

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 6号及び7号炉

外部火災影響評価について

平成27年11月

東京電力株式会社

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

目次

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

添付資料

1. 外部火災影響評価対象の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 燃料輸送車両の火災・爆発について
5. 漂流船舶の火災・爆発について
6. 敷地内における危険物タンクの火災について
7. 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
8. ばい煙および有毒ガスの影響評価について

<概要>

1. において、想定する外部火災及び評価内容を整理するとともに、外部火災からの防護対象設備を整理する。
2. において、想定する外部火災の影響評価結果について説明する。

1. 基本方針

1.1 基本事項

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下、設置許可基準規則という。）」第六条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（以下、評価ガイドという。）」に基づき、外部火災影響評価を行い、外部火災により、原子炉施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第六条において、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、飛来物（航空機墜落）を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

- (1) 森林火災
- (2) 近隣の産業施設の火災・爆発
- (3) 航空機墜落による火災

また、具体的な評価内容等については、以下のとおりである。

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外10km圏内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> ・森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を用いた森林火災評価 ・森林火災評価に基づく防護対象設備の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・防火帯幅評価 ・熱影響評価 ・危険距離評価 	二次的影響（ばい煙、有毒ガス）評価
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km圏内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所敷地外の石油コンビナート等について発電所との距離等を考慮した危険距離及び危険限界距離評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・危険距離評価 ・危険限界距離評価 	
	発電所敷地内の危険物貯蔵設備の火災	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所敷地内の危険物貯蔵設備火災による熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱影響評価 	
航空機墜落による火災	敷地への航空機墜落時の火災	<ul style="list-style-type: none"> ・墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した防護対象設備の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱影響評価 	

1.3 防護対象設備（添付資料－1）

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象とする。

安全機能を有する設備は、「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」（以下「重要度分類審査指針」という。）において、安全機能を有するクラス1，2，3に該当する構築物，系統及び機器とする。また，評価ガイドにおいても発電所敷地外で発生する火災が発電用原子炉施設（評価ガイドにおける「発電用原子炉施設」は，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包するものに限る。）へ影響を与えない等の評価が求められていることから，今回設定した防護対象と同様である。

また，設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり，重大事故等対処施設ではないが，設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が，その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避すべきであることから，原則防火帯の内側に配置し外部火災の熱影響を回避する。

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません



第 1.3-1 図 発電所構内全体図

2. 火災の影響評価

2.1 森林火災（添付資料－2）

2.1.1 評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が、発電所へ迫った場合でも発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価した。

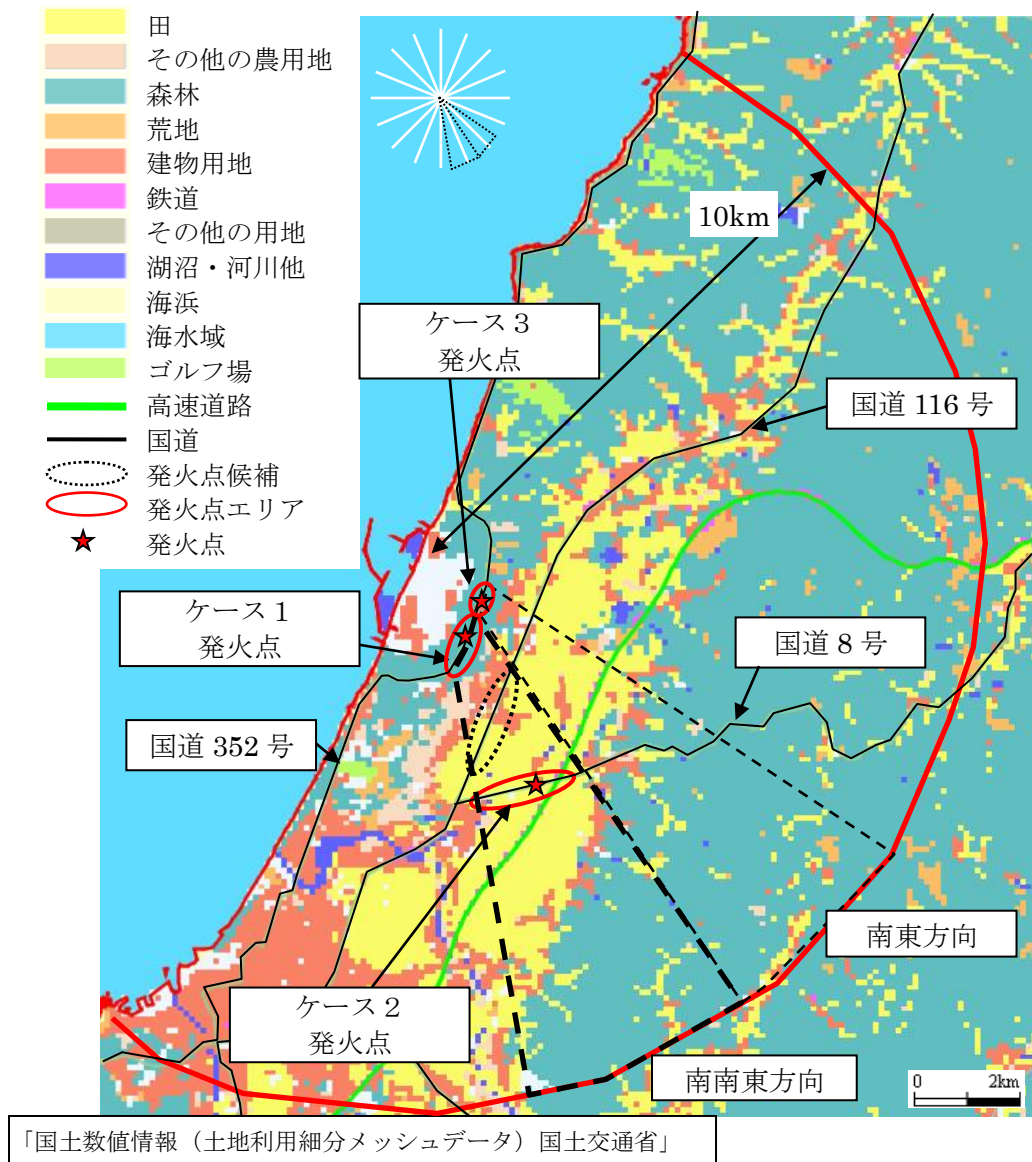
- (1) 火災の到達時間の評価
- (2) 防火帯幅の評価
- (3) 熱影響の評価
- (4) 危険距離の評価

2.1.2 評価要領

森林火災の解析にあたっては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」において推奨されている森林火災シミュレーション解析コードFARSITEを使用し、以下の設定により解析した。

- (1) 土地利用データは、現地状況をできるだけ模擬するため、国土数値情報（国土交通省）の100mメッシュの土地利用データを用いた。
- (2) 植生データは、森林の現状を把握するため、樹種や生育状況に関する情報を有する自然環境保全基礎調査 植生調査データの空間データを入手し、その情報を元に植生調査を実施した。その結果から、保守的な可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化した。
- (3) 地形データは、基盤地図情報（国土地理院）の10mメッシュの標高データを使用した。
- (4) 気象データは、森林火災の発生件数が多い3～5月の過去10年間のデータを調査し、森林火災の延焼を拡大させる観点から、最小湿度、最高気温及び最大風速を設定した。
- (5) 風向は最大風速記録時と卓越風向として、南南東および南東側に発火点を設定した。
- (6) 発火点は以下の3地点を設定した。
 - a. 発電所近隣からの発火の方が防火帯周辺に火災が到達するまでの時間が短くなることから、防火帯までの距離が短くなる南南東方向の国道352号線沿いに発火点を選定する。（防火帯から約0.6km：ケース1）
 - b. 発電所遠方からの発火の方が火災の規模が大きくなる（火災前線が広がり、発電所構内を同時期に取り囲むような火災となる）ことから、火入れ・たき火などによる火災も考慮し、家屋・田畑がある南南東方向で発電所遠方の国道8号線沿いに発火点を選定する。（防火帯から約3km：ケース2）
 - c. 卓越風向として南東方向からの風も一部存在すること、および防火帯までの距離が南南東方向より短くなることから、参考のため防火帯までの距離が短くなる南東方向の国道352号線沿いに発火点を選定する。（防火帯から約0.4km：ケース3）

(7) 評価対象範囲は、西側が海岸という発電所周辺の地形を考慮し、発電所から東12km, 西9km, 南12km, 北15kmとした。



第2.1.2-1図 発火点位置

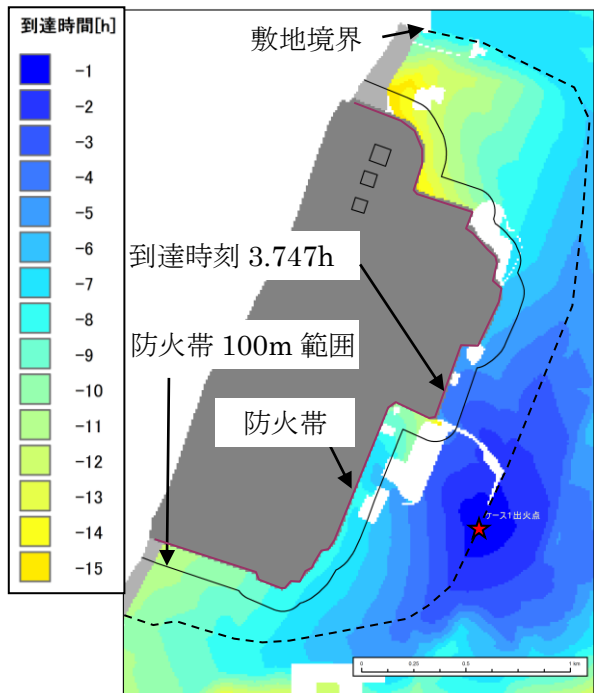
2.1.3 評価結果

2.1.3.1 火災の到達時間の評価

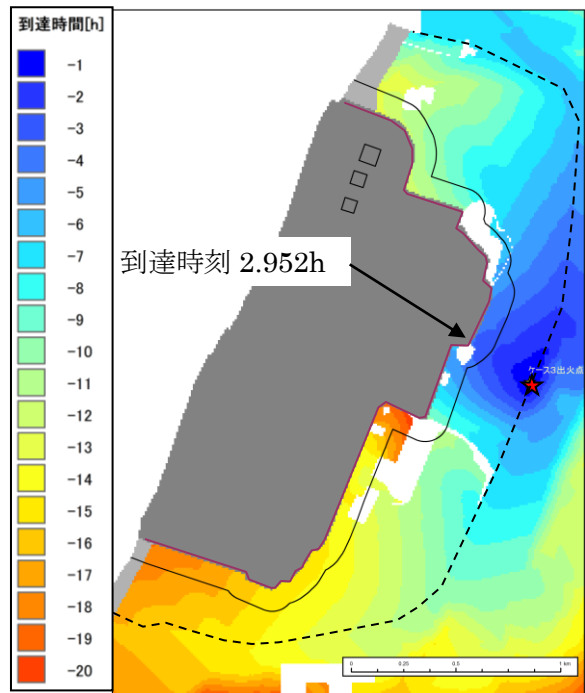
(1) 火災到達時間

想定される森林火災による防火帯境界までの火災到達時間は、到達時間が短いケース3で約3時間程度であることを確認した。

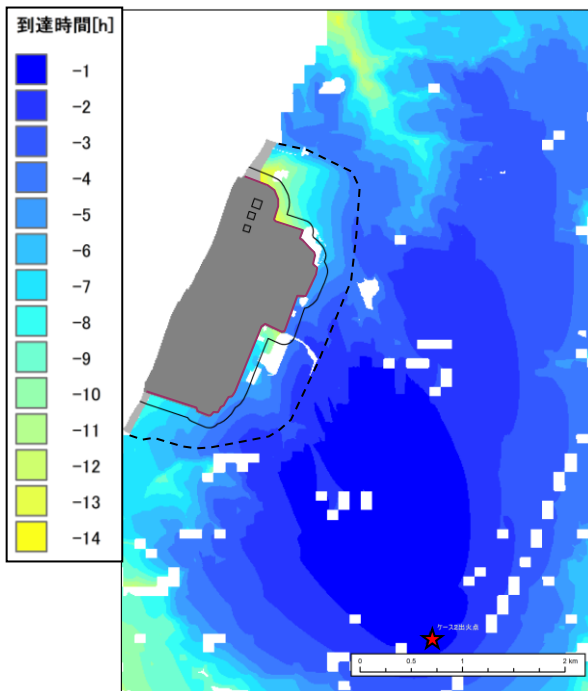
評価項目	ケース1	ケース2	ケース3
火災の到達時間[hour]	3.747	3.503	2.952



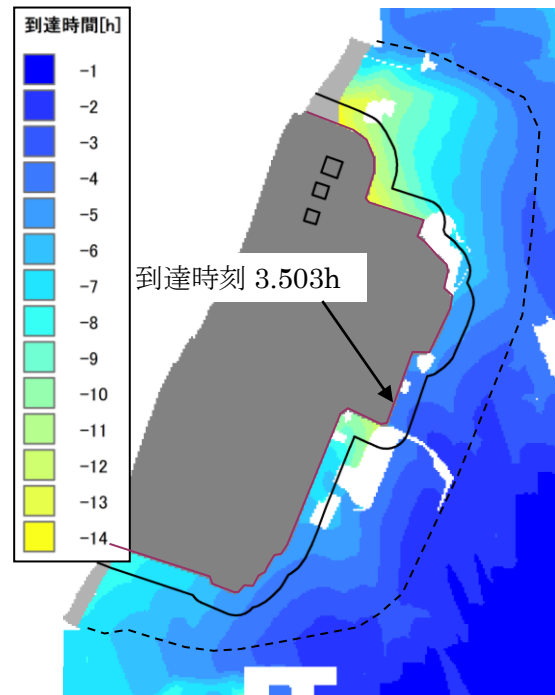
(ケース 1)



(ケース 3)



(ケース 2)



(ケース 2) 拡大図

第 2.1.3.1-1 図 火災到達時刻分布

(2) 予防散水活動及び体制

発電所の自衛消防隊の初期消火班員（10人以上）が24時間常駐しており，早期に予防散水体制を確立することができることから，防火帯付近での予防散水は可能である。

また，自衛消防隊による予防散水は，外部電源の喪失時においても，ディーゼル駆動消火ポンプが運転可能であることから，屋外消火栓及び消防車を用いて予防散水が可能である。

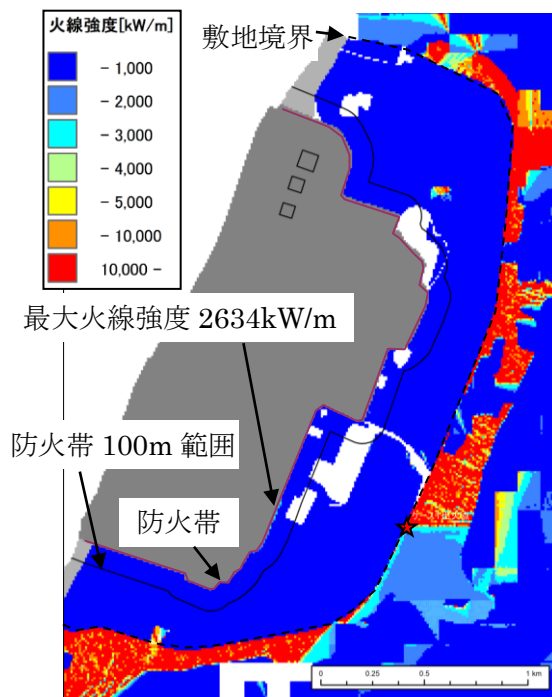
なお，防火帯の外側に設置されているモニタリングポスト及び気象観測装置（クラス3）については，可搬型モニタリングポスト及び可搬型気象観測装置による代替測定を実施する。

2.1.3.2 防火帯幅の評価

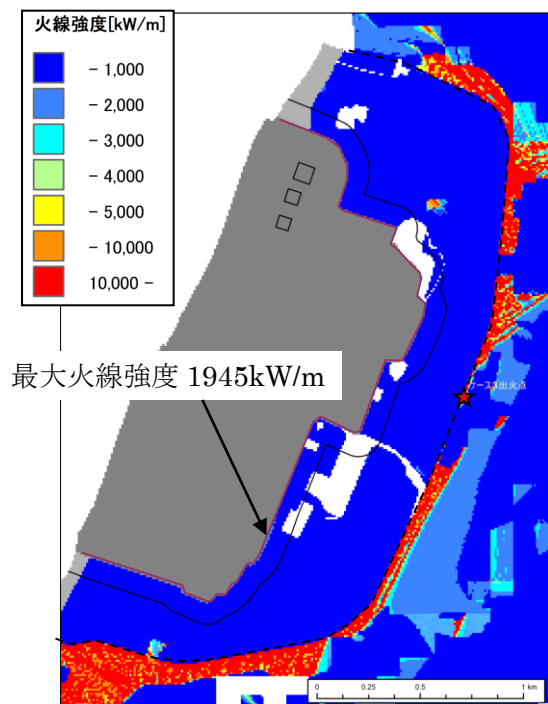
(1) 最大火線強度

想定される森林火災による防火帯周辺100m範囲での最大火線強度は，火線強度が大きいケース2で約3000kW/m程度であることを確認した。

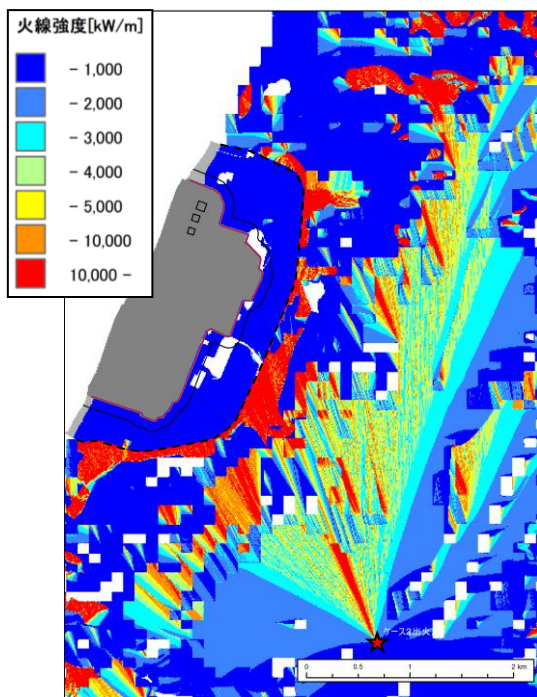
評価項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
最大火線強度[kW/m]	2634	2948	1945



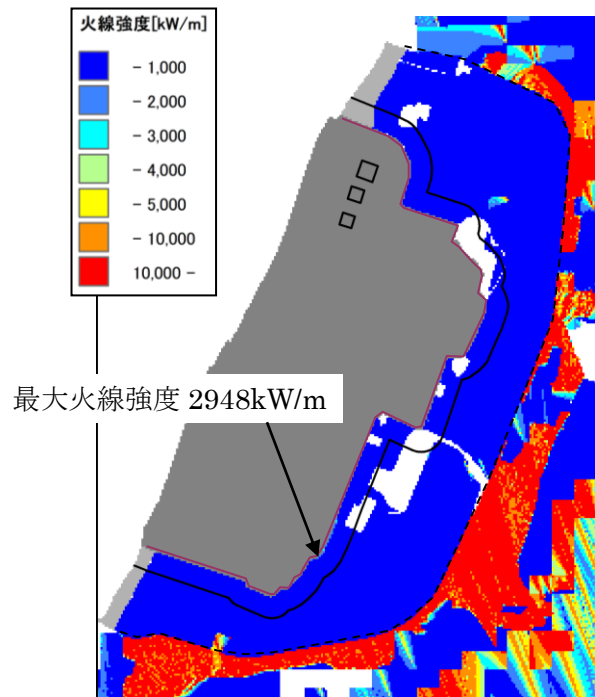
(ケース 1)



(ケース 3)



(ケース 2)



(ケース 2) 拡大図

第 2.1.3.2-1 図 火線強度分布

(2) 防火帯幅

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯周辺の最大火線強度 (2948kW/m) から「Alexander and Fogartyの手法 (風上に樹木がある場合)」を用いて、必要な防火帯幅を算出した結果、森林部と防護対象設備間に必要な防火帯幅は18.3mとなった。

これに対して、森林火災の延焼を防止するために、森林伐採を実施し、20mの防火帯幅を確保し、延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。

最大火線強度 2948kW/m (ケース 2)

風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係(火炎の防火帯突破確率 1%)

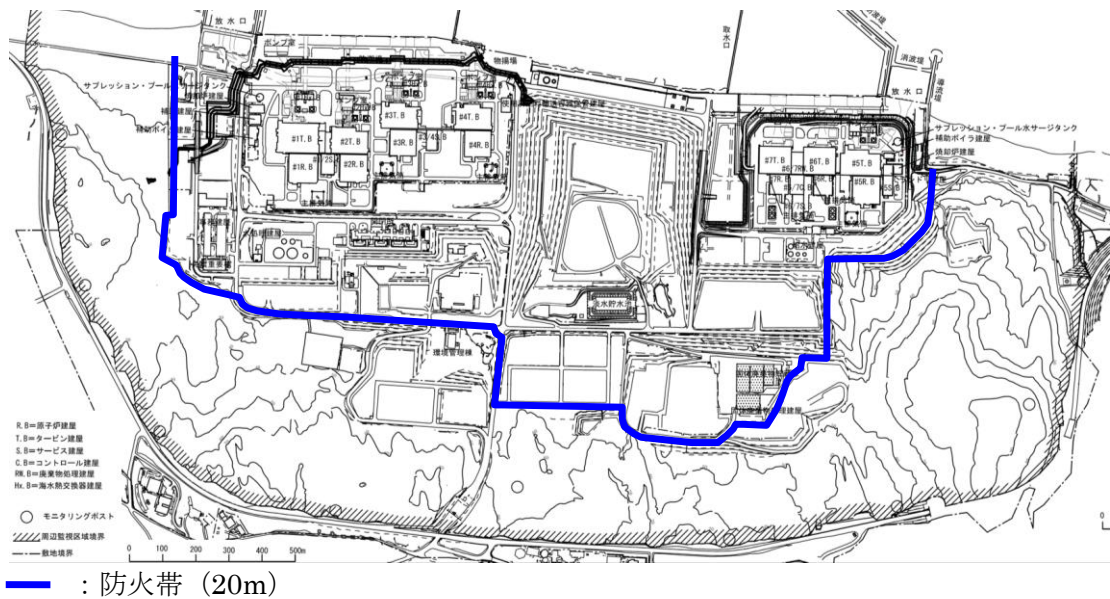
火線強度[kW/m]	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅[m]	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

評価上必要とされる防火帯幅 18.3m

防火帯幅20m

(3) 防火帯設定の考え方

- 森林火災評価結果に基づき、森林火災による防護対象への延焼防止対策として、防火帯(幅 20m)を設定する。
- 防火帯は、クラス 1, 2, 3 設備および重大事故等対処設備を原則防護するように設定する。(第 2.1.3.2-2 図)
- 防火帯は、発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し、干渉しないように設定する。
- 防火帯の設定にあたっては、草木を伐採する等、可燃物を排除する。その後、除草剤の散布やモルタル吹付け等を行い、草木の育成を抑制し、可燃物が無い状態を維持する。



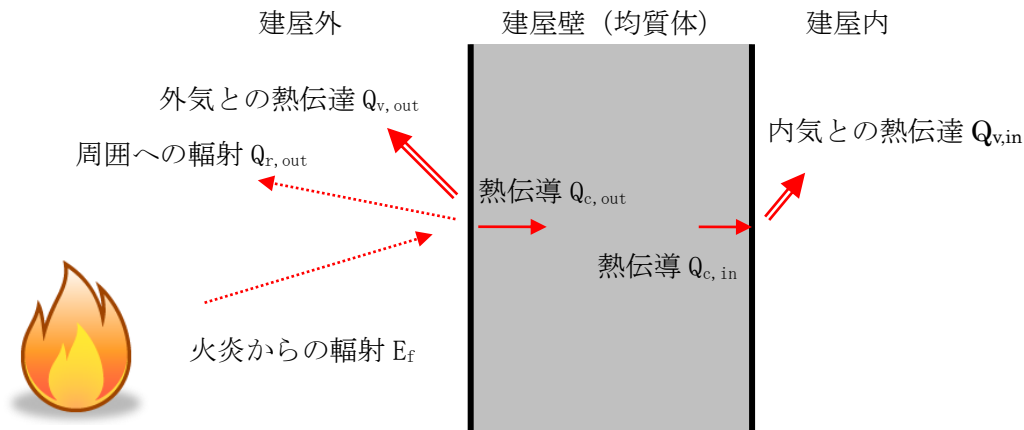
第2.1.3.2-2図 防火帯位置

2.1.3.3 発電用原子炉施設の熱影響評価

(1) 原子炉施設外壁

森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力より得られた火炎長や到達時間等より，原子炉施設外壁のコンクリート表面温度を評価した。熱影響評価の結果，原子炉建屋外壁のコンクリート表面温度は，最大でも約55℃であり，許容温度200℃（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）以下であることを確認した。

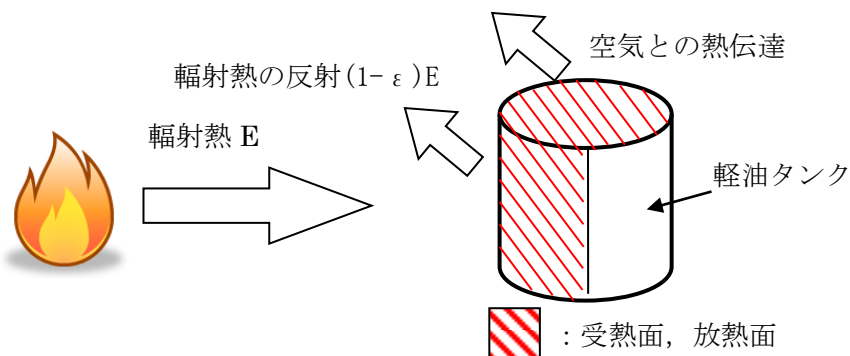
	ケース 1		ケース 2		ケース 3	
号炉	6号炉	7号炉	6号炉	7号炉	6号炉	7号炉
温度[℃]	52.6	52.3	54.3	54.1	52.0	51.7
許容温度[℃]	200					



第2.1.3.3-1図 原子炉施設外壁の熱影響評価（概念図）

(2) 軽油タンク

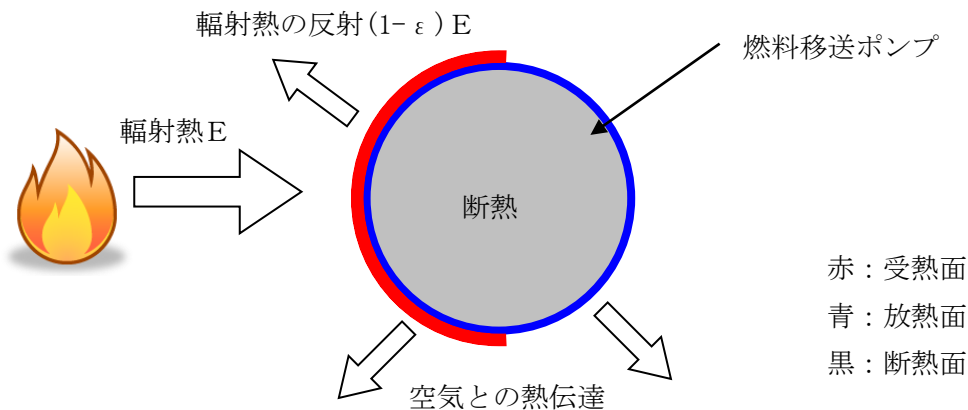
森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力より得られた火炎長や到達時間等より，コンクリートの熱影響評価の結果最も温度上昇の大きいケース 2 について軽油タンクの温度を評価した。熱影響評価の結果，軽油タンクおよび軽油の温度は，最大でも約40℃であり，許容温度225℃（軽油の発火点温度）以下であることを確認した。



第2.1.3.3-2図 軽油タンクの熱影響評価（概念図）

(3) 燃料移送ポンプ

森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力より得られた火炎長や到達時間等より, コンクリートの熱影響評価の結果最も温度上昇の大きいケース 2 について燃料移送ポンプの温度を評価した。熱影響評価の結果, 燃料移送ポンプの温度は, 最大でも約82°Cであり, 許容温度100°C (端子ボックスパッキンの耐熱温度) 以下であることを確認した。

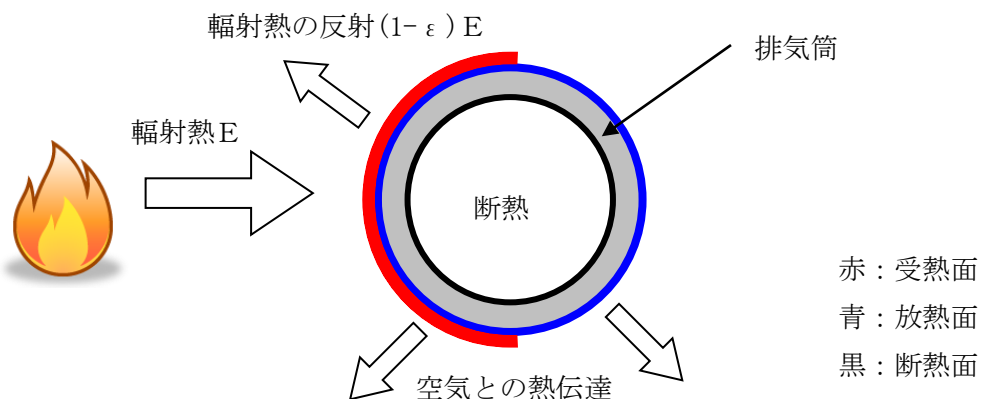


第2.1.3.3-3図 燃料移送ポンプの熱影響評価 (概念図)

(4) 排気筒

森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力より得られた火炎長や到達時間等より, コンクリートの熱影響評価の結果最も温度上昇の大きいケース 2 について排気筒の温度を評価した。熱影響評価の結果, 排気筒の温度は, 最大でも約80°Cであり, 許容温度325°C (「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」鋼材の制限温度) 以下であることを確認した。

なお, 排気筒は, 筒身と支持構造物で構成されており, 材料の物性値が同一 (軟鋼) であることから, 防火帯外縁との距離が近い支持構造物の熱影響評価を実施することで筒身の熱影響評価は包絡される。



第2.1.3.3-4図 排気筒の熱影響評価 (概念図)

2.1.3.4 危険距離の評価

(1) 原子炉施設外壁

想定される森林火災に対して、建屋外壁のコンクリート表面温度が許容温度200℃を超えない危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、原子炉施設外壁における危険距離が一番厳しいケース2の場合でも約20mであり、防火帯外縁から原子炉施設外壁までの離隔距離（約202m）が危険距離以上であることを確認した。

	ケース1	ケース2	ケース3
危険距離[m]	17.9	19.9	13.4
離隔距離[m]	202		

(2) 軽油タンク

想定される森林火災に対して、軽油タンクの温度が許容温度225℃を超えない危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、軽油タンクにおける危険距離が一番厳しいケース2の場合でも約2mであり、防火帯外縁から軽油タンクまでの離隔距離（約135m）が危険距離以上であることを確認した。

(3) 燃料移送ポンプ

想定される森林火災に対して、燃料移送ポンプの温度が許容温度100℃を超えない危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、燃料移送ポンプにおける危険距離が一番厳しいケース2の場合でも約153mであり、防火帯外縁から燃料移送ポンプまでの離隔距離（約233m）が危険距離以上であることを確認した。

(4) 排気筒

想定される森林火災に対して、排気筒の温度が許容温度325℃を超えない危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、排気筒における危険距離が一番厳しいケース2の場合でも約27mであり、防火帯外縁から排気筒までの離隔距離（約246m）が危険距離以上であることを確認した。

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発（添付資料－3，4，5，6）

2.2.1 評価内容

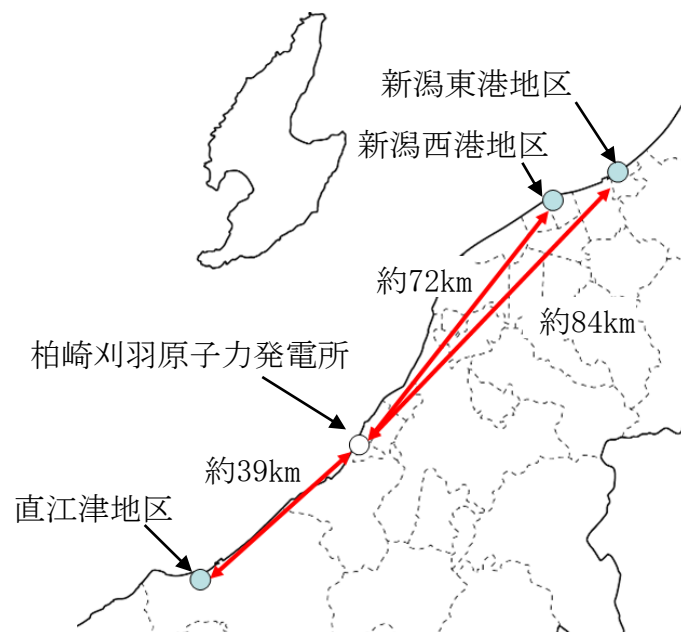
発電所敷地外10km内に設置されている石油コンビナート，危険物施設，燃料輸送車両及び漂流船舶の火災やガス爆発が発電所に隣接する地域で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価した。

また，発電所敷地内における危険物タンクの火災が，安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価した。

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 石油コンビナート等の影響評価

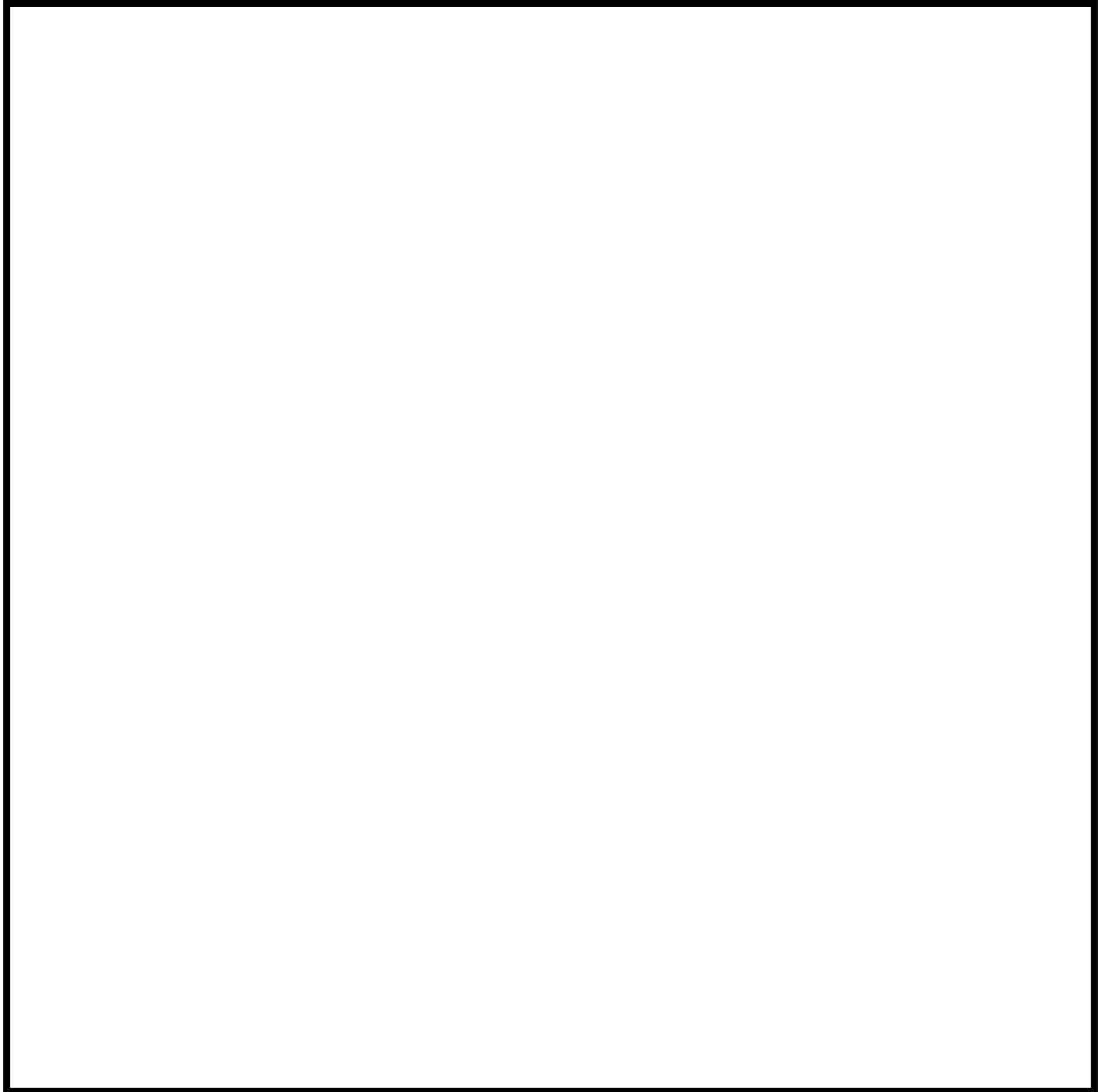
石油コンビナート等災害防止法で規制される新潟県内の特別防災区域は「直江津地区」「新潟西港地区」「新潟東港地区」の三カ所存在するが，これらは，それぞれ発電所から約39km，約72km及び約84kmであり，いずれも発電所から10km以遠である（第2.2.2.1-1図）。また，コンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所が評価対象範囲に存在しないことを新潟県防災局に確認した。以上より，評価対象範囲内に石油コンビナート等は存在せず，原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



第2.2.2.1-1図 新潟県内の石油コンビナート等特別防災区域の位置と発電所までの距離

2.2.2.2 敷地外危険物施設の影響評価

発電所敷地外の半径 10 kmの消防法および高圧ガス保安法に基づき設置している施設を抽出し、最短距離の危険物施設（危険物貯蔵施設、高圧ガス貯蔵施設、ガスパイプライン）に最大貯蔵量が有ったと仮定し、影響評価を実施した。



第 2.2.2.2-1 図 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設



(1) 火災の影響評価

発電所敷地外で燃料保有量が最も多い施設において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、最短距離の危険物貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上あることを確認した。

事業所名	種類	貯蔵量	危険距離	離隔距離
	原油		建屋：約56m 軽油タンク：約20m	約2.3km
	メチルアルコール		燃料移送ポンプ：約127m 排気筒：約36m	

(2) ガス爆発の影響評価

発電所敷地外で高圧ガス貯蔵量が最も多い施設において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険限界距離に対し、最短距離の高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離以上あることを確認した。

事業所名	種類	貯蔵量	危険限界距離	離隔距離
	プロパン			約5km

(3) 二次的影響（飛来物）の影響

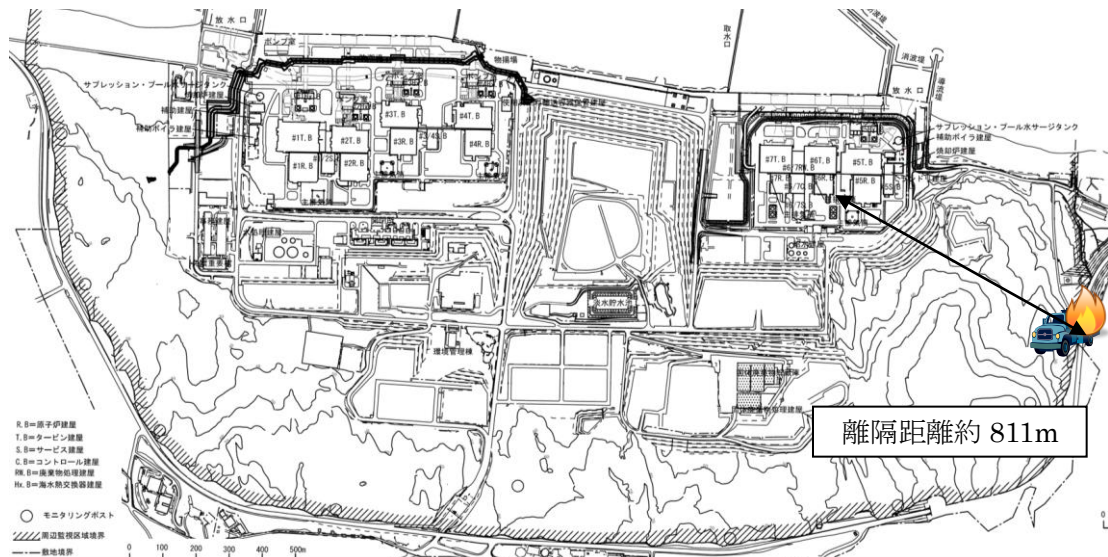
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成25年3月 消防庁特殊災害室)に基づき、高圧ガス貯蔵施設における飛来物飛散距離を確認する。

発電所敷地外で高圧ガス貯蔵量が最も多い施設において最も大きな貯蔵タンクの破損による飛散範囲の評価を行ったところ、最短距離の高圧ガス貯蔵施設から原子炉施設までの離隔距離が飛来物飛散距離以上あることを確認した。

事業所名	種類	貯蔵量	飛散距離	離隔距離
	プロパン			約5km

2.2.2.3 燃料輸送車両の影響評価

発電所敷地外 10km 圏内の施設において液化石油ガス輸送車両が許可申請されていることから、最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こした場合を想定した。燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの（16 トン）とした。火災・爆発の発生場所は、発電所敷地外の道路において、原子炉施設に最も近い場所を想定した。



第 2.2.2.3-1 図 燃料輸送車両の離隔距離

(1) 火災の影響評価

最大規模の燃料輸送車両において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険距離に対し、発電所敷地境界から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上あることを確認した。

種類	貯蔵量	危険距離	離隔距離
プロパン	16 トン	建屋：約13m 軽油タンク：約4m 燃料移送ポンプ：約32m 排気筒：約11m	約811m

(2) ガス爆発の影響評価

最大規模の燃料輸送車両において評価を行ったところ、評価上必要とされる危険限界距離に対し、発電所敷地境界から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離以上あることを確認した。

種類	貯蔵量	危険限界距離	離隔距離
プロパン	16 トン	約88m	約811m

(3) 二次的影響（飛来物）の影響

燃料輸送車両からの飛来物を想定した上での評価を実施したところ、離隔距離（約811m）が最大飛散距離（約549.6m）を上回る結果となった。したがって、発電所周辺道路で燃料輸送車両が事故等により爆発し、なおかつその飛来物が原子炉施設に衝突することはなく、影響はない。

2.2.2.4 漂流船舶の影響評価

漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く，柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶のうち，港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶（積載量1021トン）を想定した。発電所港湾内において港湾内に進入できる最大規模の船舶が火災・爆発をした場合を想定し影響評価を実施した。火災・爆発の発生場所は，発電所港湾内において，原子炉施設に最も近い場所を想定した。



第 2.2.2.4-1 図 漂流船舶の離隔距離

(1) 火災の影響評価

港湾内に進入できる最大規模の漂流船舶において評価を行ったところ，評価上必要とされる危険距離に対し，港湾から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上あることを確認した。

種類	貯蔵量	危険距離	離隔距離
プロパン	1021 トン	建屋：約66m 軽油タンク：約17m 燃料移送ポンプ：約146m 排気筒：約50m	約273m

(2) ガス爆発の影響評価

港湾内に進入できる最大規模の漂流船舶において評価を行ったところ，評価上必要とされる危険限界距離に対し，港湾から発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離以上あることを確認した。

種類	貯蔵量	危険限界距離	離隔距離
プロパン	1021 トン	約176m	約273m

(3) 二次的影響（飛来物）の影響

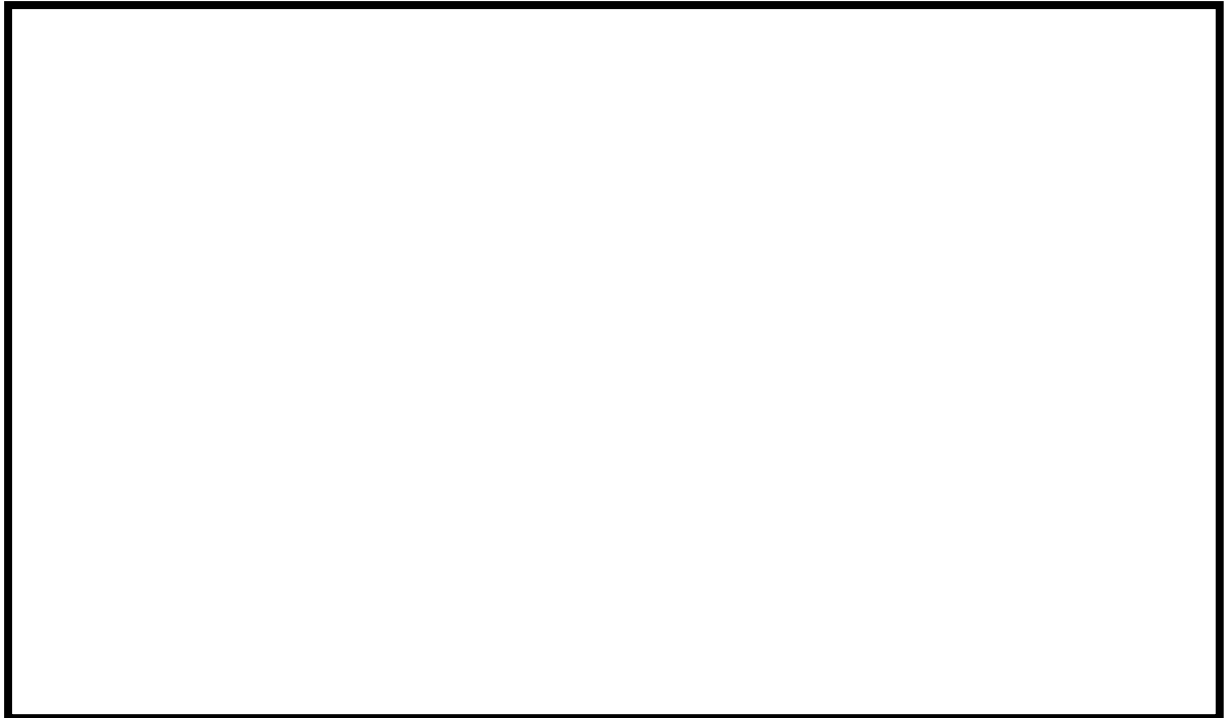
「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成25年3月 消防庁特殊災害室)に基づき、港湾内に進入できる最大規模の漂流船舶における飛来物飛散距離を確認したところ、離隔距離（約273m）が最大飛散距離（約1,855m）以下であるが、発電所遠方で漂流した船舶が飛散距離である1,855m以内に流れ着いた後に爆発し、なおかつその飛来物が原子炉施設に衝突する可能性は非常に低いことから、想定した漂流船舶の飛来物の発電所への影響はない。

2.2.2.5 敷地内危険物タンクの影響評価

2.2.2.5.1 軽油タンクの火災影響評価

発電所敷地内に位置している屋外の危険物タンクの火災を想定し、建屋外壁の熱影響評価等を実施した。

熱影響評価を実施する危険物施設は、各号炉の軽油タンクとした。なお、敷地内の危険物施設のうち、直接輻射熱を受けない建屋内に設置している設備および地下貯蔵タンクなどについては評価対象外とした。

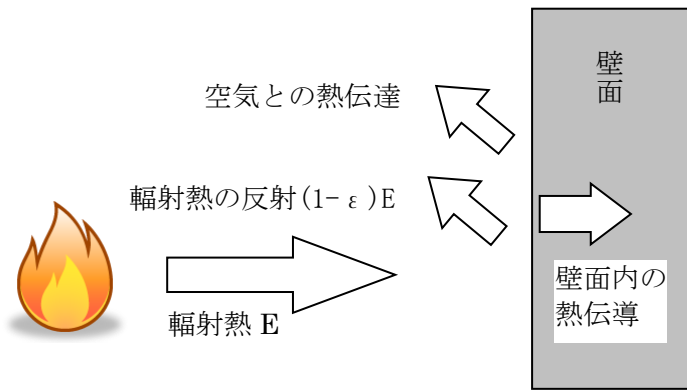


第2.2.2.5-1図 危険物タンクおよび危険物保存庫の位置

(1) 建屋外壁の熱影響評価

各号炉の軽油タンクについて、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉建屋外壁が昇温されるものとして、コンクリートの表面の温度上昇を評価した結果、建屋外壁の表面の温度は約119℃となり、許容温度200℃（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）を下回ることを確認した。

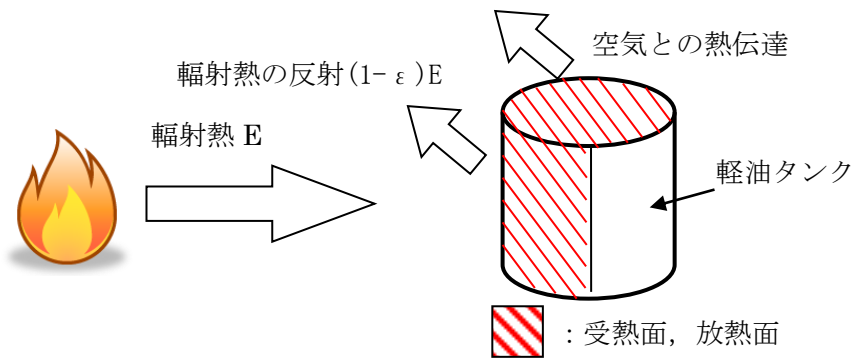
想定火災	燃料量	建屋までの距離	評価結果 (建屋外壁表面温度)
軽油タンク	565k1	46.8m	119℃



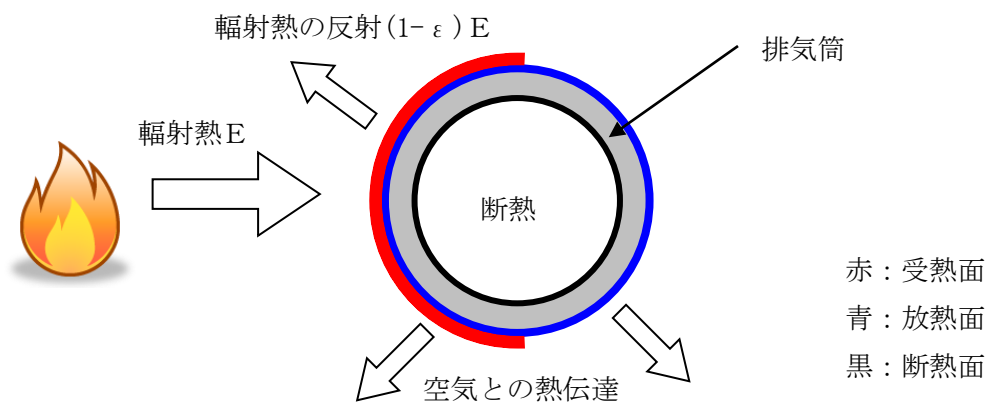
第2.2.2.5-2図 建屋温度評価体系図

(2) 屋外の防護対象設備への熱影響評価

a. 隣接軽油タンクについて温度上昇を評価した結果、軽油の温度は約172℃となり、軽油の発火点225℃を下回ることを確認した。

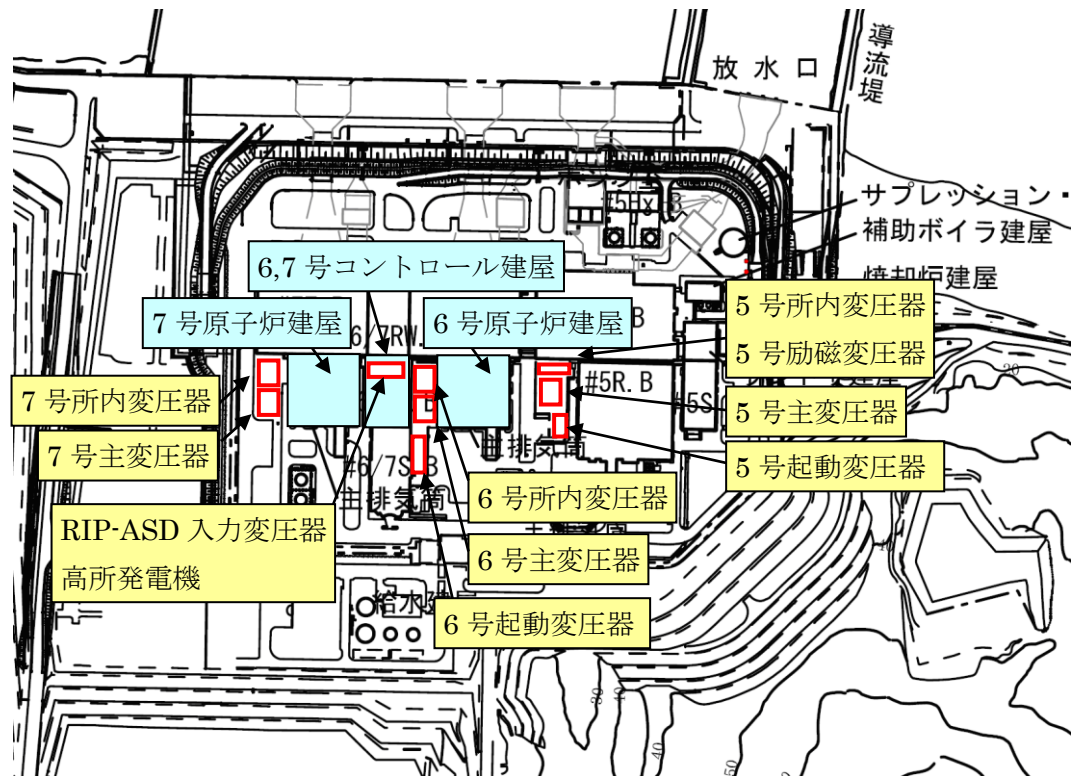


b. 排気筒について温度上昇を評価した結果、排気筒の温度は約83℃となり、排気筒鋼材の許容温度325℃を下回ることを確認した。



2.2.2.5.2 変圧器の火災影響評価

発電所敷地内の変圧器の火災を想定し、建屋外壁の熱影響評価等を実施した。熱影響評価を実施する変圧器は、各号炉の主変圧器とした。

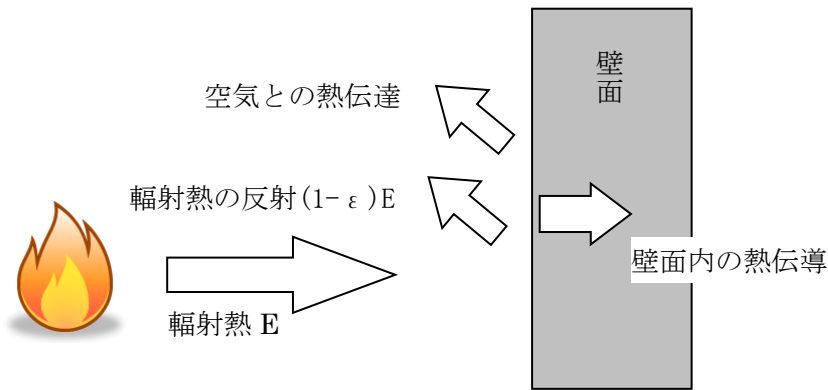


第2.2.2.5.2-1図 変圧器の位置

(1) 建屋外壁の熱影響評価

各号炉の主変圧器について、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でコントロール建屋外壁が昇温されるものとして、コンクリートの表面の温度上昇を評価した結果、建屋外壁の表面の温度は約184℃となり、許容温度200℃（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）を下回ることを確認した。

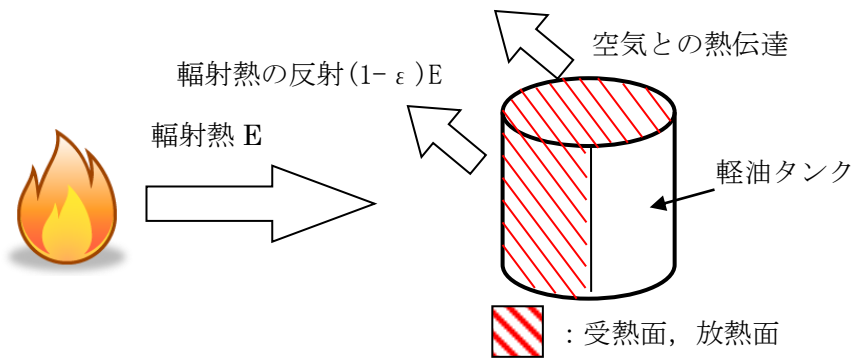
想定火災	燃料量	建屋までの距離	評価結果 (建屋外壁表面温度)
主変圧器	200k1	13m	184℃



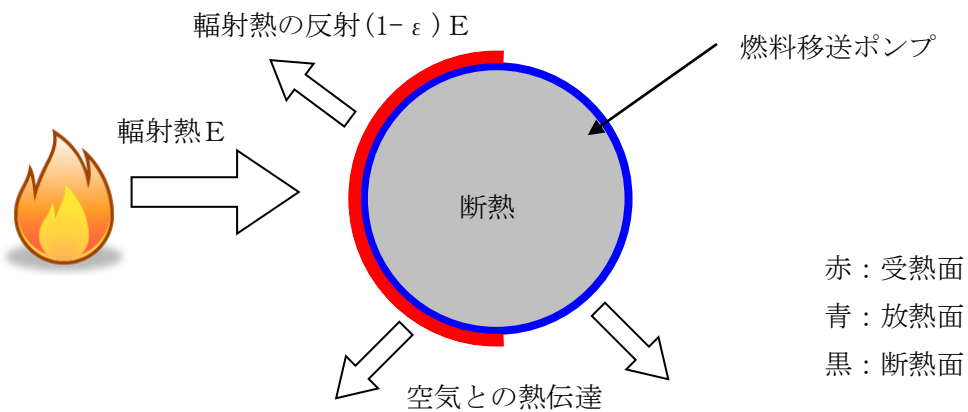
第2.2.2.5.2-2図 建屋温度評価体系図

(2) 屋外の防護対象設備への熱影響評価

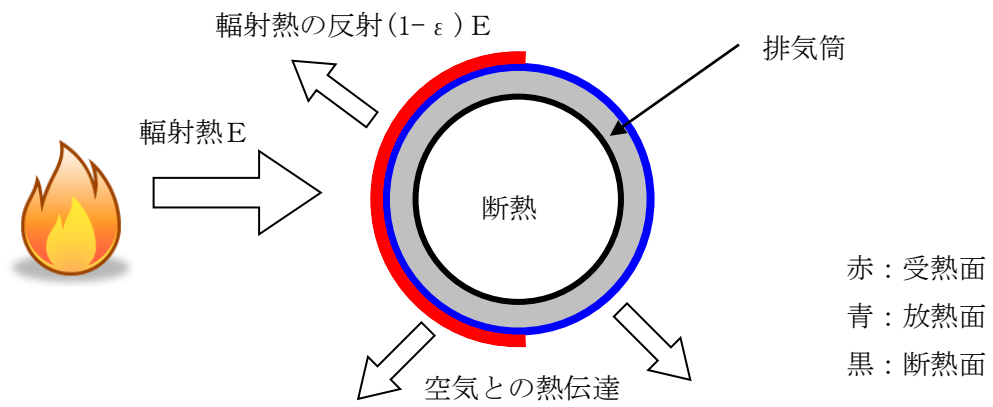
a. 軽油タンクについて温度上昇を評価した結果、軽油の温度は約 42°C となり、軽油の発火点 225°C を下回ることを確認した。



b. 燃料移送ポンプについて温度上昇を評価した結果、燃料移送ポンプの温度は約 66°C となり、燃料移送ポンプの許容温度 100°C を下回ることを確認した。



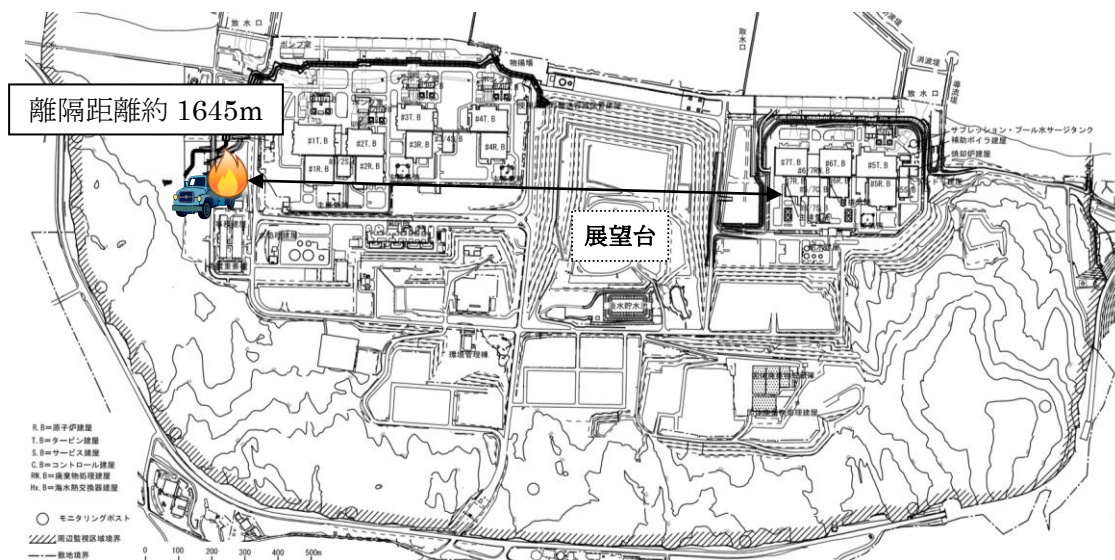
c. 排気筒について温度上昇を評価した結果，排気筒の温度は約 132℃となり，排気筒鋼材の許容温度 325℃を下回ることを確認した。



2.2.2.5.3 水素トレーラーの火災影響評価

1号炉へ水素を供給する水素トレーラーは、1号炉の運転中以外であれば、発電所敷地内に配備されることはないが、発電所敷地内の水素トレーラーの火災を想定し、原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価した。

水素トレーラーの火災では、展望台等により、6、7号炉の原子炉施設は輻射熱を受けないことから爆発による影響評価のみとした。



第2.2.2.5.3-1図 水素トレーラーの離隔距離

(1) ガス爆発の影響評価

評価上必要とされる危険限界距離に対し、水素トレーラーから発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離以上あることを確認した。

なお、水素トレーラーから最も近い位置にある緊急時対策所についても、離隔距離が約404mあることから爆風圧による影響はない。

種類	積載量	危険限界距離	離隔距離
水素	13987m ³	約85m	約1645m

2.3 航空機墜落による火災(添付資料-7)

2.3.1 評価内容

発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを確認した。

2.3.2 評価結果

2.3.2.1 評価方法

航空機墜落確率評価では、評価手法及び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。対象航空機の燃料積載量に火災の影響は大きく依存することから、大型航空機と小型航空機に分類し、また、民間航空機と自衛隊航空機又は米軍航空機(以下、軍用航空機とする)に分類し以下のカテゴリ毎に火災影響を評価する。

- (1) 大型民間航空機
- (2) 小型民間航空機
- (3) 大型軍用航空機
- (4) 小型軍用航空機

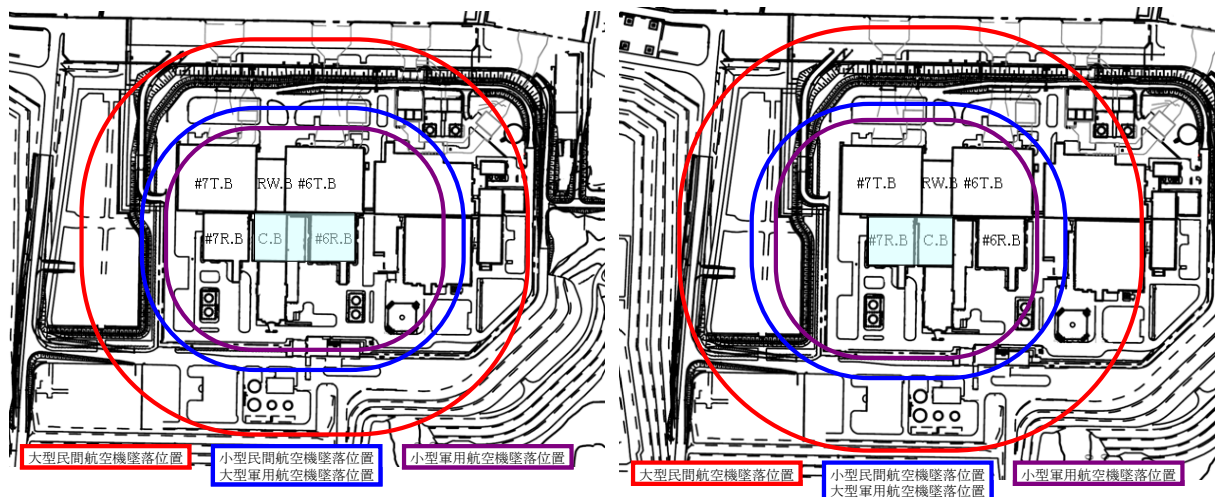
航空機の落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積より、航空機落下確率評価で標的面積として考慮している発電用原子炉施設からの離隔距離(墜落地点)を求め、そこで発生する火災による発電用原子炉施設の表面温度を評価し、許容温度を超えないことを確認する。

2.3.2.2 離隔距離の算出

防護対象として原子炉建屋、コントロール建屋を考慮し、落下確率 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積より、カテゴリ毎の離隔距離を算出した。

カテゴリ	対象航空機	離隔距離[m]	輻射発散度[kW/m ²]	輻射強度[W/m ²]
大型民間航空機	B747-400	218	50	351.48
小型民間航空機	Do228-200	134	50	—※
大型軍用航空機	KC-767	133	58	500.96
小型軍用航空機	AH-1S	109	58	34.79

※小型民間航空機は大型軍用航空機と比べ輻射発散度が小さく、燃料タンク面積も小さく、離隔距離も離れていることから大型軍用航空機の評価に包絡される。

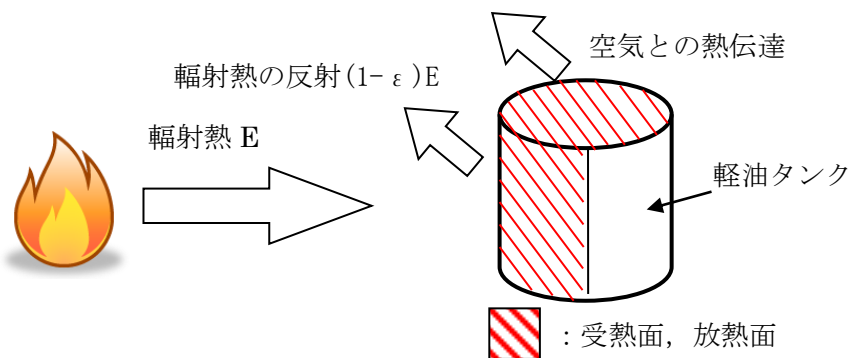


第2.3.2.2-1 各航空機の墜落位置 (左:6号炉, 右:7号炉)

2.3.2.3 火災影響評価結果

(1) 建屋外壁面温度評価

航空機落下により発電所の敷地内で火災が発生した場合を想定したとしても、発電用原子炉施設外壁の温度が許容温度 200℃ (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) を超えないことを確認した。

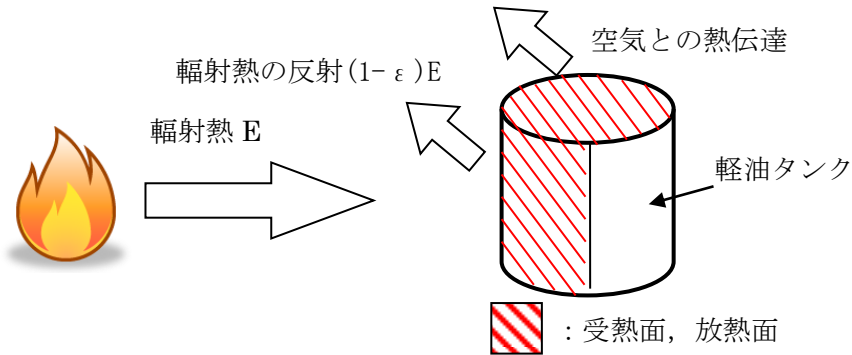


カテゴリ	燃料タンク 投影面積[m ²]	輻射強度 [W/m ²]	燃料継続時 間[h]	評価温度 [℃]	許容温度 [℃]
大型民間航空機	606	351.48	1.49	57	200
小型民間航空機	大型軍用航空機の評価に包絡される				
大型軍用航空機	281	500.96	2.14	60	200
小型軍用航空機	12	34.79	0.338	51	200

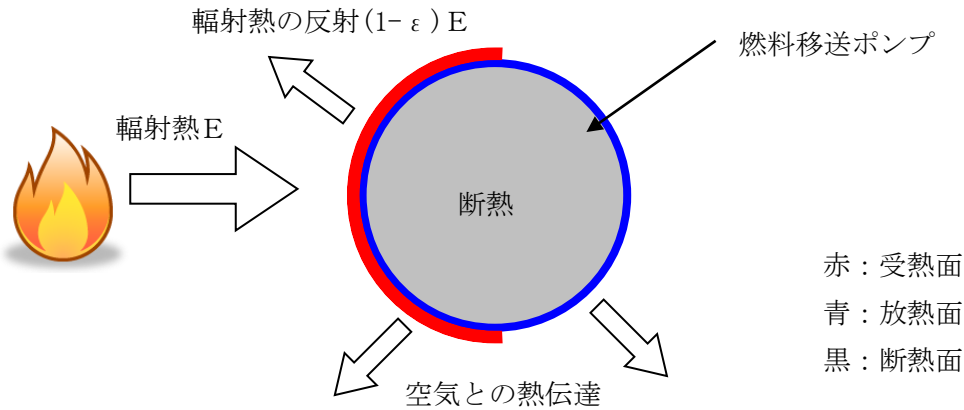
(2) 屋外の防護対象設備への熱影響評価

a. 軽油タンクについて温度上昇を評価した結果、外壁面の温度評価で最も厳しい大型

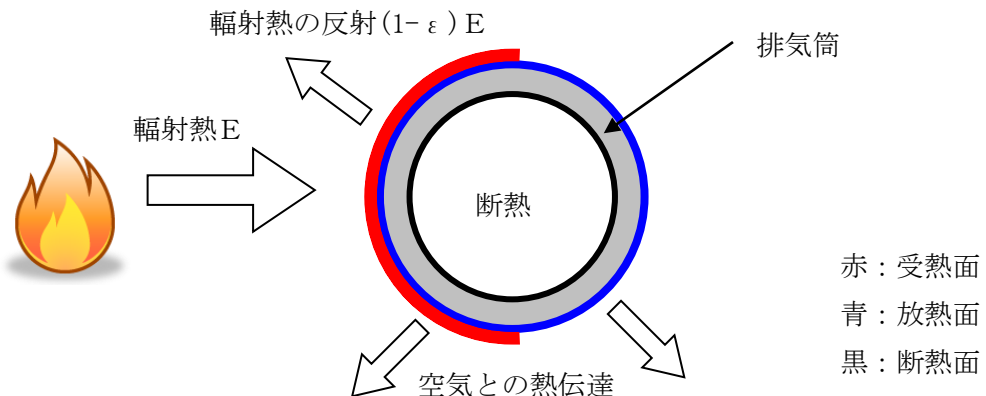
軍用航空機の場合において、軽油の発火点 225°C に至る輻射強度($105\text{kW}/\text{m}^2$)より航空機燃料の輻射発散度($58\text{kW}/\text{m}^2$)が低いことから軽油が発火しないことを確認した。



b. 燃料移送ポンプについて温度上昇を評価した結果、燃料移送ポンプの温度は約 89°C となり、燃料移送ポンプの許容温度 100°C を下回ることを確認した。



c. 排気筒について温度上昇を評価した結果、排気筒の温度は約 62°C となり、排気筒鋼材の許容温度 325°C を下回ることを確認した。



(3) 危険物タンクとの重畳について

a. 重畳する危険物タンクの選定

(2)に記載の通り、航空機墜落位置より内側にある軽油タンクが航空機墜落により発火することは無いため、航空機墜落との重畳を考慮する危険物タンクは、航空機墜落位置より外側の危険物タンクとする。

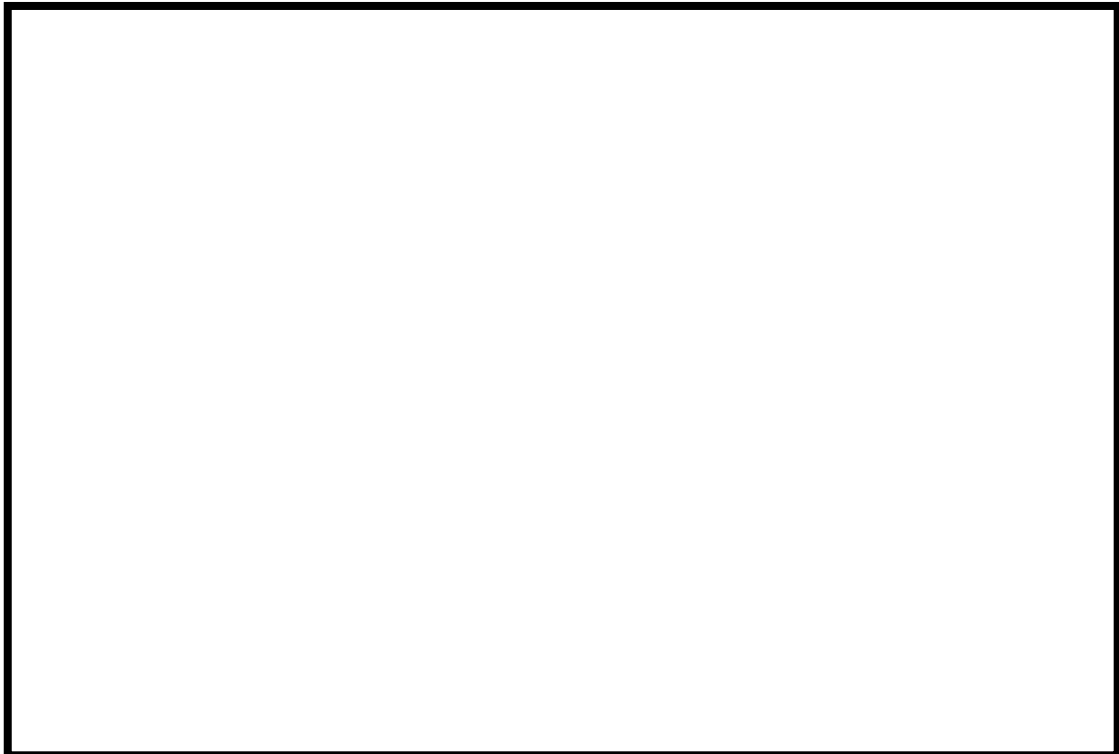
6号炉では、航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]以上となる範囲にある危険物タンクは5号炉の軽油タンクとなる(第2.3.2.3-1図)。7号炉では、航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]以上となる範囲にある危険物タンクは5号炉および6号炉の軽油タンクとなる(第2.3.2.3-2図)。

(1) 6号炉の影響評価対象

6号炉に対する影響評価を考えると、5号炉軽油タンクは海側に設置されており、小型軍用航空機、小型民間航空機および大型軍用航空機が5号炉軽油タンク位置に航空機が墜落したとしても、6号炉の原子炉建屋およびコントロール建屋への輻射熱はタービン建屋により遮蔽されるため影響はない。ただし、6号炉タービン建屋1階の非常用電気品室は、5号炉軽油タンクの熱影響を受ける位置にあることから、燃料積載量・燃料タンク投影面積が大きい大型軍用航空機(KC-767)が5号炉軽油タンク周辺に墜落し、5号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機墜落位置は、航空機墜落火災による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。

(2) 7号炉の影響評価対象

7号炉に対する影響評価を考えると、5号炉軽油タンクは海側に設置されており、大型民間航空機が5号炉軽油タンクに墜落したとしても、7号炉の原子炉建屋、コントロール建屋およびタービン建屋1階の非常用電気品室は6号炉タービン建屋により輻射熱が遮られることから影響は無い。6号炉軽油タンクは山側に設置されていることから、小型軍用航空機(AH-1S)が6号炉軽油タンク周辺に墜落し、6号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機墜落位置は、航空機墜落火災による影響が最も厳しくなるよう墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。



第 2.3.2.3-1 図 航空機墜落位置と危険物タンクの重畳を考慮する位置（6号炉）



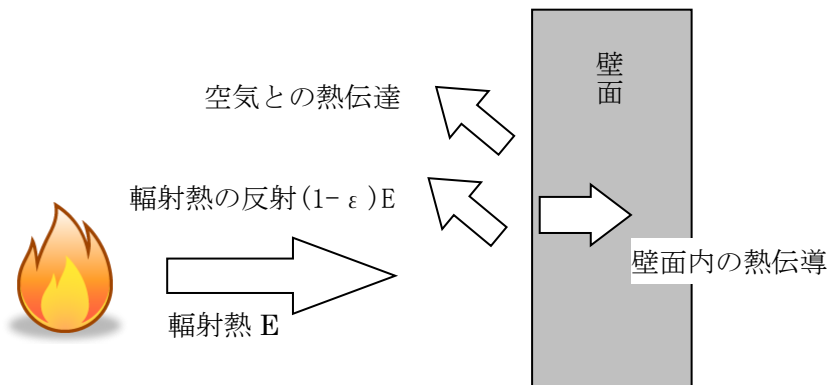
第 2.3.2.3-2 図 航空機墜落位置と危険物タンクの重畳を考慮する位置（7号炉）

b. 熱影響評価結果

6号炉タービン建屋1階の非常用電気品室および7号炉コントロール建屋の熱影響評価を実施する。航空機落下および危険物タンク火災が発生した場合を想定したとしても、発電用原子炉施設外壁の温度が許容温度200℃（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）を超えないことを確認した。

6号炉タービン建屋1F 非常用電気品室評価	
項目	危険物タンクと大型軍用航空機（KC-767）の重畳
コンクリート表面温度[℃]	102
許容温度[℃]	200

7号炉コントロール建屋評価	
項目	危険物タンクと小型軍用航空機（AH-1S）の重畳
コンクリート表面温度[℃]	77.8
許容温度[℃]	200



2.4 二次的影響の評価(添付資料-8)

2.4.1 評価内容

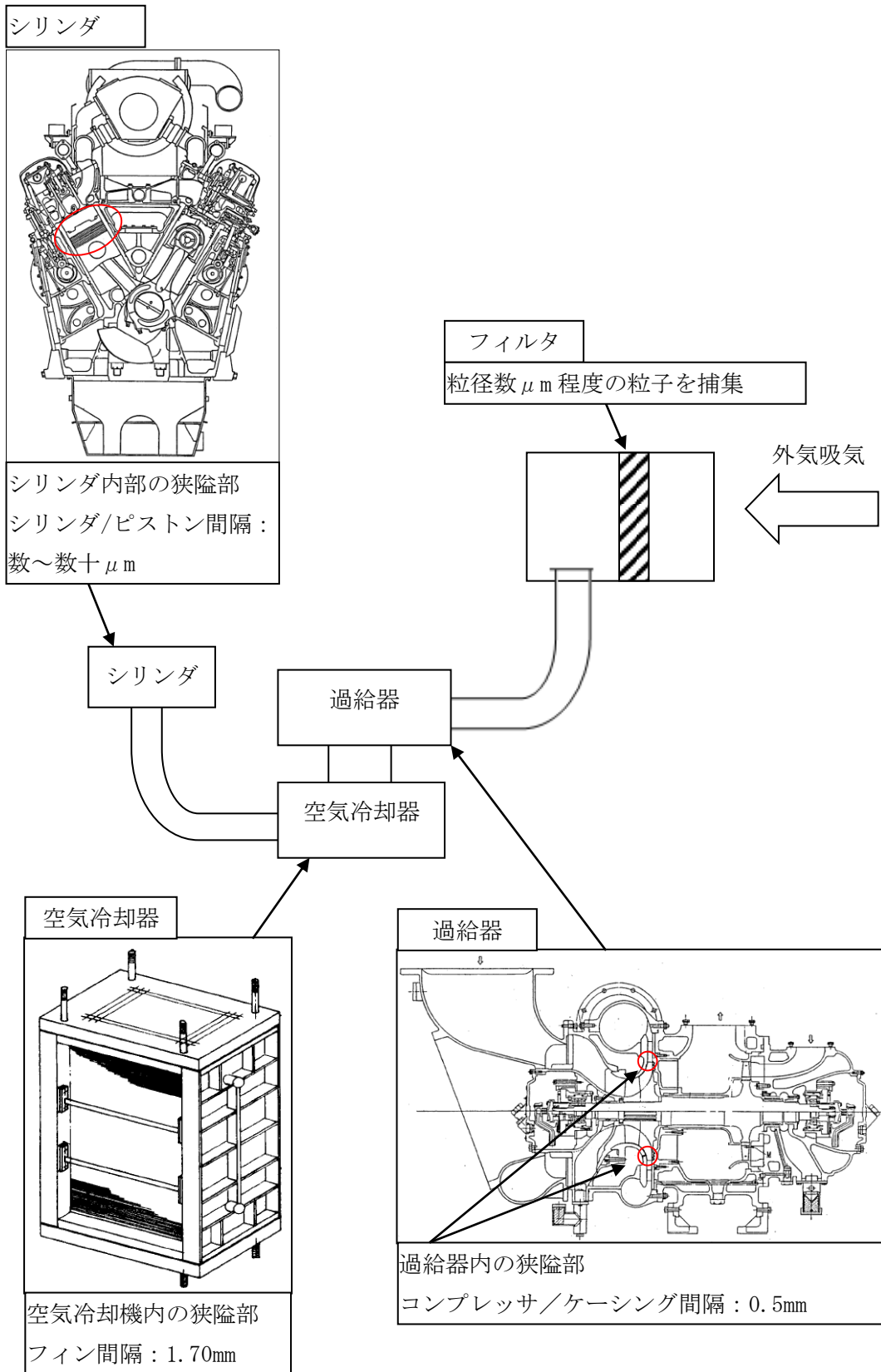
森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等に対して、影響が想定される機器、施設について評価を実施した。

2.4.2 評価結果

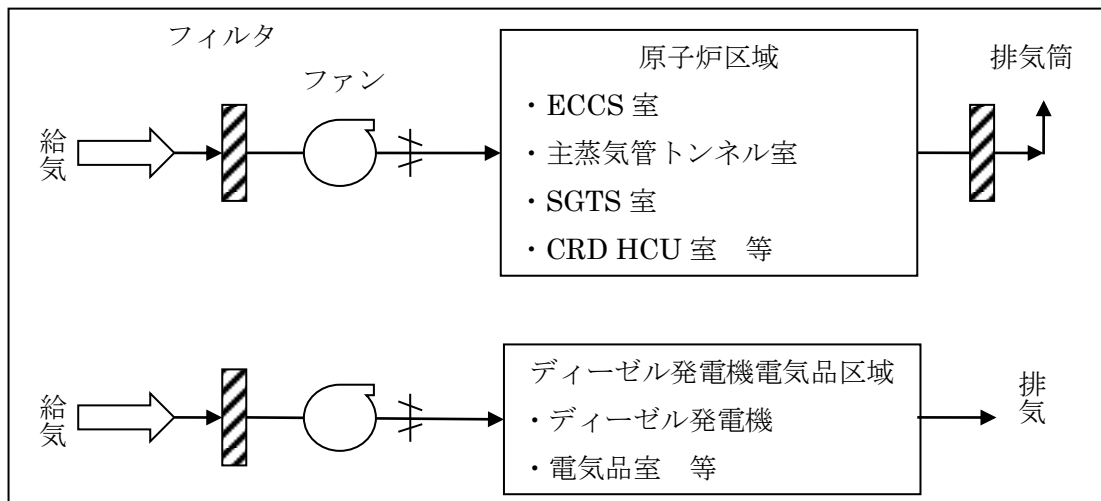
ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響及び居住性に影響を及ぼさないことを以下のとおり確認した。

分類	対象設備	評価結果
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	<ul style="list-style-type: none"> ・当該設備の運転時において、ばい煙を機関内に吸い込むおそれがあるが、シリンダまでの通気経路の間隔よりばい煙の粒径が小さいため、通気経路が閉塞することなく、運転に影響はない。(第2.4.2-1図) ・通常運転においても燃料油(軽油)の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、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。
	外気を取り込む空調系統	<ul style="list-style-type: none"> ・外気取り入れ運転を行っている換気空調設備は、外気取入口にはフィルタを設置しているため、一定以上の粒径のばい煙を捕集するとともに、外気取入ダンパを閉止又は空調系停止や循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止することが可能である。(第2.4.2-2(a)(b)(c)図)
	屋外設置機器	<ul style="list-style-type: none"> ・電動機本体は、ばい煙が侵入しない密閉構造であり機能への影響はない。(第2.4.2-3図)
	屋外部に開口部を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響はない。(第2.4.2-4図)
居住性への影響	中央制御室	<ul style="list-style-type: none"> ・外気取入ダンパを閉止し閉回路循環運転により、酸素濃度及び炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙侵入を阻止することが可能である。(第2.4.2-5(a)(b)図, 第2.4.2-1表) ・外気取入口での有毒ガス濃度が判定基準(IDLH*)以下であることから、中央制御室の居住性に影響はない。

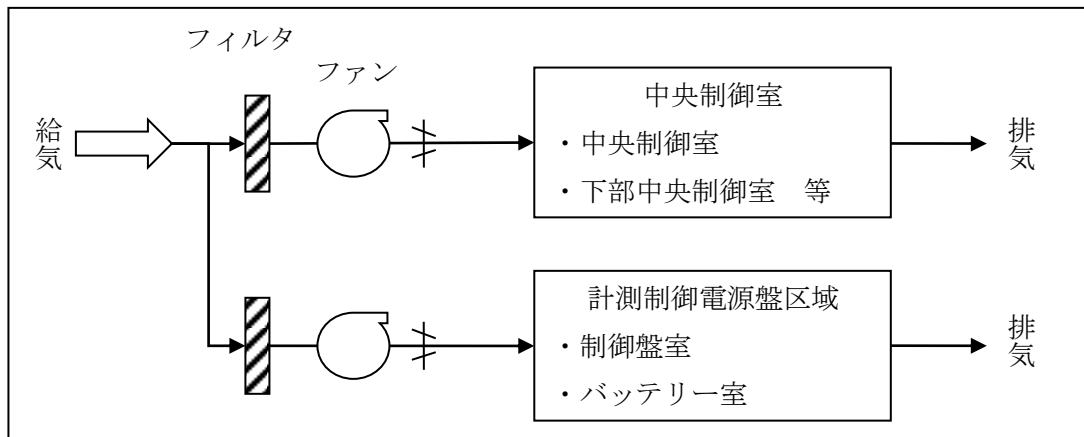
※：30分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値



