

高浜発電所1、2号炉 劣化状況評価
(耐震・耐津波安全性評価)

補足説明資料

平成28年6月16日

関西電力株式会社

目次

1. はじめに	1
2. 耐震安全性評価	1
2.1 耐震安全性評価の目的	1
2.2 評価対象機器	1
2.3 耐震安全性評価の評価手順	2
2.4 耐震安全性評価の概要	5
2.5 耐震安全性評価内容および結果	7
2.6 耐震安全性評価のまとめ	26
2.7 延長しようとする期間における要求事項(耐震安全性評価)	27
3. 耐津波安全性評価	28
3.1 耐津波安全性評価の評価手順	28
3.2 耐津波安全性評価結果	30
3.3 耐津波安全性評価結果のまとめ	30
3.4 延長しようとする期間における要求事項(耐津波安全性評価)	30
参考：基準地震動の特性について	31

<耐震安全性評価>

【高浜1号炉】

別紙 1. 蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れに対する評価について	34
別紙 2. 原子炉容器の中性子照射脆化（関連温度上昇）に対する耐震安全性評価について	42
別紙 3. 原子炉容器の中性子照射脆化（上部棚吸収エネルギーの低下）に対する耐震安全性評価について	47
別紙 4. 主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価について	50
別紙 5. 余熱除去系統配管のアンカーサポート取付部の疲労割れに対する評価について	55
別紙 6. 母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する評価について	66
別紙 7. 第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管及びドレン系統配管の減肉評価について	95
別紙 8. 耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに行うサポート改造等の設備対策工事、これを反映した耐震安全性評価について	121
別紙 9. 弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁に対する地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価について	128
別紙 10. バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価について	133
別紙 11. 制御棒被覆管の摩耗に対する評価について	144
別紙 12. 海水ポンプ、脱気器タンク、燃料取替用水タンク、復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価について	162

別紙 13.	後打ちアンカの評価に対する、減肉後の応力比の算定根拠について	197
別紙 14.	浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）のリストアップ並びに、これら施設から耐震安全性評価の評価対象設備とした、抽出根拠、抽出プロセス及び評価について	201
別紙 15.	工事計画認可審査の内容を踏まえ劣化状況評価の見直しがある場合の見直し前後の相違点について	203
別紙 16.	耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について	210

【高浜2号炉】

別紙 17.	主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価について	213
別紙 18.	余熱除去系統配管のアンカーサポート取付部の疲労割れに対する評価について	218
別紙 19.	母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する評価について	229
別紙 20.	第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、復水系統配管及びドレン系統配管の減肉評価について	254
別紙 21.	耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに行うサポート改造等の設備対策工事、これを反映した耐震安全性評価について	277
別紙 22.	弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁に対する地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価について	285
別紙 23.	原子炉容器サポートの補強材及びボルトの中性子及びγ線照射脆化に対する評価について	290
別紙 24.	燃料取替用水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価について	300
別紙 25.	後打ちアンカの評価に対する、減肉後の応力比の算定根拠について	314
別紙 26.	高浜1号炉の運転期間延長認可申請との相違点について	318
別紙 27.	工事計画認可審査の内容を踏まえ劣化状況評価の見直しがある場合の見直し前後の相違点について	322
別紙 28.	耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について	329

<耐津波安全性評価>

【高浜1号炉】

別紙 29.	浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）のリストアップ、並びにこれら施設から耐津波安全性評価の評価対象設備とした、抽出根拠・抽出プロセス及び評価内容について	332
別紙 30.	経年劣化事象として止水材料の劣化を評価対象としない場合の根拠及び妥当性について	334
別紙 31.	改良地盤の経年変化について	335

【高浜 2 号炉】

別紙 32. 高浜 1 号炉の運転期間延長認可申請との相違点について・・・341

1. はじめに

本資料は、高浜発電所1、2号炉の劣化状況評価における耐震安全性評価および耐津波安全性評価の補足として、評価結果を示すとともに評価内容の補足資料をとりまとめたものである。なお、高経年化対策に関する各機器・構造物毎の劣化状況評価については劣化状況評価書に取りまとめている。

劣化状況評価における耐震安全性評価とは、耐震安全性に影響する可能性がある経年劣化事象について、評価対象機器・構造物の経年劣化を加味して耐震重要度クラスに応じた地震力を用いた評価を行い、評価対象機器・構造物の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価することをいう。

劣化状況評価における耐津波安全性評価とは、耐津波安全性に影響する可能性がある経年劣化事象について、評価対象機器・構造物の経年劣化を加味して基準津波による荷重（浸水高、波力等）を用いた評価等を行い、評価対象機器・構造物の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価することをいう。

2. 耐震安全性評価

2.1 耐震安全性評価の目的

機器の材質、環境条件等を考慮し、発生し得る経年劣化事象に対して劣化状況評価を行った結果、保全対策を講じることによっても管理ができないという経年劣化事象は抽出されていない。したがって、耐震性を考慮した場合にも、耐震性に影響を与える経年劣化事象を保全対策により適切に管理することで、耐震安全性の確保が可能であると考えられる。

しかしながら、高経年プラントの耐震性については、上記経年劣化事象の管理の観点からも、技術的評価を実施して安全性を確認しておく必要があると考えられることから、運転期間延長認可申請の劣化状況評価の中で耐震安全性の評価を実施するものである。

