用空気系 (空気だめからディーゼル機関まで)</p> <p>吸気系</p> <p>冷却水系</p> <p>潤滑油系</p> <p>燃料移送系 (軽油タンクからディーゼルタンクまで)^{*3}</p> <p>軽油タンク^{*3}</p>	<p>直接関連系 (非常用交流所内電源設備)</p>	○	-	×	○
			中央制御室及び中央制御室遮蔽		○	-	×	○
			中央制御室換気空調系 (放射線防護機能及び有毒ガス防護機能) (再循環送風機, 再循環フィルタ装置, 空気調和装置, 送風機, 排風機, ダクト及びタンク)		○	-	×	○
			原子炉補機冷却水系 (ポンプ, 熱交換器, 非常用系負荷冷却ライン配管, 弁)		○	-	×	×
			直接関連系 (原子炉補機冷却水系)	サージタンク	○	-	×	×

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

*3: 燃料移送系, 軽油タンクは屋外地下埋設構造であり, 外部火災による火災からの輻射熱が直接到達することのない構造のため評価対象外

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (7/15)

重要度分類指針		Step1			Step2	Step3	
分類	定義	機能	重要度分類のクラス1,2に属する構築物等	安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構築物等	外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	二次的影響評価対象施設	
MS-1	2) 安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	非常用所内電源系、制御室及びその遮蔽、非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系 (いずれも、MS-1関連のもの)	高圧炉心スプレイ補機冷却水系 (ポンプ、配管、熱交換器、配管、弁)	○	-	×	
			直接関連系 (高圧炉心スプレイ補機冷却水系)				サージタンク
			原子炉補機冷却水系 (ポンプ、配管、弁、ストレーナ (MS-1関連))				ストレーナ (異物除去機能をつかさどる部分) 取水路 (屋外トレンチ含む)
			直接関連系 (原子炉補機冷却水系)				ストレーナ (異物除去機能をつかさどる部分)
			高圧炉心スプレイ補機冷却水系 (ポンプ、配管、弁、ストレーナ)				ストレーナ (異物除去機能をつかさどる部分)
			直接関連系 (高圧炉心スプレイ補機冷却水系)				取水路 (屋外トレンチ含む)
		非常用直流電源設備 (蓄電池、蓄電池から非常用負荷までの配電設備及び電路) (MS-1関連)	○	-	×	×	
		計測制御用電源設備 (蓄電池から非常用計測制御装置までの配電設備及び電路) (MS-1関連)	○	-	×	×	

注記*1：電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2：運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (8/15)

分類	重要度分類指針		女川原子力発電所2号機			Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設
	定義	機能	構造物, 系統又は機器*1	重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等				
PS-2	1) その損傷又は故障により発生する事象によつて、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こす恐れはないが、敷地外への過度の放射線物質の放出の恐れのある構造物, 系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	主蒸気系, 原子炉冷却材浄化系 (いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ)	原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分)	○	—	×	×	
		2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの大きいもの), 使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む)	原子炉隔離時冷却系 (原子炉冷却材圧力バウンダリ以外の部分であつてタービン止め弁まで)	○	—	×	×	
		3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	気体廃棄物処理系 (活性炭式希ガスホールドアップ装置) 使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。) 新燃料貯蔵庫 (臨界を防止する機能) (新燃料貯蔵ラック)	○	—	×	×	
	2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであつて、その故障により炉心が損なわれる可能性の高い構造物, 系統及び機器	1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	燃料交換機	○	—	×	×	
				原子炉建屋クレーン 直接関連系 (燃料取扱設備)	○	—	×	×	
				主蒸気逃がし安全弁 (吹き止まり機能)	○	—	×	×	

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (9/15)

分類	定義	機能	重要度分類指針		Step1		Step2	Step3	
			重要度分類のクラス1,2に属する構築物等	安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構築物等	外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	二次的影響評価対象施設			
MS-2	1)PS-2の構築物,系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにつくる構築物,系統及び機器 2)放射性物質放出の防止機能	非常用補給水系	燃料プール水の補給機能	非常用補給水系	構築物, 系統又は機器 ^{*1} 残留熱除去系 (ポンプ, サプレッションチェンバ, サプレッションチェンバから燃料プールまでの配管, 弁) 直接関連系 (残留熱除去系) ポンプミニニマムフローラインの配管, 弁 サブプレッションチェンバ内のストレーナー		○	×	×
					放射性気体廃棄物処理系の隔離弁, 排気筒 (非常用ガス処理系排気筒の支持機能以外)	○	×	×	
						排気筒	○	○	×
		燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	燃料プール冷却浄化系の燃料プール注入逆止弁	○	×	×			
			原子炉建屋 (原子炉建屋原子炉棟 (ブローアウトパネル付き)) 直接関連系 (原子炉建屋原子炉棟) 原子炉棟給排気隔離弁	○	○	○			
		燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系	非常用ガス処理系 (乾燥装置, 排風機, フィルタ装置, 原子炉建屋原子炉棟吸込口から排気筒までの配管, 弁) 直接関連系 (非常用ガス処理系) (乾燥機能部分)	○	×	×			
			乾燥装置 (乾燥機能部分)	○	×	×			

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (10/15)

分類	重要度分類指針		Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	Step1 安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設			
	定義	機能							
MS-2	2) 異常状態への対応上特に重要な構造物、系統及び機器	1) 事故時のブラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部 BWRには対象機能なし。 制御室外原子炉停止装置(安全停止)に関連するもの)	○	×	×			
							構造物、系統又は機器*1 ・中性子束(起動領域モニタ) ・原子炉スクラム用電磁接触器の状態 ・制御棒位置 ・原子炉水位(広帯域) ・原子炉水位(燃料域) ・原子炉圧力 ・圧力抑制室圧力 ・ドライウエル圧力 ・サブプレッションポンプール水温度 ・格納容器内雰囲気放射線モニタ [冷温停止への移行] ・原子炉圧力 ・原子炉水位(広帯域) [ドライウエルスブレイ] ・原子炉水位(広帯域) ・原子炉水位(燃料域) ・圧力抑制室圧力 ・ドライウエル圧力 [サブプレッションチェンバ冷却] ・原子炉水位(広帯域) ・原子炉水位(燃料域) ・サブプレッションポンプール水温度 [可燃性ガス濃度制御系起動] ・格納容器内雰囲気モニタ(水素・酸素濃度)		
							○	—	—
							○	×	×

注記*1：電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2：運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (11/15)

分類	定義	重要度分類指針	女川原子力発電所2号機		Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構築物等	Step1 安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構築物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設		
			機能	構築物, 系統又は機器 ^{*1}						
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであってPS-1及びPS-2以外の構築物, 系統及び機器	1) 原子炉冷却材保持機能 (PS-1, 2以外のももの)	原子炉冷却材圧力バウランダリから除外される計装等の小口径配管, 弁	計装配管, 弁 試料採取系配管, 弁 ドレン配管, 弁 ベント配管, 弁	×	×	-	-		
			2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	原子炉再循環ポンプ, 配管, 弁, ライザ管 (炉内), ジェットポンプ (炉内)	×	×	-	-	
				サブレーションプール排水系, 復水貯蔵タンク, 放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリ小さいもの) 注)	復水貯蔵タンク, HCW収集タンク, LCW回収槽, LCWサンブル槽	×	×	-	-	
			3) 放射性物質の貯蔵機能	注) 現状では, 液体及び固体の放射性廃棄物処理系が考えられる。	固体廃棄物処理系 (プラスチック固化装置, 浄化系沈降分離槽, 使用済樹脂貯蔵槽, 濃縮廃液貯蔵タンク, 固体廃棄物貯蔵所 (ドラム缶), 固体廃棄物焼却設備, サイトバンカ設備, 雑固体廃棄物保管室)	固体廃棄物処理系 (プラスチック固化装置, 浄化系沈降分離槽, 使用済樹脂貯蔵槽, 濃縮廃液貯蔵タンク, 固体廃棄物貯蔵所 (ドラム缶), 固体廃棄物焼却設備, サイトバンカ設備, 雑固体廃棄物保管室)	×	×	-	-
		新燃料貯蔵庫			新燃料貯蔵ラック	×	×	-	-	
		4) 電源供給機能 (非常用を除く)		タービン, 発電機及びその励磁装置, 復水系 (復水器を含む), 給水系, 循環水系, 送電線, 変圧器, 開閉所	発電機及びその励磁装置 (発電機, 励磁機)	タービン発電機固定子巻線冷却水系 タービン発電機ガス系 タービン発電機密封油系 励磁装置	×	×	-	-
					蒸気タービン (主タービン, 主要弁, 配管)	主蒸気系 (主蒸気/駆動原)	×	×	-	-
					直接関連系 (蒸気タービン)	タービン制御系 タービン潤滑油系	×	×	-	-
					復水系 (復水器, 復水ポンプ, 配管/弁)	復水器空気抽出系 (蒸気式空気抽出系, 配管/弁)	×	×	-	-

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (12/15)

分類	重要度分類指針		機能	定義	女川原子力発電所2号機			Step3 二次的影響評価対象施設
	重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	重要度分類のクラス3に属する構造物等			Step1 安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設	
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであって PS-1 及び PS-2 以外の構造物、系統及び機器	機能	タービン、発電機及びその励磁装置、復水系（復水器を含む）、給水系、循環水系、送電線、変圧器、開閉所	4) 電源供給機能（非常用を除く）	構造物、系統又は機器*1			
					給水系（電動機駆動原子炉給水ポンプ、タービン駆動原子炉給水ポンプ、給水加熱器、配管/弁）	×		
					直接関連系（給水系）		×	
					循環水系（循環水ポンプ、配管/弁）			
					直接関連系（取水設備（屋外トレンチを含む））	×		
					常用所内電源系（発電機又は外部電源系から所内負荷までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））	×		
					直流電源設備（蓄電池、蓄電池から常用負荷までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））	×		
					計装制御用電源設備（電源装置から常用計測制御装置までの配電設備及び電路（MS-1 関連以外））	×		
					送電線	×		
					変圧器（所内変圧器、起動変圧器、電路）			
直接関連系（変圧器）	×							
開閉所（母線、遮断器、断路器、電路）	×							
原子炉制御系、運転監視補助装置（制御棒価値ミニマイザ）、原子炉格納炉格計装の一部	×							
5) プラント計測・制御機能（安全保護機能を除く）	×							
原子炉格納炉格計装の一部	×							
原子炉プラントプロセス計装の一部	×							

注記*1：電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2：運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (13/15)

分類	定義	機能	重要度分類指針	Step1		Step2	Step3
				重要度分類のクラス1,2に属する構造物等	安全評価上 ^{*2} 期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等		
PS-3	1) 異常状態の起因事象となるものであってPS-1及びPS-2以外の構造物、系統及び機器 2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構造物系統及び機器	6) プラント運転補助機能 所内ボイラ設備、計装用圧縮空気系	構造物、系統又は機器 ^{*1} 補助ボイラ設備 (補助ボイラー、給水タンク、給水ポンプ、配管/弁) 直接関連系 (補助ボイラー設備) 電気設備 (変圧器)	×	×	—	—
			加熟蒸気系及び戻り系 (ポンプ、配管/弁) 計装用圧縮空気系 (空気圧縮機、中間冷却器、配管、弁)	×	×	—	—
			直接関連系 (計装用圧縮空気系) 後部冷却器 気水分離器 空気貯槽	×	×	—	—
			原子炉補機冷却水系 (タービン補機冷却水以外 (配管/弁)) タービン補機冷却水系 (タービン補機冷却水ポンプ、熱交換器、配管/弁)	×	×	—	—
			直接関連系 (タービン補機冷却水系) サージタンク	×	×	—	—
			タービン補機冷却海水系 (タービン補機冷却海水ポンプ、配管/弁、ストレータ) 復水補給水系 (復水移送ポンプ、配管/弁)	×	×	—	—
			直接関連系 (復水補給水系) 復水貯蔵タンク	×	×	—	—
			燃料被覆管 上/下部端栓 タイロッド	×	×	—	—
			原子炉冷却材浄化系 (再生熱交換器、非再生熱交換器、ポンプ、ろ過脱塩装置、配管、弁)	×	×	—	—
			復水浄化系 (復水ろ過装置、復水脱塩装置、配管、弁)	×	×	—	—
			燃料被覆管	×	×	—	—
			原子炉冷却材の放散防止機能	×	×	—	—
			原子炉冷却材の浄化機能	×	×	—	—

注記*1: 電気、機械装置のうち主な施設の記載は、当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し、間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故解析

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (14/15)

分類	定義	重要度分類指針	女川原子力発電所2号機		Step1 重要度分類のクラス1,2に属する構築物等	Step1 安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構築物等	Step2 外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	Step3 二次的影響評価対象施設	
			構築物, 系統又は機器*1	機能					
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があいつても, MS-1, 2とあいつつて事象を緩和する構築物, 系統及び機器	機能 1) 原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁 (逃がし弁機能), タービンバイパス弁	主蒸気逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	×	○	×	×	
				直接関連系 (主蒸気逃がし安全弁 (逃がし弁機能))	原子炉圧力容器から主蒸気逃がし安全弁までの主蒸気配管				
				タービンバイパス弁	原子炉圧力容器からタービンバイパス弁までの主蒸気配管				
				直接関連系 (タービンバイパス弁)	駆動用油圧源 (アキユムレータ, アキユムレータからタービンバイパス弁までの配管, 弁)				
				原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ機能), 制御棒引技監視装置	・ 原子炉再循環制御系 (ポンプトリップ機能) ・ 制御棒引技監視装置 (制御棒引技阻止インターロック) ・ 選択制御棒挿入機構				
				制御棒駆動水圧系, 原子炉隔離時冷却系	制御棒駆動水圧系 (冷却材の補給) (ポンプ, 復水貯蔵タンク, 復水貯蔵タンクから制御棒駆動機構までの配管及び弁)				
				原子炉冷却材の補給機能	直接関連系 (制御棒駆動水圧系 (冷却材の補給)) ポンプサクションフィルタ ポンプミニマムフローラインの配管, 弁				
				原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	原子炉隔離時冷却系 (冷却材の補給) (ポンプ, タービン, 復水貯蔵タンク, 復水貯蔵タンクから注入先までの配管, 弁)				
				原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	直接関連系 (原子炉隔離時冷却系 (冷却材の補給)) タービンへの蒸気供給配管, 弁 ポンプミニマムフローラインの配管, 弁 潤滑油冷却器及びその冷却器までの冷却水供給配管				
				原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	—	—	—	—	—
原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	—	—	—	—	—	—	—	—	

注記*1：電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2：運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故

表 1-1 外部事象防護対象施設の抽出結果 (15/15)

分類	定義	機能	重要度分類指針		Step1			Step2	Step3	
			緊急時対策所	構造物, 系統又は機器*1	重要度分類のクラス1, 2に属する構造物等	安全評価上*2期待する重要度分類のクラス3に属する構造物等	外部火災の影響を受ける屋外施設 (評価対象施設)	二次的影響評価対象施設		
MS-3	2) 異常状態への対応上必要な構造物, 系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所, 試料採取系, 通信連絡設備, 放射能監視設備, 事故時監視器の一部, 消火系, 安全避難通路, 非常用照明	緊急時対策所	構造物, 系統又は機器*1	×	×	—	—	
					空調系					
					データ収集装置	×	×	—	—	
					通信連絡設備					
					資料及び器材					
					遮蔽設備					
					試料採取系 (原子炉冷却材放射放射性物質濃度サンプリング分析, 原子炉格納容器内雰囲気放射放射性物質濃度サンプリング分析)	×	×	—	—	
					通信連絡設備 (1つの専用回路を含む複数の回路を有する通信連絡設備)	×	×	—	—	
					放射線監視設備 (気体廃棄物処理設備エリア排気放射線モニタ)	×	○	×	×	
					放射線監視設備 (上記以外)	×	×	—	—	
					事故時監視器の一部	×	×	—	—	
					消火系 (水消火設備, ガス消火設備)					
					消火ポンプ					
					消火水槽, 消火水タンク	×	×	—	—	
					火災検出装置 (受信機含む)					
防火扉, 防火ダンパ, 耐火壁, 隔壁 (消火設備の機能を維持担保するために必要なもの)										
安全避難通路										
直接関連系 (安全避難通路)	×	×	—	—						
非常用照明	×	×	—	—						

注記*1: 電気, 機械装置のうち主な施設の記載は, 当該系及び直接関連系の施設を代表として記載し, 間接関連系の記載は省略した。

*2: 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故

2. 発電所敷地内の火災源

2.1 森林火災について

2.1.1 熱影響が最も厳しくなる最大火災輻射強度の算出について

(1) FARSITE 出力データ

立地条件を考慮して設定した発火点 1～3 を図 2.1.1-1 に、FARSITE 出力データ及び FARSITE 出力データを基に算出したデータを表 2.1.1-1 に示す。

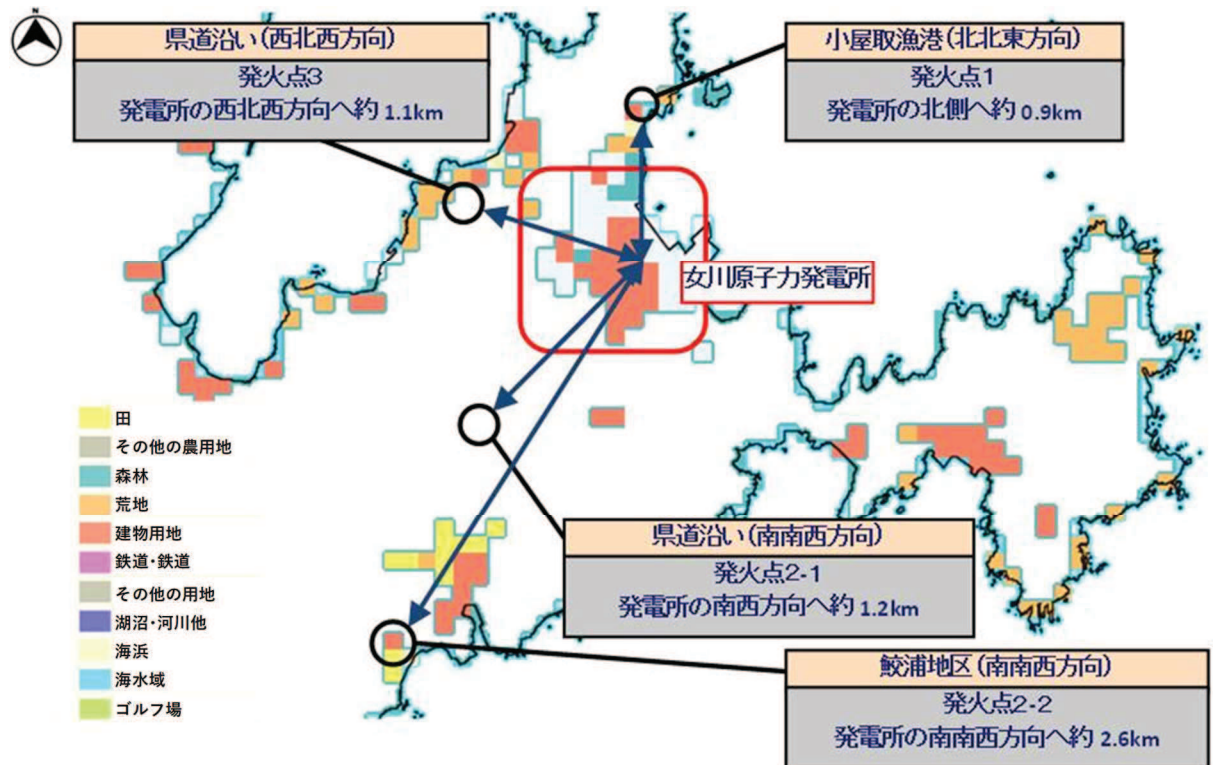


図 2.1.1-1 発火点の設定位置

表 2.1.1-1 FARSITE 出力データ及び出力データを基に算出したデータ

項目	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
火炎継続時間 [h]	0.79	0.08	0.24	0.14
最大火炎輻射強度 [kW/m ²]	477	408	413	421
火炎長 [m]	0.43	1.31	0.86	1.15
燃焼半径 [m]	0.144	0.437	0.287	0.384
円筒火炎 モデル数 F (10m メッシュ)	34.9	11.5	17.5	13.1
円筒火炎 モデル数 F	8024	2634	4012	3001
火炎到達幅 [m]	2300	2300	2300	2300
形態係数* [-]	0.002	0.006	0.004	0.005
輻射強度* [kW/m ²]	0.03	0.07	0.05	0.06

注記*：評価対象との離隔距離により異なる。(代表として 2 号機原子炉建屋を記載)

(2) 熱影響が最も厳しくなる最大火炎輻射発散度の特定

添付書類「VI-1-1-2-5-5 外部火災防護における評価方針」に示す評価式を用いて評価対象施設について熱影響評価をした結果を表 2.1.1-2 に示す。評価結果のとおり、発火点 1 及び発火点 2-1 において熱影響が最も厳しくなることを確認した。

以上より、熱影響評価では、建屋及び復水貯蔵タンクに対しては発火点 1 の火炎輻射発散度 477kW/m²を、排気筒に対しては発火点 2-1 の火炎輻射発散度 367kW/m²を、その他の対象に対しては発火点 2-1 の火炎輻射強度 408kW/m²を用いて評価を行う。

表 2.1.1-2 発火点毎の熱影響評価結果

対象施設	発火点	火炎放射 発散度 (kW/m ²)	危険放射 強度 (kW/m ²)	評価温度* (°C)	許容 温度 (°C)	危険距離* (m)
原子炉建屋	1	477	3.88	53	<200	16
	2-1	408	12.17	53		14
	2-2	413	7.04	53		15
	3	421	9.39	53		16
制御建屋	1	477	3.88	54	<200	16
	2-1	408	12.17	53		14
	2-2	413	7.04	54		15
	3	421	9.39	54		16
タービン建屋	1	477	3.88	55	<200	16
	2-1	408	12.17	54		14
	2-2	413	7.04	55		15
	3	421	9.39	55		16
復水貯蔵タンク	1	477	8.55	51	<66	9
	2-1	408	184	51		4
	2-2	413	45.6	51		6
	3	421	90.9	51		5
排気筒	1	430	9.35	51	<325	8
	2-1	367	9.35	51		16
	2-2	372	9.35	51		11
	3	379	9.35	51		15
原子炉補機冷却海水 ポンプ	1	477	3.31	上 27.1 下 18.8	上部軸受 <40	17.2
	2-1	408	3.31	上 27.2 下 18.9		30.6
	2-2	413	3.31	上 27.1 下 18.8	下部軸受 <55	24.3
	3	421	3.31	上 27.2 下 18.9		29.0
高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	1	477	6.54	上 32.1 下 41.1	上部軸受 <55	10.0
	2-1	408	6.54	上 32.1 下 41.1		20.6
	2-2	413	6.54	上 32.1 下 41.1	下部軸受 <55	15.8
	3	421	6.54	上 32.1 下 41.1		19.4

注記*：太字は最高値

2.1.2 評価内容について

(1) 危険距離評価用データの選定

発火点から発電所に延焼するまでの間に、防火帯外縁付近より高い反応強度がある可能性があるため、原子炉施設に影響を与える影響範囲を踏まえ、防火帯外縁から100mの範囲を抽出対象とし防火帯外縁以外に存在する最大の反応強度を抽出することで保守的な評価を実施している。

火災の円筒評価の概要は以下のとおり。(図2.1.2-1)

森林火災の解析は、使用したFARSITE解析コードのうち、分割が最も小さい10mメッシュを用いた解析である。火炎円筒モデルは、反応強度最大のメッシュにおける火炎高さの1/3から燃焼半径が決まり、10mメッシュの中には火炎円筒モデルが約 F 個存在する。

