

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る説明書

（その 2：耐外部火災設計）

2020 年 2 月 3 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

大洗研究所高速実験炉部

目 次

1. 要求事項の整理
2. 要求事項への適合性
 - 2.1 基本方針
 - 2.2 耐外部火災設計
 - 2.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第 6 条）への適合性説明

(別紙)

別紙 1 : 外部火災の影響評価

1. 要求事項の整理

試験炉設置許可基準規則第6条における要求事項等を第1.1表に示す。本要求事項は、新規制基準における追加要求事項に該当する。

第1.1表 試験炉設置許可基準規則第6条における要求事項及び本申請における変更の有無 (1/2)

要求事項	変更の有無
<p>1 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none">第6条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等への措置を含む。第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等から適用されるものをいう。第1項に規定する「想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないもの」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として試験研究用等原子炉施設で生じ得る環境条件において、その設備が有する安全機能が達成されることをいう。	有

第 1.1 表 試験炉設置許可基準規則第 6 条における要求事項及び本申請における変更の有無 (2/2)

要求事項	変更の有無
<p>2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 2 項に規定する「重要安全施設」については、「水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計審査指針」（平成 3 年 7 月 18 日原子力安全委員会決定）の「添付 水冷却型試験研究用原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する基本的な考え方」の「4. (1) 自然現象に対する設計上の考慮」に示されるものとする。水冷却型研究炉以外の炉型についても、これを参考とすること。 第 2 項に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象」とは、対象となる自然現象に対応して、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果、最新知見等を参考にし、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。 第 2 項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。 	有
<p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（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。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 3 項は、設計基準において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設、設備等への措置を含む。 第 3 項に規定する「試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等をいう。なお、上記の「航空機落下」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 14・07・29 原院第 4 号（平成 14 年 7 月 30 日原子力安全・保安院制定））等に基づき、防護設計の要否について確認する。 	有

2. 要求事項への適合性

2.1 基本方針

安全施設は、想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災が発生した場合において、また、敷地及びその周辺において想定される航空機落下、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害に対して、その安全機能の重要度に応じて、必要な安全機能を損なわないように設計する。重要安全施設については、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して、適切に組み合わせるものとする。

「研究炉の重要度分類の考え方」を参考に、その機能、構造及び動作原理を考慮し、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある施設として、以下の施設を外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設とする（第 2.1.1 表参照）。なお、耐竜巻設計、耐降下火砕物設計、耐外部火災設計においては、これらの重要安全施設を竜巻防護施設、降下火砕物防護施設、外部火災防護施設とする。これらの重要安全施設以外の安全施設は、竜巻、火山の影響及び外部火災（森林火災及び近隣工場等の火災）により損傷し、安全機能を損なった場合にあっても、原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止することができることから、影響評価の対象とはしない（損傷が発生した場合には、代替措置や修復等により対応）。

(i) クラス 1

(ii) クラス 2 のうち、周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えることを防止するための安全機能を有し、特に自然現象の影響を受けやすく、かつ、代替手段によってその機能の維持が困難であるか、又はその修復が著しく困難な構築物、系統及び機器（「過度の放射線被ばくを与えるおそれのある」とは、安全機能の喪失による周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり 5mSv を超えることをいう。）

第 2. 1. 1 表(1) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系
P S - 1	原子炉冷却材バウンダリ機能	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。）	
	炉心形状の維持機能	① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体 (A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置	

第 2. 1. 1 表(2) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系*
MS-1	原子炉の緊急停止及び未臨界維持機能	① 制御棒 ② 制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管 ③ 後備炉停止制御棒 ④ 後備炉停止制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管	① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体 (A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置
	1次冷却材漏えい量の低減機能	① 原子炉容器 1) リークジャケット ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の配管(外側)又はリークジャケット ③ 1次主冷却系 1) 逆止弁 ④ 1次補助冷却系 1) サイフォンブレイク弁 ⑤ 1次予熱室素ガス系 1) 仕切弁	① 関連するプロセス計装(ナトリウム漏えい検出器)
	原子炉停止後の除熱機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプポニーモータ 2) 逆止弁 ② 2次主冷却系 1) 主冷却機(主送風機を除く。)	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ③ 2次主冷却系、2次補助冷却系、2次ナトリウム純化系及び2次ナトリウム充填・ドレン系 1) 冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。)
	放射性物質の閉じ込め機能	① 格納容器 ② 格納容器バウンダリに属する配管・弁	
	工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	① 原子炉保護系(スクラム) ② 原子炉保護系(アイソレーション)	① 関連する核計装 ② 関連するプロセス計装
	安全上特に重要な関連機能	① 中央制御室 ② 非常用ディーゼル電源系(MS-1に関連するもの) ③ 交流無停電電源系(MS-1に関連するもの) ④ 直流無停電電源系(MS-1に関連するもの)	① 関連する補機冷却設備

* : 上記関連系は、当該系と同位の重要度を有するものとする。

第 2. 1. 1 表 (3) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系
PS-2	原子炉冷却材 バウンダリに 直接接続されていない ものであって、 放射性物質を 貯蔵する機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池	
	燃料を安全に 取り扱う機能	① 核燃料物質取扱設備	
MS-2	燃料プール水 の保持機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却池 2) 水冷却浄化設備のうち、サイフォンブレイク弁	
	事故時のプラント状態 の把握機能	① 事故時監視計器の一部	
	安全上重要な関連機能	① 非常用ディーゼル電源系 (MS-1に属するものを除く。) ② 交流無停電電源系 (MS-1に属するものを除く。) ③ 直流無停電電源系 (MS-1に属するものを除く。)	

2.2 耐外部火災設計【外部火災の影響評価：別紙1】

2.2.1 外部火災防護施設

安全施設は、想定される近隣工場等の火災に対して、その安全機能の重要度に応じて、原子炉施設の安全性を損なわないように設計する。なお、耐外部火災設計にあつては、安全施設の外壳施設を評価対象とする場合がある。また、外部火災防護施設については、想定される近隣工場等の火災に対して、熱的影響評価を行い、消火活動等の措置に期待しない場合にあつても、外壳施設又は離隔による防護等により、その安全機能を損なわないように設計する。

2.2.2 熱的影響評価における外部火災の想定等

(1) 森林火災

大洗研究所（南地区）敷地境界に発火点を設け、敷地内の森林を延焼し、熱的影響評価対象施設に迫る火災を想定し、熱的影響評価を実施するものとする。なお、敷地内にあつては、必要に応じて、防火帯又は防火帯相当のエリアを設けるものとする。また、熱的影響評価に当たっては、植生として、敷地内にスギ、ヒノキやマツが分布していることを考慮するとともに、火災中の風速として、過去10年間（2004年～2013年）の水戸地方気象台の観測データの最大風速17.4m/s（2013年10月）に、地形及び樹林の影響を踏まえて0.3を乗じた5.22m/sを使用する。

(2) 近隣工場等の火災（近隣の作業施設の火災・爆発）

大洗研究所（南地区）敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設は存在しないため、石油コンビナートの火災・爆発による損傷の防止は、設計上考慮しない。

危険物貯蔵施設等の火災・爆発にあつては、危険物貯蔵施設の危険物屋外タンクや高压ガス貯蔵設備（15t以上の液化石油ガス及び1t以上の可燃性の高压ガスを有する施設）における火災・爆発を想定する。また、危険物を搭載した車両の火災・爆発にあつては、敷地に隣接する国道51号線において、危険物を搭載した車両による火災・爆発を想定する。

上記の他、ここでは、航空機が原子炉施設周辺で落下確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ落下し、火災が生じることも想定し、熱的影響評価を実施するものとする。

