

別 添 4-1

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

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

目次

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 想定する外部火災
 - 1.3 防護対象施設
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. 柏崎刈羽原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について
8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

<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施設を整理する。
2. において、想定する外部火災の影響評価結果について説明する。

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6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、発電用原子炉施設へ影響を与えないこと及び柏崎刈羽原子力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6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（航空機落下）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。

第1.2-1表 外部火災評価内容

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柏崎刈羽原子力発電所に迫る森林火災	・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施設の熱影響評価	・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	・発電所敷地外の石油コンビナート等の火災・爆発を想定した危険距離及び危険限界距離評価	・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施設等の火災	・発電所敷地内の危険物貯蔵設備火災による熱影響評価	・熱影響評価	
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機落下時の火災	・落下を想定する航空機に相当する火災を想定した防護対象施設の熱影響評価	・熱影響評価	

1.3 防護対象施設（添付資料-1）

設置許可基準規則第6条における安全施設とは、「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」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器（以下「安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器」という。）とする。

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

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用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対し安全機能を損なわない設計とする。

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る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。

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません

6条-別添4(外火)-1-6

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、柏崎刈羽原子力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する。

- (1) 火炎の到達時間の評価
- (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

森林火災の解析に当たっては、「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する。

- ・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る。
- ・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する。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する。
- ・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する。
- ・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する。
- ・風向は最大風速記録時を卓越風向として、南南東及び南東側に発火点を設定する。
- ・発火点は以下の3地点を設定する。

（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、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）

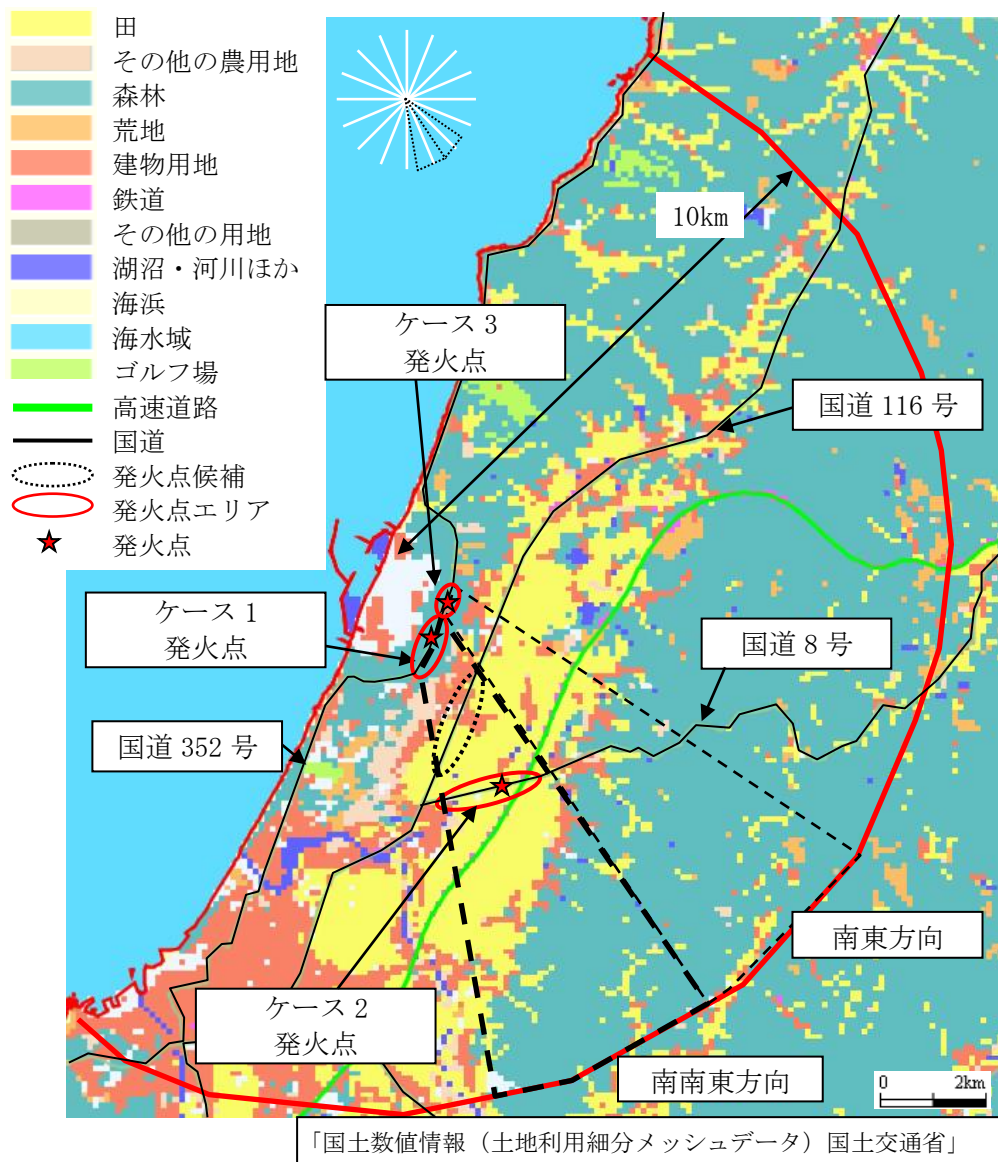
発電所遠方からの発火の方が火災の規模が大きくなる（火災前線が広がり、発電所構内を同時期に取り囲むような火災となる）ことから、火入れ・

たき火等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3.4km）

（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、及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）

- ・ 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、柏崎刈羽原子力発電所から東12km、西9km、南12km、北15kmとする。



第2.1.2-1図 発火点位置

2.1.3 評価結果

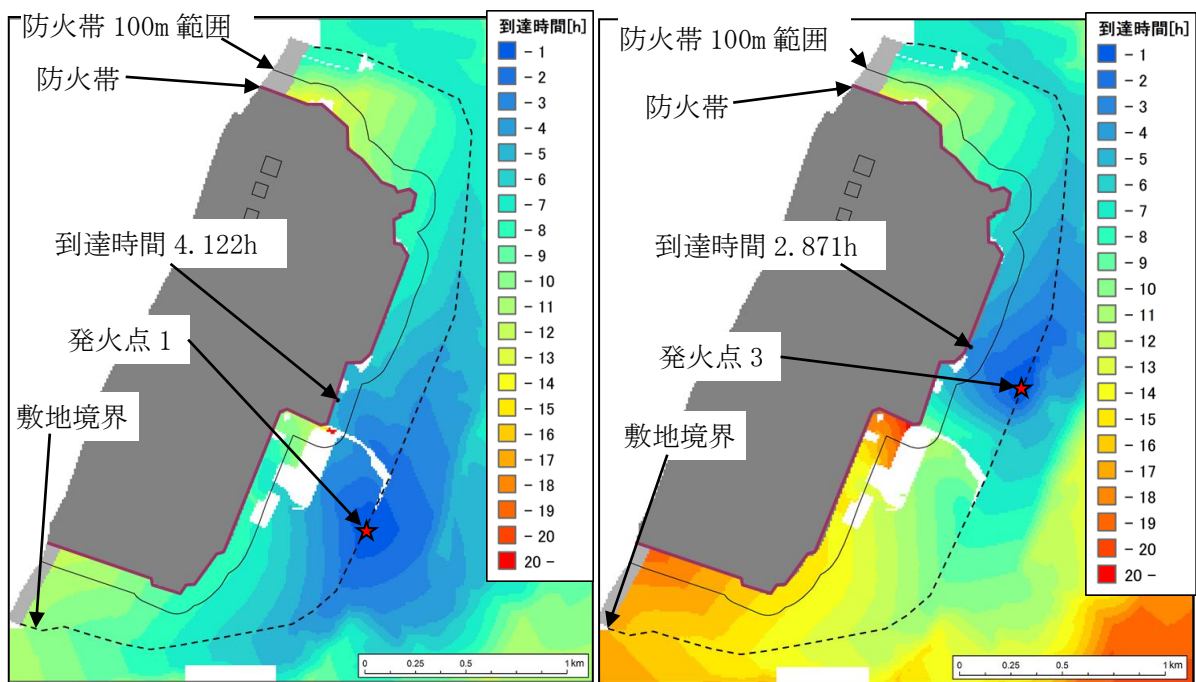
2.1.3.1 火炎の到達時間の評価

(1) 火炎到達時間

想定される森林火災による防火帯境界までの火炎到達時間は、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する。

第2.1.3.1-1表 火炎到達時間

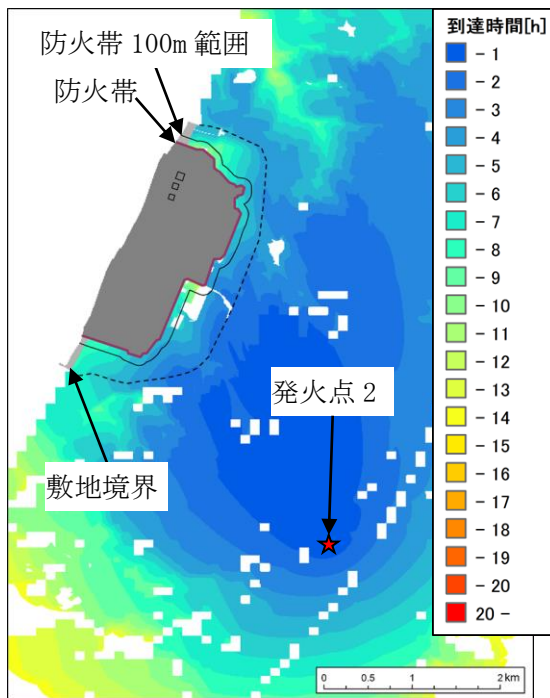
評価項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
火炎の到達時間[hour]	4.122	3.566	2.871



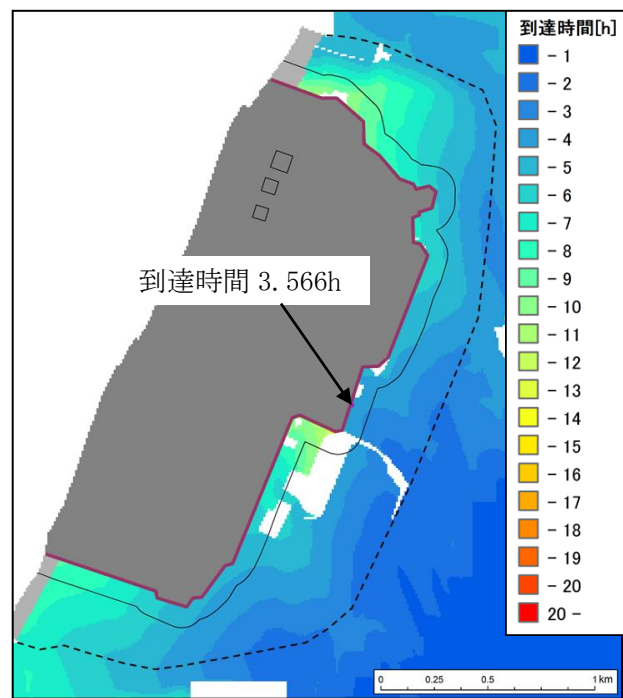
(ケース 1)

(ケース 3)

第2.1.3.1-1(a)図 火炎到達時刻分布



(ケース 2)



(ケース 2) 拡大図

第 2. 1. 3. 1-1 (b) 図 火炎到達時刻分布

(2) 予防散水活動及び体制

柏崎刈羽原子力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，屋外消火栓のほかに状況に応じて，防火水槽，海水を活動用水とした消防車による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。

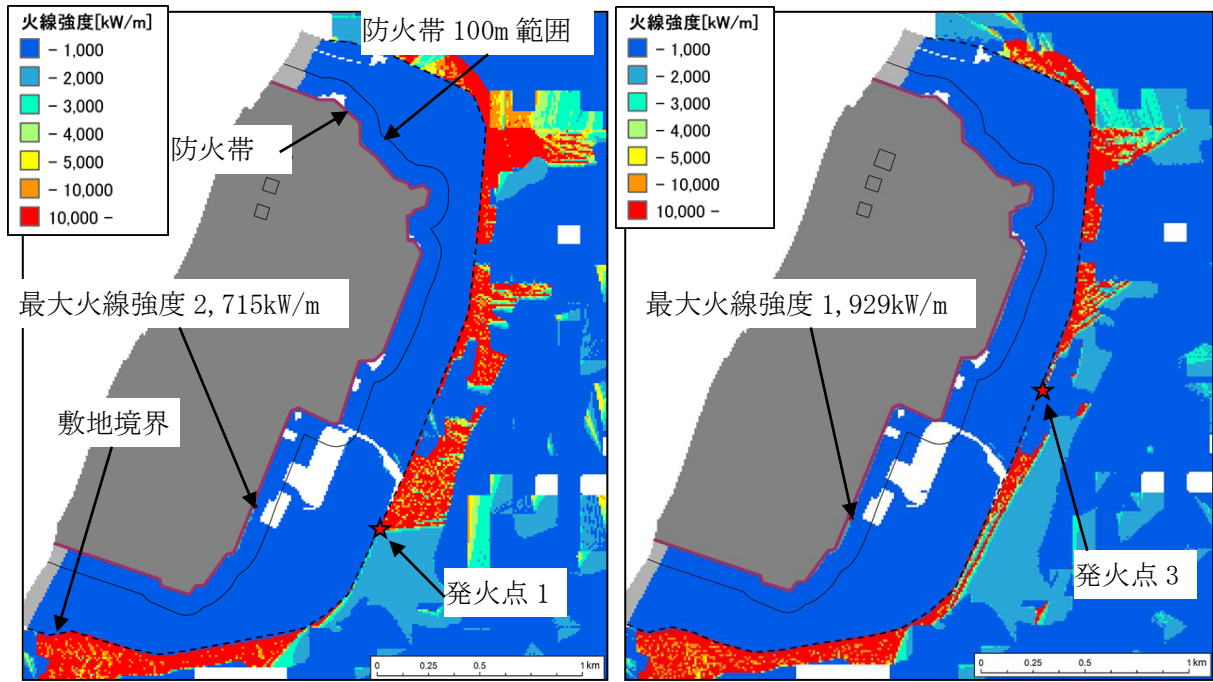
2. 1. 3. 2 防火帯幅の評価

(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3,000kW/m程度である。

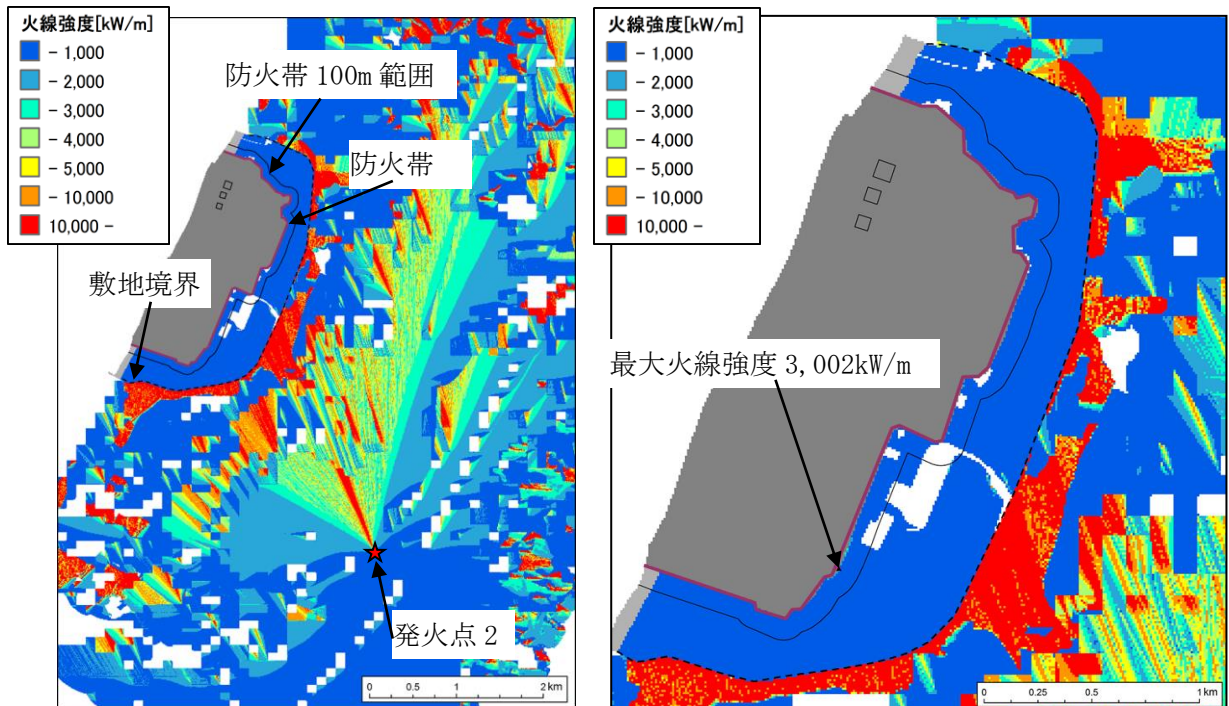
第2. 1. 3. 2-1表 最大火線強度

評価項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
最大火線強度[kW/m]	2715	3002	1929



(ケース 1)

(ケース 3)



(ケース 2)

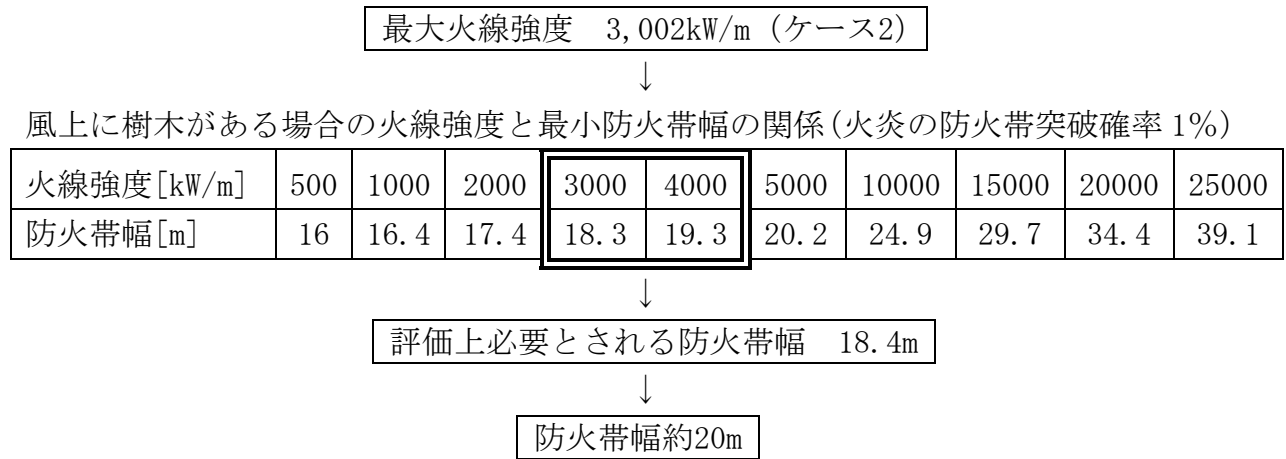
(ケース 2) 拡大図

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 (3,002kW/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

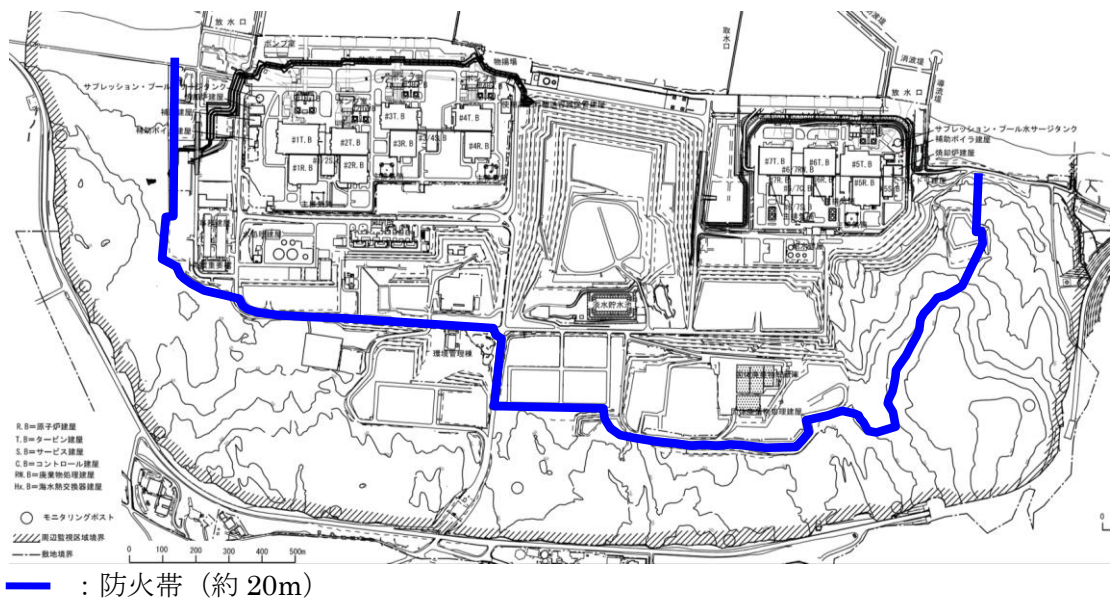
防火帯幅を算出した結果、森林部と防護対象施設間に必要な防火帯幅は18.4mとなった。これに対して、森林火災の延焼を防止するために、森林伐採を実施し、約20mの防火帯幅を確保し、延焼による防護対象施設への影響がないことを確認した。



第 2. 1. 3. 2-2 図 防火帯幅の設定

(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施設への延焼防止対策として、防火帯（幅約20m）を設定する。
- 防火帯は、防護対象施設及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2.1.3.2-3図）
- 防火帯は、柏崎刈羽原子力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。
- 防火帯の設定に当たっては、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、可燃物がない状態を維持する。



第2.1.3.2-3図 防火帯位置

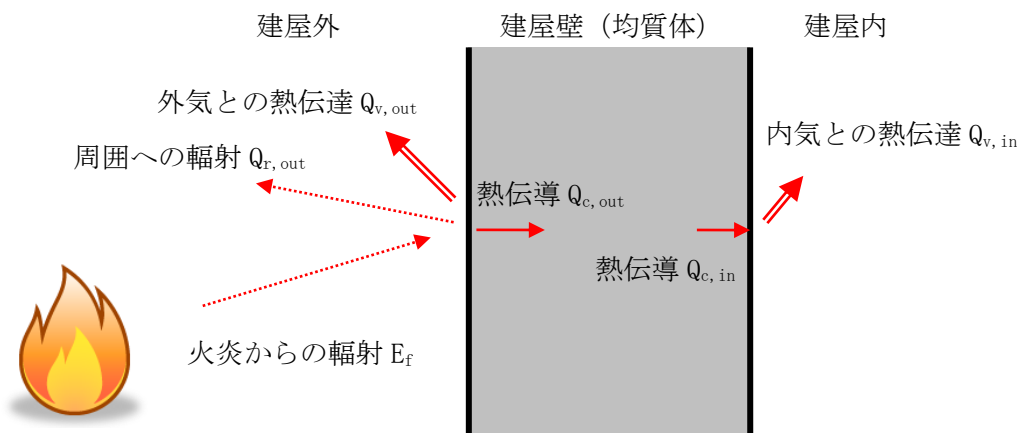
2.1.3.3 発電用原子炉施設の熱影響評価

(1) 発電用原子炉施設外壁

森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力から得られた火炎長や到達時間等より、発電用原子炉施設外壁のコンクリート表面温度を評価する。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。

第2.1.3.3-1表 発電用原子炉施設外壁のコンクリート表面温度

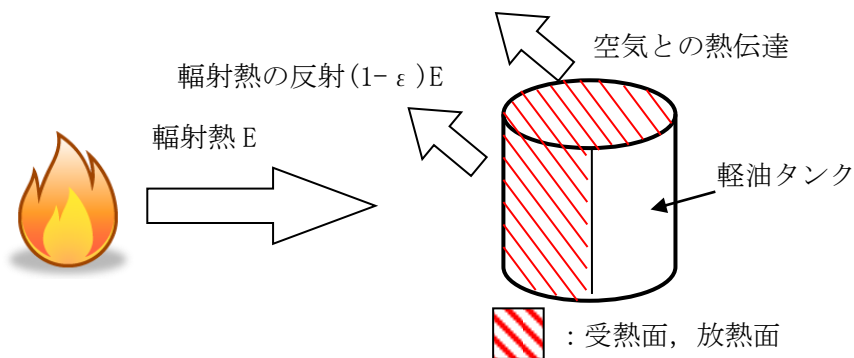
号炉	ケース1		ケース2		ケース3	
	6号炉	7号炉	6号炉	7号炉	6号炉	7号炉
温度[℃]	53	53	55	55	53	52
許容温度[℃]	200					



第2.1.3.3-1図 発電用原子炉施設外壁の熱影響評価（概念図）

(2) 軽油タンク

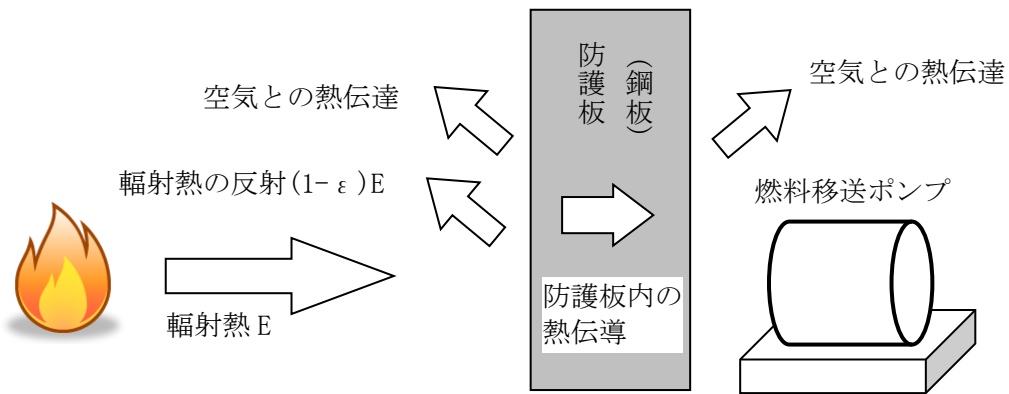
森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力から得られた火炎長や到達時間等より、コンクリートの熱影響評価の結果最も温度上昇の大きいケース2について軽油タンクの温度を評価する。熱影響評価の結果、軽油タンク及び軽油の温度は、最大でも約39℃であり、許容温度225℃（軽油の発火点温度）以下であることを確認した。



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（防護板（鋼板））

森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) の出力から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する。熱影響評価の結果、防護板（鋼板）の温度は、最大でも約62℃（燃料移送ポンプの許容温度である端子ボックスパッキンの耐熱温度100℃以下）であることから、防護板（鋼板）の内側に設置されている燃料移送ポンプに対して熱影響はない。

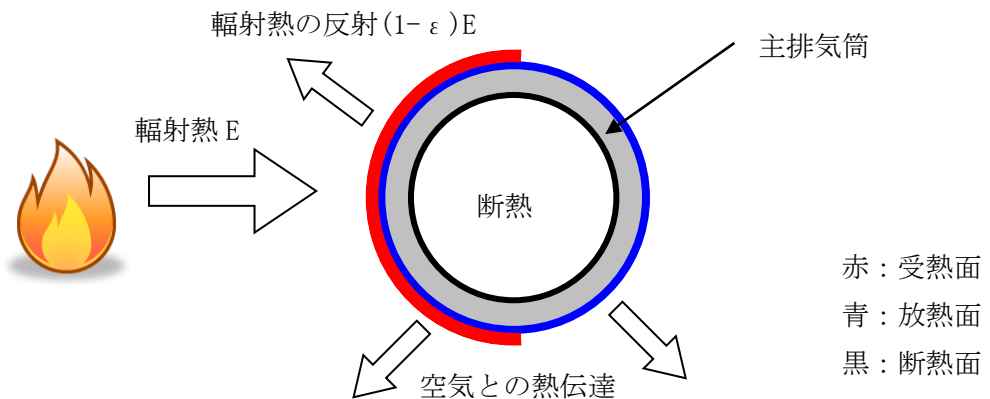


第2.1.3.3-3図 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の熱影響評価（概念図）

(4) 主排気筒

森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）の出力から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について主排気筒の温度を評価する。熱影響評価の結果，主排気筒の温度は，最大でも約64℃であり，許容温度325℃（「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，主排気筒は，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 主排気筒の熱影響評価（概念図）

2.1.3.4 危険距離の評価

(1) 発電用原子炉施設外壁

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する。

危険距離評価の結果、発電用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21mであり、防火帯外縁から発電用原子炉施設外壁までの離隔距離（約439m）が危険距離以上であることを確認した。

第2.1.3.4-1表 危険距離の評価結果

	ケース1	ケース2	ケース3
危険距離[m]	19	21	14
離隔距離[m]	439		

(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する。

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1mであり、防火帯外縁から軽油タンクまでの離隔距離（約390m）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（防護板（鋼板））

想定される森林火災に対して、燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））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する。

危険距離評価の結果、燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））における危険距離が一番厳しいケース2の場合でも約90mであり、防火帯外縁から燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））までの離隔距離（約539m）が危険距離以上であることを確認した。

(4) 主排気筒

想定される森林火災に対して、主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する。

危険距離評価の結果、主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30mであり、防火帯外縁から主排気筒までの離隔距離（約494m）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柏崎刈羽原子力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する。

また、発電所敷地内における危険物タンクの火災が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

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、それぞれ柏崎刈羽原子力発電所から約39km、約72km及び約84kmであり、いずれも柏崎刈羽原子力発電所から10km以遠である（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、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。

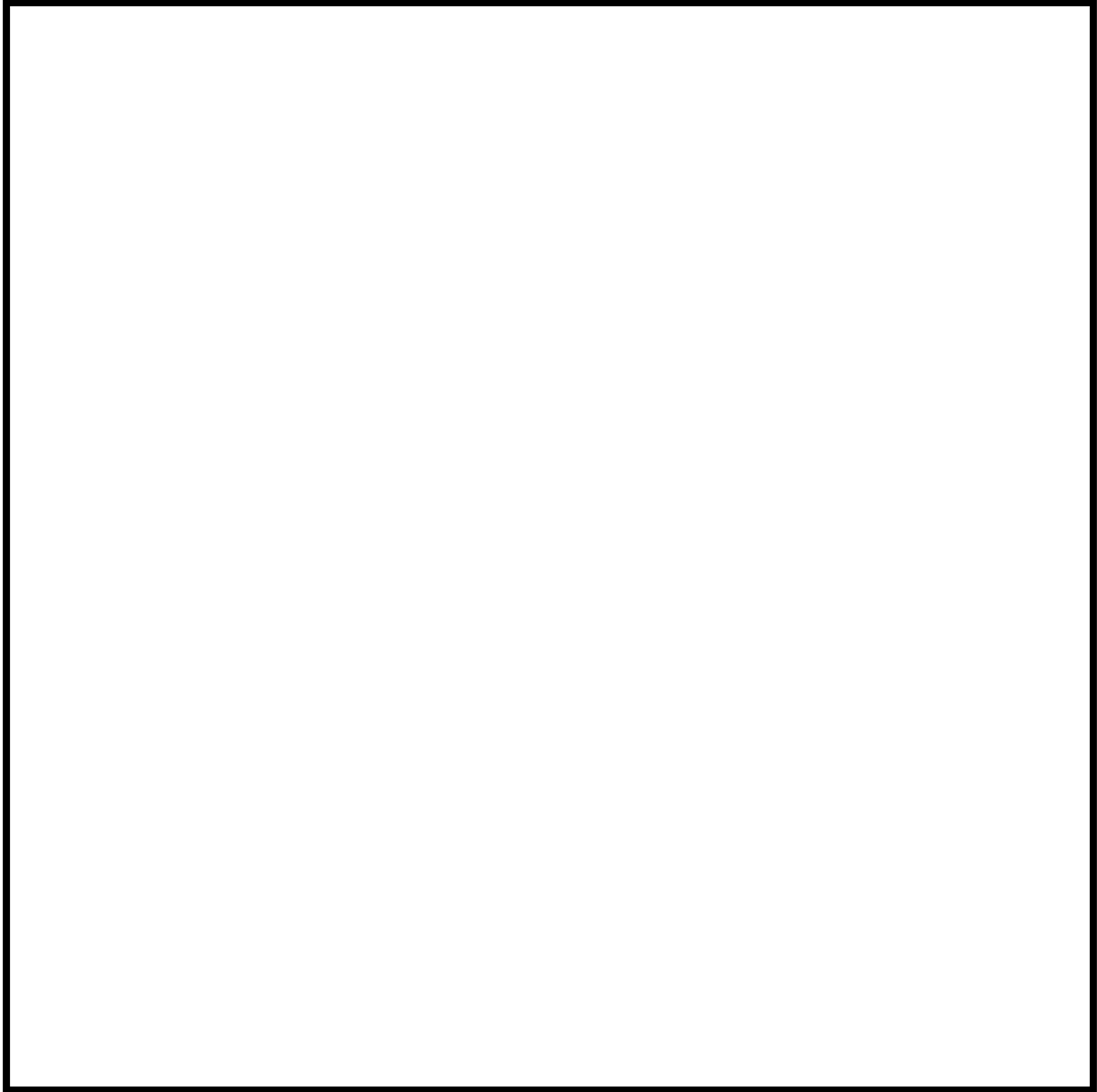


第 2.2.2.1-1 図 新潟県内の石油コンビナート等特別防災区域の位置と柏崎刈羽原子力発電所までの距離

2.2.2.2 敷地外危険物施設等の影響評価

(1) 敷地外危険物施設の影響評価

発電所敷地外の半径10kmの消防法及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、影響評価を実施する。



第 2.2.2.2-1 図 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



a. 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発電用原子炉施設までの離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

第2.2.2.2-1表 危険物貯蔵施設における危険距離の評価結果

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134m 主排気筒：約39m	

b. 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発電用原子炉施設までの離隔距離が危険限界距離以上であることを確認した。

第2.2.2.2-2表 高圧ガス貯蔵施設における危険限界距離の評価結果

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

c. 二次的影響（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、高圧ガス貯蔵施設における飛来物飛散距離を確認する。

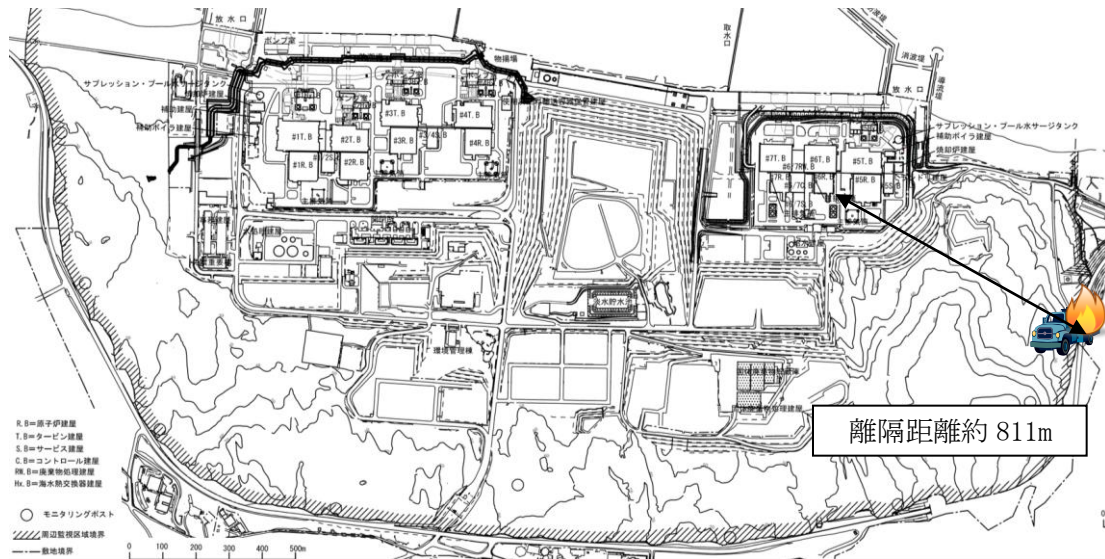
発電所敷地外で高圧ガス貯蔵量が最も多い施設において最も大きな貯蔵タンクの破損による飛散範囲の評価を行ったところ、最短距離の高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離が飛来物飛散距離以上であることを確認した。

第2.2.2.2-3表 高圧ガス貯蔵施設における飛散距離の評価結果

事業所名	種類	貯蔵量	飛散距離	離隔距離
	プロパン			約5km

(2) 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する。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(16t)とする。火災・爆発の発生場所は、発電所敷地外の道路において、発電用原子炉施設に最も近い場所を想定する。



第 2.2.2.2-2 図 燃料輸送車両の離隔距離

a. 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である。

第2.2.2.2-4表 燃料輸送車両における危険距離の評価結果

種類	貯蔵量	危険距離	離隔距離
プロパン	16t	建屋：約13m 軽油タンク：約4m 燃料移送ポンプ：約26m 主排気筒：約12m	約811m

b. 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する。

第2.2.2.2-5表 燃料輸送車両における危険限界距離の評価結果

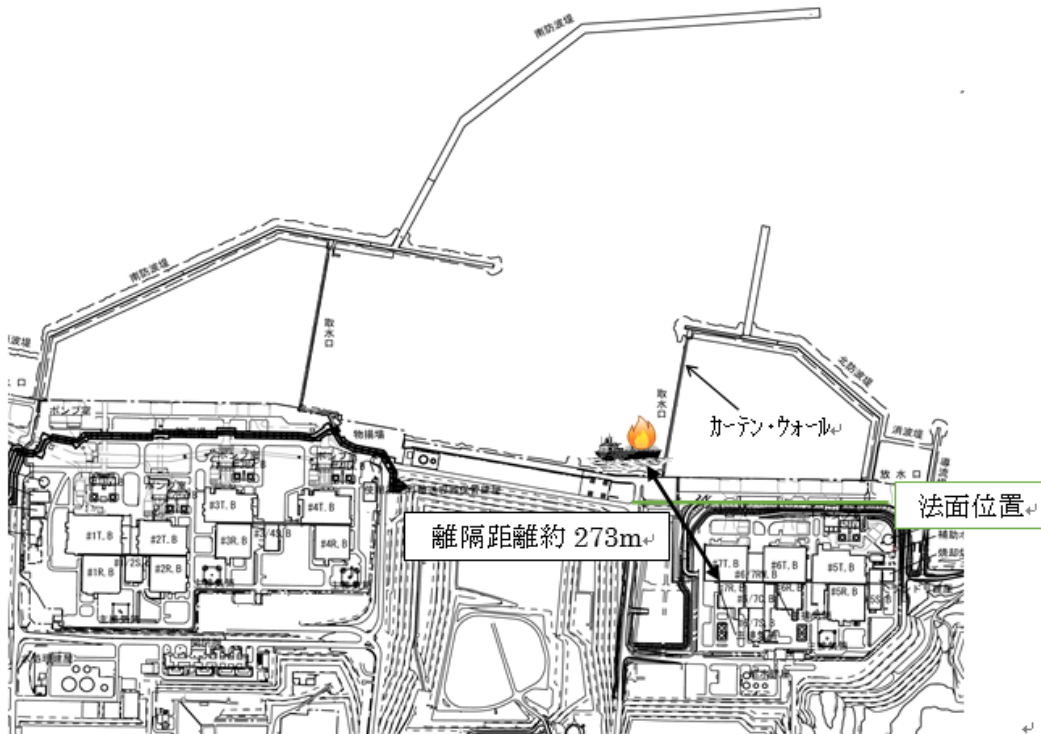
種類	貯蔵量	危険限界距離	離隔距離
プロパン	16t	約88m	約811m

c. 二次的影響（飛来物）の影響評価

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発電用原子炉施設に衝突することはなく、影響はない。

(3) 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、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1021t）を想定する。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する。火災・爆発の発生場所は、発電所港湾内において、発電用原子炉施設に最も近い場所を想定する。



第2.2.2.2-3 図 漂流船舶の離隔距離

a. 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であることを確認した。

第2.2.2.2-6表 漂流船舶における危険距離の評価結果

種類	貯蔵量	危険距離	離隔距離
プロパン	1021t	建屋：約66m 軽油タンク：約17m 燃料移送ポンプ：約148m 主排気筒：約53m	約273m

b. 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であることを確認する。

第2.2.2.2-7表 漂流船舶における危険限界距離の評価結果

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

c. 二次的影響（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、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発電用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柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。

2.2.2.3 敷地内危険物タンク等の影響評価

(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する。

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する。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及び地下貯蔵タンク等については評価対象外とする。



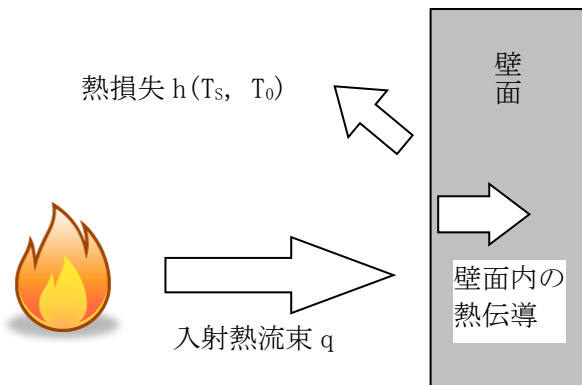
第 2. 2. 2. 3-1 図 危険物タンク等配置図（危険物タンク及び危険物保存庫）

a. 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。

第2. 2. 2. 3-1表 原子炉建屋外壁の温度評価結果

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	565kl	46m	119℃

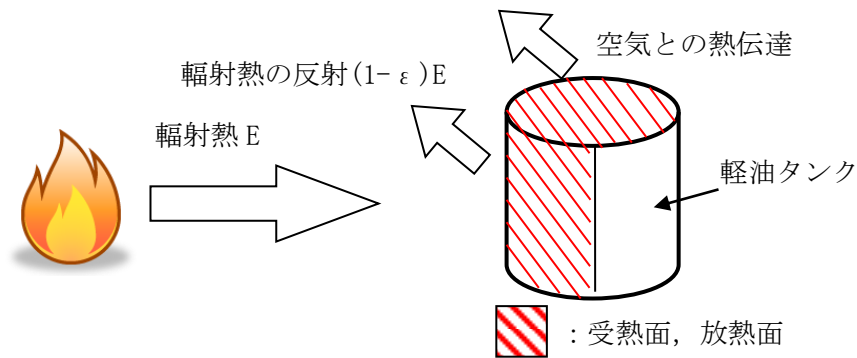


第2. 2. 2. 3-2図 建屋温度評価体系図

b. 屋外の評価対象施設への熱影響評価

(a) 軽油タンク

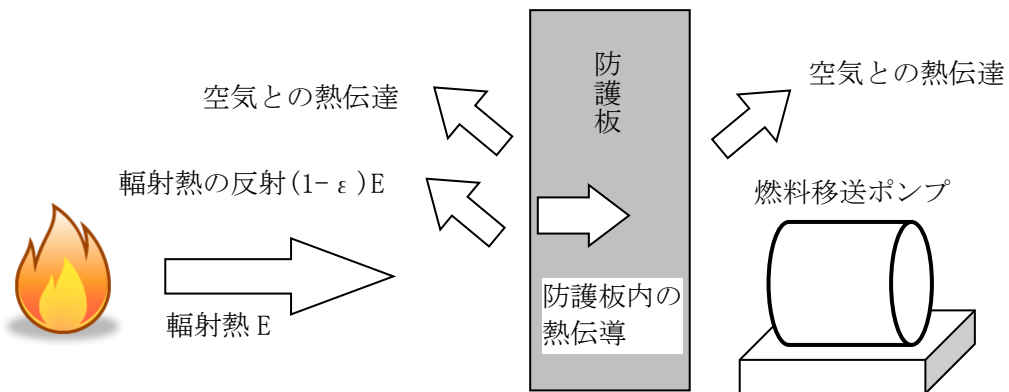
隣接軽油タンクについて温度上昇を評価した結果、軽油の温度は約178℃となり、軽油の発火点225℃を下回ることを確認した。



第2.2.2.3-3図 軽油タンク温度評価体系図

(b) 燃料移送ポンプ

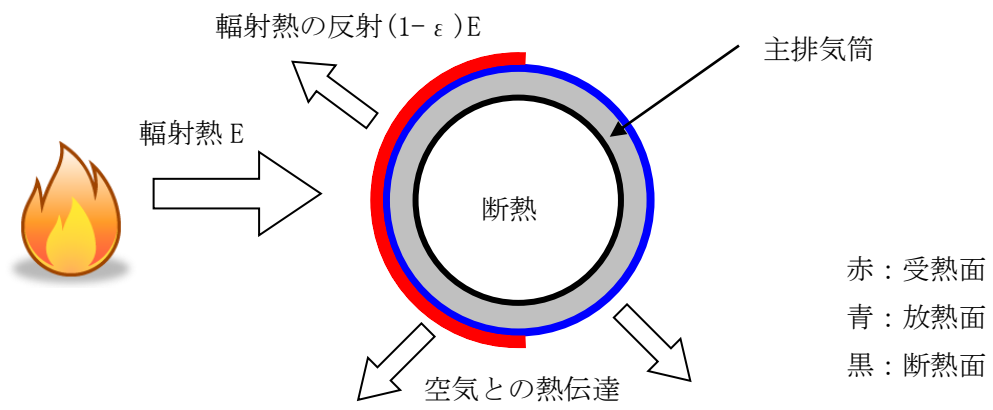
燃料移送ポンプ（エリア）について温度上昇を評価した結果、燃料移送ポンプ（エリア）の温度は約41℃となり、燃料移送ポンプ端子ボックスパッキンの耐熱温度100℃を下回ることを確認した。



第2.2.2.3-4図 燃料移送ポンプ温度評価体系図

(c) 主排気筒

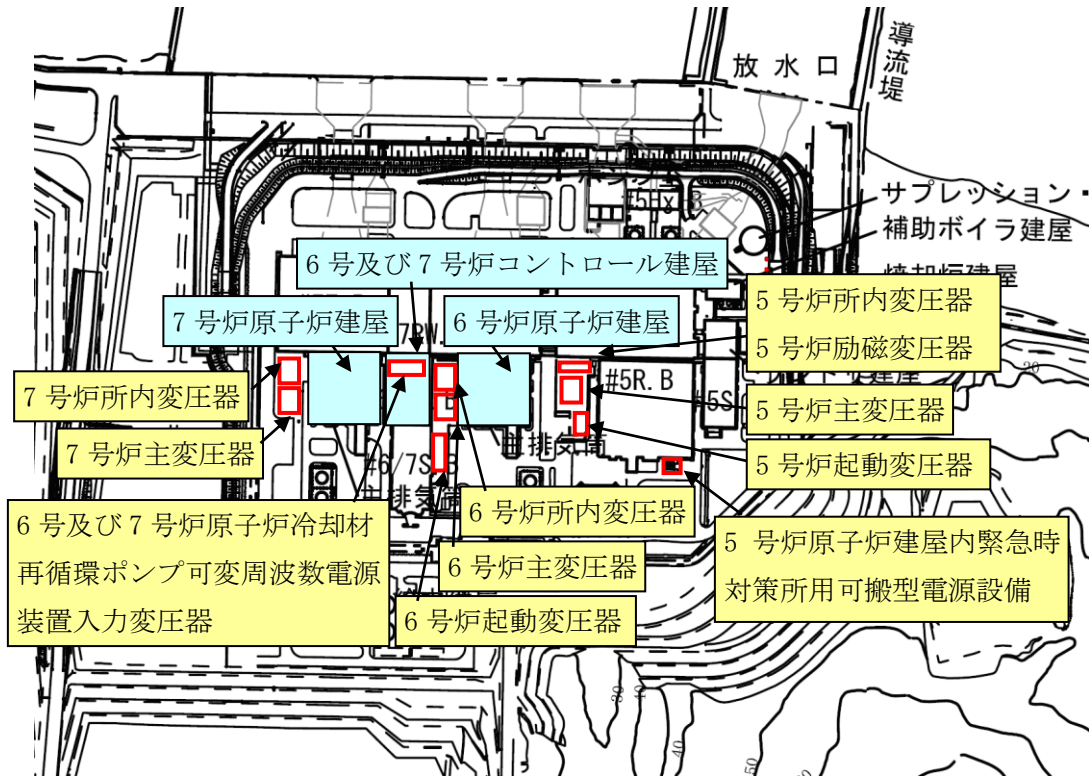
主排気筒について温度上昇を評価した結果、主排気筒の温度は約83℃となり、主排気筒鋼材の許容温度325℃を下回ることを確認した。



第2.2.2.3-5図 主排気筒温度評価体系図

(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する。熱影響評価を実施する変圧器は、各号炉の主変圧器とする。



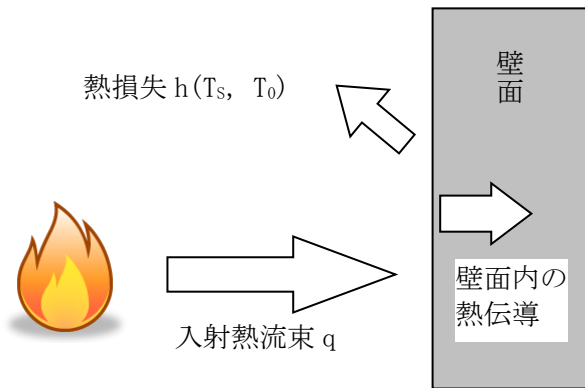
第2.2.2.3-6図 変圧器の位置

a. 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。

第2.2.2.3-2表 コントロール建屋外壁の温度評価結果

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℃

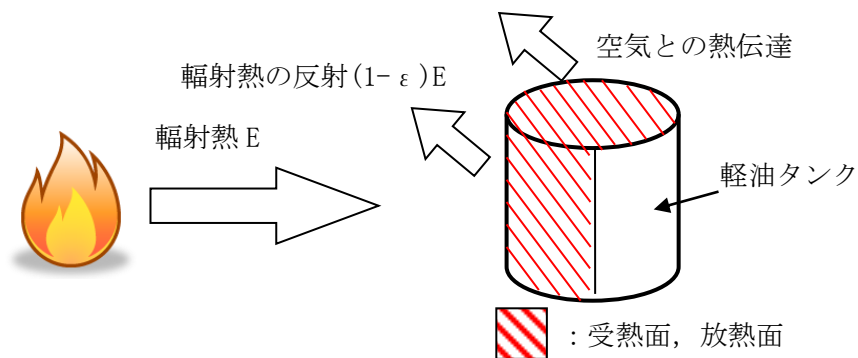


第2.2.2.3-7図 建屋温度評価体系図

b. 屋外の評価対象施設への熱影響評価

(a) 軽油タンク

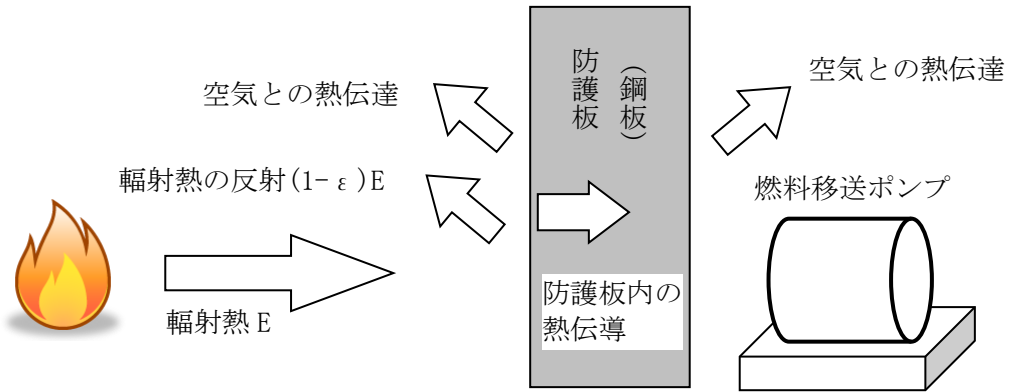
軽油タンクについて温度上昇を評価した結果，軽油の温度は約 42°C となり，軽油の発火点 225°C を下回ることを確認した。



第2.2.2.3-8図 軽油タンク温度評価体系図

(b) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））

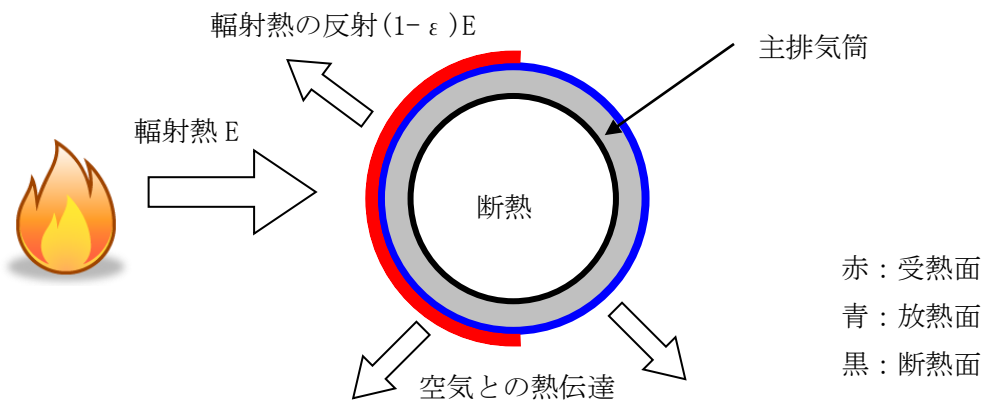
燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））について温度上昇を評価した結果，燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度は約71℃となり，燃料移送ポンプ端子ボックスパッキンの耐熱温度100℃以下であることから，防護板（鋼板）の内側に設置されている燃料移送ポンプに対して熱影響はない。



第2.2.2.3-9図 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））温度評価体系図

(c) 主排気筒

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

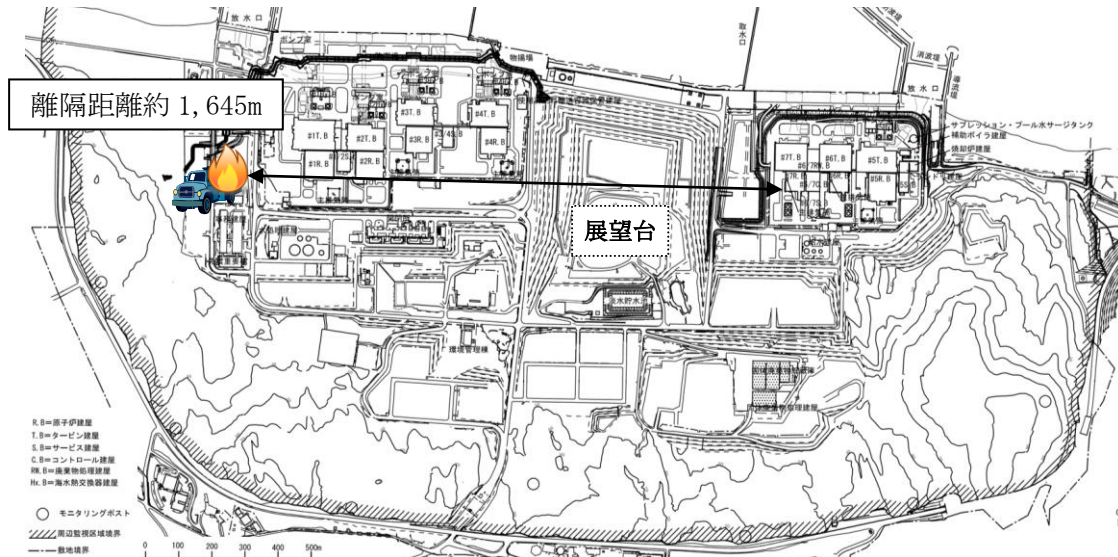


第2.2.2.3-10図 主排気筒温度評価体系図

(3) 水素トレーラの火災影響評価

1号炉へ水素を供給する水素トレーラは、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の火災を想定し、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価する。

水素トレーラの火災では、展望台等により、6号及び7号炉の発電用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。



第2.2.2.3-11図 水素トレーラの離隔距離

ガス爆発による影響を評価した結果、評価上必要とされる危険限界距離に対し、水素トレーラ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。

第2.2.2.3-3表 水素トレーラにおける危険限界距離の評価結果

種類	積載量	危険限界距離	離隔距離
水素	13,987m ³	約85m	約1,645m

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、その火災が柏崎刈羽原子力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する。

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」という。）に分類し以下のカテゴリごとに火災影響を評価する。

- ・ 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

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(落下地点)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。

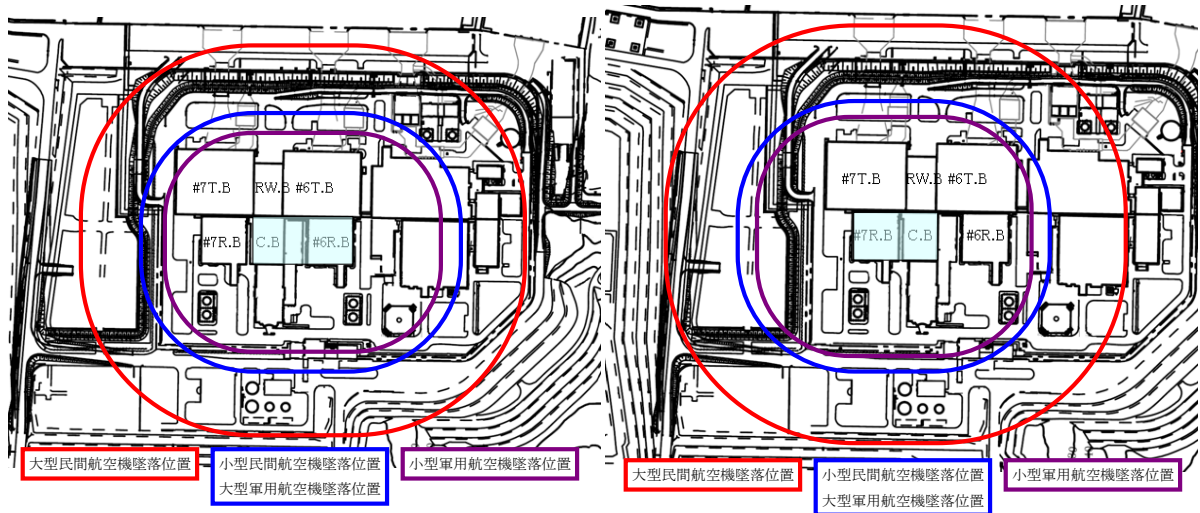
2.3.2.2 離隔距離の算出

防護対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋及びコントロール建屋）を考慮し、落下確率 10^{-7} [回/炉・年]に相当する面積より、カテゴリごとの離隔距離を算出する。

第2.3.2.2-1表 航空機カテゴリ別の離隔距離

カテゴリ	対象航空機	離隔距離[m]	輻射発散度[W/m ²]	輻射強度[W/m ²]
大型民間航空機	B747-400	218	50.0×10^3	351.4
小型民間航空機	Do228-200	134	50.0×10^3	—※
大型軍用航空機	KC-767	133	58.0×10^3	500.9
小型軍用航空機	AH-1S	109	58.0×10^3	34.7

※：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。

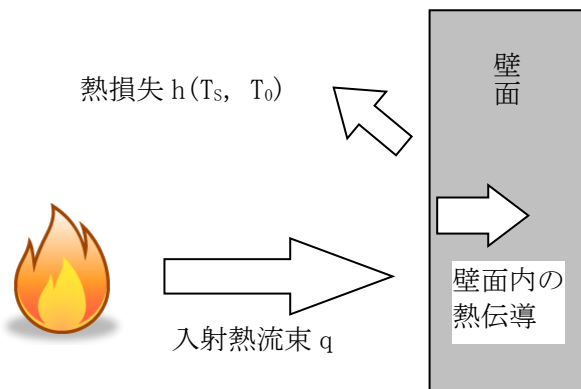


第2.3.2.2-1図 各航空機の落下位置（左：6号炉，右：7号炉）

2.3.2.3 火災影響評価結果

(1) 建屋外壁面温度評価

航空機落下により柏崎刈羽原子力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°C （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。



第2.3.2.3-1図 建屋温度評価体系図

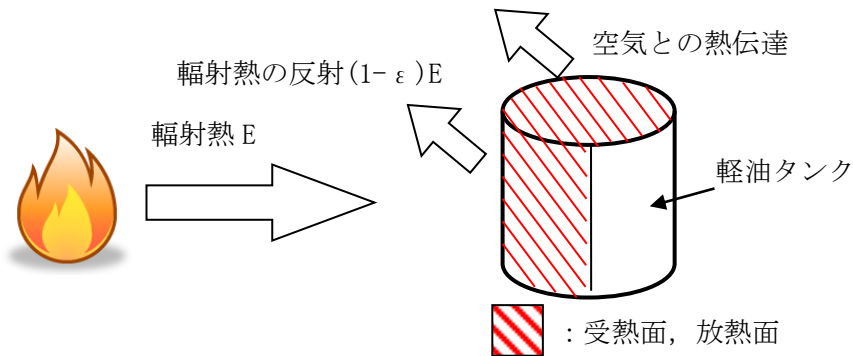
第2.3.2.3-1表 航空機墜落による火災時の原子炉建屋外壁温度評価結果

カテゴリ	燃料タンク 投影面積 $[\text{m}^2]$	輻射強度 $[\text{W}/\text{m}^2]$	燃料継続時 間 $[\text{h}]$	評価温度 $[\text{C}^{\circ}]$	許容温度 $[\text{C}^{\circ}]$
大型民間航空機	605	351.4	1.49	56	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	280	500.9	2.14	60	200
小型軍用航空機	12	34.7	0.34	51	200

(2) 屋外の評価対象施設への熱影響評価

(a) 軽油タンク

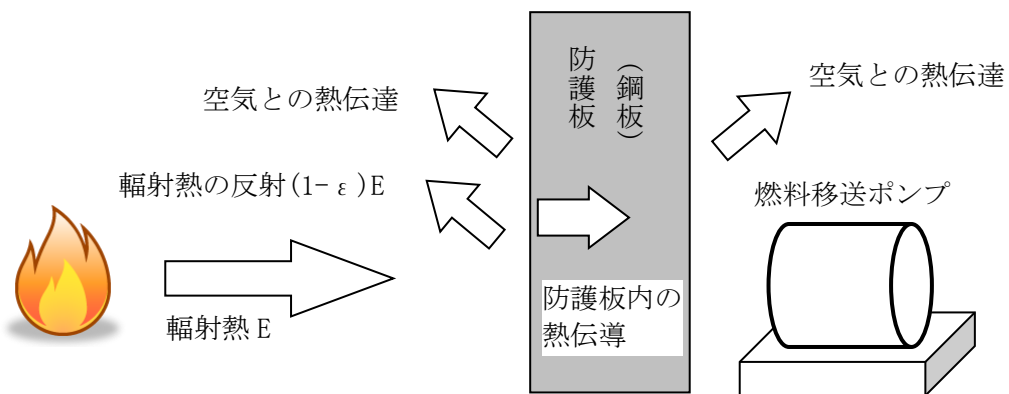
軽油タンクについて温度上昇を評価した結果、外壁面の温度評価で最も厳しい大型軍用航空機の場合において、軽油の発火点 225°C に至る輻射強度($107\text{kW}/\text{m}^2$)より航空機燃料の輻射発散度($58\text{kW}/\text{m}^2$)が低いことから軽油が発火しないことを確認した。



第 2.3.2.3-2 図 軽油タンク温度評価体系図

(b) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））

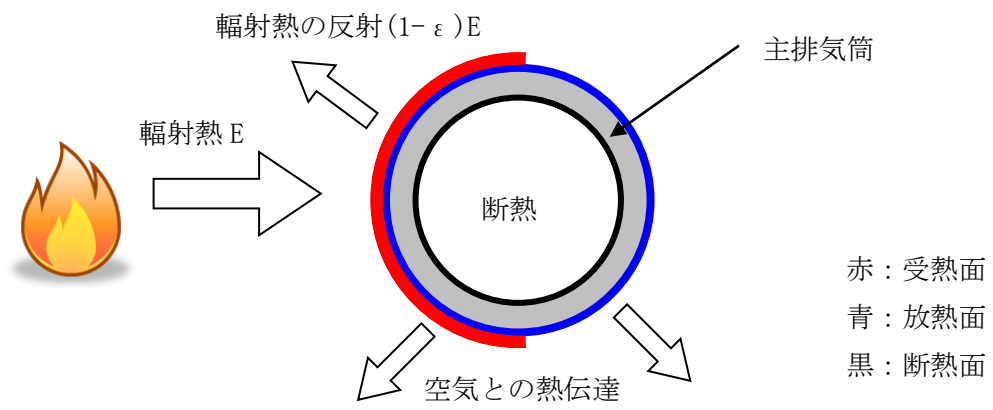
燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））について温度上昇を評価した結果、燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度は約 87°C となり、燃料移送ポンプ端子ボックスパッキンの耐熱温度 100°C 以下であることから、防護板（鋼板）の内側に設置されている燃料移送ポンプに対して熱影響はない。



第 2.3.2.3-3 図 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））温度評価体系図

(c) 主排気筒

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



第 2.3.2.3-4 図 主排気筒温度評価体系図

(3) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳について

a. 重畳する危険物タンクの選定

(2)に記載のとおり、航空機落下位置より内側にある軽油タンクが発火することはないため、航空機墜落による火災との重畳火災を考慮する危険物タンクは、航空機落下位置より外側の危険物タンクとする。

6号炉では、航空機落下確率が 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2.3.2.3-5図）。7号炉では、航空機落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]以上となる範囲にある危険物タンクは5号及び6号炉の軽油タンクとなる（第2.3.2.3-6図）。

(a) 6号炉の影響評価対象

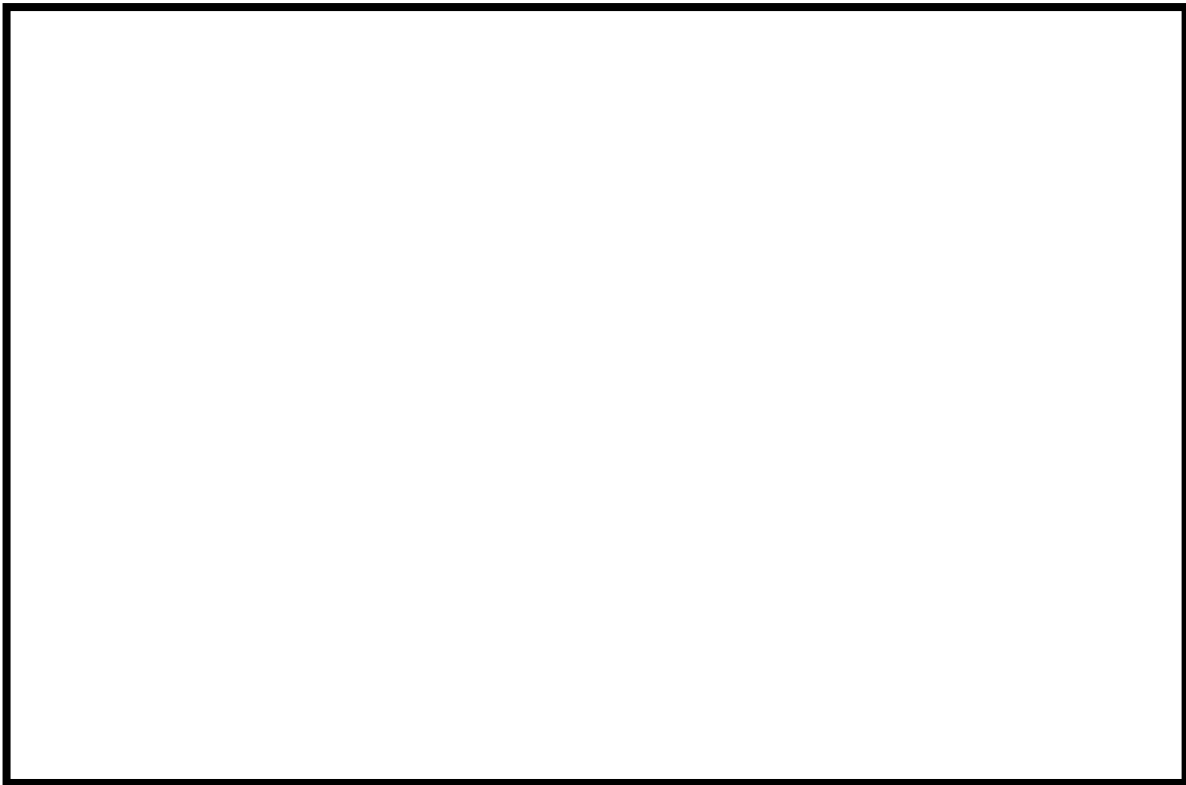
6号炉に対する影響評価を考えると、5号炉軽油タンクは海側に設置されており、小型軍用航空機、小型民間航空機及び大型軍用航空機が5号炉軽油タンク位置に落下したとしても、6号炉の原子炉建屋及びコントロール建屋への輻射熱はタービン建屋により遮蔽されるため影響はない。ただし、6号炉タービン建屋1階の非常用電気品室は、5号炉軽油タンクの熱影響を受ける位置にあることから、燃料積載量・燃料タンク投影面積が大きい大型軍用航空機(KC-767)が5号炉軽油タンク周辺に落下し、5号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落による火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機落下位置は、航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。

(b) 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号炉軽油タンクに落下したとしても、7号炉の原子炉建屋、コントロール建屋及びタービン建屋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ない。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落下し、6号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落による火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機落下位置は、航空機墜落火災の影響が最も厳しくなるよう落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。



第 2.3.2.3-5 図 航空機落下位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置(6号炉)



第 2.3.2.3-6 図 航空機落下位置と危険物タンク火災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及び7号炉コントロール建屋の熱影響評価を実施する。航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳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。

第2.3.2.3-2表 航空機墜落火災時のタービン建屋外壁温度評価結果

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

第2.3.2.3-3表 航空機墜落火災時のコントロール建屋外壁温度評価結果

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[℃]	78
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する。

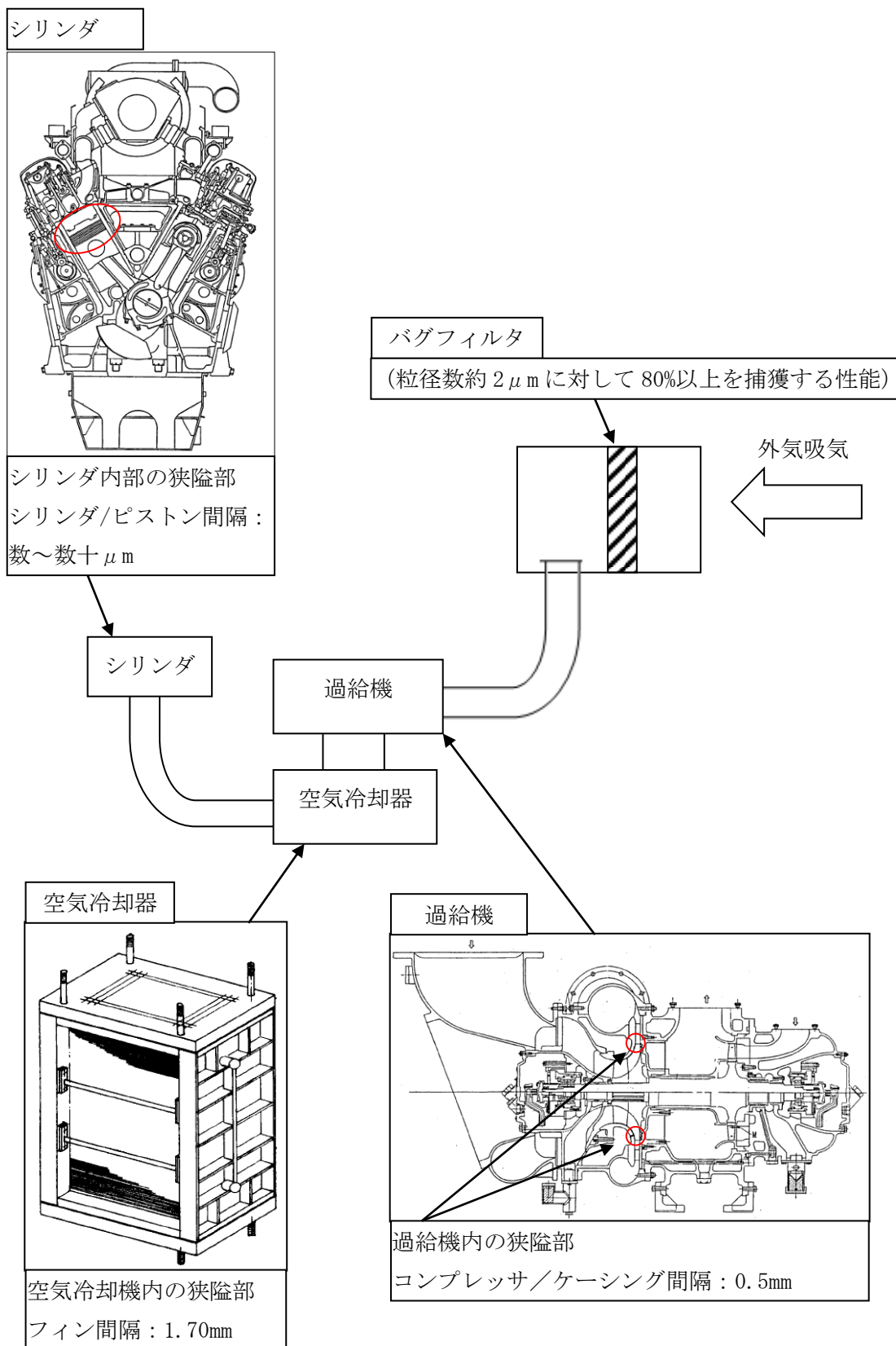
2.4.2 評価結果

ばい煙等による評価対象施設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する。

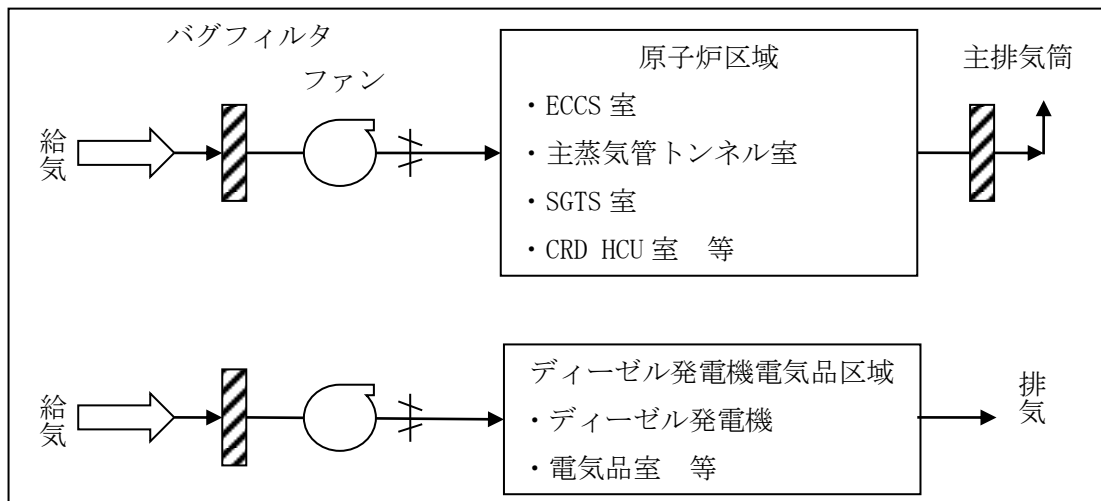
第2.4.2-1表 評価対象施設に対する影響評価結果

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系は、外気取入口にはバグフィルタ（粒径約2μmに対して80%以上を捕獲する性能）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換気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等の侵入を阻止することが可能である。 (第2.4.2-5(a)(b)図，第2.4.2-2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。

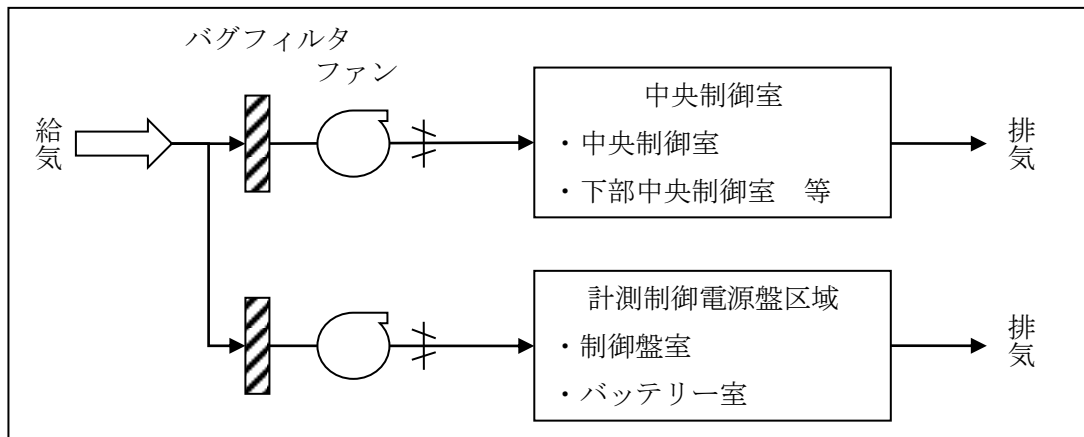
※：30分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値



