

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0090 改18
提出年月日	平成29年6月6日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

設計基準対象施設について

平成29年6月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

- 4条 地震による損傷の防止
- 5条 津波による損傷の防止
- 6条 外部からの衝撃による損傷の防止
- 7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止
- 8条 火災による損傷の防止
- 9条 溢水による損傷の防止等
- 10条 誤操作の防止
- 11条 安全避難通路等
- 12条 安全施設
- 14条 全交流動力電源喪失対策設備
- 16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
- 17条 原子炉冷却材圧力バウンダリ
- 23条 計測制御系統施設(第16条に含む)
- 24条 安全保護回路
- 26条 原子炉制御室等
- 31条 監視設備
- 33条 保安電源設備
- 34条 緊急時対策所
- 35条 通信連絡設備

下線部の資料のうち、必要箇所を抜粋して提出

森林火災による影響評価について

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

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

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

(9) 3～5月の気象条件に8月を加えた解析結果について

森林火災の想定における気象条件は、過去10年間（2003～2012年）を調査し、森林火災の発生件数の多い3～5月の卓越風向、最大風速、最高気温、及び最小湿度の組み合わせとしている。3～5月を除く月としては、新潟県、柏崎市・刈羽村・出雲崎町における8月の森林火災発生件数が比較的多いが、3～5月に8月を加えた気象条件を採用すると、発電所立地地域として起こりえないような高気温・低湿度の気象条件となるため、ベースケースの解析条件としていない。

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

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

a. 気象条件の設定

3～5月の気象条件に8月を加えた気象条件を第2.2-15表（上段）に示す。

第2.2-15表 3～5月に8月を加えた気象条件と3～5月の気象条件との比較

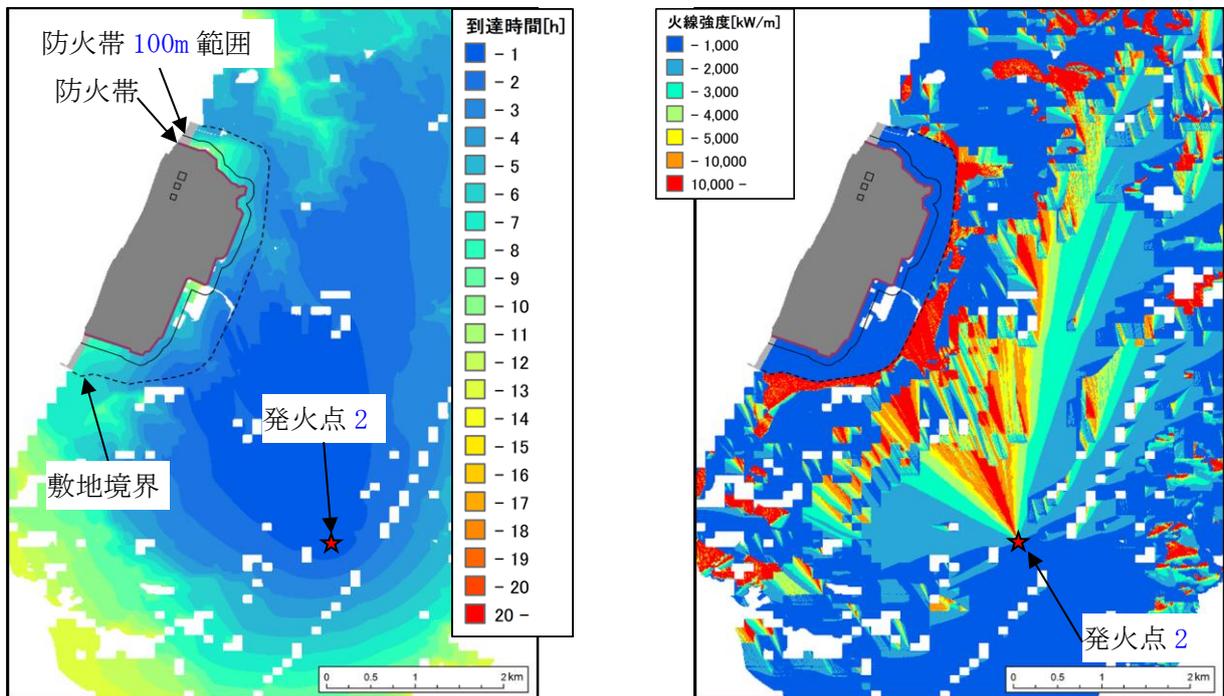
	風向 [16方位]	最大風速 [m/s]	最高気温 [℃]	最小湿度[%]
3～5月 +8月	南南東	16.0	37.5	12
3～5月 (ケース 2)	南南東	16.0	31.9	12

b. 必要データ

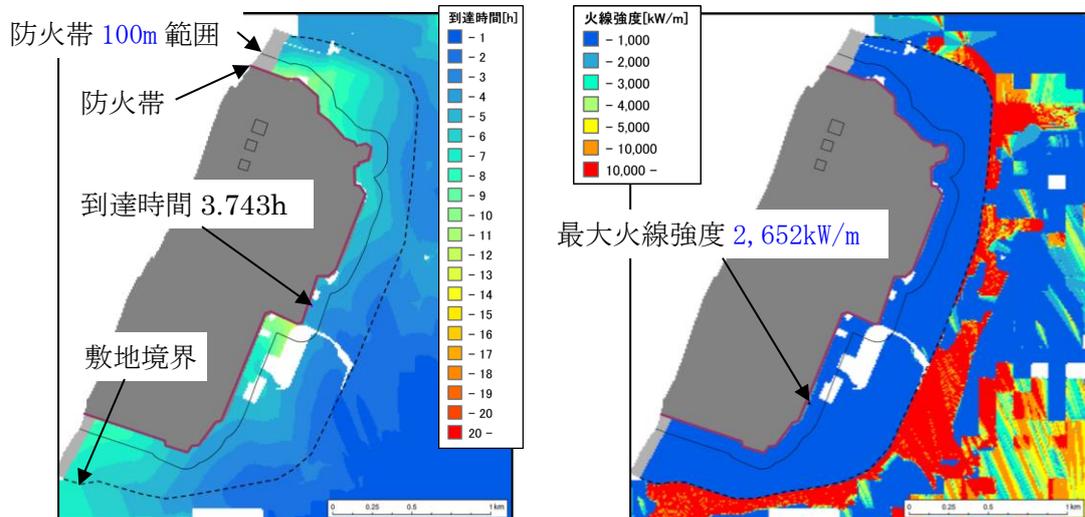
気象条件以外の植生データ等の FARSITE 入力データは、ケース 2 と同等とする。

