

高浜発電所第3,4号機
火災感知器増設に係る
設計及び工事計画認可申請

補足説明資料
(抜粋)

2022年10月
関西電力株式会社

3. 消防法施行規則の設置条件と異なる感知設計に係るもの

3-1 火災区域・区画の特性に応じた感知設計について

本資料は、平成 31 年 2 月 13 日「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（以下、「火災防護審査基準」という。）が改正され、火災防護審査基準の改正箇所である以下の下線部の記載を適合させるために、各火災区域・区画の特性に応じた感知設計について説明する。

(火災防護審査基準 2.2.1(1) 抜粋)

(1) 火災感知設備

- ① 各火災区域における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して型式を選定し、早期に火災を感知できるよう固有の信号を発する異なる感知方式の感知器等（感知器及びこれと同等の機能を有する機器をいう。以下同じ。）をそれぞれ設置すること。また、その設置に当たっては、感知器等の誤作動を防止するための方策を講ずること。
- ② 感知器については消防法施行規則（昭和 36 年自治省令第 6 号）第 23 条第 4 項に従い、感知器と同等の機能を有する機器については同項において求める火災区域内の感知器の網羅性及び火災報知設備の感知器及び発信機に係る技術上の規格を定める省令（昭和 56 年自治省令第 17 号）第 12 条から第 18 条までに定める感知性能と同等以上の方法により設置すること。

3-1-1 設計方針

(1) エリア毎の火災感知器設計に関する基本方針

本申請では、火災区域又は火災区画において消防法施行規則に基づき設定される感知区域を小部屋や天井高さの違い等を考慮し、グループ化した単位を感知区画、複数の感知区画を環境条件でまとめたものをエリアと定義し、エリアごとに設計を実施する。ただし、原子炉格納容器等については感知区域をグレーチング等の配置状況を考慮して細分化した単位を感知区画、複数の感知区画を環境条件でまとめたものをエリアと定義し、エリアごとに設計を実施する。

具体的には、火災区域又は火災区画を以下のとおり、一般エリア、高天井エリア、放射線量が高い場所を含むエリア、水蒸気が多量に滞留するエリア、屋外エリア及び屋内に準ずるエリアに分類し、エリアごとに設計を実施する。

(a)一般エリア

一般エリアは、感知器等を消防法施行規則第 23 条第 4 項に基づき設置できるエリアである。

(b)高天井エリア

高天井エリアは、天井高さが床面から 20m 以上のエリアであり、以下のエリアが該当する。詳細は補足説明資料 3-2、3-8 及び 3-12 に示す。

- ・原子炉格納容器内オペレーティングフロア
- ・新燃料貯蔵庫エリア
- ・アニュラス
- ・燃料取替用水タンクエリア

(c)放射線量が高い場所を含むエリア

放射線量が高い場所を含むエリアは、保安規定及びその下部規定において区分 3（1mSv/h を超える可能性のある区域）と定める場所を含むエリアであり、以下のエリアが該当する。詳細は補足説明資料 3-5 及び 3-11 に示す。

- ・原子炉格納容器ループ室
- ・加圧器室
- ・インコアモニタチェス室
- ・再生熱交換器室
- ・廃液フィルタ室
- ・ほう酸回収装置脱塩塔フィルタ室
- ・使用済樹脂スルースフィルタ室
- ・原子炉キャビティフィルタ室
- ・使用済燃料ピットスキマフィルタ室
- ・ほう酸濃縮液フィルタ室
- ・冷却材脱塩塔入口フィルタ室
- ・冷却材フィルタ室
- ・封水フィルタ室
- ・封水注入フィルタ室
- ・使用済燃料ピット脱塩塔室
- ・冷却材陽イオン脱塩塔室
- ・廃棄物処理建屋の制御室エリア

(d)水蒸気が多量に滞留するエリア

水蒸気が多量に滞留するエリアは、水蒸気の影響により、熱感知器以外の感知器

等を設置することができないエリアであり、以下のエリアが該当する。詳細は補足説明資料 3-9 に示す。

- ・シャワー室

(e)屋外エリア

屋外エリアは、消防法施行規則第 23 条第 4 項の適用対象ではないエリアであり、以下のエリアが該当する。詳細は補足説明資料 3-6 及び 3-7 に示す。

- ・空冷式非常用発電装置エリア
- ・海水ポンプエリア

(f)屋内に準ずるエリア

屋内に準ずるエリアは、**消防法施行規則第 23 条第 4 項の適用対象ではない**地下タンク、トンネル又はトレンチが設置されているエリアであり、以下のエリアが該当する。詳細は補足説明資料 3-3 及び 3-13 に示す。

- ・燃料油貯油そうエリア
- ・海水管トレンチ室

(2) 火災防護審査基準 2.2.1(1)①の要求事項に対する設計方針

火災防護審査基準 2.2.1(1)①の要求事項に対する対応方針として、火災感知器は、火災区域又は火災区画における環境条件（放射線の影響、引火性気体の滞留のおそれ、風雨の影響、設備配置）を考慮し、使用可能な感知器等を選定の上、それぞれの感知器等について誤作動を防止するための方策を検討し、その中から設置場所ごとに異なる感知方式の感知器等の組合せを選択する方針とする。

感知器には、アナログ式の煙感知器、アナログ式の熱感知器、炎が発する赤外線又は紫外線を感知するため、煙や熱が感知器に到達する時間遅れがなく、火災の早期感知に優位性があるアナログ式でない炎感知器に加え、広範囲の空間監視に適したアナログ式でない煙感知器（光電分離型）、放射線量が高い場所（10mGy/h を超える場所）で使用可能なアナログ式でない熱感知器（スポット型又は差動分布型、以下、注記なき場合はスポット型を示す。）、風雨の影響による感知器等の不動作や故障が想定される屋外の火災感知に適したアナログ式の防水型の熱感知器、引火性気体が滞留するおそれがある場所で使用可能なアナログ式でない防爆型の煙感知器及びアナログ式でない防爆型の熱感知器を選定する設計とする。

また、検出装置には、アナログ式の煙感知器と同等の機能を有する検出装置として放射線量が高い場所で使用可能な空気吸引式の煙検出装置、アナログ式の熱感知器と同等の機能を有する検出装置として引火性気体が滞留するおそれがある場所で使用可能

なアナログ式でない防爆型の熱検出装置、長距離にわたってケーブルが敷設される場所の火災感知に適した光ファイバー式熱検出装置及び風雨の影響による感知器等の不動作や故障が想定される屋外の火災感知に適した熱サーモカメラを選定し、アナログ式でない炎感知器と同等の機能を有する検出装置として風雨の影響による感知器等の不動作や故障が想定される屋外の火災感知に適したアナログ式でない防水型の炎検出装置及び引火性気体が滞留するおそれがある場所で使用可能なアナログ式でない防爆型の炎検出装置を選定する設計とする。

各火災区域又は火災区画において考慮すべき環境条件と、それを踏まえた火災感知器の選定について、第3-1-1表に示す。

第3-1-1表 火災区域又は火災区画において考慮すべき環境条件とそれを踏まえた火災感知器の選定

考慮すべき環境条件	環境条件を考慮した火災感知器の選定	
	感知器（検定品）	検出装置
放射線の影響 （故障の観点）	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ式でない熱感知器（差動分布型を含む） ・アナログ式でない防爆型の熱感知器※1 	<ul style="list-style-type: none"> ・空気吸引式の煙検出装置
引火性気体の滞留のおそれ （火災発生防止の観点）	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ式でない防爆型の煙感知器 ・アナログ式でない防爆型の熱感知器※1 	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ式でない防爆型の熱検出装置 ・アナログ式でない防爆型の炎検出装置
風雨の影響 （故障の観点）	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ式の防水型の熱感知器 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱サーモカメラ ・アナログ式でない防水型の炎検出装置
設備配置※2 （感知性の観点）	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ式でない煙感知器（光電分離型） 	<ul style="list-style-type: none"> ・光ファイバー式熱検出装置

※1：アナログ式でない防爆型の熱感知器は、「放射線量が高い場所」及び「引火性気体の滞留のおそれがある場所」の両方で使用可

※2：設備配置とは、広範囲の空間において監視の障害となる設備がない、ケーブルトレイが長距離にわたって設置されているといった設備の配置状況のことであり、光電分離型は前者、光ファイバー式熱検出装置は後者の設備配置を考慮して選定

感知器等は、誤作動を防止するため、平常時の状況（温度、煙の濃度）を監視し、かつ火災現象（急激な温度や煙の濃度上昇）を把握することができるアナログ式の感知器を優先して使用することを基本とし、感知方式の特性及び設置場所における環境条件（温度（周辺設備からの影響を含む。）、煙の濃度（塵埃及び水蒸気の影響を含む。）、外光の影響）を考慮し、以下のとおり設計する。

煙感知方式のアナログ式の煙感知器、アナログ式でない煙感知器（光電分離型）及びアナログ式でない防爆型の煙感知器は塵埃及び水蒸気の影響を受けない場所に設置し、空気吸引式の煙検出装置は配管の空気吸引口を塵埃を吸込みにくい場所に設置することで、誤作動を防止する設計とする。

熱感知方式のアナログ式の熱感知器、アナログ式の防水型の熱感知器、アナログ式でない熱感知器、アナログ式でない防爆型の熱感知器、アナログ式でない防爆型の熱検出装置、光ファイバー式熱検出装置及び熱サーモカメラは、作動温度を周囲温度より高い温度で作動するものを選定し、誤作動を防止する設計とする。また、アナログ式でない熱感知器（差動分布型）は、加熱源となる設備の近傍等、急激な温度変化がない場所に設置することで、誤作動を防止する設計とする。

炎感知方式のアナログ式でない炎感知器、アナログ式でない防水型の炎検出装置及びアナログ式でない防爆型の炎検出装置は、赤外線を検知する方式と紫外線を検知する方式のうち、炎特有の性質を検出することで誤作動が少ない赤外線方式を採用し、外光が当たらず高温物体が近傍にない屋内の場所、あるいは遮光板を視野角に影響がないように設置し、太陽光の影響を防ぐことができる屋外の場所に設置することで、誤作動を防止する設計とする。

感知器等の組合せについては、設置場所ごとに予想される火災の性質（急激な温度変化、煙の濃度の上昇、赤外線量の上昇）及び環境条件（放射線の影響、引火性気体の滞留のおそれ、風雨の影響、設備配置）を考慮し、火災を早期に感知できるよう、上記の方針で選定し、誤作動の防止を検討した感知器等の中から固有の信号を発する異なる感知方式の感知器等を選択する設計とする。各感知方式においては、感知器を検出装置より優先して選択するものとする。

消防法施行規則第 23 条第 4 項の適用対象ではない屋外は、火災防護上重要な機器等、重大事故等対処施設及び発火源となり得る設備を全体的に監視できるよう感知器等を設置する設計とする。

また、消防法施行規則第 23 条第 4 項の適用対象ではないが、屋内に準ずる場所として、**海水管トレンチ室**は感知器を消防法施行規則第 23 条第 4 項に準じて設置し、**燃料油貯油そうエリア**は感知器等を油火災の早期感知に有効な取付場所に設置する設計とする。

(3) 火災防護審査基準 2.2.1(1)②の要求事項に対する設計方針

選択する感知器等をそれぞれ設置するに当たり、感知器については消防法施行規則第 23 条第 4 項に従い、検出装置については同項において求める火災区域内の感知器の網羅性及び省令に定める感知性能と同等以上の方法により設置するとともに、誤作動を防止するための方策を講じる設計とする。また、感知器の設置方法については、火災の感知に支障がないことを確認した上で、以下の i. から iii. に掲げる方法についても適用する設計とする。

- i. 感知区域の面積が小さく、隣接感知区域に感知器があるときに、一定の範囲を限度として、感知器の設置を行わない方法
- ii. 感知器の設置面から換気口等の空気吹出し口までの鉛直距離が 1m 以上あるときに、感知器と空気吹出し口との水平距離が 1.5m を下回る位置に感知器を設置する方法
- iii. 空気吹出し口から水平に空気が吹き出されているときに、その吹き出し方向と逆方向について、感知器と空気吹出し口との水平距離が 1.5m を下回る位置に感知器を設置する方法

ただし、設置場所における環境条件（取付面の高さ、障害物の有無、水蒸気の影響、取付場所）を考慮した場合、以下のイ. からニ. に該当する場所は、消防法施行規則第 23 条第 4 項に基づく条件を満足しないため、感知器等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することができない。

また、感知器等の設置又は保守点検時における作業員の被ばくを考慮した場合、以下のホ. に該当する場所は、感知等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することが適切ではない。

イ. 取付面の高さが消防法施行規則第 23 条第 4 項で規定される高さ以上の場所

取付面の高さが消防法施行規則第 23 条第 4 項で規定される高さ以上の場所は、消防法施行規則第 23 条第 4 項第 2 号に規定されている熱感知器を床面を網羅するように設置できないこと、並びに、取付面の高さが 20m 以上の場所は、消防法施行規則第 23 条第 4 項第 1 号イにより、炎感知器以外の感知器を設置することができないことから、感知器等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することができない場所である。

ロ. 障害物等により有効に火災の発生を感知できない場所

障害物等により有効に火災の発生を感知できない場所は、消防法施行規則第 23 条第 4 項第 7 号の 4 ハを満足するように炎感知器を設置することができないことから、感知等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することができない場所である。

ハ. 水蒸気が多量に滞留する場所

水蒸気が多量に滞留する場所は、消防法施行規則第 23 条第 4 項第 1 号のニ及びホにより、熱感知器以外の感知器等を設置することができないことから、感知等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することができない場所である。

ニ. 感知器等を設置できる取付面がなく、有効に火災の発生を感知できない場所

感知器等を設置できる取付面がなく、有効に火災の発生を感知できない場所は、

熱感知器においては消防法施行規則第 23 条第 4 項第 3 号ロ、煙感知器においては消防法施行規則第 23 条第 4 項第 7 号ホを満足するように設置することができないことから、感知器等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することができない場所である。

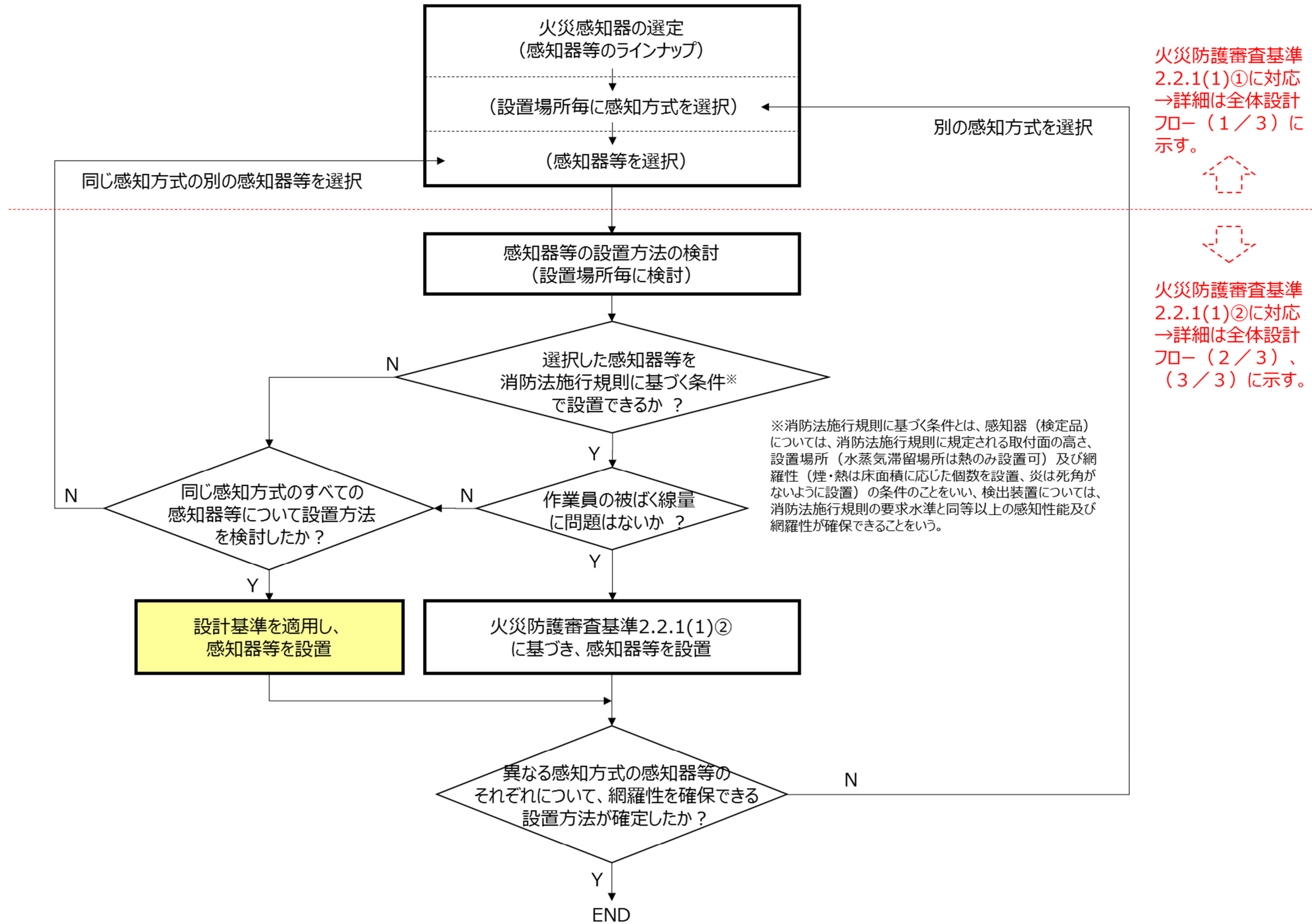
ホ. 放射線作業の計画段階において、感知器等の設置又は保守点検時における作業員の個人線量及び集団線量が、法令で定める線量限度を超過する又は発電所の 1 年間の集団線量を超過するおそれのある場所

放射線作業の計画段階において、感知器等の設置又は保守点検時における作業員の個人線量及び集団線量が、法令で定める線量限度を超過する又は発電所の 1 年間の集団線量を超過するおそれがある場所は、感知器等を火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で設置することが適切でない場所である。

以上より、上記のイ. からホ. に該当する場所は、火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法と別の設計基準を満足できるよう感知器等を設置する設計とする。ここで、設計基準は、「感知器等を消防法施行規則第 23 条第 4 項に基づき設置した場合と同等水準で感知できるよう設置することにより、設置場所において発生する火災を早期に感知できること。」（設計基準①）とし、これができない場合は、「火災区域又は火災区画において感知器等を適切な場所に設置することにより、設置場所において発生する火災をもれなく確実に感知できること。」（設計基準②）を適用する方針とする。

3-1-2 設計方針を踏まえた感知器設計の一連の流れについて

3-1-1 にて示した設計方針を踏まえ、各火災区域又は火災区画における火災感知器の選定から設置までの全体概要フローを第 3-1-1 図に示し、その詳細フローを第 3-1-2 図に示す。



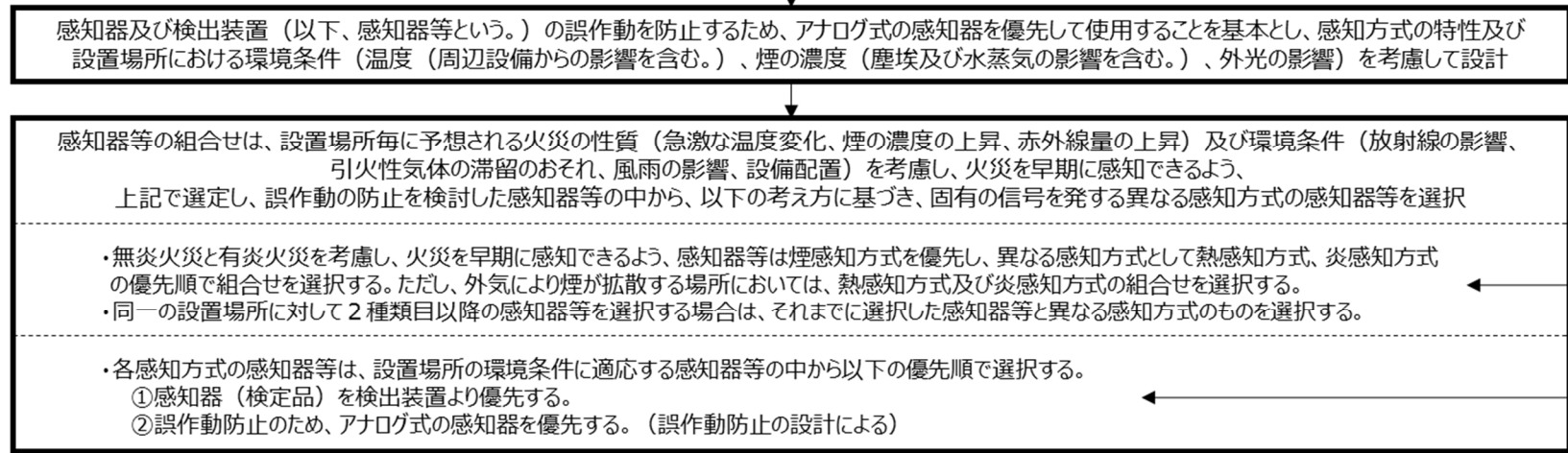
第 3-1-1 図 各火災区域又は火災区画における火災感知器の選定から設置までの全体概要フロー

環境条件を考慮した火災感知器の選定

【用語の定義】

検出装置：感知器と同等の機能を有する機器
 放射線量が高い場所：10mGy/hを超える場所
 煙感知器及び熱感知器について、特に注記しない場合はスポット型とする。

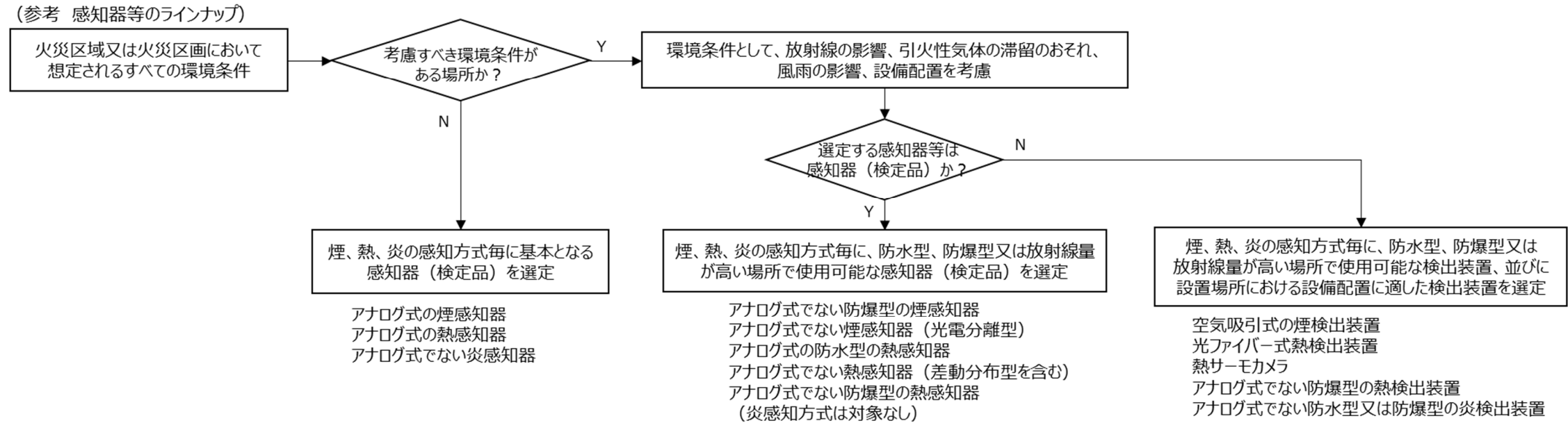
感知方式	感知器（検定品）の選定		検出装置（感知器と同等の機能を有する機器）の選定
	一般的な環境条件	考慮すべき環境条件 (放射線の影響、引火性気体の滞留のおそれ、風雨の影響、設備配置)	
煙	アナログ式の煙感知器	アナログ式でない防爆型の煙感知器（引火性気体の滞留のおそれがある場所で使用可） アナログ式でない煙感知器（光電分離型）（監視の障害となる設備がない広範囲の空間監視に適用）	空気吸引式の煙検出装置（放射線量が高い場所で使用可）
熱	アナログ式の熱感知器	アナログ式の防水型の熱感知器（屋外の設備監視に適用） アナログ式でない熱感知器（差動分布型を含む）（放射線量が高い場所で使用可） アナログ式でない防爆型の熱感知器（放射線量が高い場所、引火性気体の滞留のおそれがある場所で使用可）	光ファイバー式熱検出装置（長距離ケーブルレイの監視に適用） 熱サーモカメラ（屋外の設備監視に適用） アナログ式でない防爆型の熱検出装置（油タンク内部の監視に適用）
炎	アナログ式でない炎感知器	-	アナログ式でない防水型の炎検出装置（屋外の設備監視に適用） アナログ式でない防爆型の炎検出装置（引火性気体の滞留のおそれがある場所で使用可）



