

東海第二発電所

外部火災影響評価について

平成 26 年 12 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、☐は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

目 次

1. 基本方針	
1.1 基本事項	1
1.2 想定する外部火災	1
1.3 防護対象施設	3
2. 火災の影響評価	
2.1 森林火災	5
2.2 近隣の産業施設の火災・爆発	17
2.3 航空機墜落による火災	32
2.4 二次的影響	39
3. 安全機能を維持するための運用対策	
3.1 防火帯の確保	45
3.2 消火活動に係る体制	46

添付資料

1. 外部火災防護対象と影響評価対象の考え方について
2. 森林火災について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 敷地内における危険物タンクの火災について
5. 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
6. ばい煙及び有毒ガスの影響について

＜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、影響評価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。
3. において、外部火災における発電用原子炉施設の安全機能を維持するための運用対策を整理する。

1. 基本方針

1.1 基本事項

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

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

1.2 想定する外部火災

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

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

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

また、具体的な評価内容等を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 外部火災影響評価で行う評価内容

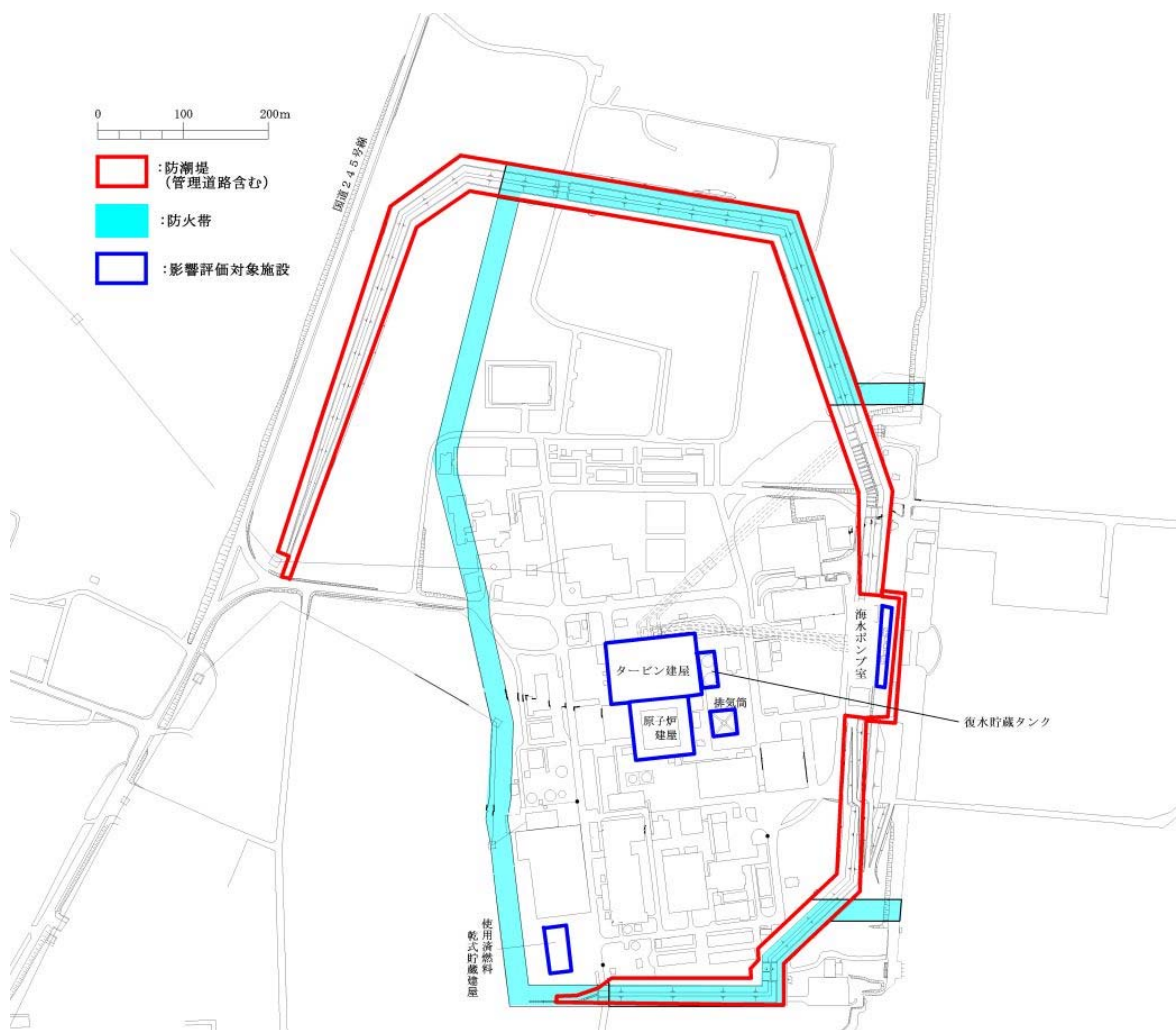
火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10km 以内に発火点を設定した発電所に迫る森林火災	・森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を用いた森林火災 ・森林火災評価に基づく影響評価対象施設の熱影響	・火炎の到達時間 ・防火帯幅 ・熱影響 ・危険距離	二次的影響（ばい煙等，有毒ガス）
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発	・発電所敷地外の石油コンビナート等について，発電所との距離を考慮した危険距離及び危険限界距離	・危険距離 ・危険限界距離	
	発電所敷地内の危険物タンクの火災	・発電所敷地内の危険物タンクの火災による熱影響	・熱影響	
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落時の火災	・墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した影響評価対象施設の熱影響	・熱影響	

1.3 防護対象施設（添付資料-1）

設置許可基準規則の第六条においては、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全機能を有する構築物、系統及び機器（以下「SSC」という。）が、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。

したがって、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類指針」という。）において、安全機能を有するSSCとして定義されているクラス1、2及び3に属するSSCを外部火災に対する防護対象とする。防護対象とするSSCに対しては、外部火災発生時に安全機能に影響を与えることのないよう、消火活動等により防護を図ることとする。

また、クラス1及びクラス2に属するSSCについては、消火活動等の防護手段に期待しない条件のもと、想定される外部火災に対する影響評価を実施し、耐性が十分でない場合においては、対策を行うこととする。



※：タービン建屋は航空機墜落による火災に対しては影響評価対象外。

図 1.3-1 外部火災に対する影響評価対象施設配置図

2. 火災の影響評価

2.1 森林火災（添付資料-2）

2.1.1 評価内容

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

- (1) 火災の到達時間
- (2) 防火帯幅
- (3) 熱影響
- (4) 危険距離

2.1.2 評価要領

評価ガイドに従い森林火災を想定し，発電所への影響について評価した。
なお，森林火災の解析に当たっては，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F A R S I T Eを使用し，以下の設定により解析を実施した。

- (1) 土地利用データは，現地状況をできる限り模擬するため，国土数値情報（国土交通省）の100mメッシュの土地利用データを用いた
- (2) 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森林簿の空間データを入手し，その情報を基に植生調査を実施した。その結果から，保守的な可燃物パラメータを設定し，土地利用データにおける森林領域を，樹種・林齢によりさらに細分化して設定した。
- (3) 地形データは，基盤地図情報（国土地理院）の10mメッシュの標高データを使用した。
- (4) 気象条件は，過去10年間を調査し，茨城県で森林火災の発生件数が多い月（12月から5月）を考慮して，森林火災の延焼を拡大させる観点か

ら，最高気温，最小湿度及び最大風速を F A R S I T E 入力条件として設定した。

- (5) 最大風速記録時の風向は 1 月～5 月の北東，12 月の南西，卓越風向は，水戸地方気象台観測データの最多割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

- (6) 発火点は以下の 7 地点を設定した。各発火点を図 2.1.2-1 に示す。

発火点 1：卓越風向である西北西方向で，霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道 245 号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道 245 号線沿いの霊園に設定。

発火点 2：卓越風向である北方向で，バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに設定。

発火点 3：卓越風向である西北西方向で，火入れ・たき火等を想定し，発火点 1 より遠方となる県道 284 号線沿いの水田に設定。

発火点 4：卓越風向である北方向で，釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，発火点 2 より遠方となる海岸沿いに設定。

発火点 5：最大風速時の風向である南西方向で，発電所南方向にある危険物貯蔵施設の火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに設定。

発火点 6：最大風速時の風向である南西方向で，交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道 245 号線沿いに設定。

発火点 7：最大風速時の風向である北東方向で，釣り人によるたばこの投げ捨てを想定し，一般の人が発電所に最も近づくことが可能な海岸沿いに設定。

- (7) 評価対象範囲は，発電所から南北及び西側に 12km，東側は海岸線までとする。

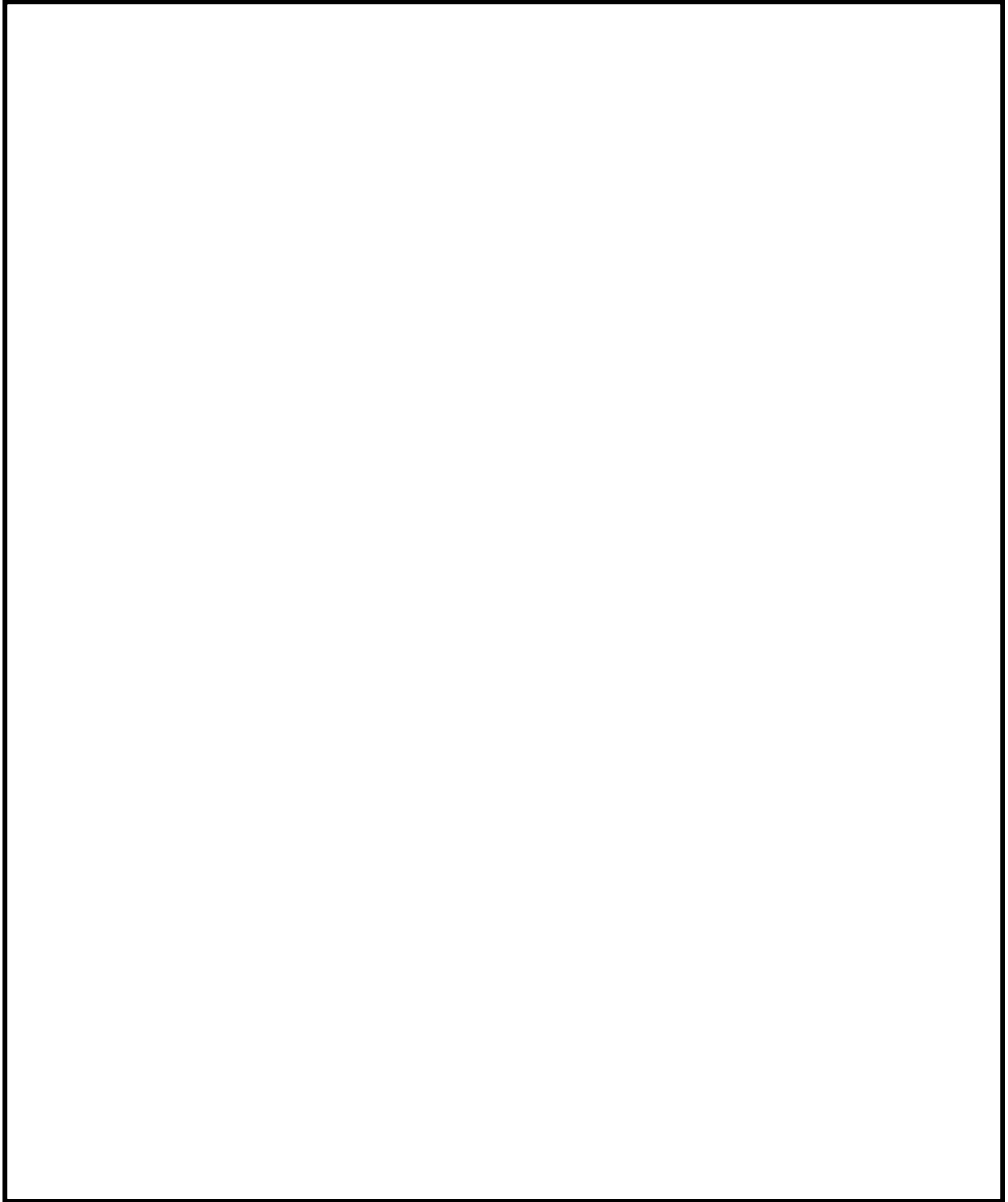


図 2. 1. 2-1 発火点位置と風向

2.1.3 評価結果

2.1.3.1 火炎の到達時間の評価

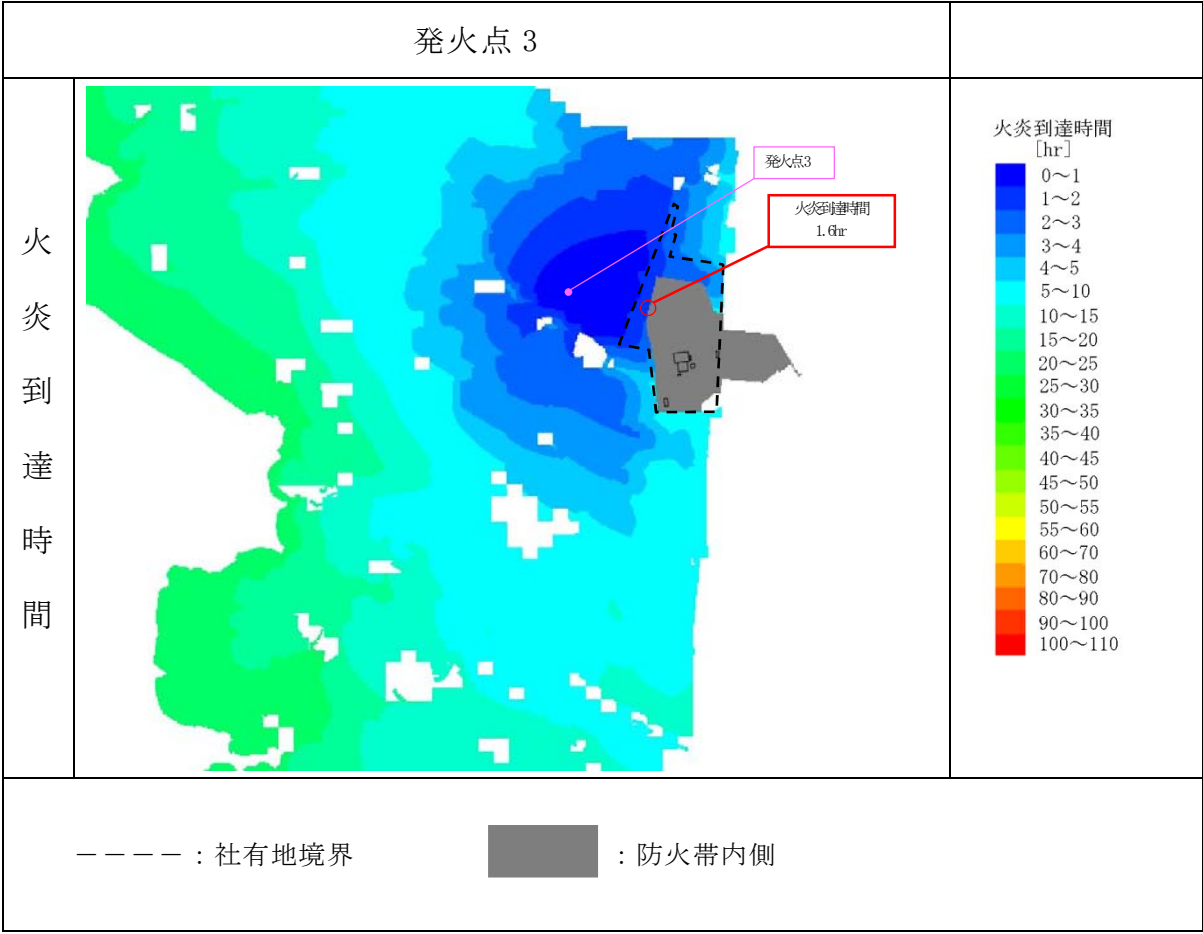
(1) 火炎到達時間

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間を表 2.1.3.1-1 に示す。

表 2.1.3.1-1 各発火点の火炎到達時間

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	3.3	2.8	1.6	5.8	3.5	2.4	0.3

表 2.1.3.1-2 発火点 3 火炎到達時間分布



(2) 初期消火活動及び体制

発火点 7 は一般の人が発電所に最も近づくことが可能な場所での発火を想定しているため、他の発火点と違い発電所構内から人の立ち入り及び火気の使用状況が把握可能である。

その他の発火点は、火気の使用状況を把握できず、発火直後の対応は取り難いため、火炎到達時間に対する評価を行う。発火点 7 を除いて火炎が防火帯外縁に到達する最短時間は、発火点 3 の 1.6 時間であり、1.6 時間以内で予防散水が可能であることを確認する。

発電所には自衛消防隊（初期消火活動要員 11 名）が 24 時間常駐しており、早期に初期消火活動体制を確立可能であり、1.6 時間以内に防火帯付近での予防散水が可能である。

なお、防火帯外側に設置されているモニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は、防火帯内側に保管する可搬型モニタリングポストを設置し代替監視を行う。

2.1.3.2 防火帯幅の評価

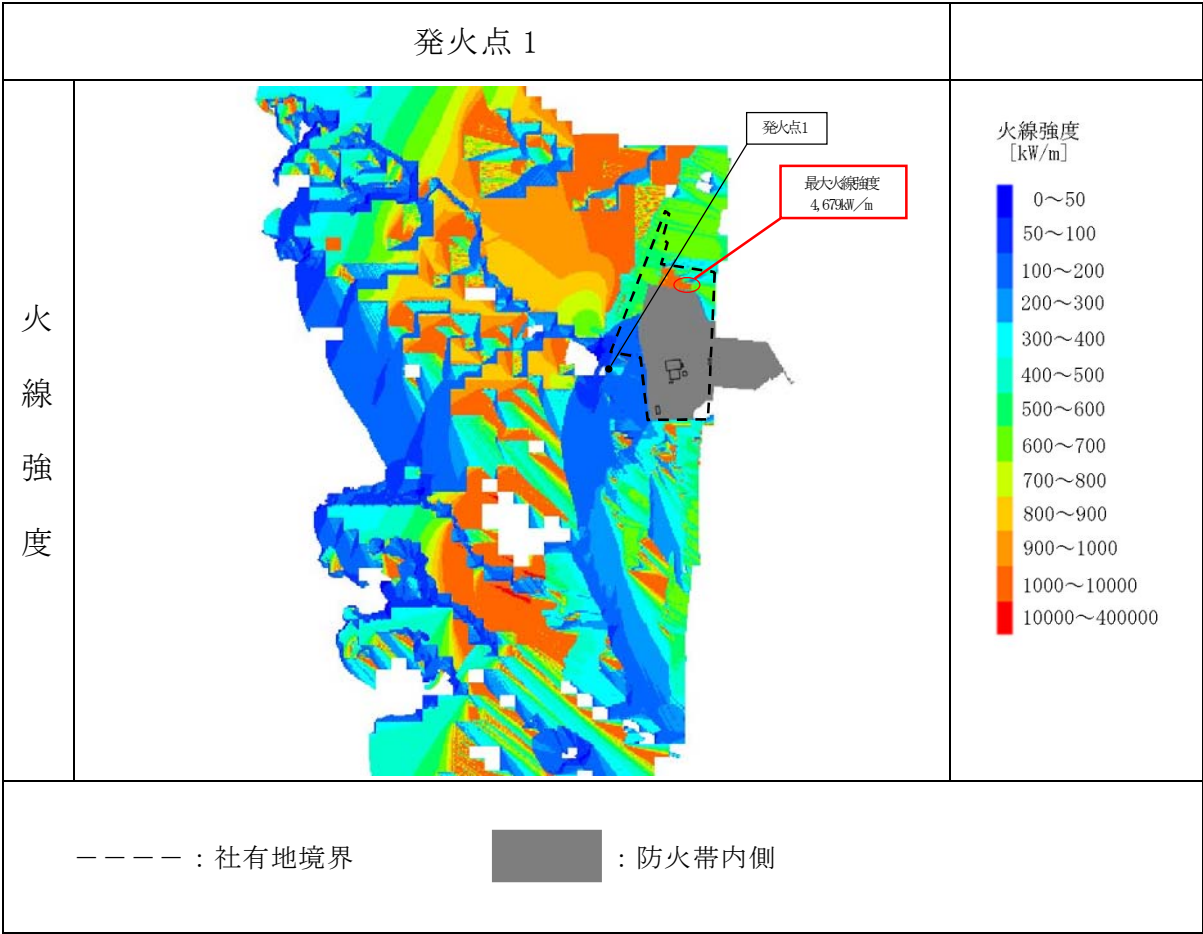
(1) 最大火線強度

各発火点における防火帯外縁より 50m の範囲における最大火線強度を表 2.1.3.2-1 に示す。発火点 1 において火線強度 (4,679kW/m) が最大となることを確認した。発火点 1 の火線強度分布を表 2.1.3.2-2 に示す。

表 2.1.3.2-1 各発火点の最大火線強度

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
最大火線強度 (kW/m)	4,679	1,512	4,661	4,382	3,629	3,621	1,032

表 2.1.3.2-2 発火点 1 火線強度分布



(2) 防火帯幅の設定

評価ガイドに基づき、最大火線強度（4,679kW/m）から「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて、必要な防火帯幅を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅 20.0m に対し、森林火災の延焼を防止するために、21.0m の防火帯を設定する。

(3) 防火帯設定の考え方

- a. 防火帯は、防護対象設備（クラス 1, クラス 2, クラス 3 のうち防火帯の確保により防護する設備）及び重大事故対処設備を囲むように設定する。
- b. アクセスルートと重ならず、横切らない設定とする。
- c. 駐車場等、延焼の可能性があるものと干渉しないように設定する。
- d. 樹木伐採後の土砂流出等が発生しない施工（モルタル吹付け等）を行う。
- e. 防潮堤を防火帯として兼用する。

2.1.3.3 熱影響評価

F A R S I T E解析結果である火炎到達時間，反応強度，火炎長から，温度評価に必要なデータを算出し，熱影響評価を行った結果，対象施設に影響が無い事を確認した。

(1) 影響評価対象施設外壁

森林火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度200℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.1.3.3-1 に示す。

表 2.1.3.3-1 外壁に対する熱影響評価結果

影響評価 対象施設	評価温度 (℃)							許容 温度 (℃)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	50※	50※	50※	50※	50※	50※	50※	< 200
海水ポンプ室	50※	50※	50※	50※	50※	50※	50※	
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	80	77	77	78	81	82	74	
タービン建屋	50※	50※	50※	50※	50※	50※	50※	

※：初期温度から有意な温度上昇なし

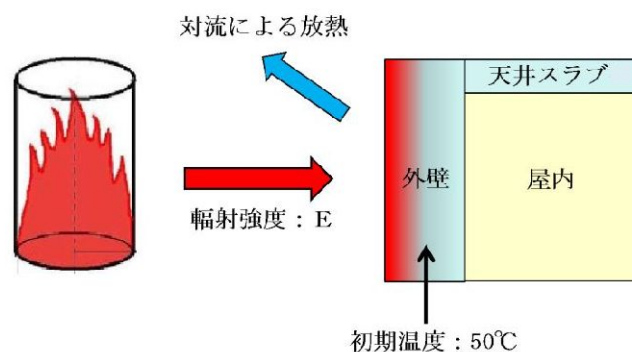


図 2.1.3.3-1 建屋外壁の評価概念図

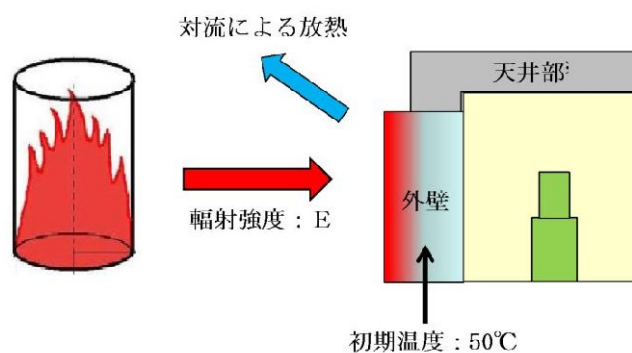


図 2. 1. 3. 3-2 海水ポンプ室の評価概念図

(2) 排気筒

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が、許容温度 350℃以下であることを確認した。評価結果を表 2. 1. 3. 3-2 に示す。

表 2. 1. 3. 3-2 排気筒に対する熱影響評価結果

影響評価 対象施設	評価温度 (℃)							許容 温度 (℃)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	52	53	52	52	53	53	52	< 350

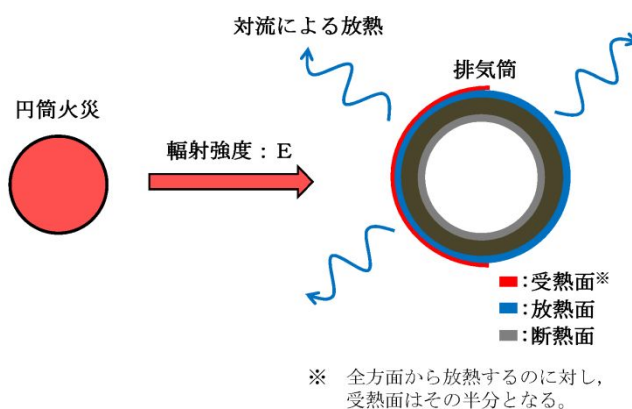


図 2. 1. 3. 3-3 排気筒の評価概念図

(3) 復水貯蔵タンク

森林火災によって上昇する復水貯蔵タンクが内包する水の温度が，許容温度 66℃以下であることを確認した。評価結果を表 2. 1. 3. 3-3 に示す。

表 2. 1. 3. 3-3 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価結果

影響評価 対象施設	評価温度 (℃)							許容 温度 (℃)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
復水貯蔵 タンク	46	46	46	46	46	46	46	< 66

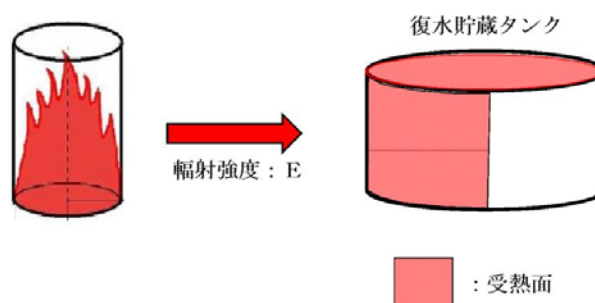


図 2. 1. 3. 3-4 復水貯蔵タンクの評価概念図

2. 1. 3. 4 危険距離の算出

影響評価対象施設が許容温度を超えない危険距離を算出し，離隔距離が確保されていることを確認した。

(1) 影響評価対象施設外壁

各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2. 1. 3. 4-1 に示す。

表 2.1.3.4-1 外壁に対する危険距離

影響評価 対象施設	危険距離 (m)							離隔 距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	15	14	14	14	15	15	14	161
海水ポンプ室	15	14	14	14	15	15	14	260
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	15	14	14	14	15	15	14	37
タービン建屋	15	14	14	14	15	15	14	141

(2) 排気筒

排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果
を表 2.1.3.4-2 に示す。

表 2.1.3.4-2 排気筒に対する危険距離

影響評価 対象施設	危険距離 (m)							離隔 距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	16	18	14	15	18	18	11	234

(3) 復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンクまでの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。
評価結果を表 2. 1. 3. 4-3 に示す。

表 2. 1. 3. 4-3 復水貯蔵タンクに対する危険距離

影響評価 対象施設	危険距離 (m)							離隔 距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
復水貯蔵 タンク	5	3	5	5	4	5	7	253

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発（添付資料-3, 4）

2.2.1 評価内容

発電所敷地外 10km 以内に設置されている石油コンビナート，危険物貯蔵施設，燃料輸送車両及び漂流船舶の火災・爆発が，原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価した。

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

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 石油コンビナートの火災・爆発

「茨城県石油コンビナート等特別防災計画」（昭和 52 年 12 月 5 日 茨城県）により，茨城県内で石油コンビナート等特別防災区域に指定されている地区は，鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域のみであり，発電所からこの特別防災区域までは，約 50km の距離がある。以上から，発電所敷地外 10km 以内に石油コンビナートがないと判断した。



図 2.2.2.1-1 発電所と鹿島臨海地区石油コンビナートの位置

2.2.2.2 発電所敷地外の危険物貯蔵施設の火災・爆発

発電所敷地外半径 10km 以内（敷地内を除く）に設置されている危険物貯蔵施設のうち、発電所に影響を及ぼす恐れのある施設を抽出し、その火災・爆発の影響を評価した。

(1) 火災の影響評価

a. 対象貯蔵施設の抽出

発電所敷地外半径 10km 以内には、第 4 類危険物を貯蔵する石油類貯蔵施設が約 500 カ所（屋内貯蔵及び少量のものは除く）存在することから、以下のとおり抽出範囲を絞り込み、対象貯蔵施設の抽出を行った。

- (a) 熱影響が最大となる仮想危険物貯蔵タンク（n-ヘキサン※¹を 10 万 kL※²貯蔵）を想定し、その危険距離を算出した結果、1,329m となった。

※1：評価ガイドに記載の第 1 石油類の中で最も輻射発散度が高い物質

※2：「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和 51 年 5 月 31 日政令第 129 号）の第 2 条で規定する基準総貯蔵量

- (b) (a) 項の結果を踏まえ、発電所から 1.4km 以遠には発電所に影響を及ぼす危険物貯蔵施設は存在しないと判断し、抽出範囲を発電所敷地から 1.4km 以内に絞込んだ。

- (c) (b) 項の抽出範囲内を含む危険物貯蔵施設を調査し、屋外貯蔵である について影響評価を実施した。

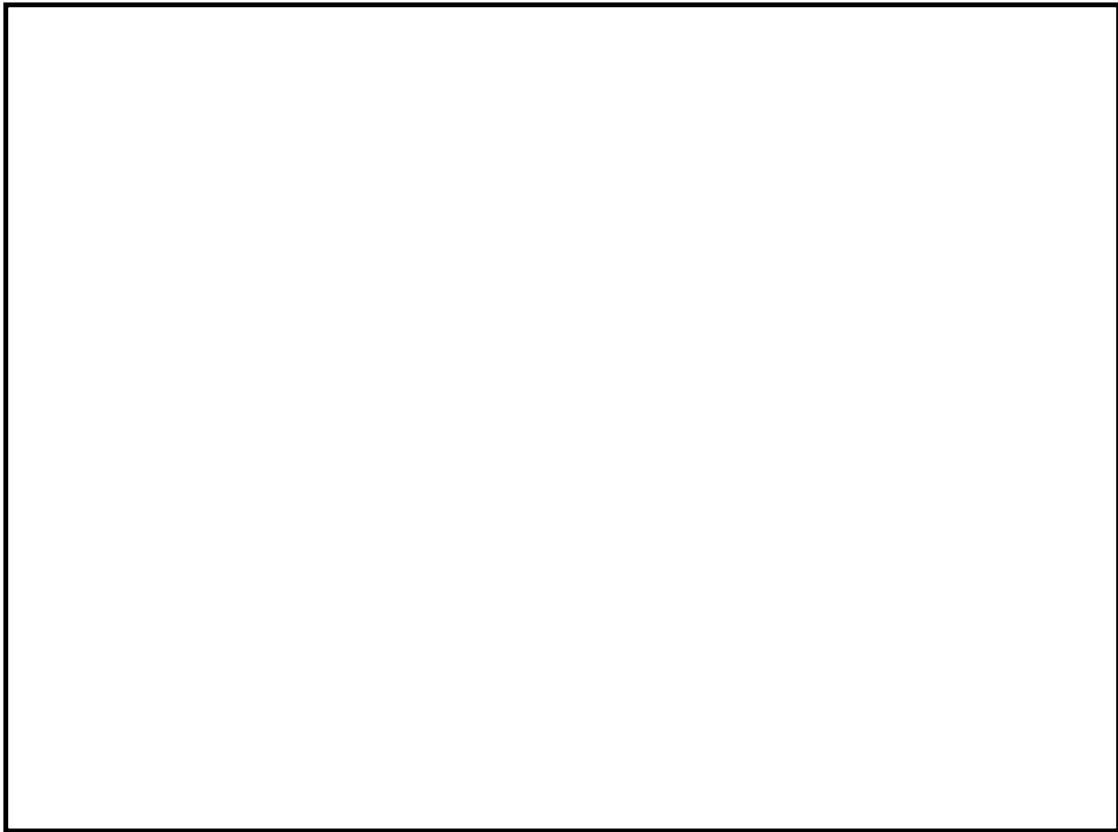


図 2.2.2.2-1 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する
石油類貯蔵施設

b. 火災の影響評価結果

抽出した危険物貯蔵施設について評価した結果，各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.2-1 に示す。

表 2.2.2.2-1 火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量 (m ³)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	41	1,100
			海水ポンプ室		1,300
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		800
			タービン建屋		1,200
			排気筒	9	1,200
			復水貯蔵タンク	20	1,200

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象貯蔵施設の抽出

爆発影響を及ぼす可能性のある高圧ガス貯蔵施設として、発電所より10km 以内で最大規模の高圧ガス貯蔵施設（LNGタンク、LPGタンク：2015年度稼働開始予定）を抽出した。



図 2.2.2.2-2 発電所に爆発影響が及ぶ可能性のある敷地外の高圧ガス貯蔵施設

b. 爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設について評価した結果、敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.2-2 に示す。

表 2.2.2.2-2 爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
L N G タンク	メタン	97,704	373	1,500
L P G タンク	プロパン	31,000		

※：敷地境界までの距離

(3) 爆発飛来物の影響評価

a. 対象貯蔵施設の抽出

東日本大震災で爆発火災が起きた加圧貯蔵型の L P G タンク（発電所敷地外半径 10km 以内に存在するタンク）について、爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

b. 爆発飛来物の影響評価結果

抽出した加圧型 L P G タンクについて評価した結果、各評価対象施設までの飛散距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.2-3 に示す。

表 2.2.2.2-3 爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※：敷地境界までの距離

2.2.2.3 燃料輸送車両の火災・爆発

発電所敷地外の国道 245 号線での燃料輸送車両（以下「タンクローリー」という。）による火災・爆発の影響を評価した。

(1) 火災の影響評価

a. 対象車両

消防法で定められた公道を通行可能な上限量（30m³）のガソリンが搭載されたタンクローリーについて評価を行う。

b. 火災の影響評価結果

対象車両について評価した結果、各評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.3-1 に示す。

表 2.2.2.3-1 火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	容量 (m ³)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
タンク ローリー	ガソリン	30	原子炉建屋	15	510
			海水ポンプ室		760
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		520
			タービン建屋		450
			排気筒	9	610
			復水貯蔵タンク	10	560

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象車両

液化天然ガス（LNG）及び液化石油ガス（LPG）が積載された最大クラスのタンクローリー（積載量：15.1t）について評価を行う。

b. 爆風圧の影響評価結果

対象車両について評価した結果、タービン建屋までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.3-2 に示す。

表 2.2.2.3-2 爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	燃料種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
LNG ローリー	メタン	15.1	81	450
LPG ローリー	プロパン	15.1	88	

※：国道 245 号線から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

c. 爆発飛来物の影響評価結果

加圧貯蔵型 L P G タンクを積載したタンクローリーについて評価した結果、タンク破片の飛散距離は 1,218m であり発電所敷地に到達するが、その飛来物が原子炉施設に衝突する可能性は非常に低い。竜巻影響評価において想定飛来物に対する評価及び対策を実施することから、仮にタンク破片等の飛来物が衝突したとしても影響評価対象施設への影響はない。

また、日立 L N G 基地に出入り予定の L N G 及び L P G タンクローリーは低温貯蔵型であるため、大規模な爆発火災事象（B L E V E）は発生し難く、飛来物の影響はない。

2.2.2.4 船舶の火災・爆発

発電所の近くを航行する船舶による火災・爆発の影響を評価した。

(1) 火災の影響評価

a. 対象船舶

高圧ガス貯蔵施設に L N G を輸送する輸送船と発電所港湾内に定期的に入港する船舶について評価を行う。

b. 火災の影響評価結果

対象船舶について評価した結果、各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.4-1 に示す。

表 2.2.2.4-1 火災の影響評価結果

想定火災源	燃料種類	燃料量 (m ³)	影響評価 対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
			原子炉建屋	165	1,100
			海水ポンプ室		900
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		1,300
			タービン建屋		1,100
			排気筒	80	1,100
			復水貯蔵タンク	71	1,100
			原子炉建屋	54	300
			海水ポンプ室		70
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋		530
			タービン建屋		270
			排気筒	26	250
			復水貯蔵タンク	23	270

※：L P G 輸送船の燃料量は L N G 輸送船と比較して少量のため、影響評価は L N G 輸送船に包絡される。

(2) 爆風圧の影響評価

a. 対象船舶

高压ガス貯蔵施設に L N G 及び L P G を輸送する輸送船（内航船を含む）について評価を行う。

b. 爆風圧の影響評価結果

対象船舶について評価した結果、影響評価対象施設までの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.4-2 に示す。

表 2.2.2.4-2 爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
			335	1,100 以上
			340	
			165	250 以上

※：海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く、直接爆風圧の影響を受けることはな
いため、海水ポンプ室は影響評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室を除いて
最も近い排気筒までの距離とする。

(3) 爆発飛来物の影響評価結果

また、日立 LNG 基地に出入り予定の LNG 及び LPG 輸送船は低温貯
蔵型であるため、BLEVE は発生し難く飛来物の影響はないと考える。

2.2.2.5 敷地内の危険物タンクの火災

発電所敷地内に設置している危険物貯蔵施設の火災を想定し熱影響評価を
実施した。熱影響評価を実施する危険物貯蔵施設は、溶融炉灯油タンクとオ
イルタンクファームとした。

また、発電所敷地内に設置しているガス貯蔵施設の爆発を想定し爆発影響
評価を実施した。爆発影響評価を実施するガス貯蔵施設は、水素貯槽とした。

図 2.2.2.5-1 に火災と爆発を想定する施設と影響評価対象施設の位置を示
す。

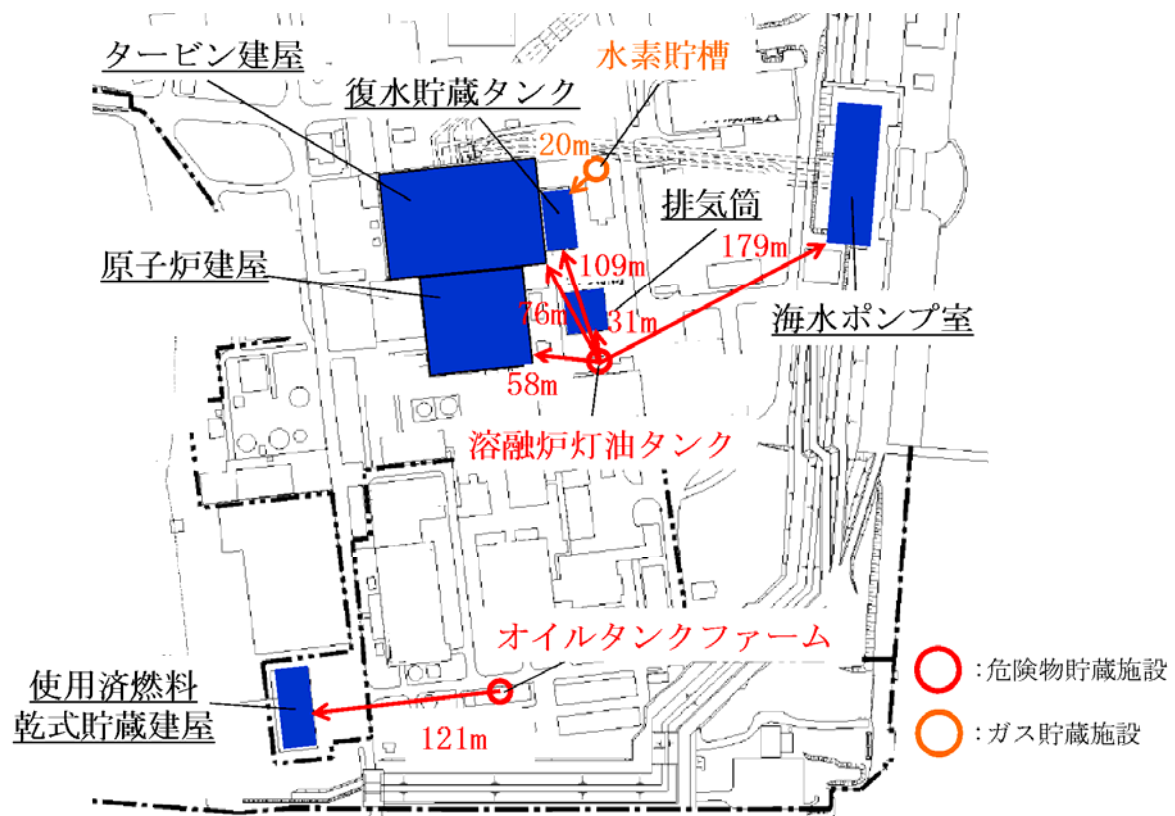


図 2.2.2.5-1 評価対象とする危険物貯蔵施設、ガス貯蔵施設及び影響評価対象施設の設置位置

(1) 外壁に対する熱影響評価

危険物タンク火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が、許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.2.2.5-1 に示す。

表 2.2.2.5-1 外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	56	< 200
	海水ポンプ室	51	
	タービン建屋	54	
オイルタンクファーム	使用済燃料乾式貯蔵建屋	70	

(2) 排気筒に対する熱影響評価

危険物タンク火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 350℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.2.2.5-2 に示す。

表 2.2.2.5-2 排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
熔融炉灯油タンク	69	< 350

(3) 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

危険物タンク火災によって上昇する復水貯蔵タンクの内包する水の温度が，許容温度 66℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.2.2.5-3 に示す。

表 2.2.2.5-3 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
熔融炉灯油タンク	46	< 66

(4) 爆風圧の影響評価

水素貯槽について評価した結果，復水貯蔵タンクまでの危険限界距離が離隔距離以下となることを確認した。評価結果を表 2.2.2.5-4 に示す。

表 2.2.2.5-4 爆風圧の影響評価結果

想定爆発源	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	7	20

※：水素貯槽から最も離隔距離が短い復水貯蔵タンク
までの距離

2.3 航空機墜落による火災（添付資料-5）

2.3.1 評価内容

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

2.3.2 評価結果

2.3.2.1 評価方法

航空機落下確率評価については、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではなく、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。したがって、これらを考慮したカテゴリ毎に航空機墜落による火災の影響評価を実施する。落下事故のカテゴリを表 2.3.2.1-1 に示す。

表 2.3.2.1-1 落下事故のカテゴリ

1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航時	
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機
		⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

航空機落下確率が 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影響評価対象施設からの離隔距離（墜落地点）を求め、そこで発生する火災による影響評価対象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

影響評価対象施設として原子炉建屋，海水ポンプ室，使用済燃料乾式貯蔵建屋，排気筒及び復水貯蔵タンクを考慮し，落下確率 10^{-7} （回／炉・年）に相当する面積からカテゴリ毎の離隔距離を算出した。各カテゴリの離隔距離及び輻射強度を表 2.3.2.2-1 に示す。

表 2.3.2.2-1 各カテゴリの離隔距離及び輻射強度

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 (m)	輻射強度 (W/m ²)
1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時		B737-800	176	110
	② 航空路を巡航中		B747-400	1,778	—※ ¹
2) 有視界飛行方式民間航空機	③ 大型機		B747-400	170	753
	④ 小型機		Do228-200	63	—※ ²
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤ 訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	166	532
		⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	33	—※ ³
	⑥ 基地－訓練空域間往復時		F-15	25	2,458

※1：計器飛行方式民間航空機の「②航空路を巡航中」の落下事故については，有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の落下事故の対象航空機と同じ B747-400 であり，離隔距離の短い有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※2：有視界飛行方式民間航空機の「④小型機」の落下事故の対象機種のうち，燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³と少量であることから，Do228-200 よりも燃料搭載量が多く，かつ離隔距離が短い自衛隊機又は米軍機の「⑥基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※3：自衛隊又は米軍機の訓練空域外を飛行中の「⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機」の落下事故については，「⑥基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象機種と同じ F-15 であり，離隔距離の短い「⑥基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

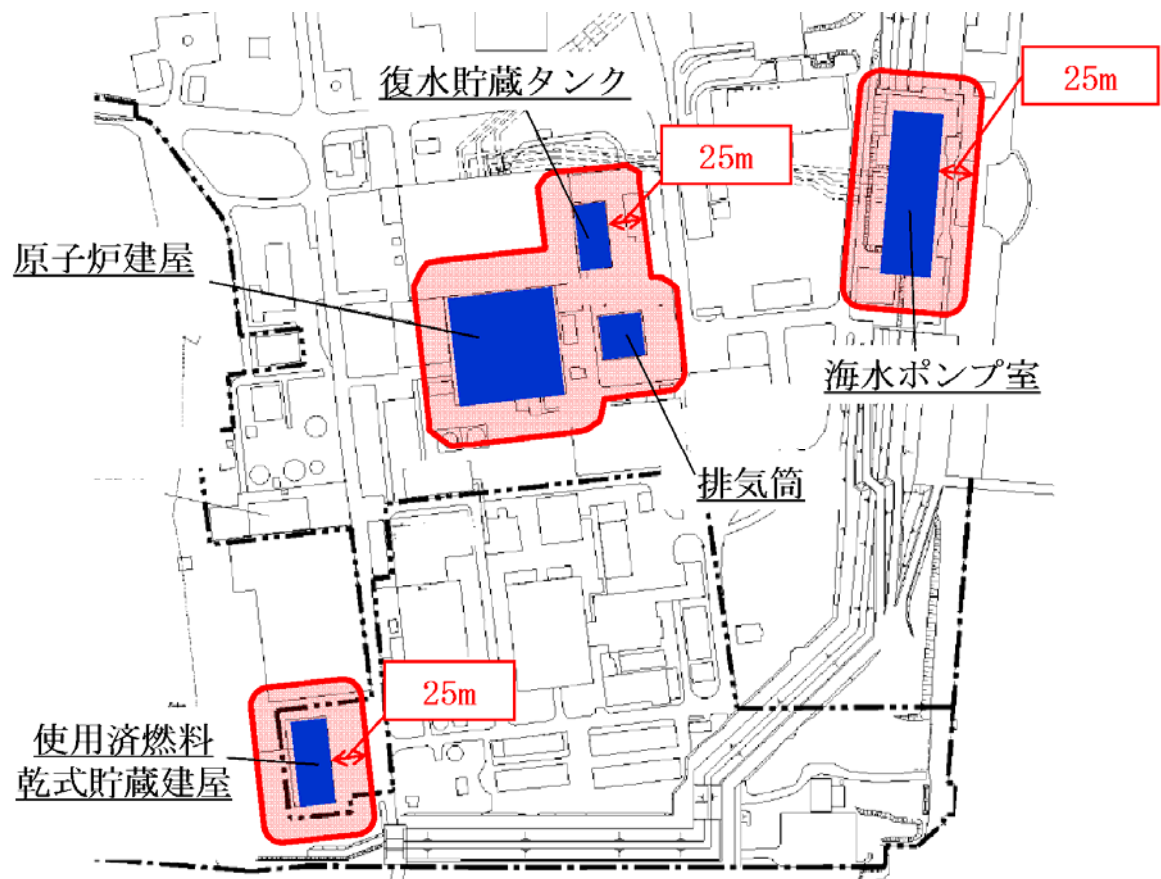


図 2.3.2.2-1 自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時の離隔距離

2.3.2.3 評価結果

(1) 外壁に対する熱影響評価

危険物タンク火災によって上昇するコンクリート外壁表面温度が，許容温度 200℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.3.2.3-1 に示す。

表 2.3.2.3-1 外壁に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時		B737-800	53	< 200
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機		B747-400	72	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤訓練空域 外を飛行中	⑤-1 空中給油機 等，高高度での 巡航が想定され る大型固定翼機	KC-767	65	
	⑥基地－訓練空域間往復時		F-15	115	

※：半無限固体を想定した評価をしているため，離隔距離が同じとなる本評価では，原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。

(2) 排気筒に対する熱影響評価

危険物タンク火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 350℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.3.2.3-2 に示す。

表 2.3.2.3-2 排気筒に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時		B737-800	54	< 350
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機		B747-400	73	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤訓練空域 外を飛行中	⑤-1 空中給油機 等，高高度での 巡航が想定され る大型固定翼機	KC-767	66	
	⑥基地－訓練空域間往復時		F-15	123	

(3) 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

危険物タンク火災によって上昇する復水貯蔵タンクの内包する水の温度が、許容温度 66℃以下であることを確認した。評価結果を表 2.3.2.3-3 に示す。

表 2.3.2.3-3 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
1) 計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800	46	< 66
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③大型機	B747-400	46	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤訓練空域 外を飛行中	⑤-1 空中給油機 等，高高度での 巡航が想定され る大型固定翼機	46	
	⑥基地－訓練空域間往復時	F-15	48	

2.3.2.4 危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳

危険物タンク火災と航空機墜落火災との重畳火災を想定し、熱影響評価を実施した。想定する危険物タンクは、熔融炉灯油タンクとオイルタンクファーム、航空機は対象航空機の中で最も熱影響が大きいF-15とした。

また、輻射強度と燃焼継続時間はそれぞれ保守的に、危険物タンク火災と航空機墜落火災の合計値で評価を行った。評価結果を2.3.2.4-1に示す。

表 2.3.2.4-1 重畳火災による熱影響評価結果

想定火災源	影響評価 対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
熔融炉灯油タンク 及び F-15	原子炉建屋	145	< 200
	海水ポンプ室	140	
	排気筒	141	< 350
	復水貯蔵タンク	52	< 66
オイルタンクファーム 及び F-15	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	154	< 200

2.4 二次的影響（添付資料-6）

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及び有毒ガスに対して、影響が想定される系統及び機器について評価を実施した。

2.4.2 評価結果

ばい煙及び有毒ガスが、安全上重要な設備及び居住性に影響を及ぼさないことを確認した。評価結果を表 2.4.2-1 に示す。

表 2.4.2-1 ばい煙等による影響評価結果

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	ディーゼル発電機機関	外気取入フィルタにより一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。それ以下のばい煙は機関内に掻器されるが、機器の間隙は、ばい煙に比べて十分大きく、閉塞に至ることはない。通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが、定期的な点検において、ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。（図 2.4.2-1）
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備	外気取入運転を行っている換気空調設備は、外気取入口に設置されたフィルタにより、一定以上の粒径のばい煙は捕獲される。また、中央制御室換気系は閉回路循環運転を行うことで、ばい煙の侵入を阻止可能である。（図 2.4.2-2，図 2.4.2-3，図 2.4.2-4，図 2.4.2-5）
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機	外気を電動機内部に取り込まない構造であり、電動機内部にばい煙が侵入することはない。また、ばい煙の粒径は冷却流路及び冷却流路出口の口径と比べて十分小さいことから、閉塞することはない。（図 2.4.2-6，図 2.4.2-7）
居住性への影響	中央制御室		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の侵入を阻止可能である。中央制御室給気口位置における危険物タンク火災と航空機墜落火災で発生する有毒ガス濃度を求め、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを確認した。（表 2.4.2-2，表 2.4.2-3，表 2.4.2-4）

表 2.4.2-2 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

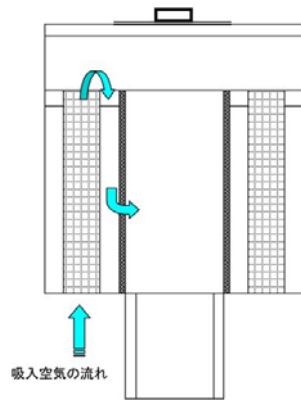
時間	24 時間	48 時間	96 時間	173 時間
酸素濃度	20.5%	20.1%	19.3%	18.0%

表 2.4.2-3 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	24 時間	48 時間	96 時間	123 時間
炭酸ガス濃度	0.32%	0.61%	1.18%	1.50%

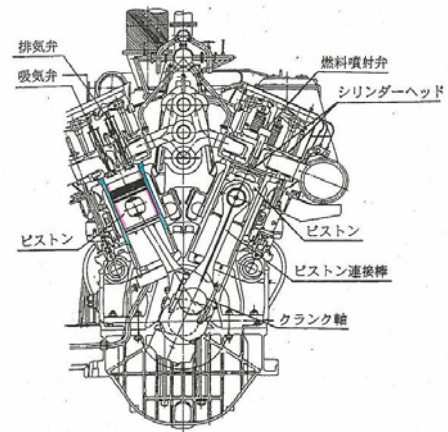
表 2.4.2-4 火災発生による有毒ガス濃度

評価対象	想定発火源	ガス濃度 [ppm]			
		CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
中央制御室 換気系給気口 B2-18A	熔融炉灯油タンク	209	3.00	0.07	0.34
	オイルタンクファーム	397	5.79	0.72	0.44
	航空機火災 (F-15)	6,036	94.07	0.86	10.27
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	熔融炉灯油タンク	151	2.18	0.05	0.25
	オイルタンクファーム	304	4.44	0.56	0.34
	航空機火災 (F-15)	6,036	94.07	0.86	10.27
判断基準 : IDLH		40,000	1,200	100	20



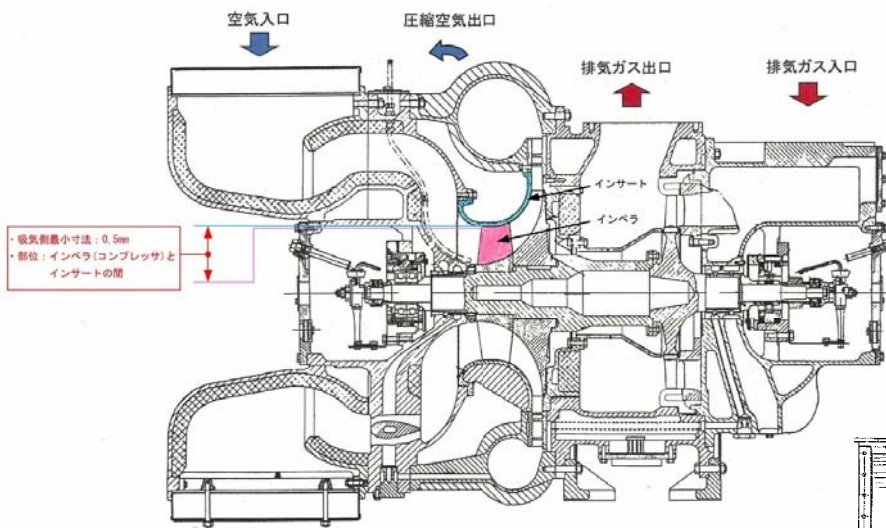
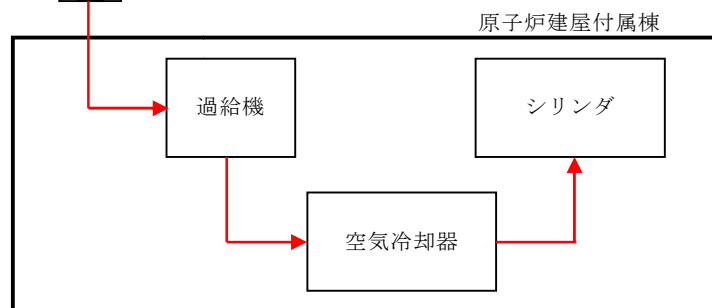
フィルタ構造

フィルタ

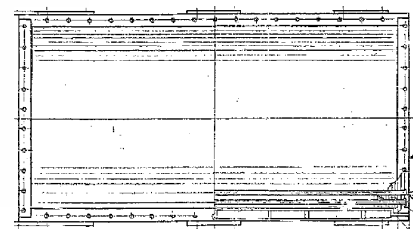


シリンダ構造

(シリンダ/ピストン間隙：数 μm ～数十 μm)



過給機断面



空気冷却器構造

(狭隙部寸法 伝熱フィン間隙：2.47mm)

