

女川原子力発電所2号炉 外部火災について (審査会合コメント回答)

平成31年3月5日
東北電力株式会社

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

1. 審査会合での指摘事項
2. 指摘事項に対する回答

1. 審査会合での指摘事項

番号	審査 会合日	指摘事項の内容	回答頁
57	H27.3.19	津波時の漂流船舶の接近に関し、カーテンウォール上部を通過可能な最大積載量の船舶が最接近するケースを検討し、必要であれば評価すること。	3
58	H27.3.19	熱気流の影響評価や有毒ガスの濃度評価に使用する風速の考え方について整理して説明すること。	4
59	H27.3.19	火災時の有毒ガス濃度評価において、解析モデルやパラメータ設定における保守性の考え方について整理して説明すること。	5
60	H27.3.19	許容炭酸ガス濃度を1.5%から0.1%減じて1.4%としていることについて、炭酸ガス濃度の根拠や保守性を含めて評価の妥当性の説明が必要。	7
61	H27.3.19	火災の覚知・判断を含めても原子炉制御室の環境が悪化する前に換気空調系を再循環モードに切り替えられることを説明すること。	8
62	H27.3.19	扉の評価について、扉等の温度評価だけでなく内部温度影響も含めて追記が必要。	9
63	H27.3.19	変圧器火災の評価については、どのように保守性を考慮するのか説明すること。	11
64	H27.3.19	初期消火要員の移動開始タイミング及び移動手段の確保について追記が必要。	12
65	H27.3.19	材料の許容温度については、設計建設規格の趣旨を十分に踏まえて採用すること。	13
66	H27.3.19	外部火災におけるSA設備の防護について、SA時にアクセスルート確保のために必要なのか、位置づけを明確にすること。	14
67	H27.3.5	中央制御室換気空調系におけるインリークについては、ばい煙や有毒ガスの影響との関係を説明すること。	15

2. 指摘事項に対する回答(No.57)

指摘事項

○津波時の漂流船舶の接近に関し、カーテンウォール上部を通過可能な最大積載量の船舶が最接近するケースを検討し、必要であれば評価すること。
 (重油運搬船について、カーテンウォール位置で停止すると想定して評価を行ったことに対する指摘事項)

回答

- ▶ 入港する船舶の中で燃料積載量が最大の重油運搬船にて、カーテンウォール位置で熱影響評価を行っていたが、津波によりカーテンウォール上部を通過して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想定して熱影響評価を行った。
- ▶ 保守的に防潮堤は無いものとして、熱放射は全て届く条件で熱影響評価を行った。
- ▶ 全ての評価対象設備において、離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

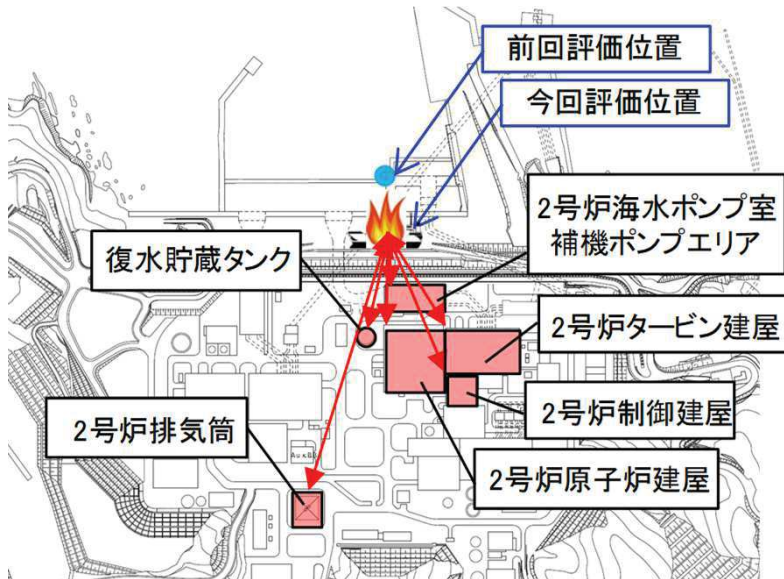


図 重油運搬船火災想定位置と原子炉施設との位置関係

表 重油運搬船火災の主要な原子炉施設に対する熱影響評価結果

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

2. 指摘事項に対する回答(No.58)

指摘事項

○熱気流の影響評価や有毒ガスの濃度評価に使用する風速の考え方について整理して説明すること。
 (熱気流と有毒ガスの評価において、各々の評価に用いている風速が異なっていることに対する指摘事項)