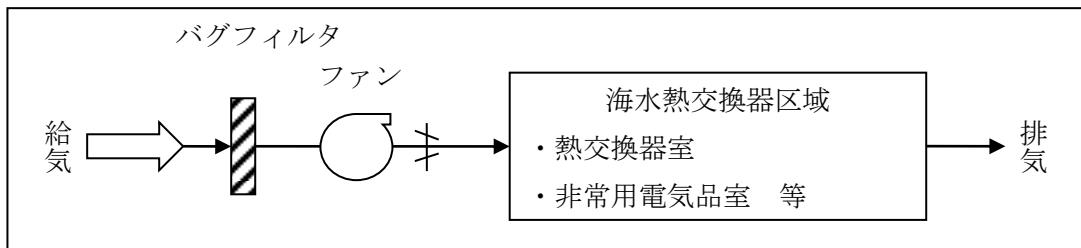
第 2.4.2-1 図 非常用ディーゼル発電機関



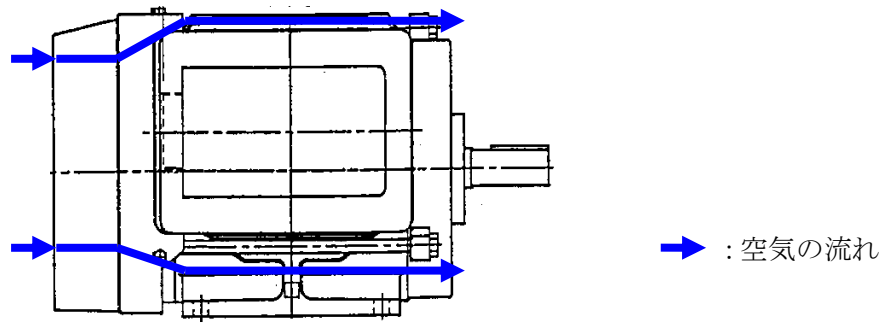
第 2.4.2-2(a) 図 原子炉建屋換気空調系



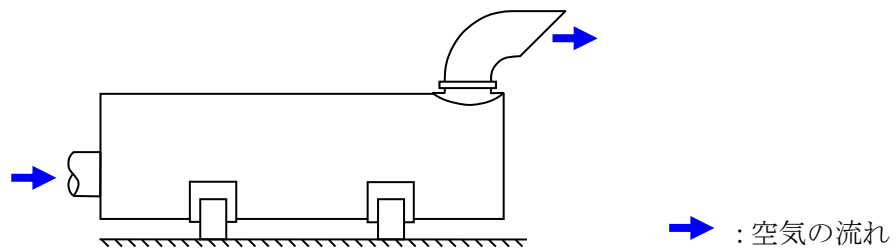
第 2.4.2-2(b) 図 コントロール建屋換気空調系



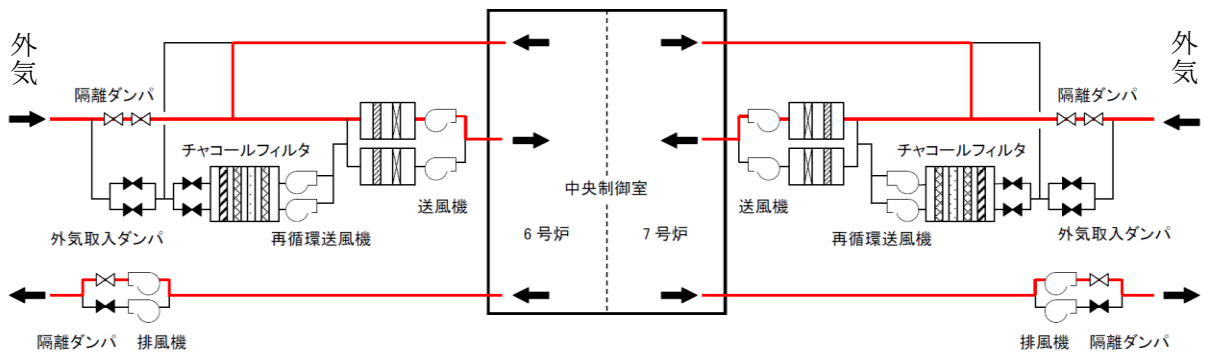
第 2.4.2-2(c) 図 タービン建屋換気空調系



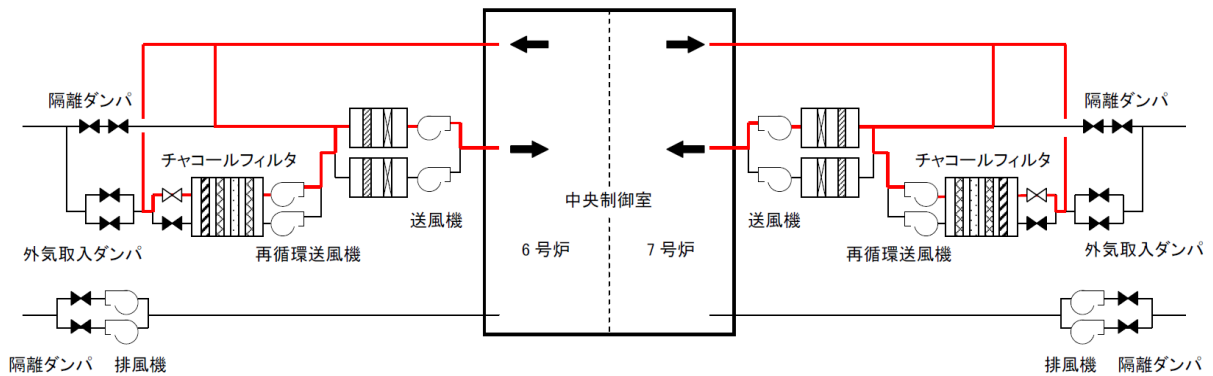
第 2.4.2-3 図 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ電動機外形図



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 2.4.2-2 表 外気遮断時の中央制御室の酸素・二酸化炭素濃度

時間	6 時間	12 時間	24 時間	許容濃度
二酸化炭素濃度 [%]	0.07	0.11	0.18	0.5
酸素濃度 [%]	20.8	20.8	20.7	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、発電用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、発電用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安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。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) 外部事象防護対象施設

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

その上で、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、ばい煙等による影響評価を実施する。（第4-2表）

(2) その他の安全施設

その他の安全施設は、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（主排気筒）については、個別に熱影響評価を実施

する。(第 4-3 表)

なお、防火帯による防護ができない設備は、送電線、通信線、モニタリングポスト及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、無線連絡設備、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る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。(第 4-4 表)

防火帯による防護ができない設備として、モニタリングポスト、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。

なお、外部火災に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条(重大事故等対処設備)にて考慮する。

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価について

外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、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 3-1 図)に基づき抽出する施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する建屋により防護するとし、評価対象施設として抽出された建屋側面のコンクリート壁の温度評価を実施し、建屋内の外部事象防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。また、屋外の評価対象施設については、各機器について熱影響評価を実施する。(第 3-1 表)

(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響を受ける評価対象施設については、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 3-2 図)に基づき、ばい煙等による影響評価の評価対象施設を抽出し、評価を実施する。

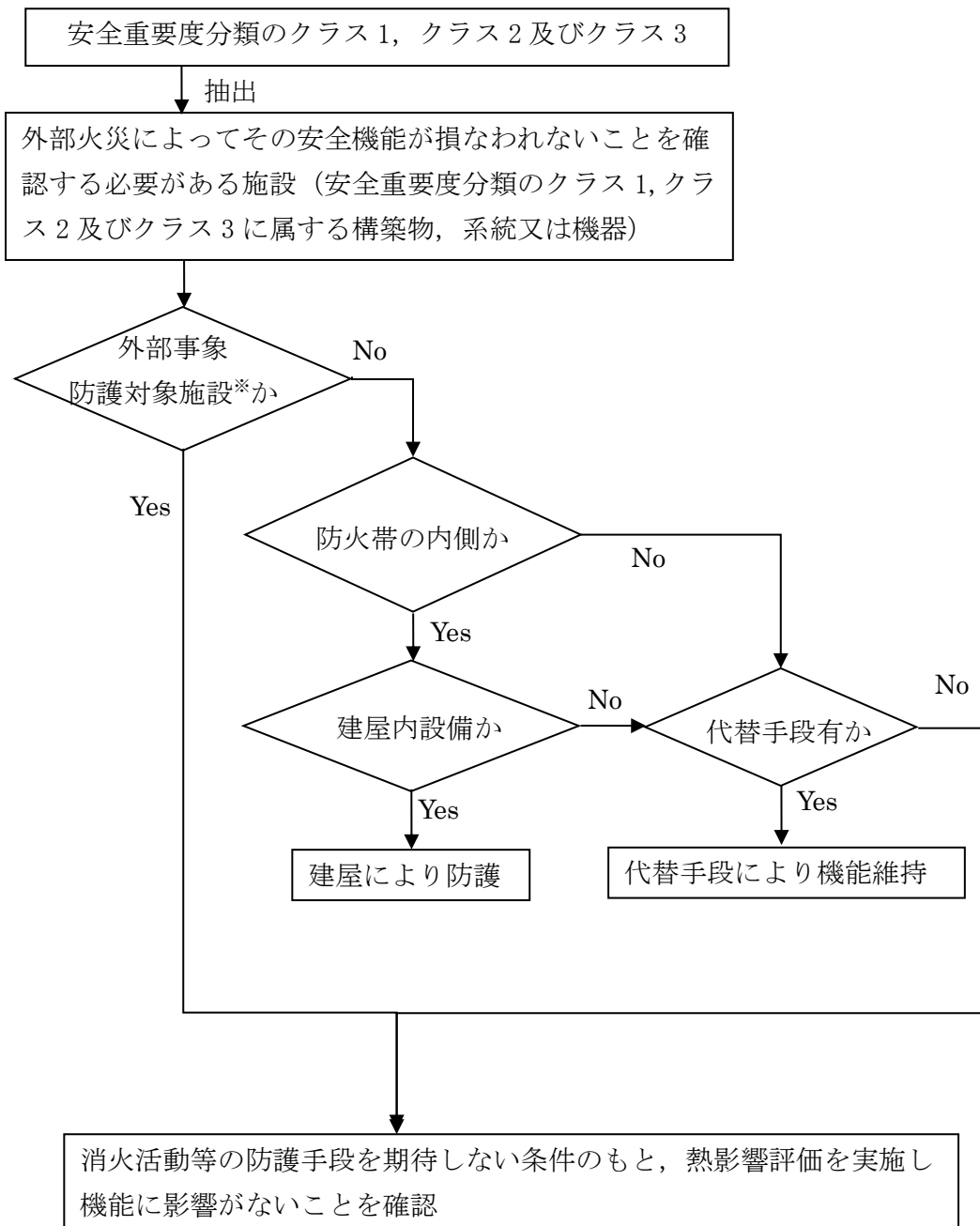
- a. 屋外設備で外気を内部に取り込む設備(対象なし)
- b. 屋外設備で開口部のある設備

- ・ 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する。

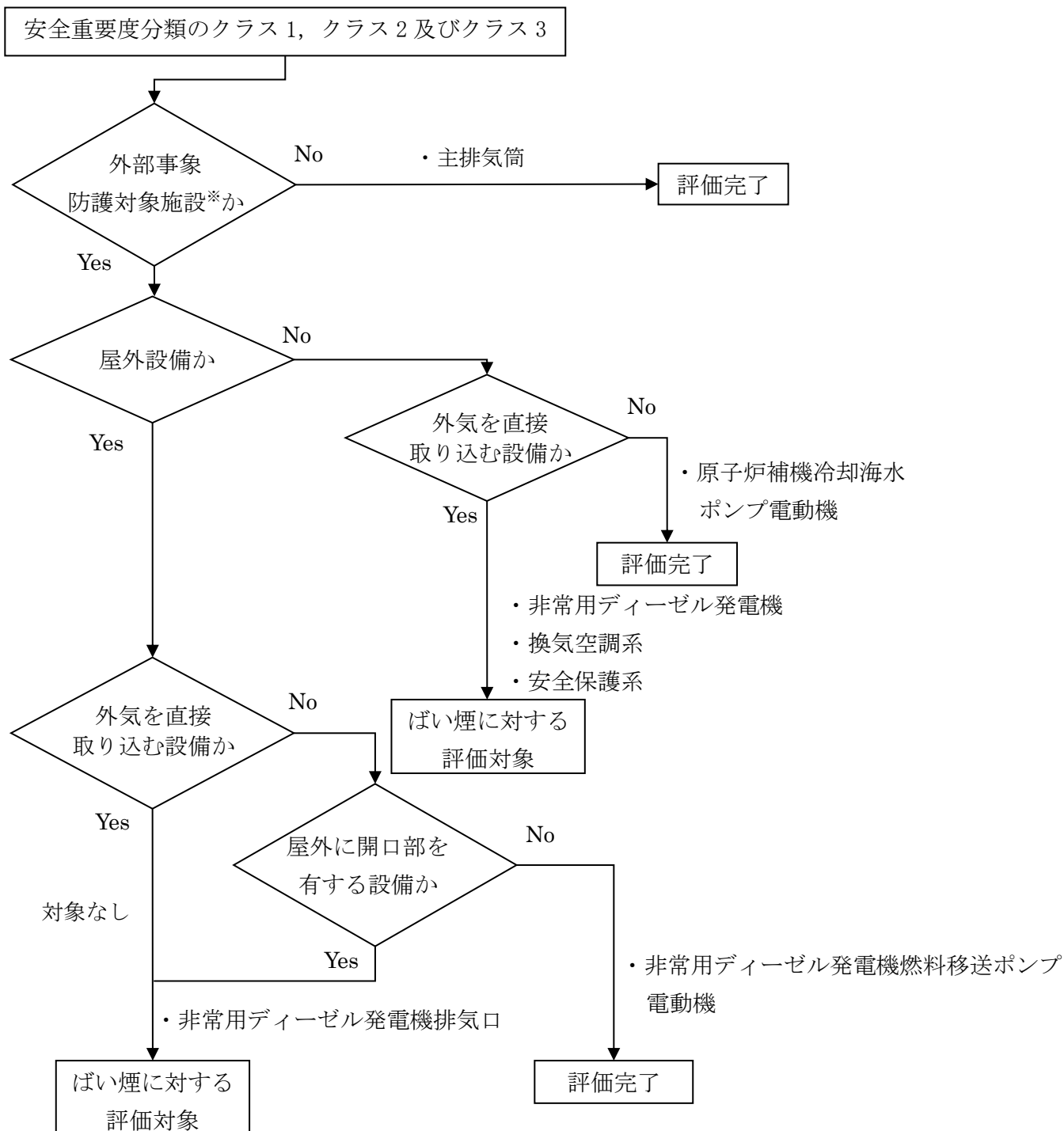
3. 重大事故等対処設備に対する考慮

第3-6図の外部火災に対する重大事故等対処設備への評価フローに基づき，外部火災に対し，必要な安全機能を維持できることを確認する。



※：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器又はそれを内包する建屋

第 3-1 図 熱影響評価を実施する施設の選定フロー図



※：外部事象に対し必要な構築物，系統及び機器又はそれを内包する建屋

第 3-2 図 ばい煙に対する影響評価を実施する施設の選定フロー図

第 3-1 表 防護対象及び防護方法

防護対象		防護方法	評価対象施設等 ^{※1}
外部事象防護対象施設	外部事象に対し必要な構築物、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 ^{※2} 廃棄物処理建屋 ^{※3}
	外部事象に対し必要な構築物、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
その他の安全施設		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。	主排気筒 ^{※4} 固体廃棄物処理建屋 開閉所 モニタリングポストほか
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ほか

※1：破線内は評価対象施設である。

※2：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 3-3 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及び航空機墜落による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。

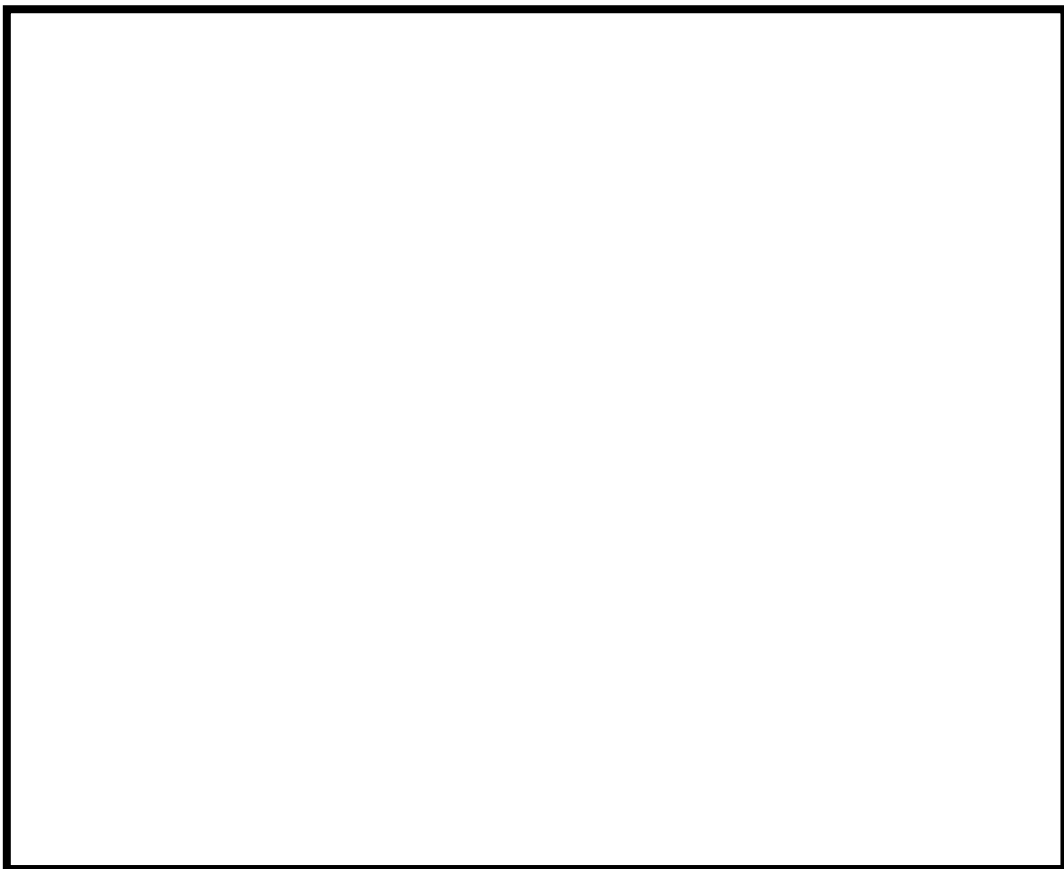
※3：廃棄物処理建屋には復水貯蔵槽がある。復水貯蔵槽の配置は第 3-4 図に示すとおり，復水貯蔵槽は地下階から1階にかけて設置されているが，屋外から2枚以上の壁を隔てた位置に設置されていることから，復水貯蔵槽への外部火災の影響はないが，直接輻射熱が届く航空機墜落による火災について熱影響評価を実施する。

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

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません



第 3-3 図 6 号及び 7 号炉の建屋配置

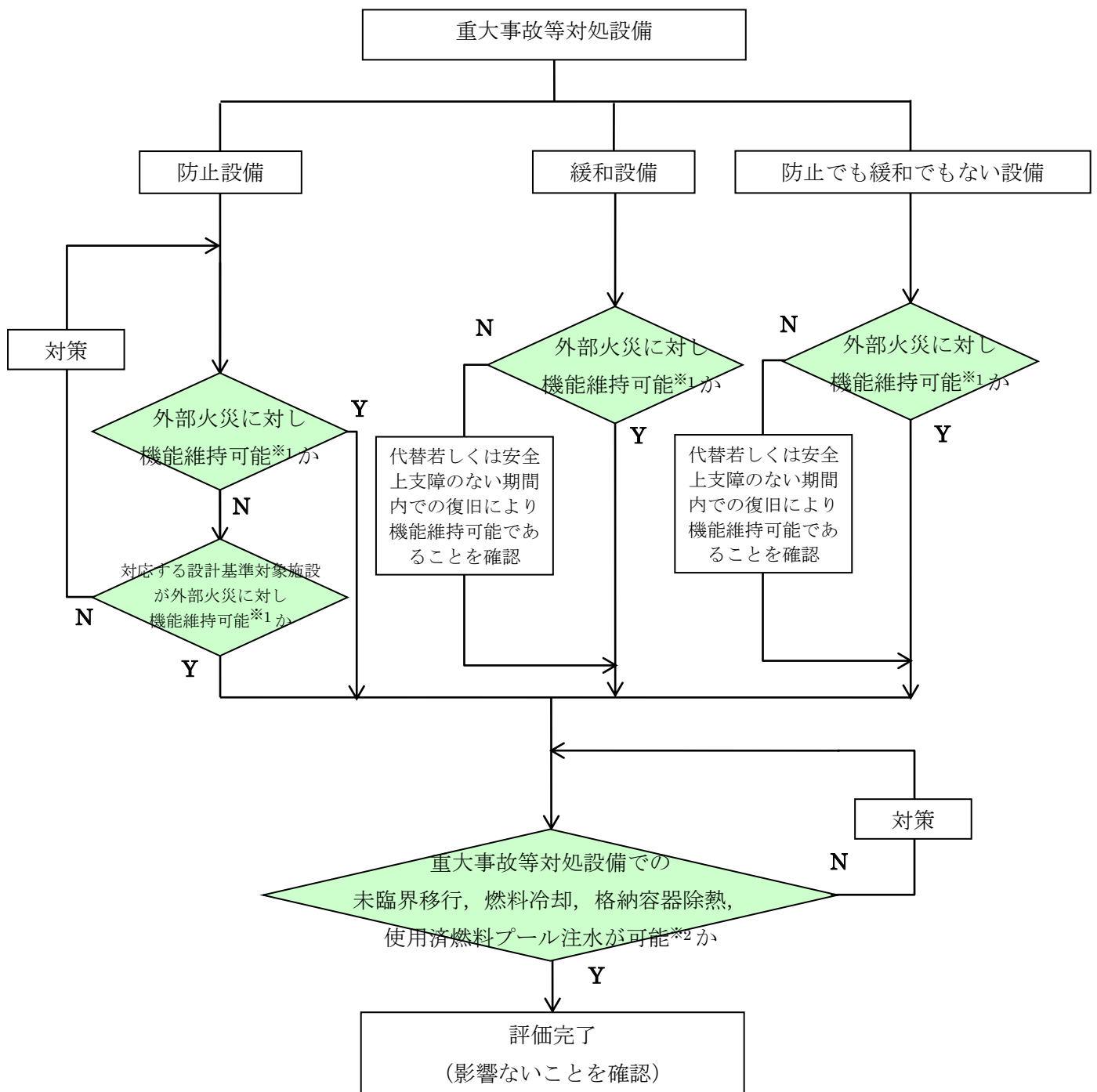


第 3-4 図 廃棄物処理建屋復水貯蔵槽の位置

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません

6条-別添4(外火)-1-添付1-9

第3-5図 発電所構内全体



- ※1： ばい煙を取り込まない、若しくは取り込んでも機能維持可能なことを確認している。
- ※2： 外部火災により重大事故等対処設備と設計基準対象施設が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

第3-6図 外部火災に対する重大事故等対処施設への評価フロー

4. 設備を防護する建屋の離隔距離

外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備を内包する各建屋について、防火帯外縁からの離隔距離を下表に示す。

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21m）以上あることから、外部事象防護対象施設及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. 危険距離及び温度評価 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処理建屋（壁厚：0.4m）については内気の温度評価を実施する。

第4-1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 439m
7号炉 原子炉建屋	約 540m
6号炉 タービン建屋	約 434m
7号炉 タービン建屋	約 568m
コントロール建屋	約 504m
廃棄物処理建屋	約 532m
補助ボイラ建屋	約 264m
水処理建屋	約 195m
給水建屋	約 401m
固体廃棄物貯蔵庫	約 147m
固体廃棄物処理建屋	約 105m
5号炉 原子炉建屋	約 297m
使用済燃料輸送容器保管建屋	約 650m
焼却炉建屋	約 234m

※：防火帯外縁から建屋までの最短距離

第 4-2 表 外部事象防護対象施設 (1/3)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※2	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 (制御棒による系, 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 (原子炉停止時冷却モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心注水系, 逃がし安全弁 (手動逃がし機能), 自動減圧系 (手動逃がし機能)), サ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 (低圧注水モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心注水系, 自動減圧系 (逃がし安全弁)), サ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, 放射線の遮蔽及び放出低減機能	原子炉格納容器, 原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管, 主蒸気流量制限器, 残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード)	R/B	熱影響評価
		原子炉建屋原子炉区域 (ブローアウトパネル付き)	屋外 (建屋)	熱影響評価

※1：間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2：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

第 4-2 表 外部事象防護対象施設 (2/3)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※2	影響評価
MS-1	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	R/B, C/B	熱影響評価
	安全上特に重要な関連機能	非常用交流電源系 (発電機から非常用負荷までの配電設備及び電炉)	R/B C/B, T/B	熱影響評価
		非常用ディーゼル発電機 (屋内設備)	R/B	熱影響評価
		非常用ディーゼル発電機 (屋外設備: 消音器)	屋外	ばい煙・有毒ガスによる影響評価
		軽油タンク	屋外	熱影響評価
		非常用ディーゼル発電機燃料移送系	屋外	熱影響評価
		中央制御室及び遮蔽・中央制御室換気空調系	C/B	熱影響評価 ばい煙・有毒ガスによる影響評価
		原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	R/B T/B, C/B	熱影響評価
非常用直流電源系・計測制御用電源設備	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	R/B	熱影響評価
		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

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

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

第 4-2 表 外部事象防護対象施設 (3/3)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※2	影響評価
MS-2	安全上特に重要な関連機能の間接関連系	非常用所内電源系空調	R/B C/B, T/B	熱影響評価
	使用済燃料プール水の補給機能	残留熱除去系 (使用済燃料プール水の補給), サプレッションプール	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
		原子炉建屋原子炉区域 (ブローアウトパネル付き)	屋外 (建屋)	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等)	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

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

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

第 4-3 表 その他の安全施設 (1/5)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※4	防護
MS-1	放射性物質の閉じ込め機能, 放射線の遮蔽及び放出低減機能	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※2
		主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)	屋外	防火帯による防護 熱影響評価※3
		遮蔽設備 (原子炉遮蔽壁, 一時遮蔽壁)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		遮蔽設備 (二次遮蔽壁)	屋外 (建屋)	防火帯による防護 熱影響評価※3
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※2
		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※2
	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, 原子炉ウェル	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
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 (OG 系) 隔離弁	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		主排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分)	屋外	防火帯による防護 熱影響評価※3
		非常用ガス処理系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※3: 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

※4: 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

第 4-3 表 その他の安全施設 (2/5)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※3	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※2
	原子炉冷却材の循環機能	冷却材再循環系	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	放射性物質の貯蔵機能	圧力制御室プール水排水系 (圧力制御室プール水サージタンク)	屋外	防火帯による防護 遮蔽壁による防護
		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※2
		固体廃棄物貯蔵庫	屋外 (建屋)	防火帯による防護
		固体廃棄物処理建屋	屋外 (建屋)	建屋による防護※2
		焼却炉建屋	屋外 (建屋)	防火帯による防護 建屋による防護※2
		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※2
		使用済燃料輸送容器保管建屋	屋外 (建屋)	防火帯による防護 建屋による防護※2
	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 (復水器を含む), 給水系, 循環水系	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2 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	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

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-3 表 その他の安全施設 (3/5)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※3	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(制御棒価値ミニマイザ含む), 原子炉核計装の一部, 原子炉プラントプロセス計装	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	プラント運転補助機能	所内ボイラ設備	補助ボイラ建屋	防火帯による防護 建屋による防護※2
		所内蒸気系及び戻り系	R/B T/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		計装用圧縮空気系	R/B T/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		原子炉補機冷却水系(MS-1) 関連以外(配管/弁)	R/B T/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		タービン補機冷却水系・タービン補機冷却海水系	T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	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※2
	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※2
復水浄化系		T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2	

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-3 表 その他の安全施設 (4/5)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※3	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※2
		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※2
	出力上昇の抑制機能	冷却材再循環系流量制御系 (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※2
	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※2
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	冷却材再循環ポンプ MG セット	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した。(評価対象施設に関する物のみ記載)

※2: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-3 表 その他の安全施設 (5/5)

分類	機能	構築物, 系統又は機器※1	場所※3	防護		
MS-3	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所	R/B (5号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※2 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※2	
		通信連絡設備	所外通信	有線系	各建屋 (地下設備含む)	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
					送電鉄塔	
		通信連絡設備	所内通信	有線系	各建屋 (地下設備含む)	防火帯による防護, 建屋による防護※2 屋外設備は防火帯による防護とともに代替設備及び復旧 (PHS 基地局) により機能維持
					屋外設備	
		放射線監視設備	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
			放射能観測車		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)	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, T/B, C/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
					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
		津波監視カメラ			7号炉 R/B 主排気塔	—
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※2		
			ろ過水タンク (屋外配管含む)	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, 非常用照明			各建屋内	防火帯による防護, 建屋による防護※2		

※1：間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した。（評価対象施設に関する物のみ記載）

※2：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (1/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
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)	ホイールローダ	防止でも緩和でもない設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
第 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)	ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	制御棒, 制御棒駆動機構 (水圧駆動), 制御棒駆動系水圧制御ユニット	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	ATWS 緩和設備 (代替冷却材再循環ポンプ・トリップ機能)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	ほう酸水注入系	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	自動減圧系の起動阻止スイッチ	→46 条に記載		—
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)	高圧代替注水系	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	原子炉隔離時冷却系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	高圧炉心注水系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	復水貯蔵槽, サプレッション・チェンバ	→56 条に記載		—
	ほう酸水注入系	→44 条に記載		—

※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 4-1 表に記載

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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (2/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	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)	逃がし安全弁 (逃がし弁機能用及び自動減圧機能用アキュムレータ含む)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	代替自動減圧機能	防止設備	R/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	自動減圧系の起動阻止スイッチ	防止設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	可搬型直流電源設備	→57 条に記載		—
	AM 用切替装置 (SRV)	防止設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	高圧窒素ガスポンペ (供給系配管含む)	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	高圧炉心注水系注入隔離弁	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
原子炉建屋ブローアウトパネル	防止設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護	

※1 : 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※2 : 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (3/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	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)	低圧代替注水系 (常設) [復水移送ポンプ]	防止設備・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2	
	復水貯蔵槽	→56 条に記載		—	
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価	
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—	
	低圧代替注水系 (可搬型) (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価	
	低圧注水	残留熱除去系ポンプ	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		残留熱除去系配管, 弁等	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		サプレッション・チェンバ	→56 条に記載		—
	原子炉補機冷却	原子炉補機冷却系ポンプ	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		原子炉補機冷却系配管, 弁等	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	原子炉補機冷却系	→48 条に記載		—	
非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路]	→その他の設備に記載		—		

※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 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (4/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
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 (可搬型) [熱交換器ユニット, 大容量送水車 (熱交換器ユニット用) 等]	防止設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備	屋外 T/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	耐圧強化ベント系 (W/W 及び D/W) [ポンペ, 配管, 弁等]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	格納容器圧力逃がし装置 [フィルタベント]	→50 条に記載 (うち, 防止設備)		—
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	→56 条に記載		—
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—
	残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード)	→47 条に記載		—
	残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード, サプレッション・チェンバ・プール水冷却モード)	→49 条に記載		—
	原子炉補機冷却系	(設計基準対象施設)	R/B, T/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	→その他の設備に記載		—

※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 4-1 表に記載

※3 : 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (5/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	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 (常設) [復水移送ポンプ]	防止設備・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	復水貯蔵槽	→56 条に記載		—
	代替格納容器スプレイ冷却系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—
	代替格納容器スプレイ冷却系 (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード, サプレッション・チェンバ・プール水冷却モード)	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	サプレッション・チェンバ	→56 条に記載		—
	原子炉補機冷却系	→48 条に記載		—
	非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路]	→その他の設備に記載		—

※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 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (6/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護	
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	フィルタ装置, よう素フィルタ, フィルタベント遮蔽壁, 配管等	防止設備・緩和設備	R/B・屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		ラプチャーディスク	緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		ドレン移送ポンプ, ドレンタンク	防止設備・緩和設備	屋内・屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		遠隔手動弁操作設備・遠隔空気駆動弁作用ボンベ	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		スクラバ水 pH 制御設備	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
		可搬型窒素供給装置	→52 条に記載		—
		ホース, 接続口	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
		低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	→56 条に記載		—
		防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—

※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 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (7/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
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)	代替循環冷却	復水移送ポンプ	緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		残留熱除去系 (熱交換器等)	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		代替原子炉補機冷却系 (可搬型) [熱交換器ユニット, 大容量送水車 (熱交換器ユニット用) 等]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
		代替循環冷却系 (常設箇所) [配管, 弁等]	緩和設備	R/B, T/B, Rw/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
		サプレッション・チェンバ	→56 条に記載		—
		非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	→その他の設備に記載		—

※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 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (8/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
第 51 条 (原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備)	格納容器下部注水系 (常設) [復水移送ポンプ]	緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	コリウムシールド	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	復水貯蔵槽	→56 条に記載 (うち, 緩和設備)		—
	格納容器下部注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—
	格納容器下部注水系 (常設箇所) [配管, 弁等]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	格納容器下部注水系 (可搬型) (常設箇所) [接続口, 配管等]	緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	ほう酸水注入系	→44 条に記載		—
	高圧代替注水系, ほう酸注入系	→45 条に記載		—
低圧代替注水系 (常設), (可搬型)	→47 条に記載		—	

※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 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (9/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
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)	不活性ガス系	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	格納容器圧力逃がし装置	→50 条に記載		—
	格納容器圧力逃がし装置[フィルタ装置出口放射線モニタ, フィルタ装置水素濃度系]	→58 条に記載		—
	納容器圧力逃がし装置[ホース, 接続口]	→50 条に記載		—
	低圧代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	→56 条に記載		—
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—
	可搬型窒素供給装置	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	サプレッション・チェンバ	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	耐圧強化ベント系 (W/W)	→48 条に記載		—
	耐圧強化ベント系 [耐圧強化ベント系放射線モニタ, フィルタ装置水素濃度計]	→58 条に記載		—
水素濃度及び酸素濃度の監視 [格納容器内水素濃度 (SA), 格納容器内水素濃度, 格納容器内酸素濃度]	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2	

※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 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (10/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	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)	静的触媒式水素再結合器, 静的触媒式水素再結合器動作監視装置	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	原子炉建屋水素濃度計	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	原子炉建屋原子炉区域	→その他の設備に記載		—

※1：各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※2：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (11/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	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)	燃料プール代替注水系 (可搬型) [可搬型代替注水ポンプ (A-1), 可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料プール代替注水系 (可搬型) (常設箇所) [接続口, 配管等]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料プール代替注水系 (常設箇所) [常設スプレイヘッド, 配管, 弁等]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	可搬型スプレイヘッド	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	防火水槽, 淡水貯水池	→56 条に記載		—
	原子炉建屋放水設備 [大容量送水車 (原子炉建屋放水設備用), 放水砲]	→55 条に記載		—
	使用済燃料貯蔵プールの水位・温度 (SA・SA 広域)	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ・低レンジ)	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ (使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置を含む)	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	燃料プール冷却浄化系	防止設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	代替原子炉補機冷却系 (可搬型) [熱交換器ユニット, 大容量送水車 (熱交換器ユニット用) 等]	防止設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替原子炉補機冷却系 (常設箇所) [接続口, 配管等]	→48 条に記載		—
非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	→その他の設備に記載		—	

※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 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (12/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 2	影響評価及び防護
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)	原子炉建屋放水設備 [大容量送水車 (原子炉建屋放水設備用), 放水砲等]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋拡散抑制設備 [放射性物質吸着材]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋拡散抑制設備 [汚濁防止膜]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	海洋拡散抑制設備 [小型船舶 (汚濁防止膜設置用)]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	航空機燃料火災への泡消火 [泡原液搬送車, 泡原液混合装置]	緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価

※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 : 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (13/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
第 56 条 (重大事故等の収束に必要な水の供給設備)	復水貯蔵槽	防止設備・緩和設備	Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	サプレッション・チェンバ	緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	ほう酸水注入系貯蔵タンク	→44 条に記載		—
	防火水槽	— (代替淡水源)	屋外(地下埋設)	—
	淡水貯水池	— (代替淡水源)	屋外	—
	大容量送水車 (海水取水用)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	→その他の設備に記載		—

※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 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (14/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	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 [第一ガスタービン発電機一式]	防止設備・緩和設備	屋外 T/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	常設代替交流電源設備 [ダンクローリ (16kL)]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替交流電源設備 [電源車]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	可搬型代替交流電源設備 (常設箇所) [電源車接続箇所]	防止設備・緩和設備	屋外 R/B 廻り	防火帯による防護 熱影響評価
	号炉間電力融通ケーブル (常設)	防止設備・緩和設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	号炉間電力融通ケーブル (可搬型)	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	所内蓄電式直流電源設備 [AM 用直流 125V 蓄電池・充電器, 直流 125V 蓄電池・充電器 A, A-2, B]	防止設備・緩和設備	R/B C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	常設代替直流電源設備 [AM 用直流 125V 蓄電池, 充電器]	防止設備・緩和設備	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 [電源車]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	代替所内電源設備 [緊急用断路器]	防止設備・緩和設備	屋外 T/B 廻り	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 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (15/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
第 57 条 (電源設備)	代替所内電源設備 [緊急用電源切替箱断路器, 緊急用電源切替箱接続装置, AM 用動力変圧器, MCC 等]	防止設備・緩和設備	R/B, C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	代替所内電源設備 [非常用高圧母線 C・D 系]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	非常用交流電源設備 [非常用ディーゼル発電機, 燃料ディタンク]	(設計基準対象施設)	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	非常用交流電源設備 [燃料移送ポンプ, 配管等]	(設計基準対象施設)	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
	非常用直流電源設備 [直流 125V 蓄電池・充電器 B, C, D 等]	(設計基準対象施設)	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※2
	燃料補給設備 [軽油タンク]	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
	燃料補給設備 [タンクローリ (4kL) 等]	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備保管場所	防火帯による防護 熱影響評価

※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 4-1 表に記載

※3：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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (16/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
第 58 条 (計装設備)	重大事故等時の計装 (SA 時計装一式) [原子炉圧力容器の温度・圧力・水位] [原子炉圧力容器・原子炉格納容器への注水量] [原子炉格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・酸素濃度・放射線量率] [未臨界の維持又は監視] [最終ヒートシンクの確保 (代替循環冷却系・格納容器圧力逃がし装置・耐圧強化ベント系・残留熱除去系)] [格納容器バイパス監視] [水源の確保] [原子炉建屋内水素濃度] [使用済燃料プールの監視] [発電所内の通信連絡] [可搬型計測器]	防止設備・緩和設備・防止でも緩和でもない設備・(設計基準対象施設)	C/B R/B Rw/B R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	重大事故等発生時の計装[最終ヒートシンクによる冷却状態の確認 (格納容器圧力逃がし装置)]	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
第 59 条 (運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)	中央制御室及び遮蔽	防止設備・緩和設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	中央制御室可搬型陽圧化空調機	防止設備・緩和設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	中央制御室待避室及び遮蔽	緩和設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	中央制御室待避室陽圧化装置 (空気ポンプ)	緩和設備	C/B, Rw/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	無線連絡設備 (常設), 衛星電話設備 (常設)	→62 条に記載		—
	データ表示装置 (待避室), 差圧計, 酸素濃度・二酸化炭素濃度計	防止でも緩和でもない設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	可搬型蓄電池内蔵型照明	防止でも緩和でもない設備	C/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	非常用ガス処理系 (排風機, フィルタ装置等)	緩和設備	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 4-1 表に記載

※2: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (17/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※1, 3	影響評価及び防護
第 60 条 (監視 測定設備)	可搬型モニタリングポスト	防止でも緩和でもない 設備	可搬型 SA 設 備保管場所 R/B (5 号 炉)	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・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, 電離箱サーベイメータ, ZnS シンチレーションサーベイメータ]	防止でも緩和でもない 設備	R/B (5 号 炉)	防火帯による防護 建屋による防護※2
	可搬型気象観測装置	防止でも緩和でもない 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
	小型船舶 (海上モニタリング用)	防止でも緩和でもない 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
	モニタリング・ポスト用発電機	防止でも緩和でもない 設備	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 ストにより機能維持可能

※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 4-1 表に記載

※3: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (18/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
第 61 条 (緊急時対策所)	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 及び遮蔽並びに高気密室	防止設備・緩和設備	R/B (5 号炉) 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※1 熱影響評価
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 可搬型陽圧化空調機, 可搬型外気取入送風機	防止設備・緩和設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 陽圧化装置 (空気ポンペ)	緩和設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 二酸化炭素吸収装置	防止設備・緩和設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 可搬型エリアモニタ	緩和設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計, 差圧計 (対策本部)	防止でも緩和でもない設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所), 遮蔽及び室内遮蔽	防止設備・緩和設備	R/B (5 号炉) 屋外	防火帯による防護 建屋による防護※1 熱影響評価
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 可搬型陽圧化空調機	防止設備・緩和設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 陽圧化装置 (空気ポンペ)	緩和設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 可搬型エリアモニタ	緩和設備	R/B (5 号炉)	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 4-1 表に記載

※2 : 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (19/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
第 61 条 (緊急時対策所)	可搬型モニタリングポスト	→60 条に記載		—
	酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計, 差圧計 (待機場所)	防止でも緩和でもない設備	R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用可搬電源設備	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価
	安全パラメータ表示システム (SPDS)	→62 条に記載		—
	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備	防止設備・緩和設備	可搬型 SA 設備 保管場所	防火帯による防護 熱影響評価
	通信連絡設備	→62 条に記載		—
	5 号炉屋外緊急連絡用インターフォン	→62 条に記載		—
	軽油タンク, タンクローリ (4kL)	→57 条に記載		—

※1: 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※2: 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (20/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備		分類	場所※2	影響評価及び防護
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	防止設備・緩和設備	C/B, R/B (5 号炉)	防火帯による防護 建屋による防護※1
		無線連絡設備 (常設) (可搬型)	防止設備・緩和設備	C/B, R/B(5 号炉) (屋外設備含む)	防火帯による防護 建屋による防護※1 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系, 衛星系) により機能維持可能
		安全パラメータ表示システム (SPDS)	緩和設備	C/B, R/B (5 号炉) (屋外設備含む)	建屋内 (屋外設備については代替設備 (有線系) にて機能維持可能)
		5 号炉屋外緊急連絡用インターフォン	防止設備・緩和設備	R/B (5 号炉) (屋外設備含む)	防火帯による防護 建屋による防護※1 熱影響評価
	所内外通信	衛星電話設備 (常設) (可搬型), 無線連絡設備 (所内通信)	防止設備・緩和設備	C/B, R/B(5 号炉) (屋外設備含む)	防火帯による防護 建屋による防護※1 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系, 無線系, 衛星系) により機能維持可能
		有線連絡設備	防止でも緩和でもない設備	C/B, R/B(5 号炉), (屋内設備含む)	防火帯による防護 建屋による防護※1
	所外通信	統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	防止でも緩和でもない設備	R/B(5 号炉) (屋外設備含む)	防火帯による防護 建屋による防護※1 建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備 (有線系, 衛星系) により機能維持可能

※1 : 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※2 : 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

第 4-4 表 重大事故等対処設備 (21/21)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	場所※2	影響評価及び防護
その他の設備	重大事故等時に対処するための流路, 注水先又は注入先 [原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 使用済燃料プール, 原子炉建屋原子炉区域]	防止設備・緩和設備	R/B	防火帯による防護 建屋による防護※1
	非常用取水設備 [海水貯留堰, 取水路等]	防止設備・緩和設備	屋外	防火帯による防護 熱影響評価

※1 : 各建屋の防火帯外縁からの離隔距離を第 4-1 表に記載

※2 : 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

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、森林火災が柏崎刈羽原子力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評価するものである。2章にて火災の到達時間及び防火帯幅の評価、3章にて危険距離及び温度評価を実施する。

2. 火災の到達時間及び防火帯幅の評価

2.1 森林火災の想定

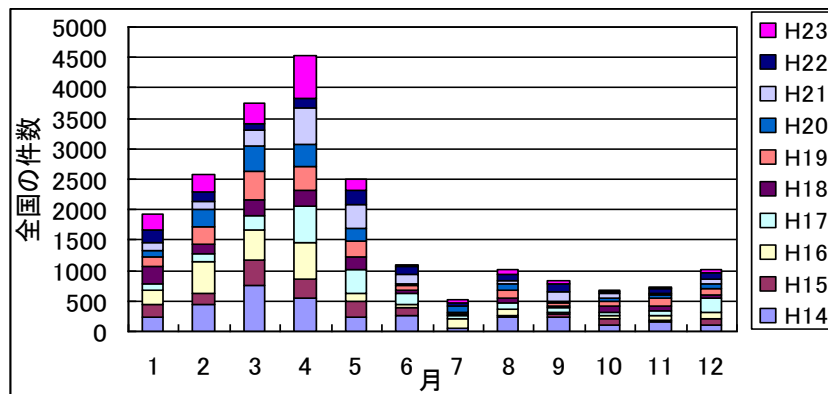
森林火災の想定は以下のとおりである。

- ・ 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する。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する。
- ・ 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月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組み合わせとする(第2.1-1図)。
- ・ 風向は最大風速観測時の風向及び卓越方向とし、柏崎刈羽原子力発電所の風上に発火点を設定する。気象条件を第2.1-1表に示す。
- ・ 柏崎刈羽原子力発電所からの直線距離10kmの間で設定する。
- ・ 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。
- ・ 放水等による消火活動は期待しない。

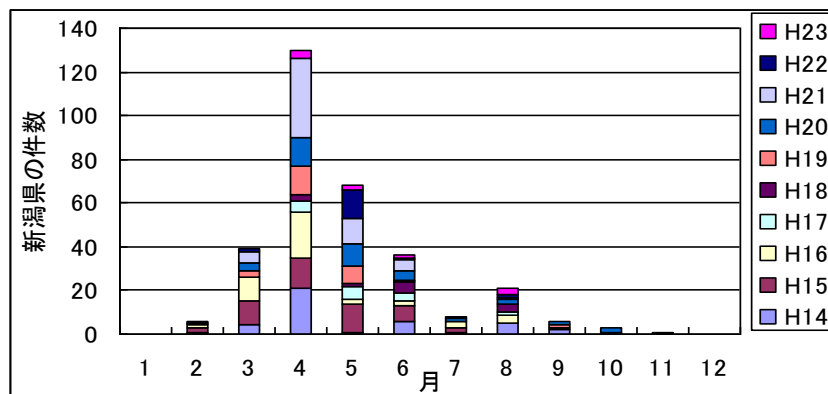
第2.1-1表 気象条件

	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

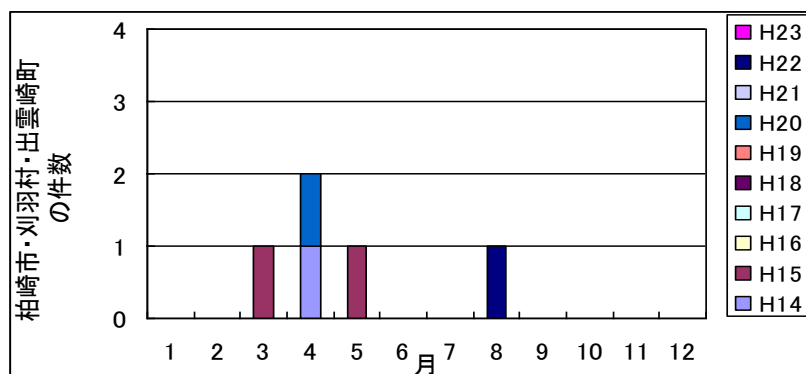
過去10年間の全国、新潟県及び柏崎市・刈羽村・出雲崎町における森林火災発生件数の調査を行い、3～5月にかけて森林火災の発生件数が多いことを確認した。



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

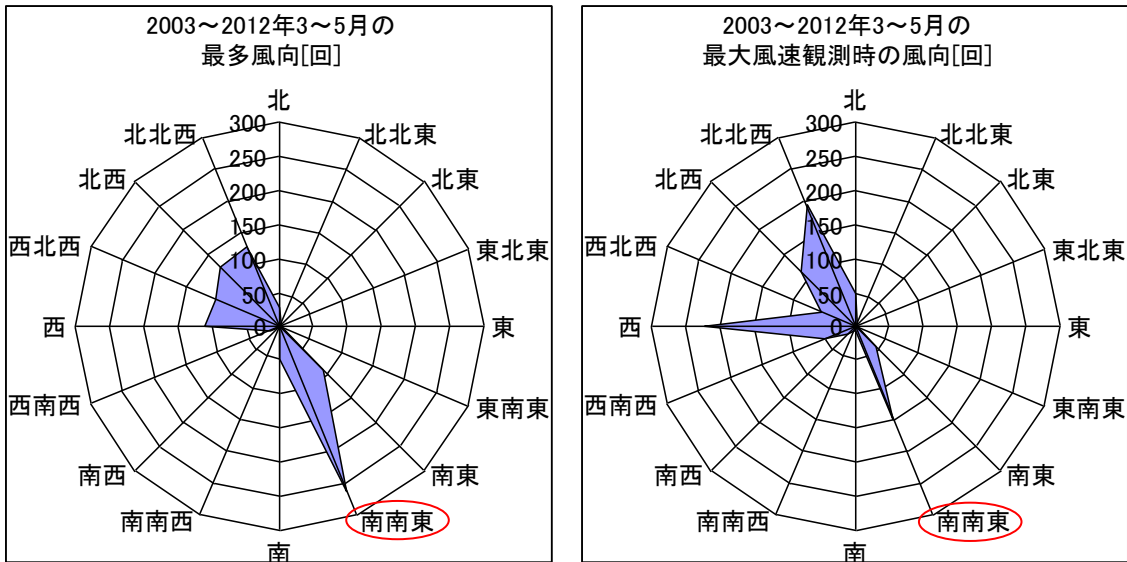
柏崎市：平成15～24年度版 消防年報（柏崎市）より作成

第2.1-1図 森林火災の多い月の調査

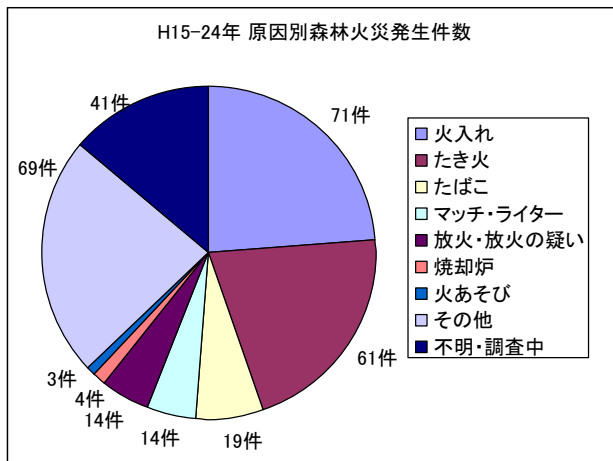
(1) 発火点の設定方針

- ・ 柏崎刈羽原子力発電所からの直線距離 10km の間に設定する。
- ・ 陸側方向（柏崎刈羽原子力発電所の西側が海）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 最多風向及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）

(2) 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・たき火等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 3.4km)

(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、及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 号線からの発火については、火災が到達する時間はケース 1 及びケース 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。

(3) 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柏崎刈羽原子力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ではない。柏崎刈羽原子力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。

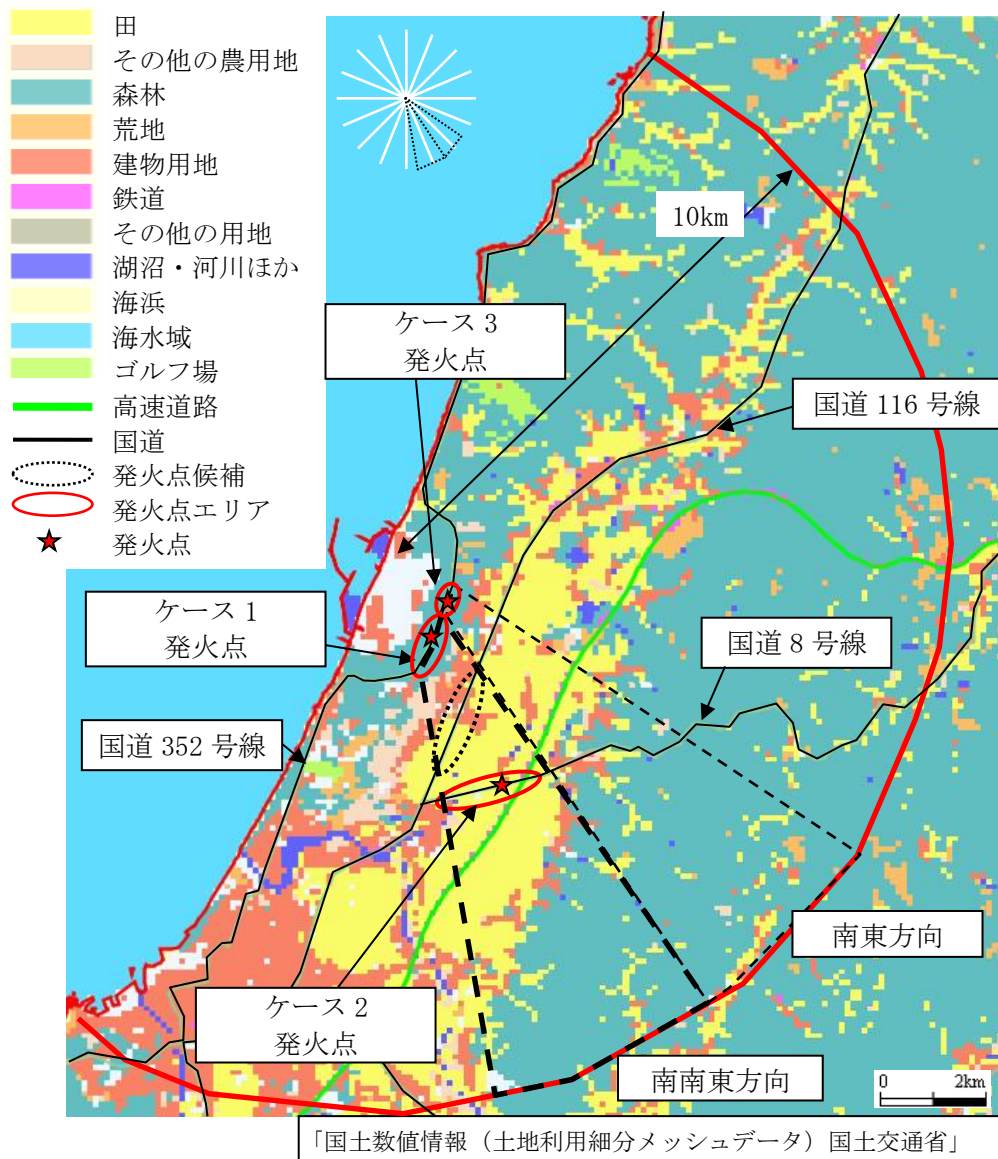
また、南東方向遠方については、以下の理由から評価対象外とした。

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。

(4) 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、柏崎刈羽原子力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。

第 2.2-1 表 評価指標と観点

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, どの程度の時間で柏崎刈羽原子力発電所に到達するのか 柏崎刈羽原子力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]	
反応強度[kW/m ²]	
火炎長[m]	
火炎輻射発散度[kW/m ²]	
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柏崎刈羽原子力発電所から南に 12km, 北に 15km, 東に 12km, 西に 9km とする。

(3) 必要データ

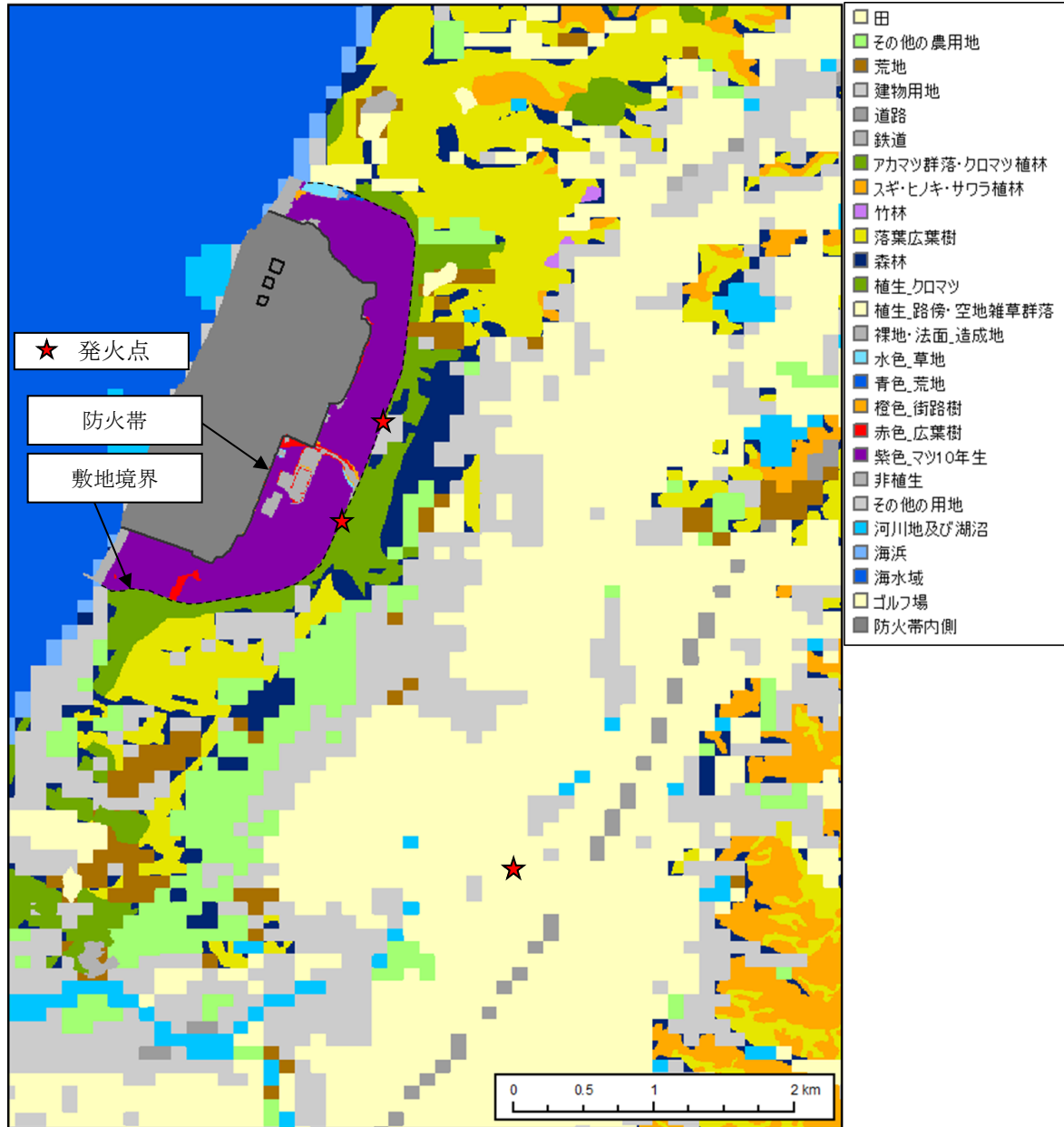
a. 入力条件

評価に必要なデータ以下のとおり設定し, 本評価を行った。

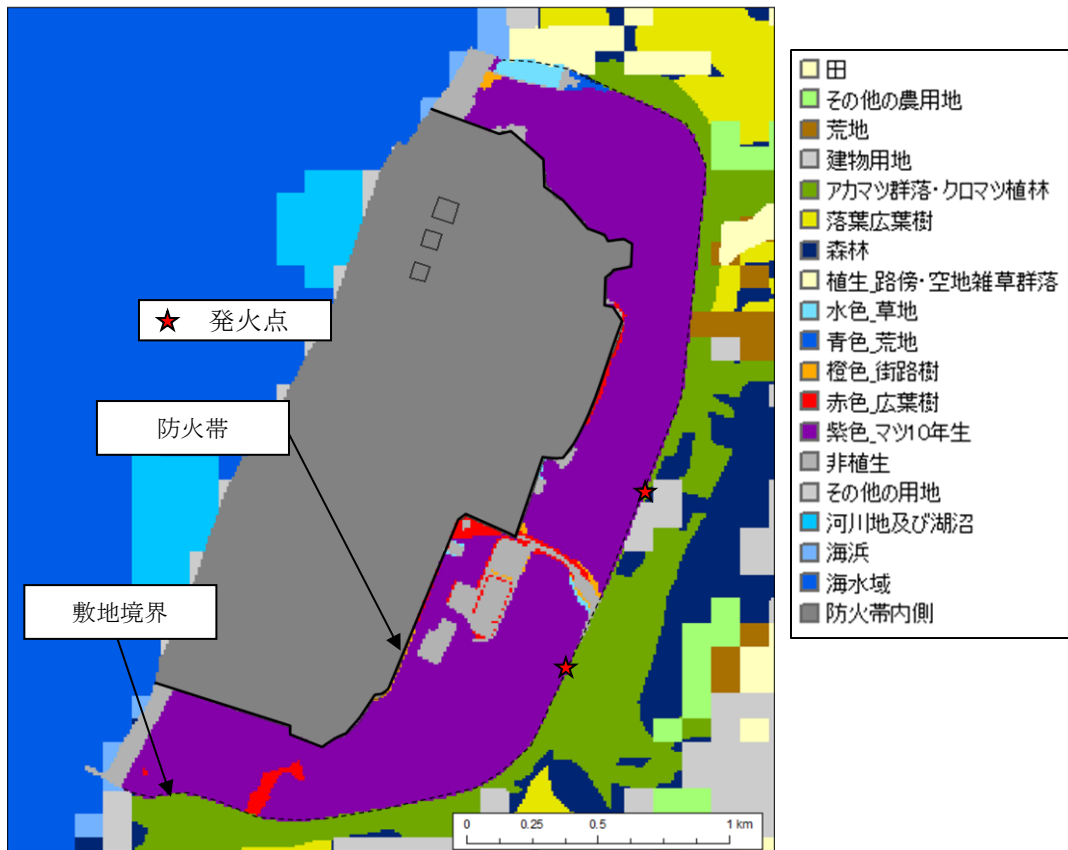
第 2.2-2 表 入力条件





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。 (第 2.2-1 図, 第 2.2-2 図) (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及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) (国土地理院基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ H20 年度)</p>

<p>気象データ</p>	<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2.2-3表)</p>
--------------	---

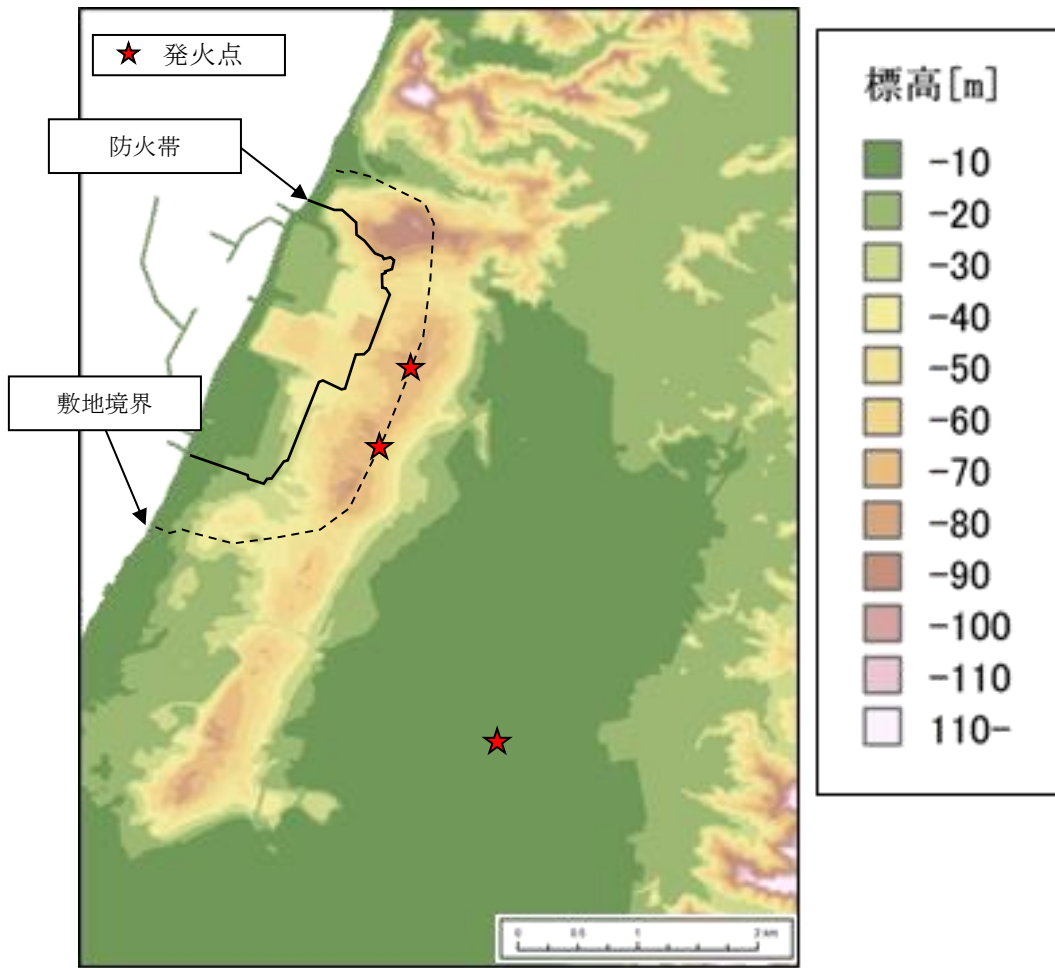


第2.2-1図 土地利用・植生データ (広域)



植生サンプル			
<p>落葉広葉樹</p> <p>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</p> <p>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>中低木</p> <p>林床可燃物の多い「Dormant brush, hardwood slash」とする。</p> 	<p>荒地</p> <p>雑草の繁殖を考慮し「Brush」とする。</p> 

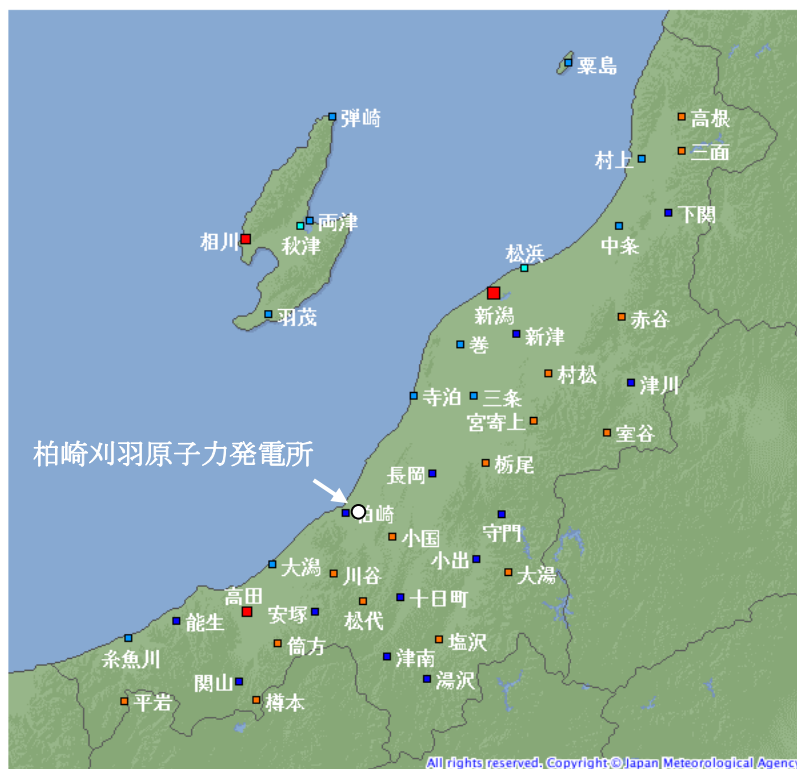
第 2.2-2 図 土地利用・植生データ（発電所周辺）



第 2.2-3 図 標高データ

b. 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2.2-3表)。この調査結果に基づきFARSITEの入力値は第2.2-4表のとおり設定した。風向、風速及び気温は柏崎刈羽原子力発電所付近の柏崎市の地域気象観測システム(アメダス)(以下「地域気象観測所」という。)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」は柏崎刈羽原子力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、最も柏崎刈羽原子力発電所の気象に近いと考えられる「新潟地方気象台」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 2.2-3 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) [°C]	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

青で塗りつぶした箇所が、卓越風向，最大風速，最高気温，最小湿度

c. FARSITE 入出力データ

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及び入力条件を設定する。

第 2.2-4 表 FARSITE 入力データ

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) 135 (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 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うち、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ごとの植生場所を入力
	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）

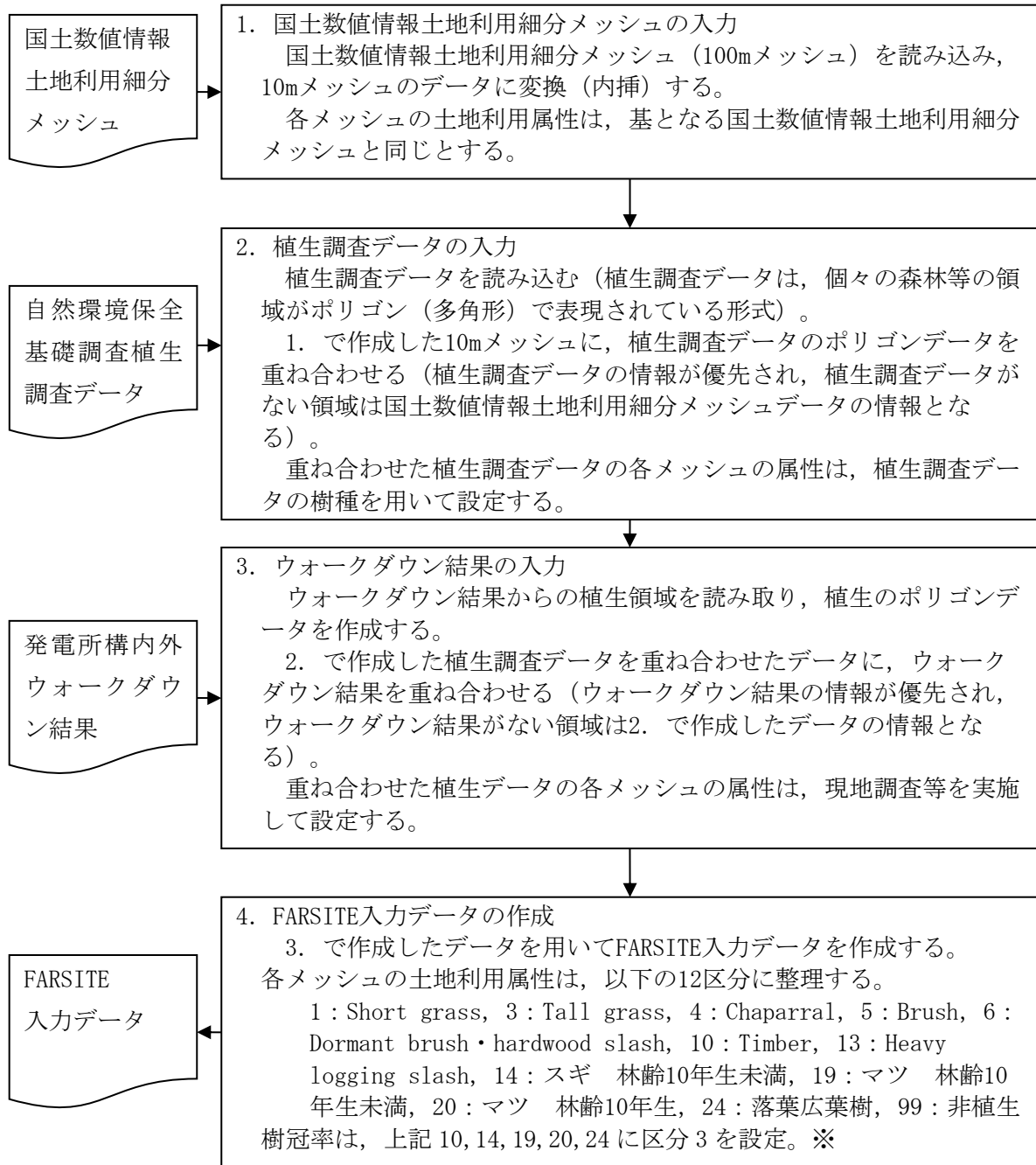
時刻 データ	発火時刻	—	日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、延焼速度・火線強度が増大することから、これを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定
-----------	------	---	---

※：1～99の数字は、FARSITEの植生番号に対応。

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

No. 14～24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）。

第 2.2-5 表 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。

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

No. 14~24 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)。

第 2.2-6 表 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ほか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	樹木等がな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

第 2.2-6 表 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等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				

第 2.2-6 表 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。
	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。
	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。

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。

第 2.2-7 表 算出結果

大項目	小項目	出力値の内容
FARSITE 出力	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 熱量[kJ/m ²]	単位面積当たりの放出熱量
	火線強度 [kW/m]	火炎最前線での単位幅当たりの発熱速度であり、 火炎輻射発散度の根拠となる火災規模 [防火帯幅の算出]
	反応強度 [kW/m ²]	単位面積当たりの発熱速度であり、火炎輻射強度 の根拠となる火災規模
	到着時刻 [h]	出火から火炎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	火炎輻射発散度 [kW/m ²]	火炎からの輻射強度 [円筒火炎表面の単位面積当たりの発熱速度に火炎 の輻射熱割合を乗じて算出]
	火炎輻射強度 [kW/m ²]	火炎からの輻射強度 [反応強度に火炎の輻射熱割合を乗じて算出]
	燃焼継続時間 [h]	温度評価に使用するFARSITE上メッシュにおける火 炎の燃焼継続時間 [円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出]
	火炎到達幅 [m]	6号及び7号炉東面から見える林縁（防火帯森林側） 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]

d. 自然環境保全基礎調査 植生調査データと森林簿との関係

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」の附属書A「森林火災の原子力発電所への影響評価について」において、植生データの整備に当たって、「森林簿の情報を用いて、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する」とされている。柏崎刈羽原子力発電所では、個人情報保護の観点から森林簿の入手が困難であったため、環境省自然環境保全基礎調査植生調査データ及び現地調査の結果を用い、森林簿を用いたものと同等の植生データを作成し、評価を実施した。第2.2-8表に、各資料の記載内容の比較と、FARSITE入力データの設定方針を示す。

樹種について、森林簿と同等の情報が利用可能な自然環境保全基礎調査植生データ及び現地調査結果に基づき設定し、自然環境保全基礎調査植生データに記載がない林齢は、水分量が多い生きた木質の可燃物量がより少なく燃焼しやすい、若く保守的な値に設定していることから、森林簿を用いた場合と同等かより保守的な森林火災影響評価結果が得られる。

第2.2-8表 植生データ作成に用いる資料の比較と設定方針

FARSITE 入力データ	森林簿 (ガイド 記載)	自然環境 保全調査	現地調査 (構内)	FARSITE 入力データ設定方針
場所	○	○	○	植生調査データ, 現地調査等で特定した樹種ごとの植生場所を入力
樹種	○	○	○	植生調査データ, 現地調査等で特定した樹種を入力
林齢	○	× (保守的に設定)	○	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区分を用いる 発電所構外については, 林齢の特定が困難であることから, 保守的に10年生未満を入力 発電所構内については, 現地調査の結果を踏まえ入力
樹冠率	×	× (保守的に設定)	× (保守的に設定)	樹冠率については, 植生調査からの特定が困難であることから, 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

○ : 情報あり, × : 情報なし

e. 植生調査の詳細について

植生調査は、発電所構内林及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。

(a) 調査内容

発電所構内の森林全域の植生及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)

(b) 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。

(c) 調査期間

2014年4月23日～5月30日(約40人日)

2016年11月9日～11月30日(約20人日)

(d) 調査結果

現地調査は、発電所構内林及び防火帯周辺で実施した。

第2.2-9表 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	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
⑯-a	マツ	40年生以上	なし	マツ10年生	約183cm
⑰-a	シャリンバイ, シロダモ等	30年生以上	約30cm	Dormant Brush, Hard Wood slash	約76cm

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません

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

<p><荒地> 砂利が敷かれているところがあ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。</p>	<p>⑬-a 雑草</p> 
<p><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。</p>	<p>⑰-a シャリンバイ等</p> 
<p><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。</p> 	<p>②-a スダジイ 25年生以上</p> 

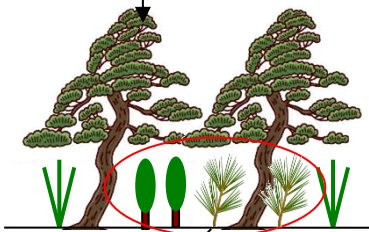
第 2.2-7 図 発電所構内の植生 (1/3)

<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



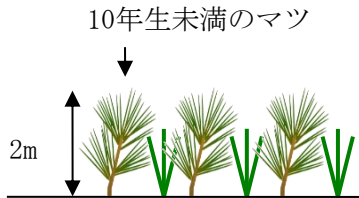
第 2.2-7 図 発電所構内の植生 (2/3)