図 2.4.2-1 ディーゼル発電機吸気系統構造図

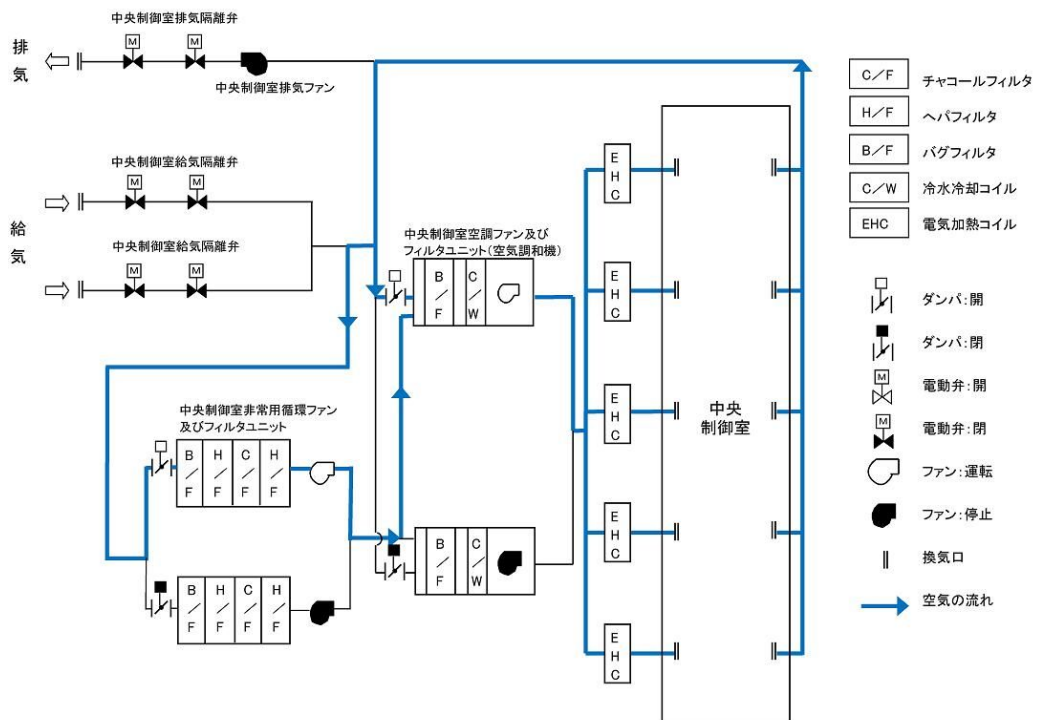


図 2.4.2-2 中央制御室換気系（閉回路循環運転）

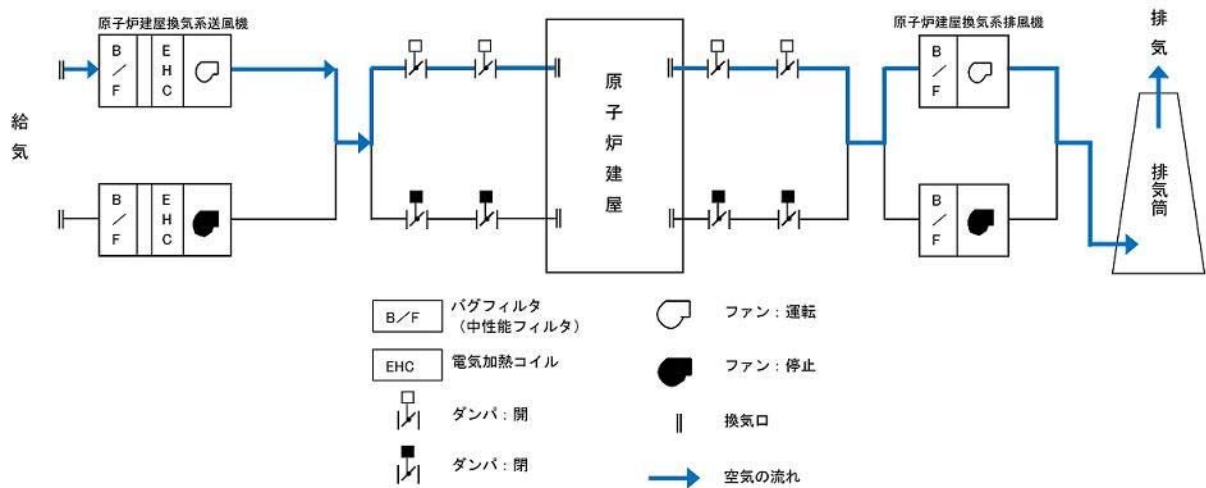


図 2.4.2-3 原子炉建屋換気系

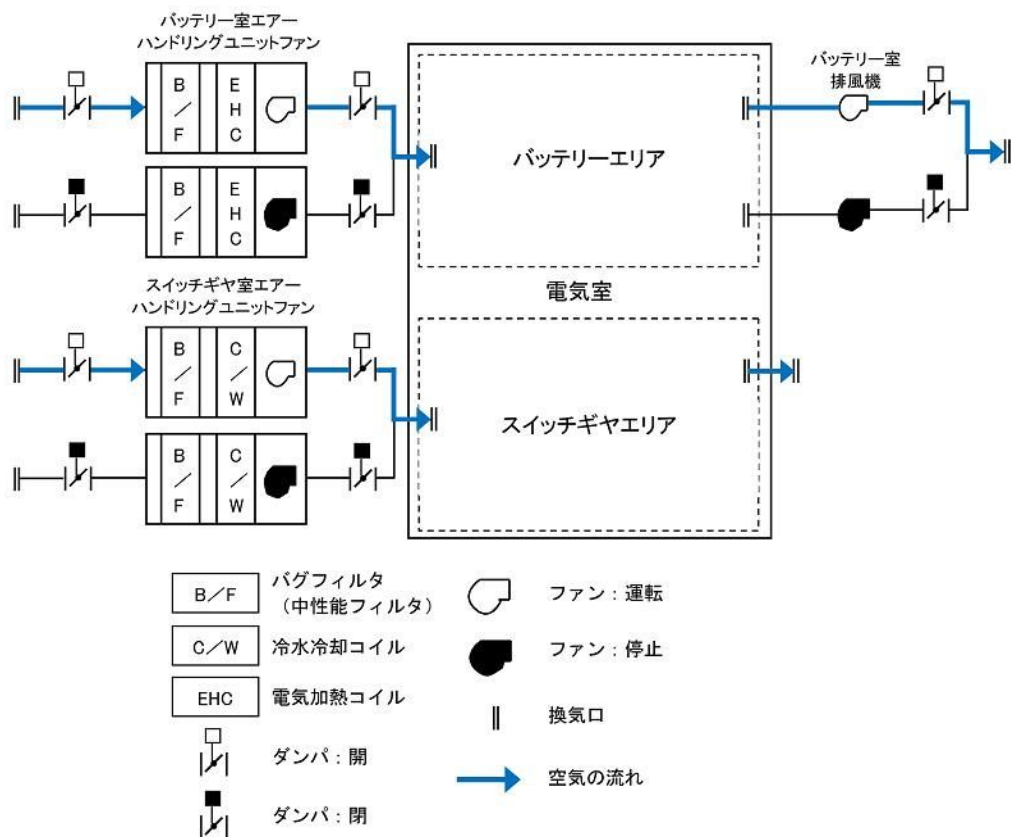


図 2.4.2-4 電気室換気系

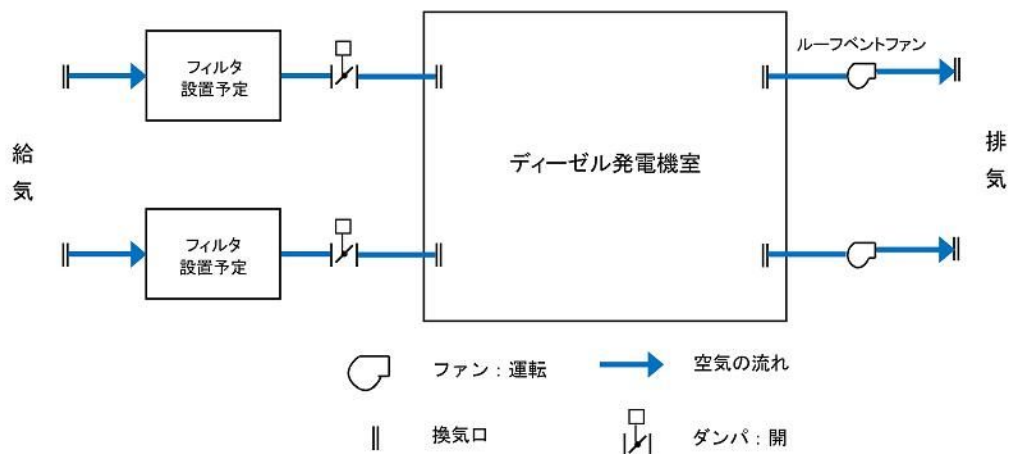


図 2.4.2-5 ディーゼル発電機室換気系

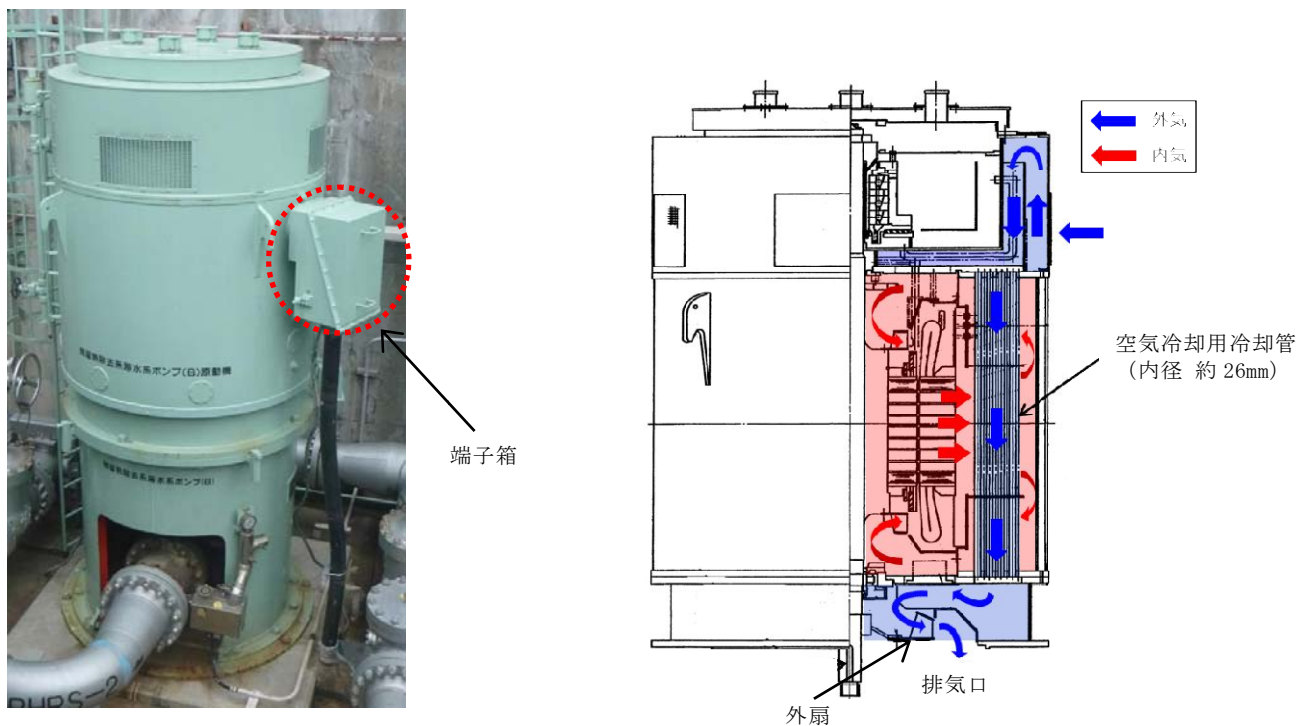


図2. 4. 2-6 残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図

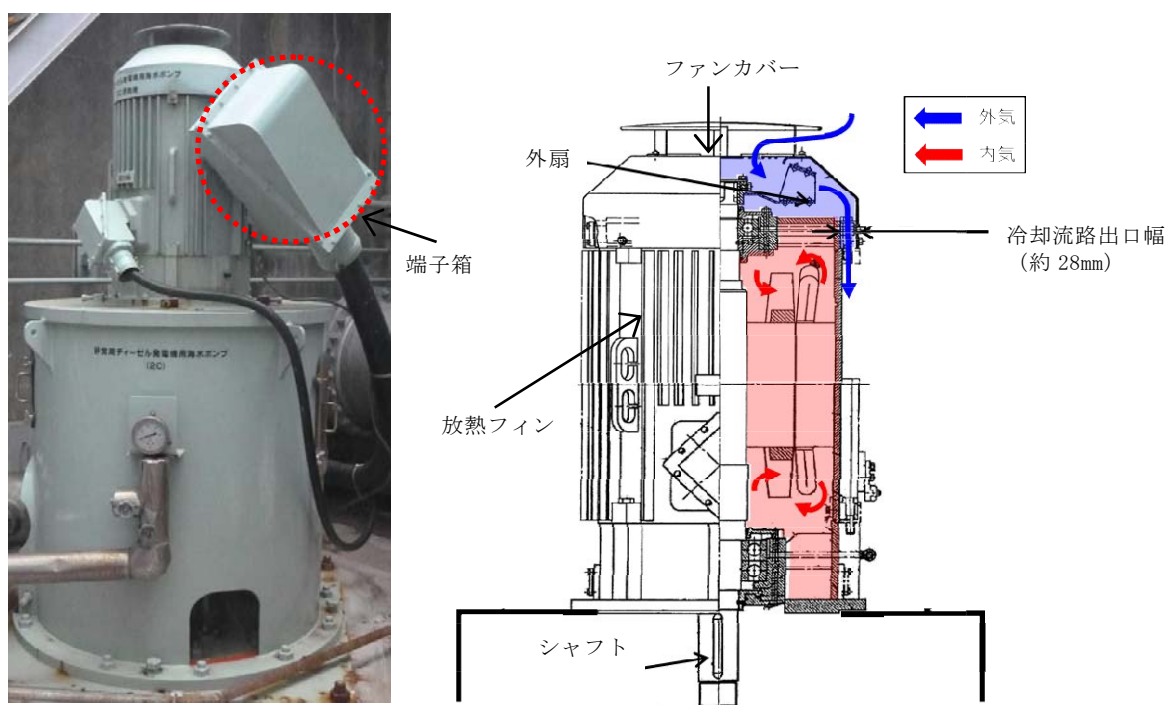


図 2. 4. 2-7 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機 構造図

3. 安全機能を維持するための運用対策

3.1 防火帯の確保

森林火災の評価結果に基づき, 森林火災による延焼防止対策として, 防火帯(幅 21.0m)を設定する。また, 防火帯上に可燃物及び消火活動に支障となるものが存在しない管理を行う。

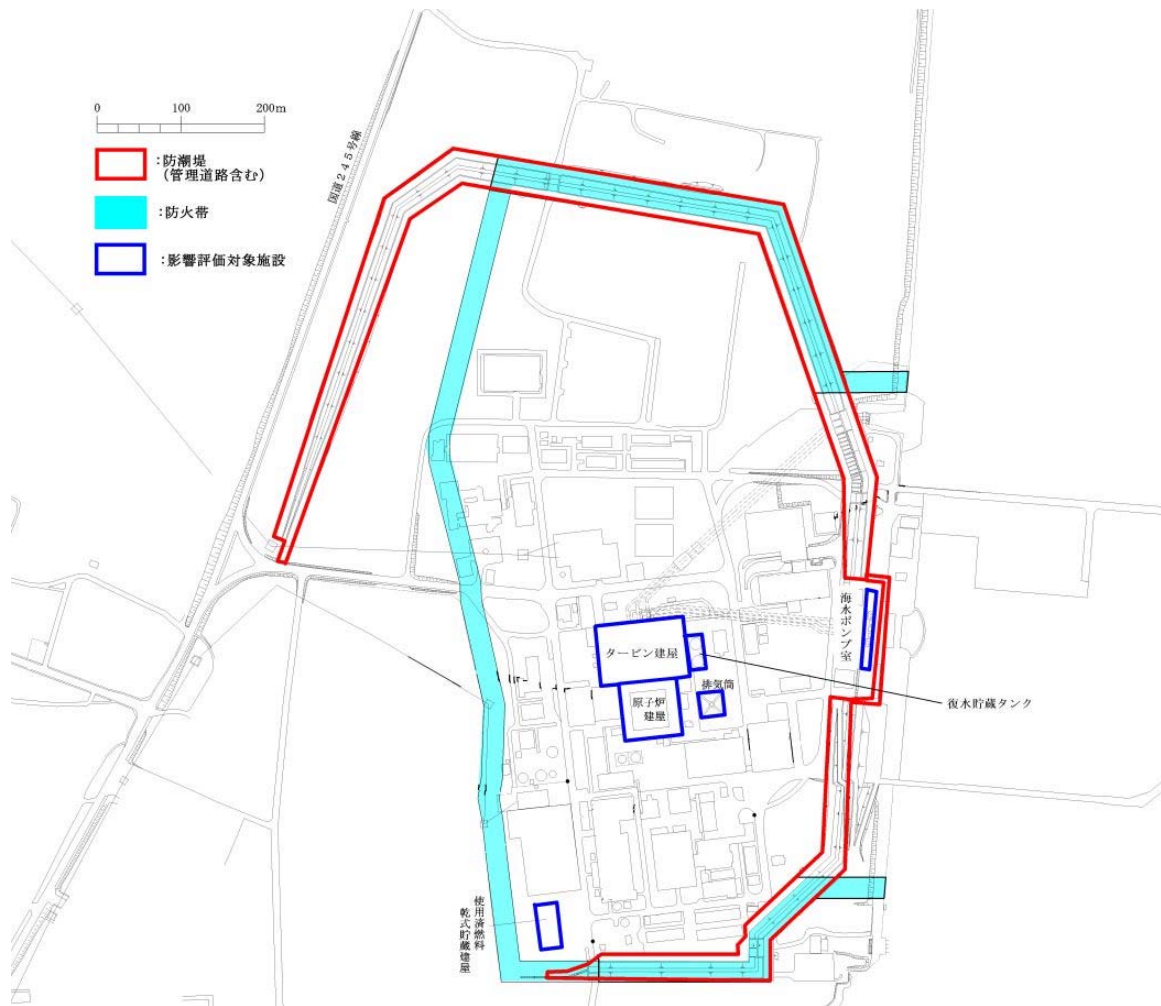


図 3.1-1 防火帯設定図

3.2 消火活動に係る体制

発電所には自衛消防隊（初期消火活動要員 11 名）が 24 時間常駐しており，早期に初期消火活動体制を確立可能である。

外部火災防護対象と影響評価対象の考え方について

1. 外部火災に対する防護対象及び影響評価対象の考え方

「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」の第六条においては，外部からの衝撃による損傷の防止として，安全機能を有する構築物，系統及び機器（以下「SSC」という。）が，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。

したがって，「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類指針」という。）において，安全機能を有するSSCとして定義されているクラス1，2及び3に属するSSCを外部火災に対する防護対象とする。防護対象とするSSCに対しては，外部火災発生時に安全機能に影響を与えることのないよう，消火活動等により防護を図ることとする。

また，クラス1及びクラス2に属するSSCについては，消火活動等の防護手段に期待しない条件のもと，想定される外部火災に対する影響評価を実施し，耐性が十分でない場合においては，対策を行うこととする。（表 1-1 参照）

表 1-1 影響評価対象の選定（クラス 1，2）（1/4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内 設置※1	屋外 設備等	熱影響評価		ばい煙 評価 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定義	機能	構造物，系統又は機器			建屋 外壁※1	個別 機器	
PS-1	その損傷又は故障に よる， (a) 炉心の著しい損傷 又は (b) 燃料の大量の破損を 引き起こすおそれのある 構造物，系統及び機器	1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系（計装等の小口径配管・機器は除く。） ・原子炉圧力容器 ・原子炉再循環ポンプ ・配管・弁 ・隔離弁 等	○		○		
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング ・制御棒駆動機構カップリング 等	○		○		
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物 ・シュラウド ・シュラウドサポート ・上部格子板 ・炉心支持板 ・制御棒案内管 等	○		○		
			燃料集合体（ただし，燃料を除く。） ・上部タイプレート ・下部タイプレート 等	○		○		
MS-1	1) 異常状態に発生時炉を停止し，緊急停止し，残留熱を除去し，炉圧を防止し，公衆への放射線の影響を防止する構造物，系統及び機器	1) 原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系（制御棒及び制御棒駆動系（スクラム機能）） ・制御棒 ・制御棒案内管 ・制御棒駆動機構 等	○		○		
		2) 未臨界維持機能	原子炉停止系（制御棒による系，ほう酸水注入系） ・制御棒 ・制御棒駆動機構カップリング ・ほう酸水注入系 －ほう酸水注入ポンプ －ほう酸水貯蔵タンク 等	○		○		
		3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁（安全弁としての機能）	○		○		
		4) 原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統 ・残留熱除去系（原子炉停止時冷却モード） －ポンプ －熱交換器 ・原子炉隔離時冷却系 －ポンプ －サブプレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サブプレッション・プール ・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） －駆動用室素源（直接関連系） 等	○		○		
			・原子炉隔離時冷却系 －復水貯蔵タンク（直接関連系） ・高圧炉心スプレイ系 －復水貯蔵タンク（直接関連系） 等		○ （屋外）		○	

※1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋。

表 1-1 影響評価対象の選定（クラス 1，2）（2/4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内 設置※1	屋外 設備等	熱影響評価		ばい煙 評価 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定義	機能	構造物，系統又は機器			建屋 外壁※1	個別 機器	
MS-1	1) 異常状態に発生時炉を緊急停止し，残留熱を除去し，原子炉冷却材の過圧防止，敷地周辺の放射線の影響を防止する構造物，系統及び機器	5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 ・残留熱除去系（低圧注水系） －ポンプ －サブレッション・プール ・低圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サブレッション・プール ・高圧炉心スプレイ系 －ポンプ －サブレッション・プール ・自動減圧系（逃がし安全弁）等	○		○		
			・高圧炉心スプレイ系 －復水貯蔵タンク（直接関連系）等		○ （屋外）		○	
		6) 放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能	格納容器 ・格納容器本体 ・貫通部等	○		○		
			格納容器隔離弁	○		○		
			格納容器スプレイ冷却系 ・ポンプ ・熱交換器 ・サブレッション・プール等	○		○		
			原子炉建屋	○		○		
			非常用ガス再循環系 ・排風機等	○		○		
			非常用ガス処理系 ・排風機等	○		○		
			非常用ガス処理系 ・排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能） （直接関連系）		○ （屋外）		○	
			可燃性ガス濃度制御系	○		○		
	2) 安全上必要なその他の構造物，系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系の作動信号の発生機能	安全保護系	○		○		
		2) 安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系（MS-1関連のもの） ・ディーゼル機関 ・発電機等	○		○		○
			・非常用ディーゼル発電機燃料移送系 ・軽油貯蔵タンク		○ （屋外）		※2	

※1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋。

※2：非常用ディーゼル発電機の燃料である軽油貯蔵タンクは，地下化することから外部火災の熱影響は受けないものと考えられるため，影響評価対象外とする。

表 1-1 影響評価対象の選定（クラス 1，2）（3/4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内 設置※1	屋外 設備等	熱影響評価		ばい煙 評価 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定義	機能	構築物，系統又は機器			建屋 外壁※1	個別 機器	
MS-1	2) 安全上必要な構造物，系統及び機器	2) 安全上特に関連機能	制御室及びその遮蔽・非常用換気空調系（MS-1 関連のもの） ・中央制御室及び中央制御室遮蔽 ・中央制御室換気空調系 －非常用再循環送風機 －非常用再循環フィルタ装置等	○		○		○
			非常用補機冷却水系（MS-1 関連のもの） ・残留熱除去系海水系 －ポンプ ・非常用ディーゼル発電機海水系 －ポンプ ・高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機海水系 －ポンプ等		○ （屋外）		○	○
			直流電源系（MS-1 関連のもの） ・蓄電池等	○		○		
PS-2	1) その損傷発生の要因は，炉心圧力バウンス等によるもので，炉心の破損に起因するおそれがある構造物，系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし，炉冷却材圧力バウンス等による破損に起因するおそれがある構造物，系統及び機器は除く。）	主蒸気系（格納容器隔離弁の外側のみ）	○	○ （タービン建屋）	○	※2	
			原子炉冷却材浄化系（格納容器隔離弁の外側のみ）	○		○		
		2) 原子炉冷却材圧力バウンスに直接接しないものであって，放射性物質を貯蔵する機能	放射性廃棄物処理施設（放射能インベントリの大きいもの）	○		○		
			使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む。）	○		○		
			使用済燃料乾式貯蔵容器	○		○		
	2) 通常運転時の過渡に要するもので，炉心の破損に起因するおそれがある構造物，系統及び機器	3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備 ・燃料交換機 ・原子炉建屋クレーン等	○		○		
		1) 安全弁及びのり逃がし機能	逃がし安全弁（吹き止まり機能に関連する部分）	○		○		

※1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋。

※2：主蒸気系（格納容器隔離弁の外側のみ）の破損により，周辺の公衆に対し，著しい被ばくリスクを与えない。（設置変更許可申請書 添付書類十 主蒸気管破断より）

表 1-1 影響評価対象の選定（クラス 1，2）（4／4）

分類	安全機能の重要度分類			設備設置場所		影響評価項目		
				建屋内 設置※1	屋外 設備等	熱影響評価		ばい煙 評価 外気を取り 込む又は屋 外設置
	定義	機能	構築物，系統又は機器			建屋 外壁※1	個別 機器	
MS-2	1) PS-2 の構築物，系統及び機器又ははより周辺に放射線の影響を小さくする構築物，系統及び機器	1) 燃料プール水の補給機能	非常用補給水系 ・残留熱除去系 ーポンプ ーサプレッション・ プール 等	○		○		
		2) 放射性物質放出の防止機能	放射性気体廃棄物処理系の隔離弁		○ (タービン建屋)	※2	※2	
			排気筒（非常用ガス処理系排気管の支持機能以外）		○ (屋外)		○	
			燃料集合体落下事故時放射能放出を低減する系 ・原子炉建屋 ・非常用ガス再循環系及び非常用ガス処理系	○		○		
	2) 異常状態への対応に重要な構築物，系統及び機器	1) 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	○		○		
		2) 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）	○		○		

※1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋。

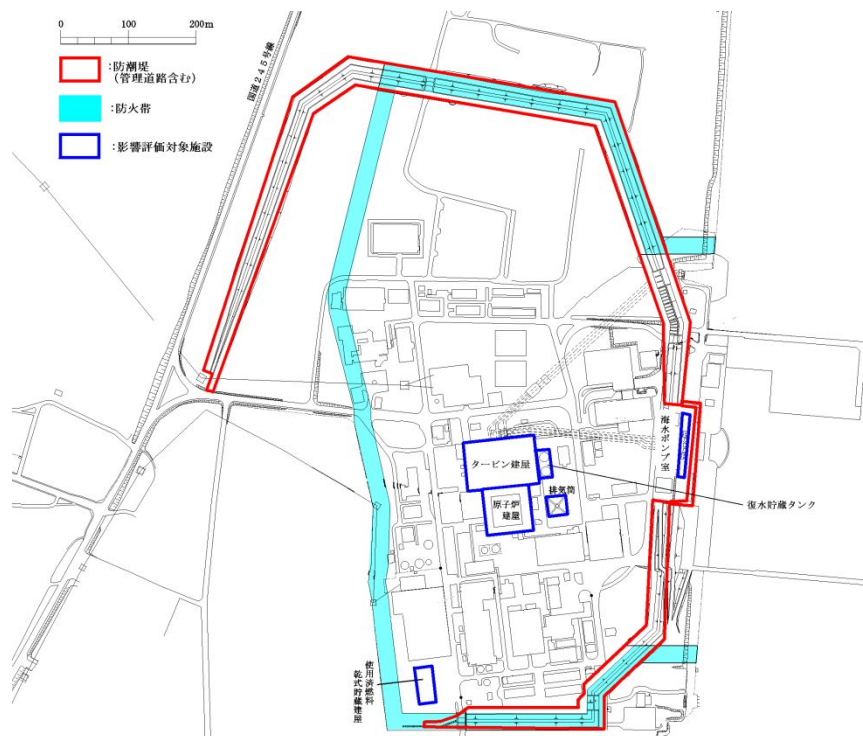
※2：森林火災及び危険物貯蔵施設の火災に対しては，タービン建屋外壁で防護する。航空機墜落による火災に対しては，航空機墜落発生によりタービン建屋に影響を及ぼす可能性がある場合は，即座に原子炉手動スクラム及び主蒸気隔離弁手動閉とする手順とするため，火災の影響で放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が破損したとしても，周辺の公衆に対し，著しい被ばくリスクを与えない（別紙 1.1）。

2. 影響評価内容

(1) 熱影響評価

影響評価対象として選定したSSCのうち、原子炉建屋内、海水ポンプ室内、使用済燃料乾式貯蔵建屋内及びタービン建屋内に設置されている施設については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、当該建屋の外側コンクリート壁の温度評価を実施し、コンクリートの健全性が確保されることを確認する。

また、影響評価対象として選定したSSCのうち、排気筒及び復水貯蔵タンクについては、屋外に設置されていることから、これらの施設の設置状況等を考慮して熱影響を評価する。(図 2-1 参照)



※：タービン建屋は航空機墜落による火災に対しては影響評価対象外。

図 2-1 東海第二発電所 外部火災に対する影響評価対象施設配置図

(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響評価として、ばい煙等により影響を受けると想定される SSC に対して影響評価を実施する。

ばい煙等による機器への影響として、外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む空調系統及び屋外設置機器を選定し評価する。

また、ばい煙等による中央制御室に対する居住性への影響を評価する。

3. クラス 3 に属する SSC について

クラス 3 に属する SSC のうち、原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置されている SSC については、各建屋により防護される。それ以外の SSC については、外部火災発生時に安全機能が影響を受けることのないよう、防火帯幅の確保及び消火活動の実施による防護並びに代替施設による安全機能の維持を図ることとする。

(表 3-1 参照)

表 3-1 クラス 3 に属する S S C の外部火災発生時の防護について (1/2)

【外部火災発生時の防護方法】

- ①：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁により防護
 ②：防火帯幅の確保により防護
 ③：消火活動により防護
 ④：代替施設により安全機能を維持

分類	安全機能の重要度分類			設置場所				外部火災発生時の防護	
				建屋内設備			屋外		
	定 義	機 能	構築物、系統又は機器	原子炉建屋等※1	タービン建屋	個別建屋			
PS-3	1) 異常状態の起 因事象とな るものであ つて、PS-1 及び PS-2 以外の構築 物、系統及 び機器	1) 原子炉冷却材保持機能 (PS-1 , 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 ・ 計装配管 ・ 試料採取系配管等	○				① , ②	
		2) 原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	○				① , ②	
		3) 放射性物質の貯蔵機能	復水貯蔵タンク					○	② , ③
			放射性廃棄物処理施設 (放射能インベントリの小さいもの) ・ 液体廃棄物処理系 ・ 固体廃棄物処理系	○			○		【 原子炉建屋等 】 ① , ② 【 個別建屋 】 ② , ③
			新燃料貯蔵庫	○					① , ②
		4) 電源供給機能 (非常用を除く)	タービン、発電機及びその励磁装置			○			② , ③
			復水系 (復水器を含む)			○			② , ③
			給水系			○			② , ③
			循環水系			○		○	② , ③
			送電線					○	② , ③
			変圧器					○	② , ③
			開閉所					○	② , ③
		5) 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	○					① , ②
			運転監視補助装置 (制御棒価値ミニマイザ)	○					① , ②
			原子炉核計装の一部	○					① , ②
			原子炉プラントプロセス計装の一部	○					① , ②
	6) プラント運転補助機能	補助ボイラ設備	○	○	○	○		【 原子炉建屋等 】 ① , ② 【 その他 】 ② , ③	
		計装用圧縮空気系	○	○	○	○		【 原子炉建屋等 】 ① , ② 【 その他 】 ② , ③	
	2) 原子炉冷却材中放射性物質通常運転にいく程度に低く抑える構築物、系統及び機器	1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中の拡散防止機能	燃料被覆管	○				① , ②	
		2) 原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系	○				① , ②	
			復水浄化系		○			② , ③	

※1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋。

表 3-1 クラス 3 に属する S S C の外部火災発生時の防護について (2/2)

分類	安全機能の重要度分類			設置場所				外部火災発生時の防護
				建屋内設備			屋外	
	定義	機能	構築物，系統又は機器	原子炉建屋等※1	タービン建屋	個別建屋		
MS-3	1) 運転時の異常な過渡変化があってもMS-1, MS-2とあいまって，事象を緩和する構築物，系統及び機器	1) 原子炉圧力上昇の緩和機能	逃がし安全弁（逃がし弁機能）	○				①，②
			タービンバイパス弁		○			②，③
		2) 出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系（再循環ポンプトリップ機能）	○				①，②
			制御棒引抜監視装置	○				①，②
		3) 原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系	○				①，②
			原子炉隔離時冷却系	○				①，②
	2) 異常状態への対応上必要な構築物，系統及び機器	1) 緊急時対策上の重要な状態の把握機能	緊急時対策所			○		②，③
			試料採取系	○				①，②
			通信連絡設備	○	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③，④
			放射能監視設備	○	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③，④
			事故時監視計器の一部	○	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③
			消火系	○	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③，④
			安全避難通路	○	○	○		【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③
			非常用照明	○	○	○	○	【原子炉建屋等】 ①，② 【その他】 ②，③

※ 1：原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋。

4. 重大事故等対処施設について

防護対象として選定した S S C を外部火災から防護することにより，外部火災によって重大事故等の発生に至ることはない。

しかし，外部火災による重大事故等対処施設の破損が，炉心損傷防止対策等の原子炉の安全性に係る対策に大きな影響を与えるおそれがあることから，屋外の重大事故等対処施設については，防火帯幅の確保に加え，外部火災による影響を受けるおそれがある場合には，保管位置から影響を受けない位置への移動，消火活動の実施等の対応を行う。

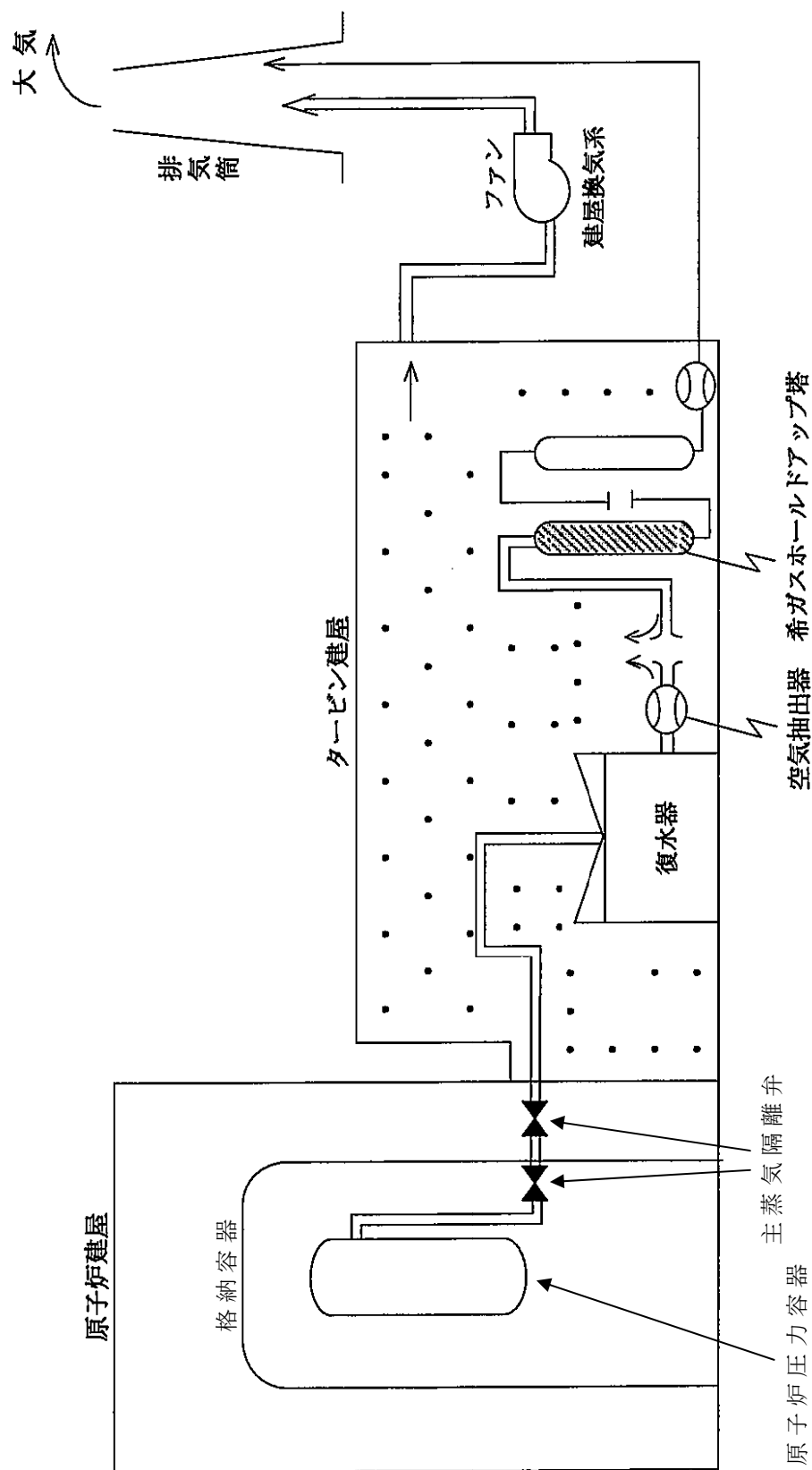
また，原子炉建屋に設置されている重大事故等対処施設については建屋により防護される。

航空機墜落による火災により放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が 破損した場合の影響について

「設置変更許可申請書 添付書類十 放射性気体廃棄物処理施設の破損」では、放射性気体廃棄物処理系の配管破損によりタービン建屋内に放出された希ガスが、タービン建屋換気系を介して排気筒より放出される場合の非居住区域境界外での実効線量を評価し、判断基準である 5mSv を超えないことを確認している。なお、この評価では、破損箇所のうち空気抽出器側（p.別紙 1-2 参照）については事故後 30 分後に隔離されるとして評価を実施している。

一方、航空機墜落による火災により放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が破損する場合は、タービン建屋換気系が機能喪失している可能性があるため、タービン建屋換気系に期待せず、タービン建屋内に放出された希ガスが地上より放出されるとして非居住区域境界外での実効線量を評価した。その結果は約 0.6mSv であり、判断基準である 5mSv を超えていない。なお、この評価では、上記と同様、破損箇所のうち空気抽出器側については事故後 30 分後に隔離されるとして評価を実施しているが、今後は航空機墜落発生によりタービン建屋に影響を及ぼす可能性がある場合は、即座に原子炉手動スクラム及び主蒸気隔離弁手動閉とする手順とするため、隔離時間は事故後 30 分後よりも早くなり、保守性を有した評価結果となっている。

以上より、航空機墜落による火災により放射性気体廃棄物処理系の隔離弁が破損したとしても、周辺の公衆に対し、著しい被ばくリスクを与えることはない。



「沸騰水型原子力発電所 事故時の被ばく評価手法について」
 (株式会社日立製作所, H L R - 021 訂 9, 平成 16 年 1 月) に加筆

放射性気体廃棄物処理施設の破損時の放射能放出経路

森林火災について

1. 目 的

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

- (1) 火炎の到達時間
- (2) 防火帯幅
- (3) 熱影響
- (4) 危険距離

2. 森林火災の影響評価要領

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 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」（以下「評価ガイド」という。）に従い森林火災を想定※し、発電所への影響について評価した。

なお、森林火災の解析に当たっては、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F A R S I T Eを使用し解析を実施した。

※森林火災の想定（評価ガイドより）

- (1) 森林火災における各樹種の可燃物量は現地の植生から求める。
- (2) 気象条件は過去 10 年間を調査し、森林火災の発生件数の多い月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組合せとする。
- (3) 風向は卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。ただし、発火源と発電所の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は、風向データ等から適切に設定できるものとする。
- (4) 発電所からの直線距離 10km の間で設定する。
- (5) 発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。さらに、必要に応じて想定発火点を考え評価する。

2.1 F A R S I T 評価に用いたデータ

(1) 各種入力データ

F A R S I T E に入力したデータは評価ガイド記載に対し表 2.1-1 のとおりとした。

表 2.1-1 F A R S I T E 入力データ

データ種類	入力データ
地形データ	公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。 傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。
土地利用データ	公開情報のなかでも高い空間解像度である「国土数値情報 土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。
植生データ	茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）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・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。 発電所敷地内は，植生調査を実施し，入力データに反映した。
気象データ	茨城県に森林火災の発生件数の多い 12 月～5 月の過去 10 年間の気象条件を調査し，最大風速，最高気温，最小湿度，卓越風向，最大風速時の風向を用いた。

(2) 地形データの設定

公開情報の中でも高い空間解像度である「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データを用いた。傾斜，傾斜方位については標高データから計算した。設定した地形データを図 2.1-1 に示す。

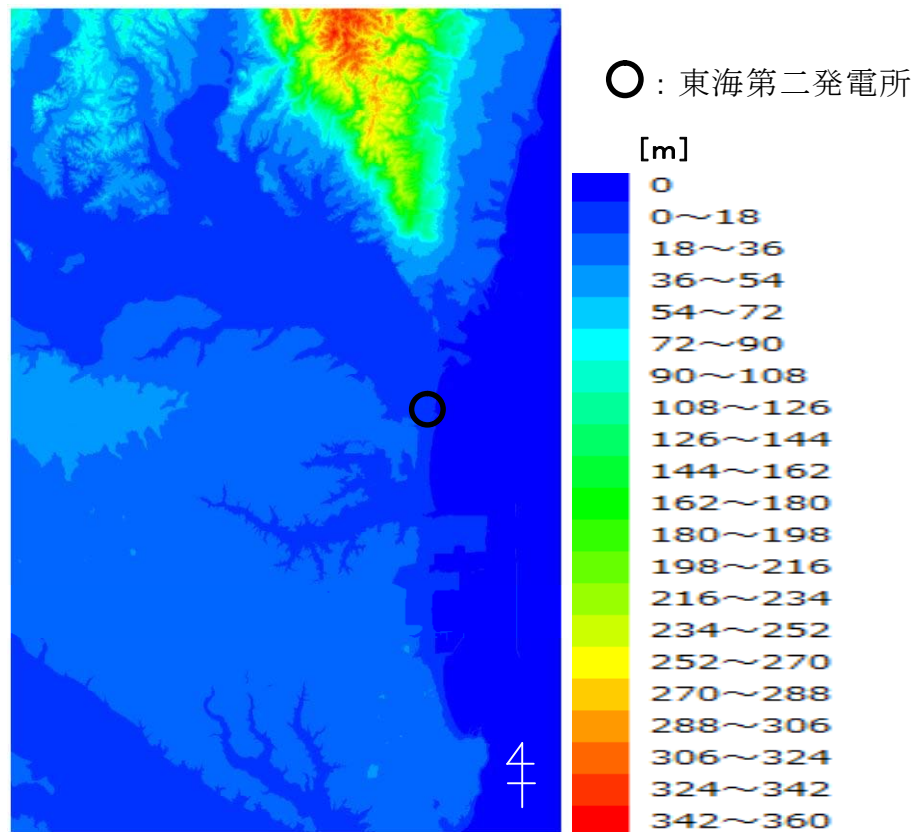


図 2.1-1 地形データ

(3) 土地利用データの設定

公開情報のなかでも高い空間解像度である「国土数値情報 土地利用細分メッシュ（100m）」の土地利用データを用いた。設定した土地利用データを図 2.1-2 に示す。

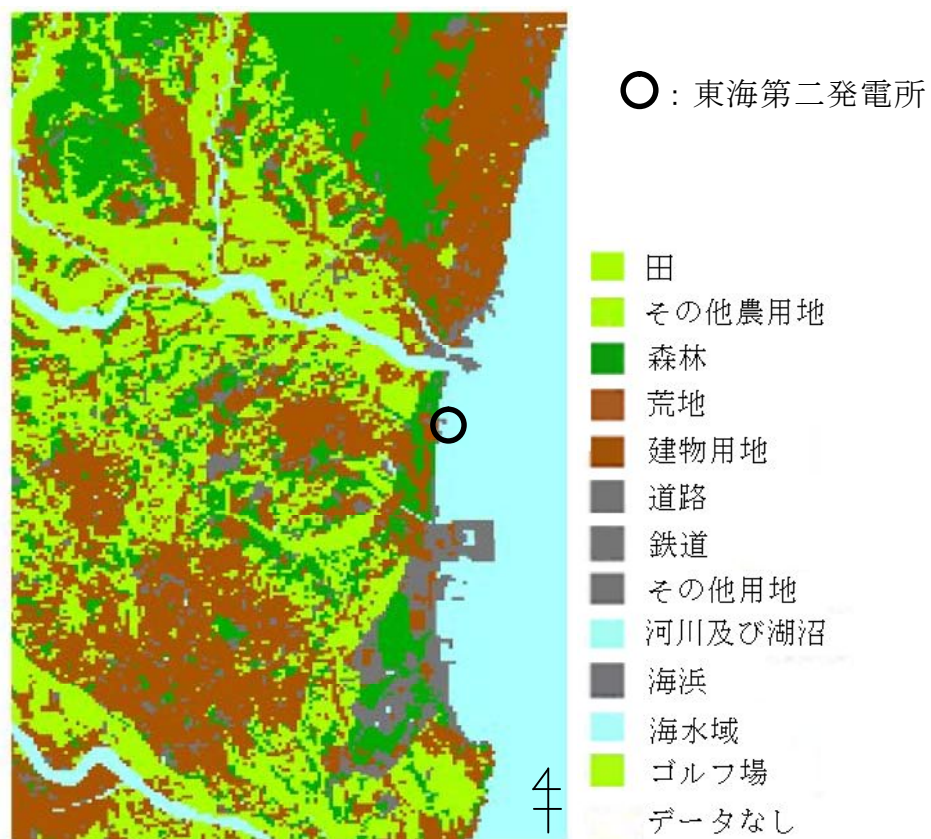


図 2.1-2 土地利用データ

(4) 植生データの設定

茨城県より受領した森林簿（東西南北 12km）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・林齢にて細分化し 10m メッシュで入力した。発電所敷地周辺は，植生調査を実施し，入力データに反映した。設定した植生データを図 2.1-3 に示す。

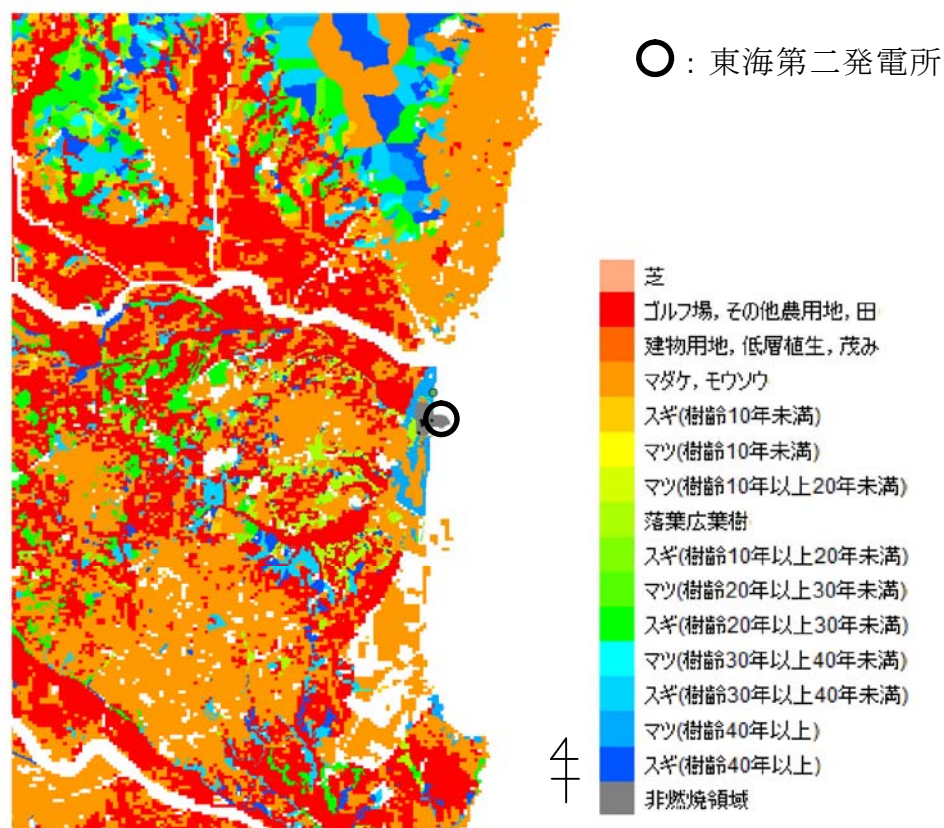


図 2.1-3 植生データ

(5) 気象条件

a. 気象データの整理

東海第二発電所に最も近い距離（約 15km）にある水戸地方気象台の気象観測データから最高気温，最大風速，最大風速記録時の風向及び最小湿度をそれぞれ過去 10 年間（2003 年～2012 年）の月別データから表 2.1-2 のとおり抽出・整理した。

卓越風向は，水戸地方気象台と発電所の過去 10 年間（2003 年～2012 年）の観測データから図 2.1-4，図 2.1-5 のとおり抽出・整理した。

b. 森林火災発生件数の整理

「消防防災年報」（茨城県 2003 年～2012 年）により，茨城県内の月別森林火災件数を表 2.1-2 のとおり抽出・整理した。

c. 気象データの選定

森林火災件数の多い 12 月から 5 月の最高気温（31.4℃），最大風速（14.3m/s），及び最小湿度（11%）を選定した。

最大風速記録時の風向は 1 月～5 月の北東，12 月の南西を選定した。

卓越風向は，水戸地方気象台観測データの最多割合を占める北と，発電所の気象観測データの最多割合を占める西北西を選定した。

表 2.1-2 気象観測データと月別火災発生件数（過去 10 年間）

月	水戸地方気象台 気象観測データ				茨城県内の月別 森林火災件数※
	最高気温 (℃)	最大風速 (m/s)	最大風速記録 時の風向	最小湿度 (%)	
1	16.9	13.4	北東	14	87
2	24.3	11.9	北東	14	124
3	25.2	14.3	北東	11	168
4	29.8	14.0	北東	14	126
5	31.4	13.5	北東	13	52
6	33.5	14.2	北北東	21	16
7	36.4	11.8	北北東	38	18
8	37.0	10.4	南南西	27	21
9	36.1	13.9	北北東	29	21
10	31.1	15.5	北東	25	14
11	24.5	11.8	北北東	18	6
12	25.0	11.2	南西	17	56

※：「消防防災年報」（茨城県 2003 年～2012 年）より

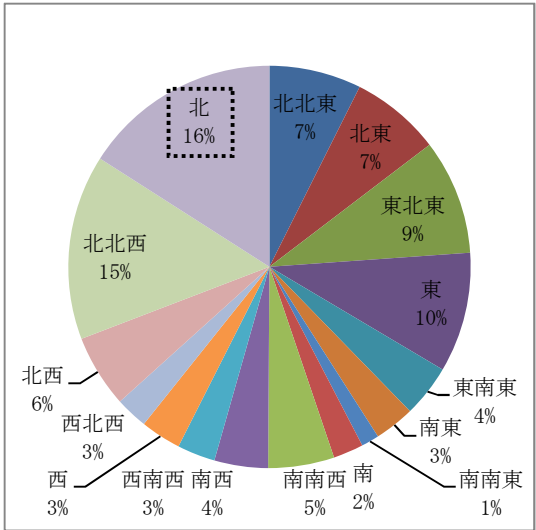


図 2.1-4 卓越風向割合
(水戸気象台：2003 年～2012 年)

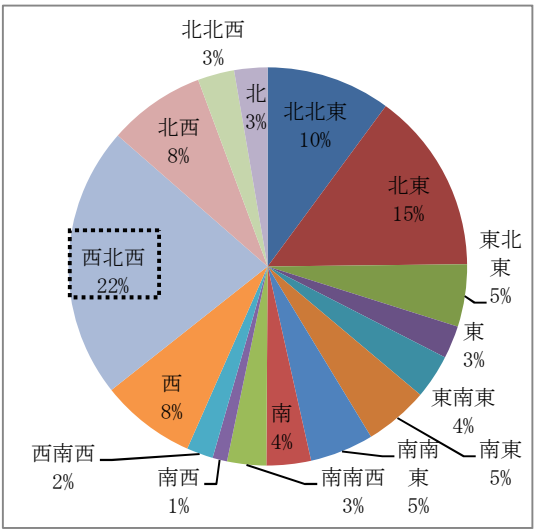


図 2.1-5 卓越風向割合
(発電所：2003 年～2012 年)

(6) 発火点の設定

a. 発火点の設定方針

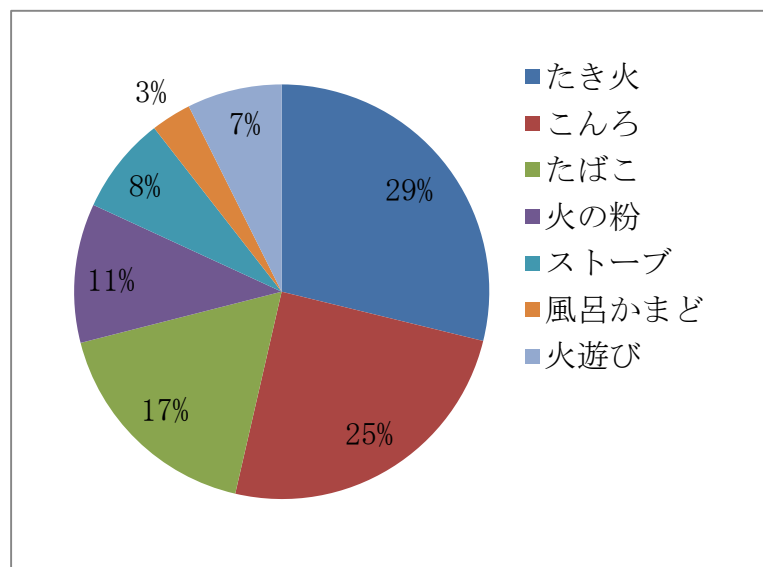
評価ガイドにある森林火災の想定に基づき、発火点の設定は以下の方針とした。

- ・卓越風向及び最大風速記録時の風向が発電所の風上になる地点
- ・たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

なお、茨城県内での主な火災発生原因は、「消防防災年報」（茨城県 2003 年～2012 年）によると、たき火、こんろ、たばこである。

図 2.1-6 に出火原因割合を示す。

この結果に加え、発電所周围の地理的状況等を考慮し、人為的な火災発生原因を想定した。



「消防防災年報」（茨城県 2003 年～2012 年）より

図 2.1-6 出火原因割合

b. 立地条件を考慮した発火点の設定

卓越風向及び最大風速記録時の風向として抽出した4方向（西北西，北，南西，北東）に対し，発火点を以下のとおり設定した。設定した発火点を図2.1-7に示す。

(a) 西北西方向（発火点1，3）

霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末，国道245号線を通行する人のたばこの投げ捨て等を想定し，国道245号線沿いの霊園に発火点1を設定した。

火入れ・たき火等を想定し，県道284号線沿いの水田に，発火点1より遠方となる発火点3を設定した。

(b) 北方向（発火点2，4）

バーベキュー及び花火の不始末等を想定し，海岸沿いに発火点2を設定した。

釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，海岸沿いに発火点2より遠方となる発火点4を設定した。