c. 解析結果

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



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



第 2.2-16 図 解析結果 敷地周辺拡大 (左：火炎到達時間分布, 右：火線強度分布)

d. 火線強度及び火炎の到達時間の算出結果

火線強度及び火炎の到達時間の算出結果を第 2.2-16 表に示す。

第 2.2-16 表 火線強度及び火炎の到達時間

評価項目	3～5 月+8 月	3～5 月
最大火線強度 [kW/m]	2652	3002 ^{※1}
火炎の到達時間 [hour]	3.743	2.871 ^{※2}

※1：ケース 2 の火線強度（最大値）

※2：ケース 3 の火炎の到達時間（最小値）

e. 評価結果

8 月の気象条件を加えたケースは、3～5 月の気象条件に対して、最大火線強度が 350kW/m 程度小さくなっていることから、発電用原子炉施設への熱影響はケース 2 の評価に包絡される。

最大火線強度が低下した主な原因として、FARSITE に入力する最小湿度は相対湿度であることが挙げられる。具体的には、気温上昇の効果（可燃物の水分量が減少し火線強度が上昇する効果）よりも、絶対湿度の増加の効果（可燃物の水分量が増加し火線強度が低下する効果）が大きく最大火線強度が若干低下していると考えられる。

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

(10) 8 月の気象条件を適用した森林火災について

a. 森林火災の想定

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

(a) 気象条件

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

第 2.2-17 表 8 月の気象条件と 3～5 月の気象条件との比較

	風向[16 方位]	最大風速 [m/s]	最高気温 [°C]	最小湿度 [%]
8 月	南南東	11.0	37.5	31
3～5 月	南南東	16.0	31.9	12

(b) 評価結果

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

- ① 3～5月に8月の気象条件を加えた解析では、気温の上昇によって絶対湿度が増加し、火線強度が低下する結果となっている。
- ② 8月の気象条件は、下記のとおり、3～5月の気象条件と比較して火線強度を低下させる気象条件となっている。

- ・ 最大風速の低下による延焼速度、火線強度の低下（延焼速度と火線強度は比例関係にある）。
- ・ 湿度の上昇により可燃物の水分量が増加し火線強度が低下。

2.3 森林火災時の対応の評価結果

森林火災影響評価においては、以下に示す到達時間及び防火帯幅の条件を満足していること、森林火災時の可搬型モニタリングポスト及び可搬型気象観測装置の対応が可能であることを確認した。

2.3.1 火災の到達時間の評価結果

2.3.1.1 到達時間

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

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

2.3.1.2 予防散水に関わる評価

敷地境界域から防火帯までの火災到達時間が3時間程度であるのに対して、防火帯付近への予防散水は、敷地境界域での火災発見から約90分で開始可能である。

<火災の発見>

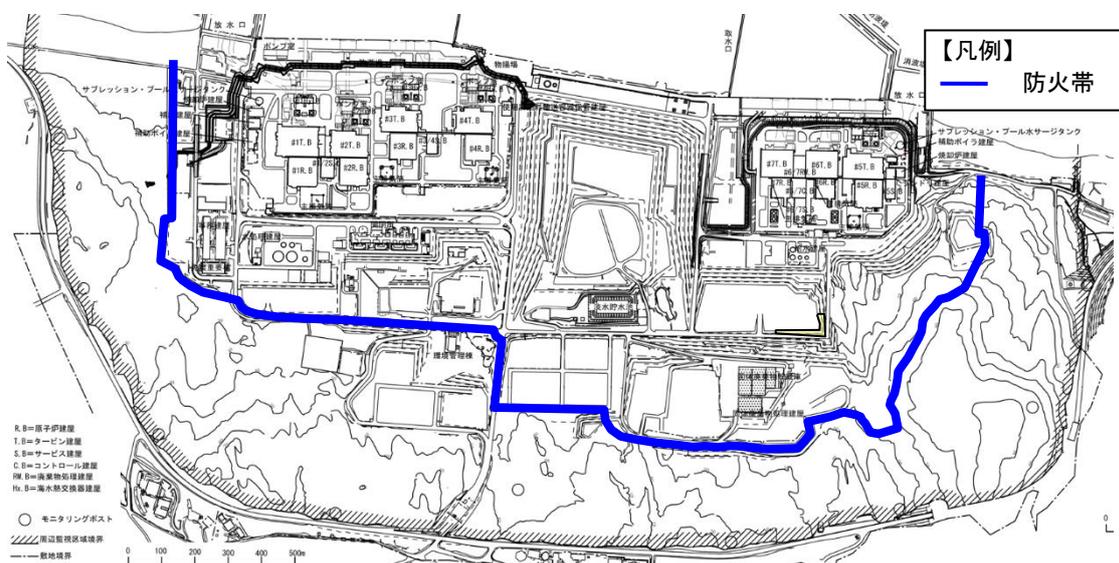
発電所敷地境界域については、警備員が定期的にパトロールを行っていること、敷地境界監視用カメラにより24時間常時監視（監視場所は防火帯より内側の監視施設）を行っていることにより、同境界域での火災や火災原因と