※4（火災感知器の設置方法（1/2）（基準どおり））より

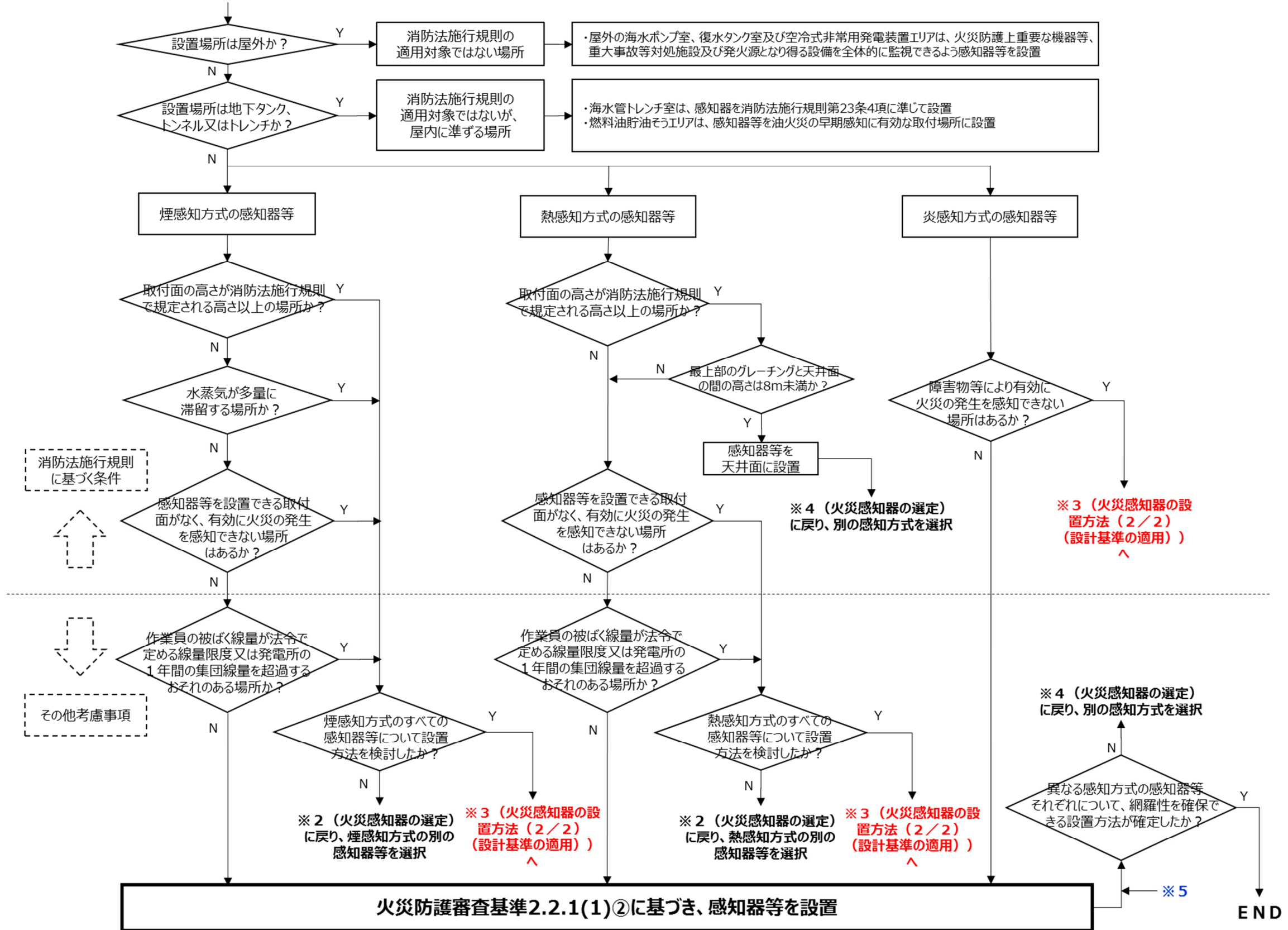
※2（火災感知器の設置方法（1/2）（基準どおり））より

※1（火災感知器の設置方法（1/2）（基準どおり））へ



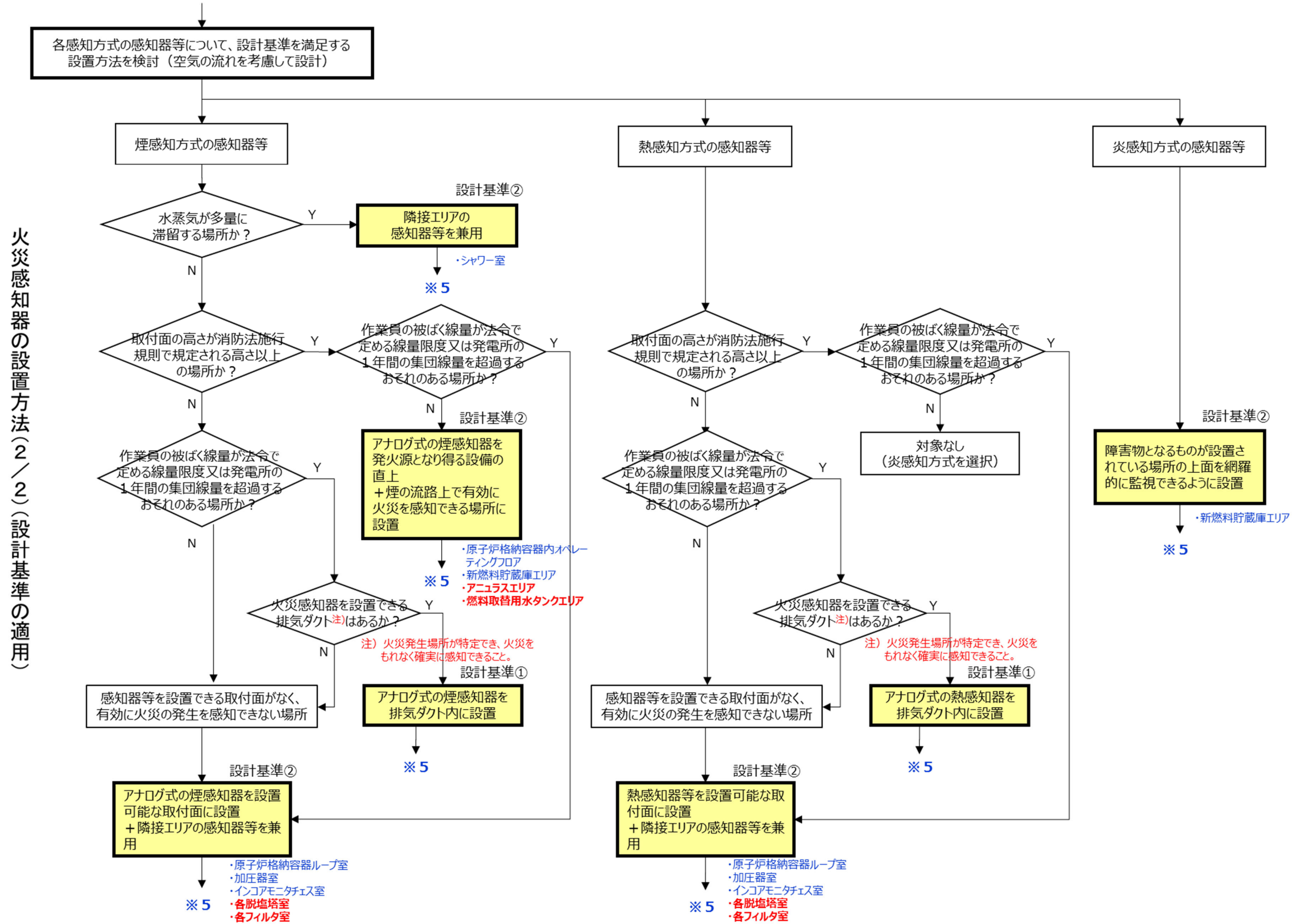
第 3-1-2 図 各火災区域又は火災区画における火災感知器の選定から設置までの詳細フロー（1/3）

※1 (火災感知器の選定より)



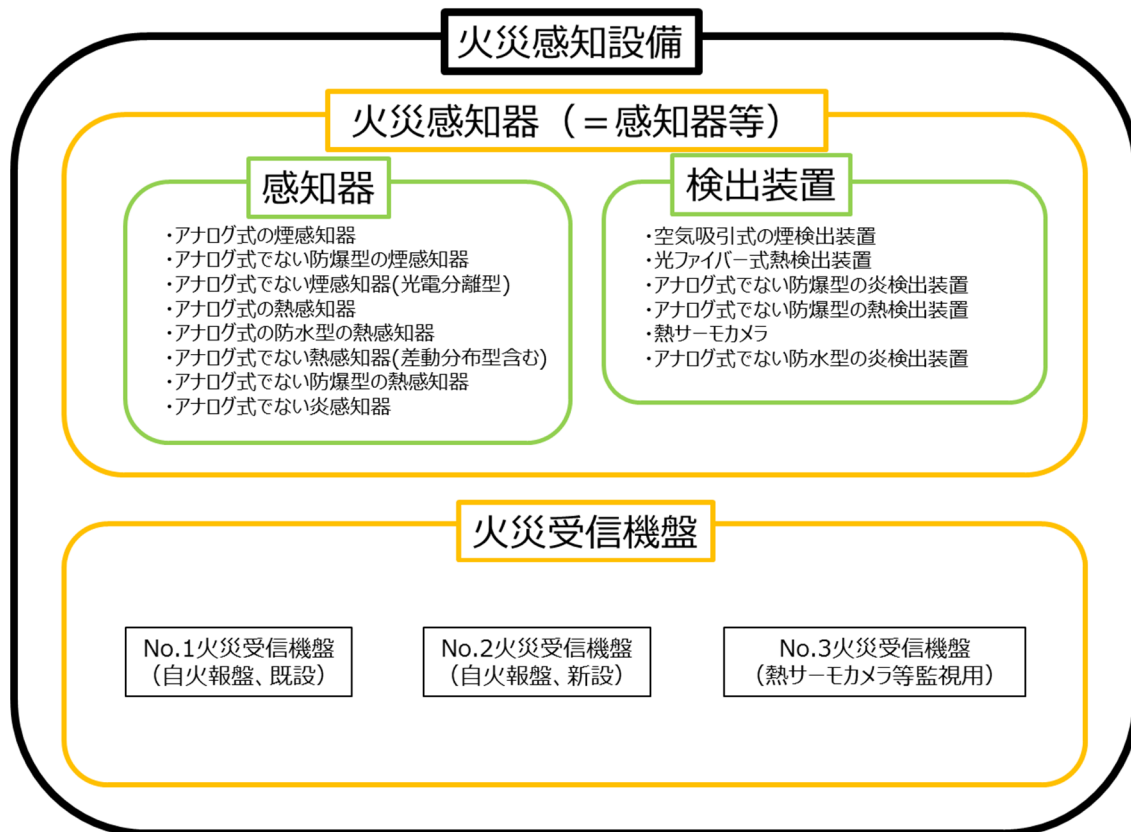
第3-1-2図 各火災区域又は火災区画における火災感知器の選定から設置までの詳細フロー (2/3)

※3 (火災感知器の設置方法(1/2)(基準どおり))より



第3-1-2図 各火災区域又は火災区画における火災感知器の選定から設置までの詳細フロー (3/3)

火災感知設備の定義について



3-2 原子炉格納容器の火災感知器設計について

本資料は、原子炉格納容器に設置する火災感知器（以下、感知器等という。）の設計について説明する。

火災防護審査基準における火災区域、区画の設定において、高浜3号機及び高浜4号機の原子炉格納容器はそれぞれ1つの火災区画として設定している。

今回、原子炉格納容器の感知器等の設計にあたっては、原子炉格納容器内の環境条件を考慮し、この火災区画を分割し、エリア毎に設計する。

3-2-1 原子炉格納容器内のエリア、フロアの概要

原子炉格納容器は、その容器内に原子炉容器、加圧器、蒸気発生器、1次冷却材ポンプやそれらを接続する配管等の機器を収納している。原子炉格納容器内の環境条件を考慮すると、第3-2-1図に示す原子炉格納容器の概略図のとおり、3つのエリアに分類することができる。

①一般エリア

原子炉格納容器内のうち下階層の周回通路沿いのエリア

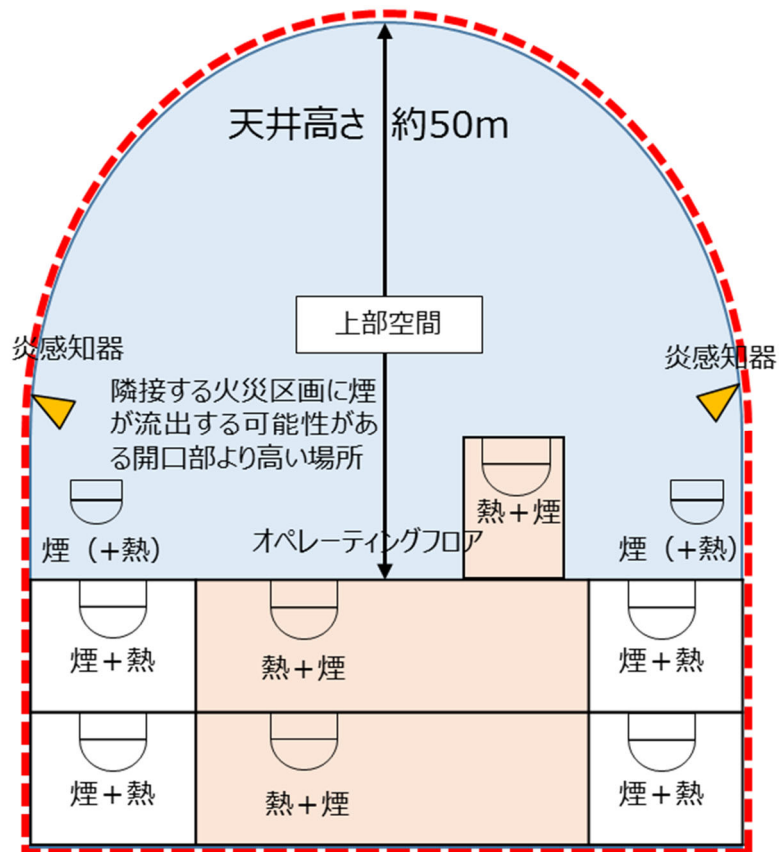
②放射線量が高い場所を含むエリア

運転中において線量当量率が最も高い区分3のエリア（原子炉格納容器ループ室、加圧器室、再生熱交換器室、インコアモニタチェス室）

③高天井エリア

原子炉格納容器内最上部でオペレーティングフロアから上部（キャビティを含む。）で、天井高さが床面から20m以上のエリア

- : 一般エリア
- : 放射線量が高い場所を含むエリア
- : 高天井エリア
- (赤点線) : 火災区画



第 3-2-1 図 原子炉格納容器の概略図

3-2-2 原子炉格納容器内の換気空調設備による空気の流れについて

プラント運転時及び停止時における原子炉格納容器内の換気空調設備による空気の流れを以下に示す。

c

(1) プラント運転時

プラント運転時は、格納容器再循環ファン、**原子炉容器室冷却ファン**により構成される格納容器再循環システムにより、原子炉格納容器内の空気を取り込み、原子炉格納容器内に排出することで、原子炉格納容器内で空気を循環させる設計としている。各ファンのプラント運転時における運転台数及び設計流量を第 3-2-1 表に示す。

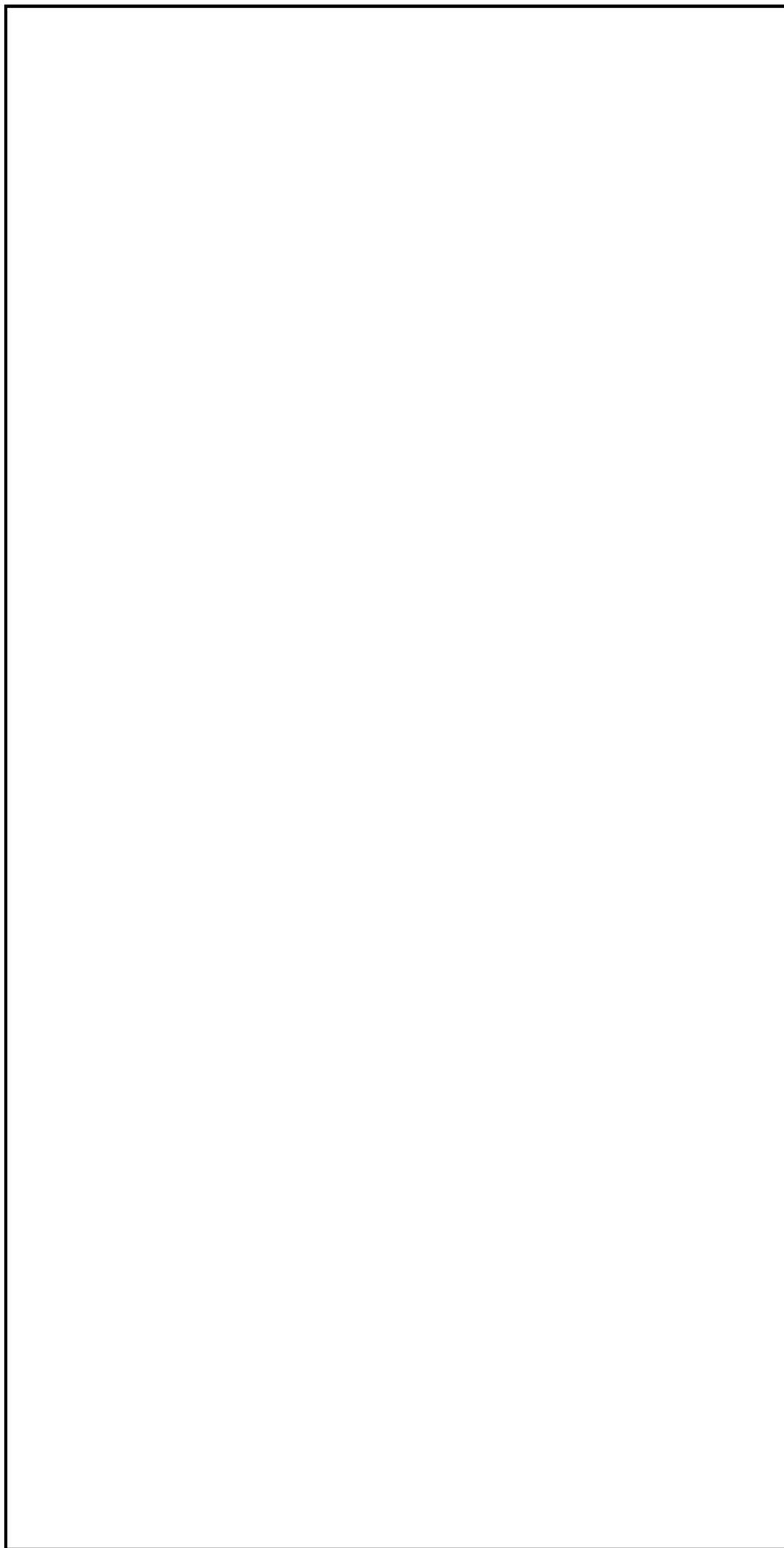
第 3-2-1 表 プラント運転時における格納容器再循環システムについて

ファン名称	運転台数	設計流量	計測風速
格納容器再循環ファン	3 台		
原子炉容器室冷却ファン	1 台		

プラント運転時における格納容器再循環システムの設計総流量は m³/min である。原子炉格納容器の自由体積が約 m³ であることから、8 分未満で原子炉格納容器の自由体積分の空気を循環させる流量をもっており、格納容器再循環システムにより原子炉格納容器内全体の空気を循環させることが可能である。

プラント運転時における原子炉格納容器内の格納容器再循環システムの空気の流れを、第 3-2-2 図に示す。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第 3-2-2 図 プラント運転中における格納容器再循環系統の空気の流れ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(2) プラント停止時

プラント停止時は、格納容器再循環系統は停止状態となるが、格納容器給気ファン及び格納容器排気ファンにより構成される格納容器空調系統により、原子炉格納容器外の新鮮な空気を原子炉格納容器内に給気し、排気筒を通じて格納容器外に排出することで、原子炉格納容器内の空気を換気及び浄化させる設計としている。各ファンのプラント停止時における運転台数及び設計流量を第 3-2-1 表に示す。

第 3-2-2 表 プラント停止時における格納容器空調系統について

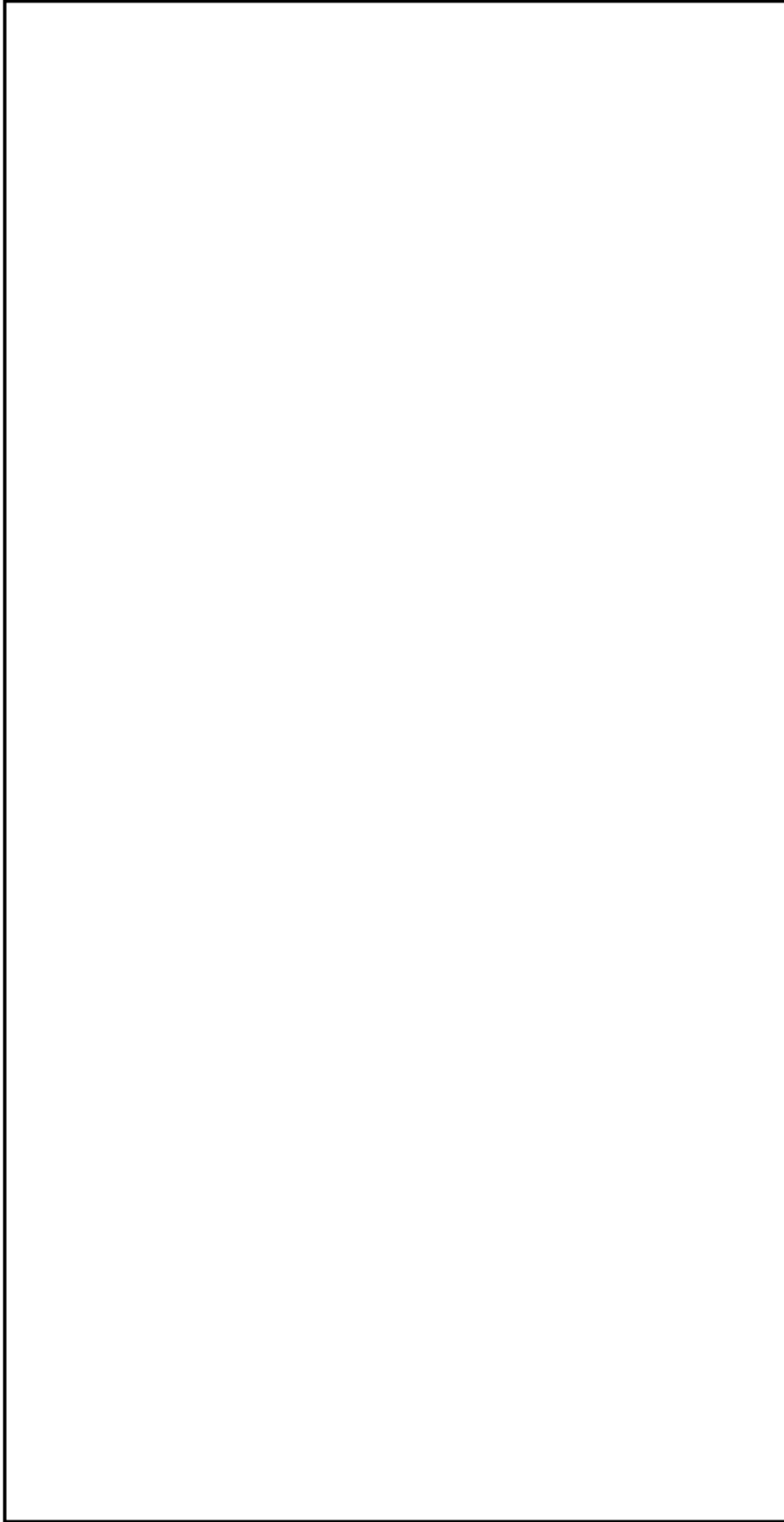
ファン名称	運転台数	設計流量	計測風速
格納容器給気ファン	2 台		
格納容器排気ファン	2 台		

プラント停止時における格納容器空調系統の総給気流量及び総排気流量はそれぞれ である。原子炉格納容器の自由体積が約 m³ であることから、38 分未満で原子炉格納容器の自由体積分の空気を換気及び浄化させる流量をもっており、格納容器空調系統により原子炉格納容器内全体の空気を換気及び浄化させることが可能である。

プラント停止時における原子炉格納容器内の格納容器空調系統の空気の流れを、第 3-2-3 図及び第 3-2-4 図に示す。格納容器給気ファンより給気された空気は、原子炉格納容器内で攪拌及び希釈され、均一となり、排気ダクトを通過して排気筒より排気される。



第 3-2-3 図 プラント停止中における格納容器空調系統の空気の流れ (平面図)



第3-2-4 図 プラント停止中における格納容器空調系統の空気の流れ（系統図）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3-2-3 原子炉格納容器の火災感知器設計

3-2-1 項で分類した①～③のそれぞれのエリアについて、そのエリア内の環境条件等をもとにそれぞれの火災感知器の選定、設計の考え方について説明する。

(1) 一般エリア

原子炉格納容器内のうち下層階の周回通路沿いのエリアであり、ループ室内の主要機器からの配管、隔離弁等が設置されているが、高天井エリアや放射線量が高い場所を含むエリアにも該当しないため、アナログ式の煙感知器とアナログ式の熱感知器の異なる2種類を選定し設置する設計とする。

(2) 放射線量が高い場所を含むエリア

保安規定及びその下部規定の放射線・化学管理業務要綱にて管理区域内の各エリアを線量当量率が低い方から区分1～3の3段階で区分しているが、放射線量が高い場所を含むエリアはプラント運転中において線量当量率が最も高い区分3の場所を含むエリアであり、原子炉格納容器ループ室、加圧器室、再生熱交換器室及びインコアモニタチェス室が該当する。

当該エリアの火災感知器設計については、補足説明資料3-6「放射線量が高い場所を含むエリアの火災感知器設計について」に示す。

(3) 高天井エリアにおける火災感知器設計

原子炉格納容器内最上部でオペレーティングフロアから上部のエリアであり、天井高さが床面から20m以上のエリアである。

一般エリア及び放射線量が高い場所を含むエリアには機器、配管、弁が設置されているが、このエリアはそのような主要な機器類はなく、巨大な空間のエリアである。

イ. 使用する感知器等の選択

高天井エリアで使用する感知器等の検討結果を第3-2-3表に示す。第3-2-3表のとおり、高天井エリアにおいては、様々な感知器等が使用可能であるが、オペレーティングフロアの現場施工性を考慮して、1種類目はアナログ式でない炎感知器、2種類目はアナログ式の煙感知器を選択する。

