

女川原子力発電所2号炉 内部火災について

平成29年12月19日

東北電力株式会社

1. 目的及び全体概要
2. 女川2号炉の火災防護に関する主な特徴
3. 安全機能を有する構築物, 系統及び機器等の選定
4. 火災区域・区画設定の考え方
5. 火災の発生防止
6. 火災の感知及び消火
 6. 1 火災感知設備
 6. 2 消火設備
7. 火災の影響軽減
 7. 1 系統分離による影響軽減(中央制御室, 原子炉格納容器を除く)
 7. 2 火災影響評価
 7. 2. 1 内部火災により想定される事象の選定
 7. 2. 2 内部火災により想定される事象の確認と評価
 7. 2. 3 残留熱除去系への影響確認結果
 7. 2. 4 まとめ

今回ご説明

原子炉施設内の火災の発生防止の対策として、以下の(1)～(6)を実施

(1) 発火性又は引火性物質

発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域には、①～⑤を実施

① 漏えいの防止, 拡大防止

- ・潤滑油又は燃料油を内包する設備は、溶接構造等による漏えい防止や、オイルパン、ドレンリム又は堰による拡大防止
- ・水素ガスを内包する設備は、溶接構造等による水素ガスの漏えいを防止

② 配置上の考慮

- ・安全機能を有する機器等は、壁等の設置及び離隔による配置上の考慮を行う設計

③ 換気

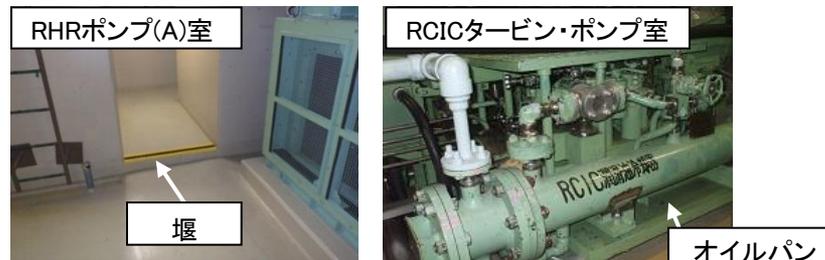
- ・発火性又は引火性物質を内包する設備を設置する火災区域又は火災区画は、機械換気を実施

④ 防爆

- ・潤滑油又は燃料油を内包する設備は、漏えいの防止, 拡大防止対策を行う。また、潤滑油又は燃料油は、設置する火災区域の室内温度や機器運転時の温度より引火点が高いため可燃性蒸気とならなく、燃料油を内包する設備を設置する火災区域は、機械換気により可燃性蒸気が滞留しない
- ・水素ガスを内包する設備は、漏えいの防止, 拡大防止対策を行う。また、機械換気により水素濃度を燃焼限界濃度以下とする
- ・水素ガスポンベは使用時のみ持ち込みを行う運用

⑤ 貯蔵

- ・非常用ディーゼル発電機の燃料油は、運転上必要な量のみ貯蔵



漏えいの拡大防止対策例

(2) 可燃性の蒸気又は微粉の対策

- ・可燃性微粉の発生及び静電気が溜まるおそれがある設備は設置しない

(3) 発火源への対策

- ・発電用原子炉施設には設備外部に火花が発生する設備を設置しない
- ・高温となる設備を保温材で覆うことにより、可燃性物質との接触防止及び潤滑油等可燃物の過熱を防止

(4) 水素ガス対策

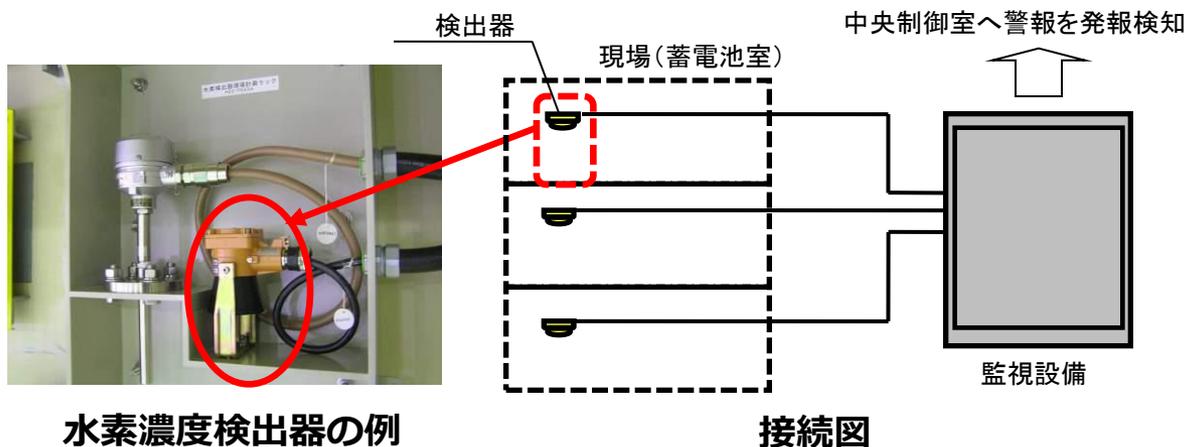
- ・水素ガスを内包する設備を設置する火災区域について、水素ガス漏えい検知のため水素濃度検出器等を設置

(5) 放射線分解等により発生、蓄積する水素ガスの蓄積防止対策

- ・社団法人火力原子力発電技術協会「BWR配管における混合ガス(水素・酸素)蓄積防止に関するガイドライン(平成17年10月)」に基づき蓄積防止対策を実施

(6) 過電流による過熱防止対策

- ・電気系統は、過電流による過熱や焼損を防止するために、保護継電器、遮断器により、故障回路を早期に遮断



水素濃度検出器の例

接続図

水素漏えい監視設備の概要

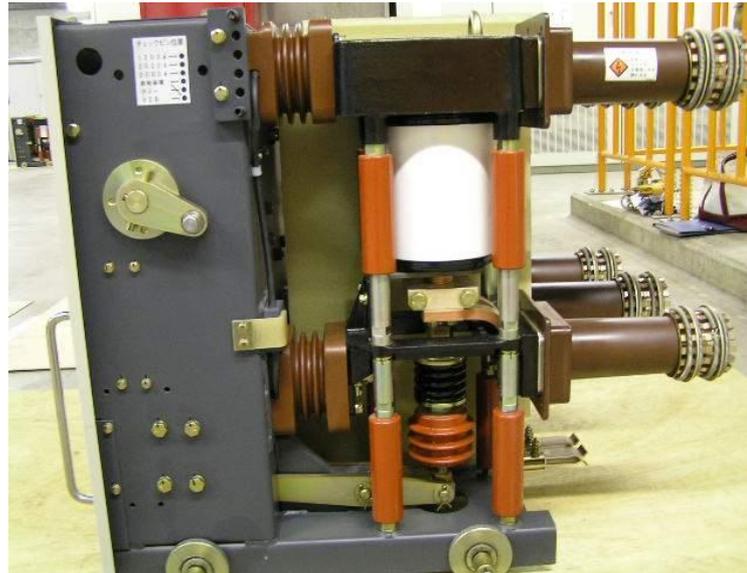
不燃性材料及び難燃性材料については、以下の(1)～(6)のと通りの設計

(1) 主要な構造材に対する不燃性材料の使用

- ・機器、配管、ダクト、トレイ、電線管、盤の筐体及びこれらの支持構造物の主要な構造材は、ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼等の金属材料、又はコンクリート等の不燃性材料を使用

(2) 変圧器及び遮断器に対する絶縁油の不使用

- ・屋内の変圧器及び遮断器は可燃性物質である絶縁油を内包していないものを使用

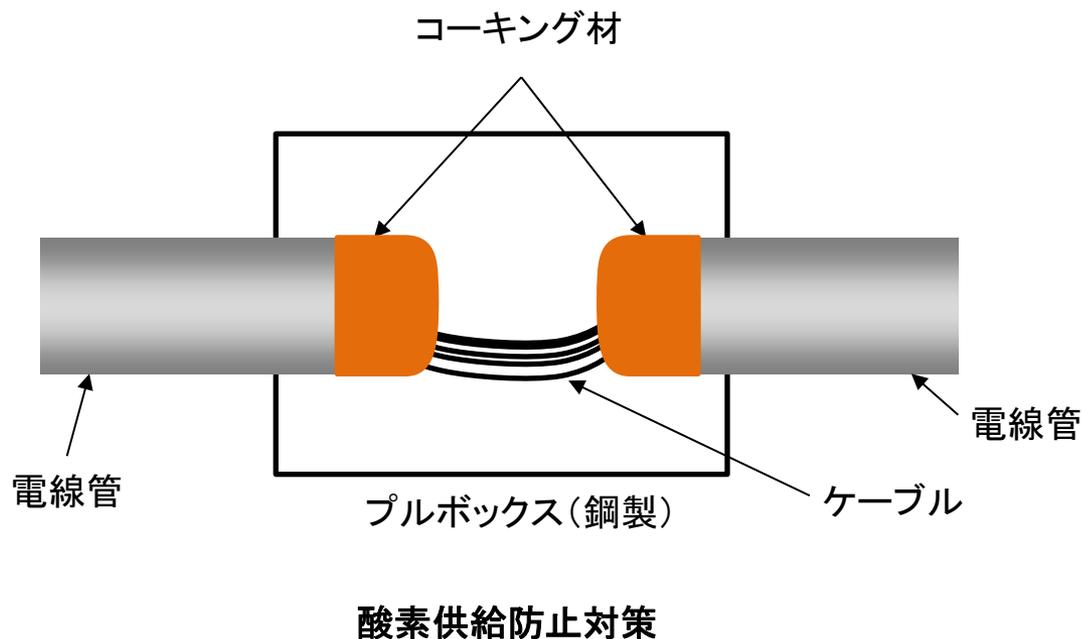


メタクラ 種類:真空遮断器

屋内の遮断器の例

(3) 難燃ケーブルの使用

- ・火災防護審査基準「2.1 火災発生防止」の要求に基づき、安全機能を有する構築物、系統及び機器に使用するケーブルには、実証試験により自己消火性(UL垂直燃焼試験)及び耐延焼性(IEEE383垂直トレイ燃焼試験)を確認した難燃ケーブルを使用
- ・ただし、核計装・放射線モニタ用の同軸ケーブルは、自己消火性は満足するが、微弱電流・微弱パルスを扱うことから、耐ノイズ性確保のために高い絶縁抵抗を有するケーブルを使用する必要がある、耐延焼性を確保することができないことから、耐延焼性を確保するため電線管外部からの酸素供給防止対策を行い(専用電線管に敷設・電線管両端に耐火性コーキング材処置)、十分な保安水準を確保(平成29年11月14日第527回審査会合にてご説明済)



(4) 換気設備のフィルタに対する不燃性材料又は難燃性材料の使用

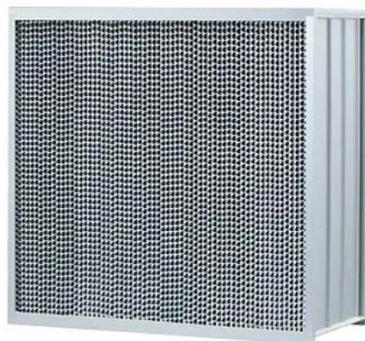
- ・換気空調設備のフィルタは、チャコールフィルタを除き「JIS L 1091(繊維製品の燃焼性試験方法)」又は「JACA No.11A(空気清浄装置用ろ材燃焼性試験方法指針(公益社団法人 日本空気清浄協会))」を満足する難燃性材料を使用

(5) 保温材に対する不燃性材料の使用

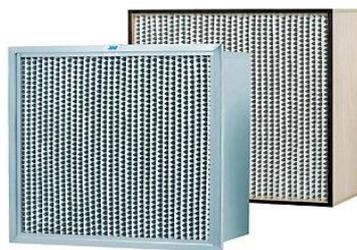
- ・保温材は、ロックウール、ケイ酸カルシウム、セラミックファイバー、金属等、平成12年建設省告示第1400号に定められたもの、又は建築基準法で不燃性材料として定められたものを使用

(6) 建屋内装材に対する不燃性材料の使用

- ・建屋の内装材は、石膏ボード等、建築基準法で不燃性材料として認められたもの、もしくはこれと同等の性能を有することを試験により確認した材料を使用
- ・中央制御室のカーペットは、消防法に基づく防災物品を使用



高性能エアフィルタ



中性能エアフィルタ



バッグエアフィルタ

換気空調設備のフィルタ

落雷、地震等の自然現象によって、原子炉施設内の機器等に火災が発生しないように、(1)(2)の対策を実施

(1) 落雷による火災の発生防止

- ・建築基準法に基づき「JIS A 4201 建築物等の避雷設備(避雷針)」に準拠した避雷設備(避雷針, 接地網, 棟上導体)を設置

(2) 地震による火災の発生防止

- ・安全機能を有する機器等は, 十分な支持性能をもつ地盤に設置
- ・「**实用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則の解釈**」に従い設計
- ・安全機能を有する機器等の設置場所にある油内包の耐震Bクラス, Cクラス機器は, 基準地震動により油が漏えいしない設計



避雷設備の設置例(原子炉建屋)

火災感知設備については、以下の(1)～(4)のとおり設計

- (1)安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画は、原則として、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
- (2)周囲の環境条件により、アナログ式感知器の設置が適さない箇所には、誤作動防止を考慮した上で非アナログ式の感知器を設置
- (3)上記以外の火災区域又は火災区画には、消防法又は建築基準法に基づき感知器を設置
- (4)安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災感知器は、安全機能を有する機器等の耐震クラスに応じて、地震に対して機能を維持できる設計

非アナログ式感知器の設置場所及び特徴(1/2)

設置場所	火災感知器 (下線:非アナログ式)	非アナログ式火災感知器 の特徴及び優位点	誤作動防止対策
天井高さが高く、煙が拡散しない場所 (例:原子炉建屋オペレーティングフロア)	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>アナログ式煙感知器</u> ・<u>非アナログ式炎感知器</u> (アナログ式炎感知器存在せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ・消防法施行規則に則り煙感知器と炎感知器を設置 ・炎が発する赤外線を検知するため、炎が生じた時点で感知することができ、火災の早期感知に優位 ・非アナログ式の火災感知器であるが、火災の感知に時間遅れがなく、火災の早期感知が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・火災特有の性質を検出する赤外線方式を採用 ・外光が当たらず、高温物質が近傍にない箇所に設置
原子炉格納容器	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>アナログ式煙感知器</u> ・<u>非アナログ式熱感知器</u> (高線量環境を考慮) 	<ul style="list-style-type: none"> ・煙感知器以外の動作原理を有する感知器として熱感知器及び炎感知器等があるが、放射線の影響を受けにくいものは非アナログ式の接点式熱感知器しかない 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱感知器は作動温度が周囲温度より高い温度のものを選定

非アナログ式感知器の設置場所及び特徴(2/2)

設置場所	火災感知器 (下線:非アナログ式)	非アナログ式火災感知器 の特徴及び優位点	誤作動防止対策
蓄電池室	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>防爆型煙感知器</u> ・<u>防爆型熱感知器</u> (防爆型のアナログ式煙・熱感知器存在せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ・引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれがあるため、感知器作動時の爆発を考慮した防爆型の火災感知器を選定 	<ul style="list-style-type: none"> ・蓄電池室は誤作動を誘発する蒸気が発生する設備がない ・換気空調設備により安定した室内環境を維持していることから、誤作動する可能性が低い ・熱感知器は作動温度が周囲温度より高い温度のものを選定
海水ポンプ室エリア	<ul style="list-style-type: none"> ・熱感知カメラ ・<u>非アナログ式炎感知器</u> (屋外仕様の煙、アナログ式炎感知器存在せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ・炎から放出される熱エネルギーの特有の波長成分とちらつきを赤外線により検出 ・非アナログ式の火災感知器であるが、火災の感知に時間遅れがなく、火災の早期感知が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・降水等の浸入を考慮して、屋外仕様等の火災感知器を選定 ・太陽光の波長を識別できる感知器を採用することに加え、遮光板を設置
軽油タンクエリア	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>防爆型煙感知器</u> ・<u>防爆型熱感知器</u> (防爆型のアナログ式煙・熱感知器存在せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ・タンク内部の燃料が気化することを考慮して、万一漏えいした場合には引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれがあるため、感知器作動時の爆発を考慮した防爆型の火災感知器を選定 	<ul style="list-style-type: none"> ・地下軽油タンクは誤作動を誘発する蒸気が発生する設備がない ・熱感知器は作動温度が周囲温度より高い温度のものを選定
ディーゼル発電機室非常用送風機室	<ul style="list-style-type: none"> ・アナログ式熱感知器 ・<u>非アナログ式炎感知器</u> (アナログ式炎感知器存在せず) 	<ul style="list-style-type: none"> ・炎が発する赤外線を感知するため、炎が生じた時点で感知することができ、火災の早期感知に優位 ・非アナログ式の火災感知器であるが、火災の感知に時間遅れがなく、火災の早期感知が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・火災特有の性質を検出する赤外線方式を採用 ・外光が当たらず、高温物質が近傍にない箇所に設置

