

伊方発電所 3 号炉
外部火災影響評価 補足説明資料

1. 評価ガイドとの整合性について 1-1

2. 外部火災への対応および影響評価対象の考え方について . . . 2-1

3. FARSITE の入力条件 3-1

4. FARSITE の評価結果 4-1

5. FARSITE による感度解析 5-1

6. 温度影響評価 6-1

7. ばい煙および有毒ガスの影響評価について 7-1

8. 航空機落下に起因する敷地内危険物タンク火災による
原子炉施設への影響について 8-1

9. 航空機落下確率のカテゴリ別の火災影響評価について 9-1

10. 伊方発電所における航空機落下確率評価で考慮する条件 . . . 10-1

11. 森林火災における火炎輻射強度の算出 11-1

12. 大気への放熱を考慮した重油タンクの内部温度評価について . 12-1

平成 25 年 10 月 3 日

四国電力株式会社

補足1. 評価ガイドとの整合性について

- ・「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」との解析条件等の整合性について示す。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

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造物、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隔離距離となる。森林火災においては、発電所周辺に設置され

1. 序文

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がその代表的なものである。

「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条においては、それら外部火災に対して、安全機能が損なわれないことを要求している。

このことから、外部火災により、原子炉施設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を評価することを目的として、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、外部火災影響評価を実施する。

なお、発電所付近の海上交通として、一般航路が発電所沖合約13kmにあるが、船舶で火災・爆発が発生したとしても、十分にはなれていることから、外部火災影響評価は実施しない。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

- 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（放射エネルギー、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、放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、放射熱の影響、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、放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

伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

2. 外部火災による影響

2.1 外部火災負荷とその特性
 (ガイドどおり)

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放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について検討する。
 近隣の産業施設等の火災・爆発については、発電所の敷地外の10km以内に石油コンビナート施設はない(設置変更許可申請書 添付資料六 6(3)-7-7-1)が、危険物貯蔵施設の調査を行い、発電所への火災の影響を検討する。また、発電所敷地内には、危険物タンクが存在するため、危険物タンクの火災を想定し、放射熱の影響及び発生ばい煙の影響について検討する。
 航空機墜落による火災については、大量の燃料放出・発火にともなう放射熱の影響及び発生ばい煙の影響について検討する。

3. 外部火災の防護

3.1 設計目標・確認事項
 (ガイドどおり)

3.2 防護手段
 (ガイドどおり)

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<p>与する場合は、これを検討してもよい。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>4. 外部火災の影響評価</p> <p>4.1 考慮すべき発電所敷地外の火災</p> <p>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。</p> <p>(1) 森林火災</p> <p>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)</p>	<p>3.3 防護対象設備</p> <p>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。</p> <p>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、系統及び機器が該当する。また、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(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等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。</p> <p>重大事故等対処設備については、上記設備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かかる対策に大きな影響を与えるおそれがあることから、外部火災による影響が及ぶ恐れがある場合には、保管位置から影響の及ばない位置に移動または防火帯幅の確保、外部火災に対する消火活動の実施により外部火災の熱影響を回避する対応を行う。</p> <p>4. 外部火災の影響評価</p> <p>4.1 考慮すべき発電所敷地外の火災</p> <p>考慮すべき発電所敷地外の火災として以下を検討する。</p> <p>(1) 森林火災</p> <p>発電所敷地外の10km 以内でかつ地形、気象等を考慮し設定した発火点からの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う適切な防護措置が施され、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を評価している。</p>

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<p>(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。)</p> <p>(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)</p> <p>(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。</p> <p>(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墜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。</p> <p>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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>	<p>(2) 近隣の産業施設の火災・爆発 近隣の産業施設等の火災・爆発については、発電所の敷地外の10km以内の危険物貯蔵施設で火災・爆発が発生したとしても、発電所敷地周辺の起伏の多い丘陵状の傾斜地による障壁により、二次的な影響を含めても原子炉施設がその影響を受けないことを確認している。 発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災については、(3)の航空機墜落と同様な評価を行うこととし、原子炉施設が、火災による影響を受けないよう適切な防護措置が施され、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を確認している。 また、タンクローリー等が移動する主要道路、船舶の航路について、主要道路については、発電所敷地外南側の国道197号線が約1km離れていることを確認するとともに、航路について、海上交通として一般航路が発電所から約13km離れていることを確認している。</p> <p>(3) 航空機墜落による火災 航空機墜落による火災により、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、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を確認している。</p> <p>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、伝播速度を考慮した評価を行った。</p> <p>(1) 森林火災 (ガイドどおり)</p> <p>(2) 近隣の産業施設の火災・爆発 発電所敷地外の10km以内の危険物貯蔵施設での火災・爆発については、危険物貯蔵施設が設置されている場所を発火点として、工学的判断に基づいて原子炉施設への影響を評価するよう設定する。</p>

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<p>(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。</p> <p>4. 2. 2 二次的影響の検討</p> <p>(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。</p> <p>(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)</p> <p>(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)</p> <p>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</p> <p>(1) 森林火災 評価パラメータとして以下を評価する。</p>	<p>発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災については、危険物タンクを設置している場所を発火点とし、(3) 航空機墜落による火災と同様な評価方法を用いて、工学的判断に基づいて原子炉施設への影響を評価するよう設定する。</p> <p>(3) 航空機墜落による火災 (ガイドどおり)</p> <p>4. 2. 2 二次的影響の検討</p> <p>(1) 森林火災 火災の二次的影響として以下を検討する。 ・ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等</p> <p>(2) 近隣の産業施設の火災・爆発 発電所敷地外の10km以内の危険物貯蔵施設の火災の二次的影響として以下を検討する。 ・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 発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災については、(3)航空機墜落と同様に、二次的影響として以下を検討する。 ・ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等</p> <p>(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検討する。 ・ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等</p> <p>4. 3 火災の影響評価 (ガイドどおり)</p> <p>(1) 森林火災 (ガイドどおり)</p>

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<ul style="list-style-type: none"> ・火線強度（想定火災の火災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。 ・放射強度（想定火災の放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 <p>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。</p> <p>(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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射強度（想定火災の放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 <p>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。</p> <p>(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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射強度（想定火災の放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 <p>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。</p> <p>4. 4 火災の影響評価判断の考え方</p> <p>(1) 森林火災</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・原子炉施設の換気系統へのばい煙の影響がダンプ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 	<p>伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について</p> <p>(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。 発電所敷地外の10km以内の危険物貯蔵施設の火災について以下を検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定火災の放射熱及びガス爆発の爆風を考慮しても、発電所敷地周辺の起伏の多い丘陵状の傾斜地による障壁、離隔距離により、原子炉施設がその影響を受けないことを評価する。 ・ばい煙等への対策 <p>発電所敷地内に存在する危険物タンクの火災については、(3)航空機墜落と同様な評価を行うこととし、二次的影響も含め以下を評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射強度（火災の放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 <p>(3) 航空機墜落による火災 (ガイドどおり)</p> <p>4.4 火災の影響評価判断の考え方</p> <p>(1) 森林火災</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定される森林火災の熱影響に対して、原子炉建屋、原子炉補助建屋外壁、天井スラブ及び屋外機器（海水ポンプ、補助給水タンク）が、想定火災の熱影響に対して許容温度以下である。 ・想定される森林火災に対して、発火点から発電所まで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。 ・ばい煙に対する防護対策が必要と考えられる原子炉施設の換気系統及び緊急時対策所の空調

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所 3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<p>れている。</p> <p>(2) 近隣の産業施設の火災・爆発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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隔離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隔離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、より長い方の隔離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。 ・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。 <p>(3) 航空機墜落による火災</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>5. 附則</p> <p>この規定は、平成25年7月8日より施行する。</p> <p>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。</p>	<p>系統について、ばい煙の影響がダンパの設置等により考慮されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・有毒ガスの発生が想定される場合、中央制御室、緊急時対策所の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。 <p>(2) 近隣の産業施設の火災・爆発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定される発電所敷地外の10km以内の危険物貯蔵施設の火災及びガス爆発に対して、原子炉建屋、原子炉補助建屋外壁及び屋外機器（海水ポンプ、補助給水タンク）が、影響を受けない距離又は地形的配置である。 ・想定される発電所敷地内の危険物タンク火災の熱影響に対して、原子炉建屋、原子炉補助建屋外壁及び屋外機器（海水ポンプ、補助給水タンク）が、許容温度以下である。 ・ばい煙に対する防護対策が必要と考えられる原子炉施設の換気系統及び緊急時対策所の空調系統について、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、中央制御室、緊急時対策所の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。 <p>(3) 航空機墜落による火災</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定される火災の熱影響に対して、原子炉建屋、原子炉補助建屋外壁、天井スラブ及び屋外機器（海水ポンプ、補助給水タンク）が、想定火災の熱影響に対して許容温度以下である。 ・ばい煙に対する防護対策が必要と考えられる原子炉施設の換気系統及び緊急時対策所の空調系統について、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、中央制御室、緊急時対策所の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。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<p style="text-align: center;">森林火災の原子力発電所への影響評価について</p> <p>1. 総則</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>1.1 一般</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>1.2 適用範囲</p> <p>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。</p> <p>2. 火災の到達時間及び防火帯幅の評価</p> <p>2.1 森林火災の想定</p> <p>森林火災の想定は以下のとおりである。</p> <p>(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。</p> <p>(2) 気象条件は過去10年間を調査し、森林火災の発生件数の多い月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組合せとする。</p> <p>(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。</p> <p>(4) 発電所からの直線距離10kmの間で設定する。(解説-1)</p> <p>(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。</p> <p>(解説-1) 発火点の設定について</p>	<p style="text-align: center;">伊方発電所3号炉における森林火災の原子力発電所への影響評価について</p> <p>1. 総則</p> <p>本評価は、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において、森林火災によるプラント運転状態を想定し、そのプラント運転状態を考慮した防護対象設備に影響を及ぼさないことを評価したものである。</p> <p>なお、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。</p> <p>2. 火災の到達時間及び防火帯幅の評価（森林火災による影響評価）</p> <p>2.1 森林火災の想定</p> <p>(1) 森林の現状を把握するため、植生の調査手順を定めた国土交通省の河川水辺の国勢調査マニュアル等を用いて各樹種の可燃物量を現場状況から求めた。 (2.2.3(1)参照)</p> <p>(2) 気象条件は、過去10年間を調査し、森林火災の発生件数が比較的多い月を考慮して、FARSITEの条件として適切と判断される最低湿度、最高気温及び最大風速を設定した。 (2.2.3(3)参照)</p> <p>(3) 風向は卓越方向として、発電所の風上である南側に発火点を設定した。また、発電所周辺の地形を考慮し、発火点を複数点設定し、延焼性の違いを確認した。 (2.2.3(4)参照)</p> <p>(4) 発火点の設定にあたっては、気象観測データより卓越風向を踏まえ発電所南側約1km地点とし、道路沿いを設定する。具体的には、発電所南側の集落周辺で火災が発生した場合、早期の消火活動により延焼が回避されることから、集落と伊方発電所間に敷</p>

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

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]	
火炎長 [m]	・発電所に到達し得る火災の規模はどの程度か
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]	・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

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。

伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

設された道路沿いを発火点とする。

(2.2.3(4)参照)

2.2 森林火災による影響の有無の評価（森林火災の影響評価）

2.2.1 評価手法

(ガイドどおり)

2.2.2 評価対象範囲

発火点は、2.1(4)項のとおり、発電所南側約1km地点に設定したこと、また、発電所南
側陸地部が約2.5kmであることから、発電所周辺2.5km範囲について、FARSITEの入力条件
を設定した。

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、最小温度の条件を採用する。

2.2.3 必要データ

(1) 植生データ

森林簿が入手困難であったことから、森林の現状を把握するため、植生の調査手順を定めた国土交通省の河川水辺の国勢調査マニュアル等を用いて以下のとおり植生図の作成を行った。

a. 植生図作成範囲の航空写真の入手

国土地理院が公共測量成果として承認した最新(平成19年10月撮影)の伊方発電所周辺の航空写真を入手した。

b. 航空写真の判読

航空写真の判読にあたっては、植生区分について環境省の自然環境保全基礎調査の区分を用いて判読した。

なお、植生の判読にあたっては、力量が必要であることから、判読者は公共事業等での植生調査の経験を十分に有している者から選定した。

c. 現場調査による補正及び植生図の作成

航空写真により判読した植生図を現場の状況を踏まえ補正し、FARSITEにて利用できるような地理的な位置情報を扱う地理情報システム(GIS)に植生情報を入力したデータを作成した。

作成した植生データについて、森林簿に記載している林齢、樹冠率は現場調査で特定できないため、保守的なデータを設定した。

(2) その他 GIS データ

データの種類	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)
地形データ	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)

(3) 気象データ

FARSITEの解析結果は、気象条件の設定内容により影響が異なるため、過去10年間以上の森林火災の発生件数が比較的多い月を考慮し、気象条件が森林火災の規模に対して保守的となるよう設定した。

なお、観測地点は最寄の気象庁観測点(湿度:宇和島、それ以外:瀬戸)の観測データを用いた。

【気象条件※1】

過去 10 年間の最低湿度、最高気温及び最大風速、最多風向について調査した。

月	瀬戸					宇和島	森林火災件数	
	気温(°C)	風速(m/s)		風向		湿度(%)	(月別計) ※2	
	最高 気温	最大 風速	最大風速記 録時の風向	最大風速風向 (自単位)	最多風向 (自単位)	最低 湿度	愛媛県	全国
1月	16.9	20.3	南	北北西	北北西	21	30	
2月	21.1	24	南	北北西	北北西	20	44	2581
3月	21.2	26.5	南	北	北	15	61	3745
4月	26.6	26.3	南	南	北	6	43	4523
5月	26.2	22.7	南南東	南	北	12	46	2496
6月	31.9	26.0	南南東	南	南	15	16	
7月	32.1	21.0	南南東	南	南	35	6	
8月	34.3	30.0	南南東	南	南	30	26	
9月	32.6	32.0	南/南南東	南	北	26	26	
10月	29.4	19.2	南	北/北北西	北	27	16	
11月	24.1	21.9	南	北北西	北	30	10	
12月	20.6	23.0	南	北北西	北北西	23	13	

※1 気象庁HP過去の気象統計情報より

※2 愛媛県消防年報及び林野火災の低減方策検討会報告書；消防庁資料
(平成 11 年～22 年)

全国(平成 14 年～23 年；消防白書)

上記の評価結果より、森林火災発生件数(湿度低下が関連)や森林火災の延焼拡大を考慮して気象条件が保守的となるよう 4 月のデータを選択した。

評価条件想定ケース

最低 気温[°C]	最高 湿度[%]	風向 最大 風速風向	最大 時速[km/h]
27 ^{※1}	8	180deg(南)	95 ^{※1,2}

※1 FARSITE 入力値は有効数字二桁

※2 秒速を時速換算

(4)発火点の設定

発火点の設定にあたっては、評価結果に与える影響が保守的となるよう 風向、斜面の効果を考慮し、発電所南側約 1km 地点に設定した。

伊方発電所 3号機の南側約 1km には、標高約 200m の山林があり、一般的に山林の傾斜を登る森林火災は、火災規模が大きくなることから、発火点について、卓越風向と斜面の重畳であるケース 2 と登り斜面を考慮するケース 3 を設定することとした。更に、斜面の効果を除いた山林の頂上付近のケース 1 を発火点として設定した。また、風向に対する影響を確認するため、ケース 1 とケース 3 については、卓越風向に対して約 45° ずらして設定した。いずれのケースも道路沿いを発火点とした。なお、発電所の近傍には、人的行為が考えられるキャンプ場等はない。

2.2.4 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理*に基づく火災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 火災の到達時間の算出

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、火災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。

2.2.4 延焼速度及び火線強度の算出 (森林火災延焼評価結果)