斜面に設定している防火帯の地盤安定性の観点からの考え方について

1. 防火帯の概要

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

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



第 1 図 防火帯位置

2. 地震時の斜面崩壊による防火帯への影響評価

(1) 評価方針について

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

(2) 森林火災が防火帯を突破する可能性について

森林火災(単独事象)の影響評価では、下記に示す保守的な前提条件としている。

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

更に, 地震と森林火災の重畳を想定する場合は, 保守的な前提条件の森林火災を重ね合わせていることになり, 森林火災(単独事象)の影響評価にて, 防火帯幅を設定した際の最大火線強度(森林火災の規模の想定)を踏まえれば, 森林火災が防火帯を突破する可能性は低くなると考えられる。

(3) 地震と森林火災重畳時の重大事故等への対応について

第2図に防火帯とアクセスルートを示す。

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

防火帯の機能が低下した場合, 防火帯の内側への森林火災の延焼が想定されるものの, 発電所敷地内には道路(幅10m程度)や非植生のエリアが多くあることから, 更なる延焼の可能性は低いと考えられる(「別紙2-8 防火帯内植生による火災について」参照)。

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

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

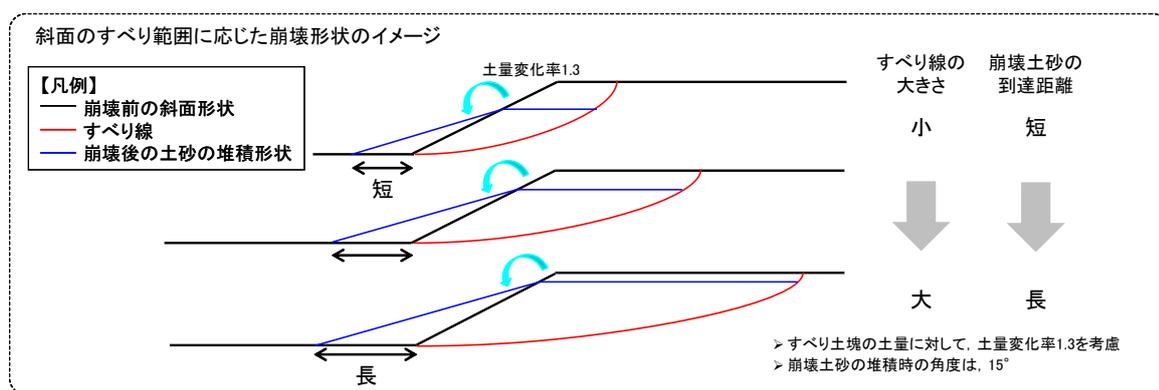
^{*}アクセスルートの周辺斜面の崩壊と同様の考え方は, 「技術的能力 添付資料1.0.2 可搬型重大事故等 対処設備保管場所及びアクセスルートについて」と同様とする。

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

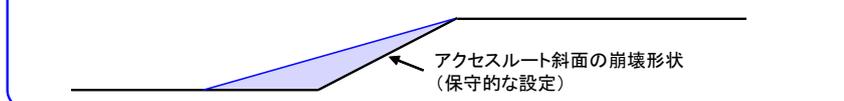
さらに、現場の状況に応じた自衛消防隊による予防散水により、防火帯内への森林火災の延焼リスク低減も可能である。