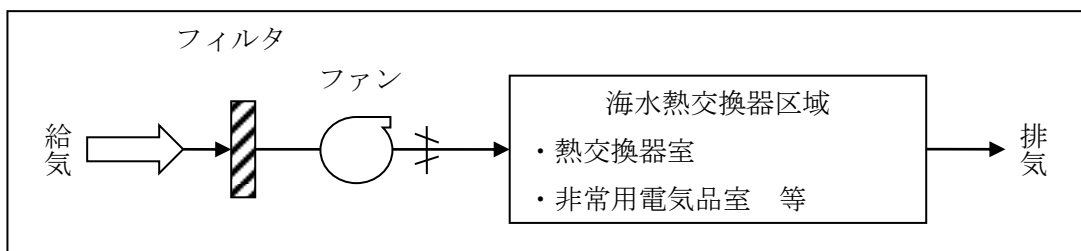
第 2.4.2-1 図 非常用ディーゼル発電機関



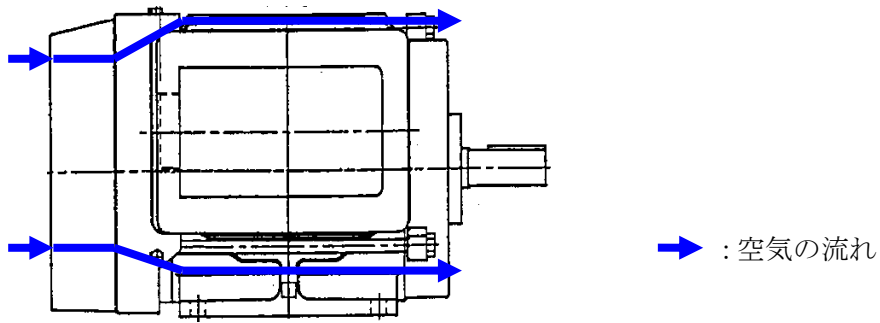
第 2.4.2-2(a) 図 原子炉建屋換気空調系



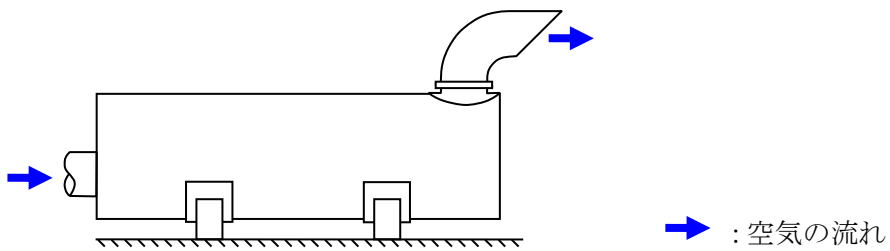
第 2.4.2-2(b) 図 コントロール建屋換気空調系



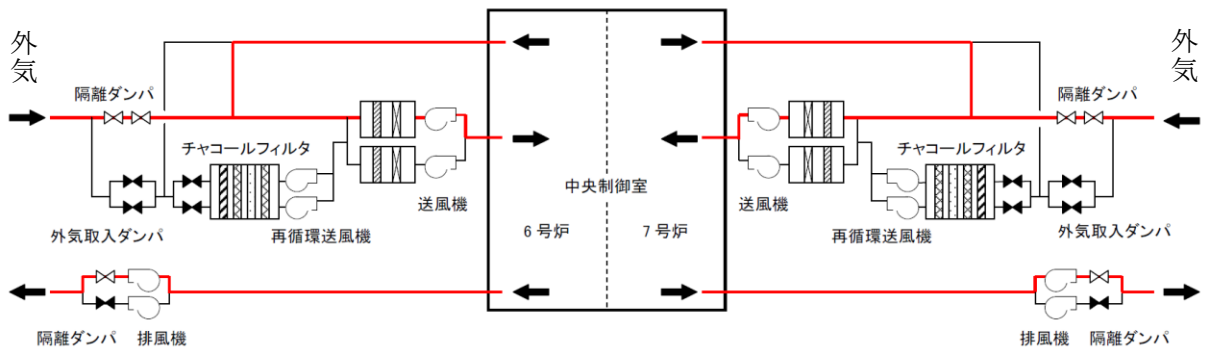
第 2.4.2-2(c) 図 タービン建屋換気空調系



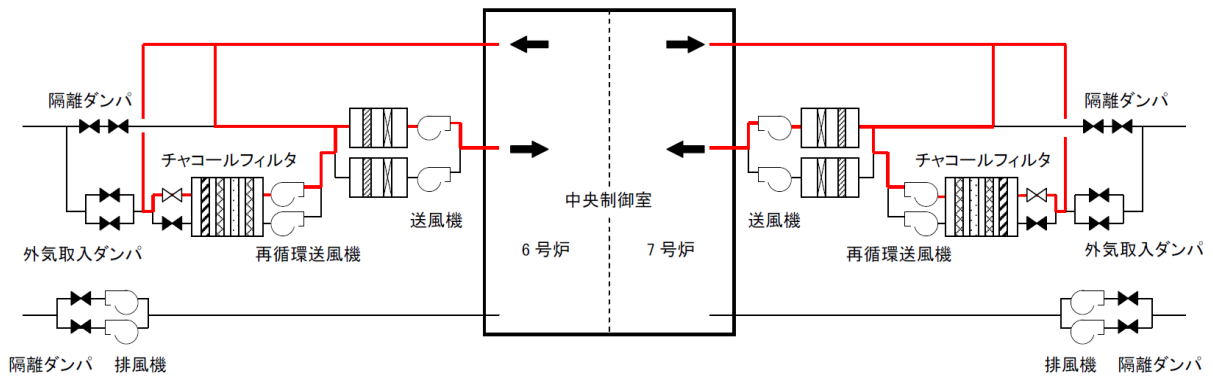
第 2.4.2-3 図 燃料移送ポンプ電動機外形図



第 2.4.2-4 図 非常用ディーゼル発電機排気口外形図



第 2.4.2-5(a) 図 通常モードの状態 (中央制御室)



第 2.4.2-5(b) 図 非常時モードの状態 (中央制御室)

第 2.4.2-1 表 外気遮断時の中央制御室の酸素・二酸化炭素濃度

時間	12 時間	24 時間	30 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度[%]	0.11	0.18	0.22	0.5
酸素濃度[%]	20.8	20.7	20.6	18

以上

外部火災影響評価対象の考え方について

1. 外部火災影響評価対象の考え方

原子力規制委員会の定める「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下、設置許可基準規則という。）」第6条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下、技術基準規則という。）」第7条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（以下、「評価ガイド」という。）」に基づき、外部火災影響評価を行い、外部火災により、原子炉施設へ影響を与えないこと及び二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

外部火災の影響を受けた場合、原子炉施設の安全性を確保するために必要な設計上の要求事項を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、防護対象は「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」において安全機能を有するクラス1,2,3に該当する構築物、系統及び機器とする。今回、防護対象とした構築物、系統及び機器については、外部火災発生時には、原則防火帯の内側で防護し、対象施設周辺の消火活動等により影響を及ぼさないよう防護する。

(1) 外部火災発生時に必要となる重要度の特に高い安全機能を有する設備

外部火災に係る影響評価においては、安全機能を有する設備のうち、外部火災発生時に必要となる重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器[※]に対して、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔で防護するため、想定される外部火災に対して熱影響評価を実施する。

※ 原子炉の高温・冷温停止維持に必要な設備、または燃料プールの冷却・給水維持に必要な設備

(2) その他の安全機能を有する設備

その他の安全機能を有する設備は、原則防火帯により防護し、建屋内の設備は建屋による防護、屋外設備は代替手段等で安全機能に影響がないことを確認する。屋外に設置してあり代替手段がない設備（排気筒）については、個別に熱影響評価を実施する。

なお、防火帯による防護が出来ない設備は、送電線、通信線、モニタリングポストおよび気象観測装置となるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する非常用ディーゼル発電機、無線通信設備、可搬型モニタリングポストおよび可搬型気象観測装置により安全機能は維持される。

(3) 重大事故等対処設備

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準対象施設であり、重

大事故等対処施設ではないが、設計基準を超える事象が発生した場合に使用する重大事故等対処施設が、その前段の設計基準事象の自然現象によって機能喪失することは回避すべきであることから、原則防火帯の内側に配置し外部火災の熱影響を回避する。

なお、防火帯による防護が出来ない設備として、モニタリングポスト、気象観測装置、代替気象観測装置があるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する可搬型モニタリングポスト、可搬型気象観測装置により安全機能は維持される。

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価について

外部火災発生時の安全性の評価については、評価ガイドに基づき、建屋の外側（コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁）の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー（第2-1図）に基づき抽出した設備のうち、建屋内の設備については、建屋側面のコンクリート壁の温度評価を実施し、建屋内の設備に影響を及ぼさないことを確認する。また、屋外の設備については、各機器について熱影響評価を実施する。（第2-1表）

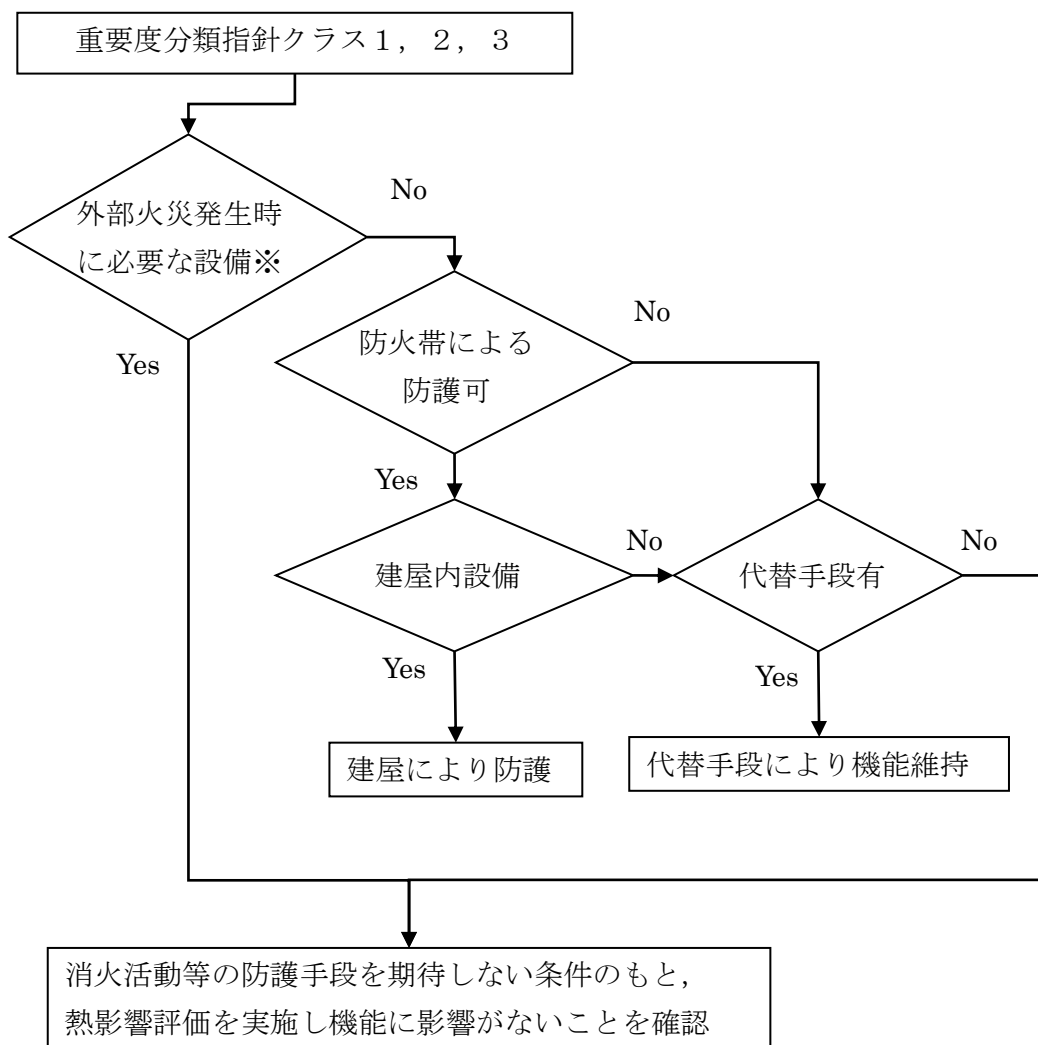
(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響評価については、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響評価として、非常用ディーゼル発電機等について影響評価を実施する。

選定フロー（第2-2図）に基づき、外部火災発生時に必要となる重要度の特に高い安全機能を有する設備について、ばい煙等による影響評価対象とする系統及び機器を選定し、評価を実施した。

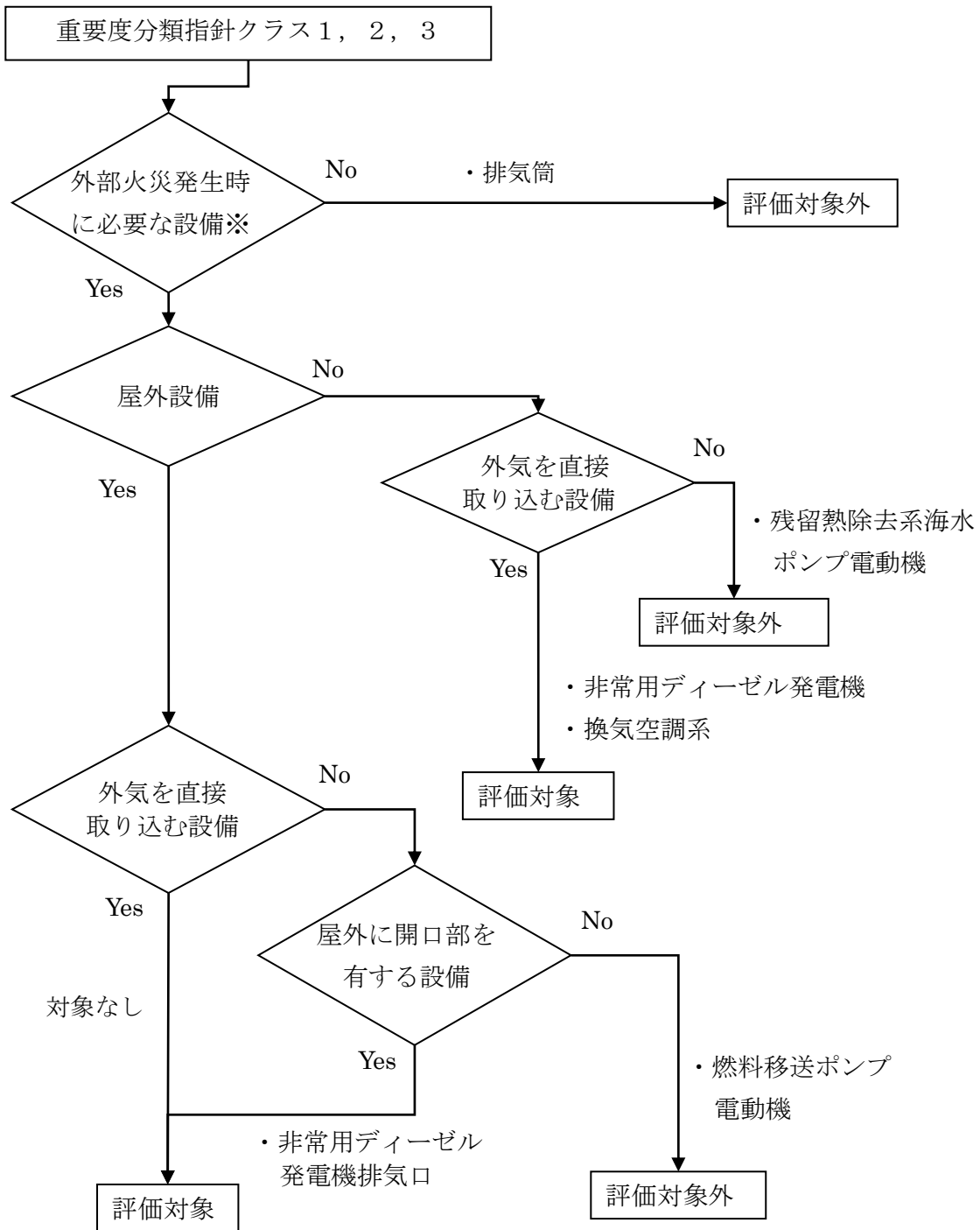
- a. 屋外設備で外気を内部に取り込む設備（対象無し）
- b. 屋外設備で開口部のある設備
 - ・ 非常用ディーゼル発電機排気口
- c. 屋内設備で外気を直接取り込む設備
 - ・ 換気空調系（原子炉建屋、ディーゼル発電機電気品区域、中央制御室、コントロール建屋計測制御電源盤区域、海水熱交換器区域）
 - ・ 非常用ディーゼル発電機

また、外部火災発生時のばい煙等による居住性評価の観点から、中央制御室の影響評価を実施し、煙や埃に対して脆弱な設備として安全保護系について影響評価を実施した。



※原子炉の高温・冷温停止維持に必要な設備，または燃料プールの冷却・給水維持に必要な設備

第2-1図 熱影響評価を実施する設備の選定フロー図



※原子炉の高温・冷温停止維持に必要な設備，または燃料プールの冷却・給水維持に必要な設備

第 2-2 図 ばい煙に対する影響評価を実施する設備の選定フロー図

第 2-1 表 防護対象及び防護方法

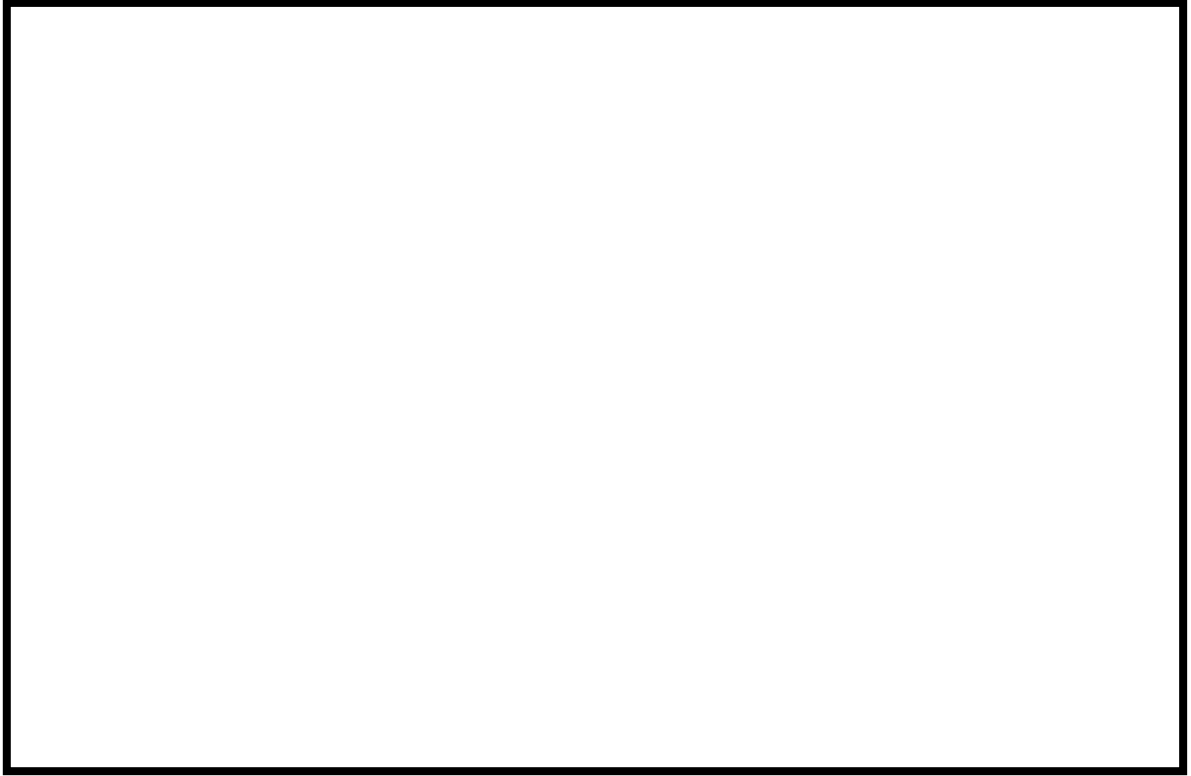
防護対象	防護方法	外部火災防護施設
外部火災発生時に必要となる重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器を内包する建屋	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと，火元からの離隔距離で防護 (熱影響評価を実施)	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋※1 廃棄物処理建屋※2
外部火災発生時に必要となる重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器に属する屋外施設		軽油タンク 燃料移送ポンプ
その他の安全機能を有する構築物，系統及び機器	防火帯の内側に原則設置 屋内設備は，建屋による防護。 屋外設備は，代替手段等で安全機能に影響がないことを確認。	排気筒※3 固体廃棄物貯蔵庫 開閉所 モニタリングポスト他
重大事故等対処設備		電源車，消防車 格納容器圧力逃がし装置他

※1：タービン建屋には原子炉補機冷却水系，原子炉補機冷却海水系及び非常用電源の一部がある。原子炉補機冷却水系，原子炉補機冷却海水系は，地下階に位置することから熱影響はない。非常用電源の一部は1階に位置することから，個別に熱影響評価を実施する（第 2-3 図）。ただし，タービン建屋は海側に設置していることから，直接輻射熱が届く火災は，構内危険物タンク火災および航空機墜落火災となることから，それらについて熱影響評価を実施する。

※2：廃棄物処理建屋には復水貯蔵槽がある。復水貯蔵槽の配置は第 2-4 図に示すとおり，復水貯蔵槽は地下階から1階にかけて設置されているが，屋外から2枚以上の壁を隔てた位置に設置されていることから，復水貯蔵槽への外部火災の影響はないが，直接輻射熱が届く航空機墜落火災について熱影響評価を実施する。

※3：排気筒は，防火帯の内側にあるが，屋外設置で代替手段が無いことから，個別に熱影響評価を実施する。

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません



第 2-3 図 6, 7 号炉の建屋配置



第 2-4 図 廃棄物処理建屋復水貯蔵槽の位置

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません

添付 1-8

第 2-5 図 発電所構内全体図

設備を防護する建屋の離隔距離

安全機能を有する設備および重大事故等対処設備を防護する各建屋について、防火帯外縁からの離隔距離を第2-2表に示す。

この離隔距離は想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離（約20m）以上あることから、建屋と建屋内の安全機能を有する設備および重大事故等対処設備に対して、森林火災が熱影響をおよぼすことはないとは評価できる（添付資料-2 3. 危険距離および温度評価 参照）。

なお、防火帯に最も近く森林火災時の外壁面の温度上昇が大きい固体廃棄物貯蔵庫（壁厚：0.58m）、ならびに防火帯に近く壁厚の薄い免震重要棟（壁厚：0.18m）については内気の温度評価を実施する。固体廃棄物処理建屋（壁厚：0.3m）については、免震重要棟と離隔距離が同等であるが、壁厚が厚いことから免震重要棟の評価に包絡される。

第2-2表 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離

設備を防護する建屋	離隔距離※
6号炉 原子炉建屋	約 202m
7号炉 原子炉建屋	約 256m
6号炉 タービン建屋	約 263m
7号炉 タービン建屋	約 303m
コントロール建屋	約 230m
廃棄物処理建屋	約 286m
補助ボイラ建屋	約 129m
水処理建屋	約 195m
給水建屋	約 105m
固体廃棄物貯蔵庫	約 41m
固体廃棄物処理建屋	約 50m
免震重要棟	約 50m
3号炉 原子炉建屋	約 517m

※：防火帯外縁から建屋までの最短距離

原子炉を止める・冷やす機能および燃料プール水の補給・冷却機能を有する構築物，系統又は機能（1 / 2）

分類	機能	構築物，系統又は機能	場所※	影響評価
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	R/B	熱影響評価
	過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング・制御棒駆動機構	R/B	熱影響評価
	炉心形状の維持機能	炉心支持構造物，燃料集合体	R/B	熱影響評価
MS-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，制御棒駆動系）	R/B	熱影響評価
	未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒駆動系，ほう酸水注入系）	R/B	熱影響評価
	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）	R/B	熱影響評価
	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，原子炉隔離時冷却系，高圧炉心注水系，逃がし安全弁，自動減圧系），原子炉格納容器（サブプレッションプール）	R/B	熱影響評価
		復水補給水系（復水貯蔵槽）	Rw/B	熱影響評価
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系（残留熱除去系，原子炉隔離時冷却系，高圧炉心注水系，自動減圧系），原子炉格納容器（サブプレッションプール）	R/B	熱影響評価
		復水補給水系（復水貯蔵槽）	Rw/B	熱影響評価
	放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器，原子炉格納容器隔離弁，・原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管，残留熱除去系	R/B	熱影響評価
		原子炉建屋	R/B	熱影響評価
	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	安全保護系	C/B	熱影響評価 ばい煙による影響評価

※R/B：原子炉建屋，C/B：コントロール建屋，Rw/B：廃棄物処理建屋，T/B：タービン建屋

原子炉を止める・冷やす機能および燃料プール水の補給・冷却機能を有する構築物、系統又は機能（2 / 2）

分類	機能	構築物、系統又は機能	場所	影響評価
MS-1	安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系	R/B, C/B, T/B	熱影響評価
		非常用ディーゼル発電機	R/B	熱影響評価 ばい煙による影響 評価
		軽油タンク, 非常用ディーゼル発電機燃料移送系	屋外	熱影響評価
		中央制御室及びその遮へい・非常用換気空調系	C/B	熱影響評価 ばい煙による影響 評価
		原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	T/B	熱影響評価
		直流電源系・計測制御電源系	R/B, C/B	熱影響評価
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）、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	熱影響評価
	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）	R/B	熱影響評価
MS-2	燃料プール水の補給機能	残留熱除去系	R/B	熱影響評価
	放射性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	熱影響評価
		原子炉建屋原子炉棟	R/B	熱影響評価
	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）	C/B	熱影響評価
	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	熱影響評価

原子炉を止める・冷やす機能および燃料プール水の補給・冷却機能以外の構築物，系統又は機能（1 / 4）

分類	機能	構築物，系統又は機能	場所	防護
MS-1	放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮へい及び放出低減機能	非常用ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
		排気筒	屋外	防火帯による防護 熱影響評価※2
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）	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
		放射性気体廃棄物処理系（活性炭式希ガスホールドアップ装置）	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	燃料を安全に取り扱う機能	燃料交換機，原子炉建屋クレーン	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
MS-2	放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系（オフガス系）隔離弁	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
		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	防火帯による防護 熱影響評価※2
		非常用ガス処理系，空調機（間接関連系：MS-2）	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1

※1：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第2-2表に記載

※2：代替手段が無く建屋による防護も期待できないため熱影響評価を実施

原子炉を止める・冷やす機能および燃料プール水の補給・冷却機能以外の構築物，系統又は機能（2 / 4）

分類	機能	構築物，系統又は機能	場所	防護
PS-3	原子炉冷却材保持機能(PS-1, PS-2 以外のもの)	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管，弁	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	放射性物質の貯蔵機能	サプレッションプール水サージタンク	屋外	防火帯による防護 遮へい壁による防護
		復水貯蔵槽，液体廃棄物処理系，固体廃棄物処理系	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※
		固体廃棄物貯蔵庫（ドラム缶）	固体廃棄物貯蔵庫	防火帯による防護 建屋による防護※
		固体廃棄物処理設備	固体廃棄物処理建屋	
	新燃料貯蔵庫，新燃料貯蔵ラック	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※	
	電源供給機能（非常用を除く）	タービン，発電機及び励磁装置，復水系，給水系，循環水系	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※ 安全機能は MS-1 の「安全上特に重要な関連機能」で機能維持可能
		送電線	屋外送電線	防火帯による防護はできないが，安全機能は MS-1 の「安全上特に重要な関連機能」で機能維持可能
		変圧器，開閉所	屋外	防火帯による防護 安全機能は MS-1 の「安全上特に重要な関連機能」で機能維持可能

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

原子炉を止める・冷やす機能および燃料プール水の補給・冷却機能以外の構築物，系統又は機能（3 / 4）

分類	機能	構築物，系統又は機能	場所	防護
PS-3	プラント計測・制御機能(安全保護機能を除く)	原子炉制御系 (RWM 含む)，原子炉核計装，原子炉プロセス計装	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	プラント運転補助機能	補助ボイラ設備	補助ボイラ 建屋	防火帯による防護 建屋による防護※
		計装用圧縮空気系	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	核分裂生成物の原子炉冷却材中の放散防止機能	燃料被覆管	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
		復水浄化系	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※
MS-3	原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
		タービンバイパス弁	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ機能)，制御棒引抜監視装置	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系，原子炉隔離時冷却系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	原子炉冷却材再循環ポンプ MG セット	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

原子炉を止める・冷やす機能および燃料プール水の補給・冷却機能以外の構築物，系統又は機能（4 / 4）

分類	機能	構築物，系統又は機能	配置場所	防護	
MS-3	緊急時対策上重要なものおよび異常状態の把握機能	原子力発電所緊急時対策所	免震重要棟	防火帯による防護 建屋による防護※ 代替緊急時対策所により機能維持	
		試料採取系	R/B	防火帯による防護，建屋による防護※	
		通信連絡設備	所外通信	マイクロ波無線鉄塔，送電鉄塔	防火帯により防護できないが，分散配置された代替設備により機能維持
			所内外通信	免震重要棟，R/B（3号炉），屋外（PHS 基地局他）	防火帯による防護，建屋による防護※ 屋外設備は防火帯による防護と共に代替設備及び復旧（PHS 基地局）により機能維持
			所内通信	各建屋，屋外（PHS 基地局他）	防火帯による防護，建屋による防護※ 屋外設備は防火帯による防護と共に代替設備及び復旧（PHS 基地局）により機能維持
		放射能監視設備（モニタリングポスト）	屋外	防火帯による防護はできないが，可搬型モニタリングポストで機能維持可能	
		放射線監視設備（放射能観測車）	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価	
		事故時監視計器の一部	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※	
			気象観測装置	防火帯による防護はできないが，可搬型気象観測装置で機能維持可能	
		消火系	給水建屋 水処理建屋	防火帯による防護 建屋による防護※	
			ろ過水タンク	防火帯による防護 防火水槽により機能維持可能	
			泡消火設備	防火帯による防護 消防車により機能維持可能	
		安全避難通路，非常照明	各建屋内	防火帯による防護，建屋による防護※	

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（1 / 11）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価および防護
第 37 条（重大事故等の拡大の防止等）	—	—	—
第 38 条（重大事故等対処施設の地盤）	—	—	—
第 39 条（地震による損傷の防止）	—	—	—
第 40 条（津波による損傷の防止）	—	—	—
第 41 条（火災による損傷の防止）	—	—	—
第 42 条（特定重大事故等対処施設）	特定重大事故等対処施設	→申請範囲外	—
第 43 条（重大事故等対処設備）	—	—	—
第 44 条（緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備）	代替制御棒挿入機能〔ARI〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	代替冷却材再循環ポンプ・トリップ機能〔ATWS-RPT〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	ほう酸水注入系〔SLC〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
第 45 条（原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備）	原子炉隔離時冷却系（手動操作）〔RCIC〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	（代替直流電源設備）	→57 条に記載	—
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（2 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所※1	影響評価及び防護
第 46 条（原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備）	代替自動減圧機能	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	高圧窒素ガスポンベ(予備)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	高圧窒素ガス供給系〔HPIN〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	（可搬型代替直流電源設備）	→57 条に記載	—
第 47 条（原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備）	低圧代替注水系（常設）〔MUWC ポンプ〕	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	低圧代替注水系（可搬型）〔消防車〕	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	低圧代替注水系（可搬型） （常設箇所）〔消防車接続口，配管等〕	屋外 Rw/B 廻り	防火帯による防護
	燃料設備（D/G 軽油タンク）	→設計基準対象施設における評価対象施設	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料設備（タンクローリー）	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価

※1：可搬型 SA 設備保管場所：可搬型重大事故等対処設備保管場所

※2：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（3 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第 47 条 (原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備)	(代替交流電源設備)	→57 条に記載	—
	(代替淡水源(防火水槽又は淡水貯水池)又は海水)	→56 条に記載	—
第 48 条 (最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備)	代替原子炉補機冷却系 (可搬部) 〔代替 Hx 設備一式 (専用トランス含む) 〕	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) 〔代替 Hx 接続口, 配管等〕	屋外 T/B 廻り	防火帯による防護
	代替原子炉補機冷却系海水取水箇所 (水路含む)	屋外	防火帯による防護
	耐圧強化ベント (W/W 及び D/W)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	格納容器圧力逃がし装置 [フィルタベント]	屋内, 屋外	防火帯による防護

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（4 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護	
第 49 条（原子炉格納容器内の冷却等のための設備）	代替格納容器スプレイ冷却系 〔MUWC 代替スプレイ〕	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※	
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—	
第 50 条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）	格納容器 圧力 逃がし装置	フィルタベント	屋内，屋外	防火帯による防護
		不活性ガス（窒素ガス）置換設備（可搬型）〔窒素生成装置〕	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
		不活性ガス（窒素ガス）置換設備（可搬型）（常設箇所）〔窒素生成装置接続口等〕	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護
		空気駆動弁操作用ポンペ 〔ベント用予備ポンペ〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	代替 循環 冷却	代替 Hx 設備一式（可搬部），代替 Hx 接続口，配管等，代替原子炉補機冷却系海水取水箇所	→48 条に記載	—
		代替循環冷却用設備（常設）	R/B, T/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※
第 51 条（原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備）	格納容器下部注水系（常設） 〔MUWC ペDESTAL 注水〕	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※	
	格納容器下部注水系（可搬型）〔消防車〕	屋外	防火帯による防護 熱影響評価	

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（5 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第 51 条(原子炉格納容器下部の熔融炉心を冷却するための設備)	格納容器下部注水系（可搬型） （常設箇所）〔消防車接続口，配管等〕	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—
	（代替淡水源（防火水槽又は淡水貯水池）又は海水）	→56 条に記載	—
第 52 条(水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備)	水素濃度及び放射線レベルを測定できる設備〔フィルタベントライン計装〕	R/B, 屋外 R/B 廻り	建屋による防護※ 防火帯による防護
	格納容器圧力逃がし装置	→50 条に記載	—
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—
	（常設代替直流電源設備）	→57 条に記載	—
第 53 条(水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備)	静的触媒式水素再結合器〔PAR〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	格納容器頂部注水系（可搬型）〔消防車〕	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（6 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第 53 条（水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備）	格納容器頂部注水系（可搬型） （常設箇所）〔消防車接続口，配管等〕	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護
	原子炉建屋水素濃度監視設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	（代替淡水源（防火水槽又は淡水貯水池）又は海水）	→56 条に記載	—
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—
第 54 条（使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備）	燃料プール代替注水系（常設） 〔MUWC 燃料プール代替注水〕	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	燃料プール代替注水系（可搬型）〔消防車〕	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料プール代替注水系（可搬型） （常設箇所）〔消防車接続口，配管等〕	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護
	使用済燃料プールの水位，プール水温度 〔SFP 水位・温度計（新設）〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	プール上部空間線量率測定装置 〔燃料エリア放射線モニタ〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（7 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第 54 条（使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備）	工業用カメラ 〔SFP 監視カメラ〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—
	（代替淡水源（防火水槽又は淡水貯水池）又は海水）	→56 条に記載	—
第 55 条（工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備）	放水設備一式	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋への拡散抑制設備 〔シルトフェンス〕	屋外固体廃棄物処理建屋廻り	防火帯による防護
	（代替淡水源（防火水槽又は淡水貯水池）又は海水）	→56 条に記載	—
第 56 条（重大事故等の収束に必要なとなる水の供給設備）	防火水槽	屋外（地下埋設）	地下構造のため火災の輻射熱を受けない
	淡水貯水池	淡水貯水池	影響なし
	淡水貯水池～防火水槽移送ホース	地下敷設	地下構造のため火災の輻射熱を受けない
	海水	屋外	—
	復水貯蔵槽への接続口	屋外 Rw/B 廻り	防火帯による防護
	（可搬型代替注水ポンプ）	→47 条に記載	—

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（8 / 1 1）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第 57 条（電源設備）	常設代替交流電源設備 〔GTG 一式〕	ガスタービン発 電機保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替交流電源設備 〔電源車〕	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替交流電源設備 （常設箇所）〔電源車接続箇所〕	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護
	常設代替直流電源設備（AM 用高所蓄電池） 〔R/B 高所バッテリー〕	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	可搬型代替直流電源設備 〔免震棟保管バッテリー〕	免震重要棟	防火帯による防護 建屋による防護※ 代替緊急時対策所により機能維持
	（燃料設備（D/G 軽油タンク（タンクローリー輸送）））	→47 条に記載	—
	（燃料設備（タンクローリー））	→47 条に記載	—
第 58 条（計装設備）	重大事故等発生時の計装（直接計測設備）〔SA 時計装一式〕（RPV 温度・圧力・水位，RPV・格納容器への注水量）	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	重大事故等発生時の計装（推定手段） （格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・放射線線量率）	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（9 / 11）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第 59 条（原子炉制御室）	中央制御室及びその遮へい	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	中央制御室空調 （中央制御室送風機） （中央制御室再循環送風機） （中央制御室再循環フィルタ）	→設計基準対象施設における評価対象施設	—
	中央制御室待避所及びその遮へい	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※
	中央制御室待避所加圧用ポンペ	C/B	防火帯による防護※ 建屋による防護※
	（代替交流電源設備）	→57 条に記載	—
第 60 条（監視測定設備）	可搬型モニタリングポスト	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	放射線サーベイ機器 〔可搬型ダストサンプラ, 可搬型よう素サンプラ, GM 汚染サーベイメータ, NaI シンチレーションサ ーベイメータ, 電離箱式サーベイメータ, ZnS シ ンチレーションサーベイメータ, β線サーベイメ ータ〕	免震重要棟, R/B（3号炉）	防火帯による防護 建屋による防護※

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（10／11）

設置許可基準	重大事故等対処設備	場所	影響評価及び防護
第60条（監視測定設備）	小型船舶	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型気象観測設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
第61条（緊急時対策所）	緊急時対策所〔免震重要棟 TSC〕及びその遮へい	免震重要棟	防火帯による防護 建屋による防護※ 代替緊急時対策所により機能維持
	専用の代替交流電源設備〔免震重要棟 GTG〕	免震重要棟	防火帯による防護 建屋による防護※ 代替緊急時対策所により機能維持
	プラントのデータ表示システム〔免震重要棟 TSC SPDS 表示装置, 環境ミニコン表示装置〕	免震重要棟	防火帯による防護 建屋による防護※ 代替緊急時対策所により機能維持
	（通信連絡設備）	→62条に記載	—
	緊急時対策所（免震重要棟 TSC） 換気空調系	免震重要棟	防火帯による防護 建屋による防護※ ばい煙による影響評価 代替緊急時対策所により機能維持
	緊急時対策所（KK3TSC）及びその遮へい	R/B（3号炉）	防火帯による防護 建屋による防護※
	専用の代替交流電源設備〔KK3TSC常設バックアップ電源（高圧電源車）〕	屋外	防火帯による防護

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第2-2表に記載

重大事故等に対処するための機能を有する設備（11/11）

設置許可基準	重大事故等対処設備		場所	影響評価及び防護
第 61 条（緊急時対策所）	プラントのデータ表示システム〔KK3TSC 事故時監視サーバ、環境ミニコン表示装置〕		R/B（3号炉）	防火帯による防護 建屋による防護※
	緊急時対策所（KK3TSC） 換気空調系（可搬）		R/B（3号炉）	防火帯による防護 建屋による防護※
第 62 条（通信連絡を行うために必要な設備）	所内通信	携帯型音声呼出電話設備	各建屋	防火帯による防護 建屋による防護※
	所内外通信	衛生電話設備、無線連絡設備（所内通信）	C/B, 免震重要棟, R/B（3号炉）, 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※ 屋外設備は防火帯による防護と共に分散配置された代替設備により機能維持
	所外通信	総合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備、データ伝送設備	C/B, 免震重要棟, R/B（3号炉）, 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※ 屋外設備は防火帯による防護と共に分散配置された代替設備により機能維持

※：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 2-2 表に記載

森林火災による影響評価について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する火災に対して安全性向上の観点から、森林火災が発電所へ迫った場合でも安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。2章にて火炎の到達時間および防火帯幅の評価、3章にて危険距離および温度評価を実施する。

2. 火炎の到達時間および防火帯幅の評価

2.1. 森林火災の想定

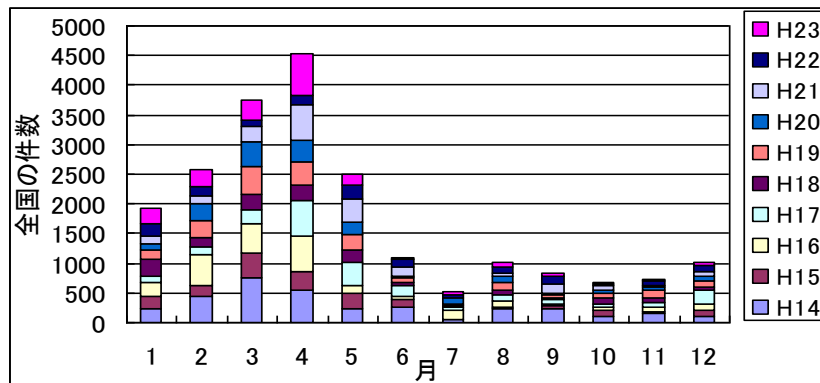
森林火災の想定は以下の通りである。

- (1) 植生データは、森林の現状を把握するため、樹種や生育状況に関する情報を有する自然環境保全基礎調査 植生調査データの空間データを入手し、その情報を元に植生調査を実施した。その結果から、保守的な可燃物パラメータを設定し、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化した。
- (2) 気象条件は過去10年間(2003～2012年)を調査し、森林火災の発生件数の多い3～5月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組合せとする(第2.1-1図)。
- (3) 風向は最大風速観測時の風向および卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。気象条件を表2.1-1表に示す。
- (4) 発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- (5) 発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。発火点位置を第2.1-4図、第2.1-5図に示す。
- (6) 放水などによる消火活動は期待しない。

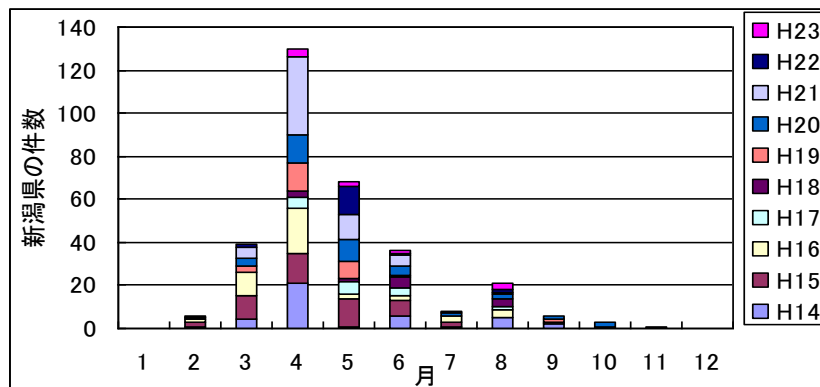
第2.1-1表 気象条件

	風向 [16方位]	3～5月 最大風速[m/s]	3～5月 最高気温[℃]	3～5月 最小湿度[%]
ケース1	南南東	16.0	31.9	12
ケース2	南南東	16.0	31.9	12
ケース3	南東	16.0	31.9	12

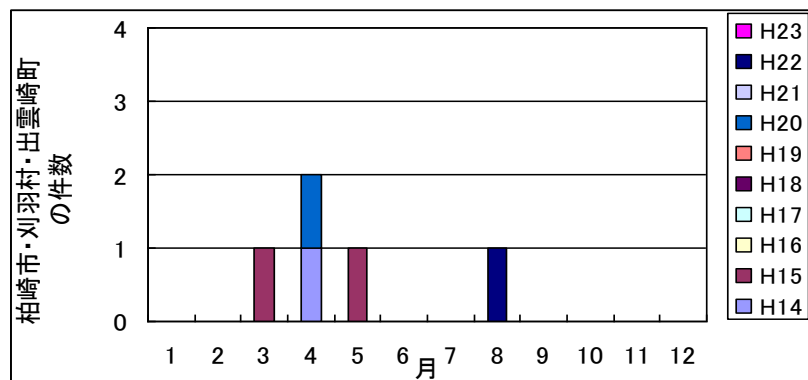
過去 10 年間の全国、新潟県及び柏崎市・刈羽村・出雲崎町における森林火災発生件数の調査を行い、3～5 月にかけて森林火災の発生件数が多いことを確認した。



全国の森林火災発生件数 (平成 14～23 年)



新潟県の森林火災発生件数 (平成 14～23 年)



柏崎市・刈羽村・出雲崎町の森林火災発生件数 (平成 14～23 年)

< 出典 >

全 国：平成 15～24 年度版 消防白書 (消防庁) より作成

新潟県：平成 15～24 年度版 消防防災年報 (新潟県) より作成

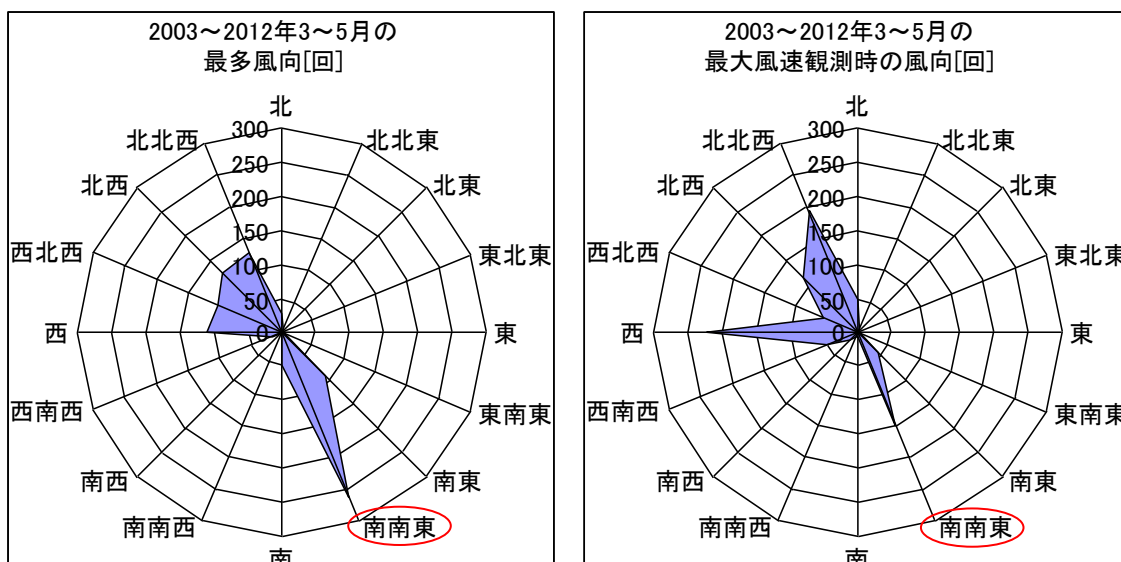
柏崎市：平成 15～24 年度版 消防年報 (柏崎市) より作成

第 2.1-1 図 森林火災の多い月の調査

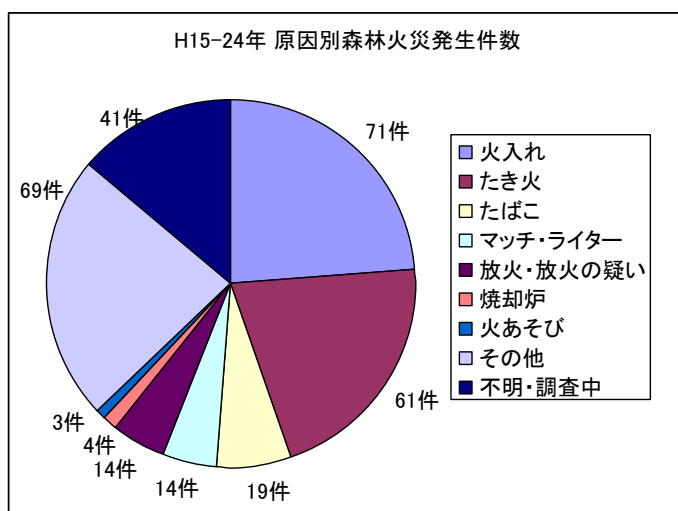
(a) 発火点の設定方針

- ・ 発電所からの直線距離10kmの間に設定する。
- ・ 陸側方向（発電所の西側が海）の発電所風上を選定する。
- ・ 風向は、最大風速記録時の風向と卓越風向の風である南南東を選定する（第2.1-2図）。
- ・ 人為的行為を考え、交通量が多く火災の発生頻度が高いと想定される国道沿いを選定する。

なお、平成15～24年度の新潟県の林野火災の主な発生原因は、第2.1-3図に示すとおり、件数の多い順で火入れ71件、たき火61件、たばこ19件となっている。いずれの発生原因も、民家、田畑周辺あるいは道路沿いで発生する人為的行為となっている。



第2.1-2図 最多風向および最大風速観測時の風向



新潟県報道資料「全火災の総合出火原因別・主な経過別損失状況及び月別出火件数」より作成

第2.1-3図 新潟県の森林火災の出火原因割合（H15～24年）

(b) 立地条件を考慮した発火点の設定

(ケース1)

発電所近隣からの発火の方が防火帯周辺に火災が到達するまでの時間が短くなることから、発電所敷地境界周辺の国道352号線沿いの発火を想定する。防火帯までの距離が短くなる南南東方向の国道352号線沿いに発火点を選定する。(防火帯から約0.6km)

(ケース2)

発電所遠方からの発火の方が火災の規模が大きくなる(火災前線が広がり、発電所構内を同時期に取り囲むような火災となる)ことから、国道8号線沿いの発火を想定する。火入れ・たき火などによる火災も考慮し、家屋・田畑がある南南東方向の国道8号線沿いに発火点を選定する。(防火帯から約3km)

(ケース3)

卓越風向として南東方向からの風も一部存在すること、および防火帯までの距離が南南東方向より短くなることから、参考のため防火帯までの距離が短くなる南東方向の国道352号線沿いに発火点を選定する。(防火帯から約0.4km)

なお、国道116号からの発火については、火災が到達する時間はケース1およびケース3の方が短くなり、火災の規模はケース2の方が大きくなることから、評価は包絡される。

(c) 森林火災評価における発火点の妥当性

(ケース1, 3)

ケース1, 3の発火点周辺は、マツ40年生以上(評価では10年生のデータを入力)の植生が広がっており発電所に向けて下り勾配である。敷地周辺道路沿いで発火地点をずらした場合においても植生及び傾斜に差がないことから評価結果に違いが出ることはない。

(ケース2)

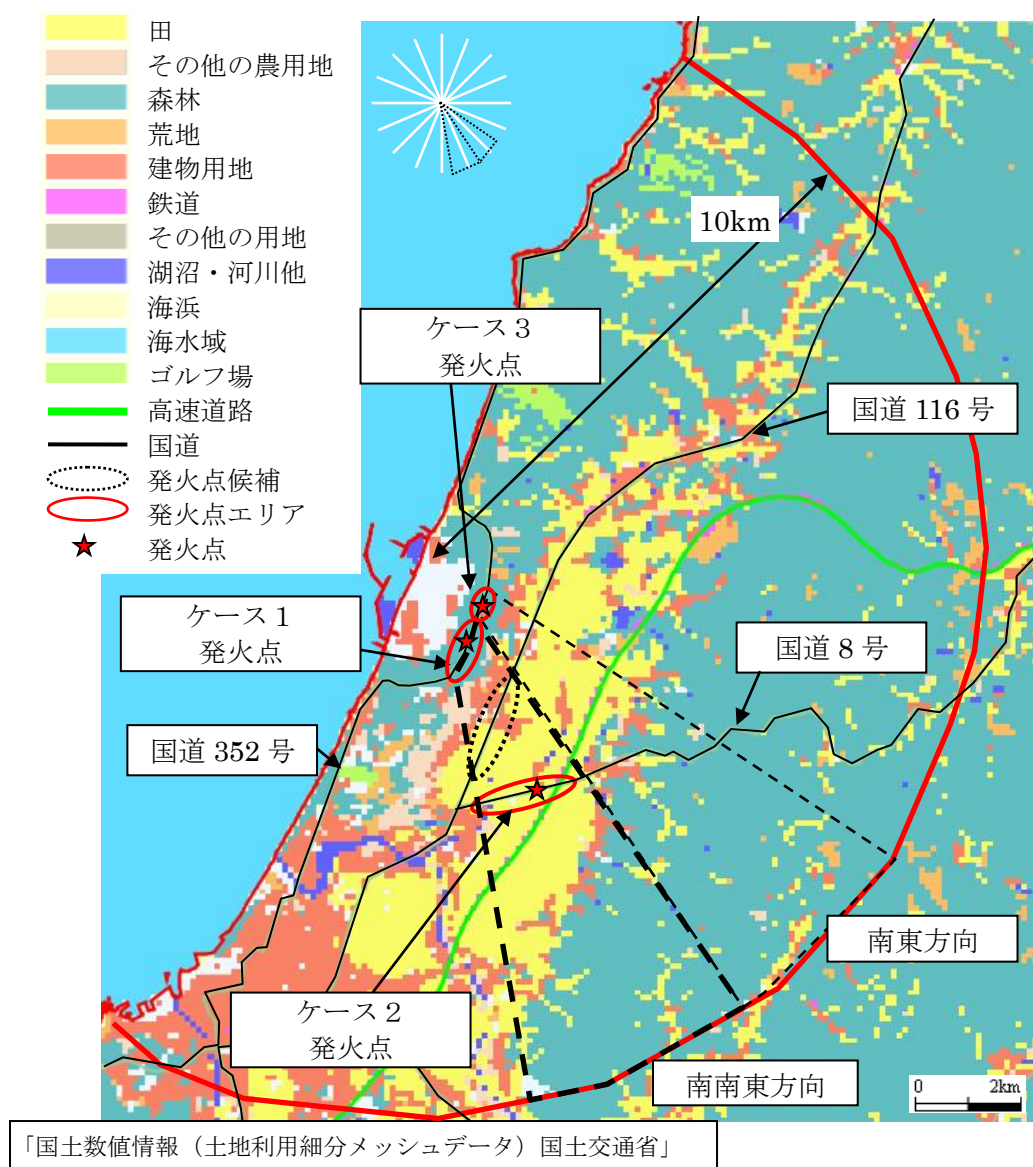
ケース2の発火点周辺は、水田が広がっており平坦な地形である。国道沿いで発火地点をずらした場合においても、植生及び傾斜に差がないことから評価結果に違いは出ることはない。発電所に向けて上り勾配であり、上り勾配の方が火災の規模が大きくなることから保守的な設定である。

また、南東方向遠方については、以下の理由から評価対象外とした。

ケース2において火災の規模が大きくなる場合を考慮し、南南東方向遠方からの発火を想定している。南南東方向遠方と南東方向遠方の植生を比較すると、発火点から発電所構内に向けて“田→市街地→森林→発電所構内”と同様な植生である。また、卓越風向の出現割合は南南東方向の3割程度と少ない。発電所構内を同時期に取り囲むという観点から考えると、最も風向の出現頻度の多い南南東方向を実施することで代表される。

(d) 発火時刻の設定

日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が増大することから、これらを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定する。



第 2.1-4 図 想定発火点位置



第 2.1-5 図 発火点位置詳細

出典：国土地理院ホームページ

2.2. 森林火災による影響の有無の評価

(1) 評価手法の概要

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

評価指標	評価の観点
延焼速度[km/h]	<ul style="list-style-type: none"> 火災発生後、どの程度の時間で発電所に到達するのか 発電所に到達し得る火災の規模はどの程度か 必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
火線強度[kW/m]	
火炎長[m]	
火炎輻射強度[kW/m ²]	
火炎到達幅[m]	

(2) 評価対象範囲

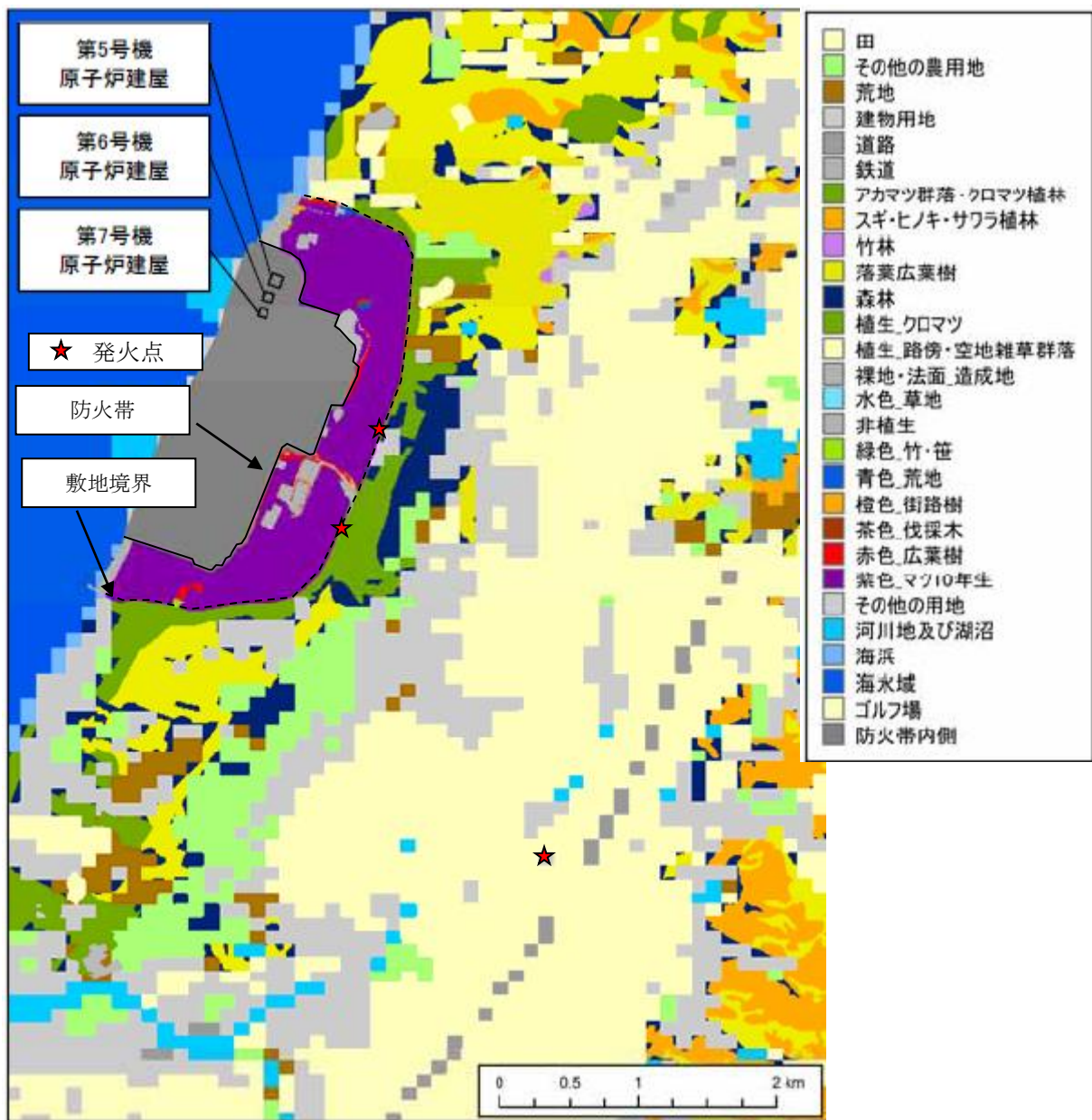
評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は西側が海岸という発電所周辺の地形を考慮し発電所から南に 12km, 北に 15km, 東に 12km, 西に 9km とする。

(3) 必要データ

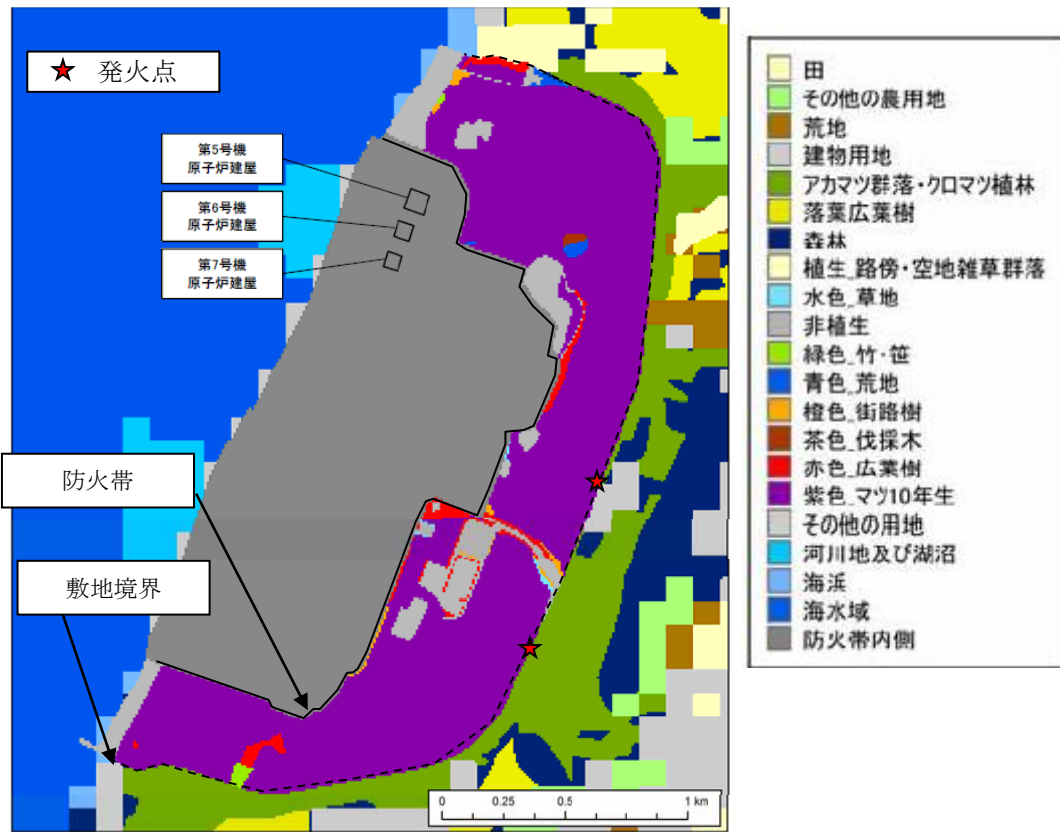
a. 入力条件



評価に必要なデータを以下の通り設定し、本評価を行った。

データ種類	内容
土地利用データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 100m メッシュの土地利用データを用いる。</p> <p>(第 2.2-1 図, 第 2.2-2 図)</p> <p>(国土交通省 国土数値情報 土地利用細分メッシュ H21 年度)</p>
植生データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、樹種に関する情報を有する環境省 自然環境保全基礎調査 植生調査データ(H18 年度)を用いる。また、現地調査を実施し発電所構外および構内の植生を反映する。(第 2.2-1 図, 第 2.2-2 図)</p>
地形データ	<p>現地の状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの標高データを用いる。傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(第 2.2-3 図)</p> <p>(国土交通省 基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ H20 年度)</p>
気象データ	<p>現地にて起こり得る最悪の条件とするため、森林火災の発生件数が多い 3~5 月の過去 10 年間(2003~2012 年)の最大風速, 最高気温, 最小湿度の条件を採用する。(第 2.2-1 表)</p>

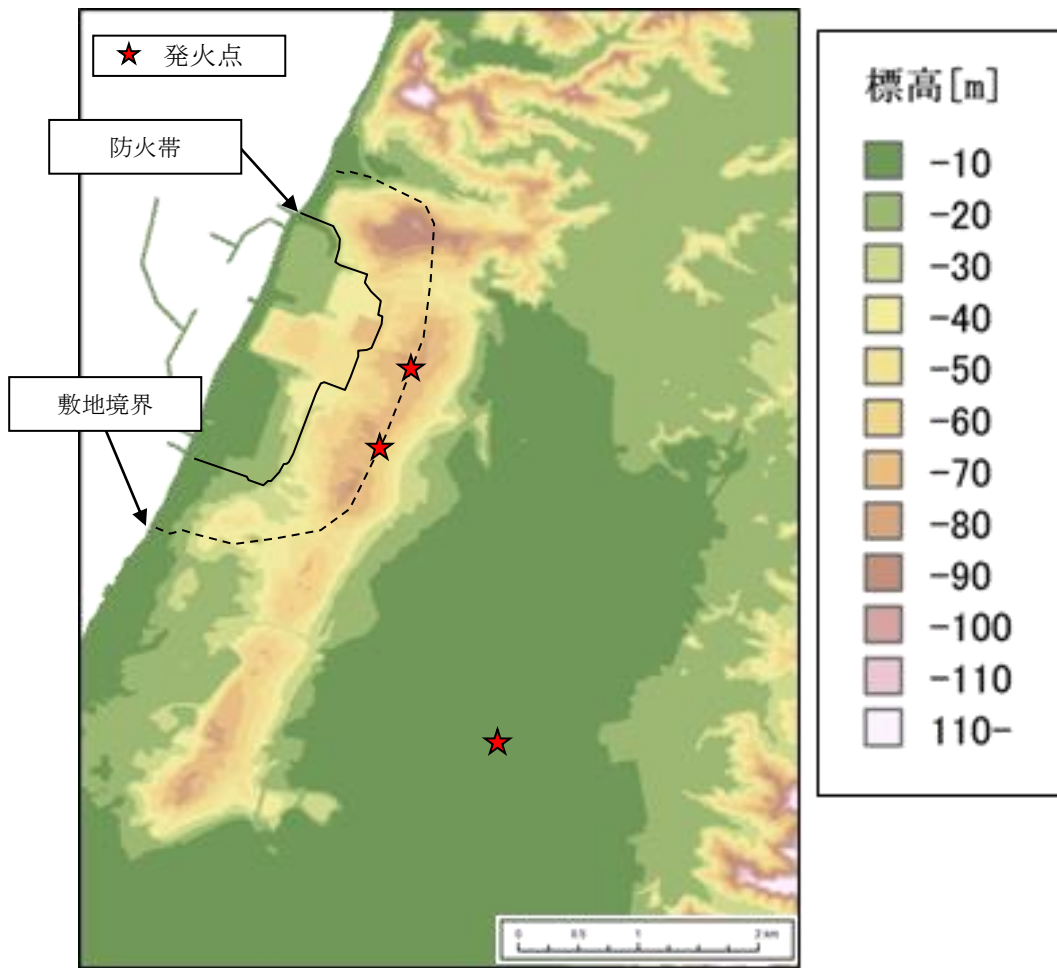


第 2. 2-1 図 土地利用・植生データ（広域）



植生サンプル			
<p>落葉広葉樹 広葉樹が群生しているエリアについては、「落葉広葉樹」とする。</p> 	<p>マツ 林床に下草が存在することを考慮し保守的に一律 10 年生の可燃物データとする。</p> 	<p>荒地 草の繁殖を考慮し「Brush」とする。</p> 	<p>竹・笹 最も可燃物量，可燃物深さが大きく火線強度などが高くなる「Chaparral」とする。</p> 

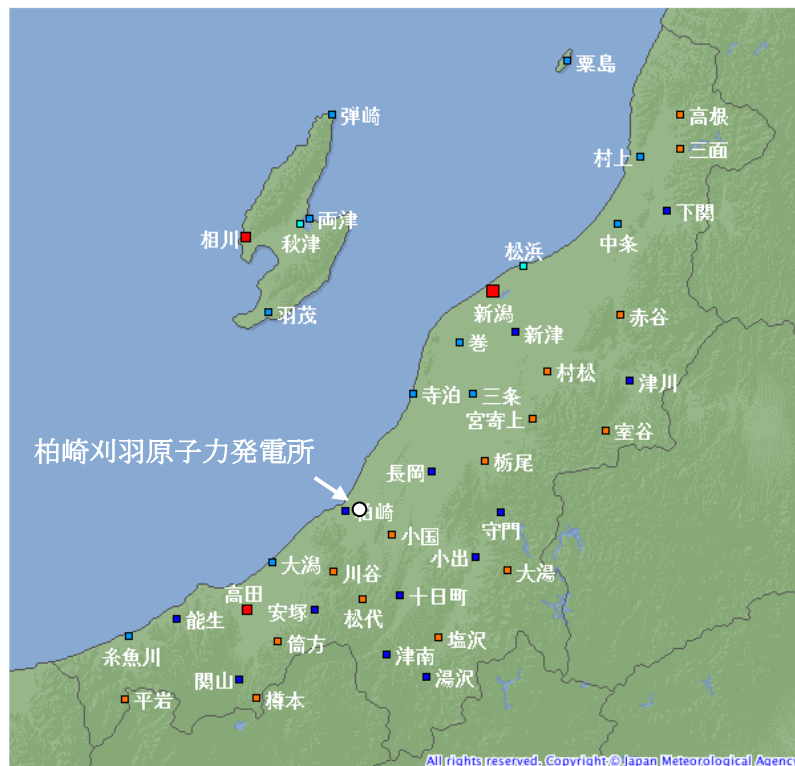
第 2.2-2 図 土地利用・植生データ（発電所周辺）



第 2.2-3 図 標高データ

気象条件の設定

気象データは気象庁が公開している気象統計情報を用い、森林火災発生件数の多い3～5月の過去10年間の気象データを調査し、卓越風向、最大風速、最高気温、最小湿度の条件を選定した（第2.2-1表）。この調査結果に基づきFARSITEの入力値は第2.1-1表の通り設定した。風向、風速および気温は柏崎刈羽原子力発電所付近の気象観測所「柏崎」の値とした。湿度を観測している観測所は「新潟」「高田」「相川」とあるが、「高田」は発電所とは山越の位置で内陸に位置し、「相川」は離島であることから、最も発電所の気象に近いと考えられる「新潟」の値を用いた。新潟県における気象統計情報の観測所位置を第2.2-4図に示す。



シンボル	観測所の種類	観測要素
■	気象台	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	測候所・特別地域気象観測所	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	地域気象観測所(アメダス)	降水量
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深

第2.2-4図 新潟県内の気象観測所位置

<出典>

気象庁 HP : http://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/map39.html

第 2.2-1 表 2003～2012 年の 3～5 月の気象データ

年	月	卓越風向 (柏崎) [16 方位]	最大風速 (柏崎) [m/s]	最大風速観 測時の風向 (柏崎) [16 方位]	最高気温 (柏崎) [℃]	最小湿度 (新潟) [%]
2003	3	北西	8.0	西南西	17.4	21
	4	南南東	11.0	西南西	26.4	18
	5	北北西	8.0	南東	30.6	16
2004	3	南南東	11.0	西南西	23.9	14
	4	西	11.0	西	26.1	15
	5	北北西	8.0	西	28.1	22
2005	3	南南東	9.0	北西	16.4	25
	4	南南東	9.0	南西	28.8	17
	5	北北西	7.0	西	29.6	14
2006	3	南南東	10.0	西	19.4	19
	4	南南東	16.0	南南東	22.3	12
	5	南南東	8.0	南東	31.9	20
2007	3	西北西	9.0	西	22.1	30
	4	南南東	10.0	西	22.0	14
	5	西	10.0	西	25.4	15
2008	3	南南東	8.0	西	16.7	26
	4	南東	8.7	西南西	24.1	19
	5	南東	8.6	南南東	28.1	18
2009	3	北西	11.5	南南西	23.6	16
	4	南南東	11.0	西	25.6	13
	5	南南東	10.5	西	29.3	18
2010	3	南南東	13.6	南南西	23.2	24
	4	南南東	13.5	南南東	19.7	20
	5	南南東	13.5	南南東	27.3	21
2011	3	南南東	10.4	西南西	18.1	22
	4	南南東	8.4	西	22.4	17
	5	南南東	11.2	西南西	27.8	19
2012	3	南南東	10.0	西南西	21.3	31
	4	南南東	15.2	西	25.8	31
	5	南南東	9.7	西南西	27.8	23

青枠で囲った箇所が、卓越風向，最大風速，最高気温，最小湿度

(参考)被ばく評価で使用している気象条件との違い

	森林火災	被ばく評価
データ取得場所	柏崎気象観測所 新潟気象台	発電所構内気象観測装置
データ取得期間	過去10年(2003~2012年)	1985年10月から1年間(KK7)
風速	3~5月の最大風速 風速が大きい方が延焼しやすく 保守的	大気安定度の算出に使用 風速が小さい方が拡散しやすくなる
風向	3~5月の卓越風向(16方位)	16方位の風向出現回数を考慮して評価
気温	3~5月の最高気温 気温が高い方が可燃物の水分量が少なくなり保守的	評価には使用しない
湿度	3~5月の最小湿度 湿度が低い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない
日射量	最大日射量(雲なし)とする 日射量が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	大気安定度の算出に使用 日射量が大きい方が拡散しやすくなる
降雨量	降水量なしとする 降水が無い方が可燃物の水分量が少なくなるため保守的	評価には使用しない

被ばく評価は、発電所からの放射性物質の拡散状況を把握するために発電所構内の気象観測所のデータを用いている。一方、森林火災は発電所構外からの火災の進展を評価するため、発電所周辺の気象を代表するように発電所構外の気象観測所のデータを用いた。

b. FARSITE入出力データの補足

FARSITE については、保守的な評価となるよう以下の観点から入力値を設定した。

大区分	小区分	入力値	入力値の根拠
気象データ	風速 [km/h]	58	火災の延焼・規模の拡大を図るため、森林火災発生件数が多い月（3～5月）の発電所周辺の最大風速を入力
	風向 [deg]	158 (南南東)	出火地点 1, 2: 気象観測データに基づき 3～5月の最大風速記録時の風向及び最多風向
		135 (南東)	出火地点 3: 気象観測データに基づき 3～5月の最大風速記録時の風向及び最多風向の内、南南東の次に多い風向
	気温 [°C]	32	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災発生件数が多い月（3～5月）の発電所周辺の最高気温を入力
	湿度 [%]	12	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災発生件数の多い月（3～5月）の発電所周辺の最小湿度を入力
植生データ	場所	—	植生調査データ、現地調査等で特定した樹種毎の植生場所を入力
	樹種	12 区分	植生調査データ、現地調査等で特定した樹種を入力 1: Short grass, 3: Tall grass, 4: Chaparral, 5: Brush, 6: Dormant brush・hardwood slash, 10: Timber, 13: Heavy logging slash, 14: スギ 林齢 10 年生未満, 19: マツ 林齢 10 年生未満, 20: マツ 林齢 10 年生, 24: 落葉広葉樹, 99: 非植生 ※
	林齢	2 区分	植生調査データに基づき、スギ・ヒノキ、アカマツ・クロマツについて、10 年生未満、10 年生の 2 区分を設定
	樹冠率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し、針葉樹、落葉広葉樹について、保守的な樹冠率区分（3: 一般的な森林）を入力
土地利用データ	建物, 道路, 湖沼等	—	発電所周辺の建物用地, 交通用地, 湖沼, 河川等を再現（国土交通省データ）
地形データ	標高, 地形	—	発電所周辺の土地の標高, 地形（傾斜角度, 傾斜方向）を再現（国土地理院データ）
時刻データ	発火時刻	—	日照による草地及び樹木の乾燥に伴い, 延焼速度・火線強度が増大することから, これを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定

※ 1～99 の数字は、FARSITE の植生番号に対応。

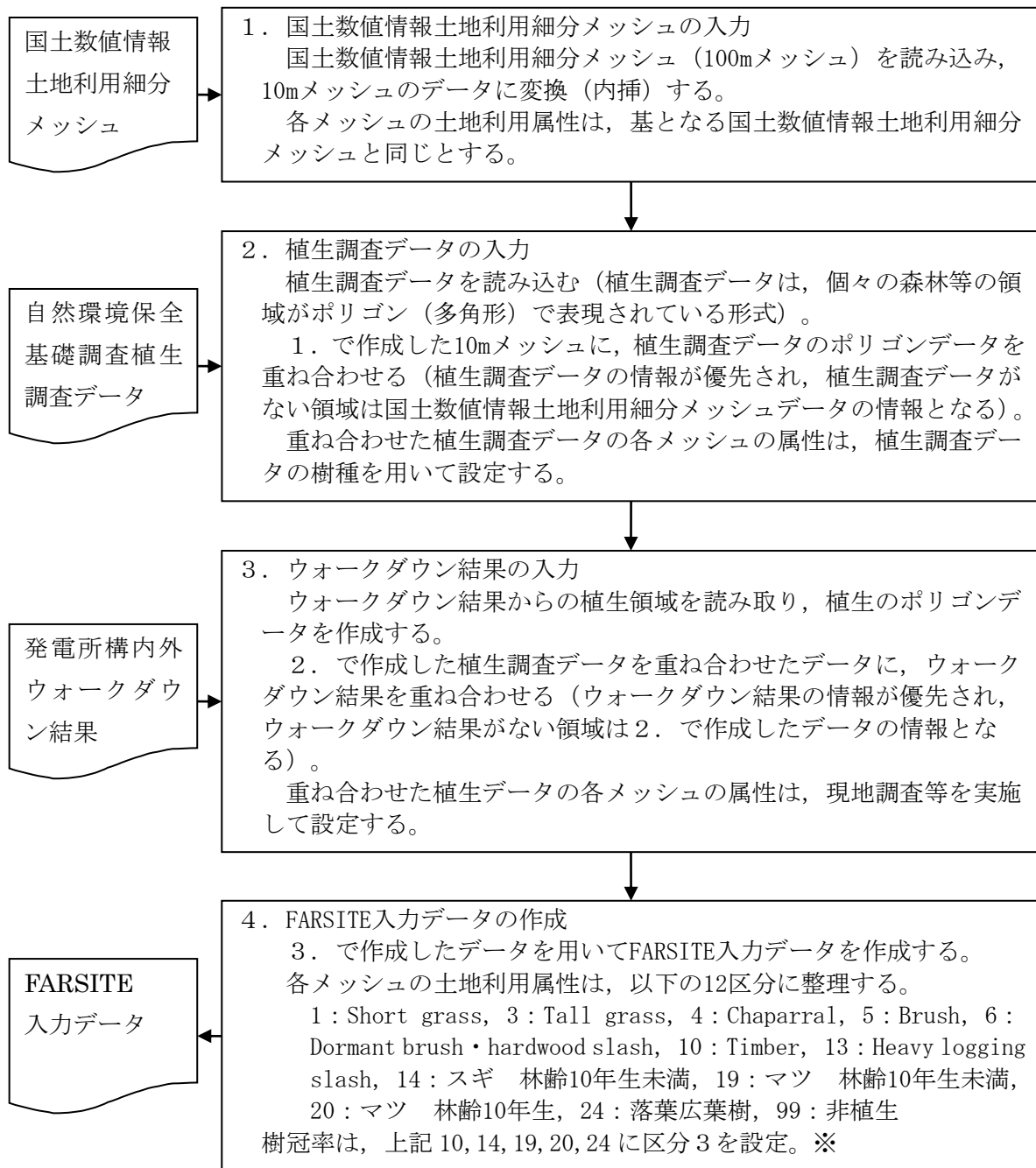
No1～13, 99 は、FARSITE 内蔵値（FARSITE が保有する可燃物データ）。

No14～24 は、福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価（独立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）平成 24 年 6 月）。

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

大項目	小項目	出力値の内容
FARSITE 出力	火線強度 [kW/m]	火線前線から単位時間に放出される熱量 [防火帯幅の算出]
	火炎長 [m]	火炎の高さ [円筒火炎モデルの形態係数の算出]
	延焼速度 [m/s]	火災の延焼する速さ
	単位面積当たり り熱量[kJ/m ²]	単位面積当たりの放出熱量
	反応強度 [kW/m ²]	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の 根拠となる火災規模
	到着時刻 [h]	出火から火災の前線が当該地点に到達するまでの時間 [火災継続時間の算出]
上記出力 値より算 定したデ ータ	火炎輻射強度 [kW/m ²]	火炎からの輻射発散度 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	延焼継続時間 [h]	温度評価に使用するFARSITE上メッシュにおける火災 継続時間 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	火炎到達幅 [m]	発電所敷地境界の火線最前線の長さ [円筒火炎モデル数の算出]
	燃焼半径 [m]	燃焼半径を火炎長に基づき算出 [円筒火炎モデルの形態係数の算出]

FARSITE 入力条件の整理 (植生)



※ 1～99 の数字は、FARSITE の植生番号に対応。

No1～13, 99 は、FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)。

No14～24 は、福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価 (独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) 平成 24 年 6 月)。

各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 (1 / 3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分*1	種類	
国土数値情報 土地利用細分メッシュ	田	3	Tall grass	森林火災発生件数の多い 3~5 月の田の可燃物量は少ないと考えられるが、保守的に「Tall grass」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	ゴルフ場	3	Tall grass	ゴルフ場は管理されており可燃物量は少ないと考えられるが、保守的に「Tall grass」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	その他農用地	4	chaparral	その他農用地となっている箇所は草地の他に果樹園等を含むため、延焼速度が速く、火線強度も高くなる「chaparral 低木の茂み」とする。 JNES-RC-Report*2 より保守的な設定
	森林	10	Timber	延焼速度、火炎長が大きく、火災の勢いが強くなる植生条件である FARSITE の「Timber リターと低木」とする。 JNES-RC-Report*2 より保守的な設定
	荒地	5	Brush	草の繁茂を考慮し、FARSITE の「Brush 茂み」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定
	建物用地	5	Brush	植生が連続しておらず、コンクリート等の非植生も多く含まれ延焼しにくいと考えられるが、住宅地沿いの街路樹等を考慮し、FARSITE の「Brush 茂み」とし計算上延焼することとする。 JNES-RC-Report*2 より保守的な設定
	道路	99	非植生	樹木等が無いと考えられるため、「非植生(延焼しない)」とする。 JNES-RC-Report*2 と同等な設定方法。
	鉄道			
	その他の用地			
	河川地及び湖沼			
海浜				
海水域				

*1 : 可燃物データの出典 :

No. 1~13, 99 FARSITE 内蔵値 (FARSITE が保有する可燃物データ)

No. 14~24 JNES-RC-Report*2 の FARSITE 植生データ

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

各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 (2 / 3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分	種類	
自然環境保全基礎調査植生調査データ	アカマツ群落	19	マツ 林齢 10 年生未満	発電所構外のマツの林齢が不明であるため、可燃物データは保守的に「マツ林齢 10 年生未満」とする。
	クロマツ群落			
	スギ・ヒノキ・サワラ植林	14	スギ 林齢 10 年生未満	発電所構外のスギの林齢が不明であるため、可燃物データは保守的に「スギ林齢 10 年生未満」とする。
	竹林	4	chaparral	FARSITE デフォルト植生の中で最も可燃物量、可燃物深さが大きく火線強度などが高くなり保守的な値として「Chaparral」とする。
	オニグルミ群落	24	落葉広葉樹	広葉樹の樹種をひとつにまとめ、「落葉広葉樹」とする。
	コナラ群落			
	ブナ-ミズナラ群落			
	—			
	タニウツギ群落			
	オニグルミ群落			
	ヤナギ低木群落			
	ヤナギ高木群落			
	ハンノキ群落			
	イヌシデ-アカシデ群落			
	エゾイタヤ-シナノキ群団			
カシワ群団				
チシマザサブナ群団				
コナラ群落				
スダジイ群落				
タブノキ群落				

各種土地利用情報と FARSITE 入力データとの関係 (3 / 3)

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分	種類	
構内 植生 調査 結果	草地	1	Short grass	管理された植生に対して草の繁殖を考慮し FARSITE デフォルト値の「Short grass」とする。
	竹・笹	4	Chaparral	竹・笹が密集しているエリアは、FARSITE デフォルト植生の中で最も可燃物量、可燃物深さが大きく火線強度などが高くなり保守的な値として「Chaparral」とする。
	荒地	5	Brush	草の繁茂を考慮し、FARSITE の「Brush 茂みとする。」
	街路樹(中低木)	6	Dormant brush, hardwood slash	草の繁茂を考慮し、FARSITE の「Brush 茂み」よりも林床可燃物の多い「Dormant brush, hardwood slash」とする。
	伐採木の仮置き場	13	Heavy logging slash	伐採木を仮置きするエリアであることから FARSITE のデフォルト値の倒木(logging slash)の中で最も可燃物量が多く保守的な値として「Heavy logging slash」とする。
	広葉樹	24	落葉広葉樹	現地調査の結果、広葉樹が主な植生のエリアは、「落葉広葉樹」とする。
	構内のマツ林 (10年生以上)	20	マツ 林齢10年生	現地植生調査の結果、20年生以上のマツでも林床に下草・中低木が存在する箇所があることから、保守的に「マツ 林齢10年生」とする。

植生調査の詳細について

植生調査は、発電所構内林および防火帯周辺についてウォークダウンをし、樹種、林齢、低木及び下草の有無を確認した。

1. 調査内容

発電所構内の森林全域の植生および防火帯予定地に沿って森林側の植生を調査し記録した。(第 2.2-5 図, 第 2.2-6 図)

2. 調査者の力量

発電所構内の植生について詳しく、かつ 1 級造園施工管理技士の国家資格を有する者が調査を実施した。

3. 調査期間

2014 年 4 月 23 日～5 月 30 日 (約 40 人日)

4. 調査結果

現地調査は、発電所構内林 (約 400 点) および防火帯周辺 (約 70 点) で実施した。

代表的な調査ポイント及び植生調査結果

ポイント	植生調査結果			FARSITE 入力値	
	樹種	林齢	下草	樹種・林齢	下草
①-a	マツ	25 年生以上	約 50cm	マツ 10 年生	約 183cm
②-a	竹	-	約 30cm	Chapparal	約 183cm
②-b	スダジイ	25 年生以上	約 30cm	落葉広葉樹	約 183cm
③-a	マツ	40 年生以上	約 50cm	マツ 10 年生	約 183cm
⑬-a	雑草	-	約 50cm	Brush	約 61cm
⑬-b	伐採木	-	約 60cm	Heavy logging slash	約 91cm
⑯-a	マツ	40 年生以上	無し	マツ 10 年生	約 183cm
⑰-a	シャリンバイ, シロダモなど	30 年生以上	約 30cm	Dormant Brush, Hard Wood slash	約 76cm

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません



添付 2-22

第 2.2-5 図 植生調査エリア



第 2.2-6 図 発電所構内植生図

発電所構内の植生

<竹・笹>

構内で竹が密集しているエリアについては、FARSITE デフォルト植生の中で最も可燃物量、可燃物深さが大きく火線強度などが高くなる「Chaparral」とする。



<荒地>

養鶏場の跡地であり、コンクリート基礎（非植生）等で5割程度を占めているが、雑草の繁茂や蔦等が這う可能性を考慮し、全面を「Brush」とする。



<中低木>

草の繁茂を考慮し、FARSITEの「Brush 茂み」よりも林床可燃物の多い「Dormant brush, hardwood slash」とする。



＜伐採木の仮置き場＞

FARSITE デフォルト値の伐採木 (logging slash) の中で最も可燃物量の多い「Heavy logging slash」とする。

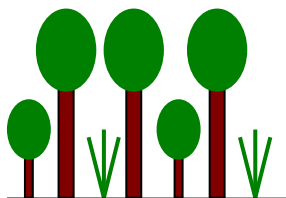
⑬-b 伐採木



＜落葉広葉樹＞

構内で一部広葉樹が群生しているエリアについては、「落葉広葉樹」とする。なお、広葉樹の下草の状況は林齢によってほとんど変わらないことを考慮し、落葉広葉樹の可燃物データは、林床には草や低木が存在する状況を想定している。