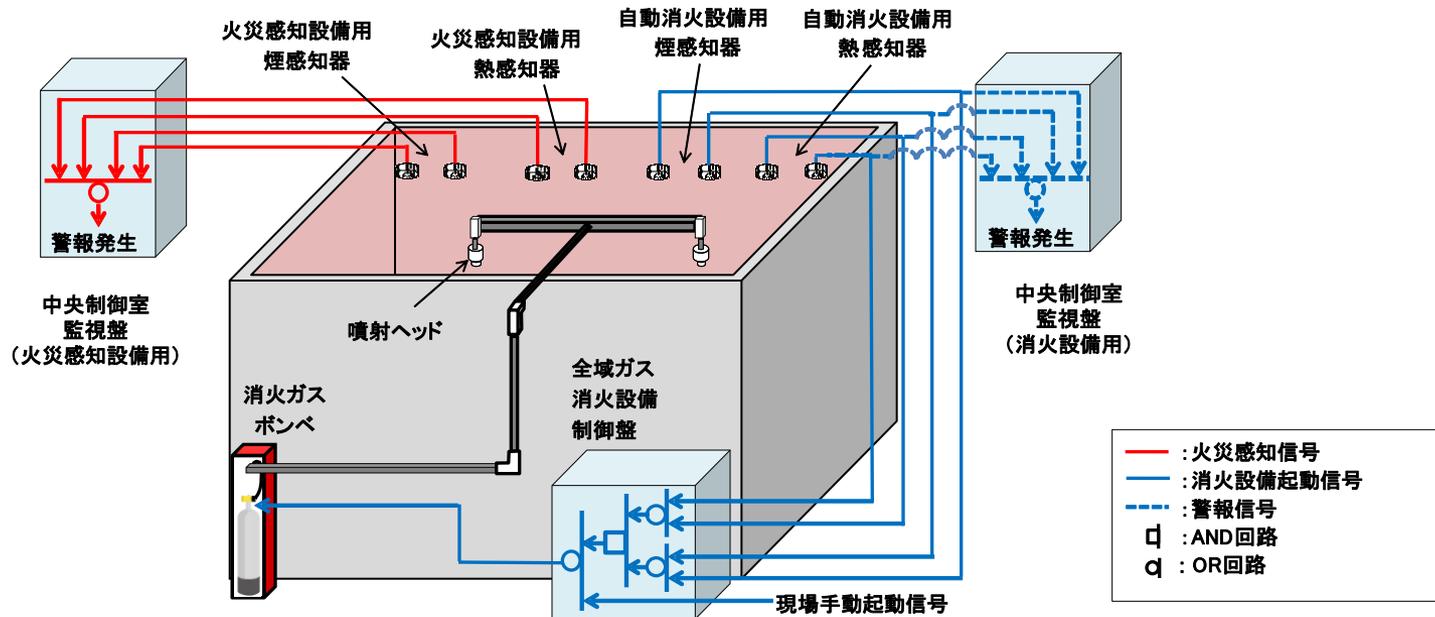
消火設備については、以下の(1)～(3)のとおり設計

- (1)安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画は、基本的に「煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画」として設定し、自動消火設備(全域又は局所ガス消火設備)を設置
- (2)火災発生時の煙の充満又は放射線の影響により消火活動が困難となるかを考慮した結果、消火活動が困難とならない場所として以下を設定し、消火器又は移動式消火設備により消火
 - a. 火災が発生したとしても煙が大気へ開放される屋外の火災区域又は火災区画
 - b. 設置される可燃物の状況等から、火災が発生した場合でも火災規模は小さく、当該エリア容積を踏まえて煙の充満の可能性は低いと判断できる火災区域又は火災区画
 - c. 常駐する運転員による早期消火が可能な中央制御室
 - d. 空間体積に対して換気容量が十分である原子炉格納容器及びトラス室
- (3)安全機能を有する機器等を設置する火災区域又は火災区画の消火設備は、安全機能を有する機器等の耐震クラスに応じて、地震に対して機能を維持できる設計

(1) 消火活動が困難となる火災区域又は火災区画

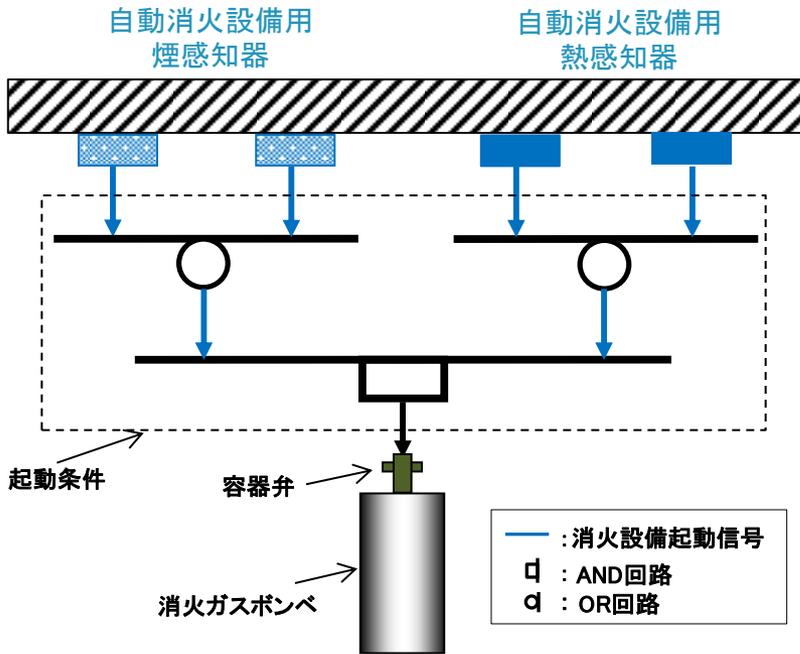
a. 全域ガス消火設備

- ・消火活動が困難となる火災区域又は火災区画は、原則として全域ガス消火設備を設置する設計
- ・消火剤はハロゲン化物(ハロン1301)

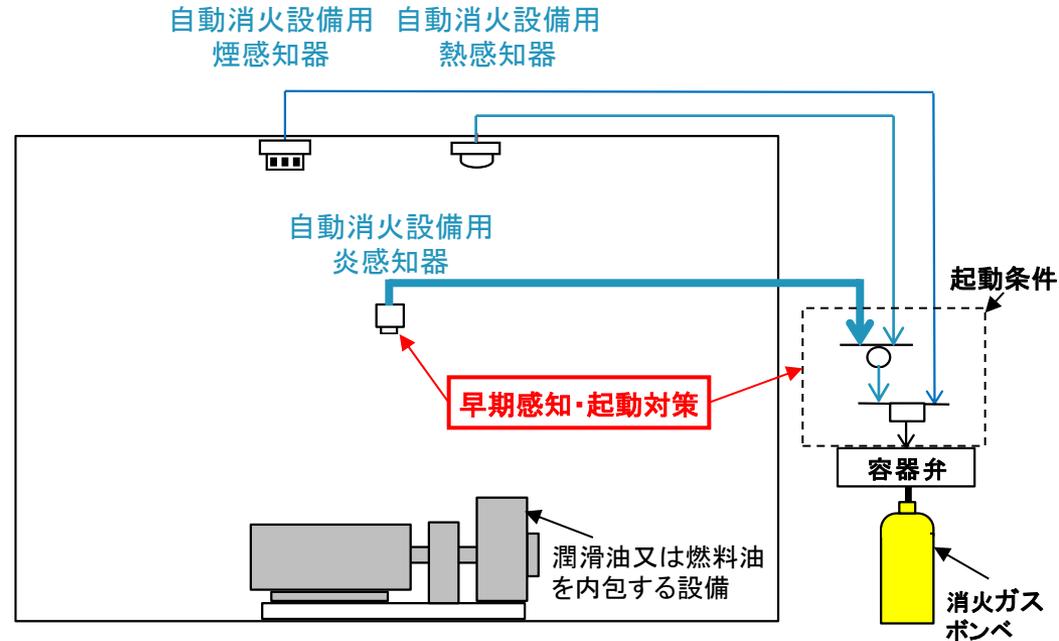


全域ガス消火設備概要図

- ・起動条件は、東日本大震災時に多数の煙感知器が誤作動(非火災報)したことを踏まえ、自動消火設備専用の煙感知器と熱感知器のAND条件とする設計
- ・特に潤滑油又は燃料油を内包する設備については、周囲への火災影響を早期に防止するため、温度上昇前に火災を早期感知できるよう炎感知器を追加し、熱感知器又は炎感知器のうち1つと煙感知器が火災を感知した場合に、AND条件により早期起動を図る設計



全域ガス消火設備起動条件

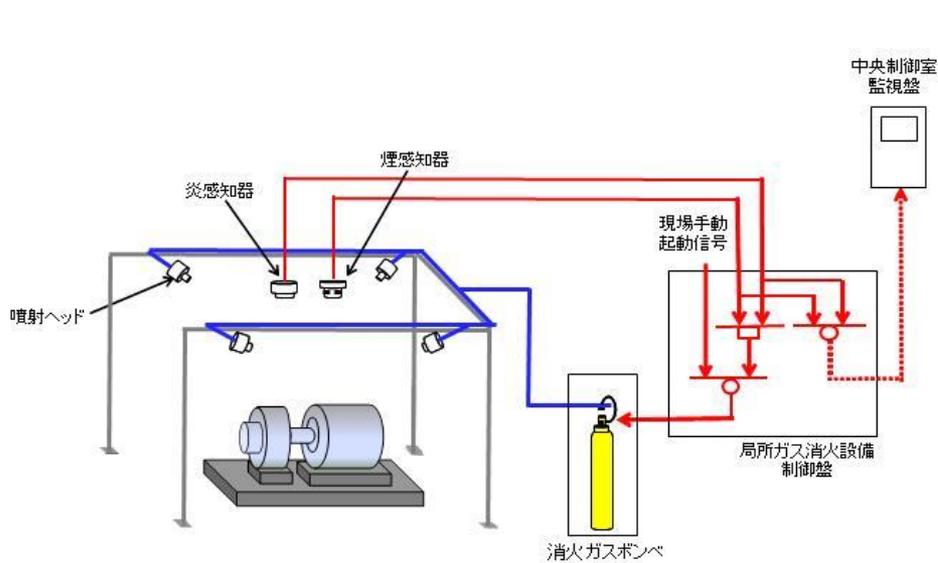


早期感知・起動対策の概要

b. 局所ガス消火設備

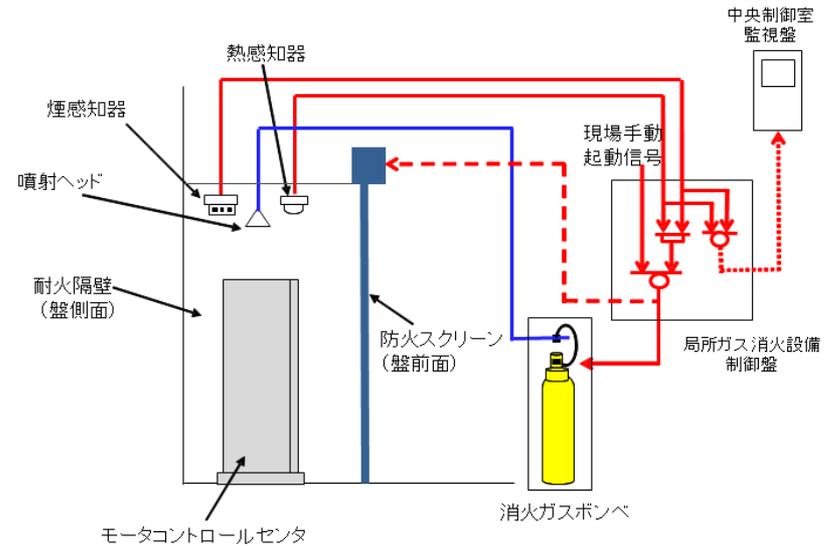
(a) 油内包機器及びモータコントロールセンタ

- ・消火活動が困難となる火災区域又は火災区画のうち、全域ガス消火設備の設置が適さない通路部にある油内包機器・モータコントロールセンタに対して局所ガス消火設備を設置
- ・消火剤はハロゲン化物(ハロン1301)
- ・起動条件は、東日本大震災時に多数の煙感知器が誤作動(非火災報)したことを踏まえ、自動消火設備専用の煙感知器と炎感知器又は煙感知器と熱感知器のAND条件とする設計



— : 消火設備起動回路
 - - - : 火災警報
 □ : OR回路
 ○ : AND回路

局所ガス消火設備(油内包機器)

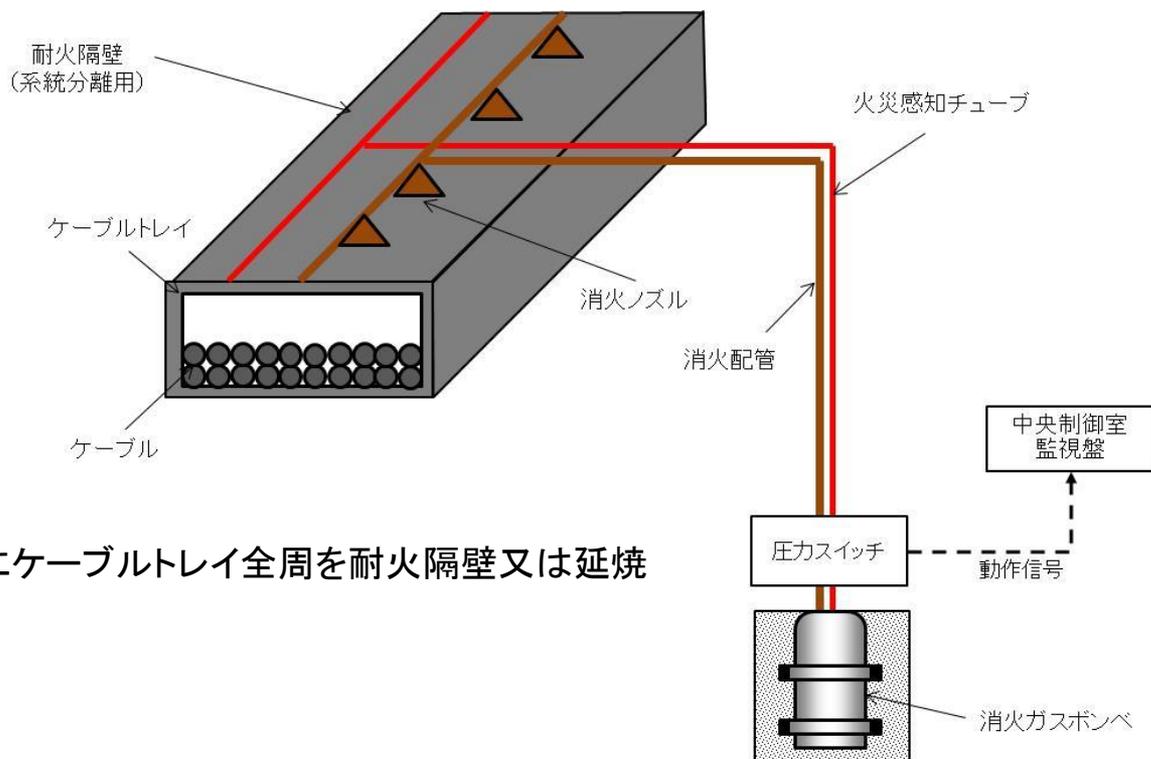


— : 消火設備起動回路
 - - - : 防火スクリーン閉信号
 - - - : 火災警報
 □ : AND回路
 ○ : OR回路

局所ガス消火設備(モータコントロールセンタ)

(b) ケーブルトレイ

- ・消火活動が困難となる火災区域又は火災区画のうち、全域ガス消火設備の設置が適さない通路部にあるケーブルトレイに対して局所ガス消火設備を設置
- ・消火剤はハロゲン化物(FK-5-1-12)
- ・ケーブルトレイ内に設置する火災感知チューブが火災により溶損することにより起動する設計



※消火剤が漏れないようにケーブルトレイ全周を耐火隔壁又は延焼防止シートで覆う

局所ガス消火設備(ケーブルトレイ)

(2) 消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画

消火器又は移動式消火設備

消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画は、以下のa～eのとおり設定し、消火器又は移動式消火設備にて消火

a. 屋外の火災区域又は火災区画(海水ポンプ室エリア, 屋外トレンチエリア及び軽油タンクエリア)

屋外であり、火災が発生しても煙は大気へ開放され消火活動が困難とならないことから、消火器又は移動式消火設備により消火

b. 可燃物の設置状況等により火災が発生しても煙が充満しない火災区域又は火災区画

- ・当該エリアに設置される火災源・可燃物の設置状況から、当該エリア容積を踏まえ、可燃物が少なく、機器の配置状況から火災が発生した場合でも、火災規模は小さいことから煙の充満の可能性は低いと判断できるエリアは、消火器により消火
- ・これらの火災区域又は火災区画は、持込み可燃物の仮置きは禁止とするが、やむを得ず仮置きする場合には、不燃シートで覆う又は金属箱の中に収納するとともに、その近傍に消火器を配備

【選定方法】

現場を確認し、可燃物が少ないエリアは、火災が発生した場合でも火災規模は小さいことから煙の充満の可能性は低く消火活動が困難とならない場所として選定
選定にあたっては、可燃物量のみならず、火災源を含めた可燃物の設置状況、エリア容積を踏まえ判断

可燃物の設置状況等により火災が発生しても煙が充満しない火災区域又は火災区画の確認例として以下を示す
【RHR熱交換器(B)室】

RHR熱交換器(B)室は火災源がなく、設置している機器は熱交換器、電動弁等であり、これらは不燃材、難燃材で構成されており、可燃物は少なく、ケーブルは電線管及び金属製の可とう電線管で敷設

可燃物管理により火災荷重を低く抑えることから、火災が発生した場合でも火災規模は小さく、設備の設置状況及び当該エリア容積を踏まえても煙の充満により消火活動が困難とならないため、消火器による消火活動が可能

(設置されている機器)



