

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-019-5 改4
提出年月日	2020年 7月20日

資料5

外部火災への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

2020年 7月

東京電力ホールディングス株式会社

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 外部火災の影響を考慮する施設の選定について
2. 発電所敷地内の火災について
3. 発電所敷地外の火災・爆発について
4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

I. はじめに

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するものである。

本補足説明資料と添付書類との関連を表-1 に示す。

- ・ V-1-1-3 「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、
V-1-1-3-5 「外部火災への配慮に関する説明書」

表-1 補足説明資料と添付書類との関連

工事計画添付書類に係る補足説明資料 (外部火災)	該当添付書類
資料 5 外部火災への配慮に関する説明書に係る補足説明資料	V-1-1-3-5 外部火災への配慮に関する説明書
1. 外部火災の影響を考慮する施設の選定について	V-1-1-3-5-1 外部火災への配慮に関する基本方針 V-1-1-3-5-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定
2. 発電所敷地内の火災について	V-1-1-3-5-3 外部火災防護における評価の基本方針 V-1-1-3-5-4 外部火災防護に関する許容温度設定根拠
3. 発電所敷地外の火災・爆発について	V-1-1-3-5-5 外部火災防護における評価方針 V-1-1-3-5-6 外部火災防護における評価条件及び評価結果
4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について	V-1-1-3-5-7 二次的影響 (ばい煙) 及び有毒ガスに対する設計

1. 外部火災の影響を考慮する施設の選定について

1. 外部火災の影響を考慮する施設の選定について

外部火災より防護すべき施設は、発電用原子炉施設の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されている安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器並びに重大事故等対処設備のうち、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クラス3に属する構築物、系統及び機器に加え、それらを内包する建屋（以下「外部事象防護対象施設」という。）並びに重大事故等対処設備とする。

外部火災の影響について評価を行う施設（以下「外部火災の影響を考慮する施設」という。）は、外部火災より防護すべき施設の中から、施設の設置場所、構造を考慮して選定する。

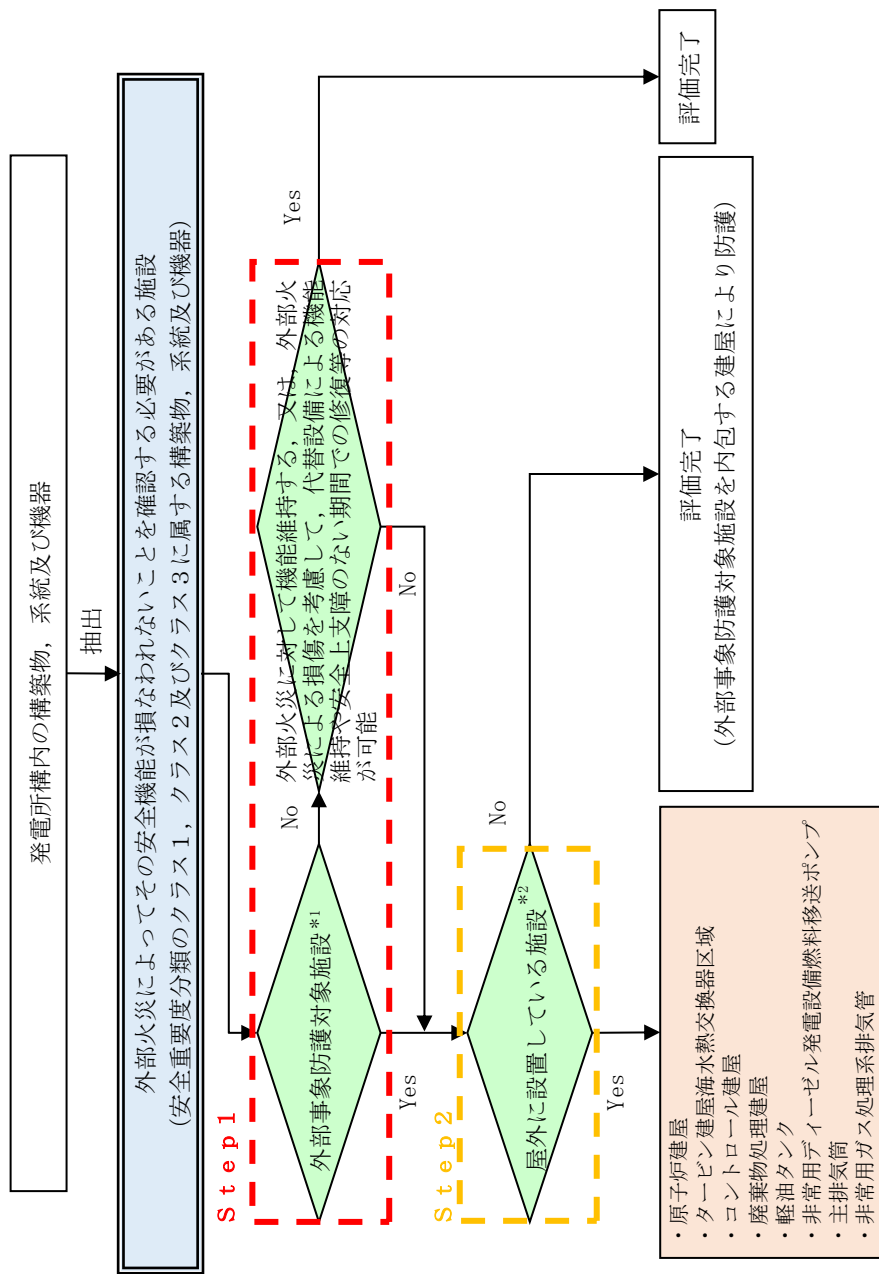
外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設を図1-1のフローに従い選定し、選定結果を表1-1に示す。

外部火災の影響を考慮する施設には、外部事象防護対象施設の安全性を損なわないために防護措置として設置する防護対策施設を含める。防護対策施設に係る外部火災の影響を考慮する施設は、屋外の外部事象防護対象施設の防護措置として外部火災からの防護を目的に設置する防護対策施設を選定する。

重大事故等対処設備については、屋内の重大事故等対処設備についてはそれらを内包する建屋にて防護し、屋外の重大事故等対処設備については位置的分散にて対応することから、影響を考慮する施設としては選定しない。

以上の内容を踏まえて外部火災の影響を考慮する施設を選定した結果を表1-2に示す。

また、外部火災による二次的影響（ばい煙）を考慮し、外部事象防護対象施設に係る二次的影響（ばい煙）を考慮する施設を図1-2のフローに従い選定し、選定結果を表1-3及び表1-4に示す。



注記*1 : 外部事象に対し必要な構築物, 系統及び機器並びにそれらを内包する建屋
 *2 : 外部事象防護対象施設を内包する建屋については, 外部事象防護対象施設が安全機能を損なわれないこと及び重大事故等対処設備が設計基準事故対処設備等の安全機能と同時にその機能を損なわれないことを確認する観点で選定する。

図 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定フロー

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定結果 (1/5)

分類	機能	建築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2		評価対象施設 ○: YES X: No 一: 該当せず又は評価完了	
				外部事象 防護対象 施設	機能維持する、又は、損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能	屋外設備	外部事象防護対象施設を内包する施設(原子炉建屋、タービン建屋、施水熱交換器区域、コントロール建屋、廃棄物処理建屋)		
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 制御棒カッパリング 制御棒駆動機構 炉心支持構造物 燃料集合体 	R/B	○	—	X	○		
	過剰反応度の印加防止機能	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒駆動機構 燃料集合体 	R/B	○	—	X	○		
	炉心形状の維持機能	<ul style="list-style-type: none"> 燃料集合体 	R/B	○	—	—	X	○	
	原子炉の緊急停止機能	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉停止系の制御棒による系(制御棒、制御棒駆動系) 	R/B	○	—	—	X	○	
	未臨界維持機能	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉停止系(制御棒による系、ほう酸水注入系) 	R/B	○	—	—	X	○	
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	<ul style="list-style-type: none"> 主蒸気速がし安全弁(制御棒による系、ほう酸水注入系) 	R/B	○	—	—	X	○	
	原子炉停止後の除熱機能	<ul style="list-style-type: none"> 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、高圧炉心注水系、主蒸気速がし安全弁(手動速がし機能)、自動減圧系(手動速がし機能)) サブプレッションプール 復水補給水系(復水貯蔵槽) 	R/B	○	—	—	X	○	
	炉心冷却機能	<ul style="list-style-type: none"> 非常用炉心冷却系(残留熱除去系(低圧注水モード)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、自動減圧系(主蒸気速がし安全弁)) サブプレッションプール 復水補給水系(復水貯蔵槽) 	R/B	○	—	—	X	○	
	MS-1	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	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器 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 残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード) 	R/B	○	—	X	○	
			<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋原子炉区域(ブローアウトパネル付き) 非常用ガス処理系 	屋外(建屋) R/B、屋外(主排気筒)	○	—	原子炉建屋 非常用ガス処理系排気管	○	
<ul style="list-style-type: none"> 可燃性ガス濃度制御系 			R/B	○	—	X	○		
<ul style="list-style-type: none"> 主排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能) 遮蔽設備(原子炉遮蔽壁、一次遮蔽壁) 			屋外 R/B	○	—	主排気筒	○		
<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽設備(二次遮蔽壁) 			屋外(建屋)	○	—	原子炉建屋	○		
<ul style="list-style-type: none"> 安全保護系 			R/B、C/B	○	—	X	○		
工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能									

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定結果 (2/5)

分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2		評価対象施設
				外部事象 防護対象 施設	機能維持する、又は、損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能	屋外設備	外部事象防護対象施設を内包する施設(原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器区域、コンタロール建屋、廃棄物処理建屋)	
MS-1	安全上特に重要な関連機能	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用交流電源系 (発電機から非常用負荷までの配電設備及び回路) ・非常用ディーゼルの発電機 (非常用ディーゼルの発電設備吸気系含む) ・軽油タンク ・非常用ディーゼルの発電設備燃料移送系 ・中央制御室及び遮蔽 ・中央制御室換気空調系 ・原子炉補機冷却水系 ・原子炉補機冷却海水系 ・非常用直流電源系 ・計測制御用電源設備 ・原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧カバウンドリから外れる部分) ・主蒸気系 ・原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン 	R/B, T/B, C/B	○	—	X	○	評価上の留意点
				○	—	X	○	
				○	—	—	—	
				○	—	—	—	
				○	—	X	○	
				○	—	X	○	
				○	—	X	○	
				○	—	—	—	
				○	—	—	—	
				○	—	—	—	
PS-2	原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧カバウンド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ドリに直接接続されていないものは除く。)	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む) ・新燃料貯蔵設備 (臨界を防止する機能) ・気体廃棄物処理系 (活性炭式希ガスホールドアップ塔) 	R/B	○	—	X	○	注記*: 別紙1に示すとおり、タービン建屋の外壁、更に覆敷の壁があることから影響なし。
			T/B	○	—	X	(*)	

評価対象施設
 ○: YES X: No —: 該当せず又は評価完了

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定結果 (3/5)

分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2		評価対象施設 ○: YES X: No ー: 該当せず又は評価完了
				外部事象 防護対象 施設	機能維持する、又は、 損傷を考慮して、代替設備による 機能維持や安全上支障のない期間 での修復等の対応が可能	屋外設備	外部事象防護対象施設 を内包する施設 (原子 炉建屋、タービン建屋、 海水熱交換器区域、コン トロール建屋、廃棄 物処理建屋)	
PS-2	燃料を安全に取り扱う機能	<ul style="list-style-type: none"> 燃料取扱機械 原子炉建屋クレーン 原子炉ワエール 	R/B	○	—	X	○	
	安全弁及び吹逃がし弁の吹き止まり機能	<ul style="list-style-type: none"> 主蒸気逃がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分) 	R/B	○	—	X	○	
	安全上特に重要な関連機能の間接関連系	<ul style="list-style-type: none"> 非常用交流電源系空調 (非常用電気品区域換気空調系 (非常用ディーゼル発電設備非常用送風機含む)、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系、海水熱交換器区域換気空調系) 	R/B, T/B, C/B	○	—	X	○	
MS-2	使用済燃料貯蔵プール水の補給機能	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系 (使用済燃料貯蔵プール水の補給) オアレックスポンプ 	R/B	○	—	X	○	
	放射生物質放出の防止機能	燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	R/B	○	—	X	○	
		原子炉建屋原子炉区域 (ブローアウトパネェル付)	屋外 (建屋)	○	—		○	
		気体廃棄物処理系 (OG系) 隔離弁	T/B	○	—	X	(*)	注記*: 別紙1に示すとおり、タービン建屋の外壁、更に複数の壁があることから影響なし。
	事故時のプラント状態の把握機能	主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分)	屋外	○	—		X	○
非常用ガス処理系		R/B	○	—	X	○		
制御室外からの安全停止機能	事故時監視計器の一部 (格納容器エリアモニタ等)	C/B	○	—	X	○		
	制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの)	R/B	○	—	X	○		

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定結果 (4/5)

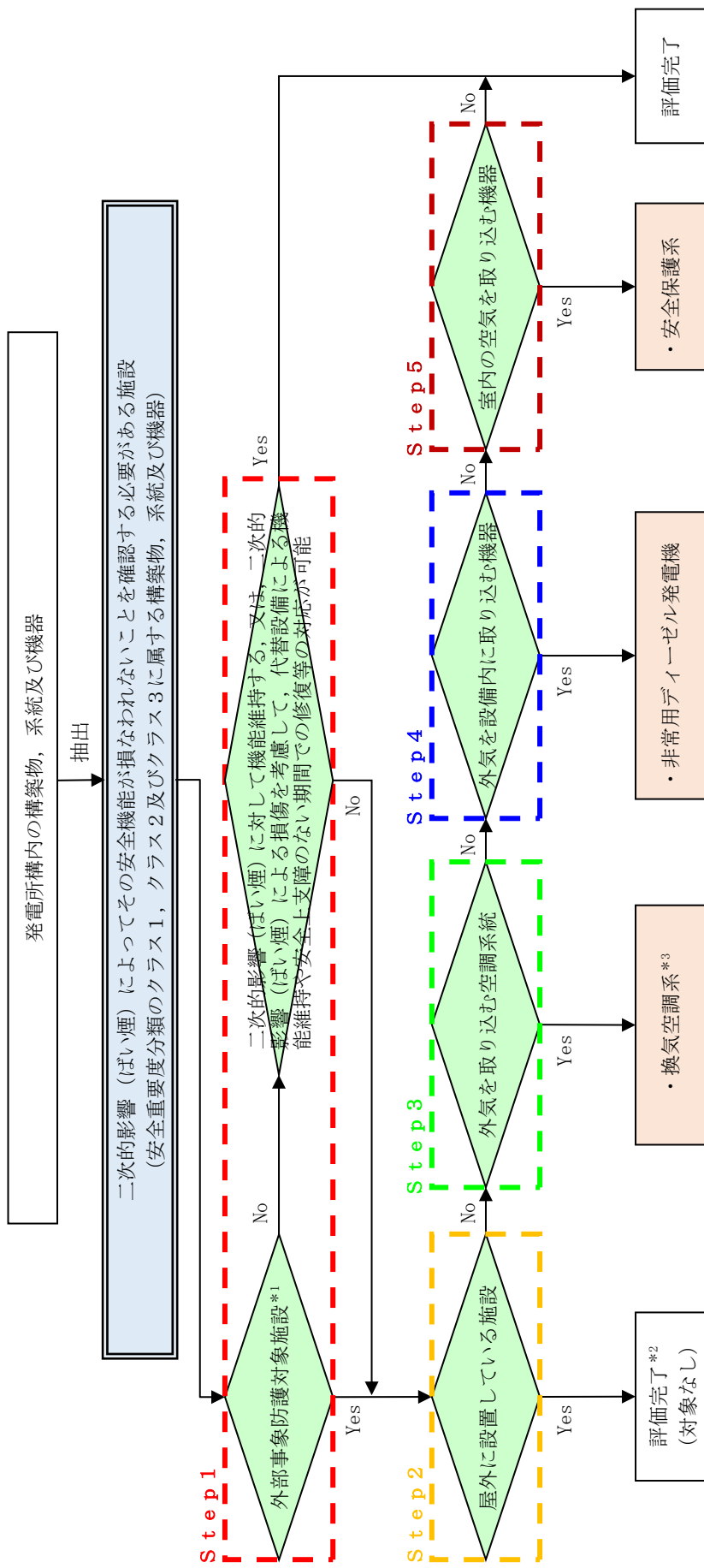
分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2		評価対象施設 ○: YES X: No 一: 該当せず又は評価完了
				外部事象 防護対象 施設	機能維持する、又は、 損傷を考慮して、代替設備による 機能維持や安全上支障のない期間 での修復等の対応 が可能	屋外設備	外部事象防護対象施設 を内包する施設 (原子 炉建屋、タービン建屋、 海水熱交換器区域、コ ントローラールーム、廃棄 物処理建屋)	
PS-3	原子炉冷却材保持機能 (PS-1、PS-2以外のもの) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材圧力バウダングリから除外される計装等の 小口径配管、弁	R/B	X	○	—	—	屋内設備のため影響なし。
		原子炉冷却材再循環系	R/B	X	○	—	—	屋内設備のため影響なし。
	放射性物質の貯蔵機能	圧力抑制室プールの排水系 (圧力抑制室プール水サージタンク)	屋外	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
		復水貯蔵槽	Rw/B	X	○	—	—	屋内設備のため影響なし。
		液体廃棄物処理系	屋外 (建屋)	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
		固体廃棄物処理系	屋外 (建屋)	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
		焼却炉建屋	屋外 (建屋)	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
		新燃料貯蔵設備 新燃料貯蔵ラック	R/B	X	○	—	—	屋内設備のため影響なし。
	電源供給機能 (非常用を除く)	使用済燃料輸送容器保管建屋	屋外 (建屋)	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
		タービン 発電機及び励磁装置 復水系 (復水器を含む) 給水系 循環水系	T/B	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
	プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く)	送電線	屋外	X	○	—	—	代替設備 (非常用ディーゼル発電機) により機能維持可能。
		変圧器 開閉所	屋外	X	○	—	—	代替設備 (非常用ディーゼル発電機) により機能維持可能。
	プラント運転・制御機能 (安全保護機能を除く)	原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザ含む) 原子炉核計装系の一部 原子炉プラントプロセス計装の一部	C/B	X	○	—	—	屋内設備のため影響なし。
		所内ボイラ設備	補助ボイラ建屋	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。
プラント運転・制御機能	所内蒸気系及び屋外系	R/B、T/B、Rw/B	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。	
	計装用圧縮空気系	R/B、T/B、C/B	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。	
核分裂生成物の原子炉冷却材中の放散防止機能	原子炉補給冷却水系 (MS-1 関連以外) (配管/弁)	R/B、T/B、Rw/B	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。	
	タービン補給冷却水系 タービン補給冷却海水系	T/B	X	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。	
原子炉冷却材の浄化機能	復水補給水系 (復水貯蔵槽) 燃料被覆管	Rw/B	X	○	—	—	屋内設備のため影響なし。	
	原子炉冷却材浄化系 復水浄化系	R/B T/B	X X	○ ○	— —	— —	屋内設備のため影響なし。 損傷した場合、補修を実施。	