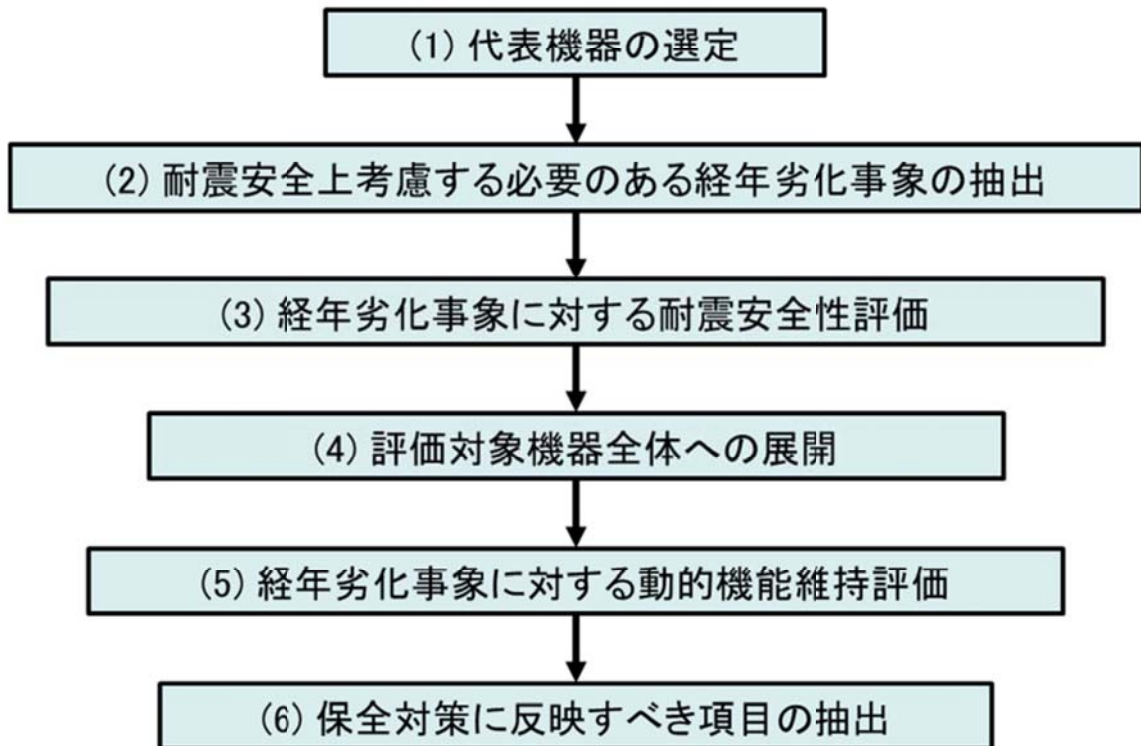
2.2 評価対象機器

評価対象機器は、高経年化対策に関する各機器・構造物の技術評価における評価対象機器と同じとする。（重要度分類審査指針クラス1、2および最高使用温度が95℃を超える、または最高使用圧力が1900kPaを超える環境下にある原子炉格納容器外の重要度クラス3の機器（浸水防護施設を含む）、並びに常設重大事故等対処設備に属する機器・構造物）

2.3 耐震安全性評価の評価手順

2.3.1 評価手順

耐震安全性評価の評価手順のフローを以下に示す。



- (1) 「技術評価」における代表機器を耐震安全性評価の代表機器として選定する。「技術評価」で行った機器のグループ化において、同一グループ内に「技術評価」の代表機器より耐震重要度上位の機器が存在する場合は、これも代表機器として評価する。
- (2) 想定される経年劣化事象が顕在化した場合、代表機器の振動応答特性、または構造・強度上、影響が「有意」なものを耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出する。
- (3) 経年劣化事象ごとに、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1984、JEAG4601-1987、JEAG4601-1991）」等に準じて耐震安全性評価を実施する。
評価の基本項目は以下の通りであり、劣化を考慮すること以外の評価手法は工事計画認可申請と同様としている。
 - ①機器の耐震重要度
 - ②機器に作用する地震力の算定
 - ③60年供用を仮定した経年劣化事象のモデル化
 - ④振動特性解析（地震応答解析）
 - ⑤地震荷重と内圧等他の荷重との組合せ
 - ⑥許容限界との比較
- (4) 代表機器の評価結果を基に評価対象機器全体に対して同様の評価が可能であるかを検討する。同様と見なせないものは、耐震安全性評価を実施する。
- (5) 経年劣化事象を考慮しても、地震時に動的機能が要求される機器の地震時応答加速度が各機器の機能確認済加速度以下であることを評価する。

以上より保全対策に反映すべき項目を抽出する。

2.3.2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

2.3.1 の耐震安全性評価の評価手順のうち、(2) 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出について、詳細なフローを以下に示す。

劣化状況評価の耐震安全性評価にあたっては、「技術評価」における保全対策等に対する評価を取り入れることとしている。

「技術評価」で想定される経年劣化事象については、

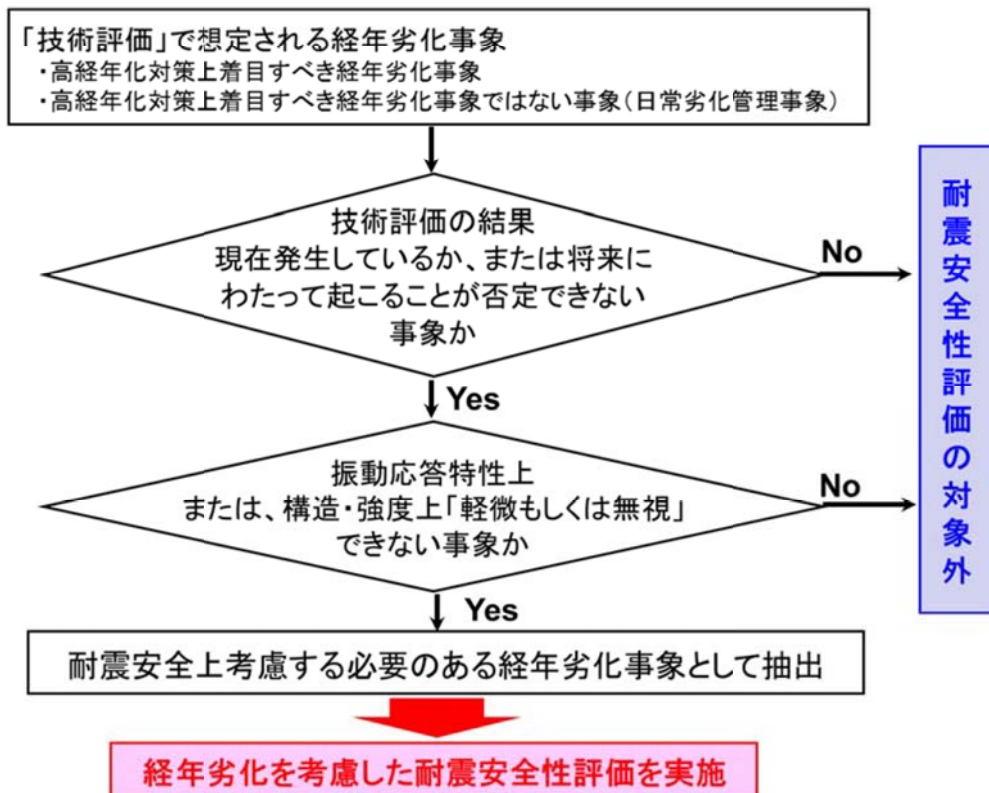
①高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

②高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

③高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）

があり、③高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象以外）については、現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象であることから、耐震安全性評価の対象外とする。

したがって、耐震安全性評価にあたっては、①②の事象を評価の対象として、以下のフローに基づき、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出を実施する。



2.3.3 評価用地震力

耐震安全性評価に用いる評価用地震力は各機器の耐震重要度に応じて以下の通り選定する。

耐震重要度	評価用地震力
Sクラス	基準地震動Ssにより定まる地震力
	弾性設計用地震動Sdにより定まる地震力と静的地震力の大きい方 (弾性設計用地震力)
Bクラス	Bクラス機器に適用される静的地震力 支持構造物の振動と共振のおそれがあるものについては、「Sdによる定まる地震力」の1/2についても考慮
Cクラス	Cクラス機器に適用される静的地震力

