

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。

(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。

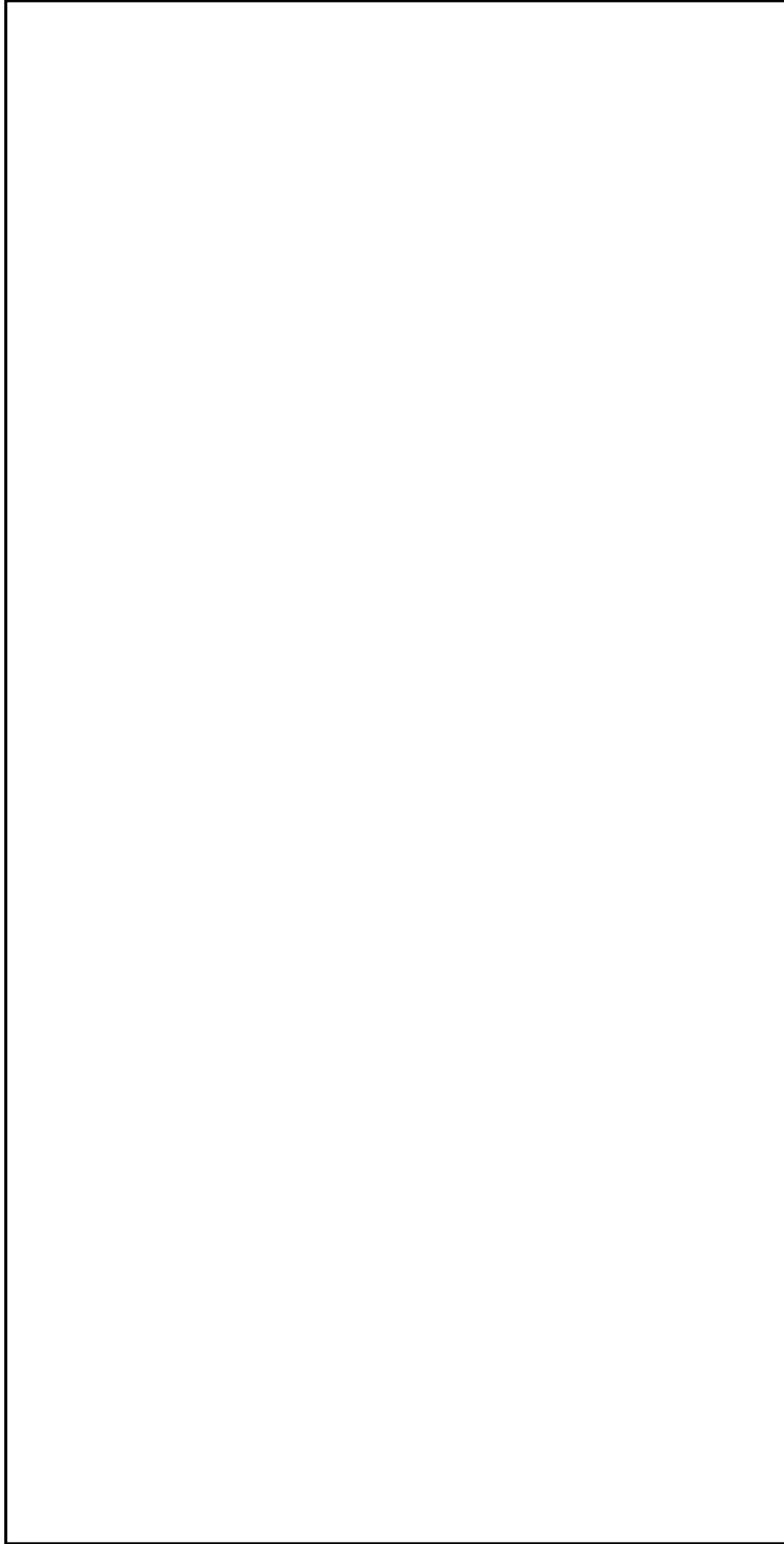
第 3-2-1 表 プラント運転時における格納容器再循環システムについて

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 \square m³/min である。原子炉格納容器の自由体積が約 \square 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取り込み、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 3-2-2 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		

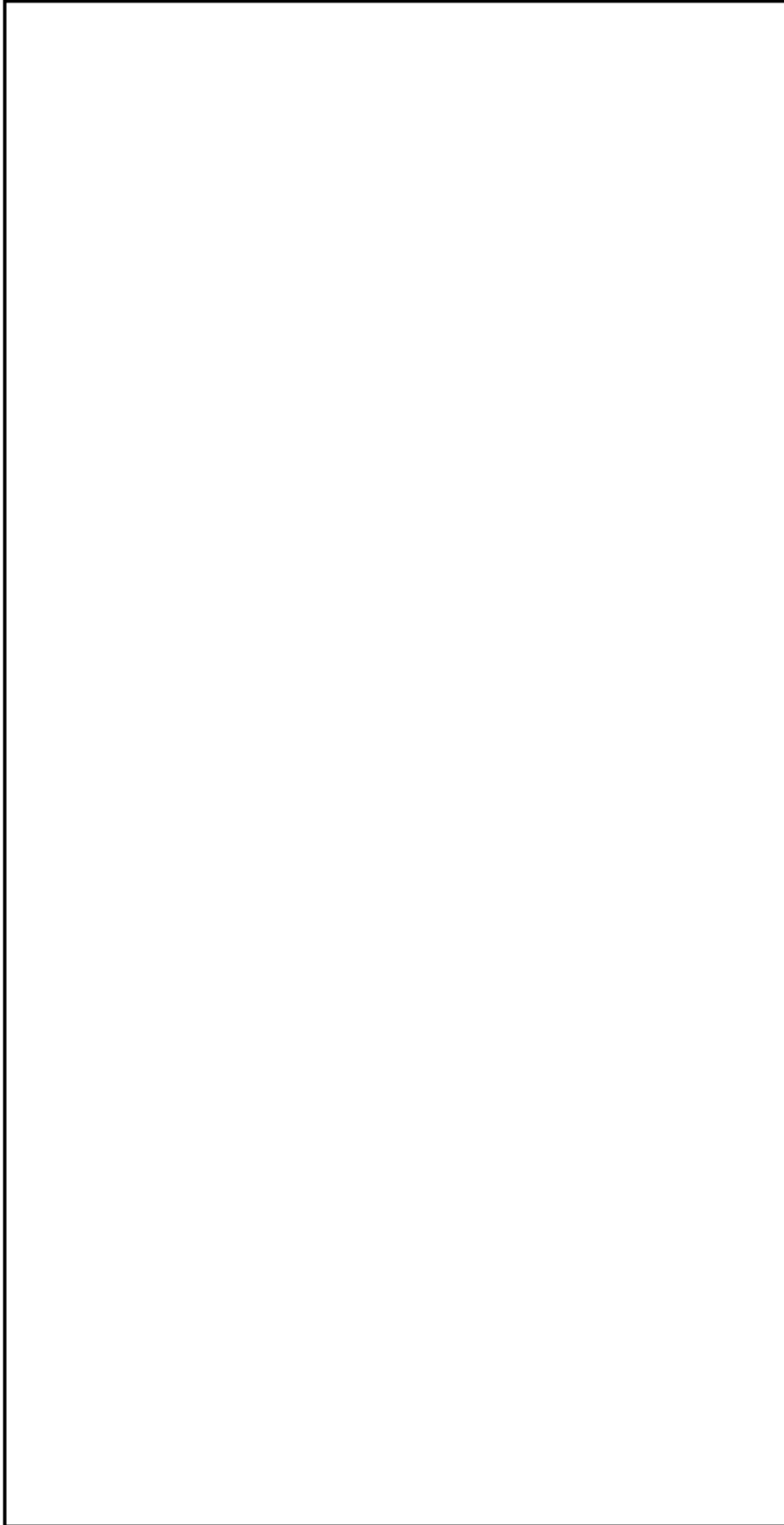
プラント停止時における格納容器空調系統の総給気流量及び総排気流量はそれぞれ約 m³/min である。原子炉格納容器の自由体積が約 m³ であることから、38 分未満で原子炉格納容器内全体の空気を換気及び浄化させることが可能である。

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、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・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3-2-4 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、環境条件等を考慮した感知器等の設計の考え方を説明する。

(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、異なる感知方式の感知器等として、アナログ式の煙感知器とアナログ式の熱感知器を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、抽出水再生クーラ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 3-5「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」に示す。

(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の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の煙感知器、2種類目はアナログ式でない炎感知器を選択する。

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

感知方式		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)	光電分離型煙感知器 (非蓄積型)	空気吸引式の煙検出装置	アナログ式でない炎感知器	
火災感知器種類	環境条件の考慮 (故障の防止)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		△	△	△	△	○	△	△	△	△	○	
設置適合性 (異設並行導入の適合性含む)	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)	△	△	△	△	○	△	△	△	△	○	○
設置項目	誤作動の防止	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	総責任の確保	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
評価	電線の確保	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	監視	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
設置項目	現場施工性 (総責任の確保に必要な施工の確立性)	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	各感知方式で使用する火災感知器	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

○：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上方に一部グレーチング床 が設置されていることを考慮し、グレーチング面（グレーチング階段及び踊り場を除く。）の上部と下部の床面をそれぞれ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煙及び熱、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煙及び熱は、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煙濃度及び空気温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煙及び熱、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煙及び熱は、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煙及び熱の流れを第 3-2-6 図に示す。

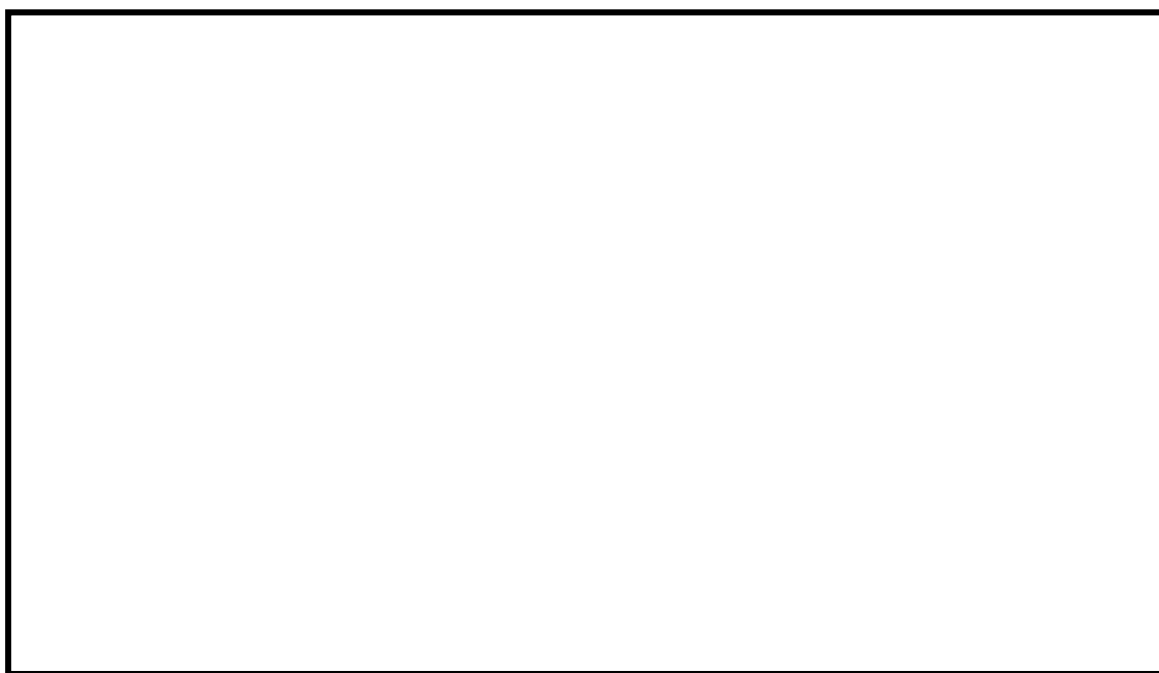
以上より、給気ファン及び再循環ファンの運転時及び停止時において、発熱量の少ないくん焼段階の火災は煙の流路上で有効に火災を感知できる場所にアナログ式の煙感知器を設置し、発炎段階の火災は消防法施行規則第 23 条第 4 項に基づきアナログ式でない炎感知器を設置することにより早期に感知し、それぞれ設計基準②を満足する設計とする。火災により発生した煙の流路上になる原子炉格納容器ループ室上部

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。

のSG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、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を満足するようアナログ式の煙感知器を設置する設計とする。

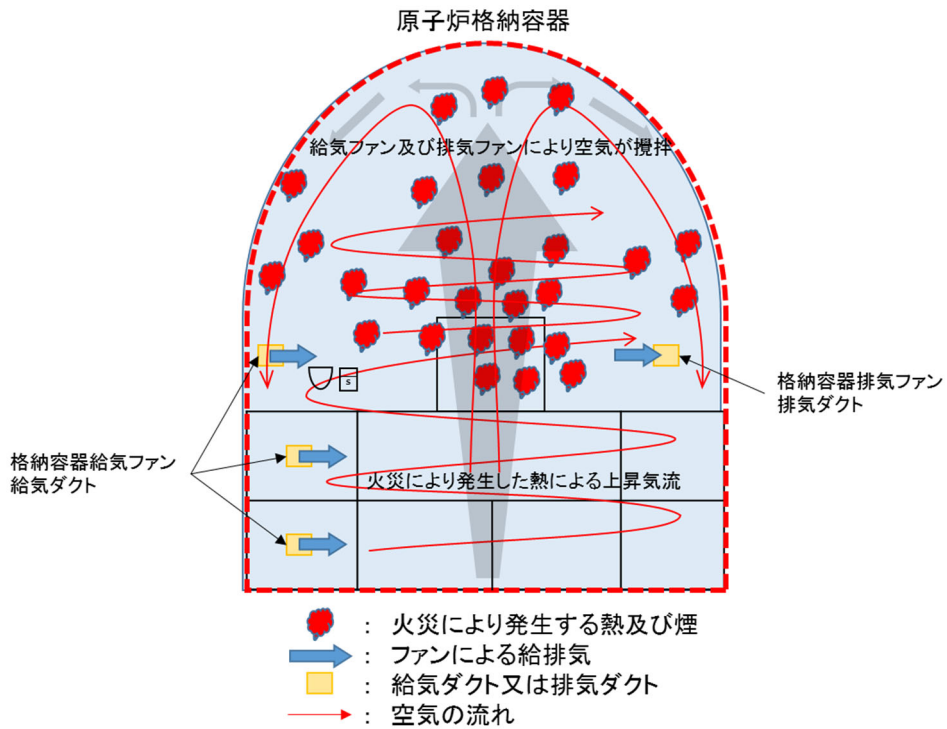
ここで、煙の流路上で有効に火災を感知できる場所とは、感知器の設置及び保守点検に懸念がないエリア内の最も高い場所及びプラント停止中における空気の流れを考慮した煙の流路上とし、これらの場所にアナログ式の煙感知器を第 3-2-7 図に示すように支持鋼材（グレーチングのような開口部はない）又はグレーチングの支持梁等を使用して設置する設計とする。

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の配置図（平面図）を第 3-2-8 図、配置図（断面図）を第 3-2-9 図に示し、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。

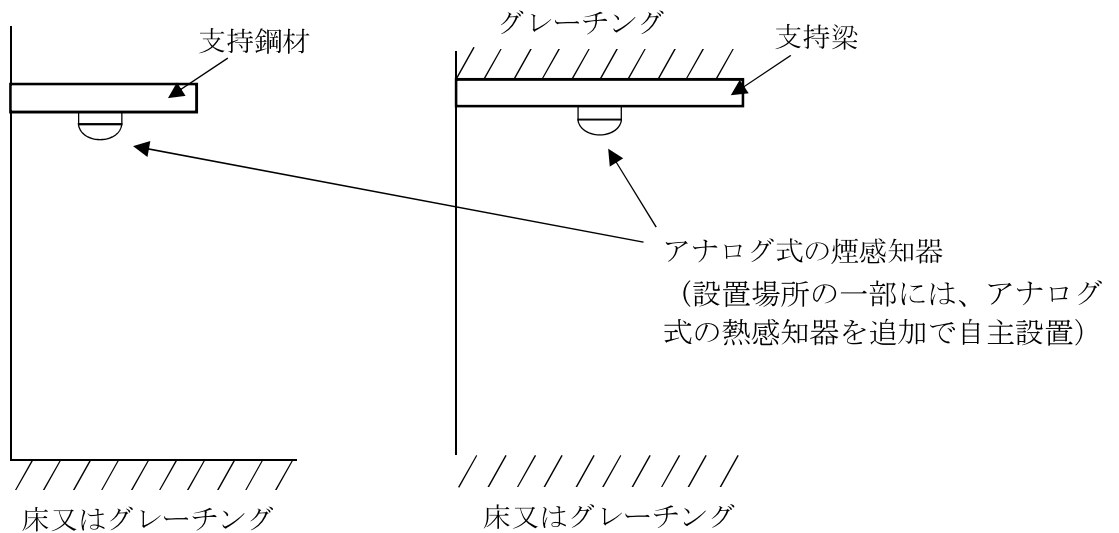


第 3-2-5 図 高天井エリアの感知器監視範囲図（高浜発電所 3 号機）

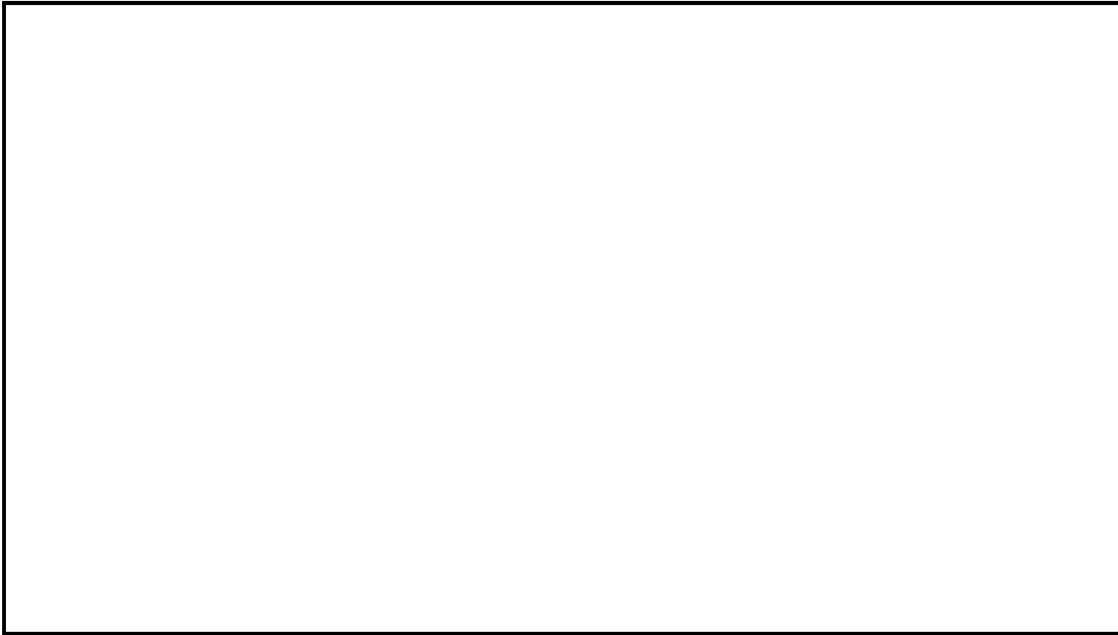
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



