

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）

（その2：耐外部火災設計）

2023年5月19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

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

(その2：耐外部火災設計)

目次

1. 要求事項の整理
2. 設置許可申請書における記載
3. 設置許可申請書の添付書類における記載
 - 3.1 安全設計方針
 - 3.2 気象等
 - 3.3 設備等
4. 要求事項への適合性
 - 4.1 基本方針
 - 4.2 耐外部火災設計
 - 4.3 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：外部火災に対する安全施設の安全機能の確保
- 別紙2：森林火災における発火点の設定
- 別紙3：大洗研究所の植生
- 別紙4：森林火災の評価における火炎中の風速の補正
- 別紙5：森林火災の影響評価における火災諸元の設定
- 別紙6：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
- 別紙7：影響評価の対象とする危険物貯蔵施設等の位置
- 別紙8：航空機落下に係る離隔距離
- 別紙9：森林火災に係る熱的影響評価結果
- 別紙10：コンクリートの許容値の設定
- 別紙11：熱的影響評価の対象壁の位置及び建物内部への熱影響
- 別紙12：危険物屋外タンクに係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

別紙 13 : 高圧ガス貯蔵設備に係る熱的影響評価結果

別紙 14 : 危険物を搭載した車両の火災・爆発に係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

別紙 15 : 航空機落下による火災に係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

別紙 16 : 航空機落下による火災と森林火災等の重畳

別紙 17 : 防火帯の設置計画

別紙 18 : 外部火災の二次的影響に対する防護措置

別紙 19 : 自衛消防隊の資機材及び活動体制

別紙 20 : 「常陽」森林火災評価の特徴

(添付)

添付 1 : 設置許可申請書における記載

添付 2 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (安全設計)

添付 3 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (適合性)

< 概 要 >

試験研究用等原子炉施設の設置許可基準規則の要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する高速実験炉原子炉施設の適合性を示す。

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。<ul style="list-style-type: none">・ 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、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. 設置許可申請書における記載

添付 1 参照

3. 設置許可申請書の添付書類における記載

3.1 安全設計方針

(1) 設計方針

添付 2 参照

(2) 適合性

添付 3 参照

3.2 気象等

該当なし

3.3 設備等

該当なし

※ 添付の朱書き：審査進捗を踏まえて記載を見直す箇所

4. 要求事項への適合性

4.1 基本方針

原子炉施設は、(1) 耐震構造、(2) 耐津波構造に加え、以下の基本方針に基づき、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。

安全施設は、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設計とする。また、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について、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る。

自然現象（地震及び津波を除く。）については、網羅的に抽出する。

なお、敷地で想定される自然現象のうち、高潮については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

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は、以下に選定した自然現象に含まれる。また、設計基準事故により、重要安全施設のうち屋外部分及び重要安全施設の外殻施設に応力が生じることはない。よって、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と設計基準事故の重畳を考慮する必要はない。このため、重要安全施設は、個々の事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

(a-11) 外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）

安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。なお、敷地内において、公設消防、自衛消防隊又は常駐消防班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。また、敷地内外において、多量のばい煙や有毒ガス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。

想定される森林火災の延焼防止を目的として、原子炉施設周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度（1,063kW/m）から算出される防火帯（防火帯の風上20m内に樹木が存在する場合は約18m、防火帯の風上20m内に樹木が存在しない場合は7m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

また、森林火災による熱影響については、最大火炎輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

原子炉施設敷地又はその周辺で想定される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。）として想定される近隣の産業施設の火災・爆発については、離隔距離の確保により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、想定される原子炉施設敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については、離隔距離を確保すること、その火災による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと

又はそれらを適切に組み合わせることで、その安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については、屋外施設の温度を許容温度以下とすることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、空調換気設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

「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 4.1.1 表参照）。

(i) クラス 1

(ii) クラス 2 のうち、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

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、安全機能の重要度分類がクラス 1、2、3 に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設、降下火砕物防護施設、外部火災防護施設とし、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を影響評価の対象とする。当該影響評価にあつては、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。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）により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等を含めて安全機能を損なわないものとする。

第 4. 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 4. 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止弁 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 4. 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止弁	
	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。)	

4.2 耐外部火災設計

4.2.1 外部火災防護に関する基本方針

安全施設が外部火災（火災・爆発（森林火災、近隣工場等の火災・爆発、航空機墜落火災等））に対して、原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建屋による防護、代替手段等によって、安全機能を損なわない設計とする。

耐外部火災設計においては、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とし、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を熱的影響評価対象施設として影響評価の対象とする。

想定される外部火災に対する熱的影響を評価し、消火活動に期待しない場合にあっては、熱的影響評価対象施設が、外殻施設又は離隔による防護により、その安全機能を損なわない設計とする。これらの熱的影響評価対象施設以外の安全施設は、外部火災により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする。

また、想定される外部火災による二次的影響（ばい煙及び有毒ガス）に対して、安全施設の安全機能を損なわないものとする。【外部火災に対する安全施設の安全機能の確保：別紙1参照】。

4.2.2 熱的影響評価における外部火災の想定等

(1) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照するが、大洗研究所周辺の特徴を考慮して発火点を設定する。森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火災が防火帯外縁に到達するまでの時間、評価対象施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(i) 森林火災の想定

大洗研究所の周囲10km圏内には、東に太平洋、北に澗沼川及び耕地、北西に澗沼が位置し、南から西の方面は耕地となっている。敷地周辺には、国有林等の広大な森林がなく、大規模な森林火災は発生しないと考えられる。さらに、敷地境界に沿って道路が敷設されており、防火帯相当として考慮できる。このため、いずれの方角の敷地外からの森林火災を想定した場合でも、大洗研究所に延焼することはない。

このため、人為的行為を考慮し、火を扱う可能性がある箇所、火災の発生頻度が高いと想定される道路沿いとして、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を想定し、熱的影響評価を実施する。

大洗研敷地内では、原子炉施設の北側及び南側の植生は工場地帯に位置付けられ、また、障壁となる他施設の建物等が設置されている。原子炉施設の西側には夏海湖が位置する。敷地境界の発火点としては、敷地内の森林を考慮していずれの方角からの延焼を考慮するが、北、西及び南からは例え延焼が進んだとしても最終的に原子炉施設西側の夏海湖周囲の森林に到達しても、照射燃料集合体試験施設が障壁となる。

熱的影響評価に当たっては、「添付書類 6 2. 気象」に示す高さ 10m の年風向頻度は北東の風が卓越していること、また、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場所として、原子炉施設の東側の敷地境界を発火点【森林火災における発火点の設定：別紙 2 参照】とする。

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」において推奨されている森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)で使用されている計算式を使用する。このため、計算に使用するデータは敷地内及び原子炉施設周辺のデータとする。

(ii) 必要データ (計算入力条件)

(a) 土地利用データ

敷地内のみの評価のため、環境省の植生調査及び現地調査に基づき、植生及び土地利用を確認する。

(b) 植生データ

敷地内のみの評価のため、環境省の植生調査及び現地調査に基づき、詳細な植生を確認する。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。【大洗研究所の植生：別紙 3 参照】

(c) 地形データ

敷地内のみの評価のため、地理院地図 (電子国土 Web) により延焼経路の傾斜を設定する。

(d) 気象データ

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) を用いる。

火災中の風速として、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。【森林火災の評価における火災中の風速の補正：別紙 4 参照】【森林火災の影響評価における火災諸元の設定：別紙 5 参照】。

また、風速以外の気象データについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」では FARSITE で大気温度と湿度が用いられている。当該気象データは、地表火の評価における枯死した可燃物の条件設定に用いられ、初期値で入力する「含水率」のパラメータをタイムステップごとの温度と湿度データにより変化させている。大洗研究所の評価では、FARSITE コードの評価式を用いた評価を行っており、大気温度と湿度の入力は用いておらず、枯死した可燃物の含水率 ($M_f = \text{可燃物の含水量} / \text{可燃物の乾燥質量}$) は、保守的に乾燥状態を想定して初期値 (0.01) で一定とする。

(iii) 評価手法

敷地内のみの評価のため、FARSITE で使用されている計算式を使用する。FARSITE では地表を伝播する火災 (以下、地表火と称す)、樹冠を伝播する火災 (以下、樹冠火と称す)、伝播の加速及び飛び火の 4 つのふるまいを取り扱っている。簡易評価では、建家の壁温度に直接影響する地表火及び樹冠火のみを取り扱って森林火災の挙動を評価する。なお、伝播の加速に関しては、伝播が加速する要素をなくすため、延焼方向に最大速度の風が吹くことを仮定する。飛び火に関しては、これを考慮する必要がないように、施設周辺の防火帯相当のエリア以外には森林空白帯等を設けない想定とする。

(iv) 延焼速度及び火線強度の算出

円筒火炎モデルを用いて、延焼速度（約 11.5m/min）や火線強度（1,063kW/m）、火炎輻射強度（515kW/m²）を算出する。

(v) 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から防火帯までの火炎到達時間（約 7.1 分）を算出する。到達時間が短いため、森林火災が防火帯に到達するまでの間に大洗研究所に常駐している自衛消防隊による初期消火は期待できないが、防火帯により安全機能を損なわない設計とする。

なお、防火帯の手前に存在する「常陽」東側駐車場により実際には延焼は留められる。駐車場における車両火災による火炎輻射強度は森林火災の値を下回る。

(vi) 防火帯幅の設定

最大火線強度（1,063kW/m）により算出される防火帯幅 17.4m に対し、約 18m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合）、防火帯幅 6.7m に対し、約 7m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合）を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

(2) 近隣工場等の火災・爆発（近隣の作業施設の火災・爆発）

(i) 石油コンビナート施設等の影響

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及び液化天然ガス（LNG）基地は存在しないため、石油コンビナート及び液化天然ガス（LNG）基地の火災・爆発による損傷の防止は、設計上考慮しない【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：別紙 6 参照】。

(ii) 危険物貯蔵施設の影響

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・爆発を想定する【影響評価の対象とする危険物貯蔵施設等の位置：別紙 7 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の火災で代表させるものとする。

高圧ガス貯蔵設備を 4 つ有する 1 事業所が存在する。

(a) 火災の影響

敷地内の危険物屋外タンクの火災で代表させるものとする。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) ガス爆発の影響

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。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を、ガス爆発による爆風圧の影響に対して、敷地周辺道路から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離(約 101m)以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(iii) 燃料輸送車両の影響

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。

(a) 火災の影響

敷地は、国道 51 号線に隣接する。国道 51 号線におけるタンクローリーの火災を想定する。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×全幅の範囲に漏えいし、全面火災が生じることを想定する。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のガソリンを搭載しているものとする。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) ガス爆発の影響

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。当該タンクローリーは、液化天然ガス (LNG) 又は液化石油ガス (LPG) が積載された最大クラスのものを対象とする。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を危険限界距離(約 88m)以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(iv) 漂流船舶の火災・爆発

原子炉施設は、港湾等を有していない。また、大洗研究所(南地区)の北方約 5km に大洗港があり、T.P. +約 35m～+約 40m に位置する原子炉施設の東側約 400m に海岸がある。原子炉施設から十分離れていることから、船舶の火災・爆発による影響はない。したがって、船舶の火災・爆発を考慮する必要はない。

(v) 敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

敷地内には、39 の危険物を保有する施設を有する。このうち、屋外タンク貯蔵所に該当するものは 3 施設である。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短いことを踏まえ、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。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

爆発は対象となる高圧ガス貯蔵設備を有しないため本影響評価の対象外とした。

(3) 航空機墜落による火災

(i) 対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリごとに落下確率を求める。

(ii) 航空機墜落による火災の想定

(a) 航空機は、発電所における航空機落下確率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。

(b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。

(c) 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。

(d) 気象条件は無風状態とする。

(e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

(iii) 評価対象範囲

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。

(iv) 評価対象施設への熱影響

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする【航空機落下に係る離隔距離：別紙8参照】。

(v) 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施する。また、航空機墜落火災と森林火災の重畳評価を実施する。

4.2.3 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。なお、想定する外部火災は、原子炉施設の水平方向に発生することから、火炎輻射の影響に鑑み、熱的影響評価対象施設における天井スラブと垂直外壁面のうち、垂直外壁面を対象として許容限界を設定する。また、コンクリート壁以外の機器搬出入口等の建物内近傍には、安全機能を有する施設を配置しないものとし、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、建屋内壁面、室内及び屋内機器の温度上昇については建屋内壁面からの放熱及び室内空間の体積があることから壁温度 200°C を下回ることによって影響がないとする。また、建物屋上に設置されている機器等については、火炎に近い評価対象壁の評価で代表する。

(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【森林火災に係る熱的影響評価結果：別紙9参照】。なお、許容限界とした壁温度（ 200°C ）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【コンクリートの許容値の設定：別紙 10 参照】【熱的影響評価の対象壁の位置及び建物内部への熱影響：別紙 11 参照】。また、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℃（1997 年 7 月））を踏まえ、40℃とする。

なお、建屋内壁面及び室内の温度上昇については建屋内壁面からの放熱及び室内空間の体積があることから壁温度 200℃を下回ることによって影響がないとする。

(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【危険物屋外タンクに係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果：別紙 12 参照】。

(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【高圧ガス貯蔵設備に係る熱的影響評価結果：別紙 13 参照】。

(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【危険物を搭載した車両の火災・爆発に係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果：別紙 14 参照】。

(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【航空機落下による火災に係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果：別紙 15 参照】【航空機落下による火災と森林火災等の重畳：別紙 16 参照】。

なお、建屋内壁面及び室内の温度上昇については建屋内壁面からの放熱及び室内空間の体積があることから壁温度 200℃を下回ることによって影響がないとする。

4.2.4 設計における留意事項

(1) 防火帯の設置

敷地内にあつては、評価した最大火線強度（1,063kW/m）に応じ、防火帯を設ける。原子炉施設と防火帯のエリアの外縁（火炎側）までの距離については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参考に、評価した火炎輻射強度に応じた危険距離（熱的影響評価対象施設の壁温度が許容温度（200℃）を超える距離）を上回るように設定する。防火帯は、外部火災防護施設への影響（障壁となる他施設の有無）を踏まえて設け、最大火線強度により算出される防火帯幅 17.4m に対し、約 18m の防火帯幅（防火帯の

風上 20m 内に樹木が存在する場合)、防火帯幅 6.7m に対し、約 7m の防火帯幅 (防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合) を確保する。【防火帯の設置計画：別紙 17 参照】。

防火帯では、原則として、駐車を禁止するとともに可燃物を置かないよう管理し、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車する必要がある場合や一時的に可燃物を置く必要がある場合についても、長時間の停車や仮置を禁止し、速やかに車両や物品を移動できるよう人員を配置する等の運用上の措置を講ずる。

なお、防火帯の設置工事に合わせて「常陽」東側駐車場を拡張する。この駐車場において複数台の車両火災を想定した場合でも森林火災における評価値を下回ることを確認する【防火帯の設置計画：別紙 17 参照】。

(2) 外部火災の二次的影響の考慮

外部火災の二次的影響については、ばい煙及び有毒ガスを想定する。外部火災の二次的影響を考慮する非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔については、必要に応じて、ばいじんの除去に係る措置 (フィルタの交換・清掃) 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とともに、中央制御室については、通常運転時において、外気は、ルーバー、フィルタ、外気取入れファン及び空調器を経由し、中央制御室に導入される。フィルタにより、ばいじんの流入を抑止することで、中央制御室の居住性を確保する。フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換・清掃を実施する。また、必要に応じ、空調を再循環運転とすることで、その居住環境を維持できるものとする【外部火災の二次的影響に対する防護措置：別紙 18 参照】。なお、敷地内外において、多量のばい煙や有毒ガス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。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。

(3) 外部火災における消火活動

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、発見者が大洗研究所の通報連絡システムに従って、公設消防や連絡責任者等に連絡するとともに、日中は従業員により編成する自衛消防隊、休日・夜間は常駐消防班により、その消火活動に従事するものとする【自衛消防隊の資機材及び活動体制：別紙 19 参照】。なお、敷地内において、公設消防、自衛消防隊又は常駐消防班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。

4.2.5 手順等

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、原子炉施設保安規定を定める。原子炉施設保安規定には外部火災に対して、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

- ・ 外部火災時の原子炉の停止及び措置に関すること。
- ・ ばい煙及び有毒ガスが発生した場合の措置に関すること。
- ・ 防火帯の維持及び管理に関すること。

4.3 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）

1 について

（11）森林火災

森林火災にあつては、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。なお、敷地内にあつては、評価した火線強度に応じ、防火帯を設けるものとする。原子炉施設と防火帯の外縁（火炎側）までの距離については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参考に、評価した火炎輻射強度に応じた危険距離（熱的影響評価対象施設の壁温度が許容温度（200℃）を超える距離）を上回るように設定する。防火帯は、外部火災防護施設への影響（障壁となる他施設の有無）を踏まえて設ける。

森林火災の熱的影響評価における許容限界は、森林境界（想定される発火点から防火帯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。

森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)で使用されている計算式から評価される最大火線強度（1,063kW/m）により算出される防火帯幅 17.4m に対し、約 18m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合）、防火帯幅 6.7m に対し、約 7m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合）を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災の二次的影響については、ばい煙及び有毒ガスを想定する。外部火災の二次的影響を考慮する必要がある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（フィルタの交換・清掃）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、必要な安全機能を損なわないものとする。同時に、中央制御室については、外気の取り込みを遮断する措置により、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、多量のばい煙や有毒ガス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。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。

3 について

(3) 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及び液化天然ガス（LNG）基地は存在しない。原子炉施設の近くに、爆発により安全施設に影響を及ぼすような爆発物の製造及び貯蔵設備はない。したがって、爆発を考慮する必要はない。

(4) 近隣工場等の火災

近隣工場等の火災（近隣の作業施設の火災・爆発）にあつては、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及び液化天然ガス（LNG）基地は存在しないため、石油コンビナート及び液化天然ガス（LNG）基地の火災・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圧ガス貯蔵設備（15t 以上の液化石油ガス（LPG）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。

近隣工場等の火災の熱的影響評価における許容限界は、以下のとおりとする。

- (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°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。
- (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（ 30m^3 ）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°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。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°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。

外部火災の二次的影響については、ばい煙及び有毒ガスを想定する。外部火災の二次的影響を考慮する必要がある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（フィルタの交換・清掃）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、必要な安全機能を損なわないものとするとともに、中央制御室については、通常運転時において、外気は、ルーバー、フィルタ、外気取入れファン及び空調器を經由し、中央制御室に導入される。フィルタにより、ばいじんの流入を抑止することで、中央制御室の居住性を確保する。フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換・清掃を実施する。また、必要に応じ、空調を再循環運転とすることで、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、多量のばい煙や有毒ガス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。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。

外部火災に対する安全施設の安全機能の確保

耐外部火災設計においては、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とする。このうち、外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設に該当する構築物、系統及び機器を熱的影響評価対象施設として影響評価の対象とする。当該影響評価にあつては、熱的影響評価対象施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される外部火災に対する熱的影響を評価し、消火活動に期待しない場合にあつても、熱的影響評価対象施設が、外殻施設又は離隔による防護により、その安全機能を損なわないように設計する。これらの熱的影響評価対象施設以外の安全施設は、外部火災により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする。安全施設の安全機能の確保の考え方を第1表に示す。

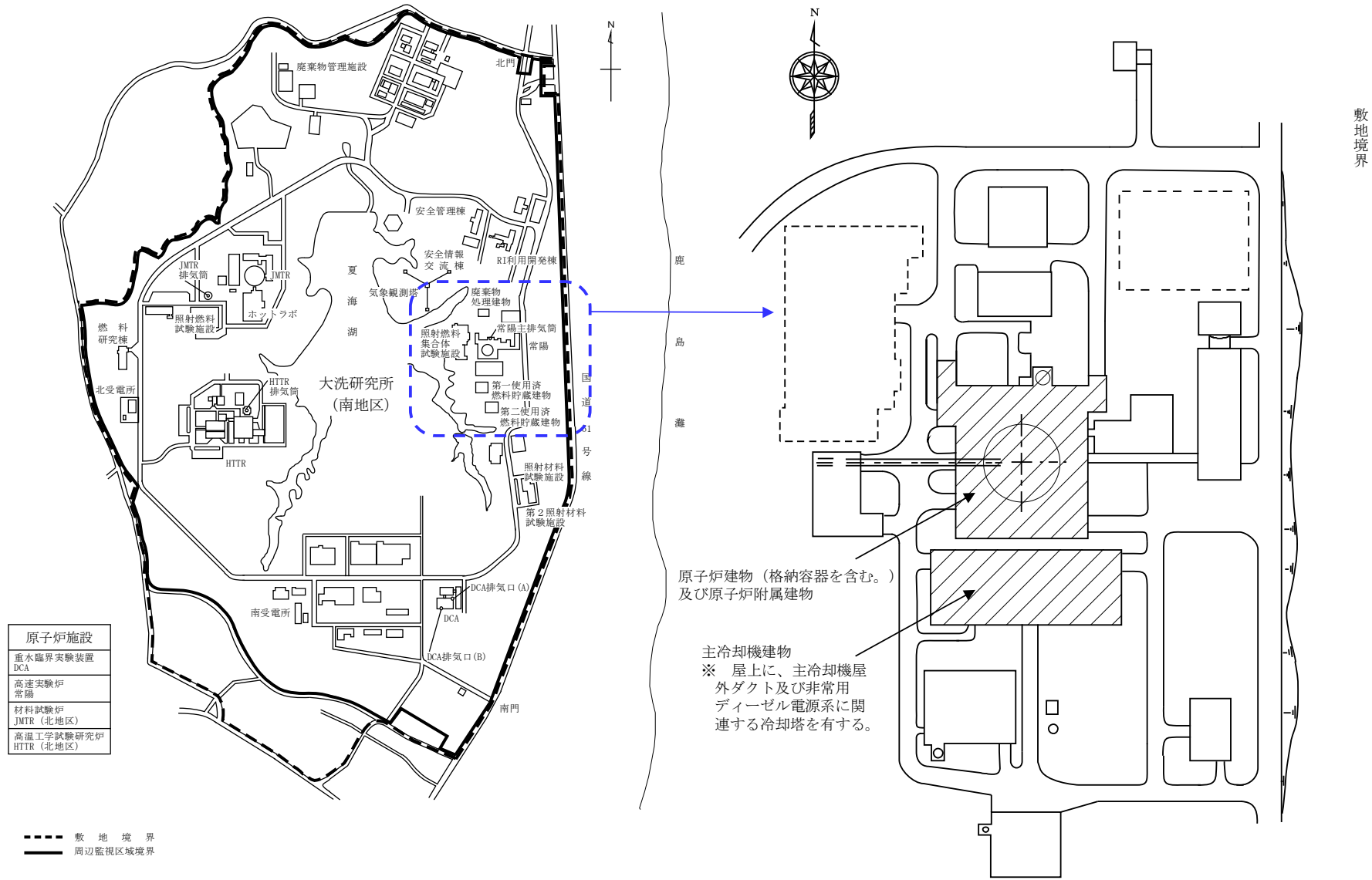
熱的影響評価対象施設は、基本的に、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物又は主冷却機建物（第1図参照）を外殻施設としており、熱的影響評価の対象部位は、これらの建物の外壁（コンクリート）とし、200℃を許容限界とする。なお、主冷却機のうち屋外部分及び補機冷却設備のうち非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔については、評価対象施設である主冷却機建物屋上に位置すること（距離：大）、また、不燃性材料（金属）で構成される（許容温度：大）ことから、主冷却機建物に対する外部火災の影響評価を実施することで代表させることとした。