第3-2-3表 原子炉格納容器オペレーティングフロアにおける感知器の選定

火災感知器種類	熱感知方式					煙感知方式					炎感知方式
	アナログ式の熱感知器 (スポット型)	アナログ式でない熱感知器 (スポット型)	差動分布型熱感知器 (熱電対式、空気管式)	光ファイバー式熱検出装置	熱サーモカメラ	アナログ式の熱感知器 (スポット型)	アナログ式でない熱感知器 (スポット型)	アナログ式でない煙感知器 (スポット型)	光電分離型煙感知器 (非蓄積型)	空気吸引式の煙検出装置	
環境条件の考慮 (故障の防止)	放射線の考慮 (故障の防止)	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○
	取付面高、遮蔽、湿度、空気清浄の考慮 (感知性の確保)	△	△	△	△	○	△	△	△	△	○
設置位置の考慮 (誤作動の防止)	誤作動の防止	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	総責任の確保	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
環境の確保	環境の確保	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	監視	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
設置項目	現場施工性 (総責任の確保に必要な施工の成立性)	○	○	△	△	△	△	○	△	△	△
	各感知方式で使用する火災感知器	△ (熱が滞留する場合に限る)	△ (熱が滞留する場合に限る)	△ (熱が滞留する場合に限る)	△ (熱が滞留する場合に限る)	△ (施工可能な場合に限る)	△ (煙が滞留する場合に限る)	△ (煙が滞留する場合に限る)	△ (煙が滞留する場合に限る)	△ (煙が滞留する場合に限る)	△ (施工可能な場合に限る)

○：選定可能 △：条件付きで選定可能 ×：選定することが適切でない

※：環境条件及び現場施工性を考慮して、アナログ式の熱感知器を他の熱感知器を他の熱感知器方式の火災感知器より優先使用
環境条件及び現場施工性を考慮して、アナログ式の煙感知器を他の煙感知器方式の火災感知器より優先使用

ロ. 使用する感知器等の設置方法

オペレーティングフロアは天井高さが床面から 20m 以上のエリアであり、炎感知器の設置は可能であるが、煙感知器と熱感知器は取付面の高さが消防法施行規則第 23 条第 4 項で規定される高さ以上であり、消防法施行規則第 23 条第 4 項第一号イにより設置することが適切ではないため、火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法又は設計基準①を満足できる方法で設置することができない。

従って、アナログ式でない炎感知器は、オペレーティングフロアの床面全体を監視できるように火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法により設置する設計とする。炎感知器の監視範囲を第 3-2-5 図に示す。

また、アナログ式の煙感知器については、プラント運転中は原子炉容器室冷却ファン（以下「給気ファン」という。）及び原子炉格納容器再循環ファン（以下「再循環ファン」という。）の運転により原子炉格納容器内で空気が循環する設計となっていること、並びに、プラント停止中に原子炉内に燃料がある状態でこれらのファンを停止する運用となっていることを踏まえ、以下に記載するファンの運転状況と空気の流れを考慮して設置する設計とする。

- ・給気ファン及び再循環ファンの運転時においては、オペレーティングフロアの火災により発生した熱及び煙、あるいは原子炉格納容器ループ室又は加圧器室の火災により流れ込む熱及び煙は、給気ファンの運転により原子炉格納容器ループ室を通過してオペレーティングフロアに抜ける空気の流れに乗って上昇し、再循環ファンにより原子炉格納容器内で循環するため、火災の継続とともに原子炉格納容器内の空気温度及び煙濃度が全体的に均一になりながら高まっていく。
- ・給気ファン及び再循環ファンの停止時においては、火災により発生した熱により上昇気流が発生すること及び格納容器給気ファン及び格納容器排気ファンが運転を継続していることから、オペレーティングフロアの火災により発生した熱及び煙、あるいは原子炉格納容器ループ室又は加圧器室の火災により流れ込む熱及び煙は、格納容器給気ファンによって取り込まれる外気で攪拌されながらオペレーティングフロア内を対流し、格納容器排気ファンにより排出される。給気ファン及び再循環ファンの停止時における火災による熱及び煙の流れを第 3-2-6 図に示す。

以上より、給気ファン及び再循環ファンの運転時及び停止時において、発炎段階の火災は消防法施行規則第 23 条第 4 項に基づき設置するアナログ式でない炎感知器を設置することにより早期に感知し、発熱量の少ないくん焼段階の火災は発火源となり得る設備の直上で有効に火災を感知できる場所にアナログ式の煙感知器を設計基準②を満足する方法で設置する設計とする。火災により発生した煙の流路上になる原子炉格納容器ループ室上部の S G 側のグレーチング面への煙感知器の設置方法は、原子炉格納容器ループ室における設置方法に準じた設計とする。（補足説明資料 3-11 参

照。)また、給気ファン及び再循環ファンの停止時において、原子炉格納容器ループ室又は加圧器室の火災により流れ込む煙についても、発火源となり得る設備の直上及び煙の流路上で有効に火災を感知できる場所に設計基準②を満足するよう設置するアナログ式の煙感知器により感知する設計とする。

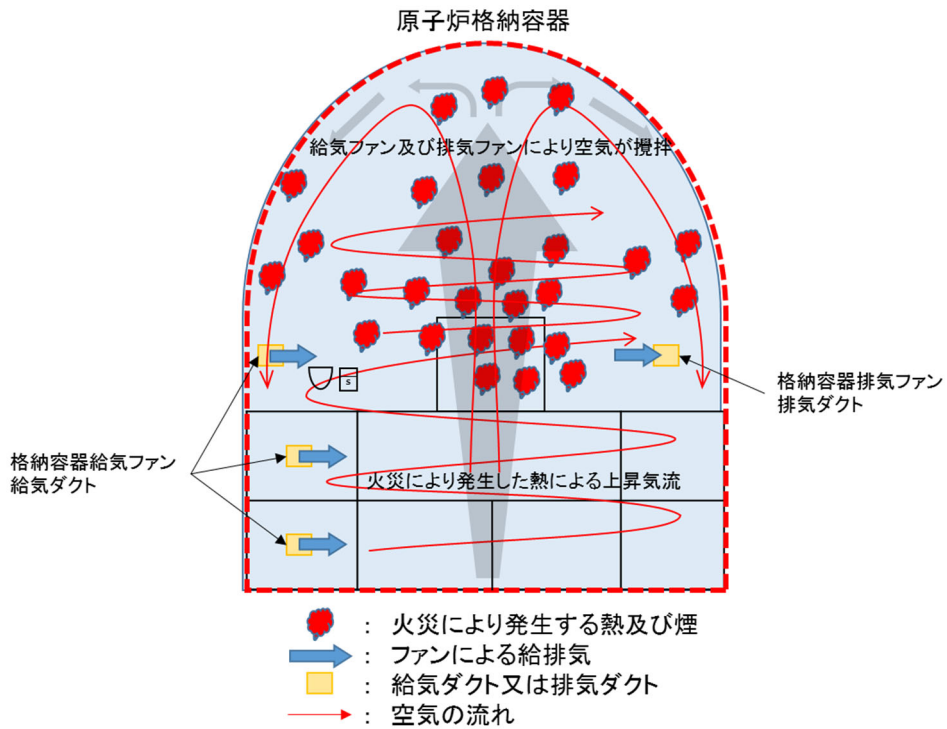
なお、発火源となり得る設備は、火花を発生する可能性のある設備及び高温の設備に該当する電気盤とし、アナログ式の熱感知器及びアナログ式の煙感知器を第 3-2-7 図のように電気盤の直上に支持鋼材(グレーチングのような開口部はない)を使用して設置する設計とする。アナログ式の熱感知器は、保安水準②の確保に必須ではないが、より早期に火災を感知できるよう自主設置する設計とする。

オペレーティングフロアに設置するアナログ式の煙感知器を第 3-2-8 図に示し、原子炉格納容器内の開口部の位置を第 3-2-9 図、原子炉格納容器上部の設備設置状況を第 3-2-10 図に示す。

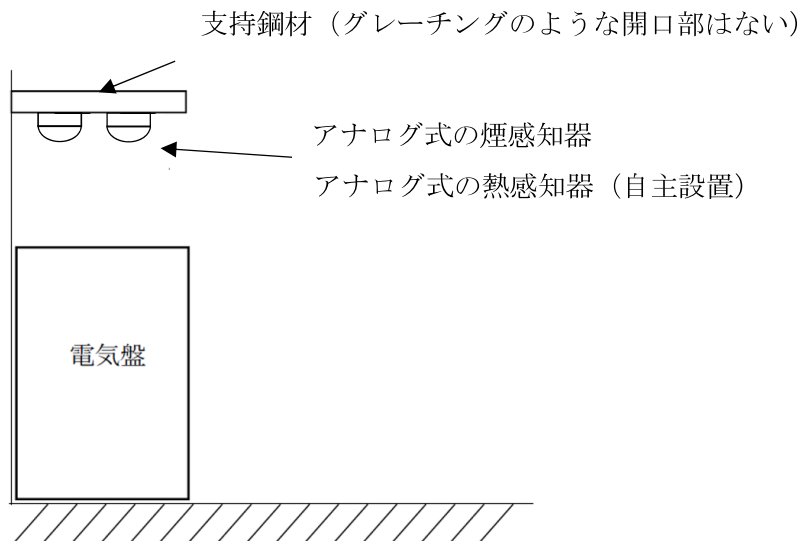


第 3-2-5 図 高天井エリアの感知器監視範囲図 (高浜発電所 3 号機)

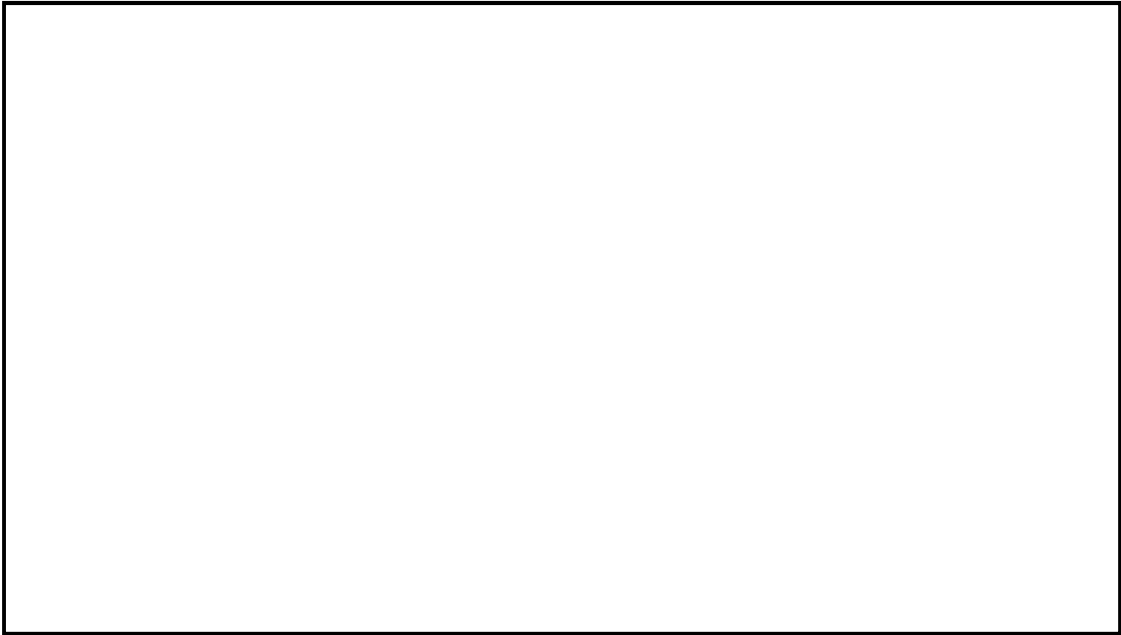
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



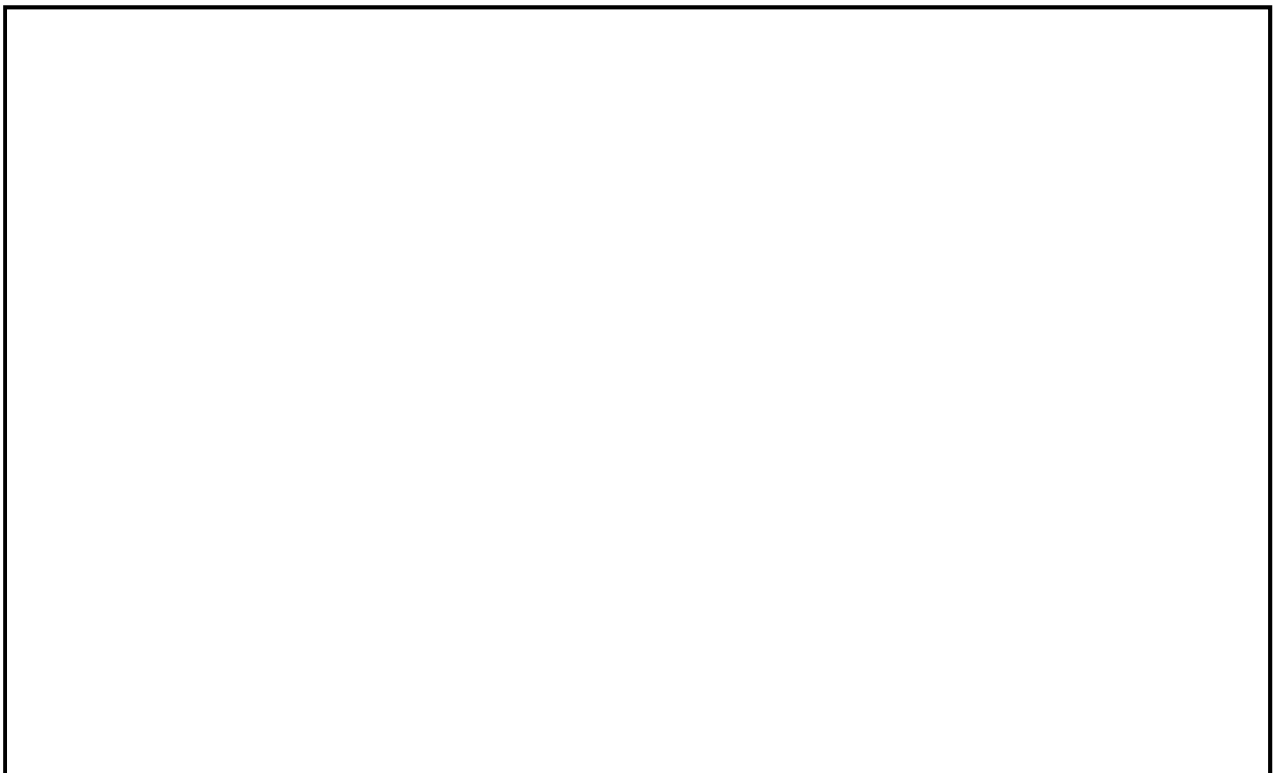
第 3-2-6 図 各給気ファン及び再循環ファンの停止時（格納容器給気・排気ファンは運転）
における火災による熱及び煙の流れ



第 3-2-7 図 感知器設置イメージ

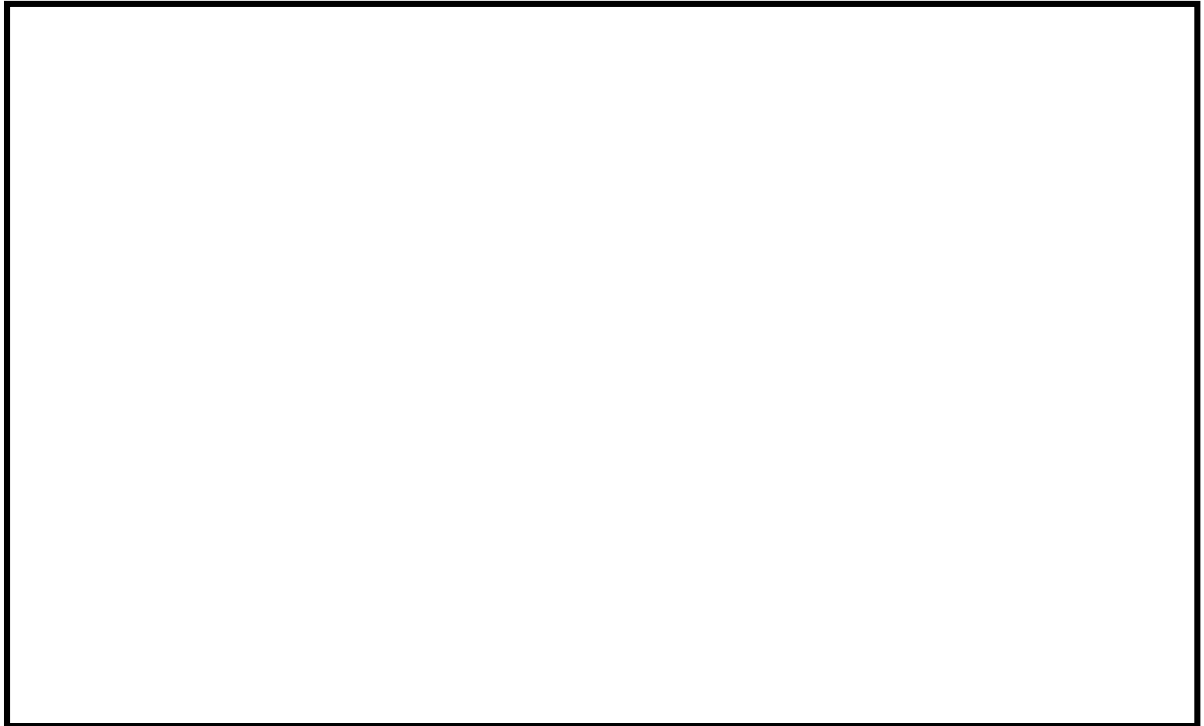


第 3・2・8 図 オペレーティングフロアに設置するアナログ式の熱感知器及び
アナログ式の煙感知器の配置図（平面図）



第 3・2・9 図 隣接する火災区画に煙が流出する可能性がある開口部より高い場所に
設置する煙感知器の配置図（断面図）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第 3-2-10 図 原子炉格納容器上部の設備設置状況

- ハ. 給気ファン及び再循環ファン停止時において原子炉格納容器内オペレーティングフロアで発生する火災規模の整理
 - a. 原子炉格納容器内オペレーティングフロアの火災発生時の空気の流れと火災規模の定義
 - (a) 空気の流れによる火災規模の定義

各給気ファン及び再循環ファン停止時において原子炉格納容器内オペレーティングフロアで発生する火災の規模を煙の現象論を踏まえて大・中・小の3段階に分けて整理する。各火災規模を以下のとおり定義するとともに、第3-2-11図に各火災規模のイメージを示す。

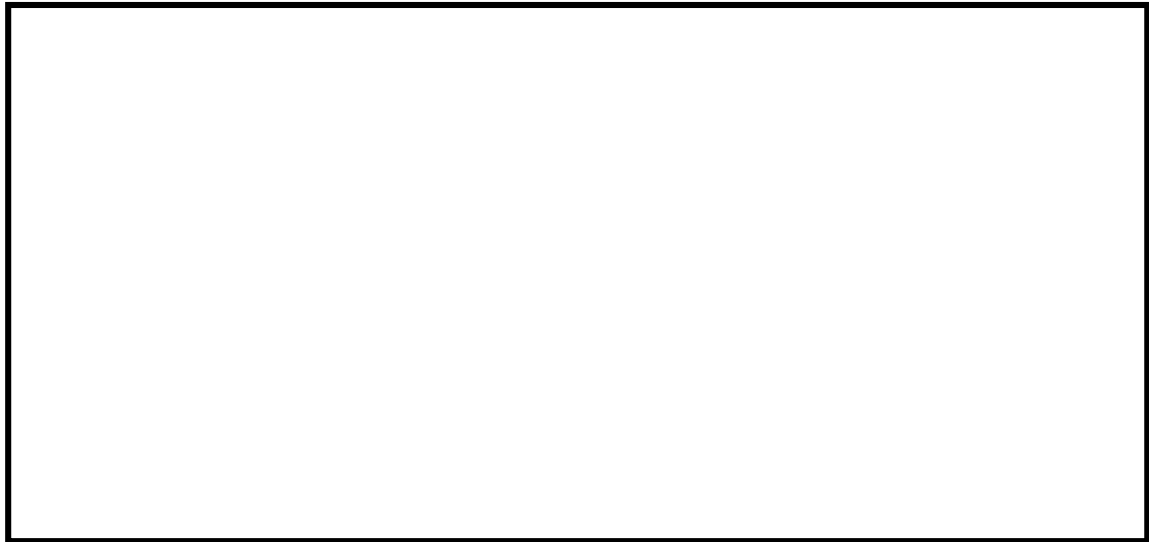
火災規模の定義

大：発熱量が大きく、熱の気流に乗ってC/V頂上まで上昇した煙が、コンクリート内壁に接触しながら冷却され、周囲の空気との密度差により生じる自然対流で煙が下降に転じるといった流れが継続する大規模火災

中：発熱量が中程度で、熱の気流に乗ってC/V頂上まで上昇した煙がC/V頂上で平衡状態となり下降せず、溜まり続ける中規模火災

小：発熱量が小さく、熱の気流に乗って煙が上昇する過程で、周囲の空気に熱を奪われ、上昇力を失い、C/V内の低い層で煙が水平方向に拡散する流れの方向が優位となる小規模火災

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



火災規模 小

中

大

第3-2-11図 各火災規模のイメージ図 (■ が煙の流れ)

(b) 火災規模毎の発熱速度

(a) で定義した火災規模毎に想定する発熱速度を以下のとおり設定する。

- ・火災規模「大」：C/V内において最大規模の火災源を想定する。具体的には、既許認可の実績として、大飯3,4号機の再稼働審査のまとめ資料で用いている「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」の「表8.1 火災源のスクリーニング用発熱速度(HRR)」のうち、電気盤1面火災相当の211kWを適用し、熱流動により対流が生じる場合を想定する。
- ・火災規模「中」：C/V内における中規模の火災源として、「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」の「表8.1 火災源のスクリーニング用発熱速度(HRR)」のうち、最小値であるモータ1台相当の69kWを適用し、熱流動が起こらず煙が格納容器頂部に溜まっていく場合を想定する。
- ・火災規模「小」：「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」に基づく発熱速度の設定がないことから、火災規模「大」及び「中」と比較して、より小さい発熱速度を想定する。

(c) 小括

給気ファン及び再循環ファン停止時において原子炉格納容器内オペレーティングフロアで発生する火災の規模を大・中・小の3段階に分けて整理した。この整理を踏まえ、次項以降で火災感知器の感知性について確認する。また、念のため原子炉格納容器の健全性について解析結果を考慮し確認する。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

b. 煙感知器の感知性の確認

原子炉格納容器内オペレーティングフロアに設置する煙感知器の感知性について、定義した火災規模毎に確認する。

(a) 火災規模「大」

火災規模「大」の場合、発熱量が大きく、その熱による上昇気流に乗ってC/V頂部まで上昇した煙が、コンクリート壁に接触することで冷却され、周囲の空気との密度差により生じる自然対流により下降に転じるといった煙の流れが継続する。このような煙の流路となる場所に煙感知器を設置することで火災を感知可能である。

(b) 火災規模「中」

火災規模「中」の場合、発熱量が中程度であり、その熱による上昇気流に乗ってC/V頂部まで上昇した煙が下降せず、C/V頂部に溜まり続ける。このような火災が継続した場合、煙はC/V頂部に溜まっていき、煙層が厚くなっていくことから、時間の経過とともに感知可能である。

(c) 火災規模「小」

火災規模「小」の場合、発熱量が小さく、熱気流に乗って煙が上昇する過程で、周囲の空気に熱を奪われC/V頂部に到達する前に上昇力を失い、水平方向に拡散する流れの方が優位となる。このような火災が継続した場合、煙はオペレーティングフロアの床面付近で広がることから、オペレーティングフロア上の発火源となり得る設備の直上に設置する煙感知器にて感知可能である。

(d) 小括

原子炉格納容器内オペレーティングフロアに設置する煙感知器は、火災規模「大」「中」「小」いずれの火災についても感知可能であり、もれなく確実に火災を感知できる設計となっていることを確認した。

c. 原子炉格納容器の健全性の確認

火災発生時の原子炉格納容器の健全性について以下のとおり確認する。

(a) 解析条件

火災発生時の原子炉格納容器の健全性を確認するために、火災規模「大」を用いて温度評価を実施した。

①FDTsを用いた原子炉格納容器頂部の温度評価

原子炉格納容器内オペレーティングフロアにおける火災時の原子炉格納容器頂部の温度を評価するため、米国NRCが公開している評価ツールであるFDTsを用いて評価した。空間体積には、原子炉格納容器オペレーティングフロアより上部相当の体積を設定し、保守的な火源の条件設定として、最も発熱量の大きい火災規模「大」の火源を用いて換気のない条件下で温度評価を実施した。

(b) 原子炉格納容器の温度制限値

設計基準において発生する火災により、発電用原子炉施設の安全性が損なわれないようにするため、設計基準対象施設に対して必要な機能を有することが求められている。設計基準事故時の原子炉格納容器の最高使用温度が132°Cであることを踏まえ、火災発生時の原子炉格納容器頂部の温度制限値を132°Cと設定する。

なお、温度制限値の妥当性について以下に示す。

原子炉格納容器バウンダリとして、原子炉格納容器頂部には原子炉格納容器鋼板があることから、当該部への熱影響について評価を行う。

原子炉格納容器鋼板については、設計基準事故時の条件において変形が弾性域に収まっていることを確認している。また、クリープ現象については、融点の半分程度以上の高温で長時間かけて生じるものであるが、評価対象の鋼材は炭素鋼であり、一般的な炭素鋼の融点は1000°C以上であることから、クリープ現象を考慮する必要はない。

以上より火災発生時の原子炉格納容器頂部の温度制限値を132°Cと設定することは妥当である。

(c) 解析結果を踏まえた原子炉格納容器の健全性評価

原子炉格納容器内オペレーティングフロアにおける火災時の原子炉格納容器頂部の温度を評価するため、米国NRCが公開している評価ツールであるFDTsを用いて評価した結果、最も発熱量の大きい火災規模「大」の火源を用いた場合、原子炉格納容器頂部の高温ガス層温度は火災発生から1時間で75.7°C程度となった。

評価ツールを用いた火災規模「大」の評価結果を別紙 1-1 に示す。

火災発生時の原子炉格納容器頂部の温度が、原子炉格納容器頂部の温度制限値を超過しないことから、原子炉格納容器バウンダリの健全性が維持されることを確認した。

なお、感知までに最も時間を要する火災規模「中」の火源を用いた場合は、煙層は格納容器頂部より 30m 程度下 (E.L. 相当) に火災発生から 10 分程度で到達するため、健全性評価については火災規模「大」の結果に包絡される。評価ツールを用いた火災規模「中」の評価結果を別紙 1-2 に示す。