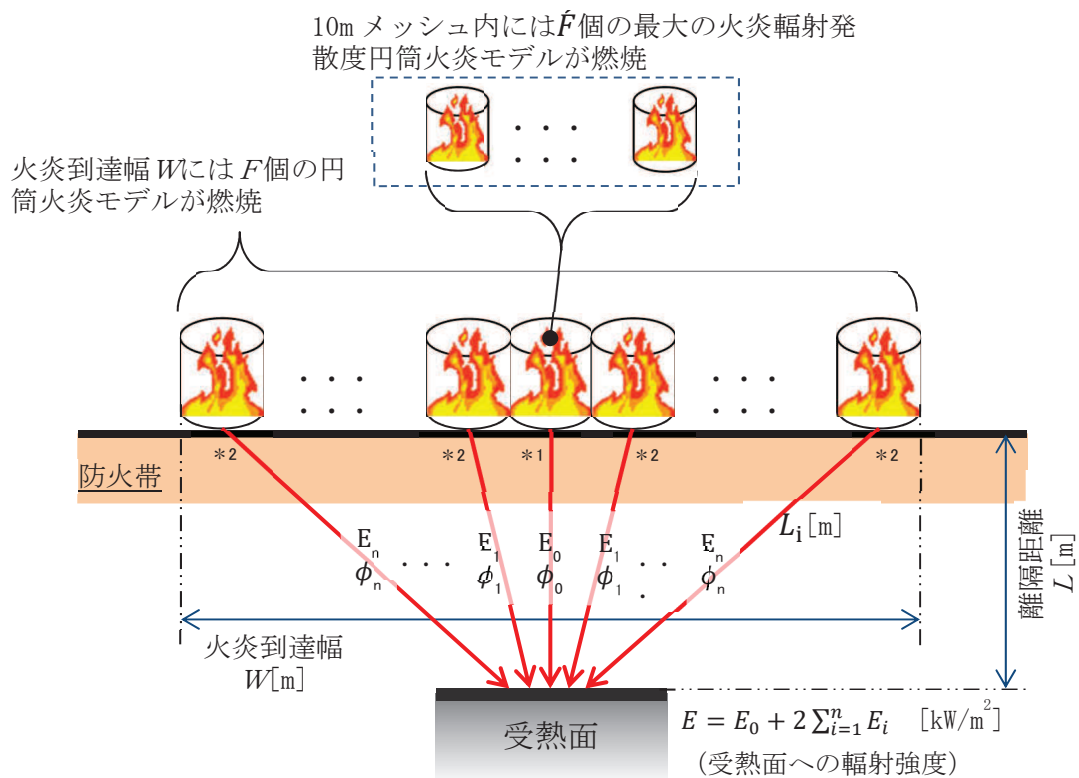
この約 F 個の火炎円筒モデルは、10mメッシュごと燃焼完了後に隣のメッシュへ移動する解析であり、森林火災のあるメッシュが燃焼し、隣接メッシュに移動した後は、燃焼していた元のメッシュの可燃物を燃焼しつくしていることから、消炎するものとする。また、メッシュの燃焼途中での移動は考慮しない。

最初に防火帯の下縁に到達したメッシュの輻射は、約 F 個分が同時に放射する。燃焼完了後メッシュが両隣へ移動し、それぞれ約 F 個分が2箇所から同時に放射される。このメッシュ移動が継続され移動ごとに外部火災の影響を考慮する施設までの距離も変化する。この移動が継続した長さを火炎到達幅とする。

火炎到達幅は、FARSITE解析結果において敷地境界で燃焼しているメッシュの総数の合計長さとする。

燃焼継続時間は、FARSITE解析燃焼到達時間の差*としている。

注記*：10mメッシュへの火災到達時刻から隣のメッシュに燃焼が到達する時刻までの時間



注記 *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を 2 箇所から放射

- 受熱面への輻射強度 E は、受熱面に対して中心の火炎からの輻射強度 E_0 と中心以外の火炎からの輻射強度 E_i を積算したものである。なお、中心以外の円筒火炎モデルは左右対称であることから、片側を 2 倍して算出している。
- 形状係数 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。

図 2.1.2-1 森林火災における火炎の円筒モデル評価の概要

2.2 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災について

(1) 外部火災の影響を考慮する施設の許容温度について

a. 危険距離評価に用いるコンクリート許容温度(200°C)について

図 2.2-1 及び図 2.2-2 に示すとおりコンクリートの圧縮強度は常温～100°Cで一旦低下し、100～200°Cで再び上昇し、200°Cで常温と同程度の強度まで回復する。その後は温度上昇に伴い、圧縮強度は低下していくことから、コンクリート表面温度 200°Cを許容温度と定めた。なお、図 2.2.1-1 の結果は試供体温度を内表面均一としており、コンクリート壁の表面温度を 200°Cに設定することは保守的な評価となる。

また、常温～100°Cの間の残存圧縮強度は、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た。

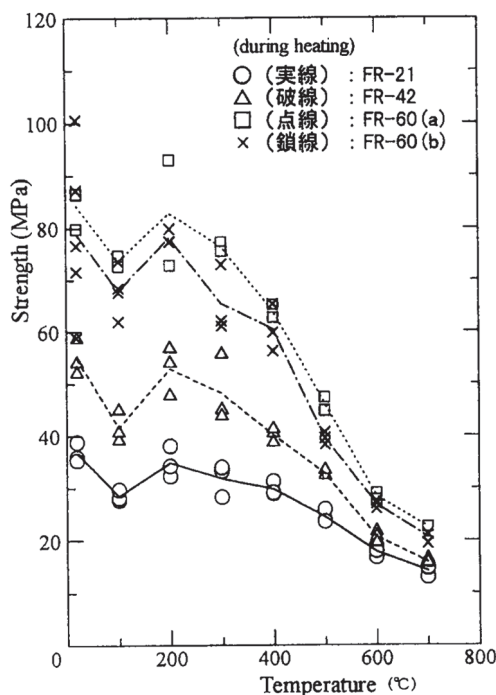


図 2.2-1 圧縮強度と加熱温度の関係*1

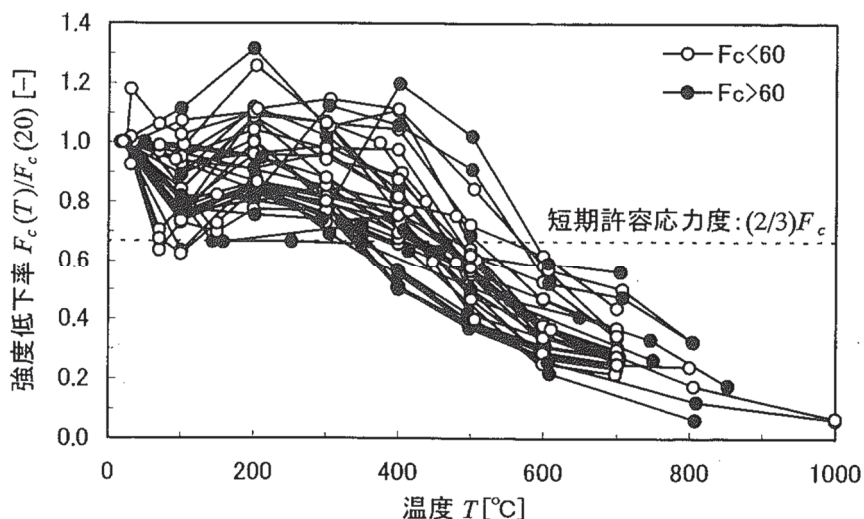


図 2.2-2 コンクリートの高温時圧縮強度（常温強度に対する比）*2

注記*1：「高温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的研究」（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）

b. 危険距離評価に用いる鋼材許容温度(325℃)について

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℃としていること、また、文献*1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 ($\kappa(T)=1$) *2としている（図2.2-3）。

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℃を許容限界温度とし、評価を実施する。

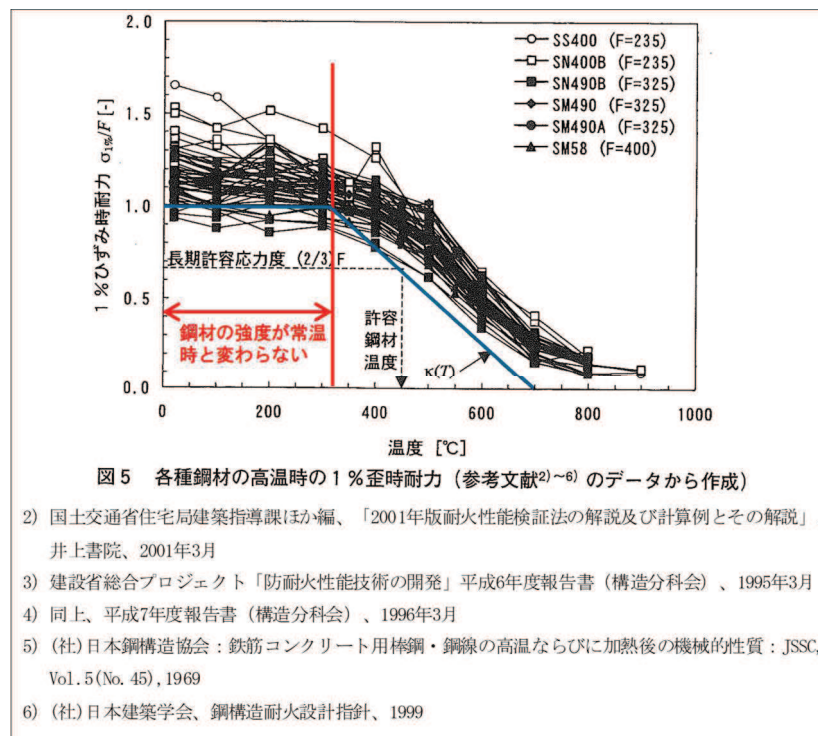


図 2.2-3 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率*1（一部加筆）

注記*1：「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）

*2：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。

c. 危険距離評価に用いる復水貯蔵タンク水源の許容温度(66℃)について

復水貯蔵タンクは、原子炉停止後の除熱機能又は炉心冷却機能のうち、高圧炉心スプレィ系及び原子炉隔離時冷却系の水源としての機能を要求されるため、水源としての機能を確保するため、水源の系統最高使用温度である66℃を許容限界温度として設定する。

d. 危険距離評価に用いる冷却空気温度について

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの冷却空気の許容温度は、上部及び下部軸受のそれぞれについて、周囲空気温度の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 下部軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	40* ¹	55* ²
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	55* ²	55* ²

注記*1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 40°C を冷却空気の許容温度に設定

*2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°C から冷却空気の初期温度 40°C を差し引いた 55°C を冷却空気の許容温度に設定

2.3 航空機墜落による火災について

(1) 評価対象航空機の選定について

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。

表 2.3-1 落下事故のカテゴリ

1) 計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	— *1
	航空路を巡航中	①大型民間航空機
2) 有視界飛行方式民間航空機		②小型民間航空機
	③訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	③-1 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*2
③-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機*2		
3) 自衛隊機又は米軍機	④基地－訓練空域間往復時*3	

注記*1：女川原子力発電所は、仙台空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外。

*2：女川原子力発電所の上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域がないため、訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

*3：女川原子力発電所の近傍に、基地－訓練空域間の移動経路が存在することから評価対象とする。

(2) 評価条件について

- ・航空機は、女川原子力発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち、燃料積載量が最大の機種とする。(表 2.3-2)
- ・航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- ・航空機の墜落は発電所敷地内であって墜落確率*が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち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。
- ・火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

注記*：航空機墜落確率は、「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)に基づき算定している。

なお、参考として最新のデータである「航空機落下事故に関するデータ(平成 11～30 年)(令和 3 年 2 月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ)」に基づき航空機墜落確率を算定した場合の影響を別紙 1 で確認する。

表 2.3-2 航空機墜落による火災影響評価の評価対象航空機

分類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	小型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
			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	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	KC-767	F-15	F-2
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	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		

注記*：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（平成 25 年現在）。

(3) 評価手法の概要

本評価は、女川原子力発電所に対する航空機墜落による火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

表 2.3-3 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[-]	航空機燃料タンクの投影面積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]	発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が 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，天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界位置になる値

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。

輻射熱に対する建物の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその建物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。

(4) 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、女川原子力発電所にお

ける航空機墜落確率評価の対象航空機を、表 2.3-1 に示すカテゴリごとに墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積を算出し、その結果から発電用原子炉施設からの離隔距離を導出する。

(5) 標的面積の算出

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成 21・06・25 原院第 1 号）の航空機落下確率評価式に基づき、表 2.3-1 に示すカテゴリごとに、墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する面積を算出する。

a. 大型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

- P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 [回/年]
- 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 : 発電用原子炉施設の標的面積 [km^2]
- W : 航空路幅 [km]
- $f_c = G_c / H_c$: 単位飛行時間当たりの巡航中の落下事故確率 [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]

表 2.3-4 墜落確率の算出結果（計器飛行方式民間航空機）

	女川原子力発電所 2 号機
対象航空路*1	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)
N_c *2	182.5
A *3	0.0156
W *4	27
f_c *5	$0.5 / 9,439,243,077 = 5.30 \times 10^{-11}$
P_c	5.59×10^{-12}

注記*1：女川原子力発電所周辺の航空路図（AIP エンルートチャート）による。

*2：国土交通省航空局への問い合わせ結果を 365 倍した値。

*3：原子炉建屋，制御建屋等の水平面積を合計した値。

*4：「航空路等設定基準」による。

*5：事故件数は，平成 3 年～平成 22 年の間で 0 件であるため保守的に 0.5 件と仮定した。

延べ飛行距離は平成 4 年～平成 23 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値を合計した値。

(b) 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 : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]

S_V : 全国土面積 (=37.2 万[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 [-]

表 2.3-5 墜落確率の算出結果 (有視界飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所 2 号機
f_V^{*1}	大型固定翼機 0.5/20=0.025 大型回転翼機 2/20=0.1
S_V^{*1}	372,000
α^{*2}	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1
A^{*3}	0.0156
P_V	5.24×10^{-9}

注記*1: 「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構) による。事故件数が 0 件の場合, 保守的に 0.5 件と仮定した。

*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, 制御建屋等の水平面積を合計した値。

大型民間航空機の墜落確率 ($P_c + P_V$) 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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_c + P_V} \cdot A$$

上記より, 標的面積 A' は $A' = 0.297393$ [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 : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]

S_V : 全国土面積 (=37.2 万[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 [-]

表 2.3-6 墜落確率の算出結果（小型民間航空機）

	女川原子力発電所 2 号機
f_v^{*1}	小型固定翼機 35/20=1.75 小型回転翼機 30/20=1.5
S_v^{*1}	372,000
α^{*2}	小型固定翼機, 小型回転翼機 : 0.1
A^{*3}	0.0156
P_v	1.36×10^{-8}

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

*2：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」による。

*3：原子炉建屋，制御建屋等の水平面積を合計した値。

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 $A' = 0.114706$ [km²] となる。

c. 自衛隊機又は米軍機の標的面積の算出

- (a) 訓練空域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）

$$P_{S0} = \left(\frac{f_{S0}}{S_0} \right) \cdot A$$

P_{S0} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{S0} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]

S_0 : 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]

表 2.3-7 墜落確率の算出結果

(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)

	女川原子力発電所 2 号機
f_{S0}^{*1}	自衛隊機 0.5/20=0.025 米軍機 1/20=0.05
S_0^{*1}	自衛隊機 295,000 米軍機 372,000
A^{*2}	0.0156
P_{S0}	3.42×10^{-9}

注記*1：「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」（平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。事故件数が 0 件の場合，保守的に 0.5 件と仮定した。

*2：原子炉建屋，制御建屋等の水平面積を合計した値。

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_{S0}) 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。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_{S0}} \cdot A$$

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.456140$ [km²] となる。

- (b) 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）

$$P_{S0} = \left(\frac{f_{S0}}{S_0} \right) \cdot A$$

P_{S0} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{S0} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]

S_0 : 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]

表 2.3-8 墜落確率の算出結果

(その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機)

		女川原子力発電所 2 号機			
		大型固定翼機	小型固定翼機	大型回転翼機	小型回転翼機
f_{so}^{*1}	自衛隊機	1/20=0.05	1/20=0.05	1/20=0.05	5/20=0.25
	米軍機	2/20=0.1	1/20=0.05	1/20=0.05	0.5/20=0.025
S_o^{*1}	自衛隊機	295,000			
	米軍機	372,000			
A^{*2}		0.0156			
P_{so}	自衛隊機	2.64×10^{-9}	2.64×10^{-9}	2.64×10^{-9}	1.32×10^{-8}
	米軍機	4.19×10^{-9}	2.10×10^{-9}	2.10×10^{-9}	1.05×10^{-9}
	計	3.06×10^{-8}			

注記*1: 「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)による。事故件数が 0 件の場合, 保守的に 0.5 件と仮定した。

*2: 原子炉建屋, 制御建屋等の水平面積を合計した値。

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 $A' = 0.050980$ [km²] となる。

(c) 基地—訓練空域間往復時の落下事故

$$P_{tr} = f_{tr} \cdot N_{tr} \cdot A \cdot F(x)_{tr}$$

P_{tr} : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{tr} : 当該移動経路を巡航中の落下事故率 [回/ (飛行回・km)]

N_{tr} : 当該移動経路の年間飛行回数 [飛行回/年]

A : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

$F(x)_{tr}$: 事故点分布関数 [km⁻¹] = $\frac{0.625}{2} \exp(-0.625|x|)$

x : 移動経路から発電所までの距離 [km]

表 2.3-9 墜落確率の算出結果（基地－訓練空域間往復時）

		女川原子力発電所 2 号機
対象飛行場		航空自衛隊松島飛行場
f_{tr}^{*1}		1.57×10^{-7}
N_{tr}^{*2}	N_{tr} 北側	8400
	N_{tr} 南側	8400
A^{*3}		0.0156
$F(x)_{tr}^{*4}$	$F(x)_{tr}$ 北側	$F(9.5)_{tr}=8.25 \times 10^{-4}$
	$F(x)_{tr}$ 南側	$F(10.5)_{tr}=4.41 \times 10^{-4}$
P_{tr}	P_{tr} 北側	1.70×10^{-8}
	P_{tr} 南側	9.07×10^{-9}
	合計	2.61×10^{-8}

注記*1：事故件数は，平成 12 年 3 月 11 日及び同年 7 月 4 日の 2 件 3 機。

移動経路は，防衛庁（当時）発表（平成 12 年 8 月 10 日）の再発防止対策に基づき，発電所に対して北側移動経路（157.0km）及び南側移動経路（70.2km）とする。飛行頻度は，北側と南側で同頻度とする。

訓練頻度は，航空自衛隊松島飛行場によれば，700 機/月。

*2：*1 より 700×2 （往復） $\times 12$ （ヶ月） $\div 2$ （経路）=8400

*3：原子炉建屋，制御建屋等の水平面積を合計した値。

*4：北側及び南側移動経路から発電所までの最短距離とする。

基地－訓練空域間往復時の墜落確率（ P_{tr} ）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。

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

上記より，標的面積 A' は $A' = 0.059770$ [km²] となる。

(6) 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 を算出した結果を表 2.3-10 に示す。

表 2.3-10 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	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
			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	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	KC-767	F-15	F-2
離隔距離 L [m]	85	44	111	21	25

(7) 評価対象航空機の選定

航空機墜落による火災の評価対象とする航空機の選定結果を表 2.3-11 に示す。選定に当たっては、落下事故のカテゴリで対象とする航空機の燃料積載量及び(5)にて求めた離隔距離を考慮している。

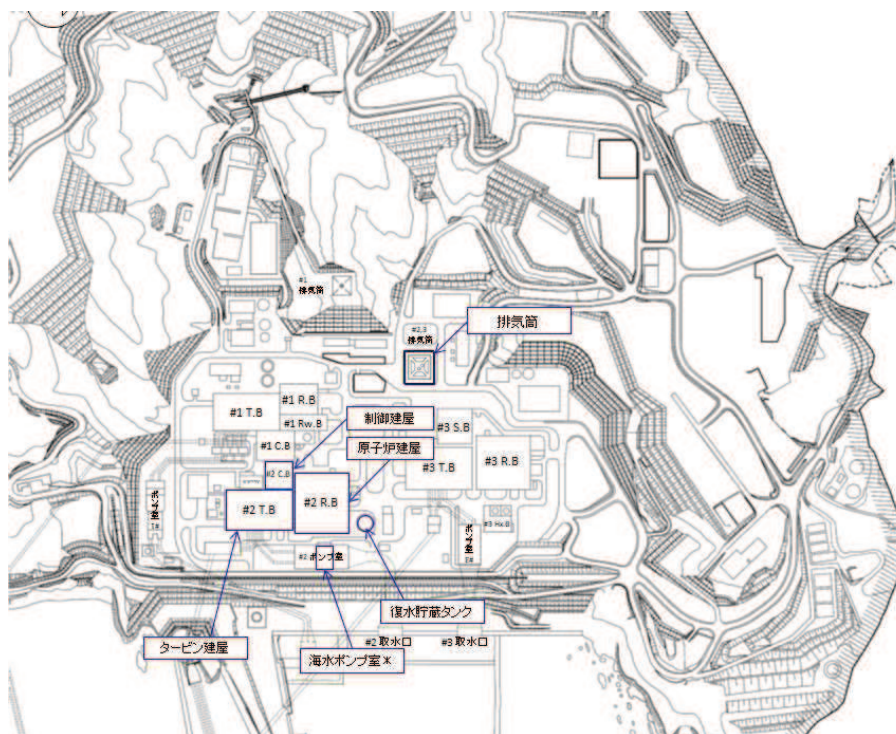
各航空機の離隔距離を図 2.3-1 に示す。

表 2.3-11 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		対象航空機	燃料積載量 [m ³]	離隔距離 L[m]	選定 結果
計器飛行方式及び 有視界飛行方式	大型民間航空機	B747-400	216.84	85	○
有視界飛行方式	小型民間航空機	Do228-200	2.39	44	×*
自衛隊機 又は米軍機	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	KC-767	145.04	111	○
	その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87	21	○
	基地 - 訓練 空域間往復時	F-2	10.43	25	○

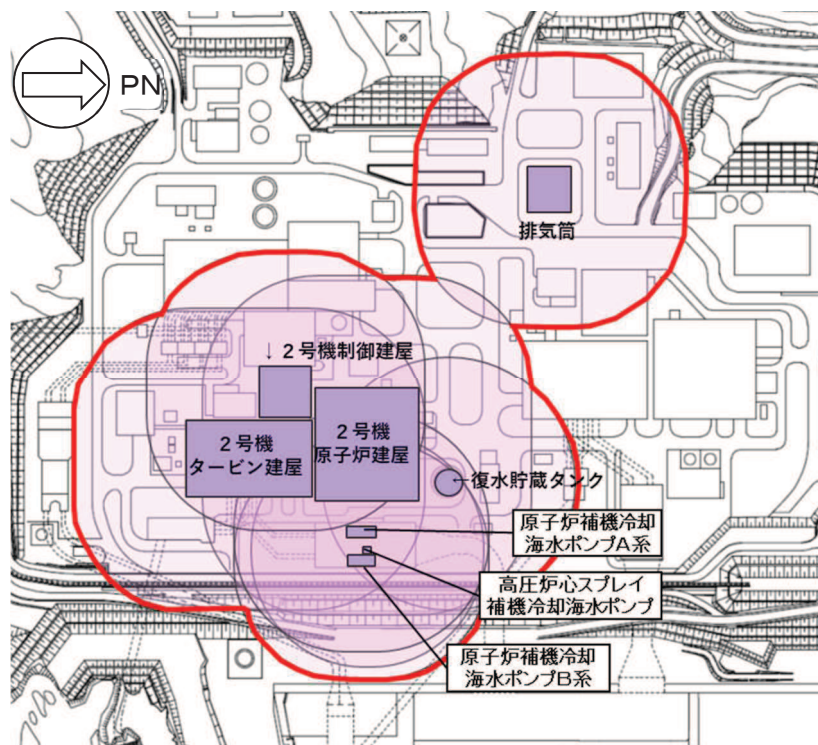
○：評価対象 ×：評価対象外

注記*：燃料積載量が多く、離隔距離が短い「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」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

