

図 2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (1/14)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

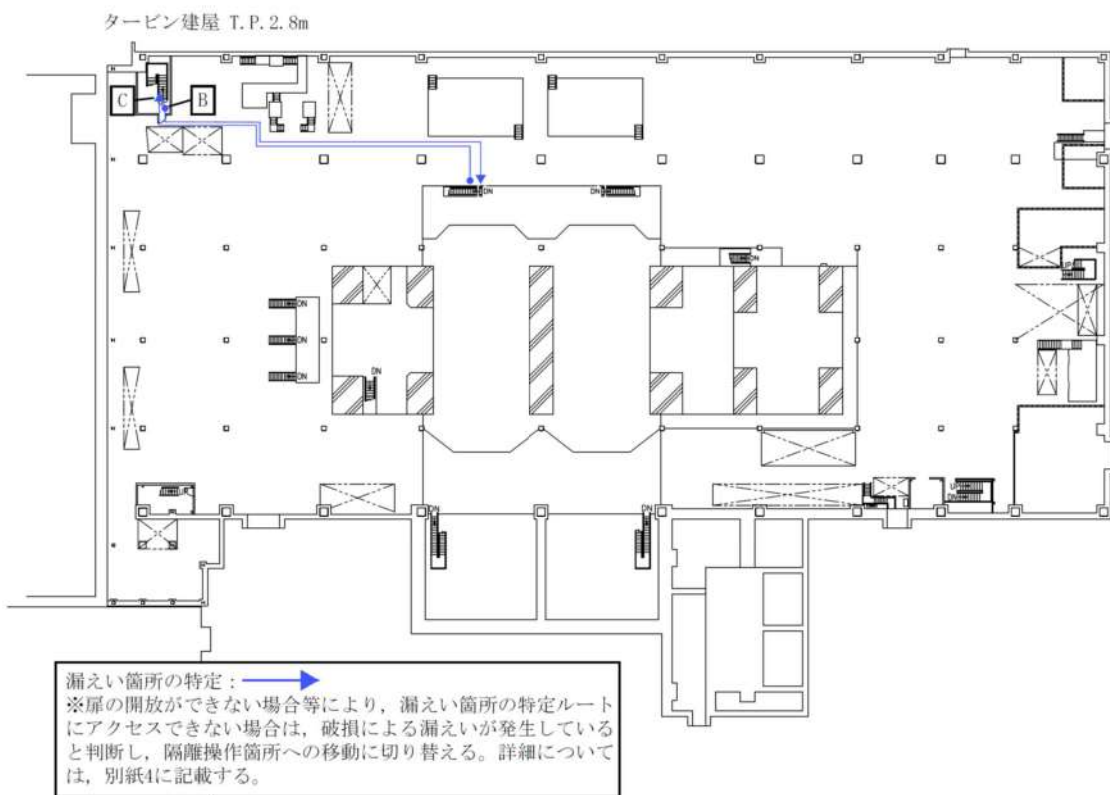
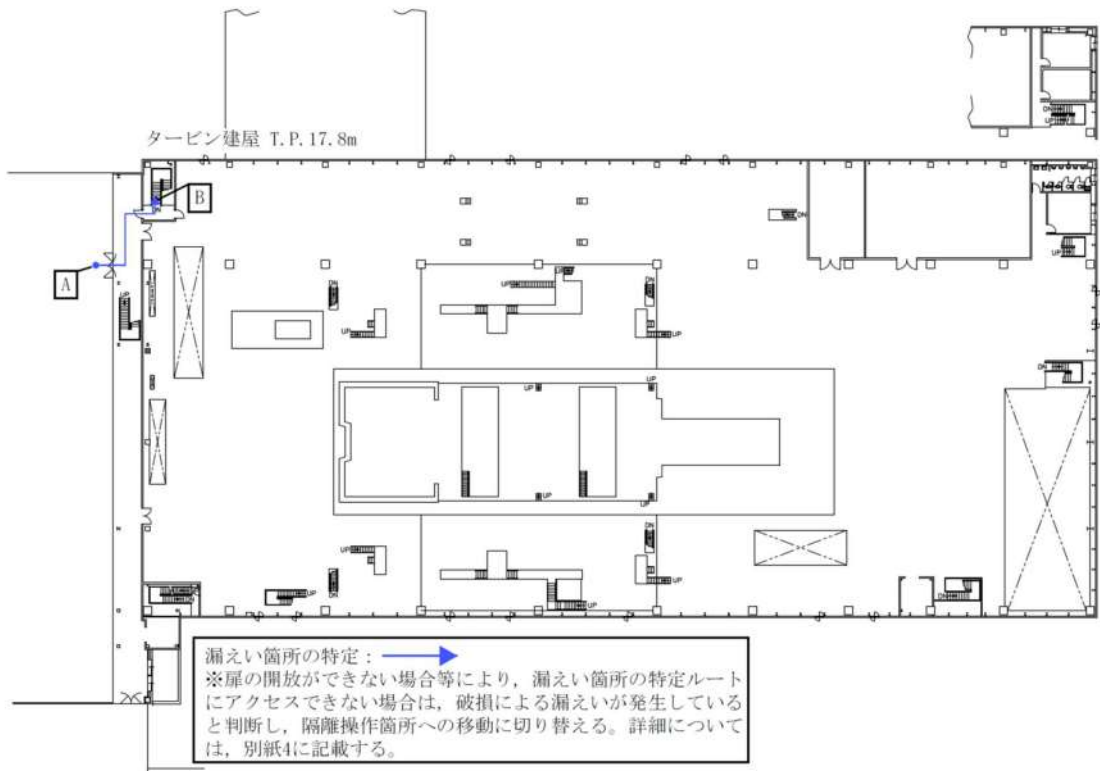


図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (2/14)

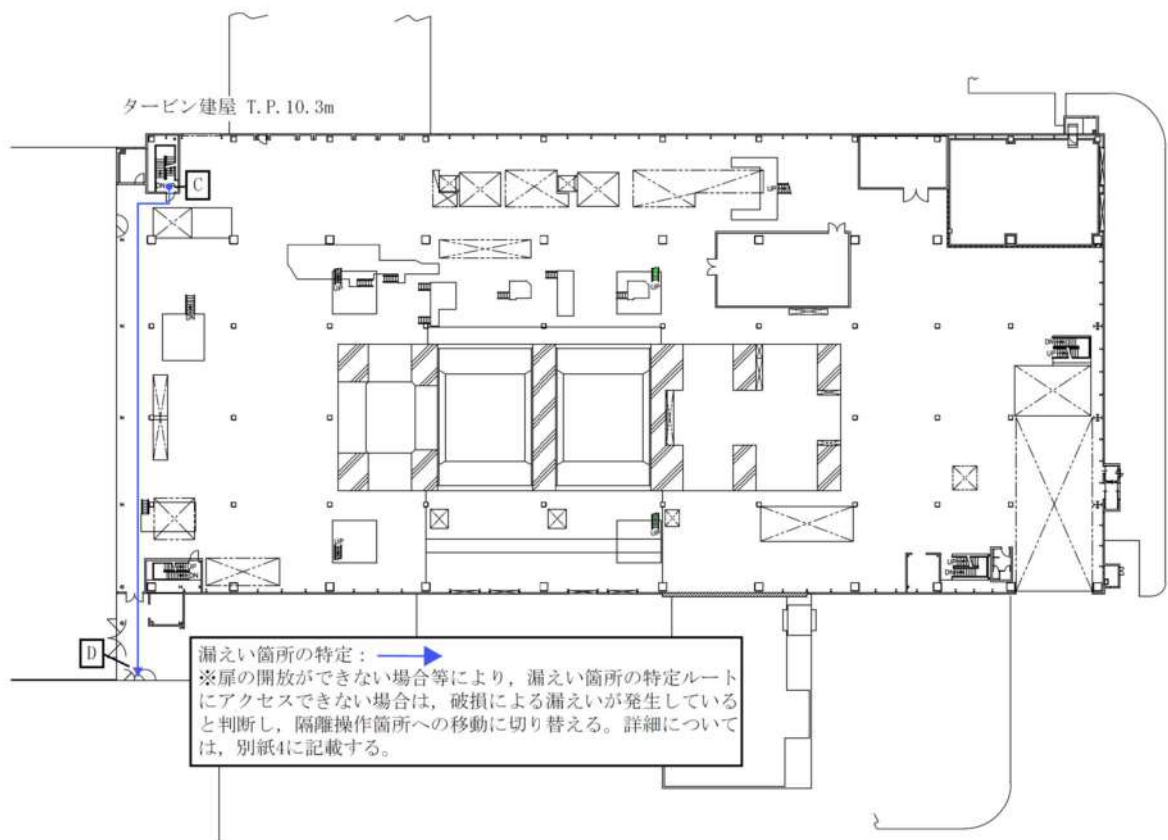
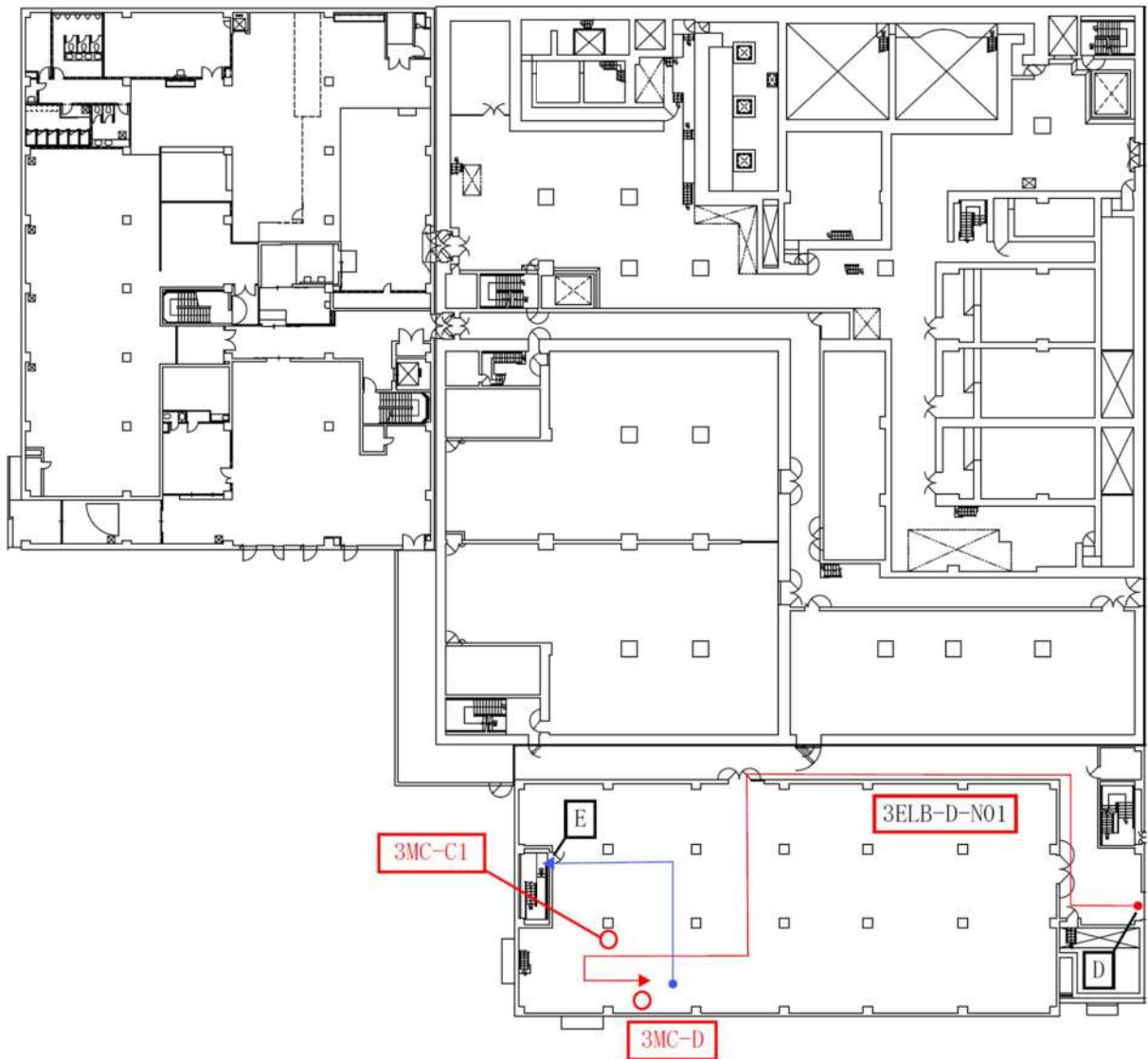


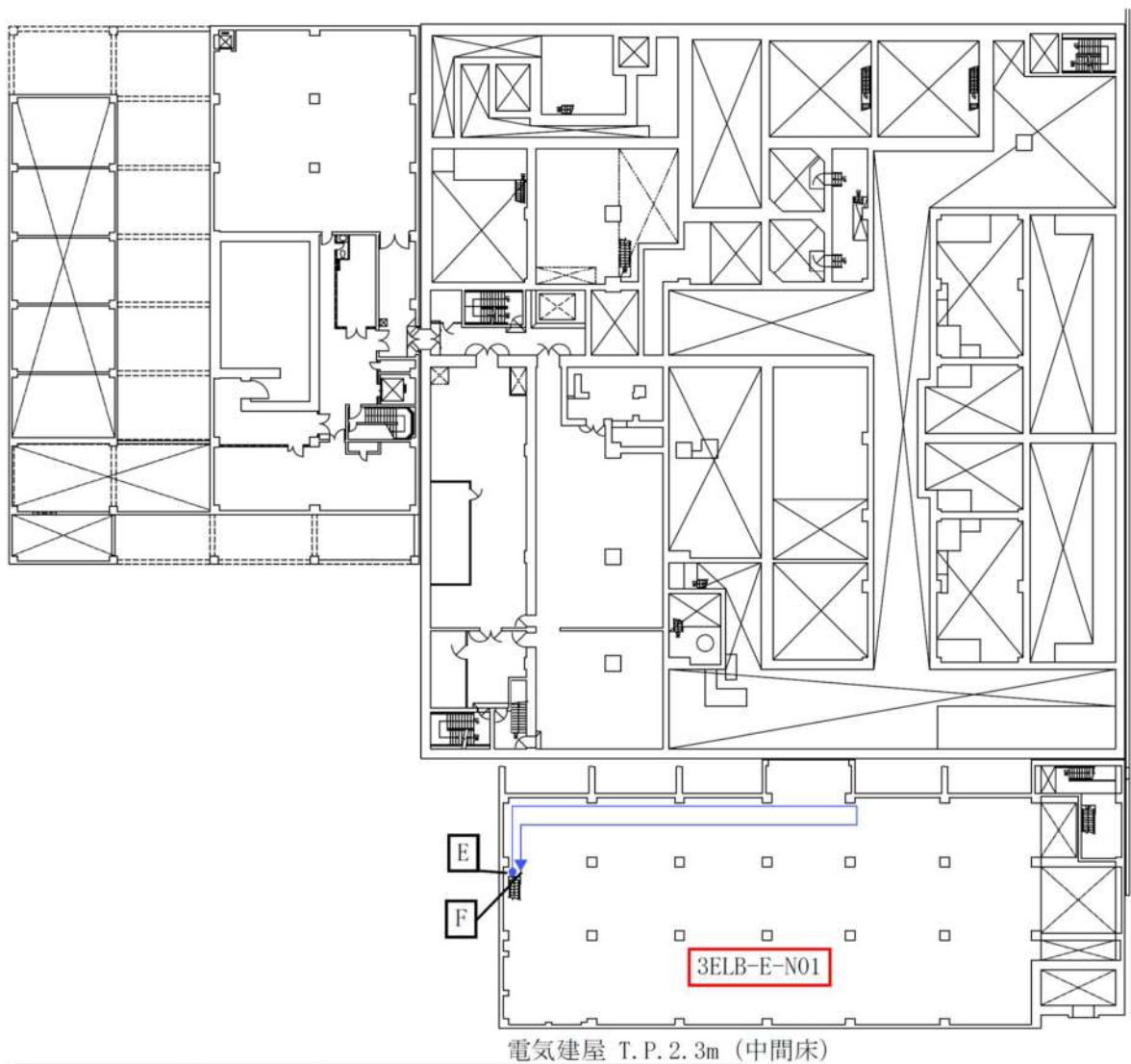
図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (3/14)



電気建屋 T.P. 10. 3m

漏えい箇所の特定：→  
 ※扉の開放ができない場合等により、漏えい箇所の特定ルートにアクセスできない場合は、破損による漏えいが発生していると判断し、隔離操作箇所への移動に切り替える。詳細については、別紙4に記載する。  
 隔離操作箇所への移動：→

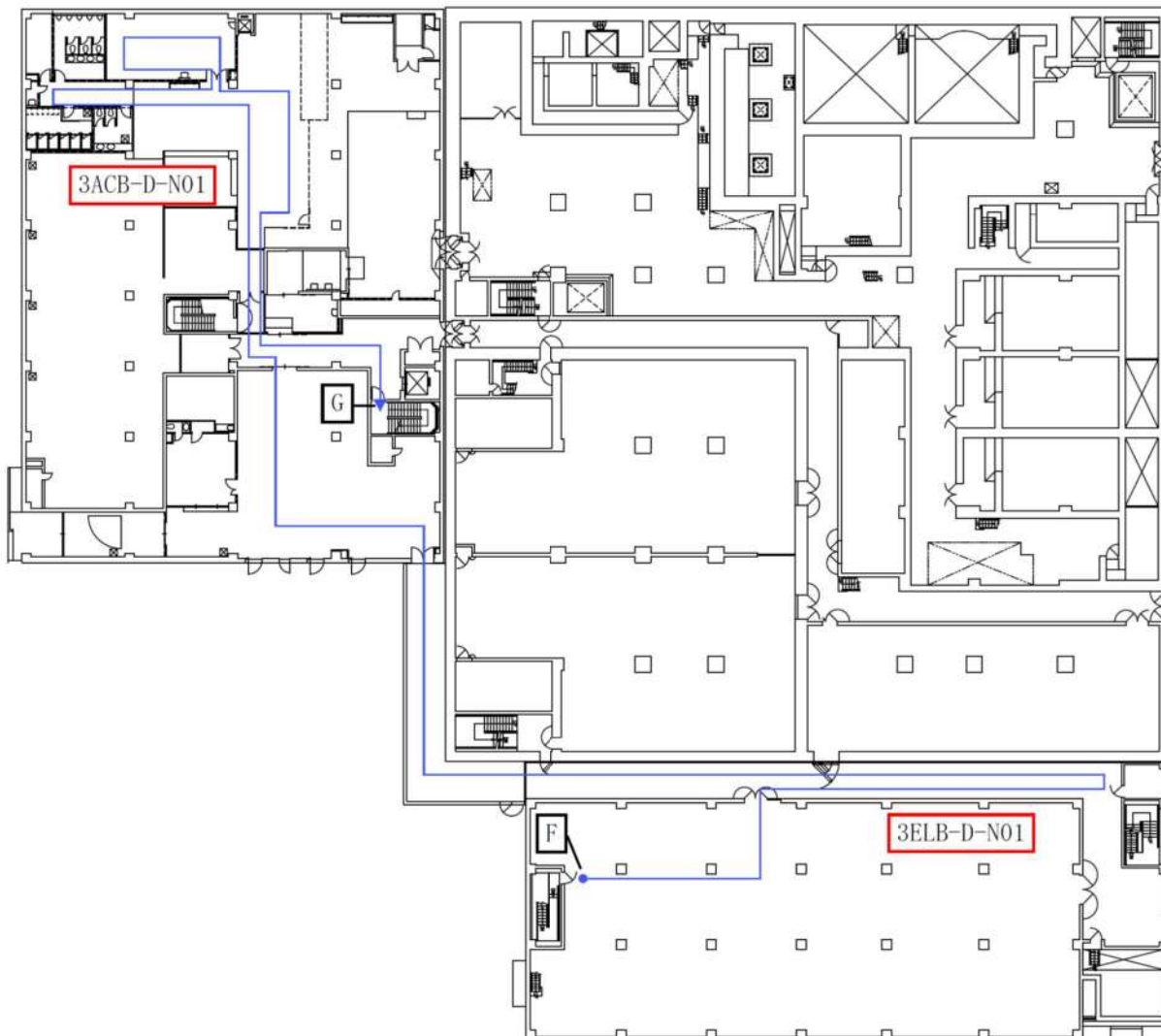
図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (4/14)



漏えい箇所の特定：   
 ※扉の開放ができない場合等により、漏えい箇所の特定ルートにアクセスできない場合は、破損による漏えいが発生していると判断し、隔離操作箇所への移動に切り替える。詳細については、別紙4に記載する。

図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (5/14)

出入管理建屋 T.P. 10. 3m



電気建屋 T.P. 10. 3m


漏えい箇所の特定：    
 ※扉の開放ができない場合等により、漏えい箇所の特定ルートにアクセスできない場合は、破損による漏えいが発生していると判断し、隔離操作箇所への移動に切り替える。詳細については、別紙4に記載する。

図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (6/14)

出入管理建屋 T.P. 2. 3m (中間床)

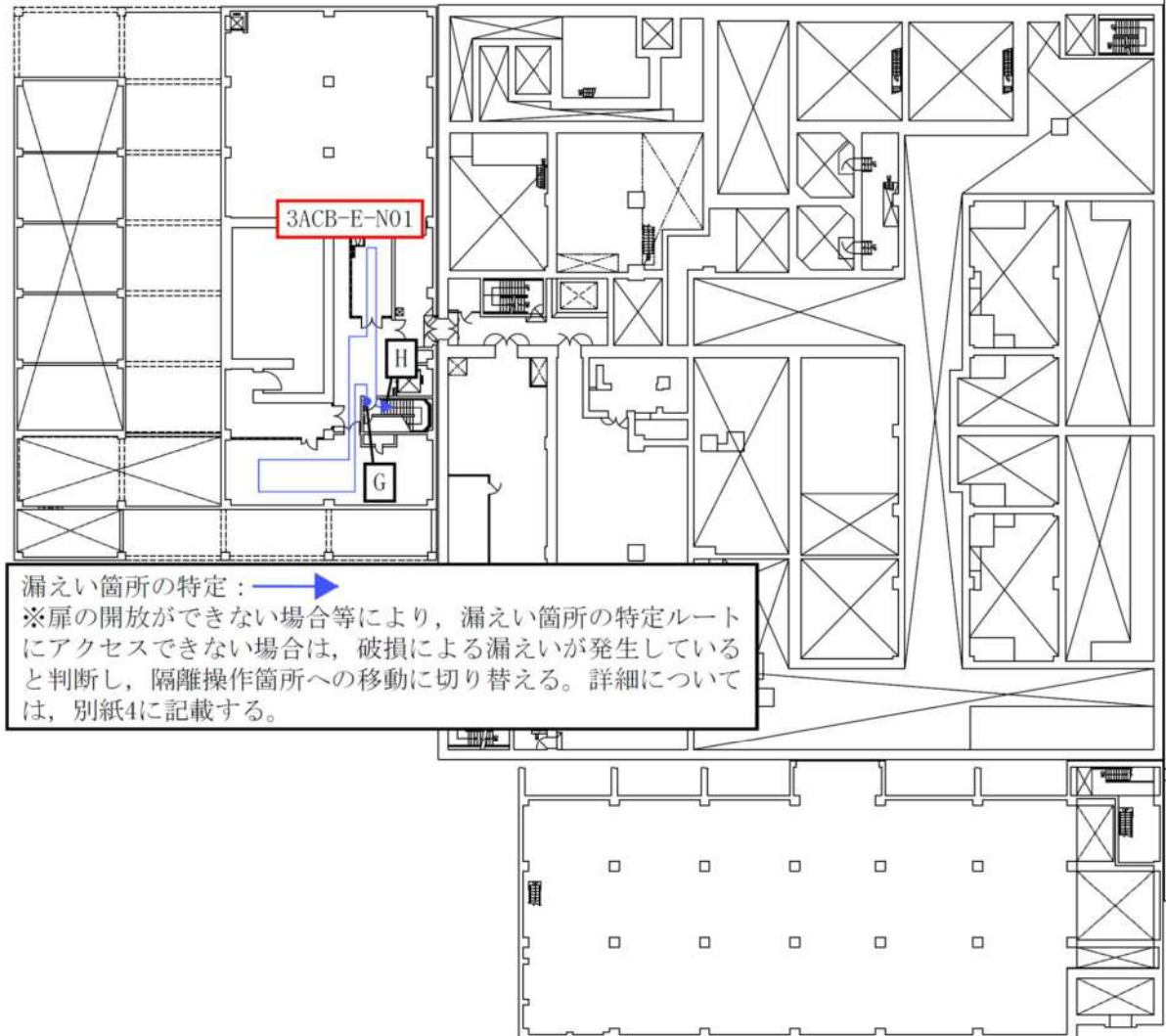


図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (7/14)

出入管理建屋 T.P. 10.3m (中間床)

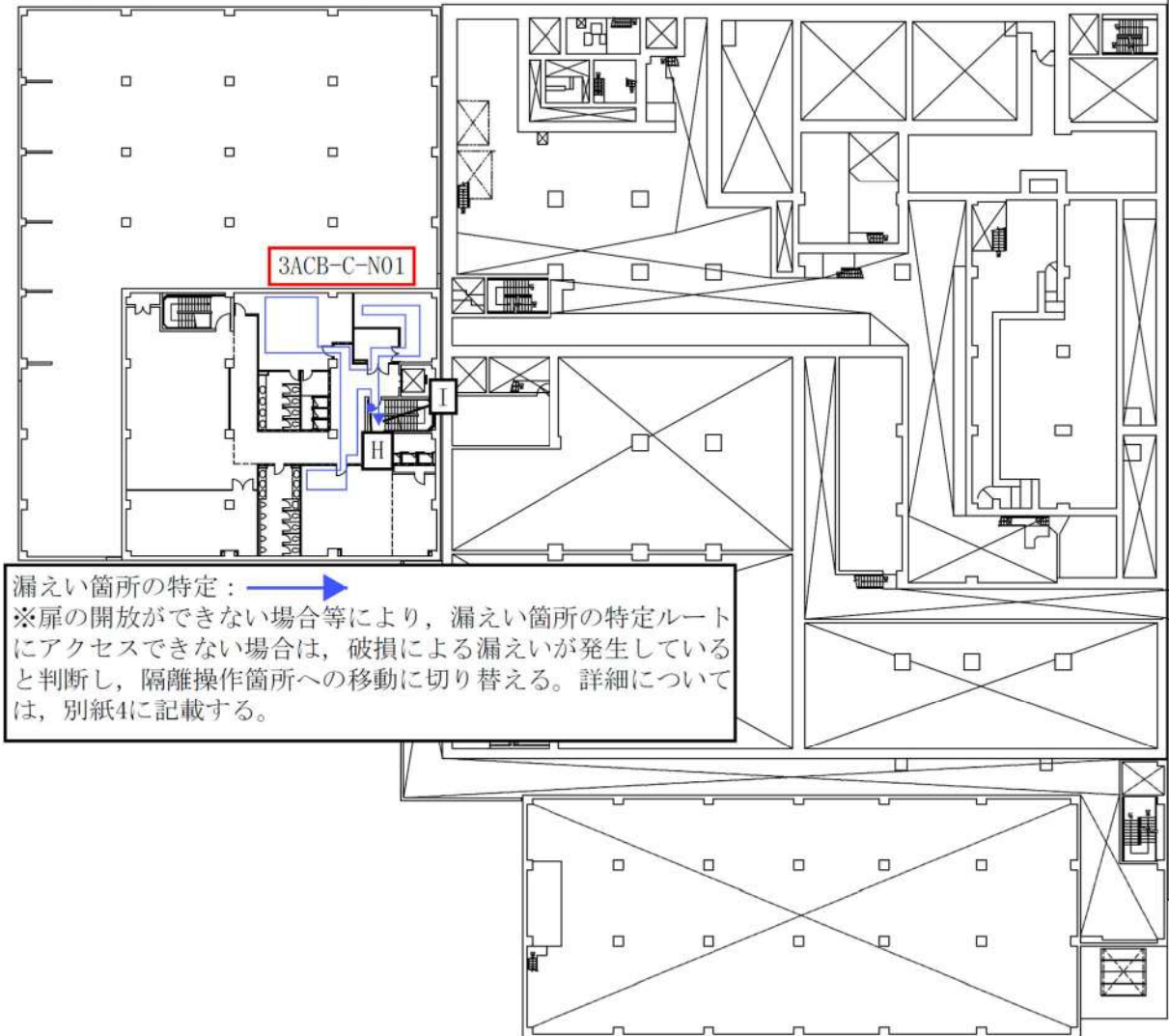



図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (8/14)





図 2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (9/14)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

出入管理建屋 T.P. 17.8m (中間床)

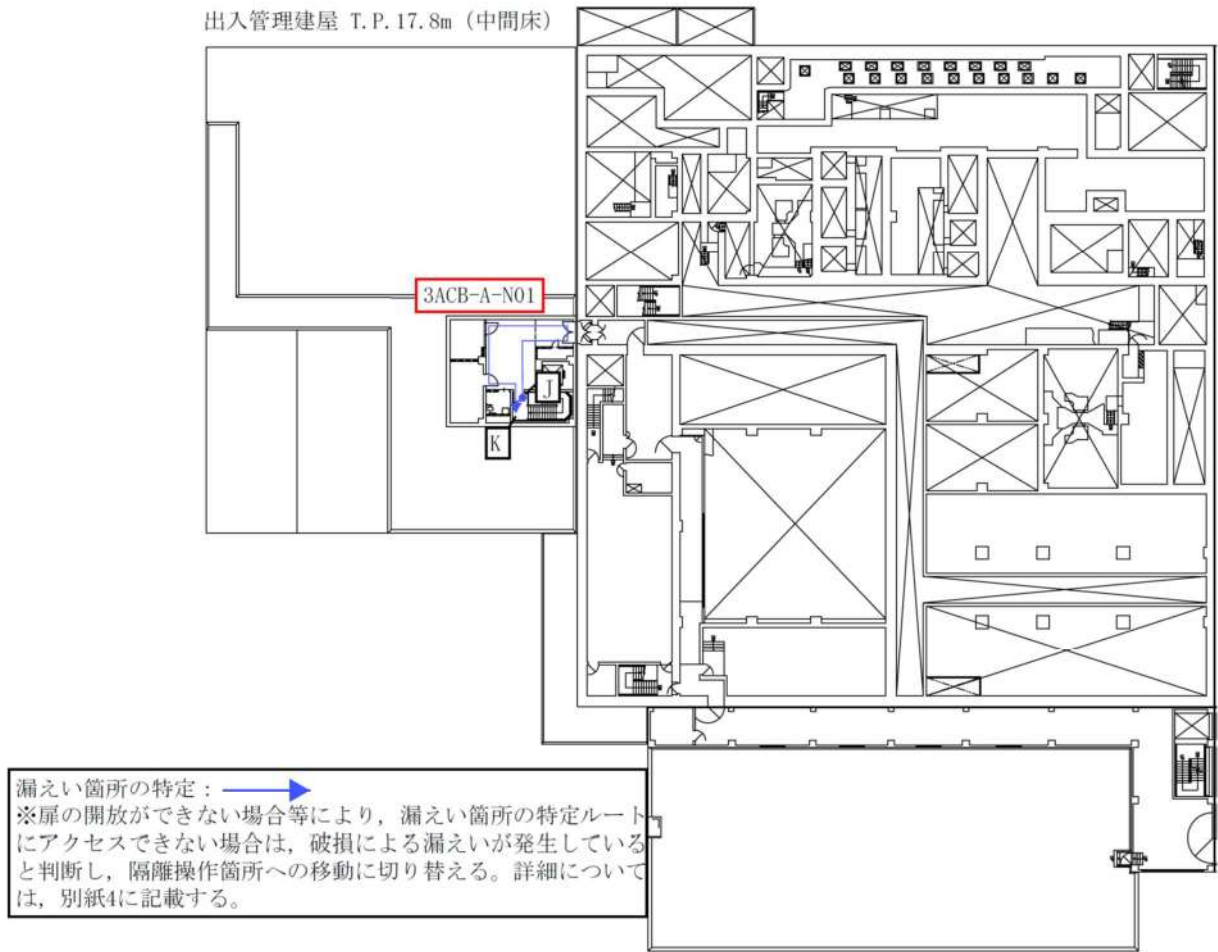



図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (10/14)



図 2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (11/14)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

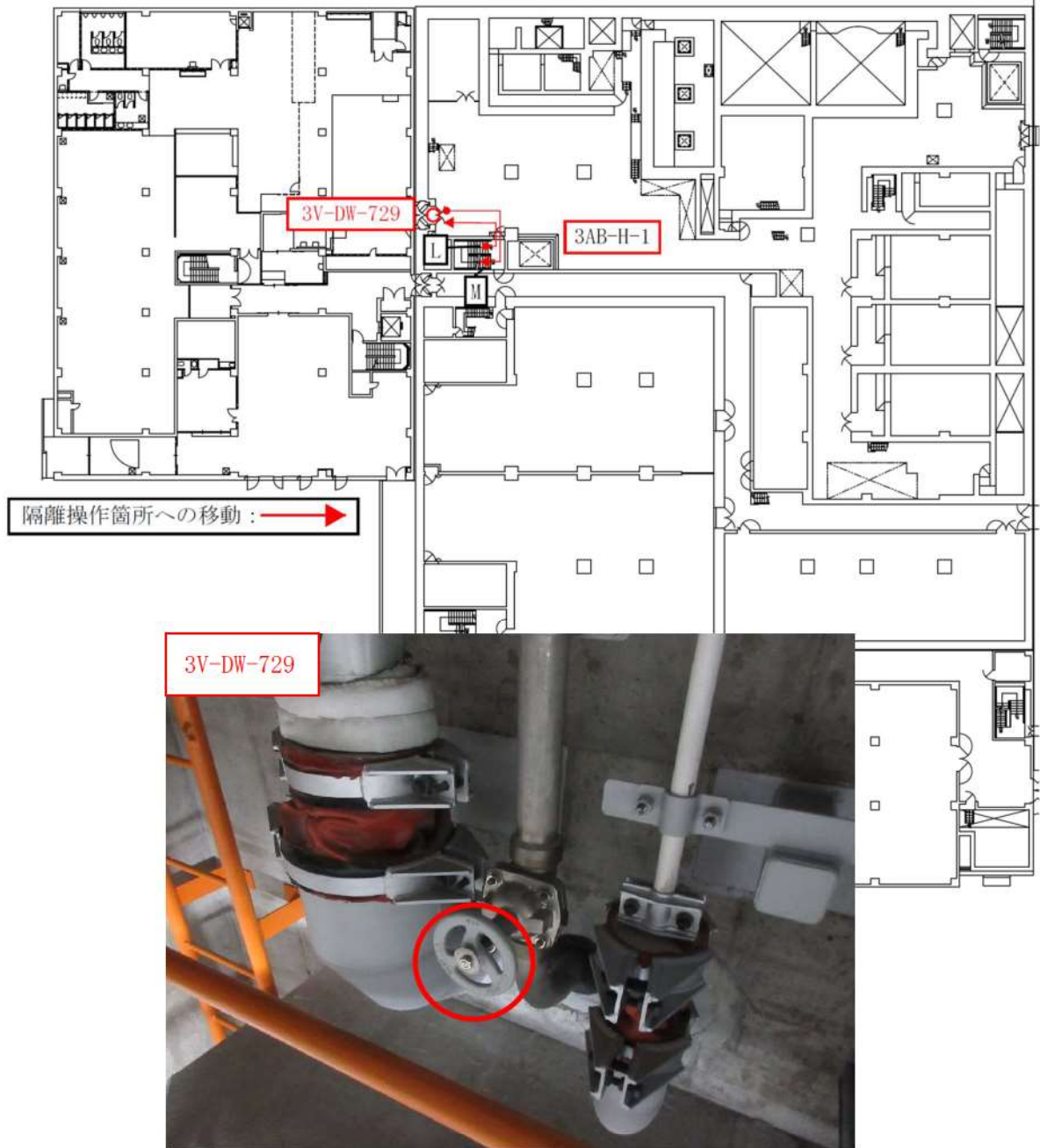


図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (12/14)

原子炉補助建屋 T.P. 24. 8m

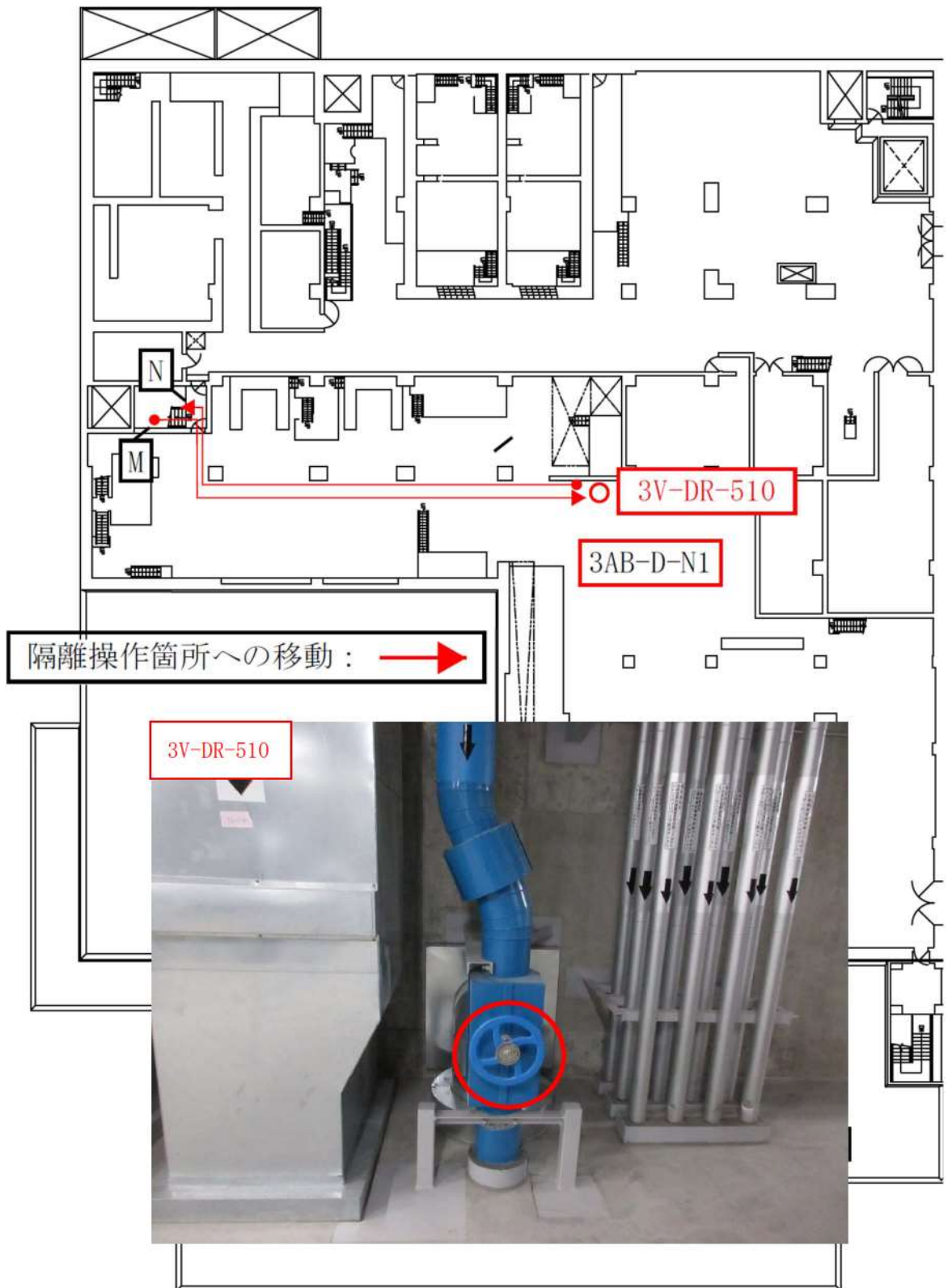


図2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (13/14)

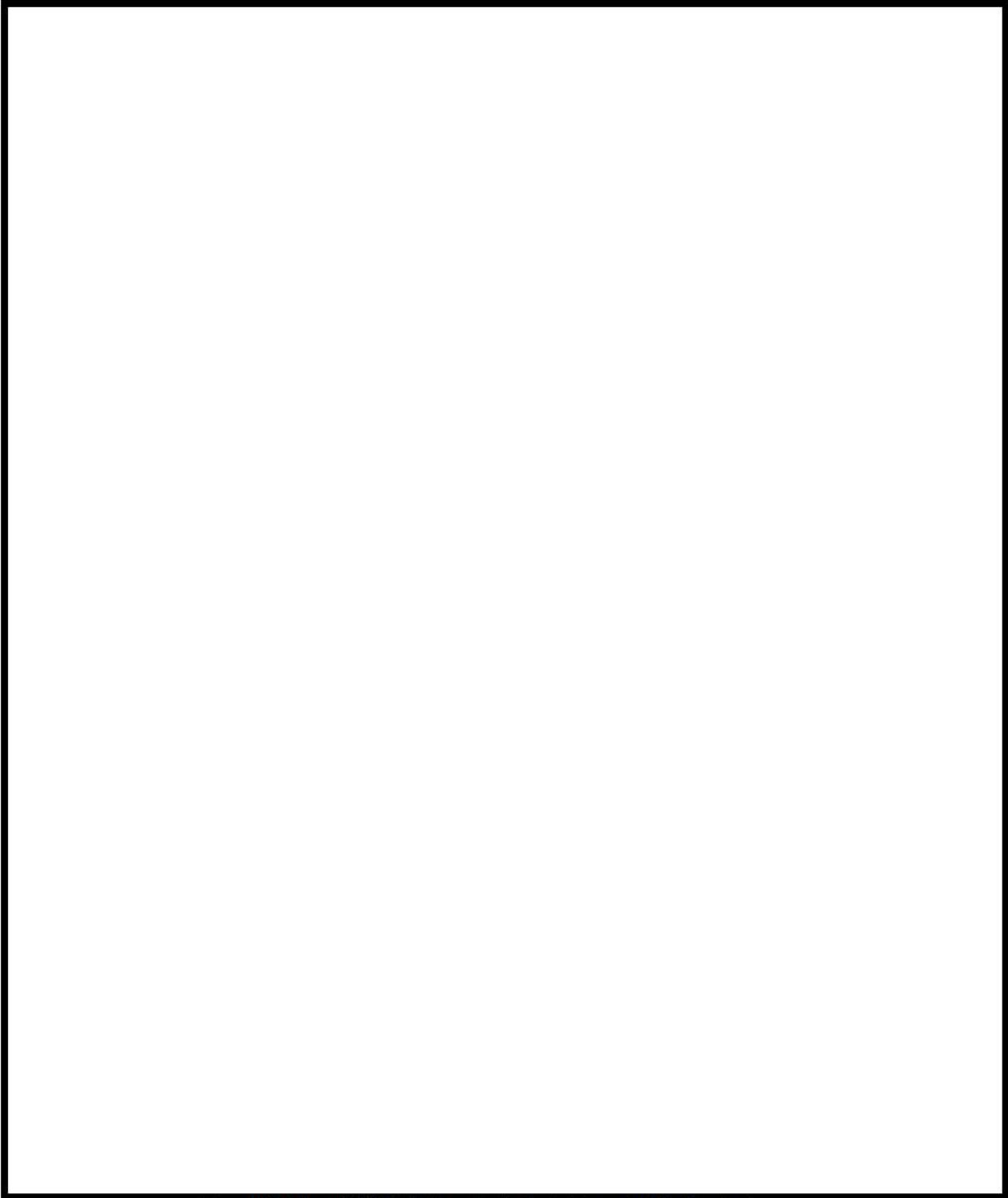



図 2 地震時の隔離操作時におけるアクセス通路 (14/14)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 現場操作時の線量影響について

## 追而【地震津波側審査の反映】

以下の破線囲部分については基準地震動確定後の評価結果を反映する。

現場操作が必要な場合であり、漏えい時に作業環境が線量の観点から厳しくなる溢水源としては、セメント固化装置が考えられる。この溢水源が内包する放射能濃度は、表1に示すとおり約 $1.27 \times 10^4$  Bq/cm<sup>3</sup>であり、実効線量としては約 $1.32 \times 10^{-2}$  mSvとなる。評価結果は、緊急作業時における許容実効線量である100mSvを下回っており、隔離操作等において支障がないことを確認した。実効線量の結果について、表1に示す。

なお、放射性物質を内包する溢水源の中で、漏えい中に環境中の線量率が最も厳しくなる系統は、化学体積制御系統であるが、本系統は中央制御室内での手動隔離が可能であり現場での操作が不要であることから対象外としている。

表1 実効線量評価結果

溢水源	セメント固化装置
放射能濃度	約 $1.27 \times 10^4$ Bq/cm <sup>3</sup>
現場操作時間	漏えい箇所の隔離時間：15分 <sup>※1</sup>
隔離操作後の移動時間	原子炉補助建屋からの退避時間：20分
実効線量	約 $1.32 \times 10^{-2}$ mSv

※1 現場での隔離箇所特定及び隔離操作に要する時間に対し、保守的に設定した時間（検証時間は、補足説明資料14参照）

アクセス通路における漂流物対策状況について

代表例として、地震時の原子炉補給水系統（脱塩水）の隔離操作におけるアクセス通路上の漂流物対策状況を図1に示す。

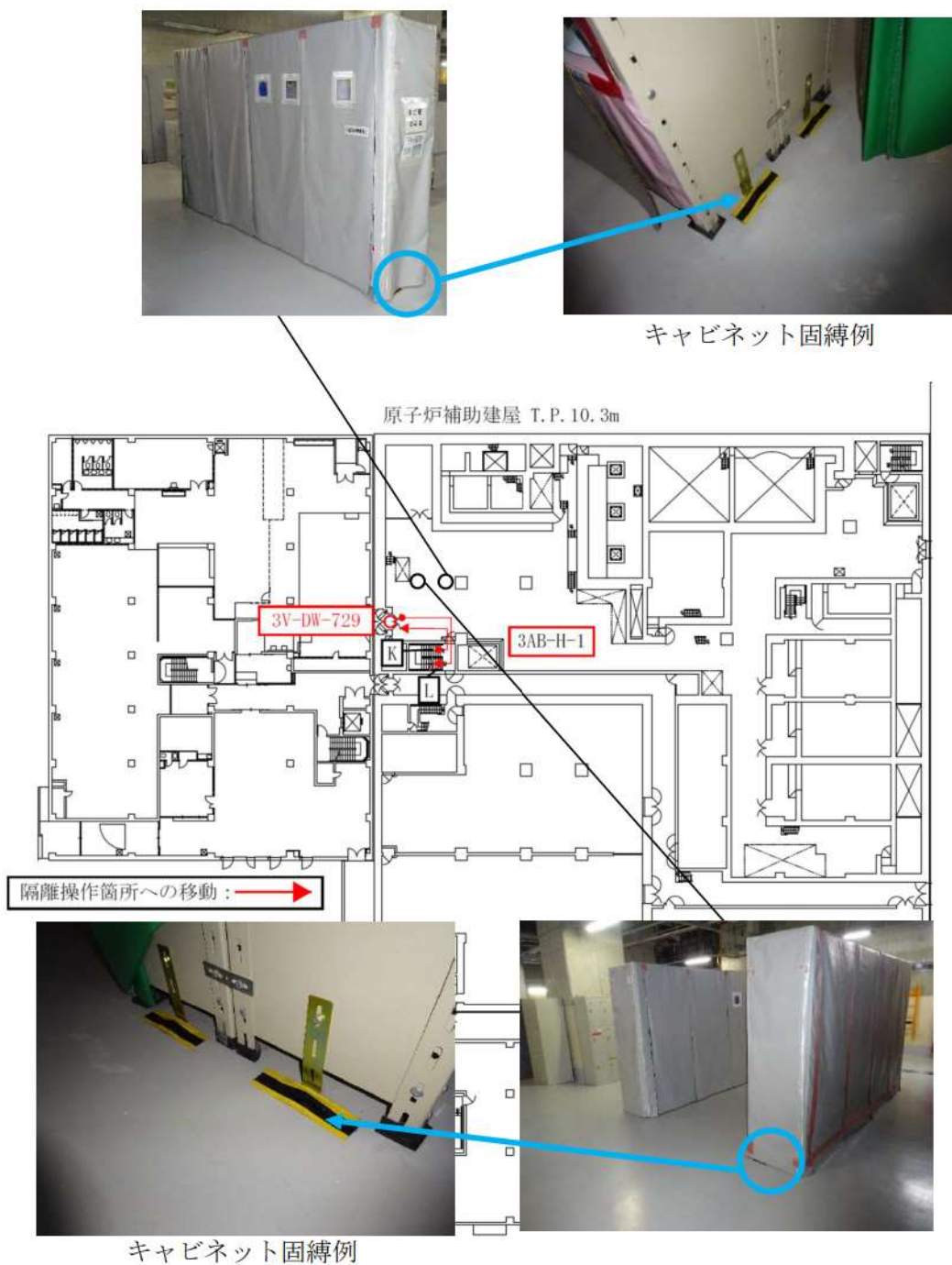


図1 漂流物対策状況



## 浸水時の歩行速度への影響について

## 1. 浸水時の歩行速度の算出

## (1) 実施内容

- ・水深 100mm における, 50m の歩行にかかる時間を計測。  
(10m を 2.5 往復し, 計測を実施)
- ・測定は被験者 3 名により実施し, 平均速度を算出。
- ・調査時は溢水時の防護服を着用する。

## (2) 実績

被験者 3 名について, 1 回測定を実施した。浸水時の歩行速度測定結果について表 1 に示す。

表 1 浸水時の歩行速度測定結果

水位	被験者 A	被験者 B	被験者 C	平均歩行速度
100mm	37 s	49 s	39 s	4.32km/h

## (3) 歩行速度調査状況

検証時の装備は, 溢水時の防護具を想定し, 黄服, 防水型被服, ゴム手袋, 全面マスク, 胴長靴, ヘルメットの装備を着用して行った。測定時の状況について図 1 に示す。



図 1 歩行速度測定時のスタイル及び測定状況

## 2. 漏えい箇所特定に要する時間について

### (1) 漏えい箇所特定に要する時間の算出

浸水時の歩行速度を基に、下記条件で漏えい箇所特定に要する時間を算出した結果を表2に示す。

#### 【条件】

- ・漏えい箇所が特定できていないものとし、破損が想定される系統設置箇所を確認。
- ・機器配置図より歩行ルートを検討し、距離を算出。
- ・全域に溢水水位 50mm があると仮定。

表2 浸水時の漏えい箇所特定に要する時間算出結果

項目	出入管理建屋・ 電気建屋	タービン建屋	循環水ポンプ建屋
歩行距離 (m)	966.4	145.8	503.2
漏えい箇所特定時間 (min)	16 <sup>※1</sup>	3 <sup>※1</sup>	8

※1 出入管理建屋・電気建屋及びタービン建屋の漏えい箇所特定時間は、破損が想定される系統設置箇所の確認に要する時間を測定

上記の算出結果より、補足説明資料12「想定破損評価における隔離時間の妥当性について」及び補足説明資料14「地震時溢水評価における隔離時間の妥当性について」にて整理している漏えい箇所特定に要する時間（出入管理建屋・電気建屋：20分、タービン建屋：5分、循環水ポンプ建屋：10分）は十分保守的な設定である。

なお、地震時において扉の開放ができない場合等により、漏えい箇所の特定ルートにアクセスできない場合は、破損による漏えいが発生していると判断し、隔離操作箇所への移動に切り替えることとする。この場合の漏えい箇所の特定に要する時間は、上記の時間（出入管理建屋・電気建屋：20分、タービン建屋：5分）を下回ることから、評価では漏えい箇所の特定に要する時間（出入管理建屋・電気建屋：20分、タービン建屋：5分）を考慮する。

## 想定破損評価における隔離時間の妥当性について

## 1. はじめに

溢水の発生後、溢水を検知し隔離するまでの隔離時間を手動隔離及び自動隔離について以下のとおり設定した。

## 2. 高エネルギー配管の隔離までの時間設定

## 2. 1 自動隔離及び中央制御室内での手動隔離

高エネルギー配管は、ターミナルエンド部と一般部の完全全周破断を想定し隔離までの時間を適切に設定する。具体的には破損を想定する系統、箇所に対し、異常の検知方法や運転員が事象を判断する際のパラメータ等を整理し、隔離により漏えいを停止するまでの時間の積み上げを行う。隔離までの時間設定については、異常の検知、事象の判断、漏えい箇所の隔離の3つのステップにおいて一連の隔離シナリオを統一した考え方に基づき定める。

## (1) 異常の検知について

配管破断による異常を早期に検知する手段として以下の3つの方法があり、それぞれ警報発信までの時間を設定する。

- ① 区画内に設置された温度検出器による温度高警報（温度検知）
- ② 系統に設置されている圧力計、流量計、水位計等の中央表示値の変化や演算処理による警報（システム検知）
- ③ 床ドレン配管を通して集水される最下層のサンプル水位高警報（サンプル検知）

「温度検知」は、高温配管の破断による蒸気の噴出により区画内の温度上昇を早期に検知する手段であり、中央制御室に警報を表示する。「システム検知」は、配管破断による系統の流量や圧力の変化を検知し、中央制御室に警報を表示する。この二つの方法は、破断口径が大きい場合に有効な手段である。

一方、破断口径が小さい場合には、流量や圧力の変化が緩やかであるため「システム検知」による警報は表示されず、破断箇所から目皿等へ流れた溢水が最下層のサンプルに集まる「サンプル検知」となる。

(2) 事象の判断及び漏えい箇所の特定について

運転員は訓練により、事象の判断及び漏えい箇所の特定を短時間で的確に実施する。中央制御室において漏えい箇所の特定が可能な場合には判断及び特定時間を10分とする。漏えい量が小さく現場での漏えい箇所の確認が必要な場合には、移動の時間も合わせて判断及び特定時間を設定する。運転操作余裕については事象の判断の中を含め、警報発信時から隔離操作開始までの時間として10分以上を確保する。

温度検出器警報では異常の検知が行われるが、事象の判断及び漏えい箇所の特定については、圧力計、流量計、水位計等のパラメータの変化を組み合わせる。

例えば、主蒸気・主給水管室における枝管の破断の場合、隔離しなければならないループを様々なパラメータから特定した後に原子炉トリップ操作を行い、漏えいを停止させる。

(3) 漏えい箇所の隔離について

没水評価の対象となる高エネルギー配管の系統は自動隔離又は中央制御室からの遠隔手動操作により隔離することができる。隔離時間は、操作にかかる時間（以下「操作時間」という）と停止にかかる時間（以下「停止時間」という）の合計としている。

操作時間は1操作1分とするが、原子炉トリップ操作についてはトリップ後の状況確認のために、全体として20分を確保した。停止時間は弁を閉止する場合、操作時間の1操作1分に含める。一方、ポンプを停止する場合、充てんポンプについては空転時間を考慮し1分とし、主給水ポンプについては出口弁閉止までの5分とした。

したがって、隔離時間は弁を閉止する場合は1分、ポンプを停止する場合、充てんポンプは2分、主給水ポンプは6分となる。

図1に検知、判断、特定及び隔離時間の考え方を、表1-1から表1-8に隔離時間の考え方を、図2-1から図2-7にそれぞれの系統の破断箇所を示す。

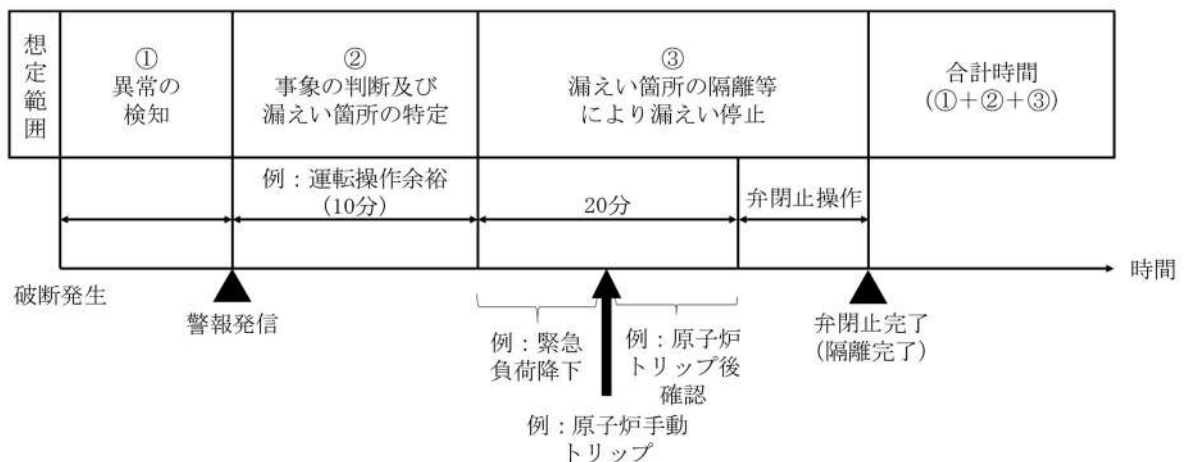


図1 検知、判断、特定及び隔離時間の考え方

表 1-1 漏えい停止までの時間の設定 (化学体積制御系統) その 1

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉 原子炉建屋 補助建屋	①封水注入配管 (貫通部～流量計)	<システム検知> 配管破損により、破損側 A-1 封水注入流量が増加するため、健全側 B, C-1 封水注入流量が低下し、RCP 封水注入ライン流量低警報が発信 1分 (通常の封水注入流量 1.82m <sup>3</sup> /h に対して、低警報は 1.5m <sup>3</sup> /h であるため、速やかに警報が発信する)	以下のパラメータから封水注入流量計下流からの漏えいと判断 10分 封水注入流量、封水戻り流量、原子炉補助建屋サンプ水位等	中央制御室において、A-1 次冷却材ポンプ封水注入ライン C/V 外側隔離弁を閉止 2分 (A-1 次冷却材ポンプ封水注入ライン C/V 外側隔離弁を閉止 1分…※1, 漏えい継続の場合は 1 次冷却材ポンプ封水注入流量制御弁を手動閉止 1分、合わせて 2分)	13分
	②封水注入配管 (流量計～封水注入ライン流量調節弁)	<システム検知> 配管破損により、封水注入流量が低下し、RCP 封水注入ライン流量低警報が発信する 1分 (通常の封水注入流量 1.82m <sup>3</sup> /h に対して、低警報は 1.5m <sup>3</sup> /h であるため、速やかに警報が発信する)	以下のパラメータから封水注入流量計上流からの漏えいと判断 10分 封水注入流量、封水戻り流量、原子炉補助建屋サンプ水位等	中央制御室において、1 次冷却材ポンプ封水注入流量制御弁を手動閉止 1分	12分

表 1-2 漏えい停止までの時間の設定 (化学体積制御系統) その 2

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋 原子炉補助建屋	③充てん配管 (貫通部～流量計)	<p>&lt;システム検知&gt; 配管破損により、充てん流量が上昇し、充てん流量高警報が発信する。 1分 (通常の充てん流量23.8m<sup>3</sup>/hに対して高警報29m<sup>3</sup>/hであるため、当該ラインの破断により速やかに警報が発信する)</p>	<p>以下のパラメータから充てんラインからの漏えいと判断 10分 VCT水位、充てん流量、原子炉補助建屋サンプ水位等</p>	<p>中央制御室において、抽出オリフイス出口 C/V 内側隔離弁、充てん流量制御弁を手動閉止。 2分 (抽出オリフイス出口 C/V 内側隔離弁を手動閉止1分、充てん流量制御弁を手動閉止1分、合わせて2分)</p>	13分
	④充てん配管 (流量計～充てんポンプ)	<p>&lt;システム検知&gt; 配管破損により、充てん流量が低下し、充てん流量低警報が発信する。 1分 (通常の充てん流量23.8m<sup>3</sup>/hに対して低警報8m<sup>3</sup>/hであるため、当該ラインの破断により速やかに警報が発信する)</p>		<p>中央制御室において、抽出オリフイス出口 C/V 内側隔離弁、充てん流量制御弁を手動閉止。 5分 (抽出オリフイス出口 C/V 内側隔離弁を手動閉止1分、充てん流量制御弁を手動閉止1分、漏えい継続の場合は充てんポンプを停止2分(空転含む)、体積制御タンク出口第1止め弁を閉止1分、合わせて5分)</p>	16分

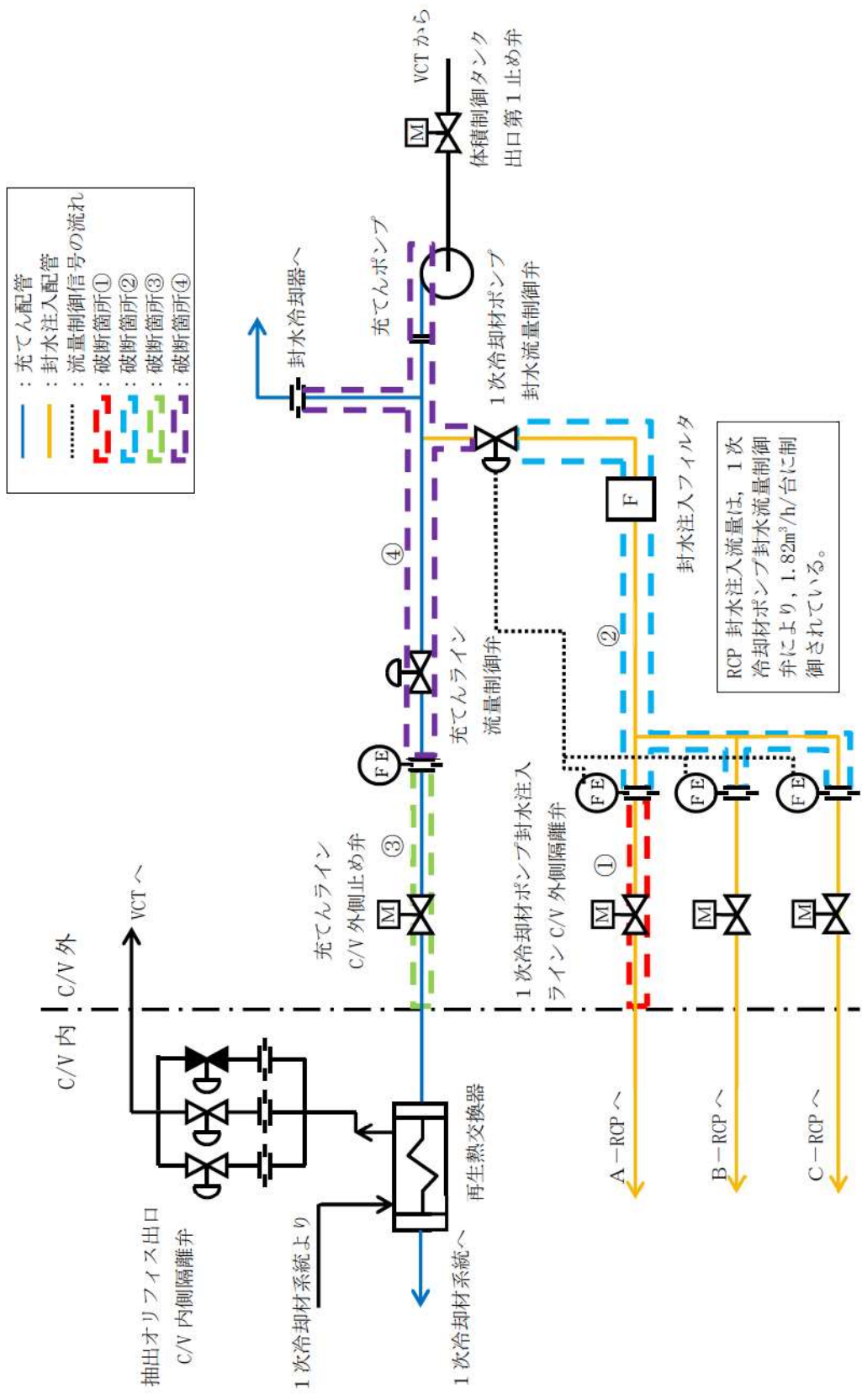


図 2-1 化学体積制御系統（封水注入配管，充てん配管）の系統概要

表 1-3 漏えい停止までの時間の設定 (化学体積制御系統) その 3

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋	①抽出配管 / 非再生冷却器入口 (貫通部～非再生冷却器)	<p>&lt;システム検知&gt;                      配管破損により VCT (0.07809m<sup>3</sup>%) の保有水が減少し VCT 水位が低下する。VCT 通常水位 (60+5%) から原子炉補給開始水位 (36-5%) まで水位が低下し、原子炉補給水制御が自動の場合、原子炉補給水制御が自動以外の場合、体積制御タンク水位低 (自動以外) (L120) 警報が発信  <math>0.07809\text{m}^3/\% \times (65\% - 31\%) \div 32.1\text{m}^3/\text{h} \times 60\text{分} = 5\text{分}</math></p>	<p>以下のパラメータから抽出ラインからの漏えいと判断                      10分                      加圧器水位、VCT 水位、原子炉補助建屋サンプ水位等</p>	<p>中央制御室において、抽出オフイス出口 C/V 内側隔離弁を手動閉止                      1分</p>	<p>16分</p>
	②抽出配管 / 非再生冷却器入口 (非再生冷却器～圧力制御弁)				



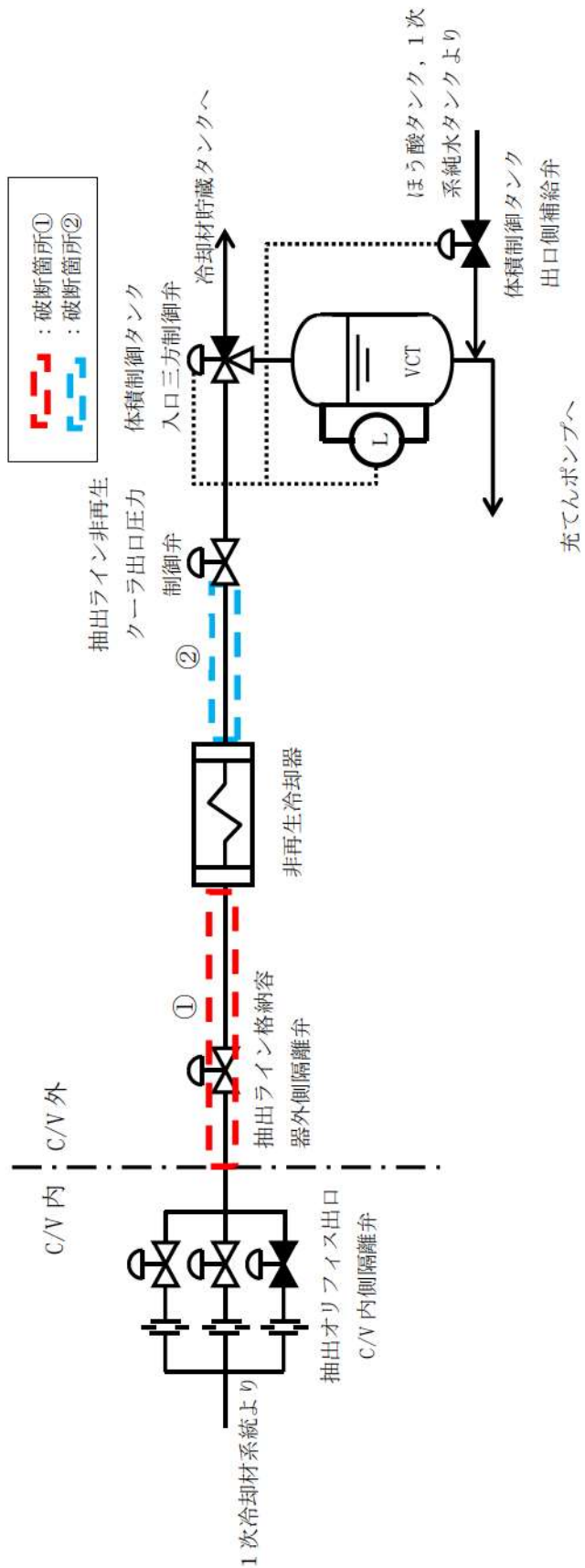


図 2-2 化学体積制御系統（抽出配管／非再生冷却器出口、入口）の系統概要

表 1-4 漏えい停止までの時間の設定 (主蒸気系統)

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋	①主蒸気管	<p>&lt;システム検知&gt; 主蒸気ライン圧力低 ECCS 作動による原子炉トリップ 2秒 また、主蒸気ライン圧力低により主給水隔離弁が自動隔離 9秒 <u>1分</u></p>	<p>以下のパラメータから隔離する蒸気発生器を特定 10分 SG 水位偏差, SG 流量偏差, 主蒸気ライン圧力低等</p>	<p>中央制御室において、補助給水隔離弁、補助給水ポンプ出口流量調節弁を手動閉止 <u>2分</u></p>	<p><u>13分</u></p>
	<p>②主蒸気逃がし弁、主蒸気隔離弁パイパス配管 (主蒸気管分岐～隔離弁), タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気配管 (主蒸気管分岐～ターミナルエルド)</p>	<p>&lt;システム検知&gt; 主蒸気流量増加に伴う原子炉出力上昇により PR 中性子束高制御棒引抜阻止 (C-2) 警報が発信 <u>1分…a</u></p>	<p>以下のパラメータから隔離する蒸気発生器を特定 10分…b 主蒸気流量, SG 圧力, SG 水位偏差, SG 流量偏差等</p>	<p>中央制御室において緊急負荷降下の準備・連絡、緊急負荷降下、プラントトリップ状態確認、主給水制御弁、主給水隔離弁手動閉止、補助給水隔離弁、補助給水ポンプ出口流量調節弁手動閉止 <u>24分</u> (中央制御室において緊急負荷降下の準備・連絡 3分…c、緊急負荷降下 15分…d、プラントトリップ状態確認 2分…e、主給水制御弁、主給水隔離弁手動閉止 2分…f、補助給水隔離弁、補助給水ポンプ出口流量調節弁手動閉止 2分…g、合わせて 24分))</p>	<p><u>35分</u> ※1 主給水ラインの隔離完了までの時間 33分 (a～f の合計) ※2 プラントトリップによる補助給水ポンプ起動から補助給水ラインの隔離完了までの時間 6分 (e～g までの合計)</p>
③主蒸気ドレン配管 (一般部)	<p>&lt;システム検知&gt; 主蒸気流量増加に伴う SG 熱出力が上昇するため、出力変化による SG 熱出力 1分間平均値超過警報が発信 <u>5分…h</u></p>			<p><u>39分</u> ※2 プラントトリップによる補助給水ポンプ起動から補助給水ラインの隔離完了までの時間 6分 (e～g までの合計) ※3 主給水ラインの隔離完了までの時間 37分 (h+b+f の合計)</p>	