回答

- ▶ 熱気流の影響評価は、火災源から非常用ディーゼル発電機給気口への熱気流の到達可能性を確認することを目的としていることから、発電所の気象条件にて評価を実施する。評価に用いる気象条件は、女川原子力発電所設置許可申請書添付書類六において、気象指針から求めた安全解析に使用する気象条件とした。
- ▶ 有毒ガスの濃度評価は、各火災源から中央制御室給気口に入る有毒ガス濃度が最大となるよう、Briggsの排煙上昇過程式を用い、保守的に火災による排煙高さが給気口高さと同くなる風速とした。

表 中央制御室の給気口で
有毒ガス濃度が最大となるときの風速

火災源	風速 [m/s]
航空機火災(B747-400)	42.3
航空機火災(F-15)	7.2
1号炉軽油タンク	61.7
3号炉軽油タンク2基	92.7
起動変圧器	17.9
補助ボイラ変圧器	6.1

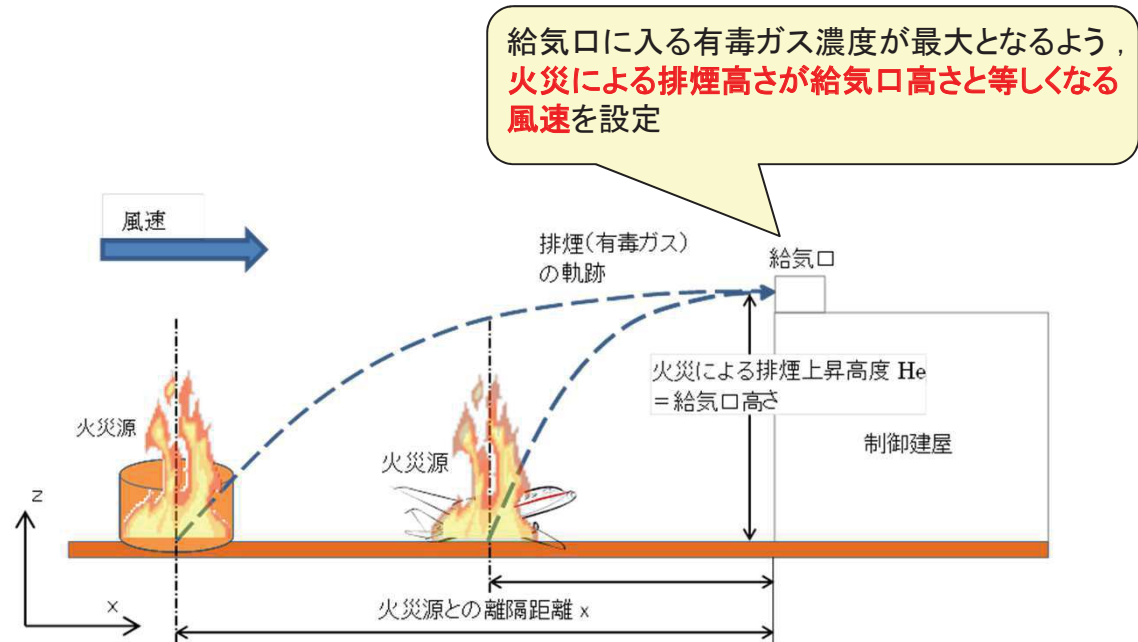


図 中央制御室給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

別添1添付7 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
 別添1添付8 ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

2. 指摘事項に対する回答(No.59) (1/2)

指摘事項

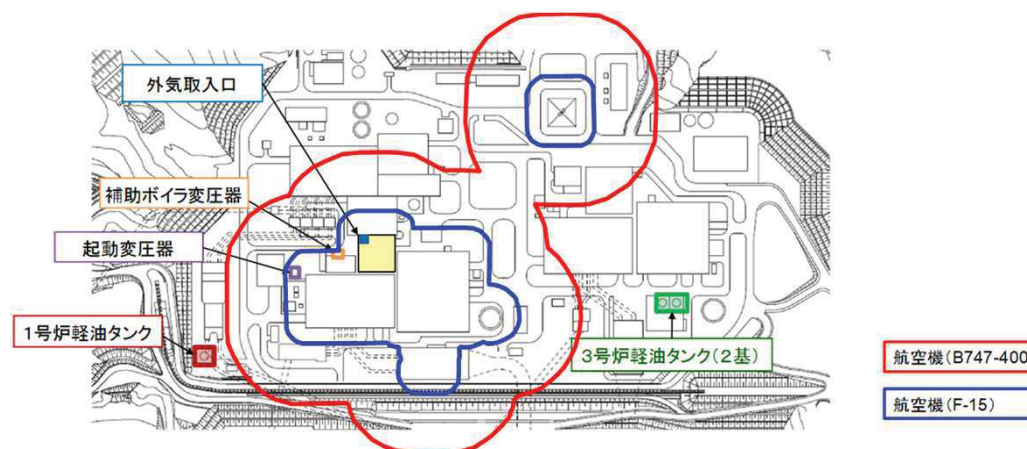
○火災時の有毒ガス濃度評価において、解析モデルやパラメータ設定における保守性の考え方について整理して説明すること。

