

資料 1 - 2 - 2

女川原子力発電所 2 号炉

外部火災影響評価について

平成 27 年 3 月 19 日

東北電力株式会社

枠囲みの内容は核物質防護に係わる情報のため、公開できません。

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

目次

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 想定する外部火災
 - 1.3 防護対象設備
2. 火災の影響評価および安全機能を維持するための運用対策
 - 2.1 森林火災
 - 2.2 近隣の産業施設の火災・爆発および二次的影響（飛来物）の評価
 - 2.3 航空機墜落による火災
 - 2.4 二次的影響（ばい煙，有毒ガス）の評価

添付資料

1. 外部火災影響評価対象の考え方について
2. 森林火災による影響評価について
3. 石油コンビナート等の火災・爆発について
4. 輸送車両，船舶による影響について
5. 敷地内における危険物施設の火災について
6. 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
7. ばい煙および有毒ガスの影響評価について

<概要>

1. において、想定する外部火災および評価内容を整理するとともに、外部火災からの防護対象設備を整理する。
2. において、想定する外部火災の影響評価結果および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 6 条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震および津波を除く。）または人為事象（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、「外部火災影響評価ガイド」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および発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

また、設置許可基準規則第 43 条における重大事故等対処設備についても、外部火災に対する対応を行う。

1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第 6 条において、敷地および敷地周辺から想定される自然現象または人為事象として森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、航空機墜落による火災を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

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

また、具体的な評価内容等については、次のとおりである。

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	発電所敷地外 10 km以内を発火点とした発電所に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災シミュレーション解析コード (FARSITE) を用いた森林火災評価 森林火災評価に基づく原子炉施設の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 火炎到達時間評価 防火帯幅評価 熱影響評価 危険距離評価 	二次的影響 (ばい煙, 有毒ガス) 評価
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外 10 km以内の石油コンビナート等の火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地外の石油コンビナート等について発電所との距離等を考慮した危険距離および危険限界距離評価 	<ul style="list-style-type: none"> 危険距離評価 危険限界距離評価 	二次的影響 (ばい煙, 有毒ガス, 飛来物) 評価
	発電所敷地内の危険物施設の火災	<ul style="list-style-type: none"> 発電所敷地内の危険物施設火災による熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価 	二次的影響 (ばい煙, 有毒ガス) 評価
航空機墜落による火災	発電所敷地への航空機墜落による火災	<ul style="list-style-type: none"> 墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した原子炉施設の熱影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> 熱影響評価 	二次的影響 (ばい煙, 有毒ガス) 評価

1.3 防護対象設備 (添付資料-1 参照)

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

安全機能を有する設備としては、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」(以下「重要度分類審査指針」という。)において、安全機能を有する設備とされるクラス 1,2,3 に該当する構築物、系統および機器とする。

また、外部火災影響評価ガイドにおいても発電所敷地外で発生する火災が原子炉施設(外部火災影響評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包するものに限る。)へ影響を与えないことおよび発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価することとされていることから、今回設定した防護対象と同様である。

なお、重大事故等対処設備については、防護対象設備(クラス 1,2)を防護することにより、外部火災による重大事故の発生に至ることはないが、炉心損傷防止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、防火帯の内側に配備する。また、外部火災による影響が及ぶおそ

れがある場合には、建屋外壁による防護、地下構造による防護、火災影響の及ばない位置への移動、代替設備による安全機能の確保により、外部火災の熱影響に対する対応を行う。

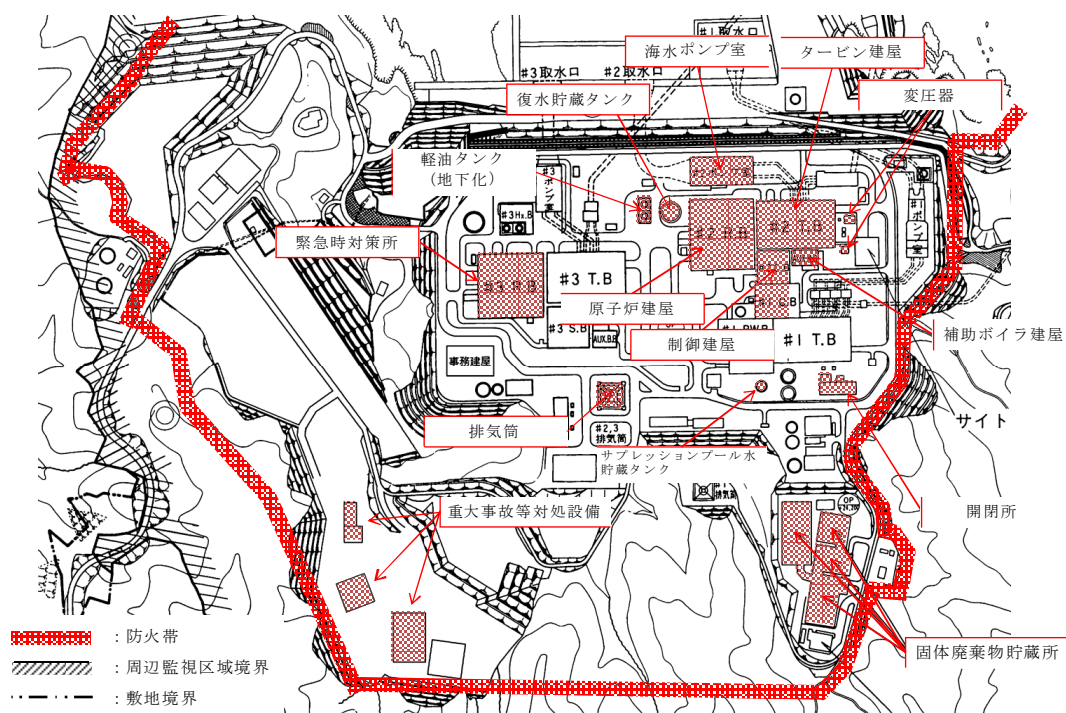


図1 外部火災に対する主要な防護対象設備配置図

2. 火災の影響評価および安全機能を維持するための運用対策

前項で設定した防護対象設備の安全機能を維持するために、初期消火活動および防火帯設定等の対策を行う。

2.1 森林火災（添付資料-2 参照）

2.1.1 評価内容

発電所敷地外で発生する森林火災が、発電所へ迫った場合でも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) 火炎到達時間の評価
- (2) 防火帯幅の評価
- (3) 熱影響の評価
- (4) 危険距離の評価

2.1.2 評価要領

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

データ種類	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	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使用した。
植生データ	宮城県および東北森林管理局より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に防火帯周辺の植生調査を実施した。 その結果から、保守的に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、林齢により細分化した。
地形データ	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。 敷地内は、当社敷地配置図および航空レーザー測量標高データを使用した。
気象データ	森林火災の発生件数が多い 3 月から 5 月における過去 10 年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。 なお、風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。

- (2) 植生データの inputs は、以下のとおり保守的な設定とした。

a. 土地利用細分メッシュからの植生データ入力

- (a) ゴルフ場、田およびその他農業用地の植生入力

通常考えられる Short grass を保守的に Tall grass とした。

- (b) 荒地の植生入力

保守的に燃えやすい Brush（茂み）とした。

b. 森林簿および植生調査からの植生データ入力

複数混在樹種、林齢より火線強度の大きいものを代表として入力した。防火帯周辺の植生調査を実施し、森林簿データに植生調査結果を反映した上で、保守的な可燃物パラメータを入力した。

可燃物パラメータ入力の考え方は、植生調査結果を踏まえ、森林の下草状況、樹種および林齢を考慮し、保守的に林齢を設定した。

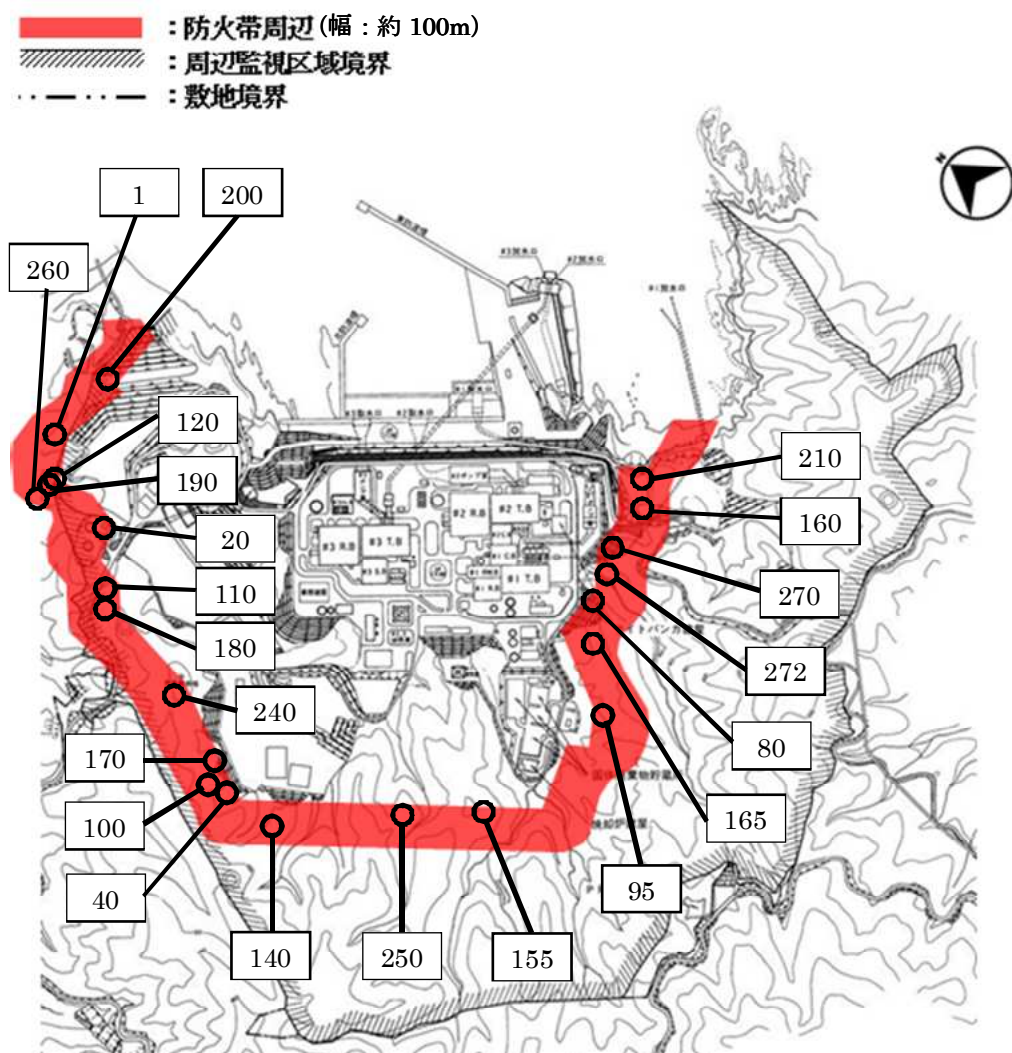


図 2 代表的な発電所植生調査箇所

林齢の設定

森林簿, 植生調査結果	保守的林齢設定後
10年生未満	10年生未満
10年生以上 20年生未満	10年生未満
20年生以上 30年生未満	10年生以上 20年生未満
30年生以上 40年生未満	20年生以上 30年生未満
40年生以上	20年生以上 30年生未満

c. 樹冠率の入力

樹冠率は、森林に該当するカテゴリ 3 (50~80%) および 4 (81~100%) の中から、火線強度が強くなるカテゴリ 3 を設定した。

(3) 10年間の気象観測データで確認された森林火災発生件数の多い3月から5月の卓越風向は北北東、南南西および西北西の3つのグループに分けられる。よって、卓越風向グループの3方向毎に人為的行為を想定した発火点を設定した。

(4) 発火点は以下の4地点を設定した。

- a. 卓越風向である北北東方向で民宿、社員寮等の居住区が存在する小屋取地区の漁港沿い (発火点 1)
- b. 卓越風向である南南西方向で発電所に近い県道沿い (発火点 2-1)
- c. 卓越風向である南南西方向で居住区および田が存在する鮫浦地区 (発火点 2-2)
- d. 卓越風向である西北西方向で発電所周辺の道路沿いから、発電所に近い地点 (発火点 3)

(5) 発電所を含む南，北および西側へ 12km とし，東西 16km，南北 24km の範囲を評価対象範囲として設定した。

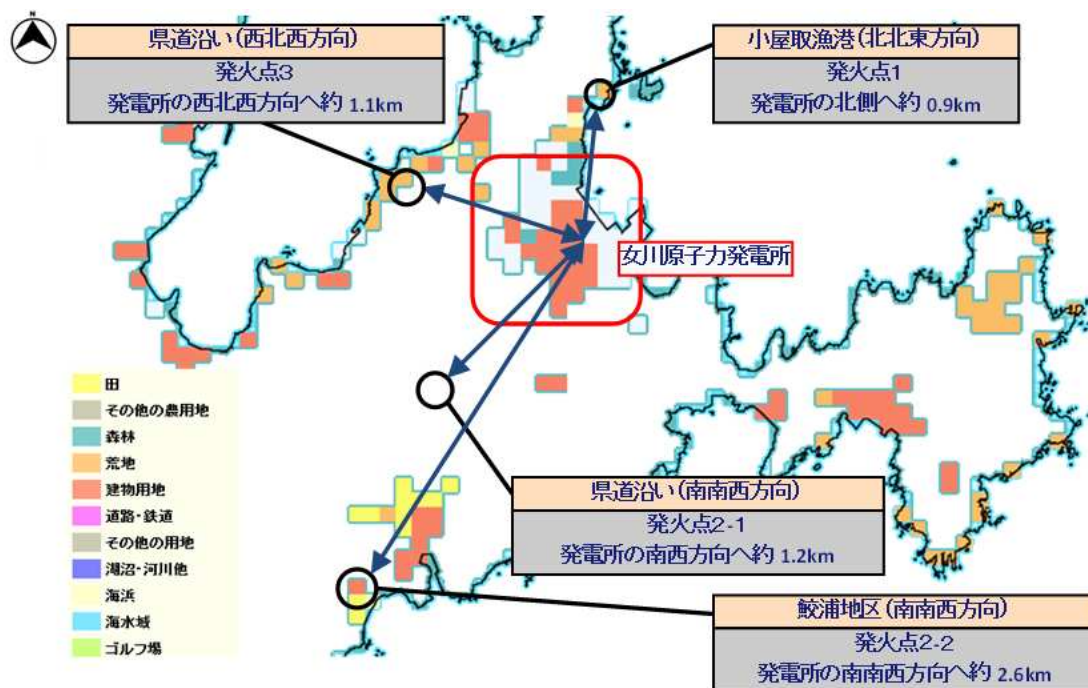


図3 発火点位置

2.1.3 評価結果

2.1.3.1 火炎到達時間の評価

(1) 火炎到達時間

想定した森林火災による防火帯境界までの火炎到達時間は，最も到達時間が短い発火点1のケースで約 2.6 時間であることを確認した。

発火点位置	火炎到達時間[h]
発火点 1	約 2.6
発火点 2-1	約 5.2
発火点 2-2	約 14.3
発火点 3	約 3.7

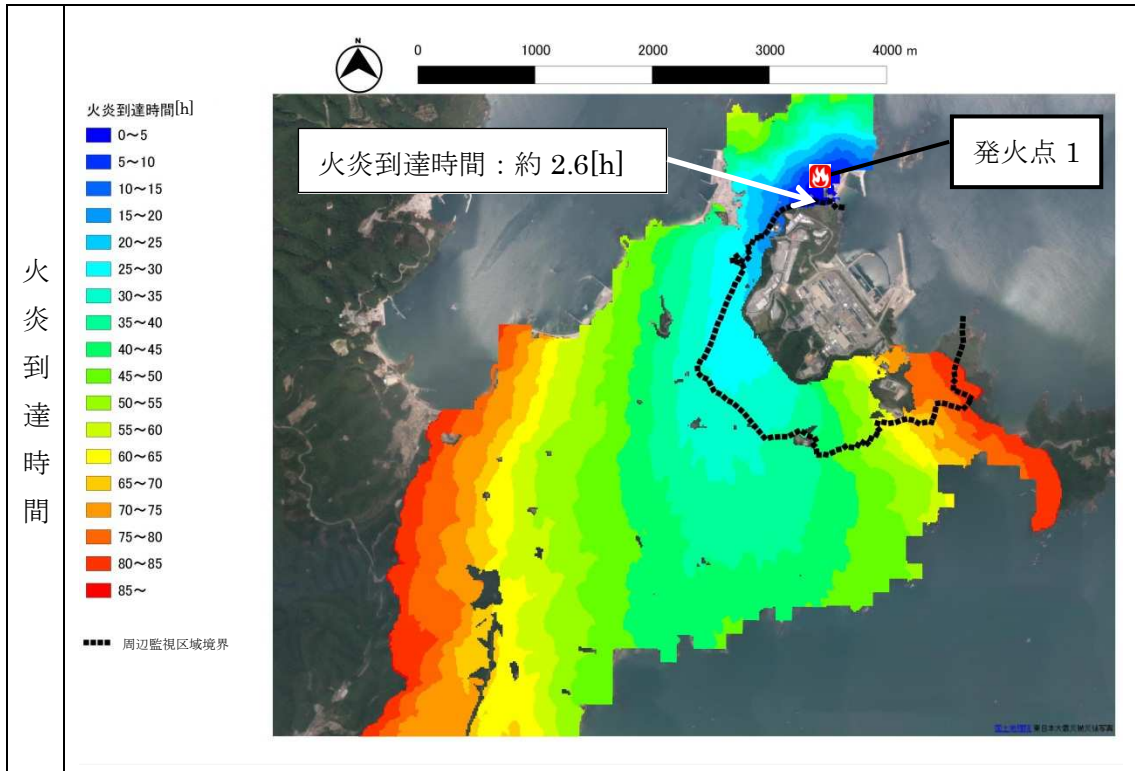


図 4-1 発火点 1 北（小屋取漁港道路沿い）の火炎到達時間

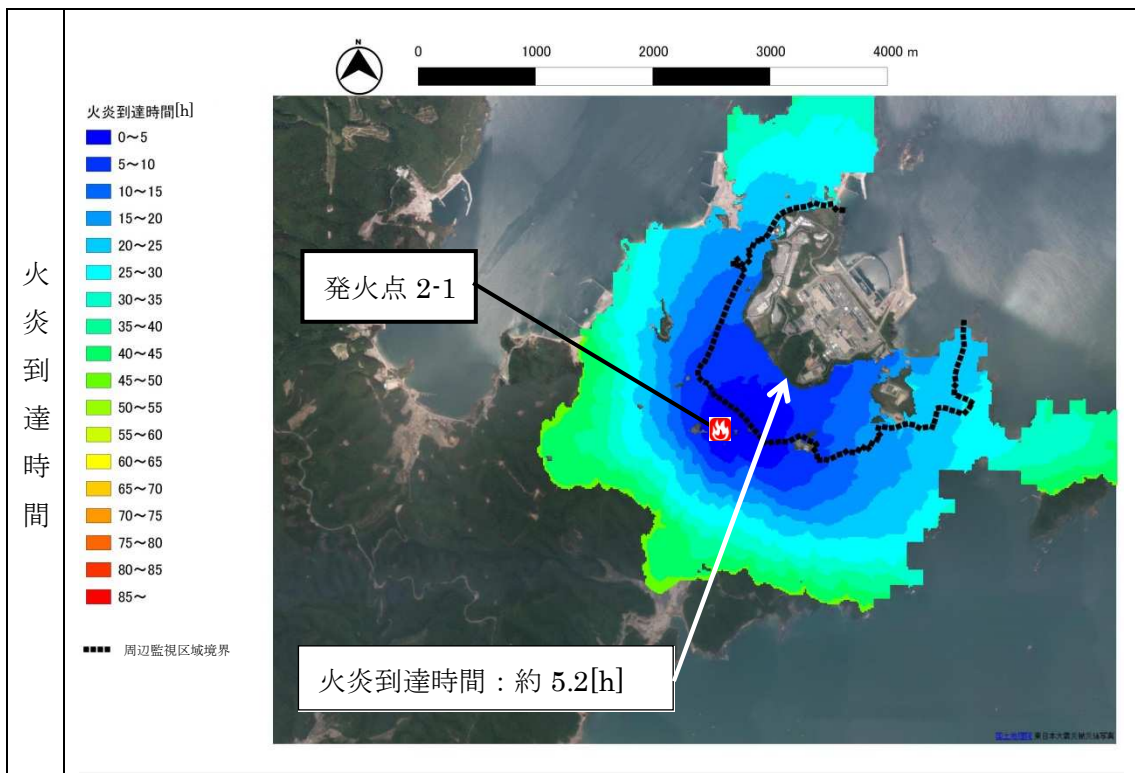


図 4-2 発火点 2-1 南西（県道 41 号線沿い）の火炎到達時間

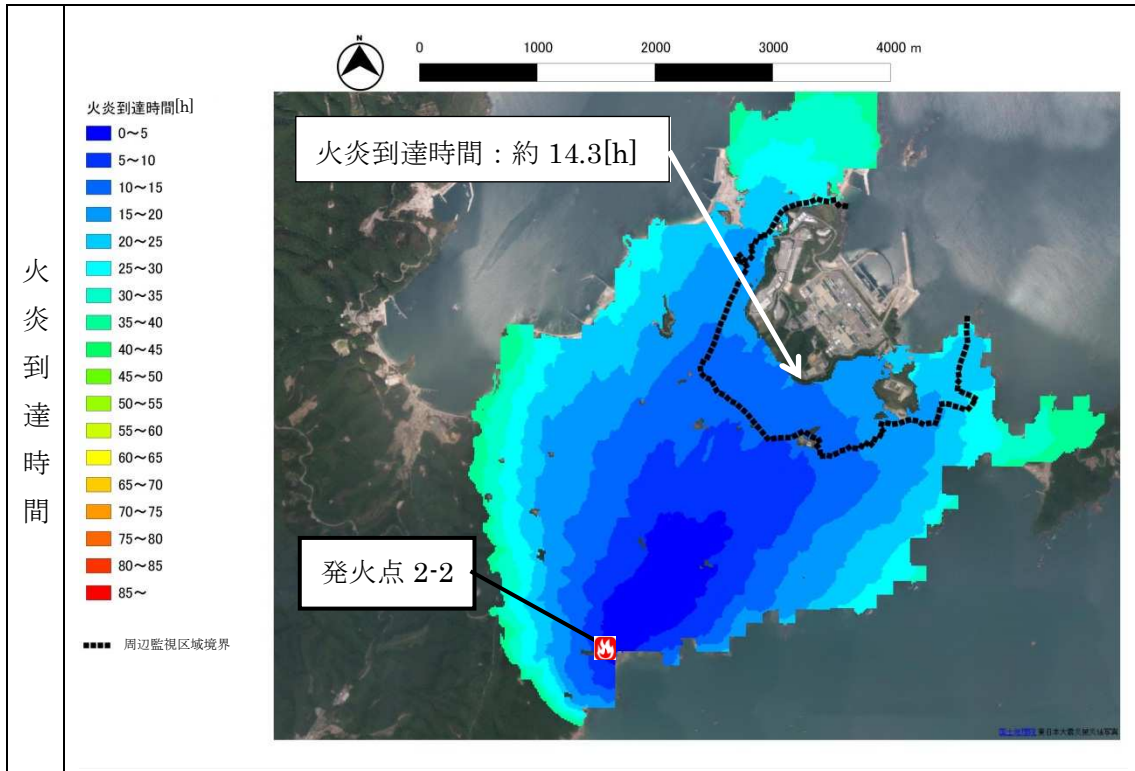


図 4-3 発火点 2-2 南南西（鮫浦地区（田））の火炎到達時間

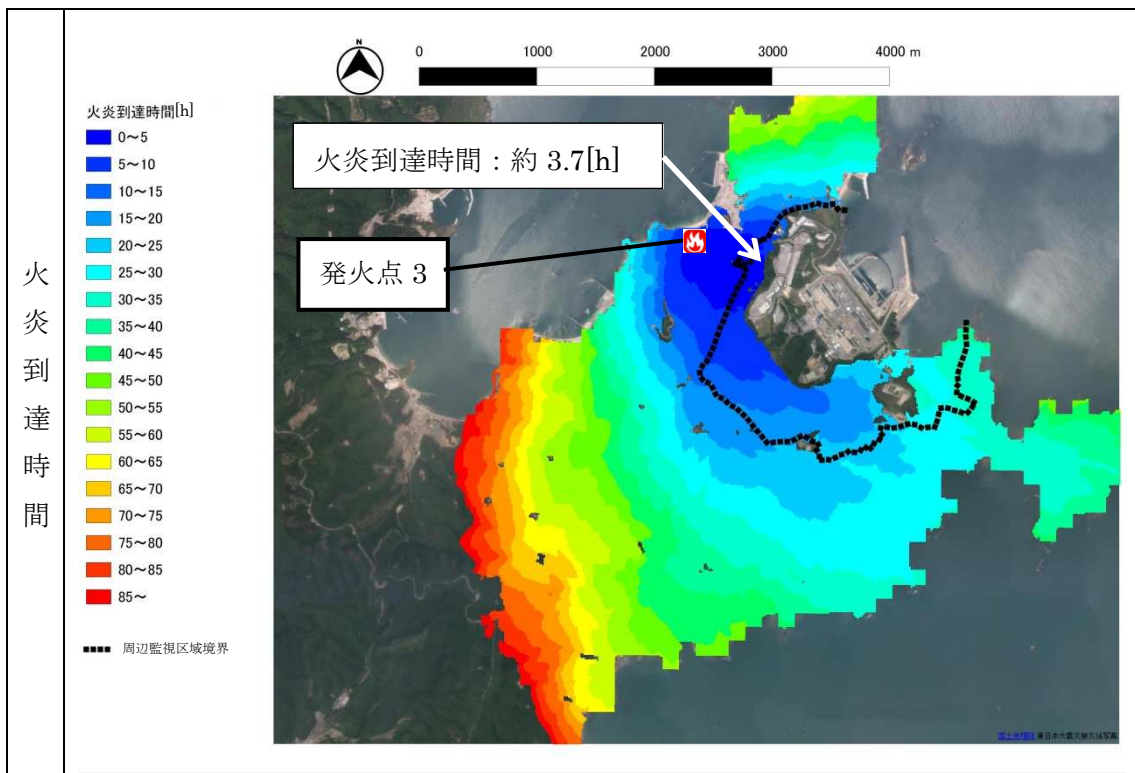


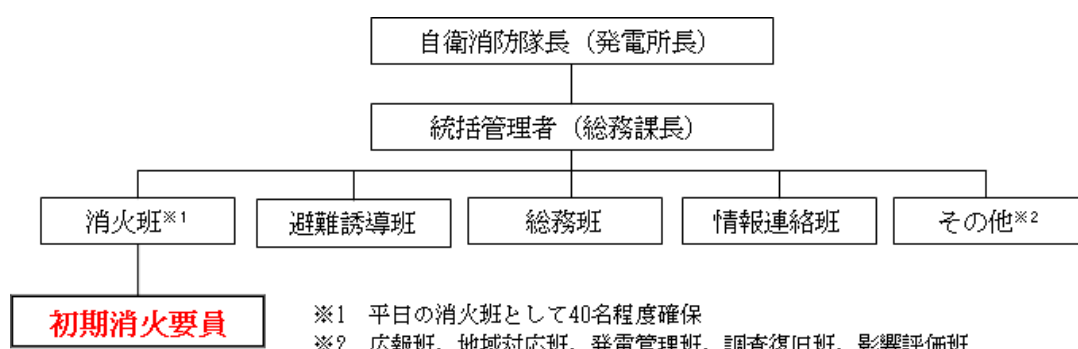
図 4-4 発火点 3 西北西（塚浜地区道路沿い）の火炎到達時間

(2) 初期消火活動および体制

自衛消防隊の初期消火要員（10名）が24時間常駐しており，早期に初期消火活動の実施体制を確立することが可能であることから，火炎到達時間内での予防散水（周辺の樹木や防火帯等）が可能である。

なお，防火帯の外側に設置されているモニタリングポスト（クラス3）については，森林火災の進展により可搬型モニタリングポスト（防火帯の内側に保管）による代替測定を実施する。

a. 自衛消防隊体制



b. 初期消火要員の役割（24時間初期消火要員常駐）

要員	人数	役割	
通報連絡責任者	1名	・消防署への通報連絡 ・初期消火要員への出動要請	
現場指揮者	1名	・火災現場での消火指揮 ・消火器または消火栓による消火活動等	
情報提供担当者	1名	・公設消防への情報提供 ・火災現場への誘導	
消火担当	2名 (内委託員1名)	・火災現場確認 ・消火器または消火栓による消火活動 ・消防車隊の補助（消防ホースの延長， 泡消火薬剤補充作業）等	
消防車隊	消防車隊長	1名 (委託員)	・消防車隊，消火担当の消防指揮 ・消防自動車のアクセスルートおよび配置場所の指示等
	放水員	2名 (委託員)	・消防車による消火活動（筒先） ・消防ホースの延長等
	水槽付消防ポンプ自動車および化学消防自動車機関員	2名 (委託員)	・水槽付消防ポンプ自動車，化学消防自動車の機関員 ・水槽付消防ポンプ自動車，化学消防自動車の連結作業 ・消防ホースの延長等

2.1.3.2 防火帯幅の評価

(1) 最大火線強度

想定した森林火災による防火帯外縁から約 100m 範囲における最大火線強度は、最も火線強度が高い発火点 3 のケースで 4,514[kW/m]であることを確認した。

発火点位置	最大火線強度 [kW/m]	最大火線強度 出現時刻
発火点 1	4,158	12:36
発火点 2-1	2,993	11:51
発火点 2-2	3,912	11:52
発火点 3	4,514	12:28

FARSITE 解析における主な入力パラメータは保守的な設定としているが、他に解析結果に影響するパラメータとしては最大火線強度の出現時刻（日射量に影響を及ぼす）がある。

最大火線強度出現時刻の保守性を確認するため、最大火線強度が最も大きい発火点 3 について 9 パターンの出火時刻を入力して最大火線強度出現時刻の感度解析を実施した。

以下に示すとおり、最大火線強度は日中帯（10 時～14 時頃）に高くなる傾向がある。これは日射により可燃物の水分量変化を計算上考慮しているためである。

感度解析結果

発火点 3 出火時刻	14:30	0:30	19:30	3:29	5:00	5:29	6:30	7:29	10:00
最大火線強度出現時刻	7:44	8:37	10:23	10:50	12:06	12:28	13:19	14:00	16:30
最大火線強度[kW/m]	3,287	3,390	2,908	3,649	3,269	4,514	3,550	4,210	2,317

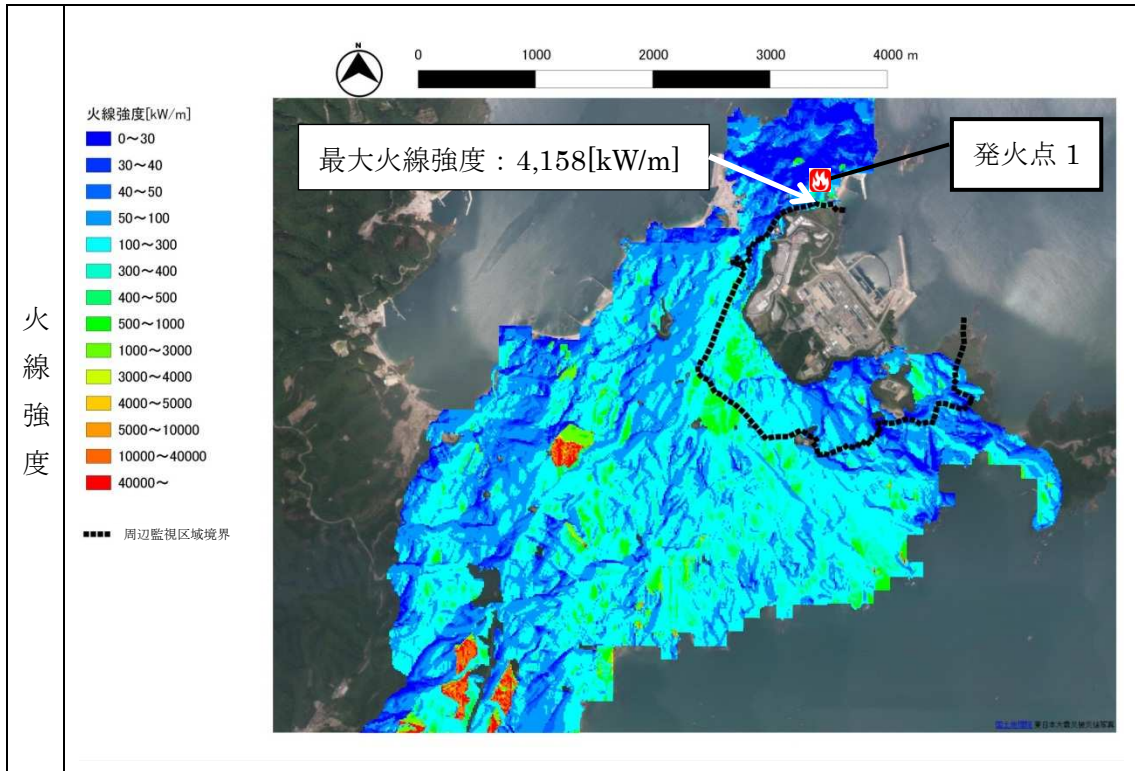


図 5-1 発火点 1 北（小屋取漁港道路沿い）の火線強度

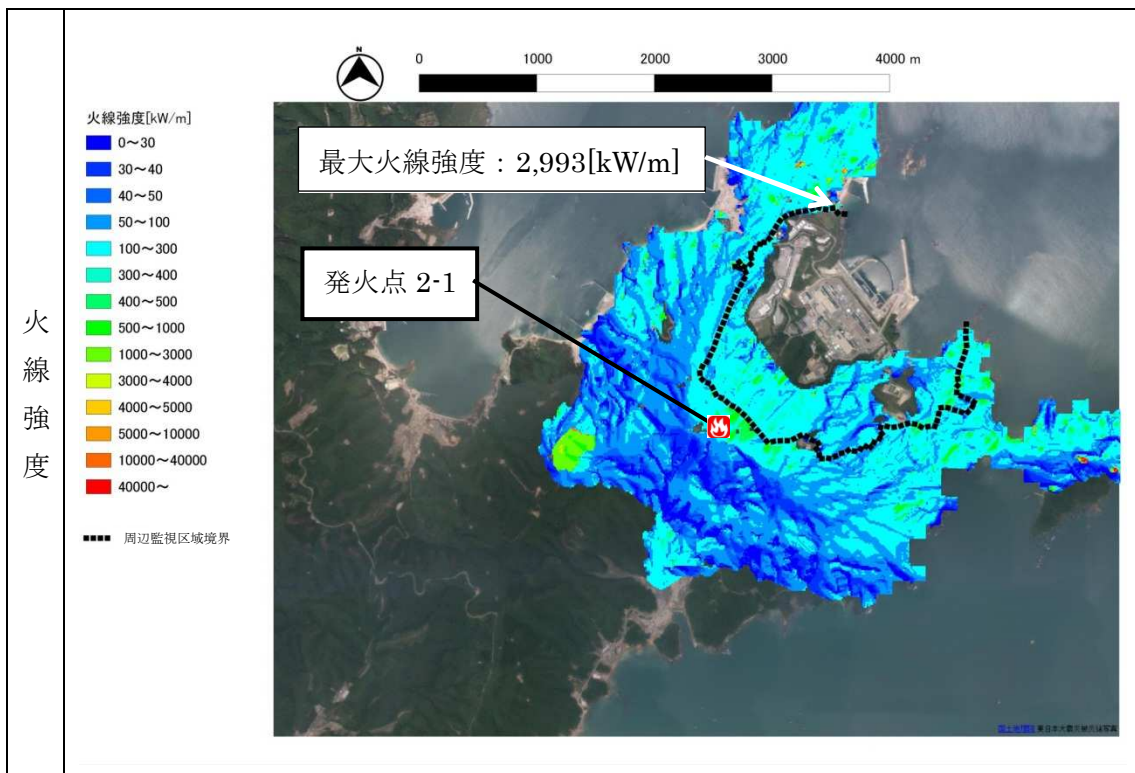


図 5-2 発火点 2-1 南西（県道 41 号線沿い）の火線強度

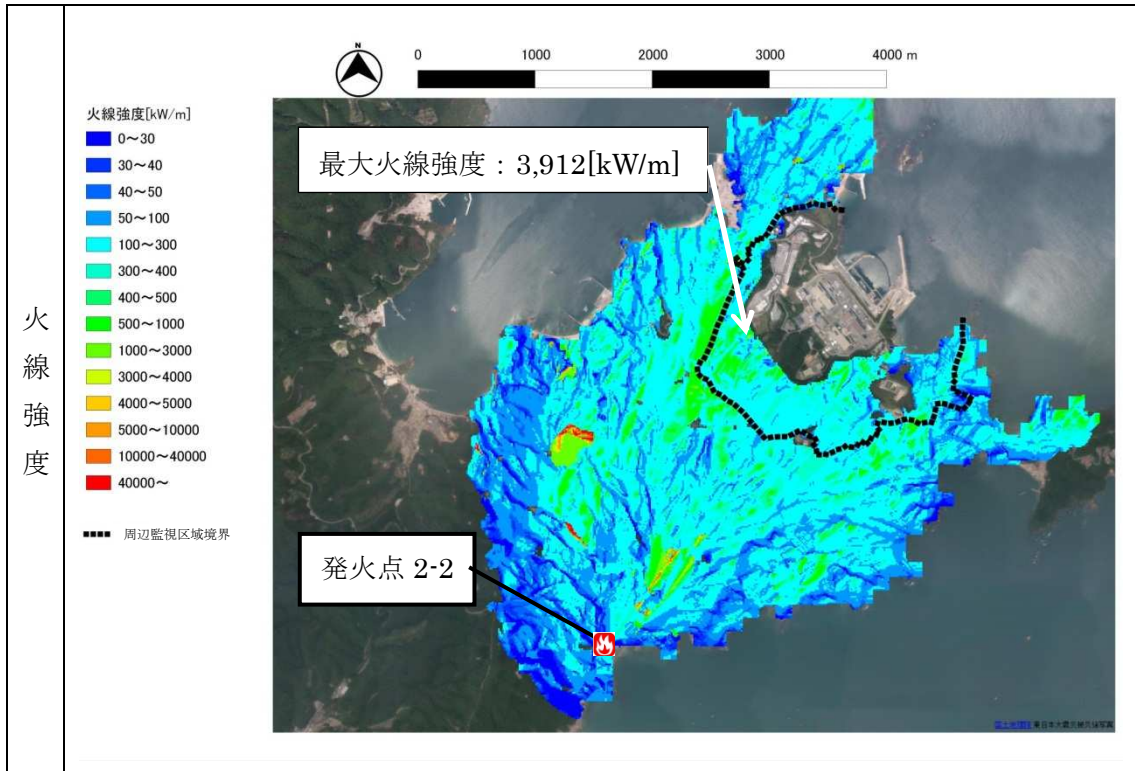


図 5-3 発火点 2-2 南南西（鮫浦地区（田））の火線強度

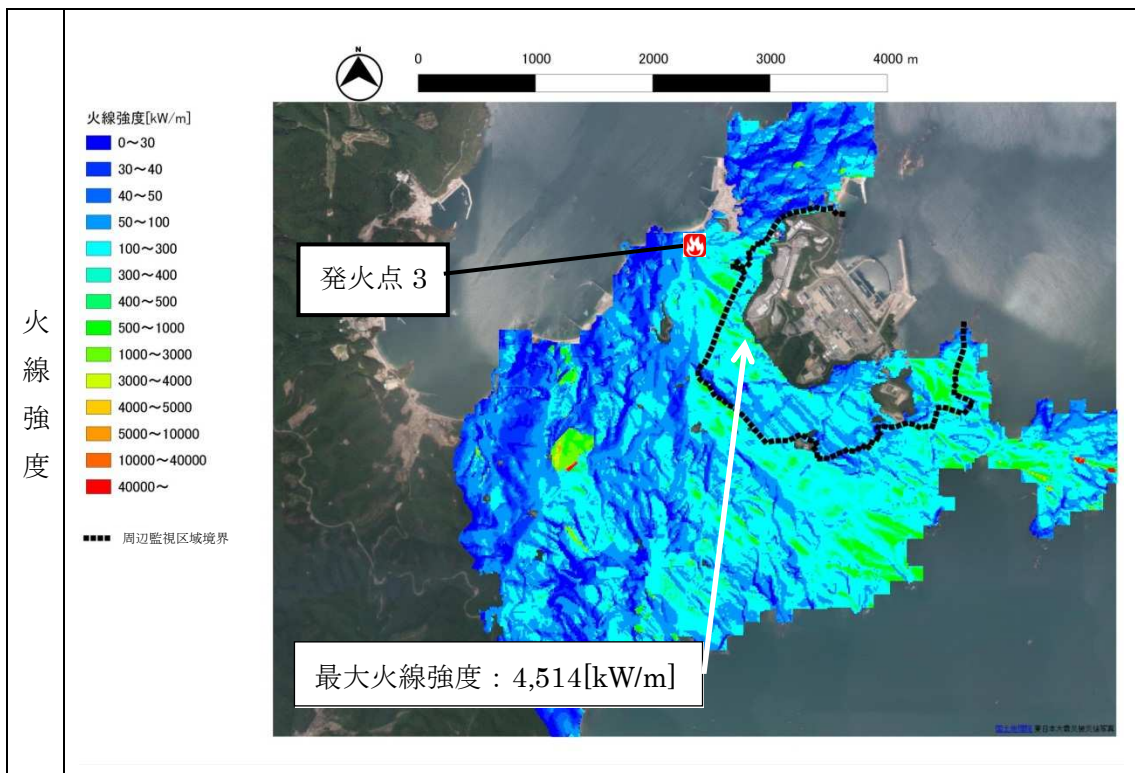


図 5-4 発火点 3 西北西（塚浜地区道路沿い）の火線強度

(2) 防火帯幅

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度 (4,514[kW/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 (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は 19.8m であるため、20m の防火帯幅を確保することにより延焼による原子炉施設への影響がないことを確認した。

最大火線強度 4,514 [kW/m] (発火点 3)



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

火線強度 (kW/m)	500	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	10,000	15,000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7

(出典：外部火災影響評価ガイド)



評価上必要とされる防火帯幅 19.8m



防火帯幅 20m

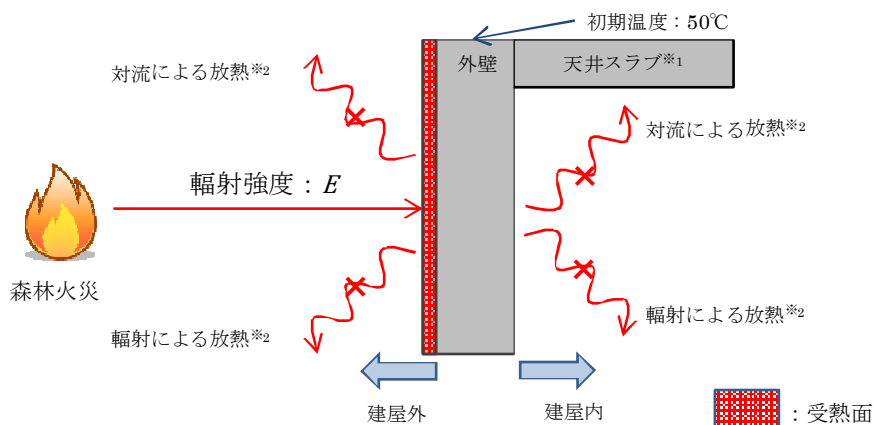
2.1.3.3 熱影響の評価

(1) 原子炉施設外壁

FARSITE 出力より得られた、到達時間、反応強度および火炎長より、原子炉施設外壁のコンクリート表面温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、原子炉建屋における外壁のコンクリート表面温度が最大となる発火点 2-1 のケースでも約 54°C であり、許容温度 200°C (火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度) 以下であることを確認した。



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 ※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

図 7 原子炉施設外壁の熱影響評価 (概念図)

(原子炉建屋の例)

発火点位置	原子炉建屋外壁の表面温度[°C]
発火点 1	約 53
発火点 2-1	約 54
発火点 2-2	約 53
発火点 3	約 53

(2) 復水貯蔵タンク

FARSITE 出力より得られた、到達時間、反応強度および火炎長より、復水貯蔵タンク温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、復水貯蔵タンク温度はいずれのケースでも約 51°Cであり許容温度 66°C (復水貯蔵タンクの最高使用温度) 以下であることを確認した。

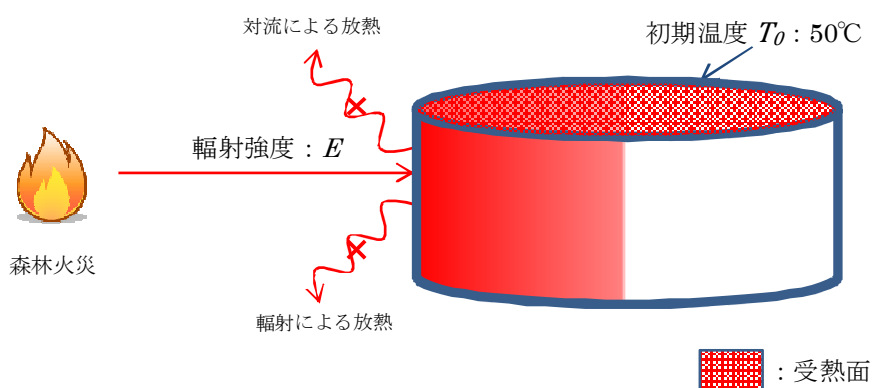


図 8 復水貯蔵タンクの熱影響評価 (概念図)

発火点位置	復水貯蔵タンクの温度[°C]
発火点 1	約 51
発火点 2-1	約 51
発火点 2-2	約 51
発火点 3	約 51

(3) 排気筒

FARSITE 出力より得られた、到達時間、反応強度および火炎長より、排気筒の表面温度を評価した。

なお、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため、断熱とした。

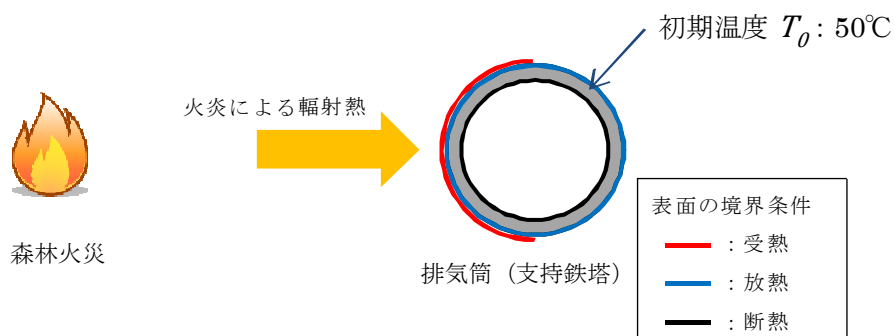


図 9 排気筒の熱影響評価 (概念図)

排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が森林火災との距離が近いこと、材質も支持鉄塔は SS400 および STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

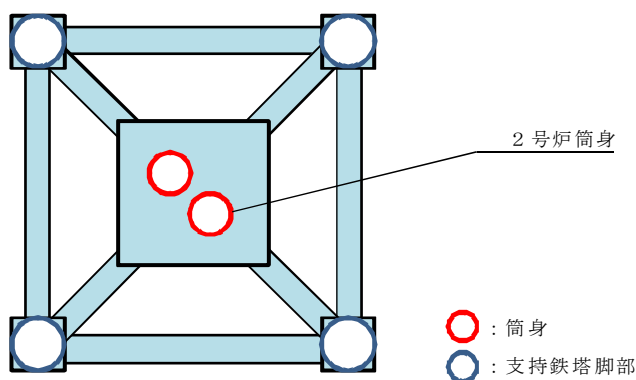


図 10 排気筒構成 (概念図)

熱影響評価の結果，排気筒の表面温度が最大となる発火点 2-2 のケースでも約 52℃であり許容温度 350℃（「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に規定されている鋼材の制限温度）以下であることを確認した。

発火点位置	排気筒の表面温度[℃]
発火点 1	約 51
発火点 2-1	約 51
発火点 2-2	約 52
発火点 3	約 51

(4) 海水ポンプ

火炎の輻射熱による海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機および高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機）の温度影響を評価した。

熱影響評価の結果，地下ピット方式により火炎からの輻射熱は到達しないことから，海水ポンプに影響を及ぼさないことを確認した。

2.1.3.4 危険距離の評価

(1) 原子炉施設

想定した森林火災に対して、原子炉施設外壁のコンクリート表面温度が許容温度 200℃を超える境界となる危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、原子炉建屋における危険距離が一番厳しい発火点 2-1 のケースでも 18m であり、防火帯外縁から原子炉建屋の離隔距離が最短で約 219m であるため、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

(原子炉建屋の例)

発火点位置	危険距離[m]
発火点 1	15
発火点 2-1	18
発火点 2-2	15
発火点 3	14

(2) 復水貯蔵タンク

想定した森林火災に対して、復水貯蔵タンク温度が許容温度 66℃を超えない危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、復水貯蔵タンクにおける危険距離が一番厳しい発火点 2-1 のケースでも **10m** であり、防火帯外縁から復水貯蔵タンクの離隔距離が最短で約 332m であるため、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

発火点位置	危険距離[m]
発火点 1	6
発火点 2-1	10
発火点 2-2	4
発火点 3	4

(3) 排気筒

想定した森林火災に対して、排気筒の表面温度が許容温度 350°Cを超えない危険距離を算出して評価した。

危険距離評価の結果、排気筒における危険距離が一番厳しい発火点 2-2 のケースでも 15m であり、防火帯外縁から排気筒の離隔距離が最短で約 299m であるため、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

発火点位置	危険距離[m]
発火点 1	9
発火点 2-1	10
発火点 2-2	15
発火点 3	11

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発および二次的影響（飛来物）の評価

2.2.1 評価内容

(1) 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および危険物貯蔵施設の火災，ガス爆発が発電所に隣接する地域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以下の項目により評価した。

- a. 危険距離の評価
- b. 危険限界距離の評価
- c. 二次的影響（飛来物）の評価

(2) 発電所敷地内における危険物施設の火災が，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。

- a. 熱影響の評価

2.2.2 評価結果

2.2.2.1 危険距離の評価

(1) 石油コンビナート等（添付資料-3 参照）

宮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区域は，塩釜地区および仙台地区であり，いずれも発電所から約 40km 離れており，発電所 10km 圏内に該当する施設がないことを確認した。

また，発電所と最短距離にあるガスパイプラインは仙台地区であり，発電所から約 40km 離れていることを確認した。

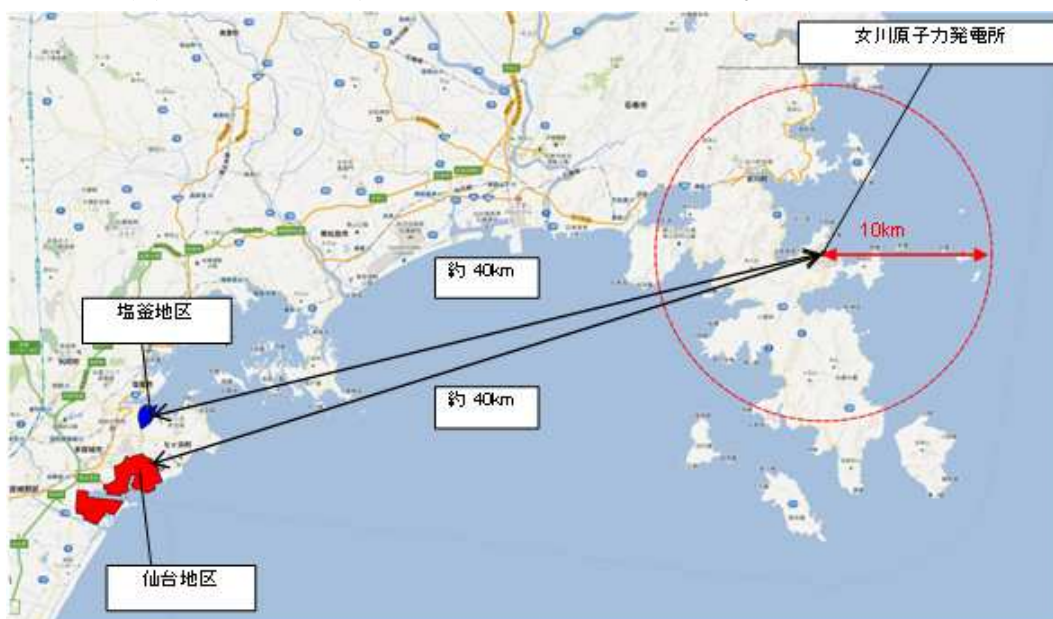


図 11 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

(2) 敷地外危険物貯蔵施設（添付資料－3 参照）

発電所から 10km 圏内に位置する石油類貯蔵施設を抽出し、発電所から最も近い石油類貯蔵施設および発電所から 10km 圏内の施設における最大貯蔵量をそれぞれ抽出した。

発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における石油類貯蔵施設の最大貯蔵量は 49.5kl で、発電所敷地内にある 1 号炉軽油タンクの最大貯蔵量 620kl よりも少ない。

また、発電所に最も近い石油類貯蔵施設との離隔距離は約 2,500m であり、1 号炉軽油タンクと離隔距離が最も近い 2 号炉制御建屋との距離約 179m よりも大きく離れている。

仮に最も近い石油類貯蔵施設で最大貯蔵量 49.5kl による火災を想定しても、燃料保有量が敷地内危険物施設の最大貯蔵量に比べ少ないことから、危険距離は 1 号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

よって、発電所敷地外の石油類貯蔵施設において火災が発生した場合においても原子炉施設への影響がないことを確認した。

	敷地外危険物貯蔵施設	1 号炉軽油タンク
最大貯蔵量[m ³ =kl]	49.5	620
離隔距離[m]	約 2,500	約 179

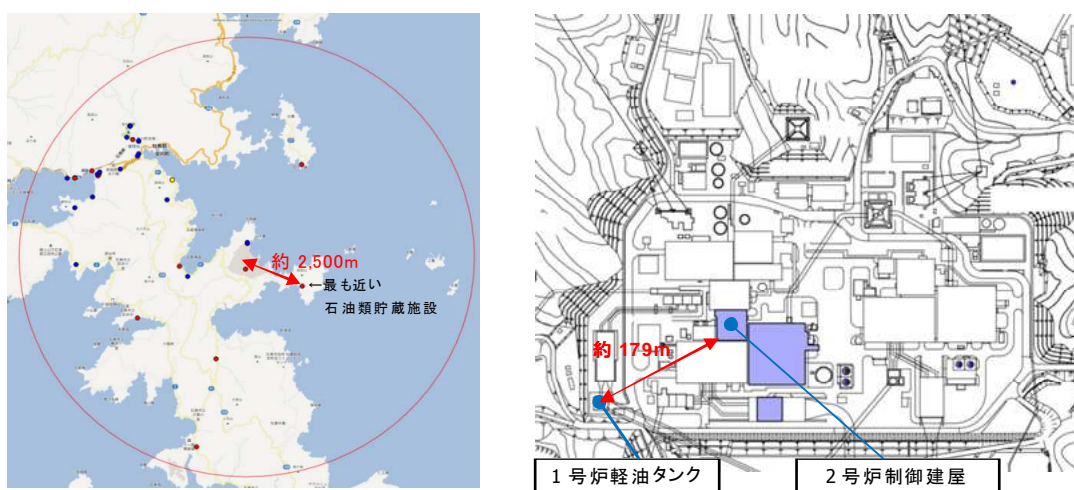


図 12 10km 圏内における発電所から最も近い石油類貯蔵施設との距離

(3) 輸送車両（添付資料－4 参照）

発電所敷地外の公道において燃料を搭載した燃料輸送車両（以下「タンクローリー」という。）による火災を想定して、以下に示す原子炉施設への危険距離評価を行った。

タンクローリーの想定としては、保守的に消防法（危険物の規制に関する政令第 15 条第 1 項三号）において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30kl）を搭載可能なタンクローリーに給油所に補給される油種の中で最も輻射発散度が大きいガソリンが満載されているものとした。

また、火災発生場所としては、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）とした。

上記による危険距離評価の結果、以下のとおり離隔距離が危険距離を上回っており、原子炉施設への影響がないことを確認した。

建屋	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	約 729	21
制御建屋	約 680	
海水ポンプ室*	—	
<u>固体廃棄物貯蔵所</u>	<u>約 609</u>	
排気筒	約 866	7
復水貯蔵タンク	約 834	<u>15</u>

※ 海水ポンプ室設置機器については地下ピット方式のため、輻射熱の影響は直接受けない。

また、高圧ガスを輸送する車両による影響として、発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量である 1,700kg のを積載した車両による危険限界距離評価を実施した。その結果、すべて離隔距離が危険限界距離を上回っていることを確認した。

評価対象	離隔距離[m]	危険限界距離[m]
原子炉建屋	約 729	70
制御建屋	約 680	
海水ポンプ室	約 780	
固体廃棄物貯蔵所	約 609	
排気筒	約 866	
復水貯蔵タンク	約 834	

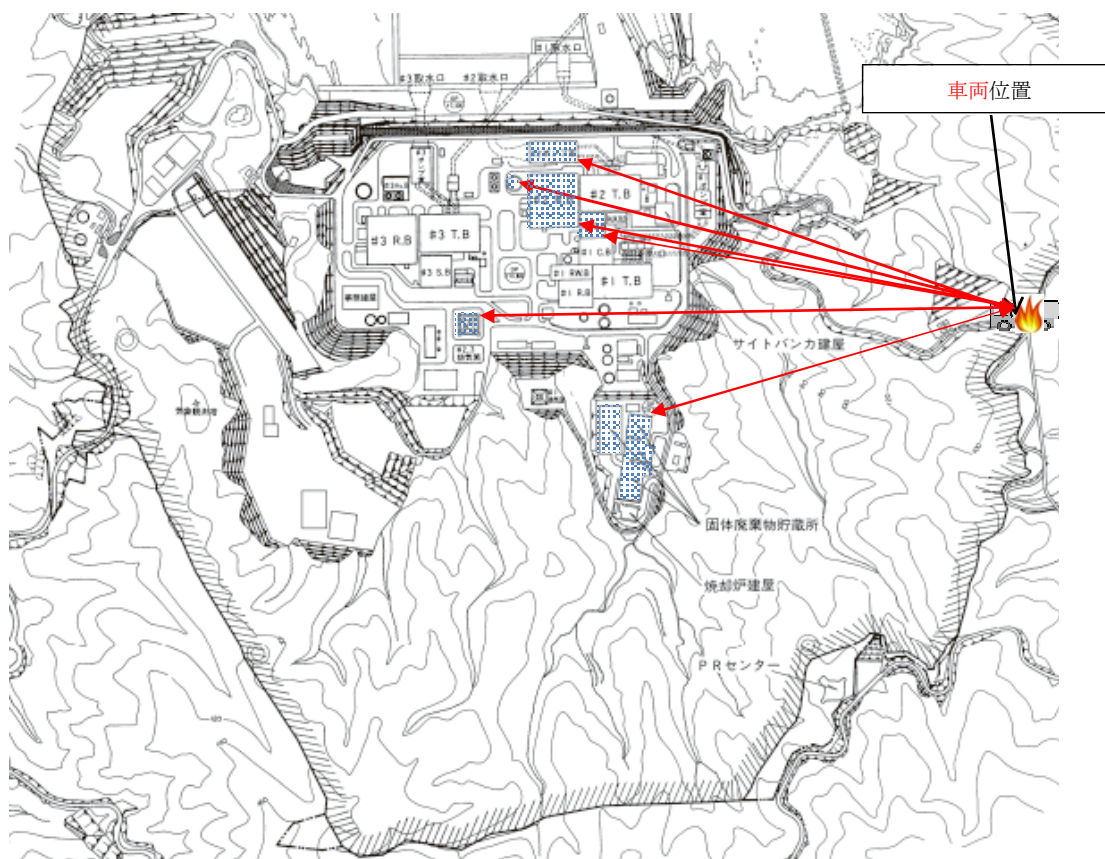


図 13 タンクローリー火災想定位置と原子炉施設との位置関係

(4) 船舶 (添付資料-4 参照)

発電所周辺には石油コンビナートが無く、大型タンカー等が付近を航行する主要航路が 20km 以上離れていることから、発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で最大規模となる船舶の火災を想定して、以下に示す原子炉施設への危険距離評価を行った。

発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶としては、1号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶とし、港湾内で最も原子炉施設に接近する位置 (港湾の岸) において、火災が発生したものと想定した。

上記による危険距離評価の結果、以下のとおり離隔距離が危険距離を上回っており、原子炉施設への影響がないことを確認した。

建屋	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	約 186	110
制御建屋	約 257	
海水ポンプ室*	—	
<u>固体廃棄物貯蔵所</u>	約 559	18
排気筒	約 410	
復水貯蔵タンク	約 193	

※ 海水ポンプ室設置機器については地下ピット方式のため、輻射熱の影響は直接受けない。

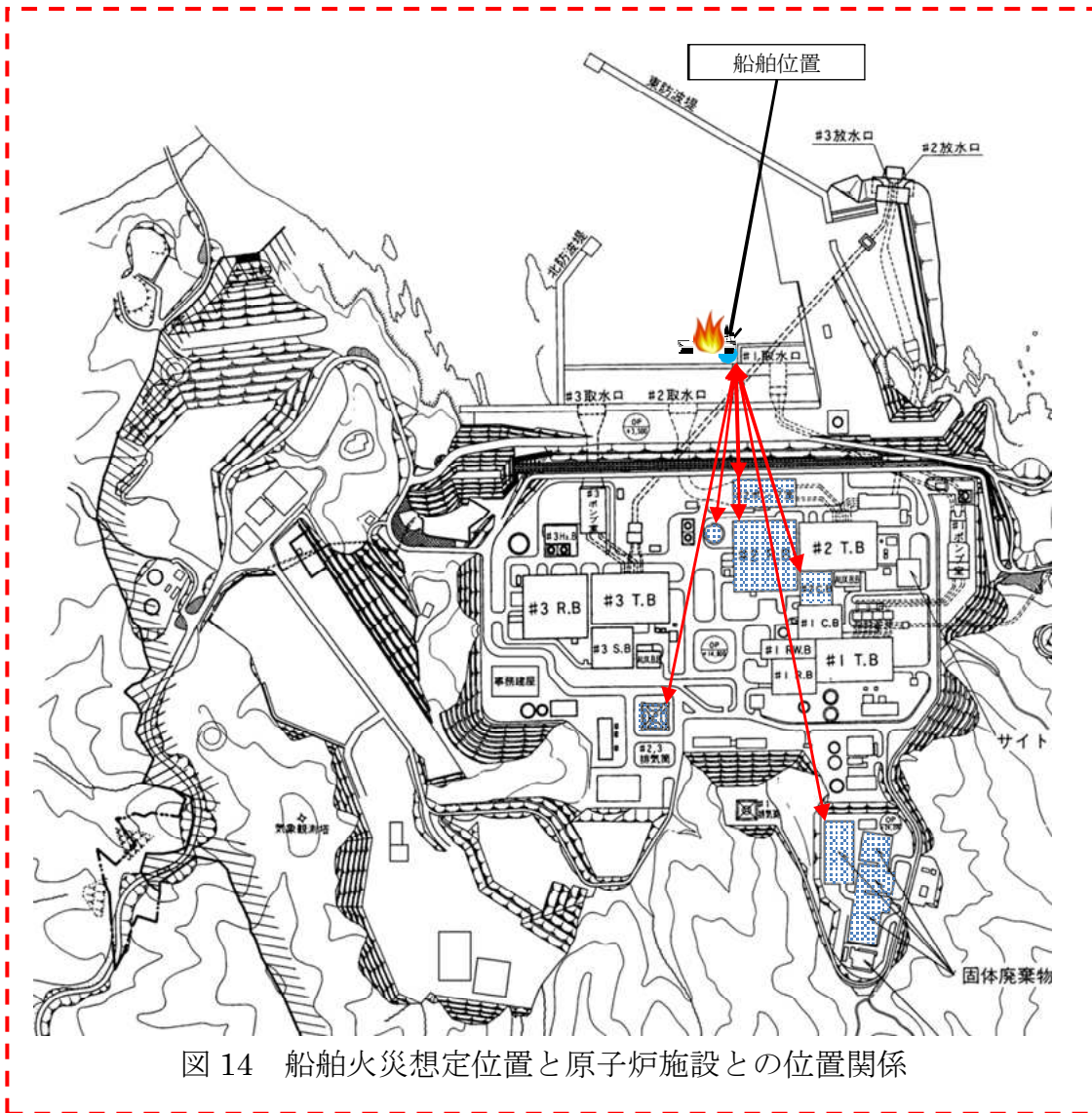


図 14 船舶火災想定位置と原子炉施設との位置関係

2.2.2.2 危険限界距離の評価（添付資料-3 参照）

発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は 1,700kg であり，発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設の離隔距離は約 700m である。