表 1-1 外部事象防護対象施設に係る外部火災の影響を考慮する施設の選定結果 (5/5)

分類	機能	建築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2		評価対象施設 ○: YES X: No -: 該当せず又は評価完了	
				外部事象 防護対象 施設	機能維持する、又は、 損傷を考慮して、代替設備による 機能維持や安全上支障のない期間 での修復等の対応が可能	屋外設備	外部事象防護対象施設 (原子炉建屋、タービン建屋、 海水熱交換器区域、コン トロール建屋、廃棄 物処理建屋)		
MS-3	原子炉圧力上昇の緩和機能	<ul style="list-style-type: none"> ・主蒸気逃がし安全弁 (逃がし弁機能) ・タービンバイパス弁 	R/B	○	×	○	○	評価上の留意点	
			T/B	○	×	(*)	○		
	出力上昇の抑制機能	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却材再循環流量制御系 (再循環ポンプトリップ機能) ・制御棒引技監視装置 ・制御棒駆動水圧系 ・原子炉隔離時冷却系 	R/B	○	×	○	○	注記*: 別紙1に示すとおり、タービン建屋の外壁、更に複数の壁があることから影響なし。	
			R/B	×	○	—	—		○
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却材再循環ポンプMGセット ・5号機原子炉建屋内緊急時対策所 	Rw/B	○	×	○	○	屋内設備のため影響なし。	
			R/B (5号機)	×	○	—	—		○
	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	<ul style="list-style-type: none"> ・試験採取系 	<ul style="list-style-type: none"> ・有線系 	R/B	×	○	○	○	外部火災に対して影響ないことを確認。 屋内設備のため影響なし。
				各建屋 (地下設備含む)	×	○	—	—	
		<ul style="list-style-type: none"> ・通信連絡設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・有線系 	送電鉄塔	×	○	—	—	屋内設備のため影響なし。
				各建屋 (地下設備含む)	×	○	—	—	
		<ul style="list-style-type: none"> ・放射線監視設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリングポスト 	屋外	×	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。 代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能。
				屋外	×	○	—	—	
		<ul style="list-style-type: none"> ・事故時監視計器の一部 	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型SA設備保管場所 	可搬型SA設備保管場所	×	○	—	—	代替設備 (移動式モニタリング設備の代替測定装置) により機能維持可能。 注記*: 別紙1に示すとおり、タービン建屋の外壁、更に複数の壁があることから影響なし。
				T/B	○	×	(*)	○	
		<ul style="list-style-type: none"> ・津波監視カメラ 	<ul style="list-style-type: none"> ・気体陸棄物処理設備エリア排気放射線モニタ 	R/B, T/B, C/B, Rw/B	×	○	—	—	屋内設備のため影響なし。 代替設備 (可搬型気象観測設備) により機能維持可能。
気象観測設備				×	○	—	—	○	
<ul style="list-style-type: none"> ・消火系 		<ul style="list-style-type: none"> ・安全避難通路 ・非常用照明 	R/B, 屋外 (主排気筒)	×	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。	
			給水建屋 水処理建屋	×	○	—	—		○
<ul style="list-style-type: none"> ・安全避難通路 ・非常用照明 	<ul style="list-style-type: none"> ・消火系 	ろ過水タンク (屋外配管含む)	×	○	—	—	損傷した場合、補修を実施。		
		泡消火設備	×	○	—	—		○	
<ul style="list-style-type: none"> ・安全避難通路 ・非常用照明 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全避難通路 ・非常用照明 	各建屋内	×	○	—	—	屋内設備のため影響なし。		
		各建屋内	×	○	—	—		○	

表 1-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定結果

分類		外部火災の影響を考慮する施設
外部 事 象 防 護 対 象 施 設	外部事象防護対象施設を内包する建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋海水熱交換器区域 ・コントロール建屋 ・廃棄物処理建屋
	屋外の外部事象防護対象施設（建屋を除く。）	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・主排気筒 ・非常用ガス処理系排気管
防護対策施設		<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ 防護板



注記*1：外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器並びにそれらを内包する建屋

*2：ばい煙により機能に影響を受ける屋外の外部事象防護対象施設はない。

*3：中央制御室換気空調系以外の換気空調系については、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止する設計とする。

図1-2 外部事象防護対象施設に係る二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定フロー

表 1-3 外部事象防護対象施設に係る二次的影響 (ばい煙) を考慮する施設の選定結果 (1/5)

評価対象施設
 ○: YES X: No -: 該当せず又は評価完了

分類	機能	配置場所	STEP1		STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	評価上の留意点	
			外部事象防護対象施設	機能維持する、又は、損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能						
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	○	-	X	X	X	X		
	過剰反応度の印加防止機能	・制御棒カプリング ・制御棒駆動機構	○	-	X	X	X	X		
	炉心形状の維持機能	・炉心支持構造物 ・燃料集合体	○	-	X	X	X	X		
	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、制御棒駆動系)	○	-	X	X	X	X		
	未境界維持機能	・原子炉停止系 (制御棒による系、ほう酸水注入系)	○	-	X	X	X	X		
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	・主蒸気逃がし安全弁 (安全弁としての開機能) ・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、高圧炉心注水系、主蒸気逃がし安全弁 (手動逃がし機能)、自動減圧系 (手動逃がし機能)) ・サブプレッションプール	R/B	○	-	X	X	X		
MS-1	原子炉停止後の除熱機能	・復水補給水系 (復水貯蔵槽) ・非常用炉心冷却系 (残留熱除去系 (低圧注水系)、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、自動減圧系 (主蒸気逃がし安全弁)) ・サブプレッションプール	○	-	X	X	X	X		
	炉心冷却機能	・復水補給水系 (復水貯蔵槽) ・原子炉格納容器 ・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 ・残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード)	○	-	X	X	X	X		
	放射線物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能	・原子炉建屋原子炉区域(プロセア)バネル付き	屋外 (建屋)	○	-	○	-	-	-	ばい煙による影響なし。
		・非常用ガス処理系	R/B, 屋外 (主排気筒)	○	-	○	-	-	-	ばい煙による影響なし。
		・可燃性ガス濃度制御系	R/B	○	-	X	X	X	X	
		・主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)	屋外	○	-	○	-	-	-	ばい煙による影響なし。
工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	・遮蔽設備 (原子炉遮蔽壁、一次遮蔽壁)	R/B	○	-	X	X	X	X		
	・遮蔽設備 (二次遮蔽壁)	屋外 (建屋)	○	-	○	-	-	-	ばい煙による影響なし。	
	・安全保護系	R/B, C/B	○	-	X	X	X	X	安全保護系	

表 1-3 外部事象防護対象施設に係る二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（2/5）

分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	外部事象 防護対象 施設	STEP1 機能維持する、又は、 損傷を考慮して、代替設備による 機能維持や安全 上支障のない期間 での修復等の対応 が可能	STEP2 屋外設備	STEP3 外気を取り 込む空調系 統	STEP4 外気を設備 内に取り込 む機器	STEP5 室内の空気 を取り込む 機器	評価上の留意点	
											評価対象施設
MS-1	安全上特に重要な関連機能	・非常用交流電源系 (発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路)	R/B, T/B, C/B	○	—	×	×	×	×		
		・非常用ディーゼル発電機 (非常用ディーゼル発電設備吸気系含む)	R/B	○	—	×	×	非常用ディー ゼル発電機	—		
		・軽油タンク	屋外	○	—	○	—	—	—	—	
		・非常用ディーゼル発電設備燃料移送系	屋外	○	—	○	—	—	—	—	
		・中央制御室及び遮蔽 ・中央制御室換気空調系	C/B	○	—	×	—	—	—	—	
PS-2	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。)	・原子炉補機冷却水系 ・原子炉補機冷却排水系	R/B, T/B, C/B	○	—	×	×	×	×		
		・非常用直流通電源系 ・計測制御用電源設備	R/B, C/B	○	—	×	×	×	×		
		・原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分)	R/B	○	—	×	×	×	×		
		・主蒸気系	R/B	○	—	×	×	×	×		
		・原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン	R/B	○	—	×	×	×	×		
PS-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	・使用済燃料貯蔵プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む)	R/B	○	—	×	×	×	×		
		・新燃料貯蔵設備 (臨界を防止する機能)	R/B	○	—	×	×	×	×		
		・気体廃棄物処理系 (活性炭式希ガスホールドアップ塔)	T/B	○	—	×	×	×	×		

評価対象施設
○：YES X：No —：該当せず又は評価完了

表 1-3 外部事象防護対象施設に係る二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果（3/5）

分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	評価対象施設 ○：YES X：No ー：該当せず又は評価完了
				外部事象 防護対象 施設	機能維持する、又は、 損傷を考慮して、代替設備による 機能維持や安全上の支障のない期間での修復等の対応 が可能					
PS-2	燃料を安全に取り扱う機能	・燃料取扱機 ・原子炉建屋クレーン ・原子炉ウエル	R/B	○	ー	×	×	×	×	
	安全弁及び速がし弁の吹き止まり機能	・主蒸気速がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	R/B	○	ー	×	×	×	×	
MS-2	安全上特に重要な関連機能の 間接関連系	・非常用交流電源系空調 (非常用電気品区域換気空調系(非常用ディーゼル 発電設備非常用送風機含む)、コントロール建屋 計測制御電源強区域換気空調系、海水熱交換器区 域換気空調系)	R/B, T/B, C/B	○	ー	×	換気空調系	ー	ー	
	使用済燃料貯蔵プール水の補給機能	・残留熱除去系(使用済燃料貯蔵プール水の補給) ・サブプレッションプール	R/B	○	ー	×	×	×	×	
	放射線物質放出の防止機能	燃料プール格納浄化系の燃料プール入口逆止弁 ・原子炉建屋原子炉区域(プロローアアウトパネル付 き) ・気体廃棄物処理系(OC系) 隔離弁 ・主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分) ・非常用ガス処理系	R/B	○	ー	×	×	×	×	
			屋外(建屋)	○	ー	○	ー	ー	ー	はい煙による影響なし。
			T/B	○	ー	×	×	×	×	はい煙による影響なし。
	事故時のプラント状態の把握機能	・事故時監視計器の一部 (格納容器エリアモニタ等)	R/B	○	ー	×	×	×	×	
			C/B	○	ー	×	×	×	×	
	制御室外からの安全停止機能	・制御室外原子炉停止装置 (安全停止に関連するもの)	R/B	○	ー	×	×	×	×	

表 1-3 外部事象防護対象施設に係る二次的影響 (ばい煙) を考慮する施設の選定結果 (4/5)

評価対象施設
 : YES : No : 該当せず又は評価完了

分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	外部事象 防護対象 施設	STEP1 機能維持する、又は、 損傷を考慮して、代替設備による 機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能	STEP2 屋外設備	STEP3 外気を取り込む空調系統	STEP4 外気を取り込む機器	STEP5 室内の空気を取り込む機器	評価上の留意点
PS-3	原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2以外のも)	原子炉冷却材圧力バスタウンダリから除外される許装等の小口径配管、弁	R/B	X	O	—	—	—	—	
		原子炉冷却材の循環機能	R/B	X	O	—	—	—	—	
	放射性物質の貯蔵機能	圧力抑制室プール水排水系 (圧力抑制室プール水サージタンク)	屋外	X	O	—	—	—	—	
		復水貯蔵槽	Rw/B	X	O	—	—	—	—	
		液体廃棄物処理系	屋外 (建屋)	X	O	—	—	—	—	
		固体廃棄物処理系	屋外 (建屋)	X	O	—	—	—	—	
		固体廃棄物貯蔵庫	屋外 (建屋)	X	O	—	—	—	—	
		廃却貯蔵庫	屋外 (建屋)	X	O	—	—	—	—	
	電源供給機能 (非常用を除く)	新燃料貯蔵設備	R/B	X	O	—	—	—	—	
		新燃料貯蔵ラック	R/B (建屋)	X	O	—	—	—	—	
使用済燃料輸送容器保管建屋		屋外 (建屋)	X	O	—	—	—	—		
タービン ・発電機及び励磁装置 ・復水系 (復水器を含む) ・給水系 ・循環水系 ・送電線		T/B	X	O	—	—	—	—		
プラント制御・制御機能 (安全保護機能を除く)	変圧器 ・開閉所	屋外	X	O	—	—	—	—		
	原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザ含む) ・原子炉核計装系の一部 ・原子炉プラントプロセス計装の一部	屋外	X	O	—	—	—	—		
プラント運転補助機能	原子炉プラント制御系 (制御棒価値ミニマイザ含む)	C/B	X	O	—	—	—	—		
	原子炉プラントプロセス計装の一部	C/B	X	O	—	—	—	—		
	所内ボイラ設備	補助ボイラ 建屋	X	O	—	—	—	—		
	所内蒸気系及び戻り系	R/B, T/B, Rw/B	X	O	—	—	—	—		
	計装用圧縮空気系	R/B, T/B, C/B	X	O	—	—	—	—		
核分裂生成物の原子炉冷却材 中の放散防止機能	原子炉補機冷却水系 (MS-1 関連以外) (配管/弁)	R/B, T/B, Rw/B	X	O	—	—	—	—		
	タービン補機冷却水系	T/B	X	O	—	—	—	—		
	タービン補機冷却海水系	Rw/B	X	O	—	—	—	—		
原子炉冷却材の浄化機能	復水補給水系 (復水貯蔵槽)	R/B	X	O	—	—	—	—		
	燃料被覆管	R/B	X	O	—	—	—	—		
	原子炉冷却材の浄化機能	R/B	X	O	—	—	—	—		
		T/B	X	O	—	—	—	—		

表 1-3 外部事象防護対象施設に係る二次的影響 (ばい煙) を考慮する施設の選定結果 (5/5)

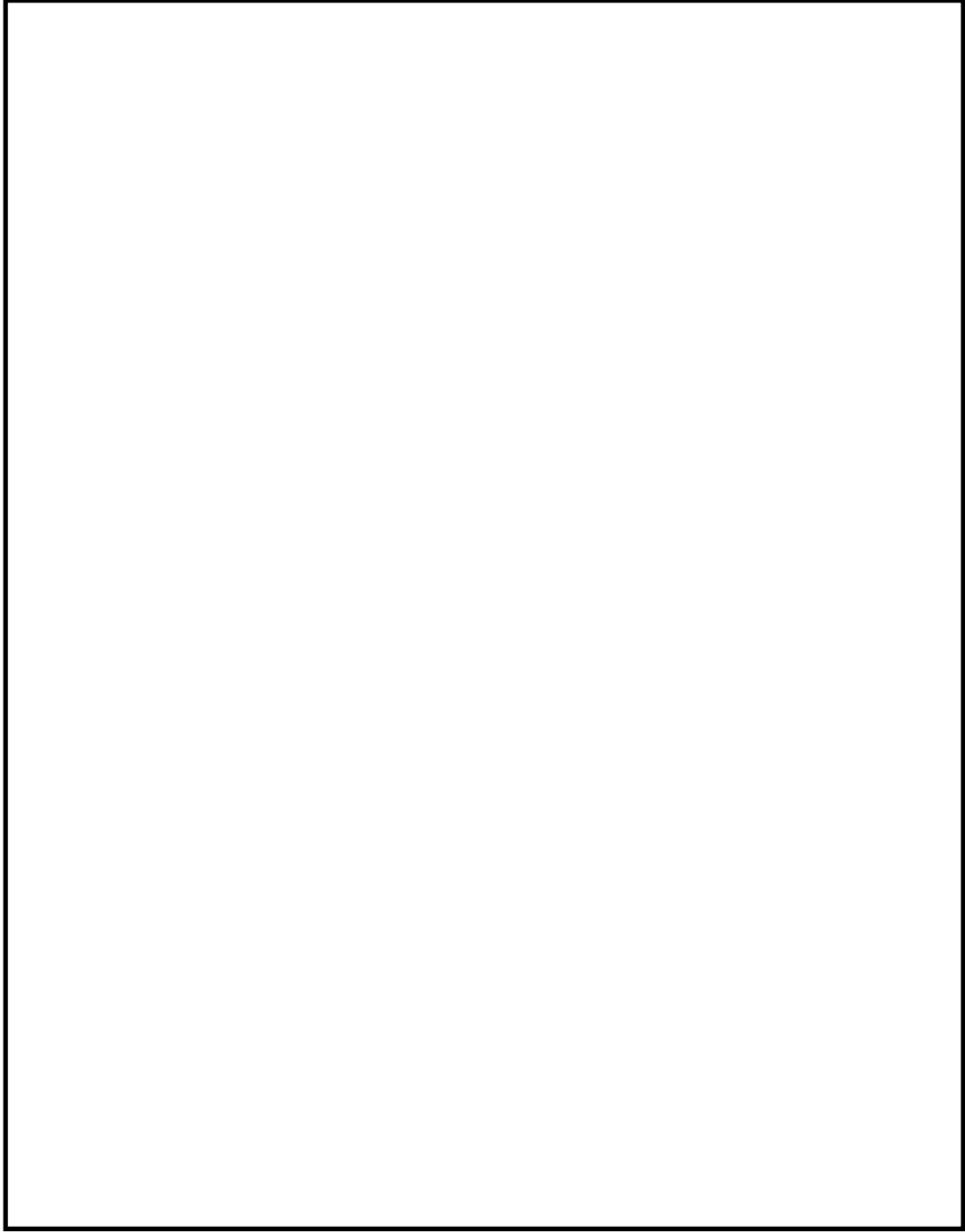
評価対象施設
 ○: YES X: No -: 該当せず又は評価完了

分類	機能	構築物、系統又は機器	配置場所	STEP1		STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	評価上の留意点	
				外部事象防護対象施設	機能維持する、又は、損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能						
MS-3	原子炉圧力上昇の緩和機能	<ul style="list-style-type: none"> ・主蒸気逃がし安全弁 (逃がし弁機能) ・タービンバイパス弁 	R/B	○	X	X	X	X	X		
			T/B	○	-	X	X	X	X	X	
	出力上昇の抑制機能	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却材再循環流量制御系 (再循環ポンプトリップ機能) ・制御棒引抜監視装置 	R/B	○	-	X	X	X	X		
			R/B	X	○	-	-	-	-	-	
	原子炉冷却材の補給機能	<ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動水圧系 ・原子炉隔離時冷却系 	R/B	X	○	-	-	-	-		
			Rw/B	○	-	X	X	X	X	X	
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	<ul style="list-style-type: none"> ・5号機原子炉建屋内緊急時対策所 ・飲料採取系 	R/B (5号機)	X	○	-	-	-	-		
			R/B	X	○	-	-	-	-	-	
	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	<ul style="list-style-type: none"> ・所外通信 ・有線系 	<ul style="list-style-type: none"> ・有線系 	各建屋 (地下設備含む)	X	○	-	-	-	-	
				送電鉄塔	X	○	-	-	-	-	-
放射線監視設備	<ul style="list-style-type: none"> ・所内通信 ・有線系 	<ul style="list-style-type: none"> ・有線系 	各建屋 (地下設備含む)	X	○	-	-	-	-		
			屋外	X	○	-	-	-	-	-	
無線監視設備	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリングポスト ・移動式モニタリング設備 ・気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ 	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型 SA 設備保管場所 	屋外	X	○	-	-	-	-		
			可搬型 SA 設備保管場所	X	○	-	-	-	-	-	
事故時監視計器の一部	<ul style="list-style-type: none"> ・津波監視カメラ 	<ul style="list-style-type: none"> ・津波監視カメラ 	T/B	○	-	X	X	X	X		
			R/B, T/B, C/B, Rw/B	X	○	-	-	-	-	-	
消火系	<ul style="list-style-type: none"> ・消火系 	<ul style="list-style-type: none"> ・給水建屋 ・水処理建屋 ・ろ過タンク (屋外配管含む) ・泡消火設備 	給水建屋	X	○	-	-	-	-		
			水処理建屋	X	○	-	-	-	-	-	
安全避難通路・非常用照明	<ul style="list-style-type: none"> ・安全避難通路 ・非常用照明 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全避難通路 ・非常用照明 	各建屋内	X	○	-	-	-	-		
			各建屋内	X	○	-	-	-	-	-	