2.2.3 熱的影響評価における許容限界

熱的影響評価における許容限界は、以下のとおりとする。

(1) 森林火災

(i) 森林境界（想定される発火点から防火帯又は防火帯相当のエリアまでの経路において、原子炉施設に最も近接する地点）における植生等から評価される火災輻射強度に対して、熱的影響評価対象施設の壁温度について、200℃を許容限界とし、当該壁温度が、200℃を下回ることを確認することを基本とする。なお、許容限界とした壁温度（200℃）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、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度として設定した。

(2) 近隣工場等の火災

- (i) 危険物屋外タンクにおける燃料油量等から評価される火炎輻射強度に対して、熱的影響評価対象施設の壁温度について、200℃を許容限界とし、当該壁温度が、200℃を下回ることを確認することを基本とする。
- (ii) 高圧ガス貯蔵設備における可燃性ガス貯蔵量等から評価される危険限界距離を許容限界とし、熱的影響評価対象施設が当該距離を超える離隔距離を有するものとする。
- (iii) 危険物を搭載した車両の火災・爆発においては、消防法で定められた公道を通行可能な上限量 (30m³) のガソリンが搭載されたタンクローリーを対象とし、評価される火炎輻射強度に対して、熱的影響評価対象施設の壁温度について、200℃を許容限界とし、当該壁温度が、200℃を下回ることを確認することを基本とする。また、液化天然ガス (LNG) 及び液化石油ガス (LPG) が積載された最大クラスのタンクローリー (積載量: 15.1t) を対象とし、評価される危険限界距離を許容限界とし、熱的影響評価対象施設が当該距離を超える離隔距離を有するものとする。
- (iv) 航空機カテゴリ毎に選定した航空機における燃料油量等から評価される火炎輻射強度に対して、熱的影響評価対象施設の壁温度について、200℃を許容限界とし、当該壁温度が、200℃を下回ることを確認することを基本とする。

2.2.4 設計における留意事項

(1) 外部火災におけるばい煙による波及的影響

安全施設については、必要に応じて、ばい煙の除去に係る措置を講じられるものとし、ばい煙による波及的影響 (閉塞及び目詰まり) によって、その安全機能の重要度に応じて、必要な安全機能を損なわないものとする。また、中央制御室については、その居住環境を維持できるものとする。なお、敷地内外において、多量のばい煙が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合には、原子炉を停止する。また、ばい煙を除去するために必要な措置 (除去等) を講じる。外部火災発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。

(2) 外部火災における消火活動

大洗研究所には、24 時間常駐の自衛消防隊を組織し、敷地内の森林を延焼して原子炉施設に接近する火災が発生した場合にあっては、近隣市町村消防本部と連携して、その消火活動に従事するものとする。また、敷地内において、自衛消防隊又は近隣市町村消防本部による消火活動を必要とする火災が発生した場合には、必要に応じて原子炉を停止する。

2.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第6条）への適合性説明

（外部からの衝撃による損傷の防止）

第六条 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される試験研究用等原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（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。

適合のための設計方針（耐外部火災設計）

外部火災防護施設については、想定される近隣工場等の火災に対して、熱的影響評価を行い、消火活動等の措置に期待しない場合にあっても、外殻施設又は離隔による防護等により、その安全機能を損なわないように設計する。熱的影響評価における外部火災として、「大洗研究所（南地区）敷地境界に発火点を設け、敷地内の森林を延焼し、熱的影響評価対象施設に迫る火災」、「危険物貯蔵施設の危険物屋外タンクや高圧ガス貯蔵設備（15t以上の液化石油ガス及び1t以上の可燃性の高圧ガスを有する施設）における火災・爆発」、「敷地に隣接する国道51号線における危険物を搭載した車両による火災・爆発」を想定する。また、航空機が原子炉施設周辺で落下確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ落下し、火災が生じることも想定する。火災にあっては、評価した火炎輻射強度に対して、熱的影響評価対象施設の壁温度について、 200°C を許容限界とし、当該壁温度が、 200°C を下回ることを確認することを基本とする。爆発にあっては、評価した危険限界距離を許容限界とし、熱的影響評価対象施設が当該距離を超える離隔距離を有することを基本とする。なお、安全施設については、必要に応じて、ばい煙の除去に係る措置を講じられるものとし、ばい煙による波及的影響（閉塞及び目詰まり）によって、その安全機能の重要度に応じて、必要な安全機能を損なわないものとする。また、中央制御室については、その居住環境を維持できるものとする。また、敷地内外において、多量のばい煙が原子炉施設に到達するおそれが確認された場合には、原子炉を停止するとともに、ばい煙を除去するために必要な措置（除去等）を講じる。外部火災発生時において原子炉施設外で想定される外部電源喪失等に対しては、原子炉保護系の作動等により、原子炉を自動停止するものとする。さらに、大洗研究所には、24時間常駐の自衛消防隊を組織し、敷地内の森林を延焼して原子炉施設に接近する火災が発生した場合にあっては、近隣市町村消防本部と連携して、その消火活動に従事する。敷地内において、自衛消防隊又は近隣市町村消防本部による消火活動を必要とする火災が発生した場合には、必要に応じて原子炉を停止する。

外部火災の影響評価

1. 概要

外部火災防護施設は、想定される外部火災が発生した場合において、安全機能を損なわないように設計する。外部火災防護施設は、安全施設のうち、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある設備・機器等とする。外部火災防護施設を第 1.1 表に示す。ただし、耐外部火災設計にあつては、外部火災防護施設の外殻施設を評価対象とする。評価対象施設を以下に示す（第 1.1 図参照）。評価部位は、これらの建物の外壁（コンクリート）とし、200℃を許容限界とする。なお、主冷却機のうち屋外部分及び補機冷却設備のうち非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔については、評価対象施設である主冷却機建物屋上に位置すること（距離：大）、また、不燃性材料（金属）で構成される（許容温度：大）ことから、主冷却機建物に対する外部火災の影響評価を実施することで代表させることとした。

- (1) 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
- (2) 主冷却機建物

第 1.1 表(1) 外部火災防護施設及び外殻施設

機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
原子炉冷却材バウンダリ機能	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。)		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
炉心形状の維持機能	① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体(A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物

第 1.1 表 (2) 外部火災防護施設及び外殻施設

機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
原子炉の緊急停止及び未臨界維持機能	① 制御棒 ② 制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管 ③ 後備炉停止制御棒 ④ 後備炉停止制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管	① 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ② 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ③ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体 (A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
1次冷却材漏えい量の低減機能	① 原子炉容器 1) リークジャケット ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の配管(外側)又はリークジャケット ③ 1次主冷却系 1) 逆止弁 ④ 1次補助冷却系 1) サイフォンブレイク弁 ⑤ 1次予熱室素ガス系 1) 仕切弁	① 関連するプロセス計装(ナトリウム漏えい検出器)	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
原子炉停止後の除熱機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプポニーモータ 2) 逆止弁 ② 2次主冷却系 1) 主冷却機(主送風機を除く。)	① 原子炉容器 1) 本体 ② 1次主冷却系、1次補助冷却系及び1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ③ 2次主冷却系、2次補助冷却系、2次ナトリウム純化系及び2次ナトリウム充填・ドレン系 1) 冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。)	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物 ② 主冷却機建物 ※ 主冷却機のうち屋外部分を除く。
放射性物質の閉じ込め機能	① 格納容器 ② 格納容器バウンダリに属する配管・弁		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	① 原子炉保護系(スクラム) ② 原子炉保護系(アイソレーション)	① 関連する核計装 ② 関連するプロセス計装	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
安全上特に重要な関連機能	① 中央制御室 ② 非常用ディーゼル電源系(MS-1に関連するもの) ③ 交流無停電電源系(MS-1に関連するもの) ④ 直流無停電電源系(MS-1に関連するもの)	① 関連する補機冷却設備	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物 ② 主冷却機建物 ※ 補機冷却設備のうち、非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔を除く。

