

制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 13061912 号 原子力規制委員会決定

原子力発電所の外部火災影響評価ガイドについて次のように定める。

平成 25 年 6 月 19 日

原子力規制委員会

原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの制定について

原子力規制委員会は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を別添のとおり定める。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

平成25年6月
原子力規制委員会

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	4
4. 2. 1 火災の規模	4
4. 2. 2 二次的影響の検討	4
4. 3 火災の影響評価	5
4. 4 火災の影響評価に係る判断の考え方	6
5. 附則	7

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

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

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

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。

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」第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならないとしており、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣産業施設の火災・爆発等の影響を挙げている。外部火災影響評価（以下「本評価」という。）ガイドは、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。また、本評価ガイドは、外部火災影響評価の妥当性を審査官が判断する際に、参考とするものである。

1. 2 適用範囲

本評価ガイドは、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。

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（火炎側）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、火炎の強度・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、離隔、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。
- (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離隔を行う。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。
- (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。

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。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とする。(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。)

(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とする。(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（平成 21 年 6 月 30 日原子力安全・保安院制定））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。

(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。

(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。

(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。

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。

- ・ 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。

(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。

- ・ 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。

- ・ 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。

- ・ 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。

- ・ 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。

- ・ 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 火災の影響評価判断の考え方

(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。
- ・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。
- ・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。
- ・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。
- ・原子炉施設の換気システム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。

(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。
- ・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。
- ・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。
- ・原子炉施設の換気システム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。
- ・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。

(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。
- ・原子炉施設の換気システム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

この規定は、平成25年7月8日より施行する。

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を妨げない。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。

森林火災の原子力発電所への 影響評価について

目 次

	頁
1. 総則	A-1
1. 1 一般	A-1
1. 2 適用範囲	A-1
1. 3 参考資料	A-1
1. 4 用語の定義	A-2
2. 火炎の到達時間及び防火帯幅の評価	A-3
2. 1 森林火災の想定	A-3
2. 2 森林火災による影響の有無の評価	A-4
2. 2. 1 評価手法の概要	A-4
2. 2. 2 評価対象範囲	A-4
2. 2. 3 必要データ	A-4
2. 2. 4 延焼速度及び火線強度の算出	A-5
2. 2. 5 火炎の到達時間の算出	A-5
2. 2. 6 防火帯幅の算出	A-5
2. 3 判断の考え方	A-6
2. 3. 1 火炎の到達時間	A-6
2. 3. 2 防火帯幅	A-7
3. 危険距離の評価	A-8
3. 1 森林火災の想定	A-8
3. 2 森林火災による影響の有無の評価	A-8
3. 2. 1 評価手法の概要	A-8
3. 2. 2 評価対象範囲	A-8
3. 2. 3 必要データ	A-9
3. 2. 4 燃焼半径の算出	A-9
3. 2. 5 円筒火炎モデル数の算出	A-9
3. 2. 6 形態係数の算出	A-9

3. 2. 7 危険距離の算出	A-10
3. 3 判断の考え方	A-11
4. 森林火災に対する防火安全性評価	A-11

附録 A : FARSITE について

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、森林火災が発電所へ迫った場合でも原子炉施設（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、発電所敷地へ森林火災が迫った場合でも設置されている原子炉施設が、外部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) 後藤義明・玉井幸治・深山貴文・小南裕志 日本で発生する山火事の強度の検討－Rothermelの延焼速度予測モデルを用いたByramの火線強度の推定－
- (2) Alexander, M.E.(1982) Calculating and interpreting forest fire intensities. Can. J. Bot.60:349-357.
- (3) Alexander, M.E. Fire Research Report, Fire Behaviour as a Factor in Forest and Rural Fire Suppression, FOREST RESEARCH, November 2001. P.4.
- (4) Alexander, M.E. and Fogaty, L.G. Fire Technology Transfer Note Number-25 June 2002
- (5) Beaver, A.K.(2001) Evaluating Risk and Reward Relationships in Wildland Firefighter Safety.
- (6) Byram, G.M.(1959) Combustion of forest fuels. In Forest Fire:Control and Use. Davis, K.P.(ed.), p.635, McGraw-Hill, New York.
- (7) Byram 1959a: Forest fuels. P.61-89 in Davis, K.P.(Ed.) “Forest Fire : Control and Use”. McGraw-Hill, New York.
- (8) FISCAL YEAR 2011 SITE-WIDE ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT MITIGATION ACTION PLAN ANNUAL REPORT, REVISION

