

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド (案)

平成25年 月

※本資料は、現時点（平成25年6月3日）での修正案です。

目 次

	頁
1. 序文	1
1. 1 外部火災とは	1
1. 2 適用範囲	1
1. 3 関連法規	1
1. 4 用語の定義	1
2. 外部火災による影響	2
2. 1 外部火災負荷とその特性	2
2. 2 施設への影響形態	2
3. 外部火災の防護	2
3. 1 設計目標・確認事項	2
3. 2 防護手段	2
4. 外部火災の影響評価	3
4. 1 考慮すべき発電所敷地外の火災	3
4. 2 発電所敷地外での火災影響の検討	3
4. 2. 1 火災の規模	3
4. 2. 2 二次的影響の検討	4
4. 3 火災の影響評価	5
4. 4 火災の影響評価の判断基準	5
5. 附則	6

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 (案)

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 (案)

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評価について (案)

1. 序文

1. 1 外部火災とは

外部火災とは、原子力発電所（以下「発電所」という。）敷地外で発生する火災であり、地震以外の自然現象として森林火災、また、外部人為事象（偶発事象）として近隣の産業施設（工場・コンビナート等）の火災・爆発、航空機墜落による火災等がその代表的なものである。

外部火災影響評価（以下「本評価」という。）ガイドは、「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を定める規則（仮称）」第6条において要求される外部火災防護に関連して、発電所敷地外で発生する火災が原子炉施設（本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、系統及び機器を内包するものに限る。）へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることについて評価するための手順の一例を示すものである。

1. 2 適用範囲

本評価ガイドは、実用発電用軽水型原子炉施設に適用する。

1. 3 関連法規

本評価ガイドは、以下を参考としている。

- (1) 「IAEA SAFETY GUIDE NS-G-1.5 External Event Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants」

1. 4 用語の定義

本評価ガイドにおける用語の定義は、以下のとおりである。

- (1) 「森林火災」森林で広範囲に発生する火災。たき火、焼き畑、たばこの不始末、及び放火などが原因で発生する。日本では自然発火は少ない。
- (2) 「近隣の産業施設の火災・爆発」石油コンビナート、化学工場、燃料輸送車両、漂流船舶等の発火による火災・爆発。
- (3) 「航空機墜落による火災」航空機が搭載している燃料の放出・発火にともなう火災。
- (4) 「危険距離」コンビナート等の火災が近隣の建物等に影響を及ぼさないように、延焼防止の目的で一定の距離を定めたもの。この距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。森林火災においては、発電所周囲に設置される防火帯の外縁（火災側）から原子炉施設の間に必要な離隔距離のことをいう。
- (5) 「危険限界距離」コンビナート等のガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離。この距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。
(0.01MPa は人体に対して影響を与えない爆風圧の値)

2. 外部火災による影響

2. 1 外部火災負荷とその特性

外部火災による原子炉施設への影響については、以下を考慮する必要がある。

- (1) 火災の規模（輻射エネルギー、火災の強度・面積・形状、伝播速度）
- (2) 二次的影響の有無（煙、ガス、爆発による飛来物等）

2. 2 施設への影響形態

森林火災については、発電所に到達する火災の原子炉施設に対する火炎、輻射熱の影響及び発生ばい煙の原子炉施設の換気設備への影響が考えられる。近隣の産業施設等の火災・爆発については森林火災と同様の火炎、輻射熱の影響、発生ばい煙の影響の他に燃料タンク爆発等による飛来物の影響が考えられる。航空機墜落に対する影響は大量の燃料放出・発火にともなう火炎、輻射熱の影響及び発生ばい煙の影響が考えられる。

3. 外部火災の防護

3. 1 設計目標・確認事項

- (1) 想定火災発生時の安全性の評価においては、原子炉施設に対する最大熱流束を特定し、建屋の外側（コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁）の耐性を確認する。
- (2) 施設の所要の安全機能を発揮するために必要なすべてのディーゼル発電機への適切な空気の供給を確保できることを確認する。