2.3.4 評価地震動

高浜1、2号炉の劣化技術評価における耐震安全性評価では、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(Ss-1：水平最大加速度 700cm/s²、鉛直最大加速度 467cm/s²)、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および震源を特定せず策定する基準地震動による評価を実施する。

○震源を特定して策定する基準地震動

- ・ 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

Ss-1 : 設計用模擬地震波

(水平最大加速度 700cm/s²、鉛直最大加速度 467cm/s²)

- ・ 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

(上端深さ 3km 断層波)

Ss-2 : FO-A～FO-B～熊川断層

Ss-3 : FO-A～FO-B～熊川断層

Ss-4 : FO-A～FO-B～熊川断層

Ss-5 : 上林川断層

○震源を特定せず策定する基準地震動

(鳥取県西部地震、北海道留萌支庁南部地震)

Ss-6(EW) : 鳥取県西部地震を考慮した地震動

(賀祥ダム観測波 (EW 方向))

Ss-6(NS) : 鳥取県西部地震を考慮した地震動

(賀祥ダム観測波 (NS 方向))

Ss-7 : 北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

2.4 耐震安全性評価の概要

2.4.1 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象

2.3.2 に従い抽出された耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象を下表に示す。

機器・構造物	耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象									
	疲労割れ	中性子照射脆化	中性子照射による靱性低下	中性子およびガンマ線照射脆化	熱時効	応力腐食割れ	照射誘起型応力腐食割れ	摩耗	全面腐食	流れ加速型腐食
ポンプ	●	—	—	—	●	—	—	—	—	—
熱交換器	●	—	—	—	—	●※2	—	—	—	●
ポンプモータ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
容器	●	●	—	—	—	—	—	—	—	—
配管	●	—	—	—	●	—	—	—	—	●
弁	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—
炉内構造物	●	—	●	—	●※1	—	●	●	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
タービン設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●
コンクリート構造物および鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計測制御設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
空調設備	—	—	—	—	—	—	—	—	●	●
機械設備	●	—	—	●	—	●	—	●	●	—
電源設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●

※1 蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れについては高浜1号炉のみ評価対象。

※2 下部炉心支持柱に、熱時効の発生が想定されるステンレス鋼鋳鋼を用いている高浜1号炉のみ評価対象。

2.4.2 経年劣化事象ごとの耐震安全性評価の内容

技術評価の結果から経年劣化を保守的に想定したうえ、耐震安全性評価※¹を行う。経年劣化事象ごとの耐震安全性評価の内容例について下表に示す。

経年劣化事象	耐震安全性評価の内容例
疲労割れ (1次冷却材管、原子炉容器等)	通常運転時および地震時の疲労累積係数の合計が許容値の1を上回らないことを確認する。 配管の高サイクル熱疲労割れについては、耐震安全性評価のための保守的なき裂を想定し、当該部位における地震時の発生応力を算出してき裂安定限界応力を上回らないことを確認する。
中性子照射脆化 (原子炉容器胴部)	想定き裂に対し、加圧熱衝撃事象に地震を考慮した応力拡大係数を算出し、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認する。
中性子照射による靱性低下 (炉内構造物)	想定き裂に対し、地震時の当該部位における応力拡大係数が、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認する。
中性子およびガンマ線照射脆化 (原子炉容器サポート)	想定き裂に対し、地震時の当該部位における応力拡大係数が、中性子照射を受けた材料の破壊靱性値を上回らないことを確認する。
熱時効 (1次冷却材管等)	想定き裂に対し、当該部位における地震時のき裂進展力を算出し、熱時効を考慮した材料のき裂進展抵抗を上回らないことを確認する。
応力腐食割れ (熱交換器 廃液蒸発装置)	耐震安全性評価のための保守的なき裂を想定し、当該部位における地震時の発生応力を算出してき裂安定限界応力を上回らないことを確認する。
照射誘起型応力腐食割れ (パuffersフォーマボルト)	全8段のうち2段目～7段目のパuffersフォーマボルト(全体の3/4)が折損したと仮定して、残るパuffersフォーマボルトに生じる地震時の発生応力を算出し、許容値を上回らないことを確認するとともに、地震時の制御棒挿入時間が許容値以下であることを確認する。
摩耗 (制御棒クラスタ案内管等)	制御棒クラスタ案内管および被覆管については、保安活動の範囲内で発生する可能性のある摩耗量を仮定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認するとともに、地震時の制御棒挿入時間が許容値以下であることを確認する。 重機器支持構造物については、ヒンジ摺動部に摩耗を仮定して、当該部位における地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認する。
全面腐食(基礎ボルト等)	想定される最大の腐食減肉を仮定して、地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないことを確認する。
流れ加速型腐食 (配管、熱交換器等)	保安活動の範囲内で発生する可能性のある減肉を仮定して、地震時の発生応力を算出し、許容応力を上回らないこと、または、疲労累積係数が許容値の1を上回らないことを確認する。

※¹ JEAG4601「原子力発電所耐震設計技術指針」等に準じて評価を実施

2.4.3 工認で用いた耐震評価手法等の反映について

高浜1、2号炉の新規制基準適合性審査（工事計画認可申請）の耐震評価における最新手法等について、劣化状況評価への主な反映内容を以下に示す。なお、評価対象設備については、現状の設備状態に基づき評価を行うことを基本とするが、工事が完了していない設備については、工事計画認可申請書どおりに工事が実施されることを前提とした耐震安全性評価を行う。

項目	概要	工認における対象設備	劣化状況評価への反映		
			反映	説明	
1	評価モデル	蒸気発生器伝熱管のU字管部の3次元はりモデルの適用	蒸気発生器伝熱管	—	蒸気発生器伝熱管に耐震安全性評価に影響する劣化事象なし
2	時刻歴解析の適用	建屋-RCSループ連成解析モデルの適用 (ループ減衰定数3%の適用※)	原子炉容器、蒸気発生器等	○	原子炉容器(疲労)の耐震安全性評価等に反映
		建屋-RCSループ-RV-CI連成解析モデルの適用 (ループ減衰定数3%の適用※)	炉内構造物等	○	炉内構造物(疲労、中性子照射脆化)の耐震安全性評価等に反映
		制御棒挿入性評価への適用(燃料集合体)	制御棒クラスタ	○	制御棒クラスタ案内管の摩耗等を考慮した制御棒挿入性評価に反映
3	鉛直方向応答モデル	鉛直動的モデルを新たに採用	炉内構造物	○	炉内構造物(疲労)の耐震安全性評価に反映
4	照射影響の考慮	燃料集合体の耐震性について、照射の影響を考慮	燃料集合体 制御棒クラスタ	○	制御棒クラスタ案内管の摩耗等を考慮した制御棒挿入性評価に反映
5	水平2方向/鉛直方向地震の組み合わせを考慮	水平2方向および鉛直方向地震の組合せによる影響を確認	重機器支持脚、タンク等基礎ボルト	○	燃料取替用水タンク(腐食)の耐震安全性評価等に反映