(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

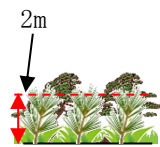

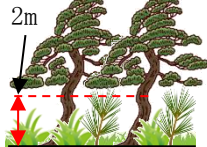
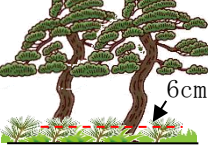
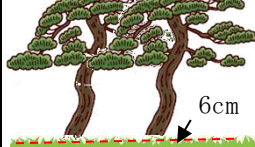


第 2. 2-7 図 発電所構内の植生 (3/3)

f. FARSITE の入力条件（林齢の設定）

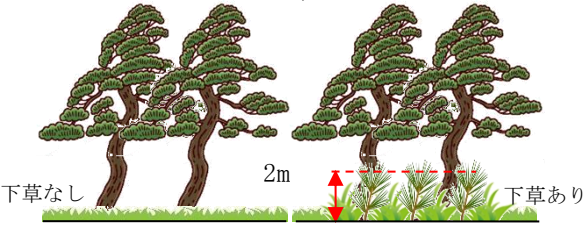
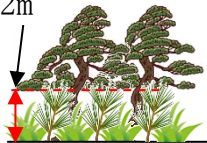
福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価（独立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）平成 24 年 6 月）では、マツを 10 年生未満から 40 年生以上の 5 つに分類した追加植生データを作成している。10 年生未満、10～20 年生及び 20～30 年生のマツについては、FARSITE のデフォルト植生の中で最大の可燃物深さである 2m 程度の下草・低木がある状況としている。また、林床可燃物量（下草・低木の量）は 10 年生未満及び 10～20 年生のマツについては、FARSITE の低層植生の中で最も可燃物量の多い状況としている。なお、生きた木質の fuel 量は、林齢が大きく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

第 2.2-10 表 林齢の設定

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。			下草がない状態を想定（6cm 程度）	
林床可燃物量				
多	中		少	
生きた木質の fuel 量				
少	→	中	→	多

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な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。

第 2.2-11 表 マツの林齢の設定

発電所構内の植生	FARSITE の入力データ
<p style="text-align: center;">40 年生</p>  <p style="text-align: center;">2m</p>	<p style="text-align: center;">10 年生</p>  <p style="text-align: center;">2m</p>
<p>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</p>	<p>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</p>

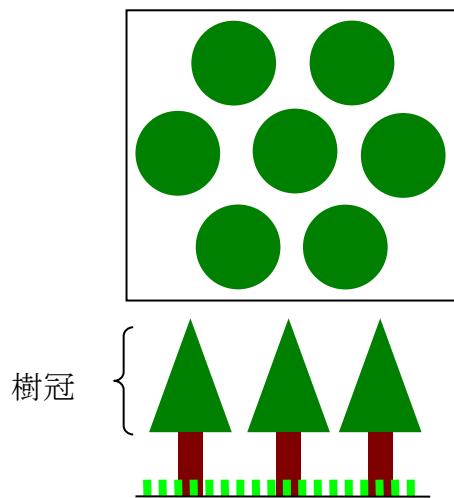
g. 樹冠率の設定

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によって燃えにくくなる）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 を設定する。

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

第 2.2-8 図 樹冠率の設定

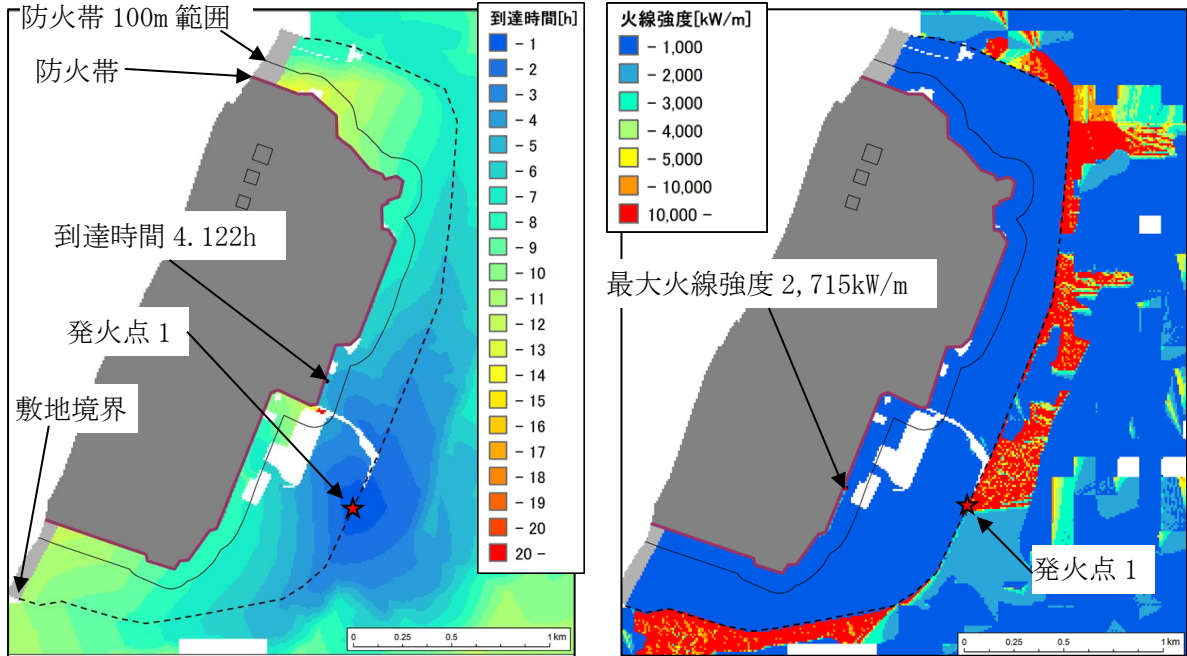
h. FARSITE への入力値まとめ

第 2.2-12 表 FARSITE への入力値

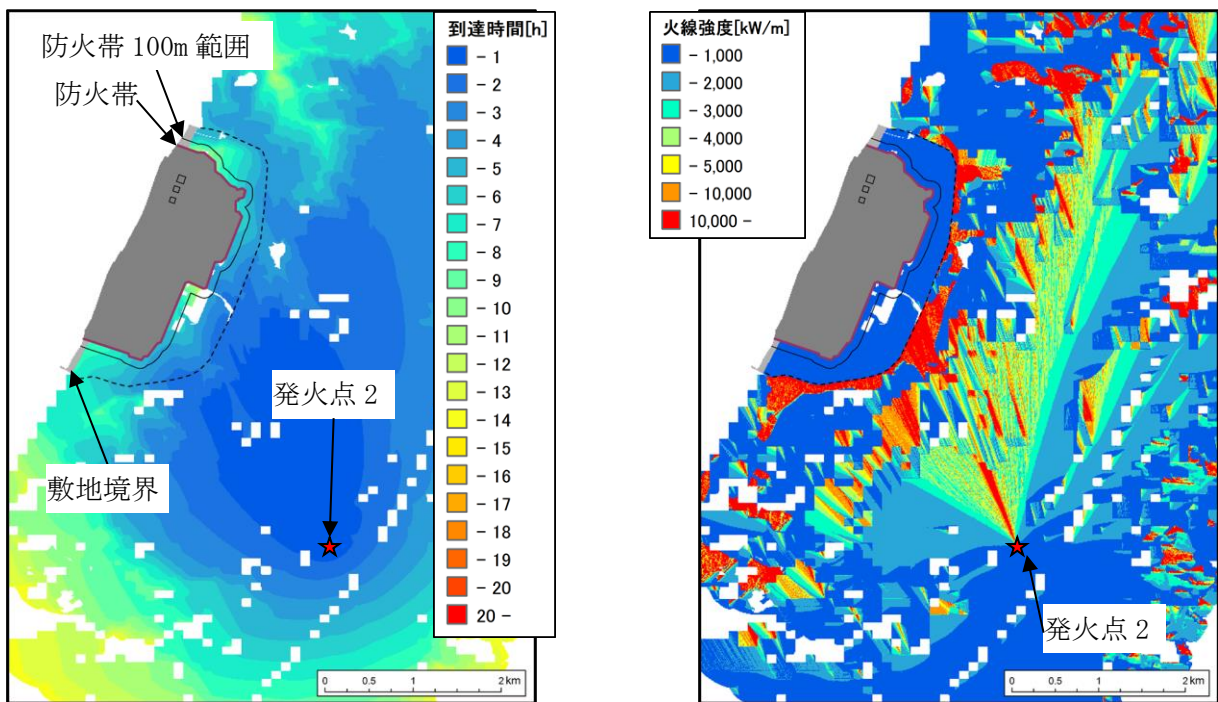
大区分	小区分	入力値	備考
気象	気温	32℃	気温が高い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い 3～5 月における過去 10 年間の最高気温を設定（ガイドどおり） 解析期間中最高気温が継続するように設定
	湿度	12%	湿度が低い方が可燃物の水分量が少なく燃えやすくなることから、森林火災が多い 3～5 月における過去 10 年間の最小湿度を設定（ガイドどおり） 解析期間中最小湿度が継続するように設定
	風速	16m/s	風が強い方が延焼速度・火線強度が大きくなることから、森林火災が多い 3～5 月における過去 10 年間の最大風速を設定（ガイドどおり） 解析期間中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	降水がな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・日射等により変化する。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。

(4) FARSITE の解析結果

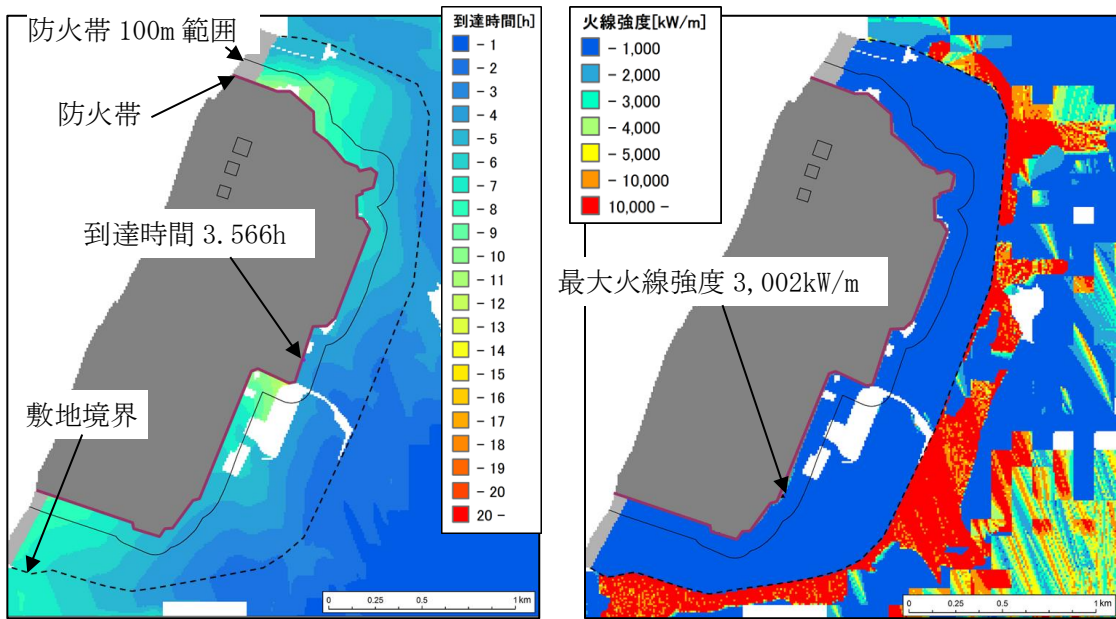
各ケースの FARSITE による解析結果図を以下に示す。



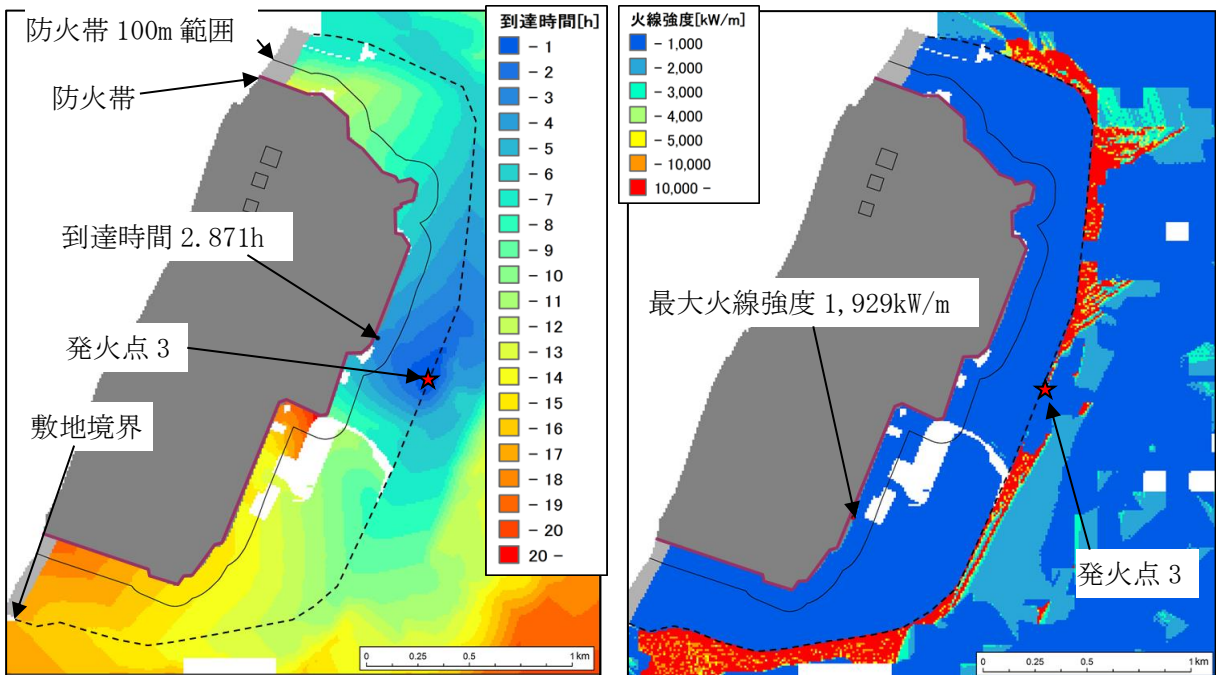
第 2.2-9 図 ケース 1 解析結果 (左：火炎到達時間分布, 右：火線強度分布)



第 2.2-10 図 ケース 2 解析結果 (左：火炎到達時間分布, 右：火線強度分布)



第 2.2-11 図 ケース 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)



第 2.2-12 図 ケース 3 解析結果 (左：火炎到達時間分布，右：火線強度分布)

(5) 延焼速度及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 2.2-13 表に示す。

(6) 火炎の到達時間の算出結果

延焼速度より、発火点から柏崎刈羽原子力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柏崎刈羽原子力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。延焼速度及び到達時間の算出結果を第 2.2-13 表に示す。

第 2.2-13 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
延焼速度[m/s]	0.35	0.37	0.25
最大火線強度[kW/m]	2715	3002	1929
火炎の到達時間[hour]	4.122	3.566	2.871

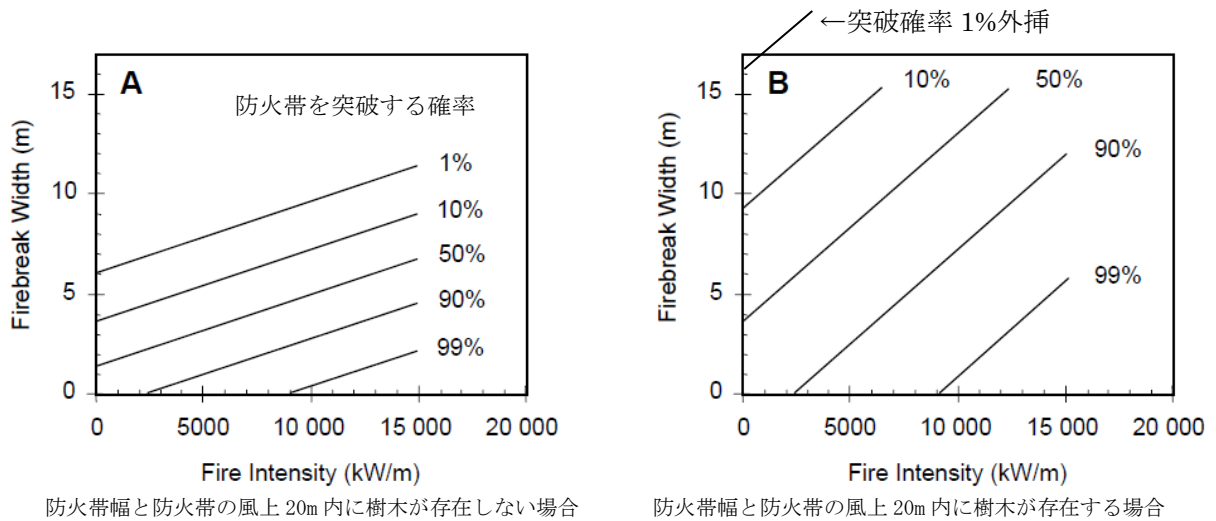
(7) 防火帯幅の算出

火線強度より、柏崎刈羽原子力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（風上に樹木がある場合）」（第 2.2-13 図 右図）を用い、火炎の防火帯突破確率 1%の値を柏崎刈羽原子力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 2.2-13 表のとおりとなり、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 2.2-14 図に示す。

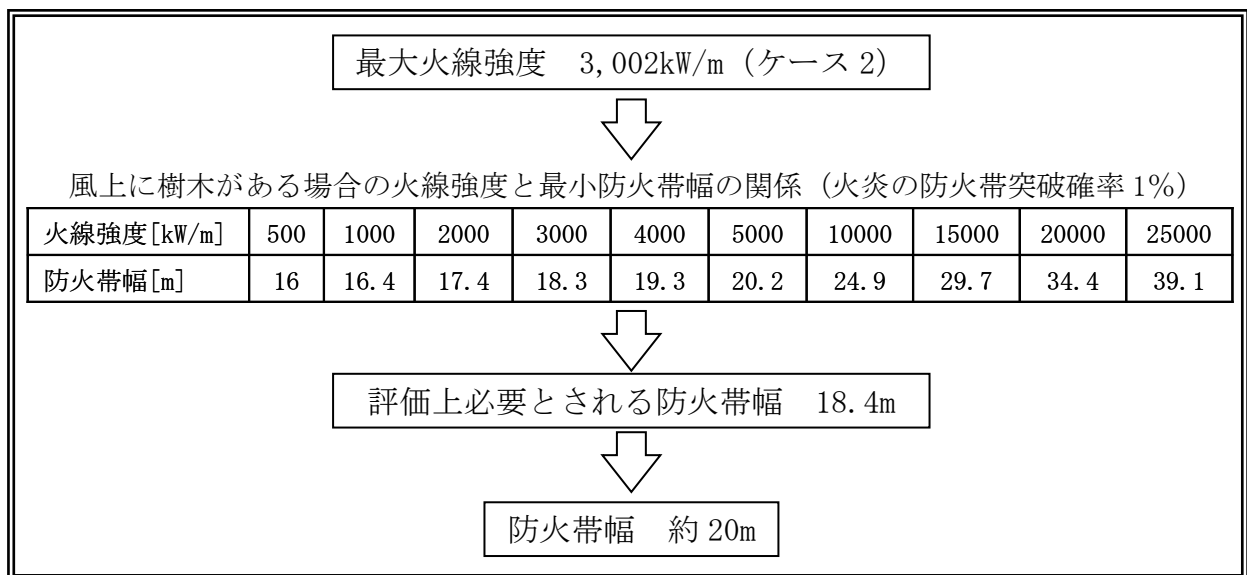
なお、評価では、気温は最高気温で一定、湿度は最小湿度で一定としており、時刻変化による火線強度の増減に寄与するのは日射量となる。そこで、FARSITE 解析における最大火線強度と日照時間の影響を以下のとおり確認した。日照の影響は、地形の傾斜方向と太陽の角度が関係しており、火線強度が高くなるのは、10 時～14 時の間と考えられる。第 2.2-14 表に示すとおり、最大火線強度到達時刻が 10 時から 14 時の時間に収まっており、火線強度が最大となったケース 2 の火線強度は 3,002kW/m であることから、この結果をもとに防火帯幅を設定する。

第 2.2-14 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	3:30	4:30	5:30
	到達日時	11:30	12:09	12:58
	最大火線強度 [kW/m]	2501	2715	2235
ケース 2	発火日時	6:00	7:20	8:40
	到達日時	10:59	11:45	12:49
	最大火線強度 [kW/m]	2888	3002	2923
ケース 3	発火日時	20:00	21:00	22:05
	到達日時	10:40	10:51	11:53
	最大火線強度 [kW/m]	1829	1929	1818



第 2.2-13 図 火線強度に対する防火帯の相関図



第 2.2-14 図 防火帯幅の設定

(8) 危険物施設の火災が森林等に延焼した場合の柏崎刈羽原子力発電所への影響について

ケース 2 発火点は、柏崎刈羽原子力発電所への熱影響を大きくするため、柏崎刈羽原子力発電所から遠方（火炎前線が広がり、発電所構内を同時期に取り囲むような火災となる）、並びに、柏崎刈羽原子力発電所の風上（南南東方向：最大風速観測時の風向及び卓越風向）に設定している。

危険物施設の火災を想定した場合、柏崎刈羽原子力発電所への熱影響が最大となっているケース 2 の発火点以遠の風上（南南東方向）に危険物施設はなく、柏崎刈羽原子力発電所への熱影響が大きくなるような火災にはならないと考えられる。

(9) 3～5月の気象条件に8月を加えた解析結果について

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、及び最小湿度の組み合わせとしている。3～5月を除く月としては、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いが、3～5月に8月を加えた気象条件を採用すると、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ため、ベースケースの解析条件としていない。

以下に、3～5月に8月を加えた気象条件を考慮した場合の感度解析の結果を示す。

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評価を実施した。

a. 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第2.2-15表（上段）に示す。

第2.2-15表 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

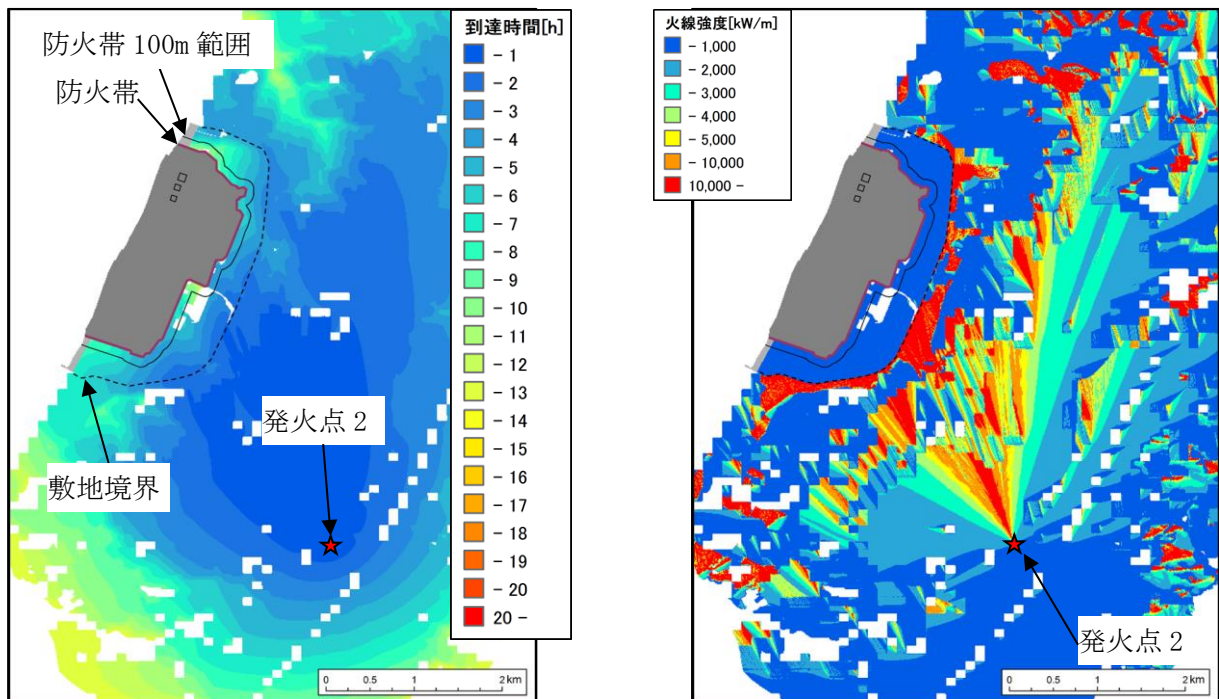
	風向 [16方位]	最大風速 [m/s]	最高気温 [°C]	最小湿度[%]
3～5月 +8月	南南東	16.0	37.5	12
3～5月 (ケース2)	南南東	16.0	31.9	12

b. 必要データ

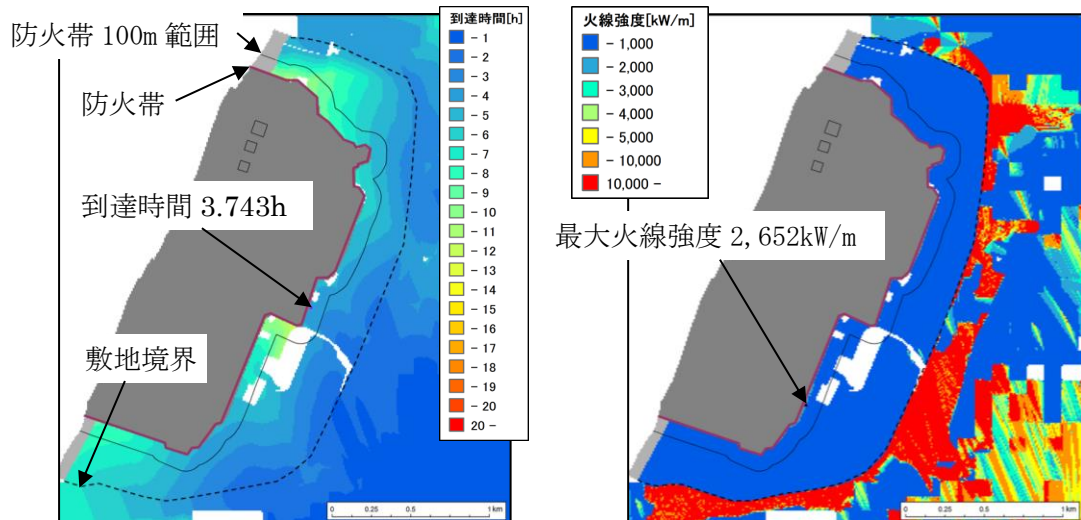
気象条件以外の植生データ等の FARSITE 入力データは、ケース 2 と同等とする。

c. 解析結果

FARSITE による解析結果を第 2.2-15 図, 第 2.2-16 図に示す。



第 2.2-15 図 解析結果 (左：火炎到達時間分布, 右：火線強度分布)



第 2.2-16 図 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)

d. 火線強度及び火炎の到達時間の算出結果

火線強度及び火炎の到達時間の算出結果を第 2.2-16 表に示す。

第 2.2-16 表 火線強度及び火炎の到達時間

評価項目	3～5 月+8 月	3～5 月
最大火線強度 [kW/m]	2652	3002 ^{※1}
火炎の到達時間 [hour]	3.743	2.871 ^{※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）

e. 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 350kW/m 程度小さくなっていることから、発電用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。つまり、FARSITE にて相対湿度を一定としても、気温の上昇による飽和水蒸気圧の増加によって、絶対湿度（水分量）が上昇することから、結果として、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）が大きくなり、最大火線強度が若干低下したと考えられる。

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。

(10) 8 月の気象条件を適用した森林火災について

a. 森林火災の想定

森林火災の想定では、過去 10 年間（2003～2012 年）の気象条件を調査し、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、及び最小湿度の組み合わせとしているが、新潟県、柏崎市、刈羽村、出雲崎町における森林火災の発生件数は、3～5 月を除き、8 月にも発生していることから、以下、8 月の気象条件を適用した森林火災について検討した。

(a) 気象条件

8 月における過去 10 年間の気象条件を調査した結果を第 2.2-17 表（上段）に示す。

第 2.2-17 表 8 月の気象条件と 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 [%]
8 月	南南東	11.0	37.5	31
3～5 月	南南東	16.0	31.9	12

(b) 考察

8月の気象条件は、3～5月の気象条件と比較して、①及び②の効果により火線強度が低下することから、3～5月の気象条件を適用した場合の評価に包絡される。

- ① 3～5月に8月の気象条件を加えた解析では、気温の上昇によって絶対湿度が増加し、火線強度が低下する結果となっている。
- ② 8月の気象条件は、下記のとおり、3～5月の気象条件と比較して火線強度を低下させる気象条件となっている。
 - ・ 最大風速の低下による延焼速度、火線強度の低下（延焼速度と火線強度は比例関係にある）。
 - ・ 最小湿度（相対湿度）の上昇により可燃物の水分量が増加し火線強度が低下。

参考として、8月の気象条件が3～5月の気象条件を適用した解析結果に包絡されることを感度解析にて確認している。その結果を参考資料2-3に示す。

2.3 森林火災時の対応の評価結果

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、森林火災時の可搬型モニタリングポスト及び可搬型気象観測装置の対応が可能であることを確認した。

2.3.1 火災の到達時間の評価結果

2.3.1.1 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発電用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。

2.3.1.2 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90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。

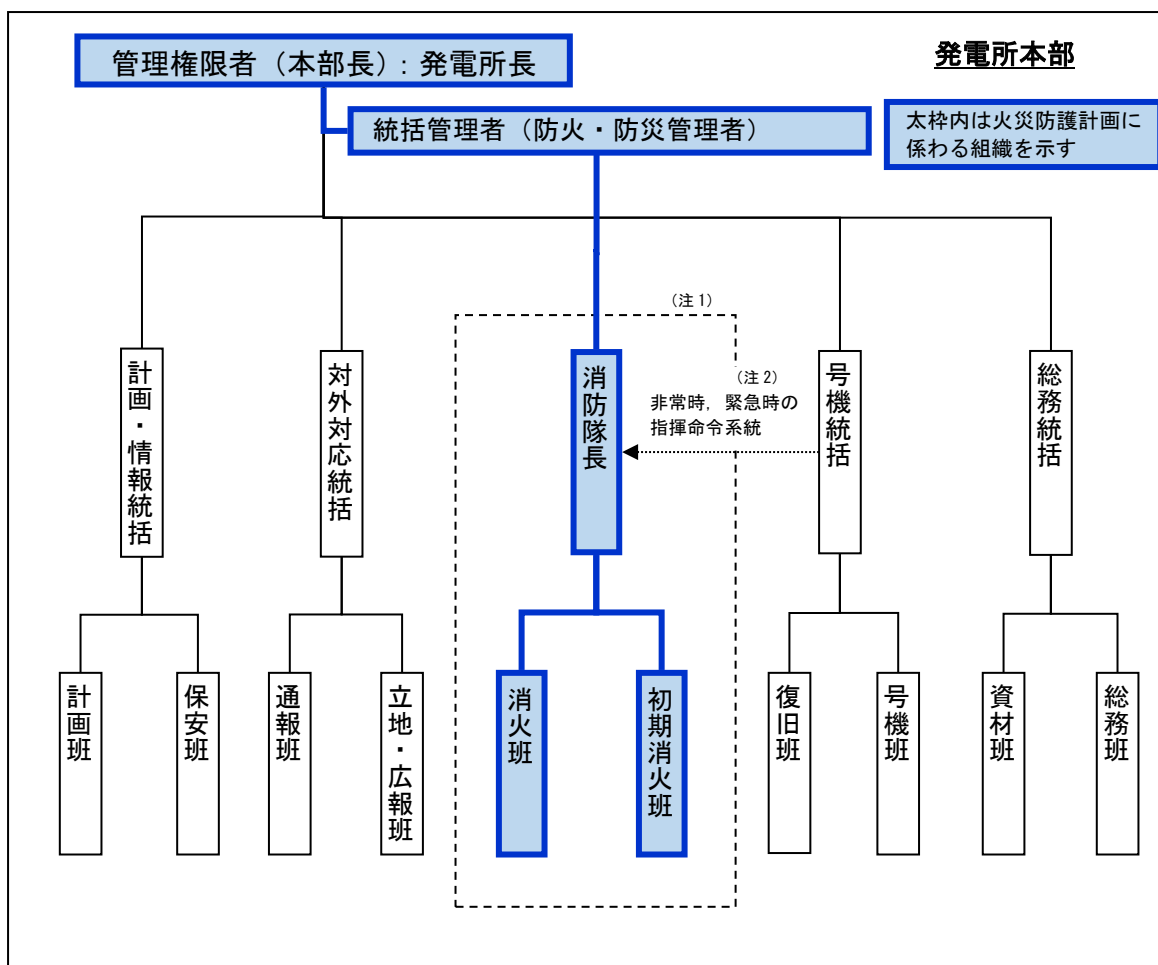
<予防散水>

柏崎刈羽原子力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。

(1) 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。自衛消防隊の組織体制を第 2.3.1.2-1 図及び第 2.3.1.2-1 表に示す。

予防散水は、この自衛消防隊により対応する。



注1：自衛消防隊の編成を第2.3.1.2-1表に示す。

注2：自衛消防隊は非常時対策（一般災害）、緊急時対策（原子力災害）においては号機統括の指揮下で活動する。
緊急時対策本部立上後の自衛消防体制については、消防法に基づき作成する消防計画にも定める。

第2.3.1.2-1 図 自衛消防組織体制

第 2.3.1.2-1 表 自衛消防隊編成（現場指揮本部）

構成	所属等		役割
消防隊長 (1)	平日昼間：①防災安全GM ②防災安全担当 ③運転管理担当 平日夜間，休祭日：自衛消防隊専属の宿直者		①現場指揮本部の責任者 ②消火活動全体の指揮 ③当直長への消火活動の情報提供・プラント情報の共有 ④公設消防窓口（プラント状況・消火活動の情報提供）
初期消火班 (15) (16) ^{※1}	当直長(1) ^{※2}	1号炉[1] 2号炉[1] 3号炉[1] 4号炉[1] 5号炉[1] 6,7号炉[1]	計6名 ①公設消防への通報（発電関連設備） ②運転員（初期消火要員）への初期消火指示 ③プラントの情報提供，消防活動の情報共有 （当直長は現場での消火活動のメンバーには属さない）
	運転員(3) ^{※2}	1号炉[3] 2号炉[2] ^{※3} 3号炉[2] ^{※3} 4号炉[2] ^{※3} 5号炉[2] ^{※4} 6,7号炉[3](4) ^{※5}	計14名 ①屋内・屋外での消火活動（発電関連設備） ②消火戦略の検討・指揮（現場支援担当又は当直主任） ③火災発生場所での消火活動の指揮（現場支援担当又は当直主任） ④火災発生現場（建屋内）への公設消防誘導・説明
	正門警備員(2) ^{※6}		①屋内・屋外での消火活動（その他区域） ②火災発生現場（構内全域）への公設消防誘導
	放射線測定要員・放射線測定当番(2)		線量測定
	消防車隊	防護・副防護本部警備員(1) 委託員(6)	指揮者から消防車隊への指示伝達係 ①屋内・屋外での消火活動
消火班 (30)	副班長：専任(2)，兼任可(1) 班員：専任(16)，兼務可(11) (専任)消火専任の要員 (兼務)機能班との兼務可		【参集状況に応じ，現場にて副班長が役割分担を指名】 ●消火係 ①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総務班医療係到着までの介護

() 内は人数

※1：1～5号炉は各号炉15名で構成。6号及び7号炉は通常15名，6号及び7号炉同時火災では16名で構成。

※2：発電関連設備での火災発生時が対象。[]内は各号炉の初期消火要員。

※3：単独火災発生時は1号炉の初期消火要員1名を補充。

※4：単独火災発生時は6号及び7号炉の初期消火要員1名を補充。

※5：6号及び7号炉のいずれか一方の号炉の火災では3名で活動。6号及び7号炉同時火災では運転員1名を補充し4名で活動。

※6：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。

用語の定義

・発電関連設備

周辺防護区域内において，原子力発電所の運転等に直接関係する建物（原子炉建屋等），防護区域外であっては水処理建屋，154kV変電所，66kV開閉所，給水建屋等の運転員の巡視区域の建物等をいう。

・その他区域

発電関連設備以外で，発電所敷地内にある当社所有の建物（事務本館，防震重要棟，防護本部，副防護本部，サービスホール，技能訓練棟，原子炉係修訓練棟，予備品倉庫（大湊），発電倉庫（大湊）等），高台保管場所，森林，伐採木仮置き場等をいう。

(2) 予防散水計画

防火帯により森林火災が発電用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。

万一、防火帯の内側に飛び火した場合は、自衛消防隊の活動を予防散水から防火帯内火災の初期消火活動に切り替え、消火栓及び消防車を使用し、継続して消防隊長の指揮のもと初期消火活動・延焼防止活動を行う。なお、予防散水については、火災防護計画に定める。

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 18.4m に対し、約 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 2 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 2.3.1.2-2 図に示す。また、各散水エリアに使用する消火栓を第 2.3.1.2-2 表に示す。

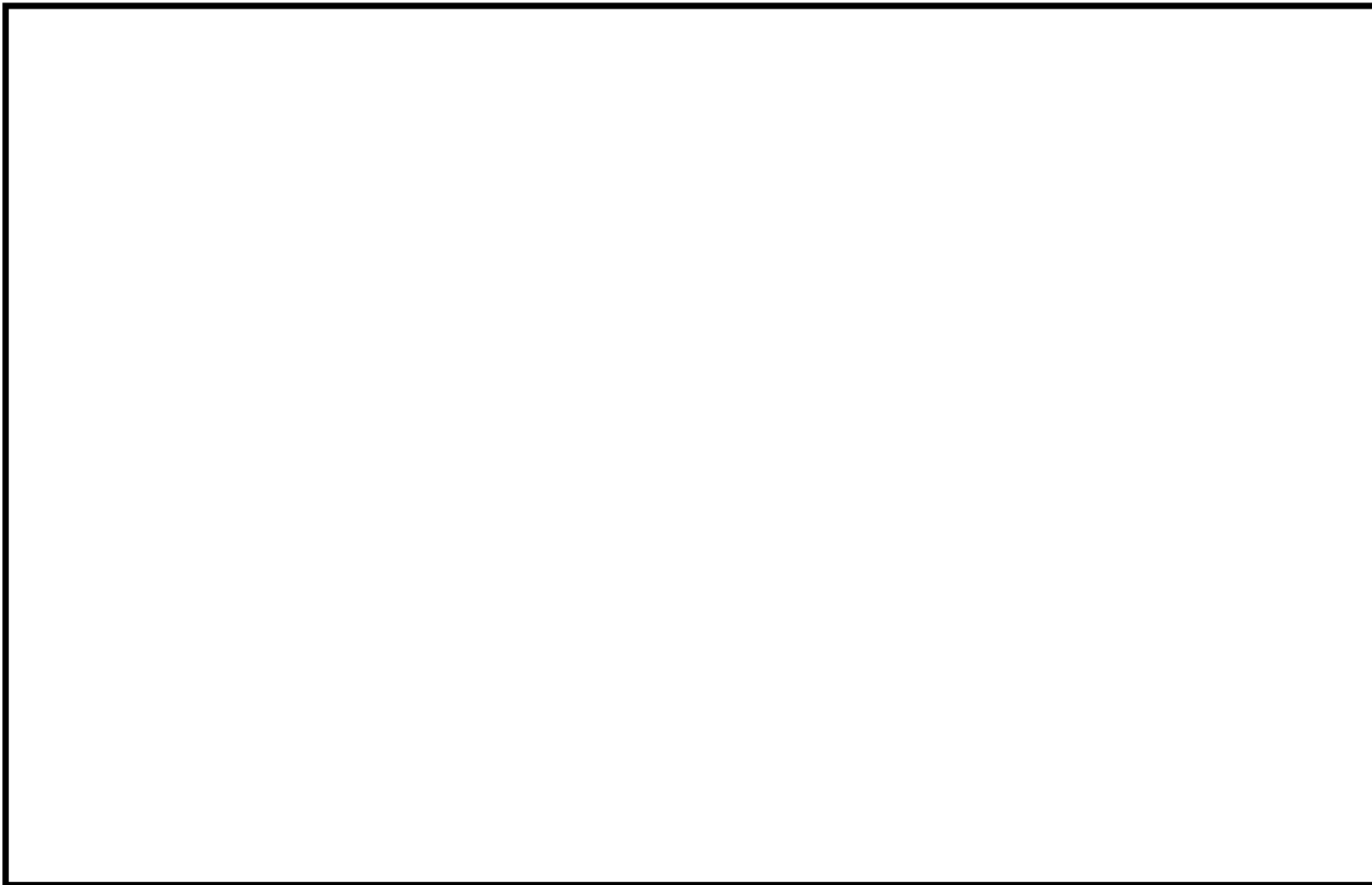
※：構内屋外消火栓の確保を優先とするが、状況に応じて防火水槽、海水を活動用水として使用する。

第 2.3.1.2-2 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	～860m	56.2m (12.3～68.5)
	5号炉屋外消火栓 FH0-10		
B	発電所構内屋外消火栓⑪	～1,440m	33.0m (44.3～77.3)
	発電所構内屋外消火栓⑥		
C	発電所構内屋外消火栓⑨	～340m	5.4m (39.5～44.9)
	発電所構内屋外消火栓⑤		
D	発電所構内屋外消火栓③，⑤	～290m	3.3m (30.4～33.7)
	発電所構内屋外消火栓②，⑥		
E	発電所構内屋外消火栓②	～400m	9.0m (13.1～22.1)
	発電所構内屋外消火栓①，③，④		
F	発電所構内屋外消火栓②	～720m	-3.9m (13.1.～9.2)
	1号炉屋外消火栓 FH0-9， 発電所構内屋外消火栓③		
G	1号炉屋外消火栓 FH0-9	～720m	4.0m (5.2～9.2)
	発電所構内屋外消火栓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

6条-別添4(外火)-1-添付2-45



第2.3.1.2-2 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 2.3.1.2-3 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 2.3.1.2-3 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	80	90	100
火災発生	(敷地境界まで発見が遅れることを想定)	森林火災発生 ▽										
火災発見 ～散水指示	警備員が発見し、消防隊長へ連絡	火災発見 想定 ▽ (5)										
	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	想定 □ (10)										
出動準備	出動準備～現場到着	想定 □ (15)										
		実績 ※ ■ (12)										
放水準備	水利確保, ホース施設	想定 □ (40)										
		実績 ※ ■ (30)										
	送水	想定 □ (20)										
		実績 ※ ■ (16)										
放水開始	放水開始	想定 所要時間 約 90 分 → ▽ 放水開始										

散水エリア B における散水実績

d. 発電所敷地境界への予防散水計画

発電所周辺の 5 方向を代表ポイントとし、発電所敷地境界への予防散水計画を定めた。発電所敷地境界への予防散水計画を第 2.3.1.2-4 表に示す。

- 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(1500m)、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。敷地境界への予防散水を第2.3.1.2-4図に示す。

第2.3.1.2-4表 敷地境界への予防散水計画

火災ポイント	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	青山南通りグランド付近消火栓	青山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

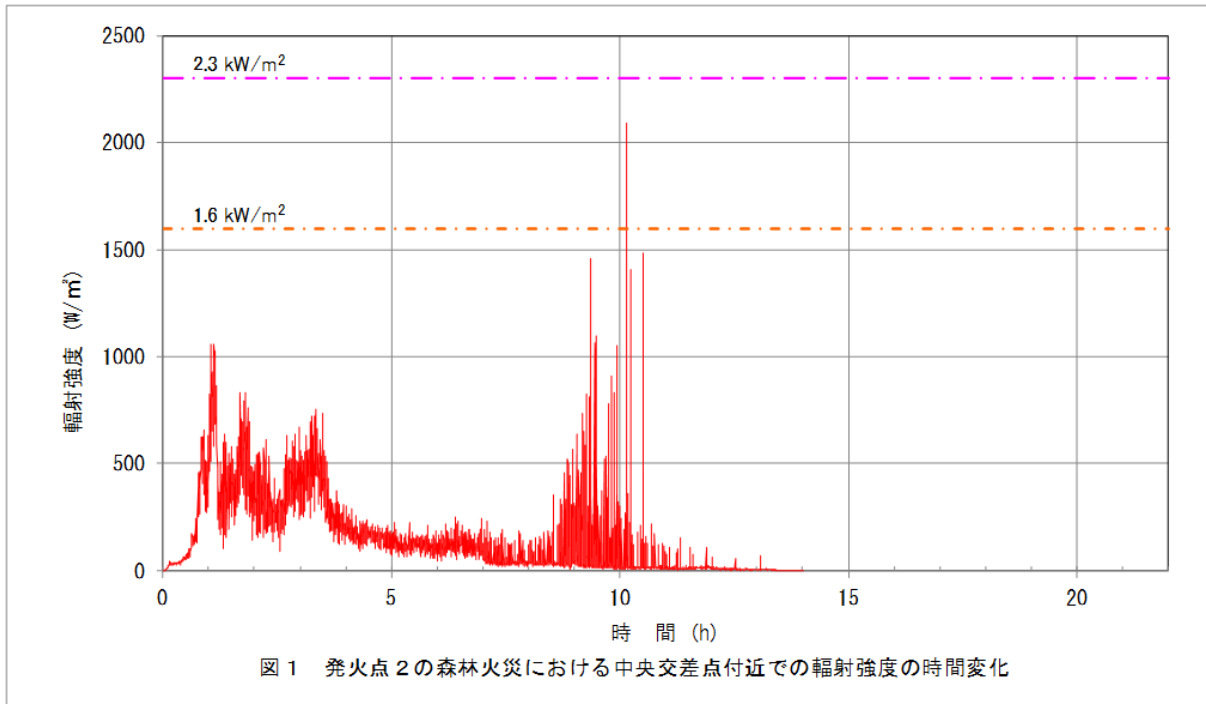
森林火災が発生し発電所構内へ延焼するおそれがある場合には、構内道路の一部を防火帯として機能させる。その際には、防火帯内の車両通行を規制し、防火帯内から車両がない状態を確立する。(予防散水活動を行う消防車両を除く)

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輻射強度は最大でも $2.1\text{kW}/\text{m}^2$ 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2.3.1.2-3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2.3.1.2-4図)

なお、中央交差点近傍における森林火災の燃焼継続時間(約14時間)のうち、中央交差点において、人が長時間さらされても苦痛を感じない放射熱強度(輻射強度)である $1.6\text{kW}/\text{m}^2$ を超えている時間は数十秒程度である。

※：石油コンビナートの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（輻射）強度を 1.6kW/m^2 ，1 分間以内で痛みを感じる強度を 2.3kW/m^2 している。



第 2.3.1.2-3 図 中央交差点における輻射強度の時間

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

6条-別添4(外火)-1-添付2-49

第2.3.1.2-4 図 敷地境界への予防散水

f. 予防散水の検証結果

(a) 森林火災を想定した予防散水（防火帯付近）

実施日：平成 29 年 1 月 23 日（月） 13 時 20 分～16 時 40 分

想定火災到達地点：散水エリア B

訓練内容：ホース展開、消防車連結、散水を行う

評価：

- ・消防車 2 台連結による散水を実施し、散水可能であった。
- ・出動から散水開始までの所要時間は約 60 分であった。
- ・防火帯散水エリアのうち、予防散水の実施条件が厳しいエリア B 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 ホース展開状況



写真 2 ホース展開状況（散水エリア付近）



写真 3 散水エリア B における散水状況

第 2.3.1.2-5 図 予防散水の状況（防火帯付近）

(b) 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，操作手順及び送水圧力等を確認しながらの時間
- ・ 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）

第 2.3.1.2-6 図 予防散水の状況（敷地周辺）

(c) 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、訓練を計画的に実施する。自衛消防隊に係る訓練を第 2.3.1.2-5 表に示す。

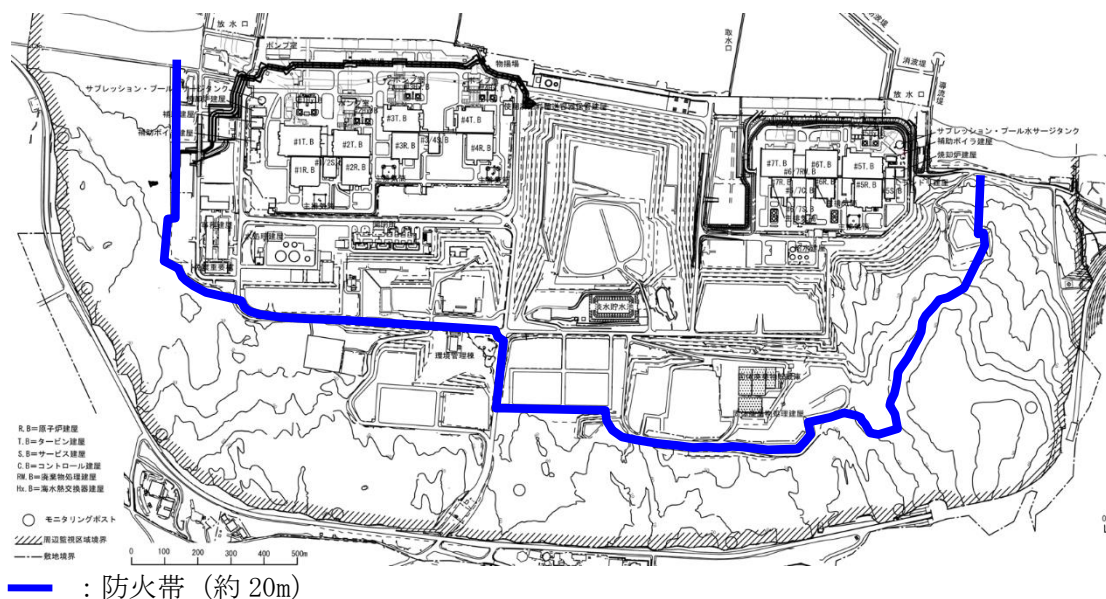
第 2.3.1.2-5 表 自衛消防隊に係る訓練

項目	対象者	訓練内容	備考
消火訓練・消防資機材取扱訓練	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，及び防火服・耐火服・空気呼吸器の取扱訓練	1 回／班／月を目標に実施
海上災害防止センター消防訓練	初期消火班，消火班	・外部施設による実消防訓練	
総合消防訓練	自衛消防隊	・管理区域内火災を想定した消防署との合同訓練	消防法上は 1 回／年実施
初期対応訓練（通報連絡訓練）	初期消火班（運転員，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）	当直全班必修項目
初期消火班連係訓練	初期消火班（運転員，警備員），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係訓練	当直全班必修項目
火災対応訓練（運転員）	初期消火班（運転員）	・消防用設備取扱訓練（固定式消火設備，排煙設備の取扱訓練含む），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 ・建屋内外の火災（中央制御室内火災，原子炉格納容器内火災を含む）の教育・演習	当直全班必修項目
自衛消防隊（消火班）訓練・教育	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）	

2.3.2 防火帯幅の評価結果

第 2.2-13 表の評価結果から，評価上必要とされる防火帯幅約 18.4m に対し，約 20m 幅の防火帯を設置する（第 2.3.2-1 図）。

- ・森林火災の延焼を防止するために，防火帯を設置する。
- ・防火帯は，安全施設及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，気象観測装置及び放射能監視設備）。
- ・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。
- ・防火帯の設定に当たっては，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，可燃物がない状態を維持する。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。（別紙 2-1）



第 2.3.2-1 図 防火帯設置位置

2.3.3 外部火災時のモニタリングポスト及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、発電用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、柏崎刈羽原子力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及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）及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2.3.3-1図、第2.3.3-2図）。

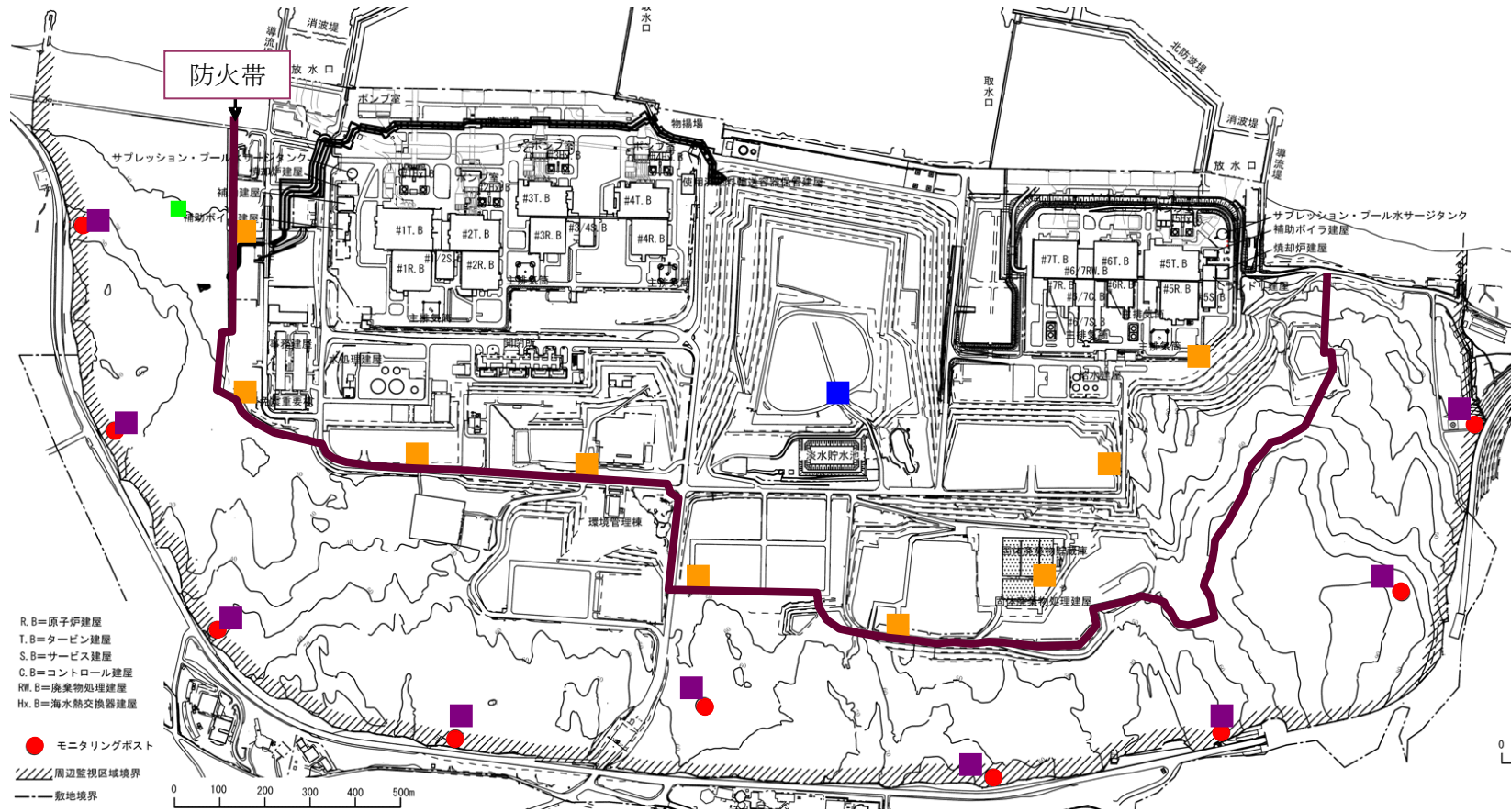
可搬型モニタリングポストがモニタリングポスト周辺に設置できる場合は、その周辺に設置し、森林火災の延焼によりモニタリングポスト周辺に設置できない場合は、発電所構内の同一方向に設置する。可搬型モニタリングポスト等を配置場所まで運搬・設置し、監視・測定を開始するまでの所要時間は、1台当たり約30分を想定（9台設置する場合は、約4時間30分を想定）。

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

障害物や照明がないエリアに設置する。



第 2.3.3-1 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あり

第 2.3.3-2 図 可搬型モニタリングポスト設置位置

3. 危険距離及び温度評価

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、発電用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。

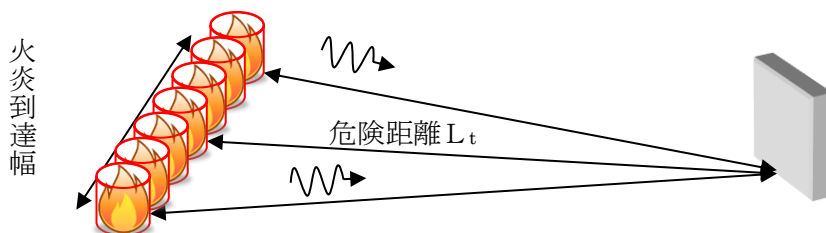
第 3.2-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
火炎到達幅[m]	柏崎刈羽原子力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、発電用原子炉施設への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 3.2-1 図）。

各円筒火炎モデルからの輻射熱



第 3.2-1 図 円筒火炎モデルの並べ方

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は柏崎刈羽原子力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。

第 3.2-2 表 森林火災影響評価に必要なデータ

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]	94.8	100	78.8
火炎輻射強度[kW/m ²]	205	211	222
火線強度[kW/m]	2715	3002	1929
反応強度[kW/m ²]	544	560	591
火炎長[m]	2.94	3.08	2.51
火炎到達幅[m]	3730		
燃焼継続時間[min] ^{※1}	52	51	57
危険輻射強度[kW/m ²]	15.441	15.477	15.275

※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 3.2-4 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 3.2-4 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（輻射熱割合）を考慮し、その輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定し、円筒火炎の火炎輻射発散度 R_f [kW/m²] を求める。発熱量が保存されるため、以下の式で表現できる。

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

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

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 森林火災による影響の有無の評価で算出された値を用いた。算出結果を第 3.2-4 表に示す。

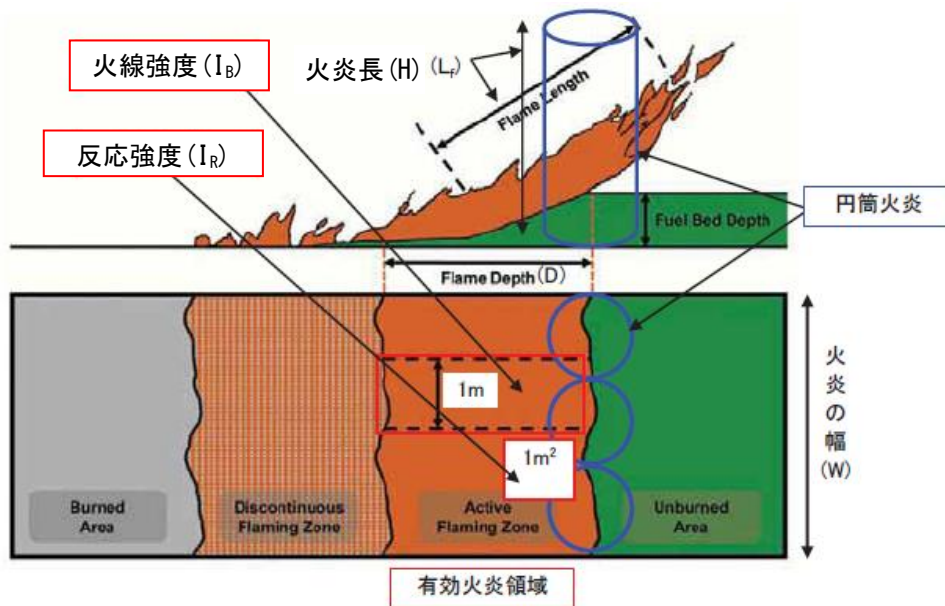
$$Rf = \frac{6\chi I_B}{7\pi H}$$

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

<火炎輻射発散度の算出方法>

火線強度 (I_B) [kW/m]は, 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, 反応強度 (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 火線強度及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熱割合 χ [-] を考慮し, 円筒火炎の側面及び上面からの輻射熱として放射されるとして, 発熱量が保存されるよう火炎輻射発散度を求める。円筒火炎での火炎輻射発散度を Rf [kW/m²] とすると, 有効火炎領域の発熱量は保存されることから, 以下の式で表現できる。

総発熱量 (側面, 上面からの輻射) [kW]

= 火線強度 [kW/m] × 火炎到達幅 [m] × 輻射熱割合 [-] より

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

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。

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

発電所敷地近傍には草地、針葉樹、落葉広葉樹がある。そのため、輻射熱割合は、草地：0.35（米国国立標準技術研究所（NIST）の使用値）、針葉樹：0.377 並びに落葉広葉樹：0.371（米国防火技術者協会（SFPE）が発行しているハンドブック（THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION）より算出）のうち保守的に最も大きい値である 0.377 を採用した。

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

針葉樹代表種の発熱量

$$\begin{array}{ccc} \text{火炎輻射強度：} 4.9 \text{ [kJ/g]} & + & \text{火炎対流発散度：} 8.1 \text{ [kJ/g]} = & \text{反応強度 } 13.0 \text{ [kJ/g]} \\ (\Delta H_{\text{rad}}) & & (\Delta H_{\text{con}}) & (\Delta H_{\text{ch}}) \end{array}$$

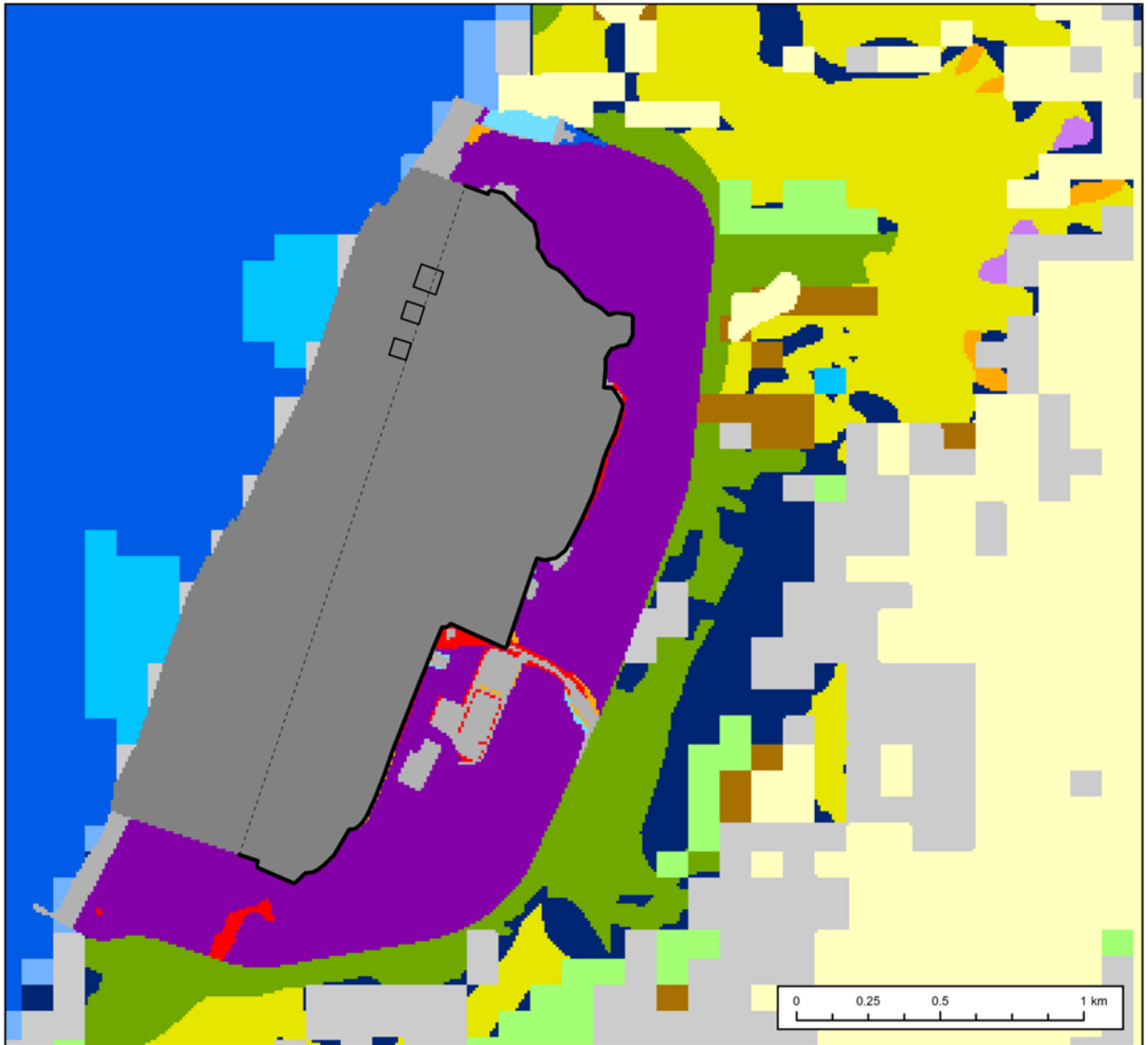
輻射熱割合

$$\frac{\Delta H_{\text{rad}}}{\Delta H_{\text{ch}}} = \frac{4.9 \text{ [kJ/g]}}{13.0 \text{ [kJ/g]}} = 0.377$$

また、火炎輻射強度については、輻射熱割合が火炎輻射強度と反応強度の比であることから、これに反応強度を乗じることにより算出する。

(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 号及び 7 号炉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

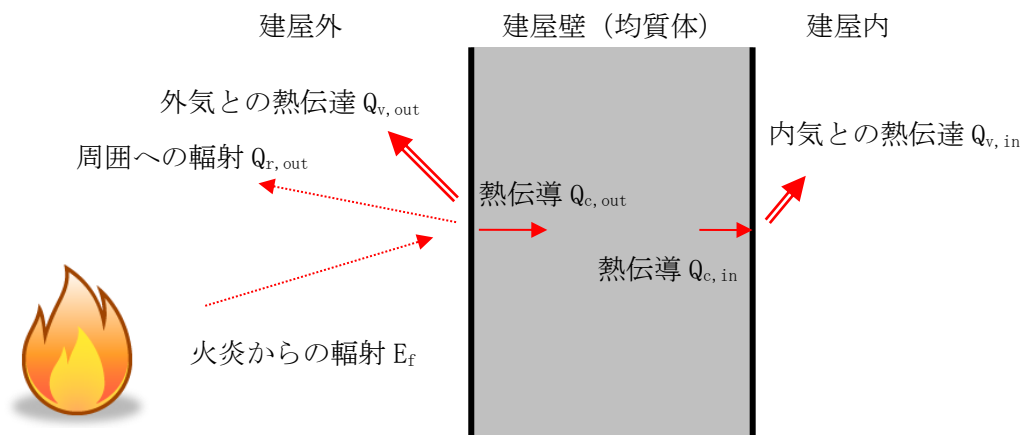
火災の燃焼継続時間の間一定の輻射熱が外壁面に入熱した場合を仮定し、外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し、以下の式に示す次元非定常熱伝導方程式を用いて、コンクリートの表面温度が許容限界温度 200℃に達する輻射強度を危険輻射強度として求める（第 3.2-4 図、第 3.2-5(a) (b) (c) 図）。

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

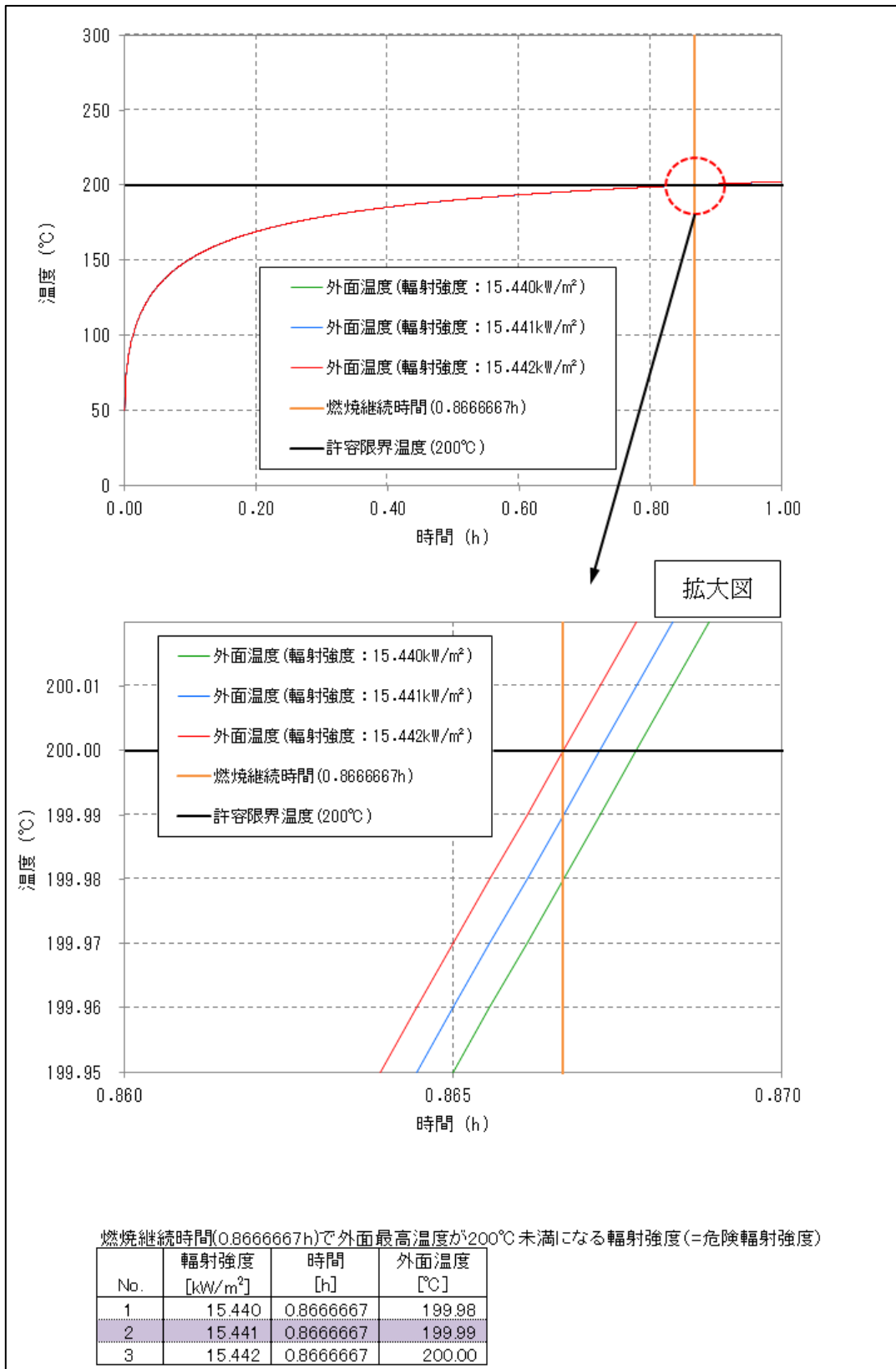
T：温度，t：時刻，x：建物壁内における外面からの距離， α ：熱拡散率
以下に使用したパラメータを示す。

第 3.2-3 表 輻射強度算出時の入力パラメータ

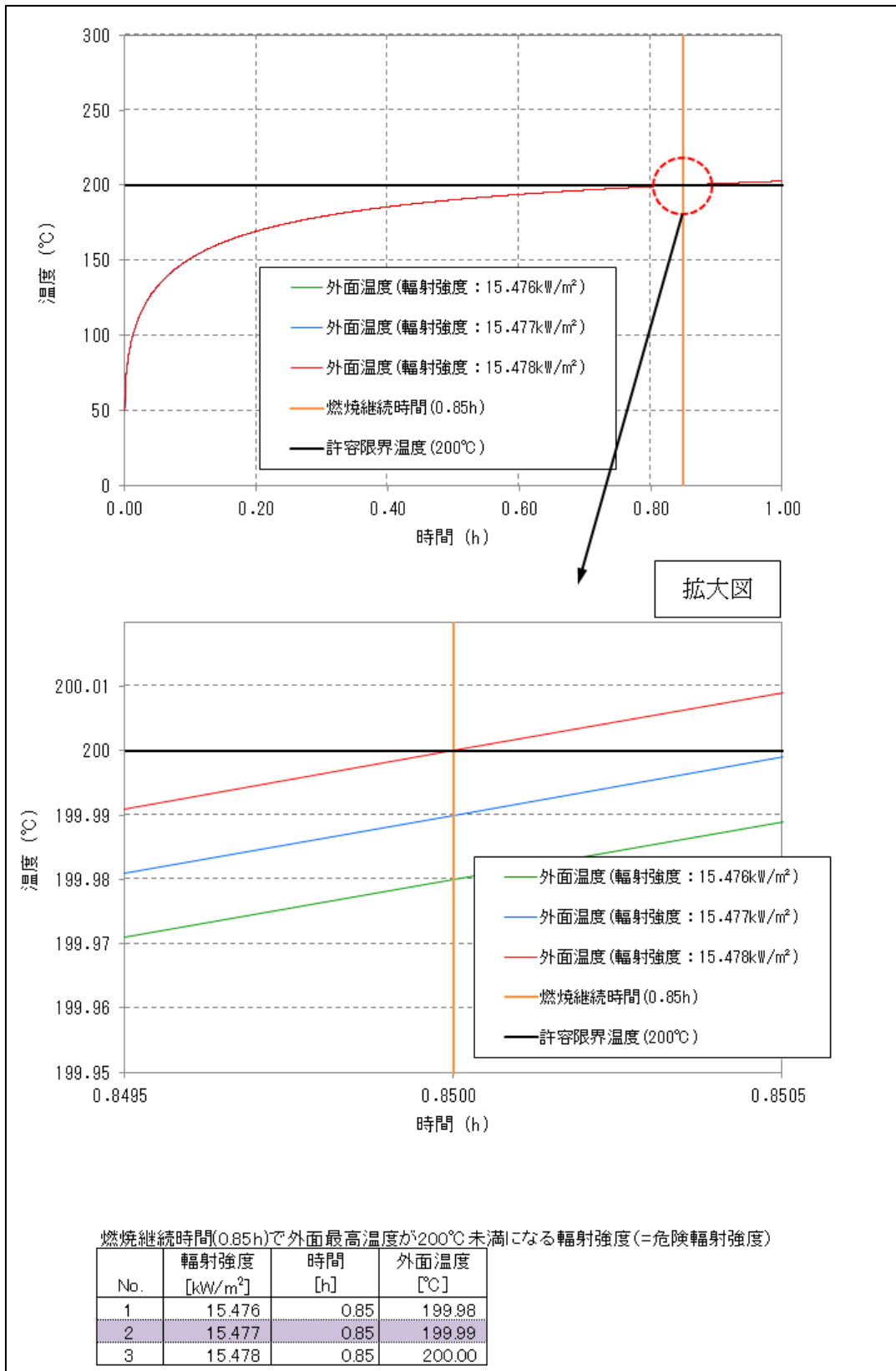
項目	パラメータ	備考
外気温度	50 °C	日射の影響を考慮し設定
内気温度	45 °C	非常用ディーゼル発電機室最高温度
外面熱伝達率	62.595 W/m ² K	Jurges の式より（風速 16m/s）
内面熱伝達率	3.4883 W/m ² K	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
熱拡散率	8.42 × 10 ⁻⁷ m ² /s	建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より
壁面の厚さ	1.5 m	建屋外壁厚さの最大値



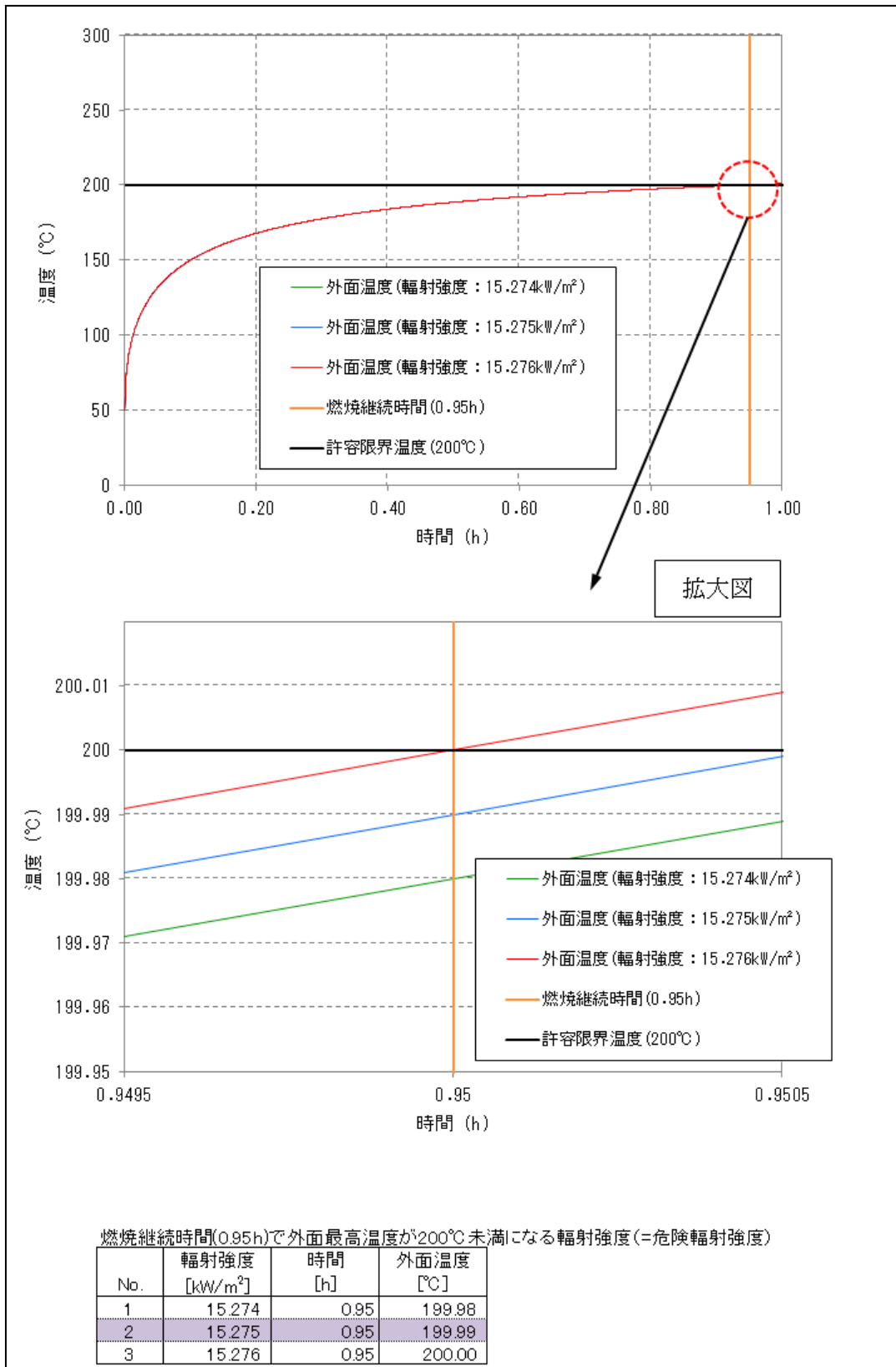
第 3.2-4 図 建屋温度評価体系図



第 3.2-5(a)図 危険輻射強度の算出 (ケース 1)