1 DECEMBER 16, 2011.

- (9) Albini, F.A. 1976: Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, General Technical Report INT-30. P.92.
- (10) 山下邦博：水噴霧の冷却作用に関する研究 消防研究所報告 代 58 号 (1984)
- (11) Fogarty, L.G. (1996) Two Rural/Urban Interface fires in the Wellington suburb of Karori: assessment of associated burning conditions and fire control strategies.
- (12) Albini, F.A.1979. Spot fire distance from burning trees—a predictive model. USDA For Serv. Gen. Tech. Rep. INT-56.
- (13) Taylor, D.F.;Wendel, G.W. 1964:Stamper Tract prescribed burn. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, Research Paper SE-14. p.12 .
- (14) Hesterberg, G.A.1959:Controlling fires in the Lake States timber types with sodium-calcium borate.Michigan College of Mining and Technology,Ford Forestry Centre, L'Anse, Michigan, Technical Bulletin NO.4. p.21.
- (15) Alexander, M.E. 1988:Help with making crown fire hazard assessments.Pages 147-156 in Fischer, W.C.; Arno, S.F.(Compilers). Protecting People and Homes from Wildfire in the Interior West:Proceedings of the Symposium and Workshop. 6-8 October 1987, Missoula, Montana. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, General Technical Report INT-251.
- (16) Nobel, I.R., Bary, G.A.V., Gill, A.M.,1980. McArthur's fire-danger meters expressed as equations.Australian Journal of Ecology 5, 201-203
- (17) 森林火災対策協会編 林野火災対策の解説 財団法人林野火災対策協会 2007 年 6 月 27 日発行
- (18) S. Perez, C.J. Renedo, A. Ortiz, M. Manana, D. Silio, J Peredo. Comparison of Energy Potential of The Eucalyptus Globulus and The Eucalyptus Nitens.
- (19) 火災便覧 第 3 版 日本火災学会 共立出版 1997
- (20) 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
- (21) 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

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) 「飛び火」 火災の際に、火の粉により火が遠く離れた場所に移って燃え広がること。
- (3) 「防火帯」 防災上設けられる、可燃物が無い、延焼被害を食い止めるための帯状の地域。
- (4) 「火線強度」 森林火災の燃えている部分の火炎の強度。
- (5) 「FARSITE」 米国農務省で開発した森林火災の解析コード。特定のランドスケープ全体で火炎到達時間、火線強度等を予測できる。
- (6) 「Alexander and Fogarty の手法」 火線強度から延焼防止に必要な防火帯の最小幅を簡易的に評価する手法。
- (7) 「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。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。
- (8) 「火炎輻射強度」 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。単位は、ワット毎平方メートル (W/m^2) である。ここでは、森林火災における火炎が放出する輻射の強度。
- (9) 「危険輻射強度」 想定される火災の輻射熱に対する耐熱性を表す物理量。単位は、ワット毎平方メートル (W/m^2) である。ここでは、原子炉施設の外壁、天井スラブの輻射熱に対する耐熱性を輻射強度で示したもの。

2. 火炎の到達時間及び防火帯幅の評価

2. 1 森林火災の想定

森林火災の想定は以下のとおりである。

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

（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するとしていることを参考として設定。

2. 2 森林火災による影響の有無の評価

2. 2. 1 評価手法の概要

本評価ガイドは、発電所に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標と観点を以下に示す。

評価指標	評価の観点
延焼速度 [km/h]	・火災発生後、どの程度の時間で発電所に到達するのか
火線強度 [kW/m]	・発電所に到達し得る火災の規模はどの程度か ・必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
火炎長 [m]	
単位面積当たり熱量 [kJ/m ²]	
火炎輻射強度 [kW/m ²]	
火炎到達幅 [m]	

上記の評価指標は、現地の土地利用（森林、農地、居住地等の分布）、地形（標高、傾斜角度等）、気象条件（風向・風速、気温、湿度等）に大きく依存することから、これらを可能な限り考慮した評価を行う必要がある。

本評価ガイドにおいては、FARSITE (Fire Area Simulator) という森林火災シミュレーション解析コードの利用を推奨している。FARSITE は、米国農務省 USDA Forest Service で開発され、世界的に広く利用されている。本モデルは、火災の4つの挙動タイプを考慮するとともに、地理空間情報を入力データとして使用することにより、現地の状況に即した評価を行うことが可能である。

2. 2. 2 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所近傍の発火想定地点を10km以内としたことにより、植生、地形等評価上必要な対象範囲は、発火点の距離に余裕をみて南北12km、東西12kmとする。

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
土地利用データ	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。 (国土数値情報 土地利用細分メッシュ)
植生データ	現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。森林簿の情報をを用いて、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。
地形データ	現地の状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの標高データを用いる。傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。 (基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ)
気象データ	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。

2. 2. 4 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理*に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度や火線強度を算出する。

*附録 A 参照

2. 2. 5 火炎の到達時間の算出

延焼速度より、発火点から発電所までの到達時間を算出する。また、火炎の到達時間を基に発電所の自衛消防隊が対応可能であるか否かを評価する。

2. 2. 6 防火帯幅の算出

火線強度より、発電所に必要な最小防火帯幅を算出する。ここでは Alexander and Fogarty の手法を用い、火炎の防火帯突破確率 1% の値を発電所に最低限必要な防火帯幅とする。Alexander の文献では、火線強度と防火帯幅との関係は相似則が成り立つとして、火線強度に対する防火帯幅の相関図を示している(図 1)。以下に、それを活用した防火帯幅を求める手法を説明する。

図 1 は、森林火災が、火線強度の関数として防火帯を破る可能性に関する図である。防火帯幅と防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合(図 1 A)と存在する場合(図 1 B)を示している。例として、図 1 A の場合で、火線強度 10,000kW/m の森林火災が約 10m 幅の防火帯を突破する確率は 1% であり(図 1 A 内赤線)、図 1 B の場合で、同じく火線強度 10,000kW/m の森林火災が約 13m 幅の防火帯を突破する確率は 50% である(図 1 B 内赤線)。