熱的影響評価対象施設以外の安全施設には、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物又は主冷却機建物ではなく、第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、廃棄物処理建物、メンテナンス建物を外殻施設とするものがある。以下に示すように、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と同等の健全性を確保できるため、内包する安全施設の安全機能が損なわれることはない。

- ・ 想定される森林火災（発火点：原子炉施設の東側）に対して、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物や主冷却機建物よりも後方に位置する（距離：大）。想定される危険物を搭載した車両の火災・爆発（発火点：原子炉施設の東側）についても、同様である。
- ・ 危険物貯蔵施設等の火災・爆発（発火点：原子炉施設の西側）にあつては、想定する火災と建物の距離について、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場合と同程度（600m以上）である。
- ・ 航空機落下による火災にあつては、対象とする建物の面積が小さく、想定する火災と建物の距離について、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場合を下回る。

第1表 安全施設の安全機能の確保の考え方

防護対象	安全施設の安全機能の確保の考え方
<p>【外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クラス1 ・ クラス2のうち、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*1 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定される外部火災に対する熱的影響を評価し、消火活動に期待しない場合にあっても、外殻施設又は隔離による防護により、その安全機能を損なわないように設計する。 <ul style="list-style-type: none"> ※ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物や主冷却機建物について、外殻のコンクリート表面温度を評価し、許容温度以下とすることで、安全施設の安全機能を確保する。 ※ 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。
<p>【外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クラス2のうち、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、系統及び機器に属しないもの*2 ・ クラス3*2 	<p>【原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物や主冷却機建物に内包されるもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> > 外部火災に対する障壁を有し、安全機能を損なうことはない。 <p>【第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物に内包されるもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> > 貯蔵ラック、水冷却池及びサイフォンブレイク止弁が該当する（クラス2）。 > 貯蔵ラック、水冷却池及びサイフォンブレイク止弁は、基本的に地下階に位置し、また、地上階に外部火災に対する障壁（建物のコンクリート壁）を有する。さらに、不燃性材料（金属）で構成されることから、外部火災に対して、安全機能（放射性物質の貯蔵及び燃料プール水の保持）を損なうことはない。 <p>【廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包されるもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> > 液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備が該当する（クラス3）。 > 液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備は、基本的に地下階に位置し、また、地上階に外部火災に対する障壁（建物のコンクリート壁）を有する。さらに、不燃性材料（金属）で構成されることから、外部火災に対して、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはない。 <p>【建物に内包されないもの】</p> <ul style="list-style-type: none"> > 外周コンクリート壁（クラス2）：原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の屋上に位置すること（距離：大）より、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の影響評価に代表されるため、外部火災に対して、安全機能（放射線の遮蔽及び放出低減）を損なうことはない。 > 主排気筒（クラス2）：原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の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、原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の影響評価に代表されるため、外部火災に対して、安全機能（放射線の遮蔽及び放出低減）を損なうことはない。 > 一般電源系（受電エリア）（クラス3）：一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給する。これらは、MS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できる。 > 屋外管理用モニタリングポスト：屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保する。
<p>*1 「参考第1表 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設」参照</p> <p>*2 「参考第2表 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設以外の安全施設及び外殻施設」参照</p>	



第1図 熱的影響評価対象施設の配置

参考第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及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
PS-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。）		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

参考第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及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
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 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) サイフォンブレーク止弁 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

参考第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及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関連系	外殻施設
MS-1	原子炉停止後の除熱機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプモーター 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。

参考第1表(4) 外部からの衝撃による損傷の防止に係る重要安全施設及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	特記すべき関係系	外殻施設
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		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
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止弁		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

参考第2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以外の安全施設及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	外殻施設
PS-2	原子炉カバーガス等のバウンダリ機能	① 1次アルゴンガス系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ② 原子炉容器 1) 本体（原子炉冷却材バウンダリに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。） ③ 1次主冷却系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（原子炉冷却材バウンダリに属するもの及び計装等の小口径のものを除く。） ④ 1次オーバフロー系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ⑤ 1次ナトリウム充填・ドレン系 1) 原子炉カバーガスのバウンダリに属する容器・配管・弁（ただし、計装等の小口径のものを除く。） ⑥ 回転プラグ（ただし、計装等の小口径のものを除く。）	①～⑥ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	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 第一使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池 ② 第二使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 貯蔵ラック 2) 水冷却池 ③ 気体廃棄物処理設備 1) アルゴン廃ガス処理系	① 第一使用済燃料貯蔵建物 ② 第二使用済燃料貯蔵建物 ③ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
MS-2	燃料プール水の保持機能	① 第一使用済燃料貯蔵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止弁 ② 第二使用済燃料貯蔵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止弁	① 第一使用済燃料貯蔵建物 ② 第二使用済燃料貯蔵建物
	放射線の遮蔽及び放出低減機能	① 外周コンクリート壁 ② アンユラス部排気系 1) アンユラス部排気系（アンユラス部常用排気フィルタを除く。） ③ 非常用ガス処理装置 ④ 主排気筒 ⑤ 放射線低減効果の大きい遮蔽（安全容器及びコンクリート遮へい体冷却系を含む。）	①④ — ②③⑤ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物

参考第2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以外の安全施設及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	外殻施設
PS-3	1次冷却材を内蔵する機能 (PS-1以外のもの)	① 1次ナトリウム純化系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ② 1次オーバフロー系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁(ただし、計装等の小口径のものを除く。) ③ 1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁(PS-1に属するもの及び計装等の小口径のものを除く。)	①～③ 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物
	2次冷却材を内蔵する機能 (通常運転時の炉心の冷却に関連するもの)	① 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、主冷却機建物(主冷却機のうち屋外部分を除く。)
	放射性物質の貯蔵機能	① 液体廃棄物処理設備 ② 固体廃棄物貯蔵設備	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、廃棄物処理建物他 ② 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、廃棄物処理建物他
	通常運転時の冷却材の循環機能	① 1次主冷却系 1) 1次主循環ポンプ i) 1次主循環ポンプ本体(循環機能) ii) 主電動機 ② 2次主冷却系 1) 2次主循環ポンプ i) 2次主循環ポンプ本体(循環機能) ii) 電動機	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
	通常運転時の最終ヒートシンクへの熱輸送機能	① 2次主冷却系 1) 主送風機 i) 電動機 ii) 電磁ブレーキ	① 主冷却機建物
	電源供給機能 (非常用を除く。)	① 一般電源系(受電エリア)	① -
	プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く。)	① 原子炉冷却材温度制御系(関連するプロセス計装及び制御用圧縮空気設備を含む。)	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物、主冷却機建物
	核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	① 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 i) 被覆管 2) 照射燃料集合体 i) 被覆管	① 原子炉建物(格納容器を含む。)及び原子炉附属建物

参考第2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以外の安全施設及び外殻施設

分類	機能	構築物、系統又は機器	外殻施設
MS-3	制御室外からの安全停止機能	① 中央制御室外原子炉停止盤（安全停止に関連するもの）	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	燃料プール水の補給機能	① 原子炉附属建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却浄化設備（MS-2に属するものを除く。） ② 第一使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却浄化設備（MS-2に属するものを除く。） ③ 第二使用済燃料貯蔵建物使用済燃料貯蔵設備 1) 水冷却浄化設備（MS-2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 第一使用済燃料貯蔵建物 ③ 第二使用済燃料貯蔵建物
	出力上昇の抑制機能	① インターロック系 1) 制御棒引抜きインターロック系	① 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物
	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	① 事故時監視計器（MS-2に属するものを除く。） ② 放射線管理施設（MS-2に属するものを除く。） ③ 通信連絡設備 ④ 消火設備 ⑤ 安全避難通路 ⑥ 非常用照明	①～⑥ 原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物、主冷却機建物 ※ 放射線管理施設（MS-2に属するものを除く。）のうち屋外管理用モニタリングポストを除く。

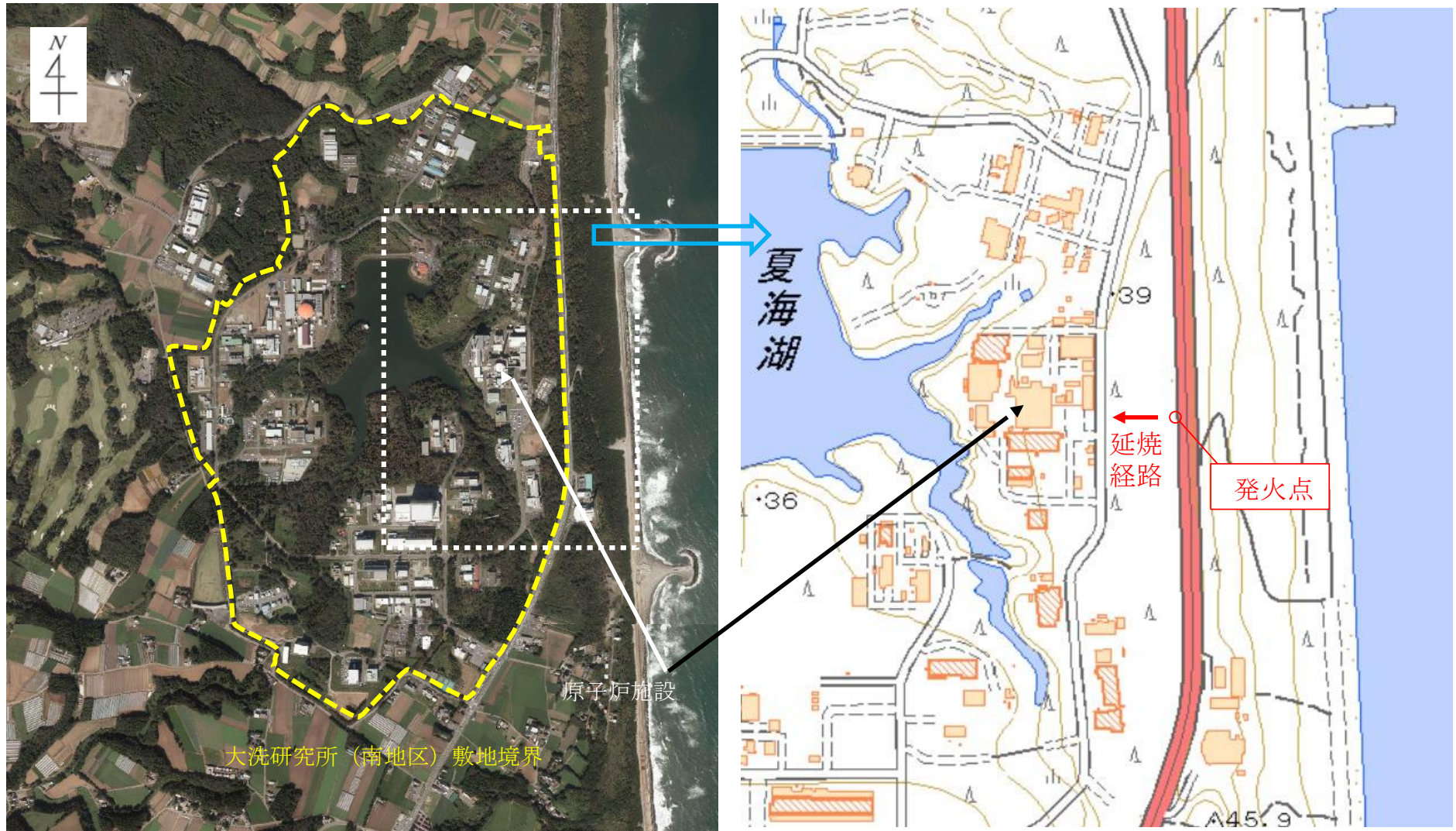
森林火災における発火点の設定

森林火災では、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、影響評価を実施する。発火点及び延焼経路の想定を第1図に示す。

大洗研究所の周囲 10km 圏内には、東に太平洋、北に涸沼川、北西に涸沼が位置し、南から西の方面は耕地となっている。敷地周辺には、国有林等の広大な森林がなく、大規模な森林火災は発生しないと考えられる。

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、道路沿いで的人為的行為（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*1を発火点とした。

*1： 原子炉施設の北側及び南側の植生は工場地帯に位置付けられ、また、障壁となる他施設の建物等が設置されている。原子炉施設の西側には夏海湖が位置する。これらを踏まえ、原子炉施設の東側に発火点を想定した。

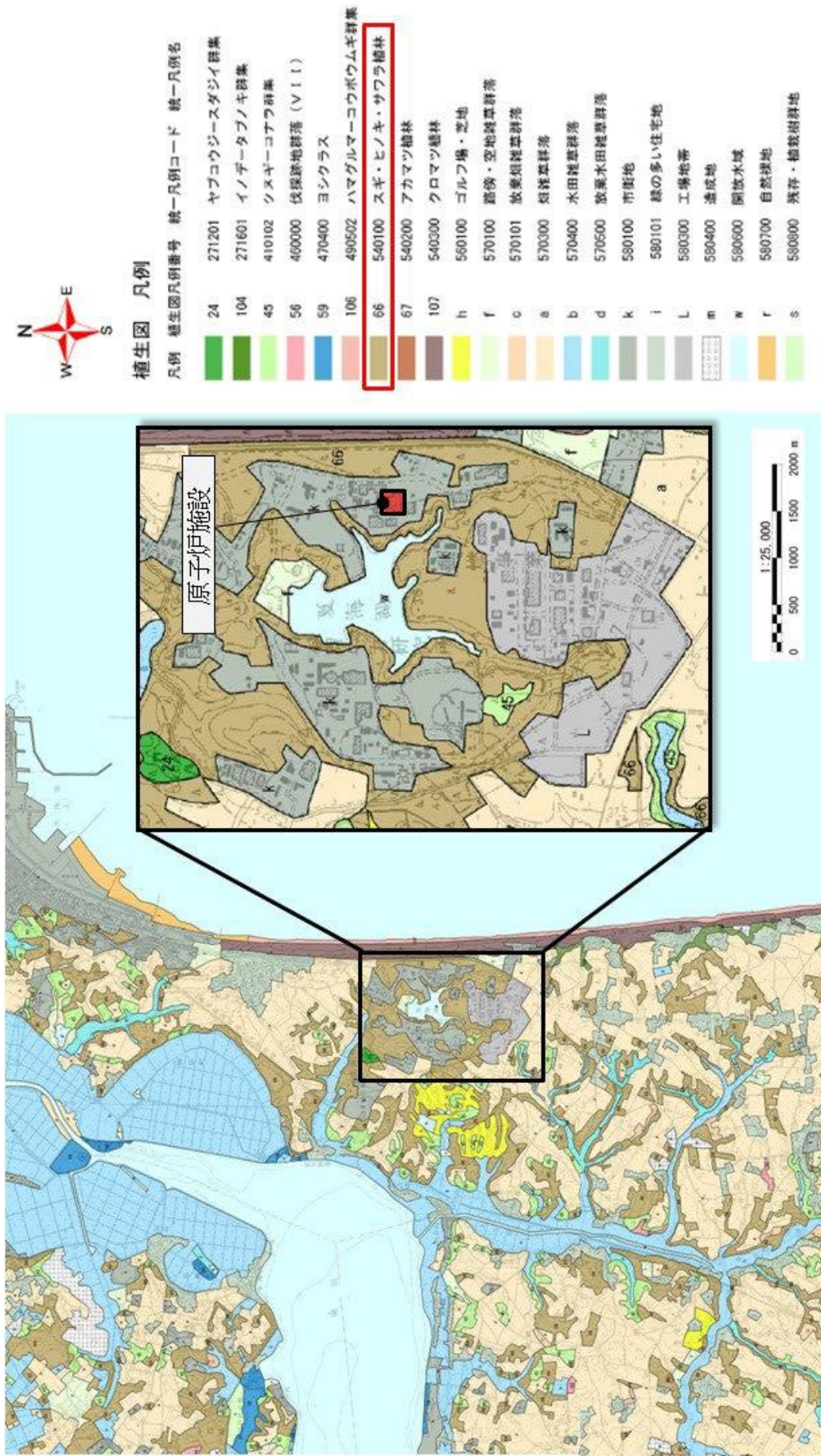


出典：国土交通省国土地理院（資料を加工して作成）

第1図 発火点及び延焼経路の想定

大洗研究所の植生

原子炉施設周辺の植生は、スギ・ヒノキ・サワラ植林に分類される（第1図参照）。ただし、現地調査の結果、マツの植林も実施されている。



第1図 原子炉施設周辺の植生

原子炉施設周辺における樹木等の状況

核物質防護情報が含まれているため公開できません。

スギ、ヒノキ及びマツにおける火線強度・火炎輻射強度

【スギ、ヒノキ及びマツの物性値】

項目	スギ	ヒノキ	マツ	備考
樹高 (m) *1	12	12	12	
樹冠高 (m) *1	6	6	6	
堆積物厚さ (m) *1	0.04	0.04	0.04	
密度 (kg/m ³)	411.38	321.4	516.19	文献調査結果 ^[1]
表面積－体積比 (cm ⁻¹)	60.51	32.79	70.44	文献調査結果 ^[1]
限界含水率 (－)	0.32	0.28	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)	0.046	0.032	0.024	文献調査結果 ^[1]
無機含有率 (－)	0.060	0.043	0.031	文献調査結果 ^[1]
単位面積当たりの乾燥質量 (kg/m ²)	0.5	0.5	0.5	文献調査結果 ^[1]
含水率 (－)	0.010	0.010	0.010	文献調査結果 ^[1]
低位発熱量 (kJ/kg)	20963	20467	19958	文献調査結果 ^[1]
葉の含水率 (－)	0.85	0.85	0.85	文献調査結果 ^[2]

*1： 火線強度や火炎輻射強度を保守的に評価するために設定したものであり、ここでは共通の値を使用する。

[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

【スギ、ヒノキ及びマツにおける火線強度・火炎輻射強度】

項目	スギ	ヒノキ	マツ
火線強度 (kW/m)	約 567	約 371	約 1063
火炎輻射強度 (kW/m ²)	約 386	約 357	約 515

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、火災中の風速は、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	0.2
	All fuel models	0.1

¹Fuels usually partially sheltered.

²Fuels usually fully sheltered.



(原子炉施設の東側の実地調査結果)

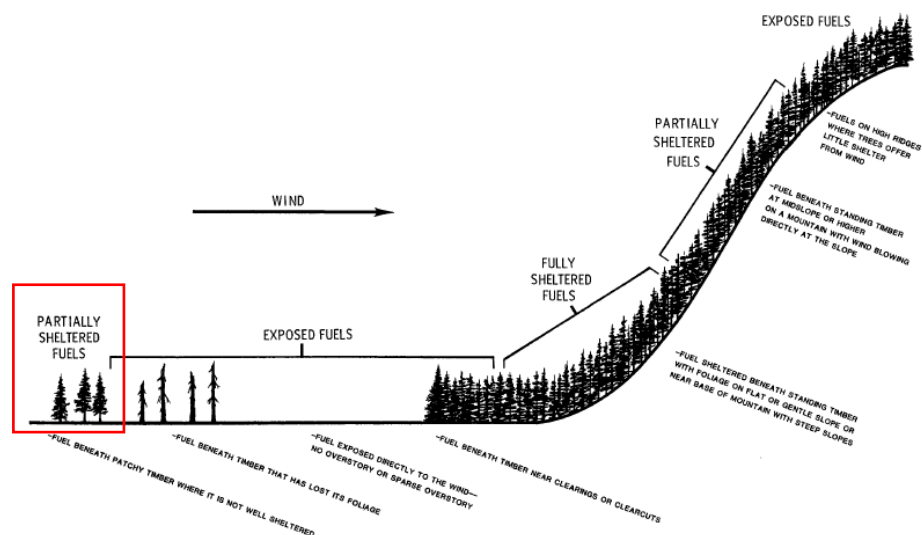


Figure II-8.—Exposure of various fuels to wind.