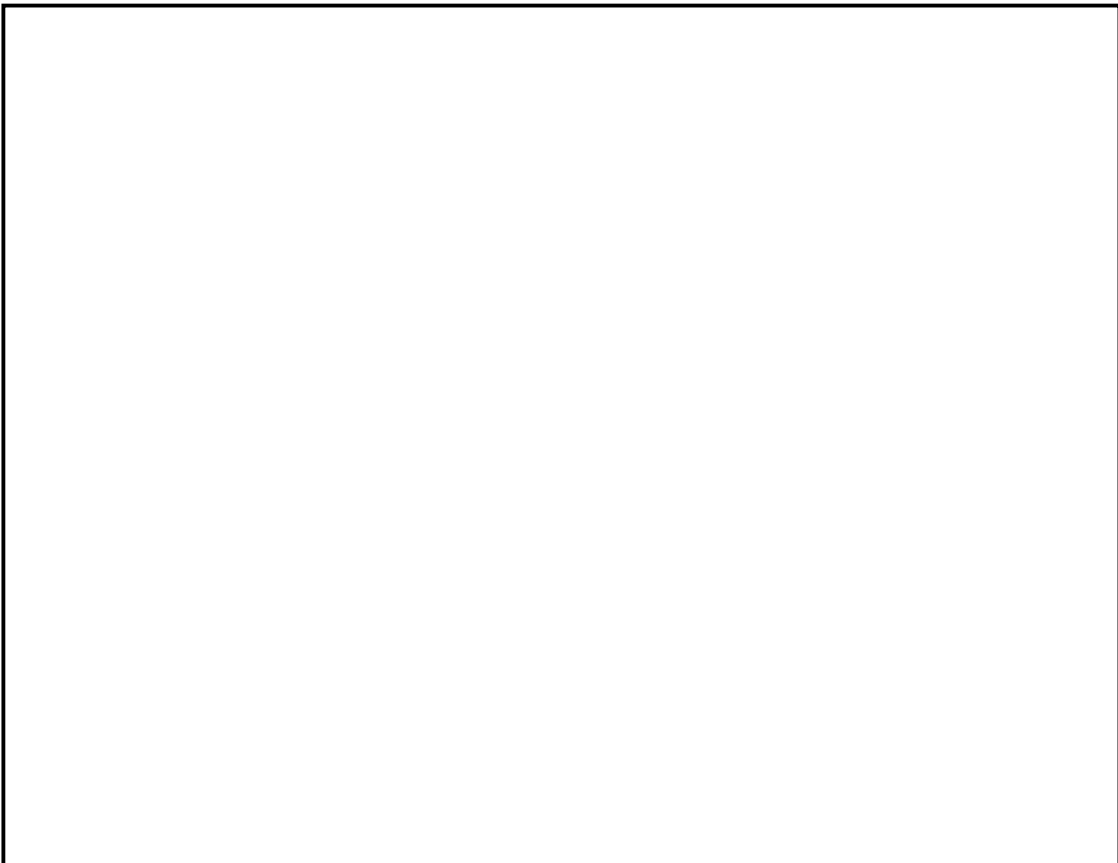
第 3-2-6 図 給気ファン及び再循環ファンの停止時（格納容器給気・排気ファンは運転）
における火災による煙及び熱の流れ



第 3-2-7 図 感知器設置イメージ

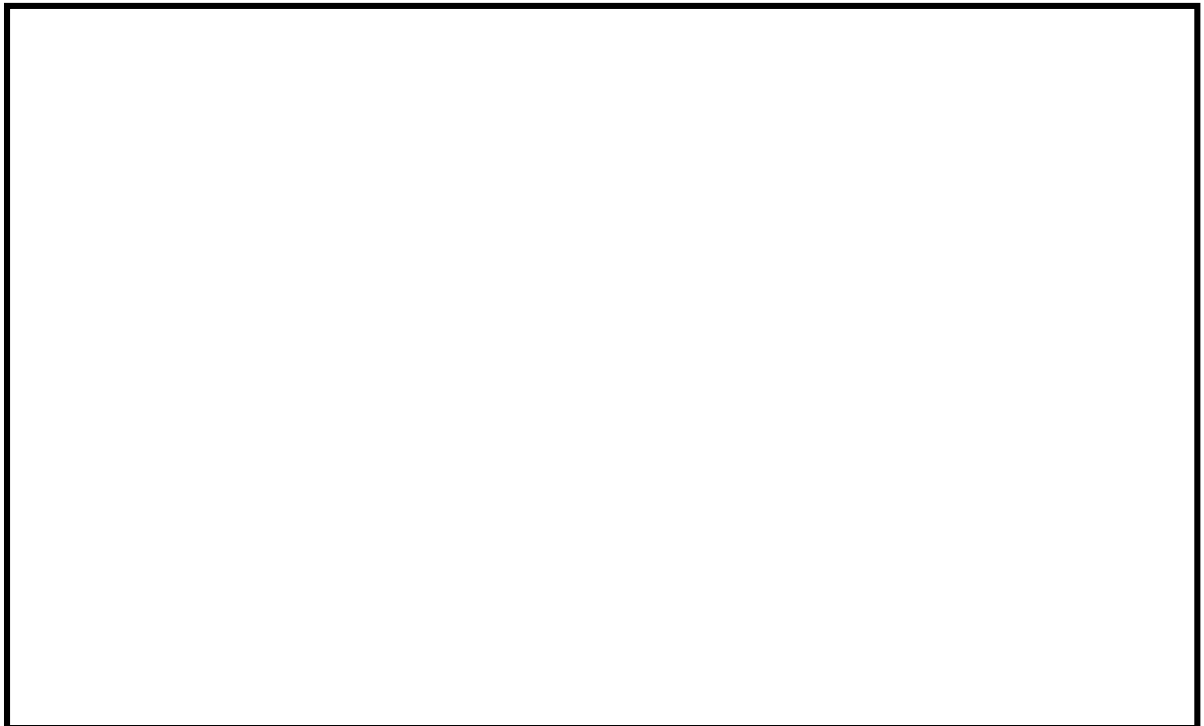


第 3-2-8 図 オペレーティングフロアに設置するアナログ式の煙感知器の配置図（平面図）



第 3-2-9 図 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

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。

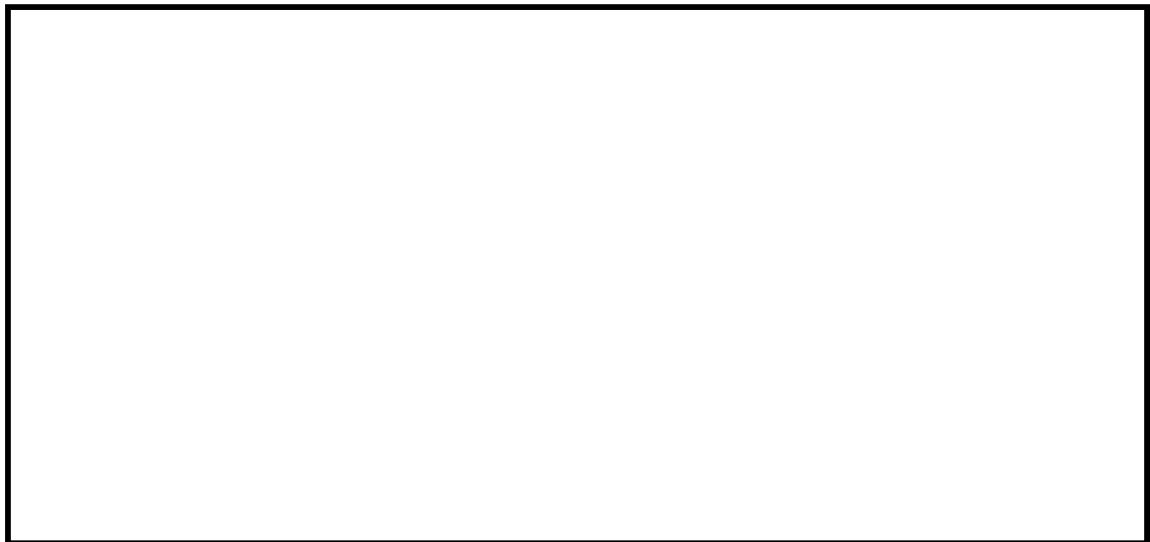
火災規模の定義

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、高浜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低層における空気の流れを考慮して煙の流路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73.2°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 (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℃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℃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、火災により発生する煙の流路上で有効に火災を感知できる場所のうち感知器の設置及び保守点検に懸念がないエリア内の最も高い場所に設置す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のポーラークレーン昇降タラップ踊り場付近に煙感知器（スポット型）を設置	ポーラークレーン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
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のポーラクレーン昇降タラップ踊り場付近に煙感知器（スポット型）を設置	ポーラクレーン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、長期間（18日）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）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、

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。

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のポーラークレーン昇降タラップ踊り場付近に煙感知器（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

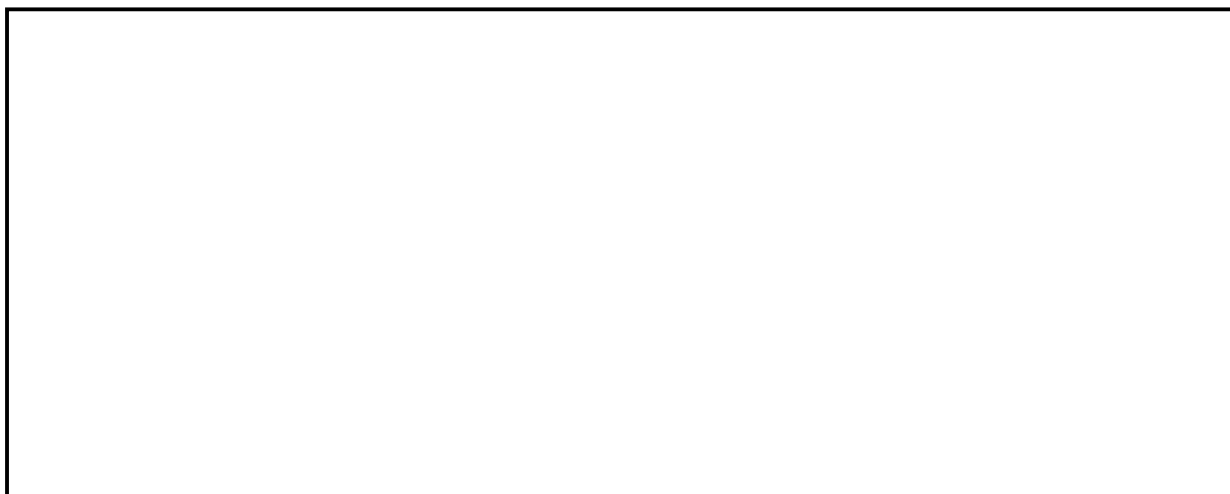
原子炉格納容器内で火災が発生した場合に消火設備として使用する原子炉格納容器スプレイ設備への影響を以下に示す。

(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、(1)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（格納容器スプレ系統）

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。



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)

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



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	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)

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

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

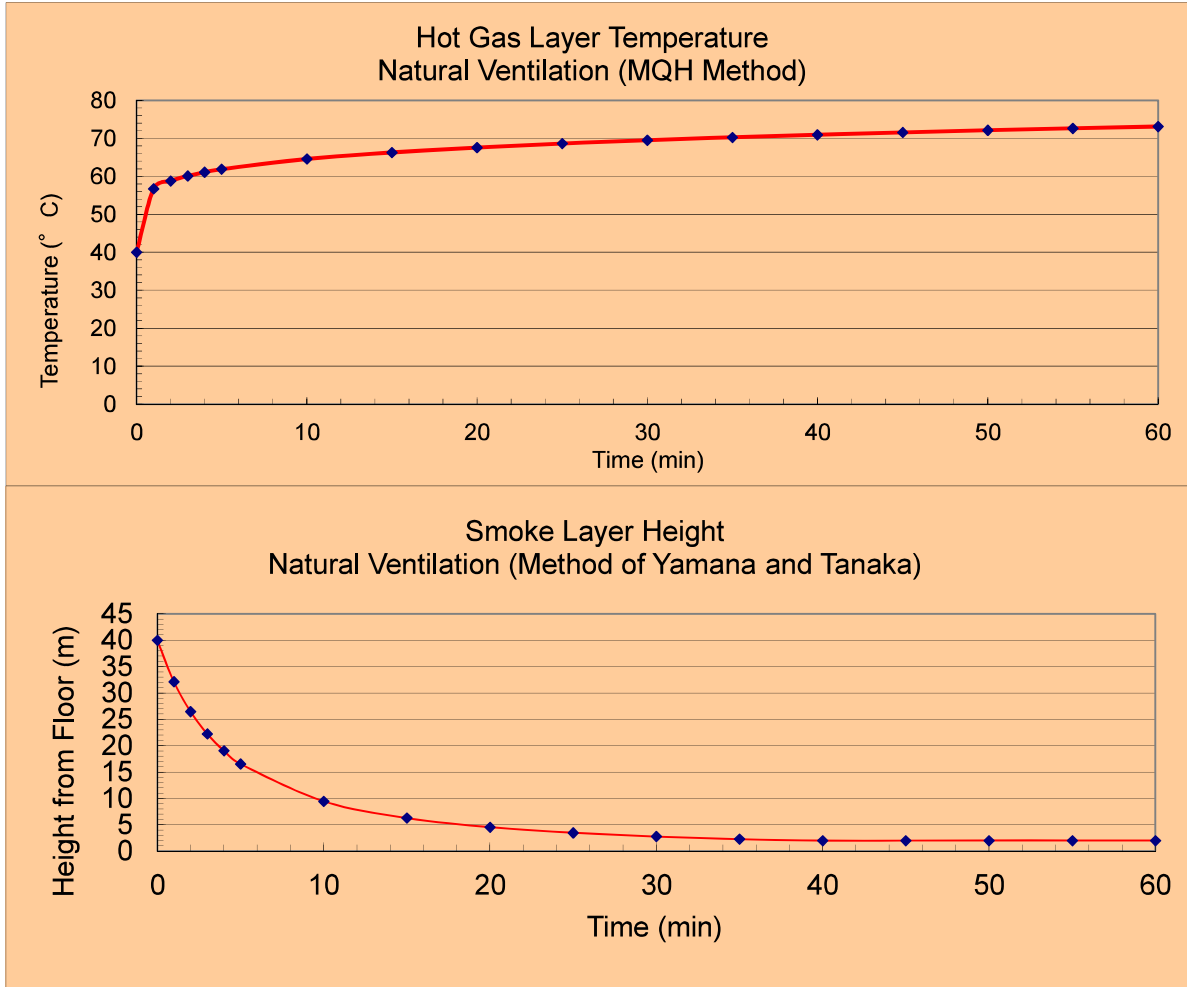
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT



**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,

$\Delta T_g = T_g - T_a$ = 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)

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

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)

$$t_p = 6328.13 \quad sec$$



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

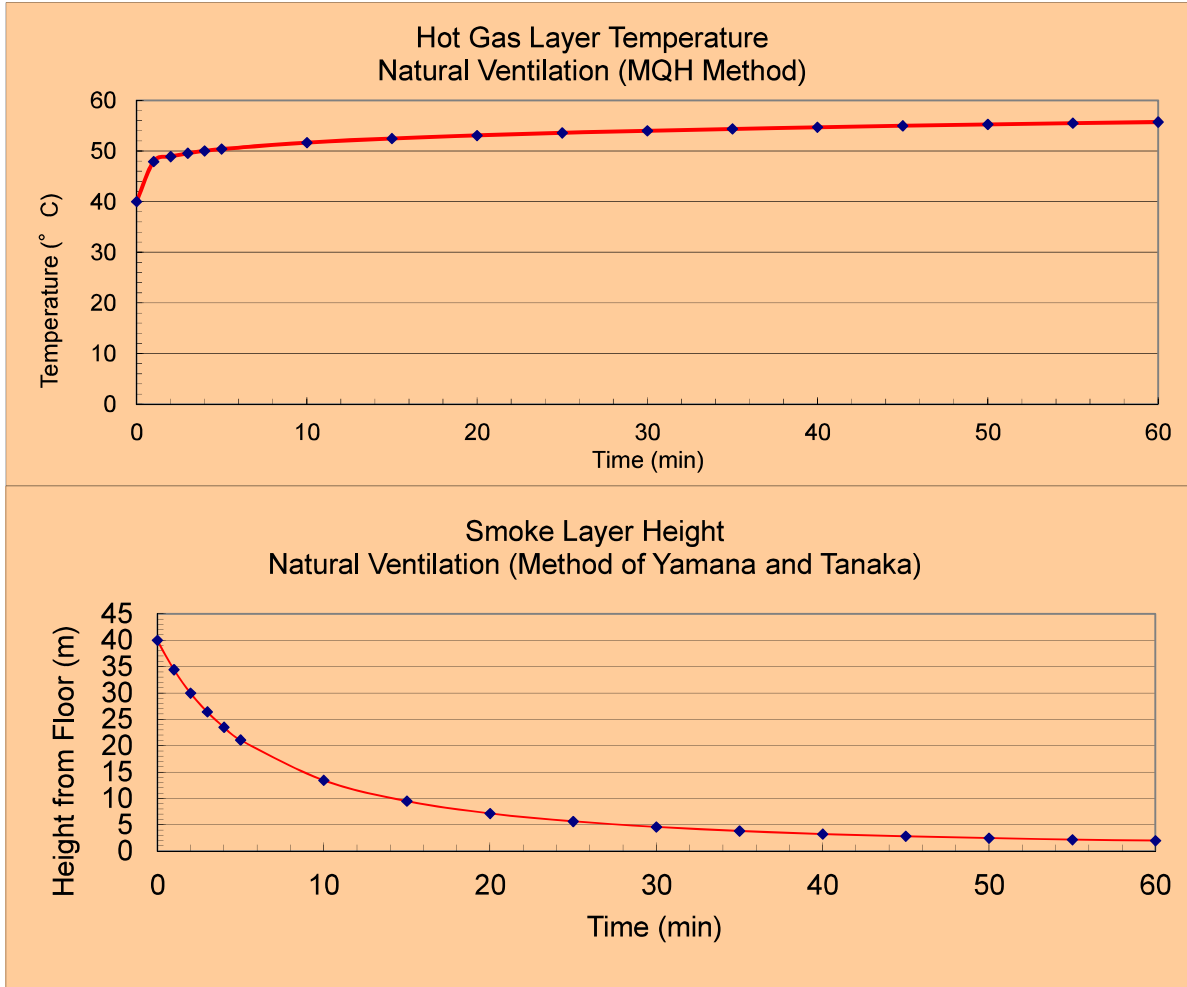
CAUTION: SMOKE IS EXITING OUT VENT



**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は、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ピ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。 	-	-	-
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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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】 燃料油貯油所】 	-	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

【 】 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 理由① 離隔距離	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 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

【 】 は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

□ : 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(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水位計指示が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>
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補機冷却水を通水し、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次系冷却水タンク加)</p> <p>理屈① 耐火隔壁</p> <p>理屈① 耐火隔壁</p> <p>理屈① 耐火隔壁</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>

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

□ : 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 7.4.2.1 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ある作業員に対してエバケーシ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 7.4.2.1 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 離隔距離	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 動機	格納容器圧力

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

□ : 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 7.4.2.1 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余熱除去クレーン】 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	余熱除去クレーン出口流量 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 理屈② 代替パラメータ
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格納容器循環冷暖房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 離隔距離	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

: 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 7.4.2.1 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)

	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

□ : 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 7.4.3.1 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