回答

➤ 火災源から放出された有毒ガスが外気取入口で最大濃度となるようなモデル設定(航空機墜落位置, 風向及び評価位置等), パラメータを入力条件とすることで保守性をもった評価を実施している。

表 中央制御室有毒ガス濃度評価における評価モデル設定

項目	入力データ
航空機墜落位置	航空機火災影響評価にて算出された離隔距離で, 外気取入口に最も近い位置を設定
外気取入口	火災源と外気取入口との間に障害物がないものとして設定
風向	火災源から外気取入口に向かう風向を設定
有毒ガス濃度	プルーム中心最大濃度で評価
有毒ガス濃度評価位置	外気取入口位置で評価



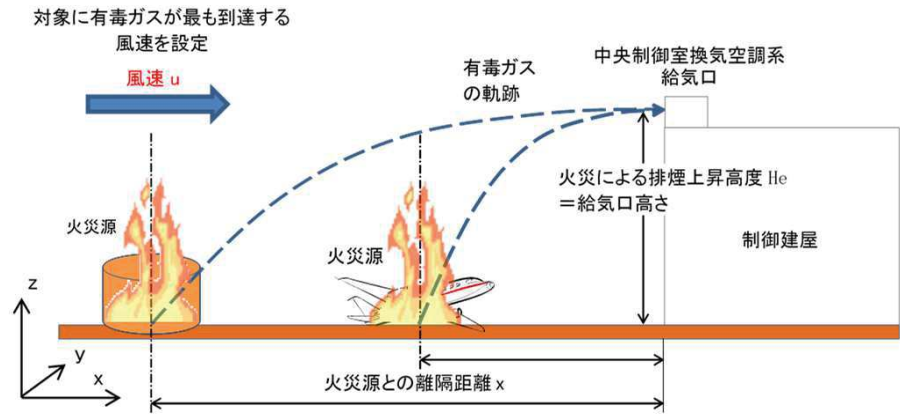


図 中央制御室給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

(有風時プルーム式)
$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\}\right)$$

C_{xyz} :濃度, Q:有毒ガス発生量, z:火災源と給気口の鉛直方向距離

表 中央制御室有毒ガス濃度評価における設定パラメータ

項目	入力データ
風速(u)	給気口位置でプルームが最大濃度となる風速を設定
有効発生高さ(m)	給気口高さ位置を設定
排気プルーム中心軸からの水平距離(y)	排気プルームの中心を外気取入口中心とするため「0」を設定
拡散パラメータ(σ_y, σ_z)	大気安定度から設定(大気拡散の弱い大気安定度を設定)

2. 指摘事項に対する回答(No.60)

指摘事項

○許容炭酸ガス濃度を1.5%から0.1%減じて1.4%としていることについて、炭酸ガス濃度の根拠や保守性を含めて評価の妥当性の説明が必要。

回答

- 当初、許容炭酸ガス濃度の設定にあたり、労働安全衛生規則に定める許容値1.5%に対して管理上の余裕として0.1%を減じた1.4%にて評価を実施していた。
- 0.1%という差分は、規則の順守を目的とした管理上の余裕であり、評価に対する保守性を目的としたものではないが、米国での研究レポート及び消防庁が発行している通知文書の内容※をふまえると、十分な保守性及び妥当性を有する値であると考えている。
- しかしながら、類似条文を有する鉱山保安法施行規則では許容値が1.0%と定められていること、及び許容炭酸ガス濃度に関する先行プラントの審査状況をふまえ、労働安全衛生規則に定める許容値1.5%に対して更なる管理上の余裕を見た1.0%を許容炭酸ガス濃度とすることとした。