熱交換器



電動弁及び電線管

火災が発生しても煙が充満しない火災区域又は火災区画確認例

c. 中央制御室（平成29年11月14日第527回審査会合にてご説明済）

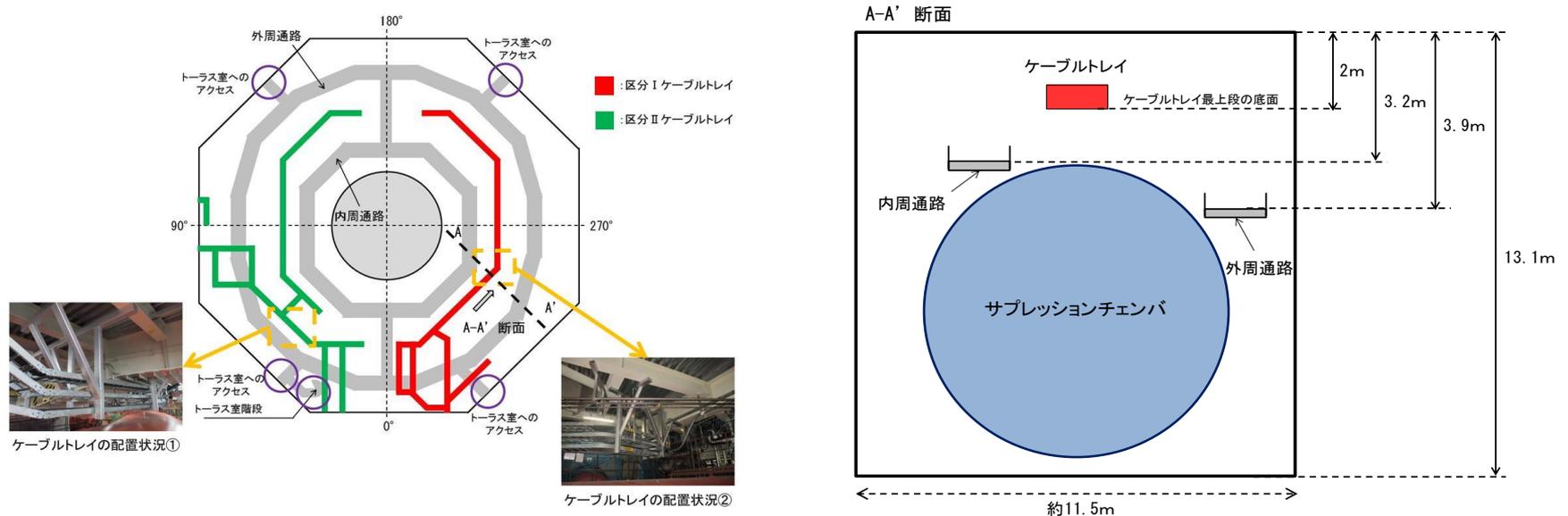
- ・常駐する運転員によって早期の火災感知及び消火活動が可能のため、消火器により消火
- ・中央制御室床下ケーブルピットは、中央制御室からの手動操作により早期の起動が可能な固定式ガス消火設備（消火剤はハロン1301）を設置する設計

d. 原子炉格納容器（平成29年11月14日第527回審査会合にてご説明済）

原子炉格納容器の空間体積(7,650m³)に対してパージ排風機の容量が24,000m³/hであることから、煙の充満により消火活動が困難とならないため、消火器により消火

e. トーラス室

トーラス室の空間体積(11,000m³)に対して換気風量が21,600m³/h、原子炉棟排風機の容量が85,500m³/h/台であることから、煙の充満により消火活動が困難とならないため、消火器により消火



トーラス室の配置状況

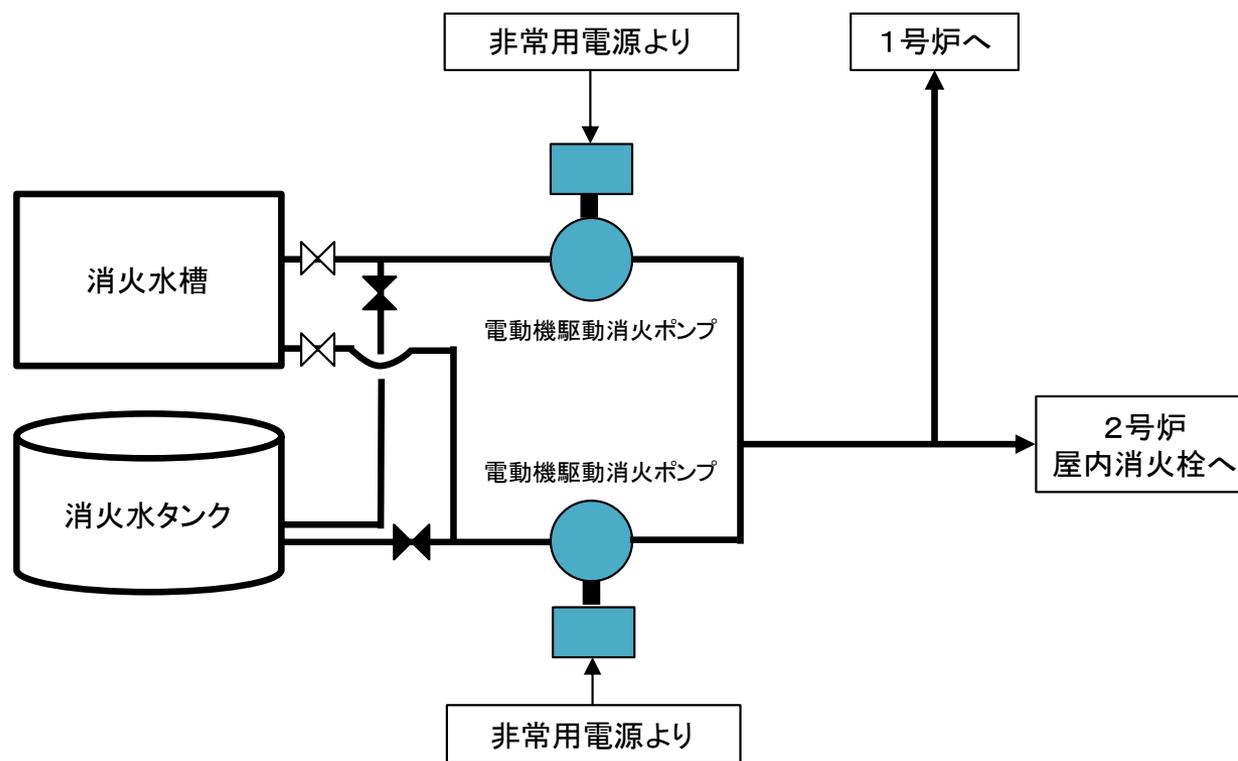
資料1 2.1.2 火災の感知, 消火

資料6 添付資料11 安全機能を有する構築物, 系統及び機器周辺の可燃物等の状況について

消火用水供給系の多重性又は多様性の考慮

消火用水供給系の水源は、1号及び2号炉共用の消火水槽(約110m³)及び消火水タンク(約110m³)を設置し、多重性を有する設計

消火用水供給系の消火ポンプは、電動機駆動消火ポンプを2台設置し、多重性を有する設計。なお、消火ポンプについては外部電源喪失時であっても機能を喪失しないよう、非常用電源から受電できる設計



消火用水供給系の概要

安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し、火災の影響軽減のための対策を講じた設計であること

選定

原子炉の高温停止・低温停止に係る安全機能を有する構築物、系統及び機器に対して火災の影響の可能性を考慮して、火災防護対象機器(火災防護対象ケーブルを含む)を選定

系統分離

影響軽減について、(1)～(2)の対策を実施

- (1)原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持に必要な構築物、系統及び機器を設置する火災区域は、3時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚より厚い150mm以上の壁厚を有するコンクリート壁又は火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を有する耐火壁によって、隣接する他の火災区域から分離
- (2)単一火災(任意の一つの火災区画で発生する火災)の発生によって、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能喪失することのないよう、火災防護対象機器及び火災防護対象機器の駆動若しくは制御に必要な火災防護対象ケーブルについて、下記の何れかの対策を実施
 - ①3時間以上の耐火能力を有する隔壁等
 - ②水平距離6m以上の離隔距離の確保、火災感知設備及び自動消火設備
 - ③1時間以上の耐火能力を有する隔壁等、火災感知設備及び自動消火設備

【系統分離の考え方】

○原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するために必要な安全機能を有する構築物、系統及び機器における「その相互の系統分離及びこれらに関連する非安全系のケーブルとの系統分離」を行う際には、単一火災の発生によって、相互に分離された安全系区分のすべての安全機能が喪失することのないよう、安全停止に必要な系統(安全停止パス)が少なくとも1つ成立することが必要

安全区分を有する主な系統

安全区分	区分Ⅰ	区分Ⅱ	区分Ⅲ
高温停止	自動減圧系(A) 残留熱除去系(LPCI-A)又は 低圧炉心スプレイ系	自動減圧系(B) 残留熱除去系(LPCI-B)又は 残留熱除去系(LPCI-C)	高圧炉心スプレイ系
	原子炉隔離時冷却系	—	—
	低温停止	残留熱除去系(A)	残留熱除去系(B)
サポート (冷却系)	原子炉補機冷却水系(A)(C)	原子炉補機冷却水系(B)(D)	高圧炉心スプレイ補機冷却水系
	原子炉補機冷却海水系(A)(C)	原子炉補機冷却海水系(B)(D)	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系
サポート (動力電源)	非常用ディーゼル発電機(A)	非常用ディーゼル発電機(B)	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機
	非常用交流電源(C)母線	非常用交流電源(D)母線	非常用交流電源(H)母線
	直流電源(A)系	直流電源(B)系	直流電源(H)系

○建屋内は安全系区分Ⅰと区分Ⅱ／Ⅲを「①3時間以上の耐火能力を有する隔壁等」、「②水平距離6m以上の離隔距離の確保、火災感知設備及び自動消火設備」又は「③1時間以上の耐火能力を有する隔壁等、火災感知設備及び自動消火設備」で分離

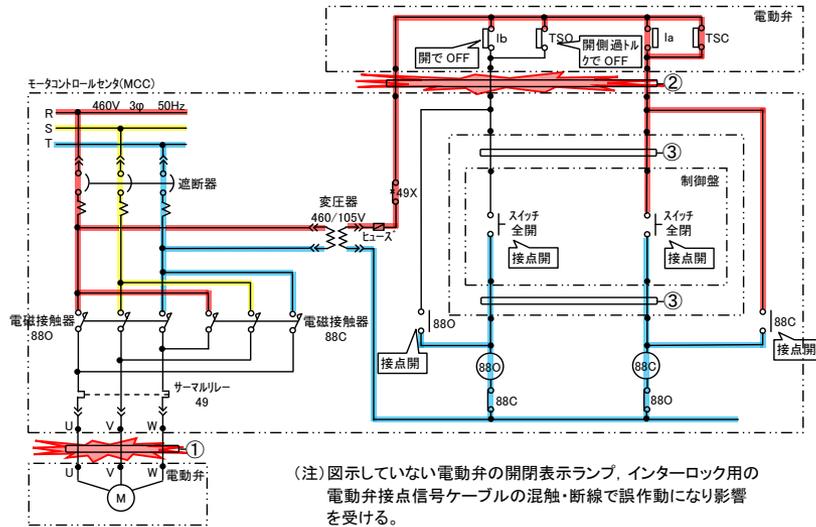
○ただし、屋外の一部(燃料移送系連絡配管トレンチ、燃料移送ポンプ室)については、安全系区分Ⅱと区分Ⅰ／Ⅲを上述と同様の方法により系統分離する設計

【系統分離の考え方】

火災区域又は火災区画に存在する火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルが、火災により機能を喪失することを想定し、下記①②も考慮し安全停止パスが1つも成立しない場合には、安全停止パスが少なくとも1つ成立するように系統分離することが必要

①電動弁の回路評価

電動弁の回路が火災により影響を受けたとしても、電動弁の開度が維持され、その開度に応じた機能(開は通水機能、閉は隔離機能)が確保される場合は、当該電動弁の機能は、火災の影響を受けないと判断することが可能。



(注) 図示していない電動弁の開閉表示ランプ、インターロック用の電動弁接点信号ケーブルの混触・断線で誤作動になり影響を受ける。

電動弁回路評価

(火災による影響を受けない場合の例)

②運転員の手動操作

火災による安全機能の喪失を想定しても、火災発生後に機能要求まで時間余裕があり、消火活動後に電動弁の手動操作(電源切、弁手動操作)によって、機能を復旧できる電動弁については、当該電動弁の手動操作により機能を確保する。



モータコントロールセンタの電源切操作



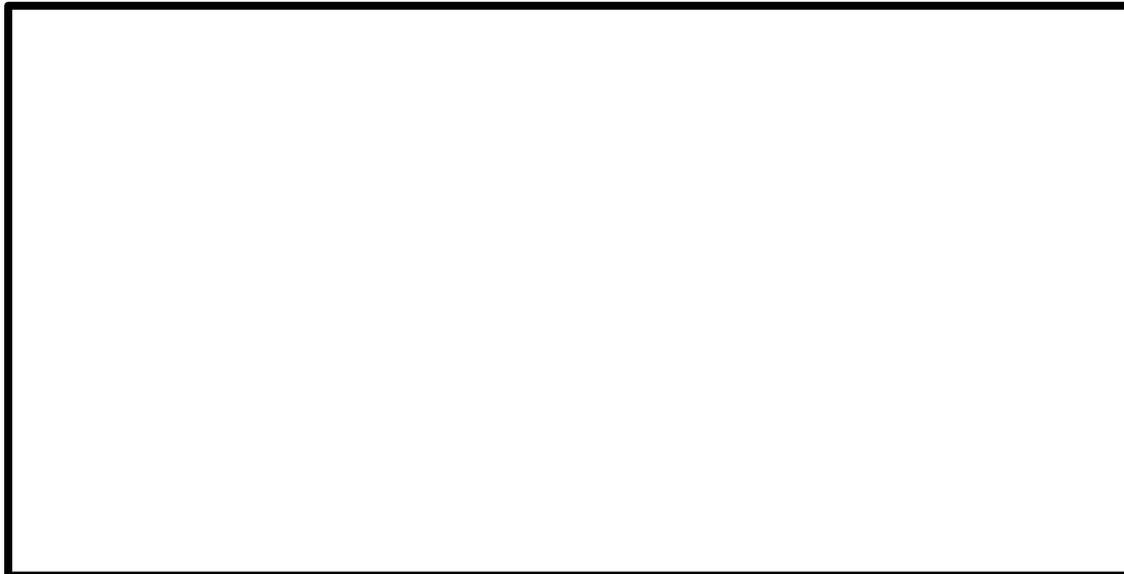
電動弁の手動ハンドルによる操作

運転員手動操作

(RHR停止時冷却吸込第二隔離弁の例)

【屋外の系統分離の考え方】

- 屋外は建屋内の安全系区分Ⅰと区分Ⅱ／Ⅲを分離する方針と異なるが、以下のとおり原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持することが可能
 - 燃料移送系は、燃料デイトankの油面が低下した際に軽油タンクより燃料デイトankに軽油を移送する系統
 - 区分Ⅲの燃料デイトankは区分Ⅰの軽油タンクから燃料移送ポンプHPCSにより軽油を移送する設計であり、系統分離の観点から区分Ⅰ／Ⅲを区分Ⅱと分離する必要がある
 - 原子炉の高温停止及び低温停止を達成は、区分Ⅰ／Ⅲ又は区分Ⅱの燃料移送系に単一火災を想定しても、区分Ⅰ＋区分Ⅲ又は区分Ⅱ＋RCICの組合せにより安全停止パスが成立するため可能。なお、燃料デイトankは、燃料移送系が機能喪失しても、ディーゼル発電設備が定格出力運転で8時間以上運転できる容量をそれぞれ確保する設計
 - 軽油タンクの容量は、ディーゼル発電設備が長期冷却を目的とした運転の負荷(区分Ⅰ又は区分Ⅱの非常用ディーゼル発電機1台)を考慮し、最低7日間運転できる容量を確保しており、区分Ⅰ又は区分Ⅱの燃料移送系に単一火災を想定しても、原子炉の低温停止の維持が可能



区分Ⅰ 燃料移送配管	—
区分Ⅱ 燃料移送配管	—
区分Ⅲ 燃料移送配管	—

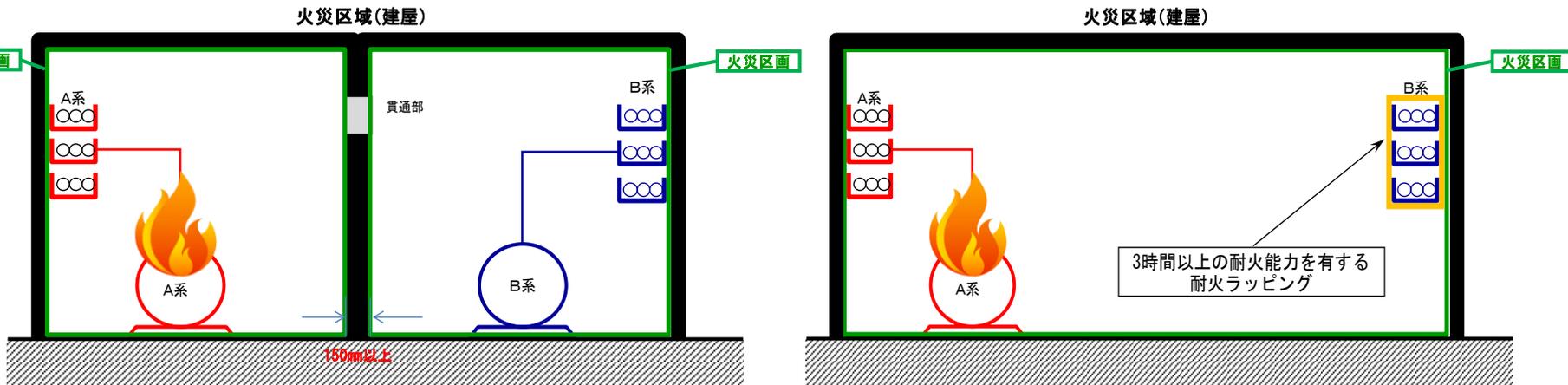
屋外設備の系統分離状況

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

資料1 2.1.3 火災の影響軽減
資料7 添付資料1 火災の影響軽減のための系統

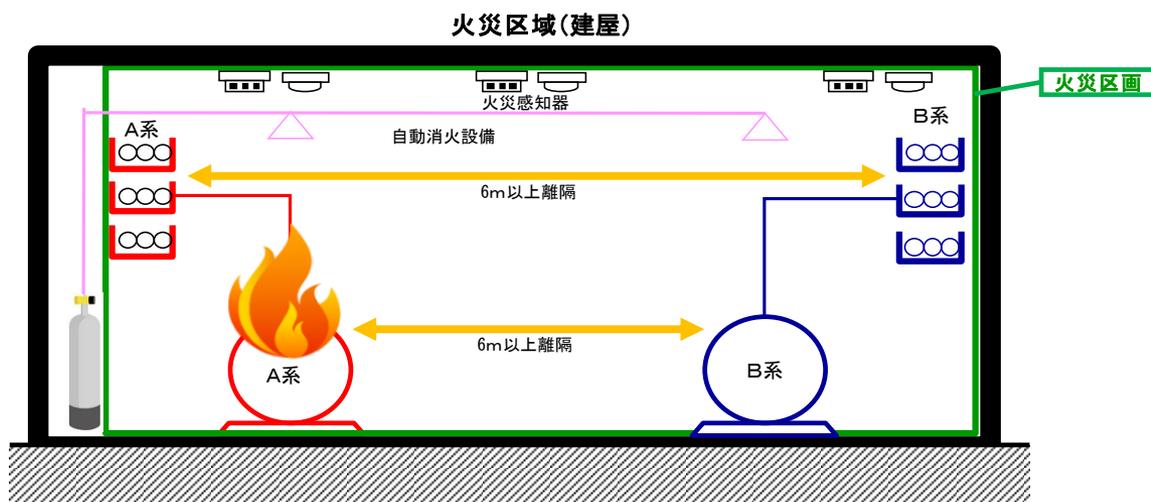
①3時間以上の耐火能力を有する隔壁等

- 互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを、3時間以上の耐火能力を有した厚さのコンクリート壁, 又は火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を確認した隔壁等(耐火ボード, ケーブルトレイ等耐火ラッピング)で分離する設計