評価項目	評価結果(FARSITE を踏まえた結果)			
	ケース1	ケース2		ケース3
		現状	再解析	
防火帯幅の算出 (最大火線強度^{※1}の箇所情報)				
火線強度 [kW/m]	16,290	11,161	18,593	10,465
延焼速度 [m/s]	1.43	1.25	1.56	0.89
単位面積当たり熱量[kJ/m ²]	11,396	8,922	11,972	11,840
受熱評価の算出 (最大輻射強度^{※1}箇所情報)				
反応強度 [kW/m ²]	2,430	2,574	2,651	2,443
火災輻射強度 [kW/m ²]	902	955	984	907
火炎長 [m]	1.29	0.49	1.12	0.70
火炎継続時間 [h]	0.058	0.232	0.108	0.160
その他情報				
火災の到達時間 [h]	約3	約3	約2.5	約3

※1 火炎最前線 (防火帯との境界) の全メッシュの最大値

2.2.5 火災の到達時間の算出 (火災の到達時間と自衛消防組織の対応)

FARSITE で算出した結果、防火帯境界までの到達時間は約2.5時間であり、これに基づき発電所自衛消防組織が対応可能か評価する。

評価にあたっては、発電所に設置される防火帯の外縁 (火災側) 付近の消火活動が成立することを確認する。(2.3 参照)

2.2.6 森林火災時の二次的影響評価

防護対象設備の安全機能を損なうことのないよう、ばい煙等による重要な設備に対する影響等について、ばい煙等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が生じないことを確認する。(4.参照)

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、火災の防火帯突破確率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1A)と存在する場合(図1B)を示している。例として、図1A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1A内赤線)、図1B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1B内赤線)

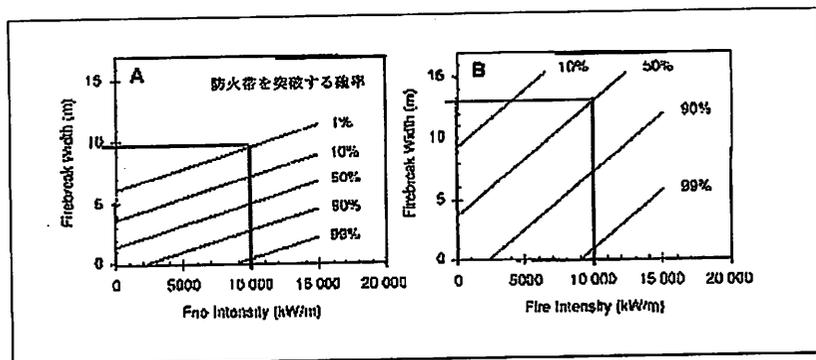


図1 火線強度に対する防火帯の相関図

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。火災の防火帯突破確率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(火災の防火帯突破確率1%)

2.2.7 防火帯幅の算出

防火帯幅の算出にあたっては、Alexander and Fogartyの文献に基づき、火線強度に基づく防火帯幅を評価することから、安全側に考慮し、3ケースのうち、火線強度が最も大きいケース2の火線強度を用いることとする。

評価項目	評価結果(FARSITEを踏まえた結果)		
	ケース1	ケース2	ケース3
火線強度 [kW/m]	16,290 [kW/m]	18,593 [kW/m]	10,465 [kW/m]

以下のAlexander and Fogartyの文献に基づき、森林部と防護対象設備間に必要な防火帯幅35mを算出した。(ガイドのとおり)

また、発電所敷地内には、緑地帯が点在するため、緑地帯への延焼による延焼範囲の拡大を防止する観点から、それぞれの場所に必要な防火帯幅を評価し、適切に防火帯を設定するとともに、必要な箇所の草地伐採を実施した。

風上に樹木がある場合の火線強度と最小防火帯幅の関係
(火災の防火帯突破確率1%)を用いて算出

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

↓
35m

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

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 (火災の防火帯突破確率 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 火災の到達時間

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。

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。

伊方発電所 3 号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

2. 3 判断の考え方 (影響評価結果)

2. 3. 1 火災の到達時間 (自衛消防組織の対応評価)

発電所の自衛消防隊は、24 時間常駐しており、早期に消火体制を確立することができる。想定される森林火災による防火帯境界までの到達時間は、最短でも約 3 時間であることから、防火帯の外縁 (火災側) での消火活動について、発電所の自衛消防隊による対応は十分可能である。

自衛消防組織による消火活動は、外部電源が喪失時においても、ディーゼル駆動消火ポンプが運転可能であることから、屋外消火栓及び消防自動車を用いて消火活動が可能である。

2. 3. 2 防火帯幅 (防火帯幅の評価結果)

森林部と防護対象設備が最も接近する箇所においても、約 50m の防火帯幅を確保しており、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。

2. 3. 3 受熱側 (建屋外壁) の温度評価

FARSITE の評価結果を用いて、各ケースの受熱側の輻射強度を求めた結果、ケース 1 が最も高いが、ケース 2 も同様な値であったことから、両ケースについて、受熱側の輻射強度を用いて、森林部と最も接近している原子炉補助建屋外壁における熱影響温評価を実施した結果、原子炉補助建屋外壁の表面温度は、ケース 1 で約 84℃、ケース 2 で約 96℃であり、両ケースとも許容温度 200℃ (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) に対して十分に下回っていることを確認した。

また、屋外に設置する重油タンクについて、森林火災からの熱影響を確認した結果、温度上昇によって、発火温度 (240℃) に至ることはないことを確認した。

評価項目	評価結果(FARSITEを踏まえた結果)		
	ケース1	ケース2	ケース3
輻射強度 [kW/m ²]	約2.9	約2.8	約1.6

また、防火帯幅の評価に用いた最大火線強度（ケース2）を用いて、原子炉補助建屋外壁の表面温度を評価した結果、約78℃まで温度上昇することを確認した。

円筒火炎モデルを用いた温度評価

評価指標	内容	温度評価結果	
		ケース1	ケース2
火炎輻射強度 [kW/m ²]	FARSITEの結果より算出した火炎輻射強度の値	902	984
火炎長 [m]	FARSITE結果	1.29	1.12
燃焼半径 [m]	火炎長より算出	0.43	0.38
形態係数 [-]	離隔距離、火炎長、燃焼半径より算出	0.026	0.023
火炎到達幅 [m]	FARSITE結果 到達火炎の横幅	3,660	3,660
円筒火炎モデル数	燃焼半径より算出	4255.82	4901.79
輻射強度 [kW/m ²]	円筒火炎モデルにより算出	約2.9	約2.8
受熱側の温度上昇 [℃]	熱伝導式により算出	約84℃	約96℃

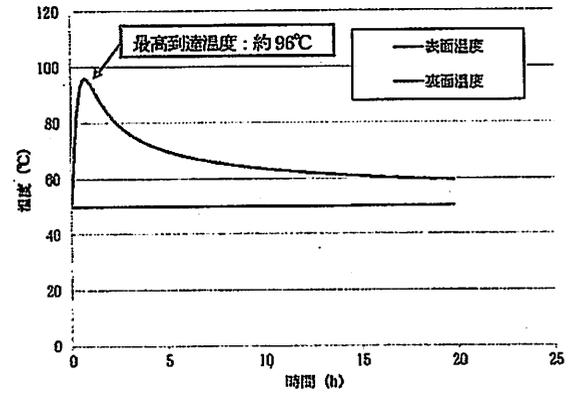


図 原子炉補助建屋外壁における温度上昇(ケース 2)

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

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災モデルが横一列に並ぶものとする。

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

(ガイドどおり)

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

- 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。

伊方発電所 3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

- 3.2.2 評価対象範囲
(ガイドどおり)
- 3.2.3 必要データ
放射熱に対する耐熱性については、許容温度 200℃(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)とし、200℃を超えない最も大きい放射強度を危険放射強度とする。

- 3.2.4 燃焼半径の算出
(ガイドどおり)

- 3.2.5 円筒火炎モデル数の算出
(ガイドどおり)

- 3.2.6 形態係数の算出
形態係数の算出にあたっては、FARSITE 評価で用いる 10m メッシュ内に複数の円筒火炎モデルを並べて、複数の円筒火炎モデルが同時に燃焼する評価を実施する。

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

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

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

したがって、各円筒火災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 : 各円筒火災モデルの形態係数を合計した値

なお、 $i+(i+1)+(i+2)\dots+(i+N)$ の火災モデル数の合計は N 個となる。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

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放射強度を調査し、放射強度がその危険放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）の放射強度は、火炎放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: 放射強度 [W/m²]、Rf: 火炎放射発散度 [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。

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

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

ϕ_t : 各火災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。

伊方発電所 3 号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

3. 2. 7 危険距離の算出

危険距離を円筒火炎モデルより算出し、危険距離以上の防火帯幅が確保されていることを確認する。

評価指標	温度評価結果
	ケース 2
危険放射強度 [kW/m ²]	円筒火炎モデルによる外壁の輻射熱に対する耐熱性を輻射強度で示したもの (約 13)
火炎到達幅 [m]	発電所に到達する火炎の横幅 (3, 660)
形態係数 [-]	離隔距離、火炎長、燃焼半径より算出 (0. 053)
燃焼半径 [m]	森林火災の火炎長より算出 (0. 38)
危険距離 [m]	円筒火炎モデルにより算出 (21. 2)

3. 3 判断の考え方 (危険距離の評価)

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の防火帯幅 (35m) が確保されていることを確認した。

4. 森林火災に対する防火安全性評価 (二次的影響の評価結果)

ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等について、非常用ディーゼル発電機の吸気系統への影響等について評価し、非常用ディーゼル発電機の故障が生じないことを確認した。

また、ばい煙に対する防護対策が必要と考えられる原子炉建屋、原子炉補助建屋の空調系統について、ダンパの切り替えを行い外気取入れ口を遮断することにより、ばい煙の影響から防護できる設計となっていることを確認した。

有毒ガスに対する防護対策が必要と考えられる中央制御室、緊急時対策所の換気空調系統について、ダンパの切り替えを行い外気取入れ口を遮断することにより、有毒ガスの影響から防護できる設計となっていることを確認した。

附録A

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

$$R = \frac{60 I_a \xi (1 + \Phi_w + \Phi_s)}{\rho \delta Q_c}$$

R: 延焼速度 (m/min)

I_a : 放射熱(反応強度) (kW/m^2)

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 : 傾斜係数

ρ : 可燃物の堆積密度 (kg/m^3)

δ : 着火温度まで加熱される可燃物の割合

Q_c : 可燃物が着火するのに必要な熱量 (kJ/kg)

$Q_c = 581 + 2594M_c$ (M_c : 可燃物の含水比)

2. 火線強度

$$I_r = I_k \frac{12.6R}{\sigma} \quad I_r: \text{火線強度 (kW/m)}$$

σ : 可燃物の表面積/体積比 (cm^{-1})

3. 火炎長

$$L_f = 0.0775 I_k^{0.47} \quad L_f: \text{火炎長 (m)}$$

4. 単位面積当り熱量

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

5. 火炎放射強度

$$I_k = \frac{1}{60} \Gamma^n w_n h \eta_w \eta_s$$

I_k : 火炎放射強度 (kW/m^2)

Γ : 理想熱分解速度 (l/min)

w_n : 可燃物単位面積あたりの乾燥重量 (kg/m^2)

h : 発熱量 (kJ/kg)

η_w : 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 (-)

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所 3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

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。

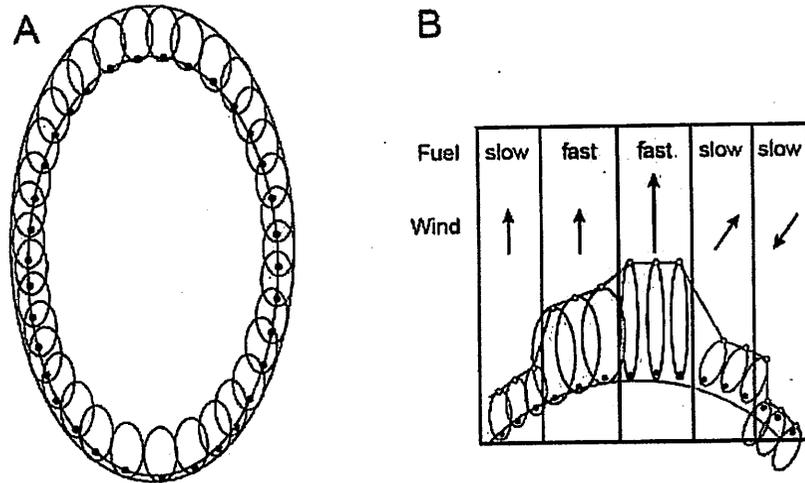


図 2 FARSITE の火災拡大モデル

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

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所 3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

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

伊方発電所 3号炉における石油コンビナート等火災・爆発による影響評価について

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石油コンビナート等の火災やガス爆発に対して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

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

1. 4 用語の定義

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）

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

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

2. 2. 4 燃焼半径の算出

2. 2. 5 危険距離の算出

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）

1. 総則

本評価は、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て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に影響を及ぼさないことを評価するものである。

また、伊方発電所 3号炉の発電所敷地内における危険物タンクの火災が、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包する原子炉施設に影響を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く「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」を準用し、評価を実施するものである。

2. 石油コンビナート等の火災・爆発による影響評価

発電所の敷地外の 10km 以内に石油コンビナート施設はないが、給油取扱所等、消防法等に基づき設置している施設は存在することから、危険物貯蔵施設の調査を行い、発電所への火災の影響を検討する。

2.1 評価手法の概要

ガイドに基づく火災影響評価は、熱影響や爆風圧の影響を離隔により防護する方法と障壁により防護する方法があり、伊方発電所の周辺は、起伏の多い丘陵状の傾斜地により囲われた地形（以下「山林」という。）を有していることから、この山林が障壁の効果を有している。

今回の評価では、この山林の障壁を評価し、必要に応じて熱影響や爆風圧の離隔による火災影響評価を行う。

2.2 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地外の半径 10km に存在する石油類及びガス貯蔵設備とし、発電所周辺市町にて作成されている防災資料に基づき抽出した。

2.3 火災・ガス爆発による影響評価結果

2.3.1 火災時の影響評価

発電所周辺の危険物貯蔵施設と発電所の間には山林（標高約 200m 以上）の障壁があり、火災時の熱放射による影響を受けない。

2.3.2 高圧ガス漏えいによる爆発の影響評価

発電所周辺の危険物貯蔵施設と発電所の間には山林（標高約 200m 以上）の障壁があり、ガス爆発による爆風圧の影響を受けない。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について
<p>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</p> <p>3. 2. 1 評価手法の概要</p> <p>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。</p> <p>3. 2. 3 必要データ</p> <p>3. 2. 4 危険限界距離の算出</p> <p>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。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>以下、「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」の評価手法を用いた評価の比較を行う。ただし、文章中の「航空機墜落による火災」は、「タンク火災」に読み替えるものとする。</p> </div> <p style="text-align: center;">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</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <ol style="list-style-type: none"> (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 	

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所 3 号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

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) 「放射強度」 エネルギーの放射源からある方向に放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放射束で表されるが、ここではワット毎平方メートル（W/m²）を用いる。
- (4) 「放射発散度」 平面状の放射源から放射された単位面積あたりの放射束を表す物理量。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激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、火災の高さは燃焼半径の3倍とする。

B. 放射強度の算定

油火災において任意の位置にある放射強度（熱）を計算により求めるには、半径が1.5m以上の場合で火災の高さ（放射体）を半径の3倍にした円筒火災モデルを採用する。

3. 発電所の敷地内の危険物タンク火災の影響評価

3.1 火災の想定

火災を想定するうえで以下を考慮した。

- a. 危険物タンクの貯蔵量は、危険物貯蔵施設として許可された貯蔵容量とする。
- b. 隣隔距離は、評価上厳しくなるよう、タンク位置から防護対象設備までの直線距離を取ることにする。
- c. 危険物タンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- d. 気象条件は無風状態とする。

なお、発電所構内の危険物貯蔵施設から重油・軽油を移送するために用いるタンクローリーは、通常時は危険物を積載していないことからの影響評価は実施しない。

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

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
放射強度 [W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の放射強度
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、受熱面が放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放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、火災規模による放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。

伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

3. 2 評価項目

3. 2. 1 防護対象設備の熱影響評価

危険物タンク火災による熱影響評価は、危険物タンクの防油堤内の面積を円筒の底面と仮定し、火炎の高さを燃焼半径(半径1.5m以上に適用)の3倍とする円筒火災モデルにより、防護対象設備への熱影響評価を行う。