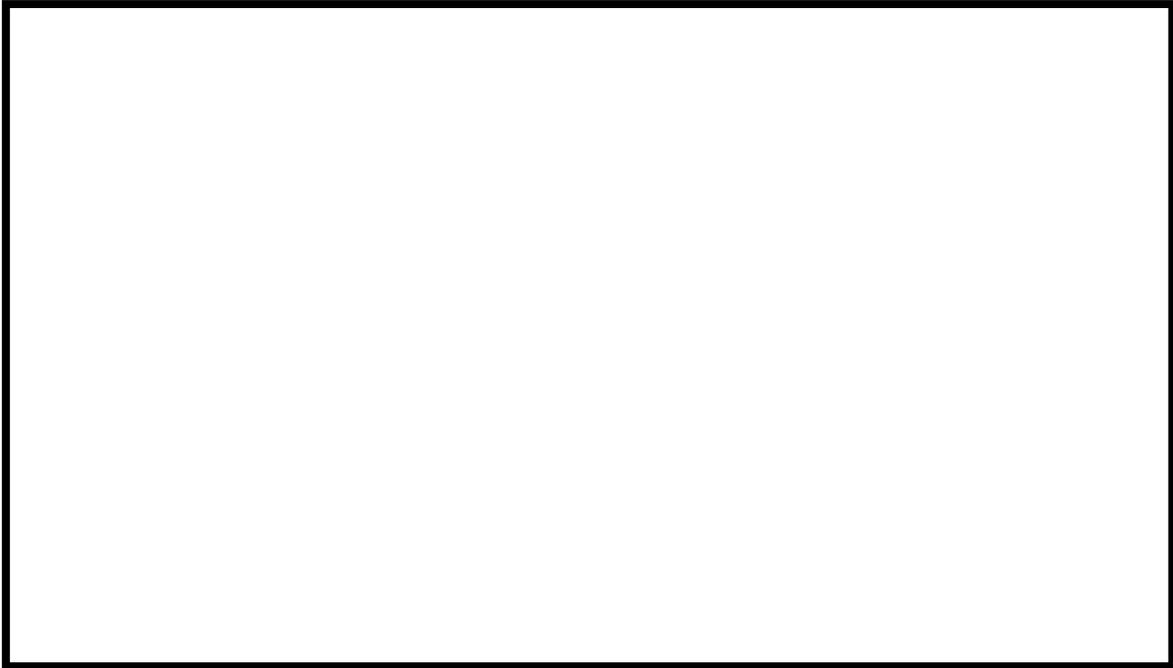
第2図 防火帯とアクセスルート



保守的な堆積土砂の形状を設定



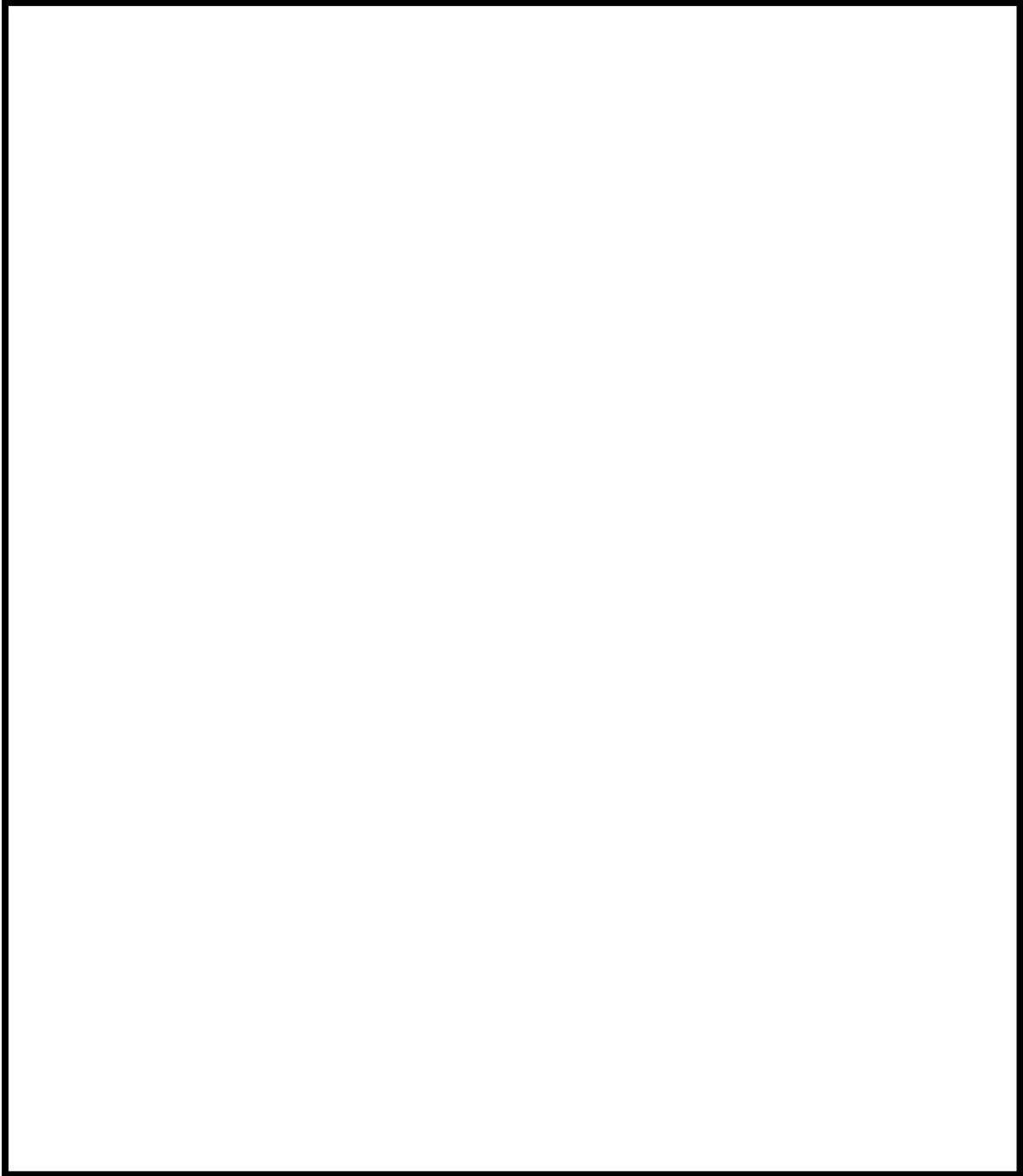
第3図 斜面崩壊時の堆積土砂の形状



第4図 斜面崩壊の影響を受けるアクセスルート範囲



第5-1図 地震時におけるアクセスルートの選定結果



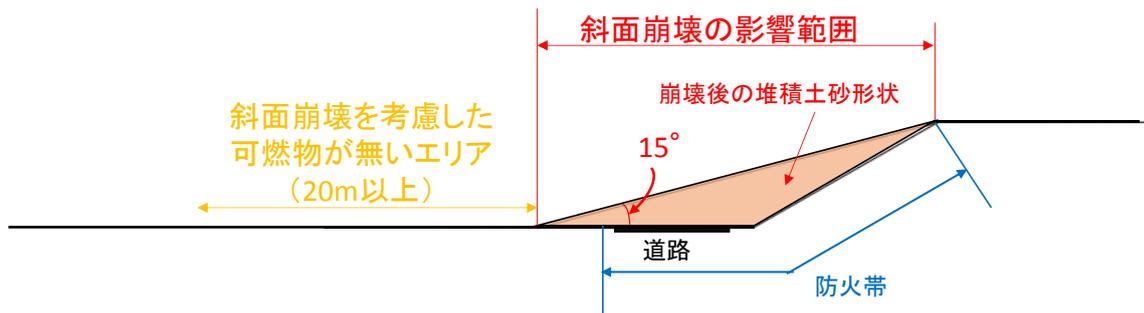
第 5-2 図 地震時におけるアクセスルートを選定結果

(4) 斜面崩壊に対する対策について

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

第6図及び第7図に、対策を行う範囲の例を示す。

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



第6図 防火帯の延焼防止機能の低下緩和対策イメージ



第7図 可燃物がないエリア

防火帯内植生による火災について

第 1 図に防火帯内の植生（平成 27 年 1 月現在）を示す。

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

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

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません

6 条-別添 4 (外火)-1-添付 2-105



第1図 発電所防火帯内植生図

ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

b. 評価結果

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

上記評価条件から求めた酸素濃度は、以下のとおりであり、24 時間程度外気取入れを遮断したままでも、運転員の作業環境に影響を与えない。

第 3.3.1-2 表 酸素濃度の時間変化

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

3.3.2 中央制御室に対する有毒ガス影響評価

(1) 評価の概要

発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設及び中央制御室外気取入口までの距離が近い設備からの火災、及び航空機落下位置での火災を想定し、中央制御室内に侵入する有毒ガスの最大濃度を判断基準と比較することで、有毒ガスに対する中央制御室居住性の影響評価を実施する。