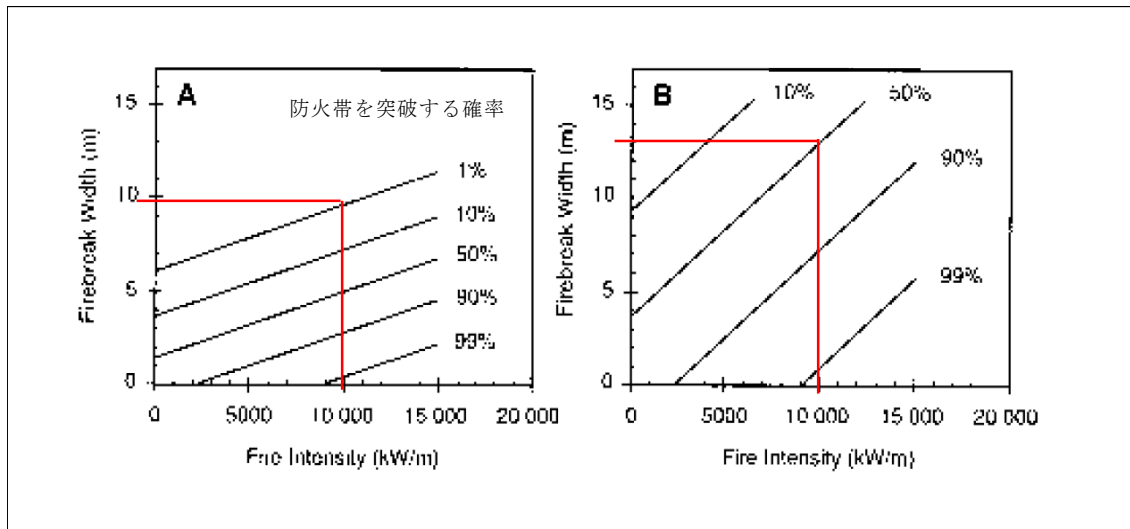


図1 火線強度に対する防火帯の相関図

防火帯幅の評価には風上の樹木の有無によって異なる表を用いる。火炎の防火帯突破確率1%となる最小防火帯幅を下記に示す。

風上に樹木が無い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	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	6.2	6.4	6.7	7.1	7.4	7.8	9.5	11.3	13.1	14.8

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	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

2.3 判断の考え方

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を確認する。

2.3.1 火炎の到達時間

想定される森林火災に対して、火炎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。

2. 3. 2 防火帯幅

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。

3. 危険距離の評価

3. 1 森林火災の想定

前述の2. 1 森林火災の想定と同じ。

3. 2 森林火災による影響の有無の評価

3. 2. 1 評価手法の概要

本評価ガイドは、輻射強度という指標を用いて、原子炉施設に対する森林火災の影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

評価指標	内容
輻射強度 [W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
火炎到達幅 [m]	発電所に到達する火炎の横幅（2. 2 森林火災で算出された値）
形態係数 [-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径 [m]	森林火災の火炎長より算出する値
危険距離 [m]	延焼防止に必要な距離

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。

森林火災の火炎形態については、土地の利用状況（森林、農地、居住地等の分布）、地形（標高、傾斜角度等）、気象条件（風向・風速、気温、湿度等）に大きく依存することから、これらをすべて反映した火炎モデル仮定することは難しい。したがって、森林火災の火炎は円筒火災をモデルとし、燃焼半径は火炎長の3分の1とする。なお、原子炉施設への火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

3. 2. 2 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所に迫る森林火災とする。

3. 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
火炎放射発散度 [W/m ²]	2. 2 森林火災で算出された火炎放射強度の値を火炎放射発散度の値に変換したもの
火炎長 [m]	2. 2 森林火災で算出された火炎長の値
火炎到達幅 [m]	2. 2 森林火災で算出された到達火炎の横幅
危険放射強度 [W/m ²]	原子炉施設の外壁、天井スラブの放射熱に対する耐熱性を放射強度で示したもの（文献等で無い場合には実測すること）

3. 2. 4 燃焼半径の算出

次の式から燃焼半径を算出する。火炎長は前述の2. 2 森林火災の影響評価で算出された値を用いる。

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

R: 燃焼半径[m]、H: 火炎長[m]

3. 2. 5 円筒火炎モデル数の算出

次の式から円筒火炎モデル数を算出する。火炎到達幅は前述の2. 2 森林火災の影響評価で算出された値を用いる。

$$F = \frac{W}{2R}$$

F: 円筒火炎モデル数 [-]、W: 火炎到達幅 [m]、R: 燃焼半径[m]

3. 2. 6 形態係数の算出

次の式から各円筒火炎モデルの形態係数を算出する。

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

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

ϕ_i :各円筒火炎モデルの形態係数、 L_i :離隔距離[m]、 H :火炎長[m]、 R :燃焼半径[m]