※ ループの減衰定数3%については、耐震工事完了後の状態において、蒸気発生器、冷却材ポンプの各々が卓越した振動モードにおいて減衰定数を取得し、設計にて設定した値を有することを確認する。

上記のように高浜1、2号炉の新規制基準適合性審査の耐震評価における最新手法等について、劣化状況評価側の耐震安全性評価に適切に反映することとしている。

2.5 耐震安全性評価内容および結果

2.5.1 主な経年劣化事象における代表機器の選定

2.4で示した高浜1、2号炉の劣化状況評価における耐震安全性評価の対象機器のうち、主な経年劣化事象ごとに、評価結果が厳しいことが想定される機器や保守管理に関する方針の策定にかかる機器等を、代表機器として選定した。

また、燃料集合体の減衰定数見直しによる再評価を実施した機器についても評価内容および結果を示す。

下表に挙げる機器の経年劣化を考慮した耐震安全性評価内容および結果について、次ページより示す。

主な経年劣化事象	代表として選定する機器	選定理由
疲労割れ	原子炉容器	安全上の重要度がクラス1の機器の代表として選定
	原子炉格納容器貫通部伸縮継手	地震時における疲労累積係数の評価結果が厳しい機器
	炉内構造物(上部炉心支持柱等)	燃料集合体の減衰定数見直しによる再評価を実施した機器
制御棒クラスタ(被覆管)		
摩耗	シンプルチューブ	
全面腐食	燃料取替用水タンク(基礎ボルト)	基礎ボルトの発生応力が比較的大きいタンクであって、水平2方向+鉛直方向地震時影響を評価している機器
流れ加速型腐食	2次系配管(ドレン系統配管等)	保守管理に関する方針の策定に係る機器
中性子照射脆化	原子炉容器	中性子照射脆化に対する評価が必要となる機器(き裂を想定したPTS等の評価が必要となる機器)
中性子照射による靱性低下	炉内構造物(炉心そう)	燃料集合体の減衰定数見直しによる再評価を実施した機器
熱時効	1次冷却材管	発生応力やフェライト量から、評価結果が厳しいことが想定される機器(配管)
	炉内構造物(下部炉心支持柱)	燃料集合体の減衰定数見直しによる再評価を実施した機器
照射誘起型応力腐食割れ	炉内構造物(バッフルフォーマボルト)	制御棒挿入性評価に係る機器

2.5.2 各機器における耐震安全性評価内容および結果

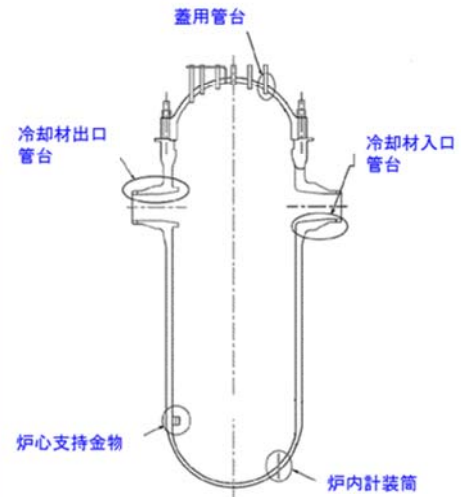
2.5.1の「主な経年劣化事象における代表機器の選定」で選定した各機器および工事計画認可申請の審査状況の反映により再評価を実施した機器の耐震安全性評価内容および結果を以下に示す。

(1) 原子炉容器の疲労割れを考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

原子炉容器の疲労割れを考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	疲労割れ
想定部位	冷却材入口管台、冷却材出口管台、蓋用管台、炉内計装筒、炉心支持金物
技術評価内容	60年運転時点における疲労評価(通常運転に対する疲労評価)の結果、疲労累積係数が1以下であることを確認している。
耐震安全性評価内容	<p>1. 評価条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ○蓋用管台、冷却材入口管台、冷却材出口管台、炉内計装筒 <ul style="list-style-type: none"> ・建屋-RCSループ-RV連成モデル等を適用。 ・燃料集合体の減衰定数は影響しない。 ○炉心支持金物 <ul style="list-style-type: none"> ・建屋-RCSループ-RV-CI連成モデルを適用。 ・RCSループの減衰定数を3%、燃料集合体の減衰定数を1%として評価。 <p>2. 評価内容</p> <p>60年運転時点の通常運転に対する疲労累積係数に地震時の疲労累積係数を加えた評価を行い、疲労累積係数が1以下であることを確認。</p>



【原子炉容器の地震に対する疲労評価部位】

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。60年までの運転を想定した通常運転時の疲労累積係数に S_s 地震時の疲労累積係数を加えた場合にも、疲労累積係数が許容値の1以下となることを確認しており、耐震安全性評価上問題ない。

	1号炉			2号炉		
	通常運転時 ^{※1}	地震時(S_s) ^{※2}	合計	通常運転時 ^{※1}	地震時(S_s) ^{※2}	合計
冷却材入口管台	0.054	0.000	0.054	0.044	0.000	0.044
冷却材出口管台	0.065	0.001	0.066	0.052	0.001	0.053
蓋用管台	0.129	0.000	0.129	0.153	0.000	0.153
炉内計装筒	0.188	0.006	0.194	0.157	0.004	0.161
炉心支持金物	0.009	0.001	0.010	0.007	0.001	0.008

※1: 過渡実績を踏まえ今後60年までの運転過渡を保守的に想定した疲労累積係数(大気中、接液環境中の疲労累積係数のうち大きい値)

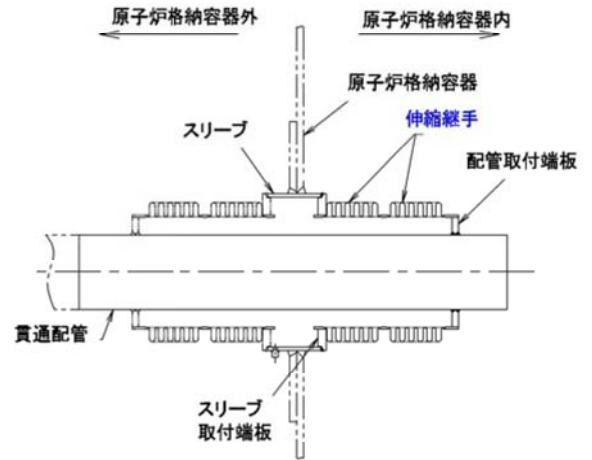
※2: S_s 地震時の発生応力からの許容繰返し回数に対する評価繰返し数(200回)から求める疲労累積係数

(2) 原子炉格納容器配管貫通部の疲労割れに対する評価

a. 評価内容

原子炉格納容器配管貫通部の疲労割れを考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	疲労割れ
想定部位	伸縮式配管貫通部(伸縮継手)
技術評価内容	60年運転時点における疲労評価(通常運転に対する疲労評価)の結果、疲労累積係数が1以下であることを確認している。
耐震安全性評価内容	60年運転時点の通常運転に対する疲労累積係数に地震時の疲労累積係数を加えた評価を行い、疲労累積係数が1以下であることを確認する。