熱影響評価で用いる許容温度については、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート強度が維持できる保守的な温度200℃とする。

3. 2. 2 危険物タンクの火災の想定

発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンクのうち、以下の貯蔵施設について、火災を想定して熱評価を実施する。下図に配置図を示す。

- a. 補助ボイラ燃料タンク
- b. 重油ドラム缶貯蔵施設
- c. 重油タンク
- d. 軽油ドラム缶貯蔵施設
- e. 軽油タンク(コンクリート容器)
- f. 空冷式非常用発電装置

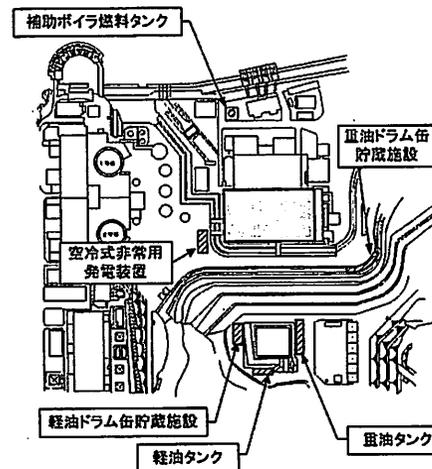


図 危険物タンク等配置図

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

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

伊方発電所 3 号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

3. 2. 3 必要データ
評価に用いるデータは以下のとおり。

データ種類	補助ボイラ 燃料タンク	重油ドラム缶 貯蔵施設	重油タンク
燃料量 [m ³]	500	20	291
輻射発散度 [W/m ²]	23,000 (重油)	23,000 (重油)	23,000 (重油)
燃焼速度 [m/s]	3.50 × 10 ⁻⁵	3.50 × 10 ⁻⁵	3.50 × 10 ⁻⁵
離隔距離 [m]	90 (原子炉建屋までの 距離)	50 (原子炉補助建屋 までの距離)	100 (原子炉補助建屋 までの距離)

データ種類	軽油ドラム缶 貯蔵施設	空冷式非常用 発電装置
燃料量 [m ³]	20	4
輻射発散度 [W/m ²]	42,000 (軽油)	62,000 (重油/潤滑油)
燃焼速度 [m/s]	4.79 × 10 ⁻⁵	3.50 × 10 ⁻⁵
離隔距離 [m]	140 (原子炉格納容器までの距離)	20 (原子炉建屋までの距離)

データ種類	軽油タンク (コンクリート容器)	
燃料量 [m ³]	72	
輻射発散度 [W/m ²]	42,000 (軽油)	
燃焼速度 [m/s]	4.79 × 10 ⁻⁵	
離隔距離 [m]	20 (原子炉建屋までの距離)	15 (重油タンクまでの距離)

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。

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

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

ϕ : 形態係数、L: 離隔距離[m]、H: 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]

3. 2. 4 燃焼半径の算出

(ガイドどおり)

3. 2. 5 形態係数の算出

(ガイドどおり)

3. 2. 6 輻射強度の算出

(ガイドどおり)

3. 2. 7 燃焼継続時間の算出

(ガイドどおり)

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

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。

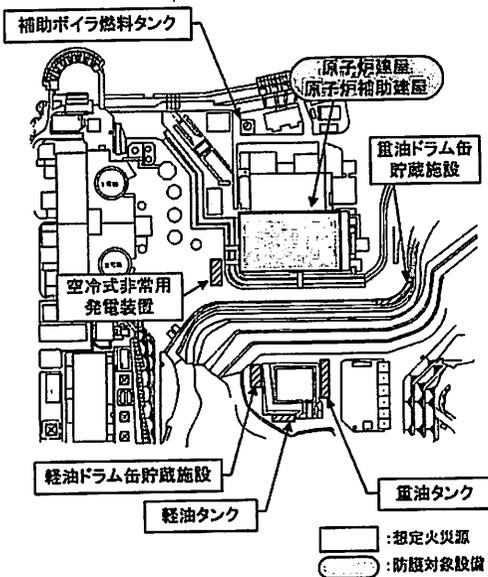


図 危険物タンクおよび防護対象設備 位置図 (建屋外壁評価)

伊方発電所3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について

3.3 判断の考え方 (評価結果)

(1) 建屋外壁の耐火性能評価

補助ボイラ燃料タンクについて、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射した結果、原子炉建屋外壁の表面の温度は約 119°C となり、許容温度 200°C (火災時における短期温度) 未満であった。

また、その他のタンク、貯蔵施設についても同様に評価した結果、原子炉補助建屋の外壁の表面の

評価指標	補助ボイラ燃料タンク	重油ドラム缶貯蔵施設	重油タンク
離隔距離 [m]	90	50	100
輻射強度 [W/m ²]	598.00	299.00	460.00
形態係数 [-]	0.026	0.013	0.020
燃焼半径 [m]	10.44	3.96	9.94
燃焼継続時間 [h]	11.59	3.22	7.43
建屋外壁コンクリート表面到達温度 [°C]	118.7	68.1	92.3
評価指標	軽油ドラム缶貯蔵施設	軽油タンク (コンクリート容器)	空冷式非常用発電装置
離隔距離 [m]	140	190	20
輻射強度 [W/m ²]	130.20	25.62	347.20
形態係数 [-]	0.0031	0.00061	0.0056
燃焼半径 [m]	5.56	3.35	1.06
燃焼継続時間 [h]	1.19	11.85	9.04
建屋外壁コンクリート表面到達温度 [°C]	54.8	53.0	85.3

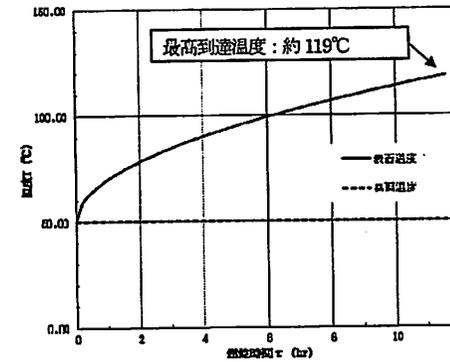


図 建屋外壁における温度上昇の評価結果
(補助ボイラ燃料タンク火災)

(2) 海水ポンプへの熱影響評価

海水ポンプは、海水ピット内に設置しており、地上表面(EL. 10m)に、海水ポンプの上端は飛び出していないことから、最も近い補助ボイラ燃料タンク火災時においても、熱輻射による影響はない。

(3) 補助給水タンクへの熱影響評価

補助給水タンクへの熱影響は、補助ボイラ燃料タンク火災時の熱影響が最も大きいことから、補助ボイラ燃料タンク火災について以下のとおり熱影響評価を実施した。
熱影響評価の結果、補助給水タンクの温度上昇は約 2℃であることを確認した。

a. 評価条件

- ・ 補助給水タンクが受ける輻射熱は、補助ボイラ燃料タンク火災時における輻射強度 $598.00\text{W}/\text{m}^2$ とする。
- ・ 補助給水タンク内の水及びタンク鋼板（補助ボイラ燃料タンクと向い合うタンク外周面積の半分に垂直入射）が輻射熱により昇温されるものとする。

b. 評価結果

$$T = T_0 + \frac{E \cdot \pi \cdot D_0 \cdot h \cdot t}{\frac{\rho_w \cdot C_{pw} \cdot D_i^2 \cdot \pi \cdot h}{4} + \frac{\rho_s \cdot C_{ps} \cdot (D_0^2 - D_i^2) \cdot \pi \cdot h}{4}}$$

項目	値
T_0 : 初期温度 (°C)	34
ρ_w : 水密度 (kg/m ³)	992.20
ρ_s : タンク壁密度 (kg/m ³)	7860
C_{pw} : 水比熱 (J/kg·K)	4179
C_{ps} : タンク壁比熱 (J/kg·K)	473
D_0 : タンク外径 (m)	10.124
D_i : タンク内径 (m)	10.100
h : タンク水の高さ (m)	7.614
t : 燃料継続時間 (s)	11.59
E : 輻射強度 (W/m ²)	598.00
T : 温度 ($T - T_0$) (°C)	1.2

(4) 重油タンクの耐火性能評価

軽油タンクについて、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で重油タンクが昇温されるものとしてタンクの温度上昇を評価した結果、重油タンクの温度は約58°Cとなり、重油の自然発火温度240°Cを下回る結果となった。

評価指標	重油タンク
間隔距離 [m]	15
輻射強度 [W/m ²]	3528
形態係数 [-]	0.084
燃焼半径 [m]	3.35
燃焼継続時間 [h]	11.85
タンク到達温度 [°C]	57.7

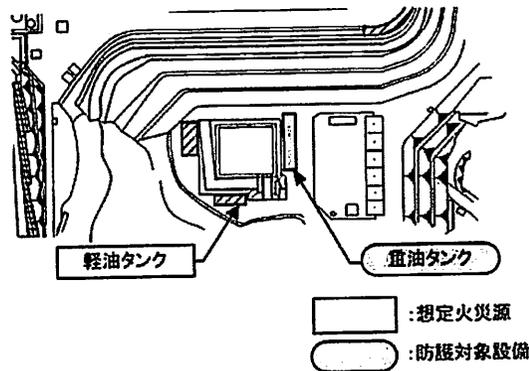


図 危険物タンクおよび防護対象設備 位置図 (重油タンク評価)

(5) 二次的影響の評価結果

<p>原子力発電所の外部火災影響評価ガイド</p>	<p>伊方発電所 3号炉 原子力発電所の外部火災影響評価について</p>
	<p>森林火災と同様、ばい煙等による安全上重要な設備に対する影響等について、非常用ディーゼル発電機の給気系統への影響等について評価し、非常用ディーゼル発電機の故障が生じないことを確認した。</p> <p>また、ばい煙等に対する防護対策が必要と考えられる原子炉建屋、原子炉補助建屋の空調系統及び中央制御室、緊急時対策所の換気空調系統について、ダンパの切り替えを行い外気取入れ口を遮断することにより、ばい煙等の影響から防護できる設計となっていることを確認した。</p>

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について																		
<p>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</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>添付資料3-1 伊方発電所3号炉における発電所敷地内への航空機墜下による火災の影響評価について</p> <p>発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対して、より一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設に影響を及ぼさないことを確認する。 ここでは、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、航空機墜下による火災が原子炉建屋に与える影響について評価した。 なお、海水ピット内に設置している海水ポンプは、地上表面(EL. 10m)から上端が飛び出していない。</p> <p>1. 評価の方針 航空機墜下確率評価については、評価条件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墜下事故については、訓練中の事故等、民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも、機種によって飛行形態が同一ではないと考えられる。したがって、第17-1表に示すカテゴリ毎に航空機墜下による火災影響を評価する。</p> <p style="text-align: center;">第17-1表 航空機墜下による火災影響評価におけるカテゴリ</p> <table border="1" data-bbox="1209 821 1948 1165"> <thead> <tr> <th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1) 計器飛行方式民間航空機</td> <td colspan="2">① 飛行場での離着陸時</td> </tr> <tr> <td colspan="2">② 航空路を巡航中</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2) 有視界飛行方式民間航空機</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3) 自衛隊機又は米軍機</td> <td rowspan="2">③ 訓練空域外を飛行中</td> <td>③-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機</td> </tr> <tr> <td>③-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機</td> </tr> <tr> <td colspan="3">④ 基地-訓練空域間往復時</td> </tr> </tbody> </table>	落下事故のカテゴリ			1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時		② 航空路を巡航中		2) 有視界飛行方式民間航空機			3) 自衛隊機又は米軍機	③ 訓練空域外を飛行中	③-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	③-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	④ 基地-訓練空域間往復時		
落下事故のカテゴリ																			
1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時																		
	② 航空路を巡航中																		
2) 有視界飛行方式民間航空機																			
3) 自衛隊機又は米軍機	③ 訓練空域外を飛行中	③-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機																	
		③-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機																	
④ 基地-訓練空域間往復時																			

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について																											
<p>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</p> <p>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。</p> <p>(1) 航空機墜落による火災の想定</p> <p>A. 想定条件</p> <p>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。</p> <p>A-2 航空機は燃料を満載した状態を想定する。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>A-5 気象条件は無風状態とする。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>2. 2 航空機墜落による火災影響の有無の評価</p> <p>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。</p> <table border="1" data-bbox="248 978 1039 1266"> <thead> <tr> <th>評価建物</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輻射強度 (W/m²)</td> <td>火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度</td> </tr> <tr> <td>形態係数 (-)</td> <td>火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数</td> </tr> <tr> <td>燃料半径 (m)</td> <td>保守的に想定した航空機の墜落火災の燃焼半径</td> </tr> <tr> <td>燃焼継続時間 (s)</td> <td>火災が終了するまでの時間</td> </tr> <tr> <td>離隔距離 (m)</td> <td>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</td> </tr> <tr> <td>熱許容限界値 (-)</td> <td>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</td> </tr> </tbody> </table> <p>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</p>	評価建物	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	燃料半径 (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	<p>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</p> <p>2. 1 航空機墜落による火災の想定</p> <p>(1) 想定条件</p> <p>a. 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した。(ガイドどおり)</p> <table border="1" data-bbox="1245 417 1933 514"> <thead> <tr> <th rowspan="2">項目</th> <th rowspan="2">民間航空機</th> <th colspan="3">自衛隊機又は米軍機</th> </tr> <tr> <th>③-1</th> <th>③-2</th> <th>④</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>航空機</td> <td>747-400</td> <td>KC-767</td> <td>F-15</td> <td>UP-3D</td> </tr> </tbody> </table> <p>b. 航空機は燃料を満載した状態を想定した。(ガイドどおり)</p> <p>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する。(ガイドどおり)</p> <p>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。(ガイドどおり)</p> <p>e. 気象条件は無風状態とした。(ガイドどおり)</p> <p>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。(ガイドどおり)</p> <p>g. 輻射強度の算定としては、油火災において任意の位置にある輻射強度(熱)を計算により求めるため、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。(ガイドどおり)</p> <p>2. 2 航空機墜落による火災影響の有無の評価</p>	項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機			③-1	③-2	④	航空機	747-400	KC-767	F-15	UP-3D
評価建物	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																											
燃料半径 (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																											
項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機																										
		③-1	③-2	④																								
航空機	747-400	KC-767	F-15	UP-3D																								

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

よる放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
放射発散度 [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放射強度を求める際に必要になる。

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

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

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

伊方発電所3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について

(1) 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりとした。

データ種類	民間航空機		自衛隊機又は米軍機		
	計器飛行	有視界飛行	③-1	③-2	④
燃料量 (m ³)	216.84	—	145.03	14.87	34.84
放射発散度 (W/m ²)	50×10^3	—	58×10^3	←	←
燃焼速度 (m/s)	4.64×10^{-6}	—	6.71×10^{-6}	←	←
航空機墜落地点	500 (m)	70 (m)	250 (m)	42 (m)	39 (m)
	離れた地点	離れた地点	離れた地点	離れた地点	離れた地点

(2) 燃焼半径の算出

円筒火災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。

$$R = (S/\pi)^{1/2}$$

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		③-1	③-2	④
燃料タンクの投影面積 (m ²)	700	405.2	44.6	86.5
燃焼半径 (m)	14.93	11.36	3.77	5.25

(3) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について

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。

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		③-1	③-2	④
形態係数	1.8×10 ⁻³	4.1×10 ⁻³	1.6×10 ⁻²	3.5×10 ⁻²

(4) 輻射強度の評価

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

$$E = Rf \times \phi$$

E: 輻射強度 (W/m²)、Rf: 輻射発散度 (W/m²)、φ: 形態係数

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		③-1	③-2	④
輻射強度 (W/m ²)	9.0×10 ¹	2.4×10 ²	9.3×10 ²	2.1×10 ³

(5) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値となる。

$$t = V / (\pi R^2 \times v)$$

t: 燃焼継続時間 (s)、V: 燃料量 (m³)、

v: 燃焼速度 (m/s) = M/ρ、M: 質量低下速度 (kg/m²・s)、

ρ: 燃料密度 (kg/m³)