したがって、各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値が、原子炉施設に及ぼす影響について考慮すべき形態係数 ϕ_t となる。

$$\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \dots)$$

ϕ_t :各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値

なお、 $i+(i+1)+(i+2)\dots+(i+X)$ の火炎モデル数の合計はF個となる。

3. 2. 7 危険距離の算出

輻射熱に対する原子炉施設の危険輻射強度を調査し、輻射強度がその危険輻射強度以下になるように原子炉施設は危険距離を確保する。

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、火炎輻射強度に形態係数を掛けた値になる。次の式から形態係数 ϕ を求める。

$$E = Rf \cdot \phi$$

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

$\phi > \phi_t$ となるように危険距離を算出する。

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

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

ϕ_t :各火炎モデルの形態係数を合計した値、 L_t :危険距離[m]、 H :火炎長[m]、 R :燃焼半径[m]

3. 3 判断の考え方

危険距離を指標とした森林火災の影響の有無は、次の条件を満足しているかで判断する。

発電所に設置される防火帯の外縁（火炎側）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。

4. 森林火災に対する防火安全性評価

2. 3. 1、2. 3. 2及び3. 3の項目を十分に満たしている場合には、森林火災に対して一定の防火安全性をもつと評価する。満たしていない場合には、別途防火安全対策を講じることが必要と考えられる。

FARSITE

FARSITE (Fire Area Simulator) は、世界で最も高機能かつ広く用いられている森林火災シミュレーションモデルの一つであり、米国農務省 USDA Forest Service で開発され、米国内の森林火災において実践的に利用されている。

- ◆ホイヘンスの原理に基づく火災の拡大に加え、樹冠火、加速、飛び火等に関する追加的なモデルによる統合的な解析が可能
- ◆空間的な環境条件の変化に従い火災の拡大・強度に関するパターンを地理情報により空間的に提示することが可能

ホイヘンスの原理に基づく火災拡大のモデルには多くの事例がある (Coleman and Sullivan 1996; Finney 1994; Finney and Ryan 1995; Knight and Coleman 1993; Richards and Bryce 1995) が、FARSITE では Richards (1990, 1995) によって開発された火災拡大モデルを用いている。また、FARSITE では、地表を伝播する火災、樹冠を伝播する火災、伝播の加速、飛び火の 4 つの挙動を別々に取り扱うことができる。具体的には、以下のモデルを採用している。

挙動タイプ	使用モデル
地表を伝播する火災	Rothermel の拡大方程式 (Albini 1976; Rothermel 1972) に基づく。
樹冠を伝播する火災	Van Wagner (1977, 1993) に基づく。Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (Forestry Canada Fire Danger Group 1992) と同様。
伝播の加速	Cheney (1981)、Cheney and Gould (1997) に基づく。発火燃料の追加、燃料の乾燥化、風速の増加に起因する。
飛び火	Albini の方程式 (1979) に基づく。

1. 延焼速度

$$R = \frac{60I_R\xi(1 + \Phi_w + \Phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}}$$

R : 延焼速度 (m/min)

I_R : 放射熱 (反応強度) (kW/m²)

ξ : 反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合

Φ_w : 風速係数

Φ_s : 傾斜角係数

ρ_b : 可燃物の堆積密度 (kg/m³)

ε : 着火温度まで加熱される可燃物の割合

Q_{ig} : 可燃物が着火するのに必要な熱量 (kJ/kg)

$$Q_{ig} = 581 + 2594M_f \quad (M_f: \text{可燃物の含水比})$$

2. 火線強度

$$I_B = I_R \frac{12.6R}{\sigma} \quad I_B: \text{火線強度 (kW/m)} \\ \sigma: \text{可燃物の表面積/体積比 (cm}^{-1}\text{)}$$

3. 火炎長

$$L_f = 0.0775I_B^{0.46} \quad L_f: \text{火炎長 (m)}$$

4. 単位面積当り熱量

$$H_A = I_B \frac{60}{R} \quad H_A: \text{単位面積当り熱量 (kJ/m}^2\text{)}$$

5. 火炎輻射強度

$$I_R = \frac{1}{60} \Gamma' w_n h \eta_M \eta_s$$

I_R : 火炎輻射強度 (kW/m²)

Γ' : 理想熱分解速度 (1/min)

w_n : 可燃物単位面積あたりの乾燥重量 (kg/m²)

h : 発熱量 (kJ/kg)

η_M : 可燃物中の水分による熱分解速度減少係数 (-)

η_s : 可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数 (-)

一方、FARSITE を利用する上での留意事項としては、以下が挙げられる。

- ◆煙の発生について考慮されていない
- ◆生体燃料の水分量の多様性については考慮されていない
- ◆気象・風の条件については一地点のデータのみの入力となる
- ◆空間的な環境条件の影響は使用データの空間解像度に依存することから、目的に応じた適切なデータを選定する必要がある
- ◆市街地等の非植生域については評価を行えないため、非植生域は一種の防火帯として作用する。

具体的な評価指標と観点を以下に示す。

評価指標	評価の観点
1. 延焼速度 [km/h]	火災発生後、どの位の時間で施設に到達するのか 消火活動が可能な時間はどの程度か
2. 火線強度 [kW/m]	施設に到達し得る火災の規模はどの程度か 必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
3. 火炎長 [m]	
4. 単位面積当たり熱量 [kJ/m ²]	
5. 火炎輻射強度 [kW/m ²]	

上記の評価指標は、現地の土地利用（森林、農地、居住地等の分布）、地形（標高、傾斜角度等）、気象条件（風向・風速、気温、湿度等）に大きく依存することから、これらを可能な限り考慮した評価を行う必要がある。