(d) 小括

火災規模「大」の火源を用い、換気のない条件を想定しても、原子炉格納容器頂部の温度は温度制限値である 132°C を超過せず、原子炉格納容器バウンダリの健全性が維持されることを確認した。

d. 大括

給気ファン及び再循環ファン停止時における原子炉格納容器内オペレーティングフロアの空気の流れを踏まえ、火災の規模を煙の現象論に基づき大・中・小に分けて確認した結果、いずれの火災についても原子炉格納容器内オペレーティングフロアに設置する煙感知器により感知可能であり、もれなく確実に火災を感知できる設計となっていることを確認した。

また、原子炉格納容器頂部の温度は、設計基準事故時の原子炉格納容器の最高使用温度を基に設定した温度制限値である 132°C を超過しないことから、原子炉格納容器バウンダリの健全性は維持されることを確認した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

二. 煙感知器の設置場所の評価

a. 煙感知器の感知性能及び網羅性に係る比較検討

原子炉格納容器内オペレーティングフロアの感知器設計のうち、火災により発生した煙の流路、並びに、隣接する火災区画に煙が流出する可能性がある開口部より高い場所に設置する設計としているアナログ式の煙感知器について、ハ. で評価及び解析した原子炉格納容器頂部の温度及び火災発生時の空気の流れを踏まえ、その設置場所について検討した。また、空気吸引式の煙感知器及び光電分離式の煙感知器についても同様に検討した。

検討にあたって、原子炉格納容器内オペレーティングフロアにおける煙感知器設置場所について、煙感知器の感知性能及び網羅性の観点で比較検討を実施した。検討結果を第3-2-4表に示す。

第 3-2-4 表 煙感知器の感知性能及び網羅性に係る比較検討結果

凡例 ○：もれなく確実に感知可能、×：感知不可

設置場所 及び 最大設置高さ	案 1	案 2	案 3-1	案 3-2	案 3-3	案 3-4
		感知区画 19 のグレーチング面上部に煙感知器（スポット型）を設置	ポーラクレール付近で人が寄り付き、感知器の設置及び保守点検が可能な CV 壁面に煙感知器（スポット型）を設置	CV トップドーム部に煙感知器（スポット型）を設置	CV トップドーム部の火災を必要な期間、感知できるように煙感知器（スポット型）を仮設	CV トップドーム部に空気吸引式の煙感知器を設置
火災規模	E. L. <input type="text"/> 程度	E. L. <input type="text"/> 程度	E. L. <input type="text"/> 程度	E. L. <input type="text"/> 程度	E. L. <input type="text"/> 程度	E. L. <input type="text"/> 程度
小 ^{※1}	○	○	○	○	○	○
中	○	○	○	○	○	○
大	○	○	○	○	○	○

※1：案1～案3のいずれにおいても、火災規模「小」の感知は原子炉格納容器内オペレーティングフロア下層（感知区画 19）の煙感知器に期待しており、感知性能及び網羅性に差異はない。

検討の結果、上記の案において、いずれの場所に煙感知器を設置しても、感知性能及び網羅性に問題はないと評価できる。

b. 煙感知器の設置に係る比較検討

案 1、案 2 及び案 3 のいずれの場所に煙感知器を設置しても、感知性能及び網羅性に問題がないことを確認したため、次にそれぞれの案について、感知器設置の成立性、

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

保守点検（定期点検及び定期取替）の成立性、偶発的な故障の対応及び耐震性の確保の観点他考慮事項を踏まえ、総合的評価を行い、その結果を第3-2-5表に示す。

第3-2-5表 煙感知器の設置に係る比較検討結果

凡例 ○：成立性に問題なし、×：成立性に問題あり

設置場所及び最大設置高さ		案1	案2	案3-1	案3-2	案3-3	案3-4
		感知区画19のグレーチング面上部に煙感知器（スポット型）を設置	ポーラクレール付近で人が寄り付き、感知器の設置及び保守点検が可能なCV壁面に煙感知器（スポット型）を設置	CVトップドーム部に煙感知器（スポット型）を設置	CVトップドーム部の火災を必要な期間、感知できるように煙感知器（スポット型）を仮設	CVトップドーム部に空気吸引式の煙感知器を設置	CVトップドーム部に光電分離式の煙感知器を設置
検討項目		程度	程度	程度	程度	程度	程度
設置の成立性		○	○	○	○	○	○
保守点検の成立性	定期点検※1	○ 直接目視点検可 遠隔試験可	○ 直接目視点検可 遠隔試験可	○ 双眼鏡で点検可 遠隔試験可	○ 外観点検・作動 試験後に仮設	○ 双眼鏡で点検可 現地試験可	○ 双眼鏡で点検可 遠隔試験可
	定期取替※2	○	○	○	○	○	○
偶発的な故障の対応		○	○	○	○	○	○
耐震性の確保		○	○	○	×	○	○
評価		懸念事項なし	労働安全確保の観点から、保守点検作業時に足場設置が必要であり、1週間程度要する	保守点検作業時に足場設置が必要であり、長期間（30日以上）要する	地震時の波及的影響の懸念あり	保守点検作業時に足場設置が必要であり、長期間（30日以上）要する	保守点検作業時に足場設置が必要であり、長期間（30日以上）要する
総合評価		いずれの案でも感知性及び原子炉格納容器バウンダリの健全性に問題がないことから、最も懸念の少ない案1が最適と判断する。					

※1：消防法に基づき、定期的な点検（外観点検、作動試験）が必要である。

※2：感知器は一般産業品のため、劣化による故障を想定し、定期取替の実施が必要である。

原子炉格納容器内オペレーティングフロア上部に設置する煙感知器の定期取替頻度について以下に示す。

日本火災報知機工業会は10年毎の感知器取替を推奨しているが、原子炉格納容器内オペレーティングフロア上部は一般的な環境に比べ10℃以上温度が高いことから、アレニウスの10℃半減則（温度が10℃上がると寿命が半分になるという経験則）を適

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

用し、感知器の熱劣化の影響についても考慮した場合、取替頻度は10年の半分以下となる3～5年程度が妥当と考えている。

上記の検討結果より、案1を煙感知器の最適な設置場所と判断し、感知区画19のグレーチング面上部に煙感知器（スポット型）を設置する設計とする。

案1において期待する煙感知器及び原子炉格納容器の感知器設計概要について、第3・2・12図に示す。また、参考として、案2において期待する煙感知器を第3・2・13図に示す。



第 3・2・12 図 案 1 で期待する煙感知器及び原子炉格納容器の感知器設計概要

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第 3-2-13 図 (参考) 案 2 で期待する煙感知器

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ホ. 設計基準を満足できる理由

原子炉格納容器内のオペレーティングフロアを含む火災区画には、原子炉の安全停止に必要な機器等、放射性物質を貯蔵する機器等及び重大事故等対処施設が設置されているが、原子炉の安全停止に必要な機器等は、原子炉格納容器内において既許可から変更のない離隔距離 **6m** 以上の確保による系統分離が実施されており、また、原子炉格納容器内の動的機器がすべて火災の影響により運転停止し、かつ、原子炉格納容器内の弁の遠隔操作ができなくなることを仮定しても、運転員の操作により原子炉の安全停止が可能である。放射性物質を貯蔵する機器等は、原子炉格納容器内で火災が発生し、広範囲な火災又は原子炉格納容器内に進入できないと判断した場合には、保安規定に定められた手順に基づき、プラントを停止するとともに原子炉格納容器スプレイ設備を使用した消火を行う運用としていることから、放射性物質が漏えいした場合でも、放射性物質の閉じ込め機能をもつ原子炉格納容器により管理区域外への放射性物質の放出を防止することが可能である。また、重大事故等対処施設は、原子炉の安全停止に必要な機器等と兼用する設備については、既許可から変更のない離隔距離 **6m** 以上の確保による系統分離対策が実施されており、また、原子炉格納容器内の動的機器がすべて火災の影響により運転停止し、かつ、原子炉格納容器内の弁の遠隔操作ができなくなることを仮定しても、運転員の操作により原子炉の安全停止が可能であることを踏まえ、原子炉格納容器内で火災が発生し、広範囲な火災又は格納容器内に進入できないと判断した場合には、保安規定に定められた手順に基づき、プラントを停止するとともに原子炉格納容器スプレイ設備を使用した消火を行う運用としていること、並びに設置許可基準規則第 37 条第 4 項に規定されている運転停止中原子炉内の燃料損傷防止に必要な重大事故等対処設備については、同様の機能を有する設備（計装設備においては他チャンネル又は代替パラメータ）が既許可に準じて各設備間で離隔距離が **6m** 以上確保されているか、又は、1 時間耐火能力を有する隔壁等で分離されており、同一火災区画内において原子炉の安全停止に必要な機器等の系統分離対策に支障を及ぼすことなく、重大事故等の対処に必要な機能が確保できることを確認している。

上記を踏まえ、当該エリアで発生した火災を同一火災区画内に設置する煙感知器でもれなく確実に感知することにより、既工認から設計に変更のない初期消火活動に繋げ、同一火災区画内に火災の影響を限定することで、同一火災区画内及び同一火災区画外に設置されている設計基準対象施設が火災によりその安全性が損なわれないようにすることができ、かつ、重大事故等対処施設が火災によりその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれないようにすることができるため、設計基準②を満足していると評価する。なお、設計基準②を満足するために必須ではないが、発火源となり得る設備の直上にアナログ式の熱感知器を自主設置する設計について

は、オペレーティングフロアで発生する火災をより早期に感知する効果が期待できる。

3-2-4 火災による原子炉格納容器及び消火設備への影響について

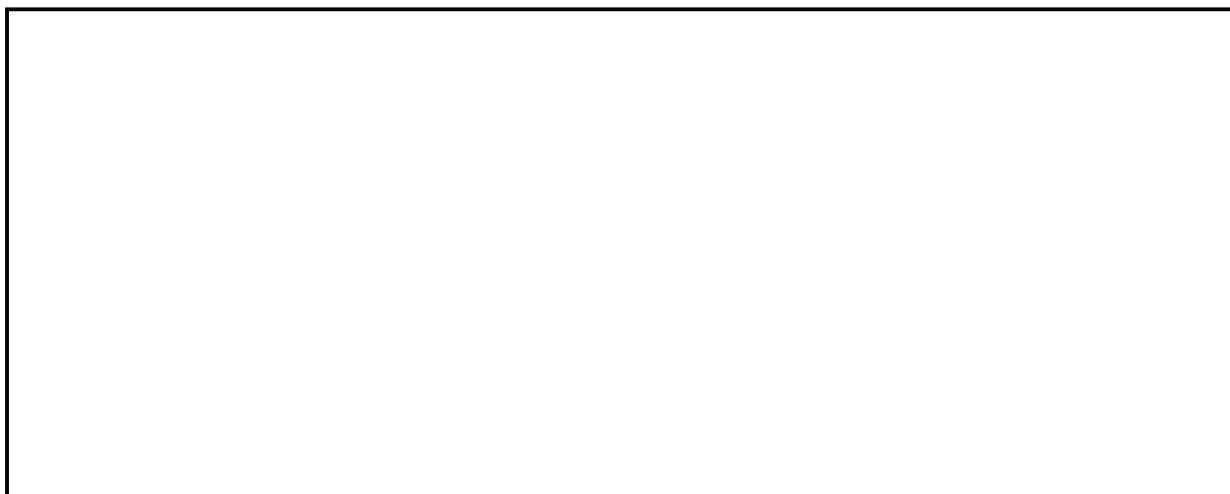
原子炉格納容器内で火災が発生した場合に原子炉格納容器と火災発生時に消火設備として使用する原子炉格納容器スプレイ設備への影響を以下に示す。

(1) 原子炉格納容器スプレイ設備

原子炉格納容器スプレイ設備の系統図を第 3-2-10 図に示す。

原子炉格納容器スプレイ設備を構成する設備のうち、主要な設備である格納容器スプレイポンプ及びモータ、格納容器スプレイ冷却器、よう素除去薬品タンク及び燃料取替用水タンクは格納容器外に設置されている。このことから、3-2-3(3)ロ.で確認したとおり、格納容器内で発生した火災の影響を火災区画内に限定することができおり、格納容器外に設置しているこれらの機器が火災による影響を受けることはない。

原子炉格納容器スプレイ設備を構成する設備のうち、原子炉格納容器内には頂部にスプレイヘッドが設置されているが、金属製のスプレイリング、スプレイノズル及び逆止弁により構成されていることから、火災により発生する煙及び熱の影響は受けることはない。



第 3-2-10 図 系統図（原子炉格納容器スプレイ系統）

以 上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

原子炉格納容器内オペレーティングフロア最上部の煙感知器設置及び 保守点検に係る作業計画について (1 / 5)

1. 作業計画

- 案1 (ポーラークレーン昇降タラップ踊り場付近に煙感知器を設置)、案2 (ポーラークレーンガンター上部付近に煙感知器を設置)、及び案3 (格納容器ドームトップ付近に煙感知器を設置) の感知器設置は、電線管等も含めてポーラークレーン昇降タラップ及び格納容器壁面へ、案3については更に格納容器ドームトップへ設置することから、いずれの場合も足場が必要となる。
- 感知器取替時は、案1の場合は足場設置が不要であるが、案2・案3の場合は安全を確保する観点と感知器にアクセスするための足場設置が不可欠と判断し、足場設置を前提とした作業計画を検討した。
- 案1、案2、案3の作業手順の概要及び作業日数を次ページ表に示す。

原子炉格納容器内オペレーティングフロア最上部の煙感知器設置及び保守点検に係る作業計画について (2/5)

(参考)

2

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

作業内容	手順 案 1 ポーラークレーン昇降タラップ踊り場付近 (EL50.0m)	手順 案 2 ポーラークレーンガーター上部付近 (EL62.0m)	手順 案 3 格納容器ドームトップ付近 (EL81.2m)
煙感知器の設置	足場組立 (21m) サポート溶接 電線管布設 感知器取付 試験調整 足場解体 (作業日数 30日間)	足場組立 (29m) サポート溶接 電線管布設 感知器取付 試験調整 足場解体 (作業日数 50日間)	足場組立 (49m) サポート溶接 電線管布設 感知器取付 試験調整 足場解体 (作業日数 65日間)
煙感知器の保守点検 (定期取替・故障時対応)	足場設置は不要 (感知器取替は専用治具により実施可) (作業日数 1日間)	足場組立 (5m) 感知器取替 足場解体 (作業日数 18日間)	足場組立 (25m) 感知器取替 足場解体 (作業日数 30日間)

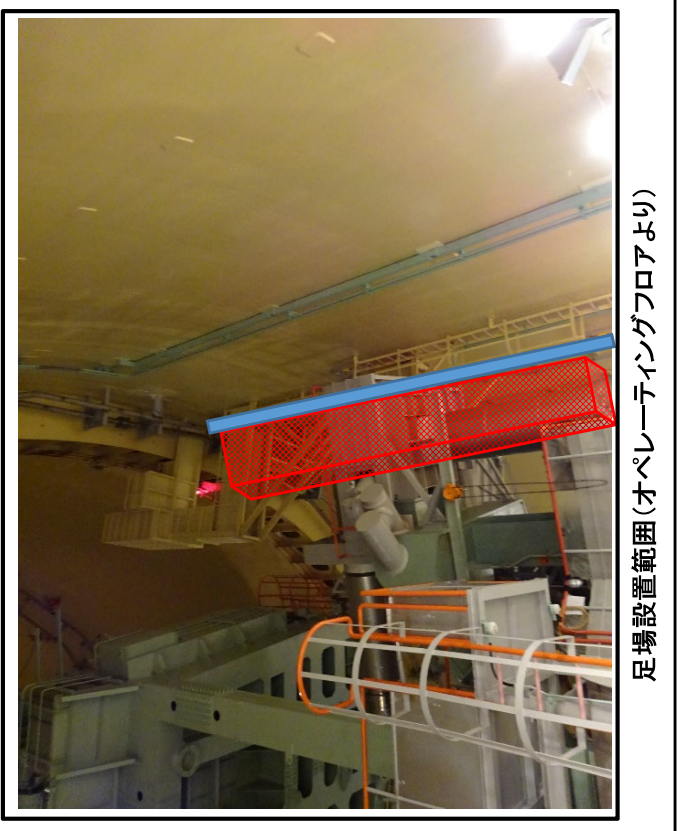
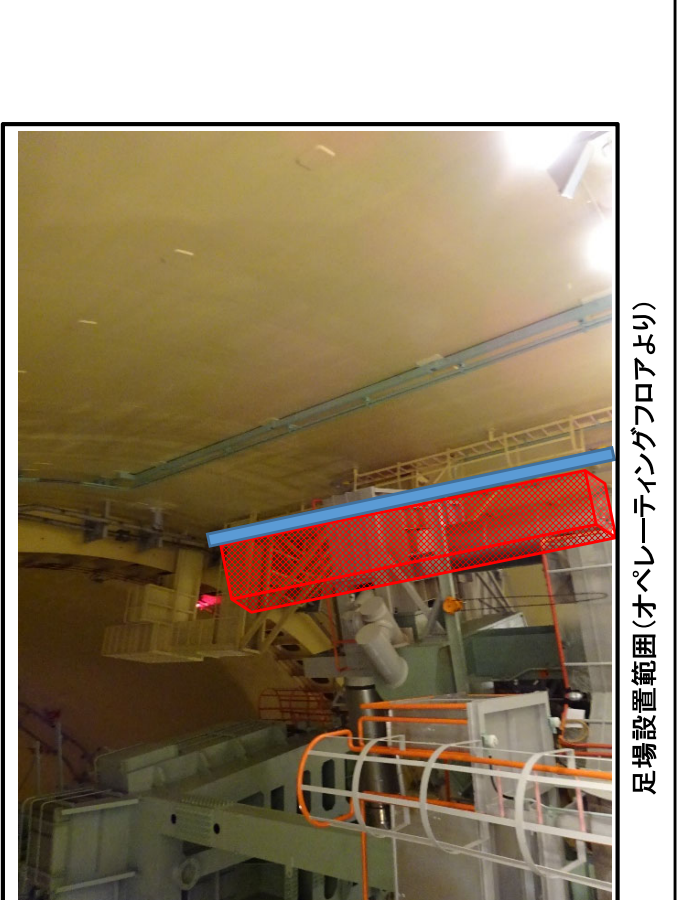
※1：消防法に基づく定期的な点検（外観点検、作動試験）については、案1、案2、案3のいずれにおいても直接目視又は双眼鏡による点検及び遠隔試験機能を用いた作動試験にて対応可能であり、足場の設置は不要。ただし、感知器は一般産業品であり、劣化を考慮した定期取替及び偶発故障時の取替が必要なため、感知器取替作業について比較検討を実施した。

原子炉格納容器内オペレーティングフロア最上部の煙感知器設置及び 保守点検に係る作業計画について (3/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 作業手順 (詳細)

(1) 煙感知器の設置時

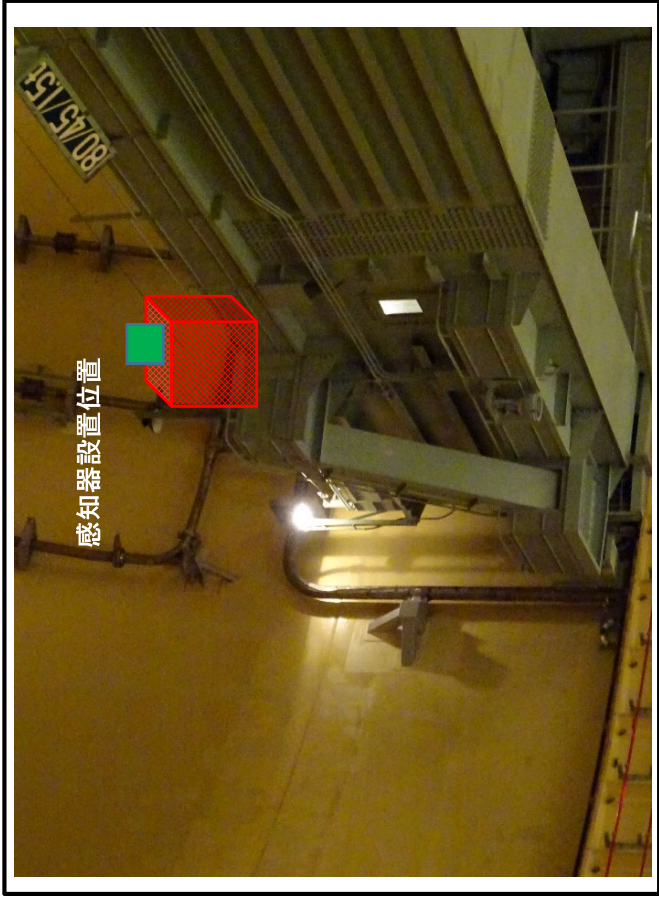
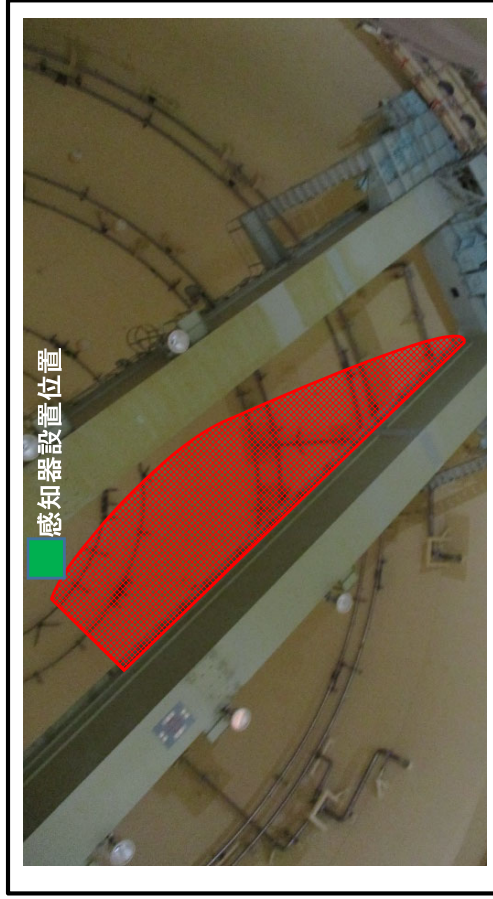
<p>【案1、案2、案3 共通内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ポークレーン昇降タラップに沿うように足場を設置 (EL32.8m)オペレーティングフロアより約21m) 足場を使用しポークレーン昇降タラップの背かご部に電線管を敷設 足場設置、作業範囲を赤色、電線管敷設イメージを青色で示す。 	<p>【案1 (EL50.0m)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 電線管、サポート、ケーブルを敷設し、煙感知器を設置 足場設置、作業範囲を赤色、感知器設置位置を緑色で示す。
 <p>足場設置範囲 (オペレーティングフロアより)</p>	 <p>感知器設置位置</p> <p>ポークレーン点検用架台付近 (オペレーティングフロアより)</p>

原子炉格納容器内オペレーティングフロア最上部の煙感知器設置及び 保守点検に係る作業計画について (4/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 作業手順 (詳細)

(1) 煙感知器の設置時

<p>【案2 [EL62.0m]】</p> <ul style="list-style-type: none"> ポークレーンガンターに足場を設置※ (ガンターより約5m) 壁面にサポート溶接、電線管・ケーブルを敷設し、煙感知器を設置 <p>足場設置、作業範囲を赤色、感知器設置位置を緑色で示す。</p>	<p>【案3 [EL81.2m]】</p> <ul style="list-style-type: none"> ポークレーンガンターに足場を設置※ (ガンターより約25m) 壁面にサポート溶接、電線管・ケーブルを敷設し、煙感知器を設置 足場設置、作業範囲を赤色、感知器設置位置を緑色で示す。
 <p>感知器設置位置</p> <p>ポークレーンガンター上部</p>	 <p>感知器設置位置</p> <p>C/Vトップ及びポークレーン(オペレーティングフロアより)</p>

※：案2、案3において、作業用の恒設架台をクレーンの旋回に干渉しない高さまで設置することはできるが、その上部については都度足場の設置が必要となり、作業時の安全性向上、作業日数の短縮にほとんど寄与しないことから、感知器取替作業の都度クレーン床から足場を設置する方法を採用する。

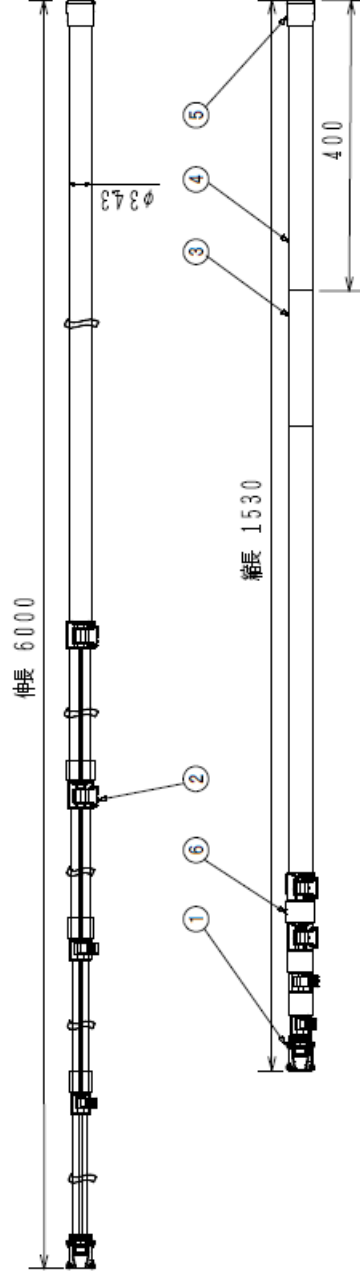
原子炉格納容器内オペレーティングフロア最上部の煙感知器設置及び 保守点検に係る作業計画について（5 / 5）

参考

【参考】

保守点検時に使用する専用治具（支持棒）の構造、使用イメージを示す。

- (1) 名称：支持棒
- (2) 材質：アルミニウム
- (3) 重量：約1.6kg
- (4) 特徴：1.53m～6 mの範囲で伸縮し、支持棒の先端に感知器取替用の着脱器
又は各種感知器作動試験器を用途に応じて付替え可能



①接続金具、②ロックレバー、③注意シール、④支持棒本体、⑤石突きゴム、⑥ゴム

構造図

使用イメージ



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

COMPARTMENT WITH THERMALLY THICK/THIN BOUNDARIES

The following calculations estimate the hot gas layer temperature and smoke layer height in enclosure fire.