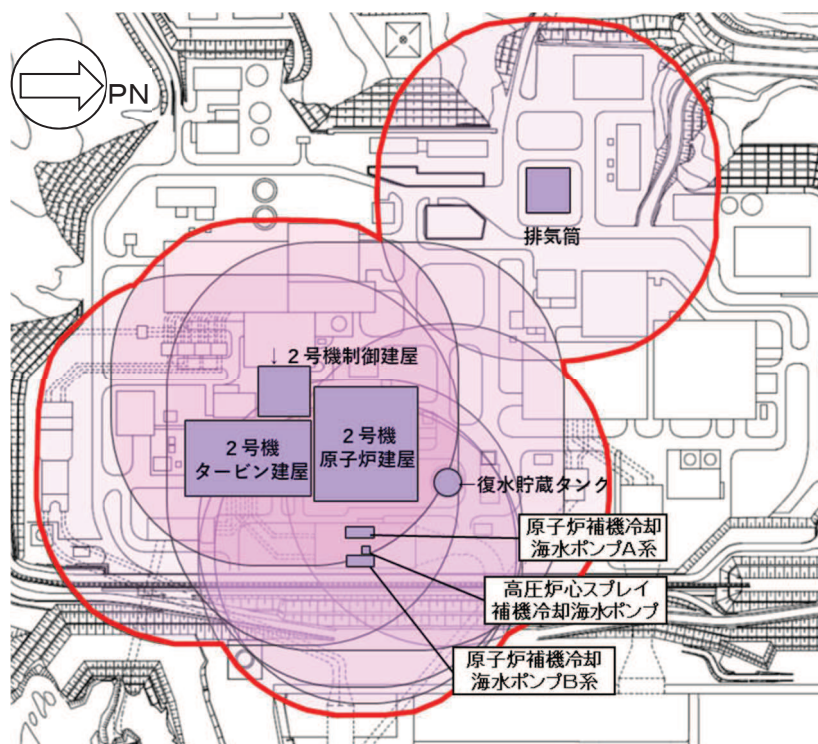


(敷地全体図)

図 2.3-1 各航空機の離隔距離(1/3)

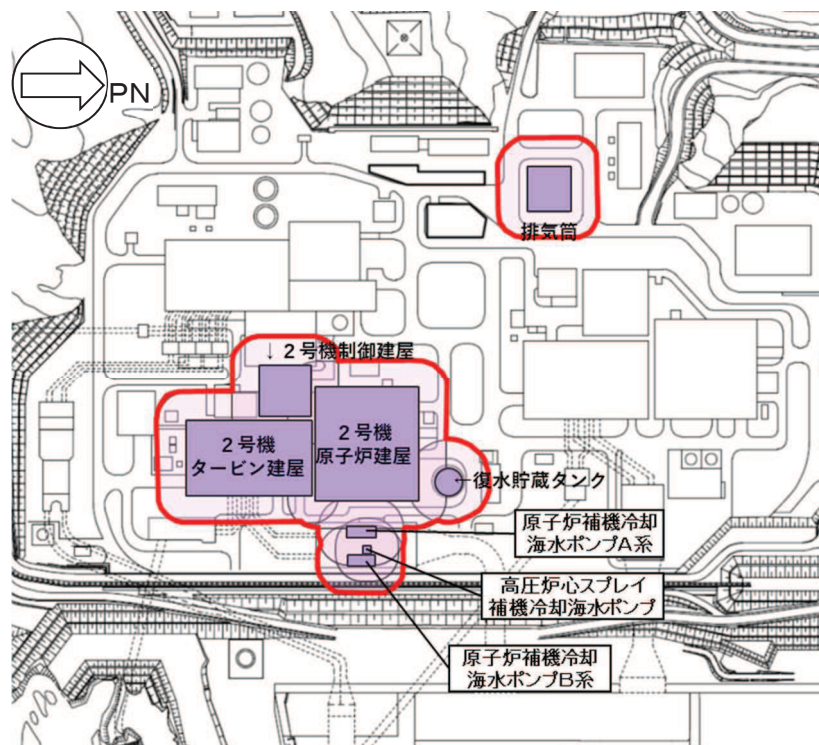


(大型民間航空機)

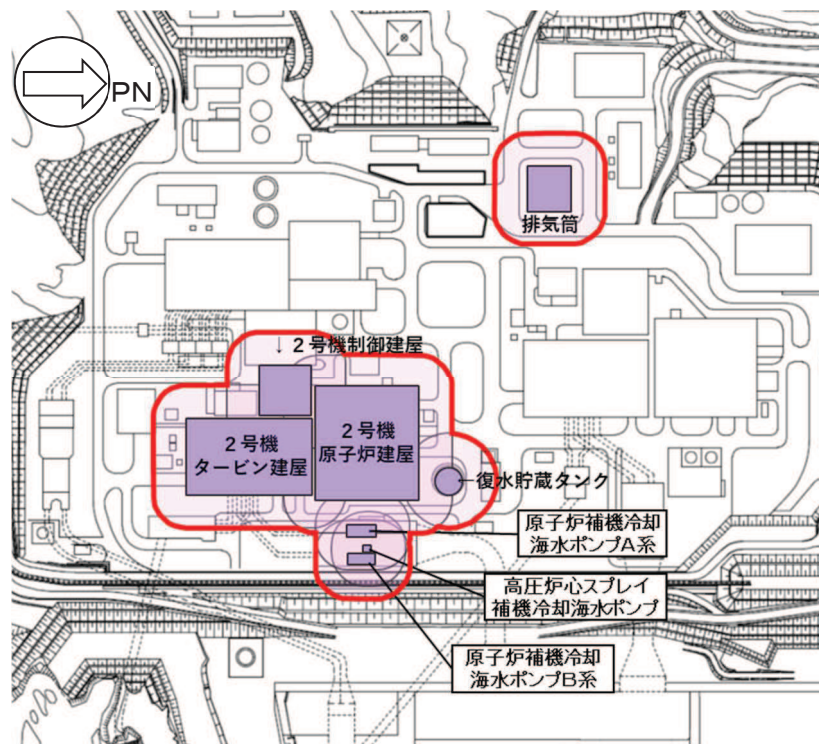


(自衛隊機又は米軍機 (空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機))

図 2.3-1 各航空機の離隔距離(2/3)



(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))



(自衛隊機又は米軍機 (基地—訓練空域間往復時))

図 2.3-1 各航空機の離隔距離(3/3)

(8) 必要データ

評価に必要なデータを表 2.3-12 に示す。

表 2.3-12 航空機火災影響評価に必要なデータ

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	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	KC-767	F-15	F-2
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84	145.04	14.87	10.43
輻射発散度[W/m ²]	50×10 ³	58×10 ³	58×10 ³	58×10 ³
燃焼速度[m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃料タンク面積[m ²]	700	405.2	44.6	35
発電用原子炉施設までの離隔距離[m]	85	111	21	25

(9) 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災は, その状況によって, 様々な燃焼範囲の形態が想定されるが, 円筒火炎モデルとして評価を実施するため, 燃焼半径は対象とした航空機燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出する。

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

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

表 2.3-13 燃焼半径の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	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	KC-767	F-15	F-2
燃料タンク投影面積[m ²]	700	405.2	44.6	35
燃焼半径[m]	14.928	11.357	3.768	3.338

(10) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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

ϕ : 形態計数[-] H: 火炎長[m] R: 火炎半径[m] L: 危険距離[m]

表 2.3-14 形態係数の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型 固定翼機, 小型 固定翼機及び 回転翼機	
燃焼半径 [m]	14.928	11.357	3.768	3.338
離隔距離 [m]	85	111	21	25
形態係数 [-]	5.579×10^{-2}	2.032×10^{-2}	5.793×10^{-2}	3.384×10^{-2}

(11) 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。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E: 輻射強度 [W/m²], Rf: 輻射発散度 [W/m²], ϕ : 形態係数 [-]

表 2.3-15 輻射強度の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型 固定翼機, 小型 固定翼機及び 回転翼機	
輻射発散度 [W/m ²]	50×10^3	58×10^3	58×10^3	58×10^3
形態係数 [-]	5.579×10^{-2}	2.032×10^{-2}	5.793×10^{-2}	3.384×10^{-2}
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963

(12) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間 [s], V : 燃料量 [m³], R : 燃焼半径 [m]

v : 燃焼速度 (=M/ρ) [m/s], M : 質量低下速度 [kg/m²/s], ρ : 燃料密度 [kg/m³]

表 2.3-16 燃焼継続時間の算出結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	
燃料量[m ³]	216.84	145.04	14.87	10.43
燃焼面積[m ²]	700	405.2	44.6	35
質量低下速度 [kg/m ² /s]	0.039	0.051	0.051	0.051
燃料密度 [kg/m ³]	840	760	760	760
燃焼速度[m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼継続時間[s]	6,677	5,335	4,969	4,442

(13) 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°C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、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度の評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

T_0 : 初期温度 50[°C], E : 輻射強度 [W/m²]

x : コンクリート深さ [m], t : 火災継続時間 [s]

C_p : コンクリート比熱 (963[J/kg/K]), ρ : コンクリート密度 (2400[kg/m³])

α : コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ (7.53×10^{-7} [m²/s])

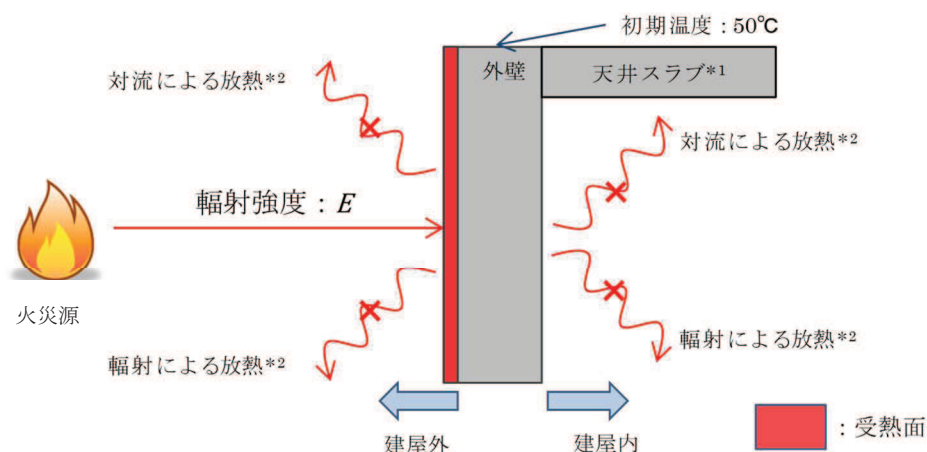
λ : コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m/K])

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

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

建屋外壁の評価概念図を図 2.3-2 に、天井スラブの評価概念図を図 2.3-3 に示す。



注記*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、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 *2：コンクリート表面温度評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした

図 2.3-2 建屋外壁の評価概念図

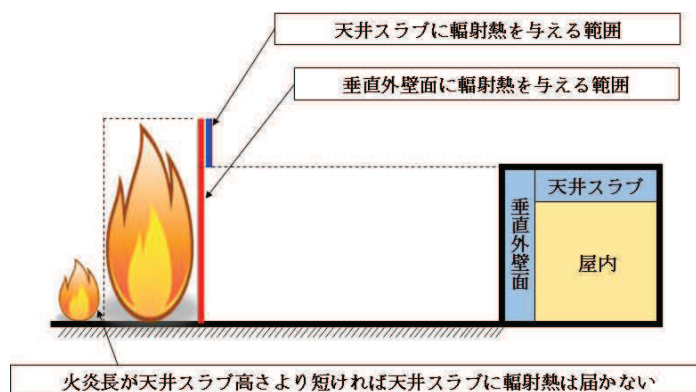


図 2.3-3 天井スラブへの輻射熱の影響

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。評価結果を表 2.3-17 に、温度変化を図 2.3-4 から図 2.3-7 に示す。

表 2.3-17 外壁面の温度評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		基地 - 訓練空域間往復時
	大型民間航空機	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	その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963
燃焼継続時間 [s]	6,677	5,335	4,969	4,442
表面温度 [°C]	約 179	約 99	約 184	約 124

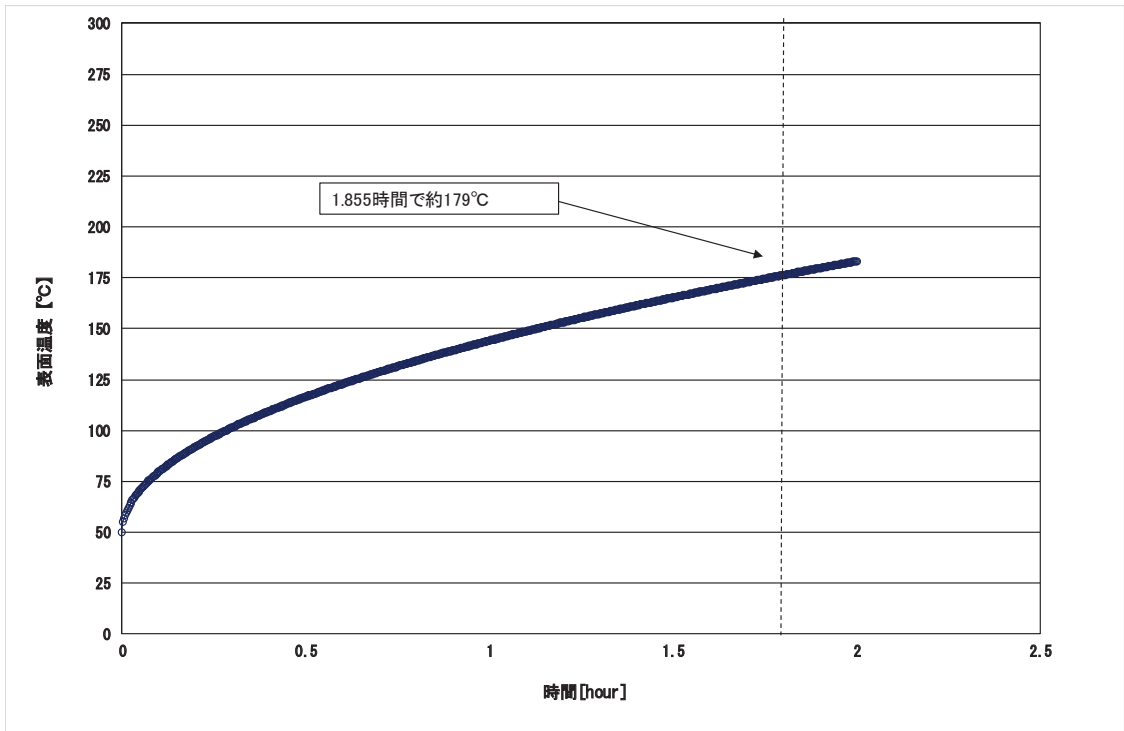


図 2.3-4 外壁温度推移（大型民間航空機）

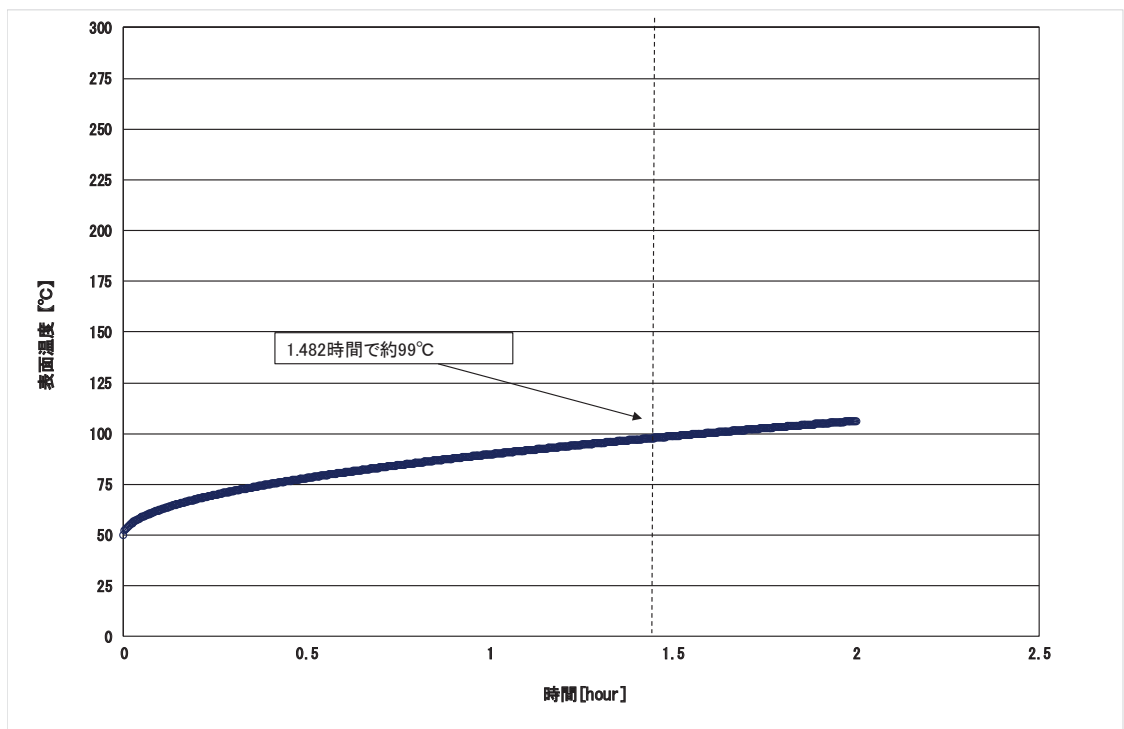


図 2.3-5 外壁温度推移（自衛隊機又は米軍機（空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機））

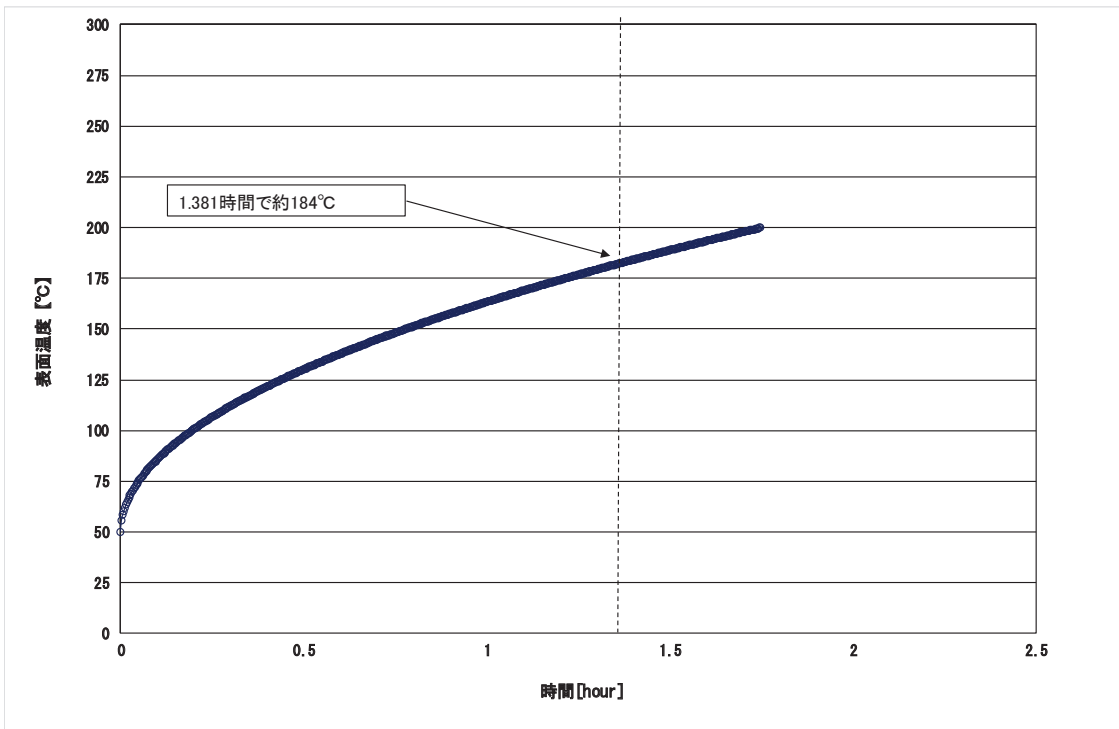


図 2.3-6 外壁温度推移（自衛隊機又は米軍機（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機））

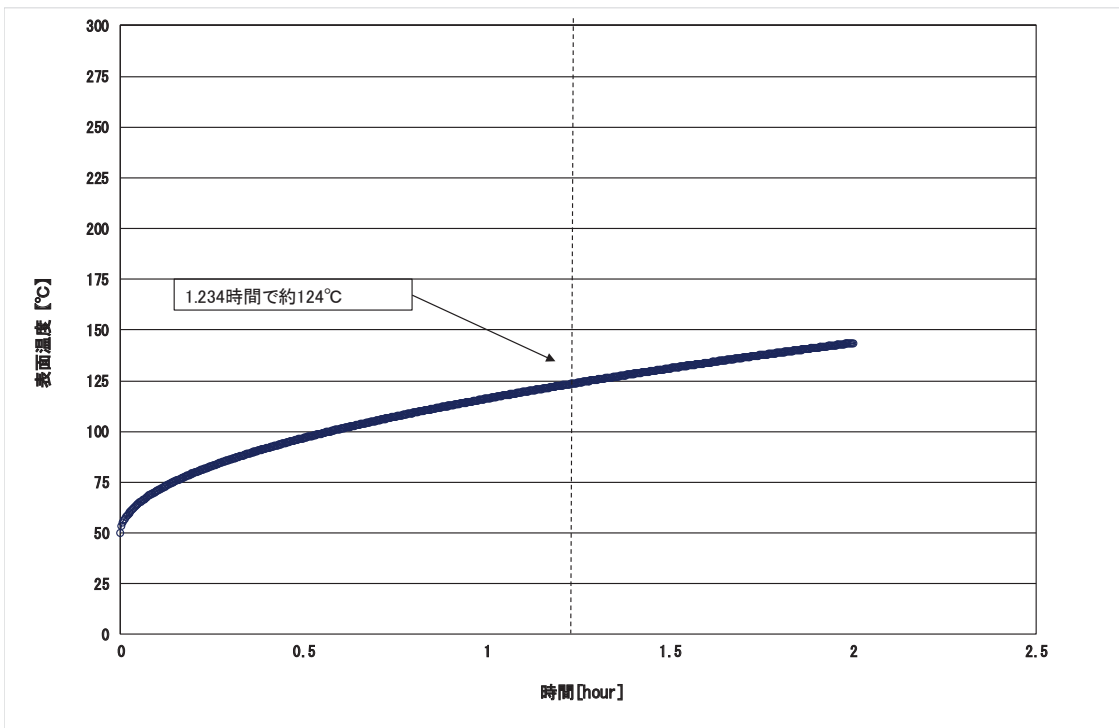


図 2.3-7 外壁温度推移（自衛隊機又は米軍機（基地—訓練空域間往復時））

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、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。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を表 2.3-18 に、排気筒外形図を図 2.3-8 に示す。

表 2.3-18 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 3.7m	
	地表高さ 160m	
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数	1	



図 2.3-8 評価対象施設の外形図

(c) 判断の考え方

i. 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。

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。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

T_0 : 初期温度 50[°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 排気筒表面の吸収率 (0.9) *¹

h : 排気筒表面熱伝達率 17[W/m²/K] *²

注記*1: 伝熱工学資料

*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[W/m²/K]を用いる。)

(出典: 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)

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 SMA400AP 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図 2.3-9 に示す。

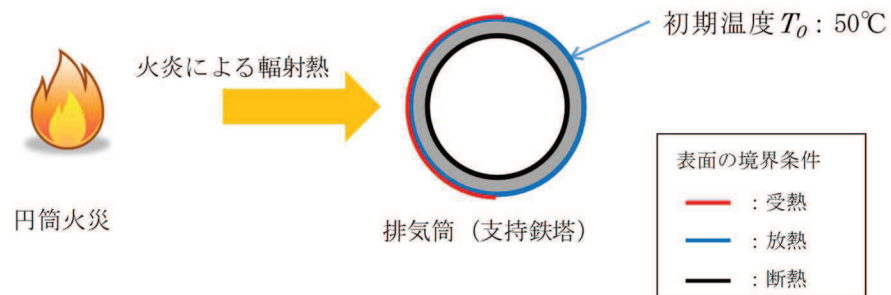


図 2.3-9 排気筒の評価概念図

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。評価結果を表 2.3-19 に示す。

表 2.3-19 排気筒の温度評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機	
輻射強度 [W/m ²]	2,790	1,179	3,360	1,963
排気筒温度 [°C]	約 124	約 82	約 139	約 102

c. 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、カテゴリごとに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