FARSITE の計算実行に最低限必要な入力ファイルを示す。

入力ファイル名	内容
6. ラスタ入力ファイル	標高データ (Elevation) 傾斜角データ (Slope) 傾斜方向データ (Aspect) 可燃物データ (Fuel Model) 樹冠率データ (Canopy Cover)
7. その他入力ファイル	火災伝播速度の制御 (Adjustment) Fuel 水分初期値 (Fuel Moisture) 気象要素 (Weather) 風速 (Wind)

FARSITE において採用しているホイヘンスの原理に基づく火災の拡大モデルを図2に示す。図2のAは可燃物の燃焼特性、風速及び風向が一樣である場合の火災の拡大を示しており、図2のBは可燃物の燃焼特性、風速及び風向が場所によって異なる場合の火災の拡大を示している。

可燃物の燃焼特性、風速及び風向が一樣の場合は、各素元波（素元波とは波面上の各点から出る球面波のことである。）の包絡線は楕円形を維持する。可燃物の燃焼特性、風速及び風向が場所によって異なる場合は、燃焼特性及び風速によって素元波の成長速度が増減し、風向によって素元波の成長方向が決定される。

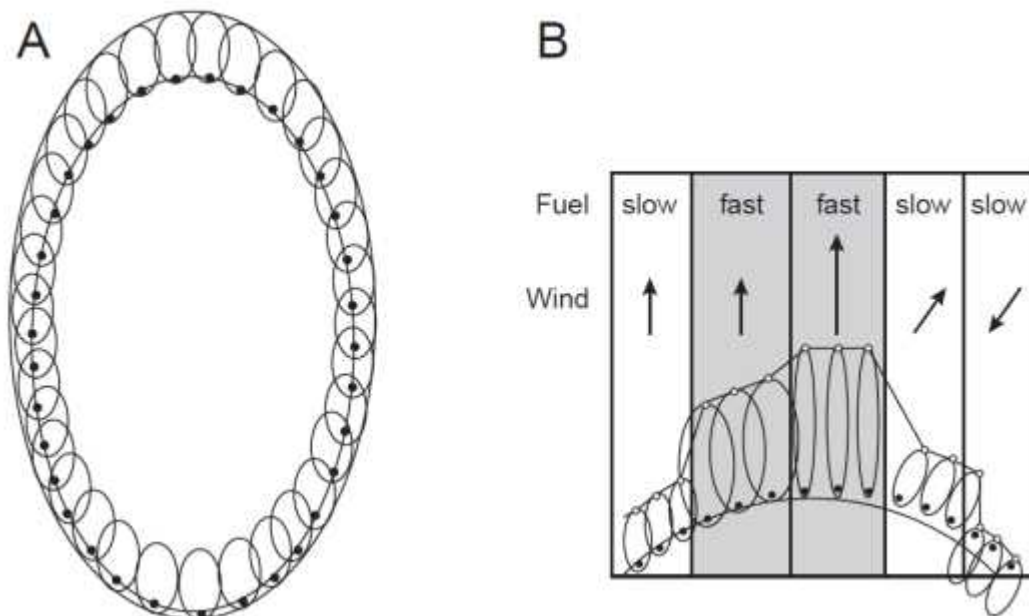


図2 FARSITEの火災拡大モデル

(Mark A. Finney, 2004, “FARSITE: Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation”, p.3より引用)

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

目 次

	頁
1. 総則	B-1
1. 1 一般	B-1
1. 2 適用範囲	B-1
1. 3 参考資料	B-1
1. 4 用語の定義	B-2
1. 5 判断の考え方	B-2
2. 発電所周辺における石油コンビナート等の火災影響評価	B-2
2. 1 石油コンビナート等の火災想定（危険物等の流出火災）	B-2
2. 2 石油コンビナート等の火災による影響の有無の評価	B-3
2. 2. 1 評価手法の概要	B-3
2. 2. 2 評価対象範囲	B-3
2. 2. 3 必要データ	B-3
2. 2. 4 燃焼半径の算出	B-4
2. 2. 5 危険距離の算出	B-4
2. 3 判断の考え方	B-4
3. 発電所周辺における石油コンビナート等のガス爆発影響評価	B-5
3. 1 石油コンビナート等のガス爆発想定（高圧ガス漏洩による爆発）	B-5
3. 2 石油コンビナート等のガス爆発による影響の有無の評価	B-5
3. 2. 1 評価手法の概要	B-5
3. 2. 2 評価対象範囲	B-5
3. 2. 3 必要データ	B-5
3. 2. 4 危険限界距離の算出	B-6
3. 3 判断の考え方	B-6

附録 A：石油コンビナート等の火災想定模式図

附録 B：データ集

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、発電所敷地外で発生する石油コンビナート等の火災やガス爆発に対しより一層の安全性向上の観点から、その火災やガス爆発が発電所に隣接する地域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、発電所敷地に隣接する石油コンビナート等で火災やガス爆発が起こった場合でも、設置されている原子炉施設が、外部火災やガス爆発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、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。

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の技術基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号）
- (2) コンビナート等保安規則（昭和 61 年 12 月 13 日通商産業省令第 88 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) Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers: Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosion, flash fires and BLEVEs, 1994
- (7) 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
- (8) 千葉県高圧ガス保安協会会報 通巻第 67 号 平成 24 年 3 月

