

HTTR 原子炉施設  
設置許可基準規則への適合性について  
第 6 条(外部火災)

令和 2 年 6 月 12 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所  
高温ガス炉研究開発センター  
高温工学試験研究炉部

## 第6条：外部からの衝撃による損傷防止（外部火災）

### <目次>

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 設置許可申請書における記載
  - 1.3 設置許可申請書の添付書類における記載
    - 1.3.1 安全設計方針
    - 1.3.2 気象等
    - 1.3.3 設備等
  
2. HTTR 原子炉施設の外部火災防護（適合性説明資料）

## < 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 HTTR 原子炉施設の適合性を示す。

## 1. 基本方針

### 1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条の要求事項を明確化する（表1）。

表1 設置許可基準規則第6条 要求事項

設置許可基準規則 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）	備考
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。	
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。	

## 1.2 設置許可申請書における記載

### 1.2.1 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

(i) 原子炉施設は、(1) 耐震構造、(2) 耐津波構造に加え、次の基本方針のもとに安全設計を行う。

##### a. (外部からの衝撃による損傷の防止)

安全施設は、原子炉施設敷地で予想される自然現象(洪水・降水、風(台風)、竜巻、凍結、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災)又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として原子炉施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力をそれぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して、適切に組み合わせる。

また、安全施設は、敷地及びその周辺において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(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)に対して安全機能を損なわない設計とする。

想定される自然現象及び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に対しては、必要に応じて設備と運用による対策を組み合わせた措置を講じることにより、安全施設が安全機能を損なわない設計とする。また、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める。

### 1.3 設置許可申請書の添付書類における記載

#### 1.3.1 安全設計方針

##### (1) 設計方針

#### 1. 安全設計

##### 1.1 安全設計の方針

###### 1.1.1 安全設計の基本方針

###### 1.1.1.4 外部からの衝撃

安全施設は、原子炉施設敷地で想定される洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等の自然現象(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、自然現象の組合せにおいては、風(台風)、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを考慮した設計とする。

上記に加え、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じる応力を適切に考慮した設計とする。

さらに、安全施設は、原子炉施設敷地内又はその周辺において想定される飛来物(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、電磁的障害等の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設計とする。

###### 1.2.1 高温工学試験研究炉の特徴

安全上の重要度分類を定めるに当たり、考慮する高温工学試験研究炉の主要な特徴は、次のとおりである。

(1) 発電用軽水炉と比べて、原子炉の熱出力、発熱密度は低く、原子炉の炉心で蓄積される核分裂生成物の量は少ないため、潜在的リスクは小さい。一方、水冷却型試験研究用原子炉と比べ冷却材の温度、圧力が高いことを考慮する必要がある。

(2) 原子炉は、セラミックス等で多重被覆した被覆燃料粒子、減速材及び構造材として黒鉛、冷却材としてヘリウムガスを用いる。

燃料は、耐熱性に優れ、燃料最高温度が1,600℃以下ならば核分裂生成物の保持機能が損なわれることはない。

炉心構造物の黒鉛は、耐熱性に優れ、高温でも炉心構成材としての健全性を保つことができる。

ヘリウムガスは、化学的に不活性で構造材との化学反応はない。また、冷却材の相変化による冷却条件の急激な変化はない。

(3) 炉心は、発熱密度に比して大きな熱容量を有し、出力の過渡変化及び冷却能力の異常な低下に対する炉心構成要素の温度変化が少なく、かつ、緩慢である特性を有する。

事故時の炉心の温度上昇は発電用軽水炉に比べると極めて緩慢であり、事故の拡

大を防止するための処置をとる時間的余裕が大きい。

- (4) 万一、冷却材喪失時に制御棒が挿入されなくても、固有の特性により原子炉の核出力は低下する。この場合に、炉心の強制冷却を行わなくても、原子炉圧力容器外面からの熱除去により炉心からの残留熱除去が可能である。

高温工学試験研究炉を用いた安全性実証試験(特殊運転として実施)によって、炉心流量が喪失した場合に制御棒挿入操作を行わなくても、各種の制限値を上回ることなく、固有の特性により原子炉が安定な状態に維持されることが実証されている。

### 1.3 重要安全施設の設定

#### 1.3.1 選定の基本方針

重要安全施設は、安全機能を有する安全施設のうち特に安全機能の重要度が高いものであり、試験炉設置許可基準規則第6条第2項、第12条第2項及び第28条第1項の要求事項を満たす設計とする。

選定に当たっては、以下に示す高温工学試験研究炉の固有の安全性を考慮した安全確保のために必要な機能(「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」及び「使用済燃料冷却」)を確保できるよう考慮する。

- ① 原子炉の緊急停止機能
- ② 放射性物質の閉じ込め機能(原子炉冷却材圧力バウンダリ及び周辺公衆へ過度の被ばくを及ぼす可能性のある系統)
- ③ 原子炉の停止及び放射性物質の閉じ込めの状態監視に必要な監視機能
- ④ 原子炉建家使用済燃料貯蔵プールの貯蔵機能

なお、炉心冷却機能について、高温工学試験研究炉では、炉心の形成の維持ができれば、原子炉の固有の安全性から自然放熱により炉心の冷却が可能である。

#### 1.3.2 第6条に関する重要安全施設

試験炉設置許可基準規則第6条第2項に規定されている重要安全施設(以下「第6条に関する重要安全施設」という。)は、試験炉設置許可基準規則の解釈に従い、「研究炉の重要度分類の考え方」の「4.(1)自然現象に対する設計上の考慮」を参考に、次の系統を選定する。

- ① クラス1
- ② PS-2のうち機能喪失した場合に周辺公衆へ過度の被ばくを及ぼす可能性のある系統及びMS-2のうち設計基準事故時にプラント状態を把握する機能を有する系統

上記の系統は、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する設計とする。

第6条に関する重要安全施設を第1.3.1表に示す。

## 1.10 外部火災防護

### 1.10.1 外部火災防護に関する基本方針

原子炉施設は、想定される外部火災の発生を想定しても、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。外部火災から防護する安全施設は、「1.2 安全機能の重要度分類」に示すクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器とする。このうち、第 1.3.1 表に示す重要安全施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備を内包する使用済燃料貯蔵建家並びに冷却塔及び排気筒については、外部火災に対して外殻のコンクリート表面温度を評価し、防火帯を設けること等によりコンクリート表面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。

固定モニタリング設備については、代替措置を講じることで安全機能を損なわない設計とする。

コンクリート表面温度の評価に当たっては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」(以下「外部火災評価ガイド」という。)<sup>(1)</sup>を参考にする。外部火災としては、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災を想定する。

火災発生時には、発見者が大洗研究所通報連絡系統に従って、公設消防、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消火活動を行う。

### 1.10.2 外部火災に対する設計方針

#### (1) 森林火災

森林火災に対して、安全施設が安全機能を損なわない設計とする。森林火災の評価に当たっては以下の項目を考慮して行う。なお、敷地内で火災が発生した場合は、公設消防隊による消火活動の他、自衛消防隊が出動し、散水等の延焼防止措置を行う。

#### a. 森林火災の想定

森林火災として、敷地外 10km(原子炉施設からの距離)以内に発火点を設定し、原子炉施設に迫る火災を考慮した評価を実施する。

評価に当たっては、外部火災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。

(a) 森林の植生を把握するため、植生図を参考とし、ウォークダウンにより、樹種や生育状況について調査する。

(b) 風向及び風速は、過去 10 年間(2004 年～2013 年)の水戸気象台の気象観測データを調査して設定する。

(c) 発火点は、卓越風向と敷地内外の植生の分布を考慮して設定する。

#### b. 外殻のコンクリートの熱影響評価

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面



温度は、許容温度 200°C(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)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。

c. 防火帯の設定

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の周囲に幅 9.5m の防火帯を確保することにより、延焼による安全施設の安全機能を損なわない設計とする。外部火災評価ガイドを参考に、必要な防火帯幅及び延焼防止に必要な距離である危険距離(外殻のコンクリート表面温度が許容温度(200°C)を超える距離)を算出し、防火帯の外縁(火炎側)までの距離を、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の危険距離を上回るように設定する。

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するとともに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じる。

(2) 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設の火災・爆発に対して、安全施設が安全機能を損なわない設計とする。外部火災評価ガイドを参考に、これらの火災・爆発に対しては、敷地外 10km(原子炉施設からの距離)以内の石油コンビナート等の火災・爆発及び敷地内の危険物貯蔵設備等の火災を考慮した評価を実施する。

a. 石油コンビナート等の施設の影響

敷地外 10km(原子炉施設からの距離)以内の範囲において、石油コンビナート施設、LNG基地は存在しない。

敷地外 10km(原子炉施設からの距離)以内の範囲において、石油コンビナート施設以外の産業施設としては、危険物貯蔵施設屋外タンク等が存在するが、これらの施設と原子炉施設までの距離は十分あり、火災・爆発の影響を受けることはない。

b. 敷地内の危険物貯蔵設備等の影響

敷地内に存在する危険物貯蔵施設屋外タンクの火災として、原子炉施設までの距離が最短かつ燃料量が最大であるHTTR機械棟屋外タンクの火災が発生した場合の影響評価を実施した結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度が許容温度 200°Cを下回ることを確認することで、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

敷地内に存在するナトリウム取扱施設(一般取扱施設)のナトリウム火災に対して、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度が許容温度 200°Cを下回ることを確認することで、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、敷地内に存在する高圧ガス貯蔵設備の危険限界距離は原子炉施設までの距

離を十分に下回っており安全施設の安全機能を損なうおそれはない。

(3) 航空機墜落による火災

航空機墜落による火災に対して、外部火災評価ガイドを参考に、航空機落下による火災について落下カテゴリごとに選定した航空機を対象に影響評価を実施する。航空機落下確率が  $10^{-7}$  回/炉・年以上になる標的面積から離隔距離を算出し、離隔距離の地点での火災を想定する。航空機は、燃料を満載した状態を想定し、航空機墜落による火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面が昇温するものとする。外殻のコンクリート表面温度が、許容温度  $200^{\circ}\text{C}$  を下回ることを確認することで、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。また、森林火災と航空機墜落による火災の重畳及び危険物貯蔵施設屋外タンクの火災と航空機墜落による火災の重畳に対して影響評価を実施し、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度が許容温度  $200^{\circ}\text{C}$  を下回ることを確認することで、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(4) 二次的影響

森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機墜落による火災において発生するばい煙等に対して、中央制御室系換気空調装置の外気遮断循環運転を行うことにより、中央制御室での活動性に影響を及ぼさない設計とする。

1.10.3 参考文献

- (1) 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」 (平成 25 年 6 月 原子力規制委員会)

第 1.3.1 表 第 6 条に関する重要安全施設

No.	安全機能	構築物・系統・機器
1	原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系
2	過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプクロージャ
3	炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
4	放射性物質の貯蔵	使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール、貯蔵ラック
5	1 次冷却材の内蔵	1 次ヘリウム純化設備(原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲)
6	実験・照射の関連機能 (核分裂生成物の放散防止)	実験設備の一部
7	原子炉の緊急停止、未臨界維持	制御棒系
8	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1 次冷却設備の安全弁
9	原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(停止系)
10	安全上特に重要な関連機能	中央制御室
11	事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
12	安全上特に重要な関連機能	直流電源設備
13		安全保護系用交流無停電電源装置

## (2) 適合性

(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

安全施設は、以下のとおり構造物及び機器の条件を設定し、地震及び津波以外の想定される自然現象によって原子炉施設の安全性が損なわれないようにする。

#### (9) 森林火災

森林火災について外部火災評価ガイドを参考に影響評価を実施し、防火帯を確保することにより、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度を許容温度(200℃)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。固定モニタリング設備については、代替措置を講じることにより安全機能を損なわない設計とする。

また、敷地内において火災が発生した場合は、公設消防隊による消火活動の他、自衛消防隊が出動し、散水等の延焼防止措置を行う。

#### 3 について

安全施設は、敷地及びその周辺において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。)に対して安全機能を損なわない設計とする。

想定される人為事象としては、航空機落下、ダムの崩壊、爆発、近隣工場の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害が挙げられる。

#### (4) 近隣工場等の火災

近隣の産業施設の火災・爆発について外部火災評価ガイドを参考に、敷地外 10km 以内の石油コンビナート等の火災・爆発及び敷地内の危険物貯蔵設備等の火災を考慮した評価を実施した結果、以下のとおり、安全施設の安全機能を損なうおそれは

ない。

石油コンビナート等の施設の影響については、敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設、LNG基地は存在しないため考慮する必要はない。敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設以外の産業施設としては、危険物貯蔵施設屋外タンク等が存在するが、これらの施設と安全施設までの距離は十分あり、火災・爆発の影響を受けることはない。

敷地内に存在する危険物貯蔵施設屋外タンクの火災として、原子炉施設までの距離が最短かつ燃料量が最大であるHTTR機械棟屋外タンクの火災が発生した場合の影響評価を実施した結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度は許容温度 200℃を下回り、安全施設の安全機能を損なうおそれはない。

敷地内に存在するナトリウム取扱施設（一般取扱施設）のナトリウム火災が発生した場合の影響評価を実施した結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度は許容温度 200℃を下回り、安全施設の安全機能を損なうおそれはない。また、ナトリウム火災で発生する燃焼生成物の濃度は、HTTR 施設周辺では十分に低く、燃焼生成物に対する防護の必要性はない。

なお、敷地内には高圧ガス貯蔵設備があるが、危険限界距離が原子炉施設までの距離を十分に下回っており安全施設の安全機能を損なうおそれはない。

航空機墜落による火災について、外部火災評価ガイドを参考に、落下カテゴリごとに選定した航空機を対象に影響評価を実施した結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度は許容温度 200℃を下回り、安全施設の安全機能を損なうおそれはない。また、森林火災と航空機墜落による火災の重畳及び危険物貯蔵施設屋外タンクの火災と航空機墜落による火災の重畳について影響評価を実施した結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度は許容温度 200℃を下回り、安全施設の安全機能を損なうおそれはない。

### 1.3.2 気象等

該当無し

### 1.3.3 設備等

該当無し

2. HTTR 原子炉施設の  
外部からの衝撃による損傷防止（外部火災）  
（適合性説明資料）

# 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)



## 第6条 外部からの衝撃による損傷の防止(外部火災)

### 目次

1. 外部火災影響評価の要求事項・考え方
2. 森林火災による影響評価
3. 近隣工場等の火災による影響評価
4. HTTR原子炉施設周辺の危険物タンクの火災による影響評価
5. 航空機墜落による火災の影響評価



## 1.1 要求事項

[試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則]

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第6条

1. 安全施設は、想定される自然現象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。



## 1.2 基本的な考え方

- ▶ 評価対象とする事象は、想定される自然現象として①森林火災、人為による安全施設の安全機能を損なわせる原因となるおそれがある事象として②近隣工場等の火災、③HTTR原子炉施設周辺の危険物タンク及び④航空機墜落による火災とする。
- ▶ 防護する安全施設は、「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」を参考に、HTTRの特徴・経験を踏まえて分類されたクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とし、表1-1に示す重要安全施設を内包する原子炉建家及び使用済燃料貯蔵設備を内包する使用済燃料貯蔵建家並びに冷却塔及び排気筒については、外部火災に対して外殻のコンクリート表面温度を評価し、安全施設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クラス機器のうち、建家外壁で防護できないものとして、原子炉建家屋上に設置している加圧水空気冷却器及び補助冷却水空気冷却器があるが、これらの機器類は鋼製であり、原子炉建家外壁のコンクリート表面温度が200°Cを下回ることを確認することにより、健全性を確認し、安全機能を損なわない設計とする。
- ▶ 評価にあたっては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」(以下「外部火災評価ガイド」という。)を参考にする。





## 1.2 基本的な考え方

表1-1 防護対象設備(自然現象に対する重要安全施設)

安全機能	構築物・系統・機器
原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器配管系
過剰反応度の印加防止	スタンドパイプ、スタンドパイプクローザー
炉心の形成	炉心構成要素、炉心支持鋼構造物、炉心支持黒鉛構造物
放射性物質の貯蔵	使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール、貯蔵ラック
1次冷却材の内蔵	1次ヘリウム純化設備(原子炉冷却材圧力バウンダリとの接続部から原子炉格納容器外側隔離弁までの範囲)
実験・照射に供する機能	実験設備の一部
原子炉の緊急停止、未臨界維持	制御棒系
原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止	1次冷却設備の安全弁
原子炉停止系への起動信号の発生	安全保護系(停止系)
安全上特に重要な関連機能	中央制御室
事故時のプラント状態の把握	事故時監視計器の一部
安全上特に重要な関連機能	直流電源設備
	安全保護系用交流無停電電源装置

上記に示した安全機能を有する構築物、系統及び機器はすべて、原子炉建家に内包される(補足資料-1)。



## 2.森林火災による影響評価

### 2.1 目的

大洗研究所敷地外で発生する森林火災による、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒に対する影響評価を行うものである。

### 2.2 火災の想定

森林火災の想定については以下の通りとした。

- 発火点は、人為的行為を考慮し、HTTR原子炉建家からの直線距離が10km以内の道路沿いに設定する。
- 風向は、火災が迫る時間が最短となる、HTTR原子炉施設に向けた方向に設定する。
- 火災は、発火点からHTTR原子炉建家へ、森林境界で横へ延焼する火災を想定する。



## 2.森林火災による影響評価

### 2.2 火災の想定

【発火点の考え方】



出典：国土交通省 国土地理院（資料を加工して作成）

図2-1 HTTR原子炉建家周辺

- ① HTTR原子炉建家が設置されている大洗センターの周囲10km圏内には、東に太平洋、北に涸沼川、北西に涸沼があり、南から西の方面は耕地となっている。
- ② 大洗センターの敷地周辺には、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。
- ③ 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を想定し、敷地周辺で発生した火災が敷地内の草木に延焼するものとした。

- ④ HTTR原子炉建家周辺の敷地外からの延焼を想定した場合、他施設が障壁となること、森林が敷地境界まで広がっていることを考慮し、南東・南西・北東方面からの延焼を想定した。



## 2.森林火災による影響評価

### 2.2 火災の想定

【延焼の考え方】

発火点からの延焼経路の想定を右図に示す。  
風向は、発火点からHTTR原子炉施設への延焼に係る時間が最短となることを考慮し、延焼方向に設定する。

- ① 発火点を中心に横に延焼する(発火点から森林境界までに到達する時間分、横方向に延焼するものとして仮定)。
- ② 横に広がった火炎幅が森林境界まで延焼する。
- ③ 森林境界まで延焼した火災が横方向に延焼する。
- ④ 森林境界に沿って施設に迫る方向に延焼する。

外殻のコンクリート表面温度の評価では、火災を円筒火災モデルとして扱う。

発火点から森林境界まで、一様に植生が分布しているものとし、一部、森林境界を原子炉建家側へ拡大している点を含め、影響評価を保守的なものとした。



出典：自然環境保全基礎調査 植生調査 環境省 自然環境局 生物多様性センター（資料を加工して作成）

図2-2 発火点の位置と想定する延焼経路  
(植生図に構内建物を重ねて表示)



### 2.3 影響評価の方法

- 森林火災シミュレーション解析コードのFARSITE(Fire Area Simulator)で使用されている評価式を用いて、火災の評価を行う。
- FARSITEで考慮されている、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。)について評価を行う。
- 評価式で使用する物性値等の入力パラメータは、外部火災評価ガイドで引用している参考文献等を参考とする。
- HTR原子炉建家周辺の植生、地形等について実地調査を行う。
- 地表火、樹冠火の評価結果から、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度の影響評価を行う。
- 火災の評価結果から、HTR原子炉建家周辺に必要な防火帯幅を設定する。

#### 【気象・地形・植生の確認結果】

- 風速は、過去10年(2004～2013年)の水戸気象台の観測データを調査し、最大風速(10分間平均値、測定高さ約15m)である17.4 m/s(2013年)を採用した(補足資料-2)。
- 火災部分での風速は地形及び樹林の影響で上空の風速よりも遅くなる\* ことを考慮し、HTR原子炉建家周辺の地形及び樹林は、「平地及びゆるやかな斜面かつ樹木があまり密集していけないという条件」であると判断し、火災中の風速は最大風速を0.3倍した5.22m/sとした(補足資料-3)。
- 地形条件の設定にあたっては国土地理院の基盤地図情報の中の標高データを参考とし実地調査により、(ほぼ平地であることを確認した。全体の傾斜角を保守的に5°として評価することとした。
- 資料調査、実地調査を行った結果、混合林であるがスギが主な植生であることを確認した(補足資料-4)。

\* Rothermel,R.C. "How to predict the spread and intensity of forest and range fires", USDA Forest Service General Technical Report. INT-143, 1983



### 2.3 影響評価の方法

#### 【地表火の評価】

地表火の評価では、外部火災評価ガイド及びFARSITEで使用されている以下の評価式を用いて、延焼速度、火線強度、単位面積当たりの熱量、火災輻射強度(反応強度)及び火災長を算出する。各評価式で必要となる各種パラメータは文献調査等により設定する。