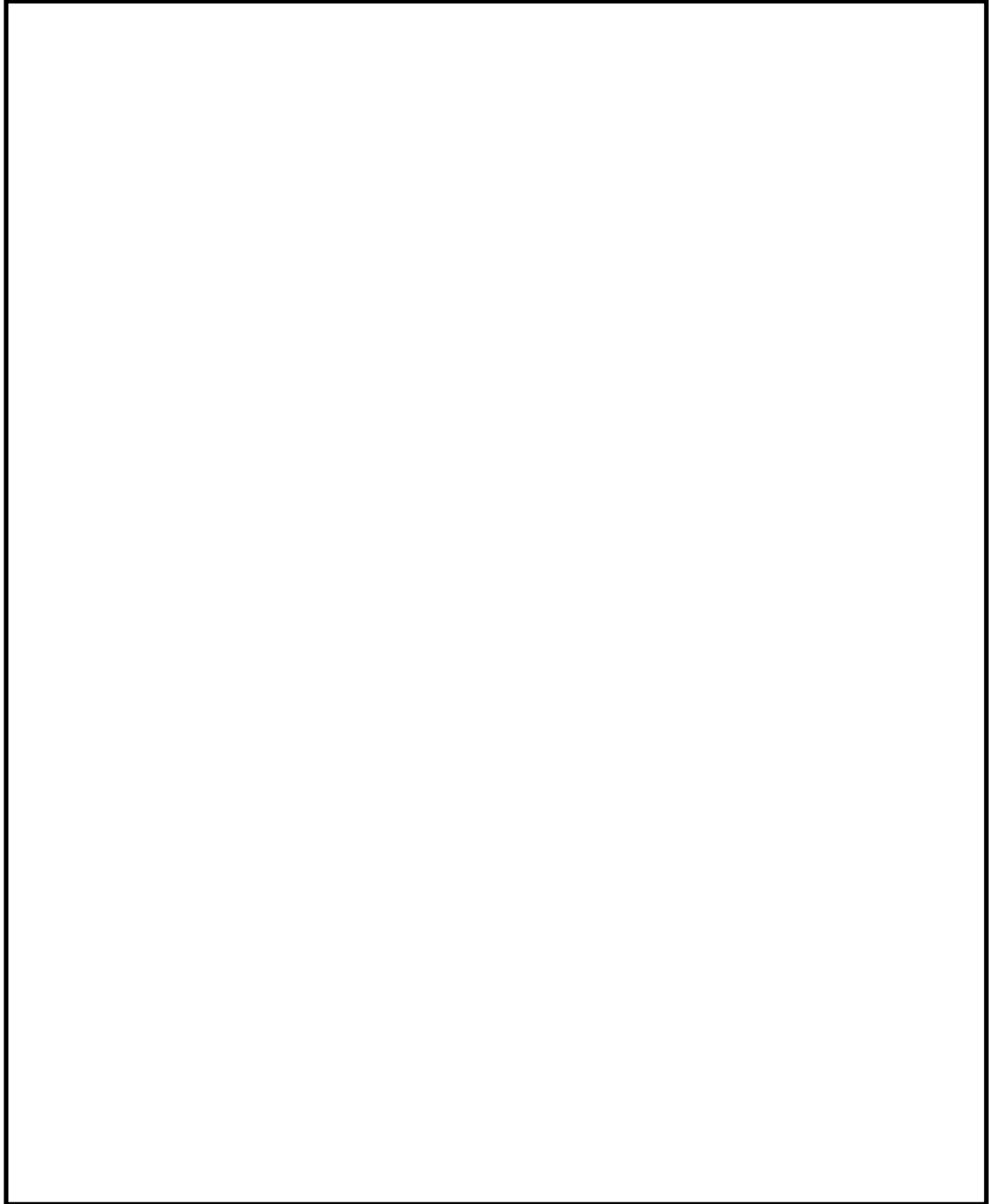
表 1-4 二次的影響（ばい煙）を考慮する施設の選定結果

分類	二次的影響（ばい煙）を考慮する施設
外気を取り込む空調系統	<ul style="list-style-type: none"> ・換気空調系
外気を設備内に取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機
室内の空気を取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> ・安全保護系

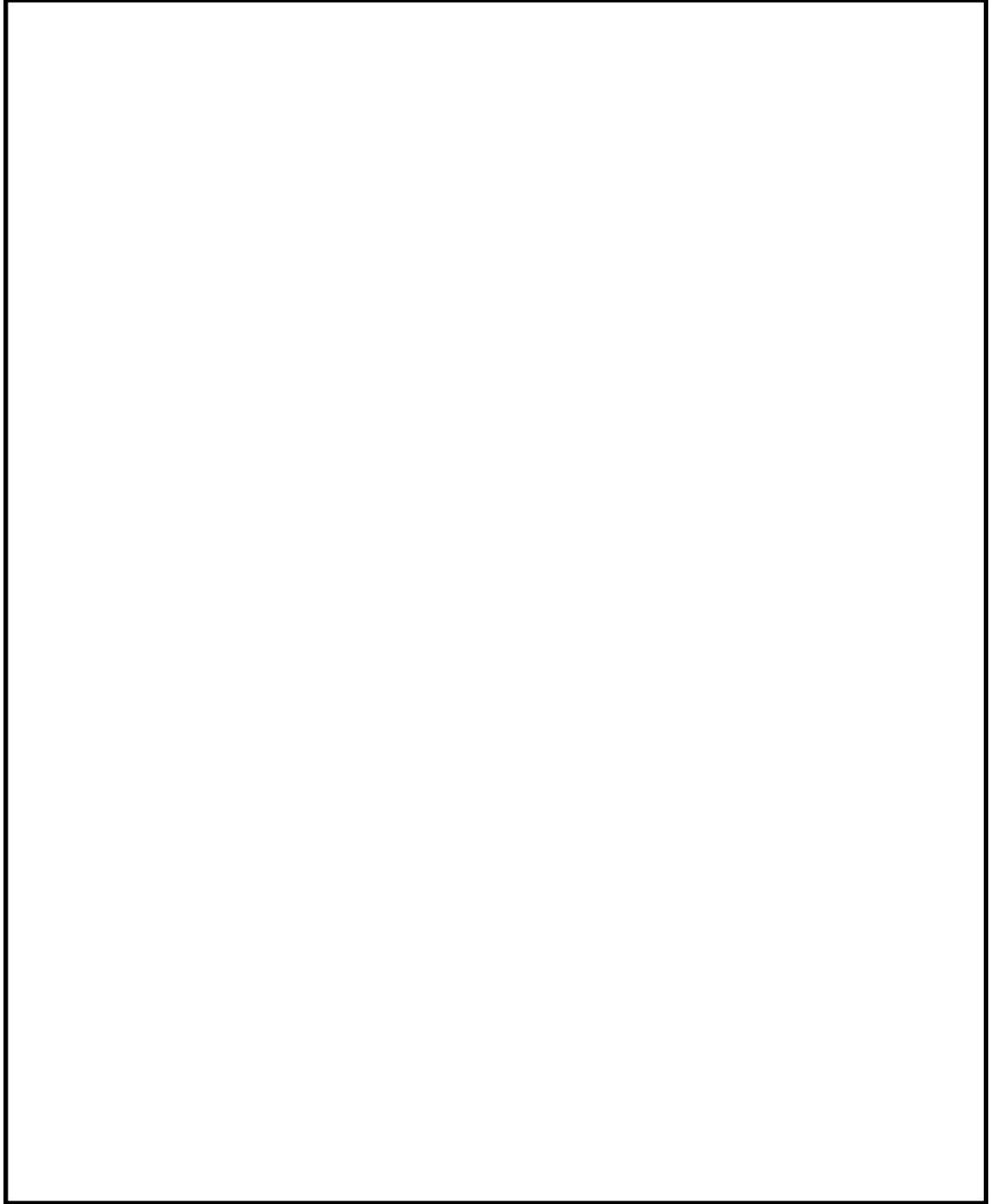
タービン建屋機器配置



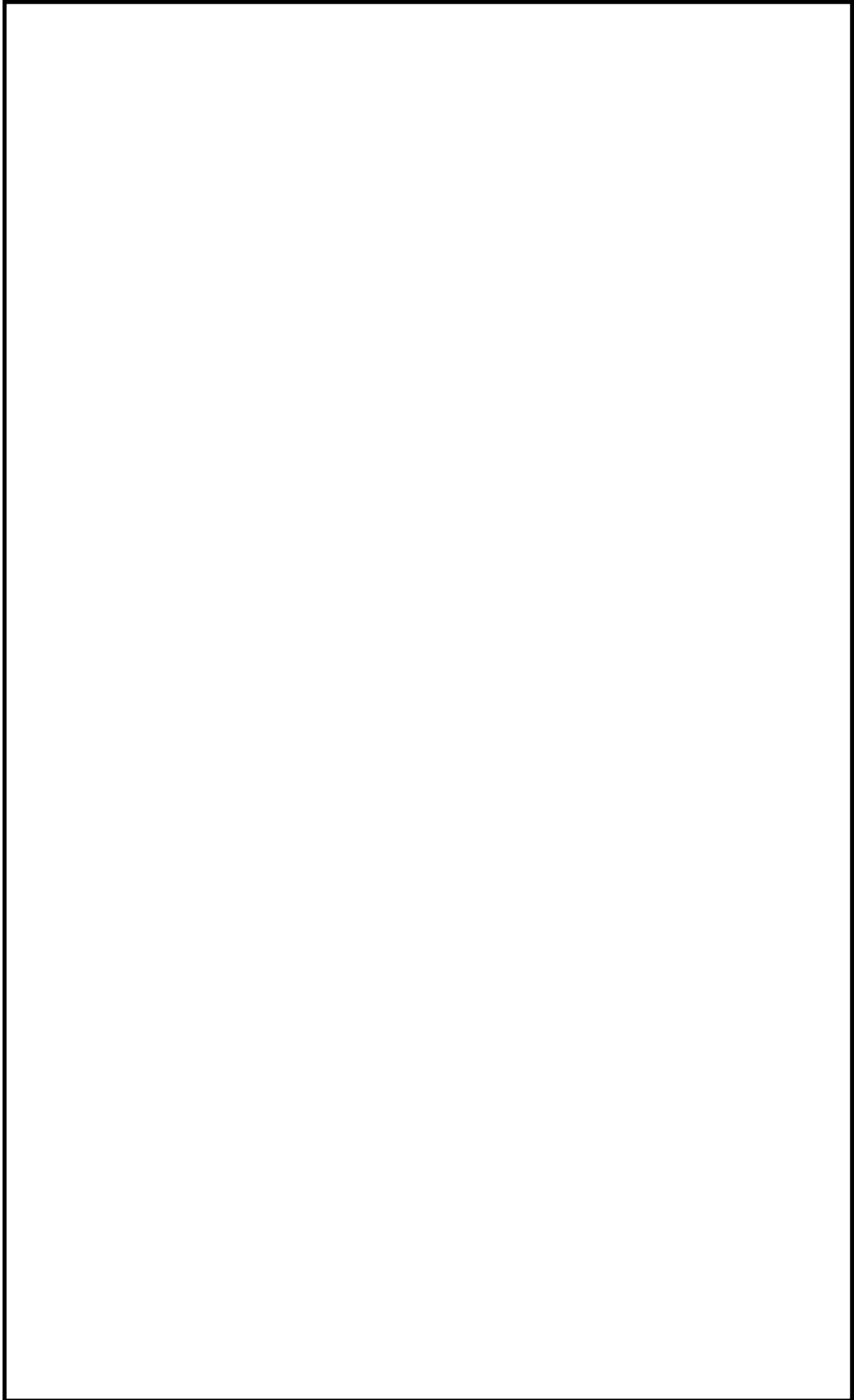
タービン建屋 T.M.S.L.4900 平面図



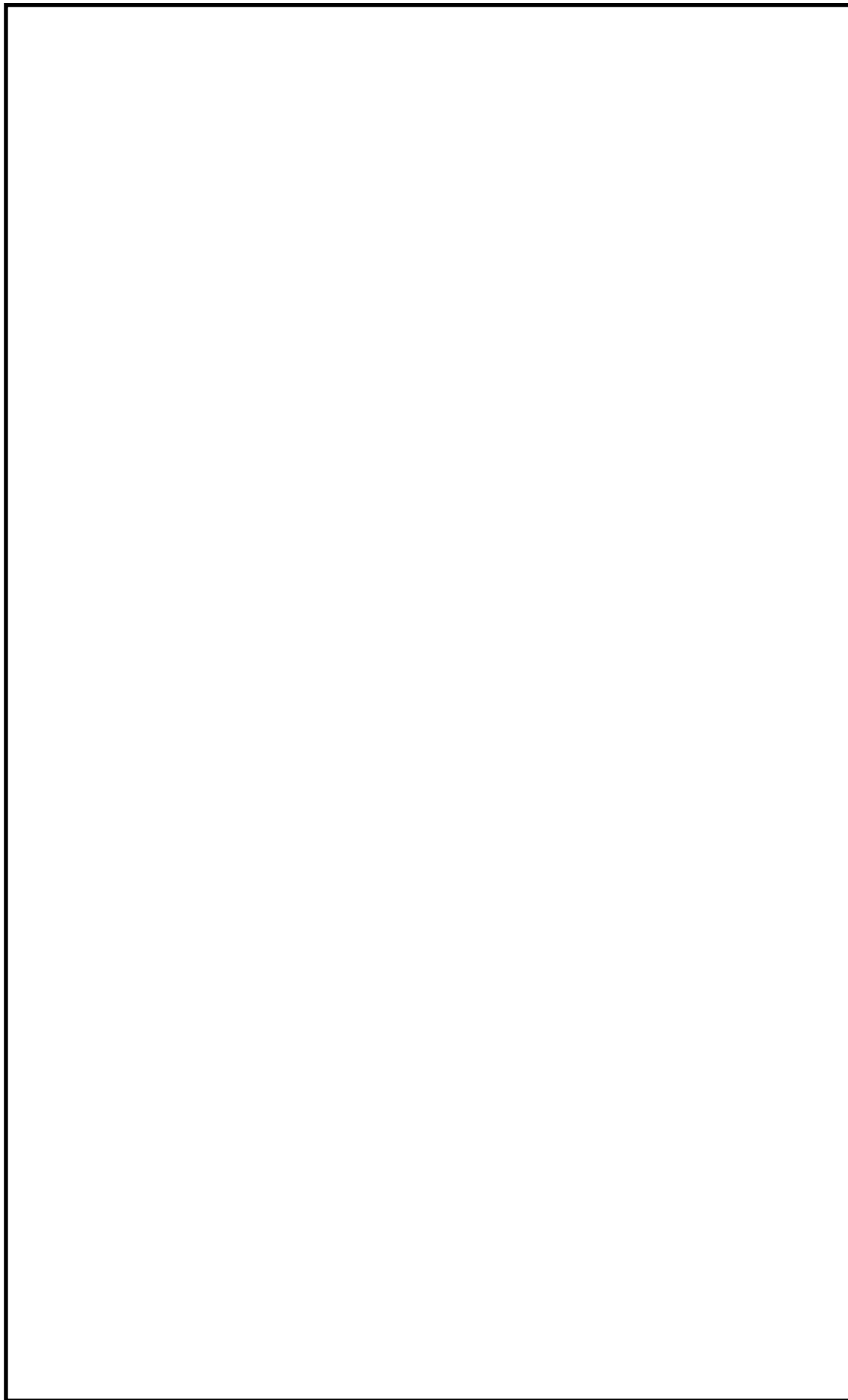
タービン建屋 T.M.S.L. 12300 平面図



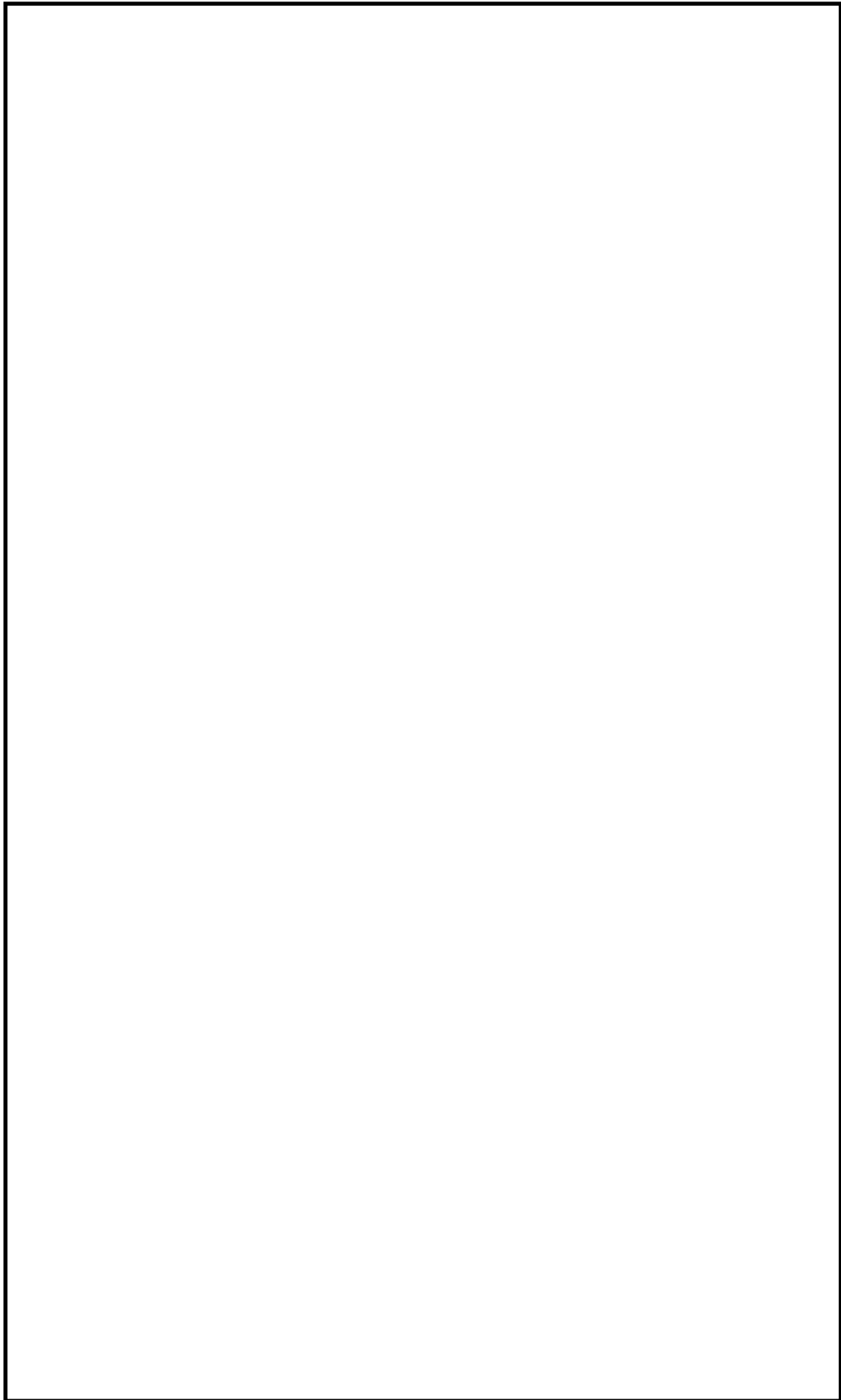
タービン建屋 T.M.S.L. 17000 平面図



タービン建屋 東西方向断面図



タービン建屋 南北方向断面図 (1/2)