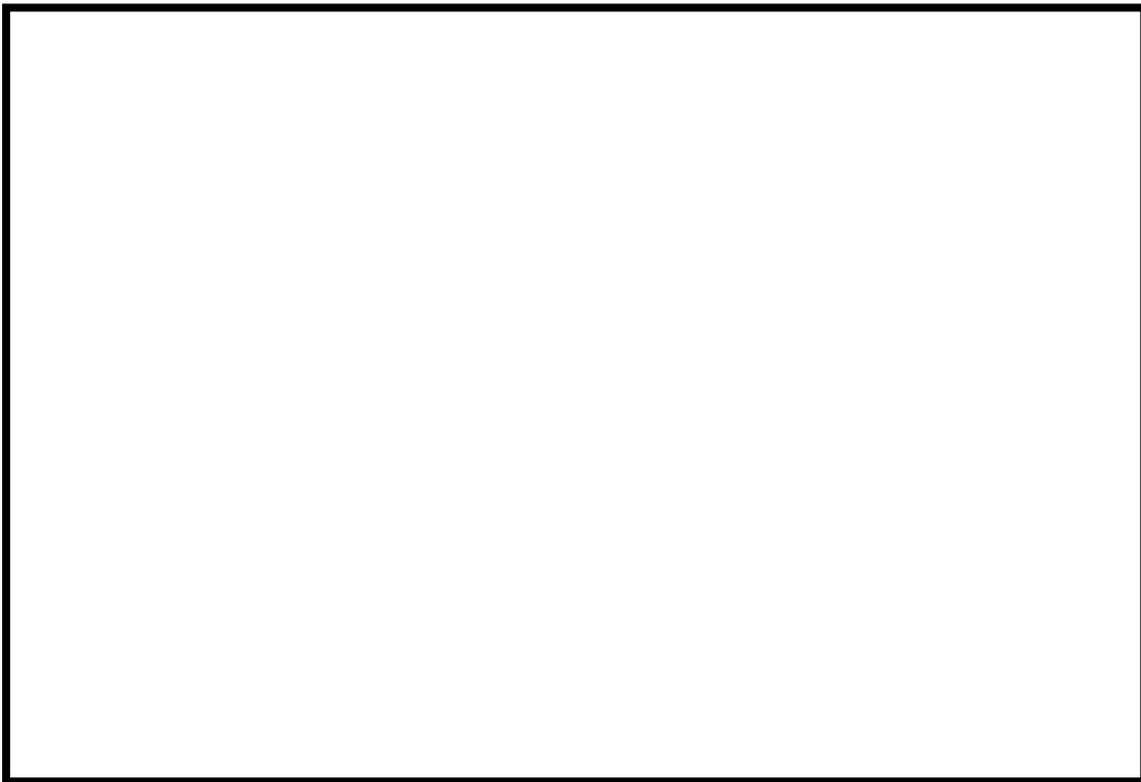
本評価では、石油コンビナートの防災アセスメント指針での判断基準と同様に、米国国立労働安全衛生研究所が定める IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) を採用する。この IDLH は、30 分暴露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

(2) 評価対象物質及び固定設備

発電所敷地内で多量の油を内蔵する施設及び中央制御室外気取入口までの距離が近い設備として軽油タンク及び変圧器等を評価対象とし、第 3.3.2-1 表に評価対象施設及び評価対象設備から外気取入口までの距離及び火災燃焼面積を示す。また、火災によって発生する物質のうち、IDLH 対象物質である一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO₂) 及び二酸化硫黄(SO₂)、二酸化窒素(NO₂)を評価対象物質とする。軽油タンク、変圧器、航空機落下位置及び外気取入口の位置関係を第 3.3.2-1 図に示す。

第 3.3.2-1 表 評価対象施設と外気取入口までの距離及び火災面積

火災発生場所	離隔距離 x [m]	排煙上昇高度 \angle h [m]	火災面積 A [m ²]
軽油タンク	80	18.3	289
主変圧器	31	18.3	150
原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器	11	5.1	9
大型民間航空機	218	18.3	605
小型民間航空機	134	18.3	27
大型軍用航空機	133	18.3	280
小型軍用航空機	109	18.3	12
航空機墜落による火災と重畳火災の可能性のある 6 号炉軽油タンク	111	18.3	583