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		③-1	③-2	④
燃焼継続時間 (hr)	1.85	1.48	1.38	1.67

(6) 建屋外壁の耐火性能評価

a. 許容温度

許容温度としては、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℃ (保守的にコンクリートの圧縮強度が変化しない温度を想定) とする。

b. 耐火性能の評価結果

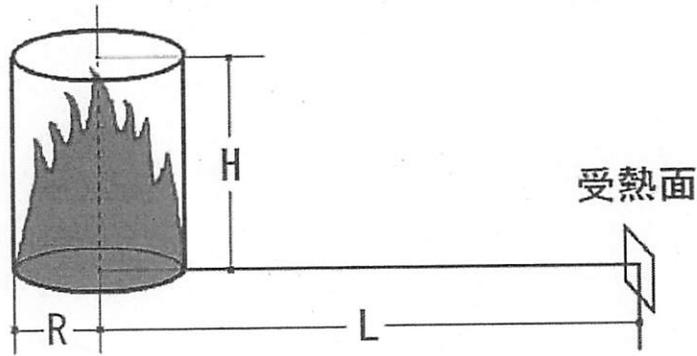
火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉施設外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面及び裏面の温度上昇を求め、コンクリートの表面及び裏面温度が許容温度以下であるか評価を実施した。

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

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

附録A

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。

伊方発電所3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について

- To : 初期温度 (50 [°C])²⁾
- q : 輻射強度 [kW/m²]
- α : コンクリート温度伝導率
[$\alpha = \lambda / (\rho \times Cp)$]
- Cp : コンクリート比熱 (0.963 [kJ/kgK])³⁾
- ρ : コンクリート密度 (2,400 [kg/m³])³⁾
- λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])³⁾
- x : コンクリート深さ [m]
- t : 燃焼継続時間 [sec]

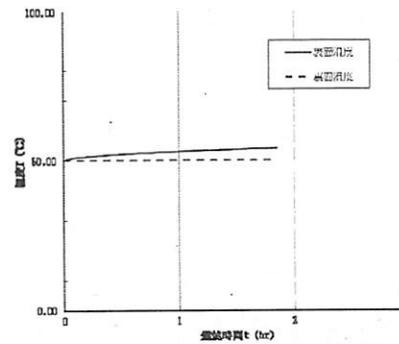
(注釈)

- 1) 伝熱工学、東京大学出版会
- 2) 建屋内気温として保守的に設定した値
- 3) 原子炉格納施設の熱力学解析 (第1回工事計画認可申請)

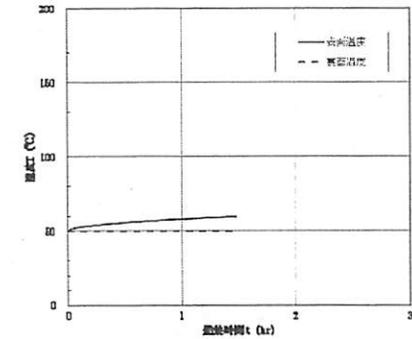
その結果、原子炉施設外壁の表面の温度は許容温度を下回る。なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		③-1	③-2	④
原子炉施設外壁の表面の温度 (°C)	約 55	約 60	約 87	約 139

なお、有視界飛行方式民間航空機の落下による火災影響評価は、自衛隊機又は米軍機の落下による火災影響評価に包絡される。



(計器飛行方式民間航空機)



(自衛隊機又は米軍機 (③-1))

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所 3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について

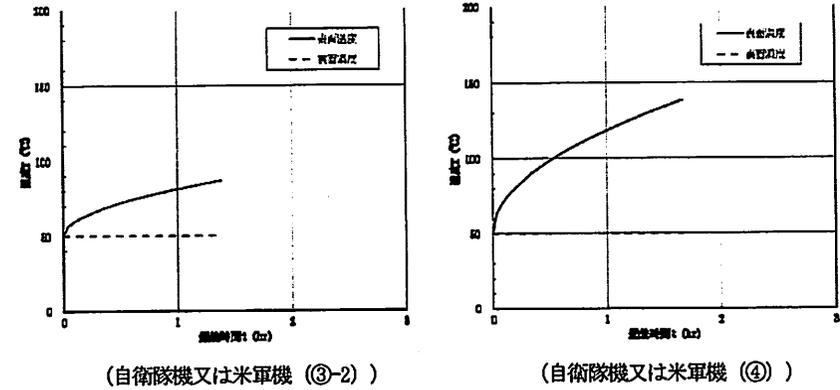


図 建屋外壁における温度上昇の評価結果

(7) 重油タンクに対する火災影響評価

a. 許容温度

許容温度としては、重油の自然発火温度である 240°Cとする。

b. 重油タンクの内部温度評価

近隣の産業施設の火災・爆発の影響評価と同様の手法を用い、下記の式により放射熱による重油タンク内の重油の平均到達温度を求め、重油温度が許容温度以下であるか評価を実施した。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot t \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_0 \cdot h}{2} + \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \right)}{\rho_p \cdot C_{pp} \cdot V + \rho_s \cdot C_{ps} \cdot \left\{ \frac{(D_0^2 - D_1^2) \cdot \pi \cdot h}{4} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} \cdot e \right\}}$$

- T_0 : 初期温度 (34.3[°C])¹⁾
- E : 放射強度[W/m²]
- ρ_p : 重油密度 (1,000[kg/m³])²⁾
- C_{pp} : 重油比熱 (1,700[J/kg·K])³⁾
- V : 重油体積 (97[m³])
- ρ_s : タンク壁材密度 (7,860[kg/m³])⁴⁾
- C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg·K])⁴⁾
- D_1 : タンク内径 (3.2[m])
- D_0 : タンク外径 (3.242[m]= D_1+2e)
- e : タンク最小板厚 (0.021[m])
- h : タンク円筒長さ (13.538[m])

伊方発電所 3号機における外部火災に係る報告書

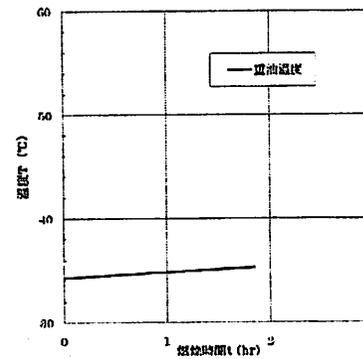
原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所 3号機 原子力発電所の外部火災影響評価について

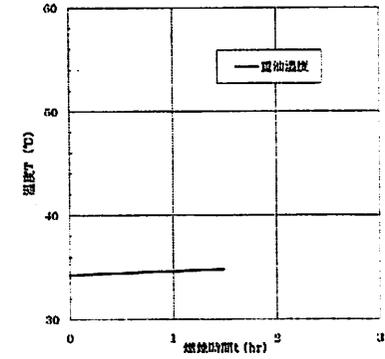
t : 燃焼継続時間[sec]

(注釈)

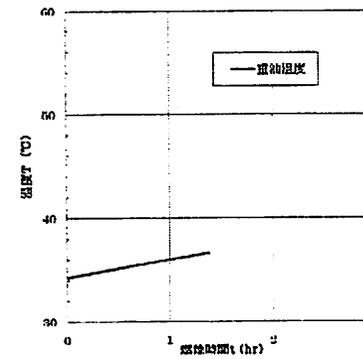
- 1) 気象庁HPにおける瀬戸観測所の過去10年間の最高気温
- 2) THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering FOURTH EDITION
- 3) 石油便覧
- 4) 伝熱工学資料 日本機械学会



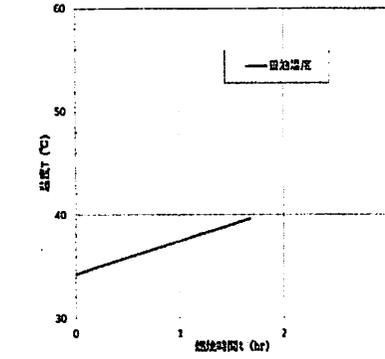
(計器飛行方式民間航空機)



(自衛隊機又は米軍機 (3-1))



(自衛隊機又は米軍機 (3-2))



(自衛隊機又は米軍機 (4))

図 重油タンク内重油の温度上昇の評価結果

その結果、重油タンク内重油の温度は許容温度を下回る。なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。

伊方発電所 3 号機における外部火災に係る報告書

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド

伊方発電所 3 号機 原子力発電所の外部火災影響評価について

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		③-1	③-2	④
原子炉施設外壁の表面の温度 (°C)	約 36	約 35	約 37	約 40

なお、有視界飛行方式民間航空機の落下による火災影響評価は、自衛隊機又は米軍機の落下による火災影響評価に包絡される。

2. 3 評価結果

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、原子炉施設外壁及び重油タンク内部の温度が許容温度を超えないことから、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。

また、航空機落下に起因する敷地内のタンク火災を考慮したとしても、原子炉施設に熱影響をおよぼすことはない。

補足：評価に用いた設定値について

(1) 建屋外壁の許容温度について

許容温度：200 [°C]

(2) 重油タンクの許容温度について

許容温度（自然発火点温度）：約240 (°C)

(3) 航空機の仕様について

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		KC-767	F-15	UP-3D
想定した機種	747-400	KC-767	F-15	UP-3D
燃料の種類	Jet A-1 +灯油	JP-4	JP-4	JP-4
燃料の最大積載量 (m³)	216.84	145.03	14.87	34.84
燃料タンクの投影面積 (m²)	700	405.2	44.6	86.5

伊方発電所 3 号機における外部火災に係る報告書

原子力発電所の外部火災影響評価ガイド	伊方発電所 3 号機 原子力発電所の外部火災影響評価について		
	(4) 燃料の物性値について		
	項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機
	放射発散度 (Rf)	50×10^3 (W/m ²)	58×10^3 (W/m ²)
	質量低下速度 (M)	0.039 (kg/m ² ·s)	0.051 (kg/m ² ·s)
	密度 (ρ)	840 (kg/m ³)	760 (kg/m ³)
	燃焼速度 ($v = M/\rho$)	4.64×10^{-5} (m/s)	6.71×10^{-5} (m/s)

8. 航空機落下に起因する敷地内危険物タンク火災による原子炉施設への影響について

(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うち、以下の施設について火災を想定して熱影響評価を実施している。各危険物タンクの配置を図 8-1 に示す。

- a. 補助ボイラ燃料タンク (重油 : 500m³)
- b. 軽油タンク (コンクリート容器、軽油 : 72m³)
- c. 重油タンク (重油 : 291m³)
- d. 重油ドラム缶貯蔵施設 (重油 : 20m³)
- e. 軽油ドラム缶貯蔵施設 (軽油 : 20m³)
- f. 空冷式非常用発電装置 (重油/潤滑油 : 4.1m³)

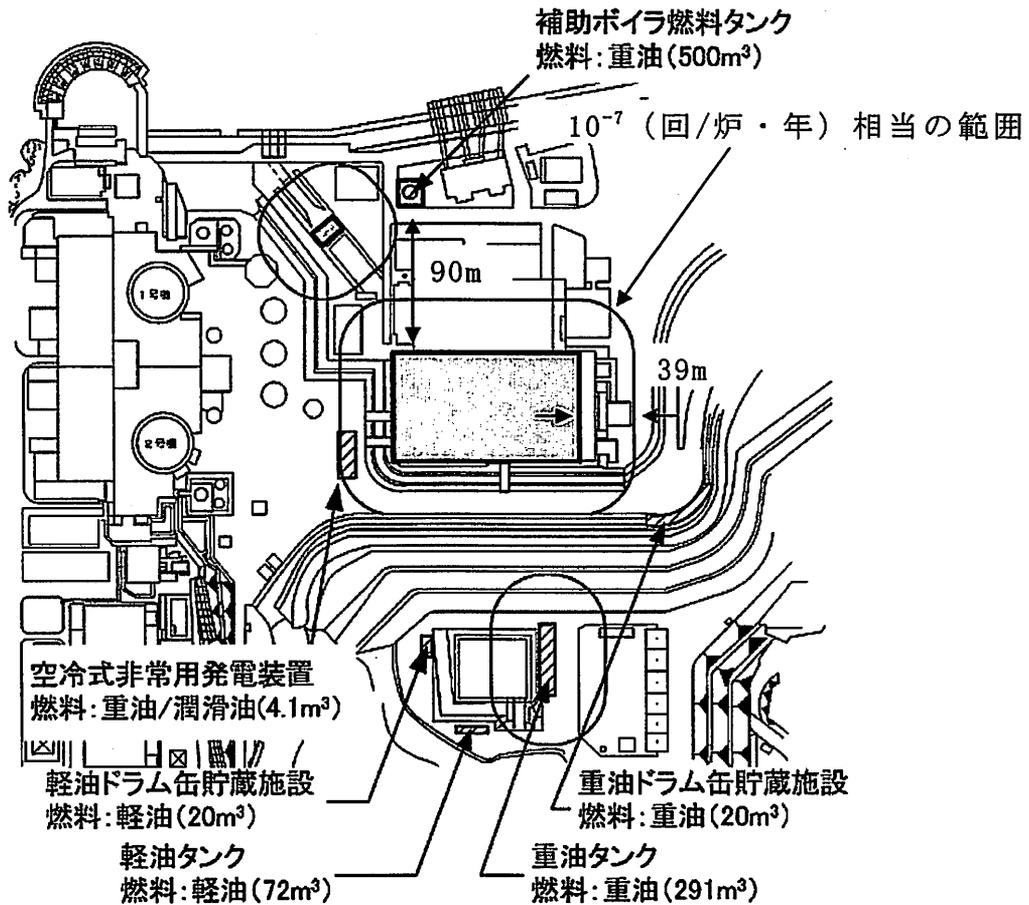


図 8-1 屋外危険物タンクの配置及び航空機落下離隔距離のイメージ

(2) 屋外危険物タンクの火災が同時に発生した場合の影響評価

航空機落下に起因する敷地内危険物タンク火災が原子炉施設へ影響を及ぼす可能性としては、航空機落下による火災により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。

ここで、航空機落下に起因する火災としては、評価結果が最も厳しい自衛隊機又は米軍機の落下事故のうち、「基地－訓練空域間往復時の落下事故」による火災を想定する。この場合、全ての敷地内危険物タンクに直接航空機が落下する場合が考えられるため、危険物タンクの火災としては燃料貯蔵量が最も多い補助ボイラ燃料タンクとし、それらの火災が同時に発生した場合の原子炉施設外壁コンクリート表面の温度について検討した。なお、自衛隊機又は米軍機の落下位置は、保守的に原子炉施設から 39m としている。

本評価において、建屋壁面が受ける受熱輻射強度は、それぞれの火災源の燃焼時間が異なることから一定とはならない。そのため、評価式としては、森林火災評価と同様に以下の差分式を用いた。

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n$$

ここで、温度 T 、熱流束 q_s 、温度伝導率 a 、 $r = a \Delta t / \Delta x^2$ である。

評価の結果、図 8-2 に示すとおり、原子炉施設外壁の表面の温度は約 165℃ となり、コンクリートの許容温度 (200℃) を超えることはない。また、重油タンクの内部温度評価として、軽油タンクを火災源とした場合が約 58℃、航空機落下による火災の場合が約 40℃ であることから、火災の同時発生を考慮しても重油タンクへの熱影響は軽微である。