タービン建屋 南北方向断面図 (2/2)

2. 発電所敷地内の火災について

2. 発電所敷地内の火災について

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発散度の算出

(1) 発火点

立地条件を考慮して設定した発火点のケース1～3の位置を図2-1に示す。

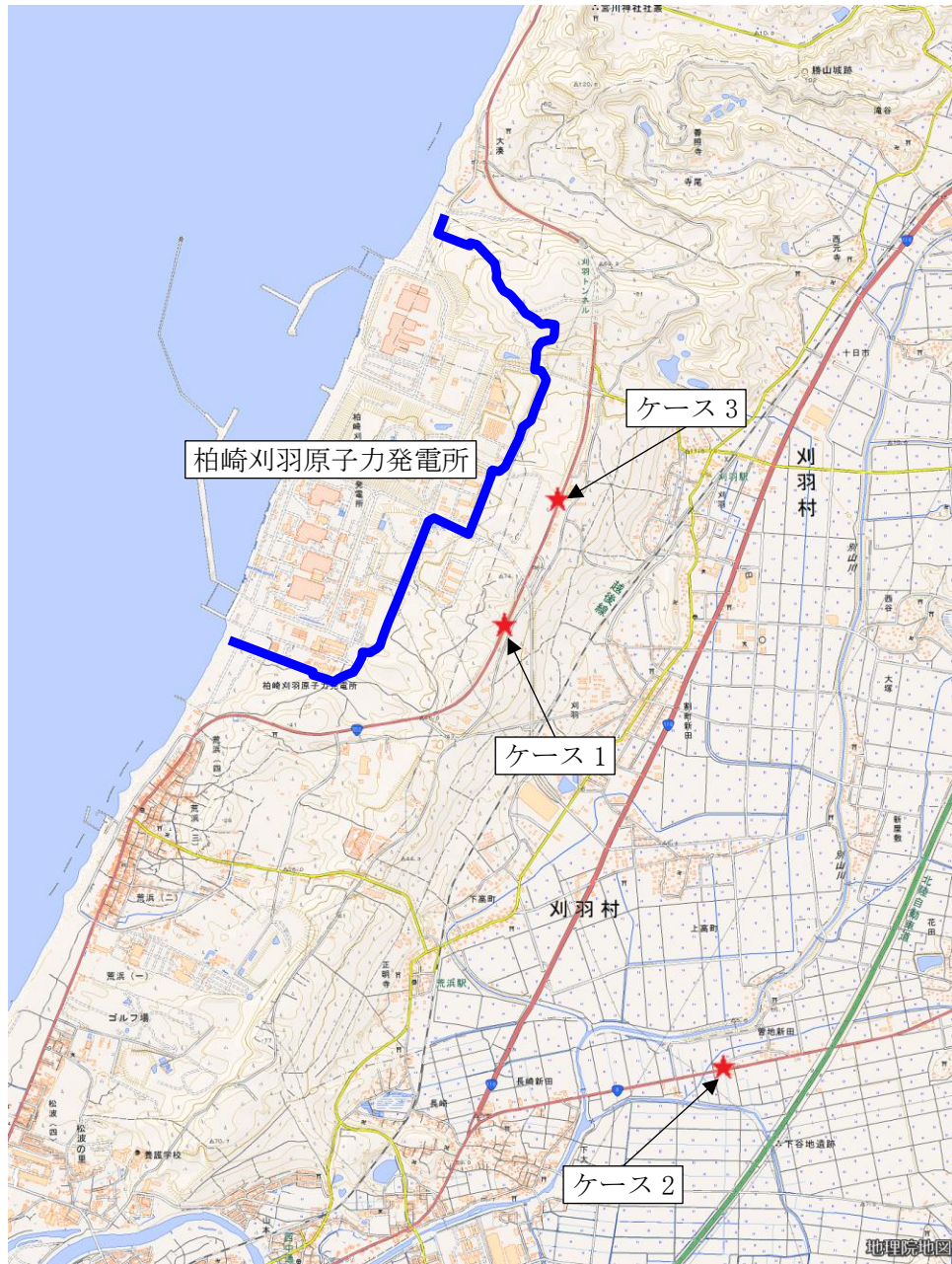


図2-1 発火点の設定位置

(2) FARSITE 出力データ

FARSITE 出力データ及びその出力データを基に算出したデータを表 2-1 に示す。

表 2-1 FARSITE 出力データ及びその出力データを基に算出したデータ

	発火点 ケース 1	発火点 ケース 2	発火点 ケース 3
火炎長* ¹ (m)	2.94	3.08	2.51
火線強度* ¹ (kW/m)	2715	3002	1929
反応強度* ¹ (kW/m ²)	544	560	591
燃焼継続時間* ² (min)	52	51	57
火炎輻射発散度* ² (kW/m ²)	94.8	100	78.8
火炎輻射強度* ^{2, *3} (kW/m ²)	205	211	222
燃焼半径* ² (m)	0.980	1.02	0.840
円筒火炎モデル数* ² (—)	1900	1815	2224
火炎到達幅* ⁴ (m)	3730		

注記*¹ : FARSITE 出力データ

*² : FARSITE 出力データを基に算出したデータ

*³ : 反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出

*⁴ : 7 号機原子炉建屋東面から見える林縁（防火帯森林側）の長さ

(3) 燃焼半径の算出

次の式から燃焼半径 (R) を算出する。

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

R : 燃焼半径(m), H : 火炎長(m)

(4) 円筒火炎モデル数の算出

次の式から円筒火炎モデル数 (F) を算出する。

$$F = \frac{W}{2R}$$

F : 円筒火炎モデル数(—), W : 火炎到達幅(m)

(5) 火炎輻射発散度の算出

火災で発生する発熱量から輻射熱に寄与する割合(輻射熱割合)を考慮し、その輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定し、円筒火炎の火炎輻射発散度 Rf (kW/m²) を求める。発熱量が保存されるため、以下の式で表現できる。

(円筒火炎 1 個の側面積+上部面積(m²)) × 円筒火炎個数 × 火炎輻射発散度(kW/m²)
= 火線強度(kW/m) × 火炎到達幅(m) × 輻射熱割合(—)

$$(2\pi RH + \pi R^2) \times F \times Rf = I_B \times W \times \chi$$

また、上記(3)、(4)の式より、以下の式が求まる。

$$Rf = \frac{6\chi I_B}{7\pi H}$$

Rf : 火炎輻射発散度(kW/m²), I_B : 火線強度(kW/m), H : 火炎長(m)

<火炎輻射発散度の算出方法>

火線強度 (I_B) (kW/m) は、図 2-2 に示すような火炎構造(幅 W (m), 奥行き D (m), 火炎長 H (m)) において「火炎最前線での単位幅あたりの発熱速度」と定義でき、反応強度 (I_R) (kW/m²) とは次の関係にある。

$$I_B = I_R \times D \quad \text{(式 1)}$$

火炎輻射発散度を計算するための円筒火炎モデルでは、図 2-2 の有効火炎領域を、火炎の幅 (W) (m) に沿って円筒火炎(半径 R (m), 高さ H (m)) を F 個一列に並べて模擬する。ここで、有効火炎領域の発熱量のうち輻射熱割合 χ (—) を考慮し、円筒火炎の側面及び上面からの輻射熱として放射されるとして、発熱量が保存されるよう火炎輻射発散度を求める。円筒火炎での火炎輻射発散度を Rf (kW/m²) とすると、有効火炎領域の発熱量は保存されることから、以下の式で表現できる。

総発熱量(側面, 上面からの輻射) (kW)

= 火線強度(kW/m) × 火炎到達幅(m) × 輻射熱割合(—) より

$$(2\pi RH + \pi R^2) \times F \times Rf = I_B \times W \times \chi \quad (= I_R \times D \times W \times \chi) \quad \text{(式 2)}$$

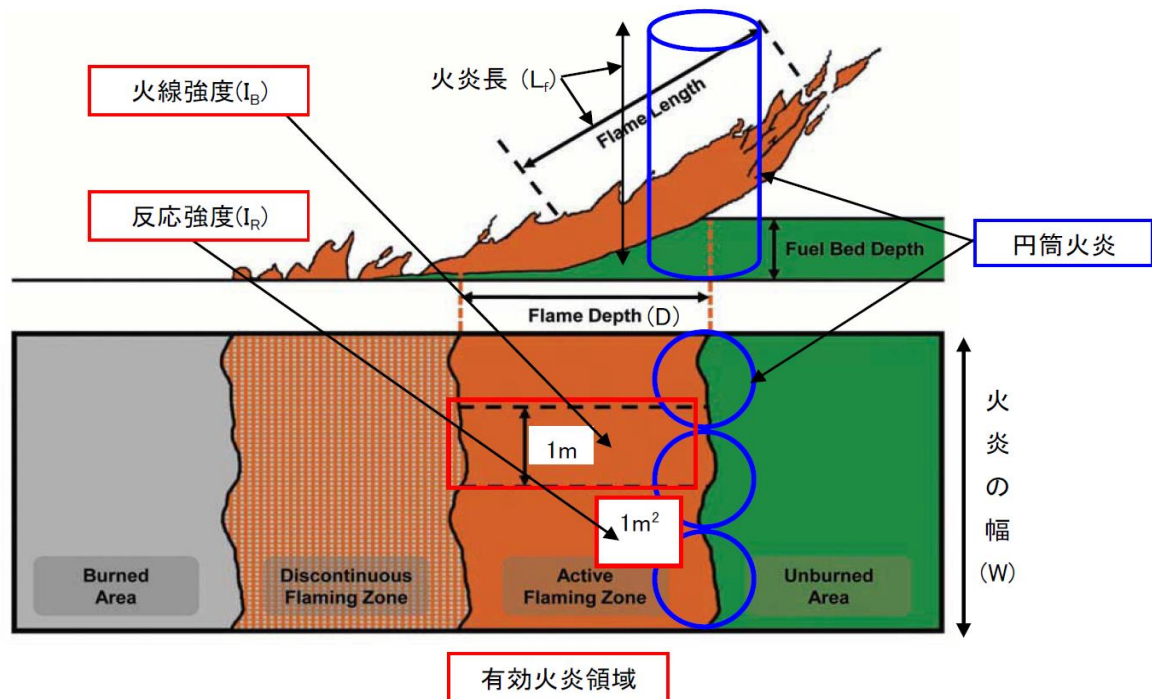
また、評価ガイドより、円筒火炎モデルは

$$R = H/3 \quad \text{(式 3)}$$

$$F = W/2R \quad \text{(式 4)}$$

と定義されるので、式 3、式 4 を式 2 に代入することにより、次式が得られる。

$$Rf = \frac{6\chi I_B}{7\pi H} \quad \text{(式 5)}$$



(出典 : Andrews, P.L, et. al. (2011):How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-253.)

図 2-2 火線強度及び円筒火炎モデルの考え方

(6) 熱影響が最も厳しくなる最大火炎輻射発散度の特定

V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち V-1-1-3-5-5「外部火災防護における評価方針」に示す評価式を用いて7号機原子炉建屋について熱影響評価をした結果を表 2-2 に示す。評価結果のとおり、ケース 2 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、ケース 2 の火炎輻射発散度 100 (kW/m²) を用いて評価を行う。

表 2-2 7号機原子炉建屋に対する発火点毎の熱影響評価

最大外壁面温度 (°C)			コンクリート 許容温度 (°C)
ケース 1	ケース 2	ケース 3	
53	55	52	<200

2.1.2 森林火災における評価モデルの概要

(1) 建屋外壁の温度評価方法

火災の進展により原子炉建屋外壁面が受ける輻射熱は、FARSITE による森林火災解析結果から、1 メッシュ (10m×10m) ごとに火炎長、単位面積当り発熱量及び火炎到達時間が出力されるので、メッシュごとに円筒火炎モデルを並べ (円筒火炎の直径が 1m であれば、1 メッシュに 10 個の円筒火炎を考慮)、各メッシュに火炎が到達してから燃え尽きるまでの間輻射に寄与するとして受熱点の輻射強度を積算する。受熱点への輻射強度計算方法の概念を図 2-3 に示す。

外壁面の温度は、外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて評価を実施する (図 2-4)。

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

使用する記号の説明を表 2-3 に示す。

表 2-3 記号の説明

記号	単位	定義
T	°C	温度
t	s	時刻
x	m	建物壁内における外面からの距離
α	m ² /s	熱拡散率

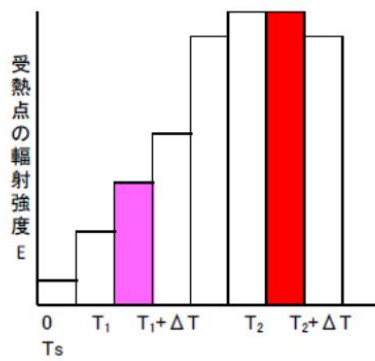
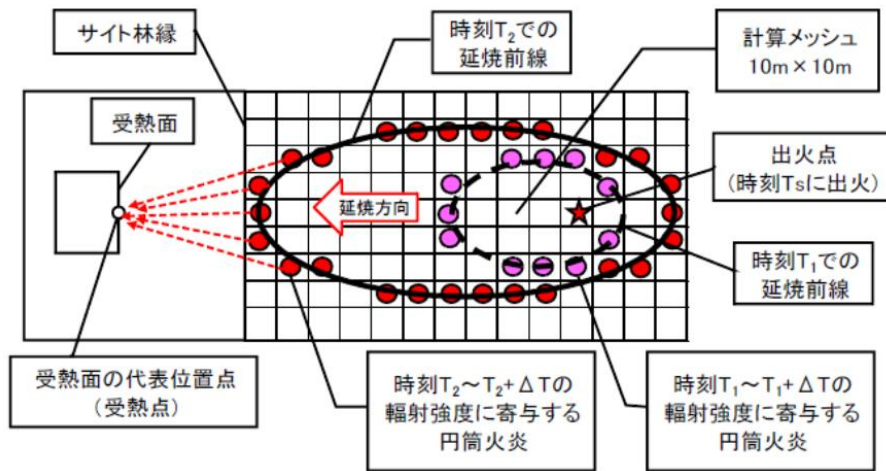


図 2-3 受熱点の輻射強度の計算モデル概念図

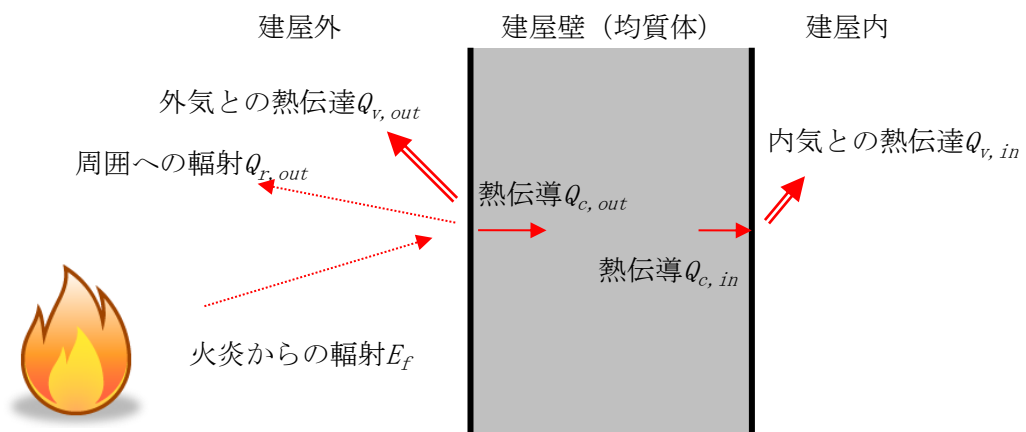


図 2-4 外壁面温度評価概念図

(2) 危険距離の評価方法

最大の火炎輻射発散度のメッシュの火炎データをもった円筒火炎モデルを火炎到達幅と同じ長さの直線上に並べて、全円筒から同時かつ継続的に受熱面が受ける輻射強度が危険輻射強度となる距離を危険距離として算出する。

危険距離の評価方法として、直線上の火炎前線及び一様の火線強度による円筒火炎モデルを用いた。円筒火炎モデルによる危険距離評価の概要図を図2-5に示す。

危険距離の計算条件である火線強度、火炎長は表2-1に示すとおり、FARSITEの解析結果を用いた。輻射熱割合は、草地:0.35(米国国立標準技術研究所(NIST)の使用値)、針葉樹:0.377並びに落葉広葉樹:0.371(米国防火技術者協会(SFPE)が発行しているハンドブック(THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION)より算出)のうち保守的に最も大きい値である0.377を採用した。

なお、反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギー(火炎輻射強度)と火炎・煙として対流放出される熱エネルギー(火炎対流発散度)の和により求められることから、針葉樹の輻射熱割合(0.377)は、針葉樹代表種の火炎輻射強度:4.9[kJ/g]と反応強度:13.0[kJ/g]の比(反応強度に対する火炎輻射強度の割合)から算出した。

針葉樹代表種の発熱量

火炎輻射強度:4.9[kJ/g]+火炎対流発散度:8.0[kJ/g]=反応強度13.0[kJ/g]

(ΔH_{rad})

(ΔH_{con})

(ΔH_{ch})