□ : 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 7.4.3.1 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 デイジーゼル発電機 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)
f. アニユラ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、アニユララス部の水素滞留防止及び被ばく低減対策としてアニユラ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。 	アニユララス循環排気ファン アニユラ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 デイジーゼル発電機 燃料油貯油そう	-	燃料取替用水タンク水位 格納容器圧力

理屈②
代替パラメータ

理屈②
把子キャンセル

【 】は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

□ : 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 7.4.3.1 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 内部スプレを B 系統及び B 格納容器スプレ冷却した水を B 余熱除去系統及び B 格納容器スプレ冷却した水を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 内部スプレポンプ B 内部スプレクーラー 格納容器サンプレ B 格納容器再循環サン プスクリーン 代替再循環配管	-	余熱除去クーラー出口流量 格納容器サンプレ B 領域 水位 格納容器サンプレ B 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
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 内部スプレポンプにより、格納容器スプレレイアウト循環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 次冷却クーラー 1 次冷却クーラー 海水ポンプ デイゼル発電機 燃料油貯油そう A、B 内部スプレポンプ A 内部スプレクーラー	窒素ポンベ (1 次加圧用) 理屈① 耐火隔壁	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 次系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

□ : 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。

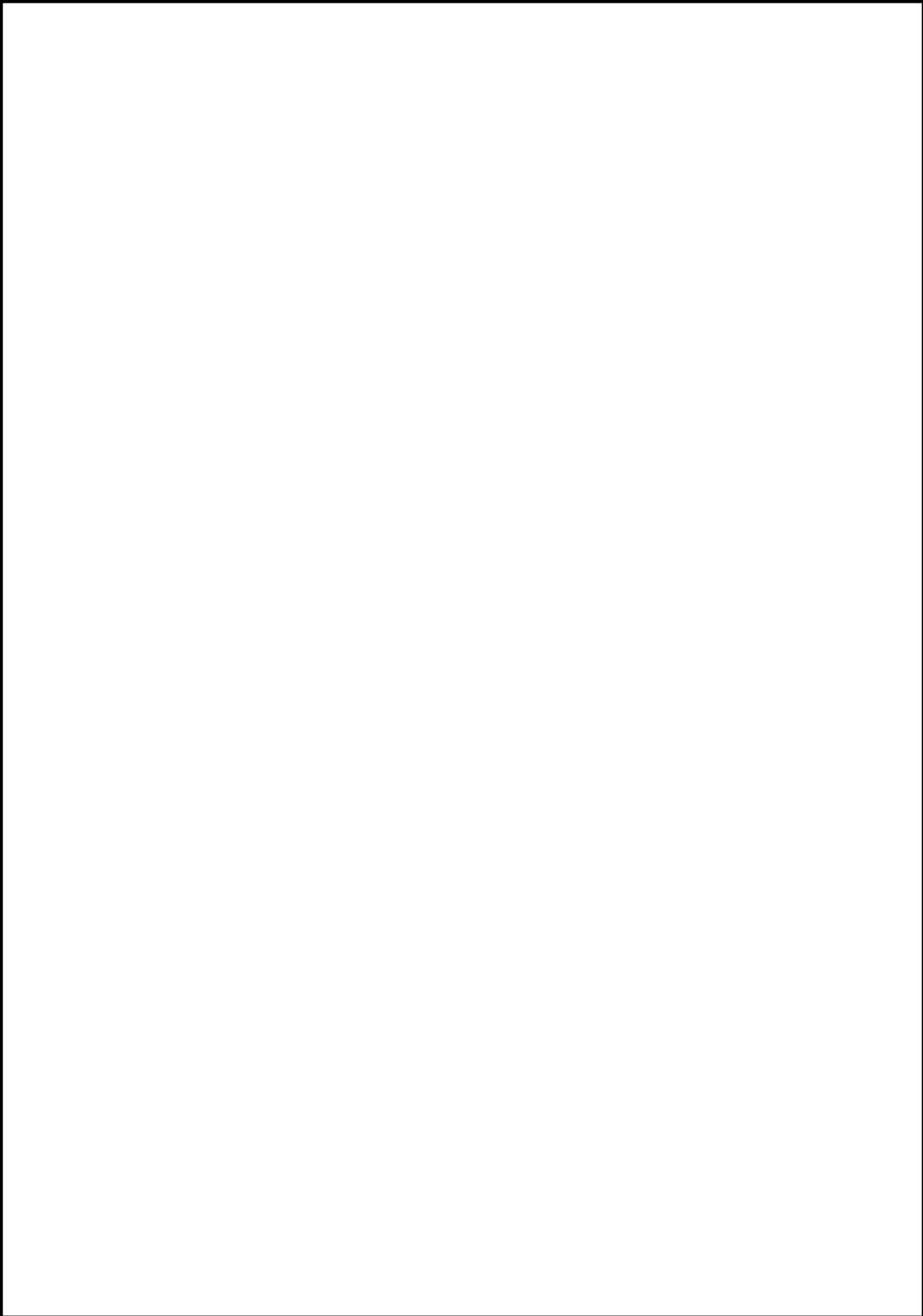
第 7.4.4.1 表 「反応度の誤投入」における重大事故等対策について

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

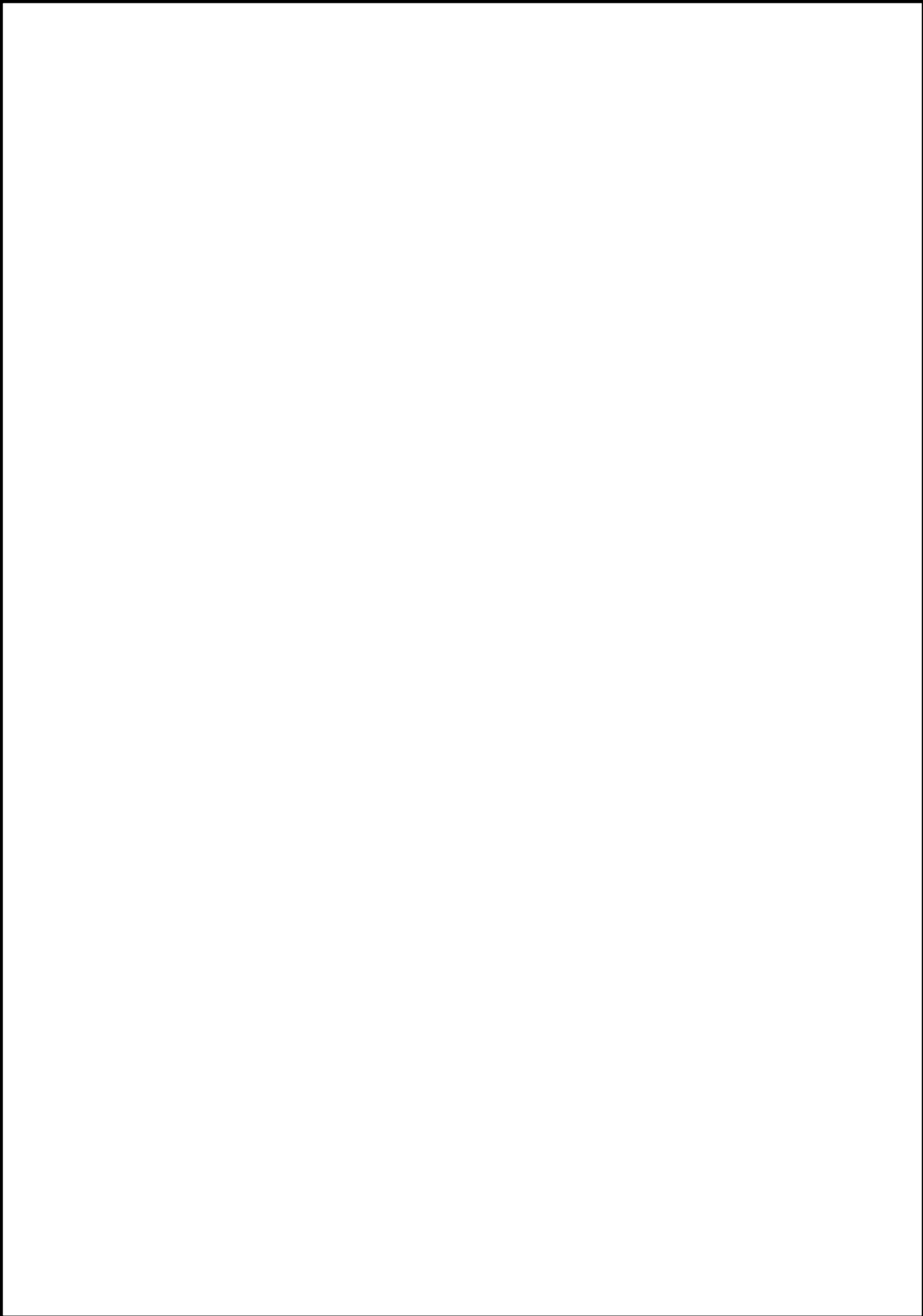
【 】 は有効性評価上期待しない重大事故等対処設備

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。

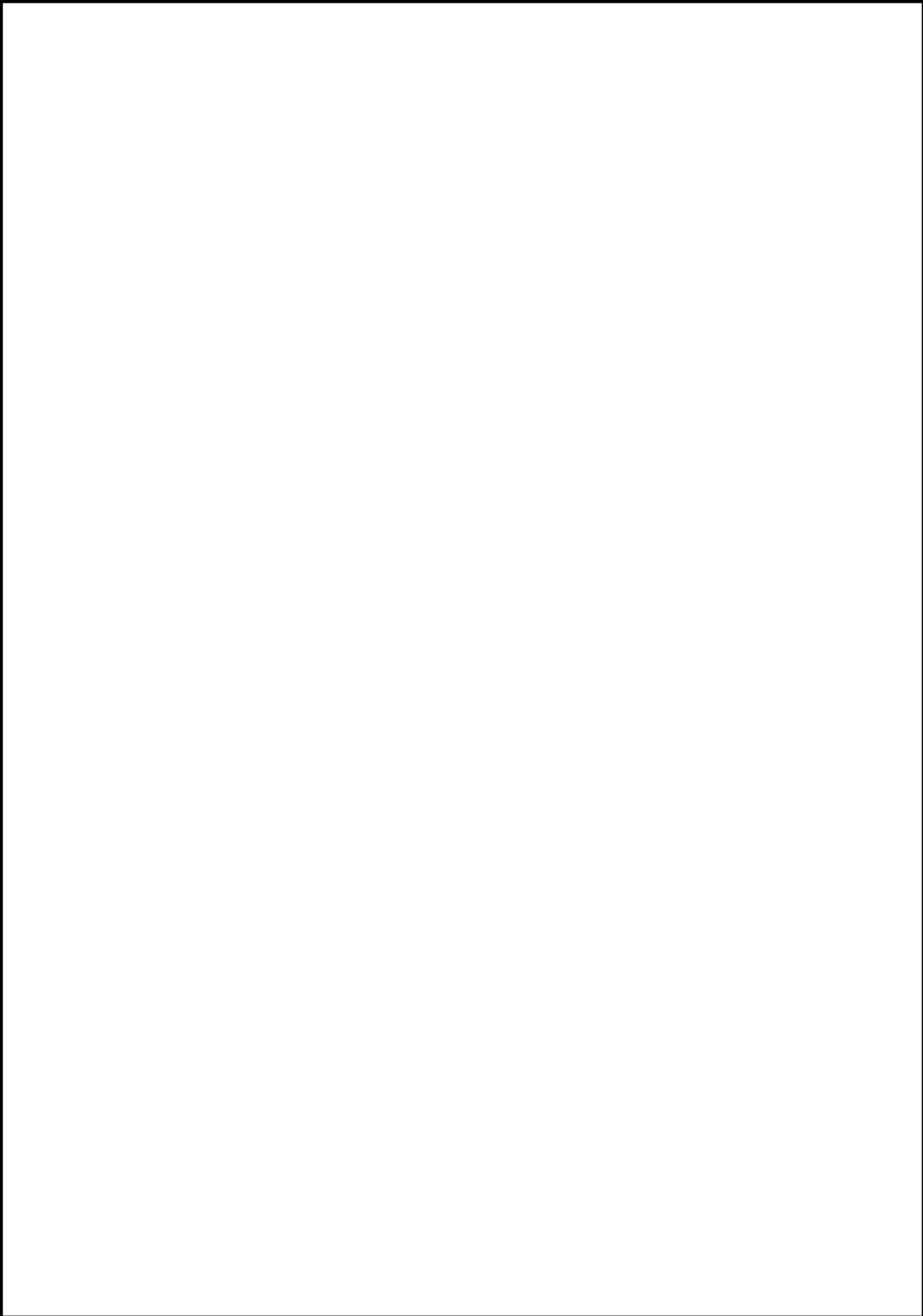
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