(c) 南西方向（発火点5，6）

発電所南方向にある危険物貯蔵施設の火災が森林に延焼することを想定し，南方向の危険物施設の近くに発火点5を設定した。

交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定し，国道245号線沿いに発火点6を設定した。

(d) 北東方向（発火点7）

釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定し，一般の人が発電所に最

も近づくことが可能である海岸沿いに発火点 7 を設定した。

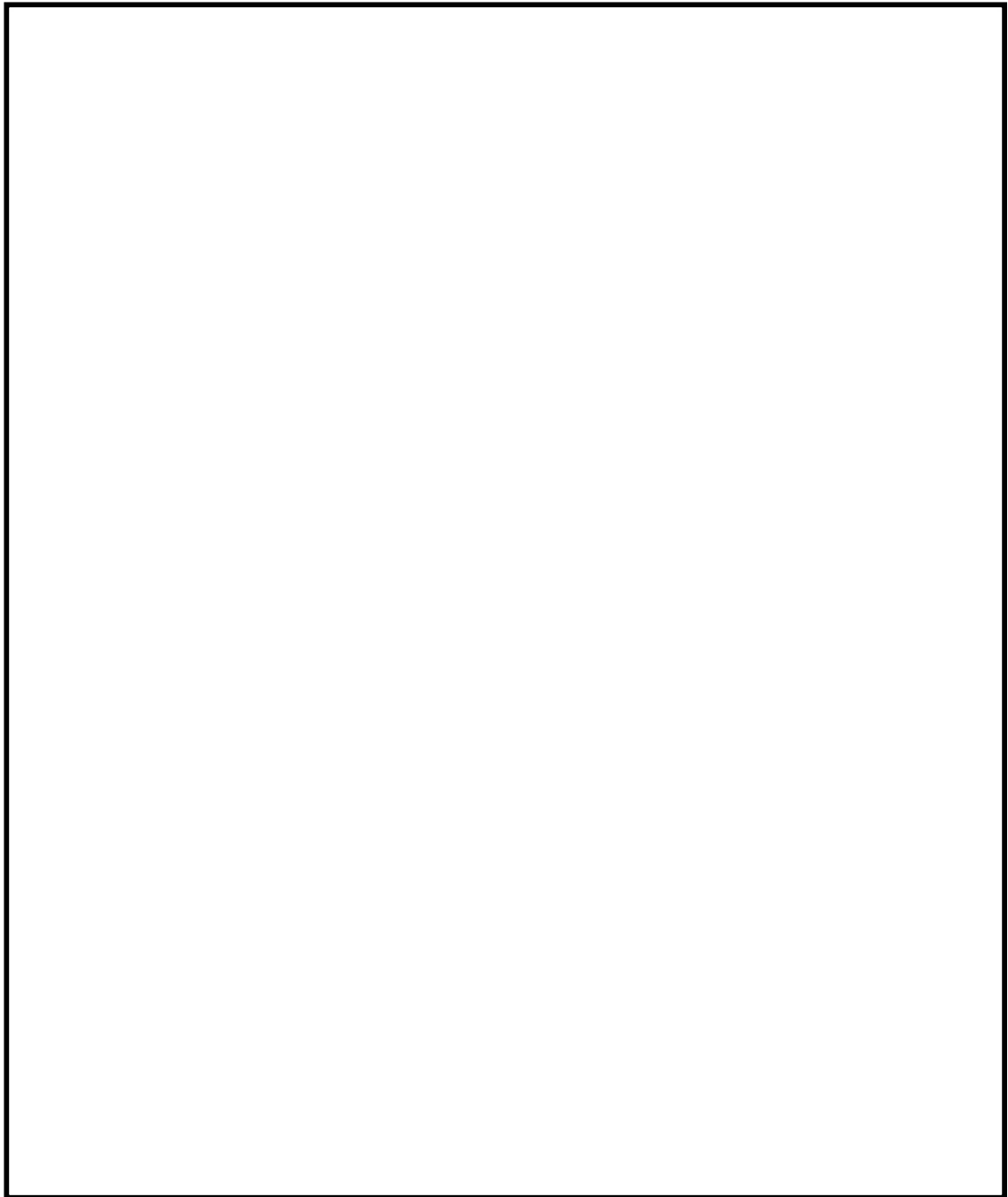


図 2. 1-7 発火点位置と風向

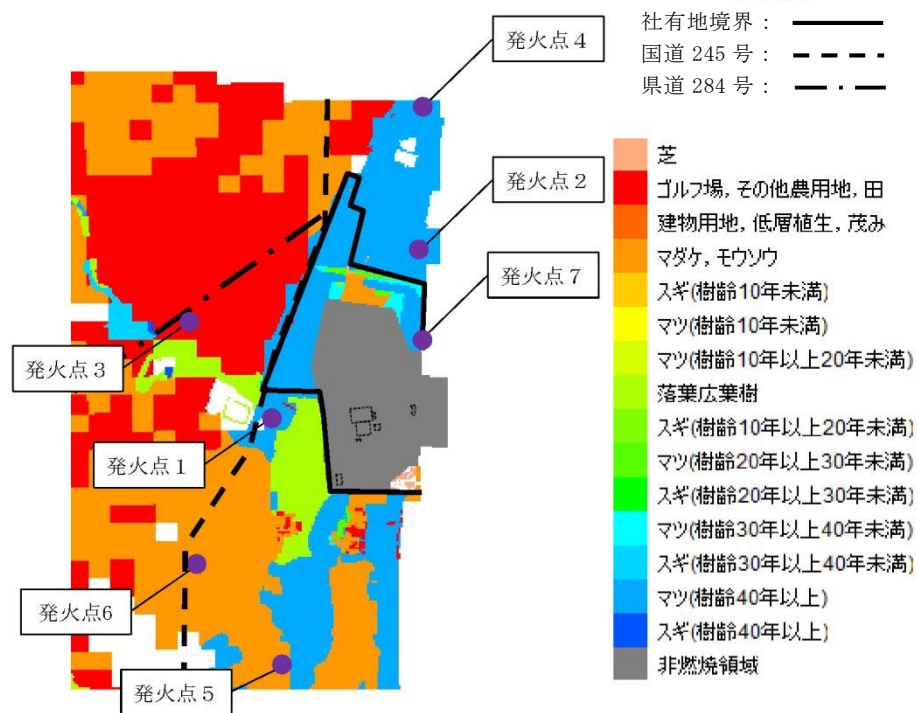


図 2.1-8 発火点位置と植生データ

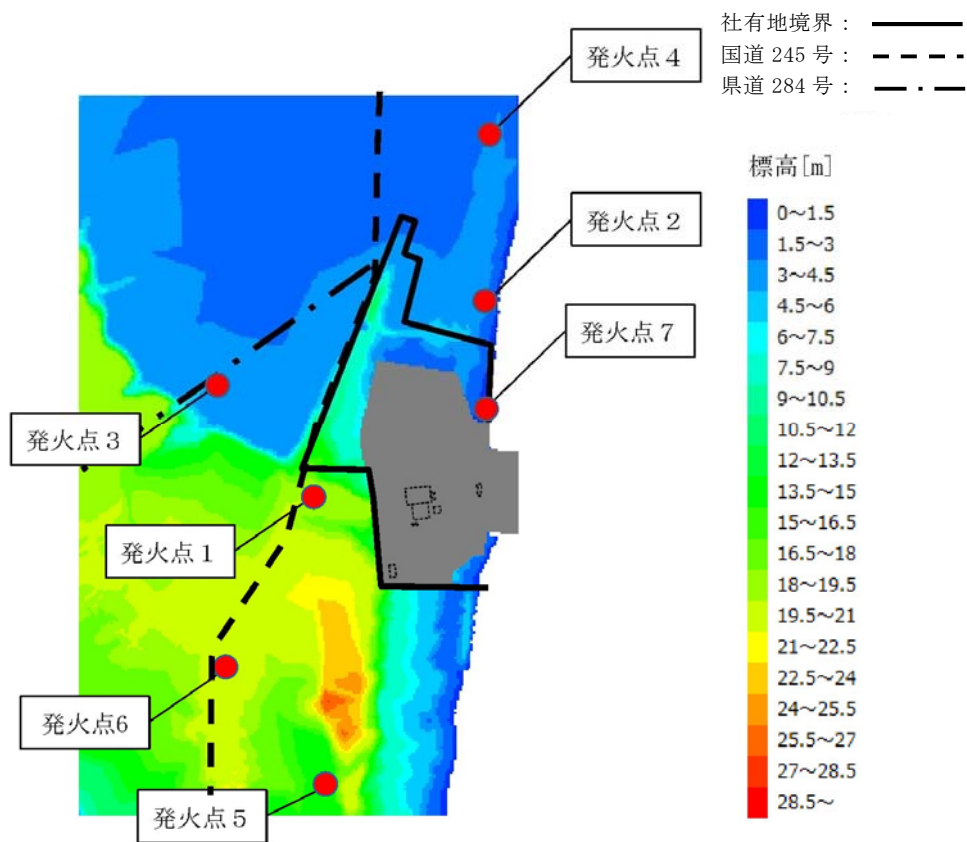


図 2.1-9 発火点位置と標高データ

c. 森林火災評価における発火点の妥当性

(a) 発火点 1, 3 の妥当性

発火点 1 の周辺はマツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）と広葉樹の森林，発火点 3 の周辺は水田（評価では Tall grass を入力）である。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生・標高差に大きな違いはないことから，風が発電所に向う発火点 1, 3 の評価結果に包絡される。また，同じ風向で評価を行う発火点 1, 3 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(b) 発火点 2, 4, 7 の妥当性

発火点 2, 4, 7 の周辺は，マツ 40 年以上（評価ではマツ 10 年以上 20 年未満を入力）の植生が支配的である。北側森林内で発火点を移動させたとしても，植生・標高差に違いはないことから，評価結果は発火点 2, 4, 7 の結果に包絡される。また，同じ風向・同じ植生で評価を行う発火点 2, 4 を比較することで，発火地点から発電所までの距離の違いによる延焼速度，火災規模等の確認が可能である。

(c) 発火点 5, 6 の妥当性

発火点 5 は危険物施設の火災が森林火災に延焼することを想定したものであり，発火点としては妥当である。

発火点 6 の周辺は居住地域（評価では Brush を入力）である。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生・標高差に大きな違いはないことから，風が発電所に向う発火点 6 の評価結果に包絡される。

(d) 発火点 1～7 以外の火災について

設定した発火点以外の火災については、発火点 1～7 の評価結果に包絡される。以下の 2 か所において、評価結果が包絡される理由を示す。

- ・北西方向の居住地域

北西方向の居住地域で発生した火災が発電所へ延焼する場合、まず発電所北側森林に延焼する。北側森林の火災は風が発電所に向う発火点 2, 3, 4, 7 の評価結果に包絡される。

- ・ガソリンスタンド及び周辺居住区域

発電所に最も近いガソリンスタンド（県道 284 号沿い）及び周辺居住区で発生した火災が発電所へ延焼する場合、まず発電所西側森林が火災になる。西側森林の火災は風が発電所に向う発火点 1, 3, 6 の結果に包絡される。

d. 出火時刻の設定

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出火時刻を設定する。

e. 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所から南北及び西側に12km、東側は海岸線までとする。

2.2 F A R S I T E入力データについて

(1) F A R S I T E入力データ

F A R S I T E入力データとして気象，位置，時刻等に関するデータを表 2.2-1，土地利用に関するデータを表 2.2-2，植生に関するデータを表 2.2-3，植生入力に関するフローを図 2.2-1 に示す。保守的に設定したパラメータを各表に示す。

表 2.2-1 F A R S I T E 入力データ（地形・気象等）

項目		入力データ	保守性
地形	標高	「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ」の標高データ，及び標高データから算出した傾斜，傾斜方位を入力	—
	傾斜		
	傾斜方位		
気象	風速	茨城県内で森林火災発生件数が多い（12 月から 5 月）の水戸地方気象台で観測された最大風速（14.3m/s）に相当する 52km/hr を入力	○
	風向	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の卓越風向と最大風速時の風向を下記の発火点に対して入力	○
		発火点①③ 卓越風向（西北西）	
		発火点②④ 卓越風向（北）	
		発火点⑤⑥ 最大風速記録時の風向（南西）	
		発火点⑦ 最大風速記録時の風向（北東）	
	最高気温	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の最高気温（31.4℃）に対して，小数点以下を切り上げた 32℃を最高気温・最低気温として入力。最低気温に対しても 32℃を入力することで保守的に気温の変化を考慮しない。	○
	最低気温		
	最高湿度	茨城県内で森林火災発生件数が多い月（12 月から 5 月）の最小湿度（11%）を入力。最高湿度に対しても 11%を入力することで，保守的に湿度の変化を考慮しない。	○
	最小湿度		
	降水量	保守性を考慮して，降水量は 0 を入力	○
	雲量	保守性を考慮して，雲量は 0 を入力	○
位置	緯度	0 度（保守性考慮して日射強度の高い赤道に設定）	○
	発火点位置	空中写真から位置を確認し，当座標位置に設定	—
時刻	発火日時	茨城県内で森林火災発生件数が最も多い 3 月に設定	—
	発火時刻	日照による感度解析を実施し，最大火線強度発生時刻が 10 時～14 時になるように設定	○
樹冠	樹冠率	植生調査結果を反映し，樹冠率区分 3（一般的な森林）を入力	—
	樹高	15m（デフォルト値）	—
	樹冠下高さ	4m（デフォルト値）	—
	樹冠かさ密度	0.2kg/m ³ （デフォルト値）	—

表 2.2-2 F A R S I T E 入力データ（土地利用データ）

土地利用 区分	入力データ	備 考	保守性
田	Tall Grass (高草：2.5ft)	森林火災の多い 12～5 月に田の可燃物量は少ないが保守的に Tall Grass を入力	○
その他農用地		草地・畑が多いが保守的に Tall Grass を入力	
ゴルフ場		ゴルフ場の芝生は管理されているが，保守的に Tall Grass を入力	
森林	森林簿及び植生調査結果に従い，樹種・林齢毎に設定	表 2.2-3 FARSITE 入力データ（植生データ）参照	—
荒地	Brush (茂み：2.0ft)	草の繁殖を考慮し，Brush を入力	○
建物用地		コンクリート等の非植生が多く延焼しにくいと考えられるが，街路樹・庭等を考慮して Brush を入力	
道路	非燃焼領域	可燃物データは FARSITE 内蔵値を設定	—
鉄道			
その他用地			
河川 及び湖沼			
海浜			
海水域			

表 2.2-3 F A R S I T E 入力データ (植生データ)

	樹種・林齢 区分	入力データ	備 考	保守性
森林簿・植生調査結果	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 10 年未満	スギ林齢 10 年未満	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用 10 年以上のスギ及びマツに対しては保守性を考慮して全て「林齢 10 年以上 20 年未満」を入力する	—
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 10 年以上 20 年未満	スギ林齢 10 年以上 20 年未満		○
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 20 年以上 30 年未満			
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 30 年以上 40 年未満			
	スギ・ヒノキ・カイズカイブキ 林齢 40 年以上			
	マツ・クロマツ林齢 10 年未満	マツ林齢 10 年未満		—
	マツ・クロマツ林齢 10 年以上 20 年未満	マツ林齢 10 年以上 20 年未満		○
	マツ・クロマツ林齢 20 年以上 30 年未満			
	マツ・クロマツ林齢 30 年以上 40 年未満			
	マツ・クロマツ林齢 40 年以上			
	広葉樹 (クスギ, サクラ等)	落葉広葉樹	JNES-RC-Report の FARSITE 植生データを使用	—
	竹林	Chaparral (低木の茂み:6ft)	竹林は直径が細く、密集度が高いことから可燃物量・可燃物厚さが大きい Chaparral を設定。なお、Chaparral は、低層植生の中で最も保守的なパラメータである。	○
	芝, 観葉植物	Short Grass (低草:1ft)	発電所構内は管理が可能なため、Short Grass を入力	—
		Tall Grass (高草:2ft)	敷地外は保守的に Tall Grass を入力	○

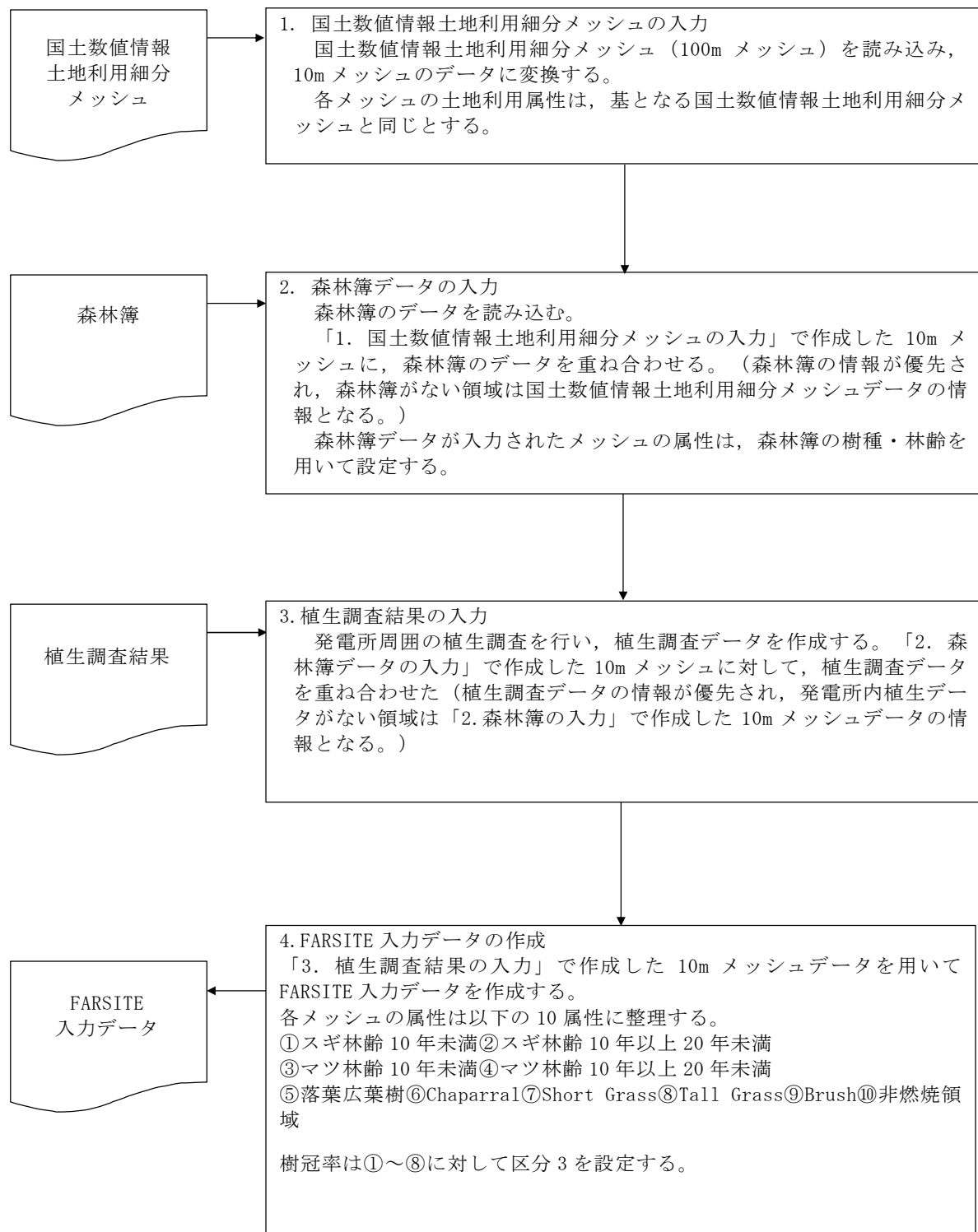


図 2.2-1 FARSITE 植生データ入力フロー

(2) 発電所周囲の植生調査

発電所周囲の森林に対して植生調査を行い，樹種，林齢等の状況を確認し，F A R S I T E入力データに反映する。

a．植生調査期間

平成 26 年 9 月 27 日から 9 月 29 日

b．植生調査者の力量

植生調査に適した資格・経験年数を有している 4 名で実施した。調査者の所有資格・経験年数を表 2.2-4 に示す。

表 2.2-4 植生調査実施者 所有資格・経験年数

	資 格	経験年数
A	技術士（森林部門），林業技士，森林情報士	10 年以上
B	林業技士，森林情報士	10 年以上
C	技術士補（森林部門），森林情報士	9 年
D	林業技士	10 年以上

c. 植生調査結果

(a) 植生調査ポイント

植生調査は当社敷地内及び発電所に隣接する日本原子力研究開発機構敷地を調査範囲とする。調査ポイントを図 2.2-2 に示す。

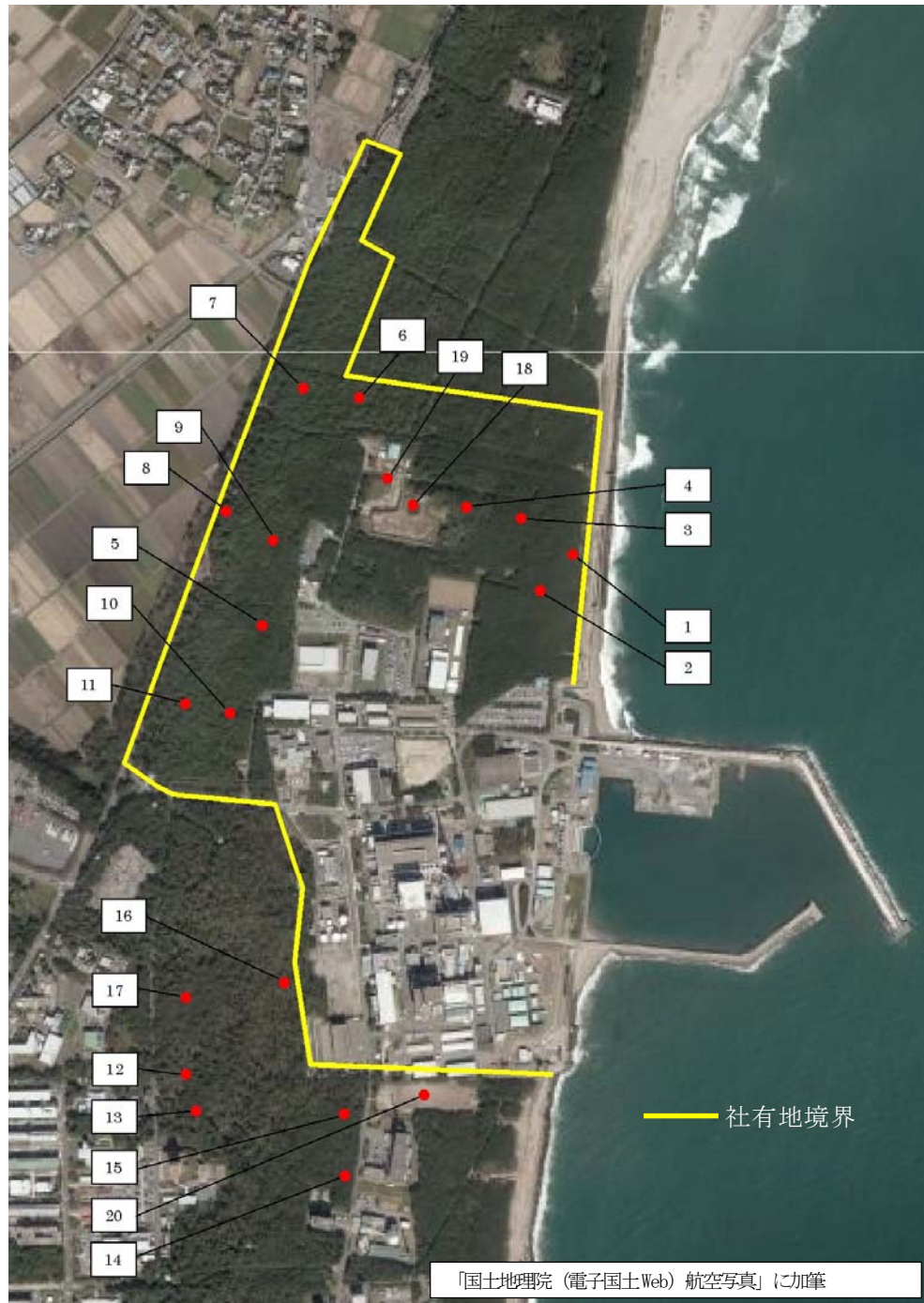


図 2.2-2 植生調査ポイント

(b) 植生調査結果

植生調査結果と F A R S I T E 入力データを表 2.2-5 に示す。発電所周囲のマツは植生調査から 20 年生以上であることを確認したが下草及び保守性を考慮しマツ 10 年以上 20 年未満を入力する。代表的な植生の写真を図 2.2-3 に示す。

表 2.2-5 植生調査結果

ポイント No.	植生区分	特 徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
1	クロマツ 40 年以上	海岸植生の特徴として強風の影響により矮性化している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
2	クロマツ 40 年以上	強風の影響化にあり、一般的な成長と比較して樹高は低めである。常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
3	クロマツ 20 年以上	造成後に植栽された林分であり、一般的な成長を示している。立木密度が高く、低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
4	落葉 広葉樹	一般的な成長を示している。	—	落葉広葉樹	—
5	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に、クロマツが一部補植されている。	1975 年（空中写真から判読）においてクロマツの森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○

ポイント No.	植生区分	特 徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
6	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に、 クロマツが自然発生 している。	1975 年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
7	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層には 常緑広葉樹の低木が 繁茂している。	1975 年（空中写真か ら判読）においてア カマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
8	アカマツ 40 年以上	アカマツの下層は低 木を取り払い管理さ れている。	1975 年（空中写真か ら判読）においてア カマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
9	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に落 葉広葉樹の低木が繁 茂している。	1975 年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
10	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に、 自然に発生したと見 られるアカマツが生 育している。	1975 年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
11	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に常 緑広葉樹の低木が繁 茂している。	1975 年（空中写真か ら判読）においてク ロマツの森林が成 立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
12	常緑 広葉樹林	アカマツの下層低木 であった常用広葉樹 が生育し支配的とな った。	—	落葉広葉樹	—
13	アカマツ 10 年以上	極地的にアカマツが 植栽されている。植 生図に反映するほど の面積はない。	節の数。	落葉広葉樹	—

ポイント No.	植生区分	特 徴	林齢根拠	FARSITE 入力データ	保守性
14	クロマツ 20 年以上	1986 年以前に植栽された林分であり、一般的な成長を示している。低木は見られない。	1980 年代（空中写真から判読）に植栽。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
15	クロマツ 40 年以上	クロマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	1975 年（空中写真から判読）において森林が成立。節の数。	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	○
16	落葉 広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	—	落葉広葉樹	—
17	落葉 広葉樹	クロマツ林の下層低木であった落葉広葉樹が生育し支配的になった。	—	落葉広葉樹	—
18	低草地	雑草等の 0.3m 低草地。	—	草刈りを行い、Brush 管理とする。	○
19	高草地	セイタカ等の 1.0 m 程度の草地。	—	草刈りを行い、Brush 管理とする。	—
20	建物用地	—	—	建物用地であるが保守的に Brush 管理とする。	○

ポイント No.	植生区分	植生写真
1	クロマツ 40 年生	
	強風の影響により矮性化している。	
11	クロマツ 40 年生	
	クロマツの下層に常緑広葉樹の低木が繁茂している。	
12	常緑 広葉樹林	
	アカマツ林の下層低木であった常緑広葉樹が生育し支配的となった。	

図 2. 2-3 代表植生写真 (1/2)

ポイント No.	植生区分	植生写真
18	低草地	
	雑草等の 0.3m 程度の低草地。	
19	高草地	
	セイタカ等の 1.0m 程度の草地。	

図 2.2-3 代表植生写真 (2/2)

(c) 樹種・林齢が混在しているエリアのデータ入力について

樹種・林齢が混在しているエリアについては、単位面積当たりの材積割合から入力データを決定した。マツ 40 年生の下層に細いマツ・広葉樹が存在したとしても、材積割合からみれば微量であるため、材積割合が支配的な樹種・林齢を選択する。下層に広葉樹の侵入・クロマツの補植等がみられたポイント No. 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15 の材積割合を表 2.2-6 に示す。

表 2.2-6 各プロットの材積割合

ポイント No.	ha 当たりの材積 (m ³ ／ha)				支配的な樹種と その材積割合
	マツ 胸高直径		広葉樹 胸高直径		
	8cm 以上	8cm 未満	8cm 以上	8cm 未満	
2	217	0	5	0	マツ 8cm 以上 97%
5	160	0	4	1	マツ 8cm 以上 97%
6	105	8	0	0	マツ 8cm 以上 93%
7	531	0	11	2	マツ 8cm 以上 97%
9	300	0	0	2	マツ 8cm 以上 99%
10	369	1	1	0	マツ 8cm 以上 99%
11	223	0	0	1	マツ 8cm 以上 99%
12	52	0	218	0	広葉樹 8cm 以上 81%
15	172	0	2	1	マツ 8cm 以上 98%

(d) 植生管理に伴う植生変更について

植生調査のポイント No. 19 は高草が点在している。但し，このエリアは工事に伴う残土置き場等にする計画で整地・草刈り等を行う。整地・草刈りを行った後も，継続的にこのエリアの植生管理を行うことを前提に，このエリアの F A R S I T E 入力データを B r u s h（茂み：2ft）とする。図 2.2-4 に管理状態のイメージ図を示す。



図 2.2-4 管理状態イメージ図

(3) 針葉樹，広葉樹の可燃物データ設定について

マツ，スギ，落葉広葉樹等の可燃物パラメータは「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）で使用されているデータを使用した。

a. 針葉樹の設定

発電所周囲の植生はほとんどが林齢 40 年以上のマツ・クロマツであるが，保守性を考慮して，林齢 20 年以上のマツ・クロマツの林齢を一律に 10 年以上 20 年未満として F A R S I T E に設定した。

針葉樹（スギ，ヒノキ，カイズカイブキ，マツ，クロマツ）については，人工林であり，森林簿において、樹木の生長状況を示す林齢が記載

されている。

F A R S I T E入力データとして針葉樹の設定については、実際の森林状況を可能な限り反映するため、針葉樹の地面下草等の可燃物量を林齢に基づき区分している。なお、林齢が増えると、地面下草が減少する。

表 2.2-7 に針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違いを示す。

b. 広葉樹の設定

広葉樹は多くが天然林であるため、林齢は一般に高齢で正確には把握されていない状況にある。広葉樹については、林齢によって地面下草は大きく変化しないことから、保守性を考慮して、針葉樹（林齢 10 年未満）と同じ設定にした。

表 2.2-7 針葉樹と広葉樹の林齢による地面下草の違い（イメージ）

樹種/林齢	10 年生未満の場合	10～20 年生の場合	30 年生以上の場合
針葉樹	日照が入りやすい 	日照が少し入りやすい 	日照が入りにくい 
広葉樹	日照が入りやすい 		

(4) 樹冠率の設定について

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。

F A R S I T E 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、地面下草への日照が低

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では樹冠率を4つに区分し、いずれかを設定するようになっている。

今回の評価においては、東海第二発電所周囲の森林は現地調査において、樹冠率（樹冠疎密度）が60～90%であることを確認したため、区分3を選択した。

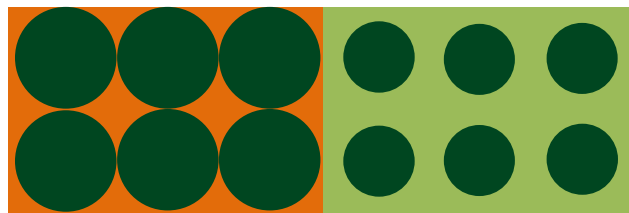


図 2.2-5 樹冠率イメージ図（上から見た図）

表 2.2-8 FARSITE 上の樹冠率設定

FARSITE 区分	樹冠率%	備考
1	～20	—
2	81～50	森林を含む区分
3	50～80	一般的な森林
4	81～100	原生林等

表 2.2-9 FARSITE 上の樹冠率区分による効果

	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
日照低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

3. F A R S I T E 解析結果

3.1 F A R S I T E 解析結果

(1) 火炎到達時間と最大火線強度について

各発火点における防火帯外縁に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と防火帯外縁より 50m の範囲における最大火線強度を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	3.3	2.8	1.6	5.8	3.5	2.4	0.3
最大火線強度 (kW/m)	4,679	1,512	4,661	4,382	3,629	3,621	1,032

(2) 延焼状況

各発火点の延焼状況を表 3.1-2 から表 3.1-8 に示す。

表 3.1-2 発火点 1 の延焼状況

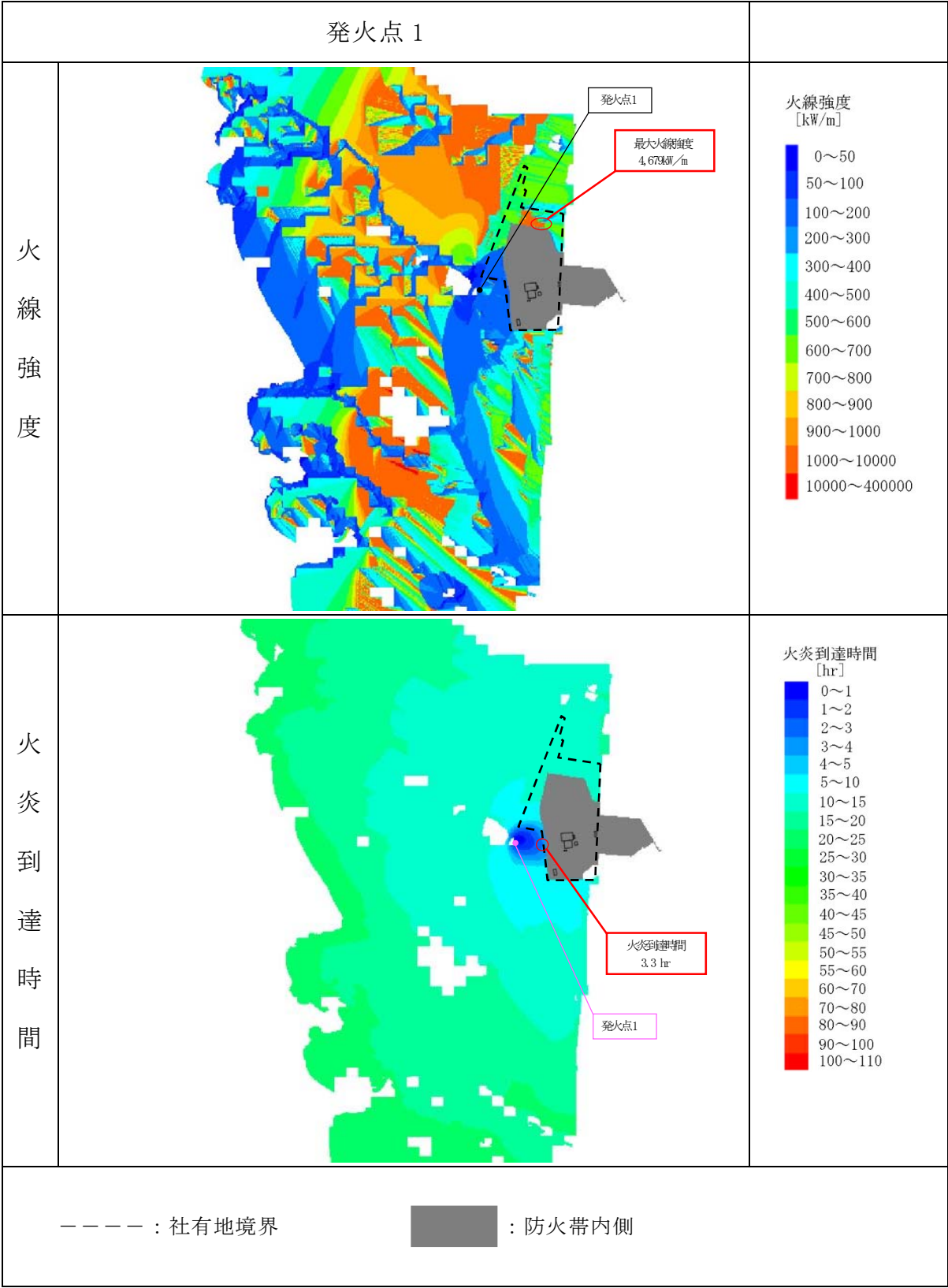


表 3.1-3 発火点 2 の延焼状況

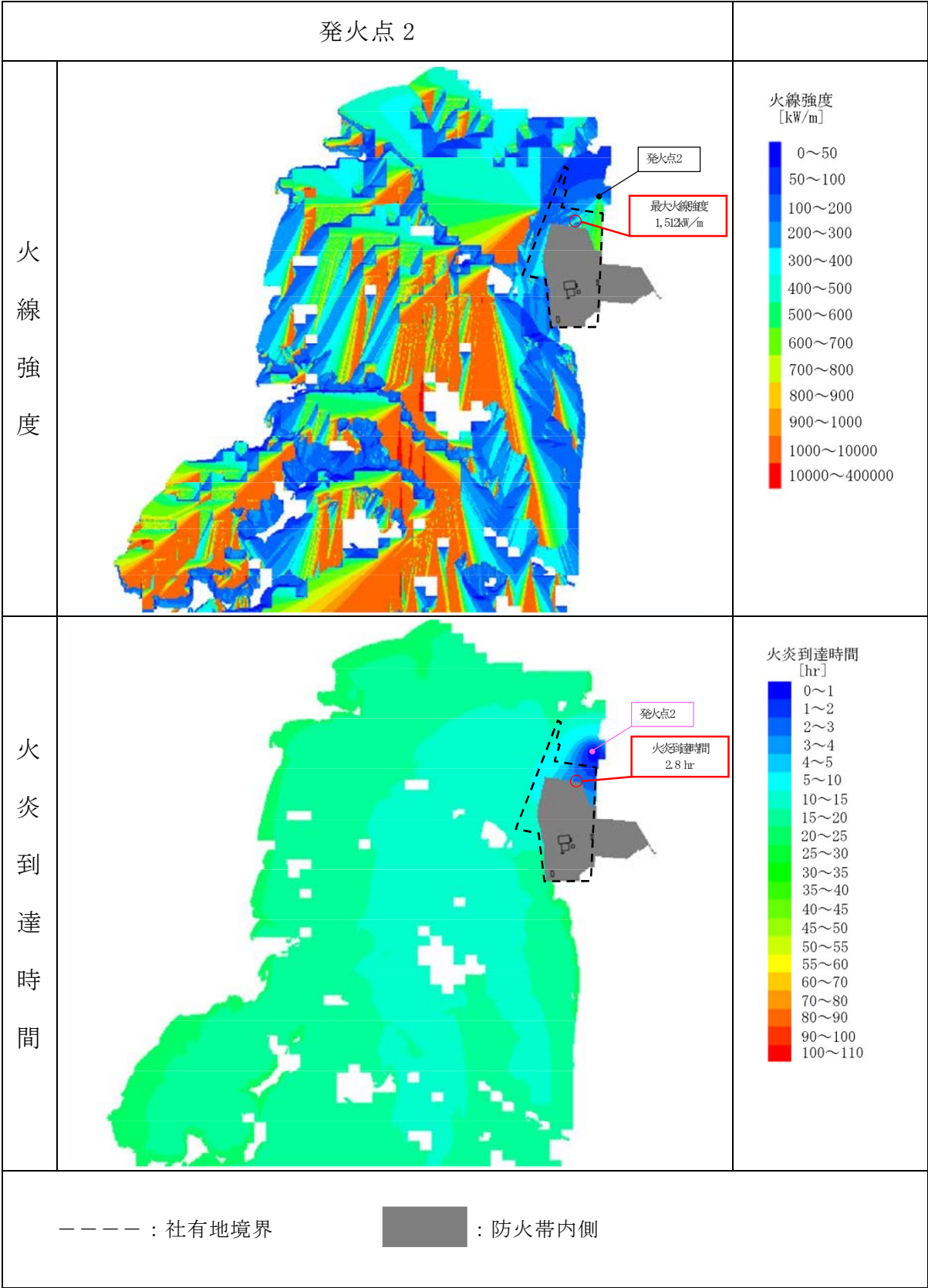


表 3.1-4 発火点 3 の延焼状況

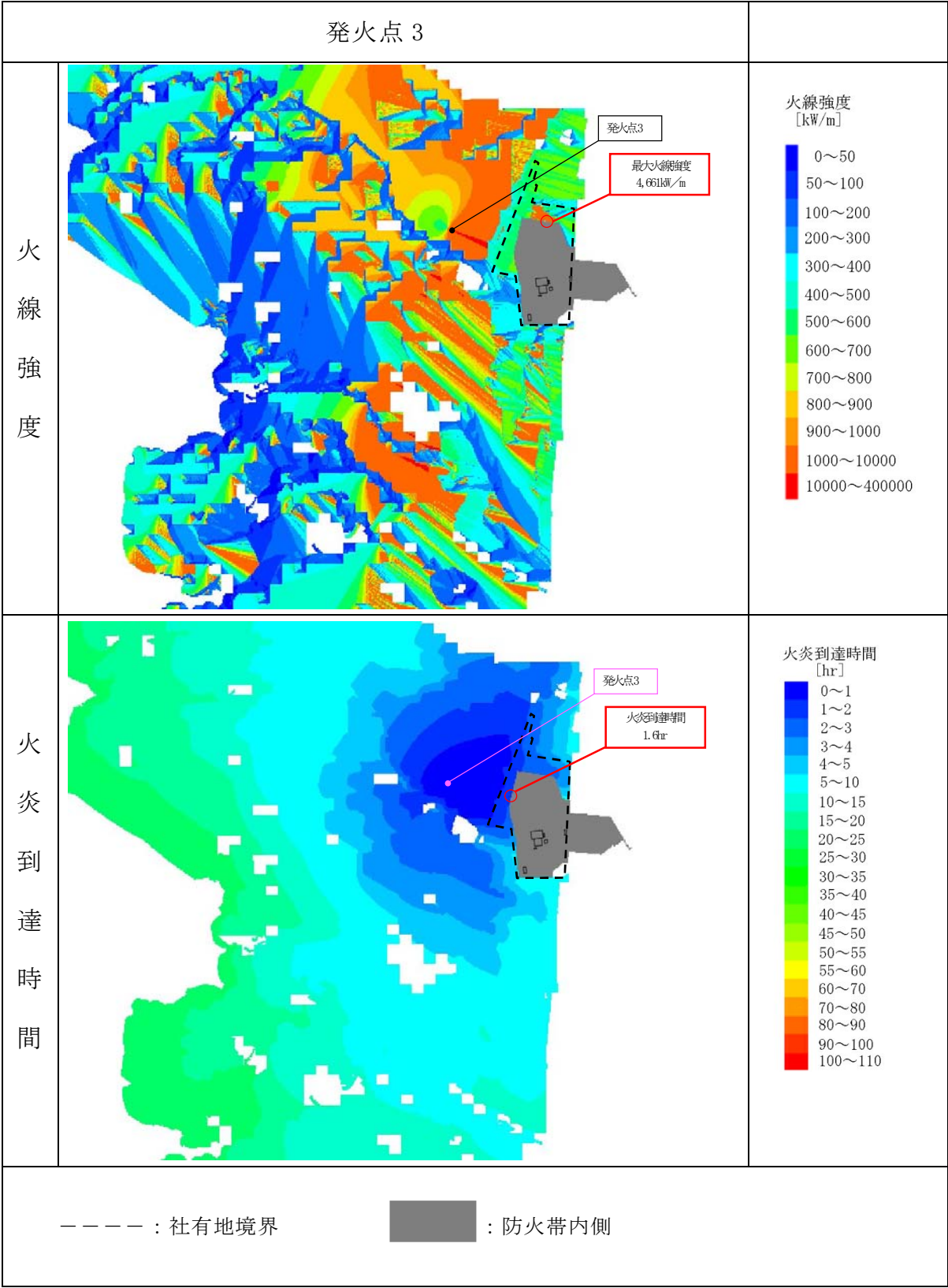


表 3.1-5 発火点 4 の延焼状況

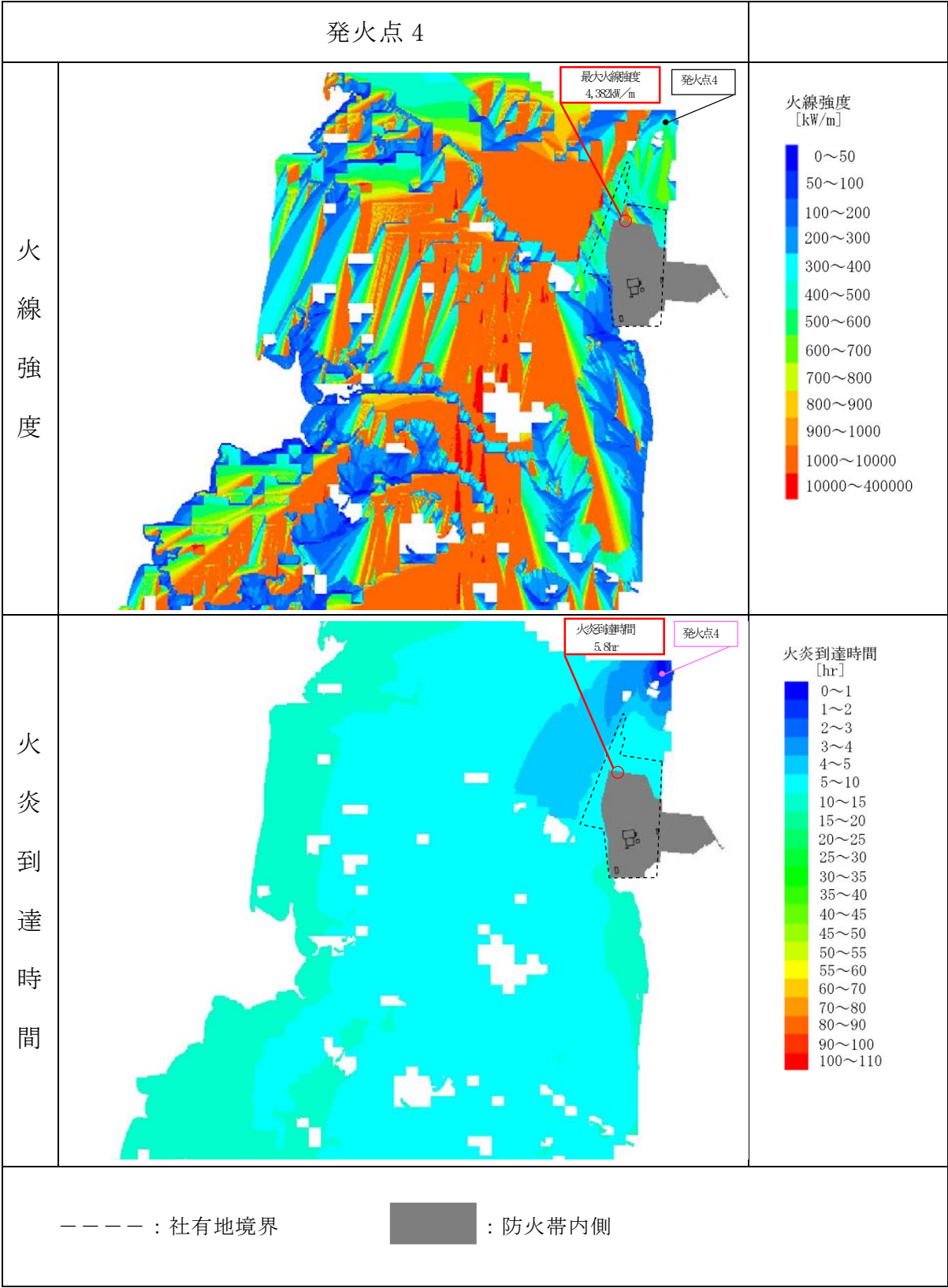


表 3.1-6 発火点 5 の延焼状況

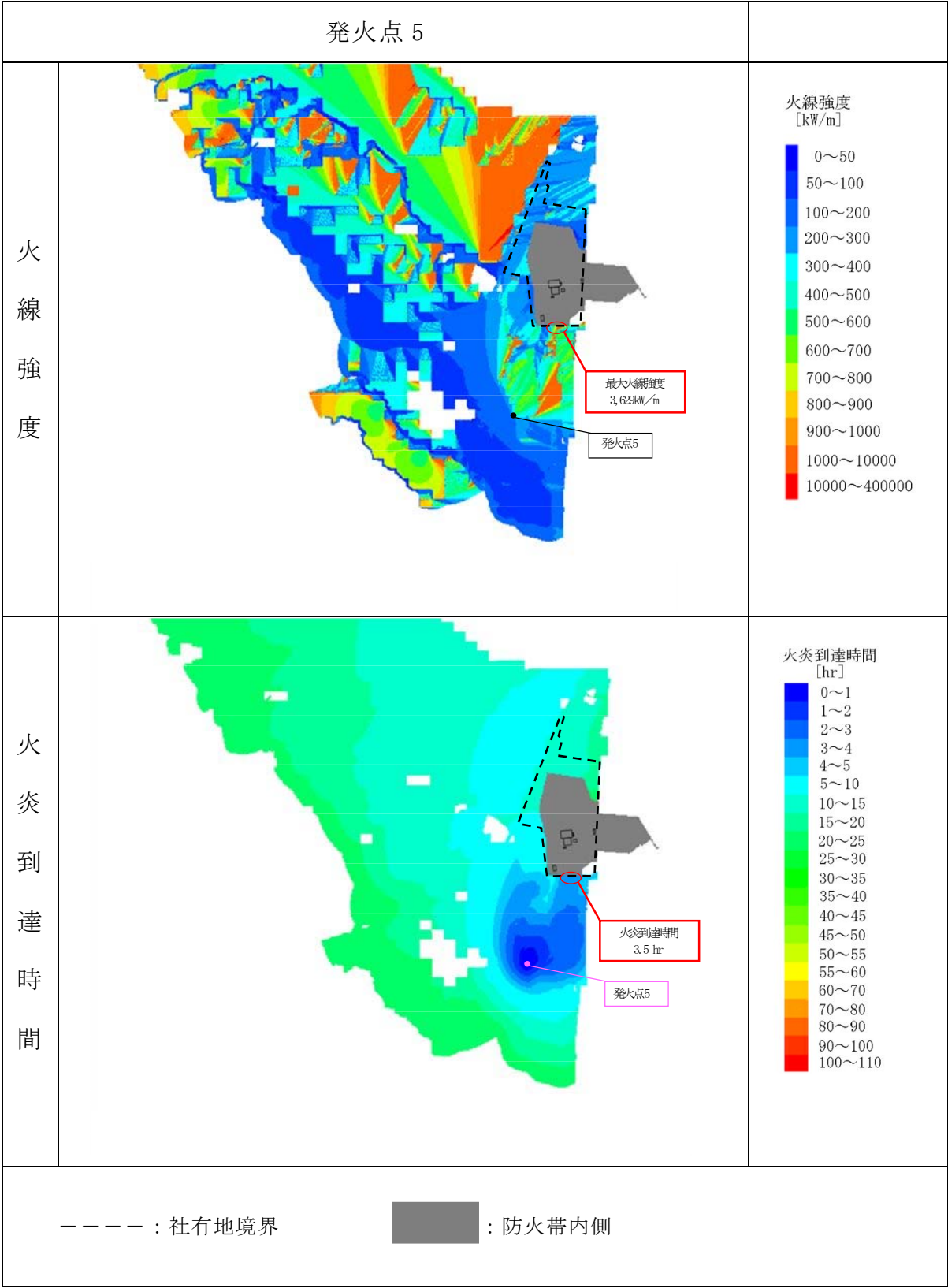


表 3.1-7 発火点 6 の延焼状況

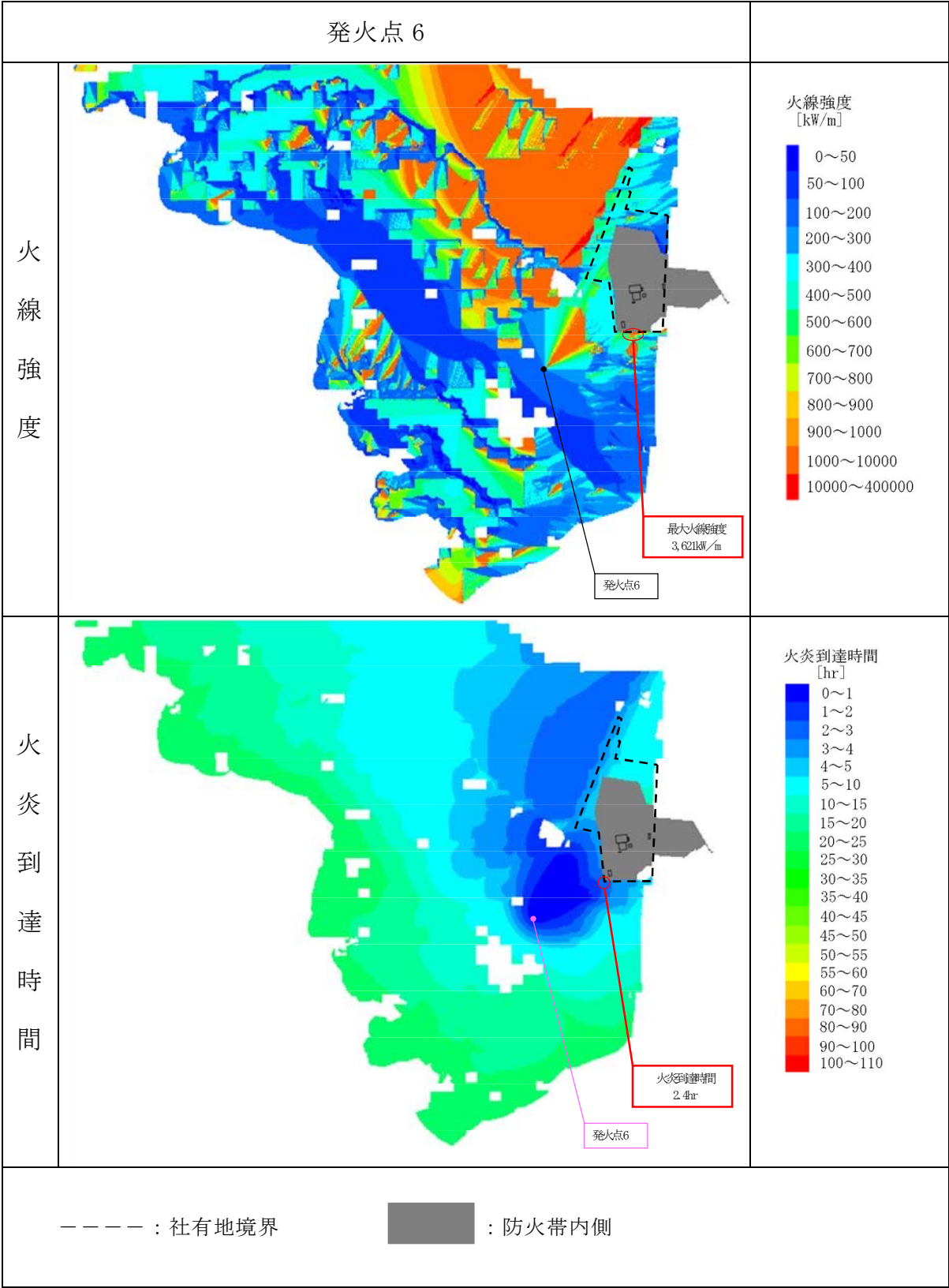
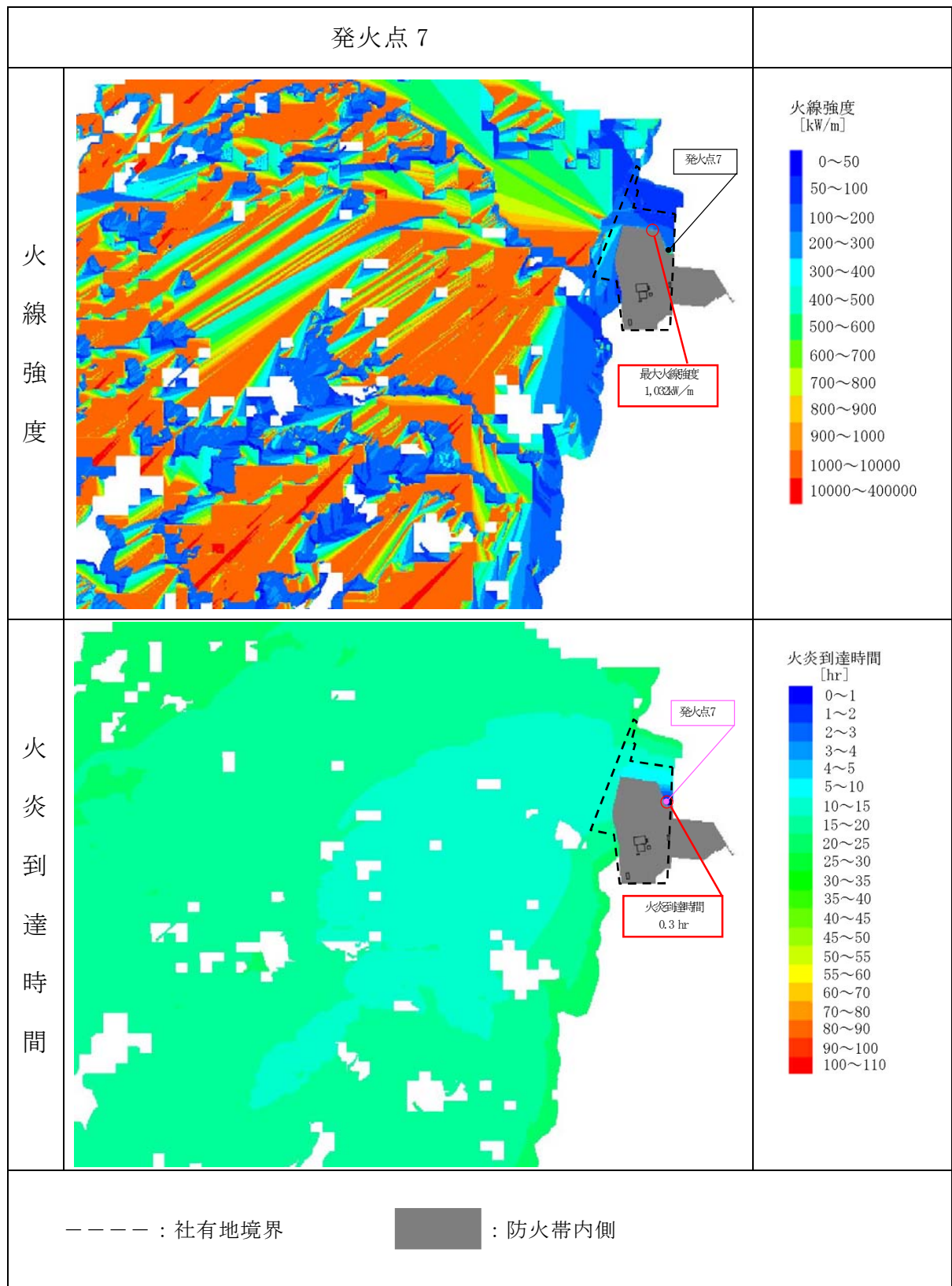


表 3.1-8 発火点 7 の延焼状況



4. 森林火災の影響評価結果

4.1 火災到達時間の評価結果

(1) 火災到達時間

防火帯を設置することで、森林火災が原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが、森林火災の状況に応じて防火帯付近にて予防散水を行い、万が一の飛び火による延焼を防止する。

F A R S I T E 解析結果より、防火帯外縁に最短で火災が到達するのは発火点 7 である。発火点 7 は一般の人が発電所に最も近づくことが可能な場所での発火を想定しているため、他の発火点と違い発電所構内から人の立ち入り及び火気の使用状況が把握可能である。

その他の発火点は、火気の使用状況を把握できず、発火直後の対応は取り難いため、火災到達時間に対する評価を行う。発火点 7 を除いて火災が防火帯外縁に到達する最短時間は、発火点 3 の 1.6 時間であり、1.6 時間以内に予防散水が可能であることを確認する。

(2) 火災の覚知

発電所敷地及び敷地境界付近における火災については以下の方法で早期覚知が可能である。

- a. 発電所に出入りする全ての人は、火災を発見した場合、当直守衛員又は発電長に速やかに通報する事を、社内規程で定めている。通報を受けた者は所内関係者に連絡するとともに、消防機関（119 番）に連絡を行う。
- b. カメラを使用して森林火災に対する監視を行う。カメラは、発電所周辺の森林火災を監視できる位置に設置し、中央制御室からの監視及び当直守衛員が監視可能な設計とする。
- c. 下記の火災が発生した場合、消防機関から発電所へ連絡が入る。

- ・発電所周辺で発生した森林火災
- ・発電所へ迫る可能性があるとして消防機関が判断した火災

(3) 消火活動

a. 初期消火活動体制及び消防訓練

発電所の初期消火活動要員を，発電所（防火帯内側）に 24 時間常駐させる。森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割を表 4. 1-1 に，消防訓練の実績と頻度を表 4. 1-2 に示す。