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) 「コンビナート」 企業相互の生産性の向上のために原料・燃料・工場施設を計画的・有機的に結び付けた企業集団のことである。あるいは、広義としてその企業集団が集中的に立地する工業地域を指す。
- (2) 「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。
- (3) 「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。
- (4) 「危険輻射強度」 想定される火災の輻射熱に対する耐熱性を表す物理量。単位は、ワット毎平方メートル（ W/m^2 ）である。ここでは、原子炉施設の外壁、天井スラブの輻射熱に対する耐熱性を輻射強度で示したもの。

1. 5 判断の考え方

石油コンビナート等の火災やガス爆発の評価は、それらの影響を受けない（飛来物も含む）危険距離及び危険限界距離が確保されているかどうかにより判断する。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。

2. 発電所周辺における石油コンビナート等の火災影響評価

2. 1 石油コンビナート等の火災想定（危険物等の流出火災）

石油コンビナート等の火災想定は以下のとおりである。

(1) 野外貯蔵タンクの火災想定

A. 想定条件

A-1 気象条件は無風状態とする。

A-2 タンクから石油類が流出しても、防油堤内に留まるものとする。

A-3 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. 火災の形態

タンク内及び防油堤内の全面火災

C. 輻射熱の算定

油火災において任意の位置にある輻射熱（強度）を計算により求めるには、半径が1.5 m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 石油コンビナート等の火災による影響の有無の評価

2. 2. 1 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する石油コンビナート等の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

評価指標	内容
輻射強度 [W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数 [-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径 [m]	防油堤規模より求めた燃焼半径
危険距離 [m]	延焼防止に必要な距離

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 3 m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射熱発散度の低減が無いものとする。

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

2. 2. 2 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地外の半径 10 km に存在する石油コンビナート等とする。

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
輻射発散度* [W/m ²] *参考資料（3）	燃焼する可燃物によって決まる定数（代表的な可燃物は附録 B に記載） 文献等に無い場合には実測すること
防油堤規模	防油堤の縦及び横の大きさ

危険放射強度 [W/m ²]	原子炉施設の外壁、天井スラブの放射熱に対する耐熱性を放射強度で示したもの（文献等で無い場合には実測すること）
----------------------------	--

2. 2. 4 燃焼半径の算出

防油堤には貯槽その他不燃障害物が存在し、火災面積はその面積分だけ小さくなるが、防油堤全面火災のような大規模な火災の場合は、多少の障害物も無視できる。したがって、本評価では、防油堤面積と等しい円筒火災を生ずるものと想定し、次の式から燃焼半径を算出する。

$$R = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \sqrt{w \times d}$$

R: 燃焼半径[m]、w: 防油堤幅[m]、d: 防油堤奥行き[m]

2. 2. 5 危険距離の算出

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

$$E = Rf \cdot \phi$$

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

次の式から危険距離を算出する。ここで算出した危険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。

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

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

φ: 形態係数、L: 危険距離[m]、H: 炎の高さ[m]、R: 燃焼半径[m]

2. 3 判断の考え方

石油コンビナート等の火災による影響の有無は、次の条件を満足しているかで判断する。

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。

3. 発電所周辺における石油コンビナート等のガス爆発影響評価

3. 1 石油コンビナート等のガス爆発想定（高圧ガス漏洩による爆発）

石油コンビナート等のガス爆発想定は以下のとおりである。

(1) 野外貯蔵タンクのガス爆発想定

A. 想定条件

気象条件は無風状態とする。

B. ガス爆発の形態

高圧ガス漏洩、引火によるガス爆発とする。

3. 2 石油コンビナート等のガス爆発による影響の有無の評価

3. 2. 1 評価手法の概要

本評価は、発電所に対する石油コンビナート等のガス爆発による影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

評価指標	内容
危険限界距離 [m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離 (人体に対して影響を与えない爆風圧)

3. 2. 2 評価対象範囲

評価対象範囲は発電所の南北 10km、東西 10km とする。

3. 2. 3 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。参考資料（2）より引用すること。

データ種類	整備要領
石油類のK値	コンビナート等保安規定第5条別表第二に掲げる数値 (代表的な可燃物は附録Bに記載)
貯蔵設備又は 処理設備のW値	コンビナート等保安規定第5条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値

	<p>貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単位 トン）の 数値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵 能力（単位 トン）の数値）、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能 力（単位 立方メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力における ガスの質量（単位 トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換 算して得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られ た数値）</p> <p>処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位 トン）の数値</p>
--	--