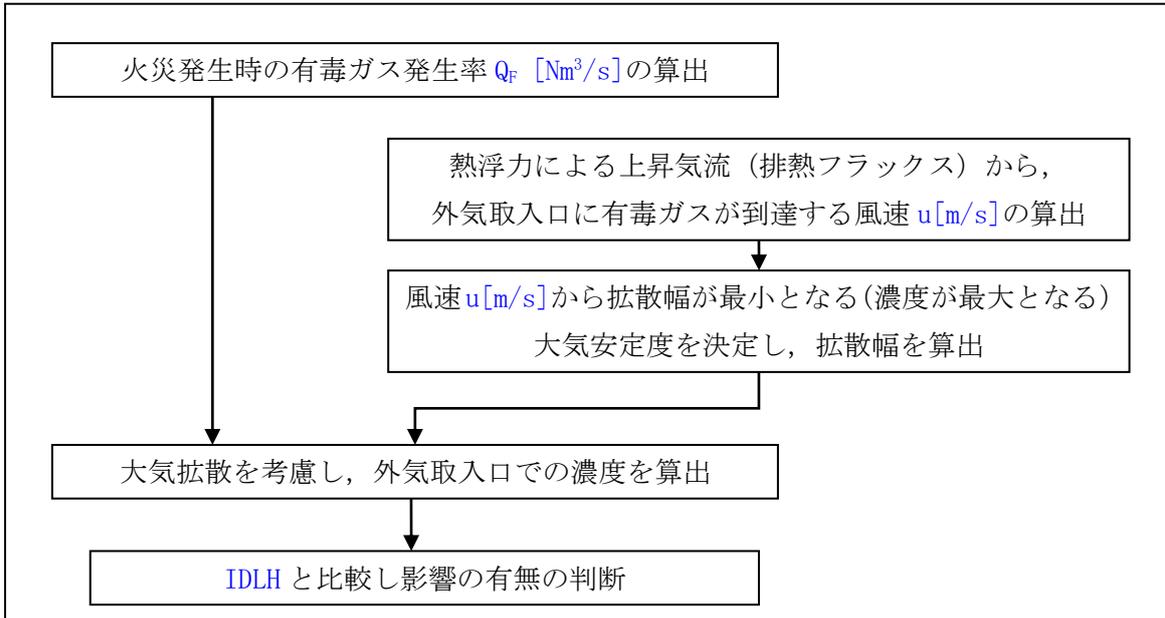


第 3.3.2-1 図 軽油タンク、航空機落下、変圧器及び外気取入口の位置関係

(3) 評価方法

火災時の有毒ガスの発生率、外気取入口に有毒ガスが到達する風速及び大気拡散を考慮し、中央制御室外気取入口における有毒ガスの最大濃度を評価し、判断

基準である IDLH と比較する。第 3.3.2-2 図に有毒ガス影響評価フローを示す。



第 3.3.2-2 図 有毒ガス影響評価フロー

a. 火災時の有毒ガスの発生率

火災時に発生する有毒ガス発生率は、燃料の元素組成に基づき、燃料 1kg 当たりの各有毒ガスの発生率に燃料消費速度を乗じて算出する。評価対象ガスの発生率 Q_F [Nm³/s] は、次式を用いて計算する。計算結果を第 3.3.2-4 表にまとめる。

$$Q_F = Q_F' \times M$$

ここで、

Q_F' : 燃料 1 kg 当たりのガスの発生率 [Nm³/kg]

M : 燃料消費速度 [kg/s]

ただし、 $M = \rho \times A \times V$

V : 液面降下速度 [m/s]

A : 火災面積 [m²]

ρ : 燃料密度 [kg/m³]

第 3.3.2-2 表 有毒ガス発生率

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

※1 : Smoke Plume Trajectory from In Situ Burning of Crude Oil in Alaska より、

燃料 1kg 当たりのガス発生率を標準状態体積に換算

※2: Air Quality Procedures For Civilian Airports & Air Force Bases より、
燃料 1kg 当たりのガス発生率を標準状態体積に換算

※3: 環境省、温室効果ガス排出量算定・報告マニュアルより、
燃料 1kg 当たりのガス発生率を標準状態体積に換算

第 3.3.2-3 表 燃料消費速度算出時の入力値

火災発生場所	液面降下速度[m/s]	燃料密度[kg/m ³]
軽油タンク・変圧器	5.5×10 ⁻⁵ ※1	875 ※2
民間航空機	6.66×10 ⁻⁵ ※3	810 ※3
軍用航空機	6.71×10 ⁻⁵ ※3	760 ※3

※1: 石油コンビナートの防災アセスメント指針 消防庁特殊災害室 平成 13 年 3 月

※2: 揮発油等の品質の確保等に関する法律（昭和五十一年十一月二十五日法律第八十八号）「第二条第八項」

※3: NUREG-1805 より

燃料 1kg 当たりのガスの発生率は、各文献に掲載されている単位重量当たりのガス発生率を単位換算することにより求めている。ただし、単位重量当たりのガス発生率は幅をもった値ではないため、保守性の観点からガス発生率が最大となる燃料を選定している。

変圧器の場合、絶縁油は重油及び軽油同様に鉱物油を原料として精製されていることから、より高いガス発生率となる軽油の数値を用いている。また、航空機の場合、燃料は JP-8 を選定し、燃料 1kg 当たりのガス発生率が最大となるようにしている。

第 3.3.2-4 表 評価対象ガスの発生率の計算結果

火災発生場所	評価対象ガスの発生率 Q _F [Nm ³ /s]			
	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂
軽油タンク	3.6×10 ⁻¹	2.2×10 ¹	1.6×10 ⁻²	7.5×10 ⁻³
主変圧器	1.9×10 ⁻¹	1.1×10 ¹	8.3×10 ⁻³	3.8×10 ⁻³
原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器	1.1×10 ⁻²	6.8×10 ⁻¹	5.0×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻⁴
大型民間航空機	2.0×10 ¹	6.0×10 ¹	1.3×10 ⁻²	9.1×10 ⁻²
小型民間航空機	8.9×10 ⁻¹	2.6×10 ⁰	6.2×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻³
大型軍用航空機	8.8×10 ⁰	2.6×10 ¹	6.1×10 ⁻³	4.0×10 ⁻²