Parameters in YELLOW CELLS are Entered by the User.

Parameters in GREEN CELLS are Automatically Selected from the DROP DOWN MENU for the Material Selected.

All subsequent output values are calculated by the spreadsheet and based on values specified in the input parameters. This spreadsheet is protected and secure to avoid errors due to a wrong entry in a cell(s). The chapter in the NUREG should be read before an analysis is made.

Project / Inspection Title:

高浜3号機CV内 電気盤1面火災(垂直キャビネット:HRR211kW)

INPUT PARAMETERS

COMPARTMENT INFORMATION

Compartment Width (w_c)	35.40	m
Compartment Length (l_c)	35.40	m
Compartment Height (h_c)	40.00	m
Vent Width (w_v)	0.60	m
Vent Height (h_v)	2.00	m
Top of Vent from Floor (V_T)	2.00	m
Interior Lining Thickness (δ)	15.00	cm

AMBIENT CONDITIONS

Ambient Air Temperature (T_a)	40.00	°C
Specific Heat of Air (c_a)	1.00	kJ/kg-K
Ambient Air Density (ρ_a)	1.13	kg/m ³

Note: Ambient Air Density (ρ_a) will automatically correct with Ambient Air Temperature (T_a) Input

THERMAL PROPERTIES OF COMPARTMENT ENCLOSING SURFACES FOR

Interior Lining Thermal Inertia ($k\rho c$)	2.9	(kW/m ² -K) ² -sec
Interior Lining Thermal Conductivity (k)	0.0016	kW/m-K
Interior Lining Specific Heat (c_p)	0.75	kJ/kg-K
Interior Lining Density (ρ)	2400	kg/m ³



**CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION**

Version 1805.1
(SI Units)

THERMAL PROPERTIES FOR COMMON INTERIOR LINING MATERIALS

Material	kpc (kW/m ² -K) ² -sec	k (kW/m-K)	c (kJ/kg-K)	ρ (kg/m ³)	Select Material
					Concrete
Aluminum (pure)	500	0.206	0.895	2710	Scroll to desired material Click the selection
Steel (0.5% Carbon)	197	0.054	0.465	7850	
Concrete	2.9	0.0016	0.75	2400	
Brick	1.7	0.0008	0.8	2600	
Glass, Plate	1.6	0.00076	0.8	2710	
Brick/Concrete Block	1.2	0.00073	0.84	1900	
Gypsum Board	0.18	0.00017	1.1	960	
Plywood	0.16	0.00012	2.5	540	
Fiber Insulation Board	0.16	0.00053	1.25	240	
Chipboard	0.15	0.00015	1.25	800	
Aerated Concrete	0.12	0.00026	0.96	500	
Plasterboard	0.12	0.00016	0.84	950	
Calcium Silicate Board	0.098	0.00013	1.12	700	
Alumina Silicate Block	0.036	0.00014	1	260	
Glass Fiber Insulation	0.0018	0.000037	0.8	60	
Expanded Polystyrene	0.001	0.000034	1.5	20	
User Specified Value	Enter Value	Enter Value	Enter Value	Enter Value	

Reference: Klote, J., J. Milke, Principles of Smoke Management, 2002, Page 270.

FIRE SPECIFICATIONS

Fire Heat Release Rate (Q)

211.00 kW

Calculate



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

METHOD OF McCAFFREY, QUINTIERE, AND HARKLEROAD (MQH)

Reference: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, 2002, Page 3-175.

$$\Delta T_g = 6.85 [Q^2 / ((A_v(h_v)^{1/2}) (A_T h_k))]^{1/3}$$

Where,

$\Delta T_g = T_g - T_a$ = upper layer gas temperature rise above ambient (K)

Q = heat release rate of the fire (kW)

A_v = area of ventilation opening (m^2)

h_v = height of ventilation opening (m)

h_k = convective heat transfer coefficient (kW/m^2-K)

A_T = total area of the compartment enclosing surface

boundaries excluding area of vent openings (m^2)

Area of Ventilation Opening Calculation

$$A_v = (w_v) (h_v)$$

Where,

A_v = area of ventilation
opening (m^2)

w_v = vent width (m)

h_v = vent height (m)

$$A_v = \quad \quad \quad 1.20 \quad \quad \quad m^2$$

Thermal Penetration Time Calculation

$$t_p = (\rho c_p / k) (\delta / 2)^2$$

Where,

t_p = thermal penetration time (sec)

ρ = interior lining density (kg/m^3)

c_p = interior lining specific heat ($kJ/kg-K$)

k = interior lining thermal conductivity ($kW/m-K$)

δ = interior lining thickness (m)

$$t_p = \quad \quad \quad 6328.13 \quad \quad \quad sec$$



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

Heat Transfer Coefficient Calculation

$$h_k = \sqrt{(k\rho c/t)} \text{ for } t < t_p \quad \text{or} \quad (k/\delta) \text{ for } t > t_p$$

Where,

h_k = heat transfer

coefficient (kW/m²-K)

$k\rho c$ = interior construction thermal inertia (kW/m²-K)²-sec
(a thermal property of material responsible for the rate of
temperature rise)

t = time after ignition
(sec)

See table below for results (column 3)

Area of Compartment Enclosing Surface Boundaries

$$A_T = [2(w_c \times l_c) + 2(h_c \times w_c) + 2(h_c \times l_c)] - A_v$$

Where,

A_T = total area of the compartment enclosing surface boundaries excluding area of vent openings (m²)

w_c = compartment width (m)

l_c = compartment length (m)

h_c = compartment height (m)

A_v = area of ventilation opening (m²)

$$A_T = \quad \quad \quad \mathbf{8169.12} \quad \quad \quad \mathbf{m^2}$$



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

COMPARTMENT HOT GAS LAYER TEMPERATURE WITH NATURAL

$$\Delta T_g = 6.85 [Q^2 / ((A_v(h_v)^{1/2}) (A_T h_k))]^{1/3}$$

$$\Delta T_g = T_g - T_a$$

$$T_g = \Delta T_g + T_a$$

Results	Time After Ignition (t)		h _k (kW/m ² -K)	ΔT _g (°K)	T _g (°K)	T _g (°C)	T _g (°F)
	(min)	(sec)					
	0	0.00	-	-	313.00	40.00	104.00
	1	60	0.22	16.74	329.74	56.74	134.14
	2	120	0.16	18.80	331.80	58.80	137.83
	3	180	0.13	20.11	333.11	60.11	140.20
	4	240	0.11	21.10	334.10	61.10	141.97
	5	300	0.10	21.90	334.90	61.90	143.41
	10	600	0.07	24.58	337.58	64.58	148.24
	15	900	0.06	26.30	339.30	66.30	151.33
	20	1200	0.05	27.59	340.59	67.59	153.66
	25	1500	0.04	28.63	341.63	68.63	155.54
	30	1800	0.04	29.52	342.52	69.52	157.13
	35	2100	0.04	30.28	343.28	70.28	158.51
	40	2400	0.03	30.97	343.97	70.97	159.74
	45	2700	0.03	31.58	344.58	71.58	160.84
	50	3000	0.03	32.14	345.14	72.14	161.85
	55	3300	0.03	32.65	345.65	72.65	162.78
	60	3600	0.03	33.13	346.13	73.13	163.64



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

ESTIMATING SMOKE LAYER HEIGHT METHOD OF YAMANA AND TANAKA

$$z = ((2kQ^{1/3}t/(3A_c)) + (1/h_c^{2/3}))^{-3/2}$$

Where,

z = smoke layer height (m)

Q = heat release rate of the fire (kW)

t = time after ignition (sec)

h_c = compartment height (m)

A_c = compartment floor area (m²)

k = k = a constant given by $k = 0.076/\rho_g$

ρ_g = hot gas layer density (kg/m³)

ρ_g is given by $\rho_g = 353/T_g$

T_g = hot gas layer temperature (K)

Compartment Area Calculation

$$A_c = (w_c) (l_c)$$

Where,

A_c = compartment floor
area (m²)

w_c = compartment width
(m)

l_c = compartment length
(m)

$$A_c = \quad \quad \quad 1253.16 \quad \quad m^2$$

Hot Gas Layer Density Calculation

$$\rho_g = 353/T_g$$

Calculation for Constant k

$$k = 0.076/\rho_g$$



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

SMOKE GAS LAYER HEIGHT WITH NATURAL VENTILATION

$$z = [(2kQ^{1/3}t/(3A_c)] + (1/h_c^{2/3})^{-3/2}$$

Results Caution! The smoke layer height is a conservative estimate and is only intended to provide an indication where the hot gas layer is located. Calculated smoke layer height below the vent height are not creditable since the calculation is not accounting for the smoke exiting the vent.

Time (min)	ρ_g (kg/m ³)	Constant (k) (kW/m-K)	Smoke Layer Height z (m)	Smoke Layer Height z (ft)
0	1.13	0.067	40.00	131.23
1	1.07	0.071	32.11	105.34
2	1.06	0.071	26.45	86.78
3	1.06	0.072	22.26	73.02
4	1.06	0.072	19.05	62.52
5	1.05	0.072	16.55	54.29
10	1.05	0.073	9.46	31.03
15	1.04	0.073	6.28	20.61
20	1.04	0.073	4.55	14.93
25	1.03	0.074	3.49	11.44
30	1.03	0.074	2.78	9.12
35	1.03	0.074	2.28	7.48
40	1.03	0.074	2.00	6.56
45	1.02	0.074	2.00	6.56
50	1.02	0.074	2.00	6.56
55	1.02	0.074	2.00	6.56
60	1.02	0.075	2.00	6.56

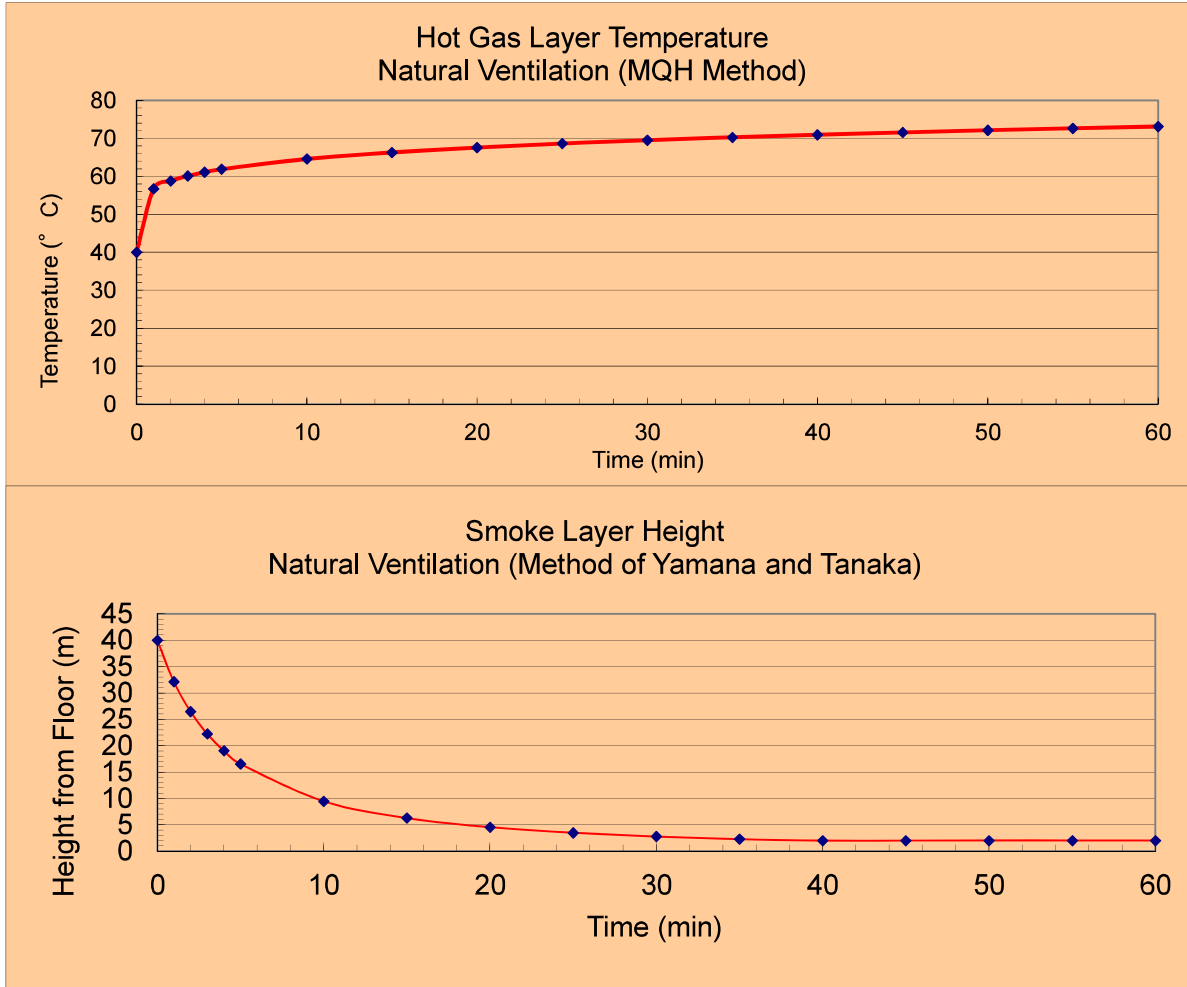
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT



**CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION**

**Version 1805.1
(SI Units)**

**Summary of
Results**



NOTE:
The above calculations are based on principles developed in the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, 2002. Calculations are based on certain assumptions and have inherent limitations. The results of such calculations may or may not have reasonable predictive capabilities for a given situation and should only be interpreted by an informed user. Although each calculation in the spreadsheet has been verified with the results of hand calculation, there is no absolute guarantee of the accuracy of these calculations. Any questions, comments, concerns, and suggestions, or to report an error(s) in the spreadsheet, please send an email to David.Stroup@nrc.gov or Naeem.Iqbal@nrc.gov.

Prepared by: Date: Organization:

Checked by: Date: Organization:

Additional Information:



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION

COMPARTMENT WITH THERMALLY THICK/THIN BOUNDARIES

The following calculations estimate the hot gas layer temperature and smoke layer height in enclosure fire.

Parameters in YELLOW CELLS are Entered by the User.

Parameters in GREEN CELLS are Automatically Selected from the DROP DOWN MENU for the Material Selected.

All subsequent output values are calculated by the spreadsheet and based on values specified in the input parameters. This spreadsheet is protected and secure to avoid errors due to a wrong entry in a cell(s). The chapter in the NUREG should be read before an analysis is made.

Project / Inspection
Title:

高浜3号機CV内 モータ1台火災 (モータ:HRR69kW)

INPUT PARAMETERS

COMPARTMENT INFORMATION

Compartment Width (w_c)	35.40	m
Compartment Length (l_c)	35.40	m
Compartment Height (h_c)	40.00	m
Vent Width (w_v)	0.60	m
Vent Height (h_v)	2.00	m
Top of Vent from Floor (V_T)	2.00	m
Interior Lining Thickness (δ)	15.00	cm

AMBIENT CONDITIONS

Ambient Air Temperature (T_a)	40.00	°C
Specific Heat of Air (c_a)	1.00	kJ/kg-K
Ambient Air Density (ρ_a)	1.13	kg/m ³

Note: Ambient Air Density (ρ_a) will automatically correct with Ambient Air Temperature (T_a) Input

THERMAL PROPERTIES OF COMPARTMENT ENCLOSING SURFACES FOR

Interior Lining Thermal Inertia ($k\rho c$)	2.9	(kW/m ² -K) ² -sec
Interior Lining Thermal Conductivity (k)	0.0016	kW/m-K
Interior Lining Specific Heat (c_p)	0.75	kJ/kg-K
Interior Lining Density (ρ)	2400	kg/m ³



**CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION**

Version 1805.1
(SI Units)

THERMAL PROPERTIES FOR COMMON INTERIOR LINING MATERIALS

Material	kpc (kW/m ² -K) ² -sec	k (kW/m-K)	c (kJ/kg-K)	ρ (kg/m ³)	Select Material
					Concrete
Aluminum (pure)	500	0.206	0.895	2710	Scroll to desired material Click the selection
Steel (0.5% Carbon)	197	0.054	0.465	7850	
Concrete	2.9	0.0016	0.75	2400	
Brick	1.7	0.0008	0.8	2600	
Glass, Plate	1.6	0.00076	0.8	2710	
Brick/Concrete Block	1.2	0.00073	0.84	1900	
Gypsum Board	0.18	0.00017	1.1	960	
Plywood	0.16	0.00012	2.5	540	
Fiber Insulation Board	0.16	0.00053	1.25	240	
Chipboard	0.15	0.00015	1.25	800	
Aerated Concrete	0.12	0.00026	0.96	500	
Plasterboard	0.12	0.00016	0.84	950	
Calcium Silicate Board	0.098	0.00013	1.12	700	
Alumina Silicate Block	0.036	0.00014	1	260	
Glass Fiber Insulation	0.0018	0.000037	0.8	60	
Expanded Polystyrene	0.001	0.000034	1.5	20	
User Specified Value	Enter Value	Enter Value	Enter Value	Enter Value	

Reference: Klote, J., J. Milke, Principles of Smoke Management, 2002, Page 270.

FIRE SPECIFICATIONS

Fire Heat Release Rate (Q)

69.00 kW

Calculate



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

METHOD OF McCAFFREY, QUINTIERE, AND HARKLEROAD (MQH)

Reference: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, 2002, Page 3-175.

$$\Delta T_g = 6.85 [Q^2 / ((A_v (h_v)^{1/2}) (A_T h_k))]^{1/3}$$

Where,

ΔT_g = $T_g - T_a$ = upper layer gas temperature rise above ambient (K)

Q = heat release rate of the fire (kW)

A_v = area of ventilation opening (m^2)

h_v = height of ventilation opening (m)

h_k = convective heat transfer coefficient (kW/m^2-K)

A_T = total area of the compartment enclosing surface

boundaries excluding area of vent openings (m^2)

Area of Ventilation Opening Calculation

$$A_v = (w_v) (h_v)$$

Where,

A_v = area of ventilation
opening (m^2)

w_v = vent width (m)

h_v = vent height (m)

$$A_v = \quad \quad \quad 1.20 \quad \quad \quad m^2$$

Thermal Penetration Time Calculation

$$t_p = (\rho c_p / k) (\delta / 2)^2$$

Where,

t_p = thermal penetration time (sec)

ρ = interior lining density (kg/m^3)

c_p = interior lining specific heat ($kJ/kg-K$)

k = interior lining thermal conductivity ($kW/m-K$)

δ = interior lining thickness (m)

$$t_p = \quad \quad \quad 6328.13 \quad \quad \quad sec$$



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

Heat Transfer Coefficient Calculation

$$h_k = \sqrt{(k\rho c/t)} \text{ for } t < t_p \quad \text{or} \quad (k/\delta) \text{ for } t > t_p$$

Where,

h_k = heat transfer

coefficient (kW/m²-K)

$k\rho c$ = interior construction thermal inertia (kW/m²-K)²-sec
(a thermal property of material responsible for the rate of
temperature rise)

t = time after ignition
(sec)

See table below for results (column 3)

Area of Compartment Enclosing Surface Boundaries

$$A_T = [2(w_c \times l_c) + 2(h_c \times w_c) + 2(h_c \times l_c)] - A_v$$

Where,

A_T = total area of the compartment enclosing surface boundaries excluding area of vent openings (m²)

w_c = compartment width (m)

l_c = compartment length (m)

h_c = compartment height (m)

A_v = area of ventilation opening (m²)

$$A_T = \quad 8169.12 \quad m^2$$



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

COMPARTMENT HOT GAS LAYER TEMPERATURE WITH NATURAL

$$\Delta T_g = 6.85 [Q^2 / ((A_v(h_v)^{1/2}) (A_T h_k))]^{1/3}$$

$$\Delta T_g = T_g - T_a$$

$$T_g = \Delta T_g + T_a$$

Results	Time After Ignition (t)		h_k (kW/m ² -K)	ΔT_g (°K)	T_g (°K)	T_g (°C)	T_g (°F)
	(min)	(sec)					
	0	0.00	-	-	313.00	40.00	104.00
	1	60	0.22	7.95	320.95	47.95	118.31
	2	120	0.16	8.92	321.92	48.92	120.06
	3	180	0.13	9.55	322.55	49.55	121.18
	4	240	0.11	10.01	323.01	50.01	122.02
	5	300	0.10	10.39	323.39	50.39	122.71
	10	600	0.07	11.67	324.67	51.67	125.00
	15	900	0.06	12.48	325.48	52.48	126.47
	20	1200	0.05	13.09	326.09	53.09	127.57
	25	1500	0.04	13.59	326.59	53.59	128.46
	30	1800	0.04	14.01	327.01	54.01	129.22
	35	2100	0.04	14.37	327.37	54.37	129.87
	40	2400	0.03	14.70	327.70	54.70	130.46
	45	2700	0.03	14.99	327.99	54.99	130.98
	50	3000	0.03	15.26	328.26	55.26	131.46
	55	3300	0.03	15.50	328.50	55.50	131.90
	60	3600	0.03	15.73	328.73	55.73	132.31



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

ESTIMATING SMOKE LAYER HEIGHT METHOD OF YAMANA AND TANAKA

$$z = ((2kQ^{1/3}t/(3A_c)) + (1/h_c^{2/3}))^{-3/2}$$

Where,

z = smoke layer height (m)

Q = heat release rate of the fire (kW)

t = time after ignition (sec)

h_c = compartment height (m)

A_c = compartment floor area (m²)

k = k = a constant given by $k = 0.076/\rho_g$

ρ_g = hot gas layer density (kg/m³)

ρ_g is given by $\rho_g = 353/T_g$

T_g = hot gas layer temperature (K)

Compartment Area Calculation

$$A_c = (w_c) (l_c)$$

Where,

A_c = compartment floor
area (m²)

w_c = compartment width
(m)

l_c = compartment length
(m)

$$A_c = \quad \quad \quad 1253.16 \quad \quad m^2$$

Hot Gas Layer Density Calculation

$$\rho_g = 353/T_g$$

Calculation for Constant k

$$k = 0.076/\rho_g$$



CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION

Version 1805.1
(SI Units)

SMOKE GAS LAYER HEIGHT WITH NATURAL VENTILATION

$$z = [(2kQ^{1/3}t/(3A_c)] + (1/h_c^{2/3})^{-3/2}$$

Results Caution! The smoke layer height is a conservative estimate and is only intended to provide an indication where the hot gas layer is located. Calculated smoke layer height below the vent height are not creditable since the calculation is not accounting for the smoke exiting the vent.

Time (min)	ρ_g (kg/m ³)	Constant (k) (kW/m-K)	Smoke Layer Height z (m)	Smoke Layer Height z (ft)
0	1.13	0.067	40.00	131.23
1	1.10	0.069	34.40	112.86
2	1.10	0.069	29.97	98.32
3	1.09	0.069	26.41	86.63
4	1.09	0.070	23.49	77.07
5	1.09	0.070	21.07	69.14
10	1.09	0.070	13.43	44.05
15	1.08	0.070	9.49	31.13
20	1.08	0.070	7.15	23.47
25	1.08	0.070	5.64	18.50
30	1.08	0.070	4.59	15.06
35	1.08	0.070	3.83	12.57
40	1.08	0.071	3.26	10.69
45	1.08	0.071	2.82	9.24
50	1.08	0.071	2.46	8.08
55	1.07	0.071	2.18	7.15
60	1.07	0.071	2.00	6.56

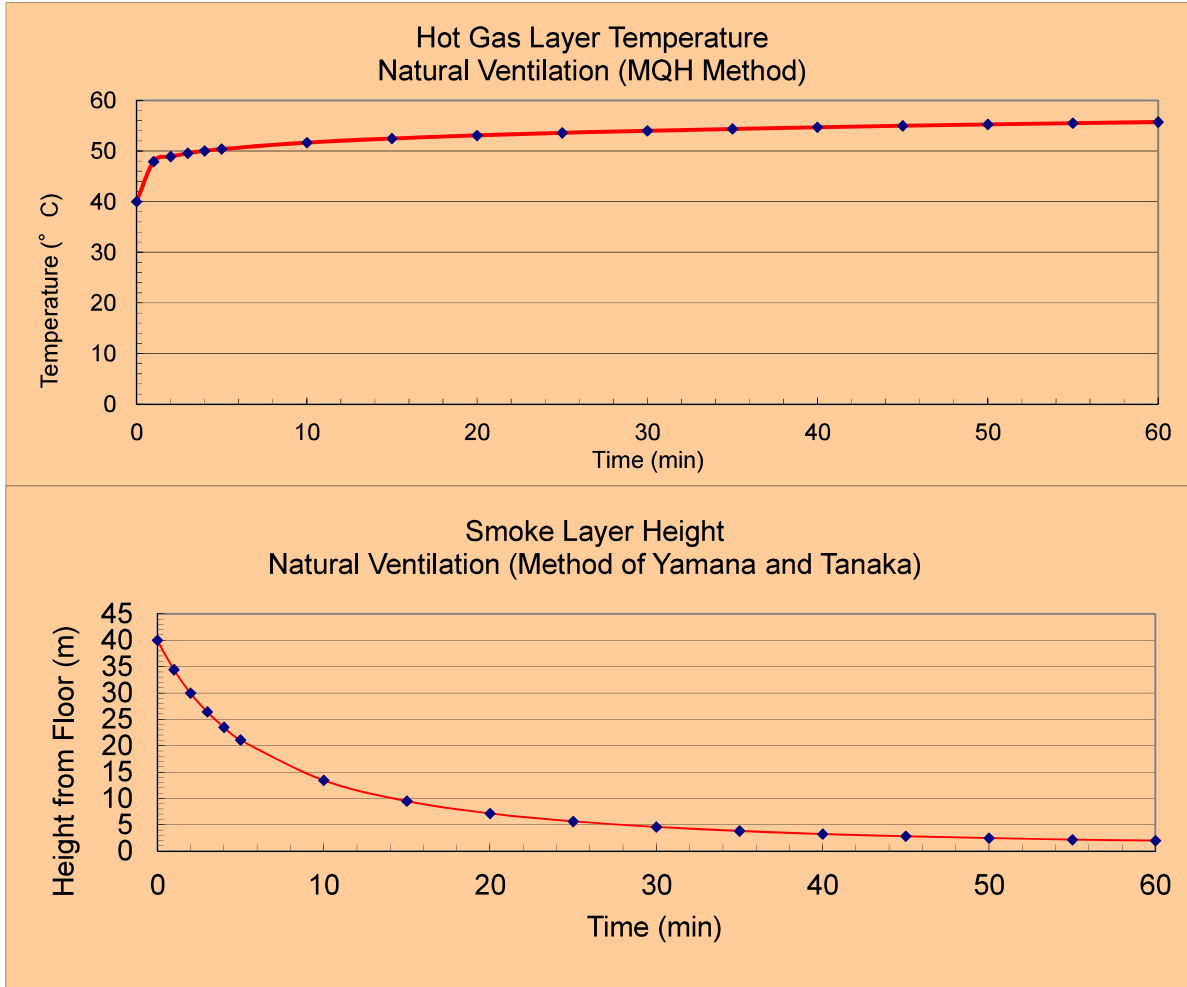
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT



**CHAPTER 2. PREDICTING HOT GAS LAYER TEMPERATURE
AND SMOKE LAYER HEIGHT IN A ROOM FIRE
WITH NATURAL VENTILATION**

**Version 1805.1
(SI Units)**

**Summary of
Results**



NOTE:
The above calculations are based on principles developed in the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, 2002. Calculations are based on certain assumptions and have inherent limitations. The results of such calculations may or may not have reasonable predictive capabilities for a given situation and should only be interpreted by an informed user. Although each calculation in the spreadsheet has been verified with the results of hand calculation, there is no absolute guarantee of the accuracy of these calculations. Any questions, comments, concerns, and suggestions, or to report an error(s) in the spreadsheet, please send an email to David.Stroup@nrc.gov or Naeem.Iqbal@nrc.gov.