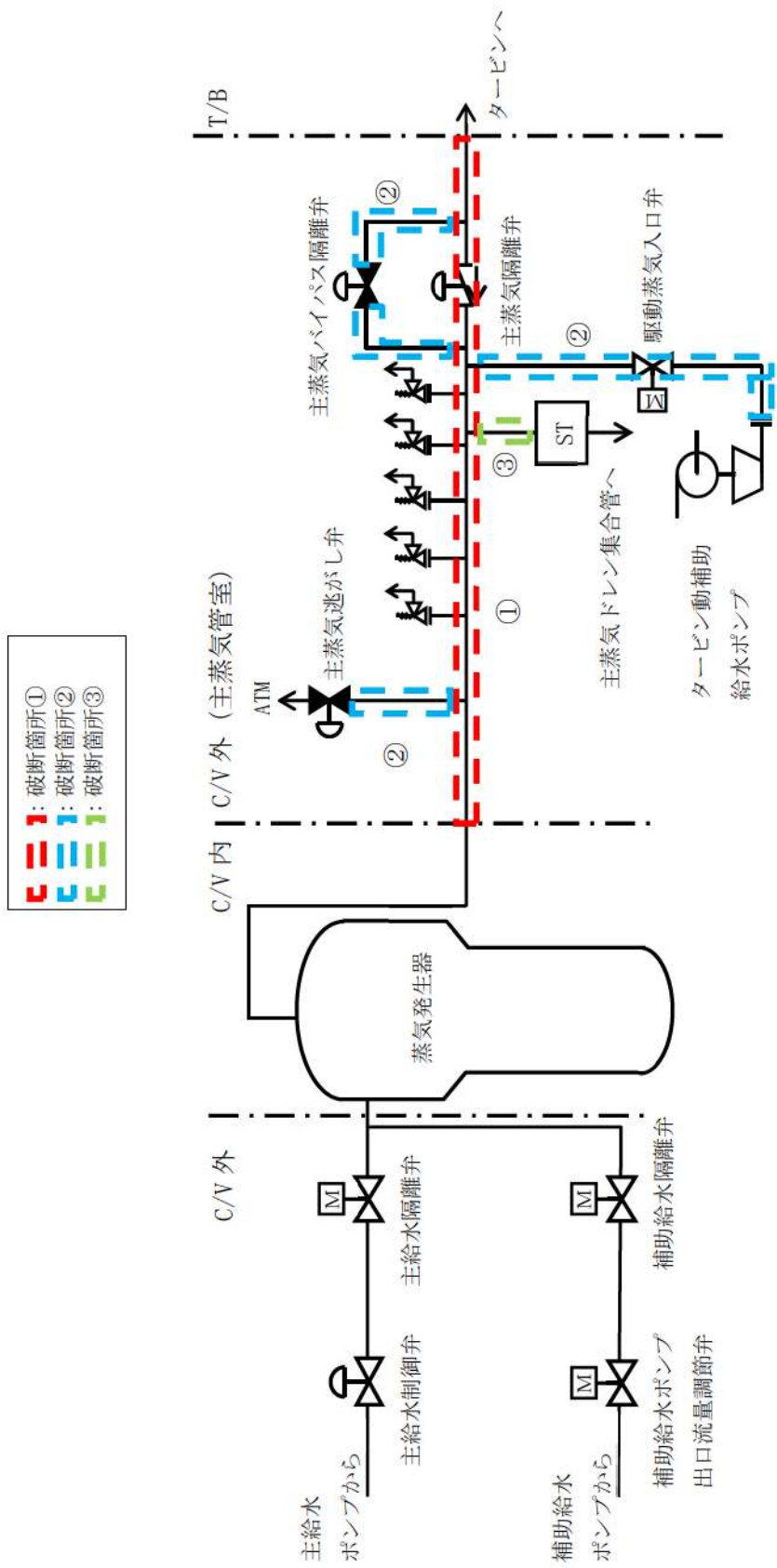


図 2-3 主蒸気系統の系統概要

表 1-5 漏えい停止までの時間の設定 (主給水系統)

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋	①主給水管 (貫通部 ～主給水隔離弁)	<システム検知> 主蒸気ライン圧力低 ECCS 作動による 原子炉トリップ 7秒 また、主蒸気ライン圧力低により、主 給水隔離弁自動隔離 14秒 <u>1分</u>	以下のパラメータから隔離する蒸気発 生器を特定 <u>10分</u> SG 水位偏差, SG 流量偏差, 主蒸気ラ イン圧力低等	中央制御室において、補助給水隔離 弁、補助給水ポンプ出口流量調節弁を 手動閉止 <u>2分</u>	<u>13分</u>
	②主給水管 (主給水隔離弁 ～逆止弁)	<システム検知> 主蒸気ライン圧力低 ECCS 作動による 原子炉トリップ 7秒 <u>1分</u>	主給水ライン漏えいと特定 <u>10分</u> ※隔離弁自動閉止のため、事象判断時 間は考慮しない	主蒸気ライン圧力低により主給水制御 弁、主給水隔離弁自動隔離 <u>0分</u> ※ (主蒸気ライン圧力低により主給水制 御弁、主給水隔離弁自動隔離 7秒) ※検知時間の 1分に包絡されるため考 慮しない	<u>1分</u>
	③主給水管 (逆止弁～主給水制 御弁、主給水バイパ ス制御弁)	<システム検知> SG 水位低による原子炉トリップ 39秒 <u>1分</u>	以下のパラメータから隔離する蒸気発 生器を特定 <u>10分</u> SG 水位偏差, SG 流量偏差, SG 水位低 による原子炉トリップ等	中央制御室において、主給水制御弁、 主給水隔離弁を手動閉止 <u>2分</u>	<u>13分</u>
	④主給水管 (主給水制御弁、主 給水バイパス制御弁 ～T/B貫通部)	<システム検知> SG 水位低による原子炉トリップ 39秒 <u>1分</u>	以下のパラメータから隔離する蒸気発 生器を特定 <u>10分</u> SG 水位偏差, SG 流量偏差, SG 水位低 による原子炉トリップ等	中央制御室において、主給水ポンプ 2 台を遠隔手動停止、ポンプ出口弁閉動 作時間 <u>7分</u> (中央制御室において、主給水ポンプ 2台を選隔手動停止 2分 (1分×2 台)、ポンプ出口弁閉動作時間 5分、 合わせて 7分)	<u>18分</u>

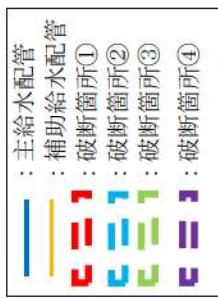


図 2-4 主給水系統の系統概要

表 1-6 漏えい停止までの時間の設定 (蒸気発生器ブローダウン系統)

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋	①蒸気発生器ブローダウン配管 (貫通部～隔離弁)	<システム検知> SG 水位低による原子炉トリップ 114 秒 2分...a	以下のパラメータから隔離する蒸気発生器を特定 10分...b SG 水位偏差, SG 流量偏差等	中央制御室において、主給水制御弁、主給水隔離弁を自動閉止、補助給水ポンプ出口流量調節弁を自動閉止 4分 (主給水制御弁、主給水隔離弁を手動閉止 2分...c, 補助給水隔離弁、補助給水ポンプ出口流量調節弁を手動閉止 2分...d, 合わせて4分)	<u>16分</u> ※1 主給水ライン隔離完了までの時間 14分 (a～c までの合計) ※2 プラントトリップによる補助給水ポンプ起動から補助給水ライン隔離完了までの時間 14分 (b～d までの合計)

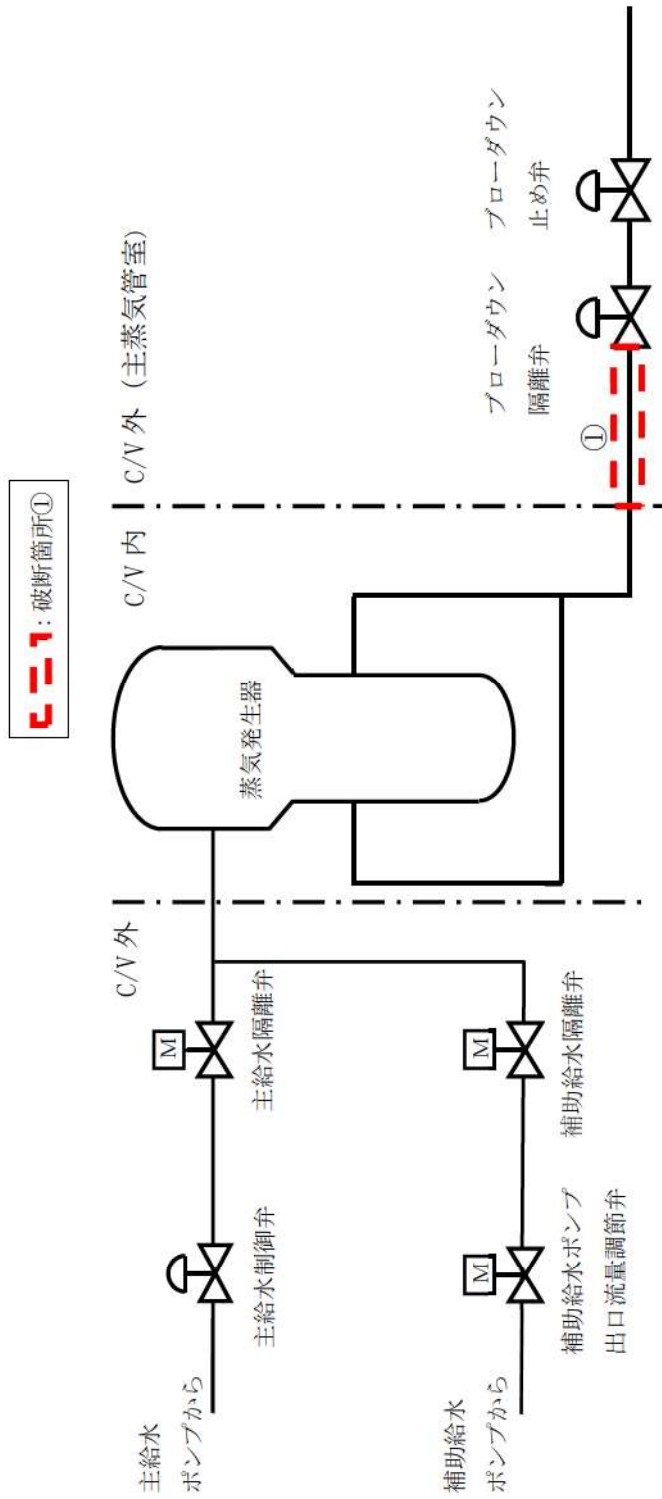


図 2-5 蒸気発生器ブローダウン系統の系統概要

表 1-7 漏えい停止までの時間の設定 (補助給水系統)

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋	①補助給水配管 (主給水管分岐 ～逆止弁)	<p>&lt;システム検知&gt; 主給水流量の増加により SG 給水&gt;蒸気流量偏差大警報が発信 1分…a</p> <p>補足: 主給水制御範囲内の漏えいととなり SG 水位低による原子炉トリップ、主給水ポンプの過回転トリップには期待しない</p>	<p>以下のパラメータから隔離する蒸気発生器を特定 10分…b SG 水位偏差, SG 流量偏差等</p>	<p>中央制御室において緊急負荷降下の準備・連絡、緊急負荷降下、プラントトリップ状態確認、主給水制御弁、主給水隔離弁手動閉止、補助給水隔離弁手動閉止 24分 (緊急負荷降下の準備・連絡 3分…c, 緊急負荷降下 15分…d, プラントトリップ状態確認 2分…e, 主給水制御弁、主給水隔離弁手動閉止 2分…f, 補助給水隔離弁、補助給水ポンプ出口流量調節弁手動閉止 2分…g, 合わせて 24分)</p>	<p>35分 ※1 主給水ライン隔離完了までの時間 33分 (a~f の合計) ※2 プラントトリップによる補助給水ポンプ起動から補助給水ラインの隔離完了までの時間 6分 (e~g の合計)</p>

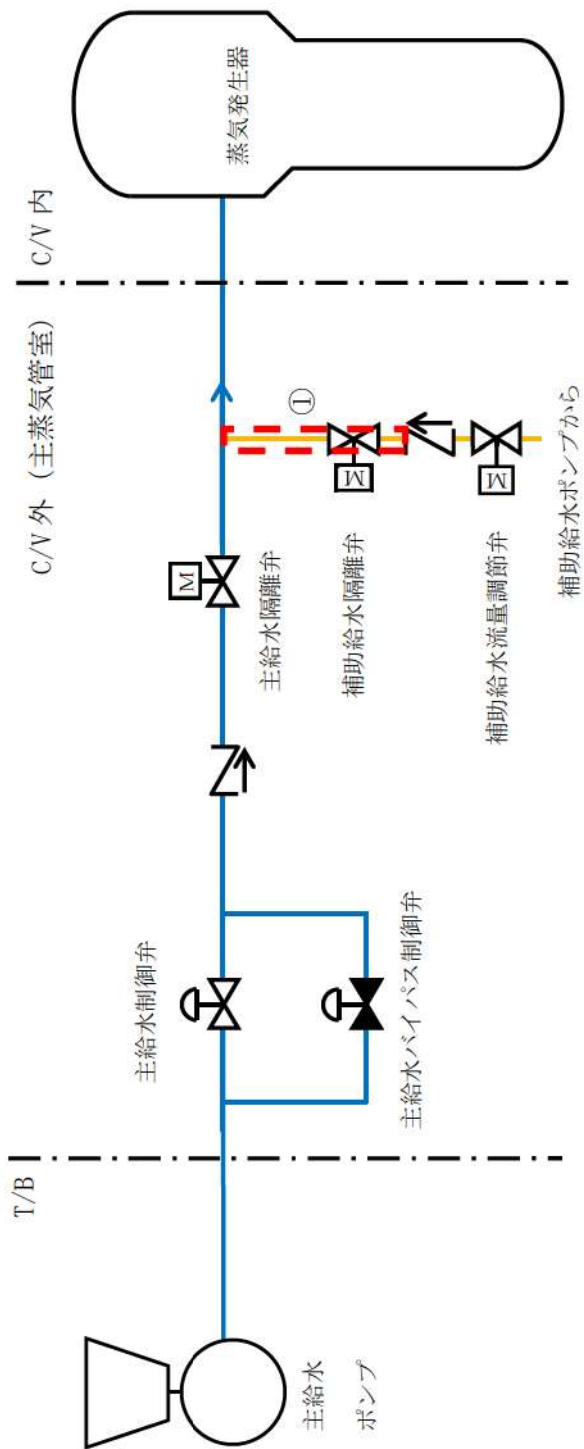


図 2-6 補助給水系統の系統概要



表 1-8 漏えい停止までの時間の設定 (補助蒸気系統)

建屋	想定範囲	①異常の検知	②事象の判断及び漏えい箇所の特定	③漏えい箇所の隔離等により漏えい停止	合計 (①+②+③)
原子炉建屋 原子炉 補助建屋	補助蒸気供給配管	<p>&lt;システム検知&gt; 温度検出器 (60℃) の検知により補助蒸気遮断弁が自動閉止 5分 (温度検出器検知時間は区画に依存する。補助蒸気遮断弁の閉止時間は約 25 秒、検知遅れ 10 秒を想定。)</p>	<p>温度異常高の警報により、漏えい箇所を特定、判断 10分※ ※隔離弁自動閉止のため、事象判断時間は考慮しない</p>	<p>自動隔離のため操作時間なし 0分</p>	5分

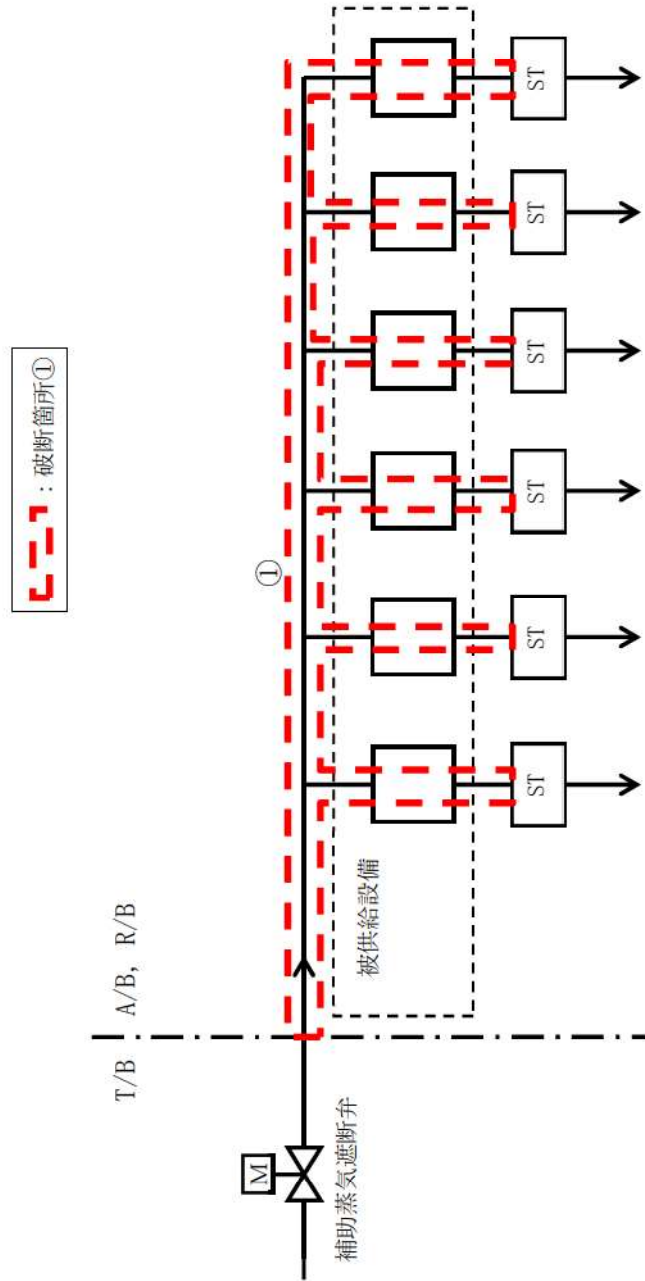


図 2-7 補助蒸気系統の系統概要

### 3. 低エネルギー配管の隔離までの時間設定

#### 3. 1 手動隔離

低エネルギー配管の手動隔離に期待する隔離時間については、溢水ガイドを参考に、80分として評価を行っているが、漏えい検知、漏えい箇所特定及び弁操作等により、下記(1)～(5)を組み合わせて算定し、実際の隔離時間について確認を行った。なお、(3)～(5)については現場での確認を行った。

##### (1) 漏えい発生から漏えい検知までの時間

配管破断による異常を早期に検知する手段として以下の4つの方法があり、それぞれ警報発信までの時間を設定する。

- ① 区画内に設置された温度センサによる温度高警報（温度検知）
- ② 系統に設置されている圧力計，流量計，水位計等の中央表示値の変化や演算処理による警報（システム検知）
- ③ 床ドレン配管を通して集水される最下層のサンプル水位高警報（サンプル検知）
- ④ 漏えい検知器による警報（漏えい検知）

##### (2) 事象の判断時間について

運転員は訓練により、事象の判断を短時間で的確に実施する。中央制御室において漏えい箇所の特定に必要な判断時間を10分とする。

##### (3) 現場への移動時間

中央制御室から現場への移動時間について確認を行った。また、管理区域の場合は着替えの時間を考慮した。

##### (4) 漏えい箇所の特定に要する時間

漏えい箇所特定に要する時間は、系統設置箇所の確認に要する時間とした。

##### (5) 隔離操作時間

中央制御室での隔離操作に要する時間、現場での隔離箇所特定に要する時間及び現場での隔離操作に要する時間を確認した。なお、隔離対象となる弁等について、実操作ができない場合は、同口径、同型式の類似弁にて確認を行った。

### 3. 2 漏えい箇所の隔離に必要な時間例（手動隔離）

隔離時間は、上記の漏えい検知の有無、漏えい箇所特定及び弁操作等により確認し、ガイドの記載である 80 分として評価を行っている。

以下に、出入管理建屋及び電気建屋内の水消火系統及び循環水ポンプ建屋内の循環水系統の隔離時間の評価例を示す。

#### 3. 2. 1 水消火系統の例

##### (1) 漏えい発生から漏えい検知までの時間

漏えい発生により水消火系統の圧力が低下し、消火ポンプ起動警報が中央制御室に発信することにより異常を検知する。漏えいの発生から漏えい検知までの時間は 1 分とする。

##### (2) 事象の判断時間

事象の判断において火災警報が同時に発信していない場合は、中央制御室にて関連パラメータである原子炉補助建屋サンプタンク水位及びタービン建屋各ピット水位を確認し、水位上昇がみられない場合は出入管理建屋又は電気建屋における漏えいと判断することが可能であり、事象の判断時間として 10 分を設定する。

##### (3) 現場への移動時間

消火ポンプ起動警報の発生により、中央制御室にて出入管理建屋及び電気建屋内で漏えいを検知してから中央制御室から出入管理建屋までの移動時間について確認を行った。現場への移動時間について表 2 に示す。

表 2 現場への移動時間

	中央制御室から漏えい現場までの移動時間（分）
出入管理建屋	3

##### (4) 漏えい箇所特定に要する時間

事象の判断に基づき、出入管理建屋及び電気建屋の系統設置箇所の確認を実施した。漏えい箇所特定に要する時間について表 3 に示す。

表 3 漏えい箇所特定に要する時間

	漏えい箇所特定に要する時間（分）	備考
出入管理建屋 電気建屋	20	出入管理建屋及び電気建屋の系統設置箇所の確認に要する時間

(5) 弁操作時間

中央制御室での隔離操作に要する時間，隔離対象箇所確認までの時間及び隔離の操作時間について確認した。なお，隔離操作時間について，実操作ができない場合は，代替での検証で隔離操作時間を確認した。(例：同じ口径型式の弁にて閉操作を実施)

- (a) 中央制御室での隔離操作に要する時間：－ (該当なし)
- (b) 現場での漏えい箇所隔離弁の特定に要する時間：5分 (1弁)
- (c) 現場での弁操作に要する時間：5分 (1弁)

(6) 評価結果

(1)～(5)により，水消火系統の出入管理建屋及び電気建屋内の想定破損時における隔離時間は，44分であり，評価として使用している80分の隔離時間以内であることを確認した。

< 出入管理建屋及び電気建屋 水消火系統の例 >

- ①漏えい発生から漏えい検知までに要する時間：1分
  - ②事象の判断時間：10分
  - ③事象の判断から現場への移動時間：3分
  - ④漏えい箇所特定に要する時間：20分
  - ⑤隔離操作時間：10分
    - (a) 中央制御室での隔離操作に要する時間：(1分)
    - (b) 現場での隔離箇所特定に要する時間：(5分)
    - (c) 現場での隔離操作に要する時間：(5分)
  - ⑥循環水ポンプ停止時間：1分
- 合計：44分

### 3. 2. 2 循環水系統の例

#### (1) 漏えい発生から漏えい検知までの時間

漏えい発生から漏えい検知までの時間については、漏えい検知器による検知に要する時間を算定する。床面積や漏えい検知器検出高さを踏まえ、検知時間が最も長い算定結果を表4に示す。

表4 漏えい検知器による検知時間

区画	床面積 (m <sup>2</sup> )	漏えい検知器 検出高さ (mm)	系統漏えい流量 (m <sup>3</sup> /h)	漏えい検知まで の時間 (分)
3CWPB-B-N03	580 <sup>※1</sup>	60 <sup>※2</sup>	1,200	1.8

※1 漏えい検知に要する時間の算出に関しては、漏えい検知までの時間が長くなるよう、床面積は保守的に欠損面積を差し引く前の面積を用いる。

※2 床上 50mm で検知する設計としているが、保守的に 60mm で検知するものとする。

※3 漏えい流量算出値については、「5. 個別の設定根拠について」を参照。

#### (2) 事象の判断時間

漏えい検知器による中央制御室への警報の発生により、循環水ポンプ建屋での溢水と判断する。判断時間は、2. 1のとおり10分とする。

#### (3) 現場への移動時間

漏えい検知器による中央制御室への警報の発信により、中央制御室にて循環水ポンプ建屋内での漏えいを検知してから中央制御室から循環水ポンプ建屋までの移動時間について確認を行った。現場への移動時間について表5に示す。

表5 現場への移動時間

	中央制御室から漏えい現場までの移動時間 (分)
循環水ポンプ建屋	11

#### (4) 漏えい箇所特定に要する時間

漏えい箇所特定手段がないとし、循環水ポンプ建屋の全域確認を実施した。漏えい箇所特定に要する時間について表6に示す。

表 6 漏えい箇所特定に要する時間

	漏えい箇所特定に要する 時間 (分)	備 考
循環水ポンプ 建屋	10	循環水ポンプ建屋の全域確認に 要する時間

(5) 弁操作時間

中央制御室での隔離操作に要する時間、隔離対象箇所確認までの時間及び隔離の操作時間について確認した。なお、隔離操作時間について、実操作ができない場合は、代替での検証で隔離操作時間を確認した。(例：同じ口径型式の弁にて閉操作を実施)

(a) 中央制御室での隔離操作に要する時間：－ (該当なし)

(b) 現場での漏えい箇所隔離弁の特定に要する時間：－ (該当なし)

(c) 現場での弁操作に要する時間：－ (該当なし)

(6) 循環水ポンプ停止時間

操作時間は1操作1分とし、循環水ポンプ停止時間は空転時間を考慮し6分とした。

(a) 中央制御室でのポンプ停止操作に要する時間：2分 (2台)

(b) ポンプ停止時間：4分

(7) 評価結果

(1)～(6)により、循環水系統の循環水ポンプ建屋内の想定破損時における隔離時間は、39分であり、評価として使用している80分の隔離時間以内であることを確認した。

<循環水ポンプ建屋 循環水系統の例>

①漏えい発生から漏えい検知までに要する時間：2分

②事象の判断時間：10分

③事象の判断から現場への移動時間：11分

④漏えい箇所特定に要する時間：10分

⑤隔離操作時間：一分

(a) 中央制御室での隔離操作に要する時間：(一分)

(b) 現場での隔離箇所特定に要する時間：(一分)

(c) 現場での隔離操作に要する時間：(一分)

⑥循環水ポンプ停止時間：6分

(a) 中央制御室でのポンプ停止操作に要する時間：2分

(b) ポンプ停止時間：4分

合計：39分

4. 各系統の漏えい箇所の隔離に必要な時間

上記と同様に、各系統の想定破損における漏えい箇所の隔離に必要な時間を纏めた結果を表 7-1～7-3 に示す。

表 7-1 出入管理建屋及び電気建屋の想定破損における隔離時間

対象系統	①	②	③	④	⑤			⑥		合計
					(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	
水消火系統 (出入管理建屋・電気建屋)	1 <sup>※2</sup>	10	3	20	—	—	—	—	—	97
原子炉補給水系統（脱塩水） <sup>※1</sup> (出入管理建屋)	24 時間 <sup>※3</sup>									
飲料水系統 <sup>※1</sup> (出入管理建屋)	24 時間 <sup>※3</sup>									

※1 原子炉補給水系統（脱塩水）及び飲料水系統については、隔離時間 24 時間として、評価を実施する。

※2 漏えい発生により水消火系統の圧力が低下し、消火ポンプ起動警報が中央制御室に発信することにより異常を検知。

※3 出入管理建屋は、1日に2回のパトロールを実施することを「内部溢水対応要領（仮称）」に定めるため、漏えい発生から系統隔離までの隔離時間を 24 時間と設定する。

①漏えい発生から漏えい検知までに要する時間（分）
②事象の判断時間（分）
③漏えい検知から現場への移動時間（分）
④漏えい箇所特定に要する時間（分）
⑤隔離操作時間（分）
(a) 中央制御室での隔離操作に要する時間
(b) 現場での隔離操作箇所特定に要する時間
(c) 現場での隔離操作に要する時間
⑥循環水ポンプ停止時間（分）
(a) 中央制御室でのポンプ停止操作に要する時間
(b) ポンプ停止時間

表 7-2 タービン建屋の想定破損における隔離時間

対象系統	①	②	③	④	⑤			⑥		合計
					(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	
循環水系統 <sup>※1</sup>	72	10	4	5	—	—	—	2	4	97

※1 循環水系統については、隔離時間 97 分として、評価を実施する。

- ①漏えい発生から漏えい検知までに要する時間（分）
- ②事象の判断時間（分）
- ③漏えい検知から現場への移動時間（分）
- ④漏えい箇所特定に要する時間（分）
- ⑤隔離操作時間（分）
  - (a) 中央制御室での隔離操作に要する時間
  - (b) 現場での隔離操作箇所特定に要する時間
  - (c) 現場での隔離操作に要する時間
- ⑥循環水ポンプ停止時間（分）
  - (a) 中央制御室でのポンプ停止操作に要する時間
  - (b) ポンプ停止時間



表 7-3 循環水ポンプ建屋の想定破損における隔離時間

対象系統	①	②	③	④	⑤			⑥		合計
					(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	
循環水系統	2※1	10	11	10	—	—	—	2	4	39

※1 漏えい検知器による検知時間を記載。

①漏えい発生から漏えい検知までに要する時間 (分)
②事象の判断時間 (分)
③漏えい検知から現場への移動時間 (分)
④漏えい箇所特定に要する時間 (分)
⑤隔離操作時間 (分)
(a) 中央制御室での隔離操作に要する時間
(b) 現場での隔離操作箇所特定に要する時間
(c) 現場での隔離操作に要する時間
⑥循環水ポンプ停止時間 (分)
(a) 中央制御室でのポンプ停止操作に要する時間
(b) ポンプ停止時間

## 5. 個別の設定根拠について

### (1) 循環水系統の漏えい流量について

漏えい流量については、以下の計算式より求める。なお、低エネルギー配管のため貫通クラックを想定した。循環水系統の漏えい流量について表 8 に示す。

$$Q \text{ (流出流量)} = A \times C \times \sqrt{(2 \times g \times H)} \times 3600$$

(A: 破断面積 (m<sup>2</sup>), C: 損失係数, g: 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>), H: 水頭 (m))

表 8 漏えい流量算出結果 (循環水系統)

系統	循環水系統
A: 破断面積 (m <sup>2</sup> )	1.35 × 10 <sup>-2</sup> (直径 3800mm, 肉厚 28mm)
C: 損失係数	0.82
g: 重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	9.80665
H: 水頭 (m)	11.6
Q: 漏えい流量 (m <sup>3</sup> /h)	1,200

6. 漏えい停止（隔離操作）の手順書類への反映

泊発電所原子炉施設保安規定に基づく規定文書として制定する「内部溢水対応要領（仮称）」に、運転員の隔離操作について明記することとする。

なお、本事項は後段規則での対応が必要となる事項である（別添2参照）。

## 漏えい検知性について

泊発電所 3 号炉の漏えい検知性について以下に示す。

### 1. 溢水発生時の漏えい検知の考え方

想定破損の内部溢水が発生した場合の漏えい検知の可否について確認する。確認においては、以下の方法による検知を考慮し確認する。

- (1) 区画内に設置された温度検出器による警報（温度検知）
- (2) 系統に設置されている圧力計，流量計，水位計等の中央表示値の変化や演算処理による警報（システム検知）
- (3) 床ドレン配管を通して集水される最下層のサンプル水位高警報（サンプル検知）
- (4) 目視点検等による現場確認（人による検知）

### 2. 確認結果

溢水源となる系統に対する漏えい検知性について確認を実施し，すべての系統において検知可能であることを確認した。高エネルギー配管の漏えい検知性確認結果については表 1，低エネルギー配管の漏えい検知性確認結果については表 2 に示す。

表1 漏えい検知性確認結果一覧（高エネルギー配管）（1/3）

系統	想定破損範囲	漏えい検知手段	内容
化学体積制御系統（抽出配管）	【抽出ライン】 ①非再生冷却器上流～下流	システム検知	配管破損により VCT (0.07809m <sup>3</sup> /%) の保有水が減少し VCT 水位が低下する。VCT 通常水位 (60+5%) から原子炉補給開始水位 (36-5%) まで水位が低下し、原子炉補給水制御が自動の場合は自動補給開始音吹鳴、原子炉補給水制御が自動以外の場合は体積制御タンク水位低（自動以外）(L120) 警報が発信
化学体積制御系統（充てん配管）	【充てんライン】 ①貫通部～流量計	システム検知	配管破損により、充てん流量が上昇し、充てん流量高警報が発信（通常の充てん流量 23.8m <sup>3</sup> /h に対して高警報 29m <sup>3</sup> /h であるため、当該ラインの破断により速やかに警報が発信する）
	【充てんライン】 ②流量計～充てんポンプ出口	システム検知	配管破損により、充てん流量が低下し、充てん流量低警報が発信（通常の充てん流量 23.8m <sup>3</sup> /h に対して低警報 8m <sup>3</sup> /h であるため、当該ラインの破断により速やかに警報が発信する）
	【封水注入ライン】 ③貫通部～流量計（Aラインから漏えいした場合を例とする）	システム検知	配管破損により、破損側A-封水注入流量が増加するため、健全側B、C-封水注入流量は低下し、RCP 封水注入ライン流量低警報が発信する（通常の封水注入流量 1.82m <sup>3</sup> /h に対して、低警報は 1.5m <sup>3</sup> /h であるため、速やかに警報が発信する）
	【封水注入ライン】 ④流量計～流量調節弁	システム検知	配管破損により、封水注入流量が低下し、RCP 封水注入ライン流量低警報が発信する（通常の封水注入流量 1.82m <sup>3</sup> /h に対して、低警報は 1.5m <sup>3</sup> /h であるため、速やかに警報が発信する）

表 1 漏えい検知性確認結果一覧（高エネルギー配管）（2/3）

系統	想定破損範囲	漏えい検知手段	内容
主蒸気系統 (主蒸気管室内)	【主蒸気管】 ①貫通部 ～主蒸気隔離弁下流	システム検知	主蒸気ライン圧力低 ECCS 作動による原子炉トリップ また、主蒸気ライン圧力低により主給水隔離弁が自動隔離
	【主蒸気逃がしライン】 ②主蒸気管分岐 ～主蒸気逃がし弁	システム検知	主蒸気流量増加に伴う原子炉出力上昇により PR 中性子束高制御棒引抜阻止 (C-2) 警報が発信
	【主蒸気バイパスライン】 ③主蒸気管分岐～主蒸気バイパス隔離弁 ③主蒸気バイパス隔離弁～主蒸気管分岐	システム検知	
	【主蒸気ドレンライン】 ④主蒸気管分岐 ～スチームトラップ	システム検知	主蒸気流量増加に伴う SG 熱出力が上昇するため、出力変化による SG 熱出力 1 分間平均値超過警報が発信
	【タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気ライン】 ⑤主蒸気管分岐 ～ターミナルエンド	システム検知	主蒸気流量増加に伴う原子炉出力上昇により PR 中性子束高制御棒引抜阻止 (C-2) 警報が発信
主給水系統, 補助給水系統 (主蒸気管室内)	【主給水管】 ①貫通部 ～主給水隔離弁	システム検知	主蒸気ライン圧力低 ECCS 作動による原子炉トリップ また、主蒸気ライン圧力低により、主給水隔離弁自動隔離
	【主給水管】 ②主給水隔離弁 ～逆止弁	システム検知	主蒸気ライン圧力低 ECCS 作動による原子炉トリップ
	【主給水管】 ③逆止弁～主給水制御弁、主給水バイパス制御弁	システム検知	SG 水位低による原子炉トリップ

表 1 漏えい検知性確認結果一覧（高エネルギー配管）（3/3）

系統	想定破損範囲	漏えい検知手段	内容
主給水系統, 補助給水系統 (主蒸気管室内)	【主給水管】 ④主給水制御弁, 主給水バイパス制御弁 ～T/B 貫通部	システム検知	SG 水位低による原子炉トリップ
	【補助給水ライン】 ⑤主給水管分岐 ～逆止弁	システム検知	主給水流量の増加により SG 給水>蒸気流量偏差大警報が発信 補足: 主給水制御範囲内の漏えいとなり SG 水位低による原子炉トリップ, 主給水ポンプの過回転トリップには期待しない
蒸気発生器ブローダウン系統 (主蒸気管室内)	【復水器へのライン】 ① 貫通部～隔離弁	システム検知	SG 水位低による原子炉トリップ
補助蒸気系統	補助蒸気ライン	温度検知	温度検出器 (60℃) の検知により補助蒸気遮断弁が自動閉止

表2 漏えい検知性確認結果一覧（低エネルギー配管）

系統	想定破損範囲	漏えい検知手段	内容
水消火系統	出入管理建屋内 電気建屋内	システム検知	漏えい発生により水消火系統の圧力が低下し、消火ポンプ起動警報が中央制御室に発信する
原子炉補給水系統 (脱塩水)	出入管理建屋内	人による検知	出入管理建屋は、1日2回実施するパトロールによって、漏えいの有無を確認し、検知する
飲料水系統			
循環水管伸縮継手	タービン建屋内	サンプル検知	タービン建屋の各ピットの水位高警報が中央制御室に発信する
循環水管伸縮継手	循環水ポンプ建屋内	漏えい検知器	漏えい発生から循環水ポンプエリアに設置している漏えい検知器（各床面より+50mmの位置に設置）の動作により、中央制御室に警報が発信する

## 地震時溢水評価における隔離時間の妥当性について

## 1. はじめに

泊発電所3号炉の防護対象設備が設置される建屋外からの流入防止評価において、機器の地震による損傷時に、手動による漏えい停止を期待する場合の溢水量算出の考え方について、破損想定が必要となった以下の4ラインを説明する。

- ① 循環水管伸縮継手
- ② 原子炉補給水（脱塩水）系統
- ③ 水消火系統
- ④ 飲料水系統

なお、防護対象設備が設置される建屋の内部溢水影響評価においては、耐震評価及び耐震補強を実施することにより、地震時の隔離操作を期待する系統機器はない。

## 2. 溢水量の考え方

- (1) 循環水管伸縮継手，原子炉補給水（脱塩水）系統，水消火系統及び飲料水系統

系統機器の損傷を想定するとともに、地震発生時に系統機器が運転中であり、なおかつ地震発生後も循環水ポンプ，2次系補給水ポンプ，電動機駆動消火ポンプ及び飲料水ポンプが運転し続けた場合を想定し、各ラインの隔離完了までの時間を表1のとおりとして溢水量を算出した。



表1 隔離完了までの時間

ライン	系統	(a) 時間余裕 (分)	(b) 現場への 移動 <sup>※1</sup> (分)	(c) 漏えい箇所 の特定 <sup>※1</sup> (分)	(d) 漏えい箇所 の隔離 <sup>※1</sup> (分)	合計
①	循環水管伸縮継手	10	15(14)	5(3)	16(9)	46
②	原子炉補給水系統 (脱塩水)	— <sup>※2</sup>	— <sup>※3</sup>	20(16)	10(5)	76
③	水消火系統	— <sup>※2</sup>	— <sup>※3</sup>	— <sup>※4</sup>	10(5)	86
④	飲料水系統	— <sup>※2</sup>	— <sup>※3</sup>	— <sup>※4</sup>	15(6)	101

※1 現場への移動及び漏えい箇所特定に要する時間の算出結果並びに漏えい箇所の隔離の実測定結果を括弧内に示す。これに対してさらに保守性を考慮し、評価に用いる隔離時間とする。

※2 ①にて時間余裕の時間を見込んでいることから不要。

※3 溢水が発生する建屋が①での隔離操作を行う建屋と同じであり、移動に要する時間が不要

※4 溢水が発生する建屋が②と同じであり、②に合わせて漏えい箇所を特定する。

時間設定の考え方は以下のとおり。

(a) 時間余裕 (10分)

運転員は中央制御室にて8 gal以上の地震を検知した後に、10分間の時間余裕を見込んだ後に操作を開始するとして評価する。

(b) 現場への移動 (15分)

8 gal以上の地震検知にて漏えいの有無にかかわらず溢水源となりうる系統が設置されるエリアのパトロールの実施が社内規定に定められており、直ちに現場確認を開始する<sup>\*</sup>。現場確認開始に要する時間は、溢水が滞留しないエリアであっても全エリアに10 cmの溢水水位を想定し、水深10 cmにおける歩行速度を用いて移動時間を算出し、防護具着用10分を含めて15分を想定。移動時間の算出に用いる歩行速度については、補足説明資料11に示す。

※ 基準地震動を超える地震若しくはその他の要因により設計基準事象を超える事態に進展した場合には、運転要領緊急処置編第2部及び第3部の対応手順にて対処する。

(c) 漏えい箇所特定に要する時間

隔離対象系統が設置されるエリアを網羅的に確認するための巡視ルートを設定。溢水が滞留しないエリアであっても全エリアに 10 cm の溢水水位を想定し、水深 10 cm における歩行速度を用いて移動時間を算出。パトロール手順、ルートに従い現場パトロールを実施した場合、表 2 の時間以内で溢水源となりうる系統が設置されるエリアを確認可能。現場にて当該ラインの漏えいを発見した場合、速やかに中央制御室に連絡。

表 2 漏えい箇所特定に要する時間

ライン	系統	溢水が発生する建屋	漏えい箇所特定に要する時間 (分)
①	循環水管伸縮継手	タービン建屋	5
②	原子炉補給水系統 (脱塩水)	出入管理建屋, 電気建屋	20
③	水消火系統		
④	飲料水系統		

(d) 漏えい箇所の隔離

隔離操作を行う建屋まで移動し、手動操作による循環水ポンプの電源開放及び隔離弁閉止により、漏えい停止。各系統の漏えい箇所の隔離に要する時間は、溢水が滞留しないエリアであっても全エリアに 10 cm の溢水水位を想定し、水深 10 cm における歩行速度を用いて移動時間を算出し、表 3 のとおり。

表 3 漏えい箇所の隔離

ライン	対象系統	隔離操作を行う建屋	隔離操作箇所への移動時間 (分)	隔離操作に要する時間 (分)	合計 (分)
①	循環水管伸縮継手	電気建屋	10	6 <sup>※1</sup>	16
②	原子炉補給水系統 (脱塩水)	原子炉 補助建屋	5	5	10
③	飲料水系統		5	5	10
④	水消火系統		10	5	15

※1 ポンプ停止時間を含める。

### 3. 溢水量の算出結果

2項で設定した隔離完了までの時間に基づき、建屋ごとに溢水量を算出した結果を表4～6に示す。

表4 タービン建屋 溢水量

建屋	系統	溢水源	溢水量
タービン建屋	循環水管伸縮継手	隔離前漏えい量 ( $37,000\text{m}^3/\text{h}^{*1} \times 46\text{min}$ )	28,367 $\text{m}^3$
合計			28,367 $\text{m}^3$

※1 トリチェリの定理により算出

表5 出入管理建屋 溢水量

建屋	系統	溢水源	溢水量
出入管理建屋	原子炉補給水系統 (脱塩水)	隔離前漏えい量 ( $265\text{m}^3/\text{h}^{*1} \times 76\text{min}$ )	335.7 $\text{m}^3$
		機器保有水	0 $\text{m}^3$
		配管保有水	5 $\text{m}^3$
	飲料水系統	隔離前漏えい量 ( $18\text{m}^3/\text{h}^{*1} \times 86\text{min}$ )	25.8 $\text{m}^3$
		機器保有水	14.4 $\text{m}^3$
		配管保有水	2.6 $\text{m}^3$
	水消火系統	隔離前漏えい量 ( $390\text{m}^3/\text{h}^{*1} \times 101\text{min}$ )	656.5 $\text{m}^3$
		機器保有水	0 $\text{m}^3$
		配管保有水	25 $\text{m}^3$
合計			1065.0 $\text{m}^3$

※1 給水ポンプ定格流量

表 6 電気建屋 溢水量

建屋	系統	溢水源	溢水量
電気建屋	原子炉補給水系統 (脱塩水)	隔離前漏えい量 <sup>※1</sup>	0m <sup>3</sup>
		機器保有水	0m <sup>3</sup>
		配管保有水	5m <sup>3</sup>
	飲料水系統	隔離前漏えい量 (18m <sup>3</sup> /h <sup>※2</sup> ×86min)	25.8m <sup>3</sup>
		機器保有水	14.4m <sup>3</sup>
		配管保有水	2.6m <sup>3</sup>
	水消火系統	隔離前漏えい量 (390m <sup>3</sup> /h <sup>※2</sup> ×101min)	656.5m <sup>3</sup>
		機器保有水	0m <sup>3</sup>
		配管保有水	25m <sup>3</sup>
合計			729.3m <sup>3</sup>

※1 系統の隔離弁は常時閉のため、ポンプによる継続流出はない。

※2 給水ポンプ定格流量

## 貫通クラック等微小漏えい時の影響について

## 1. 高エネルギー配管からの微小漏えいについて

想定破損による溢水影響評価（没水）において，高エネルギー配管の破断を想定した溢水影響を評価しており，溢水量は流出流量と検知・隔離時間を基に評価している。このとき，破断形状としては評価ガイドに則り完全全周破断を想定しているが，破断面積が小さい場合は検知・隔離に要する時間が長くなる可能性があるため，その影響について確認した。

完全全周破断を想定する系統と溢水量を表 1 に示す。なお，溢水量は以下の算出式により算出した。

$$\text{溢水量} [\text{m}^3] = \text{流出流量} [\text{m}^3/\text{min}] \times \text{隔離時間} [\text{min}] + \text{系統保有水量} [\text{m}^3] \quad \dots\dots \text{①式}$$

表 1 完全全周破断を想定する系統と溢水量

系統	流出流量 [m <sup>3</sup> /h]	隔離時間 [min]	隔離までの溢 水量 [m <sup>3</sup> ]	系統保有 水量 [m <sup>3</sup> ]	溢水量 [m <sup>3</sup> ]
化学体積制御系統	120	16	32.0	5.6	37.6
補助蒸気系統	31.3	5	2.7	1.0	3.7
蒸気発生器ブローダウン系統	689 <sup>**</sup>	16	187.2	81.0	268.2
	240 <sup>**</sup>				
主蒸気系統	627.3 <sup>**</sup>	35	483.3	81.0	564.3
	240 <sup>**</sup>				
主給水系統	2,091	18	627.3	15.0	642.3
補助給水系統	877 <sup>**</sup>	35	506.4	81.0	587.4
	240 <sup>**</sup>				

※流出流量と隔離時間の関係については，補足説明資料 2「保有水量・系統別溢水量算出要領」に記載する。

上記系統の漏えいを検知する手段としては、建屋内排水系のサンプ警報、エリアモニタ（放射線，温度），運転員による巡視点検及び各種パラメータの監視等が考えられる。

破断面積が小さく，サンプタンク水位やサンプポンプの異常運転による漏えいの検知ができない可能性がある範囲の場合，流出流量が十分小さいため，床ドレンにより排水されて溢水水位は高くない。床ドレンから排水された溢水はサンプに流入し，サンプポンプで排水され，溢水事象としてそれ以上発展することはない。

また，サンプポンプの定格流量（11.4m<sup>3</sup>/h）以下の流出流量の場合も，サンプの水位制御が可能であり，溢水事象として留意すべき事態とはならない。

これにより，少なくともサンプポンプ定格流量以上の流出流量での漏えいを想定する。

化学体積制御系統での警報発信に必要な流量と保守的に床ドレン1箇所からの排水流量を表2のとおり比較する。（実際には溢水滞留エリアには床ドレン目皿が複数ある）

表2 床ドレンによる排水量評価

系統	警報発信に必要な流量	床ドレン（1箇所）からの排水流量
化学体積制御系統	11.4m <sup>3</sup> /h 以上	約 30m <sup>3</sup> /h（溢水水位が 10cm <sup>※1</sup> の場合）

※1 管理区域で最も機能喪失高さが低いのは高圧注入ポンプ(32cm)であり，10cm 没水した場合でも機能喪失することはなく問題ない。非管理区域には溢水源が補助蒸気系統しかなく温度検出器で検知可能である。

※2 蒸気発生器ブローダウン系統，主蒸気系統，主給水系統及び補助給水系統は，区画化されている主蒸気管室に設置されている。また，防護対象設備は高い位置に設置されており，貯水可能性が他区域と比べて大きいことから破損開口が小さい場合の影響は軽微である。補助蒸気系統は蒸気影響防止のために設置している温度検出器により漏えい検知が可能であることから影響軽微であるため問題ない。

## 防滴仕様の被水評価における妥当性について

## 1. 概要

内部溢水影響評価においては、溢水評価対象設備のうち防滴仕様が確認されたものについては被水により機能喪失しないものとしており、防滴仕様の確認は、JIS 等の規格に基づいた確認又は当該設備の構造の観点（防滴、防水構造）から実施している。

以下に設備の防滴仕様について説明を行う。

## 2. 溢水影響評価対象設備の防滴仕様の確認について

被水影響評価において防滴仕様に期待している設備は、「JIS C 0920 電気機械器具の外郭による保護等級」で定められた保護等級を有しているか、保護等級は有していないものの構造上防滴仕様の有しているものである。各防滴仕様の詳細について表 1 に纏める。

防滴仕様については、JIS 規格の水に対する保護等級 4 以上を防滴仕様とみなすこととする。

なお、IP コードとは、JIS において「外郭による、危険な箇所への接近、外来固形物の侵入、水の侵入に対する保護等級及びそれらの付加的事項等をコード化して表すシステム」と定義される。

表 1 防滴仕様詳細

防滴仕様	防滴仕様の程度
IPX4	<p><b>【防滴仕様概要】</b> あらゆる方向からの水の飛まつによっても有害な影響を及ぼしてはならない。</p> <p><b>【JIS 試験条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・オシレーティングチューブの半径：1,600mm</li> <li>・放水率：各散水孔当たり 0.07L/min</li> <li>・被試験品までの距離：鉛直方向に対して±180度， 全長距離 200mm の位置から散水</li> <li>・最低試験時間：10分</li> </ul>
IP55	<p><b>【防滴仕様】</b> あらゆる方向からのノズルによる噴流水によっても有害な影響を及ぼしてはならない。</p> <p><b>【JIS 試験条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・放水ノズルの内径：6.3mm</li> <li>・放水率：12.5L/min</li> <li>・被試験品までの距離：2.5m～3.0m</li> <li>・最低試験時間：3分</li> </ul>
IP67	<p><b>【防滴仕様】</b> 既定の圧力及び時間で外郭を一時的に水中に沈めたとき、有害な影響を生じる量の水の侵入があってはならない。</p> <p><b>【JIS 試験条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外郭の上端から水面までの距離は 0.15m 下端から水面までの距離は 1m</li> <li>・試験時間：30分</li> </ul>
・シリコンシール	・継目部にシリコンシールを施工しており防滴仕様を有している。



**表 3 第二特性数字で示される水に対する保護等級**

第二特性数字	保護等級		試験条件 適用試験箇条
	要約	定義	
0	無保護	—	—
1	鉛直に落下する水滴に対して保護する。	鉛直に落下する水滴によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	14.2.1
2	15度以内で傾斜しても鉛直に落下する水滴に対して保護する。	外郭が鉛直に対して両側に15度以内で傾斜したとき、鉛直に落下する水滴によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	14.2.2
3	散水 (spraying water) に対して保護する。	鉛直から両側に60度までの角度で噴霧した水によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	14.2.3
4	水の飛まつ (splashing water) に対して保護する。	あらゆる方向からの水の飛まつによっても有害な影響を及ぼしてはならない。	14.2.4
5	噴流 (water jet) に対して保護する。	あらゆる方向からのノズルによる噴流水によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	14.2.5
6	暴噴流 (powerfull jet) に対して保護する。	あらゆる方向からのノズルによる強力なジェット噴流水によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	14.2.6
7	水に浸しても影響がないように保護する。	規定の圧力及び時間で外郭を一時的に水中に沈めたとき、有害な影響を生じる量の水の浸入があつてはならない。	14.2.7
8	潜水状態での使用に対して保護する。	関係者間で取り決めた数字7より厳しい条件下で外郭を継続的に水中に沈めたとき、有害な影響を生じる量の水の浸入があつてはならない。	14.2.8

4等級以上を防滴仕様とみなす。

JIS C 0920 電気機械器具の外郭による保護等級 (IP code) より関連箇所抜粋



図 1 防滴仕様の考え方

### 3. 現場での被水状況を考慮した被水防護対策について

被水影響評価においては、防護対象設備と同じ区画内に被水源がある場合は、現場の被水状況を考慮した被水防護対策を以下のとおり実施している。

- (1) 溢水ガイドに基づき、被水源は没水による影響評価における溢水源とする。また、消火水の放水による被水影響も考慮する。
- (2) 溢水源から被水の可能性がある防護対象設備を抽出する。
- (3) 溢水源の圧力、温度等を考慮した上で、被水防護対策を検討する。



図2 現場での被水状況を考慮した被水対策について

4. 被水防護対策と IP 試験における試験条件との比較について

(1) 被水検証試験の試験条件について

モックアップによる被水検証試験の試験条件を以下に示す。

表 2 検証試験の試験条件

試験装置	試験流量	試験時間
散水ノズル (シャワーヘッド)	10L/min/個	15min



図 3 検証試験の実施状況

(2) JIS C 0920 電気機械器具の外郭による保護等級 (IP コード) について  
保護等級 (IP コード) については、以下に示す。

表 3 保護等級

第二特性 数字	保護等級		降水量又は水の流量	試験時間
	要約	定義		
0	無保護	—	—	—
1	鉛直に落下する水滴に対して保護する。	鉛直に落下する水滴によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	1 (+0.5, -0) mm/min	10min
2	15 度以内で傾斜しても鉛直に落下する水滴に対して保護する。	外郭が鉛直に対して両側に 15 度以内で傾斜したとき、鉛直に落下する水滴によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	3 (+0.5, -0) mm/min	各位置で 2.5min
3	散水 (spraying water) に対して保護する。	鉛直から両側に 60 度までの角度で噴霧した水によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	各散水孔当たり 0.07L/min ± 0.0035L/min とし、孔の数倍とする。  10L/min ± 0.5L/min	10min  1min/m <sup>2</sup> 最低 5min
4	水の飛まつ (splashing water) に対して保護する。	あらゆる方向からの水の飛まつによっても有害な影響を及ぼしてはならない。	特性数字 3 と同様	
5	噴流 (water jet) に対して保護する。	あらゆる方向からのノズルによる噴流水によっても有害な影響を及ぼしてはならない。	12.5L/min ± 0.625L/min	1min/m <sup>2</sup> 最低 3min

(3) 試験条件の比較について

被水影響評価の防滴仕様として求める IPX4 に対して、当社が実施した被水防護対策が IPX4 相当であることを確認した。

表 4 試験条件の比較

評価項目	JIS の試験条件	今回の被水検証試験条件
試験装置	オペレーションチューブ又は散水ノズルによるあらゆる方向からの散水	散水ノズル <sup>※1</sup> によるあらゆる方向からの散水
降水量又は水の流量	各散水孔当たり 0.07L/min±0.0035L/min とし、孔の数倍とする。 又は 10L/min±0.5L/min	10L/min/個
試験時間	10min 又は 1min/m <sup>2</sup> 最低 5min	15min

※1 被水試験ではシャワーヘッドを用いて実施

## 想定破損による溢水影響評価（蒸気影響評価）

想定破損による溢水に伴う防護対象設備への蒸気影響については、原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（以下「溢水ガイド」という）に従い、防護対象設備の機能維持が図れることを確認している。

本資料は、想定破損時の蒸気影響評価の概要をまとめたものである。

I. では高エネルギー配管の想定破損による蒸気影響評価の方針と対策について、II. では蒸気影響評価結果について記載する。

### I. 蒸気影響評価の方針と対策

#### 1. 想定破損による溢水影響評価の流れ

図 1 に蒸気影響評価のフローを示す。

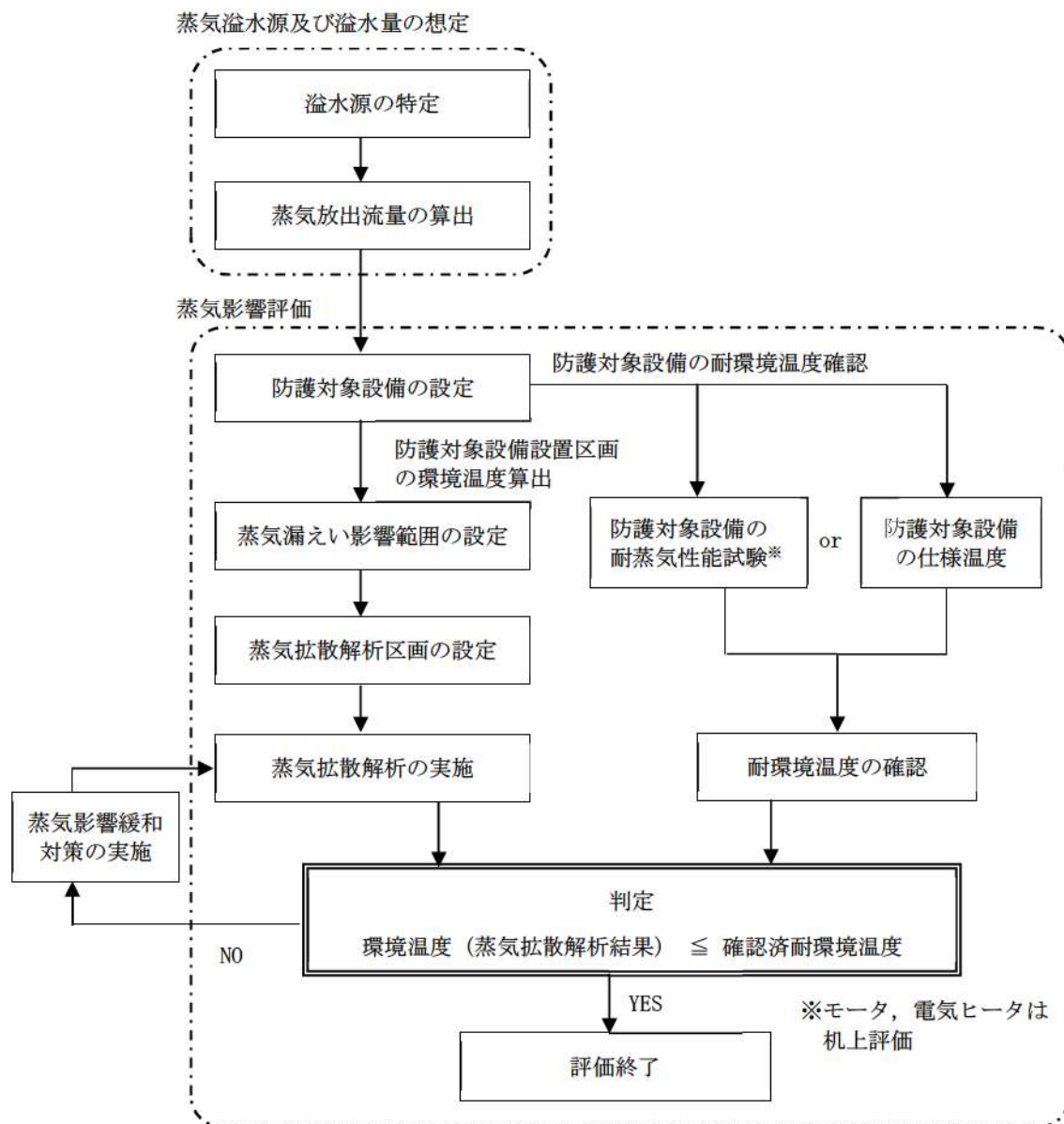


図1 蒸気影響評価フロー

(蒸気溢水源及び溢水量の想定)

- 溢水ガイドに従って高エネルギー配管等を抽出し溢水源として想定
- 配管の破損形状を決定し蒸気放出流量を算出

(蒸気影響評価)

- 溢水源から蒸気が漏えいする範囲を設定し、その影響範囲を解析区画に分割して蒸気拡散解析を実施し防護対象設備の設置区画の環境温度を算出
- 防護対象設備に蒸気を曝露する「耐蒸気性能試験」又は防護対象設備の「仕様」から防護対象設備の耐環境温度を確認
- 蒸気拡散解析で算出した環境温度が耐蒸気性能試験又は仕様から確認された「確認済耐環境温

度」以下であれば蒸気防護措置がとられているとして評価終了※

※ 泊発電所 3号炉の場合は、「仕様」から確認された耐環境温度は用いずに「耐蒸気性能試験」により確認された耐環境温度 120℃を確認済耐環境温度として評価に用いた。（補足説明資料 22）

## 2. 高エネルギー配管（蒸気配管）の破損想定に対する評価方針

溢水ガイドを参照し、高エネルギー配管（蒸気配管）の破損想定に対する評価方針を表 1 のとおりとした。

表 1 高エネルギー配管（蒸気配管）の破損想定に対する評価方針

対象	破損想定に対する評価方針
一般部	○溢水ガイドに従い、応力評価を実施し、評価結果に基づき貫通クラックを想定する等の影響評価を実施する。 ○応力評価を実施しない配管に関しては、完全全周破断で影響評価を実施する。 ○環境への影響が大きいと考えられる蒸気漏えいに関して対策 1 <sup>*1</sup> を実施する。
ターミナル エンド	○溢水ガイドに従い完全全周破断で溢水影響評価を実施する。 ○環境への影響が大きいと考えられる蒸気漏えいに関して対策 1 <sup>*1</sup> を実施する。なお、必要に応じて各対策を組み合わせることで対策の最適化を図る。

※1 対策 1 蒸気の漏えい自動検知及び遠隔隔離

## 3. 蒸気漏えい自動検知及び遠隔隔離の概要（対策 1）

対策 1 は、完全全周破断を考慮して自動的に破断を検知し、防護対象設備が機能喪失する前に遠隔隔離することで蒸気漏えいを止める対策とした。

具体的には、蒸気漏えいの検知装置として検知の必要な箇所に設定した温度検出器（RTD）で蒸気漏えいによる温度変化を測定し、漏えい検知制御盤に送られた漏えい検知信号によって隔離弁を自動又は手動で動作させることで防護対象設備周囲の温度上昇を抑える対策である。

蒸気漏えい時に 60℃以上となる区画に対しては温度検出器を設けるとともに、補助蒸気系統については、補助蒸気供給母管に設置している蒸気しゃ断弁を、60℃以上の温度検出で自動「閉」とするよう改良し、影響を緩和させている。

なお、温度検出器は、3号炉の原子炉建屋及び原子炉補助建屋に 48 個設置している。（補足説明資料 21）

## 4. 完全全周破断を考慮した対策の有効性のイメージ

「蒸気の漏えい自動検知及び遠隔隔離」による蒸気影響低減に対する有効性のイメージを図 2 に示す。



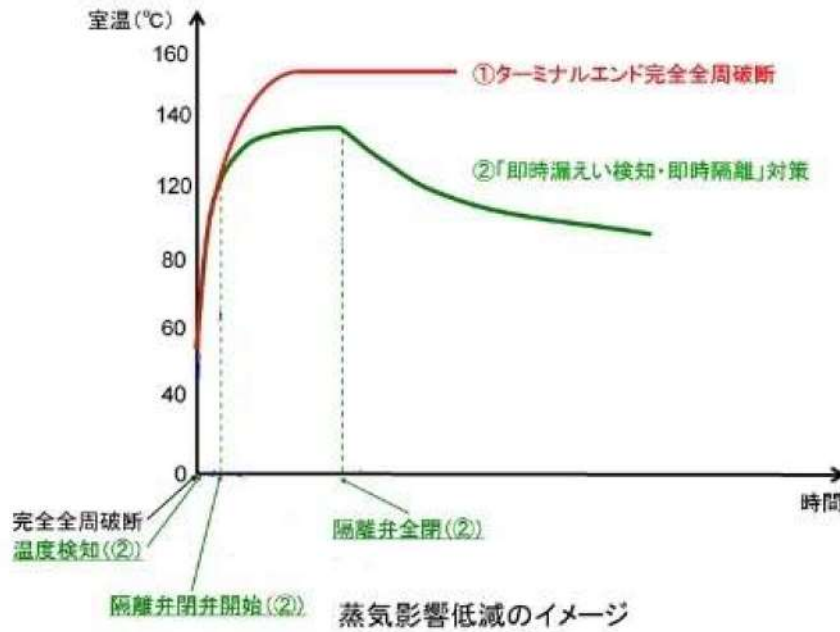


図2 蒸気影響低減のイメージ

## II. 高エネルギー配管の想定破損による蒸気影響評価結果

### 1. 蒸気影響を考慮すべき高エネルギー配管の抽出について

蒸気影響評価では溢水ガイドに従って、溢水源を抽出している。

具体的には、高エネルギー配管のうち低温配管及び低エネルギー配管は、破損時に蒸気を放出することはないことから没水、被水影響評価の溢水源とし、蒸気影響評価では、低温配管を除く高エネルギー配管を溢水源として抽出している。

ただし、溢水ガイドにおいて高エネルギー配管は25A (1B) を超える配管であるが、蒸気影響を評価する上では25A (1B) 以下の配管についても、破断時の溢水量はそれを超える口径の配管破断時より少ないものの蒸気の拡散による防護対象設備への影響を考慮する必要があることから破損を想定することとして抽出している。

上記の考え方に基づいて抽出された蒸気影響を考慮すべき高エネルギー配管等を有する系統を表2に示す。

表 2 蒸気影響評価対象選定表

高エネルギー配管等を有する系統	設置場所 <sup>(注4)</sup>	2項で評価	蒸気影響評価対象
		低温配管	
1次冷却材系統	C/V	—	○
化学体積制御系統（充てん配管）（封水注入系統含む）	C/V	—	○
化学体積制御系統（抽出配管）	C/V	—	○
化学体積制御系統（充てん配管）（封水注入系統含む）	A/B, R/B	○	—
化学体積制御系統（抽出配管）	R/B	—	○
主給水系統（補助給水系統含む）	MS室	—	○
主蒸気系統（ドレン系統含む） <sup>(注1)</sup>	MS室	—	○
	R/B（MS室外）	—	○
補助蒸気系統	A/B, R/B	—	○
蒸気発生器ブローダウン系統	MS室	—	○
	R/B（MS室外）	—	○
蒸気発生器ブローダウンサンプル系統 <sup>(注2)</sup>	MS室	—	○
（2次系高温・高圧系統）	T/B	—	— <sup>(注3)</sup>

(注1) タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気配管は、タービン動補助給水ポンプ室にも設置されているが、本配管が破損した場合にはタービン動補助給水ポンプ関連設備の機能が喪失するため、当該ポンプの蒸気影響評価は実施しない。

(注2) 蒸気影響を確認する呼び径25A(1B)以下の配管。

(注3) 2次系の高エネルギー配管等は、設置されているタービン建屋に防護対象設備がないことから、評価対象外としている。

(注4) 「原子炉格納容器：C/V」，「原子炉建屋：R/B」，「原子炉補助建屋：A/B」，「主蒸気管室：MS室」，「タービン建屋：T/B」のこと。以降も同じ。

## 2. 原子炉格納容器及び主蒸気管室内の評価結果

原子炉格納容器及び主蒸気管室内の防護対象設備は、LOCA、MSLB環境でも機能喪失しない耐環境性能を有する設備（LOCA仕様品）を適用している。

原子炉格納容器内高エネルギー配管破断（大LOCA）等を含む、各プラントの事故時解析結果を包絡する条件においても耐環境性能を有していることを確認している。（補足説明資料18）

よって、原子炉格納容器及び主蒸気管室内の防護対象設備は想定される環境下において機能を損なうことはない。

## 3. 原子炉建屋内及び原子炉補助建屋内の評価結果

原子炉建屋内及び原子炉補助建屋内の蒸気影響評価対象の高エネルギー配管を有する系統は、表2より「化学体積制御系統（抽出配管）」，「補助蒸気系統」，「蒸気発生器ブローダウン系統（主蒸気管室外）」及び「主蒸気系統（主蒸気管室外）」である。

抽出配管は、通常運転中、非再生冷却器により約50℃まで冷却されることから、評価対象範囲

は「原子炉格納容器貫通部～非再生冷却器」の間となる。(図3)

補助蒸気系統は、負荷の下流側に設置されたスチームトラップ以降で完全に復水となり、温度、圧力とも低下して蒸気影響はなくなることから、評価対象範囲は「供給配管～スチームトラップ」の間となる。(図4)

蒸気発生器ブローダウン系統(主蒸気管室外)は、蒸気発生器ブローダウンタンクにつながる系統のうち、C/V外で「主蒸気管室外」に施工されている範囲を評価対象範囲とする。(図5)

主蒸気系統(主蒸気管室外)は、タービングランド蒸気に繋がる系統のうち、C/V外で「主蒸気管室外」に施工されている範囲を評価対象範囲とする。(図6)