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。

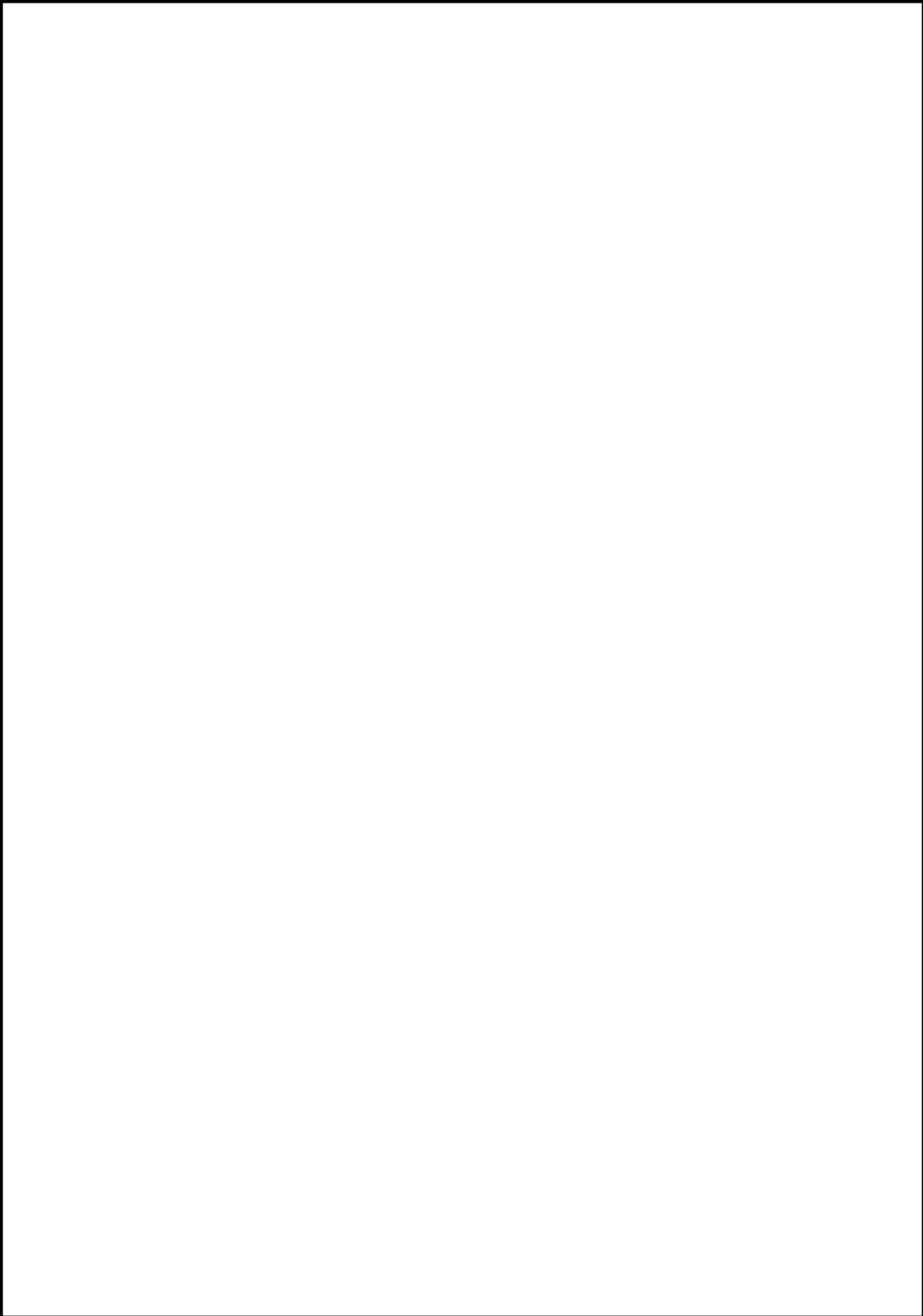


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

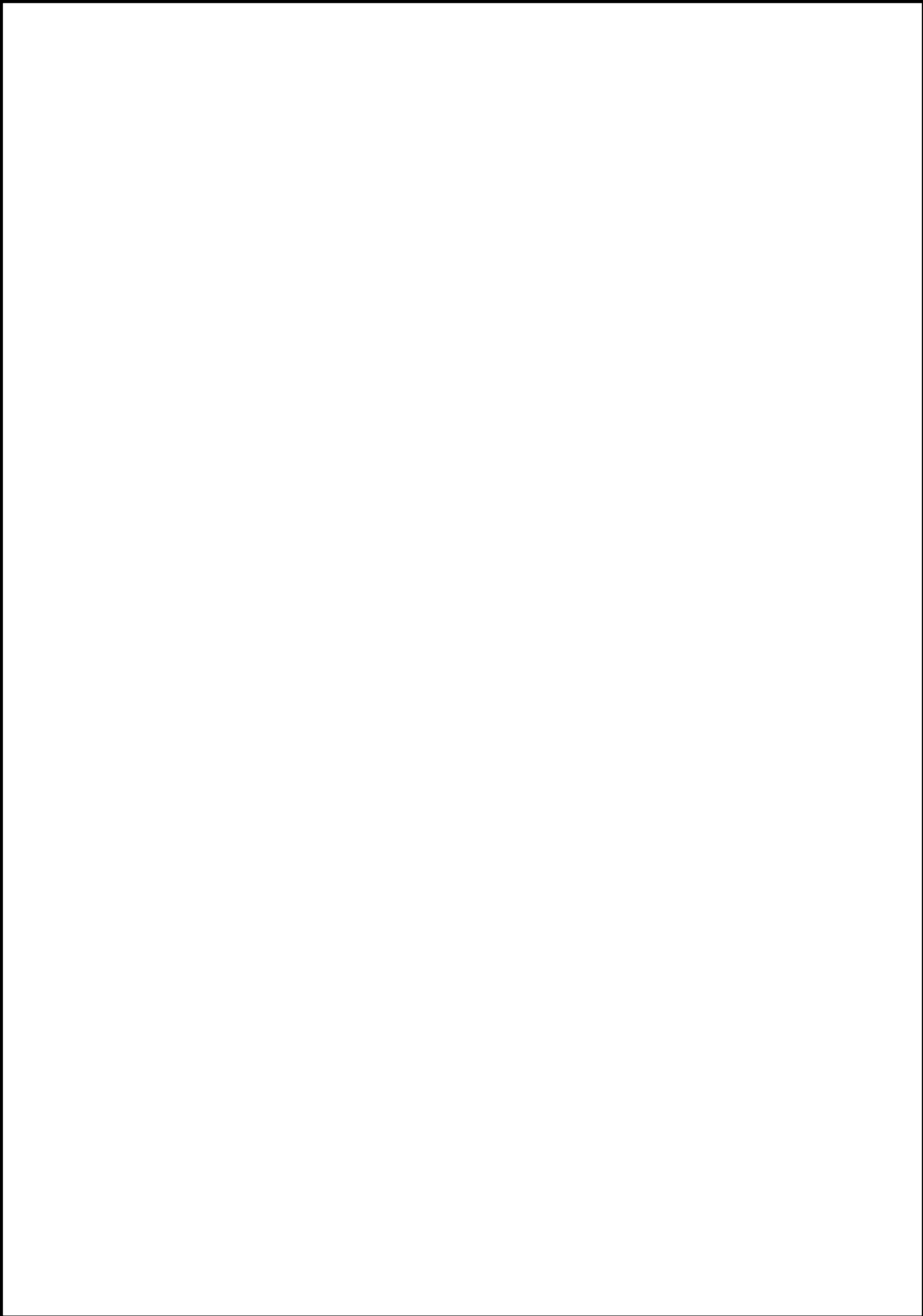


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

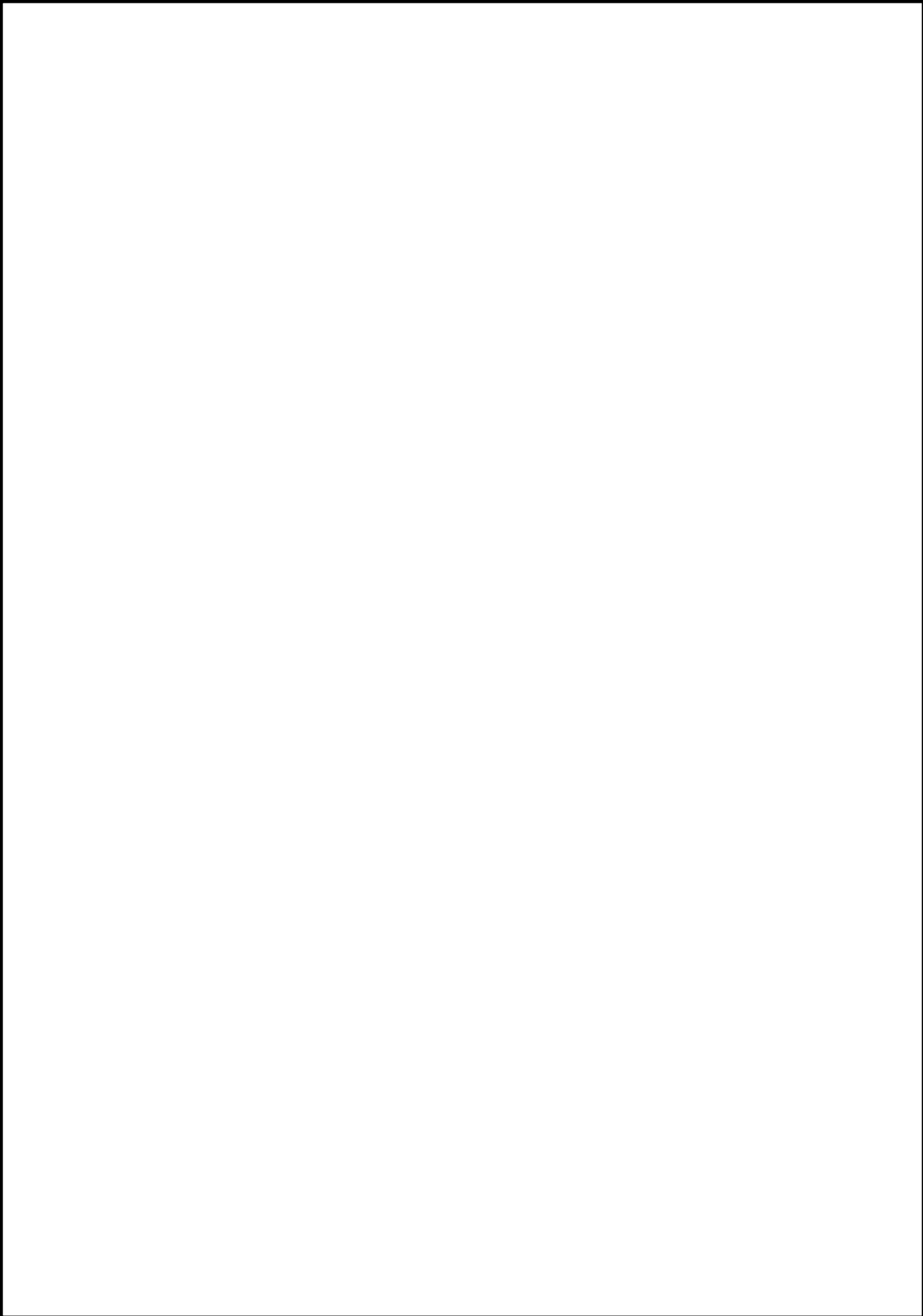
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



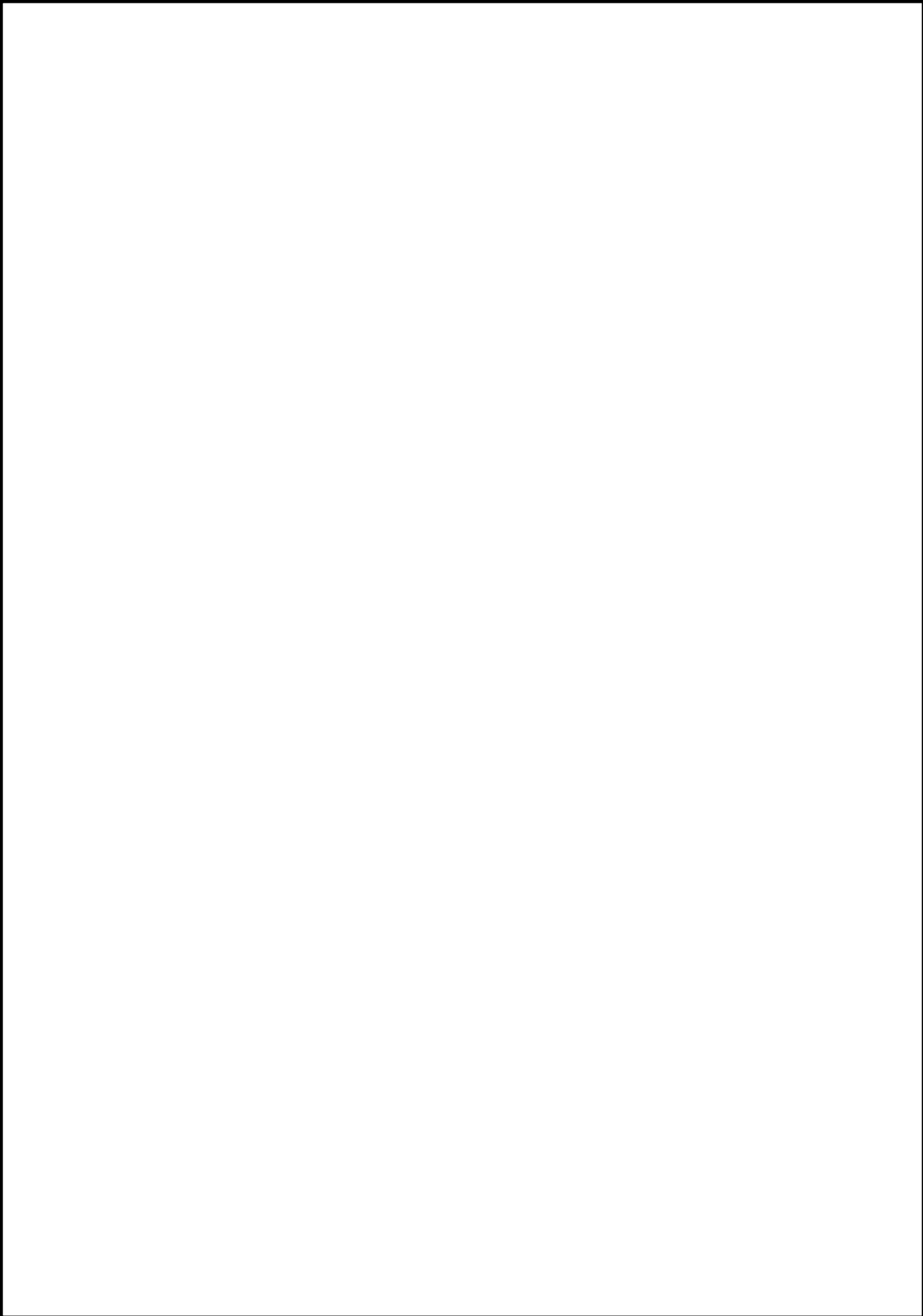
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



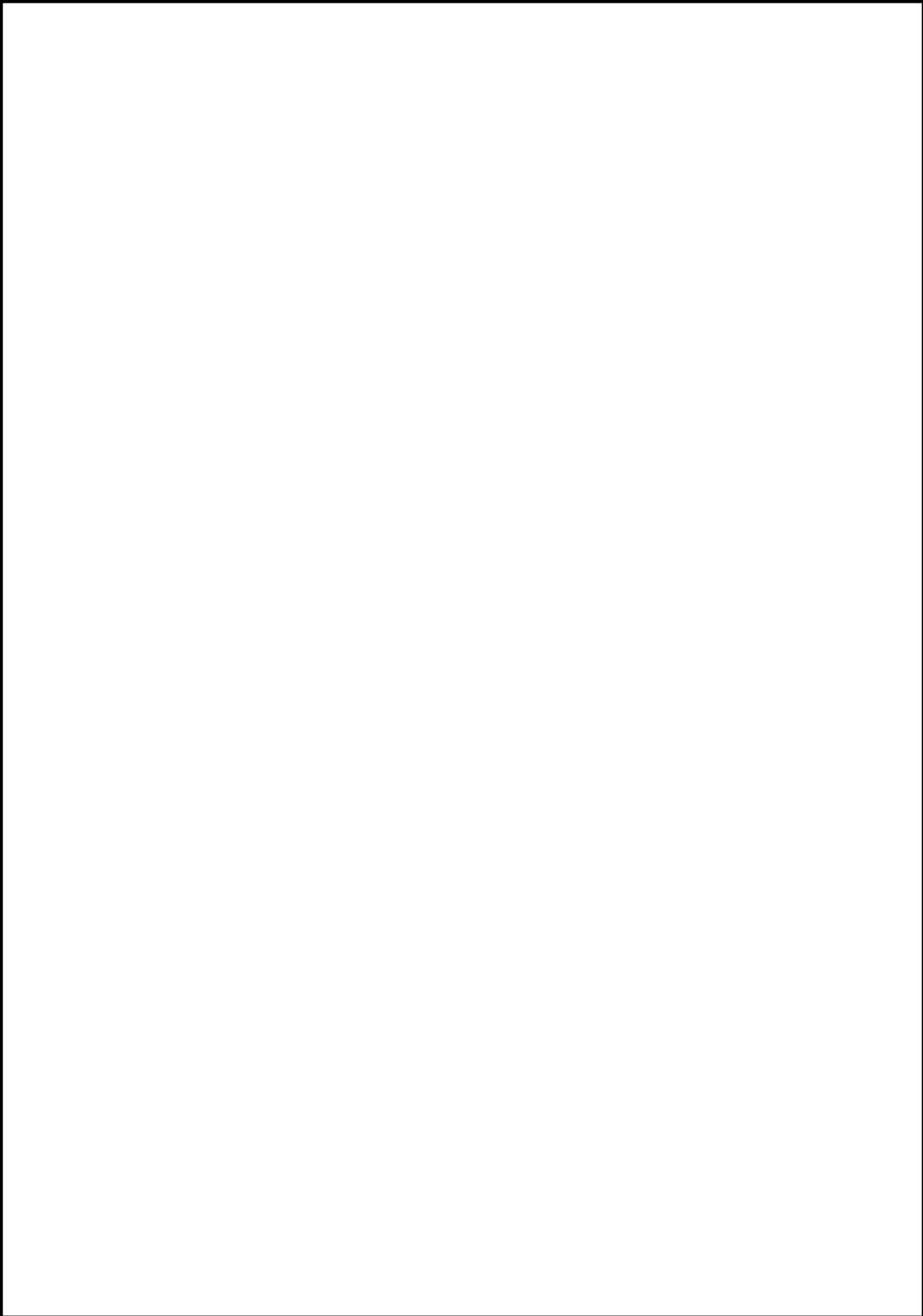
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



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。

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）

（参考）

1

1. 作業計画

- 案1（ポーラ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	手順 案 2 ポーラークレーンガーター上部付近	手順 案 3 格納容器ドームトップ付近
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)

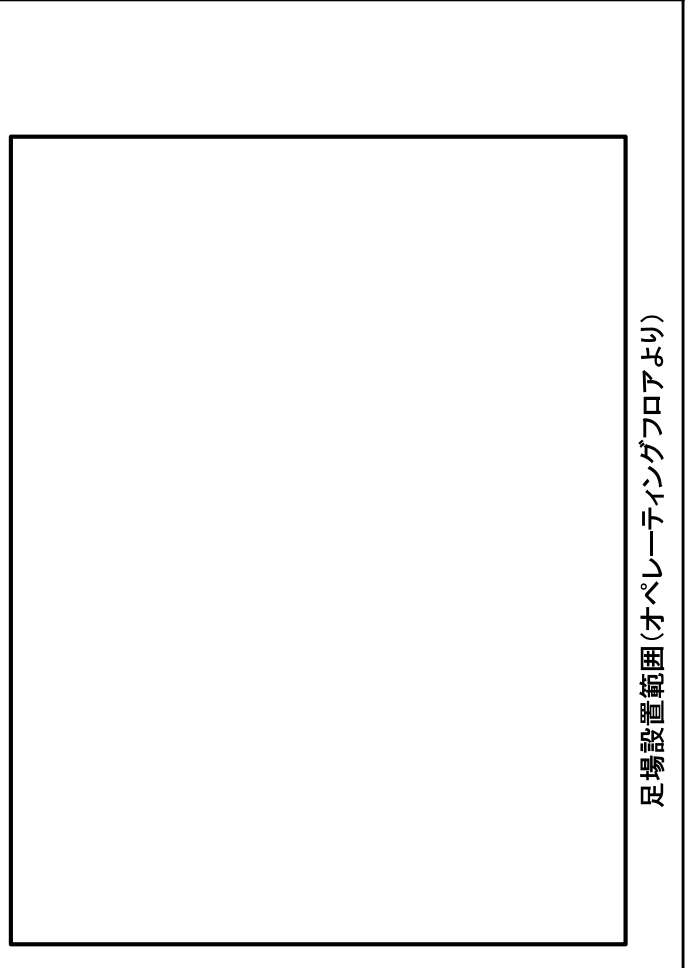
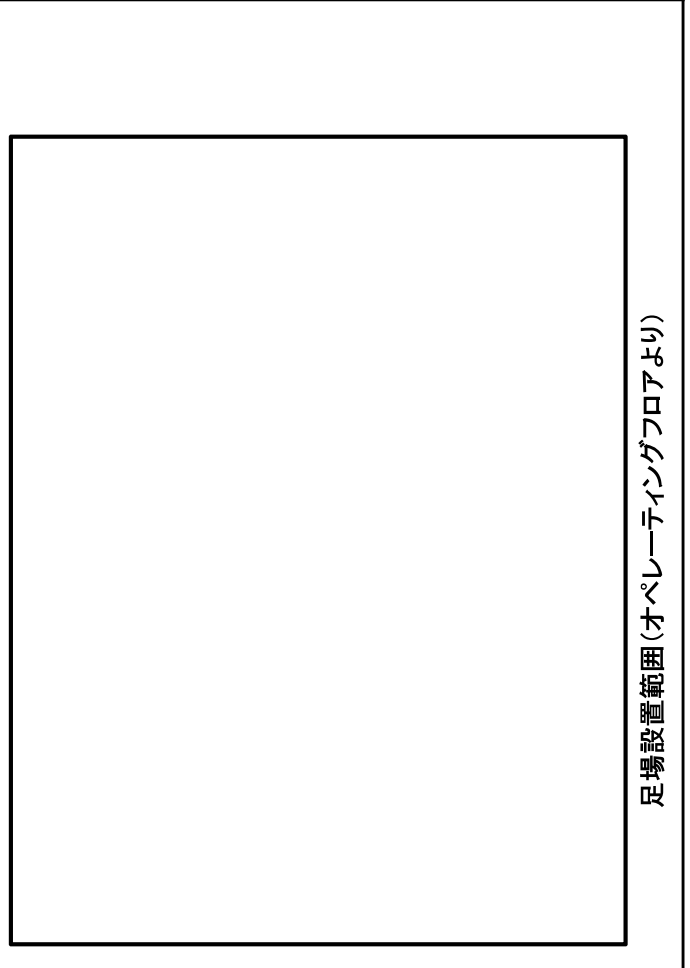
※1：消防法に基づく定期的な点検（外観点検、作動試験）については、案1、案2、案3のいずれにおいても直接目視又は双眼鏡による点検及び遠隔試験機能を用いた作動試験にて対応可能であり、足場の設置は不要。ただし、感知器は一般産業品であり、劣化を考慮した定期取替及び偶発故障時の取替が必要なため、感知器取替作業について比較検討を実施した。

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 (<input type="text"/> 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 <input type="text"/>】</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>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 <input type="checkbox"/>】</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> <div data-bbox="751 1151 1412 2047" style="border: 1px solid black; height: 350px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right;">ポークレーンガンター上部</p>	<p>【案3 <input type="checkbox"/>】</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。 <div data-bbox="794 170 1289 1061" style="border: 1px solid black; height: 350px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right;">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。

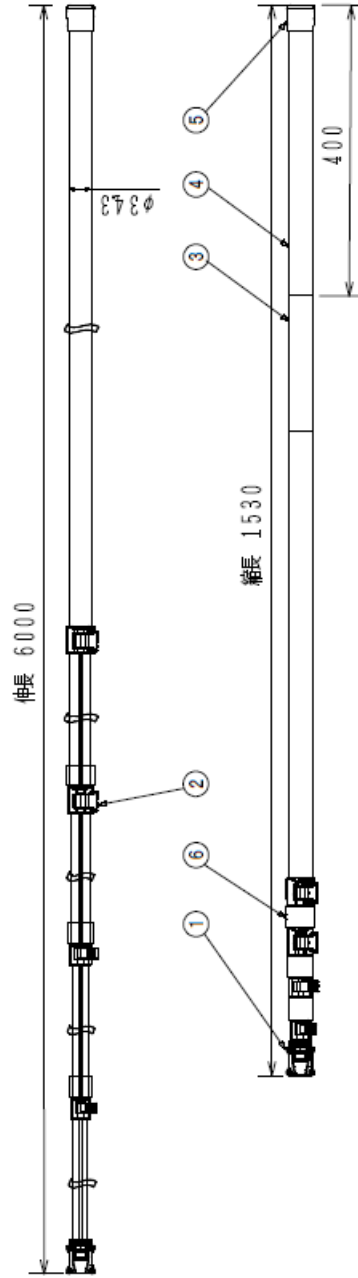
原子炉格納容器内オペレーティングフロア最上部の煙感知器設置及び 保守点検に係る作業計画について（5 / 5）