仮に最も近い高圧ガス貯蔵施設で最大貯蔵量 1,700kg によるガス爆発評価を実施したところ，危険限界距離は 70m であり，発電所との離隔距離約 700m よりも小さいことを確認した。

よって，発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災・爆発が発生した場合においても爆風圧による原子炉施設への影響がないことを確認した。



図 15 10km 圏内における発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設との距離

2.2.2.3 二次的影響（飛来物）の評価（添付資料-3 参照）

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

発電所から最も近い距離に位置する施設では、石油コンビナートの防災アセスメント指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく、液化石油ガスが封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されている。

当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ、原子炉施設（2 号炉原子炉建屋）までの離隔距離が飛来物到達距離以上あり、原子炉施設への影響がないことを確認した。

施設名称	ガス種類	貯蔵量	飛来物 到達距離	離隔距離
当社社員寮	液化石油ガス	50kg ガスボンベ 6 本	332m	約 700m

2.2.2.4 熱影響の評価（添付資料-5 参照）

発電所敷地内に位置している屋外の危険物施設の火災を想定し、原子炉施設の熱影響評価を実施した。

熱影響評価を実施する危険物施設は、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンクおよび大容量電源装置とした。

なお、敷地内危険物施設の内、直接輻射熱を受けない建屋内に設置している設備および地下貯蔵タンク等については、評価対象外とした。

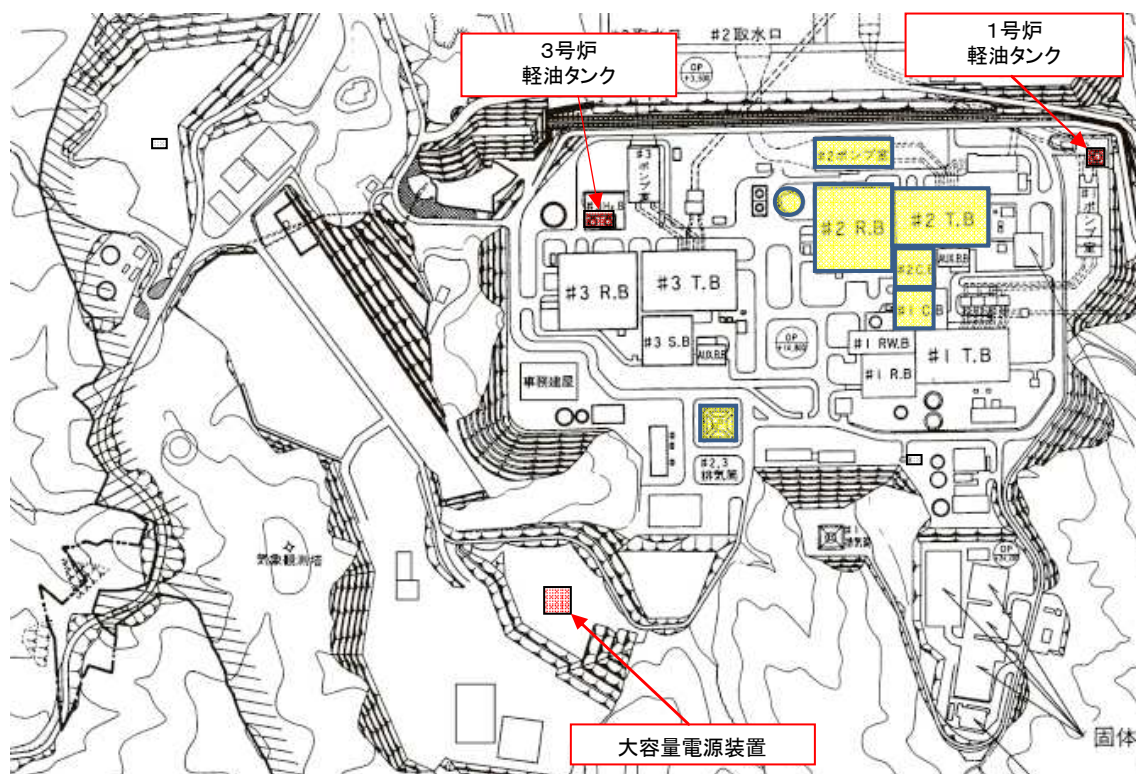


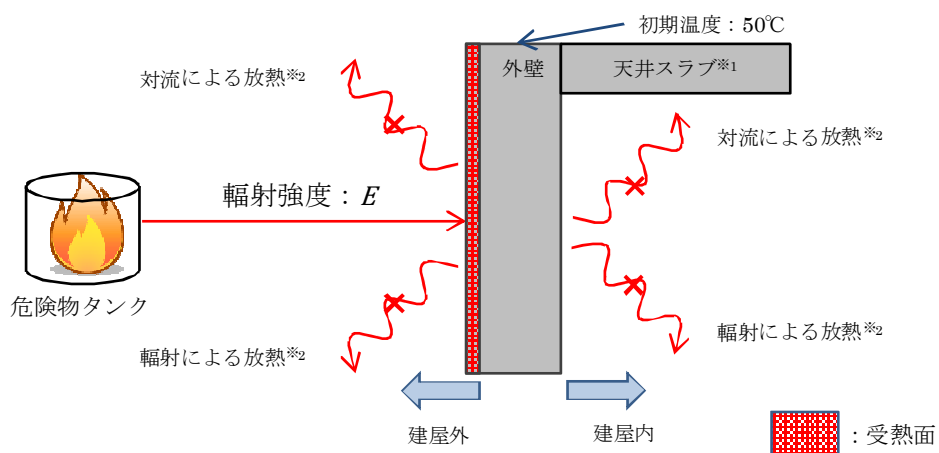
図 16 発電所敷地内における危険物施設等の位置

(1) 原子炉施設外壁

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、原子炉建屋における外壁のコンクリート表面温度は最大で約 79℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

図 17 原子炉施設外壁の熱影響評価 (概念図)

(原子炉建屋の例)

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
原子炉建屋外壁 の表面温度 [℃]	約 74	約 63	約 64	約 79	約 51

(2) 復水貯蔵タンク

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、復水貯蔵タンク温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、復水貯蔵タンク温度は最大で約53℃となり、許容温度66℃以下であることを確認した。

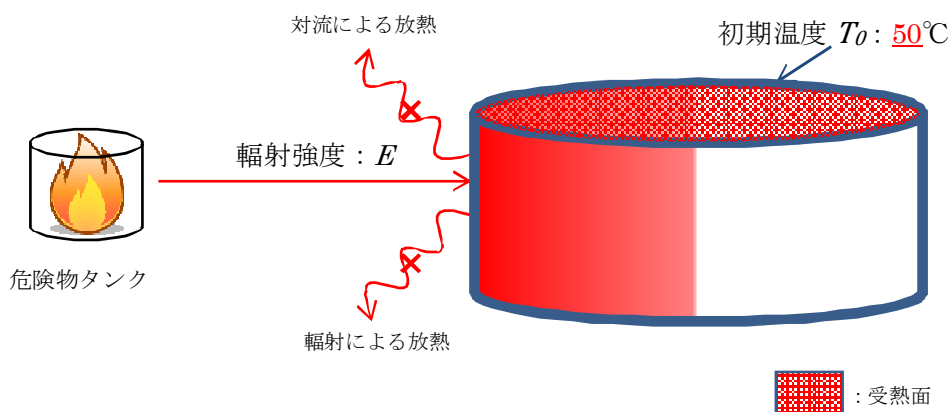


図 18 復水貯蔵タンクの熱影響評価 (概念図)

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
復水貯蔵タンク 温度 [℃]	約51	約52	約52	約53	約51

(3) 排気筒

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、排気筒の表面温度を評価した。

なお、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため、断熱とした。

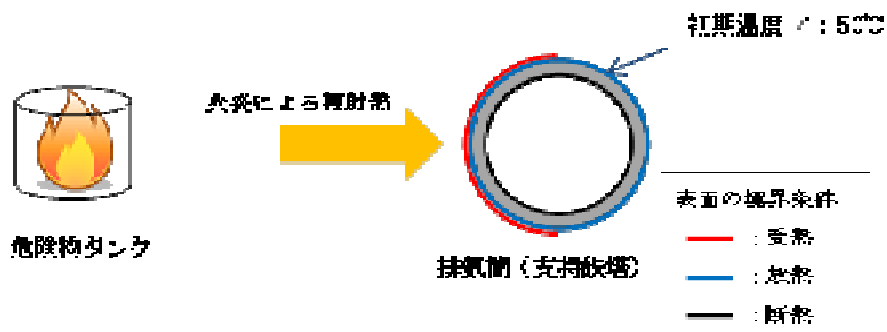


図 19 排気筒の熱影響評価（概念図）

排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が危険物施設との距離が近いこと、材質も支持鉄塔は SS400 および STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

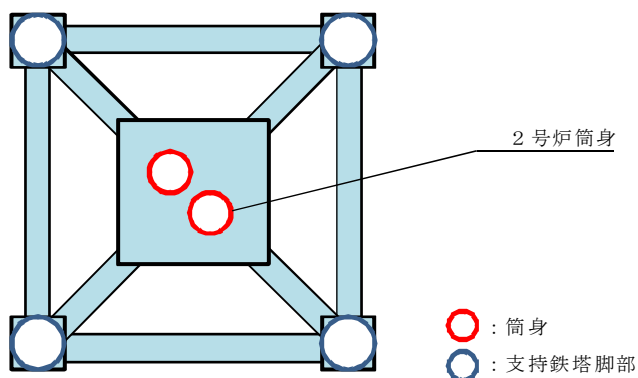


図 20 排気筒構成（概念図）

熱影響評価の結果，排気筒の表面温度は最大で約 57℃となり，許容温度 350℃以下であることを確認した。

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
排気筒温度 [℃]	約 52	約 53	約 53	約 57	約 51

(4) 海水ポンプ

火炎の輻射熱による海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機および高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機）の温度影響を評価した。

熱影響評価の結果，地下ピット方式により火炎からの輻射熱は到達しないことから，海水ポンプに影響を及ぼさないことを確認した。

2.3 航空機墜落による火災（添付資料－6 参照）

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発生したとして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）熱影響の評価

2.3.2 評価要領

航空機落下確率評価については、評価手法の違いからカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、評価に考慮している航空機落下事故については、訓練中の事故等、民間航空機と軍用機（自衛隊機または米軍機）では、その発生状況が必ずしも同一ではない。従って、航空機落下確率でのカテゴリ別に以下のとおり分類し、航空機墜落による火災の影響を評価した。

- a. 計器飛行方式および有視界飛行方式の大型の民間航空機の落下事故
- b. 軍用機の落下事故
 - （a）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
 - （b）その他の大型固定翼機、小型固定翼機および回転翼機
 - （c）基地－訓練空域間往復時

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

2.3.3 評価結果

(1) 離隔距離

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、大型の民間航空機および軍用機の機種を対象とし、落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する標的面積を算出し、その結果から原子炉施設からの離隔距離を求めた。

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域 間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
離隔距離[m]	89	115	24	28

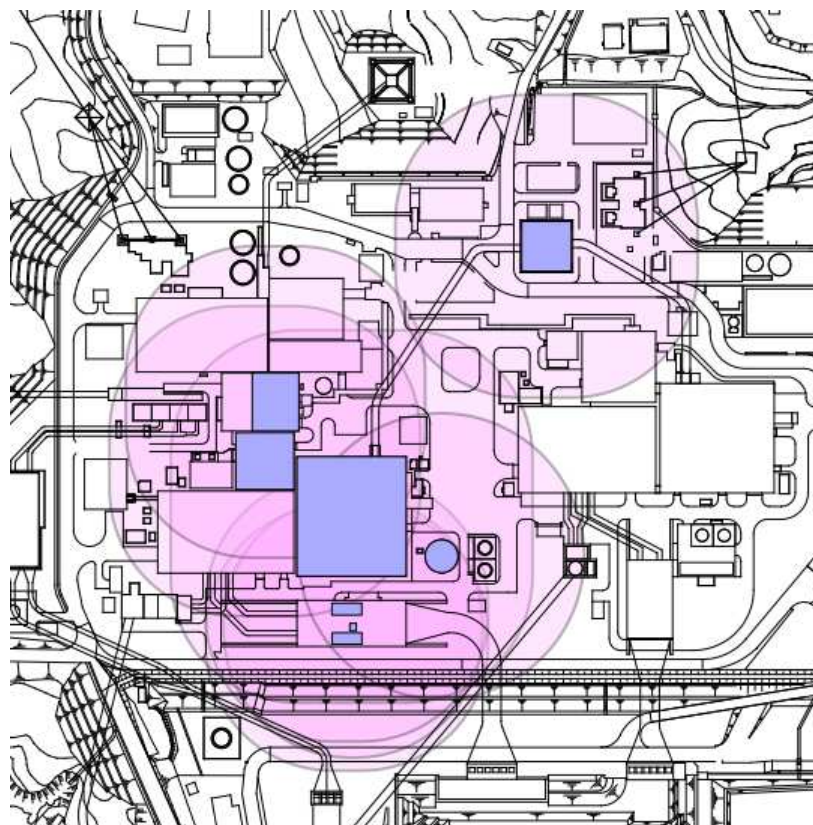


図 21 民間航空機（計器飛行方式および有視界飛行方式（大型））の離隔距離のイメージ（代表例）

(2) 熱影響の評価

a. 原子炉施設

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、コンクリート表面温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、原子炉施設外壁のコンクリート表面温度は最大で約 169℃となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

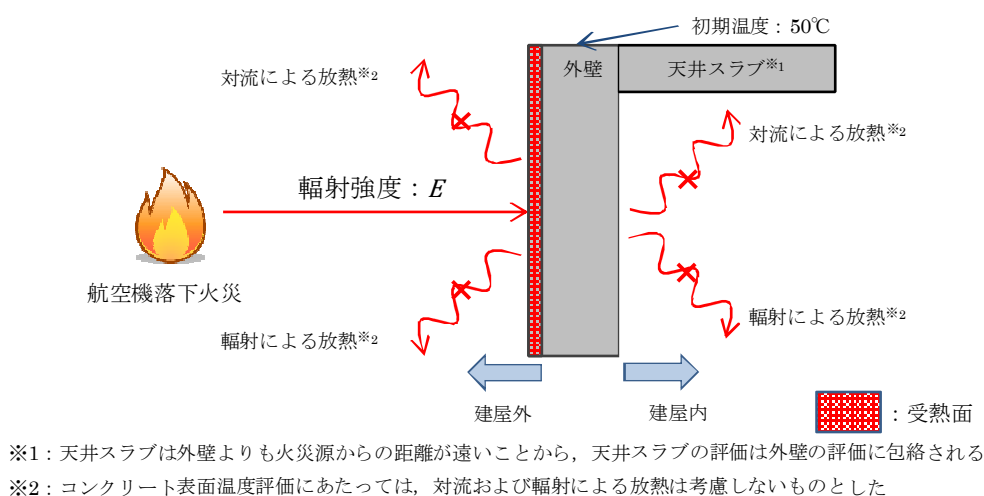


図 22 原子炉施設外壁の熱影響評価（概念図）

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		基地－訓練空域 間往復時
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中 高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
原子炉施設外壁の表面温度 [℃]	約 169	約 96	約 156	約 110

b. 復水貯蔵タンク

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、復水貯蔵タンク温度を評価した。

なお、評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

熱影響評価の結果、復水貯蔵タンク温度は最大で約 55°C となり、許容温度 66°C 以下であることを確認した。

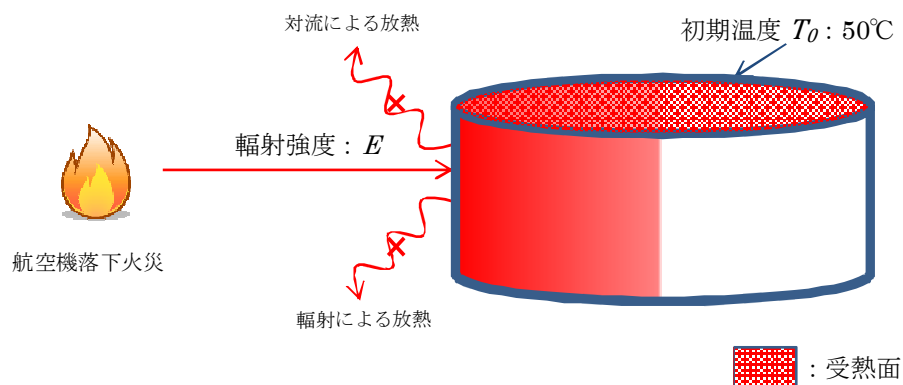


図 23 復水貯蔵タンクの熱影響評価（概念図）

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域 間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
復水貯蔵タンク温度 [°C]	約 55	約 52	約 54	約 52

c. 排気筒

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で排気筒が昇温されるものとして、排気筒の表面温度を評価した。

なお、円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため、断熱とした。

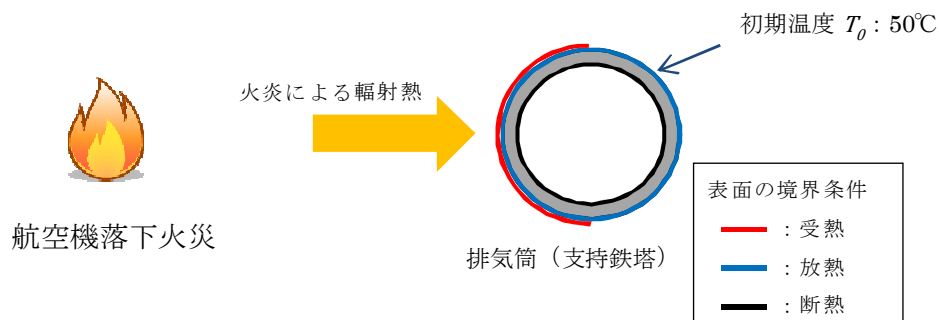


図 24 排気筒の熱影響評価 (概念図)

排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が航空機落下火災との距離が近いこと、材質も支持鉄塔は SS400 および STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

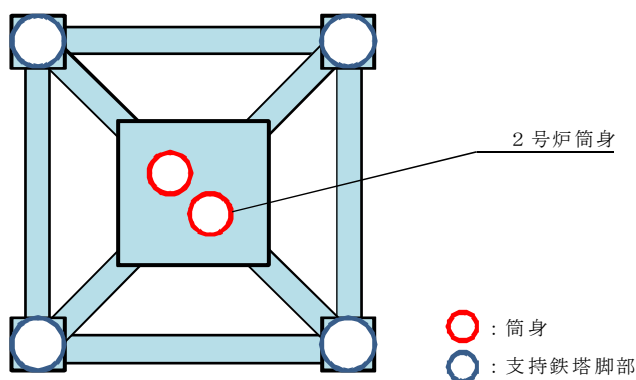


図 25 排気筒構成 (概念図)

熱影響評価の結果，排気筒の表面温度は最大で約 121℃ となり，許容温度 350℃ 以下であることを確認した。

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域 間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
排気筒温度 [℃]	約 119	約 80	<u>約 121</u>	約 92

d. 海水ポンプ

火炎の輻射熱による海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機および高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ用電動機）の温度影響を評価した。

熱影響評価の結果，原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機の取入外気上昇温度 10.2℃ および高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ用電動機海水ポンプの取入外気上昇温度 5.6℃ を考慮しても海水ポンプに影響を及ぼさないことを確認した。

e. 航空機と危険物施設による重畳火災

航空機落下に起因する敷地内の危険物施設との重畳火災を想定し、原子炉建屋の熱影響評価を実施した。

熱影響評価を実施する航空機および危険物施設は、原子炉施設の外壁に対して評価結果が最も厳しい大型民間航空機（B747-400）、貯蔵容量が最大となる3号炉軽油タンク（330kl×2基）とする。

なお、重畳火災については、以下の3ケースにおける熱影響評価の結果、原子炉建屋における外壁のコンクリート表面温度は最大で約181℃となり、許容温度200℃以下であることを確認した。

ケース1：航空機と3号炉軽油タンクの火災が同時に発生

ケース2：航空機の燃料が半分となった時点で3号炉軽油タンクの火災が発生

ケース3：航空機の燃焼終了直後に3号炉軽油タンクの火災が発生

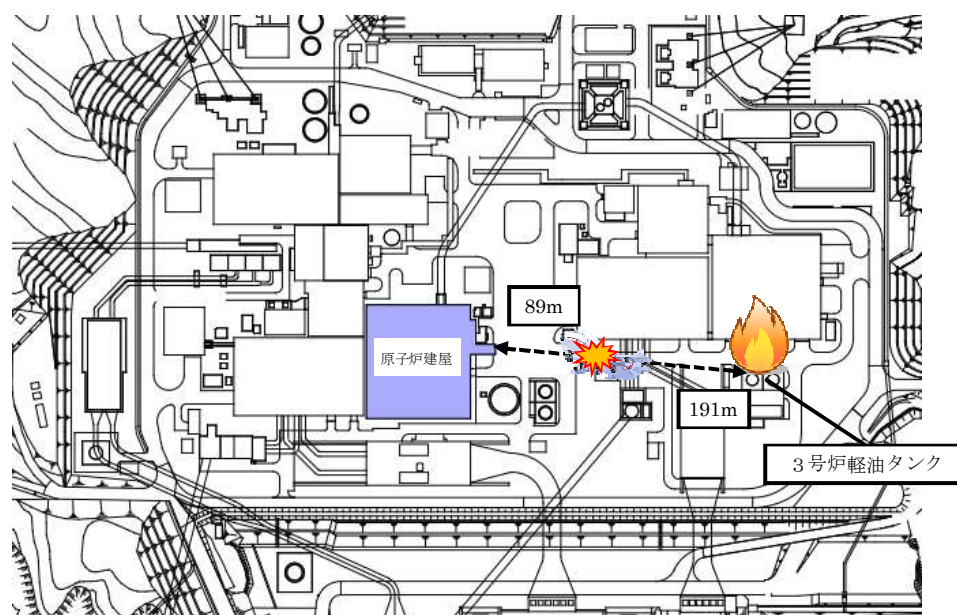


図 26 航空機落下火災と3号炉軽油タンク火災の重畳

番号	航空機燃焼開始時間を起点とした場合の3号炉軽油タンクの燃焼開始時刻	最高到達温度[℃]
ケース1	同時	約181
ケース2	約0.9時間後	約177
ケース3	約1.9時間後	約168

2.4 二次的影響（ばい煙，有毒ガス）の評価（添付資料－7 参照）

2.4.1 評価内容

森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発および航空機墜落による火災において発生するばい煙および有毒ガスが設備に与える影響について評価した。

2.4.2 評価対象設備

ばい煙および有毒ガスによる安全上重要な設備および居住性に対して影響を及ぼさないことを確認した。

なお，二次的影響（ばい煙，有毒ガス）評価を実施する評価対象設備は，評価フロー図に基づき，以下のとおりとする。

また，防護対象設備（クラス 3）については，一般産業施設と同等以上の信頼性が要求されており，建屋内の設備については，建屋により防護することとし，屋外設備については，代替設備等により安全機能に影響を与えないことを確認した。

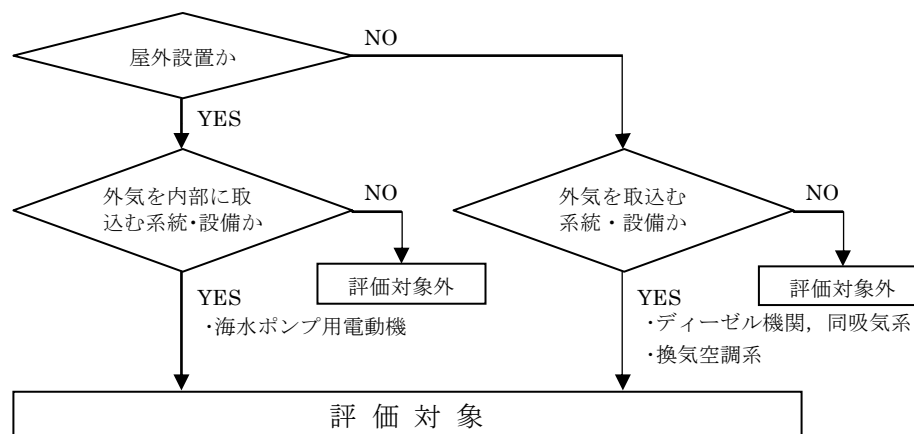


図 27 評価フロー図

設置場所	評価対象設備
屋内	非常用ディーゼル機関，同吸気系
	中央制御室換気空調系
	計測制御電源室換気空調系
	原子炉補機室換気空調系
	原子炉建屋原子炉棟換気空調系※
屋外	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

※ 防護対象設備（クラス 1，2）の関連系のため個別評価対象とする。

2.4.3 評価結果

(1) 外気を取込む換気空調系統

a. 外気取入運転を行っている換気空調設備

非常用ディーゼル機関吸気系，中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系，原子炉補機室換気空調系および原子炉建屋原子炉棟換気空調系は，外気取入口に設置されたフィルタにより，粒径 $1\mu\text{m}$ 以上のダストを 90%以上除去できる性能を有しているため，ばい煙粒子による機器への影響はない。

また，中央制御室については，24 時間常駐している運転員が外部火災の情報受信後に，ばい煙の影響を受ける可能性があるとは判断した場合には，運転員の操作により外気取入ダンパを閉止し外気を遮断できるため，ばい煙の影響を受けない。

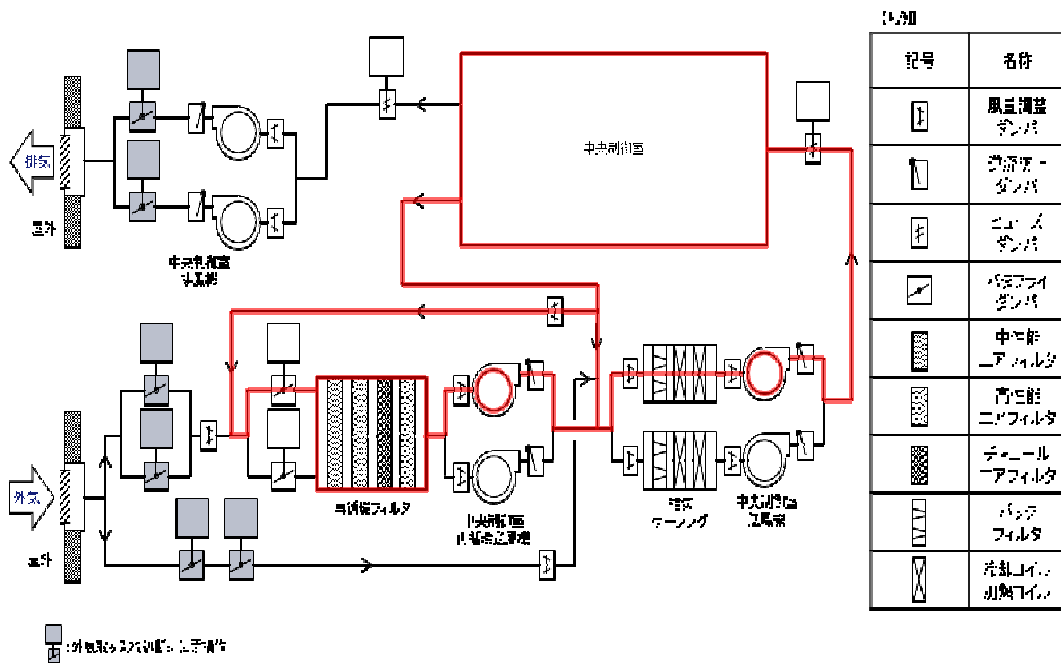


図 28 中央制御室空調系概略系統図

b. 中央制御室換気空調系統

- (a) 外気取入ダンパを閉止し再循環運転により，酸素濃度および炭酸ガス濃度を考慮しても長時間室内へのばい煙侵入を阻止することが可能である。
- (b) 有毒ガス濃度が判断基準（IDLH[※]）以下であることから，中央制御室の居住性に影響はない。

※ 30 分暴露によって生命および健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(2) 外気を内部に取込む系統・設備

a. 非常用ディーゼル機関，同吸気系

- (a) フィルタを通過したばい煙粒子は，過給機，空気冷却器に侵入するが，機器の間隙は，ばい煙粒子に比べて十分大きいことから閉塞する恐れはない。
- (b) 吸入されたばい煙粒子は，機関のシリンダ内へ送気される。送気されたばい煙粒子は，シリンダ／ピストン間隙(数 μm ～ \pm 数 μm)内に侵入し，シリンダ／ピストンの摩擦発生が懸念されるが，主成分は炭素であり摩擦が発生することはない。

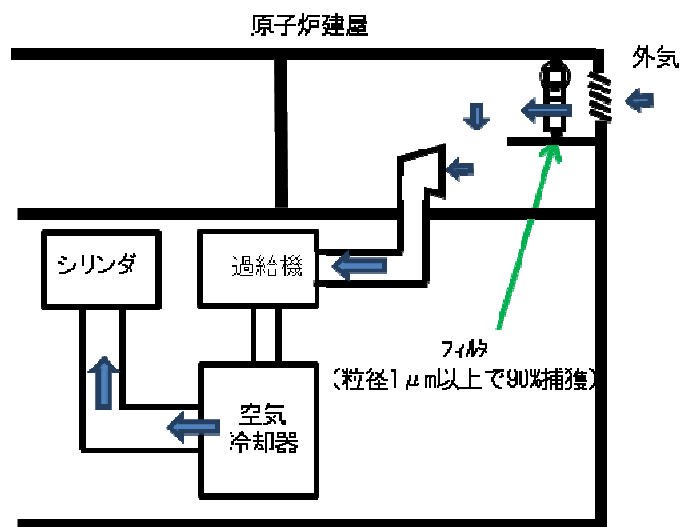
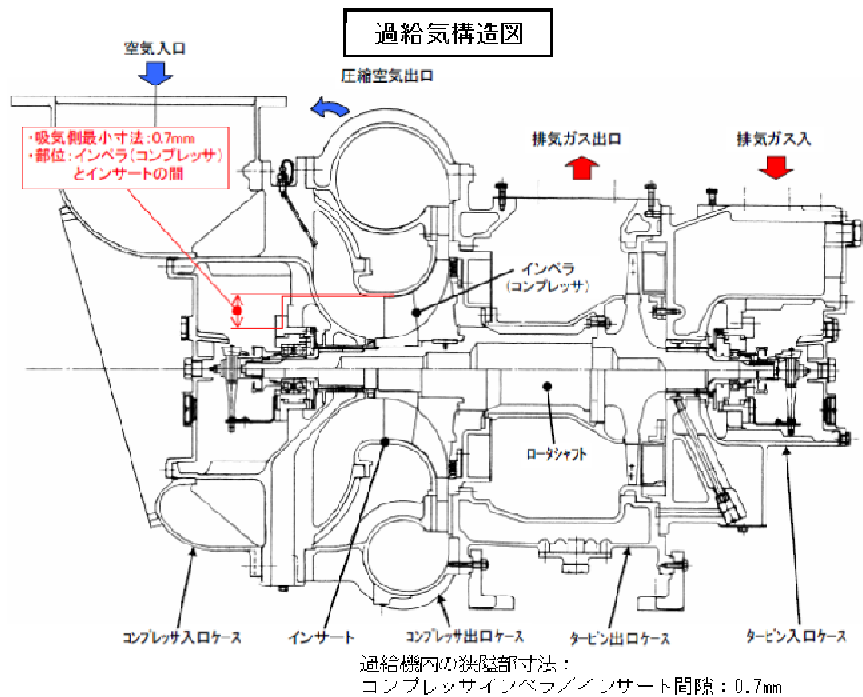
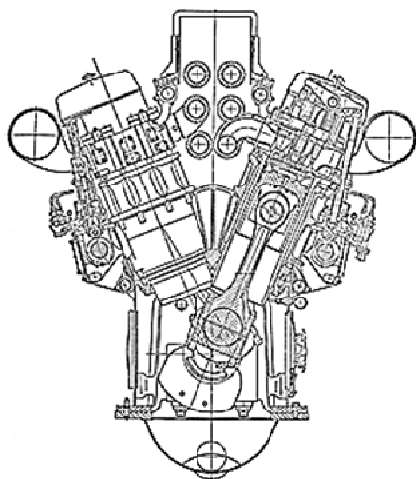


図 29 非常用ディーゼル機関吸気系統概要図

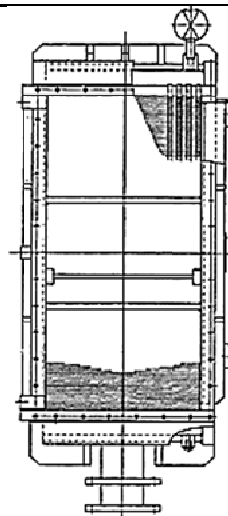


シリンダ構造図



シリンダ/ピストン間隙：
数 μ m～十数 μ m

空気冷却器構造図



空気冷却器内の狭隘部寸法：
伝熱フィン間隙：約 1.7mm

図 30 非常用ディーゼル機関吸気系統構造図

b. 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機

- (a) 電動機本体は、空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり、外気を直接電動機の内部に取込まない全閉構造であることから、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。
- (b) 外気通風部の吸込み口の金網口径が 10mm 四方，冷却パイプ口径が 29.4mm であり，ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さいことから，閉塞することはない。

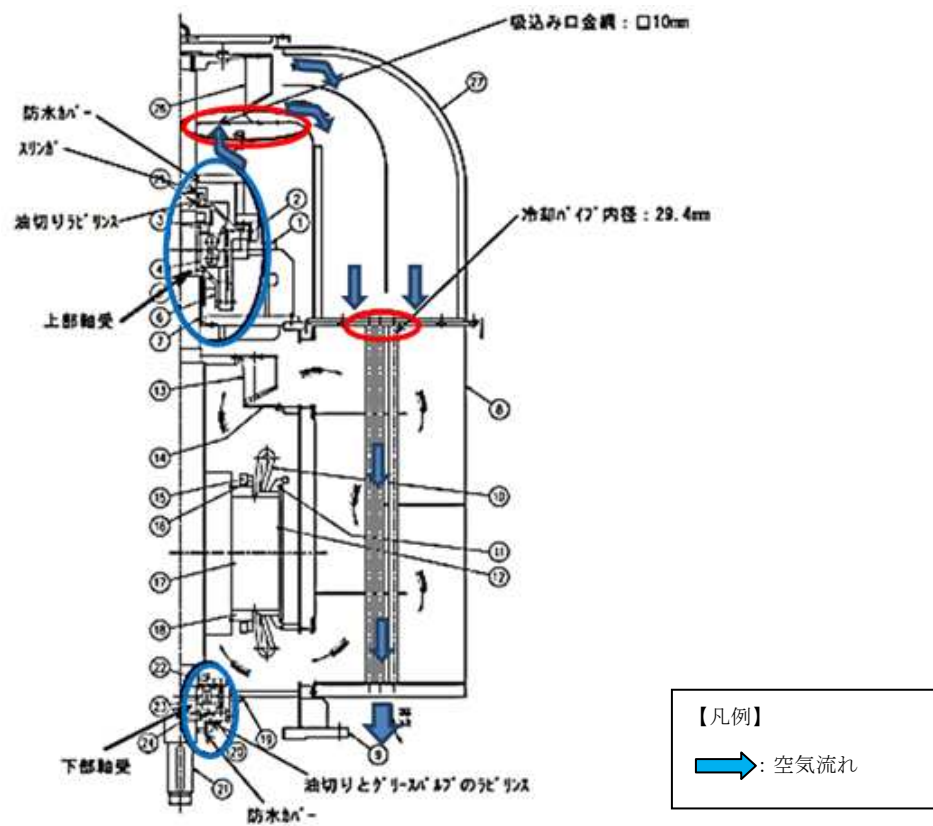


図 31 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機構造図

c. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

- (a) 電動機本体は、外気を直接電動機内部に取り込まない外扇形の冷却方式の全閉構造であり、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。
- (b) 上部貫通部はラビリンスカラーで軸受への侵入防止構造とし、下部貫通部はポンプ架台内とし、侵入を防止する構造としている。

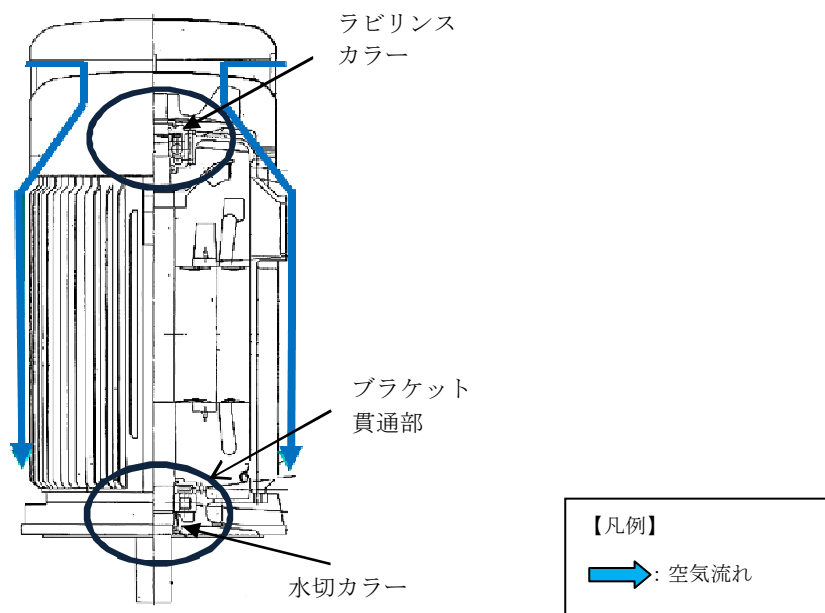


図 32 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機構造図

外部火災影響評価対象の考え方について

1. 外部火災影響評価対象の考え方

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、「[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「[実用炉規則](#)」という。）第6条第1項に基づき安全機能を有する施設について外部火災に係る防護対象とする。

安全機能を有する施設としては、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類審査指針」という。）において、安全機能を有する施設とされるクラス 1, 2, 3 に該当する構築物、系統および機器とする。

また、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「外部火災影響評価ガイド」という。）においても発電所敷地外で発生する火災が発電用原子炉施設（外部火災影響評価ガイドにおける「発電用原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）へ影響を与えないことおよび発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価することとされていることから、今回設定した防護対象と同様である。

防護対象とした構築物、系統および機器（以下「防護対象設備」という。）については、外部火災発生時には対象設備周辺の消火活動等により影響を受けないよう防護する。

さらに、高い信頼性を要求されるクラス 1, 2 に該当する防護対象設備に対しては、外部火災による影響が及ぶおそれのある場合において、消火設備等の防護手段を期待しない条件のもと、想定される外部火災に対する構築物等の固有の熱影響評価を行い、必要に応じて対策を講じることとした。

2. 影響評価内容

（1）熱影響評価

安全機能を有する設備のうち、防護対象設備（クラス 1, 2）について、外部火災発生時の安全性の評価は、外部火災影響評価ガイドに基づき、発電用原子炉施設の建屋の外側（コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁）の熱影響に対する耐性を確認することから、評価対象として抽出された設備のうち、建屋内の設備については、建屋のコンクリート壁の熱影響評価を実施する。また、屋外設備については、各機器について熱影響評価を実施する。（表 1-1 参照）

表 1-1 防護対象設備 (クラス 1, 2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置箇所				外部火災評価項目		
				建屋内設備			屋外設備	熱影響評価		ばい煙評価
	定義	機能	防護対象設備	原子炉建屋, 制御建屋	タービン建屋	個別建屋		建屋外壁	個別機器	外気を取込む設備
PS-1	その損傷または故障により発生する自称によって、 (a)炉心の著しい損傷、または(b)燃料の大量の破損を引き起こす恐れのある構築物、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。)	○				○		
		2) 過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング	○				○		
		3) 炉心形状の維持機能	炉心支持構造物 (炉心シュラウド、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) 燃料集合体 (ただし、燃料を除く。)	○				○		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築、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))	○				○		
		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)	○				○		
		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 (安全弁としての開機能)	○				○		
		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) 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレー系 逃がし安全弁 (手動逃がし機能) 自動減圧系 (手動逃がし機能)	○				○		
			復水貯蔵タンク				○		○	
		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 低圧炉心スプレー系 低圧注水系 高圧炉心スプレー系 自動減圧系	○				○		
		復水貯蔵タンク				○		○		
	6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器 原子炉格納容器隔離弁 原子炉格納容器スプレー冷却系 原子炉建屋 非常用ガス処理系 非常用再循環ガス処理系 可燃性ガス濃度制御系	○				○			

表 1-1 防護対象設備 (クラス 1, 2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置箇所				外部火災評価項目		
				建屋内設備			屋外設備	熱影響評価		ばい煙評価
	定義	機能	防護対象設備	原子炉建屋, 制御建屋	タービン建屋	個別建屋		建屋外壁	個別機器	外気を取込む設備
MS-1 (続き)	2)安全上必須なその他の構築物, 系統及び機器	1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能 2) 安全上特に重要な関連機能	安全保護系	○				○		
			非常用所内電源系 非常用ディーゼル発電機	○				○		○
			非常用所内電源系 非常用ディーゼル発電機燃料移送系 軽油タンク				○		○	
			制御室及びその遮へい・非常用換気空調系	○				○		○
			直流電源系 (いずれも, MS-1 関連のもの)	○				○		
			非常用補機冷却水系	○			○	○	○	○

表 1-1 防護対象設備 (クラス 1, 2)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置箇所				外部火災評価項目			
	定義	機能	防護対象設備	建屋内設備			屋外設備	熱影響評価		ばい煙評価	
				原子炉建屋, 制御建屋	タービン建屋	個別建屋		建屋外壁	個別機器		
PS-2	1)その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	1) 原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	主蒸気系 原子炉冷却材浄化系 (いずれも、格納容器隔離弁の外側のみ)	○				○			
		2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	放射性気体廃棄物処理系 使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む。)		○				○		
		3) 燃料を安全に取り扱う機能	燃料取扱設備	○					○		
	2)通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁 (吹き止まり機能に関連する部分)	○					○		
MS-2	1)PS-2 の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、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	○					○		
		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 排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能以外)		○				○	○	
	2)異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	1) 事故時のプラント状態の把握機能	格納容器雰囲気放射線モニタ	○					○		
		2)異常状態の緩和機能	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3) 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)	○					○		

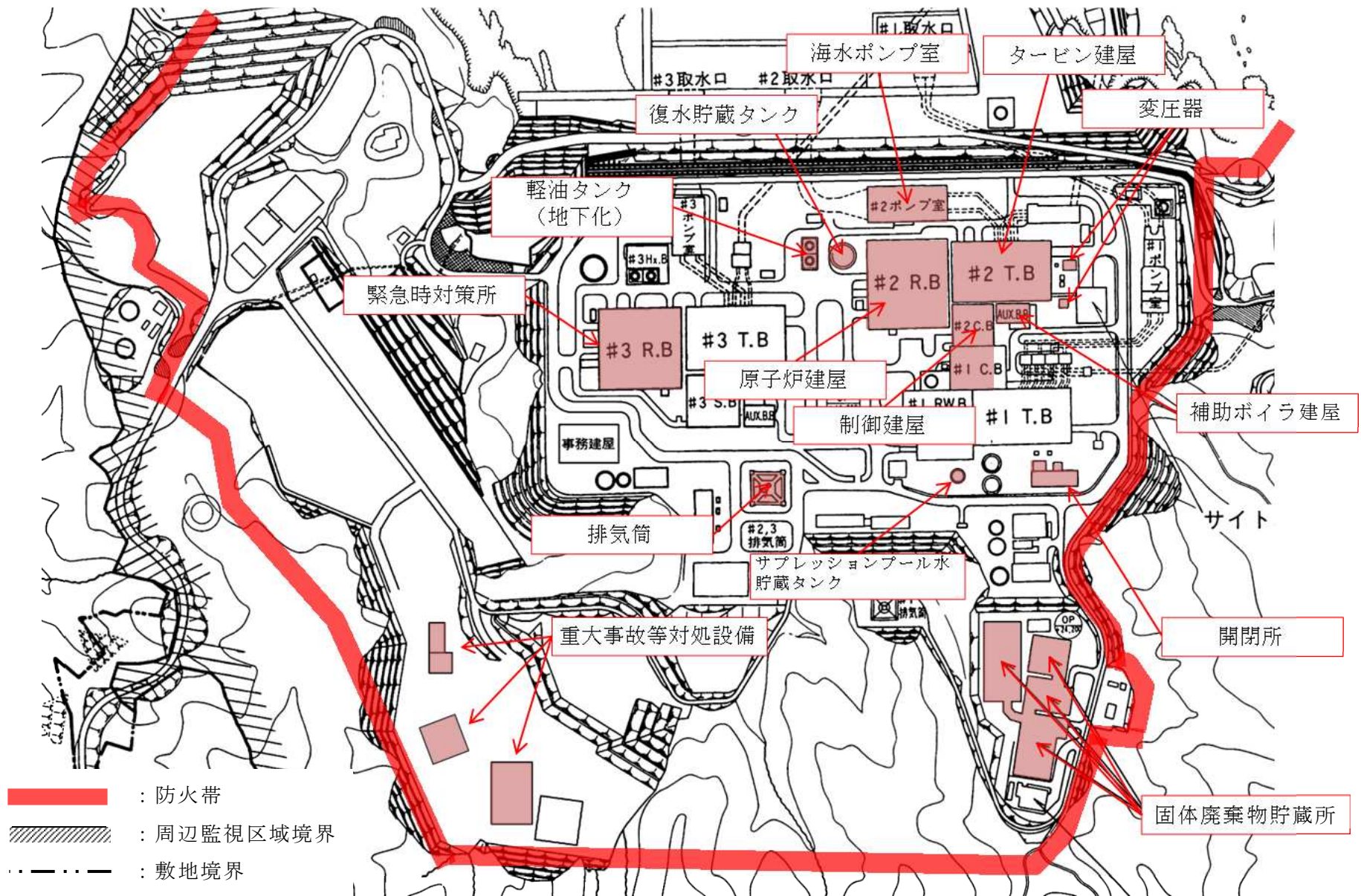


図 1-1 女川原子力発電所 2 号炉 外部火災に対する主要な防護対象設備配置図

(2) 二次的影響評価

外部火災の二次的影響評価については、ばい煙等による安全上重要な施設に対する影響評価として、外部電源喪失等において安全施設に給電を行う設備（非常用ディーゼル機関および同吸気系，原子炉補機冷却海水ポンプ電動機および高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機）への影響評価，および，ばい煙等による外部火災影響評価対象として抽出した防護対象設備（空調設備）における外気取入れ系統の影響評価を実施する。

なお，外部火災発生時の有毒ガスによる居住性の評価の観点から中央制御室の影響評価も実施する。（添付資料-7 参照）

また，発電所敷地外 10km 以内に設置されている近隣の産業施設の爆発による飛来物についても影響評価を実施する。（添付資料-3 参照）

3. 非常用ディーゼル発電機用軽油タンクについて

非常用ディーゼル発電機用軽油タンクは、現存の位置に地下埋設の軽油タンクとする。

地下埋設の軽油タンクは「危険物の規制に関する政令」第13条第1項による地下タンク貯蔵所とし、同第20条（消火設備）によって、その他の製造所等に該当する地下タンク貯蔵所のため、「危険物の規制に関する規則」第35条第1項第1号より、第5種の消火設備を2個設置する計画としている。

地下埋設の軽油タンクは、消防法に基づき、コンクリート構造体に収納された地下埋設タンク（図1-2）で詳細設計するため、地表面で火炎は発生しないと考えられる。また、軽油タンク上部のマンホールも含め、森林火災、危険物火災や航空機落下火災において発生する火炎からの輻射熱の影響を受けない構造とする。

このため、外部火災は2号炉非常用ディーゼル発電機用軽油タンクは、外部火災の熱影響評価の対象外とする。

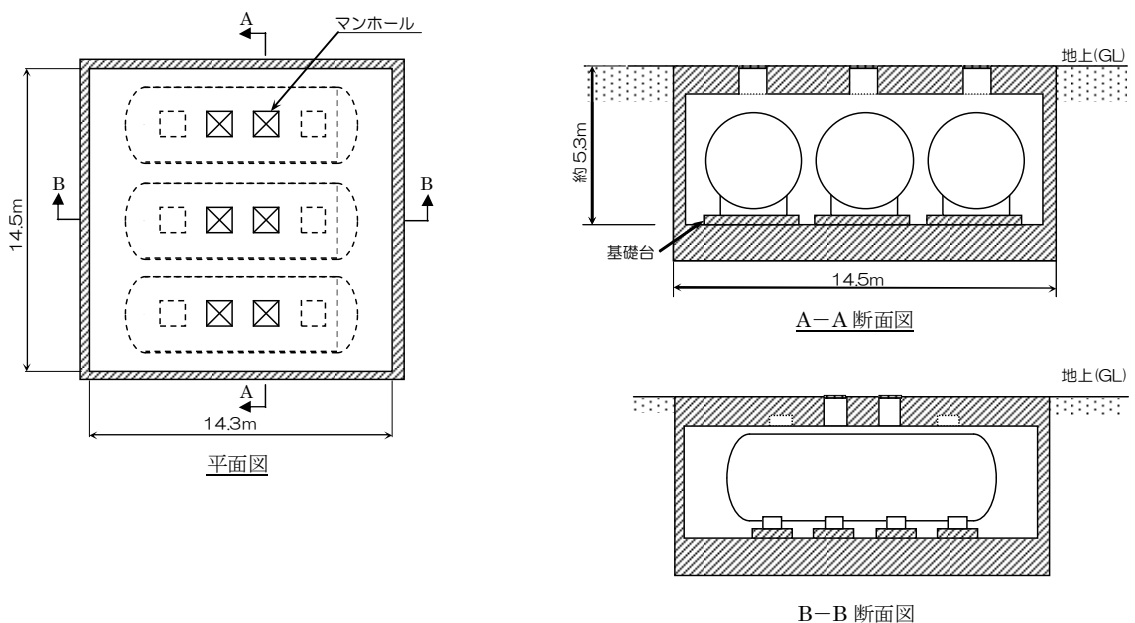


図 1-2 地下軽油タンク概略図

4. 防護対象設備（クラス 3）の影響評価の考え方

防護対象設備（クラス 3）については、一般産業施設と同等以上の信頼性が要求されており、建屋内の設備については、建屋により防護することとし、屋外設備については、防火帯幅の確保、金属製構造、地下ピット構造、消火活動により防護または代替設備で安全機能を確保していくため、個別評価は行わない。（表 1-2 参照）

なお、発電所においては消火設備、消防自動車の配備等の施設面での火災防護対策を行うとともに、自衛消防隊の初期消火要員が 24 時間体制で常駐する等、火災発生時には迅速な対応により、火災に対する防護対策をとることにしている。

表 1-2 防護対象設備 (クラス 3)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置箇所					外部火災発生時の防護				
				建屋内設備			屋外設備		建屋による防護	位置・構造による防護	代替設備で安全機能を確保	消火活動による防護	
	定義	機能	防護対象設備	原子炉建屋 制御建屋	タービン 建屋	個別 建屋	防火帯 内側	防火帯 外側					
PS-3	1)異常状態の起因事象となるものであって、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)	計装配管, 試料採取管	○					○				
		2)原子炉冷却材の循環機能	原子炉冷却材再循環系	○					○				
		3)放射性物質の貯蔵機能	サブプレッションプール水排水系 液体廃棄物処理系	サブプレッションプール水貯蔵タンク	○			○			○※1		
				固体廃棄物処理系 (固体廃棄物貯蔵所を含む)	○		○			○			
			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 復水系 (復水器を含む。) 給水系		○					○		
		循環水系		○			○		○	○※2	○	○	
		送電線					○	○		○※1	○		
		変圧器 開閉所					○				○	○	
	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 (制御棒価値ミニマイザを含む。) 原子炉核計装 原子炉プラントプロセス計装	○						○				
	6)プラント運転補助機能	計装用圧縮空気系	○						○				
		所内ボイラ			○				○				
	2)原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない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への放散防止機能	燃料被覆管	○						○			
2)原子炉冷却材の浄化機能		原子炉冷却材浄化系	○						○				
		復水浄化系		○					○				

※1: 金属製構造

※2: 地下ピット構造

表 1-2 防護対象設備 (クラス 3)

分類	安全機能の重要度分類			設備設置箇所					外部火災発生時の防護				
				建屋内設備			屋外設備		建屋による防護	位置・構造による防護	代替設備で安全機能を確保	消火活動による防護	
	定義	機能	防護対象設備	原子炉建屋 制御建屋	タービン 建屋	個別 建屋	防火帯 内側	防火帯 外側					
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) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	○					○				
			タービンバイパス弁		○				○				
		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) 制御棒引抜監視装置	○						○			
	2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器	1) 緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	3) 原子炉冷却材の補給機能	制御棒駆動水圧系	○					○			
			原子力発電所緊急時対策所			○				○			
			試料採取系	○						○			
			通信連絡設備	○	○	○	○	○	○	○		○	
			放射線監視設備			○			○	○	○		○
			事故時監視計器の一部	○				○	○	○		○	○
			消火系	○	○	○	○		○		○		○
安全避難通路	○	○	○					○					
非常用照明	○	○	○					○					

5. 重大事故等対処設備について

重大事故等対処設備については、防護対象設備（クラス 1, 2）を防護することにより、外部火災による重大事故の発生に至ることはないが、炉心損傷防止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、防火帯の内側に配備する。

また、外部火災による影響が及ぶおそれがある場合には、建屋外壁による防護、地下構造による防護、火災影響の及ばない位置への移動、代替設備による安全機能の確保により、外部火災の熱影響に対する対応を行う。（表 1-3 参照）

表 1-3 重大事故等対処設備に対する外部火災の影響について（1/2）

分類		設備	設備設置場所		外部火災発生時の防護
			建屋内 設置	屋外 設備	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料貯蔵槽の温度、水位及び漏えいを監視する装置（常設）	○		建屋外壁による防護
	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール補給水ポンプ	○		建屋外壁による防護
		大容量送水ポンプ		○	火災影響の及ばない位置に移動、燃料プール冷却浄化系による安全機能確保
		淡水貯水槽		○	地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
原子炉冷却システム施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高压代替注水系ポンプ	○		建屋外壁による防護
		大容量送水ポンプ		○	火災影響の及ばない位置に移動、非常用炉心冷却設備による安全機能確保
		淡水貯水槽		○	地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
	原子炉補機冷却設備	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット		○	火災影響の及ばない位置に移動、原子炉補機冷却水系・海水系による安全機能確保
		大容量送水ポンプ		○	火災影響の及ばない位置に移動、原子炉補機冷却水系・海水系による安全機能確保
計測制御システム施設	計測装置	代替制御棒挿入機能	○		建屋外壁による防護
		代替原子炉再循環ポンプトリップ機能	○		建屋外壁による防護
		代替自動減圧機能	○		建屋外壁による防護
		自動減圧系作動阻止機能	○		建屋外壁による防護
		原子炉圧力容器本体の入口又は出口の原子炉冷却材の圧力、温度又は流量（代替注水の流量を含む。）を計測する装置（常設）	○		建屋外壁による防護
		原子炉格納容器本体内の圧力、温度、酸素ガス濃度又は水素ガス濃度を計測する装置（常設）	○		建屋外壁による防護

表 1-3 重大事故等対処設備に対する外部火災の影響について (2/2)

分類	設備	設備設置場所		外部火災発生時の防護		
		建屋内設置	屋外設備			
計測制御システム施設	計測装置	原子炉格納容器本体への冷却材流量を計測する装置 (常設)	○		建屋外壁による防護	
		原子炉格納容器本体の水位を計測する装置 (常設)	○		建屋外壁による防護	
		原子炉建屋内の水素ガス濃度を計測する装置 (常設)	○		建屋外壁による防護	
	工学的安全施設等の起動信号	工学的安全施設等の信号	○		建屋外壁による防護	
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	放射性物質により汚染するおそれがある管理区域から環境に放出する排水中又は排気中の放射性物質濃度を計測する装置 (常設)	○		建屋外壁による防護	
		使用済燃料貯蔵槽エリアの線量当量率を計測する装置 (常設)	○		建屋外壁による防護	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	大容量送水ポンプ		○	火災影響の及ばない位置に移動, 残留熱除去系による安全機能確保	
		淡水貯水槽		○	地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない	
		燃料プール補給水ポンプ	○		建屋外壁による防護	
		静的触媒式水素再結合装置	○		建屋外壁による防護	
		窒素ガス代替供給装置		○	火災影響の及ばない位置に移動, 窒素ガス供給装置による安全機能確保	
		原子炉格納容器フィルタ装置出口側圧力開放板	○		建屋外壁による防護	
		原子炉格納容器フィルタ装置	○		建屋外壁による防護	
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用発電装置	ガスタービン発電機		○	非常用ディーゼル発電機による安全機能確保
			電源車 (可搬型代替電源設備用)		○	火災影響の及ばない位置に移動, 非常用ディーゼル発電機による安全機能確保
			電源車 (原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット用)		○	火災影響の及ばない位置に移動, 非常用ディーゼル発電機による安全機能確保
			ガスタービン燃料移送ポンプ		○	非常用ディーゼル発電機による安全機能確保
			地下軽油タンク		○	地下構造のため火災の輻射熱の影響を受けない
			タンクローリー		○	火災影響の及ばない位置に移動, 非常用ディーゼル発電機による安全機能確保
	その他の電源装置	125V系蓄電池	○		建屋外壁による防護	
		125V系代替蓄電池	○		建屋外壁による防護	
	緊急時対策所	緊急時対策所 (3号炉原子炉建屋内)	○		建屋外壁による防護	

森林火災による影響評価について

1. 目的

本評価は、発電所敷地外で発生する火災に対して安全性向上の観点から、森林火災が発電所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評価するものである。

2. 森林火災の影響評価

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下、「外部火災影響評価ガイド」という）の「附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」に従い、森林火災を想定し、発電所への影響について評価する。

(1) 評価手法の概要

過去 10 年間の気象条件を調査し、森林火災の発生件数の多い月の最小湿度、最高気温、および最大風速の組み合わせを設定し、発電所の風上に発電所から直線距離で 10km の間に発火点を設定し、その森林火災の影響を評価する。

3. 森林火災への影響評価結果

(1) 森林火災の発火点の設定について（発火点の考え方）

a. 外部火災影響評価ガイド

(a) 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、発火点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。

(b) 発電所からの直線距離 10km の間で設定する。

(c) 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。

b. 発火点の設定方針

(a) 風向は、卓越風向を選定する。

(b) 発電所からの直線距離 10km の間に設定する。

(c) 人為的行為を考え、居住地区および道路沿いを選定する。

c. 森林火災の発生原因

森林火災の発生原因は図 2-1 のとおり，焚き火（22%），たばこ（18%），放火・放火の疑い（14%）および火入れ（12%）等の人為的な行為であることから，発電所近隣の居住地区および道路沿いを選定候補とした。

なお，過去 10 年間に於いて発電所周辺（10km 以内）における森林火災は 2 件発生しているが，2 件とも発電所に影響のある森林火災ではなかった。

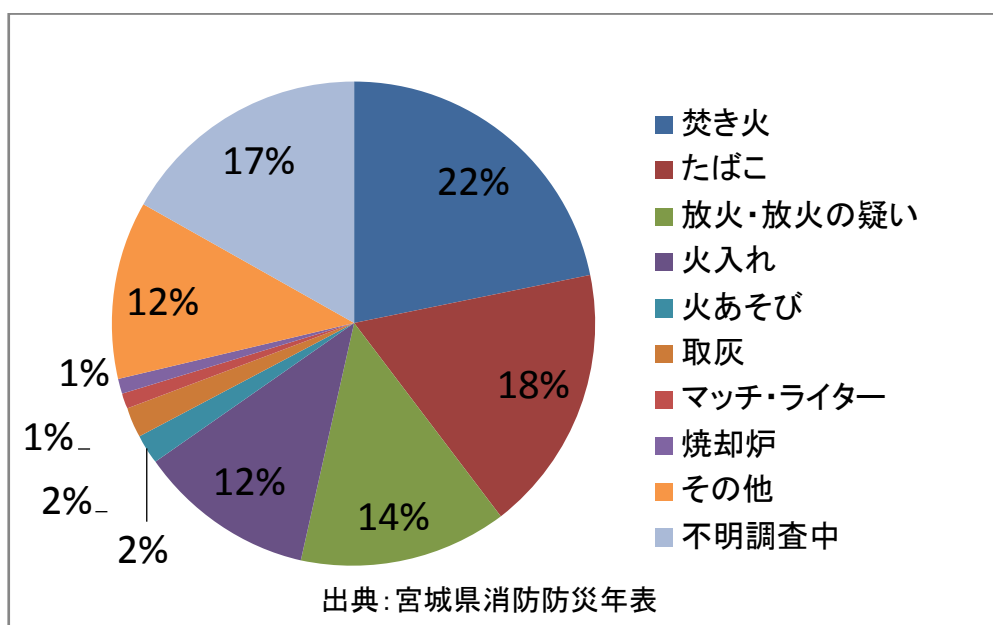


図 2-1 火災の出火原因割合（平成 15 年～平成 24 年）

d. 立地条件を考慮した発火点の設定

過去10年間の気象観測データで確認された森林火災発生件数の多い3月から5月の卓越風向は北北東、南南西、西北西の3つのグループに分けられる。(図2-2, 表2-1参照)