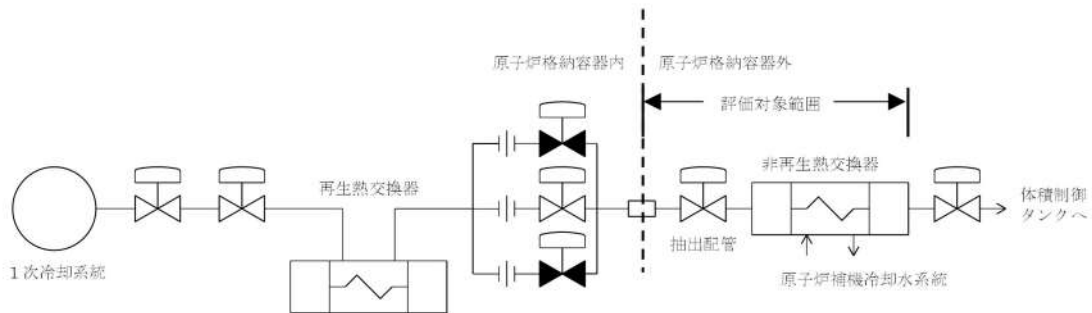


図3 化学体積制御系統(抽出配管)概要

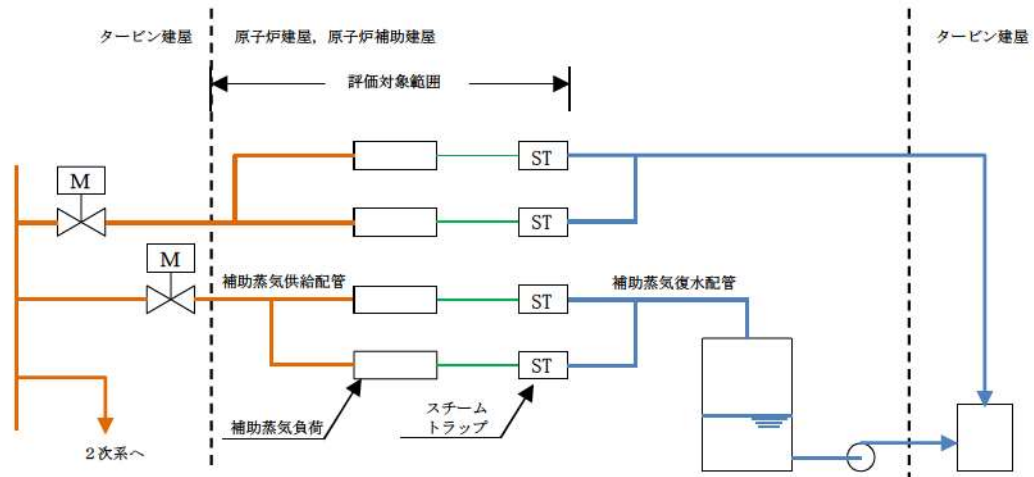


図4 補助蒸気系統概要

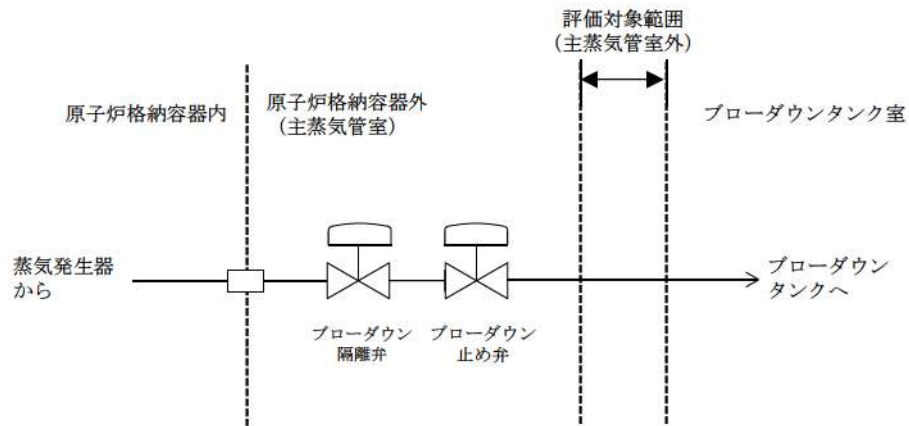


図5 蒸気発生器ブローダウン系統（主蒸気管室外）概要

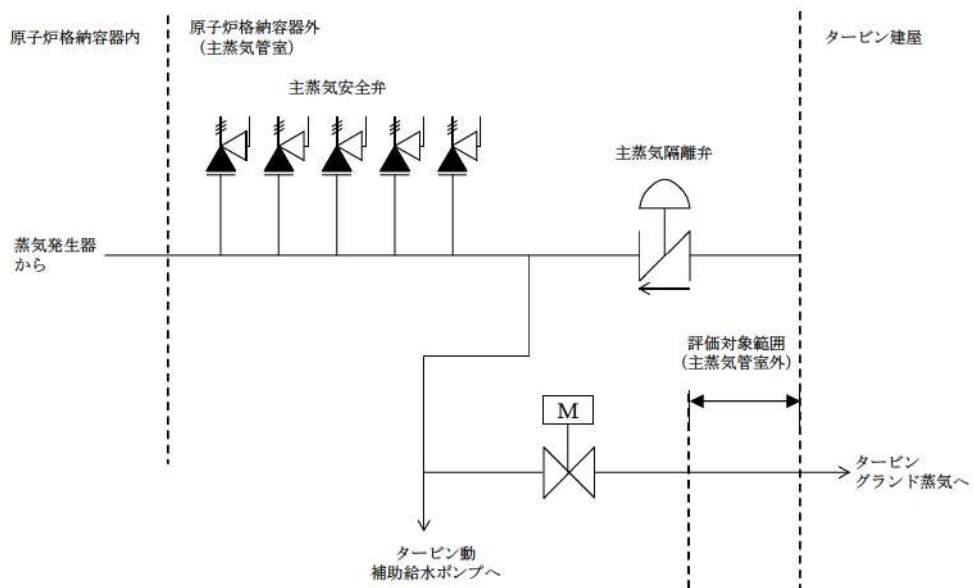


図6 主蒸気系統（主蒸気管室外）概要

#### 4. 蒸気評価配管の想定破損について

蒸気評価配管は、防護対象設備への蒸気影響評価をする上で、原因を特定しない以下の破損を想定する。

なお、評価上の破損の想定位置は1箇所とし、複数箇所の同時破損は考慮しない。

補助蒸気系統のうち、25A 超過配管（ターミナルエンド部を除く）配管については、溢水ガイドに基づいた応力評価を行い、1次応力+2次応力  $S_n$  が許容応力  $S_a$  の0.8倍以下であることを確認していることから、破損の大きさは、同様に溢水ガイドに基づき、配管内径の1/2の長さと同様に配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラックを想定する。その他の配管については、完全全周破断を想定する。（補足説明資料24）

蒸気発生器ブローダウン系統（主蒸気管室外）及び主蒸気系統（主蒸気管室外）は、溢水ガイドに基づいた応力評価を行い、1次応力+2次応力  $S_n$  が許容応力  $S_a$  の0.4倍以下であることを確認する方針とし、破損は想定しない。

#### 5. 蒸気影響評価の実施手順について

図3～図6で示した評価対象範囲について蒸気影響評価を実施した。評価に当たっては、次の手順1～6で実施した。

- 手順1 防護対象設備の抽出（没水、被水、蒸気共通）
- 手順2 想定破損対象の高エネルギー配管の特定
- 手順3 高エネルギー配管からの蒸気漏えい影響範囲の設定
- 手順4 高エネルギー配管の破損形状の決定
- 手順5 蒸気拡散解析の実施（蒸気影響低減対策を考慮）
- 手順6 解析結果と防護対象設備の健全性確認

泊発電所3号炉の1例（R/B T.P.17.8m 非再生冷却器室付近）を次ページ以降に示す。


##### （1）手順1 防護対象設備の抽出

防護対象設備は、重要度の特に高い安全機能を有する系統並びに使用済燃料ピットの冷却機能及び給水機能を有する系統から選定した。



青字 防護対象設備

図7 防護対象設備の抽出

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(2) 手順2 想定破損対象の高エネルギー配管の特定

蒸気影響を考慮すべき評価対象範囲の配管を特定した。

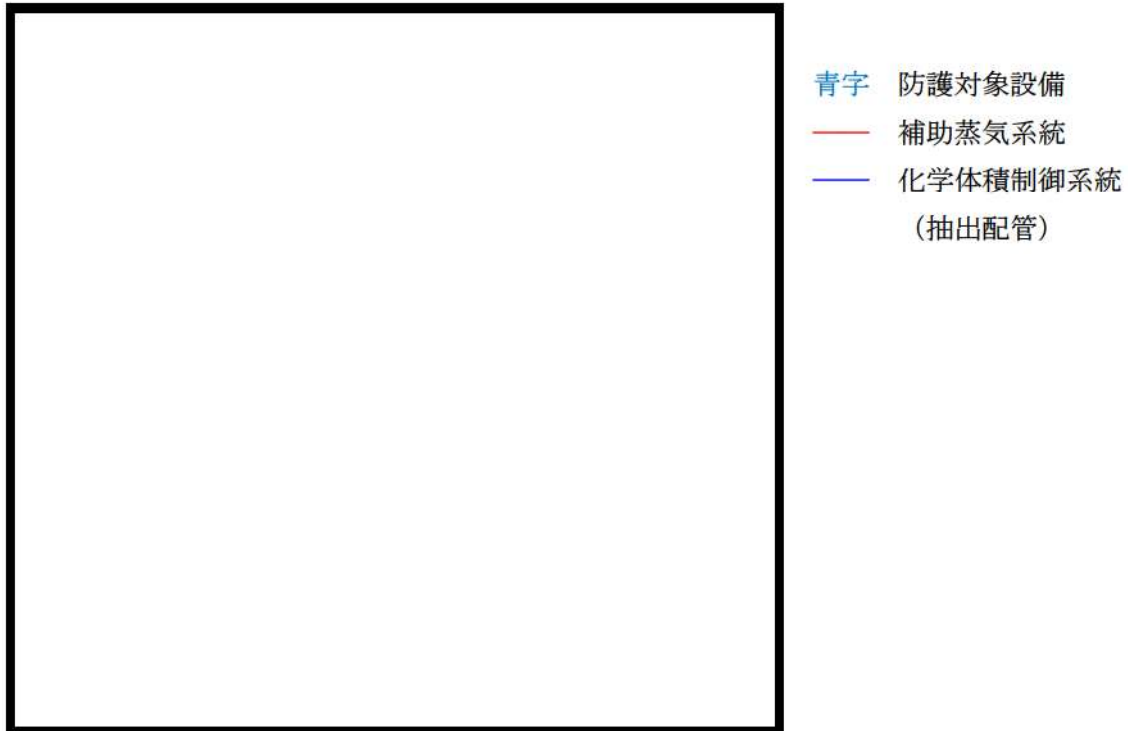


図8 高エネルギー配管の特定

(3) 手順3 高エネルギー配管からの蒸気漏えい影響範囲の設定

高エネルギー配管からの蒸気漏えい影響範囲にあるかを確認した。蒸気漏えい影響範囲は、漏えい対象の高エネルギー配管から、開口部及び貫通部のない壁等までとした。

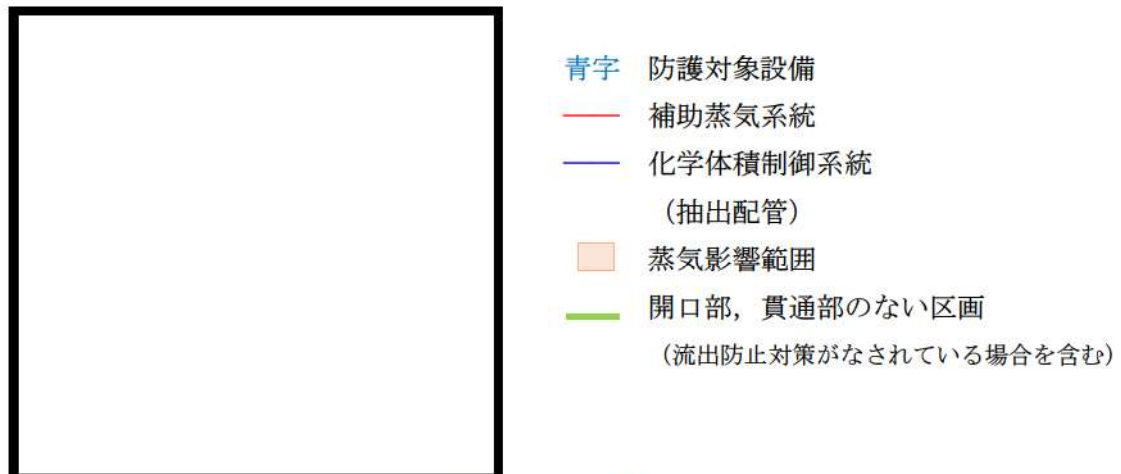


図9 蒸気漏えい影響範囲の設定

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(4) 手順4 高エネルギー配管の破損形状の決定

破損形状は補助蒸気系統以外の配管は完全全周破断を想定，補助蒸気系統は図10のフローに基づき決定した。

なお，蒸気発生器ブローダウン系統（主蒸気管室外）及び主蒸気系統（主蒸気管室外）は応力評価により破損しないことを確認した。

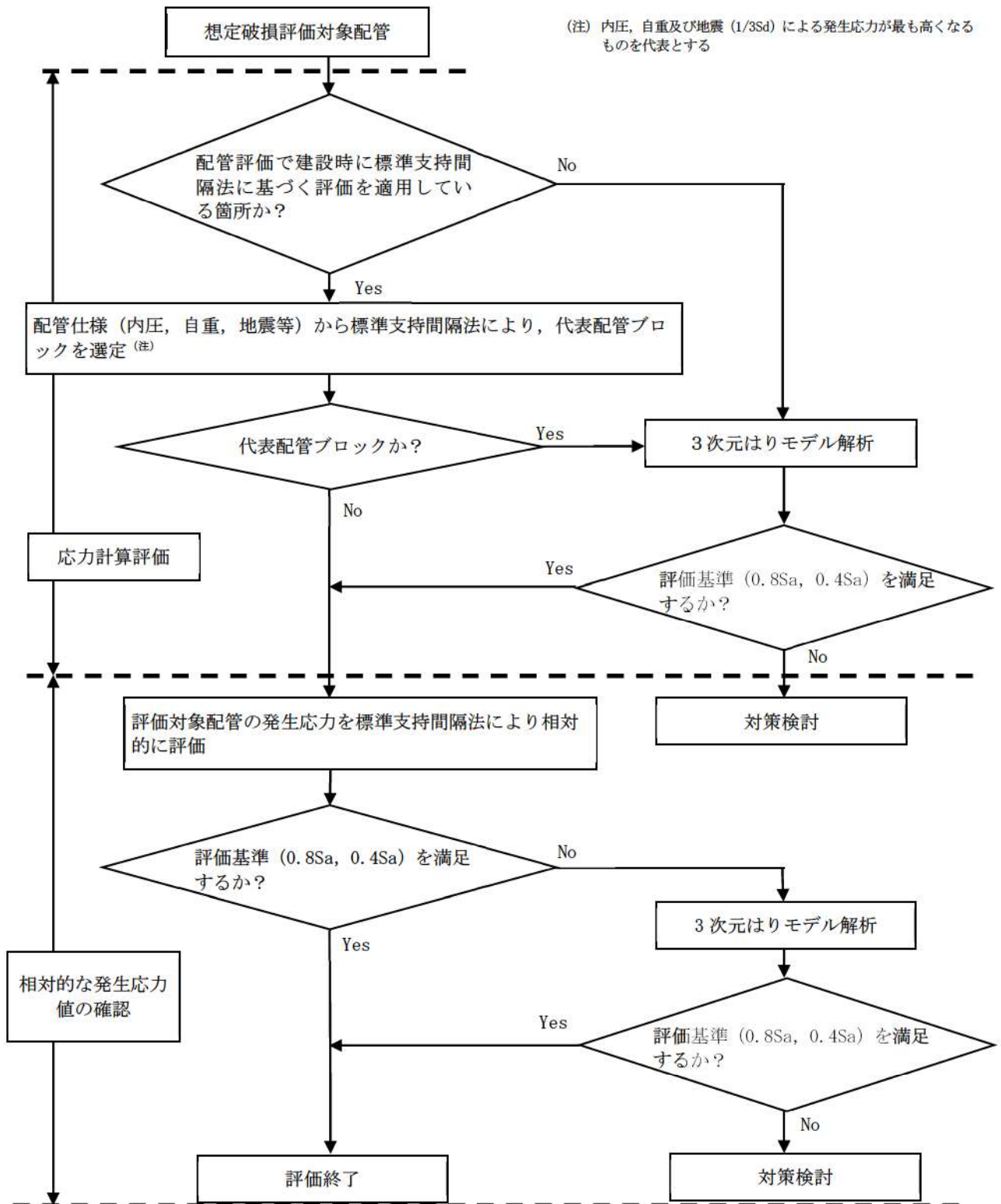


図 10 高エネルギー配管の破損形状の評価フロー



## (5) 手順5 蒸気拡散解析の実施

### ①解析コードについて

今回、蒸気拡散解析には、米国 NAI 社 (Numerical Applications Inc.) により開発された汎用熱流解析コードである GOTHIC コードを用いた。(補足説明資料 19)

GOTHIC コードは、質量、エネルギー及び運動量の 3 保存則を気相、液相、液滴相の各流体場に適用し状態方程式、熱伝導方程式、各種構成式、相関式等を解くことにより流体、構造材の相互作用、機器の動作を考慮した過渡解析が可能で、空間は解析区画として模擬され、それらはパスにより接続される。

今回の蒸気拡散解析では、一定の区画を集中定数系のボリュームとして定義し、パスで接続された区画の蒸気拡散を評価した。

なお、当該コードの妥当性については、MHI (メーカー) により解析結果と試験データとの比較により確認されている。

また、当該コードの解析に当たっては解析業務の品質を確保するため、事業者による解析結果等の検証を実施している。

### ②主なインプットデータ

蒸気拡散解析における主なインプットデータは以下のとおり。

- ・ 区画体積及びパス開口面積
- ・ 空調条件 (給排気量及び位置)
- ・ 区画初期条件 (温度, 湿度, 圧力)
- ・ 破損想定機器 (高エネルギー配管) からの質量流量及びエネルギー放出量

### ③主なアウトプットデータ

蒸気拡散解析における主なアウトプットデータは以下のとおり。

- ・ 区画ごとの環境条件 (温度及び湿度)

### ④解析の保守性について

防護対象設備の健全性を確認する判断基準は温度であるため、解析結果において解析区画のピーク温度が高くなるように以下のとおり解析条件を保守的に設定した。

- ・ 放出流量は、安全解析の ECCS 性能評価でも認められた臨界流モデルを用いて算出
- ・ ヒートシンクとなる構造物 (コンクリート壁等) への熱伝達による温度低下を考慮しない
- ・ 温度検出器等の計測設備の応答遅れを保守的に設定し、検知までの時間を長めに設定
- ・ 蒸気しゃ断弁の閉止時間を実動作時間 (21 秒) に対し長め (25 秒) に設定
- ・ 蒸気しゃ断弁閉止動作中の蒸気放出流量は弁全開時と同じとして設定

### ⑤蒸気拡散解析の方法について

- ・ 手順 3 で設定した蒸気漏えい影響範囲を空調の流れを模擬できるように蒸気拡散解析区画

に分割

- ・ 蒸気拡散解析区画内にある高エネルギー配管の想定破損時の各解析区画の環境条件を解析

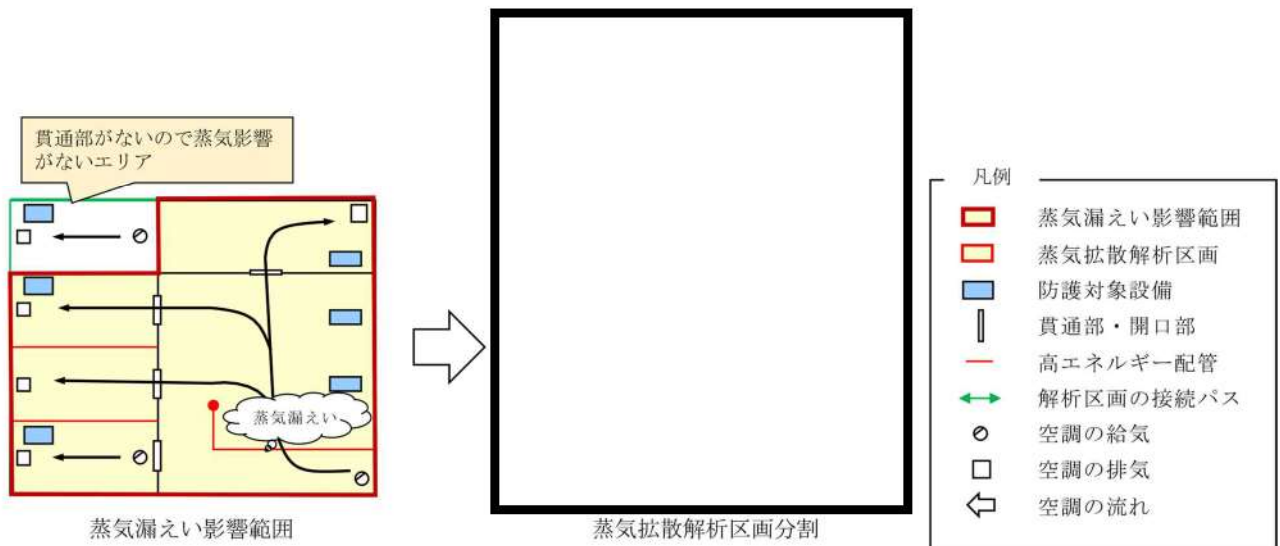


図 11 GOTHIC のモデル設定例

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(6) 手順6 解析結果と防護対象設備の健全性確認 (補足説明資料 20)

① 蒸気拡散解析結果の例

蒸気拡散解析結果の例を 2 例示す。

- ・ 例 1 抽出配管 3B ターミナルエンド完全全周破断の例

温度検出器による検知 (50℃以上で温度高警報, 60℃以上で温度異常高警報), その他パラメータを踏まえて中央から手動隔離することで防護対象設備の確認済耐環境温度 (120℃) 以下に抑えられることが確認できた。

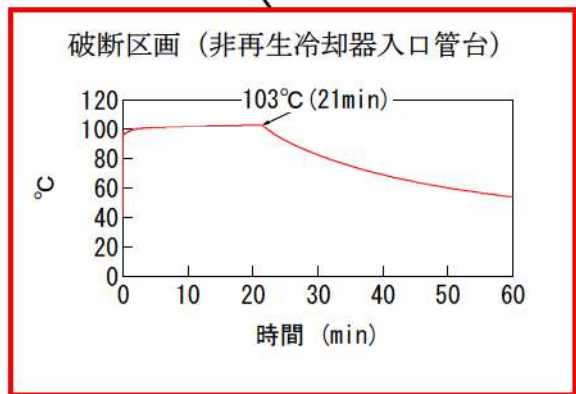
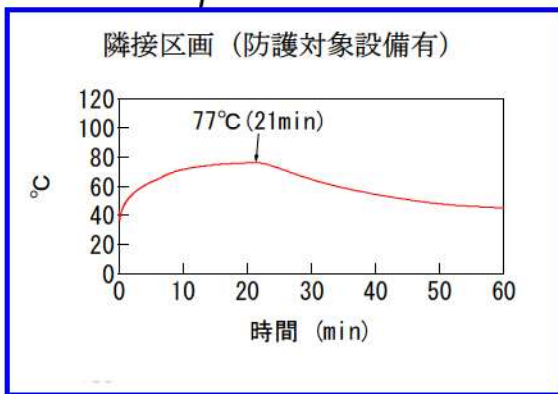
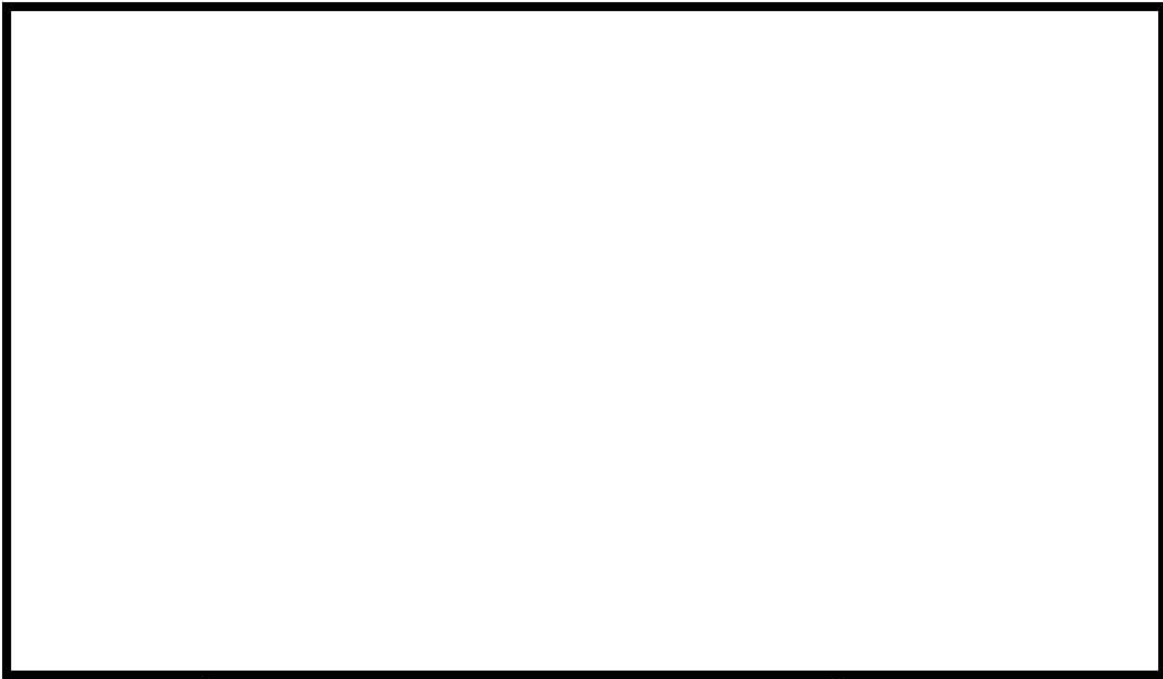



図 12 例 1 の結果

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

・例2 補助蒸気系統 1B 一般部完全全周破断の例

温度検出器による検知 (60℃) で蒸気しゃ断弁を自動閉止することで防護対象設備の確認済耐環境温度 (120℃) 以下に抑えられることが確認できた。

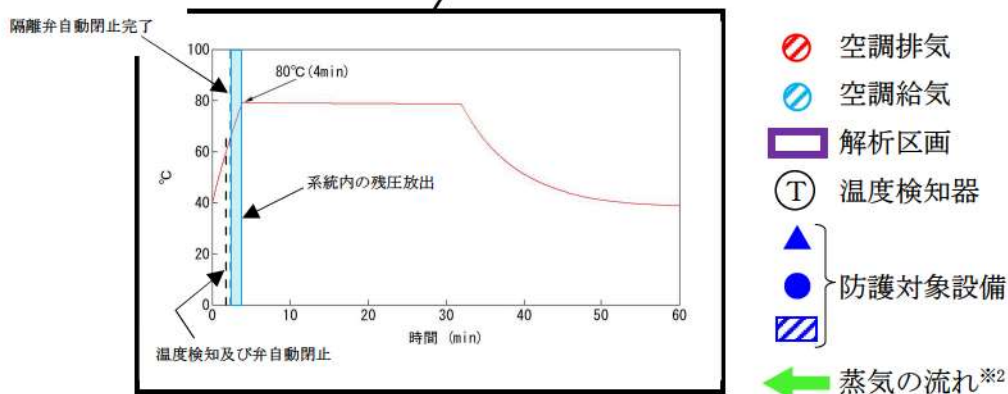


図13 例2の結果

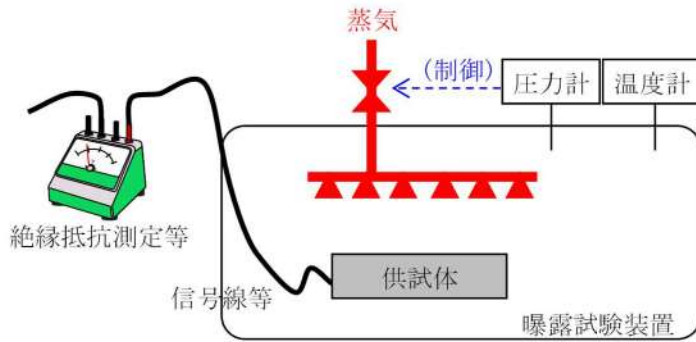
枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

②防護対象設備の耐蒸気性能について

防護対象設備が、120℃の耐蒸気性能を有することを蒸気曝露試験により確認した。※1 (補足説明資料 22)

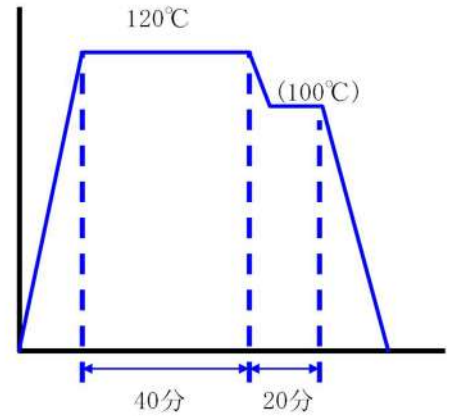
試験方法は次のとおりである。

- ・試験対象設備は蒸気影響を受ける区画に設置された防護対象設備から網羅的に抽出
- ・試験温度プロファイルは、解析結果を包絡する系統自動／手動隔離時の蒸気拡散解析結果を考慮
- ・供試体に蒸気を直接噴霧し、蒸気曝露中<sup>※2</sup>及び蒸気曝露後に信号や実動作により健全性を確認



【供試体】 電動弁，空気作動弁，ダンパ，伝送器，  
流量設定器，温度スイッチ，現場盤 等

蒸気曝露試験イメージ図



試験温度プロファイル

図 14 蒸気曝露試験概要

※1 モータ及び電気ヒータは机上評価を実施

※2 蒸気曝露中に信号，実動作による健全性を確認できないものについては，曝露後の状態から曝露中の健全性を考察

## 原子炉格納容器及び主蒸気管室内防護対象設備の溢水影響について

本資料は、原子炉格納容器及び主蒸気管室内防護対象設備の溢水影響についてまとめたものである。

I. では原子炉格納容器内防護対象設備の溢水影響について、II. では原子炉格納容器内機器の耐環境性試験におけるスプレイ条件について、III. では主蒸気管室内防護対象設備の蒸気影響について記載する。

## I. 原子炉格納容器内防護対象設備の溢水影響について

## 1. 原子炉格納容器内の主蒸気管，主給水管の破断について

耐環境性仕様である防護対象設備は、原子炉格納容器内において想定される設計基準事故として、LOCAだけでなく主蒸気管破断（以下「MSLB」という）も考慮した検証を実施している。具体的には、図1に示すようなプロファイルで環境試験を実施しており、このプロファイルは、LOCA及びMSLBの両者の環境条件を考慮して設定したものである。

なお、主給水管破断については、MSLBよりも原子炉格納容器内に放出されるエネルギーが小さいことから、MSLBの環境条件に包絡される。

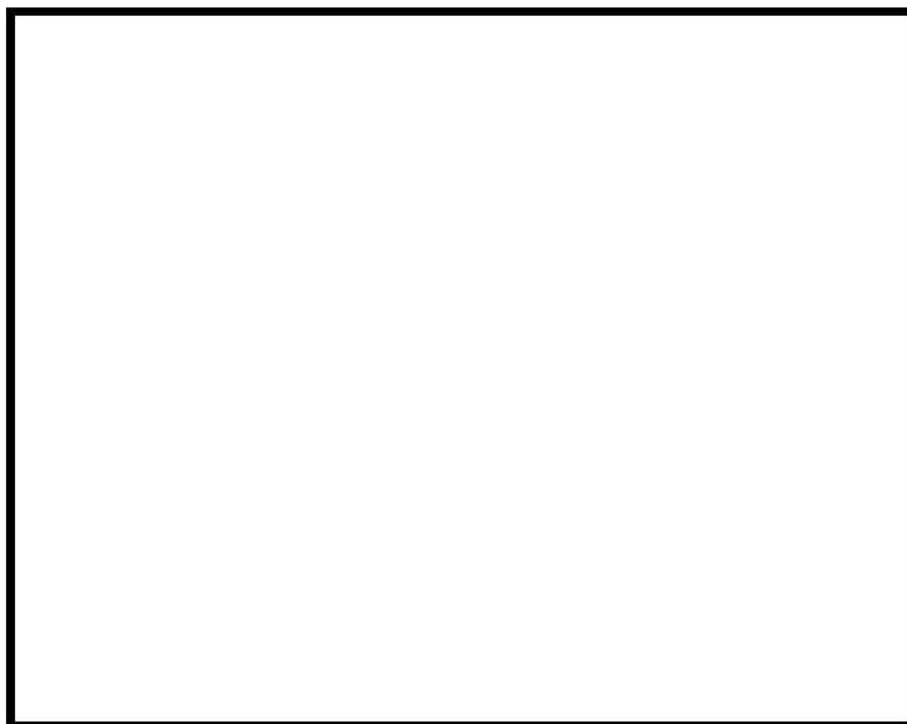


図1 LOCA, MSLBを考慮した温度及び圧力変化（典型的な例）

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 2. 原子炉格納容器内防護対象設備の保守管理について

耐環境性仕様である原子炉格納容器内の防護対象設備については、定期点検及び定期取替えを実施し、プラントの安全機能に影響のないようにしている。

定期点検については、外観点検及び絶縁抵抗測定その他、各設備に応じた特性試験及び入出力試験を実施している。

また、定期取替えについては、検証寿命等を考慮して取替えの周期を定め、この周期内での取替えを実施している。

表1 格納容器内高レンジエリアモニタの保守管理の例

点検内容	点検周期 [回/定検]
外観点検	1/1
絶縁抵抗測定	1/1
静電容量測定	1/1
特性試験	1/1
入出力試験	1/1
定期取替	1/9

表2 原子炉格納容器内防護対象設備の定期取替周期

設備		取替周期
電動弁駆動装置		- ※1
空気制御弁	リミットスイッチ	～15年
	電磁弁	～6年
伝送器		～17年
温度計		～28年
中性子束検出器		～5年
格納容器内高レンジエリアモニタ		～30年

※1 60年の健全性を確認済み

## 3. 原子炉格納容器内防護対象設備の溢水影響評価について

耐環境性仕様である原子炉格納容器内防護対象設備については、LOCA時の原子炉格納容器内環境に対して機能維持が図れるよう、以下のことを確認している。確認結果の一覧は別表に示す。

### (1) 被水影響

LOCAに伴い原子炉格納容器内圧力が上昇すると、格納容器スプレイが動作し、スプレイ水により防護対象設備が被水する。原子炉格納容器内防護対象設備は、スプレイ水に対しても

機能維持が図れることを1. に述べた環境試験により確認している。

(2) 没水影響

LOCAに伴う炉心注入及び格納容器スプレイにより、燃料取替用水ピット及び蓄圧タンクの保有水が原子炉格納容器内に注水される。LOCA時に機能要求のある防護対象設備は、1次冷却系の漏えい水の他、これらの保有水全量が原子炉格納容器内にたまった場合においても、没水しない高さに設置している。

(3) 蒸気影響

LOCAに伴い原子炉格納容器内には蒸気が充満する。

原子炉格納容器内防護対象設備は、蒸気環境下においても機能維持が図れることを1. に述べた環境試験により確認している。



泊発電所3号炉 原子炉格納容器内防護対象設備リスト (1/2)

系 統	機器名称	機器番号	没水評価 <sup>※1</sup> 機能喪失高さ (T.P.)	被水 評価	蒸気 評価
1次冷却 系統	加圧器逃がし弁	3PCV-452A, B	○39.1m	○	○
化学体積 制御系統	1次冷却材ポンプ封水戻りライン C/V内側隔離弁	3V-CS-254	○18.3m	○	○
安全注入 系統	高压注入ポンプ出口 C/V内側隔 離弁	3V-SI-061A, B	○18.3m	○	○
	高温側高压注入A(B)ライン止 め弁	3V-SI-062A, B	○18.3m	○	○
余熱除去 系統	余熱除去A(B)ライン入口止め 弁	3PCV-410, 430	○20.6m	○	○
	余熱除去ポンプ入口 C/V内側隔 離弁	3V-RH-002A, B	○15.185m	○	○
	余熱除去冷却器出口 C/V内側隔 離弁	3V-RH-033A, B	○18.3m	○	○
	高温側低圧注入ライン止め弁	3V-RH-034A, B	○18.3m	○	○
原子炉補機 冷却水系統	1次冷却材ポンプ補機冷却水出口 C/V内側隔離弁	3V-CC-526	○18.3m	○	○
試料採取 系統	Bループ高温側サンプリングラ インC/V内側隔離弁	3V-SS-514	○21.0m	○	○
	Cループ高温側サンプリングラ インC/V内側隔離弁	3V-SS-519	○21.0m	○	○
制御用空気 系統	制御用空気原子炉格納容器内供 給弁	3V-IA-514A, B	○18.3m	○	○
格納容器減圧 設備及び 格納容器水素 制御設備	格納容器減圧ライン格納容器内 側隔離弁	3V-DP-001A, B	○36.1m	○	○
放射線監視設 備空気サンプ リング系統	格納容器空気サンプル取出し格 納容器内側隔離弁	3V-RM-001	○36.8m	○	○

※1 溢水水位：T.P. 15.1m

泊発電所3号炉 原子炉格納容器内防護対象設備リスト (2/2)

系 統	機器名称	機器番号	没水評価※1 機能喪失高さ (T. P.)	被水 評価	蒸気 評価
計測制御系	1次冷却材圧力	3PT-410, 430	○18.8m	○	○
	1次冷却材高温側温度 (広域)	3TE-410, 420, 430	○23.0m	○	○
	1次冷却材低温側温度 (広域)	3TE-417, 427, 437	○22.2m	○	○
	1次冷却材高温側温度 (狭域)	3TE-411A, 413A, 415A, 3TE-421A, 423A, 425A 3TE-431A, 433A, 435A 3TE-441A, 443A, 445A	○22.0m	○	○
	1次冷却材低温側温度 (狭域)	3TE-411B, 421B, 431B, 441B	○22.0m	○	○
	加圧器圧力	3PT-451, 452, 453, 454	○25.8m	○	○
	加圧器水位	3LT-451, 452, 453, 454	○18.8m	○	○
	格納容器再循環サンプ水位 (狭域, 広域)	3LT-620, 630 3LT-621, 631	○15.5m	○	○
	中性子源領域検出器	3NE31, 32	○17.5m	○	○
	出力領域検出器	3NE41A, B 3NE42A, B 3NE43A, B 3NE44A, B	○17.5m	○	○
	蒸気発生器水位 (広域)	3LT-464, 474, 484	○18.8m	○	○
	蒸気発生器水位 (狭域)	3LT-460, 461, 462, 463 3LT-470, 471, 472, 473 3LT-480, 481, 482, 483	○25.8m	○	○
	格納容器高レンジエリアモニタ (低レンジ)	3RE-91A, 92A	○40.2m	○	○
	格納容器高レンジエリアモニタ (高レンジ)	3RE-91B, 92B	○40.2m	○	○
	1次冷却材流量	3FT-412, 413, 414, 415 3FT-422, 423, 424, 425 3FT-432, 433, 434, 435	※2	※2	※2

※1 溢水水位：T. P. 15.1m

※2 LOCA 時に機能要求なし

## II. 原子炉格納容器内機器の耐環境性試験におけるスプレイ条件について

### 1. 耐環境性試験の試験条件の考え方

原則として、米国の民間規格 IEEE-323 を参考に、実機条件及び試験装置条件を考慮して設定する。

なお、格納容器スプレイによる被水については、機器のシール性能が確認できれば機能への影響はないものと判断している。

表 3 実機条件と試験条件の比較

	試験条件 (伝送器の例)	実機条件 (泊発電所 3 号炉)	IEEE-323
スプレイ 流量	63.7 [L/min/m <sup>2</sup> ]	12.5 [L/min/m <sup>2</sup> ]	6.1 [L/min/m <sup>2</sup> ]
スプレイ 時間	24 [h]	24 [h] 以上	24 [h]

### 2. スプレイ条件の保守性に関する考察

格納容器スプレイは図 1 のとおり、LOCA 後の環境温度、圧力が高い条件で 24 時間実施している。

この条件でシール性能に問題のないことを確認できれば、温度、圧力が低下した 24 時間以降のシール性能についても問題はないと考えられ、IEEE-323 にしたがったスプレイ条件は試験条件として妥当と判断している。

## III. 主蒸気管室内防護対象設備の蒸気影響について

### 1. 主蒸気管室の区画分離について

主蒸気管室（以下「MS 室」という）は、主蒸気管破断（以下「MSLB」という）が発生した場合においても蒸気の影響が他の区画に伝播することのないよう、区画分離した設計としている。

具体的には以下のとおりである。

#### <区画分離>

MS 室と他の区画との境界には、配管貫通部及びケーブル貫通部が存在するが、MSLB によって発生した蒸気が他の区画に流入することのないよう、隙間にはシール処理を施している。区画分離のイメージを図 2、シール処理の例を図 3 に示す。

#### <空調設備>

MS 室には、空調設備として給気ファンを備えているが、空調ダクトは他の区画を経由せず、直接屋外で給排気している。

<その他>

MS 室にはブローアウトパネルを設置しているが、ブローアウトパネルが開放した場合においても、蒸気は他の区画を経由せず、直接タービン建屋に逃がす構造としている。

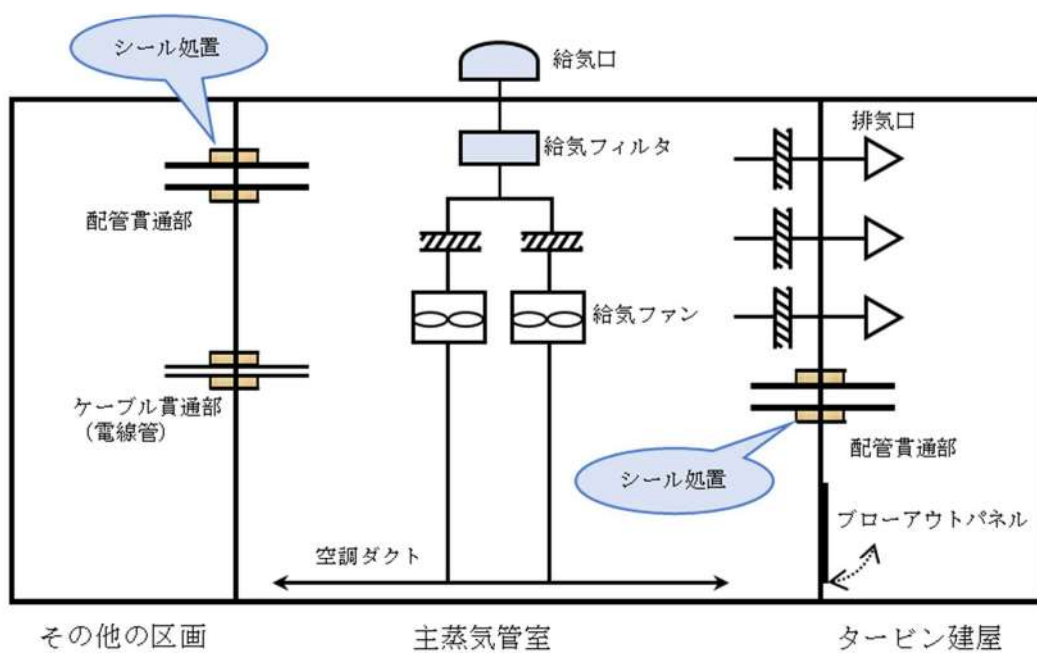
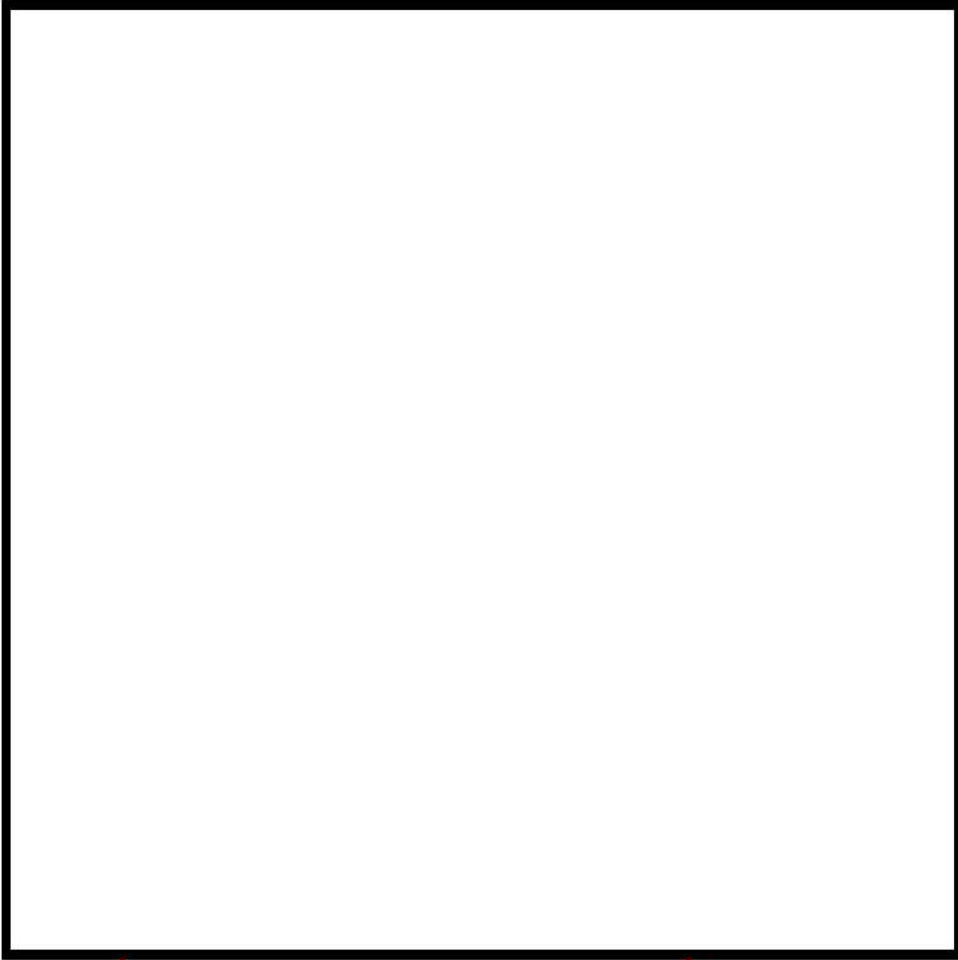


図2 主蒸気管室の区画分離のイメージ図




電線管貫通部



配管貫通部

図3 シール処理の例

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 2. MS 室の環境条件及び防護対象設備について

MS 室内の防護対象設備は、設計基準事故において環境条件が最も厳しくなるMSLBに伴う蒸気影響に対しても、機能維持が図れるよう考慮している。

以下に、MSLB時のMS室の環境条件の考え方を表4に防護対象設備の一覧を示す。

### ①圧力条件

MSLB時には、配管から放出される蒸気によりMS室全域の温度及び圧力が上昇する。MS室には減圧装置としてブローアウトパネルを設置しているため、圧力は保守的にMS室の設計耐圧まで上昇すると想定する。

### ②温度条件

MS室の温度は、MSLBにより圧力がMS室の設計圧力まで上昇すると仮定し、飽和蒸気の等エンタルピ変化により得られる温度まで上昇すると想定する。

### ③隔離条件

MS室の温度、圧力の上昇は、MSLB発生から原子炉トリップ及び破損SGの隔離までの時間、プラントの安定に要する時間、残留蒸気の放出終了までの時間を考慮する。蒸気停止後は隣接区画、タービン建屋への熱伝達を考慮した放熱量から温度低下時間を設定する。

上記①～③に基づき設定したMS室内の温度変化を図4に、環境条件を表4に示す。

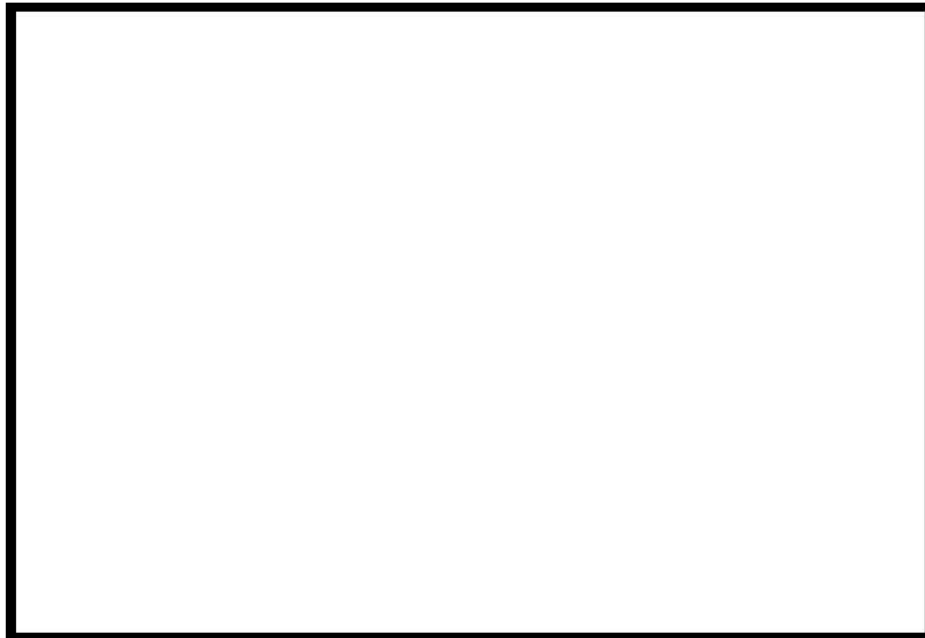


図4 MSLB時のMS室内温度変化（環境条件）

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表 4 MS 室内の環境条件

プラント	設計耐圧 Pd [MPa]	最高温度 T1 [°C]	環境条件 [°C]
泊発電所 3 号炉	□	□	□

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表 5 MS 室内の防護対象設備の一覧

防護対象設備	種類	構成品 (電気計装品)	備考
補助給水隔離弁	電動弁	駆動装置	
主給水隔離弁	電動弁	駆動装置	
主蒸気逃がし弁	空気作動弁	リミットスイッチ 電磁弁 減圧弁 ダイヤフラム	
主蒸気隔離弁	空気作動弁	リミットスイッチ	電気計装品を含む付属 パネルは MS 室外に設置

## GOTHIC コードについて

## 1. 概要

- GOTHIC コードは、原子力発電プラントの格納システムの事故解析を主目的に、米国 NAI 社により開発された汎用熱流動解析コードである。
- コードは、質量、エネルギー及び運動量の3保存則を気相、液相、液滴相の各流体場に適用し、状態方程式、熱伝導方程式、各種構成式相関式等を解くことにより、流体、構造材の相互作用、機器の動作を考慮した過渡解析が可能である。
- 空間は解析区画として模擬され、それらはパスにより接続される。
- 蒸気拡散解析では、一定の区画を集中定数系のボリュームとして定義し、パスで接続された区画の蒸気拡散を評価する。

## 2. 蒸気拡散解析における主要なインプットデータ及びアウトプットデータ

## (1) インプットデータ

- 区画体積及びパス（ダクト含む。）開口面積
- 空調条件（給排気量及び位置）
- 区画初期条件（圧力、温度及び湿度）
- 想定破損機器（高エネルギー配管）からの質量流量及びエネルギー放出量



図 1 GOTHIC コードのインプット、アウトプットデータ

## (2) アウトプットデータ

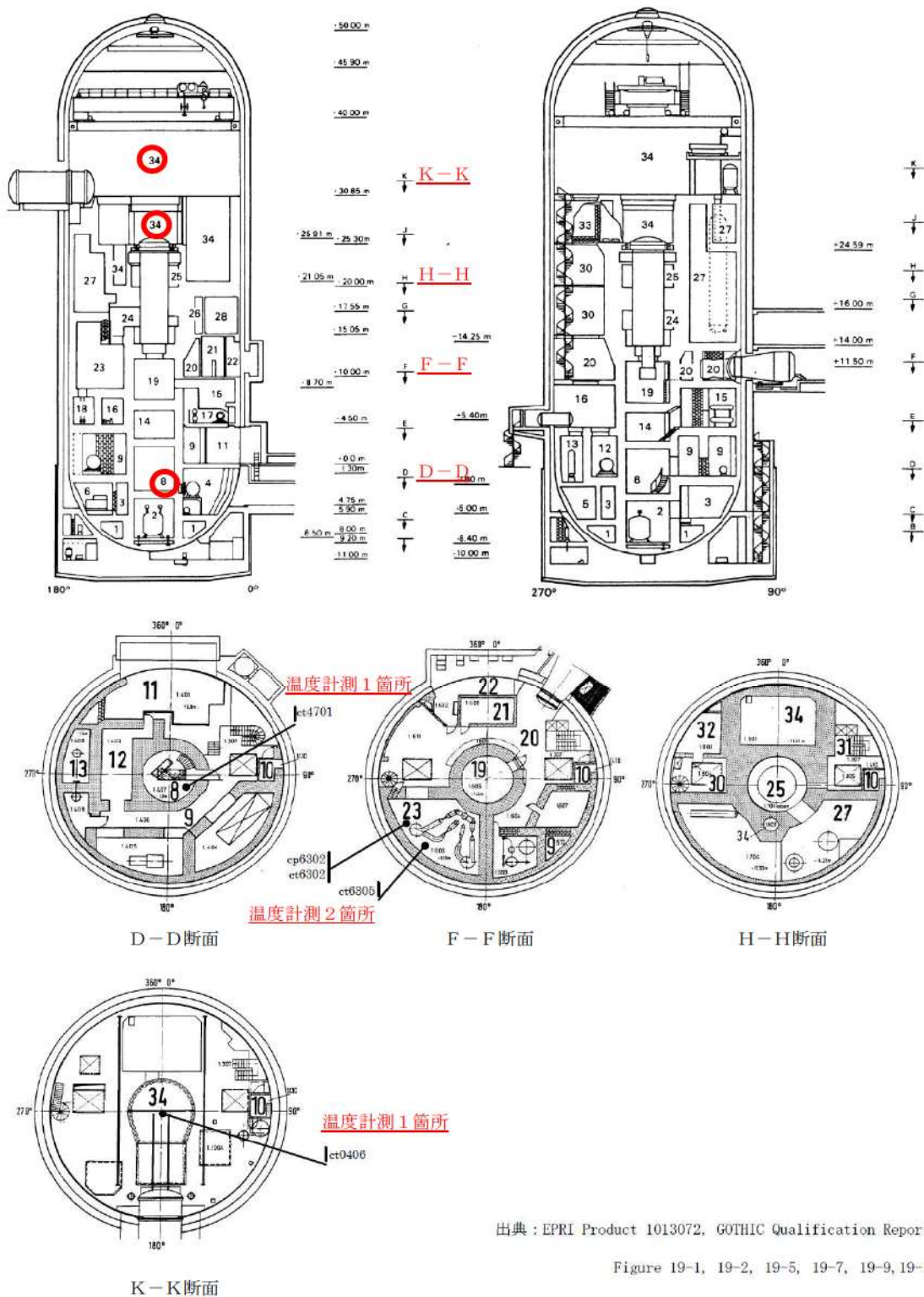
- 区画ごとの環境条件（温度及び湿度）

## 3. モデルの妥当性について

GOTHIC コードは、蒸気拡散解析の妥当性を確認するため、ドイツの廃炉施設を利用した HDR (Heissdampfreaktor) 試験で実験解析し、想定破損機器（高エネルギー配管）から放出される蒸気の区画間拡散挙動を適切に再現できることを確認している。



○ : 温度計測領域



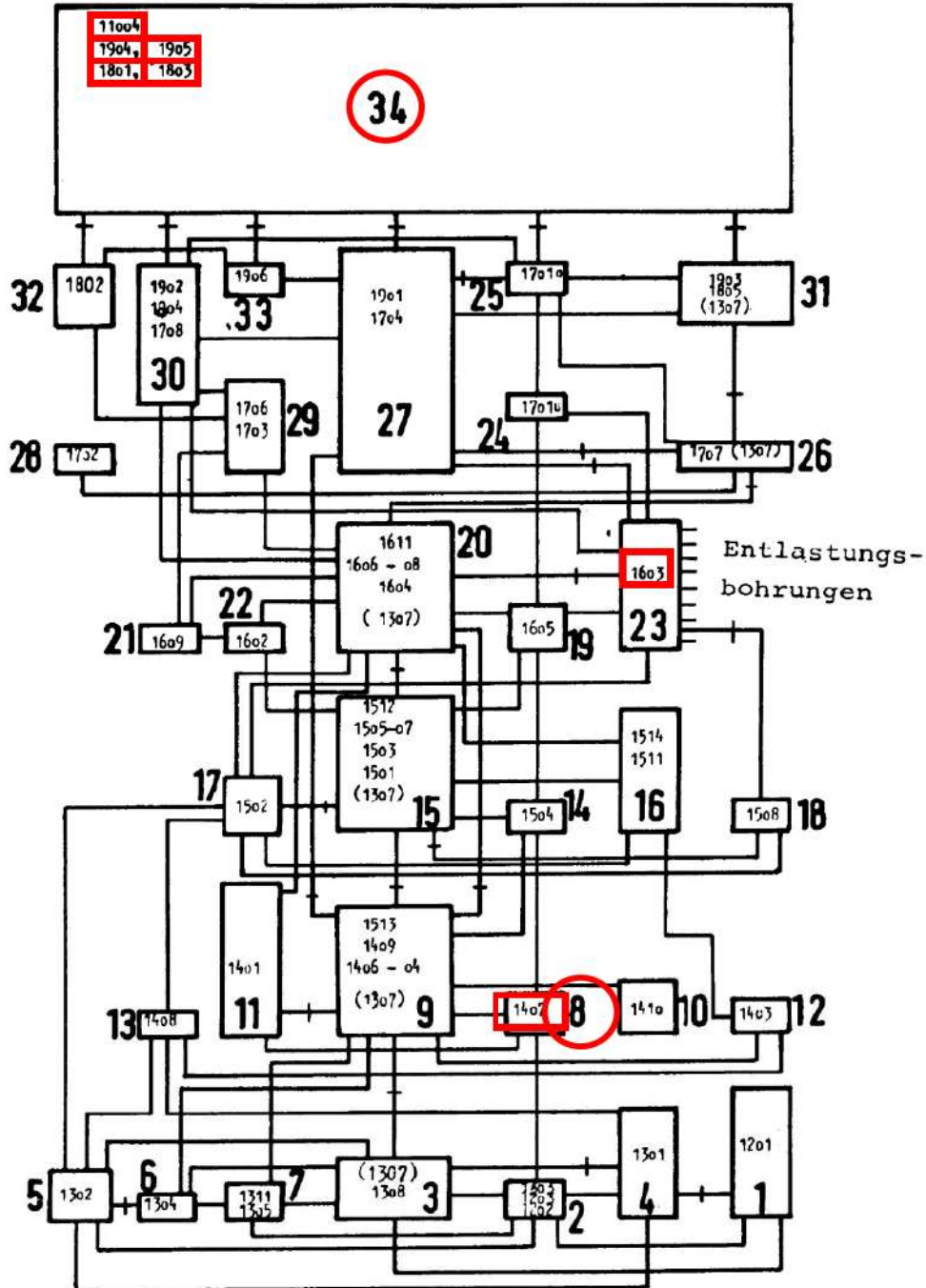
出典: EPRI Product 1013072, GOETHIC Qualification Report,

Figure 19-1, 19-2, 19-5, 19-7, 19-9, 19-11

図 2 HDR 試験設備の概要

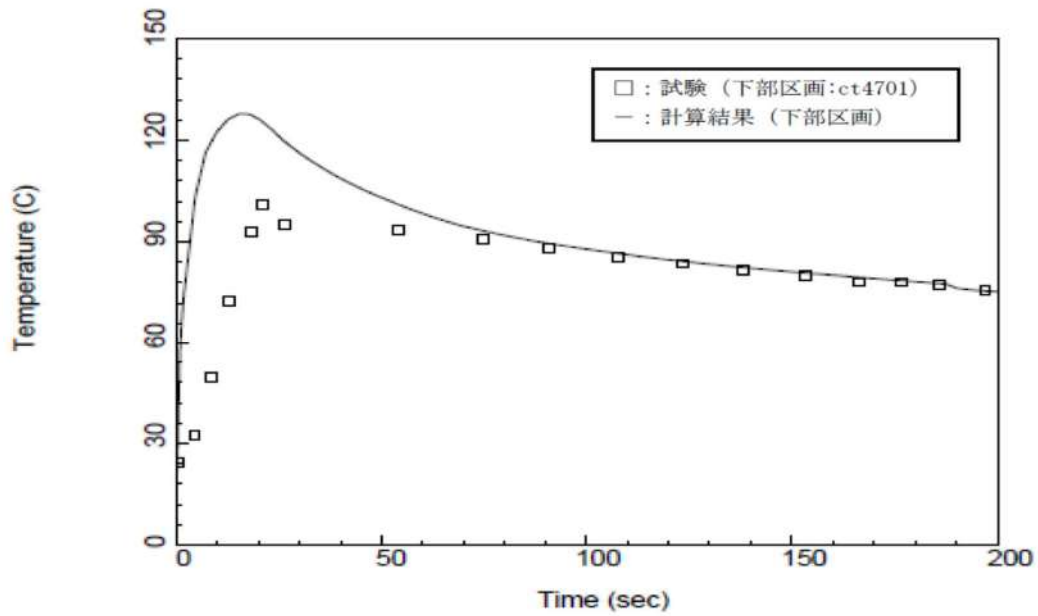
: 区画番号

: 温度計測領域



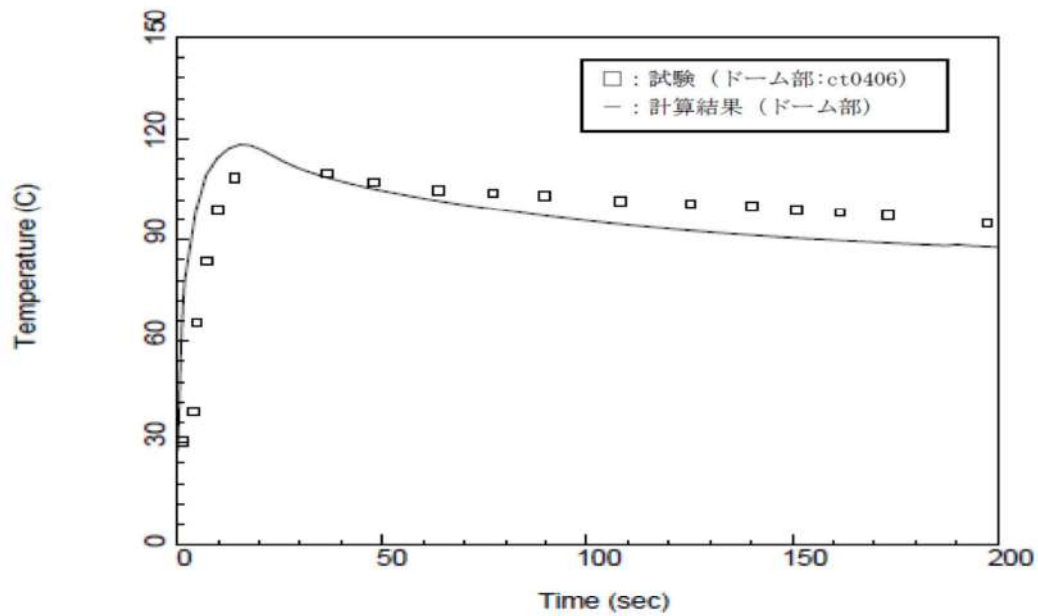
出典 : EPRI Product 1013072, GOthic Qualification Report, Figure 19-12

図 3 HDR 試験の GOthic による区画モデル化



出典：EPRI Product 1013072, GOthic Qualification Report, Figure 19-22

下部区画温度 (Test V21.1)



出典：EPRI Product 1013072, GOthic Qualification Report, Figure 19-24

ドーム部温度 (Test V21.1)

図4 HDR 試験及びGOTHIC 解析結果  
(領域8 (下部区画) 及び領域34 (ドーム部) での温度の比較)

#### 4. 蒸気評価配管の破損に伴う環境影響評価への適用について

##### (1) 蒸気漏えい影響範囲の設定

蒸気評価配管と防護対象設備の配置上の位置関係を確認し、蒸気発生源の特定を行う。蒸気発生源の存在する区画に貫通部があれば隣接する区画も蒸気漏えい影響範囲として考慮する。


なお、蒸気拡散に影響を与える可能性のある事項は、下記のとおり取り扱う。

- ① 空調は、ハロン消火設備の作動に伴い停止するが、30分後に再起動する。
- ② 配管は、末端開放はないため、配管内部を通じた蒸気拡散は考慮しない。
- ③ 電線管について、壁貫通の電線管内部は耐火シールを施しているため、電線管内部を通じた蒸気拡散は考慮しない。
- ④ 蒸気影響範囲に設置されている防火ダンパは、閉止温度 120℃に設定していることから、蒸気拡散への影響はない。

##### (2) 解析モデルの設定

GOTHIC コードによる蒸気拡散解析においては、空調条件が解析のインプットデータの1つとなるため、蒸気漏えい影響範囲に対して空調の流れを模擬できるように、詳細に区画を分割して解析モデルを設定する。



 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

##### (3) 蒸気放出量の算出

防護対象設備の健全性を確認する判定基準は温度であるため、解析結果において解析区画のピーク温度が高くなるように、保守的に、蒸気評価配管からの蒸気流出量は、臨界流モデルを用いて算出する。

臨界流モデルは、安全解析の ECCS 性能評価「原子炉冷却材喪失（小 LOCA）」でも使用が認められており、安全解析に準じた算出としている。

##### (4) ヒートシンクの考慮

防護対象設備の健全性を確認する判定基準は温度であるため、解析結果において解析区画のピーク温度が高くなるように、保守的に、蒸気評価配管からの放出蒸気が、コンクリート壁等のヒートシンクへの熱伝達により温度低下することはないこととして算出する。

以上のことから、モデルの適切な設定と保守的な計算により、GOTHIC コードを蒸気拡散解析に適切に用いることができる。

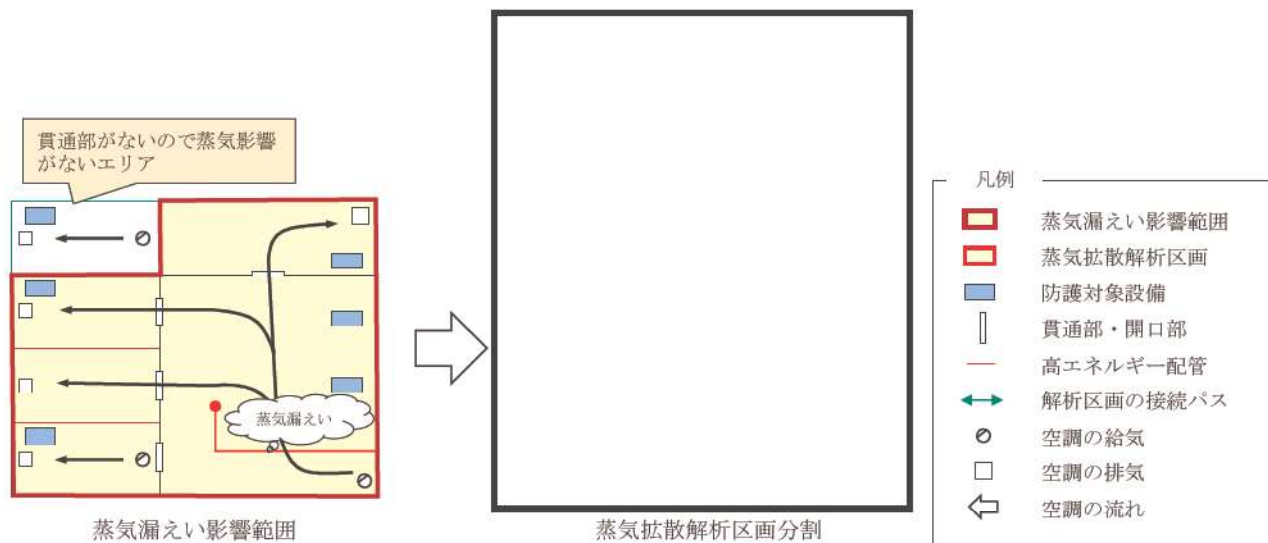


図5 GOthic のモデル設定例

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 5. 蒸気影響評価における保守性について

GOthic コードを用いた蒸気拡散解析の目的は、高エネルギー配管の想定破損時における防護区画内の環境温度が防護対象設備の確認済耐環境温度以下となることを確認することである。

このため、蒸気拡散解析では、実機に近い温度分布を算出するのではなく、実機よりも高い温度分布を算出し、保守的な評価を行うこととしている。

すなわち、GOthic コードを用いた蒸気拡散解析の実施においては、(1) のとおり解析条件に保守性を考慮している。

さらに、蒸気漏えい検知システム等の蒸気影響緩和対策の実施においても、(2)、(3) の保守性を考慮しており、当該目的に対して、総合的な保守性を確保している。

(1) 実機よりも高い温度分布が算出されるように、解析条件には次項の保守性を考慮している。

- 蒸気流出量を安全解析の ECCS 性能評価でも認められた臨界流モデルを用いて算出
- 放出蒸気がコンクリート壁等のヒートシンクへの熱伝達により温度低下することはないこととして算出
- 温度検出器等の計測設備の応答遅れを保守的に設定し、検知までの時間を長めに設置
- 蒸気しゃ断弁の閉止時間を実動作時間に対し長めに設定
- 蒸気しゃ断弁閉止動作中の蒸気放出流量は弁全開状態と同じとして設定

(2) 蒸気拡散解析では解析区画内物理量を平均値で計算するため1つの解析区画内での温度分布はわからないが、仮に解析区画内に温度分布が生じたとしても、蒸気漏えい検知システムの温度センサを天井付近に配置することにより、温度の検出性において、保守側に作用するようにしている。(補足説明資料 20)

(3) 防護対象設備の確認済耐環境温度 120℃に対して、蒸気影響緩和対策（蒸気漏えい検知システムによる自動隔離等）によって、防護区画内の温度を 100℃程度に制限できるようにしている。

## 蒸気拡散解析による蒸気影響評価結果

本資料は、蒸気拡散解析による蒸気影響評価結果についてまとめたものである。

I. では防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果について、II. では想定破損に伴う蒸気影響評価結果について、III. では蒸気拡散解析における解析区画の分割による影響について記載する。

## I. 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果について

防護対象設備の蒸気影響評価で判定に用いる確認済耐環境温度について、確認した結果を表1に示す。

表1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (1/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度	確認済 耐環境温度 (°C) の出处	試験	備考					
3 A-制御用空気ヘッダ圧力 (III)	3PT-1810	-40~85	120	耐蒸気性能試験	伝送器						
3 B-制御用空気ヘッダ圧力 (IV)	3PT-1800										
3-充てんラインC/V外側止め弁	3V-CS-175	45	120	耐蒸気性能試験	モータ及び駆動部						
3-充てんラインC/V外側隔離弁	3V-CS-177										
3-ほう酸注入タンク出口C/V外側隔離弁A	3V-SI-036A										
3-ほう酸注入タンク出口C/V外側隔離弁B	3V-SI-036B										
3-補助高圧注入ラインC/V外側隔離弁	3V-SI-051										
3 A-余熱除去冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-117A										
3 B-余熱除去冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-117B										
3 A-格納容器スプレイ冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-177A										
3 B-格納容器スプレイ冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-177B										
3 A-余熱除去ポンプ出口流量 (I)	3FT-601						-40~85	120	耐蒸気性能試験	伝送器	
3 B-余熱除去ポンプ出口流量 (II)	3FT-611										