[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

森林火災の影響評価における火災諸元の設定

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。火災諸元の設定を第 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	国土地理院データ/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	M _x	—	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	M _f	—	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－Rohermel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ときの 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 : $\Phi_s = 5.275 \beta^{-0.3} \tan^2 \Phi$

※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

第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	$I_0 < I_b$

延焼経路の傾斜の設定

延焼経路の傾斜の設定に使用したパラメータを以下に示す。当該傾斜は、約 2.178° の上り勾配となる。なお、傾斜による割増し係数の算出には、“ $\tan^2 \phi$ ”を用いるため、当該係数は、約 2.178° の下り勾配を想定したものと同一となる。外部火災に係る影響評価では、保守的に当該値を使用した。

緯度	経度	標高*1	備考
36 度 16 分 4.4 秒 (36.267889 度)	140 度 33 分 22.46 秒 (140.556238 度)	39.2m	敷地境界
	140 度 33 分 19.19 秒 (140.555331 度)	42.3m	森林境界 (敷地境界からの距離：約 81.5m*2)

*1 標高：地理院地図（電子国土 Web）を使用

*2 地点間距離：国土地理院測量計算サイトを使用

火炎中の風速の設定

火炎中の風速には、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。水戸気象台の観測データ（出典：気象庁ホームページ）を以下に示す。

年	気温（℃）		風速（m/s）・風向	
	最高	最低	風速	風向
2004	36.4	-5.3	15.5	北東
2005	35.6	-6.5	10.9	北東
2006	35.1	-7.7	13.1	北北東
2007	37.0	-4.4	11.6	南東
2008	35.2	-5.5	13.9	北東
2009	34.2	-5.4	13.6	北北東
2010	36.1	-6.5	14.3	北東
2011	36.5	-7.2	14.0	北東
2012	36.3	-7.1	12.1	南南西
2013	36.3	-6.7	17.4	北北東

【参考】 2014年～2019年の水戸地方気象台の観測データを以下に示す。2014年及び2016年に最大風速 17.5m/s が確認されている。地形及び樹林の影響を踏まえてた係数 0.3 を乗じると 5.25m/s となる。

年	気温 (°C)		風速 (m/s)・風向	
	最高	最低	風速	風向
2014	36.2	-7.8	17.5	北北東
2015	36.5	-4.6	13.1	北北東
2016	36.9	-4.8	17.5	北東
2017	35.7	-6.2	13.7	北東
2018	37.6	-7.9	13.9	北東
2019	36.3	-5.8	15.9	北東

→ 以下に示すように、延焼速度や火線強度等が増加するが、変動量は1%以下であり、評価結果に及ぼす影響は無視できる。

項目	評価結果	
	風速：17.5m/s	風速：17.4m/s
延焼速度 (m/min)	11.650	11.548
火線強度 (kW/m)	1071.865	1062.413
火炎長 (火炎高さ) (m)	1.919	1.912
単位面積当たりの熱量 (kJ/m ²)	5,520.132	5,520.132
火炎輻射強度 (反応強度) (kW/m ²)	514.336	514.336

風速以外の気象データ

風速以外の気象データについて、FARSITE では大気温度と湿度が用いられている。当該気象データは、地表火の評価における枯死した可燃物の条件設定に用いられ、初期値で入力する「含水率」のパラメータをタイムステップごとの温度と湿度データにより変化させている。

「常陽」の評価では、FARSITE コードの評価式を用いた評価を行っており、大気温度と湿度の入力は用いておらず、枯死した可燃物の含水率 ($Mf = \text{可燃物の含水量} / \text{可燃物の乾燥質量}$) は、乾燥状態を想定して初期値 (0.01) で一定としている。

参考までに含水比を 0.00 とした場合の評価結果を以下に示す。建屋外壁温度は若干上昇するものの、判定基準に対して十分裕度がある。また、火線強度も上昇するが、防火帯の幅は Alexander and Fogarty の手法を用いて求められる風上に樹木が存在する場合には最小防火帯幅 17.4m (火線強度: 2,000kW/m) より 18m 以上とし、風上に樹木が存在しない場合には最小防火帯幅 6.7m (火線強度: 2,000kW/m) より 7m 以上としており、十分裕度がある。

第 1 表 評価結果 (外壁温度)

建物名称	火炎との距離 (m)	外壁温度 (°C)	
		含水比 : 0.01 (-)	含水比 : 0.00 (-)
原子炉附属建物	78.5	43.0	44.3
主冷却機建物	70.0	43.7	45.4

第 2 表 評価結果 (火災諸元)

評価指標	含水比 (-)	
	0.01	0.00
延焼速度 (m/min)	11.548	13.089
火線強度 (kW/m)	1,062.413	1306.562
火炎長 (m)	1.912	2.102
単位面積当たり熱量 (kJ/m ²)	5520.132	5989.396
火炎輻射強度 (kW/m ²)	514.336	558.060
樹冠火発生有無 【樹冠火発生閾値 : 2,017.979kW/m】	無	無

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

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 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。



「国土地理院地図（電子国土 web）」に加筆

第 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

影響評価の対象とする危険物貯蔵施設等の位置

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（LPG）及び 1t 以上の可燃性の高圧ガスを有する施設が対象*1）が存在する（第 1 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。敷地内には、39 の危険物を保有する施設を有する。このうち、屋外タンク貯蔵所に該当するものは 3 施設である（第 2 図参照）。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短いことを踏まえ、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。

*1：15t 以下の液化石油ガス（LPG）及び 1t 以下の可燃性の高圧ガスの評価は、危険物を搭載した車両による火災・爆発の影響評価に包絡される。

他事業者の情報が含まれているため、公開できません。

「国土地理院地図（電子国土web）」に加筆

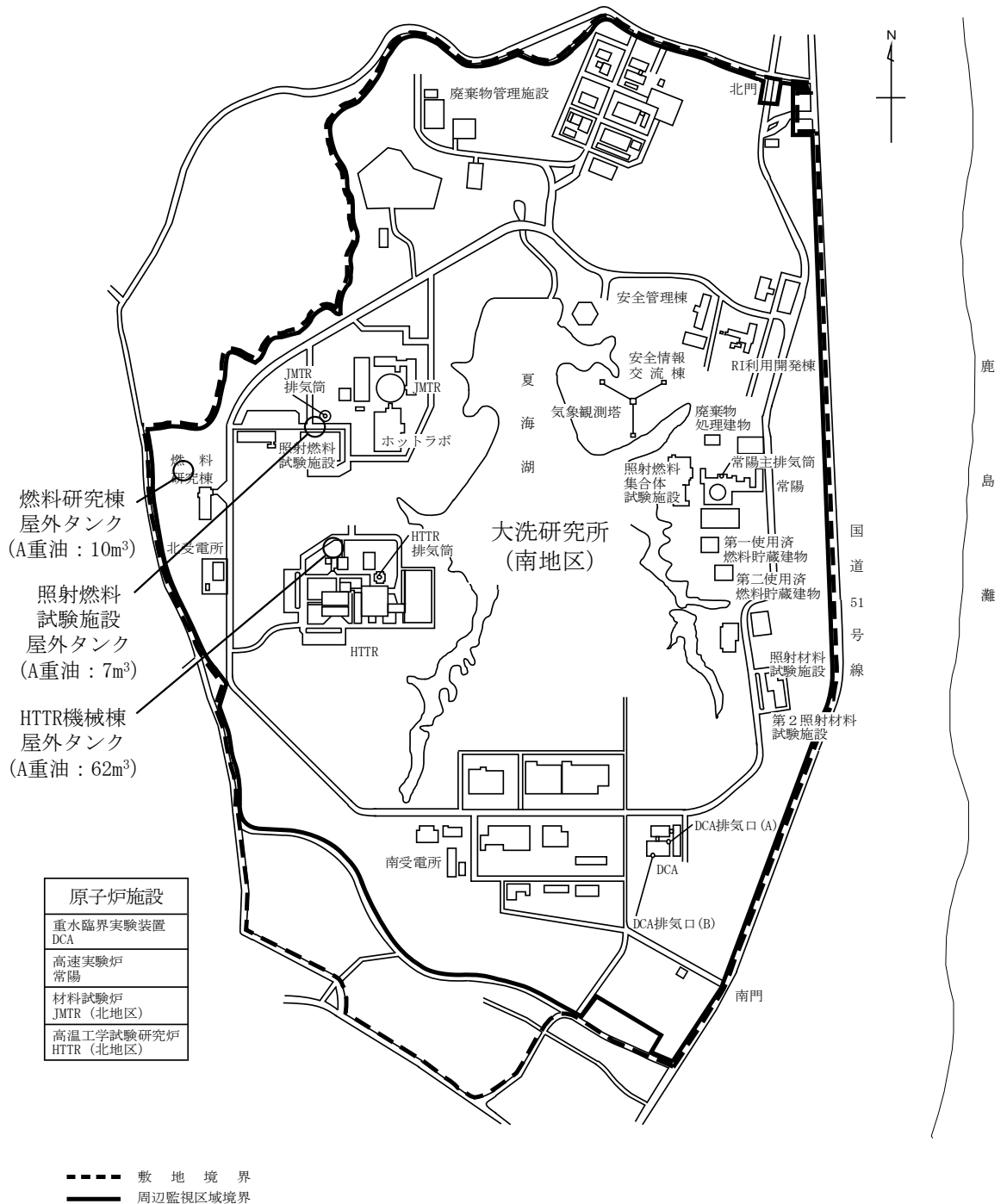
【高圧ガス貯蔵設備（15t以上の液化石油ガス（LPG）及び1t以上の可燃性の高圧ガスが対象）】

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1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）



第2図 敷地内の屋外タンク貯蔵所の位置

航空機落下に係る離隔距離

航空機落下による火災に係る影響評価では、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、算出した離隔距離を用いて、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）：約 737m
- ・ 計器飛行方式民間航空機（航空路を巡航中）：約 837m
- ・ 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）：約 355m
- ・ 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）：約 204m
- ・ 自衛隊機又は米軍機：約 338m
（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：約 61m
（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）：約 33m

評価対象施設については、安全上重要な施設（航空機落下による影響が及ばないことが明らかかな構築物・系統及び機器を除く。）のほか、大量の放射性物質を蓄えている使用済燃料貯蔵設備の保護に必要な施設も対象とする。相互に関連しない（波及的影響のない）施設については、施設毎の面積を標的面積とするが、相互に関連する（波及的影響のある）施設については、相互に関連する施設の面積を合算したものとする。

以上より、以下の3つの施設(群)を評価対象施設とする。

- ・ 原子炉建物、原子炉附属建物及び主冷却機建物
- ・ 第一使用済燃料貯蔵建物
- ・ 第二使用済燃料貯蔵建物

なお、第一使用済燃料貯蔵建物と第二使用済燃料貯蔵建物の評価は、原子炉建物、原子炉附属建物及び主冷却機建物の評価に包含される。

【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（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) 【 5.27×10^{-8} 】

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

$D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数 (回) 【2】

$E_{d,a}$: 国内での離着陸回数 (回) 【37,956,682】

$N_{d,a}$: 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) 【6,420】

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$: 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 1.911km² であり、等価の面積を有する円の半径は約 780m 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 737m となる。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第 1 図に示す。

【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)

【 4.23×10^{-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) 【11,814,093,990】

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 (45 回／日) 及び Y108 (3 回／日) : 17,520】

*1 : 平成 13 年～令和 2 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 2.434km² であり、等価の面積を有する円の半径は約 880m 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 837m となる。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第 2 図に示す。

【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 ）【372,973】

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13年～令和2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13年～令和2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 0.497km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約398m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。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第3図に示す。

【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 ）【372,973】

f_v ：単位年当たりの落下事故率（回／年）【小型固定翼機： $1 \cdot 10^{-1}$ 】

【小型回転翼機： 0.85^{-2} 】

*1：平成13年～令和2年の20年間における事故件数は22回

*2：平成13年～令和2年の20年間における事故件数は17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 0.191km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約 247m 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 204m となる。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第4図に示す。

【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 (km²)

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 (km²)

【自衛隊機：294,779】

【米軍機：372,464】

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13年～令和2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13年～令和2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 0.456km² 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 5,750m² 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 338m となる。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第5図に示す。

【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：294,779】

【米軍機：372,464】

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13年～令和2年の20年間における事故件数は15回

*2：平成13年～令和2年の20年間における事故件数は3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 0.034km^2 であり、等価の面積を有する円の半径は約104m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61mとなる。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第6図に示す。

【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} 】

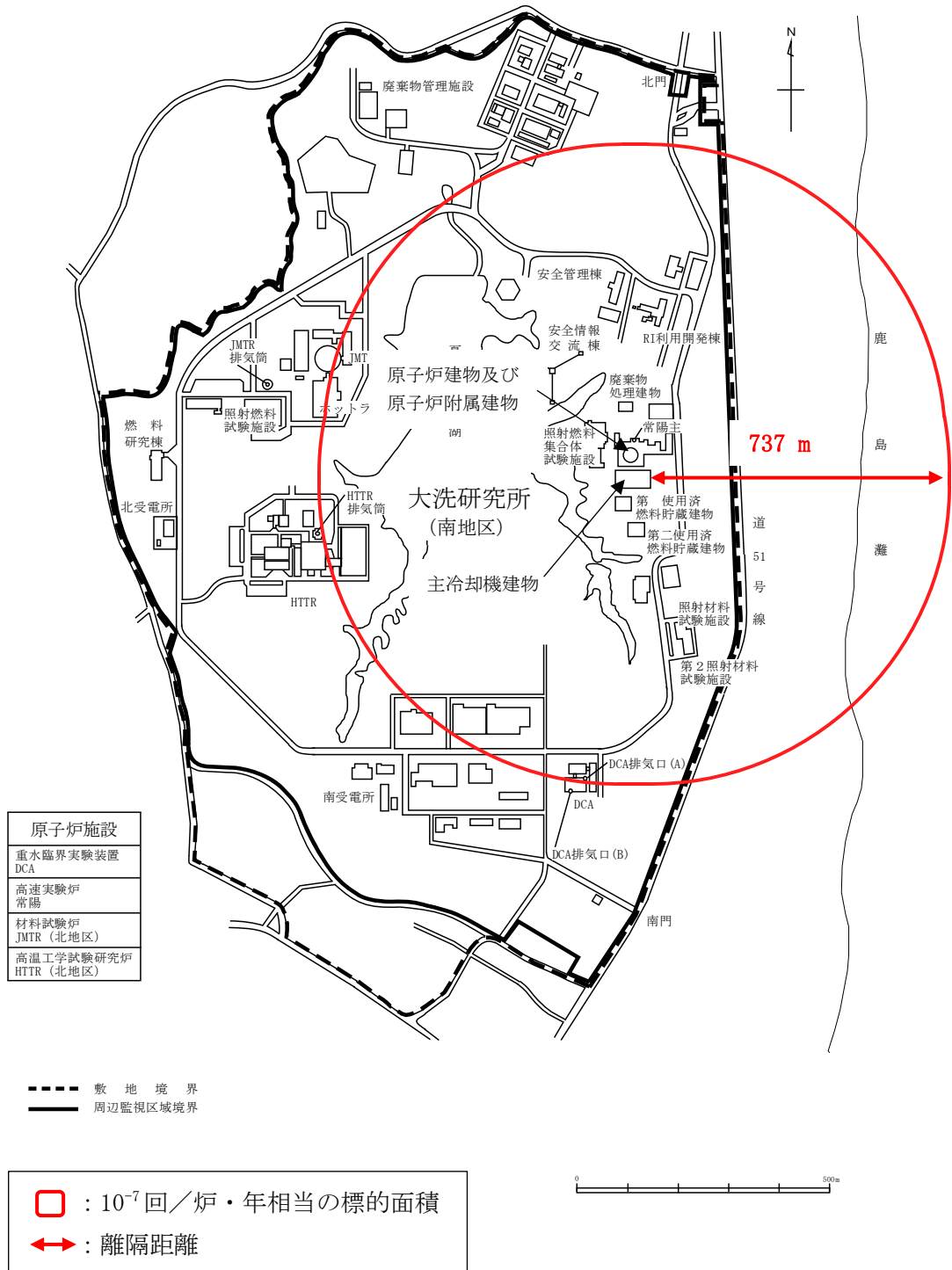
Sse：想定飛行範囲の面積（ km^2 ）【4,541】

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

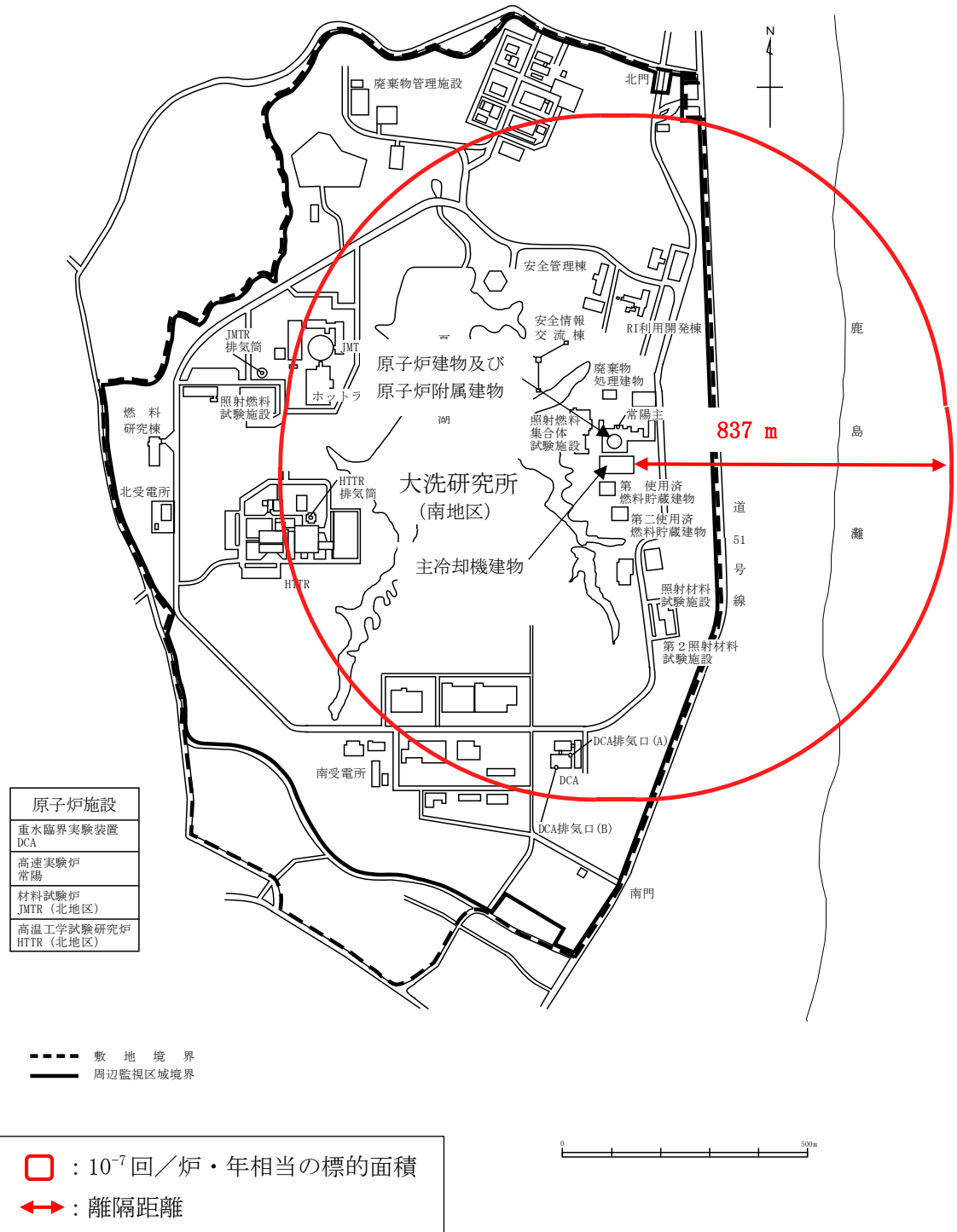
*1：平成13年～令和2年の20年間における事故件数が0回のため、保守的に、0.5回を想定

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。

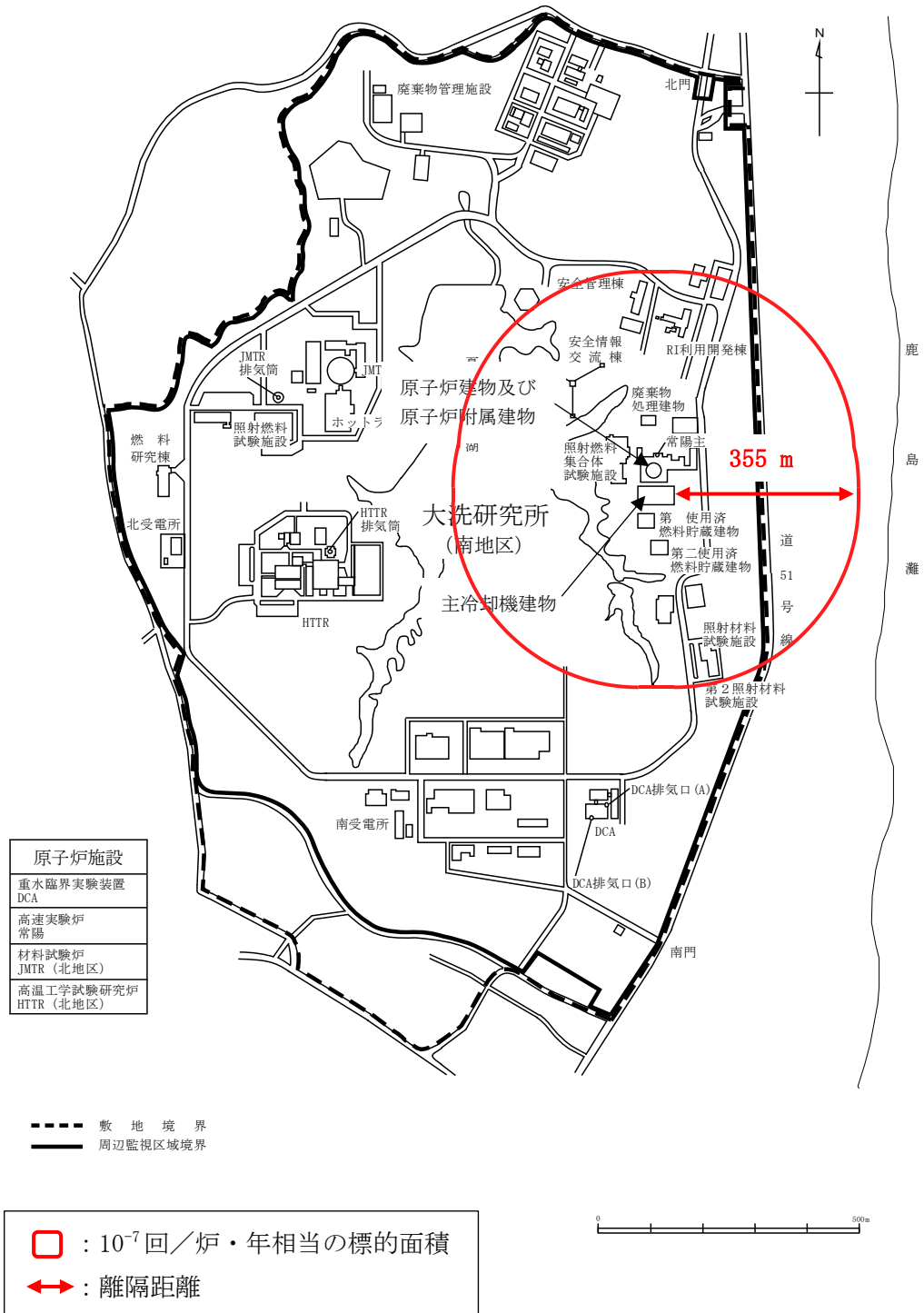
以上より、外部火災防護対象施設と航空機落下位置の離隔距離は約 33m となる。原子炉建物及び原子炉附属建物並びに主冷却機建物を対象とした離隔距離のイメージを第7図に示す。