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

3. 2. 4 危険限界距離の算出

次の式から危険限界距離を算出する。ここで算出した危険限界距離が石油コンビナート等と原子炉施設の間に必要な離隔距離となる。

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

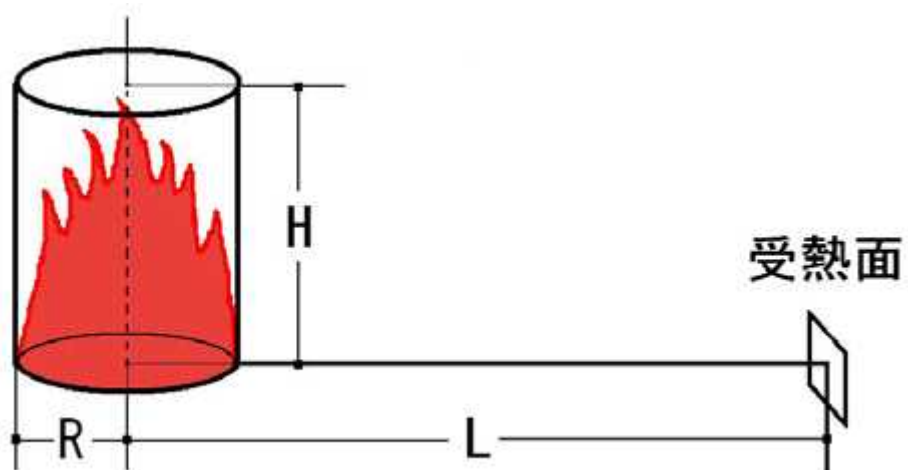
X:危険限界距離[m]、λ:換算距離 14.4[m・kg^{-1/3}]、K: 石油類の定数[-]、W:設備定数[-]
 [λ:換算距離は参考資料(3)より引用]

3. 3 判断の考え方

石油コンビナート等のガス爆発による影響の有無は、次の条件を満足しているかで判断する。

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。

石油コンビナート等の火災想定模式図



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。

データ集

◆輻射発散度 [参考資料 (3) より引用]

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)

(単位は W/m²、かつこ内は kcal/m²・h)

◆コンビナート等保安規定第 5 条別表第二に掲げる K の数値 [参考資料 (2) より引用]

次に掲げるガスの種類及び常用の温度の区分に応じ次に掲げる k の数値に 1, 0 0 0 を乗じて得た数値

1	アクリロニトリル	常用の温度	100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上		
		k	47	84	150	225	305	400	468		
2	アクロレイン	常用の温度	70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上		
		k	51	72	130	192	270	371	510		
3	アセチレン	常用の温度	10未満	10以上40未満	40以上						
		k	865	1,210	1,730						
4	アセトアルデヒド	常用の温度	40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上		
		k	47	66	126	182	257	374	468		
5	アセトン	常用の温度	70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上		

		度		満	未満	未満	未満	未満			
		k	41	53	106	155	216	285	408		
6	アンモニア	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上				
		k	29	43	59	89	144				
7	一酸化炭素	常用の温度	全ての温度において								
		k	240								
8	イソプレン	常用の温度	70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上		
		k	63	132	214	295	403	598	630		
9	イソプロピルアルコール	常用の温度	100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上			
		k	29	46	92	132	201	288			
10	エタン	常用の温度	-20未満	-20以上 10未満	10以上 40未満	40以上					
		k	272	417	650	905					
11	エチルアミン	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上		
		k	50	80	141	212	292	429	503		
12	エチルアルコール	常用の温度	100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上 250未満	250以上		
		k	26	44	80	115	164	218	256		
13	エチルエーテル	常用の温度	70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上			
		k	81	179	292	422	592	810			
14	エチルベ	常用	160未	160以	190以	220以	250以	280以	310以	340以	

	ンゼン	の温 度	満	上190 未満	上220 未満	上250 未満	上280 未満	上310 未満	上340 未満	上	
		k	40	59	107	158	210	266	340	396	
15	エチレン	常用 の温 度	-20未 満	-20以 上10未 満	10以上						
		k	565	791	1,130						
16	塩化エチ ル	常用 の温 度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上		
		k	18	38	60	85	126	171	180		
17	塩化ビニ ル	常用 の温 度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上			
		k	48	60	103	150	221	238			
18	キシレン	常用 の温 度	160未 満	160以 上190 未満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上280 未満	280以 上310 未満	310以 上340 未満	340以 上	
		k	40	52	107	155	206	265	337	396	
19	クメン	常用 の温 度	190未 満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上280 未満	280以 上310 未満	310以 上340 未満	340以 上370 未満	370以 上	
		k	59	130	218	285	367	457	552	594	
20	クロルメチ ル	常用 の温 度	10未満	10以上 40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上			
		k	22	25	41	63	81	112			
21	酢酸	常用 の温 度	130未 満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上280 未満	280以 上310 未満	310以 上	
		k	19	22	45	69	93	117	152	186	
22	酢酸エチ ル	常用 の温 度	100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上		
		k	22	38	67	98	137	179	224		

23	酢酸ビニル	常用の温度	100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上			
		k	35	72	132	182	264	348			
24	酢酸ブチル	常用の温度	160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上280未満	280以上310未満	310以上		
		k	26	56	93	127	166	242	264		
25	酢酸メチル	常用の温度	70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上		
		k	19	26	47	72	101	137	188		
26	酸化エチレン	常用の温度	40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上		
		k	59	70	141	224	324	461	590		
27	酸化プロピレン	常用の温度	70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上		
		k	58	115	175	259	357	490	575		
28	シアン化水素	常用の温度	40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上		
		k	46	59	124	178	255	365	458		
29	シクロプロパン	常用の温度	10未満	10以上40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上			
		k	178	276	435	603	800	888			
30	シクロヘキサノン	常用の温度	160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上280未満	280以上			
		k	49	64	172	283	402	490			
31	シクロヘキサン	常用の温度	100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上280未満	280以上	
		k	63	88	170	248	330	440	567	630	