○延焼速度(m/min) :  $R$

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_W + \Phi_S)}{\rho_b \epsilon Q_{ig}}$$

$I_R$  : 火災輻射強度  
 $\xi$  : 反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合  
 $\Phi_W$  : 風による割増し係数  
 $\Phi_S$  : 傾斜による割増し係数  
 $\rho_b$  : 可燃物の堆積密度  
 $\epsilon$  : 炎によって加熱される可燃物の割合  
 $Q_{ig}$  : 単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量

○単位面積当たりの熱量(kJ/m<sup>2</sup>) :  $H_A$

$$H_A = I_b \frac{60}{R}$$

○火災輻射強度(反応強度)(kW/m<sup>2</sup>) :  $I_R$

$$I_R = \frac{1}{60} \Gamma W_n h \eta_M \eta_S$$

$\Gamma$  : 理想熱分解速度  
 $W_n$  : 可燃物中の有機物量  
 $h$  : 可燃物の発熱量  
 $\eta_M$  : 可燃物中の水分による熱分解速度減少係数  
 $\eta_S$  : 可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数

○火線強度(kW/m) :  $I_b$

$$I_b = \frac{I_R 12.6 R}{60 \sigma}$$

$\sigma$  : 可燃物の表面積・体積比

○火災長(m) :  $L_f$

$$L_f = 0.0775 I_b^{0.46}$$



### 2.3 影響評価の方法

#### 【地表火の評価】

表2-1 地表火の評価式で使用する各種パラメータ\*

パラメータ	記号	単位	
可燃物の表面積-体積比	$\sigma$	/cm	60.5
可燃物の発熱量	$h$	kJ/kg	20,963
可燃物中の有機物量	$W_G$	kg/m <sup>2</sup>	0.47
可燃物の堆積密度	$\rho_b$	kg/m <sup>3</sup>	12.5
理想熱分解速度	$I''$	/min	8.115
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	$\eta_M$		0.924
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	$\eta_S$		0.312
炎によって加熱される可燃物の割合	$\varepsilon$		0.928
反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合	$\xi$		0.075
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	607
風による割増し係数	$\Phi_w$		27.6
傾斜による割増し係数	$\Phi_s$		0.115

\* 後藤善明 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

表2-1の各種パラメータを算出する計算式等は、補足資料-5を参照。

表2-2 地表火の評価結果

パラメータ	記号	単位	
延焼速度	$R$	m/min	7.05
火線強度	$I_b$	kW/m	565
火炎長	$L_f$	m	1.43
単位面積当たり熱量	$H_A$	kJ/m <sup>2</sup>	4,805
火炎放射強度(反応強度)	$I_R$	kW/m <sup>2</sup>	385



### 2.3 影響評価の方法

#### 【樹冠火の評価】

樹冠火の評価は、FARSITEで使用されている以下の評価式\*を用いて火線強度を算出する。その他、延焼速度、単位面積当たりの熱量、火炎放射強度(反応強度)及び火炎長に関しては、地表火と同様の式を用いて評価する。

\* Mark A. Finney "FARSITE Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation", USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-RP-4 Revised, March 1998, revised February 2004

○樹冠火の火線強度(kW/m) :  $I_c$

$$I_c = 300 \left( \frac{I_b}{300R} + CFB \cdot CBD(H - CBH) \right) R$$

- $I_b$  : 火線強度(kW/m)
- $R$  : 延焼速度(m/min)
- $CFB$  : 樹冠燃焼率(-)
- $CBD$  : 樹冠の充填密度(kg/m<sup>3</sup>)
- $H$  : 樹木高さ(m)
- $CBH$  : 樹冠までの高さ(m)

$$I_b = hwR / 60$$

- $h$  : 可燃物の燃焼熱(kJ/kg)
- $w$  : 単位面積当たりの燃料量(kg/m<sup>2</sup>)
- $R$  : 延焼速度(m/min)



### 2.3 影響評価の方法

【樹冠火の評価】

表2-3 樹冠火の評価式で使用する各種パラメータ

パラメータ	記号	単位	備考
樹冠燃焼率	$CFB$		1.0 保守的に設定
樹冠充填密度	$CBD$	kg/m <sup>3</sup>	デフォルト値
樹木高さ	$H$	m	15.0 実地調査
樹冠までの高さ	$CBH$	m	4.0 実地調査
可燃物の燃焼熱	$h$	kJ/kg	18,000 デフォルト値
単位面積当たりの燃料量	$w$	kg/m <sup>2</sup>	2.2

表2-4 樹冠火の評価結果

パラメータ	記号	単位	
延焼速度	$R$	m/min	7.05
火線強度	$I_c$	kW/m	9,307
火炎長	$L_f$	m	5.19
単位面積当たり熱量	$H_A$	kJ/m <sup>2</sup>	39,600
火炎放射強度(反応強度)	$I_R$	kW/m <sup>2</sup>	3,170



### 2.3 影響評価の方法

【外殻のコンクリート表面温度の評価】

放射強度の算出は、外部火災評価ガイドに基づき行う。発火点からの延焼を考慮し、地表火、樹冠火の評価結果から、以下の評価式を用いて燃焼半径、燃焼時間、円筒火災モデル数及び形態係数を算出する。

○燃焼半径(m) :  $R$

$$R = \frac{H}{3} \quad H: \text{火炎長 (m)}$$

○燃焼時間(s) :  $t$

$$t = H_A / I_R$$

○円筒火災モデル数(-) :  $F$

$$F = \frac{W}{2R} \quad W: \text{火炎到達幅 (m)}$$

$H_A$  : 単位面積当たり熱量 (kJ/m<sup>2</sup>)

$I_R$  : 火炎放射強度(反応強度) (kW/m<sup>2</sup>)

○形態係数(-) :  $\phi_i$

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

ただし、 $m = \frac{H}{R} \approx 3$ ,  $n = \frac{L_i}{R}$ ,  $A = (1+n)^2 + m^2$ ,  $B = (1-n)^2 + m^2$   $L_i$  : 離隔距離(m)

$$\Phi_t = (\Phi_i + \Phi_{i+1} + \Phi_{i+2} \dots)$$

$\Phi_t$  : 各円筒火災モデルの形態係数を合計した値

○放射強度(W/m<sup>2</sup>) :  $E$

$$E = Rf\Phi_t \quad Rf: \text{火炎放射発散度 (W/m}^2\text{)} (=I_R \times 0.377)$$



### 2.3 影響評価の方法

【形態係数、輻射強度の算出方法】

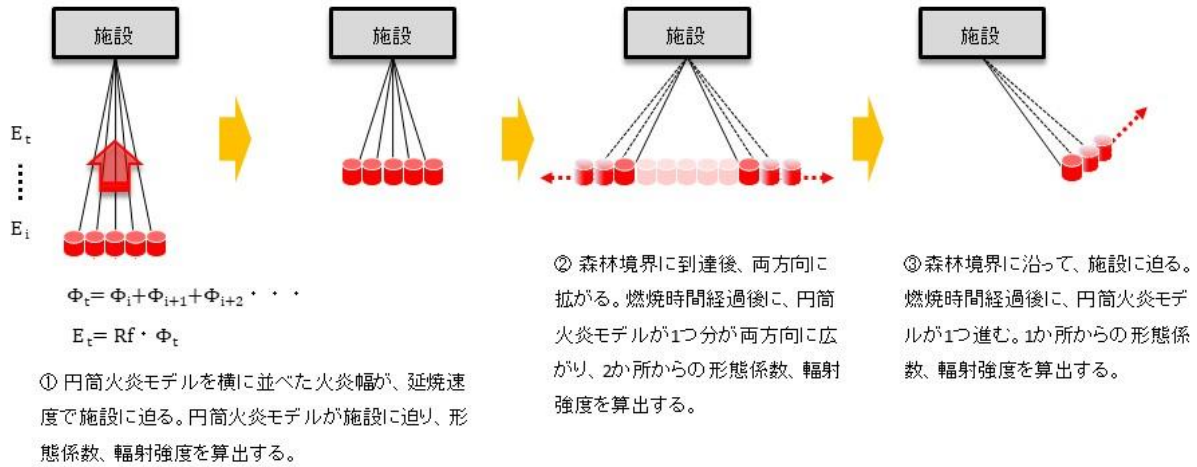


図2-3 変化する形態係数・輻射強度のイメージ(補足資料-6)

延焼に伴い変化する輻射強度を用いて、外殻のコンクリート表面温度を評価する。

### 2.3 影響評価の方法

【外殻のコンクリート表面温度の評価】

輻射強度から外殻のコンクリート表面温度の影響評価を行う。受熱面の温度は輻射強度が時間的に変化することを考慮し、一次元非定常熱伝導方程式を差分法を用いて数値計算する。評価式を以下に示す\*。

○一次元非定常熱伝導方程式

※ 伝熱工学資料 日本機械学会

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

$\alpha$  : 温度伝導率 ( $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ )  
 $C_p$  : コンクリート比熱 (0.963 kJ/kg·K)  
 $\rho$  : コンクリート密度 (2400 kg/m<sup>3</sup>)  
 $\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m·K)  
 $T$  : 温度 (°C)  
 $x$  : コンクリート深さ (m)

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、場所(コンクリート外表面からの深さ)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以下の通りとなる。

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

$k$  : 微小時間  
 $h$  : 微小距離

$x=0$  の境界条件

$$E = -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0}$$

### 2.4 評価結果

評価結果は、以下の通りである。

表2-5 森林火災の評価結果

項目	結果
延焼速度 m/min	7.05
火線強度 kW/m	9,871
火炎長 m	5.19
単位面積当たり熱量 kJ/m <sup>2</sup>	39,600
火炎輻射強度(反応強度) kW/m <sup>2</sup>	3,554
原子炉建家 °C	137
使用済燃料貯蔵建家 °C	150
冷却塔 °C	161
排気筒 °C	128

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度が、許容温度(200°C)以下であることを確認した。

## 2.森林火災による影響評価

### 2.5 防火帯幅について

Alexander and Fogartyの手法により、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から、火災の防火帯突破確率1%に最低限必要な防火帯幅を評価した。火線強度が9,871kW/mであるため、必要な最小防火帯幅を9.5mに設定した。

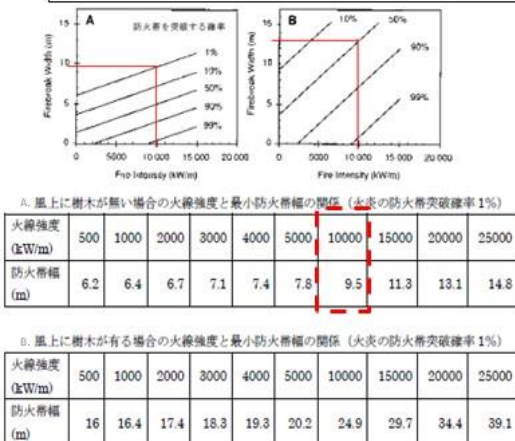


図2-4 火線強度と防火帯幅の関係

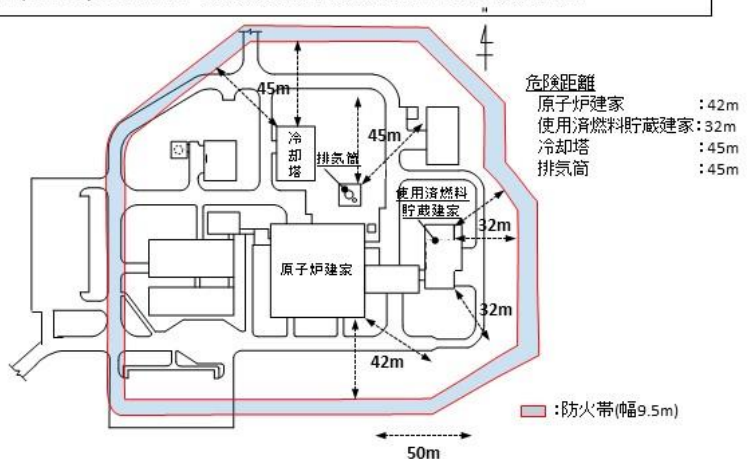


図2-5 防火帯の設定範囲と各防護対象施設の危険距離との概要

防火帯の設定について、延焼防止に必要な距離である危険距離(外殻のコンクリート表面温度が200°Cを超える距離)を算出し、防火帯の外縁(火炎側)までの距離が、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の危険距離を上回るようにする(図2-5)。防火帯は、アスファルト等で舗装した幅9.5mの帯状のものとして設定し、その範囲を保安規定に定める。また、防火帯幅の算出の条件を満たすため、防火帯の風上20m内の樹木を伐採する。防火帯には、原則として、駐車を禁止し可燃物を置かないよう管理する。可燃物の無いことを定期的を確認し、必要に応じて除草する。ただし、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車の必要がある場合や一時的に可燃物を置く場合については、長時間の停車や仮置を禁止する、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、運用上の措置を講ずることを運転手引に定め管理する。

### 2.6 森林火災発生時の対応について

【消防活動】

HTTR原子炉建家の周辺に設置された防火帯に加え、防火帯内の植生もわずかであるため、森林火災が原子炉建家に影響を及ぼすことはないが、飛び火等による延焼には、以下に示すように対応することが可能である。

- 大洗センターには、自衛消防隊が組織されており、24時間対応が可能である(補足資料-7)。
- 大洗センター内で火災が発見された場合、発見者は自治体消防に直ちに通報するとともに、大洗センター内の緊急電話を用いて通報する。平日の業務時間中であれば、各施設に配属されている自衛消防隊員が招集され、火災に対応する。休日夜間は常駐消防班が対応する体制にある。
- HTTRの防火帯の中に入るルートは複数あり、火災時にアクセスできなくなることはない。
- 想定される森林火災で外殻のコンクリート表面温度が最高となる最短の火災到達時間は56分である。

複数の施設に同時に火災が迫ることが予想される場合は、HTTRに常駐している従業員等(休日夜間を含め少なくとも原子炉停止中には3人、運転中には8人)が、消火活動を行う。

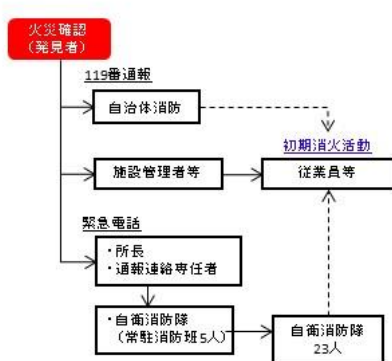


図2-6 初期消火活動実施までの通報連絡体制



図2-7 常駐消防班のHTTRへのアクセスルート



## 3. 近隣工場等の火災による影響評価

### 3.1 目的

大洗研究所敷地外で発生する近隣工場等の火災による原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒に対する影響評価を行うものである。

### 3.2 火災の想定

近隣工場等の火災の想定は以下のとおりとした。

- 近隣工場等に有する危険物タンクの貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- 離隔距離は、評価上厳しくなるようタンク位置から原子炉建家までの直線距離とする。
- 危険物タンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- 気象条件は無風状態とする。
- 危険物タンクの防油堤内の面積を円筒の底面と仮定し、火炎の高さを燃焼半径(半径1.5[m]以上に適用)の3倍とする円筒火災モデルとする。



#### 3.3 評価対象範囲

##### 【敷地外の危険物タンクの抽出】

近隣工場等の火災による影響評価で対象となる石油コンビナート等について、茨城県では鹿島臨海地区が石油コンビナート等特別防災区域に指定されている。ただし、大洗センターから約35km離れており、敷地外の影響評価の対象外とした。敷地外の近隣工場等の調査は、敷地外の10km圏内の範囲で行い、範囲内における危険物貯蔵施設の有無について、情報開示請求等により調査した。調査した結果、敷地外にある危険物貯蔵施設の屋外タンクがあること、LNG基地が存在しないことを確認した(補足資料-8)。

#### 3.4 評価結果

抽出した敷地外にある危険物貯蔵施設の屋外タンクはいずれも敷地内に設置している屋外タンクの容量よりも小さく、HTTR原子炉施設までの距離を十分有していることから、敷地内の屋外タンクの影響評価に包絡される。また、敷地外10km圏内には高圧ガス貯蔵設備があるが、危険限界距離がHTTR原子炉施設までの距離を十分に下回っており、影響を及ぼさないことを確認した。

近隣工場等の火災に対して、HTTR原子炉施設への影響はないものと評価する。



### 4.HTTR原子炉施設周辺の危険物タンクの火災による影響評価

#### 4.1 目的

大洗研究所敷地内の危険物タンクの火災による原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒に対する影響評価を行うものである。

#### 4.2 火災の想定

危険物タンクの火災の想定は以下のとおりとした。

- 危険物タンクの貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- 離隔距離は、評価上厳しくなるようタンク位置から原子炉建家までの直線距離とする。
- 危険物タンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- 気象条件は無風状態とする。
- 危険物タンクの防油堤内の面積を円筒の底面と仮定し、火炎の高さを燃焼半径(半径1.5[m]以上に適用)の3倍とする円筒火災モデルとする。



### 4.3 評価対象範囲

#### 【敷地内の危険物タンクの抽出】

大洗研究所敷地内の危険物施設は、39施設\*1あり、そのうち屋外タンク貯蔵所は3施設である(補足資料-9)。この屋外タンク貯蔵所のうち、最も容量が大きいタンクはHTTR機械棟屋外タンクであり、図4-1に示す通り、HTTR原子炉施設までの距離が最短であるため、他の危険物タンクの影響を包絡するものと判断した。したがって、大洗研究所敷地内の危険物タンクによる火災の影響評価の対象として、HTTR機械棟屋外タンクを抽出した。

\*1 令和元年6月現在

表4-1 大洗研究所敷地内の危険物タンク

対象	燃料	容量(m <sup>3</sup> )	隣接距離(m) (冷却塔) <sup>*2</sup>
燃料研究棟屋外タンク	A重油	10	300
照射燃料試験施設屋外タンク	A重油	7	225
HTTR機械棟屋外タンク	A重油	62	50

\*2 危険物タンクからの隣接距離が最短となる防護対象設備

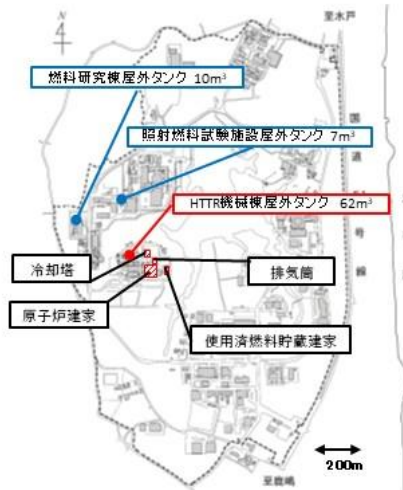


図4-1 大洗研究所敷地内の屋外タンクの配置



防油堤(8.3m×8.3m)

図4-2 機械棟屋外タンクの配置・外観



### 4.3 評価対象範囲

#### 【敷地内のその他の危険物施設】

以下の理由により、その他の危険物施設は影響評価の対象としていない。

- 敷地内の指定数量を超える危険物施設は、自治体へ許可申請して設置しているものであり、法令等に準拠した施設である。
- 一般取扱所、屋内貯蔵所及び地下タンクについては、直接熱輻射を受けない建家内に設置しているため、HTTR原子炉施設に熱影響がないものとする。
- 一般取扱所及び屋内貯蔵所には、ナトリウムを使用、貯蔵している施設があるが、保有するナトリウムと同重量の重油火災を想定しても、HTTR原子炉施設への熱影響は小さい。

### 4.4 影響評価の方法

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻が昇温されるものとして、外部火災評価ガイドに記載の評価式、参考文献に記載の計算式※より外殻のコンクリート表面温度を評価した(補足資料-10)。

※ 伝熱工学資料 日本機械学会

○形態係数(-) :  $\phi$

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

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

$\phi$  : 形態係数、 $L$  : 離隔距離[m]、 $H$  : 火災の高さ[m]、 $R$  : 燃焼半径[m]

○輻射強度(W/m<sup>2</sup>) :  $E$

$$E = Rf \cdot \phi \quad E: \text{輻射強度 [W/cm}^2\text{]、} Rf: \text{輻射発散度 [W/m}^2\text{]、} \phi: \text{形態係数}$$

○燃焼継続時間(s) :  $t$

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

$t$  : 燃焼継続時間[s]、 $V$  : 燃料量 [m<sup>3</sup>]、 $R$  : 燃焼半径[m]、 $v$  : 燃焼速度[m/s]

○燃焼半径(m) :  $R$

$$R = \sqrt{S/\pi}$$

$S$  : 防油堤面積(m<sup>2</sup>)

○外殻のコンクリート表面温度(°C) :  $T$

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

$T_0$  : 初期温度(40[°C])、 $q$  : 輻射強度(=E[W/m<sup>2</sup>])、 $\alpha$  : 温度伝導率( $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ )、 $C_p$  : コンクリート比熱(0.963 [kJ/kg·K])  
 $\rho$  : コンクリート密度(2400 [kg/m<sup>3</sup>])、 $\lambda$  : コンクリート熱伝導率(1.74 [W/m·K])、 $\chi$  : コンクリート深さ[m]、 $t$  : 燃焼継続時間 [s]