【主蒸気・主給水管貫通部の伸縮継手】

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。60年までの運転を想定した通常運転時の疲労累積係数に S_s 地震時の疲労累積係数を加えた場合にも、疲労累積係数が許容値の1以下となることを確認しており、耐震安全性評価上問題ない。

		1号炉	2号炉
疲労累積係数 (許容値1)	通常運転時 ^{※1}	0.008	0.009
	地震時(S_s) ^{※2}	0.200	0.193
	合計	0.208	0.202

※1: 主蒸気配管貫通部の実機過渡を踏まえ今後60年までの運転過渡を想定した疲労累積係数

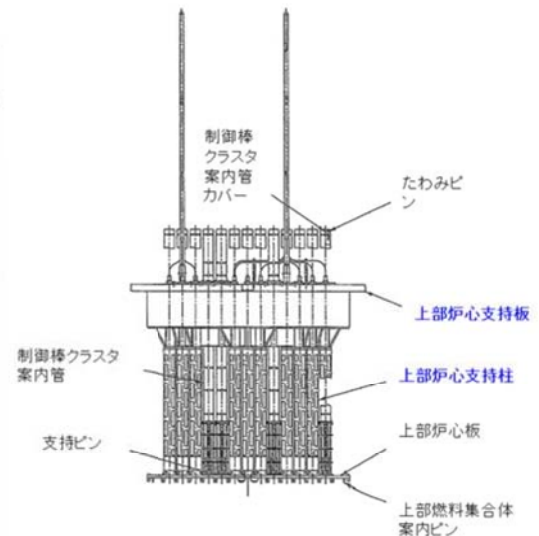
※2: S_s 地震時の発生応力(内圧含む)からの許容繰返し回数に対する評価繰返し数(200回)から求める疲労累積係数

(3) 炉内構造物（上部炉心支持柱等）の疲労割れを考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

炉内構造物（上部炉心支持柱等）の疲労割れの耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	疲労割れ
想定部位	炉内構造物(上部炉心支持柱、上部炉心支持板、下部炉心支持柱、下部炉心支持板)
技術評価内容	60年運転時点における疲労評価(通常運転に対する疲労評価)の結果、疲労累積係数が1以下であることを確認している。
耐震安全性評価内容	<p>1. 評価条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋-RCSループ-RV-CI連成モデルを適用。 ・RCSループの減衰定数を3%、燃料集合体の減衰定数を1%として評価。 <p>2. 評価内容</p> <p>60年運転時点の通常運転に対する疲労累積係数に地震時の疲労累積係数を加えた評価を行い、疲労累積係数が1以下であることを確認する。</p>



【炉内構造物の地震に対する疲労評価部位の例
(上部炉心支持柱、上部炉心支持板)】

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。60年までの運転を想定した通常運転時の疲労累積係数に S_s 地震時の疲労累積係数を加えた場合にも、疲労累積係数が許容値の1以下となることを確認しており、耐震安全性評価上問題ない。

機器(部位)	1号炉			2号炉		
	通常運転時※1	地震時(S_s)※2	合計	通常運転時※1	地震時(S_s)※2	合計
上部炉心支持板	0.181	0.000	0.181	0.160	0.000	0.160
上部炉心支持柱	0.030	0.001	0.031	0.023	0.001	0.024
下部炉心支持板	0.017	0.027	0.044	0.020	0.025	0.045
下部炉心支持柱	0.001	0.007	0.008	0.001	0.006	0.007

※1: 過渡実績を踏まえ今後60年までの運転過渡を保守的に想定した疲労累積係数
(大気中、接液環境中の疲労累積係数のうち大きい値)

※2: S_s 地震時の発生応力からの許容繰返し回数に対する評価繰返し数(200回)から求める疲労累積係数

(4) 制御棒クラスタ(被覆管)および炉内構造物(シングルチューブ)の摩耗を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

制御棒クラスタ(被覆管)および炉内構造物(シングルチューブ)の摩耗を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	疲労割れ
想定部位	制御棒クラスタ(被覆管)および炉内構造物(シングルチューブ)
技術評価内容	現状保全を継続することで、機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと評価している。
耐震安全性評価内容	<p>1. 摩耗想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒クラスタ被覆管は100%摩耗を想定。 ・シングルチューブは取替基準に相当する70%摩耗を想定。 <p>2. 評価内容</p> <p>摩耗を想定して、S_s地震時の発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認する。</p>

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。摩耗を想定した場合にも、地震時の発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全性評価上問題ない。

機器(部位)	1号炉	2号炉
	応力比※	応力比※
制御棒クラスタ(被覆管)	0.48	0.48
炉内構造物(シングルチューブ)	0.02	0.02

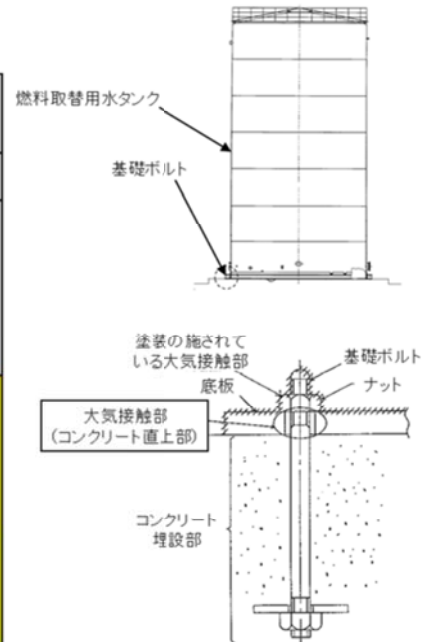
※: 応力比 = 発生応力(一次膜 + 一次曲げ) / 許容応力

(5) 燃料取替用水タンクの劣化を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

燃料取替用水タンク（基礎ボルト）の腐食を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	腐食
想定部位	基礎ボルト（コンクリート直上部）
技術評価内容	コンクリート直上部は塗装が施されておらず、大気環境下のため腐食による減肉が考えられるが、巡視点検等通常の保全活動により異常がないことを確認している。
耐震安全性評価内容	基礎ボルトの腐食については、暴露試験結果（普通鋼に対する海岸地帯のデータ）をもとに算出した運転開始後60年時点での腐食量（0.3mm）を仮定し耐震安全性評価を実施する。また、工事計画認可申請の反映として、水平2方向および鉛直方向地震の組合せによる影響を確認する。



【燃料取替用水タンク(基礎ボルト)の腐食が想定される部位(概念図)】

b. 評価結果

燃料取替用水タンク（1号炉）の劣化を考慮した耐震安全性評価結果は以下の通り。60年までの運転を想定した劣化を想定した場合にも、応力比が1以下となることを確認した。また、工事計画認可申請の評価手法反映により、水平2方向および鉛直方向の地震力が加わった場合の評価も実施し、応力比が1以下となることを確認しており、耐震安全性評価上問題ない。