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

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。

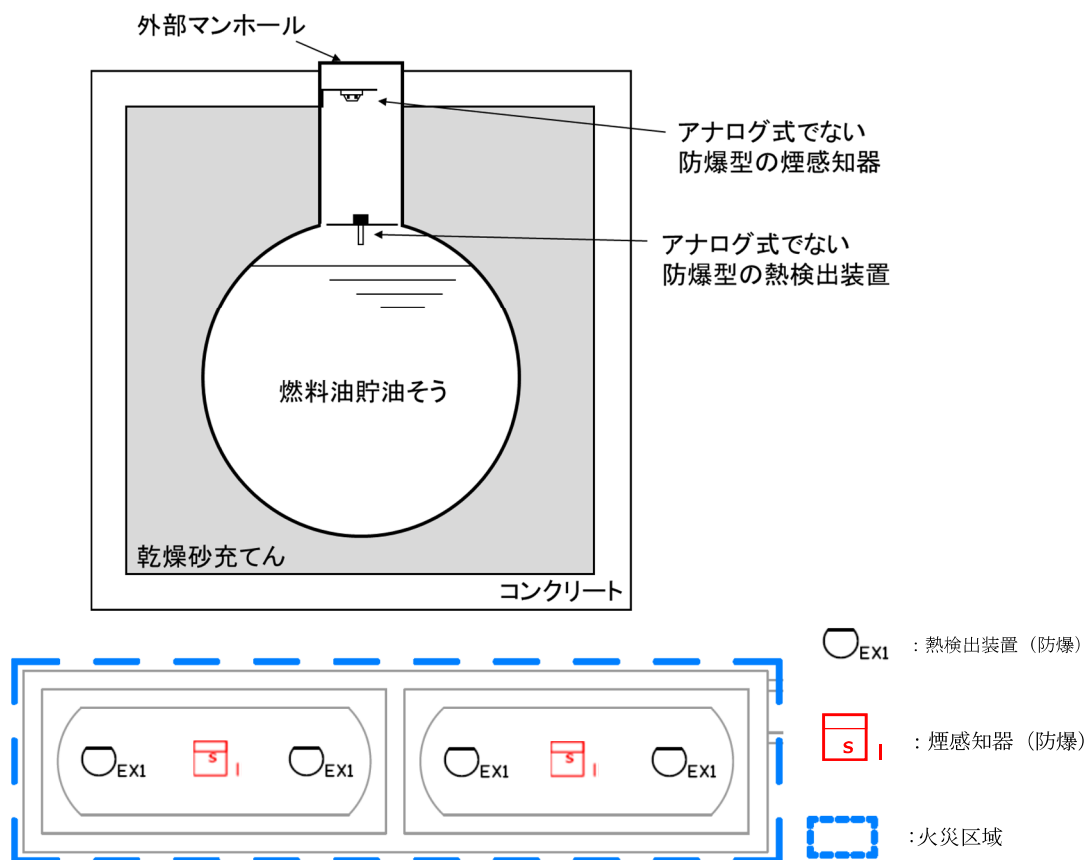
今回、火災感知器の設計にあたっては、その環境条件及び機器の設置条件等を踏まえて個別に火災感知器の設計を行う。

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。また、アナログ式でない防爆型の熱検出装置は、燃料油貯油そうの温度を有意に変動させる加熱源等を設置しない設計とし、燃料油貯油そう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熱検出装置を設置することで、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り、環境条件等を考慮すると、以下の2つのエリアに区別することができる。

①一般エリア

- A 固体廃棄物貯蔵庫
- C 固体廃棄物貯蔵庫（2F）
- D 固体廃棄物貯蔵庫（2F）

②放射線量が高い場所を含むエリア

- B 固体廃棄物貯蔵庫
- C 固体廃棄物貯蔵庫（1F）
- D 固体廃棄物貯蔵庫（1F）

3・4・2 固体廃棄物貯蔵庫の火災感知器設計

3・4・1項で大別した①及び②それぞれのエリアについて、そのエリア内の環境条件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

放射線量が低い一般エリアであるA固体廃棄物貯蔵庫、C固体廃棄物貯蔵庫（2F）、D固体廃棄物貯蔵庫（2F）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。

(2) 放射線量が高い場所を含むエリア

保安規定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、プラント運転中において線量当量率が最も高い区分3のエリアであり、B固体廃棄物貯蔵庫、C固体廃棄物貯蔵庫（1F）及びD固体廃棄物貯蔵庫（1F）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・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」に示す。

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。

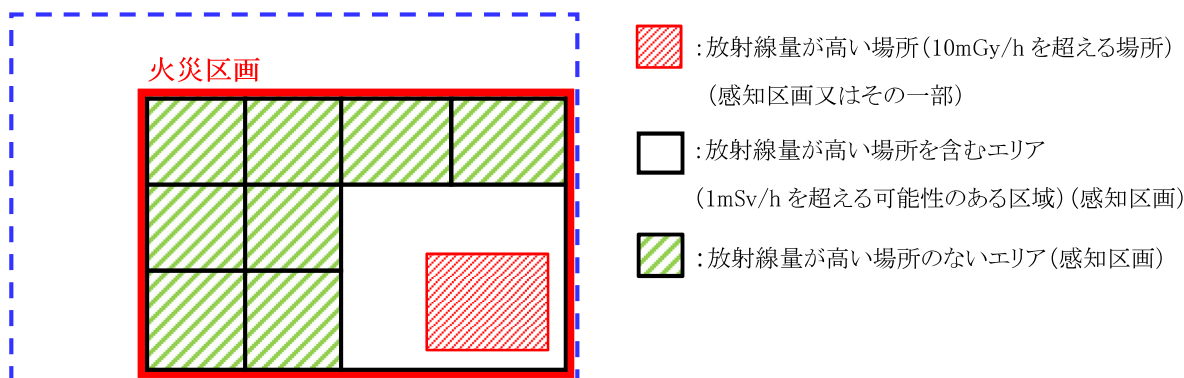
3-5-1 放射線量が高い場所を含むエリアの概要

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、⑳廃棄物処理建屋の制御室エリア、㉑B 固体廃棄物貯蔵庫、㉒C 固体廃棄物貯蔵庫（1 F）及び㉓D 固体廃棄物貯蔵庫（1 F）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。

火災区域



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 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。 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。 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"> 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。 40 年相当の線量照射時、各感知器共故障した。 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。

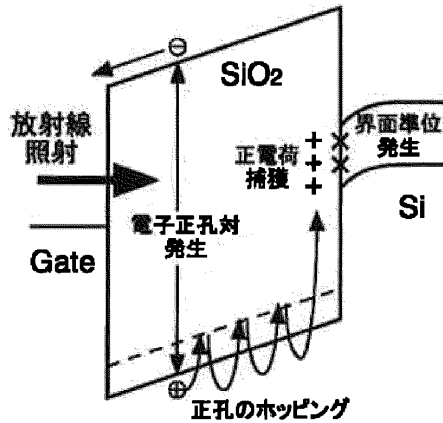
実機プラントにおける感知器の故障実績及び上記の試験結果から、γ 線の影響がある場所に設置するアナログ式の感知器は、約 100Gy の吸収線量で故障すると判断した。

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

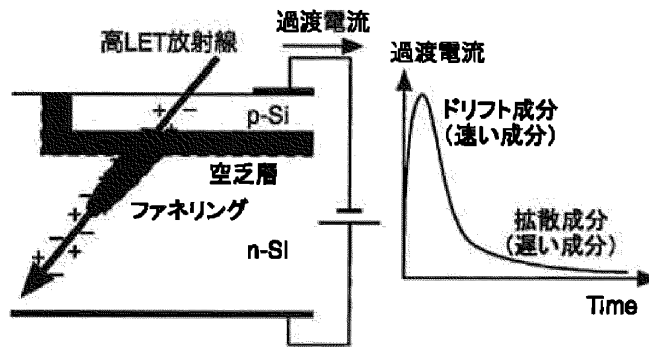
ハ. 文献調査結果

半導体の放射線による故障は、第 3-5-2-1 図に示すトータルドーズ効果又は第 3-5-2-2 図に示すシングルイベント効果によるものであるが、原子力発電所の管理区域のように主な放射線の線種が γ 線の環境では、被ばく線量の増加に伴い素子の特性が変化するトータルドーズ効果による影響が支配的といえる。

※1,2

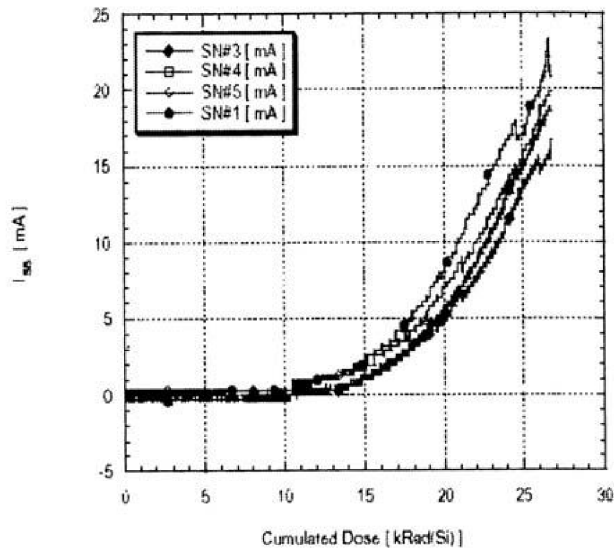


第 3-5-2-1 図 トータルドーズ効果のメカニズム



第 3-5-2-2 図 シングルイベント効果による過渡電流発生メカニズム

γ 線照射によるトータルドーズ効果の影響で、半導体デバイスは約 100Gy の吸収線量で劣化が見られるとされている。*3 第 3-5-2-3 図の X 軸は吸収線量を示し、Y 軸はスタンバイ電流を示しており、約 10krad(=100Gy)から徐々に電流が増加し、性能が劣化していることを確認できる。



第 3-5-2-3 図 γ 線照射結果によるトータルドーズ効果の影響

参考文献

- ※ 1 : 半導体デバイスに対する宇宙放射線照射効果 (2014 年 : 日本信頼性学会誌)
- ※ 2 : 放射線による半導体素子の劣化・故障 (2004 年 : 日本信頼性学会誌)
- ※ 3 : RADFET による宇宙機環境におけるトータルドーズ計測法 (2008 年 : 鹿児島大学博士論文)

イ〜ハで説明した過去の故障実績、当時の原因調査結果及び文献調査結果より、アナログ式の感知器は、1 サイクルのプラント運転中に故障しないよう 13 ヶ月で 100Gy を超えない場所に設置する必要があるため、感知器故障の観点から設置場所に対する放射線量の閾値を 10mGy/h ($< 100\text{Gy} \div 365 \text{ 日} \div 24\text{h/日} \times 12 \div 13$) と設定する。

なお、1 次冷却材中の放射性核種の主体が CP (腐食生成物) であり、エネルギー領域が中程度 (0.1~数 MeV) であることから、実効線量/吸収線量 ≈ 1 として換算でき、吸収線量 (Gy) \approx 実効線量 (Sv) と考えることが可能である。

また、アナログ式でない煙感知器、光電分離型煙感知器及びアナログ式でない炎感知器についても、半導体素子を使用していることから、アナログ式の感知器と同様に感知器故障の観点から設置場所に対する放射線量の閾値を 10mGy/h と設定する。

(2) 放射線量が高い場所に設置する感知器等の選択

アナログ式の感知器は10mGy/hを超える場所では1サイクルのプラント運転中に故障すると考えられるため、放射線量が高い場所に設置する感知器等として、設置許可に記載のアナログ式でない感知器等の中から、火災防護審査基準の要求事項を踏まえて具体的な感知器等を選択する。

放射線量が高い場所に設置する感知器等の選択方法を第3-5-2-3表に整理し、取付面の高さを考慮した場合の検討結果を第3-5-2-4表にまとめ、各エリアに設置する感知器等の選択結果を第3-5-2-5表に示す。

イ. 火災防護審査要求事項を踏まえた感知器等の選択

アナログ式の感知器以外の感知器等を抽出し、第3-5-2-4表及び第3-5-2-5表のとおり、火災防護審査基準への適合性、火災感知設備の現場施工性を基に各感知方式で使用する感知器等の種類を選択する。

第3-5-2-4表により放射線量が高い場所（10mGy/hを超える場所、以下同じ。）に設置する感知器等は、煙感知方式の「空気吸引式の煙検出装置」及び熱感知方式の「アナログ式でない熱感知器（天井高さが床面から8m以上15m未満の場合は差動分布型熱感知器）」とする。なお、設置許可（添付書類八）で原子炉格納容器内ループ室等は「アナログ式でない熱感知器」を設置する方針としているため、「アナログ式でない熱感知器」の使用を優先する。

上記に加えて、エリア内の放射線量が低い場所（10mGy/h以下の場所、以下同じ。）に設置する感知器等の種類は、天井高さが床面から8m未満の場合は煙感知方式の「アナログ式の煙感知器」及び熱感知方式の「アナログ式の熱感知器」、天井高さが床面から8m以上の場合は煙感知方式の「アナログ式の煙感知器」、熱感知方式の「アナログ式の熱感知器」及び炎感知方式の「アナログ式でない炎感知器」から選択する設計とする。

以上の設計の考え方にに基づき、各エリアに設置する感知器等を第3-5-2-5表のとおり選択する。

第 3-5-2-3 表 火災防護審査基準の要求事項及び感知器等の選択方法

火災防護審査基準	要求事項	感知器等の選択方法
<p>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。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>火災の早期感知(火災の性質を考慮した異なる感知方式の組合せ)</u> ・ <u>環境条件の考慮(放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等)</u> ・ <u>誤作動の防止</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>放射線量が高い場所で使用可能な感知器等を抽出し、感知方式(熱、煙、炎)毎に基準適合の観点から最適な感知器等の種類を選択する。</u> ・ 基準適合の観点から、環境条件の考慮として<u>故障の防止及び感知性能の確保、誤作動の防止、網羅性の確保、電源の確保、監視</u>の6項目について評価する。
<p>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。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消防法施行規則で求められる火災区域内の火災感知器の<u>網羅性の確保</u> ・ 消防法施行規則で求められる<u>感知性能の確保(環境条件の考慮に含まれる)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ その他、<u>現場施工性</u>として網羅性の確保に必要な施工の成立性も含めて評価し、関連項目として参考評価する。
<p>外部電源喪失時に機能を失わないように、電源を確保する設計であること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用<u>電源の確保</u> 	
<p>中央制御室で適切に監視できる設計であること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中央制御室での<u>監視</u> 	

第3-5-2-4表 アナログ式の感知器以外の感知器等の比較評価 (1/3)

・天井高さが床面から8m未満の放射線量が高い場所で使用可能な感知器等の選定

感知方式		熱感知方式			煙感知方式		炎感知方式	
火災感知器種類		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	アナログ式でない煙感知器 (スポット型)	光高分離型煙感知器 (非蓄積型)	空気吸引式の煙検出装置	アナログ式でない炎感知器
設置環境 放射線の考慮 (故障の防止)	環境条件	○	○	○	×	×	○	×
	考慮事項							
	取付面高さ、温度、湿度、蒸気、湿度等の考慮 (感知性能の確保)	○	○	○	○	×	○	×
	誤作動の防止	○	○	○	○	○	○	○
設置環境 保護の確保	保護の確保	○	○	○	○	×	○	×
	電源の確保	○	○	○	○	○	○	○
設置環境 監視	監視	○	○	○	○	○	○	○
	現場施工性 (保護性の確保に必要な施工の成立性)	○	△	△	○	×	△	×
評価	各感知方式で使用する火災感知器	○	△	△	×	×	△	×

○：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

※:アナログ式でない熱感知器を光ファイバーケーブル、差動分布型熱感知器より優先使用

第 3・5・2・4 表 アナログ式の感知器以外の感知器等の比較評価 (2/3)

- ・天井高さが床面から 8m 以上 20m 未満の放射線量が高い場所で使用可能な感知器等の選定

感知方式	熱感知方式				煙感知方式			炎感知方式
	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	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 (非箱型)	空気吸引式の煙検出装置	アナログ式でない炎感知器	
火災感知器種類	放射線の考慮 (防護の防止)	○	○	○	×	○	×	×
	環境条件の考慮	△	△	△	○	△	×	×
	誤作動の防止	○	○	○	○	○	○	○
	誤警報の防止	○	○	○	○	○	○	○
設置項目	現場施工 (信頼性の確保に必要な施工の確立性)	○	△	△	○	○	○	×
	名感知方式で使用する火災感知器	△	△	△	×	△	×	×

○：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

※：天井高さが床面から 8m 以上 15m 未満の場合は差動分布型熱感知器を使用
 天井高さが床面から 15m 以上の場合は、アナログ式でない熱感知器を光ファイバーケーブル、差動分布型熱感知器より優先使用

第3-5-2-4表 アナログ式の感知器以外の感知器等の比較評価 (3/3)

・天井高さが床面から20m以上の放射線量が高い場所で使用する感知器等の選定

感知方式	熱感知方式			煙感知方式			炎感知方式
	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	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	
火災感知器種類	放射線の考慮 (取遣の停止)	○	○	○	×	○	×
	環境条件の考慮	△	△	△	△	△	×
		△	△	△	△	△	△
	誤作動の防止	○	○	○	○	○	○
継続性の確保	○	○	○	○	×	×	
電源の確保	○	○	○	○	○	○	○
監視	○	○	○	○	○	○	○
現場施工性 (継続性の確保に必要な施工の成立性)	○	△	△	○	×	△	×
評価	△	△	△	×	×	△	×

○：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

※:アナログ式でない熱感知器を光ファイバーケーブル、差動分布型熱感知器より優先使用

第3・5・2・5表 放射線量が高い場所を含むエリアに設置する感知器等の選択結果(1/2)

・1種類目の感知器等の選択結果

放射線量が高い場所を含むエリア	エリア内の天井高さ		天井高さ20m未満で放射線量が低い場所の有無 (○：有、×：無)	天井高さ20m以上の空間内におけるレーザーチングの有無 (○：有、×：無)	2種類目の火災感知器の選定	備考
	20m未満	20m以上				
①原子炉格納容器グループ室	○	○	×	○	アナログ式の煙	・レーザーチング面に設置する必要あり
②加圧器室	○	○	×	○	アナログ式の煙	同上
③インコアモータイス室	○	○	○	×	アナログ式の煙 空気吸引式の煙	・放射線量の高い場所と低い場所で使い分け
④再生熱交換器室	○	○	○	-	アナログ式の煙	・放射線量が低い場所はあるが念のためアナログ式でない熱を選定
⑤⑧⑩各フィルタ室（高線量）	○	○	×	-	空気吸引式の煙	
⑥⑦⑨⑪⑬各フィルタ室	○	○	×	-	アナログ式の煙	
⑰⑱各脱塩塔室（高線量）	○	○	×	-	空気吸引式の煙	
⑮⑯各脱塩塔室	○	○	×	-	アナログ式の煙	
⑳廃棄物処理建屋の制御室エリア	○	○	○	-	アナログ式の煙	
21 B 固体廃棄物貯蔵庫	○	○	○	-	アナログ式の煙	
22 C 固体廃棄物貯蔵庫（1F）	○	○	○	-	アナログ式の煙	
23 D 固体廃棄物貯蔵庫（1F）	○	○	○	-	アナログ式の煙	

第 3・5・2・5 表 放射線量が高い場所を含むエリアに設置する感知器等の選択結果(2/2)

・ 2 種類目の感知器等の選択結果

放射線量が高い場所を含むエリア	エリア内の天井高さ		天井高さ8m未満で放射線量が低い場所の有無 (○：有、×：無)	天井高さ8m以上の空間内におけるグレーチングの有無 (○：有、×：無)	1 種類目の火災感知器の選定	備考
	8m未満	8m以上				
①原子炉格納容器ループ室		○	×	○	アナログ式でない熱*	・グレーチング面に設置する必要あり
②加圧器室		○	×	○	アナログ式でない熱	同上
③インコアモニタエス室	○		○	×	アナログ式の熱 アナログ式でない熱	・放射線量の高い場所と低い場所を使い分け
④再生熱交換器室	○		○	-	アナログ式でない熱	・放射線量が低い場所はあるが念のためアナログ式でない熱を選定
⑤⑧⑩⑫各フィルタ室 (高線量)	○		×	-	アナログ式でない熱	
⑥⑦⑨⑬⑭各フィルタ室	○		×	-	アナログ式の熱	
⑰⑱各脱塩塔室 (高線量)	○		×	-	アナログ式でない熱	
⑮⑯各脱塩塔室	○		×	-	アナログ式の熱	
⑳廃棄物処理建屋の制御室エリア	○		○	-	アナログ式の熱	
21 B 固体廃棄物貯蔵庫	○		○	-	アナログ式の熱 アナログ式でない熱	・放射線量の高い場所と低い場所を使い分け
22 C 固体廃棄物貯蔵庫 (1 F)	○		○	-	アナログ式の熱	
23 D 固体廃棄物貯蔵庫 (1 F)	○		○	-	アナログ式の熱	