※ 米国での研究レポート(U.S. Naval Medical Research Lab. Report No.228)には、炭酸ガス濃度1.5%環境下に42日間滞在しても、生理学的な機能や精神運動機能の明らかな低下はないとされている。また、消防庁が発行している通知文書「二酸化炭素消火設備の安全対策について(通知)」(平成8年9月20日)には、炭酸ガス濃度2%未満において、はっきりした人体への影響は認められないとされている。

2. 指摘事項に対する回答(No.61)

指摘事項

○火災の覚知・判断を含めても原子炉制御室の環境が悪化する前に換気空調系を再循環モードに切り替えられることを説明すること。
 (ダンパの閉止動作時間を用いて説明したことに対し、火災の覚知・判断も含めて説明が必要との指摘事項)

回答

中央制御室に有毒ガスが流入してくる可能性がある場合には、中央制御室の外気取入を遮断し、再循環させる事故時運転モードで運転を行うことが可能であり、火災覚知後10分程度で中央制御室の外気取入を停止し、事故時運転モードへ切替えることが可能である。

また、火災(有毒ガス)の発生は、火災感知器(軽油タンク、主変圧器等)、振動や衝撃音(航空機落下)により覚知できることに加え、自然現象監視カメラにおいても屋外の状況を確認可能とし、中央制御室内で煙や異臭を確認した場合等の緊急時には、切替操作スイッチを使用し、必要な機器を同時に動作させる一括切替も可能であり、これらの覚知・判断に時間を要するものではなく、迅速に対応することが可能である。

表 火災の覚知・判断について

火災種類	覚知手段
変圧器火災	<ul style="list-style-type: none"> ・火災感知器動作や設備故障による警報の発報 ・自然現象監視カメラによる確認
危険物タンク火災	<ul style="list-style-type: none"> ・火災感知器動作による警報の発報 ・自然現象監視カメラによる確認
航空機墜落による火災	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機落下時の振動や衝撃音 ・自然現象監視カメラによる確認
森林火災	<ul style="list-style-type: none"> ・パトロールによる確認 ・自治体防災無線による連絡 ・自然現象監視カメラによる確認

別添1添付2 森林火災による影響評価について
 別添1添付8 ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

2. 指摘事項に対する回答(No.62)(1/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません

P9

指摘事項

○扉の評価について、扉等の温度評価だけでなく内部温度影響も含めて追記が必要。

回答

▶ 最も熱影響が大きくなる重畳火災(航空機落下火災及び3号炉軽油タンク火災)において、輻射強度が最も大きくなる2号炉非常用ディーゼル発電機(A)室の建屋外扉に対し、内側(建屋内部温度)の熱影響評価を行い、許容温度を越えないことを確認した。

◎評価対象外扉の選定

・非常用ディーゼル発電機(A)室外扉

室内に防護対象設備を内包する部屋の外扉のうち、3号炉軽油タンクに最も近い2号炉原子炉建屋の外扉であり、3号炉軽油タンクに面している原子炉建屋北側に位置し、輻射強度が最も大きくなることから、熱影響評価を実施