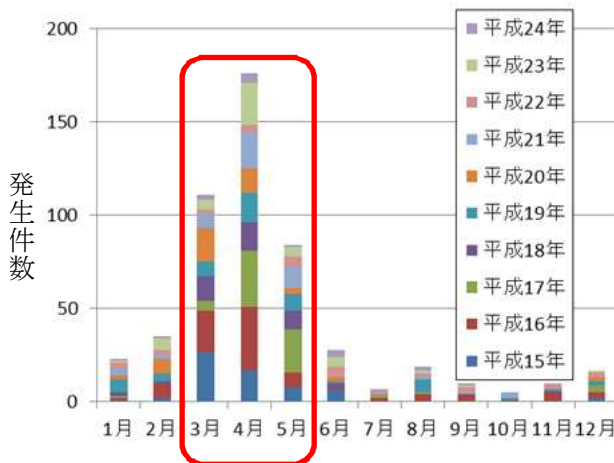


図2-2 森林火災の月別発生件数 (出典：宮城県消防防災年報)

表2-1 江ノ島観測所における卓越風向(平成16年～平成25年)

風向	最多風向出現回数 (日単位)			計
	3月	4月	5月	
北	3	17	15	35
北北東	30	28	32	90
北東	14	32	41	87
東北東	3	3	1	7
東	1	0	2	3
東南東	5	3	1	9
南東	8	5	4	17
南南東	7	8	11	26
南	12	24	45	81
南南西	28	32	49	109
南西	7	3	3	13
西南西	0	2	1	3
西	4	5	2	11
西北西	117	72	43	232
北西	26	19	15	60
北北西	19	14	9	42

卓越風向グループ※

*10回以上をグループ化 (出典：気象庁HP 気象統計情報)

卓越風向グループの3方向毎に人為的行為を想定した発火点を以下のとおり設定した。(図2-4参照)

(a) 発火点1(北北東方向)

民宿, 社員寮等の居住区が存在する小屋取地区の漁港沿いを選定した。

(b) 発火点2-1(南南西方向)

発電所に近い県道沿いを選定した。

(c) 発火点2-2(南南西方向)

居住区および田が存在する鮫浦地区を選定した。

(d) 発火点3(西北西方向)

発電所周辺の道路沿いから, 発電所に近い地点を選定した。

保守的に評価するため, 風向は, 各発火点から発電所に向かう風向とするとともに, 気象データは火災発生件数の多い3月から5月の最高気温, 最小湿度, 最大風速を設定して解析する。

(風向設定)

発火点	発火点名	設定風向 [方位]	発電所と発火点の距離 [km]
発火点1	小屋取漁港道路沿い	北	約0.9
発火点2-1	県道41号線沿い	南西	約1.2
発火点2-2	鮫浦地区(田)	南南西	約2.6
発火点3	塚浜地区道路沿い	西北西	約1.1

(気象データ入力条件(火災発生件数の多い3月~5月))

最高気温(°C)	最小湿度(%)	最大風速(km/h)
27.8	13	86(23.8[m/s])

なお、いずれの方位も発電所へ火災が至る前に下り斜面となり、方位による地形の差異はない。

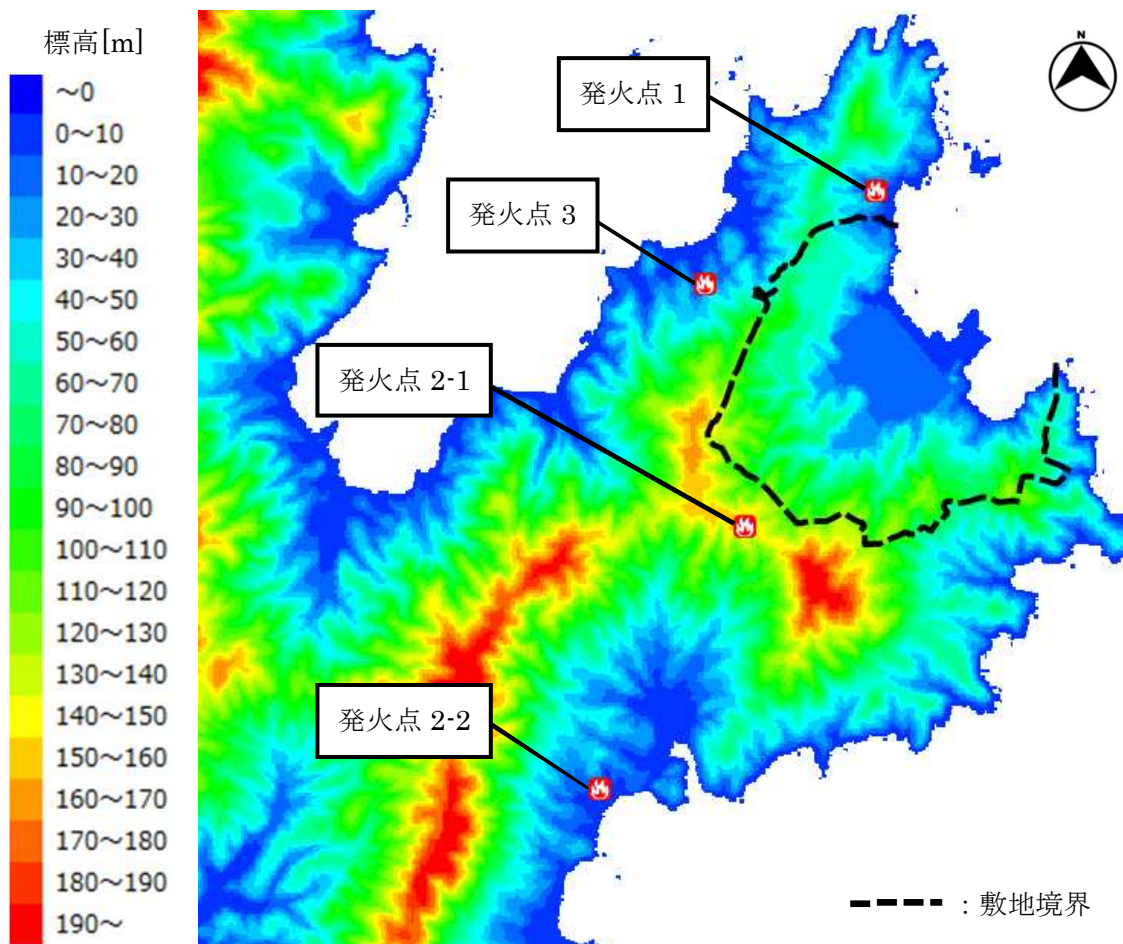


図 2-3 発電所周辺の標高分布図

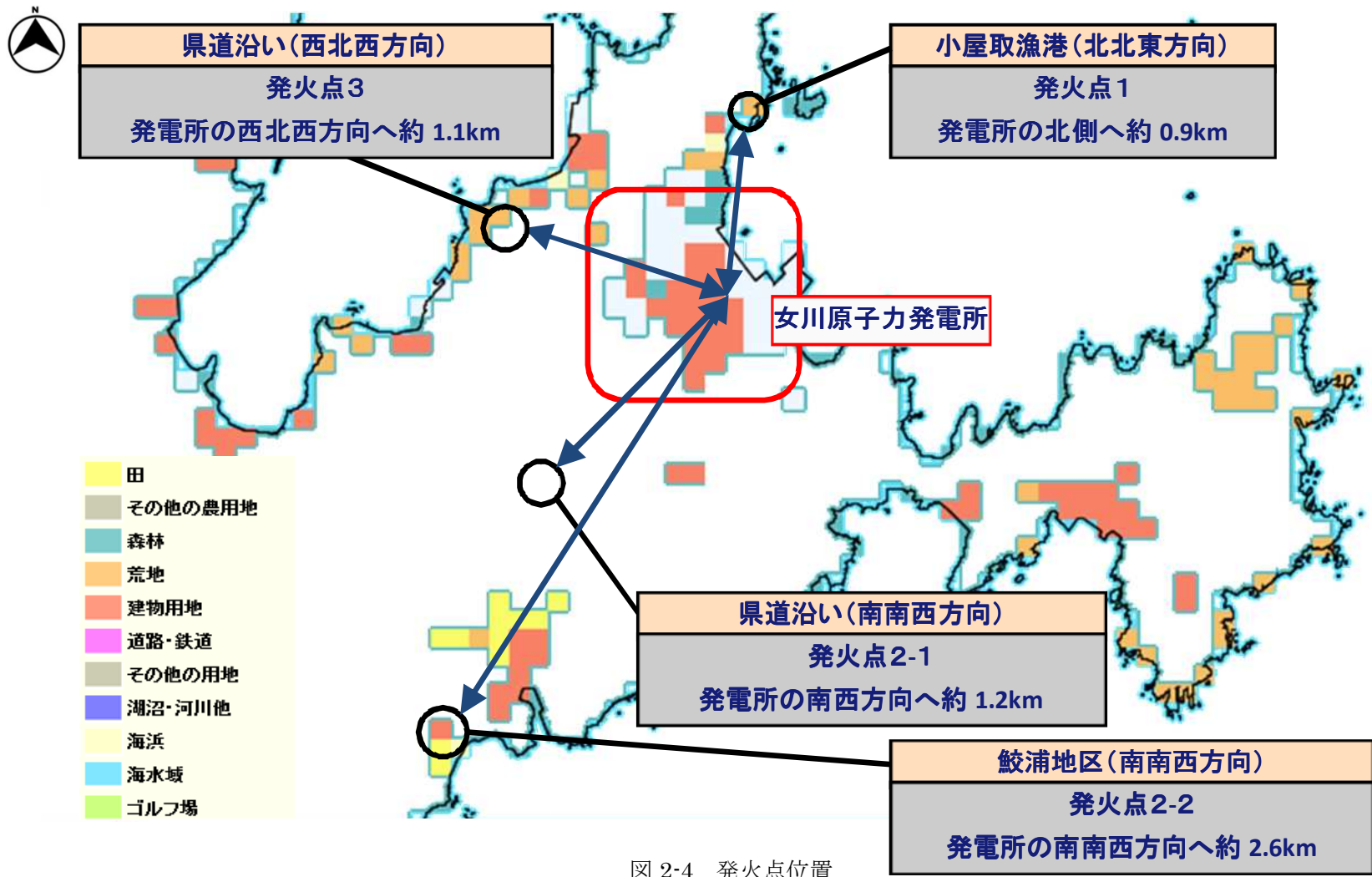


図 2-4 発火点位置

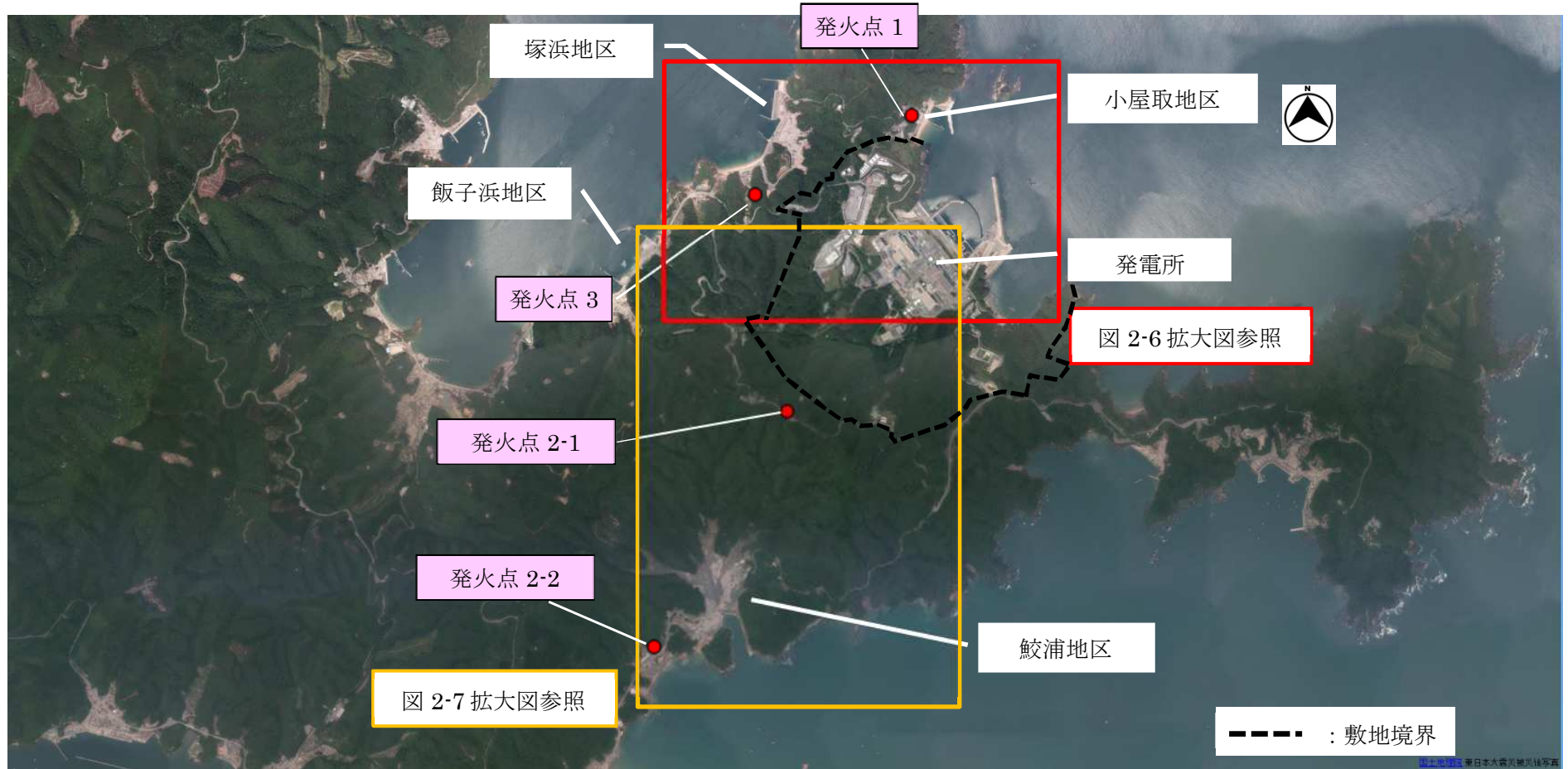
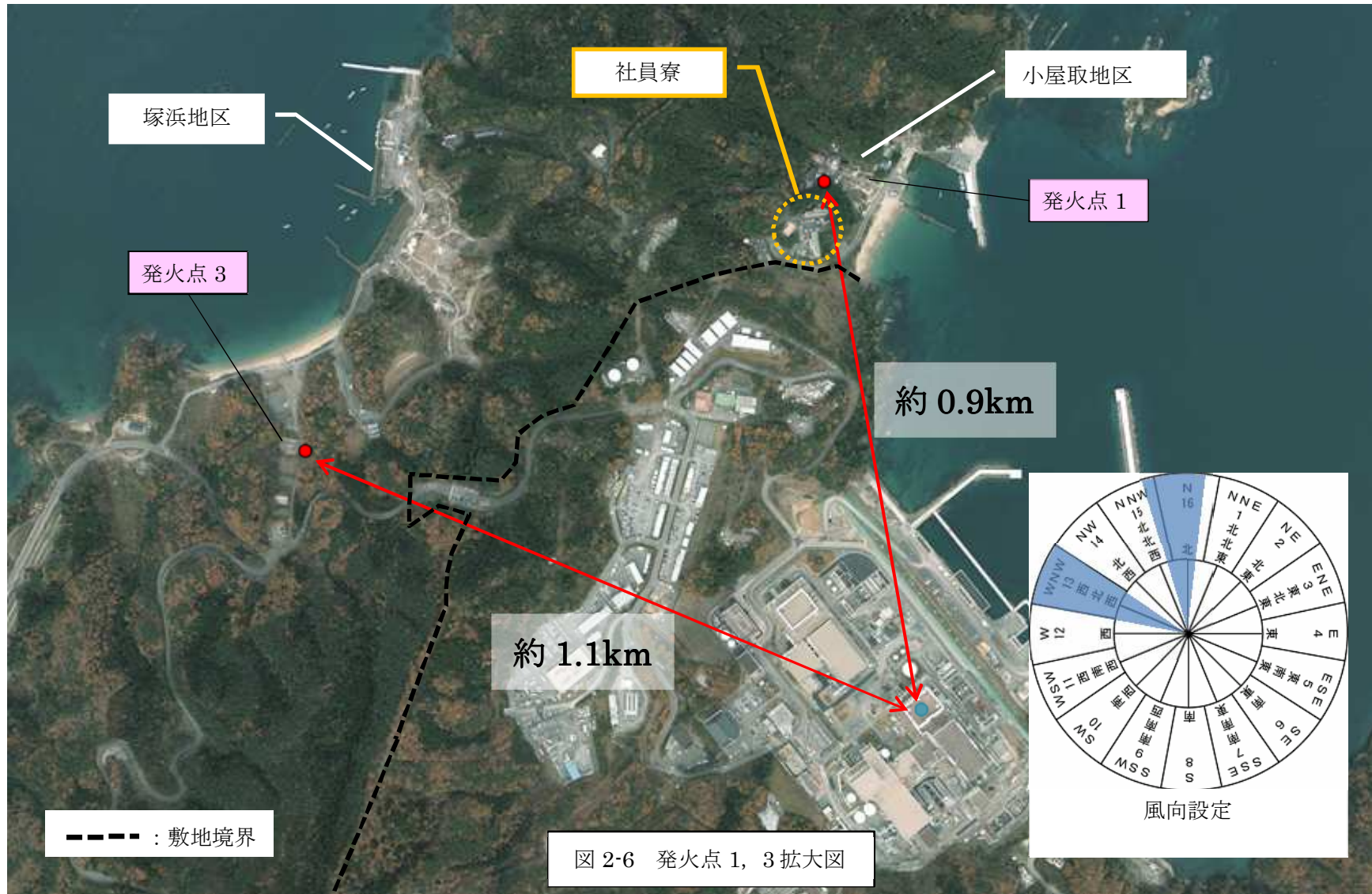


図 2-5 評価発火点 (航空写真)



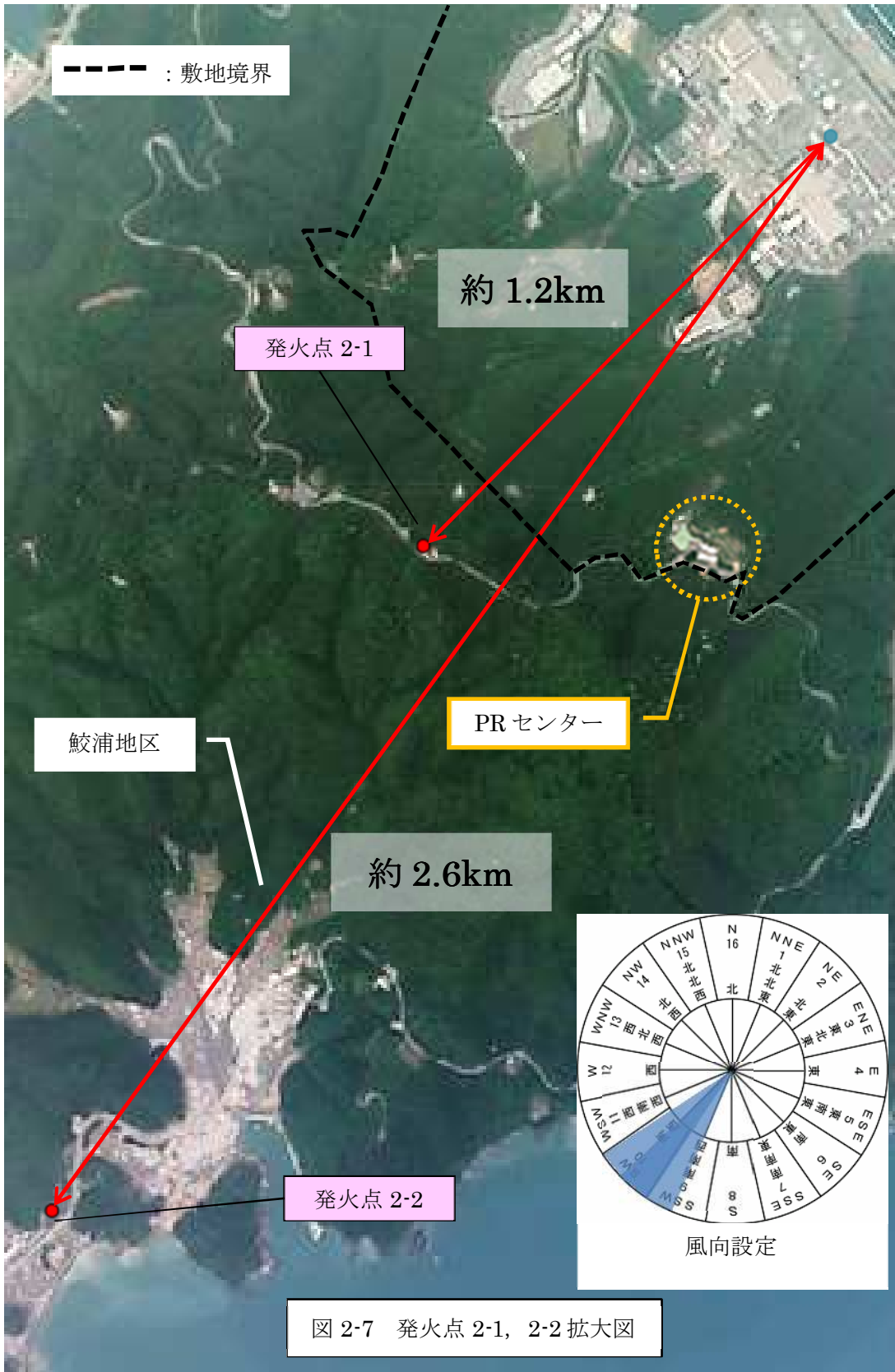


図 2-7 発火点 2-1, 2-2 拡大図

e. 森林火災評価における発火点の妥当性

(a) 発火点 1 (北北東方向) の妥当性

当該地点は荒地であり、発電所への最短の延焼方向は海沿いに限定される。この方向は当社社員寮および森林となっており、発火点を西側へ移動させたとしても付近の植生は森林であり植生データは大きく変わらないことから評価結果に有意な差が出ることはない。

よって、人為的行為を想定し漁港沿いの当該地点を選定した。

(b) 発火点 2-1 (南南西方向) の妥当性

当該県道沿いのまわりは森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を県道沿いに移動させたとしても評価結果に有意な差が出ることはない。

よって卓越風向の方向で県道沿いの近い点を発火点として設定した。

(c) 発火点 2-2 (南南西方向) の妥当性

当該地点付近および延焼方向の田には保守的に **Tall grass** を設定していることならびにまわりは森林であり植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても、当該地点より評価結果が厳しくなることはない。

よって、鮫浦地区を発火点として設定した。

(d) 発火点 3 (西北西方向) の妥当性

当該地点は荒地であり、この地点から発電所方向は森林となっており植生データは大きく変わらないことから、発火点を付近で移動させたとしても評価結果に有意な差が出ることはない。

よって卓越風向の方向で県道沿いの近い点を発火点として設定した。

(2) 発火点に基づく評価

外部火災影響評価ガイドを参照し、「発火点 1」、「発火点 2-1」、「発火点 2-2」および「発火点 3」において森林火災が発生した場合を想定し、森林火災シミュレーション解析コード (**FARSITE**) にて解析を実施した。

表 2-2 森林火災評価のための入力データ一覧

データ種類	外部火災影響評価ガイドの記載	発電所での評価で用いたデータ
土地利用データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの土地利用データを用いる。</p> <p>(国土数値情報 土地利用細分メッシュ)</p>	<p>同左</p> <p>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使用した。</p>
植生データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。</p> <p>森林簿の情報をを用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。</p>	<p>同左</p> <p>宮城県および東北森林管理局より森林簿を入手し、森林簿の情報を基に防火帯周辺の植生調査を実施した。</p> <p>その結果から、保守的に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・林齢により細分化した。</p>
地形データ	<p>現地の状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの標高データを用いる。</p> <p>傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ)</p>	<p>同左</p> <p>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。</p> <p>敷地内は、当社敷地配置図および航空レーザー測量標高データを使用した。</p>
気象データ	<p>現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。</p>	<p>同左</p> <p>森林火災発生件数の多い3月~5月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用した。</p> <p>風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。</p>

(3) FARSITE 入力データについて

a. 土地利用データ・植生データについて

国土数値情報 土地利用細分メッシュ平成21年度（国土交通省）の森林、田畑、建物用地等の土地利用状況をFARSITEの可燃物パラメータとして入力した。

また、土地利用データにおける森林部に対し、森林簿の樹種、林齢データについて確度を上げるために防火帯周辺の植生調査を実施した。

可燃物パラメータの設定については、森林簿および防火帯周辺の植生調査データを確認した上で、保守性を考慮した可燃物パラメータを設定した。

また、マツ、スギ、落葉広葉樹の可燃物パラメータのFARSITE入力は「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）を参考に実施した。

(a) 植生調査について

植生調査は防火帯周辺についてウォークダウンし、樹種、林齢、下草の確認を実施した。

i. 調査内容

一箇所当たり 30m×30m の範囲で目視調査を実施した。

調査内容は、樹種、林齢、下草の堆積厚さ（落枝等の可燃物平均高）とした。

ii. 調査者の力量

植生調査業務に必要な資格（1級造園施工管理技士）を有する者または植生調査業務に10年以上の経験を有している者とした。

iii. 調査体制

(i) 業務指導者（1級造園施工管理技士）の資格を有し、
10年以上の植生調査業務経験者） : 1名

(ii) 植生調査者（10年以上の植生調査業務経験者） : 4名

iv. 調査範囲

調査範囲は、防火帯周辺とした。

（「図 2-8 発電所植生調査範囲および代表的な調査ポイント」参照）

V. 調査期間

平成 26 年 2 月 25 日～28 日、8 月 4 日～5 日、9 月 1 日～3 日

- : 防火帯周辺(幅: 約 100m)
- : 周辺監視区域境界
- : 敷地境界

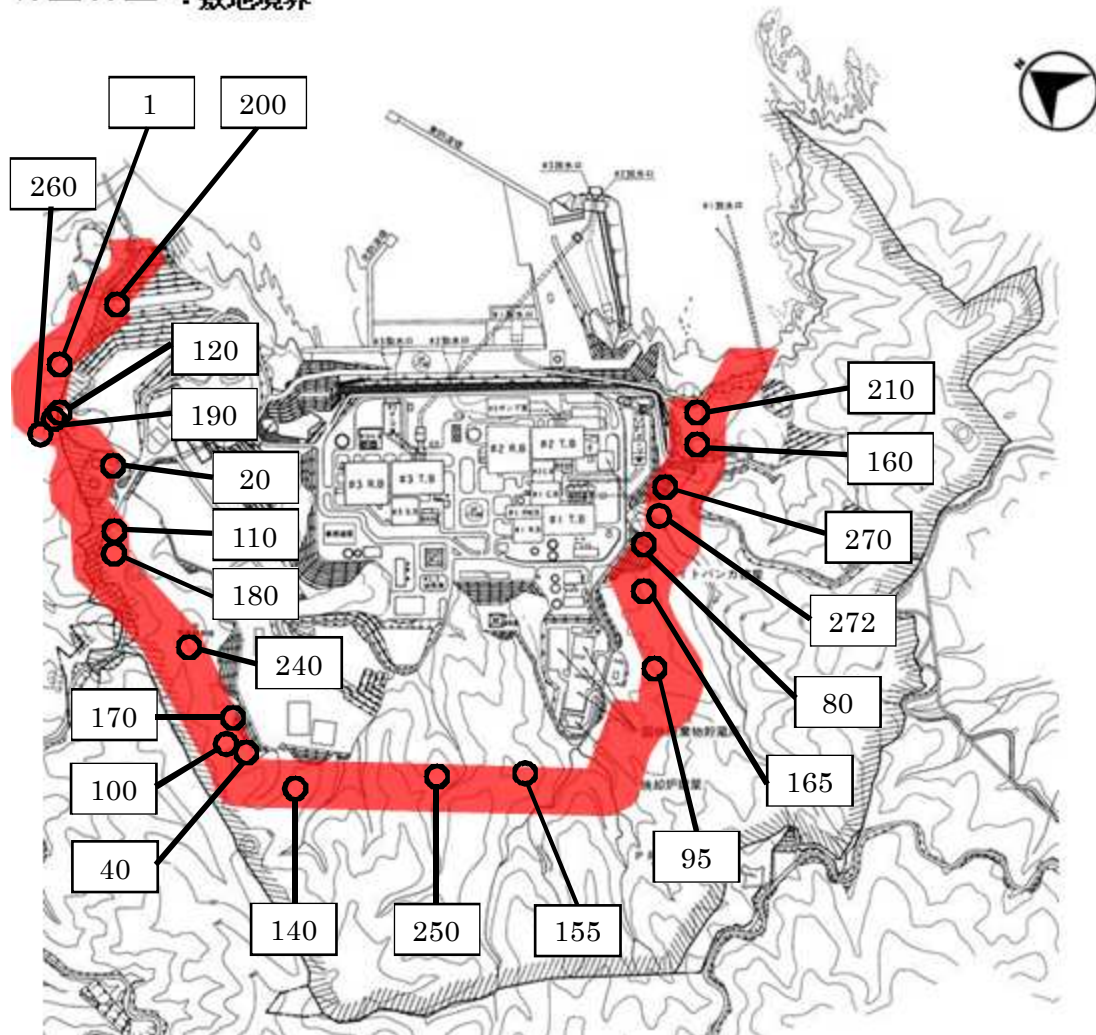


図 2-8 発電所植生調査範囲および代表的な調査ポイント

iv. 植生調査結果

防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生調査結果を以下に示す。

表 2-3 代表的な調査ポイントおよび植生調査結果

調査ポイント	植生調査結果		
	樹種	林齢	下草
1	スギ	40 年生以上	約 20cm
20	マツ	40 年生以上	約 20cm
40	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 20cm
80	Brush	—	約 20cm
95	落葉広葉樹	40 年生以上	約 10cm
100	スギ	30 年生以上 40 年生未満	約 10cm
110	スギ	40 年生以上	約 10cm
120	マツ	40 年生以上	約 10cm
140	マツ	40 年生以上	約 10cm
155	落葉広葉樹	10 年生以上 20 年生未満	約 10cm
160	落葉広葉樹	40 年生以上	約 10cm
165	スギ	40 年生以上	約 10cm
170	マツ	20 年生以上 30 年生未満	約 30cm
180	スギ	40 年生以上	約 30cm
190	マツ	40 年生以上	約 50cm
200	マツ	30 年生以上 40 年生未満	約 60cm
210	落葉広葉樹	20 年生以上 30 年生未満	約 30cm
240	スギ	40 年生以上	約 30cm
250	Brush	—	約 50cm
260	スギ	40 年生以上	約 20cm
270	落葉広葉樹	40 年生以上	約 30cm
272	スギ	40 年生以上	約 30cm

V. 植生調査状況

防火帯周辺における代表的な調査ポイントの植生状況を以下に示す。

①防火帯周辺(1/5)

調査ポイント 80 の写真



植生調査所見

- Brush (茂み)
- Brush は平均 20cm 程度

②防火帯周辺(2/5)

調査ポイント 110



植生調査所見

- ・スギ 40 年生以上
- ・下草は平均 10cm 程度

③防火帯周辺(3/5)

調査ポイント 170



植生調査所見

- ・マツ 20 年生以上 30 年生未満
- ・下草は平均 30cm 程度

④防火帯周辺(4/5)

調査ポイント 210



植生調査所見

- ・ 落葉広葉樹 20 年生以上 30 年生未満
- ・ 下草は平均 30cm 程度

⑤防火帯周辺(5/5)

調査ポイント 240



植生調査所見

- ・スギ 40 年生以上
- ・下草は平均 30cm 程度

(b) 植生入力の保守性について

植生の入力にあたって、地方自治体より入手した森林簿および国土数値情報 土地利用細分メッシュに基づき、入力データを整備しているが、以下のとおり保守的な入力としている。

i. 土地利用細分メッシュからの植生データ入力

(i) ゴルフ場，田およびその他農業用地の植生入力

通常考えられる **Short grass** を保守的に **Tall grass** として **FARSITE** の入力としている。

(ii) 荒地の植生入力

保守的に燃えやすい **Brush** (茂み) を **FARSITE** の入力としている。

ii. 森林簿および植生調査からの植生データ入力

複数混在樹種，林齢より，火線強度の大きいものを代表として **FARSITE** の入力としている。

防火帯周辺の植生調査を実施し，森林簿データに植生調査結果を反映した上で，保守的な可燃物パラメータを入力している。

可燃物パラメータ入力の考え方は，植生調査結果を踏まえ，森林の下草状況，樹種および林齢を考慮し，以下のとおり保守的に林齢を設定した。

表 2-4 林齢の設定

森林簿，植生調査結果	保守的林齢設定後
10 年生未満	10 年生未満
10 年生以上 20 年生未満	10 年生未満
20 年生以上 30 年生未満	10 年生以上 20 年生未満
30 年生以上 40 年生未満	20 年生以上 30 年生未満
40 年生以上	20 年生以上 30 年生未満

iii. 樹冠率の入力

樹冠率は，森林に該当するカテゴリ 3 (50~80%) および 4 (81~100%) の中から，火線強度が強くなるカテゴリ 3 を設定している。

iv. 植生調査結果を踏まえた防火帯周辺の設定可燃物パラメータ
 防火帯周辺における代表的な植生調査結果を踏まえた設定可燃物
 パラメータを以下に示す。

表 2-5 代表的な植生調査結果を踏まえた設定可燃物パラメータ

調査 ポイント	設定する可燃物パラメータ			植生調査結果（参考）		
	樹種	林齢	下草	樹種	林齢	下草
1	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 20cm
20	マツ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	マツ	40年生以上	約 20cm
40	マツ	10年生以上 20年生未満	約 180cm	マツ	20年生以上 30年生未満	約 20cm
80	Brush	—	—	Brush	—	約 20cm
95	落葉広葉樹	—	約 180cm	落葉広葉樹	40年生以上	約 10cm
100	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	30年生以上 40年生未満	約 10cm
110	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 10cm
120	マツ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	マツ	40年生以上	約 10cm
140	マツ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	マツ	40年生以上	約 10cm
155	落葉広葉樹	—	約 180cm	落葉広葉樹	10年生以上 20年生未満	約 10cm
160	落葉広葉樹	—	約 180cm	落葉広葉樹	40年生以上	約 10cm
165	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 10cm
170	マツ	10年生以上 20年生未満	約 180cm	マツ	20年生以上 30年生未満	約 30cm
180	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 30cm
190	マツ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	マツ	40年生以上	約 50cm
200	マツ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	マツ	30年生以上 40年生未満	約 60cm
210	落葉広葉樹	—	約 180cm	落葉広葉樹	20年生以上 30年生未満	約 30cm
240	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 30cm
250	Brush	—	—	Brush	—	約 50cm
260	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 20cm
270	落葉広葉樹	—	約 180cm	落葉広葉樹	40年生以上	約 30cm
272	スギ	20年生以上 30年生未満	約 180cm	スギ	40年生以上	約 30cm

(c) 入力データの設定結果について

入力データ（土地利用および植生データ）の設定結果を図 2-9 に示す。

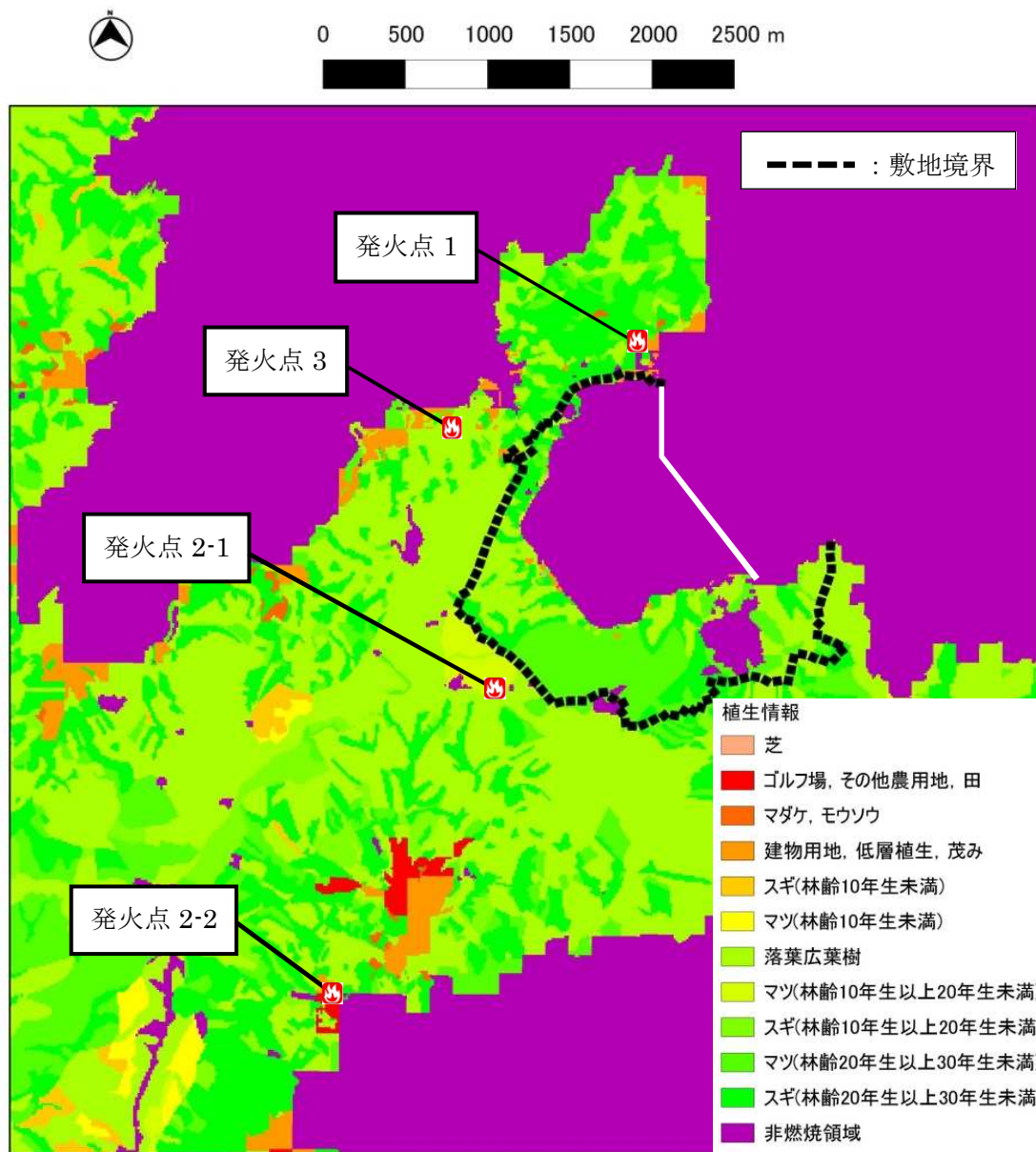


図 2-9 発電所周辺植生分布図

b. 地形データの設定について

発電所敷地外の標高データについては、外部火災影響評価ガイドに従い、現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中で最も空間解像度の高い基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュの標高データを用いた。

東北地方太平洋沖地震に伴う地盤変動の影響については、国土地理院公開の補正パラメータを考慮した。

また、発電所敷地内の標高データについては、屋外配置全体図に記載された敷地標高に、地盤変動量として-1mを加算（=地盤沈下量 1m）した標高値を設定した。

傾斜および傾斜方位データについては、上記の標高データより算出した。

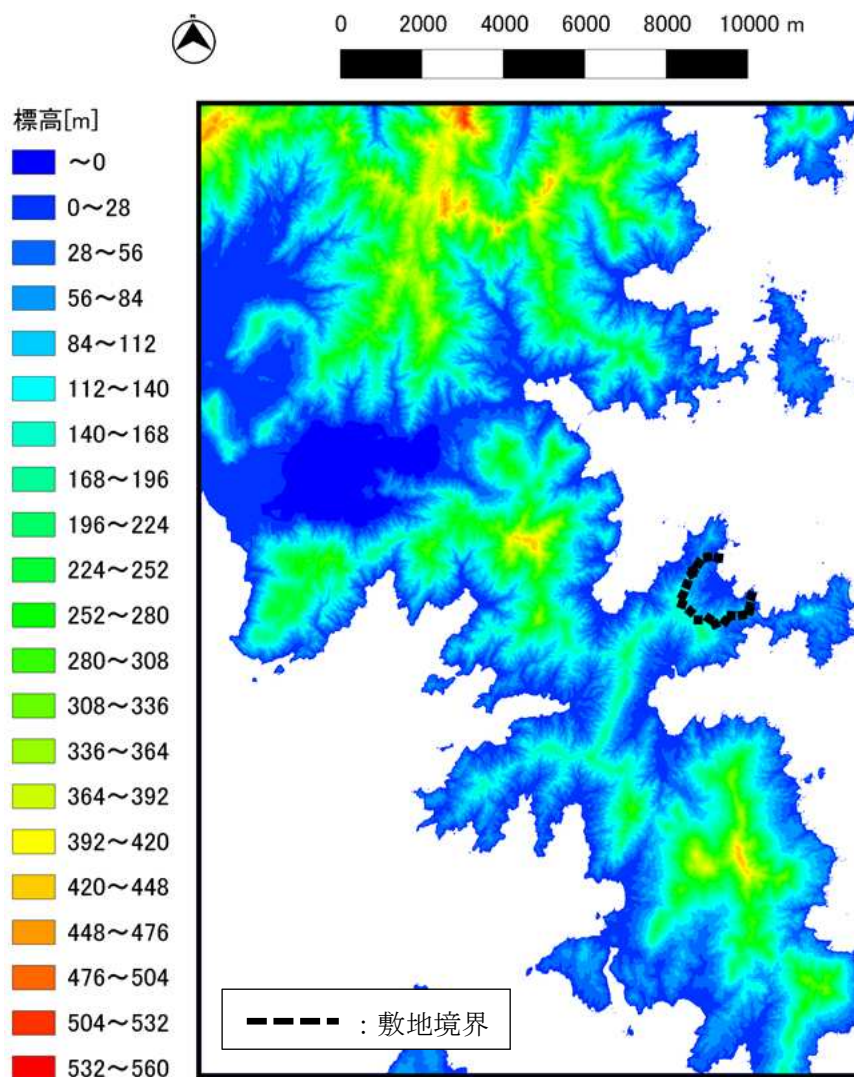


図 2-10 発電所周辺標高データ

c. 気象データの設定について

宮城県防災年報（平成 15 年～平成 24 年）にて記載のある宮城県の森林火災発生件数の第 1 位は 4 月，第 2 位は 3 月，第 3 位は 5 月であることから，調査対象月を 3 月から 5 月とした。（図 2-2 参照）

また，気象データとしては，被ばく評価等で使用している発電所内の気象観測データおよび発電所敷地外の公開情報である気象統計情報（気象庁）があるが，本外部火災評価では発電所敷地外の火災発生・進展を評価することから，気象統計情報（気象庁）のデータを使用し，最大風速，最高気温および最小湿度を選定した。

表 2-6 FARSITE へ入力する気象データ一覧

データ種類	外部火災影響評価ガイドの記載	発電所での評価で用いたデータ	入力項目	条件
気象条件	気象条件は過去 10 年間に調査し，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。	・同左 森林火災の多い月の過去 10 年間の気象条件から最小湿度，最高気温，および最大風速を調査した。	気温	27.8℃
			風速	86km/h (23.8m/s)
			湿度	13%
風向	風向は卓越風向とし，発電所の風上に発火点を設定する。ただし，発火源を発電所の位置関係から風向きを卓越風向に設定することが困難な場合は，風向きデータ等から適切に設定できるものとする。	風向は各発火点から原子炉建屋方向に設定した。	風向	北 南西 南南西 西北西

表 2-7 気象観測データ (3月～5月)

年月	江ノ島				石巻			
	最多風向	最高気温 [°C]	最大風速		最高気温 [°C]	最小湿度 [%]	最大風速	
			風速 [m/s]	風向			風速 [m/s]	風向
2004年3月	西北西	14.2	17	北西	16.3	20	16	西北西
2005年3月	西北西	14.2	15	西北西	12.8	23	16.9	西
2006年3月	西北西	14.1	22	北北東	13.9	14	17.1	西北西
2007年3月	西北西	15	13	北北西	14.7	24	14.7	西北西
2008年3月	西北西	13.7	17	北北東	16.2	23	14.1	西北西
2009年3月	西北西	16.2	14.3	北西	16.9	22	16.7	西北西
2010年3月	西北西	13.5	20.3	北北東	15.9	27	18.2	西北西
2011年3月	西北西	10.6	13.8	西北西	18.6	29	13.6	西北西
2012年3月	北北東	13.1	16.4	北北西	13.4	34	16.6	西北西
2013年3月	西北西	17.2	20.5	西北西	17.5	24	19.5	西北西
2004年4月	西北西	22.1	15	北北西	24.2	17	15.7	西北西
2005年4月	西北西	22.8	16	西北西	25.2	13	17.9	西北西
2006年4月	西北西	18.8	14	北北東	20.1	22	17.3	西北西
2007年4月	西北西	18.5	16	北北東	22	25	14.3	北西
2008年4月	北北東	19.9	20.5	北北東	20.5	15	21.3	北東
2009年4月	西北西	21.5	18.4	北北東	22.4	19	15.6	西北西
2010年4月	西北西	15.2	14.8	西北西	16.1	28	14.0	西北西
2011年4月	欠測(震災による測定データ欠測)				21	19	15.6	北西
2012年4月	西北西	18.7	17.1	南	21.1	20	16.5	南南東
2013年4月	西北西	19.7	18.7	西北西	22.5	18	17.9	西北西
2004年5月	南	24.3	18	北北東	27.2	15	16.7	北東
2005年5月	北北東	21.1	15	北北東	22.8	19	14.4	西北西
2006年5月	南南西	20.9	11	西北西	23.7	30	14.2	東南東
2007年5月	西北西	24	13	北北東	27.8	21	15.7	西北西
2008年5月	北東	22	14.8	南東	24.4	18	16.3	東南東
2009年5月	南南西	23.2	13.5	西	24.9	17	16.5	西北西
2010年5月	西北西	25.2	11.7	北西	27.1	26	13.4	西北西
2011年5月	欠測(震災による測定データ欠測)				22.7	26	23.8	北東
2012年5月	西北西	21.7	12.9	西北西	24.2	23	16.4	東南東
2013年5月	西北西	22.3	14.2	北北東	25.5	27	13.6	西北西
最大値	西北西	25.2	22	北北東	27.8	13	23.8	西北西

(出典：気象庁 HP 気象統計情報)

- 過去 10 年間における火災発生件数の多い、3月～5月の気象データを整理する。
- 過去 10 年間における 3月～5月の最小湿度、最高気温および最大風速を選定している。

(4) FARSITE の解析結果 (延焼状況結果)

各発火点による解析結果を以下に示す。

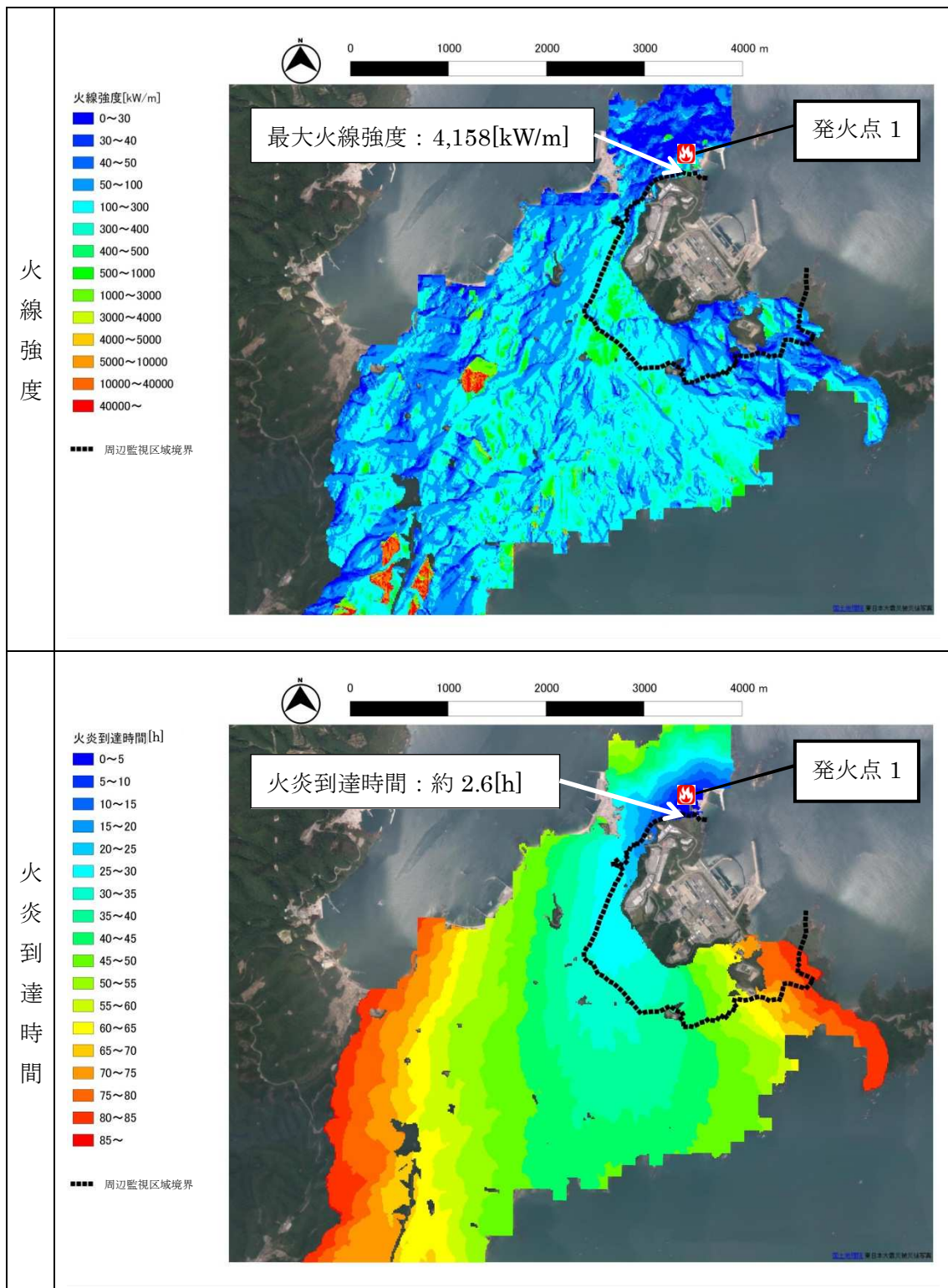


図 2-11 発火点 1 : 北 (小屋取漁港道路沿い) の火線強度および火炎到達時間

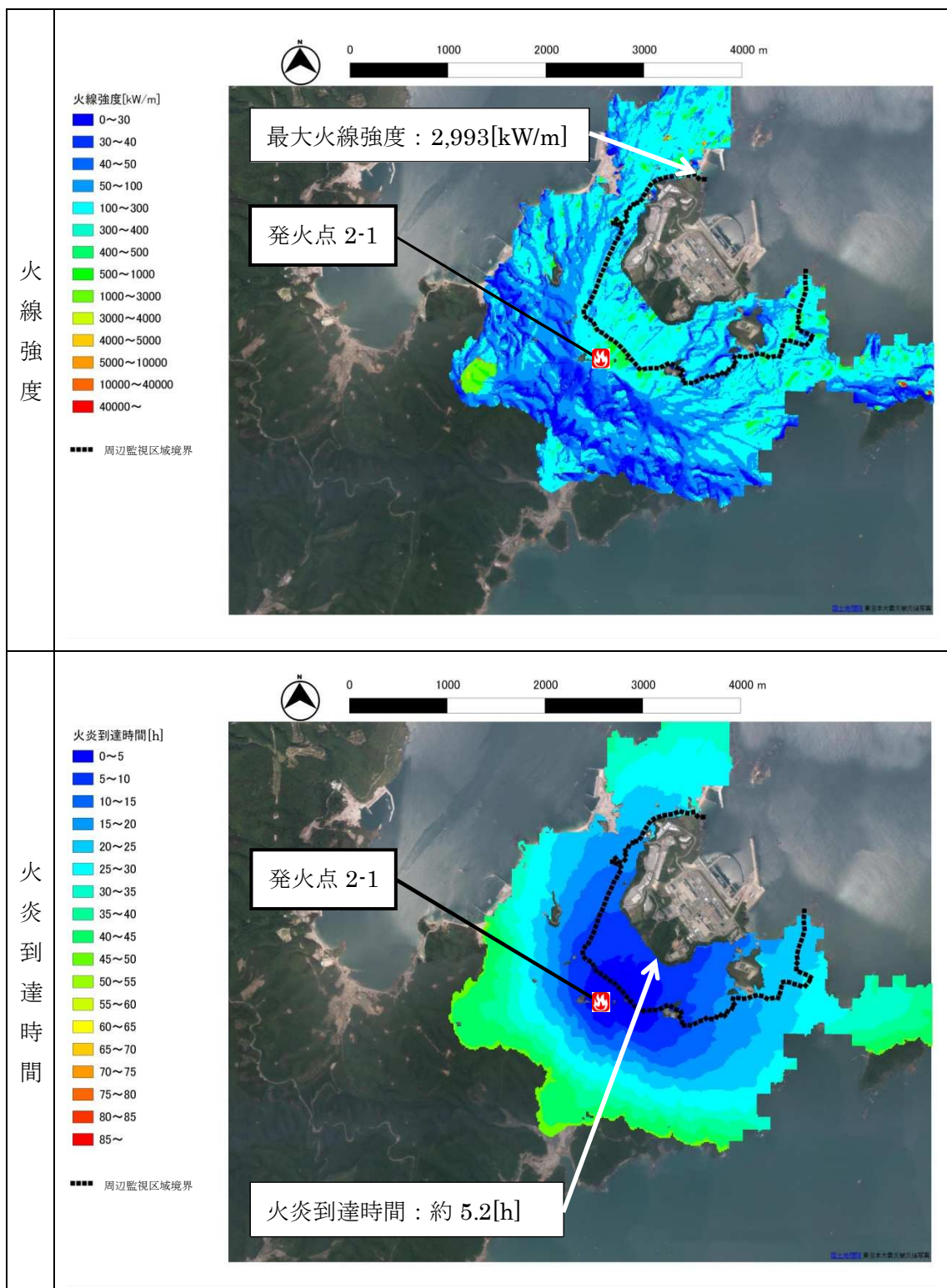


図 2-12 発火点 2-1：南西（県道 41 号線沿い）
の火線強度および火炎到達時間

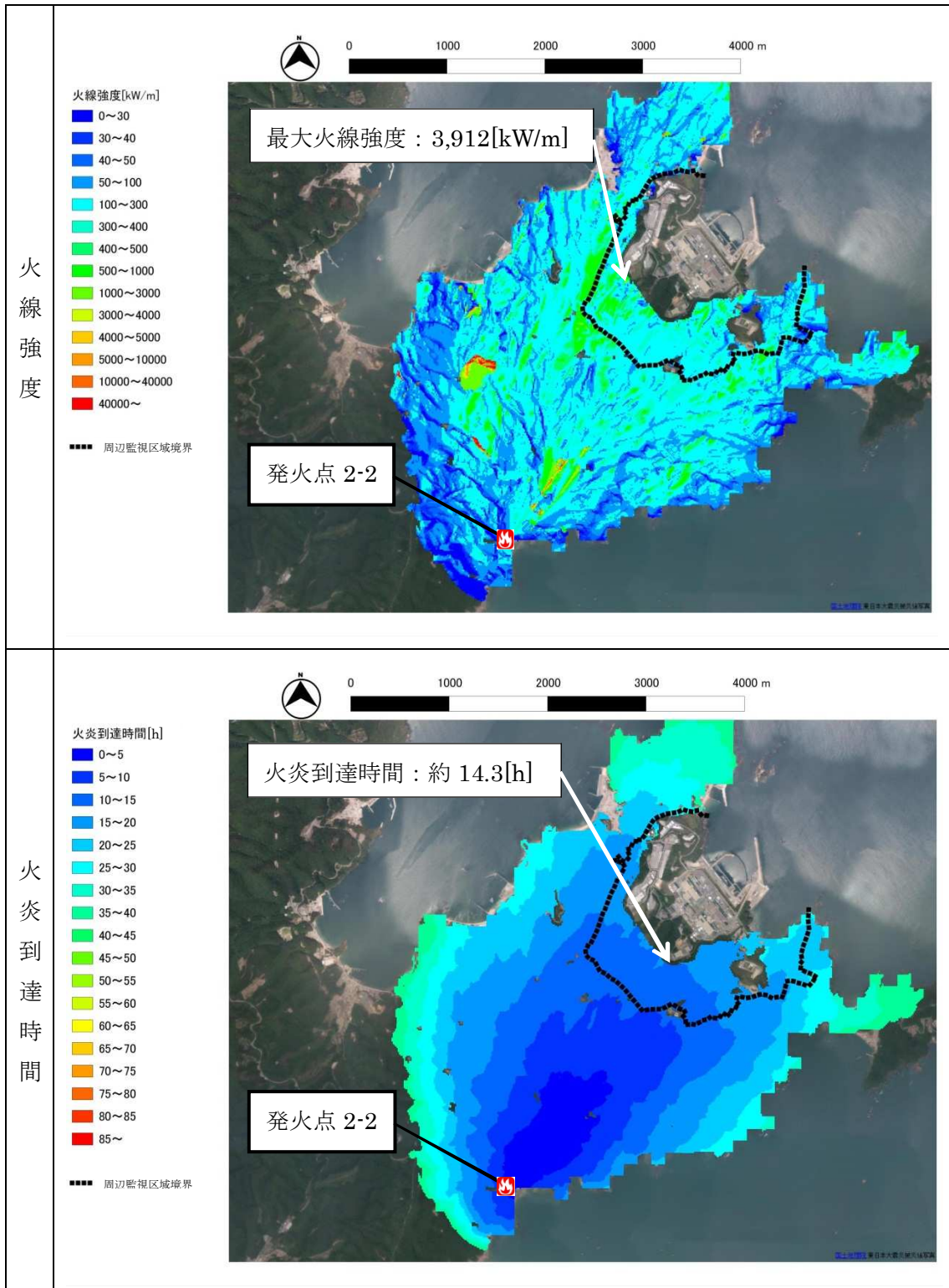


図 2-13 発火点 2-2：南南西（鮫浦地区（田））
の火線強度および火炎到達時間

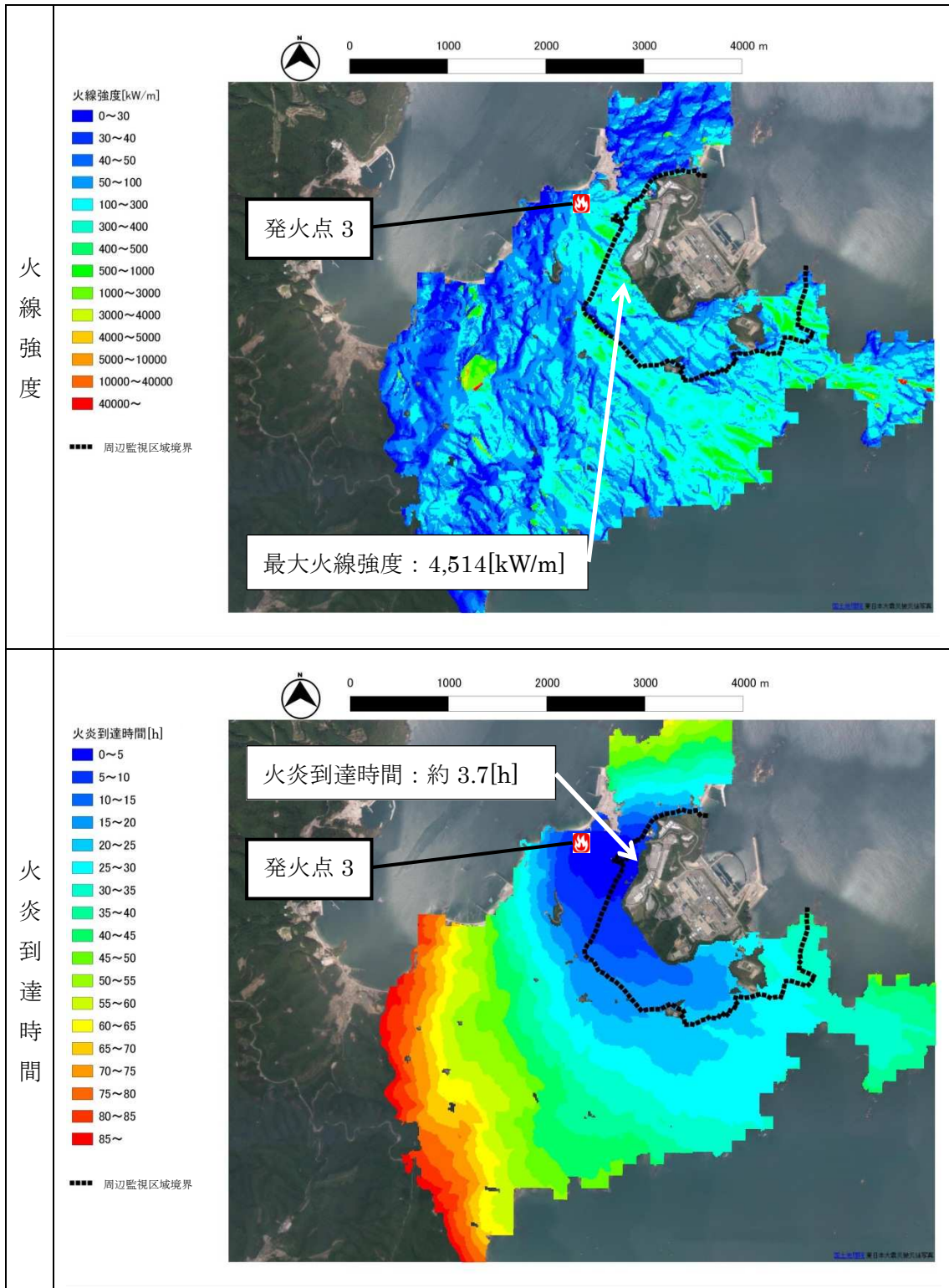


図 2-14 発火点 3：西北西（塚浜地区道路沿い）の火線強度および火炎到達時間

a. 最大火線強度と火炎到達時間について

防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度、火炎が防火帯外縁に最も早く到達する火炎到達時間は以下のとおりとなり、最も火線強度が高かった発火点 3 の結果から防火帯幅を決定する。火炎到達時間については、発火点 1 が最も早く到達する結果となった。

表 2-8 解析結果

発火点位置	最大火線強度 [kW/m]	火炎到達時間 [h]	最大火線強度 出現時刻
発火点 1	4,158	約 2.6	12:36
発火点 2-1	2,993	約 5.2	11:51
発火点 2-2	3,912	約 14.3	11:52
発火点 3	<u>4,514</u>	約 3.7	12:28