従って、原子炉施設に影響を与えることはないことを確認した。

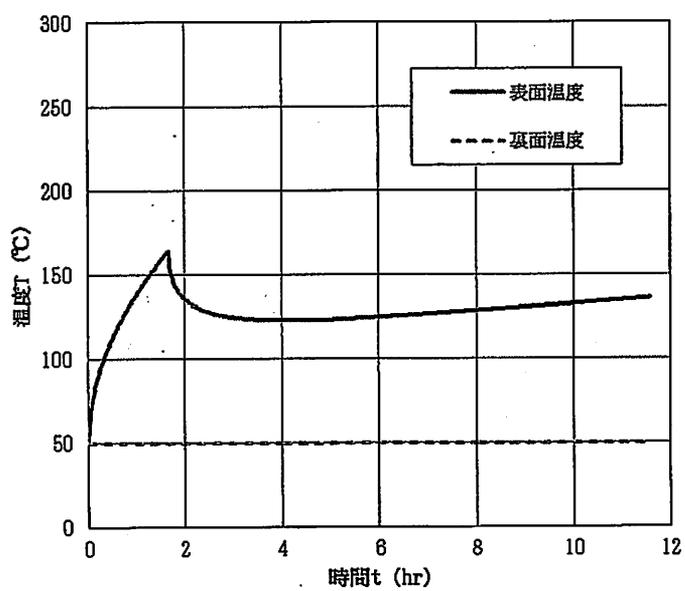


図 8-2 航空機落下による火災・補助ボイラ燃料タンク火災の評価結果

9. 航空機落下確率のカテゴリ別の火災影響評価について

(1) 火災影響評価の方針

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

「原子力発電所の敷地内への航空機落下墜落による火災の影響評価について」における航空機墜落による火災の想定条件として、以下のとおり記載されている。

- ・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。
- ・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。

航空機落下確率評価については、評価条件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、民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも、機種によって飛行形態が同一ではないと考えられる。したがって、第 9-1 表に示すカテゴリ毎に航空機落下による火災影響を評価する。自衛隊機又は米軍機の落下事故の分類の詳細については、別紙-1 に示す。

第 9-1 表 航空機落下による火災影響評価におけるカテゴリ

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

判断基準となる許容温度としては、建屋コンクリート壁を対象とする

場合、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℃（保守的にコンクリートの圧縮強度が変化しない温度を想定）とする。また、重油タンクを対象とする場合、重油の自然発火温度である240℃とする。（添付資料1）

(2) カテゴリ別の航空機落下による火災の影響評価

1) 計器飛行方式民間航空機

本カテゴリには、「飛行場での離着陸時における落下事故」と「航空路を巡航中の落下事故」が含まれる。ただし、前者については、伊方発電所が近隣の空港の滑走路方向に対し、±60°扇型区域から外れていることから対象外となっていることから、後者のみ考慮する。評価の詳細を別紙2、主要な条件及び評価結果を第9-2表に示す。

第9-2表 主要評価条件及び評価結果

カテゴリ	離隔距離 (m)	対象航空機	燃料積載量 (m ³)	評価結果 (℃) ※
計器飛行方式民間航空機	500	747-400	216.84	約 55
				約 36

※ 評価結果の欄の上段が原子炉施設外壁、下段が重油タンクを示す。

2) 自衛隊機又は米軍機

本カテゴリにおける評価の詳細を別紙3、主要な条件及び評価結果を第9-3表に示す。

第9-3表 主要評価条件及び評価結果

カテゴリ		離隔距離 (m)	対象航空機	燃料積載量 (m ³)	評価結果 (℃) ※
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域内 で訓練中及 び訓練空域 外を飛行中	250	KC-767	145.03	約 60
					約 35
	基地 - 訓練空域間往復時	39	UP-3D	34.84	約 87
					約 37
					約 139
					約 40

※ 評価結果の欄の上段が原子炉施設外壁、下段が重油タンクを示す。

3) 有視界飛行方式民間航空機

本カテゴリにおける評価の詳細を別紙4に示す。有視界飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価は、2)の自衛隊機又は米軍機の落下による火災の影響評価に包絡されていることを確認した。

(3) まとめ

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、原子炉施設外壁及び重油タンク内部の温度が許容温度を超えないことから、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。

なお、今回のカテゴリを考慮した伊方3号炉における航空機落下確率評価結果を添付資料2に示す。

自衛隊機又は米軍機の用途による分類について

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故」と「基地－訓練空域間往復時の落下事故」が含まれる。以下にそれぞれのカテゴリで評価する機種について整理する。なお、分類としては自衛隊機の代表的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

別表 1-1 に主要航空機（大型固定翼機）の用途等を示す。

別表 1-1 自衛隊機（大型固定翼機）の用途等

所 属	機 種	用 途	寸 法 (m)		燃 料 量 (kL)
			全 長	全 幅	
陸上自衛隊	LR-2	連絡偵察	14	18	約 2
海上自衛隊	P-3C	哨戒	36	30	約 35
	P-1	哨戒	38	35	—
航空自衛隊	F15J/DJ	戦闘	19	13	約 15
	F-4EJ	戦闘	19	12	約 12
	F-2A/B	戦闘	16	11	約 11
	RF-4E/EJ	偵察	19	12	約 12
	C-1	輸送	29	31	約 11
	C-130H	輸送	30	40	約 37
	KC-767	空中給油・輸送	49	48	約 145
	KC-130H	空中給油機能付加	30	40	約 37
	E-2C	早期警戒	18	25	約 6
	E-767	早期警戒管制	49	48	KC-767 以下

※ 平成 25 年度版防衛白書等より作成。ただし、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」及び「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」及び「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、それぞれ哨戒が海上、輸送が基地或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。

従って、自衛隊機又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として、別表 1-2 に示すとおり整理した。なお、大型輸送ヘリコプターCH-47 の燃料積載量が約 4kL であることから、回転翼機は大型固定翼機の評価に包絡される。

別表 1-2 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	対象とする航空機の内訳	対象とする航空機	燃料量 (kL)
空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	「空中給油」、「早期警戒」、「哨戒」、「輸送」を用途とする大型固定翼機	KC-767	145.03
その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	「戦闘」、「連絡偵察」、「偵察」等を用意とする大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	F-15	14.87

(2) 基地－訓練空域間往復時の落下事故

別表 1-3 に基地－訓練空域間を往復中の落下事故として考慮している基地である岩国航空基地に所属する自衛隊機を示す。

別表 1-3 岩国航空基地に所属する自衛隊機（大型固定翼機）の用途等

所属	機種	用途	寸法 (m)		燃料量 (kL)	
			全長	全幅		
航空自衛隊	US-1A	救難	33	33	約 23	
	US-2	救難	33	33	US-1A と同程度と推定	
	U-36A	多用途	電子戦訓練等	15	12	約 4
	UP-3D		電子戦訓練支援	33	30	原型機 P-3C と同程度と推定
	EP-3		電子戦データ収集	33	30	UP-3D と同型
	OP-3C		画像情報収集	33	30	UP-3D と同型

※ 航空自衛隊 HP 等より作成。

本カテゴリについては、基地－訓練空域間を往復中の落下事故を対象としたものであることから、該当する航空機の用途としては、電子戦訓練等の「多用途」と考えられる（救難を用途とする航空機は、「(1) 訓練空域外を飛行中の落下事故」で考慮するカテゴリに含まれる）。

従って、自衛隊機又は米軍機の落下事故のうち、基地－訓練空域間を往復中の落下事故で考慮するカテゴリとして、別表 1-4 に示すとおり整

理した。なお、燃料積載量の観点から、回転翼機は大型固定翼機に包絡される。

別表 1-4 基地－訓練空域間を往復中の落下事故のカテゴリにおける整理

カテゴリ	対象とする航空機の内訳	対象とする航空機	燃料量 (kL)
その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	訓練空域において訓練を行うと想定される岩国航空基地に所属する固定翼機及び回転翼機	UP-3D (P-3C)	34.84

※ 航空自衛隊のHP等より作成

計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価

(1) 落下地点の想定

1) 標的面積

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」(平成 21・06・25 原院第 1 号)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。

a. 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下確率

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

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 (km^2)

W : 航空路幅 (km)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率
(回/(飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数 (回)

H_c : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

パラメータ	伊方発電所 3 号炉
対象航空路	V17, Y23, Y40, Y351
N_c 注 1	V17 : 8, 030 Y23 : 13, 140 Y40 : 1, 095 Y351 : 2, 555
W 注 2	V17 : 14 Y23, Y40, Y351 : 18. 52
f_c 注 3	$0. 5 / 9, 439, 243, 077 = 5. 30 \times 10^{-11}$

注 1 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果 (平成 24 年のピークデイの値) を 365 倍した値。なお、ピークデイにおける各航空路の値は、V17 が 22、Y23 が 36、Y40 が 3、Y351 が 7 であり、平成 24 年 8 月 9 日のデータである。

注 2 : 航空路 (V17) については、「航空路の指定に関する告示」の航空路幅に基づき中心線から両側に 7km (全幅 : 14km)、広域航法経路 (Y23、Y40、Y351) については、「A I P J A P A N」の航法精度に基づき、中心線から両側に 5nm (1nm=1. 852km、全幅 : 18. 52km) とする。

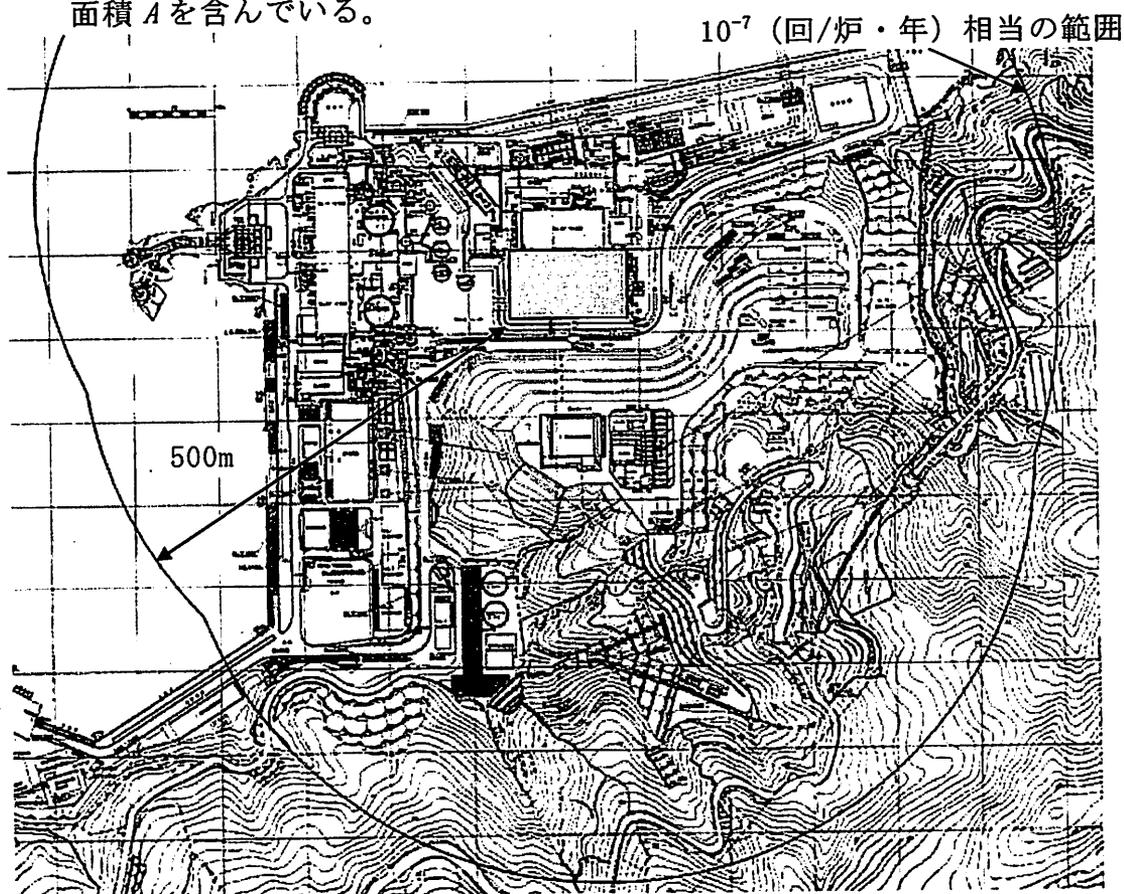
注 3 : 巡航中事故件数 (G_c) は、平成 3 年～平成 22 年の間で 0 件のため 0. 5 件と仮定する。延べ飛行距離 (H_c) は、平成 4 年～平成 23 年の「航空輸送統計年報 第 1 表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値 (幹線、ローカル線、不定期の合計値) を合計した値。

これらの式より、 $P_c = 10^{-7}$ となる A を求めると、 $A = 1. 28 (\text{km}^2)$ となる。

2) 離隔距離

求めた標的面積より、別図 2-1 で示す離隔距離 $L = \text{約 } 500 (\text{m})$ を算出し

た。なお、別図 2-1 で示す 10^{-7} (回/炉・年) 相当の範囲については、標的
面積 A を含んでいる。



別図 2-1 離隔距離 500m の算出イメージ

(2) 火災影響評価

1) 想定条件

- 対象とする航空機は、落下確率評価（計器飛行方式民間航空機）において考慮している条件のうち燃料積載量の最も大きい機種として B747-400 型機を選定し、燃料積載量は満載の $216.84 \text{ (m}^3\text{)}$ を想定した。
- 原子炉施設からの離隔距離は、 500 (m) とした。
- 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。
- 気象条件は無風状態とした。
- 火災は円筒火災をモデルとし、火災の高さは燃焼半径の 3 倍とした。
- 輻射強度の算定としては、油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるため、半径が 1.5m 以上の場合で火災の高さ（輻射体）を半径の 3 倍にした円筒火災モデルを採用した。

2) 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりとした。（各設定値は添付資料 1）

燃料量 (m^3) : 216.84

輻射発散度 (W/m ²)	: 50×10 ³
燃焼速度 (m/s)	: 4.64×10 ⁻⁵
航空機墜落地点	: 500 (m) 離れた地点

3) 燃焼半径の算出

円筒火災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。

$$R = (S/\pi)^{1/2}$$

S : 燃料タンクの投影面積 (火炎円筒の底面積) = 700 (m²)

$$R = (700/\pi)^{1/2} = 14.93 \text{ (m)}$$

4) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

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

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

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

ここで、R=14.93、L=500 として形態係数 φ を求めると、φ = 1.8×10⁻³ となる。

5) 輻射強度の評価

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

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度 (W/m²)、R_f : 輻射発散度 (W/m²)、φ : 形態係数

ここで、R_f=50×10³、φ = 1.8×10⁻³ とし、輻射強度 E を求めると、9.0×10¹ (W/m²) となる。

6) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値となる。

$$t = V / (\pi R^2 \times v)$$

t : 燃焼継続時間 (s)、V : 燃料量 (m³)、

v : 燃焼速度 (m/s) = M/ρ、M : 質量低下速度 (kg/m²·s)、

ρ : 燃料密度 (kg/m³)

ここで、V=216.84、v=4.64×10⁻⁵、M=0.039、ρ=840 とし、燃焼継続時間 t を求めると、216.84 / (700×4.64×10⁻⁵) = 6,676 (s) = 1.85 (hr)

となる。

7) 建屋外壁の耐火性能評価

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¹⁾よりコンクリート表面及び裏面の温度上昇を求めた。

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

T_0 : 初期温度 (50[°C])²⁾

q : 輻射強度 [kW/m²]

α : コンクリート温度伝導率

[$\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$]

C_p : コンクリート比熱 (0.963 [kJ/kgK])³⁾

ρ : コンクリート密度 (2,400 [kg/m³])³⁾

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])³⁾

χ : コンクリート深さ [m]

t : 燃焼継続時間 [sec]

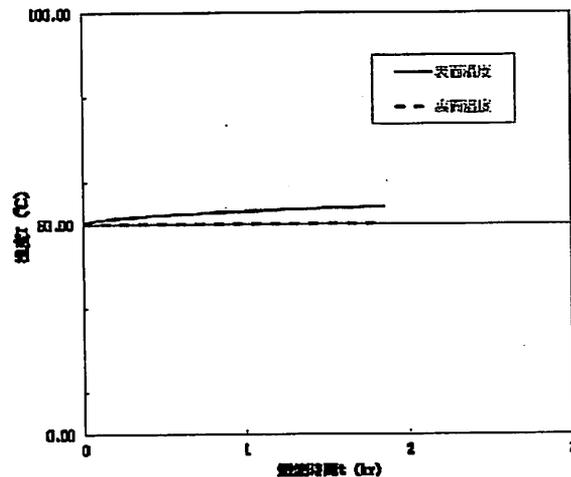
(注釈)

1) 伝熱工学、東京大学出版会

2) 建屋内気温として保守的に設定した値

3) 原子炉格納施設の熱応力解析 (第1回工事計画認可申請)