※：原子炉格納容器ループ室は天井高さが14.3mで差動分布型熱感知器が使用できるが、大部分がグレーチングであることを考慮し、アナログ式でない熱感知器を選択

3-5-3 放射線量が高い場所を含むエリアにおける干渉物の観点からの現場施工の成立性について

放射線量が高い場所を含むエリアに感知器等を設置するにあたり、各エリアの干渉物の状況を整理し、干渉物の観点から現場施工の成立性について確認した。

(1) エリア内の放射線量が低い場所（10mGy/h 以下の場所）における現場施工の成立性

放射線量が高い場所を含むエリアの内、①原子炉格納容器ループ室、②加圧器室、④再生熱交換器室、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、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、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再生熱イオン交換器室、⑳廃棄物処理建屋の制御室エリア、㉑B 固体廃棄物貯蔵庫、㉒C 固体廃棄物貯蔵庫（1 F）及び㉓D 固体廃棄物貯蔵庫（1 F）は、エリア内に放射線量が低い場所があるため、そこにアナログ式の煙感知器又はアナログ式の熱感知器を設置するが、現場施工に影響を与える干渉物がないことから、現場施工の成立性に問題はない。なお、②加圧器室については、放射線量が低い場所にあるグレーチング面にアナログ式の煙感知器を設置する設計であり、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するよう設置する設計に該当するため、その具体的な設計については補足説明資料 3-11 に示す。

(2) エリア内の放射線量が高い場所（10mGy/h を超える場所）における現場施工の成立性

放射線量が高い場所を含むエリアの内、①原子炉格納容器ループ室及び②加圧器室は、エリア内の放射線量が高い場所にアナログ式でない防爆型の熱感知器を設置するが、現場施工に影響を与える干渉物がないことから、現場施工の成立性に問題はない。ただし、①原子炉格納容器ループ室及び②加圧器室は放射線量が高い場所にあるグレーチング面にアナログ式でない防爆型の熱感知器を設置する設計であり、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するよう設置する設計に該当するため、その具体的な設計については補足説明資料 3-11 に示す。

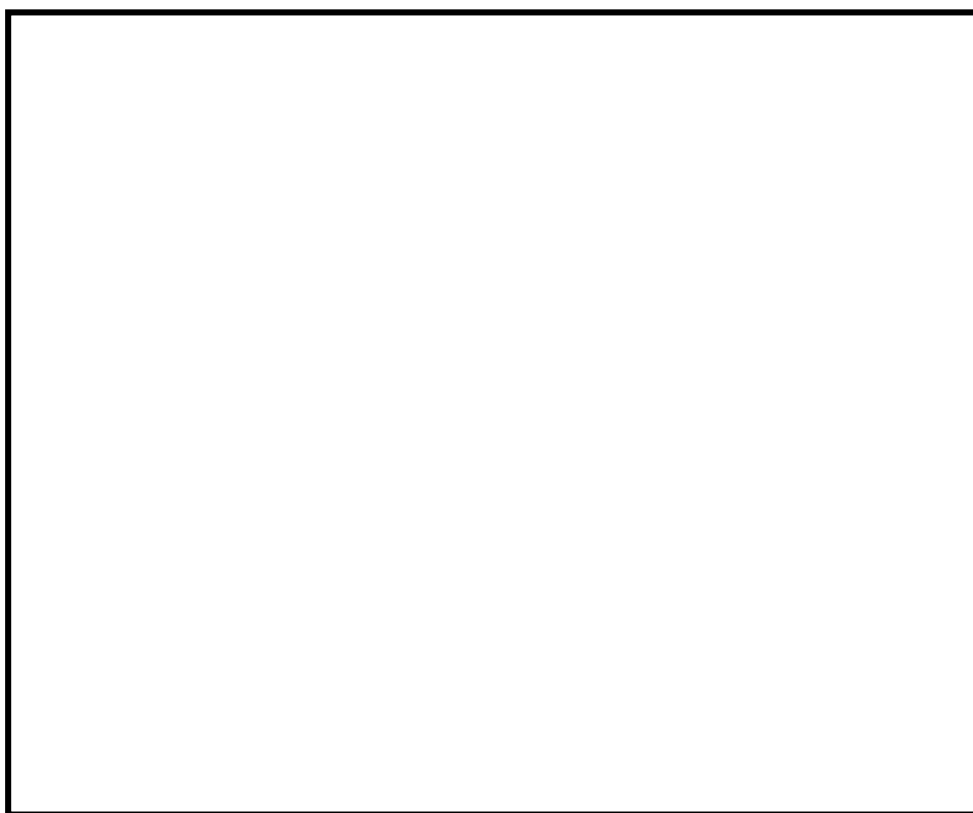
また、放射線量が高い場所を含むエリアの内、⑤廃液フィルタ室、⑧原子炉キャビティフィルタ室、⑩冷却材脱塩塔入口フィルタ室、⑫冷却材フィルタ室、⑰ほう酸回収装置混床式脱塩塔及び⑱冷却材混床式脱塩塔室は、エリア内の放射線量が高い場所に空気吸引式の煙検出装置及びアナログ式でない防爆型の熱感知器を設置するにあたり、現場施工に影響を与える干渉物がないことから、現場施工の成立

性に問題はない。ただし、③インコアモニタチェス室は、現場施工に影響を与える干渉物が存在するため、干渉物の状況を以下のとおり整理し、干渉物の観点から現場施工の成立性を評価する。

イ. ③インコアモニタチェス室

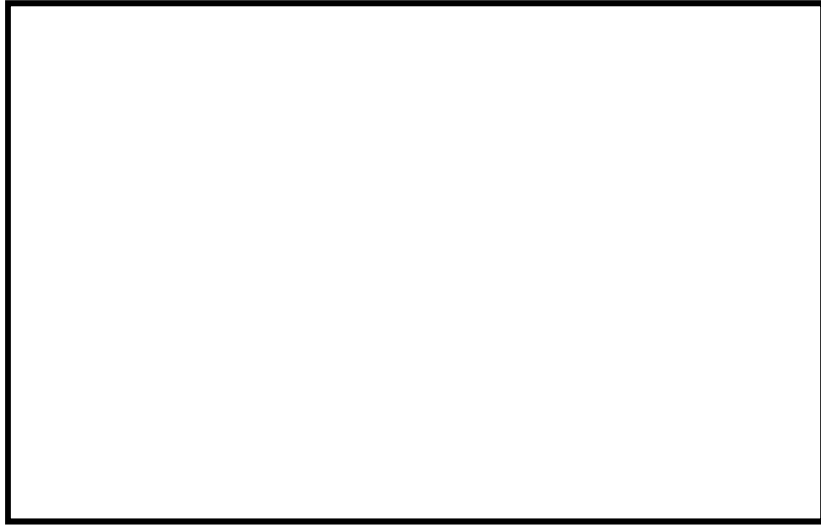
インコアモニタチェス室にはシンプル配管、原子炉下部キャビティ水位計及び電線管、照明及び照明用電線管が設置されている。また、高放射線の影響を防止するため、インコアモニタチェス室の周りは厚さ約 900mm のコンクリート壁が設置されている。

床面はシンプル配管が広く敷設されており、作業の際の足場設置時に干渉する。また、空気吸引式の煙検出装置の設置時は網羅性と耐震性を確保した配管配置とする必要があるため、配管や電線管及びそれらのサポート等が干渉物となり施工性は非常に低い。干渉物の観点における現場施工の成立性に問題はない。ただし、エリア下部から天井面を貫通して設置されているシンプル配管が干渉物となり、感知器の設置及び保守点検作業に必要な足場設置ができないため、感知器の設置に適する場所がないことから、火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法で感知器を設置することができない。



第 3-5-3-1 図 シンプル配管上面図及び断面図

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 3-5-3-2 図 インコアモニタチェス室照明配置図

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。

3-5-4 放射線量が高い場所を含むエリアにおける被ばくの観点からの現場施工の成立性について

放射線量が高い場所を含むエリアに感知器等を設置するにあたり、被ばくに関する考慮事項を整理し、各エリアの放射線量を勘案した上で被ばくの観点から現場施工の成立性について確認した。また、その結果を踏まえた感知器設計について以下に示す。

(1) 「火災感知器の設置等における放射線業務従事者である作業員の被ばく線量及び作業に係る集団線量」に対する考慮事項

火災感知器の設置及び保守点検においては、放射線業務従事者である作業員の被ばく線量（以下、「作業員の被ばく線量」という。）及び作業に係る集団線量（総量管理）に留意する必要がある。

イ. 作業員の被ばく線量

放射線業務従事者の被ばく線量限度は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示」において、100mSv/5年、50mSv/年である。

電離放射線障害防止規則第1条では、「事業者は、労働者が電離放射線を受けることをできるだけ少なくするよう努めなければならない。」としている。

また、「原子力施設における放射線業務及び緊急作業に係る安全衛生管理対策の強化について」（基発0810第1号、平成24年8月）において、放射線業務従事者の1日の実効線量が1ミリシーベルトを超えるおそれのある放射線業務（作業）は放射線作業届を労働基準監督署へ提出することが必要であり、作業員の被ばく線量が1ミリシーベルト/日を上回らないことを一つの目安として、作業計画を立案している。

ロ. 集団線量

集団線量については、法令要求はないものの、電離放射線障害防止規則第1条より事業者として可能な限り被ばく線量を少なくするよう努める必要がある。

今般の作業追加により集団線量を大きく増加させないためには、設置及び保守点検を考慮して、可能な限り線量の低い箇所に火災感知器を設置することが必要である。

以上から、作業員の被ばく線量が線量限度を超えないよう考慮し、その上で、集団線量についても確認する。

(2) 「火災感知器の設置等における作業員の被ばく線量及び作業に係る集団線量」の確認事項について

イ. 作業員の被ばく線量の確認事項

- 火災感知器の設置及び保守点検に伴う作業員の被ばく線量が、線量限度（100mSv/5年、50mSv/年）を満足すること。
- 作業員の被ばく線量が1mSv/日を超えないことを目安として、感知器の設置場所を選定し、作業計画を立案する。

ロ. 作業に係る集団線量の確認事項

- 作業に係る集団線量は、可能な限り低くなるよう努める。
- 至近の高浜発電所の年間線量及び定検線量（いずれも集団線量）を第3-5-4-1表に示す。感知器等の設置及び保守点検時における作業に係る集団線量が、年間線量又は定検線量を大きく増加させないことを確認する。

第3-5-4-1表 高浜発電所の年間線量及び定検線量

参考データ	集団線量計(人・mSv)
2020年度 高浜発電所年間線量(3号機)	約 380
2020年度 高浜発電所年間線量(4号機)	約 640
3号機第24回定検(2020.1.6~2021.4.25)	約 850
4号機第23回定検(2020.10.7~2021.5.13)	約 620

(3) 工事設計における被ばくの考慮について

工事設計における作業員の被ばく線量及び作業に係る集団線量を次のとおり試算し、評価する。

イ. 被ばく管理上の設計方針

作業における被ばく管理は、社内標準に則り、作業員の被ばく線量（mSv）及び作業に係る集団線量（人・mSv）が可能な限り低くなるよう計画する。作業計画を立てる際には、放射線防護上必要な措置を講じることにより、作業員の被ばく線量及び作業に係る集団線量（以下、「被ばく線量及び集団線量」という。）の低減を図る。計画した作業の被ばく線量及び集団線量が許容できない場合、作業計画を見直す。

火災防護に必要な作業については、次の手順で作業計画の妥当性を確認する。

イ) 作業計画の立案

被ばく線量及び集団線量を低減するために、作業は個人の受ける線量を合理的に達成できる限り低減するため原則として次のように行う。

- 事前に被ばくの経歴、作業環境及びその変化を考慮し、個人の受ける線量を低減できるよう作業計画を立てるとともに、作業方法、手順等について、その周知徹底を図る。(例. 作業場所の線量が低い時期の確認)
- 放射線防護については、防護具類、個人線量計の着用、時間制限等必要な条件を定める。
- 作業を行う場合は、責任者を定めるとともに上記条件等を遵守させ、個人の受ける線量の低減を図る。
- 作業中に作業環境の変化が起こり得るような場合は、必要に応じ、外部放射線に係る線量、空気中の放射性物質の濃度等を測定し、作業環境の確認を行う。
- 必要な場合は一時遮へいの使用、除染等を行い作業環境の保全に努める。(例. 一時遮へいを用いた線源の遮へい、線源の移動)
- 作業管理については、立会い等により指導助言を行う。

ロ) 作業計画の改善

前項による放射線防護上必要な措置を反映した作業計画にもかかわらず、被ばく線量及び集団線量が許容できない場合、実施計画を見直す。

ハ) 判断基準及び考慮事項

作業計画の改善を要する基準及び考慮事項は次のとおりとする。

- ・ 火災感知器の設置及び保守点検に伴う作業員の被ばく線量が、線量限度(100mSv/5年、50mSv/年)を満足すること。
- ・ 作業員の被ばく線量が1mSv/日を超えないこと。
- ・ 火災感知器の設置及び保守点検時の集団線量について、年間線量又は定検線量を大きく増加させないこと。
- ・ 被ばく線量及び集団線量を可能な限り低くすること。

(4) 放射線量が高い場所を含むエリアの分類及び放射線量

放射線量が高い場所を含むエリアの放射線量の確認結果を第 3・5・4・2 表に示す。

第3・5・4・2表 放射線量が高い場所を含むエリアの放射線量

設置エリア	設置時および保守点検時の放射線量 (mSv/h)	説明
①原子炉格納容器ループ室		<ul style="list-style-type: none"> ・作業に係る被ばく線量を検討した結果、(以下、「被ばくの観点」という。)定検中に設置及び保守点検が可能。
②加圧器室		<ul style="list-style-type: none"> ・被ばくの観点で、定検中に設置及び保守点検が可能。
③インコアモニタチェス室		<ul style="list-style-type: none"> ・線源となる燃料を取出し後、かつ、検出器の位置により放射線量が低下する期間がある。
④再生熱交換器室		<ul style="list-style-type: none"> ・被ばくの観点で、定検中に設置及び保守点検が可能。
⑤～⑭各フィルタ室		<ul style="list-style-type: none"> ・線源である各フィルタの交換を一齐に行えないため、常時放射線量が高く、設置を勘案した設置箇所に適さない
⑮～⑲各塩塔室		<ul style="list-style-type: none"> ・線源である各樹脂の交換を一齐に行えないため、常時放射線量が高く、設置を勘案した設置箇所に適さない
⑳廃棄物処理建屋の制御室エリア		<ul style="list-style-type: none"> ・被ばくの観点で、問題なく設置及び保守点検が可能。
㉑ B 固体廃棄物貯蔵庫		<ul style="list-style-type: none"> ・線源となるドラム缶の移動等により、放射線量を下げることが可能なことから、設置及び保守点検が可能。
㉒ C 固体廃棄物貯蔵庫 (1 F)		<ul style="list-style-type: none"> ・被ばくの観点で、問題なく設置及び保守点検が可能。
㉓ D 固体廃棄物貯蔵庫 (1 F)		<ul style="list-style-type: none"> ・被ばくの観点で、問題なく設置及び保守点検が可能。

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。

- (5) 火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法により感知器等を設置することが適切でないエリアにおける設計方針とこれに基づく被ばく線量及び集団線量について

放射線量が高い場所を含むエリアの内、①原子炉格納容器ループ室については、感知器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があり、煙感知器は消防法施行規則第 23 条第 4 項第 7 号ホ、熱感知器は消防法施行規則第 23 条第 4 項第 3 号ロを満足するように設置できない。また、壁面の放射線量が低い場所にアナログ式でない炎感知器を設置しても配管・サポート類が障害物となりエリア内を網羅的に監視することができない。従って、火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法により感知器を設置することが適切でないため、グレーチング面又はグレーチング面が大部分を占める天井面に放射線量が低い場所からエリア内を網羅的に監視することができるアナログ式の煙感知器と高放射線環境下でも使用可能なアナログ式でない熱感知器を設置することにより、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するよう感知器等を設置することで、技術基準規則に適合させる方針とする。設計基準の定義及び具体的な設計については、補足説明資料 3-11 に示す。

②加圧器室については、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、熱感知器は消防法施行規則第 23 条第 4 項第 2 号を満足するように設置できない。また、壁面の放射線量が低い場所にアナログ式でない炎感知器を設置しても配管・サポート類が障害物となりエリア内を網羅的に監視することができない。従って、火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法により感知器を設置することが適切でないため、グレーチング面又はグレーチング面が大部分を占める天井面に高放射線環境下でも使用可能なアナログ式でない熱感知器を設置することにより、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するよう感知器等を設置することで、技術基準規則に適合させる方針とする。設計基準の定義及び具体的な設計については、補足説明資料 3-11 に示す。

③インコアモニタチェス室、⑤廃液フィルタ室、⑧原子炉キャビティフィルタ室、⑪冷却材脱塩塔入口フィルタ室、⑫冷却材フィルタ室、⑰ほう酸回収装置混床式脱塩塔室及び⑱冷却材混床式脱塩塔室については、放射線量が高く、アナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器は使用できないことから、空気吸引式の煙検出装置及びアナログ式でない熱感知器の設置及び保守点検を実施する際の作業計画における被ばく線量及び集団線量を試算する。

試算の結果、判断基準及び考慮事項を満足できず、作業員の被ばくの観点から火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法により感知器等を設置することが適切でないため、以下のエリアについては、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するよう感知器等を設置することで、技術基準規則に適合させる方針とする。

- ・③インコアモニタチェス室では、線源となる燃料を取出し後、かつ、検出器の位置により放射線量が低下する期間があり、実施時期の適性を図ることは可能である。ただし、エリア下部から天井面を貫通して設置されているシングル配管が干渉物となり、感知器等の設置及び保守点検作業に必要な足場設置ができないため、感知器の設置に適する場所がない。また、空気吸引式の煙検出装置は、設置に時間を要することから設置における被ばく線量及び集団線量の試算結果が判断基準及び考慮事項を満たさないため、エリア内に煙感知器を設置することは適切でない。

以上より、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があり、煙感知器は消防法施行規則第23条第4項第7号ホ、熱感知器は消防法施行規則第23条第4項第3号ロを満足するように設置することができず、かつ、火災防護審査基準2.2.1(1)②に定められた方法により感知器等を設置することが適切でないため、火災防護審査基準2.2.1(1)②に定められた方法と別の設計基準を満足するよう感知器等を設置することで、技術基準規則に適合させる方針とする。

- ・⑤～⑭各フィルタ室、⑮～⑲各塩塔室では、線源となる放射性物質の除去を必要な時期に実施できないことから、常時放射線量が高く、保守点検における被ばく線量及び集団線量の試算結果が判断基準及び考慮事項を満たさない。作業員の被ばくの観点から火災防護審査基準2.2.1(1)②に定められた方法により感知器等を設置することが適切でないため、火災防護審査基準2.2.1(1)②に定められた方法と別の設計基準を満足するよう感知器等を設置することで、技術基準規則に適合させる方針とする。