第 1.1 表(3) 外部火災防護施設及び外殻施設

機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
原子炉冷却材バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
燃料を安全に取り扱う機能	① 核燃料物質取扱設備		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
燃料プール水の保持機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却池 2) 水冷却浄化設備のうち、サイフォンブレーク弁		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
事故時のプラント状態の把握機能	① 事故時監視計器の一部		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
安全上重要な関連機能	① 非常用ディーゼル電源系 (MS-1 に属するものを除く。) ② 交流無停電電源系 (MS-1 に属するものを除く。) ③ 直流無停電電源系 (MS-1 に属するものを除く。)		① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物 ② 主冷却機建物

2. 外部火災の想定等

(1) 森林火災

大洗研究所（南地区）敷地境界に発火点を設け、敷地内の森林を延焼し、外部火災防護対象施設に迫る火災を想定し、影響評価を実施する。

(2) 近隣工場等の火災（近隣の作業施設の火災・爆発）

(i) 石油コンビナートの火災・爆発

茨城県内で石油コンビナート等特別防災区域に指定されている地区は、鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域のみである。当該区域と原子炉施設までの距離は約 35 km である（第 2.1 図参照）。また、大洗研究所（南地区）敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設は存在しない。したがって、石油コンビナートの火災・爆発は外部火災として想定しない。

(ii) 危険物貯蔵施設等の火災・爆発

大洗研究所（南地区）敷地外 10km 以内の範囲には、石油コンビナート施設以外の産業施設として、危険物貯蔵施設の危険物屋外タンクや高圧ガス貯蔵設備（15t 以上の液化石油ガス及び 1t 以上の可燃性の高圧ガスを有する施設が対象）が存在する（第 2.2 図参照）。ただし、敷地外の危険物屋外タンクについては、敷地内の危険物屋外タンクと比較して、基本的に数量が小さく、かつ、大きな離隔距離を有することから、敷地内の危険物屋外タンクにおいて火災が発生することを想定し、影響評価を実施することで代表させるものとする。したがって、敷地内の危険物屋外タンクの火災及び敷地外の高圧ガス貯蔵設備の爆発を外部火災として想定する。

(iii) 危険物を搭載した車両の火災・爆発

大洗研究所（南地区）敷地に隣接する国道 51 号線において、危険物を搭載した車両（以下「タンクローリー」という。）による火災・爆発を外部火災として想定する。

(iv) 航空機落下による火災

航空機が原子炉施設周辺で落下確率が 10^{-7} 回／炉・年以上になる地点へ落下し、火災が発生することを想定する。



「国土地理院地図（電子国土web）」に加筆

第 2.1 図 大洗研究所と鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域の位置

他事業者の情報が含まれているため、
公開できません。

【高圧ガス貯蔵設備（15t以上の液化石油ガス及び1t以上の可燃性の高圧ガスが対象）】

他事業者の情報が含まれているため、
公開できません。

【危険物屋外タンク】

他事業者の情報が含まれているため、
公開できません。

第 2.2 図 大洗研究所と敷地外の危険物貯蔵施設等の位置（調査時期：2015 年 3 月～4 月）

3. 森林火災に係る影響評価

3.1 発火点の想定

大洗研究所は、敷地境界に沿って道路が敷設されており、発火点は、道路沿いでの人為的行為（火入れ、たばこ、交通事故等）を想定するものとし、原子炉施設から敷地境界までの距離が短く、かつ、障壁となる他施設を有しない位置を発火点とした。発火点を第3.1.1図に示す。



「国土地理院地図（電子国土web）」に加筆

第3.1.1図 発火点及び延焼経路の想定

3.2 影響評価に係る火災諸元の設定

影響評価に係る火災諸元の設定には、森林火災シミュレーション解析コード FARSITE (Fire Area Simulator) で使用されている評価式を用いる。ここでは、地表を伝播する火災（以下「地表火」という。）及び樹冠を伝播する火災（以下「樹冠火」という。）を対象とし、以下の項目について評価する。影響評価に係る火災諸元の設定にあつては、発火点から原子炉施設に向けて、風が吹くものとする。風速については、過去 10 年（2004～2013 年）の水戸地方気象台の観測データを調査し、最大風速（10 分間平均値／測定高さ約 15m）である 17.4m/s（2013 年）を踏まえた上で、火災中での風速は地形及び樹林の影響で上空の風速よりも遅くなること、また、原子炉施設周辺の地形及び樹林は、「平地及びゆるやかな斜面かつ樹木があまり密集していないという条件」であることを考慮し、係数 0.3 を乗じた 5.22m/s を火災中の風速として使用する（別添 1 参照）。また、敷地内の植生は、主にスギ、ヒノキやマツ等で構成される。原子炉施設の周辺に、マツが多く分布していることを踏まえ、マツの物性値等を使用する。なお、マツの物性値で評価した火線強度や火炎輻射強度は、スギやヒノキの物性値を用いた場合に比較して大きい。

火災諸元の設定を第 3.2.1 表に示す。

- ・ 延焼速度
- ・ 火線強度
- ・ 火炎長
- ・ 単位面積当たりの熱量
- ・ 火炎輻射強度
- ・ 樹冠火発生有無*

*： 樹冠火は、木の樹冠（枝葉）が燃えるものであり、その発生の大部分が地表火から誘発される。そのため、樹冠火の発生は、地表火の火線強度に対して閾値を有する。ここでは、樹冠火発生の閾値を算出し、地表火の火線強度と比較することで樹冠火の発生有無を評価する。

第 3.2.1 表(1) 火災諸元の設定

【地形等に関する条件】

項目	記号	単位	値	備考
火炎中の風速	U	m/s	5.22	気象観測データ/ 実地調査結果
延焼経路傾斜	ϕ	°	2.178	実地調査結果

【植生（マツ）に関する条件】

項目	記号	単位	値	備考
樹高	H	m	12	実地調査結果
樹冠高	CBH	m	6	実地調査結果
堆積物厚さ	δ	m	0.04	実地調査結果
密度	ρ_p	kg/m ³	516.19	文献調査結果 ^{※1}
表面積－体積比	σ	cm ⁻¹	70.44	文献調査結果 ^{※1}
限界含水率	Mx	—	0.31	文献調査結果 ^{※1}
シリカ以外の無機含有率 (有効無機含有率)	S _e	—	0.024	文献調査結果 ^{※1}
無機含有率	S _T	—	0.031	文献調査結果 ^{※1}
単位面積当たりの乾燥質量	w ₀	kg/m ²	0.5	文献調査結果 ^{※1}
含水率	Mf	—	0.010	文献調査結果 ^{※1}
低位発熱量	h	kJ/kg	19958	文献調査結果 ^{※1}
葉の含水率	M	—	0.85	文献調査結果 ^{※2}

※1：「後藤義明他、“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— “、日林誌、87(3)2005」より引用

※2：「Forestry Canada Fire Danger Group, “Development and structure of the Canadian forest fire behavior prediction system” Ottawa,1992」より引用

第 3.2.1 表(2) 火災諸元の設定

【地表火の評価に用いる数値】

項目	記号	単位	値	備考
可燃物中の有機物量	w_n	kg/m ²	0.485	計算値
可燃物の堆積密度	ρ_b	kg/m ³	12.5	計算値
可燃物の堆積密度と比重の比	β	—	0.024	計算値
熱分解速度が最大となる時の β	β_{OP}	—	0.006	計算値
定数 A	A	—	0.307	計算値
最大熱分解速度	Γ'_{max}	/min	15.613	計算値
理想熱分解速度	Γ'	/min	9.797	計算値
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	η_M	—	0.922	計算値
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	η_S	—	0.353	計算値
燃焼による単位時間当たりの放出熱量 (火炎輻射強度)	I_R	kJ/min/m ²	30,860	計算値
炎によって加熱される可燃物の割合	ε	—	0.938	計算値
可燃物の加熱に消費される放出熱量の割合	ξ	—	0.074	計算値
単位重量当たりの可燃物が発火するまでに 必要な熱量	Q_{ig}	kJ/kg	606.94	計算値
定数 B	B	—	1.591	計算値
定数 C	C	—	0.001	計算値
定数 E	E	—	0.331	計算値
風による割増し係数	Φ_w	—	34.854	計算値
傾斜による割増し係数	Φ_s	—	0.023	計算値