表 4. 1-1 森林火災発生時の初期消火活動要員の人数と役割

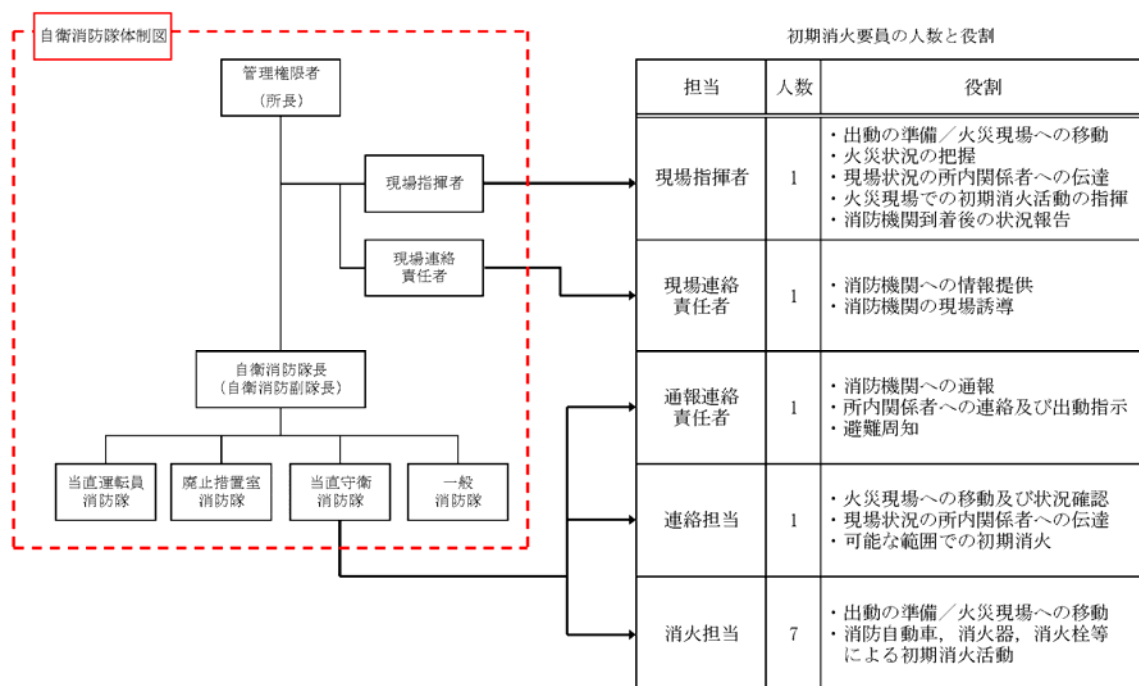


表 4. 1-2 消防訓練実績と頻度

平成 25 年度

訓練項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消火訓練	6 回/年	H25. 4. 5, H25. 6. 21 H25. 7. 9, H25. 9. 26 H26. 2. 10, H26. 3. 28	自衛消防隊	油火災（タンク火災等）を想定した消火訓練
消防車放水訓練他	1 回以上/月	49 回	自衛消防隊	建物火災を想定した消火訓練
消防機関との合同訓練	1 回 /年	H26. 3. 18	自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡、消火訓練
海上災害防止センター 消防訓練	4 回 /年	H25. 9. 24～H25. 9. 25 H25. 11. 28～H25. 11. 29 H25. 12. 16～H25. 12. 20 H26. 1. 16～H26. 1. 17	自衛消防隊	外部施設（横須賀）による実火訓練
総合火災訓練	1 回 /年	H26. 3. 18	発電所全体 自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡、避難、消火訓練
防火訓練	2 回 /年	H25. 9. 20, H26. 3. 18	一般所員 協力会社	初期消火の基本動作訓練

平成 26 年度（平成 26 年 11 月 28 日現在）

訓練項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消火訓練	4 回/年	H26. 4. 7, H26. 4. 30 H26. 6. 17, H26. 7. 3 H26. 9. 22	自衛消防隊	油火災（タンク火災等）を想定した消火訓練
消防車放水訓練他	1 回以上/月	28 回	自衛消防隊	建物火災を想定した消火訓練
消防機関との合同訓練	1 回 /年	—	自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡、消火訓練
海上災害防止センター 消防訓練	4 回 /年	H26. 9. 25～H26. 9. 26	自衛消防隊	外部施設（横須賀）による実火訓練
総合火災訓練	1 回 /年	—	発電所全体 自衛消防隊	管理区域内建物火災を想定した通報連絡、避難、消火訓練
防火訓練	2 回 /年	H26. 10. 2	一般所員 協力会社	初期消火の基本動作訓練
森林火災 散水訓練	—	H26. 10. 23 H26. 11. 18	自衛消防隊	森林火災を想定した散水訓練



図 4. 1-1 消防訓練状況

b. 散水開始までの所要時間

(a) 防火帯への散水

- i) 消防車待機位置，初期消火活動要員集合場所から遠い 3 か所を選
定した。3 か所の中から消火栓位置が遠くホース展張により時間を
要する C 地点において散水活動を行う。散水位置を図 4.1-2 に示す。
- ii) 水源は散水地点に最も近い屋外消火栓を使用する。なお，屋外消
火栓の水源は原水タンクであり，このタンクの水源は工業用水より
自動補給されるため，連続散水が可能である。原水タンクは防火帯
の内側に設置されているため，森林火災の影響は受けない。
- iii) 消防車 1 台を使用したときの対応人数を表 4.1-3 に示す。

表 4.1-3 散水地点及び対応人数（防火帯）

散水地点	C 地点 発電所北側			
消火栓位置	屋外消火栓 No. 6			
ホース展張距離	320m			
消防車台数	1 台			
対応人数	現場指揮者	: 1 名	現場連絡責任者	: 1 名
	散水筒先	: 2 名	ホース展張	: 3 名
	ホース監視	: 1 名	燃料補給	: 1 名
	連絡責任者	: 1 名	連絡担当	: 1 名
	合計	: 11 名		

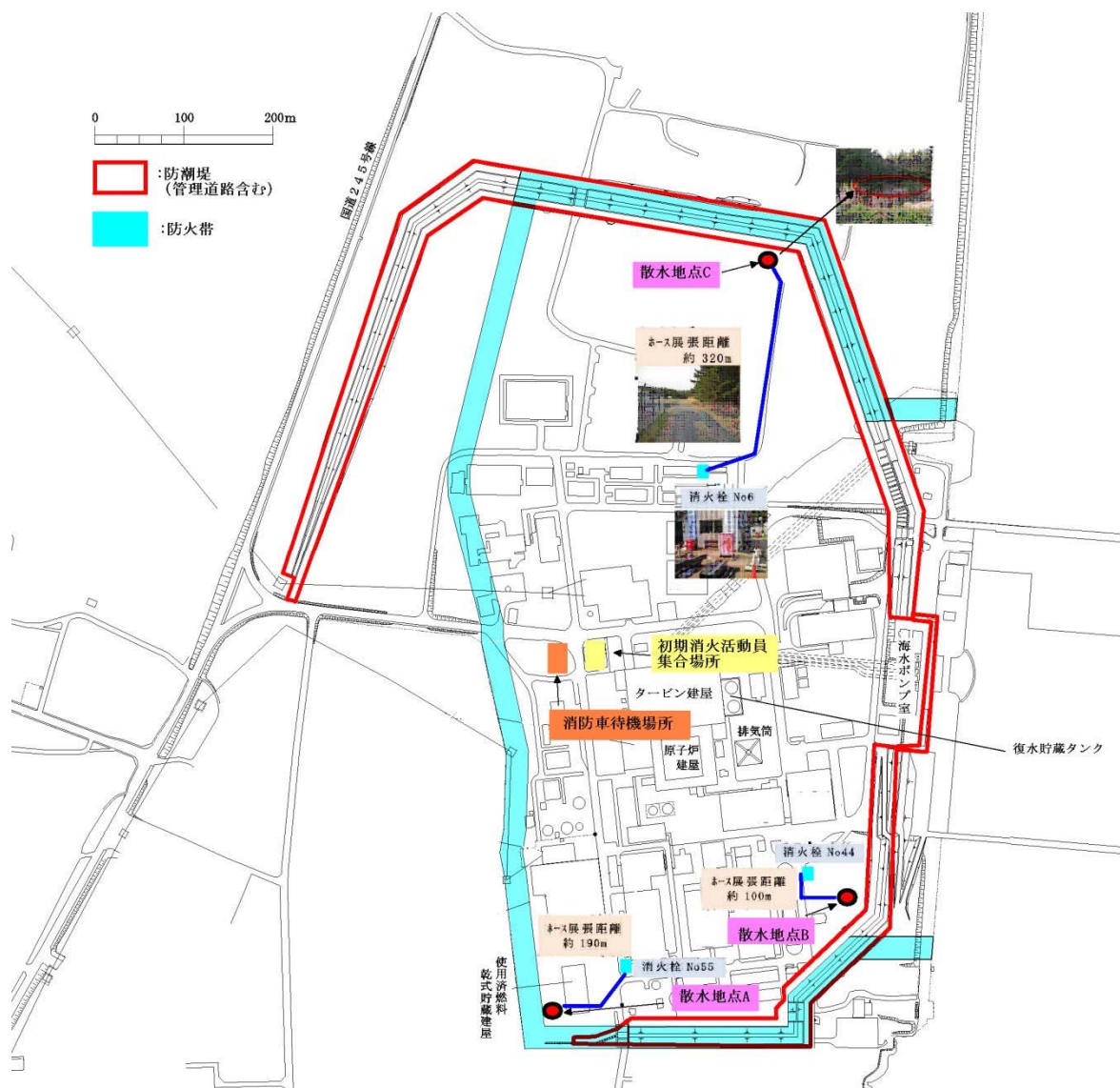
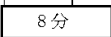
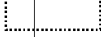


図 4.1-2 散水位置（防火帯）

(b) 所要時間

表 4.1-4 に示すとおり，森林火災覚知後，約 23 分で散水活動を開始可能である。

表 4.1-4 散水開始までの所要時間（防火帯）

項目	活動内容	森林火災覚知後の経過時間（分）							
		0		10		20		30	
火災延焼中の連絡	当直守衛員又は発電長への火災延焼中の連絡								
各所連絡・通報	119 番通報及び所内連絡		 5 分						
消火活動準備	初期消火活動要員出動準備			 5 分					
	消火活動場所までの移動				 5 分				
	ホース展長・散水準備					 8 分			
消火活動開始	防火帯への散水開始							23 分後 散水準備完了	

 : 実績を基にした時間（発電所北側の森林縁を消火ポイントとした場合の所要時間）

 : 過去の実績等から想定した時間

(c) 評価結果

発火点 3 の火炎到達時間 1.6 時間以内で予防散水が可能である。

(4) 森林火災時のモニタリングポストへの対応

モニタリングポストは防火帯外側に設置されているため、森林火災による影響を確実に防止できるとは考えていない。モニタリングポストが森林火災の影響を受け機能を喪失した場合は、防火帯内側に保管してある可搬型モニタリングポストを設置し、代替監視を行う。可搬型モニタリングポストはモニタリングポスト用として4台準備する。また、電源は外部バッテリーを適時交換することで連続供給可能であり、データ伝送は衛星回線による通信機能を有しており、中央制御室及び緊急時対策所にて、常時監視が可能である。

森林火災が発生した場合、防火帯内側にある原子炉施設の防護を第一に考える。ただし、風向き等から森林火災が原子炉施設へ影響を与えないと判断した場合は、モニタリングポスト付近への散水を行う。

モニタリングポスト付近への散水開始までの所要時間を訓練にて測定した。

a. 散水開始までの所要時間

(a) モニタリングポストへの散水訓練

- i) 消防車待機位置、初期消火活動要員集合場所から遠いモニタリングポストDにおいて散水活動を行う。散水位置を図4.1-3に示す。
- ii) 水源は、散水地点に一番近い北地区防火水槽（北側）（保有水量：40m³）を使用。
- iii) 消防車1台を使用したときの対応人数を表4.1-5に示す。

表 4.1-5 散水地点及び対応人数（モニタリングポスト）

散水地点	モニタリングポストD			
防火水槽位置	北地区防火水槽（北側）			
ホース展張距離	150m			
消防車台数	1 台			
対応人数	現場指揮者	: 1 名	現場連絡責任者	: 1 名
	散水筒先	: 2 名	ホース展張	: 3 名
	ホース監視	: 1 名	燃料補給	: 1 名
	連絡責任者	: 1 名	連絡担当	: 1 名
	合計	: 11 名		

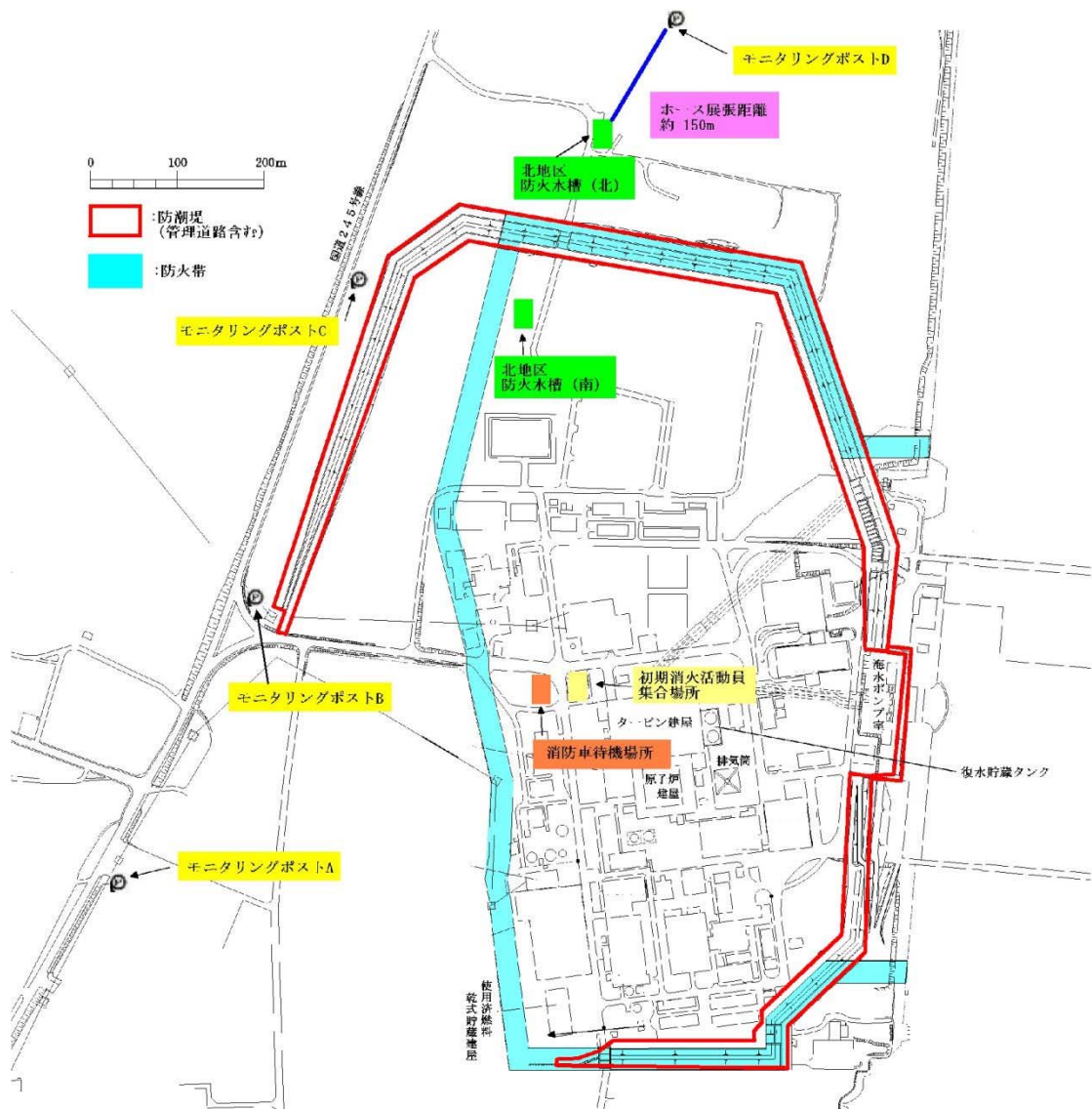


図 4.1-3 散水位置（モニタリングポスト）

(b) 訓練結果

表 4.1-6 に示すとおり，森林火災覚知後，約 18 分で散水活動を開始可能である。ただし，この結果は防潮堤を考慮していないため，防潮堤設置後に再訓練を実施し，散水開始までの所要時間を確認する。

表 4.1-6 散水開始までの所要時間（モニタリングポスト）

項目	活動内容	森林火災覚知後の経過時間（分）							
		0		10		20		30	
火災延焼中の連絡	当直守衛員又は発電長への火災延焼中の連絡	▽							
各所連絡・通報	119 番通報及び所内連絡		5 分						
消火活動準備	初期消火活動要員出動準備			5 分					
	消火活動場所までの移動				4 分				
	ホース展長・散水準備					4 分			
消火活動開始	モニタリングポストへの散水開始						▼	18 分後 散水準備完了	

□：訓練実績

□：過去の実績等から想定した時間

4.2 防火帯幅

(1) 防火帯幅の設定

F A R S I T E解析結果から算出された、防火帯外縁から 50m の範囲における最大火線強度は、発火点 1 の 4,679kW/m であり、「Alexander and Fogarty の手法（風上に樹木が有る場合）」を用いて、防火帯幅（火炎の防火帯突破確率 1%の値）を算出した結果、評価上必要とされる防火帯幅 20.0m に対して、21.0m 幅の防火帯を設定する。

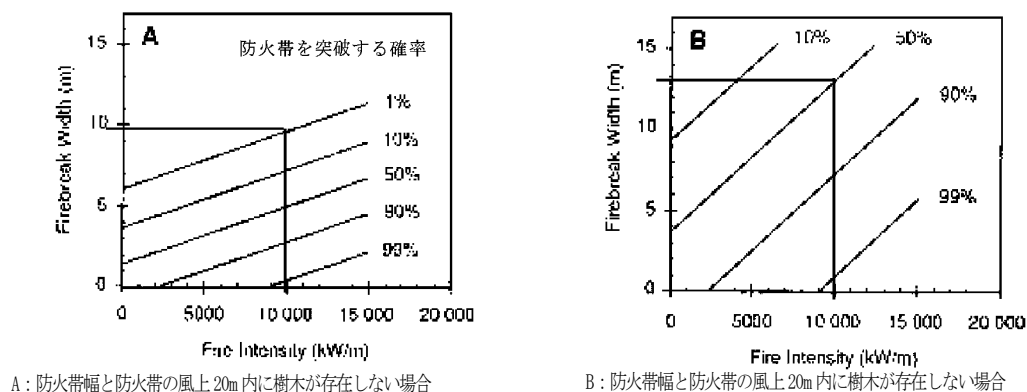
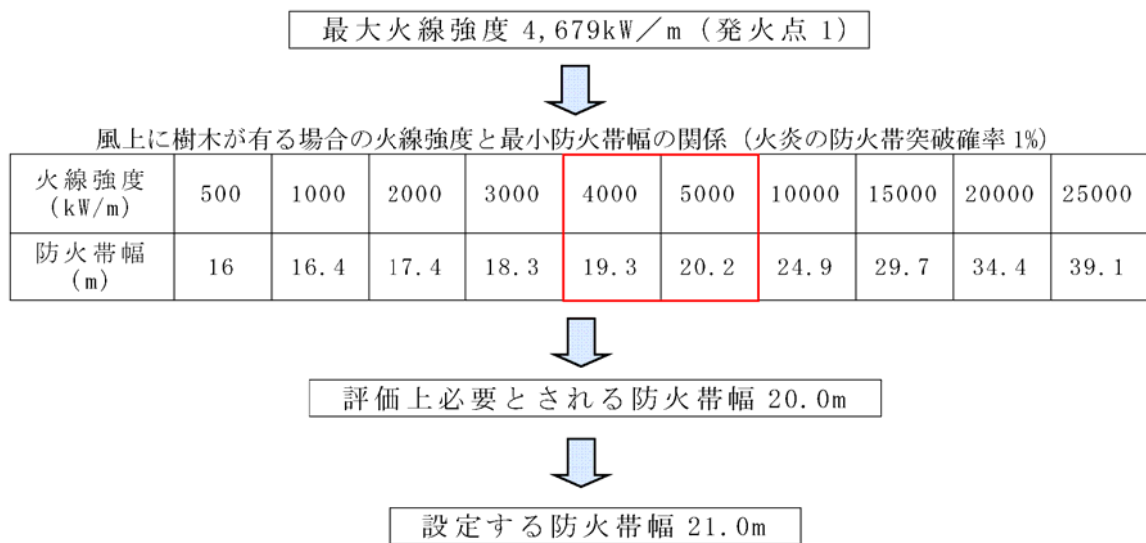


図 4.2-1 火線強度に対する防火帯の相関図

(2) 火線強度抽出範囲の設定について

防火帯幅は、防火帯外縁に存在する植生からの延焼を考慮して、防火帯外縁の最大火線強度に基づき算出するが、防火帯外縁から離れた地点でより大きい火線強度が存在する可能性を考慮して、50m 範囲まで火線強度を確認している。この結果から得られた最大火線強度 $4,679\text{kW/m}$ に基づく防火帯幅 20.0m に保守性を持たせた 21.0m の防火帯を設定する。

なお、100m範囲までの火線強度を確認すると、防火帯外縁から 80m の位置に $9,135\text{kW/m}$ となる火線強度が存在しているが、この火線強度から算出した防火帯幅（24.2m）は、防火帯外縁から火線強度発生位置までの距離（80m）より小さく、直接防火帯を飛び越えて延焼することはない、影響評価対象施設に直接的な影響を及ぼすことはない。

また、発電所周囲で実施した植生調査の結果を植生データに反映することで、植生データの精度を上げているため、防火帯外縁から 50m 範囲の最大火線強度から防火帯幅を設定することは問題ないとする。

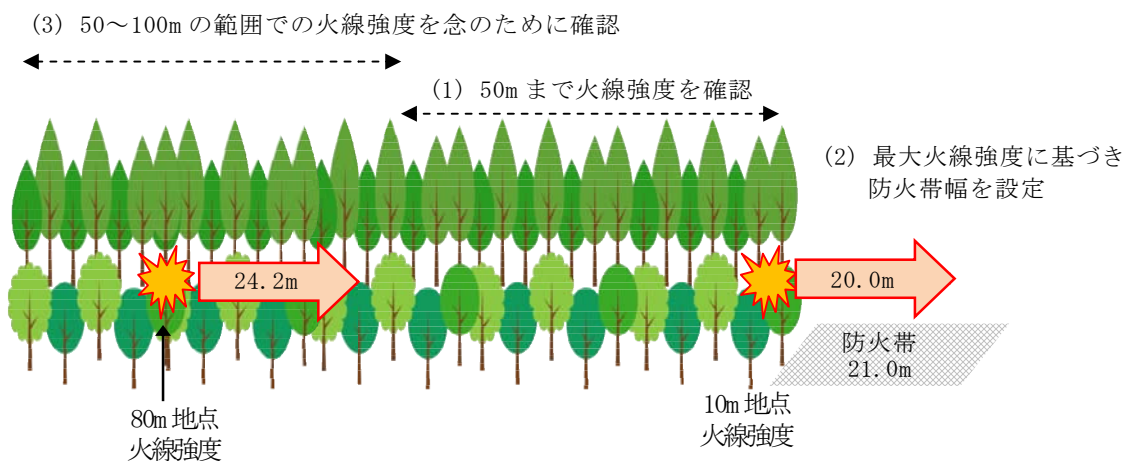


図 4.2-2 火線強度抽出概略図

(3) 出火時刻の違いによる感度解析について

F A R S I T E では日射量が可燃物の水分量に影響を与えるため、日射量が多くなる日中時間帯に火線強度が高くなる。同じ発火点からの火災であっても、出火時刻によって最大火線強度に違いが生じるため、発火点 1 及び 3 に対して 5 パターンの出火時刻を設けて、感度解析を行った。解析結果を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 感度解析結果

発火点位置	発火点1					発火点3				
最大火線強度発生時刻	8:00	11:00	12:36	14:18	17:30	6:49	10:12	12:06	14:00	18:30
最大火線強度 (kW/m)	3,410	4,679	4,117	4,318	2,830	3,080	4,661	4,641	4,550	2,963

設定する防火帯幅 21.0m に相当する火線強度 5,803kW/m は、図 4.2-3 に示すとおり、感度解析から算出された火線強度を十分に上回ることを確認した。

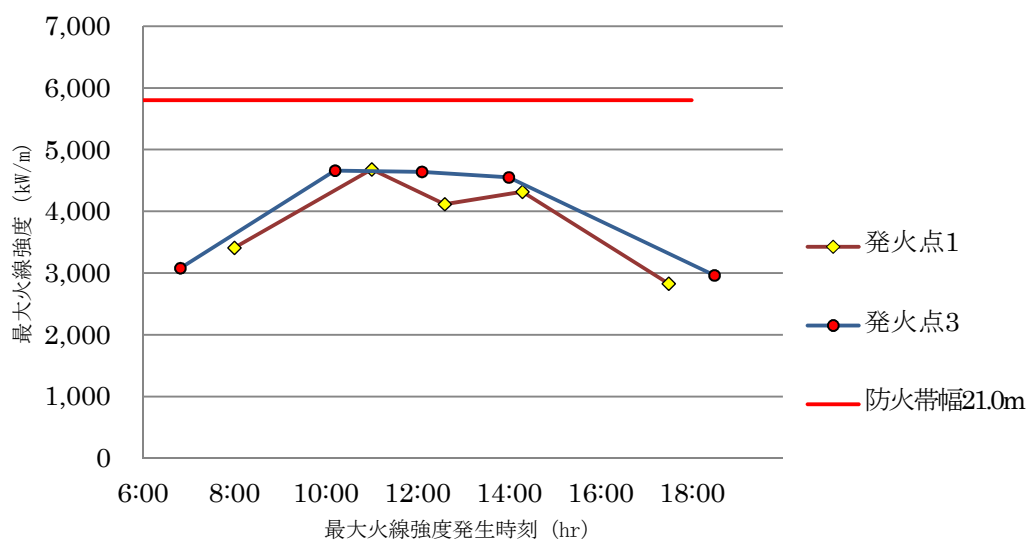


図 4.2-3 感度解析結果と防火帯 21.0m の火線強度

(4) 防火帯の設定

防火帯を図 4.2-4 に示す。

a. 防火帯の設定

- (a) 防火帯は，防護対象設備（クラス 1，クラス 2，クラス 3 のうち防火帯の確保により防護する設備）及び重大事故対処設備を囲むように設定する。
- (b) アクセスルートと重ならず，横切らない設定とする。
- (c) 駐車場等，延焼の可能性があるものと干渉しないように設定する。
- (d) 樹木伐採後の土砂流出等が発生しない施工（モルタル吹付け等）を行う。
- (e) 防潮堤を以下の理由から防火帯として兼用する。
 - i) 防潮堤はセメント改良盛土などで造られていることから延焼の可能性はない。
 - ii) 防潮堤とその内・外側を並行する管理道路を含めた幅は防火帯幅以上である。

b. 防火帯の管理

防火帯上に可燃物及び消火活動に支障となるものが存在しない管理を行う。

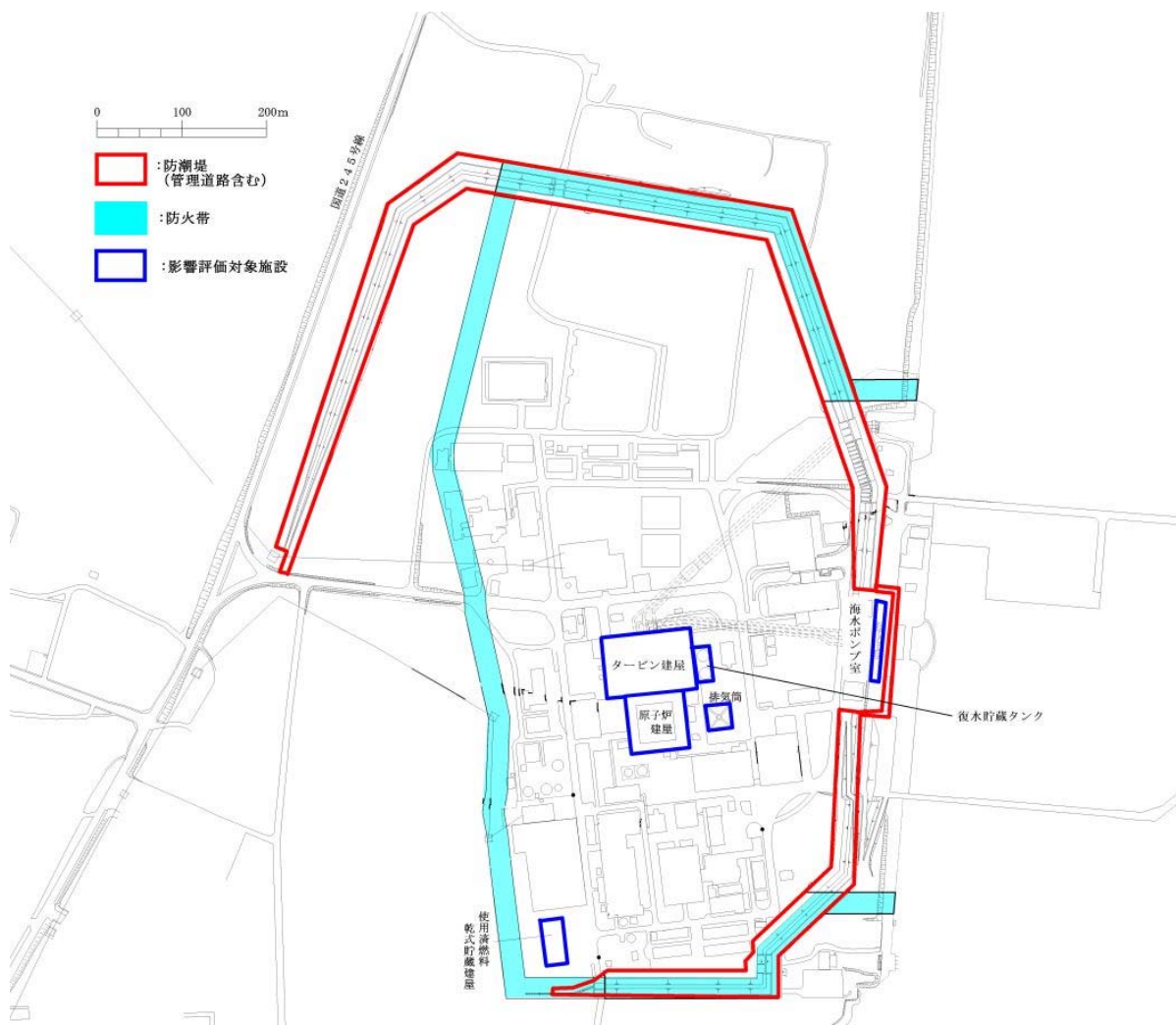


図 4.2-4 防火帯設置図

4.3 熱影響と危険距離の評価

影響評価対象施設に対して、森林火災による熱影響評価を行った。

4.3.1 パラメータの算出

F A R S I T E 解析結果である火炎到達時間、反応強度、火炎長から、温度評価に必要なデータを算出した。温度評価に用いたデータの説明を表 4.3.1-1、F A R S I T E 解析結果及び算出データを表 4.3.1-2、温度評価の流れを図 4.3.1-1 に示す。

表 4.3.1-1 温度評価に用いたデータ内容

項 目		内 容
FARSITE 解析結果	火炎到達時間 (hr)	出火から火炎の前線が該当地点に到達するまでの時間。火炎継続時間の算出に使用する。
	反応強度 (kW/m ²)	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の根拠となる火炎規模。火炎輻射発散度の算出に使用する。
	火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
FARSITE 解析結果 より算出 したデータ	火炎継続時間 (hr)	到達時間から算出され、円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	火炎輻射発散度 (kW/m ²)	反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出され、円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
	燃焼半径 (m)	火炎長に基づき算出され、円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
	火炎到達幅 (m)	防火帯外縁における火炎到達セル数×セル幅 (10m)

表 4.3.1-2 FARSITE 解析結果及び算出データ

項 目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火炎到達時間 (hr)	3.3	2.8	1.6	5.8	3.5	2.4	0.3
火炎長 (m)	1.3	1.5	1.1	1.1	1.5	1.5	0.8
火炎継続時間 (hr)	0.13	0.06	0.16	0.15	0.09	0.10	0.32
火炎輻射発散度 (kW/m ²)	450	444	445	445	442	444	445
燃焼半径 (m)	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3
火炎到達幅 (m)	1,920	1,650	1,920	1,620	1,920	1,920	1,340

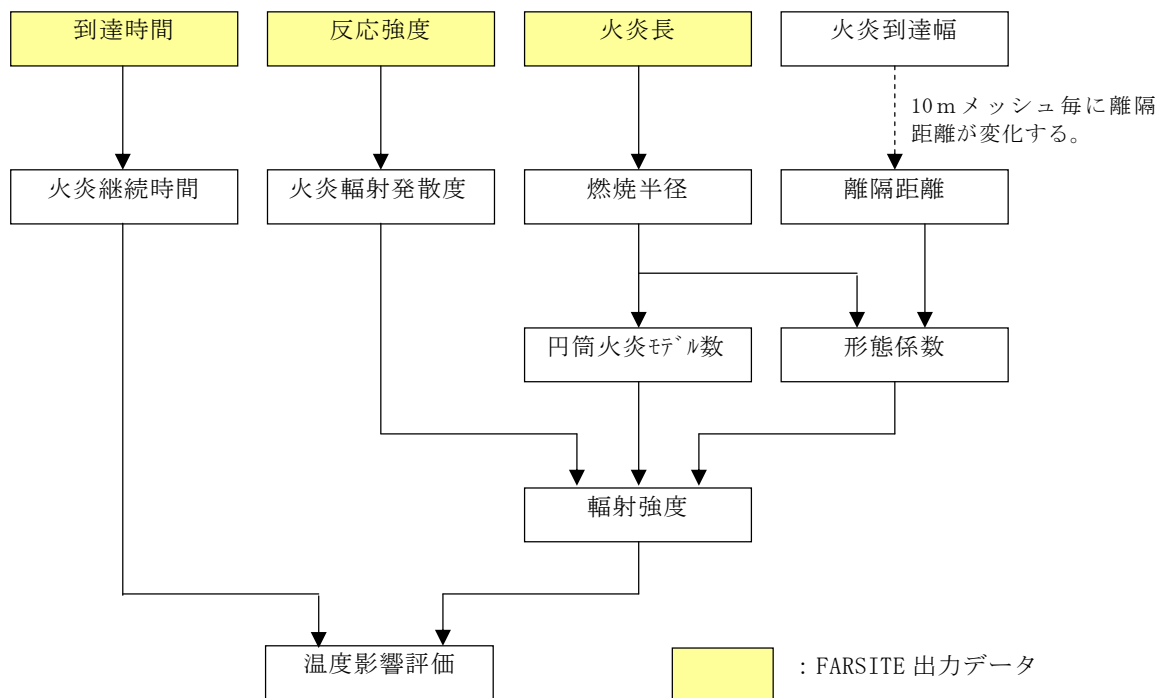


図 4.3.1-1 温度評価流れ図

(1) 火炎継続時間

最大火炎輻射発散度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差を火炎継続時間とする。2 つ以上の伝播方向がある場合は、最大時間を選択する。

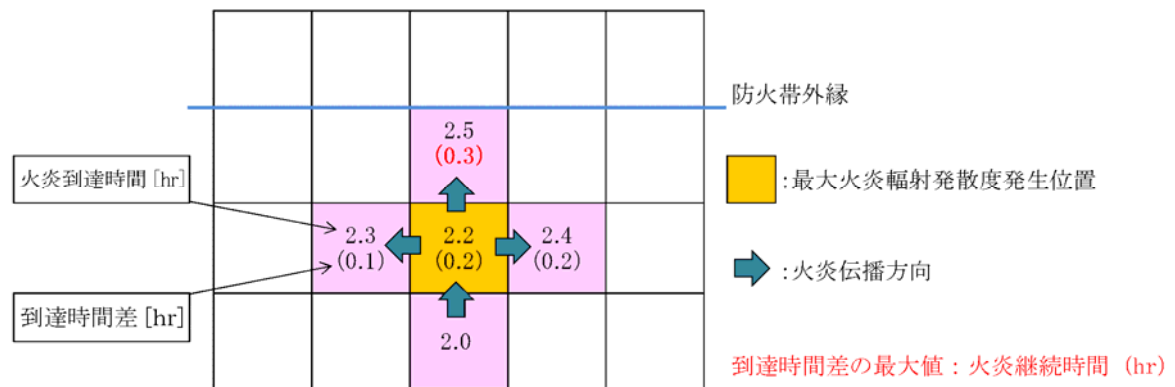


図 4. 3. 1-2 火炎継続時間の概念図

(2) 火炎輻射発散度

火炎輻射発散度は F A R S I T E 出力データである反応強度から算出する。

反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギーと、火炎・煙として対流放出される熱エネルギーの和から求められることから、反応強度に対する火炎輻射発散度の割合を求めることで、反応強度から火炎輻射発散度を算出する。「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」から各樹木の発熱量を引用し、反応強度に対する輻射強度の割合を算出する。東海第二発電所の周囲は、針葉樹で囲まれていることから、針葉樹の係数 0.377 を使用する。

$$\text{反応強度 (W/m}^2\text{)} = \text{火炎輻射発散度 (W/m}^2\text{)} + \text{火炎対流発散度 (W/m}^2\text{)}$$

表 4.3.1-3 火炎輻射強度と反応強度の発熱量

発熱量 (∠H)	火炎輻射発散度 (∠Hrad)	火炎対流発散度 (∠Hcon)	反応強度 (∠Hch)	係数 (∠Hrad/∠Hch)
レッドオーク 発熱量 (落葉広葉樹の代表種)	4.6kJ/g	7.8kJ/g	12.4kJ/g	0.371
米松 発熱量 (針葉樹の代表種)	4.9kJ/g	8.1kJ/g	13.0kJ/g	0.377

※：「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」

(SFPE:米国防火技術者協会) より

(3) 燃焼半径

燃焼半径は、火炎長から算出する。

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

R : 燃焼半径(m) H : 火炎長(m)

(4) 火炎到達幅

発電所周囲の森林境界に到達した火炎のセル数×10m（セル幅）を火炎到達幅 W として算出する。

(5) 円筒火炎モデル数

円筒火炎モデル数及び 10m メッシュ内の円筒火炎モデル数を、火炎到達幅、燃焼半径から算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \quad F' = \frac{10}{2R}$$

F : 円筒火炎モデル数

W : 火炎到達幅(m)

F' : 円筒火炎モデル数(10m メッシュ)

R : 燃焼半径(m)

(6) 形態係数の算出

外部火災の影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。各円筒モデルから受熱面までの距離が異なるため、各円筒火炎モデルにおける形態係数を算出する。

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

ϕ_i : 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)

(7) 輻射強度の算出

10m メッシュ内には燃焼半径から算出した F' 個の火炎が存在するものとして、受熱面への輻射強度を算出する。

$$E_0 = \phi_0 \times F' \times R_f \quad (\text{中心火炎の場合})$$

$$E_i = \phi_i \times F' \times R_f \times 2 \quad (\text{中心以外の火炎の場合})$$

ϕ_i : 形態係数

R_f : 最大火炎輻射発散度 (kW/m²)

F' : 火炎円筒モデル数 (10m メッシュ)

(8) 温度評価条件

受熱面への輻射強度は、円筒火炎モデルを火炎到達幅の長さ分並べて、各々の輻射強度を積算し評価した。火炎輻射発散度は各々の位置で強度の違いがあるが、本評価では保守的に最大火炎輻射発散度の円筒火炎モデルが一様に存在するものとして評価する。円筒火炎モデルの燃焼時間は火炎継続時間である。円筒火炎モデルの概念図を図 4.3.1-3 に示す。

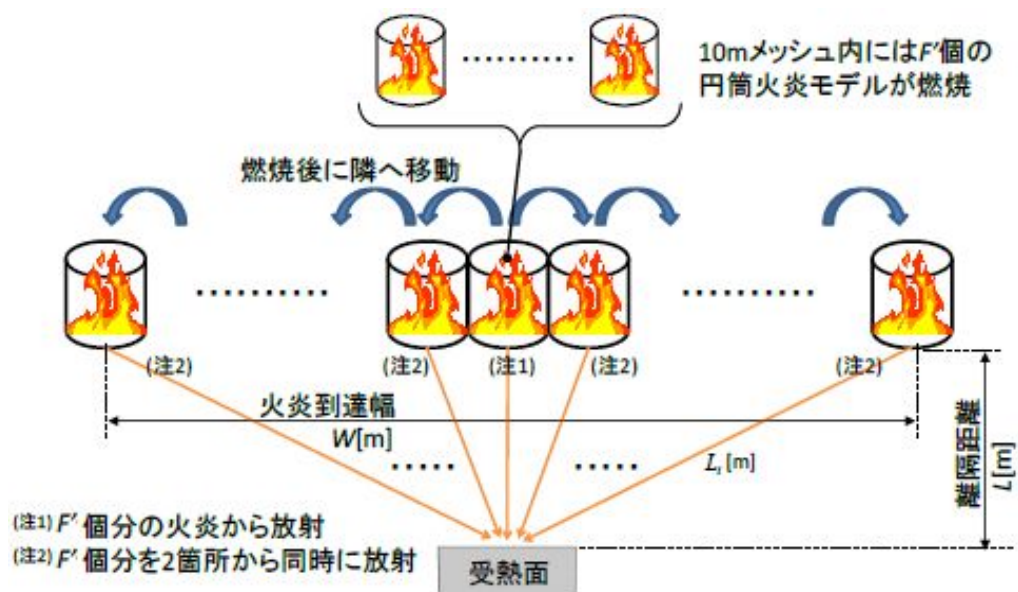


図 4.3.1-3 円筒火炎モデルの概念図

4.3.2 熱影響評価と危険距離の算出

(1) 外壁に対する熱影響評価と危険距離の算出

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の 1 次元非定常熱伝送方程式を差分法より解くことで外壁温度が許容温度以下であるか評価した。評価において対流による放熱を考慮している。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

図 4.3.2-3 に概要を示す。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材、外壁はコンクリートであるため、許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = E - h(T - T_0) \quad (x = 0)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (x = L)$$

T : 表面温度 (°C)

E : 輻射強度 (W/m²)

T_0 : 周囲温度 (°C)

h : 熱伝達率 (17.0 W/m²/K)

ρ : 密度 (2,400 kg/m³)

k : 熱伝導率 (1.63 W/m/K)

C_p : 比熱 (880 J/kgK)

L : 厚さ [m]

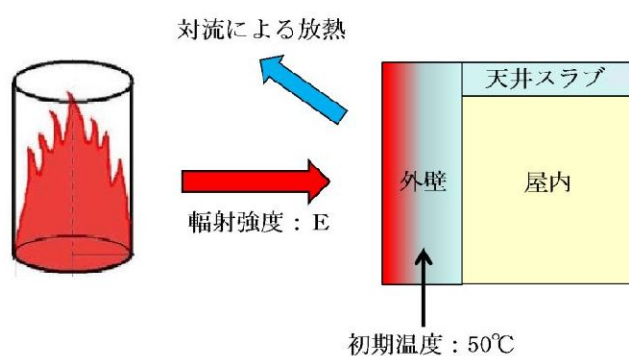


図 4.3.2-1 建屋外壁の評価概念図

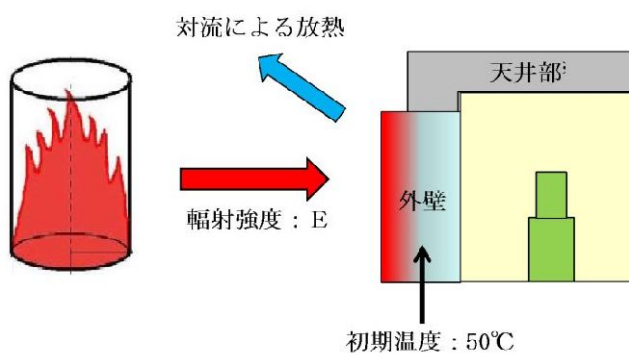


図 4.3.2-2 海水ポンプ室の評価概念図

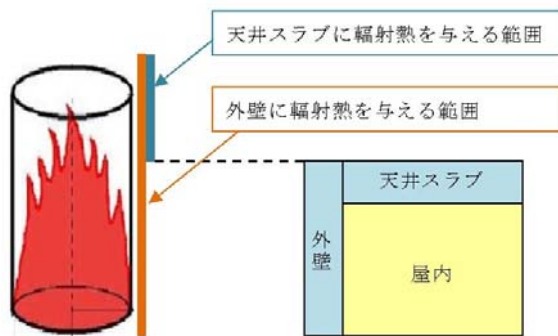


図 4.3.2-3 天井スラブへの輻射熱の影響

森林火災によって上昇する外壁表面温度が，許容温度 200℃以下であることを確認した。また，各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。各外壁表面温度を表 4.3.2-1 に，影響評価対象施設に対する危険距離を表 4.3.2-2 に示す。

表 4.3.2-1 外壁表面の熱影響評価結果

影響評価 対象施設	評価温度 (°C)							許容 温度 (°C)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	50※	50※	50※	50※	50※	50※	50※	< 200
海水ポンプ室	50※	50※	50※	50※	50※	50※	50※	
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	80	77	77	78	81	82	74	
タービン建屋	50※	50※	50※	50※	50※	50※	50※	

※：初期温度から有意な温度上昇なし

表 4.3.2-2 影響評価対象施設に対する危険距離

影響評価 対象施設	危険距離 (m)							離隔 距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
原子炉建屋	15	14	14	14	15	15	14	161
海水ポンプ室	15	14	14	14	15	15	14	260
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	15	14	14	14	15	15	14	37
タービン建屋	15	14	14	14	15	15	14	141

(2) 排気筒に対する熱影響評価と危険距離の算出

a. 許容温度

排気筒鉄塔（鋼材材質：SS400，STK400）の許容温度は，「日本機械学会 発電用原子力設備規格」から 350℃とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。評価において対流による放熱を考慮している。

なお，排気筒は鉄塔と筒身で構成されるが，鉄塔は筒身よりも火災源との距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身は SS400 であり物性値が共に軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

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

T ：許容温度(350℃)， T_0 ：初期温度(50℃)※¹

E ：輻射強度(W/m^2)， h ：熱伝達率($17W/m^2/K$)※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率(空気)

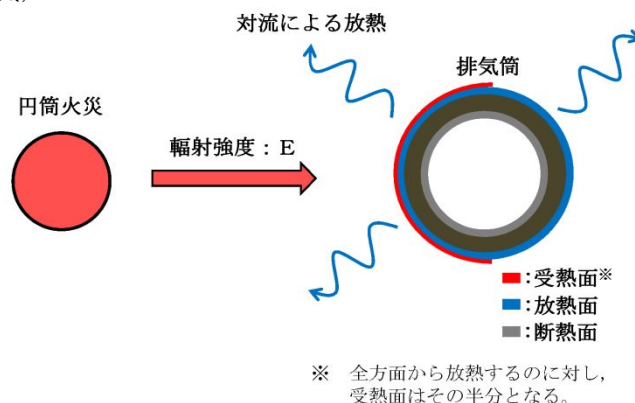


図 4.3.2-4 排気筒の評価概念図

森林火災によって上昇する排気筒鉄塔表面温度が，許容温度 350℃以下であることを確認した。また，排気筒までの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。排気筒鉄塔表面温度を表 4.3.2-3 に，排気筒に対する危険距離を表 4.3.2-4 に示す。

表 4.3.2-3 排気筒の熱影響評価結果

影響評価 対象施設	評価温度 (℃)							許容 温度 (℃)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	52	53	52	52	53	53	52	< 350

表 4.3.2-4 排気筒に対する危険距離

影響評価 対象施設	危険距離 (m)							離隔 距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
排気筒	16	18	14	15	18	18	11	234

(3) 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価と危険距離の算出

a. 許容温度

復水貯蔵タンクより高圧炉心スプレー系及び原子炉隔離時冷却系へつながる配管の最高使用温度 66℃を許容温度とする。

b. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、下記の温度評価式により復水貯蔵タンクが内包する水の温度上昇を求め、貯蔵する水が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_p C_{\rho p} V + \rho_s C_{\rho s} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}} + T_0$$

T	: 許容温度[℃]	ρ_p	: 液体密度 (993.295257kg/m ³) ^{※2}
T ₀	: 初期温度 (45℃) ^{※1}	$C_{\rho p}$	: 液体比熱 (4,179J/kg/K) ^{※2}
E	: 輻射強度 [W/m ²]	V	: 液体体積 (656m ³) ^{※4}
t	: 燃焼継続時間 [s]	ρ_s	: タンク壁材密度 (7,860kg/m ³) ^{※3}
D _o	: タンク外径 (13.44m)	$C_{\rho s}$	: 壁材比熱 (473J/kg/K) ^{※3}
D _i	: タンク内径 (13.40m)	e	: タンク最小板厚 (0.02m)
h	: タンク円筒高さ (16.00m)		

※1：過去の測定値に保守性を持たせた値

※2：1999 日本機械学会 蒸気表

※3：日本機械学会 伝熱ハンドブック

※4：水位低警報水位 (924m³) から原子炉隔離時冷却系入口弁切替操作水位 (268m³) までの水量

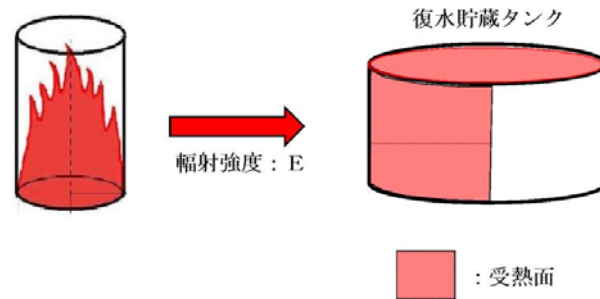


図 4.3.2-5 復水貯蔵タンクの評価概念図

森林火災によって上昇する復水貯蔵タンクが内包する水の温度が，許容温度 66℃以下であることを確認した。また，復水貯蔵タンクまでの危険距離が離隔距離以下となることを確認した。復水貯蔵タンクが内包する水の温度を表 4.3.2-5 に，復水貯蔵タンクに対する危険距離を表 4.3.2-6 に示す。

表 4.3.2-5 復水貯蔵タンクの熱影響評価結果

影響評価 対象施設	評価温度 (℃)							許容 温度 (℃)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
復水貯蔵 タンク	46	46	46	46	46	46	46	< 66

表 4.3.2-6 復水貯蔵タンクに対する危険距離

影響評価 対象施設	危険距離 (m)							離隔 距離 (m)
	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7	
復水貯蔵 タンク	5	3	5	5	4	5	7	253

コンクリート許容温度について

「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）」に基づき、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃を許容温度とする。

以下に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

(1) 素材の高温強度

常温時のコンクリートの圧縮強度低下率を図 14 に示す。圧縮強度は 200℃程度までは常温と殆ど変わらないか、むしろ上昇する。しかし、その後は徐々に低下して 500℃で常温強度の $2/3$ に、800℃では殆ど零となる。 $2/3$ はコンクリートの短期許容応力に相当するので、500℃が素材としての限界温度と考えられる。また、図 15 に示すように高温から冷却した後の残存強度は、高温時の強度よりもさらに低下する。長期許容応力度を加熱前強度の $1/3$ 相当と考えると、火災後の残存強度を確保する場合には 450℃が限界となる。

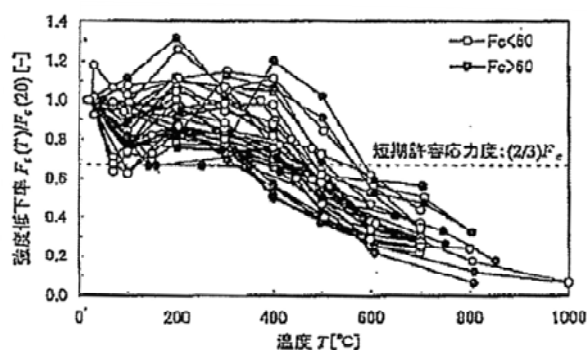


図 14 コンクリートの高温時圧縮強度（常温温度に対する比）
（参考文献 18）～23）のデータより作成

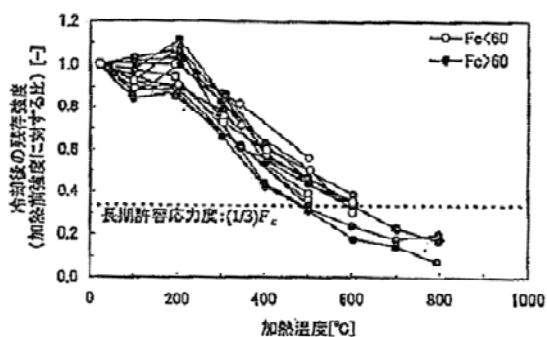


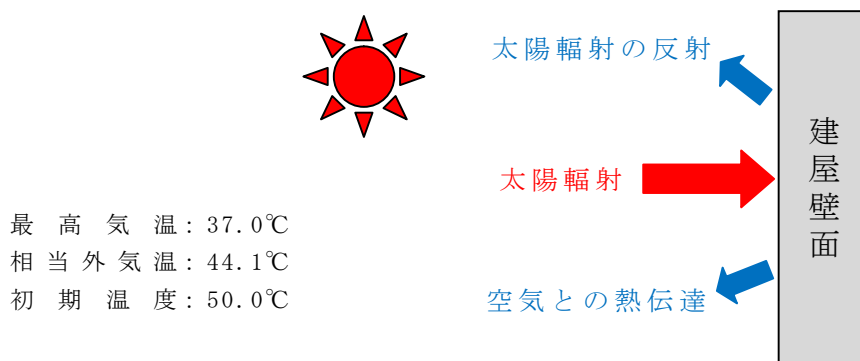
図 15 加熱後のコンクリート残存圧縮強度（加熱前強度に対する比）
（参考文献 24）～26）のデータより作成

初期温度の考え方について

1. 外壁の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に，外気温度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，評価対象の初期温度として設定した。

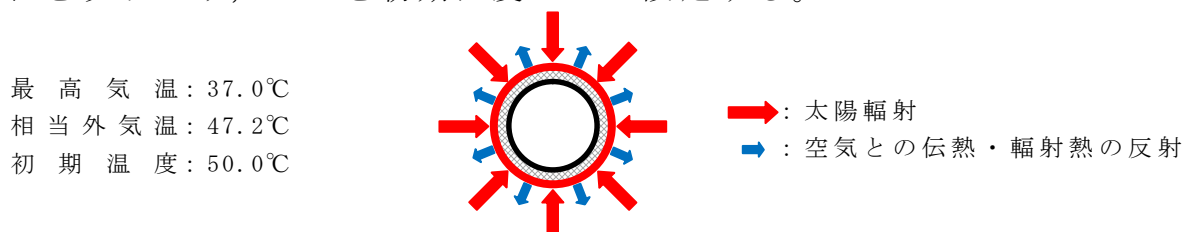
水戸地方気象台の過去 10 年間の最高気温 37.0℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15時）の日射量とコンクリートの日射吸収率 0.7 を考慮すると，外壁面の相当外気温度の最大値は 44.1℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。



2. 排気筒の初期温度

空気調和・衛生工学便覧を基に，外気温度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，評価対象の初期温度として設定した。なお，受熱面は排気筒の側面とした。

水戸地方気象台の過去 10 年間の最高気温 37.0℃に，外気温度が最も高くなる時間帯（11～15時）の日射量と排気筒の日射吸収率 1.0 を考慮すると，排気筒の相当外気温度の最大値は 47.2℃となり，これを切り上げ，50℃を初期温度として設定する。



建屋外壁に対する熱影響評価対象について

熱影響を評価する建屋外壁はコンクリート、鋼等で構成されており、最も熱影響に弱い箇所は配管貫通部の隙間を埋めているコーキングであるが、これは建屋外壁の割合に対して非常に小さく、熱により溶融したとしても外壁の機能に影響を及ぼさない。

建屋外壁の殆どはコンクリート外壁であり、このコンクリート外壁を防護することで内部の防護対象設備を防護可能であることから、コンクリート外壁を熱影響評価対象とした。

石油コンビナート等の火災・爆発について

1. 目 的

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より、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」（以下「評価ガイド」という。）に基づき、評価を実施するものである。

2. 危険物貯蔵施設抽出の考え方

発電所周辺 10km 以内の石油コンビナートの有無を確認した。また、石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設については、周辺自治体に資料開示請求を行い、必要に応じて危険物貯蔵施設を有する事業者への聞き取り調査を行い確認した。

3. 火災・爆発影響評価結果

3.1 石油コンビナート等について

茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは以下の区域である。

石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令【別表抜粋】

十三 鹿島臨海地区

- イ 茨城県鹿嶋市大字国末字北浜山，字南浜山及び字海岸砂地，大字泉川字北浜山，字南浜山，字浜屋敷及び字沢東，大字新浜並びに大字粟生字海岸の区域 同市大字光字光並びに大字粟生字東山及び字浜の区域のうち主務大臣の定める区域 これらの区域に介在する道路の区域
- ロ 茨城県神栖市光，居切字海岸砂地並びに深芝字海辺，字藤豊及び字原芝の区域 同市北浜，奥野谷字浜野及び字東和田，東和田並びに東深芝の区域のうち主務大臣の定める区域

図 3.1-1 に示すとおり鹿島臨海地区は東海第二発電所から約 50km 離れていることを確認した。



図 3.1-1 鹿島臨海地区と発電所の位置関係

3.2 石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設について

発電所から 10km 以内に位置する危険物貯蔵施設のうち、発電所に影響を及ぼすおそれのある施設を抽出し、その火災影響又は爆発影響を評価した。

3.2.1 石油類貯蔵施設

3.2.1.1 評価対象施設の抽出

第 1 類危険物から第 6 類危険物のうち、周辺での取扱量が多く、引火性液体であるため、広範囲に漏えいし大規模な火災になる可能性のある第四類危険物について調査を実施し、発電所から 10km 以内（敷地内を除く）に、第 4 類危険物を貯蔵する石油類貯蔵施設が約 500 カ所（屋内貯蔵及び少量のものは除く）存在することを確認した。