### 4.5 評価結果

表4-2 危険物タンクの火災の評価結果

項目	結果
燃料量 m <sup>3</sup>	62
燃焼半径 m	4.68
燃焼継続時間 s	25,714
原子炉建家 °C	59
使用済燃料貯蔵建家 °C	46
冷却塔 °C	76
排気筒 °C	54

HTTR機械棟屋外タンクの火災による影響評価の結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度が許容温度(200°C)以下であることを確認した。また、敷地内には高圧ガス貯蔵設備があるが、危険限界距離がHTTR原子炉施設までの距離を十分に下回っており、影響を及ぼさないことを確認した(補足資料-9)。



### 5.1 目的

大洗研究所敷地内での航空機の墜落で発生する火災による原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒に対する影響評価を行うものである。

### 5.2 火災の想定

航空機墜落による火災の想定は以下のとおりとした。

- 航空機は、大洗センターにおける航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- 航空機の墜落は、大洗研究所敷地内であって落下確率が $10^{-7}$ (回/炉・年)以上になる範囲のうちHTTR原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- 航空機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。
- 気象条件は無風状態とする。
- 火災は円筒火災をモデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とする。

### 5.3 評価対象範囲

#### 5.3.1 火災影響評価の方針

航空機落下確率評価については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準」(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))(以下、「評価基準」という。)等を参考とし、評価条件の違いからカテゴリに分けて落下確率を求める。また、評価に考慮している航空機落下事故については、訓練中の事故等、民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも、機種によって飛行形態が同一ではないと考えられる。したがって、下表に示すカテゴリ毎に航空機墜落による火災影響を評価する。

表5-1 航空機落下事故のカテゴリ

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

### 5.3.2 カテゴリ別の航空機墜落による火災の影響評価

#### 1) 計器飛行方式民間航空機

##### ① 飛行場での離着陸時

HTTR原子炉施設は、茨城空港(百里基地)から約15kmの距離にあり、最大離着陸地点30NM(約55.56km)までの距離内に存在するため、評価対象とする。

##### ② 航空路を巡行中

HTTR原子炉施設の直上に保護空域が重なる航空路があるため、評価対象とする。

#### 2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

落下事故を想定し、評価対象とする。

#### 3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

HTTR原子炉施設から約15kmの距離に茨城空港(百里基地)があるが、HTTR原子炉施設上空には自衛隊及び米軍機の訓練空域はない。ただし、太平洋沖合の上空には自衛隊及び米軍の訓練空域があり、基地-訓練空域間の往復の想定飛行範囲内にある。

##### ① 訓練空域外を飛行中

落下事故を想定し、評価対象とする。

##### ② 基地-訓練空域間往復時

自衛隊機の落下事故を評価対象とする。



### 5.3.3 評価対象となるカテゴリ別の航空機と燃料のデータ

各カテゴリでの評価対象となる航空機と燃料は下表のとおり。

表5-2 航空機の燃料仕様

カテゴリ	1) 計器飛行方式民間航空機		2) 有視界飛行方式民間航空機	3) 自衛隊機又は米軍機	
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡行中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	
				①-1 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	①-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400		AS332L-1	KC-767	F-15
燃料種類	JET A-1				JP-4
燃料積載量 m <sup>3</sup>	216.84		3.0	145.03	14.87
放射発散度 W/m <sup>2</sup>	50×10 <sup>3</sup>				58×10 <sup>3</sup>
燃焼速度 m/s	4.59×10 <sup>-5</sup>				6.71×10 <sup>-5</sup>
燃焼継続時間 s	6,751		1,055	5,334	4,968

### 5.4 離隔距離の算出

大洗研究所敷地内への航空機の墜落により発生する火災がHTTR原子炉施設に及ぼす熱影響を評価するために、落下確率が10<sup>-7</sup>回/炉・年になる標的面積を計算し、離隔距離を算出した(補足資料-11)。



### 5.5 評価結果

離隔距離の地点での火災発生を想定し、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻が昇温されるものとして外殻のコンクリート表面温度を求めた。

表5-3 評価結果

カテゴリ	1) 計器飛行方式民間航空機		2) 有視界飛行方式民間航空機	3) 自衛隊機又は米軍機		
	①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡行中の落下事故		①訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	①-1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	①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
対象航空機	B747-400		AS332L-1	KC-767	F-15	
燃料種類	JET A-1			JP-4		
原子炉建家 °C	44	44	75	45	48	72
使用済燃料貯蔵建家 °C	44	44	56	45	46	58
冷却塔 °C	44	44	57	45	46	58
排気筒 °C	44	44	54	45	45	56

評価の結果、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度が許容温度(200°C)以下であることを確認した。



## 評価結果

- 外部火災として想定した、①森林火災、②近隣工場等の火災、③ HTTR原子炉施設周辺の危険物タンクによる火災、④航空機墜落による火災、⑤航空機墜落に起因するHTTR原子炉施設周辺の危険物タンク火災による、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒に対する影響評価を行った。
- いずれの事象に対しても、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒の外殻のコンクリート表面温度は、許容温度(200°C)以下であり、安全施設が安全機能を損なうおそれがないことを確認した。

# 補足資料

### 【評価対象の基本的な考え方】

- 防護対象となる自然現象に対する重要安全施設は、すべて原子炉建家内にある。
- 重要安全施設は、中央制御室を除きすべて地下階にあり、建家外壁、建家の開口部（扉、シャッター等）で隔てた場所に設置されていない。
- 建家外壁にある開口部は、建家の強度評価において空間とされており、支持機能がないことから、評価の対象としない。
- 重要安全施設が設置されている部屋の空調は外気を取り込んでいるが、送風機にはフィルタが取り付けられており、火災によるばい煙をある程度除去できるため、重要安全施設に影響を及ぼさない。なお、中央制御室の換気空調系は、外気を遮断した閉ループ循環運転が行える設計であるため、火災発生時に外気の影響を受けない。
- 原子炉建家外壁のコンクリートは、使用前検査において材料検査、構造検査を受けており、建築基準法、JIS規格に準拠している。

以上のことから、防護対象となる表1-1に示した重要安全施設はすべて、原子炉建家に内包されており、外部火災の影響評価では、原子炉建家外壁のコンクリート温度を評価する。

**核物質防護情報が含まれているため公開できません。**

図1 原子炉建家断面図



**【中央制御室での活動性】**

(ばい煙が発生した場合、中央制御室は、外気取入ダンパを閉止、排風機を停止及び循環送風機を起動することで、外気遮断循環運転を行うことができる。外部火災が発生した場合、外気遮断循環運転モードに切り替えることで、(ばい煙)の侵入を阻止可能であるため、中央制御室の居住者へ影響を与えない措置を講ずることができる。

表1 酸素濃度算出に係るパラメータ

在室人員	[人]	10
中央制御室バウンダリ	[m <sup>3</sup> ]	1483
成人呼吸気の酸素量(吸気)初期酸素濃度 <sup>*1</sup>	[%]	20.95
成人呼吸気の酸素量(呼気) <sup>*1</sup>	[%]	16.40
成人の呼吸量(歩行時) <sup>*1</sup>	[ℓ/min]	24
許容酸素濃度 <sup>*2</sup>	[%]	19%以上
許容酸素濃度になるまでの時間	[h]	44

表2 炭酸ガス濃度算出に係るパラメータ

在室人員	[人]	10
中央制御室バウンダリ	[m <sup>3</sup> ]	1483
初期炭酸ガス濃度	[%]	0.03
呼吸による排出する炭酸ガス濃度(中等作業時) <sup>*1</sup>	[m <sup>3</sup> /h]	0.046
許容炭酸ガス濃度 <sup>*2</sup>	[%]	1.0%未満
許容炭酸ガス濃度になるまでの時間	[h]	31

※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

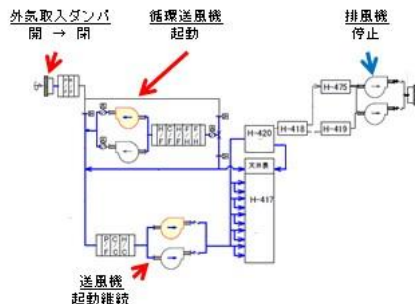


図2 中央制御室系換気空調設備(外気遮断循環運転モード)

外気が遮断された場合の作業環境について評価した結果、中央制御室内の酸素濃度が許容酸素濃度になるまでの時間は44時間、炭酸ガス濃度が許容炭酸ガス濃度になるまでの時間は31時間であり、火災の燃焼時間(約90時間(航空機墜落と屋外タンクの重量))を上回ることから、居住者の活動性は確保されることを確認した。





表3 水戸気象台の観測データ

年	気温(°C)		風向・風速(m/s)	
	最高	最低	最大風速	
			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

出典：気象庁ホームページ(資料を加工して作成)

【火災中の風速の補正】

文献「How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires」を参考に設定した。想定する森林火災の延焼域の現地調査の結果を踏まえ、文献中の「PARTIALLY SHELTERED FUELS」(平地及びゆるやかな斜面かつ樹木があまり密集していないという条件)に該当すると判断し、該当する係数を用いた。現地の植生は、木々が密集している場所、間伐されている場所があり、全体的に樹木があまり密集していないと判断した。

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
<b>EXPOSED FUELS</b>		
Fuel exposed directly to the wind—no overstory or sparse overstory; 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	4 13	0.6 0.5
	1,3,5,6,11,12 (2,7) (8,9,10) <sup>a</sup>	0.4
<b>PARTIALLY SHELTERED FUELS</b>		
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
<b>FULLY SHELTERED FUELS</b>		
Fuel sheltered beneath standing timber on flat or gentle slope	All stands	0.2
Fuel sheltered beneath standing timber on near base of mountain with steep slopes	Dense stands	0.1

<sup>a</sup>Fuels usually partially sheltered.  
<sup>b</sup>Fuels usually fully sheltered.

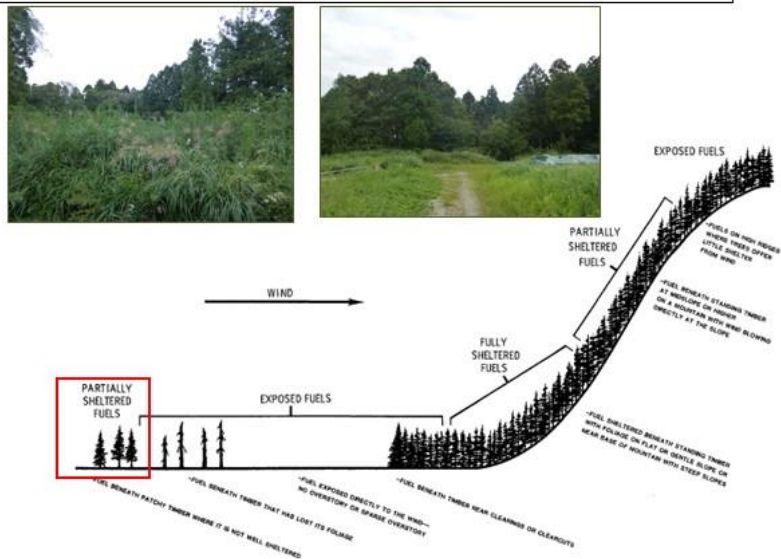
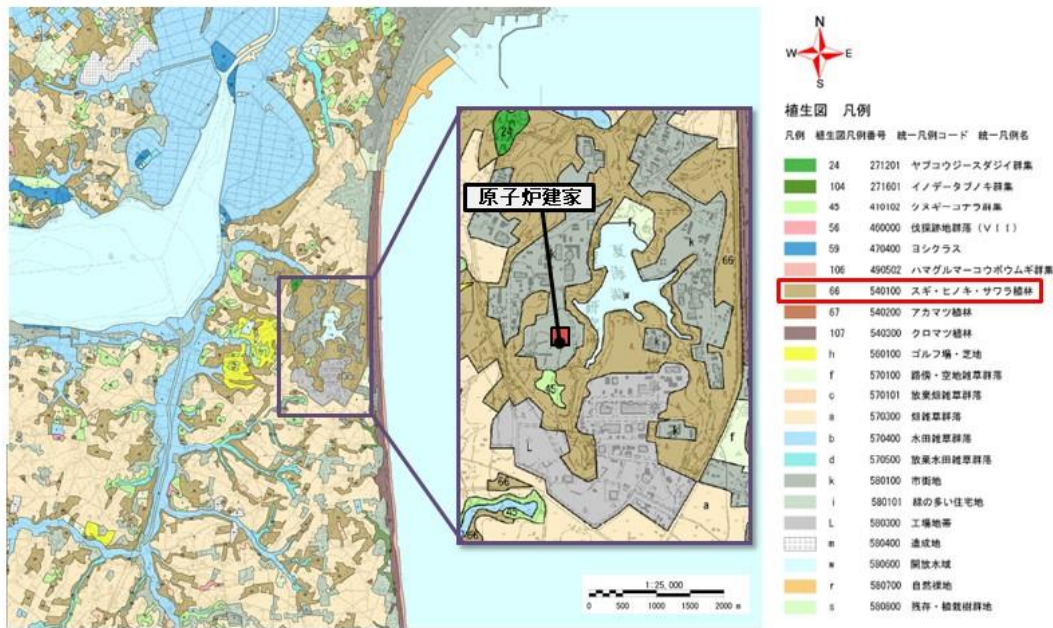


Figure II-8.— Exposure of various fuels to wind.

図3 火災中の風速の補正

【植生】



出典：自然環境保全基礎調査植生調査環境省自然環境局生物多様性センター（資料を加工して作成）

- ・ 出典元で提供している1/25,000植生図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図及び数値地図25000(地図画像)を複製して作成したものである。
- ・ 作成年度：2001～2002年度

図4 大洗センター周辺及びHTTR原子炉建家周辺の植生



【地表火の評価】

表4 地表火の評価で使用する各種パラメータの詳細(計算結果)

パラメータ	記号	単位	値	備考
可燃物の表面積-体積比	$\sigma$	/cm	60.5	文献調査※ ●
可燃物の真の密度	$\rho_p$	Kg/m <sup>3</sup>	411.38	文献調査※
単位面積当たりの可燃物量	$W_0$	kg/m <sup>2</sup>	0.5	文献調査※
可燃物の堆積深	$\delta$	m	0.04	実地調査
可燃物の含水率	$Mf$		0.01	文献調査※
限界含水率	$Mx$		0.32	文献調査※
可燃物中のシロカ以外の無機含有率	$S_e$		0.046	文献調査※
可燃物中の無機含有率	$S_T$		0.060	文献調査※
可燃物の発熱量	$h$	kJ/kg	20,963	文献調査※ ●
炎の高さ中央部の風速	$U$	m/min	313.2	気象データ
傾斜角度	$\phi$	°	5	実地調査

(以下、次表で示す式の計算結果を記載する。)

可燃物中の有機物量	$W_n$	kg/m <sup>2</sup>	0.47	計算値 ●
可燃物の堆積密度	$\rho_b$	kg/m <sup>3</sup>	12.5	計算値 ●
可燃物の堆積密度と比重の比	$\beta$		0.030	計算値
熱分解速度が最大となるときβ	$\beta_{OP}$		0.007	計算値
定数	$A$		0.346	計算値
最大熱分解速度	$\Gamma'_{max}$	/min	15.310	計算値
理想熱分解速度	$\Gamma''$	/min	8.115	計算値 ●
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	$\eta_M$		0.924	計算値 ●
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	$\eta_S$		0.312	計算値 ●
燃焼による単位時間当たりの放出熱量(火炎放射強度)	$I_R$	kJ/min/m <sup>2</sup>	23074	計算値 ●
炎によって加熱される可燃物の割合	$\varepsilon$		0.928	計算値 ●
可燃物の加熱に消費される放出熱量の割合	$\xi$		0.075	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	$Q_{if}$	kJ/kg	607	計算値 ●
定数(Φ <sub>1</sub> に使用)	$B$		1.465	計算値
定数(Φ <sub>1</sub> に使用)	$C$		0.002	計算値
定数(Φ <sub>1</sub> に使用)	$E$		0.369	計算値
風による割増し係数	$\Phi_{W'}$		27.6	計算値 ●
傾斜による割増し係数	$\Phi_{\phi}$		0.115	計算値 ●

※ 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

・備考に、●印のあるパラメータが本文中に記載のデータ。



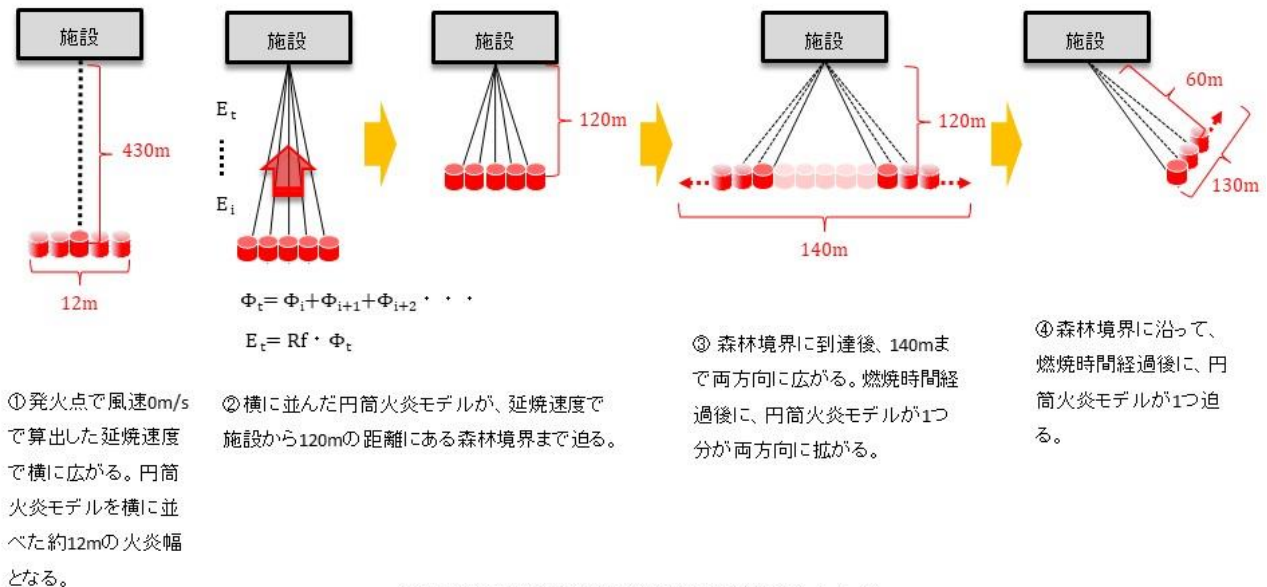
【地表火の評価】

表5 地表火の評価で使用する各種パラメータの計算式

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ときの $\beta$ :	$\beta_{op} = 0.20395\sigma^{-0.8189}$
定数:	$A = 8.9033\sigma^{-0.7913}$
最大熱分解速度:	$\Gamma_{max} = (0.0591 + 2.926\sigma^{-1.5})^{-1}$
理想熱分解速度:	$\Gamma = \Gamma_{max} \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \exp\left(1 - \frac{\beta}{\beta_{op}}\right)\right)^4$
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数:	$\eta_M = 1 - 2.59\left(\frac{M_f}{M_d}\right) + 5.11\left(\frac{M_f}{M_d}\right)^2 - 3.52\left(\frac{M_f}{M_d}\right)^3$
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数:	$\eta_S = 0.174S_g^{-0.19}$
燃焼による単位時間当たりの放出熱量 (火炎放射強度):	$I_R = \Gamma w_n h \eta_M \eta_S$
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:	$Q_{ig} = 581 + 2594M_f$
定数: B ( $\Phi_w$ に使用)	$B = 0.15988\sigma^{0.54}$
定数: C ( $\Phi_w$ に使用)	$C = 7.47 \exp(-0.8711\sigma^{0.55})$
定数: E ( $\Phi_w$ に使用)	$E = 0.715 \exp(-0.01094\sigma)$
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:	$\Phi_S = 5.275\beta^{-0.3} \tan^2\phi$



【形態係数、放射強度の算出方法】



延焼に伴い変化する放射強度を用いて、外殻のコンクリート表面温度を評価する。



## 【自衛消防隊の資機材】

- 自衛消防隊(休日夜間では常駐消防班)は、通報から約15分でHTTRの防火帯内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HTTR防火帯内で消火・散水活動を開始することが可能である。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。

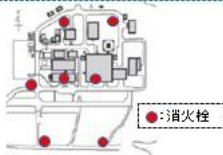
## 【消防設備】



【化学消防車】

	仕様
タンク容量	1500ℓ
消火剤量	300ℓ
放水量	約2.89m <sup>3</sup> /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

その他、防火服、半面マスク等を多数常備している。



【屋外消火栓】

	個数
センター全域	99か所
HTTR周辺	5か所
放水ホース	2本×20m



【可搬型消防ポンプ】

	仕様
放水量	約1.00m <sup>3</sup> /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