第 3.2.1 表(3) 火災諸元の設定

【地表火の評価に用いる数値を算出するための計算式※1】

可燃物中の有機物量 : $w_n = w_0(1-S_T)$

可燃物の堆積密度 : $\rho_b = w_0/\delta$

可燃物の堆積密度と比重の比 : $\beta = \rho_b/\rho_p$

熱分解速度が最大となる時の β : $\beta_{op} = 0.20395 \sigma^{-0.8189}$

定数 A : $A = 8.9033 \sigma^{-0.7913}$

最大熱分解速度 : $\Gamma'_{max} = (0.0591 + 2.926 \sigma^{-1.5})^{-1}$

理想熱分解速度 : $\Gamma' = \Gamma'_{max} \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \exp\left(1 - \frac{\beta}{\beta_{op}}\right) \right)^A$

可燃物中の水分による熱分解速度減少係数 : $\eta_M = 1 - 2.59 \left(\frac{M_f}{M_x}\right) + 5.11 \left(\frac{M_f}{M_x}\right)^2 - 3.52 \left(\frac{M_f}{M_x}\right)^3$

可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数 : $\eta_S = 0.174 S_e^{-0.19}$

燃焼による単位時間当たりの放出熱量 (火災放射強度) : $I_R = \Gamma' w_n h \eta_M \eta_S$

炎によって加熱される可燃物の割合 : $\varepsilon = \exp\left(\frac{-4.528}{\sigma}\right)$

可燃物の加熱で消費される放出熱量の割合 :

$$\xi = (192 + 7.9095 \sigma)^{-1} \exp((0.792 + 3.7597 \sigma^{0.5})(\beta + 0.1))$$

単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量 : $Q_{ig} = 581 + 2594 M_f$

定数 B : $B = 0.15988 \sigma^{0.54}$

定数 C : $C = 7.47 \exp(-0.8711 \sigma^{0.55})$

定数 E : $E = 0.715 \exp(-0.01094 \sigma)$

風による割増し係数 : $\Phi_w = C(3.281U)^B \left(\frac{\beta}{\beta_{op}}\right)^{-E}$

傾斜による割増し係数 : $\Phi_s = 5.275 \beta^{-0.3} \tan^2 \Phi$

第 3.2.1 表(4) 火災諸元の設定

【地表火の火災諸元の設定】

項目	記号	単位	値	備考
延焼速度	R_v	m/min	11.548	$R_v = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_w + \Phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}}$
火線強度	I_b	kW/m	1062.413	$I_b = \frac{I_R 12.6 R_v}{60 \sigma}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	1.912	$L_f = 0.0775 I_b^{0.46}$
単位面積当たりの熱量	H_A	kJ/m ²	5,520.132	$H_A = I_b \frac{60}{R_v}$
火炎輻射強度 (反応強度)	I_R	kW/m ²	514.336	$I_R = \frac{1}{60} \Gamma' W_n h \eta_M \eta_S$

【樹冠火の火災諸元の設定】

項目	記号	単位	値	備考
樹冠火発生閾値	I_0	kW/m	2,017.979	$I_0 = (0.010CBH(460+25.9M))^{3/2}$
樹冠火発生有無	—	—	無	$I_0 < I_b$

3.3 影響評価結果

当該発火点より、敷地内の森林が延焼し、原子炉施設に接近する火災を想定する。延焼（火災伝搬）イメージを第3.3.1図に示す。ここでは、円筒火炎モデルを用いて、その延焼による火災進展を想定する。

(1) 火炎到達時間

発火点から森林境界（想定される発火点から防火帯又は防火帯相当のエリアまでの経路において、原子炉施設に最も近接する地点）までの距離は約81.5mである。延焼速度は、約11.5m/minであり、火炎到達時間は約7.1分となる。なお、大洗研究所には、24時間常駐の自衛消防隊を組織し、敷地内の森林を延焼して原子炉施設に接近する火災が発生した場合にあっては、近隣市町村消防本部と連携して、その消火活動に従事するものとし、更なる延焼拡大を防止する。

(2) 防火帯幅

森林境界における火線強度は約1062.4kW/mである。Alexander and Fogartyの手法を用いて求められる最小防火帯幅（火炎の防火帯突破確率が1%以下）は17.4mとなる。原子炉施設にあっては、当該延焼経路において18m以上の防火帯又は防火帯相当のエリアを設ける。

(3) 熱影響

a) 評価方法

評価対象施設の外壁表面温度評価に係るモデル諸元等を第3.3.1表に示す。ここでは、以下のステップで火災が拡大することを想定する。

ステップ①： 発火点において、円筒火炎モデルが火炎到達幅（火炎が森林境界に到達する時間（約7.1分）において、火炎到達幅まで延焼

ステップ②： 円筒火炎モデルが、延焼速度（約11.5m/min）で施設に接近（発火点→森林境界*）

*： 延焼経路を簡略化するため、防火帯又は防火帯相当のエリアの効果を見せず、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物から約78.5m、主冷却機建物から約70.0mに位置する構内道路の外縁を森林境界とする。

ステップ③： 森林境界に到達後、到達地点から約166.1mの距離まで両方向に延焼が拡大（燃焼時間経過後に、円筒火炎モデル1個が両方向に広がることを想定）

当該モデルに基づき、評価対象施設の外壁輻射強度を算出し、一次元非定常熱伝導方程式により評価対象施設外壁表面温度を評価する。

b) 評価結果

評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約44℃であり、許容温度である200℃を下回る。

第 3.3.1 表 (1) 評価対象施設の外壁表面温度評価に係るモデル諸元等

【円筒火炎モデルの諸元の設定】

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	0.637	$R = L_f/3$
拡がり火延焼速度	R_H	m/min	0.322	$R_H = \frac{I_R \xi}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}}$
火炎到達幅	W	m	4.543	$W = 7.1R_H$
円筒火炎モデル数	F	m	3.565	$F = W/2R$
燃焼継続時間	t	s	10.733	$t = H_A/I_R$
火炎奥行係数	D	—	1.621	$D = \frac{R_V t/60}{2R}$

【外壁における輻射強度評価に用いる数値を算出するための計算式】

- 外壁における輻射強度 E (W/m²) : $E = R_f \Phi_t$
 火炎輻射発散度 R_f (W/m²) : $R_f = 0.377I_R$
 形態係数 Φ_t : $\Phi_t = \Phi_i + \Phi_{i+1} + \Phi_{i+2} \dots$

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

$$m = \frac{L_f}{R} \doteq 3, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1+n)^2+m^2, \quad B = (1-n)^2+m^2$$

L_i : 離隔距離 (m)

第 3.3.1 表 (2) 評価対象施設の外壁表面温度評価に係るモデル諸元等

【外壁表面温度を評価するための計算式】

一次元非定常熱伝導方程式
$$: \frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

- α : 温度伝導率 ($\alpha = \lambda / \rho C_p$)
- T : コンクリート温度 (°C)
- x : コンクリート深さ (m)
- C_p : コンクリート比熱 (9,63J/kg/K)
- ρ : コンクリート密度 (2,400kg/m³)
- λ : コンクリート熱伝導率 (1.74W/m/K)