第 3.2-5 (b) 図 危険輻射強度の算出 (ケース 2)



第 3.2-5(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 3.2-4 表に示す。

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

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

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、発電用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。

$$\phi_t = (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \dots)$$

ϕ_t : 各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値

なお、1, 2, 3, ..., F 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

輻射熱に対する発電用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発電用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かけた値になる。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[-]

$\phi > \phi_t$ となる最大の距離として危険距離を算出する。算出結果を第 3.2-4 表に示す。

(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 21m）に対し、柏崎刈羽原子力発電所に設置される防火帯の外縁（火炎側）から発電用原子炉施設との間の離隔距離（約 439m）が危険距離以上あることを確認した。

第 3.2-4 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]	0.98	1.02	0.83
火炎円筒モデル数[-]	1900	1815	2224
火炎輻射発散度[kW/m ²]	94.8	100	78.8
火炎輻射強度[kW/m ²]	205	211	222
形態係数[-]	0.162	0.154	0.194
燃焼継続時間[min]	52	51	57
危険輻射強度[kW/m ²]	15.441	15.477	15.275
危険距離[m]	19	21	14

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) ごとに火炎長、単位面積当り発熱量及び火炎到達時間が出力されるので、メッシュごとに円筒火炎モデルを並べ (円筒火炎の直径が 1m であれば、1 メッシュに 10 個の円筒火炎を考慮)、各メッシュに火炎が到達してから燃え尽きるまでの間輻射に寄与するとして受熱点の輻射強度を積算する。受熱点への輻射強度計算方法の概念を第 3.3-1 図に示す。

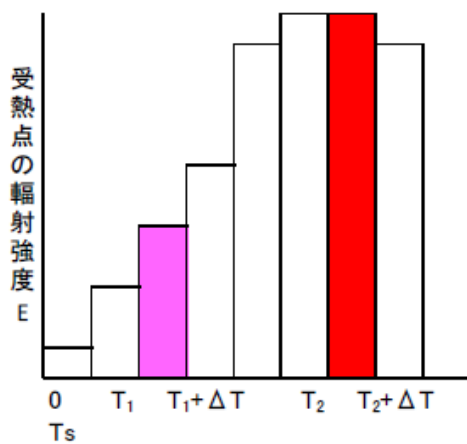
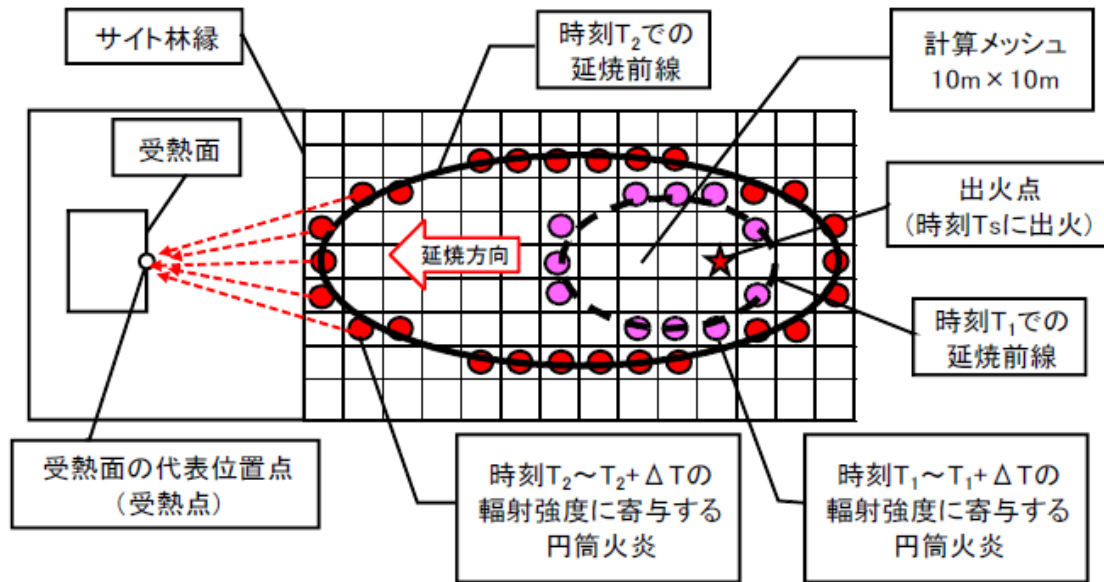
外壁面の温度は、外壁面での対流熱伝達と輻射放熱を考慮し以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて評価を実施する (第 3.3-2 図)。原子炉建屋外壁表面の温度は約 55℃となり、森林火災の熱影響に対して許容温度以下であることを確認した (第 3.3-2 表、第 3.3-3(a) (b) (c) 図)。

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

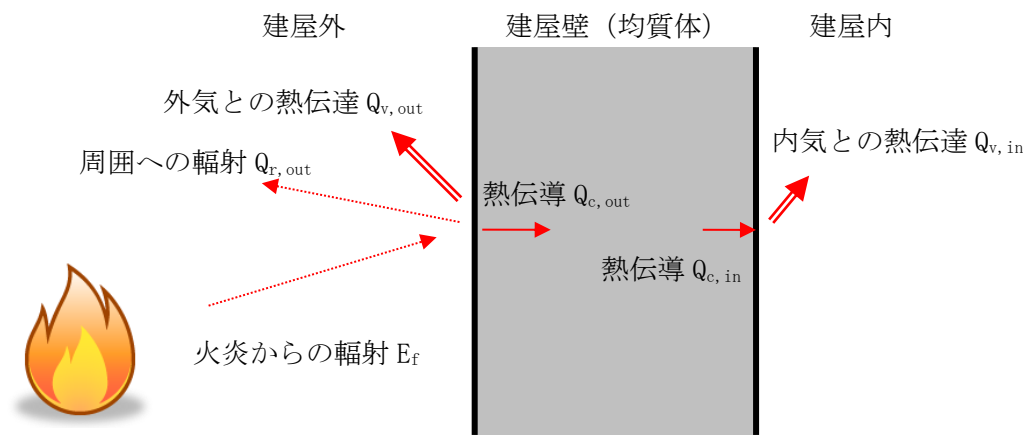
T : 温度, t : 時刻, x : 建物壁内における外面からの距離, α : 熱拡散率
以下に使用したパラメータを示す。

第 3.3-1 表 建屋外壁温度算出時の入力パラメータ

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

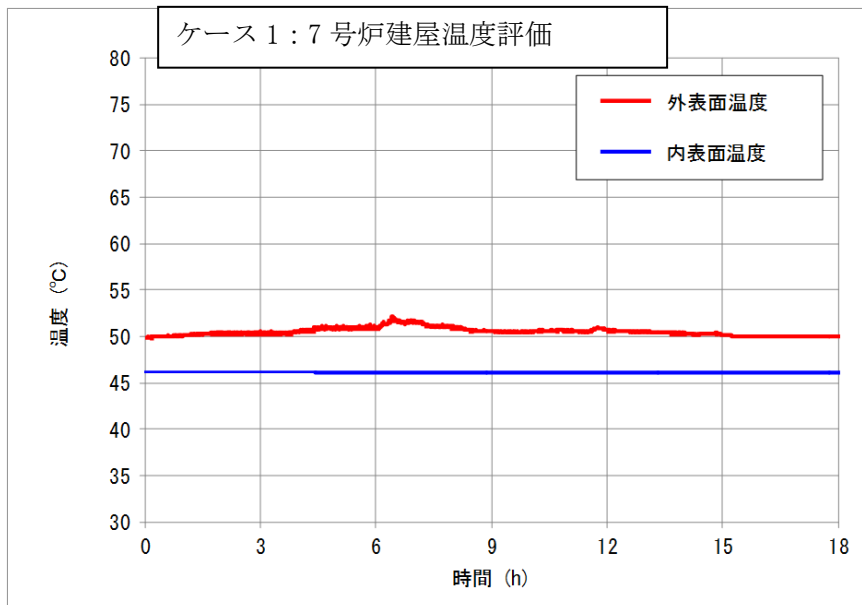
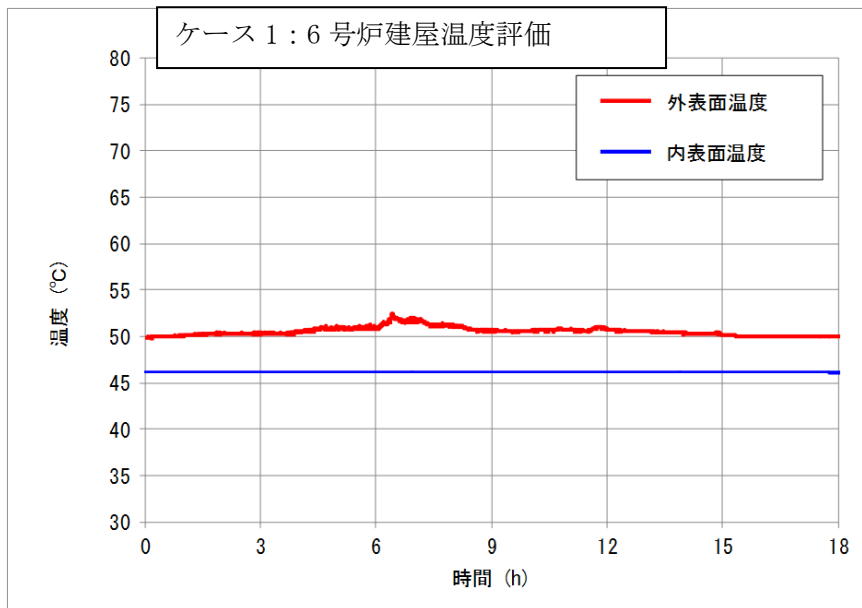


第 3.3-2 図 外壁面温度評価概念図

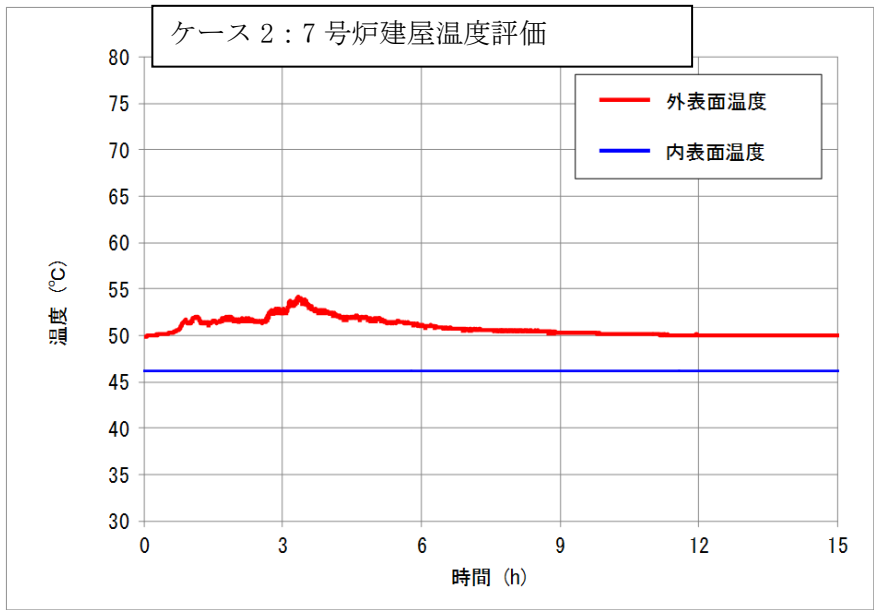
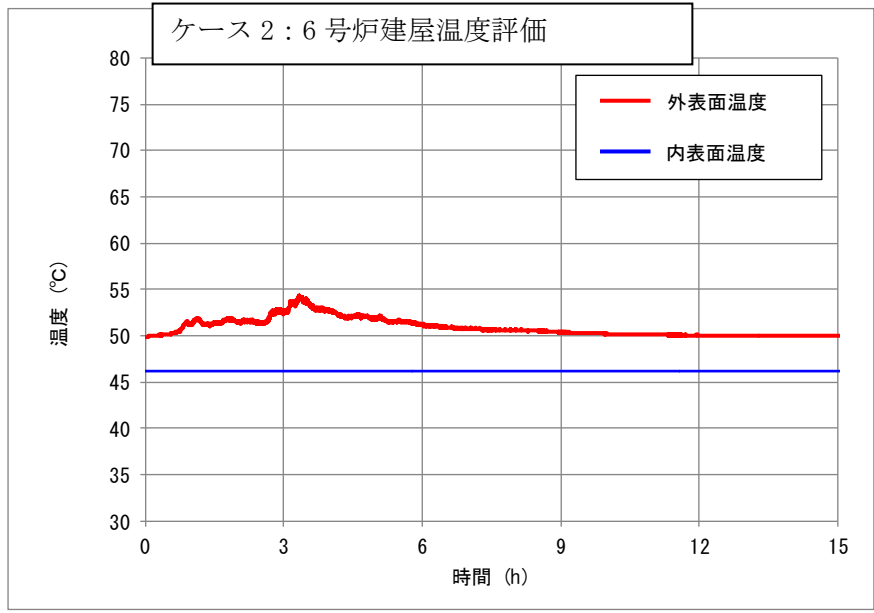
第 3.3-2 表 輻射強度と壁面温度の評価項目

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[W/m ²]	369	325	626	593	371	303
最大外壁面温度[°C]	53	53	55	55	53	52
最大内壁面温度[°C]	47	47	47	47	47	47

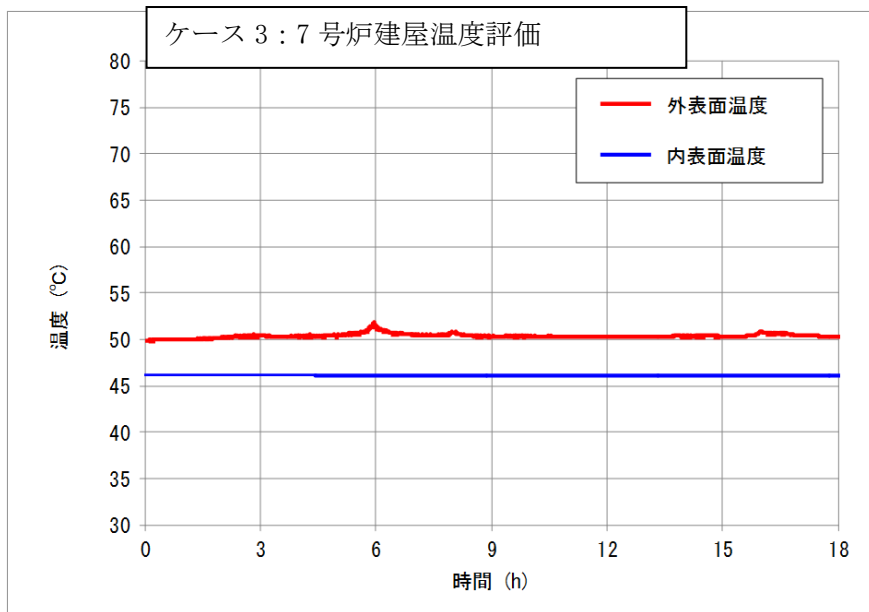
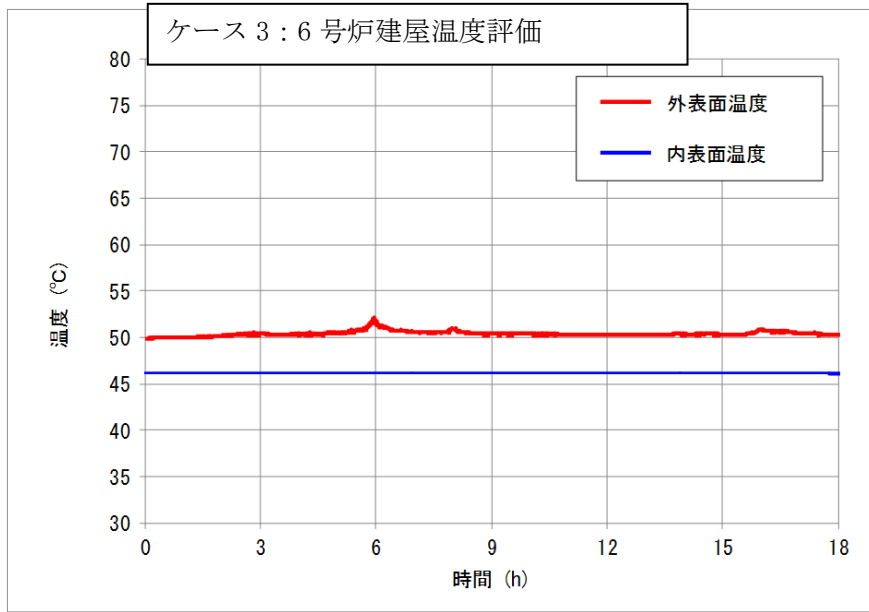
※外壁面の初期温度は 50°C，内壁面の初期温度は 46.2°C とする。



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)



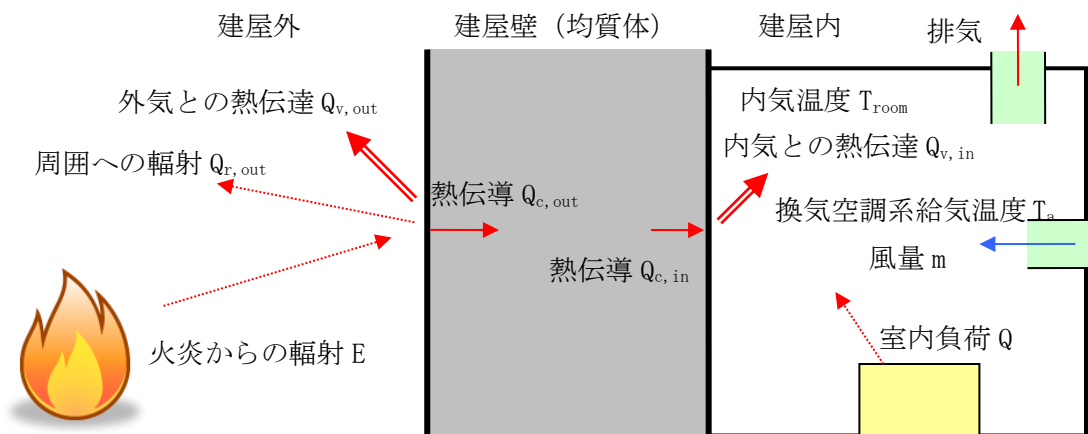
第 3.3-3(c) 図 原子炉建屋外壁面内壁面における温度上昇 (ケース 3)

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、一定の輻射強度で発電用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する。

なお、対象は防火帯に近接している固体廃棄物処理建屋とし、森林火災における最も厳しいケース 2 の条件で評価する。固体廃棄物処理建屋について温度評価を行う。

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。

第 3.4-1 表 内気温度算出時の入力パラメータ

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]	62.595	Jurges の式より (風速 16m/s)
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]	0.4	固体廃棄物処理建屋

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁及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

外壁及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

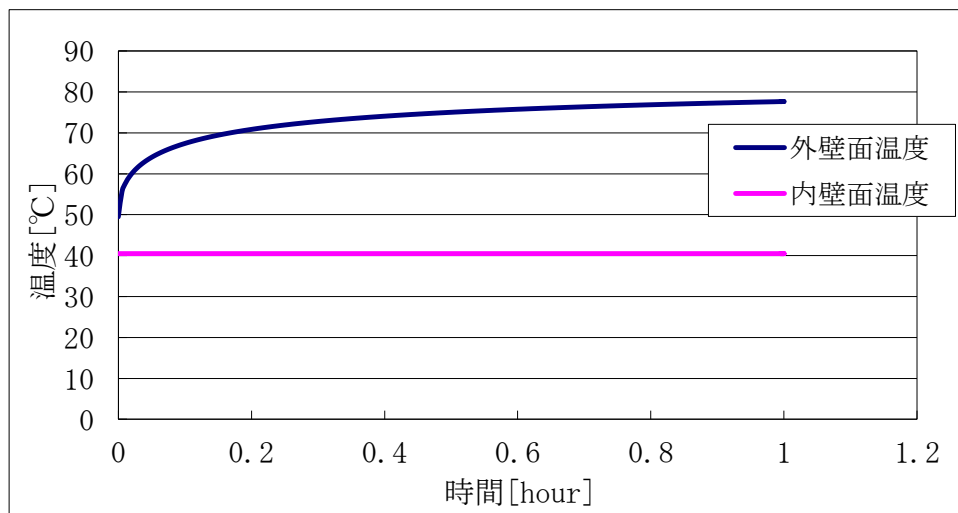
内気温度は、森林火災による内壁面温度上昇に伴う熱負荷と室内の熱負荷及び換気空調系による除熱を考慮し、次式で求める。

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

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

(1) 固体廃棄物処理建屋

森林火災における固体廃棄物処理建屋の評価結果を以下に示す。



第 3.4-2 図 外壁及び内壁面温度 (固体廃棄物処理建屋)

第 3.4-2 表 森林火災影響評価結果 (固体廃棄物処理建屋)

固体廃棄物処理建屋評価	
項目	森林火災 (ケース 2)
輻射強度 [W/m ²]	2840 ^{※1}
燃焼継続時間 [min] ^{※2}	51 (3060[s])
外壁面温度 [°C]	79
内壁面温度 [°C]	39
内気温度 [°C]	31
許容温度 [°C]	40 ^{※3}

※1: 離隔距離を 105m, その他の数値はケース 2 と同様とし, 3.2(10) 及び(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

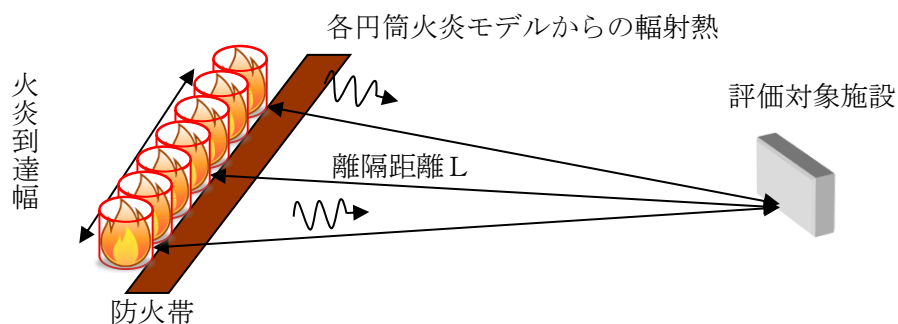
※3: 固体廃棄物処理建屋内の電気設備(固型化処理装置制御盤等)の最高使用温度

評価の結果, 内気温度は 31℃(最大値)まで上昇するが, 室内の電気設備(固型化処理装置制御盤等)の最高使用温度 40℃を下回ることを確認した。

3.5 屋外施設の影響評価

(1) 評価手法の概要

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

(2) 必要データ

評価に必要なデータは以下のとおり。

火炎輻射発散度が最も大きい森林火災(ケース 2)のデータを用いて評価する。

第 3.5-1 表 屋外施設影響評価時の入力データ

項目	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板)) ※1	主排気筒
火炎輻射発散度 [kW/m ²]	100		
火炎輻射強度 [kW/m ²]	211		
火炎長 [m]	3.08		
火炎到達幅 [m]	3730		
燃焼継続時間 [min]	51		
離隔距離 [m]	390	539	494
初期温度 [°C]	38※2	38※3 (55※2)	50※2
許容 (限界) 温度 [°C]	225※4	100※5	325※6
受熱面輻射強度 [W/m ²]	680	470	520

※1：燃料移送ポンプの温度評価体系は、「別紙 2-4 2.2 軽油タンク火災以外の外部火災時」を参照。

※2：柏崎市の過去最高気温（気象庁）に日射の影響を考慮

※3：燃料移送ポンプは防護板の裏面に設置されており日射の影響を受けないため、柏崎市の過去最高気温（気象庁）とする。

※4：軽油の発火点（理科年表）

※5：端子ボックスパッキンの耐熱温度（JIS K6380）

燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）の外表面温度をもって、燃料移送ポンプに熱影響が及ばないことを確認する。この場合、当該ポンプの許容限界温度（100°C）を踏まえ、防護板外表面の許容温度を 100°C とする（防護板（鋼板）の外表面温度が 100°C 以下であれば、燃料移送ポンプ（エリア）の温度は 100°C を超えない）。

※6：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）

(3) 温度評価

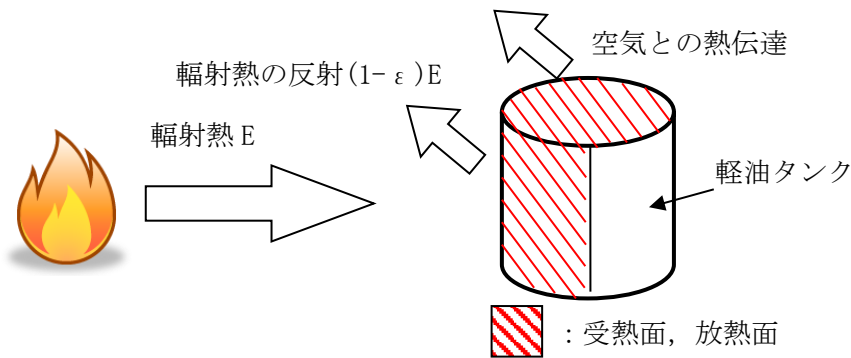
a. 軽油タンクの温度評価

一定の輻射強度で軽油及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 3.5-2 表に示す。

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

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， $S_1=S_2$ ：軽油タンク受熱・放熱面積 [m²]， C ：軽油タンク及び軽油の熱容量 [8.72×10⁸J/K]， t ：燃焼継続時間 [s]， T_{air} ：外気温度 [°C]

※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)

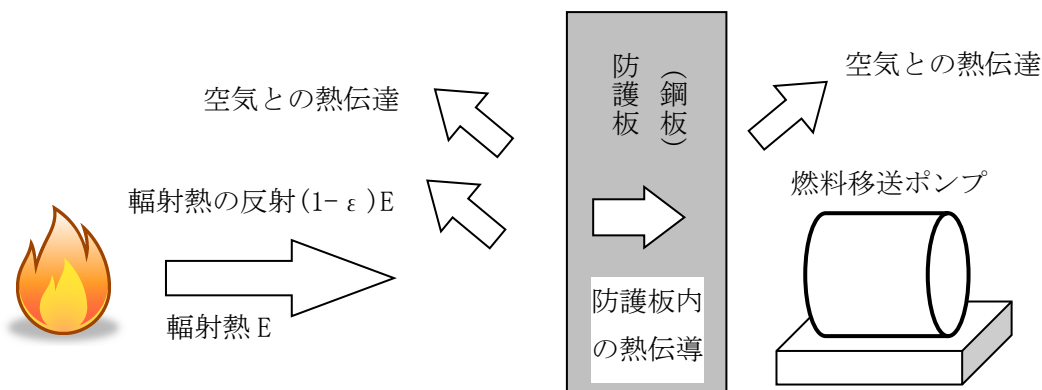
b. 燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板)) の温度評価

一定の輻射強度で燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板 (鋼板) が昇温されるものとして, 下記の式より, 防護板 (鋼板) の最大温度を求め, 防護板 (鋼板) 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 3.5-2 表に示す。

$$T = \frac{\varepsilon E_2^S + hST_{air}}{hS} - \left(\frac{\varepsilon E_2^S + hST_{air}}{hS} - T_0 \right) e^{\left(\frac{-hS}{C} \right) t}$$

T_0 : 初期温度 [55°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 防護板 (鋼板) 外面の放射率 (0.9) ※¹, h : 防護板 (鋼板) 表面熱伝達率 [17W/m²K] ※², S : 防護板 (鋼板) 放熱面積 [32.4m²] (S/2: 受熱面積は外面のみ), C : 防護板 (鋼板) の熱容量 [2.41 × 10⁶J/K], t : 燃焼継続時間 [s], T_{air} : 外気温度 [55°C]

※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 (防護板 (鋼板)) の熱影響評価 (概念図)

c. 主排気筒の温度評価

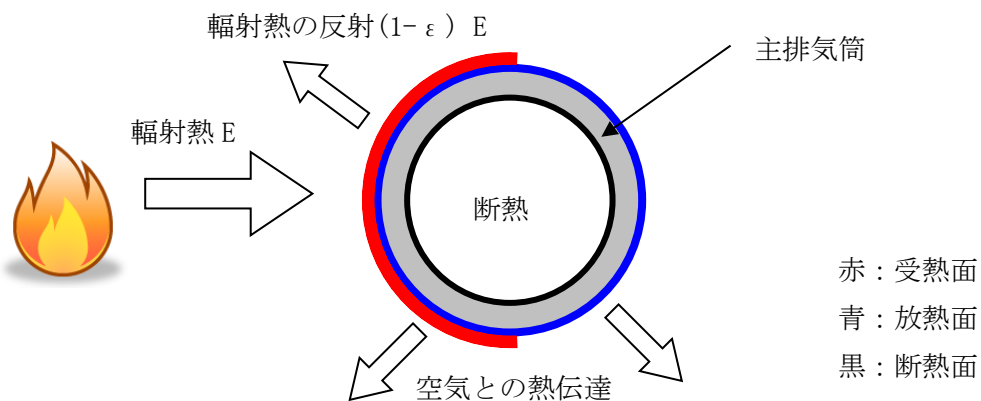
一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして, 下記の式より, 主排気

筒の最大温度を求め、主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 3.5-2 表に示す。

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

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

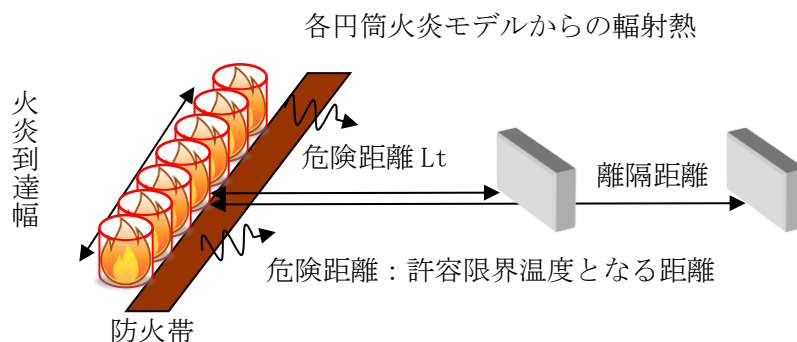
※1 : 伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧



第 3.5-4 図 主排気筒の熱影響評価 (概念図)

(4) 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及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 3.5-2 表に示す。

$$E_{max} = \frac{ThS_2 - hS_2T_{air} \left(1 - e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}\right) - hS_2T_0e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}}{\varepsilon S_1 \left(1 - e^{\left(-\frac{hS_2}{C}\right)t}\right)}$$

T_0 : 初期温度 [38°C], T : 許容限界温度 [°C], 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, $S_1=S_2$: 軽油タンク受熱・放熱面積 [m²], C : 軽油タンク及び軽油の熱容量 [8.72×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間 [s], T_{air} : 外気温度 [°C]

※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（防護板（鋼板））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の周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして、下記の式より、許容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 3.5-2 表に示す。

$$E_{max} = \frac{2}{\varepsilon S} \left(\frac{hS(T - T_{air})}{1 - e^{\left(-\frac{hs}{C}\right)t}} \right)$$

ε : 防護板（鋼板）外面の放射率 (0.9) ※¹, S : 防護板（鋼板）受熱面積 [16.2m²], h : 防護板（鋼板）表面熱伝達率 [17W/m²K] ※², C : 防護板（鋼板）の熱容量 [2.41×10⁶J/K], t : 燃焼継続時間 [s], T : 許容温度 [100°C], T_{air} : 外気温度（初期温度） [55°C]

※¹ : 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

(c) 主排気筒の危険輻射強度の算出

一定の輻射強度で主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 3.5-2 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 : 主排気筒表面の放射率 (0.9) ※¹, h : 主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 3.5-2 表に示す。

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

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

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, 発電用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。

$$\phi_t = (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 \cdots + \phi_F)$$

ϕ_t : 各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値

なお, 1, 2, 3, ..., F 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

輻射熱に対する発電用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発電用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かけた値になる。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 3.5-2 表に示す。

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

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

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 3.5-2 表 温度評価及び危険距離評価結果

	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板(鋼板))	主排気筒
最高温度[°C]	39	62	64
危険輻射強度[kW/m ²]	266.30	3.37	10.38
形態係数[-]	2.6584444	0.0337244	0.1037108
危険距離[m]	1	90	30
離隔距離[m]	390	539	494

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及び危険距離以上の離隔距離が確保されていることから、発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

防火帯の管理方針について

1. はじめに

森林火災評価結果に基づき，森林火災による外部火災防護施設への延焼防止対策として，発電所構内道路及び地形状況等を考慮し，約 20m 幅の防火帯を設定する。

防火帯内に他の法令要求等により可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限の機器等とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする必要があるため，防火帯の管理方法について以下に示す。

2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定に当たっては，草木を伐採する等，可燃物を排除し，除草剤の散布やモルタル吹付け等を行う。また，防火帯は表示板等で明確に区分するとともに，構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については，駐車禁止の措置等により，常時可燃物のない状態を維持する。

防火帯内には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器は，原則設置しない方針であるが，防火帯の位置設定においては発電所敷地内道路配置及び地形形状等を考慮して設定したことから，防火帯内の一部には他の法令要求等による少量の可燃物を含む機器等が存在する。このため，防火帯内に設置された機器等の延焼防止効果への影響の有無を評価し，必要な対策を講ずる設計とする。

第 1 表に防火帯に設置される機器等の管理方針について示す。

第 1 表 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針

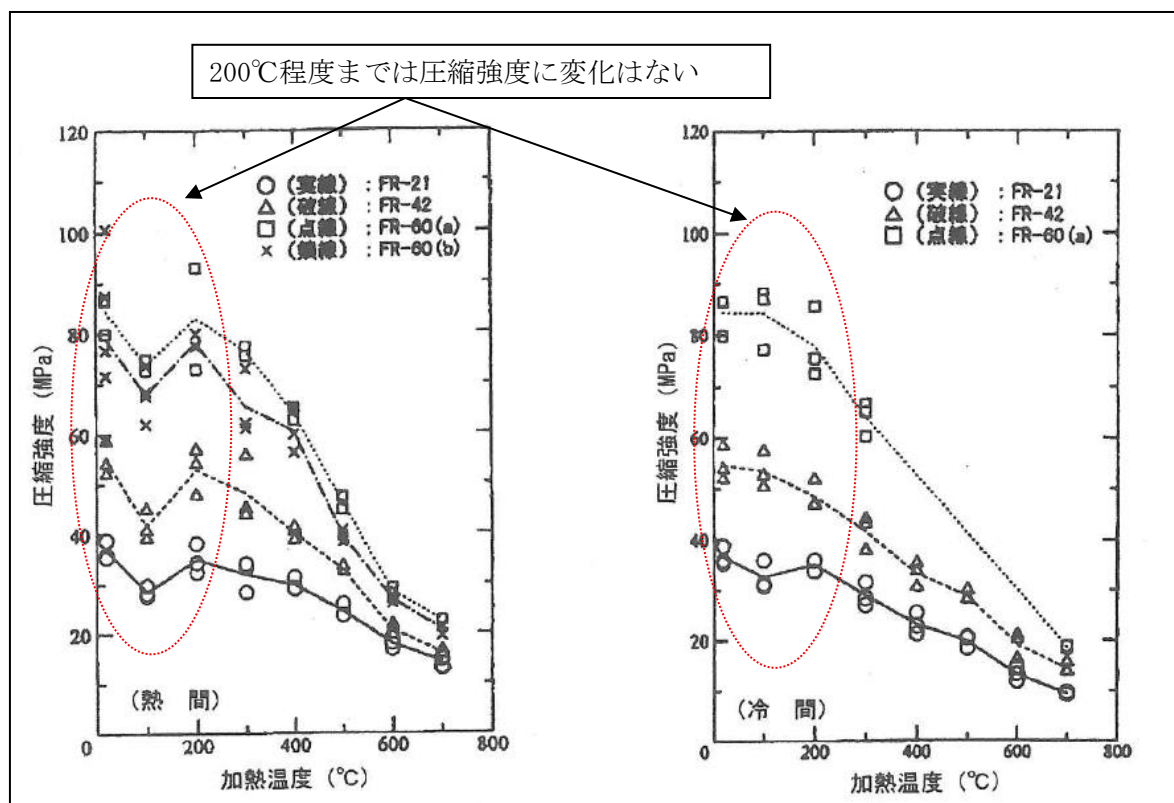
分類		機器例	評価及び管理方針
不燃性の機器		<ul style="list-style-type: none"> ・送電線 ・ガードパイプ ・マンホール（鋼製） 	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，機器に対して対策は不要。
可燃物を含む機器	局所的な設置機器	<ul style="list-style-type: none"> ・標識 ・カーブミラー 	局所的な火災となる。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから，機器に対して対策は不要。
	防火帯を横断して設置	なし	—

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。第1図にコンクリートの強度と温度の関係、第1表、第2表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。



第1図 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

第1表 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。

第2表 鉄筋コンクリート構造物の火害等級と補修・補強の基本*

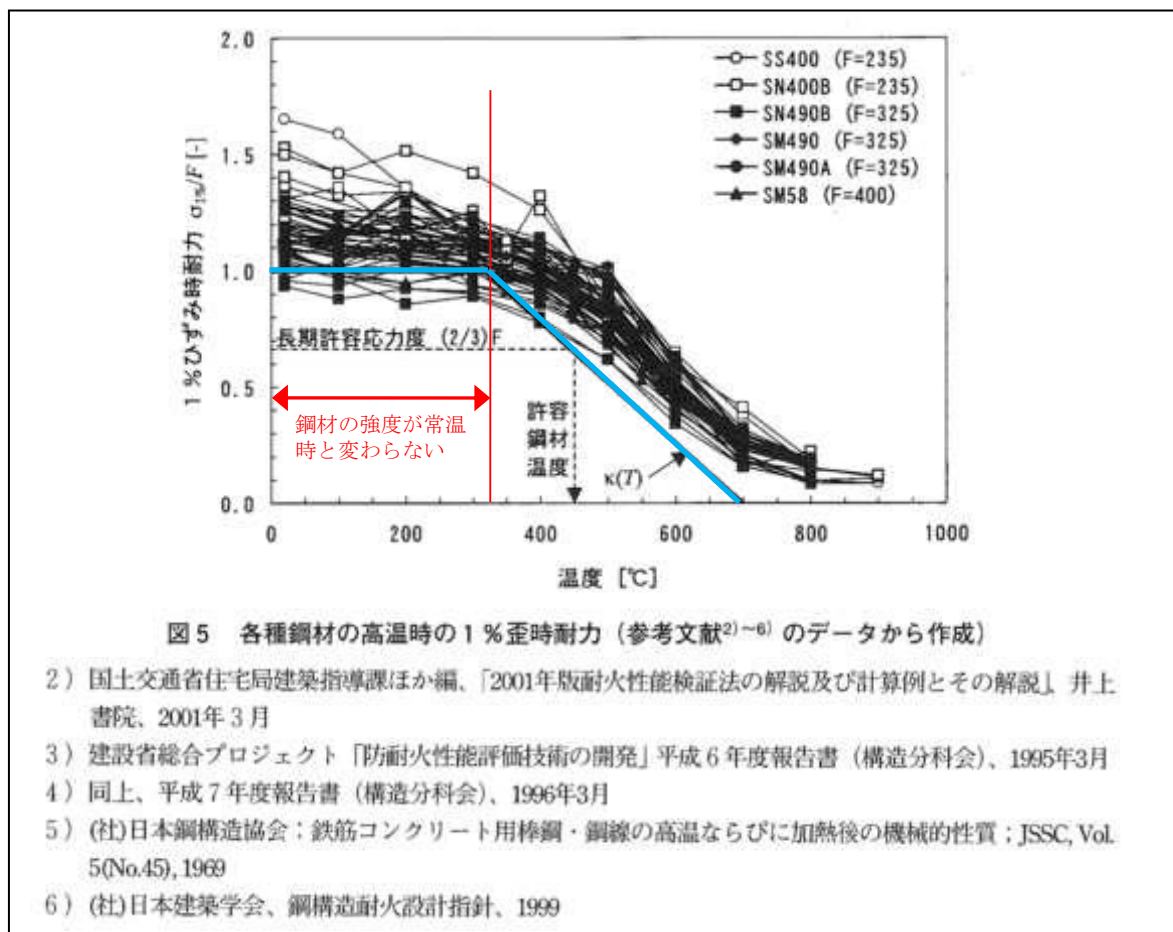
火害等級	状況	補修・補強の基本
I級	無被害の状態	—
II級	仕上げ部材に被害がある状態	仕上げのみの補修
III級	鉄筋位置へ到達しない被害	強度、耐久性が低下している場合は、かぶりコンクリートをはつり落とし、現場打コンクリートまたはモルタルで被覆するなどの処置をとる。
IV級	主筋との付着に支障がある被害	部材体力が低下しているため、かぶりコンクリートをはつり落とし、主筋を完全に露出させ、現場打コンクリートで被覆する。場合により補修も行う。
V級	主筋の座屈などの実質的な被害がある状態	補強、取替え、増設

*：建物の火害診断及び補修・補強方法，日本建築学会

主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（第 1 図）。

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。



第 1 図 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。

各施設等の温度評価体系

1. 軽油タンクの温度評価体系

- 火災時の輻射熱が軽油タンクに入射し、軽油及びタンク構造物の温度上昇に寄与すると想定する。
- 空気との熱伝達による放熱を考慮する。
- 軽油タンクの受熱時の面積 S_1 及び放熱時の面積 S_2 は、タンク屋根面積＋タンク側面面積／2 とする。

$$S_1 = S_2 = \pi \frac{D_0}{4} + \frac{\pi}{2} D_0 H \quad [\text{m}^2]$$

- 熱容量 C は、軽油の熱容量＋タンク構造物の熱容量とする。

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

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

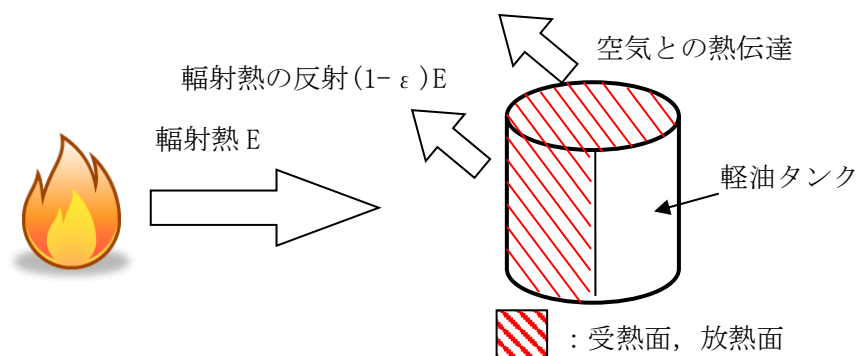
$$C \frac{dT}{dt} = \varepsilon E S_1 - h(T - T_{air}) S_2 \quad [\text{W}]$$

T_{air} : 外気温度 [°C]

温度 T は以下の式となる。

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

- 使用するパラメータを第 1 表に示す



第 1 図 軽油タンク温度評価体系図

第1表 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	9.872	[m]	設計図書
e_1 : タンク屋根厚	0.022	[m]	設計図書
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	8.72×10^8	[J/K]	計算

2. 燃料移送ポンプの温度評価体系

燃料移送ポンプは、その周囲に設置する防護板によって、外部火災からの輻射による熱影響を受けないよう防護する。

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

防護板の仕様としては、以下のとおり。

① 防護板（断熱）

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

② 防護板（鋼板）

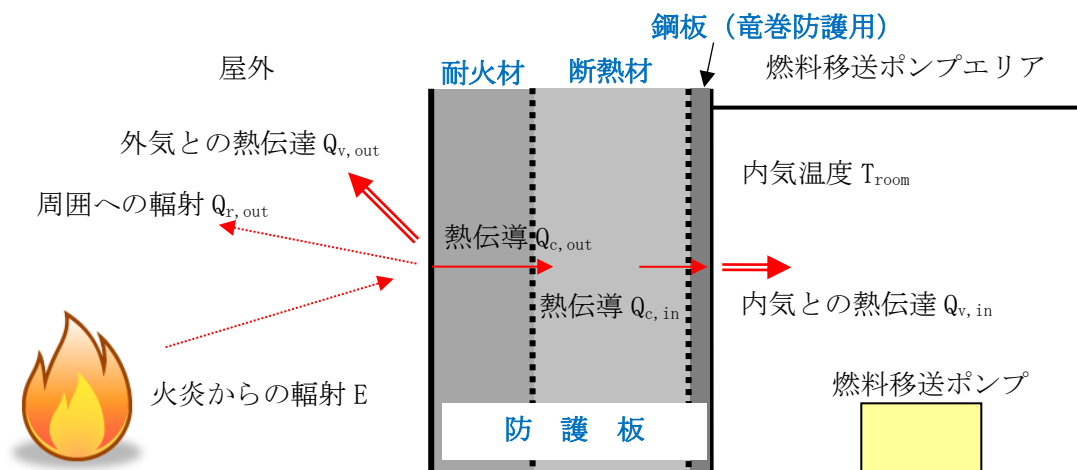
熱影響が軽微な面に設置する防護板。耐火材・断熱材は設置せず、竜巻防護用の鋼板のみの仕様。

防護板の仕様を踏まえた燃料移送ポンプの温度評価体系は、以下のとおり。

2.1 軽油タンク火災時

- 火災時の一定の輻射熱が燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（断熱）外面に入射し、一定時間維持されたと想定する。

以下に概念図を示す。



第2図 防護板（断熱）における伝熱の概念図

- 以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、防護板（断熱）の内

面並びに燃料移送ポンプエリア温度を求める。

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

T : 温度, t : 時刻, x : 防護板 (断熱) 外面からの距離, α : 熱拡散率

- 防護板 (断熱) の外面及び内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} : 防護板 (断熱) 内面熱伝達率, A : 防護板 (断熱) 内面の表面積, T_{in} : 防護板 (断熱) 内面温度, T_{room} : 燃料移送ポンプエリア温度

- 燃料移送ポンプエリア温度は, 火災による防護板 (断熱) 内面温度上昇に伴う熱負荷がポンプエリア内に蓄熱されることを考慮し, 次式で求める。

$$\Delta T_{room} = \frac{Q_{v,in}}{\rho CV}$$

ρ : 空気密度, C : 空気比熱, V : ポンプエリア体積

2.2 軽油タンク火災以外の外部火災時

- 軽油タンク火災以外の外部火災時は, 保守的に輻射熱が防護板 (鋼板) に入射し, 防護板 (鋼板) の温度上昇に寄与すると想定する。
- 空気との熱伝達による放熱を考慮する。
- 防護板 (鋼板) の外面にて受熱 (面積 S/2), 放熱は外面及び内面 (面積 S) とし, 受熱は, 面積が最大となるよう側面の 2 面とした。
- 熱容量 C は, 防護板 (鋼板) の熱容量とする。

$$C = \rho c V \quad [\text{J/K}]$$

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

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

T_{air} : 外気温度 [°C]

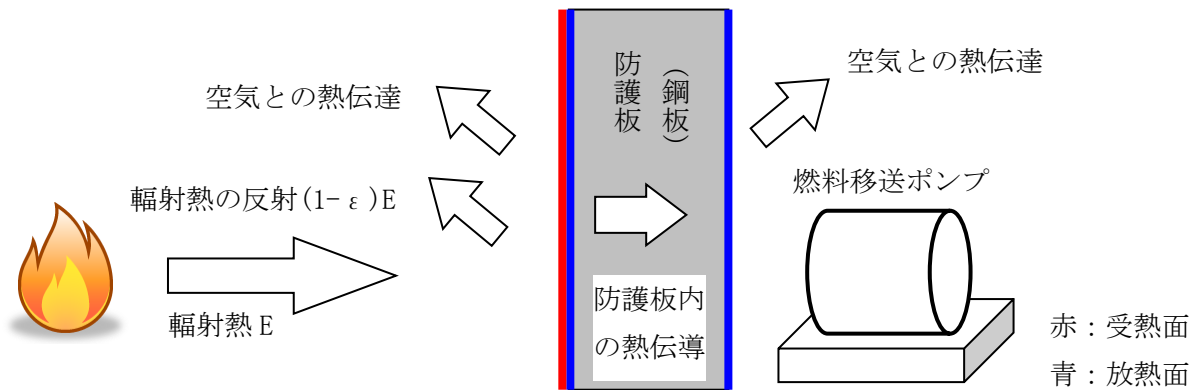
温度 T は以下の式となる。

$$T = \frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + hST_{air}}{hS} - \left(\frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + hST_{air}}{hS} - T_o \right) e^{\left(-\frac{hS}{C}\right)t} \quad [^\circ\text{C}]$$

<記号>

T_0 : 初期温度[°C], E : 輻射強度[W/m²], ϵ : 防護板(鋼板)外面の放射率[-]^{※1},
 h : 防護板(鋼板)表面熱伝達率[W/m²K]^{※2}, S : 防護板(鋼板)放熱面積[m²] ($S/2$:
受熱面積は外面のみ), C : 防護板(鋼板)の熱容量[J/K], ρ : 密度[kg/m³]^{※1}, c :
比熱[kJ/kgK]^{※1}, v : 体積[m³], t : 燃焼継続時間[s], T_{air} : 外気温度[°C]

※1:伝熱工学資料, ※2:空気調和・衛生工学便覧



第3図 防護板(鋼板)温度評価体系図

3. 主排気筒の温度評価体系

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

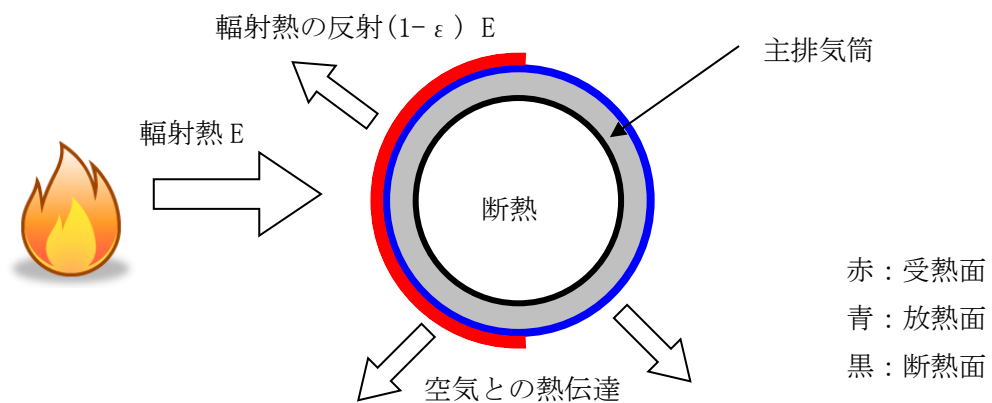
$$\rho CV \frac{dT}{dt} = \varepsilon E \frac{S}{2} - h(T - T_0)S$$

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

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

ρ : 主排気筒部材密度 [kg/m³], C : 主排気筒部材比熱 [J/kg/K], S : 主排気筒単位長さあたりの外周面積 [m²], V : 主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 [°C] (柏崎市の最高気温)^{※1}, E : 輻射強度 [W/m²], h : 熱伝達係数 [W/m²/K] (出典: 空気調和・衛生工学便覧), ε : 放射率 [-] (出典: 伝熱工学資料)

※1: 別紙 2-5 参照

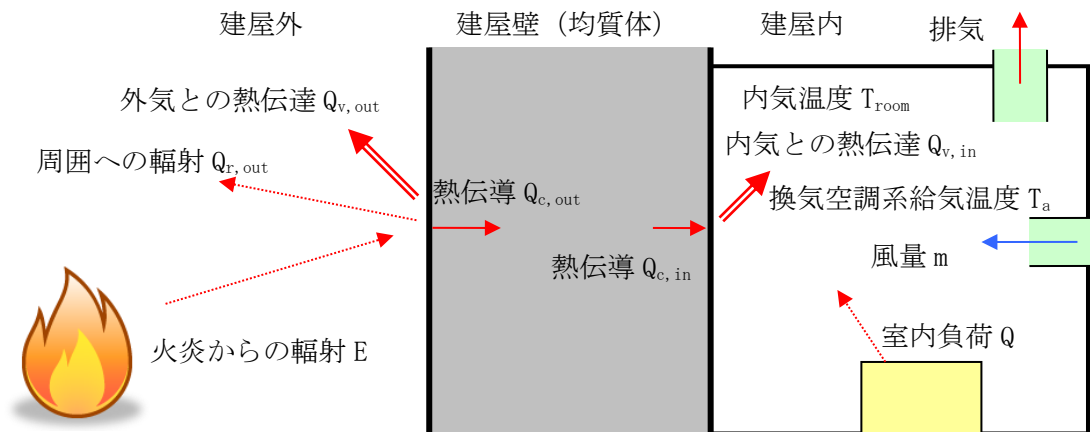


第 4 図 主排気筒温度評価体系図

4. 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。



第5図 伝熱の概念図

- 以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁及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

- 外壁及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及び換気空調系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 : 換気空調系給気温度

5. 一定の輻射熱を受ける壁面（コンクリート）の温度評価体系

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

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

これを表面（ $x = 0$ ）における境界条件

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

の下で入射熱流束が時間的に一定であれば、次式が得られる。

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

ただし、 $\operatorname{erfc}(z)$ は余誤差関数であり、 $T_s(t) = T(0,t)$ とおいた。
また、 $\varepsilon q / h (T_s - T_0) < 10$ の範囲では、以下のとおり近似できる。

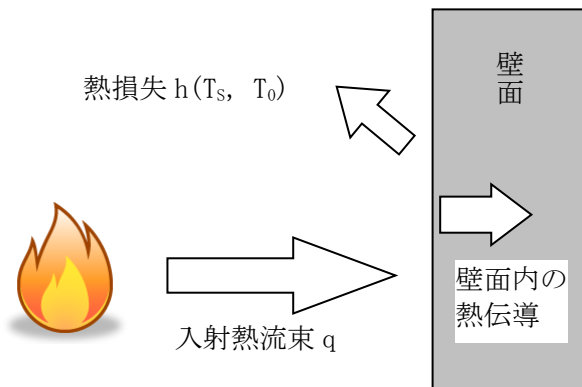
$$\frac{\varepsilon q}{h(T_s - T_0)} = \frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1$$

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

<記号>

c : 比熱[kJ/kgK], T_0 : 初期温度[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：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター



第6図 建屋温度評価体系図

初期温度の考え方

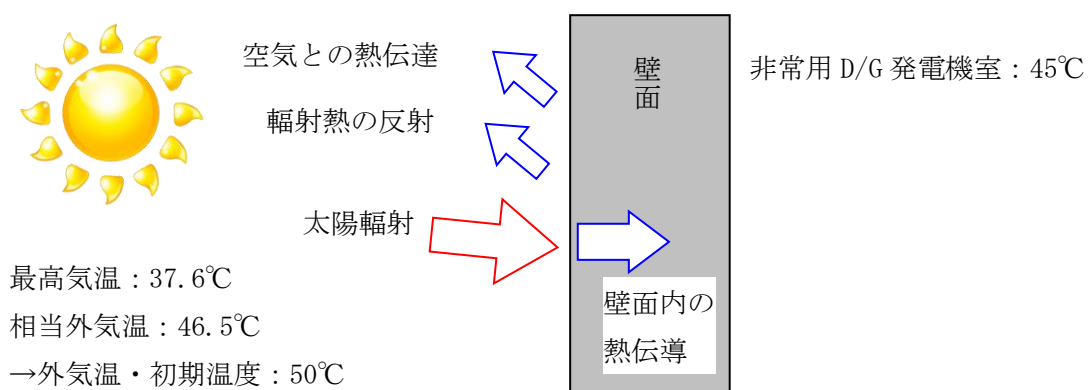
1. 外壁（コンクリート）面の初期温度

空気調和・衛生工学便覧をもとに，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及び評価対象施設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。

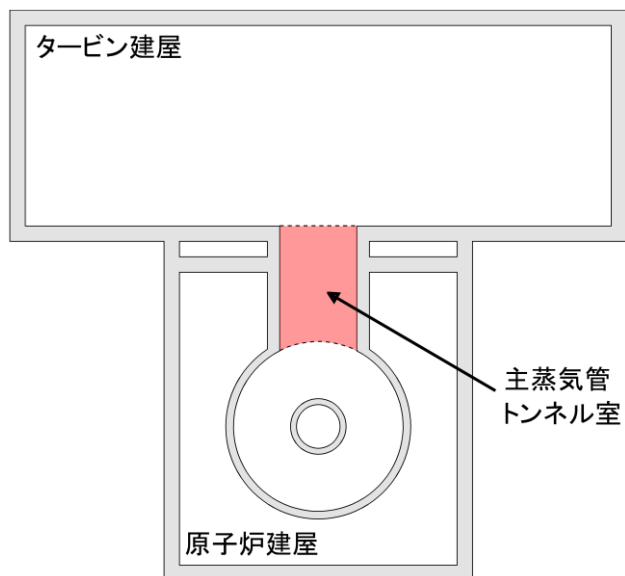
柏崎市の最高気温 37.6℃に対して，外壁面の相当外気温の最大値は 46.5℃となる。46.5℃を切り上げ，50℃を外気温及び初期温度として設定する。

なお，原子炉建屋内で最も室温が高いのは，主蒸気管トンネル室（設計温度：55℃）であり，外壁面の初期温度 50℃より高いものの，その外壁は原子炉建屋とタービン建屋の間に位置しており，外部火災による輻射の影響を受けない。

次いで室温が高いのは，非常用 D/G 発電機室（設計室温：45℃）となるが，外壁面の初期温度 50℃未満であることから，初期温度の設定は妥当なものとする。



第 1 図 原子炉建屋外壁面温度評価体系図



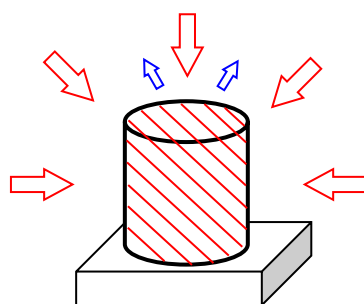
第2図 主蒸気管トンネル室の位置

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/m^2 まで増加するので、平均的には 0.5kW/m^2 の日射が最大値となるまでの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°C から、日射及び外気からの入熱による温度上昇分 6.7°C を加味し、 33.7°C と算定される。

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



最高気温： 37.6°C

→外気温・初期温度： 38°C

太陽輻射： →

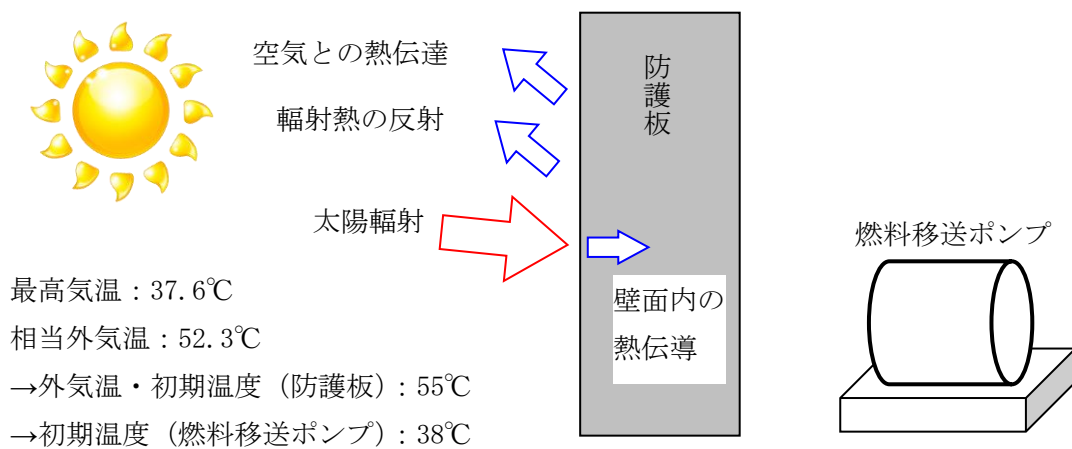
空気との熱伝達・輻射熱の反射・熱伝導： →

第3図 軽油タンク温度評価体系図

3. 燃料移送ポンプ（防護板）の初期温度

空気調和・衛生工学便覧をもとに、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及び評価対象の初期温度として設定した。なお、受熱面はポンプ周囲に設置している防護板とする。

柏崎市の最高気温 37.6℃に対して、燃料移送ポンプの周囲に設置している防護板外表面の相当外気温の最大値は 52.3℃となる。52.3℃を切り上げ、55℃を外気温の初期温度として設定する。また、燃料移送ポンプについては、周囲に防護板が設置されており、日射の影響を受けないことから、柏崎市の最高気温の最高値 37.6℃を切り上げ、38℃を初期温度として設定する。

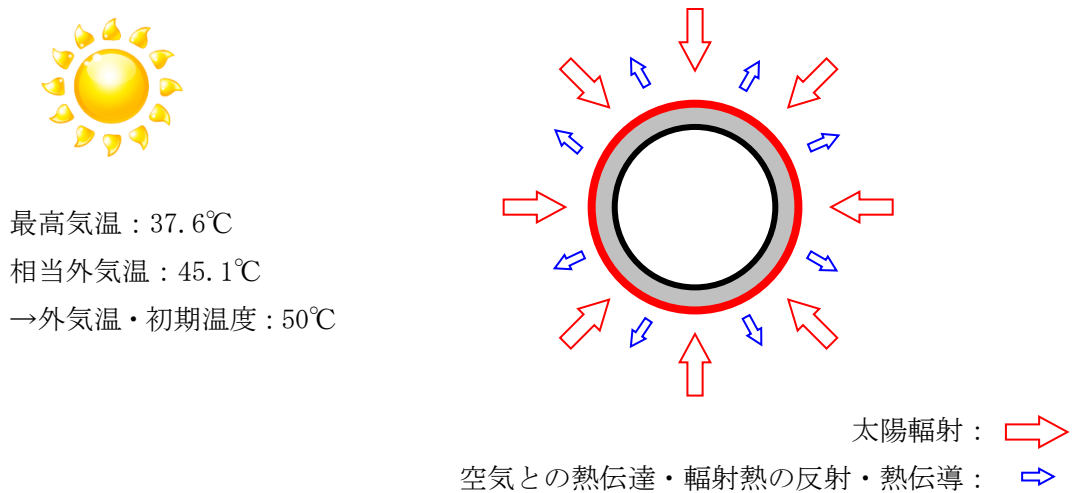


第4図 燃料移送ポンプ温度評価体系図

4. 主排気筒の初期温度

空気調和・衛生工学便覧をもとに，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及び評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面は主排気筒の側面とした。

柏崎市の最高気温 37.6℃に対して，主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。



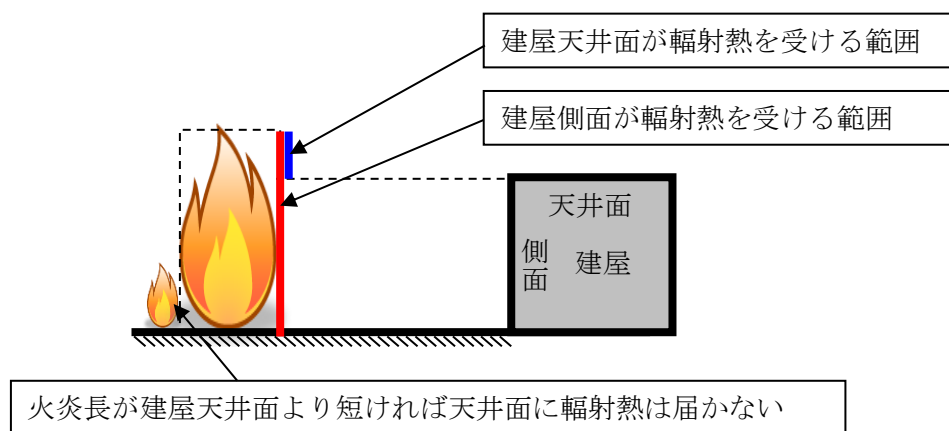
第5図 主排気筒温度評価体系図

建屋天井面への熱影響評価

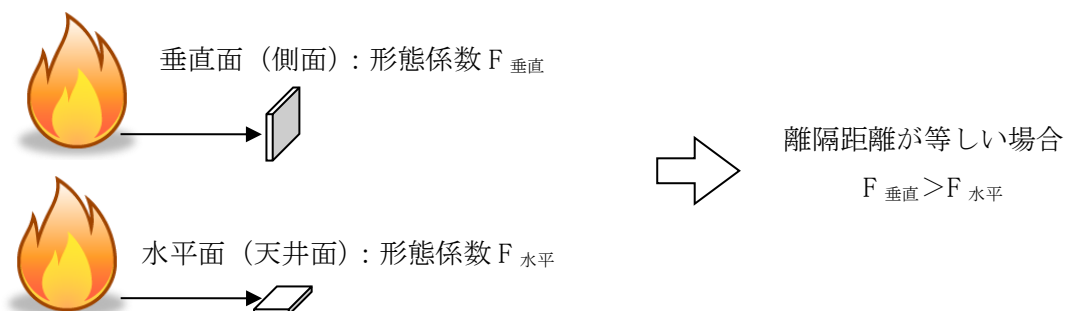
建屋側面への熱影響を実施したが、天井面についての熱影響を検討する。

- ・ 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。(第1図)
- ・ 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。(第1図)
- ・ 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。(第2図)
- ・ 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。



第1図 天井面への輻射熱の影響



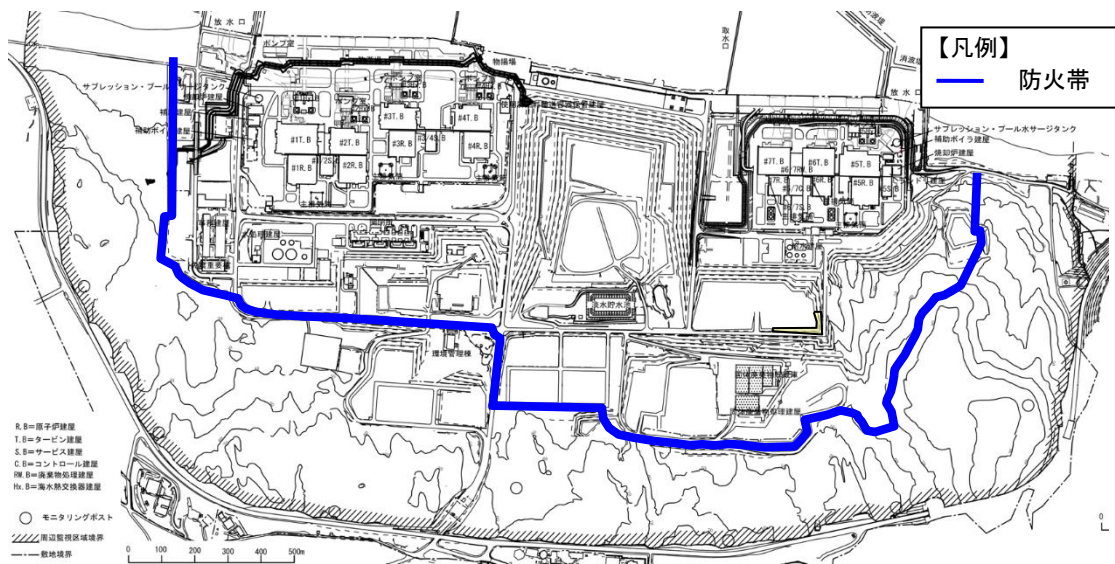
第2図 垂直面と水平面の形態係数の大きさ

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、第 1 図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。

設定に当たっては、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、可燃物がない状態を維持する。



第 1 図 防火帯位置

2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価

(1) 評価方針について

地震が起因となり、発電所敷地外にて森林火災が発生することは否定できないことから、安全上の配慮として、仮に地震と森林火災が重畳した場合を想定し、地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価を行う。

(2) 森林火災が防火帯を突破する可能性について

森林火災(単独事象)の影響評価では、下記に示す保守的な前提条件としている。

- ① 気象条件(湿度, 気温, 風速)は, 過去10年間における森林火災発生件数の多い3~5月のうち, 最も厳しい条件の組み合わせとしている。
- ② 植生は, 現地調査等で特定した樹種ごとに, より厳しい評価となるような林齢及び下草を設定している。
- ③ 日照時間の影響を考慮し, 防火帯近傍における火線強度が最大となるように森林火災の発火時刻を設定している。

自然現象の重畳を検討する場合, 主事象(地震)に対して, 副事象(森林火災)の規模を小さくすることは一般的に用いられている手法である。森林火災については, 定量的な規模を示すことは困難であるが, 同様に, 主事象である地震と重畳する森林火災の規模が単独事象の森林火災より小さくなると考えられ, 防火帯内に多くの可燃物(草木等)が流入しなければ, 防火帯の延焼防止機能が直ちに喪失することはない。

(3) 地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について

第2図に防火帯とアクセスルートを示す。

防火帯については, アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方^{*}に基づき(第3図), 斜面崩壊に伴い防火帯に可燃物が流入し, 延焼防止機能に影響がある場合は, 機能の低下を想定する。

防火帯の機能が低下した場合, 防火帯の内側への森林火災の延焼が想定されるものの, 発電所敷地内には道路(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と考えられる(「別紙2-8 防火帯内植生による火災について」参照)。

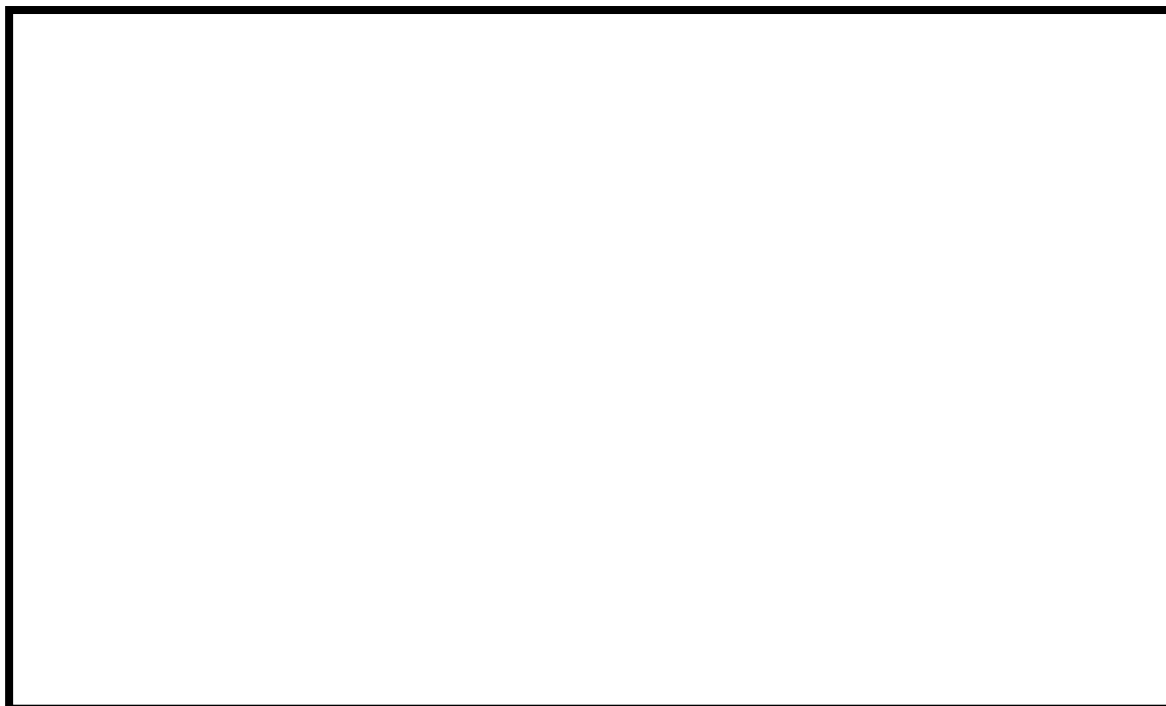
斜面崩壊の影響を受けるアクセスルートの範囲を第4図に, 地震時におけるアクセスルートを第5-1図, 第5-2図に示す。

地震時に使用するアクセスルートのうち, 中央交差点及び荒浜側高台保管場所付近については, 地震時の斜面崩壊の影響を受けないことから, 防火帯の機能は維持され, 当該箇所のアクセスルートは通行可能であり重大事故等に対処できる。

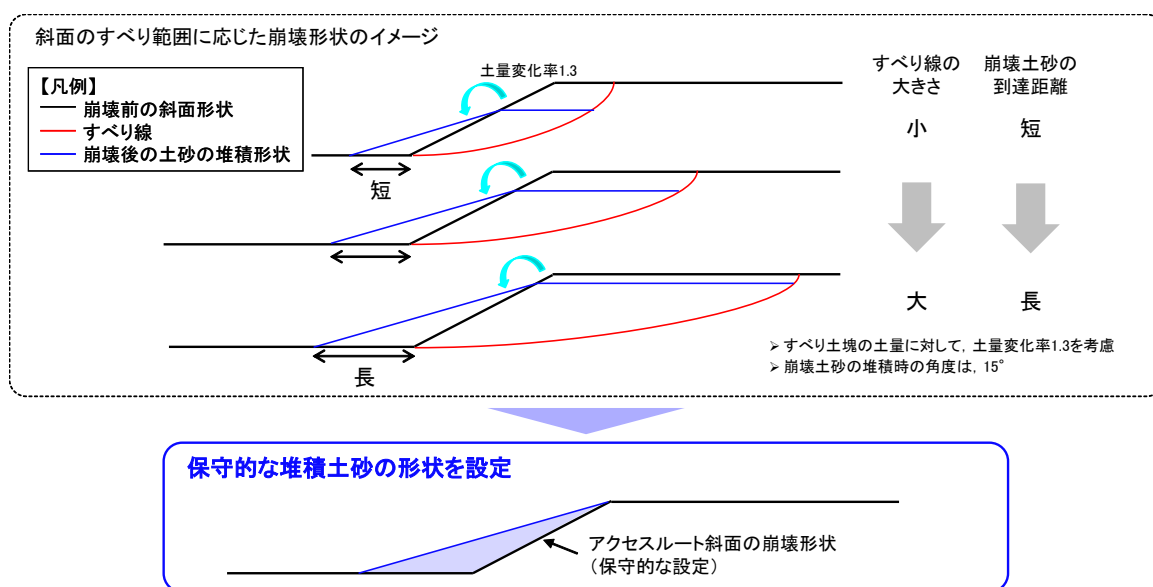
^{*}アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方は, 「技術的能力 添付資料1.0.2 可搬型重大事故等 対処設備保管場所及びアクセスルートについて」と同様とする。

また、地震時に使用するアクセスルートのうち、中央交差点及び荒浜側高台保管場所付近を除く範囲については、森林火災が発生し、防火帯機能が低下する範囲から延焼してきたとしても、防火帯の内側への更なる延焼の可能性は低いことから、当該箇所のアクセスルートは通行可能（仮復旧の実施を含む）であり重大事故等に対処できる。