FARSITE 解析における主な入力パラメータは保守的な設定（添付－4 参照）としているが、他に解析結果に影響するパラメータとしては最大火線強度の出現時刻（日射量に影響を及ぼす）がある。

最大火線強度出現時刻の保守性を確認するため、最大火線強度が最も大きい発火点 3 について 9 パターンの出火時刻を入力して最大火線強度出現時刻の感度解析を実施した。

表 2-9 に示すとおり、最大火線強度は日中帯（10 時～14 時頃）に高くなる傾向がある。これは日射により可燃物の水分量変化を計算上考慮しているためである。

表 2-9 感度解析結果

発火点 3 出火時刻	14:30	0:30	19:30	3:29	5:00	5:29	6:30	7:29	10:00
最大火線強度出現時刻	7:44	8:37	10:23	10:50	12:06	12:28	13:19	14:00	16:30
最大火線強度[kW/m]	3,287	3,390	2,908	3,649	3,269	4,514	3,550	4,210	2,317

b. 防火帯幅について

外部火災影響評価ガイドに基づき、防火帯外縁より約 100m の範囲における最大火線強度から「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が 19.8m であるため、20m の防火帯幅を確保することにより延焼による防護対象設備への影響がないことを確認した。

最大火線強度 4,514 [kW/m] (発火点 3)



表 2-10 風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係
(火炎の防火帯突破確率 1%)

火線強度 (kW/m)	500	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	10,000	15,000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7

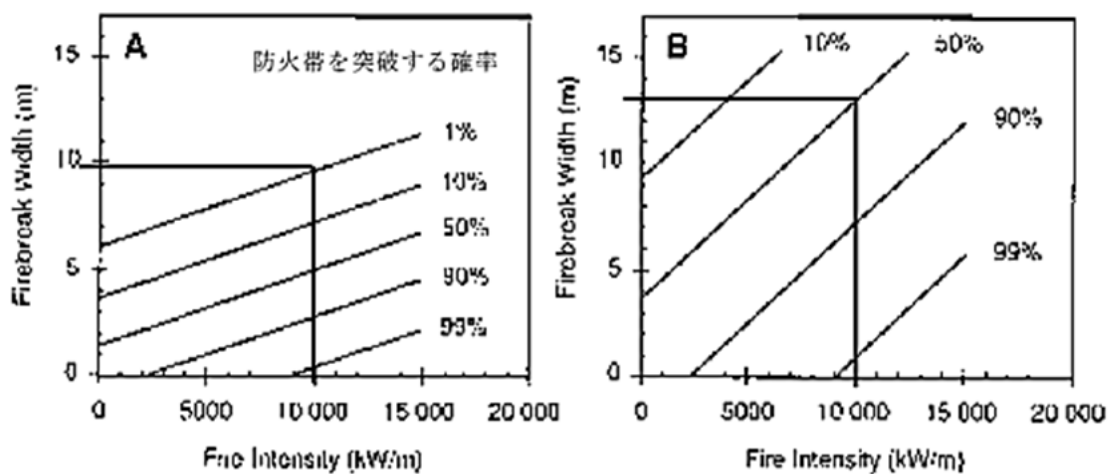
(出典：外部火災影響評価ガイド)



評価上必要とされる防火帯幅 19.8m



防火帯幅 20m



防火帯幅と防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合 防火帯幅と防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合

図 2-15 火線強度に対する防火帯の相関図 (出典：外部火災影響評価ガイド)

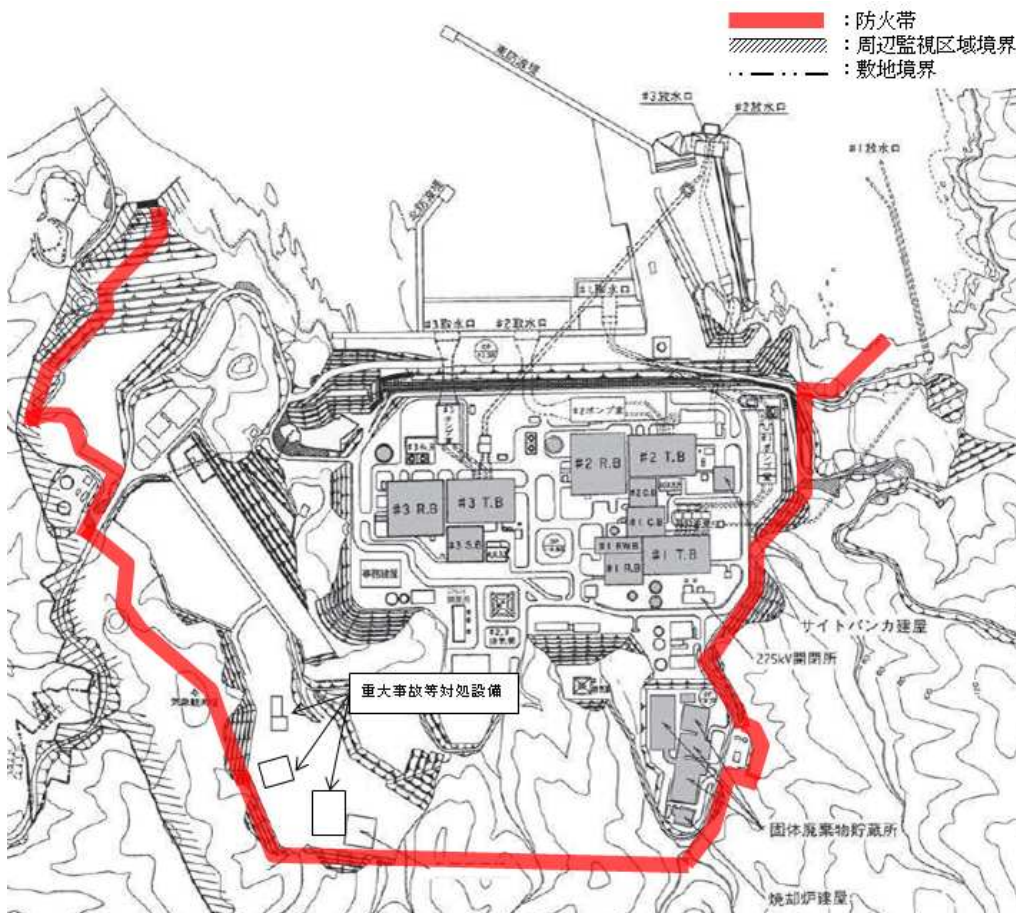
(5) 防火帯の設定について

防火帯の設定および管理については以下のとおりとする。

- a. 森林火災の延焼を防止するために、防火帯を設定する。
- b. 防火帯は防護対象設備（クラス 1, 2）（固体廃棄物貯蔵所および開閉所等の一部クラス 3 設備を含む）および重大事故等対処設備を囲うように設定する。
- c. 防火帯は発電所設備および駐車場の配置状況を考慮し、干渉しないように設定する。
- d. 防火帯は、メンテナンスフリーとなるようモルタル吹付仕様を原則とする。なお、現場状況に応じて、重機にて維持管理が容易な土壤暴露箇所等があれば一部下草管理も考慮する。

(添付－7 参照)

- e. 防火帯は、燃焼物および初期消火活動に支障となる物品が存在しないことを確認するとともに、除草等の管理を行う。



(6) 温度影響評価

a. 温度影響評価の流れ

FARSITE 出力より得られた、到達時間、反応強度および火炎長より、各建屋のコンクリート表面温度を評価する。(図 2-16 参照)

なお、FARSITE 出力項目を表 2-11 に、発火点毎の FARSITE 解析結果を表 2-12 に示す。

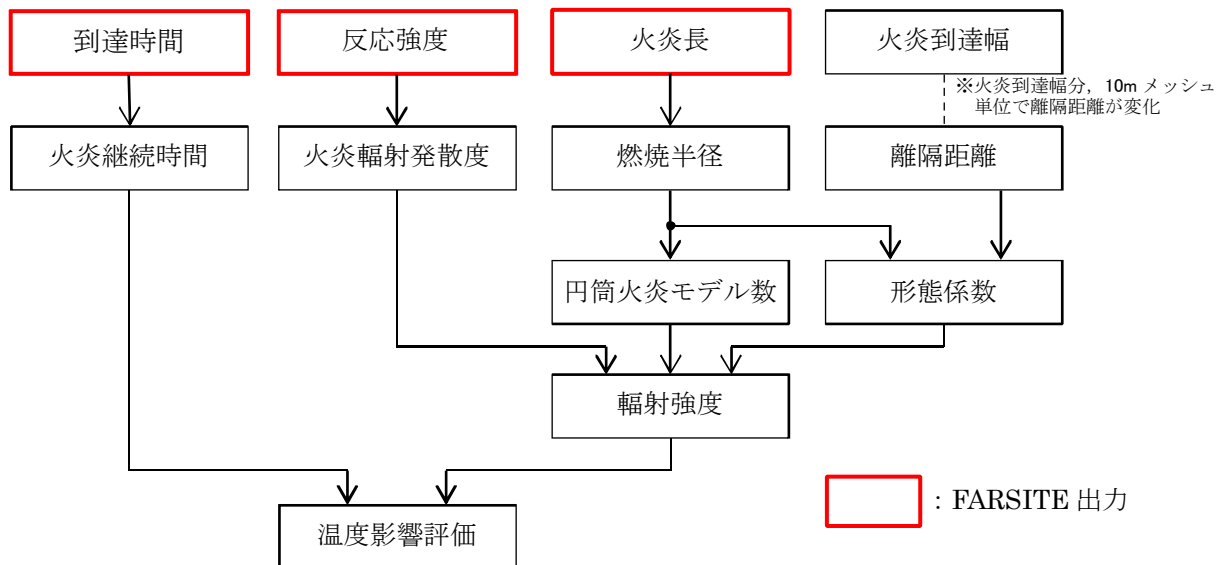


図 2-16 温度影響評価 (概要図)

表 2-11 FARSITE 出力項目 (温度影響評価関係)

項目		内容 (用途)
FARSITE 出力	到達時間 [h]	出火から火災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)
	反応強度 [kW/m ²]	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射発散度の根拠となる火災規模 (火炎輻射発散度の算出)
	火炎長 [m]	火炎の高さ (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
FARSITE 出力より算定したデータ	火炎継続時間 [h]	到達時間から算出 (円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	火炎輻射発散度 [kW/m ²]	発電所防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度 (最大) に米国防火協会 (NFPA) の係数 0.377*1 を乗じて算出 (円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出)
	燃焼半径 [m]	火炎長に基づき算出 (円筒火炎モデルの形態係数の算出)
	火炎到達幅 [m]	発電所敷地境界の火炎最前線の長さ (円筒火炎モデル数の算出)

※1 NFPA 「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering」 に定める針葉樹の係数

表 2-12 FARSITE 解析結果

項目	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
発火点	小屋取漁港道路沿い (北側へ 約 0.9km 地点)	県道 4 1 号線沿い (南西側へ 約 1.2km 地点)	鮫浦地区 (田) (南南西側へ 約 2.6km 地点)	塚浜地区道路沿い (西北西側へ 約 1.1km 地点)
火炎継続時間 [h]	0.37	0.60	0.10	0.17
最大火炎輻射 発散度 [kW/m ²]	494	417	424	428
火炎長 [m]	0.6	0.8	1.3	0.9
燃焼半径 [m]	0.2	0.3	0.5	0.3
円筒火炎 モデル数	28	21	12	19
火炎到達幅 [m]	2190	2190	2190	2190
形態係数 ^{※1} [-]	0.003	0.003	0.006	0.004
輻射強度 ^{※1} [kW/m ²]	0.04	0.04	0.08	0.05

※1 評価対象との離隔距離により異なる。(代表として 2 号炉原子炉建屋を記載)

b. 円筒火炎モデル数の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき、10m メッシュ内における円筒火炎モデル数 (\dot{F}) を次式により算出する。

なお、火炎長については、防火帯外縁より約 100m 以内における反応強度 (最大) の位置における値とする。

$$\dot{F} = \frac{10}{2R} \quad R = \frac{H}{3}$$

H : 火炎長 [m]

R : 燃焼半径 [m]

c. 形態係数の算出

外部火災影響評価ガイドに基づき形態係数を算出する。なお、各円筒火炎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。

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

ここで、 $m = \frac{H}{R} \approx 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

L : 受熱面から円筒火炎モデルまでの離隔距離[m]

d. 輻射強度の算出

各時刻における受熱面への輻射強度 (E) は次式で計算する。

$$E = \phi \times \dot{F} \times R_f \text{ (中心火炎の場合) [kW/m}^2\text{]}$$

$$E_n = \phi_n \times \dot{F} \times R_f \times 2 \text{ (中心以外の火炎の場合) [kW/m}^2\text{]}$$

R_f : 最大火炎輻射発散度 [kW/m²]

\dot{F} : 円筒火炎モデル数(10m メッシュ)

ϕ : 中心火炎の形態係数

ϕ_n : 中心以外の火炎の形態係数

e. 火炎到達幅

森林火災が収束するまでに、防火帯外縁で延焼している範囲を火炎到達幅 (W) とし、この範囲の燃焼が受熱面へ与える影響を輻射強度により評価する。

本評価に用いる火炎到達幅 (W) は、以下のとおり延焼方向に対し、垂直な線上の火炎前線を投影した長さとした。

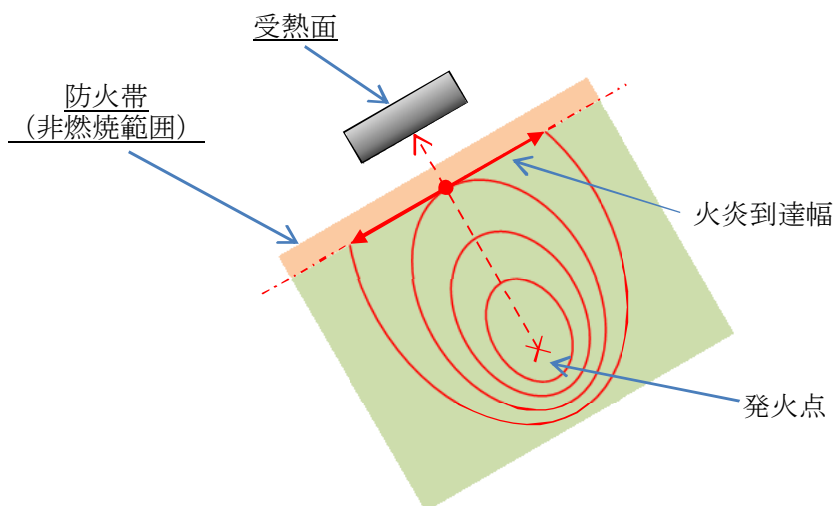


図 2-17 火炎到達幅イメージ

f. 火炎継続時間

防火帯外縁より約 100m 以内における最大火炎輻射発散度発生位置と隣接位置（火炎伝播方向）における延焼到達時間の差を火炎継続時間とする。

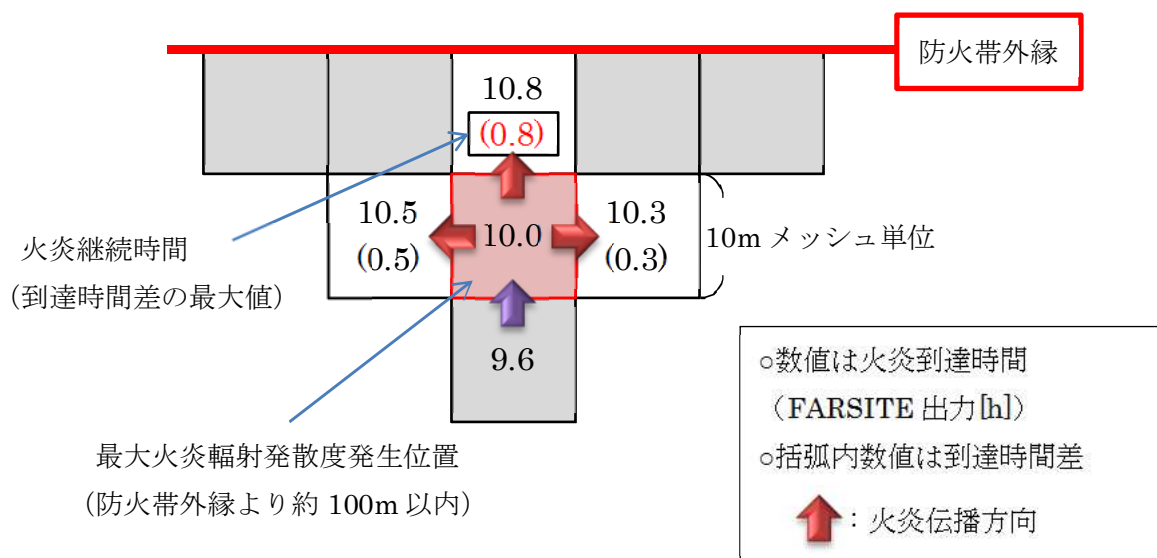


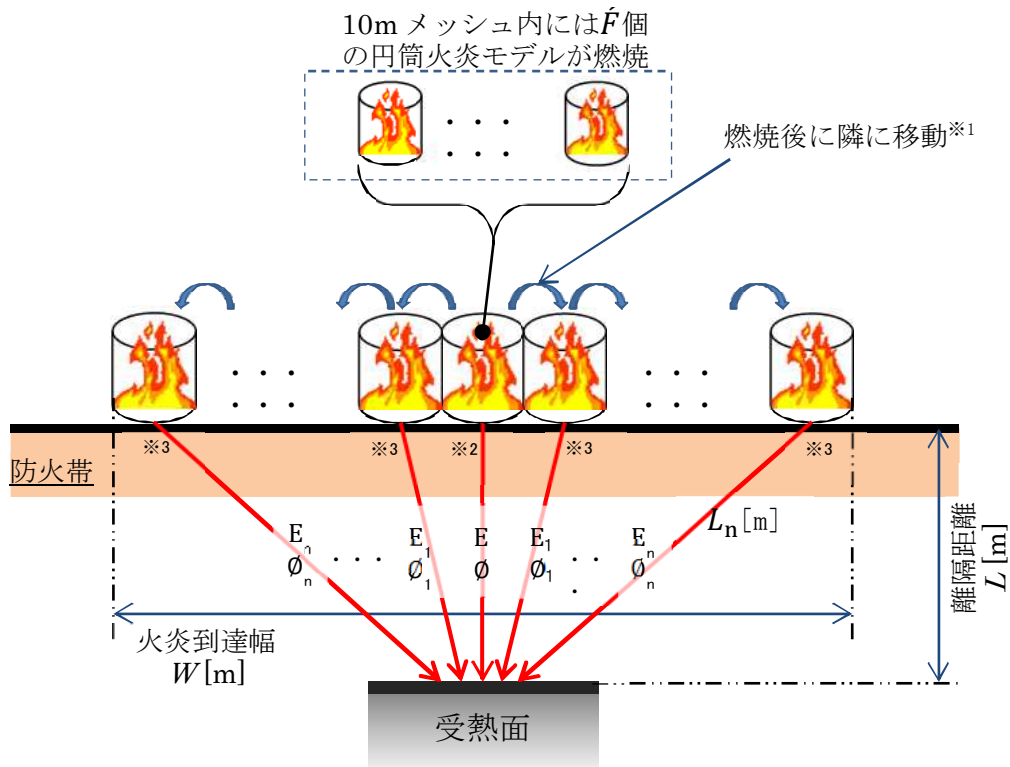
図 2-18 火炎継続時間概念図

g. 温度の算出方法

(a) 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、各々の輻射強度を積算し評価する。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の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とする。



- ※1 燃焼時間は火炎継続時間とし、10m メッシュ単位で移動する。
- ※2 F 個分の円筒火炎モデルから放射
- ※3 F 個分の円筒火炎モデルを2箇所から放射

図 2-19 温度影響評価概念図

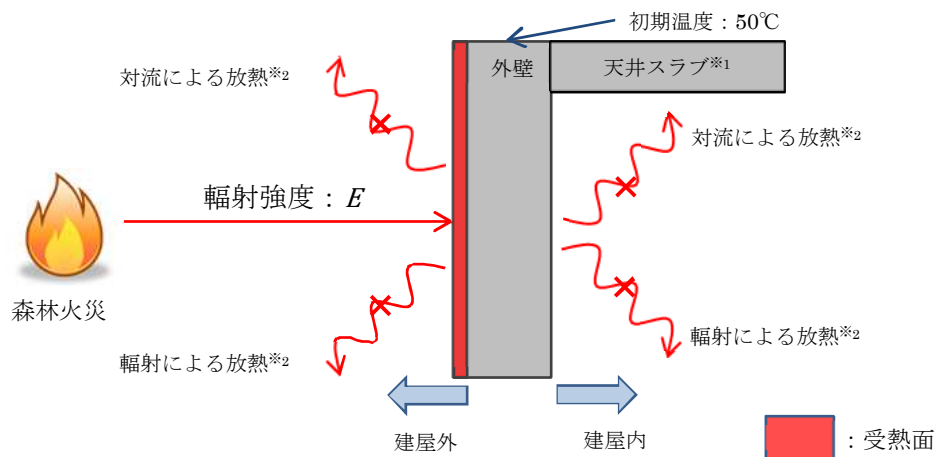
(b) 原子炉施設外壁温度の算出

火災源からの輻射熱による外壁温度の評価については、一次元非定常熱伝導方程式を有限差分法により導出した離散式により算出する。

ここで、本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

(添付-1 参照)

なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。



※1：天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

※2：コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

図 2-20 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

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

T : 外壁温度 [°C]
 ρ : コンクリート密度 (2400 kg/m³)
 C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
 λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
 x : コンクリート深さ
 t : 火災継続時間 (s)

(c) 建屋外壁表面温度初期値

火災源からの輻射熱による建屋外壁の表面温度の評価において、その外壁表面温度の初期値 50°C については、室内温度 40°C に日射による実効温度差 4°C を加えて求めた相当外気温度 44°C より設定している。外気温度は室温よりも低いことから、外気温度の変動を考慮しても保守的である。

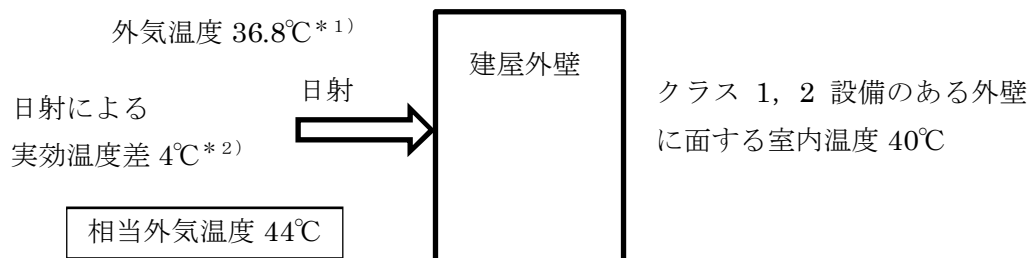


図 2-21 建屋外壁表面温度評価モデル

*1：石巻・女川・江ノ島の過去 10 年間の最高気温の最高値（気象庁ホームページより）

*2：実効温度差は、「空気調和衛生工学便覧第 13 版」東京における実効温度差におけるタイプⅣの最大値を使用。なお、室内温度は 40°C とする。

(d) 復水貯蔵タンク温度の算出

火災源からの輻射熱による復水貯蔵タンク温度の評価については、次式の温度評価式により算出する。

ここで、本火災影響評価で用いる許容温度については、復水貯蔵タンクの最高使用温度である 66℃とする。

なお、復水貯蔵タンク温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

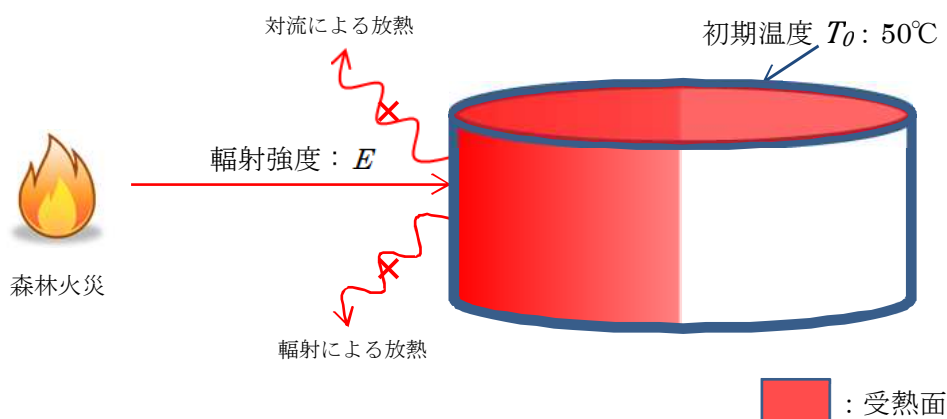


図 2-22 受熱面積のイメージ

$$T - T_0 = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

- T_0 : 初期温度(50[℃])
- E : 輻射強度[W/m²]
- t : 燃焼継続時間[s]
- D_o : タンク外径(20.012[m])
- h : タンク円筒高さ(11.8[m])
- ρ_w : 水の密度(979.9 [kg/m³]) ※1
- C_{pw} : 水の比熱(4186 [J/kg/K]) ※1
- V : 水の体積(690[m³])
- ρ_s : タンク壁材密度(7860[kg/m³]) ※2
- C_{ps} : タンク壁材比熱(473[J/kg/K]) ※2
- D_i : タンク内径(20.0[m])
- e : タンク最小板厚(0.006[m])

※1 : 伝熱工学資料第5版記載値 (軽水) を 66℃となるように線形補間した値

※2 : 伝熱工学資料第5版記載値 (キルド鋼)

(e) 排気筒温度の算出

火災源からの輻射熱による排気筒温度については、次式の温度評価式により算出する。

ここで、本火災影響評価で用いる排気筒の許容温度として、排気筒に使用されている鋼材材質（SMA400AP，STK400，SS400）から、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に規定されている当該鋼材の制限温度である 350℃を許容温度とする。

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。排気筒円筒材の境界条件の模式図を図 2-23 に示す。

なお、評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が森林火災との距離が近いこと（図 2-24 参照），材質も支持鉄塔は SS400 および STK400，筒身では SMA400AP であり，物性値が軟鋼で同一であることから，支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

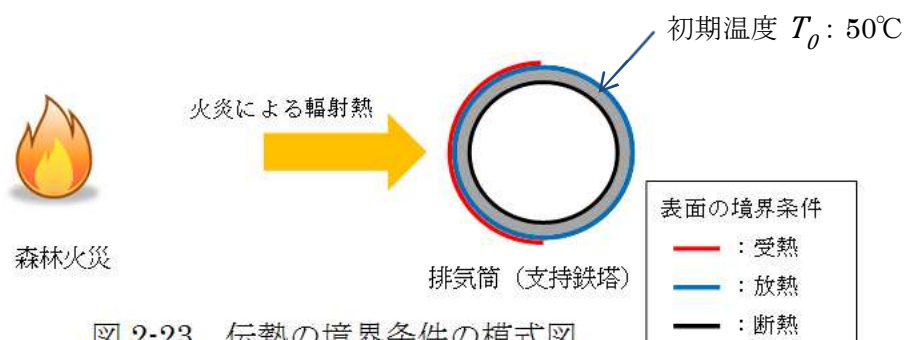


図 2-23 伝熱の境界条件の模式図

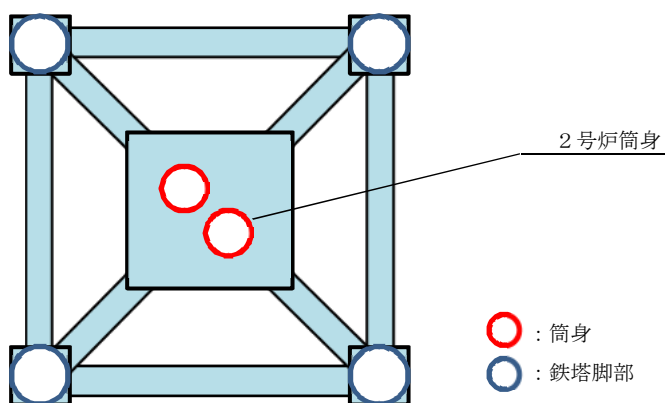


図 2-24 排気筒概略図

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T_{max} は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T_{max} - T_0)$$

ε : 吸収率 0.9[-]
 E : 輻射強度 [W/m²]
 D_o : 外径 [m]
 h : 熱伝達率 17 [W/m²/K]
 T_0 : 初期温度 50 [°C]

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると

$$T_{max} - T_0 = \frac{\varepsilon E}{2h}$$

と表せ、これを用いて温度評価を実施し、許容温度 350°C以下であることを確認した。

h. 温度評価結果

(a) 原子炉施設における外壁温度の影響評価結果

温度評価結果は表 2-13 のとおり、原子炉施設外壁温度が最大となる発火点 3 のケースでも約 56°Cであり許容温度 200°C以下であることを確認した。

ここで、離隔距離を調整し、外壁温度が 200°Cとなる場合の距離を危険距離として評価した。

なお、一番厳しい結果となった発火点 2-1 における危険距離は 18m となり、防火帯外縁から原子炉施設までの離隔距離は最短で約 150m であるため、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

(b) 復水貯蔵タンクにおける温度影響評価結果

温度影響評価結果は表 2-14 のとおり、復水貯蔵タンクにおける表面温度が最大となる発火点 1 および発火点 2-1 のケースでも約 51°Cであり許容温度 66°C以下であることを確認した。

ここで、離隔距離を調整し、復水貯蔵タンク温度が 66°Cとなる場合の距離を危険距離として評価した。

なお、一番厳しい結果となった発火点 2-1 における危険距離は 10m となり、防火帯外縁から復水貯蔵タンクの離隔距離は最短で約 332m であるため、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

(c) 排気筒における温度影響評価結果

温度影響評価結果は表 2-15 のとおり、排気筒における表面温度が最大となる発火点 2-2 のケースでも約 52℃であり、許容温度 350℃以下であることを確認した。

ここで、離隔距離を調整し、排気筒温度が 350℃となる場合の距離を危険距離として評価した。

なお、一番厳しい結果となった発火点 2-2 における危険距離は 15m となり、防火帯外縁から排気筒の離隔距離は最短で約 299m であるため、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

表 2-13 原子炉施設外壁温度評価結果

項目	発火点	原子炉建屋	制御建屋	タービン建屋	1号炉制御建屋	海水ポンプ室※	固体廃棄物貯蔵所
外壁温度 [℃]	1	約 53	約 54	約 55	約 55	—	約 72
	2-1	約 54	約 55	約 56	約 56	—	約 82
	2-2	約 53	約 54	約 55	約 55	—	約 73
	3	約 53	約 54	約 54	約 54	—	約 70
防火帯外縁からの最短距離 [m]	1	約 219	約 169	約 153	約 150	約 294	約 50
	2-1						
	2-2						
	3						
危険距離 [m]	1	15	15	15	15	—	15
	2-1	18	18	18	18	—	18
	2-2	15	15	15	15	—	15
	3	14	14	14	14	—	14

※ 海水ポンプ室設置機器については、地下ピット方式のため輻射熱の影響は直接受けない。

(添付-2 参照)

表 2-14 復水貯蔵タンク温度影響評価結果

項目	復水貯蔵タンク			
	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
温度 [℃]	約 51	約 51	約 51	約 51
防火帯外縁からの最短距離 [m]	約 332	約 332	約 332	約 332
危険距離 [m]	6	10	4	4

表 2-15 排気筒温度影響評価結果

項目	排気筒			
	発火点 1	発火点 2-1	発火点 2-2	発火点 3
温度 [°C]	約 51	約 51	約 52	約 51
防火帯外縁からの最短距離 [m]	約 299	約 299	約 299	約 299
危険距離 [m]	9	10	15	11

i. まとめ

各原子炉施設の温度影響評価を実施し、各々の許容温度以下であることおよび防火帯外縁から各原子炉施設までの最短距離が危険距離以上であることを確認した。なお、確保する防火帯幅は危険距離以上である。

以上の結果により、森林火災における熱影響により安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に影響を及ぼすことはない。

(7) 初期消火活動の対応について

a. 火炎到達時間

防火帯への火炎到達時間については、発火点 1 が最も早く到達する結果となった。

発火点位置	防火帯到達時間[h]
発火点 1	約 2.6
発火点 2-1	約 5.2
発火点 2-2	約 14.3
発火点 3	約 3.7

b. 外部火災の覚知方法

(a) 発電所敷地内および発電所敷地境界付近における火災の覚知方法としては、24 時間常駐している警備員および運転員によるパトロールならびに通常勤務の構内の社員および協力会社従業員による覚知が可能である。

i. 発見者は、消防機関へ直接 119 番通報し、その後、発電課長へ連絡する。

ii. 発電課長は、発見者からの連絡を受けた場合は、消防機関へ 119 番通報したかどうか確認し、未通報の場合は中央制御室より通報を行う。

(b) 発電所敷地外における火災の覚知方法としては、事務所内に設置している近隣自治体の防災行政無線により受信する。

なお、覚知以外として設置許可基準規則第 26 条に基づき、中央制御室に設置する自然現象等を把握するための設備（監視カメラ）において、森林火災の状況を把握することが可能なよう監視範囲を設定する。

また、森林火災が発生した場合には、監視可能な範囲において監視カメラによる監視強化を実施する。

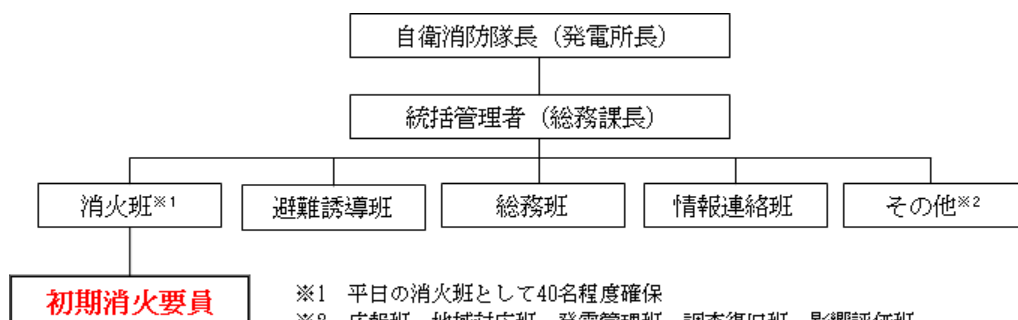


図 2-25 自衛消防隊体制

表 2-16 初期消火要員の役割 (24 時間初期消火要員常駐)

要員		人数	役割
通報連絡責任者		1 名	<ul style="list-style-type: none"> 消防署への通報連絡 初期消火要員への出動要請
現場指揮者		1 名	<ul style="list-style-type: none"> 火災現場での消火指揮 消火器または消火栓による消火活動等
情報提供担当者		1 名	<ul style="list-style-type: none"> 公設消防への情報提供 火災現場への誘導
消火担当		2 名 (内委託員 1 名)	<ul style="list-style-type: none"> 火災現場確認 消火器または消火栓による消火活動 消防車隊の補助 (消防ホースの延長, 泡消火薬剤補充作業) 等
消防車隊	消防車隊長	1 名 (委託員)	<ul style="list-style-type: none"> 消防車隊, 消火担当の消防指揮 消防自動車のアクセスルートおよび配置場所の指示等
	放水員	2 名 (委託員)	<ul style="list-style-type: none"> 消防自動車による消火活動 (筒先) 消防ホースの延長等
	水槽付消防ポンプ自動車および化学消防自動車機関員	2 名 (委託員)	<ul style="list-style-type: none"> 水槽付消防ポンプ自動車, 化学消防自動車の機関員 水槽付消防ポンプ自動車, 化学消防自動車の連結作業 消防ホースの延長等

表 2-17 消防自動車

	化学消防自動車	水槽付消防ポンプ自動車
		
配備台数	1 台	1 台
水槽容量	1,300 リットル	1,300 リットル
泡消火薬剤容量	500 リットル	—
ポンプ性能	2,000 リットル/分	2,000 リットル/分
吐水口	400 リットル/分×2 口×両面	400 リットル/分×2 口×両面

c. 初期消火活動評価

- (a) 自衛消防隊の初期消火要員（10 名）が 24 時間常駐（防火帯内外に分散常駐）しており，森林火災覚知後，防火帯内に配備している消防自動車により，早期に予防散水の開始が可能である。（添付-5 参照）
- (b) 発火点を火炎到達時間が最も短い発火点 1（小屋取漁港：発電所の北側約 0.9km）とし，防火帯境界での初期消火活動について評価する。
- (c) 火炎到達時間約 2.6 時間に対して，保守的に防火帯境界外にある消火地点（モニタリングポストNo.6）で評価しても，過去の訓練実績から想定した約 0.6 時間内に初期消火活動が可能であることを実働訓練により確認している。（「e. 初期消火活動（対応手順および所要時間）」参照）
- (d) 初期消火要員が森林火災覚知後，防火帯境界での初期消火活動開始まで，火炎到達時間約 2.6 時間以内に予防散水（周辺の樹木やモニタリングポストなど）が可能である。



図 2-26 消防自動車による予防散水

d. 消防訓練実績および計画

初期消火活動を迅速かつ的確に行うための消防訓練実績および計画について、以下に示す。

(a) 平成 25 年度

項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消防訓練	1 回／年	H26.1.16	消火班	変圧器等の油火災を想定した訓練
消防自動車放水訓練	2 回／月	24 回	初期消火要員	消防自動車による放水訓練（森林火災訓練含）
消防機関の指導による消防自動車泡放水訓練	1 回／年	H26.1.16	初期消火要員	消防自動車による泡放水訓練
海上災害防止センター消防訓練	1 回／年	H25.9.3～ H25.9.13	初期消火要員	外部施設（横須賀）による実火消防訓練
総合消防訓練	1 回／年	H25.11.28	自衛消防隊	事務所火災を想定した訓練
放射線管理区域内消防訓練	1 回／年	H25.6.18	自衛消防隊	管理区域内火災を想定した訓練

(b) 平成 26 年度（平成 26 年 9 月 30 日現在）

項目	頻度	実績	対象者	訓練内容
油火災消防訓練	1 回／年	—	消火班	変圧器等の油火災を想定した訓練
消防自動車放水訓練	2 回／月	12 回	初期消火要員	消防自動車による放水訓練（森林火災訓練含）
消防機関の指導による消防自動車泡放水訓練	1 回／年	—	初期消火要員	消防自動車による泡放水訓練
海上災害防止センター消防訓練	1 回／年	H26.9.8～ H26.9.12	初期消火要員	外部施設（横須賀）による実火消防訓練
総合消防訓練	1 回／年	—	自衛消防隊	事務所火災を想定した訓練
放射線管理区域内消防訓練	1 回／年	—	自衛消防隊	管理区域内火災を想定した訓練

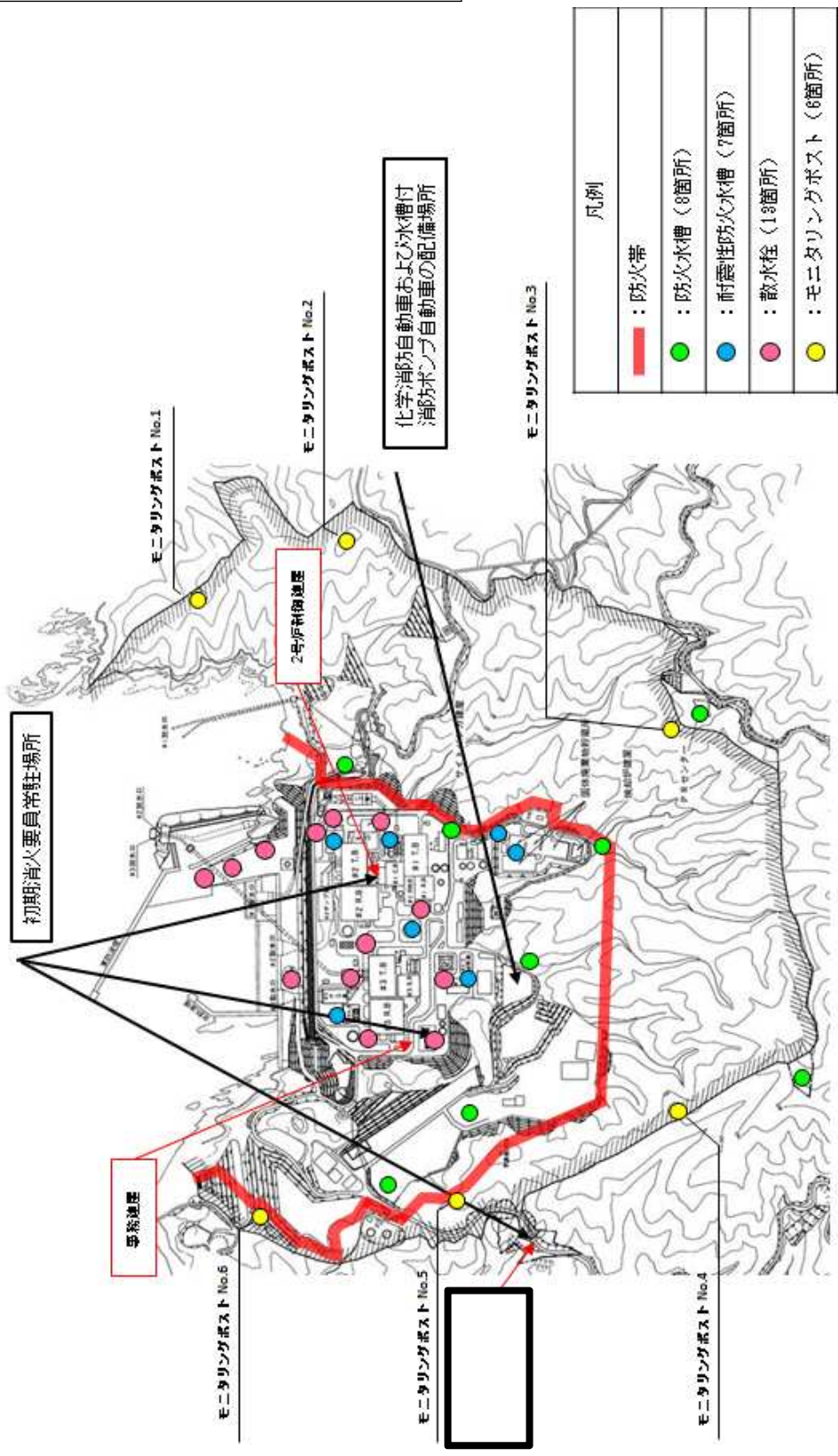
e. 初期消火活動（対応手順および所要時間）

手順	内容	対応者	経過時間(時間)	
			0	2.5
①森林火災発生	森林火災発生（発火点1） 発電所の北側約0.9km	-	森林火災発生 ▽	【初期消火活動までの時間】 想定:約35分 実績:16分26秒
②-1 火災延焼確認 （敷地内および敷 地境界付近）	消防機関（119番）への通報	発見者	通報 ▽	
	発電課長への連絡	発見者	連絡 ▽	
②-2 火災延焼確認 （敷地外）	防災行政無線による受信	平日 夜間・休日：平日・休日当番者	通報 ▽	
	発電課長への連絡	平日 夜間・休日：平日・休日当番者	連絡 ▽	
③消火活動準備	初期消火要員（委託員6名）へ連絡	発電課長 （通報連絡責任者）	連絡 ▽	
	災害緊急連絡装置（一斉呼出） ・自衛消防隊の召集 ・初期消火要員（社員3名）へ連絡	発電課長 （通報連絡責任者）	連絡 ▽	
	受信後、消防自動車等発進までの時間	初期消火要員		想定:約10分 実績:6分21秒
	消火地点（モニタリングポストNo.6)付近に到着するま での時間	初期消火要員		想定:約5分 実績:3分8秒
④消火活動開始	消防ホースの接続・設置までの時間	初期消火要員		想定:約15分 実績:4分51秒
	消防ホース設置後の放水開始までの時間	初期消火要員		想定:約5分 実績:2分6秒
	消防自動車等による予防散水 （火災状況を監視し、火災が敷地境界に近づいてきた ら状況に応じて予防散水を開始）	初期消火要員		

: 過去の訓練実績から想定した時間
 : 実績を基にした時間（日付：H26.8.20 天候：雨）

f. 女川原子力発電所における消防自動車および防火水槽等の配備場所

※核物質防護に係わる情報のため、マスキング実施



g. モニタリングポストの消火活動

モニタリングポスト（クラス 3 設備）については、発電所の周辺監視区域付近における空間放射線量率の測定および監視を行うために発電所敷地内（防火帯の外側）に 6 箇所設置している。（「図 2-27 モニタリングポストおよび防火水槽等の配置」参照）

空間放射線量率の測定には、放射線測定用の精密機器を要するため、森林火災による影響を確実に防止できるものとは考えていないが、可能な限り影響の軽減を図ることから、火災到達前に初期消火要員によるモニタリングポスト付近への予防散水（周辺の樹木やモニタリングポストなど）を実施する。

なお、森林火災の進展によりモニタリングポストが機能喪失した場合には、防火帯の内側に保管している可搬型モニタリングポスト（外部バッテリーからの電源供給）により代替測定を実施する。（「図 2-28 可搬型モニタリングポストの設置」参照）

各モニタリングポストについて、過去の訓練実績から想定した予防散水計画および初期消火活動時間を「表 2-18 モニタリングポスト付近への初期消火活動計画」および「表 2-19 モニタリングポスト付近への初期消火活動時間」に示す。

表 2-18 モニタリングポスト付近への初期消火活動計画

火災到達ポイント	モニタリングポスト No.1	モニタリングポスト No.2	モニタリングポスト No.3	モニタリングポスト No.4	モニタリングポスト No.5	モニタリングポスト No.6
防火水槽位置	社鹿ゲート登り口 (F)	社鹿ゲート登り口 (F)	PRセンター駐車場 (A)	林道入口付近 (H)	女川神社前 (B)	旧測定センター向い (G)
防火水槽容量※	40m ³	40m ³	40m ³	40m ³	40m ³	40m ³
消防ホース距離	約1,000m	約1,100m	約140m	約320m	約220m	約300m
消防自動車等の台数	2台	2台	1台	1台	1台	1台
子防散水 開始までの時間	約105分	約60分	約45分	約50分	約30分	約35分
子防散水可能時間	約100分	約100分	約100分	約100分	約100分	約100分
対応人数	初期消火要員10名 ・通報連絡責任者：1名 ・現場指揮者：1名 ・消火担当：2名（内委託員1名） ・情報提供担当者：1名 ・消防車隊：5名（委託員5名）					

※ 貯水量については、定期点検を実施し、維持・管理する。

表 2-19 モニタリングポスト付近への初期消火活動時間 (1/3)

(モニタリングポスト No.1)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 想定：約105分 実績：93分28秒	
モニタリング ポストNo.1	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後，消防自動車等の発進までの時間		想定：約10分 実績：6分6秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		想定：約10分 実績：6分41秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		想定：約70分 実績：69分16秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		想定：約15分 実績：11分25秒

□ : 過去の訓練実績から想定した時間
■ : 実績を基にした時間 (日付：H28.5.9 天候：曇り)

(モニタリングポスト No.2)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 想定：約60分 実績：46分25秒	
モニタリング ポストNo.2	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後，消防自動車等の発進までの時間		想定：約10分 実績：6分56秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		想定：約5分 実績：6分2秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		想定：約40分 実績：27分26秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		想定：約5分 実績：6分1秒

□ : 過去の訓練実績から想定した時間
■ : 実績を基にした時間 (日付：H28.4.10 天候：晴れ)

表 2-19 モニタリングポスト付近への初期消火活動時間 (2/3)

(モニタリングポスト No.3)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】	
		想定: 約45分 実績: 21分50秒	
モニタリング ポストNo.3	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後, 消防自動車等の発進までの時間		想定: 約10分 実績: 7分5秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		想定: 約20分 実績: 11分2秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		想定: 約10分 実績: 2分53秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		想定: 約5分 実績: 50秒

: 過去の訓練実績から想定した時間
 : 実績を基にした時間 (日付: H28.3.6 天候: 雪)





(モニタリングポスト No.4)



火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】	
		想定: 約50分 実績: 38分14秒	
モニタリング ポストNo.4	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後, 消防自動車等の発進までの時間		想定: 約10分 実績: 6分40秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		想定: 約15分 実績: 21分20秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		想定: 約20分 実績: 9分25秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		想定: 約5分 実績: 49秒

: 過去の訓練実績から想定した時間
 : 実績を基にした時間 (日付: H28.7.24 天候: 曇り)





表 2-19 モニタリングポスト付近への初期消火活動時間 (3/3)



(モニタリングポスト No.5)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 想定：約30分 実績：15分9秒	
モニタリング ポストNo.5	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後，消防自動等の発進までの時間		想定：約10分 実績：6分43秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		想定：約5分 実績：1分38秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		想定：約10分 実績：3分55秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		想定：約5分 実績：2分53秒

 : 過去の訓練実績から想定した時間
 : 実績を基にした時間 (日付：H28.4.24 天候：晴れ)

(モニタリングポスト No.6)

火災到達ポイント	内容	【消火活動開始までの時間】 想定：約35分 実績：16分26秒	
モニタリング ポストNo.6	初期消火要員への連絡	連絡 ▽	
	受信後，消防自動車等の発進までの時間		想定：約10分 実績：6分21秒
	消火地点付近に到着するまでの時間		想定：約5分 実績：3分8秒
	消防ホースの接続・設置までの時間		想定：約15分 実績：4分51秒
	消防ホース設置後の予防散水までの時間		想定：約5分 実績：2分6秒

 : 過去の訓練実績から想定した時間
 : 実績を基にした時間 (日付：H28.3.20 天候：雨)

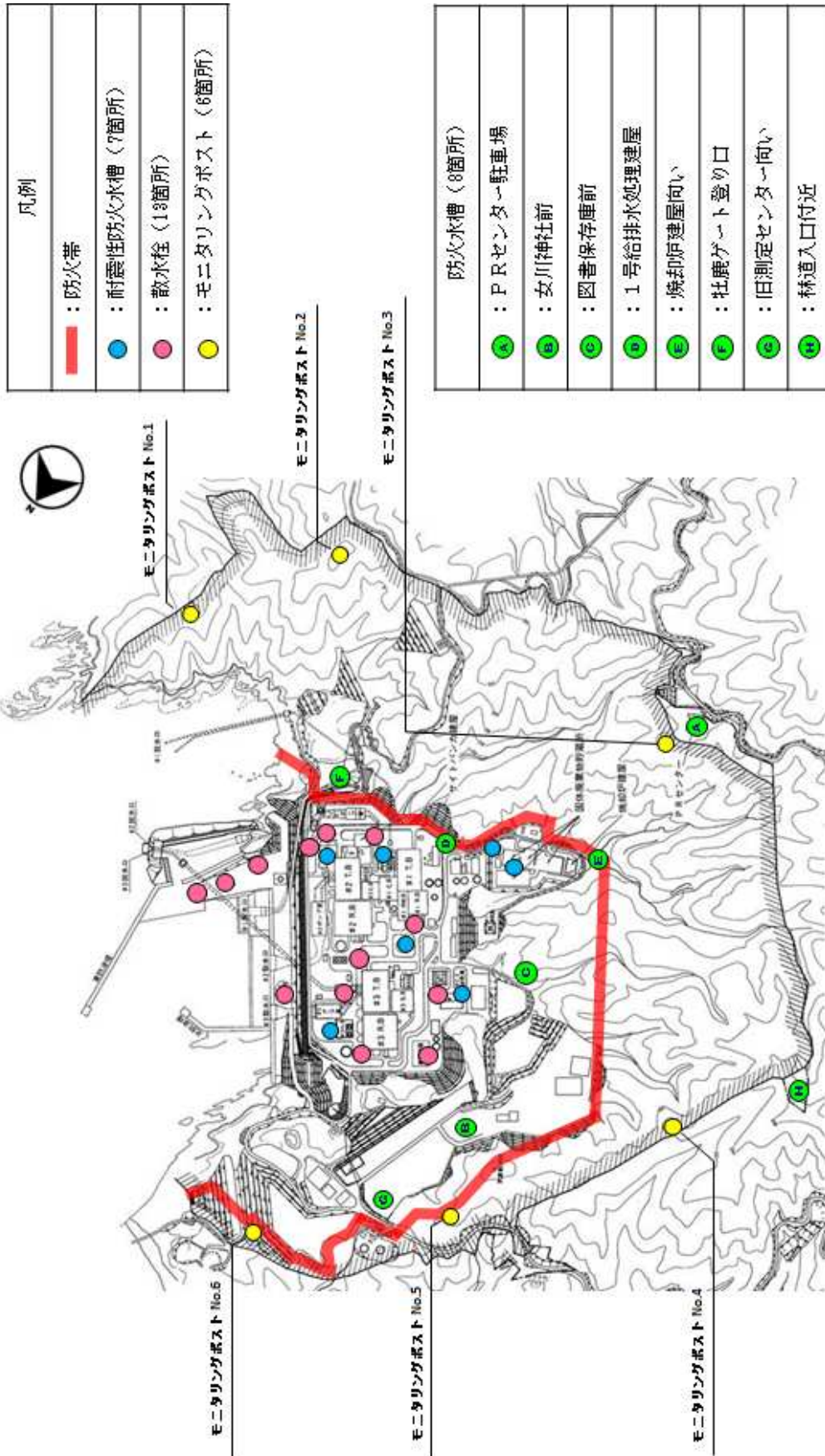
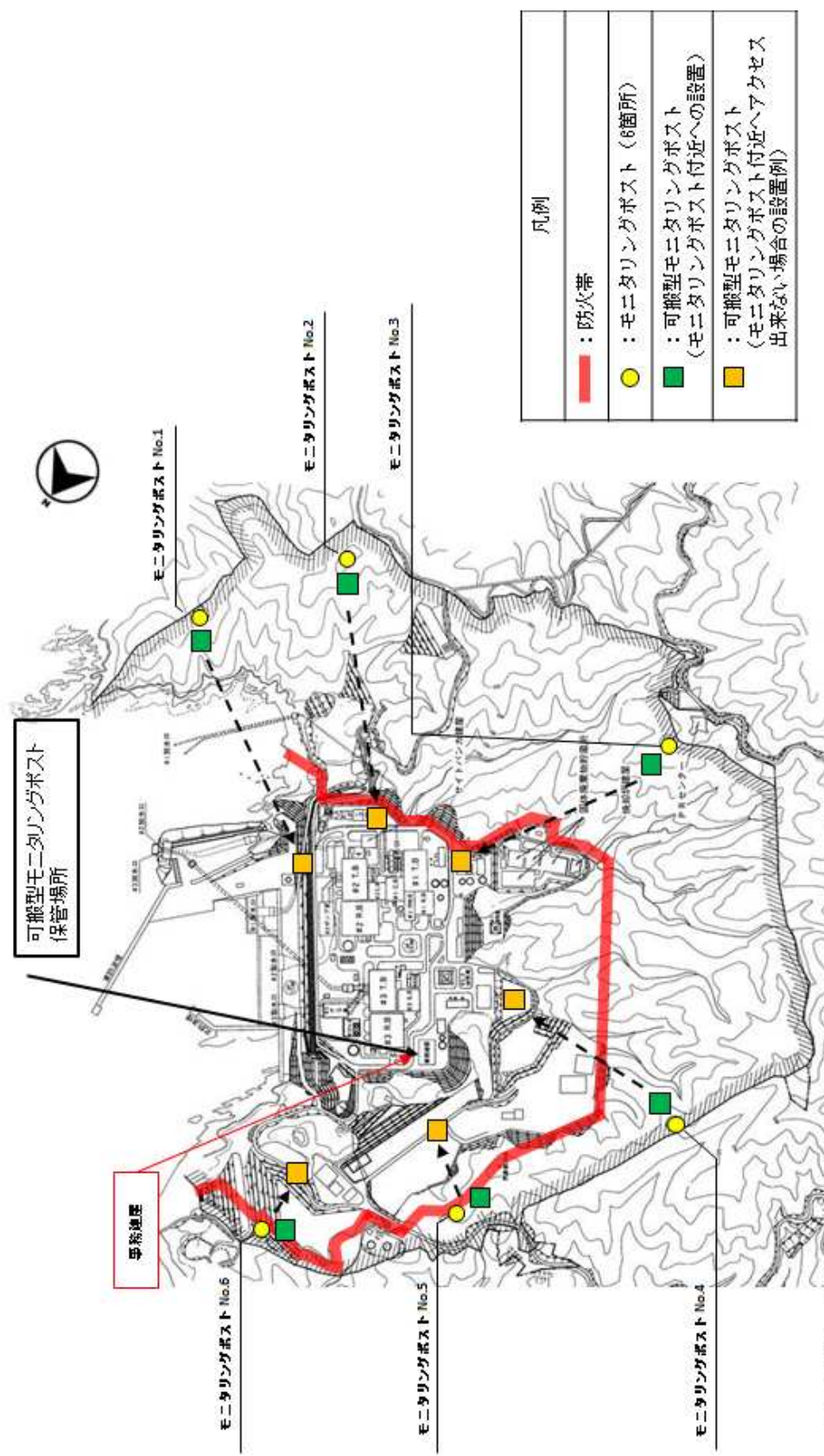


図 2-27 モニタリングポストおよび防火水槽等の配置



【可搬型モニタリングポストによる代替測定】

- > 森林火災により機能喪失した場合には、モニタリングポスト付近に設置する。なお、森林火災の延焼によりモニタリングポスト付近に設置できない場合には、防火帯内の同一方位に設置する。
- > 外部バッテリーにより、約7日間連続で測定が可能であり、予備の外部バッテリーに交換することで、連続測定が可能である。

図 2-28 可搬型モニタリングポストの設置

h. 防火帯の消火手順

森林火災による防火帯までの延焼を想定した自衛消防隊による消防自動車を使用した消火手順を以下に示す。なお、保安規定に基づくQMS文書にて当該手順を規定する。

- (a) 森林火災到達前に防火帯外側の予防散水（周辺の樹木など）を実施し、森林火災による延焼を防止する。
- (b) 森林火災の進展に合わせ、防火帯に沿った予防散水を実施し、森林火災による防火帯突破の可能性を低減する。
- (c) 上記（a），（b）を実施するにあたっては、防火帯に近接する防火水槽等から消防自動車に給水する。（「[図 2-27 モニタリングポストおよび防火水槽等の配置](#)」参照）

(8) 火災防護計画の策定について

火災発生時の対応、防火帯の維持・管理※、ばい煙および有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

※ 防火帯の維持・管理にあたり以下の項目を定める。

a. 組織内における責任の所在

発電所組織内における防火帯の維持・管理箇所を明確化する。

b. 防火帯の運用管理

防火帯には、燃焼物、初期消火活動に支障となる物品および車両を置かない運用とする。

また、定期的なパトロールを実施し、防火帯の健全性を確認するとともに、土壌暴露箇所については除草を実施して管理する。

コンクリートの許容温度について

高温時のコンクリートの圧縮強度と温度の関係を図1および図2に示す。

圧縮強度は、100°Cでやや低下しているものの、200°C程度までは常温と殆ど変わらないかむしろ上昇し、その後徐々に低下して、500°Cで常温の2/3（短期許容応力度に相当）に低下している。

100°C近傍の圧縮強度の低下については、コンクリートを構成する骨材が膨張すると同時にセメント水和物が100°C近傍から収縮し、その不均質さのため自己歪応力が発生する。この自己歪応力により、内部に微細亀裂が増加し、強度を低下させる要因と考えられている。

また、加熱温度の上昇により、100°C～200°Cにおいては、未水和セメント粒子の水和の促進などが100°C～200°Cにおける複雑な強度特性に影響しているものと推測される。

なお、圧縮強度が低下する100°C近傍の残存強度は、長期許容応力度（設計基準強度の1/3）を十分上回ることを確認している。

以上のとおり、100°C近傍で圧縮強度が低下するものの200°Cまでは再度上昇し、その後温度上昇に伴い圧縮強度が低下することから、コンクリートの許容温度を200°Cとした。

なお、上記試験では、試験体内部温度を均一となるように実施しており、コンクリート壁の表面の温度を200°Cと設定することは保守的な評価となる。

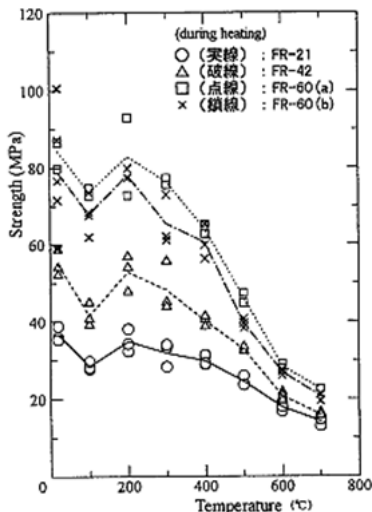


図1 圧縮強度と加熱温度の関係※¹

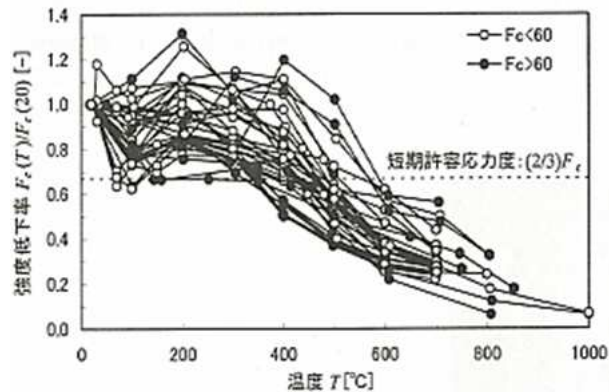


図2 コンクリートの高温時圧縮強度
（常温強度に対する比）※²

※¹：「高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究」（日本建築学会構造系論文集第515号、163-168、1999年1月）

※²：「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、2007年）

海水ポンプの温度影響評価について

1. 概要

女川2号炉の海水ポンプ室は地下ピット構造となっていることから、防護対象設備である海水ポンプに対して、外部火災による火炎からの輻射熱が直接到達するか確認を行い、直接到達する場合に輻射熱による温度影響評価を実施した。

2. 火災源および防護対象設備

火災源および防護対象設備を以下に示す。

(1) 火災源

- a. 森林火災
- b. 近隣の産業施設の火災
- c. 敷地内危険物タンク火災
- d. 航空機墜落による火災

(2) 防護対象設備

- a. 原子炉補機冷却海水ポンプ (RSW ポンプ)
- b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ (HPSW ポンプ)

3. 輻射熱到達の評価手法

図1に評価手法の概要を示す。火炎上端から海水ポンプ室壁面上端を結ぶ線分と水平面がなす角を θ_f 、ポンプ上端と海水ポンプ室壁面上端を結ぶ線分と水平面がなす角を θ_p とし、以下の基準で輻射熱の到達有無を評価する。

$\theta_f < \theta_p \Rightarrow$ 火炎から海水ポンプは視認できない (=輻射熱は到達しない)

$\theta_f \geq \theta_p \Rightarrow$ 火炎から海水ポンプは視認できる (=輻射熱は到達する)