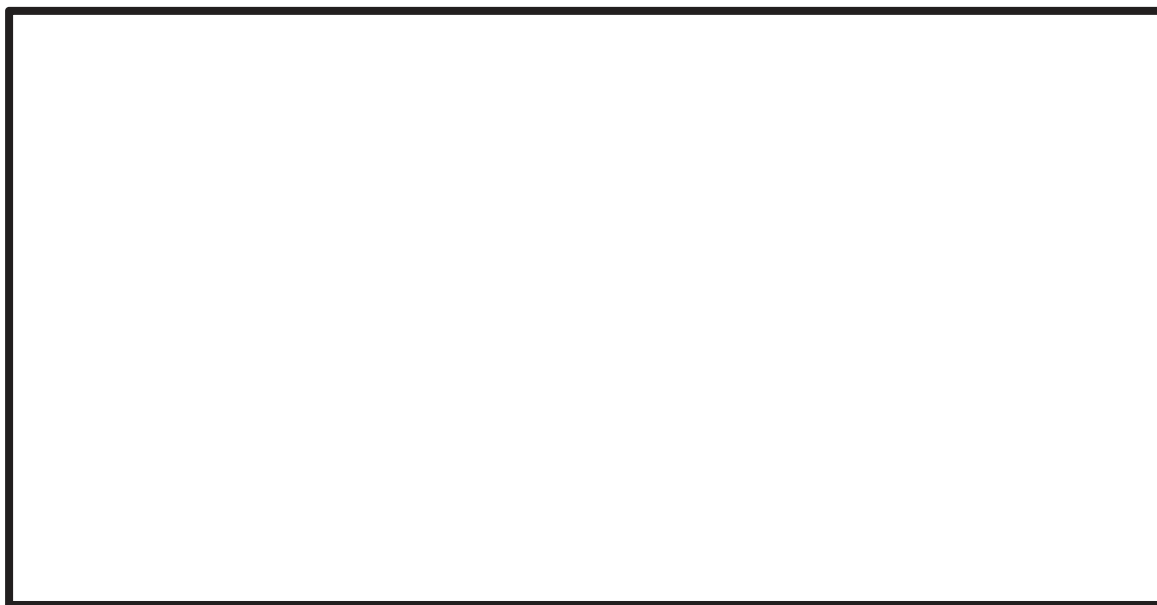


図 想定する3号炉軽油タンク火災と航空機落下火災の火災源と原子炉建屋外扉の位置の模式図

◎扉内部温度の評価対象の選定

- ・非常用ディーゼル発電機(A)室 (D/G(A)室)
: 熱影響を受けやすい外扉がある部屋の中で、火災源からの離隔距離が最も短いため評価を実施
- ・非常用ディーゼル発電機(A)制御盤室 (D/G(A)制御盤室)
: D/G(A)室に隣接しており、制御盤があることから評価を実施

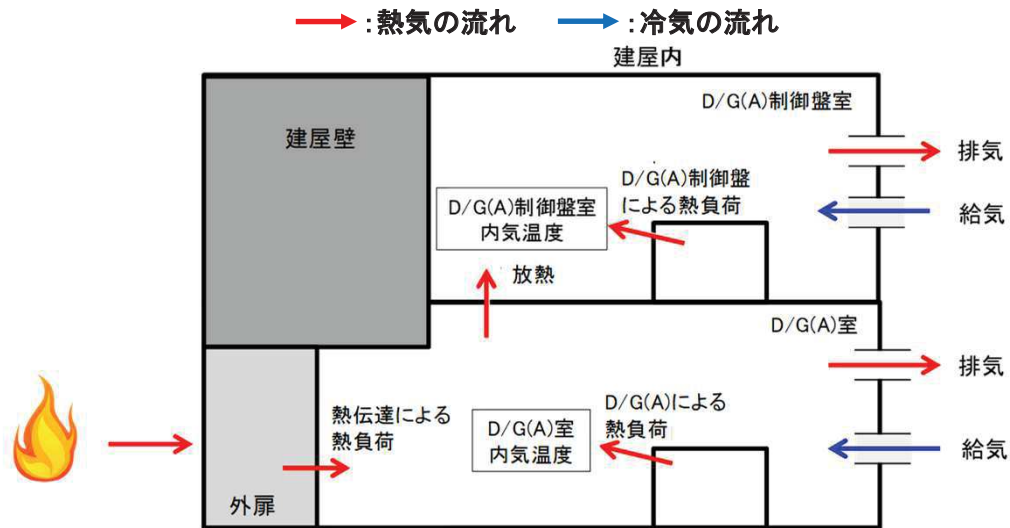


図 D/G(A)室及びD/G(A)制御盤室内の伝熱の平面概念図

表 評価結果

	D/G(A)室	D/G(A)室 制御盤室
初期温度[°C]	44.4※1	38.1※1
内気温度[°C]	44.6	39.9
許容温度[°C]	45.0※2	40.0※3

- ※1: 非常用ディーゼル発電機運転時の部屋温度
- ※2: 非常用ディーゼル発電機機関の最高使用温度
- ※3: 制御盤の最高使用温度

2. 指摘事項に対する回答(No.63)

指摘事項

○変圧器火災の評価については、どのように保守性を考慮するのか説明すること。
(黒煙による輻射発散度の低減を考慮し、現実的な評価を行っていたことに対する指摘事項)

回答

▶ 油の液面火災では、火炎の面積が半径3mを越えると空気の供給不足となり、大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、発生する黒煙による輻射発散度の低減はないものとして保守的に評価を行った。

<外壁表面温度の算出式>

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

T : 外壁表面温度(°C), T_0 : 初期温度(50°C), E : 輻射強度(W/m²), h : コンクリート熱伝達率(17 W/m²/K)
 α : コンクリート温度伝導率(= $\lambda/\rho C_p$)(m²/s), ρ : コンクリート密度(2,400 kg/m³), C_p : コンクリート比熱(963 J/kg/K)
 λ : コンクリート熱伝導率(1.74 W/m/K), x : コンクリート深さ(外表面のため0mで算出), t : 燃焼継続時間(s)