評価地震動 (Ss-1～Ss7)	水平1方向＋鉛直方向 地震動による評価		水平2方向＋鉛直方向 地震動による評価	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
評価応力				
応力比※	0.70	0.42	0.92	0.60

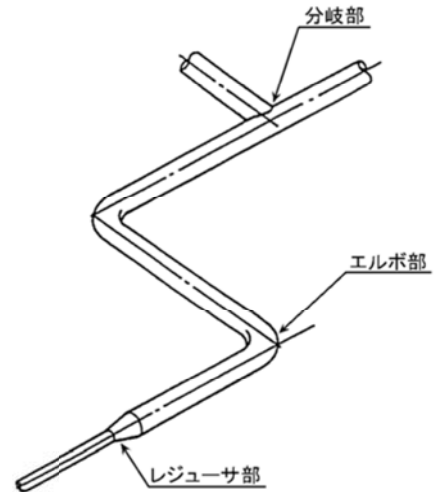
※：応力比＝一次応力／許容応力

(6) 2次系配管の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

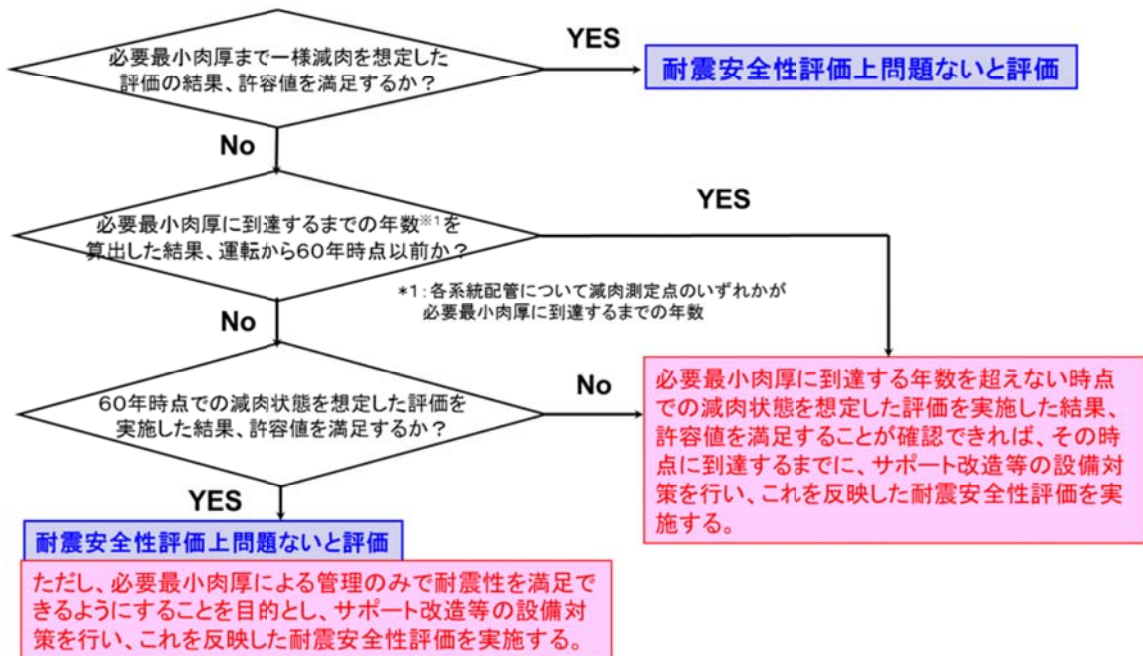
2次系配管の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	流れ加速型腐食
想定部位	エルボ部、分岐部、レジャーサ部等 (主蒸気系統配管、主給水系統配管、低温再熱蒸気系統配管、第3抽気系統配管、第4抽気系統配管、補助蒸気系統配管、グランド蒸気系統配管、復水系統配管、ドレン系統配管、蒸気発生器ブローダウン系統配管)
技術評価内容	高温水または2相流体を内包する炭素鋼配管では、エルボ部、分岐部、レジャーサ部等の流れの乱れが起きる箇所で、流れ加速型腐食により減肉が発生する可能性がある。しかしながら、超音波を用いた肉厚測定を実施し、減肉の管理を行っていくことで機器の健全性は維持できる。
耐震安全性評価内容	炭素鋼配管の腐食については、エルボ部、分岐部、レジャーサ部等の偏流発生部位およびその下流部に周方向および軸方向一様に必要最小肉厚まで減肉を想定した評価を実施する。評価結果が許容値を超える系統については、実測データに基づく減肉を想定した評価を実施する。



【流れ加速型腐食が想定される代表的な部位】

また、2次系配管の流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価のフローを以下に示す。



b. 評価結果

2次系配管の流れ加速型腐食を想定した耐震安全性評価の概要を以下に示す。

評価対象	1号炉		2号炉	
	必要最小肉厚 まで減肉を想定	減肉測定点のいずれかが必要最 小肉厚に到達するまでの年数 ^{*1}	必要最小肉厚 まで減肉を想定	減肉測定点のいずれかが必要最 小肉厚に到達するまでの年数 ^{*1}
主蒸気系統配管	○	—	○	—
主給水系統配管	○	—	○	—
蒸気発生器ブロー ダウン系統配管	○	—	○	—
低温再熱蒸気系統配管	○	—	○	—
第3抽気系統配管	○	—	○	—
補助蒸気系統配管	○	—	○	—
第4抽気系統配管	×	60年時点以降	×	52年
グランド蒸気系統配管	×	55年	×	54年
復水系統配管	×	60年時点以降	×	58年
ドレン系統配管	×	60年時点以降	×	60年時点以降

(注) 評価条件として、高浜1号炉は2011年1月から2018年3月までの冷温停止状態、高浜2号炉は2011年11月から2018年3月までの冷温停止状態を想定した。
 ○: 評価結果が許容値を超えない。
 ×: 評価結果が許容値を超える。
 —: 評価不要。
 なお、稼働率は100%を想定した。

周方向および軸方向一様に必要最小肉厚まで減肉した条件を想定して評価した結果、許容値を超えないことを確認した系統の評価結果を(a)に示す。

また地震時に発生する応力が許容応力を超える系統については、各系統配管について減肉測定点のいずれかが必要最小肉厚に到達するまでの年数を算出し、それを超えない時点での、実測データに基づく減肉状態を想定した肉厚による評価を実施した。60年時点での減肉状態を想定した評価を実施した系統について(b)に、50年時点での減肉状態を想定した評価を実施した系統について(c)にそれぞれ示す。

(a) 周方向および軸方向一様に必要最小肉厚まで減肉を想定した評価について

周方向および軸方向一様に必要最小肉厚まで減肉した条件を想定して、地震時に発生する応力または疲労累積係数を評価した結果、許容値を超えないことを確認した系統の評価結果は以下の通り。