3. 2 防護手段

- (1) 外部火災に対する原子炉施設の防護は、外部火災による発電所内における火災の発生可能性の最小化、及び火災に対する障壁を強化することによって実現される。安全系の多重性、隔離、耐火区画、固有の障壁による物理的分離、さらには火災感知および消火設備の使用など、その他の設計特性も備えること。
- (2) 構造物固有の耐性が十分でない場合、障壁の追加や距離による隔離を行うこと。曝露される構造物コンクリートの厚さを増加することが、想定負荷に対する耐性向上に寄与する場合は、これを検討してもよい。
- (3) 換気系統は、ダンパ等を用いて外気から系統を隔離すること等によって外部火災から防護すること。
- (4) 煙や埃に対して脆弱な安全保護系の設備等について適切な防護対策を講じること。

4. 外部火災の影響評価

4. 1 考慮すべき発電所敷地外の火災

考慮すべき発電所敷地外の火災として以下を検討すること。ただし、航空機墜落による火災について、発電所敷地内に航空機墜落が想定される場合には、その発火点は敷地内とする。

(1) 森林火災

発電所敷地外の 10km 以内を発火点とした森林火災が発電所に迫った場合でも、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であること。(解説-1)

(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であること。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。)

(3) 航空機墜落による火災

航空機の墜落に伴う火災により、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であること。(解説-2)

(解説-1) 発火点の設定について

米国外部火災基準(NUREG-1407)において、発電所から 5 マイル以内の火災の影響を評価していることを参考として設定。

(解説-2) 航空機墜落の評価について

旧原子力安全・保安院が平成 14 年 7 月 30 日付けで定め、平成 21 年 6 月 30 日付けで改正した「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について」(平成 21・06・25 原院第 1 号)等に基づき、原子炉施設の敷地広さを考慮して、評価の要否について判断する。

4. 2 発電所敷地外での火災影響の検討

4. 2. 1 火災の規模

火災の規模として、輻射熱、火炎の強度・面積・形状、伝播速度を考慮すること。

(1) 森林火災

可燃物の量（植生）、気象条件、風向き、発火点等の初期条件を、工学的判断に基づいて原子炉施設への影響を保守的に評価するよう設定すること。

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

発電所近隣の産業施設の特徴から、火災・爆発の規模を工学的判断に基づいて、原子炉施設への影響を保守的に評価するよう設定すること。

(3) 航空機墜落による火災

発電所の敷地内であって航空機墜落の可能性を無視できない範囲の最も厳しい場所に航空機搭載の燃料の全部が発火した場合の火災を、工学的判断に基づいて原子炉施設への影響を保守的に評価するよう設定すること。

4. 2. 2 二次的影響の検討

(1) 森林火災

火災の二次的影響として以下を考慮すること。

- ・ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等

（燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等）

注）飛び火等による発電所敷地内への延焼対策については、別途火災防護計画に定めること。

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

火災の二次的影響として以下を考慮すること。

- ・爆風等によるプラントの安全上重要な外部機器の破損

- ・ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等

（燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等）

(3) 航空機墜落による火災

火災の二次的影響として以下を考慮すること。

- ・ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等

（燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等）

4. 3 火災の影響評価

火災の影響評価では以下を評価すること。

- ・火災の規模に対する原子炉施設の十分な防火機能
- ・想定される二次的影響に対する防護対策

(1) 森林火災

評価パラメータとして以下を評価すること。

- ・火線強度（想定火災の火炎強度に対する原子炉施設の防火帯幅評価）
発電所敷地外の10km以内を発火点とする。
- ・輻射強度（想定火災の輻射熱に対する原子炉施設の熱影響評価）
- ・防火帯幅（延焼防止に必要な防火帯の幅）、危険距離（延焼防止に必要な距離）
- ・延焼速度及び発火点から発電所までの到達時間
- ・ばい煙等への対策

森林火災の評価（ばい煙等への対策を除く。）については附属書Aに示す。

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

評価パラメータとして以下を評価すること。

- ・輻射強度（想定火災の輻射熱に対する原子炉施設の危険距離評価）ただし、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森林火災として評価する。
- ・危険距離（延焼防止に必要な距離）、危険限界距離（ガス爆発の爆風圧が0.01MPa以下になる距離）
- ・ばい煙等への対策
- ・爆発規模から想定される爆風と飛来物への対策