②-b スタジイ 25 年生以上

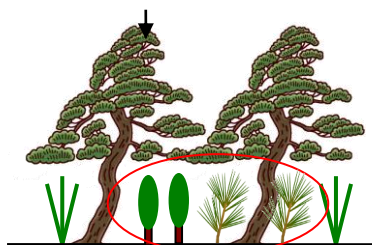


<マツ 10 年生>

発電所構内のマツは 40 年生以上のものが多いが、林床に下草が存在することを考慮し、20 年生以上のマツが存在していたとしても下草が存在する場合は、保守的に一律 10 年生の可燃物データとする。

なお、マツ 10 年生の可燃物データは、林床に草や低木が存在する状況を想定している。

10年生以上のマツ



10年生未満のマツや低木も含む

①-a マツ 25 年生以上



③-a マツ 40 年生以上



⑩-a マツ 40 年生以上

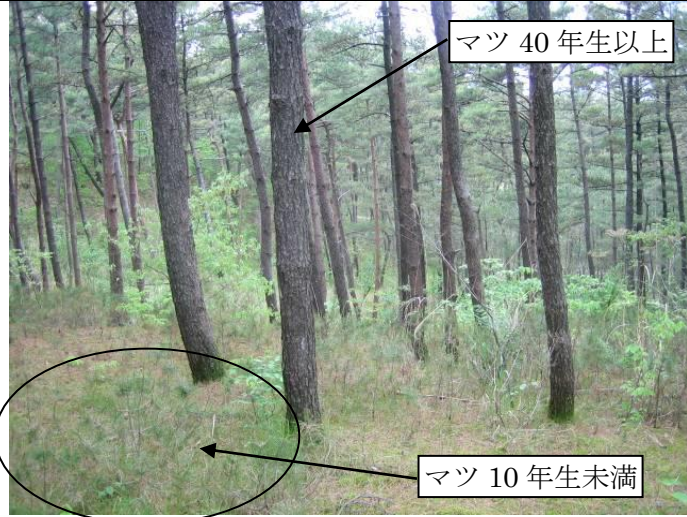
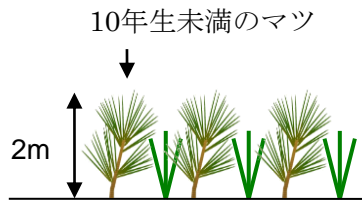


(参考)

<マツ 10 年生未満>

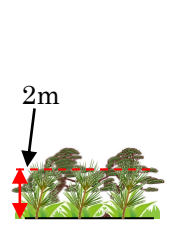
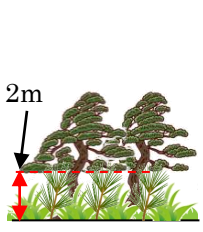
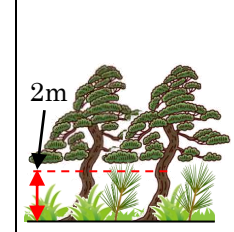
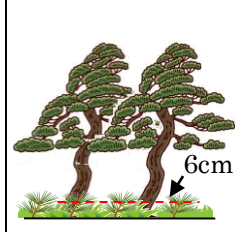
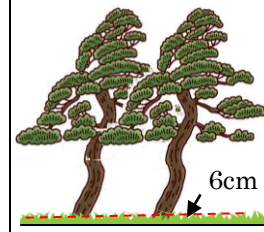
10 年生未満のマツの樹高は 2m 程度である。一面にこれらのマツのみが存在するエリアはマツ 10 年生未満とする。

→発電所構内では、右図のように 40 年生以上のマツの林床に自生する 10 年生未満のマツは存在するが、一面が 10 年生未満のマツのみという植生は存在しない

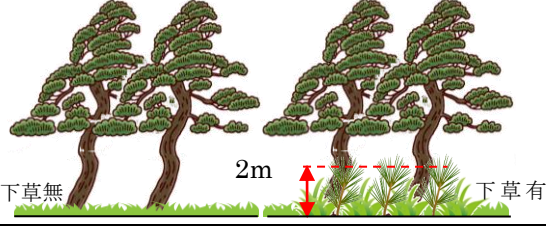
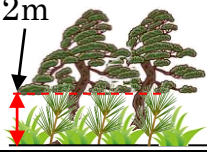


FARSITE の入力条件（林齢の設定）

福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価（独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES) 平成 24 年 6 月) では、マツを 10 年生未満から 40 年生以上の 5 つに分類した追加植生データを作成している。10 年生未満、10～20 年生および 20～30 年生のマツについては、FARSITE のデフォルト植生の中で最大の可燃物深さである 2m 程度の下草・低木が有る状況としている。また、林床可燃物量（下草・低木の量）は 10 年生未満および 10～20 年生のマツについては、FARSITE の低層植生の中で最も可燃物量の多い状況としている。なお、生きた木質の fuel 量は、林齢が大きくなるにつれて大きい値を使用している。

10 年生未満	10～20 年生	20～30 年生	30～40 年生	40 年生以上
				
下草・低木の状況				
2m 程度の下草や低木がある状態を想定。 (FARSITE のデフォルト植生で最大の可燃物深さを想定)。低木には実生松（10 年生未満の松）も含まれる。			下草が無い状態を想定 (6cm 程度)	
林床可燃物量				
多		中		少
生きた木質の fuel 量				
少	→	中	→	多

柏崎刈羽原子力発電所構内のマツは、40 年生以上のマツ林の中に 2m 程度の下草や低木があるエリアと下草が無いエリアが存在する。これらの植生は、可燃物深さが大きい 20 年生のマツでモデル化しても保守的であると考えるが、さらに厳しい条件となるよう 10 年生のマツで設定する。

柏崎刈羽原子力発電所構内の植生	FARSITE のインプットデータ
40 年生 	10 年生 
林床可燃物深さ：0～2m（実生松含む） 林床可燃物量：少～多 生きた木質の fuel 量：多	林床可燃物深さ：2m（実生松含む） 林床可燃物量：多 生きた木質の fuel 量：少

(参考) マツおよび落葉広葉樹の可燃物データ

パラメータ	下草の有無	1時間以内に乾燥する木質のfuel量 ^{※1}	10時間以内に乾燥する木質のfuel量 ^{※1}	4日以内に乾燥する木質のfuel量 ^{※1}	生きた草のfuel量 ^{※1}	生きた木質のfuel量 ^{※1}	1時間以内に乾燥する木質の表面積/体積	生きた草の表面積/体積	生きた木質の表面積/体積	林床可燃物の深さ	1時間以内に乾燥する木質で延焼が止まる水分量	枯死可燃物の熱容量	生体可燃物の熱容量
単位	-	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	1/cm	1/cm	1/cm	cm	%	J/kg	J/kg
マツ 10年生未満	有	6.75	4.48	11.23	0	<u>15.71</u>	70.44	59	48	182.9	31	19958	19958
マツ 10年生	有	6.75	4.48	11.23	0	<u>44.24</u>	70.44	59	48	182.9	31	19958	19958
マツ 20年生	有	4.48	2.24	1.12	0	75.03	70.44	59	48	182.9	31	19958	19958
マツ 30年生	無	4.48	2.24	1.12	0	102.56	70.44	59	48	6.1	31	19958	19958
マツ 40年生	無	1.66	0	0	0	130.20	70.44	59	48	6.1	31	19958	19958
落葉広葉樹	有	6.75	4.48	11.23	0	62.66	149.48	59	48	182.9	25	18524	18524

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

○マツ 10年生と設定することの妥当性について

マツ 10年生未満とマツ 10年生では、可燃物データのうち生きた木質のfuel量のみ異なり他のパラメータは同じである。

10年生未満のマツが1本でも存在していれば10年生未満のマツを選択するのではなく、10年生未満のマツが一様に広がり、生きた木質のfuel量が少ない状態であれば10年生未満とする。10年以上のマツが存在している中に10年生未満のマツが存在するようなエリアであれば、10年生未満よりも生きた木質のfuel量は多く延焼を抑制する効果があることから10年生未満のデータではなく10年生のデータを用いることは適当である。また、柏崎刈羽原子力発電所構内の森林簿から生きた木質のfuel量を算出すると^{※2}、約80ton/haであり、マツ 10年生の生きた木質のfuel量より大きいことから、10年生のデータを入れることは妥当である。

※1: fuel量とは、単位面積当たりの可燃物(燃料)の量[ton/ha]

※2: 森林簿に記載の区画毎の面積S[ha]、材積V[m³]および、マツの気乾比重520[kg/m³]^{※3}から、生きた木質のfuel量[ton/ha]を算出した。生きた木質のfuel量=520×V÷S×1000

※3: 一般財団法人日本木材総合情報センターより

気乾比重: 大気中に放置された木材が大気の温度条件と湿度条件に対応し、含有水分が平衡に達した状態での比重

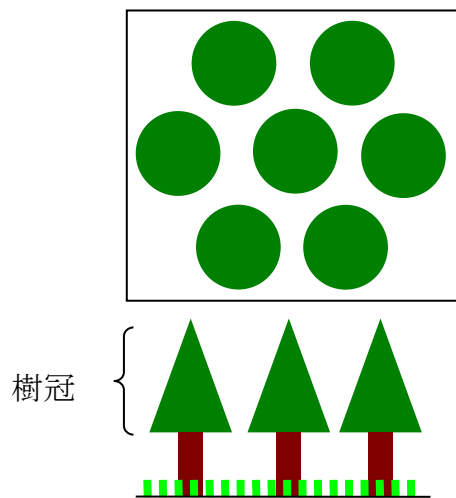
樹冠率の設定

樹冠率は、上空から森林を見た場合の平面上の樹冠が占める割合をいう。

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

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

樹冠率：平面上の樹冠の割合



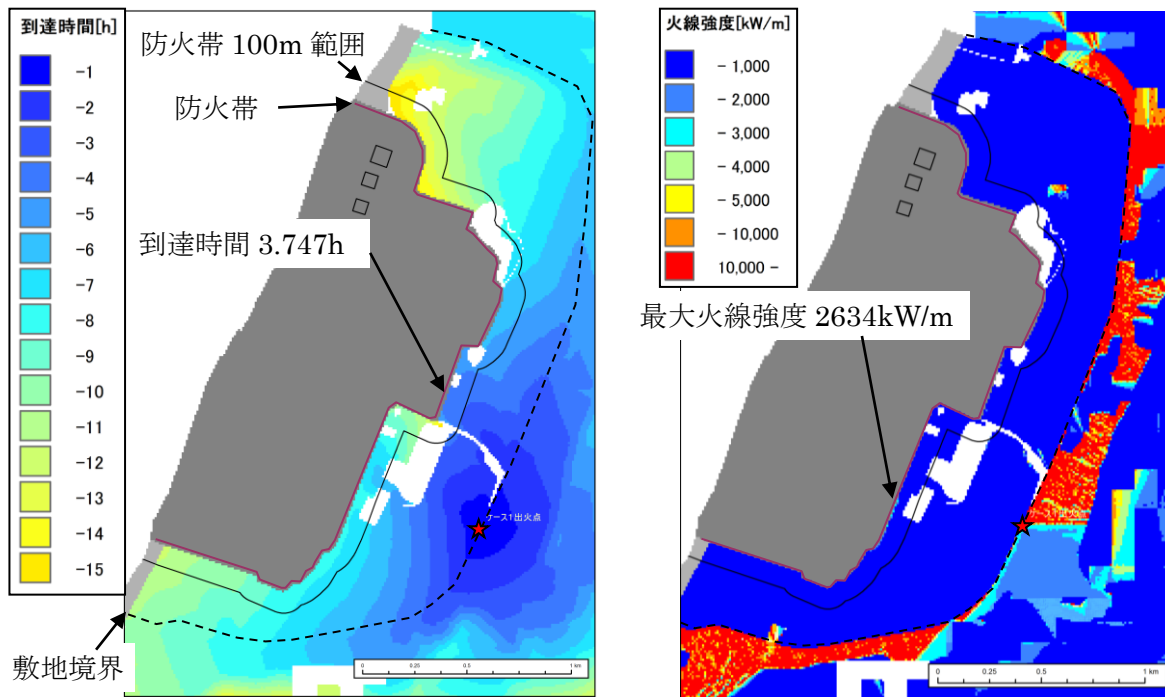
FARSITE 区分	樹冠率[%]	備考
1	～ 20	
2	21 ～ 50	非森林を含む領域
3	51 ～ 80	一般的な森林
4	81 ～ 100	原生林を含む森林

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

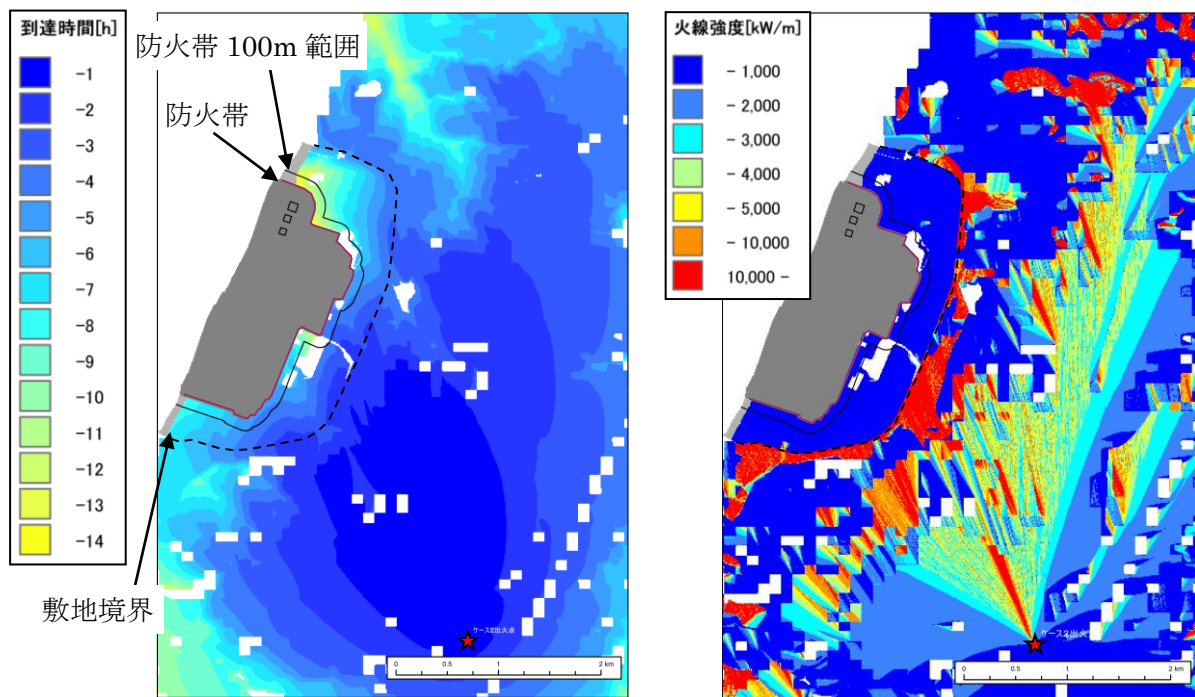
FARSITE への入力値まとめ

大区分	小区分	入力値	備考
気象	気温	32°C	気温が高い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い3~5月における過去10年間の最高気温を設定(ガイド通り) 解析期間中最高気温が継続するように設定
	湿度	12%	湿度が低い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い3~5月における過去10年間の最小湿度を設定(ガイド通り) 解析期間中最小湿度が継続するように設定
	風速	16m/s	風が強い方が延焼速度・火線強度が大きくなることから、森林火災が多い3~5月における過去10年間の最大風速を設定(ガイド通り) 解析期間中最大風速が継続するように設定
	雲量	0%	日射が多い方が可燃物の水分量が少なくなるため、日射量が多くなるように、雲量0%に設定
	降水量	0mm	降水が無い方が可燃物の水分量が少なくなるため、降水量は0mmに設定
地形	高低差	数値標高モデル	現地状況を模擬するため、基盤地図情報 数値標高モデルの10mメッシュデータを用いる。
	緯度	37度	日射量が多い方が可燃物量の水分量が少なく燃えやすくなることから、日射量が多くなるように、柏崎刈羽原子力発電所の緯度(37度25分)より赤道側に設定
植生	樹木高さ	15m	データを正確に調査することは困難であるため、デフォルト値を一律に適用
	枝下高さ	4m	
	かさ密度	0.2kg/m ³	
	樹冠率	区分3	森林と定義される区分3,4のうち、風速が弱まりにくく、日射の影響を受けやすくなる区分3を設定
	fuel 初期水分量	コンディショニング機能	水分量は気温・湿度・日射などにより変化する。発火時刻より30日前から現地の状況をシミュレートして初期水分量が平衡に達した状態から発火させる。

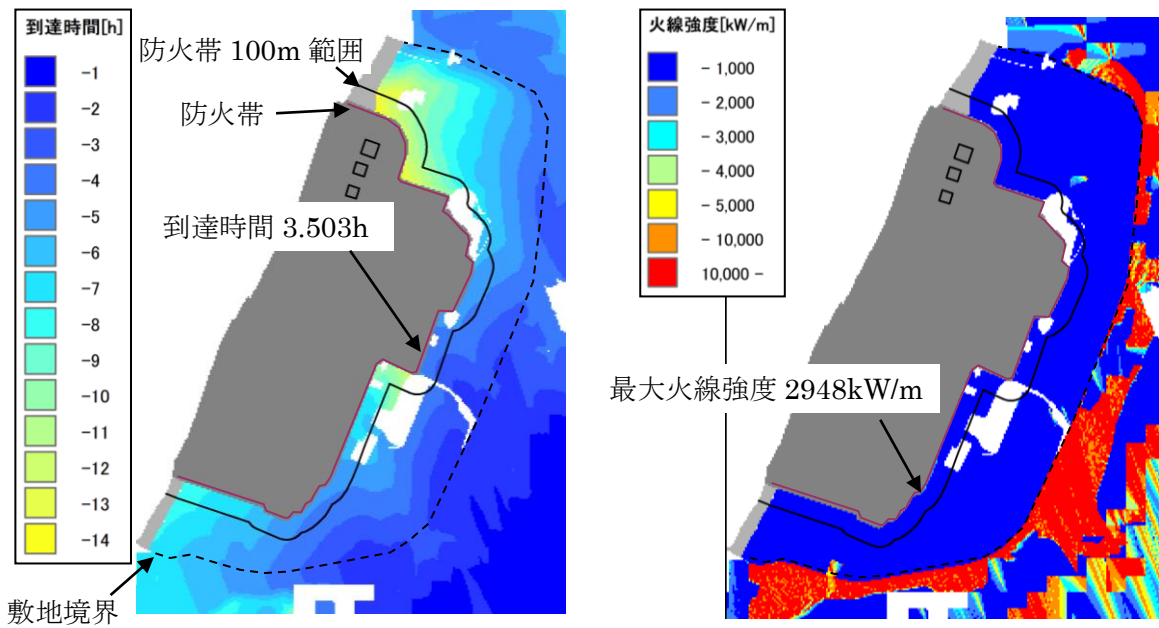
各ケースの FARSITE による解析結果図を以下に示す。



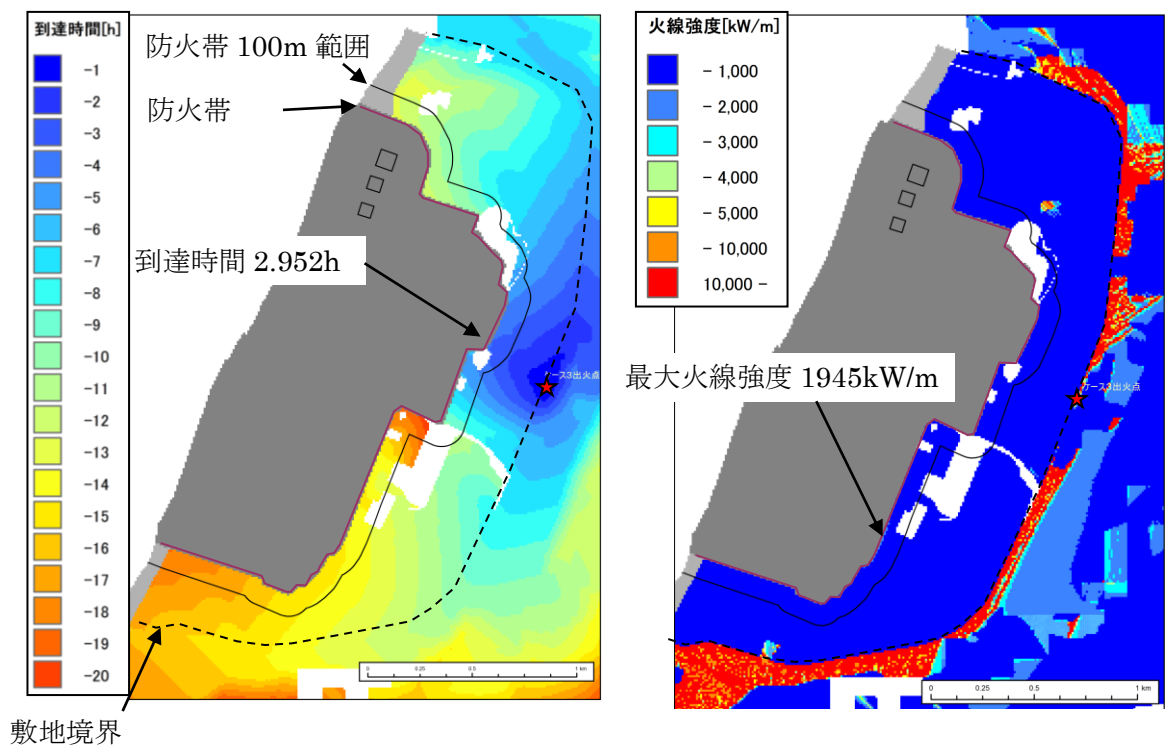
ケース 1 解析結果（左：火災到達時間分布，右：火線強度分布）



ケース 2 解析結果（左：火災到達時間分布，右：火線強度分布）



ケース 2 解析結果 敷地周辺拡大 (左：火災到達時間分布，右：火線強度分布)



ケース 3 解析結果 (左：火災到達時間分布，右：火線強度分布)

(4) 延焼速度および火線強度の算出結果

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度や火線強度を算出した。防火帯外縁より 100m の範囲における延焼速度及び火線強度の算出結果を第 2.2-2 表に示す。

(5) 火炎の到達時間の算出結果

延焼速度より、発火点から発電所までの到達時間を算出した。また、火炎の到達時間をもとに発電所の自衛消防隊が対応可能であるか否かを評価する。延焼速度および到達時間の算出結果を第 2.2-2 表に示す。

第 2.2-2 表 火炎の到達時間及び防火帯幅評価に伴う評価項目

評価項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
最大延焼速度[m/min]	41.13	36.41	15.44
最大火線強度[kW/m]	2634	2948	1945
火炎の到達時間[hour]	3.747	3.503	2.952

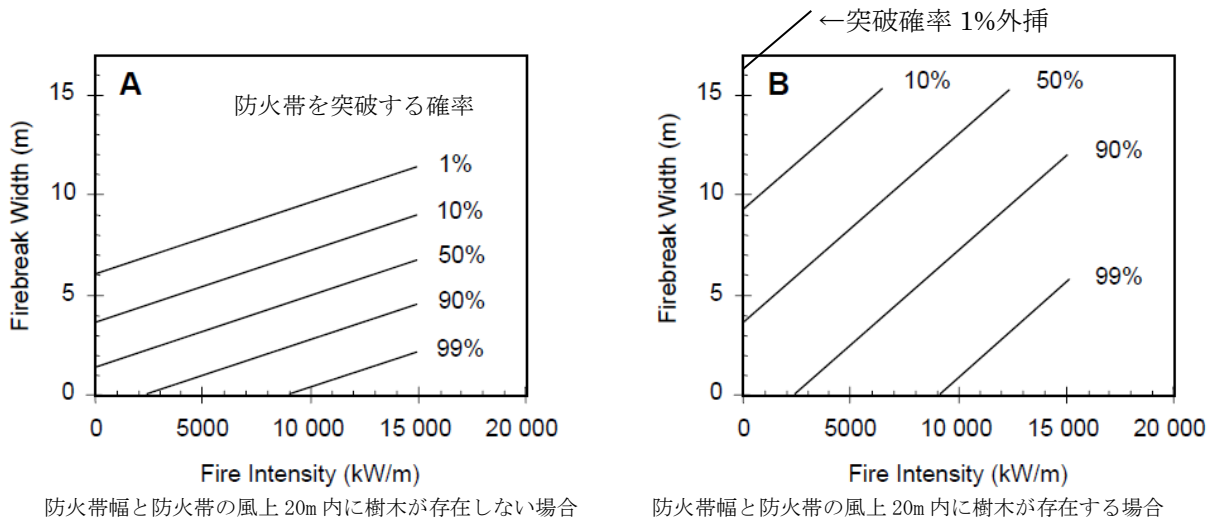
(6) 防火帯幅の算出

火線強度より、発電所に必要な最小防火帯幅を算出した。ここでは「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」（第 2.2-7 図 右図）を用い、火炎の防火帯突破確率 1% の値を発電所に最低限必要な防火帯幅とした。防火帯外縁より 100m の範囲における最大火線強度は第 2.2-2 表の通りとなり、最も火線強度が高かったケース 2 の結果から防火帯幅を決定する。最小防火帯幅の算出結果を第 2.2-8 図に示す。

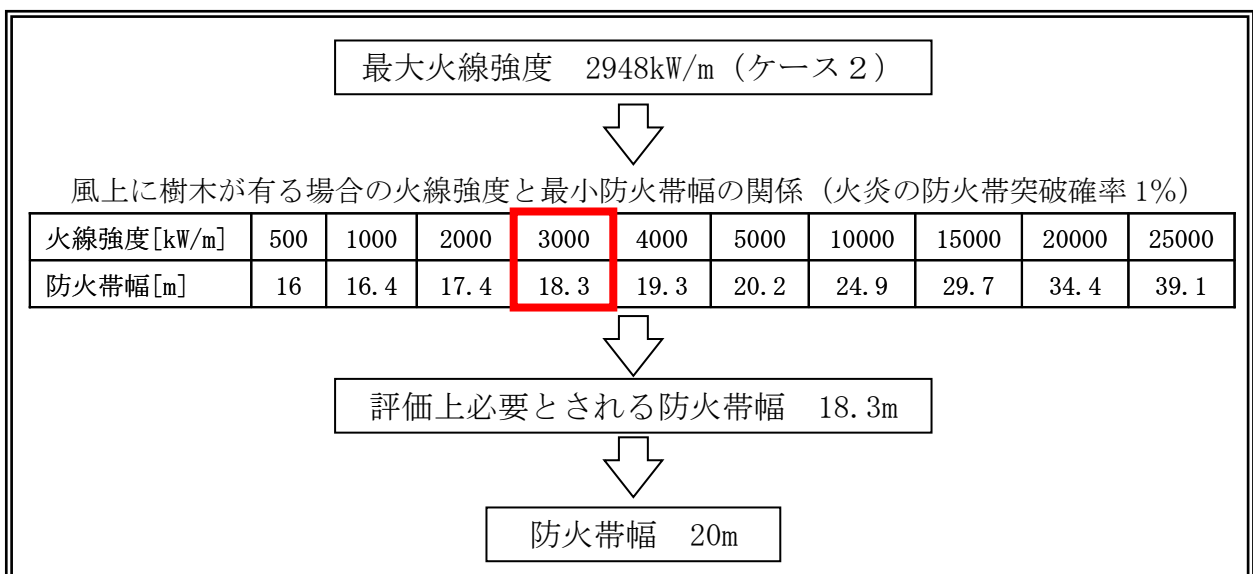
なお、評価では、気温は最高気温で一定、湿度は最小湿度で一定としており、時刻変化による火線強度の増減に寄与するのは日射量となる。そこで、FARSITE 解析における最大火線強度と日照時間の影響を以下の通り確認した。日照の影響は、地形の傾斜方向と太陽の角度が関係しており、火線強度が高くなるのは、10 時～14 時の間と考えられる。表 2.2-3 に示すとおり、最大火線強度到達時刻が 10 時から 14 時の時間に収まっており、火線強度が最大となったケース 2 の火線強度は 2948kW/m であることから、この結果を基に防火帯幅を設定する。

第 2.2-3 表 最大火線強度の日照時間影響の考察

ケース 1	発火日時	5:00	6:00	7:00
	到達日時	12:34	13:03	14:06
	最大火線強度 [kW/m]	2396	2634	2437
ケース 2	発火日時	6:40	7:40	8:50
	到達日時	11:09	12:04	13:24
	最大火線強度 [kW/m]	2711	2948	2803
ケース 3	発火日時	21:00	22:00	23:00
	到達日時	10:54	11:36	12:24
	最大火線強度 [kW/m]	1702	1945	1924



第 2.2-7 図 火線強度に対する防火帯の相関図



第 2.2-8 図 防火帯幅の設定

2.3. 評価結果

森林火災影響評価においては、以下に示す到達時間及び防火帯幅の条件を満足していることを確認した。

(1) 火災の到達時間の評価結果

【到達時間】

FARSITEの解析により、森林火災を想定した場合、火災が防火帯に到達する時間は、発電所敷地境界付近からの出火（ケース3）を想定しても3時間程度である。

防火帯により森林火災が原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが、森林火災の状況に応じて防火帯付近へ予防散水を行う。また、外部からの情報により森林火災を認識し、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合には、発電所構内への延焼を抑制するために敷地境界近傍への予防散水を行う。

【予防散水に関わる評価】

敷地境界域から防火帯までの火災到達時間が3時間程度であるのに対して、防火帯付近への予防散水は、敷地境界域での火災発見から約50分で開始可能である。

・火災の発見

発電所敷地境界域については、警備員が定期的にパトロールを行っていること、敷地境界監視用カメラにより24時間常時監視（監視場所は防火帯より内側の監視施設）を行っていることにより、同境界域での火災や火災原因となり得る異常を発見することが可能である。

・予防散水

発電所の自衛消防隊は、発電所敷地内に24時間常駐していることから、敷地内に待機している消防車による予防散水が可能である。

a. 予防散水の実施体制

柏崎刈羽原子力発電所においては、発電所構内の火災に対し、消防活動を行うために自衛消防隊を組織している。自衛消防隊の体制については第2.3-1表に示す。

予防散水は、この自衛消防隊により対応する。

第 2.3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所における自衛消防隊の体制 ※ 1

構成	メンバー	役割
消防隊長(1)	防災安全GM(不在時は防災安全担当または運転管理担当)	①現場指揮本部の責任者 ②公設消防の窓口
消防隊長代務(1)	・当直副長または当直主任(発電関連設備) ・平日, 休祭日夜間当番者(その他の区域)	消防隊長到着までの現場責任者
初期消火班(15)	該当号炉担当の当直長(1)	①公設消防への通報(発電関連設備) ②当直副長以下当直員への消火指示 等
	該当号炉担当の当直員(3)	①屋内・屋外での消火活動(発電関連設備) ②初期消火時点の現場責任者(当直副長) ③火災発生現場(建屋内)への公設消防誘導・説明
	警備員(2) ※ 2	①屋内・屋外での消火活動(その他の区域) ②火災発生現場(構内全域)への公設消防誘導・説明
	放射線測定要員・放射線測定当番(2)	公設消防への線量報告
	消防車隊(7)	警備員(1) 消防車隊(6)
消火班(31)	副班長	①消火班員への活動指示 ②消防隊長への報告
	消火係	消火活動(消火器・屋外消火栓等の使用)
	現場整理・資機材搬送係	①現場交通整理(公設消防車両の誘導) ②火災現場保存(関係者以外の立入規制含む) ③消火活動資機材の運搬(現場指揮本部機材含む)
	情報係	①発電所本部への情報連絡 ②火災現場での情報収集・記録
	救護係	①負傷者の救護 ②医療班到着までの介護

※ 1 : 括弧内は人数

※ 2 : 初期消火班警備員(2)は, 発電所周辺警備を行うために正門警備所(防火帯外側)に常駐しているが, 森林火災発生時には, 公設消防を火災現場に誘導する。なお, 火災の影響がおよぶ場合には安全な場所へ待避する。

b. 予防散水計画

防火帯により森林火災が原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが、森林火災の状況に応じて防火帯付近へ予防散水を行う。また、外部からの情報により森林火災を認識し、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合には、発電所構内への延焼を抑制するために敷地境界近傍への予防散水を行う。

(a) 予防散水に期待する効果

防火帯は、防火帯突破確率 1 % となる防火帯幅 18.3m に対し、20m の防火帯を設定している。

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

(b) 防火帯付近への予防散水計画

- ・活動用水は、構内屋外消火栓を使用する。
- ・使用資機材は消防車 1 台。対応要員数は 10 名。
- ・防火帯付近散水エリアと消火栓位置を第 2.3-1 図に示す。また、各散水エリアに使用する消火栓を第 2.3-2 表に示す。

第 2.3-2 表 防火帯付近散水エリアと使用水源

散水 エリア	使用消火栓 (上段：主，下段：補助)	ホース展開距離 (水平距離)	高低差 (消火栓～散水箇所)
A	5号炉屋外消火栓 FH0-8	～770m	14.9m
	5号炉屋外消火栓 FH0-10		(12.3～27.2)
B	発電所構内屋外消火栓⑧	～220m	-10.8m
	発電所構内屋外消火栓⑦		(27.4.～16.6)
C	発電所構内屋外消火栓⑥	～660m	12.3m
	発電所構内屋外消火栓⑪		(42.9～55.2)
D	発電所構内屋外消火栓⑪	～670m	10.9m
	発電所構内屋外消火栓⑥		(44.3～55.2)
E	発電所構内屋外消火栓⑨	～340m	5.4m
	発電所構内屋外消火栓⑤		(39.5～44.9)
F	発電所構内屋外消火栓③，⑤	～290m	3.3m
	発電所構内屋外消火栓②，⑥		(30.4～33.7)
G	発電所構内屋外消火栓②	～400m	9.0m
	発電所構内屋外消火栓①，③，④		(13.1～22.1)
H	発電所構内屋外消火栓②	～720m	-3.9m
	1号炉屋外消火栓 FH0-9， 発電所構内屋外消火栓③		(13.1.～9.2)
I	1号炉屋外消火栓 FH0-9	～720m	4.0m
	発電所構内屋外消火栓②		(5.2～9.2)

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません

添付 2-40

第 2.3-1 図 防火帯付近散水エリアと消火栓位置

(c) 対応手順と所要時間

対応手順と所要時間を第 2.3-3 表に示す。また、「(d)訓練実績 (1)森林火災を想定した予防散水訓練実績 (防火帯付近)」において、検証した所要時間 (実績) を下段に示す。

第 2.3-3 表 防火帯付近への予防散水手順と所要時間

手順	内容	所要時間							
		0	10	20	30	40	50	60	70
火災発生	(敷地境界まで発見が遅れることを想定)								
火災発見 ～散水指示	警備員が発見し, 消防隊長 (休日・夜間の場合は消防隊長代務) へ連絡								
	消防隊長は, 風向き等から火災進行方向を評価し, 散水場所を消防車隊へ指示								
出動準備	出動準備～現場到着								
放水準備	水利確保, ホース施設								
	送水								
放水開始	放水開始								

※ 散水エリア A における散水実績

(d) 発電所敷地境界への予防散水

発電所周辺の 5 方向を代表ポイントとし, 第 2.3-4 表のとおり発電所敷地境界への予防散水計画を定めた。

- 代表ポイントは, 森林火災影響評価において卓越方向と評価した南南東とホース展開に最も時間を要すると考えられる刈羽トンネル方向※を含めることとし, この 2 方向の中間方向となる 3 方向を加え, 発電所外周をほぼ等間隔に分割できる 5 ポイントとした。

※: 刈羽トンネルポイントは, 消火栓からのホース展開距離が最も長く (1500

m)、放水位置の高低差も最も大きい(46.4m)ことから、予防散水の実施条件が最も厳しい。

- ・ 活動用水は構内屋外消火栓とし、代表ポイントまでホースを展開する。ホース展開距離、消火栓から散水ポイントまでの高低差を考慮し、中継用の消防車を配置する。(第2.3-3図)

第2.3-4表 敷地境界への予防散水計画

火災到達ポイント	①北側ポイント	②刈羽トンネルポイント	③正門ポイント	④南南東ポイント	⑤南側ポイント
消火栓位置	大湊側軽油タンク消火栓	第2企業センター北側消火栓	第2企業センター南側消火栓	青山南通りグラウンド付近消火栓	青山南通り事務本館付近消火栓
ホース展開距離(水平距離)	1,230m	1,500m	525m	900m	675m
高低差(消火栓～散水箇所)	16.5m (12.1～28.6)	46.4m (44.3～90.7)	14.5m (44.3～58.8)	21.8m (30.7～52.5)	24.3m (13.2～37.5)
消防車台数	2台	3台	2台	2台	2台
対応人数(含む指揮者)	指揮者:1名 ホース展開:4名 散水筒先:2名 燃料補給:2名 ホース監視:2名 合計 11名	指揮者:1名 ホース展開:6名 散水筒先:2名 燃料補給:2名 ホース監視:2名 合計 13名	指揮者:1名 ホース展開:4名 散水筒先:2名 燃料補給:2名 ホース監視:2名 合計 11名	指揮者:1名 ホース展開:4名 散水筒先:2名 燃料補給:2名 ホース監視:2名 合計 11名	指揮者:1名 ホース展開:4名 散水筒先:2名 燃料補給:2名 ホース監視:2名 合計 11名
予想準備時間	1.5時間	2.0時間	1.0時間	1.5時間	1.5時間

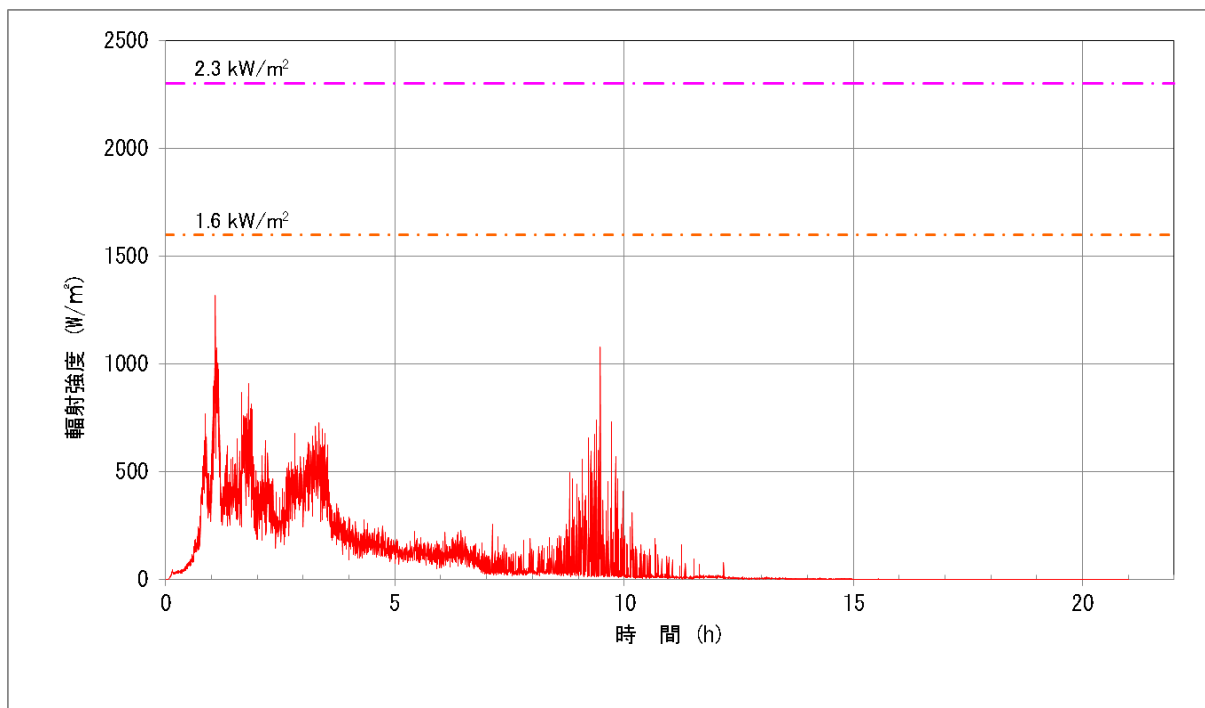
(e) 予防散水時のアクセスルート

森林火災が発生し発電所構内へ延焼する恐れがある場合には、構内道路の一部を防火帯として機能させる。その際には、防火帯内の車両通行を規制し、防火帯内から車両がない状態を確立する。(予防散水活動を行う消防車両を除く)

なお、中央交差点ではアクセスルートが防火帯に近接していることから、「3.3. 建屋外壁の温度評価」と同様の方法にて、最大火線強度が最も高い評価となった森林火災(ケース2)における輻射強度を算出したところ、当該箇所における森林火災時の放射熱強度は最大でも 1.3kw/m^2 ※程度であり、車両等の通行に影響を及ぼすことはないことを確認している。(第2.3-2図)

よって、車両通行を規制した場合においても、各防護対象設備へのアクセスルートの確保が可能である。(第2.3-3図)

※:石油コンビナート等防災アセスメント指針では、人が長時間さらされても苦痛を感じない放射熱強度を 1.6kw/m^2 としている。



第 2.3-2 図 中央交差点における輻射強度の時間変化

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません

添付 2-44

第 2.3-3 図 敷地境界への予防散水

(f) 予防散水の検証結果

(1) 森林火災を想定した予防散水（防火帯付近）

実施日：平成26年9月5日（金） 13時50分～15時00分

想定火災到達地点：散水エリアA

内容：散水エリアのうち、最もホース展開距離が長く、また消火栓と放水地点の高低差が大きい散水エリアA地点へのホース展開、散水を行う

評価：

- ・ 消防車1台連結による散水と連結無しの散水を実施。いずれも散水可能であった。
- ・ 消防車出動から散水開始までの所要時間は約30分であった。
- ・ 防火帯散水エリアのうち、最も予防散水の実施条件が厳しいエリアAで散水が可能であることから、全ての防火帯散水エリアに対し、所定の時間内で散水が可能であると評価する。



写真1 散水エリアA



写真2 ホース展開状況



写真3 散水エリアAにおける散水状況

(2) 森林火災を想定した予防散水（敷地周辺）

実施日：平成25年10月31日（木） 9時30分～13時30分

想定火災到達地点：刈羽トンネルポイント

訓練内容：ホース展開，消防車連結，散水を行う

評価：

- ・ 消防車3台連結により実施し，散水可能であった。
- ・ 準備開始から散水開始までの所用時間は約2時間であった。
※:所要時間は，消火栓やホースの接続位置，操作手順，送水圧力等を確認しながらの時間
- ・ 最も予防散水の実施条件が厳しい刈羽トンネルポイントで散水可能であることから，発電所敷地境界全域に対して散水が可能であると評価する。



写真4 消火栓接続



写真5 送水状況



写真6 刈羽トンネルポイントにおける散水状況



写真7 参考：ホース延長器（20m×4本）

(3) 自衛消防隊の力量維持のための訓練

自衛消防隊は、消火対応の力量を維持するために、第 2.3-5 表に示す訓練を計画的に実施する。

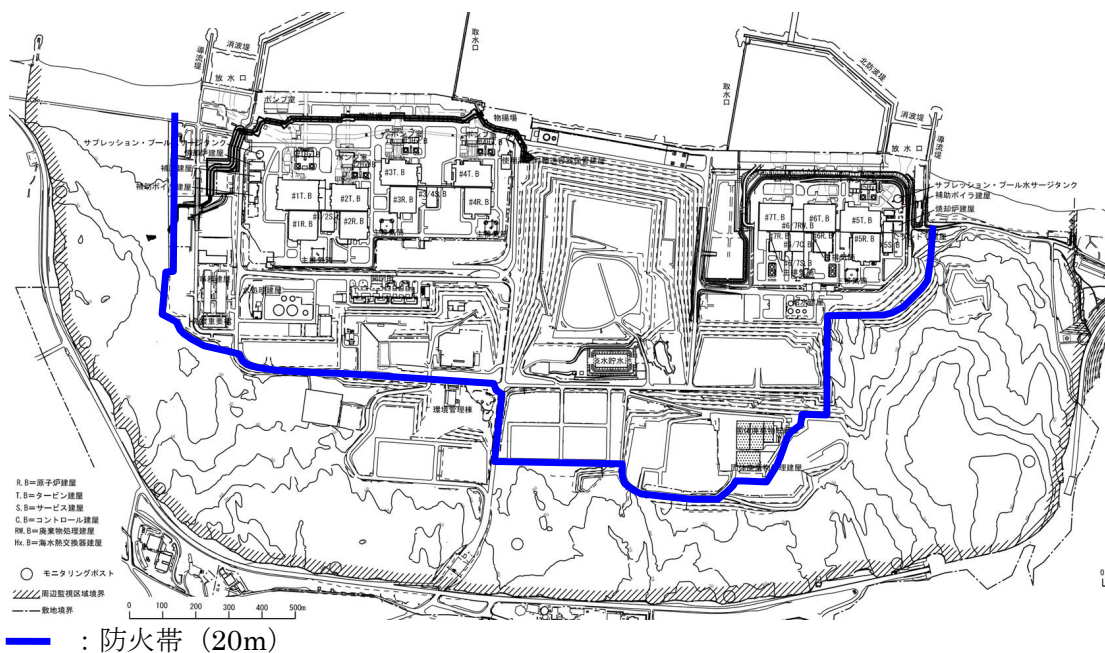
第 2.3-5 表 力量維持のための訓練実績

項目	頻度	対象者	訓練内容
消火訓練・消防資機材 取扱い訓練	6 ～ 10 回 ／月	初期消火班(委託員)	消防車操作, ホース展開, 放水に係わる技能訓練, および防火服・耐火服・空気呼吸器の取扱訓練
海上災害防止センター 消防訓練	2 回／年	初期消火班, 消火班	外部施設(横須賀)による実火消防訓練
総合消防訓練	1 回／年	自衛消防隊	管理区域内火災を想定した消防署との合同消防訓練
初期対応訓練 (通報連絡訓練)	1 回／年 (当直全班)	初期消火班当直員, 警備員	火災発見, 通報, 現場確認, 消火活動の実動訓練(初期消火班連係訓練と連動して実施)
初期消火班連係訓練	1 回／年 (当直全班)	初期消火班当直員, 警備, 初期消火班消防車隊(委託員)	火災発見から消防車隊出動, 消火活動までの当直と消防車隊の連携訓練
火災対応訓練 (当直員)	1 回／年 (当直全班)	初期消火班当直員	消防用設備取扱訓練, 消防車操作訓練, 消防署員誘導, 人災対応等に関する初動対応教育
自衛消防隊(消火班) 訓練・教育	1 回／年	消火班	消火設備使用訓練(消防署による指導会含む), 消防用資機材取扱教育訓練(現場指揮本部設営含む)

(2) 防火帯幅の評価結果

第 2.2-2 表の評価結果から、評価上必要とされる防火帯幅約 18.3m に対し、20m 幅の防火帯を設置する(第 2.3-3 図)。

- a. 森林火災の延焼を防止するために、防火帯を設置する。
- b. 防火帯は、クラス 1, 2, 3 設備および重大事故等対処設備を原則防護するように設定する(防火帯の外側となる設備は、送電線, 通信線, 気象観測装置および放射能監視設備)。
- c. 防火帯は、発電所設備及び駐車場の配置状況を考慮し、干渉しないように設定する。
- d. 防火帯の設定にあたっては、草木を伐採する等, 可燃物を排除する。その後, 除草剤の散布やモルタル吹付け等を行い, 草木の育成を抑制し, 可燃物が無い状態を維持する。また, 防火帯の管理(定期的な点検等)の方法を火災防護計画に定める。



第 2.3-4 図 防火帯設置位置

(3) 外部火災時のモニタリングポストおよび気象観測装置の対応について

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

モニタリングポストについては、発電所の周辺監視区域付近における空間線量率の監視を行うために発電所敷地境界付近(防火帯の外側)に9箇所設置している。また、気象観測装置については、風向、風速等を測定、記録するため構内林内(防火帯の外側)に設置している。

測定器は屋外に設置されており、外部火災による影響を確実に防止できるものとは考えないが、可能な限り影響の軽減を図ることから、外部からの情報により森林火災を認識し、発電所敷地境界へ到達するまでに時間的な余裕がある場合には、敷地境界近傍への予防散水を行う。

なお、森林火災の進展によりモニタリングポストおよび気象観測装置の機能が喪失した場合は、防火帯の内側に保管している可搬型モニタリングポスト(バッテリー駆動可能: 9台)および可搬型気象観測装置(バッテリー駆動可能: 1台)により代替測定を実施する(第 2.3-5 図, 第 2.3-6 図)。

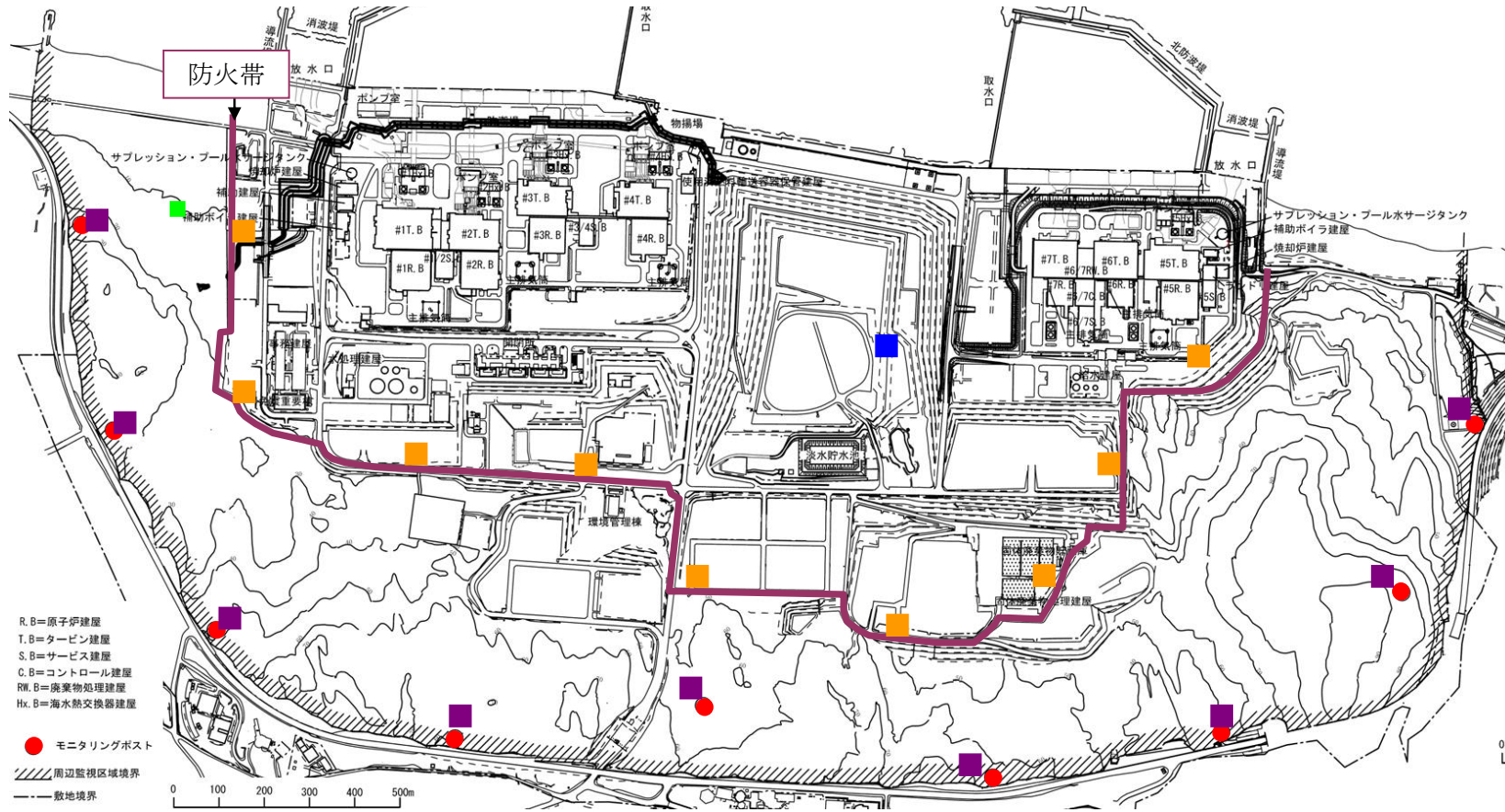
可搬型モニタリングポストがモニタリングポスト周辺に設置できる場合は、その周辺に設置し、森林火災の延焼によりモニタリングポスト周辺に設置できない場合は、発電所構内の同一方向に設置する。

可搬型気象観測装置が気象観測装置周辺に設置できる場合は、その周辺に設置し、森林火災の延焼により気象観測装置周辺に設置できない場合は、周囲に障害物や照明

が無いエリアに設置する。



第 2.3-5 図 可搬型モニタリングポスト (左), 可搬型気象観測装置 (右)



●	: モニタリングポスト
■	: 可搬型モニタリングポスト (モニタリングポスト周辺に設置)
■	: 可搬型モニタリングポスト (モニタリングポスト周辺にアクセスできない場合の設置例)
■	: 気象観測装置
■	: 可搬型気象観測装置 (設置例)

※現場の状況により配置位置の変更有り

第 2.3-6 図 可搬型モニタリングポスト設置位置

3. 危険距離および温度評価

3.1. 森林火災の想定

前述の 2.1. 森林火災の想定と同じ。

3.2. 森林火災による影響の有無の評価

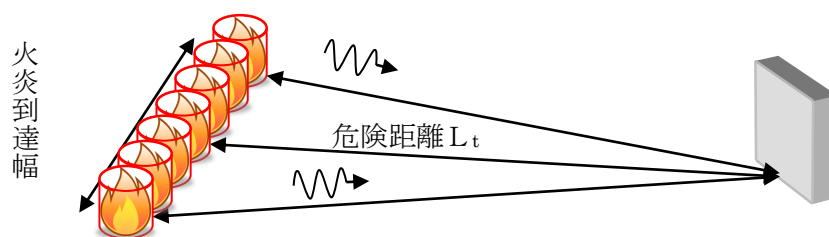
(1) 評価手法の概要

本評価は、輻射強度という指標を用いて、原子炉施設に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

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
火炎到達幅[m]	発電所に到達する火炎の横幅
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	森林火災の火炎長より算出する値
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。森林火災の火炎形態については、土地の利用状況（森林，農地，居住地等の分布），地形（標高，傾斜角度等），気象条件（風向・風速，気温，湿度等）に大きく依存することから，これらをすべて反映した火炎モデル仮定することは難しい。したがって，森林火災の火炎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。なお，危険距離の評価では，原子炉施設への火炎到達幅の分だけ円筒火災モデルが横一列に並ぶものとする（第3.2-1図）。

各円筒火災モデルからの輻射熱



第3.2-1図 円筒火災モデルの並べ方

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所に迫る森林火災とした。

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

評価項目	ケース1	ケース2	ケース3
火炎輻射発散度[kW/m ²]	93.42	99.08	79.39
火線強度[kW/m]	2634	2948	1945

火炎長[m]	2.90	3.06	2.52
火炎到達幅[m]	3470		
燃焼継続時間[min] ^{※1}	54	52	58
危険輻射強度[kW/m ²]	15.372	15.441	15.244

※1：防火帯周辺の森林（奥行き100m）が燃える平均時間

(4) 燃焼半径の算出

次の式から燃焼半径を算出する。算出結果を第3.2-1表に示す。

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

R:燃焼半径[m], H:火炎長[m]

(5) 円筒火炎モデル数の算出

次の式から円筒火炎モデル数を算出する。算出結果を第3.2-1表に示す。

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

F:円筒火炎モデル数[-], W:火炎到達幅[m], R:燃焼半径[m]

(6) 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 R_f [kW/m²] を求める。発熱量が保存されることから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] × 輻射に寄与する割合 [-]

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

また、上記(4)(5)の式より、以下の式が求まる。火線強度は2.2.森林火災の影響評価で算出された値を用いた。算出結果を第3.2-1表に示す。

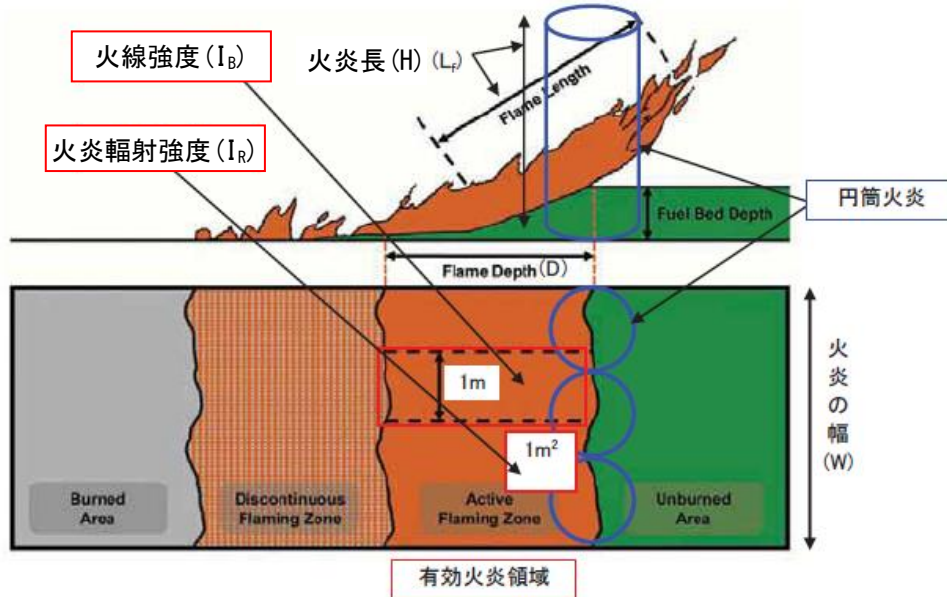
$$R_f = \frac{6\chi I_B}{7\pi H}$$

R_f :火炎輻射発散度[kW/m²], I_B :火炎輻射強度 [kW/m²], H:火炎長 [m]

a. 火炎輻射発散度の算出方法

火線強度 (I_B) [kW/m]は、第 3.2-2 図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、火炎輻射強度 (I_R) [kW/m²]とは次の関係にある。

$$I_B = I_R \times D \quad (1)$$



(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.)

第 3.2-2 図 火線強度および円筒火炎モデルの考え方

火炎輻射発散度を計算するための円筒火炎モデルでは、第 3.2-2 図の有効火炎領域を、火炎の幅 (W) 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に寄与する割合 χ [-] を考慮し、円筒火炎の側面および上面からの輻射熱として放射されることとして、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 R_f [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]

$$= \text{火線強度 [kW/m]} \times \text{火炎到達幅 [m]} \times \text{輻射に寄与する割合 [-] より} \\ (2\pi RH + \pi R^2) \times F \times R_f = I_B \times W \times \chi \quad (= I_R \times D \times W \times \chi) \quad (2)$$

また、評価ガイドより、円筒火炎モデルは

$$R = H/3 \quad (3)$$

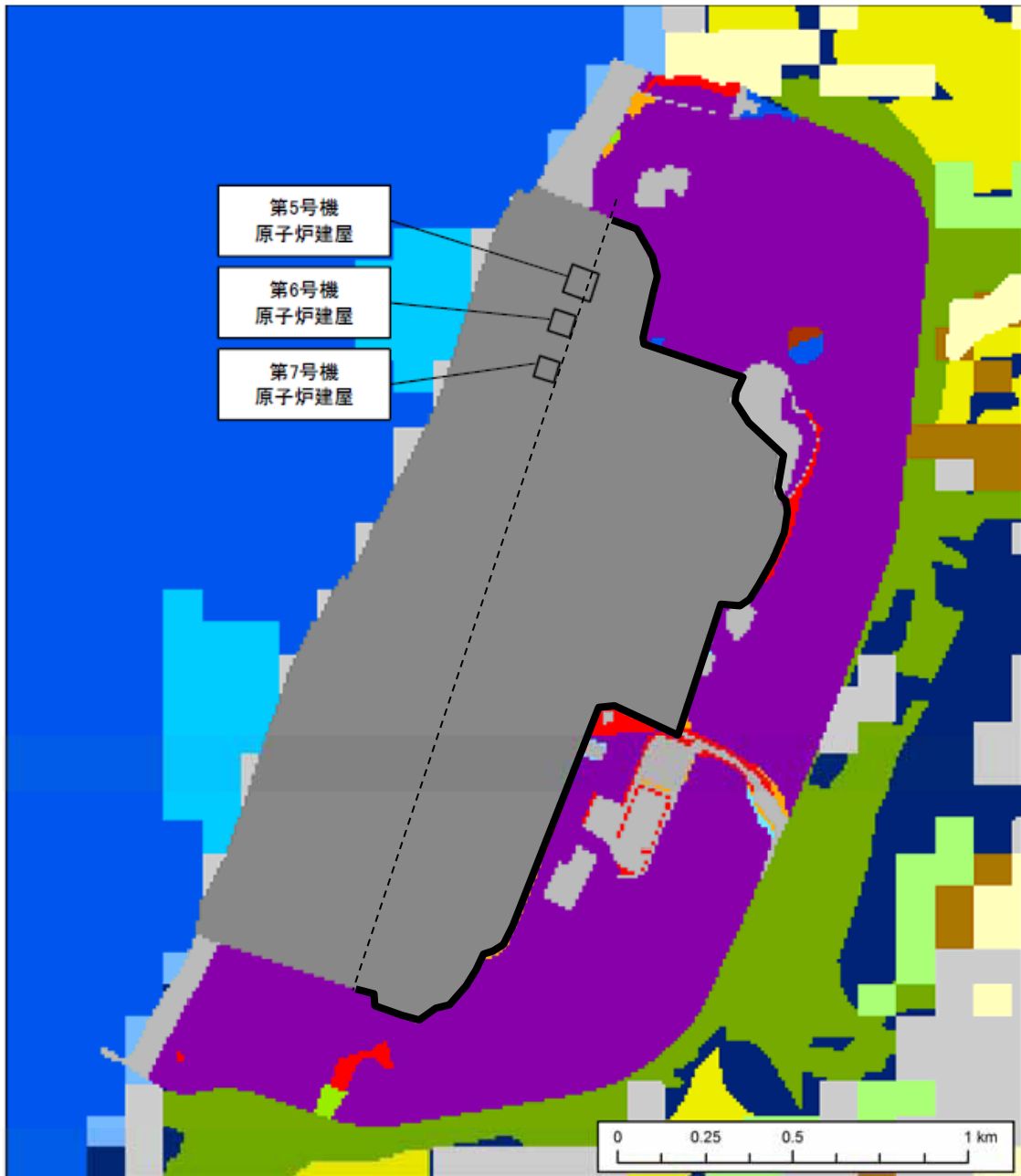
$$F = W/2R \quad (4)$$

と定義されるので、(3), (4) 式を (2) 式に代入することにより、次式が得られる。

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

(7) 火炎到達幅の算出

火炎到達幅を第 3.2-3 図の黒線で示す。6, 7 号東面から見える林縁（防火帯森林側）の長さを火炎到達幅とする。



第 3.2-3 図 火炎到達幅

(8) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、林縁周辺 100m の森林が燃える時間とし、FARSITE 計算結果から次の計算式により算出する。

燃焼継続時間[h] = 林縁の奥行き ÷ 延焼速度

林縁奥行：100[m]

延焼速度：林縁から 100m 以内の延焼速度の平均値

(9) 危険輻射強度の算出

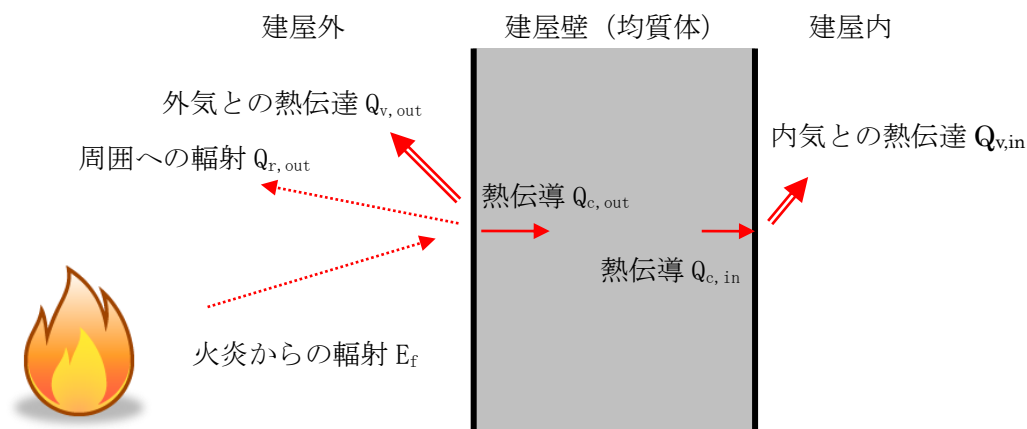
火災の燃焼継続時間の間一定の輻射熱が外壁面に入熱した場合を仮定し、外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し、以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、コンクリートの表面温度が許容限界温度 200℃に達する輻射強度を危険輻射強度として求める（第 3.2-4(a) (b) (c) 図）。

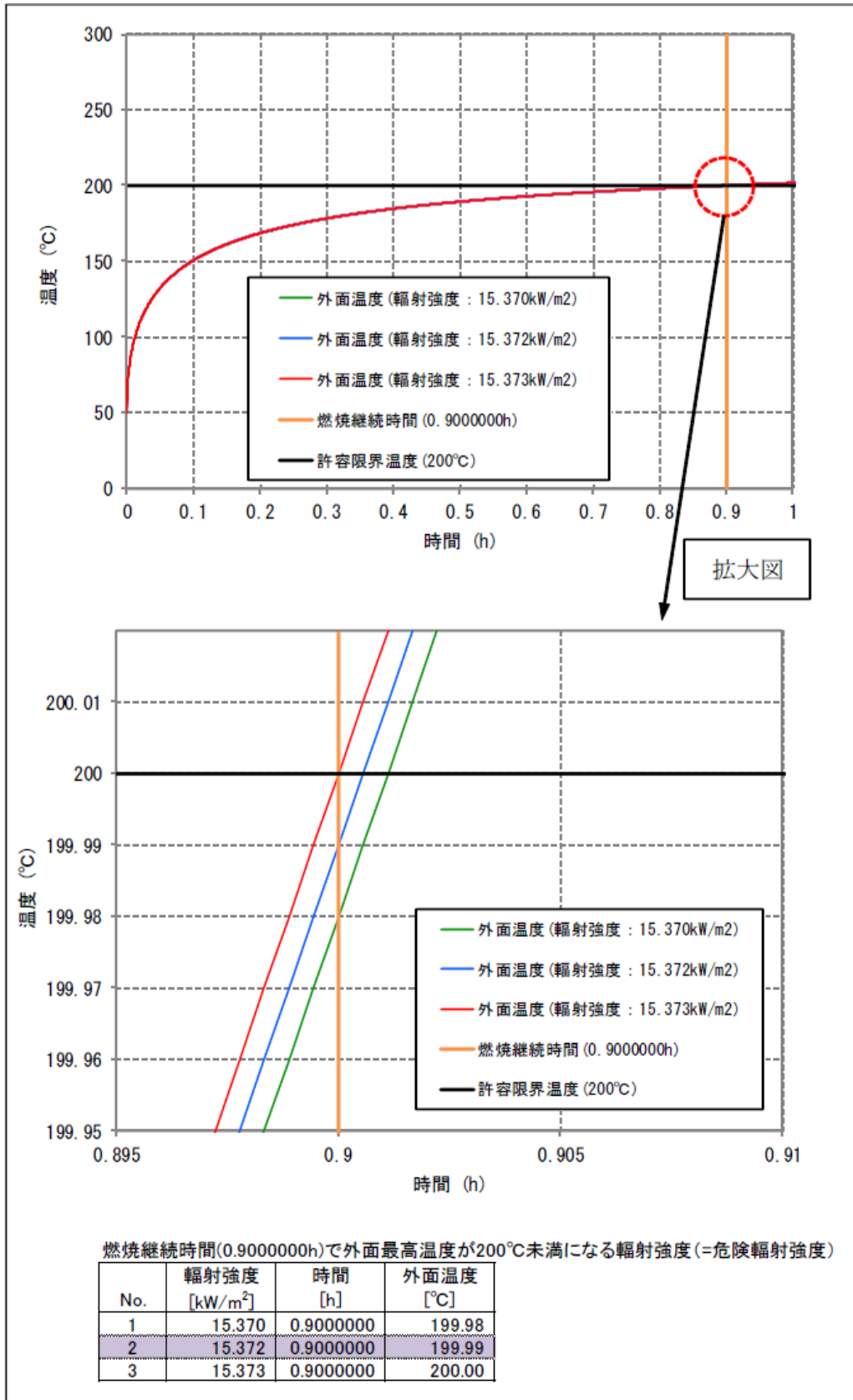
$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度，t：時刻，x：建物壁内における外面からの距離，α：熱拡散率

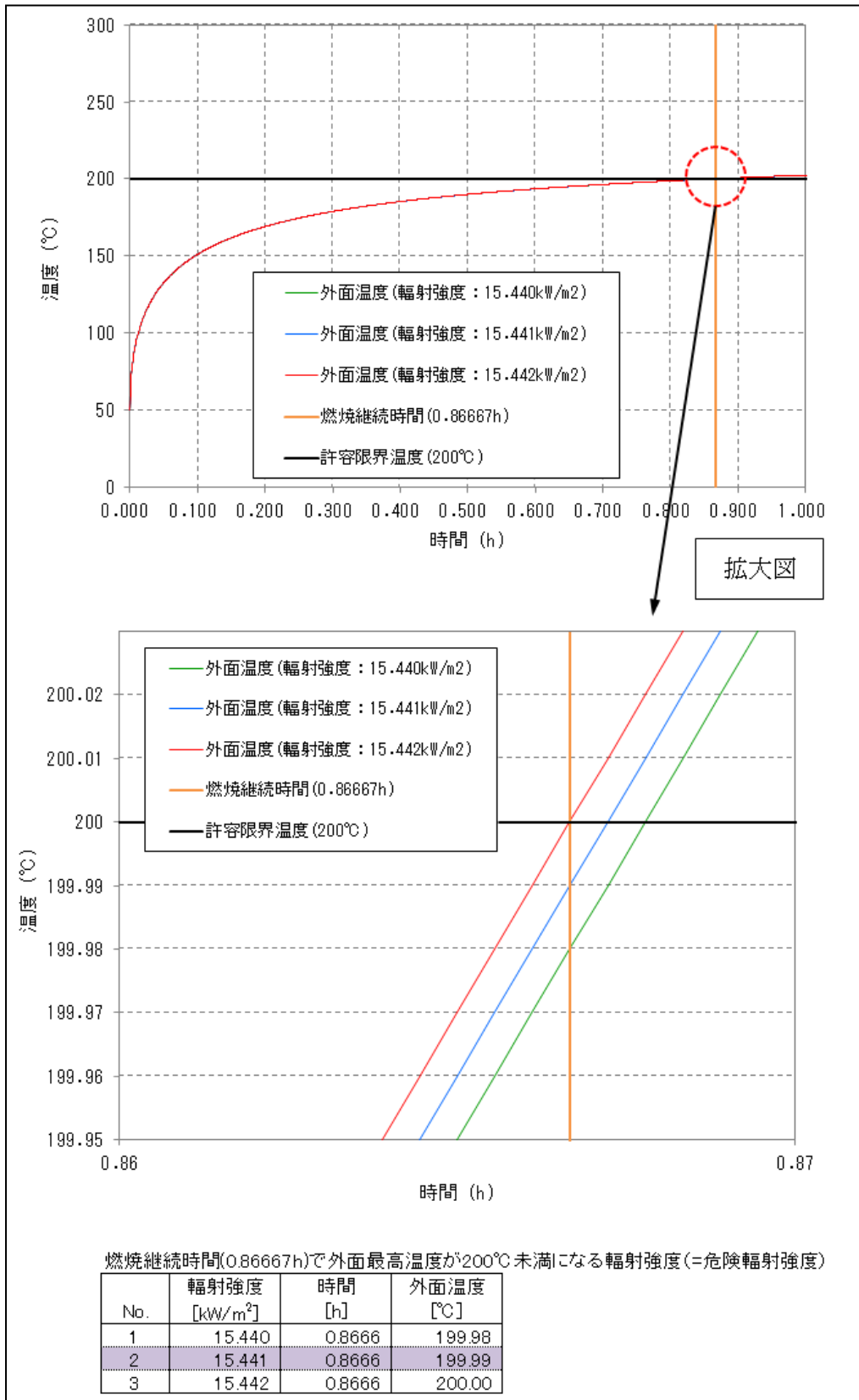
以下に使用したパラメータを示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度	50 °C	日射の影響を考慮し設定
内気温度	45 °C	非常用ディーゼル発電機室最高温度
外面熱伝達率	62.595 W/m ² K	Jurges の式より（風速 16m/s）
内面熱伝達率	3.4883 W/m ² K	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
熱拡散率	8.42 × 10 ⁻⁷ m ² /s	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
壁面の厚さ	1.5 m	建屋外壁厚さの最大値

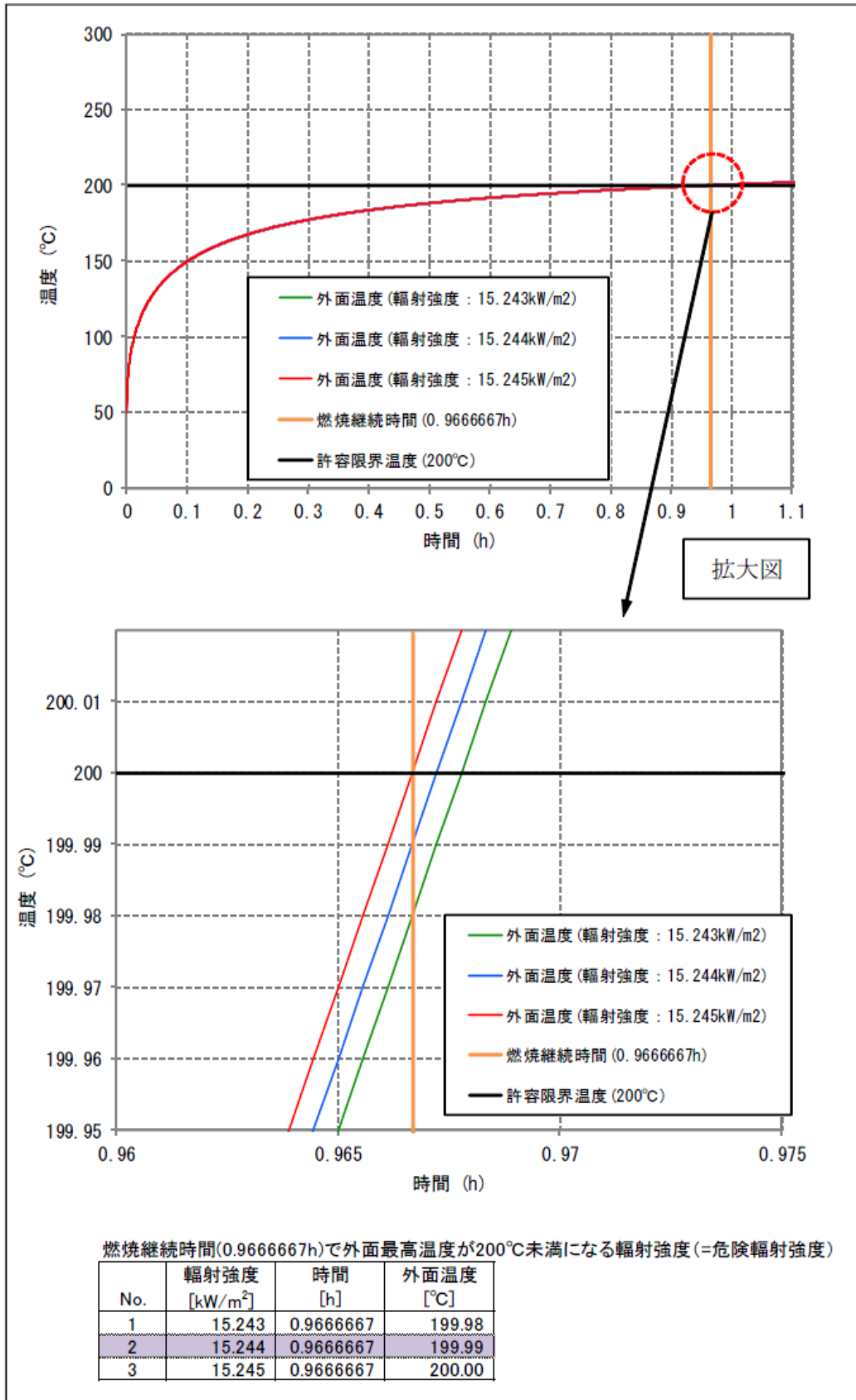




第 3. 2-4(a) 図 危険輻射強度の算出 (ケース 1)



第 3. 2-4 (b) 図 危険輻射強度の算出 (ケース 2)



第 3. 2-4(c) 図 危険輻射強度の算出 (ケース 3)

(10) 形態係数の算出

次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出した。算出結果を第3.2-1表に示す。

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

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

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

したがって、各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が、原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕ_t となる。

$$\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} + \dots)$$

ϕ_t : 各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値

なお、 $i+(i+1)+(i+2)\dots+(i+X)$ の円筒火炎モデル数の合計は F 個となる。

(11) 危険距離の算出

輻射熱に対する原子炉施設の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその危険輻射強度以下になるように原子炉施設は危険距離を確保するものとする。火炎輻射発散度の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、火炎輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。

$$E = Rf \cdot \phi$$

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

$\phi > \phi_t$ となるように危険距離を算出する。算出結果を表 2.3-1 表に示す。

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

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

ϕ_t : 各火炎モデルの形態係数を合計した値, L_t : 危険距離[m], H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m]

(12) 危険距離の評価結果

想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離（約 20m）に対し、発電所に設置される防火帯の外縁（火炎側）から原子炉施設の間の離隔距離（約 202m）が危険距離以上あることを確認した。

表 3.2-1 表 危険距離の評価に伴う評価項目

評価項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
燃焼半径[m]	0.967	1.02	0.84

火炎円筒モデル数[-]	1795	1701	2065
火炎輻射発散度[kW/m ²]	93.42	99.08	79.39
形態係数[-]	0.164	0.155	0.191
燃焼継続時間[min]	54	52	58
危険輻射強度[kW/m ²]	15.372	15.441	15.244
危険距離[m]	17.9	19.9	13.4

3.3. 建屋外壁の温度評価

本評価で用いる許容限界温度は、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

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) 毎に火炎長、単位面積当り発熱量および火炎到達時間が出力されるので、メッシュ毎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第 3.3-1 図に示す。

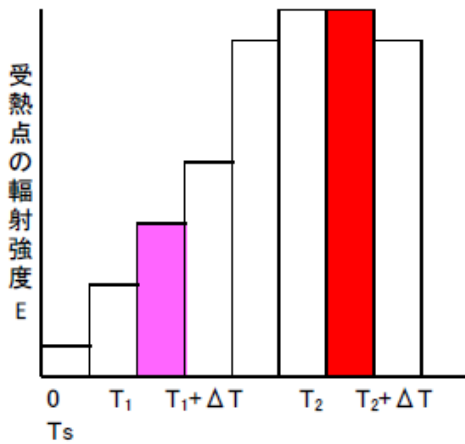
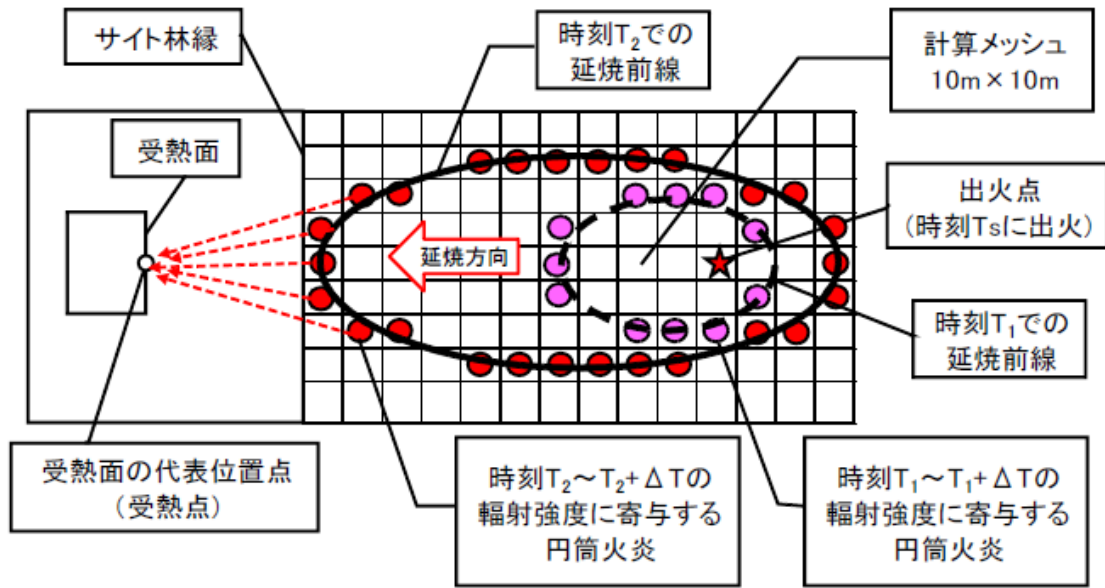
外壁面の温度は、外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて評価を実施する (第 3.3-2 図)。原子炉建屋外壁表面の温度は約 55℃となり、森林火災の熱影響に対して許容温度以下であることを確認した (第 3.3-1 表, 第 3.3-3(a) (b) (c) 図)。

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

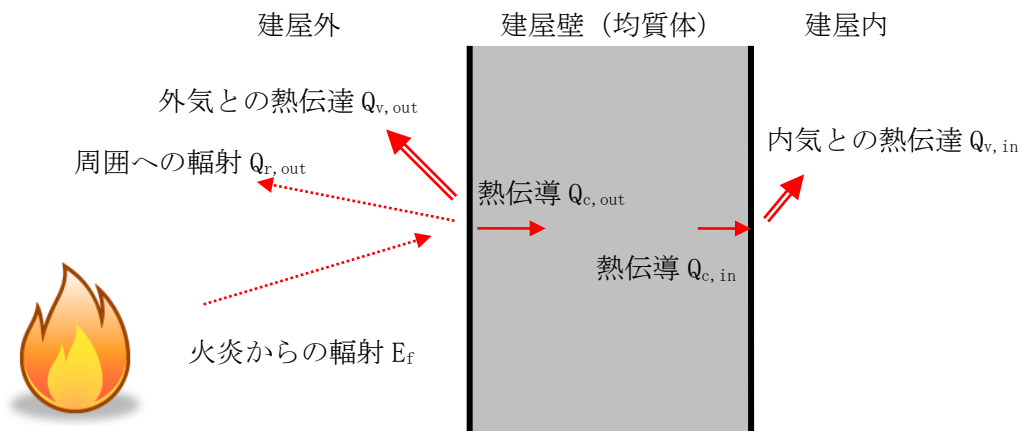
T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外面からの距離, α : 熱拡散率

以下に使用したパラメータを示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度	50 °C	日射の影響を考慮し設定
内気温度	45 °C	非常用ディーゼル発電機室最高温度
外面熱伝達率	62.595 W/m ² K	Jurges の式より (風速 16m/s)
内面熱伝達率	3.4883 W/m ² K	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
熱拡散率	8.42×10 ⁻⁷ m ² /s	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
壁面の厚さ	1.5 m	建屋外壁厚さの最大値



第 3.3-1 図 受熱点の輻射強度の計算モデル概念図

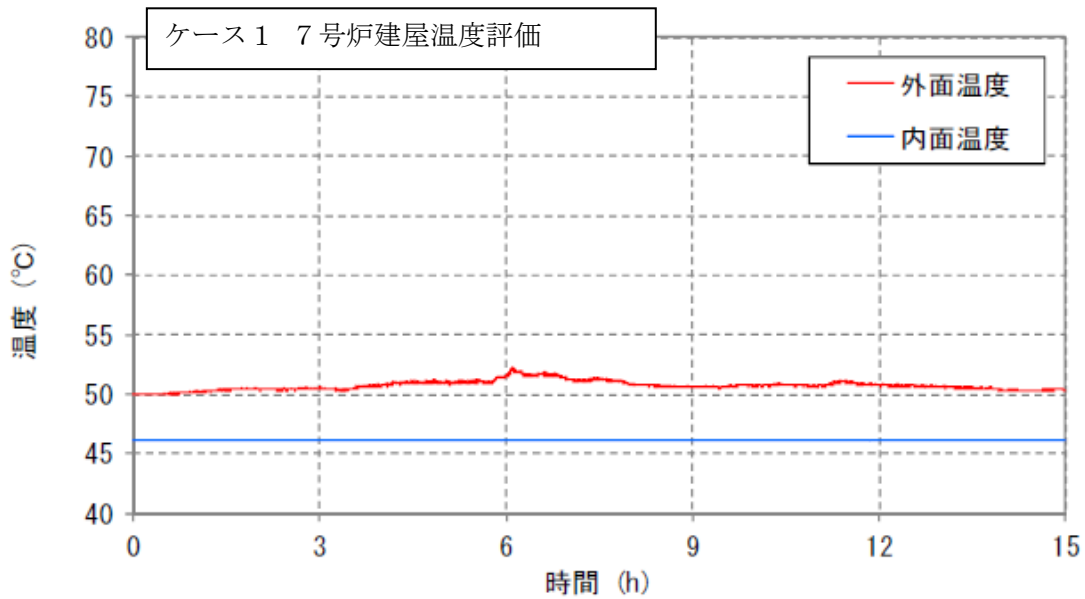
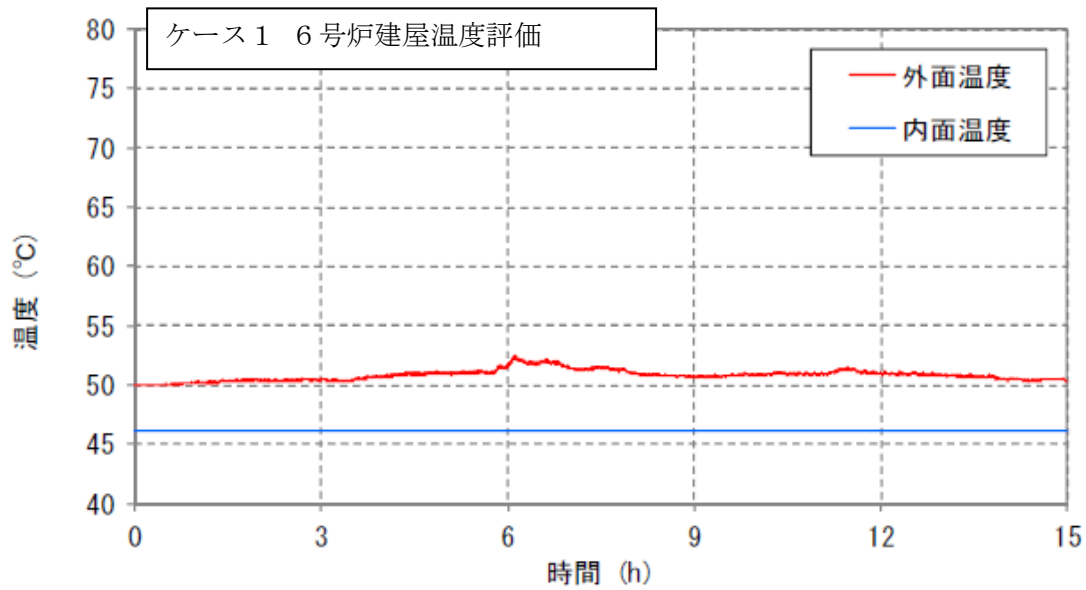