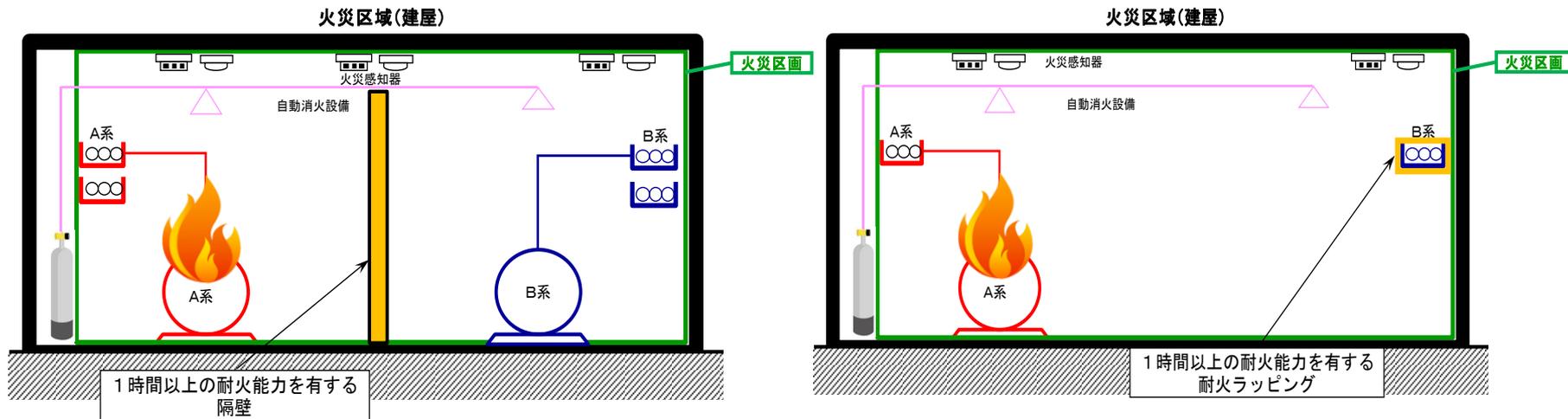
② 水平距離6m以上の離隔距離の確保, 火災感知設備及び自動消火設備

- ・互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを, 仮置きするものを含めて可燃性物質のない水平距離を6m以上の離隔距離を確保する設計
- ・火災感知設備は, 自動消火設備を作動させるために設置し, 自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を動作させる設計



③1時間以上の耐火能力を有する隔壁等, 火災感知設備及び自動消火設備

- ・互いに相違する系列の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルを, 火災耐久試験により1時間以上の耐火能力を確認した隔壁等で分離する設計
- ・火災感知設備は, 自動消火設備を作動させるために設置し, 自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を動作させる設計



【具体的な火災の影響軽減対策】

①3時間以上の耐火能力を有する隔壁等

- ・「原子炉の高温停止及び低温停止に係わる安全機能を有する構築物、系統及び機器」が設置されている3時間の耐火能力を有するコンクリート壁又は隔壁等(貫通部シール, 防火扉, 防火ダンパ, 耐火ラッピング)で分離する設計

②水平距離6m以上の離隔距離の確保, 火災感知設備及び自動消火設備

- ・水平距離6m以上の離隔距離を確保し, 仮置きするものを含めて可燃性物質を配備しない設計
- ・火災感知設備は自動消火設備を作動させるために設置し, 自動消火設備は誤作動防止を考慮した感知器の作動により, ハロゲン化物自動消火設備が動作する設計

③1時間以上の耐火能力を有する隔壁等, 火災感知設備及び自動消火設備

- ・火災耐久試験により1時間の耐火性能を確認した以下の何れかで分離
 - a. コンクリート壁
 - b. 鉄板
 - c. 鉄板+発泡性耐火被覆
 - d. 鉄板+断熱材
 - e. 耐火隔壁(断熱材)
- ・火災感知設備及び自動消火設備は, ②と同様のものを設置

【3時間耐火隔壁等の火災耐久試験について】

- 「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」には、耐火壁、隔壁等の設計の妥当性が火災耐久試験によって確認
- 火災区域の境界を構成する①貫通部シール、②防火扉、③防火ダンパ、④ケーブルトレイ貫通部、⑤電線管貫通部について火災耐久試験を実施した結果、何れも3時間耐火性能を有していることを確認
- ⑥ケーブルトレイに耐火材を施工(ラッピング)したものについて火災耐久試験を実施した結果、3時間耐火性能を有していることを確認

試験体	3時間耐火の確認方法	判定基準	結果
①貫通部シール	建築基準法 (ISO834の標準加熱曲線に従い3時間加熱を実施し、目視により判定基準を満足するか確認)	a. 非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと b. 非加熱面で10秒を超えて継続する発炎がないこと c. 火炎が通る亀裂等の損傷及び隙間を生じないこと	良
②防火扉			良
③防火ダンパ			良

①貫通部シール		②防火扉		③防火ダンパ	
開始前	3時間後 (試験終了後)	開始前	3時間後 (試験終了後)	開始前	3時間後 (試験終了後)

【3時間耐火隔壁等の火災耐久試験について】

試験体	3時間耐火の確認方法	判定基準※	結果
④ケーブルトレイ貫通部	建築基準法 (ISO834の標準加熱曲線に従い3時間加熱を実施し、目視により判定基準を満足するか確認)	a. 非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと b. 非加熱面で10秒を超えて継続する発炎がないこと c. 火炎が通る亀裂等の損傷及び隙間を生じないこと	良
⑤電線管貫通部			良
⑥ケーブルトレイ		a. 周囲温度(平均)+139℃, 最大で周囲温度+181℃を超えないこと※ b. 耐火被覆材の著しい変化, 損傷, 脱落等の変化が生じないこと	良

※REGULATORY GUIDE1.189 Rev.2: Appendix CIに基づく

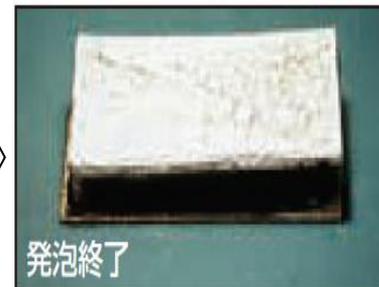
④ケーブルトレイ貫通部		⑤電線管貫通部		⑥ケーブルトレイ	
開始前	3時間後 (試験終了後)	開始前	3時間後 (試験終了後)	開始前	3時間後 (試験終了後)

【1時間耐火隔壁の耐火性能について】

- ケーブルトレイや機器間に施工する耐火隔壁は、現地の施工性等を考慮し、コンクリート壁又は鉄板を基本とし、必要に応じて発泡性耐火被覆又は断熱材を鉄板に加工し、火災耐久試験により耐火性能を有することを確認
- コンクリート壁を使用する場合は、JEAG4607-2010に準拠して、70mm以上の厚みを有するコンクリート壁を1時間以上の耐火能力を有する耐火隔壁を使用
- 厚さ1.6mm以上の鉄板は、遮炎性の判断基準に加えて、火災耐久試験により熱による影響を受けないことを裏面側の温度にて確認

発泡性耐火被覆の仕様例

仕様	発泡性耐火被覆
熱伝導率	0.55 W/m・K
厚さ	1.5mm × 2枚
主な組成	特殊アクリル樹脂系



断熱材の仕様例

仕様	FFBIOブランケット	パイロジェル
熱伝導率	0.55 W/m・K	0.046 W/m・K
主な組成	シリカ・マグネシア・カルシア系セラミックファイバー	疎水性シリカガラス長繊維



FFBIOブランケット



パイロジェル

【1時間耐火隔壁の耐火性能について】

○耐火隔壁は、建築基準法に基づく1時間の間仕切壁として認定された耐火材又は、「1時間耐火性能」を有することを火災耐久試験により確認した耐火材を使用

耐火材の仕様例

仕様	トンネライト	ケイカライト	ハイラック
熱伝導率	0.22 W/m・K	0.14 W/m・K	0.18 W/m・K
主な組成	けい酸 カルシウム	けい酸 カルシウム	けい酸 カルシウム



トンネライト



ケイカライト

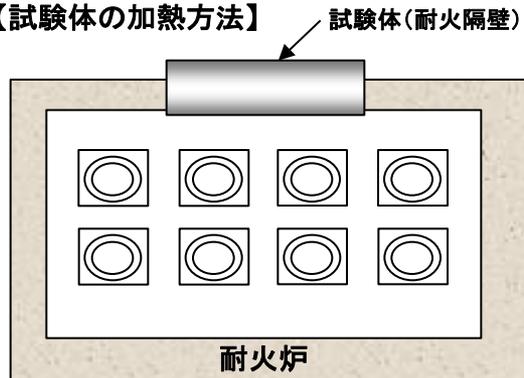


ハイラック

・試験概要

隔壁を組合わせた試験体に対し、建築基準法(ISO834)の標準加熱曲線を用いて、耐火炉にて1時間加熱した際に判定基準(外観及び非加熱面温度上昇が平均140K以下、最高180K以下)を満足するかを確認

【試験体の加熱方法】

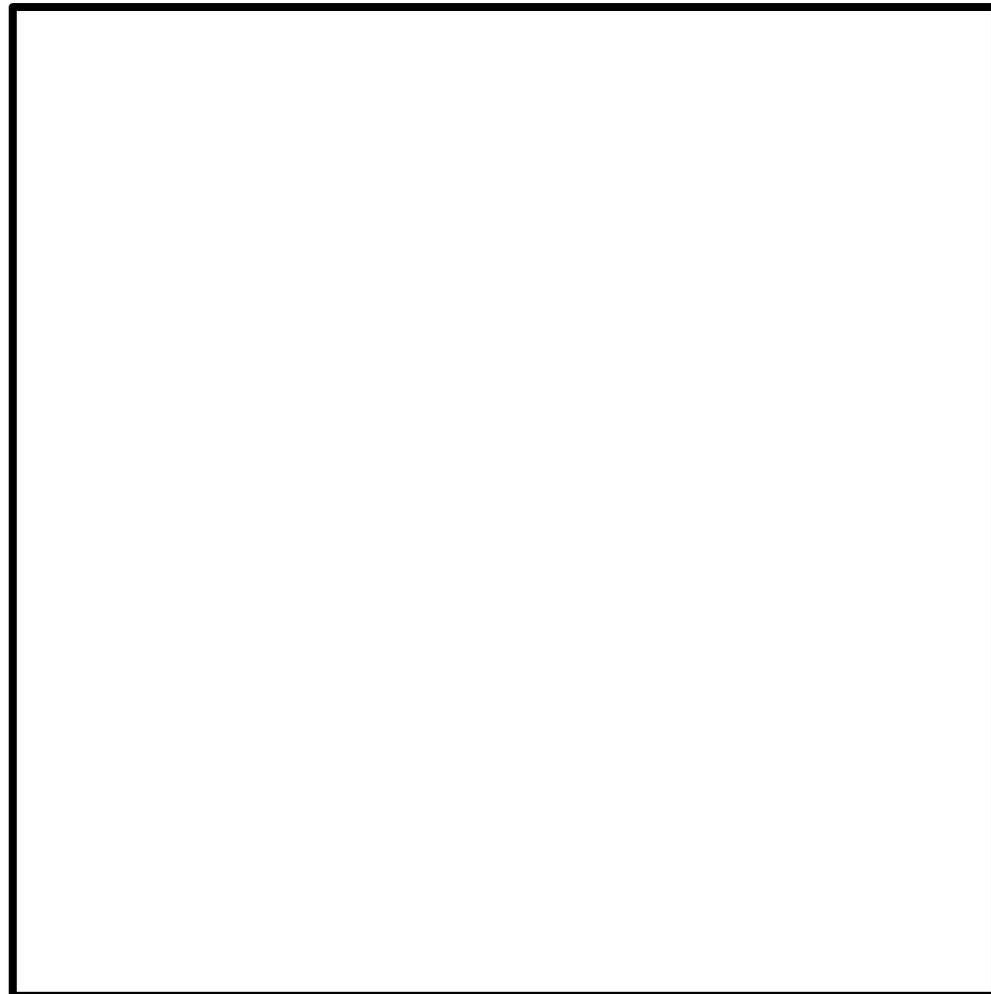


耐火隔壁試験体の概要

【系統分離の具体例】

中央制御室外原子炉停止装置盤

- 1時間以上の耐火能力を有する隔壁
同一火災区画内で異なる安全区分の制御盤間に、1時間耐火能力を有する「耐火材(トンネライト, ハイラック)」を、互いの制御盤が直視できないよう設置
- 火災感知設備
発信箇所が特定でき、異なる種類の信号を有する火災感知器を火災区画内に設置し、火災の発生を常時監視
- 自動消火設備
当該火災区画の全域を消火範囲としたハロゲン自動消火設備を設置



中央制御室外原子炉停止装置盤の系統分離

【系統分離の具体例】

トラス室

○3時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離

○ただし、RHR B系停止時冷却吸込第二隔離弁は、残留熱除去系停止時冷却モード時における機能要求まで時間的余裕があることから、消火活動後に当該電動弁の手動操作にて機能を確保

トラス室の系統分離対策

トラス室に設置されている機器等	系統分離対策
ケーブルトレイ	3時間耐火ラッピング
電動弁(RHR B系停止時冷却注入隔離弁等)	3時間耐火ラッピング又は隔壁
電動弁(RHR B系停止時冷却吸込第二隔離弁)	手動操作
CAMS放射線モニタ(IC)(S/C)	3時間耐火ラッピング又は隔壁



- : 区分Ⅰケーブルトレイ
- : 区分Ⅱケーブルトレイ
- ✕ : 電源区分Ⅰ電動弁
- ✕ : 電源区分Ⅱ電動弁
- ✕ : 電源区分Ⅲ電動弁

ケーブルトレイ及び電動弁の系統分離対策

資料1 2.1.3 火災の影響軽減

資料7 添付資料1 火災の影響軽減のための系統分離対策について

「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」 「2.火災の影響軽減」

2.3.2 原子炉施設内のいかなる火災によっても、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を高温停止及び低温停止できる設計であること。また、原子炉の高温停止及び低温停止が達成できることを、火災影響評価により確認すること。

(火災影響評価の具体的手法は「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」による。)

「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」

3. 火災の想定

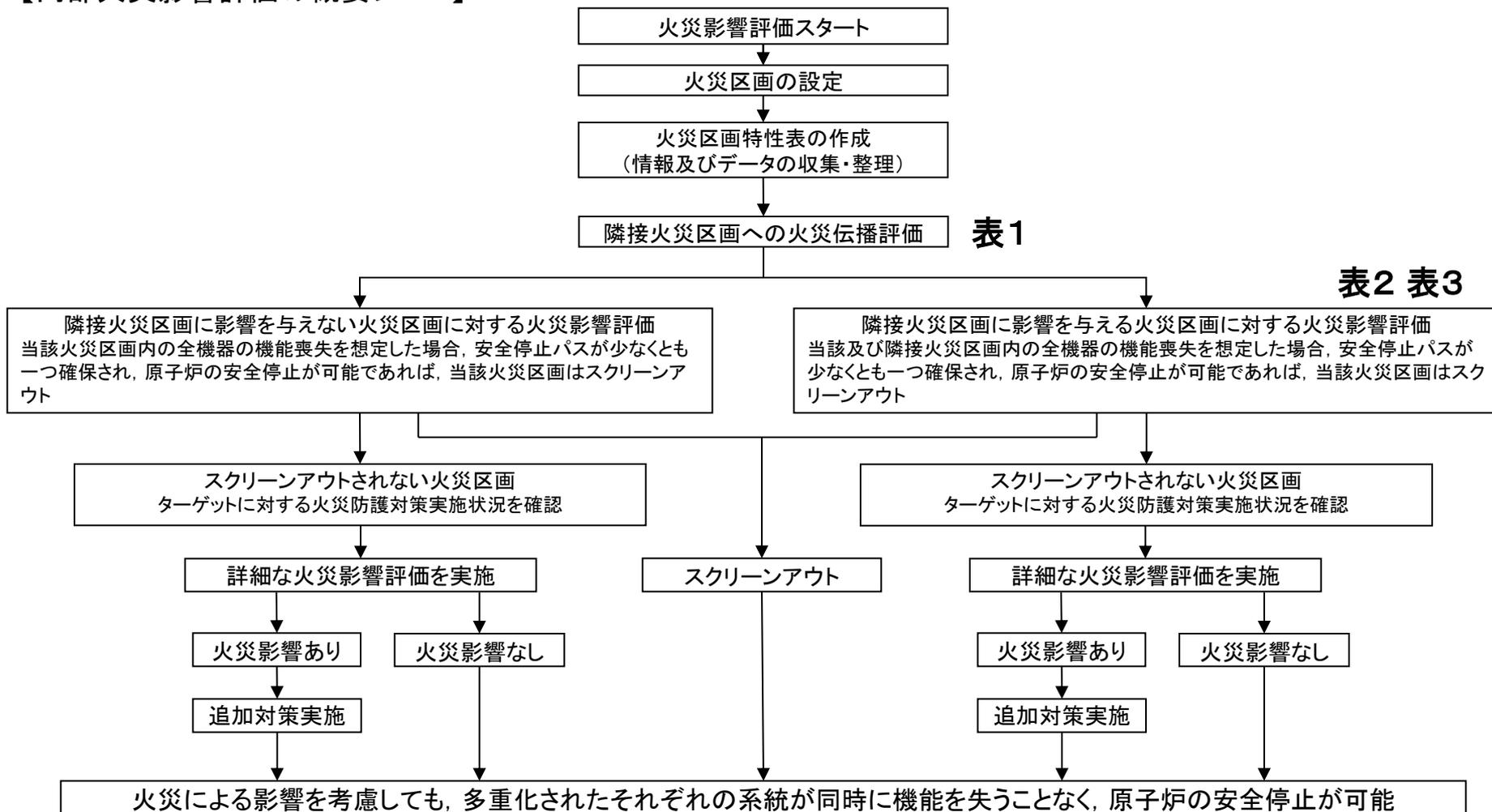
原子炉の安全機能に影響を及ぼす可能性がある最も苛酷な単一の火災を火災区域／火災区画内に想定する。地震時においては、耐震B、Cクラスの機器を火災源として、最も苛酷な単一の火災を、火災区域／火災区画に想定する。