この調査結果を基に、以下の通り抽出範囲を絞り込み、評価対象施設の抽出を行った。

- i) 熱影響が最大となる仮想危険物タンク（n-ヘキサン^{※1}を10万kL^{※2}貯蔵）を想定し、その危険距離を算出した結果、1,329mとなった。（別紙

3.1 参照)

※1:評価ガイドに記載の第1石油類の中で最も輻射発散度が高い物質

※2:「石油コンビナート等災害防止法施行令」（昭和51年5月31日政令第129号）の第2条で規定する基準総貯蔵量

- ii) i)項の結果と3.1項の評価結果を踏まえ、発電所から1.4km以遠には発電所に影響を及ぼす石油類貯蔵施設は存在しないと判断し、抽出範囲を発電所敷地から1.4km以内に絞込んだ。

表 3.2.1.1-1 発電所周辺に位置する石油類貯蔵施設

施設区分	No.	事業所名	油種	数量(L)	位置が1.4km以内 ○：1.4km以内 △：1.4km以上
屋外タンク貯蔵所 又は屋外貯蔵所					
給油取扱所					

表 3.2.1.1-1 の 1.4km 以内に存在する石油類貯蔵施設のうち、屋外貯蔵である [] について、影響評価を実施した。なお、[] の危険物タンクは地下貯蔵であるため、評価対象外とした。

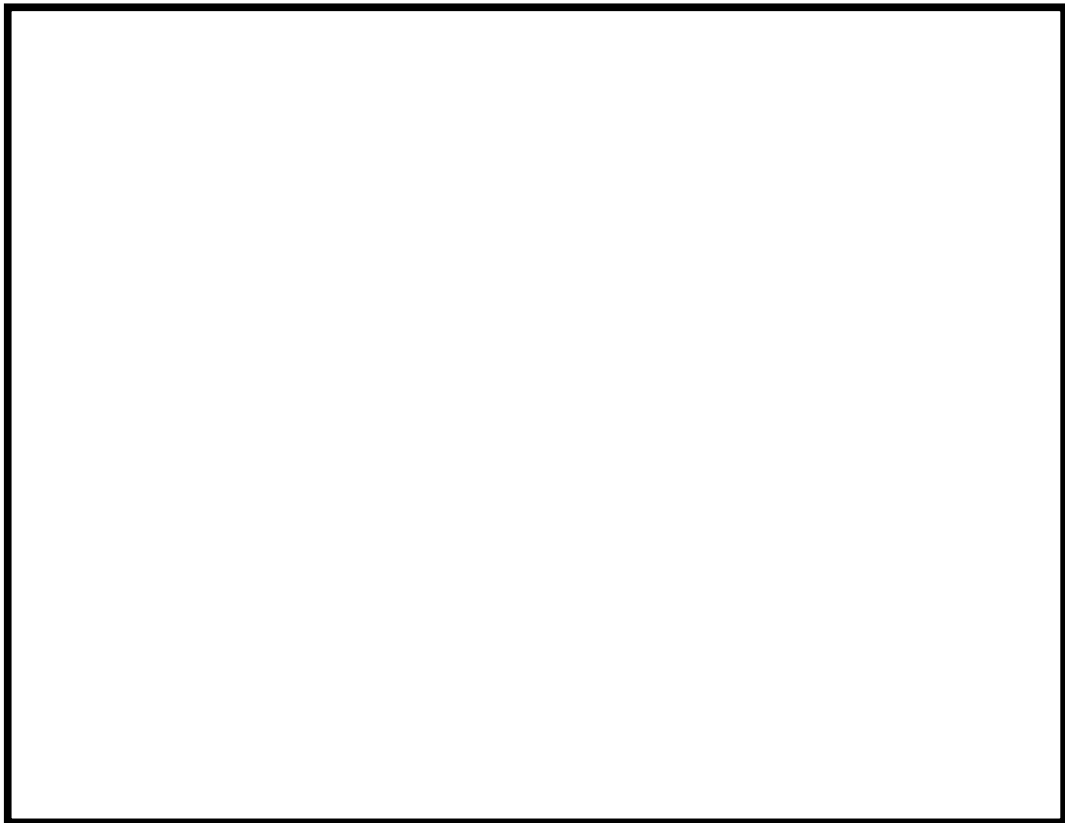


図 3.2.1.1-1 発電所周辺（東海村全域及び日立市の一部）に位置する石油類貯蔵施設

3.2.1.2 影響評価結果

石油類貯蔵施設の火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする石油類貯蔵施設は 3.2.1.1 で抽出した
 を想定した。
- b. 評価対象とする危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、a. で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 危険物タンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2.1.3 共通データの算出

各外壁、排気筒及び復水貯蔵タンクに対する危険距離評価に必要な共通データを算出する。

(1) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを表 3.2.1.3-1 に示す。

表 3.2.1.3-1 危険物タンク及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	防油堤面積 (m^2)

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS（製品安全データシート） 記載値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R：燃焼半径(m)， S：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

表 3.2.1.3-2 危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)

(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(m^3)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度 = M / ρ (m/s)

M : 質量低下速度(m/s), ρ : 燃料密度(kg/m^3)

表 3.2.1.3-3 危険物タンクの燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m^3)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	燃料密度 ρ (kg/m^3)	燃焼継続時間 t (s)

3.2.1.4 外壁に対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	1,300	1,200	800

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該危険物タンクからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離 (=危険距離) を算出し、当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。図 3.2.1.4-3 に概要を示す。

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合、天井に輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井の熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材、外壁はコンクリートであるため、許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

T : 許容温度 (200℃), T_0 : 初期温度 (50℃), E : 輻射強度 (W/m²)

κ : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (m²/s)

ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱 (880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.63W/m/K), t : 燃焼継続時間 (s)

x : コンクリート壁表面深さ (0m)

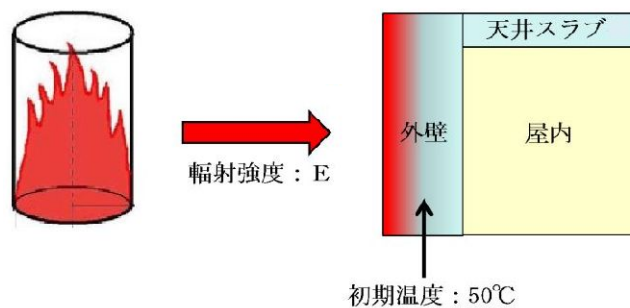


図 3.2.1.4-1 建屋外壁の評価概念図

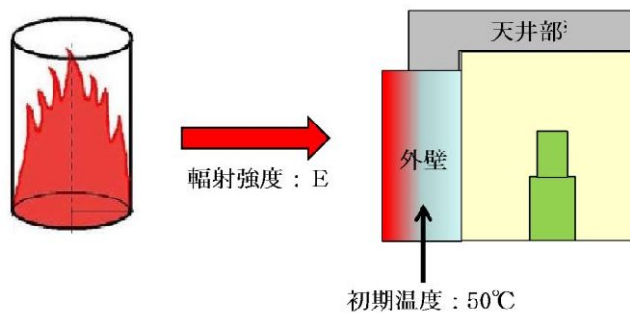


図 3.2.1.4-2 海水ポンプ室の評価概念図

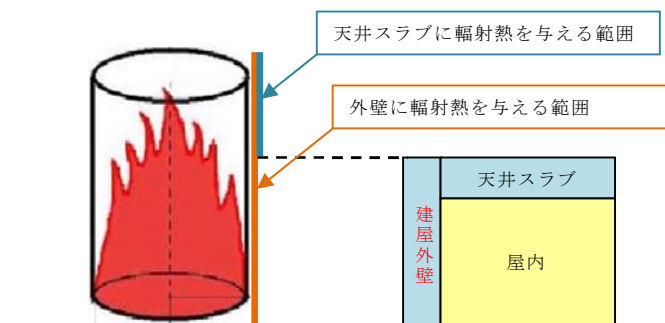


図 3.2.1.4-3 天井スラブの評価概念図

影響評価対象施設のコンクリート表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果、各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.2.1.4-1 に示す。

表 3.2.1.4-1 外壁への危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	41	1,100
海水ポンプ室		1,300
タービン建屋		1,200
使用済燃料乾式貯蔵建屋		800

3.2.1.5 排気筒に対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

排気筒について、危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価に当たっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様

名称		排気筒
種 類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個 数		1

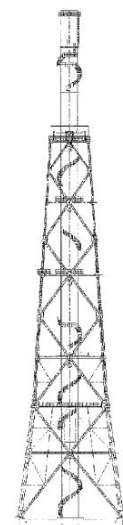


図 3.2.1.5-1 排気筒外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	排気筒 (m)
	1,200

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は、「日本機械学会 発電用原子力設備規格」から 350℃とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして、下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度が 350℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め、当該危険物タンクからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し、当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、評価にあたって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が危険物タンクとの距離が近いこと、材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり、物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

$$E = 2h(T - T_o)$$

T：許容温度(350℃)，T_o：周囲温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）

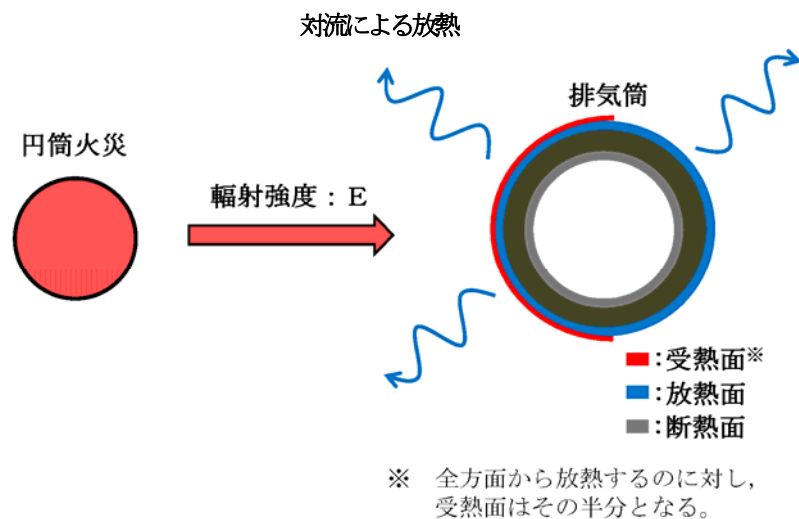


図 3. 2. 1. 5-2 排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔の表面温度が 350℃となる危険距離を算出した結果，排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3. 2. 1. 5-1 に示す。

表 3. 2. 1. 5-1 排気筒への危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	9	1, 200

3. 2. 1. 6 復水貯蔵タンクに対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて，危険物タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2) 復水貯蔵タンク仕様

名称	復水貯蔵タンク
種 類	円筒縦形
主要寸法	タンク外径 : 13.44m タンク内径 : 13.40m タンク円筒高さ : 16.00m タンク最小板厚 : 0.02m
材 料	SM400
個 数	2

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	復水貯蔵タンク (m)
	1,200

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

復水貯蔵タンクより高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系へつながる配管の最高使用温度 66℃を許容温度とする

b. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、下記の温度評価式により復水貯蔵タンクが内包する水の温度が 66℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め、当該危険物タンクからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し、当該危険物タンクから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

$$T - T_0 = \frac{E t \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_p C_{p p} V + \rho_s C_{p s} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2 \pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T : 許容温度 (66℃), T_0 : 初期温度 (45℃)^{※1}, E : 輻射強度 (W/m²),

t : 燃焼継続時間 (s), D_o : 受熱側タンク外径 (m)

D_i : 受熱側タンク内径 (m), h : 受熱側タンク円筒高さ (m)

ρ_p : 受熱側液体密度 (993.295257kg/m³)^{※2}

ρ_s : 受熱側タンク壁材密度 (7,860kg/m³)^{※3}

$C_{p p}$: 受熱側液体比熱 (4.179J/kg/K)^{※2}

$C_{p s}$: 受熱側タンク壁材比熱 (473J/kg/K)^{※3}

V : 受熱側液体体積 (656m³)^{※4}, e : 受熱側タンク最小板厚 (m)

※1 : 過去の測定値に保守性を持たせた値

※2 : 1999 日本機械学会 蒸気表

※3 : 日本機械学会 伝熱ハンドブック

※4 : 水位低警報水位 (924m³) から原子炉隔離時冷却系入口弁切替操作水位 (268m³) までの水量

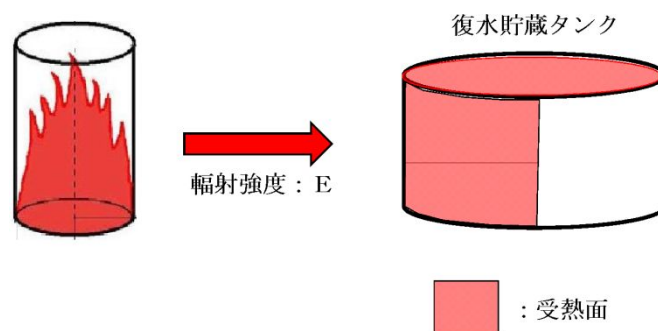


図 3.2.1.6-1 復水貯蔵タンクの評価概念図

復水貯蔵タンクが内包する水の温度が 66℃となる危険距離を算出した結果、復水貯蔵タンクまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.2.1.6-1 に示す。

表 3.2.1.6-1 復水貯蔵タンクへの危険物タンク火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
復水貯蔵タンク	20	1,200

3.2.2 高圧ガス貯蔵施設

(1) 爆風圧の影響評価

a. 評価対象施設の抽出

東海第二発電所から 10km 以内（敷地内を除く）には高圧ガス貯蔵施設が多数存在することから、以下のとおり抽出範囲を絞り込み、評価対象施設の抽出を行った。

- i) 発電所から約 1,500m の位置に、10km 以内（敷地内を除く）で最大の高圧ガス貯蔵施設が建設中であるため、この高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立 LNG 基地の LNG タンク及び LPG タンク）を選定した。
- ii) 当該 LNG 基地に設置される LNG タンク及び LPG タンクについて危険限界距離を算出し、この危険限界距離の範囲内に位置する高圧ガス貯蔵施設を評価対象として抽出した。



図 3.2.2-1 発電所と日立LNG基地の位置関係

表 3.2.2-1 爆風圧影響評価で想定した評価条件

	日立LNG基地※ ¹	
	LNGタンク	LPGタンク
貯蔵ガス	液化天然ガス (メタン)	液化石油ガス (プロパン)
貯蔵量(m ³)	230,000	50,000
貯蔵量(t)	97,704	31,000
密度(t/m ³)	0.4248※ ²	0.62※ ³
貯蔵ガスk値※ ⁴	714	888
貯蔵設備W値※ ⁵	313	176

※¹：建設中（2014年11月現在）

※²：伝熱工学資料第5版記載値

※³：JIS K2240-2013 記載値

※⁴：評価ガイド 記載値

※⁵：貯蔵量は1t以上となるため、貯蔵量の平方根の数値

日立LNG基地にはLNGタンク及びLPGタンクの2種類が設置されるため、評価ガイドに基づき、以下のとおり危険限界距離を算出した。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド【一部抜粋】

貯蔵設備内に2つ以上のガスがある場合においては、それぞれのガスの量（単位 トン）の合計量の平方根の数値にそれぞれのガスの量の当該合計量に対する割合を乗じて得た数値に、それぞれのガスに係るKを乗じて得た数値の合計により、危険限界距離を算出する。また、処理設備内に2以上のガスがある場合においては、それぞれのガスについてK・Wを算出し、その数値の合計により、危険限界距離を算出する。

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石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

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[-]

上記のとおり、ガス量の当該合計量に対する割合は、

$$\text{LNGタンク} : A = 97,704 \div (97,704 + 31,000) = 0.759$$

$$\text{LPGタンク} : B = 31,000 \div (97,704 + 31,000) = 0.241$$

$$W_t = \sqrt{97,704 + 31,000} = 358.753$$

表 3.2.2-1 の評価条件より

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(714 \times 1,000 \times A \times W_t) + (888 \times 1,000 \times B \times W_t)} = 373$$

以上より、危険限界距離は 373m となる。発電所から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設は、発電所から 900m の位置にある

であり、発電所敷地から 400m 以内に、高圧ガス貯蔵施設が存在しないことを確認した。これにより発電所より 10km 以内において、日立LNG基地の爆発影響を超える高圧ガス貯蔵施設はないことを確認した。

発電所に最も近いパイプラインは、日立LNG基地内のパイプラインであり、日立LNG基地内のパイプラインの影響はタンクの影響に包絡される。また、日立LNG基地構外へ延びるパイプラインは埋設され、発電所から遠ざかるため影響はない。

b. 爆風圧の影響評価結果

抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発における危険限界距離は 373m であり、敷地境界までの危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3. 2. 2-2 に示す。

表 3. 2. 2-2 抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
LNG タンク	メタン	97,704	373	1,500
LPG タンク	プロパン	31,000		

※：敷地境界までの距離

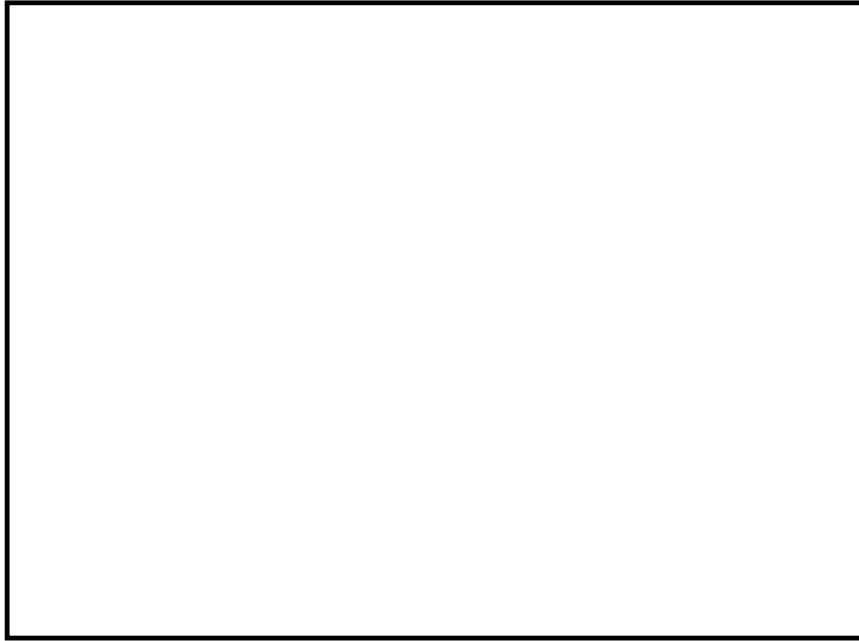


図 3. 2. 2-2 発電所敷地から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設

(2) 爆発飛来物の影響評価

a. 評価対象施設の抽出

高圧ガス貯蔵タンクの大規模な爆発火災事象（BLEVE：Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion（沸騰液膨張蒸気爆発））は、可燃性ガスが加圧され液体で貯蔵されているタンクが、加熱されることによってタンク内の圧力が上昇し、タンクの一部破損により起こる液体の急激な気化に伴い発生するため、ガスを加圧し貯蔵している加圧貯蔵タンクで発生し易く、大気圧に近い低压・低温で貯蔵されている低温貯蔵タンクでは発生し難い。

また、低温貯蔵タンク内部は保冷層で覆われ外部から熱が入り難く、BOG圧縮機^{※1}等でタンク内圧を一定に制御しているため、加圧貯蔵タンクと比較して内圧が上昇し難く、BLEVEは発生し難い^{※2}。

さらに、タンク破損の際に放出されるエネルギーはガスタンクの内圧と気相部容積により算出できることから、「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、加圧貯蔵 L P G タンクと低温貯蔵 L N G タンク及び低温貯蔵 L P G タンクが持つ放出エネルギーを以下の式により算出した。

$$E = \left(\frac{P - P_0}{\gamma - 1} \right) V$$

E : 放出されるエネルギー [MJ] P : 放出前の容器内圧力(絶対圧) [MPa]

P₀ : 放出後の圧力(0.101MPa) V : 気相部容積[m³]

γ : 容器内の気体の比熱比

表 3.2.2-3 放出エネルギー比較

対象施設	絶対圧※ ³ (MPa)	比熱比	気相部容積※ ⁴ (m ³)	放出エネルギー (MJ)
加圧貯蔵 L P G タンク	1.831	1.1	1,200	20,760
低温貯蔵 L N G タンク	0.123	1.3	1,200	88
低温貯蔵 L P G タンク	0.123	1.1	1,200	264

※1 : タンクから発生するボイルオフガスを再液化し、タンク内圧を一定に制御する。

※2 : 出典「Environmental Assessment for the Sabine Pass Liquefaction Project」

※3 : 安全弁作動圧力に大気圧を加えた値

※4 : 一般的なガスタンクの容量

算出した結果、低温貯蔵タンクの放出エネルギーは加圧貯蔵 L P G タンクと比較して 1/240～1/80 と小さいことを確認した。

したがって、東日本大震災で爆発火災が起きた加圧貯蔵型の L P G タンク(発電所 10km 以内に存在するタンク)について、爆発時に発生する飛来物への影響評価を実施した。

b. 爆発飛来物の影響評価結果

「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，抽出した高圧ガス貯蔵施設の爆発による破片の
飛散範囲を以下の式にて算出した。

$$L = 90M^{0.333} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 未満の容器})$$

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器})$$

L：破片の最大飛散範囲，M：破裂時の貯蔵物質質量

飛来物の飛散距離を算出した結果，飛散距離は離隔距離以下であるこ
とを確認した。評価結果を表 3.2.2-4 に示す。

表 3.2.2-4 爆発飛来物の影響評価結果

施設名称	貯蔵量 (kg)	飛散距離 (m)	離隔距離※ (m)

※：敷地境界までの距離

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

容器の破損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って異なってくる。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⁾。

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

ただし、

L：破片の最大飛散範囲(m)

M：破裂時の貯蔵物質質量(kg)

この式を東日本大震災の LPG 爆発火災 (M=300,000kg) に適用すると次のようになる。

$$L = 465 \times 300000^{0.10} = 1640\text{m}$$

この事故では、タンク破片が最大約 1,300m、板金が最大約 6,200m まで飛散している。板金は厚さ 0.5mm の薄板であり、揚力によって遠方まで達したものと考えられる。一方、タンク本体の破片や付属重量物が飛散した場合には、落下・衝突による被害が懸念されるが、この事故によるタンク破片の飛散距離最大約 1,300m と照らし合わせると、式 31 により大まかな推定は可能と考えられる。なお、プラントの異常反応に伴う容器破裂に関しては式 31 は適用できないため、過去の事故事例などをもとに推定することになる。

3.3 燃料輸送車両

3.3.1 火災の影響評価

発電所敷地外の公道上での燃料輸送車両(以下「タンクローリー」という。)の火災を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

タンクローリーは、消防法(危険物の規則に関する政令第15条第1項三号)において、移動タンク貯蔵所の上限量が定められており、公道を通行可能な上限量(=30m³)のガソリンが積載された状況を想定した。

また、火災発生場所としては、発電所敷地外の近隣の国道 245 号線上の影響評価対象施設に最も近い場所を想定した。

3.3.1.1 共通データの算出

各外壁、排気筒及び復水貯蔵タンクに対する影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) タンクローリー及び燃料に係るデータ

タンクローリー及び燃料に係るデータを表 3.3.1.1-1 に示す。

表 3.3.1.1-1 タンクローリー及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)
タンクローリー	ガソリン	30	58	0.055	783	28.8093

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS (製品データ安全シート)

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は延焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R：燃焼半径(m)， S：燃焼面積(m^2)

表 3.3.1.1-2 タンクローリーの燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m^2)	燃焼半径 R (m)
タンクローリー	28.8093※	3

※：28kL タンクローリーのトレーラ全長 (11.57m) と全幅 (2.49m) の積

(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 / ρ (m/s)

M : 質量低下速度 (m/s), ρ : 燃料密度 (kg/m³)

表 3.3.1.1-3 タンクローリー火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
タンクローリー	30	3	0.055	783	14,826

3.3.1.2 外壁に対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、タンクローリーの火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料乾式 貯蔵建屋 (m)
タンクローリー	510	760	450	520

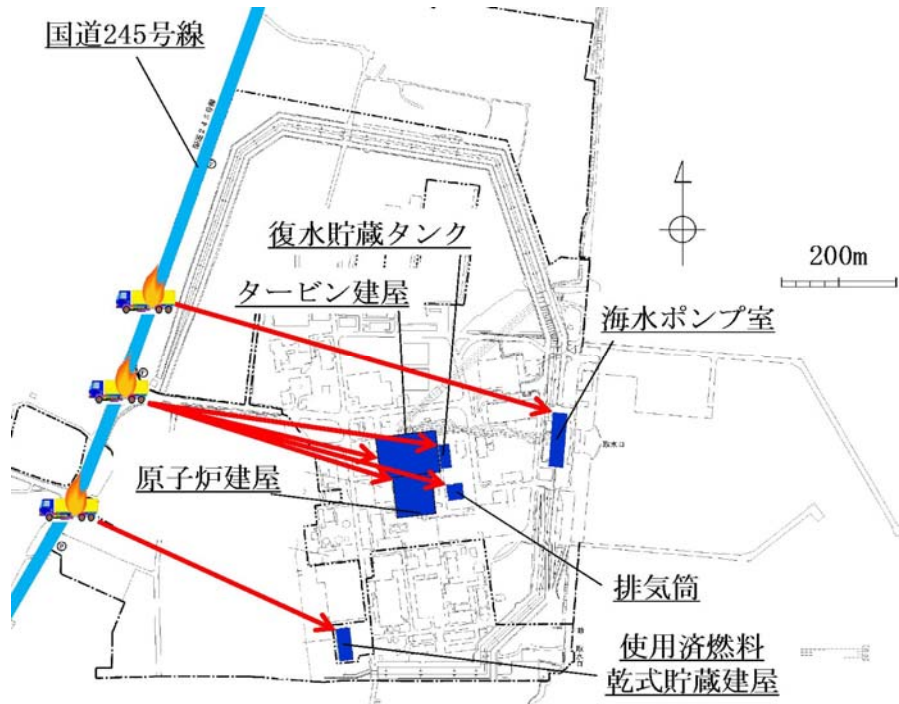


図 3.3.1.2-1 火災発生場所と影響評価対象施設の位置関係

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度が 200°C となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該タンクローリーからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離 (=危険距離) を算出し、当該タンクローリーから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井より短い場合，天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材，外壁はコンクリートであるため，許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

T ：表面から x (m) の位置の温度 ($^{\circ}\text{C}$)， T_0 ：初期温度 (50°C)

a ：熱伝達率 ($17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$)， κ ：コンクリート温度伝導率 ($=\lambda/\rho C_p$) (m^2/s)

ρ ：コンクリート密度 ($2,400\text{kg}/\text{m}^3$)， C_p ：コンクリート比熱 ($880\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)

λ ：コンクリート熱伝導率 ($1.63\text{W}/\text{m}/\text{K}$)， E ：輻射強度 (W/m^2)

t ：燃焼継続時間 (s)， x ：コンクリート壁表面深さ (0m)

影響評価対象施設のコンクリート表面温度が 200°C となる危険距離を算出した結果，各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.3.1.2-1 に示す。

表 3.3.1.2-1 外壁へのタンクローリー火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
原子炉建屋	15	510
海水ポンプ室		760
タービン建屋		450
使用済燃料乾式貯蔵建屋		520

3.3.1.3 排気筒に対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

排気筒について、タンクローリーの火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価にあたっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様

名称		排気筒
種 類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個 数		1

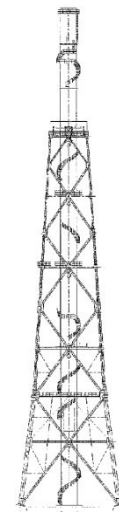


図 3.3.1.3-1 排気筒外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	排気筒 (m)
タンクローリー	610

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，「日本機械学会 発電用原子力設備規格」から 350℃とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度が 350℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め，タンクローリーからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し，タンクローリーから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお，評価にあたって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が危険物タンクとの距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

$$E = 2h(T - T_o)$$

T：許容温度(350℃)， T_o ：周囲温度(50℃)^{※1}

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)^{※2}

※1：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※2：「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面 熱伝達率（空気）

排気筒鉄塔の表面温度が 350℃となる危険距離を算出した結果，排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.3.1.3-1 に示す。

表 3.3.1.3-1 排気筒へのタンクローリー火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
排気筒	9	610

3.3.1.4 復水貯蔵タンクに対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、タンクローリーの火災を想定して評価を実施した。

(2) 復水貯蔵タンク仕様

名称	復水貯蔵タンク
種 類	円筒縦形
主要寸法	タンク外径 : 13.44m タンク内径 : 13.40m タンク円筒高さ : 16.00m タンク最小板厚 : 0.02m
材 料	SM400
個 数	2

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	復水貯蔵タンク (m)
タンクローリー	560

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

復水貯蔵タンクより高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系へつながる配管の最高使用温度 66℃を許容温度とする。

b. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、下記の温度評価式により復水貯蔵タンクが内包する水の温度が 66℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め、当該タンクローリーからの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し、当該タンクローリーから影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

$$T - T_0 = \frac{E_t \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_p C_{p p} V + \rho_s C_{p s} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

- T：許容温度(66℃)， T₀：初期温度(45℃)^{※1}， E：輻射強度(W／m²)，
t：燃焼継続時間(s)， D_o：受熱側タンク外径(m)
D_i：受熱側タンク内径(m)， h：受熱側タンク円筒高さ(m)
ρ_p：受熱側液体密度(993.295257kg／m³)^{※2}
ρ_s：受熱側タンク壁材密度(7,860kg／m³)^{※3}
C_{p p}：受熱側液体比熱(4.179J／kg／K)^{※2}
C_{p s}：受熱側タンク壁材比熱(473J／kg／K)^{※3}
V：受熱側液体体積(656m³)^{※4}， e：受熱側タンク最小板厚(m)
※1：過去の測定値に保守性を持たせた値
※2：1999 日本機械学会 蒸気表
※3：日本機械学会 伝熱ハンドブック
※4：水位低警報水位(924m³)から原子炉隔離時冷却系入口弁切替操作水位(268m³)までの水量

復水貯蔵タンクが内包する水の温度が 66℃となる危険距離を算出した結果、復水貯蔵タンクまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.3.1.4-1 に示す。

表 3.3.1.4-1 復水貯蔵タンクへのタンクローリー火災影響評価結果

影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
復水貯蔵タンク	10	560

3.3.2 爆風圧の影響評価

(1) 燃料輸送車両及び燃料に係るデータ

発電所敷地外の公道上でのタンクローリーの爆発を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

可燃性ガスを輸送するタンクローリーは、最大クラスのタンクローリー（積載量：15.1t）に液化天然ガス（LNG）及び液化石油ガス（LPG）が積載された状況を想定した。

また、爆発発生場所としては、発電所敷地外の近隣の国道245号線上の影響評価対象施設に最も近い場所を想定した。

表 3.3.2-1 爆風圧影響評価で想定した評価条件

	LNGローリー	LPGローリー
貯蔵ガス	液化天然ガス (メタン)	液化石油ガス (プロパン)
貯蔵量(t)	15.1	15.1
貯蔵ガスk値※ ¹	714	888
貯蔵設備W値※ ²	4	4

※1：評価ガイド 記載値

※2：貯蔵量は1t以上となるため、貯蔵量の平方根の数値

(2) 危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき、下式より危険限界距離を算出した結果、危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表3.3.2-2に示す。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

X：危険限界距離(m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

表 3.3.2-2 外壁へのタンクローリー爆発影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
LNGローリー	メタン	15.1	81	450
LPGローリー	プロパン	15.1	88	

※：防護対象施設のなかで国道 245 号線から最も離隔距離が短いタービン建屋までの距離

(3) 爆発飛来物の影響評価結果

国道 245 号線を通る加圧貯蔵の LPG ローリーについて、「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、タンクの破損による破片の飛散範囲を下式より飛散距離を算出した。

$$L = 465M^{0.10} \quad (\text{容積 } 5\text{m}^3 \text{ 以上の容器})$$

L：破片の最大飛散範囲，M：破裂時の貯蔵物質量

算出したタンク破片の飛散距離は 1,218m であり発電所敷地に到達するが、その飛来物が影響評価対象施設に衝突する可能性は非常に低い。また、竜巻影響評価において想定飛来物に対する評価及び対策を実施することから、仮にタンク破片等の飛来物が衝突したとしても影響評価対象施設への影響はない。なお、日立 LNG 基地に出入り予定の LPG 及び LNG タンクローリーは低温貯蔵型であるため、3.2.2 (2) a. のとおり、BLEVE は発生し難い。

3.4 漂流船舶

3.4.1 火災の影響評価

発電所から約 1,500m の位置に、高圧ガス貯蔵施設（東京ガス（株）が所有する日立 LNG 基地の LNG タンク及び LPG タンク）が建設中である

ため、

の火災を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。

なお、である発電所の沖合 900m

までしか近づけないことから、水深 11m のポイントから影響評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

また、発電所港湾内に定期的に入港する船舶（以下「定期船」という。）のうち火災影響が最大となる船舶の火災を想定し、影響評価対象施設に対する影響評価を行った。定期船は喫水が 5m 以下と浅く、発電所岸壁まで接近可能性であるため、発電所岸壁から影響評価対象施設までの離隔距離が最も短くなる地点での火災を想定した。

3.4.1.1 共通データの算出

各外壁、排気筒及び復水貯蔵タンクに対する影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) 船舶及び燃料に係るデータ

船舶及び燃料に係るデータを表 3.4.1.1-1 に示す。

表 3.4.1.1-1 船舶及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※1	質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※2	燃料密度 (kg/m^3)※3	燃焼面積 (m^2)

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

※3：MSDS（製品データ安全シート）

※4：LNG 輸送船に包絡されるため影響評価対象外とした。

※5：定期船に包絡されるため影響評価対象外とした。

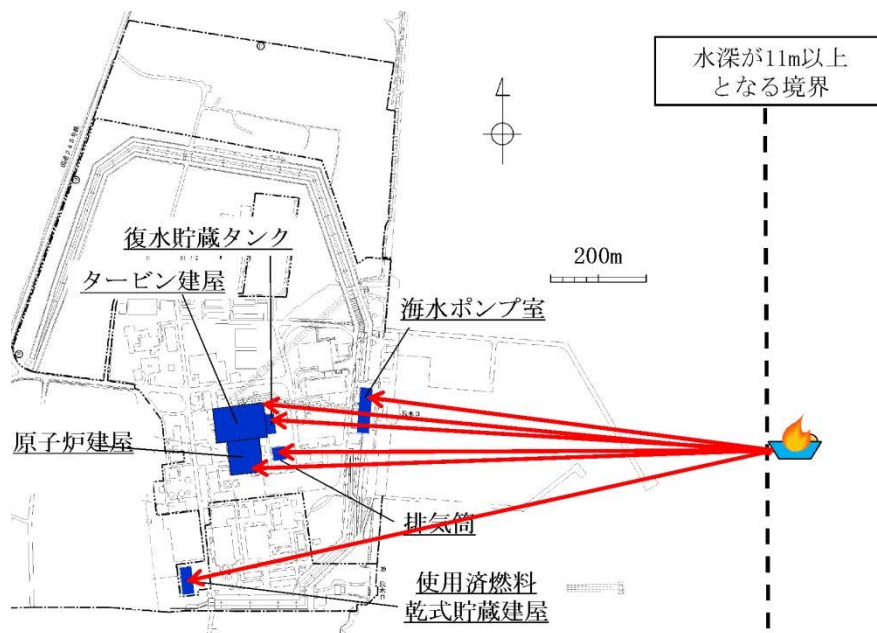


図 3.4.1.1-1 LNG 輸送船火災と影響評価対象施設の位置関係

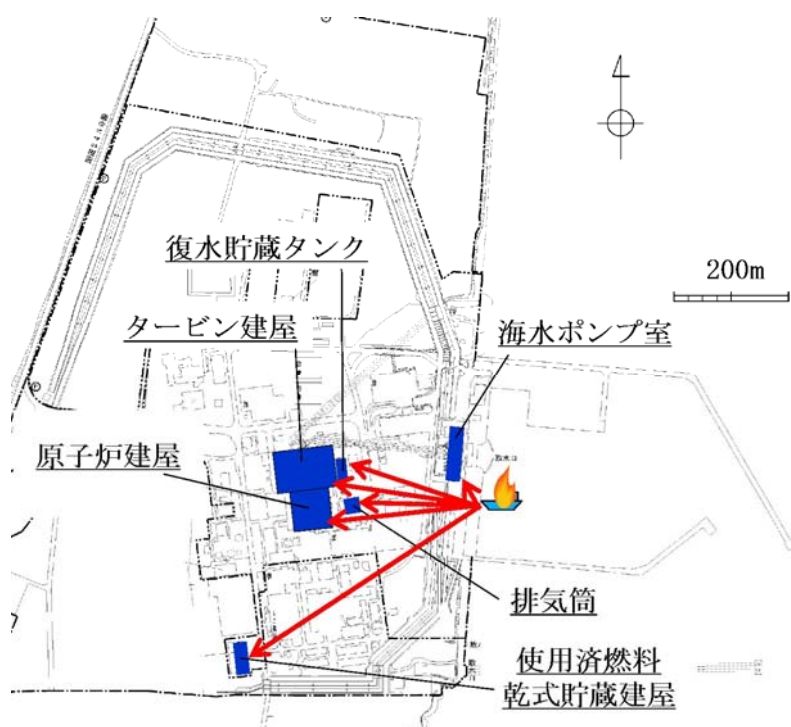


図 3.4.1.1-2 定期船火災と影響評価対象施設の位置関係

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R : 燃焼半径(m), S : 燃焼面積(m²)

表 3.4.1.1-2 船舶の燃焼半径

想定火災源	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)

(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/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(m/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

表 3.4.1.1-3 船舶火災の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)

3.4.1.2 外壁に対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	原子炉建屋 (m)	海水ポンプ室 (m)	タービン建屋 (m)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋(m)
	1,100	900	1,100	1,300
	300	70	270	530

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200℃を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を求め、当該船舶からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離 (=危険距離) を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井より短い場合、天井に輻射熱を与えないことから熱影響はない。

- ・火炎長が天井より長い場合，天井に輻射熱を与えるが，その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合，垂直面（外壁）と水平面（天井）の形態係数は，垂直面の方が大きいことから，天井の熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材，外壁はコンクリートであるため，許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

T：表面から x(m) の位置の温度(℃), T₀：初期温度(50℃)
 a：熱伝達率(17W／m²／K), κ：コンクリート温度伝導率(=λ／ρ C_p) (m²／s)
 ρ：コンクリート密度(2,400kg／m³), C_p：コンクリート比熱(880J／kg／K)
 λ：コンクリート熱伝導率(1.63W／m／K), E：輻射強度(W／m²)
 t：燃焼継続時間(s), x：コンクリート壁表面深さ(0m)

影響評価対象施設のコンクリート表面温度が 200℃となる危険距離を算出した結果，各影響評価対象施設までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.4.1.2-1 に示す。

表 3.4.1.2-1 外壁への船舶火災影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	原子炉建屋	165	1,100
	海水ポンプ室		900
	タービン建屋		1,100
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		1,300
	原子炉建屋	54	300
	海水ポンプ室		70
	タービン建屋		270
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		530

3.4.1.3 排気筒に対する危険距離評価

(1) 評価対象範囲

排気筒について，船舶の火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価にあたっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様

名称		排気筒
種 類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個 数		1

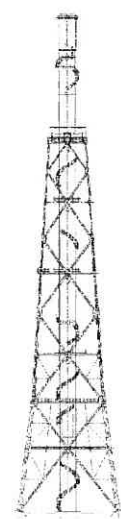


図 3.4.2-1 排気筒外形図

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	排気筒 (m)
	1,100
	250

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（SS400，STK400）の許容温度は，「日本機械学会 発電用原子力設備規格」から 350℃とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして、下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度が 350℃となる輻射強度(=危険輻射強度)を求め、当該船舶からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離(=危険距離)を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、評価にあたって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が危険物タンクとの距離が近いこと、材質も鉄塔は SS400、STK400、筒身では SS400 であり、物性値が鉄塔、筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

$$E=2h\left(T-T_0\right)$$

T：許容温度(350℃)，T₀：周囲温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W／m²)，h：熱伝達率(17W／m²／K)※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率(空気)

排気筒鉄塔の表面温度が 350℃となる危険距離を算出した結果、排気筒までの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.4.1.3-1 に示す。

表 3.4.1.3-1 排気筒への船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	80	1,100
	26	250

3.4.1.4 復水貯蔵タンクに対する危険距離評価

(1) 影響評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、船舶の火災を想定して評価を実施した。

(2) 復水貯蔵タンク仕様

名称	復水貯蔵タンク
種 類	円筒縦形
主要寸法	タンク外径 : 13.44m タンク内径 : 13.40m タンク円筒高さ : 16.00m タンク最小板厚 : 0.02m
材 料	SM400
個 数	2

(3) 想定火災源から影響評価対象施設までの距離

想定火災源	復水貯蔵タンク (m)
	1,100
	270

(4) 判断の考え方

a. 許容温度

復水貯蔵タンクより高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系へつながる配管の最高使用温度 66℃を許容温度とする。

b. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、下記の温度評価式により復水貯蔵タンクが内包する水の温度が 66℃となる輻射強度（=危険輻射強度）を求め、当該船舶からの熱影響がこの危険輻射強度となる離隔距離（=危険距離）を算出し、当該船舶から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

$$T - T_0 = \frac{E t \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_p C_{p p} V + \rho_s C_{p s} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2 \pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T ：許容温度(66℃)， T_0 ：初期温度(45℃)^{※1}， E ：輻射強度(W/m²)，

t ：燃焼継続時間(s)， D_o ：受熱側タンク外径(m)

D_i ：受熱側タンク内径(m)， h ：受熱側タンク円筒高さ(m)

ρ_p ：受熱側液体密度(993.295257kg/m³)^{※2}

ρ_s ：受熱側タンク壁材密度(7,860kg/m³)^{※3}

$C_{p p}$ ：受熱側液体比熱(4.179J/kg/K)^{※2}

$C_{p s}$ ：受熱側タンク壁材比熱(473J/kg/K)^{※3}

V ：受熱側液体体積(656m³)^{※4}， e ：受熱側タンク最小板厚(m)

※1：過去の測定値に保守性を持たせた値

※2：1999 日本機械学会 蒸気表

※3：日本機械学会 伝熱ハンドブック

※4：水位低警報水位(924m³)から原子炉隔離時冷却系入口弁切替操作水位(268m³)までの水量

復水貯蔵タンクが内包する水の温度が66℃となる危険距離を算出し

た結果、復水貯蔵タンクまでの危険距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表3.4.1.4-1に示す。

表 3.4.1.4-1 復水貯蔵タンクへの船舶火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
	71	1,100
	23	270

3.4.2 爆風圧の影響評価

(1) 評価対象船舶の抽出

添付3.4.1 火災の影響評価と同様、LNG及びLPGを輸送する輸送船(内航船含む)の爆発を想定し、影響評価対象船舶に対する影響評価を行った。爆発地点は、火災発生と同じ場所を想定した。

表 3.4.2-1 爆風圧影響評価で想定した評価条件

	L N G 輸送船	L P G 輸送船	内航船
貯蔵ガス			
貯蔵量(m ³)			
貯蔵量(t)			
密度(t/m ³)			
喫水(m)			
貯蔵ガス k 値※ ³			
貯蔵設備 W 値※ ⁴			

※1：伝熱工学資料第5版記載値

※2：JIS K2240-2013 記載値

※3：評価ガイド 記載値

※4：貯蔵量は1t以上となるため，貯蔵量の平方根の数値

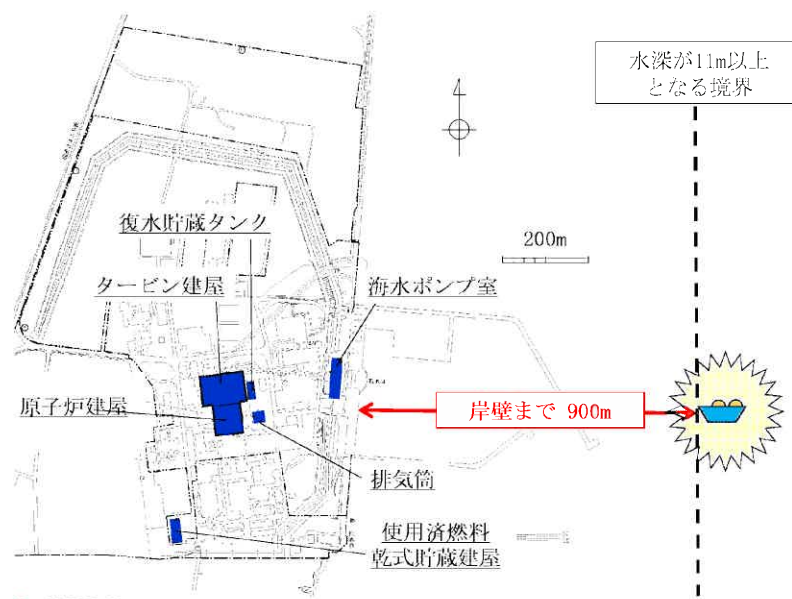


図 3.4.2-1 発電所と L N G, L P G 輸送船の位置関係

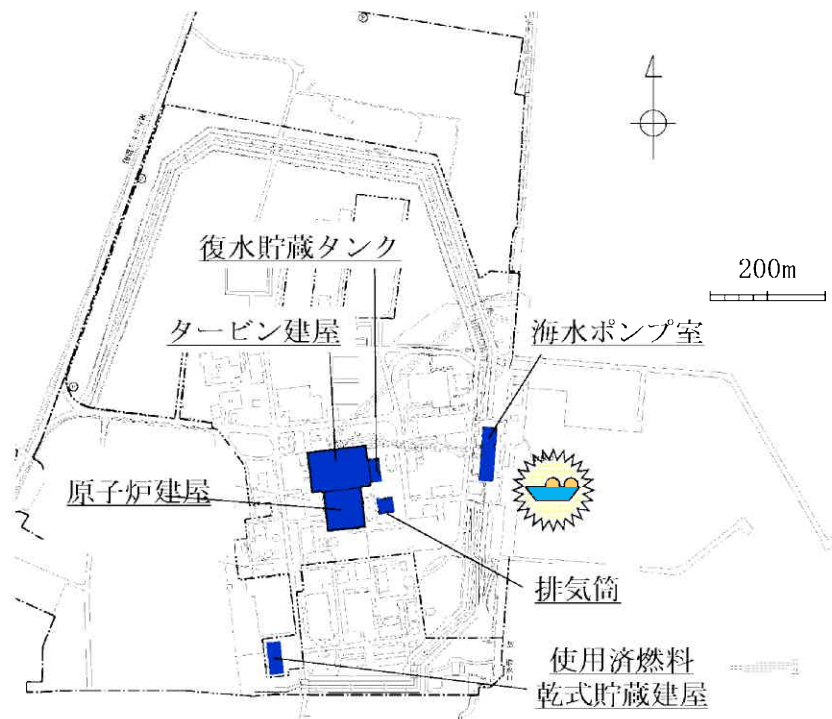


図 3.4.2-2 発電所と内航船の位置関係

(2) 危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき、下式より危険限界距離を算出した結果、危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 3.4.2-2 に示す。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

X:危険限界距離(m), K:石油類の定数(-), W:設備定数(-)

表 3.4.2-2 船舶の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	ガス種類	容量 (t)	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)

※: 海水ポンプ室の高さは防潮堤高さよりも低く、直接爆風圧の影響を受けることはないため、海水ポンプ室は影響評価対象外とする。離隔距離は海水ポンプ室を除いて最も近い排気筒までの距離とする。

(3) 爆発飛来物の影響評価結果

日立LNG基地に出入り予定の輸送船は低温貯蔵型であるため，3.2.2

(2) a. で確認したとおり，BLEVEは発生し難い。

仮想危険物タンクの危険距離の算出について

1. 評価条件

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする石油類貯蔵施設は熱影響が最大となる仮想危険物タンク（n-ヘキサンを 10 万 kL 貯蔵）を想定した。
- b. 評価対象とする危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、a. で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 消防法で定める最大の防油堤（80,000m²）内の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油の液面火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

(3) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを下表に示す。

危険物タンク及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m ³)	輻射発散度 (kW/m ²)※1	質量低下速度 (kg/m ² /s)※2	燃料密度 (kg/m ³)※2	防油堤面積 (m ²)
仮想危険物タンク	n-ヘキサン	100,000	85	0.074	650	80,000

※1：評価ガイド 記載値

※2：NUREG-1805 記載値

2. 評価結果

(1) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R : 燃焼半径(m), S : 防油堤面積 (=燃焼面積) (m²)

危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
仮想危険物タンク	80,000	160

(2) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

t : 燃焼継続時間(s), V : 燃料量(m³)

R : 燃焼半径(m), v : 燃焼速度=M/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(m/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

危険物タンクの燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
仮想危険物 タンク	100,000	160	0.074	650	10.984

(3) 危険距離の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式より求まるコンクリート表面の温度が 200℃となる輻射強度 (=危険輻射強度) を、評価ガイドに基づく形態係数の算出式に代入し、危険距離について解くと結果は 1,329m となるため、保守的に 1.4km を抽出範囲とした。なお、排気筒及び復水貯蔵タンクは以下の理由により、外壁の評価に包絡される。

- ・排気筒は鋼材、外壁はコンクリートであるため、許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。
- ・復水貯蔵タンクは外壁に比べ熱容量が大きいいため、熱容量が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

T : 許容温度 (200℃), T_0 : 初期温度 (50℃), E : 輻射強度 (W/m^2)

κ : コンクリート温度伝導率 ($= \lambda / \rho C_p$) (m^2/s)

ρ : コンクリート密度 ($2,400\text{kg}/\text{m}^3$), C_p : コンクリート比熱 ($880\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)

λ : コンクリート熱伝導率 ($1.63\text{W}/\text{m}/\text{K}$), t : 燃焼継続時間 (s)

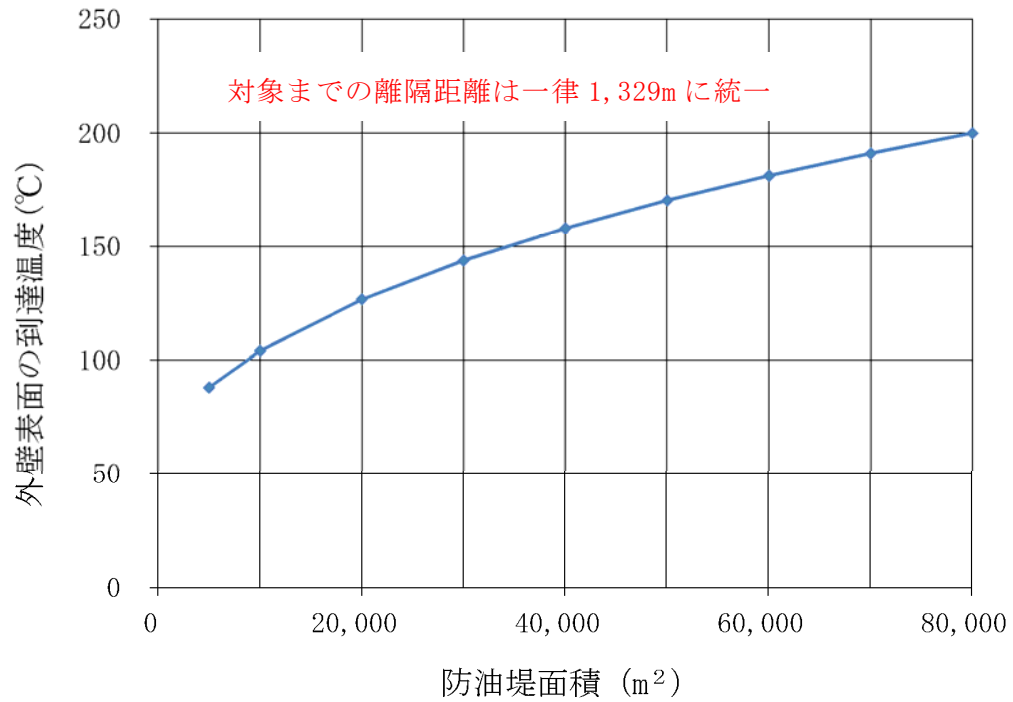
x : コンクリート壁表面深さ (0m)

外壁への危険物タンク火災影響評価結果

想定火災源	危険距離 (m)
仮想危険物タンク	1,329

(4) 想定した防油堤面積の保守性について

下図に示すとおり，防油堤面積は大きいほど外壁表面の到達温度が上昇することから，消防法で定める最大の防油堤面積を評価で用いることは保守的である。



防油堤面積と外壁表面の到達温度の関係

排気筒の評価結果 9m の妥当性について

排気筒の許容温度 350℃に到達する危険輻射強度は以下のとおりとなる。

$$E = 2 h (T - T_0) = 2 \times 17 \times (350 - 50) = 10,200$$

T : 許容温度 (350℃), T_0 : 周囲温度 (50℃)※¹

h : 熱伝達率 (17W/m²/K)※², E : 輻射強度 (W/m²)

※¹ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※² : 「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率 (空気)

上記で算出した輻射強度は に対するものであるため、評価ガイドに基づく算出式より、この火災の形態係数は以下の通り算出される。

$$E = R f \times \Phi \Rightarrow \Phi = R f \div E = \text{} \div 10,200 = 0.000225$$

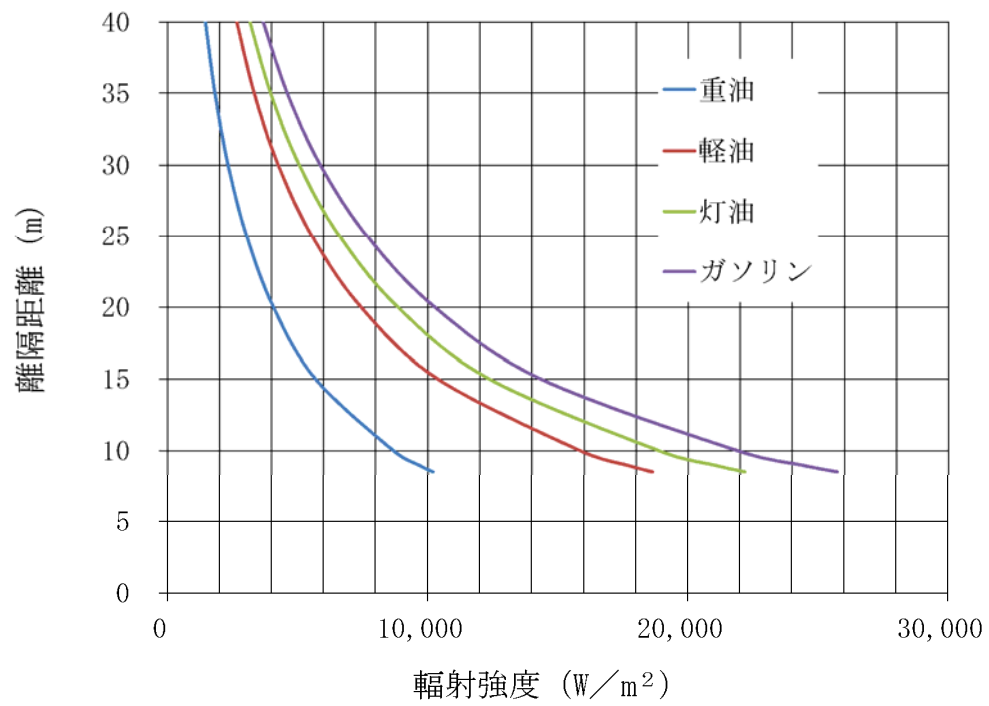
評価ガイドには形態係数の算出式は下式のとおりとあり、この式に形態係数を代入し、離隔距離 L を逆算する。

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

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

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

この結果より離隔距離は 9m となり、評価ガイドに基づき算出されている。また、軽油等の他の燃料と比較すると重油は同じ離隔距離での輻射強度が低い。



離隔距離と輻射強度の関係

敷地内における危険物タンクの火災について

1. 目的

東海第二発電所の敷地内における危険物タンクの火災が、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼさないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき、評価を実施するものである。

2. 評価対象の考え方

発電所敷地内の危険物貯蔵施設等（表 2-1）について、図 2-1 のフローに基づき評価対象を抽出した。

- ・屋内貯蔵所は評価対象外とした。
- ・地下タンク貯蔵所については、地表面で火災が発生する可能性は低いことから、評価対象外とした。
- ・危険物貯蔵施設から評価対象施設を直接臨まないものについては、当該タンクにおいて火災が発生しても、その影響が及ばないため、評価対象外とした。

可搬型重大事故等対処設備等として計画中の設備（表 2-2）及び発電所敷地内のガス貯蔵施設（表 2-3）についても、図 2-1 のフローに基づき評価対象を抽出した。

- ・不燃性ガスを貯蔵しているガス貯蔵施設については評価対象外とした。
- ・常時「空」状態で運用するタンクローリーについては評価対象外とした。
- ・車両のように貯蔵油量が敷地内危険物タンクに比べて少なく、敷地内危険物タンクの影響評価に包絡されるものについては、評価対象外とした。
- ・地下タンク貯蔵所については、地表面で火災が発生する可能性は低いことから、評価対象外とした。