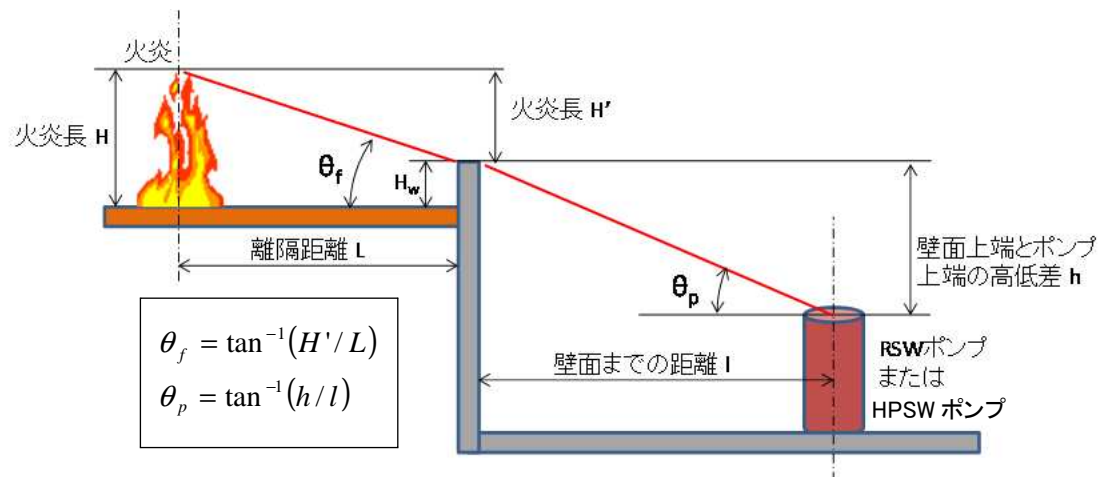


図1 海水ポンプへの火炎輻射熱の到達評価手法の概要

4. 輻射熱の到達結果

評価の結果，輻射熱が直接到達する火災源は航空機墜落による火災であった。

なお，航空機墜落による火災の中で B747-400 が最も輻射強度が大きいいため，B747-400 で温度影響評価を行った。その他の航空機による影響については B747-400 の評価結果に包絡される。

表 1 海水ポンプの輻射熱到達の評価結果

結果，○：輻射熱が到達しない，×：輻射熱が到達する

対象機器	火災源	L	H'	角度 θ_f	比較	角度 θ_p	結果
RSW ポンプ	森林火災	294	1.3	0.3	<	12.6	○
	近隣の産業施設の火災	235	40.040	9.7	<		○
	敷地内危険物タンク火災	199	31.212	9.0	<		○
	航空機墜落による火災	89	44.784	26.8	\geq		×
HPSW ポンプ	森林火災	297	0.9	0.2	<	23.4	○
	近隣の産業施設の火災	235	39.640	9.6	<		○
	敷地内危険物タンク火災	199	30.812	8.9	<		○
	航空機墜落による火災	89	44.384	26.6	\geq		×

※角度 θ_f は各々の火災源の中で最大の角度を記載。角度 θ_p は最も火災が視認出来る最小の角度を記載。

また，L および H' は θ_f が各火災源の中で最大角度となる火災源の値を記載。

5. 温度影響評価

航空機墜落による防護対象設備への温度影響について評価を実施した。

(1) 原子炉補機冷却海水ポンプ

a. モータ冷却空気温度の算出

受熱面の輻射強度を E，輻射を受ける面積を A_T とすると，受熱面を介して外気への入熱は $E \times A_T$ となる。

外気の熱容量は，外気の重量流量 G と比熱 C_p から $G \times C_p$ となるから，外気の温度上昇 ΔT は，入熱 $E \times A_T$ と熱容量 $G \times C_p$ から，以下の式で求められる。

$$\Delta T = \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

E: 受熱面輻射強度 (2570.93W/m²)

A_T : 受熱面積 (13.19m²)

G: 冷却空気の重量流量 (3.32kg/s)

C_p : 空気の比熱 (1007.00J/kg/K)

算出の結果，外部火災時のモータ取入外気上昇温度は 10.2°C となった。

b. 温度影響評価

(a) 電氣的絶縁性について

ポンプ通常運転時のモータ温度上昇は 60.0℃であり，外部火災時のモータ取入外気温度上昇を考慮してもモータ温度上昇は約 71℃である。電氣的絶縁性について許容される温度上昇限度である 100℃を下回るため，外部火災時においても電氣的絶縁性に影響はない。

(b) 軸受温度について

ポンプ通常運転時の上部軸受温度上昇は 27.0℃であり，外部火災時のモータ取入外気温度上昇を考慮しても上部軸受温度上昇は約 38℃である。上部軸受温度上昇限度である 40℃以下となるため影響はない。

同様にポンプ通常運転時の下部軸受温度上昇は 18.7℃であり，外部火災時のモータ取入外気温度上昇を考慮しても下部軸受温度上昇は約 29℃である。下部軸受温度上昇限度である 55℃以下となるため影響はない。

よって，外部火災時においても上部軸受および下部軸受への影響はない。

(2) 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ

a. モータ冷却空気温度の算出

受熱面の輻射強度を E ，輻射を受ける面積を A_T とすると，受熱面を介して外気への入熱は $E \times A_T$ となる。

外気の熱容量は，外気の重量流量 G と比熱 C_p から $G \times C_p$ となるから，外気の温度上昇 ΔT は，入熱 $E \times A_T$ と熱容量 $G \times C_p$ から，以下の式で求められる。

$$\Delta T = \frac{E \times A_T}{G \times C_p}$$

E : 受熱面輻射強度 (2570.93W/m²)

A_T : 受熱面積 (1.19m²)

G : 冷却空気の重量流量 (0.55kg/s)

C_p : 空気の比熱 (1007.00J/kg/K)

算出の結果，外部火災時のモータ取入外気上昇温度は 5.6℃となった。

b. 温度影響評価

(a) 電氣的絶縁性について

ポンプ通常運転時のモータ温度上昇は 65.0°C であり，外部火災時のモータ取入外気温度上昇を考慮してもモータ温度上昇は約 71°C である。電氣的絶縁性について許容される温度上昇限度である 100°C を下回るため，外部火災時においても電氣的絶縁性に影響はない。

(b) 軸受温度について

ポンプ通常運転時の上部軸受温度上昇は 32.0°C であり，外部火災時のモータ取入外気温度上昇を考慮しても上部軸受温度上昇は約 38°C である。上部軸受温度上昇限度である 55°C 以下となるため影響はない。

同様にポンプ通常運転時の下部軸受温度上昇は 41.0°C であり，外部火災時のモータ取入外気温度上昇を考慮しても下部軸受温度上昇は約 47°C である。下部軸受温度上昇限度である 55°C 以下となるため影響はない。

よって，外部火災時においても上部軸受および下部軸受への影響はない。

6. まとめ

以上の結果により，森林火災，近隣の産業施設の火災，敷地内危険物タンク火災，航空機墜落による火災における熱影響により海水ポンプに影響を及ぼすことはない。

防火帯内植生による火災について

図1に防火帯内の現状の植生調査結果（平成26年8月～9月）を示す。

原子炉施設および重大事故等対処設備の周囲の植生は Short grass, Brush, マツ 10 年生以上で火線強度が低くなる植生であり，防火帯内植生による原子炉施設および重大事故等対処設備に対する影響はない。

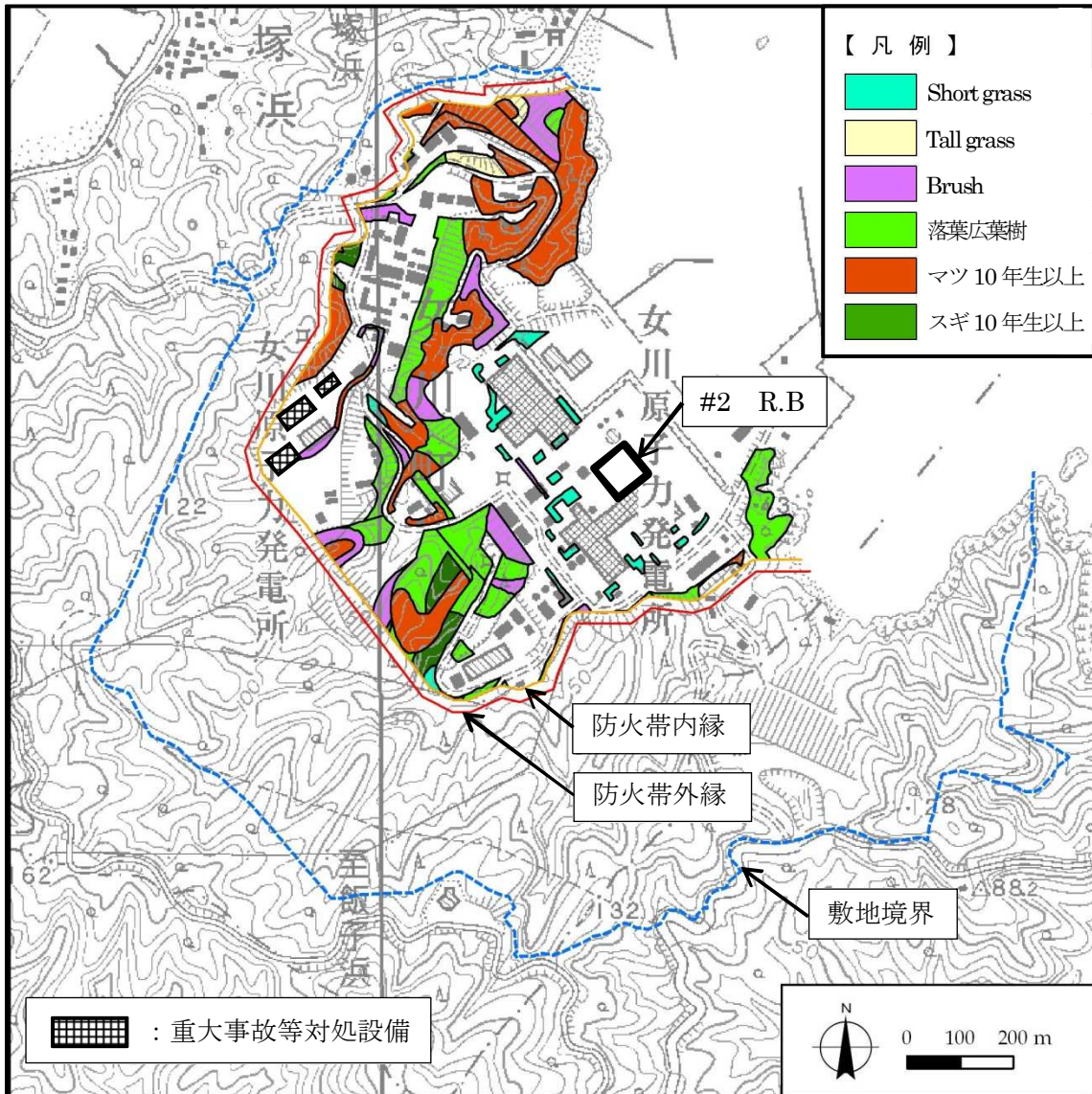


図1 防火帯内の植生調査結果

主な FARSITE 入力パラメータの保守性について

表 1 主な FARSITE 入力パラメータ一覧表 (1/2)

保守性の凡例：○はガイドによる保守性，◎は自主的な保守性

入力パラメータ	外部火災影響評価ガイドの記載	入力データ	保守性										
標高	現地の状況をできるだけ模倣するため、公開情報の中でも高い空間解像度である10mメッシュの標高データを用いる。	基礎地図情報数値標高モデル 10mメッシュを入力	—										
	傾斜度，傾斜方向については標高データから計算する。	標高データから計算した傾斜角を入力	—										
	(基礎地図情報数値標高モデル 10mメッシュ)	標高データから計算した傾斜方向を入力	—										
傾斜方向	現地状況をできるだけ模倣するため、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの土地利用データを用いる。	土地利用データ (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入力)	—										
	現地状況をできるだけ模倣するため、公開情報の中でも高い空間解像度である100mメッシュの土地利用データを用いる。	土地利用データは、宮城県および東北森林管理局より入手した森林簿の情報を基に防火帯周辺の植生調査を実施し、その結果から保守的に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入力	—										
可燃物	現地状況をできるだけ模倣するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。森林簿の情報をを用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。	植生データは以下のとおり マツ、スギ、落葉広葉樹： 「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)を参考に、森林簿および防火帯周辺の植生調査データをよりも保守的に燃えやすい林齢として入力 ◎ 森林簿、植生調査結果 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>10年生未満</td><td>保守的林齢設定後</td></tr> <tr><td>10年生以上20年生未満</td><td>10年生未満</td></tr> <tr><td>20年生以上30年生未満</td><td>10年生未満</td></tr> <tr><td>30年生以上40年生未満</td><td>20年生以上30年生未満</td></tr> <tr><td>40年生以上</td><td>20年生以上30年生未満</td></tr> </table>	10年生未満	保守的林齢設定後	10年生以上20年生未満	10年生未満	20年生以上30年生未満	10年生未満	30年生以上40年生未満	20年生以上30年生未満	40年生以上	20年生以上30年生未満	◎
	10年生未満	保守的林齢設定後											
10年生以上20年生未満	10年生未満												
20年生以上30年生未満	10年生未満												
30年生以上40年生未満	20年生以上30年生未満												
40年生以上	20年生以上30年生未満												
ラスター入力ファイア		ゴルフ場，田，その他農業用地： 通常考えられるShort grassよりも燃えやすい Tall grassを保守的に入力 荒地： 保守的に燃えやすいBrushを入力	—										
樹冠率	—	森林に該当するカテゴリー3 (50~80%) および4 (81~100%) の中から、火強強度が強くなるカテゴリ3を設定	◎										
樹高	—	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	—										
樹冠下高	—	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	—										
樹冠かさ密度	—	標準的な解析としてFARSITEの初期値を入力	—										
評価対象範囲	評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を10km以内としたことにより、植生、地形等評価に必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕をみて南北12km，東西12kmとする。	植生、地形等評価に必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕をみて南北12km，東西12kmとして設定	—										

表 1 主な FARSITE 入力パラメータ一覧表 (2/2)

保守性の凡例：○はガイドによる保守性，◎は自主的な保守性

入力パラメータ		外部火災影響評価ガイドの記載		入力データ		保守性
Fuel水分初期値	—	—	—	標準的な解析として FARSITE の初期値を入力		—
	降水量	—	—	降水がある場合可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に0mmを設定		◎
気象要素	最高気温	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	—	樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月(3月～5月)の最高気温を過去10年間確認し、その中でも最高気温である27.8℃を入力		○
	最低気温			最低気温については、保守的に上記の最高温度を入力		○
	最高湿度			最高湿度については、保守的に下記の最小湿度を入力		○
	最低湿度			樹木の燃焼性を高めるため、森林火災の発生件数の多い月(3月～5月)の最低湿度を過去10年間確認し、その中でも最小湿度である13%を入力		○
	観測標高			石巻観測所の観測高さ28.5mを入力		—
風要素	風向	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。	—	各発火点から2号炉原子炉建屋方向へ向かう風向		◎
	風速	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去10年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。	—	火災の証拠および規模に影響を与えることから、森林火災の発生件数の多い月(3月～5月)の最大風速(10分間平均風速の最大値)を過去10年間確認し、その中でも最大風速である23.8[m/s] (86[km/h]) を入力		○
	雲量	—	—	日射量が可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に0%を設定		◎
緯度	—	—	—	日射量が可燃物の燃えやすさ(水分量)に影響を与えることから、保守的に日射量がなくなる赤道直下を設定		◎
発火点位置	—	発電所からの直線距離10kmの間で設定する。発火源は最初に人為的行為を考へ、道路沿いを発火点とするさらには必要に応じて想定発火点を考へ評価する。	—	人為的行為を考へ、居住地区および道路沿いの発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定		—
その他	—	—	—	—		—

初期消火要員常駐場所の妥当性について

発電所構内に自衛消防隊の初期消火要員（10名）が24時間常駐（防火帯内外に分散常駐）している。初期消火活動の実施にあたり、初期消火要員常駐場所の妥当性について、以下に示す。

1. 常駐場所および人数

初期消火要員	常駐場所	防火帯内外	人数
通報連絡責任者	2号炉制御建屋	内	1名
現場指揮者	事務建屋	内	1名
情報提供担当者	事務建屋	内	1名
消火担当	【平日昼間】 事務建屋 【平日夜間・休日】 2号炉制御建屋	内	1名
消火担当		外	1名
消防車隊		外	5名
合計			10名

2. 常駐場所の妥当性

(1) 2号炉制御建屋および事務建屋

当該常駐場所は、防火帯の内側に配置しており、森林火災による延焼防止が図られていることから、初期消火活動に問題が生じることはない。

(2)

当該常駐場所は防火帯の外側に配置しているが、図1のとおり [] を外部火災による人的影響防止を考慮した不燃帯で防護すること、および [] に迫る火災を監視するカメラを設置すること、並びに森林火災確認後、次に示すように、早期に防火帯の内側にアクセスすることが可能であることから、初期消火活動に問題が生じることはない。

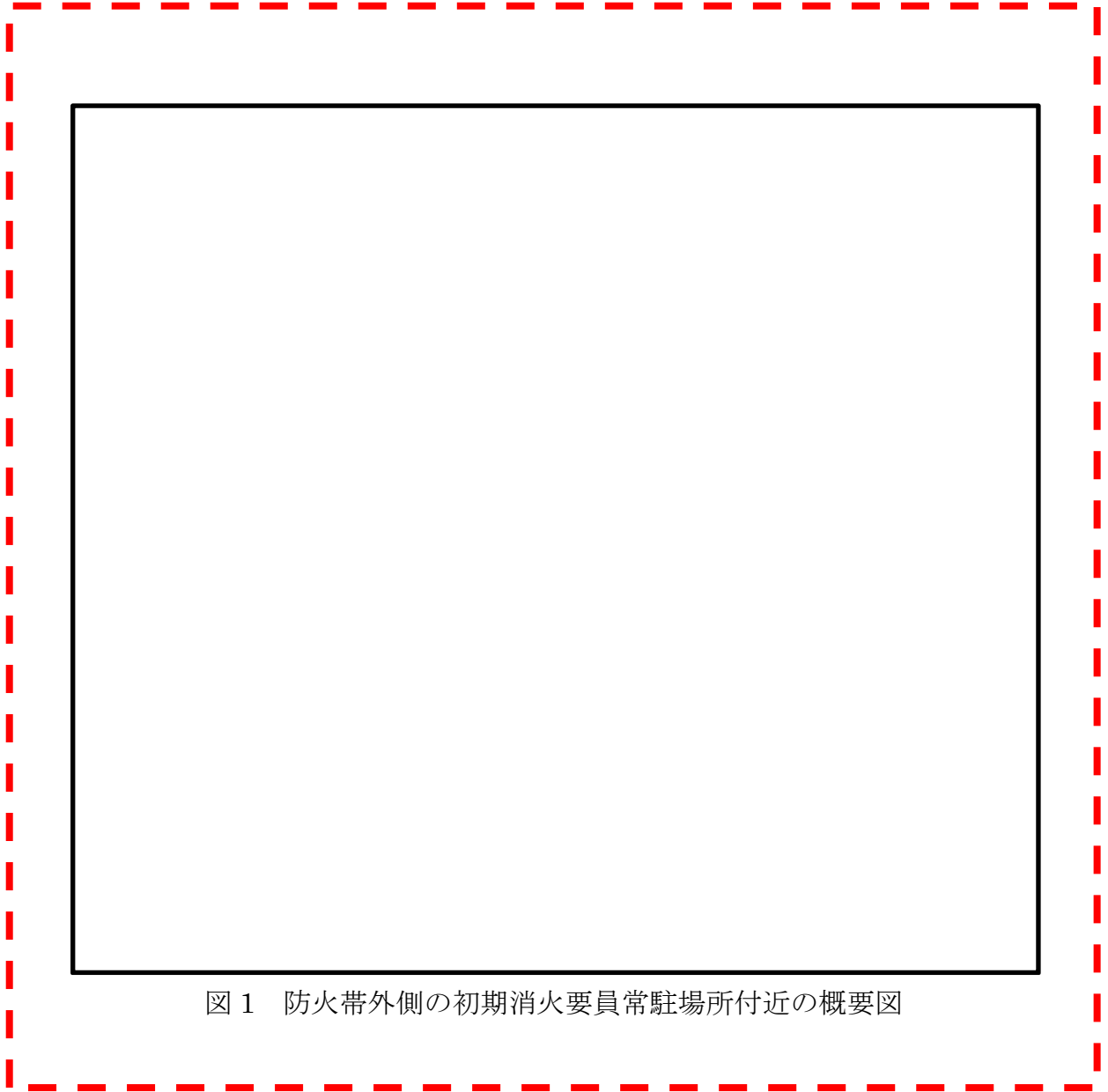
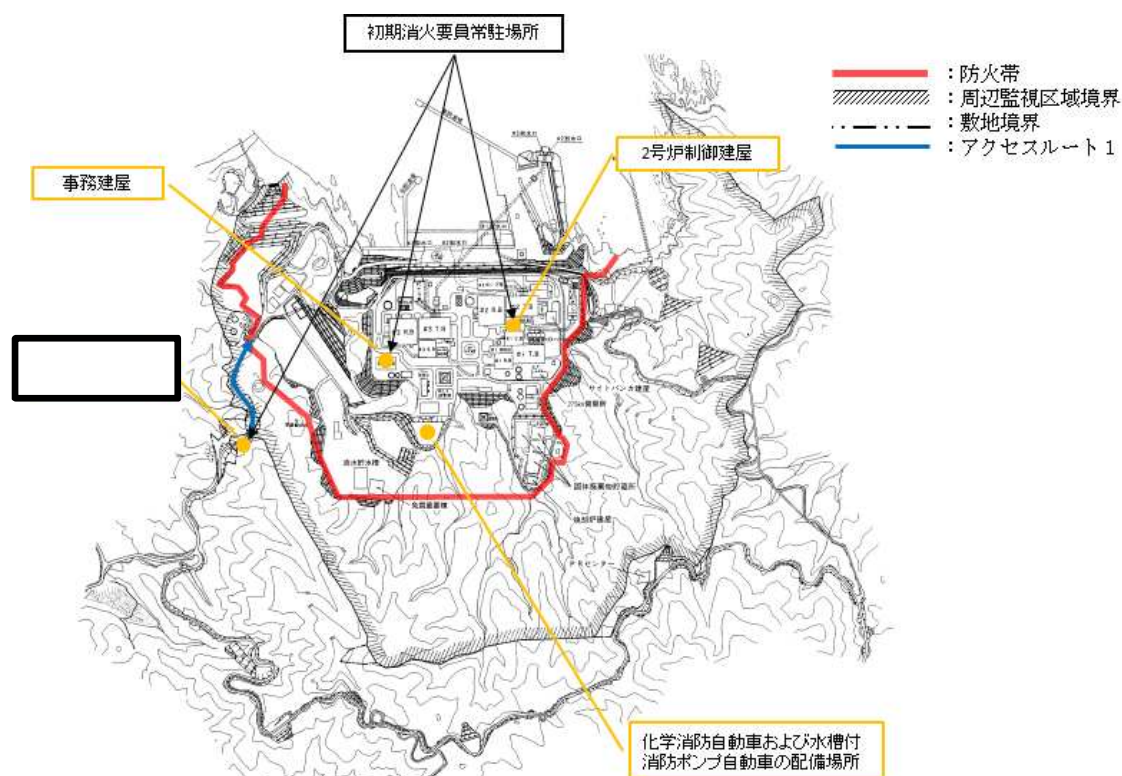


図1 防火帯外側の初期消火要員常駐場所付近の概要図

※核物質防護に係わる情報のため、マスキング実施

- a. 防災行政無線による外部火災の覚知後，初期消火要員への連絡が早期に行われ，受信後，森林火災到達前に「アクセスルート1」を利用した防火帯内側までのアクセスが可能である。



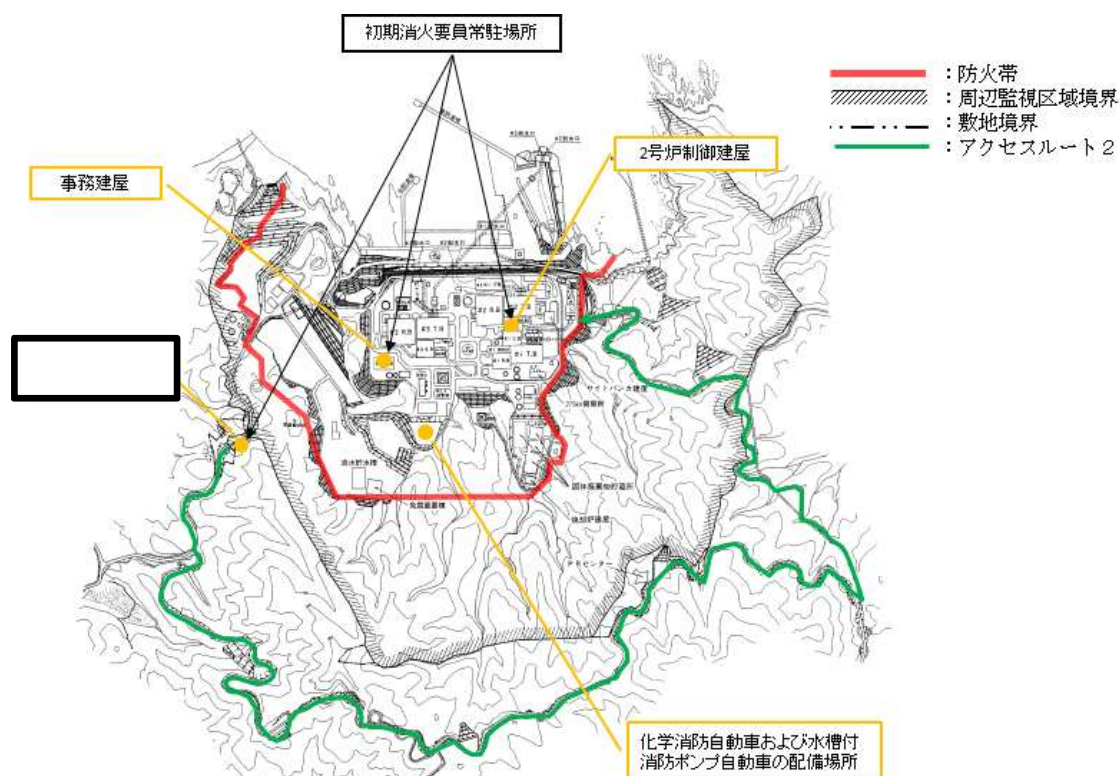
なお，「アクセスルート1」の距離は，約350mであり，想定した時間内での車両移動が可能であることを，実働訓練により確認している。

	距離[m]	車両移動時間	
		想定時間[分]	実績時間[分] ^{※2}
アクセスルート1	約350	約5	約1

※2 実績値（平成26年10月9日確認）

※核物質防護に係わる情報のため，マスキング実施

- b. 防災行政無線による外部火災の覚知後，森林火災の延焼により「アクセスルート 1」が利用できない場合には，「アクセスルート 2」を利用した防火帯内側までのアクセスが可能である。



なお，「アクセスルート 2」の距離は，約 5,600m であり，想定した時間内での車両移動が可能であることを，実働訓練により確認している。

	距離[m]	車両移動時間	
		想定時間[分]	実績時間[分] ^{※3}
アクセスルート 2	約 5,600	約 15	約 11

※3 実績値（平成 26 年 10 月 9 日確認）

※核物質防護に係わる情報のため，マスキング実施

各設備の温度影響評価条件について
表1 各設備の温度評価条件一覧表 (1/3)

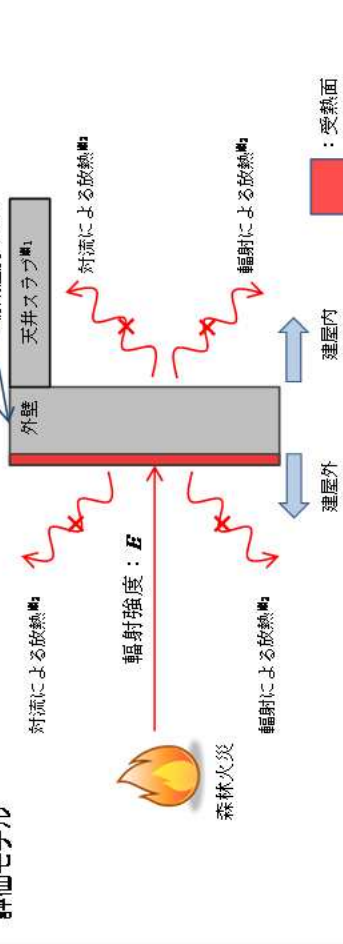
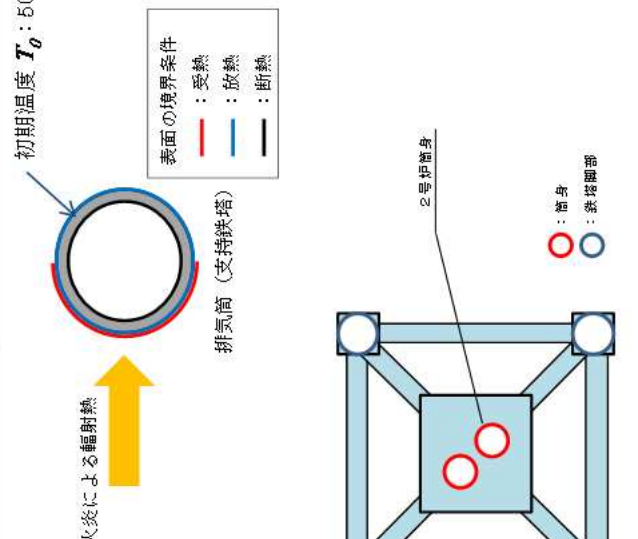
	初期条件	設定根拠	評価上の保守性
対流による放熱 輻射による放熱	なし なし	保守的に放熱効果は考慮しない	
外壁初期温度	50 °C	一般的な機械・計測制御設備の機能維持のため 室内温度の最高値を 40°Cとしており、これに 日射による効果 4°Cを加え、さらにこれを切り 上げて 50°Cと設定	
コンクリート密度	2400 kg/m ³	原子炉建屋の耐震計算に使用している鉄筋コ ンクリートの単位体積重量	
コンクリート比熱	988 J/kg/K	普通コンクリートの最大値 (出典：日本建築学 会 原子炉建屋構造設計指針・同解説)	
コンクリート熱伝導率	1.74 W/m/K		
火災継続時間	0.60 h	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2-1)	
建屋外壁表面温度 評価モデル  <p>※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される ※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・外壁表面および裏面からの対流および輻射による放熱を考慮していない。 ・外壁初期温度を保守的に高め に設定している。 		

表 1 各設備の温度評価条件一覧表 (2/3)

	初期条件	設定根拠	評価上の保守性
復水時順タンク温度	対流による放熱	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・タンク壁面からの対流および輻射による放熱を考慮していない。 ・水の体積を管理値の下限レベルとしてしている。 ・タンク周囲に遮熱壁が設置されているが評価上考慮していない。
	輻射による放熱	なし	
	初期温度	50℃	
	輻射強度	0.02 kW/m ²	
	燃焼継続時間	0.60 h	
	タンク外径	20.012 m	
	タンク円筒高さ	11.8 m	
	水の密度	878.8 kg/m ³	
	水の比熱	4186 J/kg/K	
	水の体積	680 m ³	
	タンク壁材密度	7860 kg/m ³	
	タンク壁材比熱	473 J/kg/K	
	タンク内径	20.0 m	
	タンク最小板厚	0.006 m	
	評価モデル		

表 1 各設備の温度評価条件一覧表 (3/3)

	初期条件	設定根拠	評価上の保守性
外表面の吸収率	0.8	塗料 (エナメル, 白) の値 (出典: 伝熱工学資料第 5 版)	
輻射強度	38.33 W/m ²	FARSITE 解析結果より算定 (発火点 2-2)	
熱伝導率	17 W/m/K	垂直外壁面の夏季の値 (出典: 空気調和・衛生工学便覧)	
初期温度	50 °C	壁の外面前期温度 50 °C を考慮し保守的に設定	
排気筒温度	<p>評価モデル</p> 	<p>・排気筒は支持型であり筒身と鉄塔により構成されている。 鉄塔の材質は SS400 および STK400. 筒身は SMA400AP であり, 物性値は鉄塔, 筒身ともに軟鋼で同一であることから, 火災源から最も近い鉄塔脚部で評価を行っている。 ・鉄塔内表面は断熱としている。 ・排気筒初期温度を保守的に高めに設定している。</p>	

防火帯の法面保護対策について

山林部の防火帯設定は、伐採後の土砂等流出を考慮して、現場状況に応じた法面保護工（モルタル吹付工等）を行う。

- ・モルタル吹付工

岩盤の風化，雨水の地山への浸透による浸食や崩壊の発生，小規模な落石の恐れがある法面に対しては，モルタルにより法面を被覆する。



図1 道路法面モルタル吹付工の施工例（構内道路）

石油コンビナート等の火災・爆発について

1. 目的

女川原子力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、系統およ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の「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」に基づき、評価を実施するものである。

2. 対象施設抽出の考え方

発電所周辺 10km 圏内の石油コンビナートの有無を確認した。また、消防法等に基づき設置している危険物貯蔵施設等についても、発電所への影響について検討する。

3. 影響評価

(1) 石油コンビナート等について

宮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】

- 七 塩釜地区
宮城県塩竈市貞山通一丁目から貞山通三丁目までの区域のうち主務大臣の定める区域
- 八 仙台地区
- イ 宮城県宮城郡七ヶ浜町湊浜字砂山、字正監、字上ノ流、字深川、字道前、字船戸、字沼前、字北ノ切、字辨天及び字砂場の区域のうち主務大臣の定める区域
- ロ 宮城県多賀城市大代一丁目、大代六丁目及び栄二丁目から栄四丁目までの区域のうち主務大臣の定める区域
- ハ 宮城県仙台市宮城野区港一丁目、港二丁目及び港五丁目の区域、同区港四丁目の区域のうち主務大臣の定める区域

図 3-1 に示すとおりいずれの区域も女川原子力発電所から約 40km 離れており、10km 圏内に該当する箇所はない。また、発電所と最短距離にあるガスパイプラインは仙台地区であり、発電所から約 40km 離れていることを確認した。

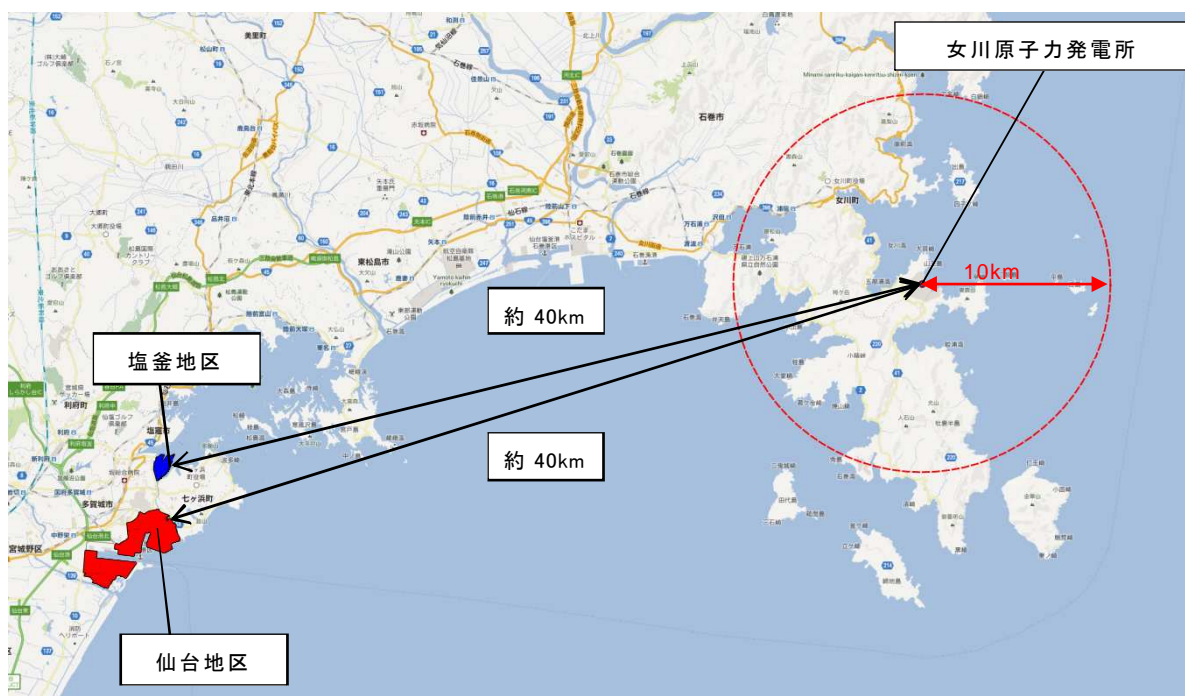


図 3-1 石油コンビナート等特別防災区域と発電所との位置関係

(2) 石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設について

消防法等に基づき消防署に届出されている危険物貯蔵施設等のうち女川原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等を抽出し，発電所から最も近い施設および発電所から 10km 圏内の施設における最大数量をそれぞれ抽出した。

発電所から 10km 圏内の危険物貯蔵施設等を図 3-2 に示す。

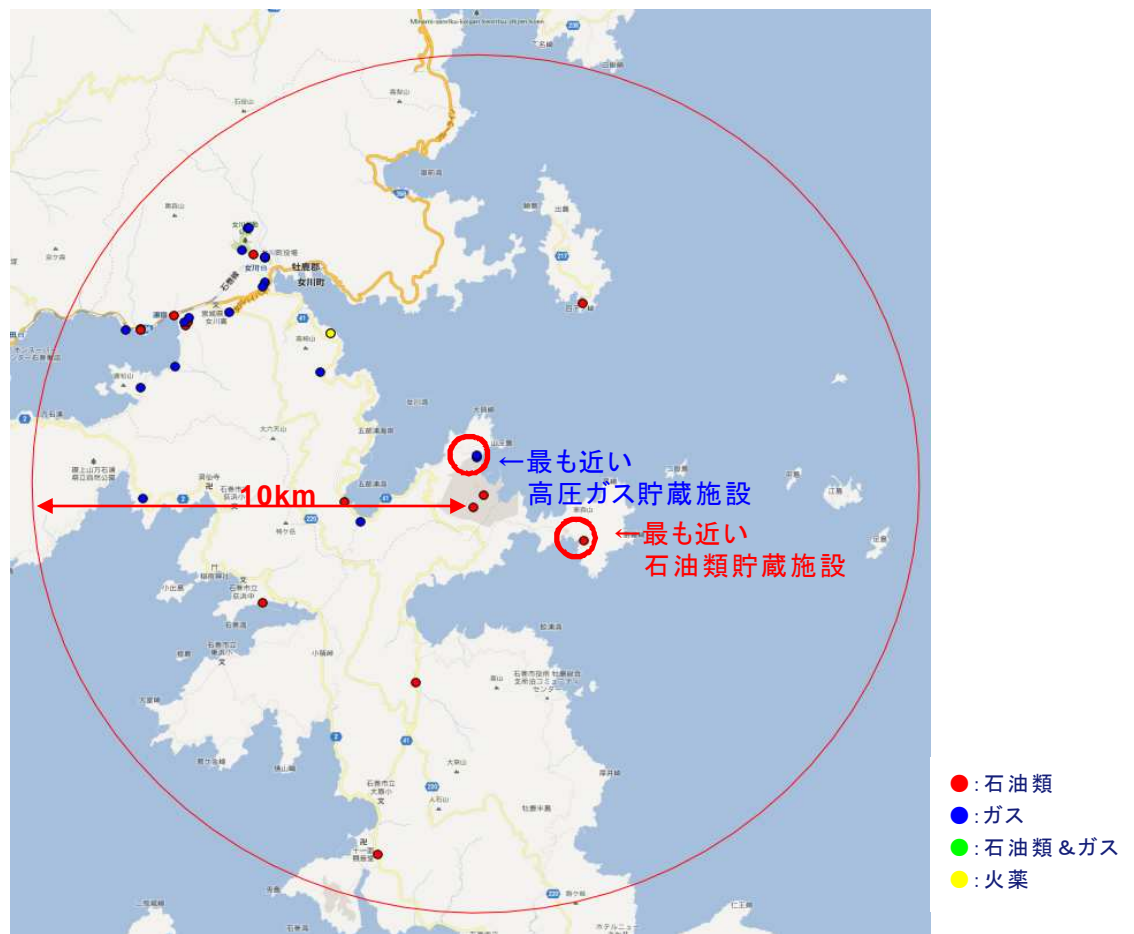


図 3-2 発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設等

a. 石油類貯蔵施設

発電所から 10km 圏内(敷地内を除く)における石油類貯蔵施設の最大貯蔵量は 49.5kl で、発電所敷地内にある 1 号炉軽油タンクの貯蔵量 620kl よりも少ない。

また、発電所に最も近い石油類貯蔵施設との離隔距離は約 2,500m であり、1 号炉軽油タンクと離隔距離が最も近い 2 号炉制御建屋との距離約 179m よりも大きく離れている。

仮に最も近い石油類貯蔵施設で 10km 圏内の最大貯蔵量 49.5kl が存在したと仮定しても、燃料保有量が敷地内危険物貯蔵量に比べ少ないことから、危険距離は 1 号炉軽油タンクによる火災の評価結果に包絡される。

よって、発電所敷地外の石油類貯蔵施設において火災が発生した場合においても発電所への影響はないものと評価する。

表 3-1 敷地外危険物施設と 1 号炉軽油タンクの比較

	敷地外危険物施設	1 号炉軽油タンク
燃料量[m ³ =kl]	49.5	620
離隔距離[m]	約 2,500	約 179



図 3-3 石油類貯蔵施設位置



図 3-4 1 号炉軽油タンク位置

b. 高圧ガス貯蔵施設

(a) 爆風圧の影響評価

発電所から 10km 圏内（敷地内を除く）における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は 1,700kg であり，発電所から最も近い高圧ガス貯蔵施設の離隔距離は約 700m であった。

仮に最短離隔距離（小屋取地区）の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 1,700kg があったと仮定し，ガス爆発評価を実施したところ，危険限界距離は 70m であり，発電所との離隔距離約 700m よりも小さいことを確認した。

よって，発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災・爆発が発生した場合においても発電所への影響はないものと評価する。

表 3-2 高圧ガス爆発の想定条件



図 3-5 高圧ガス貯蔵施設位置

想定条件	
気象条件	無風状態
貯蔵ガス	液化石油ガス
貯蔵ガス K 値	888×1000（プロパン）
貯蔵量[t]	1.7
貯蔵設備 W 値	1.7
爆発形態	高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生

次式から危険限界距離を算出する

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

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

上記式に対象となる高圧ガス貯蔵施設に係る数値を代入すると

$$X = 0.04 \times 14.4\sqrt[3]{888 \times 1000 \times 1.7} = 66.08 \div 70$$

となり，危険限界距離 X は 70m となる。

よって，発電所との離隔距離は約 700m あることから，爆風圧による発電所への影響はない。

(b) 飛来物の影響評価

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

発電所から最も近い施設では、指針が適用されるコンビナート等の大規模な高圧ガスタンク等の形状ではなく、液化石油ガスが封入された複数の 50kg ガスボンベが設置されている。当該容器単体の破損による破片の飛散範囲について評価を行ったところ、外部火災防護対象施設（2号炉原子炉建屋）までの離隔距離が飛来物到達距離以上あることを確認した。

なお、液化石油ガスの貯蔵設備は貯蔵量に応じて液化石油ガス保安規則等の関係法令に基づき、保安物件と必要な距離等をとることが規定されている。

施設名称	ガス種類	貯蔵量	飛来物 到達距離	離隔距離
当社社員寮	液化石油ガス	50kg ガスボンベ 6 本	332m	約 700m

○評価上必要となる距離の算出方法

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室）に基づき、容器の破損による破片の飛散範囲を以下の式にて算出した。

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

L：破片の最大飛散範囲 M：破裂時の貯蔵物質量

以下に「石油コンビナートの防災アセスメント指針」の抜粋を示す。

(6) 飛散物

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

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

ただし、

L : 破片の最大飛散範囲(m)

M : 破裂時の貯蔵物質量(kg)

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

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

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

輸送車両，船舶による影響について

1. 目的

本評価は、輸送車両および船舶の事故等による火災について、「原子力発電所外部火災影響評価ガイド」（以下、「ガイド」という。）に基づき、原子炉施設に影響を及ぼさないことを評価するものである。

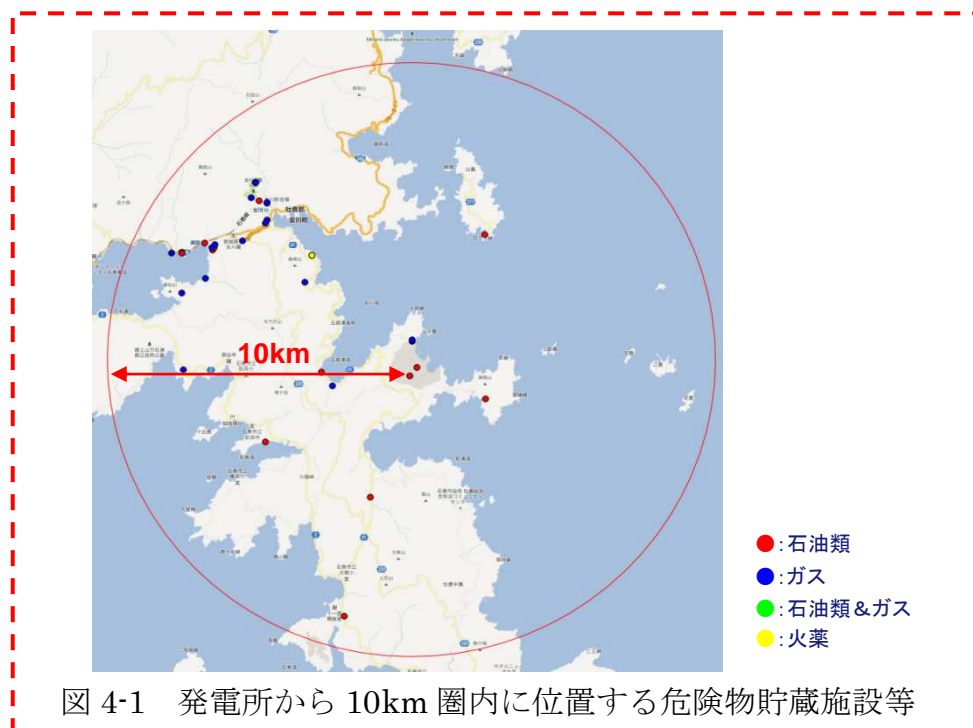
2. 輸送車両による影響評価

発電所敷地外の公道において燃料を搭載した燃料輸送車両（以下「タンクローリー」という。）の火災を想定して評価対象設備への評価を行った。

発電所前の公道を走行するタンクローリーは最寄りの給油所の補給に用途が限られるため、タンクローリー1台による火災を想定した。また、タンクローリーは保守的に、消防法（危険物の規制に関する政令第15条第1項三号）において定められている移動タンク貯蔵所の上限量（=30kl）を搭載可能なタンクローリーに、給油所に補給される油種の中で最も輻射発散度が大きいガソリンが満載されている状況を想定した。

また、火災発生場所としては、発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所（牡鹿ゲート）にて、タンクローリーの火災を想定した。

なお、高圧ガスを輸送する車両として、発電所から10km圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量を積載した車両の爆発を想定した。



(1) 評価条件

燃料の種類： ガソリン
燃料量： 30[kl]
輻射発散度： 58,000[W/m²] ※ガイド附属書 B のガソリン値
質量低下速度： 0.055[kg/m²/s] ※NUREG-1805 の Gasoline の値
燃料密度： 783[kg/m³]
タンク断面積： 23.8[m²]

評価対象施設との形態係数 ϕ を算出する。

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

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

H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 火炎中心からの距離(m)

求めた形態係数 ϕ に、燃料の輻射発散度を乗じて輻射強度 E を算出する。

$$E = Rf \cdot \phi$$

Rf: 輻射発散度(W/m²)

(2) 建屋外壁の温度評価

建屋外壁の温度評価は、(1) で求めた輻射強度から、半無限個体の熱伝導方程式の解からコンクリート表面温度を算出する。

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

T₀: 初期温度[°C] E: 輻射強度[W/m²] x: コンクリート深さ t: 火炎継続時間[s]

C_p: コンクリート比熱[J/(kg·K)] ρ: コンクリート密度[kg/m³]

α: コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ λ: コンクリート熱伝導率[W/(m·K)]

求めた表面温度から、評価対象建屋のコンクリート外表面温度が 200°C となる危険距離を算出した。想定される最大のタンクローリーにおいて危険距離は 21m であった。

(3) 排気筒の温度評価

(1) で求めた輻射強度から、以下温度評価式で上昇温度を算出する。

$$T_{max} - T_a = \frac{\varepsilon E}{2h}$$

ε: 吸収率 E: 輻射強度[W/m²] h: 熱伝達率[W/m²/K] T_a: 周囲雰囲気温度[°C]

求めた表面温度から、排気筒温度が 350°C となる危険距離を算出した。想定される最大のタンクローリーにおいて危険距離は 7m であった。

(4) 復水貯蔵タンクの温度評価

(1) で求めた輻射強度から、以下温度評価式で上昇温度を算出する。

$$T - T_0 = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T_0 : 初期温度[°C] E : 輻射強度[W/m²] t : 燃焼継続時間[s] D_o : タンク外径[m]

h : タンク円筒高さ[m] ρ_w : 水の密度[kg/m³] C_{pw} : 水の比熱[J/kg/K]

V : 水の体積[m³] ρ_s : タンク壁材密度[kg/m³] C_{ps} : タンク壁材比熱[J/kg/K]

D_i : タンク内径[m] e : タンク最小板厚[m]

求めた表面温度から、復水貯蔵タンク温度が 66°C となる危険距離を算出した。想定される最大のタンクローリーにおいて危険距離は 15m であった。

(5) 危険距離の評価結果

タンクローリーの位置と評価対象設備との離隔距離は表 4-1 のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

表 4-1 タンクローリー火災の評価結果

評価対象	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	約 729	21
制御建屋	約 680	
海水ポンプ室*	—	
<u>固体廃棄物貯蔵所</u>	<u>約 609</u>	7
排気筒	約 866	
復水貯蔵タンク	約 834	<u>15</u>

※：海水ポンプ室設置機器については地下ピット方式のため、輻射熱の影響は直接受けない。(添付資料-2 参照)

(6) ガス爆発による影響評価

発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は 1,700kg であり、これが発電所敷地外の道路において原子炉施設に最も近い場所(牡鹿ゲート)にて、爆発した際の危険限界距離評価を次式より算出し、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

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

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 888×1000 (プロパン) [-] W : 設備定数 1.7[-]

表 4-2 危険限界距離評価結果

評価対象	離隔距離[m]	危険限界距離[m]
原子炉建屋	約 729	70
制御建屋	約 680	
海水ポンプ室	約 780	
固体廃棄物貯蔵所	約 609	
排気筒	約 866	
復水貯蔵タンク	約 834	

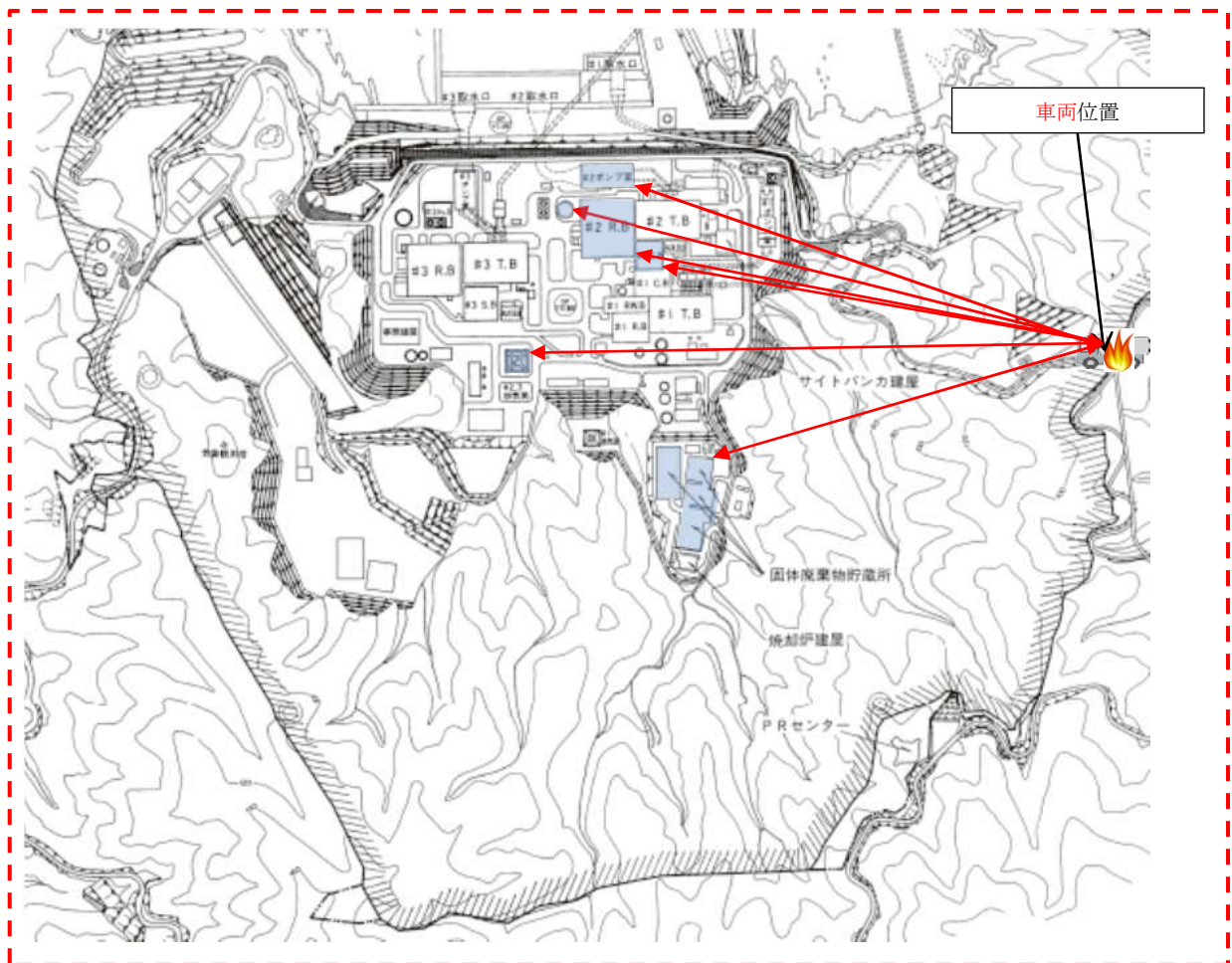


図 4-2 タンクローリー火災想定位置と原子炉施設との位置関係

3. 船舶による影響評価

発電所周辺には石油コンビナートが無く、大型タンカー等が付近を航行する主要航路が20km以上離れている(図4-3)ことから、女川原子力発電所内の港湾施設に入港する船舶の中で最大規模となる船舶の火災を想定して評価対象設備への熱影響評価を行った。

発電所港湾に停泊する熱影響が最大規模となる船舶として、1号炉補助ボイラーに使用する重油を運搬する船舶とし、温度評価にあたっては保守的に防潮堤がないものとして影響評価を実施する。

また、重油運搬船の位置は、喫水深さを考慮しても、熱影響が厳しい港湾内で原子炉施設に最も接近する位置(港湾の岸)を想定した。仮に港湾内で重油が流出しても、流出により重油が港湾内に拡散され、原子炉施設との距離が離れていく方向であり、熱影響が非保守側となることから、原子炉施設に最も接近する港湾の岸にて全量燃焼するものと想定した。

なお、評価においては港湾の岸にて評価を実施しているため、オイルフェンスによる流入防止を期待していないが、重油運搬船の入港時にはオイルフェンスを準備し、着岸中は船の周りにフェンスを設置することとしている。

計画外にオイルフェンスの設置が必要となった場合は、オイルフェンスを展張するための船、作業員の調達を含め7時間程度と見込んでいる。

オイルフェンスは港湾の保管庫に格納しており、また年に一度の点検により健全性を確認している。



国土地理院 1/100万地図を使用

図4-3 女川原子力発電所周辺の主要航路

(1) 評価条件

燃料の種類 :	重油
燃料量 :	2,242.794[kl]
輻射発散度 :	23,000[W/m ²] ※ガイド附属書 B の重油値
質量低下速度 :	0.035[kg/m ² /s] ※NUREG-1805 の Fuel Oil,heavy の値
燃料密度 :	900[kg/m ³]
底面断面積 :	958.8[m ²]

評価対象施設との形態係数 ϕ を算出する。

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

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

H: 火炎長(m) R: 火炎半径(m) L: 火炎中心からの距離(m)

求めた形態係数 ϕ に、燃料の輻射発散度を乗じて輻射強度 E を算出する。

$$E = Rf \cdot \phi$$

Rf: 輻射発散度(W/m²)

(2) 建屋外壁の温度評価

建屋外壁の温度評価は、(1) で求めた輻射強度から、半無限個体の熱伝導方程式の解からコンクリート表面温度を算出する。

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

T₀: 初期温度[°C] E: 輻射強度[W/m²] x: コンクリート深さ t: 火炎継続時間[s]

C_p: コンクリート比熱[J/(kg·K)] ρ: コンクリート密度[kg/m³]

α: コンクリート温度拡散率 $\left[\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \right]$ λ: コンクリート熱伝導率[W/(m·K)]

求めた輻射強度から上記式を使用して評価対象建屋のコンクリート外表面温度が 200°C となる危険距離を算出した。想定される最大の重油運搬船において危険距離は 110m であった。

(3) 排気筒の温度評価

(1) で求めた輻射強度から、以下温度評価式で上昇温度を算出する。

$$T_{max} - T_a = \frac{\varepsilon E}{2h}$$

ε: 吸収率 E: 輻射強度[W/m²] h: 熱伝達率[W/m²/K] T_a: 周囲雰囲気温度[°C]

求めた表面温度から、排気筒温度が 350°C となる危険距離を算出した。想定される最大の重油運搬船において危険距離は 18m であった。

(4) 復水貯蔵タンクの温度評価

(1) で求めた輻射強度から、以下温度評価式で上昇温度を算出する。

$$T - T_0 = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T₀ : 初期温度[°C] E : 輻射強度[W/m²] t : 燃焼継続時間[s] D_o : タンク外径[m]
 h : タンク円筒高さ[m] ρ_w : 水の密度[kg/m³] C_{pw} : 水の比熱[J/kg/K]
 V : 水の体積[m³] ρ_s : タンク壁材密度[kg/m³] C_{ps} タンク壁材比熱[J/kg/K]
 D_i : タンク内径[m] e : タンク最小板厚[m]

求めた表面温度から、復水貯蔵タンク温度が 66°C となる危険距離を算出した。想定される最大の重油運搬船において危険距離は 109m であった。

(5) 危険距離の評価結果

船舶の位置と評価対象設備との離隔距離は表 4-3 のとおりであり、すべて離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。

表 4-3 重油運搬船火災の評価結果

評価対象	離隔距離[m]	危険距離[m]
原子炉建屋	<u>約 186</u>	110
制御建屋	<u>約 257</u>	
海水ポンプ室*	—	
<u>固体廃棄物貯蔵所</u>	<u>約 559</u>	
排気筒	<u>約 410</u>	18
復水貯蔵タンク	<u>約 193</u>	<u>109</u>

※ : 海水ポンプ室設置機器については地下ピット方式のため、輻射熱の影響は直接受けない。(添付資料-2 参照)

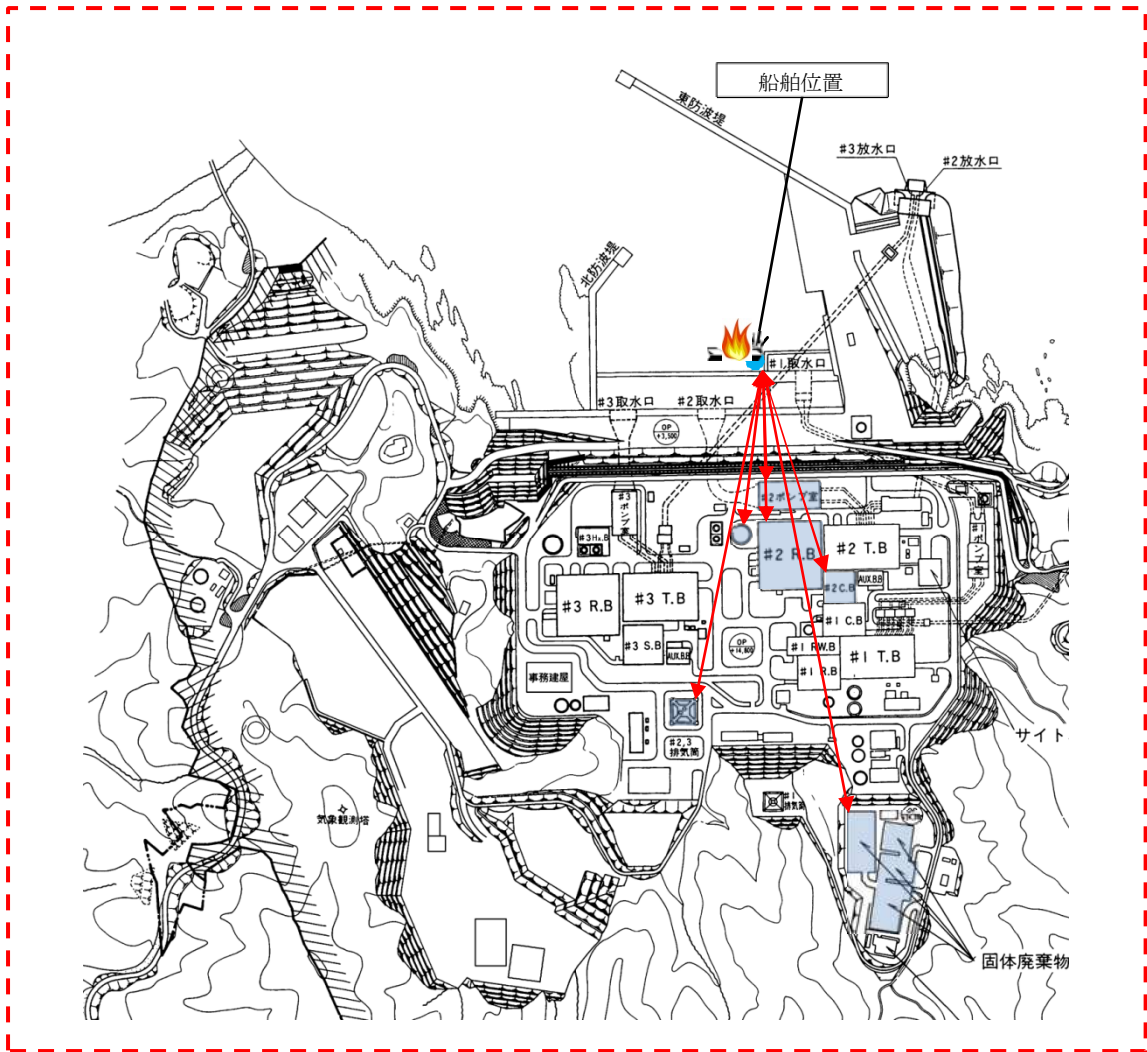


図 4-4 重油運搬船火災想定位置と原子炉施設との位置関係

敷地内における危険物施設の火災について

1. 目的

本評価は、女川原子力発電所の発電所敷地内における危険物タンクの火災が、女川2号炉の安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に影響を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。