<輻射強度の算出式>

変更前 : $E = Rf \times r \times \Phi$
 変更後 : $E = Rf \times \Phi$

E : 輻射強度[W/m²]

Rf : 輻射発散度[W/m²]

r : 輻射発散度の低減率

(燃焼直径から算出され、値は0.3~1.0)

Φ : 形態係数

表 評価結果(2号炉PLR-VVVF変圧器※1※2)

	変更前	変更後	許容値
原子炉建屋外壁温度[°C]	約195	約198	200

※1 静止型原子炉再循環ポンプ用電源装置入力変圧器

※2 建屋への熱影響が最も大きい変圧器

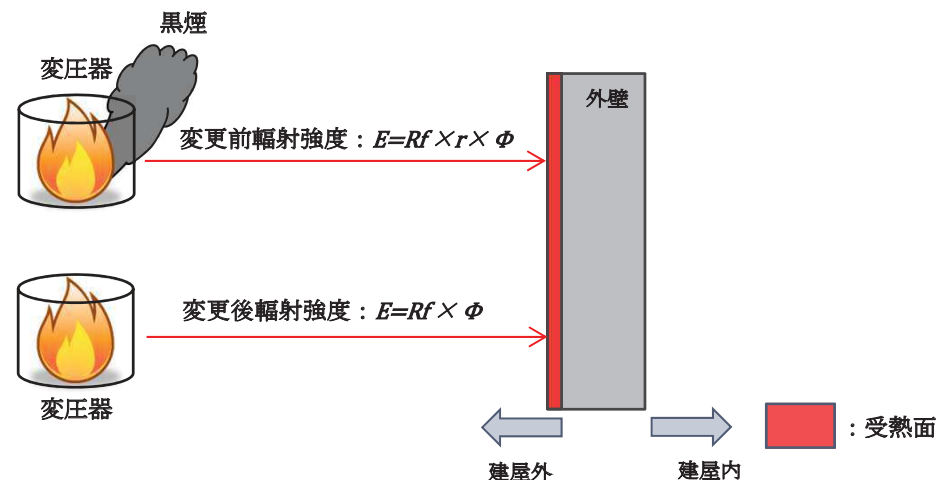


図 建屋温度概念図(黒煙の影響の有無)

指摘事項

○初期消火要員の移動開始タイミング及び移動手段の確保について追記が必要。
(防火帯の外側に初期消火要員を配置していたことに対し、その周辺で森林火災が発生した際の防火帯内への移動の成立性について問われた指摘事項)