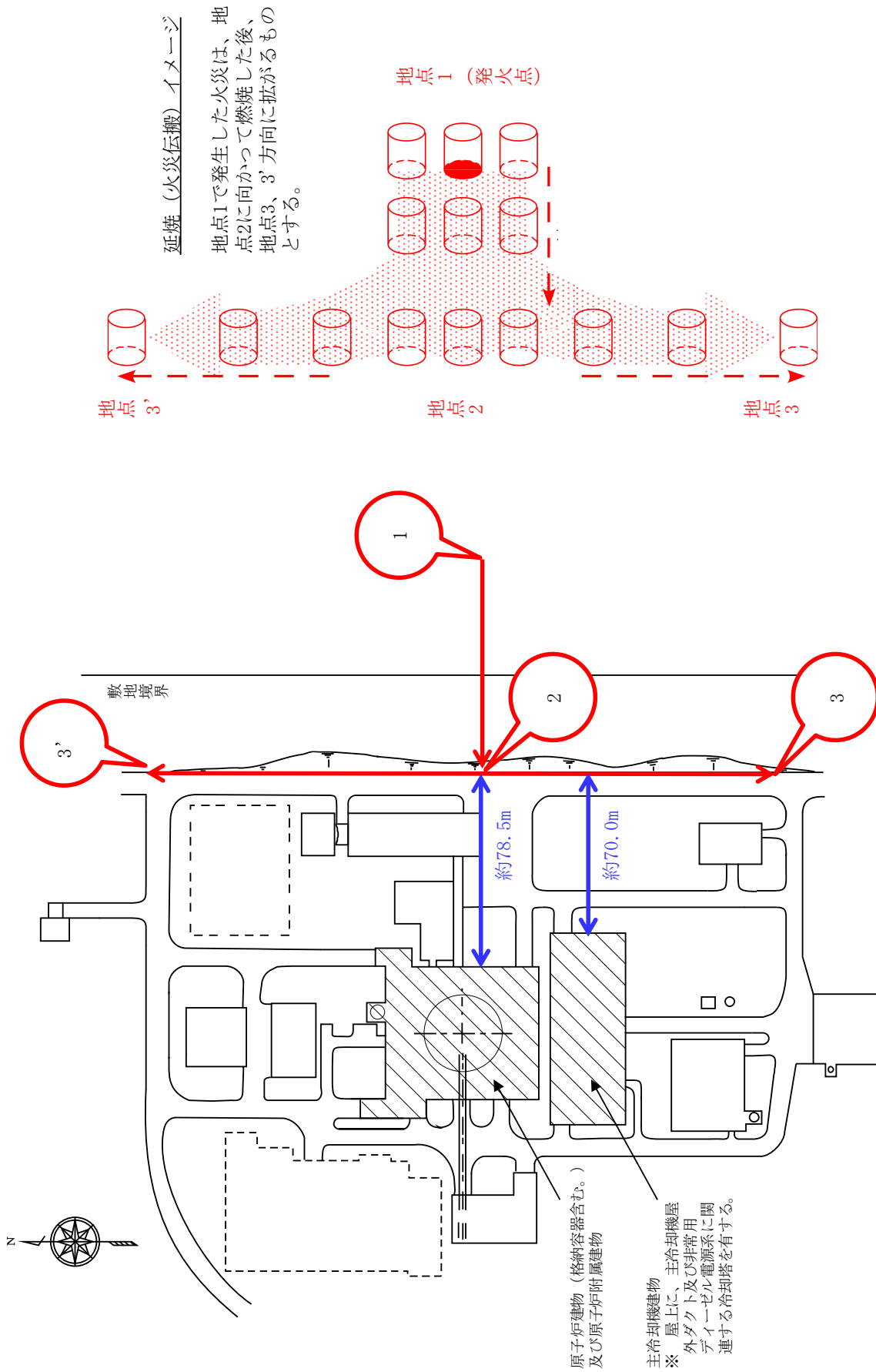
※ 上式について、 $x=0$ の時の境界条件を与えて差分法を用いる。ある時間及び場所 (外表面からのコンクリート深さ) の温度を $T(t, x)$ と表すと、微小時間 k が経過した後の温度は、下式で算出される。なお、コンクリート温度の初期値は、水戸地方気象台の観測データの日最高気温の調査結果 (38.4°C (1997 年 7 月)) を踏まえ、40°C とする (以下、コンクリート温度の計算において同じ)。

$$T(t+k, x) = T(t, x) + \alpha \frac{k}{h^2} [T(t, x+h) - 2T(t, x) + T(t, x-h)]$$

k : 微小時間

h : 微小距離

$$x=0 \text{ の時の境界条件 } E = -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0$$