輻射熱割合

$$\frac{\Delta H_{\text{rad}}}{\Delta H_{\text{ch}}}$$

$$\frac{4.9[\text{kJ/g}]}{13.0[\text{kJ/g}]}=0.377$$

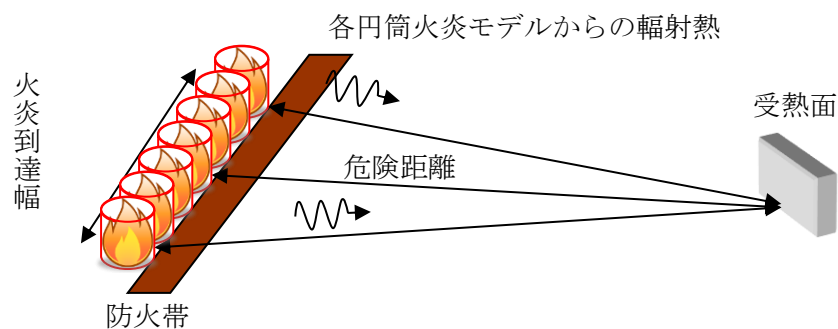


図2-5 円筒火炎モデルによる危険距離評価の概要図

2.2 外部火災の影響を考慮する施設の許容温度について

(1) 評価に用いるコンクリート許容温度 (200°C) について

コンクリートの圧縮強度は、200°C程度までは常温とほとんど変わらないかむしろ増加する。しかし、その後は徐々に低下し、500°Cで常温強度の2/3に低下する。火災後（冷却後）の残存強度を確保する場合には450°Cが限界となる。^{*1}

また、他の文献^{*2}では、コンクリートの強度を著しく低下させる温度の境界を300°Cとし、コンクリート表面の受熱温度が300°C以下で許容ひび割れ幅以上のひび割れが認められない場合の構造体は健全であり、仕上げのみの補修でよいとしている。図2-6にコンクリートの強度と温度の関係、表2-4、表2-5に火災によるコンクリートの火害等級及びその補修・補強方法について示す。

よって、保守的に圧縮強度に変化がないとされる200°Cを許容温度とし、評価を実施する。

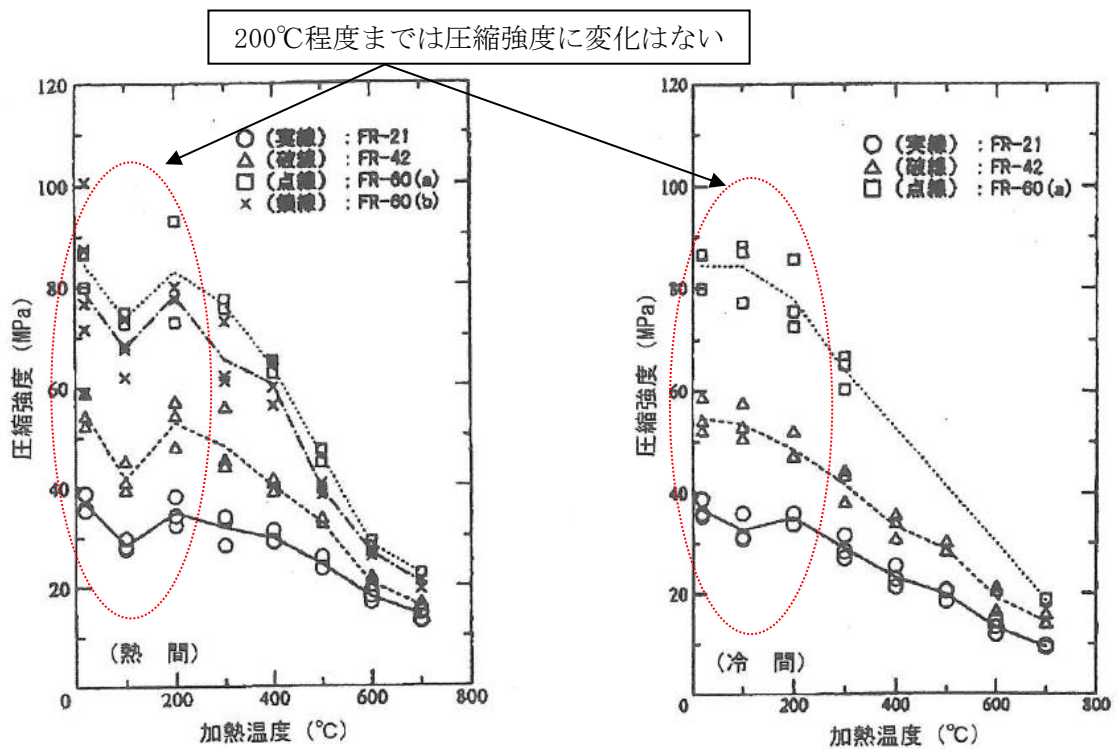


図2-6 コンクリートの強度と温度の関係^{*2}

表 2-4 火害等級と状況*1

火害等級	状況
I 級	無被害の状態で、たとえば、 ①被害全くなし、 ②仕上げ材料等が残っている。
II 級	仕上げ部分に被害がある状態で、例えば、 ①躯体にすす、油煙等の付着、 ②コンクリート表面の受熱温度が 300℃以下、 ③床・梁のはく落わずか。
III 級	鉄筋位置へ到達しない被害で、例えば、 ①コンクリートの変色はピンク色 ②微細なひびわれ、 ③コンクリート表面の受熱面温度が 300℃以上、 ④柱の爆裂わずか。
IV 級	主筋との付着に支障がある被害で、例えば、 ①表面に数 mm 幅のひびわれ、 ②鉄筋一部露出。
V 級	主筋の座屈などの実質的被害がある状態で、例えば、 ①構造部材としての損傷大 ②爆裂広範囲、 ③鉄筋露出大、 ④たわみが目立つ、 ⑤健全時計算値に対する固有振動数測定値が 0.75 未満、 ⑥載荷試験において、試験荷重時最大変形に対する残留変形の割合が A 法で 15%、B 法で 10%を超える。

表 2-5 鉄筋コンクリート構造物の火害等級と補修・補強の基本*2

火害等級	状況	補修・補強の基本
I 級	無被害の状態	—
II 級	仕上げ部材に被害がある状態	仕上げのみの補修
III 級	鉄筋位置へ到達しない被害	強度、耐久性が低下している場合は、かぶりコンクリートをはつり落とし、現場打コンクリートまたはモルタルで被覆するなどの処置をとる。
IV 級	主筋との付着に支障がある被害	部材体力が低下しているので、かぶりコンクリートをはつり落とし、主筋を完全に露出させ、現場打コンクリートで被覆する。場合により補修も行う。
V 級	主筋の座屈などの実質的な被害がある状態	補強、取替え、増設

注記*1 : 原田和典, 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 日本建築センター

*2 : 建物の火害診断及び補修・補強方法, 日本建築学会

(2) 評価に用いる軽油タンクの許容温度（225℃）について

軽油タンクが貯蔵している軽油の発火点である 225℃*を許容温度と定める。

注記*：理科年表

(3) 評価に用いる非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ（防護板）の許容温度（100℃）について

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの許容温度は、端子ボックスパッキンの温度制限が最も厳しく、その温度は 100℃*である。端子ボックスパッキンの温度は同ポンプの周囲温度に依存することから、同ポンプの周囲を防護する非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構成材（耐火材、断熱材及び鋼板の組合せ）のうち、耐火材及び断熱材の設置を考慮せず、保守的に鋼板のみの構造を仮定した場合における鋼板外面（受熱面側）の温度、又は、実際の防護板構造による耐火性能を考慮した場合における同防護板内部の非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの周囲温度をもって、同ポンプに外部火災による影響が及ばないことを確認する（鋼板外面（受熱面側）の温度が 100℃以下であれば、その内側のポンプエリアの温度は 100℃を超えない）。

なお、温度制限が最も厳しい部品の選定に当たっては、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプを構成するポンプと電動機のうち、耐熱温度が最も低い部品を同定し、当該部品（端子ボックスパッキン）の耐熱温度を同ポンプの許容温度として設定している。本来、端子ボックスパッキンは、同ポンプの燃料を移送する機能に直接関わる部品ではないが、構成部品の中で最も耐熱温度が低い材質であることを踏まえて、保守的な設定としている。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの構造概要図を図 2-7 に示す。

注記*：端子ボックスパッキンの耐熱温度（J I S K 6 3 8 0）

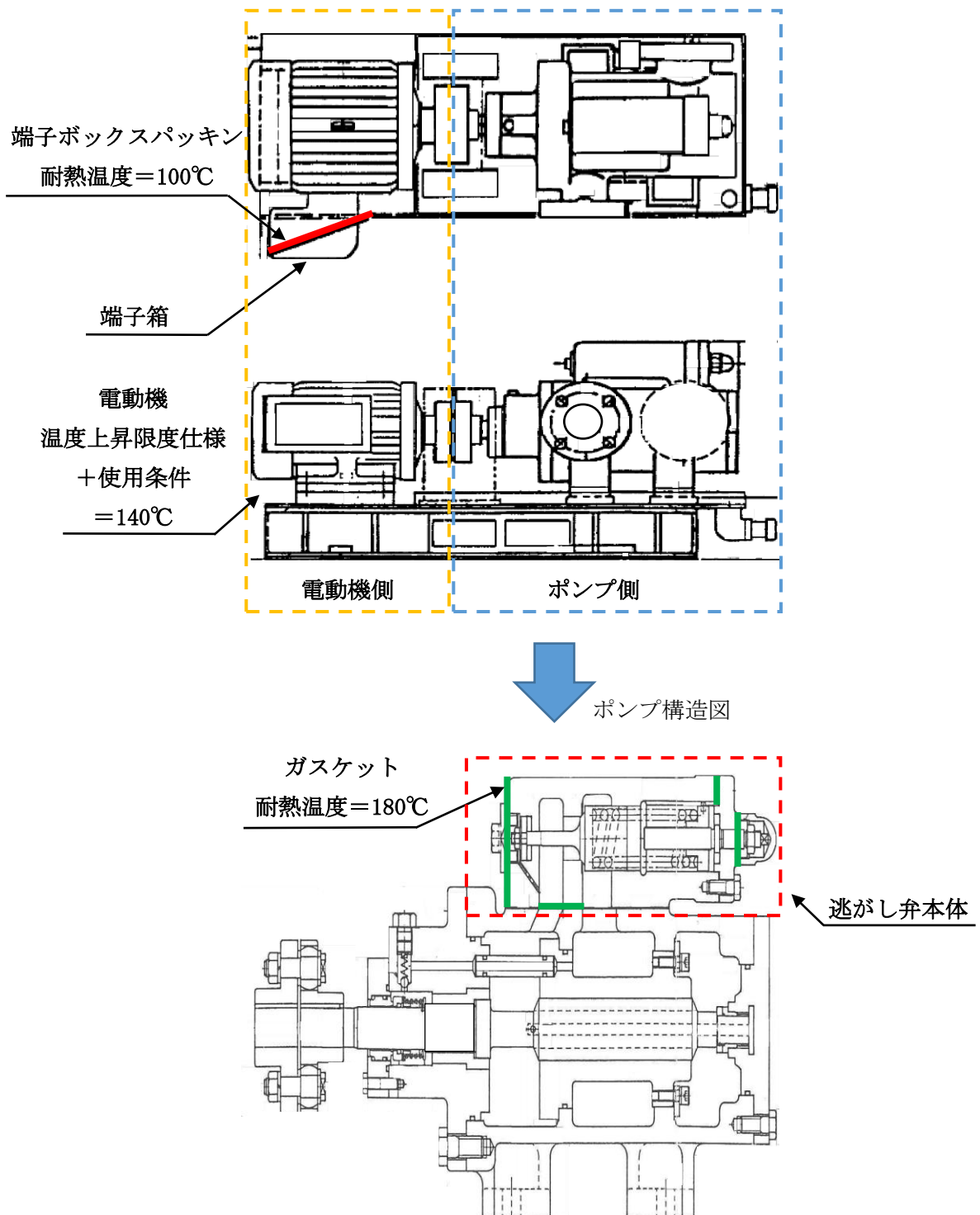


図 2-7 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの構造概要図

(4) 評価に用いる主排気筒の許容温度 (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 (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 2-8)。

よって、保守的に鋼材の強度が常温時と変わらないとされる 325℃を許容温度とし、評価を実施する。

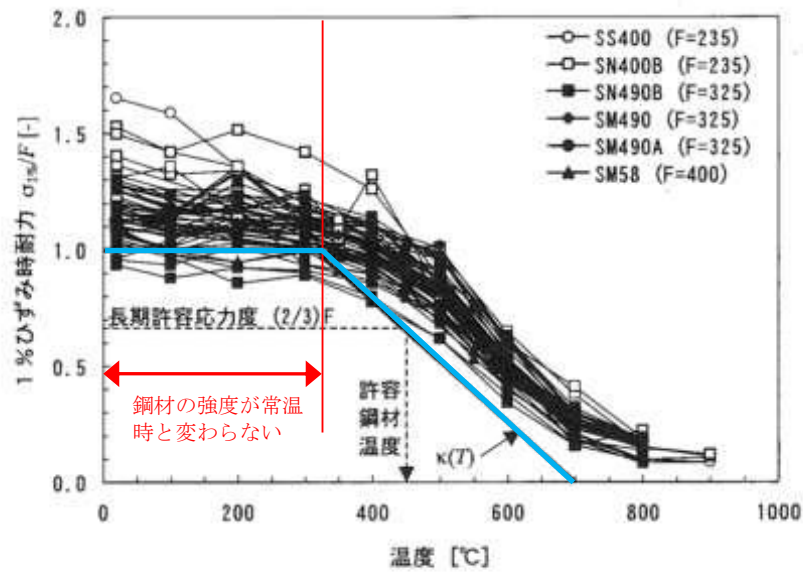


図 5 各種鋼材の高温時の 1%歪時耐力 (参考文献^{2)~6)} のデータから作成

- 2) 国土交通省住宅局建築指導課ほか編、「2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」井上書院、2001年3月
- 3) 建設省総合プロジェクト「防耐火性能評価技術の開発」平成6年度報告書 (構造分科会)、1995年3月
- 4) 同上、平成7年度報告書 (構造分科会)、1996年3月
- 5) (社)日本鋼構造協会；鉄筋コンクリート用棒鋼・鋼線の高温ならびに加熱後の機械的性質；JSSC, Vol. 5(No.45), 1969
- 6) (社)日本建築学会、鋼構造耐火設計指針、1999

図 2-8 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率*1 (一部加筆)

注記*1 : 原田和典, 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 日本建築センター

*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。

2.3 外部火災の影響を考慮する施設の温度評価体系について

(1) 一定の輻射熱を受ける壁面（コンクリート）の温度評価体系

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

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

これを表面($x = 0$)における境界条件

$$\varepsilon q = h\{T(0, t) - T_0\} - k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0}$$

の下で入射熱流束が時間的に一定であれば、次式が得られる。

$$T_s(t) = T_0 + \frac{\varepsilon q}{h} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{h^2 t}{k\rho c}\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{k\rho c}}\right) \right\}$$

ただし、 $\operatorname{erfc}(z)$ は余誤差関数であり、 $T_s(t) = T(0, t)$ とおいた。

また、 $\varepsilon q/h(T_s - T_0) < 10$ の範囲では、以下のとおり近似できる。

$$\frac{\varepsilon q}{h(T_s - T_0)} = \frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h} \times \frac{1}{\sqrt{t}} + 1$$

$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1\right) \frac{h}{\varepsilon q}}$$

(出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター)

使用する記号の説明を表 2-6 に示す。また，建屋温度評価体系図を図 2-9 に示す。

表 2-6 記号の説明

記号	単位	定義
T	°C	温度
t	s	燃焼継続時間
x	m	距離
$\text{erfc}(z)$	—	余誤差関数
T_s	K	表面温度
ε	—	表面の放射率
k	kW/(m·K)	熱伝導率
h	kW/(m ² ·K)	熱伝達率
ρ	kg/m ³	密度
c	kJ/(kg·K)	比熱
q	kW/m ²	入射熱流束
T_0	K	初期温度

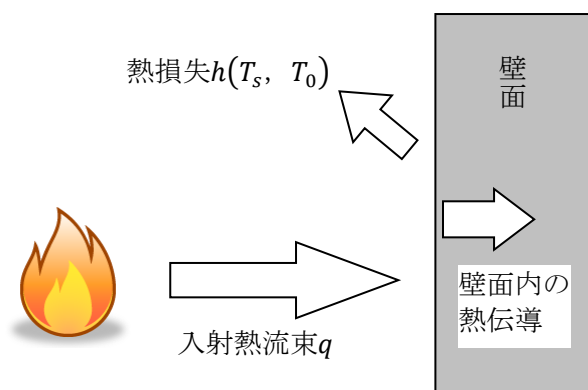


図 2-9 建屋温度評価体系図

(2) 軽油タンクの温度評価体系

火災時の輻射熱が軽油タンクに入射し、軽油及びタンク構造物の温度上昇に寄与すると想定する。

空気との熱伝達による放熱を考慮する。

軽油タンクの受熱時の面積 S_1 及び放熱時の面積 S_2 は、タンク屋根面積+タンク側面面積/2とする。

$$S_1 = S_2 = \pi \frac{D_0^2}{4} + \frac{\pi}{2} D_0 H$$

熱容量 C は、軽油の熱容量+タンク構造物の熱容量とする。

$$C = \rho_P V c_P + \rho_s \left\{ \pi \frac{D_0^2 - D_i^2}{4} H + \pi \frac{D_0^2}{4} (e_1 + e_2) \right\} c_s$$

タンクの温度上昇、輻射による入熱及びタンク表面からの放熱の関係は以下の式で表される。

$$C \frac{dT}{dt} = \varepsilon E S_1 - h(T - T_{air}) S_2$$

温度 T は以下の式となる。

$$T = \frac{\varepsilon E S_1 + h S_2 T_{air}}{h S_2} - \left(\frac{\varepsilon E S_1 + h S_2 T_{air}}{h S_2} - T_0 \right) e^{\left(\frac{h S_2}{C} \right) t}$$

使用する記号の説明を表 2-7 に示す。また、軽油タンク温度評価体系図を図 2-10 に示す。

表 2-7 記号の説明

記号	単位	定義
T	°C	温度
t	s	燃焼継続時間
S_1	m ²	受熱面積
S_2	m ²	放熱面積
E	W/m ²	輻射強度
ε	—	放射率
h	W/(m ² ·K)	熱伝達率
c_P	J/(kg·K)	軽油比熱
ρ_P	kg/m ³	軽油密度
V	m ³	軽油体積
c_s	J/(kg·K)	タンク構造材比熱
ρ_s	kg/m ³	タンク構造材密度
D_i	m	タンク内径
D_0	m	タンク外形
e_1	m	タンク屋根厚
e_2	m	タンク底板厚
H	m	タンク高さ
C	J/K	熱容量
T_0	°C	初期温度
T_{air}	°C	外気温度

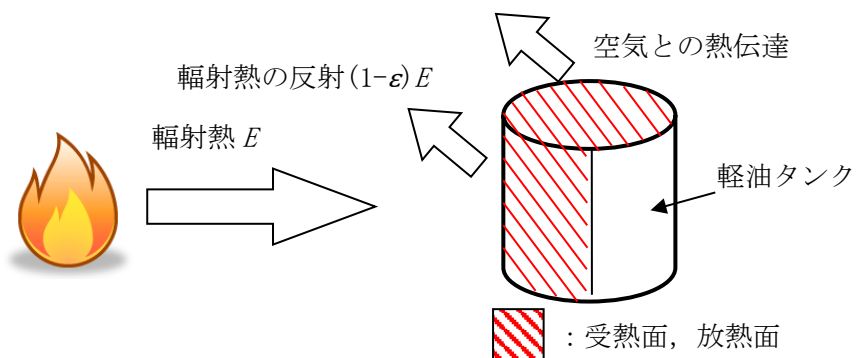


図 2-10 軽油タンク温度評価体系図

(3) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの温度評価体系

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプは、その周囲に設置する防護板によって、外部火災からの輻射による熱影響を受けないよう防護する。