表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (2/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出处	試験	備考
3 A-充電ポンプ	3CSP1A	40	120	耐蒸気性能試験	高圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B-充電ポンプ	3CSP1B					
3 C-充電ポンプ	3CSP1C					
3 A-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水入口弁	3V-CC- 151A	45	120	耐蒸気性能試験	モータ及び駆動部	
3 B-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水入口弁	3V-CC- 151B					
3 A-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC- 159A					
3 B-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC- 159B					
3 A-使用済燃料ピットポンプ	3SFP1A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B-使用済燃料ピットポンプ	3SFP1B					
3-体積制御タンク出口第1止め弁	3LCV-121B	45	120	耐蒸気性能試験	モータ及び駆動部	
3-緊急ほう酸注入弁	3V-CS-541					
3-体積制御タンク出口第2止め弁	3LCV-121C					
3-充電ポンプ入口燃料取替 用水ピット側入口弁A	3LCV-121D					
3-充電ポンプ入口燃料取替 用水ピット側入口弁B	3LCV-121E					
3-BA, WD および LD エバポ補 機冷却水戻りライン第1止め弁	3V-CC-351					
3-BA, WD および LD エバポ補 機冷却水戻りライン第2止め弁	3V-CC-352					
3-ほう酸注入タンク入口弁A	3V-SI- 032A					
3-ほう酸注入タンク入口弁B	3V-SI- 032B					
3 A-ほう酸ポンプ	3CSP2A					
3 B-ほう酸ポンプ	3CSP2B					



表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (3/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 A-ほう酸タンク水位 (I)	3LT-206	-40~85	120	耐蒸気性能試験	伝送器	
3 B-ほう酸タンク水位 (II)	3LT-208					
3 A-蓄電池室排気ファン	3VSF31A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B-蓄電池室排気ファン	3VSF31B					
3 A-中央制御室給気ファン	3VSF21A					
3 B-中央制御室給気ファン	3VSF21B					
3 A-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (1)	3TS-2930	-10~50	120	耐蒸気性能試験	温度スイッチ	
3 A-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2931					
3 B-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (1)	3TS-2934					
3 B-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2935					
3 C-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (1)	3TS-2950					
3 A-中央制御室給気ファン 出口ダンパ	3D-VS-603A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：80</li> <li>・ポジションスイッチ：70</li> <li>・電磁弁：40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：120</li> <li>・ポジションスイッチ：120</li> <li>・電磁弁：120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ ポジションスイッチ 電磁弁	
3 B-中央制御室給気ファン 出口ダンパ	3D-VS-603B					
3 A-中央制御室循環風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2836	-5~60	120	耐蒸気性能試験	流量設定器	
3 B-中央制御室循環風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2837					

表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (4/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 A - 中央制御室給気ユニット ト冷水温度制御弁	3TCV-2827	40	120	耐蒸気性能試験	リミットスイッチ 減圧弁 ダイヤフラム オペレータ ポジョナ 電磁弁	
3 B - 中央制御室給気ユニット ト冷水温度制御弁	3TCV-2828					
3 A - 中央制御室循環ファン	3VSF20A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B - 中央制御室循環ファン	3VSF20B					
3 A - 中央制御室循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-604A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：80</li> <li>・ポジョンスイッチ：70</li> <li>・電磁弁：40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：120</li> <li>・ポジョンスイッチ：120</li> <li>・電磁弁：120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ ポジョンスイッチ 電磁弁	
3 B - 中央制御室循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-604B					
3 A - 中央制御室循環風量調節ダンパ	3HCD-2836	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：80</li> <li>・ポジョナ：60</li> <li>・ポジョンスイッチ：70</li> <li>・電磁弁：40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：120</li> <li>・ポジョナ：120</li> <li>・ポジョンスイッチ：120</li> <li>・電磁弁：120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータポジョナ ポジョンスイッチ 電磁弁	
3 B - 中央制御室循環風量調節ダンパ	3HCD-2837					
3 A - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2A) 出口空 気温度 (2)	3TS-2933	55	120	耐蒸気性能試験	電気ヒータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2B) 出口空 気温度 (2)	3TS-2937					
3 C - 非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2951	-10~50	120	耐蒸気性能試験	温度スイッチ	

表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (5/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 C - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2C) 出口空 気温度 (2)	3TS-2953	55	120	耐蒸気性能試験	電気ヒータ本体： 蒸気試験対象外	
3 D - 非管理区域空調機器室 室内空気温度 (1)	3TS-2954	-10~50	120	耐蒸気性能試験	温度スイッチ	
3 D - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2D) 出口空 気温度 (2)	3TS-2957	55	120	耐蒸気性能試験	電気ヒータ本体： 蒸気試験対象外	
3 A - 安全補機開閉器室給気 ファン	3VSF27A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B - 安全補機開閉器室給気 ファン	3VSF27B					
3 A - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2A	55	120	耐蒸気性能試験	モータ本体： 蒸気試験対象外電 気ヒータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2B					
3 C - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2C					
3 D - 非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2D					
3 D - 非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2955	-10~50	120	耐蒸気性能試験	温度スイッチ	
3 A - 安全補機開閉器室給気 ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2774	40	120	耐蒸気性能試験	リミットスイッチ 減圧弁 ダイヤフラム オペレータ ポジショナ 電磁弁	
3 B - 安全補機開閉器室給気 ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2775					

表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (6/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 A - 燃料取替用水ポンプ	3RFP1A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B - 燃料取替用水ポンプ	3RFP1B					
3 - 燃料取替用水ピット水位 (I)	3LT-1400	-40~85	120	耐蒸気性能試験	伝送器	
3 - 燃料取替用水ピット水位 (II)	3LT-1401					
3 A - アニュラス排気ダンパ	3D-VS-101A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：60</li> <li>・ポジションスイッチ：70</li> <li>・電磁弁：-</li> <li>・減圧弁：60</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：120</li> <li>・ポジションスイッチ：120</li> <li>・電磁弁：120</li> <li>・減圧弁：120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ ポジションスイッチ 電磁弁 減圧弁	
3 B - アニュラス排気ダンパ	3D-VS-101B					
3 - 格納容器圧力 (I)	3PT-590	-40~85	120	耐蒸気性能試験	伝送器	
3 - 格納容器圧力 (II)	3PT-591					
3 - 格納容器圧力 (III)	3PT-592					
3 - 格納容器圧力 (IV)	3PT-593					
3 A - 制御用空気 C/V 外側隔離弁	3V-IA-510A	45	120	耐蒸気性能試験	モータ及び駆動部	
3 B - 制御用空気 C/V 外側隔離弁	3V-IA-510B					
3 - 1次冷却材ポンプ封水戻りライン C/V 外側隔離弁	3V-CS-255					
3 A - 格納容器スプレイ冷却器出口 C/V 外側隔離弁	3V-CP-013A					
3 B - 格納容器スプレイ冷却器出口 C/V 外側隔離弁	3V-CP-013B					

表1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (7/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 A-アニュラス空気浄化ファン	3VSF9A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体： 蒸気試験対象外	
3 B-アニュラス空気浄化ファン	3VSF9B					
3 A-アニュラス少量排気弁	3V-VS-103A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：62</li> <li>・リミットスイッチ：62</li> <li>・電磁弁：62</li> <li>・減圧弁：62</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：120</li> <li>・リミットスイッチ：120</li> <li>・電磁弁：120</li> <li>・減圧弁：120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ リミットスイッチ 電磁弁 減圧弁	
3 A-アニュラス戻りダンパ	3PCD-2373	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：60</li> <li>・ポジションスイッチ：70</li> <li>・電磁弁：-</li> <li>・減圧弁：60</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ：120</li> <li>・ポジションスイッチ：120</li> <li>・電磁弁：120</li> <li>・減圧弁：120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ ポジションスイッチ 電磁弁 減圧弁	
3 B-アニュラス戻りダンパ	3PCD-2393					
3-よう素除去薬品タンク注入Aライン止め弁	3V-CP-054A	45	120	耐蒸気性能試験	モータ及び駆動部	
3-よう素除去薬品タンク注入Bライン止め弁	3V-CP-054B					
3-余剰抽出冷却器等補機冷却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-422					
3-余剰抽出冷却器等補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-430					
3-1次冷却材ポンプ補機冷却水入口止め弁	3V-CC-501					
3-1次冷却材ポンプ補機冷却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-503					
3-1次冷却材ポンプ補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-528					

表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (8/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 A - 中央制御室外気取入風 量調節ダンパ流量設定器	3HC-2823	-5~60	120	耐蒸気性能試験	流量設定器	
3 B - 中央制御室外気取入風 量調節ダンパ流量設定器	3HC-2824					
3 A - 中央制御室事故時外気 取入風量調節ダンパ流量設定 器	3HC-2850					
3 B - 中央制御室事故時外気 取入風量調節ダンパ流量設定 器	3HC-2851					
3 A - 中央制御室非常用循環 ファン出口空気流量	3FS-2867	-10~70	120	耐蒸気性能試験	流量スイッチ	
3 B - 中央制御室非常用循環 ファン出口空気流量	3FS-2868					
3 A - 中央制御室非常用循環 ファン入口ダンパ	3D-VS-602A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ : 80</li> <li>・ポジション スイッチ : 70</li> <li>・電磁弁 : 40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ : 120</li> <li>・ポジションス イッチ : 120</li> <li>・電磁弁 : 120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ ポジションスイッチ 電磁弁	
3 B - 中央制御室非常用循環 ファン入口ダンパ	3D-VS-602B					
3 A - 中央制御室外気取入風 量調節ダンパ	3HCD-2823	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレー タ : 80</li> <li>・ポジョ ナ : 60</li> <li>・ポジション スイッチ : 70</li> <li>・電磁弁 : 40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレータ : 120</li> <li>・ポジョナ : 120</li> <li>・ポジションス イッチ : 120</li> <li>・電磁弁 : 120</li> </ul>	耐蒸気性能試験	オペレータ ポジョナ ポジションスイッチ 電磁弁	
3 B - 中央制御室外気取入風 量調節ダンパ	3HCD-2824					
3 A - 中央制御室事故時外気 取入風量調節ダンパ	3HCD-2850					
3 B - 中央制御室事故時外気 取入風量調節ダンパ	3HCD-2851					
3 A - 中央制御室非常用循環 ファン	3VSF22A	40	120	耐蒸気性能試験	低圧ケーブル接続部 端子台 モータ本体 : 蒸気試験対象外	
3 B - 中央制御室非常用循環 ファン	3VSF22B					

表 1 防護対象設備の確認済耐環境温度の確認結果 (9/9)

機器名称	機器番号	仕様温度 (°C) (設計値)	確認済 耐環境温度 (°C)	確認済 耐環境温度 (°C) の出処	試験	備考
3 A, B-C/V 再循環ユニット補機冷却水 入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC- 203A	40	120	耐蒸気性能試験	モータ及び駆動部	
3 C, D-C/V 再循環ユニット補機冷却水 入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC- 203B					
3 A-C/V 再循環ユニット補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC- 208A					
3 B-C/V 再循環ユニット補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC- 208B					
3 C-C/V 再循環ユニット補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC- 208C					
3 D-C/V 再循環ユニット補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC- 208D					

## II. 想定破損に伴う蒸気影響評価結果について

蒸気評価配管の想定破損に伴う蒸気漏えい及びその緩和対策を考慮した環境への影響についてGOTHIC コードによる蒸気拡散解析を実施し、防護対象設備の確認済耐環境温度以下に制限できていることを確認した結果を別表 1 に示す。別表 1 の記載の読み方は以下のとおり。

防護対象設備名称とその設置場所及び蒸気漏えい時に最も影響を与える対象系統を記載  
・「評価区画」とは、防護対象設備のある解析区画のこと

解析結果のうち、防護対象設備の環境が最も悪化する結果を記載  
・「破損区画」とは、想定破損箇所のある解析区画のこと  
・補助蒸気系統は、自動検知、自動隔離を反映して解析  
・抽出配管は、手動隔離を反映して解析  
・グラフの赤実線は完全全周破断、青実線は 1/4Dt 貫通クラックで解析

解析結果、防護対象設備の環境が最も悪化した際の温度・湿度

赤実線 : 完全全周破断  
青実線 : 1/4Dt 貫通クラック  
黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ) 温度
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	
CVCS 抽出ライン	A/B 17.8m	Cf-12	3 A-ほう酸タンク水位 (I)	3LT-206	59	56	<p>溢水源：CVCS 3B 一般部 破損区画：Cf-31</p>  <p>手動隔離により蒸気放出停止する。約30分後の空調復旧により蒸気影響が及び、一時的に温度上昇しピーク温度59°Cに達するが、その後温度は低下する。</p>
ASS	A/B 10.3m	Bf-13	3-よう素除去薬品タンク注入 Aライン止め弁	3V-CP-054A	81	99	<p>溢水源：ASS 1・1/2B 一般部 破損区画：Bf-13</p>  <p>検知 (約16分) + 隔離により約35分後に蒸気放出停止し、ピーク温度81°Cに達する。その後、約46分後に空調復旧し、温度は低下する。</p>

<系統略称>

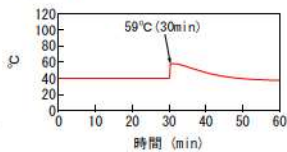
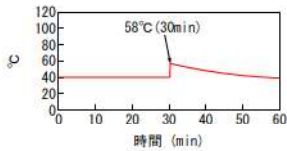
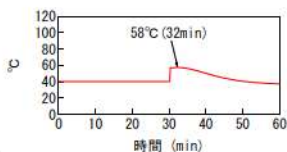
CVCS 抽出ライン：抽出配管

ASS：補助蒸気系統

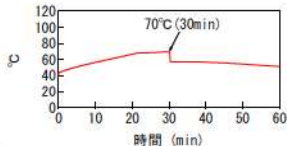
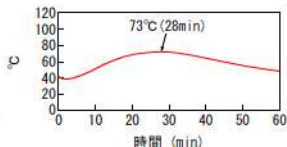
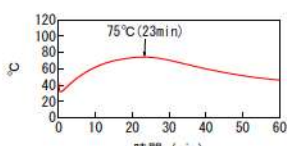


泊発電所 3 号炉 想定破損に伴う蒸気影響評価結果

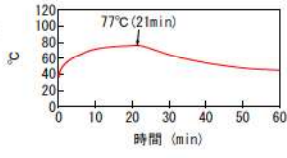
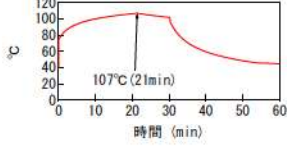
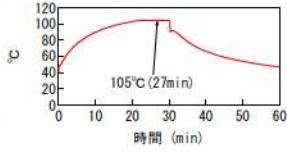
赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ) 温度
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	
CVCS 抽出ライン	A/B 17.8m	Cf-12	3 A-ほう酸タンク水位 (I)	3LT-206	59	56	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31 
			3 B-ほう酸タンク水位 (II)	3LT-208			
		Cf-14	3-ほう酸注入タンク 入口弁 A	3V-S1-032A	58	48	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31 
			3-ほう酸注入タンク 入口弁 B	3V-S1-032B			
		Cf-15	3 A-ほう酸ポンプ	3CSP2A	58	57	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31 
			3 B-ほう酸ポンプ	3CSP2B			

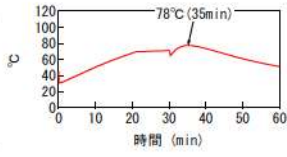
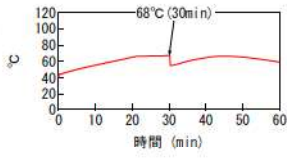
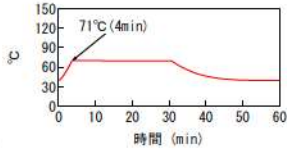
赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度
CVCS 抽出ライン	R/B 17.8m	Cf-27	3-格納容器圧力 (I)	3PT-590	70	97	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31 
			3-格納容器圧力 (II)	3PT-591			
		Cf-28	3B-制御用空気ヘッダ圧力 (IV)	3PT-1810	73	100	溢水源 : CVCS 3B 非再生冷却器 入口管台 破損区画 : Cf-24 
			3B-制御用空気C/V 外側隔離弁	3V-1A-510B			
		Cf-29	3-格納容器圧力 (III)	3PT-592	75	100	溢水源 : CVCS 3B 非再生冷却器 入口管台 破損区画 : Cf-24 
							手動隔離により蒸気放出停止する。破損後から蒸気影響が及び、約23分後に75°Cに達する。その後空調の効果により温度は低下する。

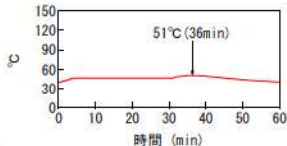
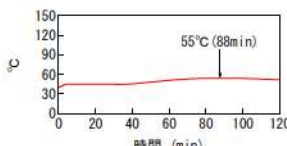
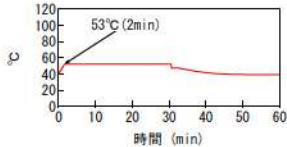
赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ) 温度
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	
CVCS 抽出ライン	R/B 17.8m	Cf-30	3 A-制御用空気ヘッド圧力 (III)	3PT-1800	77	100	溢水源 : CVCS 3B 非再生冷却器 入口管台 破損区画 : Cf-24  手動隔離により蒸気放出停止する。破損後から蒸気影響が及び、約21分後に77°Cに達する。その後空調の効果により温度は低下する。
			3-格納容器圧力 (IV)	3PT-593			
			3 A-制御用空気C/V 外側隔離弁	3V-1A-510A			
	R/B 17.8m	Cf-31	3-充てんラインC/V 外側止め弁	3V-CS-175	107	100	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31  手動隔離により蒸気放出停止する。破損後から蒸気影響が及び、約21分後に107°Cに達する。約30分後に空調復旧し、温度は低下する。
			3-充てんラインC/V 外側隔離弁	3V-CS-177			
			3-1次冷却材ポンプ封水戻り ラインC/V外側隔離弁	3V-CS-255			
	中間床	Cf-32	3-ほう酸注入タンク出口 C/V外側隔離弁A	3V-SI-036A	105	100	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31  手動隔離により蒸気放出停止する。破損後から蒸気影響が及び、約27分後に105°Cに達する。約30分後に空調復旧し、温度は低下する。
			3-ほう酸注入タンク出口 C/V外側隔離弁B	3V-SI-036B			
			3-補助高圧注入ライン C/V外側隔離弁	3V-SI-051			
			3 A-格納容器スプレイ冷却器 出口C/V外側隔離弁	3V-CP-013A			
			3 B-格納容器スプレイ冷却器 出口C/V外側隔離弁	3V-CP-013B			

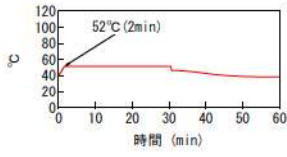
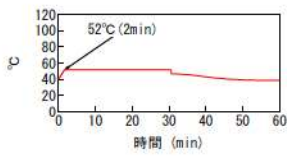
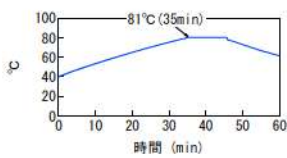
赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度
CVCS 抽出ライン	R/B 33.1m	Cf-35	3 A-アニュラス排気ダンパ	3D-VS-101A	78	100	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31  手動隔離により蒸気放出停止する。約30分後の空調復旧により蒸気影響が及び、一時的に温度上昇しピーク温度78°Cに達するが、その後温度は低下する。
			3 B-アニュラス排気ダンパ	3D-VS-101B			
			3 A-アニュラス空気浄化ファン	3VSF9A			
			3 B-アニュラス空気浄化ファン	3VSF9B			
抽出ライン	R/B 40.3m	Cf-36	3 A-アニュラス少量排気弁	3V-VS-103A	68	100	溢水源 : CVCS 3B 一般部 破損区画 : Cf-31  手動隔離により蒸気放出停止する。破損後から蒸気影響が及び、約30分後に68°Cに達する。約30分後に空調復旧し、温度は低下する。
			3 A-アニュラス戻りダンパ	3PCD-2373			
			3 B-アニュラス戻りダンパ	3PCD-2393			
ASS	A/B 2.3m 2.8m	Af-7	3 A-余熱除去冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-117A	71	89	溢水源 : ASS 3/4B 一般部 破損区画 : Af-4  検知 (約40秒) + 隔離により約4分後に蒸気放出停止し、ピーク温度71°Cに達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。
			3 A-格納容器スプレイ 冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-177A			

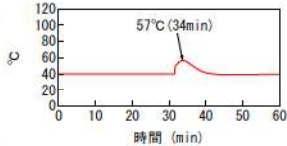
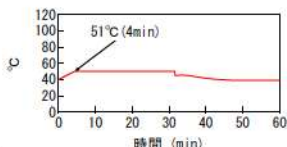
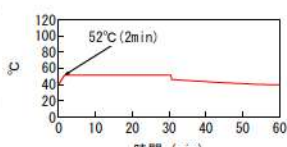
赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)			
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度			
ASS	A/B 2.3m 2.8m	Af-10	3 B-余熱除去冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-117B	51	79	溢水源 : ASS 3/4B 一般部 破損区画 : Af-4  検知 (約40秒) + 隔離により約4分後に蒸気放出停止する。約31分後の空調復旧により蒸気影響が及び、一時的に温度上昇しピーク温度51°Cに達するが、その後温度は低下する。			
			3 B-格納容器スプレイ 冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-177B						
		Af-11	3 A-余熱除去ポンプ 出口流量 (I)	3FT-601				55	100	溢水源 : ASS 3/4B 一般部 破損区画 : Af-4  検知 (約40秒) + 隔離により約4分後に蒸気放出停止する。約31分後の空調復旧により蒸気影響が及び、一時的に温度上昇しピーク温度55°Cに達するが、その後温度は低下する。
			3 B-余熱除去ポンプ 出口流量 (II)	3FT-611						
	A/B 10.3m	Bf-9	3 A-充てんポンプ	3CSP1A	53	51	溢水源 : ASS 1・1/2B 一般部 破損区画 : Bf-2  検知 (約20秒) + 隔離により約2分後に蒸気放出停止し、ピーク温度53°Cに達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。			

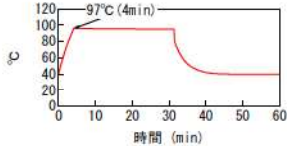
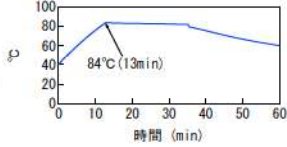
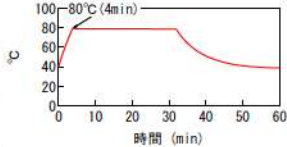
赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度
ASS	A/B 10.3m	Bf-11	3 B-充てんポンプ	3CSP1B	52	52	溢水源 : ASS 1・1/2B 一般部 破損区画 : Bf-2  <p>検知 (約20秒) + 隔離により約2分後に蒸気放出停止し、ピーク温度52°Cに達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。</p>
		Bf-12	3 C-充てんポンプ	3CSP1C	52	51	溢水源 : ASS 1・1/2B 一般部 破損区画 : Bf-2  <p>検知 (約20秒) + 隔離により約2分後に蒸気放出停止し、ピーク温度52°Cに達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。</p>
		Bf-13	3-よう素除去薬品タンク注入 Aライン止め弁	3V-CP-054A	81	99	溢水源 : ASS 1・1/2B 一般部 破損区画 : Bf-13  <p>検知 (約16分) + 隔離により約35分後に蒸気放出停止し、ピーク温度81°Cに達する。その後、約46分後に空調復旧し、温度は低下する。</p>
3-よう素除去薬品タンク注入 Bライン止め弁	3V-CP-054B						

赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

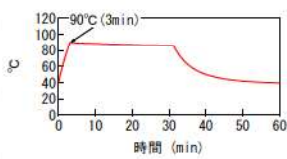
想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)								
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度								
ASS	R/B 10.3m	Bf-16	3 A-使用済燃料ピット 冷却器補機冷却水入口弁	3V-CC-151A	57	91	溢水源 : ASS 3/4B 一般部 破損区画 : Bf-6  検知 (約1分) + 隔離により約4分後に蒸気放出停止する。約32分後の空調復旧により蒸気影響が及び、一時的に温度上昇しピーク温度57°Cに達するが、その後温度は低下する。								
			3 B-使用済燃料ピット 冷却器補機冷却水入口弁	3V-CC-151B											
			3 A-使用済燃料ピット 冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-159A											
			3 B-使用済燃料ピット 冷却器補機冷却水出口弁	3V-CC-159B											
		Bf-18	3 A-使用済燃料ピット ポンプ	3SFP1A				51	45	溢水源 : ASS 3/4B 一般部 破損区画 : Bf-19  検知 (約1分) + 隔離により約4分後に蒸気放出停止し、ピーク温度51°Cに達する。その後、約32分後に空調復旧し、温度は低下する。					
			3 B-使用済燃料ピット ポンプ	3SFP1B											
			A/B 10.3m 中間床	Bf-15							3-体積制御タンク出口 第1止め弁	3LCV-121B	52	47	溢水源 : ASS 1・1/2B 一般部 破損区画 : Bf-2  検知 (約20秒) + 隔離により約2分後に蒸気放出停止し、ピーク温度52°Cに達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。
											3-緊急ほう酸注入弁	3V-CS-541			
	3-体積制御タンク出口 第2止め弁	3LCV-121C													
	3-充てんポンプ入口燃料取 替用水ピット側入口弁A	3LCV-121D													
	3-充てんポンプ入口燃料取 替用水ピット側入口弁B	3LCV-121E													

赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

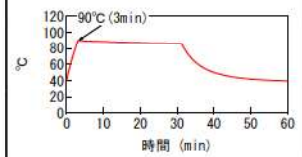
想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度
ASS	A/B 17.8m	Cf-9	3-BA, WDおよびD エバポ補機冷却水戻りライン 第1止め弁	3V-CC-351	97	99	溢水源: ASS 3/4B 一般部 破損区画: Cf-9 
			3-BA, WDおよびD エバポ補機冷却水戻りライン 第2止め弁	3V-CC-352			検知(約1分)+隔離により約4分後に蒸気放出停止し、ピーク温度97°Cに達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。
	R/B 17.8m 中間床	Cf-34	3-余剰抽出冷却器等 補機冷却水入口	3V-CC-422	84	100	溢水源: ASS 3B 一般部 破損区画: Cf-34 
			3-余剰抽出冷却器等 補機冷却水出口	3V-CC-430			
			3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水入口止め弁	3V-CC-501			
			3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水入口	3V-CC-503			
			3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水出口	3V-CC-528			
	A/B 24.8m	Ef-2	3A-蓄電池室排気ファン	3VSF31A	80	85	溢水源: ASS 1B 一般部 破損区画: Ef-2 
			3B-蓄電池室排気ファン	3VSF31B			
			3A-中央制御室給気ファン	3VSF21A			
			3B-中央制御室給気ファン	3VSF21B			
			3A-非管理区域空調機器室	3TS-2930			
3A-非管理区域空調機器室			3TS-2931				
3B-非管理区域空調機器室			3TS-2934				
3B-非管理区域空調機器室			3TS-2935				
3C-非管理区域空調機器室			3TS-2950				
3A-中央制御室給気ファン			3D-VS-603A				
3B-中央制御室給気ファン	3D-VS-603B						
						検知(約2分)+隔離により約4分後に蒸気放出停止し、ピーク温度80°Cに達する。その後、約32分後に空調復旧し、温度は低下する。	



赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

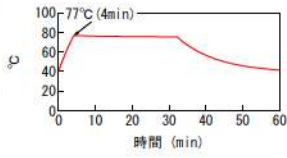
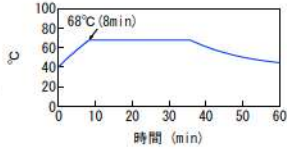
想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)
			名称	番号	温度 (℃)	湿度 (%RH)	温度
ASS	A/B 24.8m	Ef-3	3 A-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2823	90	90	溢水源 : ASS 1B 一般部 破損区画 : Ef-3 
			3 B-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2824			
			3 A-中央制御室循環風量 調節ダンパ流量設定器	3HC-2836			
			3 B-中央制御室循環風量 調節ダンパ流量設定器	3HC-2837			
			3 A-中央制御室事故時 外気取入風量調節ダンパ 流量設定器	3HC-2850			
			3 B-中央制御室事故時 外気取入風量調節ダンパ 流量設定器	3HC-2851			
			3 A-中央制御室非常用 循環ファン出口空気流量	3FS-2867			
			3 B-中央制御室非常用 循環ファン出口空気流量	3FS-2868			
			3 A-中央制御室給気 ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2827			
			3 B-中央制御室給気 ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2828			
			3 A-中央制御室非常用 循環ファン入口ダンパ	3D-VS-602A			
			3 B-中央制御室非常用 循環ファン入口ダンパ	3D-VS-602B			
			3 A-中央制御室循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-604A			
			3 B-中央制御室循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-604B			
			3 A-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ	3HCD-2823			
			3 B-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ	3HCD-2824			
			3 A-中央制御室循環 風量調節ダンパ	3HCD-2836			
			3 B-中央制御室循環 風量調節ダンパ	3HCD-2837			
			3 A-中央制御室事故時 外気取入風量調節ダンパ	3HCD-2850			
			3 B-中央制御室事故時 外気取入風量調節ダンパ	3HCD-2851			
			3 A-中央制御室循環ファン	3VSF20A			
			3 B-中央制御室循環ファン	3VSF20B			
			3 A-中央制御室非常用 循環ファン	3VSF22A			
			3 B-中央制御室非常用 循環ファン	3VSF22B			

溢水源 : ASS 1B 一般部  
 破損区画 : Ef-3

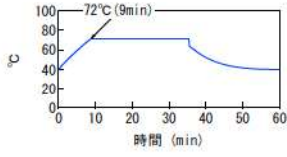
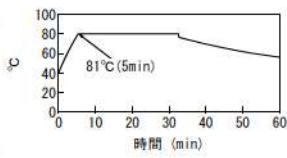
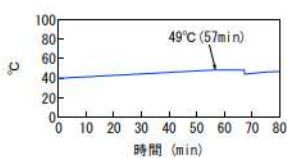


検知(約1分)+隔離により約3分後に蒸気放出停止し、ピーク温度90℃に達する。その後、約31分後に空調復旧し、温度は低下する。

赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)	
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度	
ASS	A/B 24.8m	Ef-4	3 A-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2A) 出口空 気温度 (2)	3TS-2933	77	96	溢水源 : ASS 1B 一般部 破損区画 : Ef-4  検知 (約2分) + 隔離により約4分後 に蒸気放出停止し、ピーク温度 77°Cに達する。その後、約32分後に 空調復旧し、温度は低下する。	
			3 B-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2B) 出口空 気温度 (2)	3TS-2937				
			3 C-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2951				
			3 C-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2C) 出口空 気温度 (2)	3TS-2953				
			3 D-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (1)	3TS-2954				
			3 D-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2D) 出口空 気温度 (2)	3TS-2957				
			3 A-安全補機開閉器室 給気ファン	3VSF27A				
			3 B-安全補機開閉器室 給気ファン	3VSF27B				
			3 A-非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2A				
			3 B-非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2B				
			3 C-非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2C				
			3 D-非管理区域空調機器室 電気ヒータ	3VSE2D				
		Ef-5	3 D-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2955	68	88		溢水源 : ASS 8B 一般部 破損区画 : Ef-5  検知 (約6分) + 隔離により約8分後 に蒸気放出停止し、ピーク温度 68°Cに達する。その後、約36分後に 空調復旧し、温度は低下する。
			3 A-安全補機開閉器室 給気ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2774				
3 B-安全補機開閉器室 給気ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2775							

赤実線 : 完全全周破断  
 青実線 : 1/4t 貫通クラック  
 黒実線 : 全周破断 (片側放出)

想定破損箇所 系統	場所	評価 区画	防護対象設備		環境解析結果 (Max値)		環境解析結果 (グラフ)
			名称	番号	温度 (°C)	湿度 (%RH)	温度
ASS	R/B 24.8m	Ff-6	3 A, B-C/V再循環 ユニット補機冷却水入口 C/V外側隔離弁	3V-CC-203A	72	92	溢水源 : ASS 6B 一般部 破損区画 : Ff-6  検知 (約5分) + 隔離により約9分後に蒸気放出停止し、ピーク温度72°Cに達する。その後、約35分後に空調復旧し、温度は低下する。
			3 A-C/V再循環ユニット 補機冷却水出口 C/V外側隔離弁	3V-CC-208A			
			3 B-C/V再循環ユニット 補機冷却水出口 C/V外側隔離弁	3V-CC-208B			
		Ff-8	3 A-燃料取替用水ポンプ	3RFP1A	81	100	溢水源 : ASS 3/4B 一般部 破損区画 : Ff-8  検知 (約2分) + 隔離により約5分後に蒸気放出停止し、ピーク温度81°Cに達する。その後、約33分後に空調復旧し、温度は低下する。
			3 B-燃料取替用水ポンプ	3RFP1B			
			3-燃料取替用水ビット 水位 (I)	3LT-1400			
			3-燃料取替用水ビット 水位 (II)	3LT-1401			
		Ff-11	3 C, D-C/V再循環 ユニット補機冷却水入口 C/V外側隔離弁	3V-CC-203B	49	76	溢水源 : ASS 1・1/2B 一般部 破損区画 : Ff-10  有意な蒸気影響がおよばない。
			3 C-C/V再循環ユニット 補機冷却水出口 C/V外側隔離弁	3V-CC-208C			
			3 D-C/V再循環ユニット 補機冷却水出口 C/V外側隔離弁	3V-CC-208D			

### III. 蒸気拡散解析における解析区画の分割による影響について

GOTHIC コードを用いた蒸気拡散解析では、解析区画内物理量を平均値で計算する集中定数系モデルで解き、雰囲気温度に最も影響を与える空調の分岐でノードを分割している。

本資料は、そのノード分割方法の妥当性について確認したものである。

なお、ノード分割方法の妥当性は、「分割感度の確認」及び「集中定数系モデルの適用性」の2つの観点から確認した。

#### 1. 分割感度の確認

「分割感度の確認」については、防護対象設備の設置されている区画に注目して影響の有無を評価した。具体的には、図1のフローに基づき、防護対象設備が設置されている全解析区画を次の3パターンに分けて評価した。防護対象設備設置区画ごとの評価パターンは別表2にまとめている。

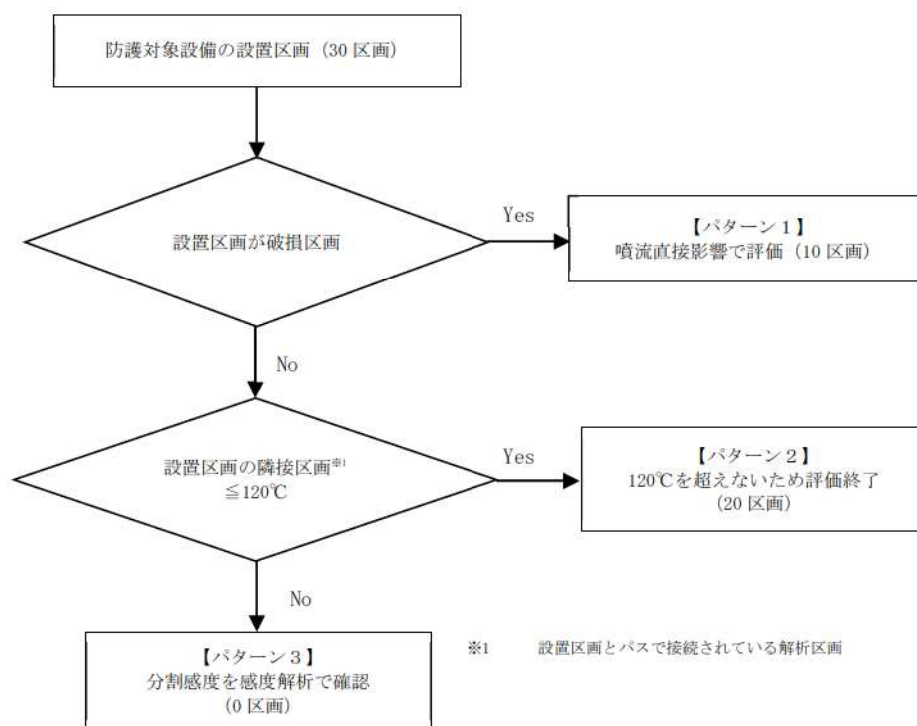


図1 解析区画の分割影響の評価フロー

- ・ パターン1 直接噴射による影響で評価 (10 区画)

破損区画は、区画を分割すればするほど破損点のごく近傍の区画は系統温度に漸近していくため、GOTHIC で算出した雰囲気温度とは別に配管と防護対象設備との位置関係から直接噴射による影響を評価し問題のないことを確認している。(補足説明資料 23)

- ・ パターン2 設置区画が 120℃を超えることはないため評価終了 (20 区画)

防護対象設備が設置されている区画が破損区画でない場合に、パスで接続された隣接する解

析区画の雰囲気温度が120℃以下であれば防護対象設備の設置されている区画は120℃以上になることはないため問題ない。

・ パターン3 設置区画の分割感度を確認し評価（0区画）

防護対象設備が設置されている区画が破損区画でない場合に、パスで接続された隣接する解析区画の雰囲気温度が120℃を超えている場合、解析区画をさらに分割すれば、防護対象設備の設置位置によっては、120℃を超える可能性があるため分割感度を確認し評価する。なお、本条件に相当する区画はなかったことを確認している。

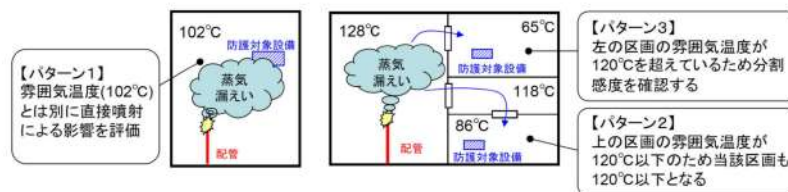


図2 パターン1～3の例

2. 集中定数系モデルの適用性について

GOTHICには、解析区画内物理量を平均値で計算する集中定数系モデル、区画内の温度分布を算出する分布定数系モデルがある。今回の蒸気拡散解析では、下記理由により区画内の詳細な温度分布を求める必要性が無いことから、集中定数系モデルを採用した。

(理由)

- ・ 区画ごとに温度センサを設置しており、温度センサは温度上昇の早い天井付近に配置していることから、防護対象設備設置位置よりも早く温度上昇を検知できる。このため、仮に区画内に温度分布があった場合、蒸気漏えい検知及び隔離対策における温度検出性に対して保守側に作用する。
- ・ 本解析の目的は蒸気配管破損時に防護対象設備が機能喪失しないことを確認することであり、防護対象設備の確認済耐環境温度120℃に対し、保守的な解析条件（補足説明資料17）で実施した解析結果でも十分なマージンを有するように（最高温度が100℃程度となるように）蒸気漏えい検知及び隔離対策をとっていることから、詳細な温度分布を知る必要性がない。

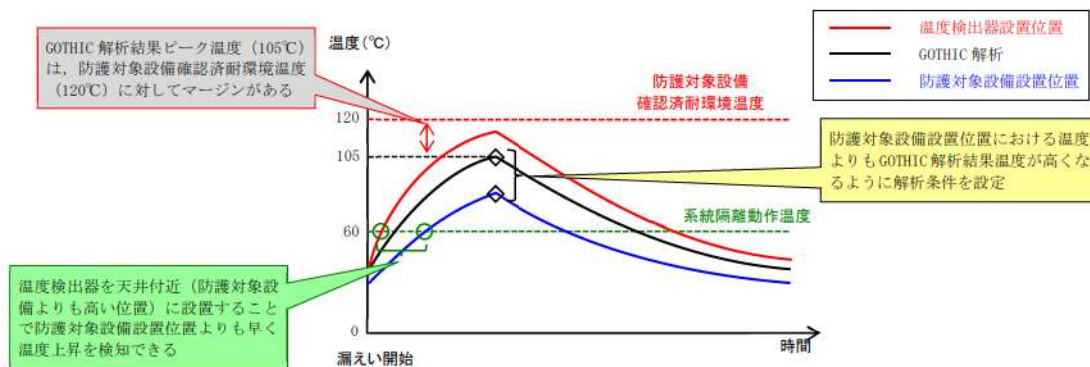


図3 集中定数系モデル適用性のイメージ

今回の蒸気拡散解析で集中定数系モデルを採用する理由は先述のとおりであるが、採用することに問題がないかについては、蒸気放出流量に注目して NUPEC 試験, HDR 試験の2つの試験結果から考察した。表1に各試験条件と GOTHIC 解析条件を図4, 5に各試験結果を示す。

・NUPEC 試験 (M-3 シリーズ)

S62~H4 にかけて実施された可燃性ガス濃度分布, 混合挙動試験であり, 一連の試験の内, 放水蒸気による格納容器内循環確認として格納容器内に水蒸気のみを流入させ, 各区画内温度分布, 圧力計測を実施した試験。今回の解析条件に比較的近い蒸気放出流量の試験条件で実施している。

・HDR 試験 (Test V21.1)

GOTHIC コードによる蒸気拡散解析の妥当性確認のためにドイツの廃炉施設を用いて実施された試験であり, 圧力容器から二相流 (蒸気, 水) を放出させ, 各区画の温度や圧力計測を実施した試験。今回の解析条件より大きい蒸気放出流量の試験条件で実施している。

表1 GOTHIC 解析条件, NUPEC 試験条件, HDR 試験条件の比較

	初期温度 (°C)	放出物	放出物諸元			自由体積 (m <sup>3</sup> )
			流量 (kg/sec)	時間	温度 (°C)	
GOTHIC 解析	40	蒸気	0.054~3.2	隔離まで	170	20~3,010 <sup>※1</sup>
NUPEC 試験	室温	蒸気	0.33	30 min	128	1,300
HDR 試験	25	蒸気, 水	4.0×10 <sup>3</sup> (at 5sec) <sup>※2</sup>	25 sec	318 <sup>※3</sup>	11,300

※1 泊発電所3号炉における破損区画の体積

※2 破断直後の 5.4×10<sup>3</sup> kg/sec から徐々に減少し, 25 秒後に放出終了

※3 圧力容器内の加圧水時の温度であり, 破断点から放出する瞬間に飽和温度となる

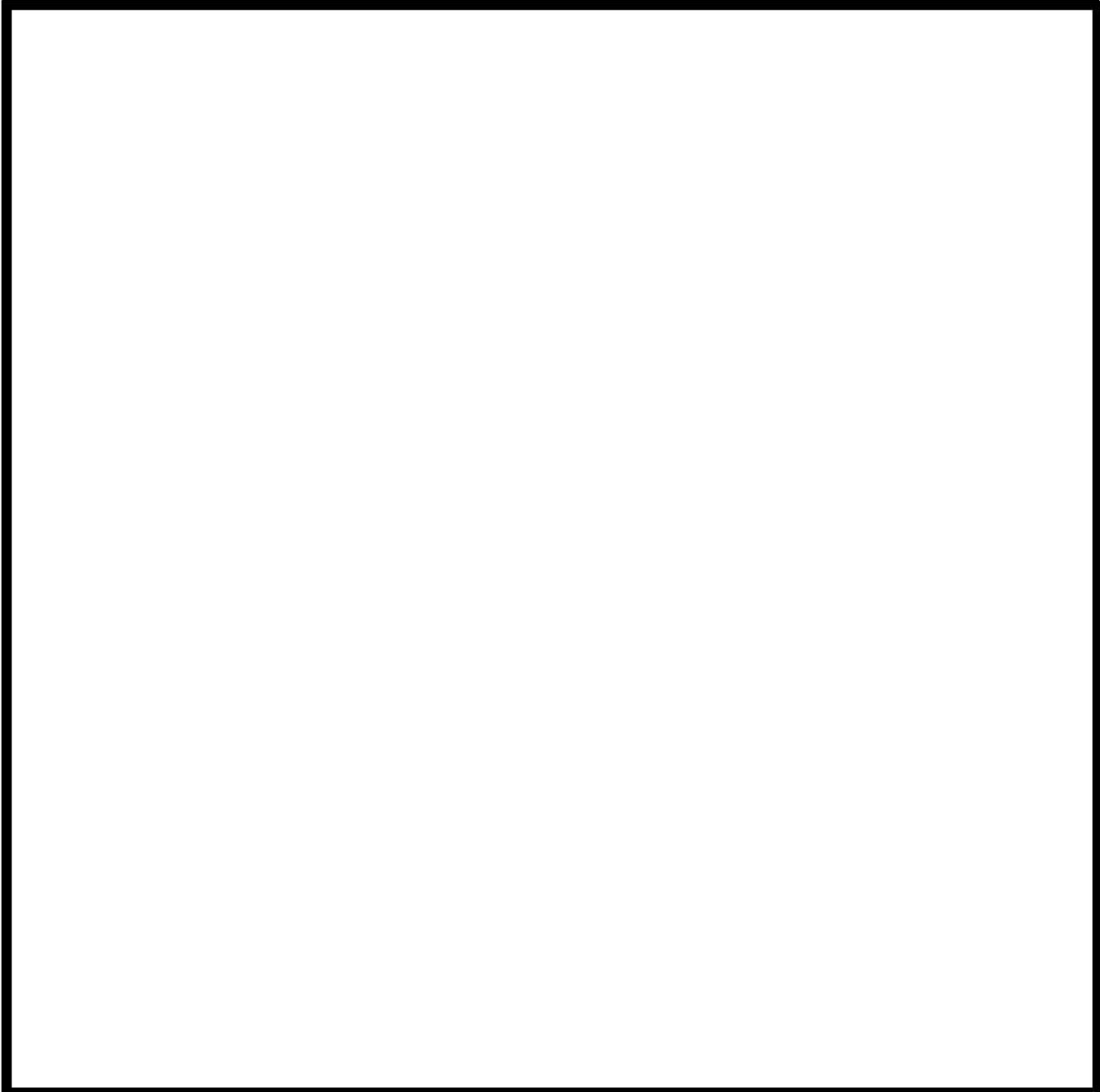


図 4 NUPEC 試験結果

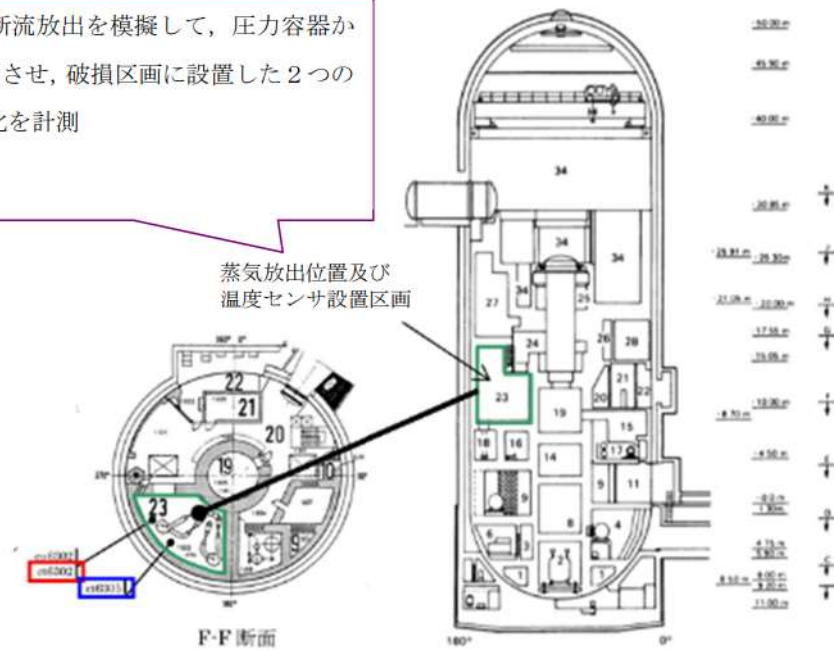
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(考察)

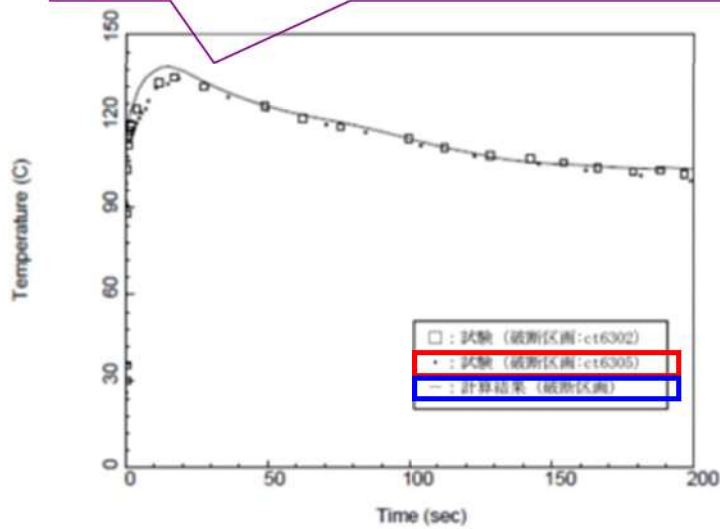
蒸気放出流量が比較的小さな場合は、蒸気漏えい初期に約 10℃程度の分布が見られるが、今回の蒸気拡散解析の目的は蒸気配管破損時に防護対象設備が機能喪失しないことを確認することであり、防護対象設備の確認済耐環境温度 120℃に対し、保守的な解析条件で実施した解析結果でも十分なマージンを有するように（最高温度が 100℃程度となるように）蒸気漏えい検知及び隔離対策をとっていることから防護対象設備にとって有意な差とはならない。

また、最も高い位置に設置している温度計の温度が早く上昇していることから、温度センサを天井付近に設置すれば蒸気漏えい開始直後に区画内に温度分布があったとしても防護対象設備設置位置よりも早く温度上昇を検知できる。

配管破断時の破断流放出を模擬して、压力容器から水、蒸気を放出させ、破損区画に設置した2つの温度計で温度変化を計測



2つの測定点における差はほとんど見られない



出典: EPRI Product 1013072, GOHIC Qualification Report, Figure 19-23

図5 HDR 試験結果

(考察)

蒸気放出流量が比較的大きな(放出開始後100°Cを超えるような)場合は、区画内の温度分布がほとんど見られない。

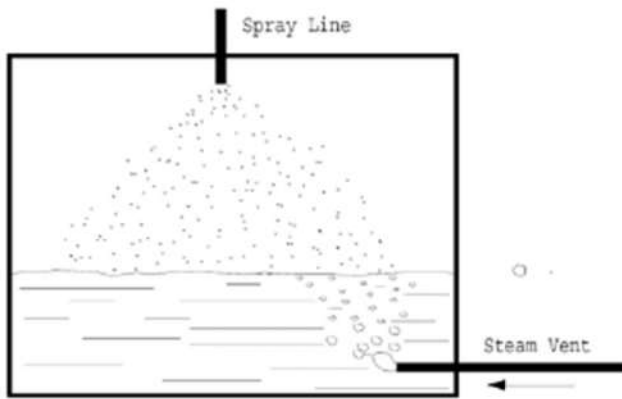
以上により、今回の蒸気拡散解析では区画内の詳細な温度分布を求める必要性がなく、集中定数系モデルが適用できることを確認できた。



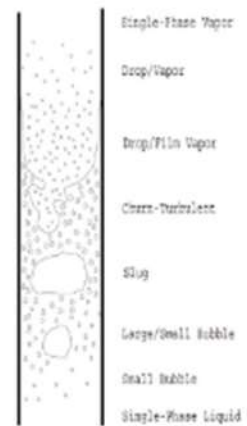
(参考) 集中定数系モデルと分布定数系モデル

表 2 集中定数系と分布定数系の比較

	集中定数系モデル	分布定数系モデル
区画 (ノード)	ノード内の物理量をノードの平均値で計算。	ノード内をサブノードに分割し、各サブノードで物理量の変化を計算。
モデリング	ノードパス	ノードパス+有限差分
次元	1次元	多次元
適用する 事象	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間内が均質となる</li> <li>流れが1次的とみなせる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間内が非均質となる</li> <li>多次元流れを考慮する必要がある。</li> </ul>
適用例	LOCA 時 C/V 健全性評価 C/V モデル	自然対流冷却評価の空間モデル



集中定数系



分布定数系

図 6 流況モデル

泊発電所 3号炉 防護対象設備設置区画ごとの評価パターン (1/5)

想定 破損 箇所	階高	評価 区画	防護対象設備		設置 区画 雰囲気 温度 (°C) ※1	破損 区画 ※2	隣接区画 雰囲気温度 (°C) ※3		パターン ※4
			名称	番号			区画	温度	
CVCS 抽出 ライン	A/B 17.8m	CF-12	3 A-ほう酸タンク水位 (I)	3LT-206	59	-	Cf-9	63	2
							Cf-13	58	
							Cf-14	58	
			Cf-15	58					
			Cf-16	57					
		3 B-ほう酸タンク水位 (II)	3LT-208	Cf-20	57				
	CF-14			58	-	Cf-12	59	2	
	3-ほう酸注入タンク入口弁A	3V-SI-032A							
	3-ほう酸注入タンク入口弁B	3V-SI-032B							
	CF-15	3 A-ほう酸ポンプ	3CSP2A	58	-	Cf-12	59	2	
		3 B-ほう酸ポンプ	3CSP2B						
	R/B 17.8m	CF-27	3-格納容器圧力 (I)	3PT-590	70	-	Cf-34	80	2
							Cf-28	69	
			3-格納容器圧力 (II)	3PT-591			Cf-25	62	
							Cf-37	40	
		CF-28	3 B-制御用空気ヘッダ圧力 (IV)	3PT-1810	73	-	Cf-29	75	2
			3 B-制御用空気 C/V 外側隔離弁	3V-IA-510B			Cf-27	62	
		CF-29	3-格納容器圧力 (III)	3PT-592	75	-	Cf-30	77	2
							Cf-22	75	
		CF-30	3 A-制御用空気ヘッダ圧力 (III)	3PT-1800	77	-	Cf-28	73	2
Cf-21							75		
Cf-22	75								
3 A-制御用空気 C/V 外側隔離弁	3V-IA-510A	Cf-29	75						
R/B 17.8m 中間床	CF-31	3-充てんライン C/V 外側止め弁	3V-CS-175	107	○	-	-	1	
		3-充てんライン C/V 外側隔離弁	3V-CS-177						
		3-1次冷却材ポンプ封水戻り ライン C/V 外側隔離弁	3V-CS-255						
	CF-32	3-ほう酸注入タンク出口 C/V 外側隔 離弁A	3V-SI-036A	105	-	Cf-31	107	2	
		3-ほう酸注入タンク出口 C/V 外側隔 離弁B	3V-SI-036B			Cf-33	97		
		3-補助高圧注入ライン C/V 外側 隔離弁	3V-SI-051			Cf-35	78		
		3 A-格納容器スプレー冷却器出口 C/V 外側隔離弁	3V-CP-013A			-	-		
3 B-格納容器スプレー冷却器出口 C/V 外側隔離弁	3V-CP-013B	-	-						

※1 GOthic 解析による設置区画の最高温度

※2 “○”：設置区画が破損区画，“-”：設置区画は破損区画ではない

※3 GOthic 解析による隣接区画の最高温度（設置区画が破損区画の場合は-）

※4 図 2 の蒸気噴流等の影響評価フローに対応したパターン種別

泊発電所 3号炉 防護対象設備設置区画ごとの評価パターン (2/5)

想定 破損 箇所	階高	評価 区画	防護対象設備		設置 区画 雰囲気 温度 (°C) ※1	破損 区画 ※2	隣接区画 雰囲気温度 (°C) ※3		パターン ※4
			名称	番号			区画	温度	
CVCS 抽出 ライン	R/B 33.1m	Cf-35	3 A-アニュラス排気ダンパ	3D-VS-101A	78	-	Cf-32	105	2
			3 B-アニュラス排気ダンパ	3D-VS-101B			Cf-36	68	
			3 A-アニュラス空気浄化ファン	3VSF9A			-	-	
			3 B-アニュラス空気浄化ファン	3VSF9B			-	-	
	R/B 40.3m	Cf-36	3 A-アニュラス少量排気弁	3V-VS-103A	68	-	Cf-35	78	2
			3 A-アニュラス戻りダンパ	3PCD-2373			-	-	
3 B-アニュラス戻りダンパ			3PCD-2393	-			-		
ASS	A/B 2.3m 2.8m	Af-7	3 A-余熱除去冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-117A	71	-	Af-4	113	2
			3 A-格納容器スプレイ冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-177A			Af-10	51	
			3 B-余熱除去冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-117B			Af-6	49	
		Af-10	3 B-格納容器スプレイ冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-177B	51	-	Af-7	71	2
			3 A-余熱除去冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-117A			Af-13	46	
			3 B-余熱除去冷却器 補機冷却水出口弁	3V-CC-177B			Af-9	45	
	Af-11	3 A-余熱除去ポンプ出口流量 (I)	3FT-601	55	-	Af-5	57	2	
		3 B-余熱除去ポンプ出口流量 (II)	3FT-611			Af-13	46		
	A/B 10.3m	Bf-9	3 A-充てんポンプ	3CSP1A	53	-	Bf-6	64	2
			3 B-充てんポンプ	3CSP1B	52	-	Bf-10	54	2
			3 C-充てんポンプ	3CSP1C	52	-	Bf-10	54	2
		Bf-13	3-よう素除去薬品タンク 注入Aライン止め弁	3V-CP-054A	81	○	-	-	1
	3-よう素除去薬品タンク 注入Bライン止め弁		3V-CP-054B						
	R/B 10.3m	Bf-16	3 A-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水入口弁	3V-CC-151A	57	-	Bf-7	62	2
3 B-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水入口弁			3V-CC-151B	Bf-26			55		
3 A-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水出口弁			3V-CC-159A	Bf-18			50		
3 B-使用済燃料ピット冷却器 補機冷却水出口弁			3V-CC-159B	Bf-28			46		
Bf-18		3 A-使用済燃料ピットポンプ	3SFP1A	51	-	Bf-17	40	2	
		3 B-使用済燃料ピットポンプ	3SFP1B			Bf-16	53		

※1 GOthic 解析による設置区画の最高温度

※2 “○”：設置区画が破損区画，“-”：設置区画は破損区画ではない

※3 GOthic 解析による隣接区画の最高温度（設置区画が破損区画の場合は-）

※4 図2の蒸気噴流等の影響評価フローに対応したパターン種別

泊発電所 3号炉 防護対象設備設置区画ごとの評価パターン (3/5)

想定 破損 箇所	階高	評価 区画	防護対象設備		設置 区画 雰囲気 温度 (℃) ※1	破損 区画 ※2	隣接区画 雰囲気温度 (℃) ※3		パターン ※4
			名称	番号			区画	温度	
ASS	A/B 10.3m 中間床	Bf-15	3-体積制御タンク出口第1止め弁	3LCV-121B	52	-	Bf-14	52	2
			3-緊急ほう酸注入弁	3V-CS-541					
			3-体積制御タンク出口第2止め弁	3LCV-121C					
			3-充てんポンプ入口 燃料取替用水ビット側入口弁A	3LCV-121D					
			3-充てんポンプ入口 燃料取替用水ビット側入口弁B	3LCV-121E					
	A/B 17.8m	Cf-9	3-BA, WD および LD エバボ補機 冷却水戻りライン第1止め弁	3V-CC-351	97	○	-	-	1
			3-BA, WD および LD エバボ補機 冷却水戻りライン第2止め弁	3V-CC-352					
	R/B 17.8m 中間床	Cf-34	3-余剰抽出冷却器等補機冷却水 入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-422	84	○	-	-	1
			3-余剰抽出冷却器等補機冷却水 出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-430					
			3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水入口止め弁	3V-CC-501					
			3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-503					
				3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-528				
	A/B 24.8m	Ef-2	3A-蓄電池室排気ファン	3VSF31A	80	○	-	-	1
			3B-蓄電池室排気ファン	3VSF31B					
			3A-中央制御室給気ファン	3VSF21A					
3B-中央制御室給気ファン			3VSF21B						
3A-非管理区域空調機器室 室内空気温度(1)			3TS-2930						
3A-非管理区域空調機器室 室内空気温度(2)			3TS-2931						
3B-非管理区域空調機器室 室内空気温度(1)			3TS-2934						
3B-非管理区域空調機器室 室内空気温度(2)			3TS-2935						
3C-非管理区域空調機器室 室内空気温度(1)			3TS-2950						
3A-中央制御室給気ファン 出口ダンパ			3D-VS-603A						
3B-中央制御室給気ファン 出口ダンパ	3D-VS-603B								

※1 GOTHIC 解析による設置区画の最高温度

※2 “○”：設置区画が破損区画，“-”：設置区画は破損区画ではない

※3 GOTHIC 解析による隣接区画の最高温度（設置区画が破損区画の場合は-）

※4 図2の蒸気噴流等の影響評価フローに対応したパターン種別

泊発電所 3号炉 防護対象設備設置区画ごとの評価パターン (4/5)

想定 破損 箇所	階高	評価 区画	防護対象設備		設置 区画 雰囲気 温度 (℃) ※1	破損 区画 ※2	隣接区画 雰囲気温度 (℃) ※3		パターン ※4
			名称	番号			区画	温度	
ASS	A/B 24.8m	Ef-3	3 A-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2823	90	○	-	-	1
			3 B-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2824					
			3 A-中央制御室循環 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2836					
			3 B-中央制御室循環 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2837					
			3 A-中央制御室事故時外気取入 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2850					
			3 B-中央制御室事故時外気取入 風量調節ダンパ流量設定器	3HC-2851					
			3 A-中央制御室非常用循環ファン 出口空気流量	3FS-2867					
			3 B-中央制御室非常用循環ファン 出口空気流量	3FS-2868					
			3 A-中央制御室給気ユニット 冷水温度制御弁	3TCV-2827					
			3 B-中央制御室給気ユニット 冷水温度制御弁	3TCV-2828					
			3 A-中央制御室非常用循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-602A					
			3 B-中央制御室非常用循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-602B					
			3 A-中央制御室循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-604A					
			3 B-中央制御室循環ファン 入口ダンパ	3D-VS-604B					
			3 A-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ	3HCD-2823					
			3 B-中央制御室外気取入 風量調節ダンパ	3HCD-2824					
			3 A-中央制御室循環風量調節ダンパ	3HCD-2836					
			3 B-中央制御室循環風量調節ダンパ	3HCD-2837					
			3 A-中央制御室事故時外気取入 風量調節ダンパ	3HCD-2850					
			3 B-中央制御室事故時外気取入 風量調節ダンパ	3HCD-2851					
3 A-中央制御室循環ファン	3VSF20A								
3 B-中央制御室循環ファン	3VSF20B								
3 A-中央制御室非常用循環ファン	3VSF22A								
3 B-中央制御室非常用循環ファン	3VSF22B								

※1 GOthic 解析による設置区画の最高温度

※2 “○”：設置区画が破損区画，“-”：設置区画は破損区画ではない

※3 GOthic 解析による隣接区画の最高温度（設置区画が破損区画の場合は-）

※4 図 2 の蒸気噴流等の影響評価フローに対応したパターン種別

泊発電所3号炉 防護対象設備設置区画ごとの評価パターン (5/5)

想定 破損 箇所	階高	評価 区画	防護対象設備		設置 区画 雰囲気 温度 (℃) ※1	破損 区画 ※2	隣接区画 雰囲気温度 (℃) ※3		パターン ※4						
			名称	番号			区画	温度							
ASS	A/B 24.8m	Ef-4	3 A-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2A) 出口空気温度 (2)	3TS-2933	77	○	-	-	1						
			3 B-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2B) 出口空気温度 (2)	3TS-2937											
			3 C-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)	3TS-2951											
			3 C-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2C) 出口空気温度 (2)	3TS-2953											
			3 D-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (1)	3TS-2954											
			3 D-非管理区域空調機器室 電気ヒータ (3VSE2D) 出口空気温度 (1)	3TS-2957											
			3 A-安全補機閉閉器室給気ファン	3VSF27A											
			3 B-安全補機閉閉器室給気ファン	3VSF27B											
			3 A-非管理区域 空調機器室電気ヒータ	3VSE2A											
			3 B-非管理区域 空調機器室電気ヒータ	3VSE2B											
			3 C-非管理区域 空調機器室電気ヒータ	3VSE2C											
			3 D-非管理区域 空調機器室電気ヒータ	3VSE2D											
			Ef-5	3 D-非管理区域空調機器室 室内空気温度 (2)						3TS-2955	68	○	-	-	1
				3 A-安全補機閉閉器室給気ユニット 冷水温度制御弁						3TCV-2774					
	3 B-安全補機閉閉器室給気ユニット 冷水温度制御弁	3TCV-2775													
	R/B 24.8m	Ff-6	3 A, B-C/V 再循環ユニット補機冷 却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-203A	72	○	-	-	1						
			3 A-C/V 再循環ユニット補機冷却水 出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-208A											
			3 B-C/V 再循環ユニット補機冷却水 出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-208B											
		Ff-8	3 A-燃料取替用水ポンプ	3RFP1A	81	○	-	-	1						
			3 B-燃料取替用水ポンプ	3RFP1B											
			3-燃料取替用水ピット水位	3LT-1400											
			3-燃料取替用水ピット水位	3LT-1401											
		Ff-11	3 C, D-C/V 再循環ユニット補機冷 却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-203B	49	-	Ff-10	69	2						
			3 C-C/V 再循環ユニット補機冷却水 出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-208C											
3 D-C/V 再循環ユニット補機冷却水 出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-208D														

※1 GOthic 解析による設置区画の最高温度

※2 “○”：設置区画が破損区画，“-”：設置区画は破損区画ではない

※3 GOthic 解析による隣接区画の最高温度（設置区画が破損区画の場合は-）

※4 図2の蒸気噴流等の影響評価フローに対応したパターン種別

蒸気漏えいの自動検知及び遠隔隔離について

1. 概要

蒸気漏えい時に防護対象設備への影響を緩和するため、漏えい検知用の温度検出器、補助蒸気を自動隔離するための蒸気しゃ断弁及びこれらを監視制御する盤を常用系計装盤室及び中央制御室に設けている（以下まとめて「蒸気漏えい検知システム」とする）。

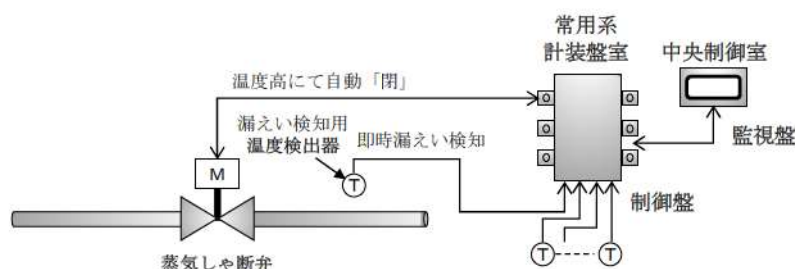


図1 蒸気漏えいの自動検知及び遠隔隔離概要図

2. 温度検出器の配置について

温度検出器は、以下の「区画配置」の考え方にに基づき配置している。

(1) 区画配置

蒸気漏えい影響範囲に設置されている防護対象設備の損傷を防止することを目的として、原則、蒸気拡散解析区画ごとに温度検出器を1個設置する。ただし、以下の区画は除く。

- ・ 高エネルギー配管、防護対象設備が共でない区画（パターン1）
- ・ 蒸気拡散解析結果、最高温度が60℃（防護対象設備の通常仕様温度程度）未満の区画（パターン2）
- ・ 蒸気拡散経路上の上流側解析区画に温度検出器を設置することで蒸気漏えいを検知可能な下流側の解析区画（パターン3）



図2 区画配置温度検出器設置概念図

### 3. 系統からの漏えい検知及び隔離について

蒸気漏えいの検知及び蒸気漏えい時の温度変化は系統ごとに異なるため温度変化に応じた検知及び隔離方法を選択することとしており、以下に系統ごとの設計条件を示す。

#### (1) 補助蒸気系統について

蒸気漏えい時に直ちに防護区画内の環境温度が上昇し、最高到達温度が確認済耐環境温度を超えるおそれがあるため、環境温度の上昇を解析区画に設置された区画配置温度検出器による警報で検知し、自動隔離する設計とする。また、自動隔離は、防護区画内の最高到達温度が、確認済耐環境温度に対して余裕を有する温度となるよう設計する。なお、中央制御室からの遠隔手動隔離も可能な設計とする。

具体的には、補助蒸気系統からの漏えい時の環境温度の変化は他の系統に比べ急（破損位置によっては、隔離をせずに環境温度が最高温度に到達すると防護対象設備の確認済耐環境温度を超える場合がある）であることから、防護区画内の温度が 50℃以上で中央制御室に温度高警報が発信し、さらに 60℃以上で温度異常高警報が発信するとともに蒸気しゃ断弁が自動閉止し蒸気漏えいを停止させる設計とする。当該設計とすることで、防護区画内の最高到達温度が 100℃程度に制限され、確認済耐環境温度 120℃に対する余裕を確保する。

また、隔離に必要な蒸気漏えい検知システム（温度検出器を除く）は蒸気影響範囲外の常用系計装盤室及び中央制御室並びにタービン建屋に設置しているため、蒸気漏えいによる隔離機能への影響はない。