図6 消防設備の仕様

## 【自衛消防隊の訓練】

### ・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:消防車等を用いたの操作訓練、放水訓練、初動対応 等

### ・総合訓練における消防活動訓練

茨城県沖を震源とする大洗町震度6弱の地震が発生、管理区域外の火災を想定。自治体消防、自衛消防隊及び現場対応班(消防班)が連携した消防活動訓練を実施。



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



大洗町消防との連携活動

図7 自衛消防隊の訓練風景

42

HTTR

表6 敷地外10km圏内の高圧ガス貯蔵設備\*

※の

他事業者の情報が含まれているため、公開できません。

表7 敷地外10km圏内の危険物屋外タンク

他事業者の情報が含まれているため、公開できません。

高圧ガス貯蔵設備の危険限界距離は、外部火災評価ガイドの評価式より算出した。また、Kの数値については、外部火災評価ガイドに示されている常用の温度に関わらず、最大のものを使用した。

$$X = 0.042 \sqrt[3]{K \times W}$$

X:危険限界距離[m], K:換算距離14.4[m<sup>3</sup>kg<sup>-1/3</sup>], A:石油類の定数[-], W:設備定数[-]

図8 敷地外10km圏内の危険物屋外タンク及び高圧ガス貯蔵設備

43

HTTR

核物質防護に関する情報が含まれているため公開  
できません。

図9 敷地内の危険物屋外タンク及び高圧ガス貯蔵設備(令和元年6月現在)

【危険物タンクの火災の評価】

表11 危険物タンクの火災の評価で使用する各種パラメータ

パラメータ	記号	単位	結果	備考
避難距離	$L$	m	70	原子炉建家
火炎の高さ	$H$	m	14.1	3R
燃料量	$V$	$m^3$	62	
防油堤面積	$S$	$m^2$	68.9	8.3m × 8.3m
燃焼半径	$R$	m	4.68	
輻射発散度(重油)	$Rf$	$W/m^2$	23,000	外部火災評価ガイド
質量低下速度(重油)	$M$	$kg/m^2/s$	0.035	参考文献 <sup>※</sup>
燃料密度(重油)	$\rho$	$kg/m^3$	1,000	参考文献 <sup>※</sup>
燃焼速度(重油)	$v$	m/s	$3.5 \times 10^{-5}$	M/ $\rho$

※ Fire Dynamics Tools (FDTs) – Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)

【航空機墜落の離隔距離】



- 1) 計器飛行方式民間航空機
- ① 飛行場での離着陸時

図10(1) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

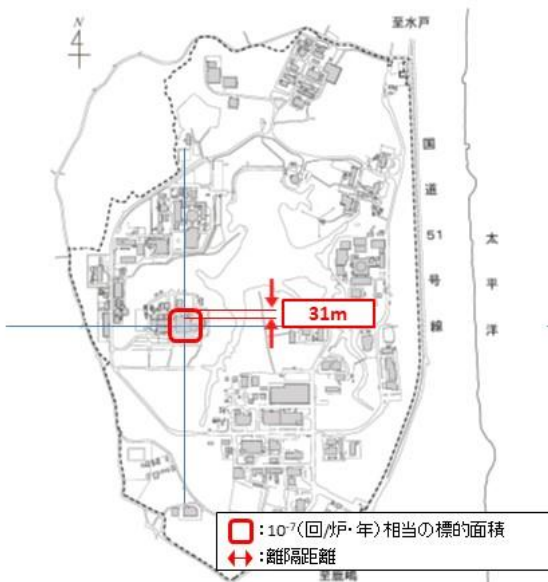


- 1) 計器飛行方式民間航空機
- ② 航空路を巡行中

図10(2) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)



【航空機墜落の離隔距離】



- 2) 有視界飛行方式民間航空機

図10(3) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

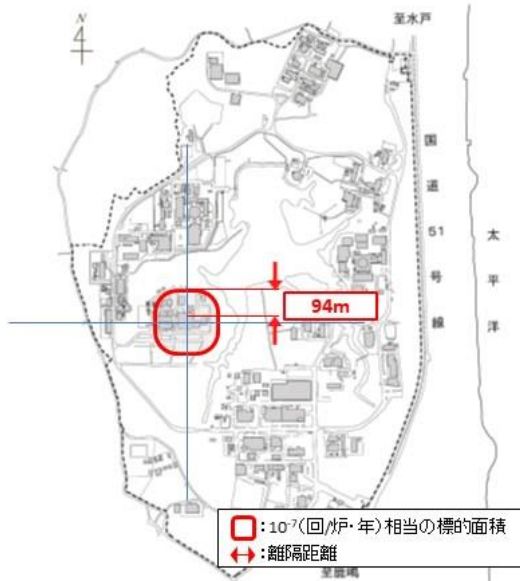


- 3) 自衛隊機又は米軍機
- ① 訓練空域外を飛行中
- ①-1 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

図10(4) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

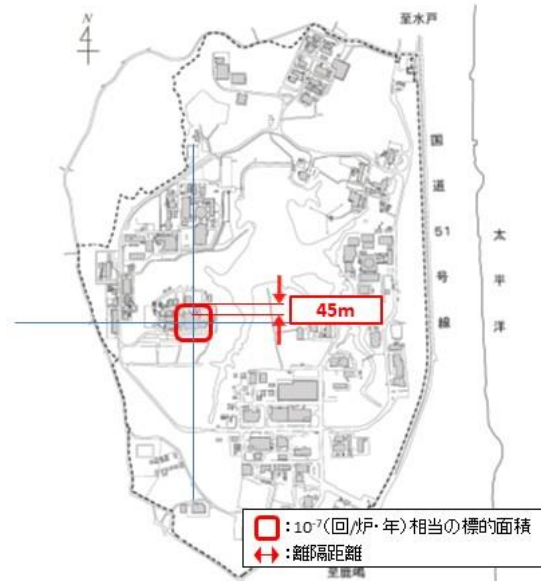


【航空機墜落の離隔距離】



- 3) 自衛隊機又は米軍機
- ① 訓練空域外を飛行中
- ①-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機

図10(5) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

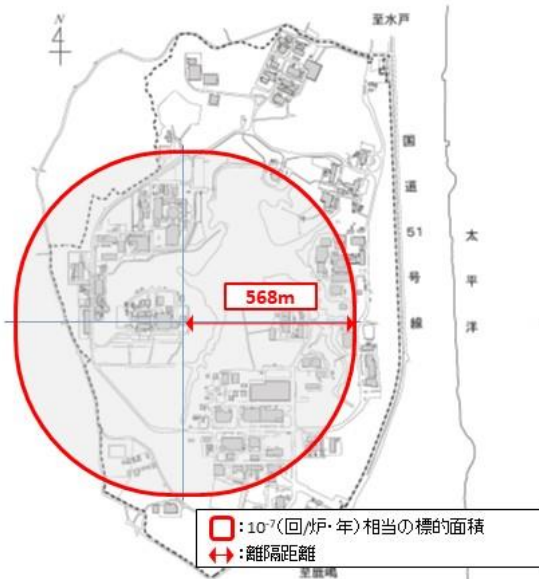


- 3) 自衛隊機又は米軍機
- ② 基地 - 訓練空域間往復

図10(6) 離隔距離のイメージ(原子炉建家)

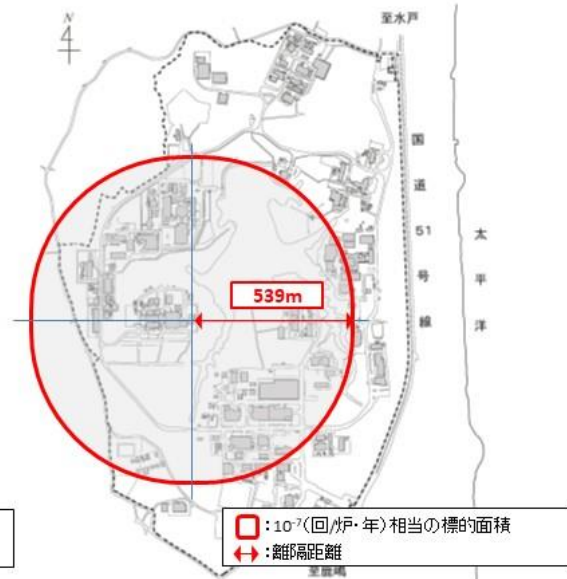


【航空機墜落の離隔距離】



- 1) 計器飛行方式民間航空機
- ① 飛行場での離着陸時

図11(1) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)

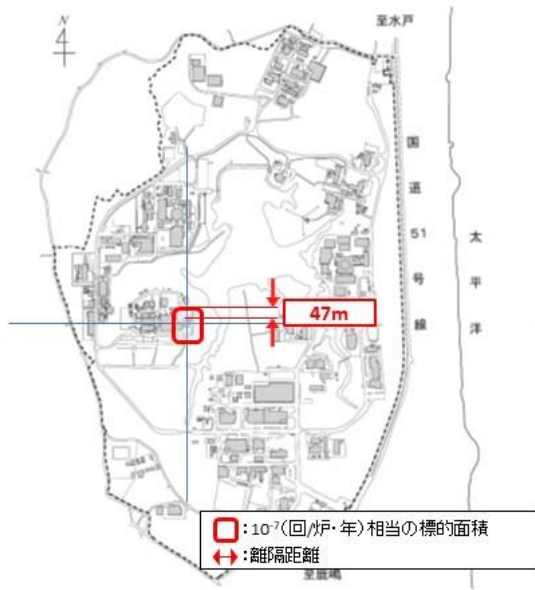


- 1) 計器飛行方式民間航空機
- ② 航空路を巡行中

図11(2) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)



【航空機墜落の離隔距離】



2) 有視界飛行方式民間航空機

図11(3) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)

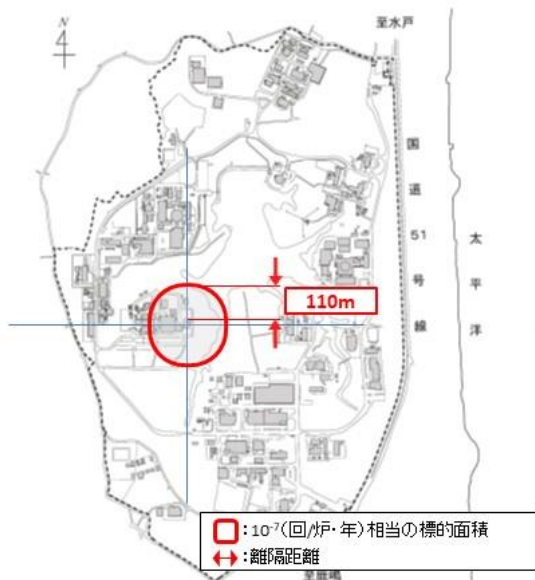


3) 自衛隊機又は米軍機  
①訓練空外を飛行中  
①-1空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

図11(4) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)



【航空機墜落の離隔距離】



3) 自衛隊機又は米軍機  
①訓練空域外を飛行中  
①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機

図11(5) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)



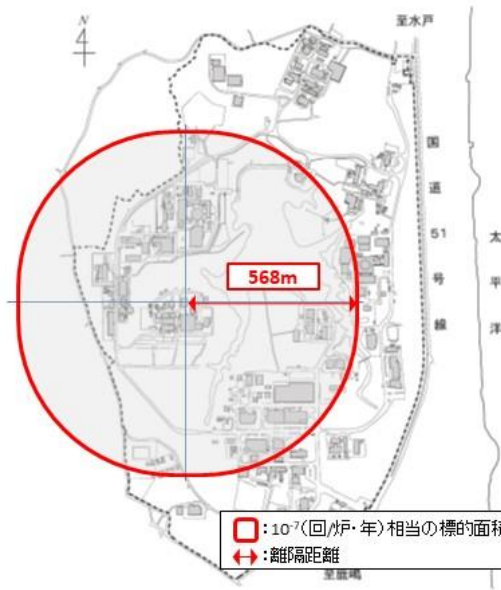
3) 自衛隊機又は米軍機  
②基地-訓練空域間往復

図11(6) 離隔距離のイメージ(使用済燃料貯蔵建家)



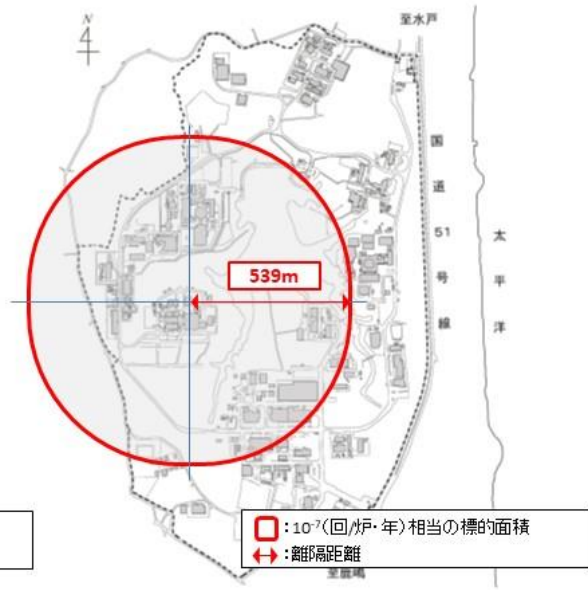


【航空機墜落の離隔距離】



- 1) 計器飛行方式民間航空機
- ①飛行場での離着陸時

図12(1) 離隔距離のイメージ(冷却塔)



- 1) 計器飛行方式民間航空機
- ②航空路を巡行中

図12(2) 離隔距離のイメージ(冷却塔)

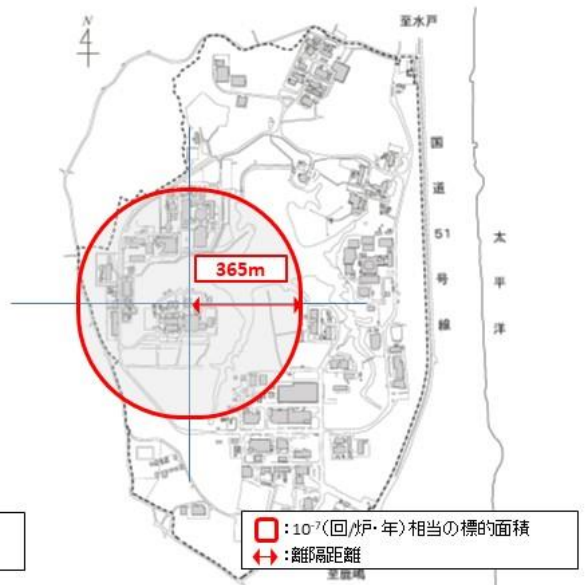


【航空機墜落の離隔距離】



- 2) 有視界飛行方式民間航空機

図12(3) 離隔距離のイメージ(冷却塔)

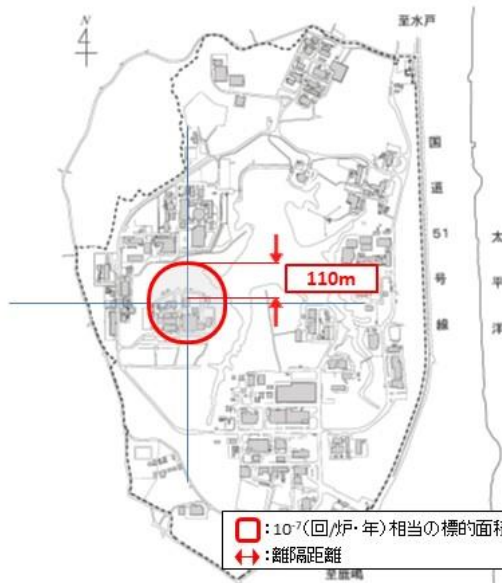


- 3) 自衛隊機又は米軍機
- ①訓練空外を飛行中
- ②-1空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

図12(4) 離隔距離のイメージ(冷却塔)

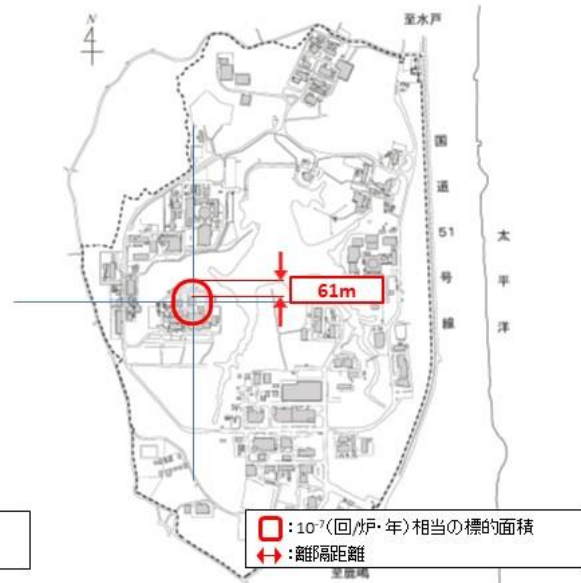


【航空機墜落の離隔距離】



- 3) 自衛隊機又は米軍機
- ①訓練空域外を飛行中
- ①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機

図12(5) 離隔距離のイメージ(冷却塔)



- 3) 自衛隊機又は米軍機
- ②基地-訓練空域間往復

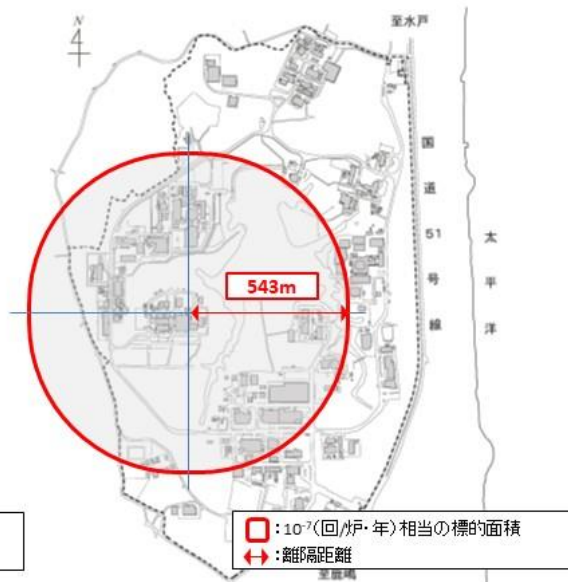
図12(6) 離隔距離のイメージ(冷却塔)



【航空機墜落の離隔距離】



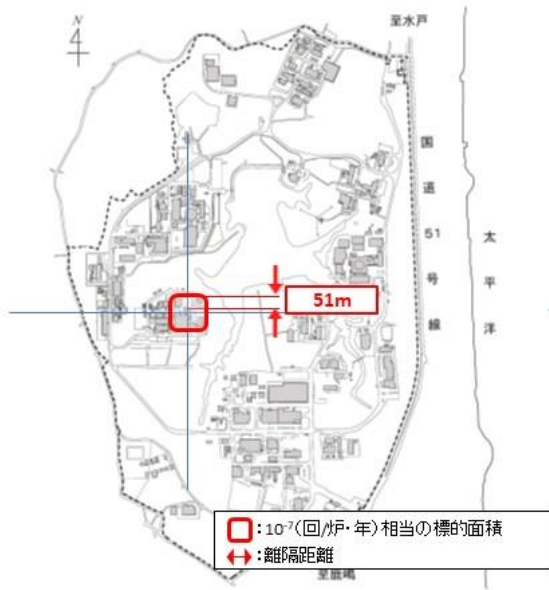
- 1) 計器飛行方式民間航空機
  - ①飛行場での離陸着陸時
- 図13(1) 離隔距離のイメージ(排気筒)



- 1) 計器飛行方式民間航空機
  - ②航空路を巡行中
- 図13(2) 離隔距離のイメージ(排気筒)

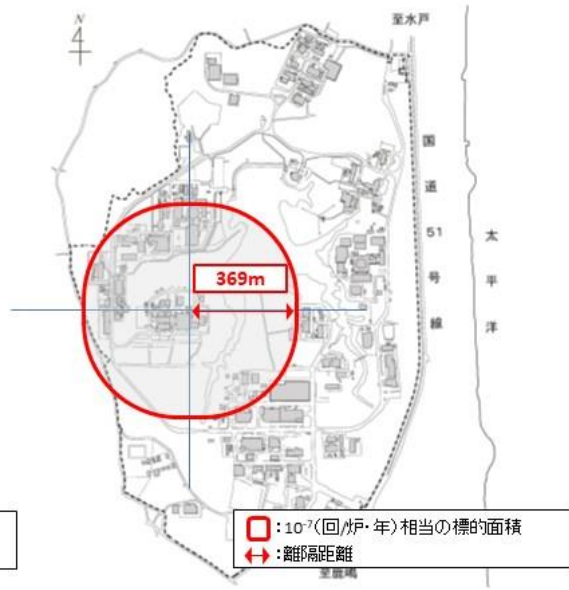


【航空機墜落の離隔距離】



2) 有視界飛行方式民間航空機

図13(3) 離隔距離のイメージ(排気筒)