防護板は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの近傍で発生する軽油タンク火災を想定し、火炎の方向に面した箇所は、竜巻防護用の鋼板に耐火材・断熱材を設置することにより、その輻射による熱影響を受けないようにする。なお、それ以外の面については、他の外部火災による熱影響が軽微であることから、耐火材・断熱材を設置しない竜巻防護用の鋼板のみの仕様とする。

防護板の仕様としては、以下のとおり。

①防護板（鋼板）

熱影響が軽微な面に設置する防護板。耐火材・断熱材は設置せず、竜巻防護用の鋼板のみの仕様。

②防護板（断熱）

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプに隣接している軽油タンク火災を想定。非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプが輻射による熱影響を受けないようにするため、火炎に面した箇所に設置する耐火材・断熱材・鋼板（竜巻防護用）を有する防護板。

防護板の仕様を踏まえた非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの温度評価体系は、以下のとおり。

a. 軽油タンク火災以外の外部火災時

軽油タンク火災以外の外部火災時は、保守的に輻射熱が防護板（鋼板）に入射し、防護板（鋼板）の温度上昇に寄与すると想定する。

空気との熱伝達による放熱を考慮する。

防護板（鋼板）の外面上にて受熱（面積 $S/2$ ）、放熱は外面及び内面（面積 S ）とし、受熱は、面積が最大となるよう外表面とした。

熱容量 C は、防護板（鋼板）の熱容量とする。

$$C = \rho c V$$

防護板（鋼板）の温度上昇、輻射による入熱及び防護板（鋼板）からの放熱の関係は以下の式で表される。

$$C \frac{dT}{dt} = \varepsilon E \frac{S}{2} - h(T - T_{air})S$$

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の鋼板外面（受熱面側）の温度 T は以下の式となる。

$$T = \frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + hST_{air}}{hS} \left(\frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + hST_{air}}{hS} - T_0 \right) e^{\left(\frac{hS}{C}\right)t}$$

使用する記号の説明を表 2-8 に示す。

表 2-8 記号の説明

記号	単位	定義
T	°C	温度
T_0	°C	初期温度
E	W/m ²	輻射強度
ε	—	防護板（鋼板）外面の放射率
h	W/(m ² ·K)	防護板（鋼板）表面熱伝達率
S	m ²	防護板（鋼板）放熱面積($S/2$ ：受熱面積は外面のみ)
C	J/K	防護板（鋼板）の熱容量
ρ	kg/m ³	密度
c	kJ/(kg·K)	比熱
V	m ³	体積
t	s	燃焼継続時間
T_{air}	°C	外気温度

以下に概念図を示す（図 2-11）。

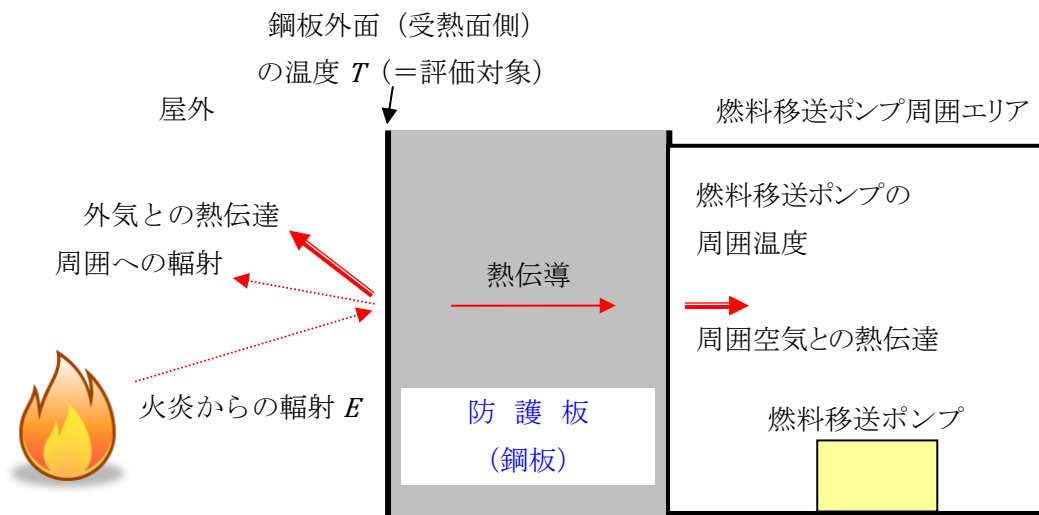


図 2-11 防護板（鋼板）温度評価体系図

b. 軽油タンク火災時

火災時の一定の輻射熱が非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（断熱）外面に入射し、一定時間維持されたと想定する。

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、防護板（断熱）の内面並びに燃料移送ポンプの周囲温度を求める。

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

防護板（断熱）の外面及び内面温度上昇に伴う熱流束は次式で計算される。

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

燃料移送ポンプの周囲温度の上昇 ΔT_{room} は、火災による防護板（断熱）内面温度上昇に伴う熱負荷がポンプエリア内に蓄熱されることを考慮し、次式で求める。

$$\Delta T_{room} = \frac{Q_{v,in} A \Delta t}{\rho C V}$$

使用する記号の説明を表 2-9 に示す。

表 2-9 記号の説明

記号	単位	定義
T	°C	温度
t	s	時刻
Δt	s	時間刻み
T_{room}	°C	燃料移送ポンプの周囲温度
T_{in}	°C	防護板（断熱）内面温度
x	m	防護板（断熱）外面からの距離
α	m ² /s	熱拡散率
h_{in}	W/(m ² ·K)	防護板（断熱）内面熱伝達率
A	m ²	防護板（断熱）内面の表面積
ρ	kg/m ³	密度
C	J/(kg·K)	比熱
V	m ³	ポンプエリア体積

以下に概念図を示す（図 2-12）。

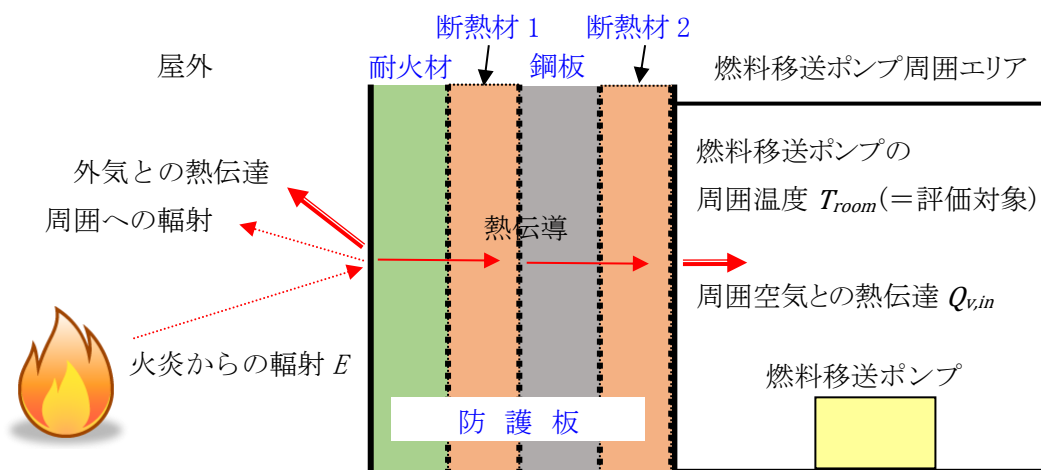


図 2-12 防護板（断熱）温度評価体系図

(4) 主排気筒の温度評価体系

火災時の輻射熱が主排気筒に入射し、主排気筒の温度上昇に寄与すると想定する。
主排気筒外表面からの放熱を考慮し以下の式を解く。

$$\rho CV \frac{dT}{dt} = \varepsilon E \frac{S}{2} - h(T - T_0)S$$

$t \rightarrow \infty$ の場合で最高温度となり、その温度は以下の式となる。

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

使用する記号の説明を表 2-10 に示す。また、主排気筒温度評価体系図を図 2-13 に示す。

表 2-10 算出に用いる記号

記号	単位	定義
C	J/kg/K	主排気筒部材比熱
E	W/m ²	輻射強度
h	W/m ² /K	熱伝達係数
S	m ²	主排気筒単位長さあたりの外周面積
T	°C	主排気筒表面温度
T_0	°C	初期温度
V	m ³	主排気筒単位長さあたりの体積
ε	—	反射率
ρ	kg/m ³	主排気筒部材密度
t	s	燃焼継続時間

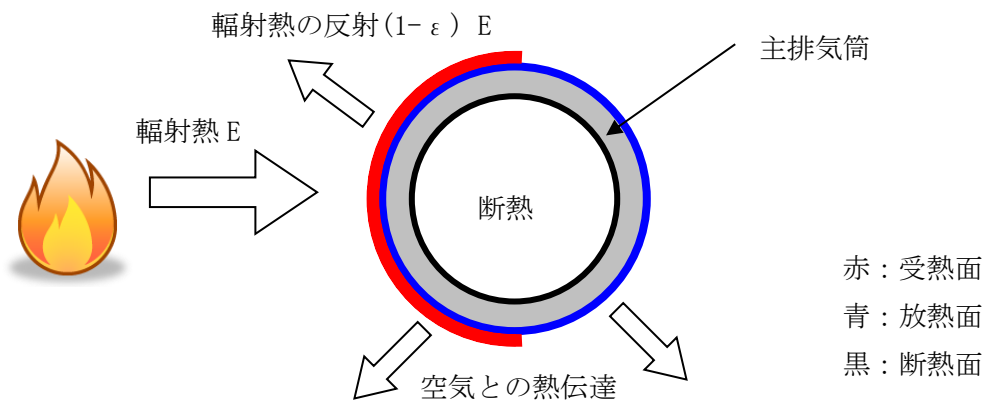


図 2-13 主排気筒温度評価体系図

2.4 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、評価条件及び評価対象航空機の大きさの違いを考慮して落下確率を求めている。火災の影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存することから、表 2-11 に示すとおり、まず大型航空機と小型航空機に分類し、それぞれを民間航空機と自衛隊航空機又は米軍航空機（以下「軍用航空機」という。）に分類する。さらに、各航空機の落下確率の評価条件の違いに応じた航空機落下事故のカテゴリに分類し、各カテゴリにおいて燃料積載量が最大の機種を評価対象航空機として選定する。航空機落下事故のカテゴリの分類及び評価対象航空機の選定結果をそれぞれ表 2-12 及び表 2-13 に示す。

表 2-11 評価対象航空機の種類

		民間航空機		軍用航空機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	自衛隊機又は米軍機
固定翼 (ジェット旅客機等)	大型機	定期便：評価対象 (例) 大型旅客機 (B747, B777 等)	定期便：該当なし	評価対象 自衛隊機 (F-4EJ 改, F-15 等) 在日米軍機 (F-16, F/A-18 等)
		不定期便：評価対象外*1	不定期便：評価対象 (例) 海上保安庁のパトロール機 (ビーチクラフト 90 型等) 民間の社有機 (三菱式 MU-300 型等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外*2	定期便：評価対象外*2	評価対象 自衛隊機 (T-1 等)
		不定期便：評価対象*3	不定期便：評価対象 (例) 本土-離島間コミュータ (DHC-6, BN-2 等) 軽飛行機 (セスナ 172 等)	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外*2	定期便：評価対象外*2	評価対象 自衛隊機 (MH-53 等) 在日米軍機 (CH-53 等)
		不定期便：評価対象*3	不定期便：評価対象 (例) 資材輸送 (ベル 214B, AS332 等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外*2	定期便：評価対象外*2	評価対象 自衛隊機 (OH-6 等) 在日米軍機 (UH-1 等)
		不定期便：評価対象*3	不定期便：評価対象 (例) 離島間コミュータ (SA365 等) 資材輸送, 緊急医療, 報道用等 (アエロスパシアル AS350, 川崎 BK117)	

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

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

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

注 : 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) より抜粋

□ : 大型民間航空機 (固定翼, 回転翼)

□ : 小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)

□ : 大型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)

□ : 小型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)

表 2-12 落下事故のカテゴリの分類

落下事故のカテゴリ		分類
(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 (固定翼, 回転翼)
(2) 有視界飛行方式民間航空機		②小型民間航空機*2 (固定翼, 回転翼)
(3) 自衛隊機又は米軍機	訓練空域内で訓練中及び 訓練空域外を飛行中	③大型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)
		④小型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)
	基地－訓練空域間往復時	—*3

注記*1 : 柏崎刈羽原子力発電所は、新潟空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため評価対象外(図 2-14)。(発電所－新潟空港の距離: 約 75km, 新潟空港－最大離着陸地点の距離: 約 10km)

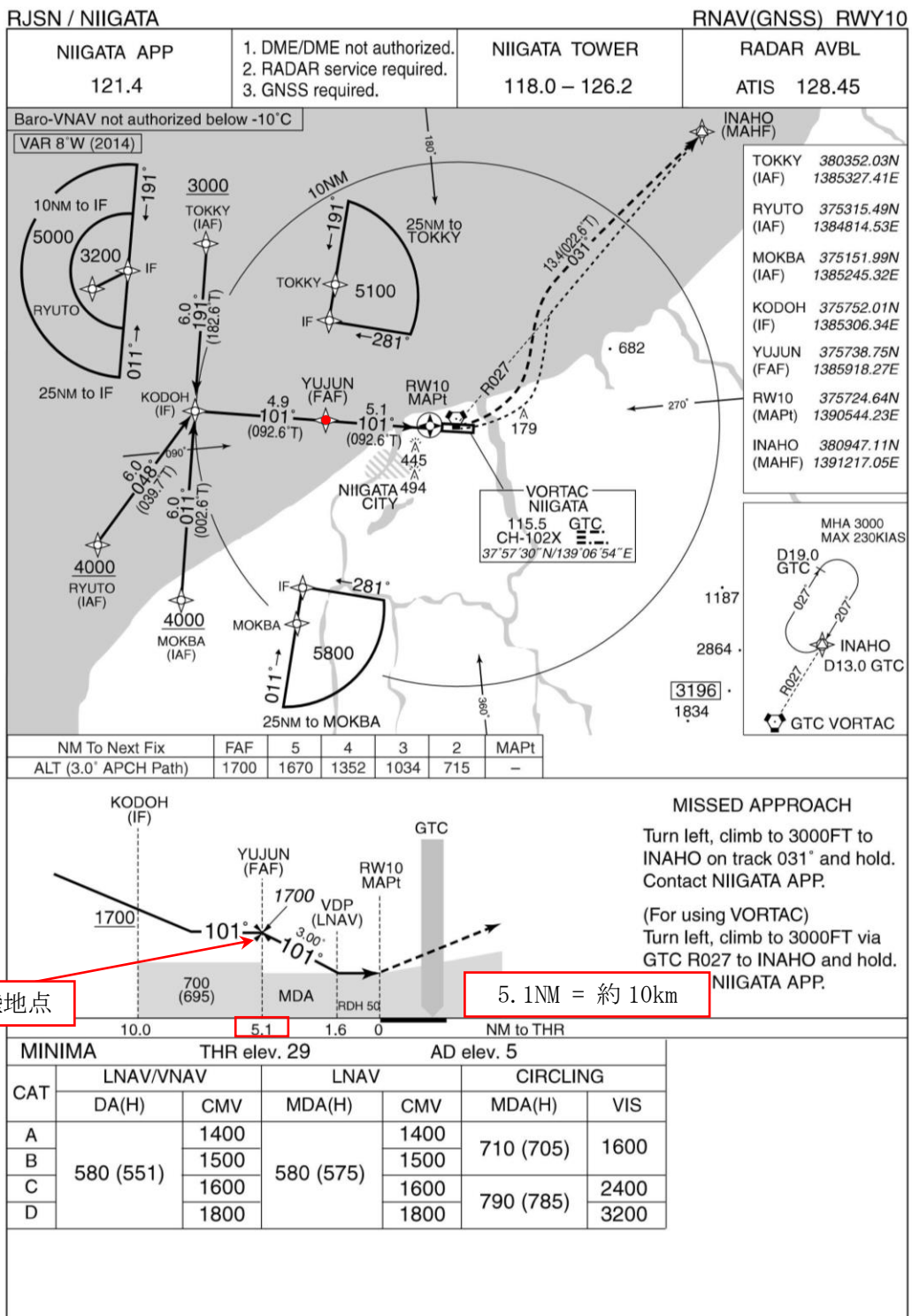
*2 : 計器飛行方式民間航空機の小型機は、有視界飛行方式として評価する。

*3 : 柏崎刈羽原子力発電所は基地－訓練空域間の往復の想定範囲内にはないため評価対象外。

表 2-13 評価対象航空機の選定結果

分類	航空機	選定理由
大型民間航空機 (固定翼, 回転翼)	B747-400	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
小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)	Do228-200	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
大型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)	KC-767 (空中給油機)	主要自衛隊航空機(表 2-14)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
小型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)	AH-1S (対戦車機)	主要自衛隊航空機(表 2-14)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

INSTRUMENT APPROACH CHART



(出典:AIP-JAPAN, 国土交通省航空局, 令和2年1月)
図2-14 新潟空港の最大離着陸地点

表 2-14 主要自衛隊航空機の仕様

所属	形式	機種	保有数(機)	全長(m)	全幅(m)	燃料積載量(L)
陸上自衛隊	小型固定翼	LR-1	2	10	12	920
	大型固定翼	LR-2	7	14	18	2040
	小型回転翼	AH-1S	70	14	3	980
	小型回転翼	OH-6D	84	7	2	242
	小型回転翼	OH-1	38	12	3	953
	小型回転翼	UH-1H/J	141	12/13 ^{*1}	3	833
	大型回転翼	CH-47J/JA	56	16	4/5 ^{*2}	3899
	大型回転翼	UH-60JA	34	16	3	3255
	大型回転翼	AH-64D	10	18	6	1421
海上自衛隊	大型固定翼	P-3C	75	36	30	34820
	大型固定翼	P-1	4	38	35	— ^{*3}
	大型回転翼	SH-60J	46	15	3	1361
	大型回転翼	SH-60K	39	16	3	1361
	大型回転翼	MH-53E	6	22	6	12113
	大型回転翼	MCH-101	5	23	19	5250
航空自衛隊	大型固定翼	F-15J/DJ	201	19	13	14647
	大型固定翼	F-4EJ	62	19	12	12260
	大型固定翼	F-2A/B	92	16	11	11053
	大型固定翼	RF-4E/EJ	13	19	12	12579
	大型固定翼	C-1	25	29	31	15709
	大型固定翼	C-130H	15	30	40	26344
	大型固定翼	KC-767	4	49	48	145033 ^{*1}
	大型固定翼	KC-130H	1	30	40	26344
	大型固定翼	E-2C	13	18	25	7002
	大型固定翼	E-767	4	49	48	— ^{*3}
	大型回転翼	CH-47J	15	16	4	3899