Prepared by: Date: Organization:

Checked by: Date: Organization:

Additional Information:

原子炉格納容器内に設置される設置許可基準規則第 37 条第 4 項に規定されている運転停止中原子炉内の燃料損傷の防止に必要な重大事故等対処設備について

原子炉格納容器内に設置される設置許可基準規則第 37 条第 4 項に規定されている運転停止中原子炉内の燃料損傷防止に必要な重大事故等対処設備について、常設設備においては、既許可に準じて、設備が複数あり各設備間の離隔距離が 6m 以上確保されているか、1 時間耐火能力をもつ隔壁等で分離されていること（以下「理屈①」という。）、又は、計装設備においては、他チャンネル又は代替パラメータとの設備間の離隔距離が 6m 以上確保されているか、1 時間耐火能力を有する隔壁等で分離されていること（以下「理屈②」という。）により、同一火災区画内において原子炉の安全停止に必要な機器等の系統分離対策に支障を及ぼすことなく、重大事故等の対処に必要な機能が確保できることを確認した。

以下にその確認内容及び配置図を示す。

原子炉停止時における重大事故等の対応に必要な設備（設置許可添付十より）

□ : C V内設備のうちD B設備として系統分離対策が実施されている。 □ : C V内設備のうちD B設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.1.1 表 「崩壊熱除去機能喪失（余熱除去系の故障による停止時冷却機能喪失）」における

重大事故等対策について(1/3)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
a. 余熱除去機能喪失の判断	<ul style="list-style-type: none"> 余熱除去ポンプトリップ等による運転不能又は余熱除去クローラによる冷却不能を確認した場合、余熱除去機能喪失と判断し、余熱除去機能の回復操作を実施する。 	-	-	余熱除去クローラ出口流量 1 次冷却材高温側温度 (広域) 1 次冷却材低温側温度 (広域)
b. 原子炉格納容器からの回避指示及び格納容器エアロロックの閉止	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器内にいる作業員に対してエバケーションアラーム又はペーシング装置により回避の指示を行う。 作業員が所定の退避場所へ退避したことを確認すれば、格納容器エアロロックを閉止する。 	-	-	-
c. 余熱除去機能回復操作	<ul style="list-style-type: none"> 余熱除去機能が喪失した原因を究明するとともに、他の対応処置と並行して、余熱除去機能の回復操作を継続する。 	【余熱除去ポンプ】	-	-
d. 原子炉格納容器隔離操作	<ul style="list-style-type: none"> 放射性物質を原子炉格納容器内に閉じ込めるため、原子炉格納容器隔離を行う。 	-	-	-
e. 充てん／高圧注入ポンプによる炉心注水	<ul style="list-style-type: none"> 炉心水位を回復させるため、燃料取替用水タンクを水源とした充てん／高圧注入ポンプによる炉心注水が期待できるときは、優先して実施する。 空冷式非常用発電装置及び恒設代替低圧注水ポンプの準備を行う。 	【充てん／高圧注入ポンプ】 【燃料取替用水タンク】 【ディーゼル発電機】 【燃料油貯油そう】	-	加圧器水位 1 次冷却材高温側温度 (広域) 1 次冷却材低温側温度 (広域) 燃料取替用水タンク水位 1 次冷却材圧力

理屈②
他チャンネル

理屈②
代替パラメータ
理屈②
他チャンネル

【 】 は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

□ の設備に対して、重大事故等の対処に必要な機能が損なわれない理屈を以下にとおり分類する。

理屈①：常設設備において、既許可に準じて、設備が複数あり各設備間の離隔距離が6m以上確保されているか、1時間耐火能力をもつ隔壁等で分離されていることを踏まえ、同時に機能喪失することはないといえる。

理屈②：計装設備において、他チャンネル又は代替パラメータとの設備間の離隔距離が6m以上確保されているか、1時間耐火能力をもつ隔壁等で分離されていることを踏まえ、同時に機能喪失することはないといえる。

：C V内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。：C V内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.1.1 表 「崩壊熱除去機能喪失（余熱除去系の故障による停止時冷却機能喪失）」における
重大事故等対策について(2/3)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設備	可搬設備	計装設備
f. 燃料取替用水タンクによる炉心注水	<ul style="list-style-type: none"> 炉心水位を回復させるため、燃料取替用水タンク水の原子炉への重力注水が期待できる場合は、優先して実施する。 	-	-	-
g. 炉心注水及び1次冷却系保有水確保操作	<ul style="list-style-type: none"> 炉心水位を回復させるため、原子炉格納容器からの退避完了及び格納容器エアロククの閉止を確認後、アキムレタータ出口弁を開操作し炉心注水を実施する。以降、炉心水位の低下を継続監視し、2個目のアキムレタータ出口弁を開操作する。 恒設代替低圧注水ポンプの準備ができれば代替炉心注水を開始し、1次冷却系保有水量を維持すると共に、加圧器安全弁（3個取外し中）からの蒸散により炉心崩壊熱を除去する。 	アキムレタータ出口弁 燃料取替用水タンク 恒設代替低圧注水ポンプ 空冷式非常用発電装置 デイゼル発電機 燃料油貯油そう	タンクローリー 理屈①	加圧器水位 1次冷却材圧力 1次冷却材高温側温度（広域） 1次冷却材低温側温度（広域） 燃料取替用水タンク水位 恒設代替低圧注水ポンプ出口流量積算
h. アニュラス循環排気系及び中央制御室非常用循環系の起動	<ul style="list-style-type: none"> 格納容器圧力計指示が上昇し21.1kPa[gage]になれば、アニュラス部の水素滞留防止及び被ばく低減対策としてアニュラス循環排気ファンを起動する。 中央制御室の作業環境確保のため、中央制御室非常用循環系を起動する。 	アニュラス循環排気ファン アニュラス循環排気ファンユニット 制御建屋送気ファン 制御建屋循環ファン 制御建屋循環ファン 中央制御室非常用循環ファン 中央制御室非常用循環ファンユニット デイゼル発電機 燃料油貯油そう	-	格納容器圧力

理屈②
代替パラメータ

理屈②
他チャネル

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.1.1 表 「崩壊熱除去機能喪失（余熱除去系の故障による停止時冷却機能喪失）」における
重大事故等対策について(3/3)

		重大事故等対処設備			
判断及び操作	手順	常設設備	可搬設備	計装設備	
i. 代替再循環運転による1次冷却系の冷却	<p>長期対策として、燃料取替用水タンクを水源とした恒設代替低圧注水ポンプによる代替炉心注水を継続して実施する。</p> <p>・余熱除去機能が回復しない状態で、燃料取替用水タンクB広域水位指示が26.9%到達及び格納容器サンプB広域水位指示が59%以上となれば、格納容器サンプBからC、D内部スプレポンプを経てB内部スプレクラで冷却した水をB余熱除去系統及びB格納容器スプレイ系統に整備している連絡ライオンより炉心注水する代替再循環運転に切り替えることと、継続的な炉心冷却を行う。</p>	<p>恒設代替低圧注水ポンプ</p> <p>燃料取替用水タンク</p> <p>空冷式非常用発電機</p> <p>ディーゼル発電機</p> <p>燃料油貯油そう</p> <p>C、D内部スプレポンプ</p> <p>B内部スプレクラ</p> <p>格納容器サンプB</p> <p>格納容器再循環サンプ</p> <p>スクリーン</p> <p>代替再循環配管</p>	<p>タンクローリー</p>	<p>余熱除去クラ出口流量</p> <p>格納容器サンプB広域水位</p> <p>格納容器サンプB狭域水位</p> <p>1次冷却材低温側温度(広域)</p> <p>1次冷却材高温側温度(広域)</p> <p>1次冷却材圧力</p> <p>加圧器水位</p> <p>燃料取替用水タンク水位</p> <p>恒設代替低圧注水ポンプ出口流量積算</p>	<p>理屈② 代替パラメータ</p> <p>理屈② 他チャネル</p> <p>理屈② 代替パラメータ</p>
j. 格納容器内自然対流冷却	<p>長期対策として、A格納容器循環冷却房ユニオンへ原子炉冷却水を通水し、格納容器内自然対流冷却を行うことと、原子炉格納容器内の除熱を継続的に実施する。</p> <p>・原子炉格納容器雰囲気の状態に応じてA、B内部スプレポンプにより、格納容器スプレイ再循環運転を継続的に行う。</p>	<p>A格納容器循環冷却房</p> <p>ユニオン</p> <p>1次系冷却水ポンプ</p> <p>1次系冷却水クラ</p> <p>1次系冷却水タンク</p> <p>海水ポンプ</p> <p>ディーゼル発電機</p> <p>燃料油貯油そう</p> <p>A、B内部スプレポンプ</p> <p>A内部スプレクラ</p> <p>格納容器サンプB</p> <p>格納容器再循環サンプ</p> <p>スクリーン</p>	<p>窒素ポンベ(1次系冷却水タンク追加)</p> <p>理屈①</p>	<p>格納容器内温度</p> <p>格納容器圧力</p> <p>格納容器広域圧力</p> <p>可搬型温度計測装置(格納容器循環冷却房ユニオン入口温度/出口温度(SA)用)</p> <p>1次系冷却水タンク加圧ライン圧力</p> <p>格納容器サンプB広域水位</p> <p>格納容器サンプB狭域水位</p>	<p>理屈② 代替パラメータ</p> <p>理屈② 代替パラメータ</p>

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.2.1 表 「全交流動力電源喪失」における重大事故等対策について(1/4)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
a. 全交流動力電源喪失の判断	<ul style="list-style-type: none"> 外部電源が喪失しディーゼル発電機が起動失敗することにより、すべての非常用母線及び非常用母線の電圧が「零」を示したことを確認し、全交流動力電源喪失の判断を行う。 	-	-	-
b. 早期の電源回復不能判断及び対応	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室からの操作による非常用母線の電源回復不能と判断し、早期の電源回復不能と判断し、空冷式非常用発電装置、恒設代替低圧注水ポンプ、C充てん/高圧注入ポンプ（自己冷却）、アニュラス循環排気系ダンプへの作動空気供給、大容量ポンプによる格納容器内自然対流冷却、中央制御室非常用循環系のダンプ開放並びに送水車の準備を行う。 	空冷式非常用発電装置 燃料油貯油そう 蓄電池（安全防護系用）	タンクローリー	-
c. 余熱除去機能喪失の判断	<ul style="list-style-type: none"> 余熱除去クローラ出口流量等のパラメータにより余熱除去機能喪失を判断する。 	-	-	余熱除去クローラ出口流量 1 次冷却材高温側温度（広域） 1 次冷却材低温側温度（広域）
d. 原子炉格納容器からの回避指示及び格納容器エアロックの閉止	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器内にいる作業員に対してエバケージョンアラーム又はペーキング装置により回避の指示を行う。 作業員が所定の退避場所へ退避したことを確認すれば、格納容器エアロックを閉止する。 	-	-	-
e. 燃料取替用水タンクによる炉心注水	<ul style="list-style-type: none"> 炉心水位を回復させるため、燃料取替用水タンク水の原子炉への重力注水が期待できる場合は、優先して実施する。 	-	-	-

理屈②
他手キャンセル

【 】は有効性評価し期待しない重大事故等対処設備

：C V内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

：C V内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.2.1 表 「全交流動力電源喪失」における重大事故等対策について(2/4)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
f. 原子炉格納容器隔離操作	<ul style="list-style-type: none"> 放射線物質を原子炉格納容器内に閉じ込めるため、電源回復後、原子炉格納容器隔離を行う。 	—	—	—
g. 炉心注水及び1次冷却系保有水確保操作	<ul style="list-style-type: none"> 炉心水位を回復させるため、原子炉格納容器からの退避完了及び格納容器エアロククの閉止を確認後、アキムレータ出口弁を開操作し炉心注水を実施する。以降、炉心水位の低下を継続監視し、2基目のアキムレータ出口弁を開操作する。 恒設代替低圧注水ポンプの準備ができれば代替炉心注水を開始し、1次冷却系保有水量を維持すると共に、加圧器安全弁(3個取外し中)からの蒸散により崩壊熱を除去する。 恒設代替低圧注水ポンプによる代替炉心注水が行えない場合、C充てん/高圧注入ポンプ(自己冷却)による代替炉心注水を行う。 	アキムレータ アキムレータ出口弁 恒設代替低圧注水ポンプ 燃料取替用水タンク 空冷式非常用発電装置 燃料油貯油そう 【C充てん/高圧注入ポンプ(自己冷却)】	タンクローリー 理屈①	加圧器水位 1次冷却材圧力 1次冷却材高温側温度(広域) 1次冷却材低温側温度(広域) 燃料取替用水タンク水位 恒設代替低圧注水ポンプ出口流量積算
h. アニユラス循環排気系及び中央制御室非常用循環系の起動	<ul style="list-style-type: none"> 格納容器圧力計指示が上昇し21.1kPa[gage]となれば、アニユラス部の水素滞留防止及び被ばく低減対策のため、アニユラス循環排気ファンを起動する。 中央制御室の作業環境確保のため、中央制御室非常用循環系を起動する。 	アニユラス循環排気ファン アニユラス循環排気ファンユニット 制御建屋送気ファン 制御建屋循環ファン 中央制御室非常用循環ファン 中央制御室非常用循環ファンユニット	窒素ポンベ(アニユラス排気弁等動作) ユニタリ(動作)	格納容器圧力

理屈②
代替パラメー:

理屈②
他チヤンネル

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

【 】：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

【 】：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.2.1 表 「全交流動力電源喪失」における重大事故等対策について(3/4)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備			
		常設設備	可搬設備	計装設備	
i. 低圧代替再循環による炉心冷却	<ul style="list-style-type: none"> 長期対策として、燃料取替用水タンクを水源とした恒設代替低圧注水ポンプによる代替炉心注水を継続して実施する。 燃料取替用水タンク水位計指示が 26.9%到達、格納容器サンプB広域水位計指示が 59%以上であること及び大容量ポンプによるB余熱除去ポンプへの海水通水ラインによりポンプへ海水が通水されていることを確認し、格納容器サンプBから余熱除去ポンプを経て炉心注水する低圧代替再循環運転に切り替え、炉心冷却を継続する。 	恒設代替低圧注水ポンプ 燃料取替用水タンク 空冷式非常用発電装置 燃料油貯油そう B余熱除去ポンプ（海水冷却） 【B余熱除去クラ） 格納容器サンプB 格納容器再循環サンプスクリーン	大容量ポンプ タンクローリー	余熱除去クラ出口流量 加圧器水位 格納容器サンプB広域水位 格納容器サンプB狭域水位 1次冷却材高温側温度（広域） 1次冷却材低温側温度（広域） 燃料取替用水タンク水位 恒設代替低圧注水ポンプ出口流量積算	理屈② 代替パラメータ 理屈② 代替パラメータ 理屈② 他チャネル
j. 格納容器内自然対流冷却	<ul style="list-style-type: none"> 長期対策として、大容量ポンプを用いたA格納容器循環冷却ユニットの海水通水により、格納容器内自然対流冷却を行うことで、原子炉格納容器内の除熱を継続的に実施する。 	A格納容器循環冷却 暖房ユニット 燃料油貯油そう	大容量ポンプ タンクローリー 理屈①	格納容器内温度 格納容器圧力 格納容器広域圧力 可搬型温度計測装置（格納容器循環冷却暖房ユニット入口温度／出口温度（SA）用）	理屈② 代替パラメータ

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

【 】 CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

【 】 CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.2.1 表 「全交流動力電源喪失」における重大事故等対策について(4/4)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設備	可搬設備	計装設備
k. 原子炉補機冷却系の復旧作業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 召集要員の作業時間や原子炉補機冷却水系統の機能喪失要因を考慮し、予備品海水ポンプモータによる対応を行うこと等で、原子炉補機冷却水系統の復旧を図る。 	-	-	-

【 】 は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

：CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.3.1 表 「原子炉冷却材の流出」における重大事故等対策について(1/3)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
a. 1次冷却系の水位低下による余熱除去機能喪失の判断	<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却材流出により1次冷却系の水位が低下し、余熱除去ポンプの運転に必要な水頭圧が確保できなくなり、余熱除去ポンプがトリップする。余熱除去系2系統の運転不能により、余熱除去機能喪失と判断する。 	-	-	余熱除去クーラ出口流量
b. 余熱除去機能喪失時の対応	<ul style="list-style-type: none"> 余熱除去機能回復操作を実施するとともに、1次冷却材の流出原因調査及び隔離操作を行う。 	【余熱除去ポンプ】	-	-
c. 原子炉格納容器からの回避指示及び格納容器エアロックの閉止	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器内にいる作業員に対してエバケーションアラーム又はペーシング装置により回避の指示を行う。 作業員が所定の回避場所へ回避したことを確認すれば、格納容器エアロックを閉止する。 	-	-	-
d. 原子炉格納容器隔離操作	<ul style="list-style-type: none"> 放射性物質を原子炉格納容器内に閉じ込めるため、原子炉格納容器隔離操作を行う。 	-	-	-

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.3.1 表 「原子炉冷却材の流出」における重大事故等対策について(2/3)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
e. 充てん／高圧注入ポンプによる炉心注水及び1次冷却系保有水確保	<ul style="list-style-type: none"> 充てん／高圧注入ポンプにより燃料取替用水タンクの水を炉心注水し、1次冷却系保有水を維持するとともに、加圧器安全弁(3個取外し中)からの蒸散により崩壊熱を除去する。 	充てん／高圧注入ポンプ 燃料取替用水タンク ディーゼル発電機 燃料油貯油そう	—	加圧器水位 1次冷却材高温側温度(広域) 1次冷却材低温側温度(広域) 燃料取替用水タンク水位 格納容器圧力
f. アニュラス循環排気系及び中央制御室非常用循環系の起動	<ul style="list-style-type: none"> 格納容器圧力計指示が上昇し21.1kPa[gage]になれば、アニュラス部の水素滞留防止及び被ばく低減対策としてアニュラス循環排気ファンを起動する。 中央制御室の作業環境確保のため、中央制御室非常用循環系を起動する。 	アニュラス循環排気ファン アニュラス循環排気ファン フイタルユニット 制御建屋送気ファン 制御建屋循環ファン 中央制御室非常用循環ファン 中央制御室非常用循環ファン デイゼル発電機 燃料油貯油そう	—	

理屈②
代替パラメー
理屈②
他子ヤンネル

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

第 7.4.3.1 表 「原子炉冷却材の流出」における重大事故等対策について(3/3)

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
g. 代替再循環運転による 1 次冷却系の冷却	<ul style="list-style-type: none"> 長期対策として、燃料取替用水タンクを水源とした充てん/高圧注入ポンプによる炉心冷却を継続して実施する。 余熱除去機能が回復しない状態で燃料取替用水タンク水位計指示が 26.9%到達及び格納容器サンプレ領域水位計指示が 59%以上であることとを確保し、格納容器サンプレ領域から C、D 内部スプレッドを B 格納容器サンプレ領域で冷却した水を B 余熱除去系統及び B 格納容器サンプレ領域に整備している連絡ラインより炉心注水する代替再循環運転に切り替えることとで、継続的な炉心冷却を行う。 	充てん/高圧注入ポンプ 燃料取替用水タンク デイゼル発電機 燃料油貯油そう C、D 内部スプレッド B 内部スプレッド 格納容器サンプレ 格納容器再循環サンプレ 代替再循環配管	余熱除去クローラ出口流量 格納容器サンプレ領域水位 格納容器サンプレ領域水位 1 次冷却材低温側温度 (広域) 1 次冷却材高温側温度 (広域) 1 次冷却材圧力 加圧器水位 燃料取替用水タンク水位	理屈② 代替パラメータ 理屈② 他子ヤンネル 理屈② 代替パラメータ 理屈② 代替パラメータ
h. 格納容器内自然対流冷却	<ul style="list-style-type: none"> 長期対策として、A 格納容器循環冷却房ユニットへ原子炉冷却水を通水し、格納容器内自然対流冷却を行うこととで、原子炉格納容器内の除熱を継続的に実施する。 原子炉格納容器雰囲気の状態に応じて A、B 内部スプレッドポンプにより、格納容器サンプレ領域運転を継続的に行う。 	A 格納容器循環冷却房ユニット 1 次冷却水ポンプ 1 次冷却水クローラ 1 次冷却水タンク 海水ポンプ デイゼル発電機 燃料油貯油そう A、B 内部スプレッド A 内部スプレッド	窒素ポンベ (1 次加圧用) 理屈①	格納容器内温度 格納容器圧力 格納容器広域圧力 可搬型温度計測装置 (格納容器循環冷却房ユニット入口温度/出口温度 (S.A) 用) 1 次冷却水タンク加圧ライン圧力

【 】 は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

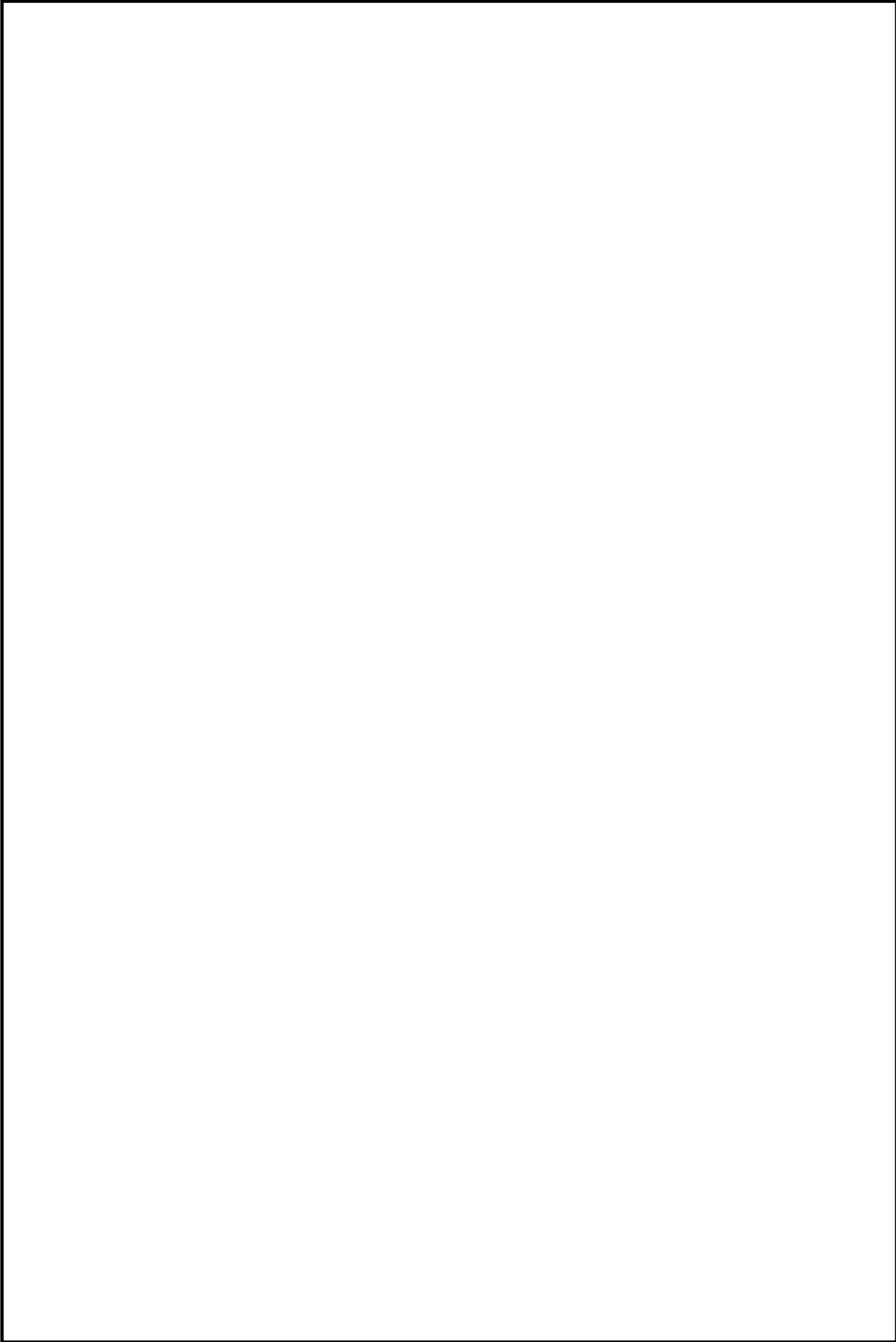
CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されている。