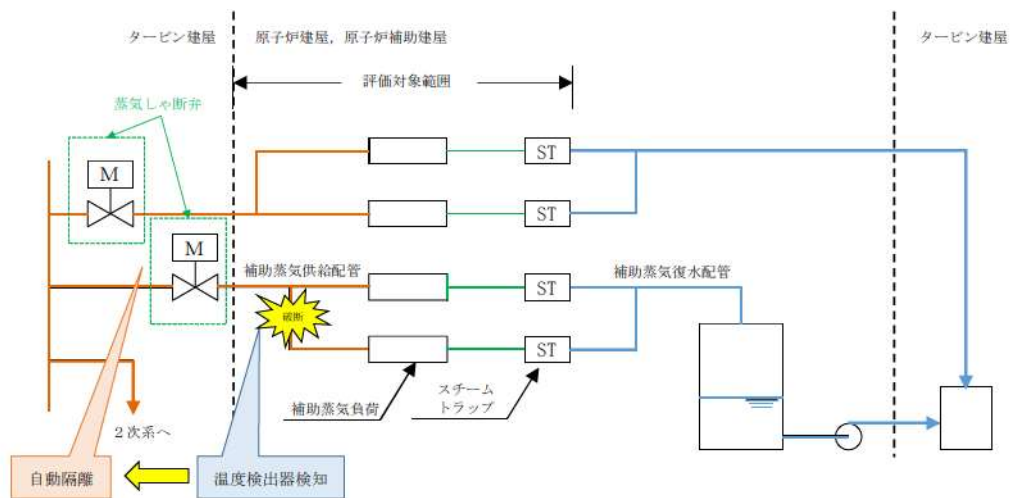


図3 補助蒸気系統の隔離略図

#### (2) 抽出配管について

蒸気漏えい時に防護区画内の環境温度が上昇するものの、最高到達温度が確認済耐環境温度以下となるため、温度検出器による警報（防護区画内が 50℃以上で温度高警報、60℃以上で温度異常高警報）、運転員が監視している系統パラメータや系統の警報で検知し、遠隔手動隔離する設計とする。



具体的には、抽出配管からの漏えい時の環境温度の変化は補助蒸気系統に比べ穏やか（隔離をせずに環境温度が最高温度に到達したとしても防護対象設備の確認済耐環境温度以下）であり、運転員が中央制御室に発信した警報を確認後、対応操作に十分余裕を持って中央制御室から隔離弁を遠隔閉止することで、蒸気漏えいを停止させることができる。

また、隔離に必要となる中央制御盤等は蒸気影響範囲外の常用系計装盤室及び中央制御室に設置しているため、蒸気漏えいによる隔離機能への影響はない。

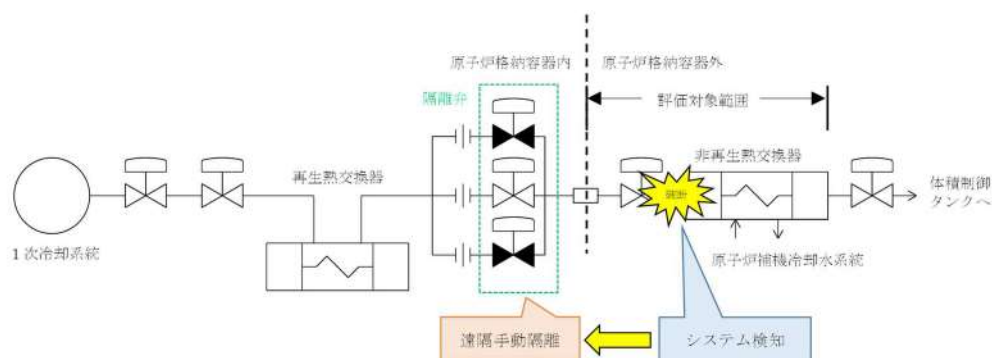


図4 抽出配管の隔離略図

#### 4. システムの信頼性について

##### (1) 安全機能の重要度及び信頼性について

蒸気漏えい検知システムは、その機能喪失が原子炉施設の運転に直接重大な影響を与えるものではないため、MS-3の「異常状態への対応上必要な構築物、系統及び設備」として位置付け、多重化、多様化等の特に高い信頼性は不要としている。

また、3.(1)のとおり、補助蒸気系統の隔離については、本システムに期待しているが、補助蒸気系の安全機能の重要度はPS-3に分類され、その機能喪失が原子炉施設の運転に直接重大な影響を与えるものではない。

しかしながら、本システムの機能喪失と補助蒸気系統の破損が重畳した場合には、漏えい蒸気の影響により、重要度の高い防護対象設備の機能が喪失する可能性があることから、本システムの機能喪失は最小限にとどめる必要がある。

##### (2) 信頼性に係る設備の特徴及び機能維持について

蒸気漏えい検知システムは、蒸気拡散解析の解析区画内に設置している温度検出器で検知し、常用系計装盤室に設置している漏えい検知制御盤の監視制御回路に検知信号が送られ、盤内のリレーを動作させることで蒸気しゃ断弁（電動弁）を閉止することができるシステムである。

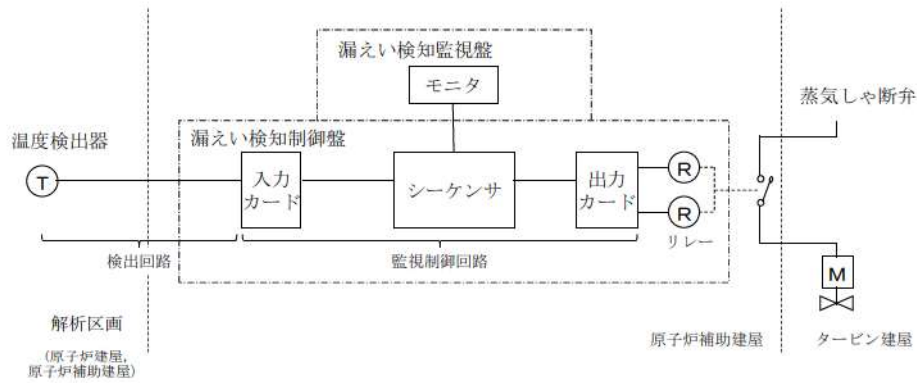


図5 蒸気漏えい検知システム概要図

本システムは、以下①～⑤のとおり確実に検知できるように、設備面、運用面を合わせて信頼性の高いものとしている。また、適切な保全計画を策定、実施することにより長期の機能維持を図る。

#### ①温度検出器及び検出回路の信頼性

蒸気漏えい検知システムの温度検出器の設置目的は、配管破断時の環境温度が 120℃（電動弁、空気式作動弁等の防護対象設備の健全性確認温度）以下に緩和するよう隔離することである。

設置目的において、温度計の種類としては、測温抵抗体、熱電対、液体膨張式温度計及び光ファイバ式温度計があるが、本システムは遠隔監視が必要であること\*をふまえ、測温抵抗体、熱電対及び光ファイバ式温度計を選定候補とする。

設計においては、本システムの設置目的を達成できるように、精度、応答性、温度範囲、衝撃、振動、寿命、保守性等をふまえた設計を行う。

具体例として、計測精度の観点では、蒸気漏えい検知システムとしての余裕が大きいため一般的な計装設計の観点から、計測精度を±2℃に収める設計とする。また、応答時間の観点では、解析の入力条件の観点から、測温抵抗体応答時間7秒（計測設備の応答時間10秒）以内に収める設計とする。さらに、設置環境の観点では、漏えい蒸気による影響が考えられるため、試験で検証された温度検出器と同等のものを適用する設計とする。

上記の設計要求事項に加え、適用実績が豊富な測温抵抗体を選定する。（詳細については表1参照。）

さらに温度計を選定した後、設計の妥当性の確認として、詳細設計と解析入力条件の対比及び解析結果と蒸気暴露試験結果の対比による評価を実施する。

なお、表2に測温抵抗体と熱電対の各特性（精度、応答性、計測温度範囲、耐衝撃、耐振動、寿命、保守性）の比較を示す。

※ 液体膨張式温度計では遠隔監視ができない。

表1 温度検出器の選定にかかる主な設計要求事項

	主な設計要求事項	温度検出器の選定
設置目的	<p>蒸気漏えい時の環境を 120℃（防護対象設備の健全性確認温度）以下まで緩和できるシステムを構築する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自動／遠隔手動隔離機能を設置。</li> <li>・中央制御室に環境温度を表示／警報。（遠隔監視可能）</li> <li>・必要に応じ防護カバーを設置。</li> </ul>	<p>温度検出器の選定に関する要求は無い。ただし、遠隔監視可能のものに限る。</p> <p>このため、<u>測温抵抗体、熱電対及び光ファイバ式温度計を選定の候補とする。</u></p>
設計	<p>1) 原則として、当該システムは、MS-3 に合致した設計とする。</p>	<p>1) <u>温度検出器の選定に係る項目ではない。</u></p>
	<p>2) 当該システムは、緩和目的を達成できる応答時間と精度を有し、温度検出器、制御装置、弁で構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測精度は一般的な計装設計の観点から以下のとおり設計する。 計測精度：±2℃</li> <li>・応答時間は解析の入力条件の観点から、以下のとおり設計する。 応答時間：測温抵抗体 7 秒以内（計測設備 10 秒以内）</li> <li>・計測温度範囲は、故障の判別ができるよう、実際に使用する温度より裕度をもった設計とする。下限は、通常環境温度に裕度をもたせ、0℃とし、上限は、補助蒸気系の実運用の最高使用温度（170℃）に、裕度をもたせ 185℃とする。（主目的は、50℃温度高警報、60℃温度異常高警報の発信である。）計測温度範囲：0～185℃</li> </ul>	<p>2) 以下のとおり示す。（詳細は表2参照。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計測精度は、初期 40℃で解析し、システムとして最大 100℃程度に緩和していることから、一般的な温度検出器の精度に対するシステム上の余裕は大きい。保守的に計測精度 ±2℃で設計することから、<u>すべての温度検出器が選定候補となる。</u></li> <li>・応答時間は、漏えい検知から隔離完了までの時間を、解析の入力条件としており、応答時間を踏まえて温度検出器を選定する必要がある。しかしながら、一般的な温度検出器の応答時間より余裕は大きい。ゆえに、<u>すべての温度検出器が選定候補となる。</u></li> <li>・計測温度範囲は、通常環境温度から、補助蒸気系の実運用の最高使用温度 170℃までを計測できればよい。ゆえに、<u>すべての温度検出器が選定候補となる。</u></li> </ul>

	主な設計要求事項	温度検出器の選定
設計	<p>3) 当該システムは耐環境性（蒸気漏えい時の環境）を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐環境性の観点から、試験で（PAR・イグナイタ動作監視用の温度検出器として）検証された温度検出器と同等のものを適用する設計とする。</li> </ul>	<p>3) 以下のとおり示す。（詳細は表2参照。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐環境性の観点として、光ファイバ式温度計の検証実績がないことから、<u>測温抵抗体及び熱電対が選定候補となる。</u></li> <li>耐衝撃・耐振動の観点では、測温抵抗体及び熱電対ともに単純構造の静的機器であり、検出部の故障は起こりにくい。ゆえに、<u>測温抵抗体及び熱電対が選定候補となる。</u> 寿命の観点では、測温抵抗体及び熱電対ともに感温部は金属や無機材料で構成されており基本的に劣化しにくい材料で構成されている。ゆえに、<u>測温抵抗体及び熱電対が選定候補となる。</u></li> </ul>
	<p>4) 温度検出器は、漏えいを早期に検知できる場所に設置する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原則、破断想定箇所の上部（天井付近）又はその近傍に設置する。</li> <li>防護カバーを設置する場合は、その近傍に温度検出器を設置する。</li> </ul>	<p>4) 設置場所に関する要求であり、<u>温度検出器の選定に係る項目ではない。</u></p>
	<p>5) 温度検出器は、信頼性が高く、原子力プラントへの採用実績が多く、かつ保守実績のある設備で構成する設計とする。</p>	<p>5) 以下のとおり示す。（詳細は表2参照。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>保守性の観点では、PWRプラントでの適用実績が多く、かつ保守実績のある<u>測温抵抗体が選定候補となる。</u></li> <li>施工性の観点では、今回の施工では、検知箇所と測定箇所が離れており、熱電対を選定した場合には基準接点補償が必要となるため、メンテナンス面を踏まえ、<u>測温抵抗体が選定候補となる。</u></li> </ul>
結論	—	<u>1～5)をふまえ、当該システムへの適用に際して優位である測温抵抗体を選定する。</u>

表2 測温抵抗体と熱電対の比較

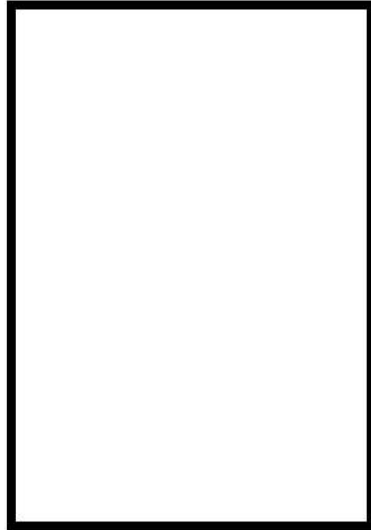
項目	測温抵抗体	熱電対
精度（許容差）※1	クラスA $\pm 0.15^{\circ}\text{C} + 0.002 t $	クラス1 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
応答性※2	7秒以内	7秒以内
計測温度範囲※1	-100～450°C	～800°C程度
耐衝撃※2 耐振動※2	（構造からの考察） 構造としては熱電対よりも比較的細い Pt 線を用いており、一般的には熱電対に劣る。しかしながら、本システムにおいては、安定した場所で用いる計画であり、以下のとおり確認試験を実施し、健全性を確認しているため、有意な差は無い。 （試験内容） ・耐衝撃 250mm の高さから 10 回繰り返し落下させる ・耐振動： 10～150Hz, 10～20m/s <sup>2</sup> , 掃引時間 2 分, 掃引回数 10 回	（構造からの考察） 構造としては異種金属接合であり、測温抵抗体よりも比較的太く、一般的に測温抵抗体より優れる。 （試験内容） 同左
寿命※2	感温部は金属や無機材料で構成されており基本的に劣化しにくい材料で構成されている。	同左
保守性	（点検項目） 絶縁抵抗測定, 抵抗値測定, 基準温度との比較等	（点検項目） 絶縁抵抗測定, 起電力測定, 基準温度との比較等
施工性	—	基準接点補償が必要である。

※1 測温抵抗体は、JIS C 1604-2013 に基づく。熱電対は、JIS C1605-2013 に基づく。

※2 メーカーへの確認結果に基づく。

測温抵抗体は、単純構造の静的機器であることから、高い信頼性を有する設備であり、万一故障した場合でも、容易に取替えが可能である。故障時は予備品取替え対応となるが、作業は設置場所によって足場を組む必要があるため、1日～数日の保守期間で対応する。

また故障発生から復旧完了までの間、蒸気漏えい検知にかかる中央制御室での監視ができなくなるため、故障している測温抵抗体がある蒸気影響範囲の現場監視を強化し、その旨を手順書に明記する。




#### 温度検出器の仕様

- ・検出方式：測温抵抗体
- ・最高使用温度：185℃
- ・最高使用圧力：0.2MPa
- ・計測範囲：0～185℃

※故障の判別ができるよう、実際に使用する温度より裕度をもった設計とする。

下限は、通常環境温度に裕度を持たせ、0℃とし、上限は、補助蒸気系の実運用の最高使用温度（170℃）に裕度をもたせ185℃とする。（主目的は、50℃温度高警報、60℃温度異常高警報の発信である。）

図6 測温抵抗体外形図

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

#### ②監視制御回路の信頼性

監視制御回路は、主要な回路がデジタル設備で構成され、自己診断機能を有している。よって、監視制御回路が故障した場合でも、自己診断で故障を検知し、漏えい検知監視盤に警報を発信するため、早期の保守対応が可能であり、高い信頼性を有する設備である。

#### ③リレー及び蒸気しゃ断弁の信頼性

本回路は、検出回路や監視制御回路のように状態を監視する機能は設けていないが、下記のとおり、基本的に設備固有の信頼性は高いものである。

- ・配線設備を含めて広く一般的に用いられている機器で構成されており、通常使用において故障することは少ない。

また、運用面においても、下記のとおり設備の信頼性を低下させる要因は少ないと考えられる。

- ・本回路は常時待機状態であるため、磨耗等の劣化要因はない。
- ・設備は常用系計装盤室及び中央制御室に設置されており、雨水、塵埃等の環境影響も小さい。

以上のことから、故障発生は少なく、高い信頼性を有していると考えられるため、定期的な作動試験で設備の健全性を確認することとし、不要な系統外乱を回避する観点から、試験は定期事業者検査中の補助蒸気停止時に実施する。

なお、さらなる信頼性向上の観点から、リレーは2重化しており、同回路の単一故障による機能喪失を防止している。

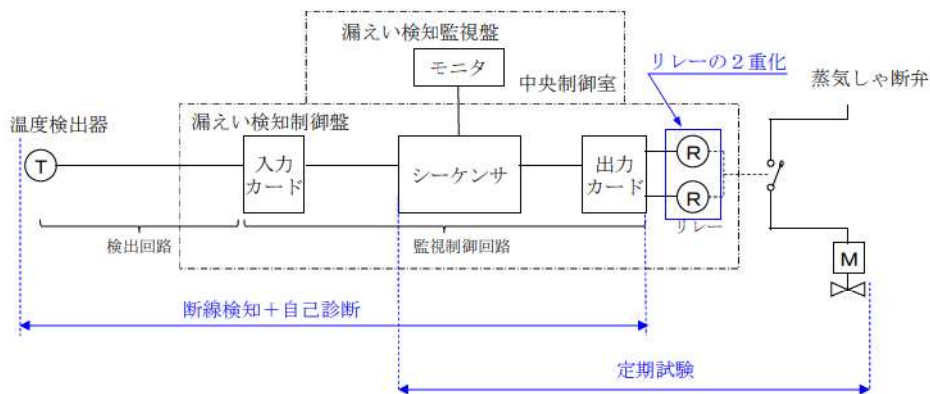


図7 蒸気漏えい検知システム信頼性確保の概要図

④計測設備の精度

蒸気漏えい検知システムとして温度検出器から漏えい検知制御盤までの精度は、初期温度40℃から、60℃で温度異常高警報発信、補助蒸気系を遠隔隔離（自動）し、最大100℃程度に緩和していることから、一般的な温度検出器の精度に対するシステム上の余裕は大きい。温度検出器精度、漏えい検知制御盤精度及び余裕を踏まえ、一般的な計装設計の観点から、本システムでは、計測精度を±2℃に収める設計としている。

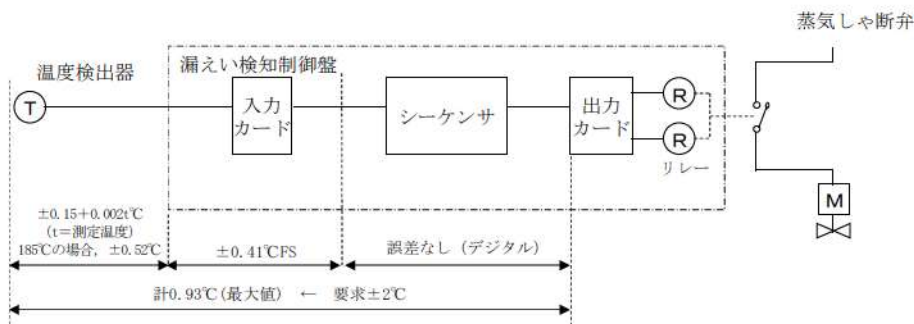


図8 温度検出器の計測誤差

⑤計測設備の応答遅れ及び解析での取り扱いについて

蒸気漏えい検知システムにおいては、温度検出から制御盤の演算、出力処理により、システム全体としての応答時間の遅れが発生する。蒸気漏えい検知システムとして漏えい検知から隔離完了までの時間を、解析の入力条件としている。応答時間は弁動作時間が支配的であり、温度検出器の応答時間よりシステム上の余裕は大きい。温度検出器精度、漏えい検知制御盤精度及び余裕を踏まえ、一般的な計装設計の観点から、本システムでは、応答時間を10秒以内に収める設計としており、蒸気拡散解析でも、「60℃検知→補助蒸気しゃ断弁閉指令出力」に10秒の遅れを設定している。

## 5. 温度検出器誤作動による影響について

温度検出器が誤検知し、蒸気しゃ断弁が動作した場合は、補助蒸気（1次系側）が全停となるが、補助蒸気（1次系側）の供給先には重要度の特に高い安全機能を有する系統、使用済燃料ピットの冷却及び給水機能を有する系統がないためプラントの安全運転、安全停止に影響を与えることはない。なお、ノイズ等によるシステムの誤作動を防止するため監視制御回路に1秒のオンディレイタイマーを設けている。

## 6. 蒸気漏えい検知システムの検証について

蒸気漏えい検知システムによる蒸気影響緩和対策の妥当性は、GOTHIC コードを用いた蒸気拡散解析によって確認している。以下に具体的に示す。

補助蒸気系統の想定破損の形態は、溢水ガイドにしたがって、ターミナルエンド部は完全全周破断、1B を超える配管の一般部は1/4Dt 貫通クラック、1B 以下の一般部は完全全周破断を想定している。この場合、配管から漏えいする蒸気は、比較的大きな漏えい量となり、GOTHIC コードで分割した解析区画内での空調の影響は受けずに一気に解析区画内で均一に拡散すると考えられる。よって、解析区画内の任意の箇所に温度検出器を設置すれば、解析区画の温度上昇を検知することができる。なお、温度検出器は、付近の他機器のメンテナンス時の作業性に干渉しない範囲で、可能な限り蒸気配管の近傍上部に配置設計し、蒸気漏えいをより早期に検知することを考慮している。

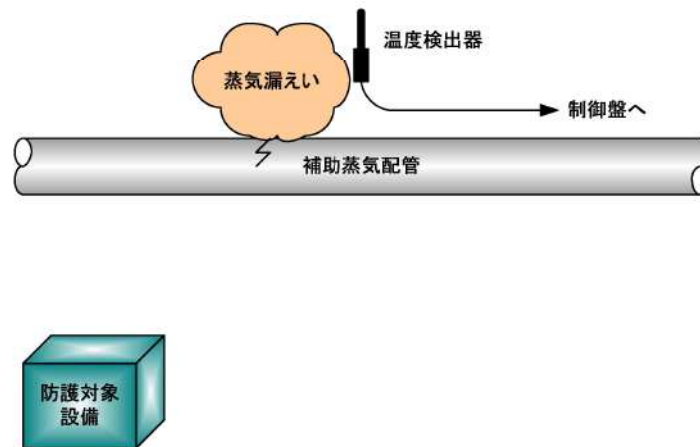


図9 区画配置温度検出器設置イメージ図

また、防護対象設備の健全性を確認する判定基準は温度であるため、解析結果において解析区画のピーク温度が高くなるように、蒸気漏えい検知システムを蒸気拡散解析内で考慮する際には、保守的に以下のようにしている。

- ・温度検出器等の計測設備の応答遅れを保守的に設定し、検知までの時間を長めに設定（図10）
- ・蒸気しゃ断弁の閉止時間を実動作時間（21秒）に対し長め（25秒）に設定
- ・蒸気しゃ断弁閉止動作中の蒸気放出流量は蒸気しゃ断弁全開状態と同じとして設定



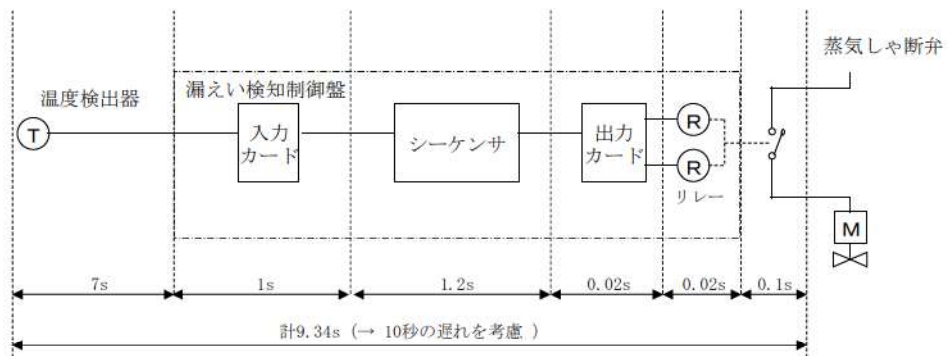


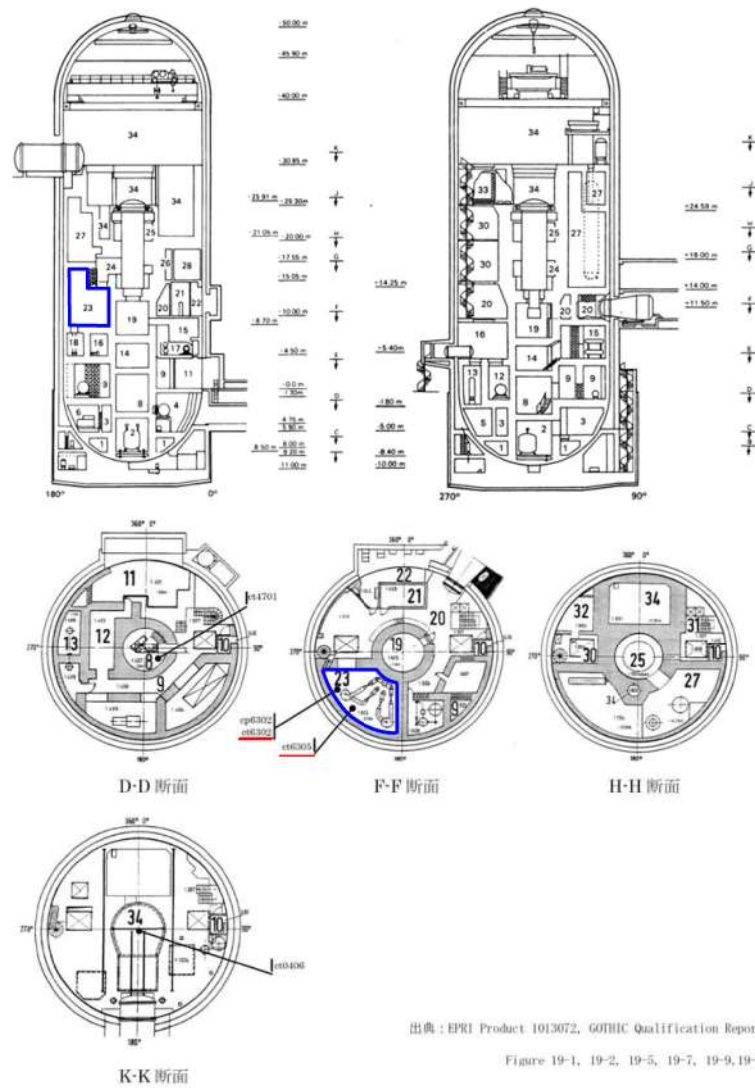
図 10 温度検知から蒸気しゃ断弁閉指令までの遅れ時間内訳

一方、配管から漏えいする蒸気が、空調の影響を受けるような比較的微少な場合は、防護対象設備に影響を及ぼすことはない。

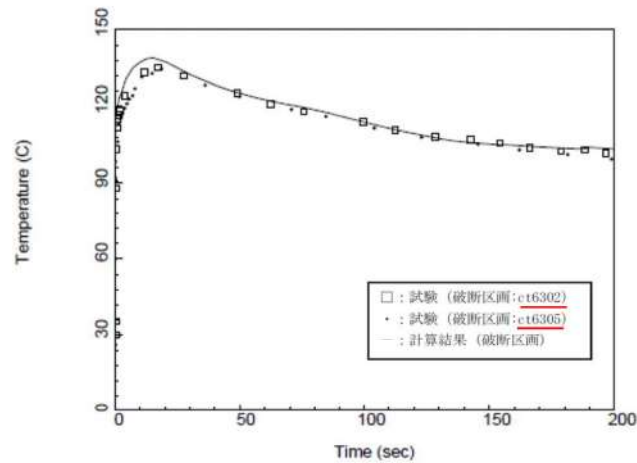
(参考)

○蒸気漏えい量が比較的大きい場合

GOTHIC コードの妥当性確認のためのドイツの廃炉施設を利用した HDR 試験の実験解析から、同一解析区画内での温度変化傾向はほぼ同じであることがわかる。(区画 23 参照)



参考図 1 HDR 試験設備の概要図



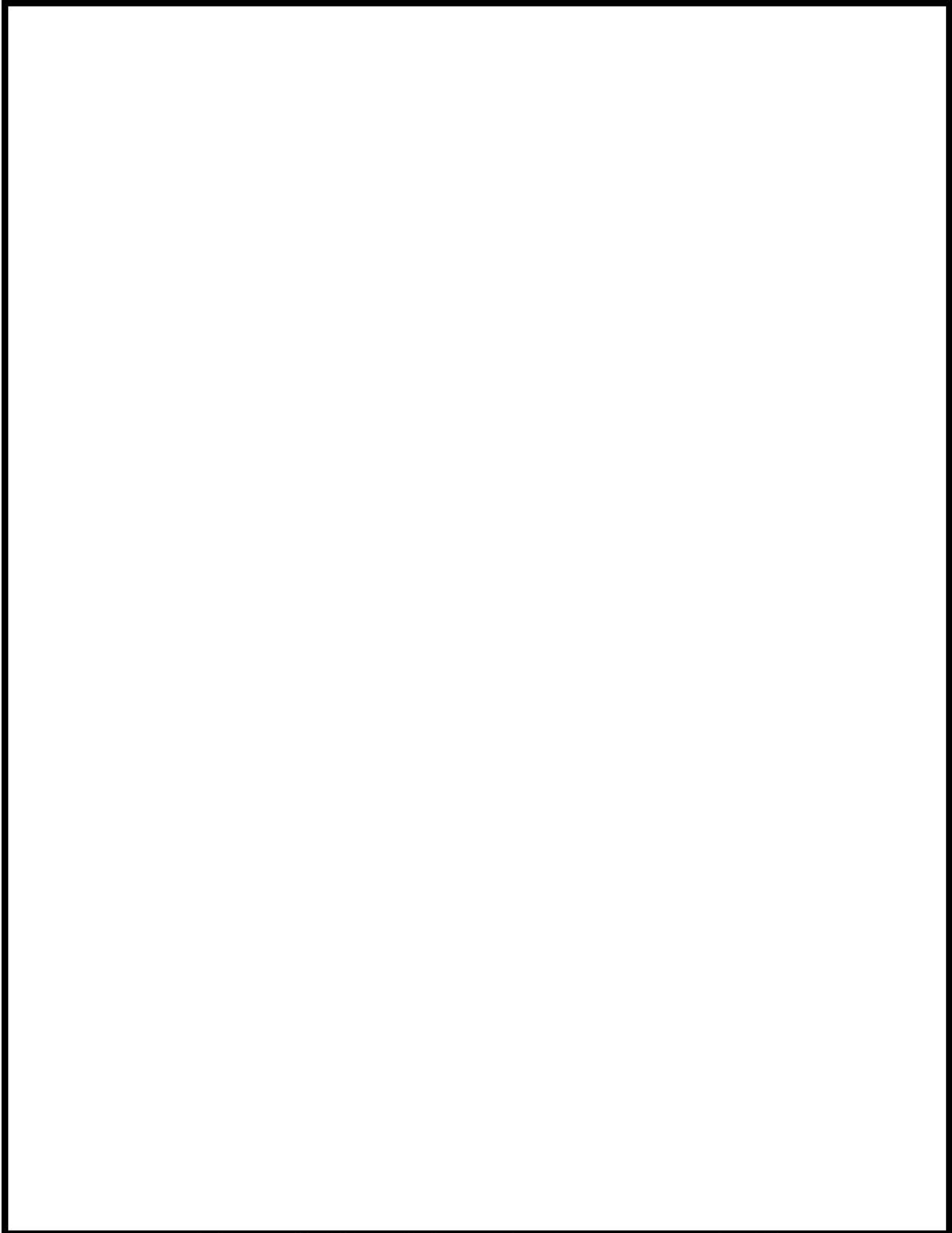
出典: EPRI Product 1013072, GOTHIC Qualification Report, Figure 19-23

参考図 2 区画 23 雰囲気温度

○蒸気漏えい量が比較的微小な場合

GOTHIC コードによる解析では、各解析区画間での空調の出入りを模擬している。蒸気漏えい量が比較的微小な場合、空調の流れが有意に働くため、解析区画内の環境温度は上がりず防護対象設備に影響のない温度となる。

例えば、泊発電所 3 号炉の補助蒸気系統(1・1/2B)の 1/4Dt 貫通クラックの解析結果では、環境温度は 10°C 程度しか上がりず、その後ほぼ一定の温度となる。これは、漏えいした蒸気の流れが解析区画間の空調の出入りに支配されており、解析区画内での温度上昇が抑制されているためである。



参考図 3 補助蒸気系統 (1・1/2B) 1/4Dt 貫通クラック解析結果  
(泊発電所 3 号炉 原子炉補助建屋 T.P. 17.8m)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 防護対象設備の耐蒸気性能について

本資料は、防護対象設備の耐蒸気性能についてまとめたものである。

I. では耐蒸気性能試験の評価及び机上評価の概要について、II. では各試験対象設備の耐蒸気性能試験結果、III. では耐蒸気性能試験における健全性確認方法について、IV. ではモータの耐蒸気性能評価について、V. ではメタルクラッドスイッチギヤの蒸気影響について、VI. では電気ヒータの耐蒸気性能評価について記載する。

### I. 耐蒸気性能試験の評価及び机上評価の概要について

電気計装品については、蒸気環境に対する耐力を確認する必要があることから、実際に蒸気に曝露する「耐蒸気性能試験」での評価及び一部の設備については机上での評価を実施した。

以下にその概要を示す。

#### 1. 耐蒸気性能試験

##### (1) 試験対象設備

試験対象設備は、蒸気影響を受ける区画に設置された防護対象設備から網羅的に抽出した。

##### (2) 試験方法

防護対象設備が晒される環境条件を考慮し、図1に示す試験温度プロファイルで防護対象設備（供試体）を蒸気に曝露させ、機能維持することを確認した。

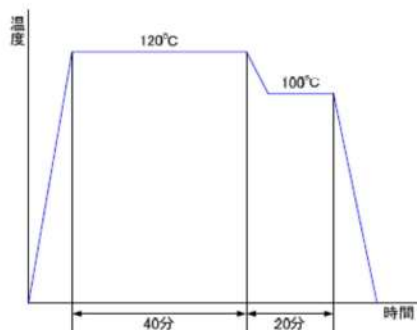


図1 試験温度プロファイル



図2 蒸気曝露試験装置

## ープロファイルの考え方

防護対象設備の存在する区画の温度を温度検知，自動隔離等を考慮して解析し，その解析結果に一定程度の余裕を見込んだ 120℃で試験を実施した。蒸気の曝露継続時間については手動隔離も想定し 40 分とした。また，隔離後の温度低下についても考慮し，100℃ 20 分の条件を加えた。

### (3) 試験結果

表 1 のとおり，すべての試験対象設備について，120℃の耐蒸気性能を有することを確認した。

表1 防護対象設備耐蒸気性能試験 結果一覧表

防護対象設備		試験結果	備考
電動弁	モータ及び駆動部	○	
空気作動弁	リミットスイッチ	○	
	電磁弁	○	
	減圧弁	○	
	ダイヤフラム	○	
ダンパ	ダンパオペレータ	○	
	ポジションナ	○	
	ポジションスイッチ	○	
	電磁弁	○	
	減圧弁	○	
計器	伝送器	○	
	流量設定器	○	
	温度スイッチ	○	
現場盤	スイッチ，表示灯，端子台等	○	
モータケーブル 接続部	高圧ケーブル接続部	○	
	低圧ケーブル接続部	○	
中継端子箱	端子台	○	

## 2. 机上評価

防護対象設備のうちモータ及び電気ヒータについては，他の電気計装品と異なり，外形寸法の大きさから試験による確認が困難であるため，机上評価にて耐蒸気性能を確認した。

## 2. 1 モータを机上評価で問題ないとした理由

モータの構成部品のうち、蒸気による影響が考えられるのは、固定子コイル部（絶縁に有機材を使用）、及び軸受部（潤滑油、グリスを使用）である。

固定子コイル部においては、絶縁種別ごとに耐熱性能に関する知見があり、軸受部についても同様にグリスや潤滑油の耐熱性能に関する知見があることから、実機での蒸気性能試験を実施しなくとも健全性の評価は可能である。

なお、その他の部品については金属材料で構成される機械的な支持構造物等であり、120℃の蒸気環境下で健全性に影響することはないと考えられる。

### (1) 評価方法

蒸気影響により機能喪失が想定されるモータの部位は、固定子コイル及び軸受であり、複数ある型式ごとに蒸気環境にさらされた場合の健全性について評価する。

#### i) 固定子コイル

環境温度に通電による温度上昇を加えた温度が、固定子コイルの許容温度以下であることを確認する。

#### ii) 軸受（軸受メタル又はベアリング）

環境温度に摩擦による温度上昇を加えた温度が、軸受メタル又はベアリングの許容温度以下であることを確認する。

#### iii) 軸受（グリス又は潤滑油）

環境温度に摩擦による温度上昇を加えた温度が、グリス又は潤滑油の許容温度以下であることを確認する。

### (2) 評価結果

いずれの型式においても固定子コイル及び軸受の温度は許容温度以下であり、機能維持できることを確認した。

## 2. 2 電気ヒータを机上評価で問題ないとした理由

電気ヒータの構成部品のうち、蒸気による影響が考えられるのは、端子台及び送風機モータである。

端子台においては、蒸気性能試験を実施して健全性の評価は可能である。

送風機モータは、2. 1により詳細を確認することで健全性の評価が可能である。

なお、その他の部品については金属材料で構成される機械的な支持構造物等であり、120℃の蒸気環境下で健全性に影響することはないと考えられる。

### (1) 評価方法

蒸気影響により機能喪失が想定される電気ヒータの部位は、端子台及び送風機モータであり、構成部品ごとに蒸気環境にさらされた場合の健全性について評価する。

#### i) 端子台

「Ⅱ. 各試験対象設備の耐蒸気性能試験結果」の中継端子箱の試験結果で問題ないことを確認する。

#### ii) 送風機モータ

「Ⅳ. モータの耐蒸気性能評価について」で評価する。

### (2) 評価結果

電気ヒータは、溢水による蒸気環境下においても機能維持できることを確認した。



## II. 各試験対象設備の耐蒸気性能試験結果

すべての試験対象設備について、120℃の耐蒸気性能を有することを確認した。以降に各試験対象設備の耐蒸気性能試験結果を示す。

### (1) 電動弁

電動弁駆動装置を 120℃の蒸気環境（120℃40 分+100℃20 分）に晒し、弁の開閉動作が問題なく行えることを確認する。

なお、H25. 6 月末の現状評価時点では、電動弁駆動装置の駆動モータはB種絶縁（耐熱温度 130℃）であることから、健全性に問題はないと判断していた。今回は実際の蒸気環境を模擬した試験を実施した。

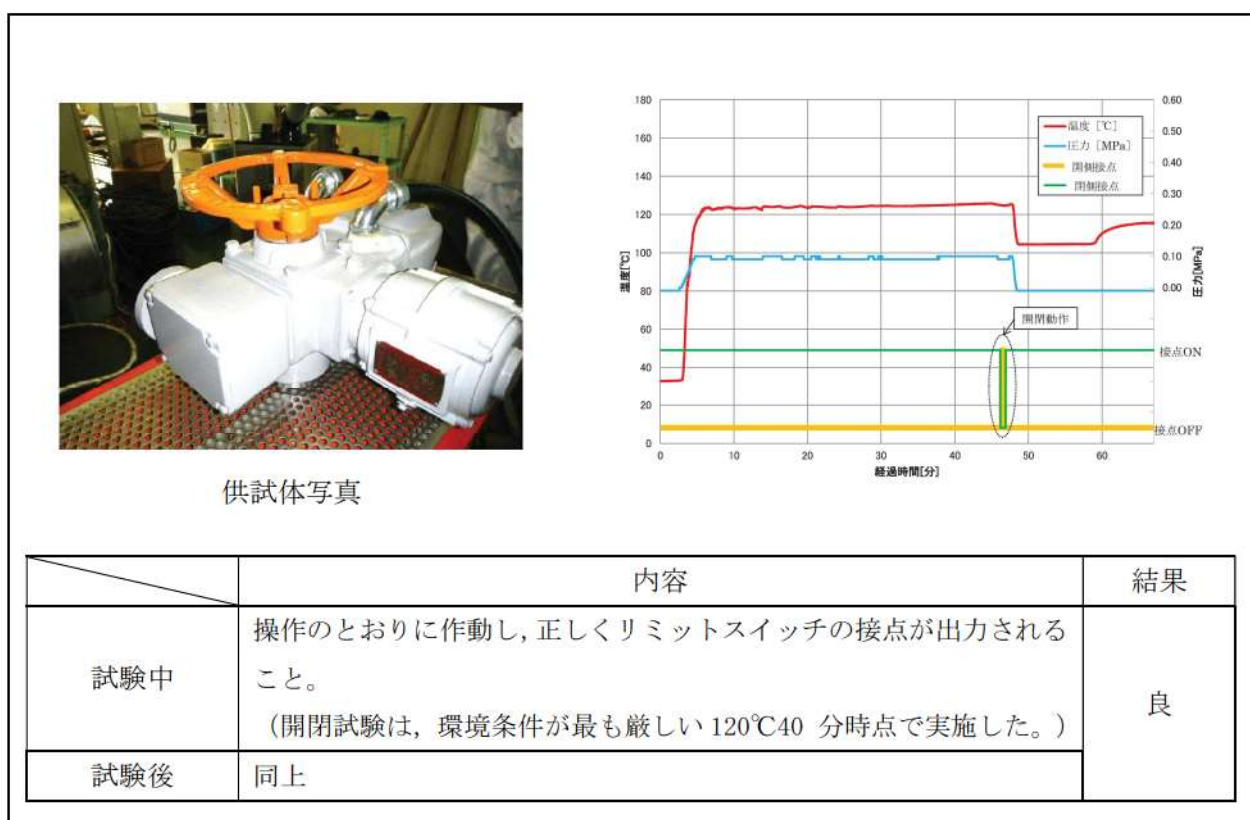
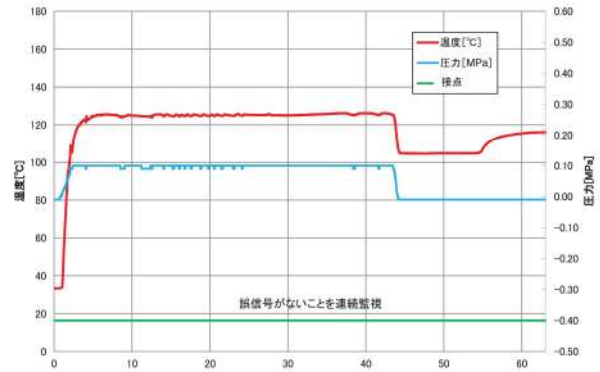


図1 耐蒸気性能試験結果（電動弁）

(2) 空気作動弁用リミットスイッチ

空気作動弁用リミットスイッチを 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験中，リミットスイッチの接点信号を連続監視し，誤信号を発信しないことを確認する。



供試体写真

	内容	結果
試験中	リミットスイッチが誤信号を発信しないこと。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図2 耐蒸気性能試験結果（空気作動弁用リミットスイッチ）

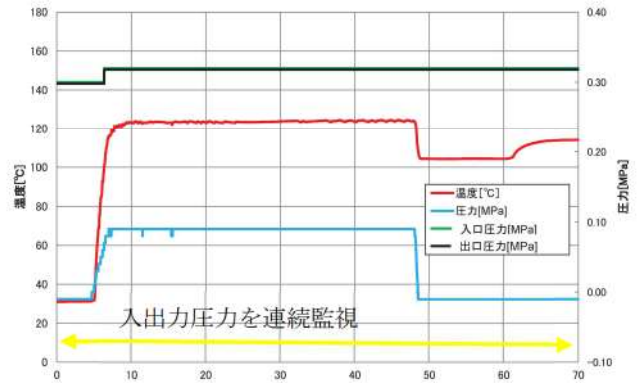
(3) 空気作動弁用電磁弁

空気作動弁用電磁弁を 120°Cの蒸気環境（120°C40分+100°C20分）に晒す。

試験中，電磁弁を励磁した状態で，入出力圧力に相違のないことを確認する。



供試体写真



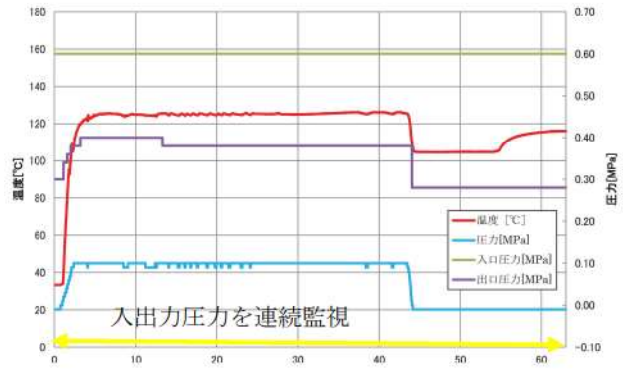
	内容	結果
試験中	電磁弁を励磁した状態で，入出力圧力に相違のないこと。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図3 耐蒸気性能試験結果（空気作動弁用電磁弁）

(4) 空気作動弁用減圧弁

空気作動弁用減圧弁を 120°Cの蒸気環境（120°C40分+100°C20分）に晒す。

試験中，一定圧力を入力した状態で，減圧された圧力が出力されていることを確認する。



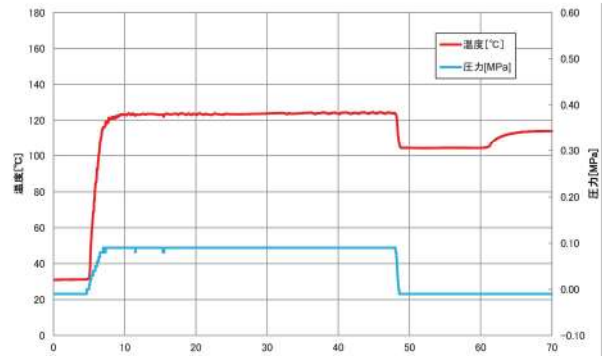
供試体写真

	内容	結果
試験中	減圧された圧力が出力されること。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図 4 耐蒸気性能試験結果（空気作動弁用減圧弁）

(5) 空気作動弁用ダイヤフラム

空気作動弁用ダイヤフラムを 120°Cの蒸気環境（120°C40 分+100°C20 分）に晒す。  
試験後、ダイヤフラムに有意な変形、割れ等がないことを確認する。



供試体写真

	内容	結果
試験後	ダイヤフラムに有意な変形、割れ等がないこと。	良

※ ダイヤフラムは高分子材料であり、試験後に有意な変形、割れ等がなかったことから、試験中も健全性に問題はなかったと考えられる。

図 5 耐蒸気性能試験結果（空気作動弁用ダイヤフラム）

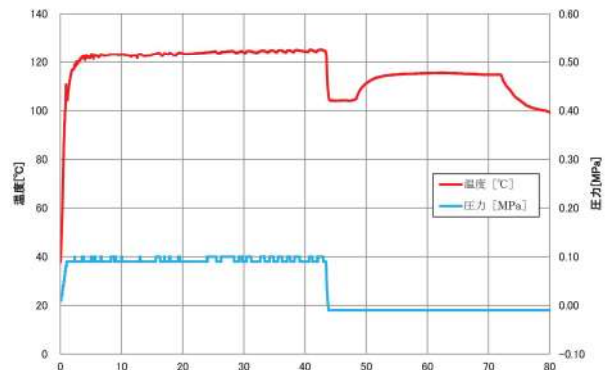
(6) ダンパ用ダンパオペレータ及びポジションナ

ダンパ用ダンパオペレータ及びポジションナを 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験後、ポジションナに開度信号（0～100%に相当する空気圧）を入力し、ダンパオペレータが正常に動作することを確認する。



供試体写真



	内容	結果
試験後	ポジションナに開度信号を入力し、ダンパオペレータが正常に動作すること。	良

※ ダンパオペレータ及びポジションナは空気式計装品であり、シール部品が健全であれば機能に問題ないと考えられる。

試験後の動作に問題がなかったことから、シール部品であるOリング等に有意な変形、割れ等はなく、試験中も健全性に問題はなかったと考えられる。

図6 耐蒸気性能試験結果（ダンパ用ダンパオペレータ及びポジションナ）

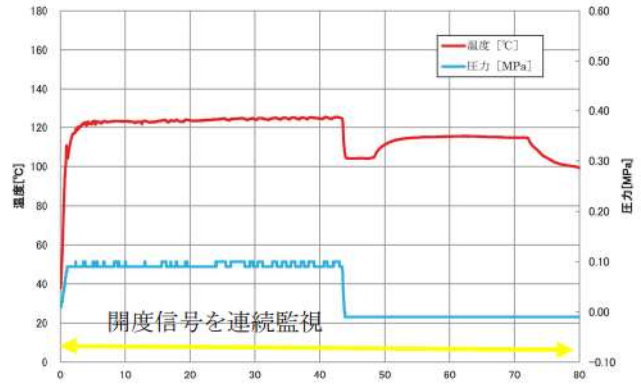
(7) ダンパ用ポジションスイッチ

ダンパ用ポジションスイッチを 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験中，開度信号が変化しないことを確認する。また，試験後にシャフトを回転させ，正常な開度信号が出力されることを確認する。



供試体写真



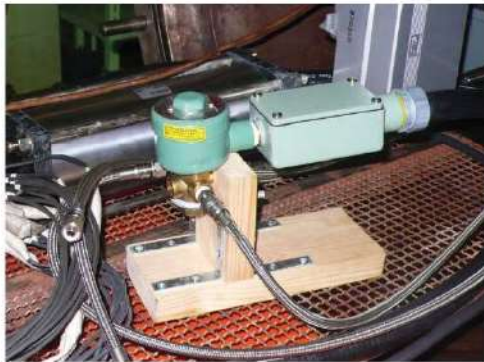
	内容	結果
試験中	試験中に開度信号が変化しないこと，試験後にシャフトを回転させ，正常な開度信号が出力されること。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図7 耐蒸気性能試験結果（ダンパ用ポジションスイッチ）

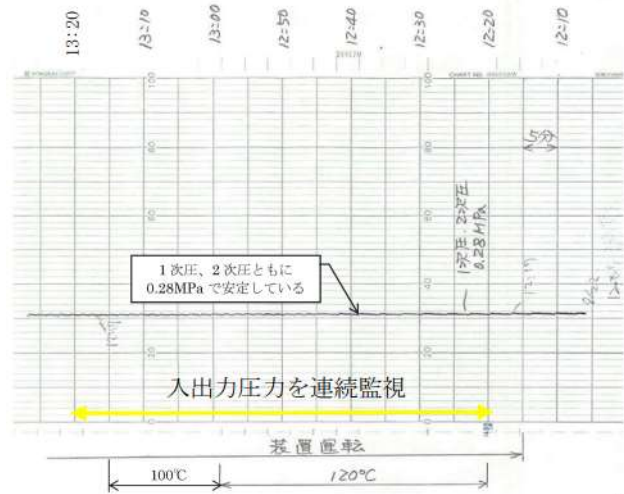
(8) ダンパ用電磁弁

ダンパ用電磁弁を 120℃の蒸気環境 (120℃40分+100℃20分) に晒す。

試験中、電磁弁を励磁した状態で、入出力圧力に相違のないことを確認する。



供試体写真



	内容	結果
試験中	電磁弁を励磁した状態で、入出力圧力に相違のないこと。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

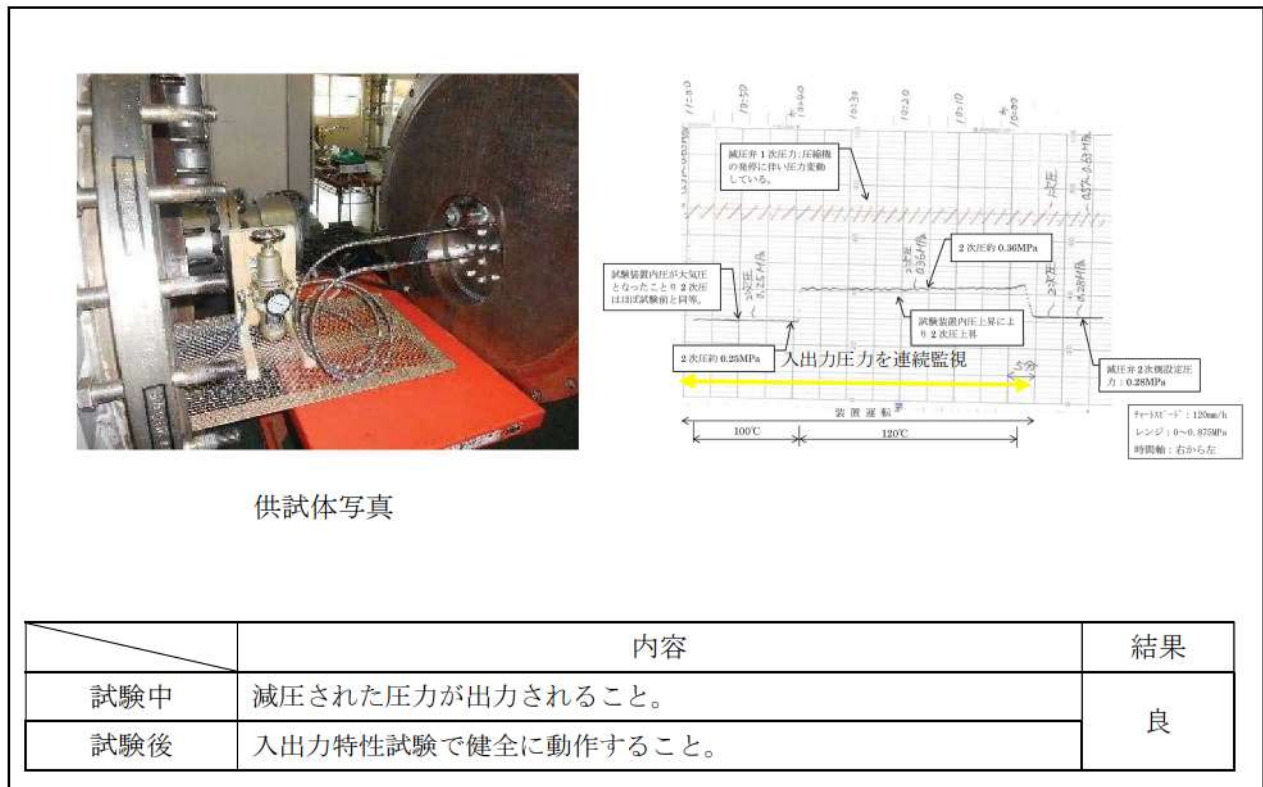
図8 耐蒸気性能試験結果 (ダンパ用電磁弁)



(9) ダンパ用減圧弁

ダンパ用減圧弁を 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験中，一定圧力を入力した状態で，減圧された圧力が出力されていることを確認する。



供試体写真

	内容	結果
試験中	減圧された圧力が出力されること。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図9 耐蒸気性能試験結果（ダンパ用減圧弁）

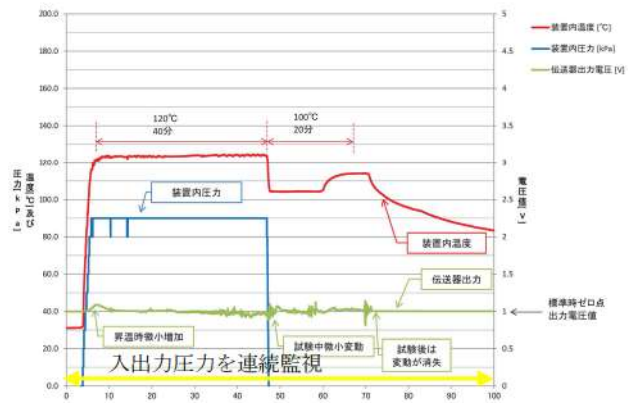
(10) 伝送器

伝送器を 120°Cの蒸気環境（120°C40分+100°C20分）に晒す。

試験中，一定圧力を入力した状態で，伝送器出力が正常であることを確認する。



供試体写真



	内容	結果
試験中	伝送器出力が正常であること。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図 10 耐蒸気性能試験結果（伝送器）

(11) 流量設定器

流量設定器を 120°Cの蒸気環境（120°C40分+100°C20分）に晒す。

試験中，一定圧力を入力した状態で，減圧された設定圧力が出力されることを確認する。

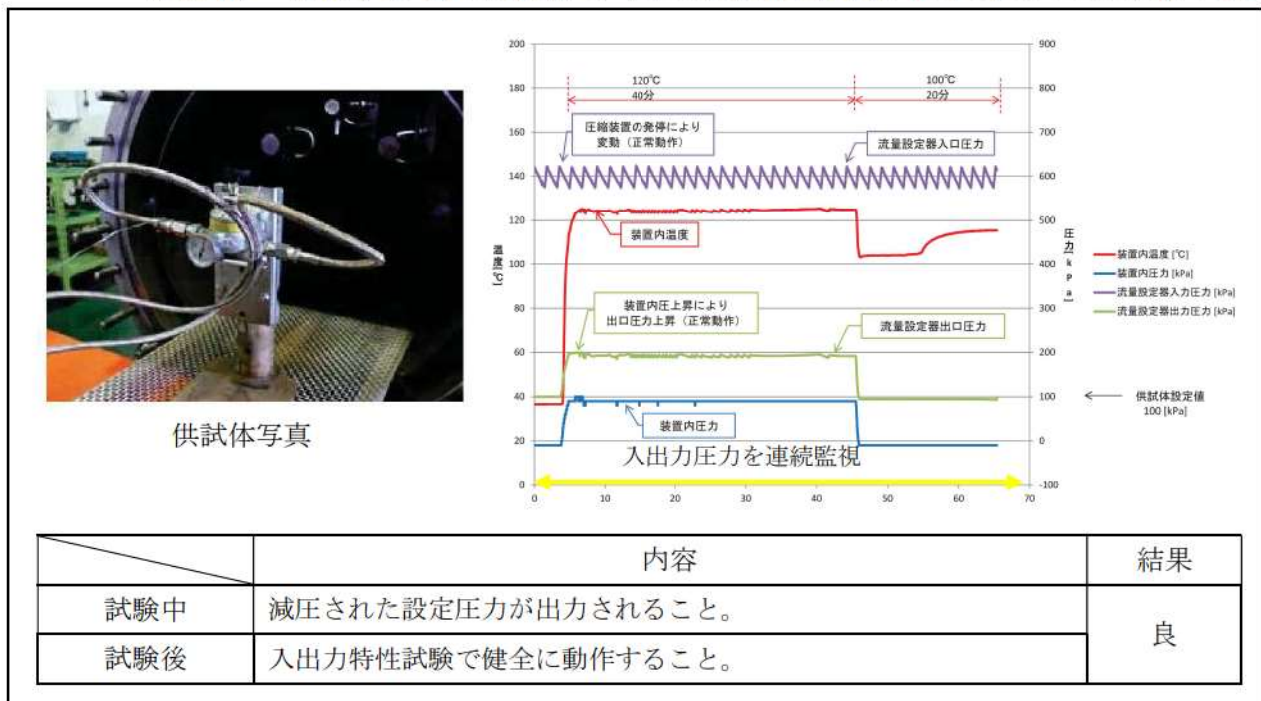


図 11 耐蒸気性能試験結果（流量設定器）

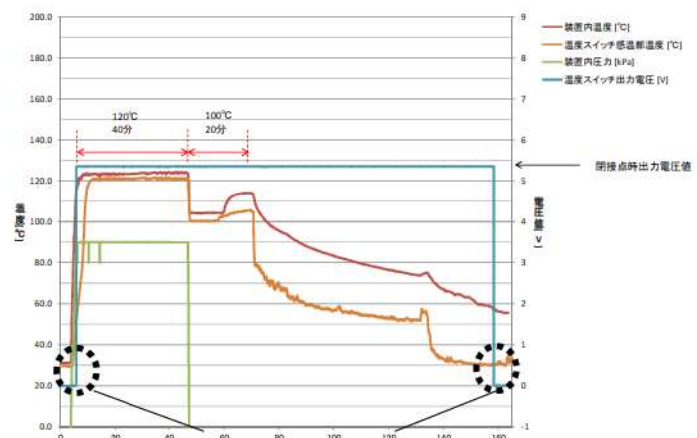
(12) 温度スイッチ

温度スイッチを 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験中，設定温度（35℃以上で ON） のとおりに接点出力されることを確認する。



供試体写真



設定温度（35℃） のとおりに接点出力されることを確認

	内容	結果
試験中	設定温度のとおりに接点出力されること。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図 12 耐蒸気性能試験結果（温度スイッチ）

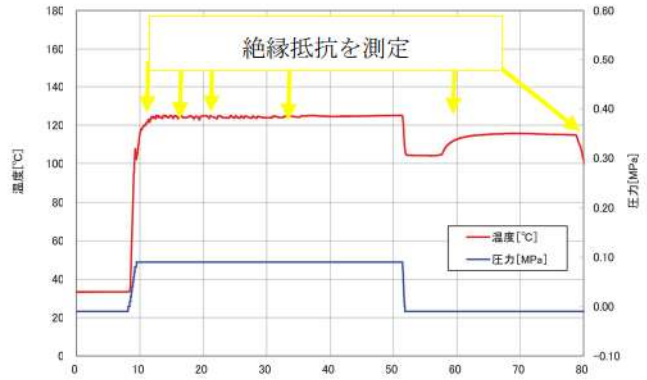
(13) 現場盤

現場盤（操作スイッチ，操作ボタン，表示灯，端子台，盤内配線を含む）を 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

通電した状態で試験を実施し，試験中に短絡，地絡等で機能喪失しないことを確認する。  
 なお，試験後は問題なくスイッチ操作を行えた。



供試体写真



	内容	結果
試験中	短絡，地絡等で機能喪失しないこと。	良
試験後	入出力特性試験で健全に動作すること。	

図 13 耐蒸気性能試験結果（現場盤）

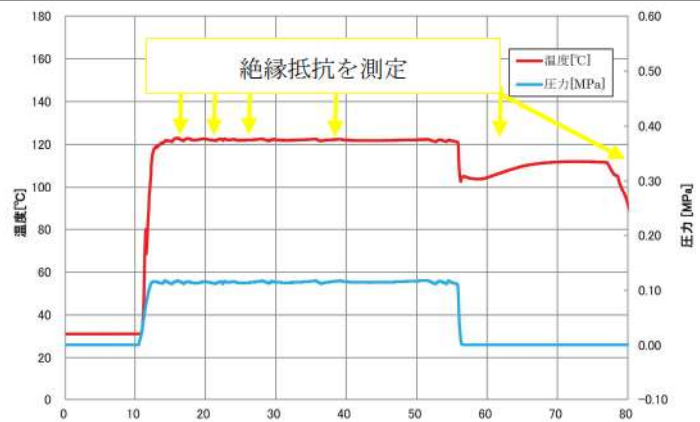
(14) 高圧ケーブル接続部

高圧ケーブル（接続部）を 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験中，絶縁抵抗を測定し，短絡，地絡等がなく正常に通電できることを確認する。



供試体写真



	内容	結果
試験中	絶縁抵抗を計測し，健全であることを確認する。	良
試験後	同上	

図 14 耐蒸気性能試験結果（高圧ケーブル接続部）

(15) 低圧ケーブル接続部

低圧ケーブル（接続部）を 120℃の蒸気環境（120℃40分+100℃20分）に晒す。

試験中、絶縁抵抗を測定し、短絡、地絡等がなく正常に通電できることを確認する。

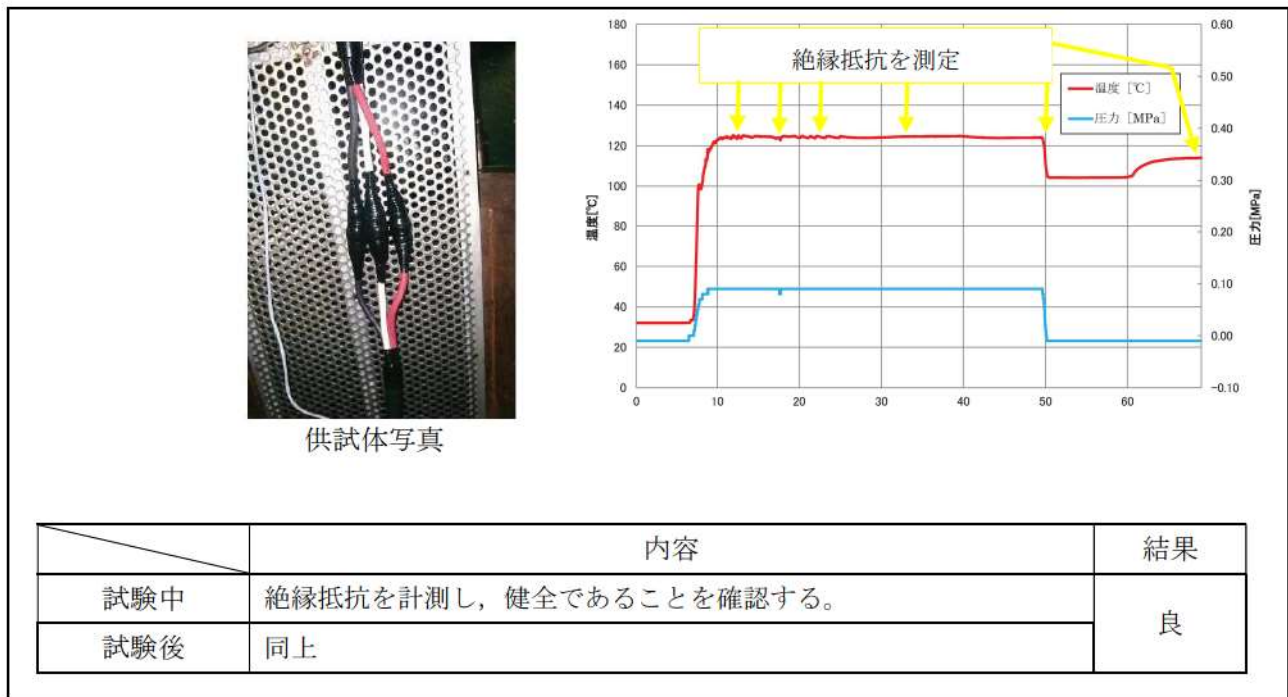


図 15 耐蒸気性能試験結果（低圧ケーブル接続部）

(16) 中継端子箱

中継端子箱を 120°Cの蒸気環境（120°C40 分+100°C20 分）に晒す。

通電した状態で試験を実施し，試験中，短絡，地絡等がなく正常に通電できることを確認する。

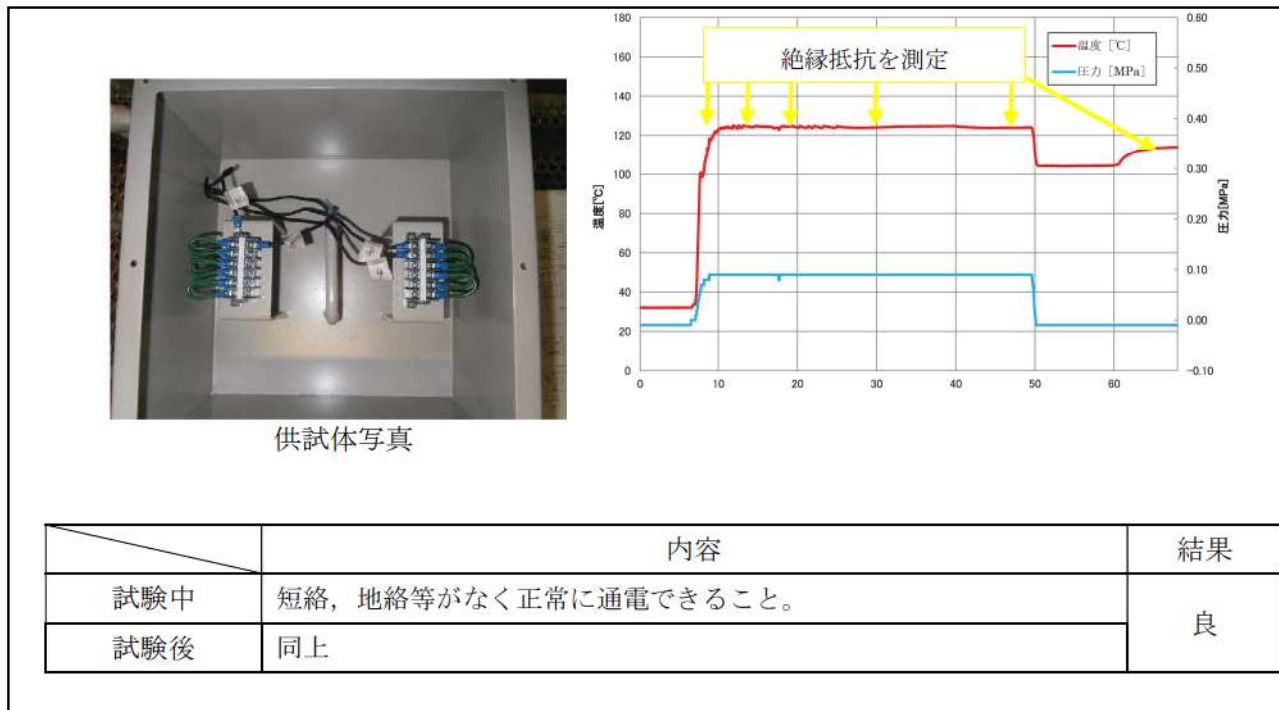


図 16 耐蒸気性能試験結果（中継端子箱）



### III. 耐蒸気性能試験における健全性確認方法について

#### 1. 健全性確認方法の考え方

- (1) 原則として、実機の状態を模擬するため、試験中（蒸気曝露中）に健全性を確認する。
- (2) 試験中（蒸気曝露中）に健全性を確認できないものは、代替方法により健全性を確認する。