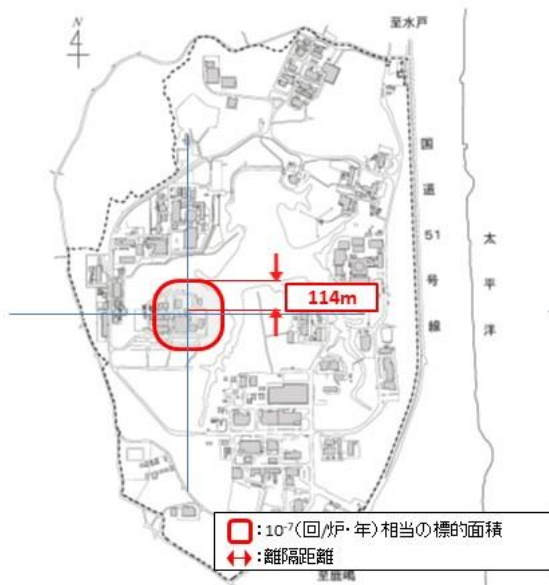


3) 自衛隊機又は米軍機  
①訓練空外を飛行中  
①-1空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機

図13(4) 離隔距離のイメージ(排気筒)

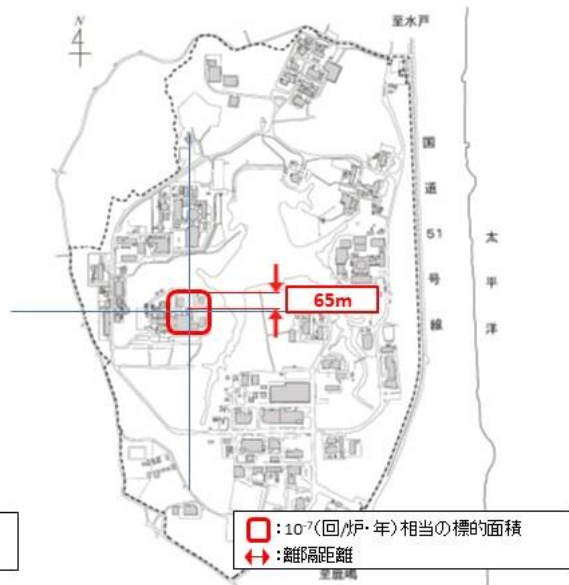


【航空機墜落の離隔距離】



3) 自衛隊機又は米軍機  
①訓練空域外を飛行中  
①-2その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機

図13(5) 離隔距離のイメージ(排気筒)



3) 自衛隊機又は米軍機  
②基地-訓練空域間往復

図13(6) 離隔距離のイメージ(排気筒)



① 火災発生時の大洗研究開発センターの消防活動について、体制、指揮系統を明確にした上で説明すること。

<回答>

大洗研究開発センターで火災が発生した場合の体制については、大洗研究開発センター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（図①-1、①-2 参照）。

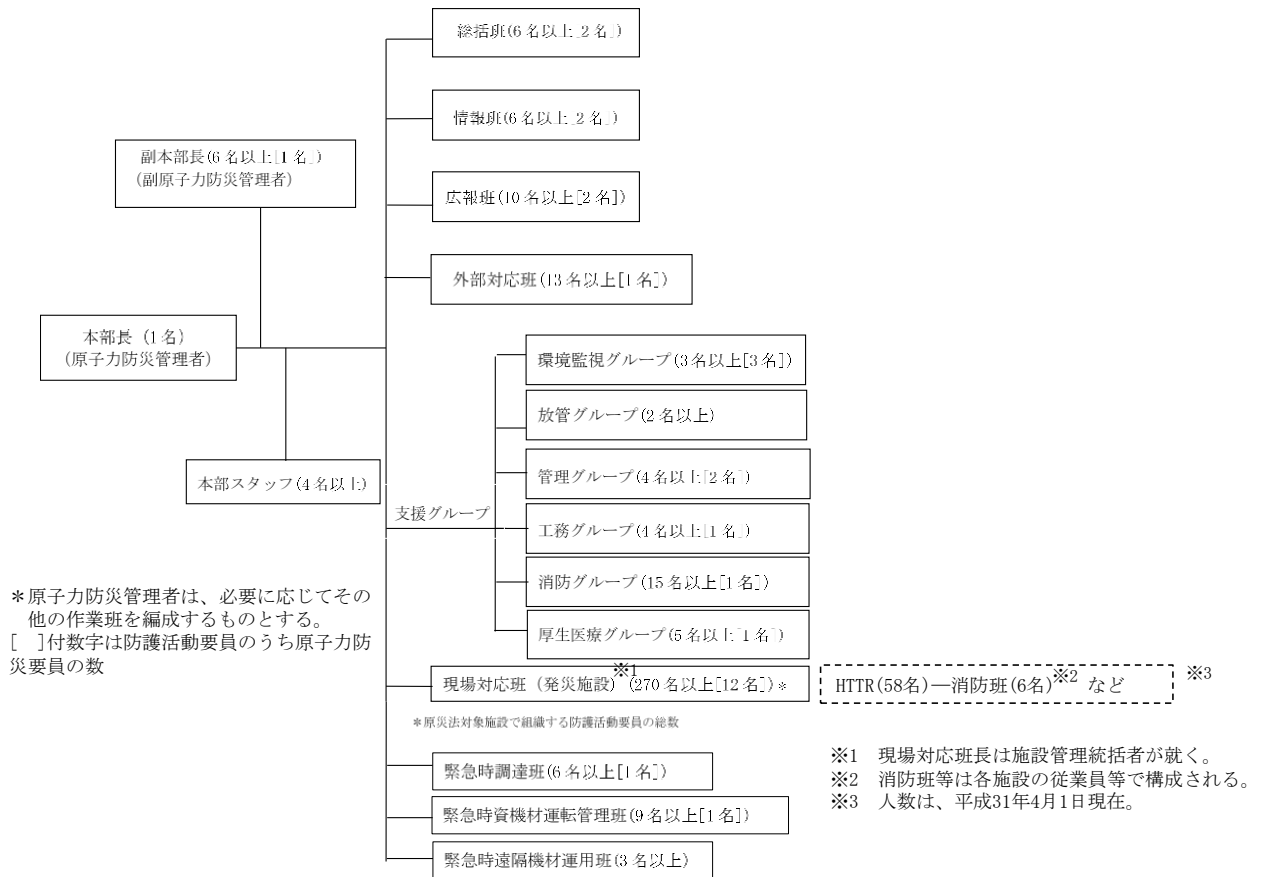
**【火災発生時の初動体制】**

- 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、現地对策本部を設置し現地对策本部長として活動を統括、全般を指揮する。現地对策本部は、図①-3 に示す安全情報交流棟に設置され、大洗研究開発センター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对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对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。

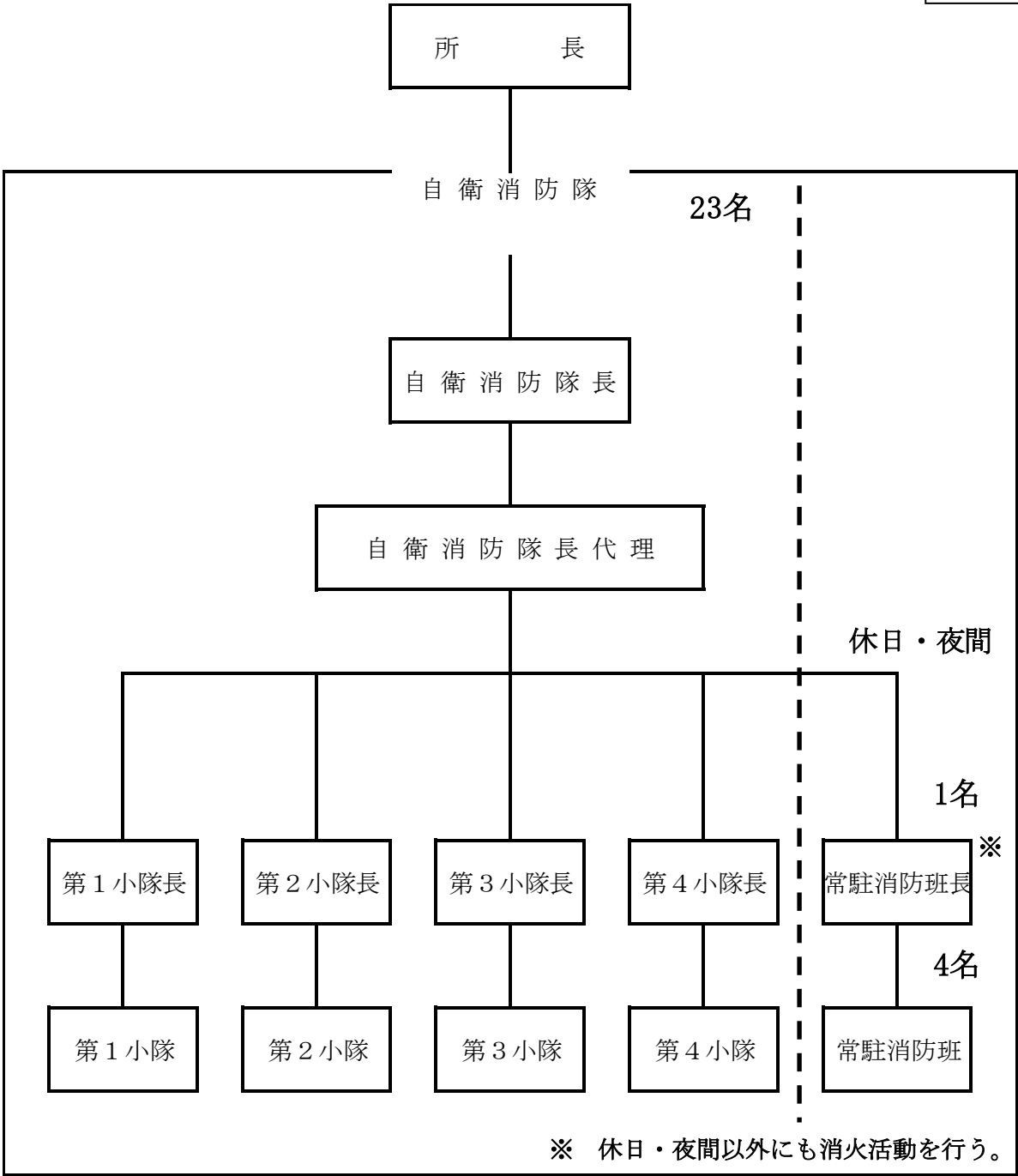
HTTR 原子炉施設周辺での森林火災が発生した場合、施設では現場対応班 58 名（原子炉運転中 53 名）が招集され、その内消防班 6 名（自衛消防隊 3 名を含む）が消火活動を行う体制にある。所長から出動の指示を受けた自衛消防隊 21 名（合計 23 名から HTTR の自衛消防隊 3 名を除き、常駐消防班長 1 名を含む）は、図①-3 に示すアクセスルートで、HTTR 原子炉施設周辺に到着し、出動の指示を受けてから約 20 分で消火活動を開始する。休日・夜間においては、HTTR 原子炉施設に常駐する特定施設運転員 3 名と大洗研究開発センターの常駐消防班 5 名が消火活動を行う体制にある。常駐消防班は消防資機材のある消防車庫から図①-3 に示すアクセスルートで HTTR 原子炉施設周辺に到着し、連絡を受けてから約 20 分で消火活動を開始する。なお、常駐消防班は、常駐消防班長（1 名）と警備員（4 名）で構成され、休日・夜間以外は常駐消防班長を除き消火活動に参画しない。

回答④で示すとおり、想定される森林火災の最短の火災到達時間は 56 分であり、以上のことから、自衛消防隊は 24 時間体制で消火活動を行える体制にある。

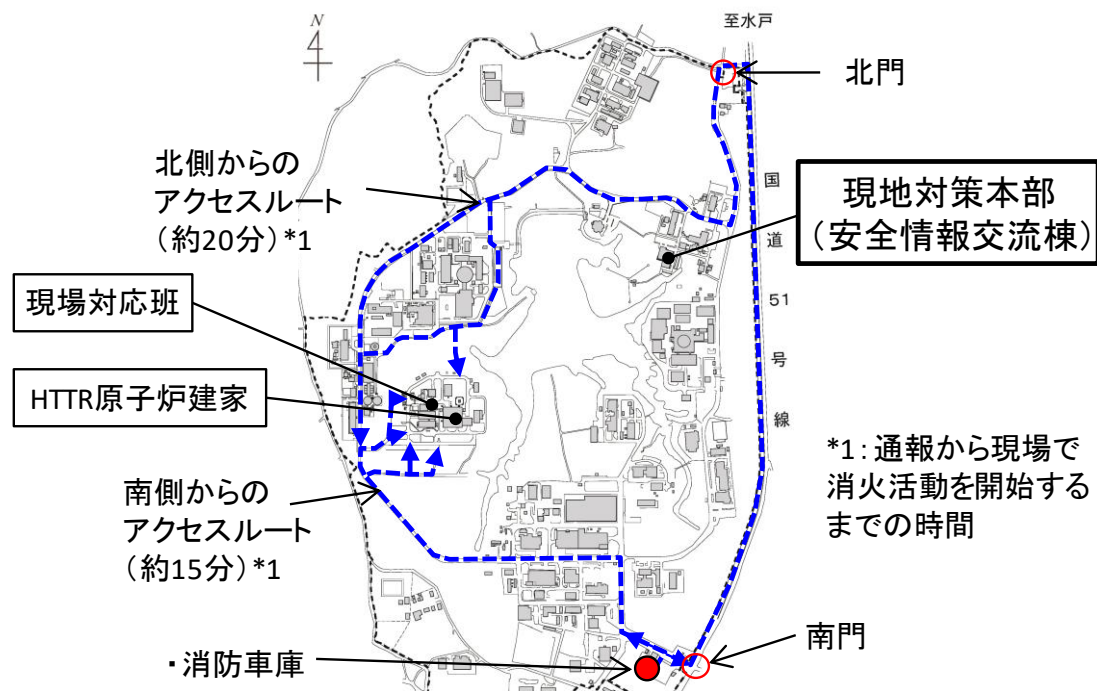
また、大洗研究開発センター内のその他施設においても、火災時には現場対応班に消防班が組織され、消火活動を行う体制にある。



図①-1 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) 平成 31 年 3 月 25 日現在



図①-2 自衛消防隊組織図(自衛消防隊規則抜粋)



図①-3 自衛消防隊のアクセスルート、消防車庫及び現地対策本部の位置

② 森林火災の影響評価で設定した防火帯の管理の在り方について説明すること。

<回答>

原子炉施設保安規定に火災に関する項目を設け、防火帯の管理について HTTR の運転手引に定める。防火帯には、原則として、駐車を禁止し可燃物を置かないよう管理する。可燃物の無いことを定期的を確認し、必要に応じて除草する。ただし、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車の必要がある場合や一時的に可燃物を置く場合については、長時間の停車や仮置を禁止する、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、運用上の措置を講ずることを運転手引に定め管理する。

③ 森林火災において障壁としている HTTR 原子炉建家の西側の建物について考え方を説明すること。

<回答>

HTTR 原子炉建家の西側には、従業員等が勤務する研究開発棟がある。この建家は、鉄筋コンクリート造（外壁厚さ 180mm、屋根厚さ 150mm）で不燃材料で構築されており、外部火災による発火を想定しない。また、建家内で発生する火災が建家外へ熱的影響を及ぼす恐れはない。

④ 森林火災の影響評価における発火点の設定の保守性について説明すること。

<回答>

HTTR 原子炉建家周辺の敷地外からの延焼を想定し、原子力発電所の外部火災影響評価ガイドを参考に過去10年間の水戸気象台の気象観測データで確認された卓越風向、森林が敷地境界まで広がっていること等を考慮し発火点を設定した。それぞれの発火点から原子炉建家への延焼を想定し、原子炉建家の熱的影響が最高となる位置での原子炉建家外壁コンクリート温度と火炎到達時間を評価した（付録1）。

原子炉施設敷地境界に発火点 a、b、c を設定し評価した結果、代表としている発火点 c で原子炉建家外壁コンクリート温度 136℃、火炎到達時間 56 分となった。

発火点 a、b からの延焼を想定した場合、HTTR へ火炎が到達する過程で、他施設の近傍を延焼してくることになる。この際、他施設で行われる消火活動によって延焼の遅延等が期待されること、発火点 c に比べ植生が少ないことを温度評価に反映せずとも温度評価において発火点 c よりも影響が小さいことを踏まえ、発火点 c を HTTR で考慮すべき代表的な発火点としている。

⑤ ナトリウム火災の想定保守性について説明すること。

<回答>

大洗研究開発センターで保有するナトリウムに関して、ナトリウム火災が発生した際の HTTR 原子炉施設への影響を検討した。火災の想定では、保有するナトリウムと同重量の重油火災を想定した。

大洗研究開発センターで保有するナトリウムは、すべて禁水指定された建物内にある。固体のナトリウムは不活性ガスが封入された容器内に保管されており、液体のナトリウムは設備の配管、容器内を循環している。固体のナトリウムについては、火災の発生は想定し難いため、熱的影響として考慮する火災として、液体のナトリウムの漏洩火災とした。

評価は、「核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（第59回）資料1の4. 原子炉施設周辺の危険物タンクの火災による影響評価」で想定したモデルとした。評価対象は、大洗研究開発センター敷地内のナトリウム取扱施設（一般取扱施設）の内、HTTR 原子炉建家から直線距離上で距離が近く、取扱い重量が多い施設とした。

ナトリウムの燃焼特性については、「ナトリウム燃焼挙動に関する研究—消防研究所／サイクル機構共同研究—（JNC TY9200 99-001）」などを参考とした。



ナトリウムの燃焼熱は重油に比べて小さいこと、燃焼時における火炎の高さが低いこと及び屋外での燃焼を想定していることから、評価したモデルは保守性を有している（付録 2）。

⑥ 中央制御室の活動性評価の保守性について説明すること。

<回答>

中央制御室の活動性の評価において、以下の評価条件について保守的になるよう見直した。

【評価条件】

- |                                 |         |                                  |
|---------------------------------|---------|----------------------------------|
| ・ 在室人員                          | : 8     | → 10 名                           |
| ・ 許容酸素濃度 <sup>※1</sup>          | : 18    | → 19%以上                          |
| ・ 許容炭酸ガス濃度 <sup>※1</sup>        | : 1.5   | → 1.0%未満                         |
| ・ 1 人当たりの炭酸ガスの吐出力 <sup>※2</sup> | : 0.030 | → 0.046 m <sup>3</sup> /h（中等作業時） |

外部火災が発生した場合、中央制御室系換気空調設備を外気遮断循環運転モードに切り替え、原子炉を停止することが想定される。停止後、運転員は主に監視業務を行うことになる。

監視業務を行うにあたって在室人員は、運転員 8 名で十分満足しているが、2 名の運転員が支援に駆けつけることなどを想定し、余裕をみて 10 名とした。許容酸素濃度及び許容炭酸ガス濃度については、鉱山安全規則の衛生に関する通気の確保の基準を参考に、呼吸困難など連続換気が必要とされる限界から余裕を持たせ、それぞれ 19%以上、1.0%未満とした。1 人当たりの炭酸ガスの吐出力について、監視業務では身体を動かし続けることはないが、保守的に中等作業時の吐出力とした。

評価条件を見直した結果、許容濃度に到達する時間が酸素濃度は 83 時間から 44 時間、炭酸ガス濃度は 91 時間から 31 時間となるが、いずれの場合においても、外部火災の影響評価で想定する火災の最長の燃焼時間約 9 時間（航空機墜落と屋外タンクの重畳）を上回り、中央制御室内に滞在する運転員の操作環境に影響を及ぼさないことを確認した。

※1 鉱山安全規則

※2 空気調和・衛生工学便覧（空気調和設備編）

⑦ ナトリウム火災が発生した時のHTTR周辺での作業員の防護を考慮する必要があるか説明すること。

<回答>

大洗研究開発センター敷地内のナトリウム取扱施設でナトリウム火災が発生した場合、燃焼生成物が大気中に放散されるが、HTTR原子炉施設に到達するまでに拡散によって濃度が低下するので、原子炉施設周辺で消火活動する自衛消防隊の活動性に影響を及ぼすことはない（付録3）。

⑧ 評価対象となるコンクリート温度の許容値について説明すること。

<回答>

外部火災の影響評価で評価対象とする原子炉建家のコンクリート外壁の許容温度は、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）を参考にした。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と記載されており、原子炉建家のコンクリート外壁の許容温度として設定した（付録4）。

表④-1 評価結果

発火点	火炎到達時間 [分]	原子炉建家外壁 コンクリート温度 [°C]
a	147	134
b	133	127
c	56	137

- 評価は、「核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（第 59 回）資料 1 の 2. 3 影響評価の方法」のパラメータ、モデルで行った。



※発火点 d:HTTR 原子炉建家から最も近い敷地境界の森林で発火した場合、原子炉建家外壁コンクリート温度については発火点 c の結果に包絡され、火炎到達時間は 49 分となった。なお、この発火点は卓越風向ではないため影響評価の対象ではない。