4. 火災時の原子炉の安全確保

想定する火災に対して、原子炉の安全停止に必要な機能を有する系統が、その安全機能を失わないこと(信頼性要求に基づき独立性が確保され、多重性又は多様性を有する系統が同時にその機能を失わないこと)。

内部火災により原子炉に外乱が及び、かつ、安全保護系、原子炉停止系の作動を要求される場合には、その影響(火災)を考慮し、安全評価指針に基づき安全解析を行う必要がある。

【内部火災影響評価の概要フロー】



本フローに基づき、火災影響評価を継続実施中

【安全停止パスの概要】

火災影響評価において、当該火災区画内に設置される全機器の機能喪失を想定しても、安全停止パスが少なくとも一つ確保される場合には、当該火災区画の火災発生を想定しても、原子炉の安全停止に影響はない。

安全停止パスに必要な系統・機器を確保することにより、原子炉の安全停止の達成が可能となる。
 なお、高温停止に必要な系統に対しては2つの手段を確保するパスを設定する。

安全区分を有する主な系統

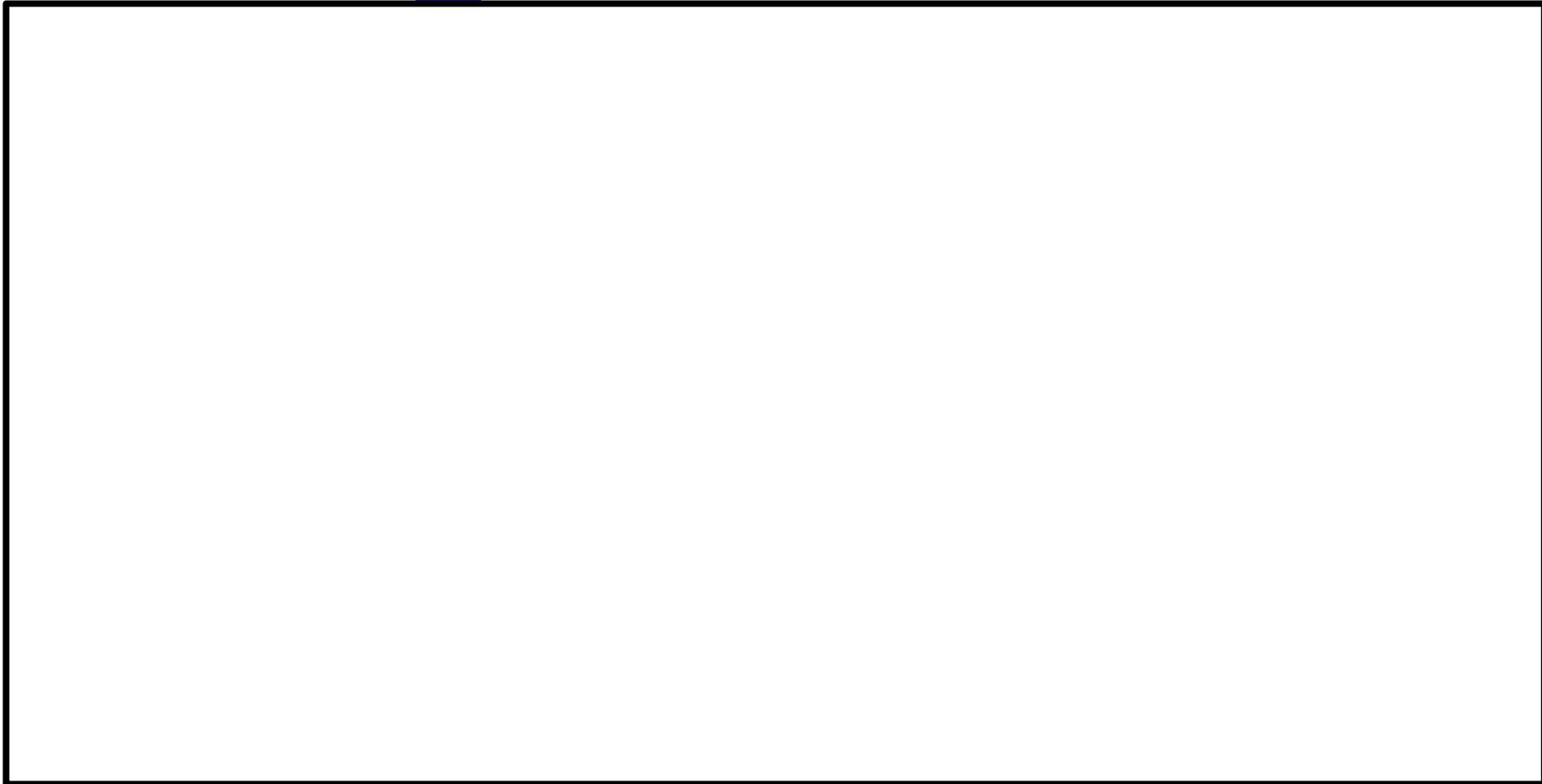
安全区分	区分Ⅰ	区分Ⅱ	区分Ⅲ
高温停止	自動減圧系(A)及び 残留熱除去系(LPCI-A)又は 低圧炉心スプレイ系	自動減圧系(B)及び 残留熱除去系(LPCI-B)又は 残留熱除去系(LPCI-C)	高圧炉心スプレイ系
	原子炉隔離時冷却系	—	—
低温停止	残留熱除去系(A)	残留熱除去系(B)	—
サポート (冷却系)	原子炉補機冷却水系(A)(C)	原子炉補機冷却水系(B)(D)	高圧炉心スプレイ補機冷却水系
	原子炉補機冷却海水系(A)(C)	原子炉補機冷却海水系(B)(D)	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系
サポート (動力電源)	非常用ディーゼル発電機(A)	非常用ディーゼル発電機(B)	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機
	非常用交流電源(C)母線	非常用交流電源(D)母線	非常用交流電源(H)母線
	直流電源(A)系	直流電源(B)系	直流電源(H)系

- 安全停止パス①……区分Ⅰ (区分Ⅱ＋Ⅲ機能喪失)
- 安全停止パス①´……区分Ⅰ＋区分Ⅲ (区分Ⅱ＋区分Ⅰ(RCIC系)機能喪失)
- 安全停止パス②……区分Ⅱ＋区分Ⅲ (区分Ⅰ機能喪失)
- 安全停止パス②´……区分Ⅱ＋区分Ⅰ(RCIC系) (区分Ⅲ＋区分Ⅰ(RCIC系以外)機能喪失)

【内部火災影響評価結果の例】

R1-A区画(区分 I 区画)の火災影響評価結果について、評価結果の例を次頁に示す。

R1-A区画は区画図の  箇所の位置に設定している。



火災区画図の例

【内部火災影響評価結果の例】

表1:火災伝播評価結果(抜粋)

火災区画	火災区画内の主な部屋名称	等価火災時間	火災が伝播する可能性がある隣接火災区画	火災伝播経路	火災伝播の可能性
R1-A	RHRポンプ(A)室 RCICタービンポンプ室 B3F南側通路 B2F南側通路 他	0.26時間	R1-C	貫通孔(開口あり)	有
			R2-A	貫通孔(開口あり)	有
			RN-A	貫通孔(開口あり)	有
			R-4-1	3時間障壁(開口なし)	無

表2:火災区画内の影響評価結果(抜粋)

火災区画	機能								評価結果			
	反応度制御	圧力制御	原子炉冷却	崩壊熱除去	補機冷却	計装	空調	電源	高温停止	低温停止	成功パス	確認結果
R1-A	○	○	○	○	○	○*	○	○	○	○	②	系統分離対策により安全停止パスを確保可能 (※)区分Ⅱ、Ⅲのターゲット(RHRポンプ(B)出口流量伝送器, 圧力抑制室水位伝送器)に対し, 系統分離対策を実施

表3:隣接火災区画に影響を与える火災区画の影響評価結果(抜粋)

火災を想定する当該火災区画			隣接火災区画			安全停止パス		評価結果
火災区画	火災区画内の主な部屋名称	ターゲット	火災区画	火災区画内の主な部屋名称	ターゲット	2区画機能喪失想定	成功パス	
R1-A	RHRポンプ(A)室 RCICタービンポンプ室 B3F南側通路 B2F南側通路 他	有	R1-C	B2F 西側通路 B1F 西側通路 他	有	有	②	系統分離対策により安全停止パスを確保可能
			R2-A	RHRポンプ(B)室 RHRポンプ(C)室 RCW熱交換器(B)(D)室 ディーゼル発電機(B)室 他	有	有	②*	系統分離対策により安全停止パスを確保可能 (※)R1-A区画内の火災時室温が機器の損傷温度を上回ることから, R1-AからR2-Aへ通じる開口部に追加対策を実施
			RN-A	LCW収集ポンプ(A)室 HCW収集ポンプ(A)室 HCWサンプルタンク室 他	無	有	②	系統分離対策により安全停止パスを確保可能

【基本的な考え方】

1. 女川2号炉では、火災の影響軽減対策として、原子炉の安全停止を達成し、維持するために必要な系統は、単一火災によって同時に機能が喪失しないように系統分離等の対策を講じており、安全停止パスが確保可能
2. その上で、内部火災により原子炉に外乱が及ぶ場合について、重畳事象を含めどのような事象が起こる可能性があるかを分析し、発生する事象に対して単一故障を想定した場合においても収束が可能であるか、また安全停止が可能であるかについて解析的に確認
3. 更に、中央制御室や現場における単一火災までを考慮した場合に、低温停止状態への移行に必要な残留熱除去系が機能喪失しないことを確認

審査基準及び評価ガイドの要求事項に対する対応の考え方

【審査基準】

「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」「2.3 火災の影響軽減」

2.3.2 原子炉施設内のいかなる火災によっても、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を高温停止及び低温停止できる設計であること。

また、原子炉の高温停止及び低温停止が達成できることを、火災影響評価により確認すること。
(火災影響評価の具体的手法は「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」による。)

【原子力発電所の内部火災影響評価ガイド】

「4.火災時の原子炉の安全確保」

原子炉の安全停止に必要な機能を有する系統が、その安全機能を失わないこと(信頼性要求に基づき独立性が確保され、多重性又は多様性を有する系統が同時にその機能を失わないこと)。

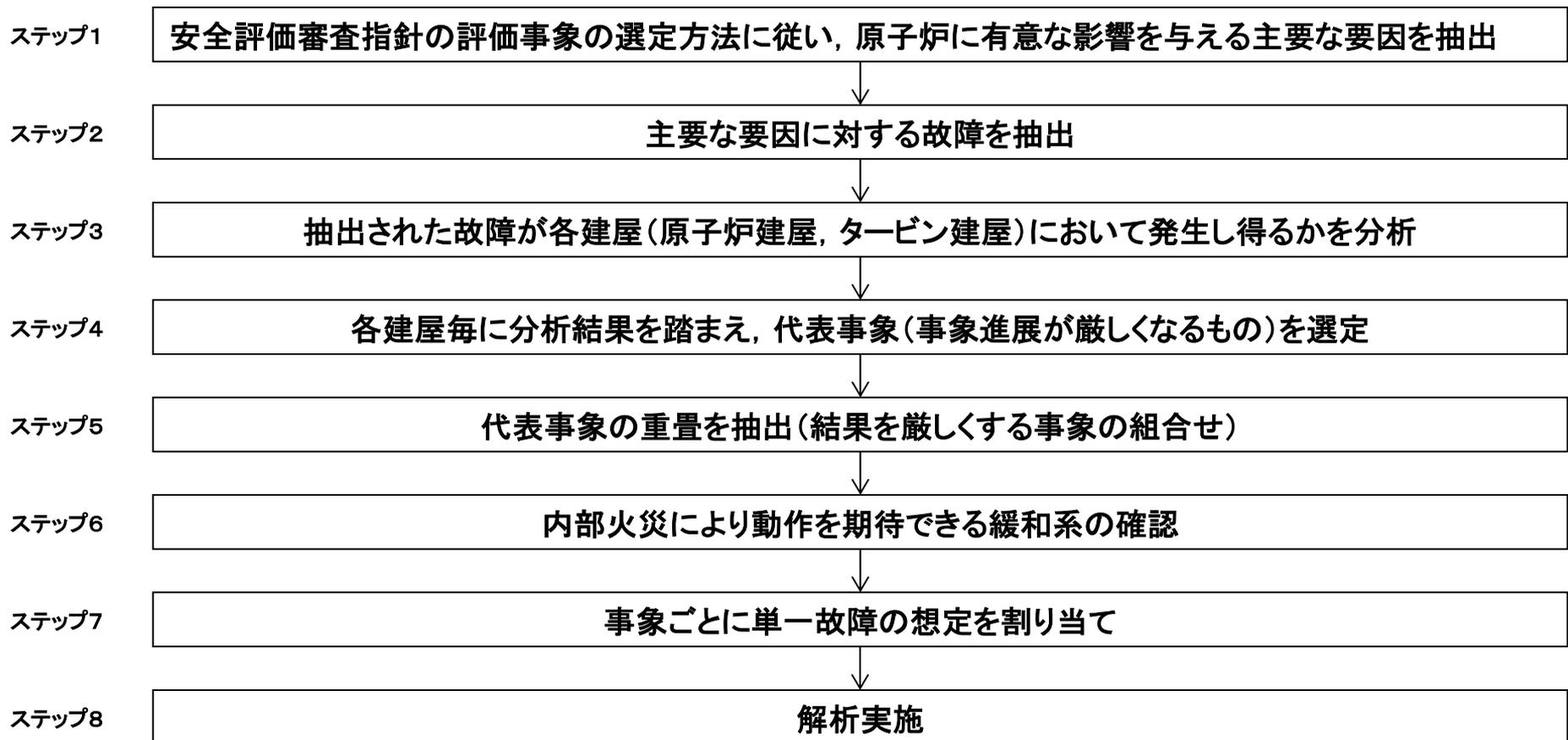
内部火災により原子炉に外乱が及び、かつ、安全保護系、原子炉停止系の作動を要求される場合には、その影響(火災)を考慮し、安全評価指針に基づき安全解析を行う必要がある。

当社の対応

内部火災を起因として発生する過渡的な事象に対して、単一故障を想定しても、影響緩和系により事象は収束し、原子炉が安全停止を維持できることを確認

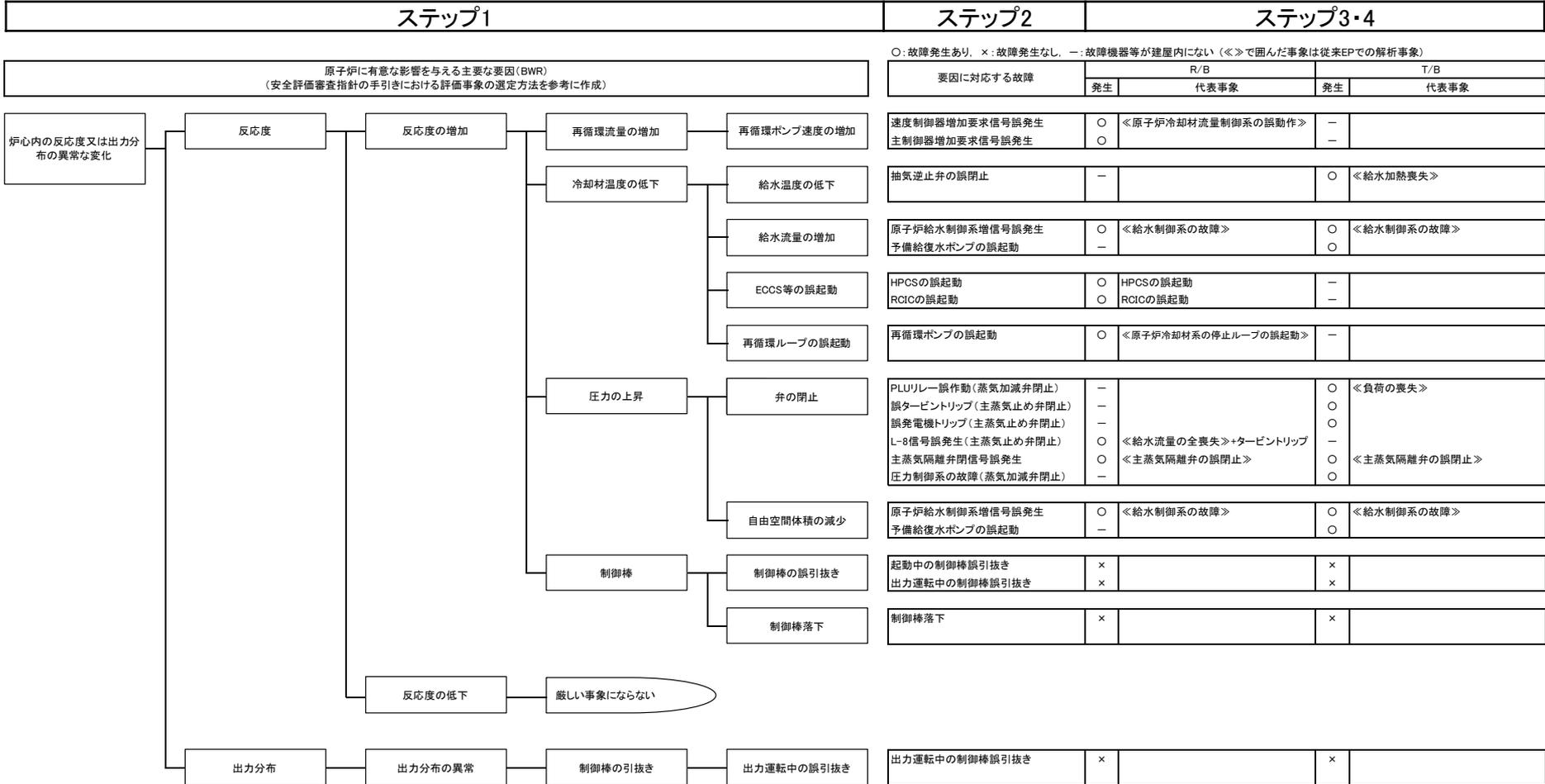
7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(3/10) P40