小型軍用航空機	3.7×10^{-1}	1.1×10^0	2.6×10^{-4}	1.7×10^{-3}
航空機墜落による火災と重畳火災の可能性がある 6 号炉軽油タンク	7.4×10^{-1}	4.4×10^1	3.2×10^{-2}	1.5×10^{-2}

b. 外気取入口に有毒ガスが到達する風速

火災によって発生する有毒ガスは燃焼によって高温となり熱浮力によって上昇する。したがって、以下の Briggs 式（排煙上昇過程式）を用いて、有毒ガス発生源と外気取入口との距離と高度差から、外気取入口に有毒ガスが到達する風速 u [m/s] を求める。風速と熱浮力の関係を第 3.3.2-2 図に示し、風速の計算結果を第 3.3.2-6 表にまとめる。

$$u = 1.6F^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta h^{-1} \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

ここで、

Δh : 排煙上昇高度 [m] = 火災発生源と外気取入口の高度差

F : 排熱フラックス [m^4/s^3] = $0.037 \cdot Q_H$

Q_H : 排出熱量 [kcal/s]

ただし、 $Q_H = q / (\rho / 1000) \times M$

q : 発熱量 [kcal/l] ※

M : 燃料消費速度 [kg/s]

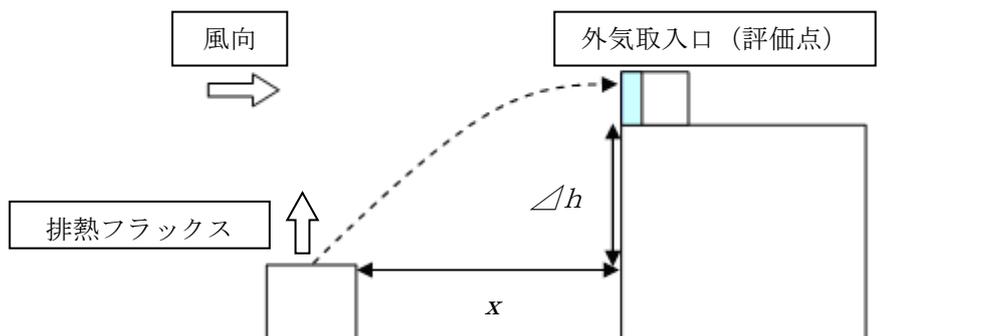
ρ : 燃料密度 [kg/m^3]

x : 離隔距離 [m]

※：2005 年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改定値について（経済産業省資源エネルギー庁 平成 19 年 5 月）

第 3.3.2-5 表 燃料の発熱量

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



第 3.3.2-2 図 風速と熱浮力の関係 (イメージ)

なお, Briggs の排煙上昇過程式の適用条件^{*}は, 以下のとおり。

$$x \leq x^*, \quad x^* = 2.16F^{2/5} \cdot \Delta h^{3/5}$$

ここで,

x : 離隔距離 [m]

x^* : 浮力の効果が薄れて大気乱流による拡散効果が支配的になり始める距離 [m]

F : 排熱フラックス [m^4/s^3]

Δh : 排煙上昇高度 [m] ($\Delta h < 305\text{m}$)

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

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

第 3.3.2-6 表 風速の計算結果

火災発生場所	風速 u [m/s]
軽油タンク	28.2
主変圧器	12.0
原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器	8.4
大型民間航空機	77.5
小型民間航空機	19.3
大型軍用航空機	43.4
小型軍用航空機	12.8
航空機墜落による火災と重畳火災の可能性がある	44.3

c. 火災によって発生する有毒ガスの大気拡散

外気取入口に到達する有毒ガスの濃度は、大気拡散を考慮しガウスプルームモデルの拡散式を用いて評価する。

火災地点から放出された有毒ガスは、中央制御室の外気取入口の方向に向かう風によって、風下直線方向に拡散していくものとし、先に求めた評価対象ガスの発生率及び外気取入口に有毒ガスが到達する風速と、以下に示すガウスプルームモデルの拡散式を用いて、外気取入口の空気中に含まれる有毒ガスの濃度を計算する。なお、外気取入口での空気中の濃度は、下記数式の放出点の高さHと評価点の高さZにおいてH=Z=0、Y=0として中心軸上最大濃度を計算する。計算結果を第3.3.2-9表にまとめる。

$$\chi(X, Y, Z) = \frac{Q_F}{2\pi u \sigma_Y \sigma_Z} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_Y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_Z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_Z^2}\right] \right\}$$

ここで、

$\chi(X, Y, Z)$: 評価点 (X, Y, Z) の有毒ガスの濃度 [g/m³]

u : 外気取入口に有毒ガスが到達するとした場合の風速 [m/s]

σ_Y : 水平方向の拡散幅 [m]

σ_Z : 鉛直方向の拡散幅 [m]

Q_F : 火災によって発生する有毒ガスの発生率 [Nm³/s]

H : 放出源の有効高さ [m]

$$\sigma_Y = 0.67775 \theta_{0.1} \cdot (5 - \log x) \cdot x \quad , \quad \sigma_Z = \sigma_1 \cdot x^{a_1 + a_2 \log x + a_3 (\log x)^2}$$

ただし、xの単位はkmとし、xが0.2km以遠の場合、 $\theta_{0.1}$ 、 σ_1 、 a_1 、 a_2 、 a_3 は以下のとおり。

第3.3.2-7表 大気安定度と入力値（離隔距離が0.2km以遠）

大気安定度	$\theta_{0.1}$	σ_1	a_1	a_2	a_3
A	50	768.1	3.9077	3.898	1.7330
B	40	122.0	1.4132	0.49523	0.12772
C	30	58.1	0.8916	-0.001649	0.0
D	20	31.7	0.7626	-0.095108	0.0
E	15	22.2	0.7117	-0.12697	0.0
F	10	13.8	0.6582	-0.1227	0.0

x が 0.2km 未満の場合は、 $\theta_{0.1}$ 、 σ_1 、 a_1 は以下のとおり。ただし、 a_2 、 a_3 は 0 とする。

第 3.3.2-8 表 大気安定度と入力値（離隔距離が 0.2km 未満）

大気安定度	$\theta_{0.1}$	σ_1	a_1
A	50	165	1.07
B	40	83.7	0.894
C	30	58	0.891
D	20	33	0.854
E	15	24.4	0.854
F	10	15.5	0.822