なお、危険物施設外の設備として、変圧器について内部に絶縁油を内包していることから、火災源として想定した場合の原子炉施設への熱影響についても評価を実施した。（添付-1参照）

また、屋外に保管している可燃性ガスとして水素ガスボンベがあるが、屋外の換気の良い箇所に保管しており、漏出しても大気中に拡散することから火災の可能性は無いが、万が一着火した場合の影響についても評価を実施した。（添付-2参照）

（外部火災影響評価ガイド抜粋）

（2）近隣の産業施設の火災・爆発

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

2. 評価対象の考え方について

（1）発電所敷地内の発火源となる危険物施設

発電所敷地内に設置している危険物施設（表 5-2 参照）のうち、評価対象とする危険物施設を図 5-1 に基づき抽出する。

なお、発電所敷地内における危険物施設等の設置位置を図 5-2 に示す。

（2）評価対象とする危険物施設

抽出の結果、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンク、大容量電源装置、指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（油脂倉庫）、危険物を貯蔵している車両等（電源車、消防自動車、モニタリングカー他）を評価対象とする危険物施設とした。

ただし、抽出にあたり以下の危険物施設は評価対象外とした。

- a. 直接輻射熱の影響を受けない建屋内に設置している設備および地下貯蔵タンク
 ただし、大容量電源装置用燃料タンクは地下貯蔵タンクであり、地表面で火災が発生する可能性は低いですが、装置起動用発電機の軽油タンクが地上面にあることから、保守的に地下タンクとともに火災が発生した場合を想定する。
- b. 常時危険物を貯蔵していない「空」の状態で開催するタンクローリーおよび運用休止設備

(3) 熱影響評価を実施する危険物施設

図 5-1 に基づく抽出の結果、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンク、大容量電源装置を熱影響評価を実施する危険物施設とした。

ただし、抽出にあたり以下の危険物施設は熱影響評価不要とした。

- a. 軽油タンクと比べて貯蔵量が少なく離隔距離も遠い（周辺防護区域外に設置・保管）ことから、輻射発散度を考慮しても軽油タンク火災の熱影響評価に包絡される指定数量以下の危険物を貯蔵する倉庫（油脂倉庫）、車両等（電源車、消防自動車、モニタリングカー他）

表 5-1 輻射発散度

カフジ原油	41×10^3 (35×10^3)	メタノール	9.8×10^3 (8.4×10^3)
ガソリン・ナフサ	58×10^3 (50×10^3)	エタノール	12×10^3 (10×10^3)
灯油	50×10^3 (43×10^3)	LNG (メタン)	76×10^3 (65×10^3)
軽油	42×10^3 (36×10^3)	エチレン	134×10^3 (115×10^3)
重油	23×10^3 (20×10^3)	プロパン	74×10^3 (64×10^3)
ベンゼン	62×10^3 (53×10^3)	プロピレン	73×10^3 (53×10^3)
n-ヘキサン	85×10^3 (73×10^3)	n-ブタン	83×10^3 (71×10^3)

(外部火災影響評価ガイド抜粋)

(単位は W/m^2 , かっこ内は $kcal/m^2 \cdot h$)

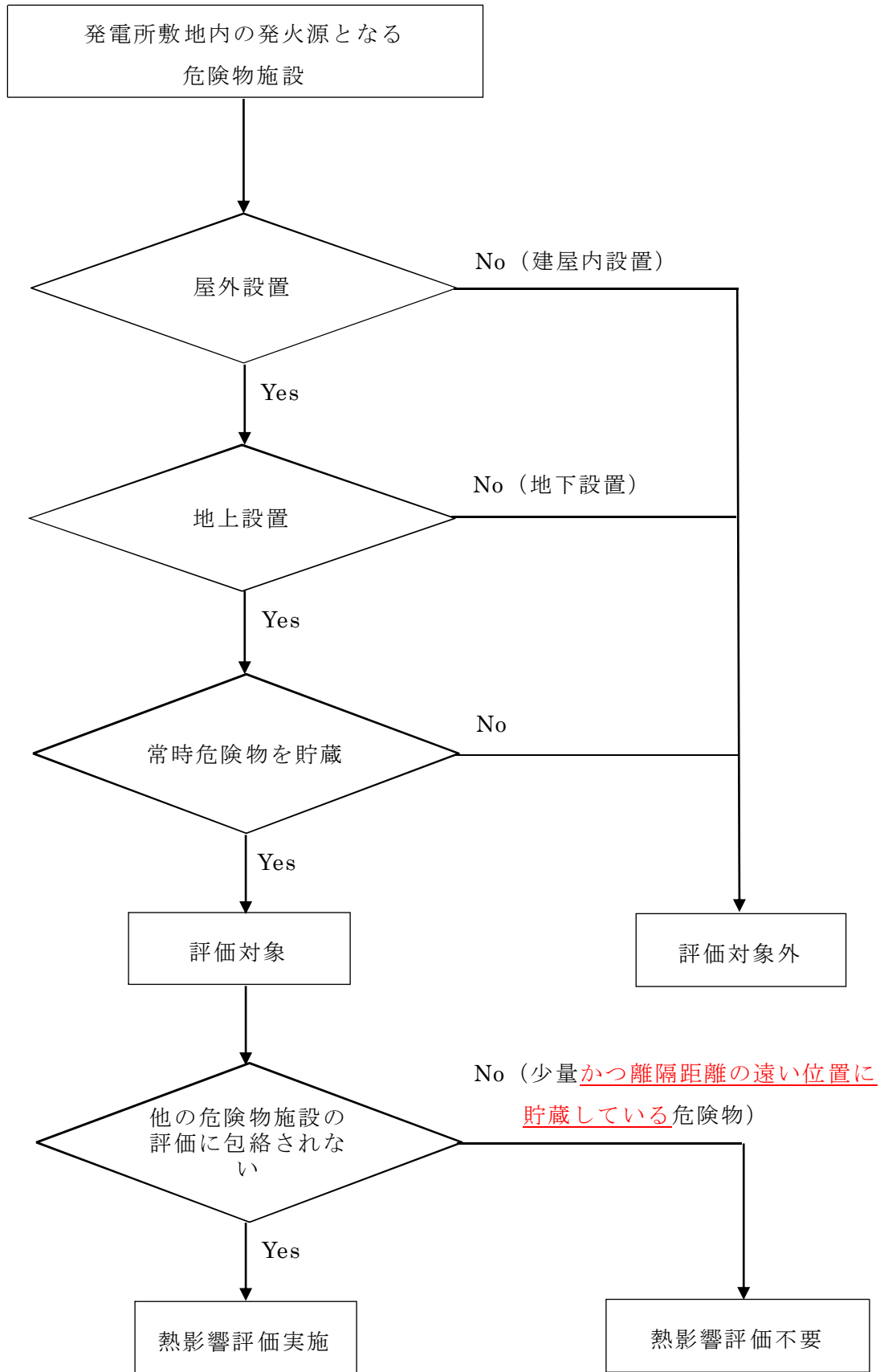


図 5-1 敷地内危険物施設のうち評価対象抽出フロー

表 5-2 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (1/5)

号炉	危険物施設名	製造所等の別	危険物の類		品名	最大数量	詳細評価要否
1号炉	補助ボイラー設備 ^{※1}	一般取扱所	第四類	第三石油類	重油	67.085kl	× (建屋内設置)
1号炉	620 kl 軽油貯蔵タンク	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	620 kl	○
1号炉	非常用ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	30.26 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8 kl	
1号炉	主油タンク, 油清浄機, 油補給タンク	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	95.5 kl	× (建屋内設置)
2号炉	330 kl 軽油貯蔵タンク(A) ^{※2}	屋外タンク貯蔵所 →(変更)地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (地下設置)
2号炉	330 kl 軽油貯蔵タンク(B) ^{※2}	屋外タンク貯蔵所 →(変更)地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	× (地下設置)
2号炉	非常用ディーゼル発電設備(A)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.664 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8.8 kl	
2号炉	非常用ディーゼル発電設備(B)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.664 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	8.8 kl	
2号炉	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	21.456 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	1.8 kl	
2号炉	タービン関連設備	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	177.38 kl	× (建屋内設置)
2号炉	固化設備 ^{※3}	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	スチレン	11 kl	× (設備休止「空」)
3号炉	330kl 軽油貯蔵タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	○
3号炉	330kl 軽油貯蔵タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	330 kl	○
3号炉	非常用ディーゼル発電設備(A)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.112 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	7 kl	
3号炉	非常用ディーゼル発電設備(B)	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	41.112 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	7 kl	
3号炉	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	21.456 kl	× (建屋内設置)
			第四類	第四石油類	潤滑油	1.8 kl	
3号炉	タービン関連設備	一般取扱所	第四類	第四石油類	潤滑油	122.5 kl	× (建屋内設置)

※1：1号炉補助ボイラー設備用として屋外に重油貯蔵タンクが設置されていたが、東北地方太平洋沖地震による津波により倒壊したため設備廃止

※2：2号炉軽油タンク(A)(B)は地下貯蔵化する

※3：2号炉固化設備は平成11年より設備休止中でタンクは空状態であり、今後危険物施設の廃止手続きを実施する。

表 5-2 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (2/5)

号炉	危険物施設名	製造所等の別	危険物の類		品名	最大数量	詳細評価要否
その他	大容量電源装置 ^{※3}	一般取扱所	第四類	第二石油類	軽油	74.025kl	× (常時「空」)
その他	大容量電源装置 ^{※3}	地下タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	軽油	90 kl	○
			第四類	第四石油類	潤滑油	10 kl	
その他	タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	灯油	4 kl	× (常時「空」)
			第四類	第二石油類	軽油	4 kl	
			第四類	第三石油類	重油	3.66 kl	
その他	タンクローリー	移動式タンク貯蔵所	第四類	第二石油類	灯油	4 kl	× (常時「空」)
			第四類	第二石油類	軽油	4 kl	
			第四類	第三石油類	重油	3.66 kl	

※3：評価に際し最大貯蔵量に加えて起動用発電機軽油タンク 5851（一般取扱所分）を加味して評価を実施。

表 5-2 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (3/5)

箇所	危険物の類		品名	運用最大数量	詳細評価要否
油脂倉庫	第四類	第四石油類	潤滑油	5,800 l	×
	第四類	第三石油類	潤滑油	40 l	(貯蔵容量, 距離)
第2油脂倉庫	第四類	第四石油類	潤滑油	5,800 l	×
	第四類	第三石油類	潤滑油	40 l	(貯蔵容量, 距離)

表 5-2 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (4/5)

箇所	数量	危険物の類		品名	燃料貯蔵量	詳細評価要否
化学消防ポンプ自動車 (消防車庫)	1 台	第四類	第二石油類	軽油	70 l	× (貯蔵容量, 距離)
水槽付消防ポンプ自動車 (消防車庫)	1 台	第四類	第二石油類	軽油	70 l	× (貯蔵容量, 距離)
代替注水車 (保修センター北側駐車場)	3 台	第四類	第二石油類	軽油	189 l	× (貯蔵容量, 距離)
高圧応急用発電機車 (高台電源センター)	6 台	第四類	第二石油類	軽油	1,500 l	× (貯蔵容量, 距離)
ユニック車 (高台)	1 台	第四類	第二石油類	軽油	100 l	× (貯蔵容量, 距離)
エンジン発電機 (構内設備変圧器室)	1 台	第四類	第一石油類	ガソリン	12.7 l	× (貯蔵容量, 距離)
ガソリン携行缶 (構内設備変圧器室)	2 缶	第四類	第一石油類	ガソリン	40 l	× (貯蔵容量, 距離)
灯油缶 (構内設備変圧器室)	2 缶	第四類	第二石油類	灯油	40 l	× (貯蔵容量, 距離)
タンクローリー(車両) (高台)	2 台	第四類	第二石油類	軽油	200 l	× (貯蔵容量, 距離)
送水車 (保修センター北側駐車場)	2 台	第四類	第二石油類	軽油	2,200 l	× (貯蔵容量, 距離)
ホース延長回収車 (保修センター北側駐車場)	2 台	第四類	第二石油類	軽油	270 l	× (貯蔵容量, 距離)
ホイールローダー (消防車庫)	2 台	第四類	第二石油類	軽油	240 l	× (貯蔵容量, 距離)
バックホウ (大容量電源装置)	2 台	第四類	第二石油類	軽油	740 l	× (貯蔵容量, 距離)
エンジンコンプレッサー (第一予備品・貯蔵品倉庫)	4 台	第四類	第二石油類	軽油	72 l	× (貯蔵容量, 距離)
可搬式ディーゼル発電機 (第一予備品・貯蔵品倉庫)	6 台	第四類	第二石油類	軽油	420 l	× (貯蔵容量, 距離)
モニタリングカー (消防車庫前)	1 台	第四類	第一石油類	ガソリン	96 l	× (貯蔵容量, 距離)
事務新館屋上 DG (事務新館)	1 式	第四類	第二石油類	軽油	950 l	× (貯蔵容量, 距離)

表 5-2 女川原子力発電所敷地内危険物施設一覧 (5/5)

設備名	危険物の類		品名	燃料貯蔵量	詳細評価要否
タンクローリー (重大事故等対処設備)	第四類	第二石油類	軽油	4 kl	× (常時「空」)
地下軽油タンク (高台)	第四類	第二石油類	軽油	300 kl (300m ³)	× (地下式)

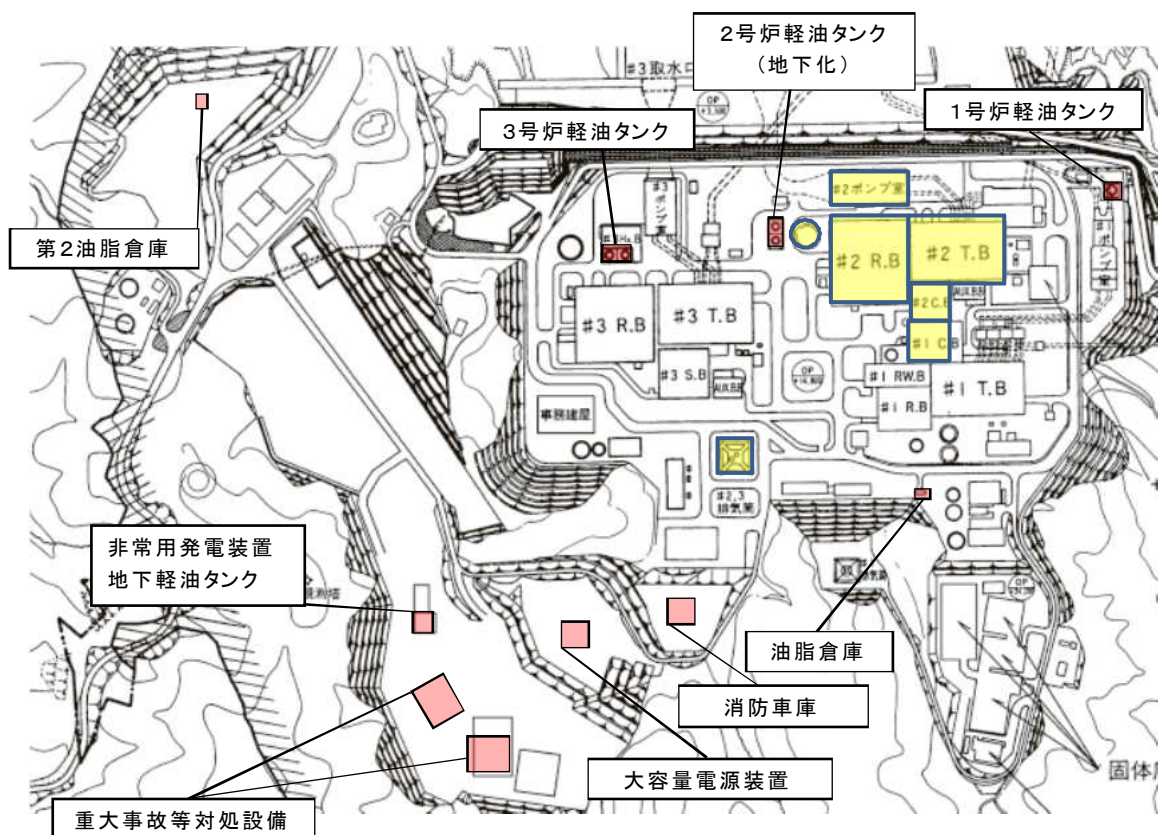


図 5-2 女川原子力発電所敷地内における主要な危険物施設等の位置

3. 温度影響評価

(1) 危険物施設の火災の想定

危険物施設の火災の想定は以下のとおりとした。

a. 想定条件

- i. 評価対象とする危険物施設は、前項で抽出した危険物施設を想定した。
- ii. 評価対象とする危険物施設の燃料は満載した状態を想定した。
- iii. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう i. で想定した危険物施設位置から原子炉施設までの直線距離とした。
- iv. 危険物施設の破損等による防油堤内の全面火災を想定した。
- v. 気象条件は無風状態とした。
- vi. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

b. 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 倍にした円筒火災モデルを採用した。

(2) 建屋外壁に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物施設のうち、1号炉軽油タンク、3号炉軽油タンク(AおよびB)、大容量電源装置に火災を想定して、原子炉施設外壁への熱影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりである。

		1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
			A	B	A + B	
燃料量 V [m ³]		620	330	330	660	90.585 (軽油) 10 (潤滑油)
輻射発散度 Rf [W/m ²]		42,000	42,000	42,000	42,000	42,000 (軽油,潤滑油)
燃焼速度 v [m/s]		5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5}	5.11×10^{-5} (軽油) 4.35×10^{-5} (潤滑油)
防油堤面積 S [m ²]		340	195.15	185.80	380.95	47.6115 (軽油) 6.1743 (潤滑油)
離 隔 距 離 [m]	原子炉建屋	201	206	191	191	407
	制御建屋	179	304	289	289	447
	タービン建屋	105	303	287	287	479

c. 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、燃焼半径は防油槽面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

$$R = \sqrt{S/\pi} \quad [\text{m}]$$

R : 燃焼半径[m], S : 防油槽面積 (= 燃焼面積) [m²]

		1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
			A	B	A + B	
燃焼半径 R [m]		10.404	7.882	7.691	11.012	3.893 (軽油) 1.402 (潤滑油)

d. 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
原子炉建屋 Φ [-]	5.246×10^{-3}	2.857×10^{-3}	3.167×10^{-3}	6.513×10^{-3}	1.987×10^{-4}
制御建屋 Φ [-]	6.620×10^{-3}	1.306×10^{-3}	1.376×10^{-3}	2.834×10^{-3}	1.647×10^{-4}
タービン建屋 Φ [-]	1.909×10^{-2}	1.314×10^{-3}	1.395×10^{-3}	2.874×10^{-3}	1.434×10^{-4}

e. 輻射強度の算出

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

$$E = Rf \cdot \Phi$$

E : 輻射強度[W/m²], Rf : 火炎輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
原子炉建屋 E [W/m ²]	221	121	133	274	9
制御建屋 E [W/m ²]	279	55	58	120	7
タービン建屋 E [W/m ²]	802	56	59	121	7

f. 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、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]

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
質量低下速度 M [kg/(m ² ·s)]	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044 (軽油) 0.039 (潤滑油)
燃料密度 ρ [kg/m ³]	860	860	860	860	860 (軽油) 895 (潤滑油)
燃焼継続時間 t [s]	35,686	33,093	34,758	33,905	37,233

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

T : 外壁表面温度 (°C)

T_0 : 初期温度 (50°C)

E : 輻射強度(W/m²)

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

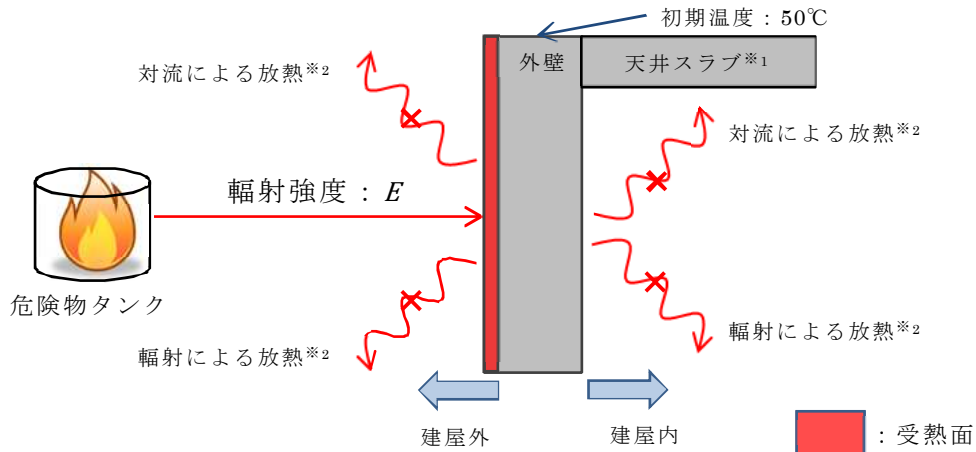
ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³)

C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)

x : コンクリート深さ (外表面のため 0m で算出)

t : 燃焼継続時間 (s)



※1 : 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

※2 : コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

図 5-3 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
原子炉建屋 外壁温度[°C]	約 74	約 63	約 64	約 79	約 51
制御建屋 外壁温度[°C]	約 80	約 56	約 57	約 63	約 51
タービン建屋 外壁温度[°C]	約 136	約 56	約 57	約 63	約 51

(3) 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンクによる復水貯蔵タンクへの火災影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは(2) b. データに加えて、以下のとおりである。

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
復水貯蔵タンク との距離	294	189	174	174	435

c. 燃焼半径の算出

(2) c. 同様

d. 形態係数の算出

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
形態係数 Φ [-]	2.442×10^{-3}	3.398×10^{-3}	3.820×10^{-3}	7.850×10^{-3}	1.739×10^{-4}

e. 輻射強度の評価

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
輻射強度 E [W/m ²]	103	143	161	330	8

f. 燃焼継続時間の算出

(2) f. 同様

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、復水貯蔵タンクの最高使用温度である 66℃とする。なお、温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

(b) タンク温度の算出

以下の式からタンク温度を算出する。タンク温度算出に必要なデータを示す。

$$T - T_0 = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

- T_0 : 初期温度(50[°C])
- E : 輻射強度[W/m²]
- t : 燃焼継続時間[s]
- D_o : タンク外径(20.012[m])
- h : タンク円筒高さ(11.8[m])
- ρ_w : 水の密度(979.9 [kg/m³]) ※1
- C_{pw} : 水の比熱(4186 [J/kg/K]) ※1
- V : 水の体積(690[m³])
- ρ_s : タンク壁材密度(7860[kg/m³]) ※2
- C_{ps} : タンク壁材比熱(473[J/kg/K]) ※2
- D_i : タンク内径(20.0[m])
- e : タンク最小板厚(0.006[m])

※1 : 伝熱工学資料第5版記載値(軽水)を66°Cとなるように線形補間した値
 ※2 : 伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)

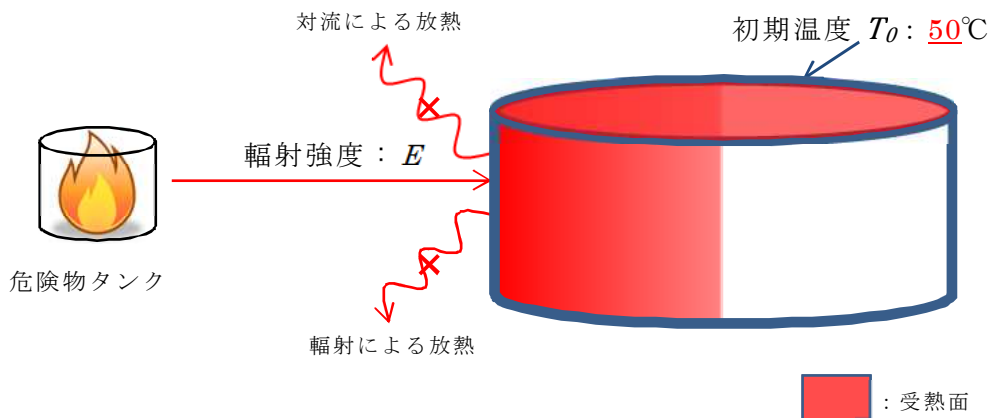


図 5-4 受熱面積のイメージ

(c) 評価結果

温度評価を実施し、復水貯蔵タンク温度は許容温度である 66°Cを下回ることを確認した。

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
復水貯蔵タンク 温度 T [°C]	約 51	約 52	約 52	約 53	約 51

(4) 排気筒に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンクによる排気筒への火災影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは(2) b. データに加えて、以下のとおりである。

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
排気筒 との距離	431	214	207	207	206

c. 燃焼半径の算出

(2) c. と同様。

d. 形態係数の算出

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
形態係数 Φ [-]	1.131×10^{-3}	2.647×10^{-3}	2.693×10^{-3}	5.543×10^{-3}	7.799×10^{-4}

e. 輻射強度の評価

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A+B	
輻射強度 E [W/m ²]	48	112	114	233	33

f. 燃焼継続時間の算出

(2) f. と同様。

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる排気筒の許容温度として、排気筒に使用されている鋼材材質 (SMA400AP, STK400, SS400) から、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に規定されている当該鋼材の制限温度である 350℃を許容温度とする。

(b) 評価結果

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し，外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。排気筒円筒材の境界条件の模式図を図 5-5 に示す。

なお，評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも支持鉄塔側が危険物タンクとの距離が近いこと（図 5-6 参照），材質も支持鉄塔は SS400 および STK400，筒身では SMA400AP であり，物性値が軟鋼で同一であることから，支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

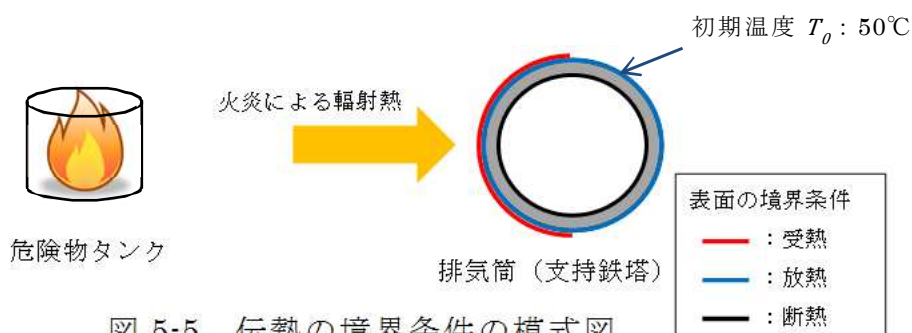


図 5-5 伝熱の境界条件の模式図

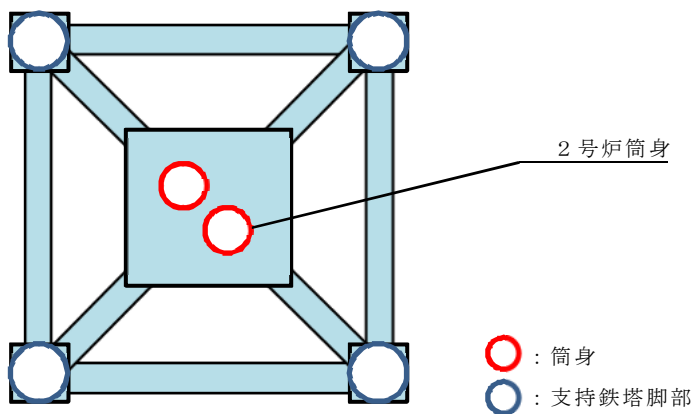


図 5-6 排気筒概略図

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T_{max} は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T_{max} - T_0)$$

ε : 吸収率 0.9[-]
 E : 輻射強度 [W/m²]
 D_o : 外径 [m]
 h : 熱伝達率 17 [W/m²/K]
 T_0 : 初期温度 50 [°C]

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると

$$T_{max} - T_0 = \frac{\varepsilon E}{2h}$$

と表せ、これを用いて温度評価を実施し、許容温度 350°C 以下であることを確認した。

	1号炉 軽油タンク	3号炉軽油タンク			大容量 電源装置
		A	B	A + B	
排気筒温度 T_{max} [°C]	約 52	約 53	約 53	約 57	約 51

(5) 海水ポンプに対する熱影響評価

海水ポンプ室設置機器は地下ピット方式のため、危険物タンク火災による輻射熱の影響は直接受けない構造である。(添付資料-2 参照)

4. まとめ

以上の結果から、発電所敷地内の危険物タンクにおいて火災が発生した場合を想定したとしても、原子炉施設（原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋）の外壁温度、復水貯蔵タンク温度および排気筒温度が許容温度を下回ることから、安全機能を有する構築物、系統および機器に熱影響をおよぼすことはない。

変圧器火災による熱影響評価

1. 評価方針

発電所敷地内変圧器は危険物施設ではないが燃焼する油を内包していることから、火災源として原子炉施設への熱影響評価を実施する。

2. 評価対象の考え方

(1) 発電所敷地内の発火源となる変圧器

発電所敷地内に設置している変圧器のうち、評価対象とするものを評価対象選定表（表 1）に基づき抽出する。

(2) 評価対象とする変圧器

抽出の結果、以下の変圧器を評価対象とした。

<評価対象変圧器>

- ・ 2号炉主変圧器
- ・ 2号炉起動変圧器
- ・ 2号炉所内変圧器
- ・ 2号炉励磁変圧器
- ・ 2号炉補助ボイラー変圧器
- ・ 2号炉 P L R－V V V F 変圧器
- ・ 3号炉主変圧器
- ・ 3号炉起動変圧器
- ・ 3号炉励磁変圧器

表 1 変圧器の評価対象選定表

		原子炉建屋		制御建屋		放射性気体 廃棄物処理設備		復水貯蔵タンク		排気筒	
		輻射熱 影響	除外 理由	輻射熱 影響	除外 理由	輻射熱 影響	除外 理由	輻射熱 影響	除外 理由	輻射熱 影響	除外 理由
共用	予備変圧器	×	—	×	—	○	※4	×	—	×	—
1号炉	主変圧器	×	—	×	—	×	—	×	—	○	※1
	起動変圧器	×	—	×	—	×	—	×	—	○	※1
	所内変圧器	×	—	×	—	×	—	×	—	○	※1
2号炉	主変圧器	×	—	×	—	○	—	×	—	×	—
	起動変圧器	×	—	○	—	○	—	×	—	×	—
	所内変圧器	×	—	×	—	○	—	×	—	×	—
	励磁変圧器	×	—	×	—	○	—	×	—	×	—
	補助ボイラ変圧器	×	—	○	—	○	※4	×	—	×	—
	PLR-VVVF変圧器	○	—	×	—	×	—	×	—	○	※1
3号炉	主変圧器	○	—	○	—	×	—	○	—	○	—
	起動変圧器	○	※1	○	※1	×	—	○	※1	○	—
	所内変圧器	○	※1	○	※1	×	—	○	※1	○	※1
	励磁変圧器	○	—	○	※3	×	—	○	—	○	※1
	補助ボイラ変圧器	○	※1	○	※1	×	—	○	※1	○	※5
	PLR-VVVF変圧器	○	※2	×	—	×	—	○	※1	×	—

「輻射熱影響」は、対象変圧器から対象原子炉施設が見えるか見えないかで判断

「除外理由」は、※1 より近く燃料量も大きい3号炉主変圧器に包絡される

※2 燃料量が同じのため、より近い2号炉 VVVF 変圧器に包絡される

※3 より近く燃料量も大きい2号炉起動変圧器に包絡される

※4 より近く燃料量も大きい2号炉主変圧器に包絡される

※5 より近く燃料量も大きい3号炉起動変圧器に包絡される

熱影響評価は、「輻射熱影響」が○かつ除外理由がない場合に評価を実施する

表 2 変圧器の燃料量

		燃料量 [kJ]
共用	予備変圧器	10
1号炉	主変圧器	100
	起動変圧器	48
	所内変圧器	14
2号炉	主変圧器	138
	起動変圧器	66
	所内変圧器	15
	励磁変圧器	7.8
	補助ボイラ変圧器	24.4
	PLR-VVVF変圧器	6.25
3号炉	主変圧器	138
	起動変圧器	40
	所内変圧器	13
	励磁変圧器	7.4
	補助ボイラ変圧器	18
	PLR-VVVF変圧器	6.25

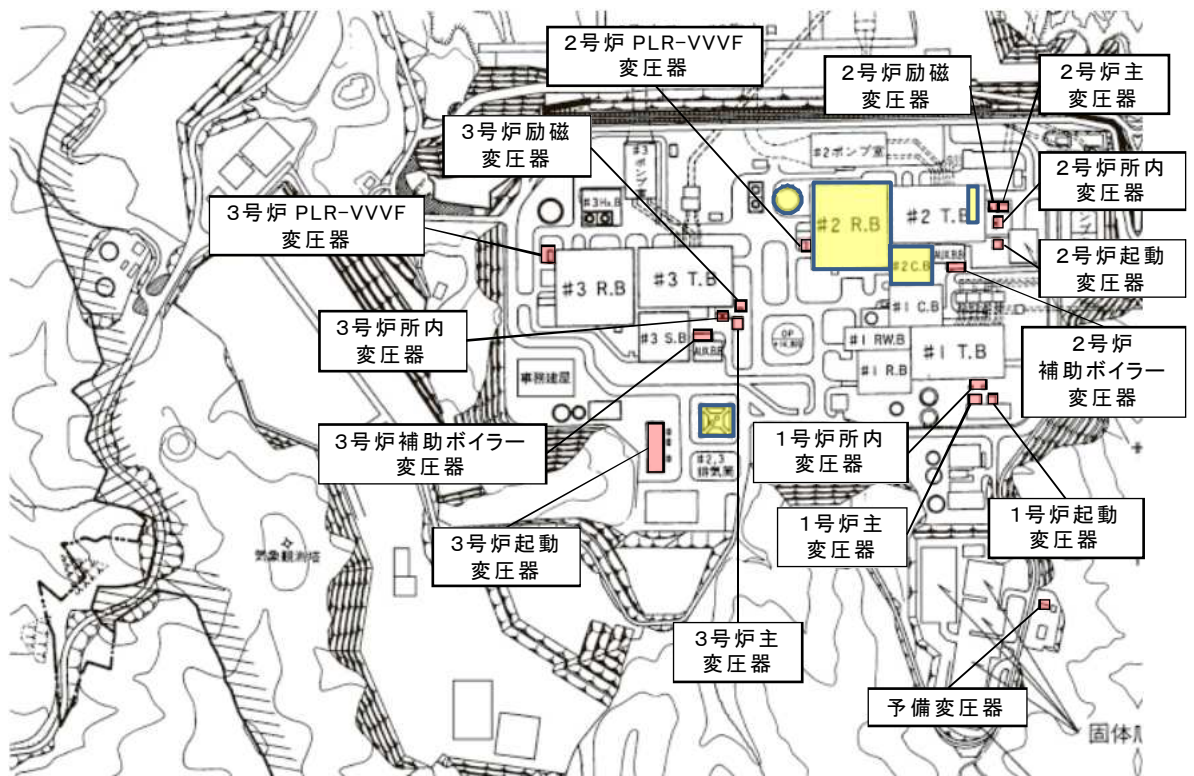


図 1 女川原子力発電所敷地内における変圧器の位置

3. 温度影響評価

(1) 変圧器火災の想定

変圧器火災の想定は以下のとおりとした。

a. 想定条件

- i. 評価対象とする変圧器は、前項で抽出した変圧器を想定した。
- ii. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう i. で想定した変圧器位置から原子炉施設までの直線距離とした。
- iii. 気象条件は無風状態とした。
- iv. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とした。

b. 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 倍にした円筒火災モデルを採用した。

(2) 原子炉施設に対する熱影響評価

a. 評価対象範囲

発電所敷地内に設置している屋外の変圧器のうち、前項で抽出した変圧器の火災を想定して、原子炉施設への熱影響評価を実施する。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりである。

変圧器	2号炉						3号炉		
	主変圧器	起動変圧器	所内変圧器	励磁変圧器	補助ボイラー変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
燃料量 V [m ³]	138	66	15	7.8	24.4	6.25	138	40	7.4
輻射発散度 Rf [W/m ²]	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
燃焼速度 v [m/s]	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}	4.28×10^{-5}
変圧器投影面積 S [m ²]	112	70	26	14	30	13	109	44	15
離隔距離 L [m]	原子炉建屋					4	87		79
	制御建屋		67			16	154		
	放射性気体廃棄物処理設備	22	26	16	12				
	復水貯蔵タンク						118		104
	排気筒						81	27	

c. 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、燃焼半径は変圧器本体の投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

$$R = \sqrt{S/\pi} \quad [\text{m}]$$

R : 燃焼半径[m], S : 変圧器の投影面積 (= 燃焼面積) [m²]

変圧器	2号炉						3号炉		
	主変圧器	起動変圧器	所内変圧器	励磁変圧器	補助ボイラー変圧器	PLR-VVVF変圧器	主変圧器	起動変圧器	励磁変圧器
燃焼半径 R [m]	5.971	4.721	2.877	2.112	3.091	2.035	5.891	3.743	2.186

d. 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

変圧器	2号炉					3号炉			
	主 変圧器	起動 変圧器	所内 変圧器	励磁 変圧器	補助 ボイラー 変圧器	PLR- VVVF 変圧器	主 変圧器	起動 変圧器	励磁 変圧器
原子炉建屋 Φ [-]						2.498×10^{-1}	8.985×10^{-3}		1.488×10^{-3}
制御建屋 Φ [-]		9.728×10^{-3}				6.582×10^{-2}	2.856×10^{-3}		
放射性気体 廃棄物処理設備 Φ [-]	1.132×10^{-1}	5.915×10^{-2}	5.815×10^{-2}	5.600×10^{-2}					
復水貯蔵タンク Φ [-]							4.879×10^{-3}		8.557×10^{-4}
排気筒 Φ [-]							1.037×10^{-2}	3.630×10^{-2}	

e. 輻射強度の算出

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

なお、実際の油の液面火災においては、火災面積の直径が 10mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し、輻射発散度が低減する。このことを考慮せずに放射熱を計算すると過大評価となるため、輻射発散度の低減による効果を考慮する※1。

輻射発散度の低減率 r は

$$r = \exp(-0.06D)$$

である。ただし、 $D=2R$ である。低減率を考慮した輻射強度は

$$E = Rf \cdot \Phi \cdot r$$

E : 輻射強度[W/m²], Rf : 火炎輻射発散度[W/m²], Φ : 形態係数, r : 低減率

である。

※1 「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）の参考資料 2

変圧器	2号炉						3号炉		
	主 変圧器	起動 変圧器	所内 変圧器	励磁 変圧器	補助 ボイラー 変圧器	PLR- VVVF 変圧器	主 変圧器	起動 変圧器	励磁 変圧器
原子炉建屋 E [W/m ²]						4,538	104		35
制御建屋 E [W/m ²]		128			1,060		33		
放射性気体 廃棄物処理設備 E [W/m ²]	1,276	776	950	1,005					
復水貯蔵タンク E [W/m ²]							57		16
排気筒 E [W/m ²]							120	535	

f. 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、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]

変圧器	2号炉						3号炉		
	主 変圧器	起動 変圧器	所内 変圧器	励磁 変圧器	補助 ボイラー 変圧器	PLR- VVVF 変圧器	主 変圧器	起動 変圧器	励磁 変圧器
質量低下速度 M [kg/(m ² ·s)]	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
燃料密度 ρ [kg/m ³]	910	910	910	910	910	910	910	910	910
燃焼継続時間 t [s]	28,789	22,030	13,480	13,018	19,004	11,233	29,581	21,241	11,527

g. 判断の考え方

(a) 建屋外壁

i. 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

ii. 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮し、輻射発散度の低減も考慮した。

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

T : 外壁表面温度 (°C)

T_0 : 初期温度 (50°C)

E : 輻射強度 (W/m²)

h : コンクリート熱伝達率 (17 W/m²/K)

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

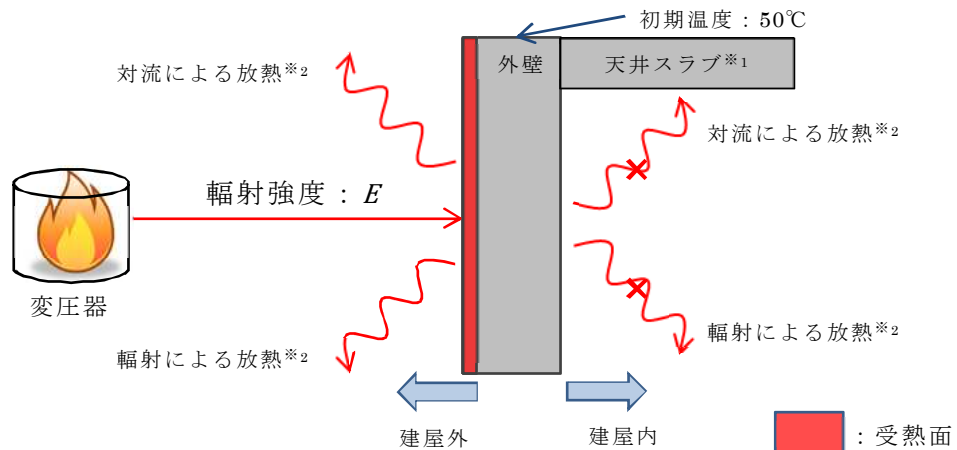
ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³)

C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)

x : コンクリート深さ (外表面のため 0m で算出)

t : 燃焼継続時間 (s)



※1: 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される

※2: コンクリート表面温度評価にあたっては、外側は対流および輻射による放熱は考慮するものとし、内側は対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

図 2 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

(b) 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

i. 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、復水貯蔵タンクの最高使用温度である 66℃とする。なお、温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

ii. タンク温度の算出

以下の式からタンク温度を算出する。タンク温度算出に必要なとなるデータを示す。

$$T - T_0 = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

- T_0 : 初期温度(50[℃])
- E : 輻射強度[W/m²]
- t : 燃焼継続時間[s]
- D_o : タンク外径(20.012[m])
- h : タンク円筒高さ(11.8[m])
- ρ_w : 水の密度(979.9 [kg/m³]) ※1
- C_{pw} : 水の比熱(4186 [J/kg/K]) ※1
- V : 水の体積(690[m³])
- ρ_s : タンク壁材密度(7860[kg/m³]) ※2
- C_{ps} : タンク壁材比熱(473[J/kg/K]) ※2
- D_i : タンク内径(20.0[m])
- e : タンク最小板厚(0.006[m])

※1 : 伝熱工学資料第5版記載値(軽水)を66℃となるように線形補間した値

※2 : 伝熱工学資料第5版記載値(キルド鋼)

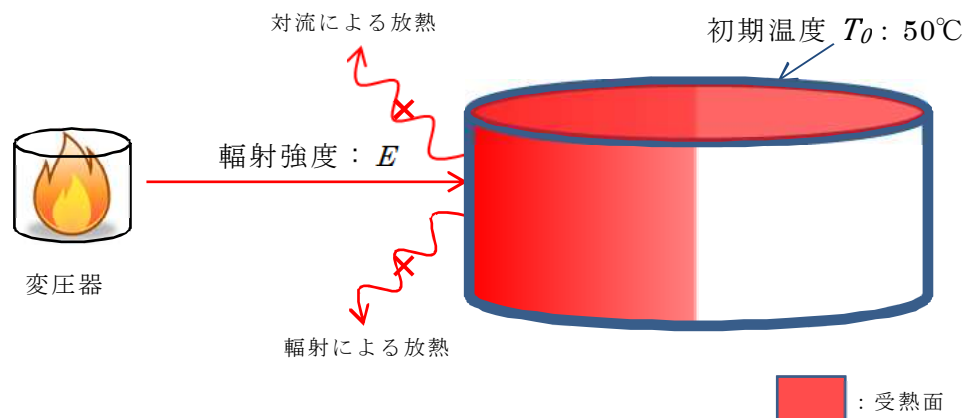


図3 受熱面積のイメージ

(c) 排気筒に対する熱影響評価

i. 許容温度

本火災影響評価で用いる排気筒の許容温度として、排気筒に使用されている鋼材材質（SMA400AP, STK400, SS400）から、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に規定されている当該鋼材の制限温度である 350℃を許容温度とする。

ii. 評価結果

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し、外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。排気筒円筒材の境界条件の模式図を図 3 に示す。

なお、評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが、筒身よりも支持鉄塔側が危険物タンクとの距離が近いこと（図 4 参照）、材質も支持鉄塔は SS400 および STK400、筒身では SMA400AP であり、物性値が軟鋼で同一であることから、支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

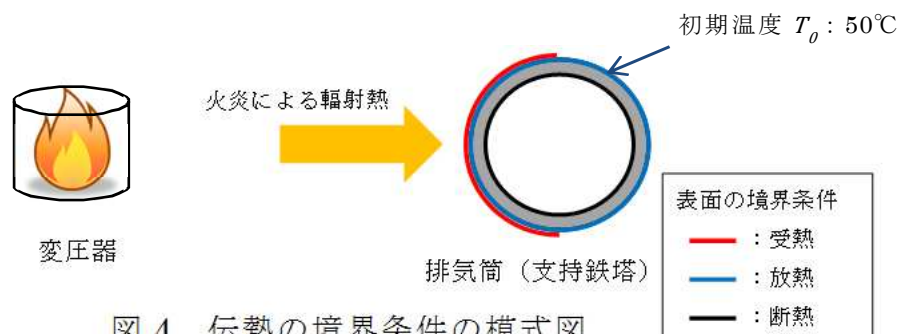


図 4 伝熱の境界条件の模式図

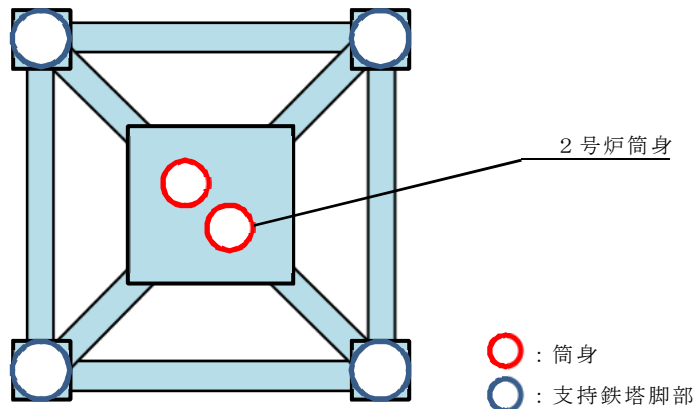


図 5 排気筒概略図

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T_{max} は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T_{max} - T_0)$$

ε : 吸収率 0.9[-]
 E : 輻射強度 [W/m²]
 D_o : 外径 [m]
 h : 熱伝達率 17[W/m²/K]
 T_0 : 初期温度 50[°C]

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると

$$T_{max} - T_0 = \frac{\varepsilon E}{2h}$$

と表せる。

(5) 評価結果

建屋外壁、復水貯蔵タンク、排気筒の温度評価結果を以下に示す。

変圧器	2号炉					3号炉			
	主 変圧器	起動 変圧器	所内 変圧器	励磁 変圧器	補助 ボイラー 変圧器	PLR- VVVF 変圧器	主 変圧器	起動 変圧器	励磁 変圧器
原子炉建屋 外壁温度 [°C]						約 195	約 55		約 51
制御建屋 外壁温度 [°C]		約 55			約 89		約 52		
放射性気体 廃棄物処理設備 室壁温度 [°C]	約 101	約 79	約 82	約 84					
復水貯蔵タンク 温度 [°C]							約 51		約 51
排気筒 温度 [°C]							約 54	約 65	

※許容温度：壁温度 200°C，復水貯蔵タンク 66°C，排気筒 350°C

4. まとめ

以上の結果から、発電所敷地内の変圧器において火災が発生した場合を想定したとしても、原子炉施設（原子炉建屋、制御建屋）外壁温度、放射性気体廃棄物処理設備室壁温度、復水貯蔵タンク温度および排気筒温度が許容温度を下回ることから、安全機能を有する構築物、系統および機器に熱影響をおよぼすことはない。

3. 評価結果について

原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの「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」に基づき、評価を実施する。

危険限界距離（爆風圧が 0.01MPa 以下となる距離）は以下の式より算出する。

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

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

表 2 に評価条件、表 3 に算出された危険限界距離および表 4 に各施設との離隔距離を示す。

表 2 爆風圧の影響評価に対する評価条件

評価項目	評価条件	備考
気象条件	無風状態	
貯蔵ガス	水素	
貯蔵ガス定数 K 値	2,860	
貯蔵量	1号炉 84本(52.1556kg) 2号炉 60本(37.2540kg) 3号炉 42本(26.0778kg)	水素密度 0.0887[kg/m ³] とする。
貯蔵設備定数 W 値	1号炉 0.0521556 2号炉 0.0372540 3号炉 0.0260778	保守的に貯蔵 量と同一とす る。
爆発形態	高压ガスの漏えい後、引火によりガス爆発が発生	

表 3 危険限界距離評価結果

	1号炉 ガスボンベ庫	2号炉 ガスボンベ庫	3号炉 ガスボンベ庫
危険限界距離	31 m	28 m	25 m

表 4 原子炉施設との離隔距離

施設	1号炉 ガスボンベ庫	2号炉 ガスボンベ庫	3号炉 ガスボンベ庫
原子炉建屋	179	125	84
制御建屋	134	104	181
タービン建屋	144	29	179
復水貯蔵タンク	294	220	67
排気筒	299	358	182

4. まとめ

以上の結果から、発電所敷地内の水素ガスが爆発した場合においても、各水素ガス保管施設と原子炉施設との離隔距離が危険限界距離を上回ることから、爆風圧による影響はない。

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

はじめに

本評価は、女川原子力発電所2号炉における発電所敷地への航空機の落下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安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に影響をおよぼさないことについて、原子力発電所の外部火災評価ガイドに基づき、評価を実施するものである。

1. 評価の方針

航空機落下確率評価については、評価手法の違いからカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、評価に考慮している航空機落下事故については、訓練中の事故等、民間航空機と軍用機（自衛隊機または米軍機）では、その発生状況が必ずしも同一ではない。従って、航空機落下確率でのカテゴリ別に以下のとおり分類し、航空機落下による火災の影響を評価する。

- (1) 計器飛行方式および有視界飛行方式の大型の民間航空機の落下事故
- (2) 軍用機の落下事故
 - a. 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
 - b. その他の大型固定翼機、小型固定翼機および回転翼機
 - c. 基地－訓練空域間往復時

2. 航空機落下による火災の熱影響の評価

(1) 航空機落下による火災の想定

航空機落下による火災の想定は以下のとおりとした。

- a. 想定条件
 - (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち、燃料積載量が最大の機種とした。(添付-1)

項目	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
高高度巡航が想定される大型固定翼機		その他の機種		
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2

- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定した。
- (c) 航空機の墜落は発電所敷地内であって墜落確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定した。
- (d) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定した。
- (e) 気象条件は無風状態とした。
- (f) 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

- b. 輻射強度の算定については、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ために、半径が 1.5m 以上の場合で火炎の高さ（輻射体）を半径の3倍にした円筒火災モデルを採用した。

(2) 航空機落下による火災の熱影響の有無の評価

a. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、大型の民間航空機および軍用機の機種を対象とし、落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する標的面積を算出し、その結果から原子炉施設からの離隔距離を求めた。

(a) 標的面積の算出

「実用発電用原子炉への航空機落下確率の評価基準について」に基づき、落下確率 10^{-7} [回/炉・年] に相当する標的面積を算出した。

- i. 計器飛行方式および有視界飛行方式の大型の民間航空機の落下事故
計器飛行方式の民間航空機の落下確率 P_c を求める式は以下のとおり。

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 対象施設に対する巡航中の航空機落下確率 [回/年]

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行時間当たりの巡航中の落下事故確率 [回 / (飛行回・km)]

G_c : 巡航中事故件数 [回]

H_c : のべ飛行距離 [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]

	女川原子力発電所 2 号炉
対象航空路 ^{注1}	直行経路 MIYAKO(MQE)-IWAKI(IXE)
f_c ^{注2}	0.5/9,439,243,077=5.30×10 ⁻¹¹
N_c ^{注3}	182.5
A ^{注4}	0.0114
W ^{注5}	27
P_c	4.08×10 ⁻¹²

注 1 : 女川原子力発電所周辺の航空路図 (AIP エンルートチャート) による。
(添付-2)

注 2 : 事故件数は、平成 3 年～平成 22 年の間で 0 件であるため保守的に 0.5 件と仮定した。延べ飛行距離は平成 4 年～平成 23 年の「航空輸送統計年報、第 1 表 総括表、1.輸送実績」における運航キロメートルの国内の値を合計した値。(添付-3)

注 3 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果を 365 倍した値。(添付-4)

注 4 : 原子炉建屋、制御建屋等の水平面積を合計した値。(添付-5)

注 5 : 「航空路等設定基準」による。

有視界飛行方式の大型の民間航空機の落下確率 P_v を求める式は以下のとおり。

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_v : 単位年あたりの落下事故率 [回/年]

S_v : 全国土面積 (=37.2 万 km^2)

A : 標的面積 [km^2]

α : 対象航空機の種類による係数

	女川原子力発電所 2 号炉
f_v 注1	大型固定翼機 0.5/20=0.025 大型回転翼機 2/20=0.1
S_v 注1	372,000
A	0.0114
α 注1	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1
P_v	3.83×10^{-9}

注 1 : 「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構) による。

航空路等を巡航中の航空機の落下確率 ($P_c + P_v$) が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を求める式は以下のとおり。

$$A' = \frac{10^{-7}}{P_c + P_v} \cdot A$$

上記より、標的面積 A' は、 $A' = 0.297650$ [km^2] となる。

ii. 自衛隊機または米軍機

自衛隊機または米軍機のうち、訓練空域外を飛行中の落下確率 P_{so} を求める式は以下のとおり。

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{so} : 単位年あたりの訓練空域外落下事故率 [回/年]

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

A : 標的面積 [km^2]

高高度巡航が想定される大型固定翼機

	女川原子力発電所 2 号炉
f_{so} 注1	自衛隊機 0.5/20=0.025 米軍機 1/20=0.05
S_o 注1	自衛隊機 295,000 米軍機 372,000
A	0.0114
P_{so}	2.50×10^{-9}

その他の機種

		女川原子力発電所 2 号炉			
		大型固定翼機	小型固定翼機	大型回転翼機	小型回転翼機
f_{so} 注1	自衛隊機	1/20=0.05	1/20=0.05	1/20=0.05	5/20=0.25
	米軍機	2/20=0.1	1/20=0.05	1/20=0.05	0.5/20=0.025
S_o 注1	自衛隊機	295000			
	米軍機	372000			
A		0.0114			
P_{so}	自衛隊機	1.93×10^{-9}	1.93×10^{-9}	1.93×10^{-9}	9.66×10^{-9}
	米軍機	3.06×10^{-9}	1.53×10^{-9}	1.53×10^{-9}	7.66×10^{-10}
	計	2.23×10^{-8}			

注1: 「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構) による。

上記より、航空路等を巡航中の航空機の落下確率 (P_{so}) が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' をそれぞれ算出すると以下のとおりとなる。

A' (高高度巡航が想定される大型固定翼機) = 0.456000 [km^2]

A' (その他の機種) = 0.051121 [km^2]

自衛隊機または米軍機のうち、基地－訓練空域間往復時の落下確率 P_{tr} を求める式は以下のとおり。

$$P_{tr} = f_{tr} N_{tr} A F(x)_{tr}$$

P_{tr} : 対象施設への航空機落下確率 [回/年]

f_{tr} : 当該移動経路を巡航中の落下事故率 [回/ (飛行回・km)]

N_{tr} : 当該移動経路の年間飛行回数 [飛行回/年]

A : 標的面積 [km²]

$$F(x)_{tr} : \text{事故点分布関数 [km}^{-1}] = \frac{0.625}{2} \exp(-0.625|x|)$$

x : 移動経路から発電所までの距離

		女川原子力発電所 2 号炉
対象飛行場		航空自衛隊松島飛行場
f_{tr} 注1		1.57×10^{-7}
N_{tr} 注2	N_{tr} 北側	8400
	N_{tr} 南側	8400
A		0.0114
$F(x)_{tr}$ 注3	$F(x)_{tr}$ 北側	$F(9.5)_{tr} = 8.25 \times 10^{-4}$
	$F(x)_{tr}$ 南側	$F(10.5)_{tr} = 4.41 \times 10^{-4}$
P_{tr}	P_{tr} 北側	1.24×10^{-8}
	P_{tr} 南側	6.63×10^{-9}
	合計	1.90×10^{-8}

注 1 : 事故件数は、平成 12 年 3 月 11 日及び同年 7 月 4 日の 2 件 3 機。

移動経路は、防衛庁 (当時) 発表 (平成 12 年 8 月 10 日) の再発防止対策に基づき、発電所に対して北側移動経路 (157.0km) 及び南側移動経路 (70.2km) とする。(添付-6)

飛行頻度は、北側と南側で同頻度とする。

訓練頻度は、航空自衛隊松島飛行場によれば、700 機/月。

注 2 : 注 1 より 700×2 (往復) $\times 12$ (ヶ月) $\div 2$ (経路) = 8400

注 3 : 北側及び南側移動経路から発電所までの最短距離とする。

上記より、航空路等を巡航中の航空機の落下確率 (P_{tr}) が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積 A' を算出すると、 $A' = 0.060000$ [km²] となる。

(b) 原子炉施設からの離隔距離の算出

(a) で求めた面積と、評価対象となる原子炉施設の周辺に L[m] の離隔距離を含めた火災評価上の標的面積との関係から離隔距離 L を算出した結果は以下のとおり。

離隔距離の算出の考え方を添付-7 に、航空機落下火災および3号炉軽油タンク火災の重畳の評価位置を添付-8 に示す。

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
離隔距離 L[m]	89	115	24	28

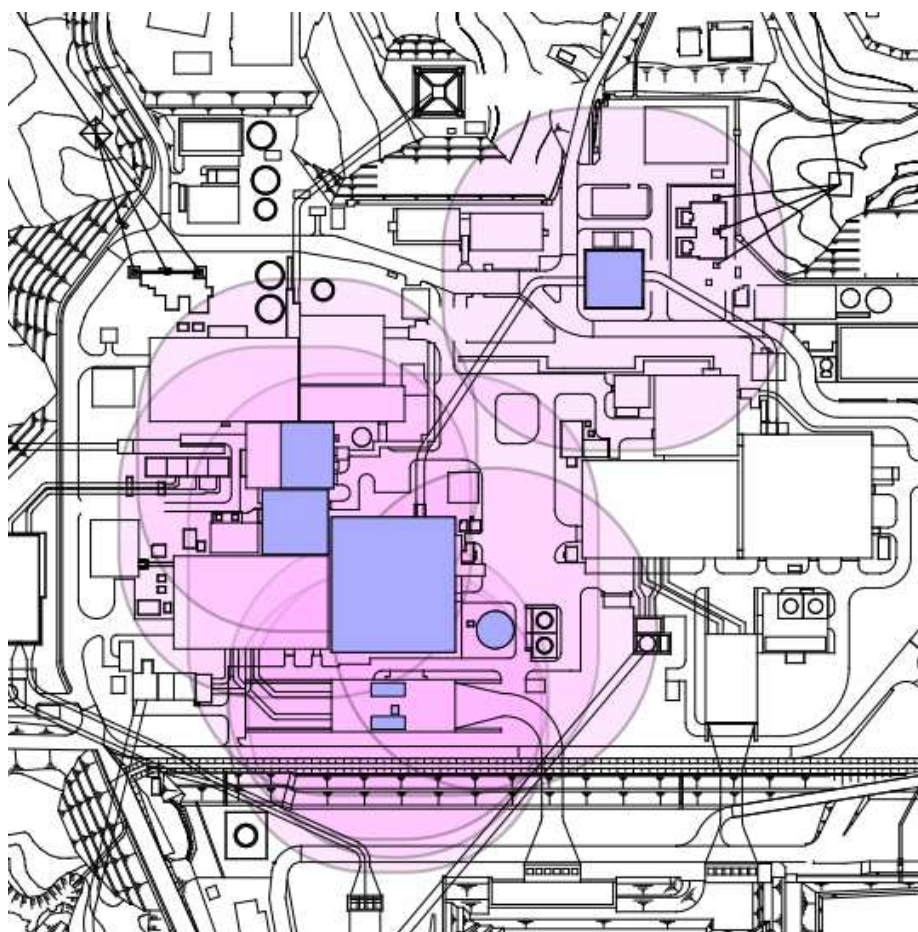


図 6-1 民間航空機 (計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)) の離隔距離のイメージ

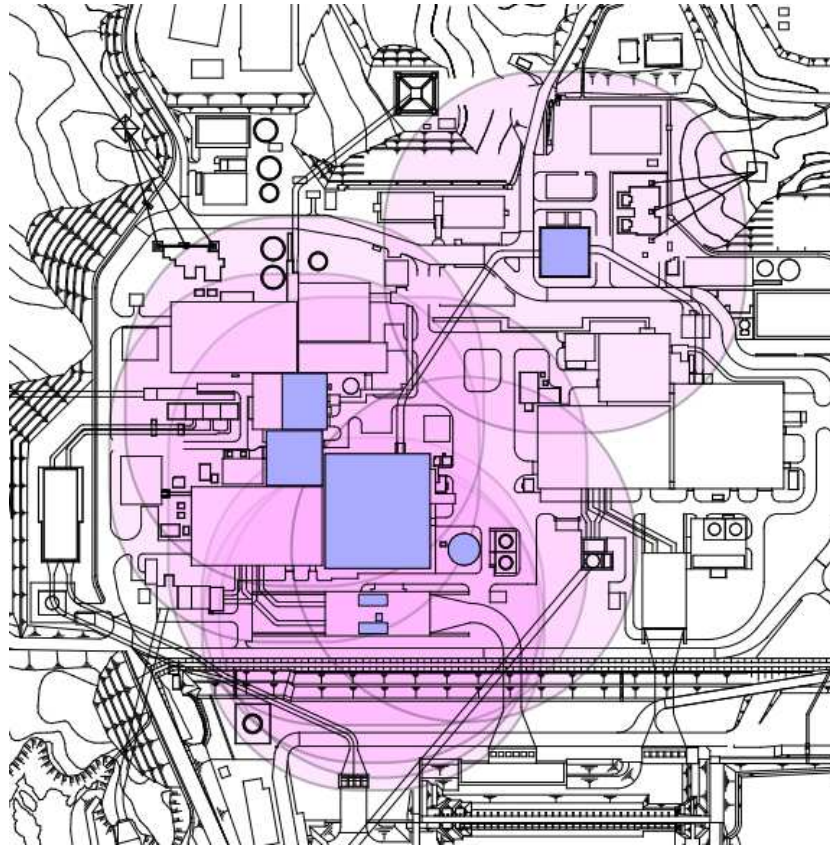


図 6-2 自衛隊機または米軍機（高高度巡航が想定される大型固定翼機）の離隔距離のイメージ

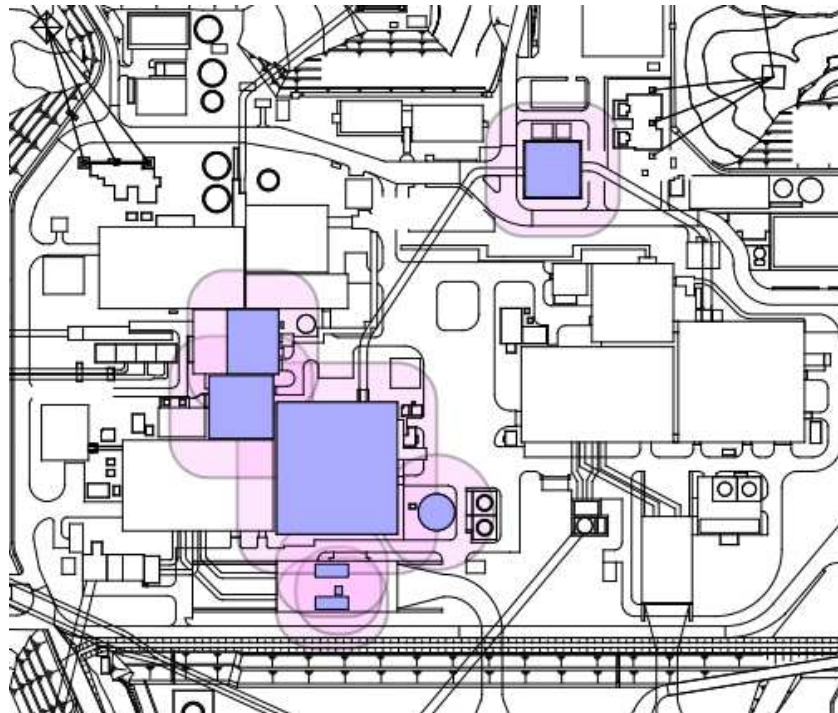


図 6-3 自衛隊機または米軍機（その他の機種）の離隔距離のイメージ

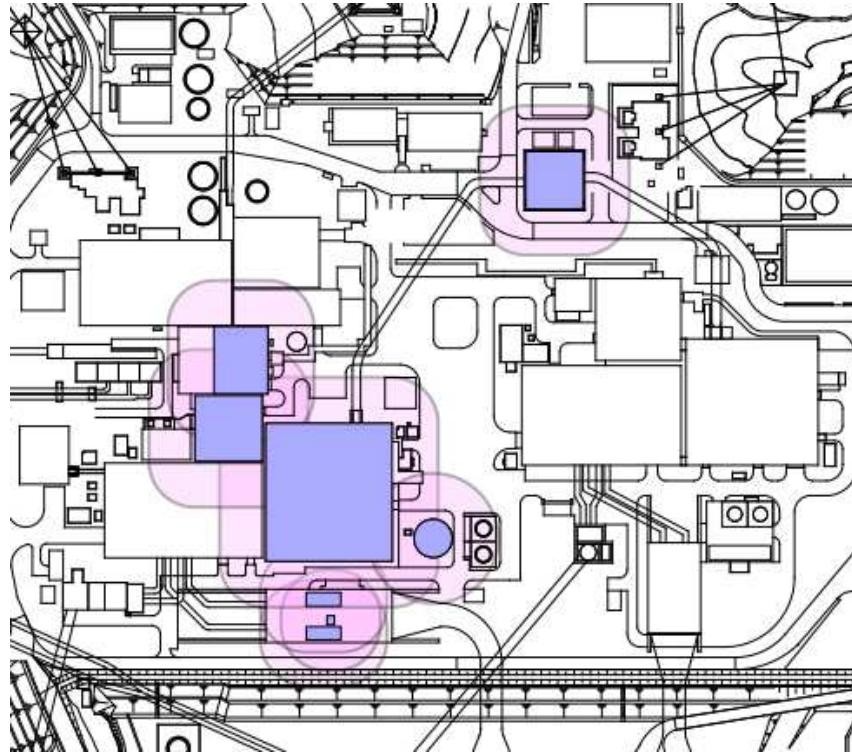


図 6-4 自衛隊機または米軍機（基地—訓練空域間往復時）の離隔距離のイメージ

b. 必要データ

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
対象機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84	145.04	14.87	10.43
輻射発散度 [W/m ²]	50,000	58,000	58,000	58,000
燃焼速度 [m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵
燃焼面積 [m ²]	700	405.2	44.6	35
原子炉施設からの距離 [m]	89	115	<u>24</u>	28

c. 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、燃焼半径は航空機の燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