発電所敷地内における評価対象とする危険物貯蔵施設、ガス貯蔵施設及び
影響評価対象施設の設置位置を図 2-2 に示す。

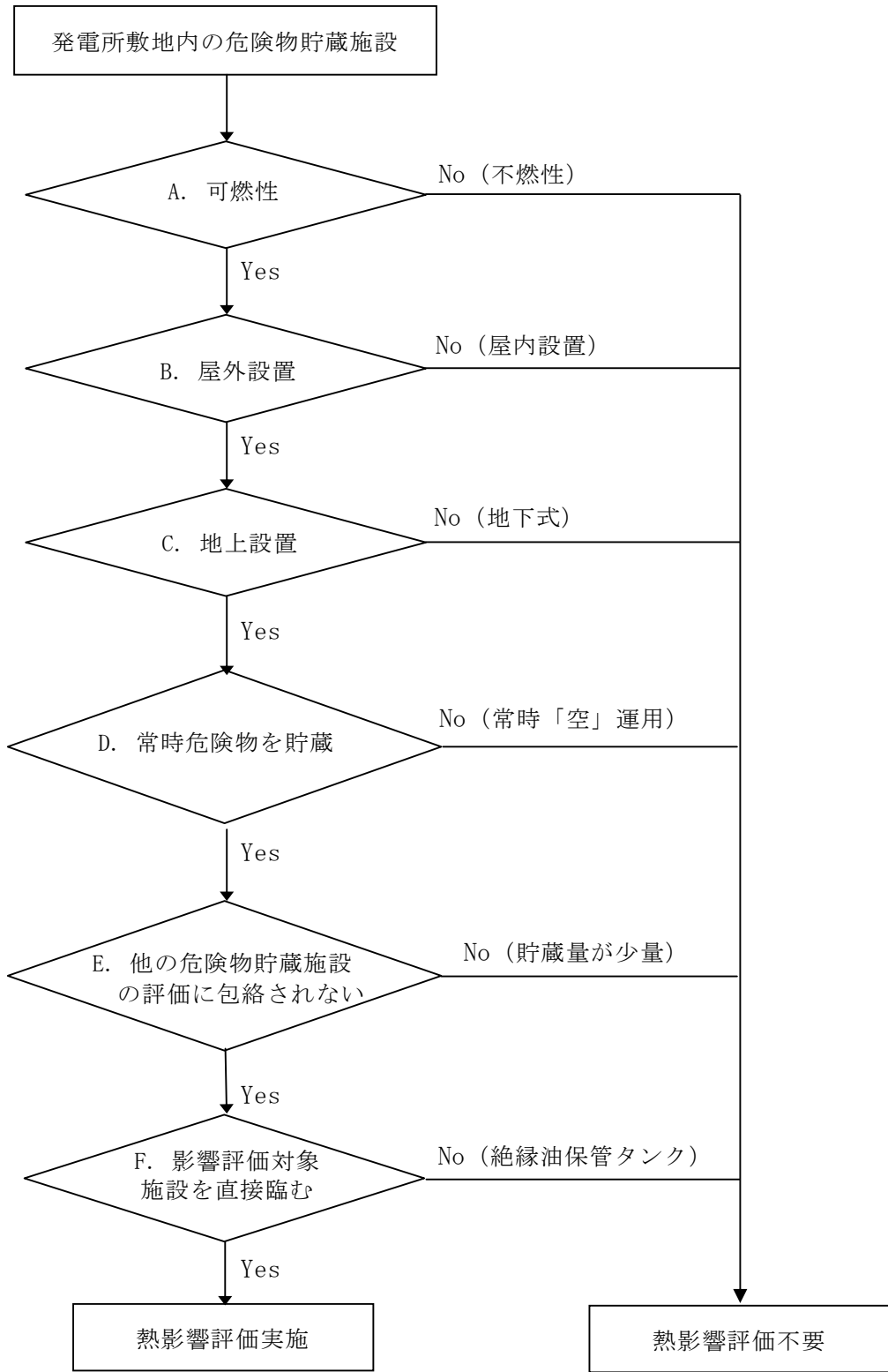


図 2-1 敷地内危険物貯蔵施設の熱影響評価対象抽出フロー

表 2-1 敷地内の危険物貯蔵施設一覧

危険物施設名	製造所等区分	設置場所	危険物の類		品名	最大数量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
オイルタンクファーム (軽油タンク)	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第二石油類	軽油	35.00	○
オイルタンクファーム (No. 1 潤滑油タンク)	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	20.50	○
オイルタンクファーム (No. 2 潤滑油タンク)	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	20.50	○
オイルタンクファーム (No. 3 潤滑油タンク)	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	35.00	○
油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	0.90	× (屋内設置 → B)
			第四類	第二石油類	軽油	2.20	× (屋内設置 → B)
			第四類	第三石油類	排油	18.20	× (屋内設置 → B)
			第四類	第四石油類	潤滑油	21.00	× (屋内設置 → B)
重油タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	重油	500.00	× (※1)
軽油貯蔵タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第二石油類	軽油	340×2基	× (地下式 → C)
原子炉建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	33.20	× (屋内設置 → B)
			第四類	第四石油類	潤滑油	16.50	
タービン建屋	一般取扱所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	185.23	× (屋内設置 → B)
			第四類	第四石油類	リン酸エステル油	7.93	× (屋内設置 → B)
			第四類	第三石油類	重油	2.40	× (屋内設置 → B)
溶融炉灯油タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第二石油類	灯油	10.00	○
チェックポイント建屋 暖房用タンク	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	3.00	× (地下式 → C)
No. 1 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第二石油類	軽油	4.00	× (屋内設置 → B)
			第四類	第四石油類	潤滑油	90.00	× (屋内設置 → B)
No. 2 保修用油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第四石油類	潤滑油	100.00	× (屋内設置 → B)
保修用屋外油貯蔵所	屋外貯蔵所	屋外	第四類	第四石油類	潤滑油	80.00	× (※1)
工事協力会油倉庫	屋内貯蔵所	屋内	第四類	第一石油類	ガソリン	1.00	× (屋内設置 → B)
			第四類	第二石油類	灯油	3.10	× (屋内設置 → B)
			第四類	第三石油類	塗料	2.50	× (屋内設置 → B)
			第四類	第四石油類	潤滑油	2.90	× (屋内設置 → B)
緊急時対策室建屋 (旧緊急時対策室)	一般取扱所	屋内	第四類	第三石油類	重油	5.76	× (屋内設置 → B)
緊急時対策室建屋地下タンク (旧緊急時対策室)	地下タンク貯蔵所	地下	第四類	第三石油類	重油	20.00	× (地下式 → C)
絶縁油保管タンク	屋外タンク貯蔵所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	200.00	× (直接臨まない → F)
主変圧器	一般取扱所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	136.00	× (※2)
所内変圧器	一般取扱所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	19×2基	× (※2)
起動変圧器	一般取扱所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	A : 45.95 B : 46.75	× (※2)
予備変圧器	一般取扱所	屋外	第四類	第三石油類	絶縁油	35.90	× (※2)

網掛け箇所：評価対象の危険物貯蔵施設

- ※1：影響評価対象に影響を及ぼさない位置に移設又は埋設するため評価対象外とした。
- ※2：防油堤に内容物が漏えいした場合、配管を介して地下の排油タンクに流れるため地上で大規模な火災が発生することはない。なお、設備本体で火災が発生した場合の熱影響評価をした場合であっても、必要となる離隔距離を確保していることを確認している。(別紙 4.1)

表 2-2 計画中の可搬型重大事故等対処設備等一覧

設備名	数量	危険物の類		品名	燃料貯蔵量[L] (1数量あたり)	詳細評価要否 (○:対象, ×:対象外)
可搬型代替注水中型ポンプ	9台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車両) 125 (ポンプ)	× (他の評価に包絡される →E)
可搬型代替注水消防ポンプ	2台	第四類	第二石油類	軽油	70	× (他の評価に包絡される →E)
可搬型代替注水中型ポンプ用ホース車	9台	第四類	第二石油類	軽油	160	× (他の評価に包絡される →E)
可搬型代替注水大型ポンプ	2台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車両) 350 (ポンプ)	× (他の評価に包絡される →E)
可搬型代替注水大型ポンプ用ホース車	4台	第四類	第二石油類	軽油	200 (車両) 15 (ホース回収)	× (他の評価に包絡される →E)
シルトフェンス積載トラック (大型)	2台	第四類	第二石油類	軽油	300	× (他の評価に包絡される →E)
シルトフェンス積載トラック (中型)	2台	第四類	第二石油類	軽油	100	× (他の評価に包絡される →E)
海上モニタリング船	1艇	第四類	第二石油類	軽油	150	× (他の評価に包絡される →E)
海上モニタリング船引揚車	1艇	第四類	第二石油類	軽油	300	× (他の評価に包絡される →E)
可搬型代替低圧電源車	4台	第四類	第二石油類	軽油	250	× (他の評価に包絡される →E)
可搬型代替低圧電源車用ケーブル搭載車	1台	第四類	第二石油類	軽油	100	× (他の評価に包絡される →E)
タンクローリー	2台	第四類	第二石油類	軽油	4,000 (輸送可能量)	× (常時「空」→D)
					100 (車両)	× (他の評価に包絡される →E)
モニタリングカー	2台	第四類	第二石油類	軽油	70	× (他の評価に包絡される →E)
気象観測車	1台	第四類	第二石油類	軽油	100	× (他の評価に包絡される →E)
ホイールローダ (WA100)	1台	第四類	第二石油類	軽油	133	× (他の評価に包絡される →E)
ホイールローダ (WA200)	1台	第四類	第二石油類	軽油	177	× (他の評価に包絡される →E)
代替高圧電源装置	5台	第四類	第二石油類	軽油	400 (車両) 890 (装置)	× (他の評価に包絡される →E)
窒素発生装置 (小)	1台	第四類	第二石油類	軽油	100 (車両) 350 (装置)	× (他の評価に包絡される →E)
窒素発生装置 (大)	4台	第四類	第二石油類	軽油	100 (車両) 500 (装置)	× (他の評価に包絡される →E)
油圧ショベル	2台	第四類	第二石油類	軽油	65	× (他の評価に包絡される →E)
不整地運搬車	1台	第四類	第二石油類	軽油	130	× (他の評価に包絡される →E)
大型ユニック車	1台	第四類	第二石油類	軽油	300	× (他の評価に包絡される →E)
地下軽油タンク	3基	第四類	第二石油類	軽油	30,000	× (地下式→C)

表 2-3 敷地内のガス貯蔵施設一覧

ガス貯蔵施設名	内容物	本数 (本)	1本当たり容量 (m ³)	総容量 (m ³)	詳細評価要否 (○:対象,×:対象外)
協力会社ボンベ小屋	アセチレン	50	6	300	× (屋内配置→B)
	プロパン	10	5	50	
	酸素	100	7	700	
	アルゴン	40	7	280	
	窒素	40	7	280	
	フロン	10	2	20	
H2、CO2ボンベ庫	水素	20	7	140	× (屋内配置→B)
	二酸化炭素	40	6	240	
水素貯槽	水素	—	—	6.7	○
酸素貯槽	酸素	—	—	9.3	× (不燃性→A)
予備ボンベ庫①	水素	40	7	280	× (屋内配置→B)
	二酸化炭素	30	6	180	
予備ボンベ庫②	水素	20	7	140	× (屋内配置→B)
	窒素	27	7	189	
	二酸化炭素	12	6	72	
所内ボイラー プロパンボンベ庫	プロパン	4	50	200	× (屋内配置→B)
焼却炉用プロパンボンベ庫	プロパン	5	500	2500	× (屋内配置→B)
サービス建屋 ボンベ庫	アセチレン	3	6	18	× (屋内配置→B)
	酸素	2	7	14	
	窒素	4	7	31	
		2	1.5		
	アルゴン	16	7	112	
	純空気	11	7	77	
廃棄物処理増強建屋 化学分析用ボンベ庫	アルゴン	8	7	56	× (屋内配置→B)
	アセチレン	1	6	6	
	メタン+アルゴン	4	7	28	
食堂用プロパンボンベ庫	プロパン	18	50	900	× (屋内配置→B)

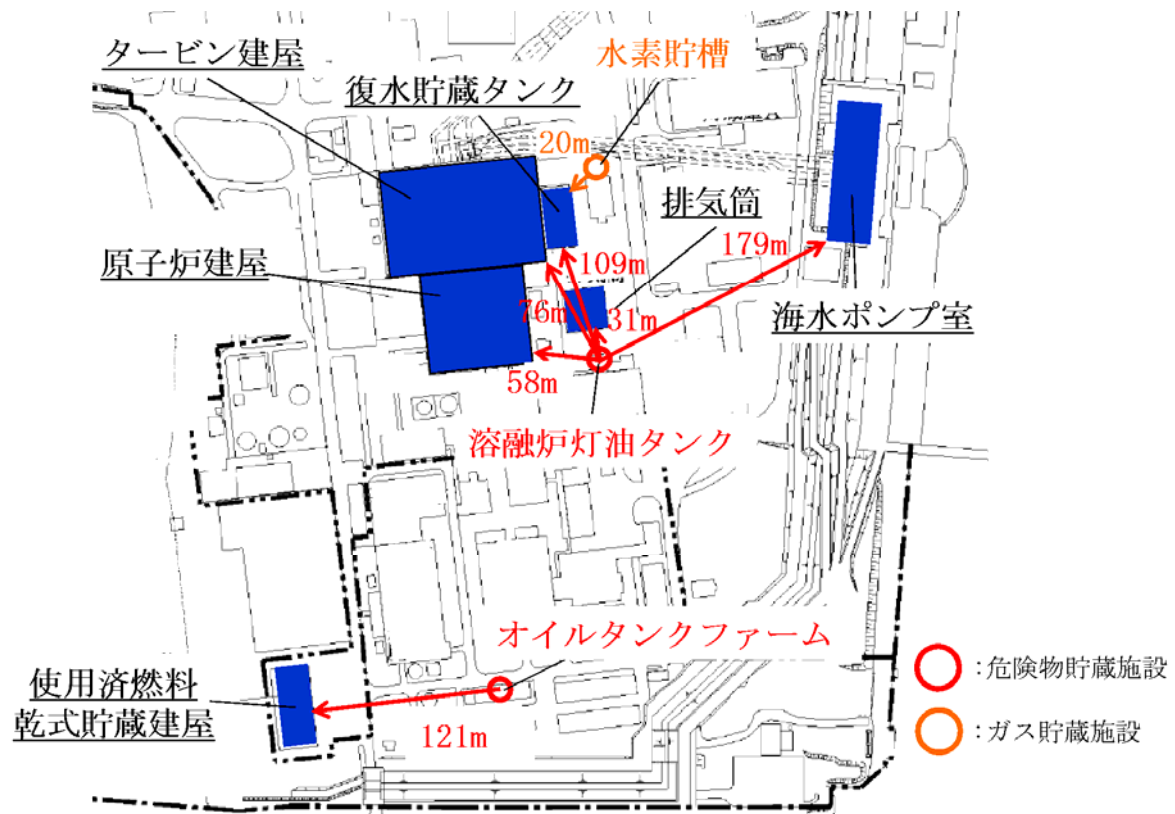


図 2-2 危険物貯蔵施設，ガス貯蔵施設及び影響評価対象施設の設置位置

3. 熱影響評価

3.1 危険物タンクの火災の想定

危険物タンクの火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a. 評価対象とする危険物貯蔵タンクは 2. で抽出した溶融炉灯油タンク及びオイルタンクファームとした。
- b. 危険物タンクの燃料は満載した状態を想定した。
- c. 離隔距離は，評価上厳しくなるよう，a. で想定した危険物タンク位置から影響評価対象施設までの直線距離とした。
- d. 危険物タンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし，火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2 共通データの算出

各対象施設の外壁，排気筒，復水貯蔵タンクに対する熱影響評価に必要な共通データを算出する。

(1) 危険物タンク及び燃料に係るデータ

危険物タンク及び燃料に係るデータを表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 危険物タンク及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 (m^3)	輻射発散度 (kW/m^2)※2	質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)※3	燃料密度 (kg/m^3)※4	防油堤面積 (m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	10	50	0.039	830	19.36
オイルタンク ファーム※1	軽油	35	42	0.044	870	392.175
	潤滑油	76				

※1：保守的に貯蔵物全て（容量 111m^3 ）を軽油として評価する。

※2：評価ガイド附録B 記載値

※3：NUREG-1805 記載値

※4：MSDS（製品安全データシート）記載値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため，燃焼半径は防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積（＝燃焼面積）(m^2)

表 3.2-2 危険物タンクの燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
熔融炉 灯油タンク	19.36	2
オイルタンク ファーム	392.175	11

(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/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(kg/m²/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

表 3.2-3 危険物タンクの燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	質量低下速度 M (kg/m ² /s)	燃料密度 ρ (kg/m ³)	燃焼継続時間 t (s)
熔融炉 灯油タンク	10	2	0.039	830	11,008
オイルタンク ファーム	111	11	0.044	870	5,605

3.3 外壁に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

影響評価対象施設の外壁について、熔融炉灯油タンク及びオイルタンクファームの火災を想定して評価を実施した。

(2) 危険物タンクと影響評価対象施設までの離隔距離

危険物タンクと影響評価対象施設までの離隔距離を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 危険物タンクと影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)			
	原子炉建屋	海水ポンプ室	タービン建屋	使用済燃料 乾式貯蔵建屋
熔融炉 灯油タンク	58	179	76	—※
オイルタンク ファーム	—※	—※	—※	121

※：直接臨まないため評価対象外とした。

(3) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

表 3.3-2 危険物タンクの形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
熔融炉 灯油タンク	58 (原子炉建屋)	2	3.6×10^{-3}
	179 (海水ポンプ室)	2	3.7×10^{-4}
	76 (タービン建屋)	2	2.1×10^{-3}
オイルタンク ファーム	121 (使用済燃料 乾式貯蔵建屋)	11	1.7×10^{-2}

(4) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は，輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \cdot \Phi$$

E ：輻射強度(W/m^2)， R_f ：輻射発散度(W/m^2)， Φ ：形態係数

表 3.3-3 危険物タンクの輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 R_f (kW/m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m^2)
熔融炉 灯油タンク	灯油	50	3.6×10^{-3}	180
オイルタンク ファーム	軽油	42	1.7×10^{-2}	698

(5) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 $200^{\circ}C$ を許容温度とする。

b. 評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め，コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。なお，天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により，外壁の評価に包絡されるため実施しない。
図 3.3-3 に概要を示す。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合，天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。

- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材、外壁はコンクリートであるため、許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

T : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T_0 : 初期温度 (50°C)

a : 熱伝達率 (17W/m²/K), κ : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda / \rho C_p$) (m²/s)

ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³), C_p : コンクリート比熱 (880J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.63W/m/K), E : 輻射強度 (W/m²)

t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

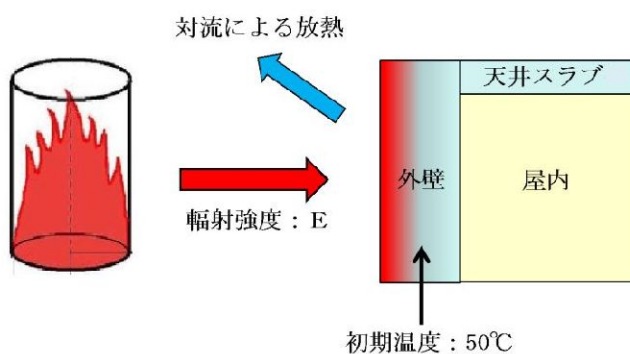


図 3.3-1 建屋外壁の評価概念図

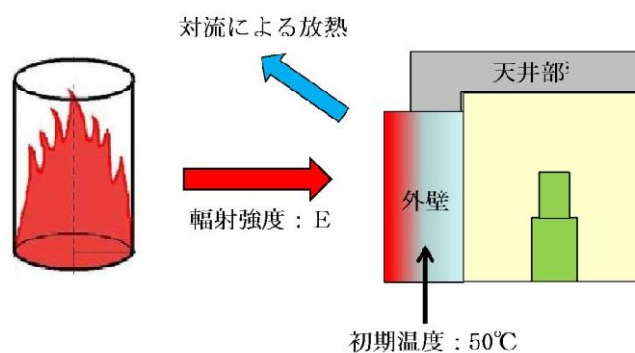


図 3.3-2 海水ポンプ室の評価概念図

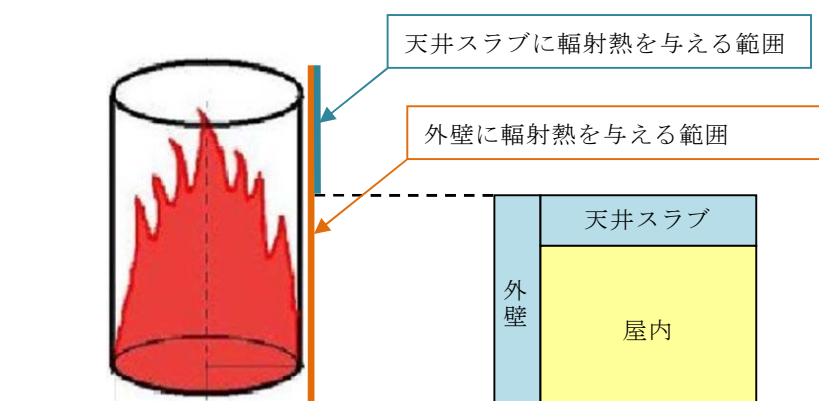


図 3.3-3 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下であることを確認した。

表 3.3-4 外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象施設	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
溶融炉灯油タンク	原子炉建屋	56	< 200
	海水ポンプ室	51	
	タービン建屋	54	
オイルタンク ファーム	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	70	

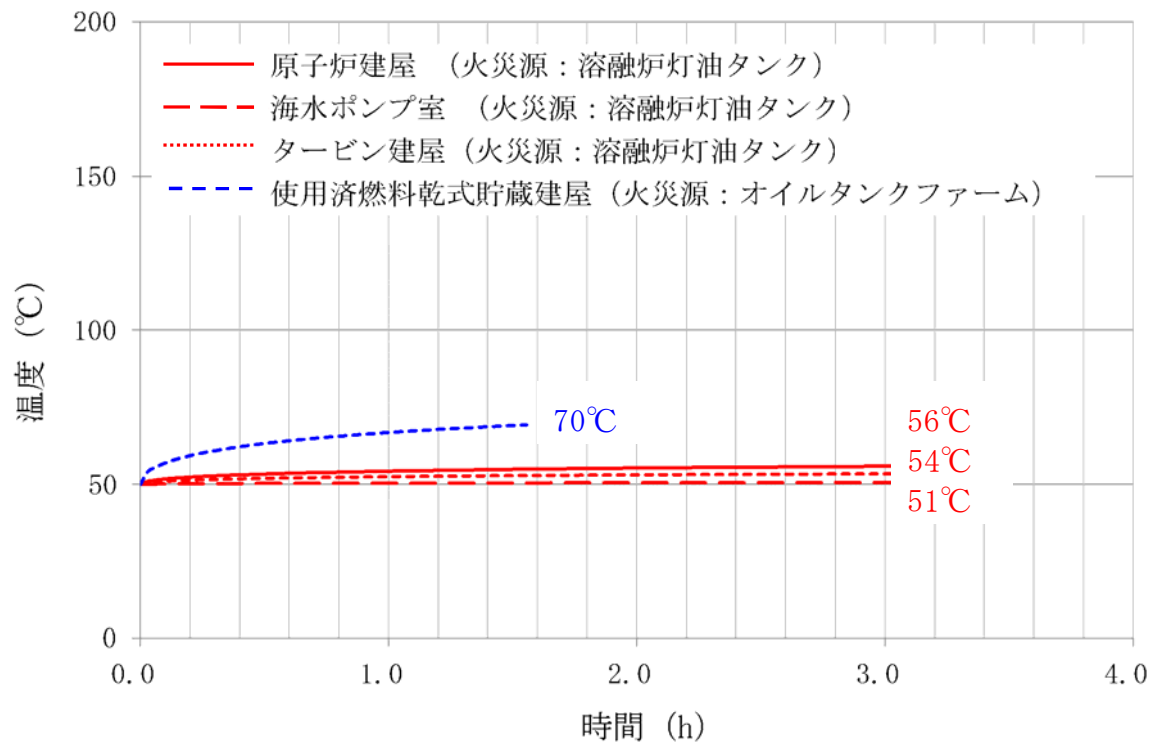


図 3.3-4 影響評価対象施設外壁表面の到達温度

3.4 排気筒に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

排気筒について，溶融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

なお，排気筒の評価にあたっては，保守性を考慮して，筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔について評価した。

(2) 排気筒仕様

名称		排気筒
種 類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個 数		1

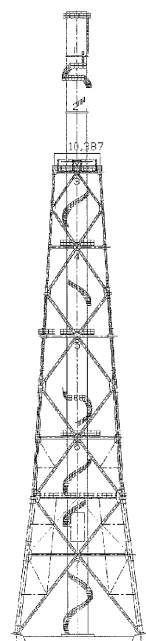


図 3.4-1 排気筒外形図

(3) 危険物タンクから排気筒までの離隔距離

危険物タンクから排気筒までの離隔距離を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 危険物タンクから排気筒までの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉 灯油タンク	31
オイルタンク ファーム	—※

※：直接臨まないため評価対象外とした。

(4) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

Φ : 形態係数, L : 離隔距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

表 3.4-2 危険物貯蔵タンクの形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	31	2	1.3×10^{-2}

(5) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m^2), R_f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

表 3.4-3 危険物貯蔵タンクの輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 R_f (kW/m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m^2)
溶融炉 灯油タンク	灯油	50	1.3×10^{-2}	628

(6) 判断の考え方

a. 許容温度

排気筒鉄塔（鋼材材質：SS400，STK400）の許容温度は，「日本機械学会 発電用原子力設備規格」から 350℃とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の温度上昇を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

なお，評価にあたって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも鉄塔が危険物タンクとの距離が近いこと，材質も鉄塔は SS400，STK400，筒身では SS400 であり，物性値が鉄塔，筒身ともに軟鋼で同一であることから，鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

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

T：許容温度(350℃)， T_0 ：周囲温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²)，h：熱伝達率(17W/m²/K)※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面熱伝達率（空気）

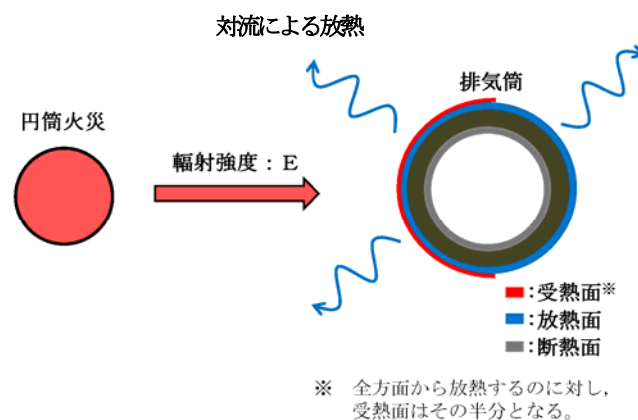


図 3.4-2 排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果，許容温度 350℃以下であることを確認した。

表 3.4-4 排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
熔融炉灯油タンク	69	< 350

3.5 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて，熔融炉灯油タンクの火災を想定して評価を実施した。

(2) 復水貯蔵タンク仕様

名称	復水貯蔵タンク
種 類	円筒縦形
主要寸法	タンク外径 : 13.44m タンク内径 : 13.40m タンク円筒高さ : 16.00m タンク最小板厚 : 0.02m
材 料	SM400
個 数	2

(3) 危険物タンクから復水貯蔵タンクまでの離隔距離

危険物タンクから復水貯蔵タンクまでの離隔距離を表 3.5-1 に示す。

表 3.5-1 危険物タンクから復水貯蔵タンクまでの離隔距離

想定火災源	離隔距離 L (m)
溶融炉 灯油タンク	109
オイルタンク ファーム	—※

※：直接臨まないため影響評価対象外とした。

(4) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した。

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

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

Φ：形態係数，L：離隔距離(m)，H：炎の高さ(m)，R：燃焼半径(m)

表 3.5-2 危険物タンクの形態係数

想定火災源	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
溶融炉 灯油タンク	109	2	1.0×10^{-3}

(5) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \cdot \Phi$$

E：輻射強度(W/m²)，R_f：輻射発散度(W/m²)，Φ：形態係数

表 3.5-3 危険物タンクの輻射強度

想定火災源	燃料の種類	輻射発散度 R_f (kW/m ²)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m ²)
熔融炉 灯油タンク	灯油	50	1.0×10^{-3}	50

(6) 判断の考え方

a. 許容温度

復水貯蔵タンクより高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系へつながる配管の最高使用温度 66℃を許容温度とする。

b. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、下記の温度評価式により復水貯蔵タンクが内包する水の温度上昇を求め、貯蔵する水が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E_t \left(\frac{\pi D_o^2 h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_p C_{pp} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}} + T_o$$

T : 許容温度 (66℃), T_o : 初期温度 (45℃)^{※1}, E : 輻射強度 (W/m²),

t : 燃焼継続時間 (s), D_o : 受熱側タンク外径 (m)

D_i : 受熱側タンク内径 (m), h : 受熱側タンク円筒高さ (m)

ρ_p : 受熱側液体密度 (993.295257kg/m³)^{※2}

ρ_s : 受熱側タンク壁材密度 (7,860kg/m³)^{※3}

C_{pp} : 受熱側液体比熱 (4.179J/kg/K)^{※2}

C_{ps} : 受熱側タンク壁材比熱 (473J/kg/K)^{※3}

V : 受熱側液体体積 (656m³)^{※4}, e : 受熱側タンク最小板厚 (m)

※1 : 過去の測定値に保守性を持たせた値

※2 : 1999 日本機械学会 蒸気表

※3 : 日本機械学会 伝熱ハンドブック

※4 : 水位低警報水位 (924m³) から原子炉隔離時冷却系入口弁切替操作水位 (268m³) までの水量

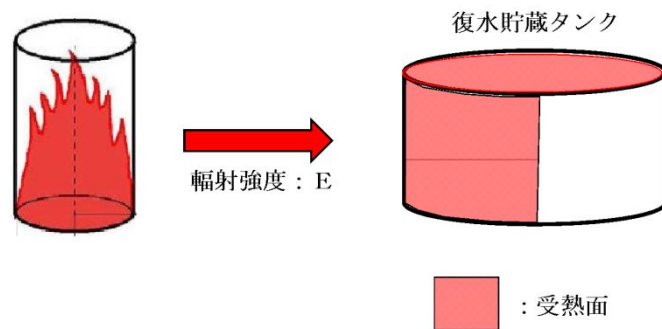


図 3.5-1 復水貯蔵タンクの評価概念図

復水貯蔵タンクが内包する水の温度上昇を評価した結果，許容温度 66℃以下であることを確認した。

表 3.5-4 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
熔融炉灯油タンク	46	< 66

4. 爆風圧影響評価

4.1 想定事象

- 評価対象とするガス貯蔵施設は 2. で抽出した，水素貯槽とした。
- 水素貯槽は，ガスを満載した状態を想定した。

4.2 ガス貯蔵施設及びガスに係るデータ

ガス貯蔵施設及びガスに係るデータを表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 ガス貯蔵施設及びガスに係るデータ

	水素貯槽
貯蔵ガス	水素
貯蔵量 (m ³)	6.7
密度 (kg/m ³)	0.08988※ ¹
貯蔵ガス k 値※ ²	2,860
貯蔵設備 W 値	0.0006

※¹：一般社団法人 水素エネルギー協会 記載値

※²：評価ガイド 記載値

4.3 危険限界距離の算出

評価ガイドに基づき，下式より危険限界距離を算出した結果，危険限界距離が離隔距離以下であることを確認した。評価結果を表 4.3-1 に示す。

$$X=0.04 \times 14.4 \sqrt[3]{(K \times 1,000 \times W)}$$

X:危険限界距離 (m)，K：石油類の定数(-)，W：設備定数(-)

表 4.3-1 ガス貯蔵施設の爆風圧影響評価結果

想定爆発源	危険限界距離 (m)	離隔距離※ (m)
水素貯槽	7	20

※：防護対象施設のなかで水素貯槽から最も離隔距離が短い復水貯蔵タンクまでの距離

変圧器本体で火災が発生した場合の熱影響について

変圧器は絶縁油（第3石油類）を内部に保有しているが、設備から漏えいした場合であっても、防油堤内の配管を通して地下の排油タンクに流れるため、地上で大きな火災が発生することはない。しかし、変圧器本体で火災が発生したことを想定し、3.と同様の熱影響評価を実施した。

変圧器及び絶縁油に係るデータ

想定火災源	油の種類 (m^3)	油量 (t)	輻射発散度 (kW/m^2) ^{※1}	質量低下速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$) ^{※2}	燃料密度 (kg/m^3) ^{※3}	燃焼面積 (m^2)
主変圧器	絶縁油	136	23	0.035	900	42.63
所内変圧器		19				6.8
起動変圧器		46.75				9.88
予備変圧器		35.9				10.26

※1：絶縁油は重油と同じ第3石油類であるため、重油の評価ガイド附録B記載値を採用

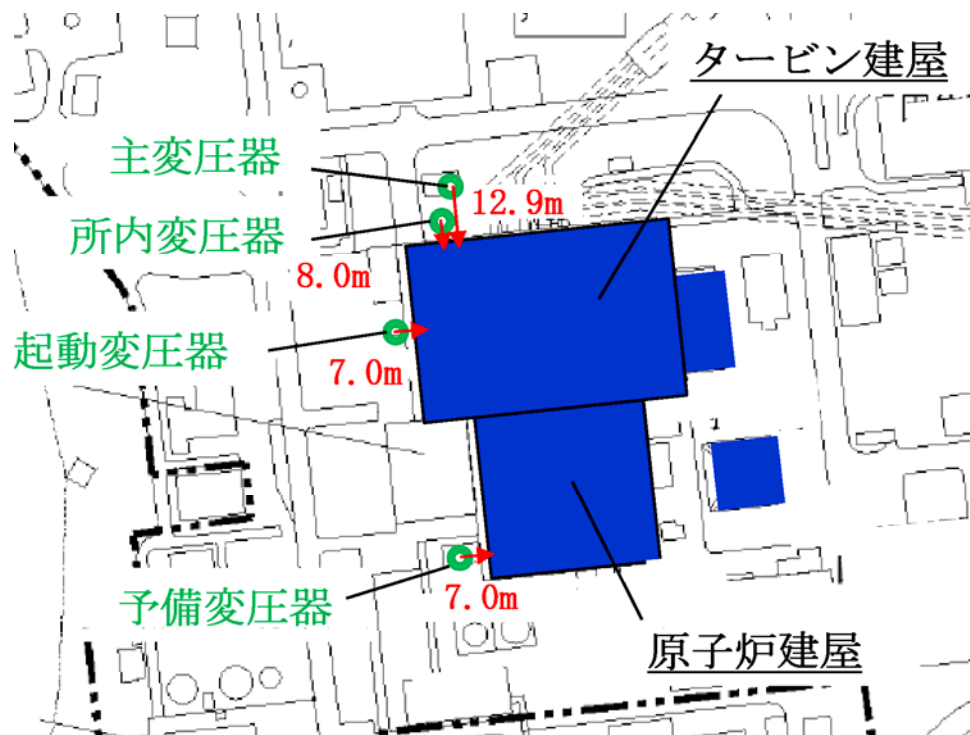
※2：NUR EG-1805 記載値

※3：MSDS（製品安全データシート） 記載値

上記条件を基に、3.の熱影響評価と同様に影響評価を実施し、必要となる離隔距離を確保していることを確認した。

変圧器の熱影響評価結果

想定火災源	影響評価対象	危険距離 (m)	離隔距離 (m)
主変圧器	タービン建屋	11.8	12.9
所内変圧器		4.7	8.0
起動変圧器		5.9	7.0
予備変圧器	原子炉建屋	5.9	7.0



変圧器と影響評価対象施設

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. 目 的

東海第二発電所の発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が、添付資料-1 で選定した影響評価対象施設に影響を与えないことについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」に基づき、評価を実施するものである。

2. 火災の想定

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりとする。

- (1) 航空機は、当該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。
- (2) 航空機は、燃料を満載した状態を想定する。
- (3) 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。
- (4) 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起こることを想定する。
- (5) 気象条件は無風状態とする。
- (6) 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。
- (7) 輻射強度の算出としては、油火災において任意の位置にある輻射強度(熱)を計算により求めるには、半径が 1.5m 以上の場合で火災の高さ(輻射体)を半径の 3 倍にした円筒火災モデルを採用する。

3. 落下事故のカテゴリと対象航空機について

(1) 落下事故のカテゴリ

航空機落下確率評価では、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落下確率を求めている。

また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではないため、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。

したがって、これらを考慮して、下表に示すカテゴリ毎に航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

落下事故のカテゴリ		
1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	
	②航空路を巡航中	
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）	
	④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）	
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	⑤-1 空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転翼機
	⑥基地－訓練空域間往復時	

(2) カテゴリ別の対象航空機（別紙 5.1）

a. 計器飛行方式民間航空機

計器飛行方式民間航空機の落下事故には、「①飛行場での離着陸時」における落下事故と「②航空路を巡航中」の落下事故がある。

①については、東海第二発電所から約 36km 離れた位置に茨城空港があり、茨城空港の最大離着陸地点（航空路誌（以下「A I P」という。）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点又は離陸態勢を終える地点）までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径

とし、滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域内に発電所が存在するため、評価対象とする。

(別紙 5.2, 5.3)

②については、東海第二発電所上空に航空路が存在するため、評価対象とする。

(別紙 5.4)

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。①の対象航空機は、茨城空港を離着陸する航空機が発電所に落下する事故を対象としていることから、茨城空港の定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。また、②については、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

落下事故のカテゴリ		対象航空機
1) 計器飛行方式民間航空機	①飛行場での離着陸時	B737-800
	②航空路を巡航中	B747-400

b. 有視界飛行方式民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の落下事故には、「③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）」の落下事故と「④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）」の落下事故がある。

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。有視界飛行方式民間航空機の落下事故においては、全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定した。

落下事故のカテゴリ		対象航空機
2) 有視界飛行方式民間航空機	③大型機	B747-400
	④小型機	Do228-200

c. 自衛隊機又は米軍機

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「⑤訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故がある。

⑤については、東海第二発電所周辺上空には、自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため、訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

⑥については、東海第二発電所周辺の太平洋沖合上空に自衛隊機の訓練空域があり、発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲（基地と訓練空域間を往復時の飛行範囲として、想定される区域）内に位置することから、自衛隊機の落下事故を評価対象とする。

(別紙 5.4)

本カテゴリにおいて対象とした航空機を下表に示す。⑤の対象航空機は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。⑥については、百里基地と訓練空域を往復時に発電所に落下することを想定するため、百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

(別紙 5.5)

落下事故のカテゴリ			対象航空機
3) 自衛隊機 又は米軍機	⑤ 訓練空域外 を飛行中	⑤-1 空中給油機等, 高高度での 巡航が想定される大型固定翼機	KC-767
		⑤-2 その他の大型固定翼機, 小 型固定翼機及び回転翼機	F-15
	⑥ 基地－訓練空域間往復時		F-15

4. カテゴリ別の離隔距離の評価

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成 21・06・25 原院第 1 号）の航空機落下確率評価式に基づき，カテゴリ毎に落下確率が 10^{-7} （回／炉・年）に相当する面積を算出し，その結果を用いて影響評価対象施設に対する離隔距離を求める。

（別紙 5.6，5.7）

4.1 計器飛行方式民間航空機の落下事故

(1) 飛行場での離着陸時における落下事故

a. 標的面積

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$P_{d,a}$ ：対象施設への離着陸時の航空機落下確率（回／年）

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$ ：対象航空機の国内での離着陸時事故率（回／離着陸回）

$D_{d,a}$ ：国内での離着陸時事故件数（回）

$E_{d,a}$ ：国内での離着陸回数（離着陸回）

$N_{d,a}$ ：当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数（離着陸回／年）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$ ：離着陸時の事故における落下地点確率分布関数（ $1/\text{km}^2$ ）

パラメータ \ 発電所名称	東海第二発電所
飛行場	茨城空港
$f_{d,a}^{※1}$	約 1.43×10^{-7} (=4/27,887,158)
$N_{d,a}^{※2}$	3,328
$\Phi_{d,a}(r, \theta)^{※3}$	約 2.98×10^{-4}
発電所からの距離	約36km
滑走路方向に対する 角度 $^{※4}$	約 9.60°
最大離着陸距離 $^{※5}$	約56km (30nm)

※1：離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）より、平成4年～平成23年において離陸時に1件、着陸時に3件。

(別紙5.8)

離着陸回数は、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」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。

(別紙5.9)

※2：「数字でみる航空2013」にある平成23年飛行場別着陸回数と同数を離陸回数とし、その和を飛行場別離着陸回数とした。

※3：別紙のとおり。

(別紙5.10)

※4：別紙のとおり。

(別紙5.3)

※5：A I Pを参照した。

(別紙5.2)

これらの式より、 $P_{d,a} = 10^{-7}$ (回/炉・年) に相当する標的面積 A を求めると、約 0.70km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 176m とする。(評価結果は、約 176.25m)

(2) 航空路を巡航中の落下事故

a. 標的面積

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

$f_c = G_c / H_c$: 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)

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 : 原子炉施設の標的面積 (km²)

W : 航空路幅 (km)

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所	
対象航空路※ ¹	直行経路 : IWAKI (IXE) - SWAMP IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE)	広域航法経路 : Y30 (LOTUS - SWAMP)
f_c ※ ²	約 2.34×10^{-11} (=0.2275/9,740,013,768)	
N_c ※ ³	365 (平成24年データ)	1095 (平成24年データ)
W ※ ⁴	14.816	18.52

※1 : 別紙のとおり。

(別紙5.4)

※2 : 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合計値。

(別紙5.9)

巡航中の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータの整備」(平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)より、平成4年～平成23年において0件であるため、落下事故率の算出には χ^2 二乗分布を用いた方法を使用した。

(別紙5.8, 5.11)

※3 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果(ピークデイの値)を365倍した値。

(別紙5.12)

※4：直行経路については「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については、航法精度を航空路の幅とみなして用いた。（1nm＝1.852kmとして換算した。）

これらの式より， $P_c = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 51km^2 となる。

b．離隔距離

a．で求めた標的面積より，離隔距離 L は $1,778\text{m}$ とする。（評価結果は，約 1778.16m ）

4.2 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

(1) 有視界飛行方式民間航空機（大型機）の落下事故

a. 標的面積

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

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（ km^2 ）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

α ：対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
$f_v^{※1}$	大型固定翼機 約0.0114（＝0.2275／20） 大型回転翼機 0.05（＝1／20）
$S_v^{※2}$	37.2万
$\alpha^{※3}$	1

※1：「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。なお、大型固定翼機の事故件数は平成4年～平成23年において0件であるため、落下事故率の算出には χ^2 乗分布を用いた方法を使用した。

（別紙5.11，5.13）

※2：「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

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

これらの式より、 $P_v = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.61km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 170m とする。（評価結果は、約 170.84m ）

(2) 有視界飛行方式民間航空機（小型機）の落下事故

a. 標的面積

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

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（ km^2 ）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

α : 対象航空機の種類による係数

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
$f_v^{※1}$	小型固定翼機 1.75（＝35／20） 小型回転翼機 1.25（＝25／20）
$S_v^{※1}$	37.2万
$\alpha^{※2}$	0.1

※1 : 「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

（別紙5.13）

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

これらの式より， $P_v = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.12km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より，離隔距離 L は 63m とする。（評価結果は，約 63.60m）

4.3 自衛隊機又は米軍機の落下事故

- (1) 訓練空域外を飛行中の落下事故（空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機）

a. 標的面積

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

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）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

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 ）

パラメータ \ 発電所名称	東海第二発電所
$f_{so}^{※1}$	自衛隊機 約0.0114（＝0.2275／20） 米軍機 0.05（＝1／20）
$S_o^{※2}$	自衛隊機 29.5万（＝37.2万－7.72万） 米軍機 37.2万（＝37.2万－0.05万）

※1：「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。なお、自衛隊機の事故件数は平成4年～平成23年において0件であるため、落下事故率の算出には χ^2 乗分布を用いた方法を使用した。

（別紙5.11, 5.14）

※2：「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

これらの式より、 $P_{so} = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.58km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 166m とする。（評価結果は、約 166.26m）

- (2) 訓練空域外を飛行中の落下事故（その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機）

a. 標的面積

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

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）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

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 ）

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所
$f_{so}^{※1}$	自衛隊機 0.4（＝8／20） 米軍機 0.2（＝4／20）
$S_o^{※1}$	自衛隊機 29.5万（＝37.2万－7.72万） 米軍機 37.2万（＝37.2万－0.05万）

※1：「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。

（別紙5.14）

これらの式より， $P_{so} = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると，約 0.053km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より，離隔距離 L は 33m とする。（評価結果は，約 33.07m）

- (3) 基地－訓練空域間を往復時の落下事故（想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合）

a. 標的面積

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

P_{se} : 対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A : 原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

S_{se} : 想定飛行範囲の面積（ km^2 ）

パラメータ \ 発電所名称	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)
$f_{se}^{※1}$	約0.0114 (=0.2275/20)
$S_{se}^{※2}$	4,540

※1 : 「航空機落下事故に関するデータの整備」（平成25年11月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）による。なお、平成4年～平成23年において当該想定飛行範囲内で自衛隊機の移動時の落下事故は0件であるため、落下事故率の算出には χ^2 二乗分布を用いた方法を使用した。

(別紙5.11, 5.14)

※2 : 百里基地（飛行場）と自衛隊機の訓練空域（Area1, E1, E2, E3, E4の全域）境界間を直線で結んだ想定飛行範囲の面積。なお、自衛隊機の訓練空域（E1, E2）については、A I Pに” Excluding R-121”と記載があることから、米軍機の訓練空域（R-121）を除いた領域を自衛隊機の訓練空域としている。

(別紙5.4)

これらの式より、 $P_{se} = 10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積 A を求めると、約 0.040km^2 となる。

b. 離隔距離

a. で求めた標的面積より、離隔距離 L は 25m とする。（評価結果は、約 25.64m）

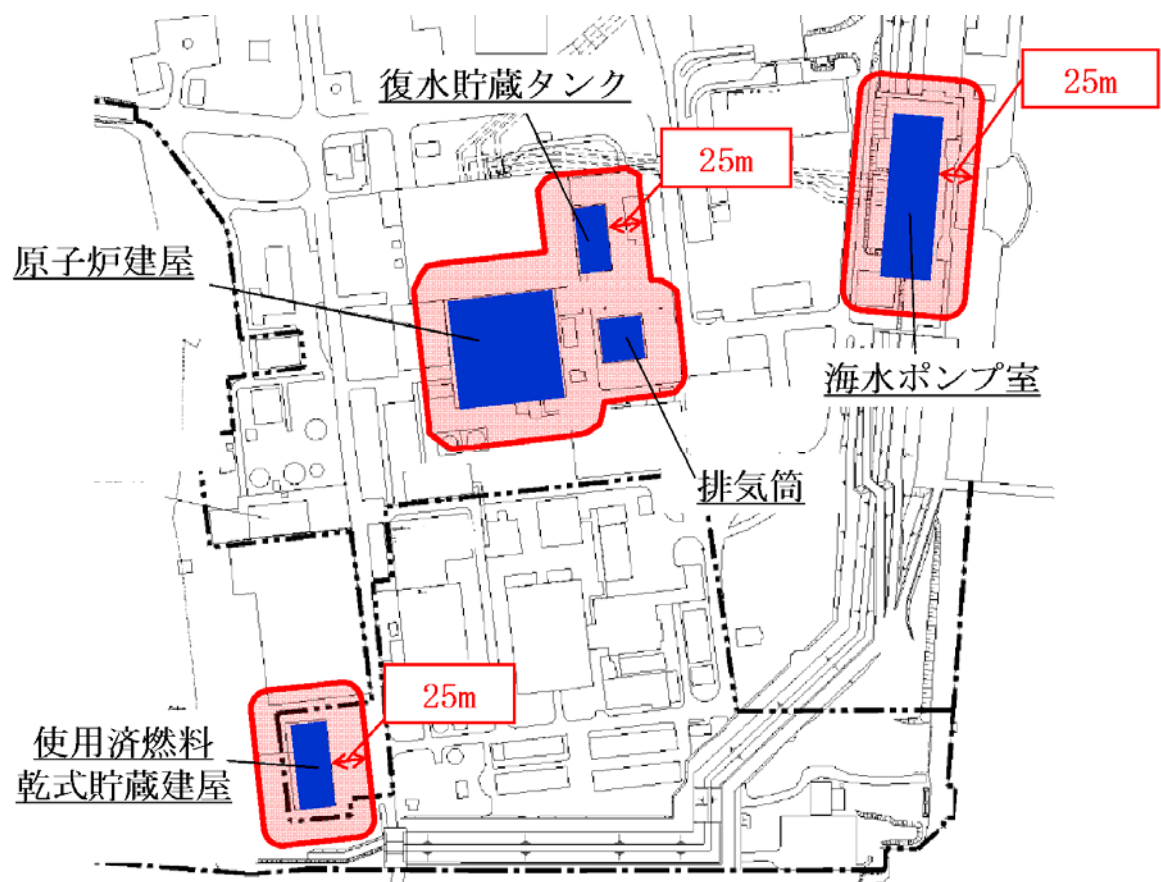


図4.3-1 自衛隊機又は米軍機，基地-訓練空域間往復時の離隔距離

5. 熱影響評価結果

5.1 評価機種の選定

評価機種は前項で抽出した航空機より選定し、他のカテゴリの評価に包絡されるものは評価対象外とした。

表 5.1-1 にカテゴリ毎の離隔距離と評価機種を示す。

表 5.1-1 落下事故のカテゴリ毎の離隔距離と評価機種

落下事故のカテゴリ			対象航空機	離隔距離 (m)	評価機種 ○：評価対象 ×：評価対象外
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737-800	176	○
	航空路を巡航時		B747-400	1,778	×※ ¹
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）		B747-400	170	○
	小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		Do228-200	63	×※ ²
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	166	○
		その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	F-15	33	×※ ³
	基地－訓練空域間往復時		F-15	25	○

※¹：「計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航時」の落下事故については、「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の落下事故の対象機種と同じ B747-400 であり、離隔距離の短い「有視界飛行方式民間航空機の大型機」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※²：「有視界飛行方式民間航空機の小型機」の落下事故の対象航空機のうち、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3m³と少量であることから、Do228-200 よりも燃料搭載量が多く、かつ離隔距離が短い「自衛隊機又は米軍機 基地-訓練空域間往復時」の落下事故の評価に包絡されるため評価対象外とした。

※³：「その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機」については、「基地-訓練空域間往復時」の落下事故の対象航空機と同じ F-15 であるため、離隔距離の短い「基地-訓練空域間往復時」の評価に包絡されるため評価対象外とした。

5.2 共通データの算出

各建屋外壁、排気筒及び復水貯蔵タンクに対する火災影響評価に必要な
共通データを算出する。

(1) 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータを表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	燃料の 種類	燃料量 (m^3)	燃料密度 (kg/m^3)	質量低下 速度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)	燃焼面積 (m^2)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	JET A-1	26.02 ^{※3}	840 ^{※2}	0.039 ^{※1}	110 ^{※4}
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及 び大型回転翼機）		B747 -400	JET A-1	216.84 ^{※3}	840 ^{※2}	0.039 ^{※1}	700 ^{※4}
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域 外を飛行 中	空中給油機 等、高高度で の巡航が想定 される大型固 定翼機	KC-767	JP-4	145.03 ^{※5}	760 ^{※1}	0.051 ^{※1}	405.2 ^{※6}
	基地－訓練空域間 往復時		F-15	JP-4	14.87 ^{※7}	760 ^{※1}	0.051 ^{※1}	44.6 ^{※8}

※1：NUREG-1805 記載値

※2：JIS-K-2209-1991 記載の1号の値

※3：ボーイングジャパン ホームページ “737, 747 型機情報”

※4：ボーイング社ホームページ資料「737 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58325-6, July 2007)」, 「747 airplane Characteristics for Airport Planning (document D6-58326-1, December 2002)」の機体図面より、主翼・主翼と交差する胴体部及び尾翼面積が燃料タンク面積と同等と想定し、これらの面積を算出した値

※5：世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の値及び燃料密度から算出した値

※6：ボーイング社ホームページ資料「767 airplane Characteristics for Airport Planning (Document D6-58328, September 2005)」

※7：航空ジャーナル 2月号増刊 F-15 イーグル（航空ジャーナル社 昭和55年2月5日発行）

※8：※7記載の機体図面より、燃料タンクの配置及び大きさを想定し、これらの面積を算出した値

(2) 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R : 燃焼半径(m), S : 燃焼面積(m²)

表 5.2-2 各航空機の燃焼半径

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 S (m ²)	燃焼半径 R (m)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	110	6
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747-400	700	15
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	KC-767	405.2	11
	基地－訓練空域間往復時	F-15	44.6	4

(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/ρ (m/s)

M : 質量低下速度(m/s), ρ : 燃料密度(kg/m³)

表 5.2-3 各航空機の燃焼継続時間

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	燃料量 V (m ³)	燃焼半径 R (m)	燃焼速度 v (m/s)	燃焼継続時間 t (s)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	26.02	6	4.6×10^{-5}	5,097 (約 1.4h)
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）		B747 -400	216.84	15	4.6×10^{-5}	6,675 (約 1.9h)
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等，高 高度での巡航が想 定される大型固定 翼機	KC -767	145.03	11	6.7×10^{-5}	5,334 (約 1.5h)
	基地－訓練空域間往復時		F-15	14.87	4	6.7×10^{-5}	4,968 (約 1.4h)

(4) 形態係数の算出

以下の式から形態係数を算出した

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

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

Φ :形態係数, L :離隔距離(m), H :炎の高さ(m), R :燃焼半径(m)

表 5.2-4 各航空機の形態係数

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	離隔距離 L (m)	燃焼半径 R (m)	形態係数 Φ (-)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	176	6	2.2×10^{-3}
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）		B747 -400	170	15	1.5×10^{-2}
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等，高 高度での巡航が想 定される大型固定 翼機	KC -767	166	11	9.2×10^{-3}
	基地－訓練空域間往復時		F-15	25	4	4.2×10^{-2}

(5) 輻射強度の評価

火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \cdot \Phi$$

E ：輻射強度(W/m^2)， R_f ：輻射発散度(W/m^2)， Φ ：形態係数(-)

表 5.2-5 各航空機の輻射強度

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	輻射発散度 R_f (kW/m^2)	形態係数 Φ (-)	輻射強度 E (W/m^2)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	50	2.2×10^{-3}	110
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）		B747 -400	50	1.5×10^{-2}	753
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等，高 高度での巡航が想 定される大型固定 翼機	KC -767	58	9.1×10^{-3}	532
	基地－訓練空域間往復時		F-15	58	4.0×10^{-2}	2,458

5.3 建屋外壁に対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

影響評価対象の建屋外壁について、前項で分類したカテゴリ毎における航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2) 判断の考え方

a. 許容温度

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 $200^{\circ}C$ を許容温度とする。

b. 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、一定の輻射強度で建屋外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリート表面の温度が許容温度以下であるか評価した。なお、天井スラブ及び海水ポンプ室天井は以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。図 5.3-3 に概要を示す。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ・火炎からの離隔距離が等しい場合、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、天井スラブの熱影響は外壁に比べて小さい。
- ・海水ポンプ室の天井は鋼材、外壁はコンクリートであるため、許容温度が低い外壁の方が評価上厳しい。

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

T : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T_0 : 初期温度 (50°C)

α : 熱伝達率 ($17 \text{ W/m}^2/\text{K}$), κ : コンクリート温度伝導率 ($= \lambda / \rho C_p$) (m^2/s)

ρ : コンクリート密度 ($2,400 \text{ kg/m}^3$), C_p : コンクリート比熱 (880 J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.63 W/m/K), E : 輻射強度 (W/m^2)

t : 燃焼継続時間 (s), x : コンクリート壁表面深さ (0m)

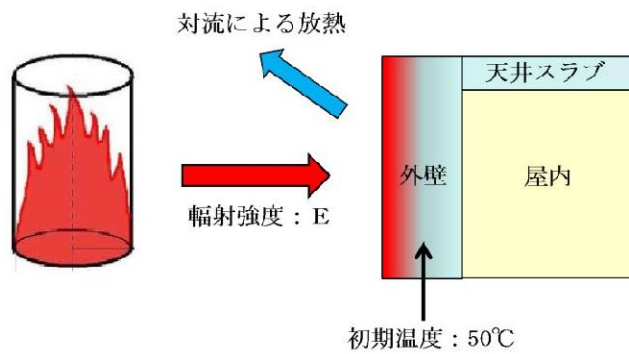


図 5.3-1 建屋外壁の評価概念図

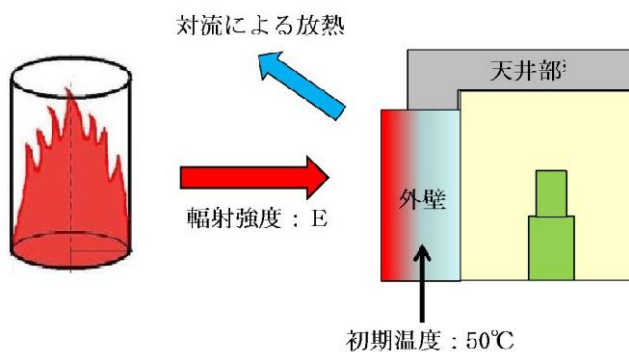


図 5.3-2 海水ポンプ室の評価概念図

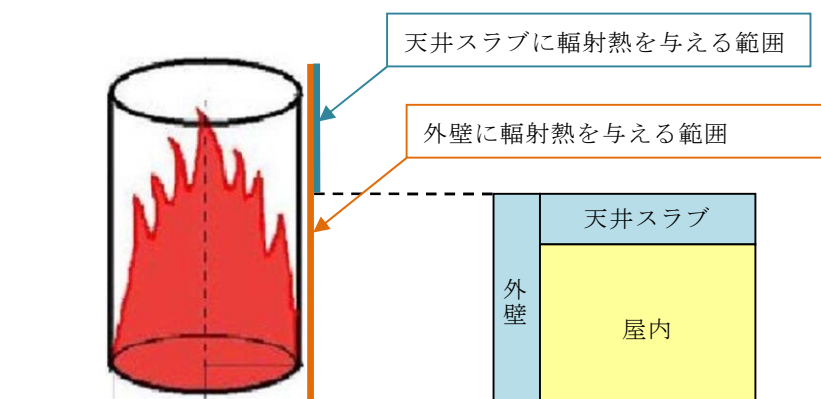


図 5.3-3 天井スラブへの輻射熱の影響

コンクリート表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 200℃以下となることを確認した。評価結果を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 建屋表面の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度※ (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	53	< 200
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747 -400	72	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	KC -767	65	
	基地－訓練空域間往復時	F-15	115	