大気安定度は、発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針に記載のとおり、風速の範囲と日射や夜間の放熱の大小によって A-G に区分されるものであり、大気安定度 A が最も拡散しやすく G が最も拡散しにくい。本評価では、外気取入口に有毒ガスが到達するとした場合の風速 u [m/s] の中で、拡散幅が最小となる（濃度が最大となる）より拡散しにくい大気安定度を選択する。風速と大気安定度の関係は以下のとおりであり、本評価では第 3.3.2-10 表に示すとおり風速は 6[m/s] 以上であることから大気安定は C 又は D となり、より拡散しにくい大気安定度 D で評価を行う。

第 3.3.2-9 表 拡散幅の計算結果

火災発生場所	大気安定度	水平方向の 拡散幅 σ_y [m]	鉛直方向の 拡散幅 σ_z [m]
軽油タンク	D	6.6	3.8
主変圧器	D	2.7	1.6
原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器	D	1.0	0.7
大型民間航空機	D	17.7	9.5
小型民間航空機	D	10.8	6.0
大型軍用航空機	D	11.2	6.2
小型軍用航空機	D	8.9	5.0
航空機墜落による火災と重畳火災の可能性のある 6 号炉軽油タンク	D	8.9	5.0

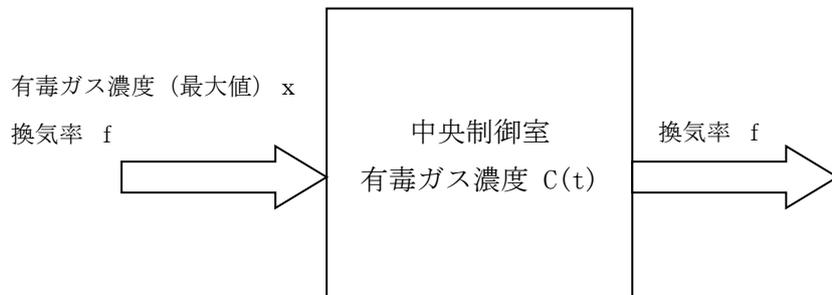
第 3.3.2-10 表 風速，日射量及び放射収支量による大気安定度

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

(4) 評価結果

中央制御室外気取入口における有毒ガスの濃度を第 3.3.2-11 表にまとめる。なお、航空機墜落による火災と軽油タンク火災の重畳については、重畳の可能性がある 6 号炉軽油タンクと小型軍用航空機の濃度を足し合わせるにより求めた。第 3.3.2-11 表より、中央制御室外気取入口における有毒ガスの濃度は、主変圧器にて火災が発生した場合の CO₂ 及び NO₂ を除き、IDLH 以下であることを確認した。

主変圧器の火災では、CO₂ 濃度及び NO₂ 濃度が IDLH を超えているが、ここでは、中央制御室外気取入口における有毒ガスの最大濃度を IDLH と比較することにより評価しており、実際には、中央制御室内における有毒ガスの濃度は瞬時に上昇せず、その濃度が徐々に増加する。そこで、中央制御室の居住性に対する影響について、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法（内規）平成 21 年 8 月 12 日 原子力安全・保安院」【解説 7.2】に記載されている中央制御室内の雰囲気中に浮遊する放射性物質量の時間変化の考え方を参考に、以下の式を用いて、中央制御室内の有毒ガス濃度が IDLH の濃度に達する経過時間を評価する。



第 3.3.2-3 図 中央制御室内の有毒ガス濃度変化（概念図）

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

$$c(0) = 0$$

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

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

ここで、

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

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

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

ここで、

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

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

これに対し、中央制御室に有毒ガスが進入してくる場合には、中央制御室の外気取り入れを遮断し、再循環させる非常時モードで運転することが可能であり、火災発生後15分程度*で中央制御室への外気取り入れを停止し、非常時モードへ切り替えることが可能である。

また、火災(有毒ガス)の発生は、火災報知器(軽油タンク・主変圧器等)、振動や衝撃音(航空機落下)、敷地境界監視用カメラ(森林火災)等により覚知できることに加え、中央制御室外の火災発生に伴い、煙や異臭を確認した場合の当直長判断による中央制御室隔離手順が操作手順書に定められており、これらの覚知・判断に時間を要するものではなく、迅速に対応することが可能である。

以上より、外部火災により有毒ガスが発生した場合において、中央制御室の居住性が損なわれることはない^{と評価する}。

※：切替えに要する一連の時間を実測したところ 15 分程度であった。

火報発生→現場確認→火災発生（ばい煙等の流入）を確認→非常時モード
へ切替え操作

第 3.3.2-11 表 中央制御室外気取入口における有毒ガス濃度

火災発生場所	CO 濃度 [ppm] (IDLH : 1,200)	CO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH : 40,000)	SO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH : 100)	NO ₂ 濃度 [ppm] (IDLH : 20)
軽油タンク	166	9,852	7.3	3.4
主変圧器	1092	65,049	48	23
原子炉冷却材 再循環ポンプ 可変周波数電 源装置入力変 圧器	598	35,636	26.2	12.2
大型民間航空 機	490	1472	0.4	2.3
小型民間航空 機	225	674	0.2	1.1
大型軍用航空 機	915	2749	0.7	4.2
小型軍用航空 機	206	620	0.2	1.0
航空機と軽油 タンクの重畳	325	7,674	5.4	3.4

3.3.3 5号炉原子炉建屋内緊急時対策所に対する有毒ガス影響評価

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

航空機墜落による火災に伴い発生する有毒ガスに対しては、偶発的な航空機落下に対して、5号炉原子炉建屋内緊急時対策所と原子炉制御室を互いに独立して分散配置し、共通要因により同時に機能が喪失しない設計とする。