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

R : 燃焼半径[m], S : 燃料タンクの投影面積 (=燃焼面積) [m²]

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
燃焼半径[m]	14.928	11.357	3.768	3.338

d. 形態係数の算出

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

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

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離[m], H : 炎の高さ[m], R : 燃焼半径[m]

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地—訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
形態係数	5.142×10^{-2}	1.896×10^{-2}	<u>4.565×10^{-2}</u>	2.729×10^{-2}

e. 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乗じた値になる。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E : 輻射強度[W/m²], Rf : 輻射発散度[W/m²], ϕ : 形態係数

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地—訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
輻射強度 [W/m ²]	2,571	1,100	<u>2,648</u>	1,583

f. 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除した値になる。

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

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

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
質量低下速度[kg/m ² /s]	0.039	0.051	0.051	0.051
燃料密度[kg/m ³]	840	760	760	760
燃焼継続時間[hr]	1.855	1.482	1.381	1.234

g. 判断の考え方

(a) 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200℃とする。

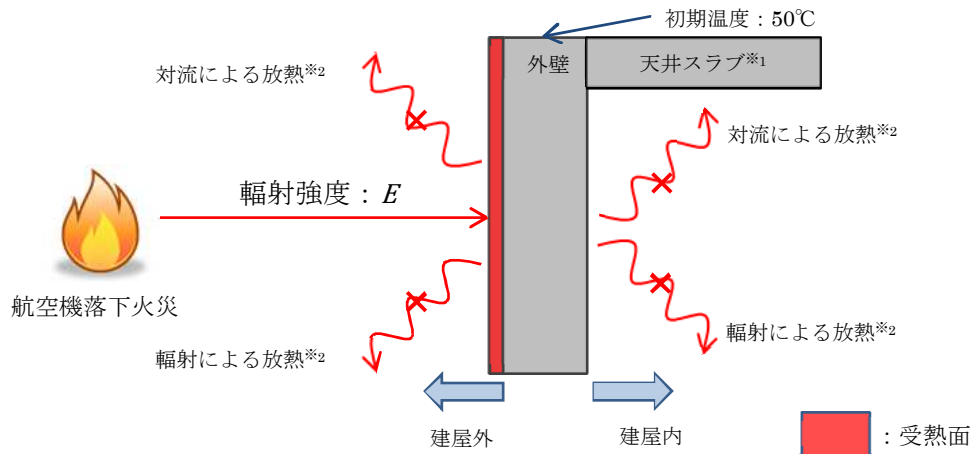
(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。なお、コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

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

T(x) : 表面から x(m)の位置の温度 (°C)

- T_0 : 初期温度 (50°C)
 E : 輻射強度 (W/m²)
 α : コンクリート温度伝導率 ($= \lambda / \rho C_p$) (m²/s)
 ρ : コンクリート密度 (2,400 kg/m³)
 C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
 λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/mK)
 x : コンクリート深さ (m)
 t : 燃焼継続時間 (s)



※1 : 天井スラブは外壁よりも火災源からの距離が遠いことから、天井スラブの評価は外壁の評価に包絡される
 ※2 : コンクリート表面温度評価にあたっては、対流および輻射による放熱は考慮しないものとした

図 6-5 一次元非定常熱伝導方程式による温度算出概念図

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中 高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	基地-訓練空域間往復時
原子炉施設 外壁の表面 温度 [°C]	約 169	約 96	約 156	約 110

h. 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

航空機落下による復水貯蔵タンクへの熱影響評価を実施する。

(b) 必要データおよび算出データ

必要データ，算出データ（燃焼半径，形態係数，輻射強度，燃焼継続時間）については，前項 b～f と同様である。

(c) 判断の考え方

i. 許容温度

本火災影響評価で用いる許容温度については，復水貯蔵タンクの最高使用温度である 66℃とする。なお，温度評価にあたっては，対流および輻射による放熱は考慮しないものとした。

ii. タンク温度の算出

以下の式からタンク温度を算出する。タンク温度算出に必要なとなるデータを示す。

$$T - T_0 = \frac{Et \left(\frac{\pi D_o h}{2} + \frac{\pi D_o^2}{4} \right)}{\rho_w C_{pw} V + \rho_s C_{ps} \left\{ \frac{(D_o^2 - D_i^2) \pi h}{4} + 2\pi \frac{D_o^2}{4} e \right\}}$$

T_0 : 初期温度 (50[℃])

E : 輻射強度 [W/m²]

t : 燃焼継続時間 [s]

D_o : タンク外径 (20.012[m])

h : タンク円筒高さ (11.8[m])

ρ_w : 水の密度 (979.9 [kg/m³]) ※1

C_{pw} : 水の比熱 (4186 [J/kg/K]) ※1

V : 水の体積 (690[m³])

ρ_s : タンク壁材密度 (7860[kg/m³]) ※2

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg/K]) ※2

D_i : タンク内径 (20.0[m])

e : タンク最小板厚 (0.006[m])

※1：伝熱工学資料第5版記載値（軽水）を66℃となるように線形補間した値

※2：伝熱工学資料第5版記載値（キルド鋼）

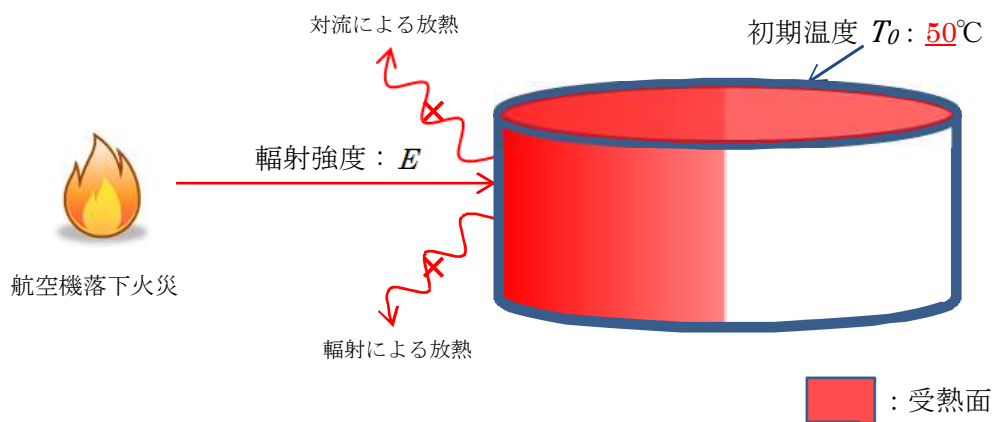


図 6-6 受熱面積のイメージ

(d) 評価結果

温度評価を実施し、復水貯蔵タンク温度は許容温度である 66°C を下回ることを確認した。

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地-訓練空域間往復時
高高度巡航が想定される大型固定翼機		その他の機種		
復水貯蔵タンク温度 [°C]	約 <u>55</u>	約 <u>52</u>	約 <u>54</u>	約 <u>52</u>

i. 排気筒に対する熱影響評価

(a) 評価対象範囲

航空機落下による排気筒への熱影響評価を実施する。

(b) 必要データおよび算出データ

必要データ，算出データ（燃焼半径，形態係数，輻射強度，燃焼継続時間）については，前項 b～f と同様である。

(c) 判断の考え方

i. 許容温度

本火災影響評価で用いる排気筒の許容温度として，排気筒に使用されている鋼材材質（SMA400AP，STK400，SS400）から，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に規定されている当該鋼材の制限温度である 350℃を許容温度とする。

ii. 温度評価結果

円筒外表面積の 1/2 に火災による輻射が到達し，外表面全体から放熱するものとした。内表面は保守的に評価を実施するため断熱とした。排気筒円筒材の境界条件の模式図を図 6-7 に示す。

なお，評価にあたって排気筒は支持鉄塔と筒身で構成されているが，筒身よりも支持鉄塔側が航空機落下地点との距離が近いこと（図 6-8 参照），材質も支持鉄塔は SS400 および STK400，筒身では SMA400AP であり，物性値が軟鋼で同一であることから，支持鉄塔の評価を実施することで筒身の評価は包絡される。

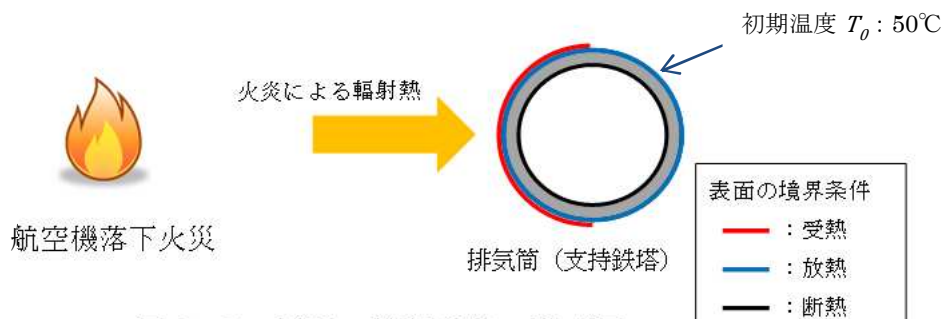


図 6-7 伝熱の境界条件の模式図

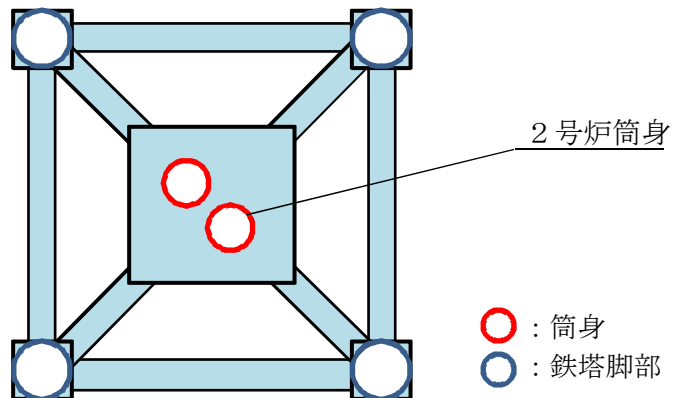


図 6-8 排気筒概略図

受熱面の輻射強度は時間によらず一定である。したがって、排気筒の温度上昇の最大値 T_{max} は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、排気筒の温度評価を実施した。

$$\frac{\varepsilon E \pi D_o}{2} = h \pi D_o (T_{max} - T_0)$$

ε : 吸収率 0.9
 E : 輻射強度 [W/m²]
 D_o : 外径 [m]
 h : 熱伝達率 17 [W/m²/K]
 T_0 : 初期温度 50[°C]

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると以下式となる。

$$T_{max} - T_0 = \frac{\varepsilon E}{2h}$$

(d) 評価結果

温度評価を実施し、排気筒温度は許容温度である 350°C を下回ることを確認した。

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式（大型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
排気筒温度 [°C]	約 119	約 80	約 <u>121</u>	約 92

j. 海水ポンプに対する熱影響評価

海水ポンプに対する航空機落下火災による影響評価の結果、海水ポンプの機能に影響を及ぼすことがないことを確認した。(添付資料-2 参照)

3. 評価結果

以上の結果から、航空機落下により発電所の敷地内で火災が発生した場合を想定したとしても、原子炉施設の外壁温度、復水貯蔵タンク温度および排気筒温度が許容温度を超えないため、安全機能を有する構築物、系統および機器を内包する原子炉施設に熱影響をおよぼすことはない。

4. 自衛隊機または米軍機の用途による分類について

自衛隊機または米軍機の落下事故には、「訓練空域内で訓練中および訓練空域外を飛行中の落下事故」と「基地－訓練空域間往復時の落下事故」が含まれる。以下に自衛隊機または米軍機の落下事故による火災影響を評価する機種のカテゴリについて整理する。分類にあたっては、代表として自衛隊機の主要な機種のデータを用いることとした。

(1) 訓練空域外を飛行中の落下事故

表 6-1 に主要航空機（大型固定翼機）の用途等を示す。

表 6-1 自衛隊機（大型固定翼機）の用途等

所属	用途	機種	寸法 [m]		燃料量 [kl]
			全長	全幅	
陸上自衛隊	連絡偵察	LR-2	14	18	約 2
海上自衛隊	哨戒	P-3C	36	30	約 35
航空自衛隊	戦闘	F-15J/DJ	19	13	約 15
	戦闘	F-4EJ	19	12	約 12
	戦闘	F-2A/B	16	11	約 11
	偵察	RF-4E/EJ	19	12	約 12
	輸送	C-1	29	31	約 11
	輸送	C-130H	30	40	約 37
	空中給油・輸送	KC-767	49	48	約 145
	空中給油機能付加	KC-130H	30	40	約 37
	早期警戒	E-2C	18	25	約 6
早期警戒管制	E-767	49	48	KC-767 以下	

※ 平成 25 年度版防衛白書等より作成。燃料量については、最大離陸重量等からの推定を含む。

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。

用途を飛行形態で整理すると、「空中給油」および「早期警戒」については、高高度の巡航を行うものと考えられる。また、「哨戒」および「輸送」については、目的地での低高度での飛行が考えられるものの、移動は高高度の巡航を行うものと考えられる。ここで目的地としては、「哨戒」が海上、「輸送」が基地あるいは空港であることから、原子力発電所付近で低高度で

の飛行を行うことはない。したがって、自衛隊機または米軍機の落下事故のうち、訓練空域外を飛行中の落下事故で考慮するカテゴリを、表 6-2 のとおり整理した。なお、大型輸送ヘリコプターCH-47の燃料積載量は約 4kl であることから、回転翼機は大型固定翼機の評価に包含される。

表 6-2 訓練空域外を飛行中の落下事故のカテゴリにおける整理

カテゴリ	用途	機種	寸法 [m]		燃料量 [kl]
			全長	全幅	
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	P-3C	36	30	約 35
		C-1	29	31	約 11
		C-130H	30	40	約 37
		KC-767	49	48	約 145
		KC-130H	30	40	約 37
		E-2C	18	25	約 6
		E-767	49	48	KC-767 以下
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	LR-2	14	18	約 2
		F-15J/DJ	19	13	約 15
		F-4EJ	19	12	約 12
		F-2A/B	16	11	約 11
		RF-4E/EJ	19	12	約 12

(2) 基地—訓練空域往復時の落下事故

発電所東方の海上には自衛隊の訓練空域があり、西方には航空自衛隊松島飛行場があるため、松島飛行場から訓練空域へ自衛隊機が往復することによる事故が評価対象となる。したがって、基地—訓練空域往復時の落下事故で考慮する機種を、基地配備の機種を対象に表 6-3 の通り整理した。

表 6-3 基地—訓練空域往復時の落下事故のカテゴリにおける整理

カテゴリ	機種	寸法 [m]		燃料量 [kl]
		全長	全幅	
基地—訓練空域往復時	F-2	16	11	約 10
	T-4	13	10	F-2 以下
	U-125A	16	16	約 6
	UH-60J	16	5	約 3

(3) 想定する航空機について

(1) および(2)の分類により、積載燃料が最大となる機種を評価上考慮するとし、訓練空域外を飛行中の落下事故に対しては、空中給油機等の大型航空機としては **KC-767**、その他の大型固定翼機等としては **F-15** を、基地—訓練空域往復時の落下事故に対しては **F-2** を選定している。

燃料量については、燃焼継続時間を算出する際に必要であり、燃料量が多い方が保守的な評価となる。

5. 航空機の落下による火災の影響評価に用いたデータについて

(1) 航空機の仕様について

項目	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式および有視界飛行方式 (大型)	訓練空域外を飛行中		基地－訓練空域間往復時
		高高度巡航が想定される大型固定翼機	その他の機種	
想定機種	B747-400	KC-767	F-15	F-2
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	216.84 ¹⁾	145.04 ³⁾	14.87 ⁵⁾	10.43 ⁷⁾
燃焼面積 [m ²]	700 ²⁾	405.2 ⁴⁾	44.6 ⁶⁾	35 ⁸⁾

- 1) ボーイングジャパン ホームページ “747 型機情報”
- 2) ボーイング社ホームページ資料「747 airplane Characteristics for Airport Planning (Document D6-58326-1, December 2002)」の記載図面より、主翼・主翼と交差する胴体部およ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
- 3) 世界航空機年鑑 2012-2013 に記載の燃料重量および燃料密度 (NUREG-1805)から算出した値
- 4) 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)」の記載図面より、主翼部および胴体下部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) 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) (予備タンクを含む)
- 6) 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) 記載の機体図面より、燃料タンクの配置および大きさを想定し、これらの面積を算出した値
- 7) 戦闘機年鑑 2013-2014 (イカロス出版 2013年 3月 11日発行) 記載値
- 8) 戦闘機年鑑 2013-2014 (イカロス出版 2013年 3月 11日発行) 記載の主翼面積値

(2) 燃料の物性値について

民間航空機の対象航空機としてボーイング 747-400 型機を選定しているが、当該機が使用する燃料の種類は、Jet A-1 燃料である。

火災影響評価において使用する燃料物性値のうち、放射発散度および質量低下速度について、Jet A-1 燃料に関する明確な知見がない。このため、石油便覧に「ジェット燃料は、沸点範囲がガソリン留分から灯油留分にまたがる広沸点範囲型と、灯油留分の沸点範囲を有する灯油型に大別される。」と記載があること、Jet A-1 燃料については灯油型との記載があることから、NUREG-1805 における灯油の値を使用している。

データ種類	民間航空機	自衛隊機または米軍機		
	計器飛行方式 および有視界 飛行方式（大 型）	訓練空域外を飛行中		基地－訓練 空域間往復 時
		高高度巡航が想定され る大型固定翼機	その他の機 種	
燃料の種類	Jet A-1	JP-4	JP-4	JP-4
放射発散度 [W/m ²]	50,000 ⁹⁾	58,000 ¹²⁾	58,000 ¹²⁾	58,000 ¹²⁾
質量低下速 度[kg/m ² /s]	0.039 ¹⁰⁾	0.051 ¹³⁾	0.051 ¹³⁾	0.051 ¹³⁾
燃料密度 [kg/m ³]	840 ¹¹⁾	760 ¹³⁾	760 ¹³⁾	760 ¹³⁾
燃焼速度 [m/s]	4.64×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵	6.71×10 ⁻⁵

9) 「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」の付録 B における灯油の値

10) NUREG-1805 記載の灯油の値

11) JIS-K-2209-1991 記載の 1 号の値

12) 「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」の付録 B におけるガソリン・ナフサの値

13) NUREG-1805 記載の JP-4 の値

6. 航空機落下に起因する危険物タンクの火災による影響について

(1) 発電所敷地内の屋外危険物タンク

発電所敷地内に設置している屋外危険物タンクの航空機落下に起因する火災影響評価については、貯蔵量が多い以下のタンクから対象を抽出する。

敷地内の屋外危険物タンク	合計容量
1号炉軽油タンク（軽油：620kl）	620 kl
2号炉軽油タンク（A）（B）（軽油：各330kl）	660 kl
3号炉軽油タンク（A）（B）（軽油：各330kl）	660 kl
大容量電源装置（軽油：90.585kl，潤滑油：10kl）	100.585 kl

各危険物タンクの配置を図6-9に示す。

なお、2号炉軽油タンクは地下化を行うため評価対象からは除外する。

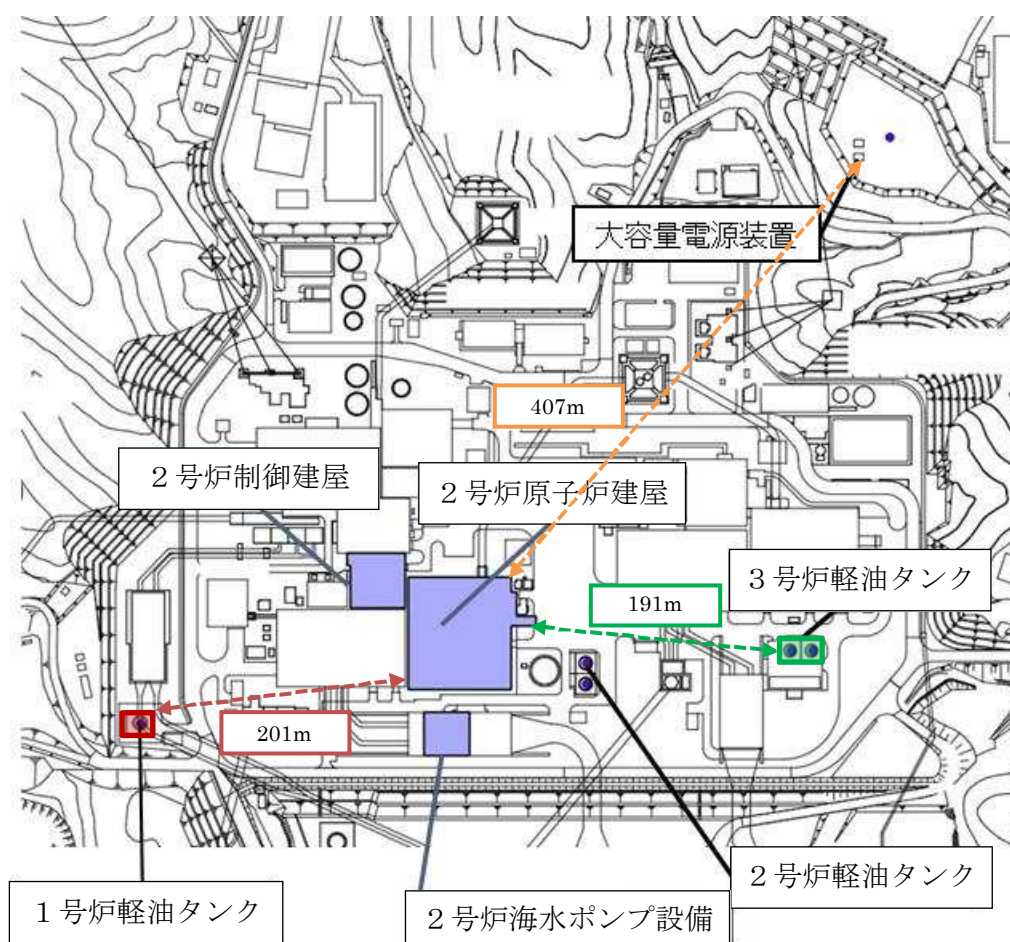


図6-9 敷地内屋外危険物タンクの位置

(2) 航空機落下による火災と敷地内の危険物タンクの火災が同時に発生（重畳）した場合の影響評価

航空機落下に起因する敷地内の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、航空機落下による火災で危険物タンクの火災が誘発される場合と危険物タンクに直接航空機が落下し同時に火災が発生する場合が考えられる。

危険物タンクに航空機が直接落下した場合には、落下位置が 10^{-7} [回/炉・年] 域よりも 2 号炉原子炉施設からの離隔距離が長くなることによって、建屋外壁の温度上昇は小さくなる。

ここでは、航空機落下による火災は原子炉施設の外壁に対して評価結果が最も厳しい大型民間航空機（B747-400）が原子炉施設から 10^{-7} [回/炉・年] 域へ落下することによる火災を想定する。また、危険物タンクは、原子炉施設の外壁に対して熱影響が最大となる 3 号炉軽油タンク（330kl×2 基）の火災を想定する。航空機の落下により誘発される火災については以下の 3 ケースを考慮する。

ケース 1：航空機と 3 号炉軽油タンクの火災が同時に発生する場合

ケース 2：航空機の燃料が半分となった時点で 3 号炉軽油タンクの火災が発生する場合

ケース 3：航空機の燃焼終了直後に 3 号炉軽油タンクの火災が発生する場合

熱影響評価対象は、3 号炉軽油タンクから最も近い原子炉建屋および復水貯蔵タンクとする。

なお、大型民間航空機（B747-400）の落下位置は、原子炉施設から 10^{-7} [回/炉・年] 域の離隔距離である 89m とした。3 号炉軽油タンクは、2 号炉原子炉建屋とは 191m、復水貯蔵タンクとは 174m の離隔距離がある。

また、重畳火災時の熱影響評価対象として、2 号炉原子炉建屋のうち 3 号炉側の外壁を現場調査した結果、熱影響を受ける設備としては、扉・貫通口・非常用ディーゼル発電機空気給気口、排気口があることから、これら設備への熱影響についても評価する。なお、原子炉建屋ブローアウトパネルはタービン建屋側の壁面に設置しており、輻射による熱影響はない。

扉については、3 号炉軽油タンクから最も近い位置にある 2 号炉原子炉建屋大物搬入口扉を対象として評価する（添付-9 参照）。貫通口については、モルタル処理されていることから外壁評価に包絡される。

非常用ディーゼル発電機給気口については、3 号炉軽油タンクと反対側を向いているため、輻射による熱影響はない。ただし、給気口が軽油タンク側を向いていると仮定し、火災源で発生した熱気流が給気口へ到達するか評

価を実施した。(添付-10 参照) 空調排気口は、非常用ディーゼル発電機室内の空調排気であることから、輻射によって温度が上昇した場合でも、その機能への影響はない。

また、重畳火災時の中央制御室等における室内への影響についても評価する。(添付-11 参照)

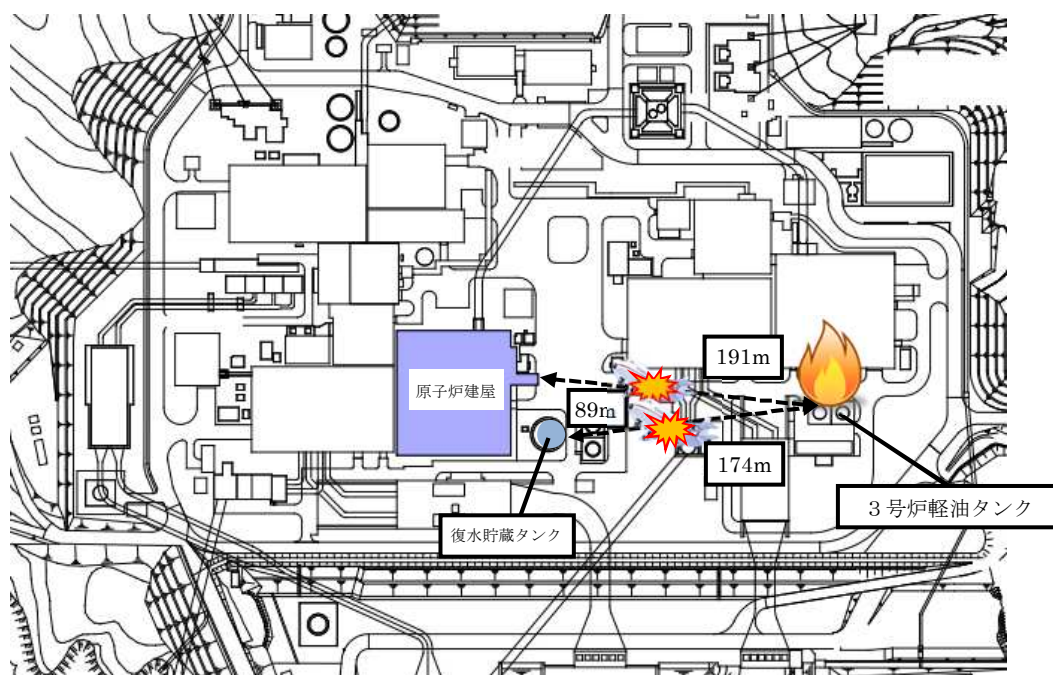


図 6-10 航空機落下火災と 3 号炉軽油タンク火災の重畳

(3) 影響評価結果

a. 2号炉原子炉建屋に対する熱影響評価

3 ケースの評価結果を表 6-4 にまとめた。なお、航空機の燃焼継続時間は約 1.9 時間であり、3 号炉軽油タンクの燃焼継続時間は約 9.4 時間である。航空機落下火災によってタンク火災が誘発される場合の火災評価においては、航空機と 3 号炉軽油タンクが同時に燃焼を開始する場合は最も 2号炉原子炉建屋外壁の外表面温度が高くなる結果となった。なお、最も温度が高くなる場合においてもコンクリート許容温度である 200°Cを下回る結果となった。

表 6-4 2号炉原子炉建屋外壁の重畳評価結果まとめ

ケース番号	航空機燃焼開始時間を起点とした場合の3号炉軽油タンクの燃焼開始	最高到達温度[°C]
1	同時	約 181
2	約 0.9 時間後	約 177
3	約 1.9 時間後	約 168

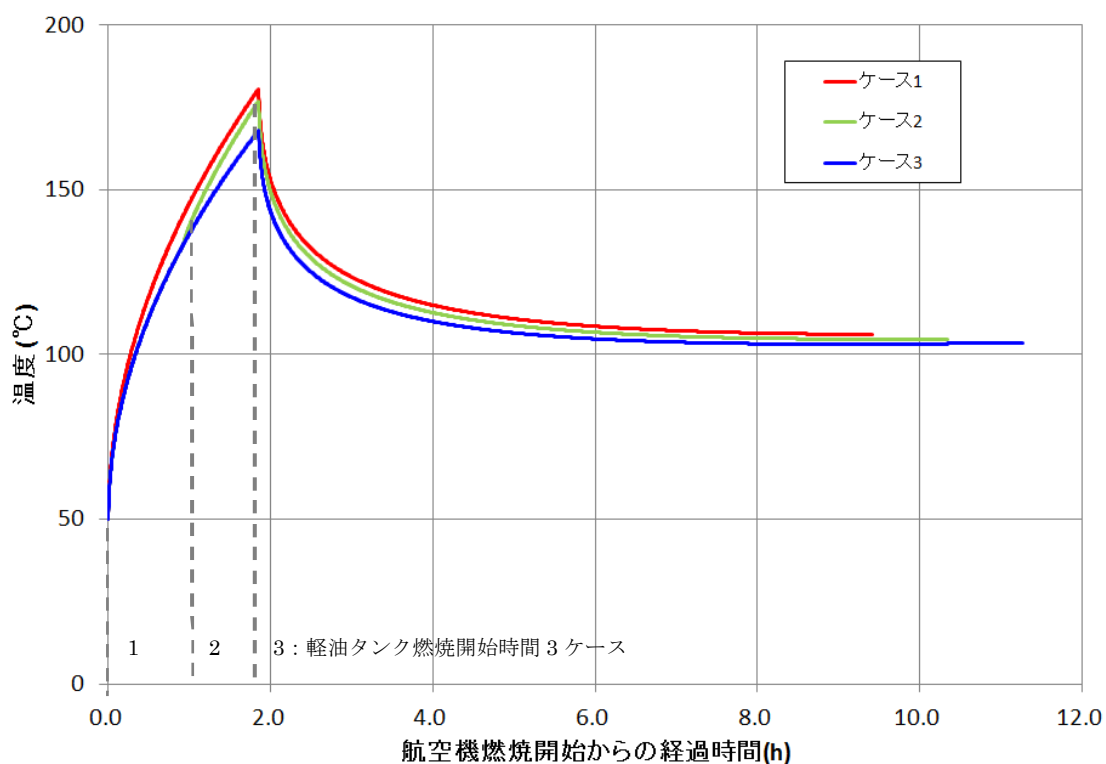


図 6-11 2号炉原子炉建屋外壁の温度推移

b. 復水貯蔵タンクに対する熱影響評価

復水貯蔵タンクに対する熱影響評価の結果、最高到達温度は約 57°Cであり、許容温度 66°Cを下回る結果となった。

火災影響評価における対象航空機

実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準（内規）では、表 1 に示すとおり民間航空機の計器飛行方式，有視界飛行方式，自衛隊機および在日米軍機について，対象航空機の分類がなされている。火災影響評価では，色別で示す 4 つのグループに分けて評価を実施している。火災影響評価における対象航空機の選定の考え方を表 2 に示す。

表 1 評価対象航空機の取扱と種類

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

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

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

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

- 大型・小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)
- 大型自衛隊機, 在日米軍機 (固定翼, 回転翼)
- 大型・小型自衛隊機, 在日米軍機 (固定翼, 回転翼)
- 大型自衛隊機, 在日米軍機 (固定翼)

民間航空機については燃料量が最大の機種である B747-400 を選定しており、小型機は大型機と比較して燃料量が少ないことから大型機の評価に包絡される。

自衛隊機または米軍機については、訓練空域外を飛行中の高高度巡航が想定される大型固定翼機として空中給油機である KC-767 を評価対象としている。その他の機種については F-15 を評価対象としている。また、女川原子力発電所の近傍に松島飛行場と訓練空域間の移動経路が設定されていることから、松島飛行場配備の機種のうち燃料量が最大の機種である F-2 を評価対象としている。

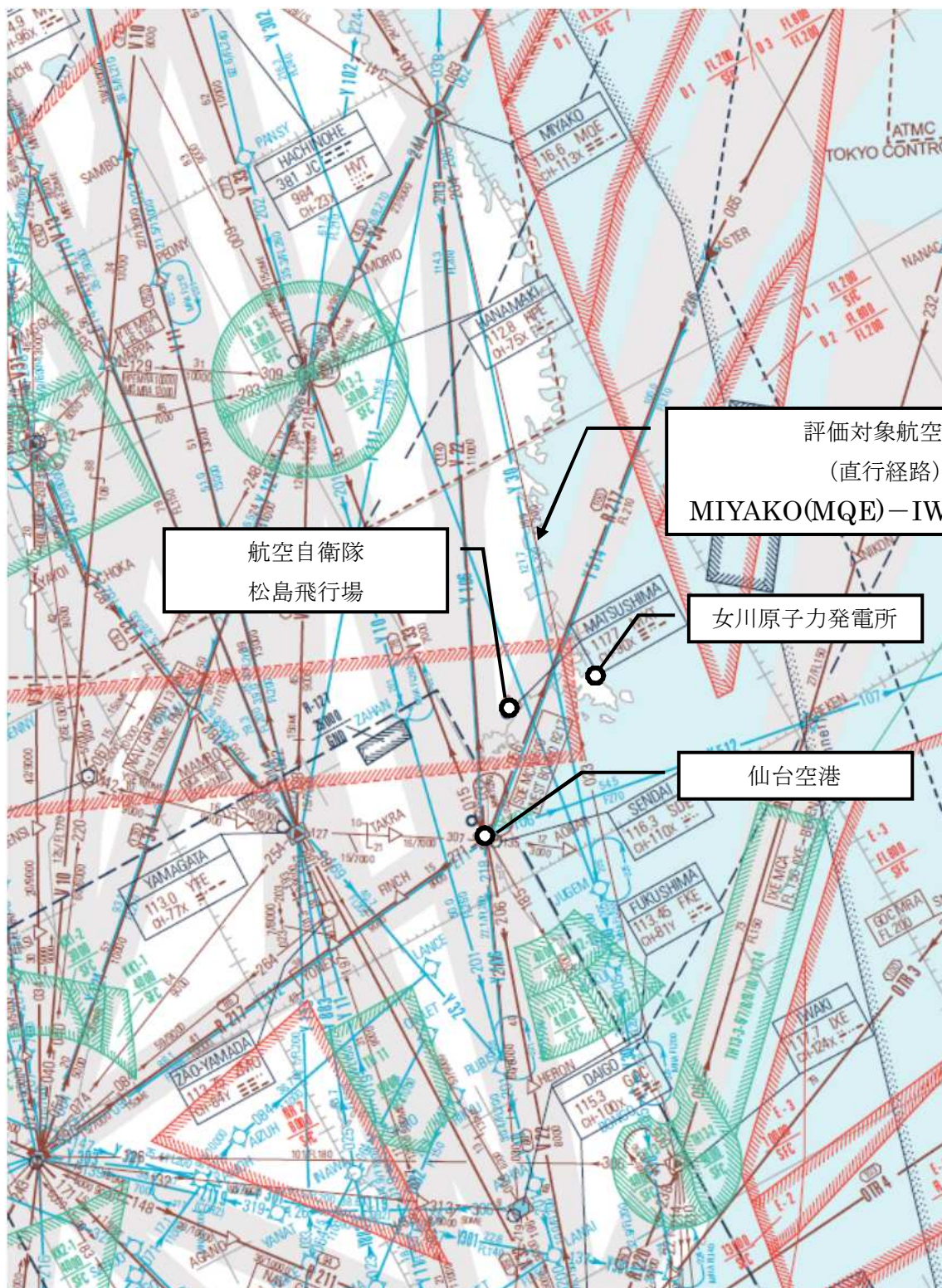
表 2 評価対象航空機の選定

		対象機種	燃料量 [m ³]	落下確率	備考	
民間機	計器飛行方式航空機の落下事故	航空路を巡航中の落下事故	B747-400	216.84	3.83×10 ⁻⁹	
	有視界飛行方式航空機の落下事故					
			回転翼			
		小型	固定翼	Do228-200	2.39	
回転翼						
	A. 訓練空域外を飛行中の高高度巡航が想定される大型固定翼機の落下事故	KC-767	145.04	2.50×10 ⁻⁹		
自衛隊機または米軍機の落下事故	B. 訓練空域外を飛行中のその他の機種の落下事故	F-15	14.87	<u>2.23×10⁻⁸</u>		
	C. 基地－訓練空域間往復時の落下事故	F-2	10.43	1.90×10 ⁻⁸		

A：表 1 の I に該当

B：表 1 の I～IV に該当

C：表 1 の I，III に該当



女川原子力発電所周辺の航空路図 (AIP エンルートチャートより)

延べ飛行距離について

延べ飛行距離は、平成4年～平成23年の「航空輸送統計年報、第1表 総括表、1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内便のみの合計値とした。

なお、国際便についても運航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考慮しない。また、日本に乗り入れている外国機は運航距離の実績の公開記録がないため考慮していない。ただし、国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし、事故率が保守的となるようにしている。

	日本国機の運航距離 (飛行回・km)
平成4年	307,445,013
平成5年	326,899,203
平成6年	343,785,576
平成7年	380,948,123
平成8年	397,146,610
平成9年	420,920,228
平成10年	449,784,623
平成11年	459,973,069
平成12年	480,718,878
平成13年	489,803,107
平成14年	498,685,881
平成15年	519,701,117
平成16年	517,485,172
平成17年	527,370,038
平成18年	555,543,154
平成19年	559,797,874
平成20年	554,681,669
平成21年	544,824,157
平成22年	548,585,258
平成23年	555,144,327
合計	9,439,243,077

評価対象となる航空路の飛行回数

(飛行回数)

札幌交通管制部ピークデイ	直行経路 (MIYAKO(MQE)–IWAKI(IXE))
平成 24 年上半期 (H24.6.18)	0 ^{注1}
平成 24 年下半期 (H24.8.7)	0 ^{注1}
評価に用いる数値	0.5×365 日 = 182.5 回／年間

(交通量が 0 回のため，保守的に 0.5 回を仮定)

注 1：国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは，札幌交通管制部が取り扱った交通量が年間で最も多かった日のことであり，当該経路における交通量が年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

原子炉施設の標的面積

[単位：km²]

号炉	原子炉建屋	制御建屋 ^{注1}	海水ポンプ室	復水貯蔵タンク	排気筒	合計
2号炉	0.00647	0.00299	0.000370	0.000316	0.00123	0.0114

使用済燃料プールおよび主要な安全系機器は原子炉建屋に含む。
 なお、その他の評価対象設備が設置してある建屋は以下のとおり。

号炉	中央制御室	非常用海水ポンプ	非常用DG
2号炉	制御建屋	海水ポンプ室	原子炉建屋

注1：2号炉の中央制御室は1号炉の中央制御室との共用エリアである。
 このため、評価対象とする制御建屋の標的面積は、2号炉制御建屋に加え、1号炉の中央制御室エリアを考慮している。

2号炉の中央制御室換気空調系バウンダリでは、2号炉中央制御室および1号炉中央制御室を対象範囲としている。このため、図1、図2に示す2号炉制御建屋（C/B）および1号炉中央制御室が火災影響評価上の対象ということになるが、1号炉制御建屋（C/B）3階面の通路等を保守的に対象範囲に含めている。

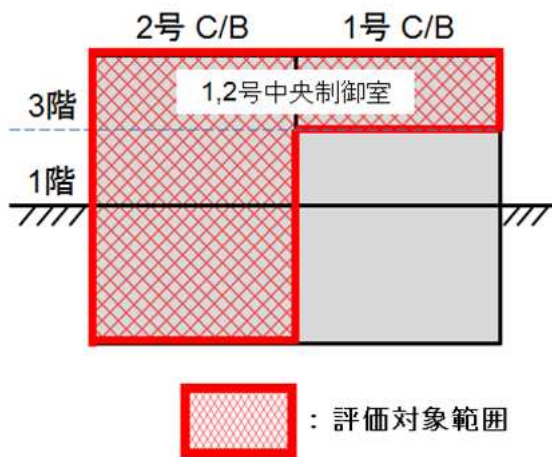


図1 1,2号 C/B断面図

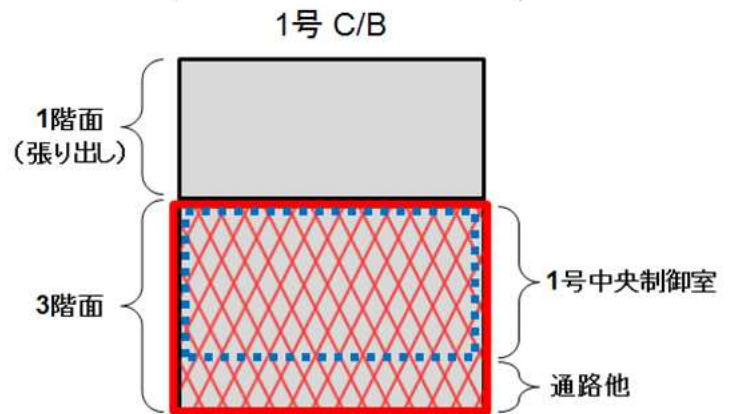
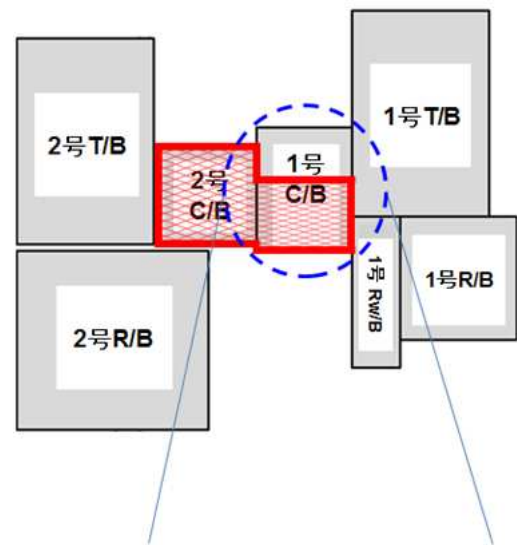
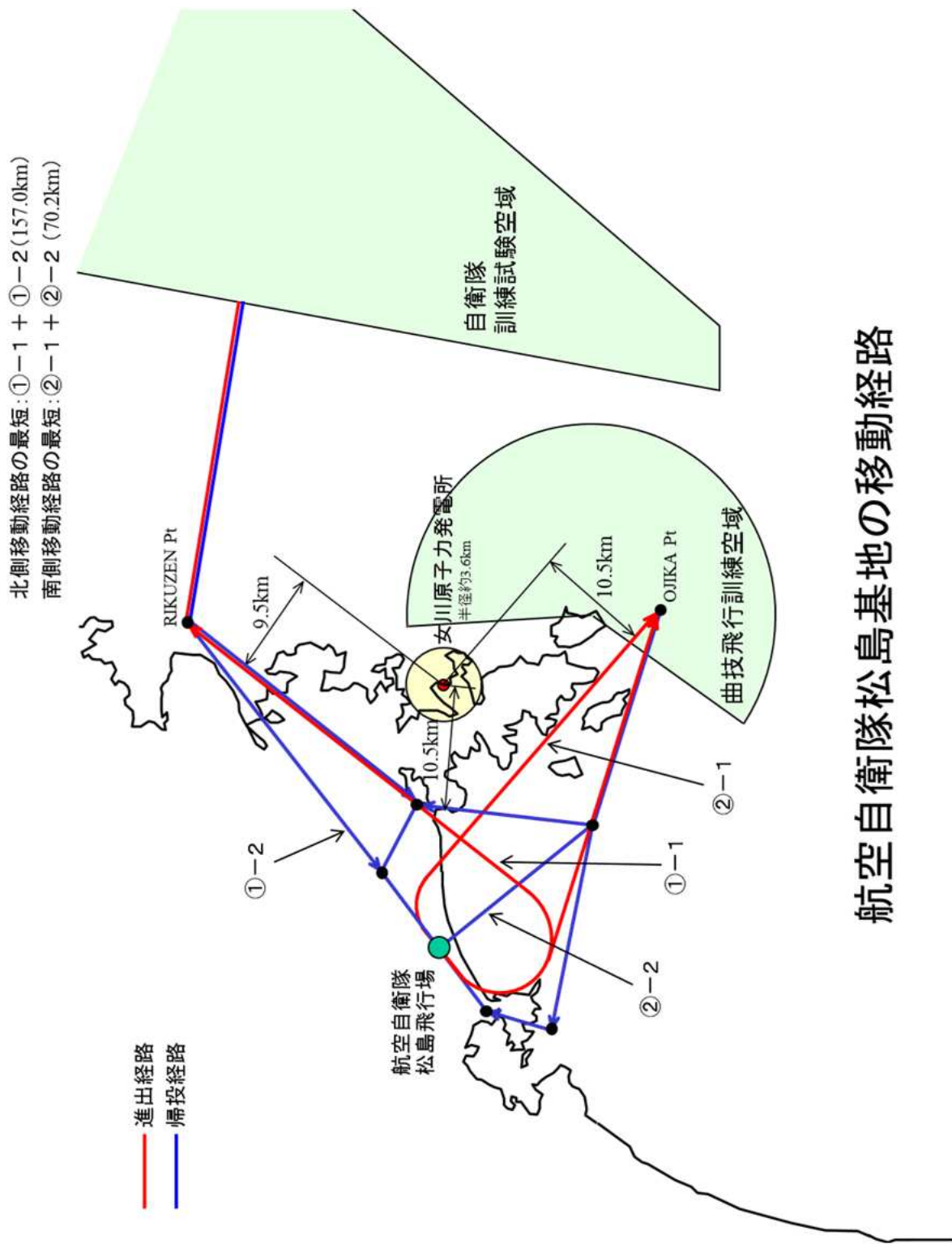


図2 1,2号主要建屋平面図



航空自衛隊松島基地の移動経路

離隔距離の算出の考え方

民間航空機の落下事故を想定した場合の原子炉施設ごとの標的面積と離隔距離を表 1 に示す。

離隔距離は、落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] に相当する標的面積 (0.297650km^2) を、図 1 から図 8 に示す原子炉施設に、外壁面からの距離がそれぞれ等しくなるように分配し設定した。

図 1 から図 8 を重ねたものを図 9 に示す。離隔距離を算出する上で、すべての評価対象施設からの 10^{-7} [回/炉・年] 域に相当する標的面積のうち重複する面積は考慮しないこととしている。

表 1 原子炉施設ごとの標的面積と離隔距離（民間航空機の場合）

原子炉施設	標的面積 [km^2]	離隔距離 [m]	参照図
1 号炉制御建屋	0.039476	89	図 1
2 号炉制御建屋	0.041033	89	図 2
2 号炉原子炉建屋	0.060121	89	図 3
2 号炉海水ポンプ室 (1)	0.030399	89	図 4
2 号炉海水ポンプ室 (2)	0.026762	89	図 5
2 号炉海水ポンプ室 (3)	0.030319	89	図 6
復水貯蔵タンク	0.030882	89	図 7
排気筒	0.038657	89	図 8
原子炉施設 (合計)	0.297650	—	図 9

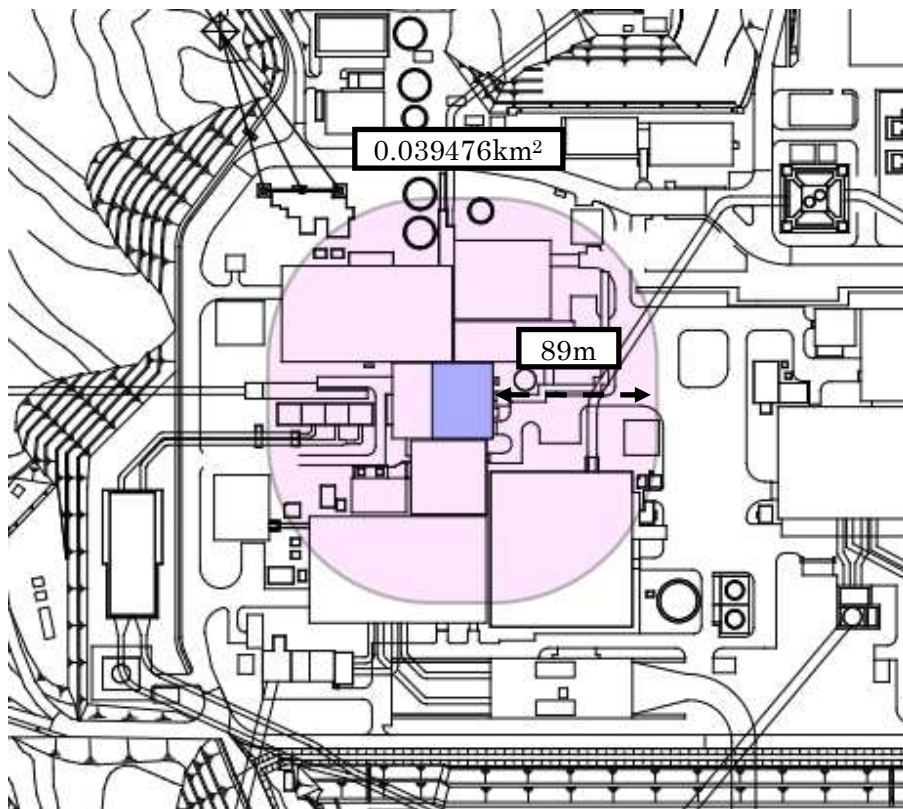


图1 1号炉控制建屋

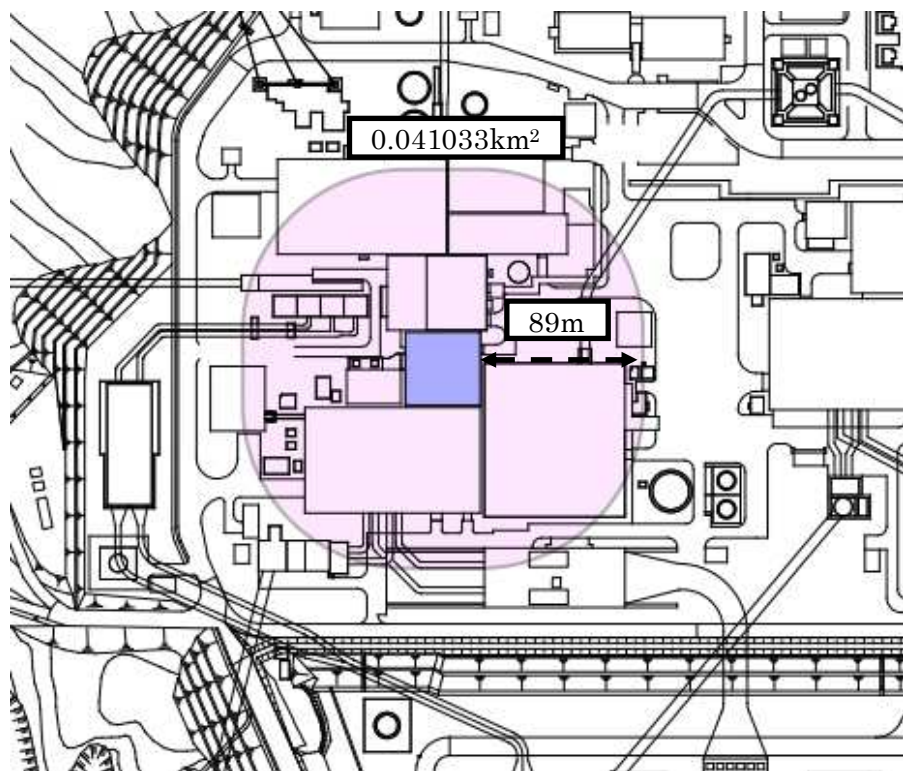


图2 2号炉控制建屋

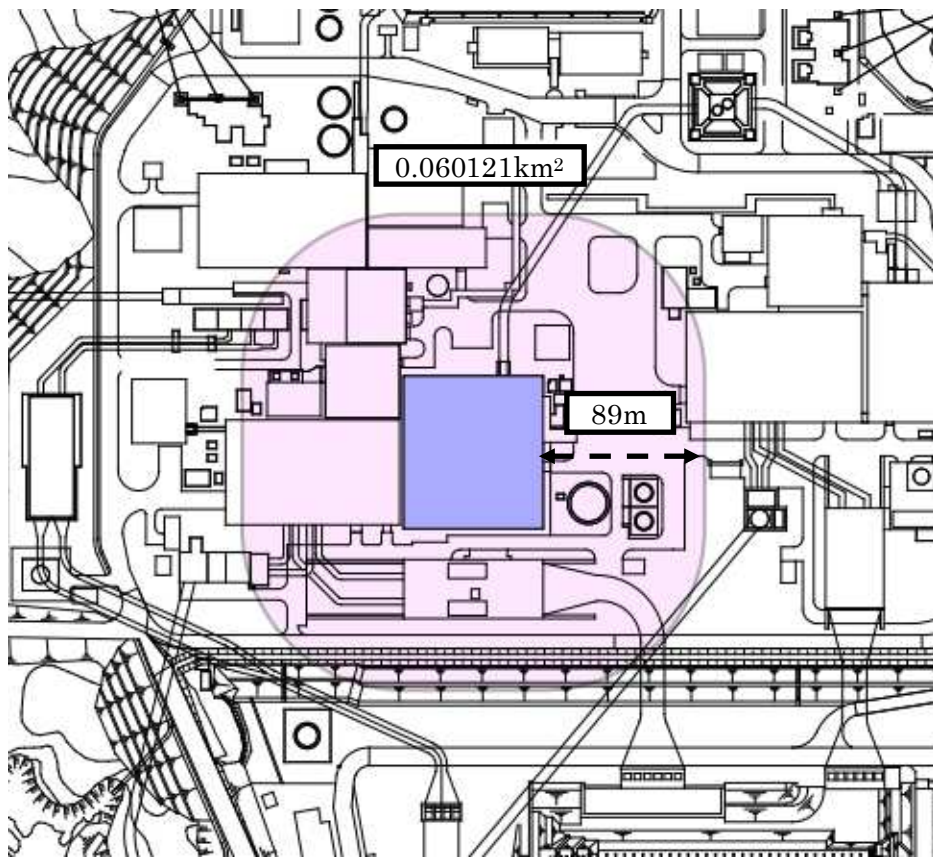


図3 2号炉原子炉建屋

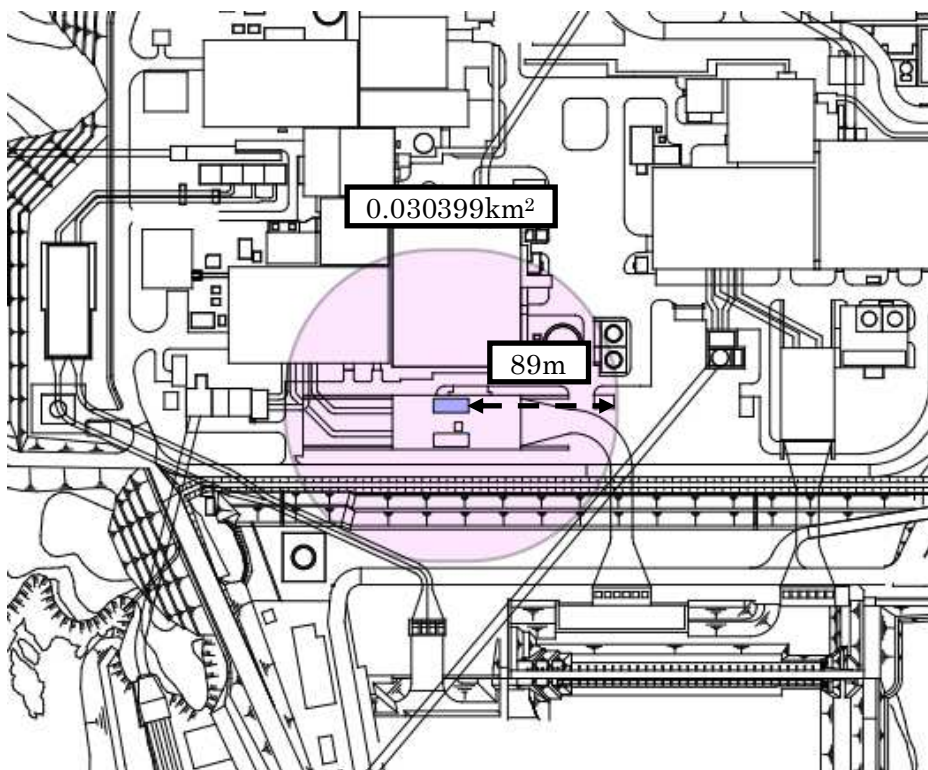


図4 2号炉海水ポンプ室(1)

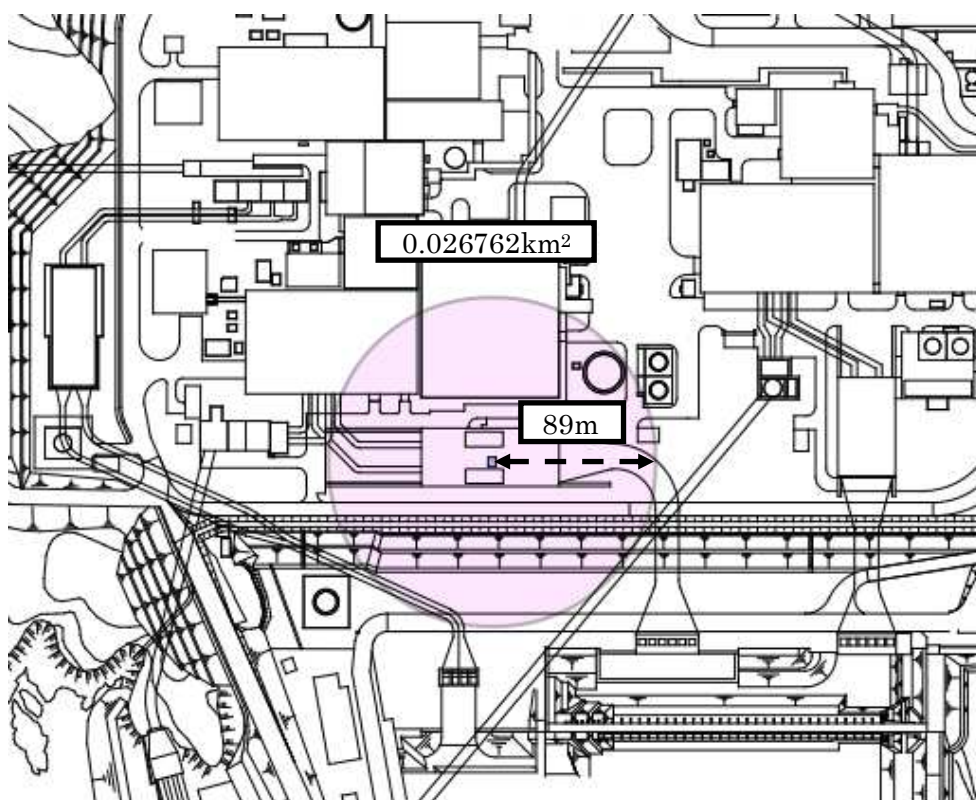


図5 2号炉海水ポンプ室(2)