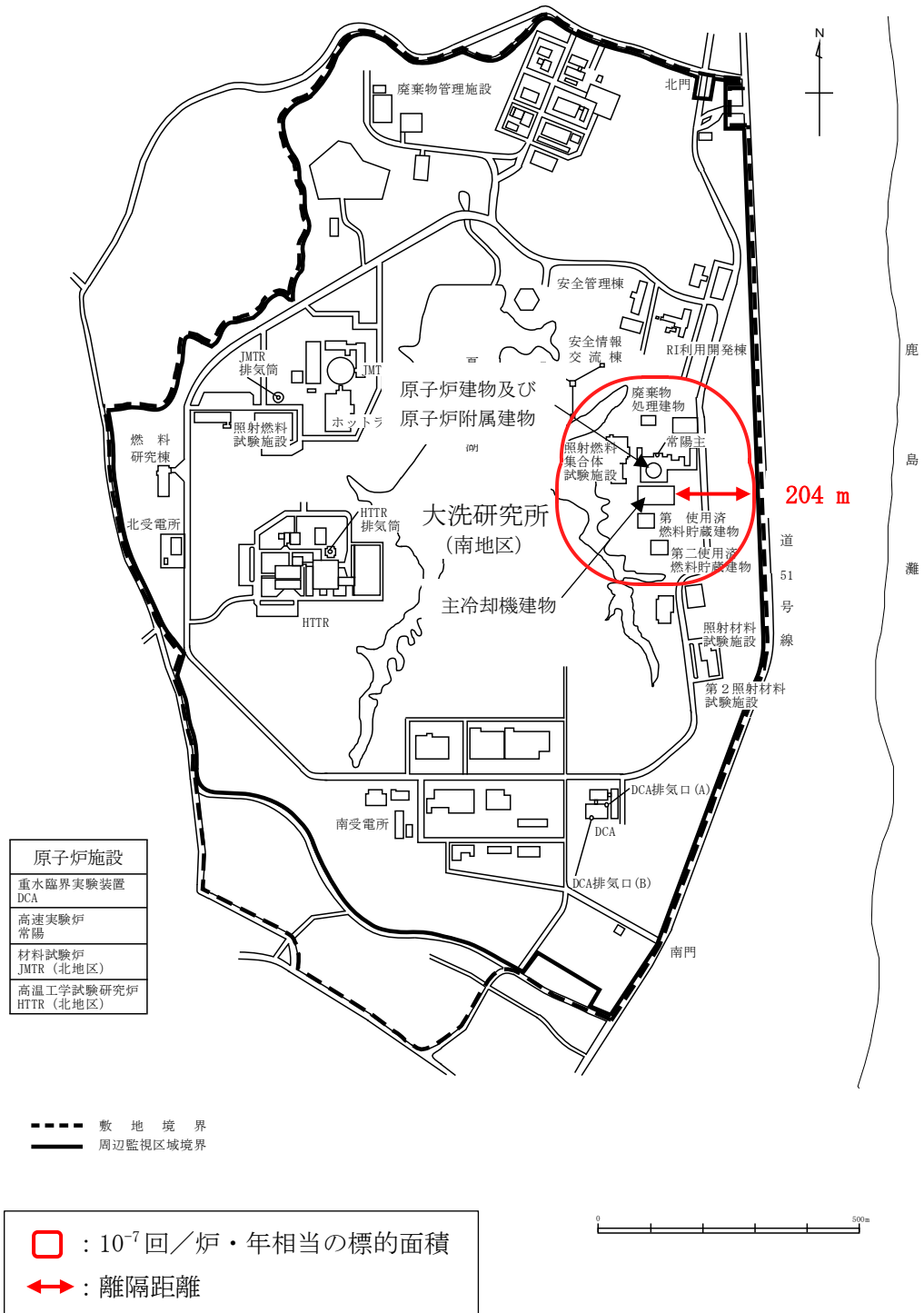
第1図 計器飛行方式民間航空機（飛行場での離着陸時）に係る離隔距離のイメージ



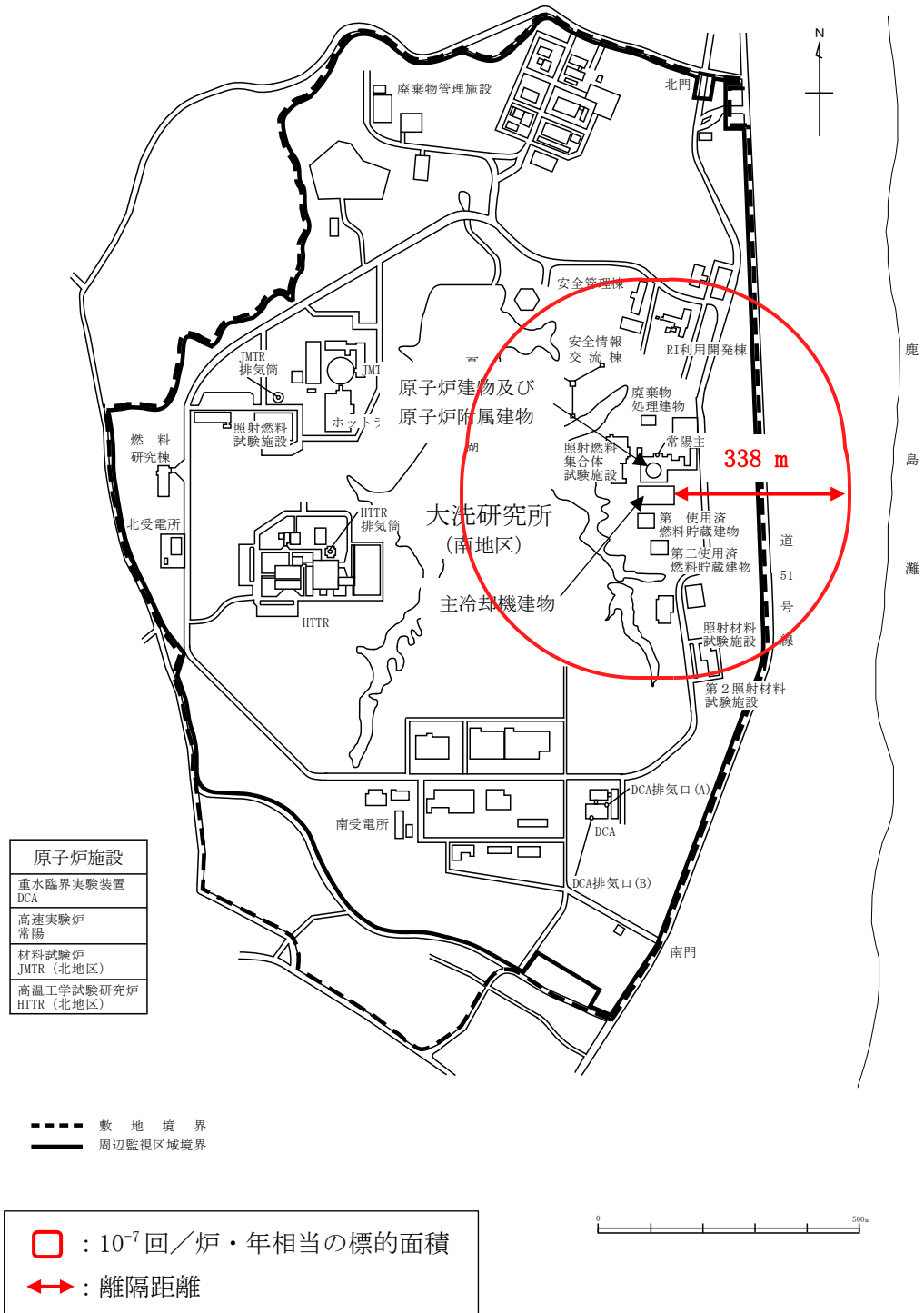
第2図 計器飛行方式民間航空機（航空路を巡航中）に係る離隔距離のイメージ



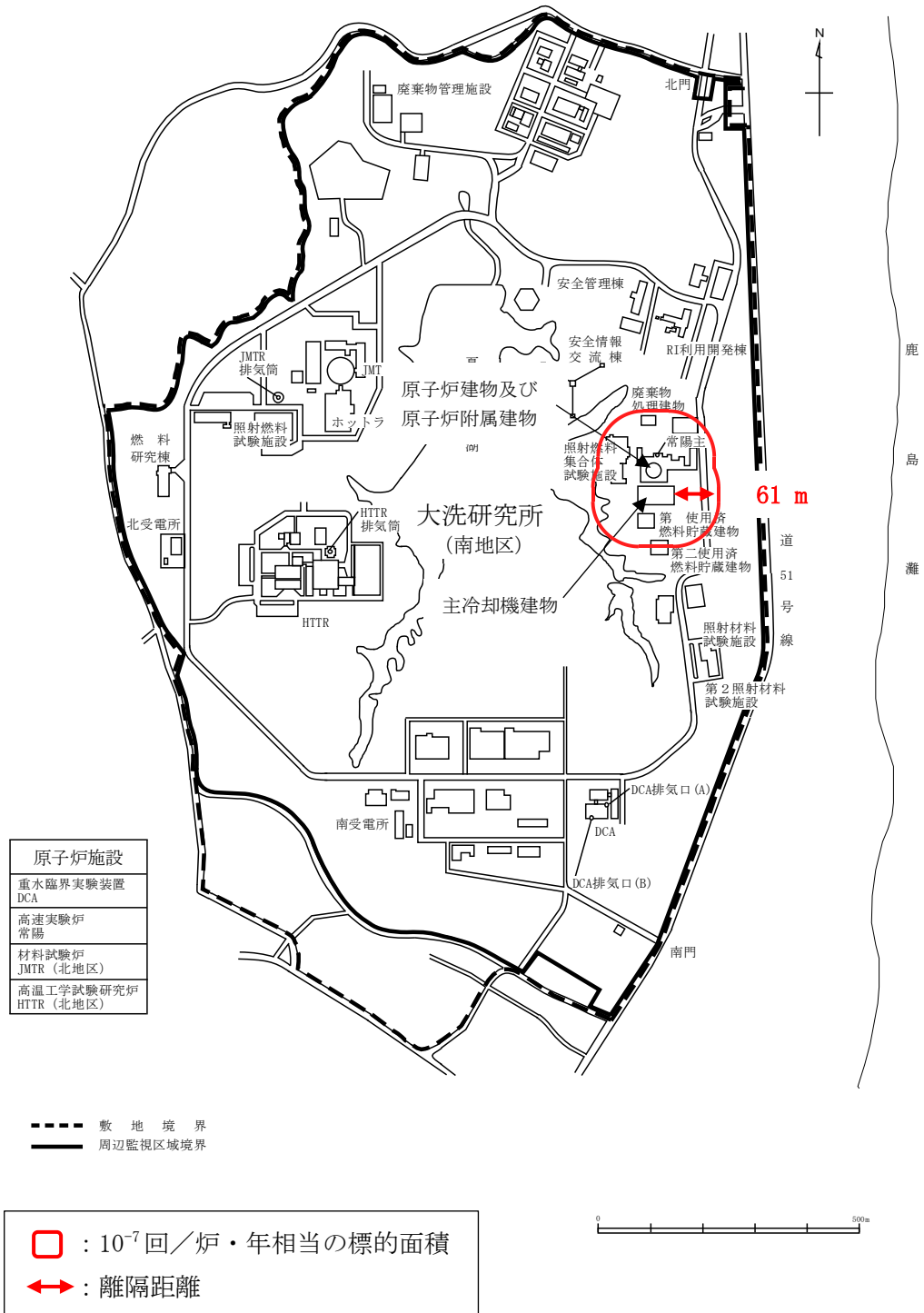
第3図 有視界飛行方式民間航空機（大型固定翼機及び大型回転翼機）に係る隔離距離のイメージ



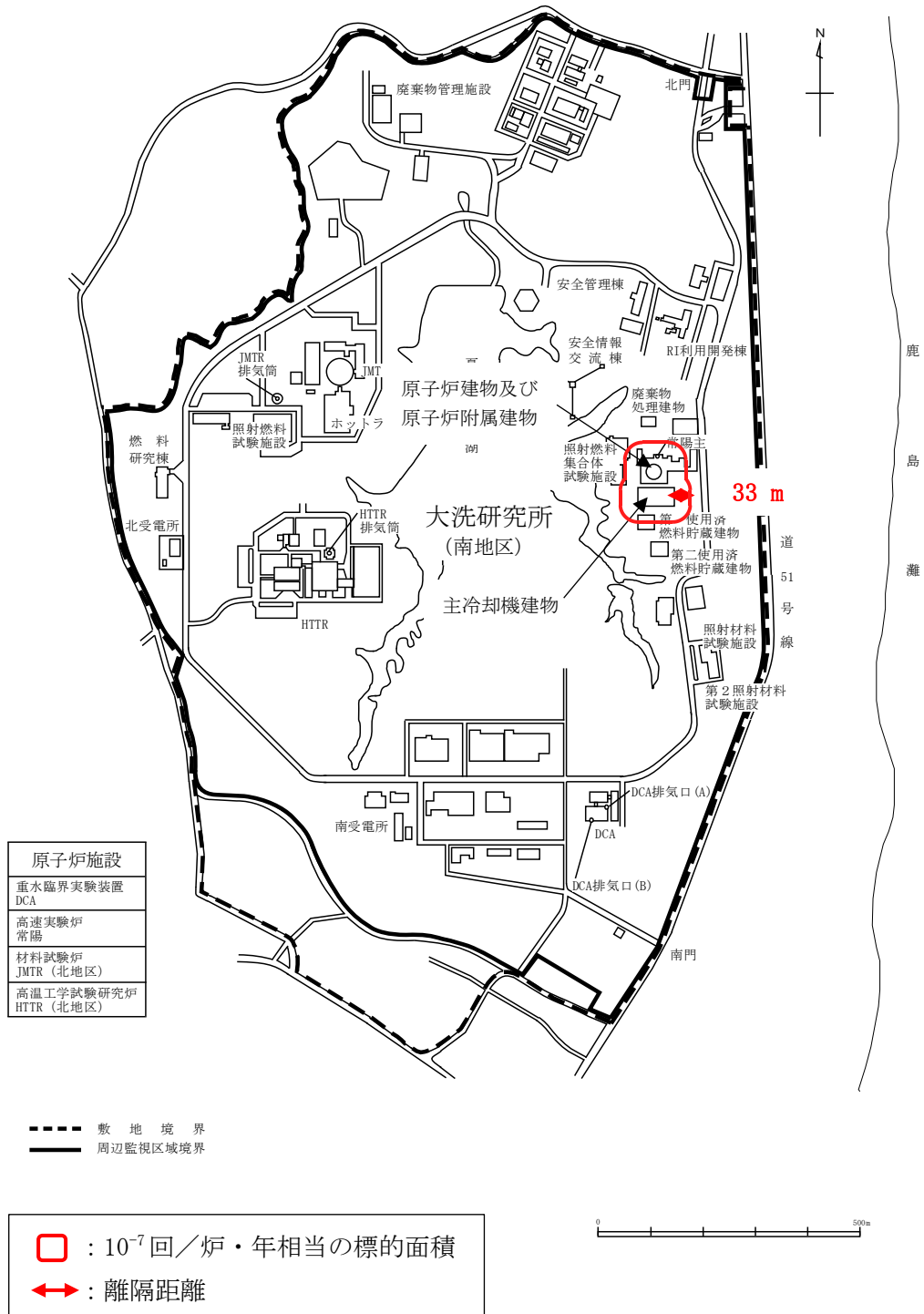
第4図 有視界飛行方式民間航空機（小型固定翼機及び小型回転翼機）に係る離隔距離のイメージ



第5図 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）に係る離隔距離のイメージ



第 6 図 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）に係る離隔距離のイメージ



第7図 自衛隊機（基地－訓練空域間を往復時）に係る離隔距離のイメージ

森林火災に係る熱的影響評価結果

想定した発火点（原子炉施設の東側）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までの経路において、熱的影響評価対象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。

(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。原子炉施設にあつては、当該延焼経路において18m以上の防火帯を設ける。

(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*1）

*1： 延焼経路を簡略化するため、防火帯の効果の一部を無視し、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℃*2であり、許容温度である200℃を下回る。

*2： 評価対象施設外壁と森林境界の距離は、保守的に70m（主冷却機建物のケース）で統一した。評価対象施設外壁と森林境界の距離が大きい原子炉建物（格納容器を含む。）及び原子炉附属建物の外壁表面温度の最高値は、約44℃を下回る。

第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	—	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 : $\Phi_t = \Phi_i + \Phi_{i+1} + \Phi_{i+2} \dots$

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

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

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 (963J/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)

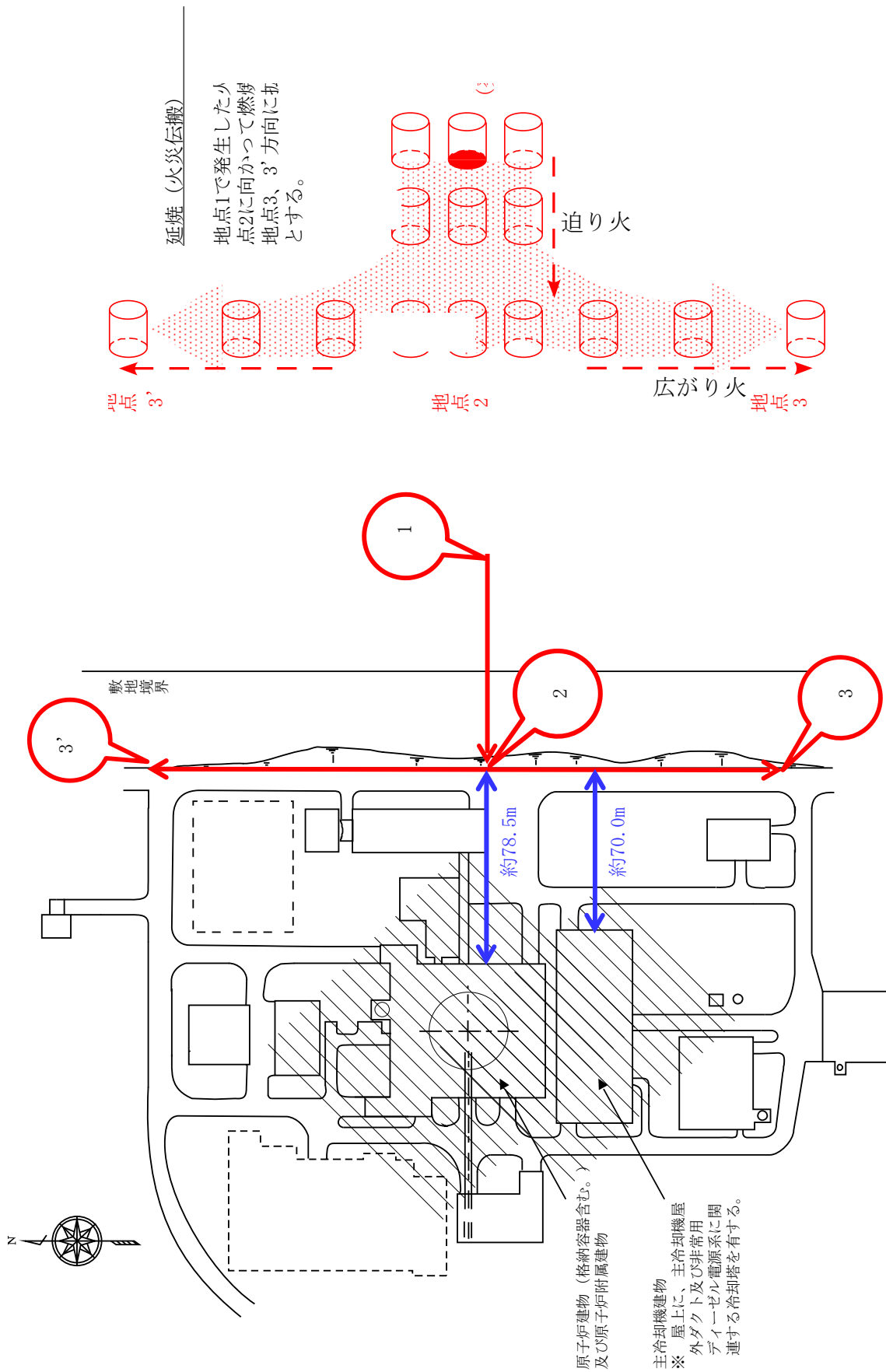
※ 上式について、 $x=0$ の時の境界条件を与えて差分法を用いる。ある時間及び場所(外表面からのコンクリート深さ)の温度を $T(t, x)$ と表すと、微小時間 k が経過した後の温度は、下式で算出される。なお、コンクリート温度の初期値は、水戸地方気象台の観測データの日最高気温の調査結果(38.4°C(1997年7月))を踏まえ、40°Cとする(以下、コンクリート温度の計算において同じ)。

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

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1図 延焼 (火災伝搬) イメージ

コンクリートの許容値の設定

熱的影響評価対象施設の壁温度（コンクリート）の許容温度は、文献「建築火災のメカニズムと火災安全設計」（原田和典、財団法人日本建築センター、2007年）を参考に設定した。当該文献には、圧縮強度は200℃程度までは常温と殆ど変わらず、200℃以降は温度の上昇とともに徐々に低下することが記載されており、当該温度をコンクリート外壁の許容温度とした（別添1参照）。

コンクリートの許容温度の設定根拠

「建築火災のメカニズムと火災安全設計」(原田和典、財団法人日本建築センター、2007年)

P160 抜粋

11-4 鉄筋コンクリート構造の火災時耐力

(1) 素材の高温強度

高温時のコンクリートの圧縮強度低下率を図 14 に示す。圧縮強度は、200°C程度までは常温と殆ど変わらないかむしろ上昇する。しかし、その後は徐々に低下して、500°Cで常温強度の 2/3 に、800°Cでは殆ど零となる。2/3 はコンクリートの短期許容応力度に相当するので、500°Cが素材としての限界温度と考えられる。また、図 15 に示すように、高温から冷却した後の残存強度は、高温時の強度よりもさらに低下する。長期許容応力度を加熱前強度の 1/3 相当と考えると、火災後の残存強度を確保する場合には 450°Cが限界となる。

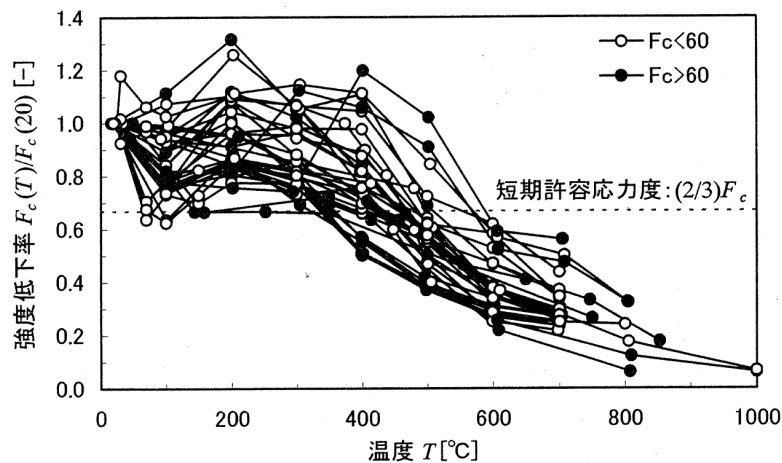



図14 コンクリートの高温時圧縮強度(常温強度に対する比)