※ 半無限固体を想定した評価をしているため、離隔距離が同じとなる本評価では、原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び海水ポンプ室はすべて同じ評価結果となる。

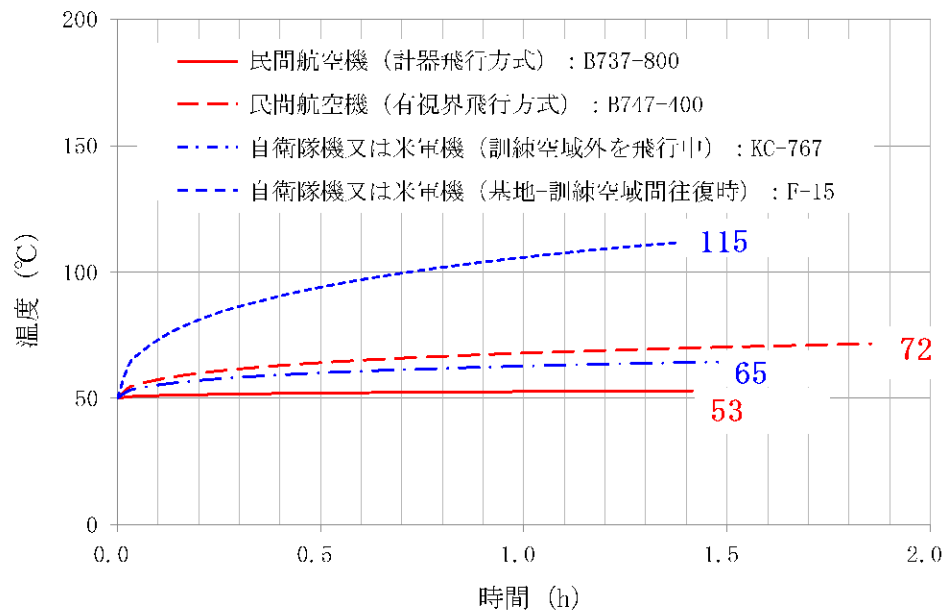


図 5.3-4 原子炉建屋外壁の温度変化

5.4 排気筒に対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

排気筒について、前項で分類したカテゴリ毎における航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

なお、排気筒の評価にあたっては、保守性を考慮して、筒身よりも離隔距離の短くなる鉄塔部について評価した。

(2) 排気筒仕様

名称		排気筒
種 類		鉄塔支持型
主要寸法		内径 4.5m
		地表高さ 140m
材料	筒身	SS400
	鉄塔	SS400, STK400
個 数		1

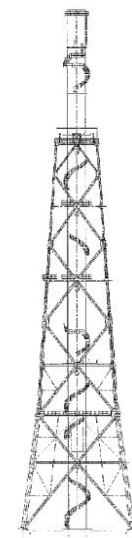


図 5.4-1 排気筒外形図

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

温度影響評価で用いる排気筒鉄塔（鋼材材質：SS400，STK400）の許容温度は，「日本機械学会 発電用原子力設備規格」から 350℃とする。

b. 評価結果

一定の輻射強度で排気筒鉄塔が昇温されるものとして，下記の温度評価式により排気筒鉄塔表面の最大温度を求め，表面温度が許容温度以下であるか評価した。

なお、評価にあたって排気筒は鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも鉄塔が火災源との距離が近いこと、材質も鉄塔は SS400, STK400, 筒身では SS400 であり、物性値が鉄塔、筒身ともに軟鋼で同一であることから、鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

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

T：許容温度(350℃), T₀：初期温度(50℃)※¹

E：輻射強度(W/m²), h：熱伝達率(17W/m²/K)※²

※¹：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

※²：「空気調和ハンドブック」に記載されている垂直外壁面における夏場の表面 熱伝達率（空気）

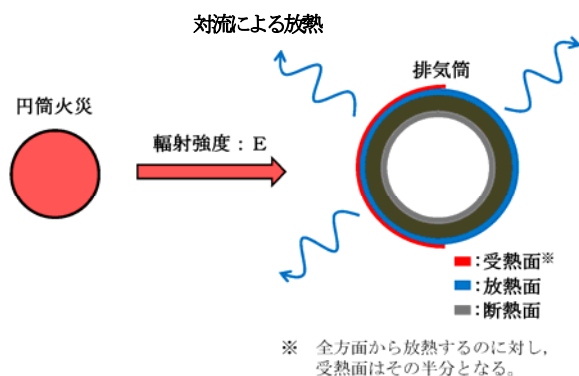


図 5.4-2 排気筒の評価概念図

排気筒鉄塔表面の温度上昇を評価した結果、許容温度 350℃以下であることを確認した。評価結果を表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1 排気筒鉄塔表面の到達温度

落下事故のカテゴリ			対象 航空機	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時		B737 -800	54	< 350
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）		B747 -400	73	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	空中給油機等，高 高度での巡航が想 定される大型固定 翼機	KC -767	66	
	基地－訓練空域間往復時		F-15	123	

5.5 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

(1) 評価対象範囲

復水貯蔵タンクについて、前項で分類したカテゴリ毎における航空機墜落によって発生する火災を想定して評価を実施した。

(2) 復水貯蔵タンク仕様

名称	復水貯蔵タンク
種 類	円筒縦形
主要寸法	タンク外径 : 13.44m タンク内径 : 13.40m タンク円筒高さ : 16.00m タンク最小板厚 : 0.02m
材 料	SM400
個 数	2

(3) 判断の考え方

a. 許容温度

復水貯蔵タンクより高圧炉心スプレイ系及び原子炉隔離時冷却系へつながる配管の最高使用温度 66℃を許容温度とする。

b. 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、一定の輻射強度で復水貯蔵タンクが昇温されるものとして、下記の温度評価式により復水貯蔵タンクが内包する水の温度上昇を求め、貯蔵する水が許容温度以下であるか評価した。

$$T = \frac{E t \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_p C_{p p} V + \rho_s C_{p s} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2 \pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}} + T_o$$

T : 許容温度 (66℃), T_o : 初期温度 (45℃)^{※1}, E : 輻射強度 (W/m²),

t : 燃焼継続時間 (s), D_o : 受熱側タンク外径 (m)

D_i : 受熱側タンク内径 (m), h : 受熱側タンク円筒高さ (m)

ρ_p : 受熱側液体密度 (993.295257kg/m³)^{※2}

ρ_s : 受熱側タンク壁材密度 (7,860kg/m³)^{※3}

$C_{p p}$: 受熱側液体比熱 (4.179J/kg/K)^{※2}

$C_{p s}$: 受熱側タンク壁材比熱 (473J/kg/K)^{※3}

V : 受熱側液体体積 (656m³)^{※4}, e : 受熱側タンク最小板厚 (m)

※1 : 過去の測定値に保守性を持たせた値

※2 : 1999 日本機械学会 蒸気表

※3 : 日本機械学会 伝熱ハンドブック

※4 : 水位低警報水位 (924m³) から原子炉隔離時冷却系入口弁切替操作水位 (268m³) までの水量

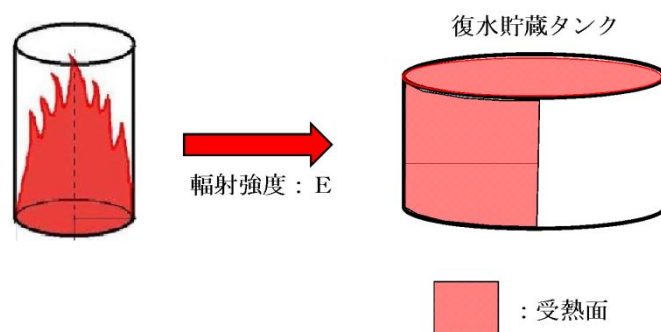


図 5.5-1 復水貯蔵タンク温度評価概念図

復水貯蔵タンクが内包する水の温度上昇を評価した結果、許容温度 66℃以下であることを確認した。評価結果を表 5.5-1 に示す。

表 5.5-1 復水貯蔵タンクが内包する水の到達温度

落下事故のカテゴリ		対象 航空機	評価温度 (℃)	許容温度 (℃)
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737 -800	46	<66
有視界飛行方式 民間航空機	大型機（大型固定翼機及び大型 回転翼機）	B747 -400	46	
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域外 を飛行中	KC -767	46	
	基地－訓練空域間往復時	F-15	48	

5.6 危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価

(1) 重畳評価で想定するケース

敷地内危険物タンク火災影響評価の実施ケースは表 5.6-1 のとおりであり、これらの敷地内危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価を実施した。なお、危険物タンク火災に重畳させる航空機墜落火災として想定する機種は、5.3、5.4、5.5 の評価結果より、最も熱影響が大きい F-15 とした。

表 5.6-1 敷地内危険物タンク火災影響評価の実施ケース

影響評価 対象施設	敷地内タンク火災影響評価実施の有無 (○：実施，×：未実施)	
	火災源となる危険物タンク	
	溶融炉灯油タンク (容量:10m ³)	オイルタンクファーム (容量:111m ³) ※1
原子炉建屋	○	×※2
海水ポンプ室	○	×※2
使用済燃料建屋	×※2	○
排気筒	○	×※2
復水貯蔵タンク	○	×※2

※1：保守的に貯蔵物（容量 111m³）を全て軽油として想定した。

※2：建屋等の障壁により対象施設を臨まないため火災影響を受けない。

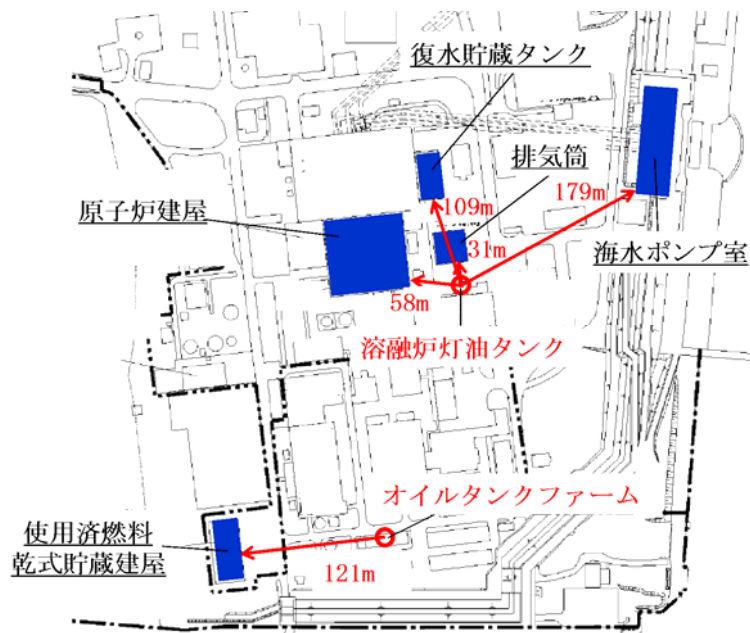


図 5.6-1 敷地内の危険物タンクの位置

(2) 重畳評価の評価方法

航空機墜落に起因する敷地内危険物タンク火災が原子炉施設へ影響を及ぼす可能性としては、航空機墜落による火災で危険物タンクの火災が誘発される場合、危険物タンクに直接航空機が墜落し同時に火災が発生する場合等、様々なケースが想定される。このため、熱影響評価に用いる輻射強度及び燃焼継続時間を以下のとおり保守的に設定し評価を実施した。なお、評価式は 5.3, 5.4, 5.5 の評価と同じものとした。

a. 重畳評価で用いる輻射強度の設定

5.3, 5.4, 5.5 の評価と同様、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で昇温されることを想定するため、危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価で想定される最大輻射強度は両火災による輻射強度の和となる。これより、重畳評価で用いる輻射強度を以下のとおり算出した。

表 5.6-2 重畳評価で用いる輻射強度

火災源となる 危険物タンク	影響評価 対象施設	①危険物タンク単独 火災の輻射強度 (W/m^2)	②F-15 の航空機墜落 火災の輻射強度 (W/m^2)	①と②の重畳火災の 輻射強度 (W/m^2)
溶融炉灯油 タンク	原子炉建屋	179	2,458	2,637
	海水ポンプ室	19		2,476
	排気筒	628		3,085
	復水貯蔵タンク	50		2,508
オイルタンク ファーム	使用済燃料 貯蔵建屋	698		3,156
備 考		敷地内危険物 タンク火災評価で 算出した値	5.2 (5) で算出 した値を再掲	①と②の和

ｂ．重畳評価で用いる燃焼継続時間の設定

危険物タンク火災と航空機墜落火災の重畳評価で想定される最長の燃焼継続時間は、両火災による燃焼継続時間の和となる。これより、重畳評価で用いる燃焼継続時間を以下のとおり算出した。

表 5.6-3 重畳評価で用いる燃焼継続時間

火災源となる 危険物タンク	①危険物タンク単独火災の 燃焼継続時間 (s)	②F-15 の航空機墜落火災の 燃焼継続時間 (s)	①と②の重畳火災の 燃焼継続時間 (s)
溶融炉灯油 タンク	11,008 (約 3.1h)	4,968 (約 1.4h)	15,977 (約 4.4h)
オイルタンク ファーム	5,605 (約 1.6h)		10,573 (約 2.9h)
備 考	敷地内危険物タンク 火災評価で算出した値	5.2 (5) で算出した 値を再掲	①と②の和

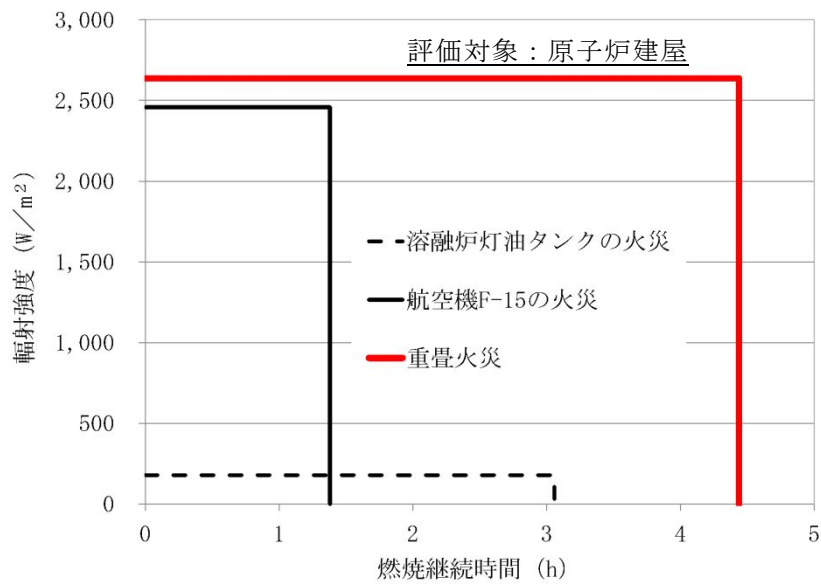


図 5.6-2 重畳評価で用いる輻射強度と燃焼継続時間の例

(3) 評価結果

(2)で算出した重畳評価で想定される保守的な輻射強度及び燃焼継続時間を用いて、5.3、5.4、5.5と同じ評価を実施した。

この結果、表 5.6-4 に示すとおり、どのケースにおいても許容温度を下回ることを確認した。

表 5.6-4 重畳評価結果

重畳評価の想定ケース	影響評価対象施設	評価温度(℃)	許容温度(℃)
溶融炉灯油タンク 及び F-15	原子炉建屋	145	< 200
	海水ポンプ室	140	
	排気筒	141	< 350
	復水貯蔵タンク	52	< 66
オイルタンクファーム 及び F-15	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	154	< 200

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)	大型機	定期便：評価対象 (例) B747, B737 等	定期便：該当なし	評価対象 (例) F-15 等
		不定期便：評価対象外 ※ 1	不定期便：評価対象 (例) B747 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※ 2	定期便：評価対象外	評価対象 (例) LC-90 等
		不定期便：評価対象 ※ 3	不定期便：評価対象 (例) Do228 等	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外 ※ 2	定期便：評価対象外 ※ 2	評価対象 (例) CH-47J 等
		不定期便：評価対象 ※ 3	不定期便：評価対象 (例) AS332L 等	
	小型機	定期便：評価対象外 ※ 2	定期便：評価対象外 ※ 2	評価対象 (例) AH-1S 等
		不定期便：評価対象 ※ 3	不定期便：評価対象 (例) AS365N3 等	

※ 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。

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

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

出典：「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）」

■ 計器飛行方式民間航空機

■ 有視界飛行方式民間航空機（大型機）

■ 有視界飛行方式民間航空機（小型機）

■ 自衛隊機又は米軍機

各施設付近の空港と施設との距離について

発電所 名称	空港名	施設と空港 の距離※ ¹	最大離着陸 距離※ ²	判 定
東海第二 発電所	成田空港	約 80km	約 39km (21.2nm)	×
	茨城空港	約 36km	約 56km (30nm)	○

※ 1 : 施設と空港の緯度，経度より計測した。

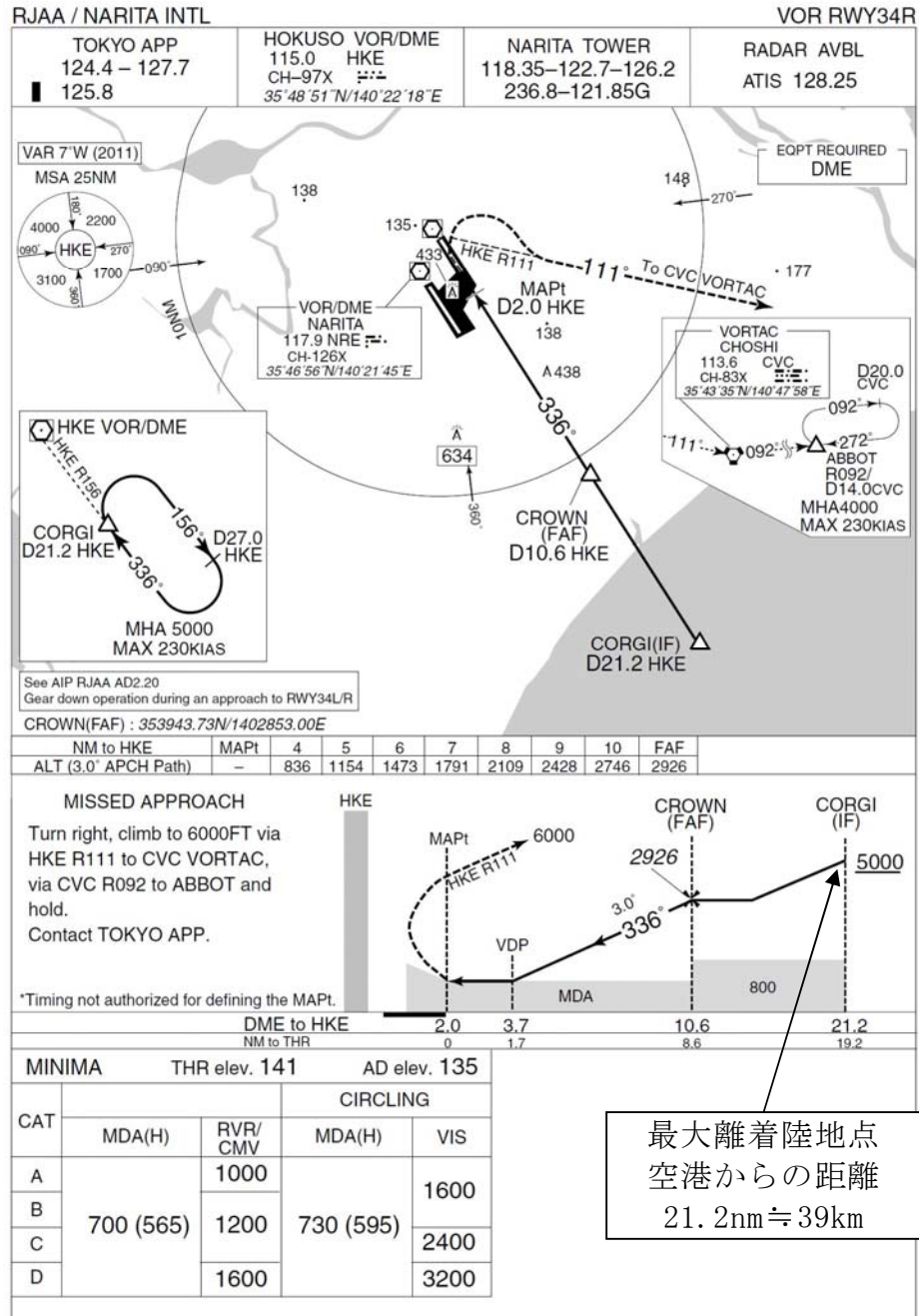
※ 2 : A I Pを参照した。

成田空港の最大離着陸地点までの距離
(成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km)

RJAA-AD2-24.31

AIP Japan
NARITA INTL

INSTRUMENT APPROACH CHART



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:17 OCT 2013)

19/9/13

出典：A I P

茨城空港の最大離着陸地点までの距離
(茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

RJAH-AD2-24.15

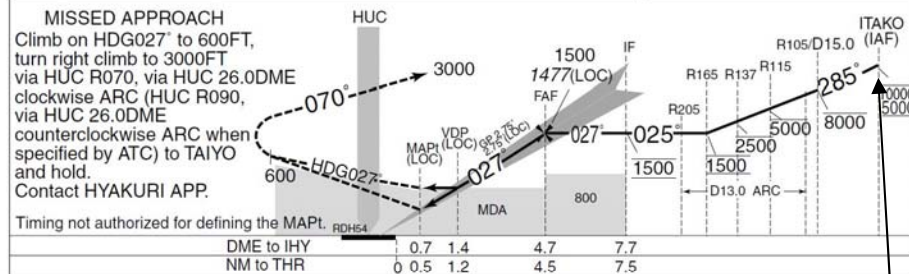
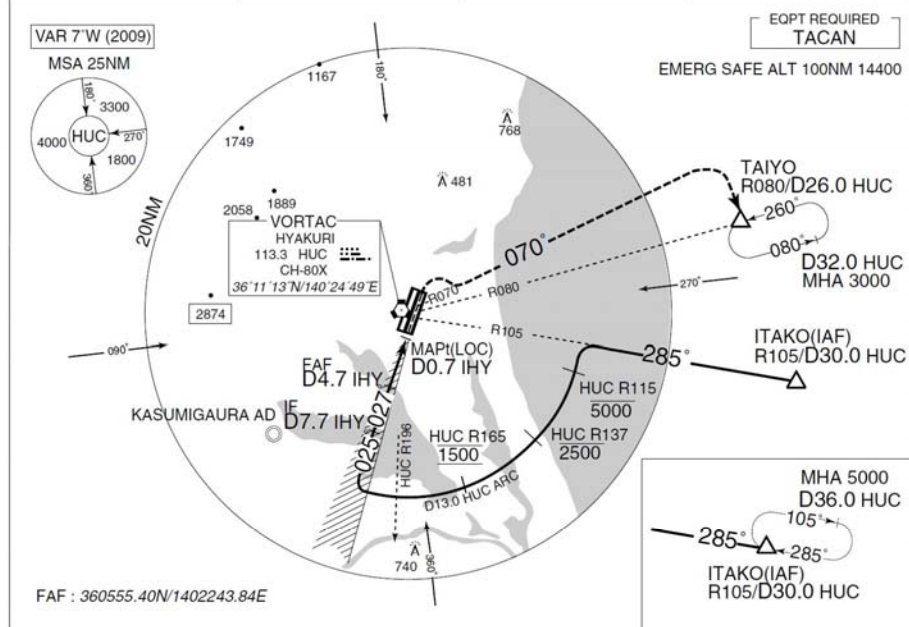
AIP Japan
HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI

ILS Y or LOC Y RWY03R

HYAKURI APP 120.1 - 123.875 305.7 - 362.3	ILS - LOC 109.3 IHY ILS-GP 332.0 ILS-DME CH-30X	HYAKURI TWR 118.025- 126.2 236.8 - 323.8 119.5G - 275.8G	RADAR AVBL
---	--	---	------------



MINIMA		THR elev. 107		AD elev. 107	
CAT	CAT I		LOC		VIS
	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	
A	307 (200)	750	480 (373)	900	1600
B				1000	
C				1400	2400
D					3200

最大離着陸地点
空港からの距離
30nm ≒ 56km

Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:5 APR 2012)

8/3/12

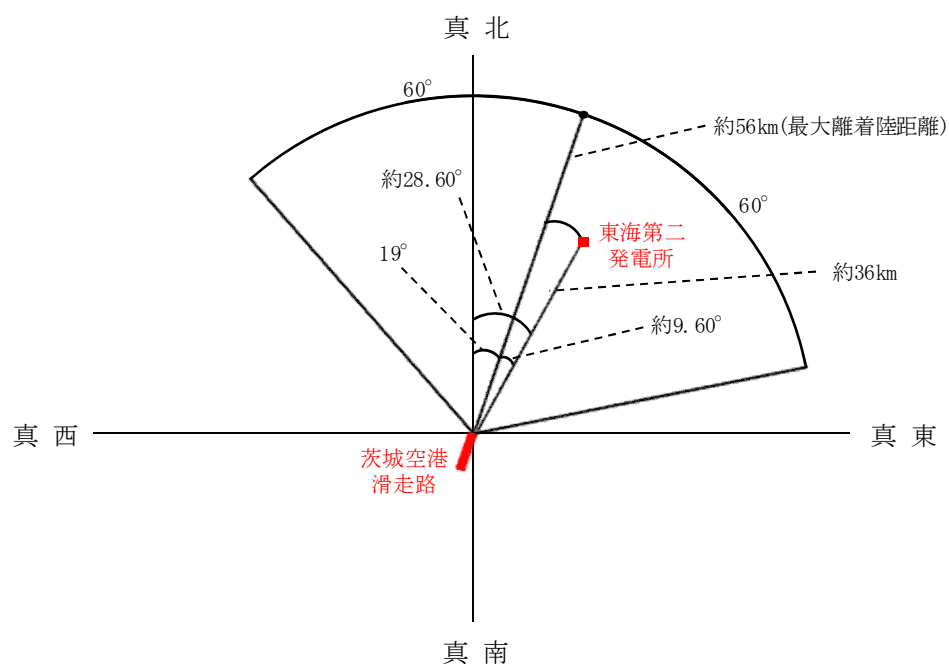
出典：A I P

茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の
角度について

茨城空港の滑走路の方位は、 19° （真方位）（A I P記載のデータ）である。

また、茨城空港－東海第二発電所の方位は、約 28.60° （真方位）（茨城空港と東海第二発電所の緯度、経度より計測した。）である。

したがって、茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港－東海第二発電所の角度は、約 9.60° となる。



各施設周辺における航空路と各航空路の幅について

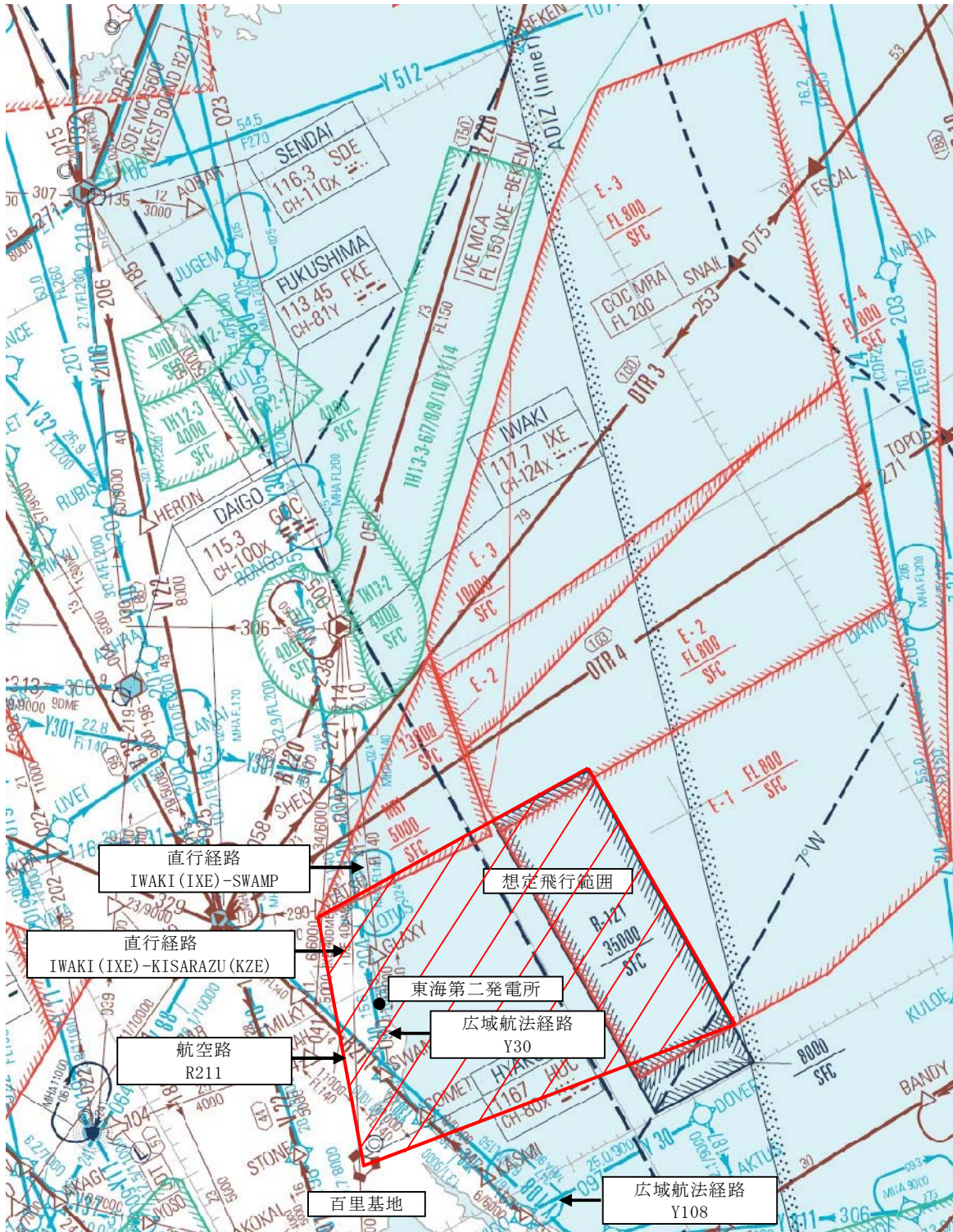
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離※ ¹	片側の 航空路幅※ ²	判定
航空路 R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI(IXE)－SWAMP)	約 0.68km	約 7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE))	約 4.13km	約 7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	約 9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI(CVC))	約 11.44km	約 9.26km (5nm)	×

○：評価対象 ×：評価対象外

※¹：施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

※²：航空路 R211 については、「航空路の指定に関する告示」に記載の値とした。直行経路については、「航空路等設定基準」を参照した。
RNAV 経路については、航法精度を航空路幅とみなして用いた。（1nm＝1.852km として換算した。）

エンルートチャート（東海第二発電所付近）



出典：ENROUTE CHART（2014年3月6日改定）

自衛隊機又は米軍機の用途による分類について

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「⑤訓練空域外を飛行中」の落下事故と「⑥基地－訓練空域間を往復時」の落下事故がある。

⑤及び⑥について、自衛隊機が保有する機種を代表として、用途による飛行形態を踏まえてカテゴリ进行分类し、燃料積載量が最大となる対象の航空機を整理した。

1. 訓練空域外を飛行中の落下事故

自衛隊機の用途としては、「連絡偵察」，「哨戒」，「戦闘」，「偵察」，「輸送」，「空中給油」，「早期警戒」等がある。

下表に代表的な自衛隊機における用途等を示す。

所 属	機 種	形 式	用 途	寸法 (m)		燃料量 ^{※1} (m ³)
				全長	全幅	
陸上 自衛隊	LR-1	小型固定翼	連絡偵察	10	12	約 0.9
	LR-2	大型固定翼	連絡偵察	14	18	約 2
	AH-1S	小型回転翼	対戦車	14	3	約 1
	OH-6D	小型回転翼	観測	7	2	約 0.2
	OH-1	小型回転翼	観測	12	3	約 1
	UH-1H/J	小型回転翼	多用途	12/13	3	約 0.8
	CH-47J/JA	大型回転翼	輸送	16	4/5	約 4
	UH-60JA	大型回転翼	多用途	16	3	約 3
	AH-64D	大型回転翼	戦闘	18	6	約 1
海上 自衛隊	P-3C	大型固定翼	哨戒	36	30	約 35
	P-1	大型固定翼	哨戒	38	35	≦ KC-767 ^{※2}
	SH-60J	大型回転翼	哨戒	15	3	約 1
	SH-60K	大型回転翼	哨戒	16	3	約 1
	MH-53E	大型回転翼	掃海 ・ 輸送	22	6	約 12
	MCH-101	大型回転翼	掃海 ・ 輸送	23	19	約 5
航空 自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	F-2A/B	大型固定翼	戦闘	16	11	約 11
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	C-1	大型固定翼	輸送	29	31	約 16
	C-130H	大型固定翼	輸送	30	40	約 37
	KC-767	大型固定翼	空中給油 ・ 輸送	49	48	約 145
	KC-130H	大型固定翼	空中給油 機能付加	30	40	約 37
	E-2C	大型固定翼	早期警戒	18	25	約 7
	E-767	大型固定翼	早期警戒 管制	49	48	≦ KC-767 ^{※2}
	CH-47J	大型回転翼	輸送	16	4	約 4

出典：平成 25 年度版防衛白書等

※ 1：増槽（機体の外部に装着して使用する燃料タンク）の燃料量を考慮した値。

※ 2：P-1 及び E-767 の燃料量は不明であるが、P-1 については KC-767 より寸法が小さく空中給油機能を備えていないこと、E-767 については KC-767 と寸法は同一であるものの空中給油機能を備えていないことから、KC-767 に比べて燃料量は少ないと想定される。

以下の機種については、原子力発電所付近で低高度での飛行を行うことはないため、「⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機」として整理し、その他については、「⑤-2 その他の大型固定翼機及び回転翼機」として整理した。

- ・ 高高度での巡航が想定される「空中給油」及び「早期警戒」を用途とした機種
- ・ 目的地付近で低高度での飛行となるものの移動は高高度の巡航を行うものと想定される「哨戒」及び「輸送」を用途とした機種（「哨戒」の目的地は海上，「輸送」の目的地は基地又は空港）

下表に代表的な自衛隊機のうち燃料量の観点から大型機のみについて、上記のカテゴリで整理した結果を示す。

カテゴリ	用途	該当する 航空機	寸法 (m)		燃料量 ^{※1} (m ³)
			全長	全幅	
空中給油機，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」，「早期警戒」，「哨戒」，「輸送」を用途とする大型固定翼機	P-3C	36	30	約 35
		P-1	38	35	≤KC-767
		C-1	29	31	約 16
		C-130H	30	40	約 37
		KC-767	49	48	約 145
		KC-130H	30	40	約 37
		E-2C	18	25	約 7
		E-767	49	48	≤KC-767
その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	上記以外を用途とする大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	LR-2	14	18	約 2
		CH-47J	16	4	約 4
		UH-60JA	16	3	約 3
		AH-64D	18	6	約 1
		SH-60J	15	3	約 1
		SH-60K	16	3	約 1
		MH-53E	22	6	約 12
		MCH-101	23	19	約 5
		F-15J/DJ	19	13	約 15
		F-4EJ	19	12	約 12
		F-2A/B	16	11	約 11
		RF-4E/J	19	12	約 13

出典：平成 25 年度版防衛白書等

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

上記の分類を踏まえ，「⑤訓練空域外を飛行中の落下事故」で考慮するカテゴリとして，燃料量が最大となる航空機を下表に示すとおり整理した。

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象 航空機	燃料量 ^{※1} (m ³)
空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」，「早期警戒」，「哨戒」，「輸送」を用途とする大型固定翼機	KC-767	145.03
その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	「戦闘」，「連絡偵察」，「偵察」等を用途とする大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

2. 基地－訓練空域間を往復時の落下事故

下表に「⑥基地－訓練空域間を往復時」の落下事故において考慮している
百里基地に所属する自衛隊機を示す。

所 属	機 種	形 式	用 途	寸法 (m)		燃料量 ^{※1} (m ³)
				全長	全幅	
航空 自衛隊	F15J/DJ	大型固定翼	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	大型固定翼	戦闘	19	12	約 12
	T-4	大型固定翼	中等練習	13	10	約 3
	RF-4E/EJ	大型固定翼	偵察	19	12	約 13
	U-125A	大型固定翼	救難捜索	16	16	約 6
	UH-60J	大型回転翼	救難救助	20	16	約 3

出典：平成 25 年度版防衛白書，航空自衛隊ウェブページ等

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料量が最大の航空機を対象とし，下
表のとおり整理した。

カテゴリー	対象とする航空機の内訳	対象 航空機	燃料量 ^{※1} (m ³)
④基地－訓練空域間往 復時	試験空域において訓練を行 うと想定される百里基地に 所属する固定翼機及び回転 翼機	F-15	14.87

※ 1：増槽の燃料量を考慮した値。

航空機落下確率評価手法の保守性について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に記載されているとおり、航空機落下確率評価手法には以下の保守性がある。

(1) 計器飛行方式民間航空機の飛行場での離着陸時における落下事故

原子力施設付近の上空の飛行はできる限り避けるよう指導等がなされているため、離着陸時においても原子力施設付近における飛行は極めて少なくなるものと考えられるが、当該原子炉施設に係る離着陸時の落下確率として、この指導等による効果を考慮せずに、国内の飛行場における離着陸時の事故件数及び当該飛行場の着陸回数から求めることとしている。

さらに、評価に用いる落下地点の確率分布は、評価対象区域の扇型内一様分布及び周方向に正規分布を仮定し、いずれか厳しい方を用いている。

(2) 有視界飛行方式で飛行する民間航空機の落下事故

有視界飛行方式で飛行する民間航空機の落下確率評価における評価式は、有視界飛行が全国的に均一して行われているものと仮定し全国平均値を求めることとしている。しかしながら、一般に、こうした有視界飛行については、原子力施設付近の上空をできるだけ飛行しないよう指導されていること、原子力関係施設の上空については、航空法第 81 条に基づく最低安全高度以下の高度での飛行に係る国土交通大臣の許可が与えられないこととなっていること、及び民間航空機の訓練空域が原子炉施設の上空に存

在する場合には自衛隊機の訓練空域と同様な飛行規制が取られていることから、有視界飛行中の民間航空機が原子炉施設に落下する可能性は他の地域に比べて十分低いと考えられる。さらに、原子炉施設設置者は、原子炉施設上空からの視認性を向上させるために、自主的に灯火を設置している。したがって、こうした実態を考慮すると、有視界飛行中の民間航空機の落下確率について、全国平均値を評価に用いることには十分な保守性があると言える。

(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機の落下確率評価式は、いずれも、訓練空域が全国的に均一して分布していると仮定し全国平均値で評価を行うというものである。しかし、自衛隊機の訓練空域が原子炉施設の上空に存在する場合には飛行機規制が取られていること（当該空域における訓練飛行中は通常の飛行時に比べ機器の操作頻度が多いことに鑑み、従来から国土交通省により原子炉施設から半径 2 海里以内、高度 2000ft 以下（半径約 3.6km 以内、高度約 600m 以下）の範囲が訓練空域から除外されている。）、米軍機についても原子炉施設上空の飛行規制に係る協力要請を行っており周知徹底を行う旨回答を得ていること及びこれまでの事故の実績を考慮すると、訓練空域外を飛行中の自衛隊機又は米軍機が原子炉施設に落下する確率として全国平均値を用いることには保守性があると言える。

離隔距離の算出方法について

1. 考え方

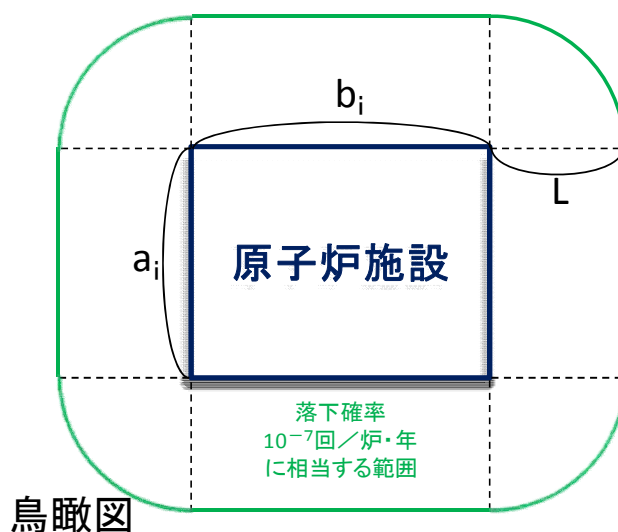
各影響評価対象施設における離隔距離が一定に確保されるように、面積の和が落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積となるまで標的面積を拡大させたときの離隔距離を算出する方法を用いた。

なお、本方法では各施設間の距離が短い場合（原子炉建屋と復水貯蔵タンク等）、落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する範囲が重なるが、保守的に重なった部分の面積を重複してカウントした。

2. 離隔距離算出方法

各影響評価対象施設（今回の場合、原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、海水ポンプ室、排気筒及び復水貯蔵タンク）の各辺の長さを (a_1, b_1) ,
 $\dots$, (a_5, b_5) とし、離隔距離を L とすると、落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積 S は以下で表される。

$$S = 5\pi L^2 + 2L \sum_{i=1}^5 (a_i + b_i) + \sum_{i=1}^5 a_i b_i$$



各カテゴリの落下確率の計算式より 10^{-7} （回／炉・年）に相当する面積が求められるため、上記方程式を L について解くことで、影響評価対象施設に対する離隔距離 L が得られる。

計器飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成 4 年～平成 23 年)

離着陸時の大破事故

(離陸時)

発生年月日	場 所	機 種
平成 8 年 6 月 13 日	福岡空港	ダグラス DC-10-30 型

(着陸時)

発生年月日	場 所	機 種
平成 5 年 4 月 18 日	花巻空港	ダグラス DC-9-41 型
平成 6 年 4 月 26 日	名古屋空港	エアバス・インダストリー A300B4-622R 型
平成 21 年 3 月 23 日	成田国際空港滑走路	ダグラス MD-11F 型

巡航中の大破事故

発生年月日	場 所	機 種
該当なし	—	—

日本国機の運航回数及び運航距離

- ・ 計算に用いる数値は、「航空輸送統計年報 第1表 総括表」の次の値とする。
 - ①日本国機の運航回数は、国内便、国際便ともに定期便＋不定期便の値。
 - ②日本国機の運航距離は、国内便のみの定期便＋不定期便の値。
- ・ 日本国機の国際便は、日本から海外までの距離が記載されているが、日本国内での運航距離ではないため、保守的に考慮しない。
- ・ 日本に乗り入れている外国機は、運航距離について実績の公開記録がないため、保守的に考慮しない。
- ・ ただし、日本国機の国際便及び外国機の落下事故が、日本国内で落下した場合は評価対象とする。

	日本国機の運航回数 (運航回)			日本国機の運航距離 (飛行回・km)
	国内便	国際便	計	国内便
平成 5 年	466,787	57,451	524,238	326,899,203
平成 6 年	484,426	60,038	544,464	343,785,576
平成 7 年	531,508	67,908	599,416	380,948,123
平成 8 年	543,238	72,425	615,663	397,146,610
平成 9 年	562,574	77,134	639,708	420,920,228
平成 10 年	587,308	83,070	670,378	449,784,623
平成 11 年	594,957	85,804	680,761	459,973,069
平成 12 年	660,979	87,977	748,956	480,718,878
平成 13 年	671,618	86,824	758,442	489,803,107
平成 14 年	683,929	93,062	776,991	498,685,881
平成 15 年	700,184	92,381	792,565	519,701,117
平成 16 年	698,960	101,659	800,619	517,485,172
平成 17 年	709,377	106,078	815,455	527,370,038
平成 18 年	740,741	104,798	845,539	555,543,154
平成 19 年	741,949	112,605	854,554	559,797,874
平成 20 年	733,979	118,503	852,482	554,681,669
平成 21 年	716,640	110,234	826,874	544,824,157
平成 22 年	716,538	101,721	818,259	548,585,258
平成 23 年	717,100	96,292	813,392	555,144,327
平成 24 年	770,262	105,086	875,348	608,215,704
合計	13,033,054	1,821,050	14,854,104	9,740,013,768

※：離着陸回数は、国内便の場合は離陸回数＝着陸回数＝運航回数とし、国際便の場合は、離陸回数＝着陸回数＝1／2 運航回数とする。

(離着陸回数＝離陸回数＋着陸回数＝国内便運航回数×2＋国際便運航回数＝13,033,054×2＋1,821,050＝27,887,158)

計器飛行方式民間航空機の飛行場を離着陸時における落下事故の

確率分布関数について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に基づき、計器飛行方式民間航空機の「①飛行場（茨城空港）での離着陸時」における落下事故の確率分布関数には、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離（ r_0 ）内の内円で滑走路方向両側に対し $\pm 60^\circ$ 以内の扇型に一樣な分布又は周方向で正規分布を仮定し、評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果、今回の評価では、下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一樣分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} \quad (\text{／km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

（正規分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} f(x) \quad (\text{／km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cong 2.1 \times \exp\left(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_p^2}\right)$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int_{-\pi r/3}^{\pi r/3} Pdx = \frac{2}{3} \pi r_p$$

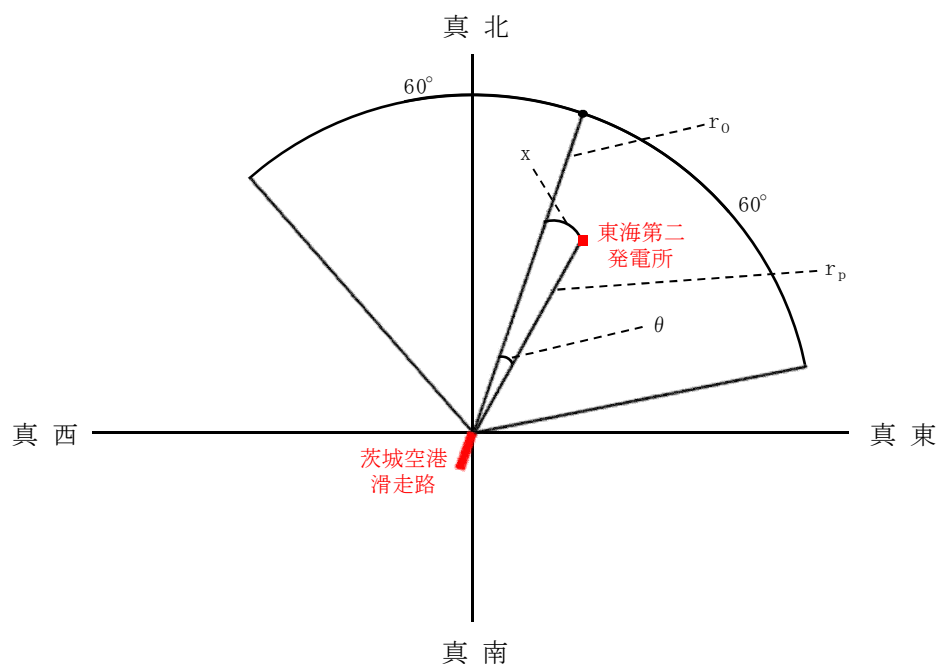
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_p : 滑走路端から原子炉施設までの距離（径方向）（km）

x : 滑走路軸上から原子炉施設までの距離（周方向）（km）

$$x = r_p \times \theta$$

θ : 滑走路方向に対する空港－原子炉施設の角度（rad）



項 目	確率密度（／km ² ）
一様分布	約 1.55×10^{-4}
正規分布	約 2.98×10^{-4}

評価対象期間において落下事故実績がないカテゴリの
航空機落下確率について

1. 落下事故実績がないカテゴリの航空機落下確率推定方法について

航空機落下確率評価では、過去 20 年間における落下事故件数の統計データに基づき航空機落下確率を算出しているが、平成 4 年～23 年において、以下のカテゴリについては落下事故が発生していない。

- (1) 計器飛行方式民間航空機の「②航空路を巡航中」の落下事故
- (2) 有視界飛行方式民間航空機の「③大型機」の落下事故（大型固定翼機）
- (3) 自衛隊機又は米軍機の「⑤訓練空域外を飛行中」の「⑤-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機」の落下事故
- (4) 自衛隊機又は米軍機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そこで、上記カテゴリに対する航空機落下確率の推定には、「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準（レベル 1PRA 編）：2013」（一般社団法人 日本原子力学会）（以下「学会標準」という。）において、過去発生していない起因事象に対する起因事象発生頻度の算出方法として使用が認められている、以下の χ 二乗分布を用いた方法を使用した。

$$F = \chi^2(1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T \text{ (回 / (飛行回・km) 又は回 / 年)}$$

T：延べ飛行距離（=9,740,013,768km）又は対象期間（=20 年）

2. 航空機落下確率評価への χ 二乗分布を用いた方法の適用性

学会標準の参考文献として引用されている NUREG/CR-4407 “Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants” によると、事象発生頻度の推定方法として、 χ 二乗分布を用いた方法を適用するためには、事象発

生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

ポアソン分布は、一般的に確率が極めて小さい事象（例えば、交通事故による1日の死亡数）の発生頻度を処理する確率モデルとして使われるが、航空機の年間の落下事故率がポアソン分布に従うかどうかを判断するために、国内における昭和58年～平成23年の29年間の民間航空機及び自衛隊機の落下事故率を対象に、母集団の分布形の検定に使用される χ^2 二乗分布を用いた適合度検定（ χ^2 二乗検定）を実施した。本検定は、観測度数と理論度数の差が有意かどうかについて、 χ^2 二乗分布を用いて検定する統計的手法である。

適合度検定の結果を下表に示す。

民間航空機の χ^2 二乗検定

落下事故件数 x [件]	落下事故件数に 対する実年数 f [年]	ポアソン分布 P(f) ※1	ポアソン分布 から推定した 理論年数 e ※2 [年]	χ^2 ※3
0～1	3	約 0.0713	約 2.07	約 0.420
2～3	9	約 0.304	約 8.82	約 0.00386
4～5	9	約 0.360	約 10.4	約 0.196
6～7	6	約 0.193	約 5.60	約 0.0279
8 以上	2	約 0.0718	約 2.08	約 0.00323
合 計	29	1.00	29.0	約 0.651

自衛隊機の χ^2 二乗検定

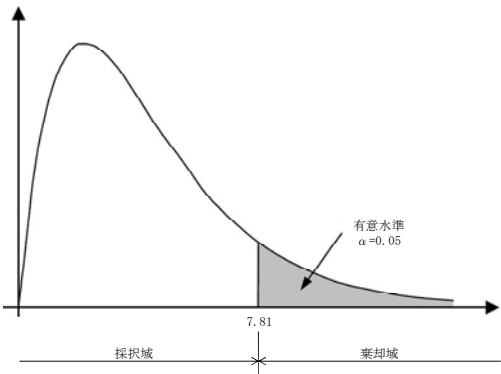
落下事故件数 x [件]	落下事故件数に 対する実年数 f [年]	ポアソン分布 P(f) ※1	ポアソン分布 から推定した 理論年数 e ※2 [年]	χ^2 ※3
0	2	約 0.103	約 2.98	約 0.321
1	8	約 0.234	約 6.78	約 0.220
2	6	約 0.266	約 7.71	約 0.381
3	8	約 0.202	約 5.85	約 0.789
4 以上	5	約 0.196	約 5.68	約 0.0808
合 計	29	1.00	29.0	約 1.79

※ 1 : $P(x) = \frac{\exp(-m) \cdot m^x}{x!}$

m : 落下事故件数標本平均（民間航空機：約 4.31 件，自衛隊機：約 2.28 件）

- x : 落下事故件数
- ※ 2 : $P(f) \times 29[\text{年}]$
- ※ 3 : $(f - e)^2 / e$

検定統計量である χ 二乗分布の自由度は 3 (= (組分けの数 5) - 1 - 推定される母数の数 1) であり, 一般的に用いられる有意水準 $\alpha = 0.05$ を用いると, 検定の判定点は χ 二乗分布表より 7.81 (= $\chi^2(3, 0.05)$) で与えられる。



χ 二乗分布表

自由度	上側有意確率										
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.5	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.0039	0.0158	0.455	2.710	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01003	0.02010	0.0506	0.1026	0.211	1.386	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.07172	0.1148	0.2158	0.352	0.584	2.37	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	0.2070	0.2971	0.484	0.711	1.06	3.36	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	0.4117	0.554	0.831	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.8	15.1	16.8

民間航空機及び自衛隊機の χ 二乗値はそれぞれ約 0.651, 約 1.79 であり, 判定点より小さいことから, 観測度数 (ここでは, 実年数) と理論度数 (ここでは, 理論年数) の差は有意であるとは言えない。

したがって, 国内の民間航空機及び自衛隊機の落下事故率にポアソン分布を当てはめることは可能であり, 航空機落下確率評価に χ 二乗分布を用いた方法を適用することが可能であると判断した。

3.1 χ^2 二乗分布を用いた方法の保守性について

なお、全国平均の航空機落下確率は、評価の母集団を大きくすることにより、百里基地－訓練空域間では 0 件であった落下事故件数を実績値（5 件）に基づき評価していること、基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると、全国データを用いた方法により求めた航空機落下確率は信頼性があると考える。

項 目	航空機落下確率（回／炉・年）
χ 二乗分布を用いた方法	約 2.51×10^{-8} ($=0.2275$ 件/20 年/4,540km ² $\times$ 0.01km ²)
全国データを用いた方法	約 1.42×10^{-8} ($=5$ 件/20 年/175,720km ² $\times$ 0.01km ²)

全体の航空機落下確率のうち占める割合が大きい「⑥基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の航空機落下確率は、下式のとおり評価している。

[illegible]

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率 (回/年)

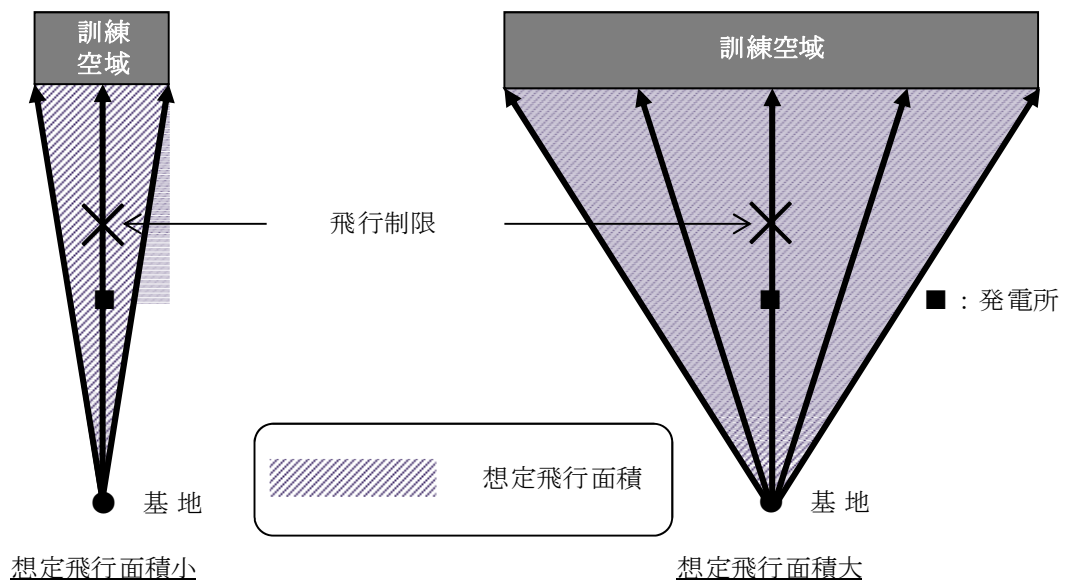
A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km^2)

(A)式によると、想定飛行範囲の面積 (S_{se}) が小さいほど、大きな落下確率となる。これは、基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし、p.別紙 5.11-7 に示すとおり、実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されているため、発電所上空を含めて基地－訓練空域間を一様に飛行することはない。

このため、想定飛行範囲の面積が小さくなるほど、より保守的な落下確率を与えることとなる。(下図参照)



想定飛行面積と航空機落下確率の関係 (概略図)

また、新規制基準に係る適合性の審査の申請をしている発電所のうち、自衛隊機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の航空機落下確率を(A)式により評価しているプラントは、東海第二発電所を含めて6つあり、これらのプラン

トにおける想定飛行範囲の面積は下表のとおりである。

発電所名称	想定飛行範囲の面積 (km ²)
東海第二発電所	4,540
川内原子力発電所 1, 2 号炉	19,400
玄海原子力発電所 3, 4 号炉	10,200
伊方発電所 3 号炉	40,080