石油コンビナート等火災・爆発の評価（ばい煙等への対策を除く。）については附属書Bに示す。

(3) 航空機墜落による火災

評価パラメータとして以下を評価すること。

- ・輻射強度（想定火災の輻射熱に対する原子炉施設の熱影響評価）
- ・ばい煙等への対策

航空機墜落による火災の評価（ばい煙等への対策を除く。）については附属書Cに示す。

4. 4 火災の影響評価の判断基準

(1) 森林火災

- ・原子炉施設の外壁、天井スラブが想定される森林火災の熱影響に対して許容限界温度以下であること。
- ・想定される森林火災に対して、火災の到達時間を考慮して発電所の自衛消防隊による対応が可能であること。
- ・防火帯幅が想定される森林火災に対して、評価上必要とされる防火帯幅以上であること。
- ・発電所に設置される防火帯の外縁（火災側）から原子炉施設までの離隔距離が、想定される森林火災に対して、評価上必要とされる危険距離以上であること。
- ・原子炉施設の換気系統へのばい煙の影響がダンパの設置等により考慮されていること。
- ・有毒ガスの発生が想定される場合、居住空間へ影響を及ぼさないように対策が考慮されていること。

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

- ・想定される石油コンビナート等の火災に対して、石油コンビナート等の施設から原子炉施設までの離隔距離が評価上必要とされる危険距離以上であること。
- ・想定される石油コンビナート等のガス爆発に対して、石油コンビナート等の施設から原子炉施設までの離隔距離が評価上必要とされる危険限界距離以上であること。
- ・火災とガス爆発が同時に起こると想定される場合には、より長い方の離隔距離が確保されているかどうかにより判断する。
- ・原子炉施設の換気系統へのばい煙の影響がダンパの設置等により考慮されていること。
- ・有毒ガスの発生が想定される場合、居住空間へ影響を及ぼさないように対策が考慮されていること。

(3) 航空機墜落による火災

- ・原子炉施設の外壁、天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界値以下であること。
- ・原子炉施設の換気系統へのばい煙の影響がダンパの設置等により考慮されていること。
- ・有毒ガスの発生が想定される場合、居住空間へ影響を及ぼさないように対策が考慮されていること。

5. 附則

評価方法は、本評価ガイドに掲げるもの以外であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることはさまたげない。また、本評価ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直して行くものとする。

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（案）

目 次

	頁
1. 総則	C-1
1.1 一般	C-1
1.2 適用範囲	C-1
1.3 参考資料	C-1
1.4 用語の定義	C-1
2. 発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価	C-2
2.1 航空機墜落による火災の想定	C-2
2.2 航空機墜落による火災影響の有無の評価	C-2
2.2.1 評価手法の概要	C-2
2.2.2 評価対象範囲	C-3
2.2.3 必要データ	C-3
2.2.4 燃焼半径の算出	C-4
2.2.5 形態係数の算出	C-4
2.2.6 輻射強度の算出	C-4
2.2.7 燃焼継続時間の算出	C-4
2.3 判断基準	C-4
3. 附則	C-5

附録 A : 航空機墜落による火災の想定模式図

1. 総則

原子力発電所（以下「発電所」という。）における安全上重要な設備は、多重性、多様性を確保するとともに、適切な裕度をもって設計され、適切に維持管理されるなど損傷防止上の配慮がなされている。

本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本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、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

1. 1 一般

本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災が起こった場合でも、設置されている原子炉施設が、火災の影響を受けないよう、適切な防護措置が施されていることについて評価するための手順を示すものである。

なお、本評価ガイドでは、放水などによる消火活動の影響については評価の対象外とする。

1. 2 適用範囲

本評価ガイドは、実用発電用軽水型原子炉施設に適用する。

1. 3 参考資料

本評価ガイドは、以下の資料を参考としている。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設に関する技術基準を定める規則
(平成●年●月●日)
- (2) 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について」
(平成 21 年 6 月 25 日 原院第 1 号)
- (3) 消防庁特殊災害室 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
- (4) 湯本太郎他: 大規模石油火災からの放射線の推定, 安全工学 Vol. 21 No. 4, 1982
- (5) 石油タンク等の災害想定について, 石油公団・危険物保安技術協会,
平成 14 年 3 月
- (6) 石油コンビナート災害想定の手法 (消防地第 180 号), 石油コンビナート防災診断委員会, 昭和 55 年 6 月 25 日