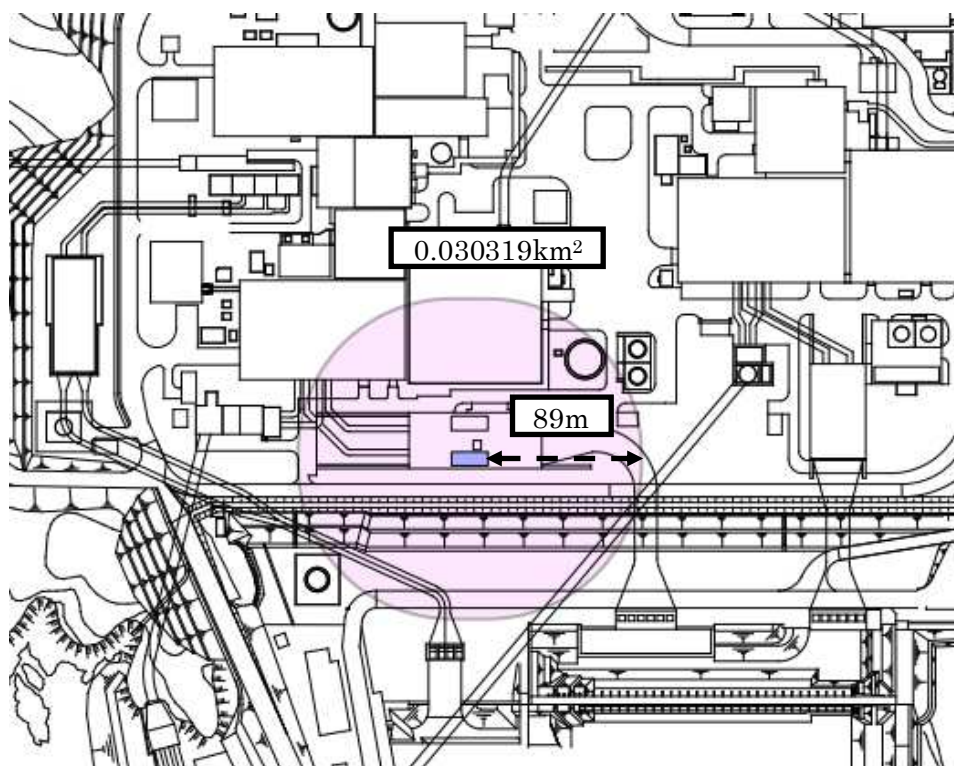


図6 2号炉海水ポンプ室(3)

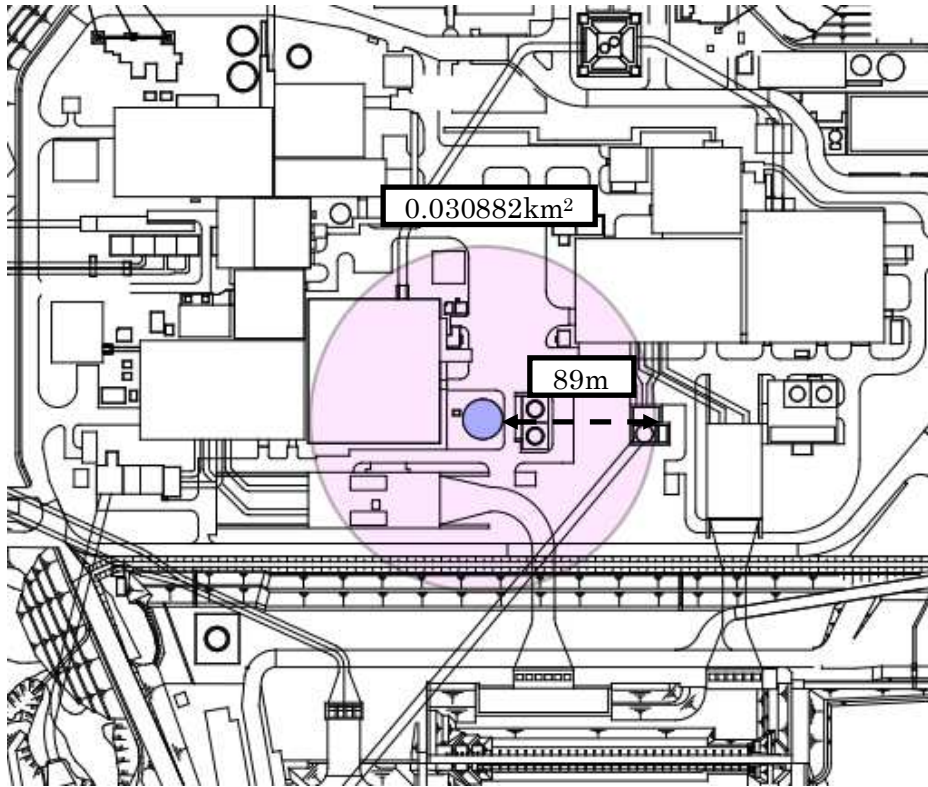


図7 復水貯蔵タンク

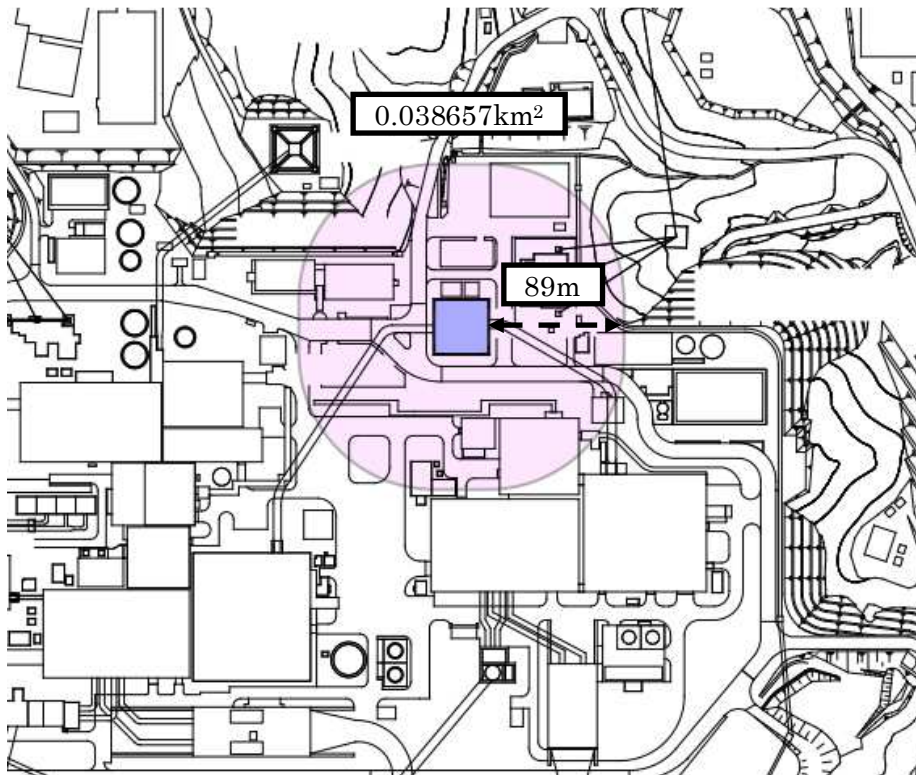


図8 排気筒

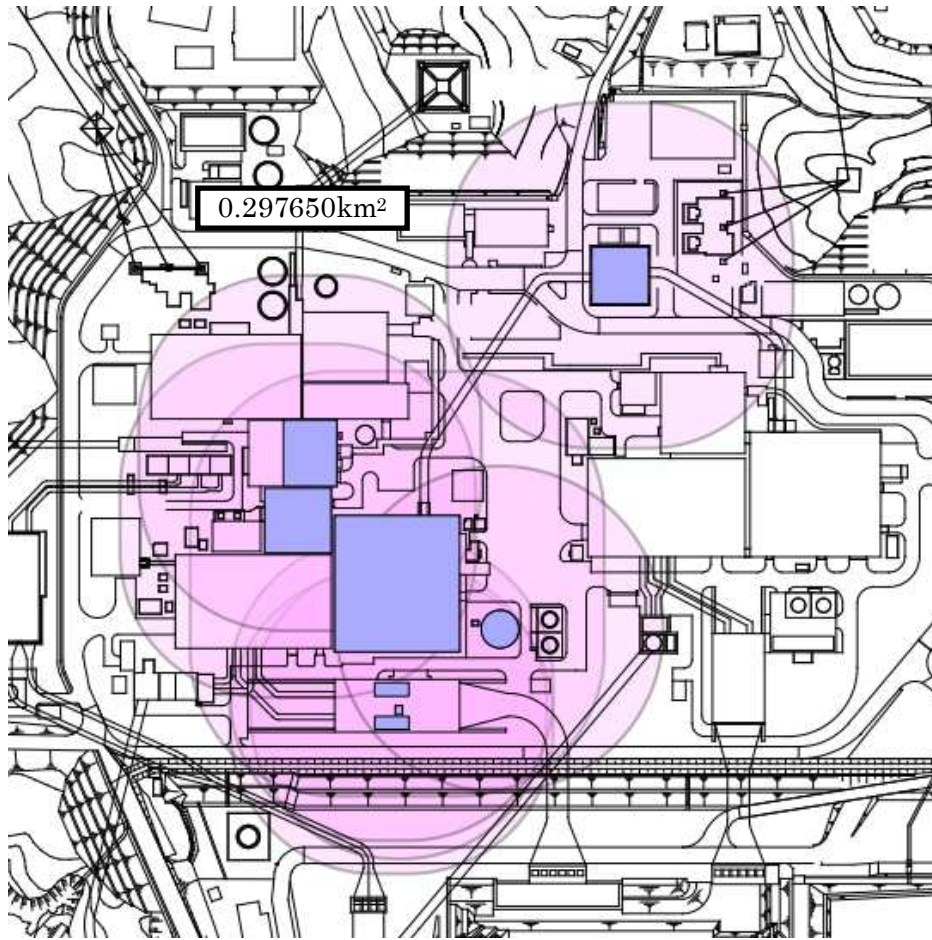


図9 原子炉施設（合計）

航空機落下火災および3号炉軽油タンク火災の重畳の評価位置

1. 航空機落下火災

航空機落下火災による熱影響評価では、原子炉施設から 10^{-7} [回/炉・年] 域（民間航空機の落下事故を想定した場合、離隔距離 89m の地点）へ航空機が落下した場合の火災を想定している。 10^{-7} [回/炉・年] 域のいずれの箇所からも同じ温度結果となるため、原子炉建屋を代表して評価を実施している。

航空機落下地点と原子炉施設間に存在する構築物は、熱影響を遮断すると考えられることから、これら構築物は評価上考慮しないこととしている。

海水ポンプ室は、ピット構造であり熱影響を受けないことから温度評価対象外としている。

2. 航空機落下火災と3号炉軽油タンク火災の重畳

航空機落下火災と3号炉軽油タンク火災の重畳による熱影響評価では、図1に示すとおり、3号炉軽油タンクから原子炉建屋までの最短距離（191m）を想定し、その軸上の 10^{-7} [回/炉・年] 域（評価結果が最も厳しくなる民間航空機を想定し、原子炉建屋から 89m 地点）を航空機落下地点としている。

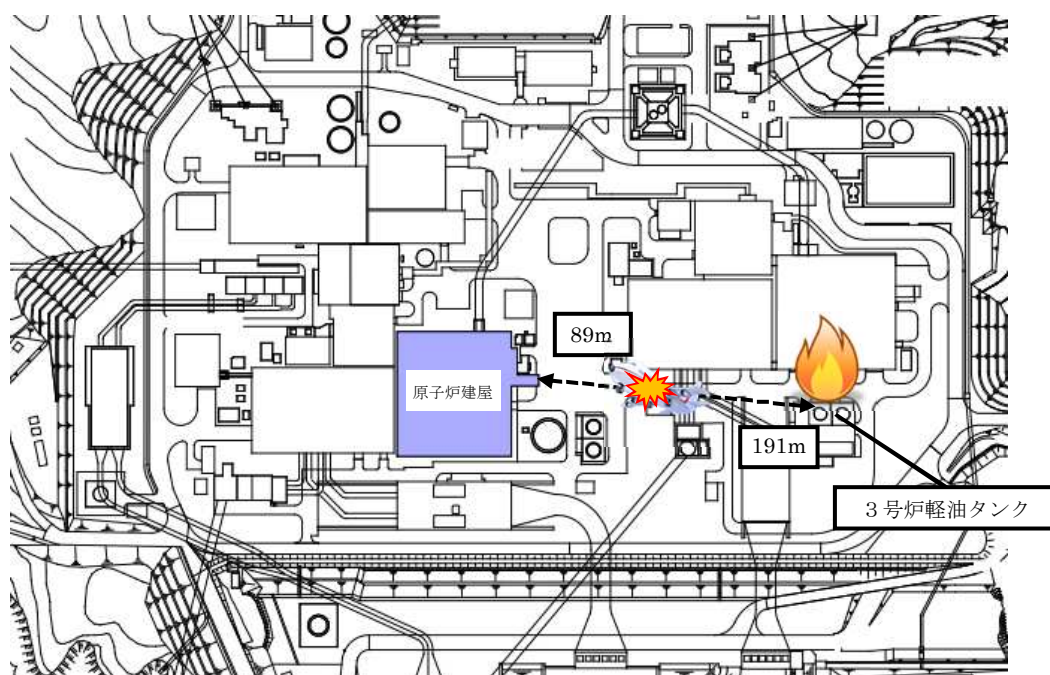


図1 航空機落下火災と3号炉軽油タンク火災の重畳

2号炉原子炉建屋の大物搬入口扉の温度評価について

2号炉原子炉建屋の大物搬入口の扉への評価を実施する。想定する火災は2号炉原子炉建屋のコンクリート壁面における温度評価において最も厳しい結果となった、航空機（B747-400）落下火災および3号機軽油タンクA・Bの重畳火災とする。

1. 温度評価

大物搬入口扉について、排気筒の場合と同様に定常状態での温度評価とし、内側の放熱を考慮せず断熱とした場合の評価を実施する。境界条件の模式図を図1に示す。

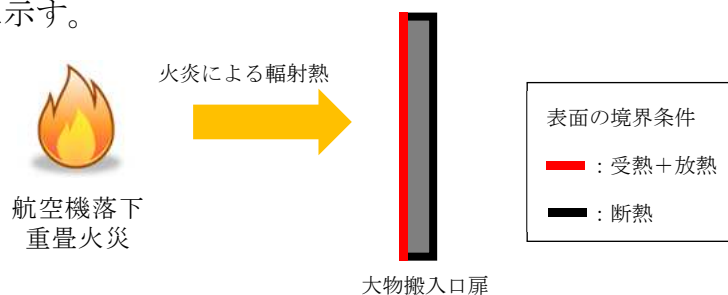


図1 大物搬入口扉の温度評価における境界条件の模式図

受熱面の輻射強度は時間によらず一定であり、大物搬入口扉の温度上昇の最大値 T_{max} は受熱面の輻射による熱量と放熱量がバランスした状態である。下記の温度評価式により、大物搬入口扉の温度評価を実施した。

$$\varepsilon EA = hA(T_{max} - T_0)$$

- ε : 吸収率 1.0
- E : 輻射強度 [W/m²]
- A : 扉の表面積 [m²]
- h : 熱伝達率 17 [W/m²/K]
- T_0 : 初期温度 50[°C]

上式の左辺は輻射による受熱を表し、右辺は放熱を表す。これを変形すると以下式となる。

$$T_{max} - T_0 = \frac{\varepsilon E}{h}$$

許容温度は、排気筒と同様に鋼材 SS400 の制限温度である 350℃とする。

2. 評価結果

以上の条件により温度評価を実施すると、大物搬入口扉の温度は約 295℃となり、許容温度である 350℃を下回る結果となった。航空機落下と軽油タンクの重畳火災において 2 号炉原子炉建屋の大物搬入口扉が許容温度を超えないことを確認した。

熱気流による影響評価について

1. 概要

火災により発生する熱気流が原子炉施設に対して及ぼす影響評価を実施した。

図1に評価概念図を示す。熱気流の主軸傾き角を算出し、火災発生源と給気位置を結ぶ直線の傾き角よりも大きい場合は、熱気流は建屋上方へ拡散し、給気温度へ影響しないものと判断する。

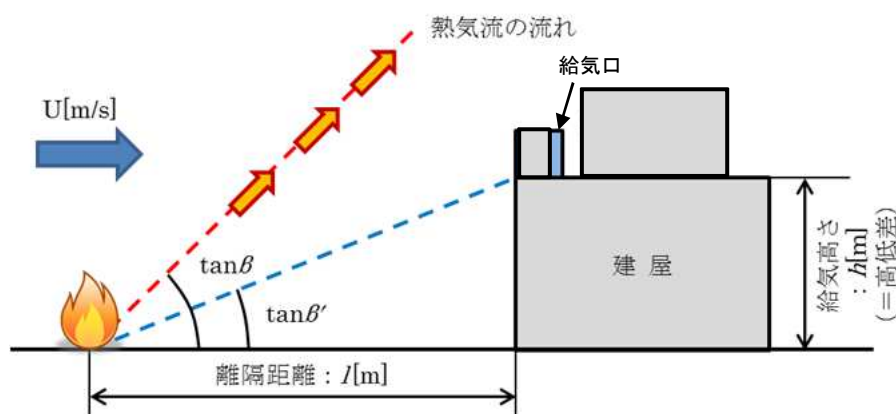


図1 熱気流評価概念図

2. 火災源および防護対象設備

(1) 火災源

最も影響が大きくなる航空機墜落による火災および危険物タンク火災を想定。

- a. 航空機墜落による火災：B747-400
- b. 危険物タンク火災：3号炉軽油タンク（A），（B）

(2) 防護対象設備

非常用ディーゼル発電機は、外部火災により外部電源喪失が生じた場合においても施設の所要の安全機能を発揮するために必要な設備であり、外気を内部に取り込む設備であることから熱気流による影響評価対象とした。

また、非常用ディーゼル発電機はA，B，HPCSの3台あるが、この中で最も火災源に近い非常用ディーゼル発電機（A）を評価する。

3. 評価方法

(1) 発生熱量

燃焼時発生熱量および質量低下速度，燃焼面積より発生熱量を算定する。

$$Q = (1 - \chi) \cdot \Delta H_{c,eff} \cdot S \cdot \dot{m} \quad [\text{kW}]$$

ここで， χ は全発生熱量のうち輻射として環境へ放射される熱量比のうち，給気温度が保守的に評価されるように最小値として 0.05^[1]を採用

(2) 熱気流の主軸傾き角

有風時の火災による熱気流の主軸傾き角式^[2]を用いる。

熱気流の主軸傾き角 ($\tan \beta$) > 火災発生源と給気位置を結ぶ直線の傾き角 ($\tan \beta'$) となれば，熱気流は上方へ拡散して給気口の給気温度へ影響がないことが確認できる。

$$\tan \beta = C_t \cdot \Lambda^{-k} \cdot Fr^{-o} \quad [-]$$

$$\tan \beta' = h/l \quad [-]$$

4. 評価に必要なデータ

(1) 共通

給気高さ	:	$h (=19.32)$	[m]
実験定数 ^[1]	:	$C_t (=0.37)$	[-]
重力加速度	:	$g (=9.80665)$	[m/s ²]
周囲空気温度	:	$T_0 (=309.95(=36.8^\circ\text{C}))$	[K]
風速	:	$U (=3.7)$	[m/s]
密度	:	$\rho (=1.124)$	[kg/m ³]
比熱	:	$C_p (=1.007)$	[kJ/kg/K]
実験定数 ^[1]	:	$k (=9/8)$	[-]
実験定数 ^[1]	:	$o (= -0.0975)$	[-]

[1] 出典：自治省消防庁消防研究所，「大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書」，
消防研究所研究資料 第 46 号，1999.9

[2] 出典：佐賀 武司，正方形熱源の風下における温度分布，東北工業大学紀要
I 理工学編，第 16 号，1996

(2) 航空機墜落による火災

離隔距離	:	l (=89)	[m]
燃焼面積	:	S (=700)	[m ²]
風速の無次元パラメータ	:	$\Lambda = (U \cdot D^{1/3}) / (Q \cdot g / (C_p \cdot \rho \cdot T_0))^{1/3}$	[-]
フルード数	:	$Fr = U / \sqrt{D \cdot g}$	[-]
熱源寸法	:	$D = 2\sqrt{S/\pi}$	[m ²]
発生熱量	:	Q	[kW]
燃焼時発熱量	:	$\Delta H_{c,eff}$ (=43200)	[kJ/kg]
質量低下速度	:	\dot{m} (=0.039)	[kg/m ² /s]

(3) 危険物施設の火災

離隔距離	:	l (=224)	[m]
燃焼面積	:	S (=380.95)	[m ²]
風速の無次元パラメータ	:	$\Lambda = (U \cdot D^{1/3}) / (Q \cdot g / (C_p \cdot \rho \cdot T_0))^{1/3}$	[-]
フルード数	:	$Fr = U / \sqrt{D \cdot g}$	[-]
熱源寸法	:	$D = 2\sqrt{S/\pi}$	[m ²]
発生熱量	:	Q	[kW]
燃焼時発熱量	:	$\Delta H_{c,eff}$ (=44400)	[kJ/kg]
質量低下速度	:	\dot{m} (=0.044)	[kg/m ² /s]

5. 評価結果

表 1 に各火災源の熱気流の主軸傾き角を示す。

航空機墜落による火災, 危険物タンク火災共に $\tan \beta > \tan \beta'$ となるため, 火災を想定しても熱気流は上方へ拡散し, 2号炉非常用ディーゼル発電機 (A) 給気口の給気温度へ影響がないことを確認した。

表 1 各火災源の熱気流の主軸傾き角

火災源	$\tan \beta$	$\tan \beta'$
航空機墜落による火災 (B747-400)	0.990	0.218
危険物タンク火災 (3号炉軽油タンク)	0.949	0.087

建屋内部の温度影響評価

1. 評価方針

室内で人員の活動が必要な、1号炉および2号炉中央制御室ならびに3号炉原子炉建屋内緊急時対策所について、内部の温度影響評価を実施する。また、固体廃棄物貯蔵所内のドラム缶についても併せて温度影響評価を実施する。評価は以下の手順で実施する。図1に評価概念図を示す。

- (1) 外部火災による評価対象外壁内表面を評価する。(STEP1)
 - (2) STEP1で得られた外壁内表面温度を基に室温を評価する (STEP2)
- なお、固体廃棄物貯蔵所のように室温維持のための空調設備がない場合は保守的に外壁内表面温度で評価する。

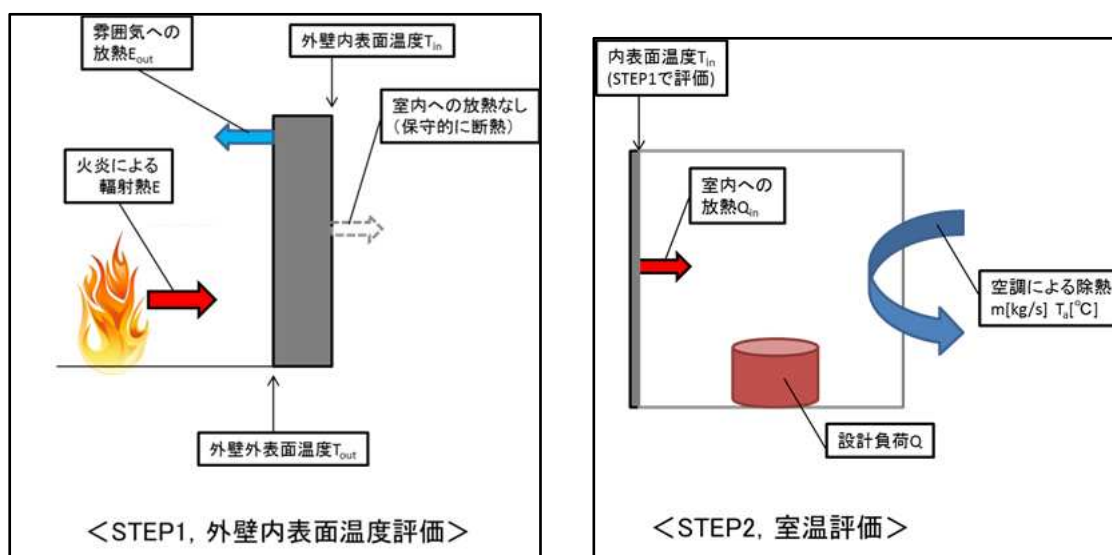


図1 評価概念図

2. 評価対象

評価対象および想定火災源は以下に示す3ケースを想定する。

	評価対象	想定火災源
(1)	1号炉および2号炉中央制御室	3号炉軽油タンク＋航空機落下
(2)	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所	3号炉軽油タンク
(3)	固体廃棄物貯蔵所	森林火災：発火点2-1，県道沿い

3. 実施手順

(1) 評価対象に関するデータ (STEP1)

a. 離隔距離

評価対象	離隔距離 [m]
1号炉および2号炉中央制御室	航空機：89 3号炉軽油タンク：289
3号炉原子炉建屋内緊急時対策所	29
固体廃棄物貯蔵所	50

b. 外壁厚み

評価対象	外壁厚み [m]
1号炉および2号炉中央制御室	
3号炉原子炉建屋内緊急時対策所	
固体廃棄物貯蔵所	0.6

c. 初期条件

外壁初期温度	50 [°C]
雰囲気温度	50 [°C]
熱伝達率	17 [W/(m ² ·K)]

- ・外壁初期温度は 50[°C]とし、外壁内一律の温度とする。
- ・雰囲気への放熱を考慮する。
- ・雰囲気温度は 50[°C]とする。
(本来、雰囲気温度はコンクリート建屋外壁表面温度よりも低い、ここでは保守性を考慮して高めに設定)
- ・熱伝達率は垂直外壁面(夏)を想定し、17[W/(m²·K)]とする。
(熱伝導率は、夏の方が冬 (23[W/(m²·K)]) よりも保守的)

d. 輻射強度

火災データ一覧（3号炉軽油タンクおよび航空機落下）

火災源	評価対象	輻射強度 [kW/m ²]	火炎継続時間 [sec]
3号炉軽油タンク	1号炉および2号炉 中央制御室	0.11900	33905
3号炉軽油タンク	3号炉原子炉建屋内 緊急時対策所	7.47685	33905
航空機落下	—	2.57093	6677

火災データ一覧（森林火災：発火点 2-1，県道沿い）

火災源	火炎輻射発散度 [kW/m ²]	火炎継続時間 [sec]	火炎長 [m]	火炎到達幅 [m]
森林火災	417	2160	0.8	2190

(2) 評価対象に関するデータ (STEP2)

a. 表面積および室内換気データ

評価対象	壁表面積 [m ²]	室内負荷 [kW]	風量 [m ³ /s]	空調冷却温度 [°C]
1号炉および2号炉 中央制御室	213.000	310.243	26.494	16
3号炉原子炉建屋内 緊急時対策所	61.324	131.612	10.401	15

b. 室内壁表面熱伝達率 h_m

空気調和・衛生工学便覧に記載の内表面熱伝達率（鉛直面かつ熱の流れが水平の場合）である 8.29[W/m²/K]を使用

c. 許容温度

- (a) 1号炉および2号炉中央制御室，3号炉原子炉建屋内緊急時対策所
女川原子力発電所 2号炉において，計測制御の機能維持のため空調
の設計温度である 40°Cを許容温度とする。

(b) 固体廃棄物貯蔵所

固体廃棄物貯蔵所に貯蔵しているドラム缶は低炭素鋼製であり、この許容温度は排気筒と同様に「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」に規定されている鋼材の制限温度は 350℃である。しかし、ドラム缶の中には内部に水分を含んだ廃棄物を内包しているものもあることから、加熱による体積膨張の影響を考慮し、水の沸点である 100℃を目安とする。

(3) 評価モデル式

a. STEP1 の評価モデル式

外部火災による外壁内表面温度を算出する式は次式で示される。

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

T : 外壁温度 [℃]
 ρ : コンクリート密度 (2400 kg/m³)
 C_p : コンクリート比熱 (963 J/kg/K)
 λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m/K)
 x : コンクリート深さ
 t : 火災継続時間 (s)

b. STEP2 の評価モデル式

室内の内包機器熱負荷は強制換気による除熱される。ここでは図 1 に示すように外部火災による外壁内表面温度の上昇により室温が加熱される影響をモデル化する。保守的に評価を実施するため、室内の熱容量等は考慮せず、熱バランスによる評価を実施する。

外部火災による内壁温度上昇に伴う熱負荷は次式で示される。

$$Q_{in} = h_{in} A (T_{in} - T_{room}) \quad [W]$$

h_{in} : 室内壁表面熱伝達率 [W/m²/K]
 A : 室内壁表面積 [m²]
 T_{in} : 内壁最高温度 [℃]
 T_{room} : 室温 [℃]

室内における熱バランスにより室温は次式で計算される。保守的に排気温度 T_{ext} を室温 T_{room} として評価する。

$$T_{room} = T_{ext} = \frac{Q + Q_{in}}{m \cdot \rho \cdot C_p} + T_a \quad [℃]$$

Q : 室内負荷 [W]
 m : 風量 [m³/s]
 C_p : 空気比熱 [J/kg/K]
 ρ : 空気密度 [kg/m³]
 T_a : 空調冷却温度 [°C]

4. 評価結果

評価結果を次に示す。各評価対象について許容温度を下回ることを確認した。

評価対象	STEP1 外壁内表面温度 [°C]	STEP2 室内温度 [°C]	許容温度 [°C]
1号炉および2号炉 中央制御室	約 61	約 29	40
3号炉原子炉建屋内 緊急時対策所	約 133	約 32	40
固体廃棄物貯蔵所	約 52	—	350 (100)

()内は内包物を考慮した目安温度

なお、人体に対する熱影響については以下のとおり問題ないことを確認した。

- ・厚生労働省「熱中症の予防対策における WBGT^{※1}の活用について」から、「身体作業強度等に応じた WBGT 基準値」の区分 1 低代謝率^{※2}の WBGT 基準値は相対湿度を考慮した気温では 32°Cとなっている。

※1 : 暑熱環境による熱ストレスの評価を行う暑さ指数

※2 : 身体作業強度（代謝率レベル）の低い作業

ばい煙および有毒ガスの影響評価について

1. 目的

外部火災により発生するばい煙および有毒ガスについては、火災による上昇気流により上空に運ばれることを考慮すると、ばい煙および有毒ガスが防護対象設備の周辺に滞留する可能性は小さいと考えられるが、ばい煙および有毒ガスが設備に与える影響について評価を実施する。

2. 評価対象設備

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」では、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響として、燃料生成物の換気また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。

よって、ばい煙等の影響が想定される設備として、評価フロー図（図 7-1）に基づき機器を選定し、以下の設備について評価を実施する。

設置場所	影響評価設備
屋内	非常用ディーゼル機関，同吸気系
	中央制御室換気空調系
	計測制御電源室換気空調系
	原子炉補機室換気空調系
	原子炉建屋原子炉棟換気空調系
屋外	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

クラス 3 に該当する構築物，系統および機器については，一般産業施設と同等以上の信頼性が要求されており，建屋内の設備については，建屋により防護することとし，屋外設備については，代替設備等で安全機能に影響を与えないことを確認した。

ただし，原子炉建屋原子炉棟換気空調系はクラス 1，2 の関連系のため個別評価対象とした。

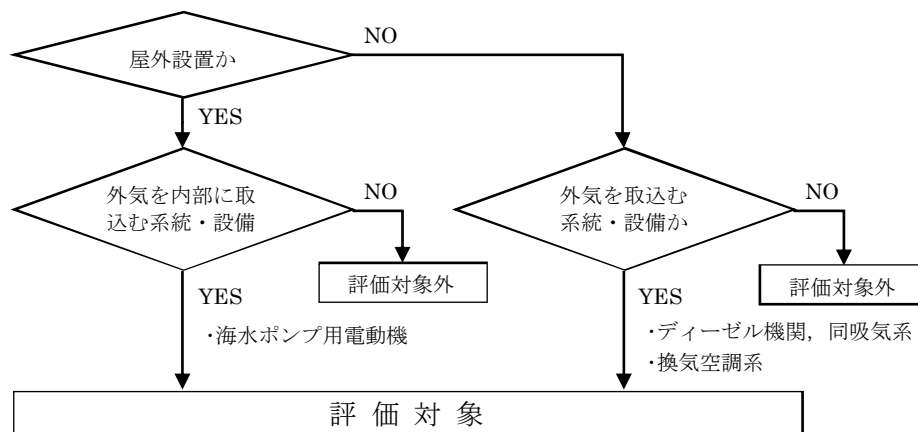


図 7-1 ばい煙等に対する評価フロー図

3. 評価結果

(1) 外気を取込む換気空調系統

外気を取込んでいる換気空調系統として、非常用ディーゼル機関吸気系以外には以下の系統がある。

- ・中央制御室換気空調系
- ・計測制御電源室換気空調系
- ・原子炉補機室換気空調系
- ・原子炉建屋原子炉棟換気空調系

これらの外気給気に設置しているフィルタは、粒径 $1\mu\text{m}$ 以上のダストを 90%以上除去できる性能を有しているため、外部火災で発生するばい煙 [粒径：数 μm ~ $10\mu\text{m}$ (※1)]はこのフィルタで捕集されることから、ばい煙粒子による機器への影響は問題ない。

また、中央制御室については、24時間常駐している運転員が外部火災の情報受信後に、ばい煙の影響を受ける可能性があるとは判断した場合には、運転員の操作により外気取入れダンパを閉止し外気を遮断できるため、ばい煙の影響は受けない。(図 7-2 参照)

なお、換気空調系フィルタは、入口と出口間の差圧を検知できる差圧計を監視し、フィルタが目詰まりした場合は予備のフィルタに交換を行うことで機能は維持される。

※1 [SMOKE MANAGEMENT GUIDE FOR PRESCRIBED AND WILDLAND FIRE 2001 Edition](2001年12月)
the National Wildfire Coordinating Group's(NWCG) (米国森林火災協会)

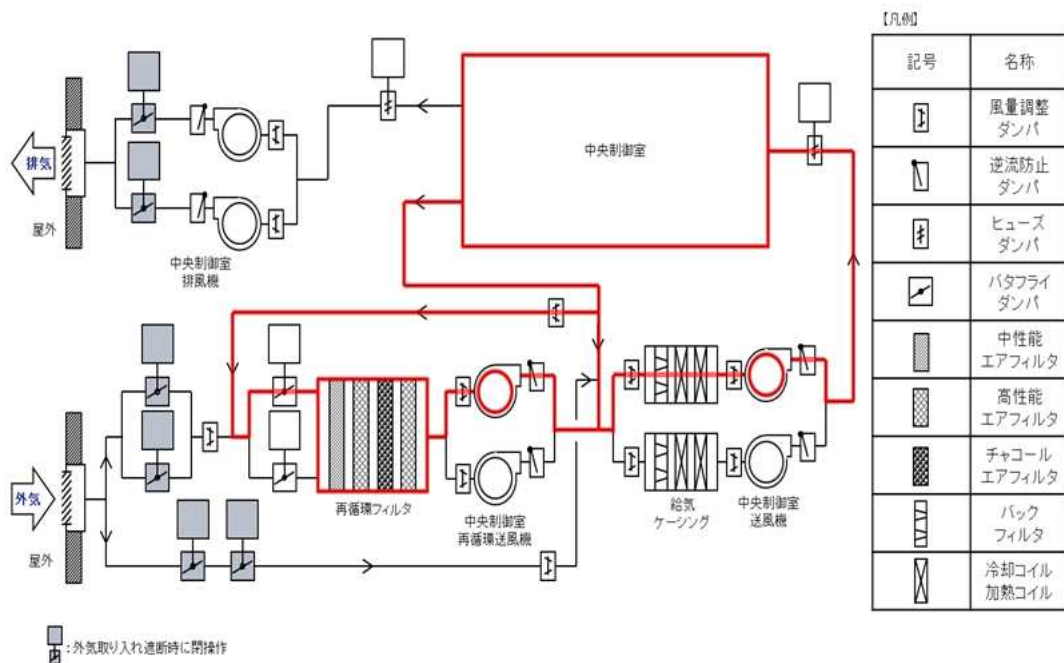


図 7-2 中央制御室空調系概略系統図

a. 中央制御室換気空調系統

「実用発電用原子炉およ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、中央制御室換気空調設備は、24 時間常駐している運転員が外部火災の情報受信後に、ばい煙の影響を受ける可能性があるとは判断した場合には、運転員の操作により外気取入れダンパを閉止し外気を取込みを遮断することができるため、ばい煙の影響は受けない。

発電所敷地内危険物タンクからの火災および航空機落下による火災を想定し、中央制御室内に侵入する外部火災による有毒ガスの最大濃度について、判断基準として IDLH (Immediately Dangerous to Life of Health ※1) と比較評価を実施した。

また、外部火災発生時、外気を取込みを一時的に停止した場合の中央制御室内の酸素濃度および炭酸ガス濃度を評価して、中央制御室の居住性に影響がないことの確認を実施した。

※1：30 分暴露によって生命および健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(a) 外部火災により中央制御室に侵入する有毒ガスの評価

i. 評価対象

女川 2 号炉の制御建屋にある中央制御室空調の給気口に対して距離が近く多量の油を内蔵する危険物タンク（1 号炉軽油タンク，3 号炉軽油タンク（2 基））からの火災および航空機落下による火災を評価対象とする。

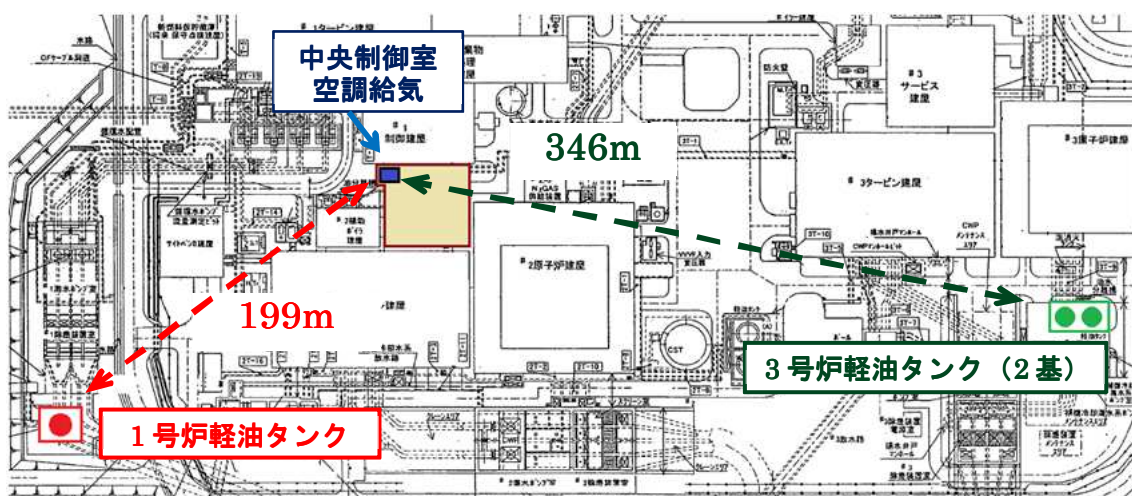


図 7-3 2 号炉中央制御室給気口と敷地内屋外危険物タンクの位置

ii. 評価方法

火災による有毒ガス発生量，風速および大気拡散度に基づき，有風時ブルーム式を用いて中央制御室給気口における有毒ガス濃度を評価する。

(出典：公害研究対策センター「窒素酸化物総量規制マニュアル[新版]」)

なお，保守的に評価するため，ブルーム軸中心が給気口中心に来ると想定する。Briggsの排煙上昇過程式を用いて排煙高さが給気口高さと同じになる風速を求める。

(出典：G.A.Briggs, "Plume Rise", AEC Critical Review Series, U.S.Atomic Energy Commission, 1969)

(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 : 有効発生高さ (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) = $\frac{gQ_H}{\pi C_p \rho T} = 0.037Q_H$
 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)
 g : 重力加速度
 C_p : 定圧比熱(kcal/K/kg)
 ρ : 環境大気の平均密度(g/m³)
 T : 環境大気の平均絶対温度(K)

○Briggs の排煙上昇過程式の適用条件について

出典の文献によると、(2)式の適用条件は下記のとおり。

$$x/x^* \leq 1$$

ここで、 x は発生源と給気口との離隔距離、 x^* は浮力の効果が薄れて大気乱流による拡散効果が支配的になり始める距離であり、下式で表される。

$$x^* = 2.16F^{2/5} \cdot h_s^{3/5} \quad (h_s < 304\text{m})$$

F : 排熱フラックス (m^4/s^3)

h_s : 排煙上昇量 (m)

火災源ごとに x^* を求め、上記条件を満たしていることを確認しており、Briggs の排煙上昇過程式を用いて排煙高さが給気口高さと同じになる風速を求めることは妥当である。

なお、窒素酸化物総量規制マニュアルによれば、Briggs の排煙上昇過程式は米国における排煙高さ推定式の主流となっている。

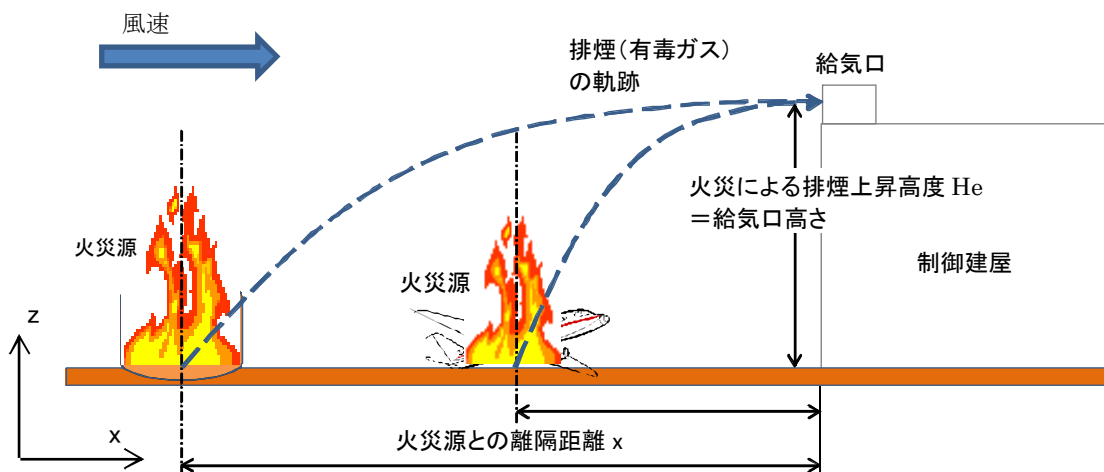


図 7-4 中央制御室給気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

図 7-4 に評価手法の概要を示す。本評価では、危険物タンク火災と航空機落下による火災を想定し、それぞれの火災により発生する有毒ガスの給気口位置における濃度を求める。それぞれの火災源に対して算出した給気口位置の有毒ガス濃度を判断基準である IDLH と比較する。

評価手順は以下の通り。

- ① それぞれの火災源から発生する有毒ガス発生量 Q を算出する
- ② 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。
- ③ 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。

iii. 評価データ

(i) 火災発生時の有毒ガス発生量

- ・ CO_2 発生量：環境省の温室効果ガス排出量算定・報告マニュアルに基づき算出
- ・ CO 発生量：原油火災試験の計測結果を採用
- ・ SO_2 および NO_2 発生量：米国 EPA (環境省) および FAA (連邦航空局) が提示する Emission Factor を使用

(ii) 火炎と給気口との離隔距離

危険物タンクと給気口との離隔距離は、機器配置図より直線距離を算出した。また、航空機落下位置については、女川2号炉の航空機落下による火災評価にて考慮しているカテゴリより、保守的な評価となる「計器飛行民間航空機 (B747-400)」および「米軍機 (訓練区域外) (F-15)」の落下位置を採用した。

(iii) 拡散パラメータ

式(2)より、航空機火災による排煙上昇高度が敷地からの給気口高さと同くなるものとして風速を算出した。

$$Q_H = \dot{m}A\Delta H_{c,eff} = 0.039 \times 700 \times 10,300 = 281,100 \text{ [kcal/s]}$$

$$F = 0.037 Q_H = 10,400 \text{ [m}^4/\text{s}^3]$$

$$u = 1.6F^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot H_{el}^{-1} = 1.6 \times 10,400^{1/3} \times 89^{2/3} \times 15.925^{-1} = 43.7 \text{ [m/s]}$$

表 7-1 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 または 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 7-2 に示す Pasquill-Gifford 図の近似関係(風下距離 0~1,000m)の安定度 D の式より拡散パラメータを算出した。

文献 (F.Pasquill, "Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values", EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, 1976) に記載された評価方法に則り、鉛直方向の拡散パラメータについては更に、表 7-3 に示す $\Delta H e^2/10$ を加えた値を採用した。

表 7-1 大気安定度分類表 (発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針より抜粋)

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

表 7-2 拡散パラメータ (窒素酸化物総量規制マニュアルより抜粋)

表 2-4-9 Pasquill-Gifford 関の近似関係

$$\sigma_y(x) = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	α_y	γ_y	風下距離 x (m)
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 (m)
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~

表 7-3 拡散パラメータ σ_z

(Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling Part II 23 頁 より抜粋)

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*

$$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x), \sigma_\theta \text{ in radians}$$

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 (4).
- (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'

23

iv. 評価結果

評価した結果、中央制御室給気口で濃度が最も大きくなる航空機落下火災 (F-15) の有毒ガス濃度においても IDLH に比べ、表 7-4 のとおり十分に裕度を持っており、有毒ガスにより中央制御室の居住性が損なわれることはない。

また、中央制御室からの操作により外気取入れダンパは 50 秒程度で閉止し、再循環運転に切替が可能であることから、ダンパを閉止し外気を取込みを遮断することができるため、長期的にも居住性に影響を与えることはない。

なお、IDLH は 30 分暴露濃度限界値であり、外気取入れダンパ閉止時間の 50 秒程度と比較すると十分長い時間での評価であるため、IDLH を判断基準として採用することは妥当である。

表 7-4 評価結果

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ	
			σ_y [m]	σ_z [m]
航空機火災 (B747-400)	15.925	43.7	7.163	6.60
航空機火災 (F-15)	15.925	7.9	2.120	5.28
1号炉軽油タンク	15.925	61.7	15.13	9.70
3号炉軽油タンク 2基	15.925	92.7	25.29	14.03

評価対象	ガス濃度 [ppm]			
	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂
航空機火災 (B747-400)	50.55	3,137	0.74	5.17
航空機火災 (F-15)	99.10	6,359	0.91	10.82
1号炉軽油タンク	6.36	404	0.75	0.53
3号炉軽油タンク 2基	2.10	134	0.25	0.18
判断基準 : IDLH	1,200	40,000	100	20

(b) 外気取入遮断時の中央制御室内の酸素濃度および炭酸ガス濃度の評価

外気取入遮断時の中央制御室内に滞在する運転員の操作環境の劣化防止のため、外部火災発生時、外気を取込みを一時的に停止した場合の中央制御室内の居住性について、酸素濃度および炭酸ガス濃度の評価を行った。

i. 酸素濃度

「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、酸素濃度について評価した。

【評価条件】

- ・ 在室人員 12名
なお、運転員以外の人員については中央制御室に長期滞在しないことから、在室人員は運転員の人数としている。
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 14,000m³
- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期酸素濃度 20.95%
- ・ 1人あたりの呼吸量は、事故時の運転操作を想定し、歩行時の呼吸量を適用して、24l/min とする。
- ・ 許容酸素濃度 18%以上（労働安全衛生規則から）

【評価結果】

上記評価条件から求めた酸素濃度は、以下のとおりであり、523時間（21.79日）外気取入を遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

時間	12時間	24時間	36時間	523時間
酸素濃度	20.8%	20.8%	20.7%	18.0%

ii. 炭酸ガス濃度

「空気調和・衛生工学便覧 空調設備編」に基づき、炭酸ガス濃度について評価した。

【評価条件】

- ・ 在室人員 12名
なお、運転員以外の人員については中央制御室に長期滞在しないことから、在室人員は運転員の人数としている。
- ・ 中央制御室バウンダリ内体積 14,000m³

- ・ 空気流入はないものとする。
- ・ 初期炭酸ガス濃度 0.03%
- ・ 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、中等作業時の吐出量を適用して、0.046m³/min とする。
- ・ 許容炭酸ガス濃度 1.4%以下（労働安全衛生規則の許容炭酸ガス濃度 1.5%に余裕を見た数値）
なお、米国での研究レポート（U.S. Naval Medical Research Lab. Report No.228）には、1.5%環境下に 42 日間滞在しても、生理学的な機能や精神運動機能の明らかな低下はないとされている。
また、消防庁が発行している通知文書「二酸化炭素消火設備の安全対策について(通知)」（平成 8 年 9 月 20 日）には、2%未満において、はっきりした影響は認められないとされている。（表 7-5 参照）

表 7-5 二酸化炭素の濃度と人体への影響

（「二酸化炭素消火設備の安全対策について(通知)」より抜粋）

二酸化炭素の濃度 (%)	症状発現までの暴露時間	人体への影響
2%未満		はっきりした影響は認められない
2～3%	5～10分	呼吸深度の増加，呼吸数の増加
3～4%	10～30分	頭痛，めまい，悪心，知覚低下
4～6%	5～10分	上記症状，過呼吸による不快感
6～8%	10～60分	意識レベルの低下，その後意識喪失へ進む，ふるえ，けいれんなどの不随意運動を伴うこともある
8～10%	1～10分	同上
10%以上	数分以内	意識喪失，その後短時間で生命の危機あり
30%	8～12呼吸	同上

【評価結果】

上記評価条件から求めた炭酸ガス濃度は、以下のとおりであり、347時間（14.4日）外気取入を遮断したままでも、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を与えない。

時間	12時間	24時間	36時間	<u>347時間</u>
炭酸ガス濃度	0.08%	0.13%	0.18%	<u>1.40%</u>

(2) 外気を内部に取込む系統・設備

a. 非常用ディーゼル発電機

非常用ディーゼル発電機は、外部火災により外部電源喪失が生じた場合においても施設の所要の安全機能を発揮するために必要な設備であることから、火災によるばい煙の影響を評価した。

ディーゼル発電機機関の吸気系統は、換気空調系のフィルタを介した換気空気を機関付き過給機で吸入しており、フィルタにより、ばい煙粒子は捕集される(粒径 $1\mu\text{m}$ 以上において約 90%捕獲性能を有する)。

フィルタの入口と出口間の差圧を検知できる差圧計を監視し、フィルタが目詰まりした場合は予備のフィルタに交換が可能となっている。

フィルタを通過したばい煙粒子は、過給機、空気冷却器に侵入するが、機器の間隙は、ばい煙粒子に比べて十分大きいことから閉塞する恐れはない。

吸入されたばい煙粒子は、機関のシリンダ内へ送気される。送気されたばい煙粒子は、シリンダ/ピストン間隙(数 μm ~ 十数 μm) 内に侵入し、シリンダ/ピストンの摩擦発生が懸念されるが、主成分は炭素であり摩擦が発生することはないと判断される。

また、通常運転においても燃料油(軽油)の燃焼に伴うばい煙が発生し、排ガスとともに排出されており、定期的なシリンダの分解点検において異常は認められていない。

以上のことから、非常用ディーゼル発電機機関にばい煙が侵入した場合においても、運転を阻害するに至らない。

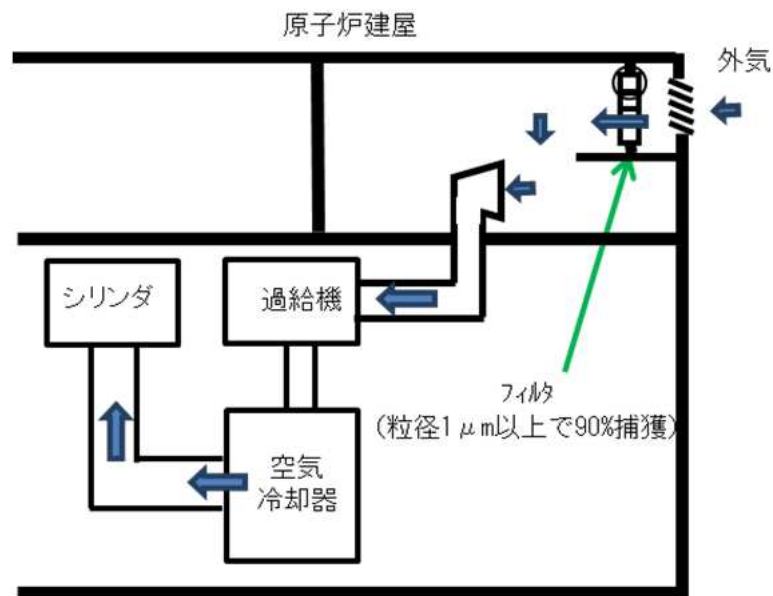
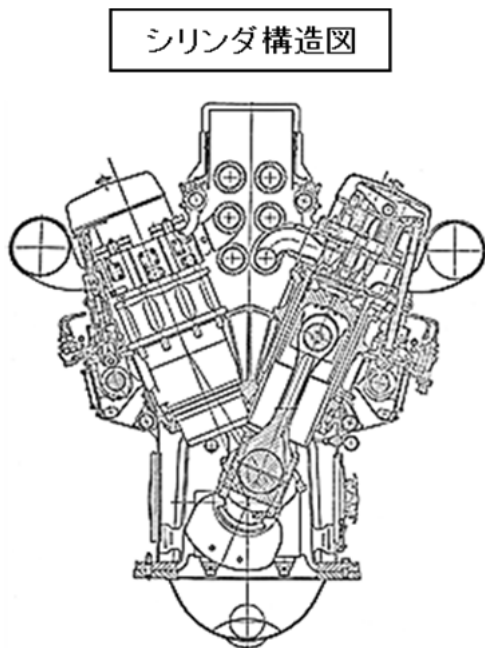
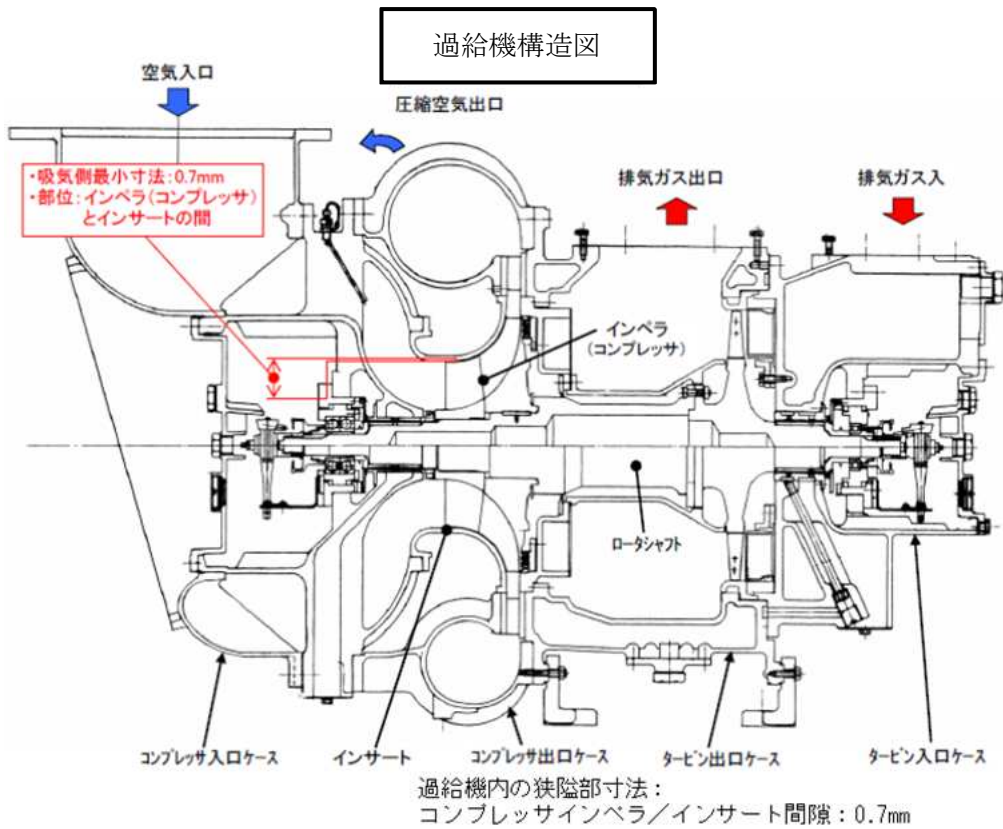
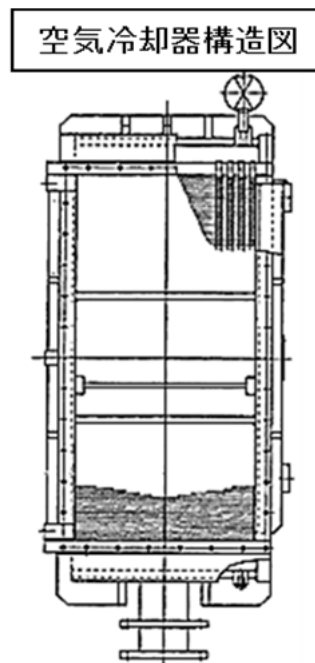


図 7-5 非常用ディーゼル機関吸気系統概要図



シリンダ/ピストン間隙：
数 μm ～十数 μm



空気冷却器内の狭隘部寸法：
伝熱フィン間隙：約 1.7mm

図 7-6 非常用ディーゼル機関吸気系統構造図

b. 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機

原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機は、空気冷却器を電動機側面に設置して内部通風の熱交換により冷却する構造であり、外気を直接電動機内部に取込まない全閉構造であることから、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。また、外気通風部の吸込み口の金網口径が 10mm×10mm、冷却パイプ口径が 29.4mm であり、ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さいことから、閉塞することはない。

また、軸貫通部の上部軸シール部は、防水カバー、スリング、油切りラビリンスで侵入防止構造となっている。また、下部軸シール部については同様に防水カバー、油切りラビリンスで侵入防止構造としており、ばい煙粒子が軸受け内部に侵入することはない。

以上のことから、ばい煙が当該ポンプモータの機能に影響を及ぼすことはない。

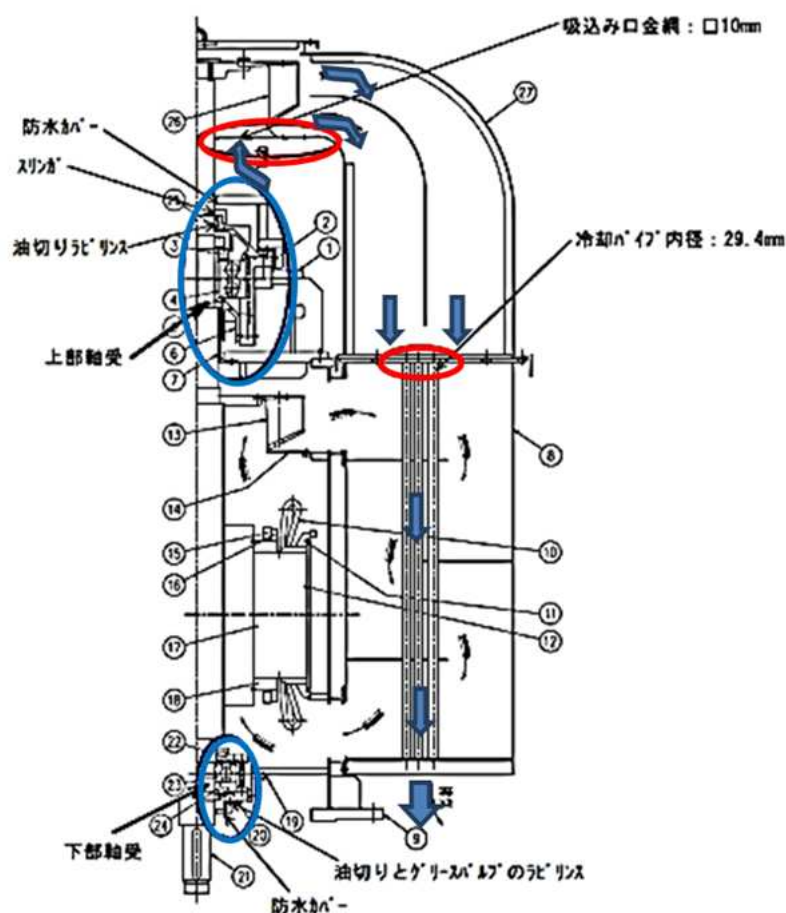


図 7-7 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機冷却空気流れ説明図

c. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機は、外気を直接電動機内部に取り込まない外扇形の冷却方式の全閉構造であり、ばい煙粒子が電動機内部に侵入することはない。

上部貫通部はラビリンスカラーで軸受への侵入防止構造とし、下部貫通部はポンプ架台内とし、侵入を防止する構造としている。

以上からばい煙が当該ポンプモータの機能に影響を及ぼすことはない。

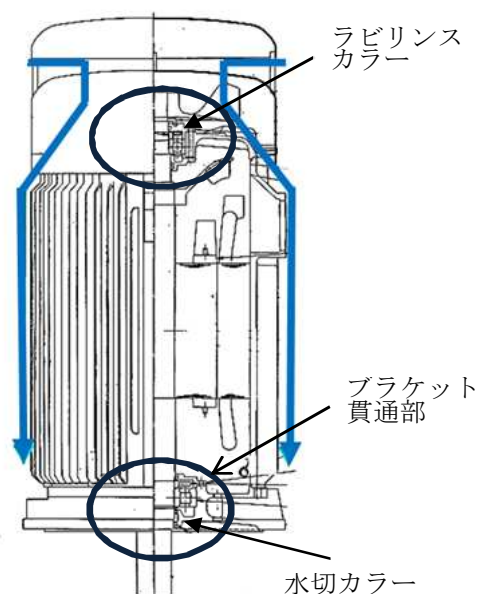


図 7-8 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機外形図

d. モータ端子箱

モータ端子箱は、電動機本体への取り付け部および端子箱蓋に浸水防止のパッキンを使用しており、ばい煙が侵入しないため、影響は受けない。