回答

➤ 自衛消防隊の初期消火要員(10名)は防火帯内に配置するよう変更したことから、防火帯内への移動はなくなり、森林火災による初期消火要員の活動に影響はない。

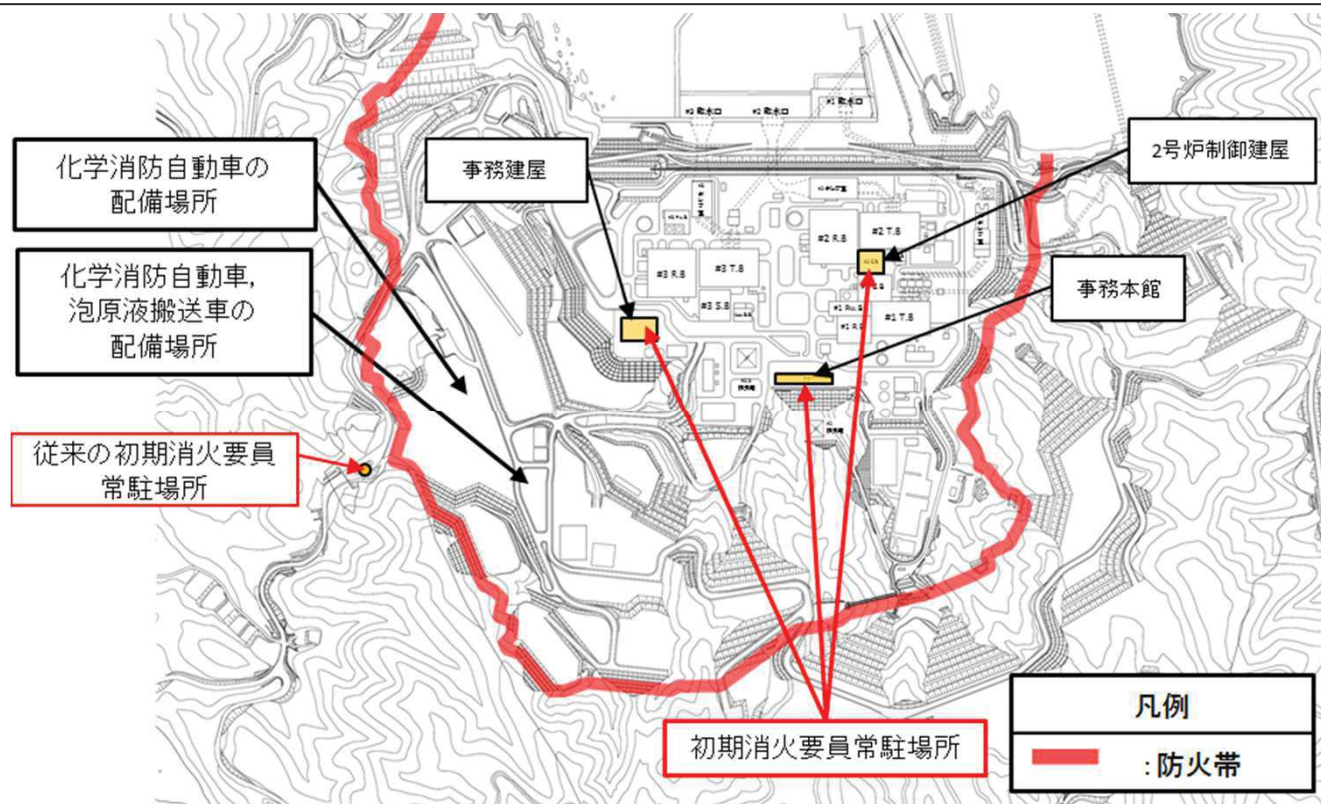


図 初期消火要員及び消防自動車の配置場所

指摘事項

○材料の許容温度については、設計建設規格の趣旨を十分に踏まえて採用すること。
 (設計建設規格に記載の鋼材の制限温度350℃を排気筒の許容温度として用いたことに対する指摘事項)

回答

➤「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」で鋼材の制限温度を350℃としていることから、排気筒に対する許容温度を350℃としていたが、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」において鋼材の温度が325℃以下であれば、その強度は常温時と変わらないとしていることから、排気筒に対する許容温度を325℃とした。

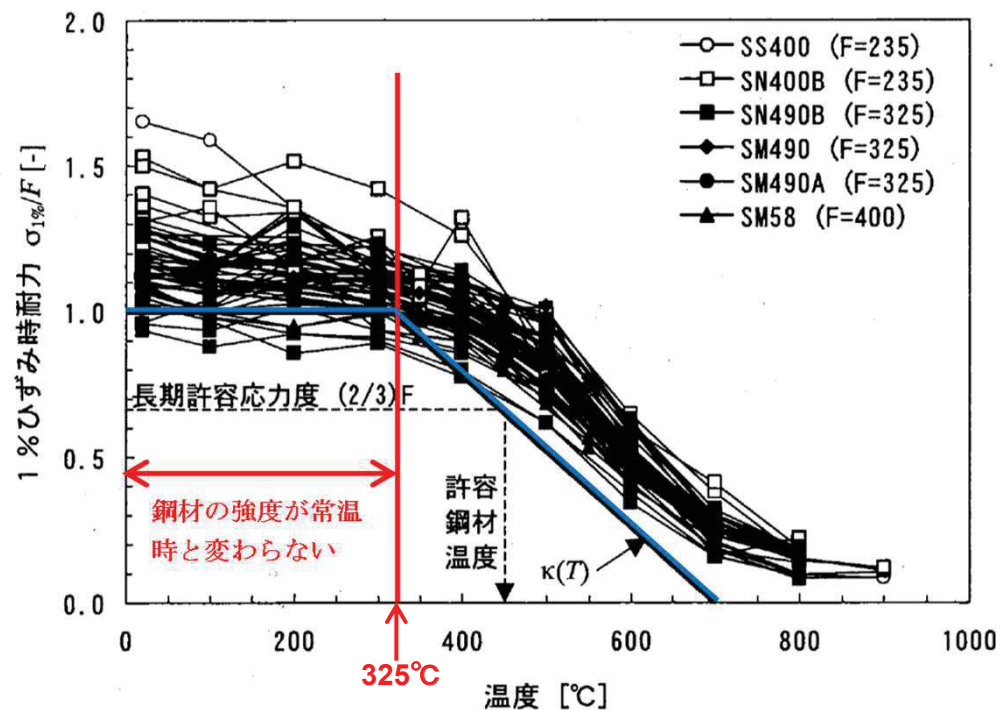


図 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率

指摘事項

○外部火災におけるSA設備の防護について、SA時にアクセスルート確保のために必要なのか、位置づけを明確にすること。
 (森林火災による可搬型重大事故等対処設備及びアクセスルートへの熱影響低減対策に対する他社への指摘事項)