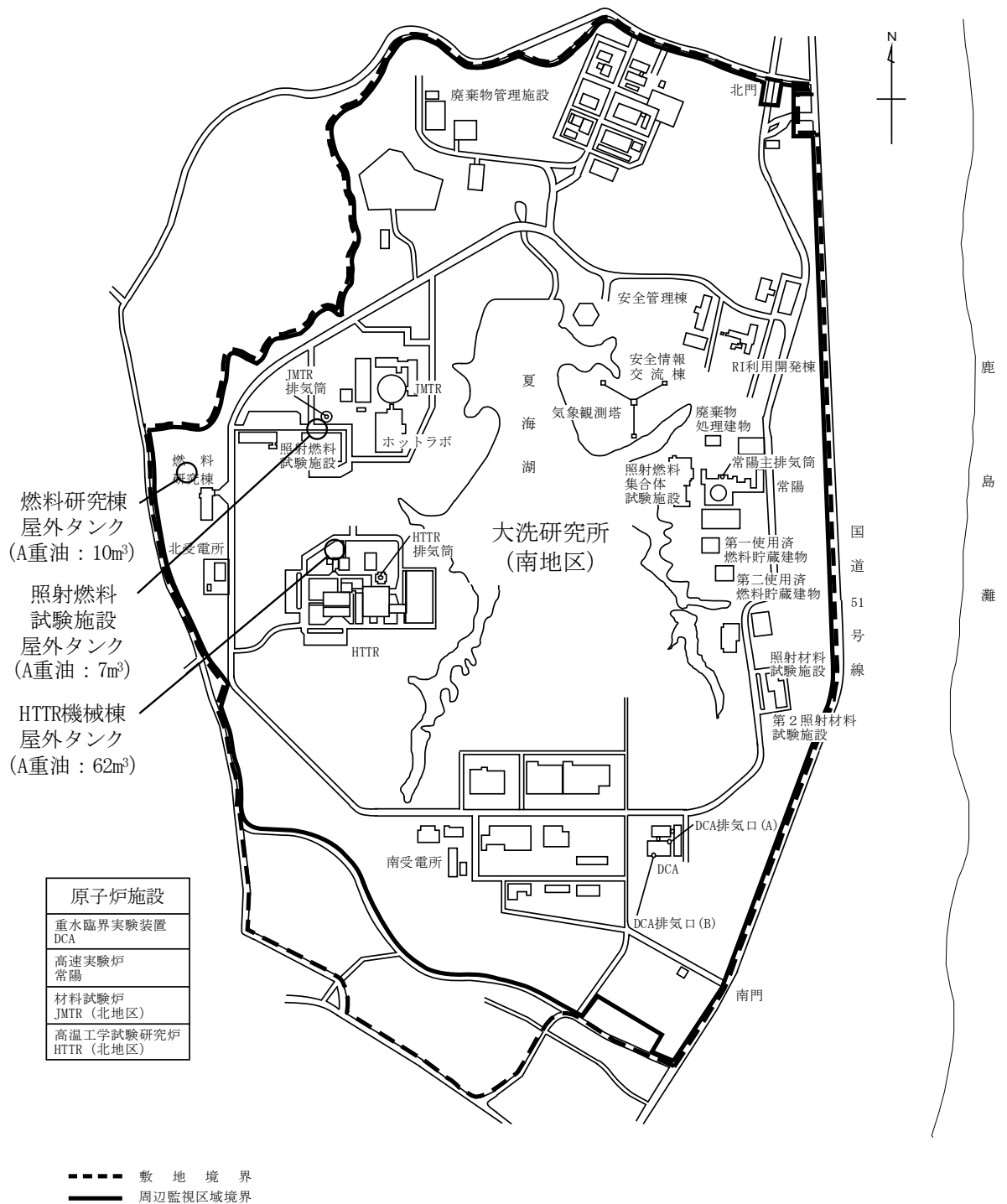


第3.3.1図 延焼（火災伝搬）イメージ

4. 敷地内の危険物屋外タンクにおける火災に係る影響評価

4.1 火災の想定

敷地内には、39 施設の危険物を保有する施設を有する。屋外タンク貯蔵所に該当するものは3 施設である（第 4.1.1 図）。これらの屋外タンク貯蔵所には、A 重油が貯蔵されており、最大容量を有するものは、HTTR 機械棟屋外タンクであること、また、当該タンクは、原子炉施設からの距離が最も小さいことを踏まえ、ここでは、HTTR 機械棟屋外タンクでの火災を想定する。なお、一般取扱所、屋内貯蔵所及び地下タンクについては、火災を想定しても、評価対象施設に対して、直接的に熱輻射が生じないため、本影響評価の対象外とした。



第 4.1.1 図 敷地内の屋外タンク貯蔵所の位置

4.2 影響評価に係る火災諸元の設定

影響評価に係る火災諸元の設定にあたっては、HTTR 機械棟屋外タンクの破損等により A 重油が防油堤内 (8.3m×8.3m) に漏えいし、全面火災が生じることを想定し、以下の項目について評価する。なお、A 重油の貯蔵量は、消防法において許可を有する貯蔵容量を超えない運用上の最大量とする。また、ここでは、防油堤の内面積を円筒の底面と仮定し、火炎長を燃焼半径の 3 倍とした円筒火炎モデルを使用するものとする。火災諸元の設定を第 4.2.1 表に示す。

- ・ 燃焼半径
- ・ 火炎長
- ・ 燃焼速度
- ・ 燃焼継続時間
- ・ 火炎輻射発散度

第 4.2.1 表 火災諸元の設定

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	4.683	$R = \sqrt{(8.3 \times 8.3) / \pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	14.048	$L_f = 3R$
A 重油貯蔵量	V	m^3	62	
質量低下速度	M	$kg/m^2/s$	0.035	文献調査結果 ^{※1}
燃料密度	ρ	kg/m^2	1000	文献調査結果 ^{※1}
燃焼速度	v	m/s	3.5×10^{-5}	$v = M / \rho$
燃焼継続時間	t	h	7.143	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m^2	23,000	文献調査結果 ^{※1}

※1: 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

4.3 影響評価結果

評価対象施設の外壁表面温度評価に係る評価式等を以下に示す。当該評価式等により、評価対象施設の外壁輻射強度を算出し、評価対象施設外壁表面温度を評価する。HTTR 機械棟屋外タンクと原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物の距離は約 689m である。

評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 41℃であり、許容温度である 200℃を下回る。

外壁における輻射強度 E (W/m²) : E = RfΦ_t

形態係数 Φ

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

$$m = \frac{L_f}{R} \doteq 3, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1+n)^2+m^2, \quad B = (1-n)^2+m^2$$

L_i : 離隔距離 (m)

外壁表面温度 T (℃)

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

T₀ : コンクリート外壁表面初期温度 (40℃)

5. 敷地外の高圧ガス貯蔵設備の爆発に係る影響評価

敷地外 10km 以内の範囲には、4 施設の高圧ガス貯蔵設備（15t 以上の液化石油ガス及び 1t 以上の可燃性の高圧ガスを有する施設が対象）を有する 1 事業所が存在する（第 2.2 図参照）。当該高圧ガス貯蔵設備には、液化石油ガス（プロパン又はブタン）が貯蔵されている。ここでは、当該設備での爆発を想定する。

危険限界距離の評価式を以下に示す。敷地外の高圧ガス貯蔵設備における危険限界距離は最大で約 101m であり、十分な離隔距離（約 10km）が確保されている。

$$\text{危険限界距離 } X : X = 0.04 \lambda \sqrt[3]{K \times W}$$

λ : 換算距離 (m・kg^{-1/3}) 【14.4】

K : 石油類の定数【プロパン : 888,000、ブタン : 640,000】

W : 設備定数【貯蔵容量 (単位 : トン) の平方根】

6. 危険物を搭載した車両の火災・爆発に係る影響評価

6.1 危険物を搭載した車両の火災

6.1.1 火災の想定

敷地は、国道 51 号線に隣接する。ここでは、国道 51 号線におけるタンクローリーの火災を想定する。なお、当該タンクローリーは、消防法で定められた公道を通行可能な上限量（30m³）のガソリンを搭載しているものとする。

6.1.2 影響評価に係る火災諸元の設定

影響評価に係る火災諸元の設定にあたっては、タンクローリーの破損等によりガソリンがトレーラの全長 11.57m×全幅 2.49m の範囲に漏えいし、全面火災が生じることを想定し、以下の項目について評価する。また、ここでは、想定されるガソリンの漏えい面積を円筒の底面と仮定し、火炎長を燃焼半径の 3 倍とした円筒火炎モデルを使用するものとする。火災諸元の設定を第 6.1.2.1 表に示す。

- ・ 燃焼半径
- ・ 火炎長
- ・ 燃焼速度
- ・ 燃焼継続時間
- ・ 火炎輻射発散度

第 6.1.2.1 表 火災諸元の設定

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	3.028	$R = \sqrt{(11.57 \times 2.49) / \pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	9.085	$L_f = 3R$
ガソリン搭載量	V	m ³	30	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.055	文献調査結果 ^{※1}
燃料密度	ρ	kg/m ³	783	文献調査結果 ^{※2}
燃焼速度	v	m/s	7.02×10^{-5}	$v = M / \rho$
燃焼継続時間	T	h	4.118	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	58,000	文献調査結果 ^{※1}

※1: 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

※2: MSDS (製品データ安全シート) より引用

6.1.3 影響評価結果

評価対象施設の外壁表面温度評価に係る評価式等を以下に示す。当該評価式等により、評価対象施設の外壁輻射強度を算出し、評価対象施設外壁表面温度を評価する。国道 51 号線と原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物の最短距離は約 150m である。

評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 44℃であり、許容温度である 200℃を下回る。

外壁における輻射強度 E (W/m²) : E = RfΦ_t

形態係数 Φ

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

$$m = \frac{L_f}{R} \doteq 3, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1+n)^2+m^2, \quad B = (1-n)^2+m^2$$

L_i : 離隔距離 (m)

外壁表面温度 T (°C)

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

T₀ : コンクリート外壁表面初期温度 (40℃)

6.2 危険物を搭載した車両の爆発

敷地は、国道 51 号線に隣接する。ここでは、国道 51 号線におけるタンクローリーの爆発を想定する。なお、当該タンクローリーは、液化天然ガス（以下「LNG」という。）又は液化石油ガス（以下「LPG」という。）が積載された最大クラスのもを対象とし、15.1t のLPG又はLNGを搭載しているものとする。

危険限界距離の評価式を以下に示す。危険物を搭載した車両における危険限界距離は最大で約 88m であり、十分な離隔距離（約 150m）が確保されている。

$$\text{危険限界距離 } X : X = 0.04 \lambda \sqrt[3]{K \times W}$$

λ : 換算距離 (m・kg^{-1/3}) 【14.4】

K : 石油類の定数【プロパン : 888,000、メタン : 714,000】

W : 設備定数【貯蔵容量 (単位 : トン) の平方根】

7. 航空機落下による火災に係る影響評価

7.1 火災の想定

航空機が原子炉施設周辺で落下確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ落下し、火災が生じることを想定する。ただし、航空機の機種によって、装備や飛行形態等が同一でないこと、また、落下事故件数及び火災影響の大きさに差があることから、以下のカテゴリに分類し、航空機落下による火災に係る影響評価を実施する。