1. 4 用語の定義

本評価ガイドにおける用語の定義は、以下のとおりである。

- (1) 「航空機」当該発電所における航空機墜落評価の対象航空機（ジェット旅客機、ヘリコプター等）。
- (2) 「天井スラブ」建築物などに用いる鉄筋コンクリート製の厚い天井板。

- (3) 「輻射強度」エネルギーの輻射源からある方向に輻射された単位立体角あたりの仕事率（単位時間あたりのエネルギー）を表す物理量である。一般的には単位立体角あたりの輻射束で表されるが、ここではワット毎平方メートル (W/m^2) を用いる。
- (4) 「輻射発散度」平面状の輻射源から輻射された単位面積あたりの輻射束を表す物理量である。単位は、ワット毎平方メートル (W/m^2) である。

2. 発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価

2. 1 航空機墜落による火災の想定

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりである。

(1) 航空機墜落による火災の想定

A. 想定条件

A.-1 航空機は、当該発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。

A.-2 航空機は燃料を満載した状態を想定する。

A.-3 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する。

A.-4 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。

A.-5 気象条件は無風状態とする。

A.-6 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

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には、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する。

2. 2 航空機墜落による火災影響の有無の評価

2. 2. 1 評価手法の概要

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

評価指標	内容
輻射強度 [W/m^2]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数 [-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数

燃焼半径 [m]	保守的に想定した航空機の墜落火災の燃焼半径
燃焼継続時間 [s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離 [m]	原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7} (回/炉・年) 以上になる地点とその地点から原子炉施設までの直線距離
熱許容限界値 [-]	建屋の外壁、天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界以下になる値

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

2. 2. 2 評価対象範囲

評価対象範囲は、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区域とする。

2. 2. 3 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。

データ種類	整備要領
燃料量 [m ³]	最大搭載燃料量
輻射発散度 [W/m ²]	燃焼する燃料によって決まる定数
燃焼速度 [m/s]	燃料が燃焼する速度
航空機墜落地点 [-]	原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7} (回/炉・年) 以上になる地点

2. 2. 4 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災においては墜落の状況によって、様々な燃焼範囲の形状が想定されるが、円筒火災を生ずるものとする。ここでの燃焼面積は、航空機の燃料タンクの投影面積に等しいものとする。したがって、燃焼半径は燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定し算出する。

2. 2. 5 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。ここで算出した形態係数が輻射強度を求める際に必要になる。

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

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

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

2. 2. 6 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: 輻射発散度 [W/m²]、 ϕ : 形態係数

2. 2. 7 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/s]

2. 3 判断基準

輻射強度を指標とした航空機墜落による火災の影響の有無は、次の要求基準を満足しているかで判断する。

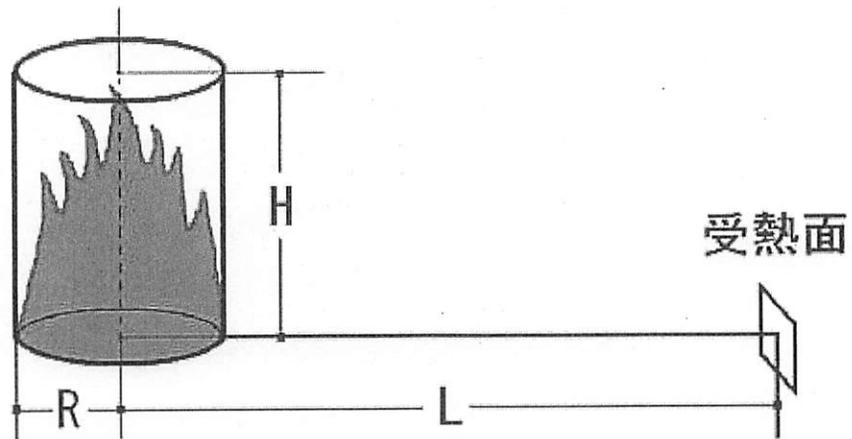
原子炉施設の外壁、天井スラブが想定火災の熱影響に対して許容限界値以下であること。

3. 附則

評価方法は、本評価ガイドに掲げるもの以外であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることはさまたげない。

また、本評価ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直して行くものとする。

航空機墜落による火災の想定模式図



受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。