回答

- 可搬型重大事故等対処設備保管エリア及びアクセスルートは、防火帯の内側に配備する。
- 可搬型重大事故等対処設備保管エリア及びアクセスルートは、石油コンビナートの防災アセスメント指針における「長時間さらされても苦痛を感じない放射強度 $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ 」以下となるよう、防火帯外縁から 32.8m 以上の離隔距離を確保しているため、森林火災による熱影響はない。

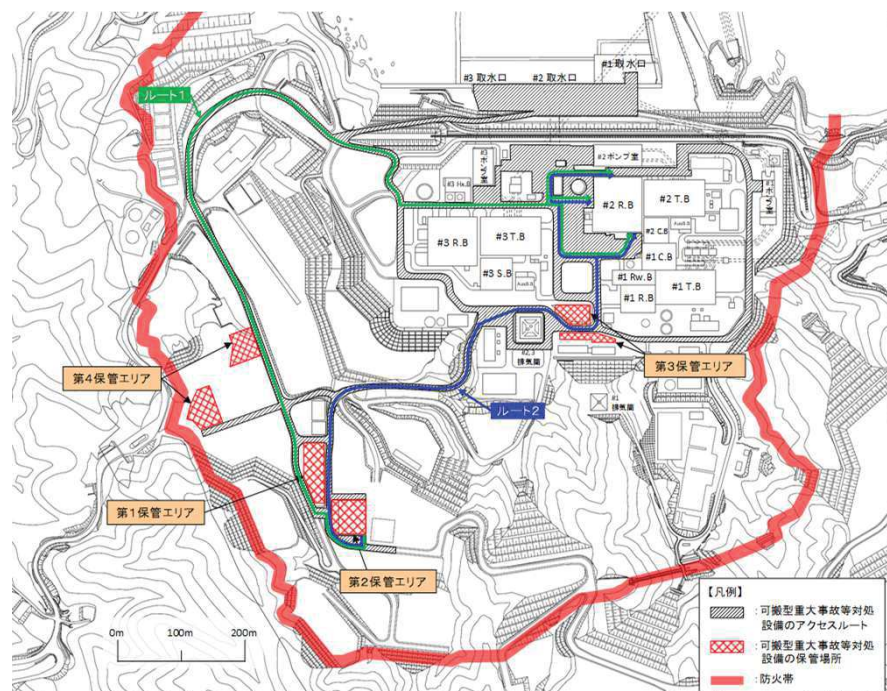


図 保管場所及びアクセスルートと防火帯の位置

別添1添付2 森林火災
 による影響評価について

2. 指摘事項に対する回答(No.67)

指摘事項

○中央制御室換気空調系におけるインリークについては、ばい煙や有毒ガスの影響との関係を説明すること。

回答

➤ ばい煙や有毒ガスが中央制御室に与える影響は、給気口における濃度を確認することで評価している。給気口における濃度が基準値を超過する場合は、中央制御室換気空調系のインリークによる流入を考慮し、室内における濃度を確認している。

表 中央制御室のインリークの考慮について

審査項目	評価項目		評価結果(ppm)※1	
			2号炉中央制御室給気口	2号炉中央制御室内※2
外部火災 (第六条)	ばい煙・有毒ガス	二酸化炭素	7,930 (IDLH: 40,000)	/
		一酸化炭素	123.60 (IDLH: 1,200)	
		二酸化硫黄	86.67 (IDLH: 100)	
		二酸化窒素	12.59 (IDLH: 13)	
有毒ガス (第六条)	有毒ガス	プロパン	16,716 (IDLH: 2,100)	1,046 (IDLH: 2,100)

※1 影響が最も大きい火災源又は有毒ガスの発生源による評価結果。

※2 空調: 通常運転モード(外気取引量 5,000m³/h), インリーク率: 1回/h(8,800m³/h)