図④-1 発火点と HTTR 原子炉建家の位置

## 【火炎の高さ (ナトリウム)】

## 「ナトリウム燃焼挙動に関する研究 (Ⅱ) - 消防研究所 / サイクル機構共同研究 - (JNC TY9200 2001-003)」 P46 抜粋

## JNC TY9200 2001-003

1100K の範囲として解析を実施した。いずれのケースも、遠方雰囲気は 400K の空気とした。

Fig.1 に、燃焼速度を実験データ [3] と比較して示す。実験に関しては、自然対流条件、酸素濃度が 21%、プール温度が測定されているデータを選択した。図中のキャプションにプール直径と表面空気流速を括弧内に示した。Newman らのデータは、プール直径が 0.1m と層流-乱流遷移条件に近い。その他のデータは、プール直径は 0.2-0.6m/s であり、乱流の相関式の適用範囲と考えられる。また、流速が Newman のデータは 0m/s であるがその他のデータは数 cm/s 以上である。図中の実線で乱流物質伝達率(6)式を、点線で層流物質伝達率(7)式を用いた解析結果を示す。解析結果は実験結果と良好に一致している。また、層流に近いと考えられる Newman の実験データは、特に高温で燃焼率が大きい、その傾向は層流相関式の結果と整合している。Fig.2 には解析で得られた燃焼熱の輸送特性を示す。全ての温度範囲においてプールへの熱伝導が支配的である。これは実験でも観察されているように、ナトリウム燃焼ではフレーム高さが 1mm 程度と低いためである。プール温度が高くなるとフレームの温度は高く、その位置もプール表面から離れるため、次第にガスへのふく射伝熱割合が増えている。

プール温度が 1000K のときの、火炎近傍の温度分布と化学種の濃度分布を Fig.3 に示す。火炎温度は 1300K 程度で、火炎位置でナトリウムと酸素が反応している。Fig.4 にはプール温度が 1000K と 1100K のときのナトリウム酸化物の生成率を示す。火炎部は高温であるため、反応生成物は  $\text{Na}_2\text{O}$  が主体である。エアロゾルは主に熱泳動と重力沈降により火炎の上下に輸送され、雰囲気ガス側の温度が低く酸素リッチな環境では酸化されて  $\text{Na}_2\text{O}_2$  が生成される。プール側では温度は低下するが、ナトリウムリッチな環境であるため、そのまま  $\text{Na}_2\text{O}$  として存

在する。

既往の実験結果によれば、プール表面には白色の  $\text{Na}_2\text{O}$  が堆積し実験終了後に温度低下すると黄白色の  $\text{Na}_2\text{O}_2$  に変化することが認められている。また火炎温度は 1200 - 1300K であること、火炎は液面から 1mm 程度の位置に形成されることが実験により求められており [3]、本解析結果は実験的知見と定性的に一致している。

## 4. まとめ

ナトリウムプール燃焼時の火炎部の熱流動特性を解析するプログラムを作成した。それを用いて、火炎面の位置と温度や、燃焼熱と生成エアロゾルがガス中とプールに輸送される特性や支配的な現象を推定した。解析結果は実験的知見と良く一致しており、本解析手法は要当であると判断できる。これらの現象はプール温度やガス温度、酸素濃度に依存するので、パラメータ解析が容易な数値解析によって評価する方法が有効である。一方、ナトリウム燃焼時の火炎部温度分布や化学種の組成分布は、これまでに測定されていない。現象の解明と本解析手法検証のためのデータ取得が望まれる。

## 5. 参考文献

- [1] Smook, M.D., edited by Oran and Boris, AIAA, (1991)
- [2] 岡野、山口、日本原子力学会秋の大会予稿集 G14(1998)
- [3] Newman, R.N., Progress in Nuc1. Energy 12, p119(1983)
- [4] Hilliard, R.K. et al., HEDL-SA-1381(1978)
- [5] 伝熱工学資料 改訂第 3 版 pl37
- [6] 橋口・他 2 名、日本原子力学会大会、1978 年年会、A55

## 【燃焼熱 (ナトリウム)】

「ナトリウム燃焼挙動に関する研究—消防研究所／サイクル機構共同研究—  
(JNC TY9200 99-001)」 P31 抜粋

## 3. 実験結果

各ケースの測定結果を表1に示す。初期液滴直径は、予め不活性雰囲気条件で測定したノズル先端部での液滴生成期間中の蒸発量を、ナトリウム駆動機構への電荷量から求まる Na 量から差し引いて求めた結果である。いずれのケースも  $3.8 \pm 0.1$  mm であった。目視による観察によると液滴はノズルから約 0.3 m 落下した位置で着火し、2.7 m 落下時の燃焼量は約 3~4 mg であった。また、落下速度は、上部計測位置(ノズルから約 100 mm 下方)で  $1.3 \sim 1.4 \pm 0.33$  m/s、下部計測位置(同約 2.4 m 下方)で  $5.5 \sim 5.6 \pm 0.48$  m/s であった。2.7 m の液滴落下時間は、3 回目の実験のみの計測結果であるが、0.81 秒であった。尚、第1回目の結果については、Na 供給装置のノズルを保護するために用いた He ガスの影響によって実験中に試験容器内の雰囲気酸素濃度が低下したため、参考値とした。

## 4. 計算モデルと計算方法

## 4.1 計算モデル

## (1)落下運動モデル

液滴を剛体球と仮定し、空気中での自由落下に係わる以下の運動方程式を適用した。ただし、浮力の効果は引力や抵抗力の効果に比べて十分小さいので無視した。

$$\begin{aligned} 4/3 \pi r^3 \rho_d \cdot dV/dt \\ = 4/3 \pi r^3 \rho_d \cdot g - C_d \pi r^2 / 2 \cdot \rho_d \rho_g V^2 \quad (1) \end{aligned}$$

ここで、r は液滴の半径、V は落下速度、t は時間、g

は重力加速度、 $\rho_d$  は液滴の密度、 $\rho_g$  は空気の密度である。また、 $C_d$  は抵抗係数で、落下液滴のレイノルズ数:Re による以下の関係<sup>1)</sup>を用いた。

$$\begin{aligned} \text{Re} < 0.1 \text{ のとき、} & \quad = 24/\text{Re} \\ 0.1 \leq \text{Re} < 6 \text{ のとき、} & \quad = 2.6 + 23.71/\text{Re} \\ 6 \leq \text{Re} < 500 \text{ のとき、} & \quad = 18.5/\text{Re}^{0.6} \\ 500 \leq \text{Re} \text{ のとき、} & \quad = 4/9 \end{aligned}$$

## (2)液滴燃焼モデル

Richard 等が行なったナトリウムの懸垂液滴による燃焼実験結果<sup>2)</sup>に基づき、以下の「D-2 乗則」による燃焼速度式を用いた。

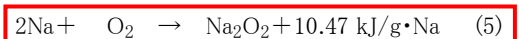
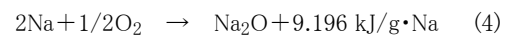
$$\Delta m = \pi \rho_d K D / 4 \quad (2)$$

ここで、 $\Delta m$  は液滴の単位時間当たりの質量減少量(燃焼速度)、K は蒸発係数、D は液滴の直径である。また、蒸発係数は、強制対流下での液滴燃焼に対する以下の Agoston 等による式<sup>3)</sup>を用いた。

$$K = K_0 (1 + 0.276 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}) \quad (3)$$

ここで  $K_0$  は液滴まわりに対流がない場合の蒸発係数<sup>4)</sup>、Pr は液滴まわりのガスのプラントル数である。

燃焼による化学反応は、以下の二つの式を考慮し、その割合は入力で与えた。



## 4.2 計算方法

上述の二つのモデルを組み合わせ、液滴の落下速度と燃焼に伴う液滴径の減少が各タイムステップごと

ナトリウムの燃焼熱は、10,470 kJ/kg である。

【燃焼熱（重油）】

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

Table 3-2. Large-Pool Fire Burning Rate Data  
(Babrauskas, 2002, © SFPE. With permission.)

Material	Mass Loss Rate $m''$ (kg/m <sup>2</sup> -sec)	Heat of Combustion $\Delta H_{c, eff}$ (kJ/kg)	Density $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Empirical Constant $k \beta$ (m <sup>-1</sup> )
<b>Cryogenics</b>				
Liquid H <sub>2</sub>	0.017	12,000	70	6.1
LNG (mostly CH <sub>4</sub> )	0.078	50,000	415	1.1
LPG (mostly C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0.099	46,000	585	1.4
<b>Alcohols</b>				
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	0.017	20,000	796	100 **
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	0.015	26,800	794	100 **
<b>Simple Organic Fuels</b>				
Butane (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0.078	45,700	573	2.7
Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	0.085	40,100	874	2.7
Hexane (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	0.074	44,700	650	1.9
Heptane (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	0.101	44,600	675	1.1
Xylene (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	0.090	40,800	870	1.4
Acetone (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	0.041	25,800	791	1.9
Dioxane (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> )	0.018	26,200	1,035	5.4
Diethyl ether (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O)	0.085	34,200	714	0.7
<b>Petroleum Products</b>				
Benzine	0.048	44,700	740	3.6
Gasoline	0.055	43,700	740	2.1
Kerosene	0.039	43,200	820	3.5
JP-4	0.051	43,500	760	3.6
JP-5	0.054	43,000	810	1.6
Transformer Oil, hydrocarbon	0.039	46,400	760	0.7
Fuel Oil, heavy	0.035	39,700	940–1,000	1.7
Crude Oil	0.022–0.045	42,500–42,700	830–880	2.8
<b>Solids</b>				
Polymethylmethacrylate (C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	0.020	24,900	1,184	3.3
Polypropylene (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	0.018	43,200	905	100 **
Polystyrene (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	0.034	39,700	1,050	100 **
<b>Miscellaneous</b>				
561 <sup>®</sup> Silicon Transformer Fluid	0.005	28,100	960	100 **

\*\* these values are to be used only for computation purposes; the true values are unknown.

上記の表より、重油の燃焼熱は、39,700 kJ/kg である。

表⑤-1 ナトリウム火災の影響評価で使用する各種パラメータ

パラメータ	記号	単位	結果	備考
離隔距離	$L$	m	320	原子炉建家
			290	使用済燃料貯蔵建家
			390	冷却塔
			360	排気筒
火炎の高さ	$H$	m	17.3	3R
燃料量	$V$	m <sup>3</sup>	350	ナトリウム
床面積	$S$	m <sup>2</sup>	105	7m × 15m
燃焼半径	$R$	m	5.78	
輻射発散度	$Rf$	W/m <sup>2</sup>	23,000	重油、外部火災評価ガイド
質量低下速度	$M$	kg/m <sup>2</sup> /s	0.035	重油、参考文献※
燃料密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1,000	重油、参考文献※
燃焼速度	$v$	m/s	$3.5 \times 10^{-5}$	$M/\rho$
形態係数	$\phi$	-	0.0006	
輻射強度	$E$	W/m <sup>2</sup>	14.5	

※ Fire Dynamics Tools (FDTs) – Quantitative Fire Hazard Analysis

Methods

for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)

影響評価の結果、外殻のコンクリート表面温度は、原子炉建家 43°C、使用済燃料貯蔵建家 44°C、冷却塔 42°C及び排気筒 42°Cであり、許容温度 200°Cを下回ることを確認した。

## 【ナトリウム火災の影響について】

大洗研究開発センター敷地内でナトリウム火災が発生した時に、HTTR 周辺に飛散してくる可能性のある燃焼生成物の濃度を評価し、HTTR 周辺の作業員の防護の必要性を判断した。

質問⑤の回答のとおり、液体のナトリウムの漏洩による火災を考慮する。この時発生する燃焼生成物が大気とともに拡散し、400～600m 離れた場所でどの程度の濃度になるかを、プルームモデルを用いて計算した。プルームモデルは煙等が風下に直線的に流下する過程で、ガウス分布に従って鉛直方向と水平方向に広がると仮定したモデルであり、環境アセスメントなどに広く用いられている。

モデル式内のパラメータは、初期濃度、風速、大気安定度、放出高さ、評価点の高さである。ナトリウムの放出速度は、複数のナトリウムの燃焼実験から得られている燃焼率  $12\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$  を用い、漏洩したナトリウムの液面が約  $40\text{m}^2$  の面で上記燃焼率が継続すると仮定した。風速は平均的な 40m 高さの風速として、 $5\text{m}/\text{s}$  とした。大気安定度は頻出するのは安定度 D であるが、A～F まで変化させ、400～600m 離れた場所でピークとなる濃度を確認した。放出高さは、大量のナトリウムを保有する施設のうち、放出高さの低い 50m を採用した。評価点は 0m とした。放出されたナトリウムは、空気中で速やかに炭酸ナトリウム、炭酸水素ナトリウム等の無害な形態になると推定されているが、ここでは有害性のある水酸化ナトリウムとなって拡散するとした。モデル式、およびパラメータは以下のとおり。

$$C_{NaOH} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \times \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

Q	ナトリウムの放出速度	835 g/s
$\sigma_y$	水平方向拡散幅	- m (パスキルの拡散幅推定法より設定)
$\sigma_z$	鉛直方向拡散幅	- m (パスキルの拡散幅推定法より設定)
u	煙突高さの風速	5 m/s
y	風下方向と直角方向の距離	0 m
z	評価点の高さ	0 m
H	放出点の高さ	50 m



ここで放出点の高さは、大洗研究開発センターで約 250t のナトリウム一般取扱所の排気口の高さを採用した。この施設は、鉄骨構造地上 2 階建の建家で、窓は FIX 窓であるため、搬出入口を除いて、開口部は吸排気口のみである。建物の換気空調は、図⑦-1 に示すように排気口が高さ約 50m にある。よって、燃焼生成物の放出高さを 50m として評価した。



図⑦-1 ナトリウム一般取扱所の立面図

評価の結果、濃度は約  $0.7\text{mg}/\text{m}^3$  であり、産業用の作業環境の許容濃度基準  $2\text{mg}/\text{m}^3$  を超えないため、HTTR 施設周辺ではナトリウム漏洩火災に対する防護は不要と判断した。

「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

## 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。

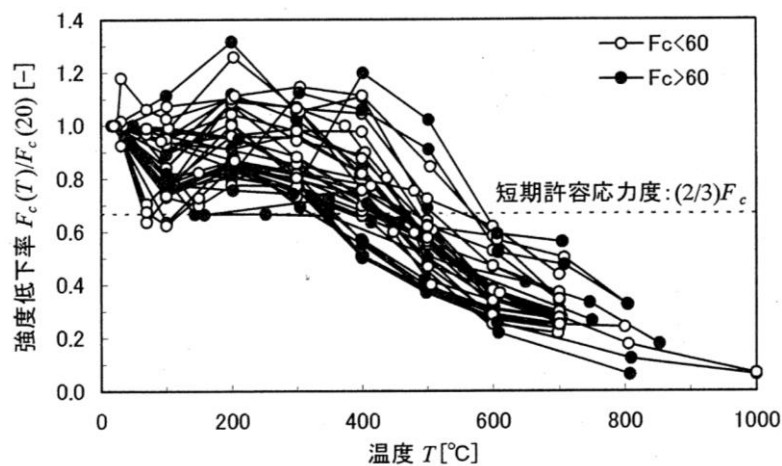


図14 コンクリートの高温時圧縮強度(常温強度に対する比)  
(参考文献18)~23) のデータより作成)

## 審査会合におけるコメント

外部火災が発生した場合の現地対策本部の安全管理と自衛消防隊とのコミュニケーションのとり方について説明すること。

### <回答>

大洗研究開発センターで外部火災が発生した場合、安全情報交流棟に現地対策本部が設置される（図1参照）。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）不燃材料で構築されている。また、建家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、防火帯の中にあるHTTRの現場指揮所を含め大洗研究開発センター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。

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。

なお、本部機能が移転の際には、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。

以上のことから、想定される外部火災時に、現地対策本部と自衛消防隊の指揮命令系統は維持可能であり、自衛消防隊の活動に支障をきたすことはない。

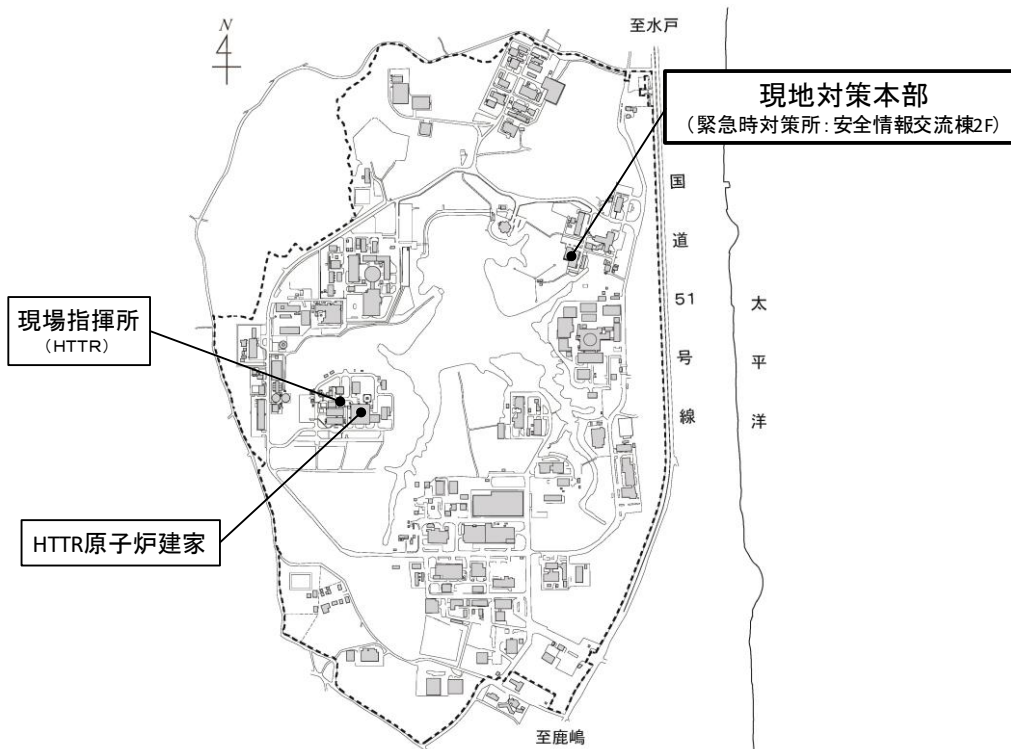


図1 現地対策本部及び現場指揮所（HTTR）の位置関係

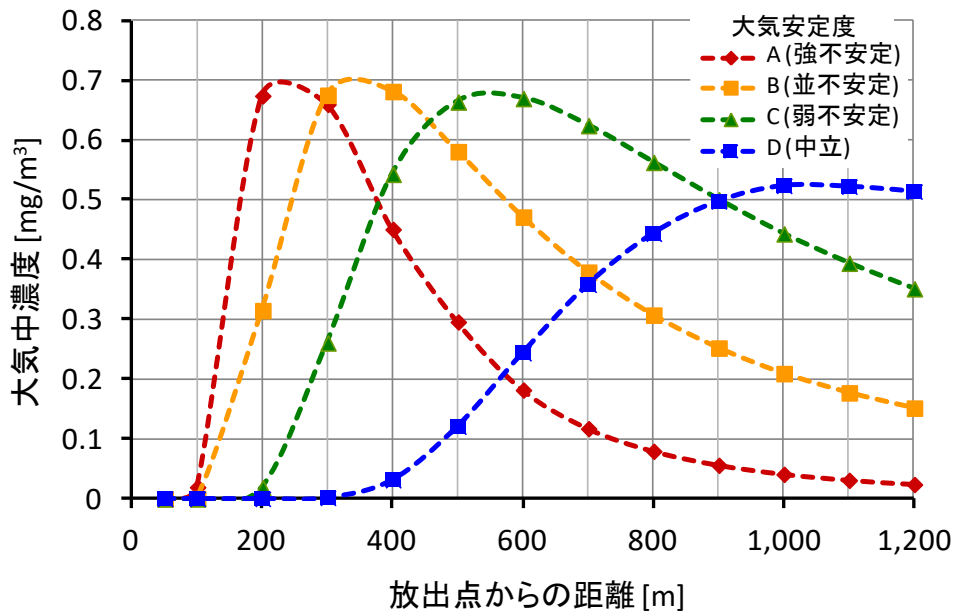
## 審査会合におけるコメント（ヒアリングでの確認項目）

ナトリウム火災時に燃焼生成物が拡散したときの、大気中濃度評価の詳細について説明すること。

## &lt;回答&gt;

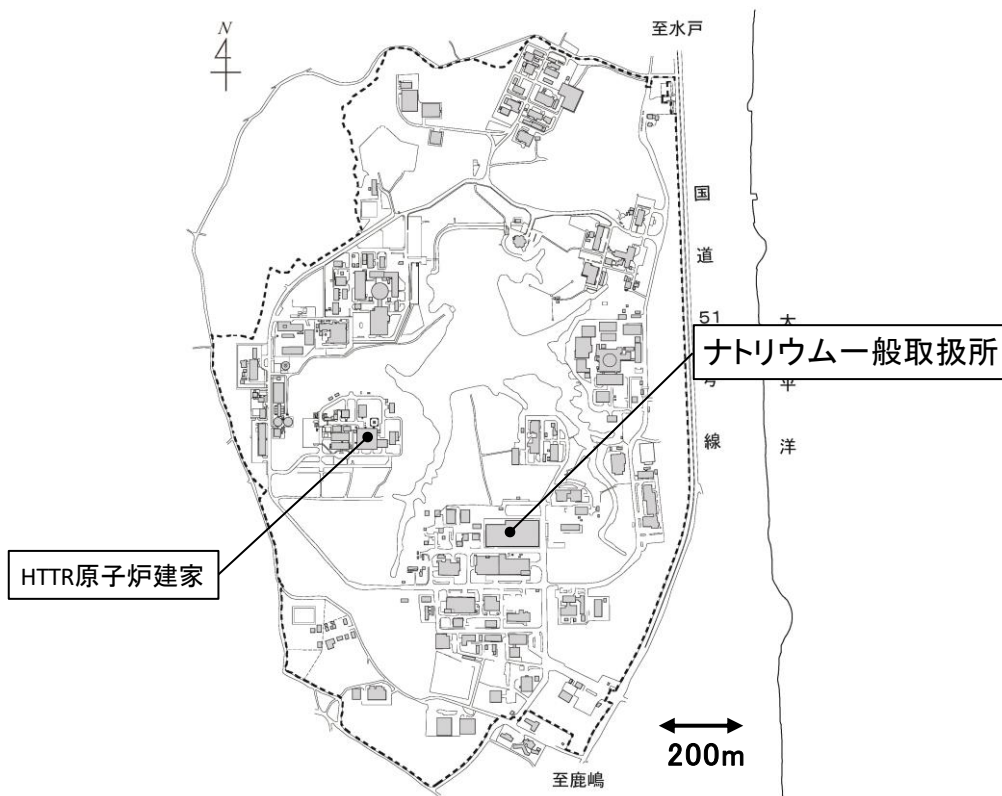
プルームモデルによる評価の結果を参考図 1 に示す。

ナトリウム火災により燃焼生成物が放出された場合、大気が不安定であるほど、放出点の近くに燃焼生成物の大気中濃度が最大となる地点が表れる。ここで、大気安定度が B(並不安定)の時は 350~400m 離れた場所で濃度が約  $0.7\text{mg}/\text{m}^3$  となり、大気安定度 C(弱不安定)の時は 500~600m 離れた場所で濃度が約  $0.7\text{mg}/\text{m}^3$  となる。