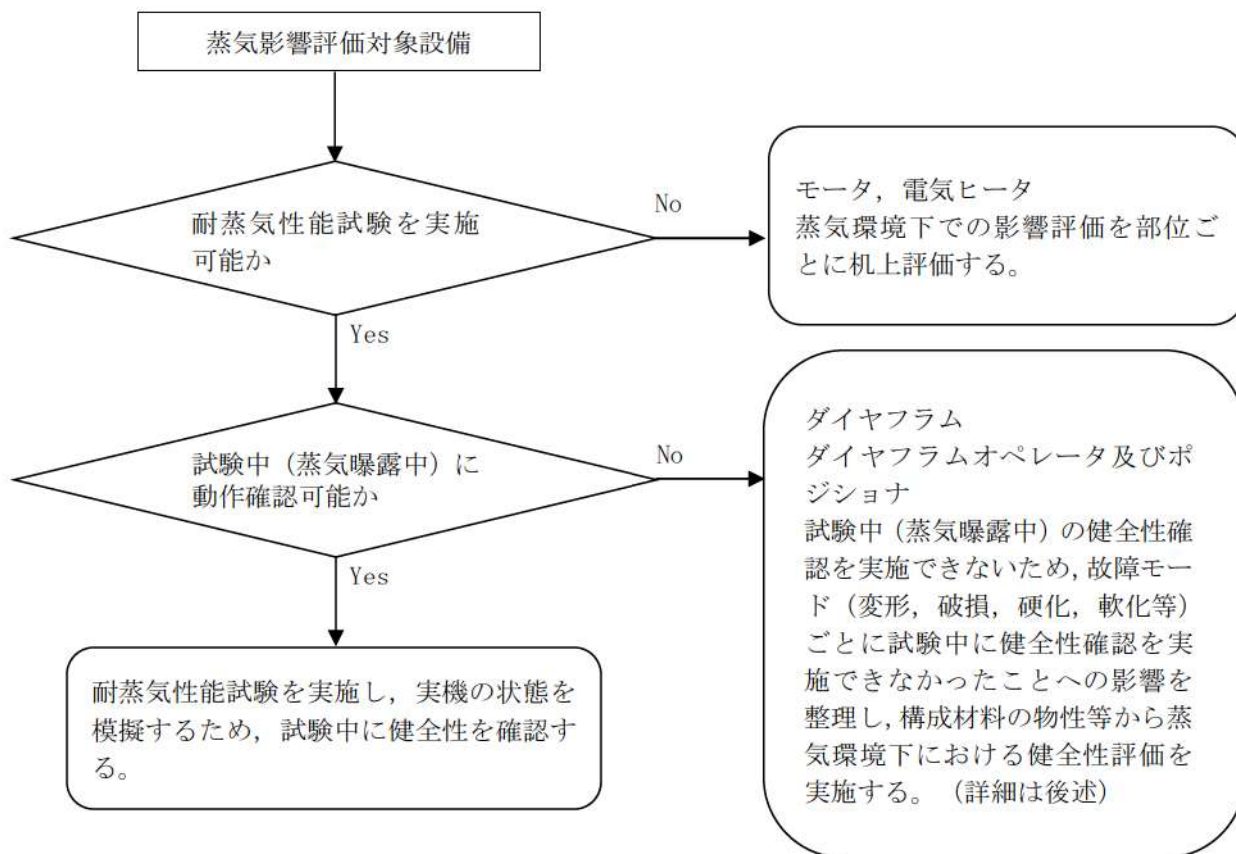


図1 耐蒸気性能試験における健全性確認フロー

## 2. 各設備の健全性確認方法とその妥当性

表 1 耐蒸気性能試験における健全性確認方法とその妥当性

試験対象設備	構成品	健全性確認方法	根拠（妥当性）
電動弁	モータ及び駆動部	操作のとおり動作し、正しくリミットスイッチの接点が出力されること。	モータ及び駆動部を、実機を模擬した蒸気環境下で動作させるとともに、異常が発生した場合は操作のとおり動作せず、弁の開閉状態を示すリミットスイッチの接点信号異常が発生することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
空気作動弁	リミットスイッチ	リミットスイッチが誤信号を発信しないこと。	リミットスイッチに短絡、地絡が発生した場合、接点信号に誤信号が発生することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	電磁弁	電磁弁を励磁した状態で、入出力圧力に相違のないこと。	電磁弁に異常が発生した場合、出力圧力が変動することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	減圧弁	減圧された圧力が出力されること。	減圧弁に異常が発生した場合、出力圧力が変動することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	ダイヤフラム※1	ダイヤフラムに有意な変形、割れ等がないこと。	ダイヤフラムは高分子材料であり、試験後に有意な変形、割れ等がなければ、試験中（蒸気曝露中）も健全性に問題はないと考えられる。
ダンパ	ダンパオペレータ ※1	ポジションナに開度信号を入力し、ダンパオペレータが正常に動作すること。	ダンパオペレータ及びポジションナは空気式計装品であり、シール部品が健全であれば機能に問題ないと考えられる。このため、試験後の健全性に問題がなければ、シール部品であるピストンパッキン等に有意な変形、割れ等がなく、試験中（蒸気曝露中）においても健全性に問題はないと考えられる。
	ポジションナ ※1		
	ポジションスイッチ	開度信号に変化がないこと。	ポジションスイッチに短絡、地絡が発生した場合、開度信号に誤信号が発生することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	電磁弁	電磁弁を励磁した状態で、入出力圧力に相違のないこと。	電磁弁に異常が発生した場合、出力圧力が変動することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	減圧弁	減圧された圧力が出力されること。	減圧弁に異常が発生した場合、出力圧力が変動することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
計器	伝送器	伝送器出力が正常であること。	伝送器に異常が発生した場合、出力信号が変動することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	流量設定器	減圧された圧力が出力されること。	流量設定器に異常が発生した場合、出力圧力が変動することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	温度スイッチ	設定温度のとおり接点出力されること。	温度スイッチに短絡や地絡が発生した場合、接点信号に誤信号が発生することから、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
現場盤	スイッチ、表示灯、端子台等	短絡、地絡等で機能喪失しないこと	現場盤の蒸気影響として盤内部品の短絡、地絡が想定されるため、通電状態を確認することで、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
モータケーブル接続部	高圧ケーブル接続部	絶縁抵抗を計測し、健全であることを確認する。	ケーブル接続部の蒸気影響として短絡、地絡が想定されるため、絶縁抵抗を測定することで、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
	低圧ケーブル接続部	絶縁抵抗を計測し、健全であることを確認する。	ケーブル接続部の蒸気影響として短絡、地絡が想定されるため、絶縁抵抗を測定することで、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。
中継端子箱	端子台	短絡、地絡等がなく正常に通電できること。	端子台の蒸気影響として短絡、地絡が想定されるため、通電状態を確認することで、健全性確認方法としては妥当であると考えられる。

※1 試験後に健全性確認を実施

### 3. ダイアフラムの健全性について

空気作動弁のダイアフラムについては試験中（蒸気曝露中）に健全性を確認できず、試験後確認としたため、故障モード（変形、破損、硬化、軟化等）ごとに試験中に健全性確認をできなかったことへの影響を整理し、構成材料の物性等から蒸気環境下においても健全性に問題のないことを確認した。

表2 ダイアフラムの故障モードごとの評価

故障モード	試験後確認の可否		評価
変形	不可	試験中に発生した変形が、試験後に元の状態に戻る可能性がある。	ダイアフラムには変形を防ぐ基布が積層されているため、有意な変形は生じないと考えられる。
破損(割れ)	可	試験後にもその状態が残るため、確認可能である。	-
硬化	可	試験後にもその状態が残るため、確認可能である。	-
軟化	不可	試験中に発生した軟化が、試験後に元に戻る可能性がある。	ダイアフラムは高分子化合物である EPDM（EPゴム）及び NBR（ニトリルゴム）で構成されており、耐熱温度は、150℃と 130℃（日本規格協会）であるため、有意な軟化は生じないと考えられる。



図2 試験前後のダイアフラムの状態

#### 4. ダンパオペレータ及びポジションナの健全性について

ダンパオペレータ及びポジションナについても、ダイヤフラムと同様の評価を実施し、想定される蒸気環境下においてもダンパオペレータ及びポジションナの健全性に問題はないことを確認した。

表3 ダンパオペレータ及びポジションナの故障モードごとの評価

故障モード	試験後確認の可否	評価
エア漏れ (シール 部品の 変形)	不可	試験中に発生したシール部品の変形が、試験後に元の状態に戻る可能性がある。
エア漏れ (シール 部品の 破損)	可	試験後にもその状態が残るため、特性試験により確認可能である。
エア漏れ (シール 部品の 硬化)	可	試験後にもその状態が残るため、特性試験により確認可能である。
エア漏れ (シール 部品の 軟化)	不可	試験中に発生したシール部品の軟化が、試験後に元の状態に戻る可能性がある。
特性変化 (背圧影響 含む)	不可	試験中に発生した特性変化が、試験後に健全な状態に戻る可能性がある。 ダンパは開度信号を受けて、常に適切な開度となるようフィードバック制御されているため、有意な特性変化は生じないと考えられる。 また、背圧（発生蒸気による環境圧力）の上昇は制御用空気圧力と比較して十分小さく、ダンパの動作への影響はないと、考えられる。

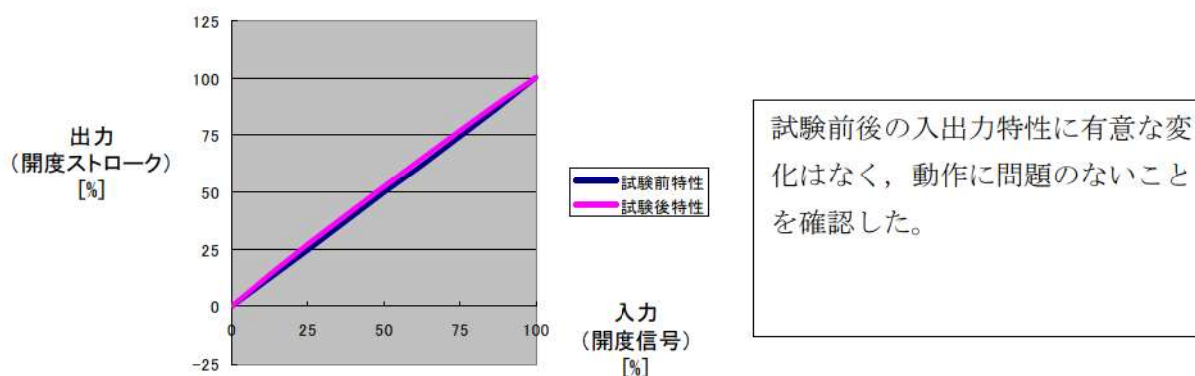


図3 ダンパオペレータ及びポジションナの試験特性

#### IV. モータの耐蒸気性能評価について

防護対象設備のうちモータについては、他の電気計装品と異なり、大きさや構成部品の種類の多さから試験による確認が困難であるため、構成部品ごとの評価により、想定される蒸気環境下における健全性を評価した。

##### 1. 評価フロー

モータの耐蒸気性能評価は、図1に示すフローにしたがって評価した。

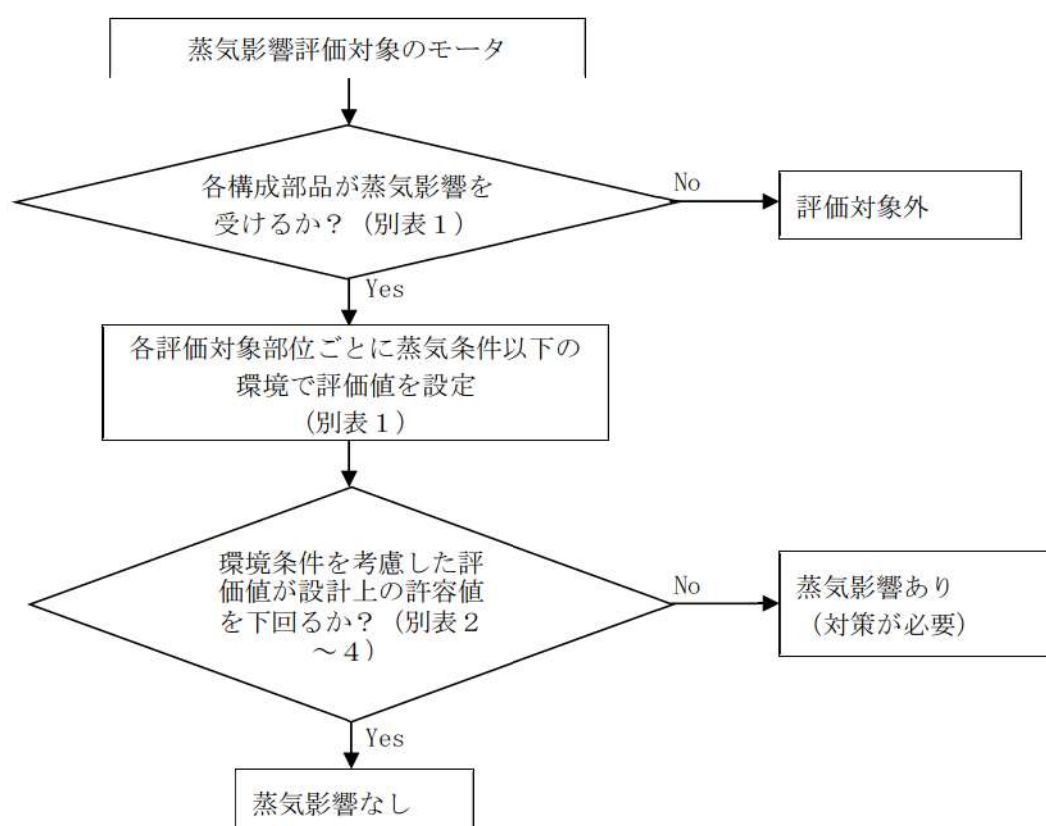


図1 モータの耐蒸気性能評価フロー

##### 2. モータの評価対象部位

モータの機能維持に必要な構成部品並びにそれらの機能及び詳細評価の要否を別表1に示す。別表1のとおり、評価が必要となる構成部品は、固定子コイル及び軸受（潤滑油、グリスを含む）である。

##### 3. 評価対象モータ

表1に、蒸気影響評価が必要なモータと環境解析における温度及び湿度の一覧を示す。

表 1 耐蒸気性能評価対象モータ

名称	温度 [°C]	湿度 [%]	備考
充てんポンプ	53	51	A, B, Cの最大を記載
使用済燃料ピットポンプ	51	45	A及びB同条件
安全補機開閉器室給気ファン	77	96	A及びB同条件
ほう酸ポンプ	58	57	A及びB同条件
蓄電池室排気ファン	80	85	A及びB同条件
中央制御室給気ファン	80	85	A及びB同条件
中央制御室循環ファン	90	90	A及びB同条件
燃料取替用水ポンプ	81	100	A及びB同条件
アニュラス空気浄化ファン	78	100	A及びB同条件
中央制御室非常用循環ファン	90	90	A及びB同条件
非管理区域空調機械室電気ヒータ送風機	77	96	A, B, C及びD同条件

#### 4. 評価結果

##### (1) 固定子コイル

蒸気環境下における温度に、通電による温度上昇を加算した値が、設計上の許容温度以下であることを確認した。

各モータの評価結果は別表 2 のとおりである。

##### (2) 軸受

蒸気環境下における温度に、摩擦による温度上昇を加算した値が、設計上の許容温度以下であることを確認した。

各モータの評価結果は別表 3 のとおりである。

##### (3) 潤滑油, グリス

蒸気環境下における温度に、摩擦による温度上昇を加算した値が、設計上の許容温度以下であることを確認した。

各モータの評価結果は別表 4 のとおりである。

以上の評価により、評価対象のすべてのモータについて、溢水による蒸気環境下においても機能維持できることを確認した。

モータの評価対象部位

大分類	構成部品		機能	蒸気条件下における機能維持	詳細評価	
	小分類	要否			温度	湿度
固定子	フレーム	電動機の外殻を構成し、構造上の強度を持つ。	鋼板製であり、蒸気環境下においても機能を維持する。	温度	否	
		内周にスロットを設けてコイルを収納し、発生した磁束を通す。	鋼板製であり、蒸気環境下においても機能を維持する。	湿度	否	
	珪素鋼板	電流を流すことで磁束を発生させる。対地間及び相間に必要な絶縁性能を持つ。	熱的影響により絶縁破壊の可能性があるため、詳細に評価する。絶縁物は含浸処理されており、湿度影響はない。	温度	要	
		軸	負荷側へトルクを伝達する。	湿度	否	
回転子	珪素鋼板	外周にスロットを設けて回転子バーを収納し、発生した磁束を通す。	鋼板製であり、蒸気条件下においても機能を維持する。	温度	否	
		二次電流を流し、トルクを発生させる。	鋼板製であり、蒸気条件下においても機能を維持する。	湿度	否	
	回転子バー	モータ回転子直結の風冷ファンにより、モータ本体へ送風する。	金属材であり、蒸気条件下においても機能を維持する。	温度	否	
		軸受	回転子の荷重を支持する。	湿度	否	
軸受部	潤滑油、グリス	軸受での摩擦損失を低減させる。	熱的影響により荷重支持性能を損なう可能性があるため、詳細に評価する。密封されており、湿度影響はない。	温度	要	
			熱的影響により潤滑性能を損なう可能性があるため、詳細に評価する。密封されており、湿度影響はない。	湿度	否	
				温度	要	
				湿度	否	

固定子コイルの評価結果

名称	絶縁種別	環境温度 (解析値) [°C]	通電による温度上昇 (評価に用いる値) [°C] ※1	評価温度 [°C]	許容温度 [°C] ※2	判定
	—	(A)	(B)	(C)=(A)+(B)	(D)	(C) ≤ (D) か?
充てんポンプモータ	F種	53	100	153	250	○
使用済燃料ピットポンプモータ	F種	51	100	151	250	○
安全補機開閉器室給気ファンモータ	F種	77	100	177	250	○
ほう酸ポンプモータ	F種	58	100	158	250	○
蓄電池室排気ファンモータ	F種	80	100	180	250	○
中央制御室給気ファンモータ	F種	80	100	180	250	○
中央制御室循環ファンモータ	F種	90	100	190	250	○
燃料取替用水ポンプモータ	F種	81	100	181	250	○
アニュラス空気浄化ファンモータ	F種	78	100	178	250	○
中央制御室非常用循環ファンモータ	F種	90	100	190	250	○
非管理区域空調機械室電気ヒータ送風機モータ	H種	77	30	107	180※3	○

※1 通電による温度上昇は設計上の温度上昇限度値。

※2 許容値はメーカーの試験により絶縁性能が確認されている短時間耐熱温度。

※3 JIS C 4003 にて規定された耐熱クラスによる温度。



軸受の評価結果

名称	軸受種別	環境温度 (解析値) [°C]	摩擦による 温度上昇 (実測値) [°C]	評価温度 [°C]	許容温度 [°C] ※1	判定
	—	(A)	(B)	(C)=(A)+(B)	(D)	(C) ≤ (D) か?
充てんポンプモータ	転がり軸受	53	40.3	93.3	150	○
使用済燃料ピットポンプモータ	転がり軸受	51	48	99	150	○
安全補機開閉器室給気ファンモータ	転がり軸受	77	49	126	150	○
ほう酸ポンプモータ	転がり軸受	58	48	106	150	○
蓄電池室排気ファンモータ	転がり軸受	80	46	126	150	○
中央制御室給気ファンモータ	転がり軸受	80	40.5	120.5	150	○
中央制御室循環ファンモータ	転がり軸受	90	43.5	133.5	150	○
燃料取替用水ポンプモータ	転がり軸受	81	50.5	131.5	150	○
アニュラス空気浄化ファンモータ	転がり軸受	78	44	122	150	○
中央制御室非常用循環ファンモータ	転がり軸受	90	46	136	150	○
非管理区域空調機械室電気ヒータ送風機モータ	転がり軸受	77	40 <sup>※2</sup>	117	150	○

※1 許容値は、基本定格荷重を支持して定格寿命まで使用できるメーカー設計値。

※2 保守的な設計値であり実測値は本値以下。

潤滑油、グリスの評価結果

名称	種別	環境温度 (解析値) [°C]	摩擦による 温度上昇 (実測値) [°C]	評価温度 [°C]	許容温度 [°C] ※1	判定
	—	(A)	(B)	(C)=(A)+(B)	(D)	(C) ≤ (D) か?
充電ポンプモータ	潤滑油	53	40.3	93.3	150	○
使用済燃料ピットポンプモータ	グリス	51	48	99	185	○
安全補機閉器室給気ファンモータ	グリス	77	49	126	185	○
ほう酸ポンプモータ	グリス	58	48	106	185	○
蓄電池室排気ファンモータ	グリス	80	46	126	185	○
中央制御室給気ファンモータ	グリス	80	40.5	120.5	185	○
中央制御室循環ファンモータ	グリス	90	43.5	133.5	185	○
燃料取替用水ポンプモータ	グリス	81	50.5	131.5	185	○
アニュラス空気浄化ファンモータ	グリス	78	44	122	185	○
中央制御室非常用循環ファンモータ	グリス	90	46	136	185	○
非管理区域空調機械室電気ヒータ送風機モータ	グリス	77	40 <sup>※2</sup>	117	150	○

※1 許容温度の考えは以下のとおり。

潤滑油：短時間劣化を生じないことが試験で確認されている温度。

グリス：粘性を維持できる（グリスが流動状態とならない）温度。

※2 保守的な設計値であり実測値は本値以下。

## V. メタルクラッドスイッチギヤの蒸気影響について

防護対象設備である電気品については、設備本体の健全性だけでなく、電源を供給する開閉器類（メタルクラッドスイッチギヤ等）及び電路であるケーブルも含めて健全性を確認している。具体的には以下のとおりである。

### 1. 開閉器類（メタルクラッドスイッチギヤ等）

設置場所は、安全補機開閉器室であり、蒸気配管のないことを確認している。また、安全補機開閉器室は他の区画と区画分離されていることから、他の区画において発生した蒸気による影響はない。

### 2. ケーブル

ケーブルについては、複数の区画を経由することから、蒸気影響を想定した評価を実施している。具体的には、120℃の蒸気影響環境下においても健全性が確保されることを、試験において確認している。

ケーブルの耐蒸気性能試験の概要を以降に示す。

#### (1) 試験内容

ケーブル及びケーブル接続部を 120℃の蒸気環境（120℃ 40 分+100℃ 20 分）に晒し、問題なく通電できることを確認する。



図1 供試体写真

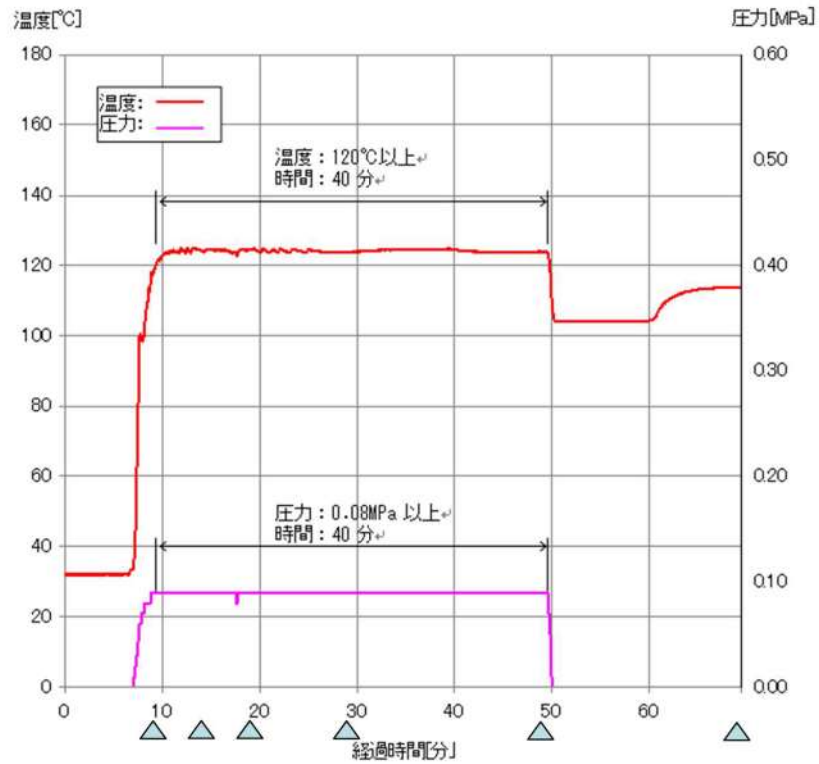


図2 試験プロファイル (▲は絶縁抵抗測定)

(2) 試験結果

試験中は連続通電し、短絡及び地絡のないことを確認した。

また、試験開始直後、5分後、10分後、20分後、40分後、60分後に絶縁抵抗測定を実施し、有意な絶縁低下がないことを確認した。

(測定値はすべて100MΩ以上であった。)

## VI. 電気ヒータの耐蒸気性能評価について

防護対象設備のうち非管理区域空調機械室電気ヒータ（以下、「電気ヒータ」という）については、他の電気計装品と異なり、大きさや構成部品の種類の多さから試験による確認が困難であるため、構成部品ごとの評価により、想定される蒸気環境下における健全性を評価した。

### 1. 評価フロー

電気ヒータの耐蒸気性能評価は、図1に示すフローにしたがって評価した。

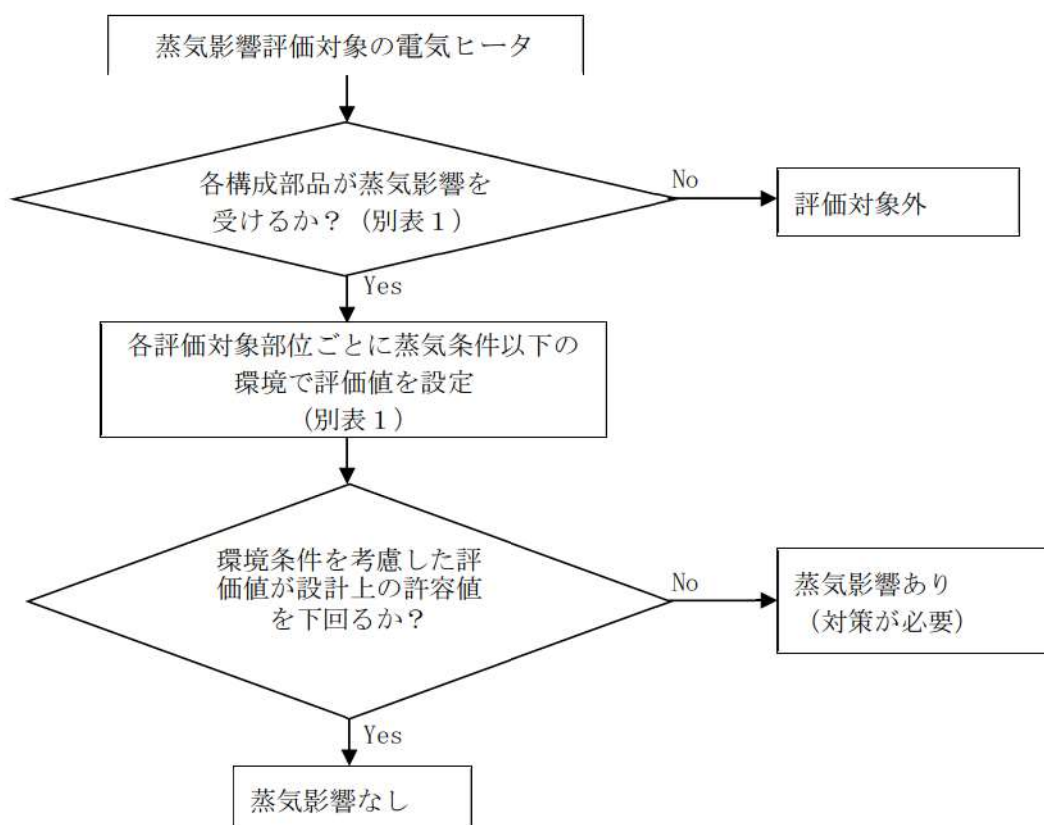


図1 電気ヒータの耐蒸気性能評価フロー

### 2. 電気ヒータの評価対象部位

電気ヒータの機能維持に必要な構成部品並びにそれらの機能及び詳細評価の要否を別表1に示す。別表1のとおり、評価が必要となる構成部品は、端子台及び送風機モータである。

### 3. 評価結果

#### (1) 端子台

「Ⅱ. 各試験対象設備の耐蒸気性能試験結果」の中継端子箱と同様な構成部品のため、本試験結果で問題ないことを確認した。

#### (2) 送風機モータ

「Ⅳ. モータの耐蒸気性能評価について」にて固定子コイル、軸受、グリスに対して評価を実施した結果、蒸気環境下における温度に、通電や摩擦による温度上昇を加算した値が、設計上の許容温度以下であることを確認した。

以上の評価により、評価対象の電気ヒータについて、溢水による蒸気環境下においても機能維持できることを確認した。

## 電気ヒータの評価対象部位

構成部品		機能	蒸気条件下における機能維持	詳細評価 要否	
大分類	小分類			温度	湿度
中継端子箱	端子台	通電する機能。	短絡，地絡が想定されるため，通電状態を確認する。	温度	要
				湿度	要
ケーシング	架台	電気ヒータの外殻を構成し，構造上の強度を持つ。	金属製（炭素鋼）であり，蒸気環境下においても機能を維持する。	温度	否
	ケース			湿度	否
ヒータ	—	通電により発熱する機能。	金属製（ステンレス）であり，蒸気環境下においても機能を維持する。	温度	否
				湿度	否
バイメタルサーモ※	—	温度による接点開閉動作を行い，過加熱を防止する。	・金属製（バイメタル）であり，蒸気環境下においても機能を維持する。 ・シリコンゴム製であり十分に耐熱性があるため，蒸気環境下においても機能を維持する。	温度	否
				湿度	否
絶縁ブッシュ	—	絶縁する機能。	シリコンゴム製であり十分に耐熱性があるため，蒸気環境下においても機能を維持する。	温度	否
				湿度	否
送風機モータ	—	「IV. モータの耐蒸気性能評価について」参照			

※ 防護対象設備「3A～D-非管理区域空調機器室電気ヒータ出口空気温度（2）」と同一である。

## 送風機モータの蒸気の直接噴射による耐性試験について

防護対象設備のうち非管理区域空調機械室電気ヒータ（以下、「電気ヒータ」という）は、机上評価にて蒸気環境下においても機能維持できることを確認している。

電気ヒータの机上評価では、構成部品ごとに健全性を確認したが、構成部品のうち詳細評価が必要な送風機モータについては、他のモータ同様、机上評価において耐蒸気性能を有しており健全性に問題はないことを確認したものの、実際の蒸気に暴露する試験を行っていないため、蒸気の直接噴射による耐性試験を行って健全性確認を実施し、その後、電気ヒータを動作させて機能維持できることを確認した。

## 1. 蒸気の直接噴射による耐性試験

## (1) 試験対象設備

試験対象設備は、3 A-非管理区域空調機械室電気ヒータとし、直接噴射箇所を電気ヒータに内蔵されている送風機モータとした。

## (2) 試験方法

防護対象設備が晒される環境条件を考慮し、図 1 に示す試験温度プロファイルで電気ヒータの送風機モータに蒸気を当てたのちに健全性確認を実施した。その後、電気ヒータを動作させて機能維持できることを確認した。なお、試験温度プロファイルの考え方は「I. 耐蒸気性能試験の評価及び机上評価の概要について」の「1. 耐蒸気性能試験（2）試験方法」と同様である。

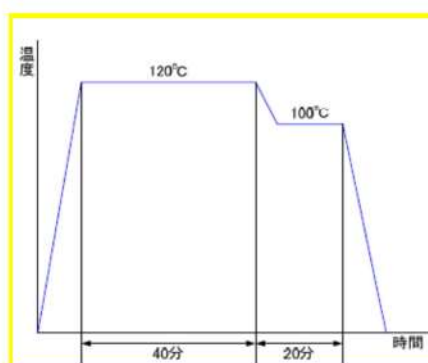


図 1 試験温度プロファイル

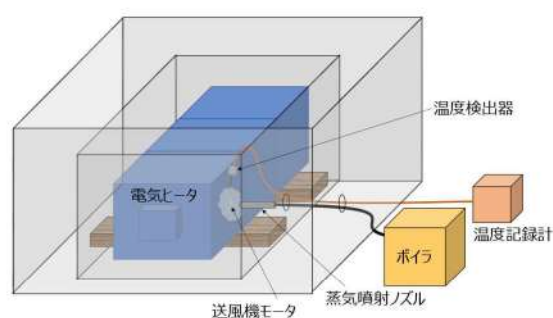


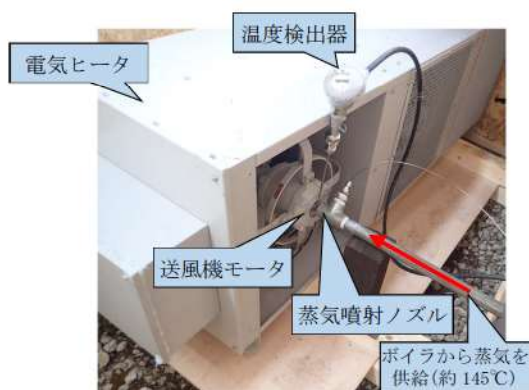
図 2 蒸気の直接噴射による耐性試験イメージ図



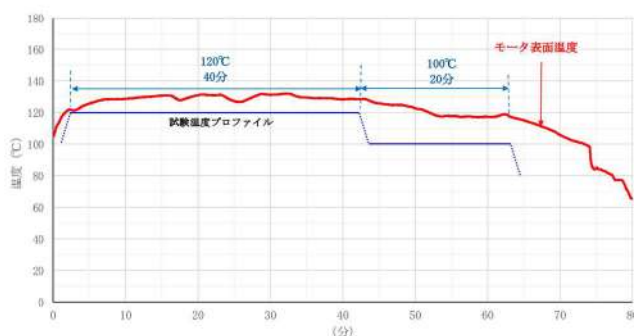
### (3) 送風機モータの耐性試験

送風機モータに蒸気を直接噴射させ、送風機モータ表面温度が 120℃となる環境（120℃40 分＋100℃20 分）に晒す。

試験後、送風機モータの絶縁抵抗を測定し、短絡、地絡等がなく正常に通電できることを確認する。あわせて、その後に実際に電気ヒータを動作させて、正常に動作することを確認する。



電気ヒータ及び送風機モータ写真



	内容	結果
試験後*	絶縁抵抗を測定し、健全であることを確認する。	良
	電気ヒータを動作させ、正常に動作することを確認する。	

※ 電気ヒータは試験中の健全性を確認せず、試験後確認としている。これは、電気ヒータが通常 10℃で動作、20℃で動作オフとなるため、電気ヒータ近傍で蒸気噴出した場合、電気ヒータはオフとなり、室温を維持するための機能が必要ない状態になるためである。電気ヒータは周辺温度が低下し 10℃以下になった場合に室温を維持するための機能が必要となることから、試験後に通電して正常に動作すれば健全性に問題はない。

図 3 蒸気の直接噴射による耐性試験結果

### (4) 試験結果

送風機モータは 120℃の耐蒸気性能を有することを確認した。また、電気ヒータについては機能維持できることを確認した。

## 配管破損箇所と防護対象設備との位置関係による影響について

GOTHIC コードを用いた蒸気拡散解析では、破損箇所から蒸気は解析区画内に均一に広がり、同一解析区画内での任意の位置における温度は平均になるとしている。

一方、実際には配管破損位置からごく近傍は漏えい蒸気の直接噴射による防護対象設備への影響が考えられるため、本資料では、想定破損における蒸気影響評価にて評価対象としている高エネルギー配管（抽出配管、補助蒸気系統）と防護対象設備との位置関係を確認した。

次に、漏えい蒸気の直接噴射による影響を評価するため、噴流工学における乱流／軸対称円形噴流のフローモデルを参考に、配管破損位置からの距離と衝突荷重及び蒸気温度の関係を算出した。

具体的には、図 1 のように蒸気が配管破損口から  $10^\circ$  の拡がり角度をもって円錐状に噴出するものとし、配管破損口からの距離における衝突荷重に対応する飽和温度を算出した。また、保守的に蒸気漏えい時の配管から放出されるエネルギーが周囲空気との界面でも減衰せずに伝播することとした。その結果を表 1 に示す。

なお、この手法は、蒸気が漏えい箇所から離れるにつれ冷えることによる凝縮、又はサブクール水が大気圧下へ漏えいする際の蒸発といった事象を含む場合に対しても問題なく使用できることから、単相、二相流に関係なく評価ができる。

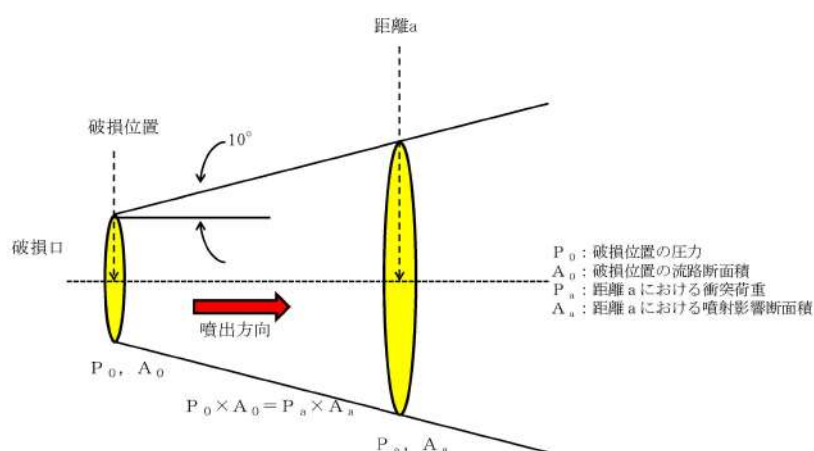


図 1 直接噴射による影響評価図

表 1 配管破損箇所からの距離と衝突荷重及び蒸気温度の関係

系統	配管径	破損形態	離隔距離 0m		離隔距離 1m		離隔距離 2m		離隔距離 3m	
			荷重 <sup>※1</sup> (MPa)	温度 <sup>※1</sup> (°C)	荷重 (MPa)	温度 <sup>※2</sup> (°C)	荷重 (MPa)	温度 <sup>※2</sup> (°C)	荷重 (MPa)	温度 <sup>※2</sup> (°C)
抽出配管	3/4B	完全全周破断	2.40	146	0.009	103	0.002	101	0.001	101
	2B	完全全周破断	2.40	146	0.036	109	0.011	103	0.005	102
	3B	完全全周破断	2.40	146	0.084	118	0.025	107	0.012	104
補助蒸気系統	3/4B	完全全周破断	0.69	170	0.002	101	0.001	101	0.000	100
	1B	完全全周破断	0.69	170	0.004	102	0.001	101	0.000	100
	1・1/2B	完全全周破断	0.69	170	0.008	103	0.002	101	0.001	101
	1・1/2B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.000	100	0.000	100	0.000	100
	2B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.000	100	0.000	100	0.000	100
	2・1/2B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.001	101	0.000	100	0.000	100
	3B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.001	101	0.000	100	0.000	100
	4B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.001	101	0.000	100	0.000	100
	6B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.002	101	0.000	10X	0.000	100
8B	1/4Dt 貫通クラック	0.69	170	0.003	101	0.001	101	0.000	100	

※1 荷重と温度は、系統の内圧及び温度とした

※2 温度は荷重に対する飽和温度とした

※3 赤色枠  は、系統内で最も厳しくなる評価条件

評価では系統ごとに最も評価条件が厳しくなる表 1 の配管径及び破損形態の配管が破損する条件で代表させて評価を行った。

直接噴射による影響を考慮する必要があるのは、蒸気影響評価にて評価対象としている高エネルギー配管（抽出配管、補助蒸気系統）と防護対象設備が同一区画に設置されているパターン1<sup>\*</sup>の10区画であり、評価した結果を表2に示す。

※ パターンは、補足説明資料 20「Ⅲ. 蒸気拡散解析における解析区画の分割による影響について」にまとめている。また、補足説明資料 20 別表 2 に、防護対象設備の評価パターンを示す。

表 2 直接噴射による影響の評価結果一覧表 (1/2)

系統	破損 区画	防護対象設備名称	機器番号	離隔 距離	荷重 (MPa)	温度 <sup>*1</sup> (°C)	確認済耐 環境温度 (°C)
抽出 配管	Cf-31	3-充てんライン C/V 外側止め弁	3V-CS-175	3.5m	0.009	102	120
		3-充てんライン C/V 外側隔離弁	3V-CS-177	1.9m	0.028	107	120
		3-1次冷却材ポンプ封水戻りライン C/V 外側隔離弁	3V-CS-255	5m 以上	0.005	101	120
補助 蒸気 系統	Bf-13	3-よう素除去薬品タンク 注入Aライン止め弁	3V-CP-054A	5m 以上	0.000	100	120
		3-よう素除去薬品タンク 注入Bライン止め弁	3V-CP-054B	5m 以上	0.000	100	120
	Cf-9	3-BA, WD および LD エバポ補機冷却水戻りライン 第1止め弁	3V-CC-351	3.3m	0.001	100	120
		3-BA, WD および LD エバポ補機冷却水戻りライン 第2止め弁	3V-CC-352	3.3m	0.001	100	120
	Cf-34	3-余剰抽出冷却器等補機冷却水 入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-422	4.6m	0.000	100	120
		3-余剰抽出冷却器等補機冷却水 出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-430	5m 以上	0.000	100	120
		3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水入口止め弁	3V-CC-501	4.5m	0.000	100	120
		3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-503	5m 以上	0.000	100	120
		3-1次冷却材ポンプ 補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-528	5m 以上	0.000	100	120
	Ef-2	3 A-蓄電池室排気ファン	3VSF31A	1.4m	0.004	101	120
		3 B-蓄電池室排気ファン	3VSF31B	1.4m	0.004	101	120
		3 A-中央制御室給気ファン	3VSF21A	3.9m	0.001	100	120
		3 B-中央制御室給気ファン	3VSF21B	2.3m	0.002	100	120
		3 A-非管理区域空調機器室内空気温度 (1)	3TS-2930	0.4m	0.035	109	120
		3 A-非管理区域空調機器室内空気温度 (2)	3TS-2931	0.8m	0.011	103	120
		3 B-非管理区域空調機器室内空気温度 (1)	3TS-2934	1.2m	0.005	101	120
		3 B-非管理区域空調機器室内空気温度 (2)	3TS-2935	1.6m	0.003	101	120
		3 C-非管理区域空調機器室内空気温度 (1)	3TS-2950	5m 以上	0.000	100	120
		3 A-中央制御室給気ファン出口ダンパ	3D-VS-603A	1.7m	0.003	101	120
	3 B-中央制御室給気ファン出口ダンパ	3D-VS-603B	1.3m	0.005	101	120	
Ef-3	3 A-中央制御室外気取入風量調節ダンパ 流量設定器	3HC-2823	5m 以上	0.000	100	120	
	3 B-中央制御室外気取入風量調節ダンパ 流量設定器	3HC-2824	5m 以上	0.000	100	120	
	3 A-中央制御室循環風量調節ダンパ 流量設定器	3HC-2836	5m 以上	0.000	100	120	
	3 B-中央制御室循環風量調節ダンパ 流量設定器	3HC-2837	5m 以上	0.000	100	120	
	3 A-中央制御室事故時外気取入風量調節 ダンパ流量設定器	3HC-2850	5m 以上	0.000	100	120	
	3 B-中央制御室事故時外気取入風量調 節ダンパ流量設定器	3HC-2851	5m 以上	0.000	100	120	
	3 A-中央制御室非常用循環ファン出口空気流量	3FS-2867	4.0m	0.001	100	120	
	3 B-中央制御室非常用循環ファン出口空気流量	3FS-2868	5m 以上	0.000	100	120	

表 2 直接噴射による影響の評価結果一覧表 (2/2)

系統	破損 区画	防護対象設備名称	機器番号	離隔 距離	荷重 (MPa)	温度 <sup>※1</sup> (°C)	確認済耐 環境温度 (°C)
補助 蒸気 系統	Ef-3	3 A - 中央制御室給気ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2827	2.1m	0.002	101	120
		3 B - 中央制御室給気ユニット冷水温度制御弁	3TCV-2828	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 中央制御室非常用循環ファン入口ダンパ	3D-VS-602A	5m 以上	0.000	100	120
		3 B - 中央制御室非常用循環ファン入口ダンパ	3D-VS-602B	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 中央制御室循環ファン入口ダンパ	3D-VS-604A	2.2m	0.002	100	120
		3 B - 中央制御室循環ファン入口ダンパ	3D-VS-604B	3.9m	0.001	100	120
		3 A - 中央制御室外気取入風量調節ダンパ	3HCD-2823	1.5m	0.004	101	120
		3 B - 中央制御室外気取入風量調節ダンパ	3HCD-2824	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 中央制御室循環風量調節ダンパ	3HCD-2836	0.7m	0.014	104	120
		3 B - 中央制御室循環風量調節ダンパ	3HCD-2837	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 中央制御室事故時外気取入風量調節ダンパ	3HCD-2850	5m 以上	0.000	100	120
		3 B - 中央制御室事故時外気取入風量調節ダンパ	3HCD-2851	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 中央制御室循環ファン	3VSF20A	2.2m	0.002	100	120
		3 B - 中央制御室循環ファン	3VSF20B	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 中央制御室非常用循環ファン	3VSF22A	4.2m	0.001	100	120
	3 B - 中央制御室非常用循環ファン	3VSF22B	5m 以上	0.000	100	120	
	Ef-4	3 A - 非管理区域空調機器室電気ヒータ (3VSE2A) 出口空気温度 (2)	3TS-2933	0.1m	0.200	134	120
		3 B - 非管理区域空調機器室電気ヒータ (3VSE2B) 出口空気温度 (2)	3TS-2937	3.6m	0.001	100	120
		3 C - 非管理区域空調機器室室内空気温度 (2)	3TS-2951	5m 以上	0.000	100	120
		3 C - 非管理区域空調機器室電気ヒータ (3VSE2C) 出口空気温度 (2)	3TS-2953	0.2m	0.094	119	120
		3 D - 非管理区域空調機器室室内空気温度 (1)	3TS-2954	5m 以上	0.000	100	120
		3 D - 非管理区域空調機器室電気ヒータ (3VSE2D) 出口空気温度 (2)	3TS-2957	3.5m	0.001	100	120
		3 A - 安全補機開閉器室給気ファン	3VSF27A	3.5m	0.001	100	120
		3 B - 安全補機開閉器室給気ファン	3VSF27B	2.9m	0.001	100	120
		3 A - 非管理区域空調機器室電気ヒータ	3VSE2A	0.1m	0.200	134	120
		3 B - 非管理区域空調機器室電気ヒータ	3VSE2B	3.6m	0.001	100	120
		3 C - 非管理区域空調機器室電気ヒータ	3VSE2C	0.2m	0.094	119	120
		3 D - 非管理区域空調機器室電気ヒータ	3VSE2D	3.5m	0.001	100	120
	Ef-5	3 D - 非管理区域空調機器室室内空気温度 (2)	3TS-2955	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - 安全補機開閉器室給気ユニット 冷水温度制御弁	3TCV-2774	2.0m	0.002	101	120
		3 B - 安全補機開閉器室給気ユニット 冷水温度制御弁	3TCV-2775	4.7m	0.000	100	120
	Ff-6	3A, B-C/V 再循環ユニット補機冷却水入口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-203A	5m 以上	0.000	100	120
		3 A - C/V 再循環ユニット補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁	3V-CC-208A	3.2m	0.001	100	120
3C, D-C/V 再循環ユニット補機冷却水出口 C/V 外側隔離弁		3V-CC-208B	4.0m	0.001	100	120	
Ff-8	3 A - 燃料取替用水ポンプ	3RFP1A	1.6m	0.003	101	120	
	3 B - 燃料取替用水ポンプ	3RFP1B	0.9m	0.009	102	120	
	3 - 燃料取替用水ピット水位 (I)	3LT-1400	3.4m	0.001	100	120	
	3 - 燃料取替用水ピット水位 (II)	3LT-1401	1.4m	0.004	101	120	

※1 温度は、荷重に対する飽和温度とした

防護対象設備は、耐蒸気性能試験により飽和蒸気 120℃、0.1MPa 下の蒸気環境に対する耐力を確認している。

3 A-非管理区域空調機器室電気ヒータ (図 1) 及び 3 A-非管理区域空調機器室電気ヒータ出口空気温度 (2) の評価温度 (134℃) は 120℃を上回っており、また、3 C-非管理区域空調機器室電気ヒータ及び 3 C-非管理区域空調機器室電気ヒータ出口空気温度 (2) の評価温度 (119℃) は 120℃に対し裕度がないため、離隔距離の精緻化及び近傍配管の配管径で詳細評価を行った。評価した結果を表 3 に示す。

表 3 3B 補助蒸気系統配管の破損箇所からの距離と衝突荷重及び蒸気温度の評価結果  
(破損形状：1/4Dt 貫通クラック)

系統	破損区画	防護対象設備名称	機器番号	離隔 <sup>※1</sup> 距離	荷重 (MPa)	温度 <sup>※2</sup> (°C)	確認済耐環境温度 (°C)
補助蒸気系統	Ef-4	3 A-非管理区域空調機器室電気ヒータ (3VSE2A) 出口空気温度 (2)	3TS-2933	0.20m	0.014	104	120
		3 C-非管理区域空調機器室電気ヒータ (3VSE2C) 出口空気温度 (2)	3TS-2953	0.30m	0.007	102	120
		3 A-非管理区域空調機器室電気ヒータ	3VSE2A	0.20m	0.014	104	120
		3 C-非管理区域空調機器室電気ヒータ	3VSE2C	0.30m	0.007	102	120

※1 離隔距離は、配管表面 (保温材除く) から防護対象設備表面までの距離とした

※2 温度は、荷重に対する飽和温度とした

蒸気評価配管の近傍にある防護対象設備については、表 2, 3 で確認したとおり、耐蒸気性能試験により確認した温度、圧力を下回っていることから、漏えい蒸気の直接噴射による防護対象設備への影響はないことを確認した。

また、GOTHIC コードを用いた蒸気拡散解析で、比較的ピーク温度が高い区画で 100℃程度であることを確認しているが、本評価により、配管近傍について、より保守的に直接噴射による影響を考えた場合でも 120℃以内に収まっていることが確認できた。

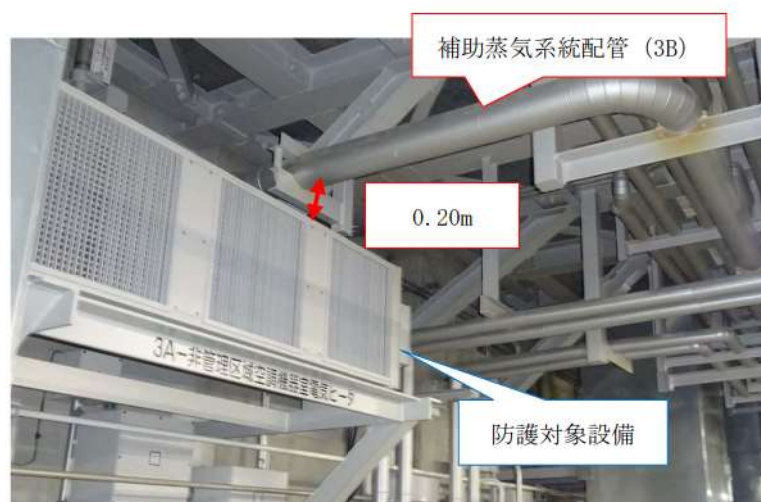


図 1 補助蒸気系統配管と 3 A-非管理区域空調機器室電気ヒータとの位置関係

## 補助蒸気系統の耐震強度評価及び貫通クラックの大きさについて

本資料は、補助蒸気系統配管の耐震強度評価及び貫通クラックの大きさについてまとめたものである。

I. では補助蒸気系統配管の耐震強度評価について、II. では補助蒸気系統配管の貫通クラックの大きさについて記載する。

## I. 補助蒸気系統配管の耐震強度評価について

## 1. 概要

原子炉建屋、原子炉補助建屋に敷設されている補助蒸気系統配管（高エネルギー配管）による溢水（蒸気）影響評価においては、溢水ガイド附属書Aのうち流体を内包する配管の破損による溢水の詳細評価手法に従い配管の応力評価を実施、その評価結果に基づき想定する破損形状を設定して評価している。

## 2. 破損形状の評価フロー

破損形状の評価フローについては、添付資料 13 図 1 と同じである。

## II. 補助蒸気系統配管の貫通クラックの大きさについて

蒸気影響評価において、完全全周破断を想定しない 25A(1B) を超える補助蒸気配管（ターミナルエンド部を除く）については、応力評価により破損形状を貫通クラックとし、クラックの大きさを  $1/4Dt$  としている。

以下は、クラックの大きさを  $1/4Dt$  とした根拠を記載したものである。

貫通クラックの大きさの決定に当たっては、溢水ガイドの 2.1.1 で配管内径の  $1/2$  の長さで配管肉厚の  $1/2$  の幅を有する貫通クラックを「（以下「貫通クラック」という）」と定義していることから、附属書Aの 2.2.1 に記載された高エネルギー配管の「貫通クラック」もその定義にしたがうことができると解釈した。

また、 $1/4Dt$  貫通クラックの開口面積が保守的であるかについては、例えば、以下のような破壊力学的な亀裂進展解析に基づく亀裂の大きさと比較することが考えられる。

- ① 高エネルギー配管の代表として、1次冷却材圧力バウンダリ配管（SUS 配管）、主蒸気・主給水管（炭素鋼管）について考察する。
- ② 配管の内面に UT の検出限界に相当する周方向欠陥を仮定する。

- ③ 配管の通常運転時に作用する応力を欠陥に加え、亀裂進展解析を行うと、SUS 配管では配管肉厚の5倍の長さの、炭素鋼管では6.5倍の長さの周方向亀裂が貫通する。(より、スケジュールの小さな配管に関しては、より、亀裂長さは小さくなる方向となる)
- ④ 貫通亀裂の亀裂安定性解析を行い、亀裂に安定限界応力が加わった時の開口面積を求める。

表 1 ステンレス鋼管，炭素鋼管の例

ステンレス鋼管

呼び径 (B)	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
外径 (mm)	48.6	60.5	76.3	89.1	114.3	139.8	165.2	216.3	267.4	318.5	355.6	406.4
内径 D (mm)	34.4	43.1	57.3	66.9	87.3	108.0	128.8	170.3	210.2	251.9	284.2	325.4
厚さ t (mm)	7.1	8.7	9.5	11.1	13.5	15.9	18.2	23.0	28.6	33.3	35.7	40.5
想定亀裂角度 $2\theta$ (度)	136.4	127.4	115.4	108.2	96.9	87.2	81.0	77.4	78.0	75.7	72.0	71.3
安定限界応力 Pf/Sm	0.90	1.03	1.23	1.35	1.54	1.72	1.83	1.89	1.88	1.93	2.00	2.01
貫通クラックの開口面積 1/4t (mm <sup>2</sup> )	62	94	137	196	295	430	587	980	1503	2098	2537	3295
安定限界応力による開口面積 (mm <sup>2</sup> )	45	66	104	131	187	243	297	467	724	996	1135	1452

炭素鋼管

呼び径 (B)	16	28	28	30	32	34
外径 (mm)	406.4	711.2	711.2	762.0	812.8	863.6
内径 D (mm)	363.6	649.2	643.2	696.0	736.8	781.6
厚さ t (mm)	21.4	31.0	34.0	33.0	38.0	41.0
想定亀裂角度 $2\theta$ (度)	43.8	76.4	76.1	75.4	70.7	68.5
安定限界応力 Pf/Sm	2.06	1.60	1.60	1.61	1.69	1.73
貫通クラックの開口面積 1/4t (mm <sup>2</sup> )	1946	5032	5468	5742	7000	8012
安定限界応力による開口面積 (mm <sup>2</sup> )	300	1854	1808	2056	2082	2229

以上のような評価は、溢水ガイド附属書Aで参考になっている JSME SND1-2002 (配管破損防護設計規格) において検討されており、同規格ではこれにさらに安全側の余裕を加味した亀裂開口面積が記載されている。

同規格に記載された安定限界応力による開口面積と 1/4t 貫通クラックの大きさを比較すると、表 1 のように 1/4t 貫通クラックが大きい結果となる。このことから、貫通クラックの大きさは亀裂の開口面積としては保守的な大きさといえ、妥当であると考えている。



## 補助蒸気系隔離時のドレンの処置について

本資料は、蒸気漏えい検知システムによって自動隔離された補助蒸気系の配管内に残留するドレンの処置等について記載したものである。

## 1. 蒸気ドレンの処置

補助蒸気系の配管の想定破損で補助蒸気しゃ断弁が自動閉止すると、補助蒸気への蒸気供給が停止する。その後、停止までに供給されていた蒸気の一部は凝縮してドレンとなり、ほとんどはスチームコンバータ給水系に回収され、一部は配管に残留することになる。よって、補助蒸気系を復旧する場合は、蒸気と配管内の残留ドレンによって配管のハンマリングを起こさないように、運転手順書に定めたとおり、ドレンを完全に排出してからウォーミングを実施する。

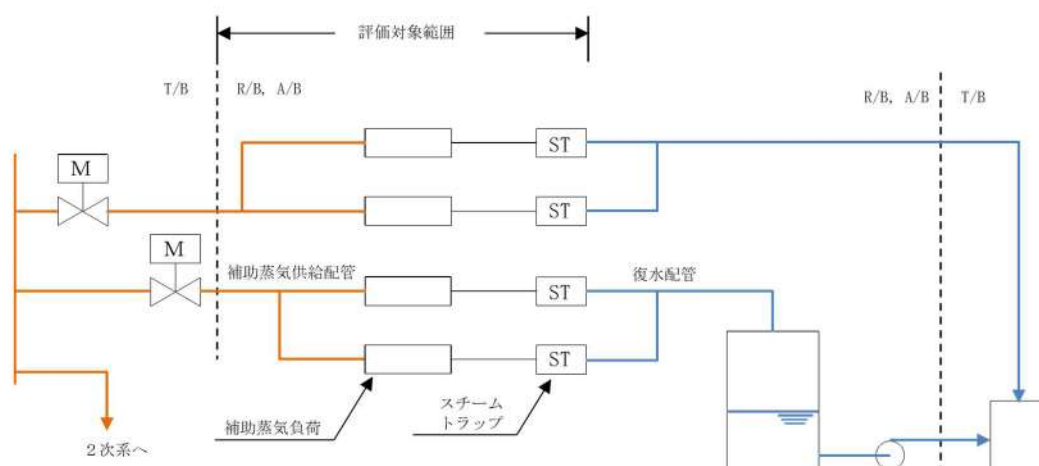


図1 補助蒸気系統概要図

## 抽出配管の漏えい時の放射線影響について

抽出配管の漏えいは、1次冷却材が直接漏えいすることから、防護対象設備に対する放射線影響を以下のとおり評価した。

## 1. 評価方法

抽出配管が完全全周破断し、漏えいした1次冷却材中の放射性物質全量が気相部へと移行するものとした。また、放射性物質は、瞬時に抽出配管から原子炉建屋の同一階層上の対象区画に均一に拡散すると仮定した。

評価においては、対象区画体積を全球で模擬し、中心を評価点とした。また、評価期間は1ヶ月間とし、時間による減衰を考慮した。

## 2. 主要な評価条件

評価に用いた主要な条件を表1に示す。

表1 主要な評価条件

項目	パラメータ	備考
漏えい水の放射能濃度	1次冷却材中放射能濃度	平常時被ばくで用いる値
流出量	45m <sup>3</sup>	当該配管の完全全周破断を想定した内部溢水評価流出量
線量評価時の自由体積	3,100m <sup>3</sup>	原子炉建屋 T.P. 17.8m の管理区域内の一部体積（保守的な評価とするため他建屋及びフロア間の拡散は考慮しない）

## 3. 評価結果

評価の結果、1ヶ月の積算線量は約4Gyとなった。対象の防護対象設備（伝送器）の耐放射線性は100Gyであり、本評価は1ヶ月間漏えい対策を講じないと仮定する等、非常に保守的な評価であることから、機能維持に問題のないことを確認した。

当該の伝送器の耐放射線性100Gyは、照射試験により耐力を確認した値である。

## 耐震B、Cクラス機器の補強工事の実施内容について

溢水源となりうる機器のうち耐震評価対象となった機器において、発生値が評価基準値を上回った機器について、補強工事を実施し、基準地震動による地震力に対してバウンダリ機能を確保する。

具体的に補強工事対象となった機器を表1に示し、補強工事の概要を別紙1に示す。

なお、以下の評価は、現状の基本設計段階にて想定しているものであり、今後詳細設計等を精査するに伴い、耐震評価等の変更が生じる可能性がある。

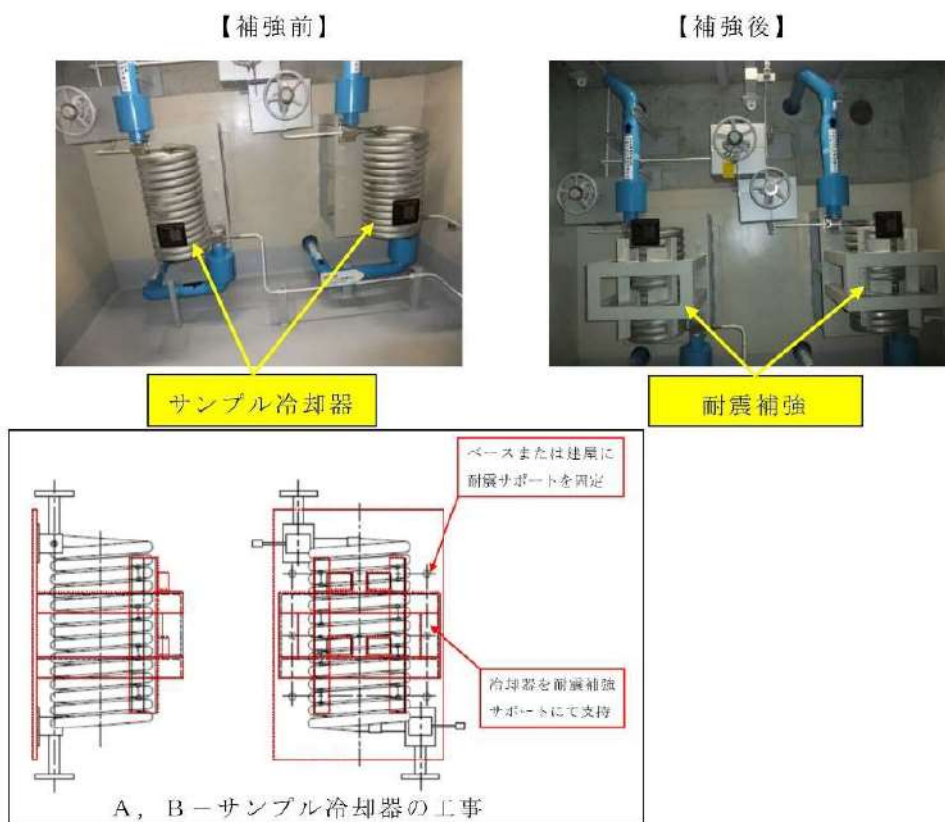
追而【地震側審査の反映】  
 (下表の破線囲部分)は、基準地震動確定後に評価を実施し補強内容を反映する)

表1 補強工事対象機器

No	機器名	補強内容
1	A, B-サンプル冷却器	冷却器へのサポート追加
2	格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器	冷却器へのサポート追加
3	A, B, C-ブローダウンサンプル冷却器	冷却器へのサポート追加
4	ほう酸補給タンク	容器への補強部材追加, 取付ボルト追加
5	燃料取替用水加熱器	支持脚への補強部材追加, 取付ボルト追加
6	洗浄排水タンク	容器への補強部材追加
7	ほう酸回収装置蒸発器	支持脚への補強部材追加
8	廃液蒸発装置	
9	洗浄排水蒸発装置	
10	冷却材混床式脱塩塔	
11	冷却材陽イオン脱塩塔	
12	冷却材脱塩塔入口フィルタ	
13	冷却材フィルタ	
14	廃液蒸留水脱塩塔	
15	ほう酸回収装置	
16	配管	

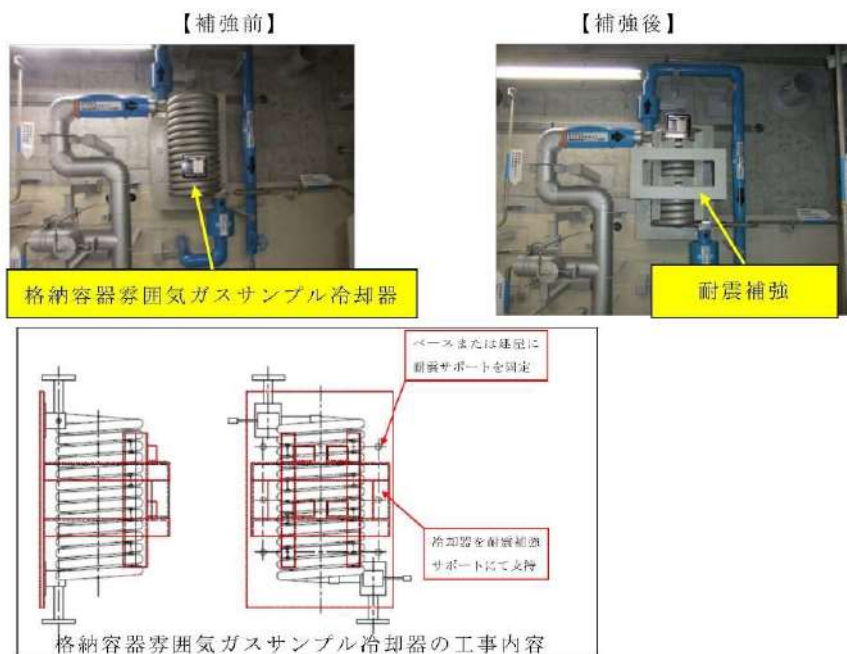
## 1. A, B-サンプル冷却器

### (1) 工事概要



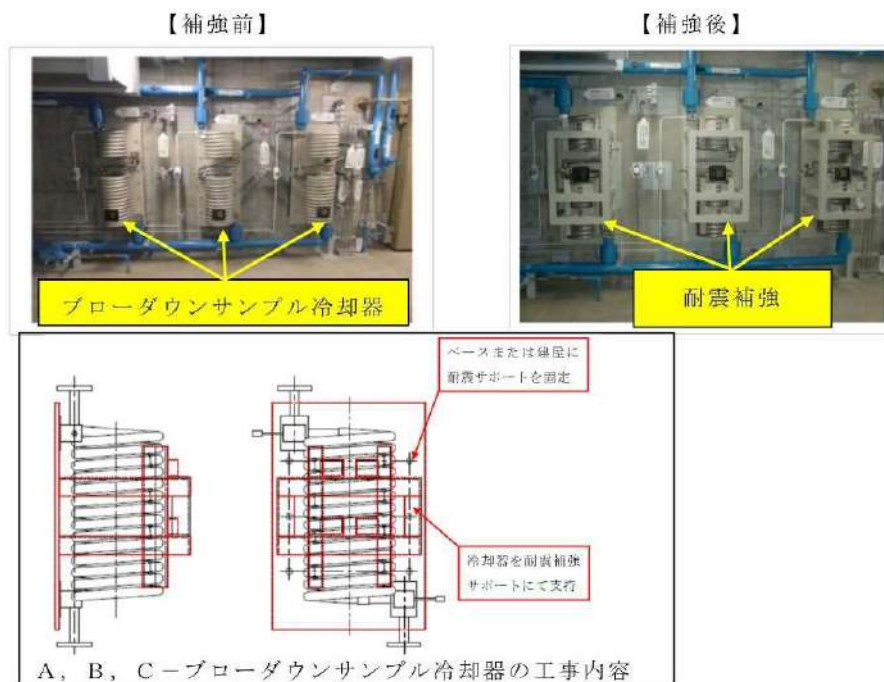
## 2. 格納容器雰囲気ガスサンプル冷却器

### (1) 工事概要



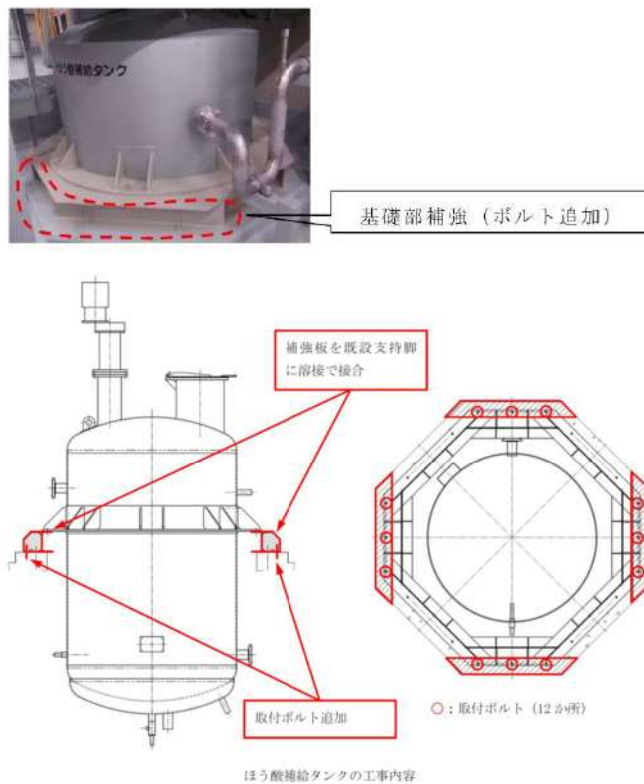
### 3. A, B, C-ブローダウンサンプル冷却器

#### (1) 工事概要



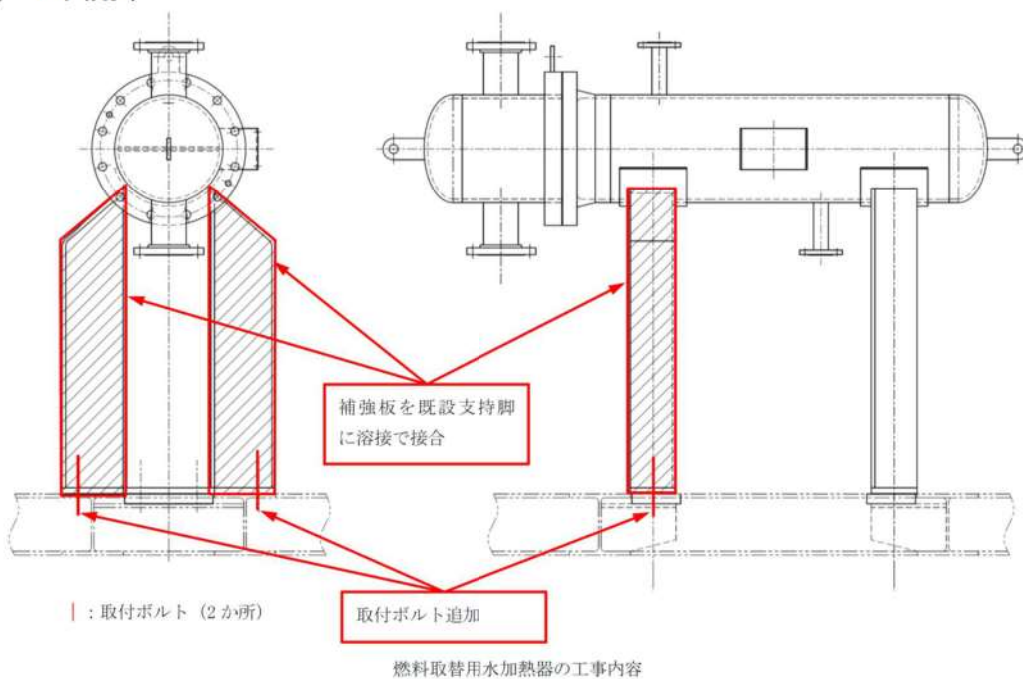
### 4. ほう酸補給タンク

#### (1) 工事概要



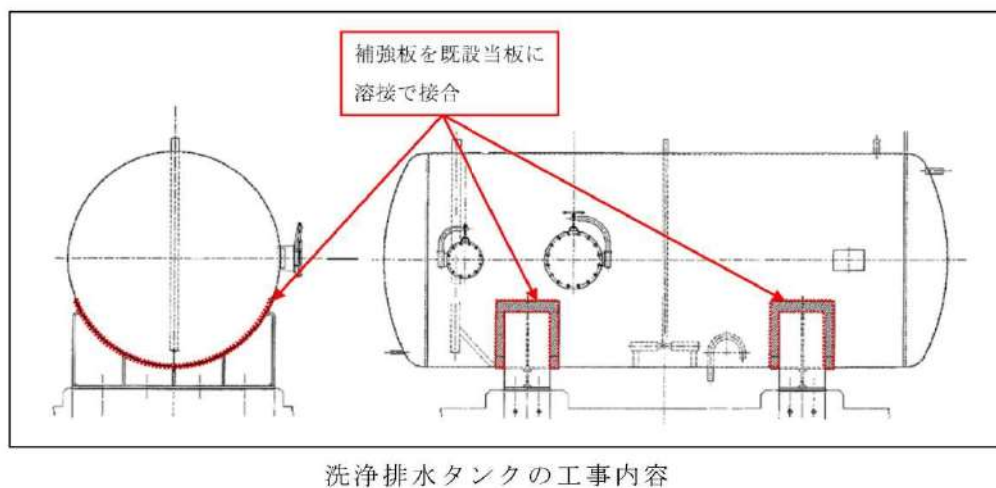
## 5. 燃料取替用水加熱器

### (1) 工事概要



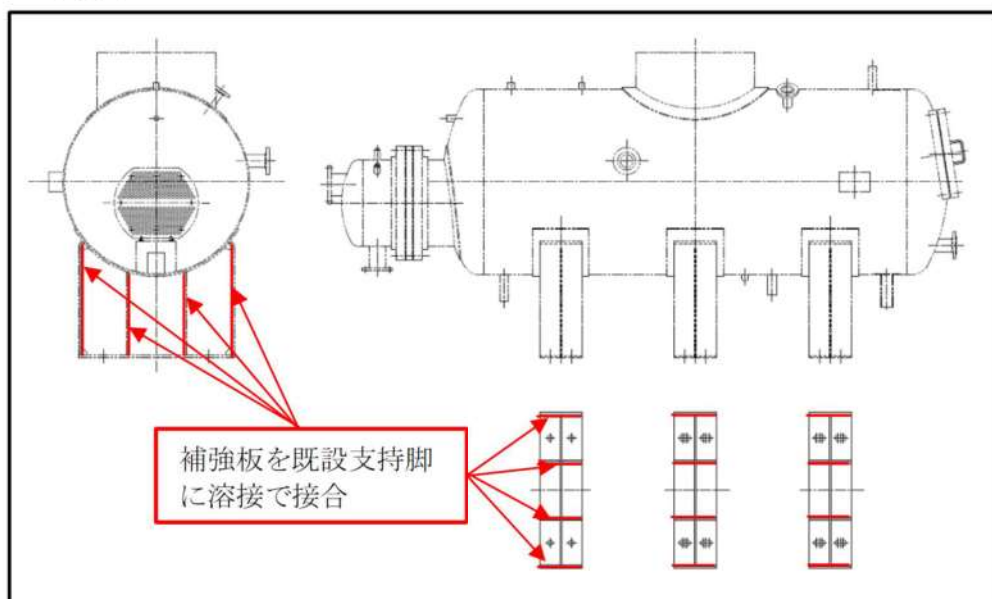
## 6. 洗浄排水タンク

### (1) 工事概要



## 7. ほう酸回収装置蒸発器

### (1) 工事概要



ほう酸回収装置蒸発器の工事内容

#### 追而【地震側審査の反映】

(8. ～16. は、基準地震動確定後に評価を実施し  
補強工事概要を反映する)