地震時に発生する応力または疲労累積係数を評価した結果、許容値を超えないことから、耐震安全性評価上問題ない。

1号炉

評価対象	耐震 重要度	応力比 ^{*1}		疲労累積 係数	
		一次	一次十 二次		
主蒸気系統配管	S	Sd	0.95	0.24	—
		Ss	0.42	0.70	—
		C	0.68	—	—
主給水系統配管	S	Sd	0.52	0.56	0.275
		Ss	0.51	1.22	
		C	0.87	—	
蒸気発生器ブロー ダウン系統配管	S	Sd	0.67	0.51	—
		Ss	0.43	1.02	0.004
低温再熱蒸気系統 配管	C	0.25	—	—	
第3抽気系統配管	C	0.36	—	—	
補助蒸気系統配管	C	0.48	—	—	

2号炉

評価対象	耐震 重要度	応力比 ^{*1}		疲労累積 係数	
		一次	一次十 二次		
主蒸気系統配管	S	Sd	0.95	0.53	—
		Ss	0.68	1.12	0.351
		C	0.66	—	—
主給水系統配管	S	Sd	0.77	0.39	—
		Ss	0.70	0.85	
		C	0.57	—	
蒸気発生器ブロー ダウン系統配管	S	Sd	0.77	0.60	—
		Ss	0.45	1.23	0.125
低温再熱蒸気系統 配管	C	0.25	—	—	
第3抽気系統配管	C	0.60	—	—	
補助蒸気系統配管	C	0.52	—	—	

*1: 応力比 = 地震時応力 / 許容応力

(b) 実測データに基づく60年時点での減肉状態を想定した評価結果

実測データに基づく60年時点での減肉状態を想定して、地震時に発生する応力を評価した系統の評価結果は以下の通り。

地震時に発生する応力が許容応力を超えないことから、耐震安全性評価上問題ないが、必要最小肉厚による管理のみで耐震性を満足できるようにすることを目的とし、60年時点までに、サポート改造等の設備対策を行い、これを反映した耐震安全性評価を実施することとし、保守管理に関する方針として策定する。

1号炉

評価対象	減肉評価条件	耐震重要度	応力比*1
第4抽気系統配管	60年時点の減肉を想定	C	0.60
復水系統配管	60年時点の減肉を想定	C	0.84
ドレン系統配管	60年時点の減肉を想定	C	0.94

2号炉

評価対象	減肉評価条件	耐震重要度	応力比*1
ドレン系統配管	60年時点の減肉を想定	C	0.70

*1: 応力比=一次応力/許容応力

(c) 実測データに基づく50年時点での減肉状態を想定した評価結果

実測データに基づく50年時点での減肉状態を想定して評価した系統の評価結果は以下の通り。

地震時に発生する応力を評価した結果、許容値を超えないことを確認したため、50年時点までに、サポート改造等の設備対策を行い、これを反映した耐震安全性評価を実施することとし、保守管理に関する方針として策定する。

1号炉

評価対象	減肉評価条件	耐震重要度	応力比*1
グランド蒸気系統配管	50年時点の減肉を想定	C	0.88

2号炉

評価対象	減肉評価条件	耐震重要度	応力比*1
第4抽気系統配管	50年時点の減肉を想定	C	0.74
グランド蒸気系統配管	50年時点の減肉を想定	C	0.60
復水系統配管	50年時点の減肉を想定	C	0.88

*1: 応力比=一次応力/許容応力

(d) 保全対策に反映すべき項目

配管減肉において、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管については、サポート改造等の設備対策を行い、必要最小肉厚まで減肉を想定した評価においても耐震安全性評価上問題ないことを確認する。なお、サポート改造等の設備対策が完了するまでは、減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を継続して行い、サポート改造等の設備対策が完了するまでの間、耐震安全性評価上問題ないことを確認する。

(7) 原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化に対する地震時荷重を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

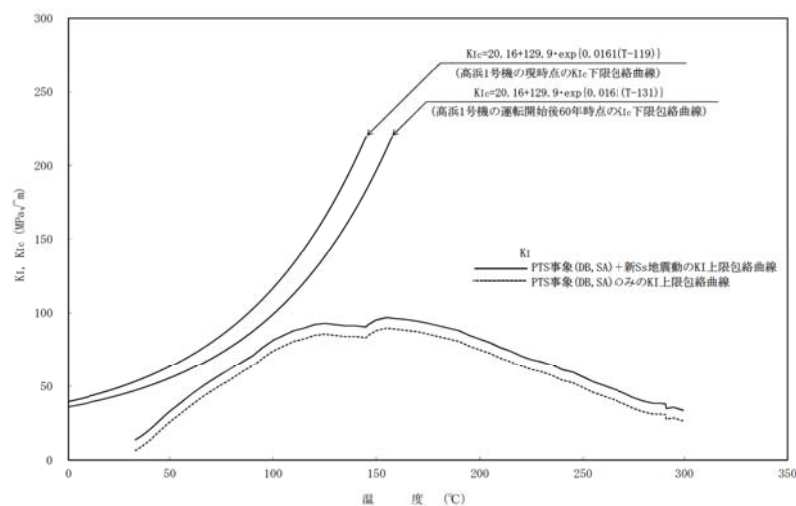
原子炉容器（胴部）の中性子照射脆化に対する地震時荷重を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	中性子照射脆化
想定部位	原子炉容器 胴部
技術評価内容	原子炉容器の胴部(炉心領域部)は中性子照射により関連温度(RT_{NDT})が上昇することから、き裂を想定した加圧熱衝撃(PTS)評価により破壊に対する健全性の評価を実施している。 中性子照射脆化による材料靱性低下は、国内脆化予測法を用いて、実測 K_{IC} データを60年運転時点まで温度軸に対してシフトさせ、その予測破壊靱性の下限を包絡した K_{IC} 曲線を設定。 K_{IC} 下限包絡曲線とPTS状態遷移曲線を比較し、 $K_{IC} > K_I$ であることを確認し、脆性破壊が起こらないことを評価している。
耐震安全性評価内容	「技術評価」と同様の手法により、PTS事象発生時に地震荷重を加えた評価を行って健全性を確認する。 なお、重大事故等時の環境を考慮した評価を行う。 1. 評価条件 ・建屋-RCSループ-RV-CI連成モデルを適用。 ・RCSループの減衰定数を3%、燃料集合体の減衰定数を1%として評価。 2. 想定き裂の設定 技術評価と同様、想定き裂深さはJEAC4206等により規定されている10mmと、特別点検の結果を踏まえて想定した5mmの2ケースを設定する。 3. K_{IC}下限包絡曲線とK_I曲線の算出 技術評価で設定した60年運転時点での K_{IC} 下限包絡曲線と、PTS事象時の荷重に S_s 地震時の荷重を考慮した K_I 曲線を算出する。 4. K_{IC}下限包絡曲線とK_I曲線の比較 K_{IC} 下限包絡曲線と K_I 曲線を比較し、 $K_{IC} > K_I$ となることを確認する。