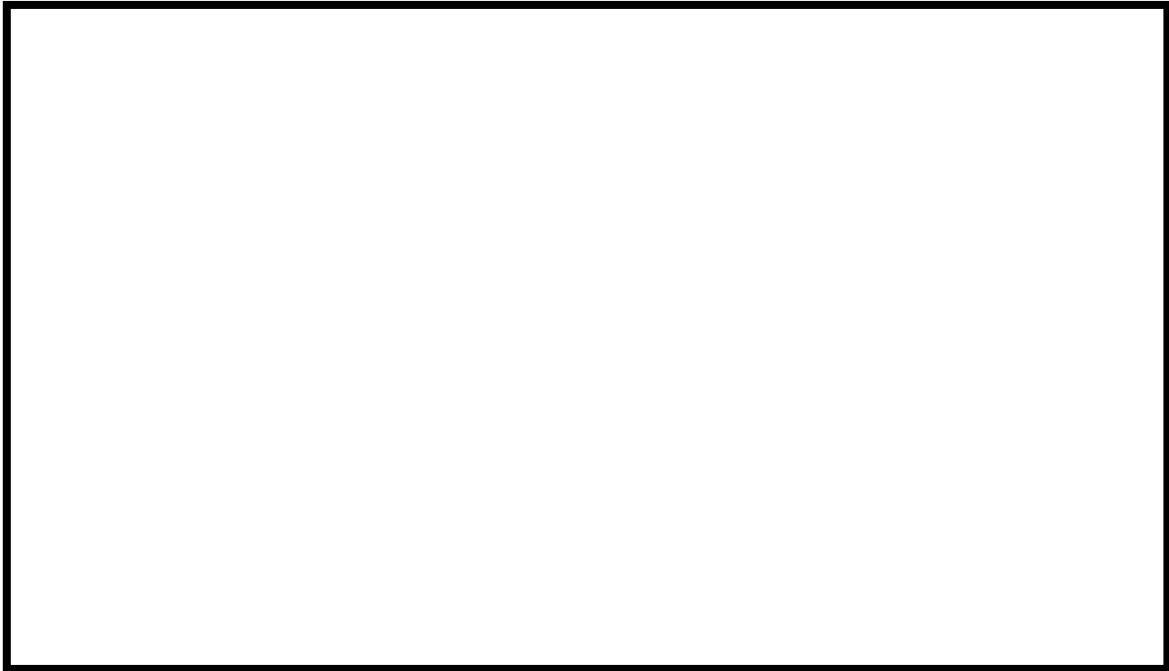
さらに、現場の状況に応じた自衛消防隊による予防散水により、防火帯内への森林火災の延焼リスク低減も可能である。



第2図 防火帯とアクセスルート



第3図 斜面崩壊時の堆積土砂の形状

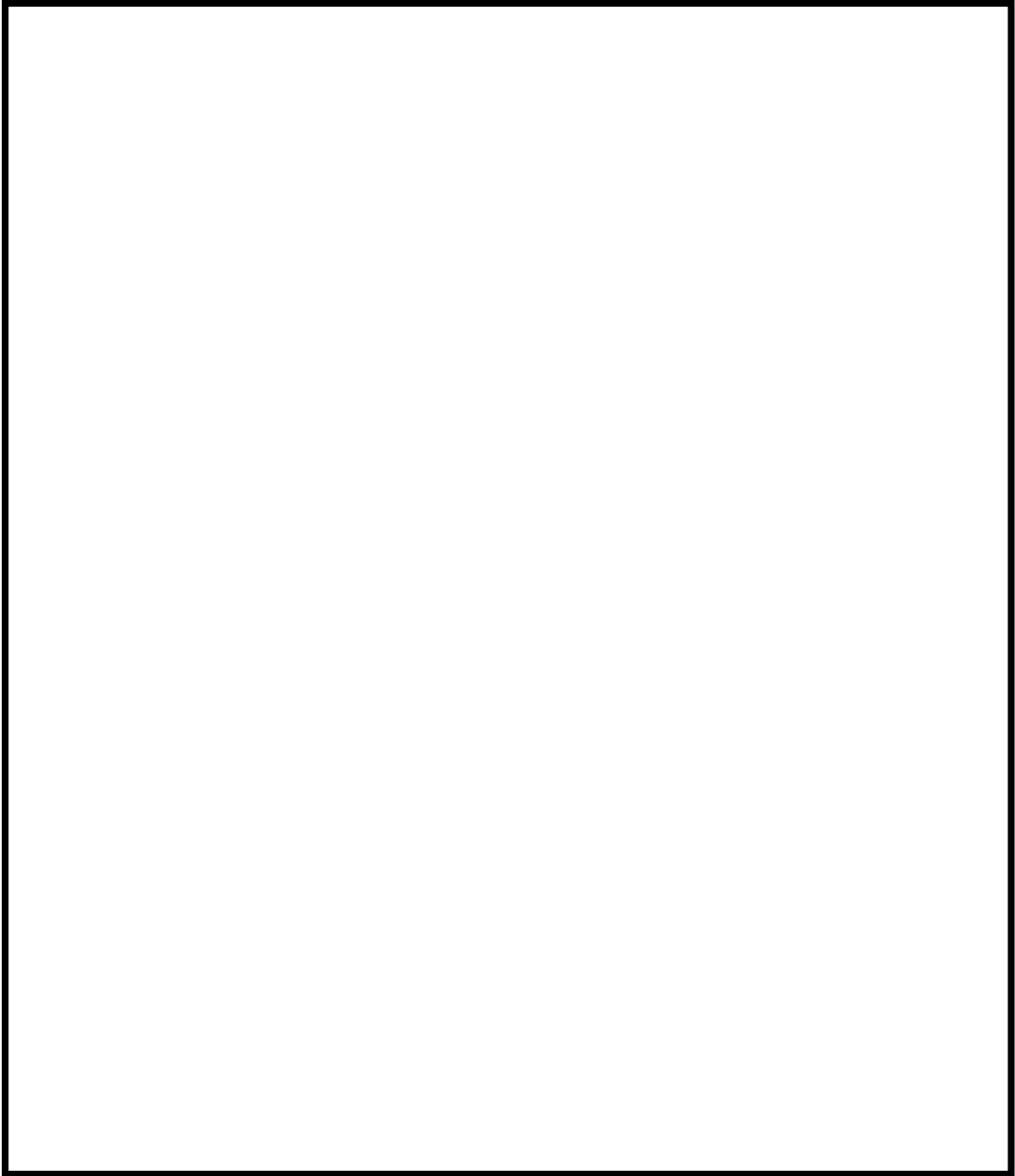


第4図 斜面崩壊の影響を受けるアクセスルート範囲



第5-1図 地震時におけるアクセスルートの選定結果

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません



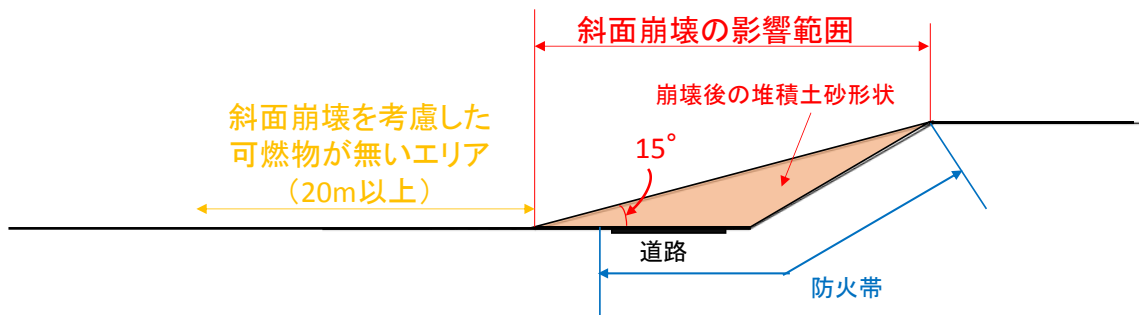
第 5-2 図 地震時におけるアクセスルートを選定結果

(4) 斜面崩壊に対する対策について

(3)に示すような斜面の崩壊によって防火帯の延焼防止機能低下が想定される場合は、安全上の配慮として当該箇所の延焼防止機能の低下を緩和するために、崩壊後の堆積土砂の影響範囲[※]を考慮した可燃物がないエリアを設定する。

第6図及び第7図に、対策を行う範囲の例を示す。

※崩壊後の堆積土砂による影響範囲は、「技術的能力 添付資料 1.0.2 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについて」と同様とする。



第6図 防火帯の延焼防止機能の低下緩和対策イメージ



第7図 可燃物がないエリア

防火帯内植生による火災について

第 1 図に防火帯内の植生（平成 27 年 1 月現在）を示す。

発電用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発電用原子炉施設及び重大事故等対処設備に対しての影響はない。

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、柏崎刈羽原子力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。

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません

6 条-別添 4 (外火)-1-添付 2-106



第1図 発電所防火帯内植生図

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて

被ばく評価で使用している気象条件との違いについて以下に示す。

なお、被ばく評価は、柏崎刈羽原子力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ている。

第1表 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 降水がな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

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、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。

第 1 表 マツ及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

※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ごとの面積 S [ha], 材積 V [m^3] 及び, マツの気乾比重 520 [kg/m^3] ※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 $= 520 \times V \div S \times 1000$

※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

8月の気象条件及び3～5月の気象条件を適用した解析結果の比較について

1. 森林火災の想定

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、及び最小湿度の組み合わせとしているが、新潟県、柏崎市・刈羽村・出雲崎町における森林火災発生件数は、3～5月を除き、8月にも発生している。このため、8月の気象条件を適用した森林火災について、現在のプラント状況と植生等が異なっている箇所はあるが、過去に感度解析を実施している。

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た解析結果の比較である。

(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第1表（上段）に示す。

第1表 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[°C]	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) 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第2表に示す。

第2表 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）

2. 評価結果

過去に実施した解析であるが、8月の気象条件を適用したケースでは、これまでと同様に、気象条件における気温の上昇に対して、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する傾向を示しており、発電用原子炉施設への熱影響はケース2の評価に包絡される結果となっている。なお、最大火線強度の低下に対して、風速と湿度のうち、どちらの影響が大きいかについては確認できていない。

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。

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柏崎刈羽原子力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

発電用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及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、それぞれ柏崎刈羽原子力発電所から約 39km、約 72km 及び約 84km であり、いずれも柏崎刈羽原子力発電所から 10km 以遠である（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、発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはない。



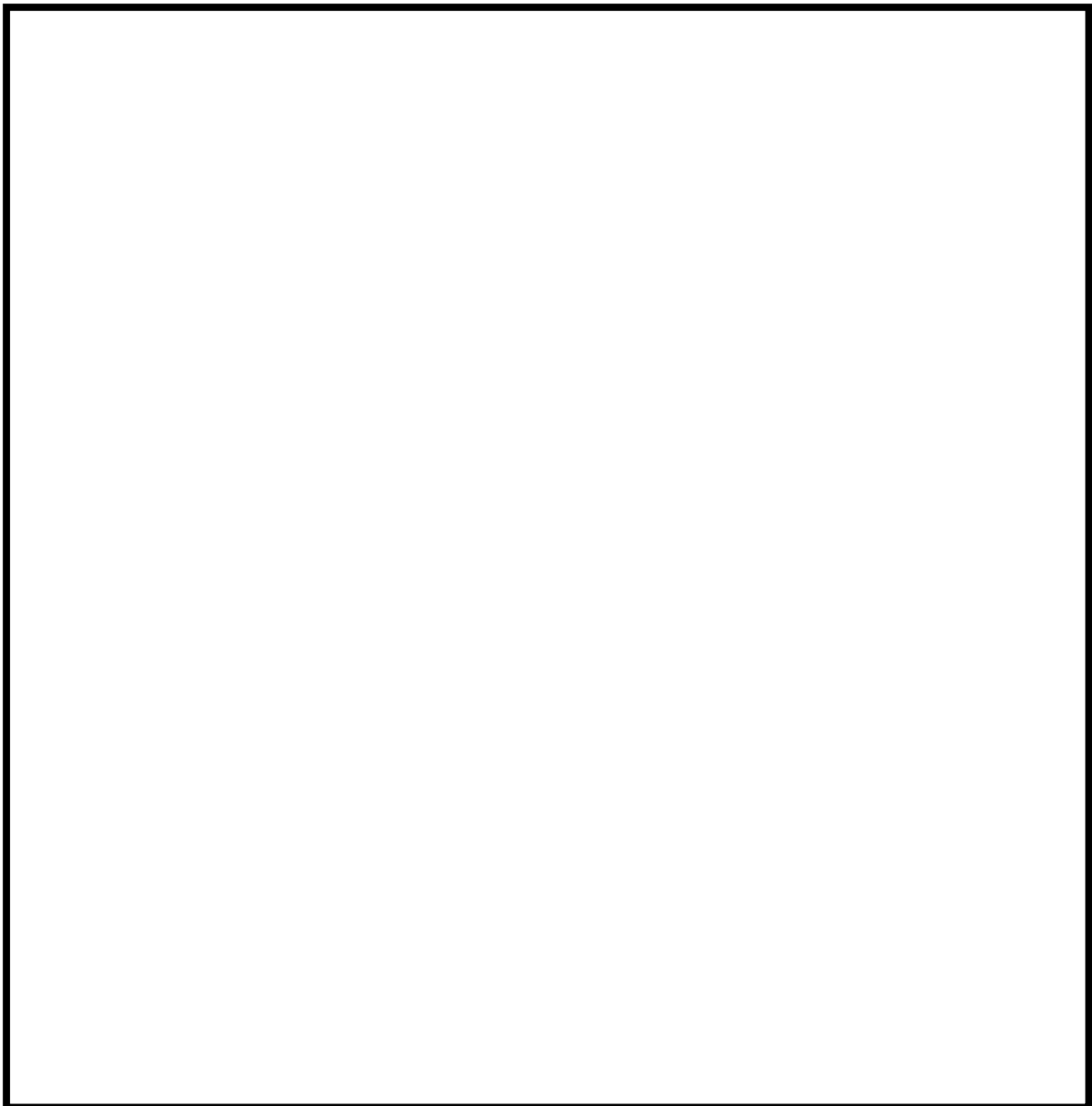
注) 図の位置は、おおよその場所を表している

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
と柏崎刈羽原子力発電所までの距離

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，柏崎刈羽原子力発電所から最も近い施設及び柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内の施設における最大数量をそれぞれ抽出する。なお，危険物貯蔵施設については柏崎市消防本部並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。

柏崎刈羽原子力発電所から 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 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

第 3-1 表 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】(1/3)

--

第 3-1 表 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】(2/3)

--

第 3-1 表 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】 (3/3)

--

※1：柏崎刈羽原子力発電所から最短の危険物貯蔵施設までの距離である

※2：柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する最大貯蔵量の危険物貯蔵施設である

第 3-2 表 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【高圧ガス貯蔵施設】 (1/2)

--

第 3-2 表 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【高圧ガス貯蔵施設】(2/2)

--

※1：柏崎刈羽原子力発電所から 10km 圏内に位置する最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設である

※2：柏崎刈羽原子力発電所から最短の高圧ガス貯蔵施設までの距離である

第 3-3 表 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【ガスパイプライン】

--

※1：柏崎刈羽原子力発電所から最短のガスパイプライン（バルブ施設）までの距離である

3.1 危険物貯蔵施設

柏崎刈羽原子力発電所から 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、柏崎刈羽原子力発電所から最短の危険物貯蔵施設までの距離は約 2.3km である（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 が有ったと仮定し、熱影響評価を実施したところ、危険距離は約 56m であり、柏崎刈羽原子力発電所との距離約 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柏崎刈羽原子力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	<input type="text"/>
合計	<input type="text"/>



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

以下に示すとおり、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。

第 3.1-2 表 原油とメタノールの評価条件

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[W/m ²] ¹⁾	41×10 ³	9.8×10 ³
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	2.135×10 ⁻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。したがって、燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出する。

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

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} = 2.135×10⁻⁵[m/s]として、燃焼継続時間を求めると、

$$t = \frac{V_{原油} + V_{メタノール}}{\pi R^2 \times v_{原油}} = 35740[s]$$

$$= 9.92[h]$$

(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、一定の輻射強度で発電用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：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター
 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

$$E=6762[\text{W/m}^2]$$

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°C となる危険輻射強度を求める。

$$T = \frac{\varepsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - \left(\frac{\varepsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - T_0 \right) e^{\left(-\frac{hS_2}{C} \right) t}$$

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， $S_1=S_2$ ：軽油タンク受熱・放熱面積[m²]， C ：軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10⁸J/K]， t ：燃焼継続時間[s]， T_{air} ：外気温度[°C]

※¹：伝熱工学資料，※²：空気調和・衛生工学便覧

$$E=24460[\text{W/m}^2]$$

c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））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の周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして，下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が 100°C となる危険輻射強度を求める。

$$E_{max} = \frac{2}{\varepsilon S} \left(\frac{hS(T - T_{air})}{1 - e^{\left(-\frac{hS}{C} \right) t}} \right)$$

ε ：防護板（鋼板）外面の放射率(0.9)※¹， S ：防護板（鋼板）受熱面積[32.4m²]，
 h ：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m²K]※²， C ：防護板（鋼板）の熱容量[2.41

$\times 10^6$ [J/K], t : 燃焼継続時間 [s], T : 許容温度 [100°C], T_{air} : 外気温度 (初期温度) [55°C]

※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 1700 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

d. 主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、一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして、下記の式より主排気筒の温度が 325°C 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°C], E : 輻射強度 [W/m²], ε : 主排気筒表面の放射率 (0.9) ※1, h : 主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

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

(5) 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かけた値となる。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

第 3.1-3 表 形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
危険輻射強度 [W/m ²]	6762	24460	1700	10388
輻射発散度 [W/m ²]	41×10^3			
形態係数	0.1649447	0.5965911	0.0414750	0.2533875

(6) 危険距離の算出

火災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する。

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

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[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

第 3.1-4 表 危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
形態係数	0.1649447	0.5965911	0.0414750	0.2533875
燃焼半径[m]	[]			
危険距離[m]	約 56	約 20	約 134	約 39

(7) 火災による熱影響の有無の評価

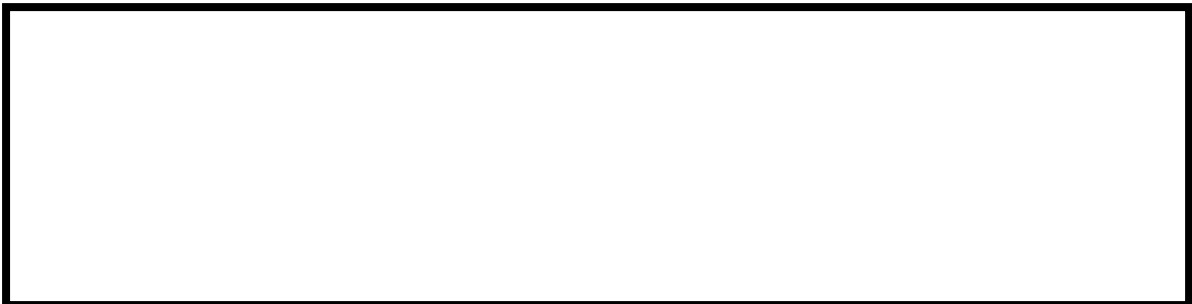
最大貯蔵量の危険物貯蔵施設における危険距離は最大でも約 134m であり、離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって、発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火災が発生した場合においても柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。

3.2 高圧ガス貯蔵施設

柏崎刈羽原子力発電所から 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、柏崎刈羽原子力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)。

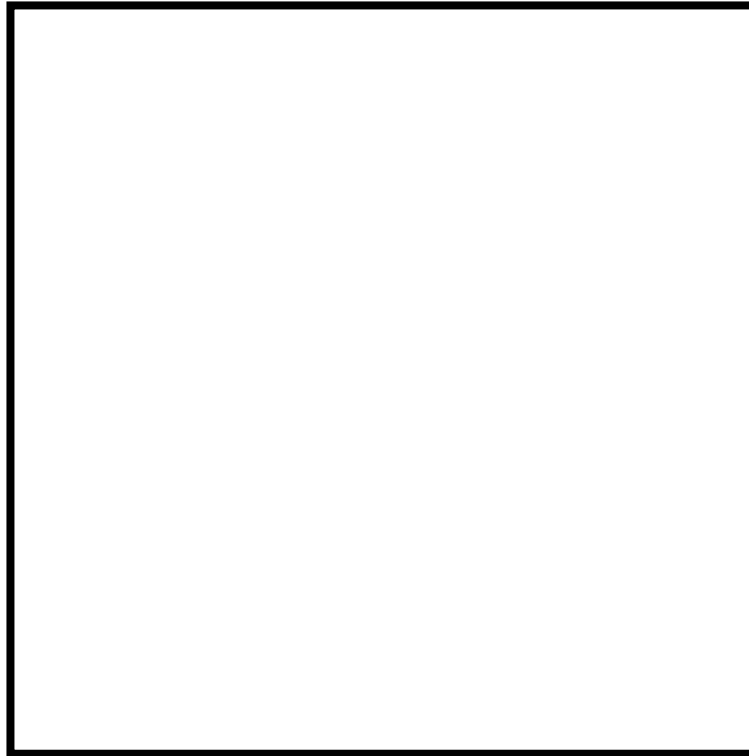
仮に最短距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 [] が有ったと仮定し、熱影響評価及び爆風圧による影響評価を実施したところ、危険距離は約 30m、危険限界距離は [] となり、柏崎刈羽原子力発電所との距離約 5km よりも小さいことを確認した。また、飛来物の影響について評価を実施し、飛来物の最大飛散距離は [] となり、柏崎刈羽原子力発電所との距離約 5km よりも小さいことを確認した。

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柏崎刈羽原子力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压ガスの貯蔵量

種類	貯蔵量[t]
液化石油ガス	



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

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。

第 3.2.1-1 表 プロパンの評価条件

評価条件	
燃料の種類	プロパン
燃料量[t]	
防油堤面積[m ²]	
輻射発散度[W/m ²] ¹⁾	74×10 ³
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。したがって、燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出する。

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

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、

$$t = \text{} = 2419[s] = 0.671[h]$$

(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、一定の輻射強度で発電用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。

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

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター
 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

$$E = 10333[W/m^2]$$

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。

$$T = \frac{\varepsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - \left(\frac{\varepsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - T_0 \right) e^{\left(-\frac{hS_2}{C} \right) t}$$

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}, $S_1=S_2$: 軽油タンク受熱・放熱面積[m²], C : 軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間[s],
 T_{air} : 外気温度[℃]

※1 : 伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 336369 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））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の周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして、下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。

$$E_{max} = \frac{2}{\varepsilon S} \left(\frac{hS(T - T_{air})}{1 - e^{\left(-\frac{hS}{C} \right) t}} \right)$$

ε : 防護板（鋼板）外面の放射率 (0.9)^{※1}, S : 防護板（鋼板）受熱面積[32.4m²],
 h : 防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m²K]^{※2}, C : 防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10⁶J/K], t : 燃焼継続時間[s], T : 許容温度[100℃], T_{air} : 外気温度（初期温度）[55℃]

※1:伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 4001 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

d. 主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、一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして、下記の式より主排気筒の温度が 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 : 主排気筒表面の放射率 (0.9)
^{※1}, h : 主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

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

(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かけた値となる。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

第 3.2.1-2 表 形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
危険輻射強度 [W/m ²]	10333	336369	4001	10388
輻射発散度 [W/m ²]	74 × 10 ³			
形態係数	0.1396392	4.5455275	0.0540748	0.1403903

(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する。

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

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]

第 3.2.1-3 表 危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
形態係数	0.1396392	4.5455275	0.0540748	0.1403903
燃焼半径 [m]	 			
危険距離 [m]	約 30	約 10	約 54	約 30

(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 54m 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

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	高压ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生し，飛来物が発生

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する。

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

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質質量[kg]

□

となり，飛来物の最大飛散距離 L は □ となる。

よって，柏崎刈羽原子力発電所との離隔距離は 5km あることから，飛来物による柏崎刈羽原子力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。

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柏崎刈羽原子力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

- ・ 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する。
- ・ 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（16t[※]）とする。
- ・ 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・ 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する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災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。

※：LP ガスタンクローリ製造会社、LP ガスプラント協会への聞き取り及び 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（主として 8～11t 積み）のものが使われている。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力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。

第 2-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火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

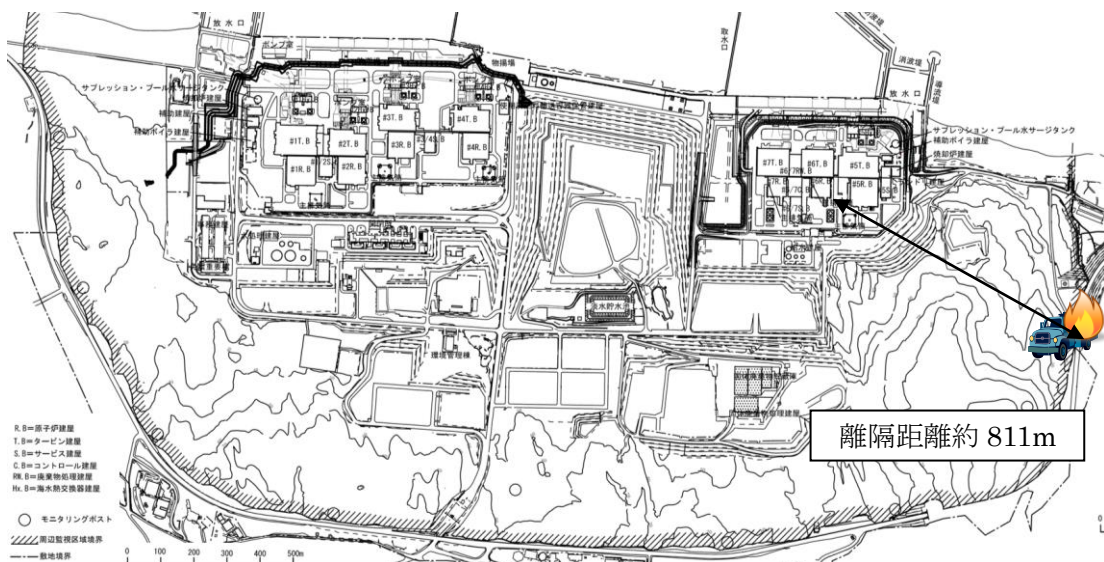
上記の評価指標は、受熱面が輻射体の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うため

に、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

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発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

(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図）。なお、発電所構内には、1k1未満の軽油を貯蔵したタンクローリが存在するが、6号及び7号炉に設置している軽油タンクが565k1であり、発電用原子炉施設からの距離がタンクローリ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。

第2-2表 プロパンの評価条件

燃料の種類	プロパン
燃料量[ton]	16
輻射発散度[W/m ²] ¹⁾	74×10 ³
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) 評価ガイド附属書Bより

2) NUREG-1805より

3) 車両長 16.5[m]：車両制限令 第三条

(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。したがって、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する。

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

S : 燃料輸送車両の投影面積 (火炎円筒の底面積) = 41.25 [m²]

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

(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 = ρV = 16000[kg], M = 0.099[kg/m²・s]として、燃焼継続時間を求めると、

$$t = 16000 / (41.25 \times 0.099) = 3918[\text{s}] = 1.08[\text{h}]$$

(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、一定の輻射強度で発電用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℃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：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

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

$$E = 9295 [\text{W}/\text{m}^2]$$

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。

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

T_0 : 初期温度 [38℃], E : 輻射強度 [W/m^2], 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 [$17W/m^2K$] ※2, $S=S_2$: 軽油タンク受熱・放熱面積 [m^2], C : 軽油タンク及び軽油の熱容量 [$8.72 \times 10^8 J/K$], t : 燃焼継続時間 [s], T_{air} : 外気温度 [℃]

※1 : 伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 208372 [W/m^2]$$

c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））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の周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして、下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が 100℃となる危険輻射強度を求める。

$$E_{max} = \frac{2}{\varepsilon S} \left(\frac{h S (T - T_{air})}{1 - e^{\left(\frac{h S}{C} \right) t}} \right)$$

ε : 防護板（鋼板）外面の放射率 (0.9) ※1, S : 防護板（鋼板）受熱面積 [$16.2m^2$],
 h : 防護板（鋼板）表面熱伝達率 [$17W/m^2K$] ※2, C : 防護板（鋼板）の熱容量 [$2.41 \times 10^6 J/K$], t : 燃焼継続時間 [s], T : 許容温度 [$100^\circ C$], T_{air} : 外気温度（初期温度） [$55^\circ C$]

※1 : 伝熱工学資料, ※2 : 空気調和・衛生工学便覧

$$E = 2873 [W/m^2]$$

d. 主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、一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして、下記の式より主排気筒の温度が 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°C], E : 輻射強度[W/m²], ε : 主排気筒表面の放射率 (0.9)
 ※¹, h : 主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

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

(8) 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かけた値となる。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

第2-3表 形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板(鋼板))	主排気筒
危険輻射強度[W/m ²]	9295	208372	2873	10388
輻射発散度[W/m ²]	74 × 10 ³			
形態係数	0.1256088	2.8158438	0.0388239	0.1403903

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

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

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]

第 2-4 表 危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
形態係数	0.1256088	2.8158438	0.0388239	0.1403903
燃焼半径[m]	3.62			
危険距離[m]	約 13	約 4	約 26	約 12

(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 26m)以上であることから、発電用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. 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する。
- ・ 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 (16t) とする。
- ・ 燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 輸送燃料は液化石油ガス (プロパン) とする。
- ・ 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する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力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。

第 3-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 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。

第 3-2 表 高圧ガス爆発の評価条件

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発電用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 値を算出する。

積載量 (貯蔵能力) = 16 [t]

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

(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発電用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=4 として, 危険限界距離を求める。

$$X = \text{約 } 88 \text{ [m]}$$

(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、発電用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柏崎刈羽原子力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、飛来物は発電用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当たって、災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法を示した指針

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	16t
爆発形態	高压ガスの漏えい後、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する。

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

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

$$L = 465 \times (16,000)^{0.10} = 1,224.23$$

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、飛来物が発電用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・バンパー部が抽出された。台車部等タンク下部に位置する部品は、爆発力の方向をふまえると、発電用原子炉施設に到達せず、また横転した場合を考えても、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発電用原子炉施設に到達しないことから影響はない。トレーラーについては、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する。

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

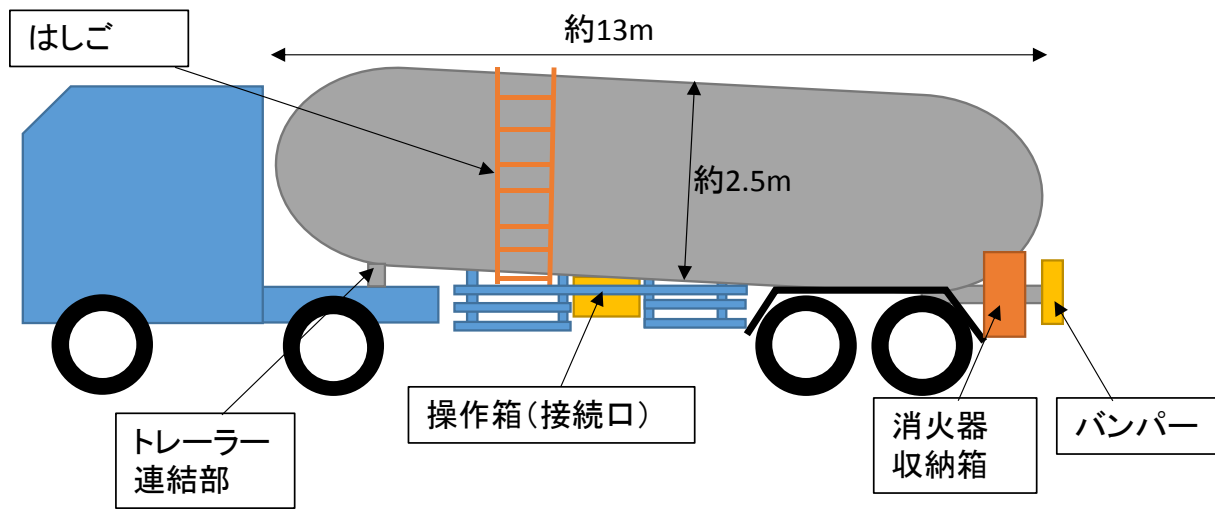
また、タンク板の破片としては鏡板部分の破損を想定し 2.5m×2.5m 程度が最大と考えられるが、平板は幅、長さが大きくなるほど、飛距離が大きくなる傾向にあることから、保守的な評価としてタンクの半分が破片となる想定をする。幅は車両制限令に定められる車両の幅の最大限度の 2.5m、長さを車両制限令に定められる車両長さの最大限度の 16.5m の平板について評価を実施する。厚さについては、構造図から 0.01m とする。

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

「BLEVE 時の破片最大速度は 150-200m/s」(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破片の初期速度を 200m/s とする。また、感度解析の結果より、もっとも遠くまで到達する放出角を鋼製パイプ及び鋼製材は 31°、鋼板は 30° とする。

想定飛来物の諸元及び、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 550m を上回ることから、飛来物が発電用原子炉施設に到達することはなく、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等で、タンクが破損した場合に急激に液化ガスが気化することに伴う爆発現象。



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)	550	505	404
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：鋼製パイプの直径及び質量については、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考に設定した。直径 0.05m は，構造図上のはしごの直径約 0.04m を包絡する。

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

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

(参考文献)

- 1) Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050 Tornado-Borne Missile Speeds (1976).
- 2) 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).
- 3) 江口譲，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).
- 4) 江口譲，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).
- 5) 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発電用原子炉施設に衝突することはなく，影響はない。

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、燃料積載量が大いガソリンを搭載したタンクローリと比較し、想定の妥当性について評価する。

評価に必要なデータを以下に示す。

第1表 プロパンとガソリンの評価条件

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[W/m ²] ¹⁾	74×10 ³	58×10 ³
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) と同様に算出する。

第2表 危険距離の算出結果

	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、発電用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。

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、頻度及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

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）等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) 爆発時の発電用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}により容器が破損した場合の最大飛散範囲 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。発電用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、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

る発電用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等で、タンクが破損した場合に急激に液化ガスが気化することに伴う爆発現象。

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発電用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低い値となることを確認する。

(1) 評価条件

- ・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・海水熱交換器区域・軽油タンクとする。
- ・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。
- ・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。
- ・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。

(2) 評価方法

評価に使用する各パラメータについて第 1 表に示す。

a. 新潟県内での燃料輸送車両の爆発事故発生頻度

発電用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 現象を引き起こすおそれがある、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に関する事故が発生している。これらは、いずれも漏えい等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。

$$3 / 10 = 0.3[\text{件/年}]$$

b. 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。

$$L = 465 \times (16,000)^{0.10} = 1,224.23 [\text{m}]$$

したがって、爆発事故が発生した際に、飛来物が発電用原子炉施設に影響を与え得る道路延長は第 1 図のとおり、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。高速自動車国道及び一般国道の実延長は $379.5 + 1781.9 = 2161.4$ 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する。

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。

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

c. 飛来物の発電用原子炉施設衝突確率

燃料輸送車両の爆発時に飛来物が発電用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、 11843.5m^2 であるから飛来物の発電用原子炉施設衝突確率は $11843.5 / (\pi \times 1225^2) = 2.51 \times 10^{-3}$ となる。

(3) 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発電用原子炉設備に影響を与える確率は、

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

(4) 結論

燃料輸送車両が爆発しその飛来物が、発電用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。

第1表 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得る範囲の道路延長	3 [km]	飛来物が発電用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（第1図）
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・海水熱交換器区域・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柏崎刈羽原子力発電所に隣接する地域で起こったとしても外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

2. 漂流船舶の火災・爆発の影響評価について

本評価は漂流船舶の火災に対する防護の有効性を確認することが目的であるため、敷地周辺において現実的に想定される船舶に比べ、火災影響が厳しくなる保守的な船舶の規模として、入港可能な最大の船舶が敷地へ到達することを仮定した評価を実施する。

(1) 想定条件

- ・漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く、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する。
- ・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 1021t）を想定する。
- ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・港湾内での漂流船舶の全面火災を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。
- ・火災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。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力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。

第 2-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火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ないものとする。

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発電用原子炉施設は危険距離（離隔距離）を確保するものとする。

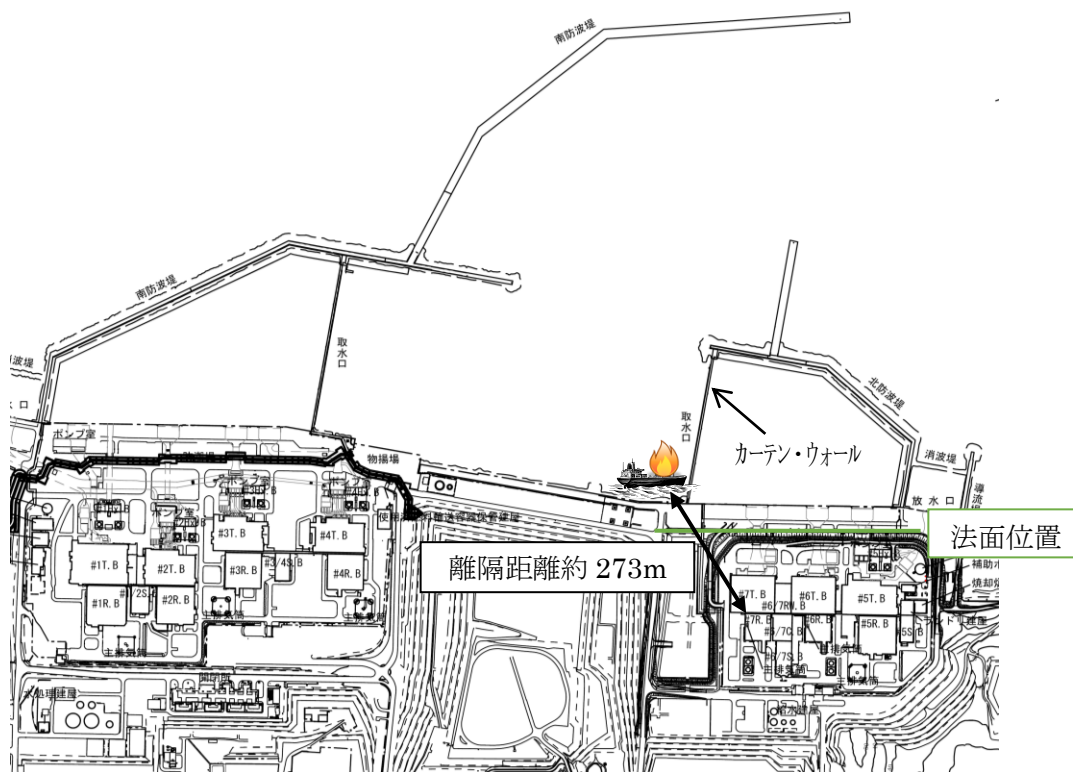
(3) 評価対象範囲

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。

仮に、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+7.2m）、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発電用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4.0m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、水面がさらに上昇しなければ乗り越えることはない。なお、カーテン・ウォールが地震・津波により損傷した場合、敷地内の海側で低いエリア（T.M.S.L+3.0m）及び基準津波の検討における大湊側遡上域の最大水位（7.5m）より上陸可能な船舶の喫水は4.5m以下である。

取水口エリア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、発電用原子炉施設に接近することはない。よって、この位置における発電用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148m）以上であることに加え、喫水4.5m程度の船舶の積載量（960ton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。

第 2-2 表 プロパンの評価条件

燃料の種類	プロパン
燃料量[ton] ³⁾	1021
輻射発散度[W/m ²] ¹⁾	74×10 ³
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0.099
漂流船舶投影面積[m ²] ³⁾	67.77×13

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。したがって、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する。

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

S : 漂流船舶の投影面積 (火炎円筒の底面積) = 881 [m²]

R = (881 / π)^{0.5} = 16.74 [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 = ρV = 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、一定の輻射強度で発電用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℃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：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

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

$$E = 7701 [W/m^2]$$

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。

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

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, $S_1=S_2$: 軽油タンク受熱・放熱面積[m²], C : 軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間[s], T_{air} : 外気温度[℃]

※¹ : 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

$$E=70930 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

c. 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））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の周囲に設置されている防護板（鋼板）が昇温されるものとして、下記の式より燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度が100℃となる危険輻射強度を求める。

$$E_{max} = \frac{2}{\varepsilon S} \left(\frac{hS(T - T_{air})}{1 - e^{(-\frac{hS}{C})t}} \right)$$

ε : 防護板（鋼板）外面の放射率 (0.9) ※¹, S : 防護板（鋼板）受熱面積[16.2m²],
 h : 防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m²K]※², C : 防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10⁶J/K], t : 燃焼継続時間[s], T : 許容温度[100℃], T_{air} : 外気温度（初期温度）[55℃]

※¹ : 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

$$E=1825 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

d. 主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、一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして、下記の式より主排気筒の温度が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 : 主排気筒表面の放射率 (0.9)
 ※¹, h : 主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

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

(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

をかけた値となる。危険放射強度となる形態係数を算出する。

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

E_{\max} : 危険放射強度, R_f : 放射発散度, ϕ : 形態係数

第 2-3 表 形態係数の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
危険放射強度 [W/m ²]	7.70	70.9	1.82	10.3
放射発散度 [W/m ²]	74 × 10 ³			
形態係数	0.1040675	0.9585140	0.0246699	0.1403903

(9) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

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

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]

第 2-4 表 危険距離の算出結果

	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
形態係数	0.1040675	0.9585140	0.0246699	0.1403903
燃焼半径 [m]	16.7			
危険距離 [m]	約 66	約 17	約 148	約 53

(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 148m) 以上であることから、外部事象防護対象施設を内包する発電用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。なお、発電所港湾内に入港する船舶火災の影響評価については、発電所港湾内に入港する危険物輸送船舶がないことを踏まえると、入港船舶の燃料積載量は運航に必要な程度であり、その熱影響は漂流船舶における火災影響評価において想定した液化石油ガス輸送船舶のものより小さく、漂流船舶の火災影響評価に包絡される。

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する。
- ・ 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 1021t）を想定する。
- ・ 漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 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する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力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。

第 3-1 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 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。

第 3-2 表 高圧ガス爆発の評価条件

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発電用原子炉施設までの距離 約 273 [m]

(5) W 値の算出

港湾内に入港し得る最大船舶の積載量を貯蔵能力とし、W 値を算出する。

積載量 (貯蔵能力) = 1021 [t]

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

(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発電用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、危険限界距離を求める。

$$X = \text{約 } 176 \text{ [m]}$$

(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、発電用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、離隔距離が最大飛散距離以下であった。

※：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
当たって、災害の想定をできるだけ客観的かつ現実的に行うための評価手法
を示した指針

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	1021t
爆発形態	高压ガスの漏えい後，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する。

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

L：破片の最大飛散範囲[m]，M：破裂時の貯蔵物質量[kg]

$$L = 465 \times (1,021,000)^{0.10} = 1,855.04$$

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発電用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柏崎刈羽原子力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発電用原子炉施設に衝突する可能性は非常に低い。

なお、(1)で用いた「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の計算式は、大規模な爆発を伴うLPG容器のBLEVE現象を取り扱うものであるが、発電所港湾内に入港するLPG輸送船舶等の危険物輸送船舶はなく、発電所港湾内に入港する船舶火災に伴う著しい飛来物の発生は想定されない。



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）及び内航船（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する。

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，100t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⁾

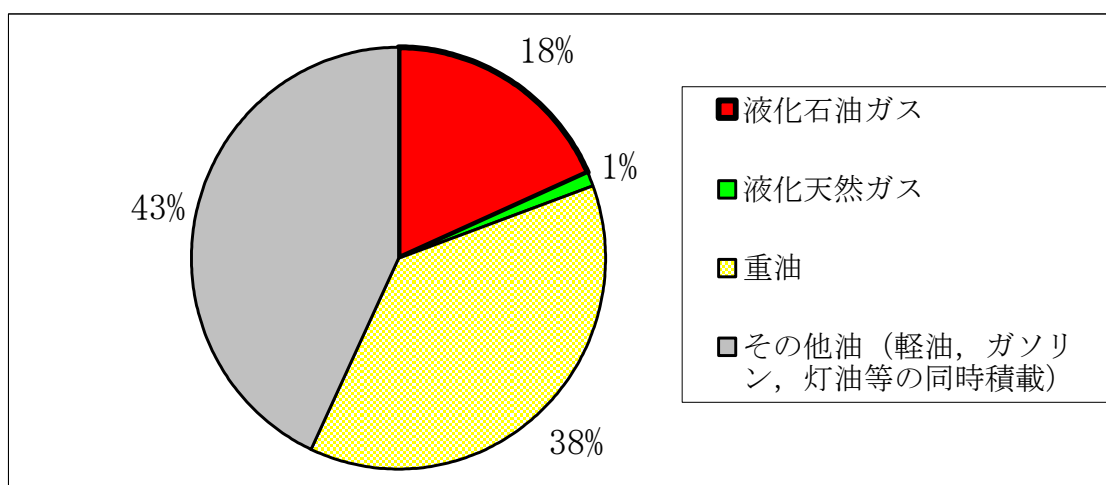
全長 L : 67.77[m]⁶⁾

全幅 H : 13[m]⁶⁾

密度 ρ : 0.5076[t/m³]⁷⁾

投影面積 $S=L \times H$: 881[m²]

積載量 $M = \rho \times V$: 1021[t]



第1図 柏崎刈羽原子力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発電用原子炉施設（海水系ポンプ）への影響はない。

また、柏崎刈羽原子力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 6240kl（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張する。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エリアにて保管している。

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発電用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

- ・ 構内危険物タンクは発電用原子炉施設周辺に設置されており、発電用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する。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にくいこと、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、発電用原子炉施設に近い軽油タンク1基の火災を想定する。
- ・ 構内危険物タンクは危険物を満載した状態を想定する。
- ・ 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する。
- ・ 泡消火設備の消火機能には期待しない。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災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。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力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。

第2-1表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火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]	危険物タンクから発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋の外壁，天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

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ないものとする。

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発電用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等の危険物タンク火災の影響評価を実施する。消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設（第 2-2(a) (b) (c) 表）より、評価対象とする危険物タンク等を抽出する（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及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する。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、危険物施設のほかにタンクローリ（990L×2 台、4kL×4 台、16kL×1 台）を配備している。990L タンクローリのうち 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は通常時「空」の状態で運用している。通常時「空」の状態であるタンクローリ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。

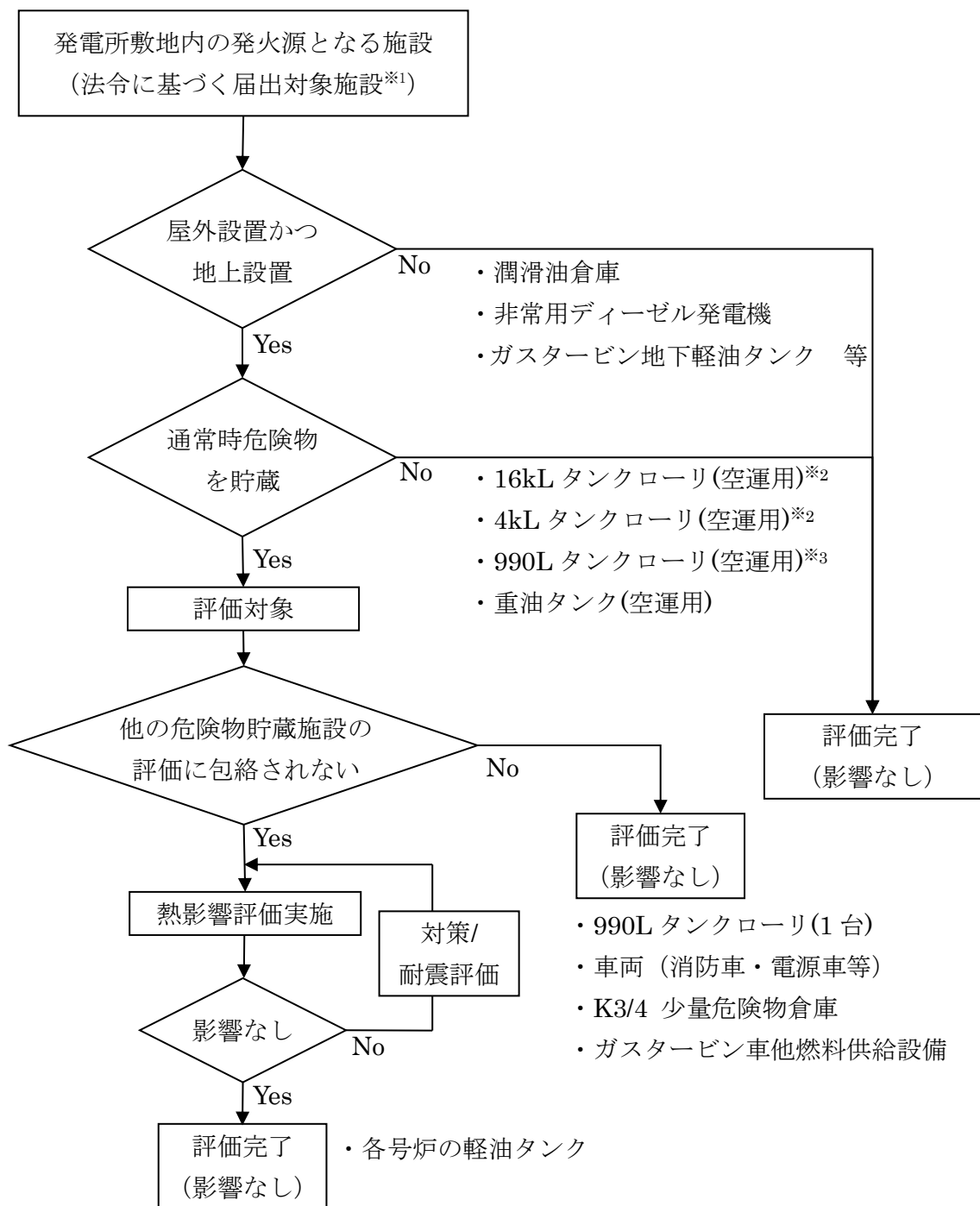
以上より、評価対象は、各号炉の軽油タンク、危険物を貯蔵する車両（タンクローリ）、指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（K3/4 少量危険物倉庫）及びガスタービン車他燃料供給設備（一般取扱所）となる。

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）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発電用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：消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設となる危険物タンク等

※2：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。

※3：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2-2(a)表 危険物製造所等許可施設一覧

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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	油ドレン貯蔵タンク	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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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2-2(b)表 危険物製造所等許可施設一覧

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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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	非常用ディーゼル発電機(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2-2(c)表 危険物製造所等許可施設一覧

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	非常用ディーゼル発電機 (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	非常用ディーゼル発電機 (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	非常用ディーゼル発電機 (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	非常用ディーゼル発電機 (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)
共用	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	地下タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	107.8kL	× (地下式)
		一般取扱所	4	第2石油類	軽油	71.84kL	○ (※2)
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	35.52kL	× (※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2-3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	移動タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	990L	×(※1)
共用	タンクローリ	移動タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	990L	×(常時空)
共用	タンクローリ	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	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	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	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	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	×(※1)
			4	第2石油類	—	450L	×(※1)
			4	アルコール類	—	15L	×(※1)

※1：軽油タンク火災による熱影響評価に包絡される。

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません

6条-別添4(外火)-1-添付6-10

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。

第 2-4 表 軽油タンク火災影響評価に必要なデータ

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 42.0×10 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[m] 隣接軽油タンクまでの距離 12[m] 燃料移送ポンプの防護板(断熱)に近い軽油タンク防油堤の中心から防護板(断熱)までの距離 11[m] 主排気筒に近い軽油タンク防油堤の中心から主排気筒までの距離 77[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する。

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

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

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

第 2-5 表 形態係数の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (断熱))	主排気筒
燃焼半径 [m]	9.59			
離隔距離 [m]	46	12	11	77
形態係数 [-]	0.0727229	0.3863990	0.7760717	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かけた値となる。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

第 2-6 表 輻射強度の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (断熱))	主排気筒
輻射発散度 [W/m ²]	42.0 × 10 ³			
形態係数 [-]	0.0727229	0.3863990	0.7760717	0.0295969
輻射強度 [W/m ²]	3.05 × 10 ³	16.2 × 10 ³	32.5 × 10 ³	1.2 × 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、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) 評価結果

a. 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°Cとする。

(b) 耐火性能の評価結果

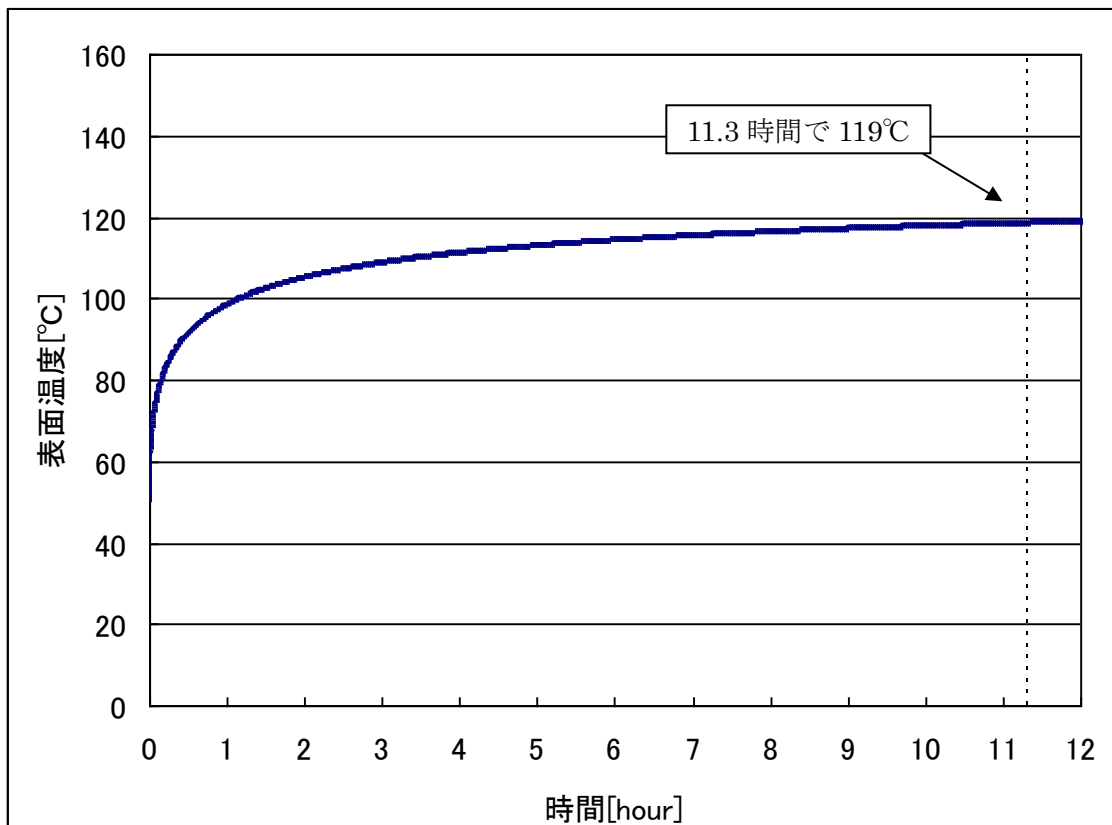
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で発電用原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。その結果、発電用原子炉施設外壁の表面温度は約 119°Cとなり、許容温度を下回ることを確認した（第 2-3 図）。

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

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

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



第 2-3 図 外壁面の温度推移

b. 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°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、一定の輻射強度で軽油及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 178°Cとなり、許容温度を下回ることを確認した。

$$T = \frac{\varepsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - \left(\frac{\varepsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - T_0 \right) e^{\left(\frac{hS_2}{C} \right) t}$$

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, $S_1=S_2$: 軽油タンク受熱・放熱面積 [m²], C : 軽油タンク及び軽油の熱容量 [8.72×10⁸J/K], t : 燃焼継続時間 [s], T_{air} : 外気温度 [°C]

※¹ : 伝熱工学資料, ※² : 空気調和・衛生工学便覧

c. 燃料移送ポンプの温度評価

燃料移送ポンプは、軽油タンクの近傍に設置されており、当該タンクにて火災が発生した場合、その輻射による熱影響を受ける。このため、燃料移送ポンプを熱影響から防護するための防護板（断熱）をその周囲に設置する。第 2-4 図に防護板（断熱）設置範囲の例を示す。

以下、防護板（断熱）の設置を考慮した場合の熱影響評価を実施する。

(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、端子ボックスパッキンの耐熱温度 100°Cとする。

パッキンの耐熱温度は、JIS 規格に基づく耐熱性を決定するための試験温度であり、この温度以下であれば、発火することなく、パッキンとしての性能が維持できることから、燃料移送ポンプの機能に影響はない。

(b) 評価条件

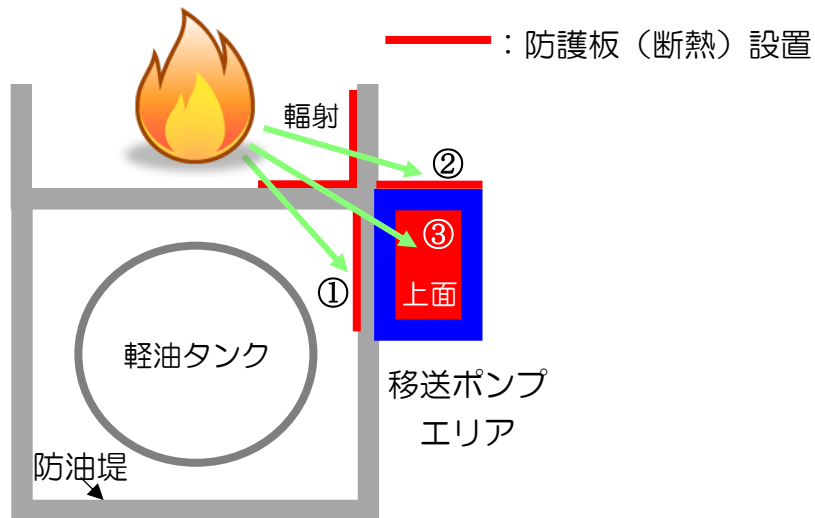
(4) 必要データから (8) 燃焼継続時間に、以下の条件を加えて評価する。

- 第 2-4 図における①及び②の位置に設置する防護板（断熱）は、防油堤により全ての面に輻射は当たらないが、全面に輻射が当たる上面（③）の防護板（断熱）も含め、保守的に、火災から最短距離にて算出した最も厳し

い条件の輻射が①～③の全ての面に当たるものとする。

なお、①～③の防護板（断熱）に対する熱影響が支配的であることから、これらについては評価上考慮するが、それ以外の面については、燃料移送ポンプエリアに接する面が小さく、コンクリート製の防油堤もあることから評価上考慮しない。

- 輻射が当たる面は、防護板（断熱）のみとして評価した防護板（断熱）と燃料移送ポンプ間に防油堤が設置されている箇所①については、防油堤による伝熱の低減は考慮しない。
- 輻射を受けない面は、保守的に断熱とする。

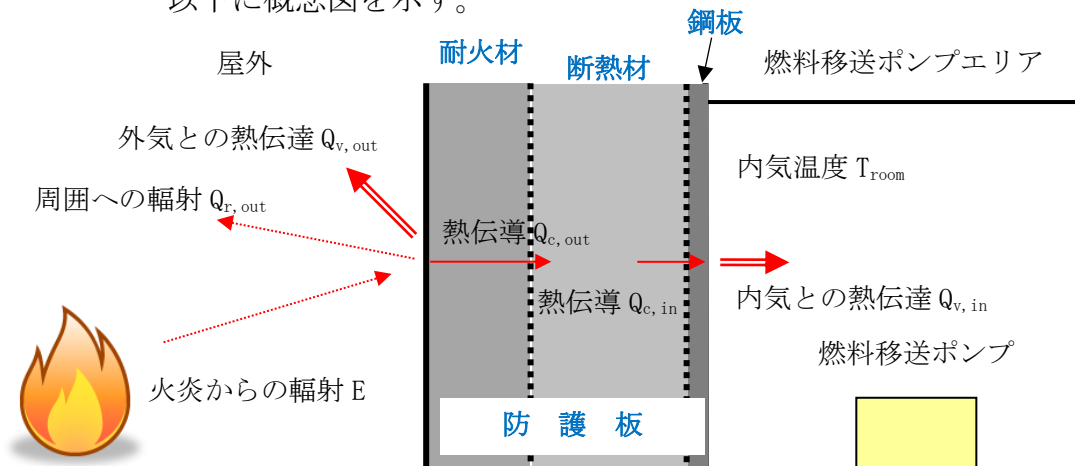


第 2-4 図 防護板（断熱）の設置概要と設置範囲の例

(c) 耐火性能の評価

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で燃料移送ポンプエリアに設置している防護板（断熱）が昇温されるものとして、下記により、燃料移送ポンプ周囲の最大温度（燃料移送ポンプの最大温度）を求め、許容限界温度以下であるか評価を実施する。

以下に概念図を示す。



第 2-5 図 伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを以下に示す。

第 2-7 表 燃料移送ポンプエリア温度算出時の入力パラメータ

項目		パラメータ	備考	
外気温度[°C]		55	日射の影響を考慮した相当外気温（切り上げ）	
ポンプエリア初期温度[°C]		38	柏崎市の最高気温（37.6°C）を切り上げた温度（防護板（断熱）の裏面であり，日射の影響はない）	
防護板	耐火材	厚さ[mm]	100	
		熱伝導率[W/mK]		
		密度[kg/m ³]		
		比熱[J/(kg・K)]		
		最高使用温度[°C]		
		材質		
	断熱材	厚さ[mm]	150	
		熱伝導率[W/mK]		
		密度[kg/m ³]		
		比熱[J/(kg・K)]		
		最高使用温度[°C]		
		材質		
	鋼板	厚さ[mm]	20	
		熱伝導率[W/mK]	51.6	軟鋼 300K の値 [*]
		密度[kg/m ³]	7860	軟鋼 300K の値 [*]
比熱[J/(kg・K)]		473	軟鋼 300K の値 [*]	

※：日本機械学会，“伝熱工学資料 改訂第5版，” 2009年5月20日

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

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

T：温度，t：時刻，x：防護板（断熱）からの距離，α：熱拡散率

防護板（断熱）及び防護板（断熱）内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} : 防護板 (断熱) 内面熱伝達率, A : 防護板 (断熱) 内面の表面積, T_{in} : 防護板 (断熱) 内面温度,

T_{room} : 燃料移送ポンプエリア温度

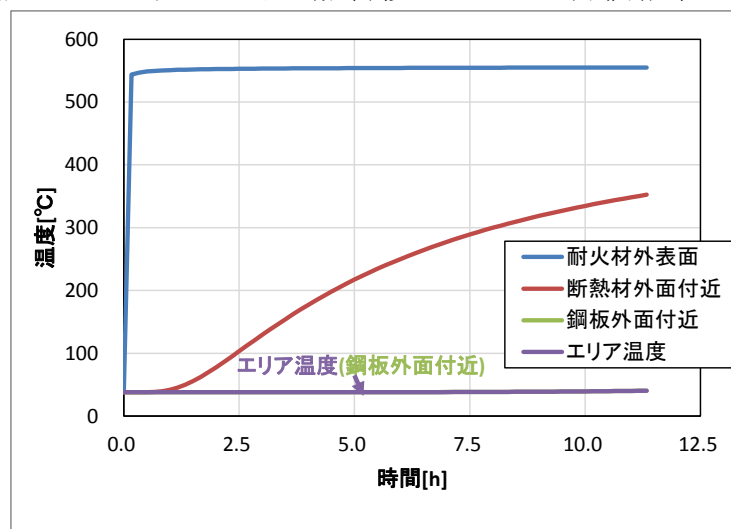
燃料移送ポンプエリア温度は, 軽油タンク火災による防護板 (断熱) 内面温度上昇に伴う熱負荷がエリア内に蓄熱されることを考慮し, 次式で求める。

$$\Delta T_{room} = \frac{Q_{v,in}}{\rho CV}$$

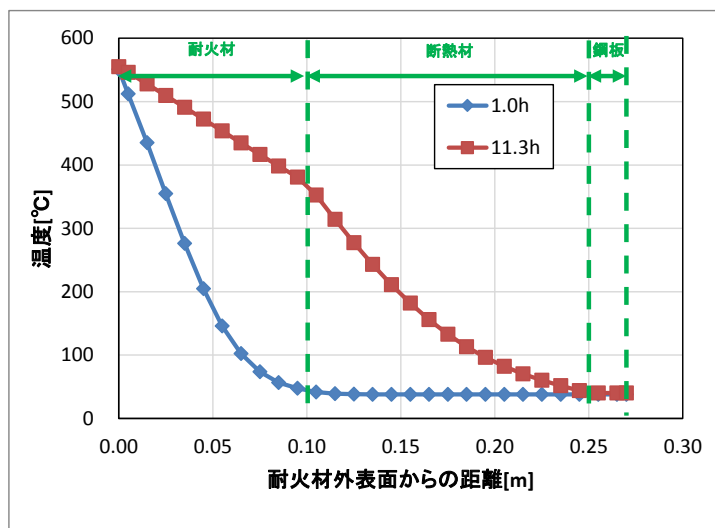
ρ : 空気密度, C : 空気比熱, V : ポンプエリア体積

(d) 耐火性能の評価結果

軽油タンク火災における燃料移送ポンプの評価結果を以下に示す。



第 2-6 図 防護板 (断熱) 各部温度並びに燃料移送ポンプエリア温度



第 2-7 図 防護板（断熱）内部の温度分布

第 2-8 表 燃料移送ポンプ影響評価結果

項目	軽油タンク火災
輻射強度[W/m ²]	32.5×10 ³
燃焼継続時間[h]	11.3
防護板(断熱)外面温度[°C]	555
防護板(断熱)内面温度[°C]	41
ポンプエリア温度[°C]	41
許容温度[°C]	100 ^{※1}

※1：燃料移送ポンプ端子ボックススパッキンの耐熱温度

評価の結果、ポンプエリア（燃料移送ポンプ）の温度は約 41°C となり、許容温度を下回ることを確認した。

d. 主排気筒の温度評価

(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、主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、一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして、下記の式より主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、主排気筒の温度は約 83°C 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 : 主排気筒表面の放射率(0.9)
 ※¹, h : 主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. タービン建屋非常用電気品室の温度評価

6号及び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2-8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。

第2-9表 各建屋に対する軽油タンク火災の影響

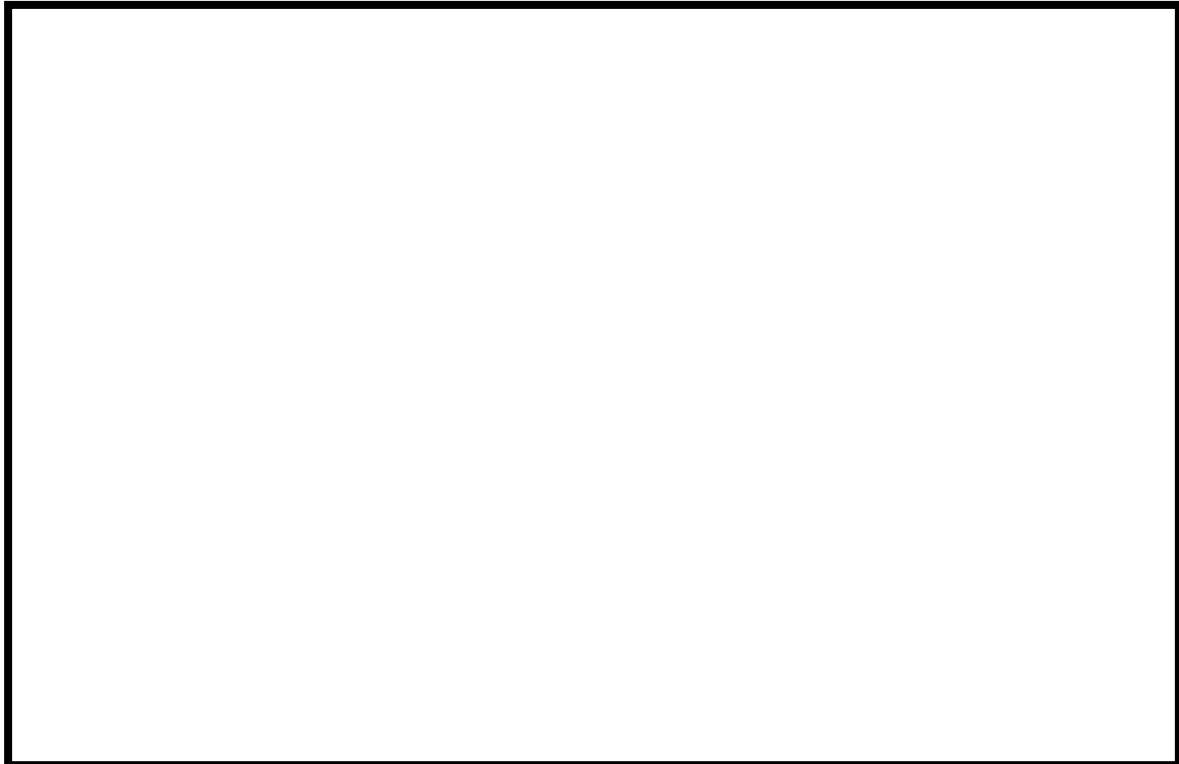
	5号炉軽油タンク火災 タービン建屋への影響	6号炉軽油タンク火災 原子炉建屋への影響
防油堤面積[m ²]	185	289
離隔距離[m]	91	46
燃料貯蔵量[kl]	344	565
質量低下速度[kg/m ² ・s] ¹⁾	0.044	
密度[kg/m ³] ¹⁾	918	
燃焼速度[m/s] ²⁾	4.79×10 ⁻⁵	
燃焼継続時間[hour]	10.7	11.3

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 2-8 図 非常用電気品室と危険物タンクまでの距離

(10) 火災による熱影響の有無の評価

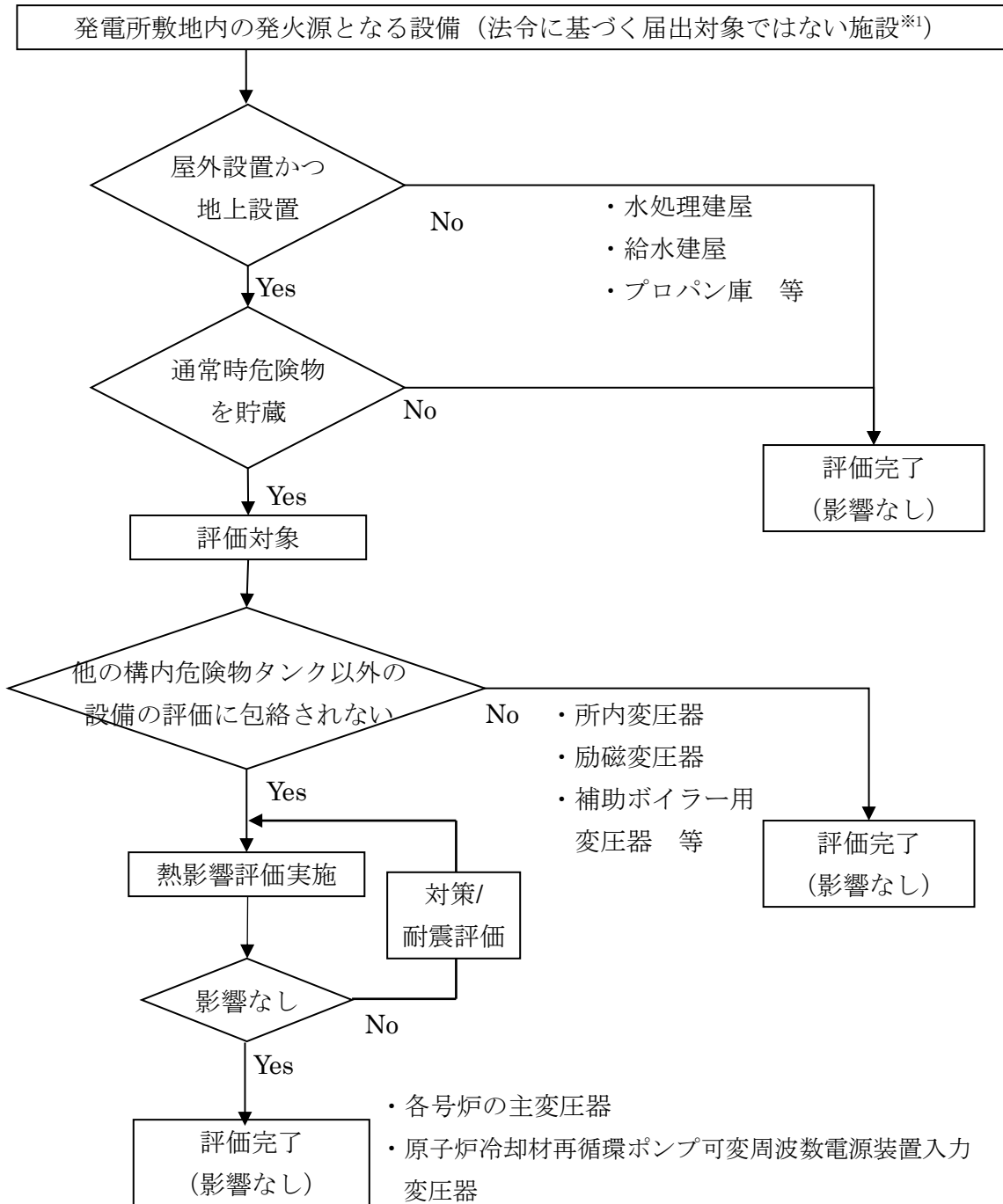
以上の結果から、軽油タンクにおいて火災が発生した場合を想定したとしても、許容限界温度を超えないことから、発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

3. 構内危険物タンク以外の設備の火災影響評価

評価対象範囲

消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設ではない施設について、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する(第 3-1 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)とする。

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、評価対象から除外する(第 3-2 表)。



※1：消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設ではない変圧器等

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

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 1A, 1B	1種2号 鉱油	18.40kL	× (※2)
2号炉	所内変圧器 2A, 2B	1種2号 鉱油	17.20kL	× (※2)
3号炉	所内変圧器 3A	1種2号 鉱油	17.20kL	× (※2)
3号炉	所内変圧器 3B	1種2号 鉱油	17.30kL	× (※2)
4号炉	所内変圧器 4A, 4B	1種2号 鉱油	18.10kL	× (※2)
5号炉	所内変圧器 5A, 5B	1種2号 鉱油	18.10kL	× (※2)
6号炉	所内変圧器 6A	1種2号 鉱油	20.50kL	× (※2)
6号炉	所内変圧器 6B	1種2号 鉱油	21.00kL	× (※2)
7号炉	所内変圧器 7A, 7B	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 1SA, 1SB	1種2号 鉱油	25.90kL	× (※2)
3号炉	低起動変圧器 3SA, 3SB	1種2号 鉱油	25.20kL	× (※2)
5号炉	低起動変圧器 5SA, 5SB	1種2号 鉱油	17.05kL	× (※2)
6号炉	低起動変圧器 6SA, 6SB	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	8.585kL	× (※2)
共用	NO. 2 工事用変圧器	1種2号 鉱油	11.50kL	× (※2)
共用	補助ボイラー用変圧器 3A	1種2号 鉱油	31.80kL	× (※2)
共用	補助ボイラー用変圧器 4A	1種2号 鉱油	9.10kL	× (※2)
共用	補助ボイラー用変圧器 4B	1種2号 鉱油	9.10kL	× (※2)
共用	補助ボイラー用変圧器 4C	1種2号 鉱油	9.10kL	× (※2)
共用	高圧ボンベ倉庫 (NO. 1~3)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.9%	2,520m ³	× (屋内設置)
1号炉	屋外ボンベ室 (K1)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	196m ³	× (屋内設置)
1号炉	屋外 (K1) (水素ガストレーラー)	水素ガス (ボンベ) 濃度: 99.99%	13,987m ³	○

第 3-1 (b) 表 その他の危険物

号炉	設備名	危険物の種類	数量	詳細評価要否
2号炉	屋外ボンベ室 (K2)	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 (K3)	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 (K4)	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 (K5)	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 (K6)	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 (K7)	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	8.20kL	○ (※1)
3号炉	PLR-INV (B) 入力変圧器	1種2号 鉱油	8.20kL	○ (※1)
4号炉	PLR-INV (A) 入力変圧器	1種2号 鉱油	9.70kL	○ (※1)
4号炉	PLR-INV (B) 入力変圧器	1種2号 鉱油	9.70kL	○ (※1)
6号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1) 入力変圧器	1種2号 鉱油	3.61kL	○ (※1)
6号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-2) 入力変圧器	1種2号 鉱油	13.70kL	○ (※1)
6号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (B-1) 入力変圧器	1種2号 鉱油	3.61kL	○ (※1)
6号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (B-2) 入力変圧器	1種2号 鉱油	13.70kL	○ (※1)
7号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1) 入力変圧器	1種2号 鉱油	3.70kL	○ (※1)
7号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-2) 入力変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL	○ (※1)
7号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (B-1) 入力変圧器	1種2号 鉱油	3.70kL	○ (※1)
7号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (B-2) 入力変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL	○ (※1)
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	400L	× (屋内設置)
1号炉	荒浜側焼却建屋プロパン庫	L P ガス	4000kg	× (屋内設置)
5号炉	大湊側焼却建屋プロパン庫	L P ガス	4000kg	× (屋内設置)