- ・計器飛行方式民間航空機（飛行場での離着陸時）
- ・計器飛行方式民間航空機（航空路を巡航中）
- ・有視界飛行方式民間航空機（大型機：大型固定翼機及び大型回転翼機）
- ・有視界飛行方式民間航空機（小型機：小型固定翼機及び小型回転翼機）
- ・自衛隊機又は米軍機
（訓練空域外を飛行中：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）
- ・自衛隊機又は米軍機
（訓練空域外を飛行中：その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機）
- ・自衛隊機（基地－訓練空域間を往復時）

7.2 航空機落下位置と離隔距離の設定

7.2.1 計器飛行方式民間航空機（飛行場での離着陸時）

計器飛行方式民間航空機（飛行場での離着陸時）については、以下の式により、離着陸時の航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。なお、ここでは、投影面積を使用する。

$$A = P_{d,a} / (f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta))$$

A : 航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積 (km²)

$P_{d,a}$: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率 (回／年) 【 10^{-7} 】

$f_{d,a}$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率 (回／離着陸回) 【 1.22×10^{-7} 】

$$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$$

$D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数 (回) 【4】

$E_{d,a}$: 国内での離着陸回数 (回) 【32,780,942】

$N_{d,a}$: 当該飛行場（茨城空港（百里基地）が対象）での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回／年) 【4,202】

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 (／km²)

【 1.55×10^{-4} 】

離着陸時の航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は、約 1.261km² であり、等価の面積を有する円の半径は約 634m となる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約 5,750m² であり、等価の面積を有する円の半径は約 43m となる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約 591m となる。

7.2.2 計器飛行方式民間航空機（航空路を巡航中）

計器飛行方式民間航空機（航空路を巡航中）については、以下の式により、航空路を巡航中の航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。

$$A = (Pc \cdot W) / (fc \cdot Nc)$$

A : 航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積 (km²)

Pc : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回／年) 【 10^{-7} 】

W : 航空路幅 (km) 【航空路 R211 及び直行経路 IXE-SWAMP : 14.816】

【RNAV 航路 Y30 及び Y108 : 18.520】

fc : 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 (回／飛行回・km)

【 4.93×10^{-11} 】

$$fc = Gc / Hc$$

Gc : 巡航中事故件数 (回) 【0.5*1】

Hc : 延べ飛行距離 (飛行回・km) 【10,132,601,674】

Nc : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (回／年)

【航空路 R211 (0 回／日) 及び直行経路 IXE-SWAMP (0 回／日) : 365*2】

【RNAV 航路 Y30 (92 回／日) 及び Y108 (9 回／日) : 36,865】

*1 : 平成4年～平成23年の20年間における事故件数が0回のため、保守的に、0.5回を想定

*2 : 保守的に、各航空路等において0.5回／日を想定して算出

航空路を巡航中の航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は、約1.006km²であり、等価の面積を有する円の半径は約566mとなる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約5,750m²であり、等価の面積を有する円の半径は約43mとなる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約523mとなる。

7.2.3 有視界飛行方式民間航空機（大型機：大型固定翼機及び大型回転翼機）

有視界飛行方式民間航空機（大型機）については、以下の式により、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。

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

A：航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積（ km^2 ）

P_v ：対象施設への航空機落下確率（回／年）【 10^{-7} 】

S_v ：全国土面積（ km^2 ）【372,000】

f_v ：単位年当たりの落下事故率（回／年）【大型固定翼機：0.025*¹】

【大型回転翼機：0.05*²】

*1：平成4年～平成23年の20年間における事故件数が0回のため、保守的に、0.5回を想定

*2：平成4年～平成23年の20年間における事故件数は1回

α ：対象航空機の種類による係数【1】

有視界飛行方式民間航空機（大型機）の落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は、約 0.496km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約397mとなる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約 $5,750\text{m}^2$ であり、等価の面積を有する円の半径は約43mとなる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約355mとなる。

7.2.4 有視界飛行方式民間航空機（小型機：小型固定翼機及び小型回転翼機）

有視界飛行方式民間航空機（小型機）については、以下の式により、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。

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

A：航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積（ km^2 ）

P_v ：対象施設への航空機落下確率（回／年）【 10^{-7} 】

S_v ：全国土面積（ km^2 ）【372,000】

f_v ：単位年当たりの落下事故率（回／年）【小型固定翼機：1.75*¹】

【小型回転翼機：1.25*²】

*1：平成4年～平成23年の20年間における事故件数は35回

*2：平成4年～平成23年の20年間における事故件数は25回

α ：対象航空機の種類による係数【0.1】

有視界飛行方式民間航空機（小型機）の落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は、約 0.124km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約 199m となる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約 $5,750\text{m}^2$ であり、等価の面積を有する円の半径は約 43m となる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約 156m となる。

7.2.5 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外を飛行中：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）

自衛隊機又は米軍機（訓練空域外を飛行中：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）については、以下の式により、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。

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

A：航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積（ km^2 ）

P_{so} ：対象施設への航空機落下確率（回／年）【 10^{-7} 】

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

【自衛隊機：295,000】

【米軍機：372,000】

f_{so} ：単位年当たりの落下事故率（回／年）【自衛隊機：0.025*1】

【米軍機：0.05*2】

*1：平成4年～平成23年の20年間における事故件数が0回のため、保守的に、0.5回を想定

*2：平成4年～平成23年の20年間における事故件数は1回

自衛隊機又は米軍機（訓練空域外を飛行中：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）の落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は、約 0.456km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約 381m となる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約 $5,750\text{m}^2$ であり、等価の面積を有する円の半径は約 43m となる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約 338m となる。

7.2.6 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外を飛行中：その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機）

自衛隊機又は米軍機（訓練空域外を飛行中：その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機）については、以下の式により、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。

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

A：航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積（ km^2 ）

P_{so} ：対象施設への航空機落下確率（回／年）【 10^{-7} 】

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

【自衛隊機：295,000】

【米軍機：372,000】

f_{so} ：単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）【自衛隊機： 0.4^{*1} 】

【米軍機： 0.2^{*2} 】

*1：平成4年～平成23年の20年間における事故件数は8回

*2：平成4年～平成23年の20年間における事故件数は4回

自衛隊機又は米軍機（訓練空域外を飛行中：その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機）の落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は、約 0.053km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約130mとなる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約 $5,750\text{m}^2$ であり、等価の面積を有する円の半径は約43mとなる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約87mとなる。

7.2.7 自衛隊機（基地－訓練空域間を往復時）

自衛隊機（基地－訓練空域間を往復時）については、以下の式により、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積を算出し、等価の面積を有する円の円周上を落下位置とする。また、外部火災防護施設と等価の面積を有する円を仮定し、航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積と等価の面積を有する円の半径の差を離隔距離とする。

$$A = (Pse \cdot Sse) / fse$$

A：航空機落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積（ km^2 ）

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）【 10^{-7} 】

Sse：想定飛行範囲の面積（ km^2 ）【4,541】

fso：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）【 0.025^{*1} 】

*1：平成4年～平成23年の20年間における事故件数が0回のため、保守的に、0.5回を想定

自衛隊機（基地－訓練空域間を往復時）の落下確率が 10^{-7} 回／年となる面積は約 0.018km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約76mとなる。一方、外部火災防護対象施設の面積は約 $5,750\text{m}^2$ であり、等価の面積を有する円の半径は約43mとなる。