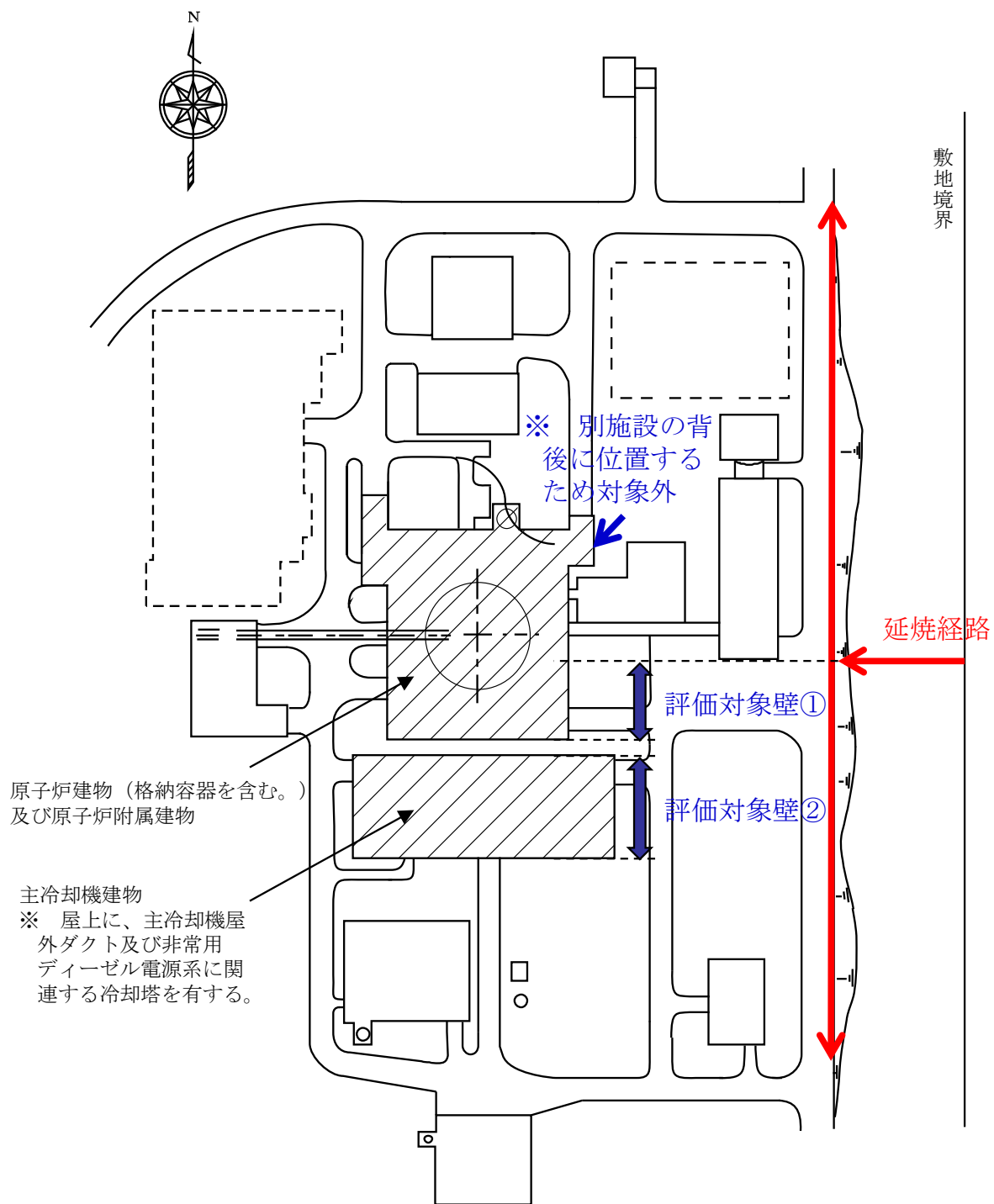
(参考文献18)~23) のデータより作成

熱的影響評価の対象壁の位置及び建物内部への熱影響

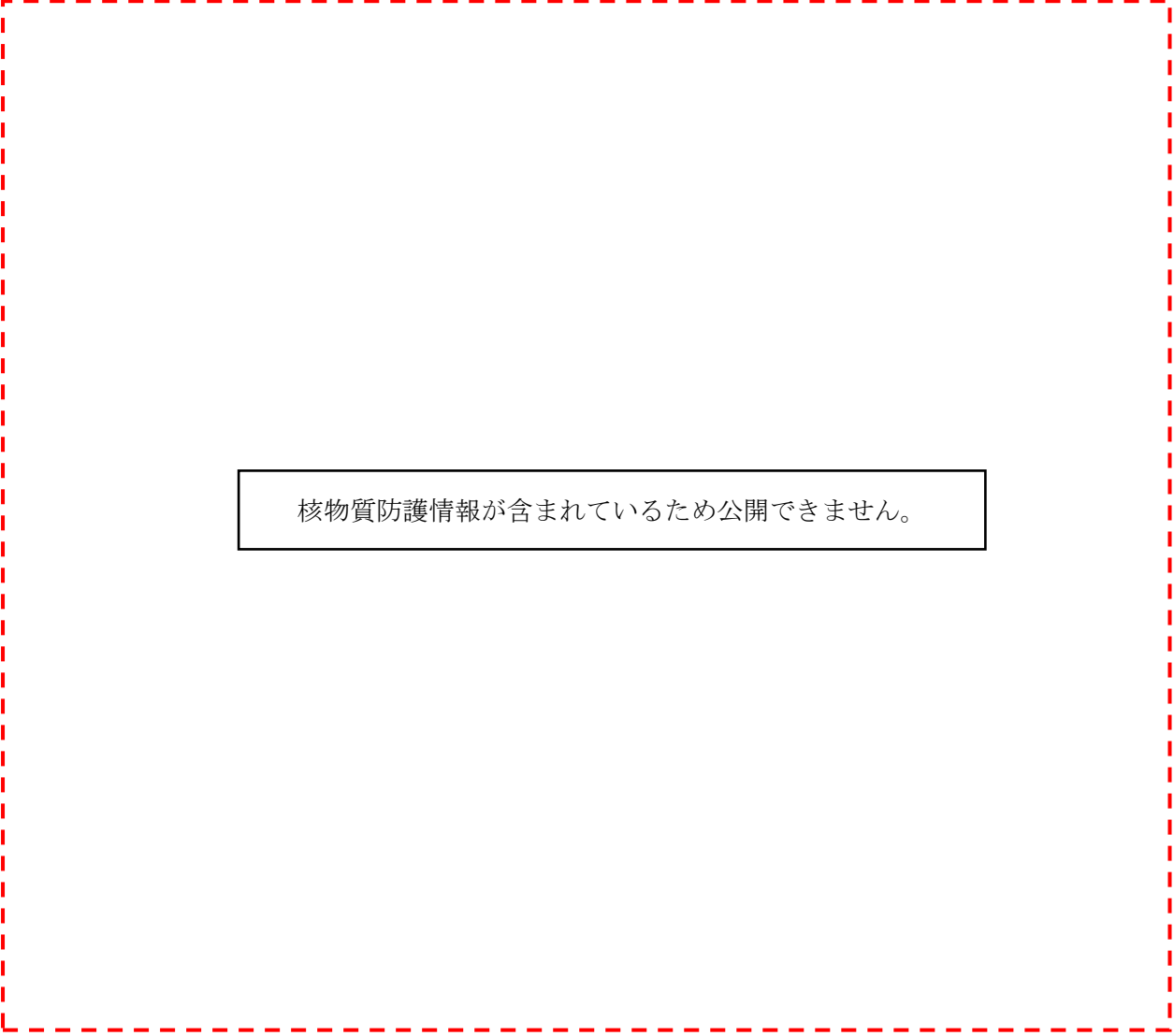
森林火災に係る熱的影響評価の対象壁の位置を第1図に示す。評価対象壁には、原子炉建物及び原子炉附属建物の東側の地上階のうち、別施設*1の背後に位置しない部分（評価対象壁①：第2図参照）、主冷却機建物の東側の地上階の壁（評価対象壁②：第3図参照）が該当する。建物屋上に設置されている機器等については、外壁よりも建物中心部に配置することとし、火炎に近い評価対象壁の評価で代表する。なお、最も建物東側の火災想定に近い屋上に設置されている機器は主冷却機建物の非常用ディーゼル電源系冷却塔であり、竜巻対策として周囲に防風壁が設置されていることから冷却塔が直接影響を受けることはない。

熱的影響評価の結果、当該壁の温度は約44℃を超えることはない。評価対象壁①及び②の壁厚は、それぞれであり、外壁表面温度の上昇が、内部に影響を及ぼすことはない。なお、コンクリート壁以外の機器搬出入口等の建物内近傍には、安全機能を有する施設を配置しないものとし、安全施設の安全機能を損なわない設計としている。

*1： 当該施設は、従業員等の居室である運転管理棟である。鉄筋コンクリート造であり、かつ、不燃材料で構成されており、外部火災による延焼は生じない。また、当該施設内で発生した火災が、施設外に熱影響を及ぼすことはない。




第 1 図 熱的影響評価の対象壁の位置



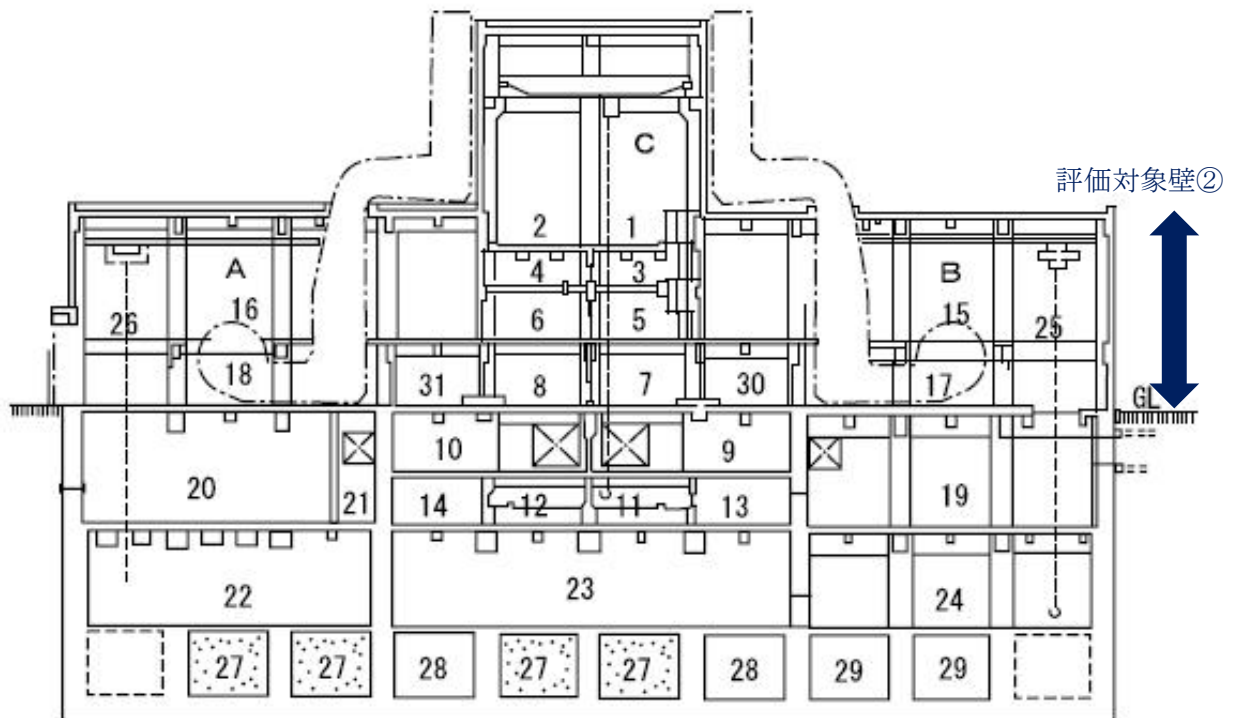
核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第2図(1) 評価対象壁①の位置(原子炉建物及び原子炉附属建物(2階))



核物質防護情報が含まれているため公開できません。

第2図(2) 評価対象壁①の位置(原子炉建物及び原子炉附属建物(1階))



- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1 主循環ポンプ室A | 17 主冷却機室A |
| 2 主循環ポンプ室B | 18 主冷却機室B |
| 3 オーバフロータンク室A | 19 一般系電源盤室 |
| 4 オーバフロータンク室B | 20 油タンク室廊下 |
| 5 2次系コールドトラップエリアA | 21 ケーブル室 |
| 6 2次系コールドトラップエリアB | 22 ディーゼル発電機室No.2 |
| 7 2次系配管室A | 23 廊下 |
| 8 2次系配管室B | 24 空調換気室 |
| 9 2次系配管室A | 25 風洞室A |
| 10 2次系配管室B | 26 風洞室B |
| 11 ナトリウム溜室A | 27 砂充填 |
| 12 ナトリウム溜室B | 28 排水ポンド |
| 13 ナトリウム点検室 | 29 補機冷却槽 |
| 14 ナトリウム点検室 | 30 前室No.1 |
| 15 主冷却機上部室A | 31 前室No.2 |
| 16 主冷却機上部室B | |
| | A 30t吊 懸垂型 走行クラブトロリー |
| | B 30t吊 懸垂型 走行ホイスト |
| | C 15t吊 及び2t吊 走行クレーン |

第3図 評価対象壁②の位置（主冷却機建物断面）

危険物屋外タンクに係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

1. 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当たっては、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 1.1 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

2. 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 651m である。

評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 41°C であり、許容温度である 200°C 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

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

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

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°C)

第 1.1 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 ³	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

HTRR 機械棟屋外タンクの外観



防油堤(8.3m×8.3m)

高圧ガス貯蔵設備に係る熱的影響評価結果

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（LPG）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 1 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 ($\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$) 【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】

他事業者の情報が含まれているため、公開できません。

「国土地理院地図（電子国土web）」に加筆

【高圧ガス貯蔵設備（15t以上の液化石油ガス（LPG）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1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）

危険物を搭載した車両の火災・爆発に係る火災諸元の設定
及び熱的影響評価結果

1. 危険物を搭載した車両の火災

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の火災を想定する。なお、当該タンクローリは、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。

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当たっては、タンクローリ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 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 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/ρ
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	R _f	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

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°C)

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の爆発を想定する。なお、当該タンクローリは、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のを対象とし、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】

航空機落下による火災に係る火災諸元の設定
及び熱的影響評価結果

1. 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 1.1 表に示す。計器飛行方式民間航空機及び有視界飛行方式民間航空機（大型機）は、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち、燃料積載量が最大の航空機を想定機種として選定した。有視界飛行方式民間航空機（小型機）は、平成 4 年から平成 23 年までの有視界飛行方式民間航空機（大型固定翼機、大型回転翼機、小型固定翼機及び小型回転翼機）の落下事故のうち、燃料積載量が最大の航空機を想定機種として選定した。自衛隊機又は米軍機については、訓練空域外を飛行中の対象航空機は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。基地－訓練空域間を往復時の対象航空機は、百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

影響評価に係る火災諸元の設定に当たっては、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 1.2 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 1.1 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 ^[1]	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 ^[1]	JET A-1	216.84	700
有視界飛行方式民間航空機 (大型機)	B747-400 ^[1]	JET A-1	216.84	700
有視界飛行方式民間航空機 (小型機)	AS332L1 ^[2]	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

[1] 日本原子力発電株式会社、「東海第二発電所 外部火災影響評価について」(新規制基準適合性に係る審査(第167回審査会合)の資料)、平成26年12月
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11174357/www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yyushikisya/tekigousei/power_plants/h26fy/20141202.html

[2] JNES、「航空機落下事故に関するデータの整備(JNES-RE-2013-9011)」、平成25年11月

第 1.2 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 ³	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 1.2 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 ³	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 1.2 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 ³	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 1.2 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 ³	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

2. 影響評価結果

2.1 建物外壁

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、自衛隊機又は米軍機の落下事故（基地－訓練空域間を往復時の落下事故）における約 97℃であり、許容温度である 200℃を下回る（第 2 表参照）。

外壁における輻射強度 E (W/m²) : E = RfΦ

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

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

T₀ : コンクリート外壁表面初期温度 (40℃)

2.2 建物天井スラブ

天井スラブの評価は以下の理由により、外壁の評価に包含される。

- ① 火炎長が天井スラブより低い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ② 火炎長が天井スラブより高い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、離隔距離が大きくなることから、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ③ 火炎からの離隔距離が等しいとした場合においても、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

第2表 航空機落下に係る熱的影響評価結果

		離隔距離 (m)	形態係数 (-)	外壁における 輻射強度 (W/m ²)	外壁表面温 度 (°C)	
(1) 計器 飛行方式民間 航空機の 落下事故	① 飛行場での離着陸時 における落下事故	737	7.94×10^{-4}	40	42	
	② 航空路を巡航中の落 下事故	837	6.14×10^{-4}	31	41	
(2) 有視界飛行方式民間 航空機の落下事故	大型機	355	3.45×10^{-3}	173	48	
	小型機	204	2.77×10^{-4}	14	40	
(3) 自衛 隊機又は米 軍機の落下 事故	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	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	338	2.19×10^{-3}	127	45
		② その他 の大型固定 翼機、小型 固定翼機及 び回転翼機	61	7.44×10^{-3}	431	57
	基地－訓練空域間を往復 時の落下事故	33	2.47×10^{-2}	1434	97	

平成 29 年 3 月 30 日申請時の評価

平成 29 年 3 月 30 日付けで申請した原子炉設置変更許可申請書における第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る航空機落下にあつては、主に平成 25 年までのデータに基づき航空機落下確率を評価し、熱的影響評価を実施している。

第 1 表に計算条件を、第 2 表に計算結果を示す。

第 2 表に示すとおり、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℃を下回ることを確認した。

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件 (1/2)

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (飛行場での離着陸時における落下事故)]

項目	申請時
国内での離着陸時事故件数(件)	4 ^[1]
国内での離着陸回数(離着陸回)	32,780,942 ^[2]
当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回/年)	4,202 ^[3]

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (航空路を巡航中の落下事故)]

項目	申請時
巡航中事故件数(件)	0.5 ^[1]
延べ飛行距離(飛行回・km)	10,132,601,674 ^[1]
評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)	・航空路(直行経路を 含む。): 365 ^[4] ・RNAV経路: 36,865 ^[4]

[有視界飛行方式民間航空機の落下事故]

項目	申請時
対象航空機の落下事故件数(件)	・大型固定翼機 0.5 ^[1] ・小型固定翼機 35 ^[1] ・大型回転翼機 1 ^[1] ・小型回転翼機 25 ^[1]
全国土面積 (km ²)	372,000 ^[1]

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件の対比 (2/2)

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (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)]

項目	申請時
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	・自衛隊機 0.5 ^[1] ・米軍機 1 ^[1]
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	・自衛隊機 8 ^[1] ・米軍機 4 ^[1]
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 ^[1] ・米軍機 372,000 ^[1]

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (基地－訓練空域間を往復時の落下事故)]

項目	申請時
基地と訓練空域間を往復中の落下事故件数(件)	0.5 ^[1]

[引用元]

- [1] 「航空機落下事故に関するデータの整備」 JNES-RE-2013-9011 原子力安全基盤機構
- [2] 「航空輸送統計年報 第1表 総括表」、「空港管理状況調書」 平成25年 国土交通省 航空局
- [3] 「暦年・年度別航空管理状況調書」 平成25年 国土交通省 航空局
- [4] 国土交通省 航空局への問い合わせ結果 (平成24年下期のデータ)

第2表 航空機落下に係る熱的影響評価結果

項 目		申請時	
(1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時における落下事故	43℃ (離隔距離 : 591m)	
	② 航空路を巡航中の落下事故	44℃ (離隔距離 : 523m)	
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	大型機	48℃ (離隔距離 : 355m)	
	小型機	41℃ (離隔距離 : 156m)	
(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故	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	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	46℃ (離隔距離 : 338m)
		② その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	49℃ (離隔距離 : 87m)
	基地－訓練空域間を往復時の落下事故	97℃ (離隔距離 : 33m)	

平成 29 年までのデータによる評価

平成 29 年 3 月 30 日付けで申請した原子炉設置変更許可申請書における第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る航空機落下にあつては、主に平成 25 年までのデータに基づき航空機落下確率を評価し、熱的影響評価を実施している。

これに対し、原子力規制庁より令和元年 12 月に平成 10 年 1 月から平成 29 年 12 月までの 20 年間に国内で発生した航空機事故データについて、報告されたことを踏まえ、最新の知見を反映した場合の航空機落下確率を評価し、熱的影響評価を実施する。

第 1 表に計算条件の対比を、第 2 表に計算結果の対比を示す。

第 2 表に示すとおり、最新の知見を反映した評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 97℃であり、最新の知見を反映した場合にあつても、許容温度である 200℃を下回ることを確認した。

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件の対比 (1/2)

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (飛行場での離着陸時における落下事故)]

項目	最新知見	申請時
国内での離着陸時事故件数(件)	2 ^[1]	4
国内での離着陸回数(離着陸回)	36,378,238 ^[1]	32,780,942
当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回/年)	5,692 ^[2]	4,202

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (航空路を巡航中の落下事故)]

項目	最新知見	申請時
巡航中事故件数(件)	0.5 ^[1]	0.5
延べ飛行距離(飛行回・km)	11,327,599,138 ^[1]	10,132,601,674
評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)	・航空路(直行経路を 含む。):912.5 ^[3] ・RNAV経路:36,865 ^[3]	・航空路(直行経路を 含む。):365 ・RNAV経路:36,865

[有視界飛行方式民間航空機の落下事故]

項目	最新知見	申請時
対象航空機の落下事故件数(件)	・大型固定翼機 0.5 ^[1] ・小型固定翼機 29 ^[1] ・大型回転翼機 2 ^[1] ・小型回転翼機 18 ^[1]	・大型固定翼機 0.5 ・小型固定翼機 35 ・大型回転翼機 1 ・小型回転翼機 25
全国土面積 (km ²)	372,969 ^[1]	372,000

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件の対比 (2/2)

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (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)]

項目	最新知見	申請時
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 0.5^[1] ・米軍機 1^[1] 	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 0.5 ・米軍機 1
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 9^[1] ・米軍機 3^[1] 	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 8 ・米軍機 4
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)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 294,881^[1] ・米軍機 372,472^[1] 	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 295,000 ・米軍機 372,000

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (基地－訓練空域間を往復時の落下事故)]

項目	最新知見	申請時
基地と訓練空域間を往復中の落下事故件数(件)	0.5 ^[1]	0.5

[引用元]

- [1] 「航空機落下事故に関するデータ(平成10～29年)」 NTEN-2019-2001 原子力規制庁
- [2] 「暦年・年度別航空管理状況調書」 平成26年 国土交通省 航空局
- [3] 国土交通省 航空局への問い合わせ結果 (平成29年下半期のデータ)

第2表 航空機落下に係る熱的影響評価結果の対比

項目		最新知見 の反映	申請時
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時における落 下事故	42℃ (離隔距離： 768m)	43℃ (離隔距離： 591m)
	② 航空路を巡航中の落下事故	44℃ (離隔距離： 550m)	44℃ (離隔距離： 523m)
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	大型機	55℃ (離隔距離： 265m)	48℃ (離隔距離： 355m)
	小型機	41℃ (離隔距離： 182m)	41℃ (離隔距離： 156m)
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	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	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	46℃ (離隔距離： 338m)
		② その他の大 型固定翼機、小型 固定翼機及び回 転翼機	49℃ (離隔距離： 85m)
	基地－訓練空域間を往復時の落下事 故	97℃ (離隔距離： 33m)	97℃ (離隔距離： 33m)