※1: 自号炉の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 3-2 表 薬品類

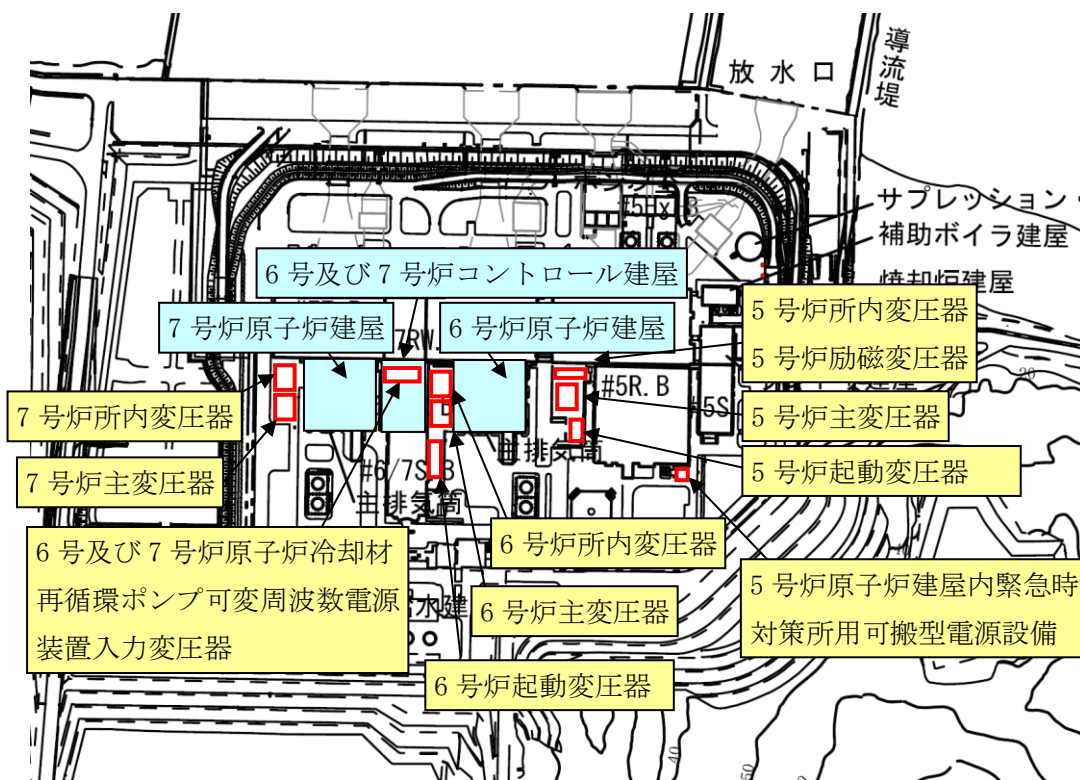
号炉	設備名	薬品の種類	数量	備考
1号炉	CWP建屋 (K1)	過酸化水素 濃度：35.0%	600L	× (屋内設置)
2号炉	CWP建屋 (K2)	過酸化水素 濃度：35.0%	600L	× (屋内設置)
共用	大湊側 補助ボイラー	希硫酸 濃度：35%	250L	× (屋内設置)
共用	大湊側 補助ボイラー	水加ヒドラジン 濃度：60%	20L	× (屋内設置)
共用	大湊側 補助ボイラー	水加ヒドラジン 濃度：1%	700L	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	塩酸 濃度：35%	5.9m ³	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	苛性ソーダ 濃度：25%	5m ³	× (屋内設置)
共用	水処理建屋	重亜硫酸ソーダ 濃度：35%	240L	× (屋内設置)

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発電用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。

3.1.1 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第3.1.1-1図、保有油量を第3.1.1-1表に示す。



第3.1.1-1図 変圧器の位置

第3.1.1-1表 変圧器保有油量

設備名	品名	保有油量
5号炉主変圧器	1種2号鉱油	190.00kL
6号炉主変圧器	1種2号鉱油	200.00kL
7号炉主変圧器	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	1種2号鉱油	20.50kL
所内変圧器 6B	1種2号鉱油	21.00kL
所内変圧器 7A, 7B	1種2号鉱油	19.20kL
5号炉励磁変圧器	1種2号鉱油	9.50kL
6号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1), (B-1)入力変圧器	1種2号鉱油	3.61kL
6号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-2), (B-2)入力変圧器	1種2号鉱油	13.70kL
7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1), (B-1)入力変圧器	1種2号鉱油	3.70kL
7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-2), (B-2)入力変圧器	1種2号鉱油	9.50kL

3.1.2 発電用原子炉施設（外壁面）及び屋外施設の影響評価

(1) 変圧器の火災の想定

- ・ 発電用原子炉施設周辺に設置されており、発電用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する。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。
- ・ 変圧器の損傷等による変圧器の全面火災を想定する。
- ・ 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。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火災をモデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とする。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力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。

第3.1.2-1表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²] [※]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数[-]	火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]	変圧器から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値[-]	建屋の外壁、軽油タンク、主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ないものとする。

(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。

第 3.1.2-2 表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

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 23.0×10 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 (防護板 (鋼板) までの距離 62[m] ^{※5} 主排気筒に近い主変圧器の中心から主排気筒までの距離 23[m] ^{※5}

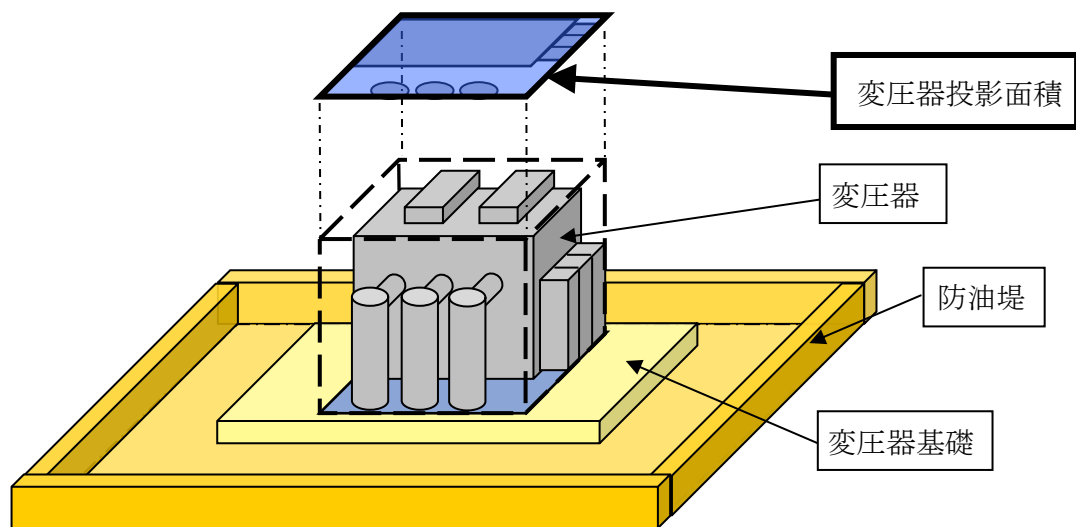
※1：変圧器用の絶縁油はその元素成分に関する規格がないため、絶縁油の輻射発散度は物性の近い重油の値を使用する。

※2：第 3.1.2-1 図に変圧器の投影面積を示す。

※3：6号及び7号炉の主変圧器は油量がほぼ同等であることから、発電用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号及び7号炉コントロール建屋と6号炉主変圧器との距離

※5：7号炉軽油タンク、7号炉燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))、7号炉主排気筒と7号炉主変圧器との距離



第 3. 1. 2-1 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、及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。したがって、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号炉主変圧器について示す。

() 内は 7 号炉。

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

S : 投影面積 (火炎円筒の底面積) = 150 [m²] (155[m²])

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

(6) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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 : 離隔距離, H : 火炎高さ, R : 燃焼半径

第 3.1.2-3 表 形態係数の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
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 [-]	0.2619634	0.0213565	0.0248130	0.1341728

(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かけた値となる。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

第 3.1.2-4 表 輻射強度の算出結果

評価対象	建屋	軽油タンク	燃料移送ポンプ (防護板 (鋼板))	主排気筒
輻射発散度 [W/m ²]	23.0 × 10 ³			
形態係数 [-]	0.2619634	0.0213565	0.0248130	0.1341728
火炎面積の 直径 [m]	13.8	14.0	14.0	14.0
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 号炉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、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) 評価結果

a. 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℃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、一定の輻射強度で発電用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、発電用原子炉施設外壁の表面温度は約 184℃となり、許容温度を下回ることを確認した。

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

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

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

b. 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℃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及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℃となり、許容温度を下回ることを確認した。

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

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， $S_1=S_2$ ：軽油タンク受熱・放熱面積[m²]， C ：軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10⁸J/K]， t ：

燃焼継続時間[s], T_{air} : 外気温度[°C]

※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

c. 燃料移送ポンプの温度評価

(a) 許容限界値 (許容限界温度)

燃料移送ポンプの許容限界値 (許容限界温度) が端子ボックスパッキンの耐熱温度100°Cであることを踏まえ, 燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板 (鋼板) の許容温度を当該ポンプの許容限界温度と同様の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の防護板 (鋼板) 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防護板 (鋼板) の最大温度を求め, 防護板 (鋼板) 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, 燃料移送ポンプの温度は71°Cとなり, 許容温度を下回ることを確認した。

$$T = \frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + h S T_{air}}{h S} - \left(\frac{\varepsilon E \frac{S}{2} + h S T_{air}}{h S} - T_o \right) e^{\left(\frac{-h S}{C} \right) t}$$

T_o : 初期温度[55°C], E : 輻射強度[W/m²], ε : 防護板 (鋼板) 外面の放射率(0.9)※¹, h : 防護板 (鋼板) 表面熱伝達率[17W/m²K]※², S : 防護板 (鋼板) 放熱面積[32.4m²] ($S/2$: 受熱面積は外面のみ), C : 防護板 (鋼板) の熱容量[2.41×10⁶J/K], t : 燃焼継続時間[s], T_{air} : 外気温度[55°C]

※1: 伝熱工学資料, ※2: 空気調和・衛生工学便覧

d. 主排気筒の温度評価

(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, 主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, 一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして, 下記の式より主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, 主排気筒の温度は約132°Cとなり, 許容温度を下回ることを確認した。

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

T_o : 初期温度[50°C], E : 輻射強度[W/m²], ε : 主排気筒表面の放射率(0.9)

※¹, h : 主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

(10) 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、発電用原子炉施設に熱影響をおよぼすことはないとは評価する。

3.1.3 発電用原子炉施設（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原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置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・火災発生のおそれはない（別紙 6-1 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、信頼性を確保している。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、他号炉側の原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置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。（第 3.1.3-1 図）

(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型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。

「危険物の規制に関する規則」（昭和 34 年総理府令第 55 号）では、「危険物は、指定数量の十倍を一所要単位とすること」と定めており、変圧器絶縁油（第 4 類 第 3 石油類非水溶性）の指定数量が 2,000ℓであることをふまえると所要単位は 3.1 単位となる。変圧器近傍には油火災用 B-20（20 単位）の能力を持った消火器を各号炉 1 台備え付けており所要能力を満たしている。

なお、同様の考え方から、JEAG 5002「変電所等における防火対策指針」では、「消火器具の所要能力単位は、全主要変圧器内に貯蔵された絶縁油量を 20,000ℓで除した値以上」と定めており、当該エリアでは同じく 3.1 単位が必要な能力値となる。

(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

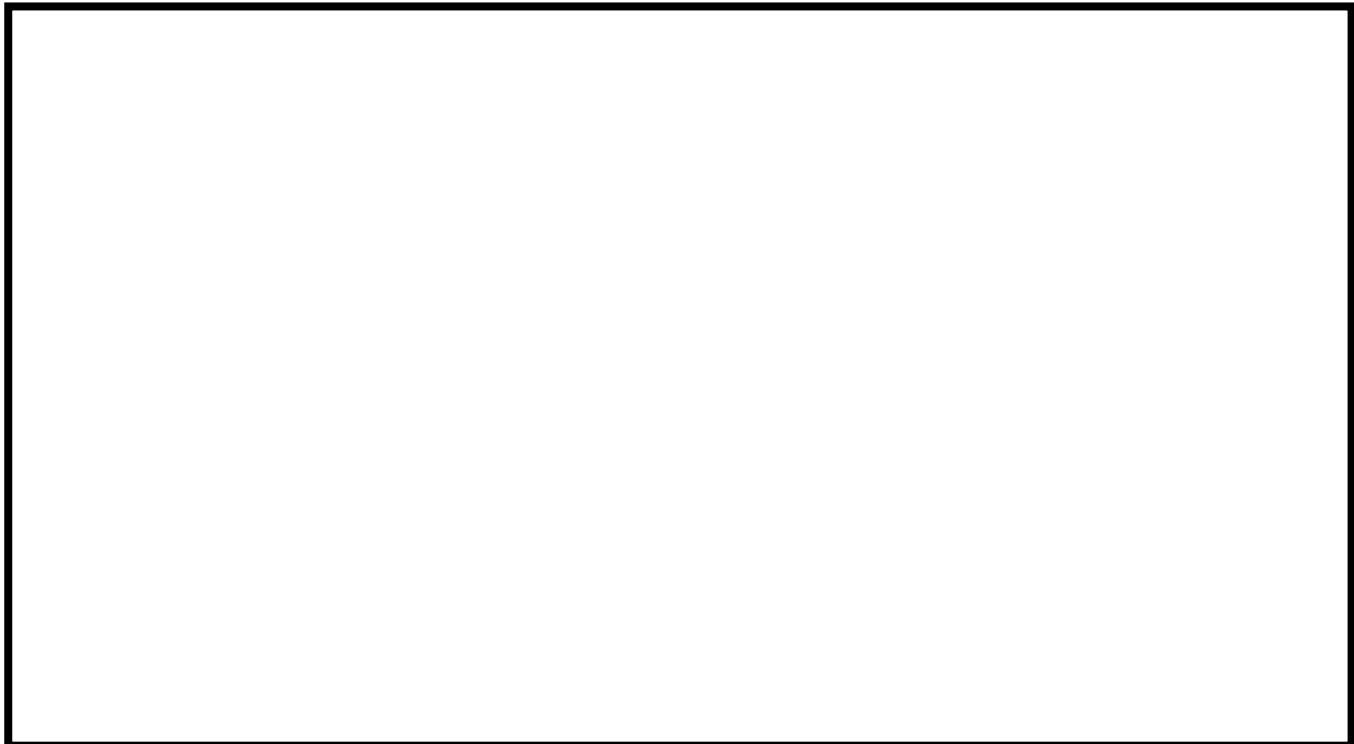
の影響を受けない設計としている。(3.1.3.2 変圧器の火災による発電用原子炉施設(屋上)への影響 参照)

以上のように、原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置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。

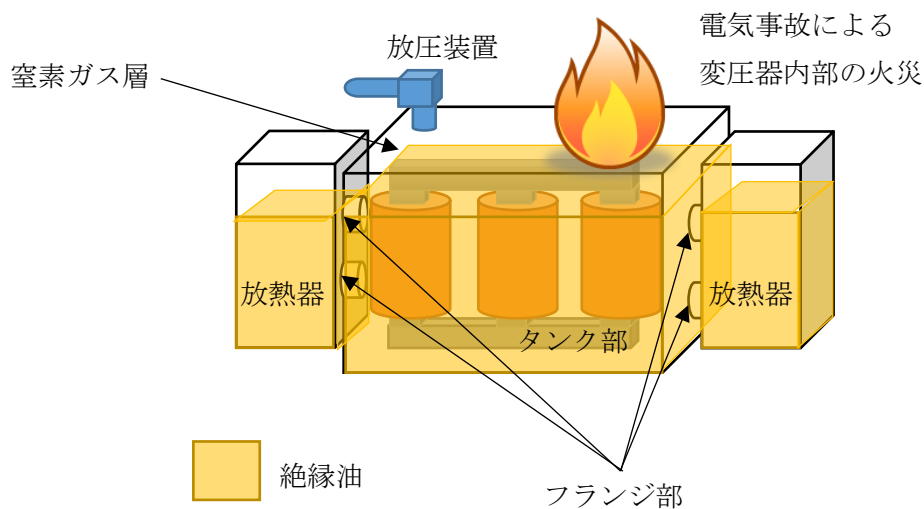
単なる漏えいでは周囲に火源がないことから、火災には至らない。したがって、火災としては、地絡、短絡等電気事故に伴うものが考えられるが、事故時には保護継電器が作動し事故電流を遮断し、仮に過熱により内圧が上昇した場合でも変圧器上部に設置した放圧装置により放圧する構造であるため、タンクは損傷には至らず、変圧器上部での火災となる。放圧する場合でも変圧器内は窒素ガスが封入されており変圧器上部には窒素ガスの層があることと、受け容器へ導かれることから油が吹き出すことはない。燃焼する位置は、酸素供給の観点から放圧装置等が設置されている上部が考えられ、この場合、タンクの貫通部である放熱器フランジについては、液位が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3.1.3-2 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。

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません



第3.1.3-1 図 変圧器・防油堰配置



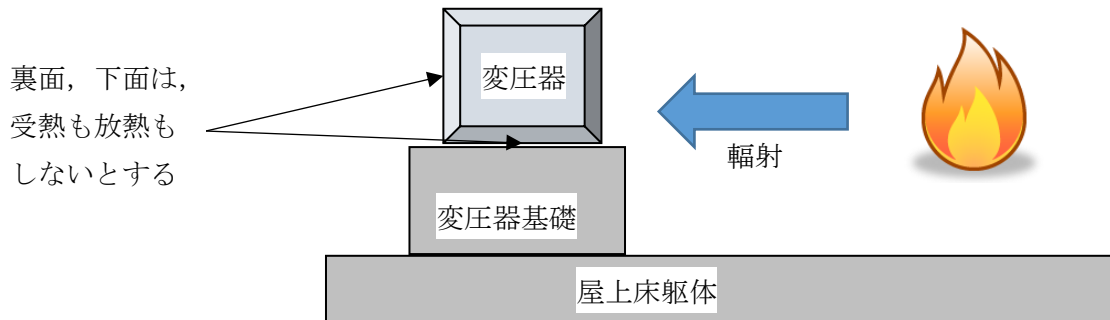
第 3. 1. 3-2 図 変圧器火災の概要図

3. 1. 3. 1 変圧器の火災における延焼の危険性

原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置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

- ・ 周囲への熱影響を考慮し、保有油量が最大である 6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (B-2) 入力変圧器の全面火災を想定する。
- ・ 配置上、油量が最大である 6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (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 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1) 入力変圧器が輻射熱を受ける状態を想定する。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する。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する。(第 3. 1. 3. 1-1 図)
- ・ 発熱側・受熱側とも絶縁油を満載した状態を想定する。
- ・ 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。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災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。



第 3.1.3.1-1 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及び発電機とする。発熱側は油量が最も多く燃焼時間が長い 6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (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 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (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。

第 3.1.3.1-1 表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

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 23.0 × 10 ³ [W/m ²] ※1 (重油) ※2
6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (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する。

(4) 燃焼半径の算出

6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (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。したがって、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。

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

$$S : \text{投影面積 (火炎円筒の底面積)} = 23.9 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = (23.9 / \pi)^{0.5} = 2.75 \text{ [m]}$$

(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号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(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号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(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。

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

T₀ : 変圧器初期温度[55℃], T_{air} : 外気温度 38[℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : 7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器表面の放射率(0.9)^{**2}, h : 7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器表面熱伝達率[17W/m²K]^{**3}, S₁(=S₂) : 7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器受熱面積[m²], C : 7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(A-1)入力変圧器及び重油の熱容量[6.64 × 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する。

※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°CをSI単位に換算した 17W/m²Kを用いる。）

結果として、危険放射強度は以下になる。

$$E=7947[\text{W/m}^2]$$

(7) 形態係数の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の放射強度は、放射発散度に形態係数をかけた値となる。危険放射強度となる形態係数を算出する。

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

E_{max} ：危険放射強度， R_f ：放射発散度， ϕ ：形態係数

第 3.1.3.1-2 表 形態係数の算出結果

	7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1)入力変圧器
危険放射強度[W/m ²]	7.94 × 10 ³
放射発散度[W/m ²]	23 × 10 ³
形態係数	0.3455400

(8) 危険距離の算出

次の式から危険距離を算出する。

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

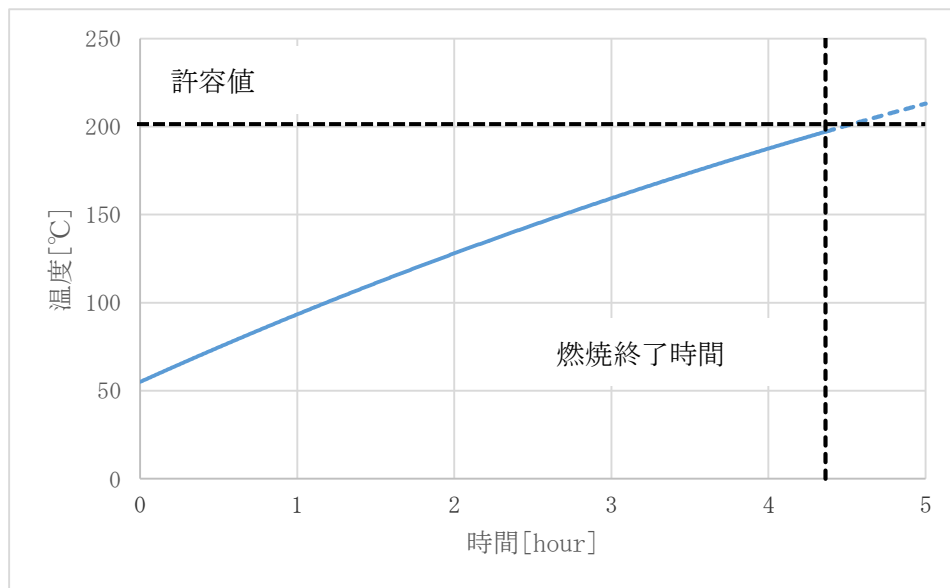
ただし、 $m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$

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

第 3.1.3.1-3 表 危険距離の算出結果

	7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1)入力変圧器
形態係数	0.3455400
燃焼半径[m]	2.75
危険距離[m]	約 4.0

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 3.1.3.1-2 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

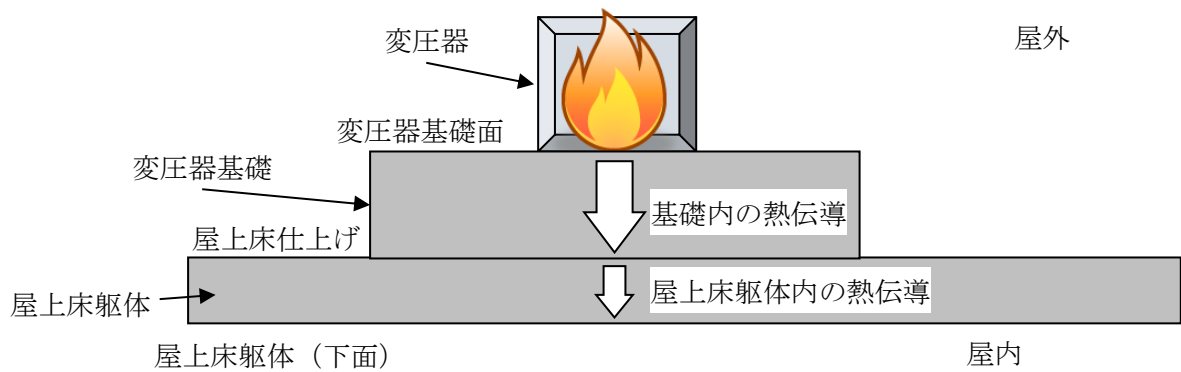
以上の結果から、6号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても、離隔距離(4.1m)が危険距離(約 4.0m)以上であることから、向かい合う他の変圧器等に影響を及ぼすことはないと評価できる。

3.1.3.2 変圧器の火災による発電用原子炉施設（屋上）への影響

(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する。

以下に概念図を示す。



第 3. 1. 3. 2-1 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。

第 3. 1. 3. 2-1 表 変圧器火災影響評価に必要なパラメータ

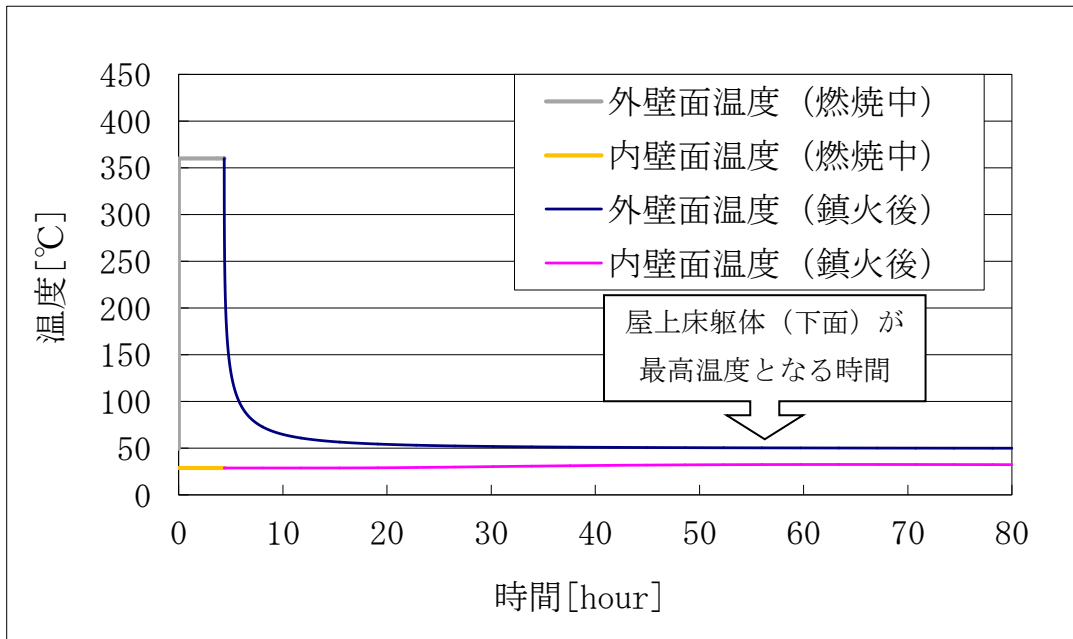
項目	パラメータ	備考
外気温度[°C]	50	日射の影響を考慮し設定
基礎面熱伝達率[W/m²K]	34.883	コンクリートの基礎面熱伝達率
屋上床躯体（下面） 熱伝達率[W/m²K]	3.4883	コンクリートの屋上床躯体（下 面）熱伝達率
基礎・躯体の熱伝導率 [W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
基礎・躯体の熱拡散率[m²/s]	8.42×10^{-7}	コンクリートの熱拡散率
基礎+躯体厚さ[m]	1.19	基礎（0.69m），躯体（0.50m）

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。

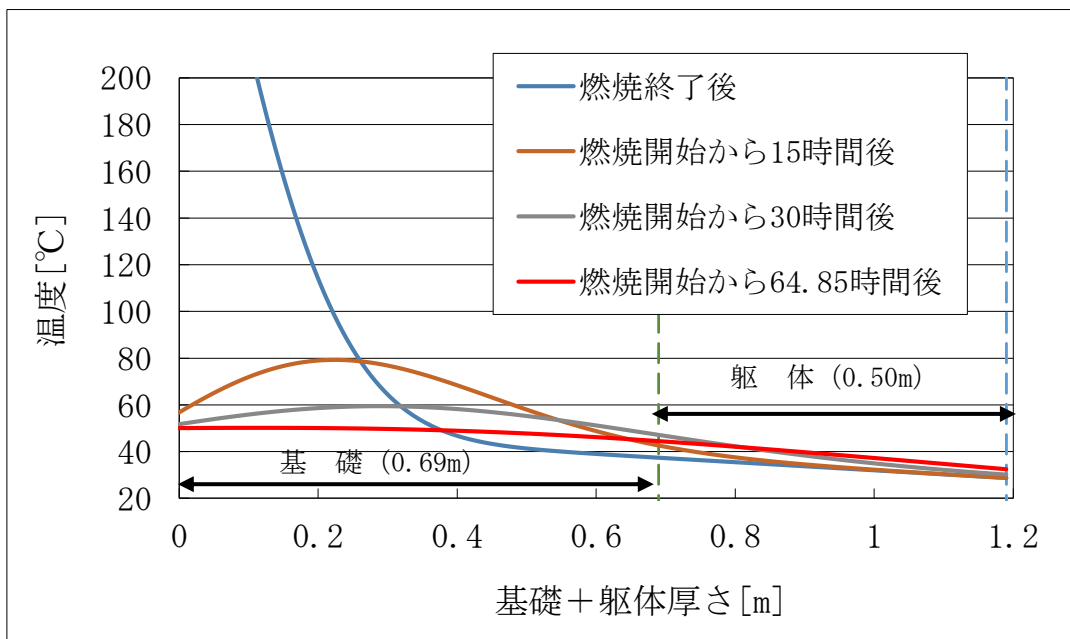
$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

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. 1. 3. 2-2 図 基礎面・屋上床躯体 (下面) の温度



第 3. 1. 3. 2-3 図 基礎・躯体内部の温度変化

第 3.1.3.2-2 表 変圧器基礎面の温度評価結果

6 号炉 (変圧器基礎面)	
項目	6 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(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} (51) ^{※3}
屋上床躯体(下面)温度[°C]	29 ^{※2} (33) ^{※3}
基礎・躯体境界温度[°C]	38 ^{※2} (45) ^{※3}
許容温度[°C]	200 ^{※4}

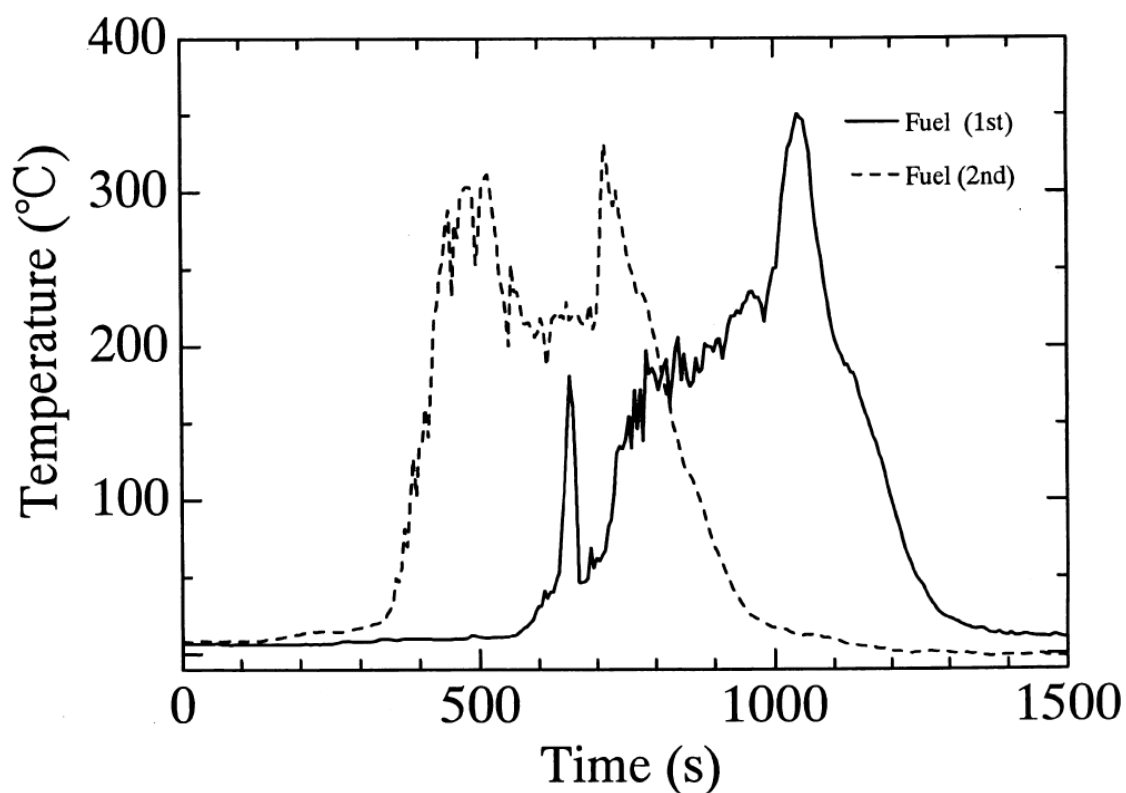
※1：絶縁油の沸点（出典：機械工学便覧）

※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

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 3.1.3.2-4 図)。これによると、最高温度は 350°C 程度である。

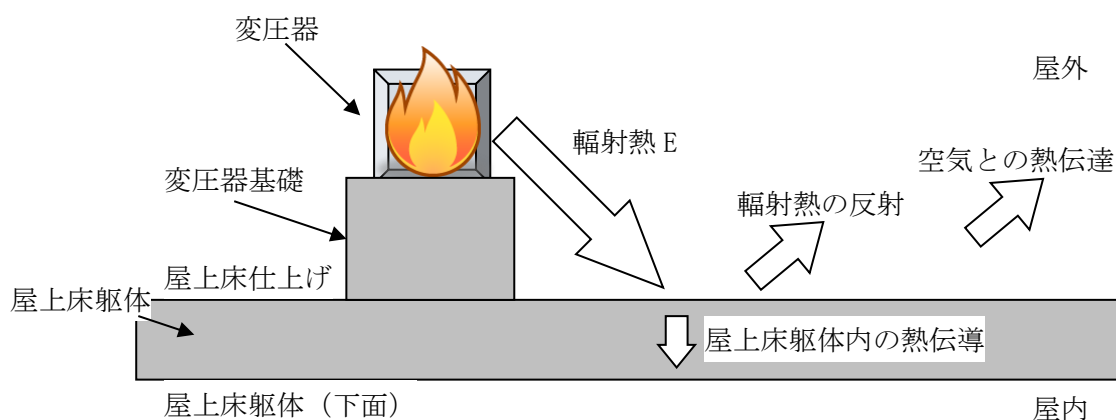


第 3.1.3.2-4 図 原油の温度変化（直径 10m のタンク）

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。

(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する。



第 3. 1. 3. 2-5 図 建屋屋上への熱影響

評価に必要なパラメータを示す。

第 3. 1. 3. 2-3 表 変圧器火災影響評価に必要なパラメータ

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
屋上面熱伝達率[W/m ² K]	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/m ² K]	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[m ² /s]	8.42×10 ⁻⁷	コンクリートの熱拡散率
躯体厚さ[m]	0.50	-

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、屋上床仕上げから屋上床躯体（下面）までの温度を求める。

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

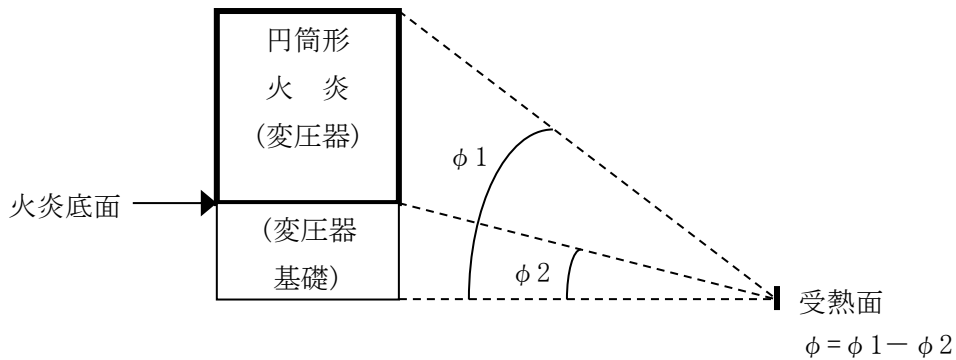
T : 温度, t : 時刻, x : 基礎面からの距離, α : 熱拡散率

なお、第 3. 1. 3. 2-6 図のように、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。

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

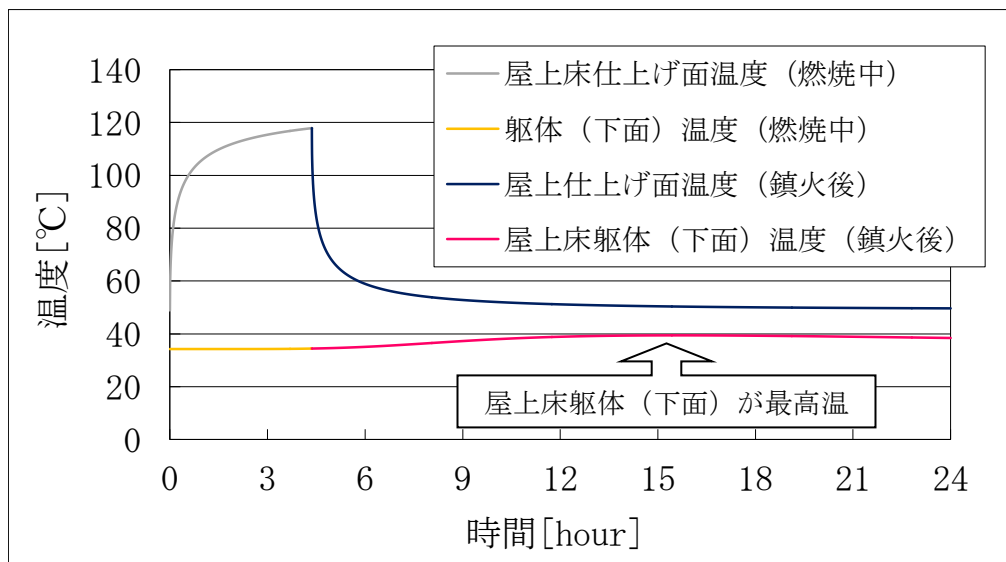
ただし, $m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2$

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

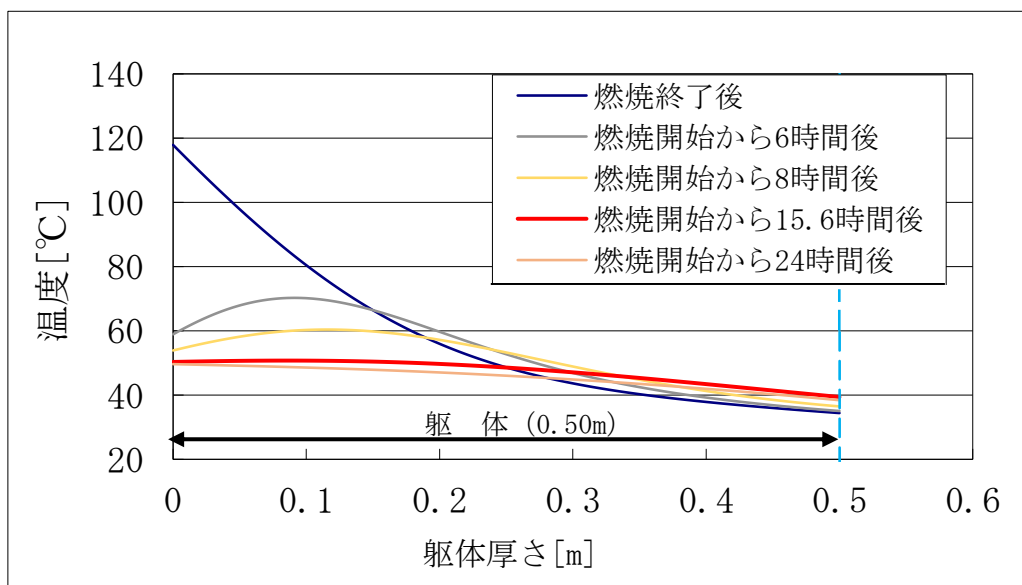


第 3. 1. 3. 2-6 図 受熱面の高さによる形態係数

以下に評価結果を示す。



第 3. 1. 3. 2-7 図 基礎面・屋上床躯体 (下面) の温度



第 3. 1. 3. 2-8 図 躯体内部の温度変化

第 3. 1. 3. 2-4 表 屋上床仕上げ面の温度評価結果

6号炉（屋上床仕上げ面）	
項目	6号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器
輻射強度[W/m ²]	3.91 × 10 ³
燃焼継続時間[hour]	4.36
屋上床仕上げ面温度[°C]	118 ^{*1} (51) ^{*2}
屋上床躯体(下面)温度[°C]	35 ^{*1} (40) ^{*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) 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、原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器に対して3. のとお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おそれはない。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。

3.1.3.3 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

屋上床仕上げ面からの入熱による影響

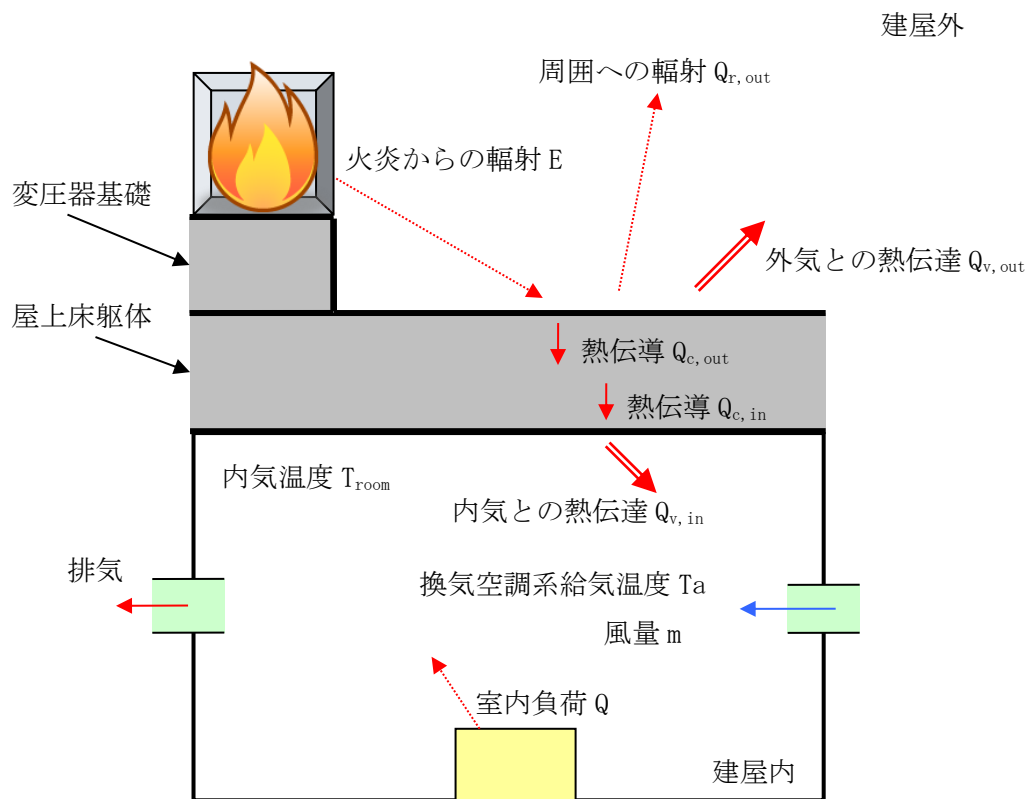
変圧器の下部に位置している中央制御室換気空調機室内の機器等への影響について評価する。

第3.1.3.3-1図に概念図を示す。

外壁及び内壁面温度上昇に伴う熱負荷 ($Q_{v, in}$) 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



第3.1.3.3-1図 伝熱の概念図

以下に評価結果を示す。

第 3.1.3.3-1 表 建屋内気温度の評価結果

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号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置(B-2)入力変圧器（屋上面）
内気温度[°C]	38 ^{※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室の最高使用温度

評価の結果、燃焼終了後の温度上昇を踏まえたとしても、内気温度は最高で約 38°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。

3.1.4 まとめ

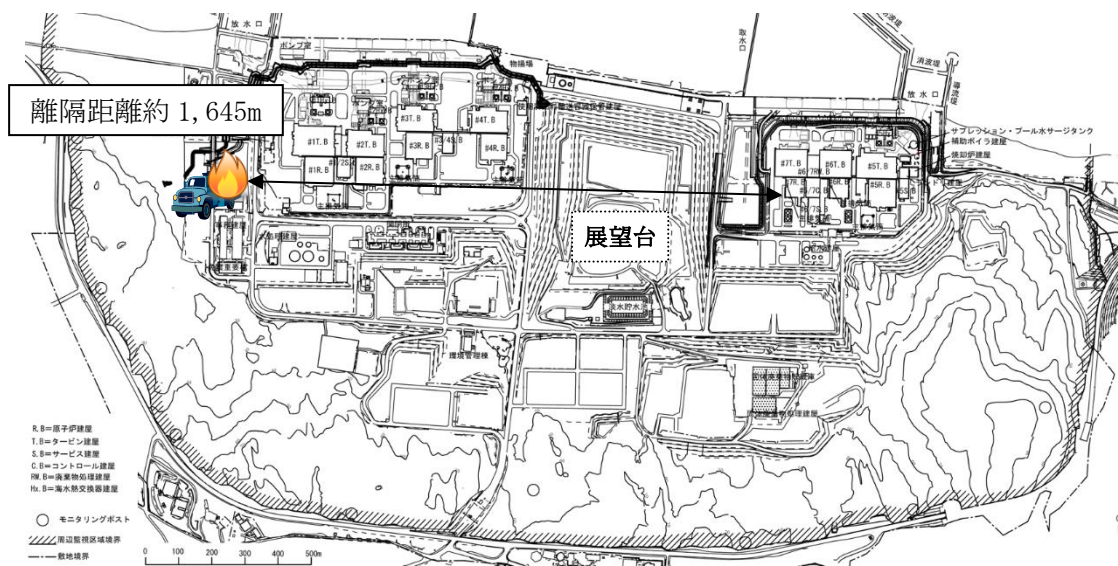
以上の結果から、コントロール建屋の屋上に設置している変圧器の火災を想定した場合、変圧器の基礎面は許容限界温度を超えるものの、屋上床躯体については許容限界温度を下回ることから、建屋の強度に対する熱影響はないと評価する。

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約 38°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。

3.2 水素トレーラ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発電用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、水素トレーラの火災では、展望台等により、6号及び7号炉の発電用原子炉施設は放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（第3.2-1図）。



第3.2-1図 水素トレーラの離隔距離

(1) 想定条件

- 水素トレーラ建屋内にて、水素トレーラが停車中に火災・爆発を起こした場合を想定する。
- 水素トレーラは水素ガスを満載した状態（最大積載量 13,987m³）を想定する。
- 燃料は水素とする。
- 水素トレーラ建屋内での水素ガス漏えい、引火による水素トレーラの爆発を想定する。
- 気象条件は無風状態とする。

(2) 評価手法の概要

本評価は、柏崎刈羽原子力発電所に対する水素トレーラ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。

第 3.2-1 表 評価指標及びその内容

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とする。

(4) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 3.2-2 表 水素爆発の評価条件

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]	水素トレーラから発電用原子炉施設までの距離 約 1,645[m]

(5) W 値の算出

水素トレーラの最大積載量を貯蔵能力とし、W 値を算出する。

積載量（貯蔵能力）=13987[m³]=1.25[t]

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と発電用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 : 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, 外部事象防護対象施設を内包する発電用原子炉施設に爆風圧による影響はないと判断する。

4. 構内危険物タンク等における延焼の危険性について

4.1 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取り扱っている。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する。

4.2 車両(可搬型重大事故等対処設備)等の火災

4.2.1 車両(可搬型重大事故等対処設備)等の延焼

可搬型重大事故等対処設備保管場所等(以下「保管所等」という。)において, 車両(可搬型重大事故等対処設備)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, 保管所等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 $1.7kW/m^2$ **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。

なお, 保管所近傍における森林火災の燃焼継続時間(約 14 時間)のうち, 保管所において, 人が長時間さらされても苦痛を感じない放射熱(輻射)強度である $1.6kW/m^2$ を超えている時間は数十秒程度である。

※: 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 $1.6 kW/m^2$ としている。

(1) 車両(可搬型重大事故等対処設備)等の火災の想定条件

- ・ 周囲への熱影響を考慮し, 燃料積載量の大きい第一ガスタービン発電機

車（GTG用燃料タンク）の火災を想定する。

- 燃焼する第一ガスタービン発電機車（GTG用燃料タンク）からの輻射熱を受けやすくするため、第一ガスタービン発電機車の走行用燃料タンクが向かい合う状態を想定する。第一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輻射熱を受けるものとする。
- 発熱側となる第一ガスタービン発電機車は燃料を満載し、受熱側となる第一ガスタービン発電機車は燃料量を 1/2 とする（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する）。
- 車両に積載している燃料は軽油とする。
- タンクローリと異なり大容量の燃料タンクではないことから、第一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する。
- 第一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する。
- 気象条件は無風状態とする。
- 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

(2) 評価対象範囲

評価対象範囲は、輻射熱の影響を考慮し燃料タンクが露出している車両（第一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第一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第一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する。

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 4.2.1-1 表 ガスタービン発電機車火災影響評価に必要なデータ

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]	第一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]	第一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

第一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。したがって、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する。

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

$$S : \text{発電用燃料タンクの投影面積（火炎円筒の底面積）} = 1.0 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R = (1.0 / \pi)^{0.5} = 0.56 \text{ [m]}$$

(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

第一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、一定の輻射強度で第一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。

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

T₀ : 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 : 走行用燃料タンク及び軽油の熱容量[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

$$E = 4948 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

(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かけた値となる。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

第 4.2.1-2 表 形態係数の算出結果

第一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]	4.94 × 10 ³
輻射発散度[W/m ²]	42 × 10 ³
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する。

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

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 4.2.1-3 表 危険距離の算出結果

第一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]	1.8

(9) 火災による熱影響の有無の評価

以上の結果から，第一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(1.8m)以上であることから，向かい合う他の第一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設備）に影響をおよぼすことはないと評価できる。

4.2.2 第一ガスタービン発電機の火災

(1) 火災延焼の影響

第一ガスタービン発電機の発電機車の 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、「4.2.1」と同様に危険距離（1.8m）以上の離隔距離（5m）を確保することから、隣接するガスタービン発電機への影響はない。

(2) アクセスルートへの影響

第一ガスタービン発電機車はアクセスルートに近接しているが、隣接道路への離隔距離は5m以上確保する。第一ガスタービン発電機車のGTG用燃料タンクの火災を想定した場合、離隔距離5mでの輻射強度は 1.1kW/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。評価条件及び結果について、次表に示す。

第4.2.2-1表 アクセスルートへの火災影響評価結果

第一ガスタービン発電機車近傍アクセスルート	
燃焼半径[m]	0.56
離隔距離[m]	5
形態係数	0.0247444
輻射発散度 $[\text{W/m}^2]$	42×10^3
輻射強度 $[\text{W/m}^2]$	1.04×10^3

※：石油コンビナートの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（輻射）強度を 1.6kW/m^2 としている。

(3) 7号炉主変圧器火災の影響

第一ガスタービン発電機車から離隔距離約72mの場所に7号炉主変圧器を設置していることから、「3.1 変圧器の火災影響評価について」における7号炉主変圧器の評価と同様に、第一ガスタービン発電機車近傍の輻射強度評価を実施したところ、 0.5kW/m^2 **程度であり、操作への影響はない。評価条件及び結果について、次表に示す。

第4.2.2-2表 7号炉主変圧器への火災影響評価結果

第一ガスタービン発電機車	
燃焼半径[m]	7.03
離隔距離[m]	72
形態係数	0.0185608
輻射発散度 $[\text{W/m}^2]$	23×10^3
輻射強度 $[\text{W/m}^2]$	0.43×10^3

※：石油コンビナートの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（輻射）強度を 1.6kW/m^2 としている。

5. 発電用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

発電用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。

5.1 評価対象範囲

評価対象は、発電用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。

5.2 防護扉の火災影響評価について

5.2.1 防護扉の温度評価

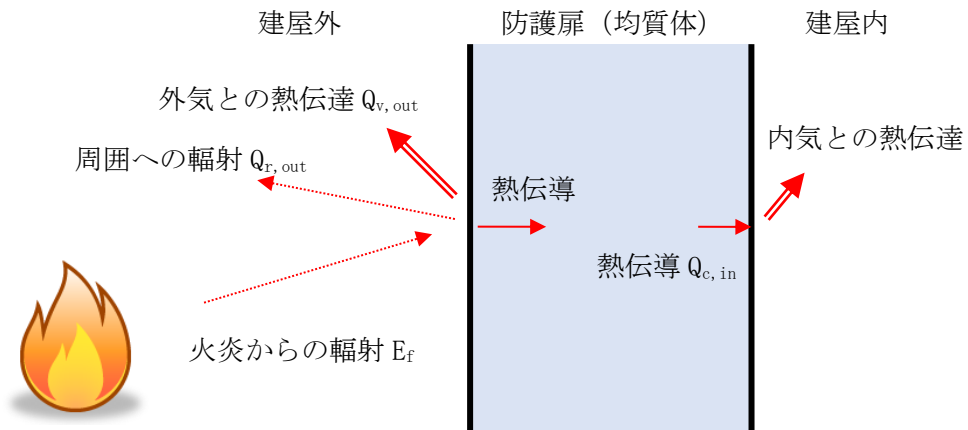
(1) 評価対象

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

- ・ 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」と同様の想定とする。
- ・ 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）とする。
- ・ 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する。

以下に、概念図を示す。



第 5.2.1-1 図 伝熱の概念図

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 5.2.1-1 表 軽油タンク火災影響評価に必要なデータ

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 5.2.1-2 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 5.2.1-2 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

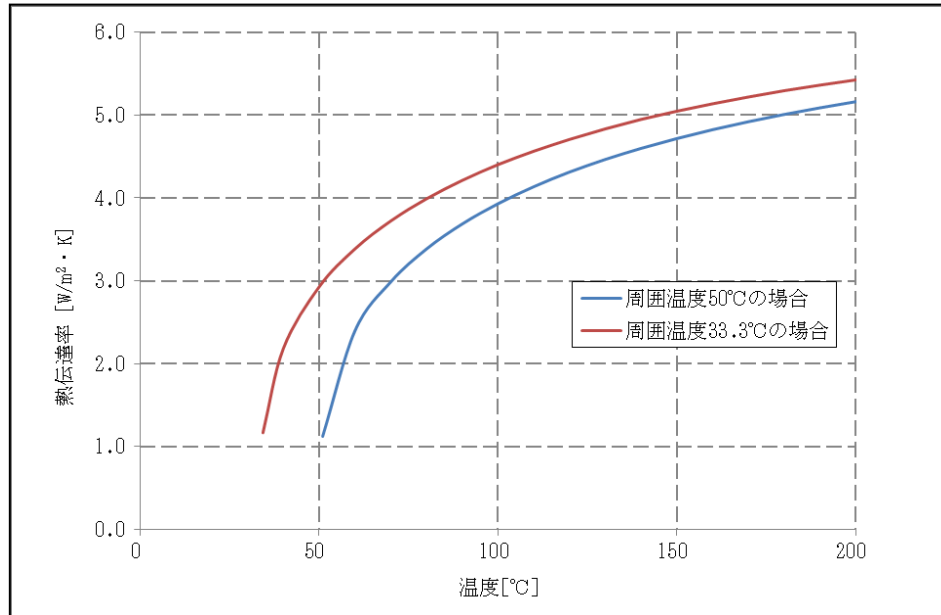
$$Nu \equiv h \cdot x / \lambda = 0.10 Ra^{1/3}$$

$$(2 \times 10^9 \leq Ra \equiv g \cdot \beta(T - T_{out}) \cdot x^3 / \nu^2 \cdot Pr \leq 10^{12})$$

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 [$W/(m \cdot K)$], g : 重力加速度 [m/s^2], 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 [m^2/s]



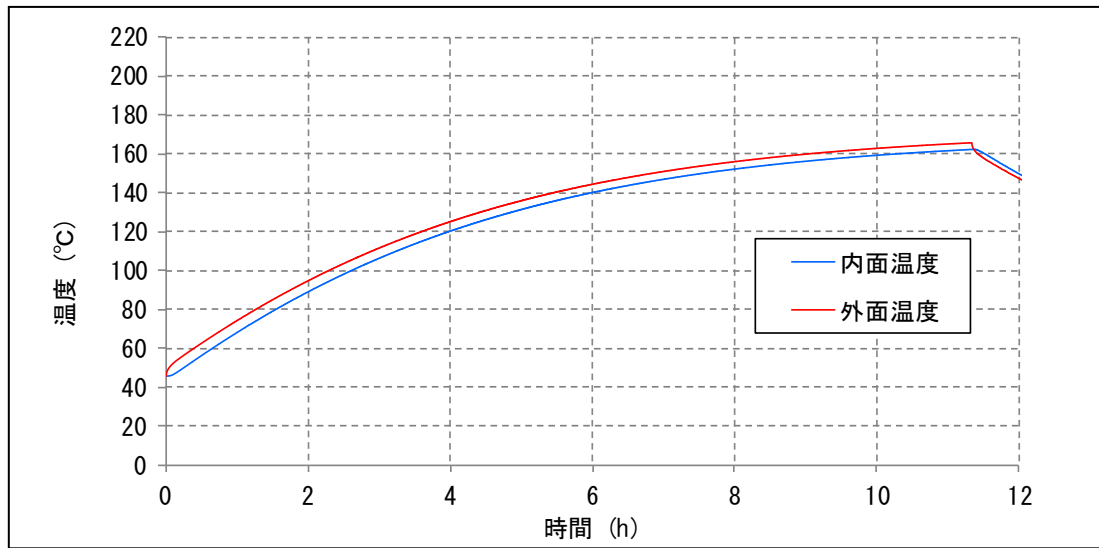
第 5.2.1-2 図 自然対流熱伝達 (Bayley の式)

(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、防護扉外面及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 5.2.1-3 図 防護扉の外面及び内面温度

(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°C、扉内面 161.9°C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°C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あり、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。

5.2.2 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

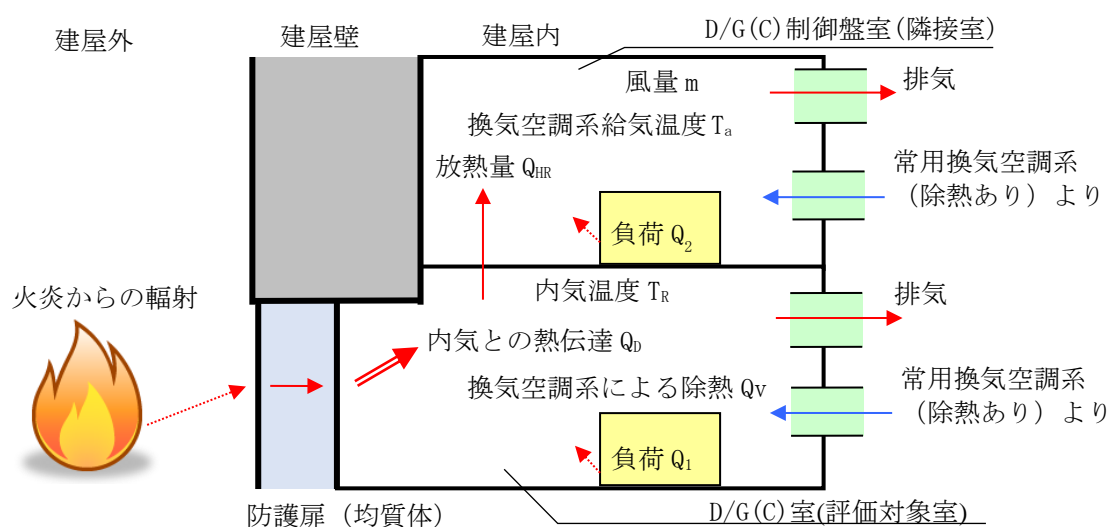
- ・火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、扉内面温度 161.9°C一定としたときの放熱量を評価対象室への入熱とする。
- ・より現実的な評価として、評価対象室に隣接する壁、床、天井への放熱を考慮する。
- ・隣接室については、隣接する壁、床、天井への放熱を考慮しないものとする。
- ・隣接室の内気温度評価は、評価対象室の放熱面積と隣接室の室内負荷が

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 5.2.2-1 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 5.2.2-2 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及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及び換気空調系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 : 換気空調系給気温度

以下に評価結果を示す。

第 5.2.2-1 表 建屋内の温度評価結果 (待機時)

	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]	37	33 ^{※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 37°C、隣接室(非常用ディーゼル発電機制御盤室)の室温は 33°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、ともに許容温度を超えないことから、発電用原子炉施設の建屋内への熱影響はない。

なお、防護扉のほか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換気空調

系での除熱が可能)。

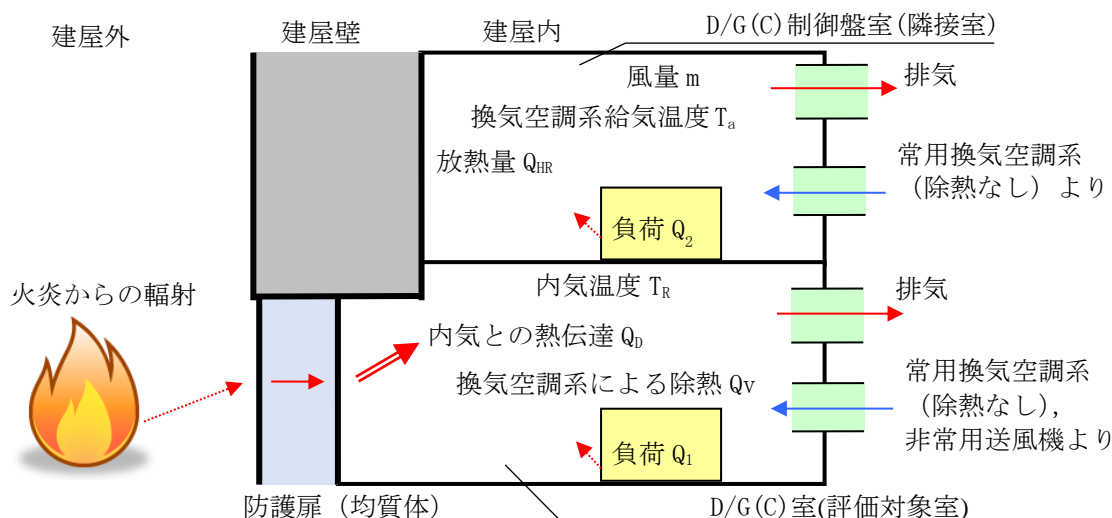
5.2.3 6号炉非常用ディーゼル発電機(C)室の内気温度評価<運転時>

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

- ・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する。
- ・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する。
- ・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する。
- ・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。
- ・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する。
- ・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する。
- ・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する(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、伝熱の概念並びに建屋内の温度評価手法は、5.2.2.6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 5.2.3-1 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。

第 5.2.3-1 表 建屋内の温度評価結果（運転時）

	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

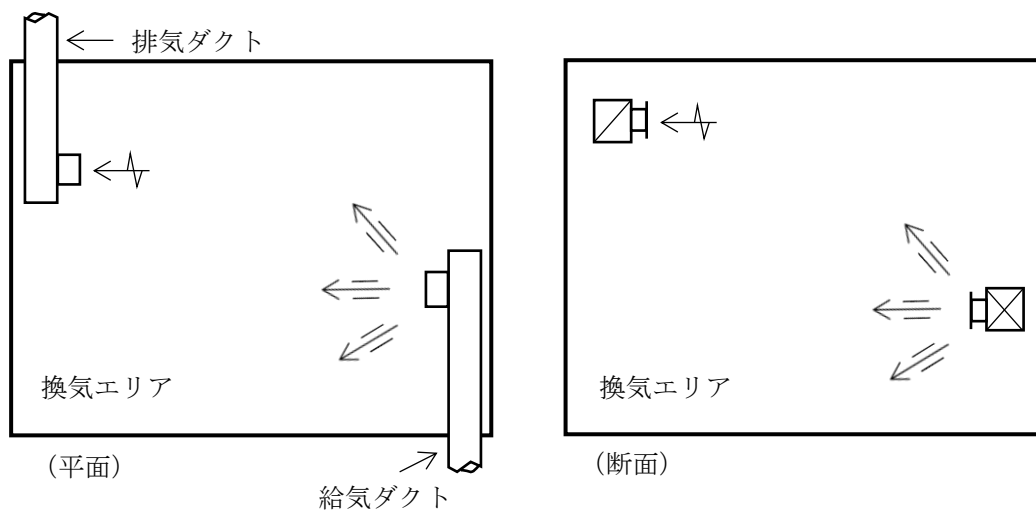
※3：室内の電気設備（制御盤）の最高使用温度

(2) 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、ともに許容温度を超えないことから、発電用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、実際の温度上昇はさら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 5.2.3-2 図 給排気ダクトの配置例

5.3 ルーバの火災影響評価について

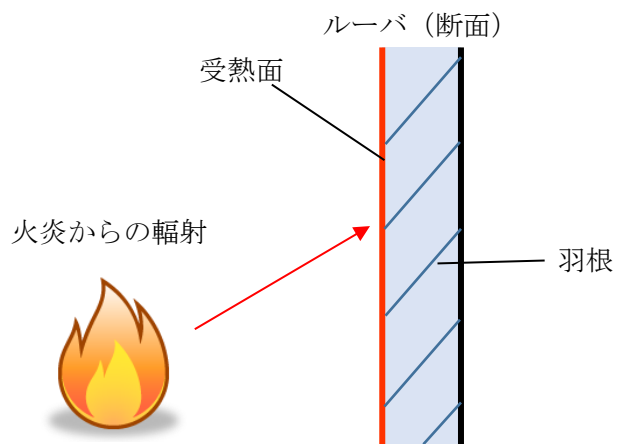
(1) 評価対象

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」と同様の想定とする。
- ・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する。

以下に、ルーバへの受熱面を示す。



第 5.3-1 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。

第 5.3-1 表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

離隔距離[m]	16
燃焼半径[m]	6.91
形態係数[-]	0.2051198
輻射強度[W/m ²]	4.71×10 ³
燃焼継続時間[h]	10.1

(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 4.71kW/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及び膨張量を算出する。

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/m²K], $h_r=9.48$ [W/m²K], $T_0=50$ [°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。

第 5.3-2 表 ルーバの熱影響評価結果

ルーバ温度[°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°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，状況に応じて換気空調系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。

5.4 配管貫通部の火災影響評価について

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

(1) 評価対象

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号炉原子炉建屋南側外壁の外部注水接続配管を対象とする。

(2) 想定条件

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」と同様の想定とする。

(3) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

第 5.4-1 表 変圧器火災影響評価に必要なデータ

離隔距離[m]	36.1
燃焼半径[m]	6.91
形態係数[-]	0.06460353
輻射強度[W/m ²]	1.48×10 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

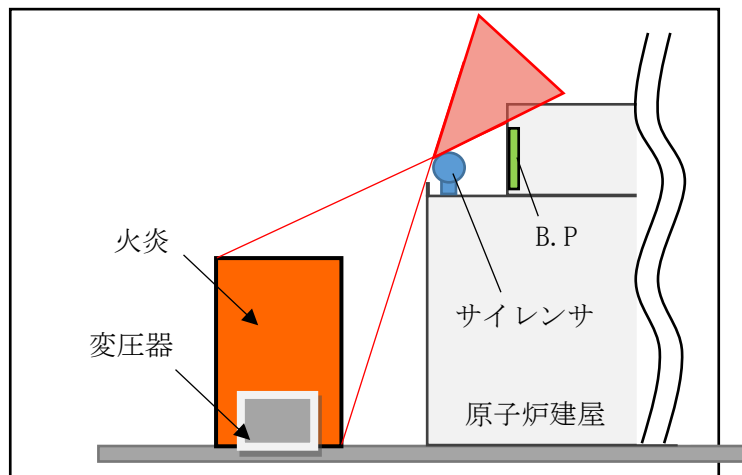
変圧器の火災影響評価 (1) から(7)と同様の算出方法により輻射強度を求めた結果、配管貫通部(屋外配管)に対して受ける輻射強度は 1.48kW/m^2 となり、人が長時間さらされても苦痛を感じない輻射強度である 1.6kW/m^2 を下回ることから、配管貫通部(屋内配管と内気含む)への熱影響はない。

5.5 ブローアウトパネルの火災影響評価について

6号及び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5.5-1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主排気筒の温度評価(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 0.5kW/m^2 程度であり、輻射強度は人が長時間さらされても苦痛を感じないとされる 1.6kW/m^2 を下回っており、サイレンサへの熱影響はない。



第5.5-1図 6号炉B.Pと主変圧器火炎との位置関係

6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器
の耐震性評価結果

1. 評価範囲

6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器は油入変圧器であり、本体部のタンクと放熱器内に絶縁油が内包されており、地震によりタンク若しくは放熱器が損傷した場合、絶縁油が漏えいする可能性が高い。

タンク若しくは放熱器が損傷するケースとしては以下の2ケースが考えられる。

(ケース1)

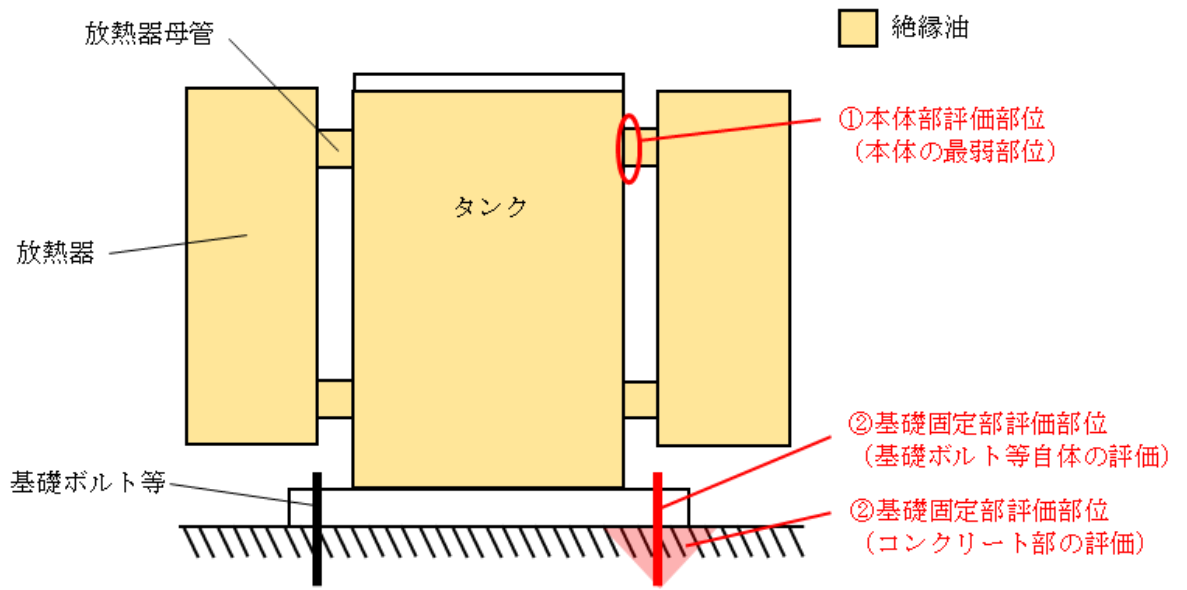
タンク若しくは放熱器自体が地震により損傷する。

(ケース2)

変圧器本体と基礎を固定している基礎ボルト等の基礎固定部が地震により破断し、変圧器が滑動、転倒することでタンク若しくは放熱器が損傷する。

ケース1については、過去の油入変圧器の地震や輸送の損傷実績の中で、タンクや放熱器自体の損傷実績はないものの、タンクと放熱器をつなぐ配管（以下「放熱器母管」という）根元部について輸送時にクラックが入った実績があることから、本体部の最弱部位として放熱器母管根元部を選定し、基準地震動 S_s を入力とした耐震性評価を実施する。（評価部位は第1図の①の部位）

ケース2については、「変電所等における電気設備の耐震設計指針（JEAG5003-2010）」（以下「JEAG5003」という。）において、「変圧器本体を基礎に固定する基礎ボルトが破断し本体が滑動しないよう、基礎ボルトの強度を十分に確保し得る施工上の注意が必要である」と示されており、地震力の大きさによっては基礎ボルト等の基礎固定部が破断する可能性があることから、基礎固定部について基準地震動 S_s を入力とした耐震性評価を実施する。（評価部位は第1図の②の部位）



第1図 変圧器評価の概念図

2. 評価内容

(1) 変圧器本体部の耐震性評価方法（ケース 1）

6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器の放熱器母管の根元部については、基準地震動 S_s を入力として、放熱器母管の根元に発生する曲げ応力が許容応力以下であることを確認する。

(2) 変圧器基礎固定部の耐震性評価方法（ケース 2）

6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器の基礎固定部について、基準地震動 S_s を入力とした以下の耐震性評価を実施する。

a. 基礎固定部が損傷しないことの確認（※1）（※2）

基礎固定部に発生する引張応力とせん断応力が許容応力以下であることを確認する。

b. 基礎固定部が基礎から引き抜けないことの確認（※1）

基礎固定部に発生する引張とせん断の組み合わせ荷重が以下に示すコンクリート部の引張荷重及びせん断荷重の組合せに対する許容値以下となることを確認する。

$$\left(\frac{p}{pa}\right)^2 + \left(\frac{q}{qa}\right)^2 \leq 1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

p : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重

pa : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重

q : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重

qa : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重

※1 : 「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」に準拠

※2 : 「変電所等における電気設備の耐震設計指針（JEAG5003-2010）」に準拠

3. 評価結果

(1) 変圧器本体部の耐震性評価結果（ケース 1）

6 号及び 7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器本体部の耐震性評価の結果は第 1 表のとおりであり、全ての変圧器について発生応力が許容応力以下であることを確認した。

第 1 表 6 号及び 7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器
本体部の耐震性評価結果

号炉	設備名	評価部位	評価項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度 (※)
6 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-1), (B-1)	放熱器母管根元部	曲げ	134	279	2.08
	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-2), (B-2)	放熱器母管根元部	曲げ	148	279	1.88
7 号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-1), (B-1)	放熱器母管根元部	曲げ	119	279	2.34
	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-2), (B-2)	放熱器母管根元部	曲げ	40	279	6.97

※：裕度は評価部位の発生応力とその部位の許容応力の比率であり、1 以上を裕度ありとする。

(2) 変圧器基礎固定部の耐震性評価結果（ケース 2）

6 号及び 7 号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器基礎固定部の耐震性評価の結果は第 2 表、第 3 表のとおりであり、全ての変圧器について発生応力が許容応力以下であることを確認した。

第2表 6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器
基礎固定部の耐震性評価結果

号炉	設備名	評価部位	評価項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度 (※)
6号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-1), (B-1)	基礎固定部 (基礎ボルト)	引張	127	202	1.59
			せん断	57	160	2.80
	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-2), (B-2)	基礎固定部 (基礎ボルト)	引張	126	191	1.51
			せん断	64	160	2.50
7号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-1), (B-1)	基礎固定部 (溶接)	引張とせん断の組合せ	154	160	1.03
	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-2), (B-2)	基礎固定部 (溶接)	引張とせん断の組合せ	83	160	1.92

※：裕度は評価部位の発生応力とその部位の許容応力の比率であり、1以上を裕度ありとする。

第3表 6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器
基礎コンクリート部の耐震性評価結果

号炉	設備名	評価部位	評価項目	発生応力 (※2)	許容応力 (※2)	裕度 (※1)
6号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-1), (B-1)	基礎コンクリート部	引張とせん断の組合せ	0.116	1	8.62
	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-2), (B-2)	基礎コンクリート部	引張とせん断の組合せ	0.242	1	4.13
7号炉	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-1), (B-1)	基礎コンクリート部	引張とせん断の組合せ	0.263	1	3.80
	原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器 (A-2), (B-2)	基礎コンクリート部	引張とせん断の組合せ	0.133	1	7.51

※1：裕度は評価部位の発生応力とその部位の許容応力の比率であり、1以上を裕度ありとする。

※2：(1)式の左辺を発生値、右辺を許容値とする。

4. 結論

6号及び7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器においては、各評価部位について発生応力が許容応力以下であることが確認されたことから、基準地震動 S_s での地震時においても変圧器は損傷すること無く、変圧器内の絶縁油は漏えいしないことが確認された。