CV内設備のうちDB設備として系統分離対策が実施されていない。

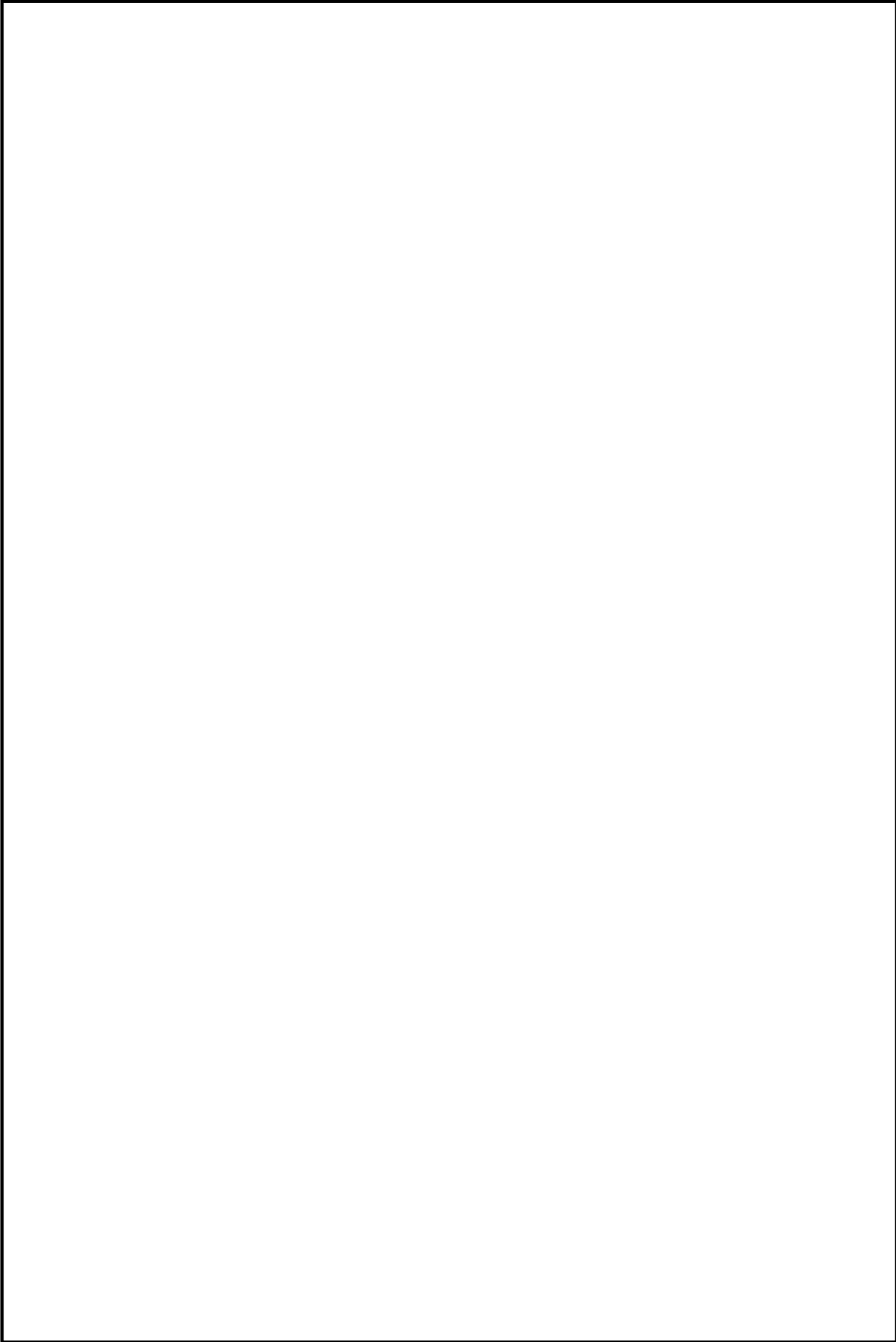
第 7.4.4.1 表 「反応度の誤投入」における重大事故等対策について

判断及び操作	手順	重大事故等対処設備		
		常設設備	可搬設備	計装設備
a. 反応度の誤投入の判断	<ul style="list-style-type: none"> 1次冷却系の希釈現象が発生し、中性子源領域中性子束及び中性子源領域起動率の指示上昇、純水補給流量積算制御器の動作音及び炉外核計装装置可聴計数率計の計数音間隔が短くなることにより、反応度の誤投入を判断する。 停止時中性子束レベルの0.5デカード以上となれば、「中性子源領域炉停止時中性子束高」警報が発信する。 	-	-	中間領域中性子束 中性子源領域中性子束
b. 原子炉格納容器からの 回避指示及び格納容器 エアロロックの閉止	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器内にいる作業員に対してエバケーションアラーム又はベージング装置により回避の指示を行う。 作業員が所定の退避場所へ退避したことを確認すれば、格納容器エアロロックを閉止する。 	-	-	-
c. 希釈停止操作	<ul style="list-style-type: none"> 1次系純水ポンプの停止及び当該系統の弁の閉操作により、純水補給流量積算制御器の動作停止を確認する。 	-	-	-
d. ほう酸濃縮操作	<ul style="list-style-type: none"> ほう酸ポンプ起動及び緊急ほう酸注入弁を開操作し、緊急ほう酸濃縮操作を行い、中性子源領域中性子束及び中性子源領域起動率の指示が低下することを確認する。 	ほう酸タンク ほう酸ポンプ 充てん/高圧注入ポンプ 緊急ほう酸注入弁	-	ほう酸タンク水位 中間領域中性子束 中性子源領域中性子束
e. 未臨界状態の維持確認	<ul style="list-style-type: none"> 中性子源領域中性子束及び中性子源領域起動率の指示、炉外核計装装置可聴計数率計の計数音間隔が事象発生前に戻っていることを確認する。 ほう酸濃度についてもサンプリングにより事象発生前の停止ほう酸濃度以上に戻っていることを確認する。 	-	-	中間領域中性子束 中性子源領域中性子束

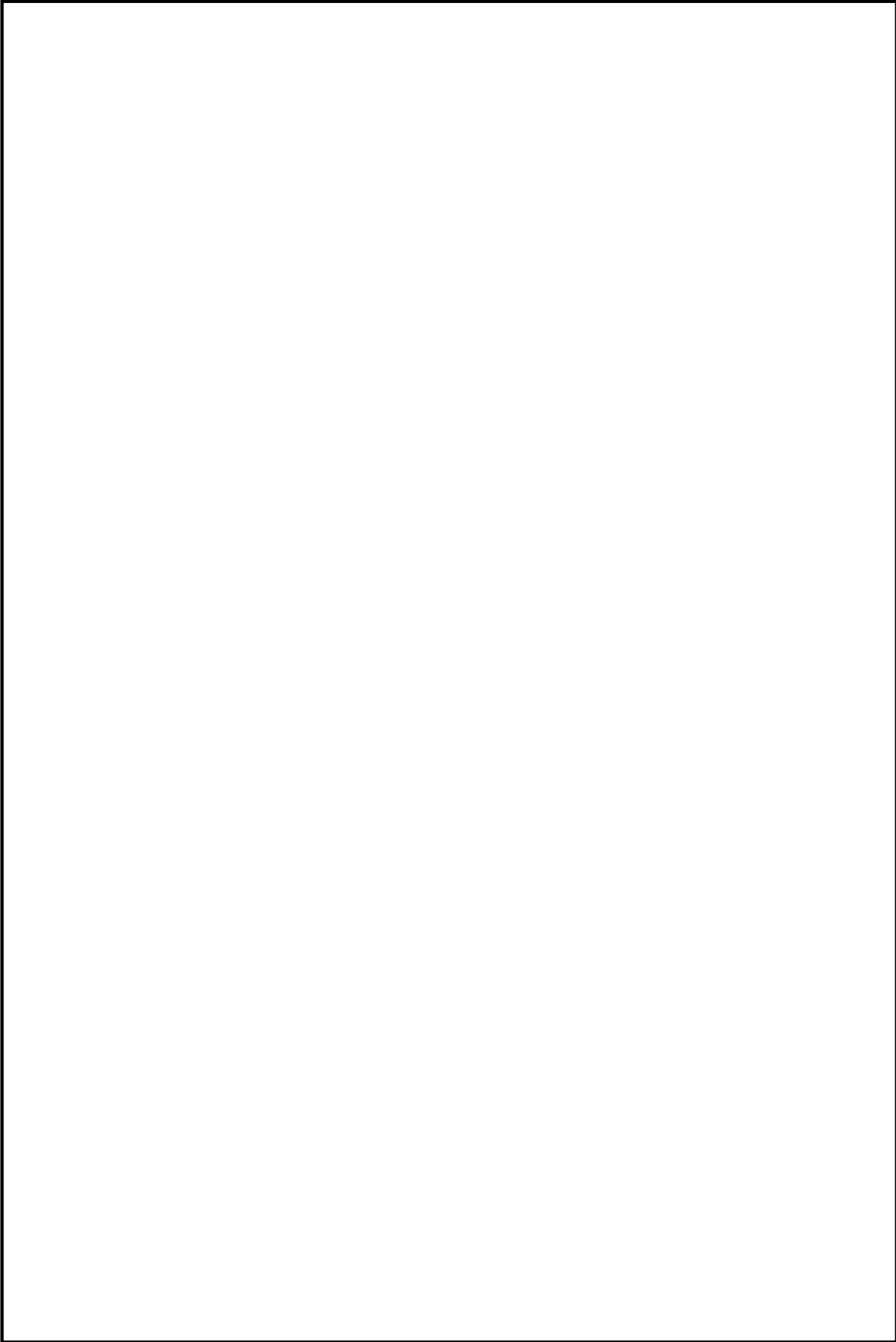
【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備



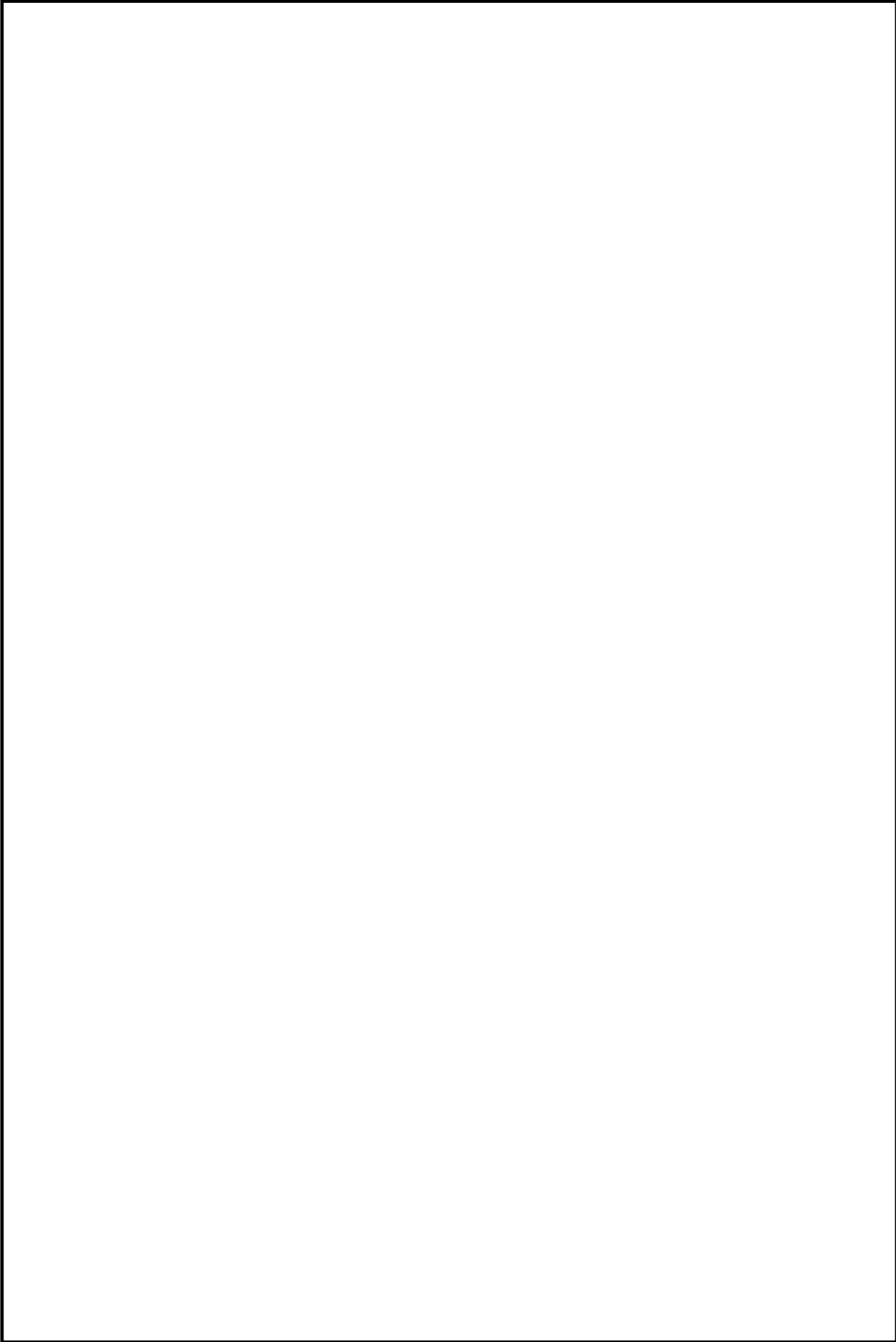
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



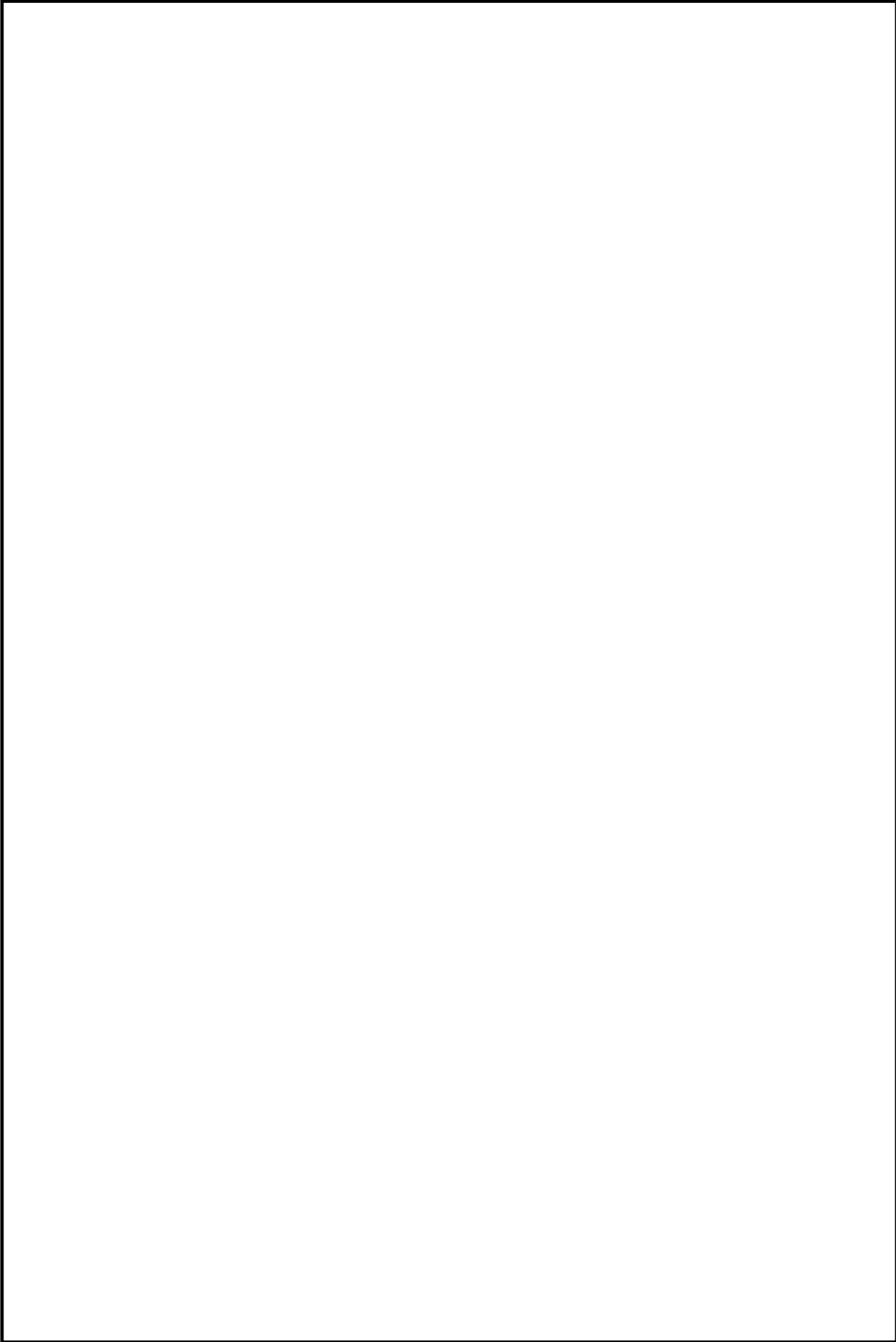
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



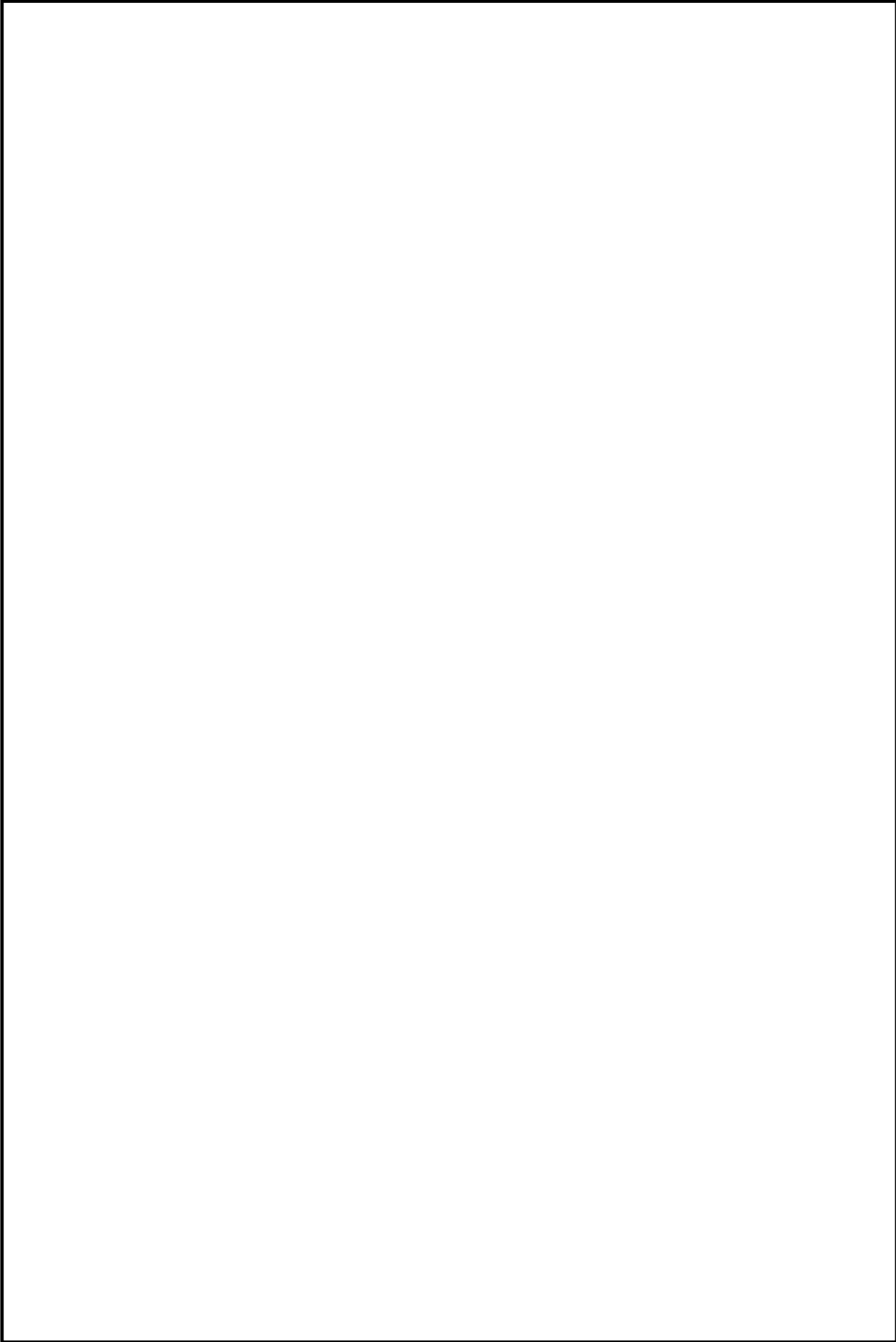
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



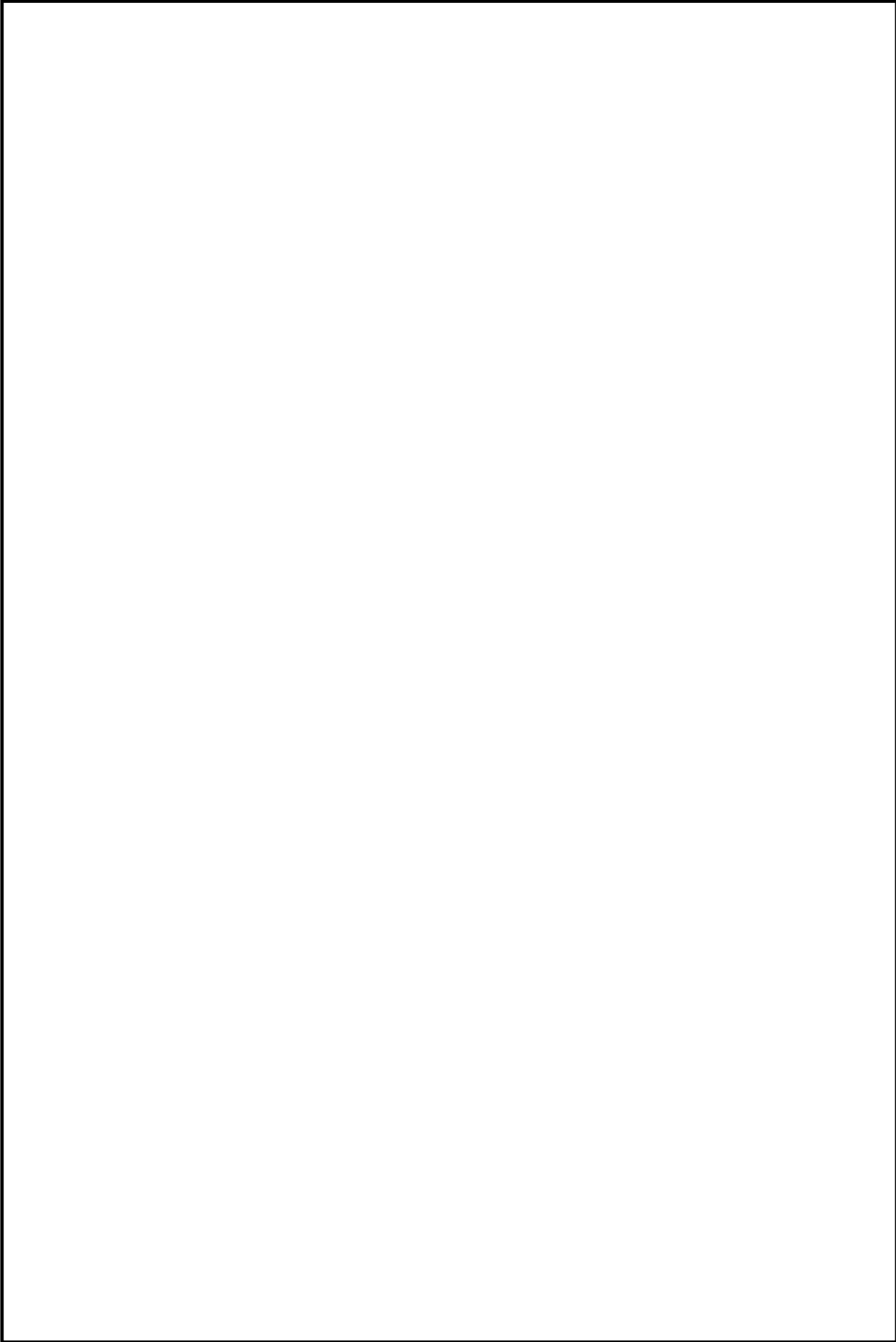
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