平成 25 年版防衛白書より作成。燃料積載量は日本航空機全集 2013 (鳳文書林), 世界航空機年鑑 2012-2013 (酣燈社) より。なお, 灰色で網かけした航空機は小型航空機。

注記*1 : 大型航空機の燃料が最大のものになる。

*2 : UH-1H, UH-1J の全長がそれぞれ 12, 13m, CH-47J, CH-47JA の全幅がそれぞれ 4, 5m を意味する。

*3 : P-1 (哨戒), E-767 (早期警戒管制) の燃料積載量は不明だが, 機体サイズ及び用途を考えると, KC-767 (空中給油) より燃料補給機は少ないと推定する。

(2) カテゴリ別の航空機落下の離隔地点の評価

「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」（平成 21・06・25 原院第 1 号（平成 21 年 6 月 30 日原子力安全・保安院一部改正））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、その結果を用いて航空機落下の離隔地点を評価した。

評価対象範囲は、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（原子炉建屋及びコントロール建屋）への影響が最も厳しくなる区域とすることから、「(1) 評価対象航空機の選定について」において選定した評価対象航空機それぞれの機種別の落下確率の合計が 10^{-7} (回/炉・年)となる標的面積を算出し、その結果から外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの距離を以下のとおり算出する。

a. 標的面積

(a) 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出（表 2-15、表 2-16）

イ. 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

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

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)

表 2-15 落下確率の算出結果

柏崎刈羽原子力発電所 7号機				
対象 航空路*1	航空路 (V31)	広域航法経路 (Y31)	広域航法経路 (Y305)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)
N_c *2	14600	3650	182.5	4015
A *3	0.01	0.01	0.01	0.01
W *4	14	18.52	18.52	14
f_c *5	0.5/11,269,119,373 = 4.44×10^{-11}			
P_c	4.63×10^{-10}	8.74×10^{-11}	4.37×10^{-12}	1.27×10^{-10}
P_c (合計)	6.82×10^{-10}			

注記*1 : 柏崎刈羽原子力発電所周辺の航空図（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合せ結果の、上半期・下半期のピーク日の数値の大きい方を 365 倍した値。ただし、飛行回数が 0 回の航空路は保守的に 0.5 とする。

*3 : 原子炉建屋、コントロール建屋等の水平面積の合計値は 0.01km²以下であるので標的

面積は0.01km²とする。

*4 : 「航空路の指定に関する告示」及び「航空路等設定基準」による。

*5 : 事故件数は、平成10年～平成29年の間で0件のため、保守的に0.5件とする。延べ飛行距離は、平成10年～平成29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。

ロ. 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

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

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(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2-16 落下確率の算出結果

パラメータ	大型固定翼機	大型回転翼機	小型固定翼機	小型回転翼機
f_v^*	0.5/20=0.025	2/20=0.10	29/20=1.45	18/20=0.9
S_v^*	372,000			
α^*	1.0	1.0	0.1	0.1
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P_v	6.72×10^{-10}	2.69×10^{-9}	3.90×10^{-9}	2.42×10^{-9}
P_v (合計)	9.68×10^{-8}			

注記* : 「NTEEN-2019-2001 NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ(平成10～29年)」(令和元年12月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ)による。

以上より、

大型民間航空機の落下確率(P_c (計器飛行方式) + P_v (大型固定翼機) + P_v (大型回転翼機))が 10^{-7} (回/炉・年)となる標的面積 A_1 (km²)を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_1 = 10^{-7} \div (6.82 \times 10^{-10} + 6.72 \times 10^{-10} + 2.69 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.247 \text{ (km}^2\text{)}$$

小型民間航空機の落下確率(P_v (小型固定翼機) + P_v (小型回転翼機))が 10^{-7} (回/炉・年)となる標的面積 A_2 (km²)を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_2 = 10^{-7} \div (3.90 \times 10^{-9} + 2.42 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.158 \text{ (km}^2\text{)}$$

(b) 大型軍用航空機及び小型軍用航空機の標的面積の算出 (表 2-17)

柏崎刈羽原子力発電所の上空には訓練空域がないため、軍用航空機の落下確率 P_{so} を求める式は、以下のとおりとなる。

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率(回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率(回/年)

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積(km²)

A : 発電用原子炉施設の標的面積(km²)

表 2-17 落下確率の算出結果

パラメータ	大型自衛隊機	大型米軍機	小型自衛隊機	小型米軍機
f_{so}^*	3/20=0.15	3/20=0.15	6/20=0.3	1/20=0.05
S_o^*	294,000	371,500	294,000	371,500
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P_{so}	5.10×10^{-9}	4.04×10^{-9}	1.02×10^{-8}	1.35×10^{-9}
P_{so} (合計)	2.07×10^{-8}			

注記* : 「NTEN-2019-2001 NRA 技術ノート 航空機落下事故に関するデータ(平成10~29年)」
(令和元年12月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ)による。

以上より、

大型軍用航空機の落下確率 (P_{so} (大型自衛隊機) + P_{so} (大型米軍機)) が 10^{-7} (回/炉・年)となる標的面積 A_3 (km²)を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_3 = 10^{-7} \div (5.10 \times 10^{-9} + 4.04 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.109 \text{ (km}^2\text{)}$$

小型軍用航空機の落下確率 (P_{so} (小型自衛隊機) + P_{so} (小型米軍機)) が 10^{-7} (回/炉・年)となる標的面積 A_4 (km²)を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_4 = 10^{-7} \div (1.02 \times 10^{-8} + 1.35 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.087 \text{ (km}^2\text{)}$$

b. 外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの距離

「a. 標的面積」で求めた標的面積が、図 2-15 に示す範囲になるように算出した発電用原子炉施設(原子炉建屋及びコントロール建屋)から標的面積部外周までの距離 X (m)を求める。標的面積部外周を航空機落下位置とした場合における外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの距離を表 2-18 に示す。また、外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの位置関係及び距離を図 2-16 に示す。

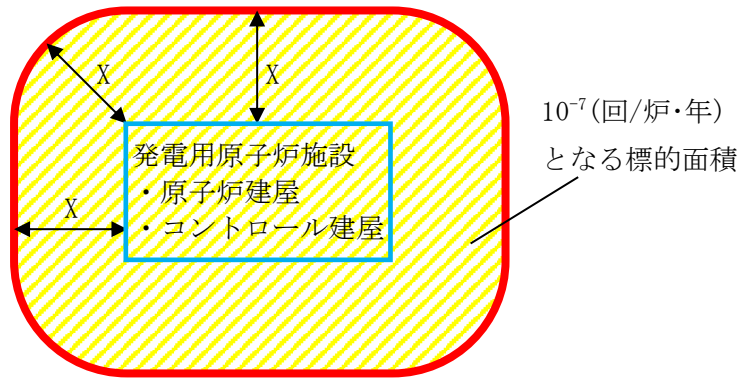


図 2-15 標的面積の考え方

表 2-18 外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの距離

項目	対象航空機			
	大型 民間航空機	小型 民間航空機	大型 軍用航空機	小型 軍用航空機
	B747-400	Do228-200	KC-767	AH-1S
発電用原子炉施設 (原子炉建屋 及びコントロール建屋) 外壁面 までの距離 (X) (m)	229	174	136	116
軽油タンクまでの距離 (m)	160	105	67	47
非常用ディーゼル発電設備燃 料移送ポンプ (防護板) までの 距離 (m)	168	112	75	54
主排気筒までの距離 (m)	230	174	137	117

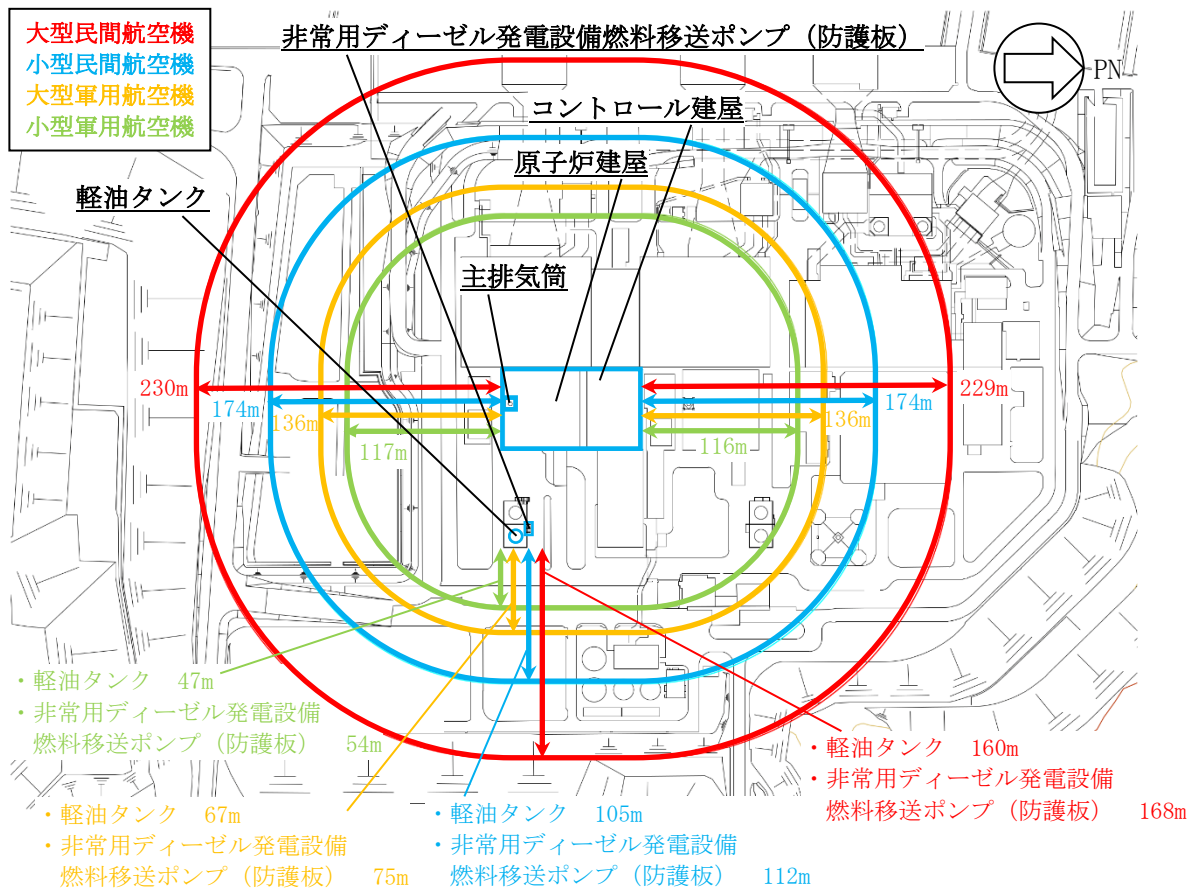


図 2-16 外部火災の影響を考慮する施設から航空機落下位置までの位置関係及び距離

3. 発電所敷地外の火災・爆発について

3. 発電所敷地外の火災・爆発について

3.1 石油コンビナート施設の火災・爆発について

石油コンビナート等災害防止法で規制される新潟県内の特別防災区域は「直江津地区」「新潟西港地区」「新潟東港地区」の三カ所存在するが、これらは、それぞれ柏崎刈羽原子力発電所から約39km、約72km及び約84kmであり、いずれも柏崎刈羽原子力発電所から10km以遠である(図3-1)。また、コンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所が評価対象範囲に存在しないことを新潟県防災局に確認した。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



注：図の位置は、おおよその場所を表している。

図3-1 新潟県内の石油コンビナート等特別防災区域の位置と
柏崎刈羽原子力発電所までの距離

3.2 燃料輸送車両の火災・爆発について

燃料輸送車両（図 3-2 参照）から発生すると考えられる飛来物を想定した上での評価を行った。燃料輸送車両の爆発における飛来物の想定にあたり、BLEVE 現象（沸騰液膨張蒸気爆発）*1 を引き起こす可能性がある液化石油ガス輸送車両のうち積載量が国内最大クラスのもの構造図をもとに、飛来物化することが想定される部位を選定したところ、タンク本体・はしご・バンパー部が抽出された。台車部等タンク下部に位置する部品は、爆発力の方向をふまえると、発電用原子炉施設に到達せず、また横転した場合を考えると、下部の部品の飛散方向は発電所周辺道路の地形の高まりや森林の樹木に干渉し発電用原子炉施設に到達しないことから影響はない。トレーラについては、鋼板で構成されており、その大きさからタンク本体の評価に包含される。

抽出したトレーラの部位に対して、表 3-1 のとおり液化石油ガス輸送車両の構造図、車両制限令に定められる限界値及び「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に例示の飛来物から、包含される飛来物を設定する。

はしご及びバンパーの長さとともに 2.5m 程度である。棒状の物体は長さが大きくなると飛距離が大きくなる傾向にあることから、保守的な評価として鋼製パイプ及び鋼製材については車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 16.5m での評価を実施する。

また、タンク板の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m×2.5m 程度が最大と考えられるが、平板は幅、長さが大きくなるほど、飛距離が大きくなる傾向にあることから、保守的な評価としてタンクの半分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m、長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 16.5m の平板について評価を実施する。厚さについては、構造図から 0.01m とする。

竜巻飛来物の飛行解析モデル（Simiu and Cordes, 1976）（東京工芸大, 2011）（江口ら, 2014 及び 2015）と同じモデルを使用し、空中では物体はランダムに回転すると仮定し、外力としては重力及び平均抗力（各方向に平均化した抗力係数と投影面積の積に比例して定義されるもの）を受けるものとする。

「BLEVE 時の破片最大速度は 150-200m/s」*2 であることから、タンクローリ破片の初期速度を保守的な設定となる 200m/s とする。

注記*1：液化ガスを貯蔵するタンク火災等で、タンクが破損した場合に急激に液化ガスが気化することに伴う爆発現象。

*2：The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology

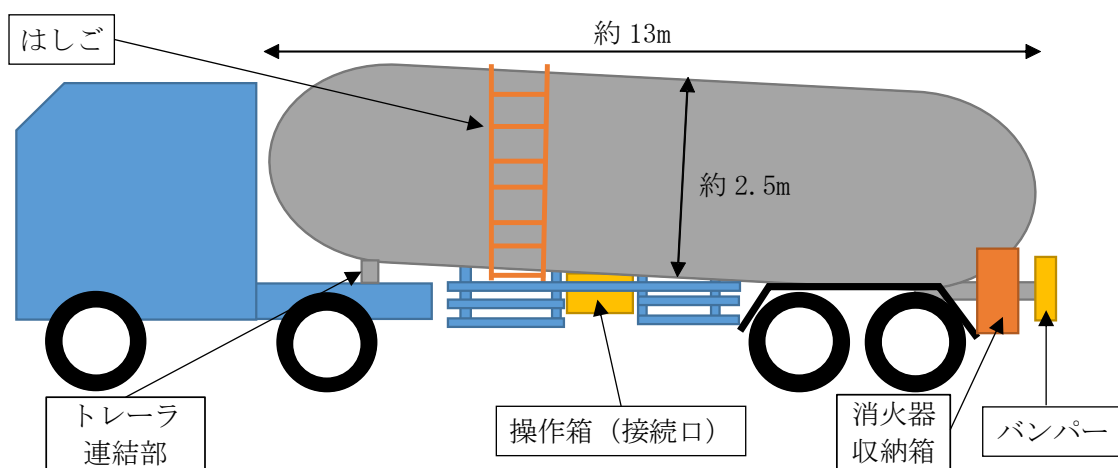


図 3-2 燃料輸送車両概要図

表 3-1 想定飛来物の諸元・飛散距離

飛来物の種類	鋼製パイプ (はしご)	鋼製材 (バンパー)	鋼板 (タンク本体)
サイズ(m)	長さ×直径 16.5* ¹ ×0.05* ²	長さ×幅×奥行 16.5* ¹ ×0.3* ³ ×0.2* ³	長さ×幅×厚さ 2.5* ¹ ×16.5* ¹ ×0.01* ⁴
質量(kg)	69.3* ²	530* ³	3240
最大飛散距離(m)	556	511	409
離 隔 距 離 (m)	建屋 (コントロール建屋)	893	
	軽油タンク	962	
	非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 ポンプ (防護板)	952	
	主排気筒	1000	

注記*1 : 車両制限令に定められる車両の幅 2.5m, 長さ 16.5m (高速自動車国道を通行するセミトレーラ連結車) の最大限度。

*2 : 鋼製パイプの直径及び質量については、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は、構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。

*3 : 鋼製材の幅, 奥行及び質量は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。構造図上のバンパー部の幅約 0.3m, 奥行約 0.2m と同程度である。

*4 : 積載 16t 液化石油ガスタンクローリの構造図よりタンク板厚 10mm。

4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

4. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

4.1 ばい煙による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（換気空調系）

外気を取り込む空調系統として、原子炉建屋換気空調系、非常用電気品区域換気空調系（非常用ディーゼル発電設備非常用送風機含む。）、中央制御室換気空調系、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系、海水熱交換器区域換気空調系がある（図4-1(a), (b), (c)）。

これらの換気空調系の外気取入経路には、バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）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、バグフィルタにより侵入を阻止可能である。

上記系統のうち、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、再循環運転を行うことにより、ばい煙の侵入を阻止可能である（図4-2）。

中央制御室換気空調系以外の換気空調系については、空調ファンを停止することにより、ばい煙の侵入を阻止可能である。

なお、バグフィルタは、フィルタ差圧が上昇した場合、取替え部品を有していることから、数時間程度で交換可能である。

(2) 外気を設備内に取り込む機器（非常用ディーゼル発電機）

非常用ディーゼル発電機の外気取入経路には、バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）が設置されており、その入口と出口間には差圧を検知できる差圧感知計を設置し監視しているため、バグフィルタが目詰まりし差圧が上昇した場合であっても、バグフィルタの取替えが可能である。

なお、非常用ディーゼル機関は吸気系統から外気を取り入れているため、機関内にばい煙が流入し、機関燃焼を阻止することが考えられるが、ディーゼル機関への外気取入経路に設置しているバグフィルタによって一定（数 μm ）以上の粒径のばい煙粒子は捕獲される。バグフィルタにより捕獲されなかった小粒径のばい煙粒子は機関内に送気されるものの、シリンダまでの通気流路（過給機、空気冷却器）の隙間はばい煙粒子に比べて十分に大きいことから、閉塞に至ることはない（図4-3）。

また、非常用ディーゼル機関は、始動時のようなディーゼル機関の温度が低い場合には不完全燃焼状態にあり、燃焼室において大量のばい煙が発生している。このような環境下においても通常運転を継続していることから、外気とともにバグフィルタを通過したばい煙が機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはないと判断される。

(3) 室内の空気を取り込む機器（安全保護系）

安全保護系設備は、現場盤が非常用電気品室、安全保護系盤が中央制御室に設置してある。非常用電気品室への外気取入経路にはバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については侵入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕獲しきれなかったばい煙が非常用電気品室に侵入した場合においても、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止することが可能である。