以上

変圧器の防火対策について

1. 変圧器の防火対策

- ・ 変圧器には、内部圧力の上昇、又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（第1図）。

2. 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。

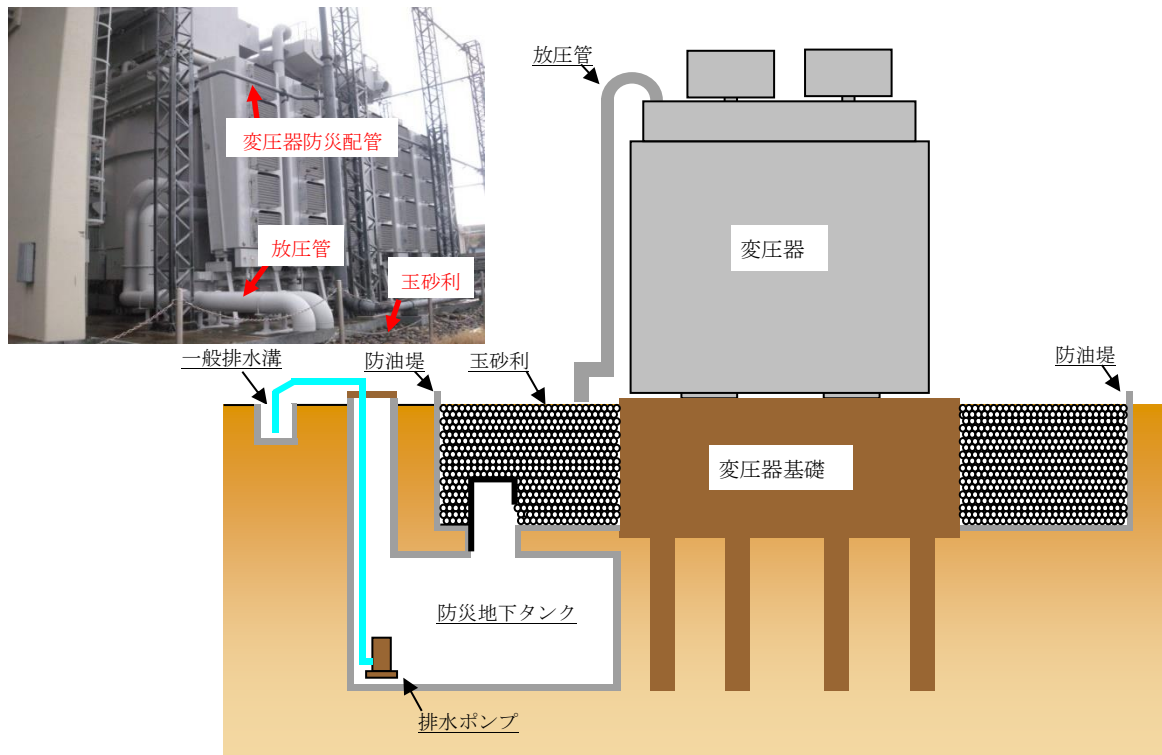
3. 中越沖地震による3号炉所内変圧器火災の対策

(1) 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（第2図、第3図）

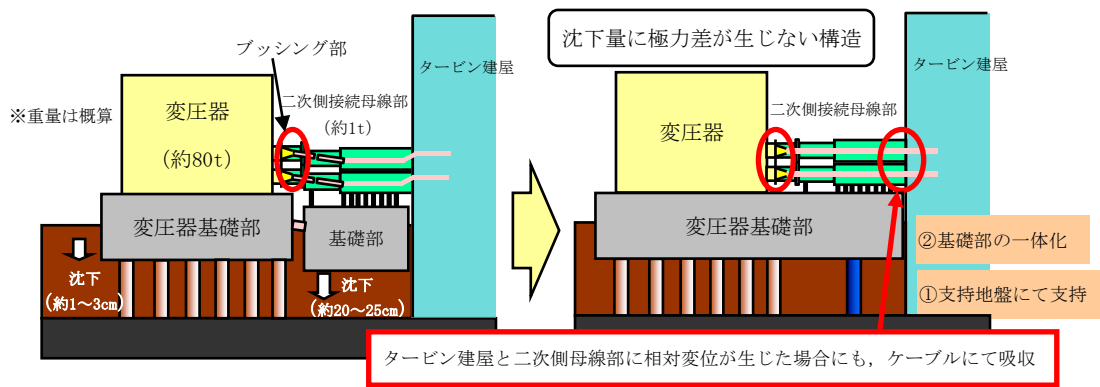
- a. 二次側接続母線部ダクトの基礎をタービン建屋と同じ支持地盤にて支持
- b. 変圧器と二次側接続母線部ダクトの基礎部を一体化、又は、二次側接続母線部ダクトの基礎構造を杭基礎構造へ変更

なお、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。

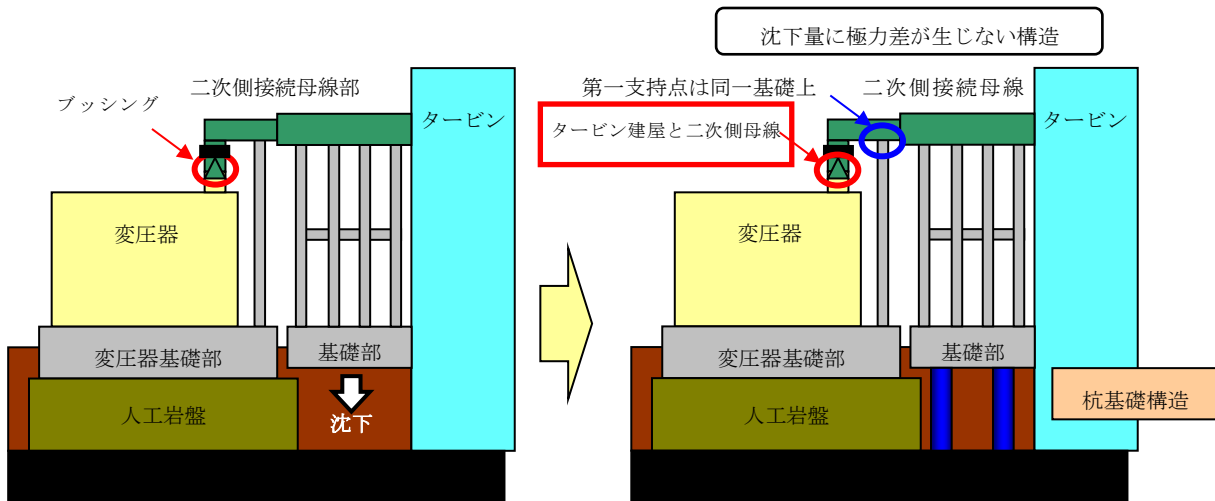
(2) 屋外埋設消火配管の地上化（第4図）



第1図 変圧器地下構造（防油堤及び防災地下タンク）



第2図 変圧器火災の対策（3号炉所内変圧器）



第3図 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

第4図 消火配管の地上化

柏崎刈羽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墜落によ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発電用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. 航空機墜落による火災の影響評価

航空機落下確率評価では、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。火災の影響は対象航空機の燃料積載量に大きく依存することから、別紙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ごとに火災影響評価を実施する。

第2-1表 航空機の分類

落下事故カテゴリ		分類
(1) 計器飛行方式民間航空機	1) 飛行場での離着陸時	—注1
	2) 航空路を巡航中	(1) 大型民間航空機
(2) 有視界飛行方式民間航空機		
(3) 自衛隊機又は米軍機	1) 訓練空域外を飛行中	(3) 大型軍用航空機
	2) 基地－訓練空域間往復時	(4) 小型軍用航空機
		—注2

注1：柏崎刈羽原子力発電所は、新潟空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外（別紙7-3）

注2：柏崎刈羽原子力発電所は基地－訓練空域間の往復の想定範囲内に入らないため対象外

(1) 航空機墜落による火災の想定

- ・航空機は、柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- ・航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- ・航空機の落下は発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- ・航空機の落下によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

第 2-2 表 燃料積載量が最大の機種

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 (別紙 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 (別紙 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

(2) 評価手法の概要

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

第 2-3 表 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度 [W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点 (受熱点) の輻射強度
形態係数 [-]	火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]	発電用原子炉施設を中心にして落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる地点とその地点から発電用原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値 [-]	建屋の外壁, 天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

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ないものとする。

輻射熱に対する建物の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその建物の危険輻射強度以下になるように発電用原子炉施設は危険距離 (離隔距離) を確保するものとする。

(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発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率評価の対象航空機を、大型民間航空機、小型民間航空機、大型軍用航空機、小型軍用航空機に分類し、それぞれの機種の落下確率の合計が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積を算出し、その結果から発電用原子炉施設からの離隔距離を以下のとおり算出する。

(4) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率[回/年]

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数[飛行回/年]

A : 発電用原子炉施設の標的面積[km^2]

W : 航空路幅[km]

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

G_c : 巡航中事故件数[回]

H_c : 延べ飛行距離[飛行回・km]

第 2-4 表 標的面積の算出結果

発電所名称 及び号炉 パラメータ	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉			
	航空路 (V31)	広域航法経路 (Y31)	広域航法経路 (Y305)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)
N_c 注2	14600	3650	182.5	4015
A 注3	0.01	0.01	0.01	0.01
W 注4	14	18.52	18.52	14
f_c 注5	0.5/9,439,243,077 = 5.29×10^{-11}			
P_c	5.52×10^{-10}	1.04×10^{-10}	5.21×10^{-12}	1.51×10^{-10}
P_c (合計)	8.13×10^{-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。（別紙7-4）

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回とする。（別紙7-5）

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。（別紙7-6）

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件とする。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。（別紙7-7）

(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 ：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

α ：対象航空機の種類による係数

第2-5表 落下確率の算出結果

パラメータ	大型固定翼機	大型回転翼機	小型固定翼機	小型回転翼機
f_v 注	0.5/20=0.025	2/20=0.10	35/20=1.75	30/20=1.50
S_v 注	372,000			
α 注	1.0	1.0	0.1	0.1
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P_v	6.72×10^{-10}	2.68×10^{-9}	4.70×10^{-9}	4.03×10^{-9}
P_v (合計)	1.20×10^{-8}			

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

以上より，

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

$$A_1 = 10^{-7} \div (8.13 \times 10^{-10} + 6.72 \times 10^{-10} + 2.68 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.239 [\text{km}^2]$$

小型民間航空機の落下確率（ P_v （小型固定翼機）+ P_v （小型回転翼機））

が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積 $A2$ [km^2]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A2 = 10^{-7} \div (4.70 \times 10^{-9} + 4.03 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.114 [\text{km}^2]$$

b. 大型軍用航空機及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、軍用航空機の落下確率 P_{so} を求める式は、以下のとおりとなる。

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率[回/年]

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

A : 発電用原子炉施設の標的面積[km^2]

第2-6表 落下確率の算出結果

パラメータ	大型自衛隊機	大型米軍機	小型自衛隊機	小型米軍機
f_{so} 注	2/20=0.1	4/20=0.2	6/20=0.3	1/20=0.05
S_o 注	295,000	372,000	295,000	372,000
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P_{so}	3.38×10^{-9}	5.38×10^{-9}	1.01×10^{-8}	1.34×10^{-9}
P_{so} (合計)	2.02×10^{-8}			

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

以上より、

大型軍用航空機の落下確率(P_{so} (大型自衛隊機)+ P_{so} (大型米軍機))が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積 $A3$ [km^2]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A3 = 10^{-7} \div (3.38 \times 10^{-9} + 5.38 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.114 [\text{km}^2]$$

小型軍用航空機の落下確率(P_{so} (小型自衛隊機)+ P_{so} (小型米軍機))が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積 $A4$ [km^2]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A4 = 10^{-7} \div (1.01 \times 10^{-8} + 1.34 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.086 [\text{km}^2]$$

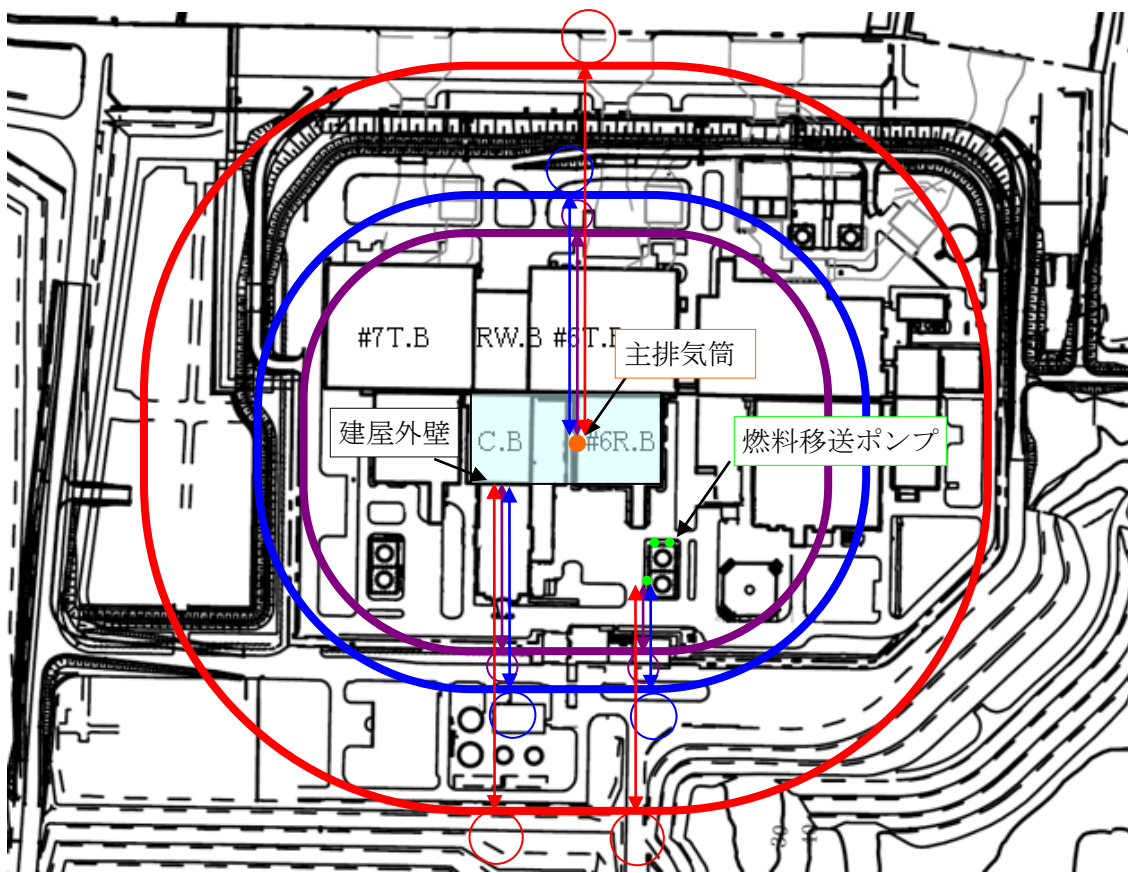
(5) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

(4)で求めた面積が、評価対象となる発電用原子炉施設(原子炉建屋及びコントロール建屋)外壁面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。

第2-7表 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出結果

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 (防護板(鋼板))	158	74	73	49
7号炉	までの離隔距離[m]	166	82	81	57
6号炉	主排気筒	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、航空機墜落による火災と軽油タンク火災の重畳火災も考慮し、航空機落下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(12)に示す。



○：航空機落下位置（円筒火炎モデル）

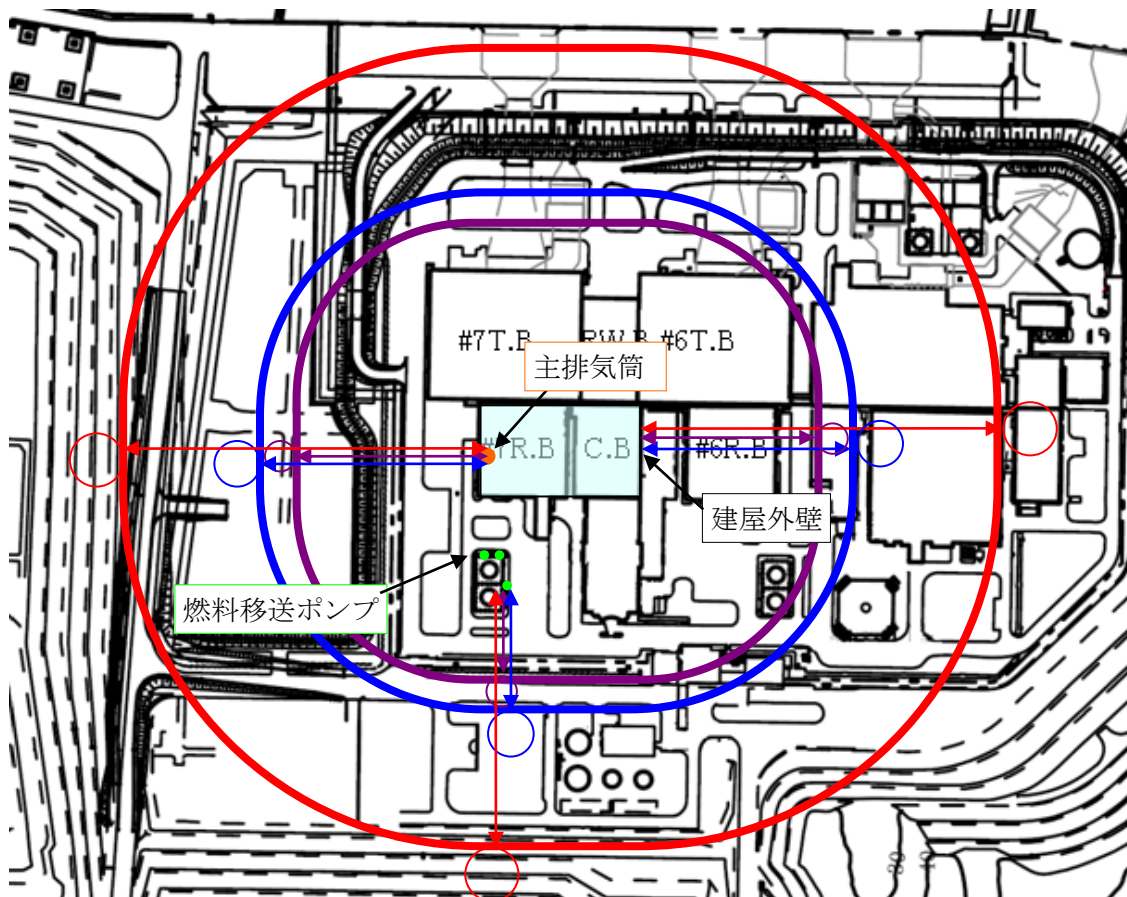
大型民間航空機落下位置

小型民間航空機落下位置

小型軍用航空機落下位置

大型軍用航空機落下位置

第2-1図 各航空機の落下位置（6号炉）



○：航空機落下位置（円筒火炎モデル）

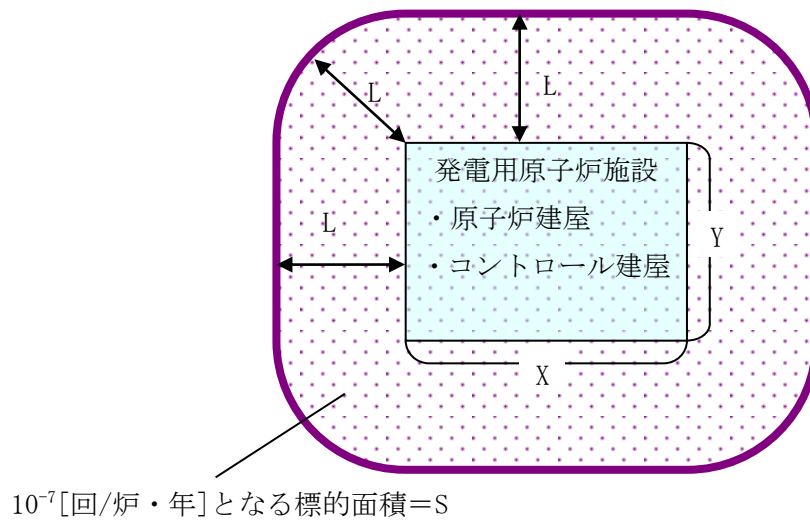
大型民間航空機落下位置

小型民間航空機落下位置
大型軍用航空機落下位置

小型軍用航空機落下位置

第2-2図 各航空機の落下位置（7号炉）

10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積の考え方は、以下のとおり。



第2-3図 標的面積の考え方

発電用原子炉施設（原子炉建屋及びコントロール建屋）外壁面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号炉主排気筒の温度評価を実施する。また、第2-8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。

第2-8表 航空機火災影響評価に必要なデータ

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	2.38	145.03	0.98
輻射発散度[W/m ²]	50×10 ³	50×10 ³	58×10 ³	58×10 ³
燃焼速度[m/s]	6.66×10 ⁻⁵	6.66×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃料タンク面積[m ²]	605	26	280	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号炉主排気筒 までの離隔距離[m]	226	141	141	117

※出典については、参考資料7-1参照

(7) 燃焼半径の算出

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

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

R：燃焼半径[m]，S：燃料タンク投影面積（火炎円筒の底面積）

第2-9表 燃焼半径の算出結果

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]	605	280	12
燃焼半径[m]	13.8	9.45	1.95

(8) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

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]

第 2-10 表 形態係数の算出結果

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]		13.8	9.45	1.95
6 号炉外壁 面	離隔距離 [m]	218	133	109
	形態係数	0.0070295	0.0086371	0.0005997
6 号炉燃料 移送ポンプ (防護板 (鋼板))	離隔距離 [m]	158	73	49
	形態係数	0.0127068	0.0249018	0.0027727
7 号炉主排 気筒	離隔距離 [m]	226	141	117
	形態係数	0.0065677	0.0077434	0.0005214

(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かけた値となる。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

第 2-11 表 輻射強度の算出結果

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 [W/m ²]		50 × 10 ³	58 × 10 ³	58 × 10 ³
6 号炉外壁 面	形態係数	0.0070295	0.0086371	0.0005997
	輻射強度 [W/m ²]	351.4	500.9	34.7
6 号炉燃料 移送ポンプ (防護板 (鋼板))	形態係数	0.0127068	0.0249018	0.0027727
	輻射強度 [W/m ²]	635.3	1444.3	160.8
7 号炉主排 気筒	形態係数	0.0065677	0.0077434	0.0005214
	輻射強度 [W/m ²]	328.3	449.1	30.2

(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]

第 2-12 表 燃焼継続時間の算出結果

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	145.03	0.98
燃料面積[m ²]	605	280	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]	6.66 × 10 ⁻⁵	6.71 × 10 ⁻⁵	6.71 × 10 ⁻⁵
燃焼継続時間[hour]	1.49	2.14	0.34

※出典については、参考資料 7-1 参照

(11) 評価結果

a. 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℃* 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、一定の輻射強度で発電用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限界温度以下であるか評価を実施する。

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

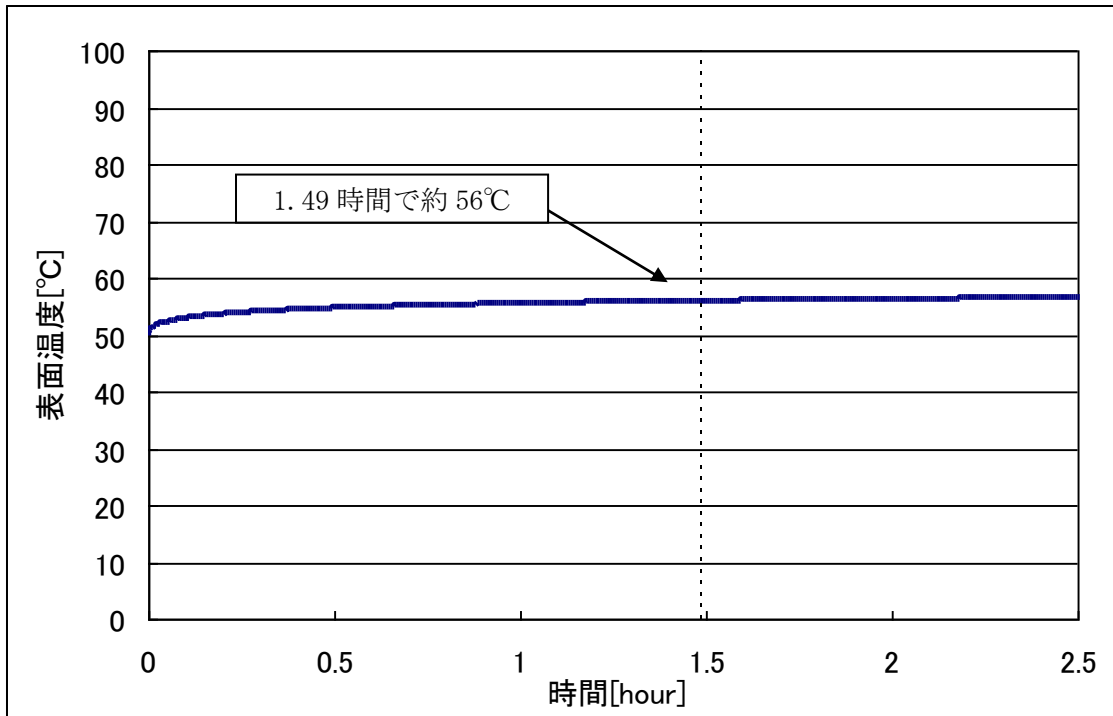
出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

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]

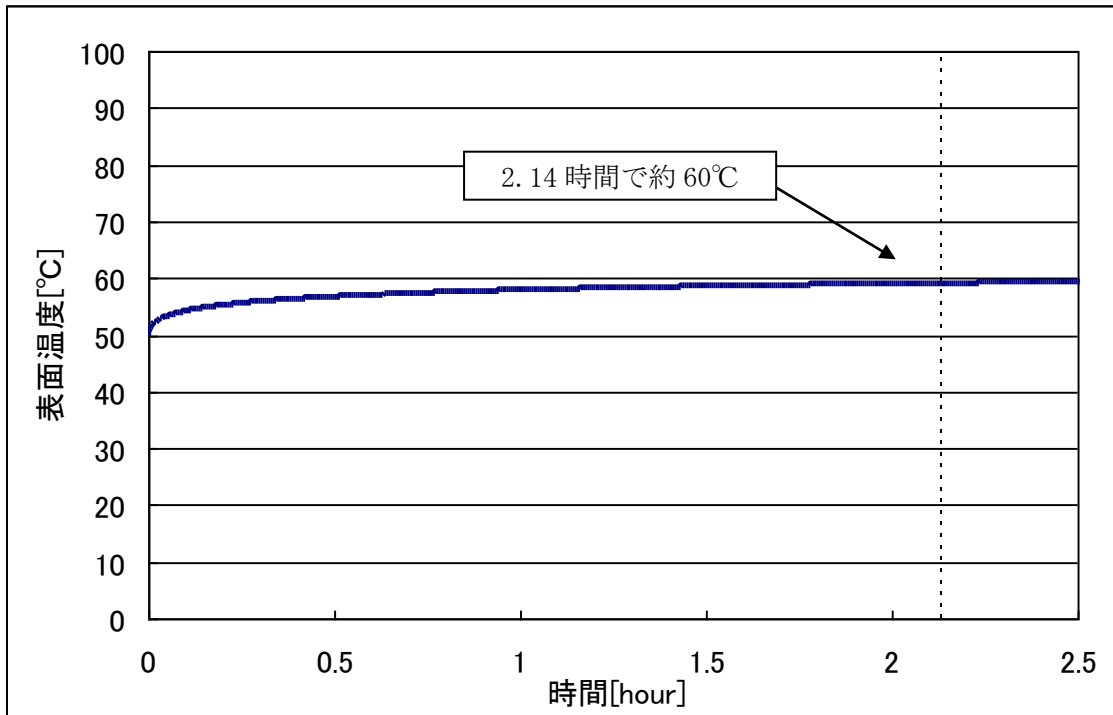
※：建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

第 2-13 表 外壁面の温度評価結果

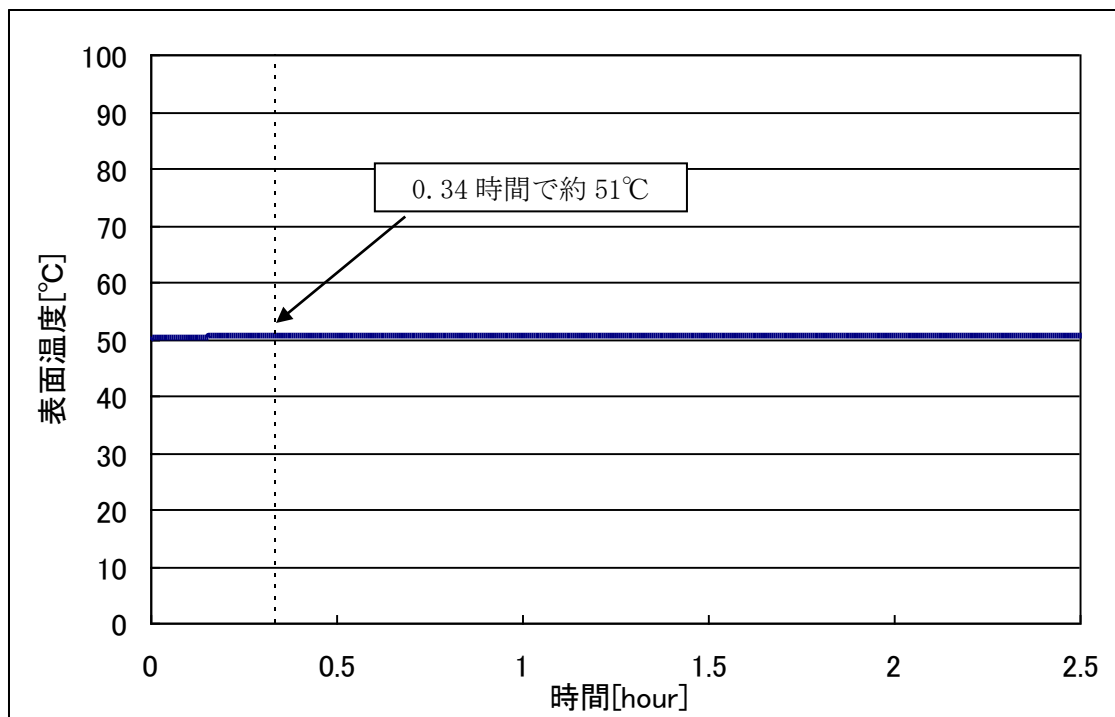
6号炉外壁面			
項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射強度[W/m ²]	351.4	500.9	34.7
燃焼継続時間[hour]	1.49	2.14	0.34
表面温度[℃]	56	60	51



第 2-4 図 外壁面温度推移 (大型民間航空機)



第 2-5 図 外壁面温度推移 (大型軍用航空機)



第 2-6 図 外壁面温度推移 (小型軍用航空機)

b. 燃料移送ポンプの温度評価

(a) 許容限界値（許容限界温度）

燃料移送ポンプの許容限界値（許容限界温度）が端子ボックスパッキンの耐熱温度100℃であることを踏まえ、燃料移送ポンプの周囲に設置されている防護板（鋼板）の許容温度を当該ポンプの許容限界温度と同様の100℃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の防護板（鋼板）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防護板（鋼板）の最大温度を求め、防護板（鋼板）の温度が許容温度以下であるか評価を実施する。

$$T = \frac{\epsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - \left(\frac{\epsilon ES_1 + hS_2 T_{air}}{hS_2} - T_0 \right) e^{\left(\frac{-hS_2}{c} \right) t}$$

T_0 ：初期温度[55℃]， E ：輻射強度[W/m²]， ϵ ：防護板（鋼板）外面の放射率（0.9）^{※1}， h ：防護板（鋼板）表面熱伝達率[17W/m²K]^{※2}， S ：防護板（鋼板）放熱面積[32.4m²]（ $S/2$ ：受熱面積は外面のみ）， C ：防護板（鋼板）の熱容量[2.41×10⁶J/K]， t ：燃焼継続時間[s]， T_{air} ：外気温度[55℃]

※1：伝熱工学資料，※2：空気調和・衛生工学便覧

防護板（鋼板）の温度は最高でも87℃（燃料移送ポンプの許容限界温度以下）であることから、防護板（鋼板）の内側に設置されている燃料移送ポンプに対して熱影響はない。

第2-14表 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度評価結果

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]	635.3	1444.3	160.8
燃焼継続時間[hour]	1.49	2.14	0.34
防護板（鋼板）温度[℃]	67	87	56

c. 主排気筒の温度評価

(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

一定の輻射強度で主排気筒が昇温されるものとして、下記の式より、主排気筒の最大温度を求め、主排気筒の温度が許容温度以下であることを確認する。

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

T_0 : 初期温度[50°C], E : 輻射強度[W/m²], ε : 主排気筒表面の放射率(0.9)
 ※¹, h : 主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 2-15 表 主排気筒の温度評価結果

7号炉主排気筒			
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]	328.3	449.1	30.2
表面温度[°C]	59	62	51

d. 軽油タンクの温度評価

航空機落下位置より原子炉建屋側にある軽油タンクが航空機墜落による火災によって、発火するかどうか評価する。航空機墜落による火災時に軽油タンク内の軽油が発火点となる輻射強度[W/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58×10³W/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する。

(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及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。

$$E_{max} = \frac{ThS_2 - hS_2T_{air}(1 - e^{(-\frac{hS_2}{c})t}) - hS_2T_0e^{(-\frac{hS_2}{c})t}}{\varepsilon S_1(1 - e^{(-\frac{hS_2}{c})t})}$$

T_0 : 初期温度[38°C], T : 許容限界温度[225°C]^{※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}, $S_1=S_2$: 軽油タンク受熱・放熱面積[m²], C : 軽油タンク及び軽油の熱容量[8.72×10⁸J/K]^{※4}, t : 燃焼継続時間[s]^{※5}, T_{air} : 外気温度[°C]

※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、107kW/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)をか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。

e. タービン建屋非常用電気品室の温度評価

航空機墜落による火災では、タービン建屋周辺においても発生する可能性があることから、航空機墜落による火災の熱影響を検討する。タービン建屋非常用電気品室への熱影響は、航空機墜落による単独火災よりも危険物タンク火災との重畳を考慮する場合が厳しくなるため、航空機墜落による火災単独での評価は(12)で示す航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳に包絡されるため熱影響はない。

f. 廃棄物処理建屋の温度評価

航空機墜落による火災では、廃棄物処理建屋周辺においても発生する可能性があることから、航空機墜落による火災の熱影響を検討する。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とおり。

第2-16表 廃棄物処理建屋火災影響評価に必要なデータ

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[W/m ²]	50×10 ³	58×10 ³	58×10 ³
燃焼半径[m]	13.8	9.45	1.95
離隔距離[m]	143	58	34
燃焼継続時間[hour]	1.49	2.14	0.34

以上より形態係数及び輻射強度を求め、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する。

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

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター
 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

第2-17表 廃棄物処理建屋外壁の温度評価結果

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	0.0152953	0.0370673	0.0057874
輻射強度[W/m ²]	764.7	2149.9	335.6
表面温度[℃]	64	90	54

(12) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳

a. 重畳する危険物タンクの選定

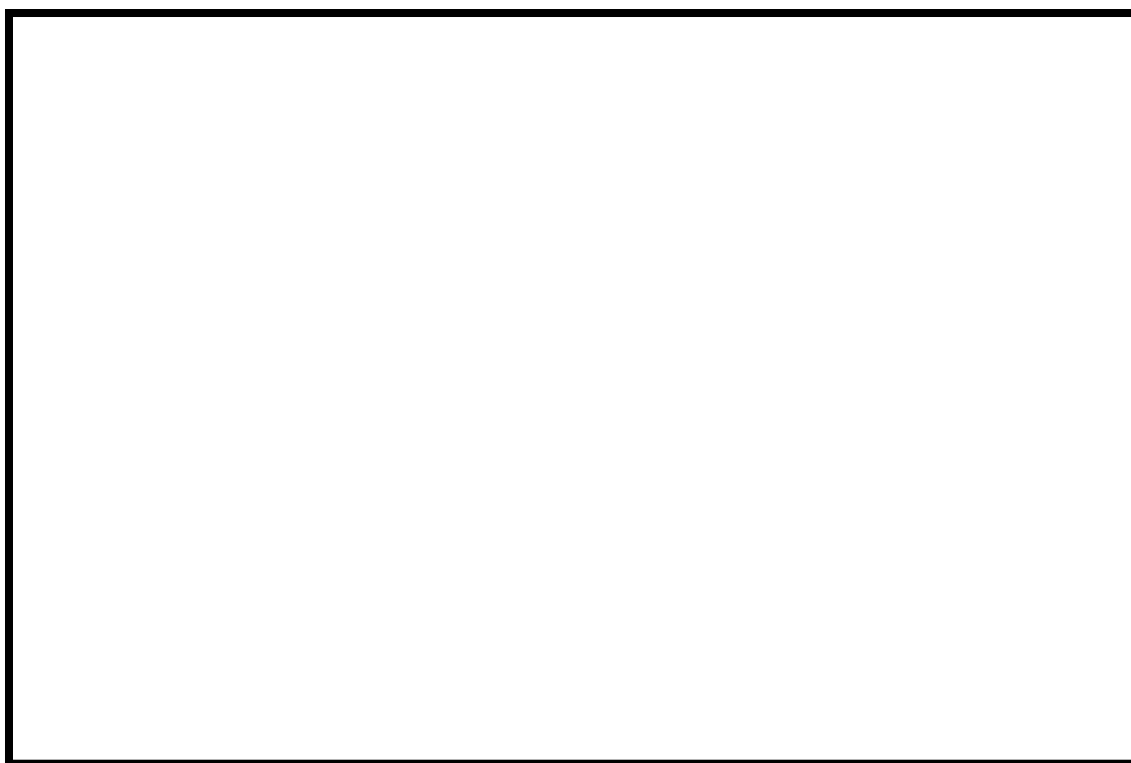
航空機墜落による火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物タンクを検討する。航空機落下確率が10⁻⁷[回/炉・年]となる航空機落下位置とその周辺の危険物施設位置を第2-7図及び第2-8図に示す。発電用原子炉施設周辺には多量の油を保有する軽油タンクがあることから、まず、航空機落下位置より原子炉建屋側にある軽油タンクが航空機墜落による火災によって発火するかどうか評価する。(11)の「d. 軽油タンクの温度評価」に示すとおり、航空機墜落による火災時に軽油タンク内の軽油が発火点となる輻射強度[W/m²]を算出し、その輻射強度が航空機燃料の輻射発散度(最大58×10³W/m²)より大きいことから、輻射熱により軽油が発火しないことを確認した。また、航空機落下位置より内側にある軽油タンクが航空機墜落による火災によって発火することはないことから、航空機墜落による火災との重畳火災を考慮する危険物タンクは、航空機落下位置より外側の軽油タンクとする。

6号炉では、航空機落下確率が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、航空機落下確率が10⁻⁷[回/炉・年]以上となる範囲にある危険物タンクは5号炉及び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、小型民間航空機及び大型軍用航空機が5号炉軽油タンク位置に航空機が落下したとしても、6号炉の原子炉建屋及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落下し、5号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落による火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機落下位置は、航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう落下確率が 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号炉軽油タンクに落下したとしても、7号炉の原子炉建屋、コントロール建屋及びタービン建屋 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ない。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落下し、6号炉軽油タンク2台火災と航空機墜落による火災が重畳した場合の熱影響評価を実施する。なお、航空機落下位置は、航空機墜落による火災の影響が最も厳しくなるよう落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。



第 2-7 図 航空機落下位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置 (6 号炉)



第 2-8 図 航空機落下位置と危険物タンク火災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号炉軽油タンク火災との重畳)
 (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
 評価に必要なデータは以下のとおり。

第 2-18 表 軽油タンク火災影響評価に必要なデータ

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	145.03
輻射発散度[W/m ²]	42×10 ³	42×10 ³	58×10 ³
燃焼速度[m/s]	4.79×10 ⁻⁵	4.79×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	185	193	281
燃焼半径[m]	7.68	7.85	9.45
タービン建屋までの距離[m]	91	120	67
燃焼継続時間[hour]	10.74	10.30	2.14

次の式から形態係数を算出する。

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

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]

第 2-19 表 形態係数の算出結果

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	120	67
燃焼半径[m]	7.68	7.85	9.45
形態係数	0.0138238	0.0083052	0.0292795

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かけた値となる。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

第 2-20 表 輻射強度の算出結果

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[W/m ²]	42 × 10 ³	42 × 10 ³	58 × 10 ³
形態係数	0.0138238	0.0083052	0.0292795
輻射強度[W/m ²]	580.6	348.8	1698.2

ここで重畳を考慮した場合、航空機墜落による火災と同時に軽油タンクが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が落下後時間に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、以下のとおり。

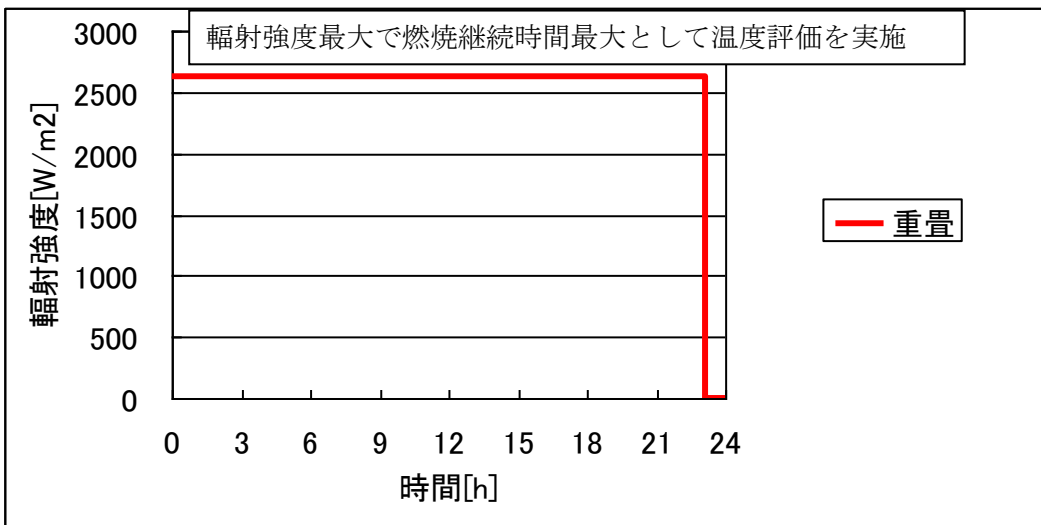
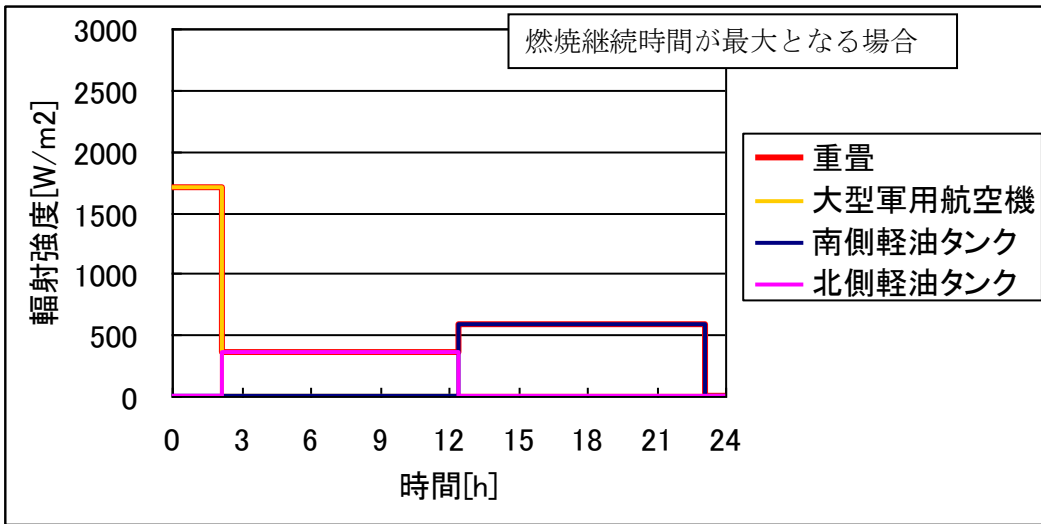
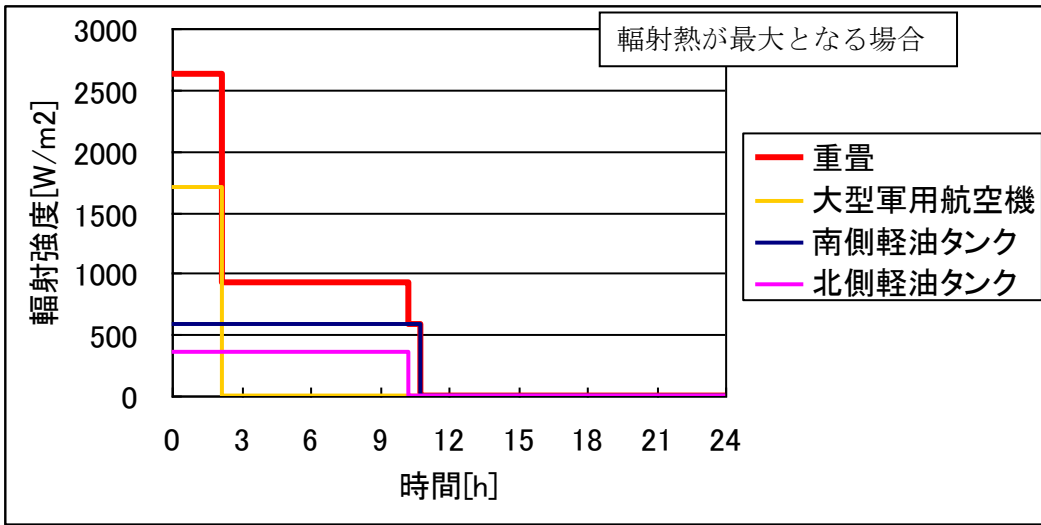
$$E = (580.6 \text{ (5号炉南側軽油タンク)} + 348.8 \text{ (5号炉北側軽油タンク)} + 1698.2 \text{ (大型軍用航空機)})$$

$$E = 2627.6 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

航空機が落下後時間に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、以下のとおり。

$$t = 10.74 \text{ (5号炉南側軽油タンク)} + 10.30 \text{ (5号炉北側軽油タンク)} \\ + 2.14 \text{ (大型軍用航空機)}$$

$$t = 23.18 \text{ [時間]}$$



第 2-9 図 重畳を考慮した場合の輻射強度及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、一定の輻射強度で発電用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する。

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

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

第 2-21 表 建屋外壁面の温度評価結果

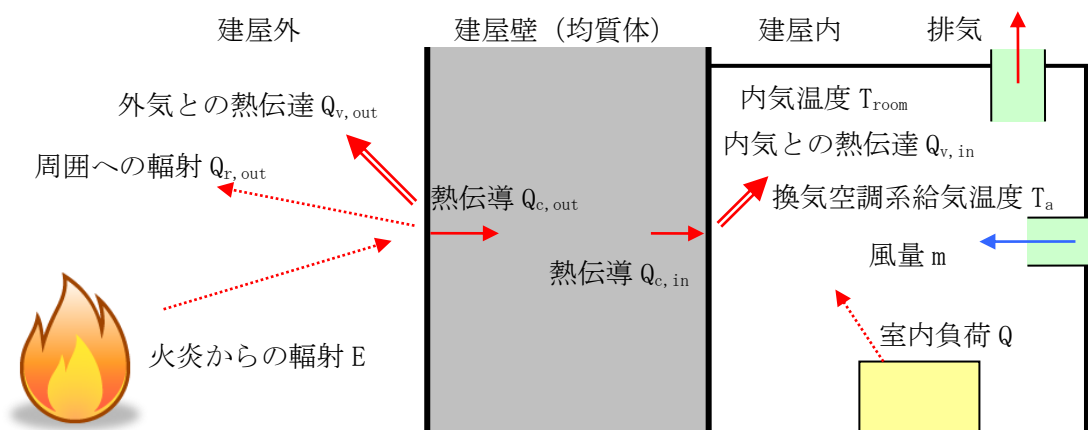
6号炉タービン建屋 1F 非常用電気品室評価 (建屋外壁面温度)	
項目	危険物タンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	2627.6 (=580.6+348.8+1698.2)
燃焼継続時間[hour]	23.18 (=10.74+10.30+2.14)
表面温度[°C]	102

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、熱影響はない。

(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、一定の輻射強度で発電用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する。

以下に概念図を示す。



第 2-10 図 伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを示す。

第 2-22 表 航空機火災影響評価に必要なパラメータ

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	-

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁及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

外壁及び内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

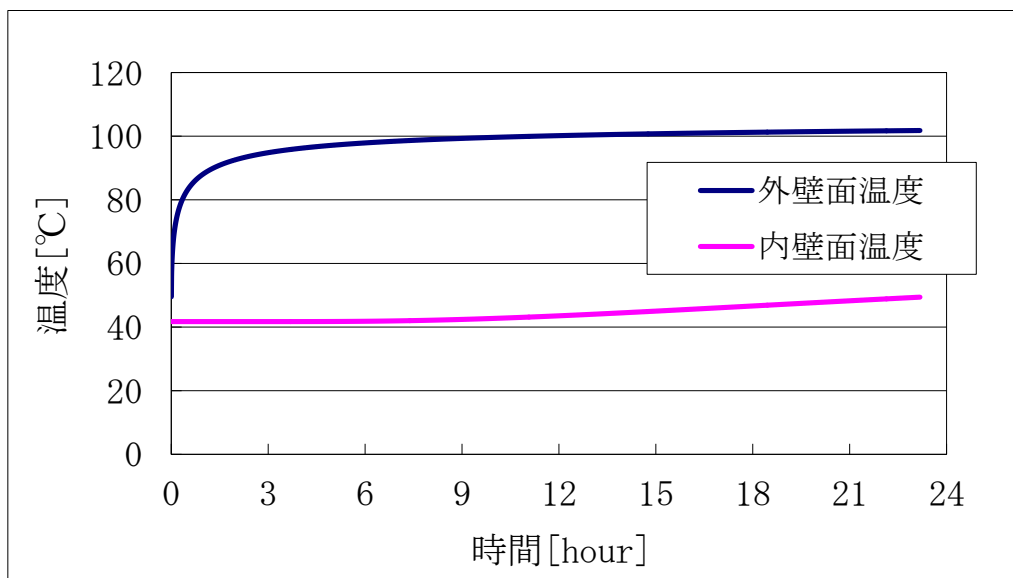
$$Q_{v,in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room})$$

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及び換気空調系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 : 換気空調系給気温度

以下に評価結果を示す。



第 2-11 図 外壁及び内壁面温度（発火～鎮火時）

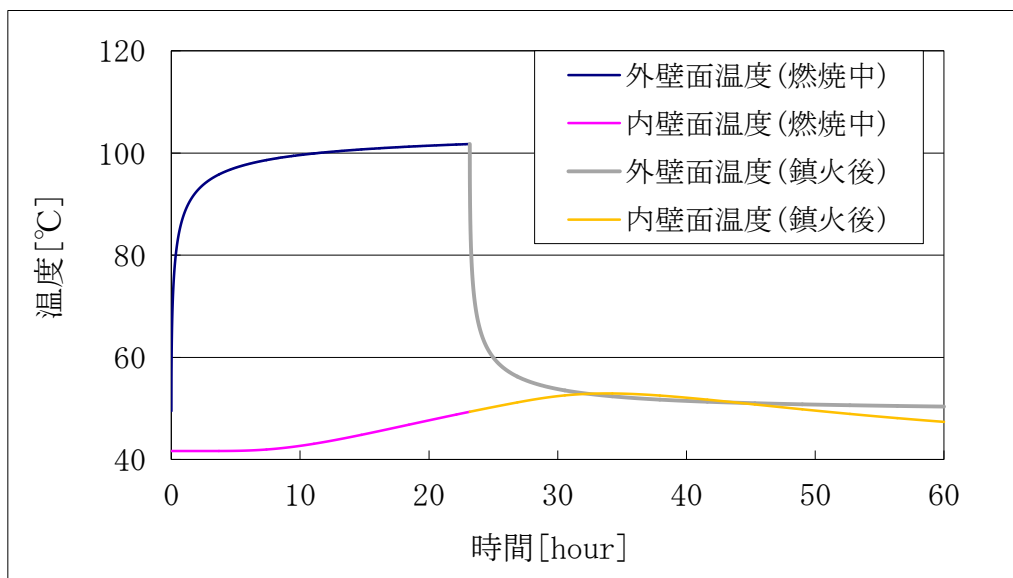
第 2-23 表 非常用電気品室の温度評価結果

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]	2627.6 (=580.6+348.8+1698.2)
燃焼継続時間[hour]	23.18 (=10.74+10.30+2.14)
外壁面温度[°C]	102
内壁面温度[°C]	50
内気温度[°C]	38
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 2-12 図 外壁及び内壁面温度（発火～鎮火後）

第 2-24 表 非常用電気品室の温度評価結果

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 33.8 時間後
外壁面温度[°C]	53
内壁面温度[°C]	53
内気温度[°C]	38
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33.8時間後に38℃（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℃を下回ることを確認した。

c. 7号炉に対する影響評価（6号炉軽油タンク火災との重畳）

(a) 7号炉コントロール建屋の外壁面温度評価

評価に必要なデータは以下のとおり。

第2-25表 軽油タンク火災影響評価に必要なデータ

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[W/m ²]	42×10 ³	42×10 ³	58×10 ³
燃焼速度[m/s]	4.79×10 ⁻⁵	4.79×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	289	289	12
燃焼半径[m]	9.59	9.59	1.95
コントロール建屋までの距離[m]	100	109	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する。

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

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]

第2-26表 形態係数の算出結果

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	116
燃焼半径[m]	9.59	9.59	1.95
形態係数	0.0179039	0.0149786	0.0005303

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かけた値となる。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

第 2-27 表 輻射強度の算出結果

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[W/m ²]	42×10 ³	42×10 ³	58×10 ³
形態係数	0.0179039	0.0149786	0.0005303
輻射強度[W/m ²]	751.9	629.1	30.7

ここで重畳を考慮した場合、航空機墜落による火災と同時に軽油タンクが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が落下後時間に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2-13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、以下のとおり。

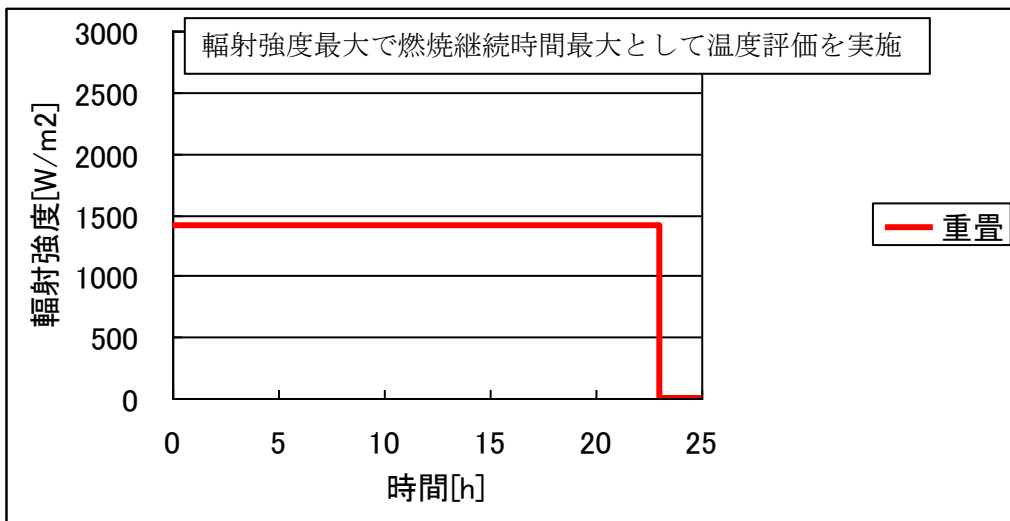
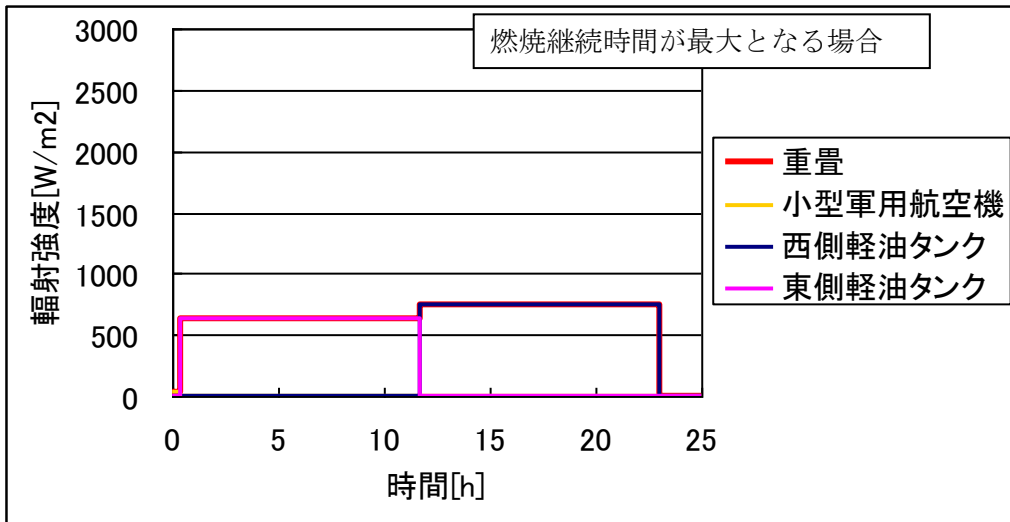
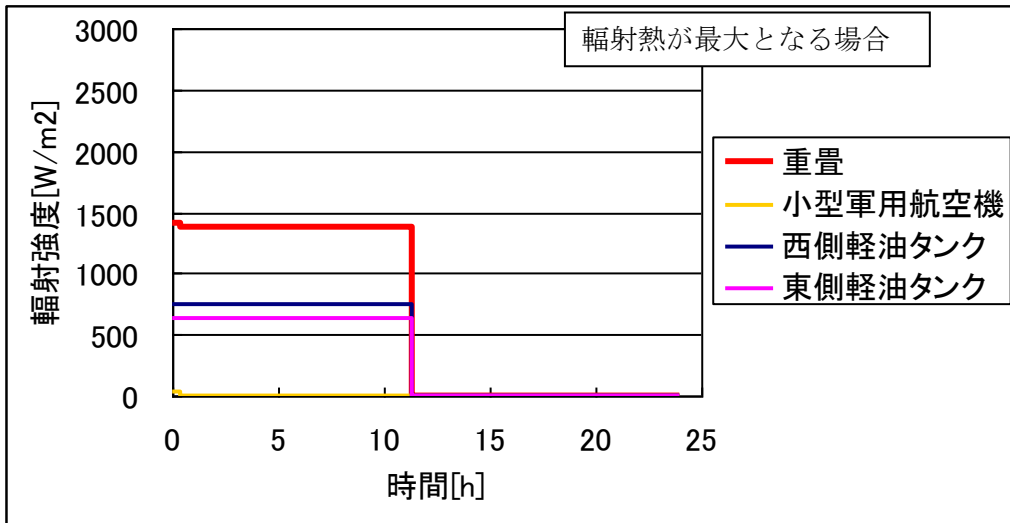
$$E = (752.0 \text{ (6号炉西側軽油タンク)}) + 629.1 \text{ (6号炉東側軽油タンク)} + 30.8 \text{ (小型軍用航空機)}$$

$$E = 1411.9 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

航空機が落下後時間に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、以下のとおり。

$$t = 11.33 \text{ (6号炉西側軽油タンク)} + 11.33 \text{ (6号炉東側軽油タンク)} + 0.34 \text{ (小型軍用航空機)}$$

$$t = 23.00 \text{ [時間]}$$



第2-13図 重畳を考慮した場合の輻射強度及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、一定の輻射強度で発電用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する。

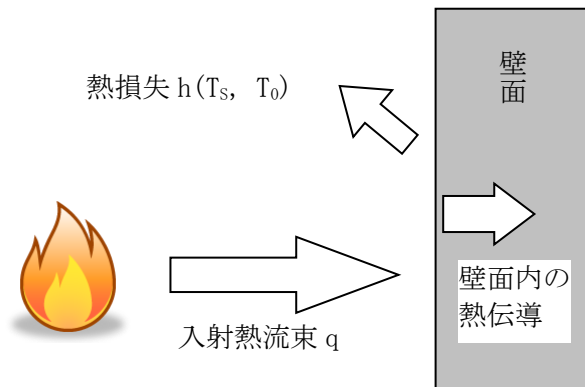
$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

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

第 2-28 表 建屋外壁面の温度評価結果

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]	1411.9（=752.0+629.1+30.8）
燃焼継続時間[hour]	23.00（=11.33+11.33+0.34）
表面温度[°C]	78

評価の結果、表面温度は78°Cとなり、許容限界温度を下回ることから、熱影響はない。

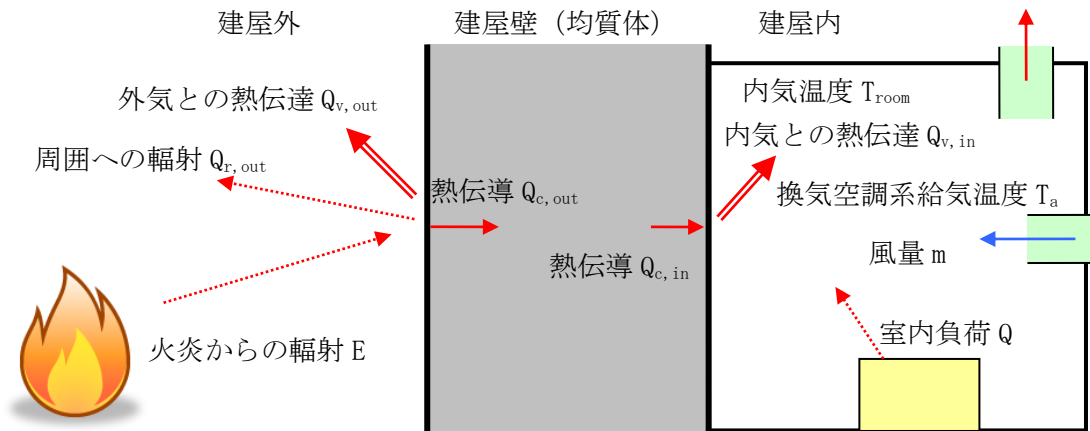


第 2-14 図 建屋温度評価体系図

(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、一定の輻射強度で発電用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する。評価対象エリアは、壁厚が最も薄いエリアを選定する。

以下に概念図を示す。



第 2-15 図 伝熱の概念図

評価に必要なパラメータを示す。

第 2-29 表 航空機火災影響評価に必要なパラメータ

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	-

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、外壁及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

外壁及び内壁面温度上昇に伴う熱負荷は次式で計算される。

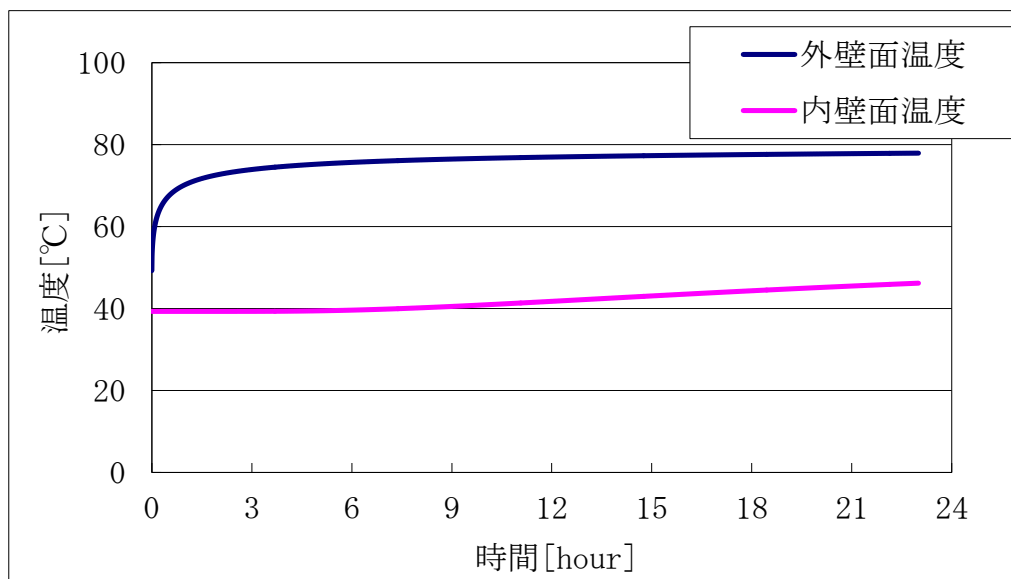
$$Q_{v, in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room})$$

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及び換気空調系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, Ta : 換気空調系給気温度

以下に評価結果を示す。



第 2-16 図 外壁及び内壁面温度

第 2-30 表 建屋内気温度の評価結果

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]	1411.9 (=752.0+629.1+30.8)
燃焼継続時間[hour]	23.00 (=11.33+11.33+0.34)
外壁面温度[°C]	78
内壁面温度[°C]	47
内気温度[°C]	40
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40°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℃、7号炉の評価では外壁面は78℃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38℃、7号炉の評価では内気温度は40℃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。

(13) 火災による熱影響の有無の評価

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

第 1 表 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	
	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-離島間コミュータ (DHC-6、BN-2 等) 軽飛行機 (セスナ 172 等)	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外(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	
	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) 離島間コミュータ (SA365 等) 資材輸送、緊急医療、報 道用等 (アエロスハール 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）

第 1 表 主要自衛隊航空機の仕様

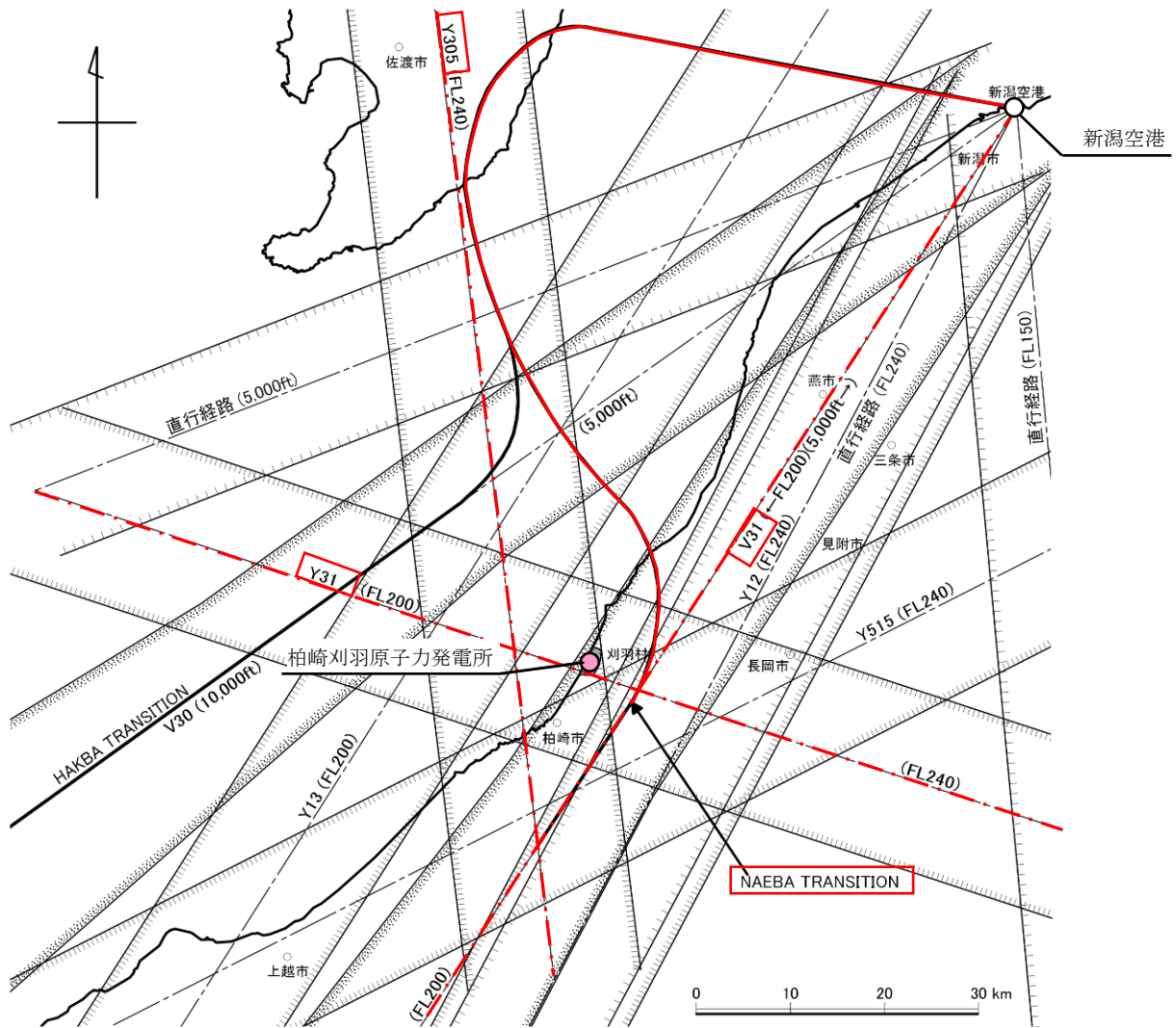
所属	形式	機種	保有数 [機]	全長 [m]	全幅 [m]	燃料積載量 [l]
陸上自衛隊	小型固定翼	LR-1	2	10	12	920
	大型固定翼	LR-2	7	14	18	2040
	小型回転翼	AH-1S	70	14	3	980
	小型回転翼	OH-6D	84	7	2	242
	小型回転翼	OH-1	38	12	3	953
	小型回転翼	UH-1H/J	141	12/13 ^{※1}	3	833
	大型回転翼	CH-47J/JA	56	16	4/5 ^{※2}	3899
	大型回転翼	UH-60JA	34	16	3	3255
	大型回転翼	AH-64D	10	18	6	1421
海上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

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

※1: 大型航空機の燃料が最大のものになる。

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

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



- 凡例 -

	航空路
	RNAV経路
	直行経路
	航空路等の中心線
	転移経路
	民間飛行場
	()内 最低飛行高度

第 1 図 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)

柏崎刈羽原子力発電所

第 1 表 飛行回数

(飛行回数)

東京航空交通管制部 ピークデイ ^{注1}	航空路 (V31)	広域航法経路 (Y31)	広域航法経路 (Y305)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)
H24 年上半期 (H24. 6. 8) 交通量	40	10	0	11
H24 年下半期 (H24. 9. 19) 交通量	37	9	0	10
評価に用いる数値	$40 \times 365 \text{ 日} =$ 14600 便/年間	$10 \times 365 \text{ 日} =$ 3650 便/年間	$0.5 \times 365 \text{ 日} =$ 182.5 便/年間 ^{注2}	$11 \times 365 \text{ 日} =$ 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全体として取り扱った交通量が半年間で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。

第 1 表 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 号及び 7 号炉合計。

注 3：海水熱交換器区域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する。

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。

第 1 表 運航距離

	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

航空機落下確率の評価を最新データに更新した場合の影響について

1. はじめに

発電所敷地内への航空機墜落による火災影響については、設置許可申請当時（平成25年9月）の最新データとして、「平成23年度 航空機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）」に基づく航空機の落下確率より、発電用原子炉施設からの離隔距離を算出し、熱影響評価を行っている。

しかしながら、安全審査が長期化し、その間に、「航空機落下事故に関するデータ（平成28年6月 NRA技術報告）」がとりまとめられたことを受け、その影響について確認することとする。

2. 航空機事故等のデータ更新による影響

「航空機落下事故に関するデータ（平成28年6月 NRA技術報告）」では、平成5年1月～平成24年12月までの航空機事故データ、運行実績データ及び訓練空域面積データとして更新されているが、各航空機の落下事故率は、同等若しくは低下している。このため、航空機の落下位置から発電用原子炉施設までの離隔距離は同等若しくは長くなり、火災による影響も軽減される傾向となっている。

以下、更新されたデータに基づき、「航空機の落下位置から発電用原子炉施設までの離隔距離」並びに「航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳による影響」について評価する。

3. 航空機墜落による火災影響評価

「添付資料-7 柏崎刈羽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」における航空機墜落による火災影響評価のうち、(1)航空機墜落による火災の想定～(3)評価対象範囲の考え方は同様であるため、(4)以降について、評価する。

(1) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率[回/年]

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数[飛行回/年]

A : 発電用原子炉施設の標的面積[km²]

W : 航空路幅[km]

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

G_c : 巡航中事故件数[回]

Hc : 延べ飛行距離[飛行回・km]

第3-1表 標的面積の算出結果

発電所名称 及び号炉 パラメータ	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉			
対象航空路 ^{注1}	航空路 (V31)	広域航法経路 (Y31)	広域航法経路 (Y305)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)
Nc ^{注2}	14600	3650	182.5	4015
A ^{注3}	0.01	0.01	0.01	0.01
W ^{注4}	14	18.52	18.52	14
Fc ^{注5}	0.5/9,740,013,768=5.13×10 ⁻¹¹			
Pc	5.35×10 ⁻¹⁰	1.01×10 ⁻¹⁰	5.05×10 ⁻¹⁰	1.47×10 ⁻¹²
Pc(合計)	7.88×10 ⁻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。（別紙7-4）

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回とする。（別紙7-5）

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。（別紙7-6）

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5年～平成24年の間で0件のため，保守的に0.5件とする。延べ飛行距離は，平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報，第1表 総括表，1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値を合計した値。（別紙7-9）

(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 : 発電用原子炉施設の標的面積[km²]

α : 対象航空機の種類による係数

第3-2表 落下確率の算出結果

パラメータ	大型固定翼機	大型回転翼機	小型固定翼機	小型回転翼機
f _v 注	0.5/20=0.025	1/20=0.05	35/20=1.75	24/20=1.20
S _v 注	372,000			
α 注	1.0	1.0	0.1	0.1
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P _v	6.72×10 ⁻¹⁰	1.34×10 ⁻⁹	4.70×10 ⁻⁹	3.22×10 ⁻⁹
P _v (合計)	9.94×10 ⁻⁹			

注：「NTEC-2016-2002 NRA技術報告 航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

以上より、

大型民間航空機の落下確率（P_c（計器飛行方式）+P_v（大型固定翼機）+P_v（大型回転翼機））が10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積A1[km²]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A1 = 10^{-7} \div (7.88 \times 10^{-10} + 6.72 \times 10^{-10} + 1.34 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.357 [\text{km}^2]$$

小型民間航空機の落下確率（P_v（小型固定翼機）+P_v（小型回転翼機））が10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積A2[km²]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A2 = 10^{-7} \div (4.70 \times 10^{-9} + 3.22 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.126 [\text{km}^2]$$

b. 大型軍用航空機及び小型軍用航空機の標的面積の算出

柏崎刈羽原子力発電所の上空には訓練空域がないため、軍用航空機の落下確率P_{s0}を求める式は、以下のとおりとなる。

$$P_{s0} = (f_{s0} / S_0) \cdot A$$

P_{s0}：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_{s0}：単位年当たりの訓練空域外落下事故率[回/年]

S₀：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積[km²]

A：発電用原子炉施設の標的面積[km²]

第 3-3 表 落下確率の算出結果

パラメータ	大型自衛隊機	大型米軍機	小型自衛隊機	小型米軍機
f _{so} 注	1/20=0.05	4/20=0.2	6/20=0.3	1/20=0.05
S _o 注	295,000	371,500	295,000	371,500
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P _{so}	1.69×10 ⁻⁹	5.38×10 ⁻⁹	1.01×10 ⁻⁸	1.34×10 ⁻⁹
P _{so} (合計)	1.85×10 ⁻⁸			

注：「NTEC-2016-2002 NRA技術報告 航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

以上より、

大型軍用航空機の落下確率 (P_{so}(大型自衛隊機)+P_{so}(大型米軍機)) が10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積A3[km²] を計算すると以下のとおりとなる。

$$A3 = 10^{-7} \div (1.69 \times 10^{-9} + 5.38 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.141 [\text{km}^2]$$

小型軍用航空機の落下確率 (P_{so}(小型自衛隊機)+P_{so}(小型米軍機)) が10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積A4[km²] を計算すると以下のとおりとなる。

$$A4 = 10^{-7} \div (1.01 \times 10^{-8} + 1.34 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.086 [\text{km}^2]$$

(2) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出

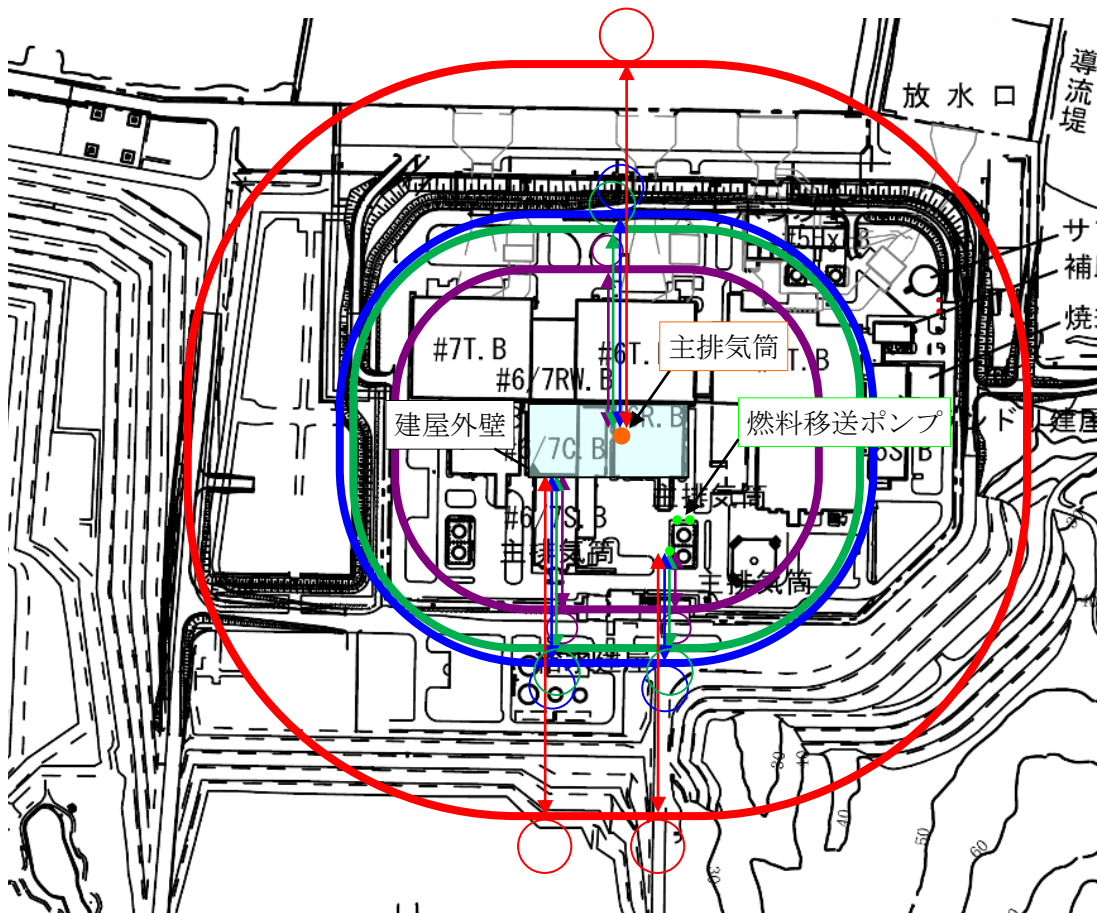
(1)で求めた面積が、評価対象となる発電用原子炉施設（原子炉建屋及びコントロール建屋）外壁面から等距離の離隔をとった場合の標的面積と等しくなる距離を離隔距離L[m]とし、離隔距離Lを算出した結果を以下に示す。また、各航空機の離隔距離を第3-1図、第3-2図に示す。