航空機落下による火災と森林火災等の重畳

1. 航空機落下による火災と森林火災の重畳

航空機が周辺の森林に落下し、森林火災が発生した場合には、航空機落下による火災と森林火災が重畳するおそれがある。航空機落下による火災における評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 97℃である（温度上昇量：約 57℃）。森林火災における評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 44℃である（温度上昇量：約 4℃）。したがって、航空機落下による火災と森林火災が重畳した場合であっても、評価対象施設外壁表面温度の最高温度は、約 101℃（=40℃+約 57℃+約 4℃）を超えることはなく、許容温度である 200℃を下回る。

なお、森林火災では延焼による評価壁への火災の接近や防火帯境界での延焼による火災の拡がり時刻歴で評価対象施設外壁表面温度を評価しており、航空機落下による火災による時刻歴での評価とは最高温度到達時刻が異なる。このため、上記の初期温度からの上昇分の単純和は最も保守的な評価となっている。

2. 航空機落下による火災と危険物屋外タンクに係る火災の重畳

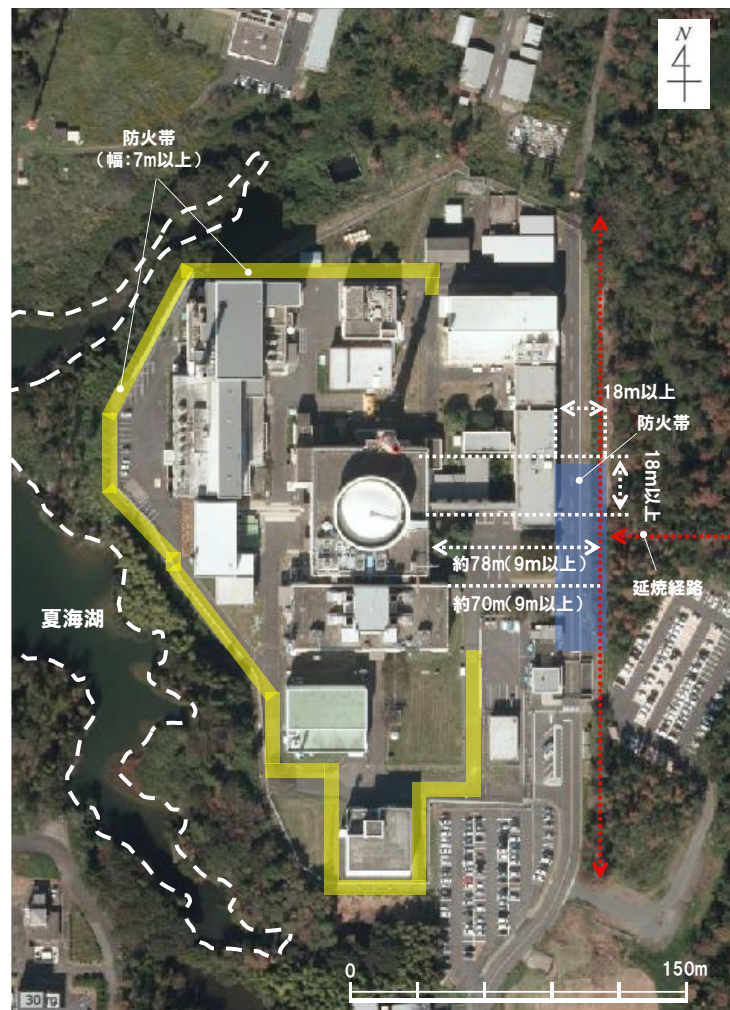
航空機が敷地内に落下し、危険物屋外タンクに係る火災が発生した場合には、航空機落下による火災と危険物屋外タンクに係る火災が重畳するおそれがある。航空機落下による火災における評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 97℃である（温度上昇量：約 57℃）。危険物屋外タンクに係る火災における評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 41℃である（温度上昇量：約 1℃）。したがって、航空機落下による火災と危険物屋外タンクに係る火災が重畳した場合であっても、評価対象施設外壁表面温度の最高温度は、約 98℃（=40℃+約 57℃+約 1℃）を超えることはなく、許容温度である 200℃を下回る。

なお、航空機落下による火災及び危険物屋外タンクに係る火災は燃焼継続時間が異なるため最高温度到達時刻が異なる。このため、それぞれ燃料が独立で火災になる方が厳しく、単純和は最も保守的になる。

防火帯の設置計画

森林火災の評価では、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原子炉施設の東側の森林に対して、第1図の赤矢印に示す延焼経路を設定し、保守的に、東の風を想定した。防火帯は、当該延焼ルート及び熱的影響評価対象施設への影響を踏まえ、第1図の水色部に設置することを計画している（当該防火帯の幅は、風上に樹木があることを踏まえ、18m以上とする。）。なお、原子炉施設の北側、南側及び西側については、外部火災防護対象施設への影響も考慮し、第1図の黄色部に防火帯を設置することを計画している（当該防火帯の幅は、防火帯から風上20m内の範囲に樹木がないエリアを確保することを踏まえ、7m以上とする。）。

原子炉施設の東側の防火帯について、火炎輻射強度（約 515 kW/m²）に応じた危険距離（熱的影響評価対象施設の壁温度が許容温度（200℃）を超える距離）は約 9m であり、原子炉施設と防火帯の外縁（火炎側）までの距離（約 70m）は、当該危険距離を十分に上回る。なお、原子炉施設の東側の防火帯には道路を整備する予定である。道路以外の防火帯については、モルタル塗布等の火災延焼拡大防止措置を実施するが、森林火災の評価では、延焼経路を簡略化するため、防火帯の効果の一部を無視している。



第1図 森林火災に係る熱的影響評価で想定した延焼（火災伝搬）経路と防火帯の設置（予定）位置

「添付書類六 2. 気象（主に平成 25 年までのデータ）」に示すように、年によって多少の違いはみられるものの、高さ 10m においては北東の風が卓越している。原子炉施設から北東の発火点を想定した場合にあっても、上記の防火帯又は防火帯相当のエリアにより、火災の原子炉施設への接近は防止される。また、自衛消防隊（休日夜間では常駐消防班）は、通報から約 20 分で消防活動を開始でき、更なる延焼の拡大防止に資する。

防火帯の幅

森林境界における火線強度は約 1062.4kW/m である。防火帯は、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）より、防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合は 6.7m、防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合は 17.4m となる。

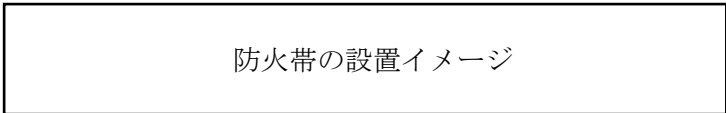
【火線強度と防火帯幅の関係】

風上に樹木が無い場合の火線強度と最小防火帯幅の関係（火炎の防火帯突破確率 1%）

火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	6.2	6.4	6.7	7.1	7.4	7.8	9.5	11.3	13.1	14.8

風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係（火炎の防火帯突破確率 1%）

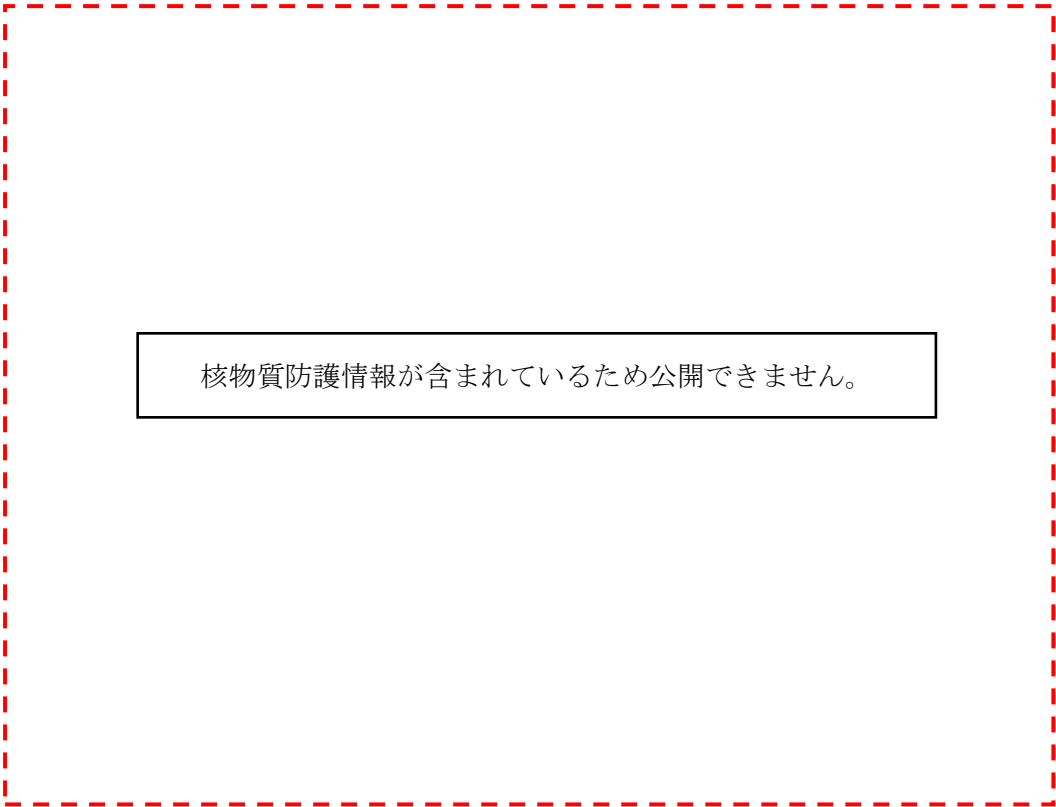
火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1



防火帯の設置イメージ

原子炉施設の東側の防火帯は、下図に示すように、道路、法面（モルタル塗布）及び土面から構成する。また、原子炉施設の東側以外の防火帯は、道路、斜面（モルタル塗布等）から構成し、当該防火帯から 20m 内の樹木を伐採し、管理する。

これらの防火帯では、原則として、駐車を禁止するとともに可燃物を置かないよう管理し、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車する必要がある場合や一時的に可燃物を置く必要がある場合についても、長時間の停車や仮置を禁止し、速やかに車両や物品を移動できるよう人員を配置する等の運用上の措置を講ずる。



核物質防護情報が含まれているため公開できません。

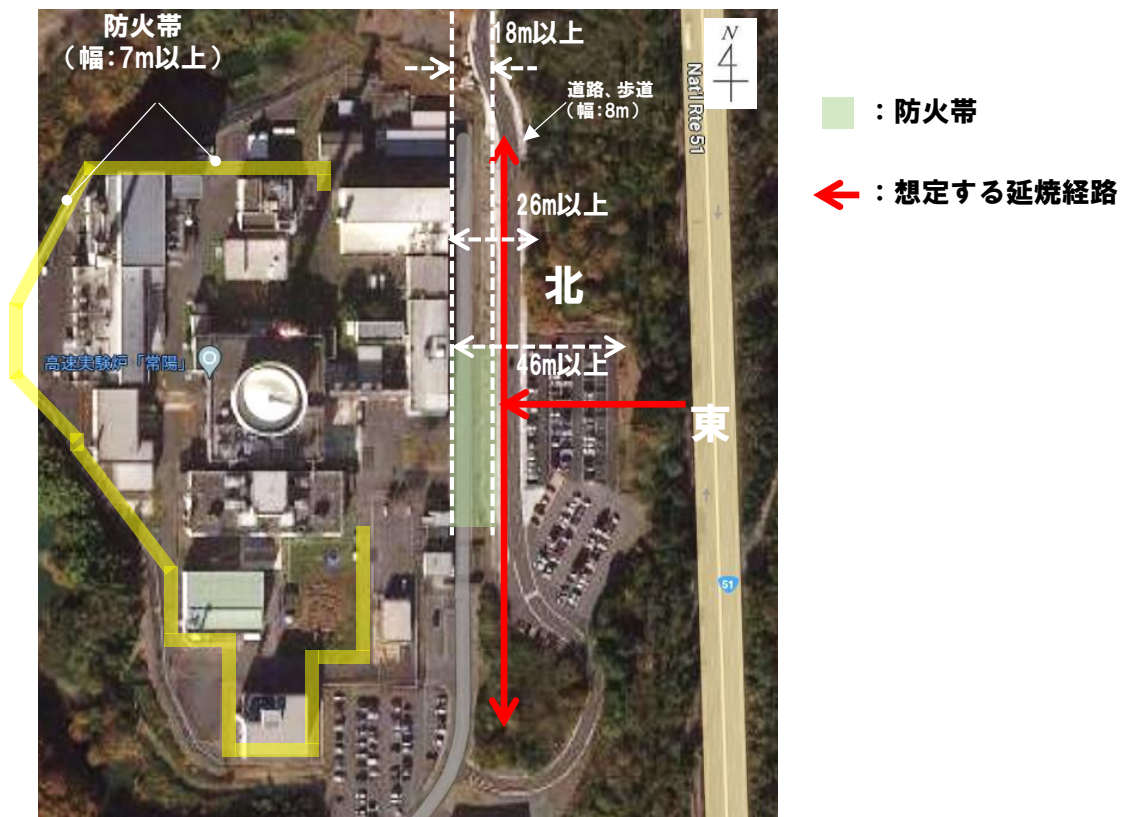
「常陽」東側駐車場拡張の影響

原子炉施設の東側の防火帯は、道路、法面（モルタル塗布）及び土面から構成することとしている（別紙 17：防火帯の設置計画 別添 2：防火帯の設置イメージ）。この工事に合わせて、「常陽」東側駐車場の拡張工事を実施する。

「常陽」東側駐車場拡張は、「常陽」東側の防火帯設置位置より東の森林の一部を伐採して行われる。第 1 図に駐車場拡張予定エリア、第 2 図に拡張した駐車場周辺の樹木の状況を示す。

「常陽」東側駐車場拡張は、防火帯の外側（発火点側）で実施されるものである。森林がなくなる部分があり、実際の火災の原子炉施設側への延焼は駐車場の東側で止まり、南北に延焼が進むこととなる。

熱的影響評価（別紙 9：森林火災に係る熱的影響評価結果）では、保守的な評価とするため、防火帯の存在や森林のない部分の一部を無視し、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 の位置を森林境界とし、延長経路は敷地境界から最短の延焼経路としている。今回、森林のない部分において、「常陽」東側駐車場拡張を実施しても、従来から森林のない部分も、森林があるものと見做して評価を実施しており、評価の代表性に影響はない。なお、東側駐車場の車両が燃焼すると見做した場合の評価は別添 4 に示す。



第1図 駐車場拡張エリア

現在の状況 (R4. 2. 4時点)



第2図 拡張した駐車場周辺の樹木の状況

「常陽」東側駐車場における車両火災の評価

1. 火災諸元の設定

「常陽」東側駐車場で最も主冷却機建物に近い西側において、複数の車両火災が発生することを想定し、影響を評価する。選定したワゴン車の仕様を第 1.1 表に示す。影響評価に当たっては、ワゴン車の全長、全幅より車体底部の面積を求め、当該面積の円を想定し、火災半径を設定した。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、火災長を燃焼半径の 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 1.2 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 1.1 表 ワゴン車の仕様

項目	単位	数値等
車体全長	m	5.2
車体全幅	m	1.9
燃料種別	-	ガソリン
燃料タンク容量	m ³	0.065

第 1.2 表 火災諸元の設定

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	1.7734	$R = \sqrt{5.2 \times 1.9 / \pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	5.320	$L_f = 3R$
燃料積載量	V	m ³	0.065	
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	780	文献調査結果 ^[2]
燃焼速度	v	m/s	7.051×10^{-5}	$v = M / \rho$
燃焼継続時間	t	s	93.30	$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	58,000	文献調査結果 ^[3]
外壁との離隔距離	Li	m	80	駐車場と主冷却機建物の最短距離

[1] 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」

[2] 昭和シェル石油、「安全データシート (ENEOS レギュラーガソリン)」、令和 5 年 1 月

[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

2. 影響評価結果

ワゴン車 1 台あたりの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 40.3℃であり、許容温度である 200℃を十分下回る（第 2 表参照）。

外壁における輻射強度 E (W/m²) : E = RfΦ

形態係数 Φ

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

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

外壁表面温度

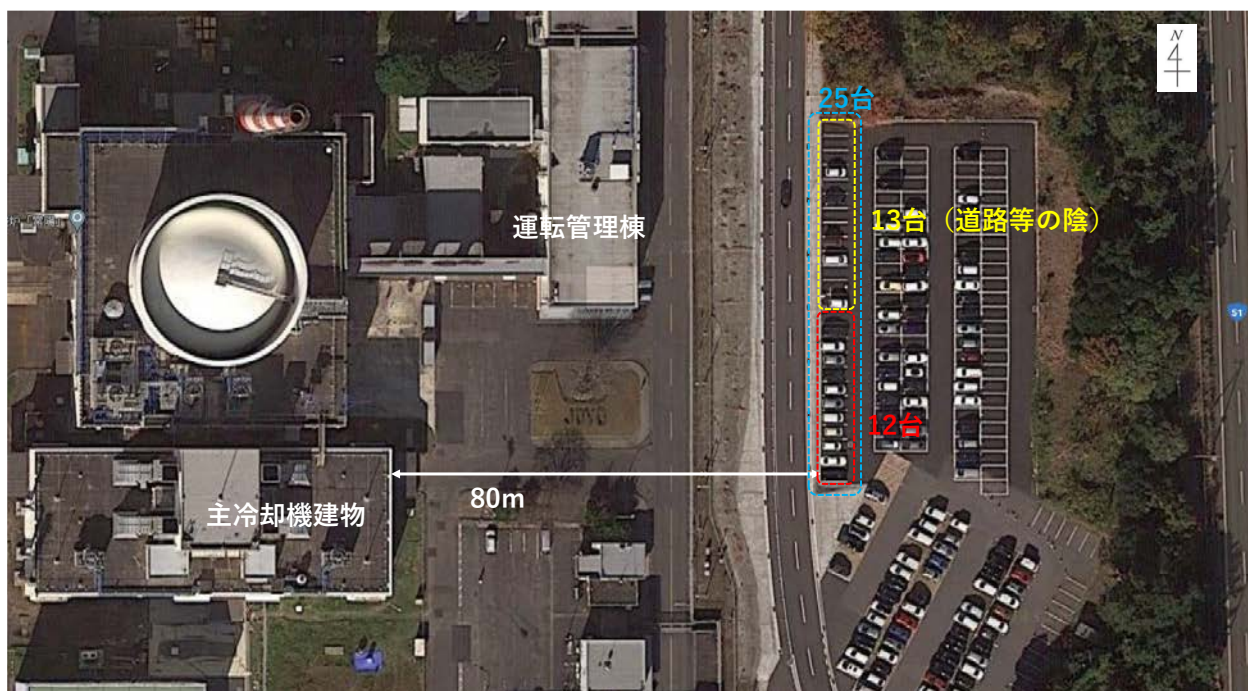
$$T = T_0 + \frac{2 \times E \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp \left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t} \right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc} \left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \right) \right]$$

T₀: コンクリート外壁表面初期温度 (40℃)

第 2 表 ワゴン車の車両火災による熱的影響評価結果

離隔距離 (m)	形態係数 (-)	外壁にお ける輻射強 度 (W/m ²)	外壁表面温 度 (°C)
80	0.00095	55	40.3

さらに、森林火災を起因として車両に延焼した場合を想定する。駐車列間には、通路（約 5m）が配置されることに鑑み、本評価では、延焼経路等は考慮せず、保守的に評価対象施設に最短の駐車列における複数台の車両火災を想定する。当該駐車列は最大 25 台駐車可能であり 25 台の車両火災を想定する（図 1）。このうち、北側 13 台については運転管理棟及び道路等の高く造成された構造物が主冷却建物への射線上にあり輻射熱は遮られる。このため、80m における 12 台の車両火災による温度上昇だけを考慮すればよく、1 台あたりの温度上昇 0.3℃を 12 倍（12 台同時火災と同義）しても外壁表面温度は 43.6℃であり、森林火災における評価値を下回る。



第1図 「常陽」東側駐車場での配置図

外部火災の二次的影響に対する防護措置

火災の二次的影響として、ばい煙、有毒ガス、爆発による飛来物の発生が考えられる。また、大洗研究所では、「常陽」を含め、ナトリウムを取り扱う施設を有することから、ナトリウムエアロゾル（燃焼生成物）の発生も考えられる。以下の検討結果を踏まえ、ここでは、火災の二次的影響として、ばい煙及び有毒ガスを想定することとした。

火災の二次的影響の考慮を必要とする安全施設は、中央制御室、非常用ディーゼル電源系、1次主循環ポンプポニーモータ、アニュラス部排気系及びコンクリート遮へい体冷却系の回転機器であり、外気導入口にフィルタの設置等の措置により、安全機能を損なわないものとする。なお、フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換・清掃により対応する。また、中央制御室にあっては、中央制御室空調を閉回路とし、必要な居住環境を維持できるものとする。

火災の二次的影響として考えられる事象	影響評価選定有無	要否判断理由	防護措置
ばい煙	○	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室（クラス1）に流入する恐れがある場合において、居住性に対する影響評価が必要。 摺動部を有するものとして、非常用ディーゼル電源系（クラス1）、1次主循環ポンプポニーモータ（クラス1）、アニュラス部排気系（クラス2）、コンクリート遮へい体冷却系（クラス2）の回転機器が該当。 	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室は、通常時において、フィルタを経由し、外気を導入しており、一定の粒径のばい煙の流入を抑止可能。また、必要な場合には、中央制御室空調を閉回路とすることが可能。 原子炉建物・原子炉附属建物及び主冷却機建物は、開口部にガラリ又はフィルタを有し、ばい煙の流入を抑止可能。また、ディーゼル発電機では、吸気口（フィルタ付）を主冷却機建物内に配置。
有毒ガス	○	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室に流入する恐れがある場合において、居住性に対する影響評価が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室は、必要な場合には、中央制御室空調を閉回路とすることが可能。
爆発による飛来物	—	<ul style="list-style-type: none"> 爆発が想定される高圧ガス貯蔵設備や危険物を搭載した車両に対して、十分な離隔距離を有しており、爆発による飛来物は、火災の二次的影響として考慮不要と判断。 	—
ナトリウムエアロゾル	—	<ul style="list-style-type: none"> ナトリウムを取り扱う施設（「常陽」以外）におけるナトリウム燃焼に伴うナトリウムエアロゾルは、大気中に放散されるが、中央制御室の居住性に影響しないレベルに希釈されるため、火災の二次的影響として考慮不要と判断。 	—