32	シクロペンタン	常用の温度	70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上		
		k	64	102	184	267	356	470	636		
33	ジメチルアミン	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上			
		k	51	118	193	281	384	511			
34	水素	常用の温度	全ての温度において								
		k	2,860								
35	スチレン	常用の温度	160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上 250未満	250以上 280未満	280以上 310未満	310以上 340未満	340以上 370未満	370以上
		k	39	47	102	145	192	243	294	338	392
36	トリメチルアミン	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上			
		k	36	91	153	211	291	364			
37	トルエン	常用の温度	130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上 250未満	250以上			
		k	39	82	149	232	306	392			
38	二塩化エチレン	常用の温度	100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上 250未満	250以上 280未満	280以上	
		k	10	13	23	37	52	67	83	104	
39	二硫化炭素	常用の温度	70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上 220未満	220以上 250未満	250以上 280未満	280以上
		k	80	119	207	294	390	495	605	755	795
40	ビニルアセチレン	常用の温度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未満	100以上 130未満	130以上 160未満	160以上 190未満	190以上		
		k	117	210	362	515	680	960	1,170		

41	ブタジエン	常用 の温 度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上				
		k	170	272	420	657	848				
42	ブタン又 はブチレ ン	常用 の温 度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上				
		k	128	229	360	503	640				
43	ブチルア ルコール	常用 の温 度	130未 満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上280 未満	280以 上		
		k	32	41	85	136	190	272	316		
44	ブチルア ルデヒド	常用 の温 度	100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上		
		k	46	87	160	228	300	402	456		
45	プロパン 又はプロ ピレン	常用 の温 度	10未満	10以上 40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上				
		k	178	328	497	737	888				
46	ブロムメチ ル	常用 の温 度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上		
		k	7	12	23	32	42	56	68		
47	ヘキサン	常用 の温 度	70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上				
		k	65	162	356	518	648				
48	ベンゼン	常用 の温 度	100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上190 未満	190以 上220 未満	220以 上250 未満	250以 上		
		k	39	78	147	217	290	364	388		
49	ペンタン	常用 の温 度	40未満	40以上 70未満	70以上 100未 満	100以 上130 未満	130以 上160 未満	160以 上			
		k	65	84	240	401	550	648			

50	メタン	常用の温度	-110未満	-110以上-80未満	-80以上						
		k	143	357	714						
51	メチルアルコール	常用の温度	100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上		
		k	19	38	64	88	120	160	188		
52	メチルイソブチルケトン	常用の温度	130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上280未満	280以上		
		k	46	51	121	194	263	342	463		
53	メチルエチルケトン	常用の温度	100未満	100以上130未満	130以上160未満	160以上190未満	190以上220未満	220以上250未満	250以上		
		k	36	61	115	165	222	295	360		
54	メチルエーテル	常用の温度	10未満	10以上40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上			
		k	109	125	229	327	483	544			
55	モノメチルアミン	常用の温度	10未満	10以上40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上130未満	130以上			
		k	91	105	192	274	366	456			
56	硫化水素	常用の温度	40未満	40以上70未満	70以上100未満	100以上					
		k	158	221	304	525					

備考 表中の常用の温度の単位は、℃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

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 判断の考え方	C-4

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、実用発電用原子炉及びその附属施設に適用する。

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の技術基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号）
- (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・06・25 原院第 1 号（平成 21 年 6 月 30 日原子力安全保安院制定））
- (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。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/m²）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。単位は、ワット毎平方メートル（W/m²）。

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. 5 m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。

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

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

ϕ : 形態係数、L: 離隔距離[m]、H: 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。

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

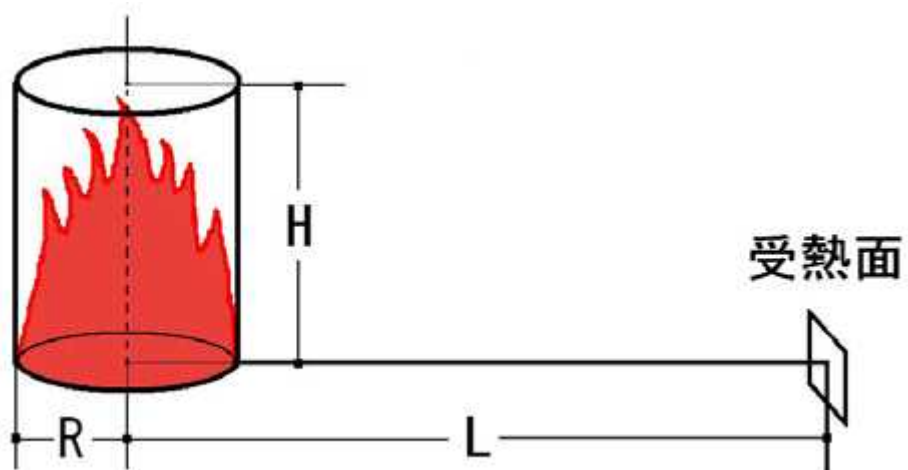
t: 燃焼継続時間 [s]、V: 燃料量 [m³]、R: 燃焼半径 [m]、v: 燃焼速度 [m/s]

2. 3 判断の考え方

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、次の条件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。

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。