上記のエリアにおける設計基準の定義及び具体的な設計については、補足説明資料3-11にて示す。

見直した設計方針に基づき各エリアの被ばく線量及び集団線量を試算した結果を第3-5-4-3表に示す。

第 3-5-4-3 表 ③及び⑤～⑩のエリアの被ばく線量及び集団線量

【設置時線量】

	火災感知器個数					①放射線量 (mSv/h) 【想定線量率】	②設置作業工数 (人・h)	③作業人数 (人)	④作業日数 (日)	集団線量 (人・mSv) 【①×②】	作業員の個人線量 (mSv/日) 【(①×②÷③)÷④】	判定
	新設 (個)			既設 感知器	総数							
	煙感知器	熱感知器	炎感知器									
③インコモニタチェイス※2	1	2	-	0	3	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	
⑤～⑦各フィルタ室※1	-	-	-	0	0							
⑧～⑩各フィルタ室※1	-	-	-	0	0							
⑪～⑬各フィルタ室※1	-	-	-	0	0							
⑭～⑯各脱塩塔室※1	-	-	-	0	0							
⑰～⑱各脱塩塔室※1	-	-	-	0	0							
⑲各脱塩塔室※1	-	-	-	0	0							

【保守点検時線量】

	火災感知器個数					①放射線量 (mSv/h) 【想定線量率】	②保守点検作業工数 (人・h)	③作業人数 (人)	④作業日数 (日)	集団線量 (人・mSv) 【①×②】	作業員の個人線量 (mSv/日) 【(①×②÷③)÷④】	判定
	新設 (個)			既設 感知器	総数							
	煙感知器	熱感知器	炎感知器									
③インコモニタチェイス※2	1	2	-	0	3	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	
⑤～⑦各フィルタ室※1	-	-	-	0	0							
⑧～⑩各フィルタ室※1	-	-	-	0	0							
⑪～⑬各フィルタ室※1	-	-	-	0	0							
⑭～⑯各脱塩塔室※1	-	-	-	0	0							
⑰～⑱各脱塩塔室※1	-	-	-	0	0							
⑲各脱塩塔室※1	-	-	-	0	0							

- ※ 1 : 隣接エリアに設置する③アナログ式の熱感知器、④アナログ式の煙感知器を兼用
- ※ 2 : ①アナログ式でない熱感知器、③アナログ式の熱感知器及び④アナログ式の煙感知器を設置
(加えて空気の流れを考慮しループ室の感知器にも期待)

試算の結果、作業員の被ばく線量が 1mSv/日を超えせず、線量限度 (100mSv/5年、50mSv/年) を満足していることを確認した。また、集団線量が年間線量 (3号機 約 380 人・mSv、4号機 約 640 人・mSv) を超過しないことを確認した。

よって、上記エリアの被ばくの観点における現場施工の成立性について問題ないものと評価する。

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。

3-5-5 放射線量が高い場所を含むエリアの火災感知器設計の詳細について

(1) ①原子炉格納容器ループ室

イ. 環境条件

エリア内最大吸収線量率 (mGy/h)	約 1
エリア内機器	1 次冷却材ポンプ、蒸気発生器, 1 次冷却材高温側温度 (広域) 検出器等
エリア面積 (m ²)	331.9

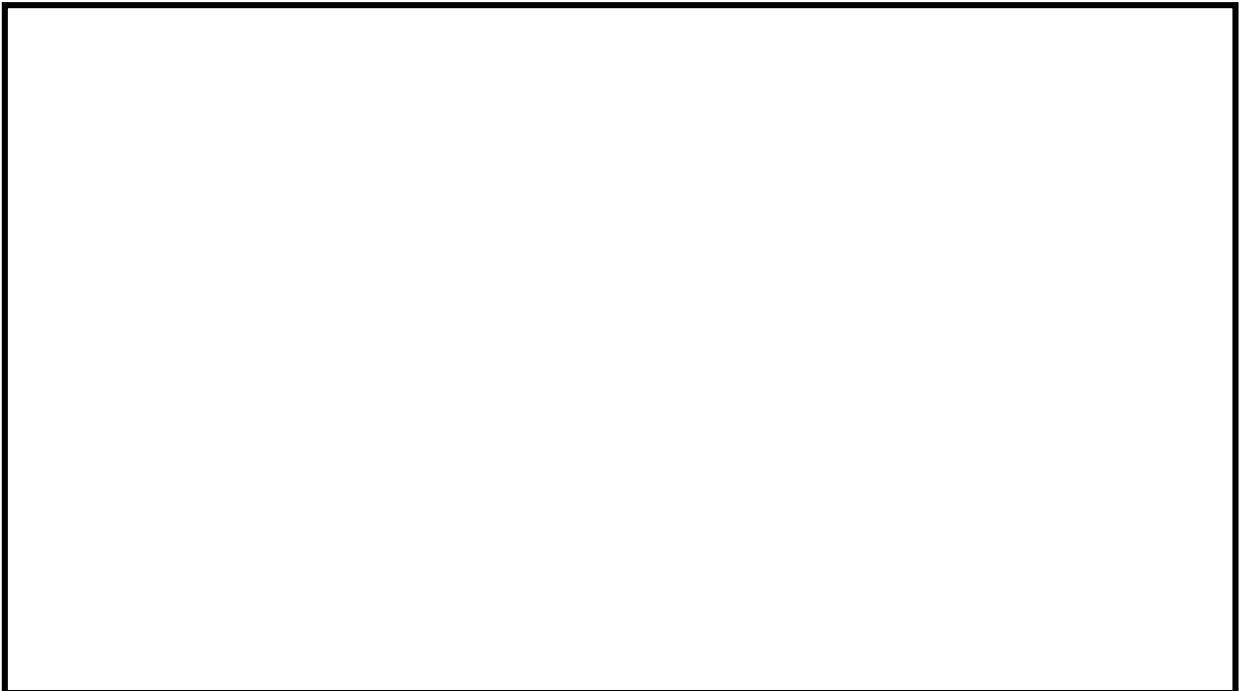
ロ. 開口部を考慮した空気の流れ

原子炉格納容器ループ室は、RCS 配管貫通部、エリア内給排気ダクト及びエリア入口部分を除き側面がコンクリート壁で閉鎖された空間である。

プラント運転中は、原子炉格納容器内に設置された格納容器再循環ファンにより原子炉格納容器内で空気は循環しており、エリア内にある給気ダクトにより原子炉格納容器ループ室に給気している。

また、プラント停止中は、格納容器給気ファン及び格納容器排気ファンによって、原子炉格納容器ループ室入口からエリア内にある排気ダクトを経由して給排気される。

第 3-5-5-1-1 図に空気の流れを示す。



第 3-5-5-1-1 図 原子炉格納容器ループ室の空気の流れ

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。

ハ. 設置する感知器

原子炉格納容器ループ室は、取付面の高さが床面から 20m 未満のため、放射線量が低い場所にある天井面にアナログ式の煙感知器、エリア内全域の天井面及びグレーチング面にアナログ式でない熱感知器を設置することで、それぞれ設計基準②を満足するよう設置する設計とする。なお、アナログ式でない熱感知器は、取付面から下方に 8m 未満の距離にある床面又はグレーチング面までを監視範囲とし、エリア内全域を監視できるよう必要な階層面に設置する。

第 3-5-5-1-2 図に感知器配置図を示す。



第 3-5-5-1-2 図 原子炉格納容器ループ室の感知器配置図

ニ. 選択理由

当該エリアは、火災区画 の一部であり、エリア内には原子炉の安全停止に必要な機器等である 1 次冷却材高温側温度（広域）検出器等がある。火災の影響を火災区画内に限定することを目的に、放射線量が低い場所にアナログ式の煙感知器、エリア内全域にアナログ式でない熱感知器を設置する。なお、アナログ式の煙感知器は、内部に半導体素子を使用しており、放射線の影響による感知器故障リスクが高いことから、エリア内の 10mGy/h 以下の場所にアナログ式の煙感知器を設置する設計とする。また、アナログ式の熱感知器

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。

は、その内部に半導体素子を使用していることから、アナログ式でない熱感知器に比べ、放射線の影響による感知器故障リスクが高く誤作動防止が困難であること及び短周期での取替が必要になる可能性が高いことから、アナログ式でない熱感知器を設置する設計とする。

このアナログ式でない熱感知器は、設定温度に対し、ON-OFF 作動するが、このエリアはプラント通常運転中に環境温度が高くなることから、熱感知器が火災以外で誤作動することのないよう、運転中に想定される温度（約 65℃以下）よりも高い設定温度で感知し、作動するものを選択する。

加えて、万一、水素が発生するような場合を考慮し、機械的な接点があり、火花の発生の恐れがあるアナログ式でない熱感知器は、発火源とならないよう念のため防爆型とする。

なお、アナログ式の煙感知器は、検出プロセスにおいて火花が発生する恐れはないことから発火源とならないため、防爆型でなくても問題ない。

ホ. 火災発生時の影響及び対応

火災区画 の一部である当該エリア内には、原子炉の安全停止に必要な機器等として1次冷却材高温側温度（広域）検出器等がある。

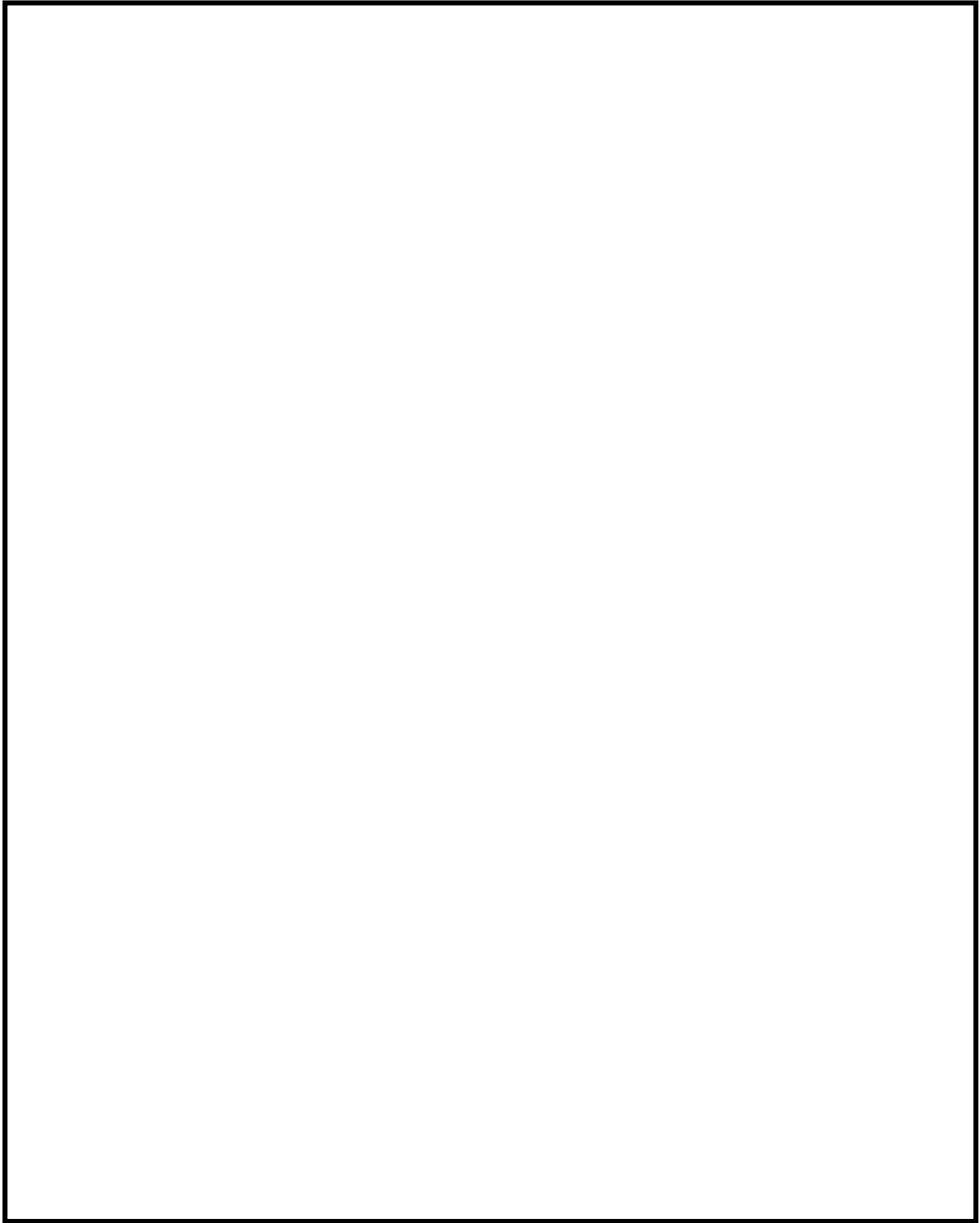
当該エリア内で万一火災が発生した場合、火災による煙及び熱は格納容器再循環ファンからの給気によって攪拌・希釈されるが、四方が壁で囲まれ流路が制限されているため煙濃度及び空気温度は均一になりながら上昇すること、並びに、給気ファンによる気流は原子炉格納容器内で循環する設計となっており、火災の継続とともにエリア内の煙濃度及び空気温度は全体的に高まっていくことを考慮して、放射線量が低い場所に床面全体を監視することができるアナログ式の煙感知器、エリア内全域にアナログ式でない熱感知器を設置することで火災を感知し、火災の状況確認及び消火活動を実施することが可能となる。

また、第 3-5-5-1-3 図に原子炉格納容器ループ室での火災発生時の空気の流れを示す。

へ. 技術基準規則への適合について

火災区画 のうち原子炉格納容器ループ室は、補足説明資料 1-1 及び 3-11 のとおり、放射線量が低い場所に床面全体を監視することができるアナログ式の煙感知器、エリア内全域にアナログ式でない熱感知器を設置することによって火災を感知することが可能であり、既工認から設計に変更のない消火活動に繋げることで火災区画内に火災の影響を限定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。

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 3-5-5-1-3 図 原子炉格納容器ループ室の火災発生時の空気の流れ

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) ②加圧器室

イ. 環境条件

エリア内最大吸収線量率 (mGy/h)	約 5
エリア内機器	加圧器逃がし弁等
エリア面積 (m ²)	31.8

ロ. 開口部を考慮した空気の流れ

加圧器室は、エリア内給気ダクト及びエリア入口部分を除き側面がコンクリート壁で閉鎖された空間である。

プラント運転中は、原子炉格納容器内に設置された格納容器再循環ファンにより原子炉格納容器内で空気は循環しており、エリア内にある給気ダクトにより加圧器室に給気している。

また、プラント停止中は、格納容器給気ファン及び格納容器排気ファンによって、加圧器室出入口からエリア内にある排気ダクトを経由して給排気される。

第 3-5-5-2-1 図に空気の流れを示す。

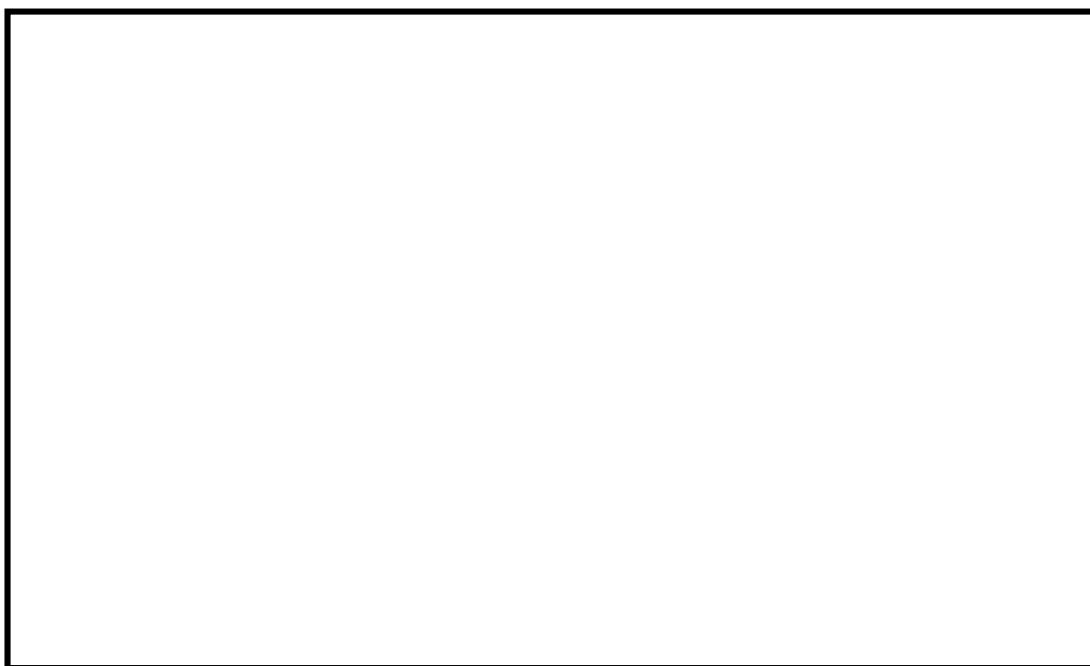


第 3-5-5-2-1 図 加圧器室の空気の流れ

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。

ハ. 設置する感知器

加圧器室は、天井高さが床面から 8m 以上 20m 未満のため、エリア内の放射線量が低い場所にある天井面にアナログ式の煙感知器を消防法施行規則通りに設置するとともに、エリア内全域の天井面及びグレーチング面にアナログ式でない熱感知器を設置することで設計基準②を満足する設計とする。アナログ式でない熱感知器は、取付面から下方に 8m 未満の距離にある床面又はグレーチング面までを監視範囲とし、エリア内全域を監視できるよう必要な階層面に設置する。第 3-5-5-2-2 図に感知器配置を示す。



第 3-5-5-2-2 図 加圧器室の感知器配置図

ニ. 選択理由

加圧器室は、火災区画 の一部であり、エリア内には原子炉の安全停止に必要な機器等である加圧器逃がし弁等がある。火災の影響を火災区画内に限定することを目的に、アナログ式の煙感知器を消防法施行規則通りに設置し、エリア内全域にアナログ式でない熱感知器を設置する。なお、アナログ式の煙感知器は、内部に半導体素子を使用しており、放射線の影響による感知器故障リスクが高いことから、エリア内の 10mGy/h 以下の場所にアナログ式の煙感知器を消防法施行規則通りに設置する設計とする。

また、アナログ式の熱感知器は、その内部に半導体素子を使用していることから、アナログ式でない熱感知器に比べ、放射線の影響による感知器故障リス

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。

クが高く誤作動防止が困難であること及び短周期での取替が必要になる可能性が高いことから、アナログ式でない熱感知器を設置する設計とする。

このアナログ式でない熱感知器は、設定温度に対し、ON-OFF 作動するが、このエリアはプラント通常運転中に環境温度が高くなることから、熱感知器が火災以外で誤作動することのないよう、運転中に想定される温度（約 65℃以下）よりも高い設定温度で感知し、作動するものを選択する。

加えて、万一、水素が発生するような場合を考慮し、機械的な接点があり、火花の発生の恐れがあるアナログ式でない熱感知器は、発火源とならないよう念のため防爆型とする。

なお、アナログ式の煙感知器は、検出プロセスにおいて火花が発生する恐れはないことから発火源とならないため、防爆型でなくても問題ない。

ホ. 火災発生時の影響及び対応

火災区画 の一部である加圧器室には、原子炉の安全停止に必要な機器等として加圧器逃がし弁等があり、この機器への火災の影響を考慮し、アナログ式の煙感知器及びアナログ式でない熱感知器を設置する。