その結果、原子炉施設外壁の表面の温度は約 55°C となった。なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。



別図 2-2 建屋外壁における温度上昇の評価結果

8) 重油タンクに対する火災影響評価

輻射熱による重油タンク内の重油の到達温度は、近隣の産業施設の火災・爆発の影響評価と同様の手法を用いて、以下の式にて評価した結果、約 36°C となった。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot t \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_0 \cdot h}{2} + \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \right)}{\rho_p \cdot C_{pp} \cdot V + \rho_s \cdot C_{ps} \cdot \left\{ \frac{(D_0^2 - D_i^2) \cdot \pi \cdot h}{4} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} \cdot e \right\}}$$

T_0 : 初期温度 (34.3[°C])¹⁾

E : 輻射強度 [W/m²]

ρ_p : 重油密度 (1,000[kg/m³])²⁾

C_{pp} : 重油比熱 (1,700[J/kg·K])³⁾

V : 重油体積 (97[m³])

ρ_s : タンク壁材密度 (7,860[kg/m³])⁴⁾

C_{ps} : タンク壁材比熱 (473[J/kg·K])⁴⁾

D_i : タンク内径 (3.2[m])

D_0 : タンク外径 (3.242[m])

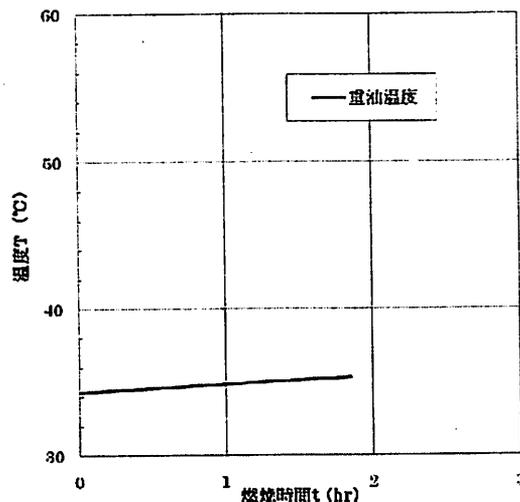
e : タンク最小板厚 (0.021[m])

h : タンク円筒長さ (13.538[m])

t : 燃焼継続時間[sec]

(注釈)

- 1) 気象庁 HP における瀬戸観測所の過去 10 年間の最高気温
- 2) THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering FOURTH EDITION
- 3) 石油便覧
- 4) 伝熱工学資料 日本機械学会



別図 2-3 重油タンクにおける温度上昇の評価結果

自衛隊機又は米軍機の落下による火災の影響評価

(1) 落下地点の想定

1) 標的面積

カテゴリ毎に「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第 1 号）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。

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

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

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} : 単位年当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 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

パラメータ	伊方発電所 3 号炉
f_{so} 注 1	自衛隊機 0.5/20=0.025
	米軍機 1/20=0.050
S_o 注 1	自衛隊機 295,000
	米軍機 372,000

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）より。自衛隊機の事故は、0 件のため 0.5 件と仮定する。米軍機の事故は、S-3 バイキング (哨戒機) の実績である。

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

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

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} : 単位年当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 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

パラメータ	伊方発電所 3号炉
f_{so} 注1	自衛隊機 8/20=0.40
	米軍機 4/20=0.20
S_o 注1	自衛隊機 295,000
	米軍機 372,000

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)より。

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

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

P_{se} : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率 (回/年)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

パラメータ	伊方発電所 3号炉
f_{se} 注1	自衛隊機 0.5 / 20 = 0.025
	米軍機 0.5 / 20 = 0.025
S_{se} 注2	自衛隊機 40,080
	米軍機 17,840

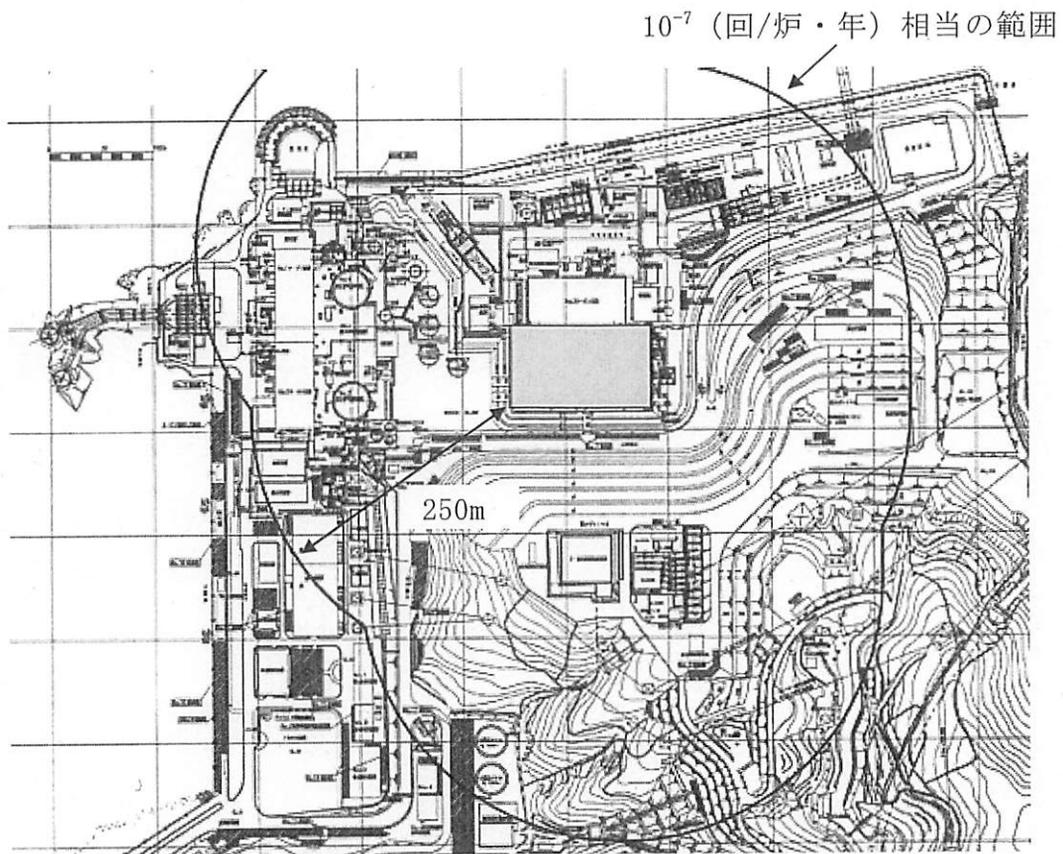
注1： 「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成24年9月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)より。自衛隊機及び米軍機の事故については、0件のため0.5件と仮定する。

注2： 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」

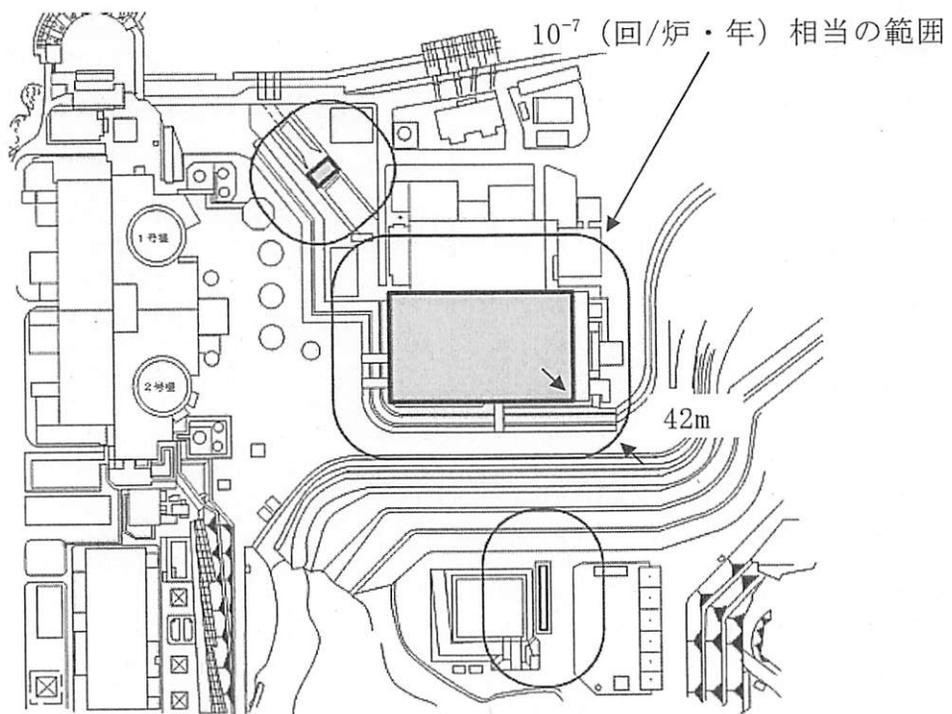
これらの式より、 P_{so} あるいは $P_{se}=10^{-7}$ となる A を求めると、それぞれ 0.46 (km²)、0.053 (km²) 及び 0.049 (km²) となる。

2) 離隔距離

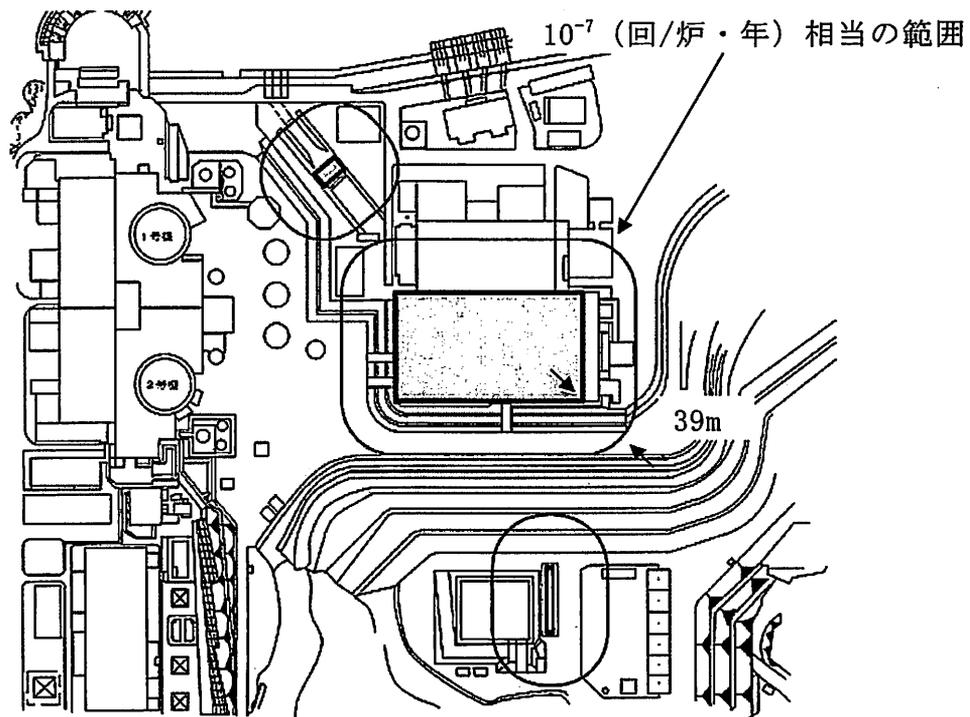
求めた標的面積より、カテゴリ毎に別図 3-1~別図 3-3 で示す離隔距離 L = 約 250 (m)、約 42 (m) 及び約 39 (m) を算出した。なお、別図 3-1~別図 3-3 で示す 10^{-7} (回/炉・年) 相当の範囲については、標的面積 A を含んでいる。



別図 3-1 離隔距離 250m の算出イメージ



別図 3-2 離隔距離 42m の算出イメージ



別図 3-3 離隔距離 39m の算出イメージ

(2) 火災影響評価

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

a. 想定条件

- ① 対象とする航空機は、燃料積載量の最も大きい機種として KC-767 を選定し、燃料積載量は満載の 145.03 (m³) を想定した。
- ② 原子炉施設からの離隔距離は 250 (m) とした。
- ③ その他については、別紙 2 の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同じ条件とした。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりとした。（各設定値は添付資料 1）

燃料量 (m ³)	: 145.03
輻射発散度 (W/m ²)	: 58 × 10 ³
燃焼速度 (m/s)	: 6.71 × 10 ⁻⁵
航空機墜落地点	: 250 (m) 離れた地点

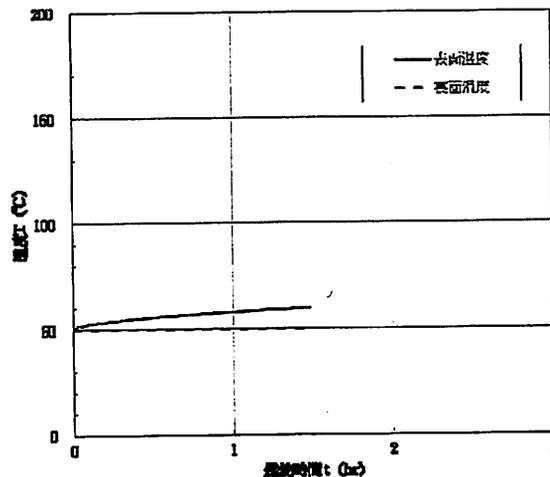
c. 建屋外壁の耐火性能評価

別紙 2 の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同様、以下のとおり評価した。

燃焼半径 R は、航空機の燃料タンクの投影面積 S = 405.2 (m²) を火炎

円筒の底面積と仮定し、11.36 (m) とした。形態係数 ϕ は、燃焼半径 $R = 11.36$ (m)、離隔距離 $L = 250$ (m)、火炎の高さ $H = R \times 3 = 34.08$ (m) より、 4.1×10^{-3} となった。輻射強度 E は、輻射発散度 $R_f = 58 \times 10^3$ (W/m²)、形態係数 $\phi = 4.1 \times 10^{-3}$ より、 2.4×10^2 (W/m²) となった。燃焼継続時間 t は、燃料量 $V = 145.03$ (m³)、燃料タンクの投影面積 $S = 405.2$ (m²)、燃焼速度 $v = 6.71 \times 10^{-5}$ (m/s) より、1.48 (hr) となった。

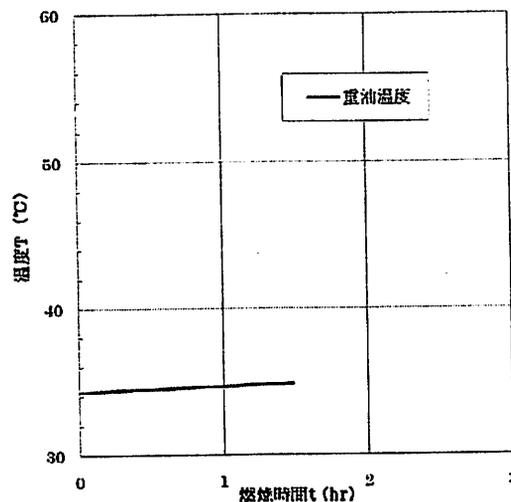
原子炉施設外壁コンクリート表面及び裏面の温度を求めた結果、約 60°C となった。なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。



別図 3-4 建屋外壁における温度上昇の評価結果

d. 重油タンクに対する火災影響評価

別紙 2 の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同様に評価した結果、輻射熱による重油タンク内の重油の到達温度は、約 35°C となった。



別図 3-5 重油タンクにおける温度上昇の評価結果

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

a. 想定条件

- ① 対象とする航空機は、燃料積載量の最も大きい機種としてF-15を選定し、燃料積載量は満載の14.87 (m³) を想定した。
- ② 原子炉施設からの離隔距離は42 (m) とした。
- ③ その他については、別紙2の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同じ条件とした。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりとした。（各設定値は添付資料1）