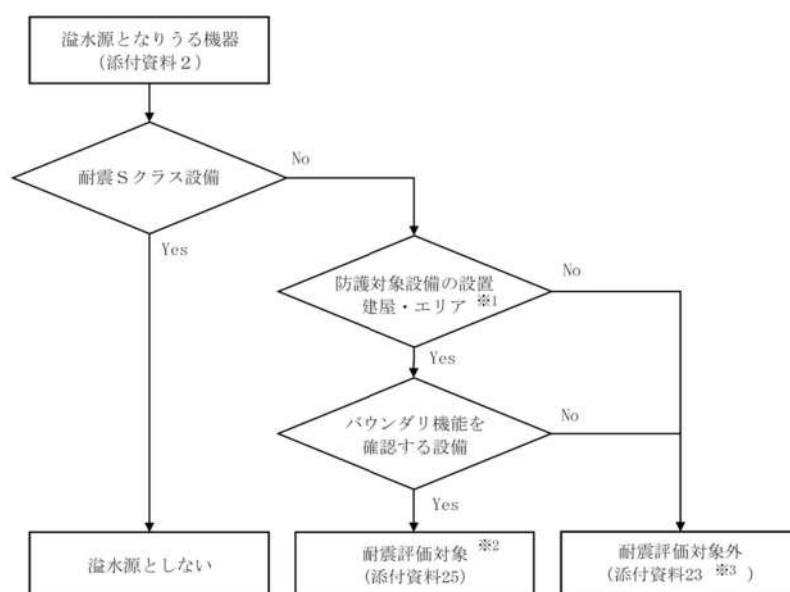
### 溢水影響評価における耐震B，Cクラス機器の抽出方法について

泊発電所3号炉の溢水影響評価においては、図1のとおり、防護対象設備が設置された建屋及びエリア（原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋）に設置され、バウンダリ機能を確認する耐震B，Cクラス機器について、基準地震動に対する地震力に対して耐震評価を実施し、発生値が評価基準値を上回る場合には、補強工事を行い、バウンダリ機能を確保することとしている。

これらの耐震B，Cクラス機器については、建設時より管理している設備図書（耐震重要度分類系統図）を用いて、機器の耐震重要度分類及び設置建屋（エリア）を確認し、耐震評価対象を抽出している。ここで、耐震重要度分類系統図には、系統仕様（耐震重要度分類，最高使用圧力，最高使用温度，流体種類等），建屋区分等が記載されている。

また、防護対象設備が設置されている建屋及びエリアについては、現地調査を実施し、抽出した耐震B，Cクラス機器が適切であることを確認している。

なお、耐震評価対象となる耐震B，Cクラス配管の抽出及び耐震評価範囲の例を図2に示す。



※1 原子炉建屋，原子炉補助建屋，ディーゼル発電機建屋，及び循環水ポンプ建屋

※2 耐震評価の結果，発生値が評価基準値を上回る場合は，補強工事を行い，基準地震動による地震力に対してバウンダリ機能を確保する

※3 地震に起因する溢水源リスト

図1 耐震評価対象の抽出フロー



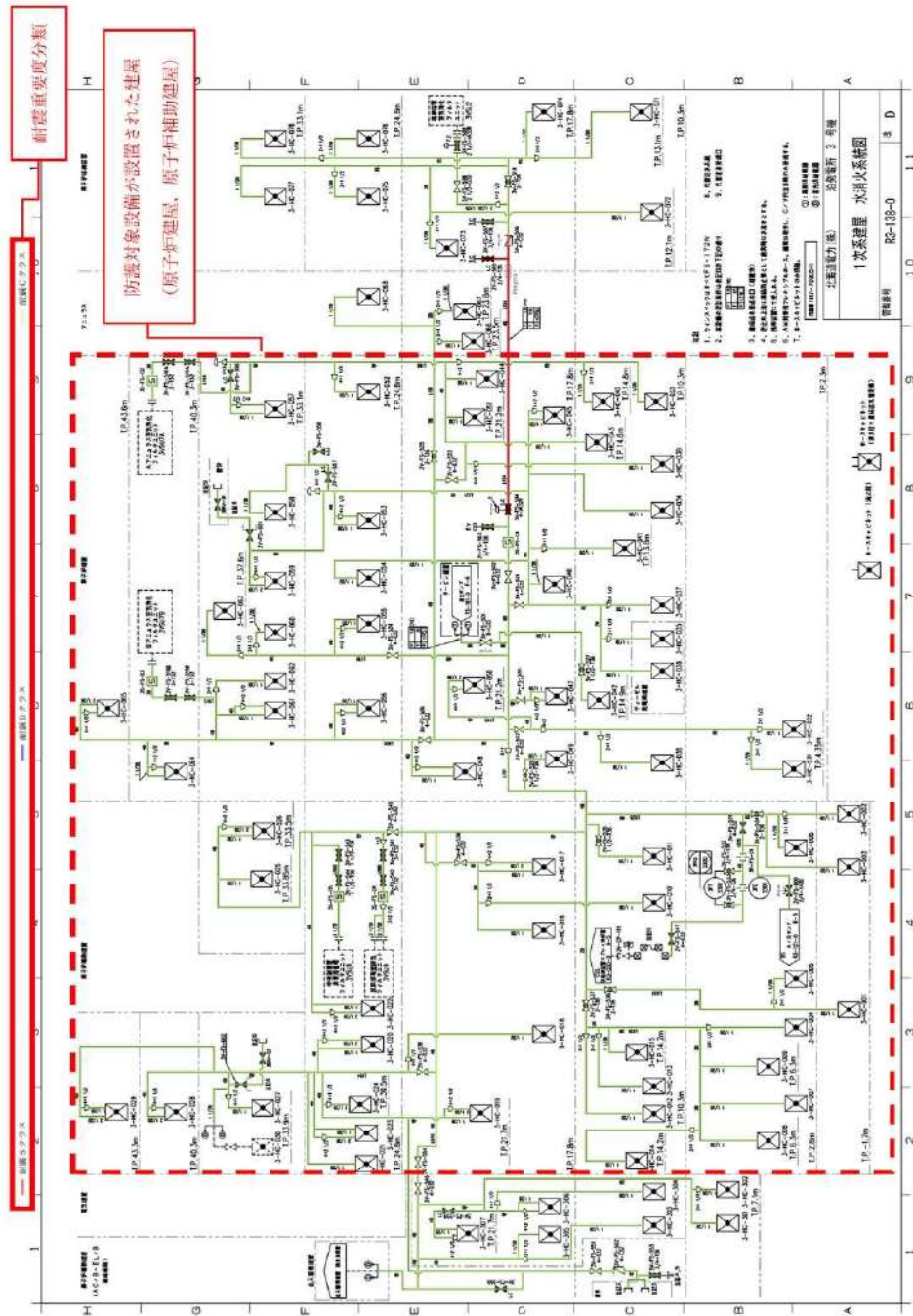


図2 耐震B, Cクラス配管の抽出及び耐震評価範囲の考え方 (1/2)

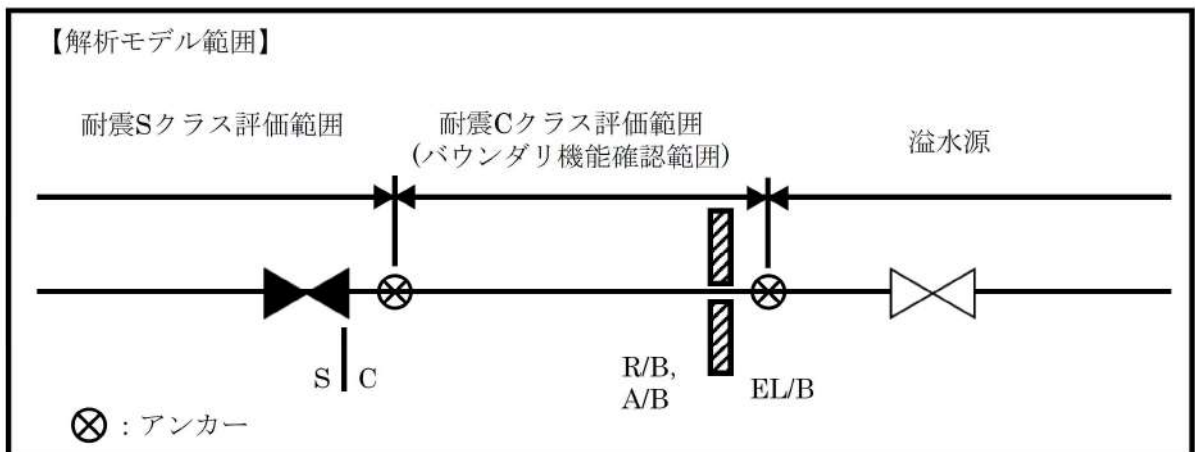
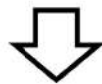
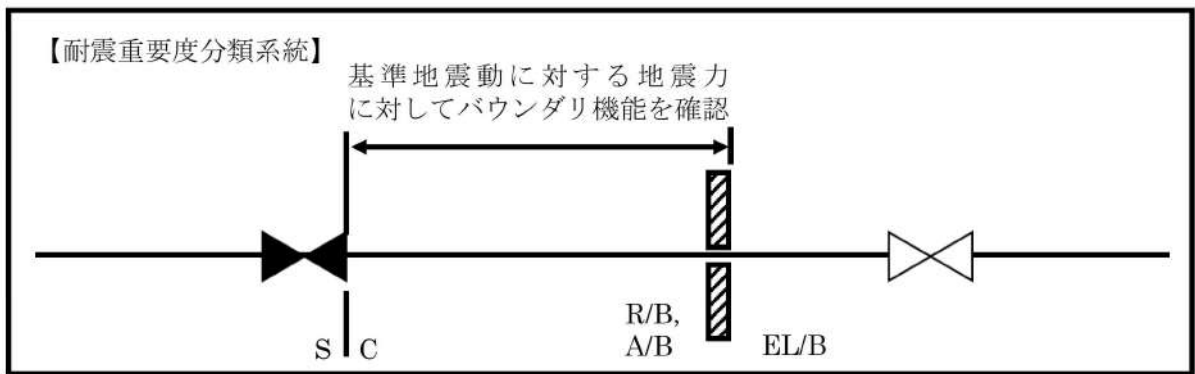
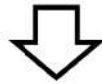
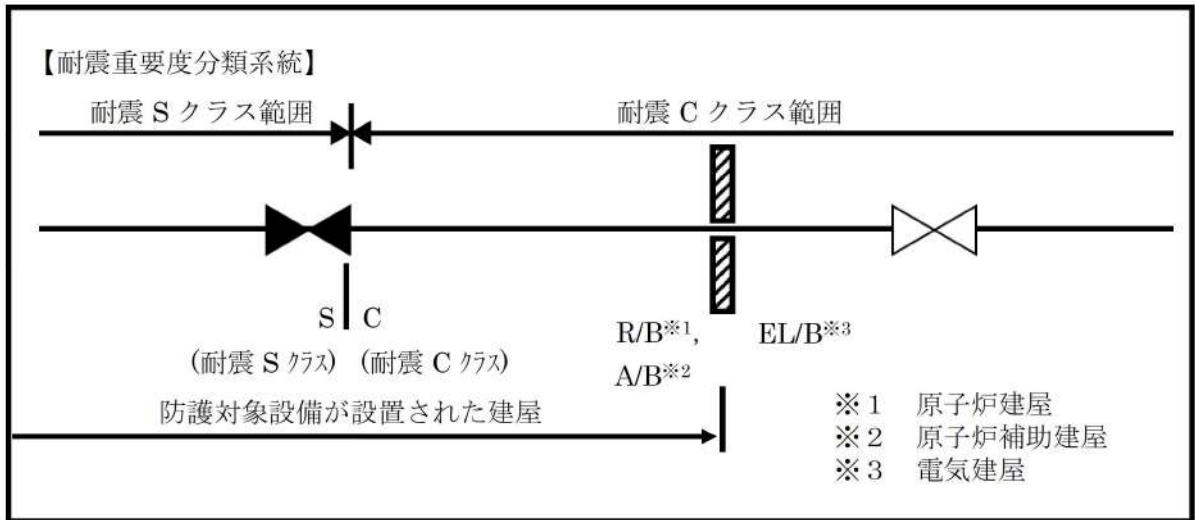


図 2 耐震 B, C クラス配管の抽出及び耐震評価範囲の考え方 (2/2)

内部溢水評価における耐震壁等の確認について

1. はじめに

地震時の内部溢水評価の対象である泊発電所3号炉原子炉建屋，原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋において，地震時に想定される溢水の最終貯留区画の耐震壁等について，ひび割れの影響を整理した。

2. 評価上の耐震壁等の確認について

図1のフローにより，最終貯留区画の耐震壁等の種類に応じ，評価上期待する壁及び評価上期待しない壁の整理を行い，評価上期待する壁について，地震によるひび割れの影響を確認する。

なお，地震により耐震壁等に発生するひび割れのうち，曲げひび割れについては水平方向に発生するため地震後の残留ひび割れは自重により閉じることから，せん断ひび割れを対象とする。

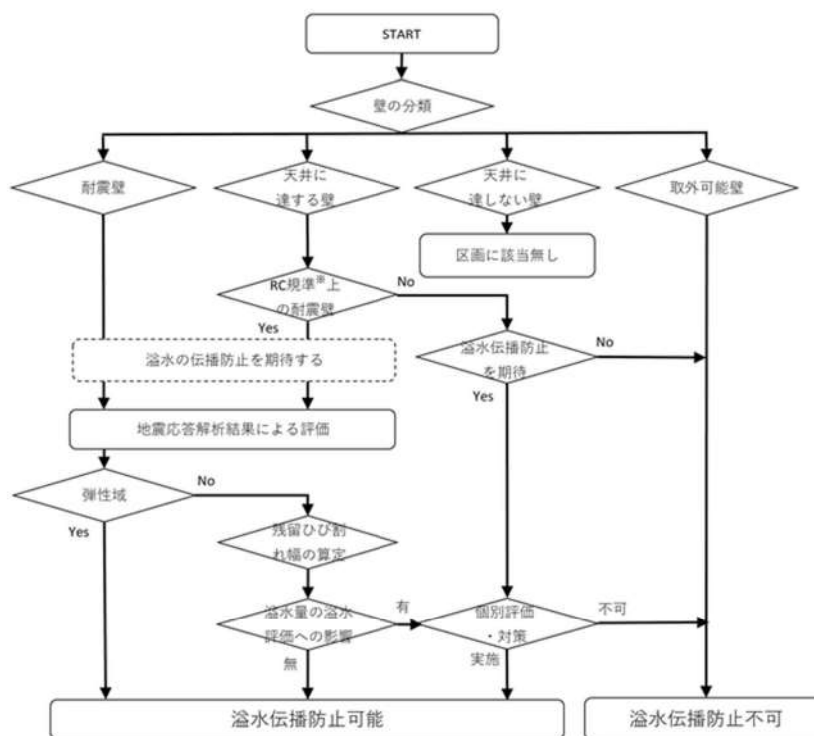


図1 最終貯留区画の耐震壁等の確認フロー

\* :「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）」(本資料においては，以下「RC規準」という)

### 3. RC 規準上の耐震壁について

最終貯留区画の壁のうち、天井に達する壁（中間の床で耐震壁と一体となった壁を含む）は、床及び天井と一体となった構造体であるため、地震により生じるせん断変形は耐震壁と同様となり、地震応答解析結果から得られる耐震壁のせん断変形による評価が可能であり、地震応答解析上の耐震壁として扱っていない壁について、RC 規準上の耐震壁と同等であることを表 1 のとおり確認した。これら壁の配置状況を別添資料 1「泊発電所 3 号炉 最終貯留区画の耐震壁等配置図」に示す。

表 1 構造規定への適合性確認結果 [RC 規準 19 条 7 項関係]

確認事項	要求事項	確認結果	判定
①壁厚	120mm 以上かつ 壁板内法高さの 1/30 以上	最小壁厚 300mm 壁板内法寸法の 1/26 以上	適合
②せん断補強筋比	直交する各方向 0.25%以上	0.25%以上	適合
③壁筋の複筋配置	壁厚さ 200mm 以上は 複筋配置	複筋配置	適合
④壁筋の径との間隔	D10 以上の異形鉄筋かつ 鉄筋間隔 300mm 以下	D16 以上の異形鉄筋かつ 最大鉄筋間隔 200mm	適合

### 4. 天井に達しない壁の確認について

最終貯留区画において、溢水の伝播防止を期待する天井に達しない壁はない。

### 5. 地震応答解析結果（基準地震動）による評価

#### (1) 耐震壁等のひび割れの可能性について

原子炉建屋の地震時に想定される溢水は T.P. 2. 3m 及び T.P. 2. 3m（中間床）に貯留される。

原子炉補助建屋の地震時の溢水は T.P. -1. 7m に貯留される。最終貯留区画のある階について、基準地震動による壁の最大応答せん断ひずみ度を表 2 に示す。

壁のひび割れ発生の有無は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」によるせん断変形（ $\tau$ - $\gamma$  関係）の第一折点が参考となり、地震応答解析におけるせん断変形（ $\tau$ - $\gamma$  関係）が、第一折点（弾性限界）に納まる場合、水密性に影響のあるせん断ひび割れが生じないと判断する。

追而【地震津波側審査の反映】

せん断ひずみ度確認結果については基準地震動確定後の評価結果により，見直しの要否を検討する。

表 2 基準地震動による地震応答解析結果一覧

評価対象		第一折点の せん断ひずみ度 ( $\times 10^{-3}$ )		各層の最大応答 せん断ひずみ度 ( $\times 10^{-3}$ )	
建屋名	T.P.	EW	NS	EW	NS
原子炉建屋	17.8m~24.8m	0.212	0.212	弾性範囲内	
	10.3m~17.8m	0.230	0.230	弾性範囲内	
	2.3m~10.3m	建屋モデルにおいて基礎に位置しており，せん断ひずみは生じない。			
原子炉補助 建屋	17.8m~24.8m	0.195	0.195	弾性範囲内	
	10.3m~17.8m	0.218	0.218	0.282	0.252
	2.8m~10.3m	0.227	0.227	0.256	弾性範囲内
	-1.7m~2.8m	建屋モデルにおいて基礎に位置しており，せん断ひずみは生じない。			
ディーゼル 発電機建屋	6.2m~10.3m	0.117	0.117	弾性範囲内	

(2) 残留ひび割れ幅の算定

地震応答解析によるせん断ひずみ度より、「鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひびわれ性状に関する検討（昭和 63 年コンクリート工学年次論文報告集）」に基づき、残留ひび割れ幅を算定し比較する。

算定された残留ひび割れ幅が、「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会）（以降、「維持管理指針」という）」に示されるコンクリート構造物の使用性（水密）に影響を与える評価基準である「0.2mm」を超えないことを確認する。

a. 残留ひび割れ幅の算定

・ 残留ひび割れ幅の総計

図 2 より、せん断ひずみ度 (X) から、(Y) の値を読み取り

$$Y = (30 \sim 110) \times 10^{-6}$$

ここで、

Y：残留ひび割れ幅の総計／測定区間長さ（図 2 の上限）

X：せん断ひずみ度

$$((0 \sim 0.282) \times 10^{-3})$$

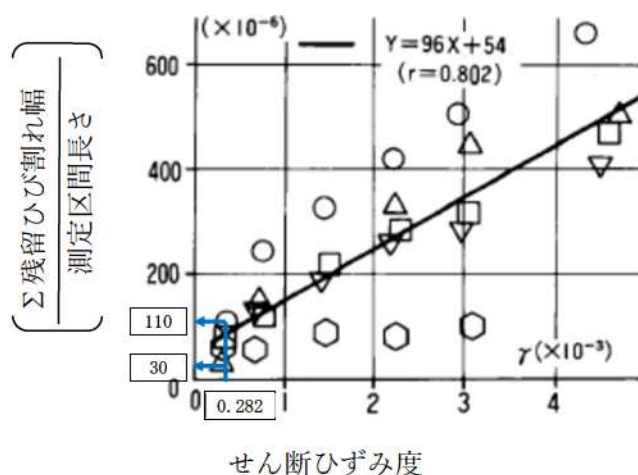


図 2 残留ひび割れ幅の総計／測定区間長さ

- 平均ひび割れ間隔の算定

$$A = B \times C$$

$$= 200 \times (6.8 \sim 4)$$

$$= 1360 \sim 800 \text{mm}$$

ここで、

A : 平均ひび割れ間隔 (mm)

B : 最大鉄筋間隔 (mm)

C : 平均ひび割れ間隔 / 鉄筋間隔

(図 3 の上限)

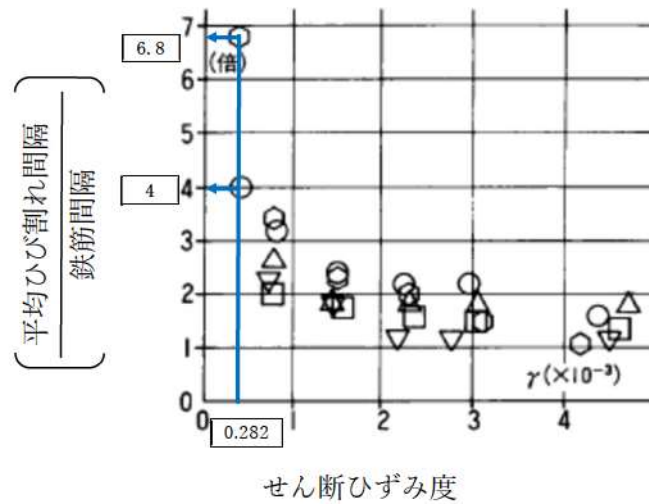


図 3 平均ひび割れ間隔 / 鉄筋間隔

- 残留ひび割れ幅の算定

$$t = Y \times A$$

$$= (30 \sim 110) \times 10^{-6} \times (1360 \sim 800)$$

$$= 0.024 \sim 0.150 \text{mm}$$

ここで、

t : 残留ひび割れ幅 (mm)

Y : 残留ひび割れ幅の総計 / 測定区間長さ

A : 平均ひび割れ間隔 (mm)

b. 弾性範囲を超える部位の検討

弾性範囲を超える各部位について残留ひび割れ幅を算定し、表3に示す。

表3 弾性範囲を超える部位の残留ひび割れ幅の算定結果

評価対象		各層の最大応答 せん断ひずみ度 ( $\times 10^{-3}$ )		弾性範囲を超える残留 ひび割れ幅の算定結果 (mm)		回帰式による 残留ひび割れ幅 (mm)	
建屋名	T. P.	EW	NS	EW	NS	EW	NS
原子炉建屋	17.8m～ 24.8m	弾性範囲内		—	—	—	—
	10.3m～ 17.8m	弾性範囲内		—	—	—	—
	2.3m～ 10.3m	基礎に位置しており、せん断ひずみは生じない。		—	—	—	—
原子炉補助 建屋	17.8m～ 24.8m	弾性範囲内		—	—	—	—
	10.3m～ 17.8m	0.282	0.252	0.024～ 0.150	0.024～ 0.150	0.112	0.107
	2.8m～ 10.3m	0.256	弾性範囲内	0.024～ 0.150	—	0.107	—
	-1.7m～ 2.8m	基礎に位置しており、せん断ひずみは生じない。		—	—	—	—
ディーゼル 発電機建屋	6.2m～ 10.3m	弾性範囲内		—	—	—	—

c. 評価結果

弾性範囲を超える各部位で算定した最大残留ひび割れ幅は、「維持管理指針」に示される評価基準である「0.2mm」を超えないことを確認した。



## 6. まとめ

地震時に想定される溢水の最終貯留区画の耐震壁等について，残留ひび割れからの漏水による内部溢水評価への影響がないことを確認した。

泊発電所 3 号炉 最終貯留区画の耐震壁等配置図

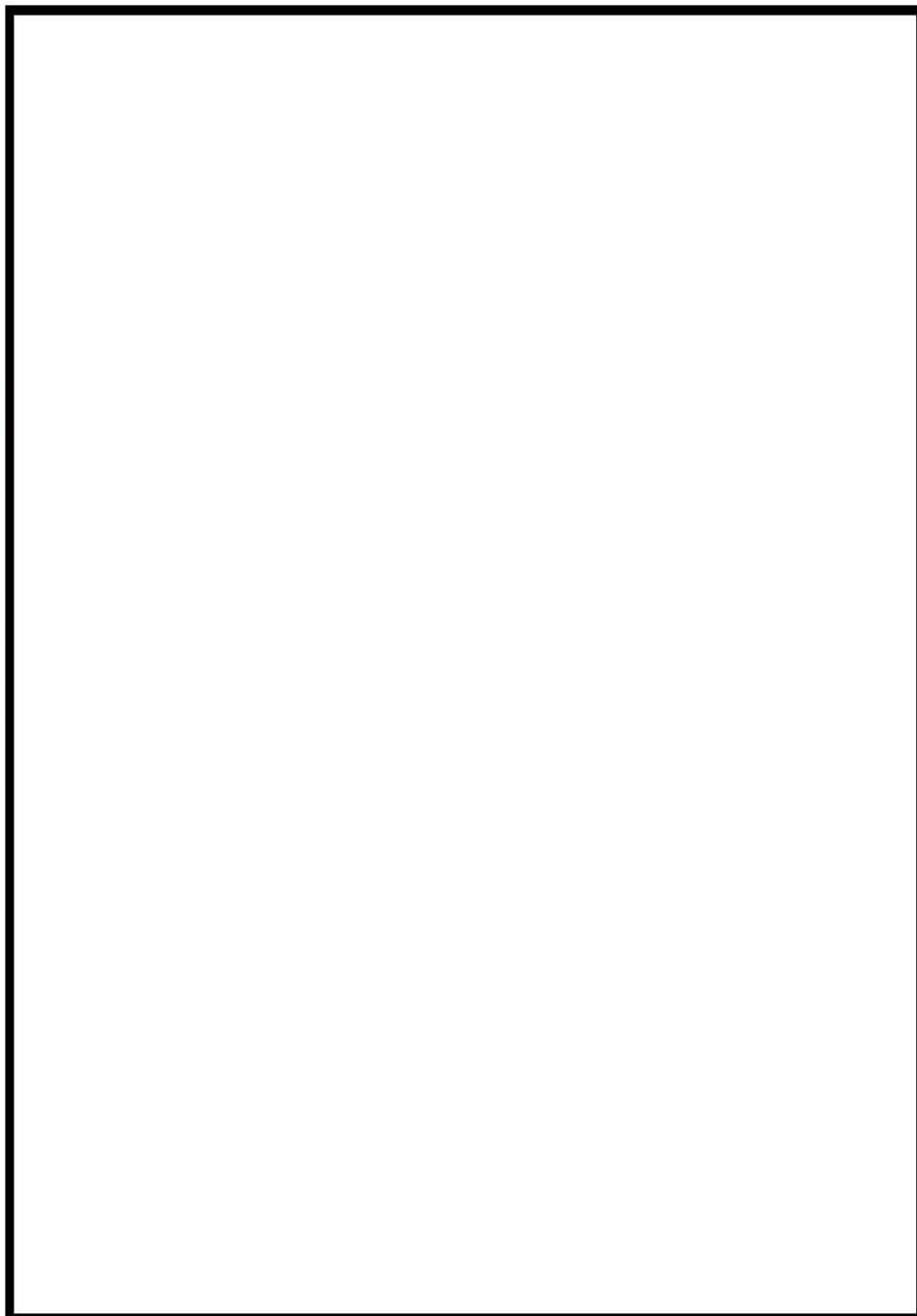


図 4 T.P.17.8m 最終貯留区画 耐震壁等配置

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

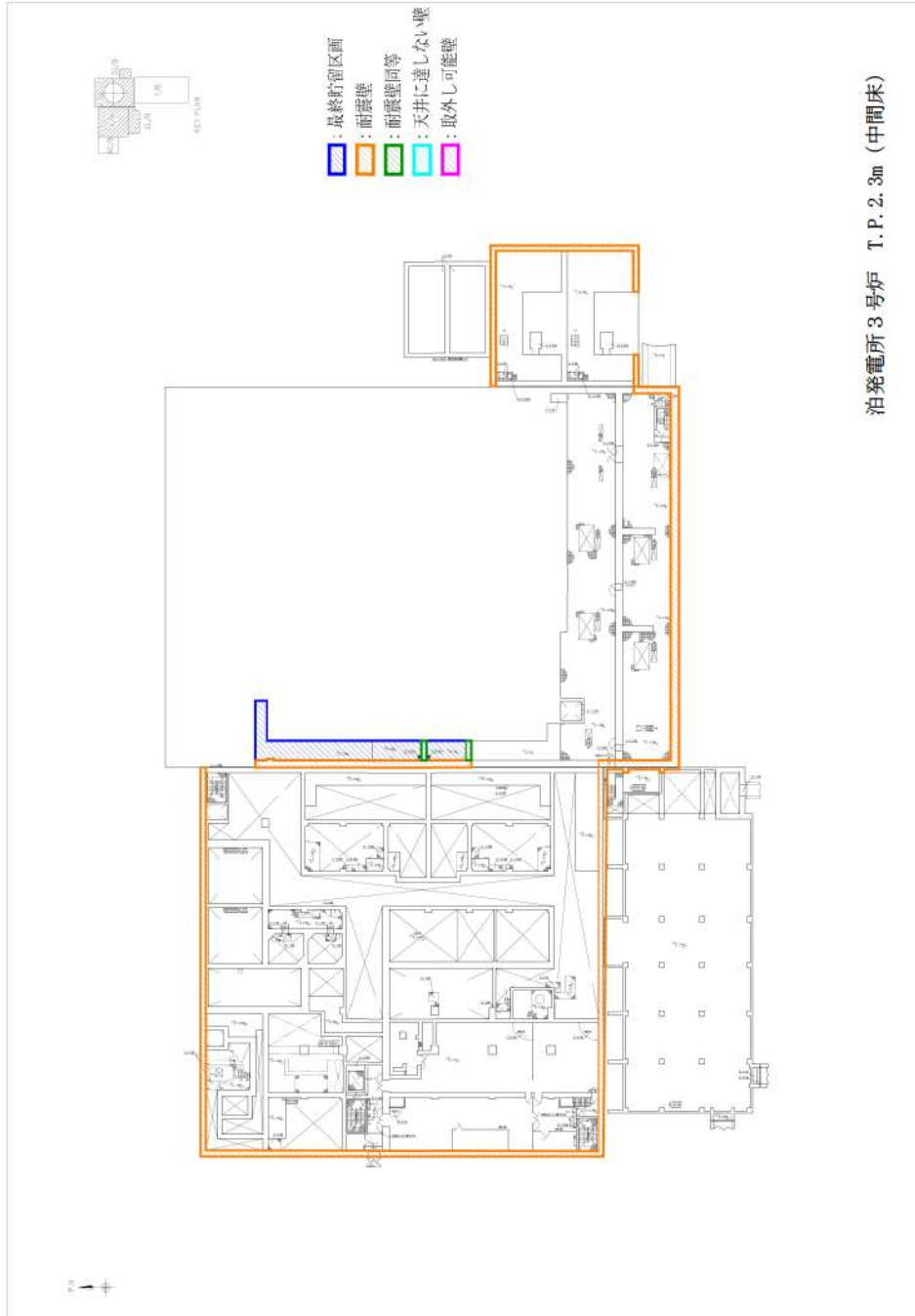


図5 T.P.2.3m (中間床) 最終貯留区画 耐震壁等配置

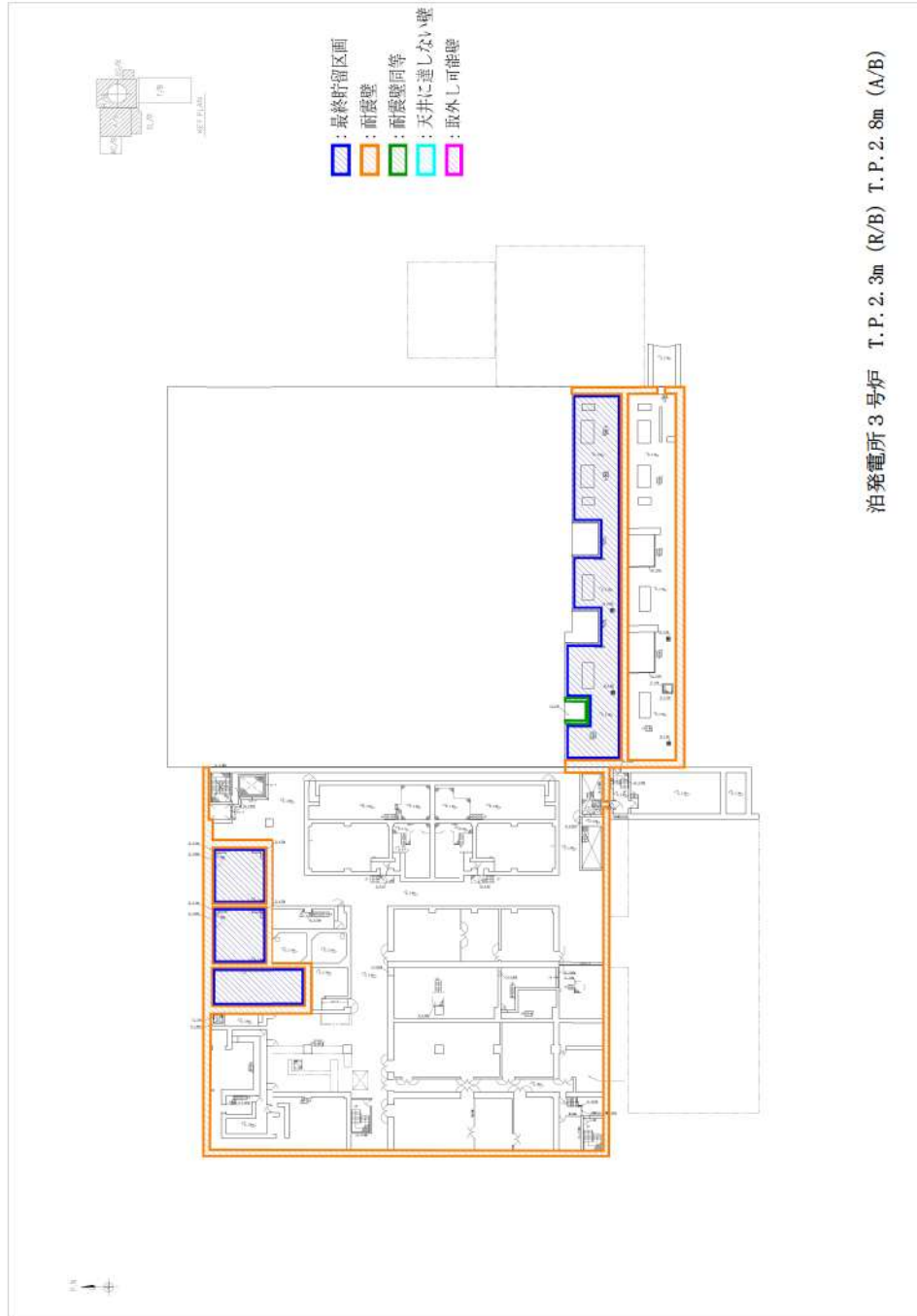


図 6 T.P. 2.3m (R/B) T.P. 2.8m (A/B) 最終貯留区画 耐震壁等配置

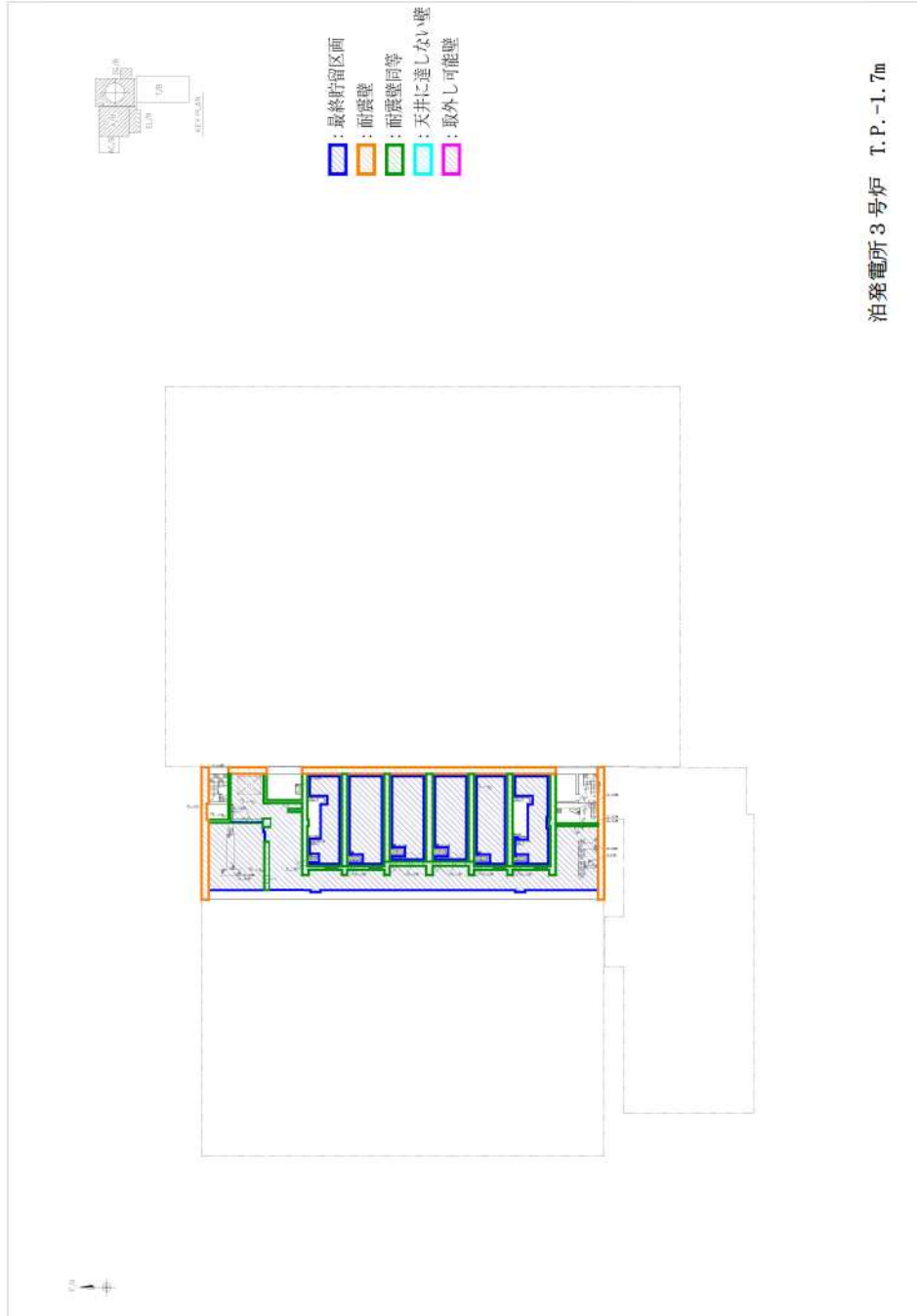


図7 T.P.-1.7m 最終貯留区画 耐震壁等配置

## 残留ひび割れ幅算定式の適用性について

## 1. はじめに

地震時の耐震壁等に生じる残留ひび割れ幅算定式の適用性について説明する。

## 2. 算定式の適用性

地震時に建屋の鉄筋コンクリート壁に生じる残留ひび割れ幅については、地震応答解析におけるせん断ひずみ度から、(財)原子力工学試験センターで実施された原子炉建屋の耐震壁の試験結果を取りまとめた文献に基づき算定している。

当文献では、骨材径、配筋方法等をパラメータとして実施された複数の試験を基にせん断ひび割れ性状を検討している。文献における試験体と、耐震壁（耐震壁同等の壁を含む）の諸元比較を表 4 に示す。

試験体と実機を比較した結果は以下のとおり。

- ①壁厚については、実機の最小壁厚は 30cm であり、試験体（S-1 を除く）と同程度である。
- ②骨材径については、実機は 20mm であり、試験体 S-2, S-3 と同程度である。
- ③配筋方法に関しては実機と異なるが、試験における平均ひび割れ間隔は、部分的なばらつきはあるものの、配筋方法によらずほぼ同等である。

以上のことから、当文献の試験結果を適用することに支障はないと判断し、図 8 及び図 9 に示すとおり試験全体のばらつきを考慮し、残留ひび割れ幅を大きく算定する値を用いて評価を実施している。

表 4 試験体と実機壁の諸元比較

		諸元					備考*
		壁長さ (cm)	壁高さ (cm)	①壁厚 (cm)	②骨材径 (mm)	③配筋方法 段数－径－間隔	
試 験 体	S-1	150	120	8	10	2-D16@50	○
	S-2	450	360	24	25	2-D19@150	△
	S-3	450	360	24	25	4-D10@74	□
	S-4	450	360	24	10	2-D19@150	▽
	S-5	450	360	24	10	4-D10@74	◇
実機壁		—	—	30～ 134	20	2-D16@200～ 2-D38@200	

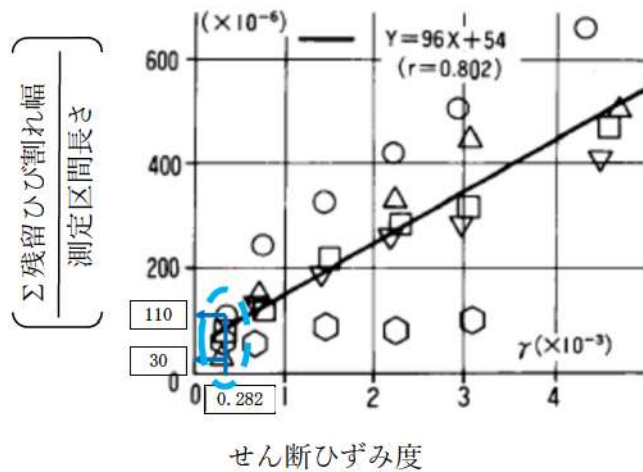


図8 残留ひび割れ幅の総計／測定区間長さ

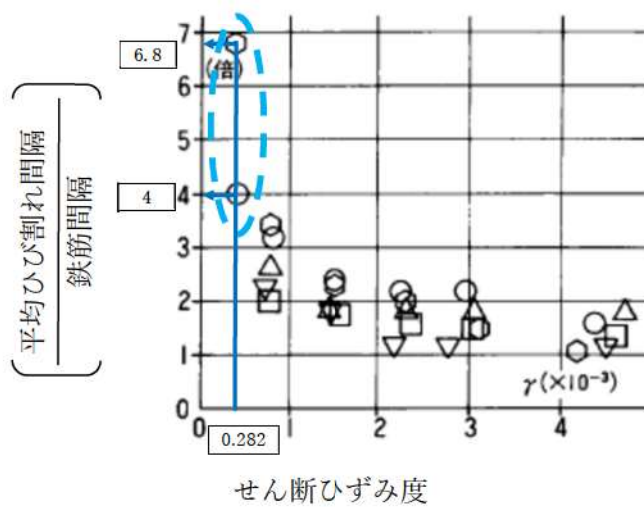


図9 平均ひび割れ間隔／鉄筋間隔

## 維持管理指針における評価基準「0.2mm 未満」について

## 1. はじめに

内部溢水評価における，浸水範囲の境界壁である耐震壁等のひび割れ幅の評価基準について整理した。

## 2. 設定した評価基準「0.2mm 未満」について

内部溢水評価におけるひび割れ幅の評価基準「0.2mm 未満」は，維持管理指針において，既往の指針類\*1を参考に「コンクリート構造物の使用性（水密）\*2」の観点から設定している。（表 5 及び表 6 参照）

\*1:「コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-（社団法人 日本コンクリート工学協会）」

\*2:主に液体状の放射性物質の漏えい拡大を防止するために設置されている堰及び堰で囲まれる壁・床に求められている漏えい防止機能に関連する性能（維持管理指針より）

表 5 維持管理指針におけるひび割れ幅の評価基準

（「維持管理指針 解説表 7 - 1 ひび割れに対する評価区分と評価基準」より，一部加筆）

影響する性能	評価区分と評価基準		
	A 1 (健全)	A 2 (経過観察)	A 3 (要検討)
構造安全性	構造安全性に影響を与えるひび割れがない	—	構造安全性に影響を与えるひび割れがある
使用性	ひび割れ幅が 0.3mm 未満(屋外) 0.4mm 未満(屋内)	ひび割れ幅が 0.3mm 以上 0.8mm 未満(屋外) 0.4mm 以上 1.0mm 未満(屋内)	ひび割れ幅が 0.8mm 以上(屋外) 1.0mm 以上(屋内)
	水密	塗膜にひび割れがない*3 ひび割れ幅が 0.05mm 以下**	— ひび割れ幅が 0.05mm を超え <u>0.2mm 未満**</u>
遮蔽性	使用性の評価区分に準ずる		

\* 3 : 塗膜で使用性（水密）を評価する場合

\* 4 : コンクリートで使用性（水密）を評価する場合



表 6 評価区分

(「維持管理指針 7. 2. b (1) 健全性評価の区分」より)

A 1 (健全)	点検結果が評価基準を満足する場合
A 2 (経過観察)	劣化が顕在化しているが点検結果は <u>評価基準を満足している</u> 場合
A 3 (要検討)	すでに点検結果が評価基準を満足していない場合

3. 維持管理指針におけるひび割れ幅の評価基準の適応性について

「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2003- (社団法人日本コンクリート工学協会)」においては, 既往の研究による水密性からの許容ひび割れ幅として表 7 が示されている。

壁厚による影響を考慮した坂本らの研究によると, 漏水が生じるひび割れ幅は, 壁厚 18cm までは 0.1mm 以上, 壁厚 26cm では 0.2mm 以上とされている。

ひび割れからの漏水影響を考慮する必要のある最終貯留区画の最低壁厚 30cm を考慮すると, 評価基準「0.2mm 未満」は適用可能と考える。

以上より, 内部溢水評価における, 浸水範囲の境界壁である耐震壁等のひび割れ幅の評価基準として, 維持管理指針に示される評価基準「0.2mm 未満」と設定することは問題ないと考え

表 7 既往の研究による水密性からの許容ひび割れ幅

(「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2003-解説表-4.4」より, 一部加筆)

研究者名	許容ひび割れ幅 (mm)	要 旨
狩野春一ほか <sup>20)</sup>	0.05	数年にわたる調査研究によると, 12 cm 厚のスラブで, ひび割れの見つけ幅が 0.04 mm ではほとんど降雨による漏水は認められなかった。0.06 mm 前後が危険度約 20% 程度の漏水限界幅と思われる。ただし水圧の大きいところでは当然さらに小さい幅でも危険である。
仕入器和 <sup>21)</sup>	0.05	厚さ 10 cm のコンクリート供試体について, 水圧 0.001 N/mm <sup>2</sup> (風速 50 m/s 時の風圧に相当する) で連続 1 時間の透水実験を行い, ひび割れ幅が約 0.05 mm 以下ではほとんど透水は認められないことを示した。また, 実在 RC 高層建物におけるひび割れ幅と漏水の有無についての調査を行い, 実用防水上支障がないと考えられるひび割れ幅は 0.05 mm とした。
浜田 稔 <sup>22)</sup>	0.03	ひび割れ幅と雨もりの有無とを実際のアパートについて調査した結果, 最初は 0.06 mm が雨もりを認める限界の幅であるとされたが, 最近では, 0.03 mm でも雨もりを認める場合があるようになった。
向井 毅 <sup>23)</sup>	0.05	5×10×30 cm モルタル, 水頭 10 cm での試験結果では, ひび割れ幅が 0.06 mm 以下では, たとえ 0.03 mm でも試験体表面のひび割れ部から透水を示し「湿り」がみられたが漏水は 0.07 mm でもほとんど認められなかった。しかし, それ以上のひび割れ幅の場合は明らかに漏水現象がみられた。
神山幸弘・石川広三 <sup>24)</sup>	(0.05 以下)	壁体が飽水状態にあるとき, 無風もしくは微風時に漏水を生ずる最小のひび割れ幅は 0.05~0.08 mm 付近にある。
森倉祐光 <sup>25)</sup>	(0.12 以下)	φ15×4 cm のモルタル, 水頭 30 cm (0.003 N/mm <sup>2</sup> ) での試験結果では, ひび割れ幅 0.12 mm (これ以下の試験はしていない) では透水はゼロに近い。
松下清夫ほか <sup>26)</sup>	(0.08 以下)	幅が片面 0.08 mm, 片面 0.3 mm の水平ひび割れを有する厚 15 cm のモルタル供試体で, 継ぎ目から長時間放水したとき, 1 分でしみ発生, 5.5 分で泡発生, 10 分で流れ始め, その速では, 8 分でしみ発生, 8.5 分で流れ始め。
石川広三 <sup>27)</sup>	(0.15 以下)	気乾状態のコンクリート供試体, 厚 8 cm, 圧力差 0.0002 N/mm <sup>2</sup> , 実験時間: 原則として 3 時間では, ひび割れ幅が 0.15 mm 以下では, ひび割れ貫通部にじみが生ずる程度で, 漏水にはいたらない。
坂本朋夫・石橋敏・高美雄 <sup>28)</sup>	壁厚によって異なる	漏水にはひび割れ幅, 壁厚が影響し, 模型実験において漏水するひび割れ幅は, 壁厚 10, 18 cm で 0.1 mm 以上, 壁厚 26 cm では 0.2 mm 以上であり, 壁厚が厚くなるほうが漏水に対して有利である。

#### 4. 耐震壁等のひび割れからの漏水影響について

参考として、溢水が長期間滞留する最終貯留区画の耐震壁等のひび割れ幅からの漏水影響の確認方法を以下に示す。

##### ①ひび割れからの漏水量の算定

「コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2009-付：ひび割れの調査と補修・補強事例（社団法人 日本コンクリート工学協会）」に示される下式に基づき算定する。

(漏水量算定式)

$$Q = C_w \cdot L \cdot w^3 \cdot \Delta p / (12 \nu \cdot t)$$

ここに，

Q : 漏水量 (mm<sup>3</sup>/s)

C<sub>w</sub> : 低減係数

L : ひび割れ長さ (mm)

w : ひび割れ幅 (mm)

ν : 水の粘性係数 [1.14×10<sup>-9</sup> N・s/mm<sup>2</sup> とする]

Δp : 作用圧力 (N/mm<sup>2</sup>)

t : 部材の厚さ (ひび割れ深さ) (mm)

(算定条件)

C<sub>w</sub> : 最終貯留区画の壁厚さを考慮し、「沈埋トンネル側壁のひび割れからの漏水と自癒効果の確認実験（コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 17, No. 1 1995）」に基づき設定する。

L : 地震時のせん断ひび割れを対象としていることから，壁面全面に45度で×型に入ると仮定。(ひび割れ間隔は200mm×4=800mmとする。)

w : 対象壁に生じると推定される残留ひび割れ幅の値を0.150mmとする。

Δp : 溢水高さ及び比重を考慮した静水圧分布。

## ②溢水影響評価への影響確認

①により算定した漏水量が、当該エリアの溢水評価に影響がないことを確認する。

- ・地震に起因する RC 壁の残留ひび割れは、水密性の観点からの評価基準値を下回っている。
- ・残留ひび割れからの漏水を想定した場合においても、単位時間当たりの漏水量は「150 リットル/h」であり、溢水評価における裕度※に対し相当に小さい値であるため溢水評価に影響を与えることはない。
- ・万一漏水が発生した場合は、手動ポンプによって漏水の移送・回収、また、補修材による止水補修を実施する。

以上により、水密区画の残留ひび割れから想定される漏水は溢水影響評価に影響を及ぼさないと判断した。

※最終貯留区画が設置されているフロアについて、残留ひび割れからの漏水量による溢水影響評価を実施した結果、裕度が最も小さい原子炉補助建屋 T.P. -1.7m に設置されている 3 A - 高圧注入ポンプの機能喪失高さまでの溢水量裕度は約 115.0m<sup>3</sup> であり、溢水回収対策を実施しない場合においても、溢水による機能喪失に至るまで約 766 時間（約 31 日）の時間的余裕があることを確認した。

## 躯体のひび割れ及びエポキシ樹脂塗装の保守管理について

### 1. はじめに

通常時における原子炉建屋等の躯体等のひび割れの保守管理については、「泊土課則 第 8 号 泊発電所 コンクリート構造物・鉄骨構造物施設管理細則」に基づき適切に管理を行っている。ひび割れの保守管理について整理した。

### 2. 点検項目

ひび割れの具体的な状況把握のため、ひび割れの推定成因、ひび割れの位置(床からの高さ)、ひび割れの幅、ひび割れの長さ、ひび割れの方向(角度)を点検調査し、ひび割れ幅やエポキシ樹脂塗装面の点検結果から健全性を判定している。この判定結果に基づき、補修計画を策定し、修繕を実施する管理としている。

また、地震発生後には、地震の規模に応じたパトロールを実施することとしており、建物・構築物等の健全性を確認することが定められている。

### 3. 最終貯留区画の保守管理について

今後、溢水の最終貯留区画を含む建屋範囲については、耐漏えい性を必要とする重要度を考慮した対応として、点検結果が、維持管理指針における A 1 (健全) を満足しない判定となる場合は、速やかに補修等の対応をとる管理とする。

## 標準支持間隔法に基づく配管の耐震評価

## 1. 基本方針

溢水影響評価において溢水源の対象配管は耐震B，Cクラスであるが，基準地震動による地震力が作用した場合でも耐震性を有することを，標準支持間隔法等を用いて確認する。標準支持間隔法は，標準支持間隔以下で配管サポートを敷設すれば，標準支持間隔で算出した一次応力以下に抑えることができるものである。

標準支持間隔の算出は以下の規準及び規格に基づき実施する。

- ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987)
  - ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」(JEAG4601・補-1984)
  - ・日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1991 追補版)
  - ・日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2005/2007)
- 評価に用いる基準地震動に基づく床応答曲線は，耐震設計で用いるものと同じである。

## 2. 支持間隔算出の方法

## 2. 1 概要

標準支持間隔は，各床区分における配管系の内圧，質量部及び地震応力に基づき，一次応力評価基準値内となる最大の支持間隔を算出する。

なお，地震応力の算出に当たっては，耐震設計で用いる基準地震動による床応答曲線と同じものを用いる。

## 2. 2 支持間隔

## 2. 2. 1 解析モデル

各種配管を図1のように支持間隔Lで3点支持した等分布質量の連続はりにモデル化する。この場合，支持点の拘束方向は軸直角方向のみとし，軸方向及び回転に対しては自由とする。

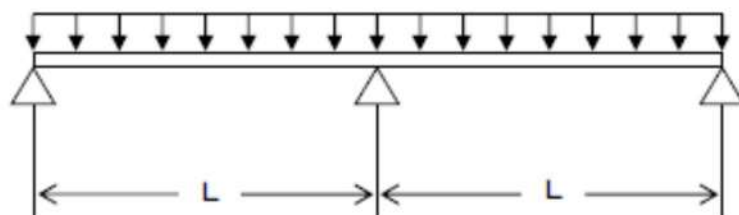


図1 標準支持間隔法の解析モデル

## 2. 2. 2 解析条件及び解析方法

- ①各種配管について、設計用地震力による応力を算定するとともに、内圧及び自重の影響を考慮して一次応力の最大支持間隔を求める。
- ②配管の自重は、配管自体の重量と内部流体の重量とを合計した値とする。さらに、保温材ありの配管についてはその重量を考慮する。

## 3. 設計用地震力

解析に使用する設計用地震力の種類及び設計用減衰定数は表 1 のとおりである。また、標準支持間隔の計算に用いる配管系の設計用減衰定数については、「5. 参考文献」に示す既往研究等において試験等により妥当性が確認され、標準支持間隔法での適用について工事計画認可実績のある区分Ⅲの値（保温材無：2.0%，保温材有：3.0%）を適用する。

なお、区分Ⅲの減衰定数の適用にあたっては、評価対象配管が、解析ブロック端※から解析ブロック端までの間に、水平配管の自重を架構で受けるUボルト支持具を4個以上有することを確認する。

- ※ 6軸拘束のアンカ（機器管台との接続、建屋貫通部、アンカサポート等）又はx, y, zの各方向をそれぞれ2回ずつ拘束するサポート群（アンカ点とみなす）をいう。  
また、減衰定数の設定において、保温材の効果は考慮する。

表 1 設計用地震力の種類

建屋	床応答曲線高さ T.P. (m)	減衰定数 (%)
周辺補機棟 (RE/B)	17.8, 24.8, 33.1	0.5, 1.5, 2.0, 3.0
燃料取扱棟 (FH/B)	41.0, 47.6, 55.0	0.5, 1.5, 2.0, 3.0
原子炉補助建屋 (A/B)	10.3, 17.8, 24.8, 33.1, 38.1, 40.3, 42.2, 43.3, 47.6	0.5, 1.5, 2.0, 3.0
ディーゼル発電機建屋 (DG/B)	10.3, 18.8	0.5, 1.5, 2.0, 3.0
外部遮へい建屋 (O/S)	17.0, 17.8, 24.8, 33.1, 41.0, 47.6, 51.9, 56.2, 60.5, 69.15, 76.48, 81.38, 83.10	0.5, 1.5, 2.0, 3.0
循環水ポンプ建屋 (CWP/B)	10.05	0.5, 1.5, 2.0, 3.0

#### 4. 具体的な評価手順

一次応力のうち標準支持間隔法を用いた具体的な評価手順を図2に示す。

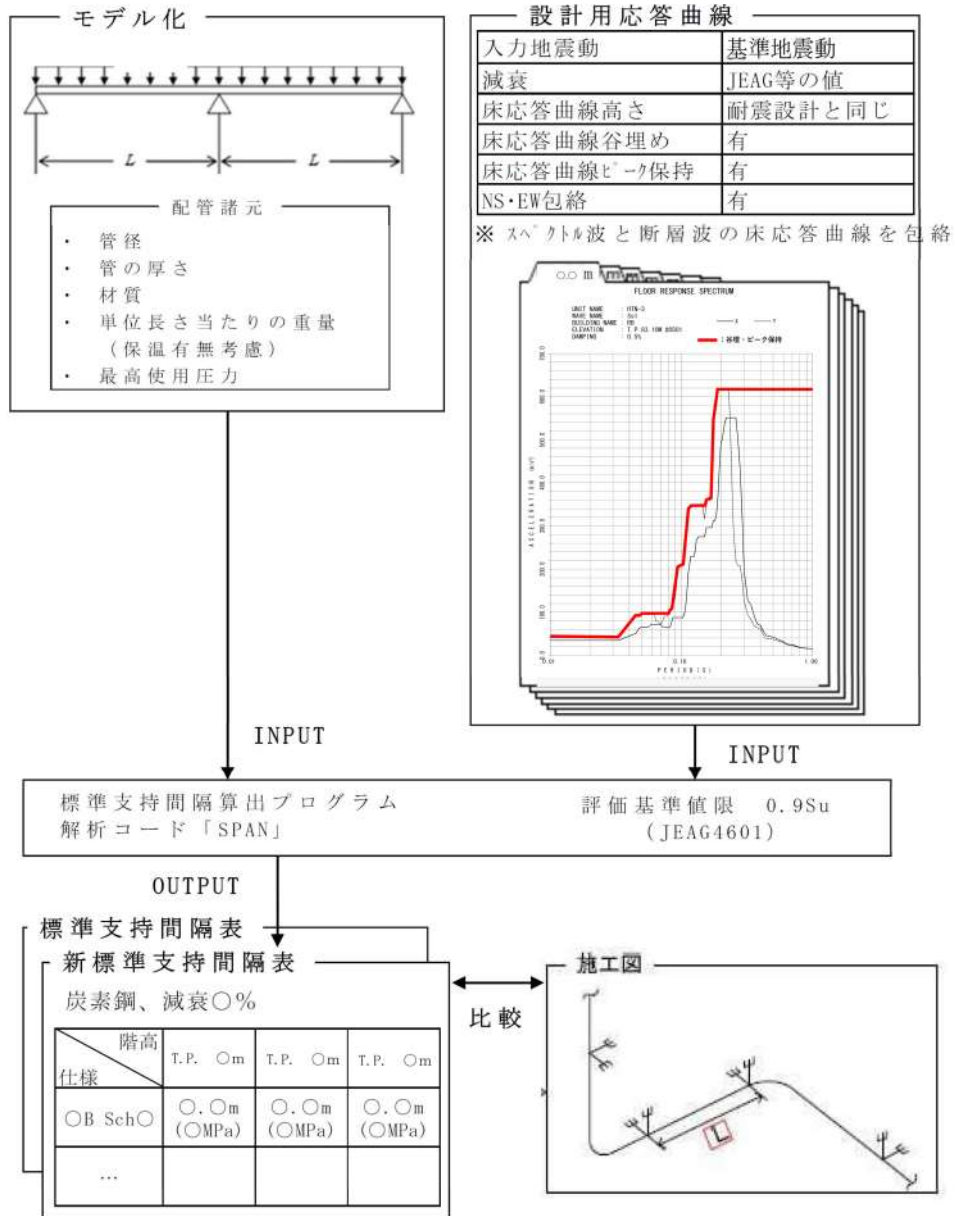


図2 標準支持間隔法を用いた評価手順の例

#### 5. 参考文献

「電源開発株式会社大間原子力発電所第1号機の工事計画認可申請に係る意見聴取会(機器・配管系)(第2回)意見反映版 資料4 機器・配管系の設計用減衰定数について(改2)」



## ほう酸水等薬品の漏えいによる影響について

溢水影響評価の中で、防護対象機器及びアクセス性に影響を与える可能性がある薬品として、抽出された薬品の影響について下記に示す。

## 1. ほう酸水の漏えいによる影響

想定破損による溢水においては、化学体積制御系統からほう酸水の漏えいを想定しており、以下の理由によりほう酸水漏えいによる防護対象設備及びアクセス性への影響はない。

(1) 安全機能を有するケーブルは基本的に電線管（フレキシブルチューブ含む）内に布設されているが、ケーブル自体の没水が想定される場合でもほう酸水等の薬品に対して耐性があることから、機器が機能喪失することはない。なお、ケーブルについては、端子部の没水により機器が機能喪失することから、機器の機能喪失高さにおいて、ケーブルの端子部の高さを考慮している。

各ケーブルに対するほう酸水の耐性を表 1 に示す。

(2) 化学体積制御系統は中央制御室からの遠隔操作により隔離するため、漏えい停止操作のための現場へのアクセスは不要である。

(3) 化学体積制御系統は基準地震動に対する耐震性を確保しているため、地震時溢水は考慮不要である。

表 1 ほう酸水に対する耐性一覧

種別	絶縁体名	シース名	ほう酸水に対する耐性	備考
高压電力 ケーブル	架橋 ポリエチレン※1	難燃低塩酸 特殊耐熱ビニル※1	○	※1 文献「プラスチックによる防食技術」により確認 ※2 文献「非金属材料データブック」により確認 ※3 文献「ふっ素樹脂ハンドブック」により確認 
低压電力 ケーブル	難燃 EP ゴム※2	難燃クロロスルホン 化ポリエチレン※2	○	
	難燃 EP ゴム※2	難燃低塩酸 特殊耐熱ビニル※1	○	
制御ケーブル	難燃 EP ゴム※2	難燃クロロスルホン 化ポリエチレン※2	○	
	特殊耐熱ビニル ※1	難燃低塩酸 特殊耐熱ビニル※1	○	
	FEP※3	TFEP※3	○	
制御 (光) ケーブル	ビニル※1 (内部シース)	難燃低塩酸ビニル※1	○	
計装ケーブル	難燃 EP ゴム※2	難燃クロロスルホン 化ポリエチレン※2	○	
	ビニル※1	難燃低塩酸ビニル※1	○	
核計装用 ケーブル	架橋 ポリエチレン※1	難燃架橋 ポリエチレン※1	○	
	架橋 ポリエチレン※1	ETFE※3	○	

FEP : 四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合樹脂

TFEP : 四フッ化エチレン・プロピレン共重合樹脂

ETFE : 四フッ化エチレン・エチレン共重合樹脂

【参考】



フレキシブルチューブ

## 2. 化学薬品漏えいによる影響

### (1) 分析用の薬品による影響

分析用の薬品は、溢水防護区画外の放射化学室（原子炉補助建屋）及び現場化学分析室（タービン建屋）に、専用の容器で保管している。保有量は少量であるため、薬品の保管容器が破損した場合でも室外へ流出する可能性は小さい。また、仮に分析用の薬品が室外に流出した場合でも、建物内の他の溢水防護区画とは壁により区画化されており、分析室近くの階段室及び機器ハッチ周辺にはスロープが設置されていることから、下階の防護対象設備に影響を及ぼすおそれはない。

### (2) その他化学薬品による影響

溢水源の中で、特定化学物質、毒物及び劇物等を取り扱っている設備は表2のとおりである。なお、屋外には薬品タンクは設置されていない。

表2 薬品タンク類溢水源リスト

設置建屋	フロア	溢水源	添加薬品	容量（濃度）
原子炉補助 建屋	T. P. 24. 8m	洗浄排水蒸発装置リ ン酸ソーダ注入装置	リン酸水素二ナト リウム	0. 5m <sup>3</sup>
	T. P. 24. 8m	廃液貯蔵ピットか性 ソーダ計量タンク	水酸化ナトリウム	0. 5m <sup>3</sup> ※1
	T. P. 17. 8m	1次系薬品タンク	水酸化ナトリウム 水加ヒドラジン 過酸化水素	0. 1m <sup>3</sup> ※1
	T. P. 17. 8m	セメント固化装置 (中和剤計量管)	水酸化ナトリウム	0. 1m <sup>3</sup> ※1
	T. P. 10. 3m	亜鉛注入装置	酢酸亜鉛	0. 2m <sup>3</sup>
	T. P. 5. 8m	酸液ドレンタンクか 性ソーダ計量タンク	水酸化ナトリウム	0. 1m <sup>3</sup> ※1
原子炉建屋	T. P. 2. 3m	薬液混合タンク	水加ヒドラジン	0. 5m <sup>3</sup> ※2