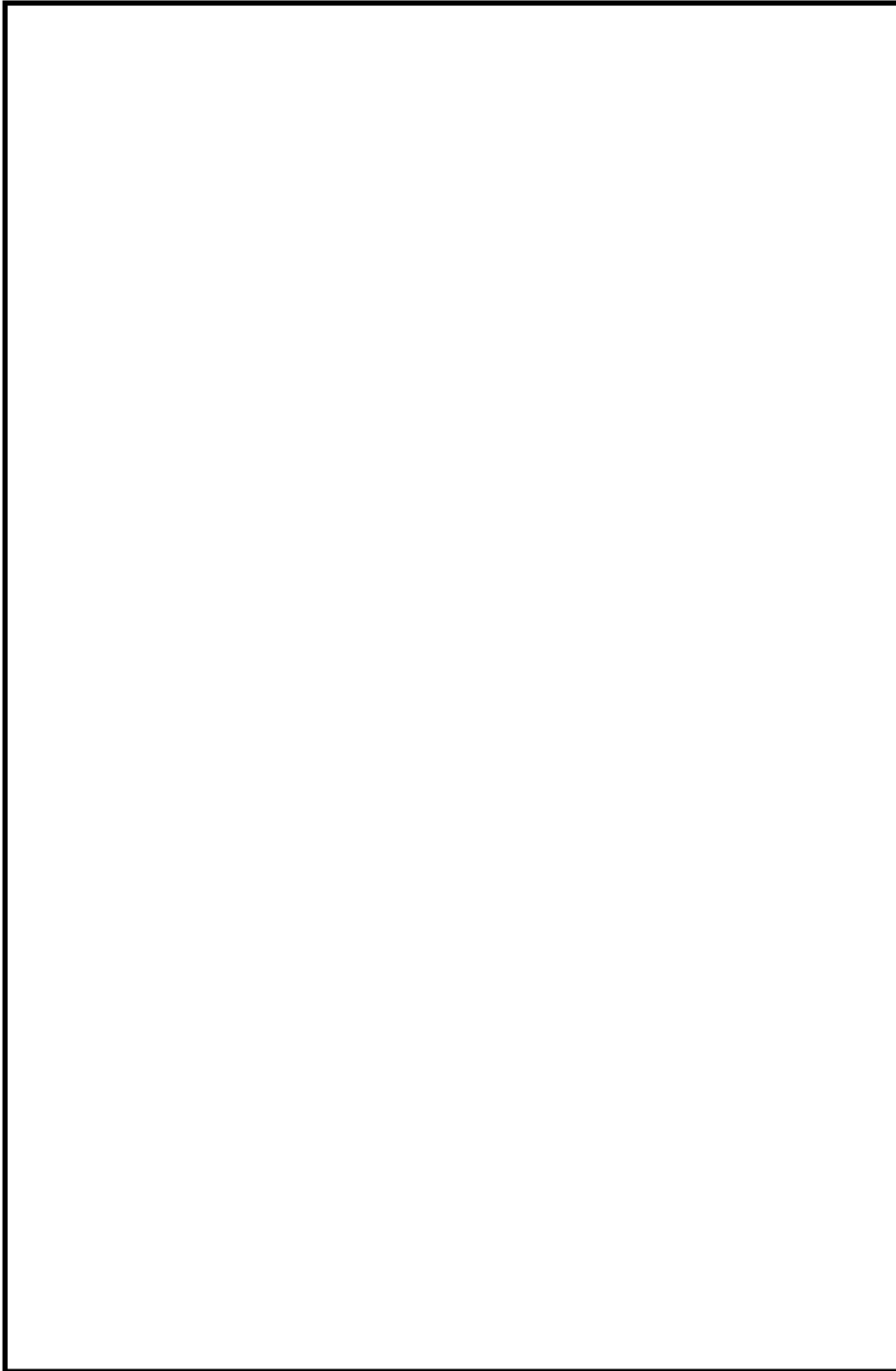
当該エリア内で万一火災が発生した場合、火災による煙及び熱は格納容器再循環ファンからの給気によって攪拌・希釈されるが、四方が壁で囲まれ流路が制限されている空間を上昇すること、並びに、格納容器再循環ファンによる気流は原子炉格納容器内で循環する設計となっており、火災の継続とともにエリア内の煙濃度及び空気温度は全体的に高まっていくこと考慮して、放射線量が低い場所に床面全体を監視することができるアナログ式の煙感知器を消防法施行規則通りに設置し、エリア内全域にアナログ式でない熱感知器を設置することで火災を感知し、火災の状況確認及び消火活動を実施することが可能となる。

また、第 3-5-5-2-3 図に加圧器室での火災発生時の空気の流れを示す。

へ. 技術基準規則への適合について

火災区画 のうち加圧器室は、補足説明資料 1-1 及び 3-11 のとおり、放射線量が低い場所に床面全体を監視することができるアナログ式の煙感知器を消防法施行規則通りに設置している。また、エリア内全域にアナログ式でない熱感知器を設置することによって火災を感知することが可能であり、加圧器室は既工認から設計に変更のない消火活動に繋げることで火災区画内に火災の影響を限定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。

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 3-5-5-2-3 図 加圧器室の火災発生時の空気の流れ

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。

(3) ③インコアモニタチェス室

イ. 環境条件

エリア内最大吸収線量率 (mGy/h)	100 以上
エリア内機器	シンプルチューブ、水位計、照明
エリア面積 (m ²)	49.5
火災荷重 (MJ)	174.7 (恒設機器、照明 7 台)
等価火災時間 (h)	0.004 (約 15s)

ロ. 開口部を考慮した空気の流れ

インコアモニタチェス室は、原子炉格納容器内に設置された原子炉容器室冷却ファンにて、エリア外の空気をインコアモニタチェス室に給気し、原子炉容器下部を冷却後に、以下の2つのルートに分かれる。

第 3-5-5-3-1 図に空気の流れを示す。

- ① 原子炉キャビティシールリングから原子炉キャビティへ (インコアモニタチェス室の冷却風量の約 20%)
- ② 原子炉サポートクーラを通して R C S 配管貫通部からループ室へ (インコアモニタチェス室の冷却風量の約 80%)



第 3-5-5-3-1 図 インコアモニタチェス室の空気の流れ

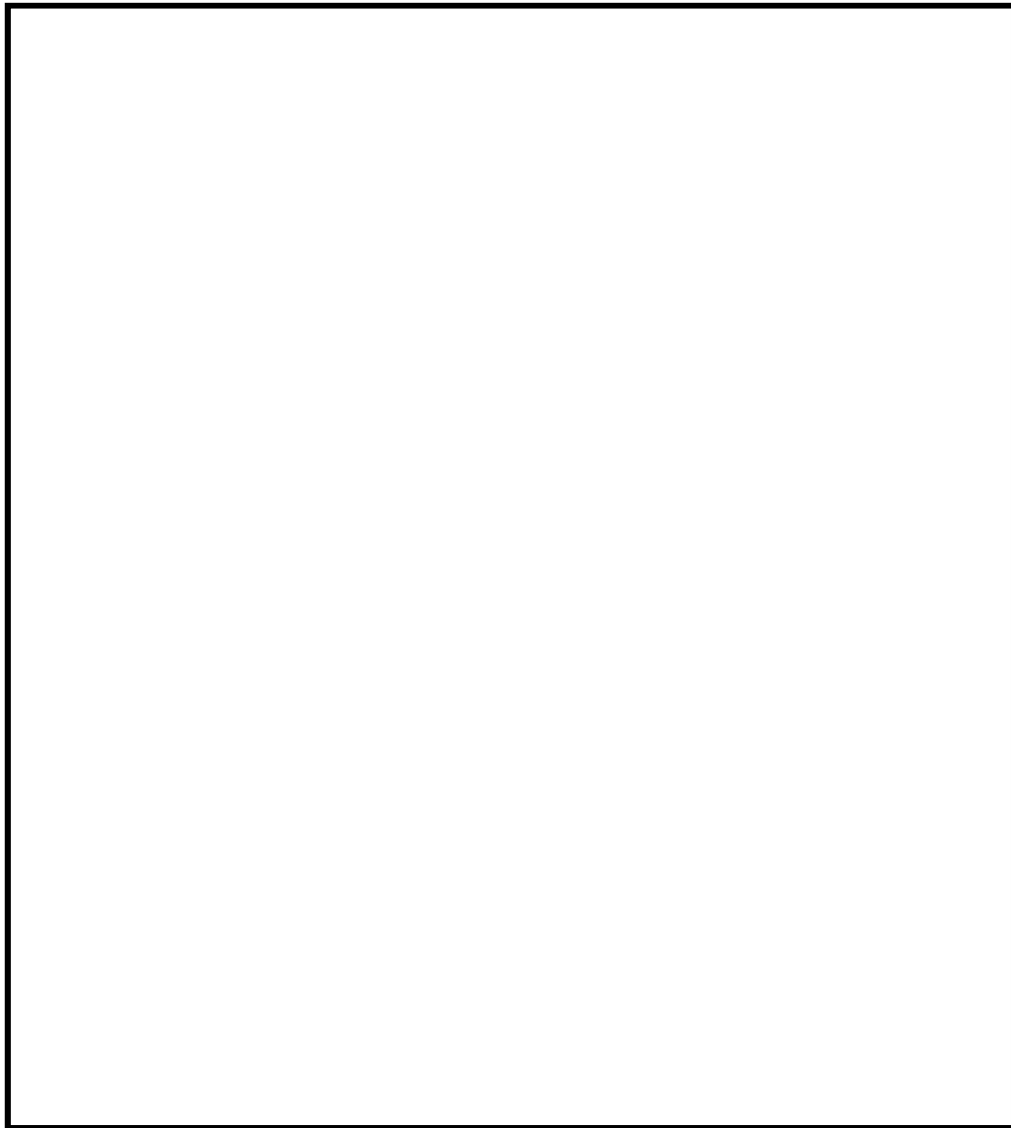
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ハ. 設置する感知器

1 種類目の煙感知器は、放射線による感知器の故障及び作業員の被ばくの観点から火災防護審査基準 2.2.1(1)②に定められた方法又は設計基準①を確保できる方法でエリア内に設置することが適切でないため、原子炉容器室冷却ファンの運転時に給気口から原子炉容器下部を通過し、RCS 配管貫通部から原子炉格納容器ループ室に抜ける空気の流れを考慮し、同一火災区画内で空気の吹き出し口となる原子炉格納容器ループ室に設置するアナログ式の煙感知器を兼用するとともに、原子炉容器室冷却ファンの停止期間においても火災を感知できるように、火災による煙が水平方向に拡散しながら上昇する空気の流れを考慮し、インコアモニタチェス室の入口部分にアナログ式の煙感知器を設置する設計とする。

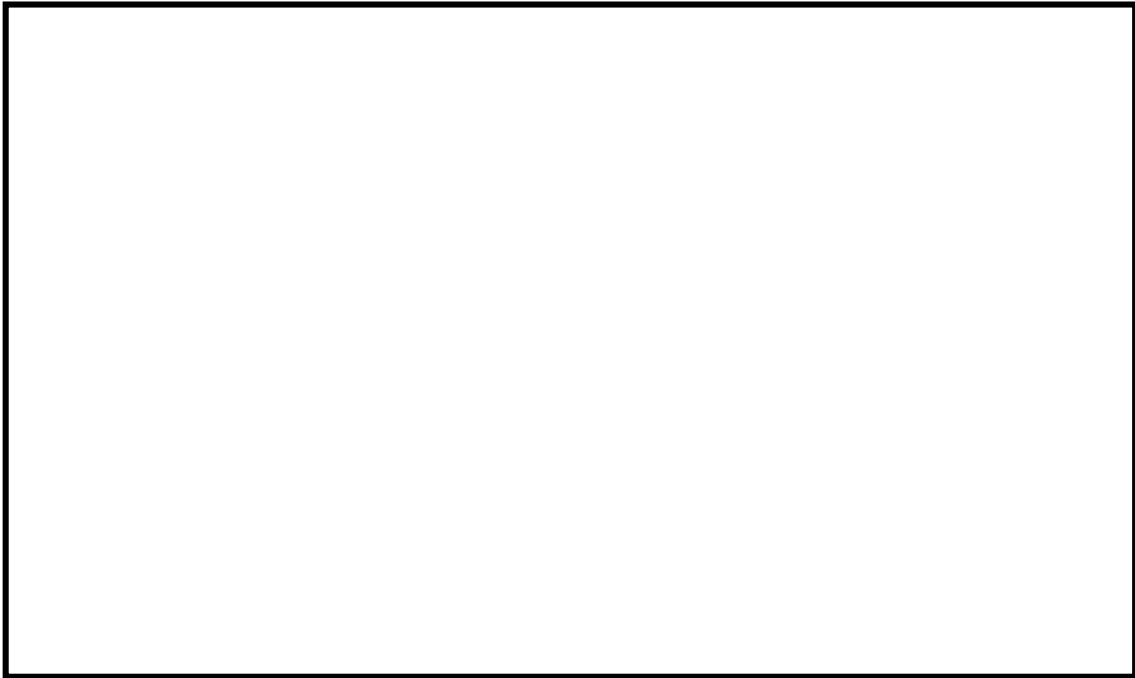
また、2 種類目の熱感知器は設計基準①を満足することができないため、原子炉容器室冷却ファンの運転時に給気口から原子炉容器下部を通過し、RCS 配管貫通部から原子炉格納容器ループ室に抜ける空気の流れを考慮し、空気の流路となるインコアモニタチェス室下部にアナログ式でない熱感知器を設置するとともに、原子炉容器室冷却ファンの停止期間においても火災を感知できるように、火災の熱によって上昇する空気の流れを考慮して、同一エリア内であるインコアモニタチェス室の入口部分にアナログ式の熱感知器を設置し、同一火災区画内の原子炉格納容器ループ室に設置するアナログ式でない熱感知器を兼用する設計とする。

配置の詳細については、第 3-5-5-3-2 図、第 3-5-5-3-3 図に示す。



第 3-5-5-3-2 図 インコアモニタチェス室の感知器配置図

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・5・5・3・3 図 ループ室の感知器配置図

ニ. 選択理由

補足説明資料 3-11 のとおり。

ホ. 火災発生時の影響及び対応

火災区画 の一部である当該エリア内には、原子炉の安全停止に必要な機器等はない。

当該エリアには、金属製のシングルチューブ、水位計及び照明しかないので、火災発生の可能性は低い。

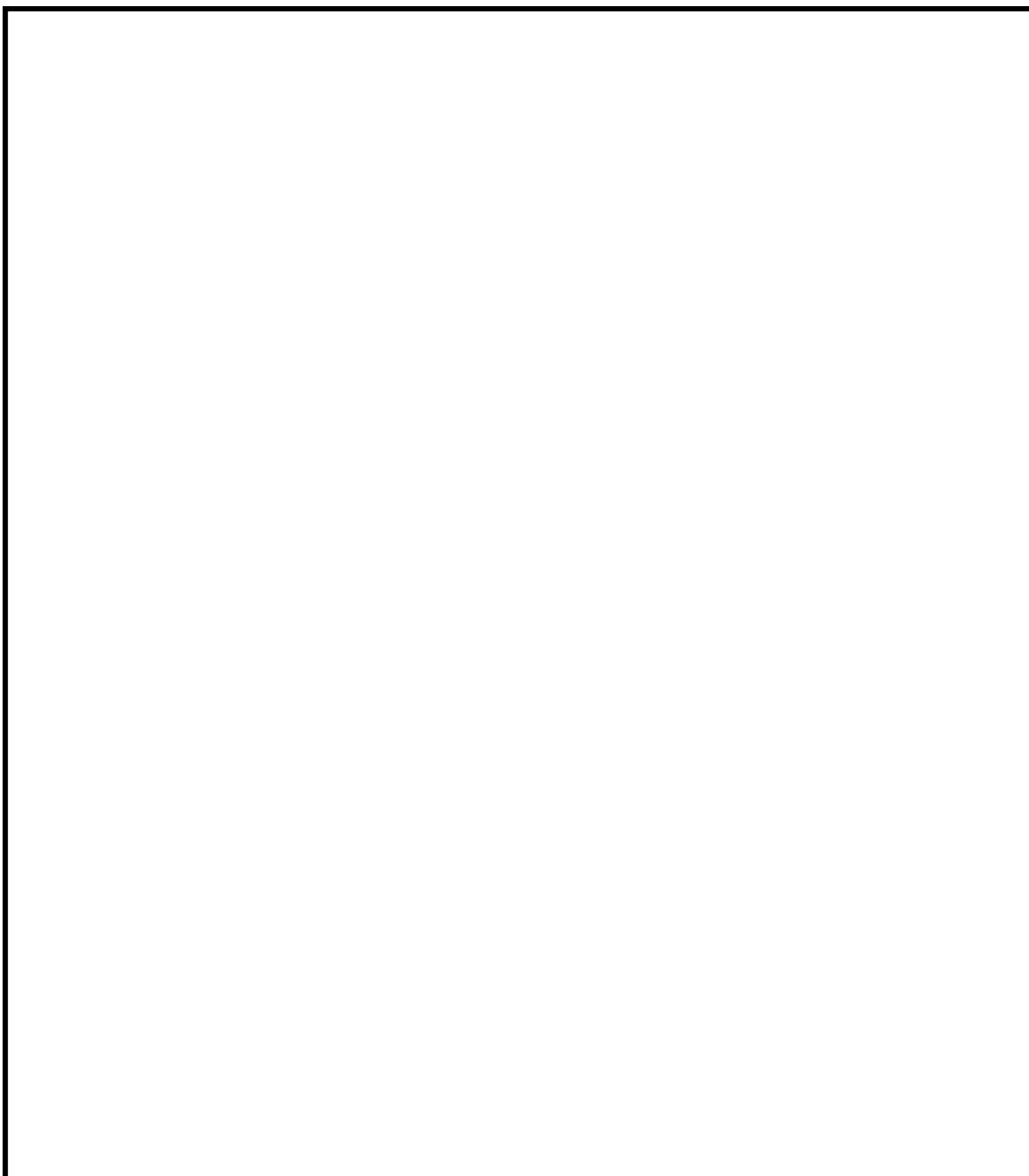
隣接エリアには火災防護上重要な機器等である 1 次冷却材系統、化学体積制御系統、余熱除去系統、プロセス監視計器、原子炉停止系、原子炉安全保護系のケーブル等が存在する。

当該エリア内で万一火災が発生した場合には、原子炉容器室冷却ファンの運転時に給気口から原子炉容器下部を通り原子炉格納容器ループ室に抜ける空気の流れを考慮し、同一火災区画内の隣接エリアで空気の吹き出し口となる原子炉格納容器ループ室内のアナログ式の煙感知器を兼用し、エリア内の下部にアナログ式でない熱感知器を設置するとともに、原子炉容器室冷却ファンの停止期間においても火災を感知できるよう、火災による煙及び熱が水平方向に拡散しながら上昇する空気の流れを考慮し、エリア内の入口部分にアナログ式の煙感知器及びアナログ式の熱感知器を設置し、原子炉格納容器ループ室内のア

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。

ナログ式でない熱感知器を兼用する設計とすることで火災を早期に感知し、火災の状況確認及び初期消火活動を実施することが可能となる。

第 3-5-5-3-4 図にインコアモニタチェス室での火災発生時の空気の流れを示す。



第 3-5-5-3-4 図 インコアモニタチェス室の火災発生時の空気の流れ

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。