以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約33mとなる。

7.3 影響評価に係る火災諸元の設定

影響評価にあたり航空機カテゴリ毎に落下を想定する機種を第7.3.1表に示す。影響評価に係る火災諸元の設定にあたっては、これらの航空機落下により、燃料油が当該航空機の燃料タンクの配置及び大きさから算出する範囲に漏えいし、全面火災が生じることを想定し、以下の項目について評価する。ここでは、想定される燃料油の漏えい面積を円筒の底面と仮定し、火炎長を燃焼半径の3倍とした円筒火炎モデルを使用するものとする。火災諸元の設定を第7.3.2表に示す。

- ・ 燃焼半径
- ・ 火炎長
- ・ 燃焼速度
- ・ 燃焼継続時間
- ・ 火炎副発散度

第 7.3.1 表 航空機カテゴリ毎に落下を想定する機種

航空機カテゴリ	想定機種	燃料種類	燃料積載量 (m ³)	燃料油 漏えい面積 (m ²)
計器飛行方式民間航空機 (飛行場での離着陸時)	B747-400	JET A-1	216.84	700
計器飛行方式民間航空機 (航空路を巡航中)	B747-400	JET A-1	216.84	700
有視界飛行方式民間航空機 (大型機)	B747-400	JET A-1	216.84	700
有視界飛行方式民間航空機 (小型機)	AS332L1	JET A-1	3.0	18.8
自衛隊機又は米軍機 (訓練空域外を飛行中) ※ 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	KC-767	JP-4	145.03	405.2
自衛隊機又は米軍機 (訓練空域外を飛行中) ※ その他の大型固定翼機、小型 固定翼機及び回転翼機	F-15	JP-4	14.87	44.6
自衛隊機 (基地－訓練空域間を往復時)	F-15	JP-4	14.87	44.6

第 7.3.2 表 (1) 火災諸元の設定 (B747-400)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	14.927	$R = \sqrt{700/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	44.781	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	216.84	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.039	文献調査結果※ ¹
燃料密度	ρ	kg/m ²	850	文献調査結果※ ²
燃焼速度	v	m/s	4.59×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	t	h	1.875	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	50,000	文献調査結果※ ¹

※1: 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

※2: 昭和シェル石油、「安全データシート (Jet A-1)」、平成 30 年 2 月

第 7.3.2 表 (2) 火災諸元の設定 (AS332L1)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	2.446	$R = \sqrt{18.8/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	7.339	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	3.0	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.039	文献調査結果※ ¹
燃料密度	ρ	kg/m ²	850	文献調査結果※ ²
燃焼速度	v	m/s	4.59×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	t	h	0.966	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	50,000	文献調査結果※ ¹

※1: 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

※2: 昭和シェル石油、「安全データシート (Jet A-1)」、平成 30 年 2 月

第 7.3.2 表 (3) 火災諸元の設定 (KC767)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	11.357	$R = \sqrt{405.2/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	34.071	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	145.03	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.051	文献調査結果 ^{※1}
燃料密度	ρ	kg/m ²	760	文献調査結果 ^{※1}
燃焼速度	v	m/s	6.71×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	T	h	1.482	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	58,000	文献調査結果 ^{※1}

※1: 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

第 7.3.2 表 (4) 火災諸元の設定 (F-15)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	3.768	$R = \sqrt{44.6/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	11.304	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	14.87	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.051	文献調査結果 ^{※1}
燃料密度	ρ	kg/m ²	760	文献調査結果 ^{※1}
燃焼速度	v	m/s	6.71×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	t	h	1.38	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	58,000	文献調査結果 ^{※1}

※1: 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

7.4 影響評価結果

評価対象施設の外壁表面温度評価に係る評価式等を以下に示す。当該評価式等により、評価対象施設の外壁輻射強度を算出し、評価対象施設外壁表面温度を評価する。

評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 97℃であり、許容温度である 200℃を下回る。

外壁における輻射強度 E (W/m^2) : $E = Rf\Phi_t$

形態係数 Φ

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

$$m = \frac{L_f}{R} \doteq 3, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1+n)^2+m^2, \quad B = (1-n)^2+m^2$$

L_i : 離隔距離 (m)

外壁表面温度

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

T_0 : コンクリート外壁表面初期温度 (40℃)

8. 評価結果

外部火災防護施設又は外殻施設について、「森林火災」、「危険物貯蔵施設等の火災・爆発」、「危険物を搭載した車両の火災・爆発」、「航空機落下による火災」の想定において、火災時には外壁表面温度が許容温度である 200℃を下回っていること、爆発時には危険限界距離に対して十分な離隔距離が確保されることから、外部火災防護施設の安全機能が損なわれることはない。

森林火災の評価における火炎中の風速の補正

森林火災の評価に当たって、火炎中の風速は、文献「How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires」^[1]を参考に設定した。想定する森林火災の延焼地域の実地調査結果を踏まえ、当該文献中の「PARTIALLY SHELTERED FUELS」(平地及び緩やかな斜面かつ樹木があまり密集していないという条件)に該当すると判断し、該当する係数(0.3)を用いた。

Table II-6.— Wind adjustment table. Find the appropriate adjustment factor and multiply it by the 20-ft windspeed. Use the result as the midflame windspeed

Fuel exposure	Fuel model	Adjustment factor
EXPOSED FUELS		
Fuel exposed directly to the wind—no overstory or sparse overstory;	4	0.6
fuel beneath timber that has lost its foliage; fuel beneath timber near clearings or clearcuts; fuel on high ridges where trees offer little shelter from wind	13	0.5
	1,3,5,6,11,12 (2,7) ¹ (8,9,10) ²	0.4
PARTIALLY SHELTERED FUELS		
Fuel beneath patchy timber where it is not well sheltered; fuel beneath standing timber at midslope or higher on a mountain with wind blowing directly at the slope	All fuel models	0.3
FULLY SHELTERED FUELS		
Fuel sheltered beneath standing timber on flat or gentle slope or near base of mountain with steep slopes	Open stands All fuel models Dense stands	0.2 0.1

¹Fuels usually partially sheltered.
²Fuels usually fully sheltered.

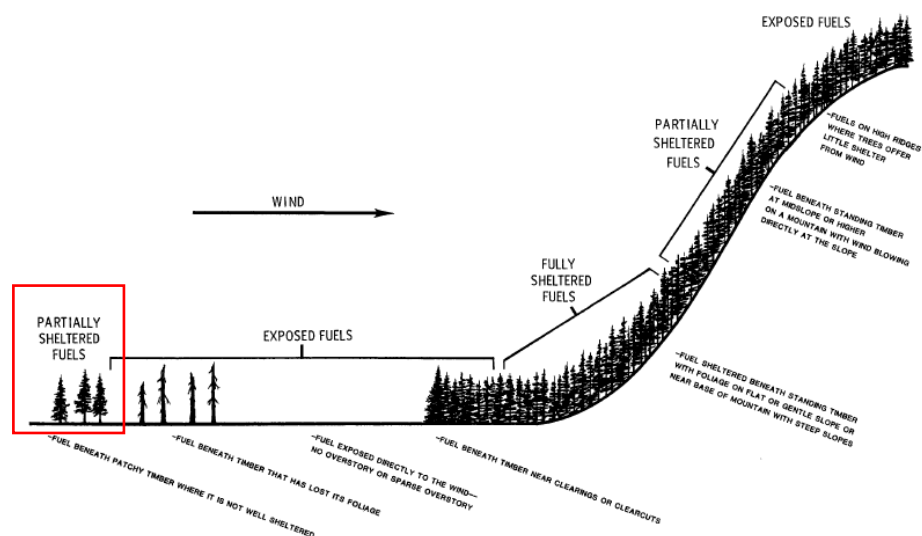


Figure II-8.— Exposure of various fuels to wind.

[1] Rothermel, R. C. 「How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires」
USDA Forest Service General Technical Report. INT-143, 1983