第 3.3-2 図 外壁面温度評価概念図

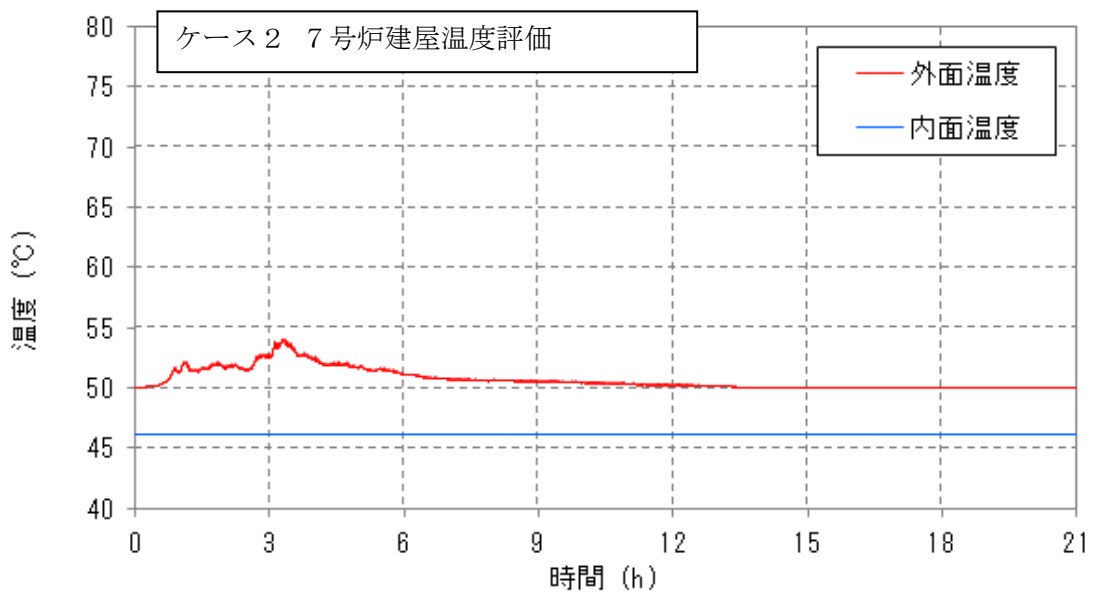
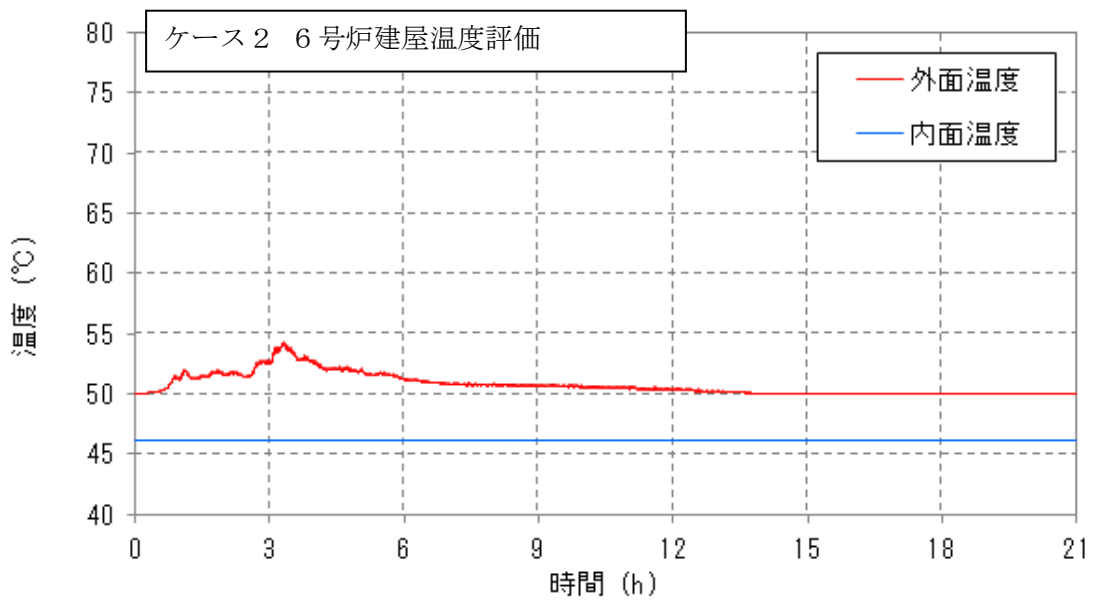
第 3.3-1 表 輻射強度と壁面温度の評価項目

評価項目	ケース 1		ケース 2		ケース 3	
	6 号炉	7 号炉	6 号炉	7 号炉	6 号炉	7 号炉
最大輻射強度[kW/m ²]	0.3716	0.3246	0.6652	0.6210	0.2690	0.2297
最大外壁面温度[°C]	52.6	52.3	54.3	54.1	52.0	51.7
最大内壁面温度[°C]	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2

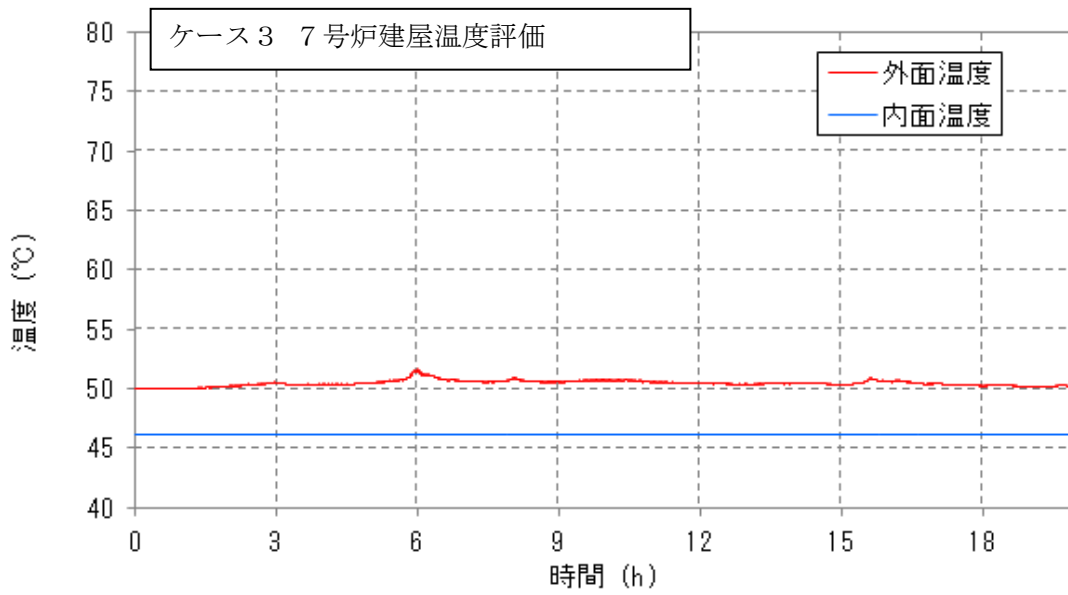
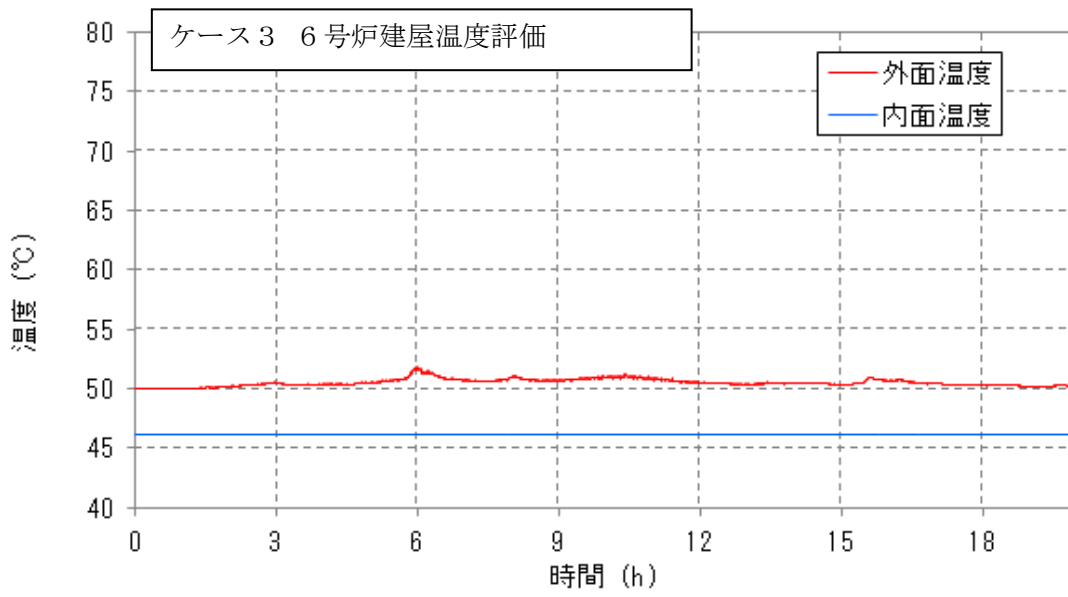
※外壁面の初期温度は 50°C，内壁面の初期温度は 46.2°C とする。



第 3.3-3(a) 図 原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇 (ケース 1)



第 3. 3-3(b) 図 原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇 (ケース 2)



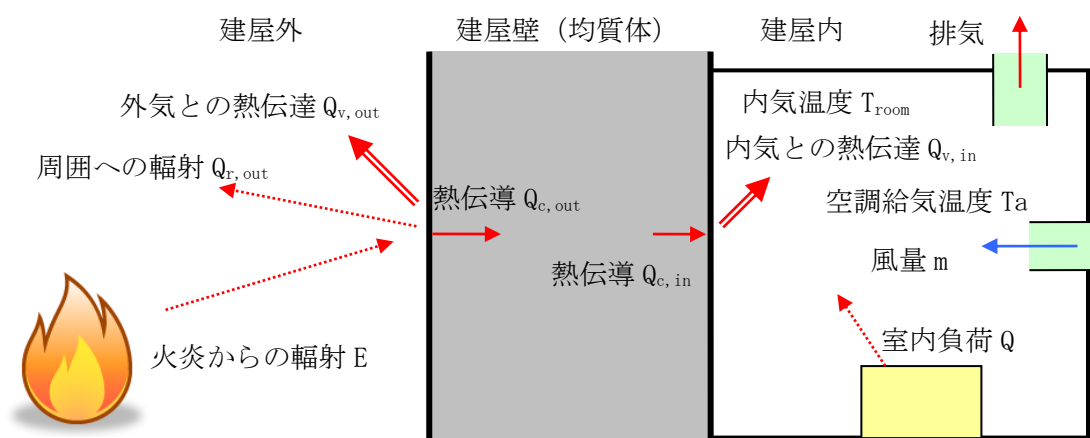
第 3. 3-3(c) 図 原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇 (ケース 3)

3.4. 内気温度評価

森林火災において燃焼が継続している間、一定の輻射強度で原子炉施設が昇温されるものとして、内壁の温度上昇を求め建屋内部に設置されている機器等への影響について評価した。

なお、対象は防火帯に近接している固体廃棄物貯蔵庫および免震重要棟とし、森林火災における最も厳しいケース2の条件で評価した。固体廃棄物処理建屋は免震重要棟と離隔距離が同じであるが、壁厚が緊急時対策所に比べ厚いことから免震重要棟について温度評価を行うこととした。また、免震重要棟の評価エリアは、緊急時対策所とした。

以下に概念図を示す。



第 3.4-1 図 伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを以下に示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度[°C]	50 °C	日射の影響を考慮し設定
外壁面熱伝達率[W/m²K]	62.595	Jurges の式より (風速 16m/s)
内壁面熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの内壁面熱伝達率
壁の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
壁厚[m]	0.58	固体廃棄物貯蔵庫
	0.18	免震重要棟

外壁および内壁面温度

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁および内壁面温度を求める。

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

T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外壁面からの距離, α : 熱拡散率

外壁および内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

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

h_{in} : 内壁面熱伝達率, A : 内壁の表面積, T_{in} : 内壁面温度, T_{room} : 内気温度

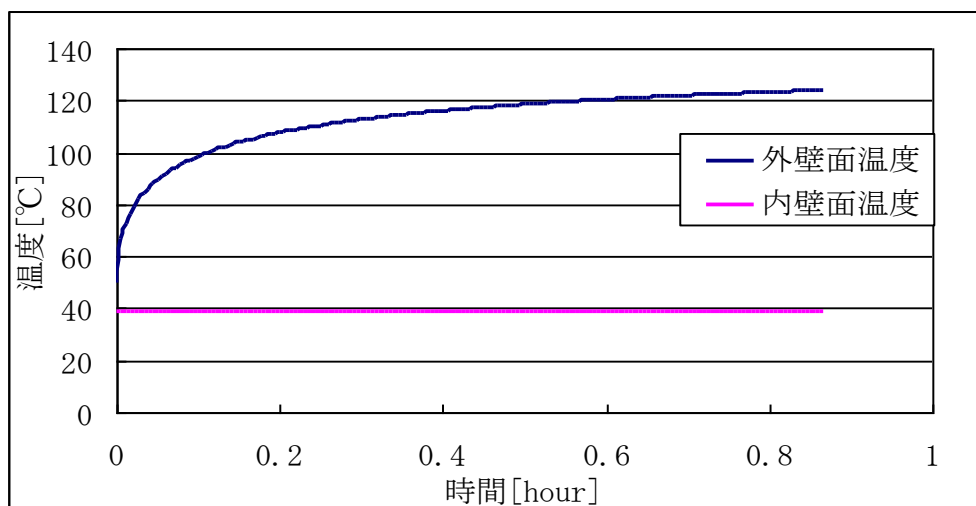
内気温度は, 森林火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷および空調による除熱を考慮し, 次式で求める。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{v,in}}{m \rho C} + T_a$$

Q : 室内負荷, m : 風量, ρ : 空気密度, C : 空気比熱, T_a : 空調給気温度

a. 固体廃棄物貯蔵庫

森林火災における固体廃棄物貯蔵庫の評価結果を以下に示す。



第 3.4-2 図 外壁および内壁面温度 (固体廃棄物貯蔵庫)

固体廃棄物貯蔵庫評価	
項目	森林火災 (ケース 2)
輻射強度 [W/m ²]	7363.29 ^{*1}
燃焼継続時間 [min] ^{*2}	52 (3120[s])
外壁面温度 [°C]	124
内壁面温度 [°C]	38.7
内気温度 [°C]	34.9
許容温度 [°C]	80 ^{*3}

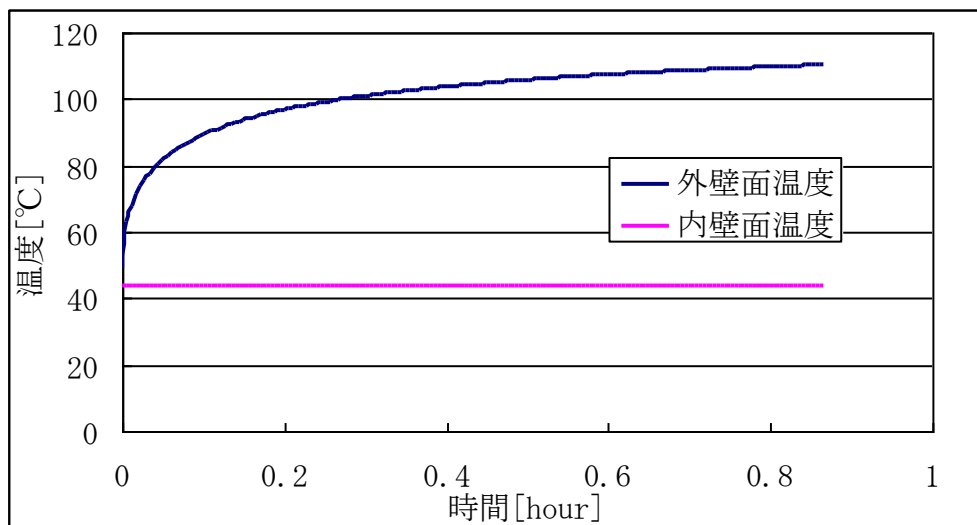
※1 : 離隔距離を 41m, その他の数値はケース 2 と同様とし, 3.2. (10) および (11) の式より輻射強度を算出

- ※2：防火帯周辺の森林（奥行き 100m）が燃える平均時間
- ※3：ドラム缶のパッキンの耐熱限界温度

評価の結果、固体廃棄物貯蔵庫の内気温度がドラム缶のパッキンの耐熱限界温度を下回ることを確認した。

b. 免震重要棟

森林火災における免震重要棟の評価結果を以下に示す。



第 3.4-3 図 外壁および内壁面温度（免震重要棟）

免震重要棟評価	
項目	森林火災（ケース 2）
輻射強度 [W/m ²]	6007.70 ^{※1}
燃焼継続時間 [min] ^{※2}	52 (3120[s])
外壁面温度 [°C]	110
内壁面温度 [°C]	43.9
内気温度 [°C]	31.0
許容温度 [°C]	35

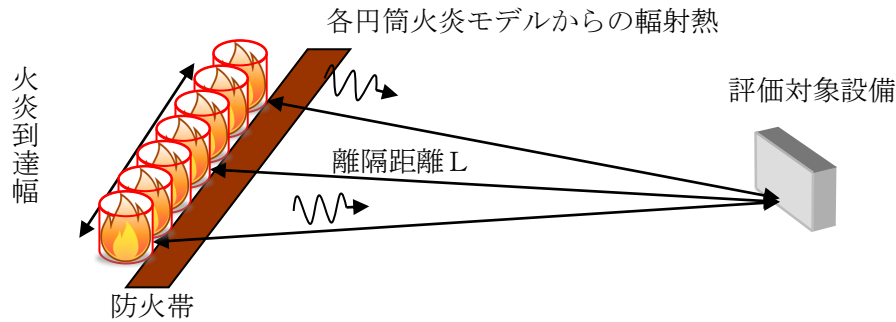
※1：離隔距離を 50m，その他の数値はケース 2 と同様とし，3.2.（10）および（11）の式より輻射強度を算出

※2：防火帯周辺の森林（奥行き 100m）が燃える平均時間

評価の結果、免震重要棟の内気温度が許容温度を下回ることを確認した。

3.5. 屋外施設の影響評価

森林火災の火炎は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。また、火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする（第3.5-1図）。



第3.5-1図 円筒火炎モデルの並べ方

評価に必要なデータは以下の通り

	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
火炎輻射発散度 [kW/m ²]	99.08		
火炎長 [m]	3.06		
火炎到達幅 [m]	3470		
燃焼継続時間 [min]	52		
離隔距離 [m]	135	233	246
初期温度 [°C] ※1	38	50	50
許容限界温度 [°C]	225 ※2	100 ※3	325 ※4
受熱面輻射強度 [kW/m ²]	2.14	1.19	1.12

※1：柏崎市の過去最高気温（気象庁）に日射の影響を考慮

※2：軽油の発火点（理科年表）

※3：端子ボックスパッキンの耐熱温度（JIS K6380）

※4：鋼材の制限温度（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）

（1）温度評価

a. 軽油タンクの温度評価

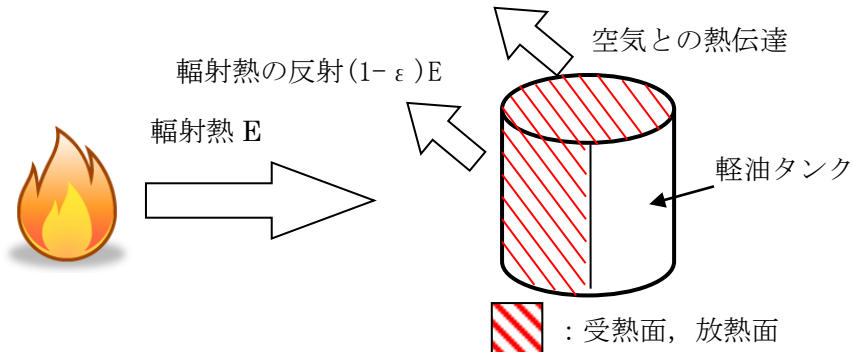
一定の輻射強度で軽油および軽油タンクが昇温されるものとして、下記の式より、軽油の温度上昇を求め、軽油の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。評価体系を第3.5-2図に、評価結果を第3.4-1表に示す。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 ：初期温度[38°C]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：軽油タンク表面の放射率（0.9）※1，

h : 軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]^{※2}, S : 軽油タンク受熱面積[m²], C : 軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間[s]

※ 1:伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧



第 3.5-2 図 軽油タンクの熱影響評価 (概念図)

b. 燃料移送ポンプの温度評価

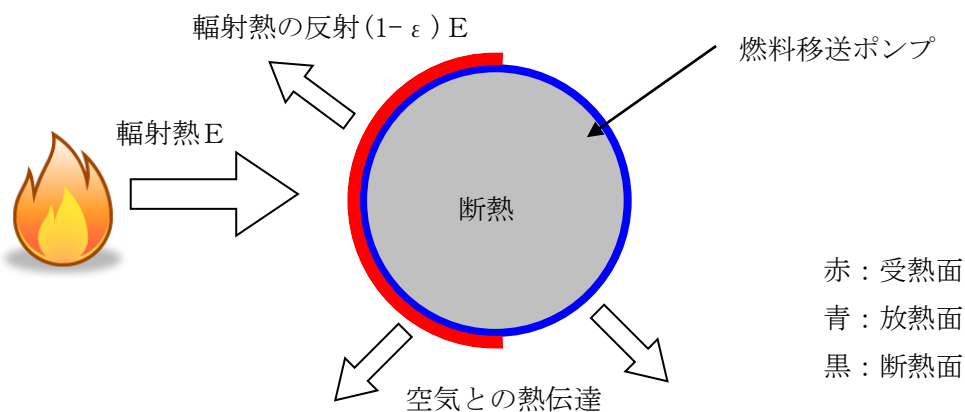
一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして, 下記の式より, 燃料移送ポンプの最大温度を求め, 燃料移送ポンプの温度が許容温度以下であるか評価を実施した。評価体系を第 3.5-3 図に, 評価結果を第 3.4-1 表に示す。

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

T₀ : 初期温度[50℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 燃料移送ポンプ表面の放射率 (0.9)

※¹, h : 燃料移送ポンプ表面熱伝達率[17W/m²K]^{※2}

※1:伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧



第 3.5-3 図 燃料移送ポンプの熱影響評価 (概念図)

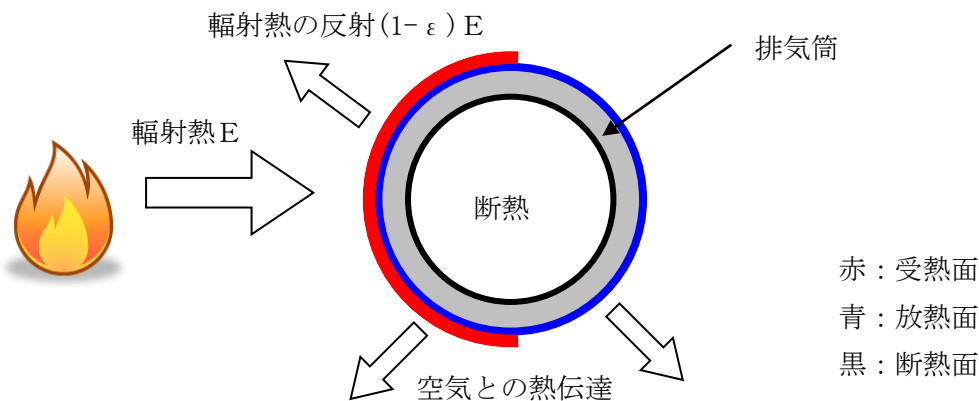
c. 排気筒の温度評価

一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして, 下記の式より, 排気筒の最大温度を求め, 排気筒の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。評価体系を第 3.5-4 図に, 評価結果を第 3.4-1 表に示す。

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

T_0 : 初期温度[50℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 排気筒表面熱伝達率[17W/m²K] ※²

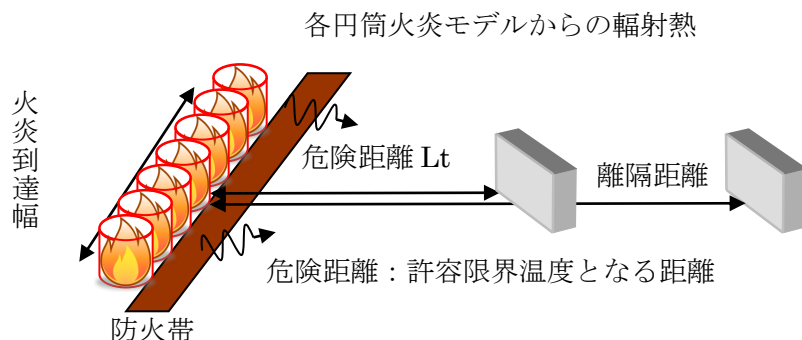
※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧



第 3.5-4 図 排気筒の熱影響評価 (概念図)

(2) 危険距離評価

評価対象設備の許容限界温度となる離隔距離を危険距離とし, 危険距離を算出する。危険距離の考え方について第 3.5-5 図に示す。



第 3.5-5 図 危険距離の考え方

(a) 危険輻射強度の算出

a. 軽油タンクの危険輻射強度の算出

一定の輻射強度で軽油および軽油タンクが昇温されるものとして, 下記の式より, 許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.4-1 表に示す。

$$E_{\max} = \frac{(C + hSt)(T - T_0)}{\varepsilon St}$$

T_0 : 初期温度[38℃], T : 許容限界温度[℃], ε : 軽油タンク表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K] ※², S : 軽油タンク受熱面積[m²], C : 軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間[s]

※ 1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

b. 燃料移送ポンプの危険輻射強度の算出

一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして、下記の式より、許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.4-1 表に示す。

$$E_{\max} = \frac{2h(T - T_0)}{\varepsilon}$$

T_0 : 初期温度[50°C], T : 許容限界温度[°C], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ^{※1}, h : 排気筒表面熱伝達率[17W/m²K] ^{※2}

※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

c. 排気筒の危険輻射強度の算出

一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、下記の式より、許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。算出結果を第 3.4-1 表に示す。

$$E_{\max} = \frac{2h(T - T_0)}{\varepsilon}$$

T_0 : 初期温度[50°C], T : 許容限界温度[°C], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ^{※1}, h : 排気筒表面熱伝達率[17W/m²K] ^{※2}

※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

(b) 形態係数の算出

次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出する。算出結果を第 3.4-1 表に示す。

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

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

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

したがって、各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が、原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕ_t となる。

$$\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} + \dots)$$

ϕ_t : 各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値

なお、 $i+(i+1)+(i+2)\dots+(i+X)$ の円筒火炎モデル数の合計は F 個となる。

(c) 危険距離の算出

輻射熱に対する原子炉施設の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその危険輻射強度以下になるように原子炉施設は危険距離を確保するものとする。火炎輻射発散度の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、火炎輻射発散度に形態係数を掛け

た値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E : 輻射強度 [kW/m²], Rf : 火炎輻射発散度 [kW/m²], ϕ : 形態係数[-]
 $\phi > \phi_t$ となるように危険距離を算出する。算出結果を第 3.4-1 表に示す。

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

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

ϕ_t : 各火炎モデルの形態係数を合計した値, L_t : 危険距離[m], H : 火炎長[m], R : 燃焼半径[m]

第 3.5-1 表 温度評価および危険距離評価結果

	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
最高温度[°C]	40	82	80
危険輻射強度[kW/m ²]	254.547	1.888	11.333
形態係数[-]	2.569026445	0.019063649	0.114381895
危険距離[m]	2	153	27
離隔距離[m]	135	233	246

3.6. まとめ

以上より、森林火災が発生した場合を想定したとしても、許容限界温度を超えないことおよび危険距離以上の離隔距離が確保されていることから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

コンクリートの許容限界温度 200°C の設定根拠について

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 1 にコンクリートの強度と温度の関係、表 1, 2 に火災によるコンクリートの被害等級及びその補修・補強方法について示す。

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

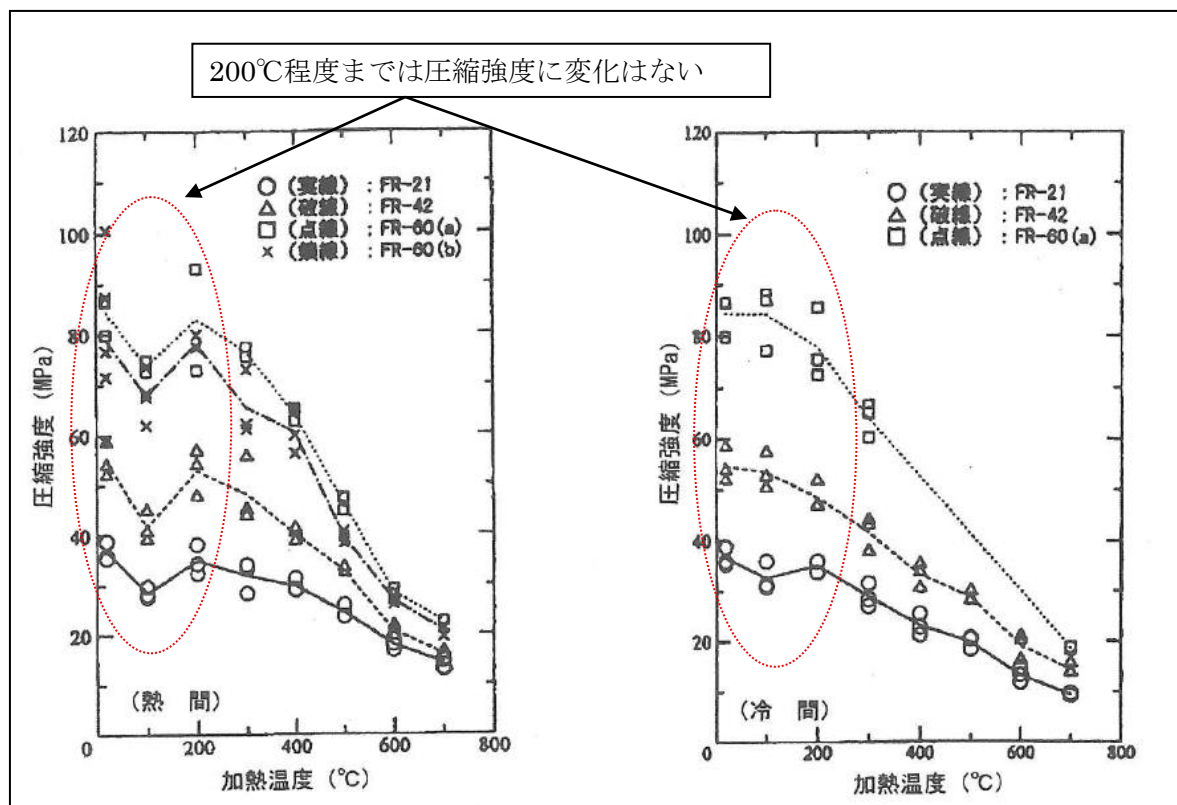


図 1 コンクリートの強度と温度の関係^{*2}

*1: 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 原田和典

*2: 建物の火害診断及び補修・補強方法, 日本建築学会

表1 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 鉄筋コンクリート構造物の火害等級と補修・補強の基本*1

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、取り替え、増設

*1：建物の火害診断及び補修・補強方法，日本建築学会

排気筒の許容限界温度 325°C の設定根拠について

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°C 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°C 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 1）。

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

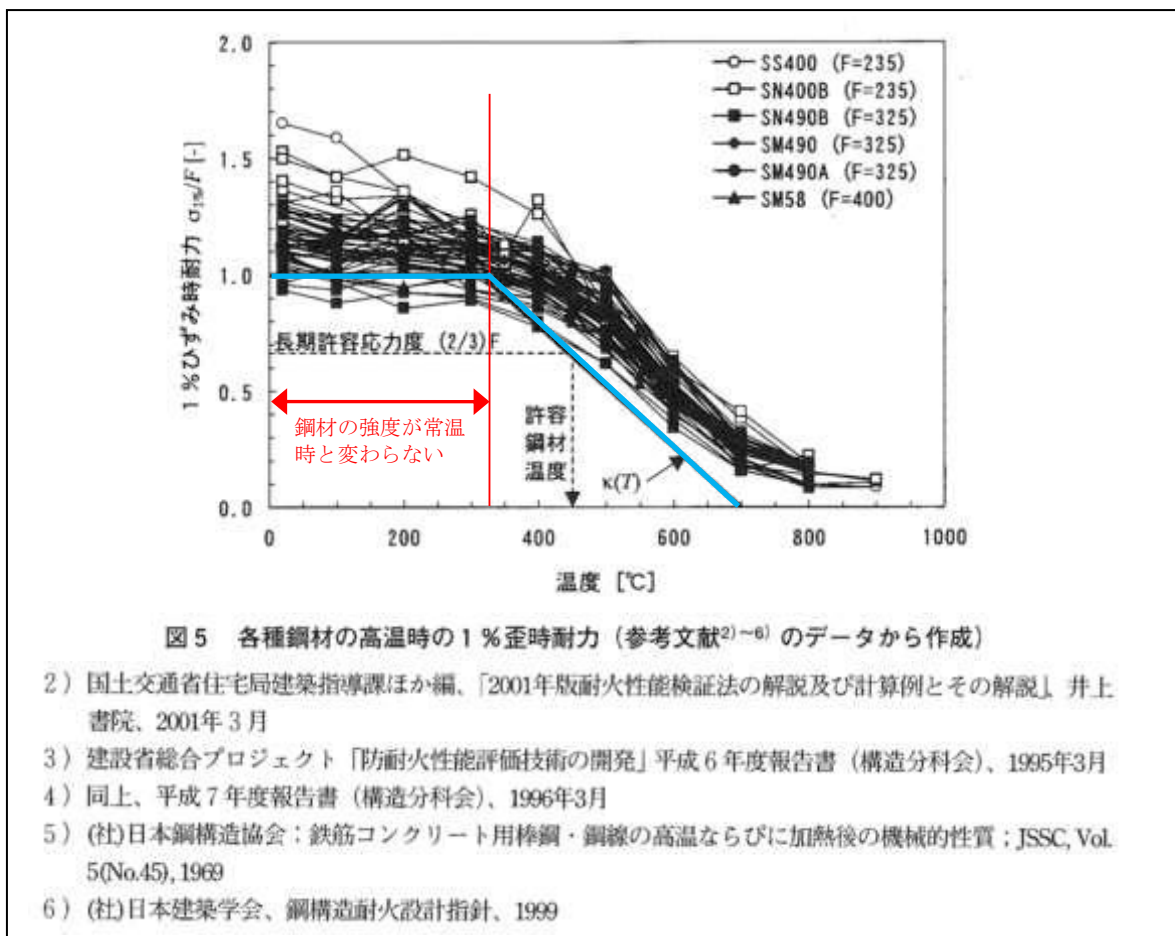


図 1 鋼材の温度上昇に伴う強度低下率^{※1}（一部加筆）

※1：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。

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、軽油およ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
- 軽油タンクの受熱面積 S は、タンク屋根面積+タンク側面面積/2 とする

$$S = \pi \frac{D_o^2}{4} + \frac{\pi}{2} D_o H \quad [\text{m}^2]$$

- 熱容量 C は、軽油の熱容量+タンク構造物の熱容量とする

$$C = \rho_p V c_p + \rho_s \left\{ \pi \frac{D_o^2 - D_i^2}{4} H + \pi \frac{D_o^2}{4} (e_1 + e_2) \right\} c_s \quad [\text{J/K}]$$

- 受熱面からの対流による放熱を考慮し、以下の式から、軽油の温度 T [°C] を求める

輻射熱による入射 - 熱伝達による放熱 = 軽油およびタンク構造物への入熱

$$\varepsilon E S - h(T - T_0) S = C(T - T_0) / t \quad [\text{W}]$$

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t} \quad [^\circ\text{C}]$$

- 使用するパラメータを表 1 に示す

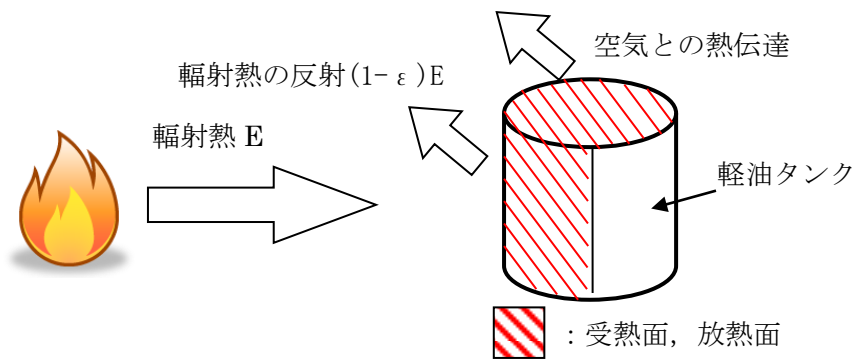


表1 評価に使用するパラメータ

パラメータ	数値	単位	備考
T_0 : 初期温度	38	°C	柏崎市の最高気温
ε : 放射率	0.9	[-]	伝熱工学資料
ρ_p : 軽油密度	918	[kg/m ³]	NUREG-1805
c_p : 軽油比熱	1700	[J/kg·K]	石油便覧
V : 軽油体積	528	[m ³]	保安規定による最低保有油量
ρ_s : タンク構造材密度	7860	[kg/m ³]	伝熱工学資料
c_s : タンク構造材比熱	473	[J/kg·K]	伝熱工学資料
D_i : タンク内径	9.8	[m]	基本設計計算書
D_0 : タンク外形	9.818	[m]	基本設計計算書
e_1 : タンク屋根厚	0.0045	[m]	基本設計計算書
e_2 : タンク底板厚	0.009	[m]	基本設計計算書
H : タンク高さ	9.5	[m]	基本設計計算書
h : 熱伝達率	17	[W/m ² K]	空気調和衛生工学便覧
C : 熱容量	8.38×10^8	[J/K]	計算

燃料移送ポンプの温度評価体系

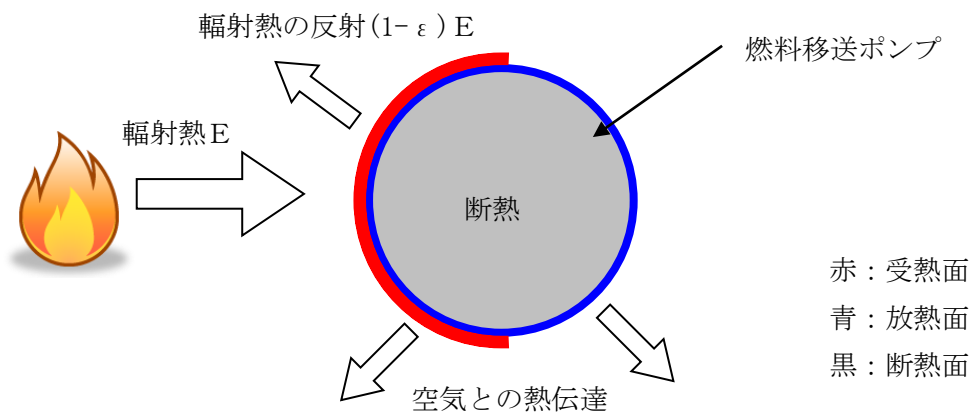
- ・ 火災時の輻射熱が燃料移送ポンプに入射し，燃料移送ポンプの温度上昇に寄与すると想定する
- ・ 排気筒外表面からの放熱を考慮し以下の式を解く

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

$t \rightarrow \infty$ の場合で最大温度となり，その温度は以下の式となる

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

ρ : 燃料移送ポンプ部材密度 [kg/m^3]， C : 燃料移送ポンプ部材比熱 [$\text{J}/\text{kg}/\text{K}$]， S : 燃料移送ポンプ外周面積 [m^2]， V : 燃料移送ポンプ体積 [m^3]， T : 最高温度 [$^{\circ}\text{C}$]， T_0 : 初期温度 50 [$^{\circ}\text{C}$] (柏崎市の最高気温)， E : 輻射強度 [W/m^2]， h : 熱伝達係数 17 [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$] (出典：空気調和・衛生工学便覧)， ε : 反射率 0.9 [-] (出典：伝熱工学資料)



排気筒の温度評価体系

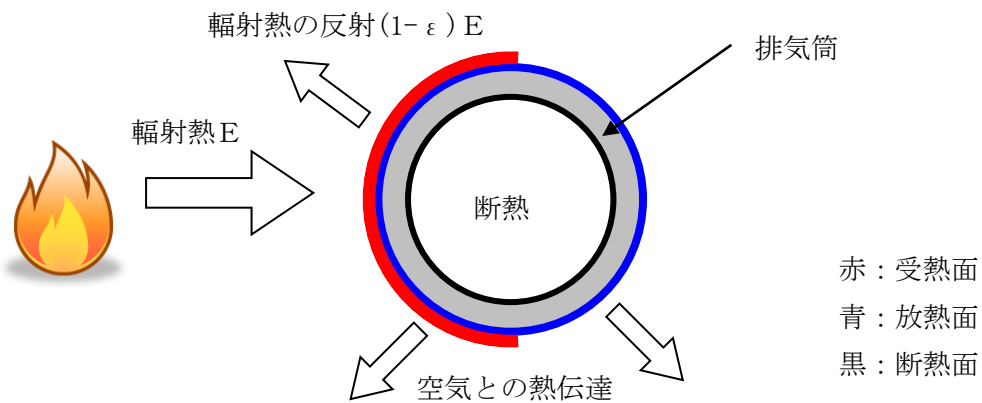
- ・ 火災時の輻射熱が排気筒に入射し、排気筒の温度上昇に寄与すると想定する
- ・ 排気筒外表面からの放熱を考慮し以下の式を解く

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

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

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

ρ : 排気筒部材密度 [kg/m³], C : 排気筒部材比熱 [J/kg/K], S : 排気筒単位長さあたりの外周面積 [m²], V : 排気筒単位長さあたりの体積 [m³], T : 最高温度 [°C], T_0 : 初期温度 50 [°C] (柏崎市の最高気温), E : 輻射強度 [W/m²], h : 熱伝達係数 17 [W/m²/K] (出典 : 空気調和・衛生工学便覧), ε : 放射率 0.9 [-] (出典 : 伝熱工学資料)



建屋内気温度の温度評価体系

- 火災時の一定の輻射熱が建屋外壁面に入射し、一定時間維持されたと想定する

以下に概念図を示す。

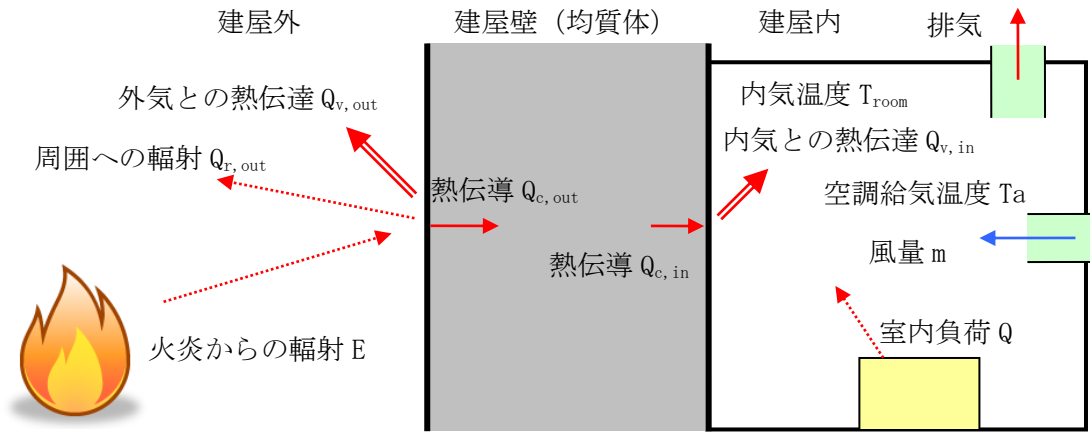


図1 伝熱の概念図

外壁および内壁面温度

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁および内壁面温度を求める。

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

T: 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外壁面からの距離, α : 熱拡散率

外壁および内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

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

h_{in} : 内壁面熱伝達率, A : 内壁の表面積, T_{in} : 内壁面温度, T_{room} : 内気温度

内気温度は、火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷および空調による除熱を考慮し、次式で求める。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{v,in}}{m \rho C} + T_a$$

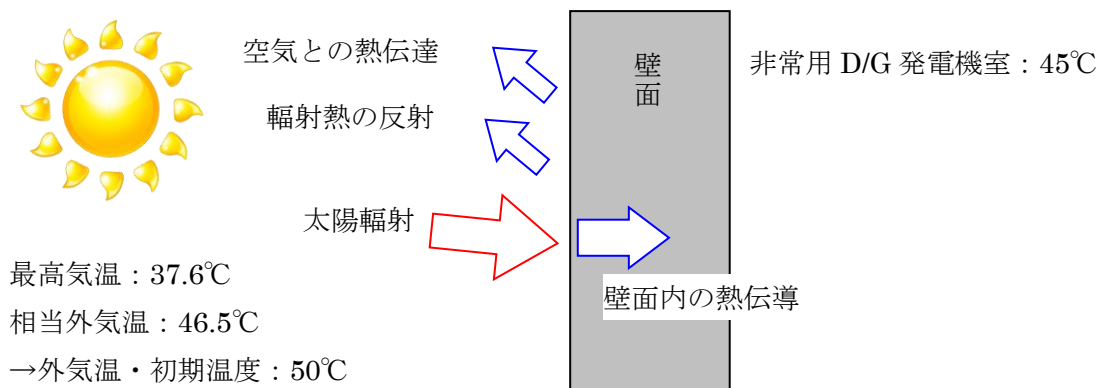
Q : 室内負荷, m : 風量, ρ : 空気密度, C : 空気比熱, T_a : 空調給気温度

初期温度の考え方

1. 外壁面の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に、日射の影響を考慮した相当外気温を求め、その値を切り上げた値を外気温および評価対象の初期温度として設定した。なお、受熱面は各壁面の方向（東西南北）とした。

柏崎市の最高気温 37.6℃に対して、外壁面の相当外気温の最大値は 46.5℃となる。46.5℃を切り上げ、50℃を外気温および初期温度として設定する。

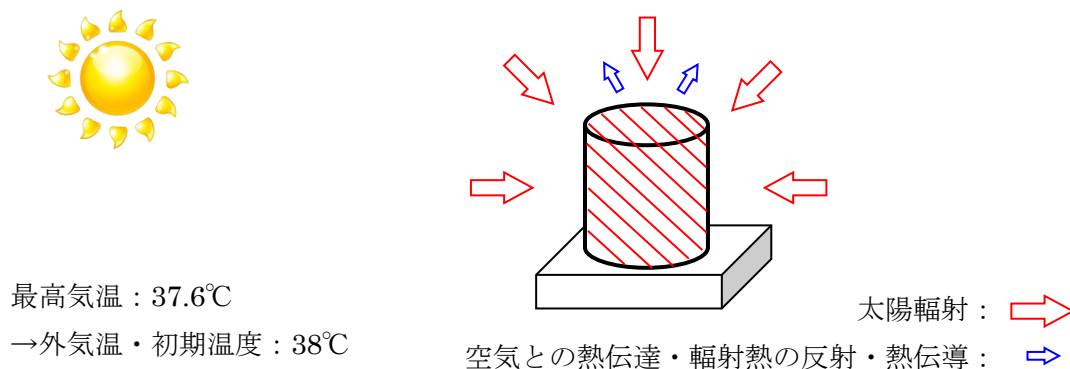


2. 軽油タンクの初期温度

太陽輻射熱は、日の出から日中の日射の最大値約 1kW/m² まで増加するので、平均的には 0.5kW/m² の日射が最大値をとるまでの 7 時間（6～13 時）継続して軽油タンクを加熱すると仮定する。最大値以降は日射量の減少に伴う放熱により軽油温度は減少に向かうと考える。受熱面はタンクの側面及び上面とする。

日中の軽油タンクの最高温度は、最低気温の最高値 27℃から、日射及び外気からの入熱による温度上昇分 6.7℃を加味し、33.7℃と算定される。

一方、柏崎市の最高気温の最高値は、37.6℃であり、日射及び外気からの入熱を考慮し算出した温度を大きく超えないことから、外気温の最高値 37.6℃を切り上げ、38℃を外気温および初期温度として設定する。



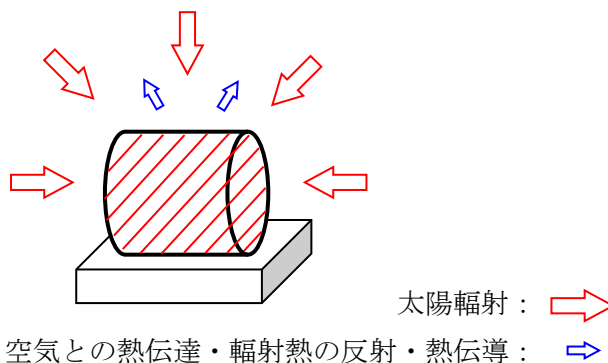
3. 燃料移送ポンプの初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に、日射の影響を考慮した相当外気温を求め、その値を切り上げた値を外気温および評価対象の初期温度として設定した。なお、受熱面はポンプ側面及び上面とした。

柏崎市の最高気温 37.6℃に対して、燃料移送ポンプ外表面の相当外気温の最大値は 46.3℃となる。46.3℃を切り上げ、50℃を外気温および燃料移送ポンプの初期温度として設定する。



最高気温：37.6℃
相当外気温：46.3℃
→外気温・初期温度：50℃



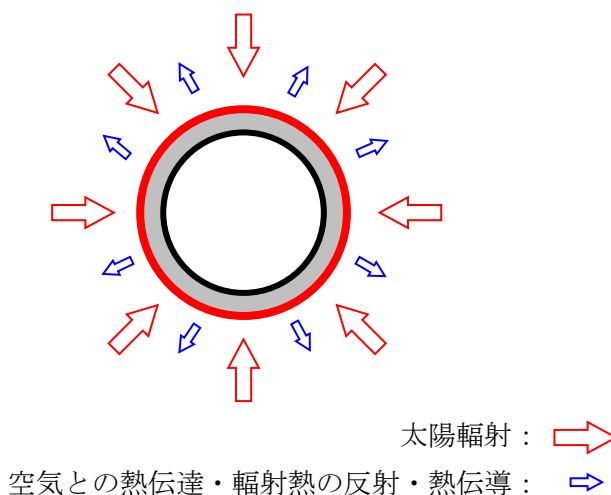
4. 排気筒の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に、日射の影響を考慮した相当外気温を求め、その値を切り上げた値を外気温および評価対象の初期温度として設定した。なお、受熱面は排気筒の側面とした。

柏崎市の最高気温 37.6℃に対して、排気筒外表面の相当外気温の最大値は 45.1℃となる。45.1℃を切り上げ、50℃を初期温度として設定する。



最高気温：37.6℃
相当外気温：45.1℃
→外気温・初期温度：50℃



建屋天井面への熱影響評価

建屋側面への熱影響を実施したが、天井面についての熱影響を検討する。

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

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

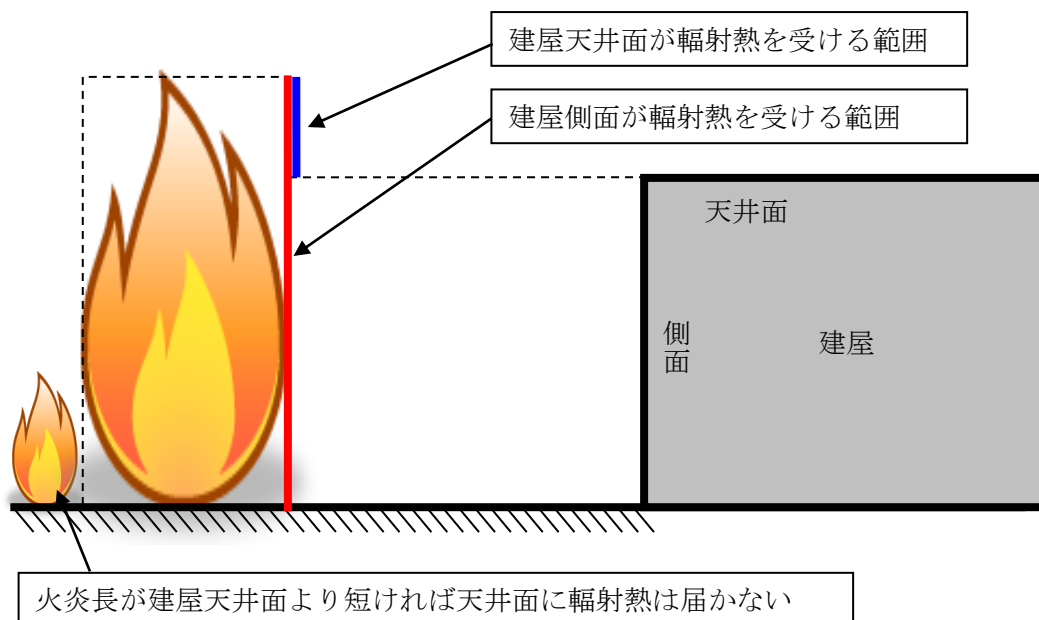


図1 天井面への輻射熱の影響

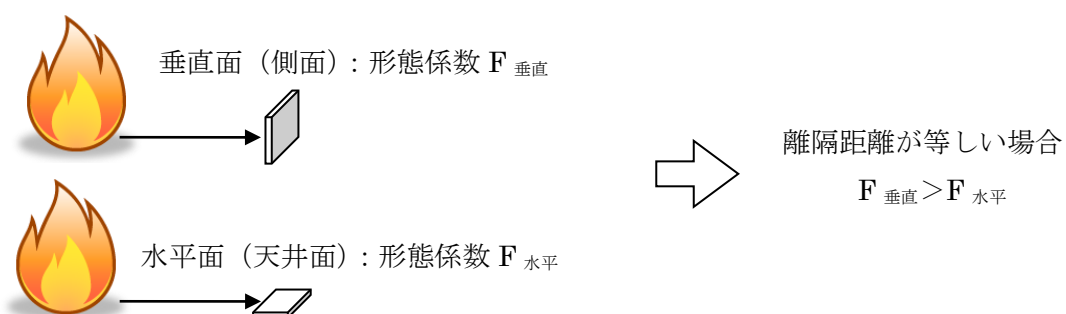


図2 垂直面と水平面の形態係数の大きさ

発電所北部で発生する森林火災について

森林火災における火線強度は風下方向が強くなるため、これまでの発火点（ケース1～3）は発電所の風上方向に設定しているが、ケース2の解析結果より火災前線の広がりや火線強度分布が確認された。このため、風向を考慮した場合、発電所は風下とならないものの、発電所北部で発生する森林火災を想定し感度解析を実施する。

（1）発火点の設定

発電所近隣からの発火の方が防火帯周辺に火災が到達するまでの時間が短くなること、最大風速観測時に出現頻度が多い風向は北北西であることから、発電所敷地境界北部の発火を想定する。たき火などによる火災を考慮し、防火帯までの距離が短くなる北北東方向の海岸沿いに発火点をケース4として選定する。（防火帯から約0.4km）

（2）必要データ

風向は北北西とするが、それ以外の気象条件や植生データ等の FARSITE 入力データは発火点（ケース1～3）と同等とする。

（3）解析結果

FARSITE による解析結果を図1に示す。

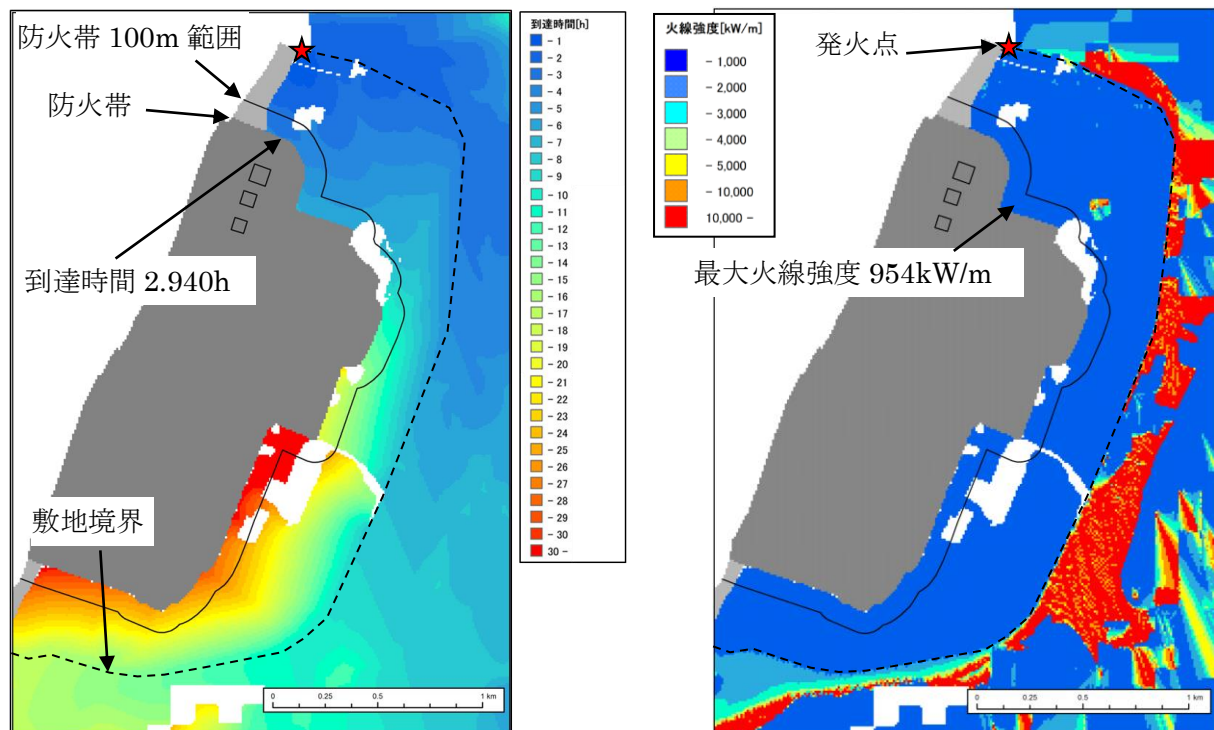


図1 解析結果 敷地周辺拡大（左：火災到達時間分布，右：火線強度分布）

(4) 火線強度および火炎の到達時間の算出結果

火線強度および火炎の到達時間の算出結果を表 1 に示す。

表 1 火線強度および火炎の到達時間

評価項目	ケース 4	ケース 1～3
最大火線強度[kw/m]	954	2948 ^{※1}
火炎の到達時間[hour]	2.940	2.952 ^{※2}

※1：ケース 2 の火線強度（最大値）

※2：ケース 3 の火炎の到達時間（最小値）

(5) 評価結果

発電所が風下ではないことから、防火帯 100m の範囲におけるケース 4 の最大火線強度はケース 2 と比較し小さい値となり、原子炉施設への熱影響はケース 2 の評価に包絡される。

また、火炎の到達時間が 40 秒程度短くなるが、防火帯付近への予防散水は敷地境界域での火災発見から約 50 分で開始可能であり、自衛消防隊の対応に影響をおよぼすことはないと評価する。

8月の気象条件を考慮した森林火災について

森林火災の想定における気象条件は、過去10年間（2003～2012年）を調査し、森林火災の発生件数の多い3～5月の卓越風向、最大風速、最高気温、及び最小湿度の組合せとしているが、3～5月を除き、新潟県、柏崎市・刈羽村・出雲崎町における8月の森林火災発生件数が比較的多く発生していることから、8月の気象条件を適用した森林火災の感度解析を実施する。

なお、発火点は最大火線強度が大きくなると考えられるケース2の発火点とし、これを代表ケースとして解析を実施する。

（1）気象条件の設定

8月における過去10年間の気象条件を調査した結果を表1（上段）に示す。

表1 8月の気象条件を適用した気象条件と3～5月の気象条件との比較

	風向[16方位]	最大風速[m/s]	最高気温[℃]	最小湿度[%]
8月	南南東	11.0	37.5	31
3～5月 (ケース2)	南南東	16.0	31.9	12

（2）必要データ

気象条件以外の植生データ等のFARSITE入力データは、ケース2と同等とする。

（3）解析結果

FARSITEによる解析結果を図1、図2に示す。

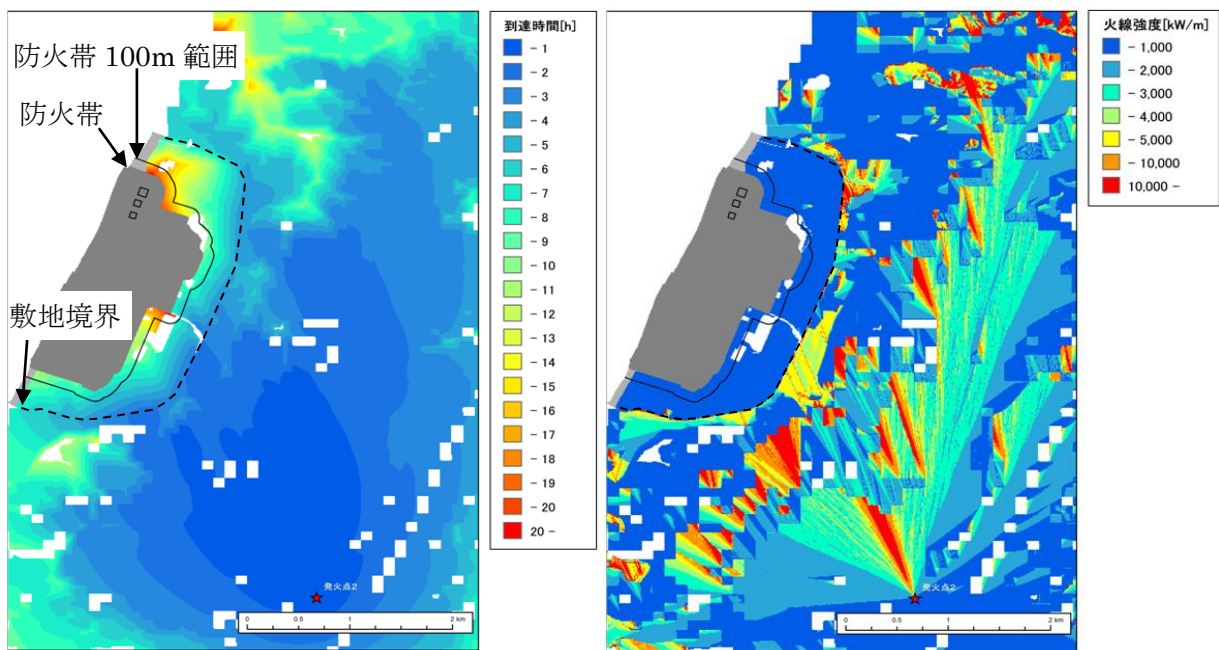


図1 解析結果（左：火炎到達時間分布，右：火線強度分布）

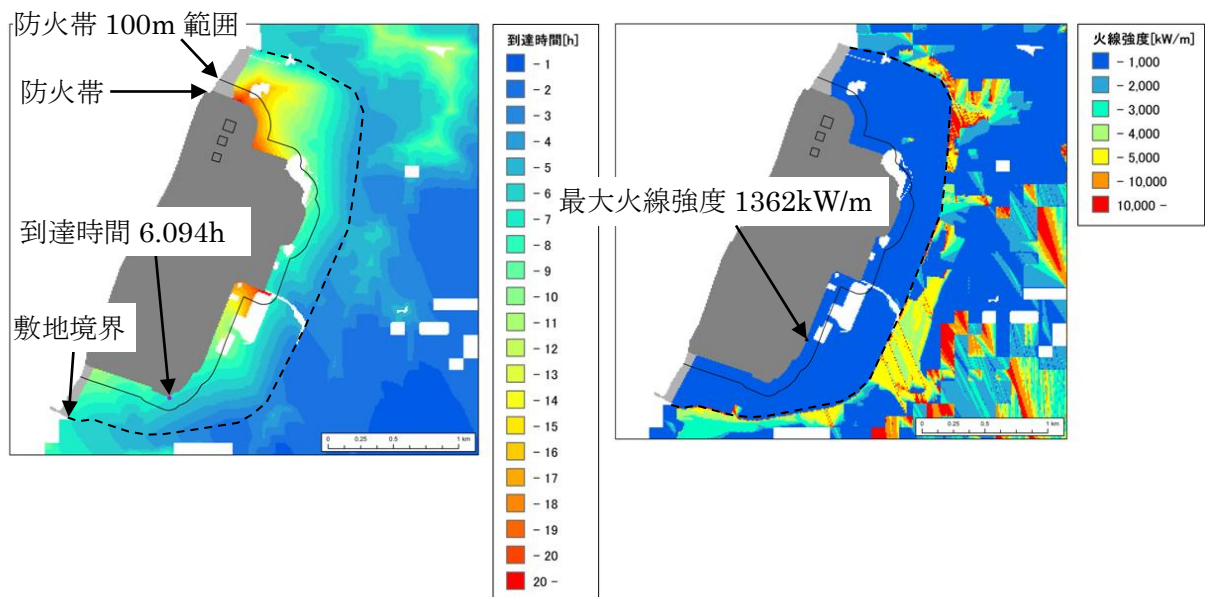


図2 解析結果 敷地周辺拡大（左：火炎到達時間分布，右：火線強度分布）

(4) 火線強度および火炎の到達時間の算出結果

火線強度および火炎の到達時間の算出結果を表2に示す。

表 2 火線強度および火炎の到達時間

評価項目	8 月	3～5 月
最大火線強度[kw/m]	1362	2948 ^{※1}
火炎の到達時間[hour]	6.094	2.952 ^{※2}

※1：ケース 2 の火線強度（最大値）

※2：ケース 3 の火炎の到達時間（最小値）

（5）評価結果

8 月の気象条件を適用したケースでは、気象条件における気温は上昇しているものの、風速の低下や湿度の上昇による影響が大きく最大火線強度が低下していることから、原子炉施設への熱影響はケース 2 の評価に包絡される。

また、同様の影響によって延焼速度が遅く、火炎の到達時間はケース 3 に対して 2 倍以上となっており、自衛消防隊の対応に影響をおよぼすことはないと評価する。

(参考1) 3～5月の気象条件に8月を加えた解析結果について

3～5月に8月を加え、最大風速、最高気温及び最小湿度の組合せとしたケースについては、発電所立地地域として起こりえないような高気温・低湿度の気象条件となることから、参考として、感度解析を実施する。

なお、発火点はこれまでと同様に、最大火線強度が大きくなると考えられるケース2の発火点とし、これを代表ケースとして解析を実施する。

(1) 気象条件の設定

3～5月の気象条件に8月を加えた気象条件を表1(上段)に示す。

表1 3～5月に8月を加えた気象条件と3～5月の気象条件との比較

	風向 [16方位]	最大風速 [m/s]	最高気温 [°C]	最小湿度[%]
3～5月 +8月	南南東	16.0	37.5	12
3～5月 (ケース2)	南南東	16.0	31.9	12

(2) 必要データ

気象条件以外の植生データ等のFARSITE入力データは、ケース2と同等とする。

(3) 解析結果

FARSITEによる解析結果を図1、図2に示す。

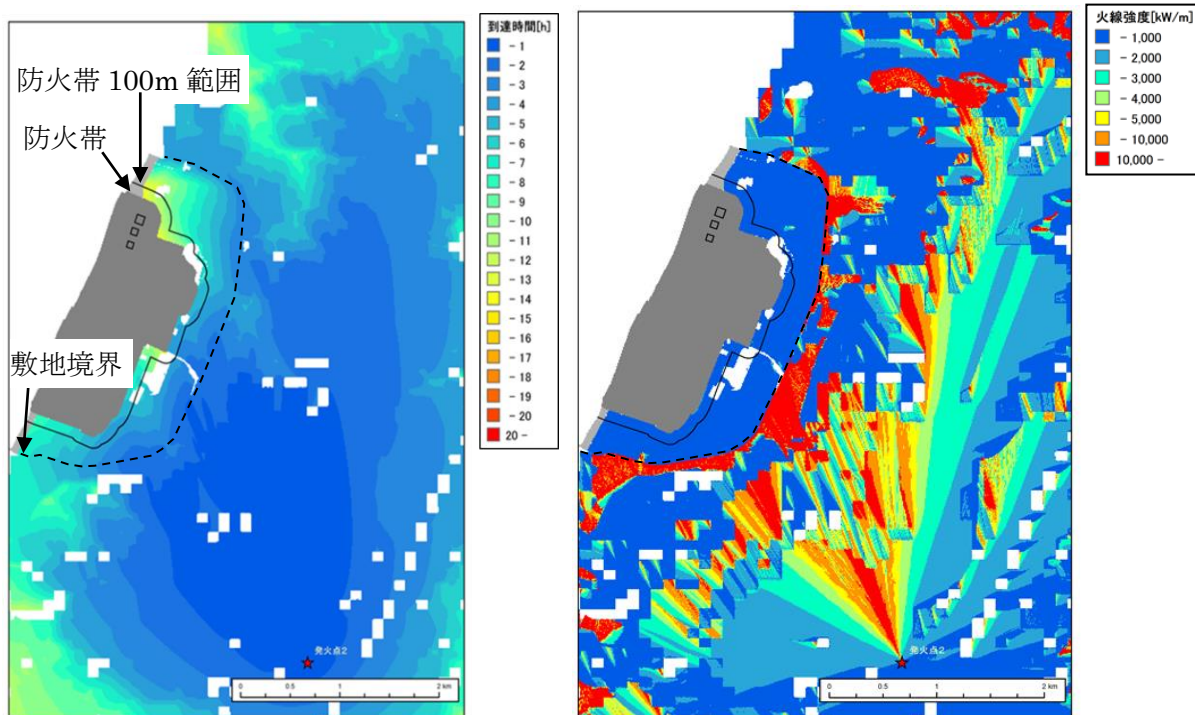


図1 解析結果（左：火炎到達時間分布，右：火線強度分布）

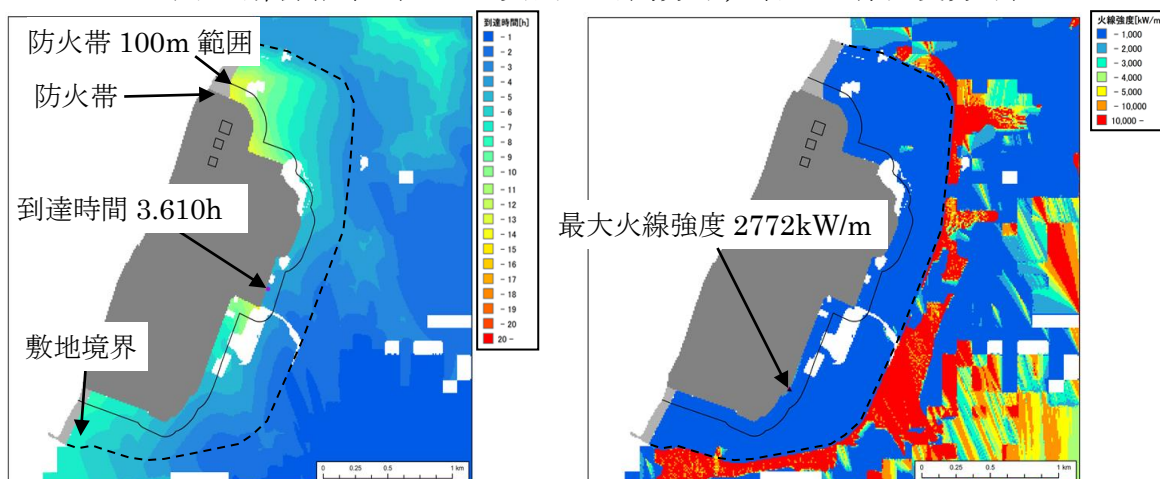


図2 解析結果 敷地周辺拡大（左：火炎到達時間分布，右：火線強度分布）

(4) 火線強度および火炎の到達時間の算出結果

火線強度および火炎の到達時間の算出結果を表2に示す。

表2 火線強度および火炎の到達時間

評価項目	3~5月+8月	3~5月
最大火線強度[kw/m]	2772	2948 ^{※1}
火炎の到達時間[hour]	3.610	2.952 ^{※2}

※1：ケース2の火線強度（最大値）

※2：ケース3の火炎の到達時間（最小値）

(5) 評価結果

8月の気象条件を加えたケースは、3～5月の気象条件に対して、最大火線強度が180kw/m程度小さくなっていることから、原子炉施設への熱影響はケース2の評価に包絡される。

最大火線強度が低下した主な原因として、FARSITEに入力する最小湿度は相対湿度であることが挙げられる。これを固定した状態で最高気温を上昇させたため、飽和水蒸気量の増加により絶対湿度も 4g/m^3 から 5g/m^3 に増加している。その結果、気温上昇の効果（可燃物の水分量が減少し火線強度が上昇する効果）よりも、絶対湿度の増加の効果（可燃物の水分量が増加し火線強度が低下する効果）が大きく最大火線強度が若干低下していると考えられる。

また、火炎の到達時間はケース3以上となっており、自衛消防隊の対応に影響をおよぼすことはないと評価する。

斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方について

1. 防火帯の概要

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

設定にあたっては、草木を伐採する等、可燃物を排除し、その後、除草剤を散布した上で、モルタル吹付け等を行い、草木の育成を抑制し、可燃物が無い状態を維持する。

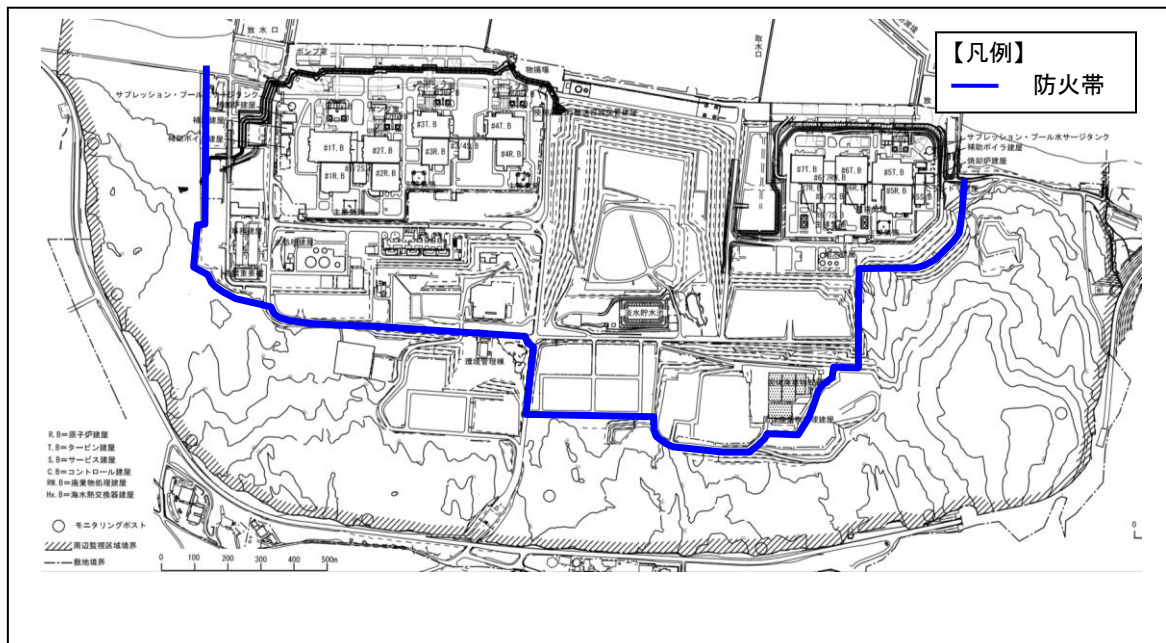


図1 防火帯位置

2. 防火帯斜面部の崩壊による影響評価

(1) 防火帯斜面部の崩壊箇所の抽出方法

防火帯斜面部の崩壊箇所の抽出は、保管場所及びアクセスルート周辺の斜面及び敷地地下斜面と同様に、図2に示す「宅地防災マニュアルの解説」※1に基づき抽出する。崩壊後の堆積形状及び影響範囲のイメージを図3に示す。

崩壊後の堆積形状は、図3に示すとおり崩壊面積と等価となるように設定した。

土砂災害に係る危険箇所のうち、宅地造成に伴う災害に最も関連の深い急傾斜地崩壊危険箇所の考え方を以下に示す。

【危険箇所としての要件】

- ① 水平面とのなす角度が30度以上であること。
- ② 斜面の高さが5m以上であること。
- ③ 斜面上部又は下部に人家が5戸以上あること（官公署、学校、病院、旅館等がある場合は5戸未満でも可）。

斜面上部又は下部とは、下図に示すように急傾斜地（傾斜30度以上のがけ）の下端及び上端から当該急傾斜地の高さの、それぞれ2倍及び1倍程度の範囲（概ね50mを限度とする）をいう。

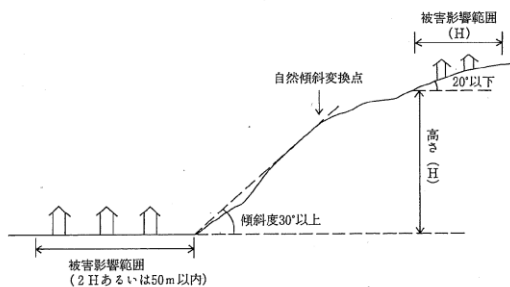


図 X.1 急傾斜地崩壊危険箇所の要件

図2 「宅地防災マニュアルの解説」※1における急傾斜地崩壊危険箇所の要件

※1：「宅地防災マニュアルの解説」（宅地防災研究会編集，2007）

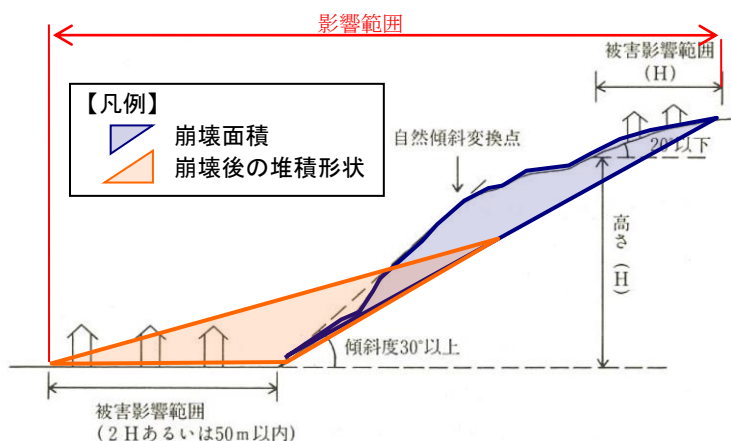


図 X.1 急傾斜地崩壊危険箇所の要件

「宅地防災マニュアルの解説」に一部加筆

図3 崩壊後の堆積形状及び影響範囲のイメージ

(2) 防火帯斜面部の崩壊箇所の抽出

抽出された防火帯斜面部の崩壊箇所は図4に示すとおり2箇所であり、当該箇所では防火帯設定範囲及びその内側へ崩壊した土砂が流入する可能性がある。

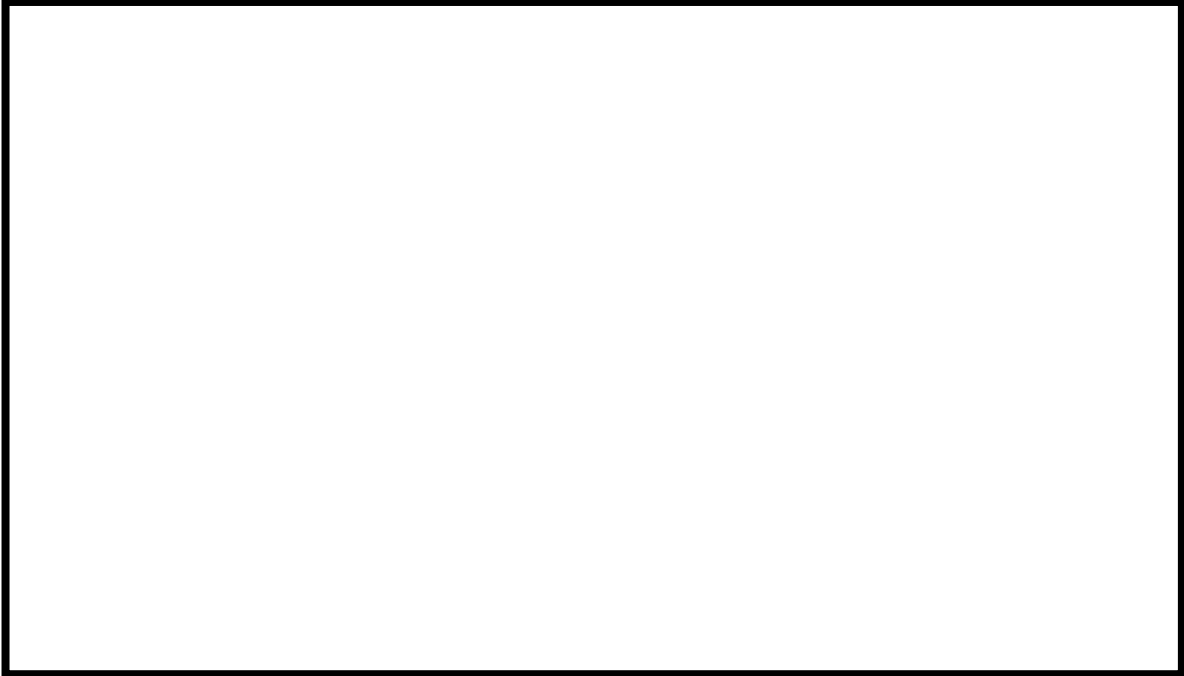


図4 崩壊する可能性がある斜面の抽出結果

(3) 防火帯斜面部の崩壊の影響

a. 崩壊箇所①

当該箇所の斜面が崩壊した場合の防火帯への影響イメージを図5に、防火帯設定範囲と斜面崩壊影響範囲を図6に示す。

斜面が万が一崩壊した場合、防火帯設定範囲に斜面上部から草木が混入する可能性があるが、崩壊土砂範囲より内側に斜面崩壊を考慮した防火帯幅(20m)以上の可燃物が無いエリアを設定することから、防火帯としての機能は喪失しない。

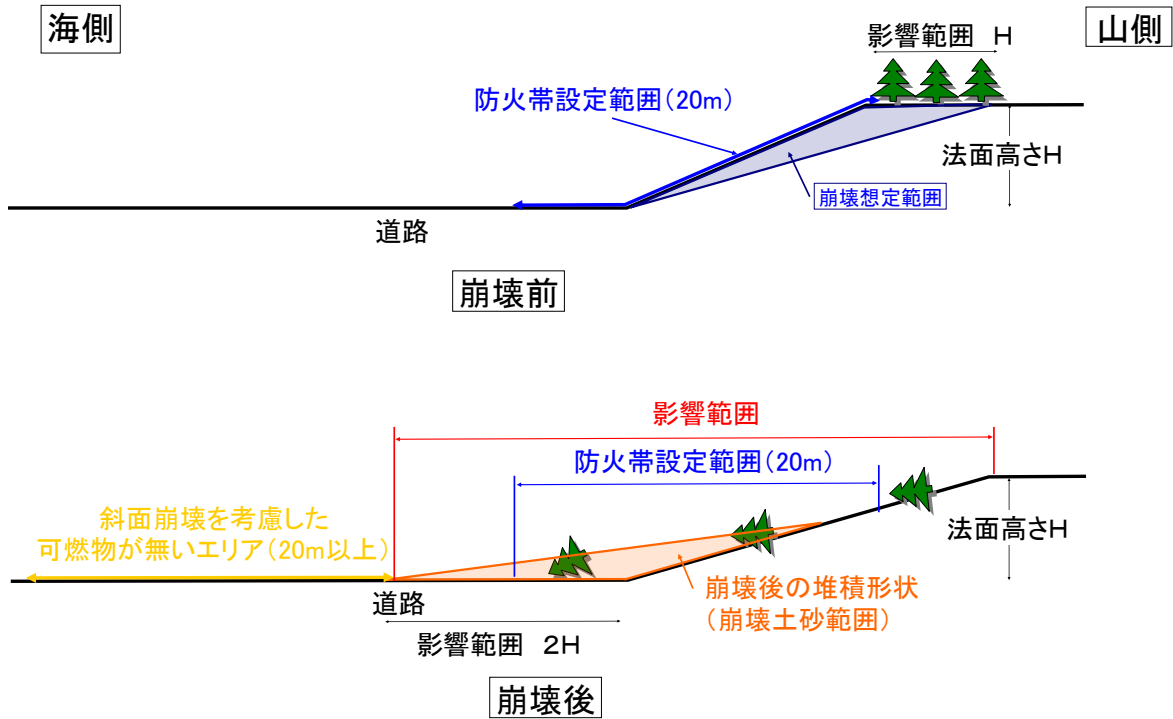


図5 斜面が崩壊した場合の防火帯への影響イメージ（崩壊箇所①）



図6 斜面崩壊影響範囲（崩壊箇所①）

b. 崩壊箇所②

当該箇所の斜面が崩壊した場合の防火帯への影響イメージを図7に、斜面崩壊影響範囲を図8に示す。

当該箇所においては、斜面上部の影響範囲はアスファルト舗装等可燃物が無い範囲であることから、斜面が万が一崩壊した場合においても、防火帯設定範囲に可燃物が混入する可能性はないことから、防火帯としての機能は喪失しない。