- 内部火災により原子炉に外乱が及び、かつ、複数の起因が重畳する可能性を考慮した場合においても、単一故障を想定した条件で安全停止が可能であるかについての確認のための考え方のフローは以下のとおり



7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(4/10) P41

➤ 「安全評価審査指針」の評価事象の選定方法に従い、原子炉に有意な影響を与える主要な要因を選定し、その要因を引き起こす故障に対して、内部火災により、その故障を誘発する起因事象(代表事象)を、原子炉建屋、タービン建屋毎に選定



外乱分析図(1/3)

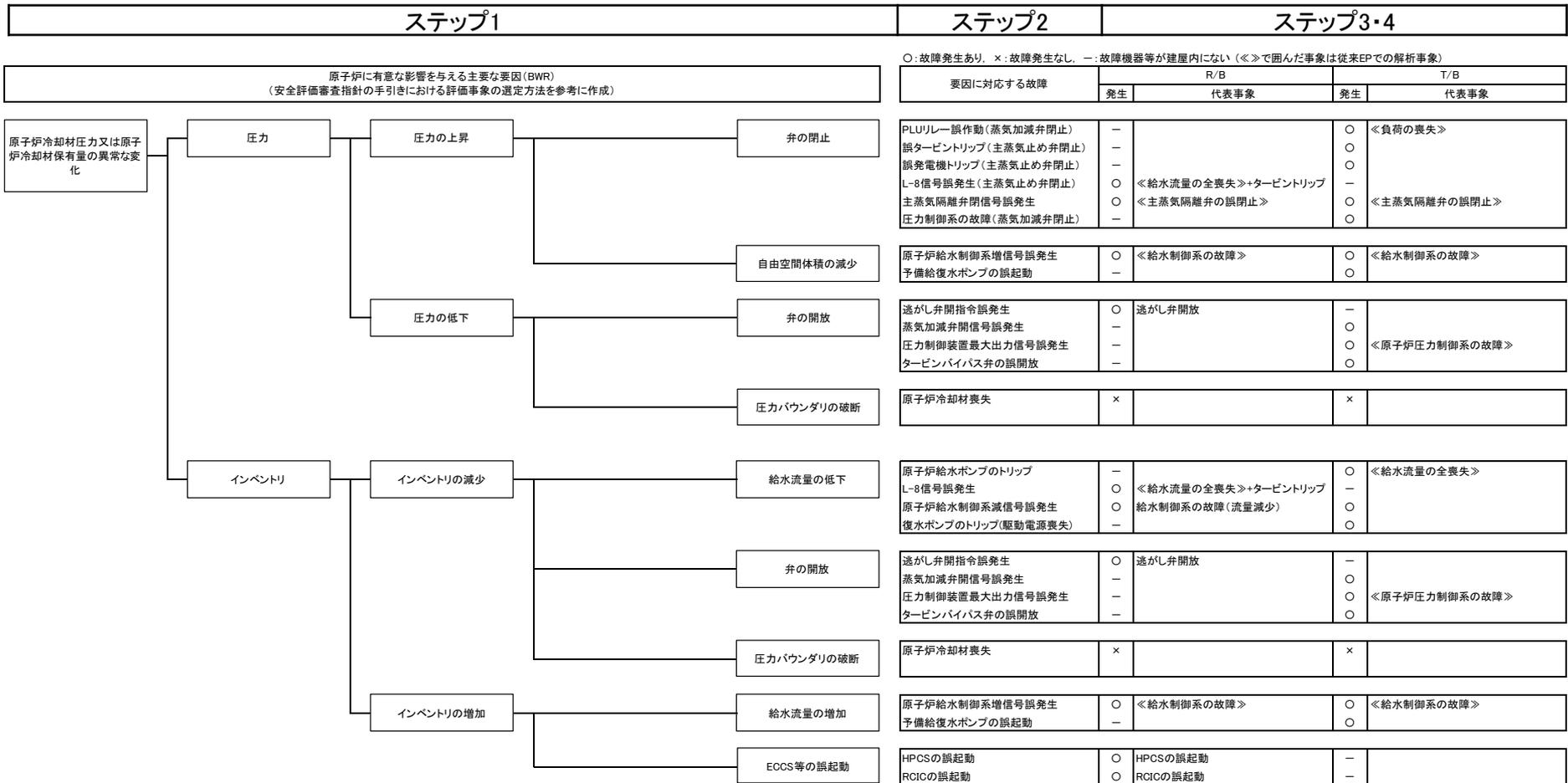
7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(5/10) P42



○:故障発生あり, ×:故障発生なし, -:故障機器等が建屋内にない(《>》で囲んだ事象は従来EPでの解析事象)

外乱分析図(2/3)

7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(6/10) P43



外乱分析図(3/3)

7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(7/10) P44

- 内部火災により誘発される過渡事象等の起回事象(代表事象)を特定し、建屋毎に抽出された代表事象の重畳の可能性を検討

建屋毎に抽出された代表事象(ステップ4)

原子炉建屋における重畳考慮について(ステップ5)

抽出された事象	R/B	T/B
原子炉冷却材系の停止ループの誤起動	○	
原子炉冷却材流量の喪失※1	○	○
原子炉冷却材流量制御系の誤作動	○	
給水流量の全喪失+タービントリップ	○	
主蒸気隔離弁の誤閉止	○	○
逃がし弁開放	○	
給水制御系の故障(流量減少)	○	
給水制御系の故障(流量増加)	○	○
HPCSの誤起動	○	
RCICの誤起動	○	
給水加熱喪失		○
負荷の喪失		○
原子炉圧力制御系の故障		○
給水流量の全喪失		○

抽出された事象	重畳	重畳を考慮しない理由※2
原子炉冷却材の停止ループの誤起動	—	部分出力状態での発生事象であり重畳による影響が小さい
原子炉冷却材流量の喪失	—	A
原子炉冷却材流量制御系の誤作動	考慮	—
給水流量の全喪失+タービントリップ	考慮	—
主蒸気隔離弁の誤閉止	考慮	—
逃がし弁開放	—	B
給水制御系の故障(流量減少)	—	C
給水制御系の故障(流量増加)	考慮	—
HPCSの誤起動	—	B(上部プレナムへの注水)
RCICの誤起動	考慮	—

タービン建屋における重畳考慮について(ステップ5)

抽出された事象	重畳	重畳を考慮しない理由※2
給水加熱喪失	考慮	—
原子炉冷却材流量の喪失	—	A
負荷の喪失	考慮	—
主蒸気隔離弁の誤閉止	考慮	—
原子炉圧力制御系の故障	—	B
給水流量の全喪失	—	C
給水制御系の故障(流量増加)	考慮	—

※1: 部分喪失を含む

※2: 重畳を考慮しない理由

A: 再循環流量が減少する事象は、BWR-5では再循環ポンプの慣性が大きく、炉心流量の減少による炉心の冷却能力低下に対し、原子炉出力の減少が早めに作用するため、重畳しても結果は厳しくならない。

B: 圧力が低下する事象は重畳しても結果は厳しくならない。

C: 出力低下する事象は重畳しても結果は厳しくならない。

7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(8/10) P45

重畳を考慮した場合の事象進展の分析(原子炉建屋)

	①原子炉冷却材流量制御系の誤作動	②給水流量の全喪失＋タービントリップ	③主蒸気隔離弁の誤閉止	④給水制御系の故障(流量増加)
事象の特徴	出力上昇	圧力上昇	圧力上昇	圧力上昇

- 「圧力上昇」の観点から、「②給水流量の全喪失＋タービントリップ」「③主蒸気隔離弁の誤閉止」「④給水制御系の故障(流量増加)」が抽出されるが、この中で「④給水制御系の故障(流量増加)」が最も厳しい事象となる
- この理由は、②、③、④のうち、④が最もスクラム信号発生が遅い事象であることから、②、③、④を重畳させず、④が単独で発生した場合が厳しくなる
- 「①原子炉冷却材流量制御系の誤作動」は、炉心流量の増加による出力上昇に伴い、短時間でスクラムに至るため、原子炉冷却材圧力バウンダリ圧力ピーク値等の観点から厳しい事象とならない
- ④と①が重畳した場合、短時間でスクラムに至り、①と同様の事象となるため、④が単独で発生した場合が最も厳しい事象となる
- また、RCICの誤起動に伴う給水流量の増加はわずか(2%)であり、給水制御系故障時の流量増加分(36%)と比べると影響は小さいため、重畳を考慮しない

重畳を考慮した場合の事象進展の分析(タービン建屋)

	①給水加熱喪失	②負荷の喪失	③主蒸気隔離弁の誤閉止	④給水制御系の故障(流量増加)
事象の特徴	出力上昇	圧力上昇	圧力上昇	圧力上昇

- 「圧力上昇」の観点から、「②負荷の喪失」「③主蒸気隔離弁の誤閉止」「④給水制御系の故障(流量増加)」が抽出されるが、この中で「④給水制御系の故障(流量増加)」が最も厳しい事象となる
- また、②、③、④のうち、④が最もスクラム信号発生が遅い事象であることから、②、③、④を重畳させず、④が単独で発生した場合が厳しくなる
- ④と「①給水加熱喪失」が重畳した場合、④が単独で発生した場合よりも出力が高い状態でスクラムに至るため、④と①が重畳した場合が最も厳しい事象となる

7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(9/10) P46

重畳を考慮した場合の事象進展の分析(原子炉建屋)

	①原子炉冷却材流量制御系の誤作動	②給水流量の全喪失＋タービントリップ	③主蒸気隔離弁の誤閉止	④給水制御系の故障(流量増加)
①原子炉冷却材流量制御系の誤作動		<p style="text-align: center;">×</p> <p>スクラムタイミングが遅い①が出力上昇の観点から厳しいが、②は圧力上昇の観点で厳しくプラント挙動としては影響が大きい。 重畳事象はタービントリップにより直ちにスクラムするため、単独事象である②により代表できる。</p> <p>【抽出事象:②】</p>	<p style="text-align: center;">×</p> <p>隔離弁の閉止タイミングが早い③が原子炉圧力上昇の観点から厳しい。 重畳事象は③により直ちにスクラムするため、単独事象である③により代表できる。</p> <p>【抽出事象:③】</p>	<p style="text-align: center;">×</p> <p>スクラムタイミングが遅い④の方が出力上昇が厳しい。かつ、④は主蒸気止め弁がスクラム後瞬時に閉止するため通常停止手順で原子炉を隔離する①に比べ原子炉圧力の観点からも厳しい。 重畳事象は炉心流量の増加による出力上昇に伴いタービントリップ前に短時間で中性子束高スクラムにいたるため、組合せない方が結果を厳しくする。したがって、④により代表できる。</p> <p>【抽出事象:④】</p>
②給水流量の全喪失＋タービントリップ			<p style="text-align: center;">×</p> <p>隔離弁の閉止タイミングが早い③が原子炉圧力上昇の観点から厳しい。 重畳事象は③により直ちにスクラムするため、単独事象である③により代表できる。</p> <p>【抽出事象:③】</p>	<p style="text-align: center;">×</p> <p>スクラムタイミングが遅い④の方が出力上昇が厳しい。かつ、遮断蒸気量の多い④が原子炉圧力の観点からも厳しい。 重畳事象はタービントリップにより直ちにスクラムするため、単独事象である④により代表できる。</p> <p>【抽出事象:④】</p>
③主蒸気隔離弁の誤閉止				<p style="text-align: center;">×</p> <p>スクラムタイミングが遅い④が出力上昇が厳しい 重畳事象は③により直ちにスクラムするため、単独事象である④により代表できる。</p> <p>【抽出事象:④】</p>
④給水制御系の故障(流量増加)				



○:重畳事象が厳しい ×:単独事象が厳しい
 :選定した評価事象

重畳が厳しい結果を与えることはないため、スクラムタイミング等を総合的に考慮し、「給水制御系の故障」を評価事象に選定

7. 火災の影響軽減 7.2.1 内部火災により想定される事象の選定(10/10) P47

重畳を考慮した場合の事象進展の分析(タービン建屋)

	①給水加熱喪失	②負荷の喪失	③主蒸気隔離弁の誤閉止	④給水制御系の故障(流量増加)
①給水加熱喪失		× スクラムタイミングが遅い①が出力上昇の観点で厳しい。重畳事象は②により直ちにスクラムするため、単独事象である①により代表できる。 【抽出事象:①】	× スクラムタイミングが遅い①が出力上昇の観点で厳しい。重畳事象は③により直ちにスクラムするため、単独事象である①により代表できる。 【抽出事象:①】	○ 主蒸気止め弁の閉止により反応度が印加される④の方が出力上昇が厳しい。重畳事象は弁閉止時の出力が高くなるため、④の故障が単独で発生した場合よりも厳しい事象となる。 【抽出事象:①+④】
②負荷の喪失	—		× 弁の閉止速度の速い②が出力上昇の観点で厳しい。重畳事象は弁の閉止速度が速い②により代表できる。 【抽出事象:②】	× スクラムタイミングが遅い④の方が出力上昇が厳しい。重畳事象は②により直ちにスクラムするため、単独事象である④により代表できる。 【抽出事象:④】
③主蒸気隔離弁の誤閉止	—	—		× スクラムタイミングが遅い④が出力上昇が厳しい。重畳事象は③により直ちにスクラムするため、単独事象である④により代表できる。 【抽出事象:④】
④給水制御系の故障(流量増加)	—	—	—	



○: 重畳事象が厳しい ×: 単独事象が厳しい
 : 選定した評価事象

「給水制御系の故障」+「給水加熱喪失」を評価事象に選定

7. 火災の影響軽減 7.2.2 内部火災により想定される事象の確認と評価(1/5) P48

- 原子炉建屋, タービン建屋毎に, それぞれの内部火災発生時に期待できる緩和系と喪失を仮定するMS-3緩和機能を以下に整理
- 原子炉保護系及び炉心冷却機能は, 火災影響を考慮しても多重化が確保されているため, 単一故障を仮定しても解析には影響しない

内部火災発生時に期待できる緩和系(ステップ6)

		R/B火災発生時	T/B火災発生時
MS-1機能	原子炉停止機能	原子炉保護系 (中性子束高等のスクラム機能は多重化され, かつ2区分機能維持できる設計としている。また, T/B側RPSは機能喪失しない)	原子炉保護系 (R/B側RPS)
	炉心冷却機能	RCIC及びECCS (3区分に多重化されており, 1区分火災で機能喪失しても2区分は機能維持される)	RCIC及びECCS (3区分とも機能維持)
	その他機能	主蒸気隔離弁 逃がし安全弁(安全弁機能)	主蒸気隔離弁 逃がし安全弁(安全弁機能)
MS-3機能		タービンバイパス弁	逃がし安全弁(逃がし弁機能)

火災影響により機能喪失を仮定する緩和系

	R/B火災発生時	T/B火災発生時
MS-1機能	—	タービン系RPS
MS-3機能	逃がし安全弁(逃がし弁機能) 再循環ポンプトリップ機能	再循環ポンプトリップ機能 タービンバイパス弁

7. 火災の影響軽減 7.2.2 内部火災により想定される事象の確認と評価(2/5) P49

- 原子炉建屋での内部火災を起因として発生する最も厳しい事象として「給水制御系の故障」を選定
- 単一故障を想定しても、影響緩和系により事象は収束し、原子炉が安全停止を維持できることを確認

単一故障の仮定と解析への影響(ステップ7)

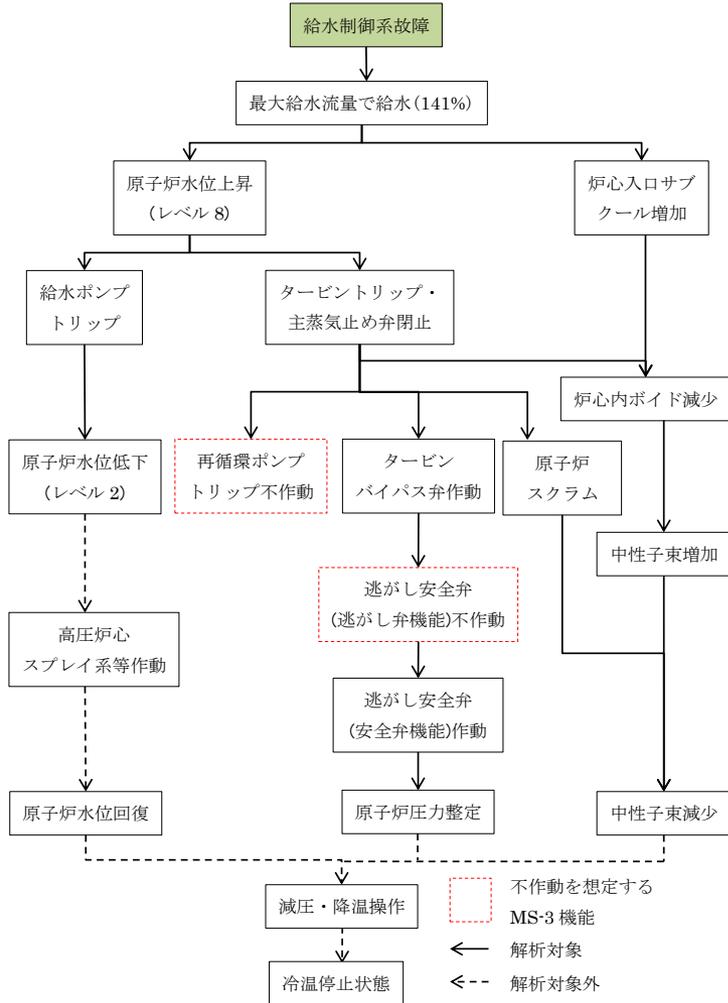
単一故障を仮定する機能	解析への影響
原子炉停止機能	・安全保護系に単一故障を仮定 (多重化されているため影響なし)
炉心冷却機能	・内部火災により1区分、単一故障により更に1区分の炉心冷却機能が喪失したとしても、残りの区分により炉心冷却が可能であるため解析には影響しない
放射能閉じ込め機能	・評価事象において燃料は破損しない