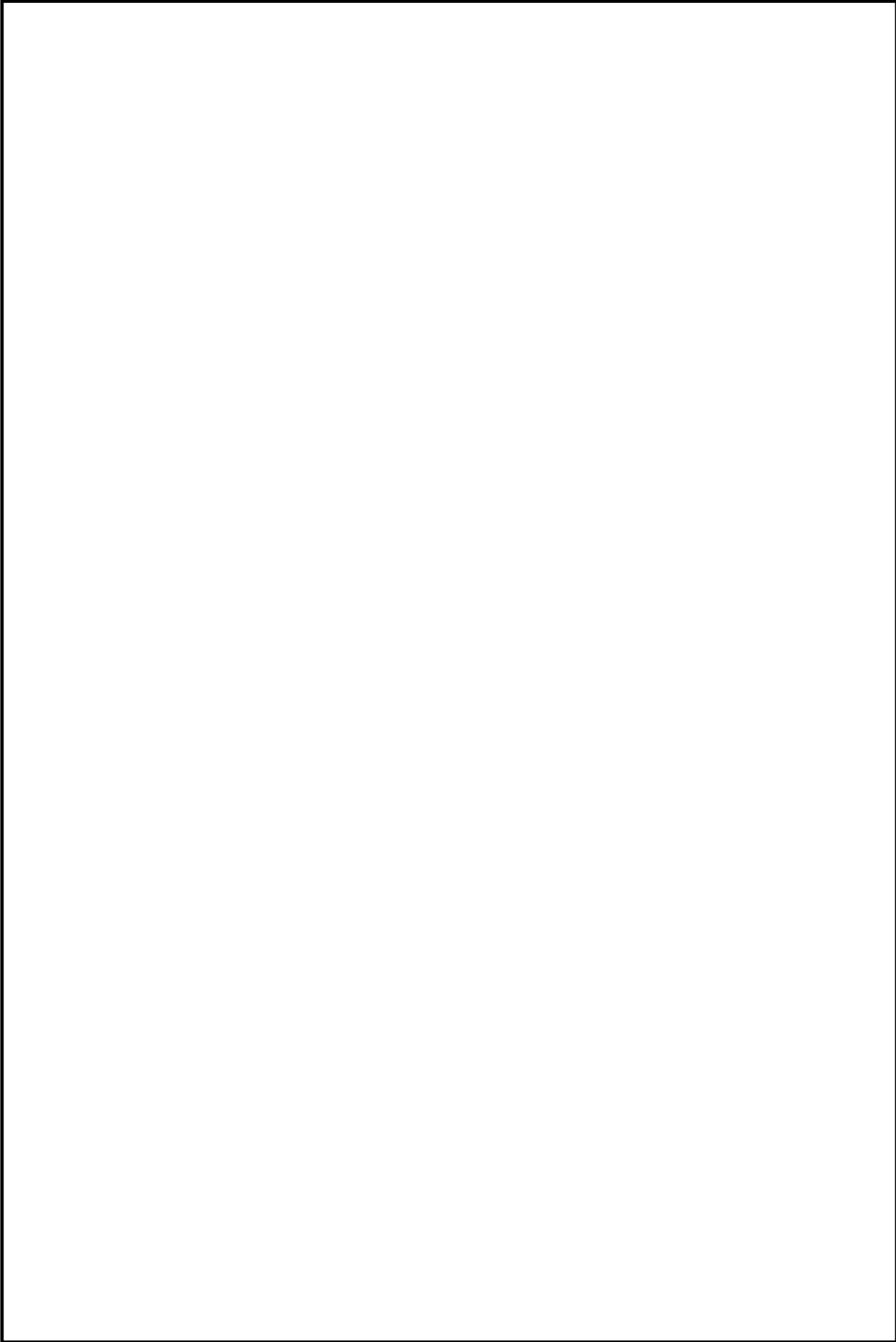
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



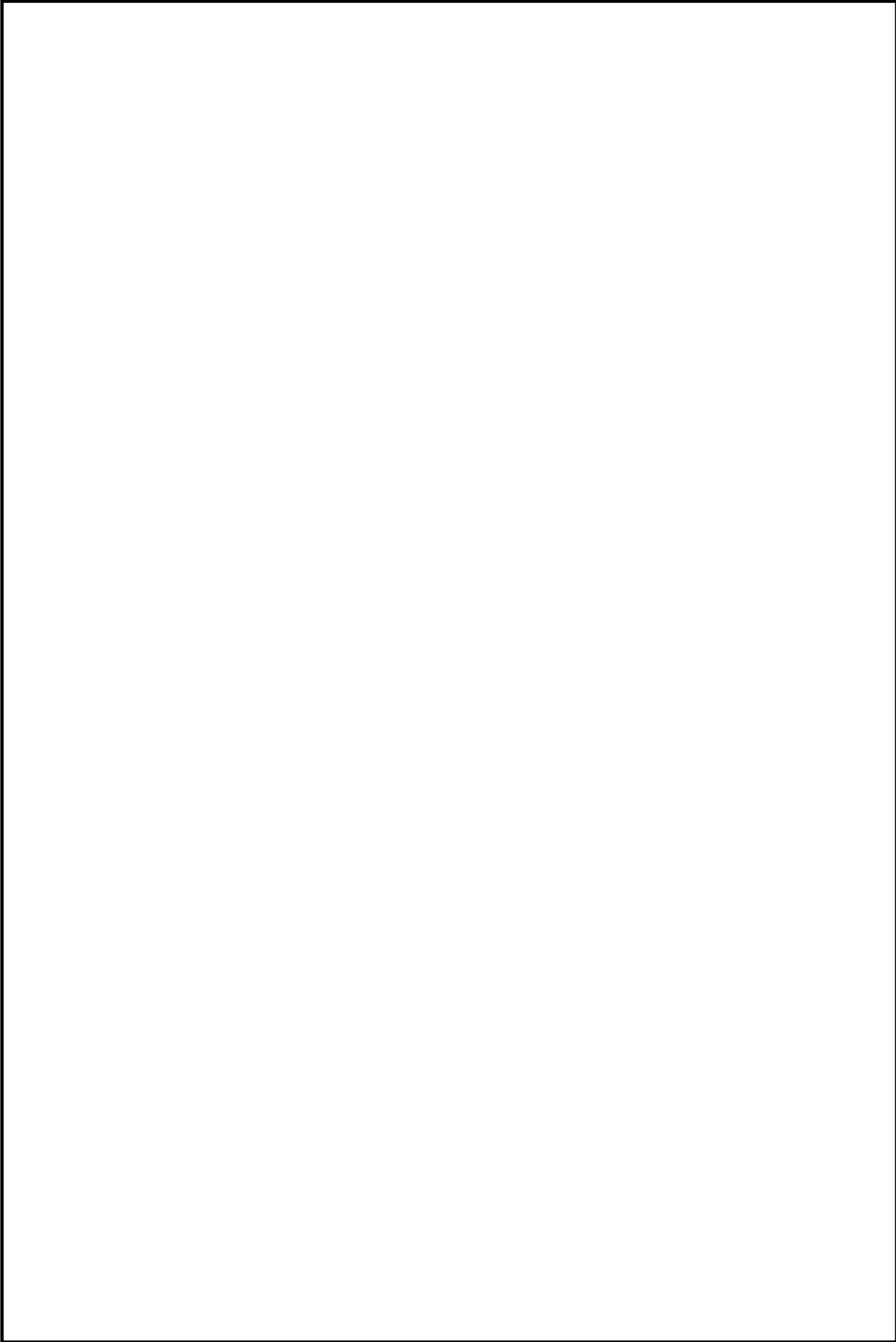
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



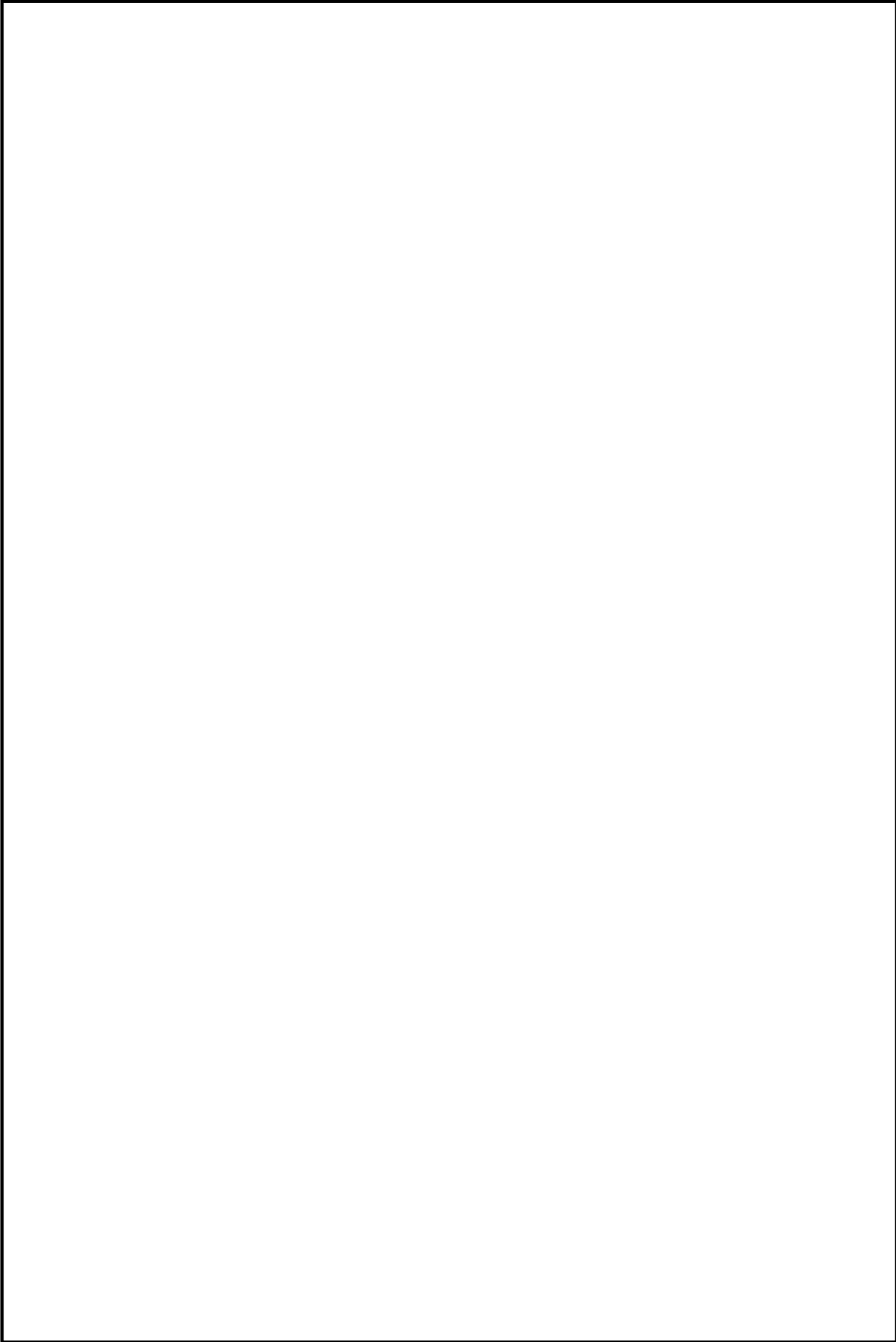
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



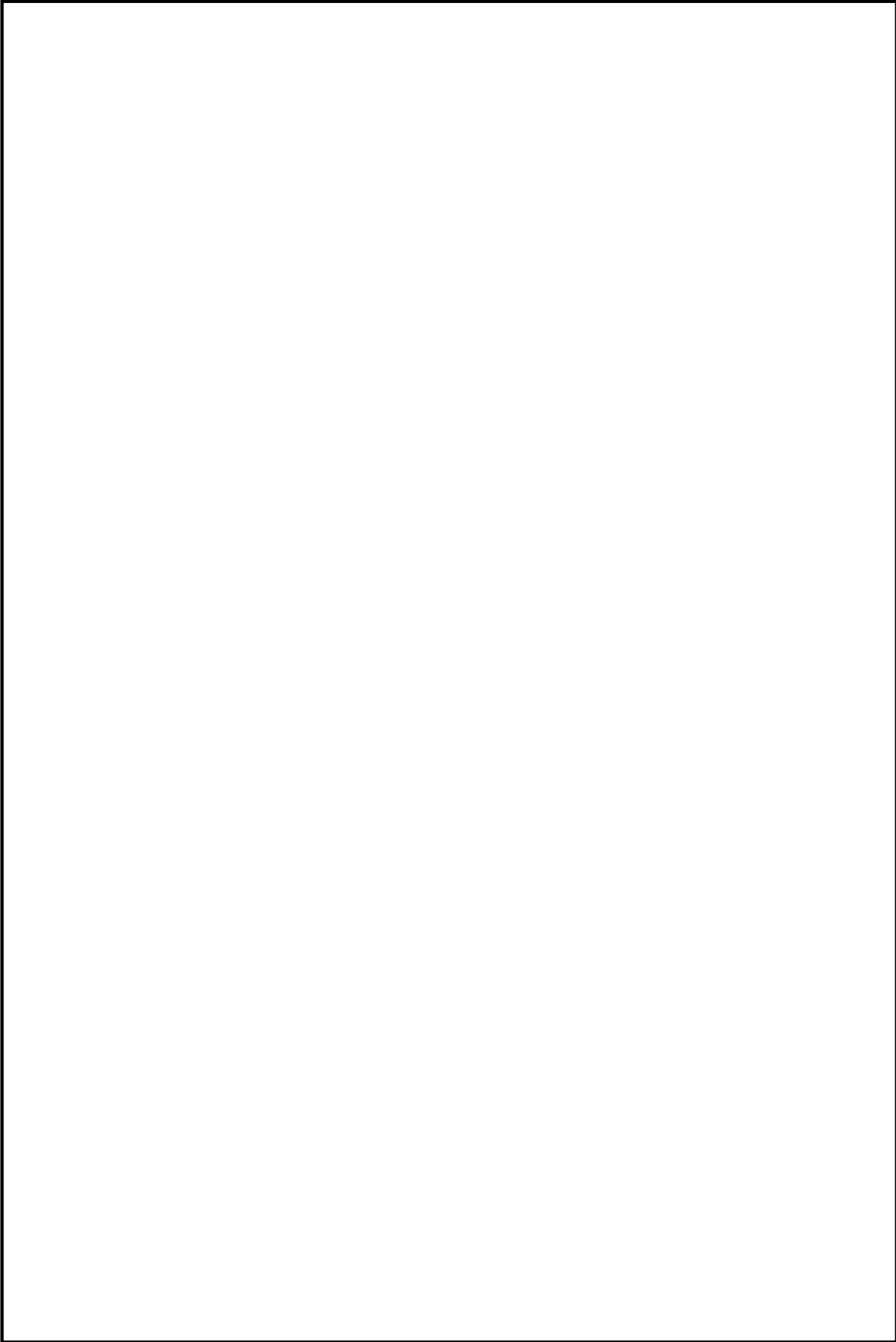
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3-3 燃料油貯油そうエリアの火災感知器設計について

本資料は、燃料油貯油そうエリアに設置する火災感知器の設計について説明する。

火災防護審査基準に照らして、火災区域、区画の設定において、高浜3号機及び高浜4号機の燃料油貯油そうエリアはそれぞれ1つの火災区画として設定している。

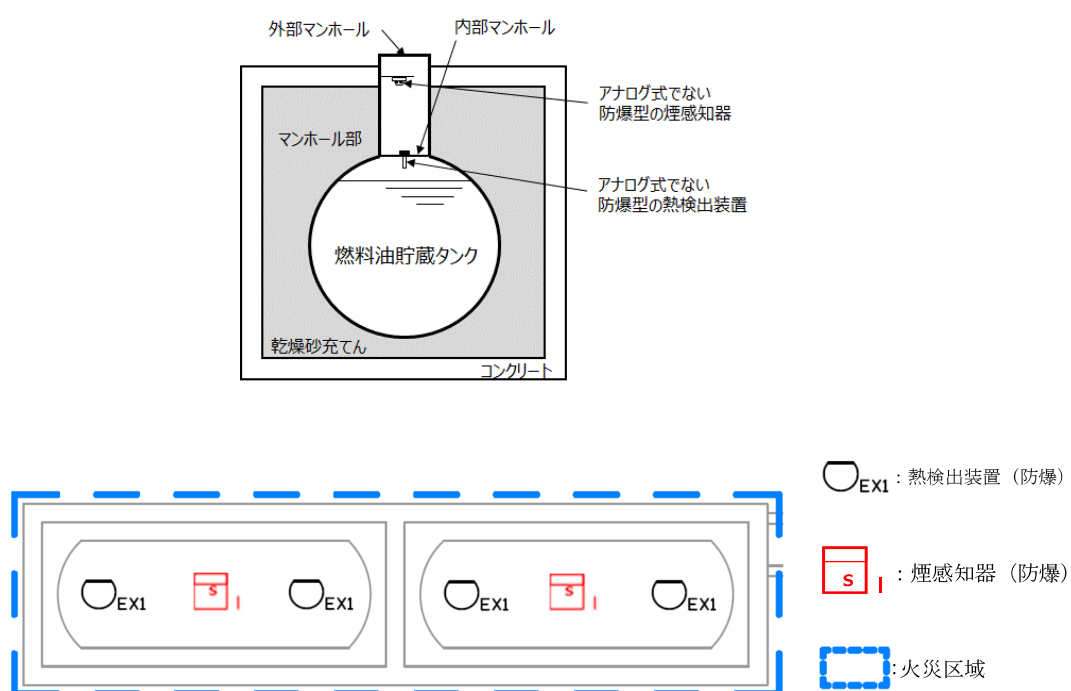
今回、火災感知器の設計にあたっては、その環境条件及び機器の設置条件等を踏まえて個別に火災感知器の設計を行う。

3-3-1 燃料油貯油そうエリアの概要

燃料油貯油そうエリアは、A重油を保管するタンクがコンクリートで囲まれた地下に設置されているエリアであり、一部の開口部とマンホールを通して外部と繋がっている。また、消防法施行規則第23条第4項の適用対象ではないエリアである。

今回、火災感知器の設計にあたり、その環境条件及び設備設置状況等を考慮し、異なる2種類の火災感知器を屋内に準じて3-3-2項の通り設計する。

燃料油貯油そうエリアの火災感知器設置概要図を第3-3-1図に示す。



第3-3-1図 燃料油貯油そうエリアの火災感知器設置概要図

3-3-2 燃料油貯油そうエリアの火災感知器設計

燃料油貯油そうエリア内の環境条件及び設備設置状況等をもとにそれぞれの火災感知器の選定、誤作動防止及び設置の考え方について説明する。

(1) 火災感知器の選定及び誤作動防止

燃料油貯油そうエリアは、タンク内部の燃料が気化し、引火性気体が滞留するおそれがあることを考慮し、アナログ式でない防爆型の煙感知器とアナログ式でない防爆型の熱検出装置を選択する設計とする。

アナログ式でない防爆型の熱検出装置は、燃料油貯油そうエリアの温度を有意に変動させる加熱源等を設置しないことで、誤作動を防止する設計とし、燃料油貯油そうエリアの重油の発火点である約 250℃を考慮し、それよりも低い温度で作動するアナログ式でない防爆型の熱検出装置を設置する。また、アナログ式でない防爆型の煙感知器は、塵埃及び水蒸気の影響を受けないマンホール内に設置することで、誤作動を防止する設計とする

(2) 火災感知器の設置

燃料油貯油そうエリアは、消防法施行規則第 23 条第 4 項の適用対象ではないエリアであるが、選択した 2 種類の火災感知器を屋内に準じて設置する設計とする。

選択したアナログ式でない防爆型の煙感知器をマンホール部に設置し、アナログ式でない防爆型の熱検出装置をタンク内部の熱を監視できるよう設置する設計とする。

以 上

3・4 固体廃棄物貯蔵庫エリアの火災感知器設計について

本資料は、固体廃棄物貯蔵庫に設置する火災感知器の設計について説明する。

火災防護審査基準における火災区域、区画の設定において、高浜3号機及び高浜4号機の固体廃棄物貯蔵庫はA 固体廃棄物貯蔵庫、B 固体廃棄物貯蔵庫、C 固体廃棄物貯蔵庫及びD 固体廃棄物貯蔵庫が存在し、それぞれ1つの火災区域として設定している。

3・4・1 固体廃棄物貯蔵庫の概要

固体廃棄物貯蔵庫は、固体廃棄物を貯蔵する火災区域である。

3・4・2 固体廃棄物貯蔵庫の火災感知器設計

固体廃棄物貯蔵庫は、感知器等を消防法施行規則第23条第4項に基づき設置できるエリアであることから、アナログ式の煙感知器とアナログ式の熱感知器を選定し組合せ、設置する設計とする。

以上

3-5 放射線量が高い場所を含むエリアの火災感知器設計について

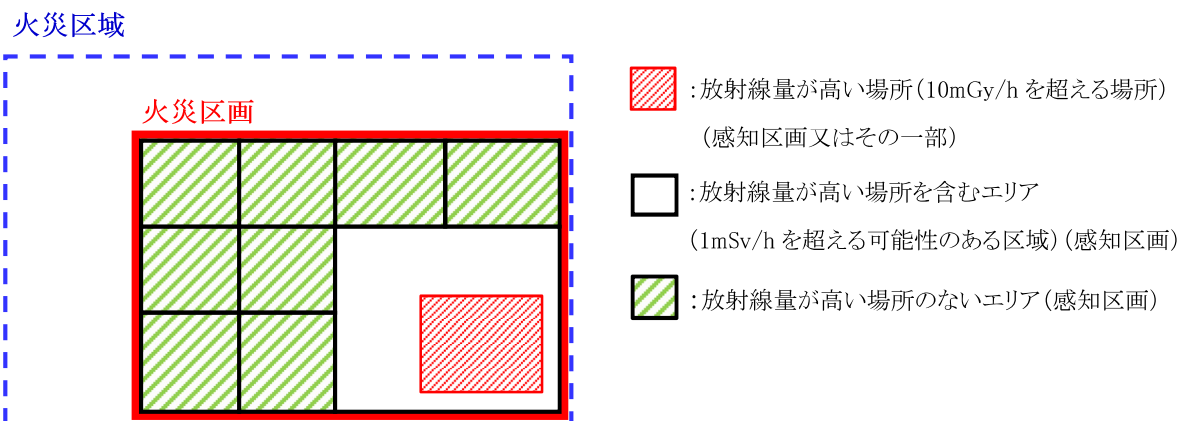
本資料は、放射線量が高い場所を含むエリアの火災感知器（以下、感知器等という。）を設計するにあたり、放射線量が高い場所に設置する感知器の過去の故障実績、原因調査及び文献調査に基づいた感知器等の選定、感知器等の設置場所における干渉物の観点並びに感知器等の設置又は保守点検時における作業員の被ばくの観点から現場施工の成立性を考慮した感知器等の選択、火災防護審査基準 2.2.1②に定められた方法と別の設計基準を満足するよう感知器等を設置する設計について、設計のプロセスを説明するものである。

3-5-1 放射線量が高い場所を含むエリアの概要

管理区域内の放射線量の高い場所においては、感知器が故障する知見があること並びに感知器の設置又は保守点検時における作業員の被ばくが懸念されることから、設置場所の放射線量も考慮して感知器設計を行う必要がある。そこで、保安規定及びその下部規定の放射線・化学管理業務要綱にて区分 3（1mSv/h を超える可能性のある区域）と定める場所を含むエリアを「放射線量が高い場所を含むエリア」に設定した。

具体的には、①原子炉格納容器ループ室、②加圧器室、③インコアモニタチェス室、④再生熱交換器室、⑤廃液フィルタ室、⑥ほう酸回収装置脱塩塔フィルタ室、⑦使用済樹脂スルースフィルタ室、⑧原子炉キャビティフィルタ室、⑨使用済燃料ピットスキマフィルタ室、⑩ほう酸濃縮液フィルタ室、⑪冷却材脱塩塔入口フィルタ室、⑫冷却材フィルタ室、⑬封水フィルタ室、⑭封水注入フィルタ室、⑮使用済燃料ピット脱塩塔室、⑯冷却材陽イオン脱塩塔室、⑰ほう酸回収装置混床式脱塩塔、⑱冷却材混床式脱塩塔室、⑲再生熱イオン交換器室及び⑳廃棄物処理建屋の制御室エリアが該当する。

放射線量が高い場所を含むエリアのイメージ図を第 3-5-1-1 図に示す。



第 3-5-1-1 図 放射線量が高い場所を含むエリアのイメージ図

3-5-2 放射線量が高い場所に設置可能な感知器の種類について

(1) アナログ式の感知器が故障する放射線量の閾値について

アナログ式の感知器が故障する放射線量の閾値の考え方について、過去の故障実績、当時の原因調査結果及び文献調査結果に基づき、説明する。

イ. 感知器の故障実績

過去に美浜、高浜、大飯の各発電所で原子炉格納容器内のアナログ式でない熱感知器をアナログ式の熱感知器に交換した際、第 3-5-2-1 表のとおり、ループ室内の蒸気発生器付近に設置した感知器が 1 年程度で故障する事象が相次いで発生した。(感知器の自動試験の際に信号不良発生)

第 3-5-2-1 表 アナログ式感知器の過去の故障実績

ユニット	故障時期	故障個数	故障内容
美浜3号機	平成10年1月	3個	感知器無応答
	平成12年4月	5個	感知器無応答
高浜1号機	平成10年8月	2個	信号線異常
	平成11年8月	3個	信号線異常
	平成12年1月	1個	信号線異常
高浜2号機	平成10年2月	3個	信号線異常
	平成11年9月	3個	信号線異常
高浜3号機	平成12年1月	1個	感知器無応答
高浜4号機	平成11年2月	3個	感知器無応答
大飯2号機	平成12年9月	1個	感知器無応答

ロ. 当時の原因調査結果

故障した部品はメモリ用の IC チップ (半導体素子) であり、プラント運転中のループ室内蒸気発生器付近の放射線量が 100mGy/h 以上と高いことを踏まえ、感知器の故障は放射線による影響と考え、調査を実施した。平成 6 年 3 月に東京都立アイソトープ総合研究所で実施した感知器の耐放射線性能試験は、第 3-5-2-2 表のとおり吸収線量 105.12Gy で感知器が故障する結果であった。

第 3-5-2-2 表 感知器の耐放射線性能試験の概要

試験機器	光電アナログ式スポット型感知器
	熱アナログ式スポット型感知器
試験条件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1 時間あたり 3×10^{-4}Gy/h の線量がある場所で、感知器が 40 年使用できるかを確認するために実験を行った。 2. 40 年分の吸収線量は 105.12Gy となる。試験は短時間でいうため、105.12Gy を 5 時間 20 分で照射した。このため、19.71Gy/h となる位置に感知器を設置した。 3. 線源を Co60 (γ 線) とし、10 年相当の線量照射ごとに感知器の作動を確認した。
試験結果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 10 年、20 年、30 年相当の線量照射時の作動試験は正常であった。 2. 40 年相当の線量照射時、各感知器共故障した。 3. 故障した部品はメモリ用 IC であり、吸収線量は 105.12Gy であった。

試験で使用した線源である Co60 (γ 線) は、1 次冷却材中の放射性核種の主体が CP (腐食生成物) であることから、エネルギーが比較的高い Co60 (γ 線) を線源として試験を実施していることは妥当である。

実機プラントにおける感知器の故障実績及び上記の試験結果から、γ 線の影響がある場所に設置するアナログ式の感知器は、約 100Gy の吸収線量で故障すると判断した。

出典：「半導体部品を使用した火災感知器の耐放射線性能について」,TR10241, 能美防災 (株) 平成 11 年 2 月