復水貯蔵タンクの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃以下とする。

ii. 評価方法

一定の輻射強度で復水貯蔵タンクの火災源側の側面と天井面へ入熱するものとして、表面での輻射によるタンク内部に貯蔵された水及びタンク側面、天井面の温度上昇を表した下記の比熱と熱容量の関係式により最大温度を求め、許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

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

D_o : タンク外径 (20.012[m]) , h : タンク円筒高さ (11.8[m])

D_i : タンク内径 (20.0[m]) , e : タンク最小板厚 (0.006[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9[kg/m³]) *¹ , C_{pw} : 水の比熱 (4186[J/kg/K]) *¹

V : 水の体積 (690[m³]) , ρ_s : タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) *²

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) *²

注記*1 : 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66℃となるように線形補間した値

*2 : 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価に当たっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク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。

復水貯蔵タンクの評価概念図を図 2.3-10 に示す。

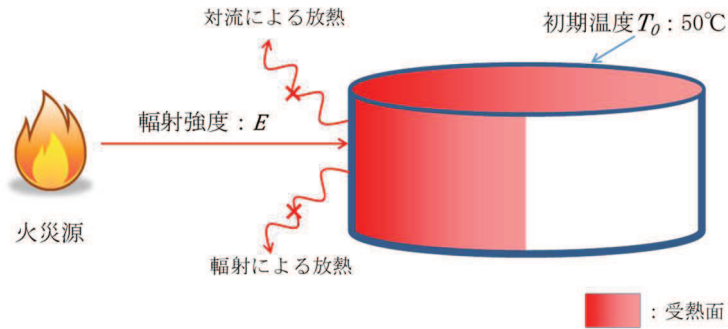


図 2.3-10 復水貯蔵タンクの評価概念図

復水貯蔵タンクの温度上昇を評価した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を表2.3-20に示す。

表 2.3-20 復水貯蔵タンクの温度評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	
復水貯蔵タンク温度[°C]	約 55	約 52	約 54	約 53

d. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。

評価においては、火災源位置からポンプに対し直接輻射の影響を受ける火炎の高さから一定の輻射強度でポンプが直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ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た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。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を図 2.3-11 に示す。

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上昇した場合でも、許容温度以下となることを確認する。

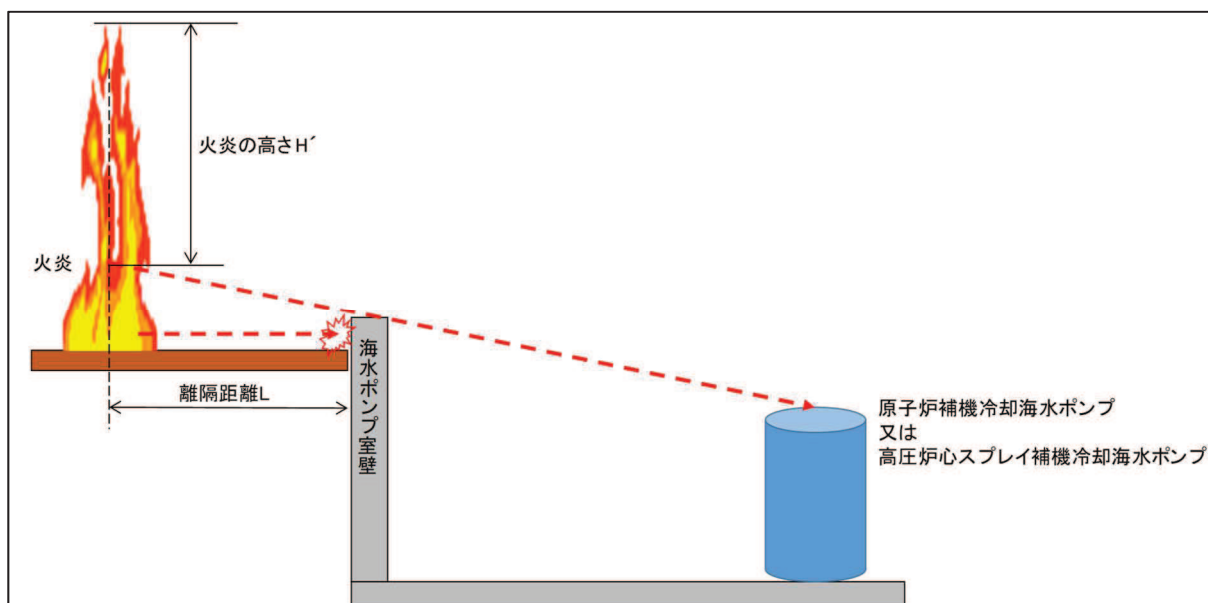


図 2.3-11 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(b) 評価対象施設の仕様

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を図 2.3-12、外形図を図 2.3-13 に示す。仕様を表 2.3-21 に示す。

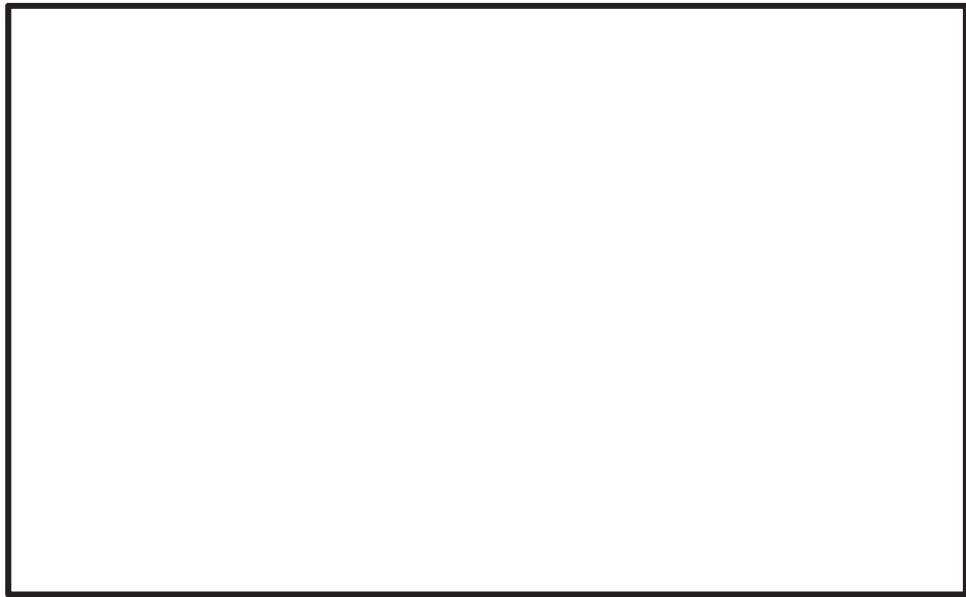


図 2.3-12 海水ポンプの配置図

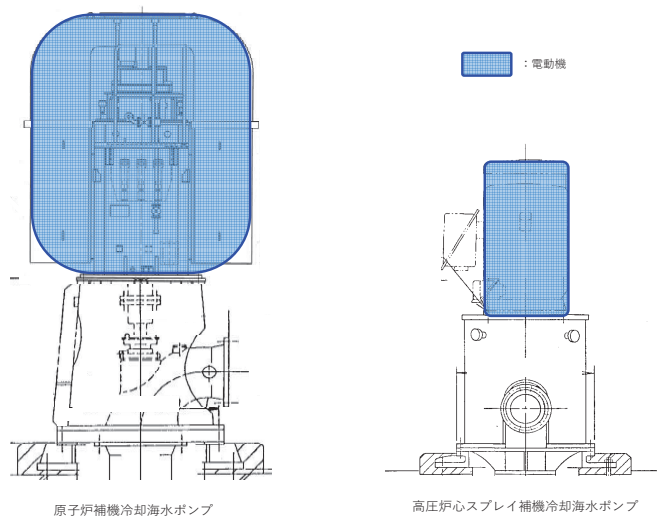


図 2.3-13 海水ポンプの外形図

表 2.3-21 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機冷却 海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

(c) 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及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ電動機の許容温度は、運転時の上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を表 2.3-22 に示す。

表 2.3-22 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却海水ポンプ	40* ¹	55* ²
高圧炉心スプレィ 補機冷却海水ポンプ	55* ²	55* ²

注記*1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°Cから冷却空気の初期温度 40°Cを差し引いた 40°Cを冷却空気の許容温度に設定

*2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°Cから冷却空気の初期温度 40°Cを差し引いた 55°Cを冷却空気の許容温度に設定

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ポンプ(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。なお、離隔距離は各ポンプ位置よりも火災源に近い海水ポンプ室壁までの距離とする。次式から輻射強度を算出する。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E：輻射強度 [W/m²]，Rf：輻射発散度 [W/m²]，φ：形態係数 [-]

形態係数 φ は以下の式で求める。

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

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

φ：形態係数 [-]，H'：炎の高さ [m]，R：燃焼半径 [m]，L：離隔距離 [m]

表 2.3-23 輻射強度の算出結果 (F-15)

対象機器	離隔距離 L[m]	燃焼半径 R[m]	炎の高さ H' [m]	形態係数 ϕ [-]	輻射発散度 Rf [W/m ²]	輻射強度 E [W/m ²]
原子炉補機冷却海水ポンプ	21	3.768	7.441	4.274×10^{-2}	58,000	2478.49
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ			3.428	2.136×10^{-2}	58,000	1238.75

(ii) 温度評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却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、表 2.3-22 に示す許容温度を下回るかを比熱と熱容量の関係式より求まる以下の式で評価を実施した。評価に用いた諸元を表 2.3-24 に、評価概念図を図 2.3-14 示す。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

T : 評価温度 [°C], T₀ : 通常運転時の上昇温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²], A_T : 受熱面積 [m²]

G : 重量流量[kg/s], C_p : 空気比熱 [J/kg/K]

表 2.3-24 評価に用いた諸元

	原子炉補機冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
T ₀ : 運転時の上昇温度 (上部軸受) [°C]	27	32
T ₀ : 運転時の上昇温度 (下部軸受) [°C]	18.7	41
E : 輻射強度 [W/m ²]*	2,478.49	1,238.75
A _T : 受熱面積 [m ²]	13.19	1.19
G : 重量流量 [kg/s]	3.32	0.55
C _p : 空気比熱 [J/kg/K]	1,008	1,008

注記* : F-15 の値

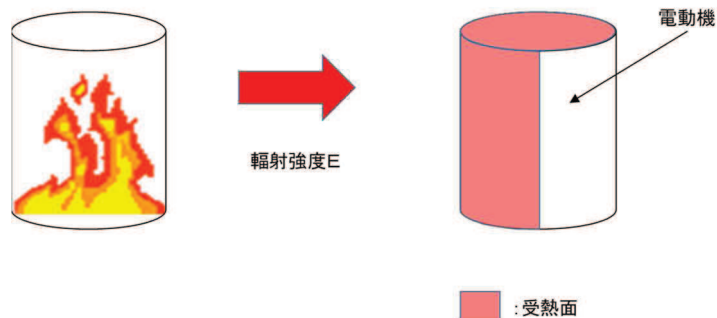


図 2.3-14 評価概念図

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。評価結果を表 2.3-25 及び表 2.3-26 に示す。

表 2.3-25 原子炉補機冷却海水ポンプの評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	
評価温度 (上部軸受) [°C]	約 35	約 29	約 37	約 32
評価温度 (下部軸受) [°C]	約 27	約 21	約 29	約 24

表 2.3-26 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価結果

データ種類	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
	大型民間航空機	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
		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	その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	
評価温度 (上部軸受) [°C]	約 35	約 32	約 35	約 33
評価温度 (下部軸受) [°C]	約 44	約 41	約 44	約 42

(14) 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

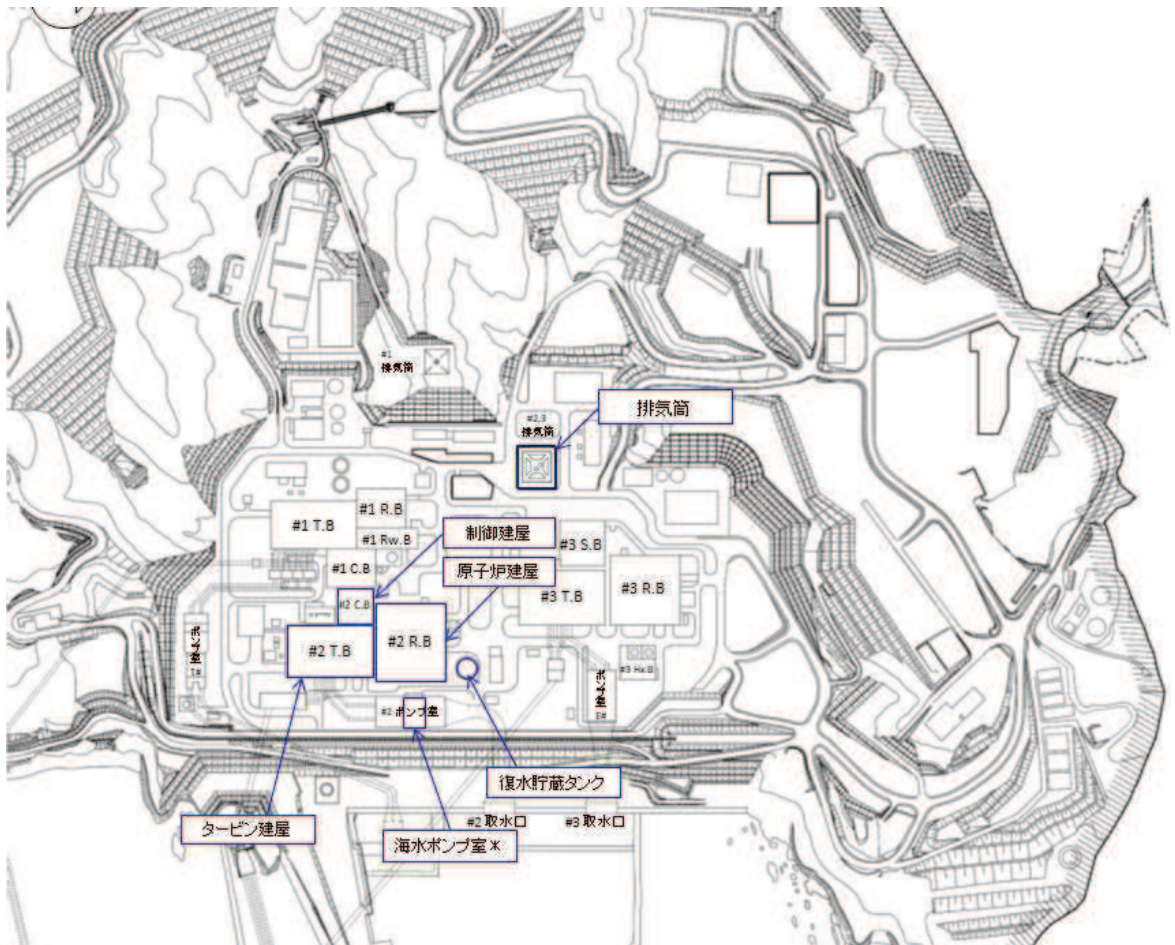
航空機墜落による火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物タンクを検討する。航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機墜落位置とその周辺の危険物施設の位置を図 2.3-15 に示す。発電用原子炉施設周辺には多量の油を保有する軽油タンクがあることから、航空機墜落による火災との重畳火災を考慮する危険物タンクは、保有量の大きい軽油タンクとする。

危険物タンクのうち 2 号機建屋に熱影響を与える軽油タンクは燃料保有量が多い 1 号機軽油貯蔵タンク及び 3 号機軽油タンクを想定する。なお、2 号機軽油タンクは地下構造であるため、航空機墜落の輻射熱によって直接加熱されることはないことから、重畳を想定する危険物タンクから除外する。

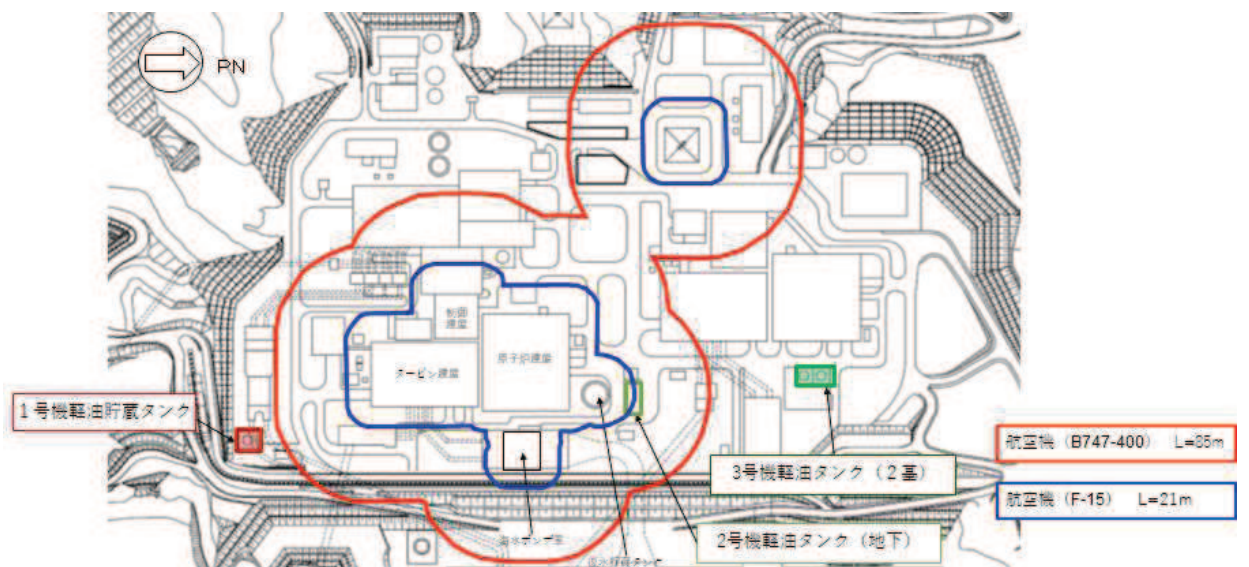
なお、対象航空機は熱影響の大きい F-15, B747 とし、航空機墜落位置は航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。

表 2.3-27 重畳評価で想定するケース

想定ケース	評価対象施設
F-15 及び 3 号機軽油タンク	原子炉建屋
	排気筒
F-15 及び 1 号機軽油貯蔵タンク	制御建屋
	タービン建屋
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ
B747 及び 3 号機軽油タンク	復水貯蔵タンク



(敷地全体図)



(拡大図)

図 2.3-15 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設の位置

b. 評価に必要なデータ

表 2.3-28 重畳評価に必要なデータ

項目	1号機軽油 貯蔵タンク	3号機 軽油タンク	自衛隊機又は 米軍機(F-15)	民間航空機 (B747)
燃料の種類	軽油	軽油	JP-4	JetA-1
燃料量[m ³]	620	660	14.87	216.84
輻射発散度[W/m ²]	42×10 ³	42×10 ³	58×10 ³	50×10 ³
燃焼速度[W/m ²]	5.11×10 ⁻⁵	5.11×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	4.64×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	340	380.95	44.6	700
燃焼半径[m]	10.404	11.012	3.768	14.928
燃焼継続時間[s]	35,686	33,905	4,969	6,677

次の式から形態係数を算出する。

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

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

ϕ : 形態係数 [-], H' : 炎の高さ [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。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E : 輻射強度 [W/m²], Rf : 輻射発散度 [W/m²], ϕ : 形態係数 [-]

表 2.3-29 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 L[m]	形態係数 ϕ [-]	輻射強度 E[W/m ²]
3号機 軽油タンク	原子炉建屋	191	6.513×10 ⁻³	274
	復水貯蔵タンク	174	7.850×10 ⁻³	330
	排気筒	207	5.543×10 ⁻³	233
1号機軽油 貯蔵タンク	制御建屋	179	6.620×10 ⁻³	279
	タービン建屋	105	1.909×10 ⁻²	802
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び 高圧炉心スプレイ補機冷却海水 ポンプ	199	5.353×10 ⁻³	225
F-15	各建屋, 排気筒, 原子炉補機冷却海 水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	21	5.793×10 ⁻²	3,360
B747	復水貯蔵タンク	85	5.579×10 ⁻²	2,790

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軽油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をおいて軽油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（図 2.3-16）。

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軽油タンク火災が発生

ケース 3：航空機の燃焼終了直後に軽油タンク火災が発生

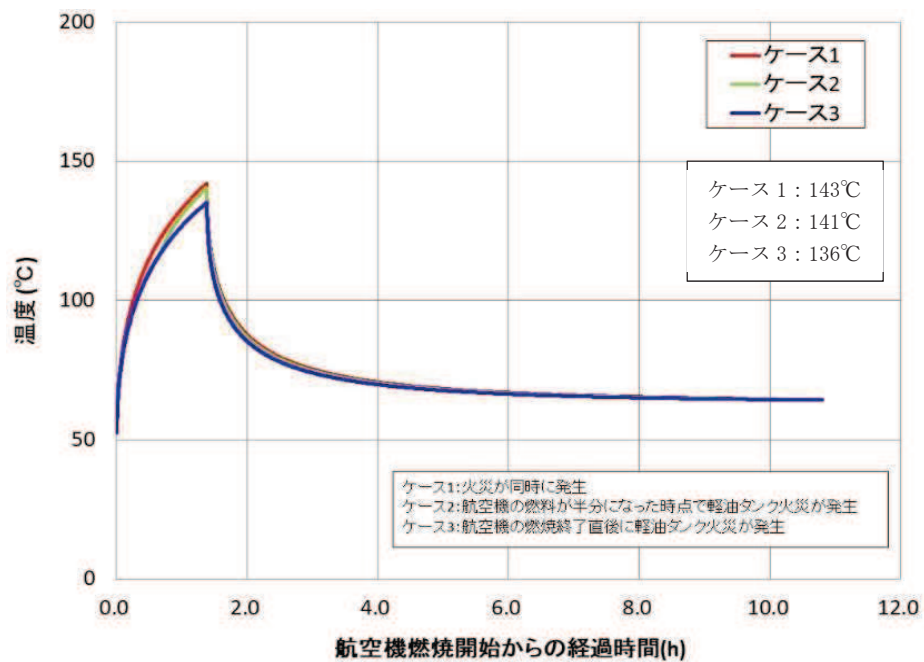


図 2.3-16 重畳を考慮した場合の温度及び経過時間

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、建屋表面温度が許容温度である200°Cを超える場合には、周囲への放熱を考慮した式を算出する。

- ・ 建屋（原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋）に係る評価式

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

T：外壁温度[°C]，x：コンクリート深さ[m]，t：火災継続時間[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]）

- ・排気筒に係る評価式

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

T_0 : 初期温度 50[°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 排気筒表面の吸収率 (0.9) *¹

h : 排気筒表面熱伝達率 17[W/m²/K] *²

注記*1 : 伝熱工学資料

*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[W/m²/K]を用いる。)

- ・復水貯蔵タンクに係る評価式

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

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

D_o : タンク外径 (20.012[m]), h : タンク円筒高さ (11.8[m])

D_i : タンク内径 (20.0[m]), e : タンク最小板厚 (0.006[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9[kg/m³]) *¹, C_{pw} : 水の比熱 (4186[J/kg/K]) *¹

V : 水の体積 (690[m³]), ρ_s : タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) *²

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) *²

注記*1 : 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66°Cとなるように線形補間した値

*2 : 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

- ・原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプに係る評価式

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

T : 評価温度 [°C], T_0 : 通常運転時の上昇温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²], A_T : 受熱面積 [m²]

G : 重量流量[kg/s], C_p : 空気比熱 [J/kg/K]

この結果, 表 2.3-30 に示すとおり, どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

表 2.3-30 重畳評価結果

重畳評価の想定	評価対象施設	評価温度[°C]	許容温度[°C]
F15 及び 3 号機 軽油タンク	原子炉建屋	約 143	< 200
	排気筒	約 146	< 325
F15 及び 1 号機軽油 貯蔵タンク	制御建屋	約 143	< 200
	タービン建屋	約 156	< 200
	原子炉補機	約 38(上部軸受)	< 40(上部軸受)
	冷却海水ポンプ	約 30(下部軸受)	< 55(下部軸受)
	高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	約 36(上部軸受) 約 45(下部軸受)	< 55(上部軸受) < 55(下部軸受)
B747 及び 3 号機 軽油タンク	復水貯蔵タンク	約 58	< 66