上述のとおり，原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていることを踏まえると，東海第二発電所では，他プラントに比べて想定飛行範囲の面積が小さいため，他プラントの落下確率に比べてより大きな保守性を含んでいると考える。

4. 落下事故実績がないその他のカテゴリの評価方法について

上記 3. では，『(4) 自衛隊機又は米軍機の「⑥基地－訓練空域間往復時」の落下事故』のカテゴリについて述べたが，その他の(1)～(3)のカテゴリについても，評価の一貫性の観点から，(4)のカテゴリと同様に「 χ 二乗分布を用いる方法」を使用している。

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

昭和 44 年 2 月 6 日
陸幕航第 59 号

改正 平成 10 年 3 月 23 日陸幕運第 145 号 平成 19 年 1 月 9 日陸幕法第 1 号
 平成 19 年 3 月 28 日陸幕法第 61 号 平成 21 年 2 月 3 日陸幕法第 10 号

各方面総監
中央即応集団司令官 殿
中央管制気象隊長
航空学校長

陸上幕僚長の命により
総務課長

（例規 99）

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

標記について、さきに防衛事務次官の指示に基づきその実施について通達したところであるが、その後さらに細部について示されたので、今後下記により実施されたい。

なお、陸幕航第 583 号（43. 9. 2）は廃止する。

記

- 1 原子力関連施設上空の飛行は、原則として行わないものとする。
- 2 管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等の関係から、やむを得ずその上空を飛行する必要がある場合には、動力装置の停止等緊急事態が発生してもこれらの施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行するものとする。
- 3 原子力関連施設は航空路図誌（防衛省監修）に記載され、その設置・廃止等の状況は逐次追録されるので、関係者に当該施設の位置を周知徹底させるものとする。

評価対象となる航空路等の飛行回数

評価対象となる航空路等	ピーク日の飛行回数※ ¹	年間飛行回数※ ²
直行経路 (IWAKI (IXE)－SWAMP)	H24 年上半期：0 (6 月 8 日) H24 年下半期：0 (9 月 19 日)	182.5
直行経路 (IWAKI (IXE)－ KISARAZU (KZE))	H24 年上半期：0 (6 月 8 日) H24 年下半期：0 (9 月 19 日)	182.5
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	H24 年上半期：0 (6 月 8 日) H24 年下半期：3 (9 月 19 日)	1,095

※ 1：国土交通省航空局に問合せ入手したデータ。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。

※ 2：ピークデイの飛行回数（0 回の場合は、0.5 回とした。）を 365 倍した値。

有視界飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成 4 年～平成 23 年)

大型機の大破事故

(大型固定翼機)

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	—	—

(大型回転翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	アエロスパシアル式 AS332L1

小型機の大破事故

(小型固定翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 4 年 6 月 6 日	静岡県富士宮市富士山頂	セスナ式 172N ラム
平成 4 年 11 月 19 日	山梨県南都留郡鳴沢村	ランズ式 S-10
平成 6 年 4 月 6 日	広島県佐伯郡	セスナ式 208B
平成 6 年 5 月 7 日	高知県吾川郡池川町	セスナ式 172P
平成 7 年 7 月 29 日	北海道赤平市	パイパー式 PA-28-140
平成 7 年 10 月 9 日	北海道中川郡豊頃町	ピッツ式 S-2B
平成 8 年 2 月 9 日	長崎県東彼杵群川棚町	ブリテンノーマン式 BN-2B-20
平成 8 年 11 月 20 日	静岡県伊東市	セスナ式 172K
平成 9 年 8 月 21 日	茨城県竜ヶ崎市の	パイパー式 PA-28-140
平成 9 年 10 月 26 日	鹿児島県垂水市	セスナ式 152
平成 9 年 11 月 2 日	熊本県八代郡	セスナ式 172N
平成 10 年 3 月 21 日	高知県室戸市	ビーチクラフト式 A36TC
平成 10 年 4 月 20 日	滋賀県琵琶湖	セスナ式 177RG
平成 10 年 8 月 15 日	岐阜県大野郡荘川村	パイパー式 PA-28-161
平成 10 年 9 月 23 日	大阪府高槻市	セスナ式 P210N
平成 10 年 9 月 24 日	茨城県霞ヶ浦	ソカタ式 TB10
平成 11 年 3 月 24 日	大分県大分郡野津原町	セスナ式 172M
平成 11 年 8 月 1 日	大分県大分郡庄内町	富士重工式 FA-200-180
平成 11 年 8 月 13 日	長野県斑尾山	セスナ式 172P
平成 13 年 3 月 25 日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式 PA-28-181
平成 13 年 5 月 19 日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式 172P
平成 13 年 8 月 16 日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式 172NAT
平成 14 年 1 月 4 日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式 172P
平成 14 年 3 月 1 日	北海道帯広市美栄町	スリングスビー式 T67MMK II
平成 14 年 6 月 23 日	山梨県南巨摩群南部町	ソカタ式 TB21
平成 15 年 3 月 24 日	茨城県那珂郡緒川町	ガルフストリームコマンドー式 695
平成 15 年 7 月 11 日	宮崎県宮崎市	ビーチクラフト式 A36
平成 16 年 1 月 22 日	山梨県甲府市	セスナ式 172P
平成 16 年 9 月 11 日	兵庫県養父市	セスナ式 172M

発生年月日	場 所	型 式
平成 16 年 9 月 20 日	兵庫県三原郡南淡町	ソカタ式 TB10
平成 17 年 3 月 2 日	高知県安芸郡馬路村	パイパー式 PA-28-161
平成 19 年 9 月 1 日	宮崎空港南東約 1nm の海上	ビーチクラフト式 A36
平成 19 年 11 月 15 日	岐阜県中津川恵那山山頂付近	セスナ式 404
平成 22 年 7 月 28 日	北海道松前郡福島町岩部岳東方の山中	セスナ式 TU206G
平成 23 年 1 月 3 日	熊本空港から北東約 14km の矢護山南南東斜面	パイパー式 PA-46-350P

(小型回転翼機)

発生年月日	場 所	型 式
平成 4 年 8 月 14 日	福島県南会津郡伊南村	川崎ヒューズ式 369D
平成 5 年 7 月 27 日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成 5 年 12 月 23 日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成 6 年 10 月 18 日	大阪府泉佐野市	アエロパシアル式 AS355F1
平成 6 年 11 月 13 日	鹿児島県大島郡笠利町	ベル式 206B
平成 8 年 4 月 27 日	長野県長野市篠ノ井	アエロパシアル式 AS355F1
平成 8 年 6 月 10 日	鹿児島県鹿児島市岡之原町	ロビンソン式 R22Beta
平成 9 年 1 月 24 日	愛知県岡崎市	アエロパシアル式 AS365N2
平成 9 年 5 月 21 日	長野県茅野市	アエロパシアル式 SA315B アルウェットⅢ
平成 9 年 7 月 3 日	三重県名張市	アエロパシアル式 SA315B アルウェットⅢ
平成 10 年 5 月 3 日	神奈川県横須賀市津久井浜	アエロパシアル式 AS350B
平成 12 年 4 月 24 日	三重県長島町木曾川左岸の河原	ヒューズ式 269C
平成 12 年 11 月 9 日	岐阜県郡上郡高鷲村	ロビンソン式 R22Beta
平成 14 年 5 月 5 日	愛媛県松山空港の西南西 16km 付近海上	ロビンソン式 R44
平成 14 年 6 月 12 日	新潟県東蒲原郡上川村	ベル式 206L-4
平成 16 年 3 月 7 日	長野県木曽郡南木曽町	アエロパシアル式 AS355F1
平成 16 年 12 月 24 日	佐賀県有明海海上	ロビンソン式 R44
平成 17 年 5 月 3 日	静岡県静岡市清水区草薙	アグスタ式 A109K2
平成 19 年 6 月 2 日	岐阜県中津川市岐阜中津川場外離着陸場の北約 1.3km 付近	ベル式 412
平成 19 年 10 月 27 日	大阪府堺市堺区遠里小野町 3 丁目	ロビンソン式 R22BETA
平成 19 年 12 月 9 日	静岡県静岡市葵区南沼上 988 付近	ユーロコプター式 EC135T2
平成 20 年 7 月 6 日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	アエロパシアル式 AS350B
平成 21 年 2 月 10 日	群馬県利根郡みなかみ町	ベル式 206L-3
平成 21 年 7 月 20 日	但馬飛行場の南東約 15km	ロビンソン式 R44Ⅱ
平成 22 年 8 月 18 日	香川県沖多度郡多度津町佐柳島沖	ベル式 412EP

自衛隊機及び米軍機 大破事故概要

(平成 4 年～平成 23 年)

訓練空域外を飛行中の大破事故

(空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機)

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
該当なし	—	—

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 16 年 8 月 10 日	東京都小笠原諸島北硫黄島	S-3 バイキング

(その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機)

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
平成 4 年 3 月 2 日	福島県石川郡平田村の山間	RF-4E
平成 9 年 1 月 13 日	宇都宮市板戸町の鬼怒川河川敷	OH-6D
平成 13 年 2 月 14 日	千葉県市原市天羽田	AH1S，OH-6D
平成 14 年 3 月 7 日	大分県万年山山頂南東 2km	OH-6D
平成 16 年 2 月 23 日	三重県鳥羽市と磯部町の境にある青峰山の南東約 1km	AH1S
平成 17 年 4 月 14 日	新潟県阿賀町の御神楽岳斜面	MU-2
平成 17 年 9 月 18 日	長崎県佐世保市大湊町の陸上自衛隊和浦駐屯地内	AH1S
平成 19 年 3 月 30 日	徳野島天城岳山頂付近	CH-47JA

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成 6 年 10 月 14 日	高知県土佐郡吉野川	A-6
平成 11 年 1 月 21 日	岩手県釜石市橋野町山林	F-16
平成 16 年 8 月 13 日	沖縄県宜野湾市の沖縄国際大学構内	CH-53D シースタリオン
平成 20 年 10 月 24 日	沖縄県名護市真喜屋のサトウキビ畑	セスナ機

基地－訓練空域間往復時の大破事故

・自衛隊機

発生年月日	離陸場所 (所属)	場 所	型 式
平成 9 年 8 月 21 日	木更津駐屯地 (陸自)	茨城県竜ヶ崎市	OH-6D
平成 11 年 11 月 22 日	入間基地 (空自)	埼玉県狭山市入間川河川敷	T-33A
平成 12 年 3 月 22 日	松島基地 (空自)	宮城県女川町指ヶ浜山林	T-2
平成 12 年 7 月 4 日	松島基地 (空自)	宮城県牡鹿町山中	T-4
平成 13 年 9 月 14 日	小月航空基地 (海自)	山口県下関市楠乃霊鷲山西 側斜面	T-5

外部火災影響評価で考慮する落下事故カテゴリの

航空機落下確率評価結果

外部火災影響評価で考慮する落下事故カテゴリを対象に，東海第二発電所における航空機落下確率評価を実施した。航空機落下確率評価結果及び航空機落下確率評価に係る標的面積を下表に示す。

航空機落下確率評価結果

単位：回／炉・年

落下事故のカテゴリ			落下確率	
1) 計器飛行方式 民間航空機	① 飛行場での離着陸時における落下事故		約 2.39×10^{-9}	
	② 航空路を巡航中の落下事故		約 1.96×10^{-11}	
2) 有視界飛行方式 民間航空機	③ 大型機		約 1.65×10^{-9}	
	④ 小型機		約 8.06×10^{-9}	
3) 自衛隊機又は 米軍機	⑤ 訓練空域内 で訓練中及び 訓練空域外を 飛行中	⑤-1 空中給油機等，高高度 での巡航が想定される大型 固定翼機	約 1.73×10^{-9}	約 2.07×10^{-8}
		⑤-2 その他の大型固定翼機， 小型固定翼機	約 1.89×10^{-8}	
		⑥ 基地－訓練空域間往復時		
	合 計			約 5.8×10^{-8}

航空機落下確率評価に係る標的面積

単位：m²

	原子炉 建屋	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	海水 ポンプ室	排気筒	復水貯蔵 タンク	合 計
水平 面積	約 4,489	約 1,399	約 1,212	約 784	約 855	約 8,739
投影 面積	約 6,940	約 1,887	約 1,212	約 5,599	約 1,195	約 16,833

ばい煙及び有毒ガスの影響について

1. 目 的

外部火災で発生するばい煙及び有毒ガスは、火炎により発生する上昇気流によって上空に運ばれるため、ばい煙及び有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、保守的にばい煙及び有毒ガスが設備並びに居住性に与える影響について、評価を実施する。

2. 評価対象設備

評価ガイドでは、ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として、燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等が挙げられている。ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を直接設備内に取り込む機器」、「外気を取り込む空調系統」及び「屋外設置機器」について評価を実施する。

表 2-1 ばい煙による影響評価対象設備

分 類		評価対象設備
機器への影響	外気を直接設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機機関
	外気を取り込む空調系統	換気空調設備
	屋外設置機器	海水ポンプ電動機

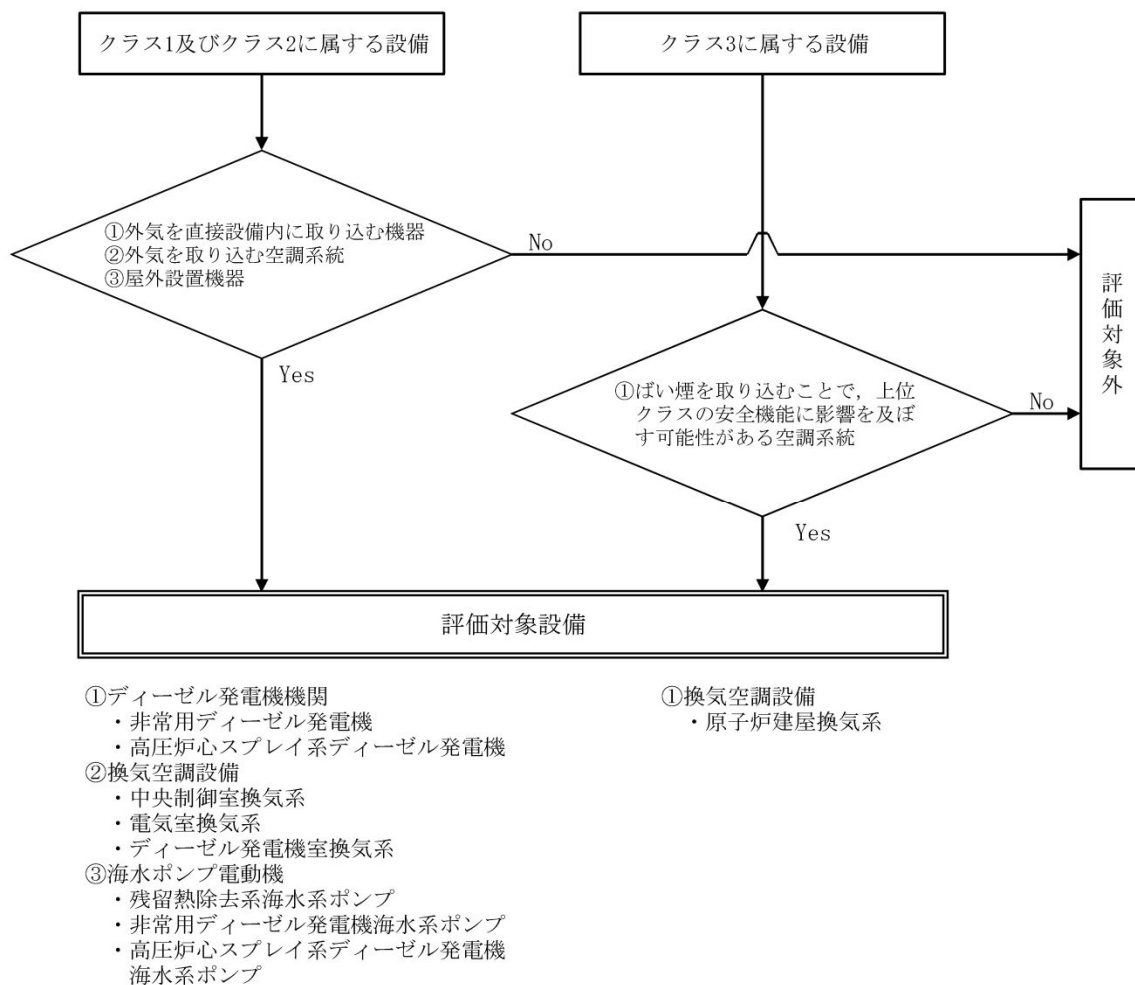


図 2-1 評価対象設備抽出フロー図

3. 評価結果

3.1 外気を直接設備内に取り込む機器

ディーゼル発電機機関の吸気系統は、吸気フィルタを介して吸気している。吸気フィルタ（粒径 $5\mu\text{m}$ 以上において約 56% 捕獲）で粒径の大きいばい煙粒子は捕獲される。吸気フィルタを通過したばい煙（数 μm ～ 10 数 μm ）が過給機、空気冷却器に侵入するが、それぞれの機器の間隙は、ばい煙に比べて十分大きく、閉塞に至ることはない。シリンダ／ピストン間隙まで到達したばい煙（数 μm ～ 10 数 μm ）は、当該間隙内において摩擦発生が懸念されるが、ばい煙粒子の主成分は炭素であり、シリンダ／ピストンより軟らかいため、ばい煙粒子による摩擦が発生することはないと判断される。また、通常運転時はシリンダ内には燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生しているが、定期的な点検において、ばい煙によるシリンダへの不具合は認められない。

以上のことから、外部火災で発生するばい煙が、非常用ディーゼル発電機の機能に影響与えることはないと判断した。

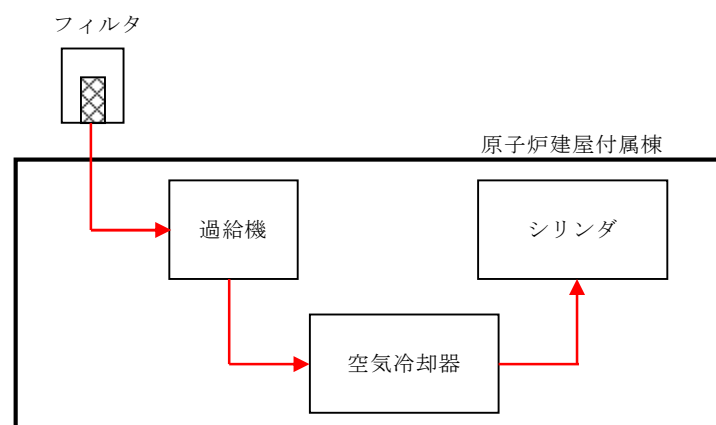
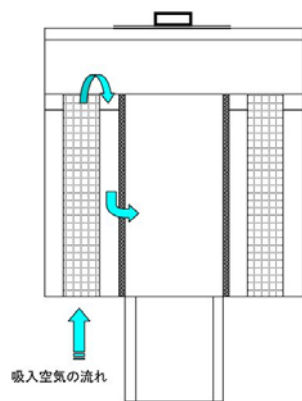
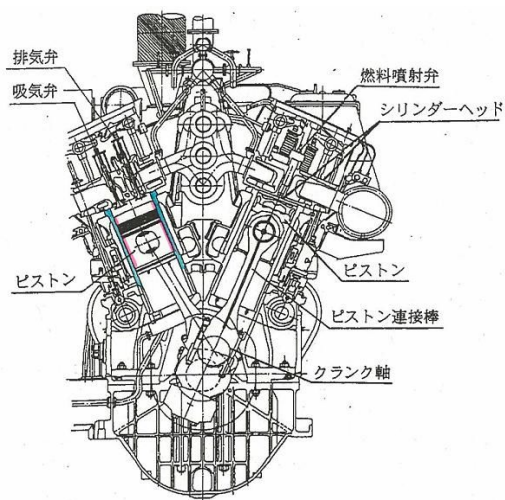


図 3.1-1 ディーゼル発電機吸気系統概略図

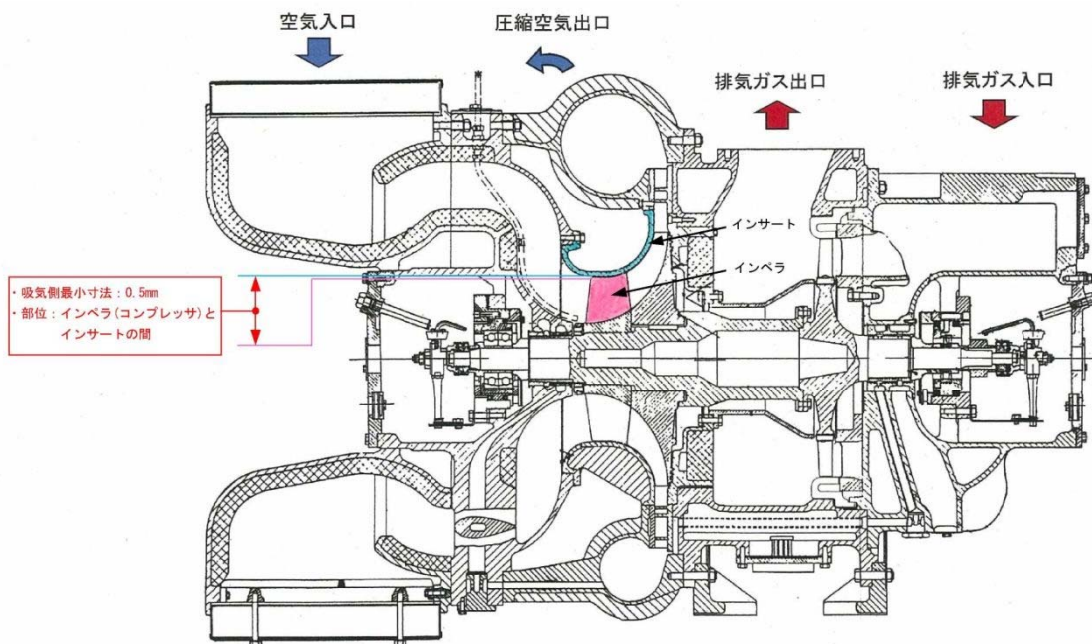


フィルタ構造

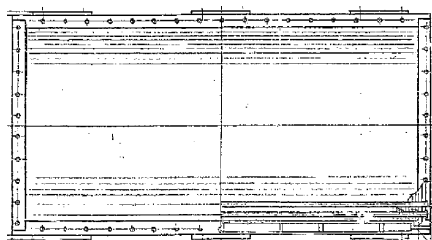


シリンダ構造

(シリンダ/ピストン間隙: 数 μm ~数十 μm)



過給機断面



空気冷却器構造

(狭隙部寸法 伝熱フィン間隙: 2.47mm)

図 3.1-2 ディーゼル発電機吸気系統構造図

3.2 外気を取り込む空調系統

(1) 中央制御室換気系，電気室換気系，原子炉建屋換気系

これらの系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。

フィルタは捕集率 80%以上（JIS Z 8901 試験用粉体 11 種）の性能を有しているため，外部火災で発生する一定以上の粒径のばい煙は，このフィルタにより侵入を阻止可能である。また，ばい煙によるフィルタの閉塞については，フィルタ出入口差圧又は排気ファン出口流量を監視することで検知可能である。

中央制御室換気系については，隔離弁を閉止し，閉回路循環運転を行うことにより，ばい煙の侵入を阻止可能である。

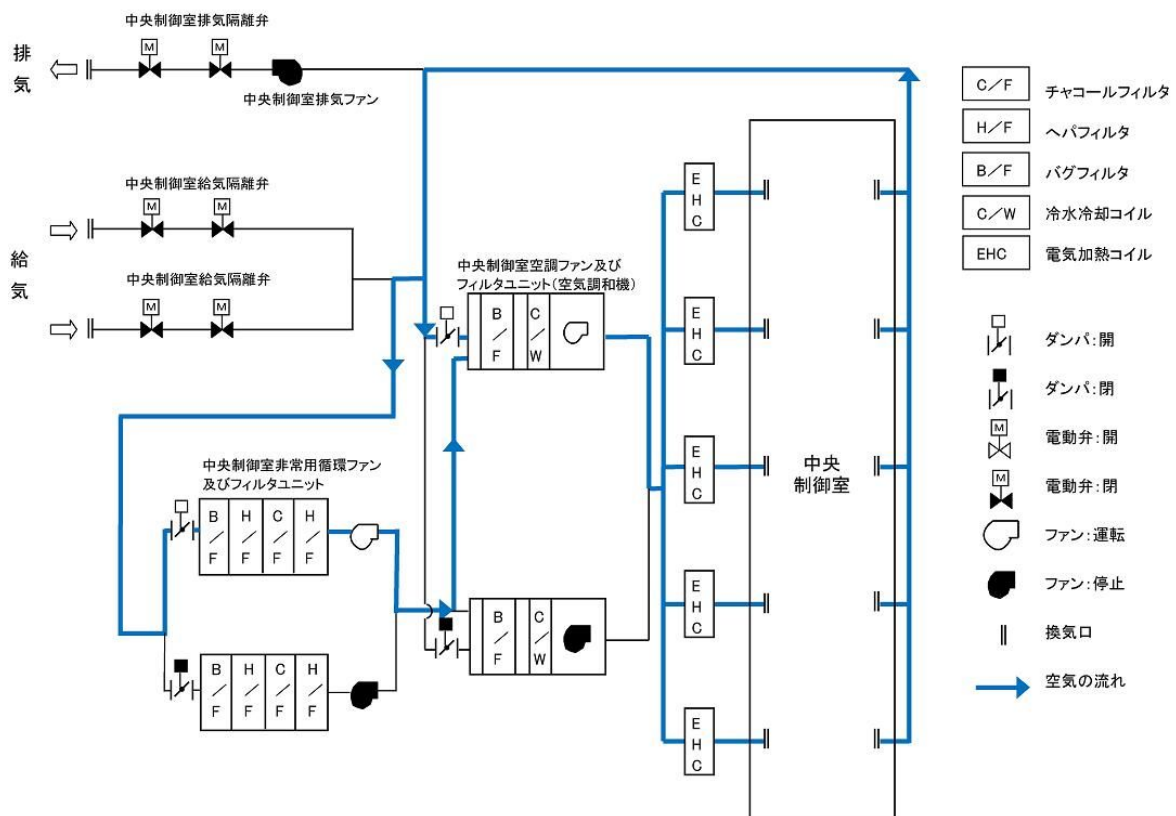


図 3.2-1 中央制御室換気系閉回路循環運転

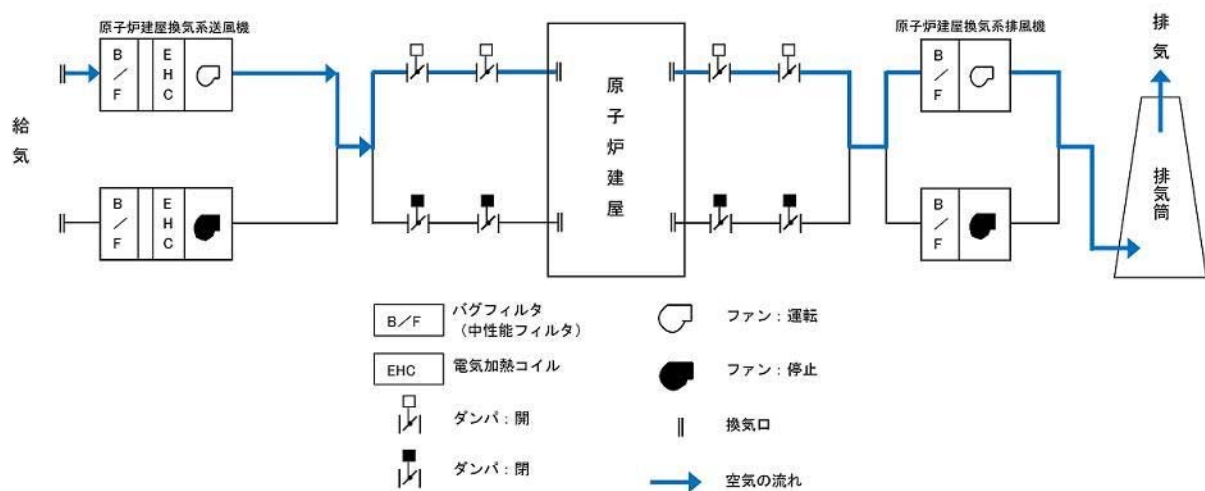


図 3.2-2 原子炉建屋換気系

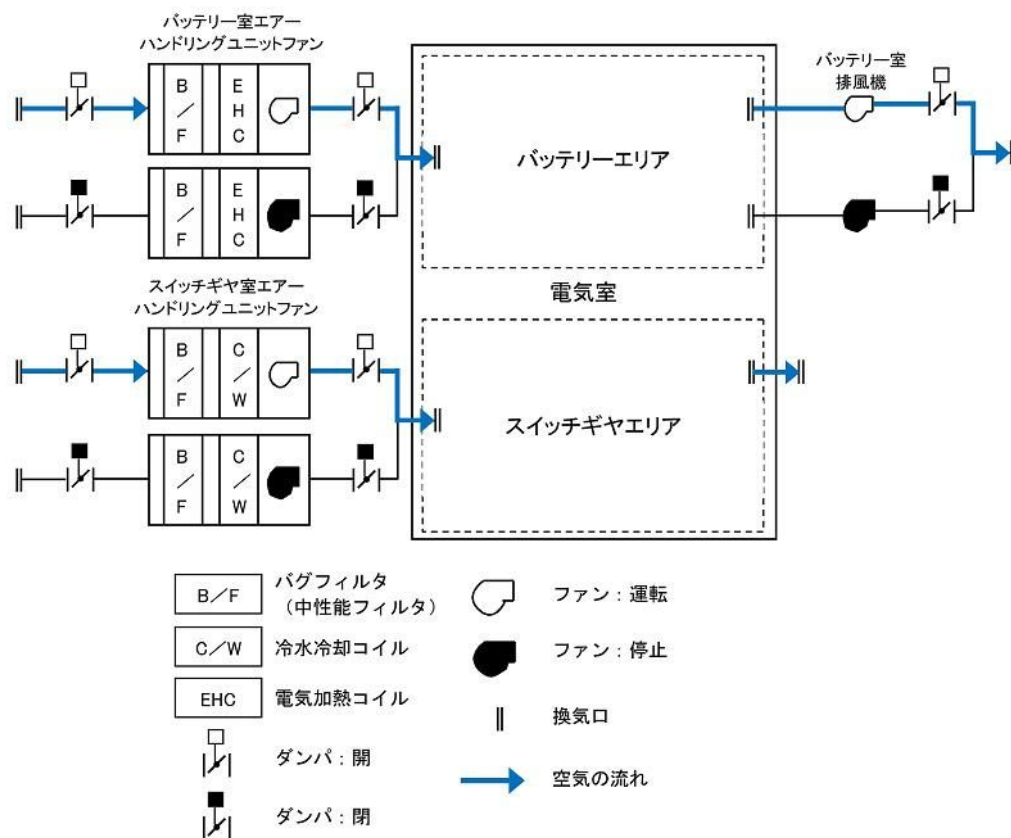


図 3.2-3 電気室換気系

(2) ディーゼル発電機室換気系

ディーゼル発電機室換気系は，外気取入口にフィルタが設置されていないため，適切なフィルタを設置する方針である。

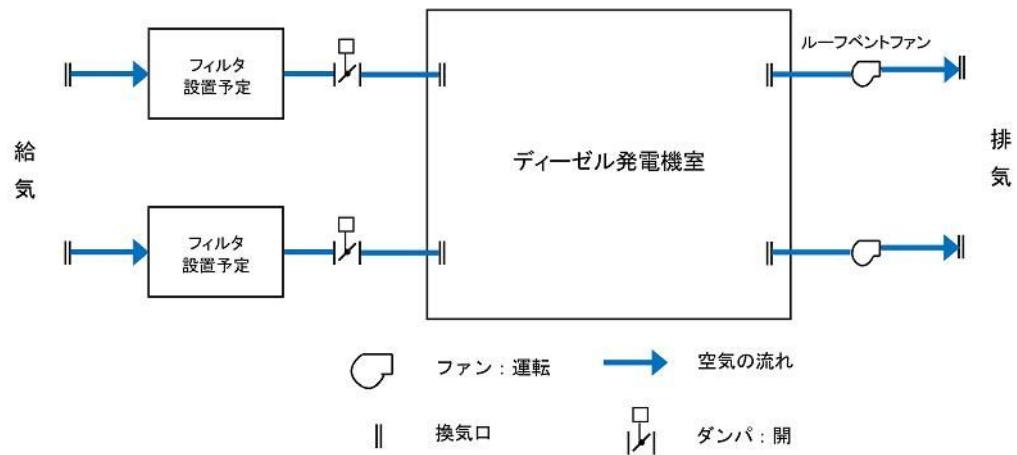


図 3.2-4 ディーゼル発電機室換気系

3.3 屋外設置機器

(1) 残留熱除去系海水系ポンプ電動機

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は、全閉防まつ型屋外形構造であり、下部に設置した外扇で外気を空気冷却器冷却管内に直接取り込み、冷却管壁で電動機内部空気と熱交換することで冷却を行う構造であり、冷却管内を通った空気は全て排気口に導かれるため、外気が電動機内部に侵入することはない。空気冷却器冷却管の内径は約 26mm であり、ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから、閉塞することはない。

電動機の構造を図 3.3-1 に示す。

電動機端子箱は、端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく、端子箱蓋はパッキンでシールされているため、ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

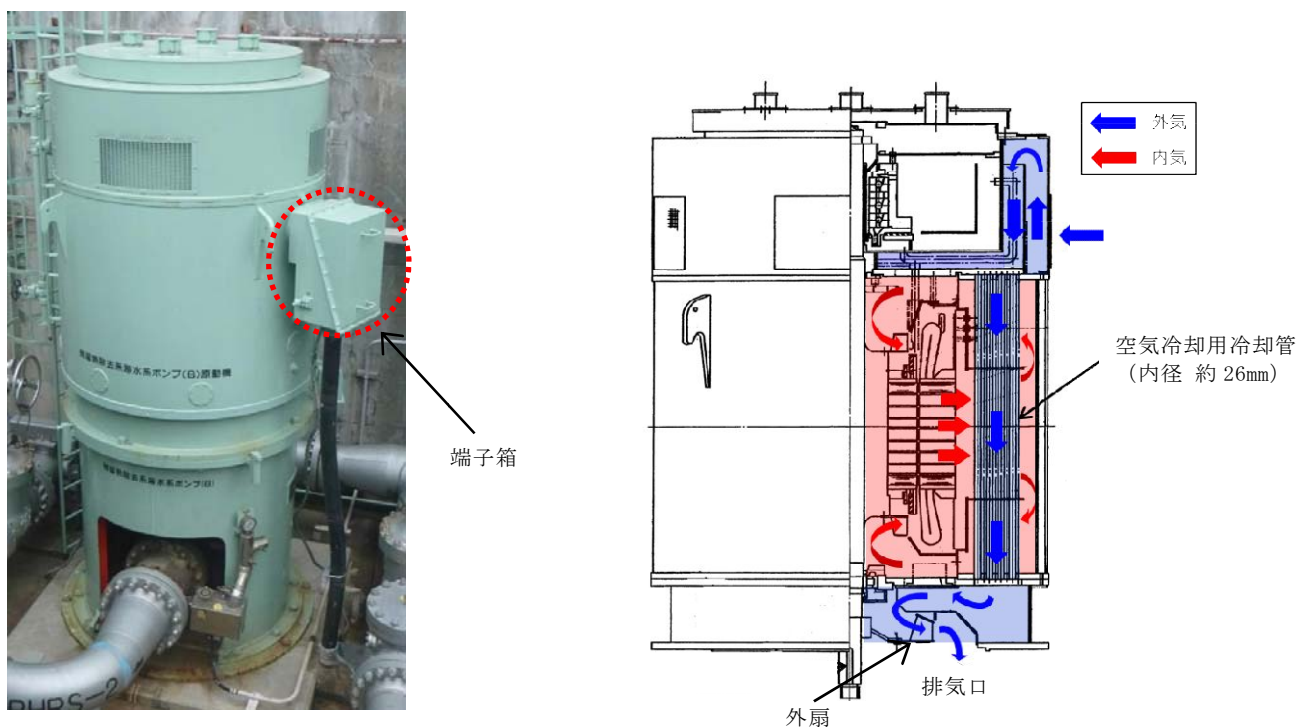


図3.3-1 残留熱除去系海水系ポンプ電動機 構造図

(2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は、外扇から吸引した外気をファンカバーから下向きに本体放熱フィンに沿って流し、電動機本体を冷却する構造であり、外気が電動機内部に侵入することはない。

また、冷却流路出口幅は約 28mm であり、ばい煙の粒径はこれに比べて十分小さいことから、閉塞することはない。

電動機の構造を図 3.3-2 に示す。

電動機端子箱は、端子箱内部と外部（大気）に圧力差がなく、端子箱蓋はパッキンでシールされているため、ばい煙の侵入による短絡は発生しない。

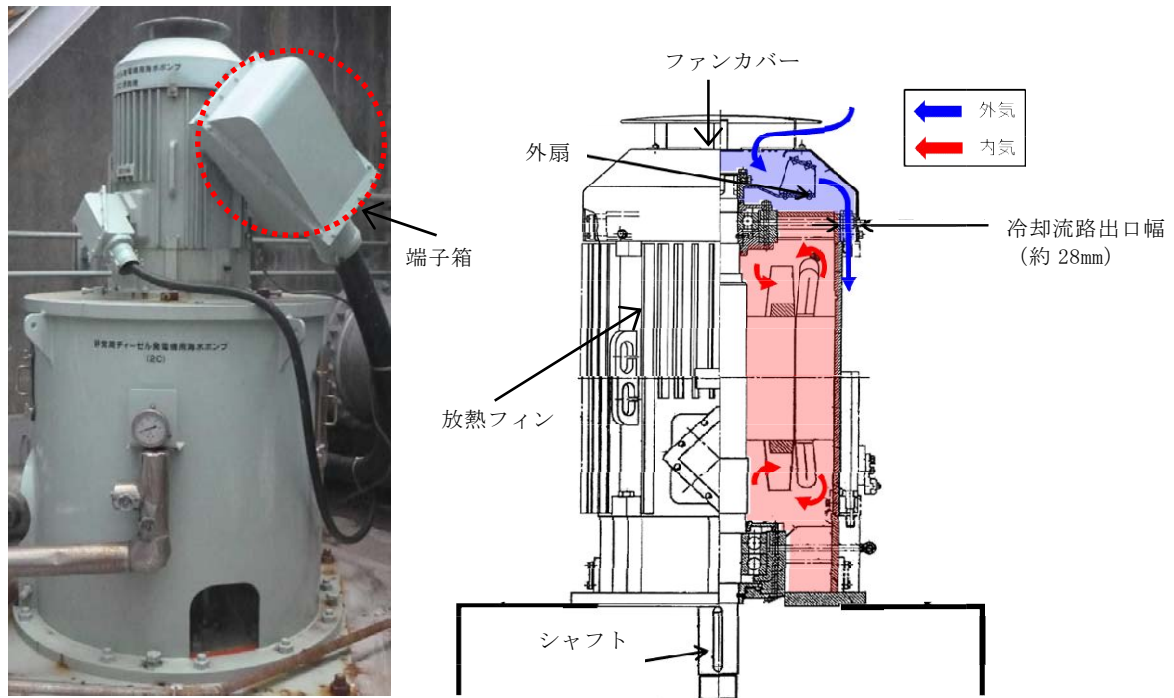


図 3.3-2 ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機 構造図

3.4 中央制御室の居住性評価

「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の解釈」第38条第13項に規定する「原子炉制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置」として、中央制御室換気系は外気の入力を遮断することができる。

中央制御室換気系の外気取入を遮断することで、運転員の作業環境に影響を及ぼさないことを確認するため、酸素濃度及び炭酸ガス濃度について評価した。

また、中央制御室給気口位置における、航空機墜落火災と危険物タンク火災で発生する有毒ガスの最大濃度を求め、中央制御室の運転員に影響を及ぼさないことを評価した。

(1) 酸素濃度

中央制御室換気系閉回路循環運転時の中央制御室内 酸素濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 7 人(運転員)
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・ 初期酸素濃度 20.95%
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 1 人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量^{※1}を適用して、24L/min とする。
- ・ 1 人あたりの酸素消費量は、成人吸気酸素濃度^{※1} (20.95%)，成人呼気酸素濃度^{※2} (16.40%) から 1.092L/min とする。
- ・ 許容酸素濃度 18.0%以上^{※3}

※1：空気調和・衛生工学便覧 第14版 3 空気調和設備編

※2：呼気には肺胞から蒸発した水蒸気が加わっており，吸気と等容積ではないため， CO_2 排出量を計算するには，乾燥空気換算（％）を使用する。

※3：労働安全衛生規則

b．評価結果

評価条件から求めた酸素濃度は，表 3.4-1 のとおりであり，173 時間まで外気取入を遮断しても，中央制御室内に滞在可能である。敷地内危険物タンク火災の最長燃焼継続時間（溶融炉灯油タンク 3.6 時間）に対して，余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼさない。

表 3.4-1 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

時間	24 時間	48 時間	96 時間	173 時間
酸素濃度	20.5%	20.1%	19.3%	18.0%

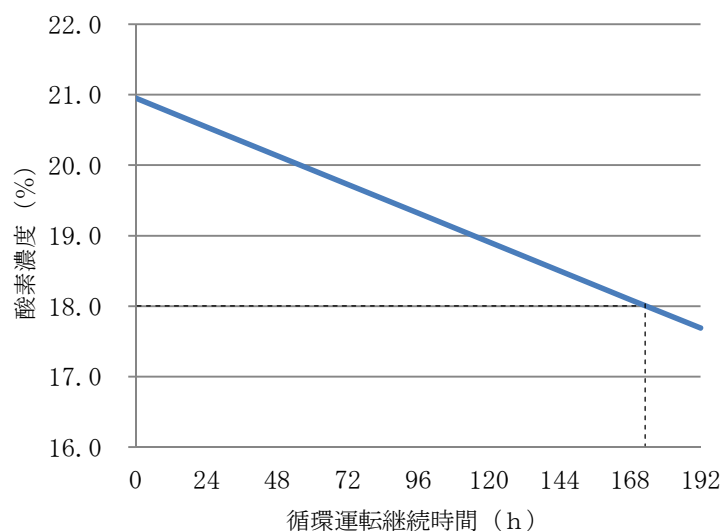


図 3.4-1 中央制御室換気系閉回路循環運転時の酸素濃度

(2) 炭酸ガス濃度

中央制御室閉回路循環運転時の中央制御室内 炭酸ガス濃度について評価した。

a. 評価条件

- ・ 在室人員 7 人(運転員)
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 2,700m³
- ・ 初期炭酸ガス濃度 0.03%
- ・ 評価結果が保守的になるよう空気流入は無いものとして評価する。
- ・ 1 人あたりの炭酸ガス吐出量は、事故時の運転操作を想定し、中等作業での吐出量^{※1}を適用して、0.046m³/hr とする。
- ・ 許容炭酸ガス濃度 1.5%未満^{※2}

※1：空気調和・衛生工学便覧 第14版 3 空気調和設備編

※2：労働安全衛生規則

b. 評価結果

評価条件から求めた炭酸ガス濃度は、表 3.4-2 のとおりであり、123 時間まで外気取入を遮断しても、中央制御室内に滞在可能である。敷地内危険物タンク火災の最長燃焼継続時間（溶融炉灯油タンク 3.6 時間）に対して、余裕があり運転員の作業環境に影響を及ぼさない。

表 3.4-2 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

時間	24 時間	48 時間	96 時間	123 時間
炭酸ガス濃度	0.32%	0.61%	1.18%	1.50%

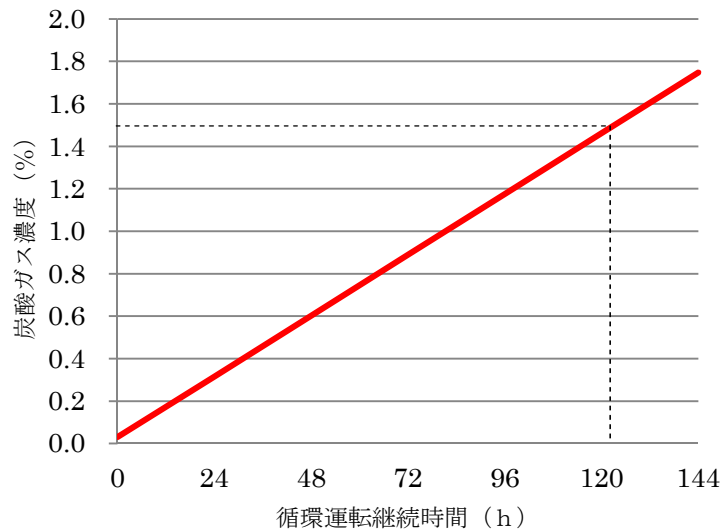


図 3.4-2 中央制御室換気系閉回路循環運転時の炭酸ガス濃度

(3) 有毒ガス

原子炉建屋の中央制御室換気系の給気口位置における，航空機墜落火災と危険物タンク火災による有毒ガス濃度の評価を実施した。

a. 評価手法

火災源から放出された有毒ガスは中央制御室換気系給気口に向う風によって，風下直線方向に拡散していくものとして，Briggs の排煙上昇過程式により求めた評価対象ガスの風速と，有風時プルーム式を用いて，中央制御室換気系給気口の空気中に含まれる有毒ガス濃度を計算する。

(有風時ブルーム式)

$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right) \quad (1)$$

(Briggsの排煙上昇過程式)

$$H_e = 1.6F^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1} \quad (2)$$

- C_{xyz} : 濃度
- Q : 有毒ガス発生量 (Nm³/s)
- H_e : 排煙上昇高度 (m)
- σ_y, σ_z : 拡散パラメータ (m)
- u : 風速 (m/s)
- F : 排熱フラックス (m⁴/s³) = 0.037 Q_H
- Q_H : 排気熱量 (kcal/s) = $\dot{m}A\Delta H_{c,eff}$
- $\Delta H_{c,eff}$: 燃焼時発熱量 (kcal/kg)
- A : 燃焼面積 (m²)
- $\dot{m}$: 質量低下速度 (kg/m²/s)
- x : 発生源と給気口との離隔距離 (m)
- z : 発生源と給気口との鉛直方向距離 (m)
- y : 排気ブルーム軸からの距離 (m)

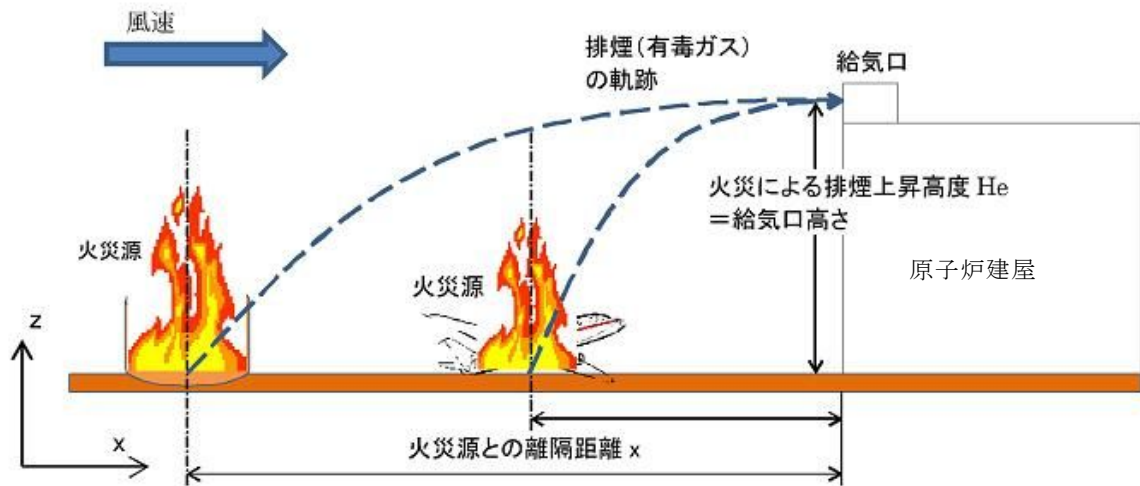


図 3.4-3 中央制御室換気系給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

図 3.4-3 に評価手法の概要を示す。火災によって発生する有毒ガスの中央制御室換気系給気口位置での濃度を求め、判断基準であるIDLH (Immediately Dangerous to Life of Health^{※1})と比較評価を実施する。

評価手順は以下の通り。

- (a) 火災源から発生する有毒ガス発生量 Q を算出する。
- (b) 式(2)を用いて、火災源の排煙上昇高度 H_e が給気口中央の地表面からの高さと同しくなる風速 u を求める。
- (c) 式(1)を用いて、給気口における有毒ガス濃度を求める。なお、 z = 高低差、 $y = 0$ とする。

※1：30 分の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界値であり、脱出を妨げる目や呼吸器官への刺激の予防も考慮されている。

b. 評価データ

- (a) 評価対象となる給気口及び火災源との距離

評価対象となる給気口と火災源との離隔距離及び鉛直方向距離を表 3.4-3 に示す。航空機火災に対する離隔距離は、最も保守的な評価となる「自衛隊機又は米軍機 基地－訓練空域間往復時」の離隔距離を採用した。

表 3.4-3 給気口と火災源との距離

評価対象	x: 離隔距離[m]			z: 鉛直方向距離[m]		
	溶融炉灯 油タンク	オイルタン クファーム	航空機 (F-15)	溶融炉灯 油タンク	オイルタン クファーム	航空機 (F-15)
中央制御室換気系 給気口 B2-18A	117	234	25	20.26		
中央制御室換気系 給気口 B2-19A	138	265	25	20.30		

(b) 火災発生時の有毒ガス発生量

表 3.4-4 に各燃料の燃焼特性を示す。

表 3.4-4 燃焼特性に関するデータ

油 種	灯油	軽油	J P - 4
発熱量 (kcal/kg)	10,300	10,600	10,300
質量低下速度 (kg/m ² /s)	0.039	0.044	0.051
C O ₂ (kg/kg)	3.277	3.225	3.0530
C O (kg/kg)	0.03	0.03	0.0300
S O ₂ (kg/kg)	0.0012	0.0085	0.0006
N O ₂ (kg/kg)	0.0038	0.0036	0.0050

有毒ガスの発生量は以下の文献より算出した。

C O₂ : 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル

C O : 原油火災試験の計測結果

S O₂ : 米国EPA（環境省）及びFAA（連邦航空局）が提示する

Emission Factor

N O₂ : 米国EPA（環境省）及びFAA（連邦航空局）が提示する

Emission Factor

(c) 評価対象及び火災源に関するデータ

表 3.4-5 に火災源に関するデータ，表 3.4-6 に有毒ガス発生量に関するデータを示す。

表 3.4-5 火災源に関するデータ

想定火災源	油種	燃焼面積 [m ²]	燃焼消費速度 [kg/s]	排気熱量 [kcal/s]	排熱フラックス [m ⁴ /s ³]
溶融炉灯油 タンク	灯油	19.36	0.75	7,700	284
オイルタンク ファーム	軽油	392.175	17.25	182,800	6,763
航空機 (F-15)	JP-4	44.6	2.27	23,300	862

表 3.4-6 有毒ガス発生量に関するデータ

想定火災源	ガス発生量[Nm ³ /s]			
	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
溶融炉灯油 タンク	1.252	0.018	0.0004	0.002
オイルタンク ファーム	28.322	0.414	0.0514	0.031
航空機 (F-15)	3.529	0.055	0.0005	0.006

(d) 拡散パラメータ

式(2)より、各火災による排煙上昇高度が敷地からの給気口高さと同しくなるものとして風速を算出した。

算出した結果を表 3. 4-7 に示す。

表3. 4-7 算出結果

評価対象		風速[m/s]
中央制御室 給気口 B2-18A	熔融炉灯油タンク	12. 4
	オイルタンクファーム	56. 7
	航空機(F-15)	6. 4
中央制御室 給気口 B2-19A	熔融炉灯油タンク	13. 8
	オイルタンクファーム	61. 4
	航空機(F-15)	6. 4

表 3. 4-8 に示す大気安定度分類表より、風速 6m/s 以上では大気安定度はC又はDとなることから、保守性を考慮して大気拡散の弱い安定度Dと、表 3. 4-9 に示す Pasquill-Gifford 図の近似関係（風速距離 0～1, 000m）の安定度Dの式より拡散パラメータを算出した。これより求めた拡散パラメータは風による拡散しか考慮されていないため、想定する火災の熱気による鉛直方向への浮力拡散を考慮することとし、表 3. 4-10 に示すガウスプルームモデルにおける大気拡散パラメータより $\Delta H e^2 / 10$ を加えた値を採用した。

表 3. 4-8 大気安定度分類表※

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<5	C	C-D	D	D	D	D	D
6≤U	C	D	D	D	D	D	D

※：発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針

表 3.4-9 拡散パラメータ Pasquill-Gifford 図の近似関係※

$$\sigma_y(x) = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	α_y	γ_y	風下距離(x)
A	0.901	0.426	0～1,000
	0.851	0.602	1,000～
B	0.914	0.282	0～1,000
	0.865	0.396	1,000～
C	0.924	0.1772	0～1,000
	0.885	0.232	1,000～
D	0.929	0.1107	0～1,000
	0.889	0.1467	1,000～
E	0.921	0.0864	0～1,000
	0.897	0.1019	1,000～
F	0.929	0.0554	0～1,000
	0.889	0.0733	1,000～
G	0.921	0.0380	0～1,000
	0.896	0.0452	1,000～

$$\sigma_z(x) = \gamma_z \cdot x^{\alpha_z}$$

安定度	α_z	γ_z	風下距離(x)
A	1.122	0.0800	0～ 300
	1.514	0.00855	300～ 500
	2.109	0.000212	500～
B	0.964	0.1272	0～ 500
	1.094	0.0570	500～
C	0.918	0.1068	0～
D	0.826	0.1046	0～ 1,000
	0.632	0.400	1,000～10,000
	0.555	0.811	10,000～
E	0.788	0.0928	0～ 1,000
	0.565	0.433	1,000～10,000
	0.415	1.732	10,000～
F	0.784	0.0621	0～ 1,000
	0.526	0.370	1,000～10,000
	0.323	2.41	10,000～
G	0.794	0.0373	0～ 1,000
	0.637	0.1105	1,000～ 2,000
	0.431	0.529	2,000～10,000
	0.222	3.62	10,000～

※：窒素酸化物総量規制マニュアル

表 3.4-10 拡散パラメータ σ_z ※

TABLE 2. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS FOR INTERIM CHANGES IN THE WORKBOOK VALUES OF THE DISPERSION PARAMETERS σ_y AND σ_z

For crosswind spread σ_y , irrespective of the terrain roughness, release height and sampling duration up to up to about 1 hour, use the formula*								
$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x)$, σ_θ in radians								
with σ_θ the best available estimate of the standard deviation of the wind direction fluctuation for the sampling time of interest and for the height at which $\bar{u}$ is specified, and with values of $f(x)$ as follows:								
x(km)	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	>10
f(x)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.33	$0.33(10/x)^{1/2}$
For $x \geq 20$ km add to the square of the σ_y as obtained above the quantity $0.03\Delta\theta^2 x^2$ and take the square root to give the total σ_y , with $\Delta\theta$ the total change of mean wind direction over the depth of the plume.								
For vertical spread σ_z , for any sampling time for a surface release, and say >10 min for an elevated release (see Section 2), use the existing Workbook curves with adjustment or constraint as follows:								
(a) For terrain with z_0 different from 3 cm apply factors based on F. B. Smith's nomogram (Ref. 5 or Ref. 6, p 377)								
(b) To allow for 'urban heating' adopt a stability category one-half category more unstable than that prescribed in the normal way in the Workbook								
(c) For evaluating the concentration at the surface from a surface release, consider estimates of the effective mixed depth h' at the mid-time of sampling, recognizing especially its growth from very small values on stable nights, and then adopt either σ_z as given by the curves, or $0.8h'$, whichever is the smaller, for substitution in Eq (1).								
(d) For buoyant plumes, increase the σ_z^2 obtained from the curves by adding $\Delta H^2/10$ where ΔH is the estimated plume rise.								

*, see Notes on Table 2'

※: Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling Part II

(e) 評価結果

各火災で発生する中央制御室換気系給気口での有毒ガス濃度を表 3.4-11 に示す。有毒ガス濃度は全て I D L H 以下であり，中央制御室換気系を閉回路循環運転へ 10 分程度で切替可能なため，有毒ガスが中央制御室の居住性に影響を与えないと判断した。

表 3.4-11 評価結果

評価対象		高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ[m]	
				σ_y	σ_z
中央制御室 換気系給気口 B2-18A	溶融炉灯油タンク	20.26	12.4	9.236	8.349
	オイルタンクファーム		56.7	17.585	11.436
	航空機火災(F-15)		6.4	2.202	6.603
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	溶融炉灯油タンク	20.30	13.8	10.767	8.883
	オイルタンクファーム		61.4	19.739	12.310
	航空機火災(F-15)		6.4	2.202	6.603

評価対象	想定発火源	ガス濃度[ppm]			
		CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
中央制御室 換気系給気口 B2-18A	溶融炉灯油タンク	209	3.00	0.07	0.34
	オイルタンクファーム	397	5.79	0.72	0.44
	航空機火災(F-15)	6,036	94.07	0.86	10.27
中央制御室 換気系給気口 B2-19A	溶融炉灯油タンク	151	2.18	0.05	0.25
	オイルタンクファーム	304	4.44	0.56	0.34
	航空機火災(F-15)	6,036	94.07	0.86	10.27
判断基準：IDLH		40,000	1,200	100	20