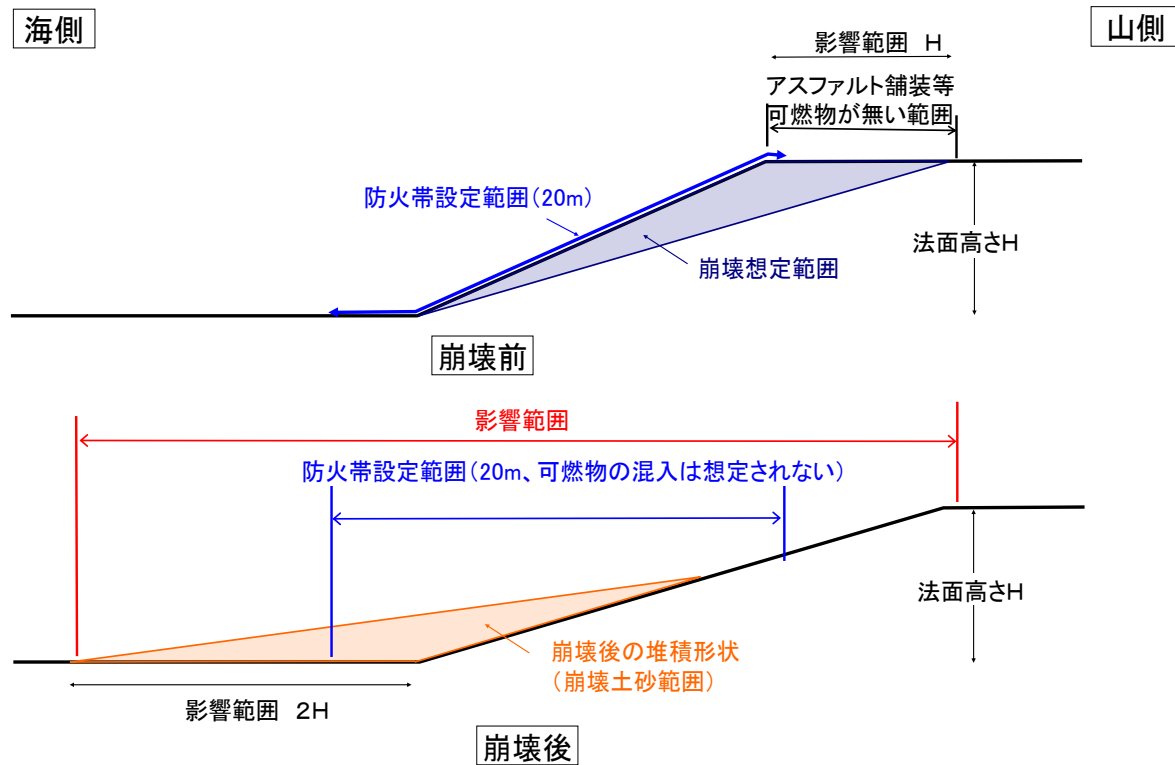


図7 斜面が崩壊した場合の防火帯への影響イメージ（崩壊箇所②）

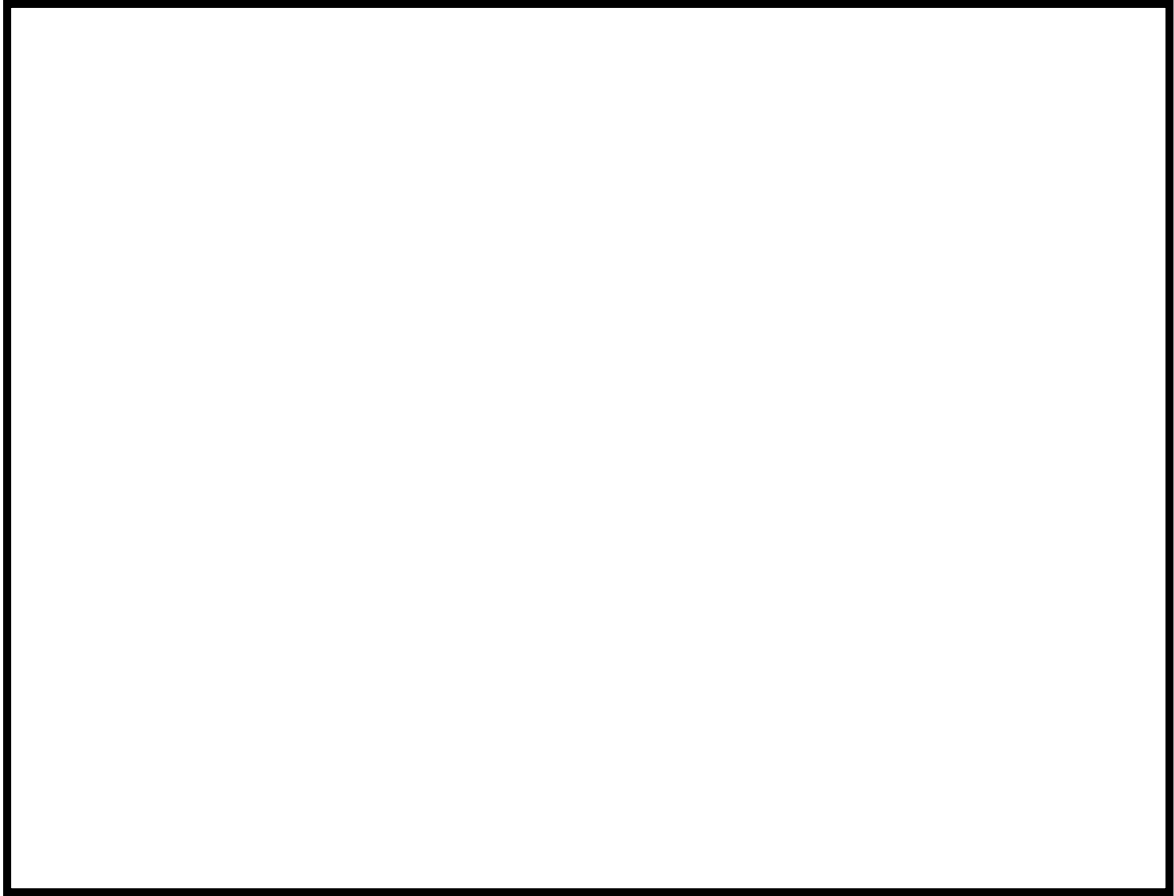


図8 斜面崩壊影響範囲（崩壊箇所②）

（4）まとめ

防火帯斜面部の崩壊による影響評価の結果，抽出された防火帯斜面部の崩壊箇所は2箇所あるものの，以下の理由により，防火帯の機能は維持されることを確認した。

・崩壊箇所①

崩壊土砂範囲より内側に斜面崩壊を考慮した防火帯幅（20m）以上の可燃物が無いエリアを設定する。

・崩壊箇所②

斜面が万が一崩壊した場合においても，防火帯設定範囲に可燃物が混入する可能性はない。

防火帯内植生による火災について

図1に防火帯内の植生（平成27年1月現在）を示す。

原子炉施設の周囲の植生は一部が低中木や広葉樹であるものの大半が芝地である。また、重大事故等対処設備の周囲は広葉樹や10年生以上のマツで火線強度が低くなる植生であることから、防火帯内の植生による原子炉施設および重大事故等対処設備に対する影響はない。

なお、重大事故等対処設備からの出火を想定した場合、炎感知器やサーモカメラにて火災の早期検知が可能であること、周囲の広葉樹等に延焼した場合を想定したとしても、発電所の防火帯内には道路（幅10m程度）や非植生のエリアが多くあることから、更なる延焼の可能性は低い。

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません

添付 2-99

図 1 発電所防火帯内植生図

石油コンビナート等の火災・爆発について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が発電所に隣接する地域で起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 石油コンビナート等の火災・爆発影響評価

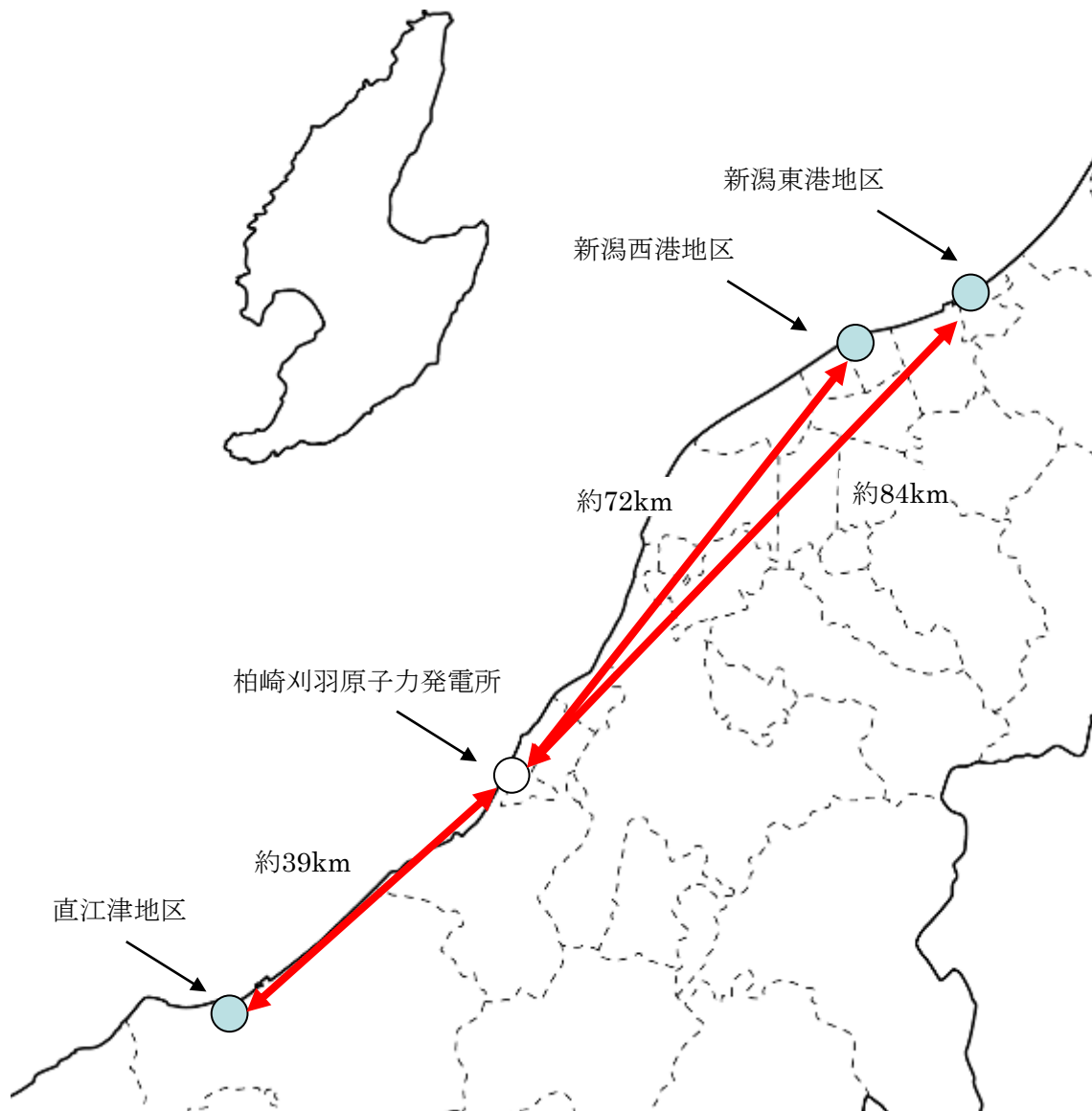
原子炉施設の周りには周辺監視区域があり、敷地境界との間には少なくとも約 811m の離隔距離が確保されている。仮に火災・爆発が発生した場合に影響が大きいと考えられるものとして、爆発物や化学物質を大量に扱う石油コンビナート等について評価を実施する。

(1) 評価対象範囲

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

(2) 評価結果

石油コンビナート等災害防止法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、それぞれ発電所から約 39km、約 72km 及び約 84km であり、いずれも発電所から 10km 以遠である(第 2-1 図)。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、原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



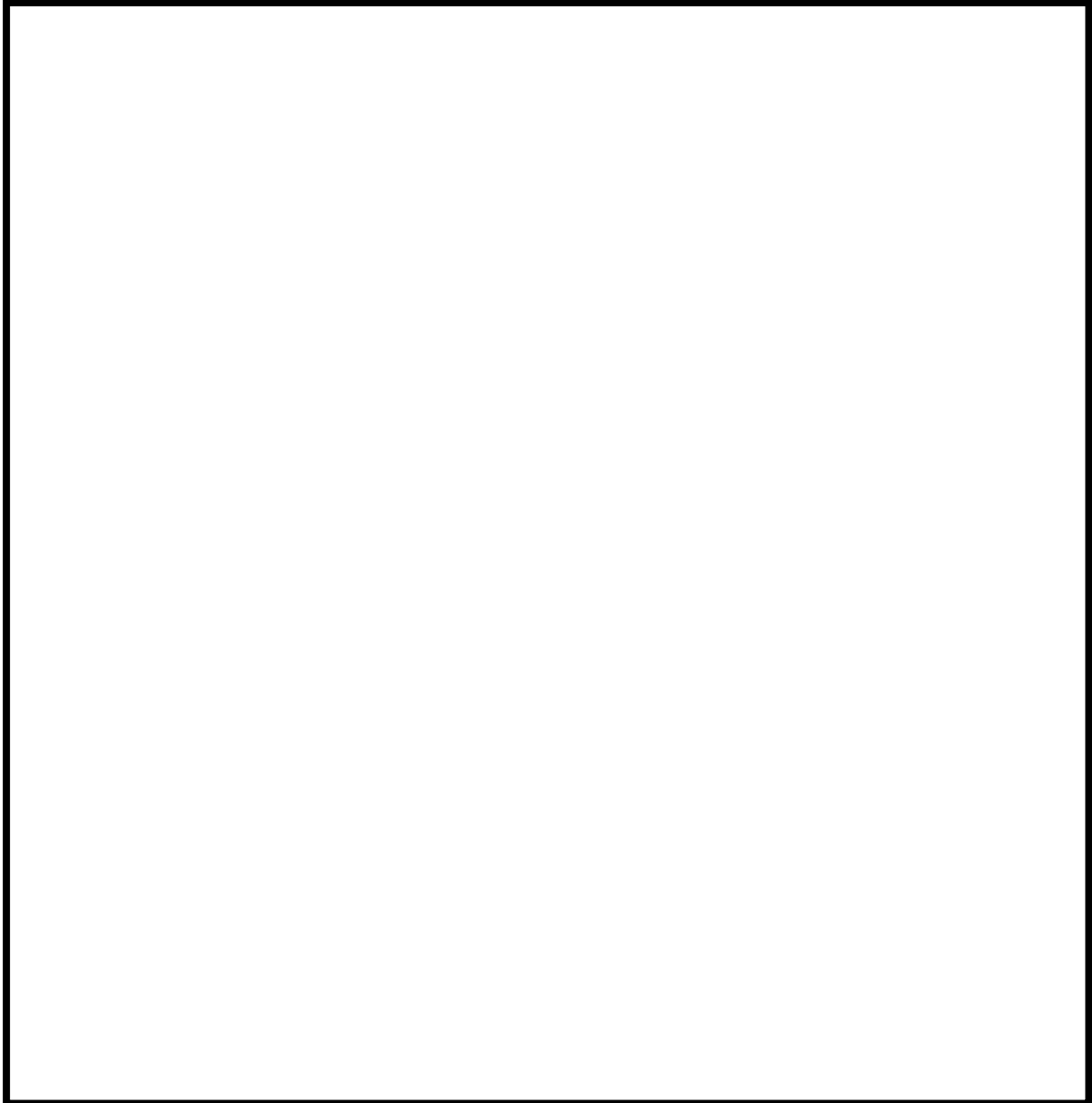
第 2-1 図 新潟県内の石油コンビナート等特別防災区域の位置
と発電所までの距離

注) 図の位置は、おおよその場所を表している

3. 石油コンビナート等以外の火災・爆発影響評価

柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設（危険物貯蔵施設，高圧ガス貯蔵施設，ガスパイプライン）を抽出し，発電所から最も近い施設および発電所から 10km 圏内の施設における最大数量をそれぞれ抽出した。なお，危険物貯蔵施設については柏崎市消防本部ならびに長岡市消防本部，高圧ガス貯蔵施設については新潟県防災局，ガスパイプラインについては天然ガス鉱業会に確認した。

発電所から 10km 圏内の危険物施設を第 3-1 図及び第 3-1～3 表に示す。



第 3-1 図 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設

商業秘密に該当するため公開できません

第 3-1 表 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設】(1/3)

--

商業秘密に該当するため公開できません

第 3-1 表 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設】(2/3)

--

第 3-1 表 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【危険物貯蔵施設】(3/3)

--

第 3-2 表 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【高圧ガス貯蔵施設】(1/2)

--

商業秘密に該当するため公開できません

第 3-2 表 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【高圧ガス貯蔵施設】(2/2)

--

第 3-3 表 発電所から 10km 圏内に位置する危険物施設【ガスパイプライン】

--

3. 1. 危険物貯蔵施設

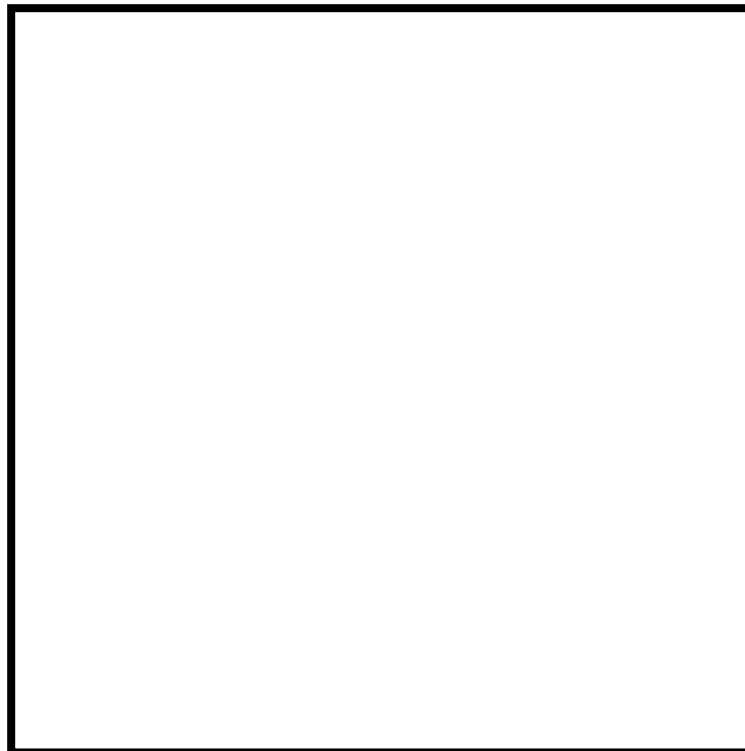
発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における危険物貯蔵施設の最大貯蔵量は、であり、発電所から最短の危険物貯蔵施設までの距離は約 2.3km であった（第 3. 1-1 図）。

仮に最短距離の危険物貯蔵施設に最大貯蔵量（）があったと仮定し、熱影響評価を実施したところ、危険距離は約 56m であり、発電所との距離約 2.3km 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発電所への影響はない。

第 3. 1-1 表 10km 圏内における最大の危険物貯蔵施設の貯蔵量

種類	貯蔵量[kl]
原油	<input type="text"/>
メチルアルコール	
合計	



第 3. 1-1 図 最大貯蔵量の危険物貯蔵施設と最短距離の危険物貯蔵施設

（1）評価条件

以下に示す通り、輻射発散度は原油の方が大きいことから、原油の輻射発散度を用いる。また、燃焼継続時間は原油とメタノールが同じ防油堤の中に設置されていることから、原油とメタノールの燃焼継続時間を加算した値を用いて評価を実施する。

燃料の種類	原油	メタノール
燃料量[k1]		
防油堤面積[m ²]		
輻射発散度[kW/m ²] ¹⁾		
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0.022~0.045	0.017
燃料密度[kg/m ³] ²⁾	830~880	796
燃焼速度[m/s] ³⁾	2.5~5.4×10 ⁻⁵	2.136×10 ⁻⁵

- 1) 評価ガイド付属書 B より
- 2) NUREG-1805 より
- 3) 燃焼速度 = 質量低下速度 ÷ 燃料密度

(2) 燃焼半径の算出

燃焼面積は、防油堤面積に等しいものとする。従って、燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出した。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S : 防油堤面積 (火炎円筒の底面積) =

R =

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

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/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³], m : 質量[kg]

ここで、V_{原油} = , v_{原油} = 2.5 × 10⁻⁵ [m/s], V_{メタノール} = , v_{メタノール} = 2.136 × 10⁻⁵ [m/s]として、燃焼継続時間を求めると、

t = = 35741 [s] = 9.93 [h]

(4) 危険輻射強度の算出

a. 外壁面の危険輻射強度

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

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

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：コンクリート表面の放射率（0.95）
※， h ：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※， k ：コンクリート熱伝導率
[1.6W/mK]※， ρ ：コンクリート密度[2200kg/m³]※， c ：コンクリート比熱
[879J/kgK]※， t ：燃焼継続時間[s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

$$E=6763[\text{W/m}^2]$$

b. 軽油タンクの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険輻射強度を求める。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 ：初期温度[38℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：軽油タンク表面の放射率（0.9）※¹，
 h ：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]※²， S ：軽油タンク受熱面積[m²]， C ：軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K]， t ：燃焼継続時間[s]

※¹：伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=25444[\text{W/m}^2]$$

c. 燃料移送ポンプの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプの温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率（0.9）※¹， h ：
排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※²

※¹：伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=1888[\text{W/m}^2]$$

d. 排気筒の危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率（0.9）※¹， h ：

排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]^{※2}， S：排気筒受熱面積[m²]

※1：伝熱工学資料， ※2：空気調和・衛生工学便覧

$$E=10388[W/m^2]$$

(5) 形態係数の算出

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。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

$$E_{max}=R_f \times \phi$$

E_{max} ：危険輻射強度， R_f ：輻射発散度， ϕ ：形態係数

$E_{max} = [W/m^2]$ ， R_f ：輻射発散度=41000[W/m²]とすると，

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
危険輻射強度[W/m ²]	6763	25444	1888	10388
輻射発散度[W/m ²]	41000			
形態係数	0.1649447	0.620602835	0.046070461	0.253387534

(6) 危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出した。

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

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

ϕ ：形態係数， L：危険距離[m]， H：火炎高さ[m]， R：燃焼半径[m]

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
形態係数	0.1649447	0.620602835	0.046070461	0.253387534
燃焼半径[m]	□			
危険距離[m]	約 56m	約 20m	約 127m	約 39m

(7) 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の危険物貯蔵施設における危険距離は最大でも約 127m であり， 離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって，発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても発電所への影響はない。

3.2. 高圧ガス貯蔵施設

発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は、であり、発電所から最短の高圧ガス貯蔵施設までの距離は約 5km であった（第 3.2-1 図）。

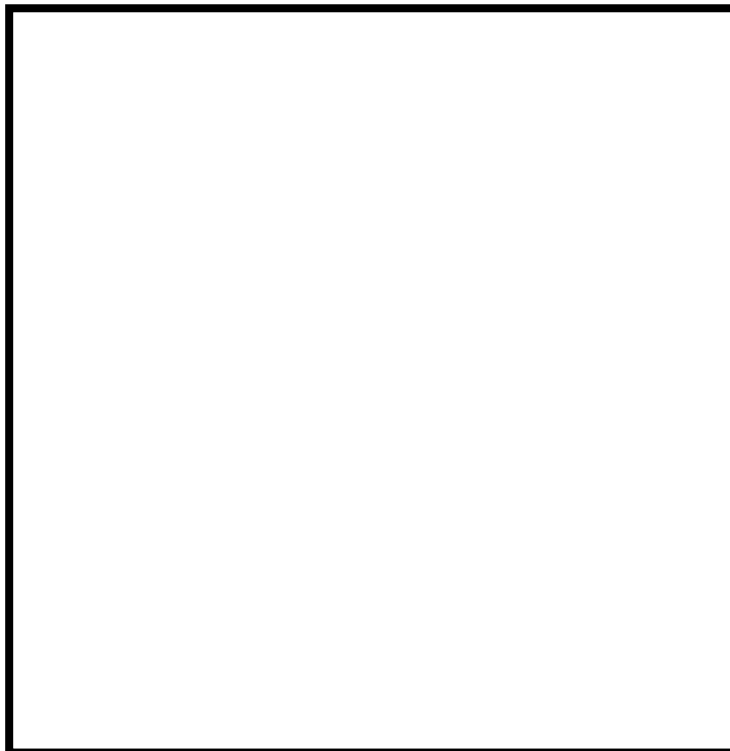
仮に最短距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 が有ったと仮定し、熱影響評価を実施し危険距離は約 30m、爆風圧による影響評価を実施し危険限界距離は となり、発電所との距離約 5km よりも小さいことを確認した。また、飛来物の影響について評価を実施し、飛来物の最大飛散距離は となり、発電所との距離約 5km よりも小さいことを確認した。

よって、発電所敷地外の石油類貯蔵施設において火災・爆発が発生した場合においても発電所への影響はない。



第 3.2-1 表 10km 圏内における最大の高圧ガスの貯蔵量

種類	貯蔵量[トン]
液化石油ガス	<input type="text"/>



第 3.2-1 図 最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設と最短距離の高圧ガス貯蔵施設

3.2.1. 熱影響評価

(1) 熱影響評価の評価条件

評価に必要なデータを以下に示す。

評価条件	
燃料の種類	プロパン
燃料量[トン]	
防油堤面積[m ²]	
輻射発散度[kW/m ²] ¹⁾	74
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0.099

1) 評価ガイド付属書 B より

2) NUREG-1805 より

(2) 燃焼半径の算出

燃焼面積は、防油堤面積に等しいものとする。従って、燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出した。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S : 防油堤面積 (火炎円筒の底面積) =

R =

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

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

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³], m : 質量[kg]

ここで, , M=0.099[kg/m²・s]として、燃焼継続時間を求めると、

$$t = \frac{\text{燃料量}}{\pi R^2 \times M} = 2419[\text{s}] = 0.672[\text{h}]$$

(4) 危険輻射強度の算出

a. 外壁面の危険輻射強度

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

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

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：コンクリート表面の放射率（0.95）
※， h ：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※， k ：コンクリート熱伝導率
[1.6W/mK]※， ρ ：コンクリート密度[2200kg/m³]※， c ：コンクリート比熱
[879J/kgK]※， t ：燃焼継続時間[s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

$$E=10333[\text{W/m}^2]$$

b. 軽油タンクの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして，下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険輻射強度を求める。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 ：初期温度[38℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：軽油タンク表面の放射率（0.9）※¹，
 h ：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]※²， S ：軽油タンク受熱面積[m²]， C ：軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K]， t ：燃焼継続時間[s]

※¹：伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=327262[\text{W/m}^2]$$

c. 燃料移送ポンプの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプの温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率（0.9）※¹， h ：
排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※²

※¹：伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=1888[\text{W/m}^2]$$

d. 排気筒の危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率（0.9）※¹， h ：

排気筒表面熱伝達率 $[17\text{W}/\text{m}^2\text{K}]^{※2}$ ，S：排気筒受熱面積 $[\text{m}^2]$

※1：伝熱工学資料，※2：空気調和・衛生工学便覧

$$E=10385[\text{W}/\text{m}^2]$$

(5) 形態係数の算出

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。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

$$E_{\text{max}}=R_f \times \phi$$

E_{max} ：危険輻射強度， R_f ：輻射発散度， ϕ ：形態係数

$E_{\text{max}}=10385[\text{W}/\text{m}^2]$ ， R_f ：輻射発散度 $=74000[\text{W}/\text{m}^2]$ とすると，

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
危険輻射強度 $[\text{W}/\text{m}^2]$	10333	327262	1888	10385
輻射発散度 $[\text{W}/\text{m}^2]$	74000			
形態係数	0.1396392	4.422463906	0.025525526	0.14039039

(6) 危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出した。

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

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

ϕ ：形態係数，L：危険距離，H：火炎高さ，R：燃焼半径

ϕ ：形態係数，L：危険距離 $[\text{m}]$ ，H：火炎高さ $[\text{m}]$ ，R：燃焼半径 $[\text{m}]$

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
形態係数	0.1396392	4.422463906	0.025525526	0.14039039
燃焼半径 $[\text{m}]$	□			
危険距離 $[\text{m}]$	約 30m	約 10m	約 81m	約 30m

(7) 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設における危険距離は最大でも約 81m であり，離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって，発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災が発生した場合においても発電所へ影響はない。

3.2.2. 爆風圧の影響評価

評価ガイドの付属書Bに基づき爆風圧の評価を行ったところ，評価上必要とされる

危険限界距離（爆風圧が 0.01MPa 以下となる距離）に対し、発電所までの離隔距離が危険限界距離以上あることを確認した。

第 3.2-1 表 高圧ガス爆発の評価条件

評価条件	
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵ガス K 値	888×1000（プロパン）
貯蔵量	
貯蔵設備又は処理設備の W 値	
爆発形態	高圧ガスの漏えい後、引火によりガス爆発が発生

(1) 危険限界距離の算出方法

評価ガイドに基づき、危険限界距離を以下の式から算出した。

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

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]，K：石油類の定数，W：設備定数

となり、危険限界距離 X は [] となる。

よって、発電所との離隔距離は 5km あることから、爆風圧による発電所への影響はない。

3.2.3. 飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室)※に基づき、飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、評価上必要とされる距離に対し、発電所までの離隔距離が評価上必要となる距離以上あることを確認した。

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

第 3.2.3-1 表 飛来物の評価条件

評価条件	
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵量	
爆発形態	高圧ガスの漏えい後、引火によりガス爆発が発生し、飛来物が発生

(1) 飛来物の最大飛散距離の算出方法

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

$$L = 465M^{0.10}$$

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

□

となり，飛来物の最大飛散距離 L は □ となる。

よって，発電所との離隔距離は 5km あることから，飛来物による発電所への影響はない。

以下に石油コンビナートの防災アセスメント指針の抜粋を示す。

(6) 飛散物

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

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

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。

一定の放射熱を受ける壁面の温度評価体系

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。

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

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

<記号>

c : 比熱[kJ/kgK], T : 温度[K], $\operatorname{erfc}(z)$: 余誤差関数, T_s : 表面温度[K], h : 熱伝達率[kW/m²K], ε : 表面の放射率, k : 熱伝導率[kW/mK], ρ : 密度[kg/m³], q : 入射熱流束[kW/m²], t : 燃焼継続時間[s]

出典 : 田中 哮義, 改訂版建築火災安全工学入門, 日本建築センター

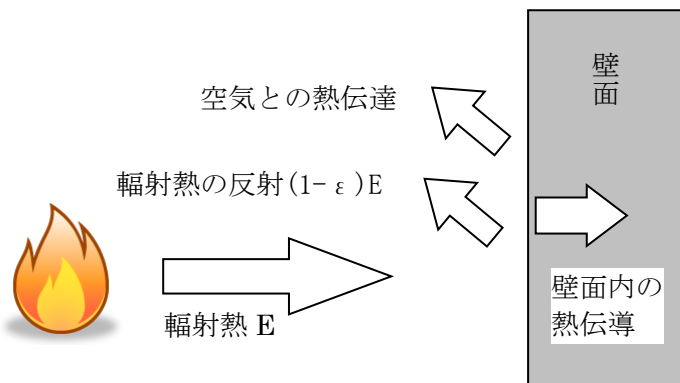
<パラメータ>

h : 34.9[W/m²K], k : 1.6[W/mK], ε : 0.95, ρ : 2200[kg/m³], c : 879[J/kgK]

建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より

T_0 : 50[°C]

柏崎市の過去最高気温 37.6°Cに日射の影響を考慮し設定



燃料輸送車両の火災・爆発について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する燃料輸送車両の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が発電所に隣接する地域で起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 燃料輸送車両の火災影響評価

(1) 燃料輸送車両の火災の想定条件

- a. 発電所敷地外 10km 以内の施設において液化石油ガス輸送車両が許可申請されていることから、最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こした場合を想定した。
- b. 燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの(16 トン^{*})とした。
- c. 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定した。
- d. 輸送燃料は液化石油ガス(プロパン)とした。
- e. 発電所敷地境界の道路での燃料輸送車両の全面火災を想定した。
- f. 気象条件は無風状態とした。
- g. 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倍とした。

※：LP ガスタンクローリー製造会社、LP ガスプラント協会への聞き取りおよび JX 日鉱日石エネルギー 石油便覧より。なお、家庭業務用では容器(主として 10~50kg 容器)で、中・大規模工場ではバルク容器(1~1,000 kg型)やタンクローリー(主として 8~11 トン積み)のものが使われている。

(2) 評価手法の概要

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

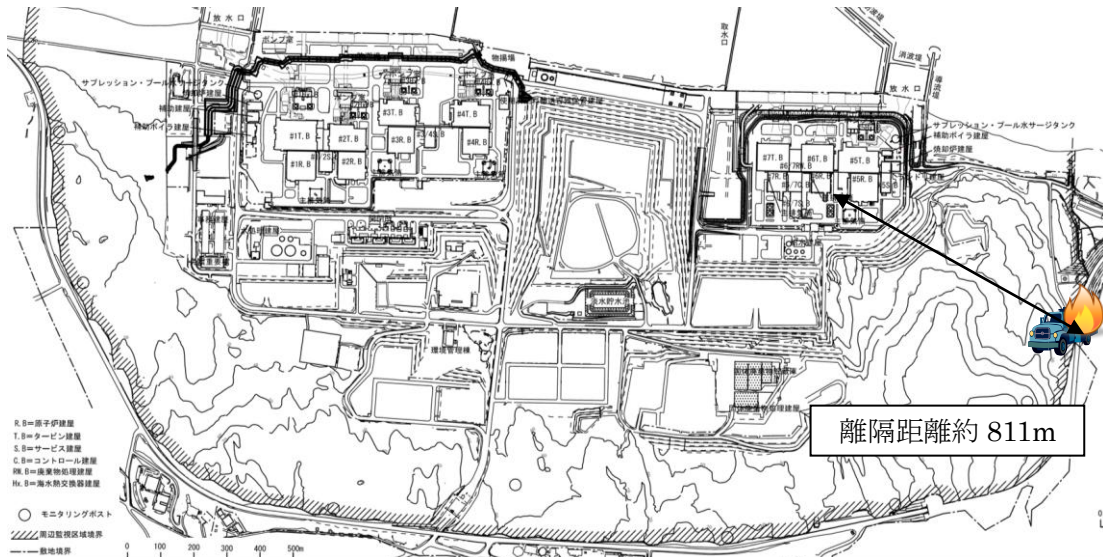
評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	燃料輸送車両の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 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無いものとする。

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

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地境界の道路で出火する最大規模の燃料輸送車両とする（第 2.1-1 図）。なお、発電所構内には、1kl 未満の軽油を貯蔵したタンクローリーが存在するが、6、7号炉に設置している軽油タンクが 565kl であり、原子炉施設からの距離がタンクローリー配置位置より軽油タンクの方が近いことから軽油タンクの火災影響評価に包絡される。



第 2.1-1 図 燃料輸送車両の離隔距離

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

燃料の種類	プロパン
燃料量[ton]	16
輻射発散度[kW/m ²] ¹⁾	74
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0.099
燃料輸送車両投影面積[m ²] ³⁾	16.5×2.5

1) 評価ガイド付属書 B より

2) NUREG-1805 より

3) 車両長 16.5[m] : 車両制限令 第三条

車両幅 2.5[m] : 道路運送車両の保安基準 第二条

(5) 燃焼半径の算出

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

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

$$S : \text{燃料輸送車両の投影面積 (火炎円筒の底面積)} = 41.25 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = (41.25 / \pi)^{0.5} = 3.62 \text{ [m]}$$

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

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

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³], m : 質量[kg]

ここで、m=16000[kg], M=0.099[kg/m²・s]として、燃焼継続時間を求めると、
t=16000 / (41.25×0.099) =3918[s]=1.09[h]

(7) 危険輻射強度の算出

a. 外壁面の危険輻射強度

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

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

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T_s : 外表面温度[200℃], T₀ : 初期温度[50℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : コンクリート表面の放射率 (0.95) ※, h : コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※, k : コンクリート熱伝導率[1.6W/mK] ※, ρ : コンクリート密度[2200kg/m³] ※, c : コンクリート比熱[879J/kgK] ※, t : 燃焼継続時間[s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

E=9295[W/m²]

b. 軽油タンクの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして、下記の式より軽油の温度が225℃となる危険輻射強度を求める。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T₀ : 初期温度[38℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 軽油タンク表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]※², S : 軽油タンク受熱面積[m²], C : 軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間[s]

※¹: 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

E=203421[W/m²]

c. 燃料移送ポンプの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプの温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹， h ：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K] ※²

※¹:伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=1888[\text{W/m}^2]$$

d. 排気筒の危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして，下記の式より排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹， h ：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K] ※²， S ：排気筒受熱面積[m²]

※¹:伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=10380[\text{W/m}^2]$$

(8) 形態係数の算出

火災から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

$$E_{\max} = R_f \times \phi$$

E_{\max} ：危険輻射強度， R_f ：輻射発散度， ϕ ：形態係数

R_f ：輻射発散度 = 74×10^3 [W/m²] とすると，

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
危険輻射強度[W/m ²]	9295	203421	1888	10380
輻射発散度[W/m ²]	74000			
形態係数	0.1256089	2.748944998	0.025525526	0.14039039

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 危険距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
形態係数	0.1256089	2.748944998	0.025525526	0.14039039
燃焼半径[m]	3.62			
危険距離[m]	約 13m	約 4m	約 32m	約 12m

(10) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、燃料輸送車両において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(約 811m)が危険距離(最大約 32m)以上であることから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。

3. 燃料輸送車両の爆発影響評価

(1) 燃料輸送車両の火災の想定条件

- 発電所敷地外 10km 以内の施設において液化石油ガス輸送車両が許可申請されていることから、最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こした場合を想定した。
- 燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの(16トン)とした。
- 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定した。
- 輸送燃料は液化石油ガス(プロパン)とした。
- 発電所敷地境界の道路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した。
- 気象条件は無風状態とした。

(2) 評価手法の概要

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

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 10kPa 以下になる距離

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地境界の道路で出火する燃料輸送車両とする。

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データ種類	内容
石油のK値	コンビナート等保安規則第5条別表第二に掲げる数値 $K=888000$ (プロパンの最大値)
貯蔵設備又は処理設備のW値	コンビナート等保安規則第5条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力(単位 トン)の数値の平方根の数値(貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能力(単位 トン)の数値)、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力(単位 立方メートル)を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量(単位 トン)に換算して得られた数値の平方根の数値(換算して得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値) 処理設備：処理設備内にあるガスの質量(単位 トン)の数値 $W=16^{1/2}=4$
離隔距離[m]	発電所敷地境界の道路から原子炉施設までの距離 約 811[m]

(5) W値の算出

最大規模の燃料輸送車両の積載量を貯蔵能力とし、W値を算出した。

積載量(貯蔵能力) = 16[トン]

$$W=16^{1/2}=4$$

(6) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が燃料輸送車両と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

X：危険限界距離[m]， λ ：換算距離 14.4[m \cdot kg $^{-1/3}$]，K：石油類の定数，W：設備定数
K=888000，W=4として、危険限界距離を求める。

$$X \approx 88[m]$$

(7) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、燃料輸送車両において爆発が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(約 811m)が危険限界距離(約 88m)以上であることから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に爆風圧による影響はないと評価する。

4. 燃料輸送車両の飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室)※に基づき、飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ、最大飛散距離に対し発電所までの離隔距離が評価上必要となる距離以下であった。

このため、飛来物を想定した上での詳細な評価を実施したところ、飛来物は原子炉施設に衝突することはない。

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

第 4-1 表 飛来物の評価条件

評価条件	
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵量	16 トン
爆発形態	高圧ガスの漏えい後、引火によりガス爆発が発生し、飛来物が発生

(1) 飛来物の最大飛散距離の算出方法

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

$$L = 465M^{0.10}$$

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

$$L = 465 \times (16,000)^{0.10} = 1,224.24$$

となり、飛来物の最大飛散距離 L は約 1,225m となる。

(2) 飛来物の最大飛散距離の詳細な評価

上記「石油コンビナート防災アセスメント指針」に基づく飛散範囲の推定式によると、飛来物が原子炉施設に到達するおそれがあることから、燃料輸送車両(第 4-1 図参照)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。飛来物の想定にあたり、BLEVE 現象^{*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ものの構造図をもとに、飛来物化することが想定される爆風の影響を直接受ける可能性がある部位を選定したところ、タンク本体・はしご・バンパー一部が抽出された。台車部など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、原子炉施設に到達せず、また横転した場合を考えても、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原子炉施設に到達しないことから影響はない。トラクターについては、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絡される。

抽出した飛来物に対して、第 4-2 表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、「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、包絡的な飛来物を設定した。

はしごおよび、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。

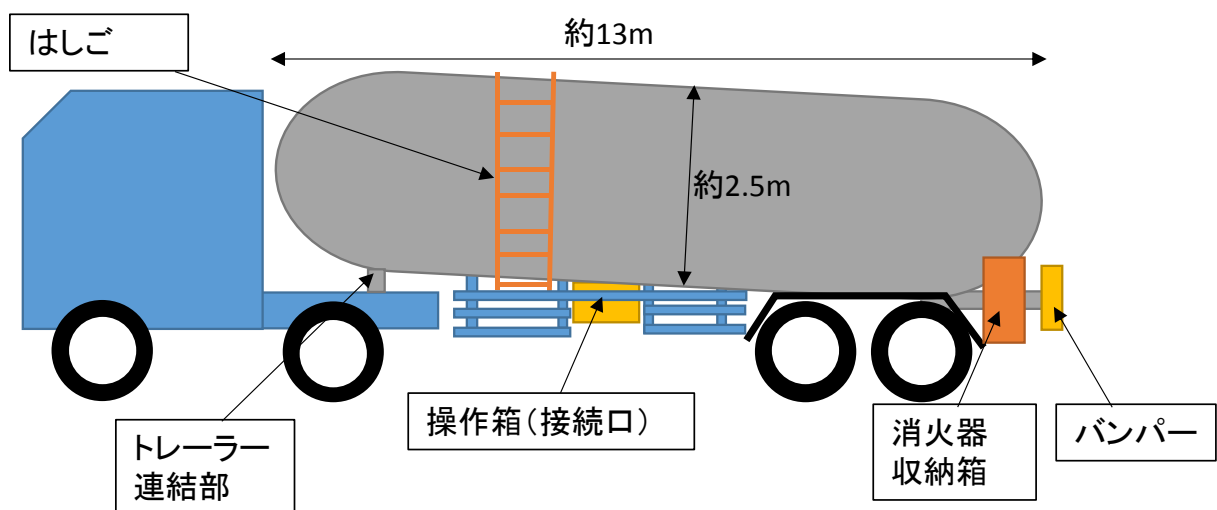
また、タンク板の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m×2.5m 程度が最大と考えられるが、平板は幅、長さが大きくなるほど、飛距離が大きくなる傾向にあることから、保守的な評価としてタンクの半分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m、長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 16.5m の平板について評価を実施する。厚さについては、構造図から 0.01m とする。

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 および 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、外力としては重力および平均抗力 (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」(Handbook of Hazardous Materials Spills Technology の 22.4.4 節) であることから、初期条件として地上にあるタンクローリー破片の初期速度を 200m/s とする。また、放出角は感度解析の結果もっとも遠くまで到達する 30° とする。

想定飛来物の諸元および、飛散距離の計算結果を第 4-2 表に示す。離隔距離 811m は、最大飛散距離である鋼製パイプの 549.6m を上回ることから、飛来物が原子炉施設に到達することはない、影響はない。

※1 BLEVE 現象 (沸騰液膨張蒸気爆発) : 液化ガスを貯蔵するタンク火災などで、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。



第 4-1 図 燃料輸送車両概要図

第 4-2 表 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 16.5 ^{*1} ×2.5 ^{*1} ×0.01 ^{*4}
質量 (kg)	69.3 ^{*2}	530.4 ^{*3}	3238.1
飛散距離 (m)	549.6	504.0	403.1
離隔距離(m)	811		

※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：鋼製パイプの直径および質量については、「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，奥行および質量は，「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 0.03m，奥行約 0.02m と同程度である。

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

(参考文献)

Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050 Tornado-Borne Missile Speeds (1976). 東京工芸大学，平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書 (2011).

江口讓，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発，電力中央研究所 研究報告 N14002 (2014).

江口讓，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法 (Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認)，日本機械学会論文集， Vol. 81, No. 823, [DOI: 10.1299/transjsme.14-00478] (2015).

J. Casal, J. Arnaldos, H. Montiel, E. Planas-Cuchi, and J. A. Vázquez, Modeling and Understanding BLEVEs, in Handbook of Hazardous Materials Spills Technology (ed.: M. Fingas), chapter 22 (2002)

(3) 飛来物影響評価結果

燃料輸送車両からの飛来物を想定した上での評価を実施したところ，離隔距離（約 811m）が最大飛散距離（約 550m）を上回る結果となった。したがって，発電所周辺道路で燃料輸送車両が事故等により爆発し，なおかつその飛来物が原子炉施設に衝突することはなく，影響はない。

(参考1) 燃料物性値について

燃料輸送車両の火災影響評価では、爆発による影響が大きいことを考慮し、最大クラスの液化石油ガス輸送車両が火災、爆発を起こした場合を想定している。液化石油ガスはガソリンに対して、輻射発散度が大きく輻射強度も大きくなるため保守的であるが、質量低下速度が速く燃焼時間が短い。このため、燃料積載量大きいガソリンを搭載したタンクローリーと比較し、想定の妥当性について評価した。

評価に必要なデータを以下に示す。

燃料の種類	プロパン	ガソリン
燃料量[ton]	16	23.4 (30[ton])
輻射発散度[kW/m ²] ¹⁾	74	58
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0.099	0.055
燃料輸送車両投影面積[m ²]	41.25 ³⁾	41.25 ³⁾

1) 評価ガイド付属書 B より

2) NUREG-1805 より

3) 車両長 16.5[m] : 車両制限令 第三条

車両幅 2.5[m] : 道路運送車両の保安基準 第二条

火災による熱影響(危険距離)は2.(5)から(9)と同様に算出した。

	プロパン	ガソリン
危険距離[m] [*]	約 32m	約 28m

※: 最大値(燃料移送ポンプの場合)を記載

以上の結果から、プロパンとガソリンの燃料物性値の相違による評価結果への影響はない。なお、離隔距離(約 811m)が危険距離以上であることから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。

(参考2) その他の安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する影響評価
免震重要棟は発電所敷地周辺道路からの離隔距離が最も短く約 380m であるが、燃料輸送車両火災時の危険距離(約 13m)以上、爆発発生時の危険限界距離(約 88m)以上であることから、その他の安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼすことはないと評価できる。

(参考3) 燃料輸送車両の飛来物による影響評価について

1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所では、燃料輸送車両の爆発時の飛来物の影響について、離隔距離が十分であることから影響はないとしている。一方、「石油コンビナート防災アセスメント指針」に基づく評価によると、離隔距離(811m)が、最大飛散距離(1,225m)以下であることから、参考として、頻度および影響度の観点からリスクについて評価する。

2. 燃料輸送車両の飛来物による影響がないことについて

(1) 発電所周辺道路の交通状況

柏崎刈羽原子力発電所周辺道路としては国道352号線があるが、発電所付近は工業地域を走行する道路ではなく、より高規格で直線的な線形の道路である国道116号線に加え、国道8号線や高速自動車国道が並走しているため、新潟市(新潟東港地区・新潟西港地区)－(刈羽村・柏崎市)－上越市(直江津地区)などのコンビナート間の通過交通に積極的に使用される道路ではない。また、発電所周辺10km以内において液化石油ガスの許可申請を実施している15事業所に聞き取りを実施したところ、回答を得られた12事業所のうち、定常的に敷地付近の主要な道路である国道352号線の発電所付近を通過するタンクローリーを取扱い、受け入れするのは1事業所のみであり、繁忙期においても週1回程度の低頻度である。

(2) 爆発時の原子炉施設への影響

燃料輸送車両は、高圧ガス保安法等の規制のもと製造・維持・管理されており、信頼性が確保されているが、万が一燃料輸送車両の爆発により飛来物が発生したとしても、周辺道路からの離隔距離は811m以上であり、BLEVE現象^{※1}による容器の破損による最大飛散範囲1,225mに及ばないものの一定の離隔距離が確保されており影響は緩和される。原子炉施設に衝突するものは多くても数個程度、また重量も小さいものであると考えられ、建屋が一定の頑健性を持っていることを踏まえると、同時に複数の設備に影響を与えることは考え難い。したがって、広範な影響を及ぼす可能性のある地震、津波を初めとする自然現象・人為事象に比べ、影響が小さいと言える。

また、次項に述べるような確率論的な考察によっても、リスクが小さいと言える。

以上のように、柏崎刈羽原子力発電所周辺においては燃料輸送車両の交通が少ないことに加え、最大飛距離には及ばないものの一定の離隔があること、また事象が生じた際の影響が小さく一部設備にとどまることから、燃料輸送車両の爆発に伴う飛来物による原子炉施設への影響はないと判断できる。

※1 BLEVE現象(沸騰液膨張蒸気爆発): 液化ガスを貯蔵するタンク火災などで、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。

3. 燃料輸送車両の飛来物による影響の確率論的考察について

前項で述べたとおり、燃料輸送車両が爆発した際の影響は小さく無視できると考えられるが、本項では、過去の事故発生頻度を用いて燃料輸送車両の爆発飛来物が原子炉施設へ損傷を与える可能性がある確率を算出しても極めて小さい値となることを確認する。

(評価条件)

- a. 評価対象は原子炉建屋・コントロール建屋・廃棄物処理建屋・熱交換器エリア・軽油タンクとする。
- b. 敷地付近の主要道路である国道352号線を通行する燃料輸送車両の火災を想定する。
- c. 積載物としては、BLEVE現象を引き起こす、液化石油ガスを想定する。
- d. 燃料積載量は、液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスの16tを想定する。

(評価方法)

評価に使用する各パラメータについて表1に示す。

(1) 新潟県内での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度

原子炉施設に影響を及ぼすような爆発を想定する車両として、BLEVE現象を引き起こす恐れがある、可燃性の高圧ガスを積載した車を考える。新潟県内では平成16年から平成26年までの10年間で3件の、可燃性の高圧ガスを積載したタンクローリーに関する事故が発生している。これらは、いずれも漏えいなどに留まり爆発事故には至っていないが、保守的な値として新潟県内において燃料輸送車両の爆発事故が発生する頻度を次のように求める。

$$3 / 10 = 0.3[\text{件/年}]$$

(2) 周辺道路での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づく、容器の破損による破片の飛散範囲Lは以下のとおり約1.3kmである。

$$L = 465 \times (16,000)^{0.10} = 1,224.24 [\text{m}]$$

したがって、爆発事故が発生した際に、飛来物が原子炉施設に影響を与えうる道路延長は図1の通り、約2.3kmである。

周辺道路での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度は、県内の燃料輸送車両の事故が、すべて新潟県内の高速自動車国道（実延長379.5km）あるいは一般国道（実延長1781.9km）で発生したと仮定し算出する。高速自動車国道および一般国道の実延長は $379.5 + 1781.9 = 2161.4 \text{ km}$ から2000km、周辺道路の長さは約2.3kmから3kmとそれぞれ保守的に設定した。

周辺道路での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度は次のようになる。

$$0.3 \times 3 / 2000 = 4.5 \times 10^{-4} [\text{件/年}]$$

(3) 飛来物の原子炉施設衝突確率

燃料輸送車両の爆発時に飛来物が原子炉施設に到達する確率は、燃料輸送車両を中心とする半径が最大飛距離 1,225m の円内に飛来物が等しい確率で落下すると仮定し算出する。評価対象施設の合計面積は、11843.5m² であるから飛来物の原子炉施設衝突確率は $11843.5 / (\pi \times 1225^2) = 2.51 \times 10^{-3}$ となる。

(6) 評価結果

以上を踏まえると、燃料輸送車両による爆発により原子炉設備に影響を与える確率は、

$$4.5 \times 10^{-4} \times 2.5 \times 10^{-3} = 1.1 \times 10^{-6} \text{ 程度と算出される。}$$

(結論)

燃料輸送車両が爆発しその飛来物が、原子炉施設に落下する確率は 1.1×10^{-6} と極めて小さく、稀にしかおこらない。また建屋による防護にも期待できることから影響は無視できる。

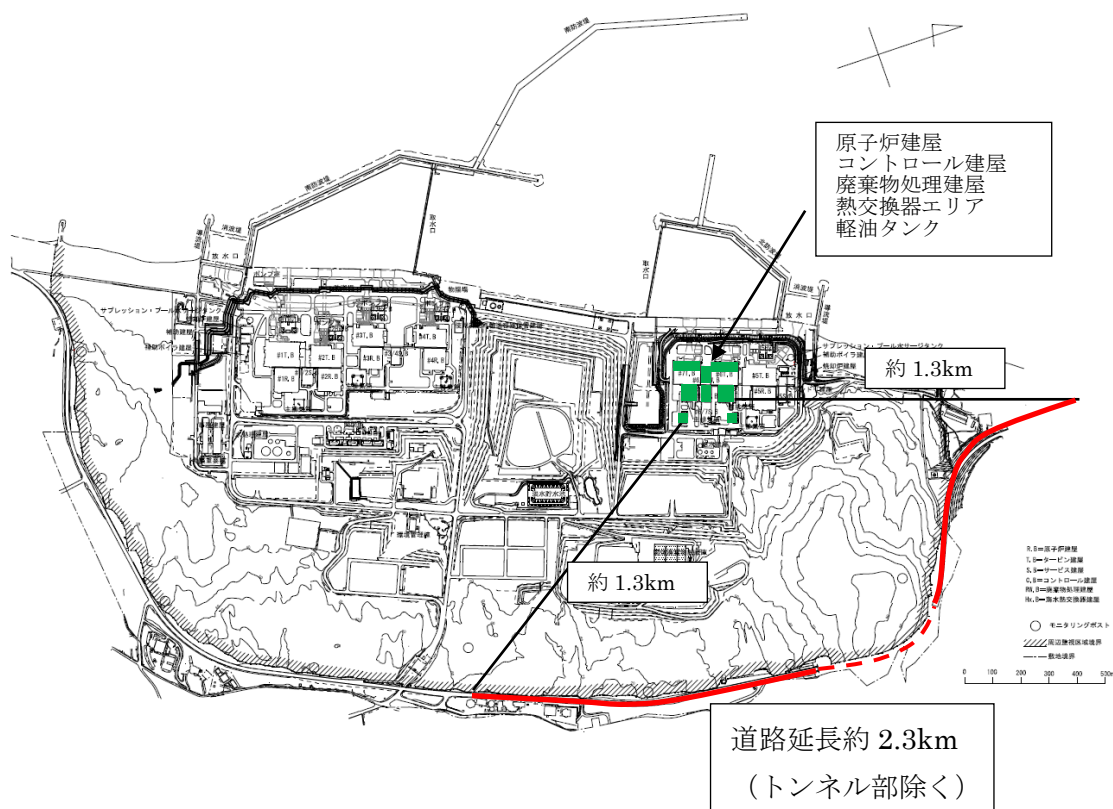


図 1 敷地内概要図

表 1 各種入力条件

	パラメータ	備考
燃料輸送車両爆発頻度	0.3 [/年]	平成 16 年～平成 26 年の 10 年間に新潟県内での高圧ガス積載車両の爆発事故発生回数 3 回より設定 出典：平成 26 年度高圧ガス事故事例データベース（経済産業省・高圧ガス保安協会）
到達距離	1225 [m]	「石油コンビナートの防災アセスメント指針」掲載の式より設定
原子炉建屋へ影響を与える範囲の道路延長	3 [km]	飛来物が原子炉施設に到達する可能性がある道路延長約 2.3km より保守的に設定（図 1）
新潟県内 国道総延長	2000 [km]	一般国道：1781.9km 高速自動車国道：379.5km （道路統計年報 2014） 合計 2161.4km より保守的に設定
標的面積	11843.5 [m ²]	原子炉建屋・コントロール建屋・廃棄物処理建屋・熱交換器エリア・軽油タンクの合計面積

漂流船舶の火災・爆発について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地外で発生する漂流船舶の火災やガス爆発に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が発電所に隣接する地域で起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 漂流船舶の火災影響評価

(1) 想定条件

- a. 漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く、柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶を想定した。
- b. 漂流船舶は港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶(積載量 1021 トン)を想定した。
- c. 漂流船舶は燃料を満載した状態を想定した。
- d. 港湾内での漂流船舶の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 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 倍とした。

(2) 評価手法の概要

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

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[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	船舶の投影面積より求めた燃焼半径
危険距離[m]	火災による輻射熱により許容限界温度になる距離

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

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

(3) 評価対象範囲

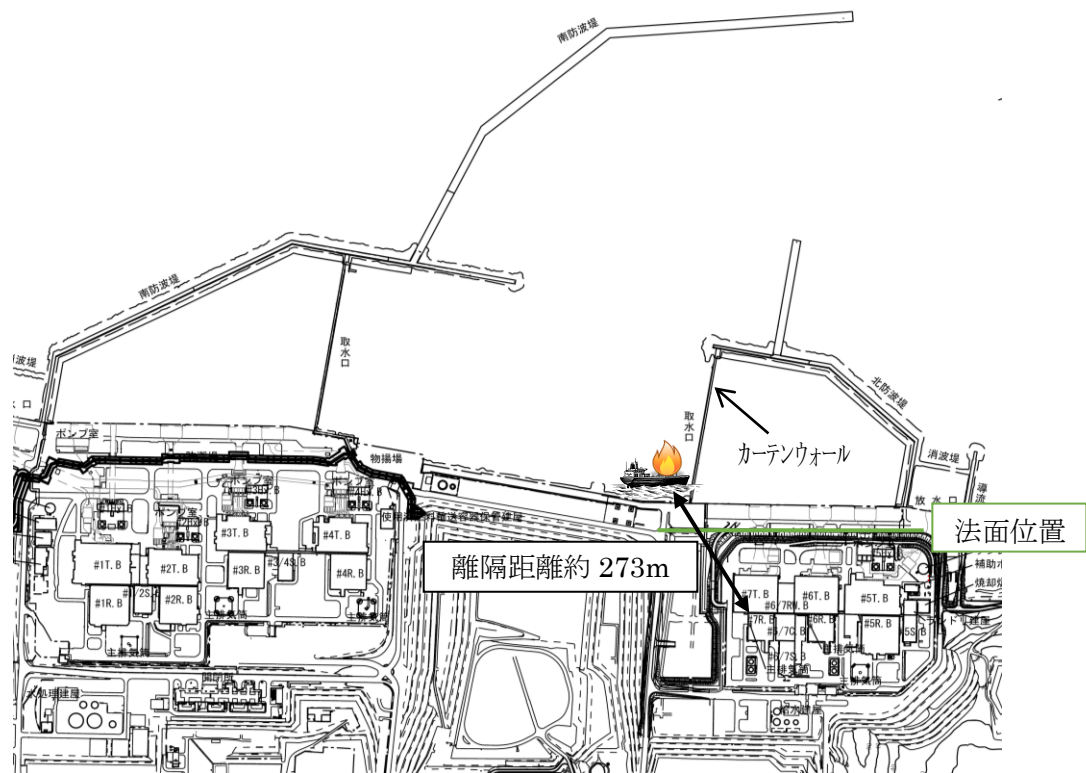
評価対象範囲は、発電所港湾内で出火する漂流船舶とする。なお、以前は船舶にて構内の重油タンクへの重油の補給を行っていたが、現在は重油タンクの運用を廃止しており、発電所構内に入港する危険物輸送船舶は存在しないことから、発電所前面の海域で航行中の船舶が漂流し、港湾内に進入し、出火した場合を想定する

なお、津波による船舶の漂流を想定したとしても、カーテンウォールの高さ

(T. M. S. L+3. 2m), 基準津波による最大水位の高さ (T. M. S. L+5. 5m), 想定している船舶の喫水 (5. 7m) の関係*から, 船舶がカーテンウォールを乗り越えて原子炉施設に接近することはない (第 2-1 図)。

※: 水面はカーテンウォールより 2. 3m 高い位置となるが, 船舶の水面から船底の最深部までの垂直深さが 5. 7m であり, 水面が更に上昇しなければ乗り越えることはない。

喫水 2. 3m 未満の船舶はカーテンウォールを乗り越える可能性を否定できないが, カーテンウォール近傍の法面高さが約 12m (T. M. S. L+12. 0m) となっており, これ以上, 原子炉施設に接近することはない。よって, この位置における原子炉施設との離隔距離 (約 178m) が積載量最大の船舶にて評価した危険距離 (最大約 146m) 以上であることに加え, 喫水 2. 3m 程度の船舶の積載量 (400ton 程度) が最大積載量 (1021ton) 未満であることから, 想定している船舶の評価に包絡される。



第 2-1 図 漂流船舶の離隔距離

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

燃料の種類	プロパン
燃料量[ton] ³⁾	1021
輻射発散度[kW/m ²] ¹⁾	74
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0. 099
漂流船舶投影面積[m ²] ³⁾	約 68×13 [m ²]

1) 評価ガイド付属書 B より

2) NUREG-1805 より

3) 内航船舶明細のLPG船舶の中で容積が最大の船舶の値

(5) 燃焼半径の算出

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

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S : 漂流船舶の投影面積 (火炎円筒の底面積) = 881 [m²]

$$R = (881 / \pi)^{0.5} = 16.75 \text{ [m]}$$

(6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

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/s]

M : 質量低下速度 [kg/m²・s], ρ : 密度 [kg/m³], m : 質量 [kg]

ここで、 $m=1,021,000$ [kg], $M=0.099$ [kg/m²・s] として、燃焼継続時間を求めると、
 $t=1,021,000 / (881 \times 0.099) = 11,706$ [s] = 3.25 [h]

(7) 危険輻射強度の算出

a. 外壁面の危険輻射強度

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

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

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T_s : 外表面温度 [200°C], T_0 : 初期温度 [50°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : コンクリート表面の放射率 (0.95) ※, h : コンクリート表面熱伝達率 [34.9W/m²K] ※, k : コンクリート熱伝導率 [1.6W/mK] ※, ρ : コンクリート密度 [2200kg/m³] ※, c : コンクリート比熱 [879J/kgK] ※, t : 燃焼継続時間 [s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

$E=7701$ [W/m²]

b. 軽油タンクの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で軽油タンクが昇温されるものとして、下記の式より軽油の温度が 225℃となる危険輻射強度を求める。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 : 初期温度[38℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 軽油タンク表面の放射率 (0.9) ※¹,
 h : 軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]※², S : 軽油タンク受熱面積[m²], C : 軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間[s]

※¹: 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 70434 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

c. 燃料移送ポンプの危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして、下記の式より燃料移送ポンプの温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 : 初期温度[50℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※²

※¹: 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 1888 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

d. 排気筒の危険輻射強度

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、下記の式より排気筒の温度が 325℃となる危険輻射強度を求める。

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

T_0 : 初期温度[50℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]※², S : 排気筒受熱面積[m²]

※¹: 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 10388 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

(8) 形態係数の算出

火災から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

$$E_{\max} = R_f \times \phi$$

E_{max} : 危険輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
危険輻射強度[W/m ²]	7701	70434	1888	10388
輻射発散度[W/m ²]	74000			
形態係数	0.1040675	0.95182117	0.025525526	0.14039039

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 危険距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
形態係数	0.1040675	0.95182117	0.025525526	0.14039039
燃焼半径[m]	16.7			
危険距離[m]	約 66m	約 17m	約 146m	約 53m

(10) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、漂流船舶において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(約 273m)が危険距離(最大約 146m)以上であることから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価できる。

3. 漂流船舶の爆発の想定

(1) 想定条件

- 漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く、柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶を想定した。
- 漂流船舶は港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶(積載量 1021トン)を想定した。
- 漂流船舶は燃料を満載した状態を想定した。
- 港湾内での高圧ガス漏えい、引火による漂流船舶の爆発を想定した。
- 気象条件は無風状態とした。

(2) 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する漂流船舶のガス爆発による影響の有無の評価を目的とし

ている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 10kPa 以下になる距離

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所港湾内で出火する漂流船舶とする。なお、以前は船舶にて構内の重油タンクへの重油の補給を行っていたが、現在は重油タンクの運用を廃止しており、発電所構内に入港する危険物輸送船舶は存在しないことから、発電所前面の海域で航行中の船舶が漂流し、港湾内に進入し、出火した場合を想定する。

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データ種類	内容
石油の K 値	コンビナート等保安規則第 5 条別表第二に掲げる数値 K=888000 (プロパンの最大値)
貯蔵設備又は処理設備の W 値	コンビナート等保安規則第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力 (単位 トン) の数値の平方根の数値 (貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能力 (単位 トン) の数値)、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力 (単位 立方メートル) を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量 (単位 トン) に換算して得られた数値の平方根の数値 (換算して得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値) 処理設備：処理設備内にあるガスの質量 (単位 トン) の数値 $W=1021^{1/2}=31.95$
離隔距離[m]	発電所港湾岸壁から原子炉施設までの距離 約 273[m]

(5) W値の算出

港湾内に入港しうる最大船舶の積載量を貯蔵能力とし、W値を算出した。

積載量 (貯蔵能力) = 1021 [トン]

$$W = 1021^{1/2} = 31.95$$

(6) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が漂流船舶と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]，K：石油類の定数，W：設備定数
K=888000，W=31.95 として，危険限界距離を求める。

X=約 176[m]

(7) 爆発による影響評価結果

以上の結果から，漂流船舶において爆発が発生した場合を想定したとしても，離隔距離(約 273m)が危険限界距離(約 176m)以上であることから，安全機能を有する構築物，系統および機器を内包する原子炉施設に影響をおよぼすことはない。

4. 漂流船舶の飛来物の影響評価

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室)※に基づき，飛来物の最大飛散距離の評価を行ったところ，最大飛散距離に対し発電所までの離隔距離が評価上必要となる距離以下であった。

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

第 4-1 表 飛来物の評価条件

評価条件	
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵量	1021 トン
爆発形態	高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生し，飛来物が発生

(1) 飛来物の最大飛散距離の算出方法

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

$$L = 465M^{0.10}$$

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

$$L = 465 \times (1,021,000)^{0.10} = 1,855.05$$

となり，飛来物の最大飛散距離 L は約 1,855m となる。

(2) 飛来物影響評価結果

飛来物による影響については，離隔距離(約 273m)が最大飛散距離(約 1,855m)以下であるが，発電所遠方で漂流した船舶が飛散距離である 1,855m 以内に流れ着いた後に爆発し，なおかつその飛来物が原子炉施設に衝突する可能性は非常に低いことから，想定した漂流船舶の飛来物の発電所への影響はない。

また，柏崎刈羽原子力発電所付近には石油コンビナートが無く，発電所付近の航路を調査した結果，最も距離の近い航路でも 30km の離隔距離があることを確認した(第

4-1 図)。よって、漂流した船舶が発電所周辺まで流れてくる可能性は低く、それに加えて飛来物が原子炉施設に衝突する可能性は非常に低い。



第 4-1 図 発電所周辺の主要航路

漂流船舶の選定について

船舶には外航船（国外航路を航行する船舶）および内航船（国内航路を航行する船舶）がある。これらの船舶が漂流してきた場合を想定しても外航船の喫水（水面から船底の最深部までの垂直深さ）は 11m 程度であり、発電所港湾内まで進入することができない。よって、発電所港湾内まで進入可能な内航船が、漂流し港湾内に進入し火災・爆発した場合を想定した。

発電所港湾内に進入可能な内航船にも様々な種類の燃料を積載する船舶が存在するが、火災・爆発を想定することから液化ガス輸送船舶を対象とし、その中でも船舶数が多く¹⁾、発電所前面の海域に航路が存在する²⁾液化石油ガス輸送船舶を対象とした。液化石油ガスは、家庭業務用、一般工業用、発電用等があるが、最も使用量の多い家庭業務用のプロパンガス^{3,4,5)}とした。発電所港湾内に進入可能な内航船の積載燃料別隻数割合を第 1 図に示す。

船舶の規模は、100 トン以上の内航船をすべて収録した内航船舶明細書に記載の液化石油ガス船舶の中で、最大の容積のものとし、評価に使用する入力値を以下に示す。

容積 V : 2010.28[m³]⁶⁾

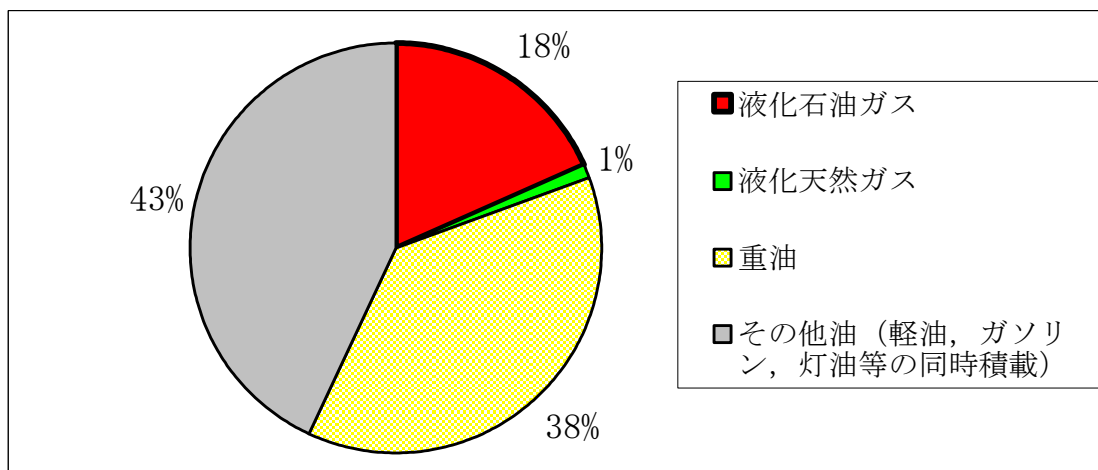
全長 L : 67.77[m]⁶⁾

全幅 H : 13[m]⁶⁾

密度 ρ : 0.5076[トン/m³]⁷⁾

投影面積 $S=L \times H$: 881[m²]

積載量 $M = \rho \times V$: 1021[トン]



第 1 図 発電所に進入可能な内航船の積載燃料別隻数割合

- 1) 平成 13 年度 危険物の海上輸送時の事故対応策の研究報告書（その 1），H14. 3, 社団法人 日本海難防止協会
- 2) 平成 23 年度 新潟港統計年報, H24. 12, 新潟県新潟地域振興局新潟港湾事務局
- 3) 日本 L P ガス協会 統計資料 LP ガス需給の推移

- 4) 液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行規則第十二条
- 5) 経済産業省 LP ガスの規格
http://www.lpgpro.go.jp/guest/learning/basic/01_03.html
- 6) 内航船舶明細書の LPG 船舶の中で容積が最大の船舶の値
- 7) 日本 LP ガス協会 物性一覧

漂流船舶（火災）の二次的影響について

発電所港湾内で漂流船舶が出火し重油が流出したとしても、港湾内の取水口にはカーテンウォールが設置されており、深層取水していることから原子炉施設（海水系ポンプ）への影響はない。

また、発電所から主要航路までの距離は約 30km である。過去に発生したタンカーからの大規模油流出事故より推定すると、24 時間程度^{※1}で油がサイトに到達する可能性があるが、海上保安庁より漂流船舶に関する連絡を受けた場合、オイルフェンスの設置に要する時間は 11 時間程度^{※2}であることから、油の到達時間内にオイルフェンスを設置することができる。

よって、港湾内への油の流入を妨げることが可能であると評価する。

※1：平成 9 年 1 月 2 日、島根県隠岐島の北北東約 110km の海上において、ロシア国籍タンカー「ナホトカ号」の重油流出事故が発生。流出量としては当時過去 2 番目となる重油約 6240k1（推定）が流出。流出した重油は、2 日間で 60 数 km 程度広がった。

※2：作業員の参集に 3 時間程度、オイルフェンスは作業開始から 7～8 時間程度で設置が可能。設置手順としては、オイルフェンス等の資機材を保管エリアから港湾まで移動（その間に作業船が柏崎港より移動）、オイルフェンスを接続後、作業船によりオイルフェンスを展開する。なお、オイルフェンスを設置するための資機材はコンテナに収納し、防火帯内側の資材倉庫にて保管している。

敷地内における危険物タンクの火災について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地内の危険物タンクの火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 構内危険物タンクの火災影響評価

(1) 構内危険物タンクの火災の想定

- a. 構内危険物タンクは原子炉施設周辺に設置されており、原子炉施設までの距離が近く貯蔵量の多い各号炉の軽油タンクとした。なお、各号炉の軽油タンクは2基隣接して設置しているが、耐震Sクラス設備であり地震随件事象としても2基同時火災の想定はしづらいこと、隣接軽油タンク火災時にもう一方の軽油タンクの温度は発火点まで上昇しないため2基同時出火することはないことから、原子炉施設に近い軽油タンク1基の火災を想定した。
- b. 構内危険物タンクは危険物を満載した状態を想定した。
- c. 構内危険物タンクの損傷等による防油堤内での全面火災を想定した。
- d. 泡消火設備の消火機能には期待しない。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 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倍とした。

(2) 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する構内危険物タンクの火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

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[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	防油堤規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	危険物タンクから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以下になる値

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

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

(3) 評価対象範囲

評価ガイドに基づき、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災の影響評価を実施する。消防法または柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設（第2-1(a)(b)表）より、評価対象とする危険物タンク等を抽出した（第2-1図のフロー図）。発電所敷地内の発火源となる施設のうち、建屋内に設置している設備および地下貯蔵タンクは外部への火災が発生する可能性が低いことから除外し、危険物を貯蔵し屋外に設置しているタンク等を想定発火源とした。発電所敷地内における危険物施設等の位置を第2-2図に示す。

【抜粋】外部火災影響評価ガイド

4. 1 考慮すべき発電所敷地外の火災

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設で発生した火災・爆発により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、その二次的な影響も含めて、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお、発電所敷地外の10km以内を発火点とし、森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は(1)の森林火災として評価する。(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

発電所構内には、危険物施設の他にタンクローリー（1kL×2台、4kL×4台、16kL×1台）を配備している。1kLタンクローリーのうち1台には指定数量以下の軽油を貯蔵し、訓練後の電源車や消防車等への燃料補給に使用するが、それ以外のタンクローリーは常時「空」の状態で開催している。常時「空」の状態であるタンクローリーは発火の可能性はないことから評価対象から除外する。同様に、発電所構内には重油タンクがあるが、現在は当該タンクの重油を抜き危険物貯蔵所として廃止届出をしており、重油タンク内の重油は「空」であることから、評価対象から除外する。

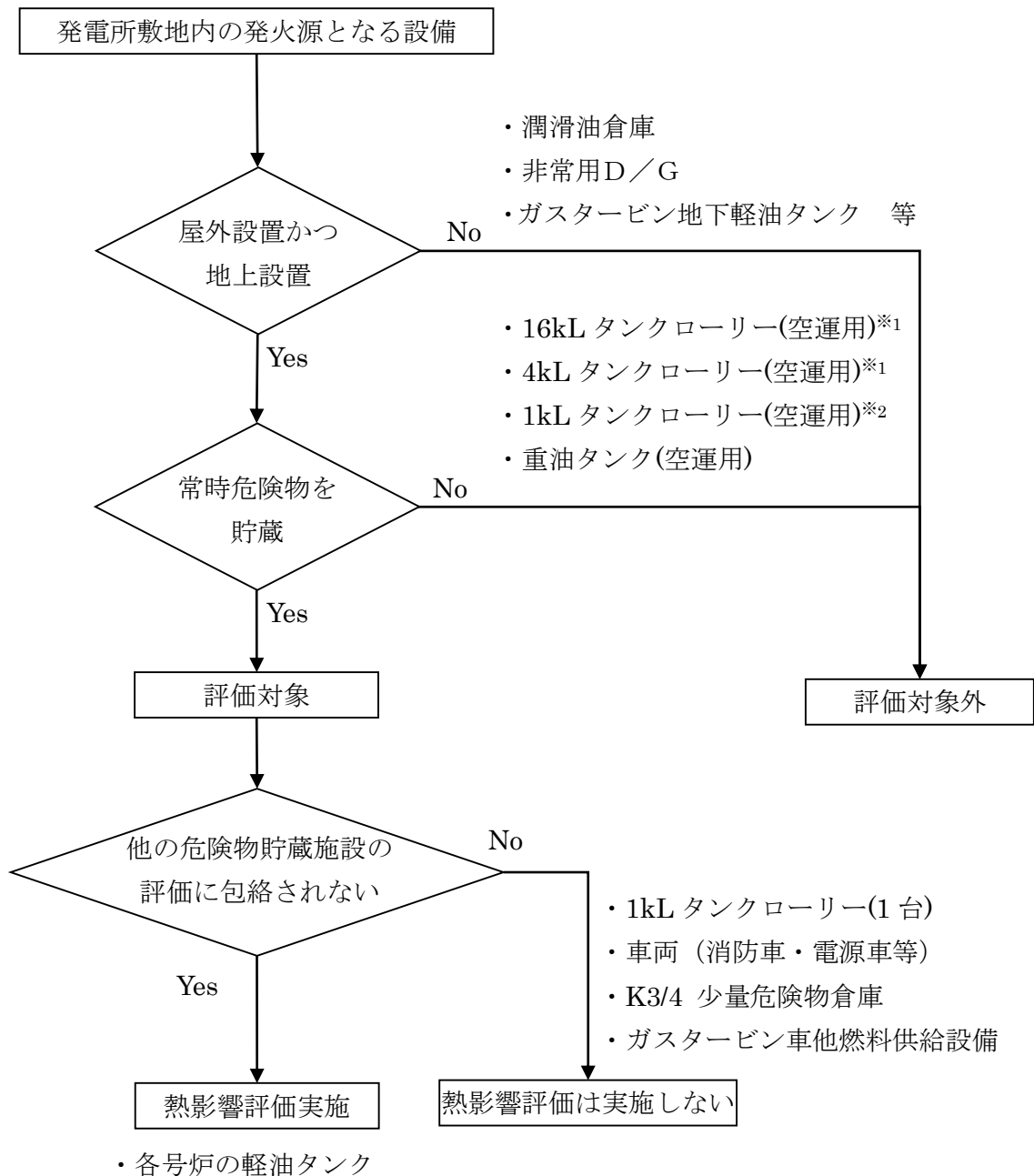
以上より、評価対象は、各号炉の軽油タンク、危険物を貯蔵する車両（タンクローリー）、指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（K3/4少量危険物倉庫）およびガスタービン車他燃料供給設備（一般取扱所）となる。

ここで、指定数量以下の危険物を貯蔵する車両等（タンクローリー）は、貯蔵量が少なく周辺監視区域外に設置・保管されており、評価対象とした軽油タンク火災の評価に包絡されるため熱影響評価は実施しない。

同様に、指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（K3/4少量危険物倉庫）は、評価対象とした軽油タンクと原子炉施設の距離に比べ離れた位置に配置しており、貯蔵量が少ないため熱影響評価は実施しない。

ガスタービン車他燃料供給設備（一般取扱所）は各号炉の軽油タンクより離れた位置に配置しており貯蔵量も少なく、軽油タンク火災評価に包絡されることから熱影響評価は実施しない。また、他号炉の軽油タンク（6号炉評価時の7号炉軽油タンク）は、自号炉の軽油タンクより距離が離れており自号炉の軽油タンク火災評価に包絡さ

れることから熱影響評価は実施しない。



※1：危険物の規制に関する政令第7条第1項に基づく「危険物貯蔵所変更許可申請書」を柏崎市長に提出している。

※2：柏崎市火災予防条例第46条第1項に基づく「少量危険物貯蔵届出書」に加え、タンクローリーの運用方法を定めた文書を柏崎市消防長に提出している。

第2-1 図 敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー

第2-1 (a)表 危険物製造所等許可施設一覧 (1 / 3)

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
1号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
1号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
1号炉	補助ボイラ	一般取扱所	4	第3石油類	重油	105kL/日	×(屋内設置)
1号炉	D/G(A)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.5kL	×(屋内設置)
1号炉	D/G(B)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.5kL	×(屋内設置)
1号炉	D/G(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	14kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.5kL	×(屋内設置)
1号炉	MGセット室	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	12kL	×(屋内設置)
1号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	106kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	リン酸エステル	3kL	×(屋内設置)
1号炉	OD貯蔵タンク	屋内タンク貯蔵所	4	第3石油類	廃油	10.763kL	×(屋内設置)
共用	潤滑油倉庫	屋内貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	100kL	×(屋内設置)
共用	焼却炉建屋廃油タンク	屋内タンク貯蔵所	4	第3石油類	潤滑油	7.2kL	×(屋内設置)
2号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	106kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	リン酸エステル	3.8kL	×(屋内設置)
2号炉	D/G(A)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
2号炉	D/G(B)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
2号炉	MGセット室(A)(B)	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	12kL	×(屋内設置)
2号炉	D/G(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	14kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	3.9kL	×(屋内設置)
2号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
2号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
3号炉	D/G(A)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
3号炉	D/G(B)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
3号炉	D/G(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	14kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	3.9kL	×(屋内設置)

第2-1(a)表 危険物製造所等許可施設一覧 (2 / 3)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否
			類	品名		
3号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	106kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	3.8kL	× (屋内設置)
3号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
3号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
4号炉	D/G(A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
4号炉	D/G(B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
4号炉	D/G(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	14kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
4号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	106kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	4kL	× (屋内設置)
4号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
4号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
5号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	106kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 リン酸エステル	3kL	× (屋内設置)
5号炉	D/G(A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
5号炉	D/G(B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
5号炉	MGセット室(A)	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	10.5kL	× (屋内設置)
5号炉	MGセット室(B)	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	10.5kL	× (屋内設置)
5号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
5号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
5号炉	D/G(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	14kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
6号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	98kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	4kL	× (屋内設置)
6号炉	D/G(A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
6号炉	D/G(B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)

第 2-1 (a) 表 危険物製造所等許可施設一覧 (3 / 3)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否
			類	品名		
6号炉	D/G (C)	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第 4 石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
6号炉	軽油タンク (A)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類 軽油	565kL	○ (※1)
6号炉	軽油タンク (B)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類 軽油	565kL	○ (※1)
7号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第 4 石油類 潤滑油	98kL	× (屋内設置)
			4	第 4 石油類 難燃性作動油	3.8kL	× (屋内設置)
7号炉	D/G (A)	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第 4 石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
7号炉	D/G (B)	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第 4 石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
7号炉	D/G (C)	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第 4 石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
7号炉	軽油タンク (A)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類 軽油	565kL	○ (※1)
7号炉	軽油タンク (B)	屋外タンク貯蔵所	4	第 2 石油類 軽油	565kL	○ (※1)
免震重要棟	ガスタービン発電設備	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類 軽油	30kL	× (地下式)
免震重要棟	ガスタービン発電設備	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	9.888kL	× (屋内設置)
			4	第 4 石油類 タービン油	0.08kL	× (屋内設置)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	地下タンク貯蔵所	4	第 2 石油類 軽油	144kL	× (地下式)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	72kL	× (※2)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	一般取扱所	4	第 2 石油類 軽油	18kL	× (※2)
共用	No. 1 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第 3 石油類 重油	3000kL	× (※3)
共用	No. 2 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第 3 石油類 重油	320kL	× (※3)

※1：自号炉の軽油タンク火災による熱影響評価を実施する

※2：軽油タンク火災による熱影響評価に包絡される

※3：廃止届出済みであり、現在は重油を抜きタンク内に重油は存在しない

第 2-1 (b) 表 指定数量以下の危険物

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
共用	タンクローリー	—	4	第 2 石油類	軽油	1kL	× (※2)
共用	タンクローリー	—	4	第 2 石油類	軽油	1kL	× (常時空)
共用	タンクローリー	移動タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	4kL	× (常時空)
共用	タンクローリー	移動タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	4kL	× (常時空)
共用	タンクローリー	移動タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	4kL	× (常時空)
共用	タンクローリー	移動タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	4kL	× (常時空)
共用	タンクローリー	移動タンク貯蔵所	4	第 2 石油類	軽油	16kL	× (常時空)
共用	K3/4 少量危険物倉庫	—	4	第 1 石油類	—	100L	× (※2)
			4	第 2 石油類	—	450L	× (※2)
			4	アルコール類	—	15L	× (※2)

※2：軽油タンク火災による熱影響評価に包絡される

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません

添付 6-9

第 2-2 図 危険物タンク及び危険物保存庫の位置（発電所全体）

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データ種類	内容
輻射発散度[W/m ²]	燃焼する可燃物によって決まる定数 42×10 ³ [W/m ²] (軽油)
防油堤面積[m ²]	防油堤の面積 17×17=289[m ²]
離隔距離[m]	建屋に近い軽油タンク防油堤の中心から建屋までの距離 46.8[m] 隣接軽油タンクまでの距離 12.4 [m] 排気筒に近い軽油タンク防油堤の中心から排気筒までの距離 77.1[m]

(5) 燃焼半径の算出

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

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

$$S : \text{防油堤面積 (火炎円筒の底面積)} = 289 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = (289 / \pi)^{0.5} = 9.59 \text{ [m]}$$

(6) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

φ : 形態係数, L : 離隔距離, H : 火炎高さ, R : 燃焼半径

評価対象	建屋	軽油タンク	排気筒
燃焼半径[m]	9.59		
離隔距離[m]	46.8	12.4	77.1
形態係数[-]	0.072723	0.3863990	0.0295969

(7) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E：輻射強度，R_f：輻射発散度，φ：形態係数

評価対象	建屋	軽油タンク	排気筒
輻射発散度[W/m ²]	42×10 ³		
形態係数[-]	0.072723	0.3863990	0.0295969
輻射強度[W/m ²]	3.05×10 ³	16.23×10 ³	1.24×10 ⁻³

(8) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

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/s]

M：質量低下速度[kg/m²・s]，ρ：密度[kg/m³]

ここで，V=565[m³]，M=0.044[kg/m²・s]，ρ=918[kg/m³]として，燃焼継続時間を求めると，

$$v = 0.044 / 918 = 4.793 \times 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

$$t = 565 / (289 \times 4.793 \times 10^{-5}) = 40788 \text{ [s]} = 11.3 \text{ [h]}$$

(出典) 質量低下速度，密度：NUREG-1805

(9) 建屋外壁の温度評価

a. 許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については、一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる200度とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の次元非定常熱伝導方程式の解の式より、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温度以下であるか評価を実施した。その結果、原子炉施設外壁の表面温度は約119度となり、許容温度を下回ることを確認した（第2-3図）。