※1 添加薬品を常時保管するものではなく、薬品添加時以外はタンク内が空の状態である。

※2 添加薬品を常時保管するものではなく、薬品添加時以外はタンク内が系統水（空調用冷水）にて満たされている。

薬品タンクから漏えいした場合でも、薬品タンクの容量はわずかであり濃度は十分に低いことから、防護対象設備及びアクセス性への影響はない。また、防護具を配備し、必要に応じ活用する。

なお、タービン建屋にも薬品タンクが存在するが、防護対象設備が設置されていないことから、これらが影響を及ぼすことはない。

また、現在想定している溢水源中の薬品の他に、個別の容器等の形で保管されている薬品が存在するが、アクセスルートに影響のある場所に保管されておらず、またプラスチック容器に保管されており、万が一、漏えいが発生した場合においても、ごく少量であることからアクセス性への影響はない。

## 使用済燃料ピット等のスロッシング評価における保守性について

## 1. 溢水評価における保守性

泊発電所3号炉の使用済燃料ピットスロッシング評価で用いた汎用熱流体解析コード「FLOW-3D」は、自由表面の大変形を伴う複雑な3次元流体现象を精度良く計算することができるものであり、本解析コードについては、小型の矩形容器を用いた加振試験結果による検証を行った結果、溢水量は試験結果とほぼ一致しており、妥当と判断している。<sup>※1</sup>

また、スロッシング評価における解析モデルは、スロッシング挙動を抑制する方向に働くピットの内部構造物やフェンスをモデル化しないこと、解析条件としては、燃料取扱棟の使用済燃料ピット、燃料取替チャンネル、キャスクピット、燃料検査ピットのすべてに水張りされた状態で、初期水位を使用済燃料ピット水位高警報設定値(H.W.L)とした3次元流動解析により溢水量を算出し、さらにそれらの溢水量が使用済燃料ピットのみから流出したものとして評価結果が保守的な評価となるようにしている。

さらに、溢水影響評価に適用する溢水量の取扱いとして、スロッシング評価結果を10%割増しすることによって、トータル的にも十分に保守性を持たせるように配慮している。スロッシング評価における各項目での保守性を表1に示す。

※1 補足説明資料 33 「スロッシング評価に用いた汎用熱流体解析コードの概要」

表1 スロッシング評価における各項目での保守性

項目	内容	
解析モデル	使用済燃料ピット、燃料取替キャナル、キャスクピット、燃料検査ピットの内部構造物：使用済燃料ラック等	使用済燃料ピット、燃料取替キャナル、キャスクピット、燃料検査ピット内の内部構造物については、スロッシング挙動を抑制する方向に働くが、内部構造物をモデル化しないことによって保守的な評価とする。
	フェンス (図1参照)	使用済燃料ピット、燃料取替キャナル、キャスクピット、燃料検査ピット周りに設置されたフェンスについては、スロッシングによる溢水を抑制する効果があるが、モデル化しないことによって保守的な評価とする。
解析条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建屋外への流出境界はトラックアクセスのシャッター位置とする。</li> <li>・ 建屋内の室内外への出入口も流出境界とする。</li> <li>・ その他のモデル化範囲外周は壁境界を設定し、溢水の跳ね返りを考慮する。</li> <li>・ 鉛直方向の上部は大気開放条件とする。</li> <li>・ 蓋で閉口している床面開口部（新燃料貯蔵庫、機器搬入口）からの流出は考慮しない。 (ただし、防護対象設備の没水評価では、スロッシングによる溢水の全量が床面開口部から流出する想定としている)</li> <li>・ 使用済燃料ピット、燃料取替キャナル、キャスクピット、燃料検査ピットのすべてが水張りされた状態で、初期水位を使用済み燃料ピット水位高警報設定値(H.W.L)とした。</li> </ul>	
溢水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スロッシング評価結果を10%割増しすることで、溢水影響評価に適用する溢水量を保守的に設定する。</li> </ul>	

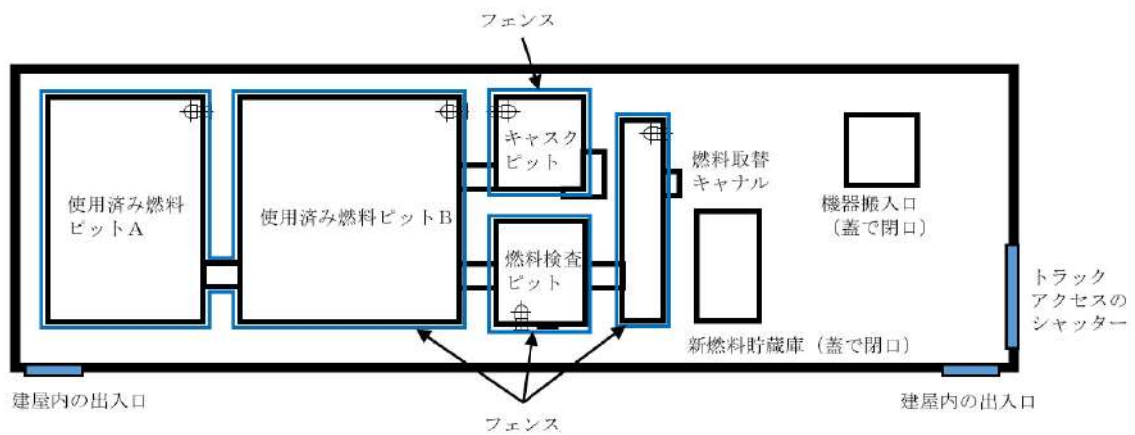


図1 ピット平面概略図

### 追而【地震津波側審査の反映】

- ・使用済燃料ピットのスロッシング評価については、現時点で確定している基準地震動のうち、使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量が最大となる Ss3-2（金ヶ崎地震動）を用いた評価結果を示す。
- ・基準振動確定後に評価を実施し、今後追加となる基準地震動によるスロッシング量が Ss3-2 によるスロッシング量を上回る場合には、記載の見直しを行う。

## 2. スロッシング評価における地震力の組合せ

スロッシング評価における評価用地震動は、応答スペクトルに基づく地震動評価結果による基準地震動（以下「応答スペクトルベース」という）、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動及び震源を特定せず策定する基準地震動（以下「断層モデルベース等」という）とし、原子炉建屋の水平方向（NS，EW）及び鉛直方向（UD）に対する地震応答解析結果から得られた地震力（加速度時刻歴）を組み合わせ、3次元スロッシング解析を実施し、溢水影響評価に適用している。

断層モデルベース等の地震動（Ss3-2等）は特定の方向性を有する地震動であることから、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせ、3方向同時入力によりスロッシング解析を実施し、溢水量を算出する。

応答スペクトルベースの地震動（Ss-1）は特定の方向性を持たないことから、簡便な取扱いとして、EW+UD方向とNS+UD方向の溢水量を足し合わせることで溢水量を算出する。

スロッシング評価の結果、Ss3-2による水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた場合の溢水量（31.30m<sup>3</sup>）が最大となることから、さらに10%の裕度を見込み保守的に35m<sup>3</sup>とし、溢水影響評価に与える影響を確認した。

なお、本評価は、現状の基本設計段階にて想定しているものであり、今後詳細設計等を精査するに伴い、耐震評価等の変更が生じる可能性がある。

### （1）没水影響評価

影響確認結果として、地震動 Ss3-2 による水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせたケースの溢水量が原子炉補助建屋 T.P. -1.7m に流出した場合、没水影響評価で用いる評価高さは、表2に示すとおりとなり、防護対象設備に与える影響はない。

表2 没水影響評価への影響確認結果

評価ケース	計算値	没水影響評価で用いている評価高さ	評価結果
地震動 Ss3-2 による水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせたケース (溢水量 35m <sup>3</sup> )	0.208m	0.320m	○
(参考) 原子炉補助建屋 T.P. -1.7m において、最も裕度が低い防護対象機器は3A-高圧注入ポンプである。			

※地震時における溢水水位は、添付資料24「地震起因による没水影響評価結果」参照。

(2) 使用済燃料ピットのスロッシングに対する冷却機能・給水機能・遮蔽機能維持の確認

a. スロッシングによる使用済燃料ピット水位低下及び必要水位

使用済燃料ピットからのスロッシングによる溢水がピット外に流出した際の使用済燃料ピット水位及びピット冷却並びに遮蔽に必要な水位を表3に示す。

表3 スロッシング発生後の使用済燃料ピット水位及び必要水位

初期ピット水位 (m) ※1	T.P. 32.58
スロッシング発生後のピット水位※2 (m)	T.P. 32.36
ピット冷却に必要な水位※3 (m)	T.P. 31.62
遮蔽に必要な水位※4 (m)	T.P. 29.74

※1 使用済燃料ピットの低水位警報設定値 (L.W.L)

※2 初期ピット水位からの水位低下量 (0.22m) は溢水量 (35m<sup>3</sup>) を使用済燃料ピットの面積で除し、小数第3位を切り上げて算出した。

※3 保安規定で定められている、水温 (65℃以下) が保たれるために必要な水位として、使用済燃料ピットポンプ吸込側のピット接続配管の上端レベルを設定した。

※4 使用済燃料を考慮した、使用済燃料ピット水面の設計基準線量率 (≤0.01mSv/h) を満足する水位。

b. ピット冷却に必要な水位の確保について

地震起因による溢水影響評価において、使用済燃料ピット水浄化冷却系統及び燃料取替用水系統による使用済燃料ピットへの冷却機能・給水機能が維持されることを確認しており、また、表3より、地震後の使用済燃料ピット水位がピット冷却に必要な水位を下回らないことを確認した。

c. 遮蔽に必要な水位の確保について

表3より、使用済燃料ピットの遮蔽に必要な水位が確保されていることを確認した。



## スロッシング評価に用いた汎用熱流体解析コードの概要

## 1. 概要

FLOW-3D は汎用熱流体解析コードで、VOF (Volume of Fluid) 法を用いて溢水を伴う大波高現象の解析を実施することが可能である。VOF 法は「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」において、スロッシング解析における精度の高い手法であり、複雑な容器形状や流体の非線形現象を考慮する場合に有効であることが記載されている。

## 2. 数値解析

## (1) VOF (Volume of Fluid) 法について

VOF は、下式に示すように計算メッシュにおける流体の割合を示すスカラー量である。スロッシング解析では水を 100%含むメッシュを VOF=1.0、水が存在せず 100%空気のメッシュを VOF=0.0 としている。図 1 に VOF の計算格子 (セル) 例を示す。

$$\alpha_1 = \frac{V_1}{V} \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、 $\alpha_1$  は VOF 値、 $V_1$  は流体 (水) 体積、 $V$  は計算メッシュ体積を表す。

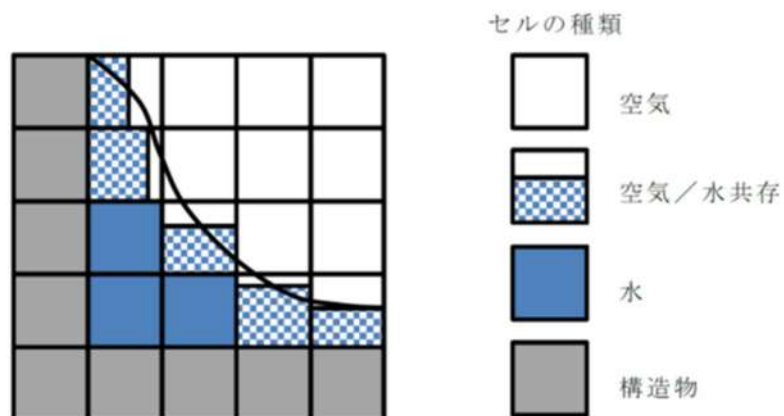


図 1 計算格子 (セル) 例

○計算格子（セル）間の液体移動（上図は2次元であるが，解析は3次元セル）

1. 各セルの液体充填率 VOF(0 から 1 の間の値をとる) 及び周囲のセルの状況により，上図に示すように，空気，空気／水共存，水，構造物セルに分類
2. 各計算セルの VOF 値を運動方程式等で計算された流速場にしながらって移流させる時間を進めて計算を繰り返す
3. 時間を進めて計算を繰り返す

### 3. 解析コードの検証

小型の矩形容器を用いた加振試験結果による解析コードの検証を行った。この結果，溢水量は試験結果とほぼ一致しており，本解析コードは妥当と判断している。

（詳細は別紙参照）

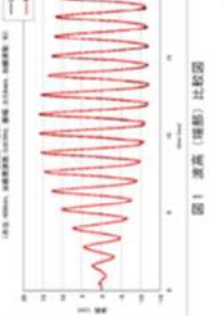
汎用熱流体解析コード「FLOW-3D」検証の概要

**FLOW-3D 概要**

流動解析コード「FLOW-3D」は、VOF (Volume of Fluid) 法を用いた自由液面の表現に優れた汎用コードである。VOF (Volume of Fluid) 法は、自由表面がらまれて分断したり、その液面が融合するような程度に複雑な流れ場の解析を精度よく、安定しておこなうことができ、また、強い表面張力が存在した流れに対しても適用可能となっている。

**検証概要**

計算コードの妥当性検証を目的として、成形水筒を用いた振動台加振により、正弦波加振による過渡を伴うスロッシング試験を行い、液高、流出量及びスロッシング挙動について試験と解析と比較した。



スロッシング試験体 (アクリル製成形水筒及び加振台)

**計測機器目及び計測方法**

- ・液面水位計
- ・液高計により容器縁部及び中央部の 2 箇所の水位変動を検出
- ・加速度計により加振運動を検出
- ・流出量
- ・試験後の水位より流出量を算出
- ・液面状況
- ・ビデオカメラにより液面状況を撮影

**検証結果**

試験と解析の比較結果を以下に示す。検証の結果、液高、流出量及びスロッシング挙動についてほぼ一致しており、液体を内包する容器からのスロッシングによる加水計算の妥当性を確認できた。

○液高及び排水量比較

試験体縁部・中央部の液高、及び排水量について試験と解析の比較グラフを図 1～図 2 及び表 1 に示す。

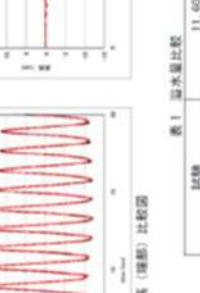


図 1 液高 (縁部) 比較図

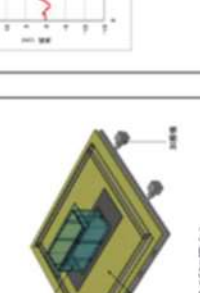
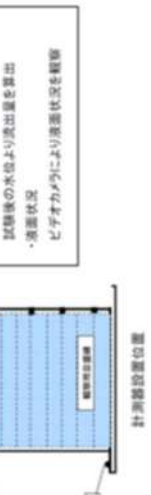


図 2 液高 (中央部) 比較図

試験	解析
11.602	11.532

○スロッシング挙動比較

スロッシング挙動について試験と解析の主な比較状況を下記に示す。



## 循環水ポンプ建屋における溢水影響評価について

## 1. はじめに

循環水ポンプ建屋の防護対象設備は原子炉補機冷却海水ポンプであり、機能喪失高さは、ポンプモータ下端とする。

循環水ポンプ建屋の溢水影響評価については、溢水防護区画である原子炉補機冷却海水ポンプエリア（以下「海水ポンプエリア」という）と溢水防護区画外である循環水ポンプエリア及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室（以下「海水ストレーナ室」という）に分けて溢水影響評価を実施し、排水ルートが機能しないと仮定して評価する。循環水ポンプ建屋の概要を図1に示す。


なお、海水ポンプエリアには浸水防止設備が設置されていることから、基準津波による海水ポンプエリアへの津波の流入はない。

溢水影響評価として、循環水ポンプ建屋にある低エネルギー配管の想定破損による溢水、消火栓からの放水による溢水及び地震時のCクラス配管からの溢水を想定し、防護対象設備の機能喪失高さまで到達しないことを確認する。（図1 (2/2)）

なお、海水ポンプエリアに対してハロン消火設備を設置しており、消火栓からの放水による消火活動を実施しないが、上階での消火栓からの放水が伝播することから、消火栓からの放水による溢水を想定し評価する。



図 1 循環水ポンプ建屋の概要 (1/2)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

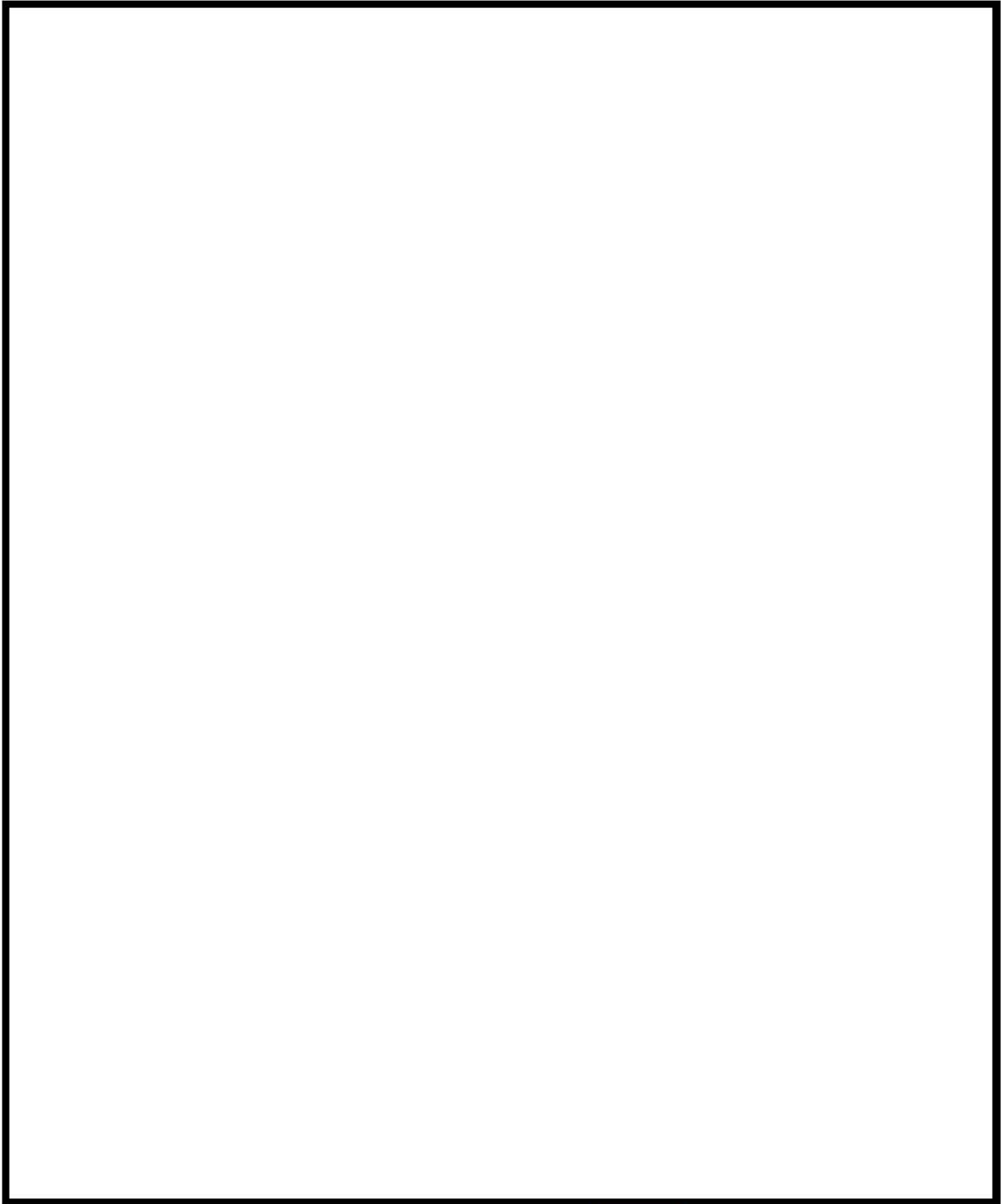



図 1 循環水ポンプ建屋の概要 (2/2)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 2. 海水ポンプエリアの溢水影響評価について

### 2. 1 海水ポンプエリアの地震による溢水量

海水ポンプエリアの耐震Cクラス機器は、基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されていることから、地震による溢水は発生しない。（添付資料 23「地震に起因する溢水源リスト」参照）

**追而【地震津波側審査の反映】**  
（下表の破線囲部分は、基準地震動確定後の評価結果により、記載を反映する。）

また、海水ポンプエリアの入力津波高さ T.P. [ ]m に対し海水ポンプエリア床面は T.P. 2.5m であるが、海水ポンプエリアの床面貫通部には浸水防止設備を設置しているため、津波による流入はない。

### 2. 2 海水ポンプエリアの想定破損による溢水量

海水ポンプエリアにおける低エネルギー配管は、応力評価により、想定破損除外を適用していることから、想定破損による溢水は発生しない。（添付資料 14「低エネルギー配管の想定破損除外について」参照）

### 2. 3 海水ポンプエリアの放水による溢水量

上階での消火栓からの放水により、海水ポンプエリアへ伝播することから、消火栓からの放水による溢水を想定し、消火栓からの溢水量を下記のとおり算出した。

$$\cdot 780\text{L}/\text{min} \times 0.5 \text{ 時間} = 24 \text{ m}^3$$

### 2. 4 海水ポンプエリアの没水影響評価

海水ポンプエリアにおいて、溢水量が最大となる放水による溢水量（24m<sup>3</sup>）が流出したと仮定し、溢水水位を算出した。

海水ポンプエリアの床面積：65.3m<sup>2</sup> ※

※ 滞留面積が小さいB-原子炉補機冷却海水ポンプ室の床面積

以上より、海水ポンプエリアの水位は約 0.37m（24m<sup>3</sup>/65.3m<sup>2</sup>）であり、想定される溢水水位 T.P. 2.87m（T.P. 2.50m+0.37m）に対して、防護対象設備である海水ポンプの機能喪失高さは T.P. 4.0m であることから、溢水の影響はない。

表1 没水影響評価結果

	溢水水位	機能喪失高さ	評価
海水ポンプ (モータ下端)	T. P. 2. 87m	T. P. 4. 0m	○

3. 循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室の溢水影響評価について

防護対象区画外からの溢水として、循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室で発生する溢水が、海水ポンプエリアに流入しないことを確認する。循環水ポンプエリアからはT. P. 10. 3mのオペレーションフロアを介して海水ポンプエリアに流入する溢水経路があり、海水ストレーナ室からはT. P. 2. 5mの接続通路を介して海水ポンプエリアに流入する溢水経路がある。循環水ポンプ建屋の概念図を図2に示す。

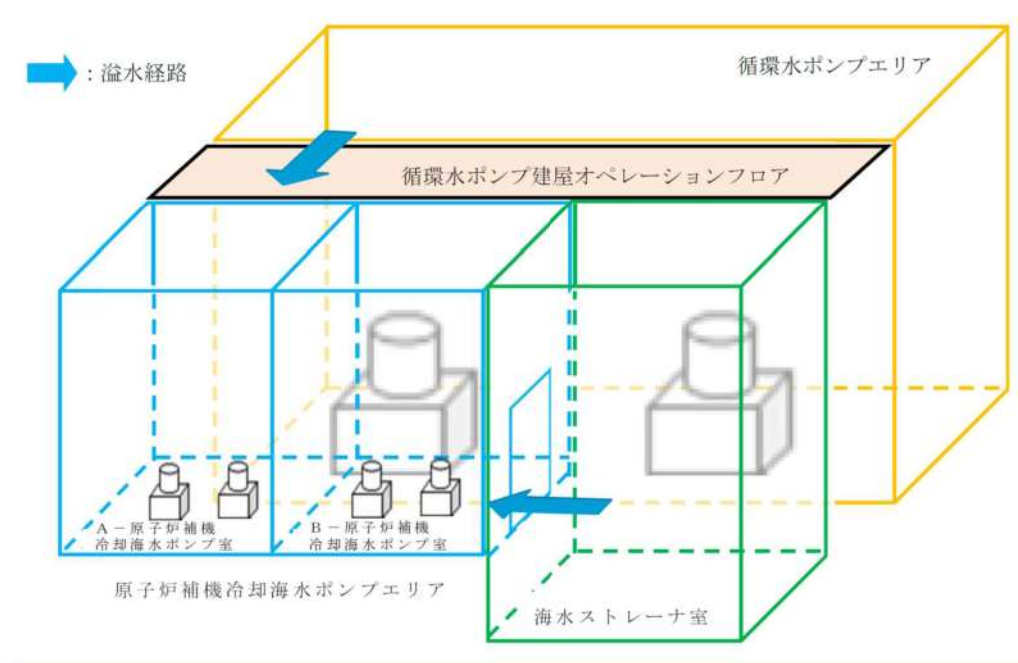


図2 循環水ポンプ建屋立体図 (概念図)



### 3. 1 空間容積の算出

#### (1) 循環水ポンプエリア

循環水ポンプエリアの空間容積は、図3に示す開口で繋がっている5区画の容積を合計し、機器類の欠損体積<sup>\*</sup>を除いた5,400m<sup>3</sup>を、循環水ポンプエリアの空間容積としている。

循環水ポンプエリアと原子炉補機冷却海水ポンプ室は扉や開口で接続されておらず、循環水ポンプエリア内で生じた溢水は、循環水ポンプエリアの空間容積である5,400m<sup>3</sup>までは同エリア内に滞留する。

※欠損体積：循環水管（234m<sup>3</sup>）、循環水ポンプ（129m<sup>3</sup>）、循環水ポンプモータ（144m<sup>3</sup>）等を合算

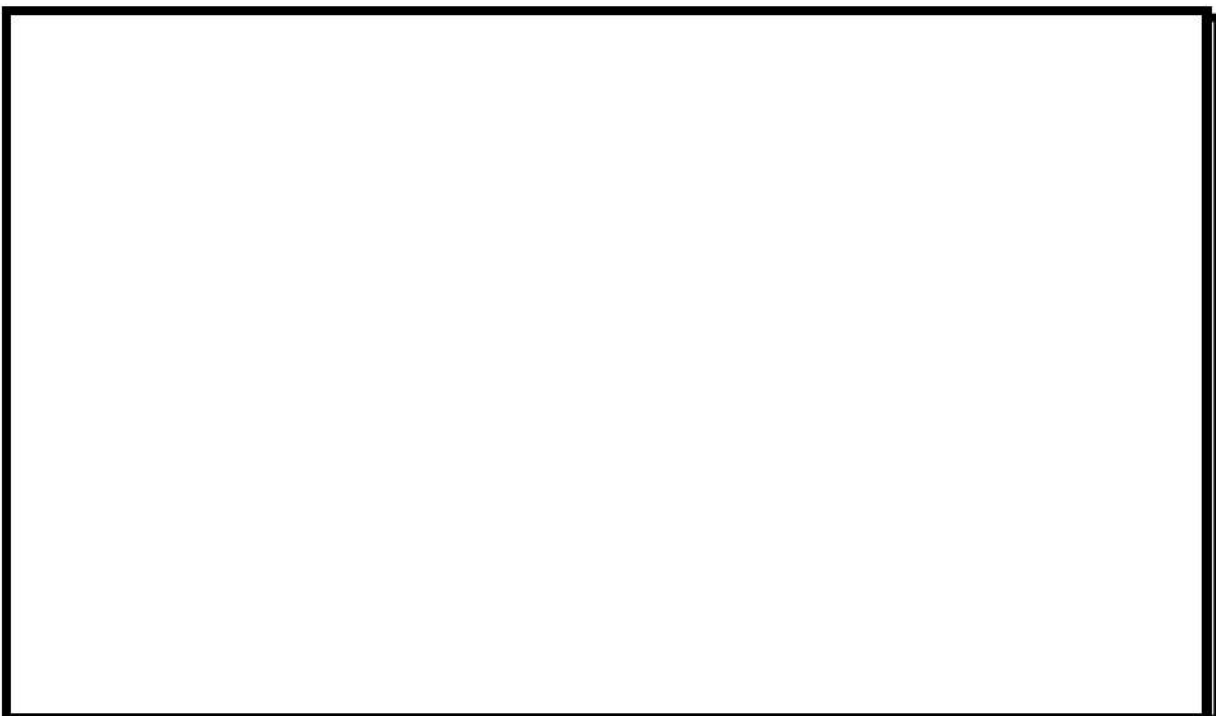



図3 循環水ポンプエリア平面図

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(2) 海水ストレーナ室

海水ストレーナ室及び原子炉補機冷却海水管ダクトは開口で繋がっていることから、図4、5に示す2区画の容積を合計し、機器類の欠損体積<sup>\*</sup>を除いた1,200m<sup>3</sup>を、海水ストレーナ室の空間容積としている。

海水ストレーナ室とB-原子炉補機冷却海水ポンプ室は繋がっているが、海水ストレーナ室の床面レベルがB-原子炉補機冷却海水ポンプ室と比べて低いため、海水ストレーナ室内で生じた溢水は、1,200m<sup>3</sup>までは同エリア内に滞留してB-原子炉補機冷却海水ポンプ室に流入しない。

※ 欠損体積として海水管（88m<sup>3</sup>）等を合算

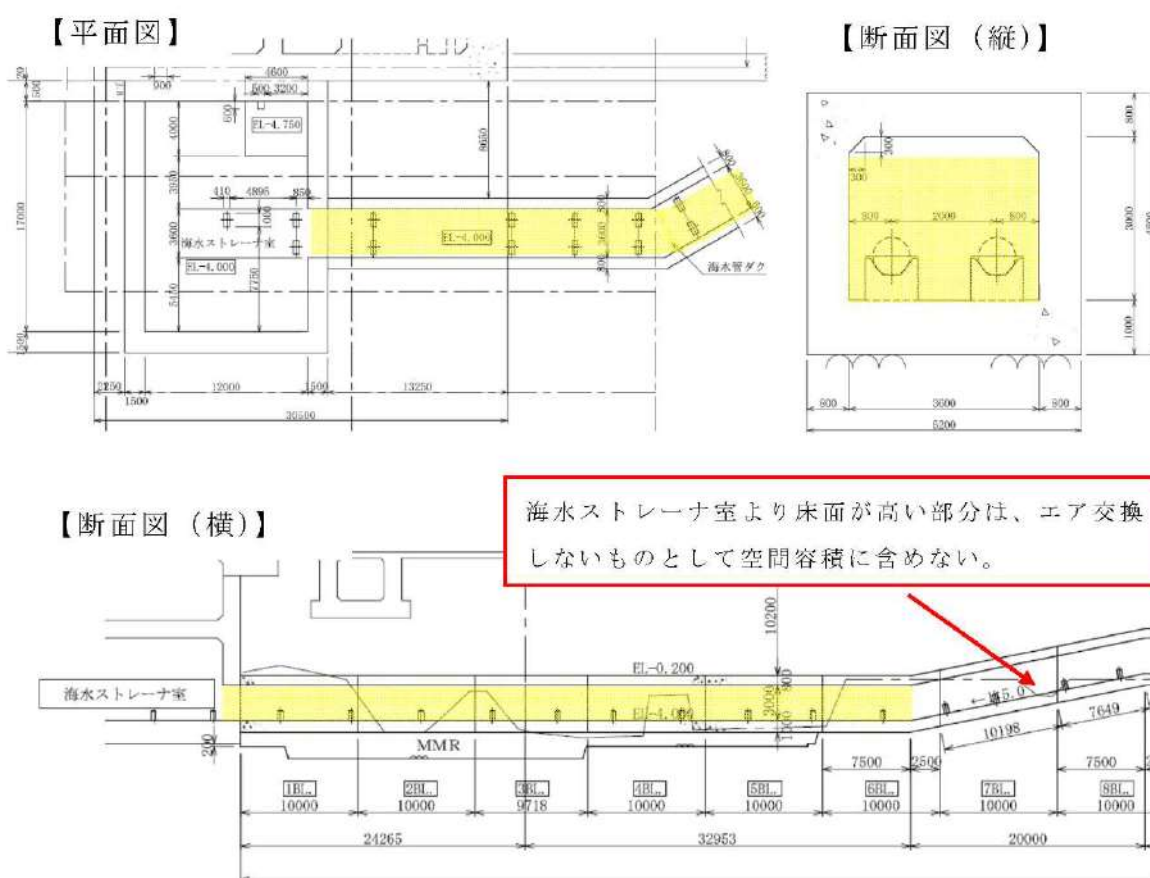
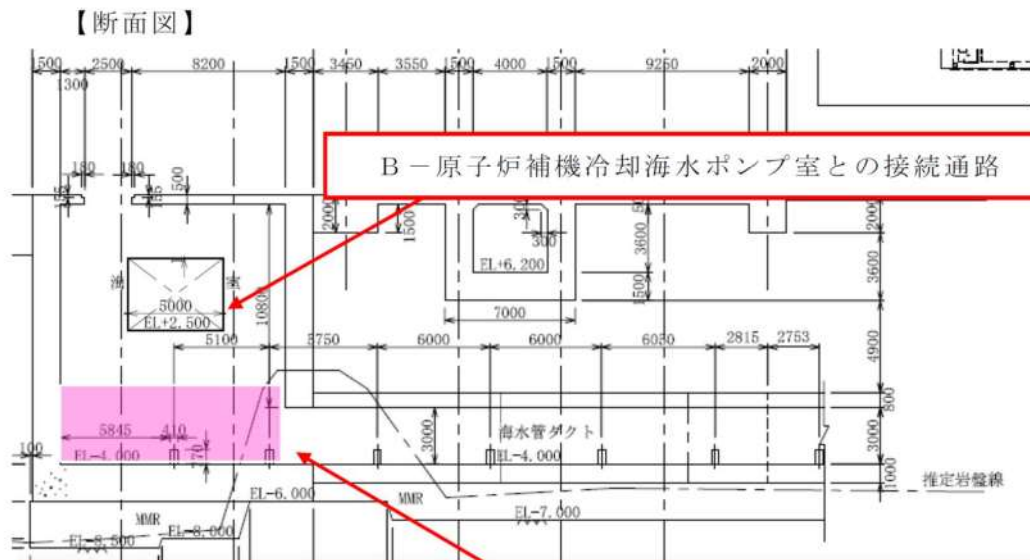
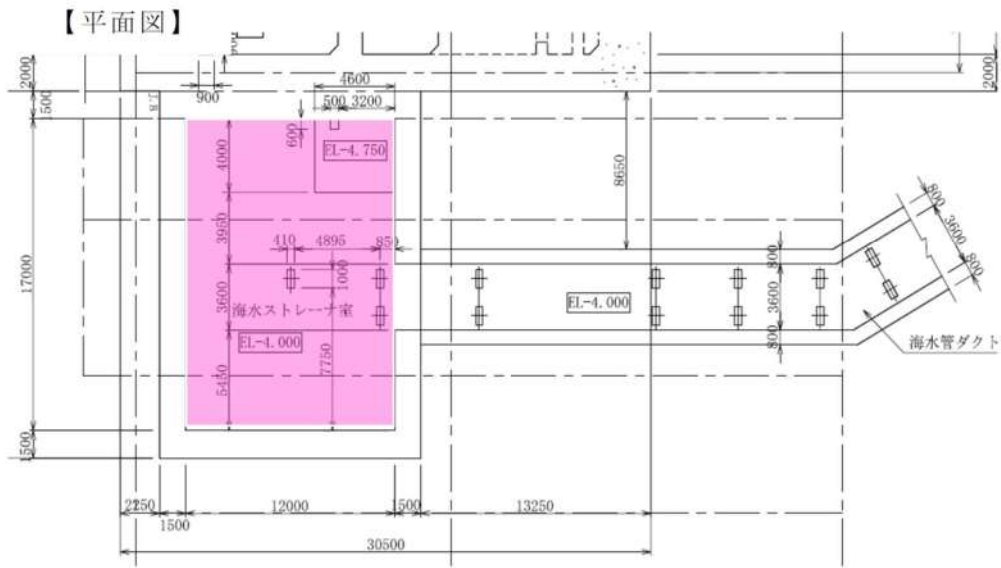


図4 原子炉補機冷却海水管ダクト平面図及び断面図



海水ストレーナ室内の最下層の天井高さ T.P - 0.3 m を区画高さとした。海水ストレーナ室と B - 原子炉補機冷却海水ポンプ室は、T.P 2.5 m で繋がっており、保守的な設定である。

図 5 海水ストレーナ室断面図

### 3. 2 循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室の地震による溢水量

循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室の耐震Cクラス機器は、基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されていることから、地震による溢水は発生しない。(添付資料 23「地震に起因する溢水源リスト」参照)

また、循環水ポンプエリアの床面貫通部には津波に対する浸水防止設備を設置し、海水ストレーナ室には津波が流入する経路がないことから、津波による流入はない。

### 3. 3 循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室の想定破損による溢水量

循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室における低エネルギー配管の想定破損による溢水量を表 2 及び表 3 に示す。

溢水量は、貫通クラックによる溢水を想定し、隔離による漏えい停止に必要な時間から溢水量を算出した。(補足説明資料 12「想定破損評価における隔離時間の妥当性について」参照)

応力評価により、想定破損除外を適用している系統については、溢水量を 0 m<sup>3</sup>とした。(添付資料 14「低エネルギー配管の想定破損除外について」参照)

表 2 循環水ポンプエリアの配管からの溢水流量

系統	口径 (B)	系統圧力 [MPa] 又は 水頭[m]	溢水 流量 (m <sup>3</sup> /h)	隔離 時間 (min)	溢水量 (m <sup>3</sup> )	備考
所内用水系統	—	—	—	—	0	応力評価実施
海水淡水化設備 系統	—	—	—	—	0	応力評価実施
軸受冷却系統	—	—	—	—	0	応力評価実施
循環水管伸縮継 手	※	11.6 [m]	1,200	80	3,020	溢水量に系統保有 水量 1,420m <sup>3</sup> を含む

※内径 3800mm, 厚さ 28mm

表 3 海水ストレーナ室の配管からの溢水流量

系統	口径 (B)	系統圧力 [MPa]	溢水 流量 (m <sup>3</sup> /h)	隔離 時間 (min)	溢水量 (m <sup>3</sup> )	備考
海水電解装置海 水供給・注入系統	—	—	—	—	0	応力評価実施

### 3. 4 循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室の放水による溢水量

消火栓からの放水による溢水量は以下の通り算出した。放水時間については、日本電気協会電気指針「原子力発電所の火災防護指針(JEAG4607-2010)」解説-4-5(1)に従い、等価火災時間を放水時間として設定した。(添付資料24「消火水の放水における放水量について」参照)

(循環水ポンプエリア)

$$\cdot 780\text{L}/\text{min} \times 120\text{min} = 94\text{m}^3$$

(海水ストレーナ室)

$$\cdot 780\text{L}/\text{min} \times 30\text{min} = 24\text{m}^3$$

### 3. 5 循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室の没水影響評価

#### (1) 循環水ポンプエリアの没水影響評価

循環水ポンプエリアにおいて、溢水量が最大となる想定破損による溢水量は $3,020\text{m}^3$ であり、循環水ポンプエリアのT.P. 10.3mまでの空間容積 $5,400\text{m}^3$ よりも小さく、循環水ポンプエリアにおける溢水水位はT.P. 8.0mとなり、循環水ポンプエリアで発生する溢水は同エリア内に貯留可能である。

#### (2) 海水ストレーナ室の没水影響評価

海水ストレーナ室において、溢水量が最大となる放水による溢水量は $24\text{m}^3$ であり、海水ストレーナ室のT.P. -0.3mまでの空間容積 $1,200\text{m}^3$ よりも小さく、海水ストレーナ室における溢水水位はT.P. -3.3mとなり、海水ストレーナ室で発生する溢水は同エリア内に貯留可能である。

### 3. 6 溢水防護区画外からの溢水影響結果

循環水ポンプエリア及び海水ストレーナ室で発生する溢水が海水ポンプエリアに流入しないことを確認した。

## タービン建屋からの溢水影響評価に用いる溢水量について

## 1. 想定破損による溢水量

タービン建屋において一系統における単一の機器の破損を想定する場合、復水系統又は給水系統の配管に破損を想定した際の溢水量が最も大きな値となり、復水系統及び給水系統の保有水全量が流出した場合の溢水量は、2,570 m<sup>3</sup>である。

## 2. 消火水の放水による溢水量

消火水の放水による溢水量は、3時間の放水により想定される溢水量として、一律54m<sup>3</sup>を考慮する。

## 3. 地震起因による溢水量

地震起因による溢水評価では、耐震性が確認されていない耐震Cクラス設備の複数同時破損を考慮する他、保守的に循環水ポンプの運転継続を仮定した評価を実施している。

## (1) 地震起因による機器の破損に伴う溢水量

溢水源は循環水管の伸縮継手部及び2次系機器とする。

耐震Cクラスの機器である循環水ポンプ及び出口弁は、地震により破損が想定されるが、ここでは、保守的に地震後も循環水ポンプが動作し続けているものとしてポンプ停止までの時間、循環水管の伸縮継手部からの溢水を考慮する。

また、地震による津波の来襲を考慮し、地震発生後の事象進展を考慮した循環水管の伸縮継手部からの津波の流入について考慮する。事象進展は以下のとおり。

- ・地震により循環水管の破損及び2次系機器が破損し、タービン建屋内に溢水が生じる。
- ・2次系機器の破損による溢水は瞬時に滞留し、循環水管の破損による溢水は、ポンプ停止まで生じる。
- ・以降については、津波来襲時も含めて取水側水位及び放水ピット内水位とタービン建屋内水位を比較し、取水側水位及び放水ピット内水位が高い場合は、サイフォン効果により流入する。

なお、タービン建屋内に流入した溢水や津波については、取水側水位及び放水ピット内水位が低い場合は、循環水管の流入経路を逆流してタービン建屋外へ流出するが、保守的に一度流入したものは流出しないものとする。

地震発生から循環水ポンプ停止までの溢水量を考慮する。

循環水管の伸縮継手部からの破損については、伸縮継手部の全円周状の破損を考慮する。算出した溢水流量は以下のとおり。

表1 循環水管の伸縮継手部の溢水流量

内径 (mm) D	継手幅 (mm) w	溢水流量 (m <sup>3</sup> /h) Q
2,700	70	37,000



循環水管伸縮継手

$$Q = A \times C \sqrt{(2 \times g \times H)} \times 3,600$$

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/h)

A : 断面積 (=  $(\pi \times D \times w)$  m<sup>2</sup>)

C : 損失係数 (0.82<sup>\*1</sup>)

H : 水頭 (=22.7m<sup>\*2</sup>)

※1 系統の圧力損失としては、破損部における急縮小 ( $\xi = 0.5$ )、急拡大 ( $\xi = 1.0$ ) の損失のみを考慮した損失係数を用いる。損失係数Cは次式で表されるため、圧力損失が小さく、損失係数が大きくなるため、溢水量が多くなると評価している。

$$C = \sqrt{(1 / \sum \xi)} = \sqrt{(1 / (0.5 + 1))} = 0.82$$

※2  $H = (\text{循環水ポンプ定格揚程}) - ((\text{破損伸縮継手設置レベル}) - (\text{外洋水位 HWL}))$

- ・循環水ポンプ定格揚程：15.6m
- ・破損伸縮継手設置レベル：復水器入口弁前伸縮継手と想定 (T. P. -6.45m)
- ・外洋水位：T. P. 0.56m

循環水ポンプ停止までの時間については、地震発生からポンプ停止までの時間を考慮する。想定した時間は以下のとおり。循環水ポンプ停止に要する時間とは、ポンプ停止操作を開始してから出口弁が閉止するまでに要する時間である。なお、中央制御室における遠隔停止機能が喪失した場合も考慮し、現地停止操作等の時間を②、③に含めている。

表2 循環水ポンプ停止までの時間

① 時間余裕	10分
② 現場への移動	15分
③ 漏えい箇所の特定	5分
④ 隔離操作 (循環水ポンプ停止)	16分
合計	46分



図1 循環水ポンプ停止までの時間

算出した溢水流量及び想定したポンプ停止までの時間から溢水量を算出した結果は以下のとおり。

表3 循環水管の伸縮継手部からの溢水量

溢水流量 (m <sup>3</sup> /h)	溢水継続時間 (分)	溢水量 (m <sup>3</sup> )
37,000	46	約 28,370

2次系機器の保有水量を算出した主な機器は以下のとおり。

容器：復水器，主油タンク，低圧給水加熱器，高圧給水加熱器，脱気器タンク，タービン建屋周辺タンク等

配管：給水管，復水管，海水管，飲料水配管，消火水配管等

表4 2次系機器の保有水量

保有水量		保有水量合計 (m <sup>3</sup> )
配管 (m <sup>3</sup> )	容器 (m <sup>3</sup> )	
約 490	約 12,130	約 12,620

以上より，地震発生から循環水ポンプ停止までの溢水量は以下のとおり。

$$28,370 + 12,620 = 40,990 \text{ m}^3$$

(循環水管の伸縮継手部の溢水量) (2次系機器の保有水量) (溢水量の合計)

また，タービン建屋の溢水量 40,990m<sup>3</sup> に対する溢水水位は約 T.P. 5.7m となる。

循環水ポンプ停止から津波襲来前までの溢水量を考慮する。外洋水位 (T.P. 0.56m) とタービン建屋内の溢水水位 (T.P. 5.7m) を比較した結果，タービン建屋内の溢水水位の方が高いことから，この期間の外部からの海水流入はない。





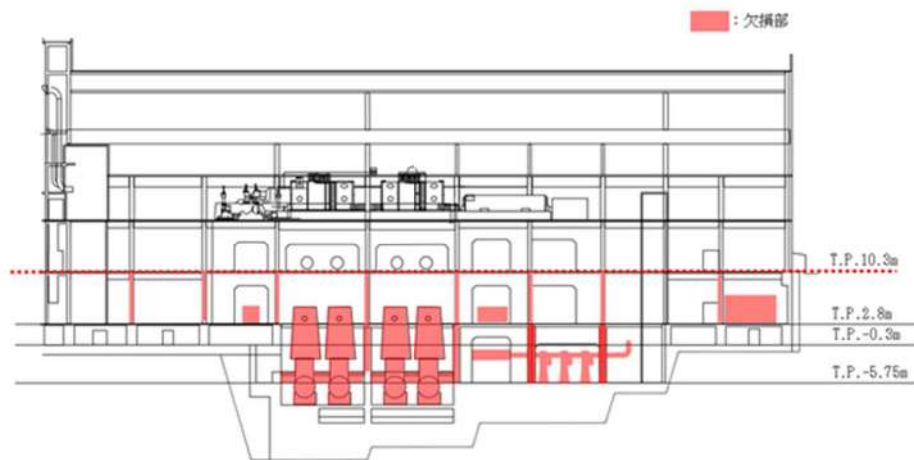


図2 タービン建屋断面図

追而【地震津波側審査の反映】

以下の破線囲部分は基準津波確定後の評価結果を反映する。

2次系機器の破損による溢水量及び循環水管の伸縮継手部からの溢水量を加算した場合においても、タービン建屋内の溢水を保有可能な空間容積より小さいことから、タービン建屋内に貯水可能である。タービン建屋内における溢水水位は「T.P. 8.3m」となり、原子炉建屋との境界に対しては溢水防護措置（配管等の貫通部への止水処置等）を講ずることから、隣接する原子炉建屋に伝播しないことを確認した（図3～図7）。

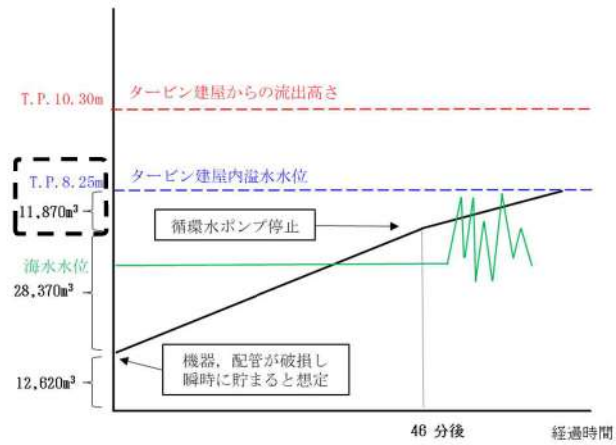
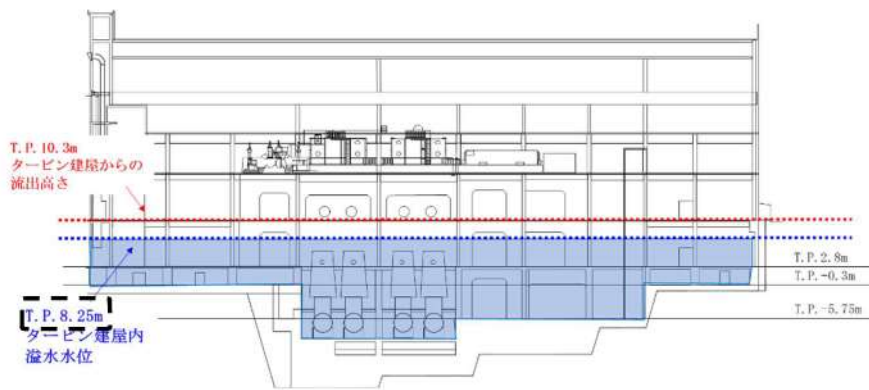


図3 タービン建屋内の溢水水位イメージ

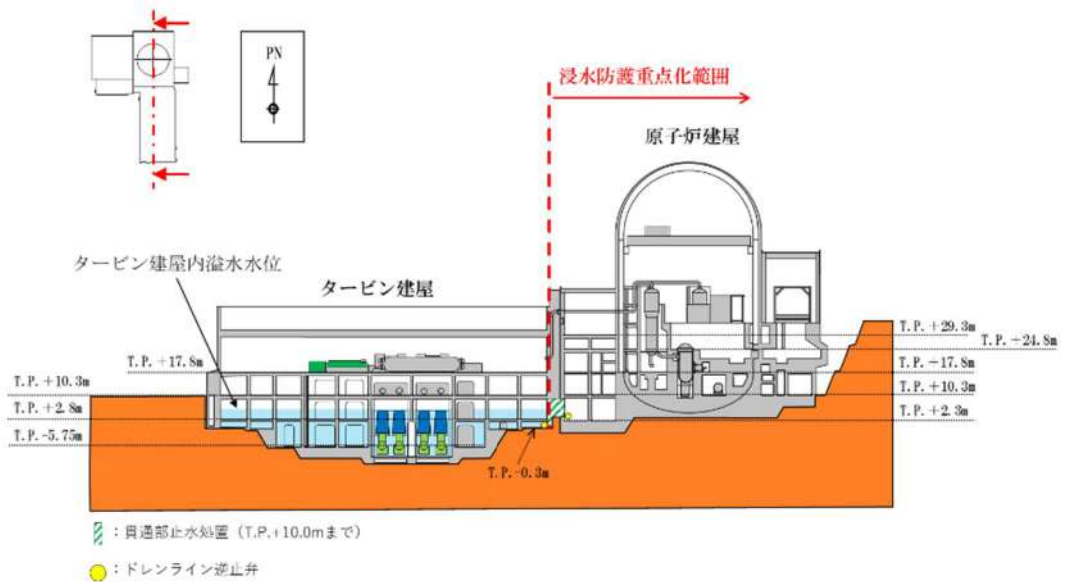


図4 タービン建屋内溢水水位（浸水防護範囲との境界）



図5 津波による取水側の水位波形



図6 津波による放水ピットの水位波形

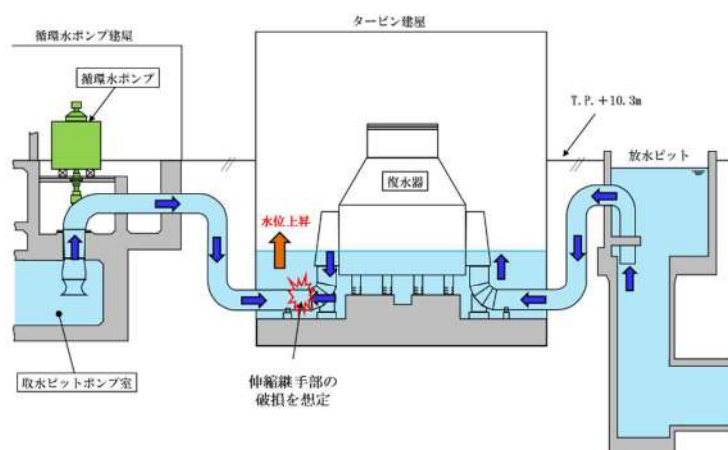


図7 津波来襲時のタービン建屋内水位と取水側水位及び放水ピット水位の概略図

## 屋外タンクからの溢水影響評価について

地震起因による屋外タンク等の破損により生じる溢水が、防護対象設備の設置されている原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び循環水ポンプ建屋に及ぼす影響を確認した。

原子炉補機冷却海水等の系統排水については、敷地に流出させない方針とすることから溢水源として想定しない。

## 1. 溢水評価対象となる屋外タンク

泊発電所にある屋外タンクのうち、基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されないタンクについて評価を行った。評価の対象となる屋外タンクを表1に示す。

表1 溢水影響評価の対象となる屋外タンク

No.	タンク名称	基数	容量 (m <sup>3</sup> )	評価に用いる容量 (m <sup>3</sup> )
1	A-2次系純水タンク	1	1,600	1,600
2	B-2次系純水タンク	1	1,600	1,600
3	3A-ろ過水タンク	1	1,600	1,600
4	3B-ろ過水タンク	1	1,600	1,600
5	A-ろ過水タンク	1	1,600	1,600
6	B-ろ過水タンク	1	1,600	1,600
7	1号及び2号炉 補助ボイラー燃料タンク	1	600	450*
8	3号炉 補助ボイラー燃料タンク	1	735	410*
9	1号炉 タービン油計量タンク	1	70	70
10	3号炉 タービン油計量タンク	1	110	0*
	合計			10,530

※評価に用いる容量は、発電所の所則類に反映し、運用容量を超過しないように管理する。

なお、本事項は後段規則での対応が必要となる事項である。(別添2参照)

## 2. 屋外タンク溢水評価モデルの設定

### (1) 水源の配置

泊発電所の溢水影響評価対象となる屋外タンク配置図を図1に示す。

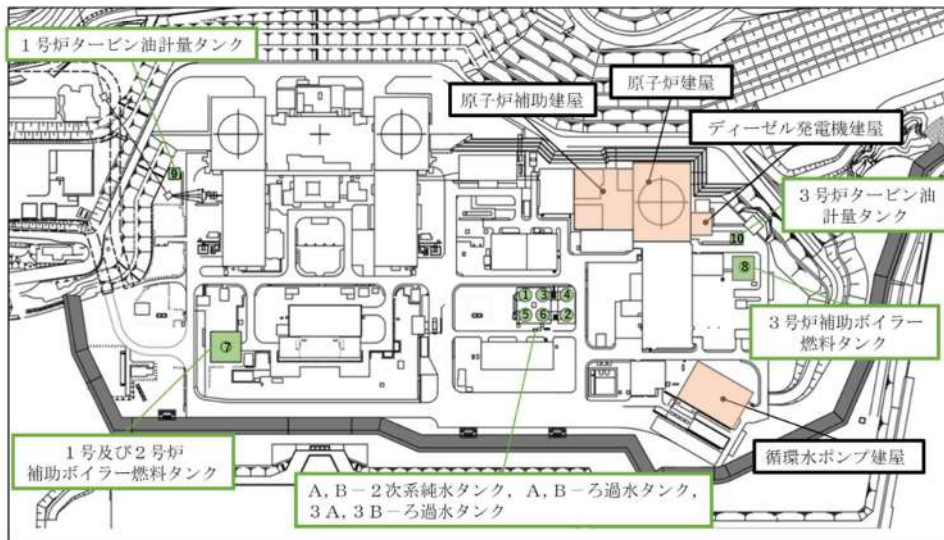


図1 溢水影響評価の対象となる屋外タンク配置図

### (2) 評価条件

タンクの損傷形態及び流出水の伝播に係る条件について以下のとおり設定した。

- 基準地震動に対する耐震性が確保されている2次系純水タンク及びろ過水タンクについては、タンクと接続されているすべての配管について全周破断を想定した。
- 破断位置については、保守的にタンク付け根部とした。
- タンクからの流出については、タンク水頭に応じて流出流量が低下するものとして評価を実施した。
- 容量が1,000m<sup>3</sup>以下のタンクについては、地震による損傷をタンク側板が瞬時に消失するとして模擬した。
- 構内排水設備からの流出や、地盤への浸透は考慮しない。

### (3) 解析モデル

解析に使用した敷地モデルを図2に示す。敷地モデルには保守性を考慮し、防潮堤の厚さを敷地側に2倍拡幅させ、実際よりも滞留面積が小さくなるよう設定した。

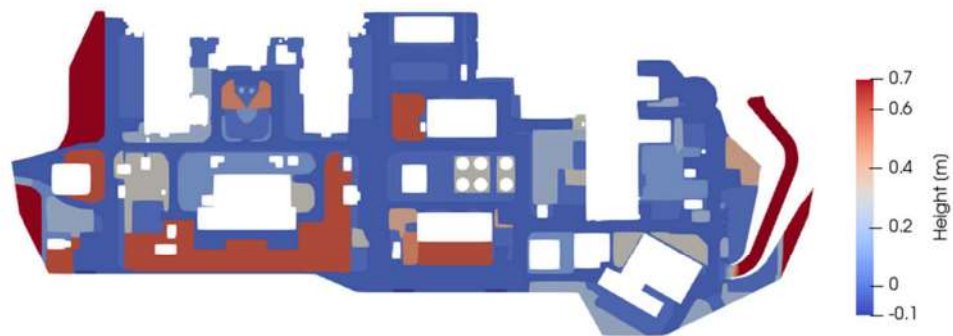


図2 敷地モデル

### 3. 評価結果

屋外タンク破損時の局所的な水位上昇について評価した結果、防護対象設備が設置されている建屋の開口高さを超えないことを確認した。

表2に結果を示す。また、溢水伝播挙動を図4に、測定箇所及び浸水深を図5-1及び図5-2に示す。

なお、原子炉建屋及び原子炉補助建屋には、屋外に接する開口は無いことから、それぞれ隣接するタービン建屋及び出入管理建屋の開口高さが最大浸水深を上回ることを確認した。

ディーゼル発電機燃料油貯油槽タンク室については、ディーゼル発電機燃料油貯油槽タンク室内に設置されている非常用ディーゼル発電機燃料油貯油槽及び燃料油配管は静的機器であることから、溢水影響がないと評価した。

表2 屋外タンクによる溢水影響評価結果

建屋	建屋開口高さ (m)	溢水量 (m <sup>3</sup> )	最大浸水深 <sup>※2</sup> (m)	評価
原子炉建屋 (タービン建屋入口)	0.30 <sup>※1</sup>	10,530	0.27	○
ディーゼル発電機建屋	0.30 <sup>※1</sup>		0.17	
原子炉補助建屋 (出入管理建屋入口)	0.30 <sup>※1</sup>		0.19	
循環水ポンプ建屋	0.30 <sup>※1</sup>		0.17	

※1 建屋入口高さから敷地レベル T.P. 10.0m を引いた値

※2 敷地レベル T.P. 10.0m からの浸水深



図3 建屋外壁扉（代表例）

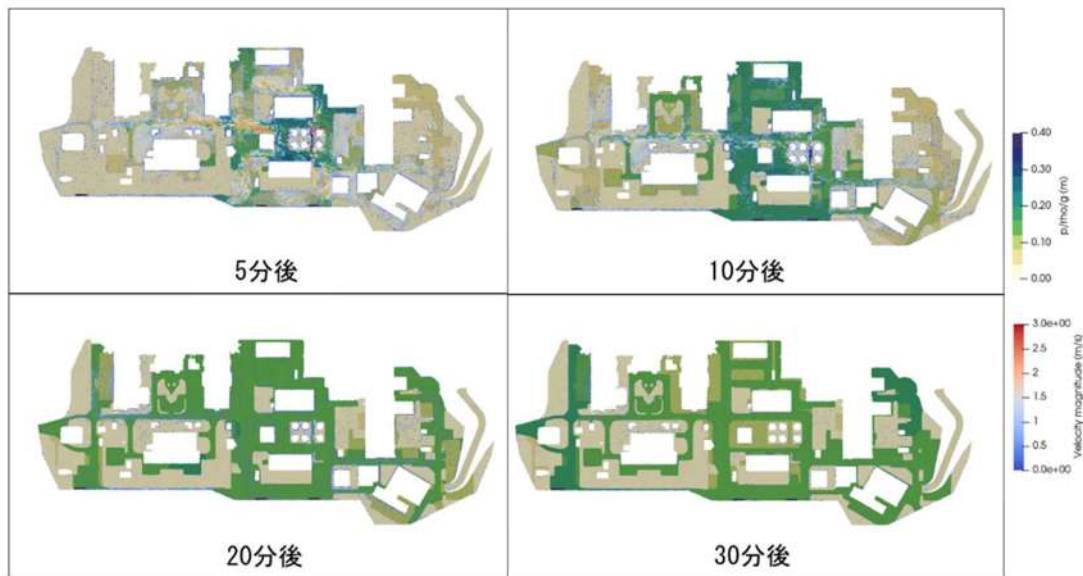
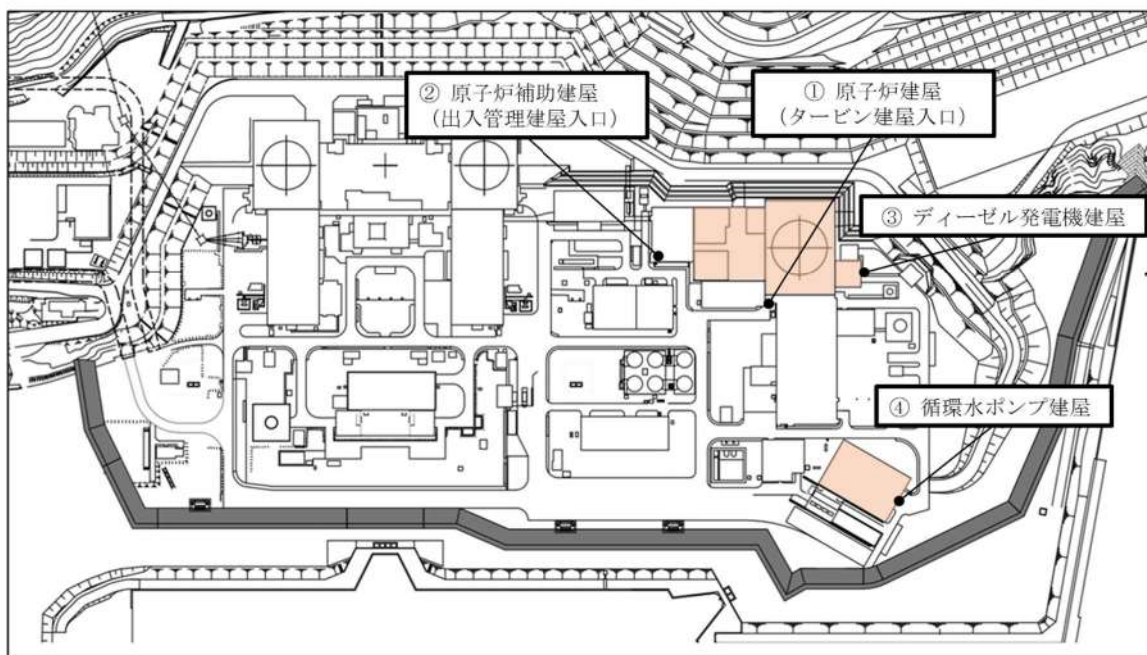


図4 溢水伝播挙動





- ① 原子炉建屋（タービン建屋入口）
- ② 原子炉補助建屋（出入管理建屋入口）
- ③ ディーゼル発電機建屋
- ④ 循環水ポンプ建屋

図 5-1 水位測定箇所

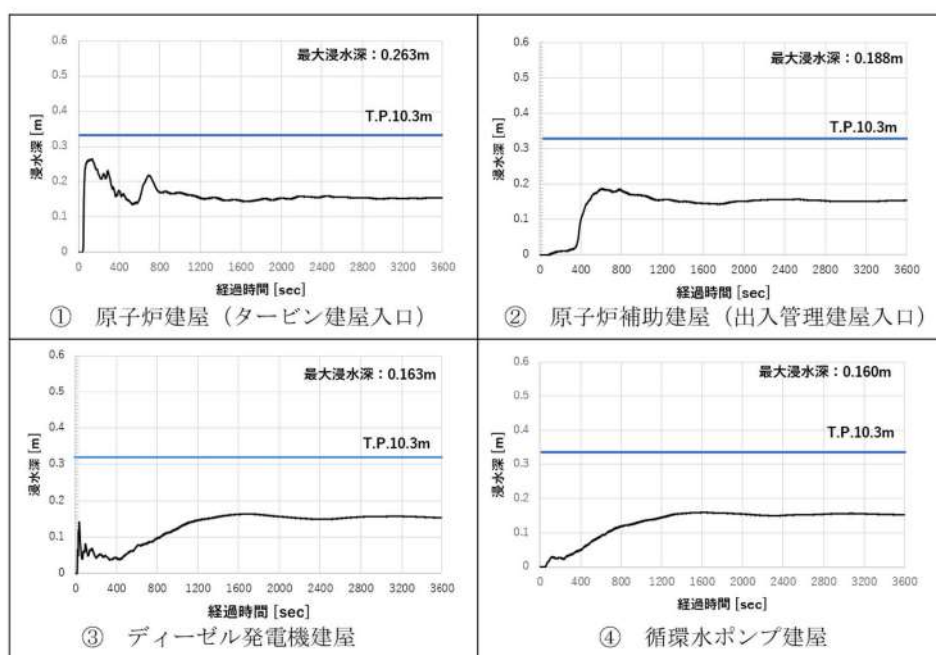


図 5-2 水位測定箇所における浸水深

## 屋外タンク溢水伝播挙動評価に用いた解析コードの妥当性検証

## 1. 概要

使用プログラム Fluent (Ver. 18.2.0) の動作検証を実施するため、2次元ダムブレイク問題の模擬解析を行い、水面位置の時間変化を実験結果と比較する。

## 2. 対象問題

図 1 に示すアスペクト比 1 : 2 の水柱（水色の領域）を初期条件として、時間の経過とともに図 1 中破線のように水柱が崩れる問題に対して非定常解析を行う。 $L=0.5$  [m] とする。物性値は表 1 の値を用いる。

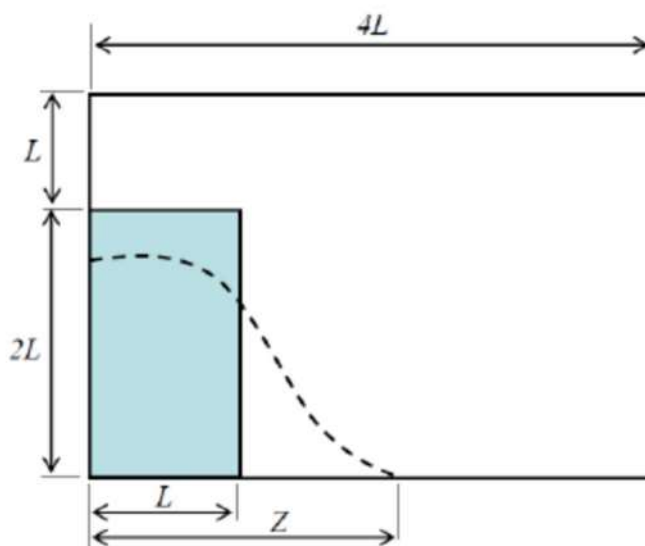


図 1 解析対象

表 1 物性値

水	
密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_1=1000$
粘性係数 [Pa · s]	$\mu_1=1.0 \times 10^{-3}$
空気	
密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_1=1.0$
粘性係数 [Pa · s]	$\mu_1=1.8 \times 10^{-5}$

### 3. 解析モデルと解析条件

#### 3. 1 メッシュ分割

図1にメッシュ分割図を示す。全域においてメッシュサイズを鉛直/水平方向とも0.025[m] (0.05L) とする。

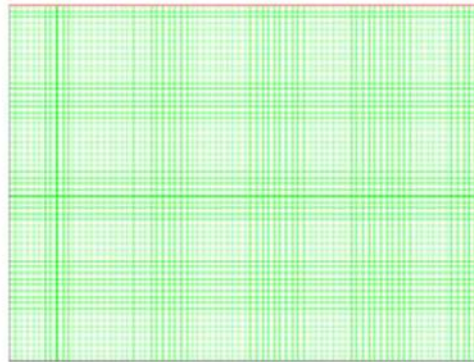


図2 メッシュ分割図

#### 3. 2 流体のモデル化

水及び空気の2相流，かつ2相とも非圧縮性粘性流体としてモデル化する。2相の取扱いについては，VOF法 (Volume Of Fluid 法) <sup>[1]</sup>を採用する。

#### 3. 3 初期条件

水柱の初期状態を模擬するために，図3に示すような体積分率の初期条件を与える。流速及び圧力は，すべて0とする。なお，赤色は水を，青色は空気を，コンターレンジ途中の色（黄緑色等）は水と空気の混合状態を意味する。

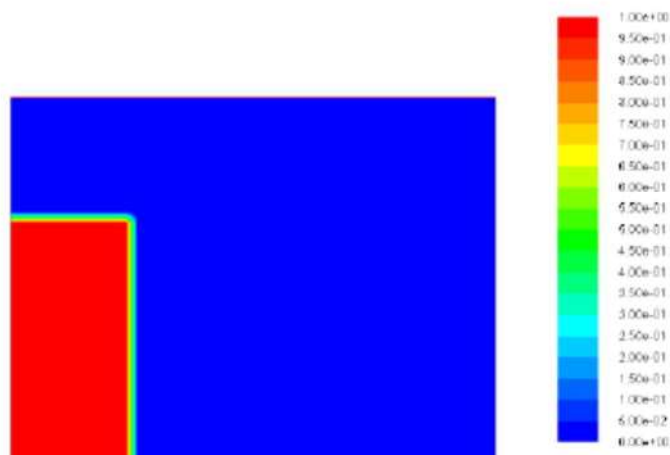


図3 体積分率分布 (初期条件)