10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積の考え方は、添付資料-7「2. 航空機墜落による火災の影響評価 (5) 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出」と同様。

第 3-4 表 発電用原子炉施設からの離隔距離の算出結果

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 までの離隔距離[m]	278	143	155	109
7号炉		286	150	161	116
6号炉	燃料移送ポンプ までの離隔距離[m]	218	83	95	49
7号炉		227	91	103	57
6号炉	主排気筒 までの離隔距離[m]	300	164	176	131
7号炉		286	151	162	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する。評価結果は(3)に示す。



○：航空機落下位置（円筒火炎モデル）

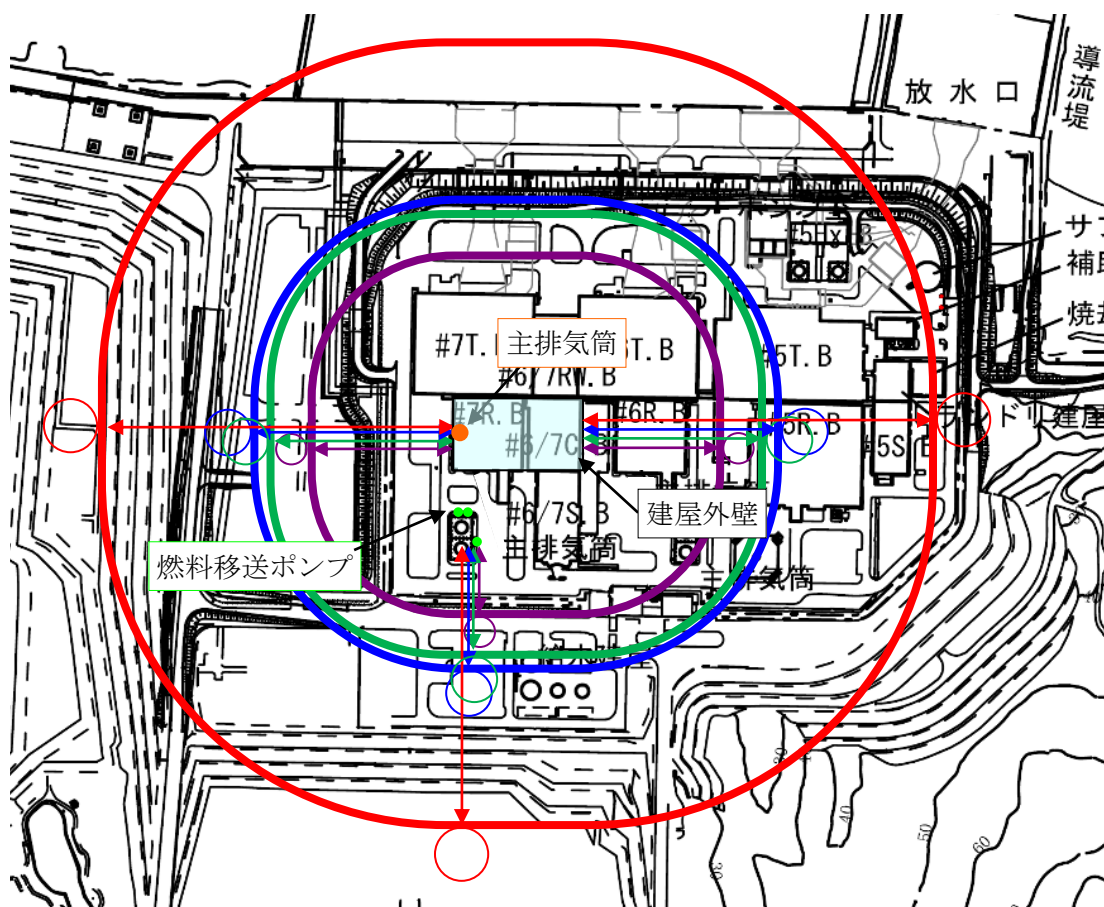
大型民間航空機落下位置

大型軍用航空機落下位置

小型民間航空機落下位置

小型軍用航空機落下位置

第3-1図 各航空機の落下位置（6号炉）



○：航空機落下位置（円筒火炎モデル）

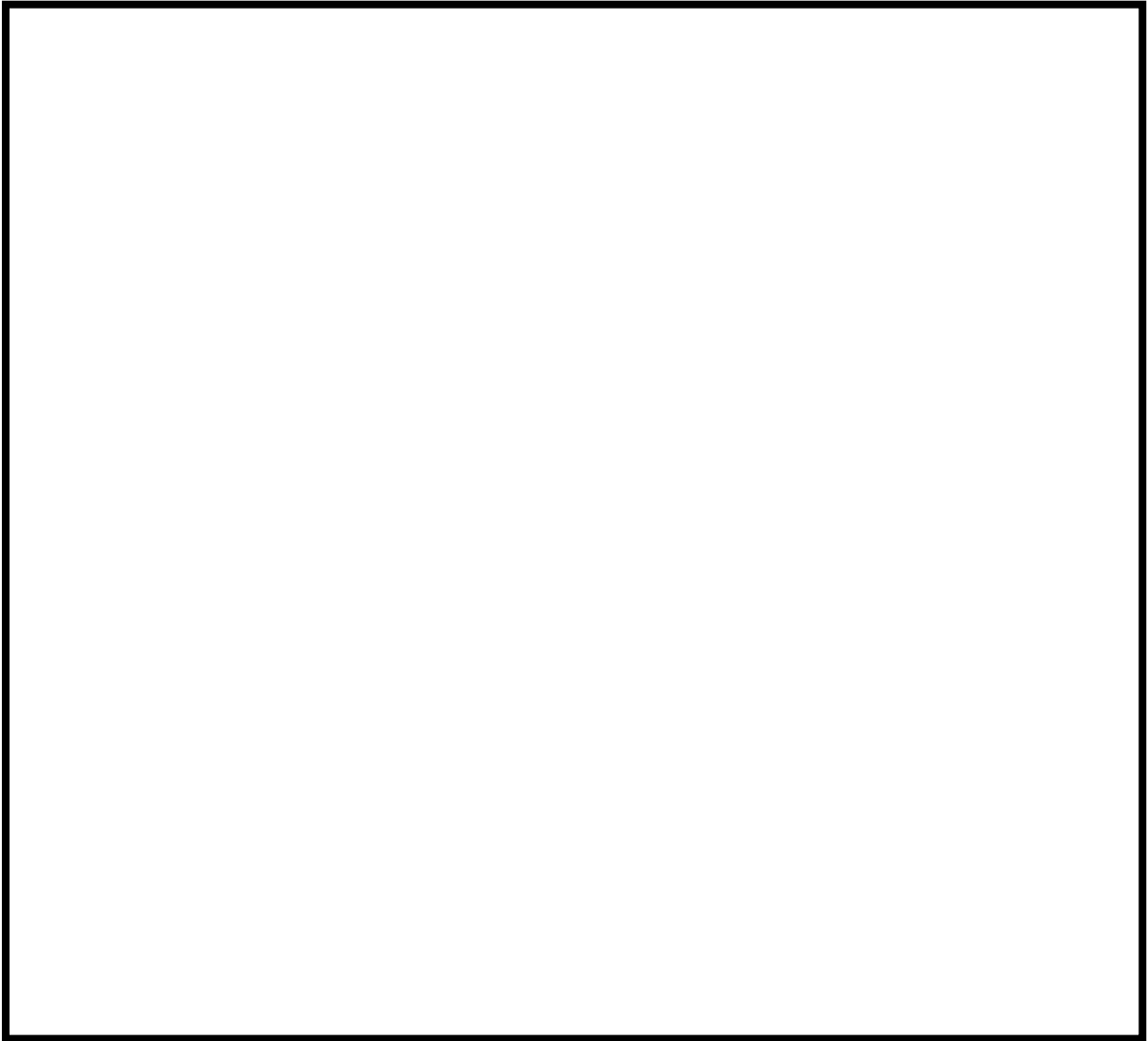
大型民間航空機落下位置	大型軍用航空機落下位置
小型民間航空機落下位置	小型軍用航空機落下位置

第3-2図 各航空機の落下位置（7号炉）

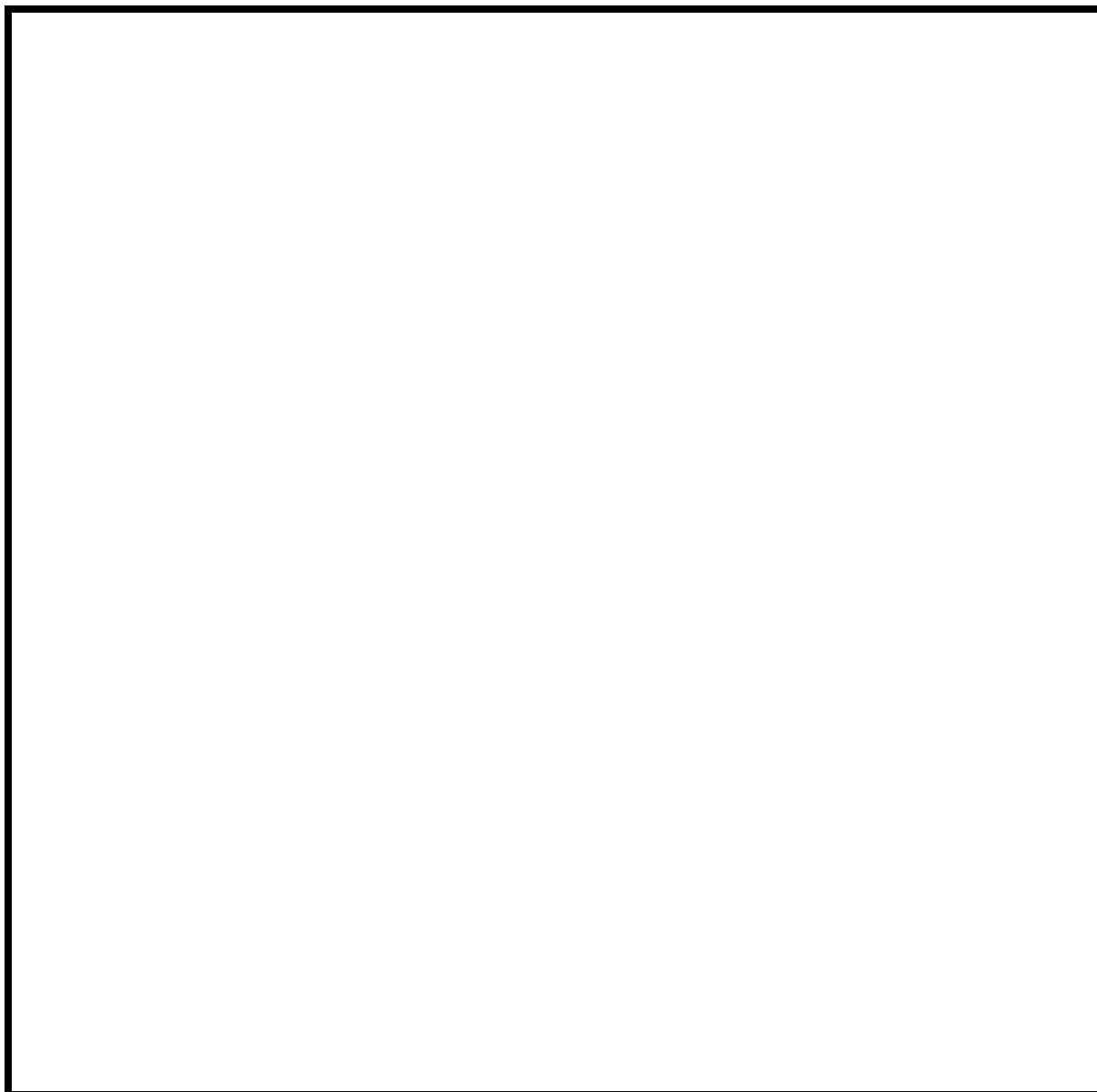
以上の結果より、各航空機の落下位置から算出した発電用原子炉施設との離隔距離は、「添付資料-7 柏崎刈羽原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災について」と同等若しくは、それ以上であることから、発電用原子炉施設への熱影響は既評価と同等若しくは包絡されるものと評価する。

(3) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳

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。航空機墜下が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機落下位置とその周辺の危険物施設位置を第3-3図及び第3-4図に示す。



第3-3図 航空機落下位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置 (6号炉)



第3-4図 航空機落下位置と危険物タンク火災の重畳を考慮する位置（7号炉）

第3-3図及び第3-4図より、各航空機の落下位置から算出した発電用原子炉施設との離隔距離は、「添付資料-7 柏崎刈羽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」と比較し、同等若しくは、数十メートル程度長くなっていること、最も厳しいケースとして、6号炉では、5号炉軽油タンク2台火災と大型軍用航空機（KC-767）火災が重畳すること、7号炉では、6号炉軽油タンク2台火災と小型軍用航空機（AH-1S）火災が重畳することには変わりはないことから、発電用原子炉施設への熱影響は既評価と同等若しくは包絡されるものと評価する。

4. 航空機墜落による火災の熱影響評価

以上により、「航空機落下事故に関するデータ（平成28年6月 NRA技術報告）」

のデータを反映した評価は、「添付資料-7 柏崎刈羽原子力発電所の敷地内への航空機落下による火災について」における熱影響評価と同等若しくは包絡される結果となることを確認した。

延べ飛行距離について

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

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。

第 1 表 運航距離

	日本国機の運行距離 (飛行回・km)
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
平成 24 年	608, 215, 704
合 計	9, 740, 013, 768

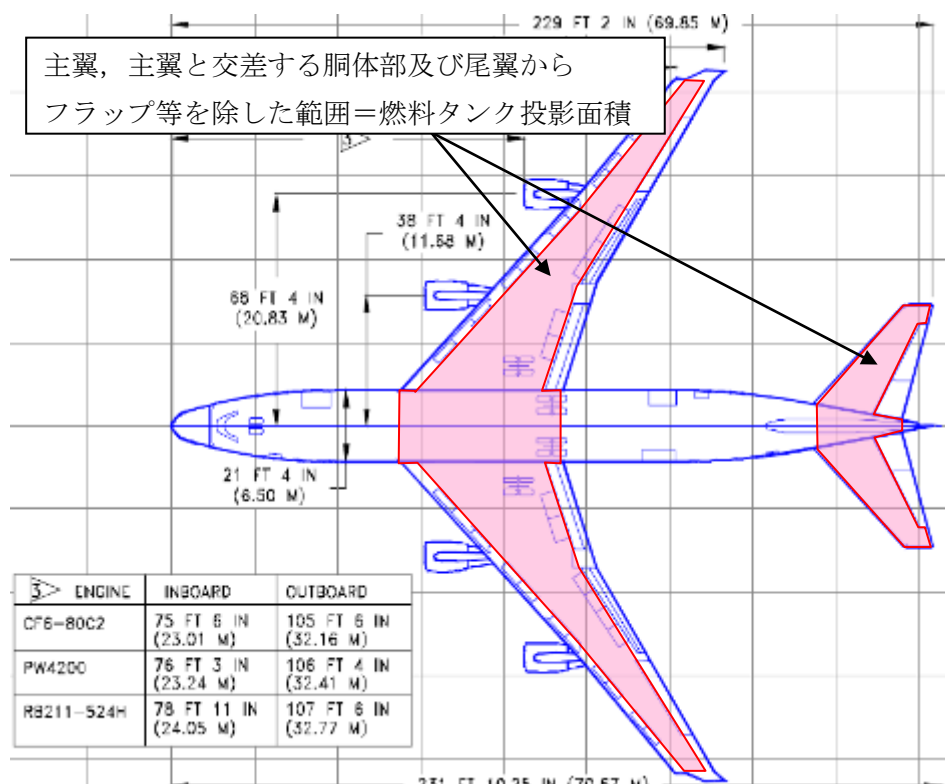
航空機墜落による火災の影響評価に用いたデータについて

1. 航空機の仕様について

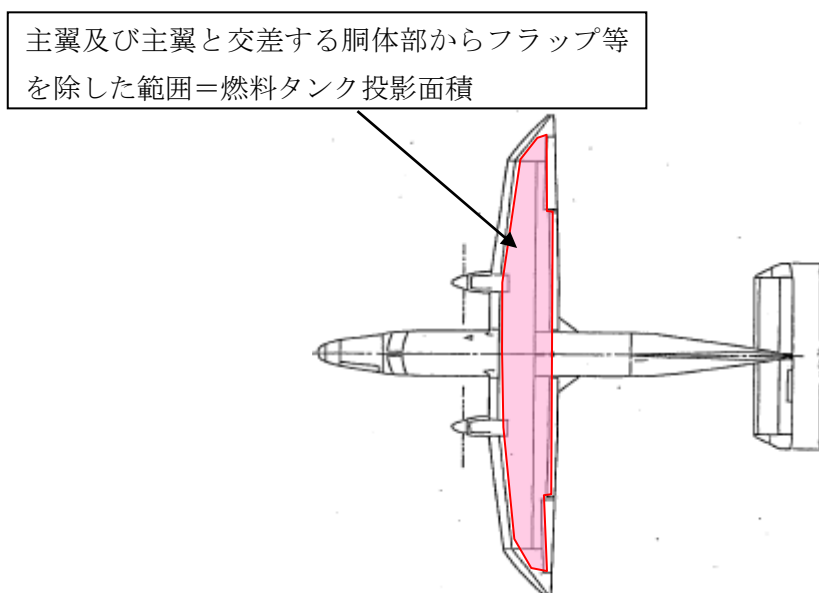
第 1-1 表 航空機の仕様

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⁾	2.38 ²⁾	145.03 ³⁾	0.98 ²⁾
燃料タンク面積[m ²]	605 ⁴⁾	26 ⁵⁾	280 ⁶⁾	12 ⁷⁾

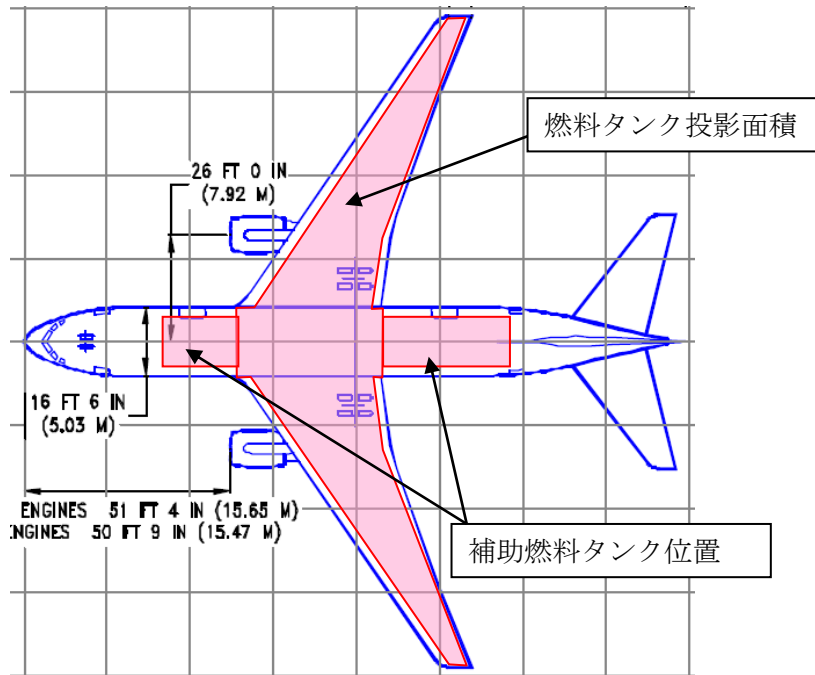
- 1) ボーイング社ホームページ“Technical Characteristics Boeing 747-400”に記載の値
- 2) 日本航空機全集 2013, (鳳文書林出版販売(株)発行)記載値
- 3) 世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の燃料重量及び燃料密度(NUREG-1806)から算出した値
- 4) ボーイング社ホームページ資料「747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より, 主翼, 主翼と交差する胴体部及び尾翼の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値(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及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)



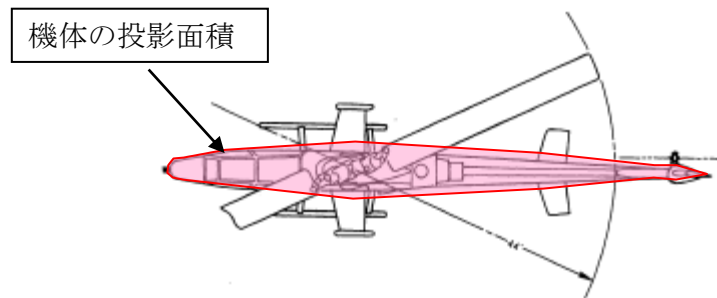
第 1-1(a) 図 燃料タンク 投影面積 (B747-400)
(出典 : 747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning)



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 号灯油型及び 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、輻射発散度及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する。

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 の値を採用する。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 の値を採用する。

※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

第 2-1 表 評価対象航空機の燃料物性値

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[W/m ²]	50×10 ^{3 1)}	50×10 ^{3 1)}	58×10 ^{3 2)}	58×10 ^{3 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]	6.66×10 ⁻⁵	6.66×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻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

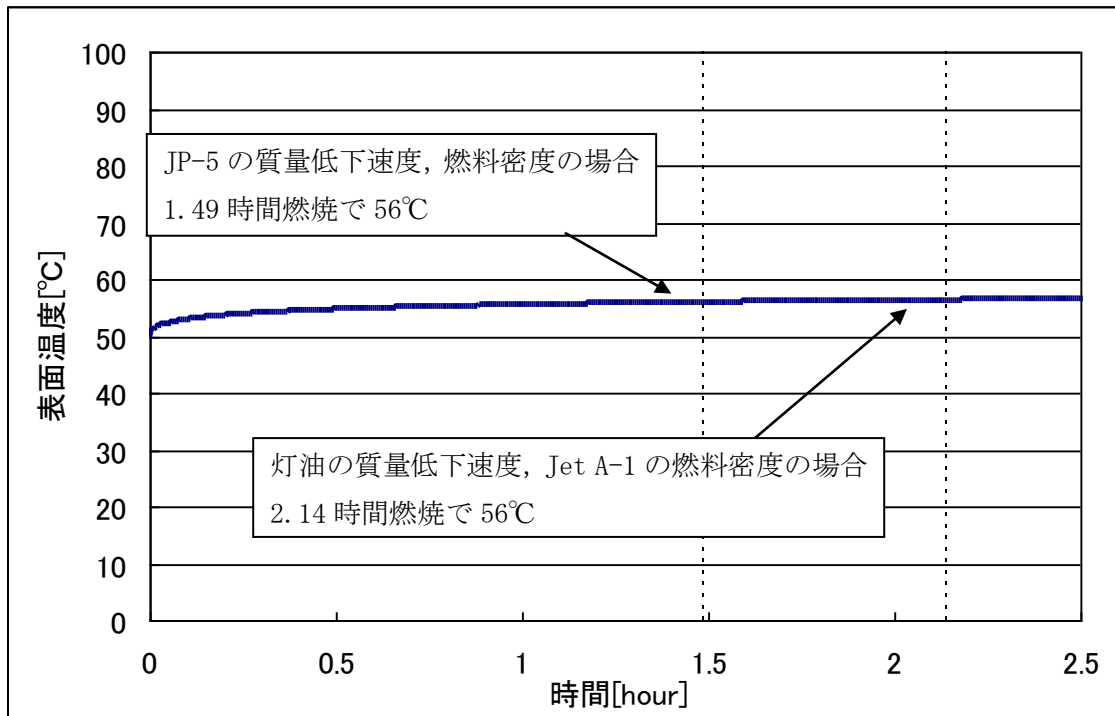
3) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program に記載の JP-5(灯油型)の値

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。

第 2-2 表 軍用航空機の燃料物性値

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	6.71×10^{-5}
JP-5 (灯油型)	0.054	810	6.66×10^{-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、 4.642×10^{-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 56℃であり、JP-5 で評価した場合と相違ない。



第 2-1 図 航空機火災影響評価の外壁面の温度推移

ばい煙及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及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、ばい煙及び有毒ガスが、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低いと考える。万一、高濃度のばい煙及び有毒ガスが建屋内に進入することを想定し、以下のとおり評価を行った。

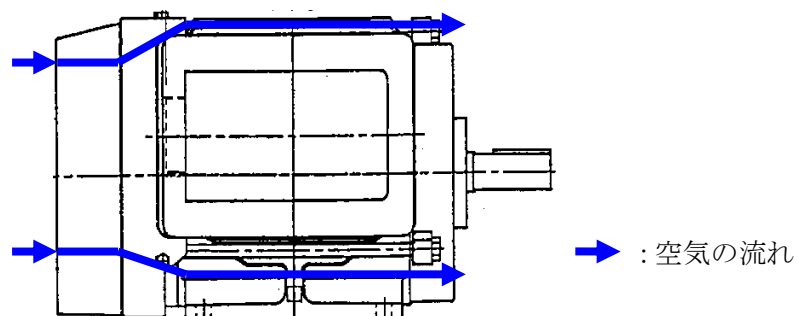
2. 評価対象

ばい煙の影響が想定される施設として、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。評価対象は以下のとおり。

第 2-1 表 評価対象

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 5号炉原子炉建屋内緊急時対策所

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、非常用ディーゼル発電機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 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ電動機外形図

3. 評価結果

3.1 換気空調系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系統として、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 3.2-1(a)(b)(c)図）。

これらの換気空調系の外気取入経路には、バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙はバグフィルタにより進入を阻止できる。

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、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行うことにより、ばい煙の進入を阻止できる。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できる。

<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できる。

バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能）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、差圧が上昇しバグフィルタが目詰まりした場合はバグ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バグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙粒子が捕獲され、バグ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。バグフィルタでは、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（過給機、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 3.2-2 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>

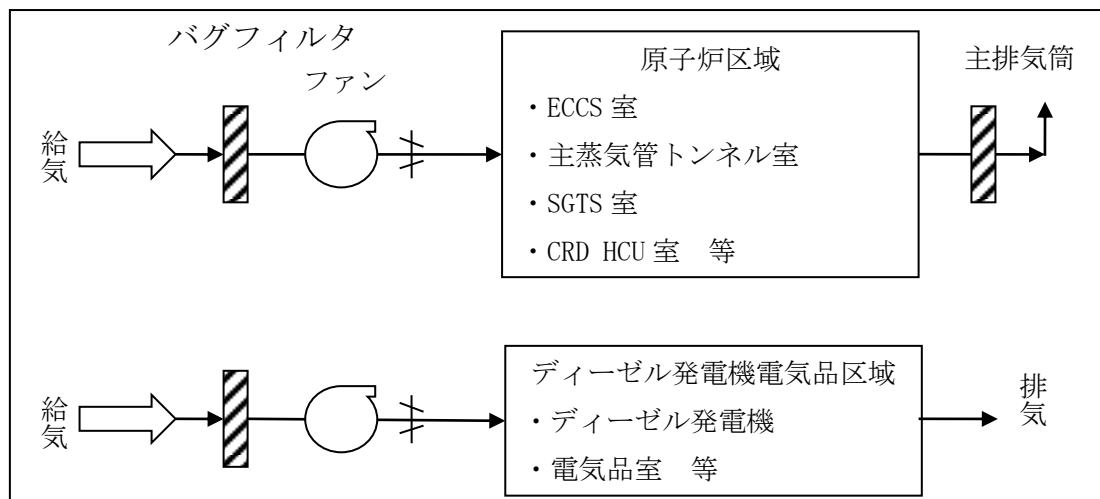
安全保護系設備は、現場盤が非常用電気品室、安全保護系盤が中央制御室に設置してある。非常用電気品室への外気取入経路にはバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能）を設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については進入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が非常用電気品室に進入した場合においても、空調ファンを停止することでばい煙の進入を阻止することが可能である。また、中央制御室へ

の外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については進入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が中央制御室内に進入する可能性がある場合、及び中央制御室内においてばい煙が流入したことを煙や異臭で確認した場合等は、当直長の指示により、非常時モードへ切り替えることにより、隔離が可能であり安全保護系設備に影響はない（第 3.2-3 図、第 3.2-4(a) (b) 図）。

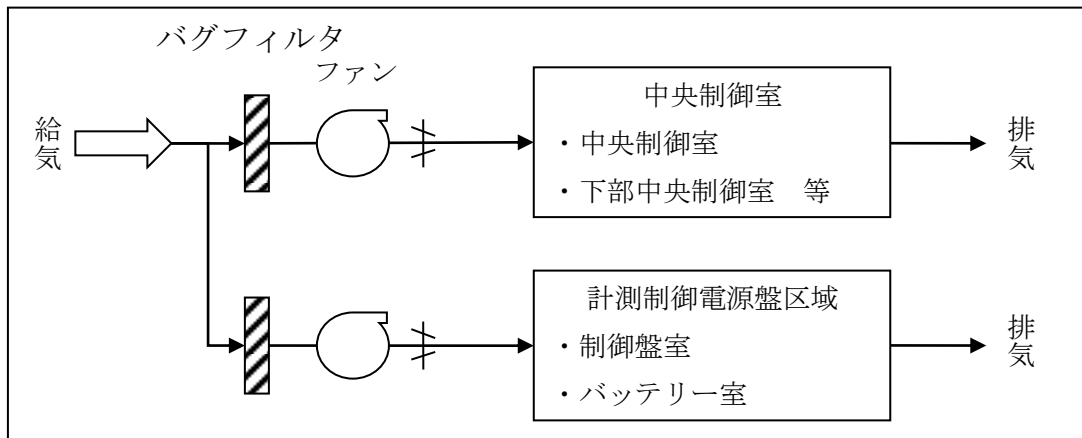
なお、中央制御室に侵入する可能性のあるばい煙の粒径は、おおむね $2\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子であると推定されるが、計測制御系の盤等において、数 μm 程度の線間距離となるのは、集積回路（IC 等）の内部であり、これらの部品はモールド（樹脂）で保護されているため、ばい煙が侵入することはない。また、端子台等の充電部が露出している箇所については、端子間の距離は数 mm あることから、ばい煙が付着しても、直ちに短絡等を発生させることはない。したがって、万が一、細かな粒子のばい煙が盤内に侵入した場合においても、ばい煙の付着等により短絡等を発生させる可能性はない。

3.2 建屋外部に開口部を有する設備

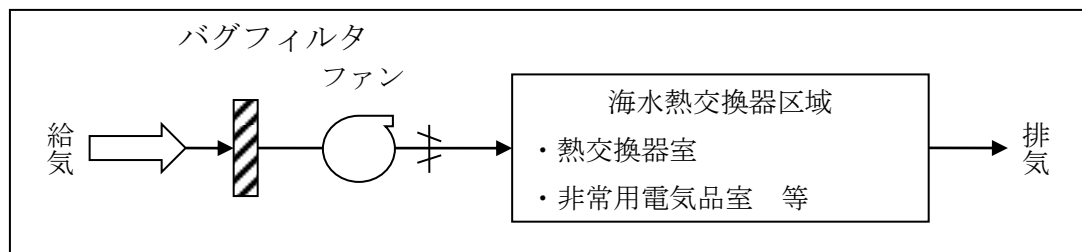
屋外部に開口部を有する設備として、非常用ディーゼル発電機の排気口があるが、仮にばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。（第 3.2-5 図）なお、主排気筒も同様にばい煙が配管等の内部に侵入した場合においても、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることから、その機能に影響を及ぼすことはない。



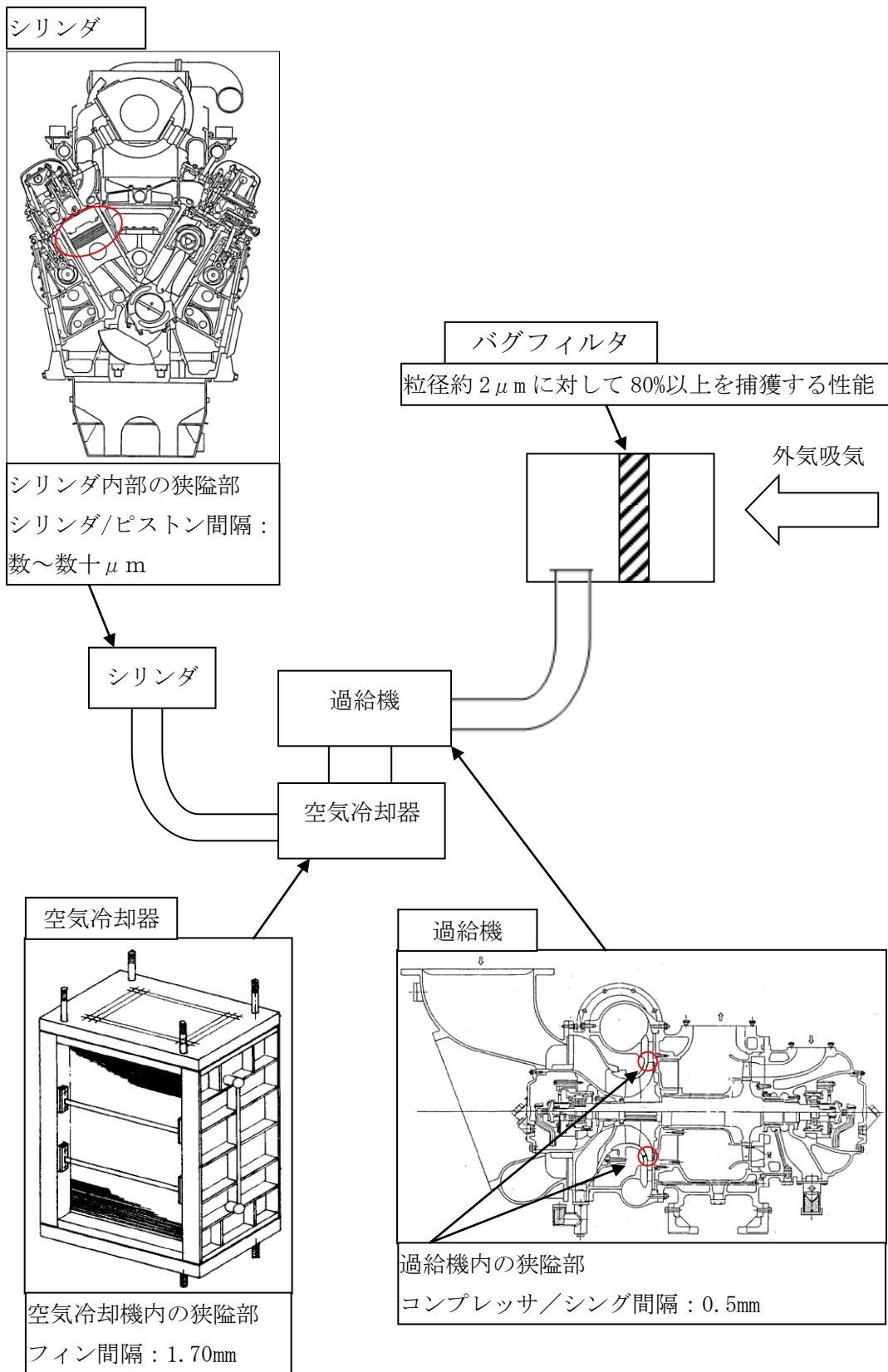
第 3.2-1(a) 図 原子炉建屋換気空調系



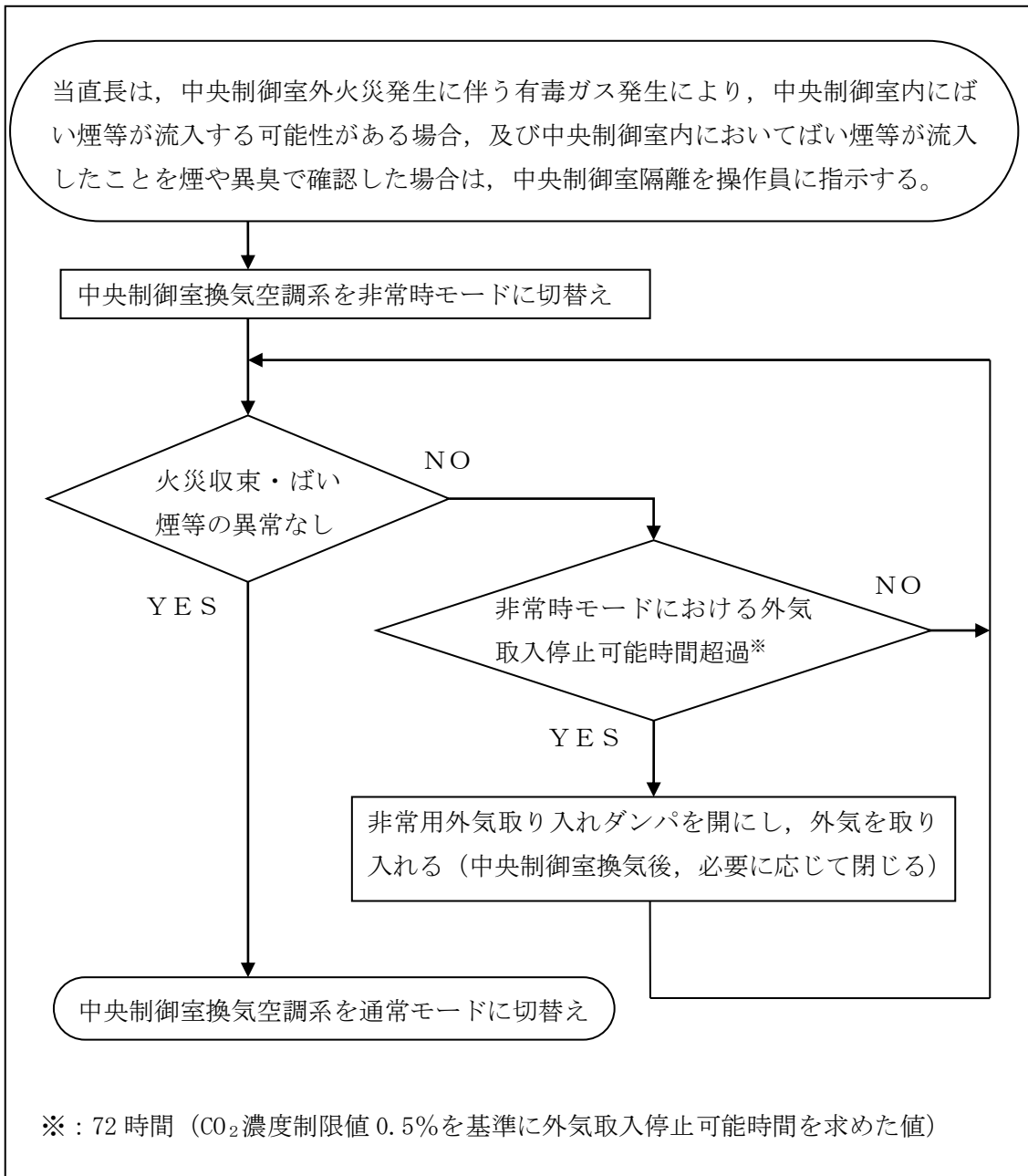
第 3.2-1(b) 図 コントロール建屋換気空調系



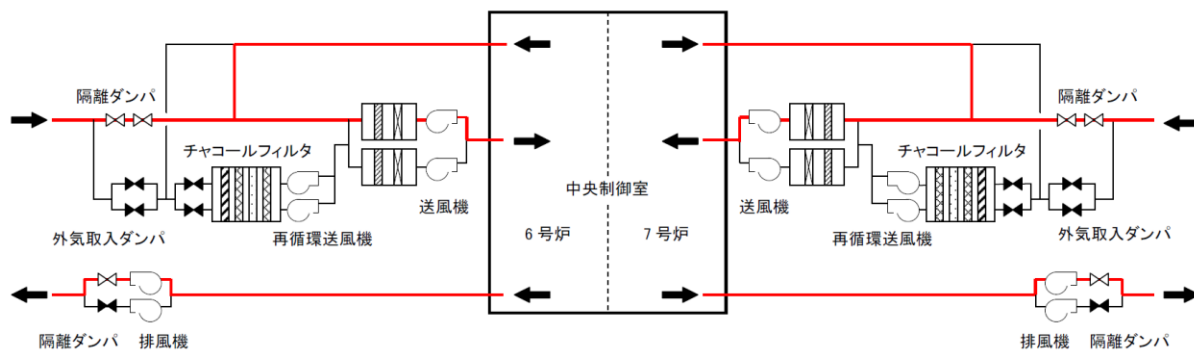
第 3.2-1(c) 図 タービン建屋換気空調系



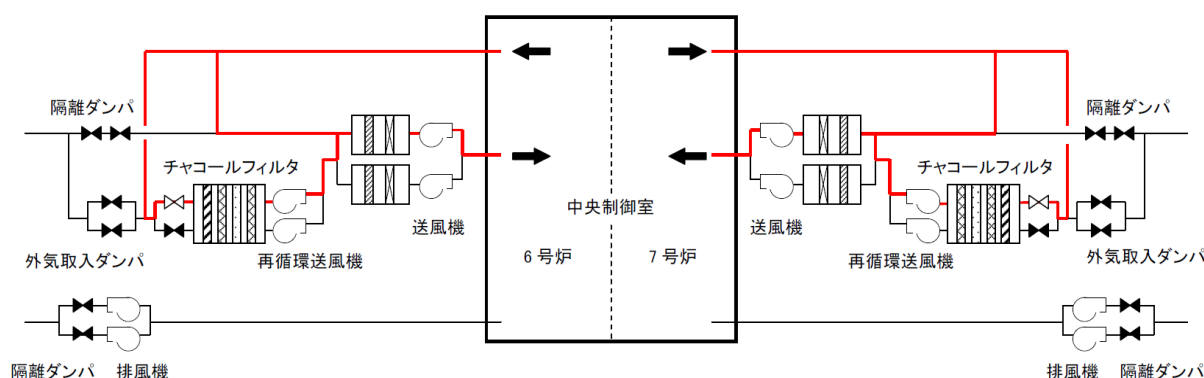
第 3.2-2 図 ディーゼル機関吸気系統概略図



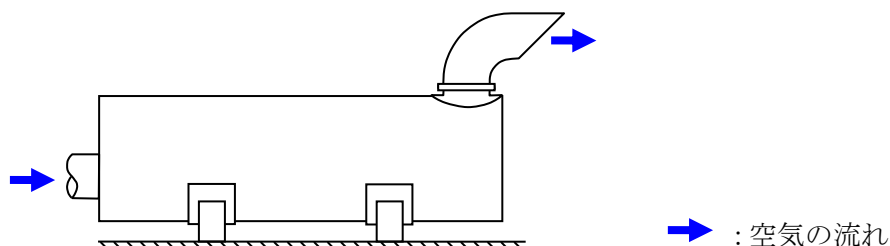
第 3.2-3 図 中央制御室外火災発生に伴う中央制御室隔離手順概要フロー



第 3.2-4(a) 図 通常モードの状態 (中央制御室)



第 3.2-4(b) 図 非常時モードの状態 (中央制御室)



第 3.2-5 図 非常用ディーゼル発電機排気口外形図

3.3 居住性への影響

中央制御室換気空調系は、外気を遮断し、再循環させる非常時モードに切り替えることができる。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する。

また、発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設及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、原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器）からの火災、及び航空機墜落による火災を想定し、中央制御室内に進入する有毒物質（CO、CO₂、SO₂、NO₂）の最大濃度を判断基準（IDLH^{*}）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ないことを確認する。

※：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

3.3.1 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号及び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、二酸化炭素濃度及び酸素濃度について評価を行う。なお、中央制御室内には、燃焼による二酸化炭素の排出や酸素を消費する機器はなく、非常用ディーゼル発電機の火災時に消火設備より二酸化炭素が放出されたとしても、中央制御室換気空調系との系統分離及び給・排気口の位置的分散が図られており、中央制御室内に二酸化炭素が取り込まれることはないことから、在室人員の呼吸のみを想定し評価を行う。

(1) 二酸化炭素濃度評価

以下のとおり二酸化炭素濃度について評価する。

a. 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]^{※2}
- ・ 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24時間^{※3}とする。

※1：6号及び7号炉の運転員（18人）に余裕を持って20人とする。

※2：保守的に6号炉中央制御室（熱負荷集計表記載値：7320[m³]）を2倍した値とする。

※3：外部火災影響評価にて長期間の影響をもたらす、航空機墜落による火災と軽油タンク火災の重畳を考慮すると、約23.2時間が火災の継続時間となることから、24時間で評価を実施する。

b. 評価結果

- ・ 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時間程度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。

第3.3.1-1表 二酸化炭素濃度の時間変化

時間	6時間	12時間	24時間
二酸化炭素濃度[%]	0.07	0.11	0.19

(2) 酸素濃度評価

以下のとおり酸素濃度について評価する。

a. 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24時間とする。

b. 評価結果

- 中央制御室の初期酸素量 $3067.08[m^3] = 14640[m^3] \times 20.95[\%]$
- 24 時間後の酸素濃度 $20.7[\%]$
 $= (3067.08[m^3] - 1.25[l/min/人] \times 10^{-3}[m^3/l] \times 20[人] \times 60[min/h] \times 24[h]) / 14640[m^3] \times 100$

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、24 時間程度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。

第 3.3.1-2 表 酸素濃度の時間変化

時間	6 時間	12 時間	24 時間
酸素濃度 [%]	20.8	20.8	20.7

3.3.2 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及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、及び航空機落下位置での火災を想定し、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及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及び変圧器等を評価対象とし、第 3.3.2-1 表に評価対象施設及び評価対象設備から外気取入口までの距離及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) 及び二酸化硫黄(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、航空機落下位置及び外気取入口の位置関係を第 3.3.2-1 図に示す。

第 3.3.2-1 表 評価対象施設と外気取入口までの距離及び火災面積

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	18.3	289
主変圧器	30	18.3	150
原子炉冷却材再循環 ポンプ可変周波数電 源装置入力変圧器	11	5.1	9
大型民間航空機	218	18.3	605
小型民間航空機	134	18.3	27
大型軍用航空機	133	18.3	280
小型軍用航空機	109	18.3	12
航空機墜落による火 災と重畳火災の可能 性がある 6 号炉軽油タ ンク	111	18.3	583

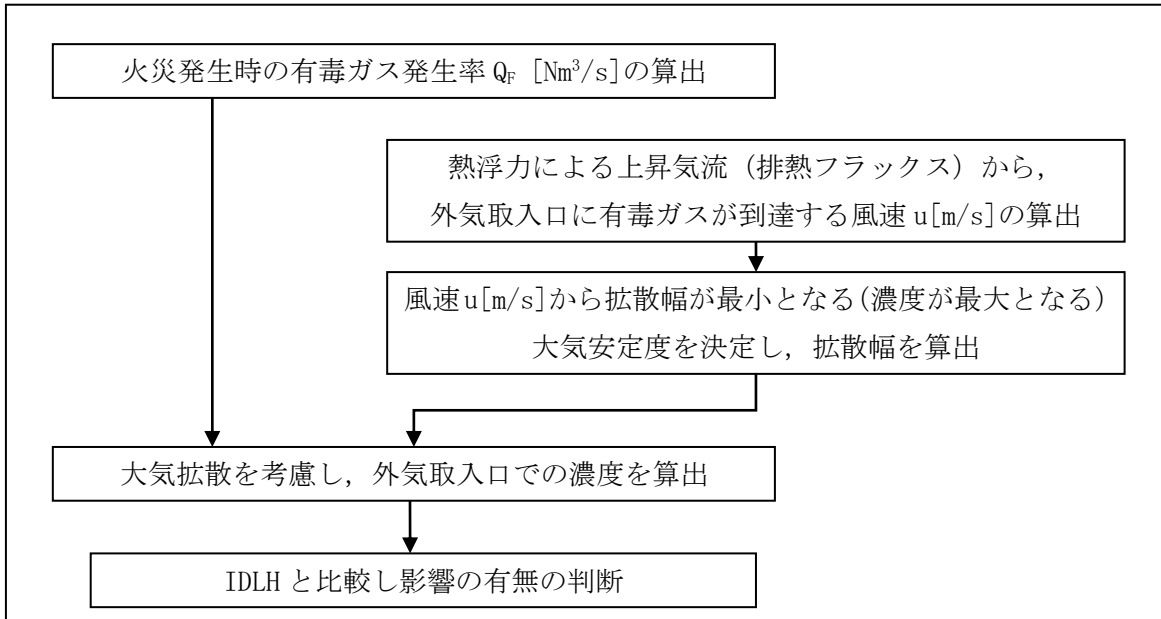


第 3.3.2-1 図 軽油タンク、航空機落下、変圧器及び外気取入口の位置関係

(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及び大気拡

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 3.3.2-2 図に有毒ガス影響評価フローを示す。



第 3.3.2-2 図 有毒ガス影響評価フロー

a. 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 3.3.2-4 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]

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]

第 3.3.2-2 表 有毒ガス発生率

火災発生場所	Q_F'			
	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂
軽油タンク・変圧器	2.6×10^{-2} ※1	1.5×10^0 ※1	1.1×10^{-3} ※1	5.3×10^{-4} ※1
航空機	6.1×10^{-1} ※2	1.8×10^0 ※3	4.2×10^{-4} ※2	2.8×10^{-3} ※2

※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

第 3.3.2-3 表 燃料消費速度算出時の入力値

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} ※1	875 ※2
民間航空機	6.66×10^{-5} ※3	810 ※3
軍用航空機	6.71×10^{-5} ※3	760 ※3

※1: 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

※2: 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」

※3: 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, 絶縁油は重油及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 3.3.2-4 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	3.6×10^{-1}	2.2×10^1	1.6×10^{-2}	7.5×10^{-3}
主変圧器	1.9×10^{-1}	1.1×10^1	8.3×10^{-3}	3.8×10^{-3}
原子炉冷却材再循環 ポンプ可変周波数電 源装置入力変圧器	1.1×10^{-2}	6.8×10^{-1}	5.0×10^{-4}	2.3×10^{-4}
大型民間航空機	2.0×10^1	6.0×10^1	1.3×10^{-2}	9.1×10^{-2}
小型民間航空機	8.9×10^{-1}	2.6×10^0	6.2×10^{-4}	4.0×10^{-3}
大型軍用航空機	8.8×10^0	2.6×10^1	6.1×10^{-3}	4.0×10^{-2}
小型軍用航空機	3.7×10^{-1}	1.1×10^0	2.6×10^{-4}	1.7×10^{-3}
航空機墜落による火 災と重畳火災の可能 性がある 6 号炉軽油 タンク	7.4×10^{-1}	4.4×10^1	3.2×10^{-2}	1.5×10^{-2}

b. 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 3.3.2-2 図に示し、風速の計算結果を第 3.3.2-6 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] ※

M : 燃料消費速度 [kg/s]

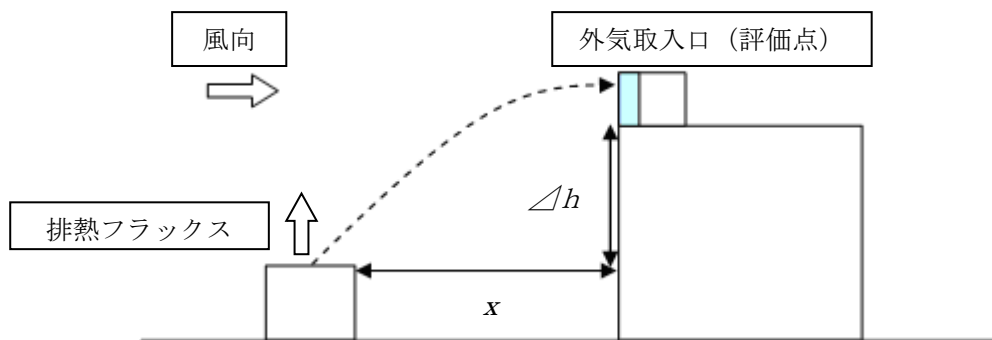
ρ : 燃料密度 [kg/m³]

x : 離隔距離 [m]

※ : 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）

第 3.3.2-5 表 燃料の発熱量

火災発生場所	q 発熱量[kcal/l]
軽油タンク及び変圧器	9004 kcal/l (37.7 MJ/l)
航空機	8765 kcal/l (36.7 MJ/l)



第 3.3.2-2 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*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] (Δh < 305m)

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。

※ : G. A. Briggs, “Plume Rise”, U. S. Atomic Energy Commission, 1969

第 3.3.2-6 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	12.0
原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器	8.4
大型民間航空機	77.5
小型民間航空機	19.3
大型軍用航空機	43.4
小型軍用航空機	12.8
航空機墜落による火災と重畳火災の可能性のある6号炉軽油タンク	44.3

c. 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及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 3.3.2-9 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 は以下のとおり。

第 3.3.2-7 表 大気安定度と入力値（離隔距離が 0.2km 以遠）

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 は以下のとおり。ただし、 a_2 、 a_3 は 0 とする。

第 3.3.2-8 表 大気安定度と入力値（離隔距離が 0.2km 未満）

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とおりであり、本評価では第 3.3.2-10 表に示すとおり風速は 6 [m/s] 以上であることから大気安定度は C 又は 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 3.3.2-9 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	1.6
原子炉冷却材再循環ポン プ可変周波数電源装置入 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	10.8	6.0
大型軍用航空機	D	11.2	6.2
小型軍用航空機	D	8.9	5.0
航空機墜落による火災と 重畳火災の可能性がある 6号炉軽油タンク	D	8.9	5.0

第 3.3.2-10 表 風速, 日射量及び放射収支量による大気安定度

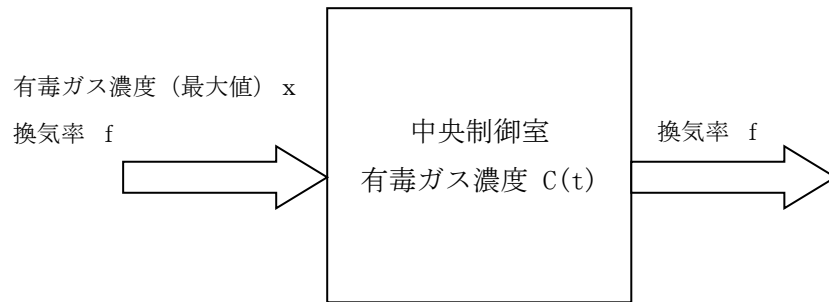
風速 (U) m/s	日射量 (T) kw/m ²				放射収支量 (Q) kw/m ²		
	T ≥ 0.60	0.60 > T ≥ 0.30	0.30 > T ≥ 0.15	0.15 > T	Q ≥ -0.020	-0.020 > Q ≥ -0.040	-0.040 > Q
U < 2	A	A - B	B	D	D	G	G
2 ≤ U < 3	A - B	B	C	D	D	E	F
3 ≤ U < 4	B	B - C	C	D	D	D	E
4 ≤ U < 6	C	C - D	D	D	D	D	D
6 ≤ U	C	D	D	D	D	D	D

(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 3.3.2-11 表にまとめる。なお、航空機墜落による火災と軽油タンク火災の重畳については、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 3.3.2-11 表より、中央制御室外気取入口における有毒ガスの濃度は、主変圧器にて火災が発生した場合の CO₂ 及び NO₂ を除き、IDLH 以下であることを確認した。

主変圧器の火災では、CO₂ 濃度及び NO₂ 濃度が IDLH を超えているが、ここでは、中央制御室外気取入口における有毒ガスの最大濃度を IDLH と比較することにより評価しており、実際には、中央制御室内における有毒ガスの濃度は瞬時に上昇せず、その濃度が徐々に増加する。そこで、中央制御室の居住性に対する影響について、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法（内規）平成

21年8月12日「原子力安全・保安院」【解説7.2】に記載されている中央制御室内の雰囲気中に浮遊する放射性物質の時間変化の考え方を参考に、以下の式を用いて、中央制御室内の有毒ガス濃度がIDLHの濃度に達する経過時間を評価する。



第3.3.2-3図 中央制御室内の有毒ガス濃度変化（概念図）

$$\frac{dc(t)}{dt} = -fc(t) + fx$$

$$c(0) = 0$$

$$c(t) = (1 - \exp(-ft))x$$

$$t = -\frac{\ln\left(1 - \frac{c(t)}{x}\right)}{f}$$

ここで、

$c(t)$: 中央制御室における有毒ガス濃度	[ppm]
f : 中央制御室の換気率	[1/s]
x : 中央制御室外気取入口における有毒ガス濃度の最大値	[ppm]
t : 経過時間	[s]

従って、中央制御室における有毒ガス濃度がIDLHに達する経過時間は以下の式となる。

$$T_{IDLH} = -\frac{\ln\left(1 - \frac{C_{IDLH}}{x}\right)}{f}$$

ここで、

T_{IDLH} : IDLHに達する経過時間	[s]
---------------------------	-----

C_{IDLH} : IDLH

[ppm]

上式にて、中央制御室外気取入口の有毒ガスを最大濃度(CO₂濃度:65,049[ppm], NO₂濃度:23[ppm])で一定とし、中央制御室内の換気率を考慮した有毒ガス濃度を算出したところ、IDLHに達するまでの経過時間は、CO₂が約114分、NO₂が約244分であった。

これに対し、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。

また、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(航空機落下)、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、中央制御室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央制御室隔離手順が操作手順書に定められており、これらの覚知・判断に時間を要するものではなく、迅速に対応することが可能である。

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と評価する。

※:切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え操作

第3.3.2-11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	166	9,852	7.3	3.4
主変圧器	1092	65,049	48	23
原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器	598	35,636	26.2	12.2
大型民間航空機	490	1472	0.4	2.3
小型民間航空機	225	674	0.2	1.1
大型軍用航空機	915	2749	0.7	4.2
小型軍用航空機	206	620	0.2	1.0
航空機と軽油タンクの重畳	325	7,674	5.4	3.4

3.3.3 5号炉原子炉建屋内緊急時対策所に対する有毒ガス影響評価

5号炉原子炉建屋内緊急時対策所は、森林火災に伴い発生する有毒ガスに対しては、防火帯林縁からの離隔（約297m）を確保することにより影響を受けない設計とする。また近隣の産業施設の火災に伴い発生する有毒ガスに対しては、外気取入口（5号炉原子炉建屋3階北側に設置）への伝播経路が5号炉原子炉建屋等の構造物により遮られることにより、外気取入口に到達しないことから、影響を受けない設計とする。

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、熱気流による発電用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

発電用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・拡散することから発電用原子炉施設に影響をおよぼすことはない。このため、発電用原子炉施設近傍で発生する軽油タンク火災及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階に設置されている。

3. 評価結果

発電用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号炉B系，7号炉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（第1図～第3図）。

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、及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、発電用原子炉施設に影響をおよぼすことはないと評価する。



第1図 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）



第2図 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）



第3図 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）

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

運用, 手順能力説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

(その他自然現象)

(第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (その他自然現象))

- ① 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項においても同じ）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- ② 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- ③ 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（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。

添付六、八への反映事項 (設計に関する箇所)



設計基準に係る運用対策等

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (その他自然現象)	知見の収集等 (規格・基準類, 観測記録, 年超過確率評価)	運用・手順	・設計基準の設定, 自然現象影響評価を行う。
		体制	・担当Gによる設計基準の設定, 自然現象影響評価
		保守・点検	—
		教育・訓練	・設計基準の設定, 影響評価に関する教育
	降雪発生時の除雪作業	運用・手順	・降雪が確認された場合には, 降雪量の監視をするとともに, 必要に応じ, 除雪要員の召集, 要員への指示を行う。建屋や屋外の設備等に長期間積雪の荷重をかけ続けられないため, 除雪を実施する。
		体制	・担当部署は, 気象予測で豪雪が予想され, 発電所全体での支援の必要がある等の場合, 関係箇所と協議のうえ対策本部を発足し, 対応箇所が, 降雪量の監視, 要員の召集・指示, 除雪作業等を実施する
		保守・点検	—
		教育・訓練	・運用・手順に関する教育

別 添 3-2

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

運用，手順能力説明資料

外部からの衝撃による損傷の防止

(火山)

(第6条 火山)

- ①安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- ②重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

・安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

添付六，八への反映事項
(設計に関する事項)
工・保

・完新世に活動を行った 16 火山
・完新世に活動を行っていないが将来の活動可能性が否定できない 17 火山

柏崎刈羽原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

柏崎刈羽原子力発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

影響を及ぼし得る火山事象

降下火砕物
層厚：35cm
粒径：8.0mm 以下
密度：1.5g/cm³

安全施設 (クラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器)

影響を及ぼす可能性がない火山事象

- ・火砕物密度流
- ・溶岩流
- ・岩屑なだれほか
- ・新しい火口の開口
- ・地殻変動
- ・火山性土石流等
- ・飛来物 (噴石)
- ・火山ガス
- ・その他の火山事象

その他の設備

外部事象防護対象施設

評価対象施設

外部事象防護対象施設
・屋外設備
・建屋
・屋外との接続がある設備 (屋外に開口している設備又は外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備)

降下火砕物による影響の選定
・直接的影響
・間接的影響

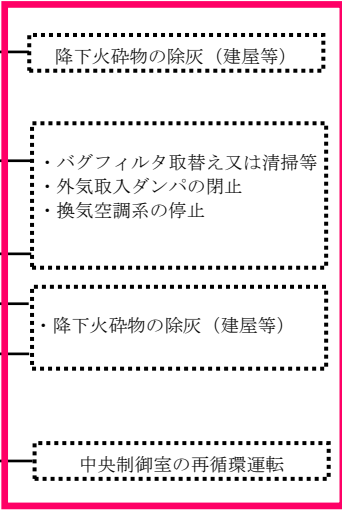
直接的影響



代替設備により必要な機能が確保されること, 又は安全上支障が生じない期間に除灰あるいは修復等の対応が可能とし, 安全機能を損なわない。

【後段規制との対応】
工：工認（基本設計方針，添付書類）
保：保安規定（運用手順に係る事項，下位文書含む）

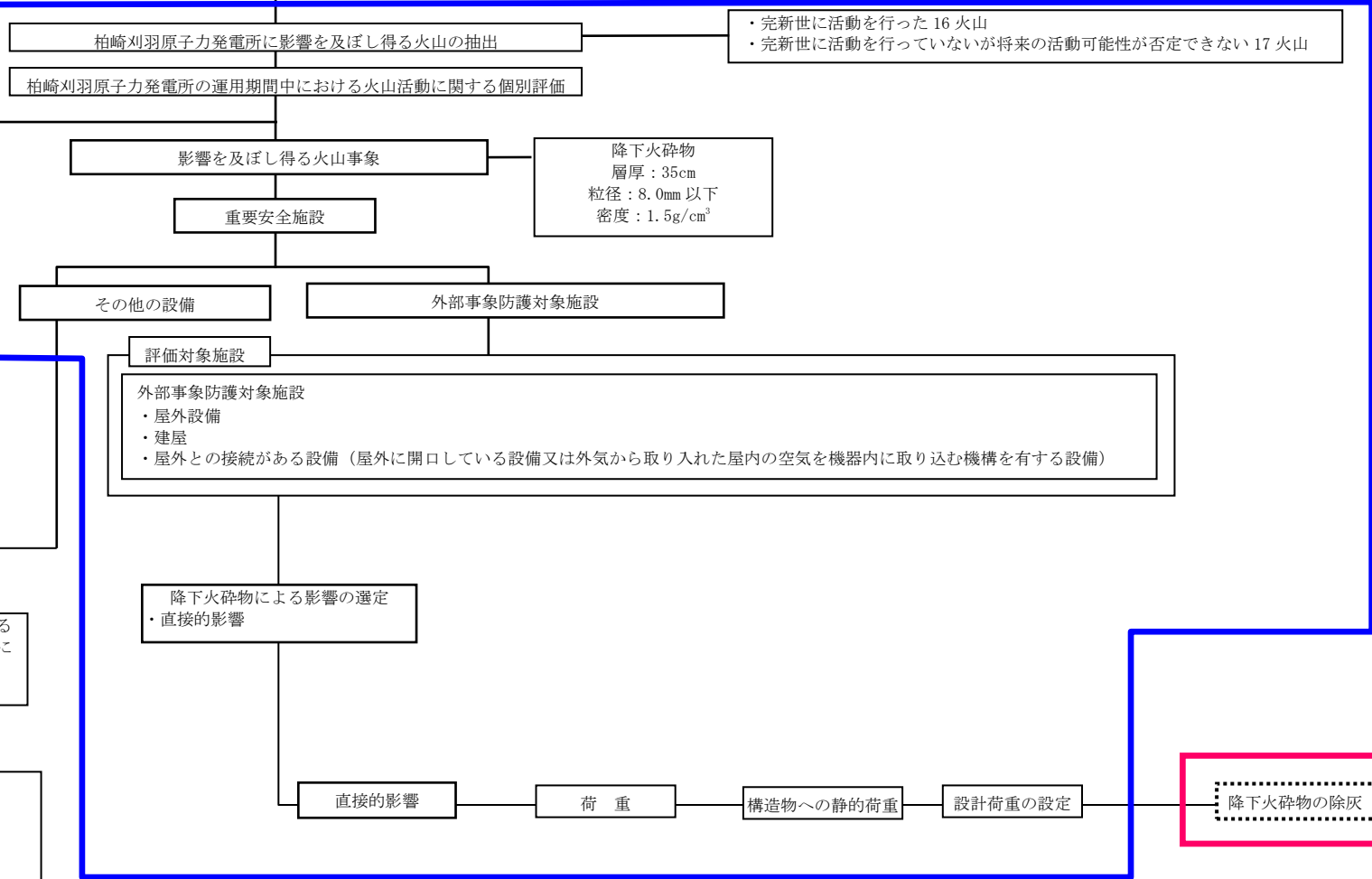
【添付六，八への反映事項】
: 添付六,八に反映



添付六，八への反映事項
(手順等に関する事項)
工・保

・重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

添付六、八への反映事項
(設計に関する事項)
工・保



- 影響を及ぼす可能性がない火山事象
- ・火砕物密度流
 - ・溶岩流
 - ・岩層なだれほか
 - ・新しい火口の開口
 - ・地殻変動
 - ・火山性土石流等
 - ・飛来物 (噴石)
 - ・火山ガス
 - ・その他の火山事象

代替設備により必要な機能が確保されること、又は安全上支障が生じない期間に除灰あるいは修復等の対応が可能とし、安全機能を損なわない。

【後段規制との対応】
工：工認（基本設計方針、添付書類）
保：保安規定（運用手順に係る事項、下位文書含む）

【添付六、八への反映事項】
[Red dashed box] : 添付六、八に反映

降下火砕物の除灰

添付六、八への反映事項
(手順等に関する事項)
工・保

技術的能力に係る運用対策（設計基準）

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止	降下火砕物の除去作業及び除灰後における降下火砕物による静的荷重や腐食等の影響に対する保守管理	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 降灰が確認された場合には、建屋や屋外の設備等に長期間降下火砕物の荷重をかけ続けられないこと、また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために堆積した降下火砕物の除灰を実施する。 降下火砕物による影響が見られた場合、必要に応じ補修を行う。
		体制	(担当箇所による保守・点検の体制) (降灰時の体制)
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 降灰時及び降灰後の巡視点検
		教育・訓練	運用・手順，保守・点検に関する教育
	外気取入ダンパの閉止，換気空調系の停止，再循環運転	運用・手順	降灰が確認された場合には、外気取入口に設置しているバグフィルタ，状況に応じて外気取入ダンパの閉止，換気空調系の停止又は再循環運転により，建屋内への降下火砕物の侵入を防止する。
		体制	(降灰時の体制)
		保守・点検	—
		教育・訓練	運用・手順，体制，保守点検に関する教育

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止	バグフィルタ取替え又は清掃作業等	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> ・降灰が確認された場合には、非常用換気空調系の外気取入口のバグフィルタについて、バグフィルタ差圧を確認するとともに、状況に応じて取替え又は清掃を実施する。 ・非常用ディーゼル発電機運転時は、バグフィルタの巡視点検を行い、必要に応じ取替え又は清掃を行う。
		体制	(降灰時の体制)
		保守・点検	・降灰時の巡視点検
		教育・訓練	・外部事象防護対象施設を外部事象から防護する建屋等の保守・点検に関する教育

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

運用，手順能力説明資料

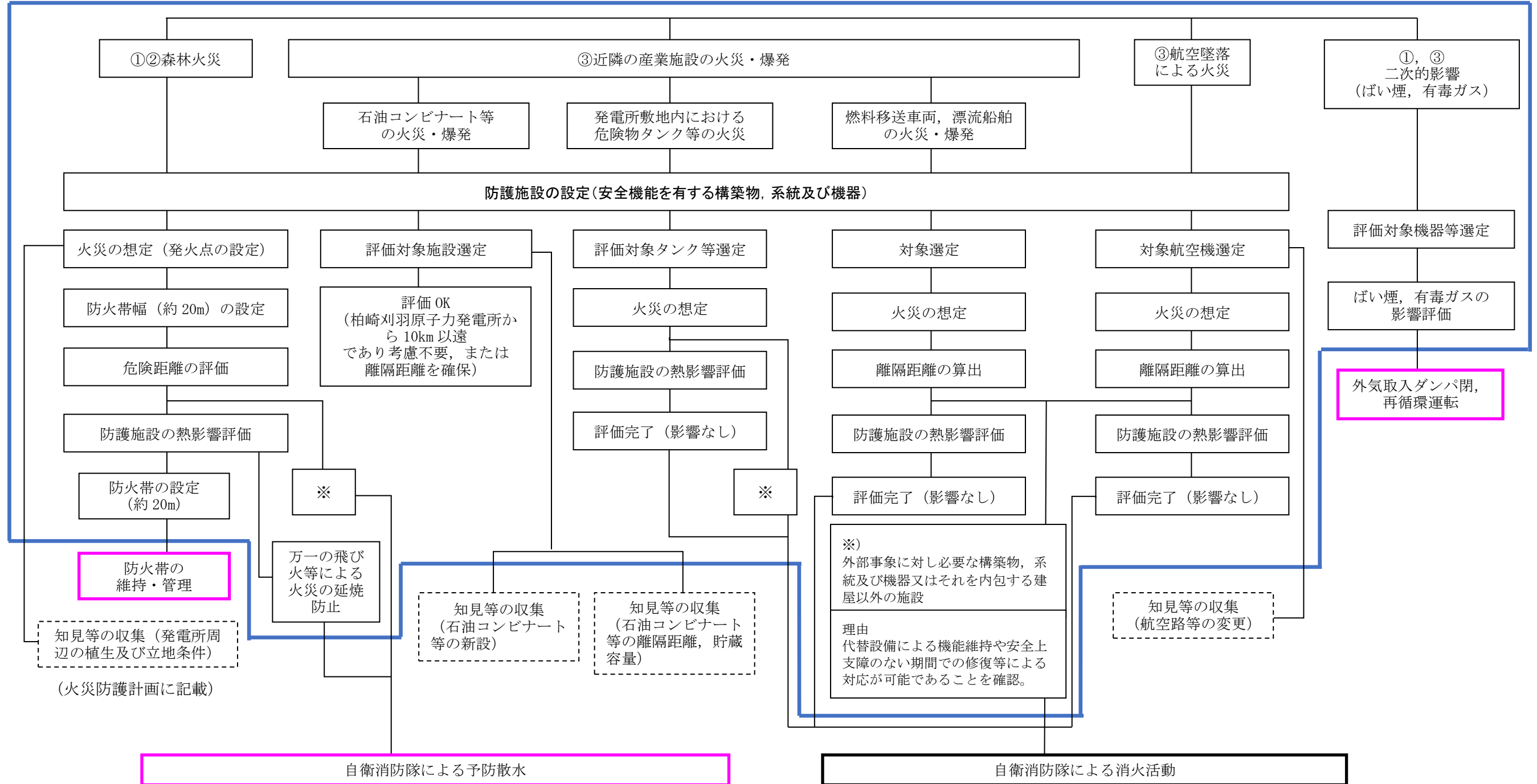
外部からの衝撃による損傷の防止

(外部火災)

(第6条 外部火災)

- ① 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項においても同じ）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。
- ② 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
- ③ 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（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。

添付八への反映事項（設計に関する箇所）



添付八への反映事項（手順等に関する箇所）

設計基準に係る運用対策等

*：自衛消防隊の編成については、添付資料-2「第2.3.1.2-1表」に記載

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)	防火帯の維持・管理	運用・手順	・防火帯のパトロール，可燃物の排除
		体制	・担当Gによる防火帯の維持・管理
		保守・点検	・防火帯の維持・管理
		教育・訓練	・火災防護に関する教育（防火帯の目的，点検・維持）
	知見の収集 (発電所周辺の植生及び立地条件)	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Gによる外部火災影響評価
		保守・点検	—
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集 (石油コンビナート等の新設，離隔距離，貯蔵容量)	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Gによる外部火災影響評価
		保守・点検	—
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	知見の収集 (航空路等の変更)	運用・手順	・外部火災影響評価ガイドに伴い，外部火災影響評価を行う。
		体制	・担当Gによる外部火災影響評価
		保守・点検	—
		教育・訓練	・火災防護に関する教育
	自衛消防隊による予防散水	運用・手順	・警備員は，火災発生を確認した場合は消防隊長へ連絡する。 ・消防隊長は，風向き等から火災進行方向を評価し，散水場所を消防隊に指示する。 ・消防車隊は屋外消火栓から水源をとり，ホースを展開し消防車により予防散水を行う。
		体制	・自衛消防隊*

設計基準に係る運用対策等

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)	自衛消防隊による予防散水	保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 消防車の点検 消火設備（消火栓等）の点検 消防用資機材（防火服，空気呼吸器等）の点検 故障時の補修
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 消火対応の力量を維持するための教育，訓練 初期消火班による消火訓練，資機材取扱訓練 海上災害防止センター消火訓練 等
	外気取入ダンパ閉，再循環運転	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> 外気取入ダンパ閉，再循環運転の手順
		体制	<ul style="list-style-type: none"> 運転員による運転操作
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> 換気空調系の点検
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> 操作手順の教育（運転員による外部火災発生時の外気取入ダンパ閉，再循環運転） 補修に関する教育・訓練（換気空調系）

別 添 4-3

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

1. 基準要求

【第6条】 設置許可基準第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）にて、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないことを要求されている。また、外部火災影響評価について詳細に規定している「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。）において、発電所敷地外で発生する火災が発電用原子炉施設へ影響を与えないことについて評価することを要求されている。

当該基準要求を満足するに当たっては、評価ガイドの「付属書A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」において、FARSITE (Fire Area Simulator) という森林火災シミュレーション解析コードの利用を推奨しており、想定火災の火線強度に対する発電用原子炉施設の防火帯幅を評価する。

2. 現場確認項目及び内容

上記基準要求を満足するためには、FARSITE を用いた評価に必要なデータのうち、植生データについて「現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。森林簿の情報を用いて、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する。」と評価ガイドに記載されており、以下のとおり、国土数値情報土地利用細分メッシュ及び自然環境保全基礎植生調査データ、現場調査による確認を実施している。

2. 1 植生データの整備

(1) 植生データの入手及び整備

植生データについては、国土交通省の国土数値情報である柏崎刈羽原子力発電所周辺の土地利用細分メッシュ（H21年度）を用い土地利用データを作成し、土地利用データの森林領域を細分化するための森林簿の入手が困難であったため、環境省の自然環境保全基礎調査 植生調査データ（H18年度）を使用して、森林領域等の植生データを細分化・整備した。

(2) 現場調査

FARSITE の入力にあたり、森林の樹種やその分布状況の詳細な現状把握が必要であるため、発電所構内及び防火帯周辺の植生については、現場調査（写真撮影）を実施した。

現場調査に当たっては、発電所構内の森林管理の単位となっている22エリアに分け、1級造園施工管理士の国家資格を有する者がウォークダウンをすることにより、植生を調査し、樹種、林齢、低木及び下草の有無を確認した。ウォークダウンの際に写真を撮影し、それをもとに植生を確認するとともに、調査位置についても記録した。

(3) 植生データの作成

(1), (2)を踏まえ補正し, FARSITE にて利用できるよう地理的な位置情報を扱う地理情報システム (GIS) に植生情報を入力してデータを作成した。

(4) 植生データの妥当性の確認

発電所構内のウォークダウンに当社社員も同行し, 植生の妥当性を確認した。

3. 記録の取扱い

現場調査結果及び FARSITE に入力した植生データを記録として保管する。

4. 今後の対応

発電所周辺の植生の変更がある場合は, その変更が森林火災評価へ与える影響に応じて再評価の必要性を検討する。