(15) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から, 航空機墜落による火災が発生した場合を想定したとしても, 外壁面の温度, 評価対象施設の温度が許容限界温度を超えないことから, 発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。

3. 発電所敷地外の火災源

3.1 石油コンビナート施設等の火災・爆発について

宮城県内において、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域に指定されている塩釜地区及び仙台地区は、女川原子力発電所から約40kmの離隔距離があり、発電所の敷地外10km以内に石油コンビナート施設はないことを確認した。(図3.1-1)



図 3.1-1 石油コンビナート等特別防災区域と発電所の位置関係

3.2 危険物貯蔵施設の火災について

(1) 危険物貯蔵施設の選定について

女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設について、施設における最大貯蔵量と発電所に最も近い危険物貯蔵施設との離隔距離をそれぞれ抽出する。

危険物貯蔵施設については、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。発電所から 10km 圏内の危険物貯蔵施設等を表 3.2-2 に示す。

発電所から 10km 圏内(敷地内を除く)における危険物貯蔵施設の [] であり、発電所に最も近い危険物貯蔵施設との離隔距離は 2,500m である。

発電所に最も近い危険物貯蔵施設に 10km 圏内の [] が存在したと仮定し熱影響評価を実施したところ、危険距離は 99m であり、女川原子力発電所との離隔距離 2,500m 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女川原子力発電所への影響はない。

表 3.2-1 女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設

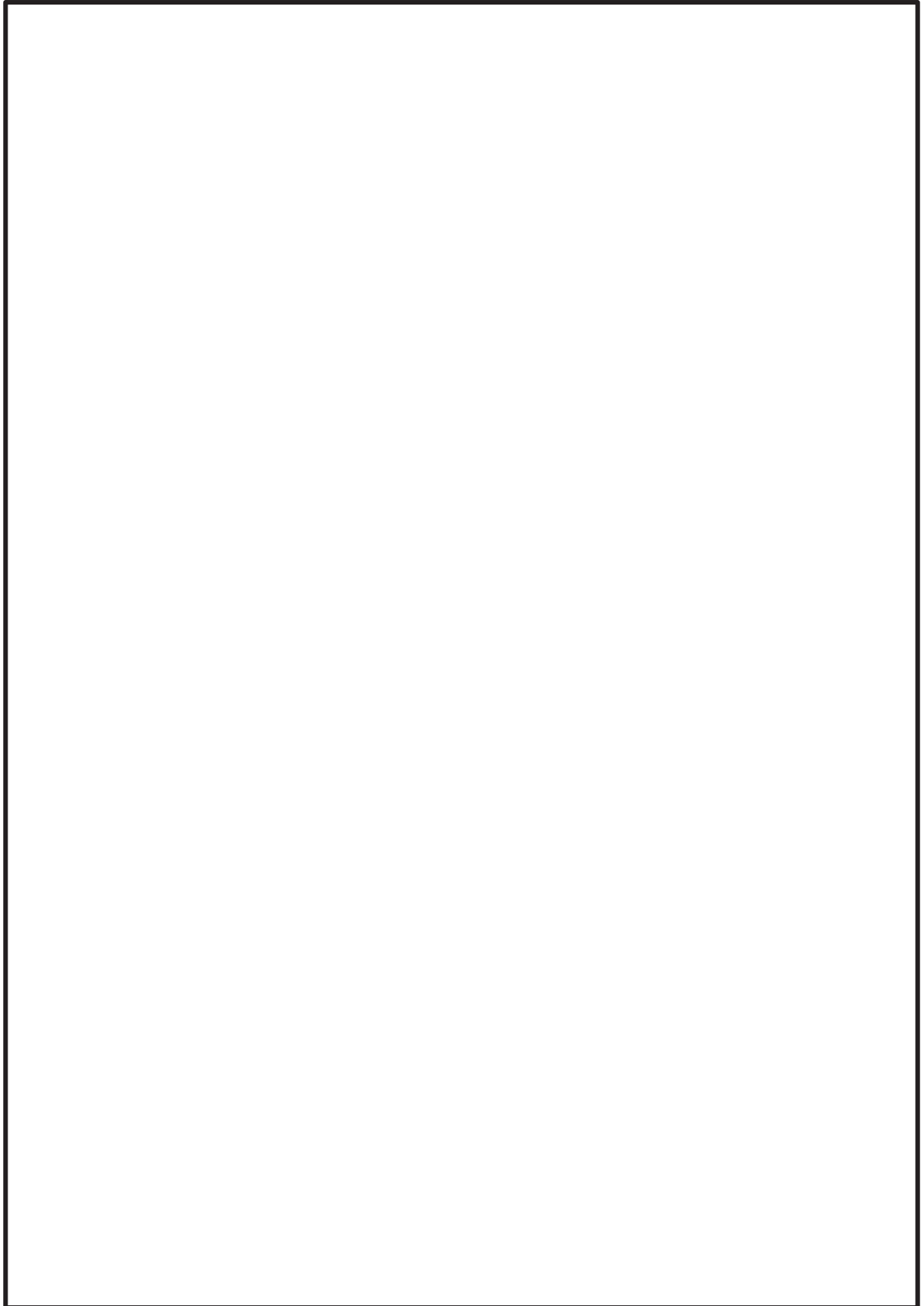
燃料の種類	貯蔵量[kl]
ガソリン	[]



図 3.2-1 発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3.2-2 女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設
(石巻地区広域行政事務組合消防本部より開示 (平成 30 年 5 月 8 日現在))



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 評価条件について

危険物貯蔵施設の火災の想定は以下の通りとした。

- a. 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、最大貯蔵量が女川原子力発電所に最も近い危険物貯蔵施設にあると仮定した場合は想定した。
- 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. 気象条件は無風状態とした。
- d. 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。
- e. 火災の形態は危険物貯蔵施設の全面火災とした。
- f. 火災を想定する、貯蔵量が最大の危険物貯蔵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、燃焼面積は当該施設(ガソリンスタンド)の敷地面積と等しいものとした。
- g. 最大貯蔵量を考慮する上では、油種をすべてガソリンとして計算する。

3.3 高圧ガス貯蔵施設の火災・爆発について

(1) 高圧ガス貯蔵施設（火災源）の選定について

女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する高圧ガス貯蔵施設について、施設における最大貯蔵量と発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設との離隔距離をそれぞれ抽出する。

高圧ガス貯蔵施設については、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。発電所から 10km 圏内の高圧ガス貯蔵施設等を表 3.3-2 に示す。

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 [] であり、発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設との離隔距離は 700m である。発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設に 10km 圏内の [] が存在したと仮定しても、発電所に到達する輻射熱は 1 号機軽油貯蔵タンク火災の輻射強度より十分小さいことから、1 号機軽油貯蔵タンクによる火災の評価結果に包絡される。

熱影響評価については、各評価対象施設の許容温度に対して評価温度が下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女川原子力発電所への影響はない。

表 3.3-1 敷地外高圧ガス貯蔵施設と 1 号機軽油貯蔵タンクの比較

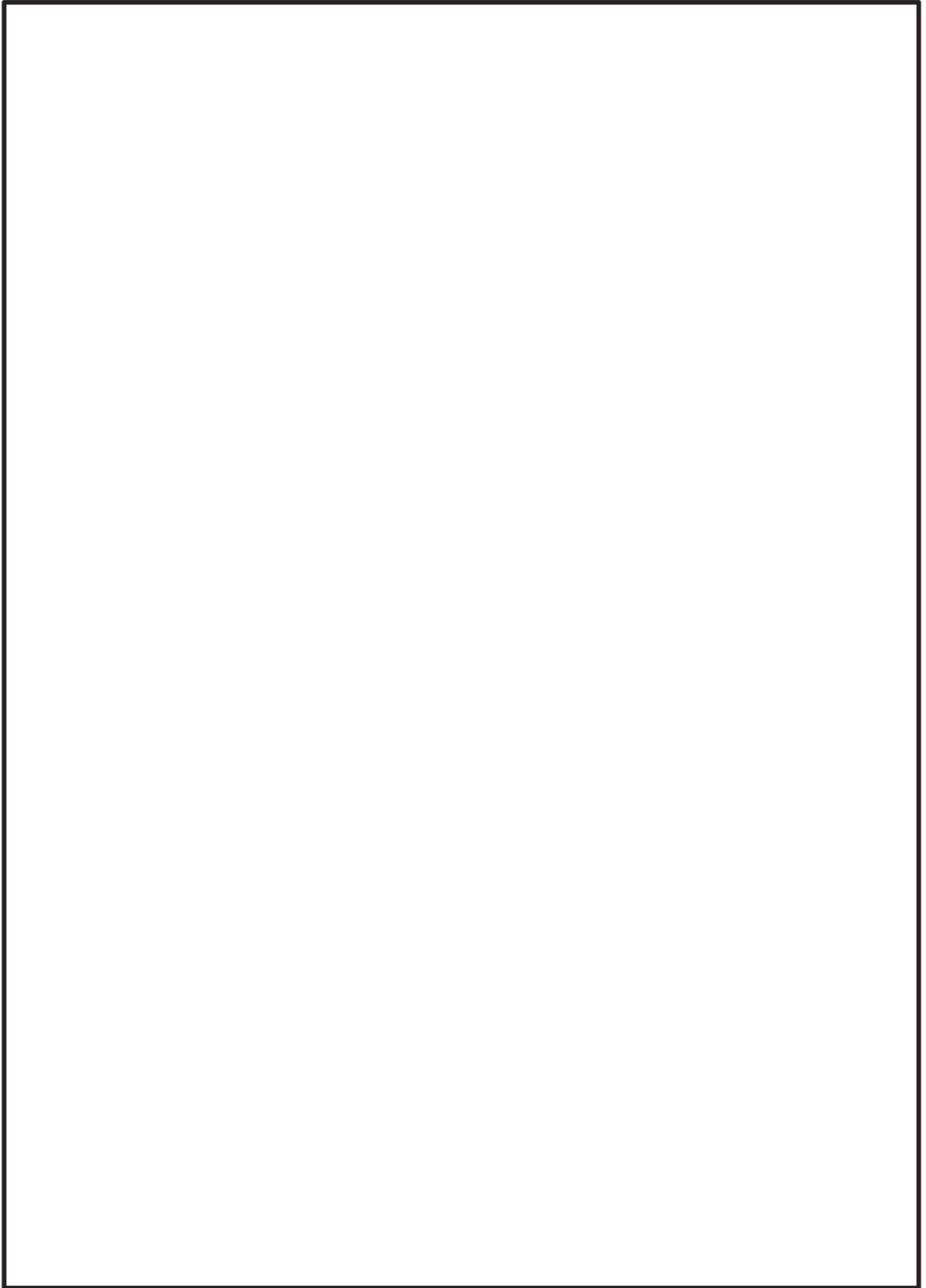
	敷地外高圧ガス貯蔵施設	1 号機軽油貯蔵タンク
最大貯蔵量		620k1
離隔距離[m]	約 700	約 179
貯蔵油種	プロパン	軽油
輻射強度[W/m ²]	31.6	278



図 3.3-1 発電所から 10km 圏内に位置する高圧ガス貯蔵施設

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3.3-2 女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する高圧ガス貯蔵施設
(石巻地区広域行政事務組合消防本部より開示 (平成 25 年 10 月 9 日現在))



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 高圧ガス貯蔵施設（爆発源）の選定について

女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する高圧ガス貯蔵施設について、施設における最大貯蔵量と発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設との離隔距離をそれぞれ抽出する。

抽出結果は「3.3(1) 高圧ガス貯蔵施設（火災源）の選定について」と同様である。

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 [] であり、発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設との離隔距離は 700m である。発電所に最も近い高圧ガス貯蔵施設に 10km 圏内の [] が存在し、高圧ガスの漏えい後、引火によりガス爆発が発生するものと仮定した場合の危険限界距離は 70m であり、女川原子力発電所との離隔距離約 700m 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爆発が発生した場合においても女川原子力発電所への影響はない。

(3) 飛来物（ガスボンベ破裂時における破片）の最大飛距離について

発電所敷地外 10km 以内のうち、10km 以内に存在する高圧ガス貯蔵施設において、容器破損時における破片の最大飛散距離を「石油コンビナートの防災アセスメント指針」*に基づき評価する。

なお、発電所から最も近い施設では、指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく、液化石油ガスが封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されている。

当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ、飛来物到達距離は [] であり、女川原子力発電所との離隔距離約 700m 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ける、飛来物到達による女川原子力発電所への影響はない。

注記*：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当たって、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（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）

以下に「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。

(6) 飛散物

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

$$\begin{aligned} L &= 90 M^{0.333} \text{ (容積 } 5\text{m}^3 \text{ 未満の容器)} \\ &= 465 M^{0.10} \text{ (容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器)} \end{aligned} \quad \text{(式 31)}$$

ただし、

L : 破片の最大飛散範囲(m)

M : 破裂時の貯蔵物質質量(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。

3.4 燃料輸送車両の爆発について

(1) 燃料輸送車両（爆発源）の選定について

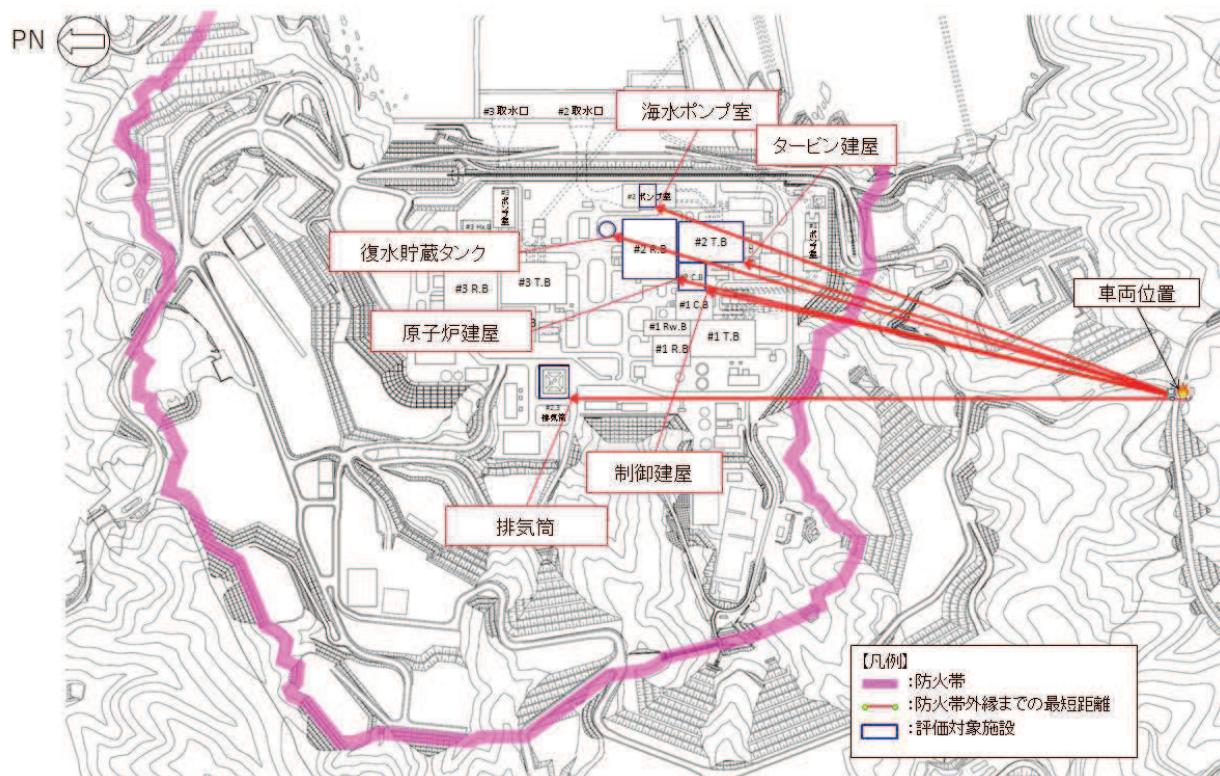
発電所敷地外 10km 以内の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）での高圧ガス漏えい、引火による燃料輸送車両の爆発を想定する。高圧ガスを輸送する車両は、発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の [] の液化石油ガス（プロパン）ボンベを積載しているものとして評価した。

影響評価を実施したところ、ガス爆発の爆風圧が人体に対して影響を与えない 0.01MPa となる距離である危険限界距離は 70m であり、女川原子力発電所との離隔距離 639m よりも小さいことを確認した。

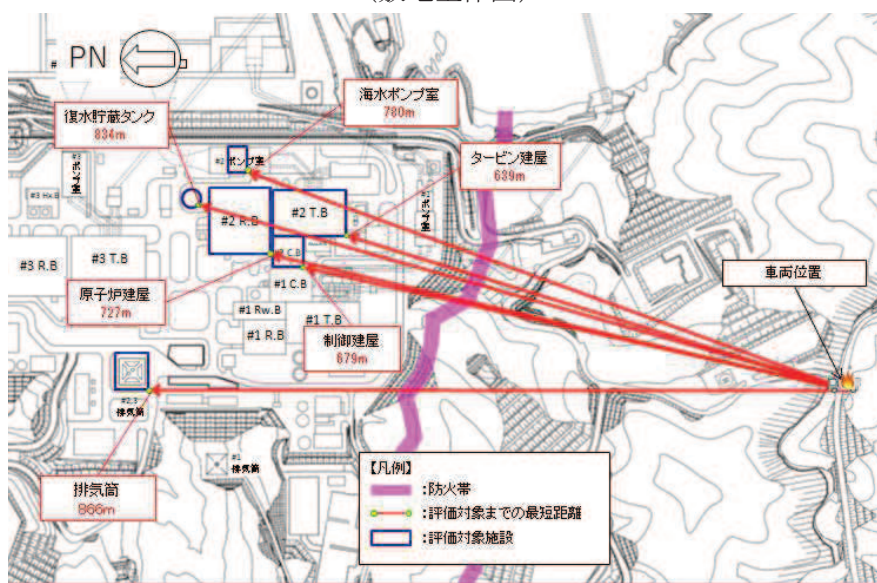
よって、発電所敷地外の燃料輸送車両が爆発した場合においても女川原子力発電所への影響はない。

表 3.4-1 危険限界距離評価結果

評価対象施設	危険限界距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	70	727
制御建屋		679
タービン建屋		639
原子炉補機冷却海水ポンプ		780
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ		780
排気筒		866
復水貯蔵タンク		834



(敷地全体図)



(拡大図)

図 3.4-1 評価対象施設と燃料輸送車両の位置関係

(2) 飛来物（ガスボンベ破裂時における破片）の最大飛距離について

発電所敷地外 10km 以内の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）での燃料輸送車両の爆発において、容器破損時における破片の最大飛散距離を「石油コンビナートの防災アセスメント指針」*に基づき評価する。

なお、発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設では、指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく、液化石油ガスが封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されていることから、燃料輸送車両には、このガスボンベが複数搭載されている想定とする。

当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ、飛来物到達距離は であり、女川原子力発電所との離隔距離 639m よりも小さいことを確認した。

よって、燃料輸送車両の爆発における、飛来物到達による女川原子力発電所への影響はない。

注記*：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当たって、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（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）

3.5 漂流船舶の火災について

(1) 漂流船舶（火災源）の選定について

発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災が女川原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても外部事象防護対象施設を内包する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。

火災源とする船舶は、敷地周辺において現実的に想定される船舶に比べ、火災影響が厳しくなる保守的な船舶の規模として、入港可能な最大の船舶である重油運搬船を選定する。

なお、1号機補助ボイラーは震災の影響により稼働を停止しており、現在は重油運搬船による重油の補給を行っていないが、保守的に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重油運搬船による火災を想定する。

また、重油運搬船の位置は、カーテンウォールに接触して停止すると考えられるが、津波によりカーテンウォール上部を通過して発電所へ近づき港湾道路まで乗り上げた場合において、火災が発生したものとして評価を実施する。

影響評価を実施したところ、火災源に対する危険距離（110m）が、女川原子力発電所との離隔距離（114m）よりも小さいことを確認した。

よって、発電所敷地外の漂流船舶において火災が爆発した場合でも女川原子力発電所への影響はない。

表 3.5-1 重油運搬船火災の評価結果

評価対象施設	危険距離[m]	離隔距離[m]
原子炉建屋	110	114
制御建屋	110	189
タービン建屋	110	137
原子炉補機冷却海水ポンプ	55	71
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	31	71
排気筒	20	340
復水貯蔵タンク	109	122

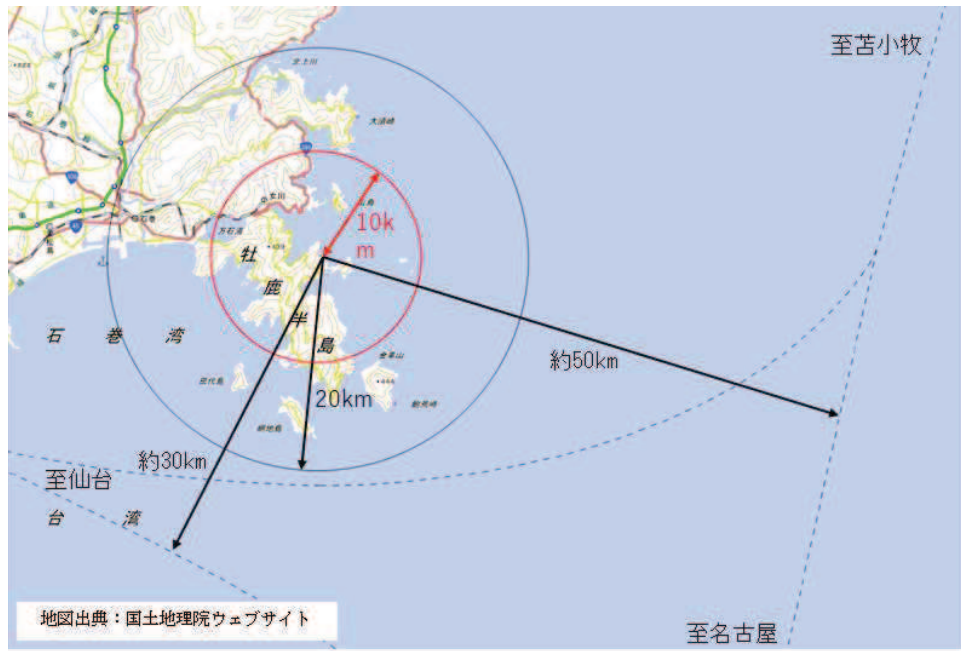
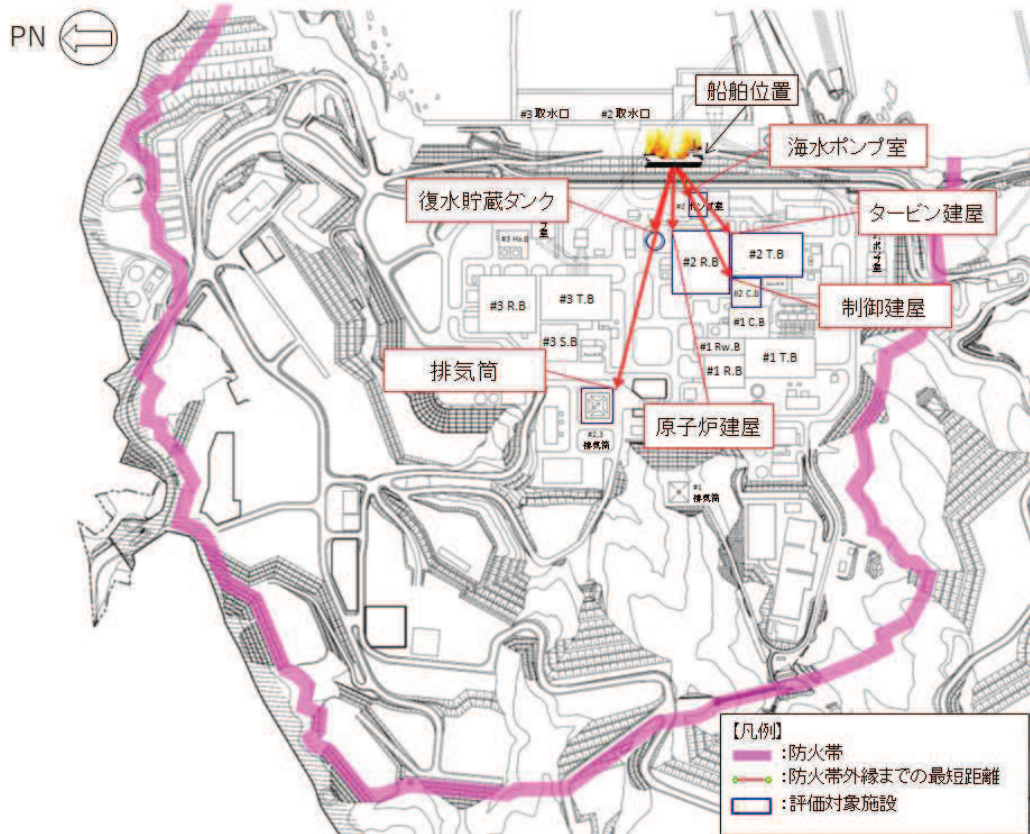