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

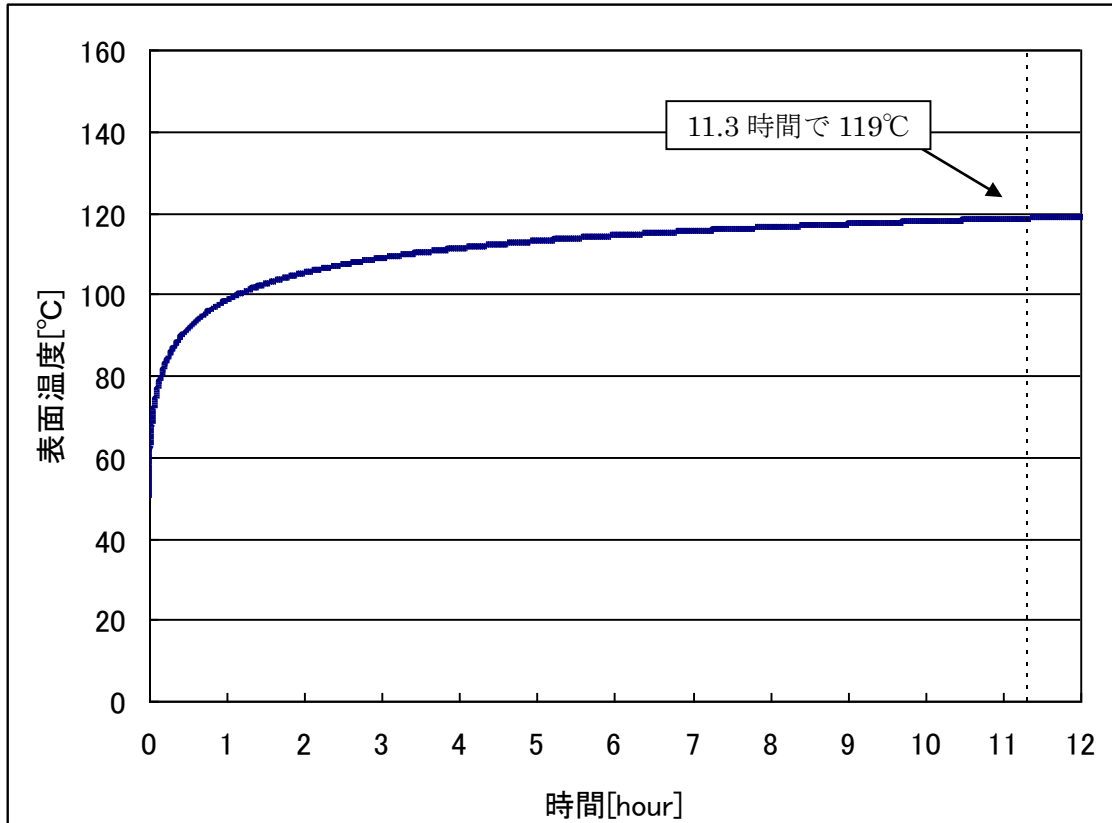
出典：田中 喙義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T₀：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：コンクリート表面の放射率(0.95)

※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※，k：コンクリート熱伝導率

[1.6W/mK] ※, ρ : コンクリート密度 [2200kg/m³] ※, c : コンクリート比熱 [879J/kgK] ※, t : 燃焼継続時間 [s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書



第 2-3 図 外壁面の温度推移

(10) 軽油タンクの温度評価

a. 許容限界値 (許容限界温度)

本評価で用いる許容限界値 (許容限界温度) については, 軽油の発火点 225 度とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間, 一定の輻射強度で軽油および軽油タンクが昇温されるものとして, 下記の式より, 軽油の温度上昇を求め, 軽油の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果, 軽油の温度は約 172 度となり, 許容温度を下回ることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 : 初期温度 [38°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 軽油タンク表面の放射率 (0.9) ※¹,
 h : 軽油タンク表面熱伝達率 [17W/m²K] ※², S : 軽油タンク受熱面積 [m²], C : 軽油タンクおよび軽油の熱容量 [8.38×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間 [s]

※¹: 伝熱工学資料, ※²: 空気調和・衛生工学便覧

(1 1) 排気筒の温度評価

a. 許容限界値 (許容限界温度)

本評価で用いる許容限界値 (許容限界温度) については、排気筒鋼材の許容温度 325°C とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、下記の式より排気筒の最大温度を求め、許容温度以下であるか評価を実施した。その結果、排気筒の温度は約 83 度となり、許容温度を下回ることを確認した。

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

T_0 : 初期温度 [50°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 排気筒表面熱伝達率 [17W/m²K] ※²

※¹: 伝熱工学資料, ※²: 空気調和・衛生工学便覧

(1 2) タービン建屋非常用電気品室の温度評価

6, 7号炉の軽油タンクは山側にあり、タービン建屋は海側にあることから、直接輻射熱が届くことはない。5号炉の軽油タンクは海側にあり輻射熱を受けることから熱影響評価を実施する (第 2-4 図)。5号炉軽油タンク火災時の6号炉タービン建屋の熱影響評価を実施するにあたり使用するパラメータを以下に示す。また、(9)で熱影響評価を実施している6号炉軽油タンク火災時の6号炉原子炉建屋での熱影響評価に使用したパラメータを並べて示す。それぞれを比較すると、6号炉軽油タンク火災の方が防油堤面積が大きく、離隔距離が短く、燃焼継続時間が長いことから、5号炉軽油タンク火災時の6号炉タービン建屋熱影響評価は6号炉原子炉建屋での熱影響評価に包絡される。よって、5号炉軽油タンク火災時には、6号炉タービン建屋への熱影響はない。なお、5号炉軽油タンクから7号炉のタービン建屋までの距離は、6号炉までの距離より離れていることから同様に熱影響はない。

	5号炉軽油タンク火災 タービン建屋への影響	6号炉軽油タンク火災 原子炉建屋への影響
防油堤面積[m ²]	185.64	289
離隔距離[m]	91.4	46.8
燃料貯蔵量[kl]	344	565
質量低下速度[kg/m ² ・s] ¹⁾	0.044	
密度[kg/m ³] ¹⁾	918	
燃焼速度[m/s] ²⁾	4.793 × 10 ⁻⁵	
燃焼継続時間[hour]	10.7	11.3

- 1) NUREG-1805 より
- 2) 評価ガイドより、以下の式から算出

$$t = \frac{V}{S \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho}$$

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料量[m³], S : 防油堤面積[m²], v : 燃焼速度[m/s]
M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³]



第 2-4 図 非常用電気品室と危険物タンクまでの距離

(1 3) 火災による熱影響の有無の評価

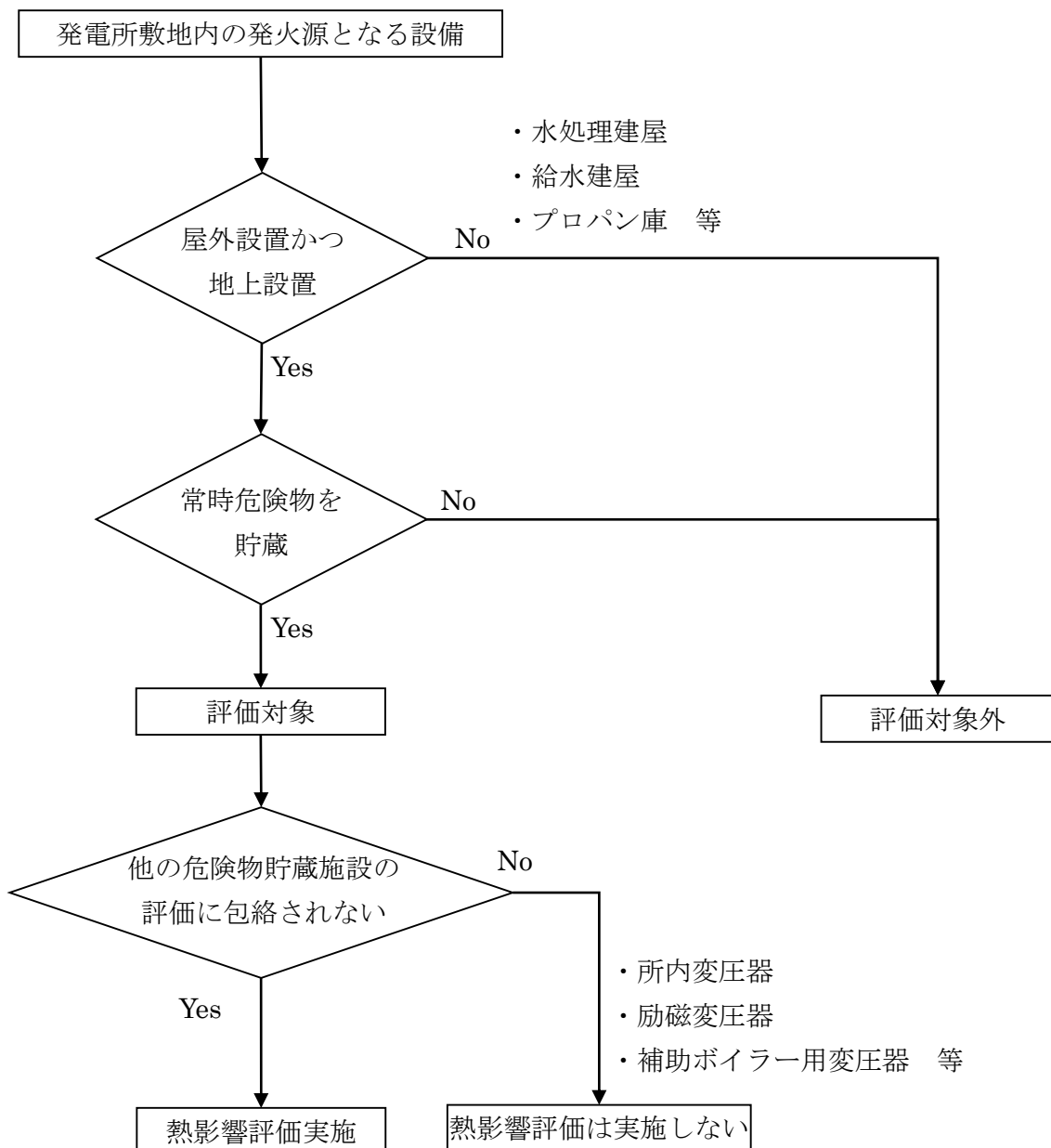
以上の結果から、軽油タンクにおいて火災が発生した場合を想定したとしても、許容限界温度を超えないことから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

3. 構内危険物タンク以外の設備の火災影響評価

(1) 評価対象範囲

消防法または柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設ではない設備について、火災影響評価を実施する。評価対象とする設備を危険物タンクと同様に第3-1図のフローに基づき抽出した(第3-1(a)表)。危険物を貯蔵し屋外に設置している設備を想定発火源(主変圧器, 水素ガストレーラー)とした。

なお、薬品を取り扱う設備は輻射熱を受けない屋内設置であること、外部への火災が発生する可能性が低いことから、評価対象から除外した(第3-1(b)表)。



- ・ 各号炉の主変圧器
- ・ 屋外 (K1) 水素ガストレーラー 等

第3-1図 構内危険物タンク以外の設備のうち評価対象抽出フロー

第3-1(a)表 その他の危険物（1 / 2）

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	193.00kL	○（※1）
2号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	198.00kL	○（※1）
3号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	193.00kL	○（※1）
4号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	190.00kL	○（※1）
5号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	190.00kL	○（※1）
6号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	200.00kL	○（※1）
7号炉	主変圧器	1種2号 鉱油	214.00kL	○（※1）
1号炉	所内変圧器 1 A, 1 B	1種2号 鉱油	18.40kL	×（※2）
2号炉	所内変圧器 2 A, 2 B	1種2号 鉱油	17.20kL	×（※2）
3号炉	所内変圧器 3 A, 3 B	1種2号 鉱油	17.20kL	×（※2）
4号炉	所内変圧器 4 A, 4 B	1種2号 鉱油	18.10kL	×（※2）
5号炉	所内変圧器 5 A, 5 B	1種2号 鉱油	18.10kL	×（※2）
6号炉	所内変圧器 6 A, 6 B	1種2号 鉱油	20.50kL	×（※2）
7号炉	所内変圧器 7 A, 7 B	1種2号 鉱油	19.20kL	×（※2）
共用	NO. 1 高起動変圧器	1種2号 鉱油	78.30kL	×（※2）
共用	NO. 2 高起動変圧器	1種2号 鉱油	70.00kL	×（※2）
共用	NO. 3 高起動変圧器	1種2号 鉱油	70.00kL	×（※2）
1号炉	低起動変圧器 1 S A, 1 S B	1種2号 鉱油	15.90kL	×（※2）
3号炉	低起動変圧器 3 S A, 3 S B	1種2号 鉱油	25.20kL	×（※2）
5号炉	低起動変圧器 5 S A, 5 S B	1種2号 鉱油	17.05kL	×（※2）
6号炉	低起動変圧器 6 S A, 6 S B	1種2号 鉱油	24.60kL	×（※2）
1号炉	励磁変圧器	1種2号 鉱油	13.20kL	×（※2）
2号炉	励磁変圧器	1種2号 鉱油	13.50kL	×（※2）
3号炉	励磁変圧器	1種2号 鉱油	13.50kL	×（※2）
4号炉	励磁変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL	×（※2）
5号炉	励磁変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL	×（※2）
共用	NO. 1 工事用変圧器	1種2号 鉱油	8.40kL	×（※2）
共用	NO. 2 工事用変圧器	1種2号 鉱油	8.40kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器 3 A	1種2号 鉱油	32.30kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器 4 A	1種2号 鉱油	9.10kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器 4 B	1種2号 鉱油	9.10kL	×（※2）
共用	補助ボイラー用変圧器 4 C	1種2号 鉱油	9.10kL	×（※2）
共用	NO. 1～4 ポンベ室	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	2,520m ³	×（屋内設置）
1号炉	屋外ポンベ室（K1）	水素ガス（ボンベ） 濃度：99.99%	196m ³	×（屋内設置）

第 3-1(a)表 その他の危険物 (2 / 2)

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
1号炉	屋外 (K 1) 水素ガストレーラー	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	13,987m ³	○
2号炉	屋外ボンベ室 (K 2)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	196m ³	× (屋内設置)
3号炉	屋外ボンベ室 (K 3)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	196m ³	× (屋内設置)
4号炉	屋外ボンベ室 (K 4)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	196m ³	× (屋内設置)
5号炉	屋外ボンベ室 (K 5)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	196m ³	× (屋内設置)
6号炉	屋外ボンベ室 (K 6)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	210m ³	× (屋内設置)
7号炉	屋外ボンベ室 (K 7)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	210m ³	× (屋内設置)
共用	予備変圧器	1種2号 鉱油	33.50kL	× (※2)
共用	補助ボイラー用変圧器 5 A	1種2号 鉱油	30.80kL	× (※2)
共用	補助ボイラー用変圧器 5 B	1種2号 鉱油	30.80kL	× (※2)
3号炉	PLR-INV(A)入力変圧器	1種2号 鉱油	7.40kL	○
3号炉	PLR-INV(B)入力変圧器	1種2号 鉱油	7.40kL	○
4号炉	PLR-INV(A)入力変圧器	1種2号 鉱油	9.70kL	○
4号炉	PLR-INV(B)入力変圧器	1種2号 鉱油	9.70kL	○
6号炉	RIP-ASD(A-1)入力変圧器	1種2号 鉱油	3.61kL	○
6号炉	RIP-ASD(A-2)入力変圧器	1種2号 鉱油	13.70kL	○
6号炉	RIP-ASD(B-1)入力変圧器	1種2号 鉱油	3.61kL	○
6号炉	RIP-ASD(B-2)入力変圧器	1種2号 鉱油	13.70kL	○
7号炉	RIP-ASD(A-1)入力変圧器	1種2号 鉱油	3.70kL	○
7号炉	RIP-ASD(A-2)入力変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL	○
7号炉	RIP-ASD(B-1)入力変圧器	1種2号 鉱油	3.70kL	○
7号炉	RIP-ASD(B-2)入力変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL	○
共用	水処理建屋	第2石油類 軽油	330L	× (屋内設置)
共用	給水建屋	第2石油類 軽油	200L	× (屋内設置)
1号炉	K 1 焼却設備プロパン庫	L P ガス	4000kg	× (屋内設置)
5号炉	K 5 雑固体廃棄物焼却設備 プロパン庫	L P ガス	4000kg	× (屋内設置)
6号炉	K 6 高所発電機	軽油	0.99kL	× (※3)
7号炉	K 7 高所発電機	軽油	0.99kL	× (※3)

※1: 自号炉の主変圧器火災による熱影響評価を実施する

※2: 自号炉の主変圧器火災による熱影響評価に包絡される

※3: 燃料タンクは「空」であることから、評価対象から除外する。

第 3-1 (b) 表 薬品類

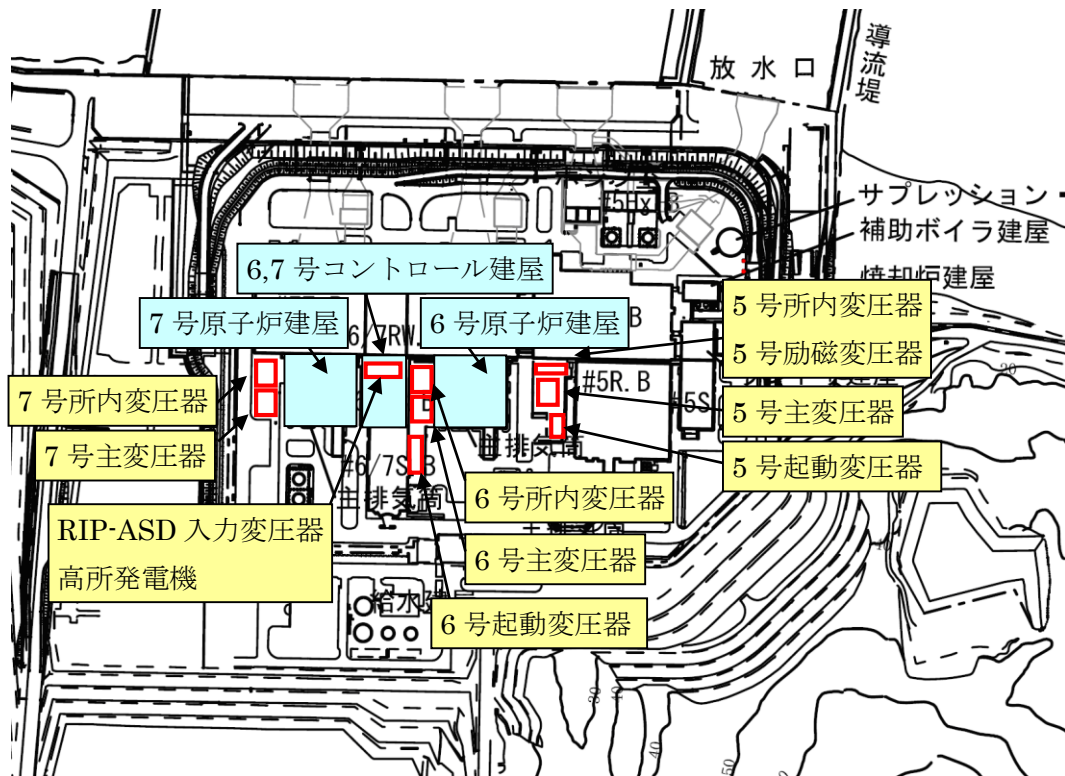
号炉	設備名	薬品の種類	数量	備考
1 号炉	CWP 建屋 (K 1)	過酸化水素 濃度：35.0%	600L	× (屋内設置)
2 号炉	CWP 建屋 (K 2)	過酸化水素 濃度：35.0%	600L	× (屋内設置)
共用	荒浜側 補助ボイラー	希硫酸 濃度：5%	250L	× (屋内設置)
共用	大湊側 補助ボイラー	希硫酸 濃度：35%	300L	× (屋内設置)
共用	大湊側 補助ボイラー	水加ヒドラジン 濃度：60%	20kg	× (屋内設置)
共用	大湊側 補助ボイラー	水加ヒドラジン 濃度：1%	700L	× (屋内設置)
共用	廃棄物一時保管庫	希硫酸	280L	× (屋内設置)
共用	廃棄物一時保管庫	PCB 微量混入 絶縁油	1,600L	× (屋内設置)
共用	廃棄物一時保管庫	PCB 微量混入 絶縁油	1,600L	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	硫酸 濃度：98%	4.2m ³	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	塩酸 濃度：35%	5.9m ³	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	苛性ソーダ 濃度：25%	18m ³	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	重亜硫酸ソーダ 濃度：35%	240L	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	硫酸 濃度：98%	9L	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	硫酸 濃度：98%	190L	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	硫酸 濃度：98%	670L	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	苛性ソーダ 濃度：25%	280L	× (屋内設置)

3. 1. 変圧器の火災影響評価について

発電所敷地内の変圧器の火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

1. 評価対象変圧器

評価対象は、5～7号炉周辺の屋外（建屋屋上を含む）に設置してある変圧器を対象とする。各変圧器の設置場所を図1、保有油量を表1に示す。



第 3. 1-1 図 変圧器の位置

第 3. 1-1 表 変圧器保有油量

設備名	品名	保有油量
5号主変圧器	1種2号鉱油	190.00kL
6号主変圧器	1種2号鉱油	200.00kL
7号主変圧器	1種2号鉱油	214.00kL
低起動変圧器 5SA, 5SB	1種2号鉱油	17.05kL
低起動変圧器 6SA, 6SB	1種2号鉱油	24.60kL
所内変圧器 5A, 5B	1種2号鉱油	18.10kL
所内変圧器 6A, 6B	1種2号鉱油	20.50kL
所内変圧器 7A, 7B	1種2号鉱油	19.20kL

5号励磁変圧器	1種2号鉱油	9.50kL
6号RIP-ASD(A-1), (B-1)入力変圧器	1種2号鉱油	3.61kL
6号RIP-ASD(A-2), (B-2)入力変圧器	1種2号鉱油	13.70kL
7号RIP-ASD(A-1), (B-1)入力変圧器	1種2号鉱油	3.70kL
7号RIP-ASD(A-2), (B-2)入力変圧器	1種2号鉱油	9.50kL

2. 原子炉施設（外壁面）及び屋外施設の影響評価

（1）変圧器の火災の想定

- a. 原子炉施設周辺に設置されており、原子炉施設までの距離が近く、内包している絶縁油の多い主変圧器を対象とした。なお、主変圧器の周辺に所内変圧器等も設置しているが、防火壁を設置していることから、隣接変圧器への延焼は考慮しない。
- b. 変圧器の損傷等による変圧器の全面火災を想定した。
- c. 変圧器防災設備（防火水幕装置）の消火機能等には期待しない。
- d. 気象条件は無風状態とした。
- e. 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倍とした。

（2）評価手法の概要

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

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[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	変圧器規模より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	変圧器から原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋の外壁、軽油タンク、排気筒が想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

※：油の液面火災では、火炎面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減が無いものとする。

（3）評価対象範囲

5～7号炉周辺の屋外には、主変圧器、所内変圧器、起動変圧器、励磁変圧器が存在するが、貯蔵量の多い主変圧器を評価対象とする。

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データ種類	内容
輻射発散度[W/m ²]	燃焼する可燃物によって決まる定数 23×10 ³ [W/m ²] (重油) ※1
主変圧器の投影面積[m ²] ^{※2}	6号炉：14.5×10.3 (150[m ²]) 7号炉：14.6×10.6 (155[m ²])
離隔距離[m] ^{※3}	建屋に近い主変圧器の中心から建屋までの距離 13[m] ^{※4} 軽油タンクに近い主変圧器の中心から軽油タンクまでの距離 67[m] ^{※5} 燃料移送ポンプに近い主変圧器の中心から燃料移送ポンプまでの距離 62[m] ^{※5} 排気筒に近い主変圧器の中心から排気筒までの距離 23[m] ^{※5}

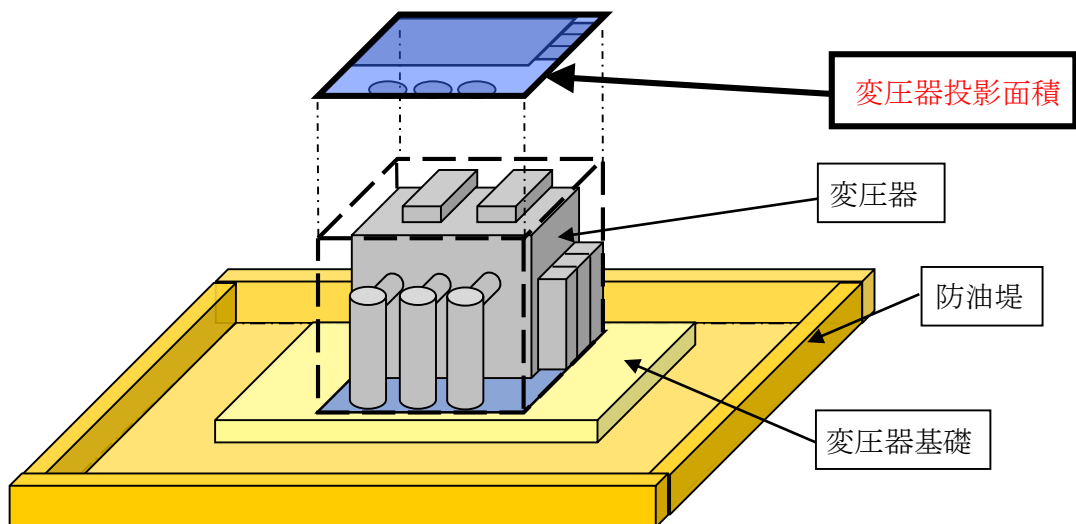
※1：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため、絶縁油の輻射発散度は物性の近い重油の値を使用する。

※2：図2に変圧器の投影面積を示す。

※3：6号と7号の主変圧器は油量がほぼ同等であることから、原子炉施設との距離がより近い主変圧器にて熱影響の評価をする。

※4：6，7号コントロール建屋と6号主変圧器との距離

※5：7号軽油タンク，7号燃料移送ポンプ，7号排気筒と7号主変圧器との距離



第 3.1-2 図 変圧器の投影面積

(5) 燃焼半径の算出

変圧器周りの防油堤には玉砂利が敷き詰められていること、および漏えいした油を回収する防災地下タンクを設置していることから防油堤の全面火災が生じることは考えにくい。よって、変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし、燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとする。従って、燃焼半径は変圧器の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。6号主変圧器について示す。()内は7号炉。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

$$S : \text{投影面積 (火炎円筒の底面積)} = 150 \text{ [m}^2\text{]} (155 \text{ [m}^2\text{]})$$

$$R = (150 / \pi)^{0.5} = 6.91 \text{ [m]} (7.03 \text{ [m]})$$

(6) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離, H : 火炎高さ, R : 燃焼半径

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
燃焼半径[m]	6.91	7.03	7.03	7.03
離隔距離[m]	13	67	62	23
形態係数[-]	0.2619635	0.0213565	0.0248131	0.1341729

(7) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。なお、火炎面積の直径が10mを超えているため、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ことを考慮する(r=0.3を下限とする)。

$$E = R_f \times \phi \times r, \quad r = \exp(-0.06D)$$

E : 輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数, r : 輻射発散度の低減率, D : 火炎面積の直径

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ	排気筒
輻射発散度 [W/m ²]	23×10 ³			
形態係数[-]	0.2619635	0.0213565	0.0248131	0.1341729
火炎面積の 直径 [m]	13.82	14.06	14.06	14.06
輻射強度 [W/m ²]	6.02×10 ³	0.49×10 ³	0.57×10 ³	3.08×10 ³

(8) 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。6号主変圧器について示す。()内は7号炉。

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

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/s]

M：質量低下速度[kg/m²・s]，ρ：密度[kg/m³]

ここで，V=200[m³] (214[m³])，M=0.035[kg/m²・s]，ρ=960[kg/m³]として，燃焼継続時間を求めると，

$$v = 0.035 / 960 = 3.645 \times 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

$$t = 200 / (150 \times 3.645 \times 10^{-5}) = 36553 \text{ [s]} = 10.1 \text{ [h]} \text{ (10.4 [h])}$$

(出典) 質量低下速度，密度：NUREG-1805

(9) 建屋外壁の温度評価

a. 許容限界値 (許容限界温度)

本評価で用いる許容限界値 (許容限界温度) については，一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200 度とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より，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温度以下であるか評価を実施した。その結果，原子炉施設外壁の表面温度は約 184 度となり，許容温度を下回ることを確認した。

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

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T₀：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：コンクリート表面の放射率 (0.95)

※，h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※，k：コンクリート熱伝導率

[1.6W/mK] ※, ρ : コンクリート密度 [2200kg/m³] ※, c : コンクリート比熱 [879J/kgK] ※, t : 燃焼継続時間 [s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

(10) 軽油タンクの温度評価

a. 許容限界値 (許容限界温度)

本評価で用いる許容限界値 (許容限界温度) については, 軽油の発火点 225 度とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間, 一定の輻射強度で軽油および軽油タンクが昇温されるものとして, 下記の式より, 軽油の温度上昇を求め, 軽油の温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果, 軽油の温度は約 42 度となり, 許容温度を下回ることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 : 初期温度 [38°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 軽油タンク表面の放射率 (0.9) ※¹,
 h : 軽油タンク表面熱伝達率 [17W/m²K] ※², S : 軽油タンク受熱面積 [m²], C : 軽油タンクおよび軽油の熱容量 [8.38×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間 [s]

※¹: 伝熱工学資料, ※²: 空気調和・衛生工学便覧

(11) 燃料移送ポンプの温度評価

a. 許容限界値 (許容限界温度)

本評価で用いる許容限界値 (許容限界温度) については, 端子ボックススパッキンの耐熱温度 100°C とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間, 一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして, 下記の式より燃料移送ポンプの最大温度を求め, 許容温度以下であるか評価を実施した。その結果, 燃料移送ポンプの温度は 66 度となり, 許容温度を下回ることを確認した。

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

T_0 : 初期温度 [50°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 燃料移送ポンプ表面の放射率 (0.9) ※¹,
 h : 燃料移送ポンプ表面熱伝達率 [17W/m²K] ※²

※¹: 伝熱工学資料, ※²: 空気調和・衛生工学便覧

(12) 排気筒の温度評価

a. 許容限界値 (許容限界温度)

本評価で用いる許容限界値 (許容限界温度) については, 排気筒鋼材の許容温度

325℃とする。

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、下記の式より排気筒の最大温度を求め、許容温度以下であるか評価を実施した。その結果、排気筒の温度は約 132 度となり、許容温度を下回ることを確認した。

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

T_0 : 初期温度[50℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 排気筒表面熱伝達率[17W/m²K] ※²

※1:伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

(13) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても、許容限界温度を超えないことから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

3. 原子炉施設（屋上）の影響評価

コントロール建屋の屋上に設置している RIP-ASD 入力変圧器に対しては、(1) ～ (3) のような設計上の配慮がなされている。

(1) 火災の発生防止

変圧器は設計基準地震動に対して絶縁油が漏えいしない設計としていることから、地震の際に漏えい・火災発生の恐れはない（別紙-1 参照）。中越沖地震以前の主変圧器等の設置状況とは異なり、変圧器・ブッシング等がコントロール建屋屋上に設置されており、同一の躯体上にあることから相対変位を生じることはなく、地盤沈下に伴うブッシング部の破損による漏えいや火災発生はない。また中越沖地震後の点検においても異常は確認されていない。定期的な点検や、絶縁油分析を行い信頼性が確保している。なお、更なる安全性向上の観点から、万が一絶縁油が漏えいした場合であっても、他号機側の RIP-ASD 入力変圧器へ絶縁油が流出することを防止するため防油堰を設ける。（図 3-1）

(2) 火災の感知、消火

変圧器のエリアは中央制御室より ITV による状況の確認が可能である。また、油火災に対応した大容量消火器を設置している。なお、更なる安全向上の観点から、感知器の設置を行い、早期の検知、消火が可能な設計とする。

(3) 火災の影響軽減

コントロール建屋の屋上面や、周辺建屋はその外壁の厚さにより、変圧器火災の影

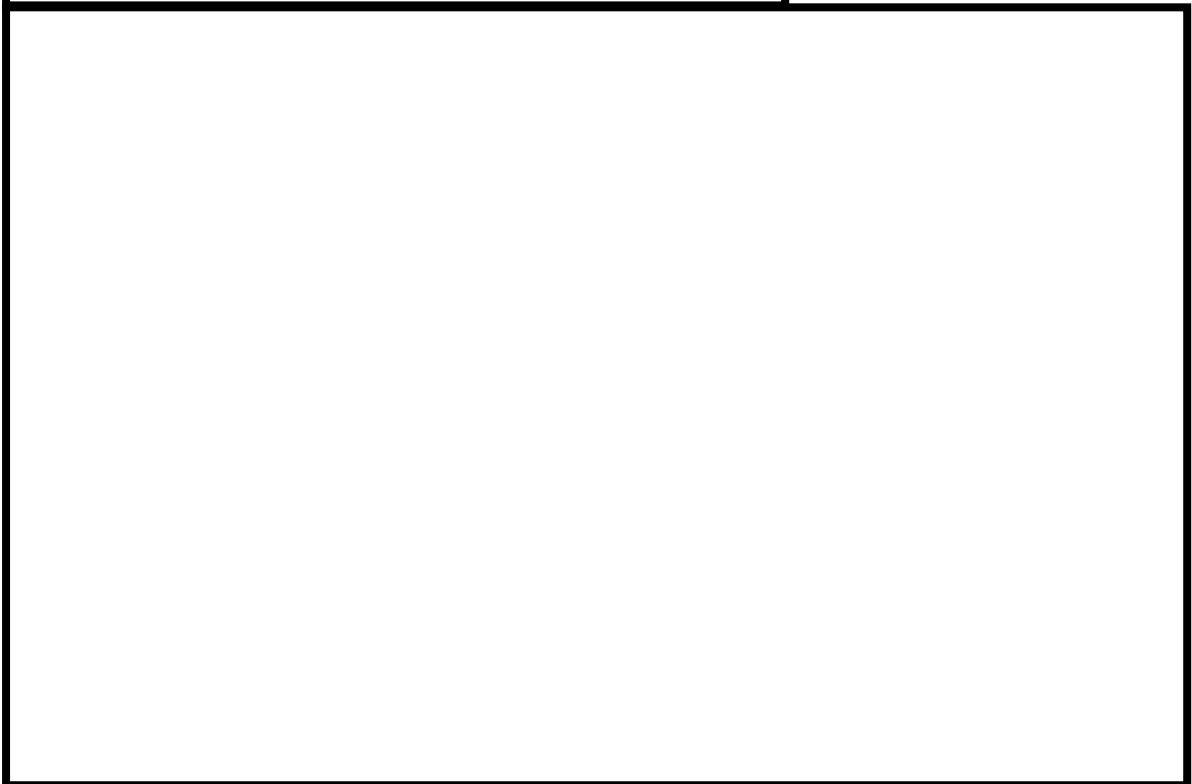
響を受けない設計としている。(3-2 参照)

以上のように、RIP-ASD 入力変圧器に対しては、火災防護上の対策がなされていることから、安全施設への影響はないと考えられるが、以下では万が一火災が生じた場合の影響評価を実施する。

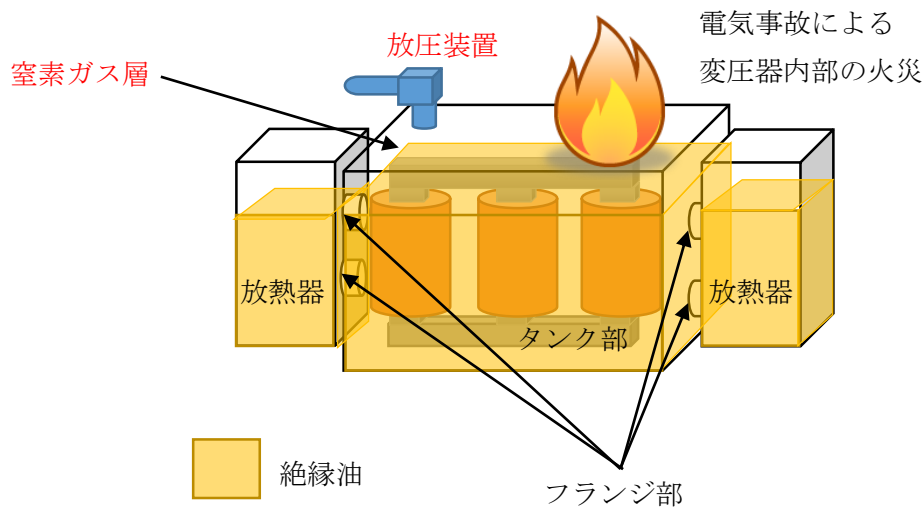
単なる漏えいでは周囲に火源がないことから、火災には至らない。したがって、火災としては、地絡、短絡など電気事故に伴うものが考えられるが、事故時には保護継電器が作動し事故電流を遮断し、仮に過熱により内圧が上昇した場合でも変圧器上部に設置した放圧装置により放圧する構造であるため、タンクは損傷には至らず、変圧器上部での火災となる。放圧する場合でも変圧器内は窒素ガスが封入されており変圧器上部には窒素ガスの層があることと、受け容器へ導かれることから油が吹き出すことはない。燃焼する位置は、酸素供給の観点から放圧装置などが設置されている上部が考えられ、この場合、タンクの貫通部である放熱器フランジについては、液位が高い間には絶縁油の液相部に浸っており火炎にさらされないことから、著しい漏えいは生じない。(第 3-2 図)

以上を踏まえ、変圧器は設計基準地震動に対して漏えいしない設計としており、複数台の同時火災は想定されないため、変圧器 1 台の投影面積での火災を想定し評価する。

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません



第 3-1 図 変圧器・防油堰配置



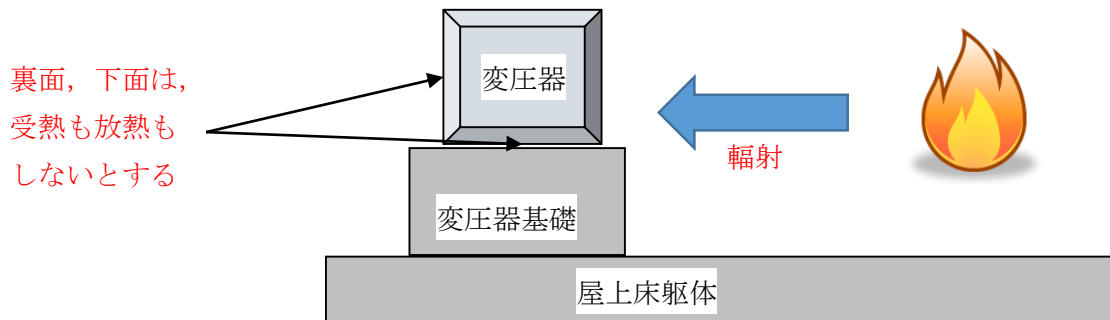
第 3-2 図 変圧器火災の概要図

3-1. 変圧器の火災における延焼の危険性

RIP-ASD 入力変圧器において、火災が起こったとしても周囲の変圧器に影響を及ぼさないことを評価するものである。

(1) 変圧器の火災の想定条件

- a. 周囲への熱影響を考慮し、保有油量が最大である 6 号 RIP-ASD (B-2) 入力変圧器の全面火災を想定した。
- b. 配置上、油量が最大である 6 号 RIP-ASD (B-2) 入力変圧器と向かい合い、油量が少なく最も接近している 7 号 RIP-ASD (A-1) 入力変圧器が輻射熱を受ける状態を想定した。受熱面は下面と裏面を除く全ての面とし、表面以外の面は発熱源に最も近い表面と同等の輻射熱を受けるものとした。また、輻射熱を受けない面は保守的に断熱とし、大気への放熱は輻射を受ける面（下面と裏面を除く全ての面）からのみなされるものとした。(第 3-1-1 図)
- c. 発熱側・受熱側とも絶縁油を満載した状態を想定した。
- d. 変圧器の近傍に配備している大型消火器による消火には期待しない。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 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 倍とした。



第 3-1-1 図 変圧器輻射影響範囲の概要図

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は、コントロール建屋の屋上に設置している全ての変圧器および発電機とする。発熱側は油量が最も多く燃焼時間が長い 6 号 RIP-ASD(B-2) 入力変圧器、受熱側は油量が少なく最も接近している 7 号 RIP-ASD(A-1) 入力変圧器とすることにより、他の変圧器等は本評価に包絡される。

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データの種類	内容
輻射発散度 [W/m ²]	燃焼する可燃物によって決まる定数 23×10 ³ [W/m ²] ※1 (重油) ※2
6 号 RIP-ASD(B-2) 入力変圧器の投影面積 [m ²]	5.15×4.64=23.9[m ²]
離隔距離 [m]	変圧器間の最短距離 4.1[m]

※1：評価ガイド付属書 B より

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

(4) 燃焼半径の算出

6 号 RIP-ASD(B-2) 入力変圧器本体の全面火災により円筒火炎を生じることとし、燃焼面積は変圧器の投影面積に等しいものとする。従って、燃焼半径は変圧器の投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

$$S : \text{投影面積 (火炎円筒の底面積)} = 23.9 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = (23.9 / \pi)^{0.5} = 2.76 \text{ [m]}$$

(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。

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

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/s]
M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³], m : 質量[kg]
ここで、V=13.7[m³], M=0.035[kg/m²・s], ρ=960[kg/m³]として、燃焼継続時間を求めると、

$$v = 0.035/960 = 3.645 \times 10^{-5} [\text{m/s}]$$

$$t = 13.7 / (23.9 \times 3.645 \times 10^{-5}) = 15708 [\text{s}] = 4.36 [\text{h}]$$

(6) 危険輻射強度の算出

6号 RIP-ASD(B-2)入力変圧器の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7号 RIP-ASD(A-1)入力変圧器が昇温されるものとする。輻射による入熱量と対流熱伝達による放熱量の差が変圧器の温度上昇に寄与することを表した下記の式から、重油の温度 T が 200℃^{*1}となる危険輻射強度を求める。

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

T₀: 変圧器初期温度[55℃], T_∞: 外気温度 38[℃], E: 輻射強度[W/m²], ε : 7号 RIP-ASD(A-1)入力変圧器表面の放射率 (0.9) ^{*2}, h : 7号 RIP-ASD(A-1)入力変圧器表面熱伝達率[17W/m²K]^{*3}, S₁(=S₂) : 7号 RIP-ASD(A-1)入力変圧器受熱面積[m²], C: 7号 RIP-ASD(A-1)入力変圧器および重油の熱容量[6.62×10⁶J/K]^{*1}, t : 燃焼継続時間[s]

※1: 変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため、物性値は重油の値を使用。絶縁油の品質記録に記載されている発火温度の最低値とした。

※2: 伝熱工学資料(変圧器の金属筐体は塗装仕上げされていることから、表面の塗装に類似の塗装として「塗料(エナメル・白)」の値を用いる。非金属の放射率は金属より大きいいため、非金属である塗料の値で評価することは保守的である。)

※3: 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(変圧器の側面部に相当)、屋根面(変圧器の上面部に相当)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 15kcal/m²h℃を SI 単位に換算した 17W/m²K を用いる。)

結果として、危険輻射強度は以下になる。

$$E=8128 [\text{W/m}^2]$$

(7) 形態係数の算出

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。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

$$E_{\max} = R_f \times \phi$$

E_{\max} : 危険輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数

R_f : 輻射発散度 = 23×10^3 [W/m²] とすると,

7号 RIP-ASD(A-1) 入力変圧器	
危険輻射強度 [W/m ²]	8128
輻射発散度 [W/m ²]	23000
形態係数	0.3533710

(8) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出した。

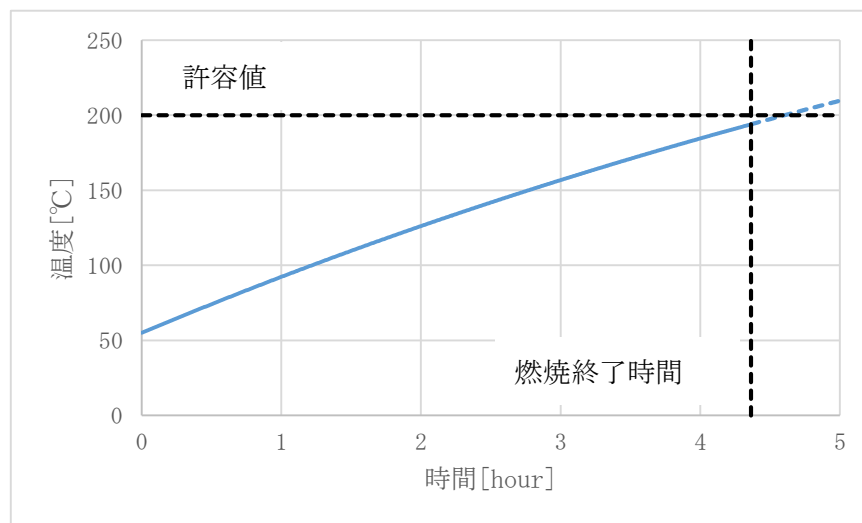
$$\phi = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{A(n-1)}}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{(n-1)}}{\sqrt{(n+1)}} \right] \right\}$$

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

ϕ : 形態係数, L : 危険距離 [m], H : 火炎高さ [m], R : 燃焼半径 [m]

7号 RIP-ASD(A-1) 入力変圧器	
形態係数	0.3533710
燃焼半径 [m]	2.76
危険距離 [m]	約 3.90m

また、燃焼終了時点までの変圧器温度の推移を下図に示す。



第 3-1-2 図 変圧器絶縁油温度の推移

(9) 火災による熱影響の有無の評価

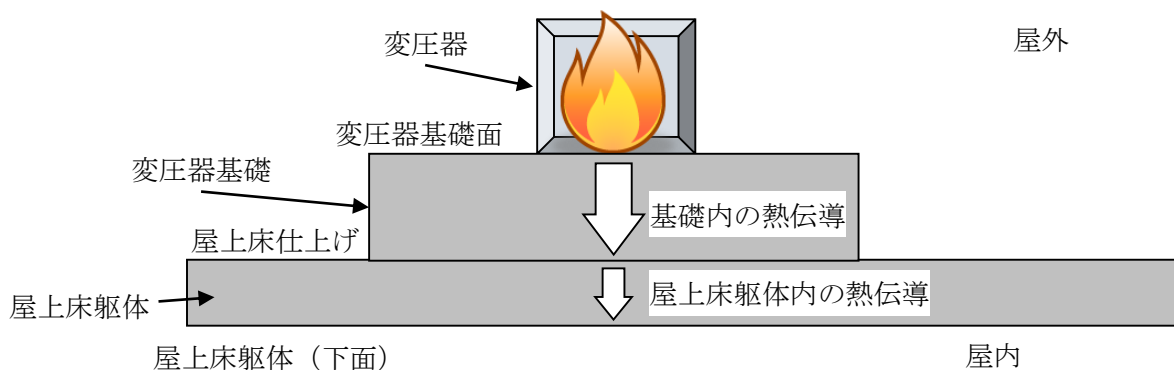
以上の結果から、6号 RIP-ASD(B-2)入力変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(4.1m)が危険距離(約3.9m)以上であることから、向かい合う他の変圧器等に影響を及ぼすことはないと評価できる。

3-2. 変圧器の火災による原子炉施設（屋上）への影響

3-2-1. 変圧器の基礎への熱影響

火災が発生した時間から絶縁油が燃え尽きるまでの間、一定の火炎の熱で変圧器の基礎が昇温されるものとして、基礎への熱影響について評価した。

以下に概念図を示す。



第 3-2-1-1 図 変圧器基礎への熱影響

評価に必要なパラメータを示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度[°C]	50 °C	日射の影響を考慮し設定
基礎面熱伝達率[W/m²K]	34.883	コンクリートの基礎面熱伝達率
屋上床躯体（下面）熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの屋上床躯体（下面）熱伝達率
基礎・躯体の熱伝導率 [W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
基礎・躯体の熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
基礎+躯体厚さ[m]	1.19	基礎 (0.69m) , 躯体 (0.50m)

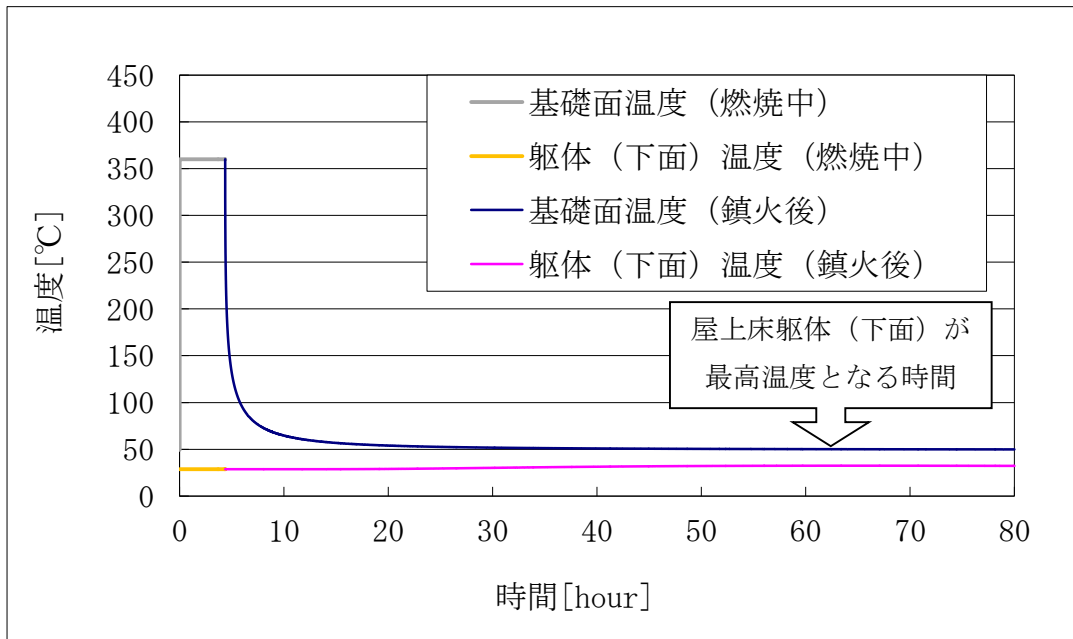
基礎面から屋上床躯体（下面）までの温度

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、基礎面から屋上床躯体（下面）までの温度を求める。

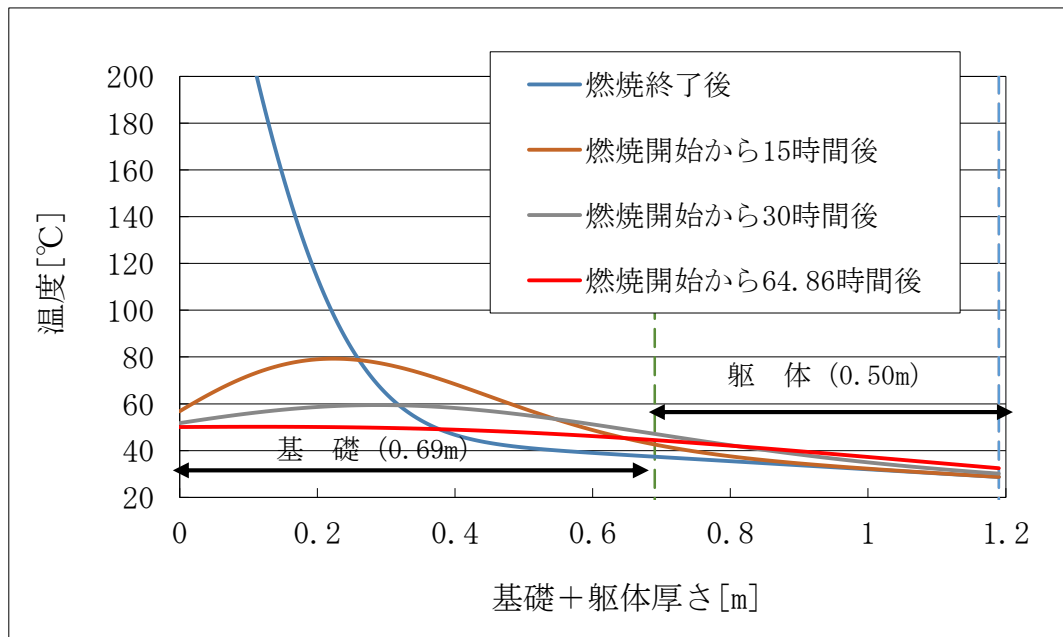
$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

T : 温度, t : 時刻, x : 基礎面からの距離, α : 熱拡散率

以下に評価結果を示す。



第 3-2-1-2 図 基礎面・屋上床躯体 (下面) の温度

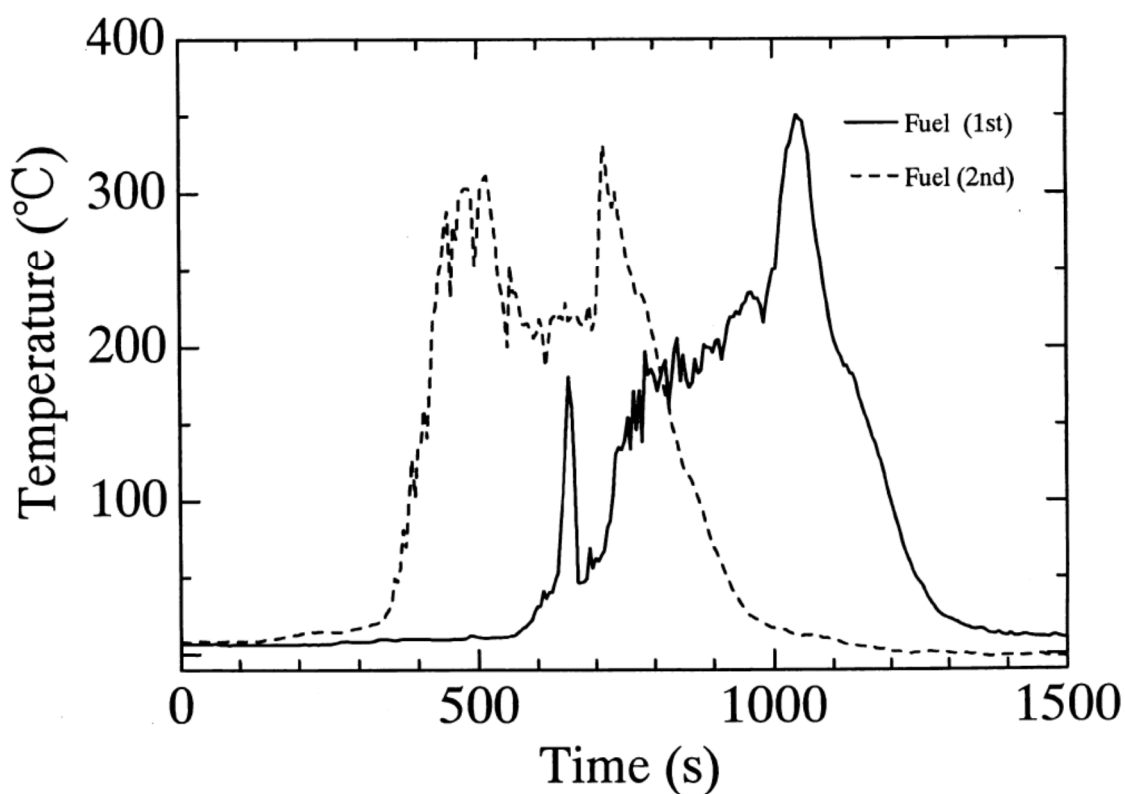


第 3-2-1-3 図 基礎・躯体内部の温度変化

6号炉（変圧器基礎面）	
項目	6号 RIP-ASD(B-2)入力変圧器
火炎温度[°C]	360 ^{※1}
燃焼継続時間[hour]	4.36
基礎面温度[°C]	360 ^{※2} (50.1) ^{※3}
屋上床躯体（下面）温度[°C]	28.7 ^{※2} (32.4) ^{※3}
基礎・躯体境界温度[°C]	37.4 ^{※2} (44.5) ^{※3}
許容温度[°C]	200 ^{※4}

※1：絶縁油の沸点（出典：機械工学便覧）

絶縁油の液面火災において、絶縁油（炎の直下の部分）の温度は沸点近傍で安定すると考えられることから、本評価では加熱温度として絶縁油の沸点を用いる。大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書（平成11年、自治省消防庁消防研究所）には、直径10mのタンクの原油を燃焼させる実験を行った際の原油の温度が掲載されている（第3-2-1-4図参照）。これによると、最高温度は350°C程度である。



第3-2-1-4図 原油の温度変化（直径10mのタンク）

※2：燃焼終了直後の温度

※3：屋上床躯体（下面）が最高温度に到達した時の温度（燃焼開始から約64.8時間）

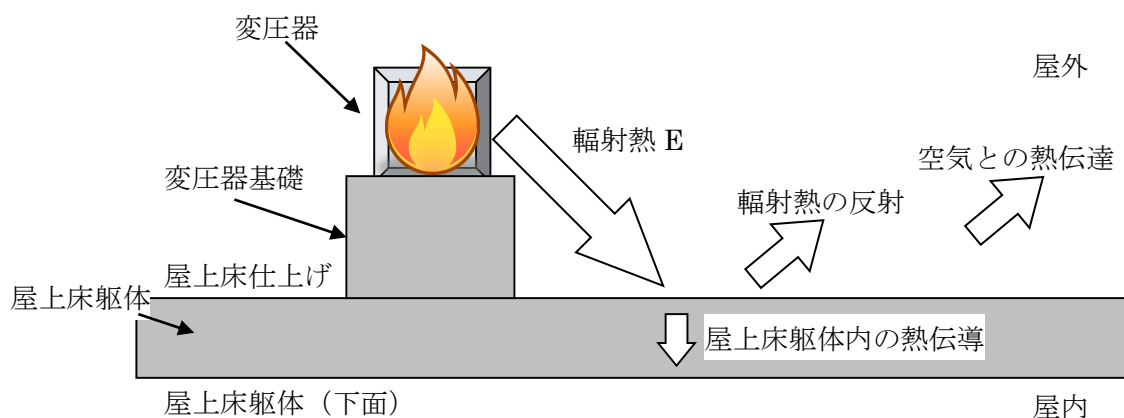
後)

※4：コンクリートの許容限界温度

評価の結果，基礎の表面（変圧器の設置面）より約 0.12m までコンクリートの許容限界温度を超えているが，屋上床躯体（下面）については許容限界温度を超えないことを確認した。

3-2-2. コントロール建屋の屋上への熱影響

火災が発生した時間から絶縁油が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度でコントロール建屋の屋上面が昇温されるものとして，屋上への熱影響について評価した。



第 3-2-2-1 図 建屋屋上への熱影響

評価に必要なパラメータを示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度[°C]	50 °C	日射の影響を考慮し設定
屋上面熱伝達率[W/m²K]	34.883	コンクリートの屋上面熱伝達率
屋上床躯体（下面）熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの屋上床躯体（下面）熱伝達率
躯体の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
躯体の熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
躯体厚さ[m]	0.50	

屋上床仕上げから屋上床躯体（下面）までの温度

以下の式に示す次元非定常熱伝導方程式を用いて，基礎面から屋上床躯体（下面）までの温度を求める。

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

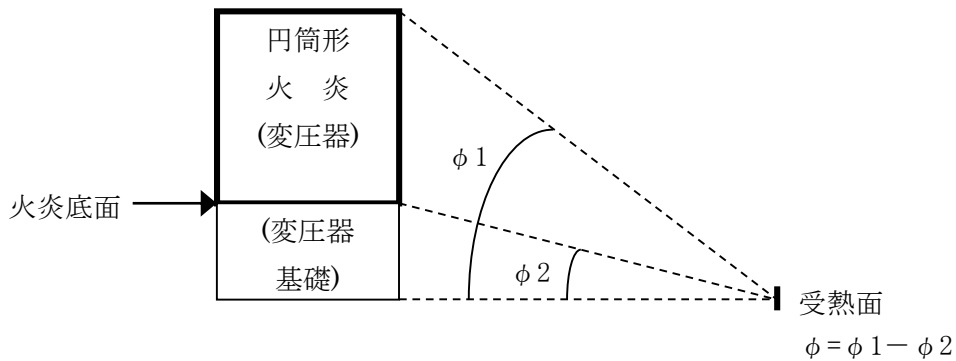
T : 温度, t : 時刻, x : 基礎面からの距離, α : 熱拡散率

なお, 図 3-2-2-2 のように, 受熱面が火炎底面と異なる高さにあることから, 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」より, 下記の考え方にに基づき形態係数を算出し輻射強度を求める。

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

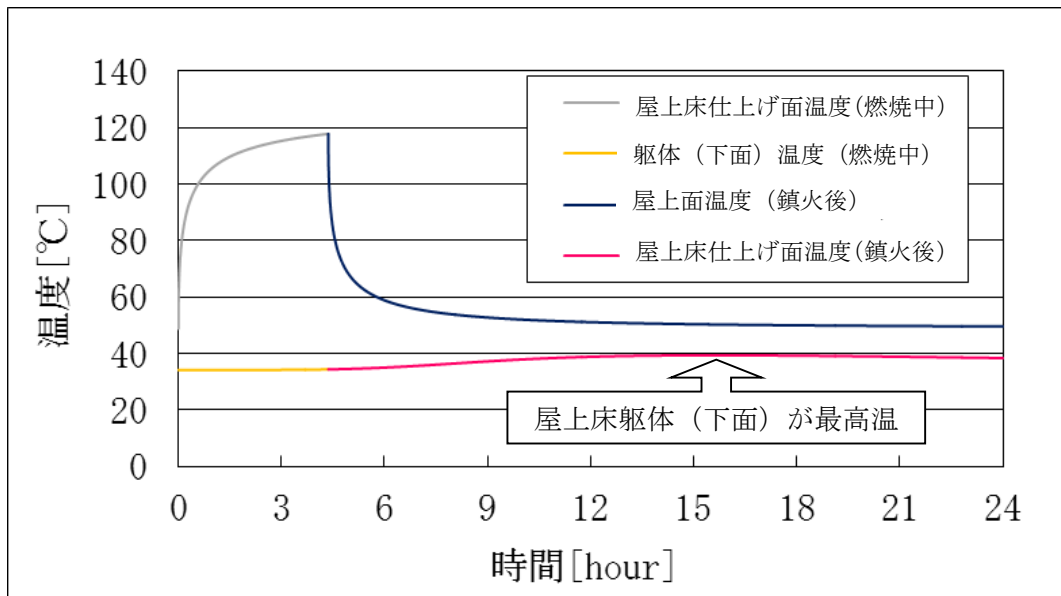
ただし, $m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$

ϕ : 形態係数, L : 危険距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

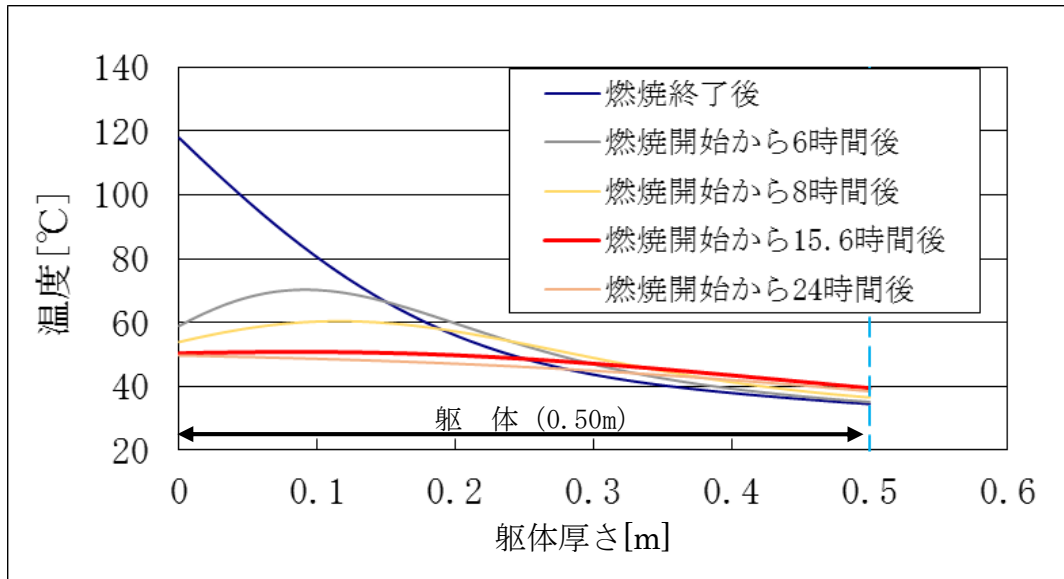


第 3-2-2-2 図 受熱面の高さによる形態係数

以下に評価結果を示す。



第 3-2-2-3 図 基礎面・屋上床躯体(下面)の温度



第 3-2-2-4 図 躯体内部の温度変化

6号炉（屋上床仕上げ面）	
項目	6号 RIP-ASD(B-2)入力変圧器
輻射強度[W/m ²]	3913
燃焼継続時間[hour]	4.36
屋上床仕上げ面温度[°C]	117.9 ^{*1} (50.3) ^{*2}
屋上床躯体(下面)温度[°C]	34.4 ^{*1} (39.4) ^{*2}
許容温度[°C]	200 ^{*3}

※1：燃焼終了直後の温度

※2：屋上床躯体（下面）が最高温度に到達した時の温度（燃焼開始から約 15.6 時間後）

※3：コンクリートの許容限界温度

評価の結果、屋上床躯体（下面）の温度は燃焼開始から約 15.6 時間後に最高温度に到達しているが、コンクリートの許容限界温度を超えないことを確認した。

ただし、屋上床躯体（下面）の温度上昇が確認されたことから、変圧器の下部に位置する中央制御室換気空調機室について、内気の温度評価を実施する。なお、変圧器基礎面からの入熱による内気の温度上昇については、その面積が小さく内気への影響は限定的であることから、屋上床仕上げからの入熱による内気の温度評価に包絡される。

3-2-3. 屋上設置機器への影響

コントロール建屋屋上階に設置する無線連絡設備及び衛星電話設備のアンテナについては、RIP-ASD 入力変圧器に対して 3. の通り火災に対する各種対策が取られてい

ることから熱影響を受ける恐れはない。また、万が一変圧器火災が発生し熱影響を受けた場合であっても、送受話器、電力保安通信用電話設備の有線系回線が使用可能であることから、必要な通信連絡の機能は維持される。

3-3. 変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室への影響

3-3-1. 屋上床仕上げ面からの入熱による影響

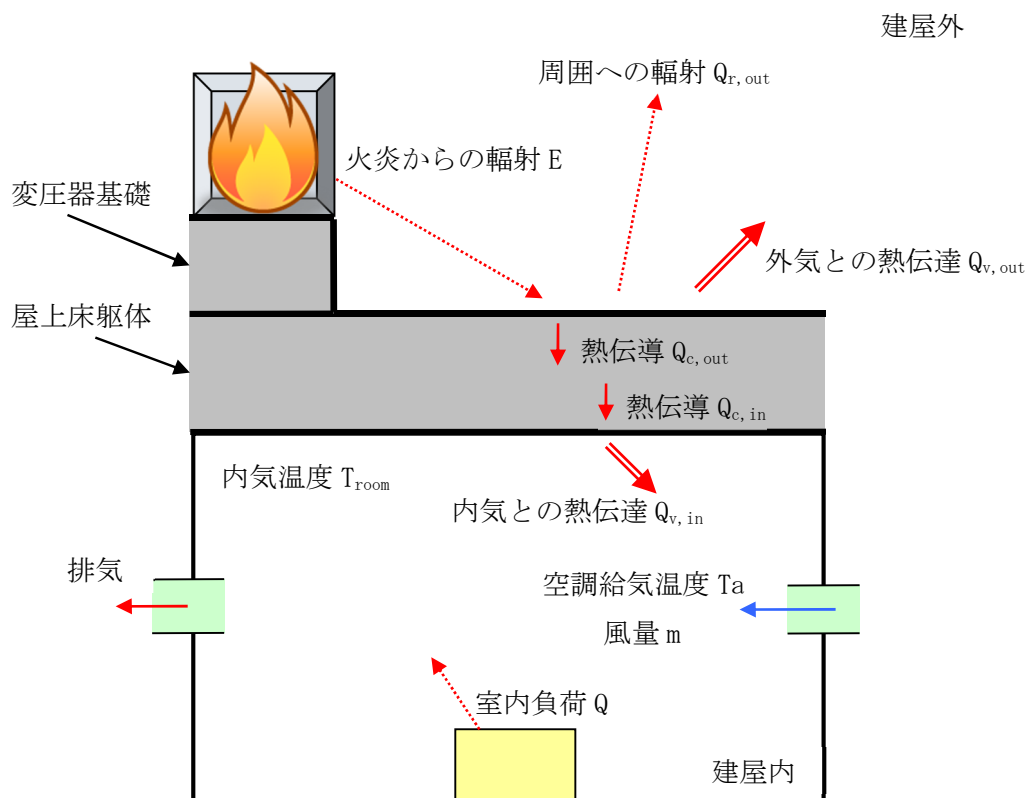
変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室内の機器等への影響について評価した。

第 3-3-1-1 図に概念図を示す。

外壁および内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

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

h_{in} : 内壁面熱伝達率, A : 内壁の表面積, T_{in} : 内壁面温度, T_{room} : 内気温度



第 3-3-1-1 図 伝熱の概念図

以下に評価結果を示す。

6号炉中央制御室換気空調機室評価（建屋内気温度）	
項目	6号 RIP-ASD(B-2) 入力変圧器（屋上面）
内気温度[°C]	36.4 ^{※1}
許容温度[°C]	40 ^{※2}

※1：燃焼終了後も含めた最高温度

※2：中央制御室換気空調機の最高使用温度

評価の結果，燃焼終了後の温度上昇を踏まえたとしても，内気温度は最高で 36.4°C となり，室内設備の最高使用温度 40°C を下回ることを確認した。

3-4. まとめ

以上の結果から，コントロール建屋の屋上に設置している変圧器の火災を想定した場合，変圧器の基礎面は許容限界温度を超えるものの，屋上床躯体については許容限界温度を下回ることから，建屋の強度に対する熱影響はないと評価する。

また，変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室の内気温度は最高でも 36.4°C であり，室内にある設備の最高使用温度を下回ることから，熱影響はないと評価する。

(参考1) 変圧器の防火対策について

- ・ 変圧器には、内部圧力の上昇、または電気回路の異常を検知すると、瞬時に電源を自動的に切る保護機能が備わっている。
- ・ 金属筐体に覆われており火災が発生する可能性は低い。
- ・ 万一油が漏えいした場合においても、地下の防災地下タンクに溜まる構造となっている (図1)。

【中越沖地震による3号炉所内変圧器火災の事象】

- 二次側接続母線部ダクトの基礎が沈下し、変圧器との相対変位が発生
- ブッシング部破損による漏油と、地絡・短絡によるアークの発生により火災発生
- 屋外消火設備の損傷により消火活動に支障をきたしたが、当該変圧器横に設置されている防火壁により、隣接する所内変圧器3Aや他設備に延焼することはなかった。

【中越沖地震による3号炉所内変圧器火災の対策】

- 下記の基礎構造変更により、変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎で沈下量の差が発生することを防止 (図2, 図3)
 - ①二次側接続母線部ダクトの基礎をタービン建屋と同じ支持地盤にて支持
 - ②変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎部を一体化、または、二次側接続母線部ダクトの基礎構造を杭基礎構造へ変更
- 6号炉は、建設時より一体化された基礎を人工岩盤にて直接支持する構造となっている。
- 屋外埋設消火配管の地上化 (図4)

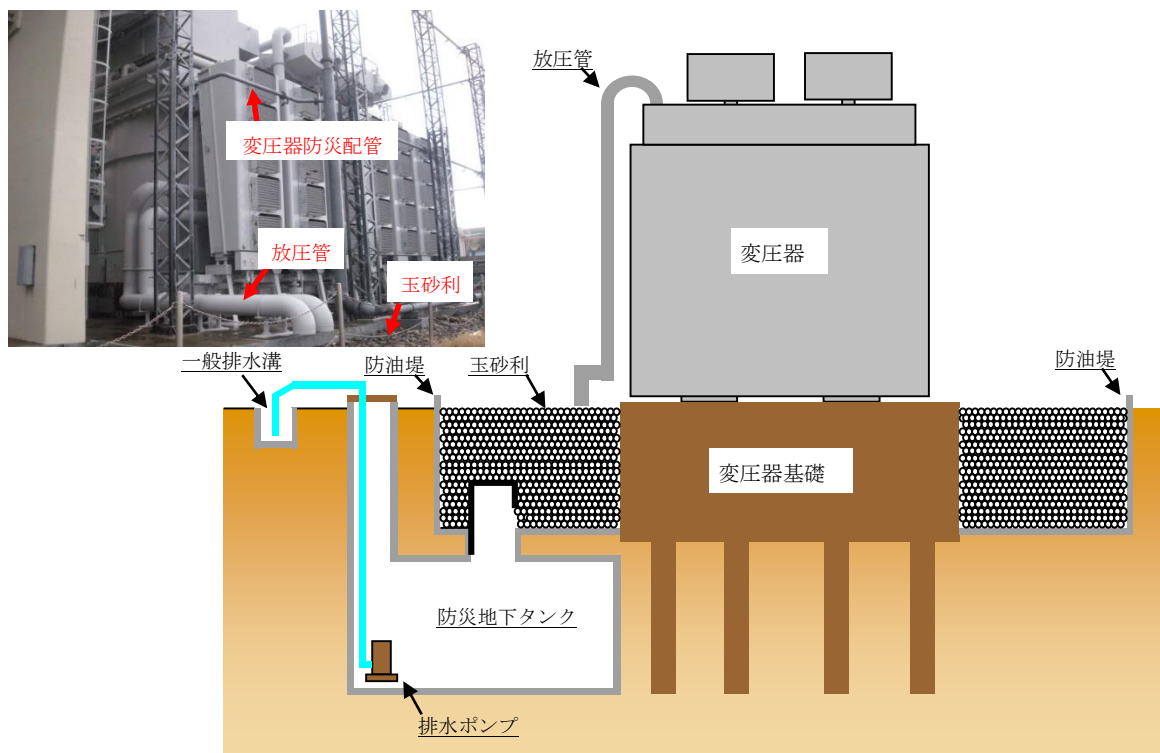


図1 変圧器地下構造 (防油堤および防災地下タンク)

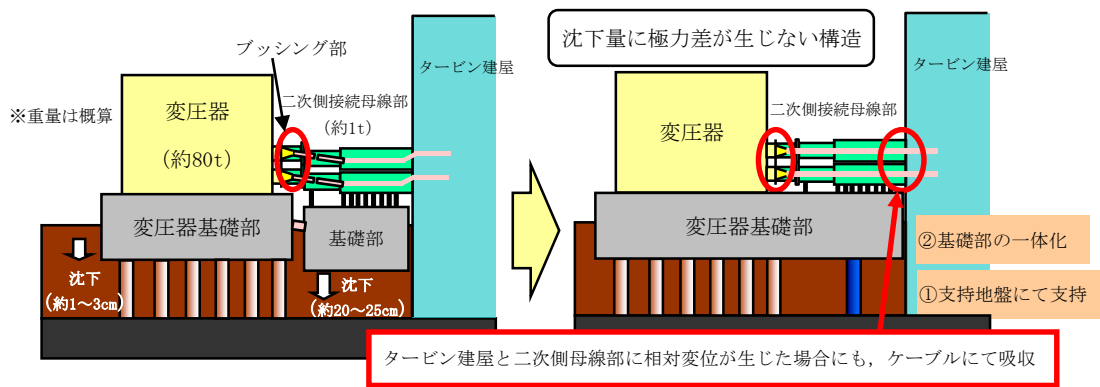


図2 変圧器火災の対策（3号炉所内変圧器）

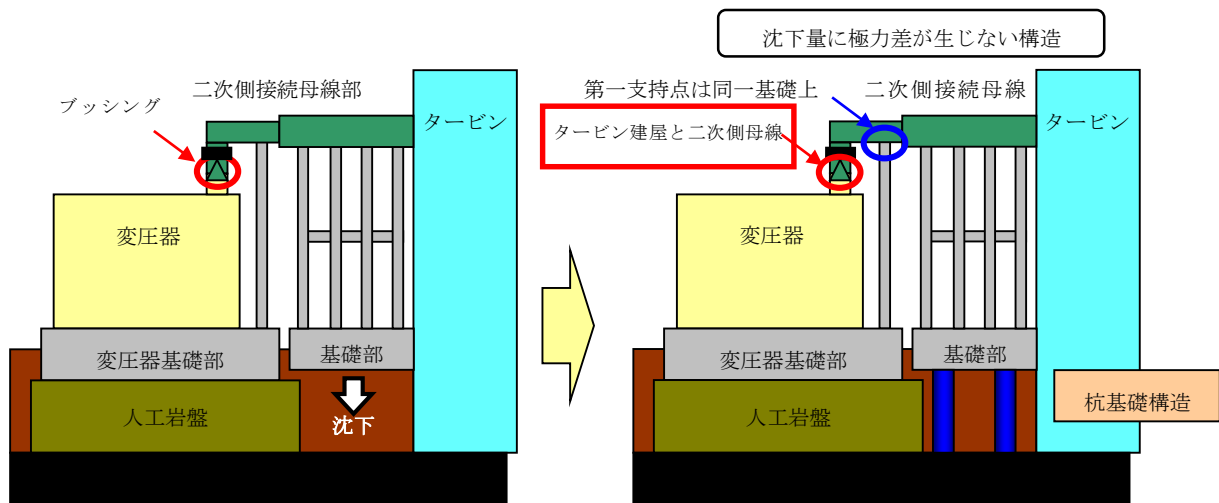


図3 変圧器火災の対策（7号炉所内変圧器）



埋設消火配管の損傷



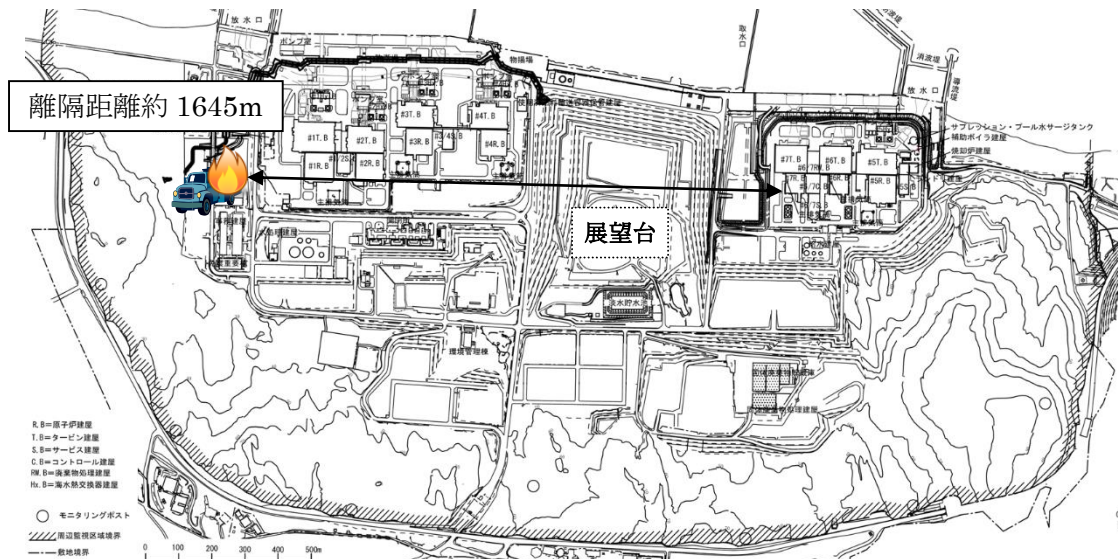
消火配管の地上化

図4 消火配管の地上化

3.2. 水素トレーラーの火災影響評価について

1号炉へ水素を供給する水素トレーラーの火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである（1号炉の運転中以外であれば、水素トレーラーが発電所敷地内に配備されることはない）。

なお、水素トレーラーの火災では、展望台等により、6，7号炉の原子炉施設は輻射熱を受けないことから爆発による影響評価のみとする（図1）。



第3.2-1図 水素トレーラーの離隔距離

(1) 想定条件

- a. 水素トレーラー建屋内にて、水素トレーラーが停車中に火災・爆発を起こした場合を想定した。
- b. 水素トレーラーは水素ガスを満載した状態（最大積載量 13987m³）を想定した。
- c. 燃料は水素とした。
- d. 水素トレーラー建屋内での水素ガス漏えい、引火による水素トレーラーの爆発を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。

(2) 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する水素トレーラーのガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 10kPa 以下になる距離

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所構内で出火する水素トレーラーとする。

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データ種類	内容
水素の K 値	コンビナート等保安規則第 5 条別表第二に掲げる数値 K=2860000
貯蔵設備又は処理設備の W 値	コンビナート等保安規則第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力(単位 トン)の数値の平方根の数値(貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能力(単位 トン)の数値)、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力(単位 立方メートル)を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量(単位 トン)に換算して得られた数値の平方根の数値(換算して得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値) 処理設備：処理設備内にあるガスの質量(単位 トン)の数値 W=1.25 ^{1/2} =1.12
離隔距離[m]	水素ガストレーラーから原子炉施設までの距離 約 1645[m]

(5) W値の算出

水素トレーラーの最大積載量を貯蔵能力とし、W値を算出した。

積載量(貯蔵能力) = 13987[m³] = 1.25[トン]

W = 1.25^{1/2} = 1.12

(6) 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が水素トレーラーと原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

X：危険限界距離[m]，λ：換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]，K：水素の定数，W：設備定数
K=2860000，W=1.12 として、危険限界距離を求める。

X=約 85[m]

(7) 爆発による影響評価結果

以上の結果から、水素トレーラーにおいて爆発が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(約 1645m)が危険限界距離(約 85m)以上であることから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に爆風圧による影響はないと判断する。

なお、水素トレーラーから最も近い位置にある緊急時対策所についても、離隔距離が約 404m あることから爆風圧による影響はないと判断する。

構内危険物タンク等における延焼の危険性について

1. 軽油タンクの火災

軽油タンク近傍で危険物を保管している設備はなく、現場作業に伴い「屋外の危険物保管」や「火気の使用」をする場合は、社内文書に基づき危険物や火気を管理した状態で行っている。また、防火の観点から定期的なパトロール等にて現場の状況を確認している。

以上により、軽油タンクの火災を想定したとしても周囲の可燃物への引火の可能性は低いと評価できる。

2. 車両（可搬型重大事故等対処設備）の火災

可搬型重大事故等対処設備保管場所（以下、保管所）において、車両の火災が起こったとしても周囲の車両に影響を及ぼさないことを評価するものである。

なお、保管所の一部は防火帯に近接しているが、当該箇所における森林火災時の放射熱強度は火線強度が最大となったケース2において最大でも 1.3kw/m^2 **程度であり、車両が延焼するような輻射強度ではないことを確認している。

※：石油コンビナート等防災アセスメント指針では、人が長時間さらされても苦痛を感じない放射熱強度を 1.6kw/m^2 としている。

（1）車両の火災の想定条件

- a. 周囲への熱影響を考慮し、燃料積載量の大きいガスタービン発電機車（GTG 用燃料タンク）の火災を想定した。
- b. 配置上、ガスタービン発電機車の GTG 用燃料タンクと向かい合う他のガスタービン発電機車の走行用燃料タンクが放射熱を受ける状態を想定した。ガスタービン発電機車の走行用燃料タンクの受熱面は裏面を除く全ての面とし、表面以外の面は発熱源に最も近い表面と同等の放射熱を受けるものとした。
- c. 発熱側となるガスタービン発電機車は燃料を満載し、受熱側となるガスタービン発電機車は燃料量を $1/2$ とした（受熱側の熱容量を小さくすることにより、燃料の温度が上昇しやすい状態とした）。
- d. 車両に積載している燃料は軽油とした。
- e. タンクローリーと異なり大容量の燃料タンクではないことから、ガスタービン発電機車の GTG 用燃料タンクの全面火災を想定した。
- f. ガスタービン発電機車は、2 基（同容量）の GTG 用燃料タンクが近接した状態で配置されていることから、タンクの同時火災を想定した。
- g. 気象条件は無風状態とした。
- h. 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 倍とした。

（2）評価対象範囲

評価対象範囲は、放射熱の影響を考慮し燃料タンクが露出している車両（ガスター

ビン発電機車，電源車）とする。発熱側は燃料積載量の最も大きいガスタービン発電機車（GTG用燃料タンク），受熱側は熱容量の最も小さいガスタービン発電機車（走行用燃料タンク）とすることにより，他の車両は本評価に包絡される。なお，消防車等は，燃料タンクが露出しておらず，輻射熱の影響を受けないことから評価対象外とした。

（3）必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データの種類	内容
輻射発散度 [W/m ²] ¹⁾	燃焼する可燃物によって決まる定数 42×10 ³ [W/m ²]（軽油）
燃料タンクの投影面積 [m ²]	ガスタービン発電機車 (GTG用燃料タンク 2基分) 0.84×0.6×2=1.0 [m ²]
離隔距離 [m]	ガスタービン発電機車間の最短距離 5 [m]

1) 評価ガイド付属書 B より

（4）燃焼半径の算出

ガスタービン発電機車の火災においては様々な燃焼範囲の形態が想定されるが，円筒火炎を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は，GTG用燃料タンク（2基）の投影面積に等しいものとする。従って，燃焼半径 R [m] は GTG用燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定し算出した。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S：発電用燃料タンクの投影面積（火炎円筒の底面積）= 1.0 [m²]

$$R = (1.0 / \pi)^{0.5} = 0.56 \text{ [m]}$$

（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。

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

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/s]

M：質量低下速度 [kg/m²・s]，ρ：密度 [kg/m³]，m：質量 [kg]

ここで，V=0.4 [m³]，M=0.044 [kg/m²・s]，ρ=918 [kg/m³]として，燃焼継続時間を求めると，

$$v = 0.044 / 918 = 4.793 \times 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

$$t = 0.4 / (1.0 \times 4.793 \times 10^{-5}) = 8279 \text{ [s]} = 2.29 \text{ [h]}$$

（6）危険輻射強度の算出

ガスタービン発電機車（GTG用燃料タンク）の火災が発生した時間から燃料が燃え

尽きるまでの間、一定の輻射強度でガスタービン発電機車（走行用燃料タンク）が昇温されるものとして、下記の式より燃料である軽油の温度 T が 225℃となる危険輻射強度を求める。

$$T = T_0 + \frac{\varepsilon E S t}{C + h S t}$$

T_0 : 初期温度 [38℃], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 走行用燃料タンク表面の放射率 (0.96)
 ※¹, h : 走行用燃料タンク表面熱伝達率 [17W/m²K]^{※²}, S : 走行用燃料タンク受熱面積 [m²], C : 走行用燃料タンクおよび軽油の熱容量 [8.92×10⁴J/K], t : 燃焼継続時間 [s]
 ※¹: 伝熱工学資料, ※²: 空気調和・衛生工学便覧

$E=4948$ [W/m²]

(7) 形態係数の算出

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。危険輻射強度となる形態係数を算出する。

$$E_{\max} = R_f \times \phi$$

E_{\max} : 危険輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数

R_f : 輻射発散度 = 42×10³ [W/m²] とすると,

ガスタービン発電機車（走行用燃料タンク）	
危険輻射強度 [W/m ²]	4948
輻射発散度 [W/m ²]	42000
形態係数	0.1178306

(8) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 危険距離 [m], H : 火炎高さ [m], R : 燃焼半径 [m]

ガスタービン発電機車（走行用燃料タンク）	
形態係数	0.1178306
燃焼半径 [m]	0.56
危険距離 [m]	約 1.73m

(9) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、ガスタービン発電機車の GTG 用燃料タンクにおいて火災が発生し