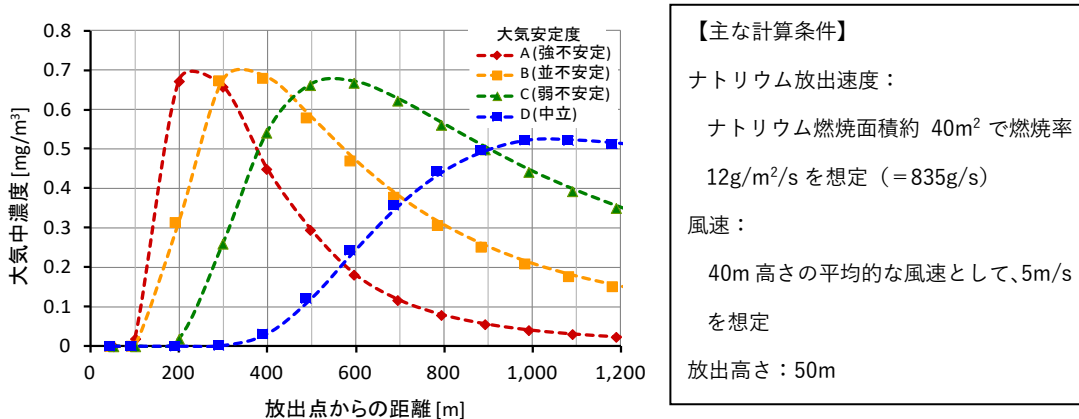
中央制御室外で発生した火災の燃焼ガス等に対する居住性の確保

中央制御室外で火災が発生した場合において、燃焼ガスが流入するおそれがある場合には、中央制御室空調再循環運転を適用し、換気設備を隔離することで、中央制御室の居住性を確保する。許容酸素濃度到達時間：約 55 時間及び許容炭酸ガス濃度到達時間：約 60 時間は、外部火災の影響評価で想定した火災の最長の燃焼継続時間：約 11 時間（敷地内森林火災）を上回り、中央制御室は、十分な居住性を有する。

【参考：外部火災の影響評価で想定した火災の燃焼継続時間】

- 森林火災 : 約 11 時間
- 危険物貯蔵施設等の火災 : 約 7 時間
- 危険物を搭載した車両の火災 : 約 4 時間
- 航空機落下による火災 : 約 2 時間

また、大洗研究所には、「常陽」の他にも、ナトリウムを取り扱う施設が存在する。当該施設でナトリウムが燃焼した場合、ナトリウムエアロゾル（燃焼生成物）が発生し、大気中に放散される。下図に示すように、ナトリウムエアロゾルの大気中濃度は、放出点からの距離により変動するが、最大でも約 0.7mg/m³であり、産業用の作業環境の許容濃度基準 2mg/m³（日本産業衛生学会勧告の最大許容濃度）を下回るため、中央制御室の居住性に影響しない^[1]。また、当該燃焼時^[2]の熱的影響について、評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 42℃であり、許容温度 200℃を下回る。なお、「常陽」におけるナトリウム漏えい時にあっても、ナトリウムが燃焼した場合、ナトリウムエアロゾルが発生する。1次冷却系にあつては、格納容器内に閉じ込められるため、中央制御室の居住性に影響しない。2次冷却系にあつても、直ちに、当該エリアの換気空調系の停止・煙感知器と連動した防煙ダンプの閉止による隔離の措置を講じるため、建物外に有意なナトリウムエアロゾルを放出することはなく、中央制御室の居住性に影響しない。



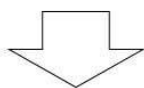
[1] 第 83 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合 資料 1-1 「HTTR 原子炉施設 質問回答 外部火災及び内部火災」、平成 27 年 10 月 28 日、日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 高温工学試験研究炉部

[2] 第 75 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合 資料 2-1 「HTTR 原子炉施設 第 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)」、平成 27 年 9 月 4 日、日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 高温工学試験研究炉部

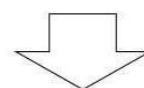
中央制御室空調再循環運転時の活動可能時間

中央制御室空調再循環運転時の中央制御室内酸素濃度及び炭酸ガス濃度の評価結果を以下に示す。
許容酸素濃度到達時間は約 55 時間・許容炭酸ガス濃度到達時間は約 60 時間である。

酸素濃度挙動評価に係るパラメータ等			炭酸ガス濃度挙動評価に係るパラメータ		
在室人員	[人]	10	在室人員	[人]	10
中央制御室バウンダリ	[m ³]	1230	中央制御室バウンダリ	[m ³]	1230
成人呼吸気の酸素量(吸気) 初期酸素濃度 ^{※1}	[%]	20.95	初期炭酸ガス濃度	[%]	0.03
成人呼吸気の酸素量(呼気) ^{※1}	[%]	16.40	呼吸による排出する炭酸ガス濃度(軽作業) ^{※1}	[m ³ /h]	0.03
成人の呼吸量(歩行時) ^{※1}	[ℓ/min]	24	許容炭酸ガス濃度 ^{※2}	[%]	1.5
許容酸素濃度 ^{※2}	[%]	18			



許容酸素濃度到達時間：約55時間



許容炭酸ガス濃度到達時間：約60時間

※1：空気調和・衛生工学便覧（空気調和設備編）

※2：労働安全衛生規則

自衛消防隊の資機材及び活動体制

大洗研究所で火災が発生した場合の体制については、大洗研究所の原子力事業者防災業務計画、事故対策規則及び自衛消防隊規則に記載されている（第1図及び第2図参照）。以下の手順により、火災に対応する。

【火災発生時の初動体制】

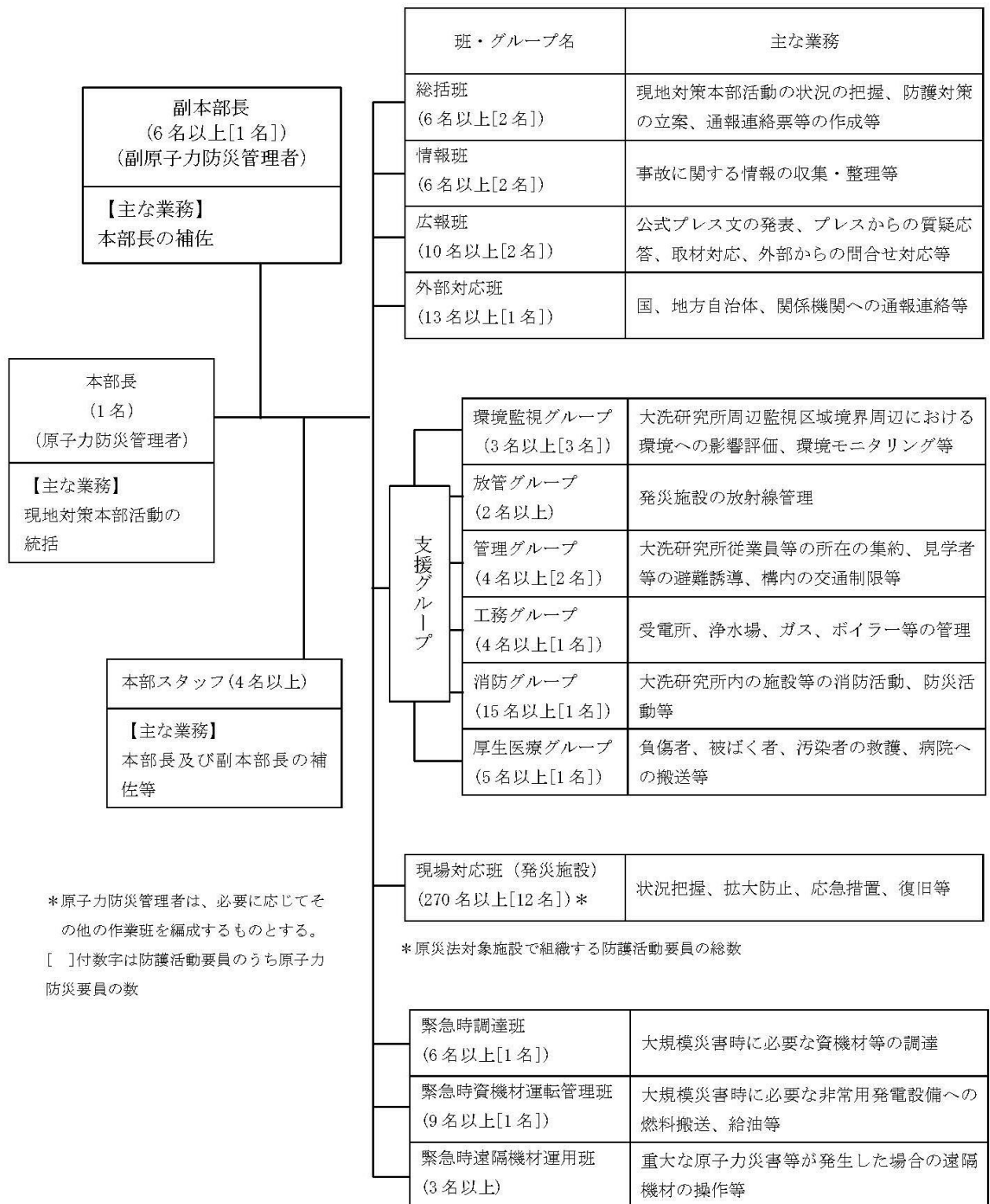
- 1) 火災発生連絡を受けた所長は、直ちに自衛消防隊を招集し出動させる。
- 2) 所長は、現地対策本部を設置し現地対策本部長として活動を統括、全般を指揮する。現地対策本部は、安全情報交流棟*1に設置され、大洗研究所内の各施設から本部要員が参集する。
- 3) 施設管理統括者等は、現場対応班の班長として現地対策本部の指揮のもと活動を行う。
- 4) 自衛消防隊は、消防グループとして現地対策本部の指揮のもと発災現場の消防班と相互に協力しながら連携を図り消火活動を行う*2。

*1 安全情報交流棟は、鉄筋コンクリート造（外壁厚さ180mm、屋根厚さ150mm）で、不燃性材料で構築されている。建物周辺には消火栓が設置されており、外部火災が発生した際には、保安管理部の消火班が自衛消防隊と連携して消火活動を行い、延焼防止を図る。万一、現地対策本部が使用できない場合は、「常陽」の現場指揮所を含め大洗研究所に分散する複数の現場指揮所へ本部機能を移転することができる。

なお、現地対策本部と自衛消防隊の間の通信連絡手段として、衛星回線及び災害時優先回線があり、いずれかの回線でコミュニケーションをとることができる。本部機能の移転の際には、通信連絡手段として上述した可搬型のものを有しており、現地対策本部長から自衛消防隊への指揮命令系統は維持される。

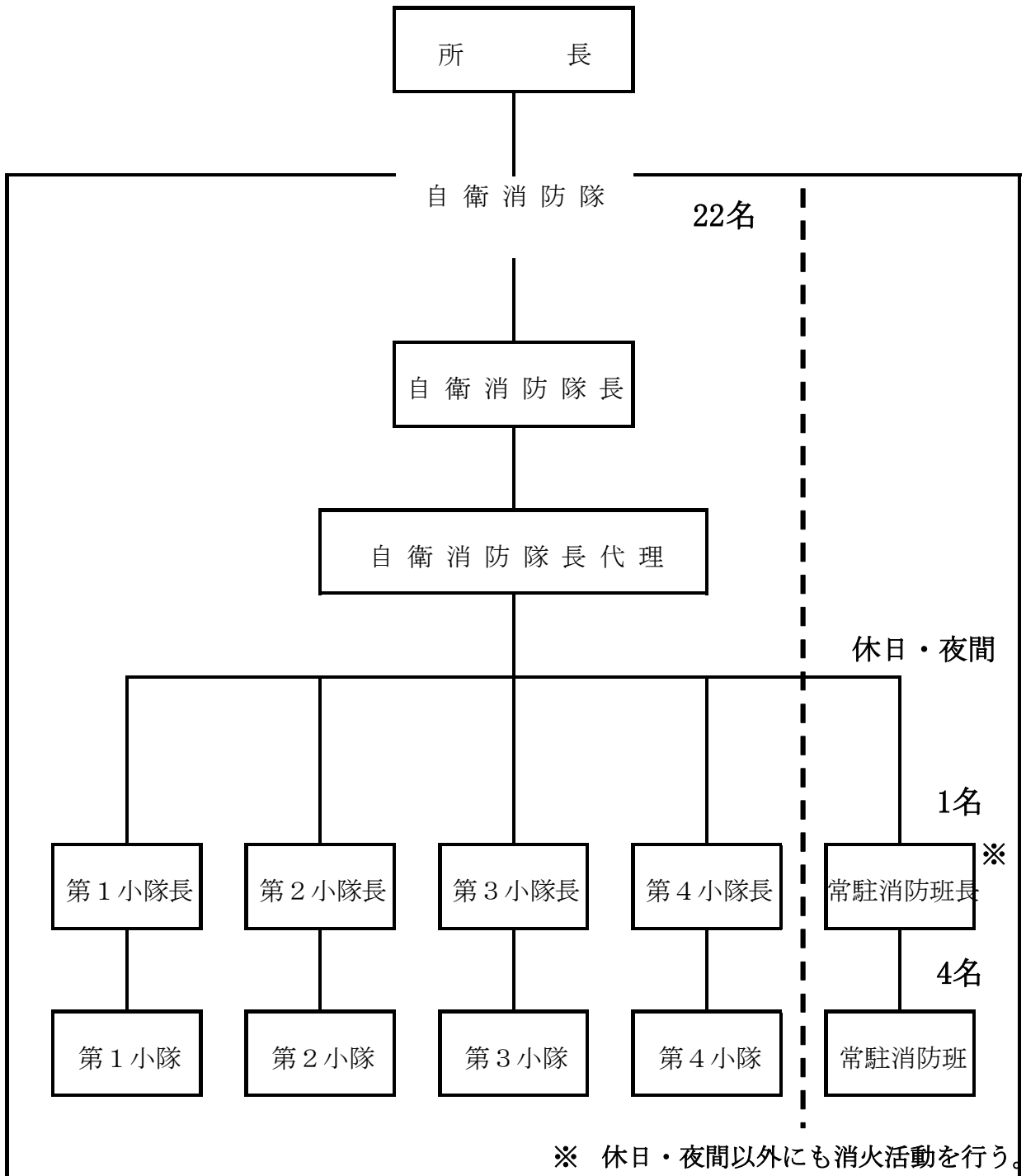
*2 大洗研究所内のその他施設においても、火災時には現場対応班に消防班が組織され、消火活動を行う体制にある。

自衛消防隊は、24時間体制で、消火活動に対応できる体制を有する。自衛消防隊の「常陽」へのアクセスルートを図3に示す。自衛消防隊（休日夜間では常駐消防班）は、通報から約20分で消防活動を開始することが可能である。休日夜間に火災を覚知した場合、常駐消防班5名は化学消防車で消火・散水活動を開始することが可能であり、この時の水源は、化学消防車のタンク及び屋外消火栓であり、可搬型消防ポンプは呼び出しを受けた自衛消防隊員が使用する。自衛消防隊の資機材を図4に示す。また、自衛消防隊の訓練の様子を図5に示す。なお、施設周辺には、図6に示すように、14ヶ所の屋外消火栓が配置されている。

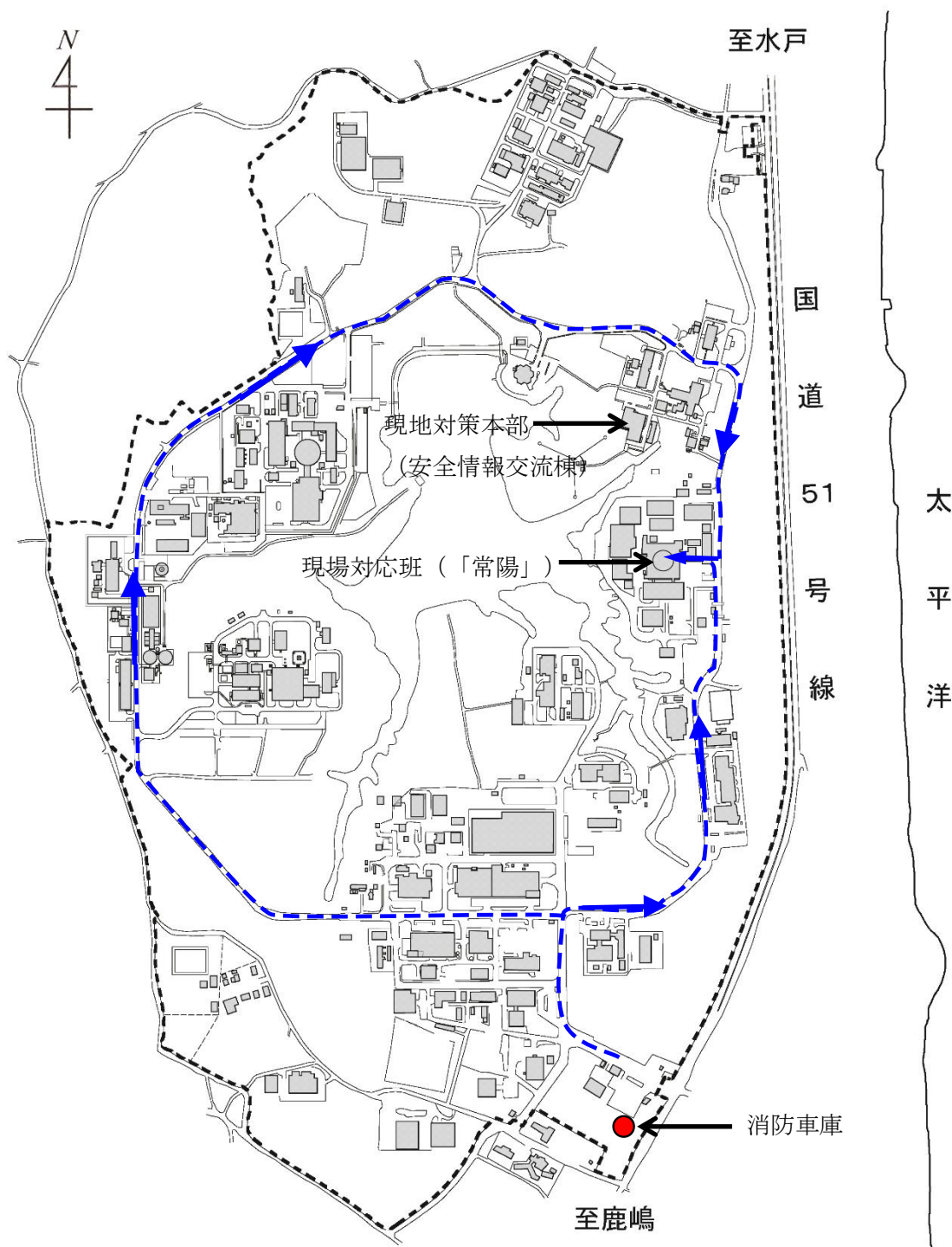


第1図 大洗研究所原子力防災組織(現地対策本部の体制)

【原子力事業者防災業務計画抜粋：令和2年8月】



第2図 自衛消防隊組織図
 【自衛消防隊規則抜粋：令和2年8月】



第3図 自衛消防隊のアクセスルート



[化学消防車]

	仕様
タンク容量	1500ℓ
消火剤量	300ℓ
放水量	約2.89m ³ /min
吸水量	約1500ℓ/min
放水ホース	34本×20m
吸水高さ	9m
筒先	13本
揚水ホース	2本
薬液	界面活性剤
台数	1台

※ 防火服及び半面マスク等を常備



[可搬型消防ポンプ]

	仕様
放水量	約1.00m ³ /min
放水ホース	4本×20m
吸水高さ	9m
筒先	各1本
揚水ホース	各1本
台数	2台



[屋外消火栓]

	個数他
所内全域	99ヶ所
放水ホース	2本×20m

第4図 自衛消防隊の資機材

・ 自衛消防隊の定期的な消防活動訓練

訓練頻度：2回/月

訓練項目：消防車等を用いての操作訓練、放水訓練、初動対応 等



化学消防車による消防活動

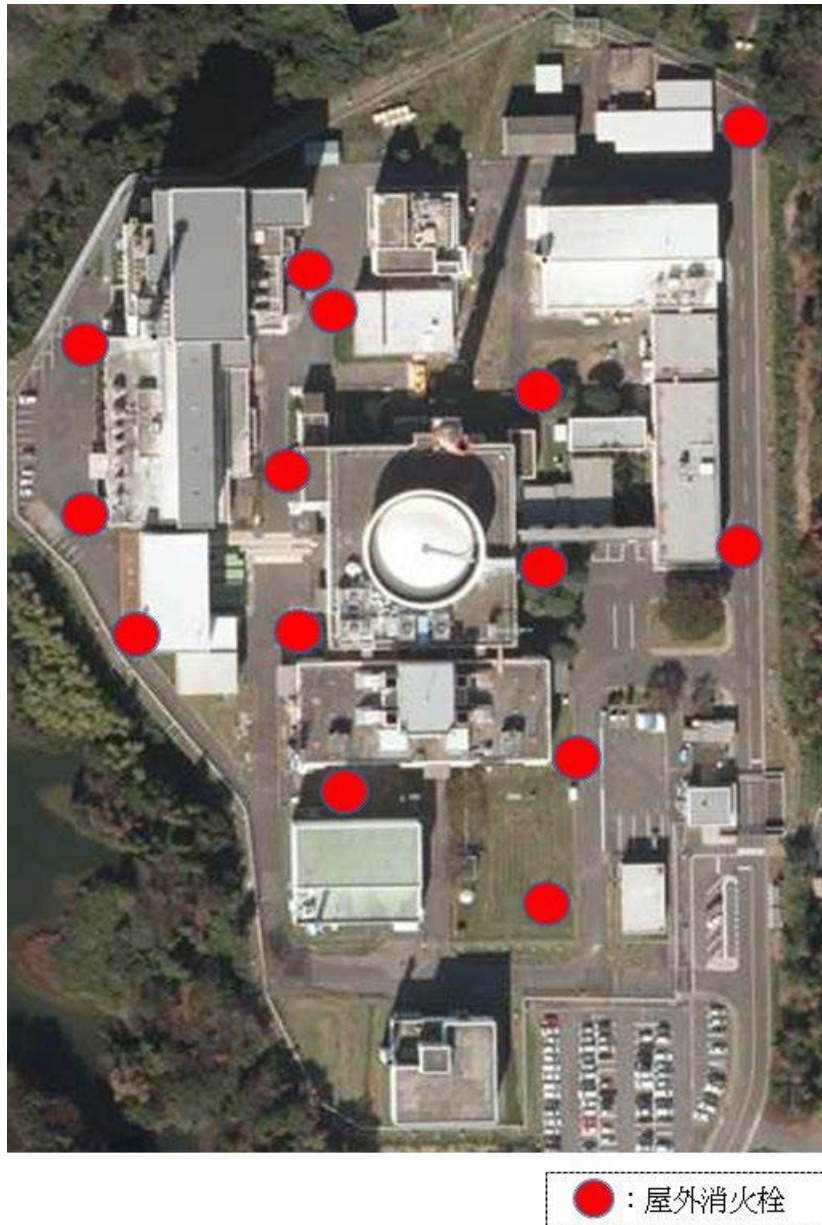


可搬型消防ポンプを用いた消防活動



放水訓練

第5図 自衛消防隊の訓練



第6図 「常陽」構内の屋外消火栓（14ヶ所）の配置

「常陽」森林火災評価の特徴

「常陽」の森林火災評価では、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下、ガイドとする）を参照するが、大洗研究所周辺の特徴を考慮して評価内容を決めている。以下に「常陽」森林火災評価の特徴を「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」との差異を中心に述べる。