図 3.5-1 女川原子力発電所周辺の主要航路



(敷地全体図)



(拡大図)

図 3.5-2 重油運搬船火災想定位置と評価対象施設の位置関係

(2) 漂流船舶（爆発源）の選定について

女川原子力発電所前面の海域には主要航路がなく 20km 以上離れていることから、女川原子力発電所内の港湾施設には液化石油ガス輸送船舶の入港は想定されないため、発電所周辺の海域を航行する燃料輸送船の爆発により評価対象施設の安全機能が損なわれることはない。

4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

4.1 外部火災の影響を考慮する施設への影響

(1) 外気を取り込む空調系統

外気を取り入れる換気空調設備は、ばい煙及び有毒ガスの侵入による二次的影響を考慮し、換気空調設備についても評価対象とする。

外気を取り入れる換気空調設備として、以下の設備が存在する。

- ①原子炉建屋換気空調系
- ②原子炉補機エリア換気空調系
- ③中央制御室換気空調系
- ④計測制御電源室換気空調系

これらの換気空調系の外気取入経路にはバグフィルタ（捕集率80%以上 J I S Z 8 9 0 1 試験用粉体11種 粒径約 $2\mu\text{m}$ ）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙については、フィルタにより侵入を阻止可能である。

上記の設備のうち、中央制御室換気空調系については、ばい煙の侵入が予想される場合には、外気取入ダンパを閉止し、事故時運転モードへの切替えを行うことにより、ばい煙の侵入を阻止可能である。

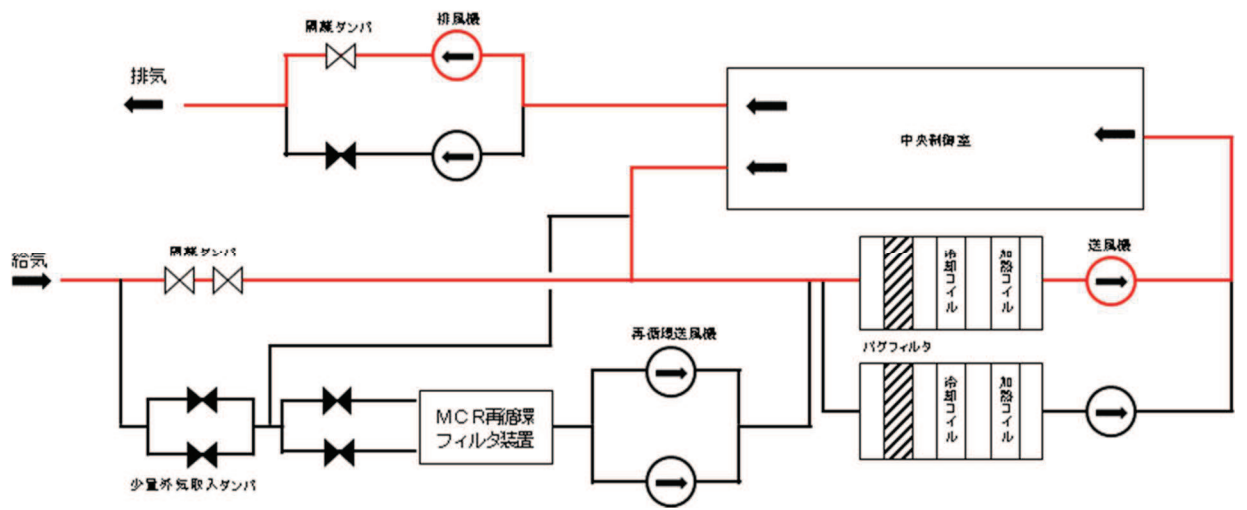
中央制御室換気空調系以外の換気空調系については、空調機を停止又はダンパを閉止することにより、ばい煙の侵入を阻止可能である。

なお、ばい煙によるバグフィルタの閉塞については、バグフィルタ差圧を監視することで検知可能である。

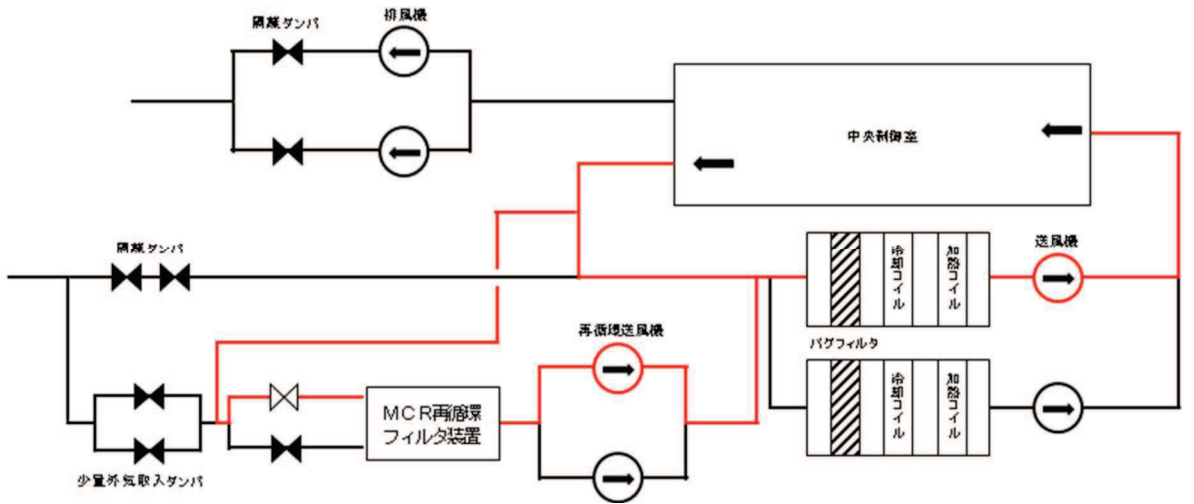
a. 中央制御室換気空調系

中央制御室換気空調系は、ばい煙及び有毒ガスの侵入が想定される場合は、外気を遮断し、事故時運転モードへと切替えることができる。（図4.1-1（事故時運転モード））

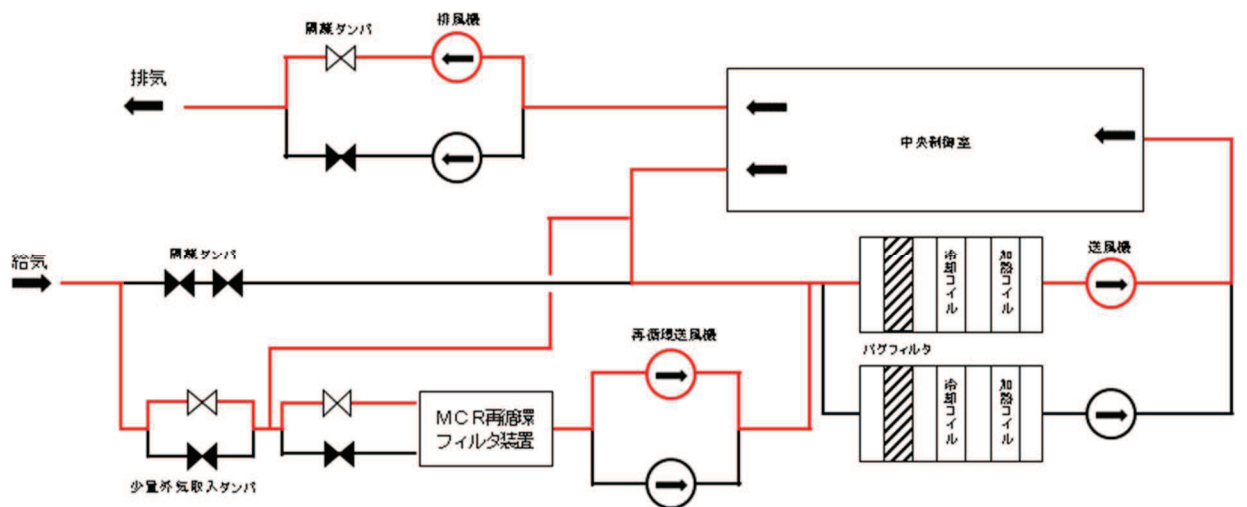
また、外気の遮断が長期にわたり室内の空気が悪くなった場合は、事故時運転モード（少量外気取入）に切り換え、外気を取り入れることができる。



通常モードの運転状態



事故時運転モードの運転状態



事故時運転モード（少量外気取入）の運転状態

図 4. 1-1 中央制御室換気空調系の系統概略図

(2) 外気を設備内に取り込む機器

a. 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。）

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。）の吸気系統は、換気空調系の給気ルーバを介して吸気している。

ディーゼル機関への外気取入経路に設置しているバグフィルタ（捕集率 80%以上 J I S Z 8901 試験用紛体 11 種 粒径約 $2\mu\text{m}$ ）で粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される。

バグフィルタを通過したばい煙（数 μm ）が過給機，空気冷却器に侵入するが，それぞれの機器の間隙は，ばい煙に比べて十分大きく，閉塞に至ることはない。

シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数 μm ）は，当該間隙内において摩擦発生が懸念されるが，ばい煙粒子の主成分は炭素であり，シリンダ／ピストンより軟らかいため，ばい煙粒子による摩擦が発生することはないと判断される。（図 4.1-2）

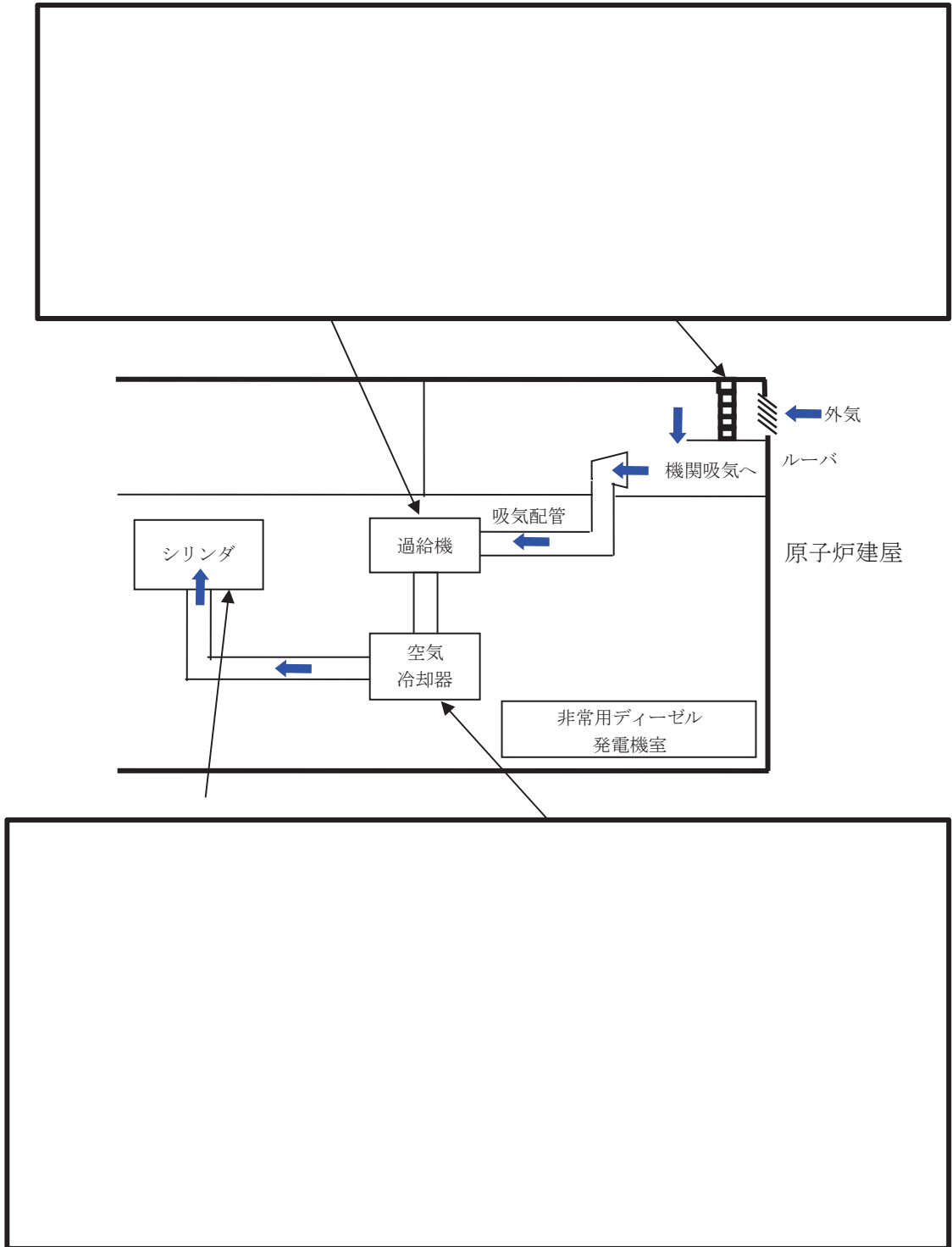


図 4. 1-2 非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）
構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 外気を取り込む屋外設置機器

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機は、空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり、外気を直接電動機の内部に取込まない全閉構造であることから、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

外気通風部は、吸込み口の金網口径が10mm×10mm、冷却パイプ口径が29.4mmであり、ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さいことから、閉塞することはない。

軸貫通部の上部軸シール部は、防水カバー、スリンガ、油切ラビリンスで侵入防止構造となっている。また、下部軸シール部については同様に防水カバー、油切ラビリンスで侵入防止構造としており、ばい煙粒子が軸受け内部に侵入することはない。

電動機端子箱は、電動機本体への取り付け部及び端子箱蓋に浸水防止のパッキンを使用しており、ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

以上のことから、ばい煙が原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機の機能に影響を及ぼすことはないと考えられる。

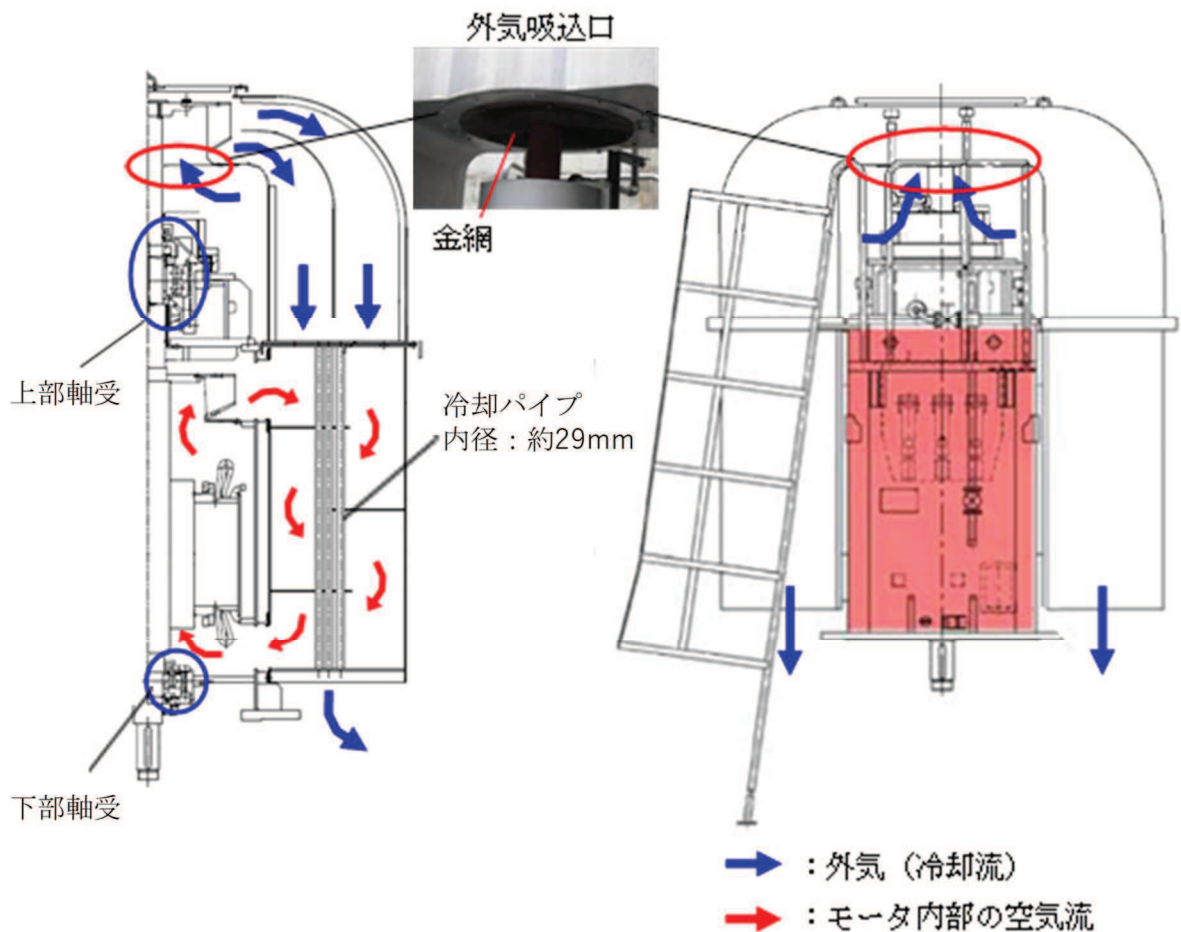


図 4.1-3 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機 構造図

b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機は、外気を直接電動機内部に取り込まない外扇形の冷却方式の全閉構造であり、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

上部貫通部はラビリンスカラーで軸受への侵入防止構造とし、下部貫通部はポンプ架台内とし、侵入を防止する構造としており、ばい煙粒子が軸受け内部に侵入することはない。

電動機端子箱は、電動機本体への取り付け部及び端子箱蓋に浸水防止のパッキンを使用しており、ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

以上のことから、ばい煙が高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機の機能に影響を及ぼすことはないと考えられる。

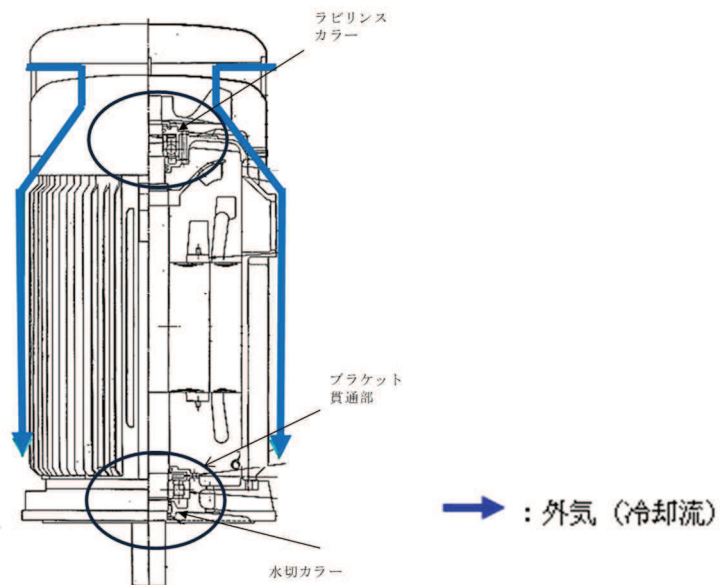


図 4.1-4 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機 構造図

4.2 有毒ガスによる中央制御室居住性への影響

(1) 外気取入遮断時の中央制御室居住性評価

中央制御室換気空調系は、外気を遮断し、再循環させる事故時運転モードに切り替えることができる。外気との遮断が長期にわたり室内の空気が悪くなった場合は、事故時運転モード（少量外気取入）に切り替え、外気を取り入れることができる。

また、外気からの空気の取り込みを一時的に停止した場合に、活動に支障のない酸素濃度の範囲にあることを正確に把握するため、酸素濃度計を配備する。

外気取入遮断時の中央制御室内に滞在する運転員の操作環境の悪化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価した。

a. 酸素濃度

外気取入遮断時の中央制御室内の酸素濃度について評価した。

(a) 評価条件

- ・在室人員 7人
- ・中央制御室バウンダリ内体積 8,800m³
- ・初期酸素濃度 20.95%
- ・空気流入は無いものとして評価する。
- ・1人あたりの呼吸量は事故時の運転操作を想定し、「空気調和・衛生工学便覧」の歩行時の呼吸量を適用して、24L/minとする。
- ・1人あたりの酸素消費量は、「空気調和・衛生工学便覧」の成人吸酸素濃度(20.95%)、成人呼気酸素濃度(16.40%)から1.092L/minとする。
- ・許容酸素濃度 18%以上(酸素欠乏症等防止規則(昭和47年労働省令第42号、最終改正平成15年12月19日厚生労働省令第175号))
- ・評価期間は各火災の燃焼継続時間を考慮し24時間とする。

(b) 評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は、表4.2-1のとおりであり、24時間程度外気取入を遮断したままでも運転員の作業環境に影響を与えない。

表 4.2-1 外気取入遮断時の中央制御室内の酸素濃度

時間	6時間	12時間	24時間
酸素濃度	20.9%	20.8%	20.8%

b. 二酸化炭素濃度

外気取入遮断時の中央制御室内の二酸化炭素濃度について評価した。

(a) 評価条件

- ・ 在室人員 7人
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 8,800m³
- ・ 初期二酸化炭素濃度 0.03%
- ・ 空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 呼吸により排出する二酸化炭素排出量 0.046m³/h/人（運転操作を想定し、「空気調和・衛生工学便覧」における中等作業での二酸化炭素排出量）
- ・ 許容二酸化炭素濃度 1.0%
（労働安全衛生規則（昭和47年労働省令第32号、最終改正平成30年2月9日厚生労働省令第14号）の許容炭酸ガス濃度1.5%に対して管理上の余裕をみた値）
- ・ 評価期間は各火災の燃焼継続時間を考慮し24時間とする。

(b) 評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は、表4.2-2のとおりであり、24時間程度外気取入を遮断したままでも運転員の作業環境に影響を与えない。

表 4.2-2 外気取入遮断時の中央制御室内の二酸化炭素濃度

時間	6時間	12時間	24時間
二酸化炭素濃度	0.06%	0.08%	0.12%

(2) 敷地外の火災源からの有毒ガス評価

発電所西南西約40kmには石油工業関連施設（石油コンビナート等災害防止法で規制される宮城県内の特別防災区域の塩釜地区及び仙台地区）があるが、発電所周辺地域には存在しない。

主要道路、鉄道路線及び主要航路と発電所の間には、十分な離隔距離が確保されているため、車両、船舶、石油工業関連施設の事故時に発生する有毒ガスが外部火災の影響を考慮する施設に影響を及ぼすことはない。

5. 評価で使用するパラメータの設定根拠について

5.1 森林火災

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.1.1-1 で算出
H	m	火炎長	FARSITE の出力値
F	—	円筒火炎モデル数	式 2.1.1-2, 式 2.1.1-3 で算出
\dot{F}	—	1 メッシュあたりの円筒火炎モデル数 (10m メッシュ)	
W	m	火炎到達幅	FARSITE の出力値
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	式 2.1.1-5 で算出
I _R	kW/m ²	火炎輻射強度	式 2.1.1-4 で算出
ε	—	吸収率	伝熱工学資料第 5 版
φ _i	—	各円筒火炎モデルの形態係数	式 2.1.1-6 で算出
L _i	m	離隔距離	国土地理院データを基に算出
E	W/m ²	輻射強度	式 2.1.1-7, 式 2.1.1-8 で算出
φ _t	—	各火炎モデルの形態係数を合計した値	式 2.1.1-7 等で算出
L _t	m	危険距離	式 2.1.1-18 で算出
《建屋》			
T	℃	許容温度	・ 高温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的研究 ・ 建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
《復水貯蔵タンク》			
T	℃	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D _o	m	タンク外径	設備仕様
D _i	m	タンク内径	設備仕様
ρ _w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
C _{p w}	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
ρ _s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
C _{p s}	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様