た場合を想定したとしても、離隔距離(5m)が危険距離(約1.73m)以上であることから、向かい合う他のガスタービン発電機車に影響をおよぼすことはないと評価できる。

また、他の車両についても離隔距離が2m以上あることから、周囲の車両(可搬型重大事故等対処施設)に影響をおよぼすことはないと評価できる。

4. 原子炉施設の外壁に設置されている機器の火災影響評価

原子炉施設の外壁に設置されている機器（防護扉等）については，外部火災の熱影響を受けやすいことから，これらの機器について，火災影響評価を実施する。

（1）評価対象範囲

評価対象は，原子炉施設の外壁に設置されている機器のうち，外部火災の熱影響を受ける以下の機器とする。

- ・ 防護扉
- ・ ルーバ（換気空調系の給排気口）
- ・ 配管貫通部
- ・ ブローアウトパネル

なお，複数設置されているこれらの機器のうち，最も熱影響を受ける位置にあるもの（発熱源に近く，機器本体だけでなく建屋内部へ熱影響が及ぶ可能性のあるもの）を評価することによって，その他の機器は本評価に包絡される。

発熱源は，火災時の輻射強度が大きい軽油タンク，変圧器，航空機とするが，建屋内への熱影響が確認された場合は内気温度についても評価する。

4.1. 防護扉の火災影響評価について

1. 防護扉の温度評価

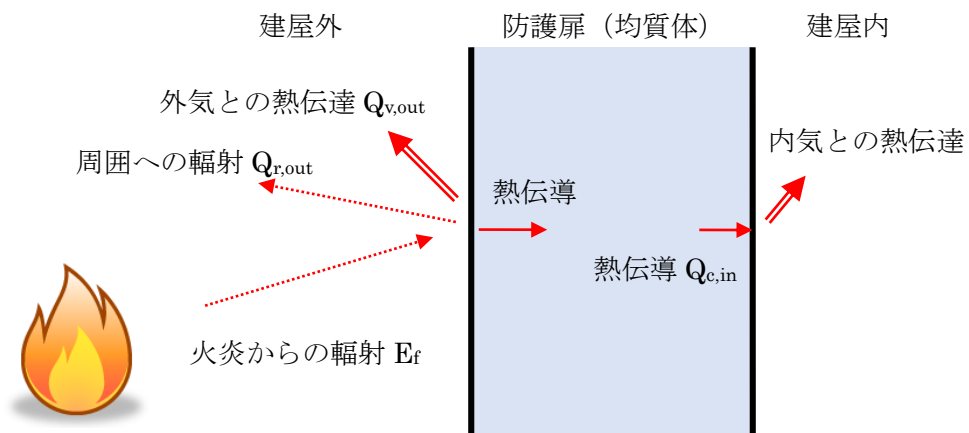
（1）評価対象

防護扉のうち，軽油タンクに最も近く，輻射強度が最も大きくなる6号炉非常用ディーゼル発電機（C）室の防護扉を評価対象とする。

（2）想定条件

- a. 軽油タンクの火災については，添付資料－6「2. 構内危険物タンクの火災影響評価」と同様の想定とした。
- b. 防護扉は，保守的に，扉外面の最も熱影響を受けやすい金属を防護扉の構造材（均質体）とした。
- c. 火災が発生した時間から，燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度を受けるものとした。

以下に，概念図を示す。



第 4. 1-1 伝熱の概念図

(3) 必要データ

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません

評価に必要なデータを以下に示す。

項目	パラメータ	備考
扉材質		-
外気温度[°C]	50	太陽輻射を考慮
内気温度[°C]	33.3	夏期換算値
外面熱伝達率[W/(m ² ・K)]	第 4. 1-2 図参照	自然対流熱伝達率 (Bayley の式)
内面熱伝達率[W/(m ² ・K)]	第 4. 1-2 図参照	自然対流熱伝達率 (Bayley の式)
扉の熱伝導率[W/(m・K)]		
扉の厚さ[m]		-
外面放射率(吸収率)[-]	0.9	伝熱工学資料
内面放射率[-]	0	輻射放熱はゼロとする
扉の熱拡散率[m ² /s]		
シュテファン・ボルツマン定数[W/(m ² ・K)]	5.67×10^{-8}	伝熱工学資料

Bayley の式

$$Nu \equiv h \cdot x / \lambda = 0.10 Ra^{1/3}$$

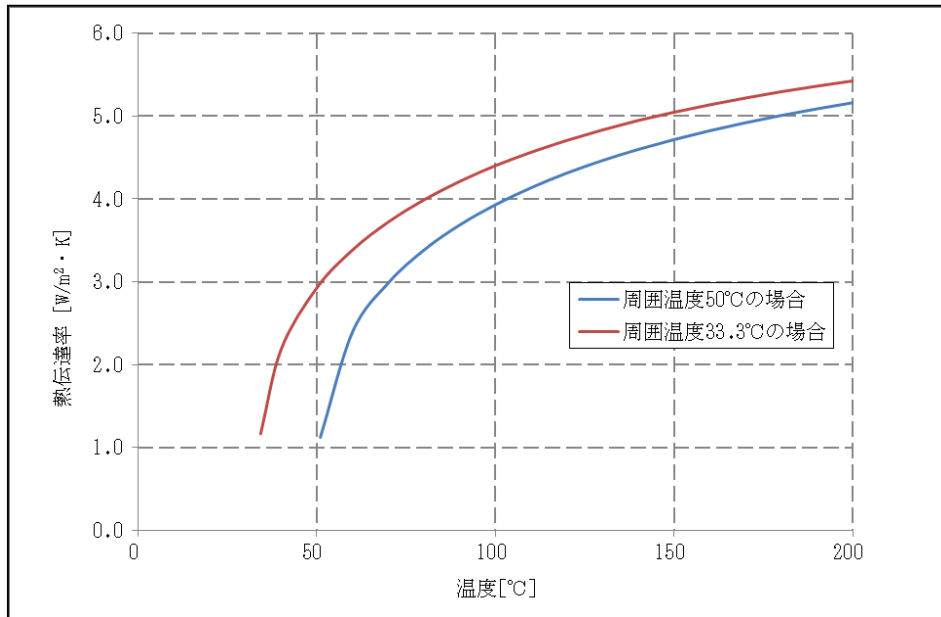
$$(2 \times 10^9 \leq Ra \equiv g \cdot \beta(T - T_{out}) \cdot x^3 / \nu^2 \cdot Pr \leq 10^{12})$$

より、自然対流熱伝達率 h は次式から求められる。

$$h = 0.10 \lambda (g \cdot \beta(T - T_{out}) \cdot Pr / \nu^2)^{1/3}$$

λ : 空気の境膜平均温度(扉面温度 T と周囲流体温度 T_{out} の平均値)での熱伝導率 [W/(m・K)], g : 重力加速度 [m/s²], β : 空気の境膜平均温度での熱膨張率 [1/K],

Pr: 空気の境膜平均温度でのプラントル数[-], ν : 空気の境膜平均温度での動粘性率[m²/s]



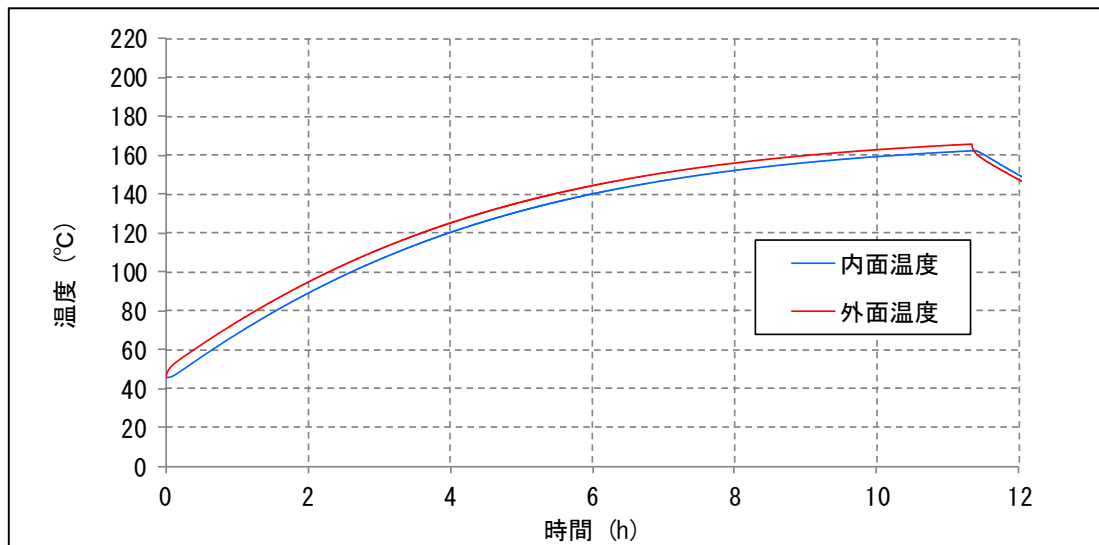
第 4.1-2 図 自然対流熱伝達 (bayley の式)

(4) 防護扉の内外面温度と膨張量の算出

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、防護扉外面および内面温度を求める。

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

T: 温度, t: 時刻, x: 防護扉における外面からの距離, α : 熱拡散率



第 4.1-3 図 防護扉の外面および内面温度

(5) 熱影響の有無の評価

評価の結果、軽油タンク火災による防護扉の最高温度は、扉外面 165.5℃、扉内面 161.9℃となった。

なお、建屋内の防火扉は、耐火試験を実施しており、IS0834 規格に従い、最終的に 1000℃を超える加熱に対して、3 時間の耐火性能*があることを確認している。これに対し、防護扉は建屋内の防火扉よりも頑健性が有り、同等以上の耐火性能を有していることから熱影響はないと評価する。

※：非加熱面での 10 秒を超えて継続する火炎の噴出、発炎及び隙間を生じないこと。

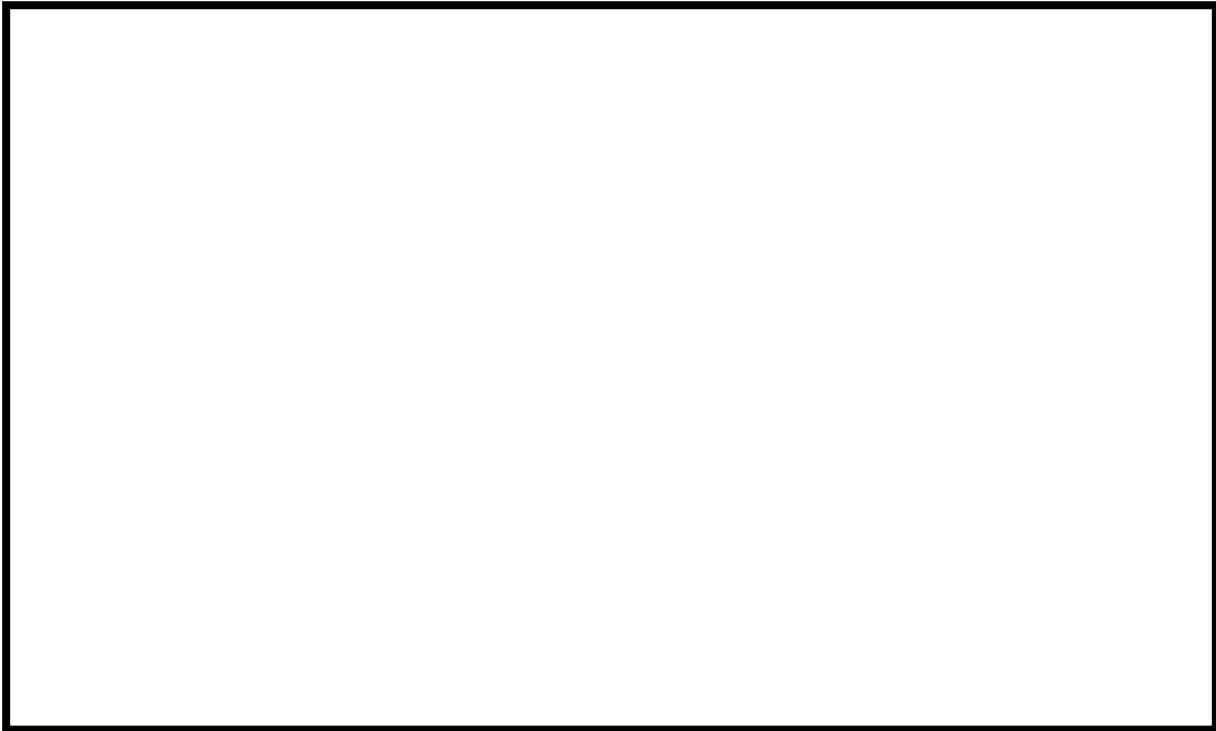
2. 6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室の内気温度評価<待機時>

防護扉の内面温度上昇を確認したため、6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室(以下、評価対象室という。)の内気温度を算出し、室内に設置している機器等への影響について評価する。なお、非常用ディーゼル発電機は待機状態とする。

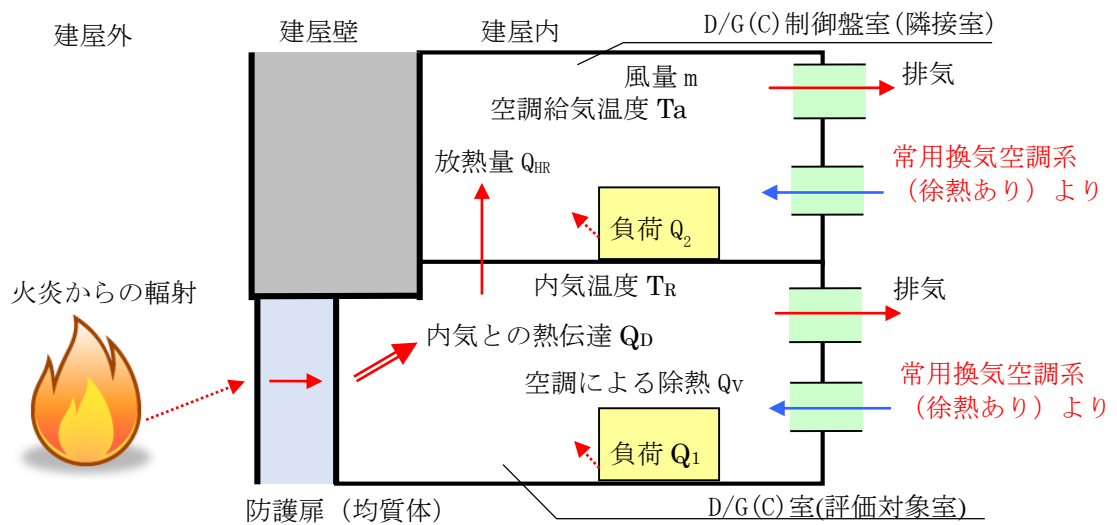
(1) 評価条件

- a. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、扉内面温度 161.9℃一定としたときの放熱量を評価対象室への入熱とした。
- b. より現実的な評価として、評価対象室に隣接する壁、床、天井への放熱を考慮した。
- c. 隣接室については、隣接する壁、床、天井への放熱を考慮しないものとした。
- d. 隣接室の内気温度評価は、評価対象室の放熱面積と隣接室の室内負荷が最も大きい、評価対象室上階の非常用ディーゼル発電機(C)制御盤室を対象とすることで、他の隣接室内機器等への評価は包絡される。

以下に、6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室と軽油タンクの位置関係、及び伝熱の概念図を示す。



第 4.1-4 図 6 号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室と軽油タンクの位置関係



第 4.1-5 図 伝熱の概念図 (非常用ディーゼル発電機：待機時)

(2) 建屋内の温度評価

内気温度は、火災による防護扉内面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷および周囲壁と空調による除熱を考慮し、次式で求める。

$$T'_R = T_R + \frac{Q_1 + Q_D - Q_v - Q_{HR}}{C_a} \cdot t$$

T_R : 初期内気温度, Q_1 : 室内負荷, Q_D : 防護扉内面温度上昇に伴う熱負荷 (内気との熱

伝達), Q_v : 空調による除熱量, Q_{HR} : 隣接室への放熱量, C_a : 室内空気の熱容量, t : 時刻

隣接室の内気温度については, 隣接室への放熱量と室内の熱負荷および空調による除熱を考慮し, 次式より求める。

$$T_n = \frac{Q_2 + Q_{HR}}{m\rho C} + T_a$$

Q_2 : 室内負荷, m : 風量, ρ : 空気密度, C : 空気比熱, T_a : 空調給気温度

以下に評価結果を示す。

	6号炉非常用ディーゼル発電機(C)室 (評価対象室)	6号炉非常用ディーゼル発電機(C)制御盤室 (隣接室)
内気温度[°C]	36.3	32.3 ^{※1}
許容温度[°C]	45 ^{※2}	40 ^{※3}

※1: 評価対象室より室内負荷が小さく, 初期内気温度は 28.5[°C]

※2: 室内の電気設備 (非常用ディーゼル発電機) の最高使用温度

※3: 室内の電気設備 (制御盤) の最高使用温度

評価の結果, 6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室は 36.3°C, 隣接室(非常用ディーゼル発電機制御盤室)の室温は 32.3°Cとなり, それぞれ, 許容温度を下回ることを確認した。

(3) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から, 軽油タンク火災による防護扉の加熱を想定したとしても, 建屋内の 6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室, 及びその隣接室の内気温度が, 共に許容温度を超えないことから, 原子炉施設の建屋内への熱影響はない。

なお, 防護扉の他に外壁からの入熱もあるが, 短期的には防護扉からの入熱が支配的であるため, この間の内気温度から室内への熱影響を評価できる (壁厚が厚い場合, 外壁からの入熱は一時的に壁内に蓄えられ, 一定時間経過後から長時間に亘って建屋内に放熱されるが, 単位時間当たりの放熱量は小さく空調設備での除熱が可能)。

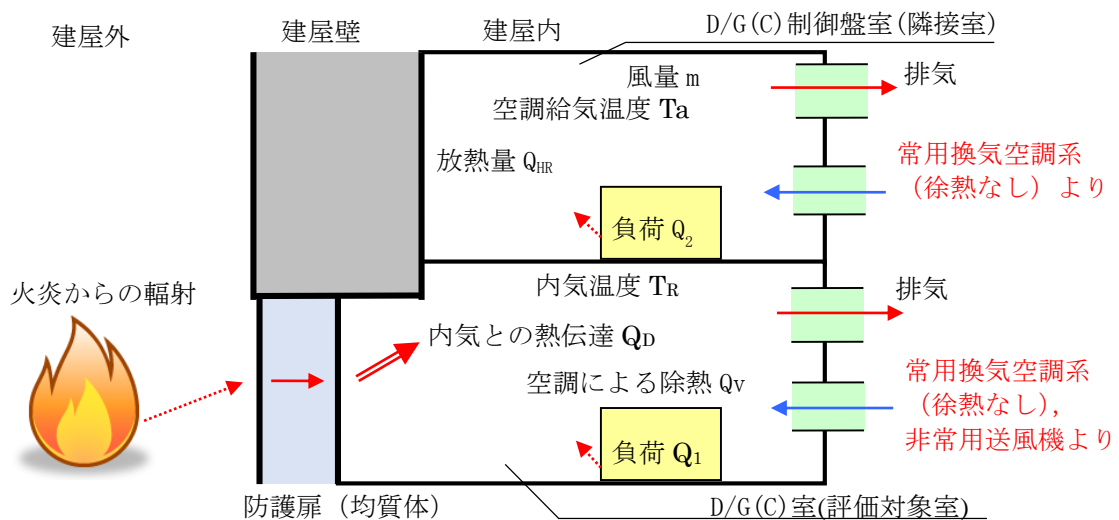
3. 6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) 室の内気温度評価<運転時>

6号炉非常用ディーゼル発電機 (C) へ燃料を供給している軽油タンクの火災を想定しているため, ここでは, 建屋内に設置されているディタンクからの燃料供給により, 非常用ディーゼル発電機を運転している状態とし, その時の内気温度を算出, 室内に設置している機器等への影響について評価する。

(1) 評価条件

- a. 火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、扉内面温度 161.9°C一定としたときの放熱量を評価対象室への入熱とした。
- b. 評価対象室から隣接室への熱影響を評価するため、評価対象室から壁、床、天井への放熱を考慮した。
- c. 隣接室については、隣接する壁、床、天井への放熱を考慮しないものとした。
- d. 隣接室の内気温度評価は、評価対象室の放熱面積と隣接室の室内負荷が最も大きい、評価対象室上階の非常用ディーゼル発電機(C)制御盤室を対象とすることで、他の隣接室内機器等への評価は包絡される。
- e. 非常用ディーゼル発電機は、110%出力一定で運転しているものとした。
- f. 隣接室内の負荷（電気品等）は非常用ディーゼル発電機の運転時のものとした。
- g. 非常時を想定し、非常用送風機は運転状態とするが、常用換気空調系による給気の除熱には期待しないものとした（常用換気空調系の電源は非常用電源にも接続されており、送風機は非常時も運転可能）。

なお、伝熱の概念ならびに建屋内の温度評価手法は、2.6号炉非常用ディーゼル発電機(C)室の内気温度評価<待機時>と同様である。以下に、伝熱の概念図を示す。



第 4.1-6 図 伝熱の概念図（非常用ディーゼル発電機：運転時）

以下に評価結果を示す。

	6号炉非常用ディーゼル 発電機(C)室 (評価対象室)	6号炉非常用ディーゼル 発電機(C)制御盤室 (隣接室)
内気温度[°C]	44.6	39.7 ^{※1}
許容温度[°C]	45 ^{※2}	40 ^{※3}

※1：常用換気空調系による給気の除熱がなく、非常用ディーゼル発電機の運転に

に伴い室内負荷も増加していることから、初期内気温度は38.1[°C]となる。

※2：室内の電気設備（非常用ディーゼル発電機）の最高使用温度

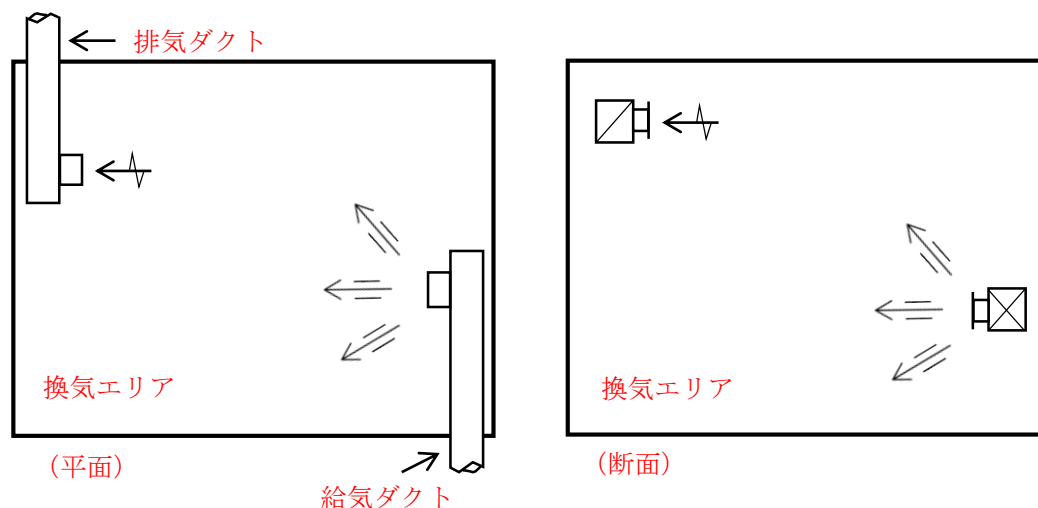
※3：室内の電気設備（制御盤）の最高使用温度

（3）火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、軽油タンク火災による防護扉の加熱を想定したとしても、建屋内の6号炉非常用ディーゼル発電機(C)室、及びその隣接室の内気温度が、共に許容温度を超えないことから、原子炉施設の建屋内への熱影響はない。

なお、内気温度については、（1）評価条件に加え、各部の温度に設計値を用いる等、保守的な評価を行っていることから、実際の温度上昇は更に低く抑えられると評価する。

また、建屋内の給排気ダクトは、換気・冷却に有効な位置に設置し、シュートパスやホットスポットを生じないレイアウトとしていることから、室内の温度分布が不均一となることはない。以下に、給排気ダクトの配置例を示す。



第 4.1-7 図 給排気ダクトの配置例

4.2. ルーバの火災影響評価について

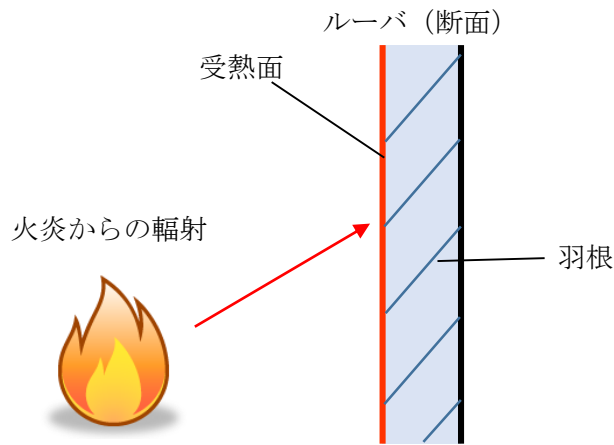
（1）評価対象

ルーバのうち、6号炉主変圧器に最も近く、輻射強度が最も大きくなる6号炉非常用ディーゼル発電機(B)の排気ルーバを対象とする。

（2）想定条件

- 変圧器の火災については、添付資料－6「3.1 変圧器の火災影響評価について」と同様の想定とした。
- 火災が発生してから燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でルーバが昇温されるものとした。

以下に、ルーバへの受熱面を示す。



第 4.2-1 図 ルーバの受熱面

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

離隔距離[m]	16
燃焼半径[m]	6.91
形態係数[-]	0.2051199
輻射強度[W/m ²]	4.718×10 ³
燃焼継続時間[h]	10.15

(4) ルーバ温度と膨張量

変圧器の火災影響評価(1)から(7)と同様の算出方法により輻射強度を求めた結果、ルーバが受ける輻射強度は4.718kW/m²となり、この輻射強度にて一定でルーバが昇温されるものとして、下記の式より対象ルーバの温度および膨張量を算出した。

なお、ルーバの材質は、アルミニウム合金(JIS:A6063)である。

$$h_{se} = h_r + h_{cv}$$

出典: JIS 9501 2006 保温保冷工事施工標準

h_{se} :ルーバの熱伝達率, h_r :ルーバ表面の輻射熱伝達率, h_{cv} :ルーバ表面の対流熱伝達率

$$q = h_{se}(T - T_0) \text{より}$$

$$T = \frac{q}{h_{se}} + T_0$$

出典:伝熱工学資料

T:ルーバ温度, T_0 :周囲温度, q:入熱量(輻射強度)

$$l = L + \alpha(T - T_0)$$

出典:伝熱工学資料

l:ルーバ膨張量, L:ルーバ長さ(長辺方向), α :熱膨張率

ここで, $h_{se}=15.6[W/m^2K]$, $h_r=9.48[W/m^2K]$, $T_0=50[^\circ C]$, $L=1500[mm]$,
 $\alpha=2.8\times 10^{-6}[1/K]$ とする。

以下に評価結果を示す。

ルーバ温度[$^\circ C$]	168
ルーバ膨張量[mm]	5.4

(5) 火災による熱影響の有無の評価

ルーバ温度は $168^\circ C$ となり, ルーバ長辺方向の熱膨張量はルーバ長さ $1500mm$ に対して, $5.4mm$ となったことから, ルーバの形状が大きく変形することはない。

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

なお, ルーバ内側には熱影響を受ける機器等がなく, 変圧器火災時は, 熱気流を考慮し, 給気温度を監視しつつ, 状況に応じて空調の停止措置等を講じることから, 建屋内への熱影響はない。

4.3. 配管貫通部の火災影響評価について

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

(1) 評価対象

配管貫通部のうち, 6号炉主変圧器に最も近く, 輻射強度が最も大きくなる6号炉R/B南側外壁の外部注水接続配管を対象とする。

(2) 想定条件

a. 主変圧器の火災については, 添付資料-6「3.1 変圧器の火災影響評価について」と同様の想定とした。

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

離隔距離[m]	39.7
燃焼半径[m]	6.91
形態係数[-]	0.0548347
輻射強度[W/m^2]	1.26×10^3
燃焼継続時間[h]	10.15

(4) 火災による熱影響の有無の評価

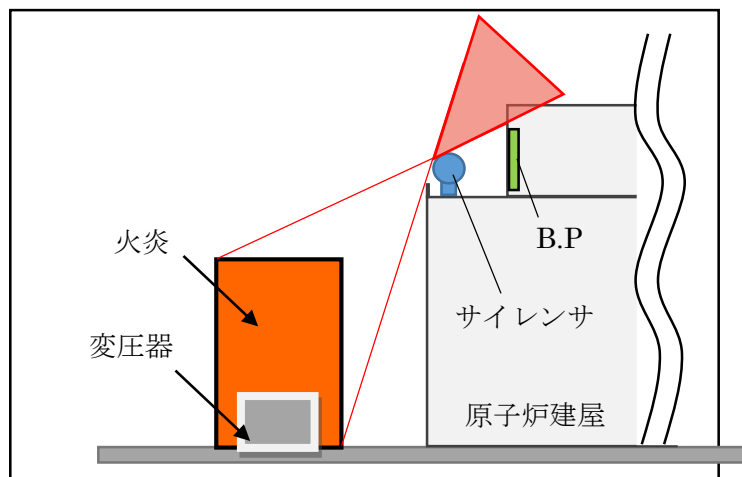
変圧器の火災影響評価(1)から(7)と同様の算出方法により輻射強度を求めた結果、配管貫通部(屋外配管)に対して受ける輻射強度は 1.26kW/m^2 となり、人が長時間受け続けても影響がない、 1.6kW/m^2 を下回ることから、配管貫通部(屋内配管と内気含む)への熱影響はない。

4.4. ブローアウトパネルの火災影響評価について

6, 7号炉のブローアウトパネル(以下、B.Pという。)は、それぞれ原子炉建屋北側に3箇所、南側に1箇所設置されているが、北側B.Pについては、発熱源との配置より輻射熱が届くことはなく、南側B.Pについても、B.P前に設置している、非常用ディーゼル発電機のサイレンサ(排気口)により、輻射熱が届くことはない(第4.4-1図)。

なお、サイレンサは最高使用温度が500度以上であり、主変圧器からサイレンサまでの距離とほぼ等しい位置にある排気筒の温度評価(132°C)と同程度と考えられることから、熱影響はない。

また、航空機落下による火災を想定したとしても、サイレンサによって輻射が遮られる。仮に、輻射を受けたとしても $0.5 \times 10^3\text{W/m}^2$ 程度であり、輻射強度は人が長時間受け続けても痛みを感じることがないとされる 1.6kW/m^2 以下となり、サイレンサへの熱影響はない。



第4.4-1図 6号炉B.Pと主変圧器火災との位置関係

原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について

1. はじめに

本評価は、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が起こったとしても安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 航空機墜落の火災影響評価

航空機墜落確率評価では、評価手法及び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。対象航空機の燃料積載量に火災の影響は大きく依存することから、添付資料 7-1 に示すとおり、大型航空機と小型航空機に分類し、また、民間航空機と自衛隊航空機又は米軍航空機（以下、軍用航空機とする）に分類し以下のカテゴリ毎に火災影響評価を実施する。

- (1) 大型民間航空機
- (2) 小型民間航空機
- (3) 大型軍用航空機
- (4) 小型軍用航空機

(1) 航空機墜落の火災の想定

- a. 航空機は、当該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した。

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(添付資料 7-2)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(添付資料 7-2)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

- b. 航空機は燃料を満載した状態を想定した。
- c. 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した。
- d. 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した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 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 倍とした。

(2) 評価手法の概要

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

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[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	航空機燃料タンクの投影面積より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	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以下になる値

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

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原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

（3）評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地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、柏崎刈羽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のうち、大型民間航空機、小型民間航空機、大型軍用航空機、小型軍用航空機を対象とし、それぞれの機種別の墜落確率の合計が10⁻⁷ [回/炉・年] となる標的面積を算出し、その結果から原子炉施設からの離隔距離を以下のとおり算出した。

(4) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機および小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

$$Pc = fc \cdot Nc \cdot A / W$$

Pc : 対象施設への巡航中の航空機落下確率[回/年]

Nc : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数[飛行回/年]

A : 原子炉施設の標的面積[km²]

W : 航空路幅[km]

fc = Gc / Hc : 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率[回/飛行回・km]

Gc : 巡航中事故件数[回]

Hc : 延べ飛行距離[飛行回・km]

パラメータ	柏崎刈羽原子力発電所 6, 7号炉			
対象航空路 ^{注1}	航空路 (V31)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)	RNAV5 (Y31)	RNAV5 (Y305)
Nc ^{注2}	14600	4015	3650	182.5
A ^{注3}	0.01	0.01	0.01	0.01
W ^{注4}	14	14	18.52	18.52
Fc ^{注5}	0.5/9,439,243,077 = 5.30 × 10 ⁻¹¹			
Pc	5.53 × 10 ⁻¹⁰	1.52 × 10 ⁻¹⁰	1.04 × 10 ⁻¹⁰	5.22 × 10 ⁻¹²
Pc (合計)	8.14 × 10 ⁻¹⁰			

注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。(添付資料7-3)

注2: 国土交通省航空局への問合せ結果 (ピークデイの値) を365倍した値。ただし、平成24年のピークデイにおける飛行回数が0回の場合は、保守的に0.5回とみなし、年間182.5回とした。(添付資料7-4)

注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。(添付資料7-5)

注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。

注5: 巡航中事故件数は、平成3年～平成22年の間で0件のため、保守的に0.5件とした。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。(添付資料7-6)

(b) 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 : 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

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 注1	0.5/20=0.025	2/20=0.10	35/20=1.75	30/20=1.50
S_v 注1	372,000			
α 注1	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}	4.70×10^{-9}	4.03×10^{-9}
P_v (合計)	1.21×10^{-8}			

注1 : 「平成23年度 航空機墜落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。

以上より、

大型民間航空機の墜落確率 (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通りとなる。

$$A_1 = 10^{-7} \div (8.14 \times 10^{-10} + 6.72 \times 10^{-10} + 2.69 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.24 [\text{km}^2]$$

小型型民間航空機の墜落確率 (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通りとなる。

$$A_2 = 10^{-7} \div (4.70 \times 10^{-9} + 4.03 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.114 [\text{km}^2]$$

b. 大型軍用航空機および小型軍用航空機の標的面積の算出

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

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

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 : 原子炉施設の標的面積[km²]

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} 注1	2/20=0.1	4/20=0.2	6/20=0.3	1/20=0.05
S_o 注1	295,000	372,000	295,000	372,000
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P_{so}	3.39×10^{-9}	5.38×10^{-9}	1.02×10^{-8}	1.34×10^{-9}
P_{so} (合計)	2.03×10^{-8}			

注1: 「平成23年度 航空機墜落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。

以上より、

大型軍用航空機の墜落確率 (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通りとなる。

$$A_3 = 10^{-7} \div (3.39 \times 10^{-9} + 5.38 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.114[\text{km}^2]$$

小型軍用航空機の墜落確率 (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通りとなる。

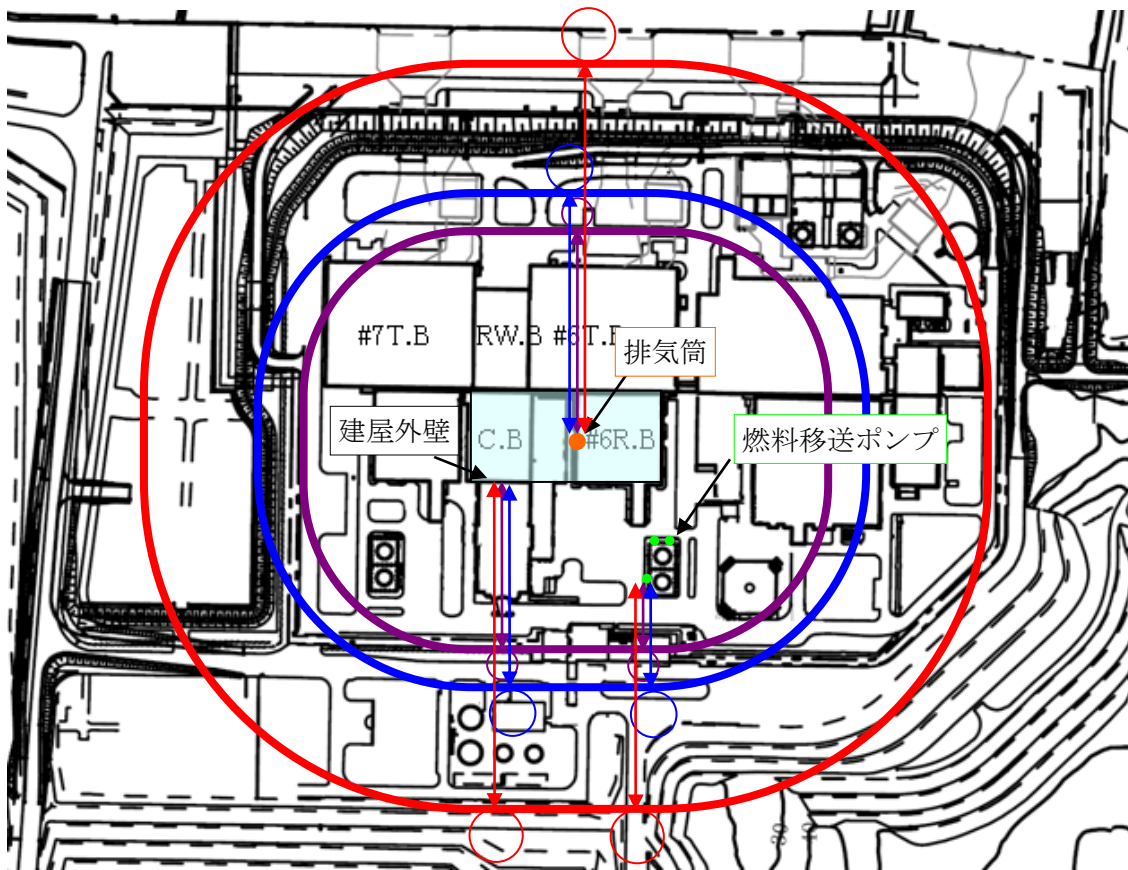
$$A_4 = 10^{-7} \div (1.02 \times 10^{-8} + 1.34 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.087[\text{km}^2]$$

(5) 原子炉施設からの離隔距離の算出

(4) で求めた面積が、評価対象となる原子炉施設（原子炉建屋およびコントロール建屋）外壁面から等距離の離隔をとった場合の標的面積と等しくなる距離を離隔距離 L[m]とし、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 2-1 図，第 2-2 図に示す。

項目		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
対象航空機		B747-400	Do228-200	KC-767	AH-1S
6号炉	外壁面	218	134	133	109
7号炉	までの離隔距離[m]	225	140	140	116
6号炉	燃料移送ポンプ	158	74	73	49
7号炉	までの離隔距離[m]	166	82	81	57
6号炉	排気筒	239	155	155	131
7号炉	までの離隔距離[m]	226	141	141	117

※ 軽油タンクの熱影響評価は、航空機墜落による軽油タンク火災の重畳火災も考慮し、航空機墜落位置より内側にある軽油タンクの発火の有無について評価を実施する。評価結果は(14)に示す。



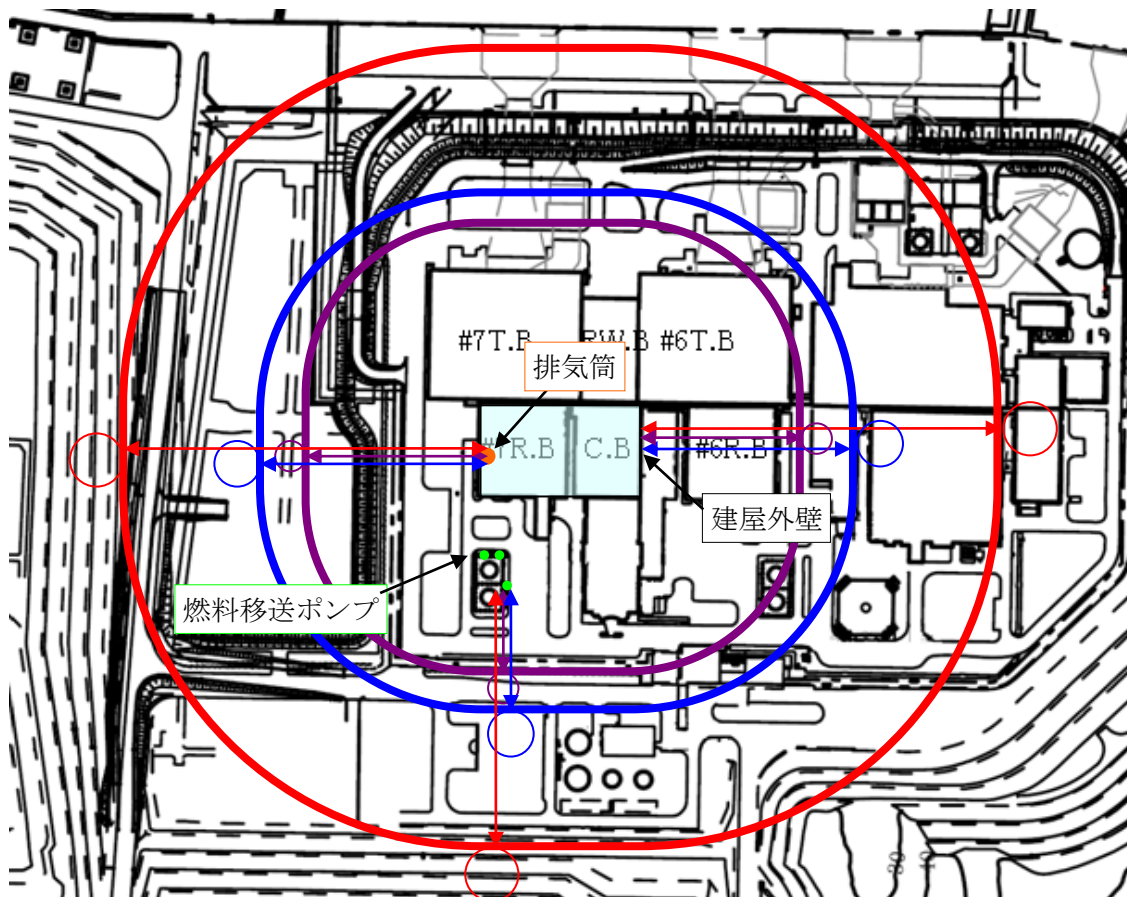
○：航空機墜落位置（円筒火炎モデル）

大型民間航空機墜落位置

小型民間航空機墜落位置
大型軍用航空機墜落位置

小型軍用航空機墜落位置

第2-1図 各航空機の墜落位置（6号炉）



○：航空機墜落位置（円筒火炎モデル）

大型民間航空機墜落位置

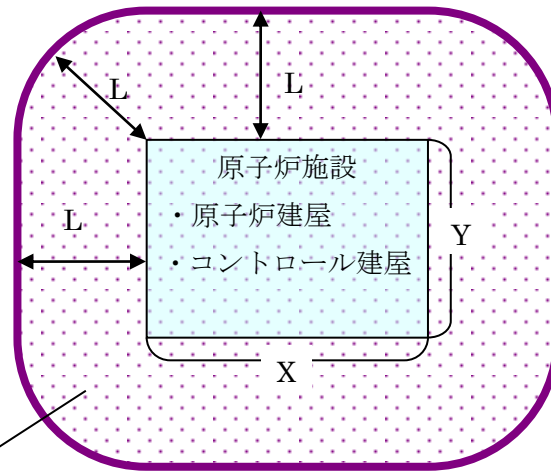
小型民間航空機墜落位置

小型軍用航空機墜落位置

大型軍用航空機墜落位置

第2-2図 各航空機の墜落位置（7号炉）

a. 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積の考え方



10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積=S

原子炉施設 (原子炉建屋およびコントロール建屋) 外壁面から等距離の離隔をとり、 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積を S とした場合、以下の式が成り立つ。

$$S = XY + 2LX + 2LY + \pi L^2 / 4 \times 4$$

$$\pi L^2 + 2(X + Y)L + XY - S = 0$$

二次方程式の解の公式より、以下の式となる。

$$L = \frac{-(X + Y) + \sqrt{(X + Y)^2 - \pi(XY - S)}}{\pi}$$

(6) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。なお、温度評価においては、離隔距離が短い方が評価が厳しくなることから、6号炉の外壁面、6号炉燃料移送ポンプ、7号炉排気筒の温度評価を実施する。また、下表に示すとおり、小型民間航空機は大型軍用航空機と比べ輻射発散度が小さく、燃料タンク面積も小さく、離隔距離も離れていることから大型軍用航空機の評価に包絡される。

項目	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
想定する航空機	B747-400	Do228-200	KC-767	AH-1S
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84	2.386	145.033	0.98
輻射発散度[kW/m ²]	50	50	58	58
燃焼速度[m/s]	6.667×10^{-5}	6.667×10^{-5}	6.711×10^{-5}	6.711×10^{-5}
燃料タンク面積[m ²]	606	26	281	12
6号炉外壁面までの離隔距離[m]	218	134	133	109
6号炉燃料移送ポンプまでの離隔距離[m]	158	74	73	49
7号炉排気筒までの離隔距離[m]	226	141	141	117

※出典については、添付資料7-7参照

(7) 燃焼半径の算出

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

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

R：燃焼半径[m]，S：燃料タンク投影面積（火炎円筒の底面積）

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
想定する航空機	B747-400	KC-767	AH-1S
燃料タンク面積[m ²]	606	281	12
燃焼半径[m]	13.9	9.46	1.95

(8) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

項目		大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
燃焼半径 [m]		13.9	9.46	1.95
6号炉外壁 面	離隔距離 [m]	218	133	109
	形態係数	0.0070296	0.0086372	0.0005998
6号炉燃料 移送ポンプ	離隔距離 [m]	158	73	49
	形態係数	0.0127068	0.0249018	0.0027728
7号炉排気 筒	離隔距離 [m]	226	141	117
	形態係数	0.0065677	0.0077434	0.0005215

(9) 輻射強度の算出

火災の火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数

項目		大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射発散度 [kW/m ²]		50	58	58
6号炉外壁 面	形態係数	0.0070296	0.0086372	0.0005998
	輻射強度 [W/m ²]	351.48	500.96	34.79
6号炉燃料 移送ポンプ	形態係数	0.0127068	0.0249018	0.0027728
	輻射強度 [W/m ²]	635.35	1444.31	160.83
7号炉排気 筒	形態係数	0.0065677	0.0077434	0.0005215
	輻射強度 [W/m ²]	328.39	449.12	30.25

(10) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間[s], V : 燃料積載量[m³], R : 燃焼半径[m], v : 燃焼速度[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³]

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
燃料量 [m ³]	216.84	145.033	0.98

燃料面積 πR^2 [m ²]	606	281	12
質量低下速度 [kg/m ² ・s]	0.054	0.051	0.051
燃料密度 [kg/m ³]	810	760	760
燃焼速度 [m/s]	6.667×10^{-5}	6.711×10^{-5}	6.711×10^{-5}
燃焼継続時間 [hour]	1.49	2.14	0.338

※出典については，添付資料 7-7 参照

(11) 建屋外壁の耐火性能評価

a. 許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）については，一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる 200 度^{*}とする。

※ 原田和典，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

b. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして，下記の次元非定常熱伝導方程式の解の式より，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。

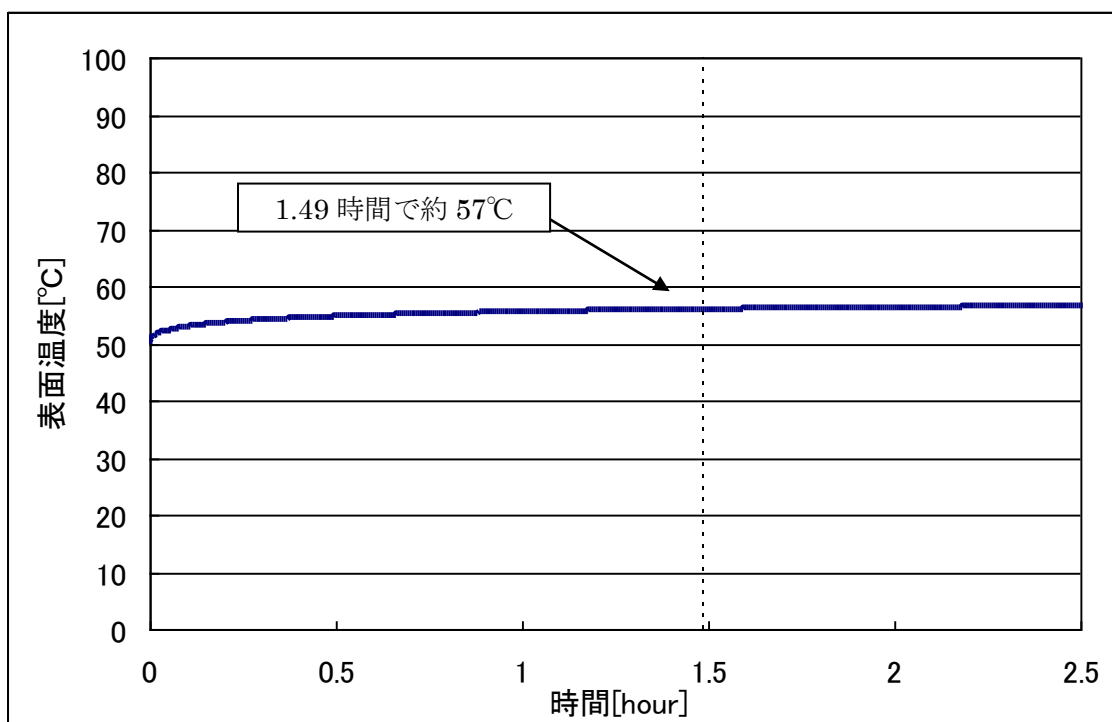
$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1 \right)} \frac{h}{\varepsilon E}$$

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

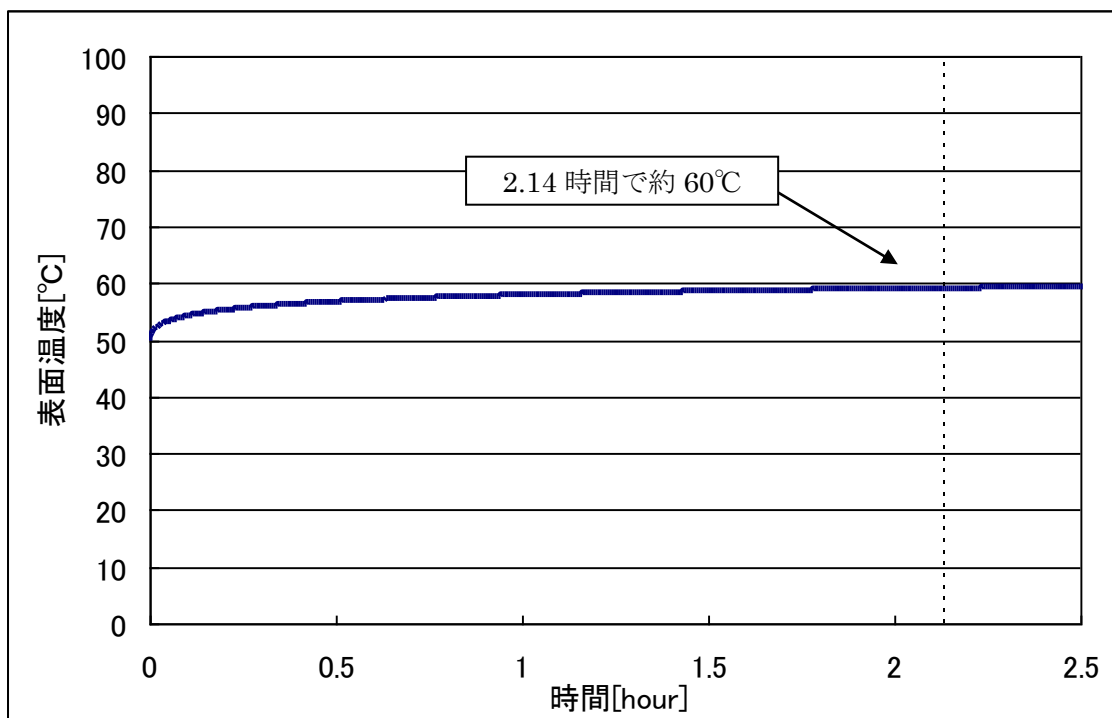
T_0 ：初期温度 [50℃]， E ：輻射強度 [W/m²]， ε ：コンクリート表面の放射率 (0.95)^{*}， h ：コンクリート表面熱伝達率 [34.9W/m²K]^{*}， k ：コンクリート熱伝導率 [1.6W/mK]^{*}， ρ ：コンクリート密度 [2200kg/m³]^{*}， c ：コンクリート比熱 [879J/kgK]^{*}， t ：燃焼継続時間 [s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

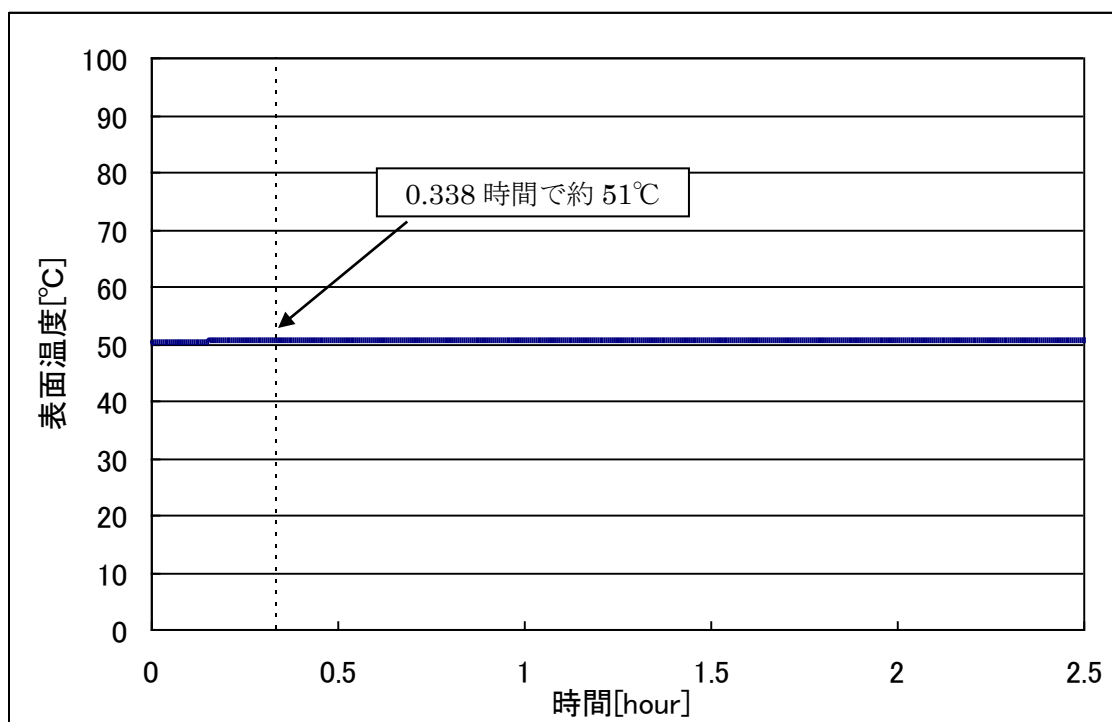
6号炉外壁面			
項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射強度 [W/m ²]	351.48	500.96	34.79
燃焼継続時間 [hour]	1.49	2.14	0.338
表面温度 [℃]	57	60	51



第 2-3 図 外壁面温度推移 (大型民間航空機)



第 2-4 図 外壁面温度推移 (大型軍用航空機)



第 2-5 図 外壁面温度推移（小型軍用航空機）

（1 2）燃料移送ポンプの温度評価

a. 許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）は、端子ボックスパッキンの耐熱温度 100°C とする。

b. 耐火性能の評価結果

一定の輻射強度で燃料移送ポンプが昇温されるものとして、下記の式より、燃料移送ポンプの最大温度を求め、燃料移送ポンプの温度が許容温度以下であることを確認した。

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

T_0 : 初期温度 [50°C], E : 輻射強度 [W/m^2], ε : 燃料移送ポンプ表面の放射率 (0.9)

※1, h : 燃料移送ポンプ表面熱伝達率 [$17W/m^2K$]※2

※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

6 号炉燃料移送ポンプ			
項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射強度 [W/m^2]	635.35	1444.31	160.83
表面温度 [°C]	67	89	55

（1 3）排気筒の温度評価

a. 許容限界値（許容限界温度）

本評価で用いる許容限界値（許容限界温度）は、鋼材の許容限界温度 325℃とする。

b. 耐火性能の評価結果

一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、下記の式より、排気筒の最大温度を求め、排気筒の温度が許容温度以下であることを確認した。

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

T_0 ：初期温度[50℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ε ：排気筒表面の放射率（0.9）^{※1}， h ：排気筒表面熱伝達率[17W/m²K]^{※2}

※1：伝熱工学資料，※2：空気調和・衛生工学便覧

7号炉排気筒			
項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射強度[W/m ²]	635.35	1444.31	160.83
表面温度[℃]	59	62	51

（14）軽油タンクの温度評価

航空機墜落位置より原子炉建屋側にある軽油タンクが航空機墜落火災により発火するかどうか評価する。航空機墜落火災時に軽油タンク内の軽油が発火点となる輻射強度[kW/m²]を算出し、その輻射強度が航空機燃料の輻射発散度（最大 58kW/m²）より大きいことから、輻射熱により軽油が発火しないことを確認した。

a. 軽油タンクの危険輻射強度の算出

一定の輻射強度で軽油および軽油タンクが昇温されるものとして、下記の式より、許容限界温度となる輻射強度を危険輻射強度とする。

$$E_{\max} = \frac{(C + hSt)(T - T_0)}{\varepsilon St}$$

T_0 ：初期温度[38℃]， T ：許容限界温度[225℃]^{※1}， ε ：軽油タンク表面の放射率（0.9）^{※2}， h ：軽油タンク表面熱伝達率[17W/m²K]^{※3}， S ：軽油タンク受熱面積[m²]， C ：軽油タンクおよび軽油の熱容量[8.38×10⁸J/K]^{※4}， t ：燃焼継続時間[s]^{※5}

※1：軽油の発火点，※2：伝熱工学資料，※3：空気調和・衛生工学便覧

※4：軽油保有量を保安規定で定められる最低量として算出

※5：評価対象航空機の中で最も燃焼継続時間の長い大型軍用航空機の 2.14 時間

b. 評価結果

以上より、燃焼継続時間 2.14 時間で軽油の発火点 225℃となる輻射強度は、105kW/m²となる。ここで、航空機燃料の輻射発散度が 58kW/m²であり、軽油タンク受熱面での輻射強度は輻射発散度(58kW/m²)に形態係数（0～1 の間の値）を掛けた値で

あることから、軽油タンク受熱面の輻射強度は 58kW/m² 以下である。よって、軽油タンク受熱面での輻射強度が軽油の発火点以上となる危険輻射強度より小さいことから、輻射熱により軽油が発火することはない。

(15) タービン建屋非常用電気品室の温度評価

航空機墜落火災では、タービン建屋周辺にも墜落する可能性が有ることから、航空機墜落火災による熱影響を検討する。タービン建屋非常用電気品室への熱影響は、航空機墜落のみ（単独火災）よりも危険物タンクとの重畳を考慮する場合が厳しくなるため、航空機墜落火災単独での評価は（17）で示す危険物タンクとの重畳火災に包絡されるため熱影響はない。

(16) 廃棄物処理建屋の温度評価

航空機墜落火災では、廃棄物処理建屋周辺にも墜落する可能性があることから、航空機墜落火災による熱影響を検討する。廃棄物処理建屋には復水貯蔵槽があるが、建屋外壁から2枚以上隔てたエリアにあるため直接熱影響はないと考えられるが、廃棄物処理建屋外壁の温度評価を実施することで廃棄物処理建屋の耐性を評価する。

評価に使用する条件は以下の通り。

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射発散度[kW/m ²]	50	58	58
燃焼半径[m]	13.9	9.46	1.95
離隔距離[m]	143	58	34
燃焼継続時間[hour]	1.49	2.14	0.338

以上より形態係数および輻射強度を求め、下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より、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ことを確認した。

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

出典：田中 哮義，改訂版建築火災安全工学入門，日本建築センター

T₀：初期温度[50℃]，E：輻射強度[W/m²]，ε：コンクリート表面の放射率(0.95)※，
h：コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※，k：コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]※，
ρ：コンクリート密度[2200kg/m³]※，c：コンクリート比熱[879J/kgK]※，t：燃焼継続時間[s]

※ 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
形態係数	0.0152954	0.0370674	0.0057874
輻射強度[W/m ²]	764.77	2149.91	335.67
表面温度[°C]	64	90	55

(17) 危険物タンクとの重畳

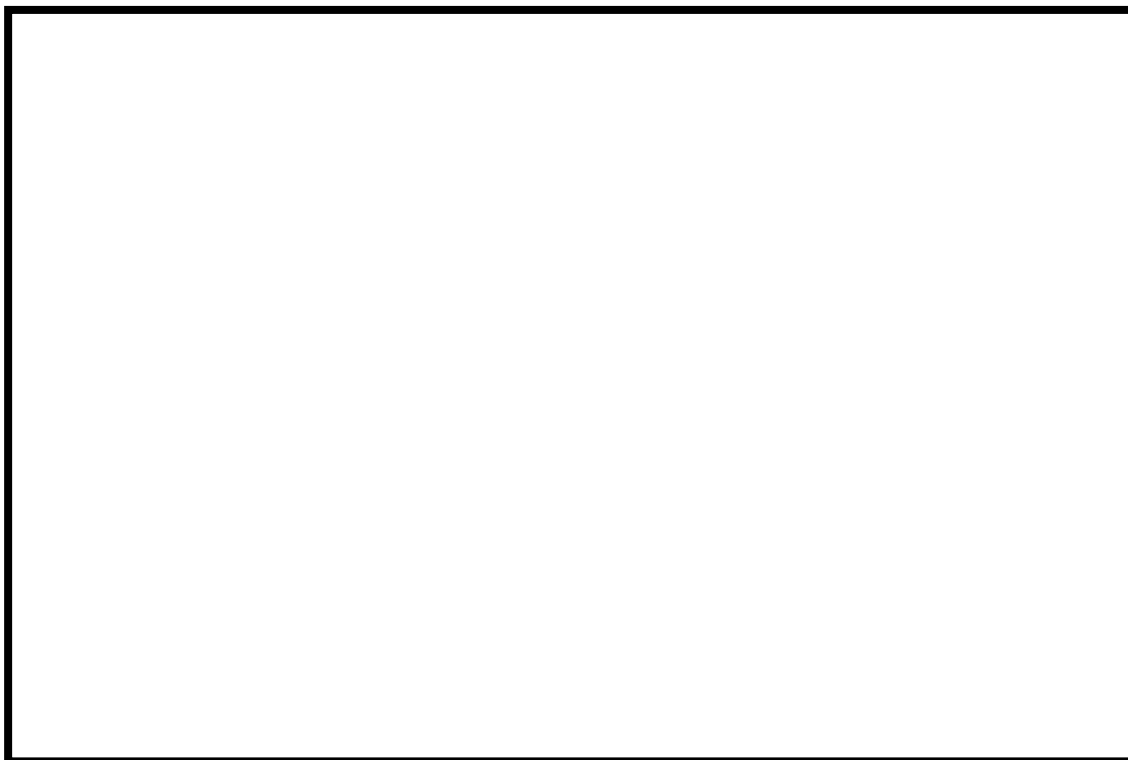
a. 重畳する危険物タンクの選定

航空機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位置を第2-6図および第2-7図に示す。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、まず、航空機墜落位置より原子炉建屋側にある軽油タンクが航空機墜落火災により発火するかどうか評価する。(14)に示すとおり、航空機墜落火災時に軽油タンク内の軽油が発火点となる輻射強度[kW/m²]を算出し、その輻射強度が航空機燃料の輻射発散度(最大58kW/m²)より大きいことから、輻射熱により軽油が発火しないことを確認した。よって、航空機墜落位置より内側にある軽油タンクが航空機墜落により発火することはないことから、航空機墜落との重畳を考慮する危険物タンクは、航空機墜落位置より外側の軽油タンクとする。

6号炉では、航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]以上となる範囲にある危険物タンクは5号炉の軽油タンクとなる。7号炉では、航空機墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]以上となる範囲にある危険物タンクは5号炉および6号炉の軽油タンクとなる。

6号炉に対する影響評価を考えると、5号炉軽油タンクは海側に設置されており、小型軍用航空機、小型民間航空機および大型軍用航空機が5号炉軽油タンク位置に航空機が墜落したとしても、6号炉の原子炉建屋およびコントロール建屋への輻射熱はタービン建屋により遮蔽されるため影響はない。ただし、6号炉タービン建屋1階の非常用電気品室は、5号炉軽油タンクの熱影響を受ける位置にあることから、燃料積載量・燃料タンク投影面積が大きい大型軍用航空機(KC-767)が5号炉軽油タンク周辺に墜落し、5号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機墜落位置は、航空機墜落火災による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。

7号炉に対する影響評価を考えると、5号炉軽油タンクは海側に設置されており、大型民間航空機が5号炉軽油タンクに墜落したとしても、7号炉の原子炉建屋、コントロール建屋およびタービン建屋1階の非常用電気品室は6号炉タービン建屋により輻射熱が遮られることから影響は無い。6号炉軽油タンクは山側に設置されていることから、小型軍用航空機(AH-1S)が6号炉軽油タンク周辺に墜落し、6号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機墜落位置は、航空機墜落火災による影響が最も厳しくなるよう墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。



第 2-6 図 航空機墜落位置と危険物タンクの重畳を考慮する位置（6号炉）



第 2-7 図 航空機墜落位置と危険物タンクの重畳を考慮する位置（7号炉）

b. 6号炉に対する影響評価（5号炉軽油タンクとの重畳）

(a) 6号炉タービン建屋非常用電気品室の外壁面温度評価

評価に必要なパラメータ

6号炉タービン建屋1F 非常用電気品室評価			
項目	5号炉南側 軽油タンク	5号炉北側 軽油タンク	大型軍用航空機 (KC-767)
燃料の種類	軽油	軽油	JP-4
燃料量[m ³]	344	344	145.033
輻射発散度[kW/m ²]	42	42	58
燃焼速度[m/s]	4.793×10 ⁻⁵	4.793×10 ⁻⁵	6.711×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	185.64	193.64	281
燃焼半径[m]	7.69	7.85	9.46
タービン建屋までの距離[m]	91.4	120.6	67
燃焼継続時間[hour]	10.73	10.30	2.14

次の式から形態係数を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

6号炉タービン建屋1F 非常用電気品室評価			
項目	5号炉南側 軽油タンク	5号炉北側 軽油タンク	大型軍用航空機 (KC-767)
タービン建屋までの距離[m]	91.4	120.6	67
燃焼半径 R[m]	7.69	7.85	9.46
形態係数	0.0138239	0.0083052	0.0292796

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数

6号炉タービン建屋1F 非常用電気品室評価			
項目	5号炉南側 軽油タンク	5号炉北側 軽油タンク	大型軍用航空機 (KC-767)
輻射発散度[kW/m ²]	42	42	58
形態係数	0.0138239	0.0083052	0.0292796
輻射強度[W/m ²]	580.61	348.82	1698.22

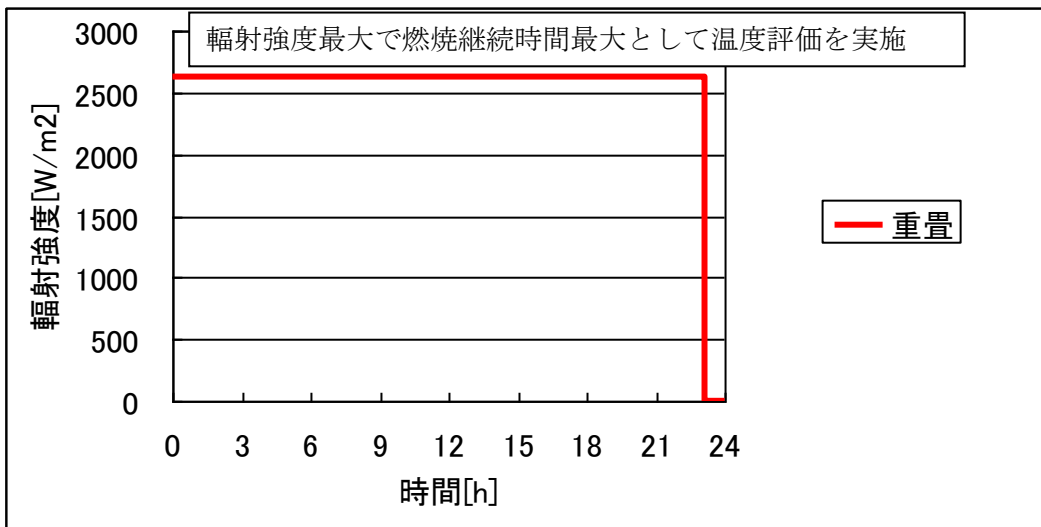
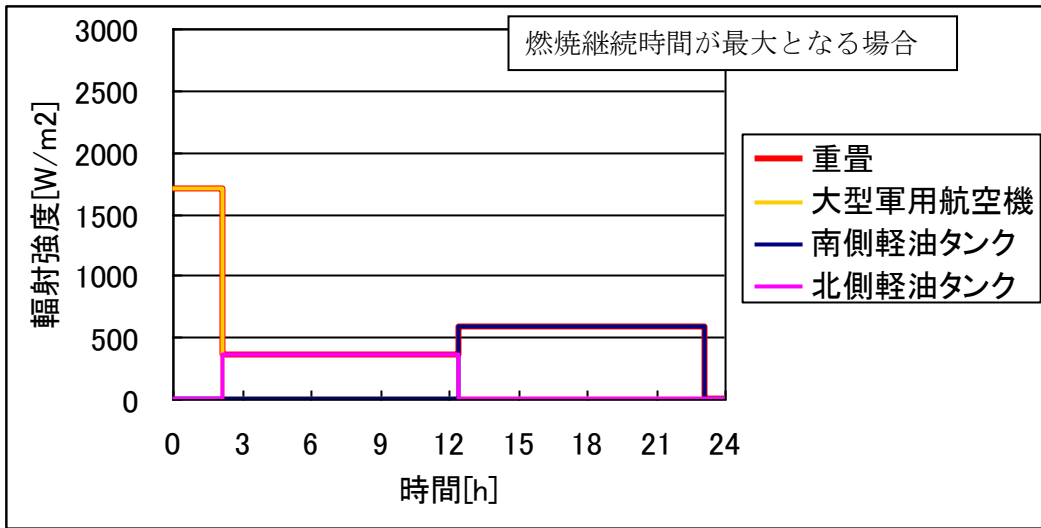
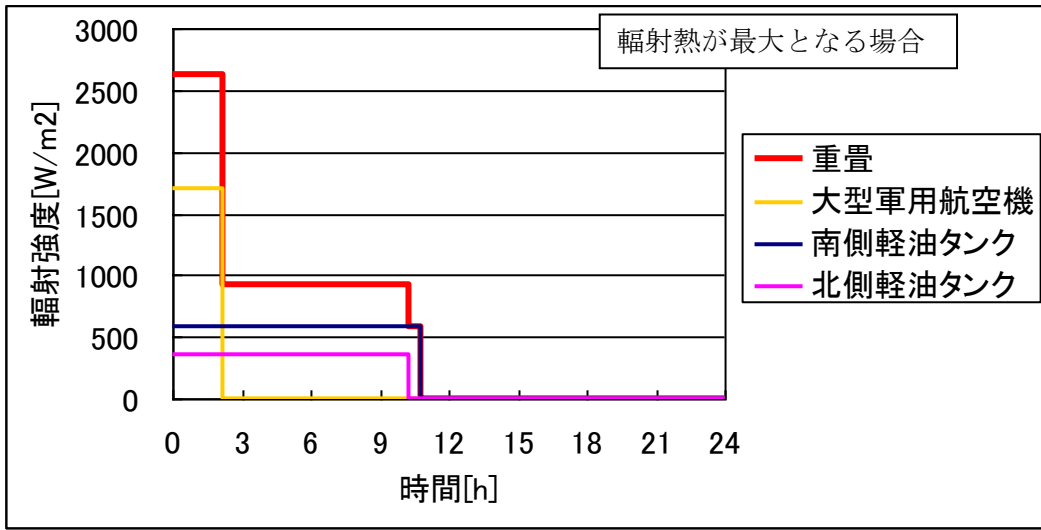
ここで重畳を考慮した場合、航空機が墜落し同時に軽油タンクが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が墜落後時間をおいて軽油タンクが発火する場合は燃焼継続時間が大きくなることから、それらを包絡するように、評価を実施する（第2-8図）。

航空機と軽油タンクが同時に延焼する場合の輻射強度Eは、以下の通り

$$\begin{aligned} E &= 580.61 \text{ (5号炉南側軽油タンク)} + 348.82 \text{ (5号炉北側軽油タンク)} \\ &\quad + 1698.22 \text{ (大型軍用航空機)} \\ E &= 2627.65 \text{ [W/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

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の最大の燃焼継続時間tは、以下の通り

$$\begin{aligned} t &= 10.73 \text{ (5号炉南側軽油タンク)} + 10.30 \text{ (5号炉北側軽油タンク)} \\ &\quad + 2.14 \text{ (大型軍用航空機)} \\ t &= 23.17 \text{ [時間]} \end{aligned}$$



第 2-8 図 重畳を考慮した場合の輻射強度および燃焼継続時間の関係

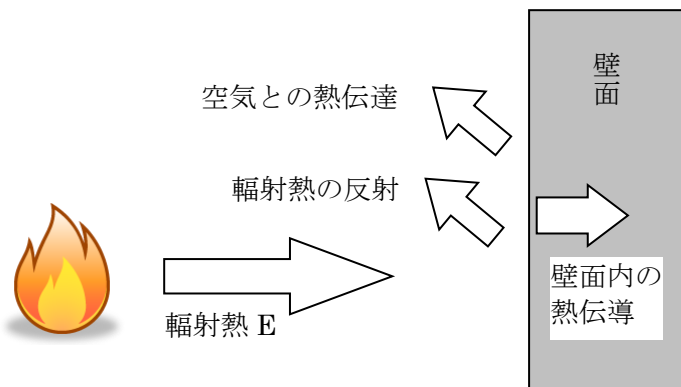
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施した。

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

T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外壁面からの距離, α : 熱拡散率

6号炉タービン建屋1F 非常用電気品室評価 (建屋外壁面温度)	
項目	危険物タンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	2627.65 (=580.61+348.82+1698.22)
燃焼継続時間[hour]	23.17 (=10.73+10.30+2.14)
表面温度[°C]	102

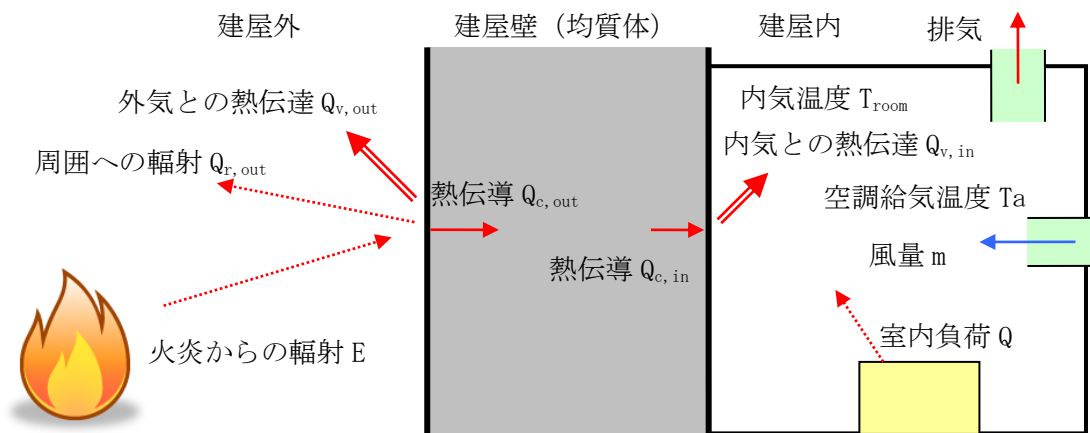
評価の結果、表面温度は102°Cとなり、許容限界温度を下回ることから、熱影響は無い。



(b) 6号炉タービン建屋非常用電気品室の内気温度評価

火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設が昇温されるものとして、内壁の温度上昇に伴う内気温度の上昇から、非常用電気品室内に設置している機器等への影響について評価した。

以下に概念図を示す。



第 2-9 図 伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度[°C]	50 °C	日射の影響を考慮し設定
外壁面熱伝達率[W/m ² K]	34.883	コンクリートの外壁面熱伝達率
内壁面熱伝達率[W/m ² K]	3.4883	コンクリートの内壁面熱伝達率
壁の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
熱拡散率[m ² /s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
壁厚[m]	0.6	

外壁および内壁面温度

以下の式に示す次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁および内壁面温度を求める。

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

T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外壁面からの距離, α : 熱拡散率

外壁および内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

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

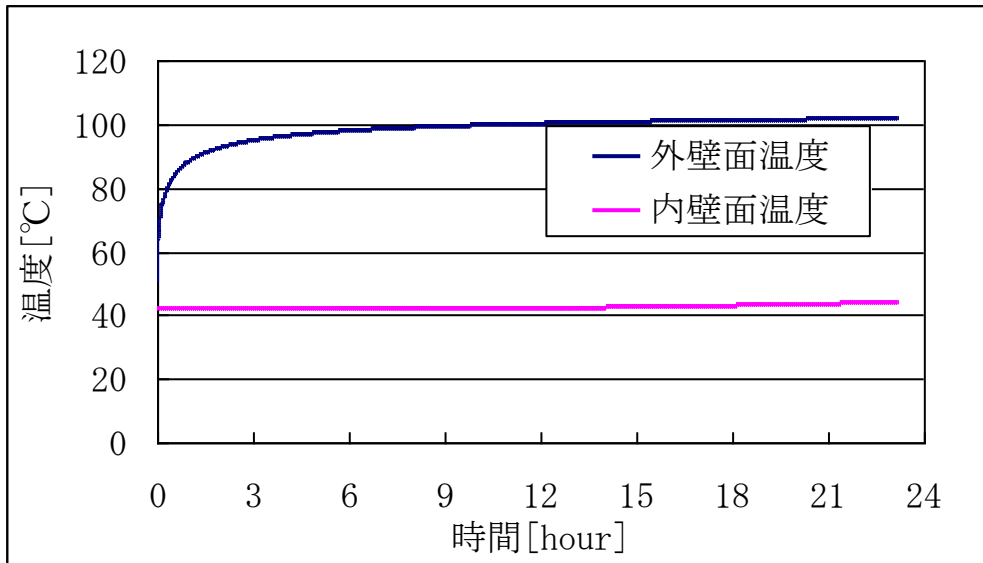
h_{in} : 内壁面熱伝達率, A : 内壁の表面積, T_{in} : 内壁面温度, T_{room} : 内気温度

内気温度は、火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷および空調による除熱を考慮し、次式で求める。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{v, in}}{m \rho C} + T_a$$

Q : 室内負荷, m : 風量, ρ : 空気密度, C : 空気比熱, T_a : 空調給気温度

以下に評価結果を示す。



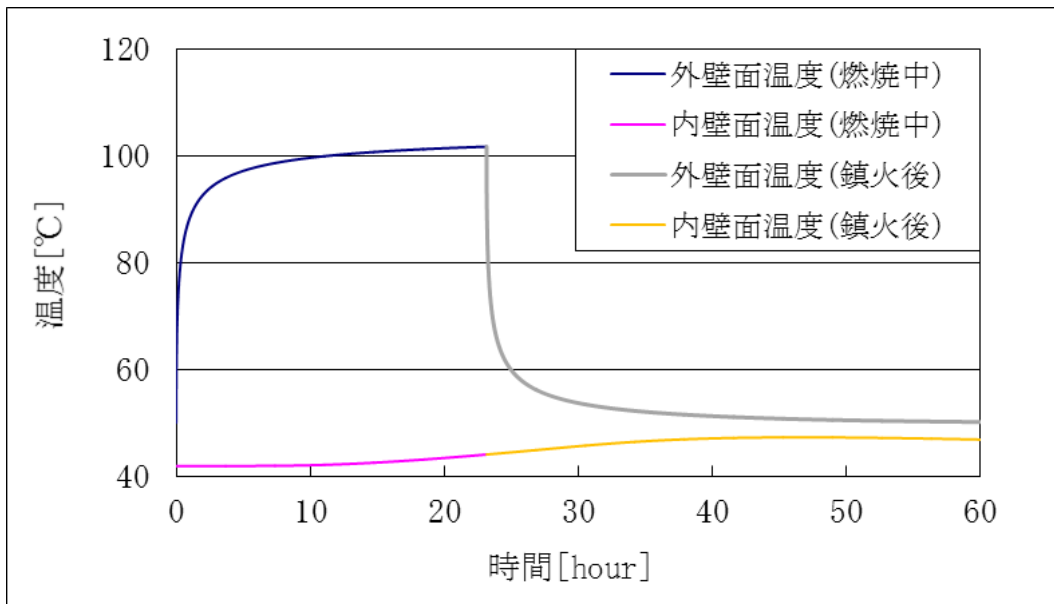
第 2-10 図 外壁および内壁面温度（発火～鎮火時）

6号炉タービン建屋非常用電気品室評価（鎮火時）	
項目	危険物タンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	2627.65 (=580.61+348.82+1698.22)
燃焼継続時間[hour]	23.17 (=10.73+10.30+2.14)
外壁面温度[°C]	102
内壁面温度[°C]	44.0
内気温度[°C]	36.7
許容温度[°C]	40 [*]

※：室内の電気設備（パワーセンター、モータコントロールセンター）の最高使用温度

6号炉タービン建屋非常用電気品室は、後述の7号炉コントロール建屋に対して、輻射強度、燃焼継続時間等の評価条件が厳しいことから、鎮火後の内気温度についても評価を実施する。

以下に評価結果を示す。



第 2-11 図 外壁および内壁面温度（発火～鎮火後）

6号炉タービン建屋非常用電気品室評価（鎮火後）	
項目	危険物タンクと航空機の重畳
時間	鎮火から 46.7 時間後
外壁面温度[°C]	50.7
内壁面温度[°C]	47.3
内気温度[°C]	37.0
許容温度[°C]	40*

※：室内の電気設備（パワーセンター，モータコントロールセンター）の最高使用温度

評価の結果，内気温度は鎮火から 46.7 時間後に 37.0°C（最大値）まで上昇するが，室内の電気設備（パワーセンター，モータコントロールセンター）の最高使用温度 40°Cを下回ることを確認した。

c. 7号炉に対する影響評価（6号炉軽油タンクとの重畳）

(a) 7号炉コントロール建屋の外壁面温度評価

評価に必要なパラメータ

7号炉コントロール建屋評価			
項目	6号炉西側 軽油タンク	6号炉東側 軽油タンク	小型軍用航空 機(AH-1S)
燃料の種類	軽油	軽油	JP-4
燃料量[m ³]	565	565	0.98
輻射発散度[kW/m ²]	42	42	58
燃焼速度[m/s]	4.793×10 ⁻⁵	4.793×10 ⁻⁵	6.711×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	289	289	12
燃焼半径	9.59	9.59	1.95
コントロール建屋までの距離[m]	100	109.5	116
燃焼継続時間[hour]	11.33	11.33	0.34

次の式から形態係数を算出した。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

7号炉コントロール建屋評価			
項目	6号炉西側 軽油タンク	6号炉東側 軽油タンク	小型軍用航空 機(AH-1S)
コントロール建屋までの距離[m]	100	109.5	116
燃焼半径 R[m]	9.59	9.59	1.95
形態係数	0.0179040	0.0149787	0.0005304

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度, R_f : 輻射発散度, ϕ : 形態係数

7号炉コントロール建屋評価			
項目	6号炉西側 軽油タンク	6号炉東側 軽油タンク	小型軍用航空 機(AH-1S)
輻射発散度[kW/m ²]	42	42	58
形態係数	0.0179040	0.0149787	0.0005304
輻射強度[W/m ²]	751.97	629.11	30.77

ここで重畳を考慮した場合、航空機が墜落し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、それらを包絡するように、評価を実施する（第2-9図）。