参考図 1 燃焼生成物の大気中濃度評価

大洗研究開発センターでのナトリウム火災による燃焼生成物の発生を考慮するナトリウム一般取扱所を参考図 2 に示す。HTTR と当該施設の中心間の距離は約 440m である。



参考図 2 HTTR 原子炉建家とナトリウム一般取扱所の位置関係

ナトリウム一般取扱所から燃焼生成物が放出された場合、大気安定度によっては HTTR 原子炉建家付近で濃度がピークとなるものの、 $2\text{mg}/\text{m}^3$ （日本産業衛生学会勧告の最大許容濃度）以上となることはないため、燃焼生成物への対処は不要と判断した。

## コメント

2017.3.27 審査会合におけるコメント

第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）の防護対象施設として、使用済燃料貯蔵建家の貯蔵ラック及び貯蔵セルを追加としたことに伴い、使用済燃料貯蔵建家の航空機落下による火災の影響評価について説明すること。

2017.4.3 ヒアリングにおけるコメント

航空機が周辺の森林に落下して発生する森林火災との重畳を考慮すること。

## <回答>

想定される外部衝撃に対して、使用済燃料貯蔵建家（以下「SF 建家」という。）内使用済燃料貯蔵設備の貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能を損なわない設計とする。

使用済燃料貯蔵建家の航空機落下による火災の影響評価について、1. 航空機落下による火災の影響評価に示す。

## 1. 航空機落下による火災の影響評価

防護対象施設を内包する SF 建家を対象とした外部火災の影響評価のうち、航空機落下による火災の影響評価について以下に示す（表 1-1、図 1-1）。なお、評価にあたっては、原子力発電所の外部火災影響評価ガイドを参考に行い、評価の手法、評価で用いた航空機種及び燃料のデータ諸元については原子炉建家を対象とした評価で用いたもの<sup>1)</sup>と同じとしている。

評価の結果、SF 建家外壁表面温度は最高で約 58℃であり、コンクリートの許容温度 200℃を超えることはない。なお、航空機が森林に落下した場合の航空機落下による火災と森林火災との重畳を考慮し評価したとしても SF 建家外壁表面温度は最高で約 168℃（110℃は森林火災の影響評価による温度上昇分<sup>2)</sup>）であり、コンクリートの許容温度 200℃を超えることはない。

SF 建家を防護対象としたその他の外部火災の影響評価（森林火災及び近隣工場等の火災（敷地内の危険物タンクの火災を含む。))については、コンクリートの許容温度 200℃を超えることはないこと等を評価し影響がないことを説明<sup>3)</sup>している。

- 1) 第 59 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 抜粋（参考資料 1）
- 2) 第 122 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 5-2 補足説明資料抜粋（参考資料 2）
- 3) 第 177 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 2-2 抜粋（参考資料 3）

表 1-1 SF 建家を評価対象とした航空機落下による火災の評価結果

カテゴリ	1) 計器飛行方式民間航空機		2) 有視界飛行方式民間航空機	3) 自衛隊機又は米軍機		
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡行中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中		② 基地ー訓練空域間往復時
				①-1 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	①-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	
離隔距離 [m]	568	539	47	366	110	61
SF 建家外壁表面温度 [°C]	44	44	56	45	46	58

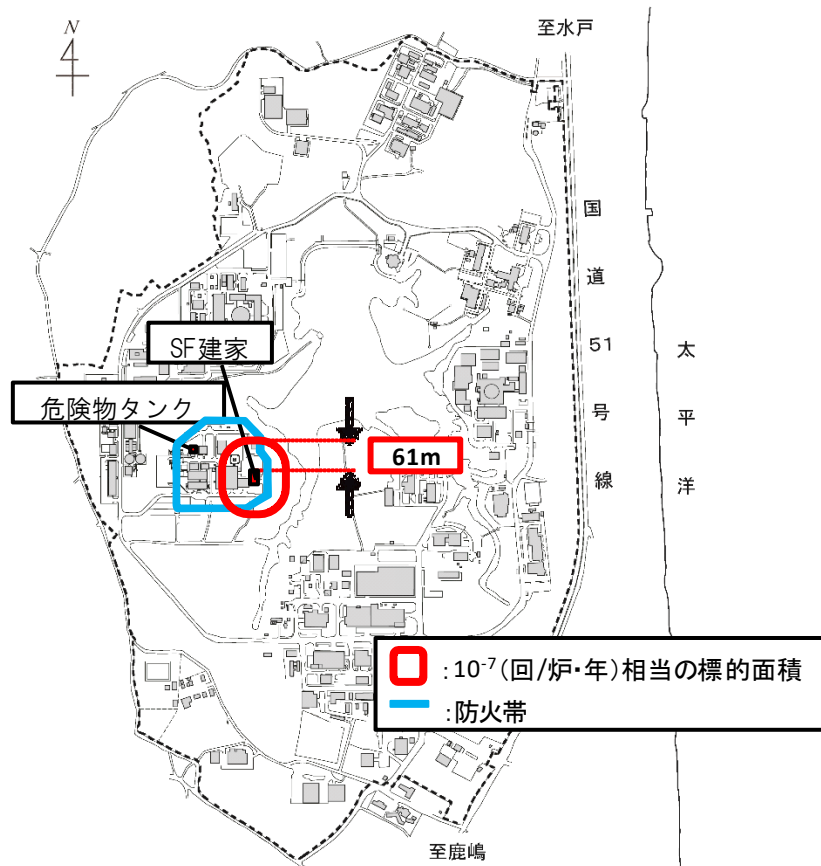


図 1-1 SF 建家と防火帯の位置及びカテゴリ 3) ②の離隔距離 61m のイメージ





## 5.航空機墜落による火災の影響評価

### 5.3.3 評価対象となるカテゴリ別の航空機と燃料のデータ

各カテゴリでの評価対象となる航空機と燃料は下表のとおり。

表5-2 航空機の燃料仕様

カテゴリ	1)計器飛行方式民間航空機		2)有視界飛行方式民間航空機	3)自衛隊機又は米軍機	
	①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡航中の落下事故		①訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	②基地－訓練空域間往復時
対象航空機	B747-400		AS332L1	KC-767	F-15
燃料種類	JET A-1			JP-4	
燃料積載量 m <sup>3</sup>	216.84		2.06	145.03	14.87
輻射発散度 W/m <sup>2</sup>	50 × 10 <sup>3</sup>			58 × 10 <sup>3</sup>	
燃焼速度 m/s	4.64 × 10 <sup>-5</sup>			6.71 × 10 <sup>-5</sup>	

### 5.4 離隔距離の算出

原子炉施設敷地内への航空機の墜落により発生する火災が施設に及ぼす熱影響を評価するために、落下確率が10<sup>-7</sup>回／炉・年になる標的面積を計算し、建家からの離隔距離を算出した(補足資料-11)。

第 122 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 5-2 補足説明資料抜粋

別紙

使用済燃料貯蔵建家の外部火災影響評価

使用済燃料貯蔵建家の外壁コンクリート温度の評価は、現地の植生を考慮し、原子炉建家の森林火災による影響評価（「核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（第 59 回）資料 1 の 2. 3 影響評価の方法」）のモデルで行った。影響評価で使用するパラメータ、計算式を別紙添付資料に示す。また、別図①に発火点と火災の延焼経路、使用済燃料貯蔵建家の位置関係を示す。

評価の結果、使用済燃料貯蔵建家の外壁コンクリート温度は、約 152℃になることを確認した。



別図① 発火点と火災の延焼経路、使用済燃料貯蔵建家の位置関係

別紙添付資料

「核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（第 59 回）資料 1 の 2. 3 影響評価の方法」抜粋

【地表火の評価】

地表火の評価では、外部火災評価ガイド及びFARSITEで使用されている以下の評価式を用いて、延焼速度、火線強度、単位面積当たりの熱量、火災放射強度（反応強度）及び火災長を算出する。各評価式で必要となる各種パラメータは文献調査等により設定する。

○延焼速度 (m/min) :  $R$

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

$I_R$  : 火災放射強度  
 $\xi$  : 反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合  
 $\Phi_w$  : 風による割増し係数  
 $\Phi_s$  : 傾斜による割増し係数  
 $\rho_b$  : 可燃物の堆積密度  
 $\varepsilon$  : 炎によって加熱される可燃物の割合  
 $Q_{ig}$  : 単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量

○単位面積当たりの熱量 (kJ/m<sup>2</sup>) :  $H_A$

$$H_A = I_b \frac{60}{R}$$

○火災放射強度（反応強度）(kW/m<sup>2</sup>) :  $I_R$

$$I_R = \frac{1}{60} \Gamma'' W_n h \eta_M \eta_S$$

$\Gamma''$  : 理想熱分解速度  
 $W_n$  : 可燃物中の有機物量  
 $h$  : 可燃物の発熱量  
 $\eta_M$  : 可燃物中の水分による熱分解速度減少係数  
 $\eta_S$  : 可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数

○火線強度 (kW/m) :  $I_b$

$$I_b = \frac{I_R}{60} \frac{12.6R}{\sigma}$$

$\sigma$  : 可燃物の表面積-体積比

○火災長 (m) :  $L_f$

$$L_f = 0.0775 I_b^{0.46}$$

表2-1 地表火の評価式で使用する各種パラメータ※

パラメータ	記号	単位	
可燃物の表面積-体積比	$\sigma$	/cm	60.5
可燃物の発熱量	$h$	kJ/kg	20963
可燃物中の有機物量	$W_n$	kg/m <sup>2</sup>	0.47
可燃物の堆積密度	$\rho_b$	kg/m <sup>3</sup>	12.5
理想熱分解速度	$\Gamma''$	/min	8.115
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	$\eta_M$		0.924
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	$\eta_S$		0.312
炎によって加熱される可燃物の割合	$\varepsilon$		0.928
反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合	$\xi$		0.075
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	607
風による割増し係数	$\Phi_w$		27.6
傾斜による割増し係数	$\Phi_s$		0.115

※ 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

表2-2 地表火の評価結果

パラメータ	記号	単位	
延焼速度	$R$	m/min	7.05
火線強度	$I_b$	kW/m	565
火災長	$L_f$	m	1.43
単位面積当たり熱量	$H_A$	kJ/m <sup>2</sup>	4805
火災放射強度（反応強度）	$I_R$	kW/m <sup>2</sup>	385

【樹冠火の評価】

樹冠火の評価は、FARSITEで使用されている以下の評価式※を用いて火線強度を算出する。その他、延焼速度、単位面積当たりの熱量、火炎輻射強度(反応強度)及び火炎長に関しては、地表火と同様の式を用いて評価する。

※ Mark A. Finney "FARSITE Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation", USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-RP-4 Revised, March 1998, revised February 2004

○樹冠火の火線強度(kW/m) :  $I_c$

$$I_c = 300 \left( \frac{I_b}{300R} + CFB \cdot CBD(H - CBH) \right) R$$

$I_b$  : 火線強度(kW/m)  
 $R$  : 延焼速度(m/min)  
 $CFB$  : 樹冠燃焼率(-)  
 $CBD$  : 樹冠の充填密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $H$  : 樹木高さ(m)  
 $CBH$  : 樹冠までの高さ(m)

$$I_b = hwR / 60$$

$h$  : 可燃物の燃焼熱(kJ/kg)  
 $w$  : 単位面積当たりの燃料量(kg/m<sup>2</sup>)  
 $R$  : 延焼速度(m/min)

表2-3 樹冠火の評価式で使用する各種パラメータ

パラメータ	記号	単位	備考
樹冠燃焼率	$CFB$		1.0 保守的に設定
樹冠充填密度	$CBD$	kg/m <sup>3</sup>	0.2 デフォルト値
樹木高さ	$H$	m	15.0 実地調査
樹冠までの高さ	$CBH$	m	4.0 実地調査
可燃物の燃焼熱	$h$	kJ/kg	18000 デフォルト値
単位面積当たりの燃料量	$w$	kg/m <sup>2</sup>	2.2

表2-4 樹冠火の評価結果

パラメータ	記号	単位	
延焼速度	$R$	m/min	7.05
火線強度	$I_c$	kW/m	9307
火炎長	$L_f$	m	5.19
単位面積当たり熱量	$H_A$	kJ/m <sup>2</sup>	39600
火炎輻射強度(反応強度)	$I_R$	kW/m <sup>2</sup>	3171

【外壁表面温度の評価】

輻射強度の算出は、外部火災評価ガイドに基づき行う。発火点からの延焼を考慮し、地表火、樹冠火の評価結果から、以下の評価式を用いて燃焼半径、燃焼時間、円筒火災モデル数及び形態係数を算出する。

○燃焼半径 (m) :  $R$

$$R = \frac{H}{3} \quad H : \text{火炎長 (m)}$$

○燃焼時間 (s) :  $t$

$$t = H_A / I_R$$

○円筒火災モデル数 (-) :  $F$

$$F = \frac{W}{2R} \quad W : \text{火炎到達幅 (m)}$$

$H_A$  : 単位面積当たり熱量 (kJ/m<sup>2</sup>)

$I_R$  : 火炎輻射強度 (反応強度) (kW/m<sup>2</sup>)

○形態係数 (-) :  $\phi_i$

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

ただし、 $m = \frac{H}{R} \approx 3$ ,  $n = \frac{L_i}{R}$ ,  $A = (1+n)^2 + m^2$ ,  $B = (1-n)^2 + m^2$   $L_i$  : 離隔距離 (m)

$$\Phi_i = (\Phi_i + \Phi_{i+1} + \Phi_{i+2} \dots)$$

$\phi_i$  : 各円筒火災モデルの形態係数を合計した値

○輻射強度 (W/m<sup>2</sup>) :  $E$

$$E = R^2 \Phi_i \quad Rf : \text{火炎輻射発散度 (W/m}^2\text{)} (= I_R \times 0.377)$$

【五】

輻射強度から建家の外壁表面温度の影響評価を行う。受熱面の温度は輻射強度が時間的に変化することを考慮し、一次元非定常熱伝導方程式を差分法を用いて数値計算する。評価式を以下に示す\*。

○一次元非定常熱伝導方程式

※ 伝熱工学資料 日本機械学会

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

$\alpha$  : 温度伝導率 ( $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ )

$C_p$  : コンクリート比熱 (0.963 kJ/kg·K)

$\rho$  : コンクリート密度 (2400 kg/m<sup>3</sup>)

$\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 W/m·K)

$T$  : 温度 (°C)

$x$  : コンクリート深さ (m)

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、場所(コンクリート外表面からの深さ)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以下の通りとなる。

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

$k$  : 微小時間

$h$  : 微小距離

$x = 0$  の境界条件

$$E = -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0}$$

第 177 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 2-2 抜粋

第 1 表 SF 建家内使用済燃料貯蔵設備の想定事象に対する設計方針

想定事象	項目	適合のための設計方針
自然現象（地震・津波以外）	風（台風）	SF 建家は、建築基準法に基づき設計しており、風（台風）により安全性を損なうことはない。
	洪水・降水	地形的にみて洪水による被害は考えられないため、設計上の考慮は不要である。
	積雪	SF 建家は、建築基準法に基づき設計しており、積雪により安全性を損なうことはない。
	凍結	SF 建家の屋外機器で凍結のおそれのあるものはなく、設計上の考慮は不要である。
	落雷	落雷防止として、建築基準法に従い避雷針を設置している。また、貯蔵ラックは金属製であるため、落雷による火災等によって貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能が喪失することはない。
	火山	敷地において想定される降下火砕物に対して、外殻である SF 建家について降下火砕物による影響評価を行い、必要に応じて除灰等の措置を講じることにより、貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能を損なわない設計とする。
	生物学的事象	SF 建家に内包される機器は、海水及び夏海湖の取水を行っていないため、海生生物や微生物等による影響はなく、設計上の考慮は不要である。
	竜巻	敷地内で想定される設計竜巻に対して、外殻である SF 建家の構造健全性評価を行い、貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能を損なわない設計とする。設計竜巻は、「核燃料施設等における竜巻・外部火災の影響による損傷の防止に関する影響評価に係る審査ガイド（平成 28 年 11 月 30 日制定）」に従い、機能喪失した場合の公衆の放射線被ばくの程度を鑑み、敷地及びその周辺における過去の記録を勘案して設定する。また、設計飛来物の衝突により、SF 建家に貫通又は裏面剥離が生じる場合には、落下物等により貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能を損なわないことを確認する。
	森林火災	森林火災に対して、防火帯を確保することにより、SF 建家外壁表面温度を許容温度（200℃）以下とすることで、SF 建家を火災から防護し、貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能を損なわない設計とする。また、公設消防による消火活動の他、自衛消防隊が出動し、散水等の延焼防止措置を行う。
	地滑り	SF 建家周辺には、地滑りの素因となる地形の存在は認められないため、設計上の考慮は不要である。
外部人為事象（故意によるものを除く）	航空機落下	SF 建家への航空機落下に対して、原子炉建家と SF 建家を合算した標的面積で評価したとしても、航空機落下確率は $10^{-7}$ （回/炉・年）を超えないため、設計上の考慮は不要である。
	ダムの崩壊	敷地周辺にダムはないため、設計上の考慮は不要である。
	爆発	敷地周辺には、爆発により影響を及ぼすような爆発物の製造及び貯蔵施設はないため、設計上の考慮は不要である。
	近隣工場等の火災	敷地半径 10km 以内の工場及び敷地内の危険物タンク等による火災並びに航空機墜落による火災に対して、SF 建家を火災から防護し、貯蔵ラック及び貯蔵セルの貯蔵機能を損なわない設計とする。なお、敷地内の危険物タンクの火災に対して、 <u>機械棟屋外タンクと SF 建家の距離は、当該タンクと原子炉建家の距離より離れているため、原子炉建家の評価を超えることはなく、火災により SF 建家の健全性が損なわれることはない。</u>
	有毒ガス	敷地周辺に大規模な有毒物質を貯蔵する固定施設はないため、設計上の考慮は不要である。
	船舶の衝突	港湾を有していないため、設計上の考慮は不要である。
	電磁的障害	電磁的障害の発生により貯蔵ラックの貯蔵機能が喪失することはない、設計上の考慮は不要である。



P.8-1-26

外部火災防護に関する基本方針に関し、原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家以外の冷却塔、排気筒及び機械棟については防火帯の内側に設置すること及び消火活動により防護するとしていることについて、防護の妥当性について具体的に説明すること。