記号	単位	定義	設定根拠
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (JEC2137-2000)
A _T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C _p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

5.2 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災

(1) 火災源に対する評価

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.1.2-1 で算出
w	m	防油堤幅	設備仕様
d	m	防油堤奥行き	設備仕様
S	m ²	防油堤面積	防油堤幅×防油堤奥行き
H	m	火炎長	式 2.1.2-2 で算出
L	m	離隔距離	自社図面
E	W/m ²	輻射強度	式 2.1.2-3 で算出
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	外部火災影響評価ガイド
φ	—	形態係数	式 2.1.2-2 で算出
t	s	燃焼継続時間	式 2.1.2-4 で算出
V	m ³	燃料量	設備仕様
M	kg/m ² /s	質量低下速度	NUREG-1805
燃料 ρ	kg/m ³	燃料密度	・ JIS K 2204-2207 ・ JIS C 2320-1999
v	m/s	燃焼速度	質量低下速度÷燃料密度
《建屋》			
T	℃	許容温度	・ 高温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的研究 ・ 建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
α	m ² /s	コンクリート温度拡散率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会

記号	単位	定義	設定根拠
《復水貯蔵タンク》			
T	℃	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D _o	m	タンク外径	設備仕様
D _i	m	タンク内径	設備仕様
ρ _w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第5版記載値(軽水)
C _{p w}	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第5版記載値(軽水)
ρ _s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)
C _{p s}	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
ε	—	吸収率	伝熱工学資料第5版
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (JEC2137-2000)
A _T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C _p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

5.3 航空機墜落による火災

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.1.2-1 で算出
S	m ²	燃焼面積（航空機の燃料タンクの投影面積）	<ul style="list-style-type: none"> ・F-15：航空ジャーナル 2月号増刊 F-15 イーグルより算出 ・F-2：戦闘機年鑑 2013-2014 より算出 ・その他：ボーイング社ホームページ資料より算出
H	m	火炎長	式 2.1.2-2 で算出
L	m	離隔距離	自社図面
E	W/m ²	輻射強度	式 2.1.2-3 で算出
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	外部火災影響評価ガイド
φ	—	形態係数	式 2.1.2-2 で算出
t	s	燃焼継続時間	式 2.1.2-4 で算出
V	m ³	燃料量	<ul style="list-style-type: none"> ・KC-767：世界航空機年鑑 2012-2013 ・F-15：航空ジャーナル 2月号増刊 F-15 イーグル ・F-2：戦闘機年鑑 2013-2014 ・B747-400：ボーイング社ホームページ資料
M	kg/m ² /s	質量低下速度	NUREG-1805
燃料 ρ	kg/m ³	燃料密度	<ul style="list-style-type: none"> ・B747-400：JIS-K-2209-1991（航空タービン燃料油） ・その他：NUREG-1805
v	m/s	燃焼速度（=M/ρ）	質量低下速度÷燃料密度
《建屋》			
T	℃	許容温度	<ul style="list-style-type: none"> ・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的研究 ・建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
α	m ² /s	コンクリート温度拡散率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会

記号	単位	定義	設定根拠
《復水貯蔵タンク》			
T	℃	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D_o	m	タンク外径	設備仕様
D_i	m	タンク内径	設備仕様
ρ_w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第5版記載値(軽水)
$C_{p w}$	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第5版記載値(軽水)
ρ_s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)
$C_{p s}$	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
ϵ	—	吸収率	伝熱工学資料第5版
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (J E C 2 1 3 7-2000)
A_T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C_p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

5.4 発電所敷地外の危険物貯蔵施設の火災

(1) 火災源に対する評価

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.2.2-1 で算出
S	m ²	燃焼面積	国土地理院のデータを基に算出
H	m	火炎長	式 2.2.2-11 で算出
L	m	離隔距離	国土地理院のデータを基に算出
E	W/m ²	輻射強度	式 2.2.2-4 で算出
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	外部火災影響評価ガイド
φ	—	形態係数	式 2.2.2-3 等で算出
t	s	燃焼継続時間	式 2.2.2-2 で算出
V	m ³	燃料量	消防署データ
M	kg/m ² /s	質量低下速度	NUREG-1805
燃料 ρ	kg/m ³	燃料密度	JIS K 2202-2012
v	m/s	燃焼速度	質量低下速度 ÷ 燃料密度
《建屋》			
T	℃	許容温度	・ 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的研究 ・ 建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
α	m ² /s	コンクリート温度拡散率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
《復水貯蔵タンク》			
T	℃	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D _o	m	タンク外径	設備仕様
D _i	m	タンク内径	設備仕様
ρ _w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
C _{p w}	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
ρ _s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
C _{p s}	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様

記号	単位	定義	設定根拠
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
ε	—	吸収率	伝熱工学資料第5版
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (JEC2137-2000)
A _T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C _p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

5.5 発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設の火災・爆発

(1) 火災源に対する評価 (1号機軽油貯蔵タンク評価に包絡)

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.1.2-1 で算出
w	m	防油堤幅	設備仕様
d	m	防油堤奥行き	設備仕様
S	m ²	防油堤面積	防油堤幅×防油堤奥行き
H	m	火炎長	式 2.1.2-2 で算出
L	m	離隔距離	自社図面
E	W/m ²	輻射強度	式 2.1.2-3 で算出
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	外部火災影響評価ガイド
φ	—	形態係数	式 2.1.2-2 で算出
t	s	燃焼継続時間	式 2.1.2-4 で算出
V	m ³	燃料量	設備仕様
M	kg/m ² /s	質量低下速度	NUREG-1805
燃料 ρ	kg/m ³	燃料密度	・ JIS K 2204-2207 ・ JIS C 2320-1999
v	m/s	燃焼速度	質量低下速度÷燃料密度
《建屋》			
T	℃	許容温度	・ 高温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的研究 ・ 建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
α	m ² /s	コンクリート温度拡散率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会

記号	単位	定義	設定根拠
《復水貯蔵タンク》			
T	℃	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D _o	m	タンク外径	設備仕様
D _i	m	タンク内径	設備仕様
ρ _w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第5版記載値(軽水)
C _{p w}	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第5版記載値(軽水)
ρ _s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)
C _{p s}	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
ε	—	吸収率	伝熱工学資料第5版
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (JEC2137-2000)
A _T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C _p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

(2) 爆発源に対する評価

記号	単位	定義	設定根拠
W	—	設備定数	外部火災影響評価ガイド
λ	m・kg ^{-1/3}	換算距離	外部火災影響評価ガイド
K	m ²	石油類の定数	外部火災影響評価ガイド

(3) ガスボンベ破裂時における破片の最大飛散距離の評価

記号	単位	定義	設定根拠
M	kg	破裂時の貯蔵物質質量	消防署データ
L	m	破片の最大飛散範囲	式 2.2.3.3-1 で算出

5.6 燃料輸送車両の火災

(1) 火災源に対する評価

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.2.2-1 で算出
S	m ²	燃焼面積	メーカー資料
H	m	火炎長	式 2.2.2-11 で算出
L	m	離隔距離	国土地理院のデータを基に算出
E	W/m ²	輻射強度	式 2.2.2-4 で算出
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	外部火災影響評価ガイド
φ	—	形態係数	式 2.2.2-3 等で算出
t	s	燃焼継続時間	式 2.2.2-2 で算出
V	m ³	燃料量	危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号で定める, 移動タンク貯蔵所の公道を通行可能な上限量
M	kg/m ² /s	質量低下速度	NUREG-1805
燃料 ρ	kg/m ³	燃料密度	NUREG-1805
v	m/s	燃焼速度	質量低下速度 ÷ 燃料密度
《建屋》			
T	℃	許容温度	・ 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的研究 ・ 建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
α	m ² /s	コンクリート温度拡散率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
《復水貯蔵タンク》			
T	℃	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D _o	m	タンク外径	設備仕様
D _i	m	タンク内径	設備仕様
ρ _w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
C _{p w}	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
ρ _s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
C _{p s}	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様

記号	単位	定義	設定根拠
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
ε	—	吸収率	伝熱工学資料第5版
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (JEC2137-2000)
A _T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C _p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

(2) 爆発源に対する評価

記号	単位	定義	設定根拠
V	m ³	ガスタンクの貯蔵量	消防署データ
λ	m/kg ^{1/3}	換算距離	外部火災影響評価ガイド
K	—	石油類の定数	外部火災影響評価ガイド
W	—	貯蔵設備のW値	外部火災影響評価ガイド
X	m	ガス爆発の爆風圧が0.01MPa となる距離	式2.2.3.2-1で算出

(3) 高圧ガス輸送車両破裂時における破片の最大飛散距離

記号	単位	定義	設定根拠
M	kg	破裂時の貯蔵物質質量	消防署データから算出
L	m	破片の最大飛散範囲	式2.2.3.3-1で算出

5.7 漂流船舶の火災

(1) 火災源に対する評価

記号	単位	定義	設定根拠
《共通》			
R	m	燃焼半径	式 2.2.2-1 で算出
S	m ²	燃焼面積	船舶明細書
H	m	火炎長	式 2.2.2-11 で算出
L	m	離隔距離	国土地理院のデータを基に算出
E	W/m ²	輻射強度	式 2.2.2-4 で算出
R _f	kW/m ²	火炎輻射発散度	外部火災影響評価ガイド
φ	—	形態係数	式 2.2.2-3 等で算出
t	s	燃焼継続時間	式 2.2.2-2 で算出
V	m ³	燃料量	船舶明細書
M	kg/m ² /s	質量低下速度	NUREG-1805
燃料 ρ	kg/m ³	燃料密度	安全データシート
v	m/s	燃焼速度	質量低下速度 ÷ 燃料密度
《建屋》			
T	°C	許容温度	・ 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的研究 ・ 建築火災のメカニズムと火災安全設計
t	s	燃焼継続時間	FARSITE の出力値から算出
C _p	J/kg/K	コンクリート比熱	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
ρ	kg/m ³	コンクリート密度	伝熱工学資料
α	m ² /s	コンクリート温度拡散率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
λ	W/m/K	コンクリート熱伝導率	原子炉建屋構造設計指針 日本建築学会
《復水貯蔵タンク》			
T	°C	許容温度	復水貯蔵タンク系統最高使用温度
D _o	m	タンク外径	設備仕様
D _i	m	タンク内径	設備仕様
ρ _w	kg/m ³	水の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
C _{p w}	J/kg/K	水の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水)
ρ _s	kg/m ³	タンク壁材の密度	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
C _{p s}	J/kg/K	タンク壁材の比熱	伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)
h	m	タンク円筒高さ	設備仕様
e	m	タンク最小板厚	設備仕様

記号	単位	定義	設定根拠
《排気筒》			
T	℃	許容温度	建築火災のメカニズムと火災安全設計
h	W/m ² /K	熱伝達率	空気調和・衛生工学便覧
ε	—	吸収率	伝熱工学資料第5版
《原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ》			
T	℃	許容温度	電気規格調査会標準規格 誘導機 (JEC2137-2000)
A _T	m ²	受熱面積	設備仕様
G	kg/s	重量流量	設備仕様
C _p	J/kg/K	空気比熱	伝熱工学 東京大学出版会

航空機落下事故に関するデータの最新データについて

1. はじめに

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

しかしながら、安全審査が長期化し、その間に、「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）（令和 3 年 2 月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）」がとりまとめられたことを受け、その影響について確認することとする。

2. 航空機落下事故等のデータ更新による影響

「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）（令和 3 年 2 月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）」では、平成 11 年 1 月～平成 30 年 12 月までの航空機落下事故データ、運航実績データ及び訓練空域面積データが更新されている。このため、更新されたデータに基づき、「航空機の墜落位置から発電用原子炉施設までの離隔距離」、「航空機墜落による火災の影響」および「航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳による影響」について評価する。

なお、影響評価の手法は「補足-170-1 外部火災への配慮に関する説明書の補足説明資料 2.3 航空機墜落による火災について」における(1)～(4)と考え方は同様であるため、(5)以降について以下の通り評価する。

3. 航空機の墜落位置から発電用原子炉施設までの離隔距離の算出

(1) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 [回/年]

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 : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

W : 航空路幅 [km]

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行時間当たりの巡航中の落下事故確率 [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]

第 1 表 墜落確率の算出結果 (計器飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所第 2 号機
対象航空路*1	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)
N_c *2	182.5
A *3	0.0156
W *4	27
f_c *5	0.5/11,511,864,144=4.34×10 ⁻¹¹
P_c	4.58×10 ⁻¹²

注記*1 : 女川原子力発電所周辺の航空路図 (AIP エンルートチャート) による。

*2 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果を 365 倍した値。

*3 : 原子炉建屋, 制御建屋等の水平面積を合計した値。

*4 : 「航空路等設定基準」による。

*5 : 事故件数は, 平成 11 年～平成 30 年の間で 0 件であるため保守的に 0.5 件と仮定した。

延べ飛行距離は平成 11 年～平成 30 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値を合計した値。

(b) 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 : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]

S_V : 全国土面積 (=37.2 万[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 2 表 墜落確率の算出結果 (有視界飛行方式民間航空機)

	女川原子力発電所第 2 号機
f_V^{*1}	大型固定翼機 0.5/20=0.025 大型回転翼機 2/20=0.1
S_V^{*1}	372,000
α^{*2}	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1
A^{*3}	0.0156
P_V	5.24×10^{-9}

注記*1: 「航空機落下事故に関するデータ (平成 11~30 年)」 (令和 3 年 2 月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ) による。事故件数が 0 件の場合、保守的に 0.5 件と仮定した。

*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, 制御建屋等の水平面積を合計した値。

大型民間航空機の墜落確率 ($P_c + P_v$) 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。

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

上記より, 標的面積 A' は, $A' = 0.297450$ [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 : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]

S_V : 全国土面積 (=37.2 万[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3表 墜落確率の算出結果（小型民間航空機）

	女川原子力発電所第2号機
f_v^{*1}	小型固定翼機 24/20=1.2 小型回転翼機 18/20=0.9
S_v^{*1}	372,000
α^{*2}	小型固定翼機, 小型回転翼機 : 0.1
A^{*3}	0.0156
P_v	8.81×10^{-9}

注記*1:「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2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, 制御建屋等の水平面積を合計した値。

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 $A' = 0.177072$ [km²] となる。

c. 自衛隊機又は米軍機の標的面積の算出

(a) 訓練空域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)

$$P_{S0} = \left(\frac{f_{S0}}{S_0} \right) \cdot A$$

P_{S0} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{S0} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]

S_0 : 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4表 墜落確率の算出結果

(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)

	女川原子力発電所第2号機
f_{S0}^{*1}	自衛隊機 0.5/20=0.025 米軍機 1/20=0.05
S_0^{*1}	自衛隊機 294,000 米軍機 372,000
A^{*2}	0.0156
P_{S0}	3.42×10^{-9}

注記*1:「航空機落下事故に関するデータ（平成11～30年）」（令和3年2月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）による。

事故件数が0件の場合, 保守的に0.5件と仮定した。

*2: 原子炉建屋, 制御建屋等の水平面積を合計した値。

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' =0.456140 [km²] となる。

(b) 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）

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_0} \right) \cdot A$$

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} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]

S₀ : 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 5 表 墜落確率の算出結果

(その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機)

		女川原子力発電所第 2 号機			
		大型固定翼機	小型固定翼機	大型回転翼機	小型回転翼機
f _{so} *1	自衛隊機	2/20=0.1	1/20=0.05	1/20=0.05	5/20=0.25
	米軍機	1/20=0.05	1/20=0.05	1/20=0.05	0.5/20=0.025
S ₀ *1	自衛隊機	294,000			
	米軍機	372,000			
A*2		0.0156			
P _{so}	自衛隊機	5.31×10 ⁻⁹	2.65×10 ⁻⁹	2.65×10 ⁻⁹	1.33×10 ⁻⁸
	米軍機	2.10×10 ⁻⁹	2.10×10 ⁻⁹	2.10×10 ⁻⁹	1.05×10 ⁻⁹
	計	3.13×10 ⁻⁸			

注記*1: 「航空機落下事故に関するデータ（平成 11～30 年）」（令和 3 年 2 月 原子力規制庁長官官房技術基盤グループ）による。

事案件数が 0 件の場合，保守的に 0.5 件と仮定した。

*2: 原子炉建屋，制御建屋等の水平面積を合計した値。

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' =0.049840 [km²] となる。

(c) 基地－訓練空域間往復時の落下事故

$$P_{tr} = f_{tr} \cdot N_{tr} \cdot A \cdot F(x)_{tr}$$

P_{tr} : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{tr} : 当該移動経路を巡航中の落下事故率 [回/ (飛行回・km)]

N_{tr} : 当該移動経路の年間飛行回数 [飛行回/年]

A : 発電用原子炉施設の標的面積 [km²]

$F(x)_{tr}$: 事故点分布関数 [km⁻¹] = $\frac{0.625}{2} \exp(-0.625|x|)$

x : 移動経路から発電所までの距離 [km]

第6表 墜落確率の算出結果 (基地－訓練空域間往復時)

		女川原子力発電所第2号機
対象飛行場		航空自衛隊松島飛行場
f_{tr}^{*1}		1.57×10^{-7}
N_{tr}^{*2}	N_{tr} 北側	8400
	N_{tr} 南側	8400
A^{*3}		0.0156
$F(x)_{tr}^{*4}$	$F(x)_{tr}$ 北側	$F(9.5)_{tr} = 8.25 \times 10^{-4}$
	$F(x)_{tr}$ 南側	$F(10.5)_{tr} = 4.41 \times 10^{-4}$
P_{tr}	P_{tr} 北側	1.70×10^{-8}
	P_{tr} 南側	9.07×10^{-9}
	合計	2.61×10^{-8}

注記*1: 事故件数は、平成12年3月22日及び同年7月4日の2件3機。

移動経路は、防衛庁(当時)発表(平成12年8月10日)の再発防止対策に基づき、発電所に対して北側移動経路(157.0km)及び南側移動経路(70.2km)とする。

飛行頻度は、北側と南側で同頻度とする。

訓練頻度は、航空自衛隊松島飛行場によれば、700機/月。

*2: *1より 700×2 (往復) $\times 12$ (ヶ月) $\div 2$ (経路) = 8400

*3: 原子炉建屋、制御建屋等の水平面積を合計した値。

*4: 北側及び南側移動経路から発電所までの最短距離とする。

基地－訓練空域間往復時の墜落確率 (P_{tr}) 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。

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

上記より、標的面積 A' は $A' = 0.059770$ [km²] となる。

(2) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

(1) で求めた標的面積から離隔距離 L を算出した結果を以下に示す。また、各航空機の離隔距離を第 7 表に示す。

第 7 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	訓練空域外を飛行中		基地 - 訓練空域間往復時
			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	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	KC-767	F-15	F-2
離隔距離 L [m] (令和 3 年 2 月データ)	85	60	111	20	25
<参考> 離隔距離 L [m] (平成 24 年 9 月データ)	85	44	111	21	25

令和 3 年 2 月版データと平成 24 年 9 月版データとを比較した結果, 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) のみ令和 3 年 2 月版データによる離隔距離の方が平成 24 年 9 月版データによる離隔距離よりも短くなる。一方で, それ以外の航空機落下事故については令和 3 年 2 月版データによる離隔距離は平成 24 年 9 月版データによる離隔距離よりも長くなるか同一であるため, 平成 24 年 9 月版データによる熱影響評価に包絡される。

以上より, 熱影響評価が厳しくなると考えられる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) について令和 3 年 2 月版データによる熱影響評価を実施する。

4. 航空機墜落による火災影響評価

(1) 必要データ

評価に必要なデータを表8に示す。

表8 航空機火災影響評価に必要なデータ

項目	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	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	F-15
燃料の種類	JP-4
燃料量[m ³]	14.87
輻射発散度[W/m ²]	58×10 ³
燃焼速度[m/s]	6.71×10 ⁻⁵
燃料タンク面積[m ²]	44.6
発電用原子炉施設 までの離隔距離[m]	20

(2) 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災は、その状況によって、様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は対象とした航空機燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出する。

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

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

表9 燃焼半径の算出結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	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	F-15
燃料タンク投影面積[m ²]	44.6
燃焼半径[m]	3.768

(3) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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

ϕ : 形態計数[-] H: 火炎長[m] R: 火炎半径[m] L: 危険距離[m]

表 10 形態係数の算出結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機, 小型 固定翼機及び 回転翼機
燃焼半径[m]	3.768
離隔距離[m]	20
形態係数[-]	6.305×10^{-2}

(4) 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。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E: 輻射強度 [W/m²], Rf: 輻射発散度 [W/m²], ϕ : 形態係数 [-]

表 11 輻射強度の算出結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機, 小型 固定翼機及び 回転翼機
輻射発散度 [W/m ²]	58×10^3
形態係数[-]	6.305×10^{-2}
輻射強度 [W/m ²]	3,657

(5) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間 [s], V : 燃料量 [m³], R : 燃焼半径 [m]

v : 燃焼速度 (=M/ρ) [m/s], M : 質量低下速度 [kg/m²/s], ρ : 燃料密度 [kg/m³]

表 12 燃焼継続時間の算出結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機, 小型 固定翼機及び 回転翼機
燃料量[m ³]	14.87
燃焼面積[m ²]	44.6
質量低下速度 [kg/m ² /s]	0.051
燃料密度 [kg/m ³]	760
燃焼速度[m/s]	6.71×10 ⁻⁵
燃焼継続時間[s]	4,969

(6) 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、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度の評価に当たっては、対流及び輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

T_0 : 初期温度 50[°C], E : 輻射強度 [W/m²]

x : コンクリート深さ [m], t : 火災継続時間 [s]

C_p : コンクリート比熱 (963[J/kg/K]), ρ : コンクリート密度 (2400[kg/m³])

α : コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ (7.53×10^{-7} [m²/s])

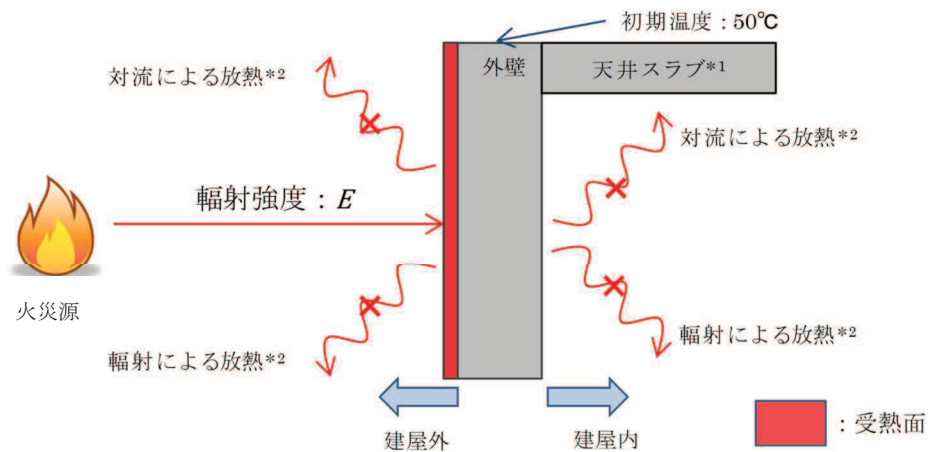
λ : コンクリート熱伝導率 (1.74[W/m/K])

(出典：伝熱工学，東京大学出版会)

なお，天井スラブは以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。

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

建屋外壁の評価概念図を図 1 に，天井スラブの評価概念図を図 2 に示す。



注記*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，天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