航空機と軽油タンクが同時に延焼する場合の輻射強度Eは、以下の通り

$$E = 751.97 \text{ (6号炉西側軽油タンク)} + 629.11 \text{ (6号炉東側軽油タンク)}$$

$$+ 30.77 \text{ (小型軍用航空機)}$$

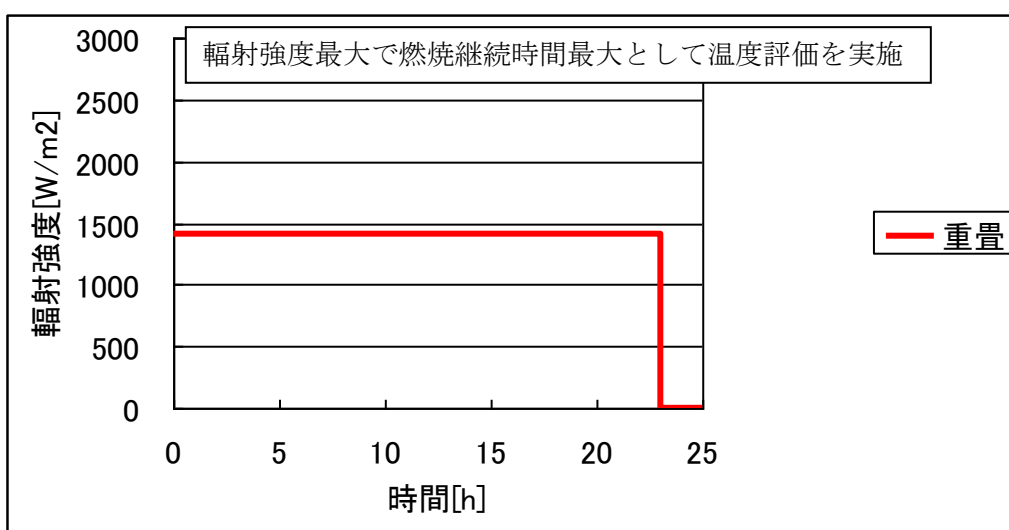
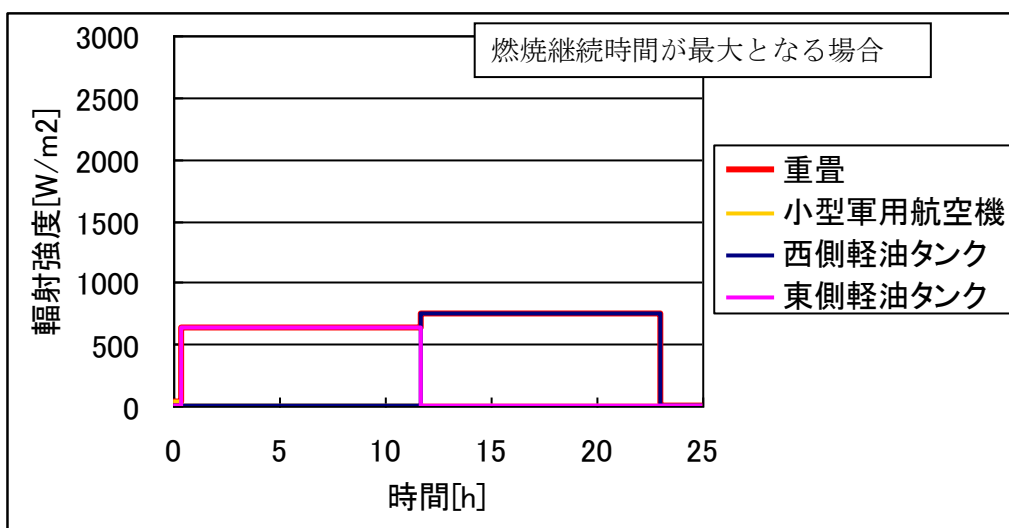
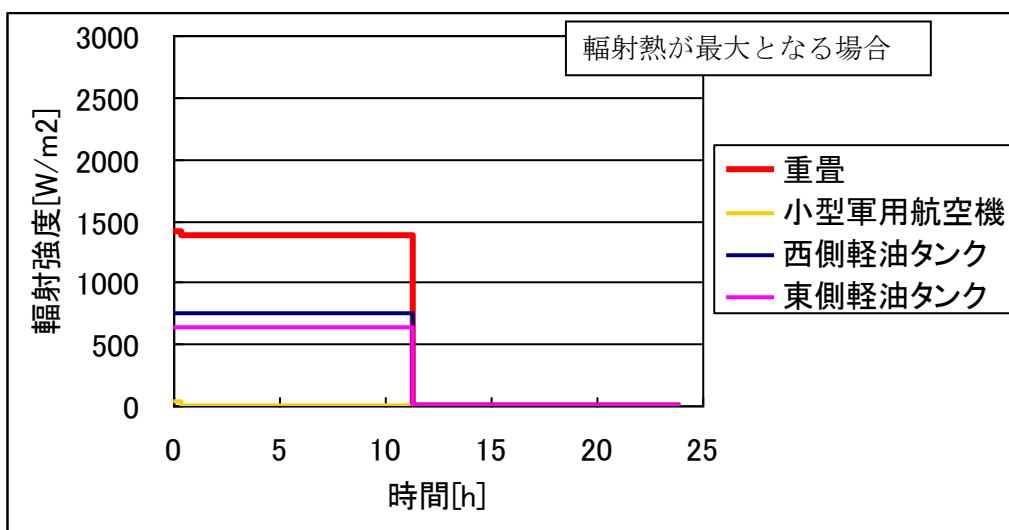
$$E = 1411.85 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

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の最大の燃焼継続時間tは、以下の通り

$$t = 11.33 \text{ (6号炉西側軽油タンク)} + 11.33 \text{ (6号炉東側軽油タンク)}$$

$$+ 0.34 \text{ (小型軍用航空機)}$$

$$t = 23.00 \text{ [時間]}$$



第 2-11 図 重畳を考慮した場合の輻射強度および燃焼継続時間の関係

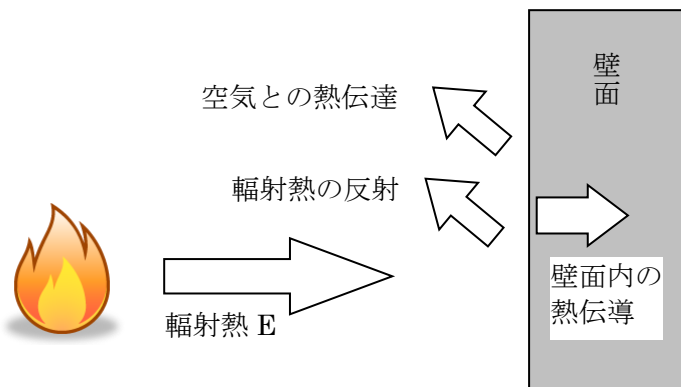
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施した。

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

T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外壁面からの距離, α : 熱拡散率

7号炉コントロール建屋評価（建屋外壁面温度）	
項目	危険物タンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	1411.85 (=751.97+629.11+30.77)
燃焼継続時間[hour]	23.00 (=11.33+11.33+0.34)
表面温度[°C]	77.8

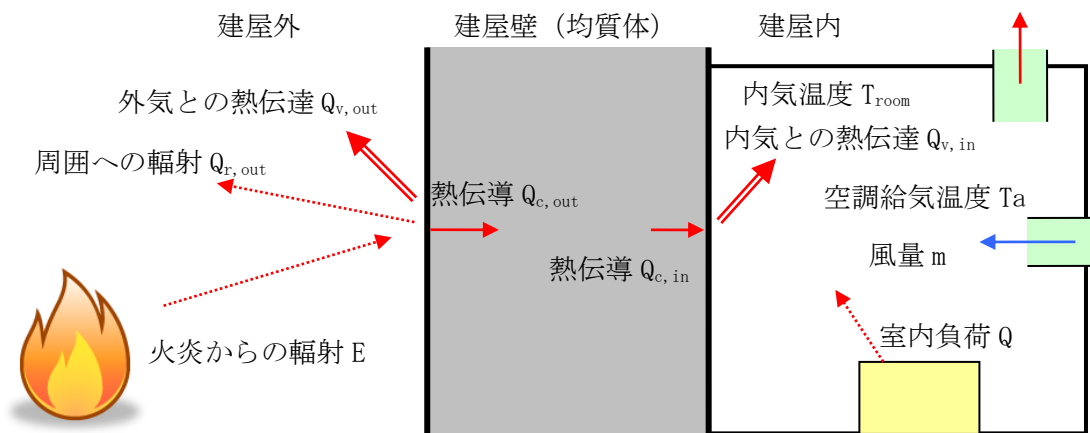
評価の結果、表面温度は 77.8°Cとなり、許容限界温度を下回ることから、熱影響は無い。



(b) 7号炉コントロール建屋の内気温度評価

火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設が昇温されるものとして、内壁の温度上昇を求め、コントロール建屋に設置している機器等への影響について評価した。評価対象エリアは、壁厚が最も薄いエリアを選定した。

以下に概念図を示す。



第 2-12 図 伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを示す。

項目	パラメータ	備考
外気温度 [°C]	50	日射の影響を考慮し設定
外壁面熱伝達率 [W/m ² K]	34.883	コンクリートの外壁面熱伝達率
内壁面熱伝達率 [W/m ² K]	3.4883	コンクリートの内壁面熱伝達率
壁の熱伝導率 [W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
熱拡散率 [m ² /s]	8.42 × 10 ⁻⁷	コンクリートの熱拡散率
壁厚 [m]	0.5	

外壁および内壁面温度

以下の式に示す次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁および内壁面温度を求める。

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

T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外壁面からの距離, α : 熱拡散率

外壁および内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

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

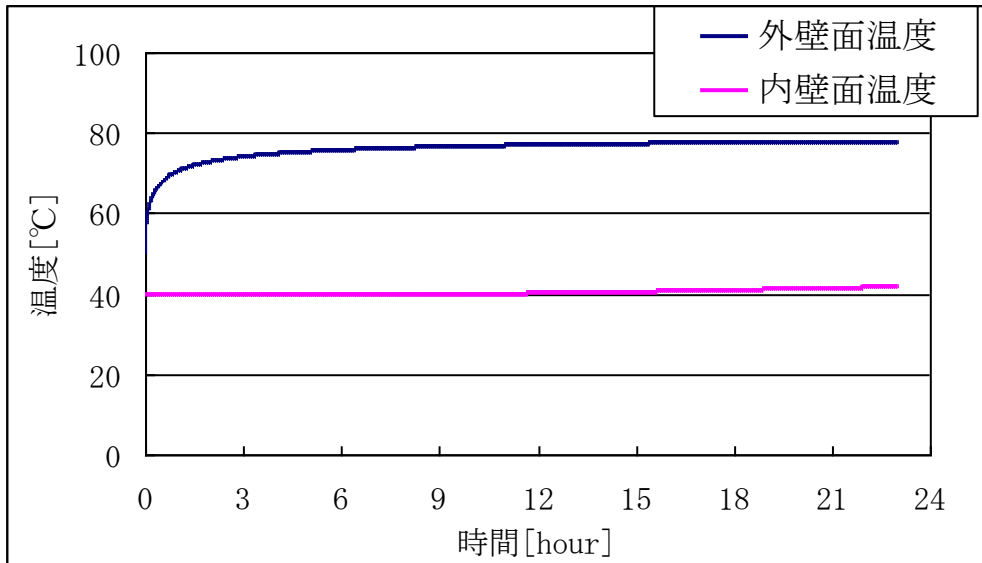
h_{in} : 内壁面熱伝達率, A : 内壁の表面積, T_{in} : 内壁面温度, T_{room} : 内気温度

内気温度は、火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷および空調による除熱を考慮し、次式で求める。

$$T_{room} = \frac{Q + Q_{v, in}}{m \rho C} + T_a$$

Q : 室内負荷, m : 風量, ρ : 空気密度, C : 空気比熱, T_a : 空調給気温度

以下に評価結果を示す。



第 2-13 図 外壁および内壁面温度

7号炉コントロール建屋評価（建屋内気温度）	
項目	危険物タンクと航空機の重畳
輻射強度 [W/m ²]	1411.85 (=751.97+629.11+30.77)
燃焼継続時間 [hour]	23.00 (=11.33+11.33+0.34)
外壁面温度 [°C]	77.8
内壁面温度 [°C]	41.7
内気温度 [°C]	37.2
許容温度 [°C]	60*

※：室内の電気設備（ケーブル）の最高使用温度

出典：日本電線工業会規格 JCS 0168-1:2004 ケーブルの常時許容温度

評価の結果、内気温度は 37.2°C となり、ケーブル常時許容温度 60°C を下回ることを確認した。

d. まとめ

6号炉の評価では外壁面は 102 度、7号炉の評価では外壁面は 77.8°C であり、許容限界温度を下回ることから、熱影響はないと評価する。また、6号炉の評価では内気温度は 36.7 °C、7号炉の評価では内気温度は 37.2°C であり、室内の電気設備の許容温度を下回ることから、熱影響はないと評価する。

(18) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から、航空機墜落において火災が発生した場合を想定したとしても、外壁面の温度が許容限界温度を超えないことから、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

評価対象航空機の種類

		民間航空機		自衛隊機、在日米軍機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	
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 (注1)	不定期便：評価対象 (例) 海上保安庁のパトロール 機 (ヒューコック 90 型等) 民間の社有機 (三菱式 MU-300 型等) 等	
固定翼 (ジェット旅客機等)	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (T-1 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 本土-離島間コミュニタ (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(注2)	定期便：評価対象外(注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(注3)	不定期便：評価対象 (例) 資材輸送 (ハール 214B、 AS332 等) 等	
回転翼 (ヘリコプター)	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注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(注3)	不定期便：評価対象 (例) 離島間コミュニタ (SA365 等) 資材輸送、緊急医療、報 道用等 (アエロスハ [°] シアル AS350、川崎 BK117)	

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

(注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。

(注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。

※ 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)

主要自衛隊航空機

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 ^{※1}	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	- ^{※2}
	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
	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	- ^{※2}
	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，灰色で網掛けした航空機は小型航空機。

※1：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

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



柏崎刈羽原子力発電所周辺の航空図

(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，平成 25 年 3 月)

評価対象となる航空路の飛行回数

1. 柏崎刈羽原子力発電所

(飛行回数)

東京管制部 ピークデイ ^{注1}	航空路 V31 (NIIGATA VORTEC-NAEBA)	広域航法経路 Y305	広域航法経路 Y31	NAEBA TRANSITION (新潟空港)
H24 年上半期 (H24. 6. 8) 交通量	40	0	10	11
H24 年下半期 (H24. 9. 19) 交通量	37	0	9	10
評価に用いる数値	$40 \times 365 \text{ 日} =$ 14600 便/年間	$0.5 \times 365 \text{ 日} =$ 182.5 便/年間 ^{注2}	$10 \times 365 \text{ 日} =$ 3650 便/年間	$11 \times 365 \text{ 日} =$ 4015 便/年間

注1：国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは、東京航空交通管制部が半年間で取り扱った航空機が最も多かった日のことであり、当該経路における交通量が半年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

注2：実際の便数は0であるが、保守的に0.5とする。

航空機落下確率評価に係わる標的面積

単位：km²

発電所	号炉	原子炉建屋 ^{注1}	コントロール建屋 (中央制御室) ^{注2}	合計 ^{注3}	標的面積
柏崎刈羽 原子力発電所	6	0.003538	0.002378	0.005916	0.01
	7	0.003538	0.002378	0.005916	0.01

工事計画認可申請書記載の建屋寸法から面積を算出した。

注1：ディーゼル発電機室は原子炉建屋に含む。

注2：中央制御室は6，7号炉合計。

注3：海水ポンプエリアは地下に設置のため除外。

延べ飛行距離について

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便のみの合計値とした。

なお、国際便については、日本国内での運行距離ではないため考慮していない。また、日本に乗り入れている外国機は運行距離の実績の公開記録がないため考慮していない。

ただし、国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし、事故率が保守的となるようにしている。

	日本国機の運行距離 (飛行回・k m)
平成 4 年	307, 445, 013
平成 5 年	326, 899, 203
平成 6 年	343, 785, 576
平成 7 年	380, 948, 123
平成 8 年	397, 146, 610
平成 9 年	420, 920, 228
平成 10 年	449, 784, 623
平成 11 年	459, 973, 069
平成 12 年	480, 718, 878
平成 13 年	489, 803, 107
平成 14 年	498, 685, 881
平成 15 年	519, 701, 117
平成 16 年	517, 485, 172
平成 17 年	527, 370, 038
平成 18 年	555, 543, 154
平成 19 年	559, 797, 874
平成 20 年	554, 681, 669
平成 21 年	544, 824, 157
平成 22 年	548, 585, 258
平成 23 年	555, 144, 327
合 計	9, 439, 243, 077

(参考) 航空機墜落による火災の影響評価に用いたデータについて

(1) 航空機の仕様について

項目	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
想定する航空機	B747-400	Do228-200	KC-767	AH-1S
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84 ¹⁾	2.386 ²⁾	145.033 ³⁾	0.98 ²⁾
燃料タンク面積[m ²]	606 ⁴⁾	26 ⁵⁾	281 ⁶⁾	12 ⁷⁾

1) ボーイング社ホームページ“Technical Characteristics Boeing 747-400”に記載の値

2) 日本航空機全集 2013, (鳳文書林出版販売(株)発行) 記載値

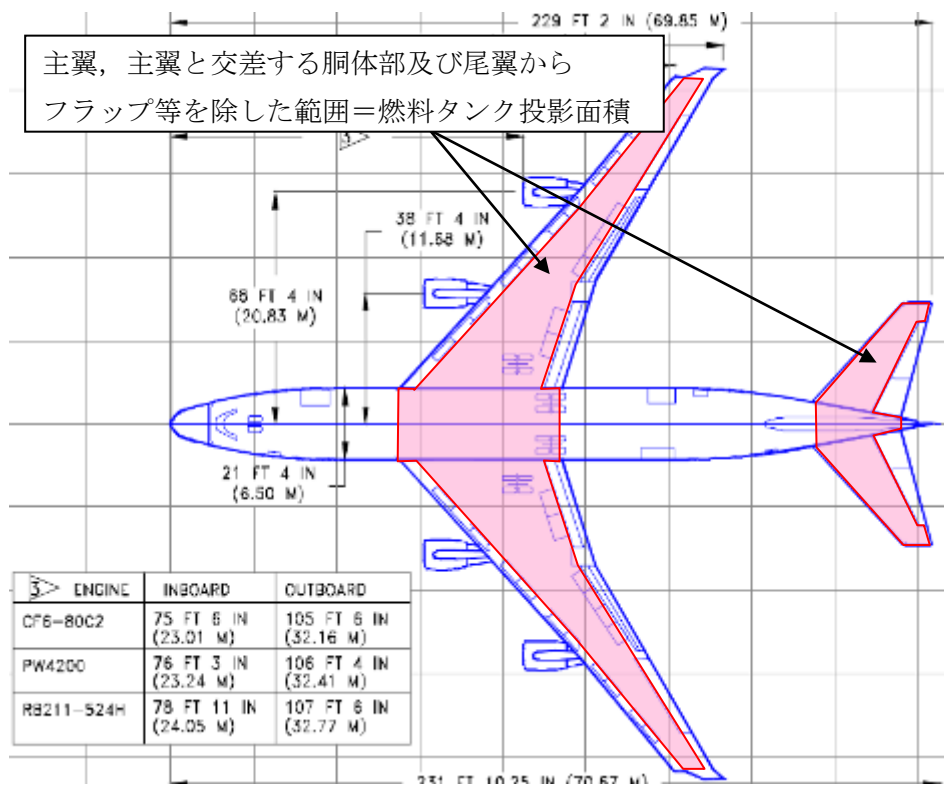
3) 世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の燃料重量及び燃料密度(NUREG-1806)から算出した値

4) ボーイング社ホームページ資料「747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より, 主翼, 主翼と交差する胴体部及び尾翼の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値(第 1-1(a)図)。

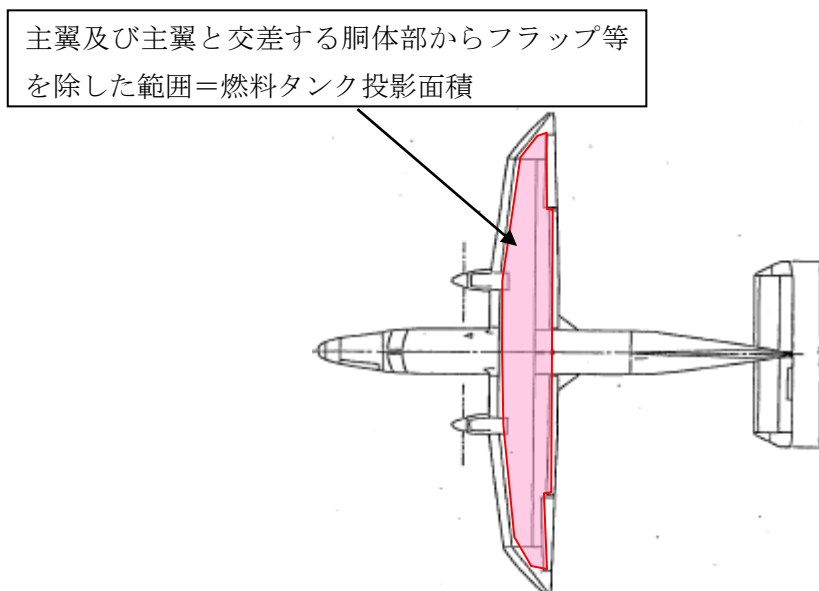
5) 日本航空機全集 2013 に記載の図面から, 主翼及び主翼と交差する胴体部の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値(第 1-1(b)図)

6) ボーイング社ホームページ資料「767 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より, KC-767 のベースとなっている航空機 B767-200ER の主翼, 主翼と交差する胴体部および補助燃料タンクが搭載される床下貨物室の面積からフラップ等の面積を除いた面積を燃料タンク面積として算出した値(第 1-1(c)図)

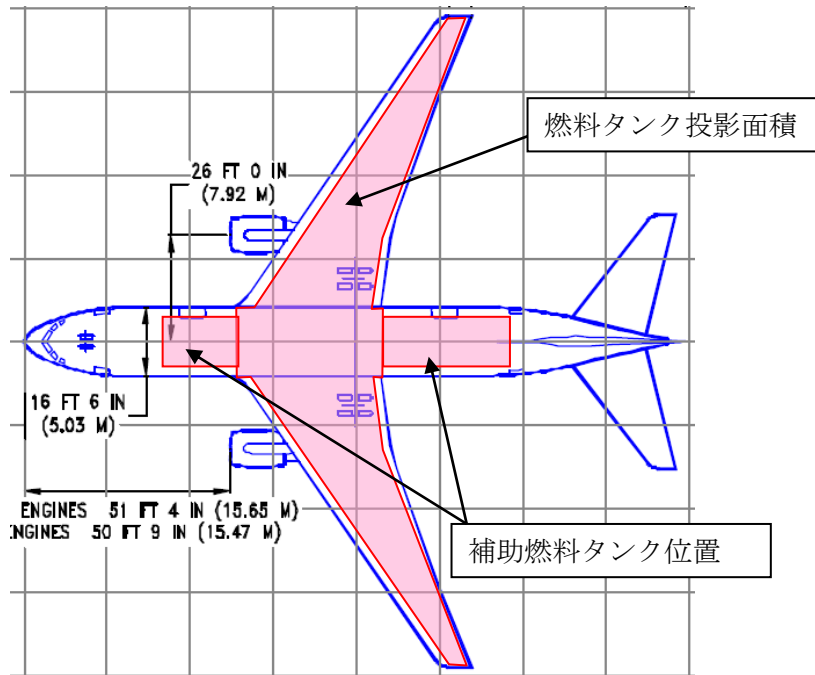
7) 日本航空機全集 2013 に記載の図面から, 機体の投影面積を燃料タンク投影面積と同等と想定し算出した値(第 1-1(d)図)



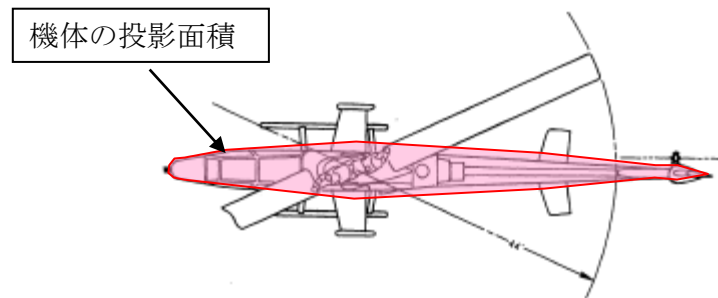
第 1-1(a) 図 燃料タンク 投影面積 (B747-400)
(出典 : 747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning)



第 1-1(b) 図 燃料タンク 投影面積 (Do228-200)
(出典 : 日本航空機全集 2013)



第 1-1(c) 図 燃料タンク 投影面積 (KC-767)
 (出典 : 767 Airplane Characteristics for Airport Planning)



第 1-1(d) 図 燃料タンク 投影面積 (AH-1S)
 (出典 : 日本航空機全集 2013)

(2) 燃料物性値について

ジェット燃料は、JIS 規格では1号の灯油型(低析出点)、2号灯油型および3号広範囲沸点型(ガソリン型)の3種類があり、ASTM 規格の Jet A-1, Jet A, Jet B に相当する。また、MIL 規格では、JP-4(ガソリン型)、JP-5(灯油型)やJP-8(灯油型)があり、日本の民間航空機では安全性の高い1号(灯油型)が使用されており^{※1}、軍用航空機ではJP-4が使われている^{※2}。よって、民間航空機の燃料の種類は Jet A-1(灯油型)、軍用航空機はJP-4とする。

火災影響評価において使用する燃料物性値のうち、輻射発散度および質量低下速度については、Jet A-1 燃料に関する明確な知見がない。このため、Jet A-1 は灯油型であることから、輻射発散度は灯油の値を採用した。

また、Jet A-1 の質量低下速度、密度については、NUREG-1805 において、JP-4、JP-5 の質量低下速度、密度が与えられていることから、同じ灯油型である JP-5 の値を採用した。なお、JP-5 の方が JP-4 より燃焼速度が遅く、燃焼継続時間が長くなるので保守的である。

軍用航空機の燃料(JP-4)は、ガソリン系の燃料であることから、輻射発散度はガソリン・ナフサの値を採用し、質量低下速度、密度は、NUREG-1805 の JP-4 の値を採用した。

※1：公益社団法人 石油学会 HP

※2：石油便覧 JX 日鉱日石エネルギーHP

項目	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
想定する航空機	B747-400	Do228-200	KC-767	AH-1S
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
輻射発散度[kW/m ²]	50 ¹⁾	50 ¹⁾	58 ²⁾	58 ²⁾
質量低下速度[kg/m ² ・s]	0.054 ³⁾	0.054 ³⁾	0.051 ⁴⁾	0.051 ⁴⁾
燃料密度[kg/m ³]	810 ³⁾	810 ³⁾	760 ⁴⁾	760 ⁴⁾
燃焼速度[m/s]	6.667×10 ⁻⁵	6.667×10 ⁻⁵	6.711×10 ⁻⁵	6.711×10 ⁻⁵

1) 評価ガイド 附属書Bにおける灯油の値

2) 評価ガイド 附属書Bにおけるガソリン・ナフサの値

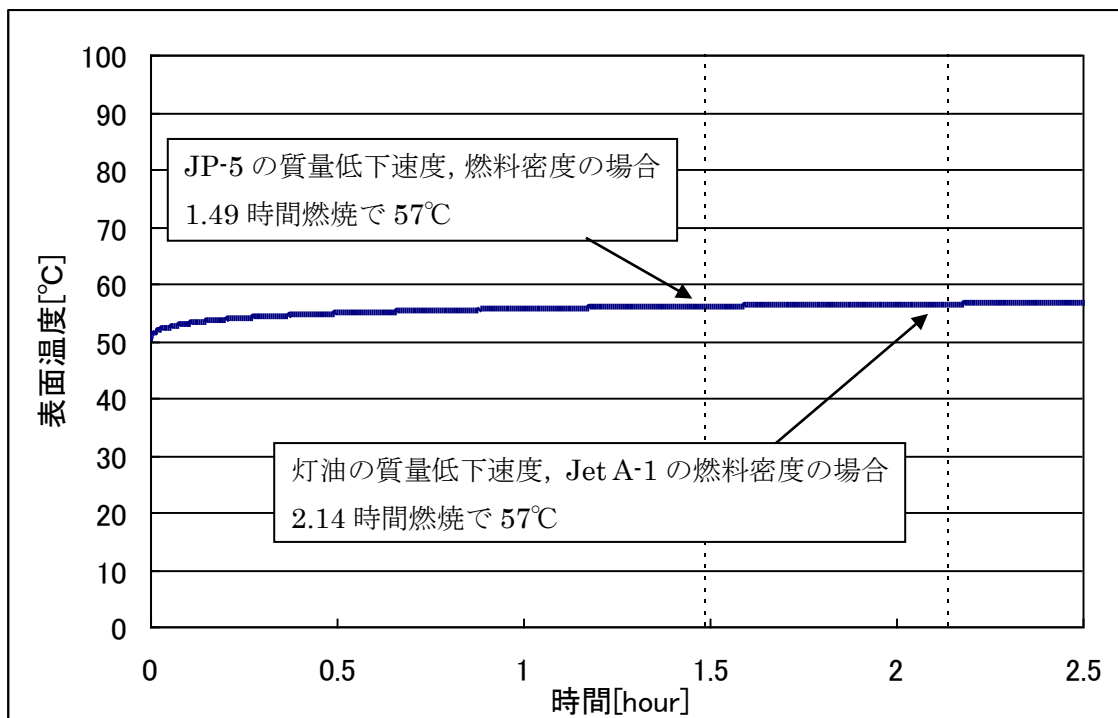
3) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program に記載の JP-5(灯油型)の値

4) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program 5 に記載の JP-4(ガソリン型)の値

NUREG-1805 より抜粋。

種類	質量低下速度 [kg/m ² ・s]	密度 [kg/m ³]	燃焼速度 [m/s]
JP-4 (ガソリン型)	0.051	760	6.711×10^{-5}
JP-5 (灯油型)	0.054	810	6.667×10^{-5}

また、質量低下速度を灯油の値(0.039kg/m²・s)とし、密度を JetA-1 の値の最大値(840kg/m³)とした場合、燃焼速度は、 4.644×10^{-5} [m/s]となり、燃焼継続時間は2.14時間となり、JP-5 の値を採用した場合の1.49時間に比べ約0.65時間長くなるが、2.14時間であった場合でも外壁面の温度は約57℃であり、JP-5 で評価した場合と相違ない。



ばい煙および有毒ガスの影響評価について

1. はじめに

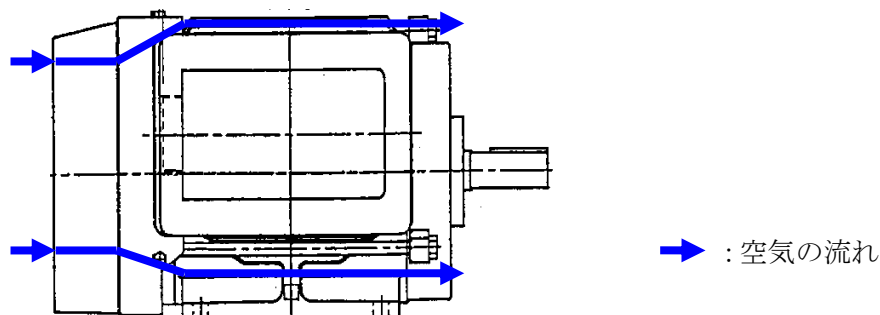
外部火災により発生するばい煙および有毒ガスについては、火災による上昇気流により上空に運ばれ、発電所近傍に滞留することはない。そのため、ばい煙および有毒ガスが、換気空調系の外気取入口から建屋内に進入する可能性は小さいと考える。万一、高濃度のばい煙および有毒ガスが建屋内に進入することを想定し、以下の通り評価を行った。

2. 評価対象設備

ばい煙の影響が想定される設備として、設備内にばい煙を含んだ外気を取り込む可能性のある機器、煙や埃に対して脆弱な設備、建屋外部に開口部を有する設備について影響評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。評価対象設備は以下のとおり。

分類	影響評価設備
換気空調系で給気されるエリアの設置機器	非常用ディーゼル発電機 安全保護系
建屋外部に開口部を有する設備	非常用ディーゼル発電機排気口
居住性への影響	中央制御室

なお、原子炉補機冷却海水ポンプ電動機は、タービン建屋内に配置しており、直接ばい煙を取り込むことはなく影響はない。また、燃料移送ポンプ電動機は、屋外に設置しているが、電動機内部に直接外気を取り込まない全閉外扇構造の冷却方式であり、外気を直接電動機内部に取り込まない構造であることから影響はない(第 2-1 図)。



第 2-1 図 燃料移送ポンプ電動機外形図

3. 評価結果

(1) 換気空調系設備で給気されるエリアの設置機器

外気を取り入れている空調システムとして、原子炉建屋、ディーゼル発電機電気品区域、中央制御室、コントロール建屋計測制御電源盤区域、海水熱交換器区域の換気空調系がある(第 3-1(a)(b)(c) 図)。

これらの換気空調系の外気取入経路には、フィルタ(15 種試験粉体(JIS Z 8901)で 80~85%の捕集効率)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はフィルタにより進入を阻止出来る。

上記系統のうち、外気取入ダンパを設置し再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については、ばい煙の進入が想定される場合には、外気取り入れダンパを閉止し、再循環運転を行うことにより、ばい煙の進入を阻止出来る。それ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進入を阻止出来る。

・非常用ディーゼル発電機

非常用ディーゼル発電設備は、換気空調系で給気されるエリアに設置していることから、空調ファンを停止することでばい煙の進入を阻止出来る。

フィルタの入口と出口間の差圧を検知できる差圧感知計を監視し、差圧が上昇しフィルタが目詰まりした場合はフィルタの交換が可能である。

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はフィルタ（15種試験粉体（JIS Z 8901）で捕集効率80～85%）を設置していることから、一定以上の粒径のばい煙粒子が捕獲され、フィルタにより捕集されなかったばい煙粒子が機関内へ送気される。フィルタでは、粒径が数 μm 程度の粒子が捕集され、それ以下のばい煙が機関内に送気されるが、シリンダまでの通気流路（過給器、空気冷却器等）の隙間より小さいことから閉塞に至ることはない（第3-2図）。また、通常運転においても燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、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。

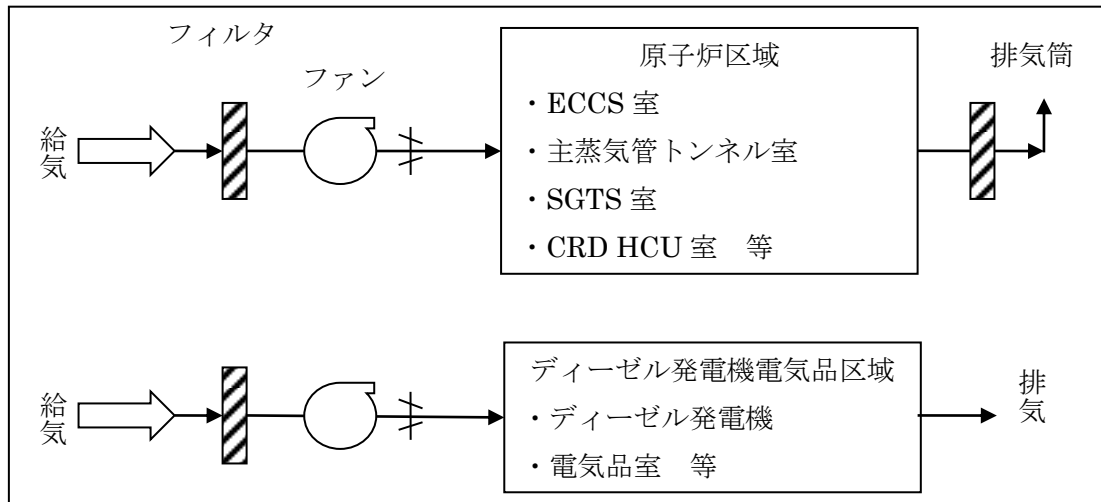
・安全保護系

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フィルタ（15種試験粉体（JIS Z 8901）で捕集効率80～85%）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進入を阻止することが可能である。フィルタにより捕集しきれなかったばい煙等が非常用電気品室に進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進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フィルタ（15種試験粉体（JIS Z 8901）で捕集効率80～85%）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進入を阻止することが可能である。フィルタにより捕集しきれなかったばい煙等が中央制御室内に進入する可能性がある場合、及び中操内においてばい煙等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（第3-3図、第3-4(a)(b)図）。

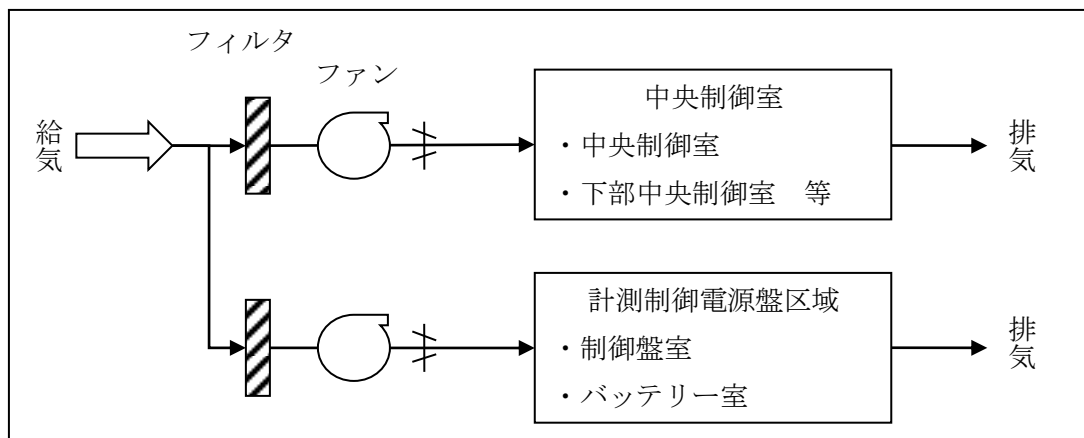
（2）建屋外部に開口部を有する設備

屋外部に開口部を有する設備として、非常用ディーゼル発電機の排気口があるが、仮にばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。（第3-5図）なお、

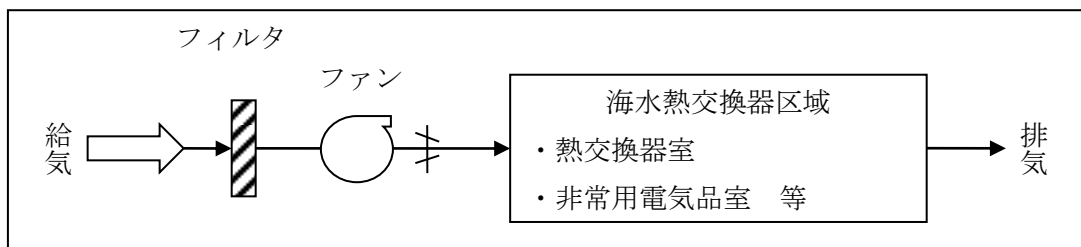
主排気筒も同様にばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。



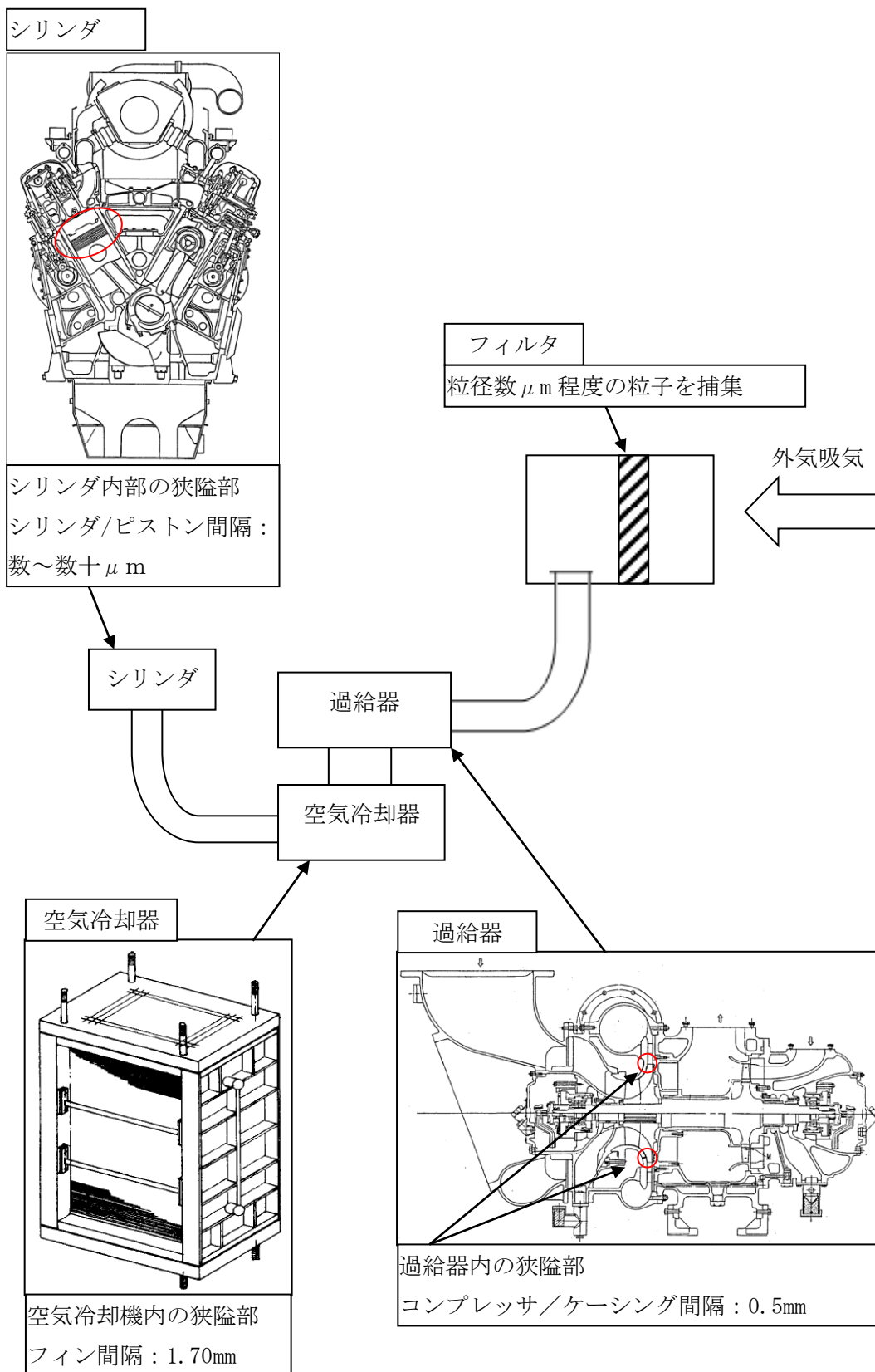
第 3-1(a) 図 原子炉建屋換気空調系



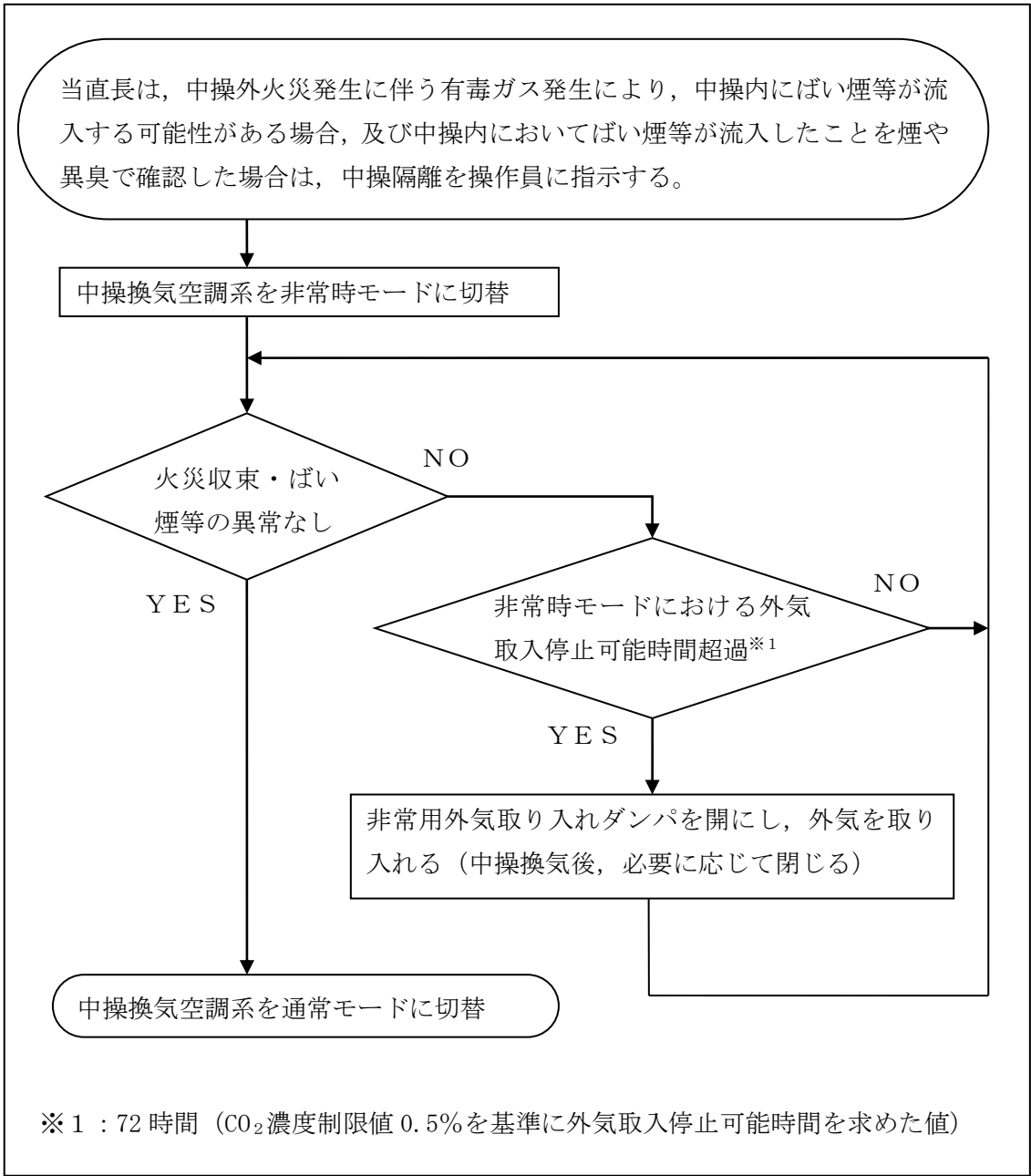
第 3-1(b) 図 コントロール建屋換気空調系



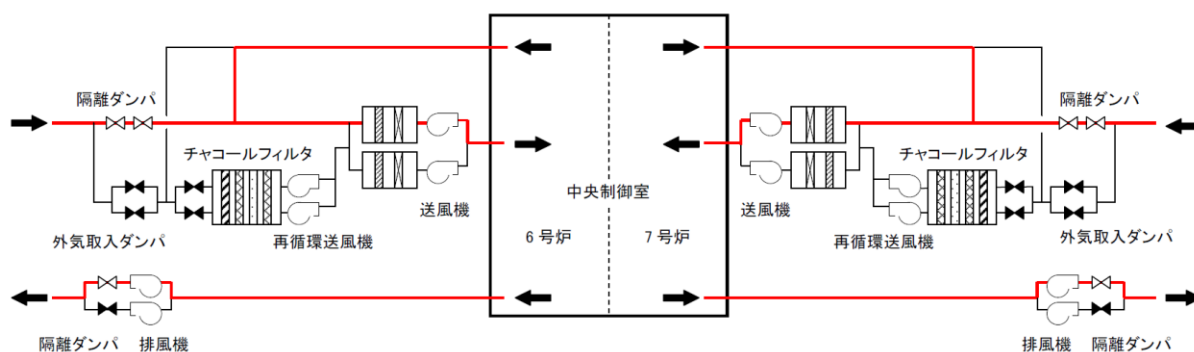
第 3-1(c) 図 タービン建屋換気空調系



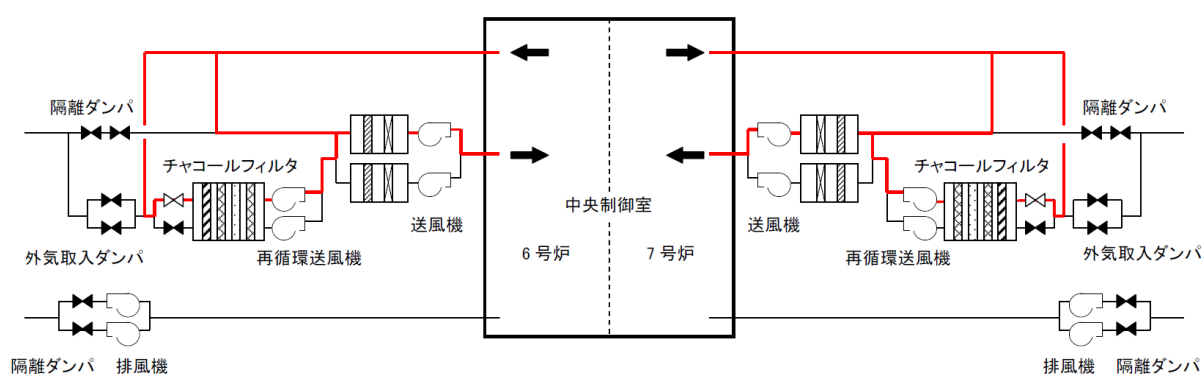
第 3-2 図 ディーゼル機関吸気系統概略図



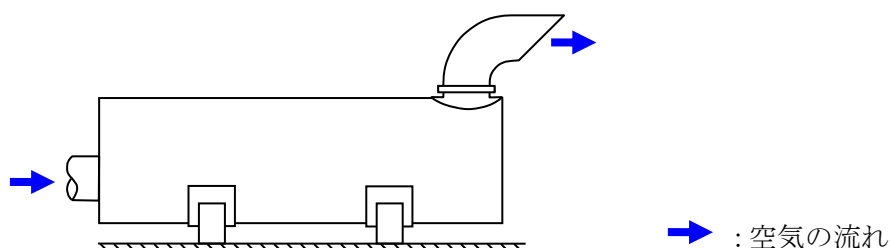
第 3-3 図 中操外火災発生に伴う中操隔離手順概要フロー



第 3-4(a) 図 通常モードの状態 (中央制御室)



第 3-4(b) 図 非常時モードの状態 (中央制御室)



第 3-5 図 非常用ディーゼル発電機排気口外形図

(3) 居住性への影響

中央制御室換気空調設備は、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、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、酸素濃度及び炭酸ガス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した。

また、発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設および中央制御室外気取入口までの距離が近い設備（軽油タンク、主変圧器、RIP-ASD 入力変圧器）からの火災を想定し、中央制御室内に進入する有毒物質（CO、CO₂、SO₂）の最大濃度を判断基準（IDLH^{※1}）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、中央制御室の居住性に影響が無いことを確認した。

※1：30分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている

a. 中央制御室内の二酸化炭素、酸素濃度の評価

外部火災時の6、7号炉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、二酸化炭素濃度および酸素濃度について評価を行った。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設備との系統分離および給排気口の位置的分散が図られており、中央操作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. 二酸化炭素濃度評価

以下の通り二酸化炭素濃度について評価した。

1. 1. 評価条件

- ・在室人員 20人^{※1}
 - ・中央制御室バウンダリ内体積 14640[m³]
 - ・外気流入はないものとして評価する
 - ・初期二酸化炭素濃度 0.03[%]
（「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（JEAC4622-2009）」）
 - ・許容二酸化炭素濃度 0.5[%]
（事務所衛生基準規則（昭和47年労働省令第43号、最終改正平成16年3月30日厚生労働省令第70号））
 - ・呼吸による排出する二酸化炭素濃度 0.046[m³/h/人]
（「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（JEAC4622-2009）」）
 - ・評価期間は、各火災の燃焼継続時間を考慮し30時間^{※2}とする
- ※1：6、7号炉の運転員（18人）に余裕を持って20人とした。
- ※2：航空機墜落と軽油タンク火災の重畳を考慮すると、おおよそ24時間が火災の継続時間となることから、余裕を持って30時間で評価を実施した。

1. 2. 評価結果

- ・外気遮断期間 t[hour]での二酸化炭素濃度 C[%]

$$C = (M \times N \times t) / V \times 100 + C_0$$

M：呼吸による排出する二酸化炭素濃度 0.046[m³/h/人]

N：在室人員 20[人]

V：中央制御室バウンダリ内体積 14640[m³]

C₀：初期炭酸ガス濃度 0.03[%]

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は、以下のとおりであり、30 時間外気取入れ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。

時間	12 時間	24 時間	30 時間
二酸化炭素濃度[%]	0.11	0.18	0.22

2. 酸素濃度評価

以下の通り酸素濃度について評価した。

2. 1. 評価条件

- ・在室人員 20 人
- ・中央制御室バウンダリ内体積 14640[m³]
- ・外気流入はないものとして評価する
- ・初期酸素濃度 20.95%
(「空気調和・衛生工学便覧」の成人の呼吸気・肺胞気の組成の値を使用)
- ・酸素消費量 1.25ℓ/min/人
(「空気調和・衛生工学便覧」の作業強度分類の中くらいの作業強度に対する酸素消費量の中央値を使用)
- ・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 30 時間とする

2. 2. 評価結果

$$\begin{aligned}
 & \text{中央制御室の初期酸素量 } 3067.08[\text{m}^3] = 14640[\text{m}^3] \times 20.95\% \\
 & \text{30 時間後の酸素濃度 } 20.6[\%] \\
 & = (3067.08 [\text{m}^3] - 1.25[\ell / \text{min}/\text{人}] \times 10^{-3}[\text{m}^3 / \ell] \times 20[\text{人}] \times 60[\text{min}/\text{h}] \times 30[\text{h}]) \\
 & \quad / 14640[\text{m}^3] \times 100
 \end{aligned}$$

上記評価条件から求めた酸素濃度は、以下のとおりであり、30 時間外気取入れ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。

時間	12 時間	24 時間	30 時間
酸素濃度[%]	20.8	20.7	20.6

b. 中央制御室に対する有毒ガス影響評価

1. 評価の概要

発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設および中央制御室外気取入口までの距離が近い設備からの火災を想定し、中央制御室内に侵入する有毒ガスの最大濃度を判断基準と比較することで、有毒ガスに対する中央制御室居住性の影響評価を実施する。

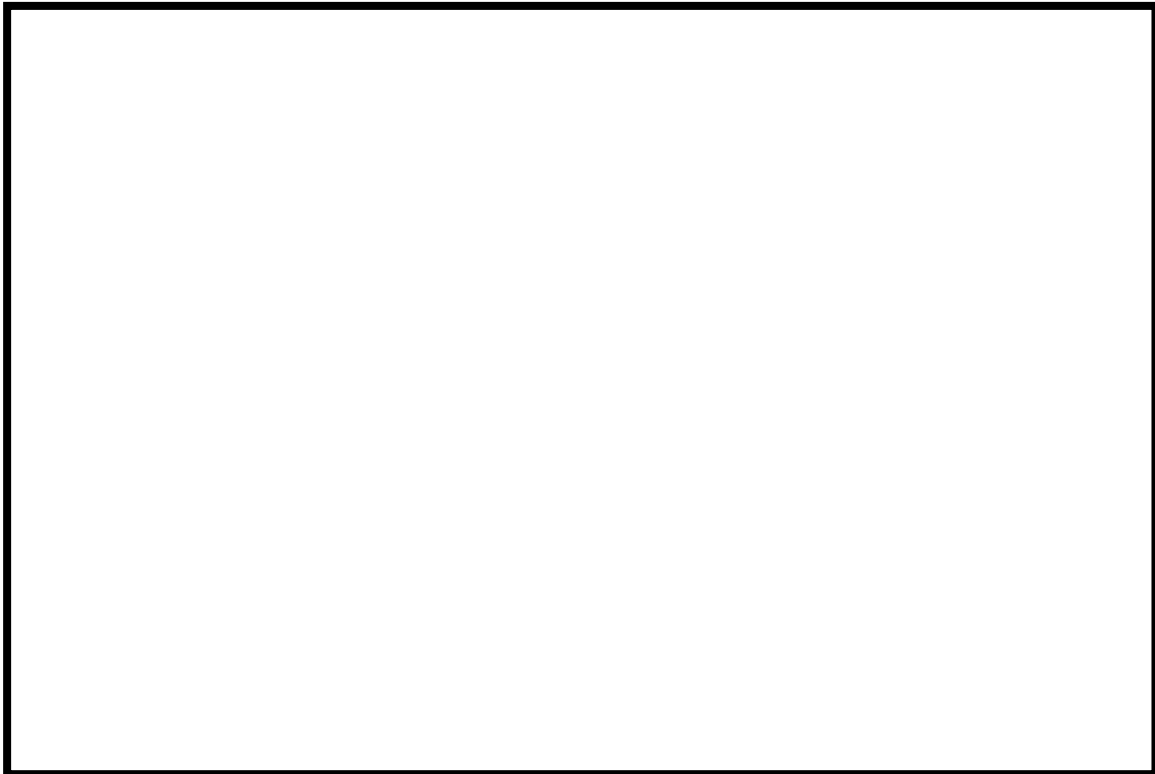
本評価では、石油コンビナートの防災アセスメント指針での判断基準と同様に、米国立労働安全衛生研究所が定めるIDLH (Immediately Dangerous to Life or Health)を採用する。このIDLHは、30分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

2. 評価対象物質及び固定設備

発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設および中央制御室外気取入口までの距離が近い設備として軽油タンク、航空機及び変圧器を評価対象とし、第2-1表に評価対象施設および評価対象設備から外気取入口までの距離および火災燃焼面積を示す。また、火災によって発生する物質のうち、IDLH対象物質である一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO₂)および二酸化硫黄(SO₂)、二酸化窒素(NO₂)を評価対象物質とする。軽油タンク、変圧器、航空機墜落位置および外気取入口の位置関係を第2-1図に示す。

第2-1表 評価対象施設と外気取入口までの距離および火災面積

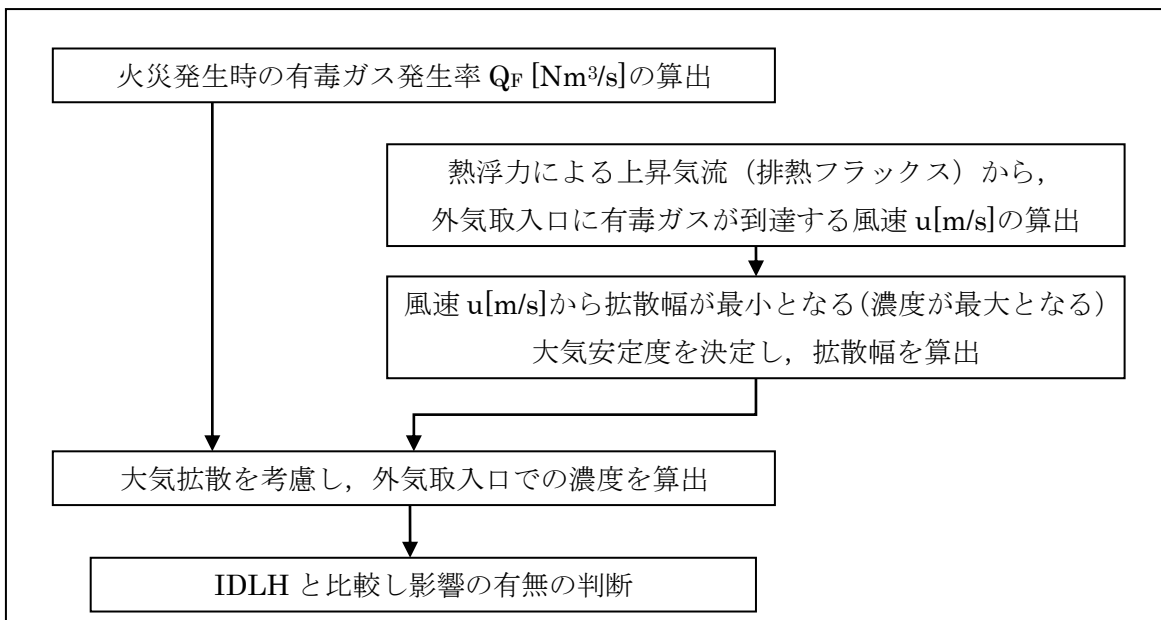
火災発生場所	離隔距離 x [m]	排煙上昇高度 \angle h [m]	火災面積 A [m ²]
軽油タンク	80	18.4	289
主変圧器	30	18.4	43
RIP入力変圧器	11	5.2	9
大型民間航空機	218	18.4	606
小型民間航空機	134	18.4	27
大型軍用航空機	133	18.4	281
小型軍用航空機	109	18.4	12
航空機墜落と重畳の 可能性がある 6号炉軽油タンク	111	18.4	583



第 2-1 図 軽油タンク，航空機墜落，変圧器および外気取入口の位置関係

3. 評価方法

火災時の有毒ガスの発生率，外気取入口に有毒ガスが到達する風速および大気拡散を考慮し，中央制御室外気取入口における有毒ガスの最大濃度を評価し，判断基準である IDLH と比較する。第 3-1 図に有毒ガス影響評価フローを示す。



第 3-1 図 有毒ガス影響評価フロー

(1) 火災時の有毒ガスの発生率

火災時に発生する有毒ガス発生率は，燃料の元素組成に基づき，燃料 1kg 当たりの

各有毒ガスの発生率に燃料消費速度を乗じて算出する。評価対象ガスの発生率 Q_F [Nm³/s] は、次式を用いて計算する。計算結果を第 3-1 表にまとめる。

$$Q_F = Q_F' \times M$$

ここで、

Q_F' : 燃料 1 kg 当たりのガスの発生率 [Nm³/kg]

火災発生場所	Q_F'			
	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂
軽油タンク・変圧器	2.7×10^{-2} ※1	1.6×10^0 ※1	1.2×10^{-3} ※1	5.4×10^{-4} ※1
航空機	6.1×10^{-1} ※2	1.8×10^0 ※3	4.3×10^{-4} ※2	2.8×10^{-3} ※2

M : 燃料消費速度 [kg/s]

ただし、 $M = \rho \times A \times V$

V : 液面降下速度 [m/s]

A : 火災面積 [m²]

ρ : 燃料密度 [kg/m³]

火災発生場所	液面降下速度 [m/s]	燃料密度 [kg/m ³]
軽油タンク・変圧器	5.5×10^{-5} ※4	875.7 ※5
民間航空機	6.667×10^{-5} ※6	810 ※6
軍用航空機	6.711×10^{-5} ※6	760 ※6

※1 : Smoke Plume Trajectory from In Situ Burning of Crude Oil in Alaska より、
燃料 1kg 当たりのガス発生率を標準状態体積に換算

※2 : Air Quality Procedures For Civilian Airports & Air Force Bases より、
燃料 1kg 当たりのガス発生率を標準状態体積に換算

※3 : 環境省、温室効果ガス排出量算定・報告マニュアルより、
燃料 1kg 当たりのガス発生率を標準状態体積に換算

※4 : 石油コンビナートの防災アセスメント指針 消防庁特殊災害室 平成 13 年 3 月

※5 : 揮発油等の品質の確保等に関する法律（昭和五十一年十一月二十五日法律第八十八号）「第二条第八項」

※6 : NUREG-1805 より

燃料 1kg 当たりのガスの発生率は、各文献に掲載されている単位重量当たりのガス発生率を単位換算することにより求めている。ただし、単位重量当たりのガス発生率は幅をもった値ではないため、保守性の観点からガス発生率が最大となる燃料を選定している。

変圧器の場合、絶縁油は重油および軽油同様に鉱物油を原料として精製されていることから、より高いガス発生率となる軽油の数値を用いている。また、航空機の場合、燃料は JP-8 を選定し、燃料 1kg 当たりのガス発生率が最大となるようにしている。

第 3-1 表 評価対象ガスの発生率の計算結果

火災発生場所	評価対象ガスの発生率 Q_F [Nm ³ /s]			
	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂
軽油タンク	3.7×10^{-1}	2.2×10^1	1.6×10^{-2}	7.5×10^{-3}
主変圧器	5.5×10^{-2}	3.3×10^0	2.4×10^{-3}	1.1×10^{-3}
RIP 入力変圧器	1.2×10^{-2}	6.9×10^{-1}	5.0×10^{-4}	2.3×10^{-4}
大型民間航空機	2.0×10^1	6.0×10^1	1.4×10^{-2}	9.2×10^{-2}
小型民間航空機	9.0×10^{-1}	2.7×10^0	6.2×10^{-4}	4.1×10^{-3}
大型軍用航空機	8.8×10^0	2.7×10^1	6.1×10^{-3}	4.0×10^{-2}
小型軍用航空機	3.8×10^{-1}	1.1×10^0	2.6×10^{-4}	1.7×10^{-3}
重畳の可能性のある 6号炉軽油タンク	7.5×10^{-1}	4.5×10^1	3.3×10^{-2}	1.5×10^{-2}

(2) 外気取入口に有毒ガスが到達する風速

火災によって発生する有毒ガスは燃焼によって高温となり熱浮力によって上昇する。したがって、以下の Briggs 式（排煙上昇過程式）を用いて、有毒ガス発生源と外気取入口との距離と高度差から、外気取入口に有毒ガスが到達する風速 u [m/s] を求める。風速と熱浮力の関係を第 3-2 図に示し、風速の計算結果を第 3-2 表にまとめる。

$$u = 1.6F^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta h^{-1} \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

ここで、

Δh : 排煙上昇高度 [m] = 火災発生源と外気取入口の高度差

F : 排熱フラックス [m⁴/s³] = $0.037 \cdot Q_H$

Q_H : 排出熱量 [kcal/s]

ただし、 $Q_H = q / (\rho / 1000) \times M$

q : 発熱量 [kcal/l] ※7

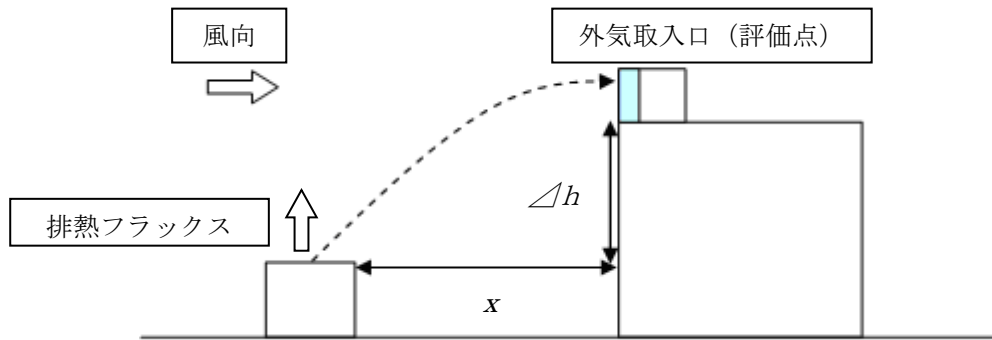
M : 燃料消費速度 [kg/s]

ρ : 燃料密度 [kg/m³]

x : 離隔距離 [m]

※7：2005 年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改定値について（経済産業省資源エネルギー庁 平成 19 年 5 月）

火災発生場所	q 発熱量 [kcal/l]
軽油タンクおよび変圧器	9004 kcal/l (37.7 MJ/l)
航空機	8765 kcal/l (36.7 MJ/l)



第 3-2 図 風速と熱浮力の関係 (イメージ)

なお, Briggs の排煙上昇過程式の適用条件^{※8}は, 以下のとおり。

$$x \leq x^*$$

$$x^* = 2.16F^{2/5} \cdot \Delta h^{3/5}$$

ここで,

x : 離隔距離[m]

x^* : 浮力の効果が薄れて大気乱流による拡散効果が支配的になり始める距離[m]

F : 排熱フラックス[m⁴/s³]

Δh : 排煙上昇高度[m] ($\Delta h < 305\text{m}$)

火災源ごとに x^* を求め, 上記条件を満たしていることを確認しており, Briggs の排煙上昇過程式を用いて排煙高さが外気取入口高さと同じになる風速を求めることは妥当である。

※8 : G. A. Briggs, “Plume Rise”, U. S. Atomic Energy Commission, 1969

第 3-2 表 風速の計算結果

火災発生場所	風速 u[m/s]
軽油タンク	28.2
主変圧器	7.8
RIP 入力変圧器	8.4
大型民間航空機	77.6
小型民間航空機	19.4
大型軍用航空機	43.5
小型軍用航空機	12.9
重畳の可能性のある 6号炉軽油タンク	44.4

(3) 火災によって発生する有毒ガスの大気拡散

外気取入口に到達する有毒ガスの濃度は, 大気拡散を考慮しガウスプルームモデルの拡散式を用いて評価する。

火災地点から放出された有毒ガスは、中央制御室の外気取入口の方向に向かう風によって、風下直線方向に拡散していくものとし、先に求めた評価対象ガスの発生率および外気取入口に有毒ガスが到達する風速と、以下に示すガウスプルームモデルの拡散式を用いて、外気取入口の空気中に含まれる有毒ガスの濃度を計算する。なお、外気取入口での空気中の濃度は、下記数式の放出点の高さ H と評価点の高さ Z において H=Z=0, Y=0 として中心軸上最大濃度を計算する。計算結果を第 3-3 表にまとめる。

$$\chi(X, Y, Z) = \frac{Q_F}{2\pi u \sigma_Y \sigma_Z} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_Y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_Z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_Z^2}\right] \right\}$$

ここで、

$\chi(X, Y, Z)$: 評価点 (X, Y, Z) の有毒ガスの濃度 [g/m³]

u : 外気取入口に有毒ガスが到達するとした場合の風速 [m/s]

σ_Y : 水平方向の拡散幅 [m]

σ_Z : 鉛直方向の拡散幅 [m]

Q_F : 火災によって発生する有毒ガスの発生率 [Nm³/s]

H : 放出源の有効高さ [m]

$$\sigma_Y = 0.67775\theta_{0.1} \cdot (5 - \log x) \cdot x, \quad \sigma_Z = \sigma_1 \cdot x^{a_1 + a_2 \log x + a_3 (\log x)^2}$$

ただし、x の単位は km とし、

x が 0.2km 以遠の場合、 $\theta_{0.1}$, σ_1 , a_1 , a_2 , a_3 は以下の通り。

大気安定度	$\theta_{0.1}$	σ_1	a_1	a_2	a_3
A	50	768.1	3.9077	3.898	1.7330
B	40	122.0	1.4132	0.49523	0.12772
C	30	58.1	0.8916	-0.001649	0.0
D	20	31.7	0.7626	-0.095108	0.0
E	15	22.2	0.7117	-0.12697	0.0
F	10	13.8	0.6582	-0.1227	0.0

x が 0.2km 未満の場合は、 $\theta_{0.1}$, σ_1 , a_1 は以下の通り。ただし、 a_2 , a_3 は 0 とする。

大気安定度	$\theta_{0.1}$	σ_1	a_1
A	50	165	1.07
B	40	83.7	0.894
C	30	58	0.891
D	20	33	0.854
E	15	24.4	0.854
F	10	15.5	0.822

大気安定度は、発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針に記載のとおり、風速の範囲と日射や夜間の放熱の大小によってA-Gに区分されるものであり、大気安定度Aが最も拡散しやすくGが最も拡散しにくい。本評価では、外気取入口に有毒ガスが到達するとした場合の風速 u [m/s]の中で、拡散幅が最小となる（濃度が最大となる）より拡散しにくい大気安定度を選択する。風速と大気安定度の関係は以下の通りであり、本評価では第3-4表に示す通り風速は6[m/s]以上であることから大気安定度はCまたはDとなり、より拡散しにくい大気安定度Dで評価を行う。

第3-3表 拡散幅の計算結果

火災発生場所	大気安定度	水平方向の 拡散幅 σ_y [m]	鉛直方向の 拡散幅 σ_z [m]
軽油タンク	D	6.6	3.8
主変圧器	D	2.7	1.7
RIP 入力変圧器	D	1.0	0.7
大型民間航空機	D	17.7	9.5
小型民間航空機	D	10.9	6.0
大型軍用航空機	D	11.3	6.2
小型軍用航空機	D	9.0	5.0
重畳の可能性のある 6号炉軽油タンク	D	9.0	5.0

第3-4表 風速、日射量および放射収支量による大気安定度

風速 (U) m/s	日射量 (T) kw/m^2				放射収支量 (Q) kw/m^2		
	$T \geq 0.60$	$0.60 > T \geq 0.30$	$0.30 > T \geq 0.15$	$0.15 > T$	$Q \geq -0.020$	$-0.020 > Q \geq -0.040$	$-0.040 > Q$
$U < 2$	A	A-B	B	D	D	G	G
$2 \leq U < 3$	A-B	B	C	D	D	E	F
$3 \leq U < 4$	B	B-C	C	D	D	D	E
$4 \leq U < 6$	C	C-D	D	D	D	D	D
$6 \leq U$	C	D	D	D	D	D	D

4. 評価結果

中央制御室外気取入口における有毒ガスの濃度を第4-1表にまとめる。なお、航空機墜落と軽油タンクの重畳火災については、重畳の可能性のある6号炉軽油タンクと小型軍用航空機の濃度を足し合わせるにより求めた。第4-1表より、中央制御室外気取入口における有毒ガスの濃度がIDLH以下であり、中央制御室の居住性が損なわれることがないことを確認した。

また、中央制御室に有毒ガスが進入してくる場合には、中央制御室の外気取り入れ

を遮断し、再循環させる非常時モードで運転することが可能であり、火災発生後 15 分程度*で中央制御室への外気取り入れを停止し、非常時モードへ切り替えることが可能であることを確認した。

なお、火災（有毒ガス）の発生は、火災報知器（軽油タンク・主変圧器等）、振動や衝撃音（航空機墜落）、敷地境界監視用カメラ（森林火災）等により覚知できることに加え、中操外の火災発生に伴い、煙や異臭を確認した場合の当直長判断による中操隔離手順が操作手順書に定められている。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。

以上より、外部火災により有毒ガスが発生した場合において、中央制御室の居住性が損なわれることはない。

※：切り替えに要する一連の時間を実測したところ 15 分程度であった。

火報発生→現場確認→火災発生（ばい煙等の流入）を確認→非常時モードへ切替操作

第 4-1 表 中央制御室外気取入口における有毒ガス濃度

火災発生場所	CO 濃度 [ppm] (IDLH : 1, 200)	CO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH : 40, 000)	SO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH : 100)	NO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH : 20)
軽油タンク	165	9, 850	7. 2	3. 4
主変圧器	514	30, 600	23	10. 4
RIP 入力変圧器	598	35, 600	26	12. 1
大型民間航空機	490	1470	0. 3	2. 2
小型民間航空機	224	674	0. 2	1. 0
大型軍用航空機	915	2750	0. 6	4. 2
小型軍用航空機	206	619	0. 1	0. 9
航空機と軽油タンクの重畳	324	7, 670	5. 3	3. 3

c. 緊急時対策所内の二酸化炭素，酸素濃度の評価

外部火災時の緊急時対策所の居住性の評価として、外気取入遮断時の緊急時対策所内に滞在する対策要員の作業環境の劣化防止のため、二酸化炭素濃度および酸素濃度について評価を行った。なお、緊急時対策所に設置しているガスタービン発電機の給気および排気は、緊急時対策所換気設備との系統分離および給排気口の位置的分散が図られており、緊急時対策所内の二酸化炭素濃度や酸素濃度に影響を及ぼさないことから、在室人員の呼吸のみを想定し評価を行う。

1. 二酸化炭素濃度評価

以下の通り二酸化炭素濃度について評価した。

1. 1. 評価条件

- ・在室人員 52 人^{※1}
 - ・緊急時対策所バウンダリ内体積 11000[m³]
 - ・外気流入はないものとして評価する
 - ・初期二酸化炭素濃度 0.03[%]
(「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 (JEAC4622-2009)」)
 - ・許容二酸化炭素濃度 0.5[%]
(事務所衛生基準規則 (昭和 47 年労働省令第 43 号, 最終改正平成 16 年 3 月 30 日厚生労働省令第 70 号))
 - ・呼吸による排出する二酸化炭素濃度 0.030[m³/h/人]
(「空気調和・衛生工学便覧」の軽作業時の二酸化炭素吐出し量を使用)
 - ・評価期間は、各火災の燃焼継続時間を考慮し30 時間^{※2}とする
- ※1 : 外部火災時の対応要員(15人)に初動体制要員(37人)を加え52人とした。
※2 : 航空機墜落と軽油タンク火災の重畳を考慮すると、おおよそ 24 時間が火災の継続時間となることから、余裕を持って 30 時間で評価を実施した。

1. 2. 評価結果

- ・外気遮断期間 t [hour]での二酸化炭素濃度 C [%]

$$C = (M \times N \times t) / V \times 100 + C_0$$

M : 呼吸による排出する二酸化炭素濃度 0.030[m³/h/人]

N : 在室人員 52[人]

V : 緊急時対策所バウンダリ内体積 11000[m³]

C₀ : 初期炭酸ガス濃度 0.03[%]

上記評価条件から求めた二酸化炭素濃度は、以下のとおりであり、30 時間外気取入れを遮断したままでも、対策要員の作業環境に影響を与えない。

時間	12 時間	24 時間	30 時間
二酸化炭素濃度 [%]	0.20	0.37	0.46

2. 酸素濃度評価

以下の通り酸素濃度について評価した。

2. 1. 評価条件

- ・在室人員 52 人
- ・緊急時対策所バウンダリ内体積 11000[m³]
- ・外気流入はないものとして評価する
- ・初期酸素濃度 20.95%

(「空気調和・衛生工学便覧」の成人の呼吸気・肺胞気の組成の値を使用)

- ・酸素消費量 0.364ℓ/min/人

(「空気調和・衛生工学便覧」のデスクワーク程度に対する酸素消費量を使用)

- ・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30時間とする

2. 2. 評価結果

- ・緊急時対策所の初期酸素量 $2304.5[m^3] = 11000[m^3] \times 20.95\%$

- ・30時間後の酸素濃度 20.6[%]

$$= (2304.5 [m^3] - 0.364[\ell / \text{min} / \text{人}] \times 10^{-3}[m^3 / \ell] \times 52[\text{人}] \times 60[\text{min} / \text{h}] \times 30[\text{h}]) / 11000[m^3] \times 100$$

上記評価条件から求めた酸素濃度は, 以下のとおりであり, 30時間外気取入れを遮断したままでも, 対策要員の作業環境に影響を与えない。

時間	12時間	24時間	30時間
酸素濃度[%]	20.8	20.7	20.6

熱気流による影響評価について

軽油タンク火災や航空機墜落による火災が発生した場合、熱気流による原子炉施設への影響が懸念されるため、その影響について評価するものである。

(1) 熱気流の発生源

原子炉施設から離れた位置における火災では、熱気流は上昇・拡散することから原子炉施設に影響をおよぼすことはない。このため、原子炉施設近傍で発生する軽油タンク火災および航空機墜落による火災を熱気流の発生源として想定する。

(2) 評価対象

非常用ディーゼル発電機は、外部電源喪失が発生した場合において安全機能を有する設備に電源を供給する設備であり、外気を内部に取り込む設備でもあることから評価対象とした。なお、非常用ディーゼル発電機の給気口は原子炉建屋の3階に設置されている。

(3) 評価結果

原子炉施設近傍での火災を想定した場合、非常用ディーゼル発電機の給気口（6号B系，7号B系）から熱気流が直接取り込まれる可能性は否定できないが、熱気流の影響範囲は気象条件（風向，風速等）に大きく依存する（図1～図3）。

このため、これらの不確かさはあるものの、火災発生時は非常用ディーゼル発電機の給気温度を監視しつつ、熱気流の取り込みが懸念される場合は、当該設備を起動しない（起動している場合は停止する）ことにより熱気流の影響を回避する。

なお、非常用ディーゼル発電機の給気口は原子炉建屋の3階に集中して設置されていること、および位置的分散が図られていることから、同時に全ての設備が直接熱気流の影響を受けることは想定しづらく、影響を受けない方角に位置する非常用ディーゼル発電機は運転が可能である。また、消火が確認された時点で、停止していた非常用ディーゼル発電機の運転再開も可能となる。

以上より、熱気流の影響は限定的であり、原子炉施設に影響をおよぼすことはないとして評価する。

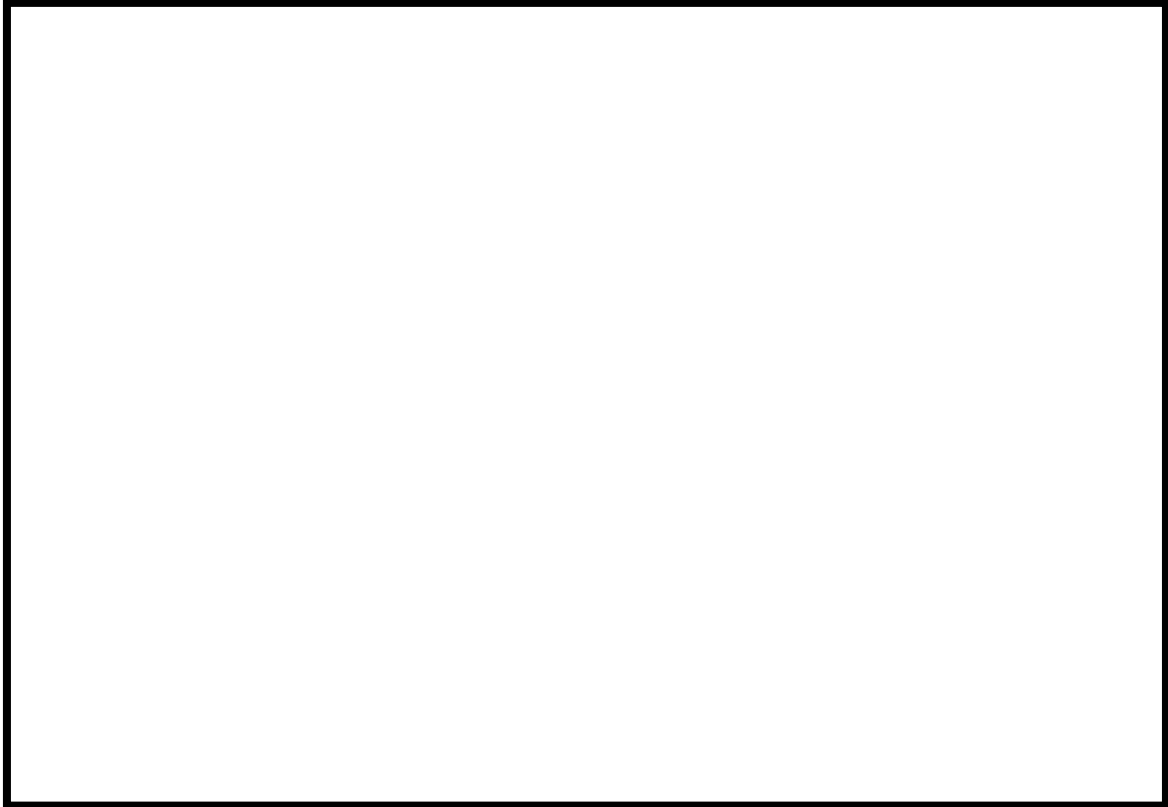


図1 6号炉 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置（軽油タンク火災）

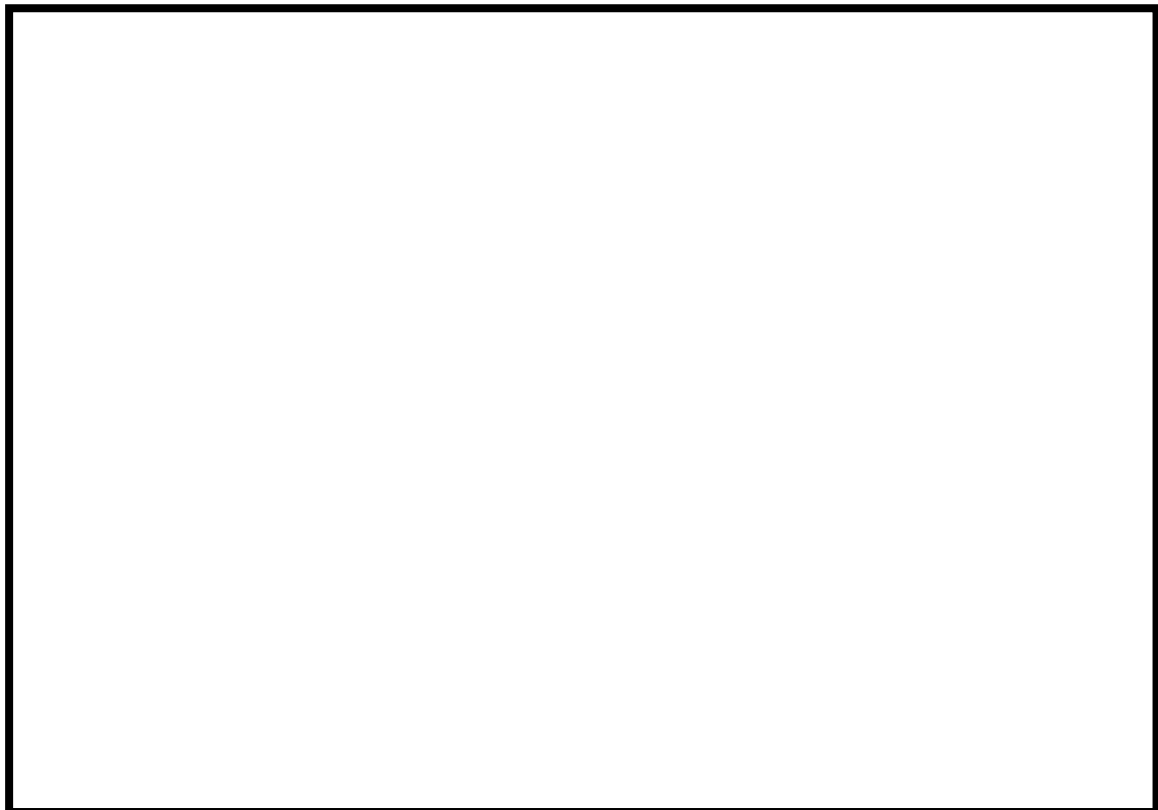


図2 6号炉 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置（航空機火災）

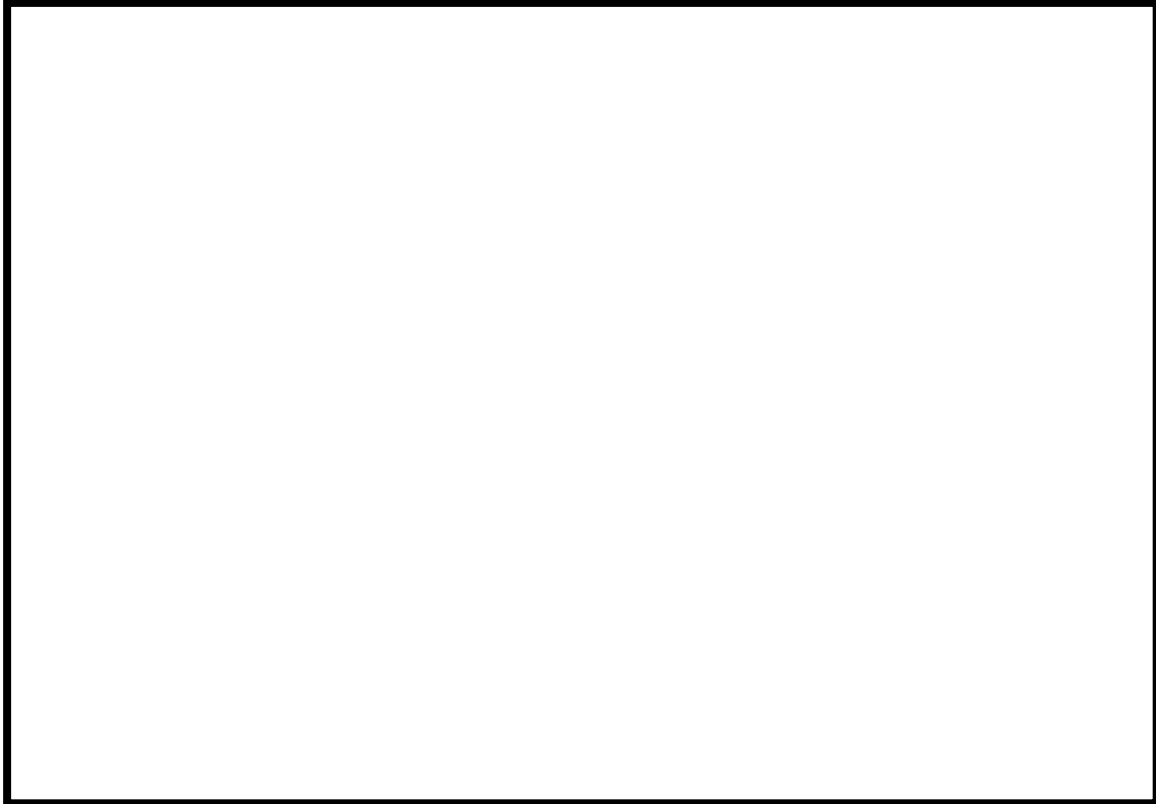


図3 7号炉 熱気流を取り込む可能性のある給気口位置 (航空機火災)