代表事象発生時に期待する緩和機能(ステップ7)

スクラム	注水	減圧
主蒸気止め弁閉止	HPCS × 1 RCIC × 1 LPCI × 3 LPCS × 1 (多重性又は多様性及び独立性を確保)	逃がし安全弁 ・安全弁機能 ・手動減圧機能

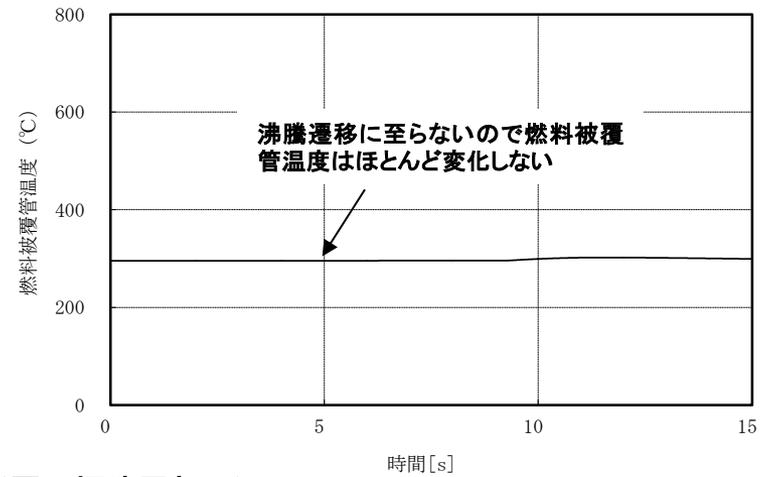
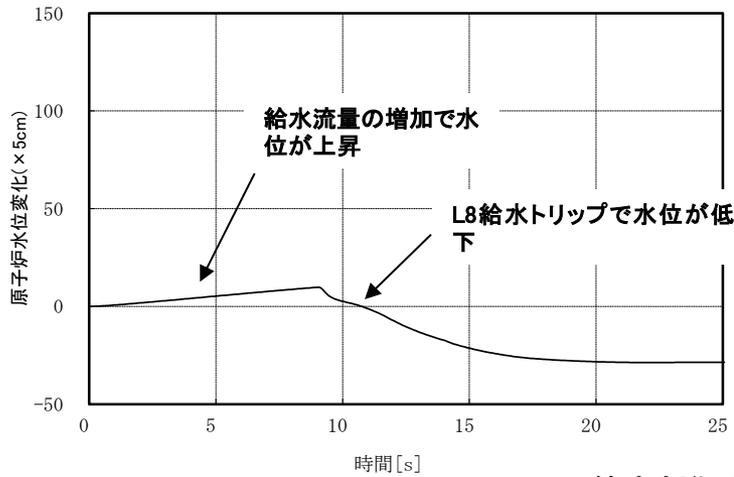
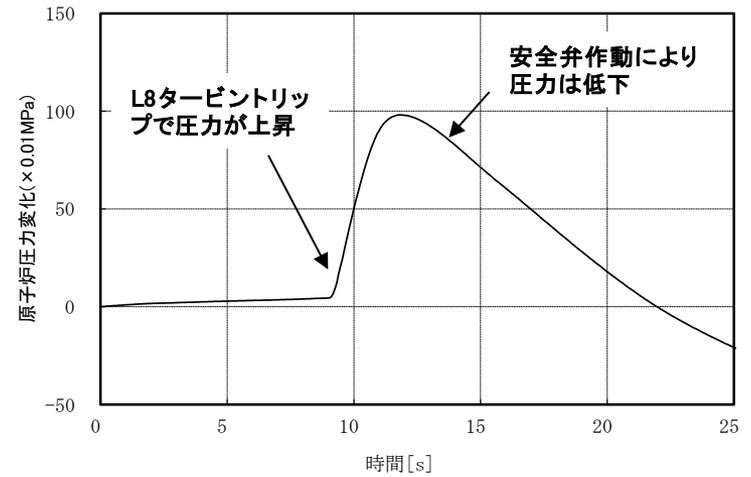
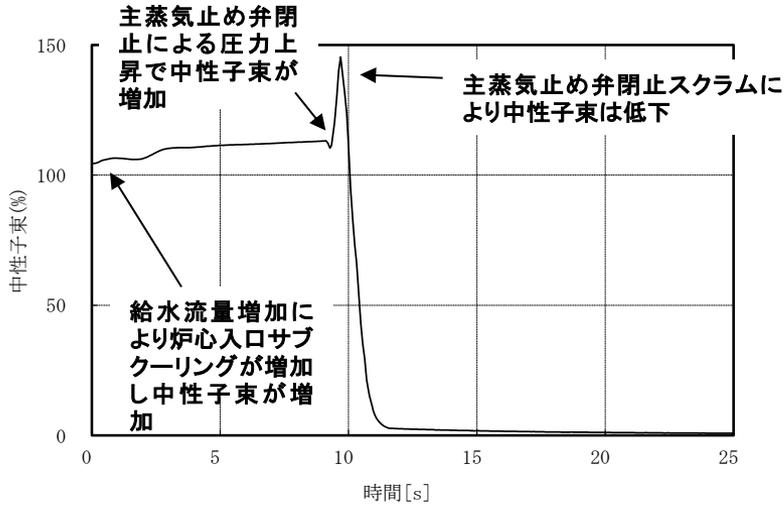
解析結果のまとめ

事象	項目	解析結果()内は判断目安	解析コード
給水制御系の故障(RPT及び逃がし弁の不作動を仮定)	中性子束	% 約146 (-)	REDY
	原子炉冷却材圧力バウナダリ 圧力ピーク値	MPa [gage] 約8.29 (10.34以下)	
	燃料被覆管温度ピーク値	°C 沸騰遷移しない (1,200以下)	SCAT



給水制御系の故障 事象進展フロー(原子炉建屋起因)

7. 火災の影響軽減 7.2.2 内部火災により想定される事象の確認と評価(3/5) P50



給水制御系の故障 解析結果(原子炉建屋起因)

7. 火災の影響軽減 7.2.2 内部火災により想定される事象の確認と評価(4/5) P51

- タービン建屋での内部火災を起因として発生する最も厳しい事象として、「給水加熱喪失+給水制御系の故障」を選定
- 単一故障を想定しても、影響緩和系により事象は収束し、原子炉が安全停止を維持できることを確認

単一故障の仮定と解析への影響(ステップ7)

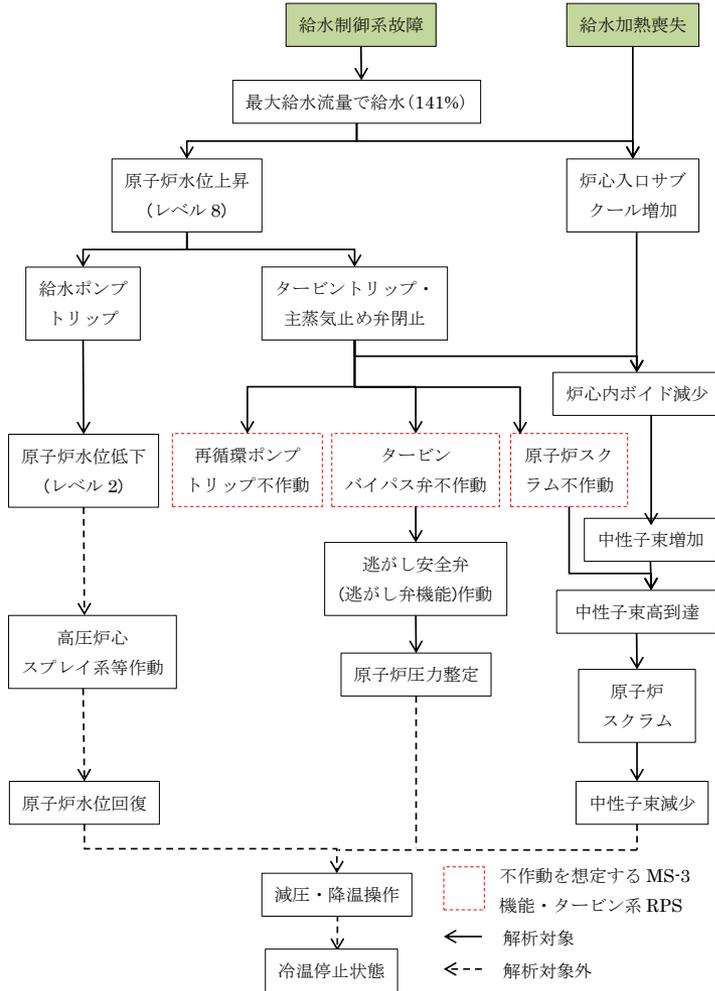
単一故障を仮定する機能	解析への影響
原子炉停止機能	・安全保護系に単一故障を仮定 (多重化されているため影響なし)
炉心冷却機能	・内部火災により1区分、単一故障により更に1区分の炉心冷却機能が喪失したとしても、残りの区分により炉心冷却が可能であるため解析には影響しない
放射能閉じ込め機能	・評価事象において燃料は破損しない

代表事象発生時に期待する緩和機能(ステップ7)

スクラム	注水	減圧
中性子束高	HPCS × 1 RCIC × 1 LPCI × 3 LPCS × 1 多重性又は 多様性及び 独立性を確保	逃がし安全弁 ・安全弁機能 ・逃がし弁機能 ・手動減圧機能

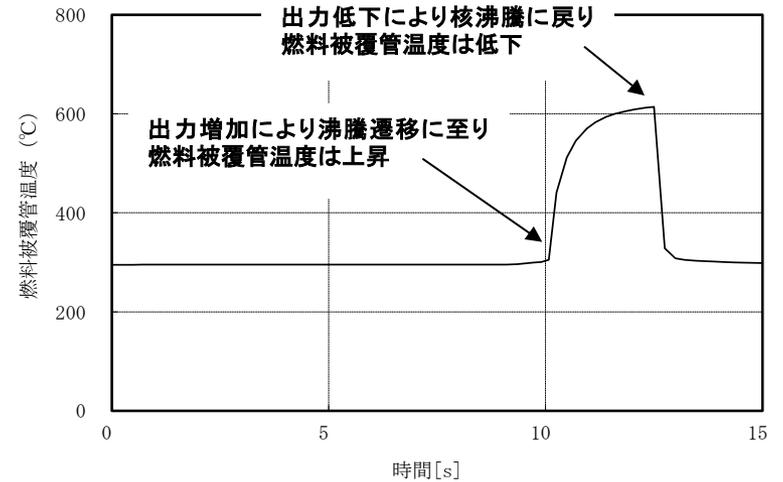
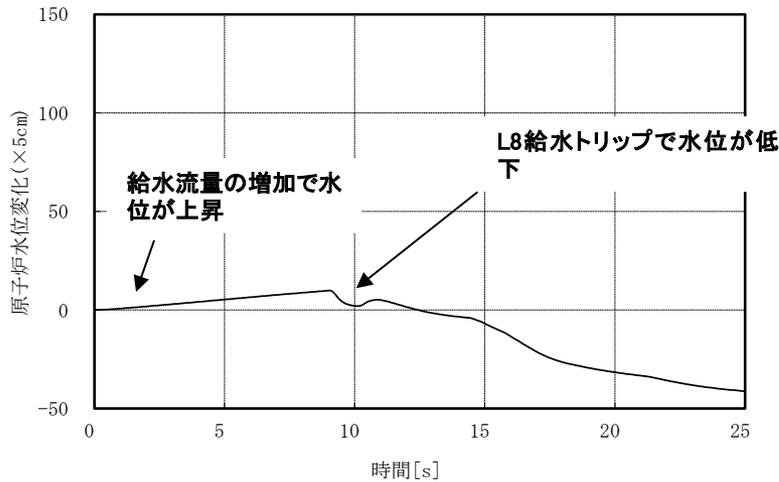
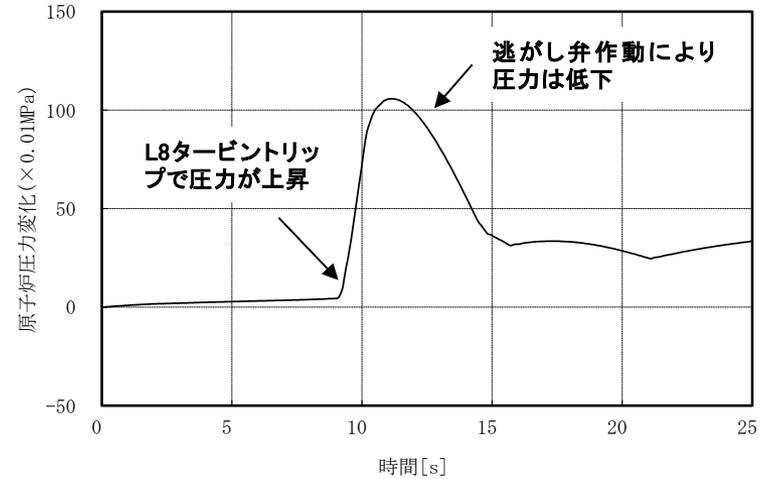
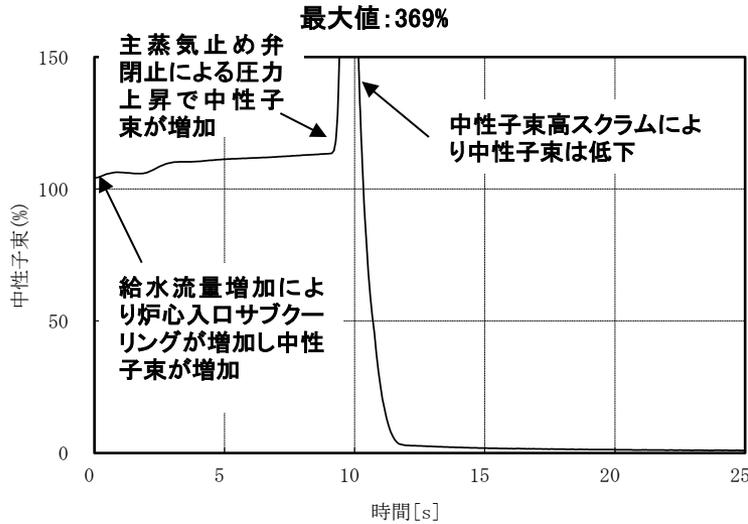
解析結果のまとめ

事象	項目	解析結果 ()内は判断目安	解析コード
給水加熱喪失 + 給水制御系の故障 (RPT, バイパス弁及びタービン系RPSの不作動を仮定)	中性子束	%	約369(—)
	原子炉冷却材圧力バウンダリ圧力ピーク値	MPa [gage]	約8.38 (10.34 以下)
	燃料被覆管温度ピーク値	℃	約615 (1,200以下)



給水加熱喪失+給水制御系の故障 事象進展フロー (タービン建屋起因)

7. 火災の影響軽減 7.2.2 内部火災により想定される事象の確認と評価(5/5) P52



給水加熱喪失+給水制御系の故障 解析結果(タービン建屋起因)

【評価に対する考え方】

- 前頁までは、単一火災に起因する「運転時の異常な過渡変化」及び「設計基準事故」について、原子炉建屋及びタービン建屋における機器への直接的な影響に着目し評価
- 以降では、低温停止までを考慮した場合に、残留熱除去系の機器の操作、制御及び動力供給の観点からの評価を行うこととし、「電気品室」、「ケーブル処理室」、「中央制御室」及び「中央制御室外原子炉停止装置」における単一火災発生時の残留熱除去系への影響について評価

単一火災発生時の低温停止までの残留熱除去系の機能維持について

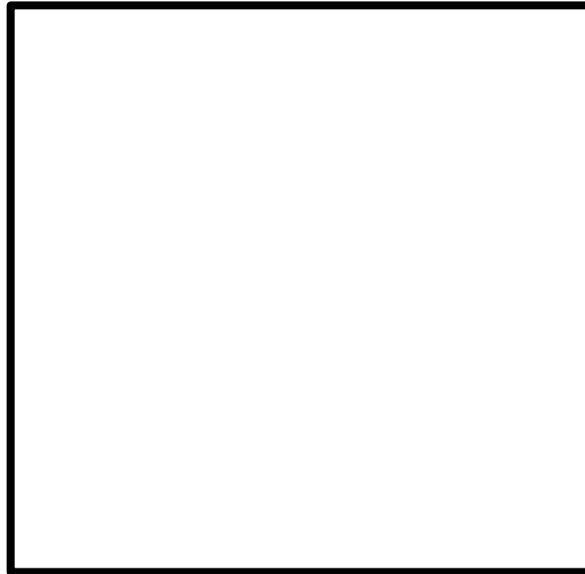
「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」発生時において、低温停止への移行に必要な残留熱除去系が複数区分同時に機能喪失しないことを確認

確認の観点

1. ケーブル処理室及び電気品室において、安全系区分毎の分離状況の調査により単一火災によって複数の区分が同時に機能喪失しないことを確認
2. 過渡事象の起因となるような原子炉建屋又はタービン建屋内の単一火災時において、除熱機能に関連するフロント系に加えサポート系に係る機器単位の分離状況の調査により除熱機能が喪失しないことを確認
3. 中央制御室における単一の盤内火災を想定した場合に、制御盤間で延焼しないことの評価をもって安全停止上の問題が発生しないことを確認

確認の観点 1. 及び 2. に対する具体的対応

- ケーブル処理室, 電気品室及び原子炉建屋において, 安全系区分毎に火災区画が分離されていることを確認
- 安全系区分の電気盤を調査し, 当該電気盤の単一火災発生時において機能喪失する設備を抽出し, 抽出した機器が「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」の起因となりうるかを評価
- 「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」が発生する場合には, 同時に残留熱除去系の機能喪失発生の有無を評価
- なお, 中央制御室外原子炉停止装置については, 同一火災区画内で異なる安全区分の制御盤間に, 1時間耐火能力を有する「耐火材(トンネライト, ハイラック)」を, 互いの制御盤が直視できないよう設置