ガイドにおいては、「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」とあり、「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」、「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」とされており、原子炉施設の敷地外で発生する森林火災からの影響を評価する。

(1) 発火点（別紙 2：森林火災における発火点の設定）

発電炉等は原子炉施設への影響を保守的に評価するように植生、気象条件等を踏まえて複数個所を発火点を想定し、最も影響の大きい箇所を代表点として設定している。

一方、大洗研究所の周囲 10km 圏内には、東に太平洋、北に涸沼川、北西に涸沼が位置し、南から西の方面は耕地となっている。敷地周辺には、国有林等の広大な森林がなく、大規模な森林火災は発生しないと考えられる。

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た。

次に、大洗研究所敷地内では、原子炉施設の北側及び南側の植生は工場地帯に位置付けられ、また、障壁となる他施設の建物等が設置されている。原子炉施設の西側には夏海湖が位置する。

これらを踏まえ、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として、原子炉施設の東側に発火点を想定した。

(2) 各データについて（表参照）

(a) 土地利用データ

ガイドでは、本データは FARSITE コードにて周囲 10km 圏内からの延焼を評価するうえで必要なデータであり、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として国土数値情報 土地利用細分メッシュを推奨している。「常陽」の評価においては現地確認、環境省の自然環境保全基礎調査の植生調査から、植生及び土地利用を確認している（別紙 3：大洗研究所の植生）。その結果、(1) で述べた発火点の設定としており、国土数値情報 土地利用細分メッシュの土地利用データは不要である。

(b) 植生データ

ガイドでは、本データは FARSITE コードにて周囲 10km 圏内から及び敷地内の延焼を評価するうえで必要なデータであり、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ために森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手することを推奨している。「常陽」の評価においては(1)で述べた発火点の設定をしており、敷地内のデータのみが必要となる。このため、環境省の自然環境保全基礎調査の植生調査をもとに現地調査により詳細な植生を確認している（別紙 3：大洗研究所の植生）。

(C) 地形データ

ガイドでは、本データは FARSITE コードにて周囲 10km 圏内からの延焼を評価するうえで必要なデータであり、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として基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュを推奨している。「常陽」の評価においては(1)で述べた発火点の設定をしており、敷地内のデータのみが必要となる。このため、地理院地図（電子国土 Web）により延焼経路の傾斜の設定をしている（別紙 5 別添 1：延焼経路の傾斜の設定）。基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュの地形データは不要である。

(d) 気象データ

ガイドでは、過去 10 年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用することを推奨している。「常陽」でも水戸気象台の観測データ（出典：気象庁ホームページ）から同等のデータを使用している（別紙 5 別添 2：火炎中の風速の設定）。

また、風速以外の気象データについて、FARSITE では大気のと湿度が用いられている。当該気象データは、地表火の評価における枯死した可燃物の条件設定に用いられ、初期値で入力する「含水率」のパラメータをタイムステップごとの温度と湿度データにより変化させている。「常陽」の評価では、FARSITE コードの評価式を用いた評価を行っており、大気のと湿度の入力は用いておらず、枯死した可燃物の含水率（ $M_f = \text{可燃物の含水量} / \text{可燃物の乾燥質量}$ ）は、乾燥状態を想定して初期値（0.01）で一定としている（別紙 5 別添 3：風速以外の気象データ）。

(3) 評価手法

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」においては、森林火災シミュレーション解析コード FARSITE を利用して評価することを推奨しているが、これは森林火災が発電所に迫った場合であり、大洗研究所周辺の特徴を考慮して評価内容を決めた「常陽」の評価においては過大な評価手法である。このため、森林火災シミュレーション解析コード FARSITE で使用されている評価式等を参考にして簡易的な手法で実施した（別紙 5：森林火災の影響評価における火災諸元の設定）。

解析コード FARSITE では地表を伝播する火災（以下、地表火と称す）、樹冠を伝播する火災（以下、樹冠火と称す）、伝播の加速及び飛び火の 4 つのふるまいを取り扱っている。簡易評価では、建家の壁温度に直接影響する地表火及び樹冠火のみを取り扱って森林火災の挙動を評価した。なお、伝播の加速に関しては、伝播が加速する要素をなくすため、延焼方向に最大速度の風が吹くことを仮定した。飛び火に関しては、これを考慮する必要がないように、施設周辺の防火帯相当のエリア以外には森林空白帯等を設けない想定とした。これにより、FARSITE 相当で、保守的な評価が行われている。

表 原子力発電所の外部火災影響評価ガイドにおける必要データの整備要領

データ種類	整備要領
土地利用データ	<p>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。</p> <p>(国土数値情報 土地利用細分メッシュ)</p>
植生データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを現地の地方自治体より入手する。森林簿の情報をを用いて、土地利用データにおける森林領域を、樹種・林齢によりさらに細分化する。</p>
地形データ	<p>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。</p> <p>(基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ)</p>
気象データ	<p>現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去 10 年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。</p>

添付 1 設置許可申請書における記載

5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

ロ. 試験研究用等原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a-11) 外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）

安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。なお、敷地内において、公設消防、自衛消防隊又は常駐消防班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。また、敷地内外において、多量のばい煙や有毒ガスが原子炉施設に到達するおそれの確認された場合には、原子炉を停止する。

想定される森林火災の延焼防止を目的として、原子炉施設周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度（1,063kW/m）から算出される防火帯（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合は約 18m、防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合は 7m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

また、森林火災による熱影響については、最大火災輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

原子炉施設敷地又はその周辺で想定される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。）として想定される近隣の産業施設の火災・爆発については、離隔距離の確保により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、想定される原子炉施設敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災及び航空機墜落による火災については、離隔距離を確保すること、その火災による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復等の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることで、その安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については、屋外施設の温度を許容温度以下とすることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、空調換気設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

添付2 設置許可申請書の添付書類における記載（安全設計）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.7 外部からの衝撃による損傷の防止に係る設計

1.7.5 耐外部火災設計

1.7.5.1 外部火災防護に関する基本方針

安全施設が外部火災（火災・爆発（森林火災、近隣工場等の火災・爆発、航空機墜落火災等））に対して、原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建物による防護、代替手段等によって、安全機能を損なわない設計とする。

耐外部火災設計においては、安全機能の重要度分類がクラス1、2、3に属する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とし、外部からの衝撃による損傷の防止に係る安全施設に該当する構築物、系統及び機器を熱的影響評価対象施設として影響評価の対象とする。

想定される外部火災に対する熱的影響を評価し、消火活動に期待しない場合であっても、熱的影響評価対象施設が、外殻施設又は離隔による防護により、その安全機能を損なわない設計とする。これらの熱的影響評価対象施設以外の安全施設は、外部火災により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする。

また、想定される外部火災による二次的影響（ばい煙及び有毒ガス）に対して、安全施設の安全機能を損なわないものとする。

1.7.5.2 評価方針

後述する熱的影響評価対象施設について、評価を行う。当該熱的影響評価にあっては、屋内設備は内包する建物により防護する設計とし、当該安全施設の外殻施設を評価対象とする場合がある。想定される外部火災に対する熱的影響を評価し、消火活動に期待しない場合であっても、熱的影響評価対象施設が、外殻施設又は離隔による防護により、その安全機能を損なわない設計とする。重要安全施設以外の安全施設は、外部火災により損傷するおそれがある場合に、代替措置や修復等により、安全機能を損なわないものとする。

1.7.5.3 評価対象施設の抽出

外部火災の影響評価を行う熱的影響評価対象施設を以下の各区分から抽出する。

(1) 重要安全施設を内包し保護する外殻施設

原子炉建物（格納容器を含む。）、原子炉附属建物及び主冷却機建物

(2) 外殻で保護されない重要安全施設

主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）、非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」、「排気筒」及び「吸気系統」（主冷却機建物空調換気設備）

(3) 安全施設を内包し保護する外殻施設

第一使用済燃料貯蔵建物及び第二使用済燃料貯蔵建物、廃棄物処理建物、メンテナンス建物の液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物貯蔵設備

(4) 外殻で保護されない安全施設

主排気筒、外周コンクリート壁、一般電源系（受電エリア）及び屋外管理用モニタリングポスト

廃棄物処理建物、メンテナンス建物に内包される液体廃棄物処理設備及び固体廃棄物処理設備は、基本的にコンクリート構造の地下階に位置し、上部にはエリアを隔てる蓋が設置されているため、外部火災の影響を受けず、安全機能（放射性物質の貯蔵）を損なうことはないため、評価対象施設から除外した。

一般電源系（受電エリア）は、一般電源系の機能を喪失した場合には、非常用ディーゼル電源系等により必要な電源を供給し、これらはMS-1に該当し、外殻施設の健全性が確保されるため、安全機能を損なうことはなく、代替措置により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。

屋外管理用モニタリングポストは、屋外管理用モニタリングポストの機能を喪失した場合には、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保できるため、評価対象施設から除外した。

主冷却機のうち屋外部分（屋外ダクト）、非常用ディーゼル電源系に関連する「冷却塔」は、主冷却機建物屋上に設置されており、外壁よりも建物中心部に配置することで火炎に近い評価対象壁の評価で代表する。また、竜巻対策として周囲に防風壁が設置されていることから冷却塔が直接影響を受けることはない。

非常用ディーゼル電源系に関連する「排気筒」は、主冷却機建物西側に配置することで集合体試験施設等の他施設が障壁となるため、熱的影響を直接受けることはない。

また、外部火災の二次的影響に対する評価対象施設を以下の通り抽出した。

(1) ばい煙により外気取り込み設備の目詰まりが想定される安全施設

中央制御室、非常用ディーゼル発電機に関連する「冷却塔」及び「吸気系統」（主冷却機建物空調換気設備）

(2) 有毒ガスにより人員の活動に影響を及ぼすことが想定される安全施設

中央制御室

1.7.5.4 熱的影響評価における外部火災の想定等

(1) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照するが、大洗研究所周辺の特徴を考慮して発火点を設定する。森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火災が防火帯外縁に到達するまでの時間、評価対象施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(i) 森林火災の想定

大洗研究所の周囲 10km 圏内には、東に太平洋、北に涸沼川及び耕地、北西に涸沼が位置し、南から西の方面は耕地となっている。敷地周辺には、国有林等の広大な森林がなく、大規模な森林火災は発生しないと考えられる。さらに、敷地境界に沿って

道路が敷設されており、防火帯相当として考慮できる。このため、いずれの方角の敷地外からの森林火災を想定した場合でも、大洗研究所に延焼することはない。

このため、人為的行為を考慮し、火を扱う可能性がある箇所で、火災の発生頻度が高いと想定される道路沿いとして、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を想定し、熱的影響評価を実施する。

大洗研敷地内では、原子炉施設の北側及び南側の植生は工場地帯に位置付けられ、また、障壁となる他施設の建物等が設置されている。原子炉施設の西側には夏海湖が位置する。敷地境界の発火点としては、敷地内の森林を考慮していずれの方角からの延焼を考慮するが、北、西及び南からは例え延焼が進み、最終的に原子炉施設西側の夏海湖周囲の森林に到達しても、照射燃料集合体試験施設が障壁となる。

熱的影響評価に当たっては、「添付書類 6 2. 気象」に示す高さ 10m の年風向頻度は北東の風が卓越していること、また、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場所として、原子炉施設の東側の敷地境界を発火点とする。

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」において推奨されている森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)で使用されている計算式を使用する。このため、計算に使用するデータは敷地内及び原子炉施設周辺のデータとする。

(ii) 必要データ（計算入力条件）

(a) 土地利用データ

敷地内のみの評価のため、環境省の植生調査及び現地調査に基づき、植生及び土地利用を確認する。

(b) 植生データ

敷地内のみの評価のため、環境省の植生調査及び現地調査に基づき、詳細な植生を確認する。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。

(c) 地形データ

敷地内のみの評価のため、地理院地図（電子国土 Web）により延焼経路の傾斜を設定する。

(d) 気象データ

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)を用いる。

火災中の風速として、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。

また、風速以外の気象データについて、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」では FARSITE で大気温度と湿度が用いられている。当該気象データは、地表火の評価における枯死した可燃物の条件設定に用いられ、初期値で入力する「含水率」のパラメータをタイムステップごとの温度と湿度データにより変化させている。大洗研究所の評価では、FARSITE コードの評価式を用いた評価を行っており、大気温度と湿度の入力は用いておらず、枯死した可燃物の含水率 ($M_f = \text{可燃物の含水量} / \text{可燃物の}$

乾燥質量)は、保守的に乾燥状態を想定して初期値(0.01)で一定とする。

(iii) 評価手法

敷地内のみの評価のため、FARSITE で使用されている計算式を使用する。FARSITE では地表を伝播する火災(以下、地表火という。)、樹冠を伝播する火災(以下、樹冠火という。)、伝播の加速及び飛び火の4つのふるまいを取り扱っている。簡易評価では、建家の壁温度に直接影響する地表火及び樹冠火のみを取り扱って森林火災の挙動を評価する。なお、伝播の加速に関しては、伝播が加速する要素をなくすため、延焼方向に最大速度の風が吹くことを仮定する。飛び火に関しては、これを考慮する必要がないように、施設周辺の防火帯相当のエリア以外には森林空白帯等を設けない想定とする。

(iv) 延焼速度及び火線強度の算出

円筒火炎モデルを用いて、延焼速度(約11.5m/min)や火線強度(1,063kW/m)、火炎輻射強度(515kW/m²)を算出する。

(v) 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から防火帯までの火炎到達時間(約7.1分)を算出する。到達時間が短いため、森林火災が防火帯に到達するまでの間に大洗研究所に常駐している自衛消防隊による初期消火は期待できないが、防火帯により安全機能を損なわない設計とする。

なお、防火帯の手前に存在する「常陽」東側駐車場により実際には延焼は留められる。駐車場における車両火災による火炎輻射強度は森林火災の値を下回る。

(vi) 防火帯幅の設定

最大火線強度(1,063kW/m)により算出される防火帯幅17.4mに対し、約18mの防火帯幅(防火帯の風上20m内に樹木が存在する場合)、防火帯幅6.7mに対し、約7mの防火帯幅(防火帯の風上20m内に樹木が存在しない場合)を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

(2) 近隣工場等の火災・爆発(近隣の作業施設の火災・爆発)

(i) 石油コンビナート施設等の影響

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及び液化天然ガス(LNG)基地は存在しないため、石油コンビナート及び液化天然ガス(LNG)基地の火災・爆発による損傷の防止は、設計上考慮しない。

(ii) 危険物貯蔵施設の影響

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・爆発を想定する。

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、大きな隔離距離を有することから、敷地内の危

危険物屋外タンクの火災で代表させるものとする。

高圧ガス貯蔵設備を4つ有する1事業所が存在する。

(a) 火災の影響

敷地内の危険物屋外タンクの火災で代表させるものとする。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) ガス爆発の影響

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。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を危険限界距離(約101m)以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(iii) 燃料輸送車両の影響

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。

(a) 火災の影響

敷地は、国道51号線に隣接する。国道51号線におけるタンクローリーの火災を想定する。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×全幅の範囲に漏えいし、全面火災が生じることを想定する。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のガソリンを搭載しているものとする。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) ガス爆発の影響

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。当該タンクローリーは、液化天然ガス(LNG)又は液化石油ガス(LPG)が積載された最大クラスのものを対象とする。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を、ガス爆発による爆風圧の影響に対して、敷地周辺道路から原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離(約88m)以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(iv) 漂流船舶の火災・爆発

原子炉施設は、港湾等を有していない。また、大洗研究所(南地区)の北方約5kmに大洗港があり、T.P.+約35m～+約40mに位置する原子炉施設の東側約400mに海岸がある。原子炉施設から十分離れていることから、船舶の火災・爆発による影響はない。したがって、船舶の火災・爆発を考慮する必要はない。

(v) 敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災・爆発

敷地内には、39の危険物を保有する施設を有する。このうち、屋外タンク貯蔵所に該当するものは3施設である。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短いことを踏まえ、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。

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

爆発は対象となる高圧ガス貯蔵設備を有しないため本影響評価の対象外とした。

(3) 航空機墜落による火災

(i) 対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリごとに落下確率を求める。

(ii) 航空機墜落による火災の想定

(a) 航空機は、発電所における航空機落下確率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。

(b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。

(c) 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。

(d) 気象条件は無風状態とする。

(e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

(iii) 評価対象範囲

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。

(iv) 評価対象施設への熱影響

評価対象施設への熱影響を評価し、評価対象施設との離隔距離を確保すること等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(v) 航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災の重畳評価

航空機墜落火災と危険物貯蔵施設等の火災による重畳評価を実施する。また、航空機墜落火災と森林火災の重畳評価を実施する。

1.7.5.5 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。なお、想定する外部火災は、原子炉施設の水平方向に発生することから、火炎輻射の影響に鑑み、熱的影響評価対象施設における天井スラブと垂直外壁面のうち、垂直外壁面を対象として許容限界を設定する。また、コンクリート壁以外の機器搬出入口等の建物内近傍には、安全機能を有する施設を配置しないものとし、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、建物内壁面、室内及び屋内機器の温度上昇については建物内壁面からの放熱及び室内空間の体積があることから壁温度 200°C を下回ることによって影響がないとする。また、建物屋

上に設置されている機器等については、火炎に近い評価対象壁の評価で代表する。

(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。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。また、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℃（1997年7月））を踏まえ、40℃とする。

なお、建物内壁面及び室内の温度上昇については建物内壁面からの放熱及び室内空間の体積があることから壁温度 200℃を下回ることによって影響がないとする。

(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。

なお、建物内壁面及び室内の温度上昇については建物内壁面からの放熱及び室内空間の体積があることから壁温度 200℃を下回ることによって影響がないとする。

1.7.5.6 設計における留意事項

(1) 防火帯の設置

敷地内にあつては、評価した最大火線強度（1,063kW/m）に応じ、防火帯を設ける。原子炉施設と防火帯のエリアの外縁（火炎側）までの距離については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参考に、評価した火炎輻射強度に応じた危険距離（熱的影響評価対象施設の壁温度が許容温度（200℃）を超える距離）を上回るように設定す

る。防火帯は、外部火災防護施設への影響（障壁となる他施設の有無）を踏まえて設け、最大火線強度により算出される防火帯幅 17.4m に対し、約 18m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合）、防火帯幅 6.7m に対し、約 7m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合）を確保する。

防火帯では、原則として、駐車を禁止するとともに可燃物を置かないよう管理し、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車する必要がある場合や一時的に可燃物を置く必要がある場合についても、長時間の停車や仮置を禁止し、速やかに車両や物品を移動できるよう人員を配置する等の運用上の措置を講ずる。

(2) 外部火災の二次的影響の考慮

外部火災の二次的影響については、ばい煙及び有毒ガスを想定する。外部火災の二次的影響を考慮する非常用ディーゼル電源系に関連する冷却塔については、必要に応じて、ばいじんの除去に係る措置（フィルタの交換・清掃）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。中央制御室については、通常運転時において、外気は、ルーバー、フィルタ、外気取入れファン及び空調器を経由し、中央制御室に導入される。フィルタにより、ばいじんの流入を抑止することで、中央制御室の居住性を確保する。フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換・清掃を実施する。また、必要に応じて、空調を再循環運転とすることで、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、多量のばい煙や有毒ガス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。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。

(3) 外部火災における消火活動

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、発見者が大洗研究所の通報連絡システムに従って、公設消防や連絡責任者等に連絡するとともに、日中は従業員により編成する自衛消防隊、休日・夜間は常駐消防班により、その消火活動に従事するものとする。

なお、敷地内において、公設消防、自衛消防隊又は常駐消防班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。

1.7.5.7 手順等

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づく原子炉施設保安規定には、外部火災に対して、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

- ・ 外部火災時の原子炉の停止及び措置に関すること。
- ・ ばい煙及び有毒ガスが発生した場合の措置に関すること。
- ・ 防火帯の維持及び管理に関すること。

添付3 設置許可申請書の添付書類における記載（適合性）

添付書類八

1. 安全設計の考え方

1.8 「設置許可基準規則」への適合

原子炉施設は、「設置許可基準規則」に適合するように設計する。各条文に対する適合のための設計方針は次のとおりである。

(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

1 について

(11) 森林火災

森林火災にあつては、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。なお、敷地内にあつては、評価した火線強度に応じ、防火帯を設けるものとする。原子炉施設と防火帯の外縁（火炎側）までの距離については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参考に、評価した火炎輻射強度に応じた危険距離（熱的影響評価対象施設の壁温度が許容温度（200℃）を超える距離）を上回るように設定する。防火帯は、外部火災防護施設への影響（障壁となる他施設の有無）を踏まえて設ける。

森林火災の熱的影響評価における許容限界は、森林境界（想定される発火点から防火帯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。

森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)で使用されている計算式から評価される最大火線強度（1,063kW/m）により算出される防火帯幅 17.4m に対し、約 18m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在する場合）、防火帯幅 6.7m に対し、約 7m の防火帯幅（防火帯の風上 20m 内に樹木が存在しない場合）を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災の二次的影響については、ばい煙及び有毒ガスを想定する。外部火災の二次的影響を考慮する必要がある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（フィルタの交換・清掃）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、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、外気の取り込みを遮断する措置により、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、多量のばい煙や有毒ガス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。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。

3 について

(3) 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及び液化天然ガス（LNG）基地は存在しない。原子炉施設の近くに、爆発により安全施設に影響を及ぼすような爆発物の製造及び貯蔵設備はない。したがって、爆発を考慮する必要はない。

(4) 近隣工場等の火災

近隣工場等の火災（近隣の作業施設の火災・爆発）にあつては、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及び液化天然ガス（LNG）基地は存在しないため、石油コンビナート及び液化天然ガス（LNG）基地の火災・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（LPG）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。

近隣工場等の火災の熱的影響評価における許容限界は、以下のとおりとする。

- (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°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。
- (ii) 高压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（ 30m^3 ）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°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。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°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。

外部火災の二次的影響については、ばい煙及び有毒ガスを想定する。外部火災の二次的影響を考慮する必要がある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（フィルタの交換・清掃）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、必要な安全機能を損なわないものとするとともに、中央制御室については、通常運転時において、外気は、ルーバー、フィルタ、外気取入れファン及び空調器を経由し、

中央制御室に導入される。フィルタにより、ばいじんの流入を抑止することで、中央制御室の居住性を確保する。フィルタに閉塞及び目詰まりが生じた場合には、交換・清掃を実施する。また、必要に応じ、空調を再循環運転とすることで、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、多量のばい煙や有毒ガス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。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。

添付書類六の以下の項目参照

2. 気象
3. 地盤
4. 水理
6. 社会環境
8. 火山
9. 竜巻
10. 生物

添付書類八の以下の項目参照

1. 安全設計の考え方