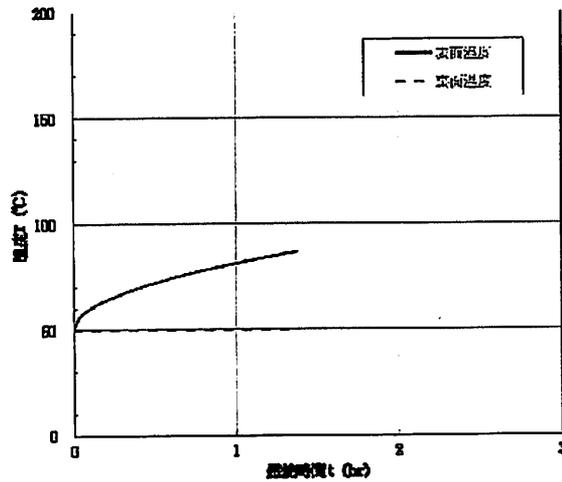
燃料量 (m ³)	: 14.87
輻射発散度 (W/m ²)	: 58×10 ³
燃焼速度 (m/s)	: 6.71×10 ⁻⁵
航空機墜落地点	: 42 (m) 離れた地点

c. 建屋外壁の耐火性能評価

別紙2の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同様、以下のとおり評価した。

燃焼半径 R は、航空機の燃料タンクの投影面積 S=44.6 (m²) を火炎円筒の底面積と仮定し、3.77 (m) とした。形態係数 φ は、燃焼半径 R=3.77 (m)、離隔距離 L=42 (m)、火炎の高さ H=R×3=11.31 (m) より、 1.6×10^{-2} となった。輻射強度 E は、輻射発散度 Rf=58×10³ (W/m²)、形態係数 φ = 1.6×10^{-2} より、 9.3×10^2 (W/m²) となった。燃焼継続時間 t は、燃料量 V=14.87 (m³)、燃料タンクの投影面積 S=44.6 (m²)、燃焼速度 v=6.71×10⁻⁵ (m/s) より、1.38 (hr) となった。

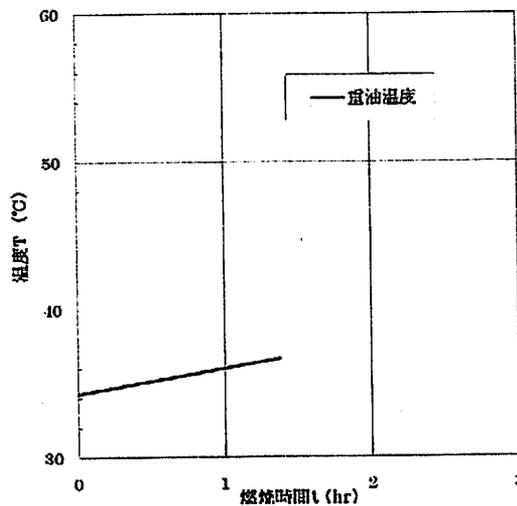
原子炉施設外壁コンクリート表面及び裏面の温度を求めた結果、約87となった。なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。



別図 3-6 建屋外壁における温度上昇の評価結果

d. 重油タンクに対する火災影響評価

別紙 2 の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同様に評価した結果、輻射熱による重油タンク内の重油の到達温度は、約 37°C となった。



別図 3-7 重油タンクにおける温度上昇の評価結果

3) 基地—訓練空域間を往復時の落下事故

a. 想定条件

- ① 対象とする航空機は、燃料積載量の最も大きい機種として UP-3D を選定し、燃料積載量は満載の 34.84 (m³) を想定した。
- ② 原子炉施設からの離隔距離は 39 (m) とした。
- ③ その他については、別紙 2 の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同じ条件とした。

b. 必要データ

評価に用いるデータは以下のとおりとした。(各設定値は添付資料1)

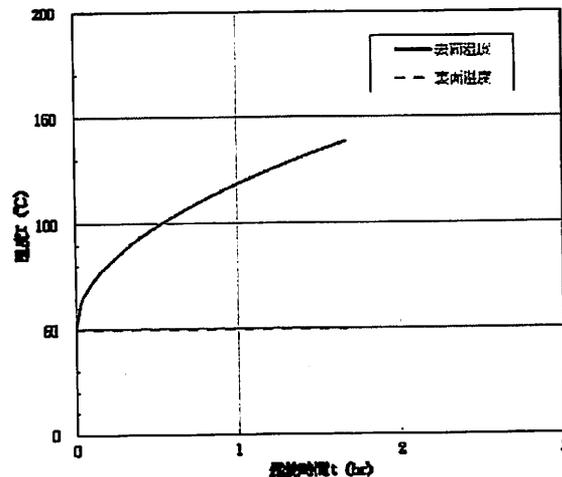
燃料量 (m ³)	: 34.84
輻射発散度 (W/m ²)	: 58×10 ³
燃焼速度 (m/s)	: 6.71×10 ⁻⁵
航空機墜落地点	: 39 (m) 離れた地点

c. 建屋外壁の耐火性能評価

別紙2の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同様、以下のとおり評価した。

燃焼半径 R は、航空機の燃料タンクの投影面積 S=86.5 (m²) を火炎円筒の底面積と仮定し、5.25 (m) とした。形態係数 φ は、燃焼半径 R=5.25 (m)、離隔距離 L=39 (m)、火炎の高さ H=R×3=15.75 (m) より、 3.5×10^{-2} となった。輻射強度 E は、輻射発散度 Rf=58×10³ (W/m²)、形態係数 φ = 3.5×10^{-2} より、 2.1×10^3 (W/m²) となった。燃焼継続時間 t は、燃料量 V=34.84 (m³)、燃料タンクの投影面積 S=86.5 (m²)、燃焼速度 v=6.71×10⁻⁵ (m/s) より、1.67 (hr) となった。

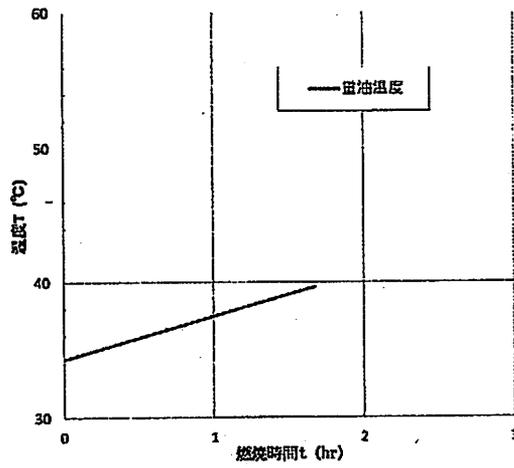
原子炉施設外壁コンクリート表面及び裏面の温度を求めた結果、約 139℃ となった。なお、燃焼継続時間以降は、熱源がなくなることから初期温度まで徐々に低下する。



別図 3-8 建屋外壁における温度上昇の評価結果

d. 重油タンクに対する火災影響評価

別紙2の計器飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価と同様に評価した結果、輻射熱による重油タンク内の重油の到達温度は、約 40℃ となった。



別図 3-9 重油タンクにおける温度上昇の評価結果

有視界飛行方式民間航空機の落下による火災の影響評価

(1) 落下地点の想定

1) 標的面積

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第 1 号）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。

a. 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

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

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km^2)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

α : 対象航空機の種類による係数

パラメータ	伊方発電所 3 号炉
f_v ^{注1}	大型固定翼機 0.5/20=0.025
	小型固定翼機 35/20=1.75
	大型回転翼機 2/20=0.10
	小型回転翼機 30/20=1.50
S_v ^{注1}	372,000
α ^{注2}	大型固定翼機、大型回転翼機: 1
	小型固定翼機、小型回転翼機: 0.1

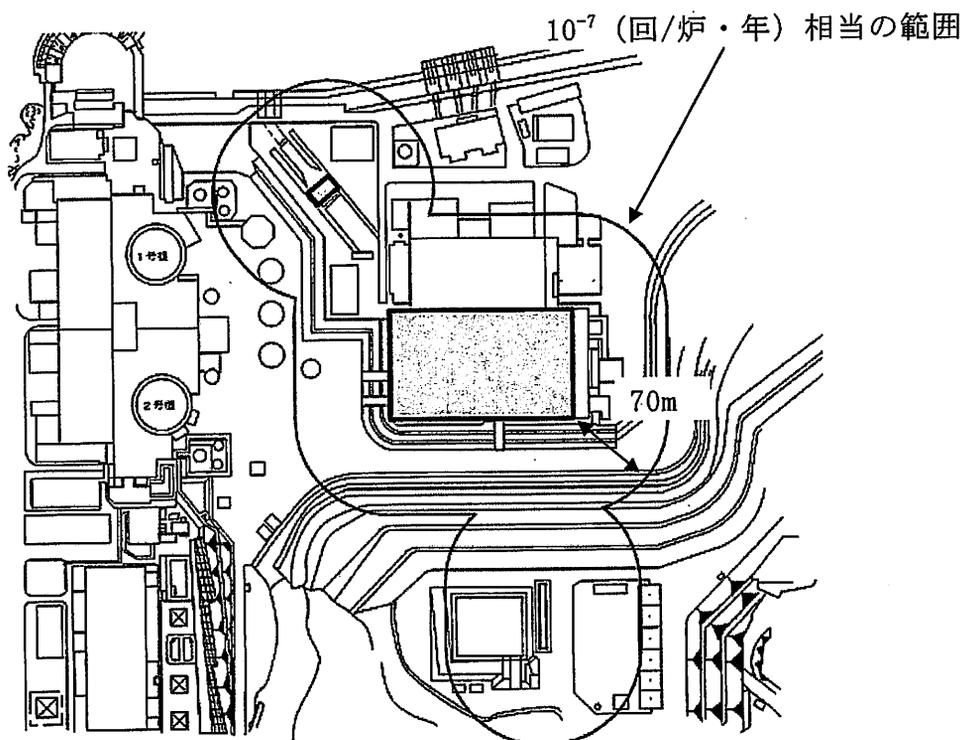
注1: 「平成 23 年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成 24 年 9 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)より。大型固定翼機の事故件数は 0 件のため、0.5 件と仮定する。

注2: 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」

これらの式より、 $P_v=10^{-7}$ となる A を求めると、 $A=0.083(\text{km}^2)$ となる。

2) 離隔距離

求めた標的面積より、別図 4-1 で示す離隔距離 $L=$ 約 70 (m) を算出した。なお、別図 4-1 で示す 10^{-7} (回/炉・年) 相当の範囲については、標的面積 A を含んでいる。



別図 4-1 離隔距離 (70m) の算出イメージ

(2) 火災影響評価

対象となる落下確率評価（有視界飛行方式民間航空機）において考慮している航空機は、小型固定翼機、大型回転翼機及び小型回転翼機である。別表 3-1 に小型固定翼機及び大型回転翼機の諸元を示す。評価条件としては、原子炉施設からの距離は 70 (m)、燃料積載量は大型回転翼機で 3 (m³) 程度であることから、自衛隊機又は米軍機において、原子炉施設からの距離 39 (m)、燃料積載量 35 (m³) 程度で評価していることを踏まえると、有視界飛行方式民間航空機の落下による火災影響評価は、自衛隊機又は米軍機の落下による火災影響評価に包絡される。

別表 3-1 有視界飛行方式民間航空機（大型回転翼機及び小型固定翼機）の落下事故として考慮している機種の諸元

機種	機種	寸法			燃料量
		全長	全幅	全高	
大型回転翼機	AS332L1	約16.3m	約3.4m	約4.9m	約2.9kL
小型固定翼機	セスナ式152	約7.3m	約10.1m	約2.6m	
	セスナ式172K	約8.2m	約11.0m	約2.7m	
	セスナ式172M	約8.2m	約10.9m	約2.7m	
	セスナ式172N	約8.2m	約11.0m	約2.7m	
	セスナ式172Nラム	約8.2m	約11.0m	約2.7m	
	セスナ式172NAT	約7.9m	約10.6m	約2.7m	
	セスナ式172P	約8.2m	約11.0m	約2.7m	約0.3kL
	セスナ式177RG	約8.3m	約10.8m	約2.6m	
	セスナ式208B	約12.7m	約15.9m	約4.5m	
	セスナ式210N	約8.6m	約11.2m	約2.9m	
	セスナ式404	約12.0m	約14.1m	約4.0m	
	パイパー式PA-28-140	約7.2m	約9.1m	約2.2m	
	パイパー式PA-28-161	約7.3m	約10.7m	約2.2m	約0.2kL
	パイパー式PA-28-181	約7.3m	約10.7m	約2.2m	約0.2kL
	ビーチクラフト式A36	約8.4m	約10.2m	約2.6m	
	ビーチクラフト式A36TC	約8.4m	約10.2m	約2.6m	
	ソカタ式TB10	約7.7m	約9.8m	約3.0m	
	ソカタ式TB21	約7.7m	約9.8m	約2.9m	
	ランス'式S-10	約5.4m	約7.3m	約1.5m	
	ピッツ式S-2B	約5.4m	約6.1m	約2.0m	
	ブリテンノーマン式BN-2B-20	約10.9m	約14.9m	約4.2m	
	富士重工式FA-200-180	約8.0m	約9.4m	約2.6m	
	スリングスビー式T67MK II	約7.5m	約10.6m	約2.5m	約0.2kL
ガルフストリームコマンド'ー式695	約13.1m	約15.9m	約4.6m	約1.8kL	

※「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）、航空事故調査報告書等より作成

評価に用いた設定値について

(1) 建屋外壁の許容温度について

許容温度 : 200 (°C) ¹⁾

(2) 重油タンクの許容温度について

許容温度 (自然発火点温度) : 約240 (°C) ²⁾

(3) 航空機の仕様について

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機		
		KC-767	F-15	UP-3D
想定した機種	747-400	KC-767	F-15	UP-3D
燃料の種類	Jet A-1- +灯油	JP-4	JP-4	JP-4
燃料の最大積載量 (m ³)	216.84 ³⁾	145.03 ⁵⁾	14.87 ⁷⁾	34.84 ⁹⁾
燃料タンクの投影 面積 (m ²)	700 ⁴⁾	405.2 ⁶⁾	44.6 ⁸⁾	86.5 ¹⁰⁾

(4) 燃料の物性値について

項目	民間航空機	自衛隊機又は米軍機
輻射発散度 (Rf)	50×10 ³ (W/m ²) ¹¹⁾	58×10 ³ (W/m ²) ¹⁴⁾
質量低下速度 (M)	0.039 (kg/m ² ・s) ¹²⁾	0.051 (kg/m ² ・s) ¹⁵⁾
密度 (ρ)	840 (kg/m ³) ¹³⁾	760 (kg/m ³) ¹⁵⁾
燃焼速度 (v = M/ρ)	4.64×10 ⁻⁵ (m/s)	6.71×10 ⁻⁵ (m/s)

(注釈)

- 1) 原田和典, 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
- 2) 石油元売り会社の製品安全データシートに記載の値
- 3) ボーイング社ホームページ “Technical Characteristics Boeing 747-400” に記載の値
- 4) ボーイング社ホームページ資料「747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より、主翼、主翼と交差する胴体部及び尾翼面積が燃料タンク面積と同等と想定し、これらの面積を算出した値
- 5) 世界の航空機年鑑2012-2013に記載の値及び燃料密度から算出した値。
- 6) 航空ジャーナル世界の軍用機1986に記載の機体図面より、燃料タンクの配置及び大きさを想定し、これらの面積を算出した値
- 7) 航空ジャーナル2月号増刊 F-15イーグル (航空ジャーナル社 昭和55年2月5日発)

- 行)
- 8) 航空ジャーナル1978別冊F-15イーグル(昭和53年3月5日発行)及び文献7)に記載の機体図面より、燃料タンクの配置及び大きさを想定し、これらの面積を算出した値。
 - 9) 米海軍資料 STANDARD AIRCRAFT CHARACTERISTICS P-3C UPDATE II (NAVAIR 00-110 AP3-4, MAY 1984)
 - 10) 世界航空機年鑑2012-2013(酣燈社 2013年4月2日発行)及び文献9)に記載の機体図面より、燃料タンクの配置及び大きさを想定し、これらの面積を算出した値。
 - 11) 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(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)」の附録Bにおける灯油の値
 - 12) NUREG-1805における灯油の値
 - 13) ASTM D1655-12aにおけるJet A-1の値
 - 14) 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(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)」の附録Bにおけるガソリン・ナフサの値
 - 15) 「THE SFPE HANDBOOK OF Fire Protection Engineering FOURTH EDITION」のJP-4の値