また、中央制御室への外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については侵入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕獲しきれなかったばい煙が中央制御室内に侵入する可能性がある場合、及び中央制御室内においてばい煙が流入したことを煙や異臭で確認した場合等は、当直長の指示により、非常時モードへ切り替えることにより、隔離が可能であり安全保護系設備に影響はない（図 4-4）。

なお、中央制御室に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は、おおむね $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定されるが、計測制御系の盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路（IC 等）の内部であり、これらの部品はモールド（樹脂）で保護されているため、ばい煙が侵入することはない。また、端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離は 10^{-1}mm あることから、ばい煙が付着しても、直ちに短絡等を発生させることはない。したがって、万が一、細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても、ばい煙の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

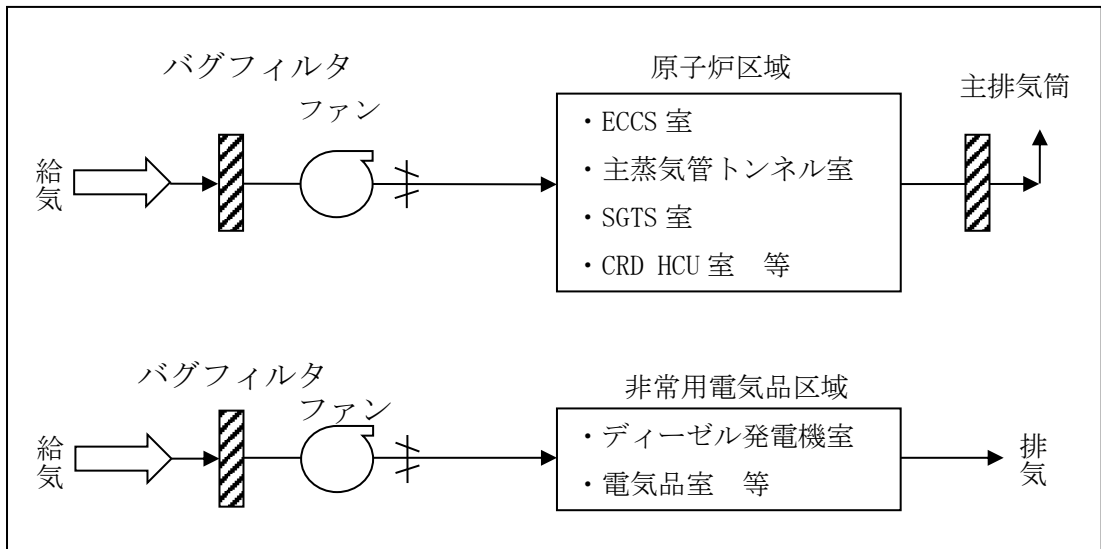


図 4-1(a) 原子炉建屋換気空調系

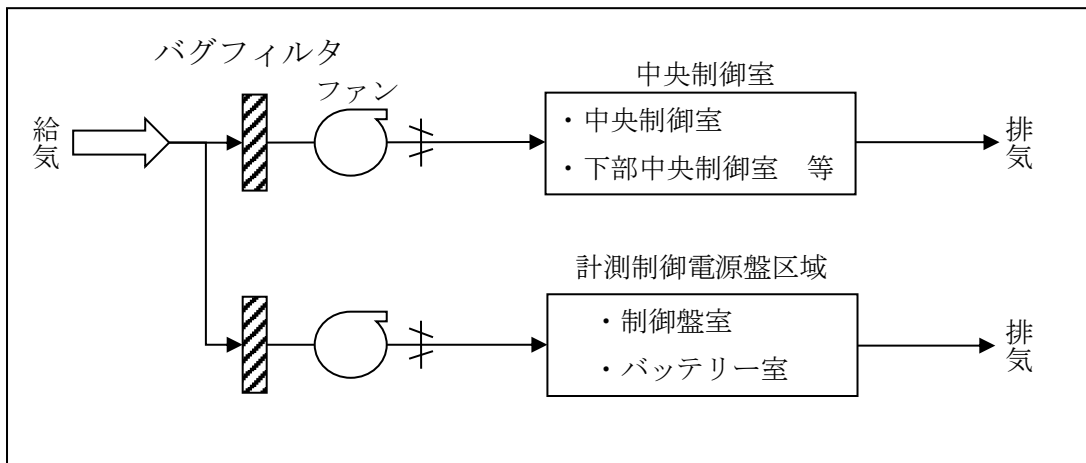


図 4-1(b) コントロール建屋換気空調系

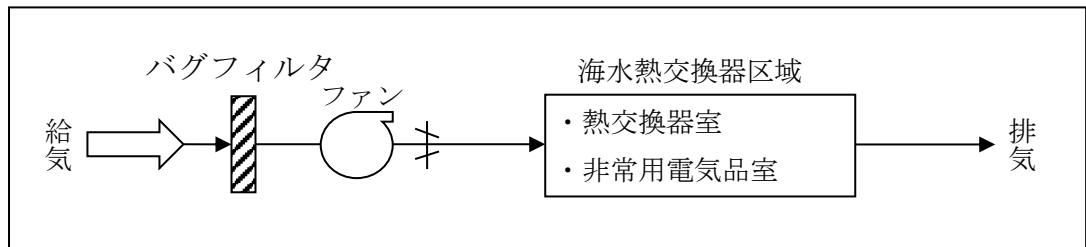
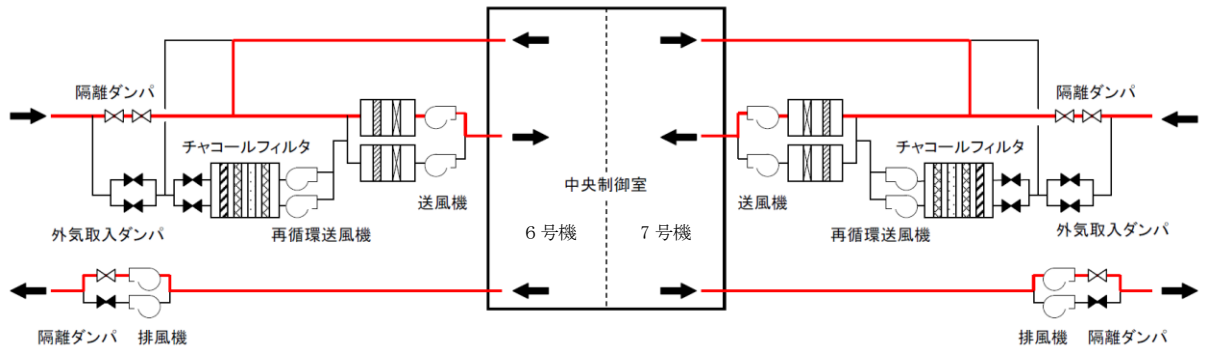
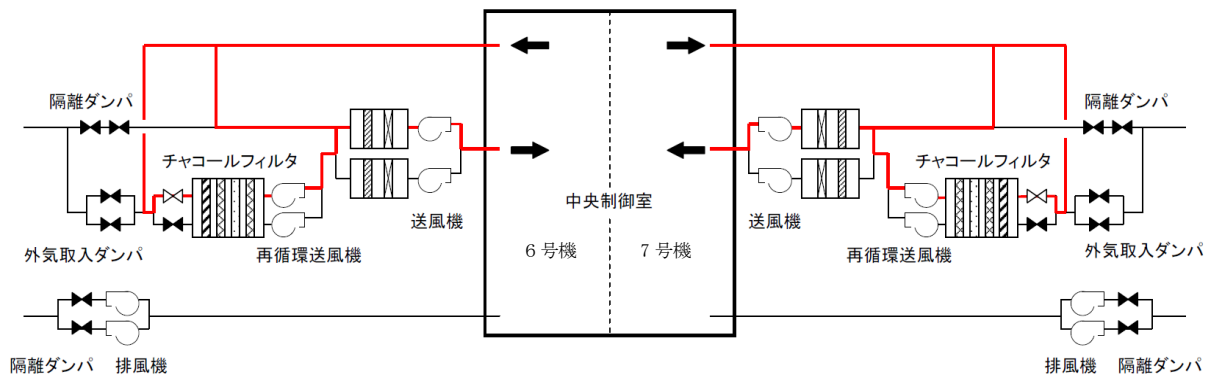


図 4-1(c) タービン建屋換気空調系



(通常時)



(再循環運転時)

図 4-2 中央制御室換気空調系の系統概略図

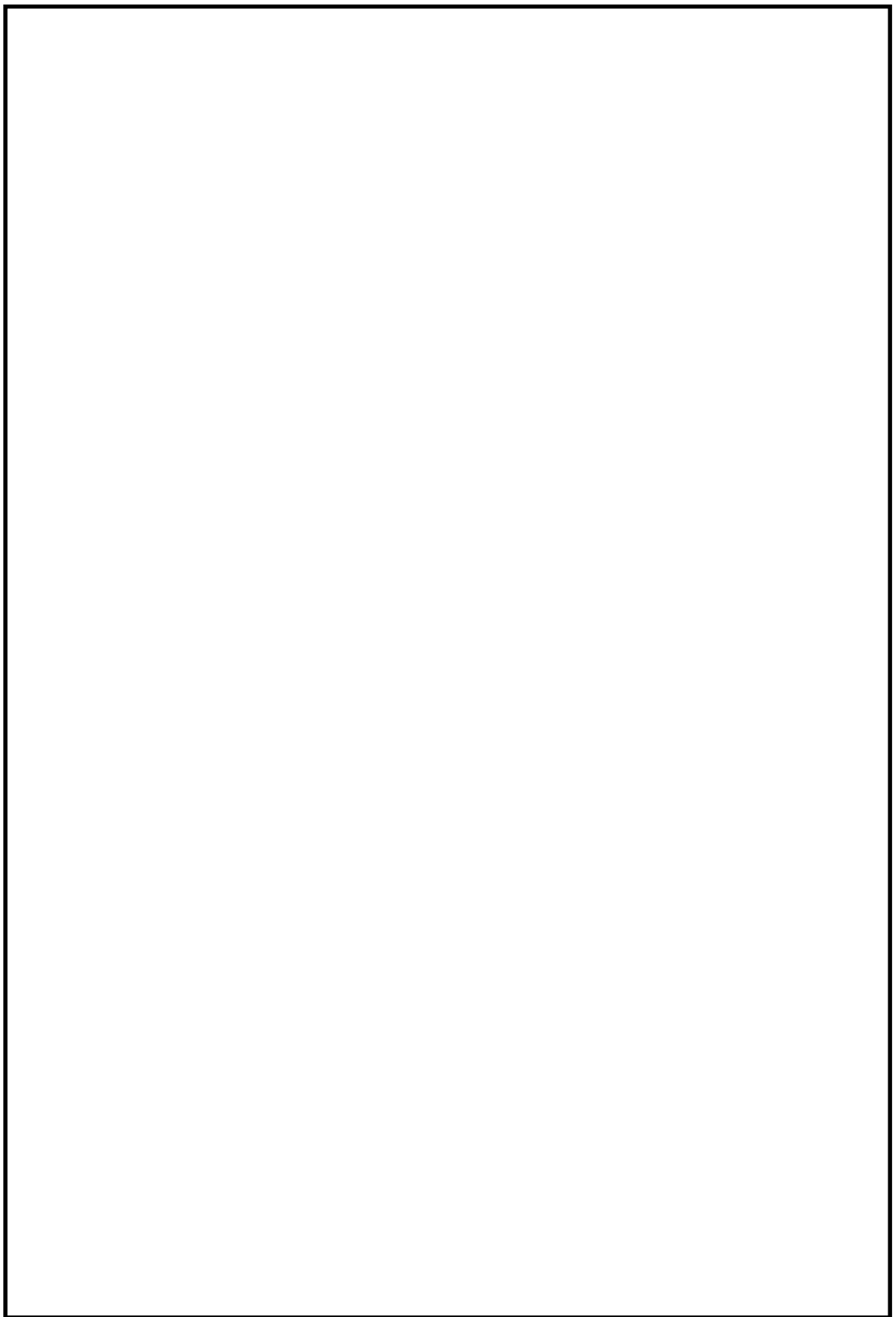


図 4-3 ディーゼル機関吸気系統概略図

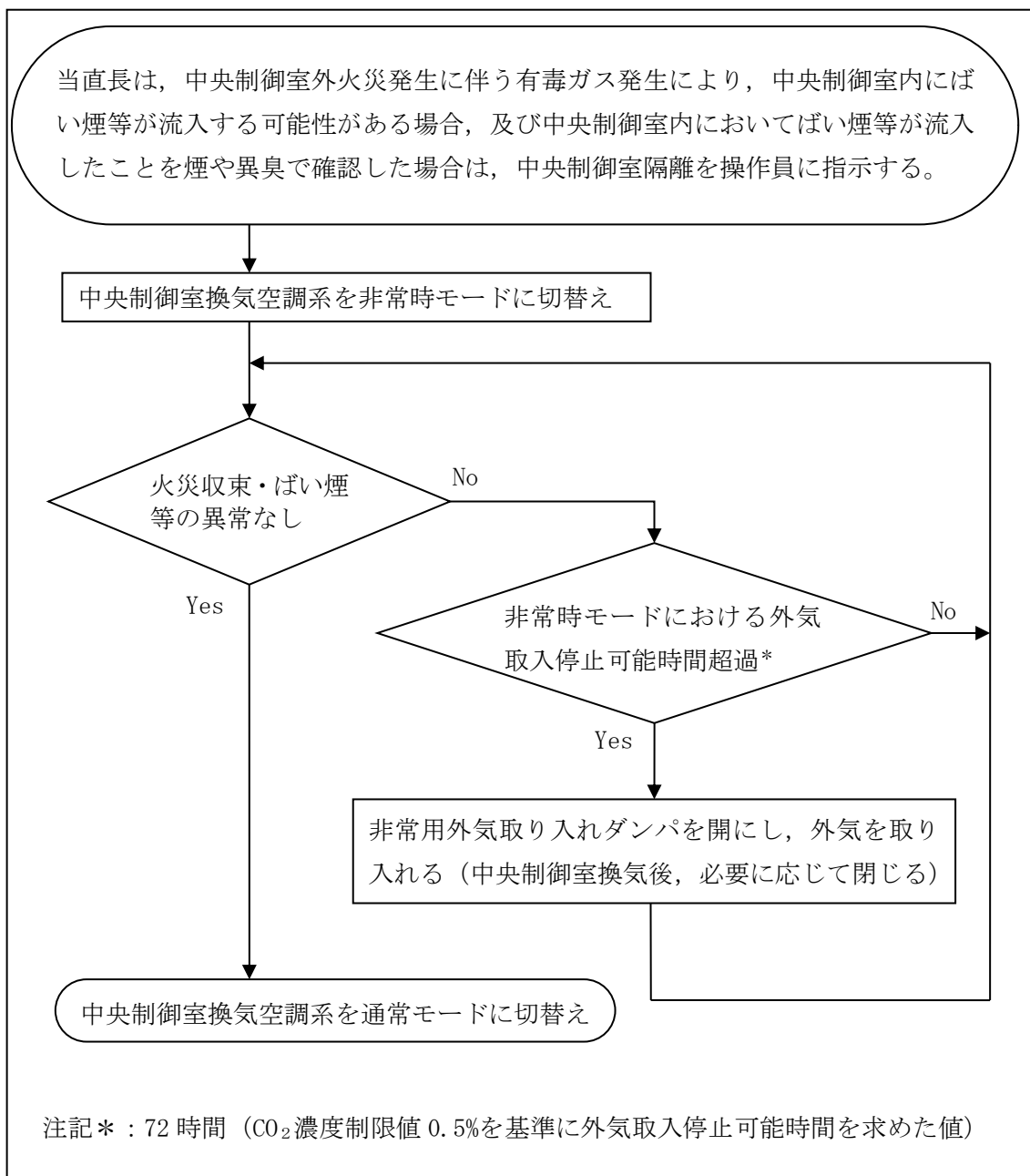


図 4-4 中央制御室外火災発生に伴う中央制御室隔離手順概要フロー

4.2 有毒ガスによる中央制御室居住性への影響

中央制御室換気空調系は、外気を遮断し、再循環させる非常時モードに切り替えることができ、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、外気取入モードに切り換え、外気を取り入れることができる。また、外気からの空気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を行い、中央制御室の居住性に影響がないことを確認する。

4.2.1 外気取入遮断時の中央制御室居住性評価

外部火災時の中央制御室の居住性の評価として、外気取入遮断時の中央制御室内に滞在する運転員の作業環境の劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度について評価を行う。なお、中央制御室内には、燃焼による二酸化炭素の排出や酸素を消費する機器はなく、非常用ディーゼル発電機の火災時に消火設備より二酸化炭素が放出されたとしても、中央制御室換気空調系との系統分離及び給・排気口の位置的分散が図られており、中央制御室内に二酸化炭素が取り込まれることはないことから、在室人員の呼吸のみを想定し評価を行う。

(1) 酸素濃度評価

「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、酸素濃度を評価する。

a. 評価条件

- ・在室人数：18人（運転員定数）
- ・中央制御室バウンダリ内体積：17128m³
- ・評価結果が保守的になるよう空気流入はないものとする。
- ・初期酸素濃度：20.95%（成人呼吸器の酸素量）
- ・1人あたりの呼吸量：1.44m³/h（事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量を適用）
- ・1人あたりの酸素消費量：0.066m³/h（歩行（中等作業相当）でのO₂消費量）
- ・許容酸素濃度：18%以上（労働安全衛生規則）
- ・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。

注記*：外部火災影響評価にて長期間の影響をもたらす、航空機墜落による火災と軽油タンク火災の重畳を考慮すると、約23時間が火災の継続時間となることから、24時間で評価を実施する。

b. 評価結果

上記評価条件から求めた酸素濃度の時間変化は、表4-1のとおりであり、24時間外気取入れを遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の作業環境に影響を与えない。

表 4-1 酸素濃度の時間変化

時間	6 時間	12 時間	24 時間	許容濃度
酸素濃度 (%)	20.9	20.8	20.7	18%以上

(2) 二酸化炭素濃度評価

「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、二酸化炭素濃度を評価する。

a. 評価条件

- ・ 在室人数：18 人（運転員定数）
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積：17128m³
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入はないものとする。
- ・ 初期二酸化炭素濃度：0.030%（原子力発電所中央制御室運転員の事故時被ばくに関する規程（J E A C 4 6 2 2-2009））
- ・ 1 人あたりの二酸化炭素吐出量：0.046m³/h（事故時の運転操作を想定し、中等作業での吐出量を適用）
- ・ 許容二酸化炭素濃度：0.5%以下（労働安全衛生規則）
- ・ 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

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度の時間変化は、表 4-2 のとおりであり、24 時間外気取入れを遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の作業環境に影響を与えない。

表 4-2 二酸化炭素濃度の時間変化

時間	6 時間	12 時間	24 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度 (%)	0.06	0.09	0.15	0.5%以下

4.2.2 敷地外の火災源からの有毒ガス評価

発電所南西 39km には石油工業関連施設（石油コンビナート等特別防災区域直江津地区）があるが、発電所周辺地域には存在しない。

主要道路、鉄道路線及び一般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事象防護対象施設に影響を及ぼすことはない。