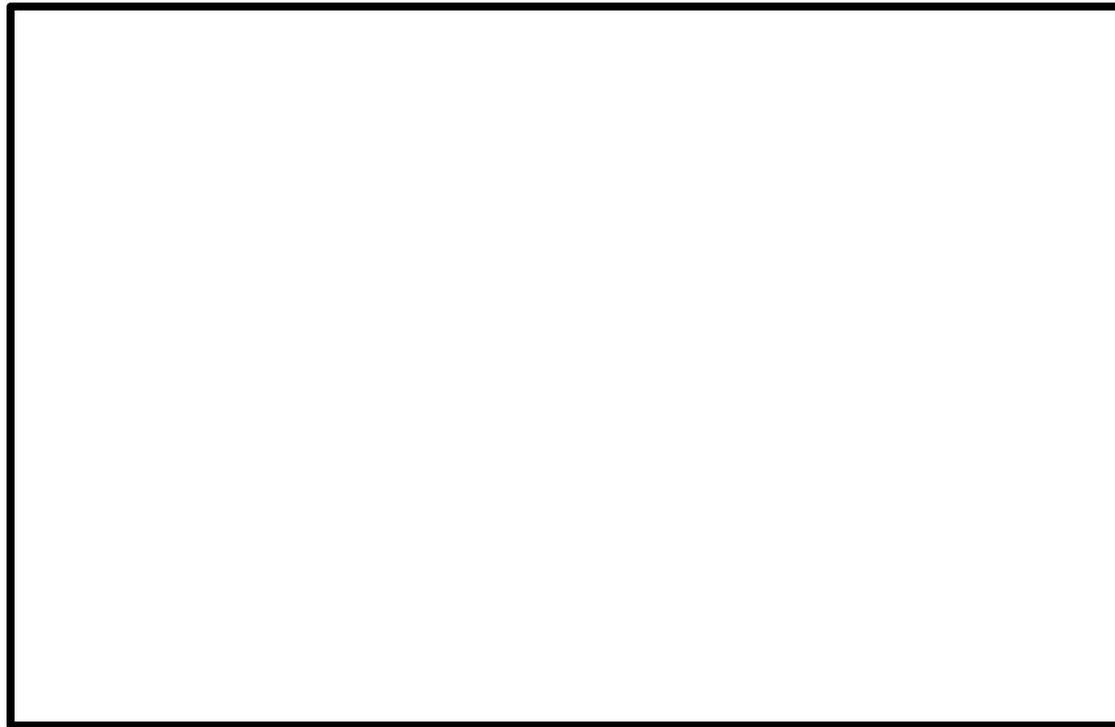
中央制御室外原子炉停止装置盤
の系統分離

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

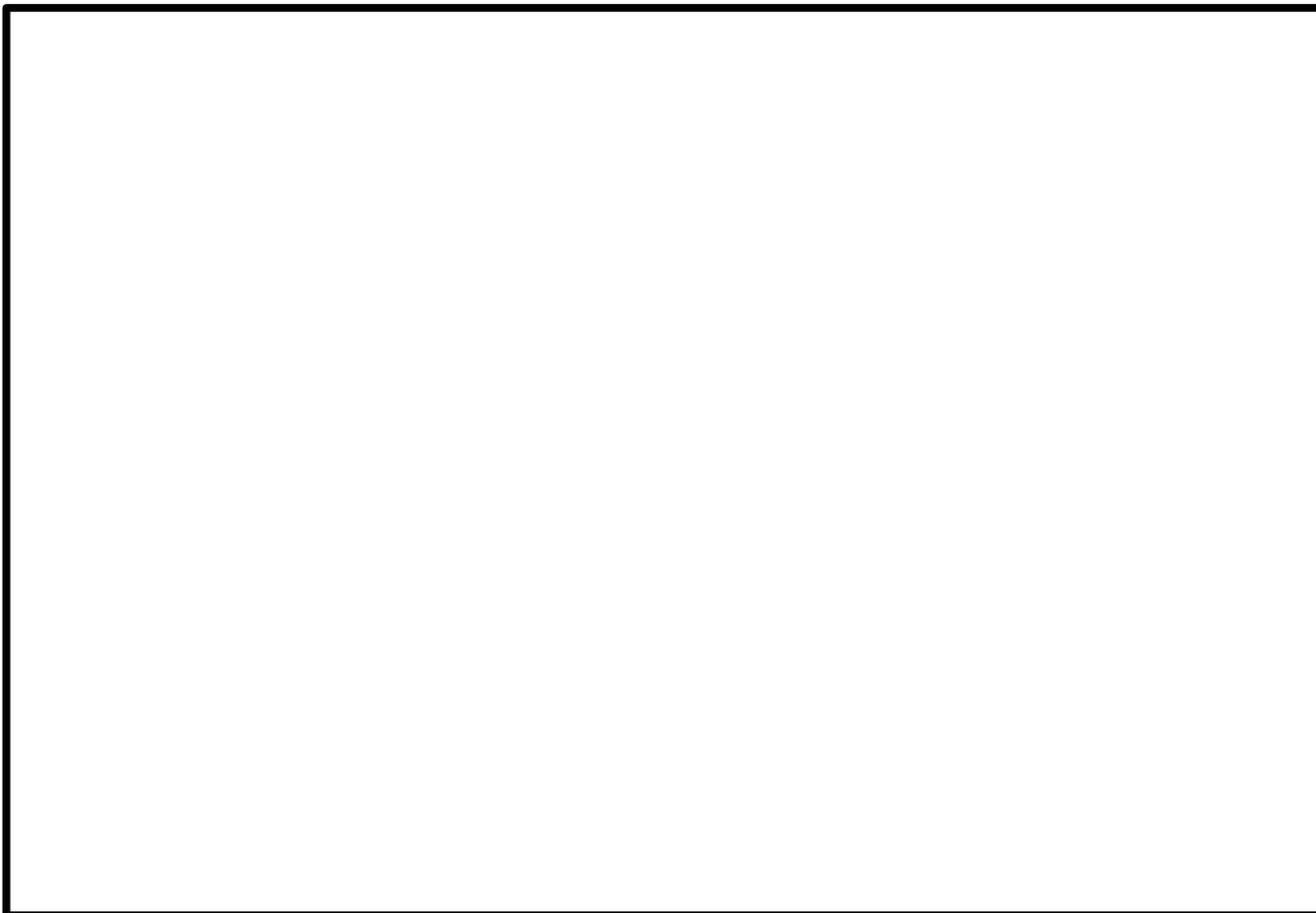
資料1 2.1.3 火災の影響軽減
資料7 添付資料1 火災の影響軽減のための系統分離対策について
資料10 参考資料2 残留熱除去系への影響確認結果

ケーブル処理室及び電気品室における分離状況

- 女川2号炉においては、以下に示すとおり、ケーブル処理室及び電気品室は常用系区分及び安全系区分毎に分離配置されており、それぞれ別の火災区画となっている
- このことから、ケーブル処理室及び電気品室において、単一火災によって複数の区分が同時に機能喪失することはない



- 原子炉建屋では、「原子炉の安全停止に必要な機器」及び「放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器」は、フロント系及びサポート系区分毎に分離配置されていること、並びに安全系区分が混在する火災区画は系統分離されていることから、単一の火災時において複数区分が同時に機能喪失することはない
- タービン建屋については、安全系に関連するフロント系及びサポート系は配置されていない



火災区域又は火災区画の設定及び安全停止等に必要な機器の配置例(原子炉建屋B3F)

- 非常用母線の動力用電源盤を対象に、単一火災に伴う「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」の発生の有無、及びこの場合の除熱機能維持の可否について確認
- この結果、電気品室における火災では、「運転時の異常な過渡変化」の発生可能性はあるものの、残留熱除去系の機能喪失の重畳を考慮する必要は無い
- このことから、電気品室の単一火災時においても、「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」と残留熱除去系の機能喪失とは同時に発生しない

【確認方法】

非常用母線(A, B系)の動力用電源盤1面の火災を想定し、盤毎に過渡又は事故事象の発生可能性のある系統が含まれる電源盤を特定



・460V R/B MCC 2C-4
 ・460V R/B MCC 2D-4 が該当

抽出した盤において、安全評価審査指針の考え方にに基づき、原子炉に有意な影響を与える主要な要因に対応する故障を発生させるような機器の有無を確認



・原子炉再循環ポンプ吸込弁
 ・原子炉再循環ポンプ吐出弁

抽出した機器の動作により発生する事象が、スクラムを伴うような「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」に該当するかを確認



発生する可能性のある事象
 ・「原子炉冷却材系流量の部分喪失」
 本事象は原子炉スクラムには至らないことから、残留熱除去系による除熱は不要である

電気品室の火災では、「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」の発生と、残留熱除去系の機能喪失の重畳とを考慮する必要は無い

現場火災により発生する可能性のある事象と残留熱除去系への影響確認結果

(a) 運転時の異常な過渡変化

運転時の異常な過渡変化	現場火災による発生の有無		残留熱除去系への影響	
(1) 炉心内の反応度又は出力分布の異常な変化				
①原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	—	制御棒駆動系が火災の影響を受けた場合、制御棒の常駆動系が動作不能となるため、本事象は現場火災では発生しない。	—	—
②出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	—	制御棒駆動系が火災の影響を受けた場合、制御棒の常駆動系が動作不能となるため、本事象は現場火災では発生しない。	—	—
(2) 炉心内の熱発生または熱除去の異常な変化				
③原子炉冷却材流量の部分喪失	—	本事象は現場に敷設された再循環ポンプが火災の影響を受けると発生する可能性があるが、原子炉自動スクラムには至らない事象である。	—	—
④原子炉冷却材の停止ループの誤起動	—	本事象は現場に敷設された再循環ポンプが火災の影響を受けた場合、再循環ポンプが動作不能となるため、本事象は現場火災では発生しない。なお、本事象は原子炉自動スクラムには至らない事象である。	—	—
⑤外部電源喪失	○	本事象は現場に敷設された送電系、所内電源系が火災の影響を受けると発生する可能性がある。	—	送電系、所内電源系と残留熱除去系は分離されているため、残留熱除去系への影響はない。
⑥給水加熱喪失	○	本事象は現場に敷設された抽気逆止弁が火災の影響を受けると発生する可能性がある。	—	抽気逆止弁はタービン建屋に設置されており、電気品室を含め残留熱除去系各機器と分離されているため、残留熱除去系への影響はない。
⑦原子炉冷却材流量制御系の誤動作	○	原子炉冷却材流量制御系の誤動作は、現場火災により発生する可能性があるが、スクラムに至らない事象である。	—	—

運転時の異常な過渡変化	現場火災による発生の有無	残留熱除去系への影響
(3)原子炉冷却材圧力又は原子炉冷却材保有量の異常な変化		
⑧負荷の喪失	○ 本事象は現場に敷設された蒸気加減弁が火災の影響を受けると発生する可能性がある。	— 蒸気加減弁は、タービン建屋に設置されており、電気品室を含め残留熱除去系各機器と分離されているため、残留熱除去系への影響はない。
⑨主蒸気隔離弁の誤閉止	○ 本事象は現場に敷設された主蒸気隔離弁が火災の影響を受けると発生する可能性がある。	— 主蒸気隔離弁は、MSTンネル室に設置されており、電気品室を含め残留熱除去系各機器と分離されているため、残留熱除去系への影響はない。
⑩給水制御系の故障	○ 本事象は原子炉給水制御装置の誤動作により発生する可能性がある	— 原子炉給水制御装置は、電気品室を含め残留熱除去系各機器と分離されているため、残留熱除去系への影響はない。
⑪原子炉圧力制御系の故障	○ 本事象は圧力制御装置の誤動作により発生する可能性がある	— 圧力制御装置は、電気品室を含め残留熱除去系各機器と分離されているため、残留熱除去系への影響はない。
⑫給水流量の全喪失	○ 本事象は現場に敷設された給復水系ポンプが火災の影響を受けると発生する可能性がある。	— 給復水系ポンプは、タービン建屋に設置されており、電気品室を含め残留熱除去系各機器と分離されているため、残留熱除去系への影響はない。

現場火災により発生する可能性のある事象と残留熱除去系への影響確認結果

(b) 設計基準事故

設計基準事故	現場火災による発生の有無		残留熱除去系への影響	
(1) 原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化				
① 原子炉冷却材喪失	—	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する格納容器内側・外側隔離弁及び逃がし安全弁が現場火災の影響により開となる可能性はない。	—	—
② 原子炉冷却材流量の喪失	—	再循環系の誤動作により発生するが、スクラムに至らない事象である。	—	—
③ 原子炉冷却材ポンプの軸固着	—	原子炉冷却材ポンプの回転軸は火災の影響により機械的に固着しないため、本事象は発生しない。	—	—
(2) 反応度の異常な投入又は原子炉出力の急激な変化				
④ 制御棒落下	—	制御棒駆動機構は火災の影響により機械的に損傷しないため、本事象は発生しない。	—	—
(3) 環境への放射性物質の異常な放出				
⑤ 放射性気体廃棄物処理施設の破損	—	気体廃棄物処理施設は火災の影響により機械的に損傷しないため、本事象は発生しない。	—	—
⑥ 主蒸気管破断	—	主蒸気管は火災の影響により機械的に損傷しないため、本事象は発生しない。	—	—
⑦ 燃料集合体の落下	—	燃料取扱装置は火災の影響により機械的に損傷しないため、本事象は発生しない。	—	—
⑧ 原子炉冷却材喪失	—	①と同じ。	—	—
⑨ 制御棒落下	—	④と同じ。	—	—
(4) 原子炉格納容器内圧力、雰囲気等の異常な変化				
⑩ 原子炉冷却材喪失	—	①と同じ。	—	—
⑪ 可燃性ガスの発生	—	①と同じ。	—	—

確認の観点 3. に対する具体的対応

<確認方法>

1. 残留熱除去系に関連する機器が配置されている制御盤を抽出
2. 抽出した制御盤に単一火災を想定した場合に、同時に「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」の発生有無を評価
3. この場合に、残留熱除去系停止時冷却モードの機能喪失の有無を評価
4. 残留熱除去系が機能喪失する場合には、現場での操作等により機能維持が可能かを評価

上記をもって、「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」発生時に残留熱除去系の停止時冷却モードの機能が喪失しないことを確認

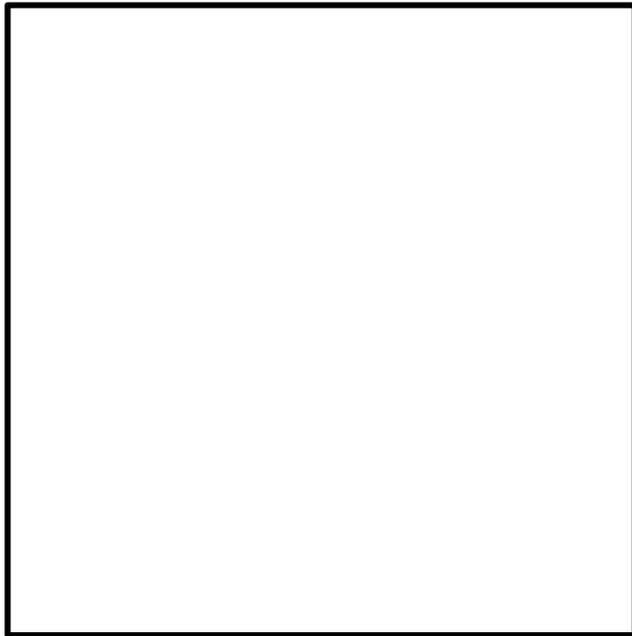
中央制御盤における火災防護上の設計について

- 女川2号炉の中央制御室の制御盤は、スイッチ、配線等の構成部品に単一火災を想定しても、近接する他構成部品に影響が波及しないことを確認した実証試験の知見に基づく分離設計を行っているため、制御盤間の延焼が生じることはない
- 火災により中央制御室の制御盤1区画(面)の安全機能が喪失したとしても、他区画の制御盤の運転操作及び現場操作により、原子炉の高温停止及び低温停止を達成・維持可能
- なお、中央制御室においては常駐する運転員により火災の早期感知・消火が可能であるため、制御盤にて火災が発生した場合であっても火災による影響は限定的

確認結果

以下の制御盤を例に、残留熱除去系の機能維持の可否を説明

<原子炉冷却制御盤ESS- I, III >



中央制御室制御盤配置図

トリップチャンネル
盤ESS- I



発生事象		機能喪失する機器
起因事象	RCIC誤起動	・RCIC手動起動スイッチ ・RCIC補機手動操作スイッチ
	逃がし安全弁誤開放	・ADS手動起動スイッチ ・SRV手動操作スイッチ
RHR機能喪失		・RHRポンプ(A)スイッチ ・RHRA系停止時冷却注入隔離弁スイッチ 等

<トリップチャンネル盤ESS- I >

原子炉冷却制御盤
ESS- I, III



発生事象		機能喪失する機器
起因事象	RCIC誤起動	・RCIC自動起動回路
	逃がし安全弁誤開放	・ADS自動起動回路
RHR機能喪失		・RHR自動隔離回路

いずれの制御盤における火災時においても以下の対応により残留熱除去系の操作が可能。

- 
- 「他の中央制御盤でのジャンパ/リフト対応」、「現場MCC等電気盤におけるジャンパ/リフト対応」により信号を入力する



中央制御室制御盤における火災と過渡・事故事象の同時発生時において残留熱除去系の操作機能が喪失した場合でも、現場での操作等により機能維持は可能であることを確認した。

確認結果を踏まえた安全停止パスの確保状況

- 電気品室及びケーブル処理室における常用系区分および安全系区分の分離状況を踏まえると、「運転時の異常な過渡変化」の起因となるような火災が発生した場合でも、原子炉の低温停止に必要な残留熱除去系が1系統以上確保可能。
- 中央制御室における単一の盤内火災を想定した場合でも、制御盤間では延焼しない。仮に、残留熱除去系の操作機能が喪失した場合でも、現場での操作等による機能維持が可能であることから、安全停止上の問題は発生しない。

【評価結果のまとめ】

- 女川2号炉では、単一火災に対して、系統分離、現場における手動操作等の各種火災影響軽減対策を講じており、安全停止パスを確保
- また、内部火災により原子炉に外乱が及ぶ場合において、重畳事象を含めて発生する可能性のある「運転時の異常な過渡変化」又は「設計基準事故」を分析し、単一故障を想定した場合でも事象が収束し、安全停止が可能であることを確認
- 更に、残留熱除去系の機器の操作、制御及び動力供給といった観点から、中央制御室並びに主要建屋における単一火災を考慮した場合に、残留熱除去系は機能喪失せず、低温停止が可能であることを確認