火災影響評価でのカテゴリ等を踏まえた伊方発電所3号炉における航空機落下確率評価結果

(回/炉・年)

1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故		合計	
① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		③ 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故※2			④ 基地－訓練空域間往復時の落下事故
			③-1 空中給油機等、高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故	③-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機の落下事故		
—※1	8.77×10^{-10}	1.35×10^{-8}	2.45×10^{-9}	2.12×10^{-8}	$約 6.1 \times 10^{-8}$	
			2.36×10^{-8}			
			4.63×10^{-8}			

※1：発電所は、滑走路方向に対して±60° 扇型区域から外れている。

※2：訓練空域外を飛行中の落下事故

10. 伊方発電所における航空機落下確率評価で考慮する条件

伊方3号炉における航空機落下確率については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成21・06・25原院第1号）に基づき評価を実施している。本評価で考慮する条件について、以下に示す。

(1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

a. 飛行場での離発着時における落下事故

伊方3号炉は、別紙-1に示すとおり、滑走路方向に対して±60°扇型区域から外れているため評価対象外としている。

b. 航空路を巡航中の落下事故

伊方3号炉上空には、別紙-2に示す評価対象航空路が存在する。

(2) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

a. 自衛隊機又は米軍機の訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故

伊方3号炉は、別紙-2に示すとおり、自衛隊及び米軍の訓練空域外である。

b. 基地-訓練空域間を往復時の落下事故

伊方3号炉は、別紙-2に示すとおり、自衛隊機及び米軍機の想定飛行範囲内に存在する。

(3) 評価条件

a. 標的面積

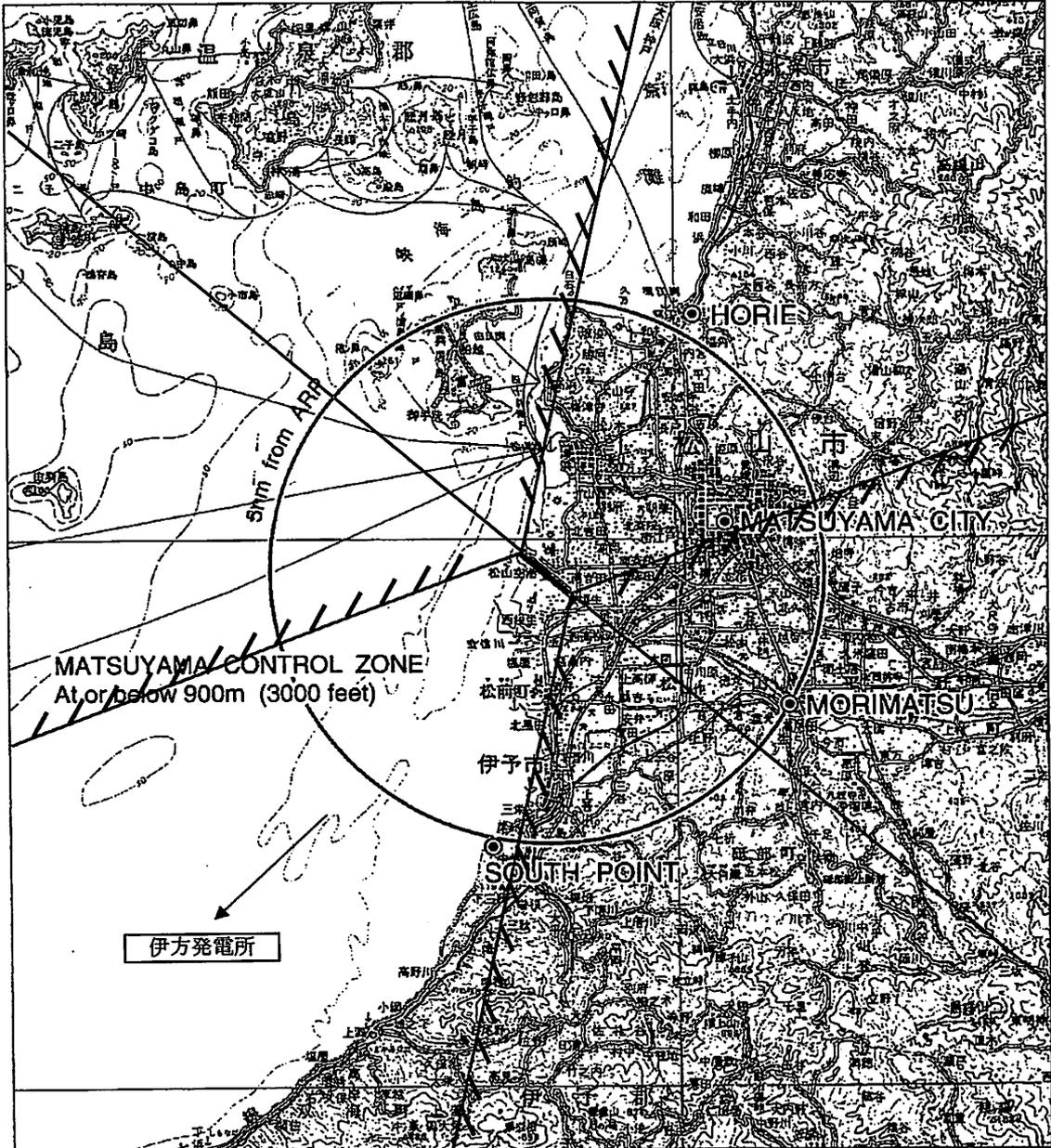
伊方3号炉の標的面積を別紙-3に示す。

b. 延べ飛行距離

延べ飛行距離を別紙-4に示す。

AIP JAPAN
RJOM / MATSUYAMA

Visual REP



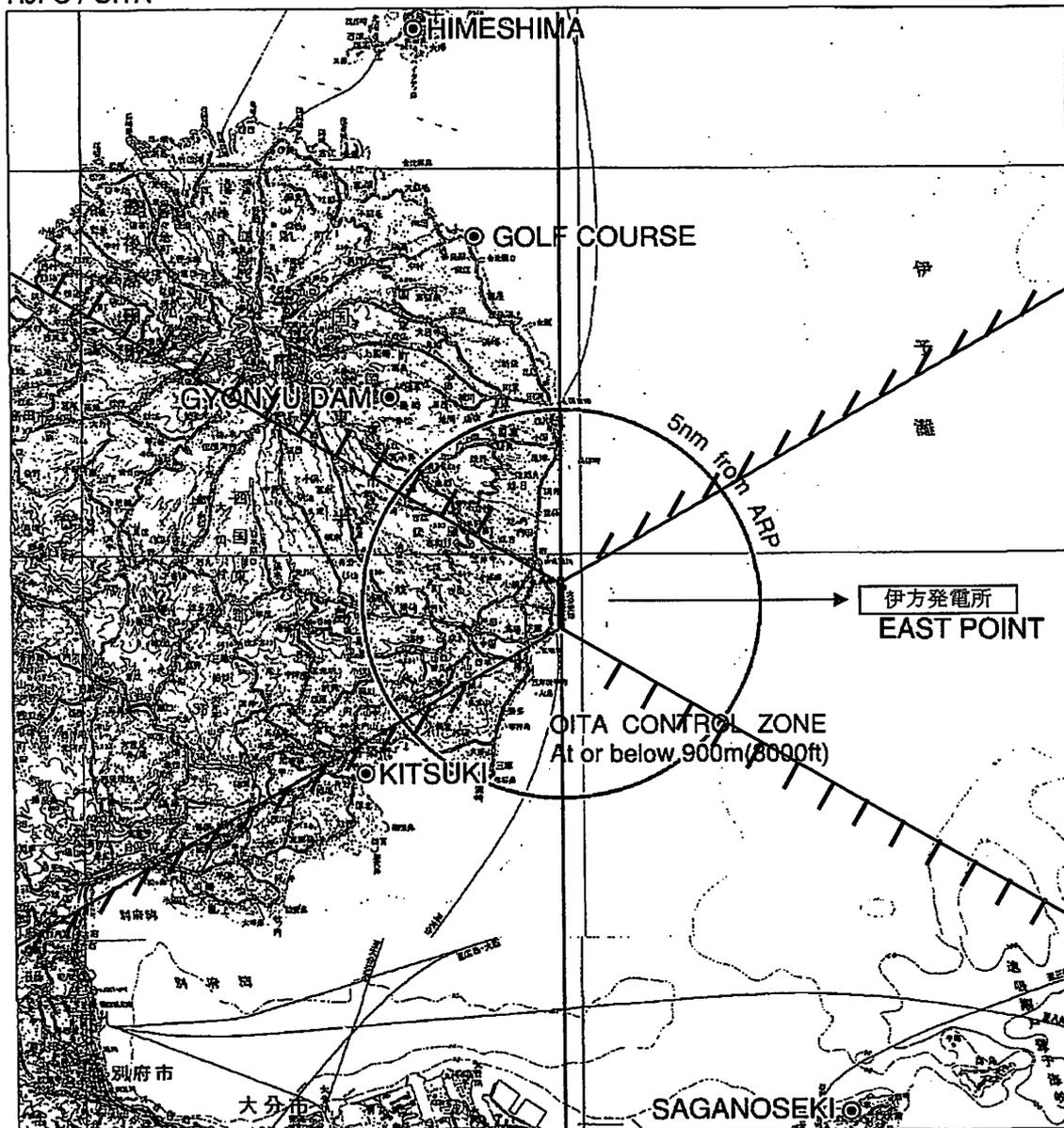
Call sign	BRG / DIST from ARP	Remarks
堀江 Horie	033°/5.4NM	堀江港 Horie harbor
松山シティー Matsuyama City	076°/3.4NM	松山城 Matsuyama castle
森松 Morimatsu	124°/5.0NM	森松町重信橋 Shigenobu bridges in Morimatsu cho
サウスポイント South Point	199°/5.1NM	伊予市南部森川河口 Mori river-mouth in the southern part of Iyo city

53-9

25/4/83

AIP JAPAN
RJFO / OITA

Visual REP

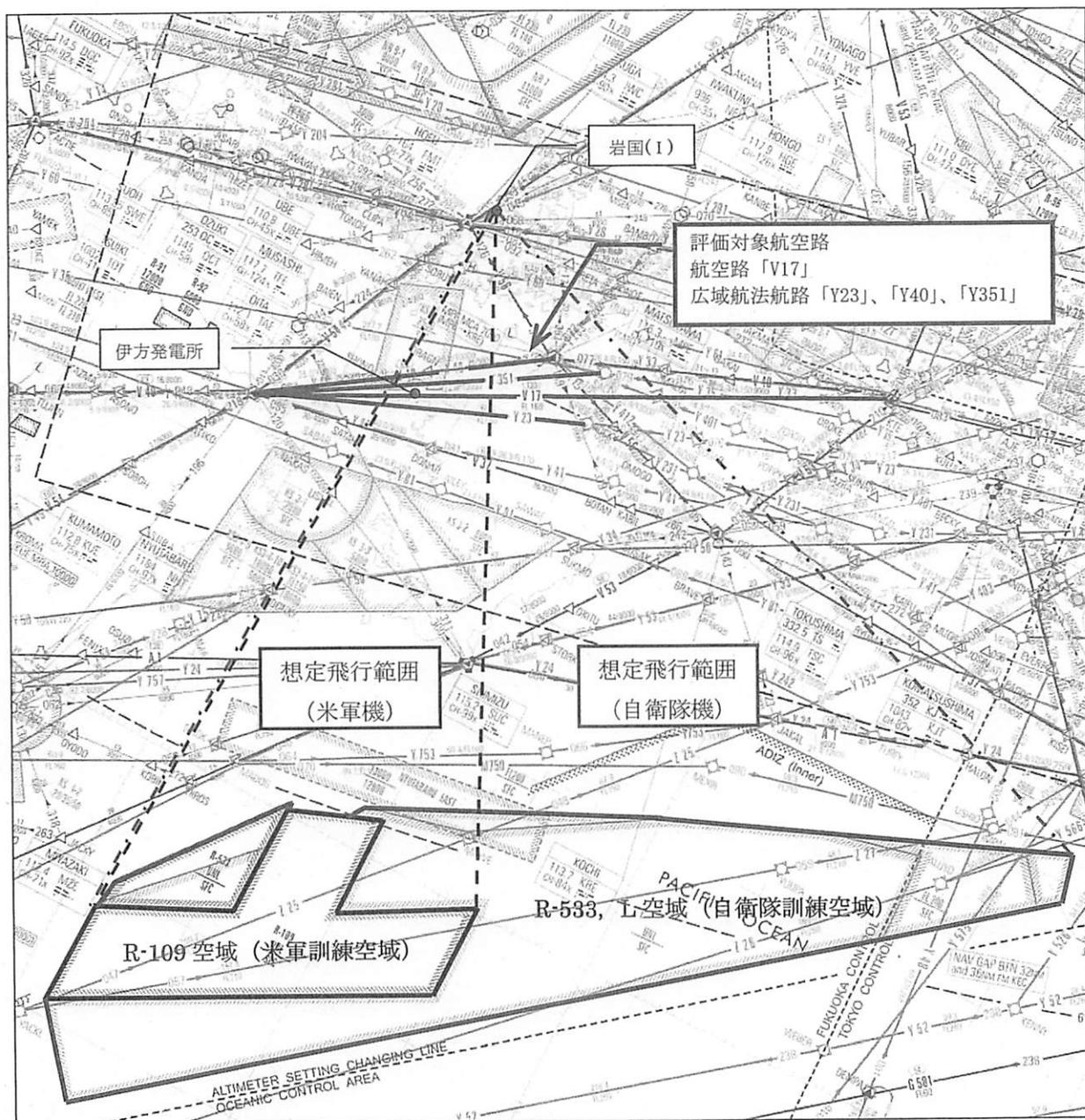


Call sign	BRG / DIST from ARP	Remarks
佐賀の関 Saganoseki	159°/15NM	精錬所煙突 (2本) (Two) Chimney
杵 築 Kitsuki	240°/6.8NM	八坂川河口 River-mouth (The Yasaka)
姫 島 Himeshima	351°/15NM	島 Island
イーストポイント East point	090°/10NM	海上 Over the sea
ゴルフコース Golf course	351°/9.5NM	ゴルフ場 Golf course
行入ダム Gyonyu dam	326°/7NM	ダム Dam

(EFF : 25 OCT 2007)

76-8

25/10/07



※ 出典：AIP JAPAN エンルートチャート ENR6.2 (7 MAR 2013) (一部加筆)

航空機落下確率評価に係わる標的面積

(km²)

	原子炉格納施設	原子炉建屋 (注5、6)	原子炉補助建屋 (注6、7)	中央制御室	屋外タンク (注3、4)	海水ポンプ 設置エリア	合計	標的面積
伊方3号炉	(注1)	5.877E-03	4.970E-03	(注2)	1.519E-04	1.911E-04	1.119E-02	0.012

- (注1) : 3号炉原子炉格納施設は原子炉建屋内に位置している。
 (注2) : 3号炉の中央制御室は原子炉補助建屋内に位置している。
 (注3) : 補助給水タンク(3号炉)及び重油タンクが該当する。
 (注4) : 補助給水タンクは、原子炉建屋上に設置されているため、その面積は原子炉建屋の面積に含まれている。
 (注5) : 使用済燃料ピットは、3号炉は原子炉建屋内に位置している。
 (注6) : 屋内に設置されている安全系の機器は原子炉建屋または原子炉補助建屋にある。
 (注7) : ディーゼル発電機は原子炉補助建屋内に位置している。

日本国機の運航距離

- ・ 計算に用いる数値は、「航空輸送統計年報 第1表 総括表」の次の値とする。
日本国機の運航距離は、国内便のみの定期(幹線、ローカル線)＋不定期の値。
日本国機の国際便は、日本から海外までの距離が記載されており、日本国内での運航距離ではない為、考慮しない。
- ・ 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ない。
- ・ ただし、日本国機の国際便、外国機の落下事故も日本国内で落下した場合は評価対象とする。

	日本国機の運航距離 (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