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

図 1 建屋外壁の評価概念図

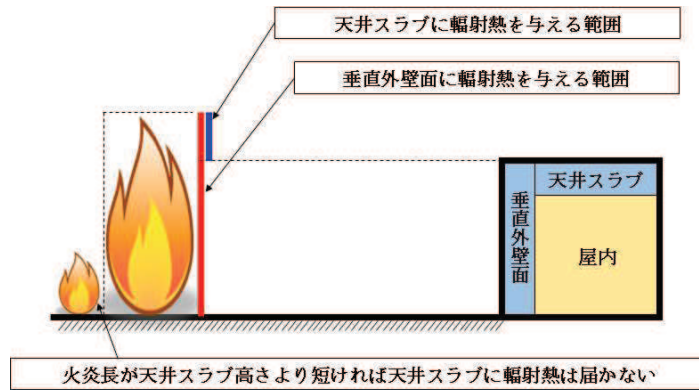


図2 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を表 13 に示す。

表 13 外壁面の温度評価結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機，小型 固定翼機及び 回転翼機
輻射強度 [W/m ²]	3,657
燃焼継続時間 [s]	4,969
表面温度 [℃]	約 196

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、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。

(b) 評価対象施設の仕様

排気筒仕様を表 14 に、排気筒外形図を図 3 に示す。

表 14 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 3.7m
		地表高さ 160m
材料	筒身	SMA400AP
	鉄塔	SS400, STK400
個数		1



図 3 評価対象施設の外形図

(c) 判断の考え方

i. 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°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。

なお、内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。

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

T_0 : 初期温度 50[°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 排気筒表面の吸収率 (0.9) *¹

h : 排気筒表面熱伝達率 17[W/m²/K] *²

注記*1: 伝熱工学資料

*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[W/m²/K]を用いる。)

(出典: 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)

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 SMA400AP 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図 4 に示す。

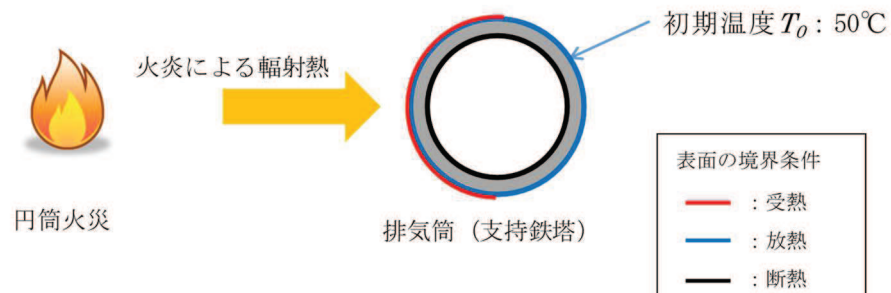


図 4 排気筒の評価概念図

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。評価結果を表 15 に示す。

表 15 排気筒の温度評価結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機, 小型 固定翼機及び 回転翼機
輻射強度 [W/m ²]	3,657
排気筒温度 [°C]	約 147

c. 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、カテゴリごとに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

復水貯蔵タンクの許容温度は、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、復水貯蔵タンクの貯蔵水を使用する復水補給水系の系統最高使用温度 66℃以下とする。

ii. 評価方法

一定の輻射強度で復水貯蔵タンクの火災源側の側面と天井面へ入熱するものとして、表面での輻射によるタンク内部に貯蔵された水及びタンク側面、天井面の温度上昇を表した下記の比熱と熱容量の関係式により最大温度を求め、許容温度以下であるか評価した。

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

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

D_o : タンク外径 (20.012[m]) , h : タンク円筒高さ (11.8[m])

D_i : タンク内径 (20.0[m]) , e : タンク最小板厚 (0.006[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9[kg/m³]) *¹ , C_{pw} : 水の比熱 (4186[J/kg/K]) *¹

V : 水の体積 (690[m³]) , ρ_s : タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) *²

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) *²

注記*1 : 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66℃となるように線形補間した値

*2 : 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

復水貯蔵タンクはタンク側面に遮蔽壁及び側面から天井面に向かって鋼板が設置されており、直接輻射がタンクに到達する構造ではないが、評価に当たっては遮蔽壁及び鋼板がなく屋外にタンクが露出しているものとして評価を実施した。なお、復水貯蔵タンク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。

復水貯蔵タンクの評価概念図を図5に示す。

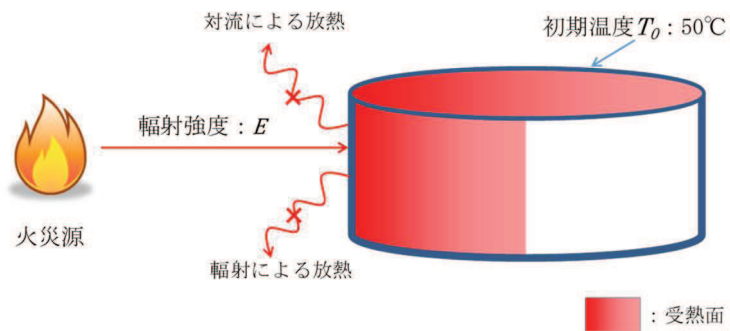


図 5 復水貯蔵タンクの評価概念図

復水貯蔵タンクの温度上昇を評価した結果、許容温度以下であることを確認した。評価結果を表16に示す。

表 16 復水貯蔵タンクの温度評価結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機
	訓練空域外を飛行中
	その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
復水貯蔵タンク温度 [°C]	約 55

d. 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機は、海水ポンプ電動機高さより高い海水ポンプ室の壁で囲まれており、側面から直接火災の影響を受けることはないが、上面は熱影響を受ける可能性がある。

評価においては、火災源位置からポンプに対し直接輻射の影響を受ける火炎の高さから一定の輻射強度でポンプが直接火災の影響を受けることを想定する。また、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ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た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。火災発生位置と海水ポンプの位置関係を図6に示す。

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上昇した場合でも、許容温度以下となることを確認する。

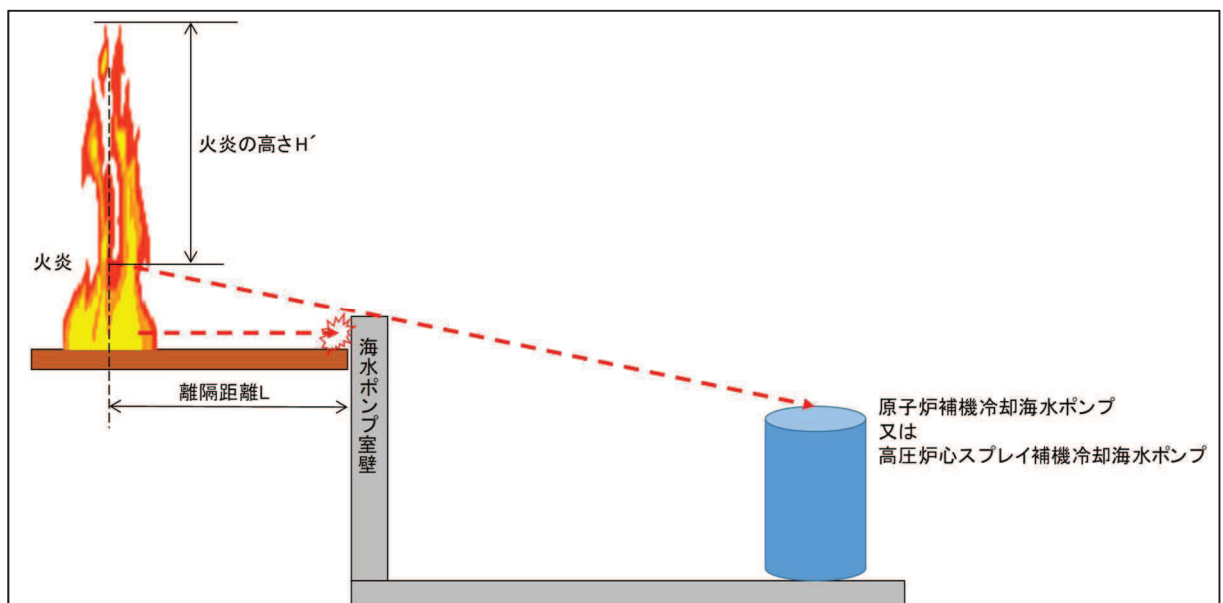


図6 火災発生位置と海水ポンプの位置関係

(b) 評価対象施設の仕様

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの海水ポンプ室内の配置図を図7、外形図を図8に示す。仕様を表17に示す。



図7 海水ポンプの配置図

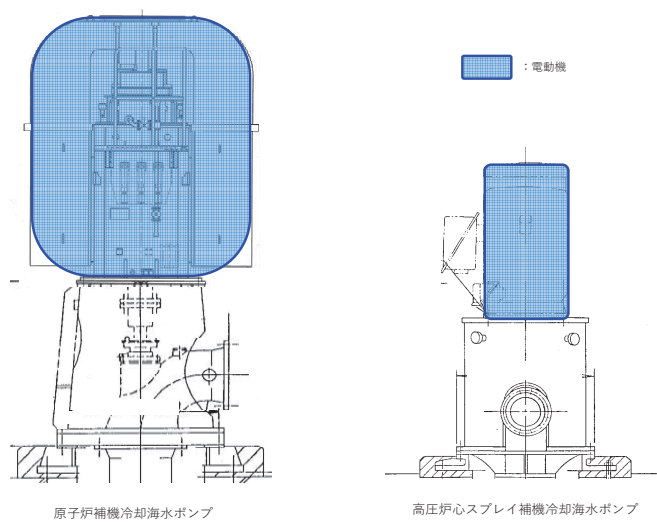


図8 海水ポンプの外形図

表17 評価対象施設の仕様

	原子炉補機冷却 海水ポンプ電動機	高圧炉心スプレイ補機冷却 海水ポンプ電動機
主要寸法	全幅 約 2.5m 高さ 約 2.9m	全幅 約 0.55m 高さ 約 1.06m
材質	SS400	FC150
個数	4	1

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

(c) 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及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機の許容温度は、運転時の上部及び下部軸受の上昇温度を考慮し、軸受の機能維持に必要な冷却空気の許容温度を表 18 に示す。

表 18 海水ポンプの機能維持に必要な冷却空気の許容温度

対象機器	上部軸受温度 [°C]	下部軸受温度 [°C]
原子炉補機冷却海水ポンプ	40* ¹	55* ²
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ	55* ²	55* ²

注記*1：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める自由対流式軸受の表面で測定するときの温度限度 80°Cから冷却空気の初期温度 40°Cを差し引いた 40°Cを冷却空気の許容温度に設定

*2：軸受の機能を維持するため電気規格調査会標準規格 JEC-2137-2000「誘導機」で定める耐熱性の良好なグリースを使用する場合の温度限度 95°Cから冷却空気の初期温度 40°Cを差し引いた 55°Cを冷却空気の許容温度に設定

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ポンプ（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。なお、離隔距離は各ポンプ位置よりも火災源に近い海水ポンプ室壁までの距離とする。次式から輻射強度を算出する。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E：輻射強度 [W/m²]，Rf：輻射発散度 [W/m²]，φ：形態係数 [-]

形態係数 φ は以下の式で求める。

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

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

φ：形態係数 [-]，H'：炎の高さ [m]，R：燃焼半径 [m]，L：離隔距離 [m]

表 19 輻射強度の算出結果 (F-15)

対象機器	離隔距離 L[m]	燃焼半径 R[m]	炎の高さ H' [m]	形態係数 ϕ [-]	輻射発散度 Rf [W/m ²]	輻射強度 E [W/m ²]
原子炉補機冷却 海水ポンプ	20	3.768	7.665	4.809×10^{-2}	58,000	2789.31
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ			3.861	2.650×10^{-2}	58,000	1536.97

(ii) 温度評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ補機冷却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、表 18 に示す許容温度を下回るかを比熱と熱容量の関係式より求まる以下の式で評価を実施した。評価に用いた諸元を表 20 に、評価概念図を図 9 示す。

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

T : 評価温度 [°C], T₀ : 通常運転時の上昇温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²], A_T : 受熱面積 [m²]

G : 重量流量[kg/s], C_p : 空気比熱 [J/kg/K]

表 20 評価に用いた諸元

	原子炉補機 冷却海水ポンプ	高圧炉心スプレイ 補機冷却海水ポンプ
T ₀ : 運転時の上昇温度 (上部軸受) [°C]	27	32
T ₀ : 運転時の上昇温度 (下部軸受) [°C]	18.7	41
E : 輻射強度 [W/m ²]*	2,789.31	1,536.97
A _T : 受熱面積 [m ²]	13.19	1.19
G : 重量流量 [kg/s]	3.32	0.55
C _p : 空気比熱 [J/kg/K]	1,008	1,008

注記* : F-15 の値

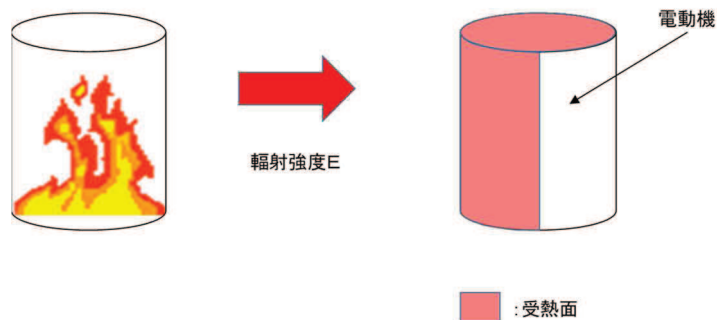


図 9 評価概念図

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。評価結果を表 21 に示す。

表 21 原子炉補機冷却海水ポンプの評価結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機，小型 固定翼機及び 回転翼機
評価温度（上部軸受）[°C]	約 38
評価温度（下部軸受）[°C]	約 30

表 22 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価結果

データ種類	自衛隊機又は米軍機 訓練空域外を飛行中
	その他の大型 固定翼機，小型 固定翼機及び 回転翼機
評価温度（上部軸受）[°C]	約 36
評価温度（下部軸受）[°C]	約 44

(7) 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

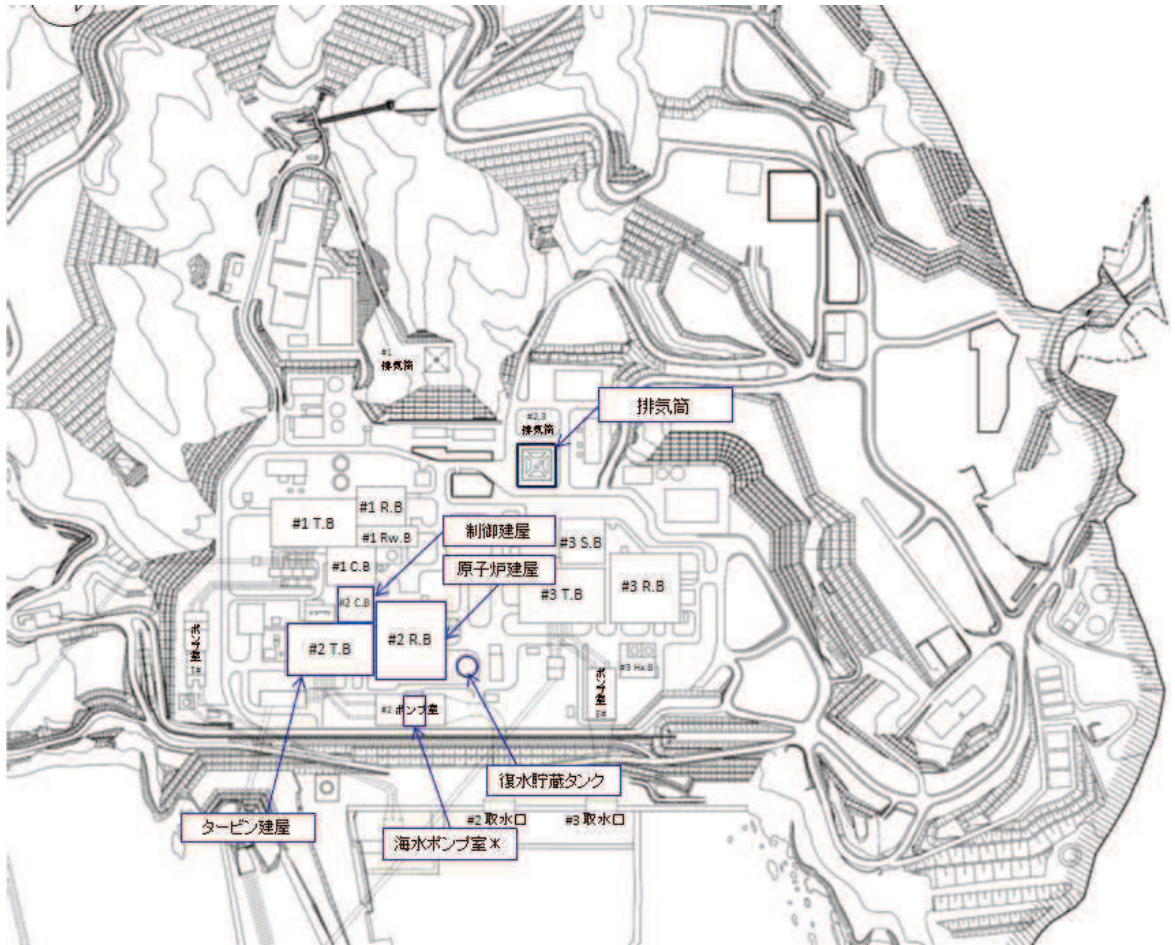
航空機墜落による火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物タンクを検討する。航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機墜落位置とその周辺の危険物施設の位置を図10に示す。発電用原子炉施設周辺には多量の油を保有する軽油タンクがあることから、航空機墜落による火災との重畳火災を考慮する危険物タンクは、保有量の大きい軽油タンクとする。

危険物タンクのうち2号機建屋に熱影響を与える軽油タンクは燃料保有量が多い1号機軽油貯蔵タンク及び3号機軽油タンクを想定する。なお、2号機軽油タンクは地下構造であるため、航空機墜落の輻射熱によって直接加熱されることはないことから、重畳を想定する危険物タンクから除外する。

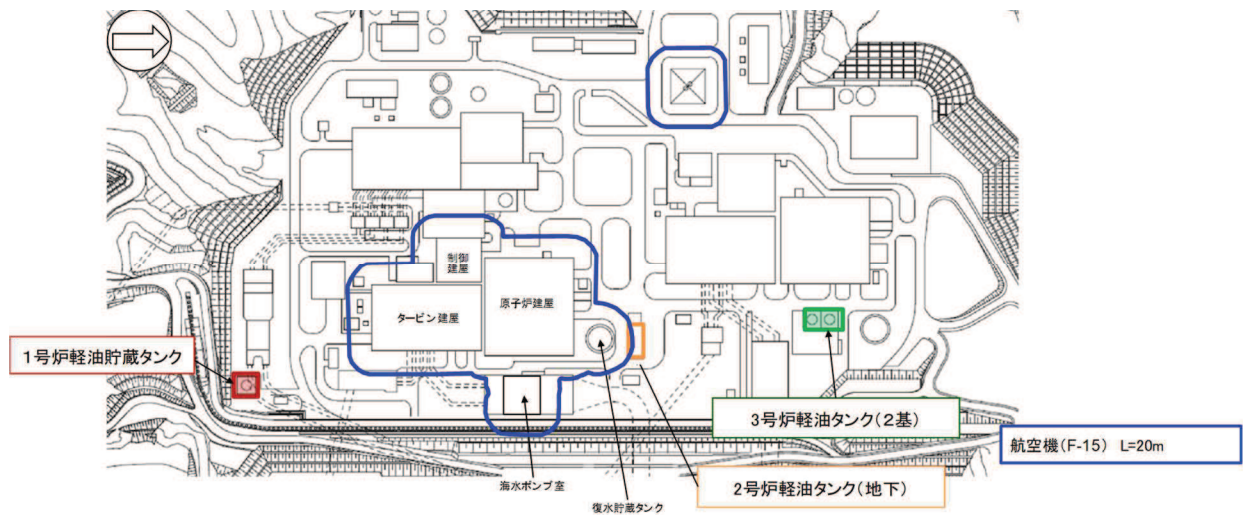
航空機墜落位置は航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。

表 23 重畳評価で想定するケース

想定ケース	評価対象施設
F-15 及び 3号機軽油タンク	原子炉建屋
	排気筒
F-15 及び 1号機軽油貯蔵タンク	制御建屋
	タービン建屋
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ



(敷地全体図)



(拡大図)

図 10 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設の位置

b. 評価に必要なデータ

表 24 重畳評価に必要なデータ

項目	1号機軽油 貯蔵タンク	3号機 軽油タンク	自衛隊機又は 米軍機(F-15)
燃料の種類	軽油	軽油	JP-4
燃料量[m ³]	620	660	14.87
輻射発散度[W/m ²]	42×10 ³	42×10 ³	58×10 ³
燃焼速度[W/m ²]	5.11×10 ⁻⁵	5.11×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	340	380.95	44.6
燃焼半径[m]	10.404	11.012	3.768
燃焼継続時間[s]	35,686	33,905	4,969

次の式から形態係数を算出する。

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

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

ϕ : 形態係数 [-], H' : 炎の高さ [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。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E : 輻射強度 [W/m²], Rf : 輻射発散度 [W/m²], ϕ : 形態係数 [-]

表 25 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 L[m]	形態係数 ϕ [-]	輻射強度 E[W/m ²]
3号機 軽油タンク	原子炉建屋	191	6.513×10 ⁻³	274
	復水貯蔵タンク	174	7.850×10 ⁻³	330
	排気筒	207	5.543×10 ⁻³	233
1号機軽油 貯蔵タンク	制御建屋	179	6.620×10 ⁻³	279
	タービン建屋	105	1.909×10 ⁻²	802
	原子炉補機冷却海水ポンプ及び 高压炉心スプレー補機冷却海水 ポンプ	199	5.353×10 ⁻³	225
F-15	各建屋, 排気筒, 原子炉補機冷却海 水ポンプ及び高压炉心スプレー補 機冷却海水ポンプ	20	6.305×10 ⁻²	3,657

c. 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、建屋表面温度が許容温度である 200°C を超える場合には、周囲への放熱を考慮した式を算出する。

- ・建屋（原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋）に係る評価式

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

T : 外壁温度 [°C], x : コンクリート深さ [m], t : 火災継続時間 [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])

- ・排気筒に係る評価式

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

T_0 : 初期温度 50 [°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 排気筒表面の吸収率 (0.9) *¹

h : 排気筒表面熱伝達率 17 [W/m²/K] *²

注記*1 : 伝熱工学資料

*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 [W/m²/K] を用いる。）

- ・復水貯蔵タンクに係る評価式

$$T = T_0 + \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

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

D_o : タンク外径 (20.012 [m]), h : タンク円筒高さ (11.8 [m])

D_i : タンク内径 (20.0 [m]), e : タンク最小板厚 (0.006 [m])

ρ_w : 水の密度 (979.9 [kg/m³]) *¹, C_{pw} : 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) *¹

V : 水の体積 (690 [m³]), ρ_s : タンク壁材密度 (7860 [kg/m³]) *²

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473 [J/kg/K]) *²

注記*1 : 伝熱工学資料第 5 版記載値 (軽水) を 66°C となるように線形補間した値

*2 : 伝熱工学資料第 5 版記載値 (キルド鋼)

- ・原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプに係る評価式

$$T = T_0 + \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

T：評価温度 [°C]，T₀：通常運転時の上昇温度 [°C]

E：輻射強度 [W/m²]，A_T：受熱面積 [m²]

G：重量流量[kg/s]，C_p：空気比熱 [J/kg/K]

この結果，表 26 に示すとおり，どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

表 26 重畳評価結果

重畳評価の想定	評価対象施設	評価温度[°C]	許容温度[°C]
F15 及び 3 号機 軽油タンク	原子炉建屋	約 150	< 200
	排気筒	約 153	< 325
F15 及び 1 号機軽油 貯蔵タンク	制御建屋	約 150	< 200
	タービン建屋	約 164	< 200
	原子炉補機	約 39(上部軸受)	< 40(上部軸受)
	冷却海水ポンプ	約 31(下部軸受)	< 55(下部軸受)
	高圧炉心スプレー 補機冷却海水ポンプ	約 36(上部軸受) 約 45(下部軸受)	< 55(上部軸受) < 55(下部軸受)

(8) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，令和 3 年 2 月版データに基づく航空機落下確率を考慮した航空機墜落による火災が発生した場合を想定したとしても，外壁面の温度，評価対象施設の温度が許容限界温度を超えないことから，発電用原子炉施設に熱影響を及ぼすことはないと評価する。