<回答>

冷却塔、排気筒の森林火災、危険物貯蔵施設屋外タンクの火災、航空機墜落による火災、森林火災と航空機墜落による火災の重畳及び危険物貯蔵施設屋外タンクの火災と航空機墜落による火災の重畳の影響評価の結果を表1に示す。

評価の結果、冷却塔、排気筒の外郭コンクリート温度は、コンクリートの許容温度200℃を超えないことを確認した。

機械棟については、コンクリート構造でない準耐火構造の構築物であることを踏まえ、機械棟内に設置している屋内消火栓用の消火ポンプが使用できない場合には、消火器等により対応する。

固定モニタリング設備については、可搬型のモニタ等で対応する。

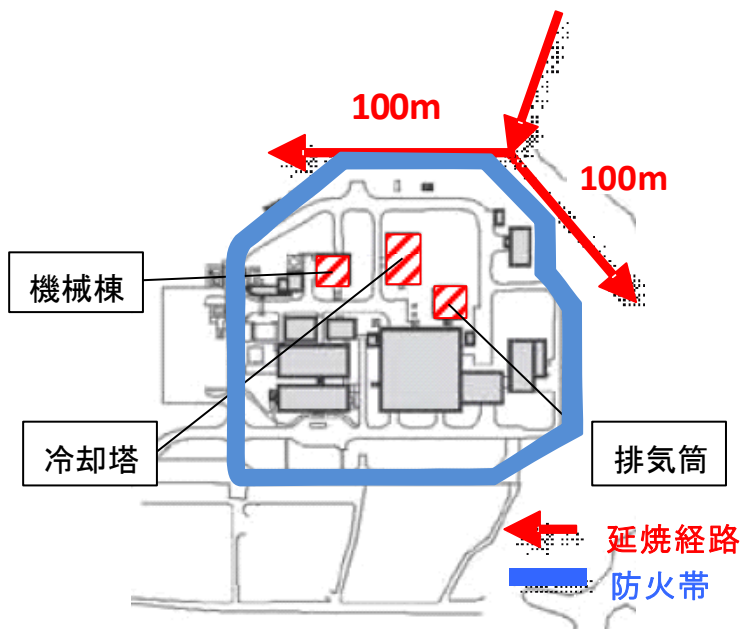
上記を踏まえて、「1.10.1 外部火災防護に関する基本方針」に係る記載を見直す。

表1 冷却塔及び排気筒の外部火災の影響評価結果

	森林火災 [°C]	屋外タンク の火災 [°C]	航空機墜落 による火災 [°C]	森林・航空機 墜落による火 災の重畳 [°C]	屋外タンク・航 空機墜落によ る火災の重畳 [°C]
冷却塔	161	76	58	179	94
排気筒	128	54	56	144	70

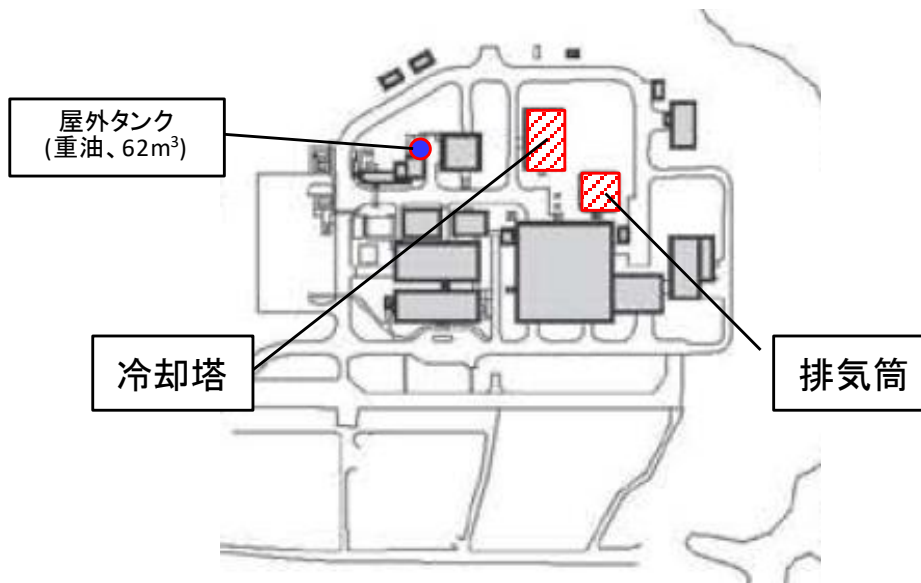


参考図 1 発火点と火炎の延焼経路、冷却塔及び排気筒の位置関係



参考図 2 火炎の延焼経路、冷却塔及び排気筒の位置関係（詳細）





参考図 3 屋外タンクと冷却塔及び排気筒の位置図

参考表 1 冷却塔のカテゴリ毎の航空機落下による火災の影響評価結果

カテゴリ	1) 計器飛行方式民間航空機		2) 有視界飛行方式民間航空機	3) 自衛隊機又は米軍機		
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡行中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中		② 基地 - 訓練空域間往復時
				①-1 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	①-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	
離隔距離 [m]	568	539	47	365	110	61
冷却塔外壁表面温度 [°C]	44	44	57	45	46	58

参考表 2 排気筒のカテゴリ毎の航空機落下による火災の影響評価結果

カテゴリ	1) 計器飛行方式民間航空機		2) 有視界飛行方式民間航空機	3) 自衛隊機又は米軍機		
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡行中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中		② 基地ー訓練空域間往復時
				①-1 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	①-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	
離隔距離 [m]	572	543	51	369	114	65
排気筒外郭表面温度 [°C]	44	44	54	45	45	56

平成 31 年 3 月 26 日審査会合におけるコメント

外部火災に対して、防護すべき対象として、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔、排気筒及び機械棟をあげているが、延焼防止に必要な距離である危険距離は原子炉建屋に対して設定されている。防火帯の外縁(火災側)は防護する原子炉施設からの離隔として確保する必要があるところ、原子炉建屋以外で防護すべき建屋等についても、危険距離、防火帯の関係について説明すること。

令和元年 5 月 22 日審査会合におけるコメント(口頭)

原子炉建家以外で防護すべき建家等に対する、危険距離、防火帯の関係について改めて説明すること。

<回答>

外部火災に対する原子炉建家以外で防護すべき建家等について、以下の通りとする。

原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、冷却塔及び排気筒について、想定する森林火災に対して外殻のコンクリート表面温度が許容温度 200℃を超えないことを確認し、延焼防止のため防火帯を設定する。必要な防火帯幅は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参考とする。また、延焼防止に必要な距離である危険距離を算出し、防火帯の外縁(火災側)までの距離が、各防護対象施設の危険距離を上回るようにする(図 1)。

防火帯は、アスファルト等で舗装した幅 9.5m の帯状のものとして設定し、その範囲を保安規定に定める。また、防火帯幅の算出の条件を満たすため、防火帯の風上 20m 内の樹木を伐採する。防火帯には、原則として、駐車を禁止し可燃物を置かないよう管理する。可燃物の無いことを定期的を確認し、必要に応じて除草する。ただし、工事や物品の搬出入等に伴い、やむをえず防火帯に停車の必要がある場合や一時的に可燃物を置く場合については、長時間の停車や仮置を禁止する、速やかに車両や物品を移動できるように人員を配置する等、運用上の措置を講ずることを運転手引に定め管理する。

機械棟については、建家内に設置しているのは屋内消火栓用の消火ポンプであり、外部火災において必要な安全機能をもつ安全施設を有しないことから、防護すべき対象としない。

平成 31 年 3 月 26 日審査会合におけるコメント

外部火災に対する自衛消火活動の成立性を説明すること。

<回答>

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(図 2、3)。

以下に、火災発生時の初動・体制について記載する。

1. 火災発生時の初動・体制(HTTR)(外部火災-21、33、43~46)

HTTR 原子炉施設周辺で森林火災が発生した場合、施設では現場対応班が招集され、その内消防班が初期消火活動を行う体制にある。一方、火災発生時の連絡を受けた所長

は直ちに自衛消防隊を招集し発災現場に出動させる。指示を受けた自衛消防隊は、約 20 分で HTTR 原子炉施設周辺に到着し、消火活動を開始することができる(図 4)。消火活動を開始するまでの時間については、自衛消防隊の訓練で確認している。自衛消防隊は、大洗研究所各部に在籍する職員で構成され、合計 23 名が出動の指示を受け、消防車庫前に参集し、化学消防車で発災現場に出動する。また、休日・夜間においては、HTTR 原子炉施設に常駐する特定施設運転員と大洗研究所の常駐消防班が消火活動を行う体制にある。常駐消防班は消防車庫から HTTR 原子炉施設周辺へ出動し、連絡を受けてから約 20 分で消火活動を開始することができる。常駐消防班は、常駐消防班長と警備員で構成され、常駐消防班長は休日・夜間以外にも消火活動に参画する。

以上のことから、想定される森林火災で外殻のコンクリート表面温度が最高となる最短の火災到達時間 56 分に対して、自衛消防隊は 24 時間体制で消火活動を行う体制にある。

## 2. 火災発生時の初動・体制(大洗研究所)、現地対策本部の安全管理及び自衛消防隊とのコミュニケーションのとり方(外部火災-60)

外部火災発生時の連絡を受けた所長は、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(鉄筋コンクリート造:外壁厚さ 180mm、屋根厚さ 150mm、不燃材料で構築)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。

安全情報交流棟の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、HTTR 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。また、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。

なお、本部機能が移転の際には、上述した通信連絡手段として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。

以上のことから、想定される外部火災時に、現地対策本部と自衛消防隊の指揮命令系統は維持可能であり、自衛消防隊の活動に支障をきたすことはない。

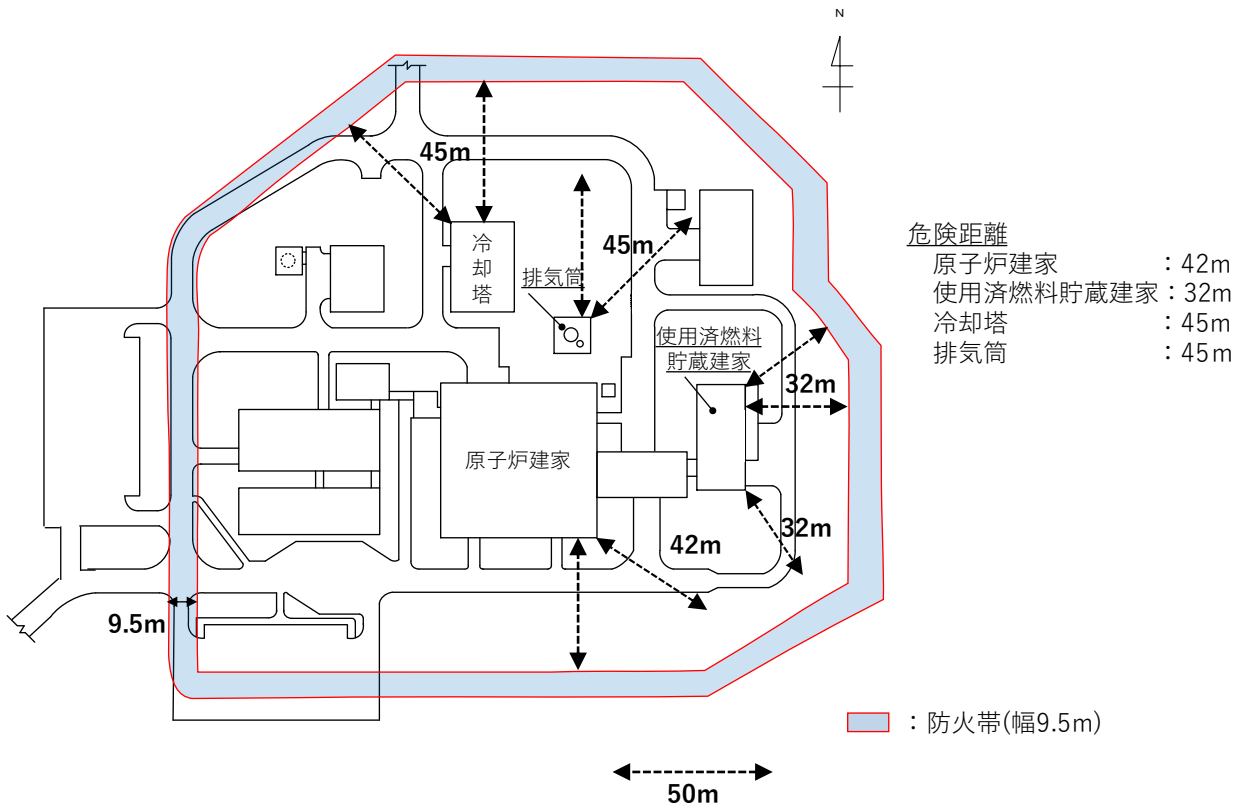


図1 防火帯の設定範囲と各防護対象施設の危険距離との概要

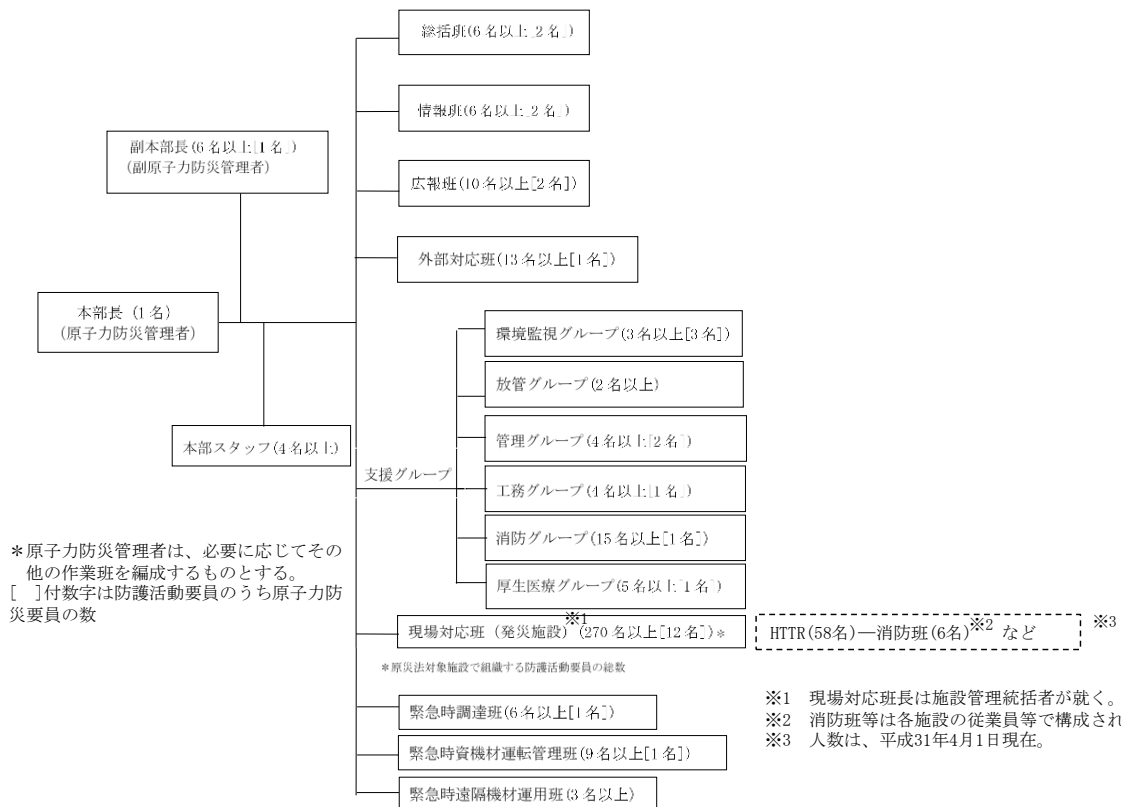


図2 大洗研究所原子力防災組織(現地対策本部の体制)(原子力事業者防災業務計画抜粋)  
平成31年3月25日現在

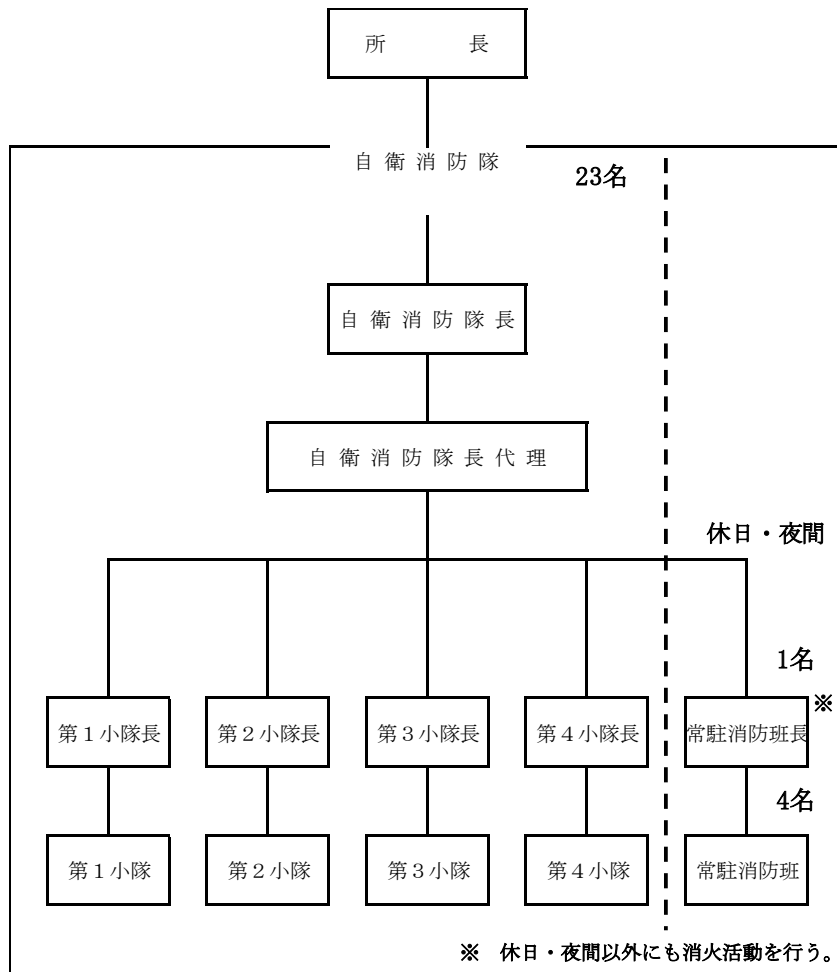


図3 自衛消防隊組織図(自衛消防隊規則抜粋)

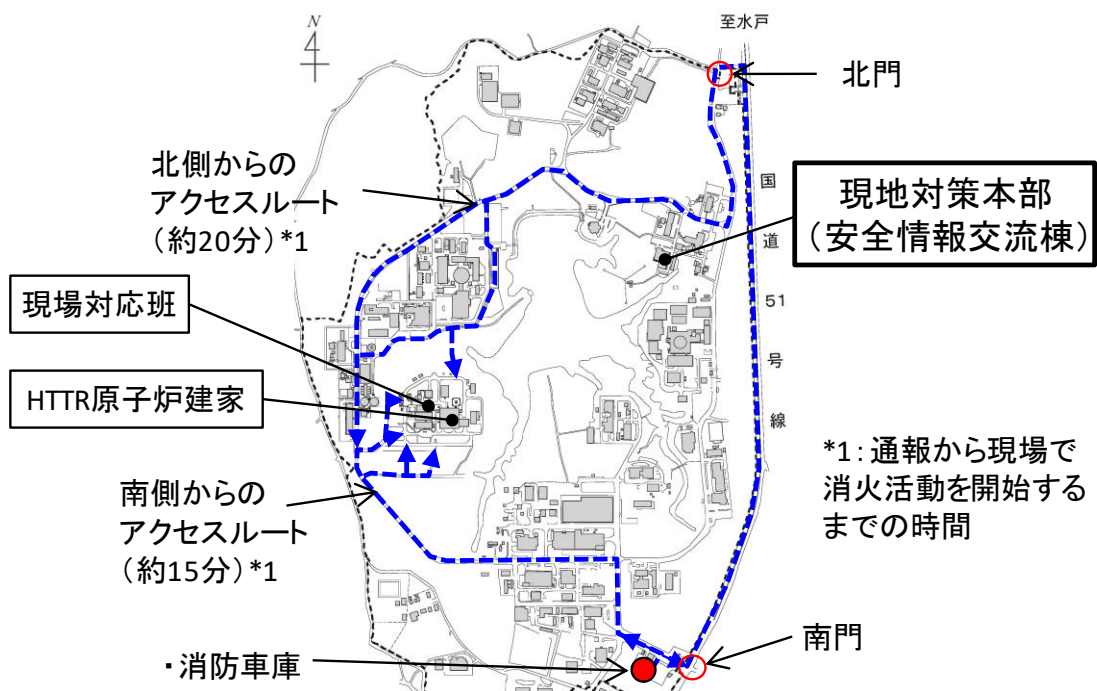


図4 自衛消防隊のアクセスルート、消防車庫及び現地対策本部の位置