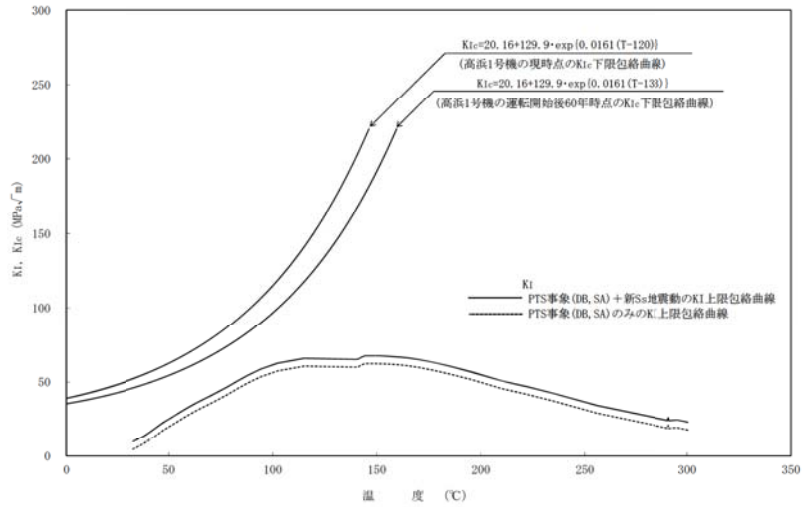
b. 評価結果

評価結果は以下の通り。運転開始後60年時点での K_{IC} 下限包絡曲線とPTS事象に S_s 地震を考慮した K_I を比較すると、両曲線は交差することなく、 $K_{IC} > K_I$ は満足され、原子炉容器胴部の中性子照射による関連温度上昇は、耐震安全性評価上問題ない。

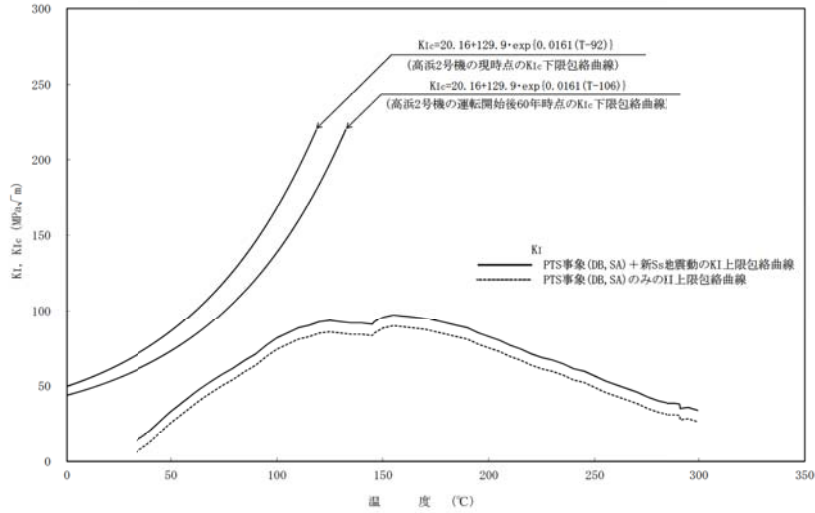
高浜1号炉 S_s 地震を考慮したPTS評価結果（想定き裂深さ10mmを用いた評価）



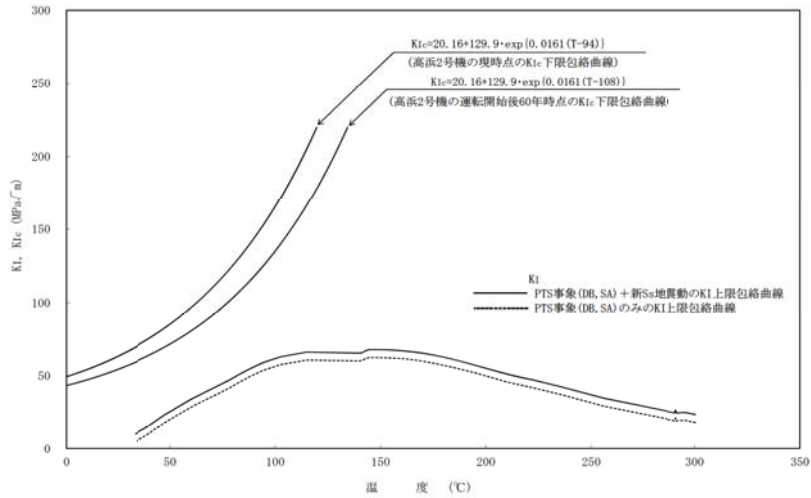
高浜1号炉 S s地震を考慮したPTS評価結果 (想定き裂深さ5mmを用いた評価)



高浜2号炉 S s地震を考慮したPTS評価結果 (想定き裂深さ10mmを用いた評価)



高浜2号炉 S s地震を考慮したPTS評価結果 (想定き裂深さ5mmを用いた評価)



(8) 炉内構造物（炉心そう）の中性子照射による靱性低下を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

炉内構造物（炉心そう）の中性子照射による靱性低下を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	中性子照射による靱性低下
想定部位	炉内構造物(炉心そう)
技術評価内容	炉心そう溶接部に有意な欠陥が存在すると仮定し、Ss地震発生時のき裂安定性評価を実施。 想定欠陥は深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定。想定欠陥の応力拡大係数Kを算出し、破壊靱性値 K_{IC} と比較する。
耐震安全性評価内容	「技術評価」の評価手法と同様に、炉心そう溶接部に有意な欠陥が存在すると仮定し、Ss地震発生時のき裂安定性評価を実施する。

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。想定欠陥の応力拡大係数Kは、破壊靱性値 K_{IC} を下回っており、不安定破壊は生じないことから、炉心そうの中性子照射による靱性低下は、耐震安全性評価上問題ない。

機器(部位)		1号炉			2号炉		
		応力拡大係数(MPa√m)		K/ K_{IC}	応力拡大係数(MPa√m)		K/ K_{IC}
		発生値K	許容値 K_{IC}		発生値K	許容値 K_{IC}	
炉内構造物	炉心そう	7.4	51	0.15	7.6	51	0.15

(9) 1次冷却材管の熱時効を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

1次冷却材管の熱時効を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

想定劣化事象	熱時効
想定部位	1次冷却材管
技術評価内容	1次冷却材管(2相ステンレス鋼)は、熱時効により材料の靱性が低下する可能性があることから、き裂を想定した破壊力学的手法により構造健全性の評価を行っている。
耐震安全性評価内容	「技術評価」において、運転状態の荷重条件にSs地震荷重を考慮した評価を実施しており、60年運転時の熱時効に対して、構造健全性が確保されることを確認する。

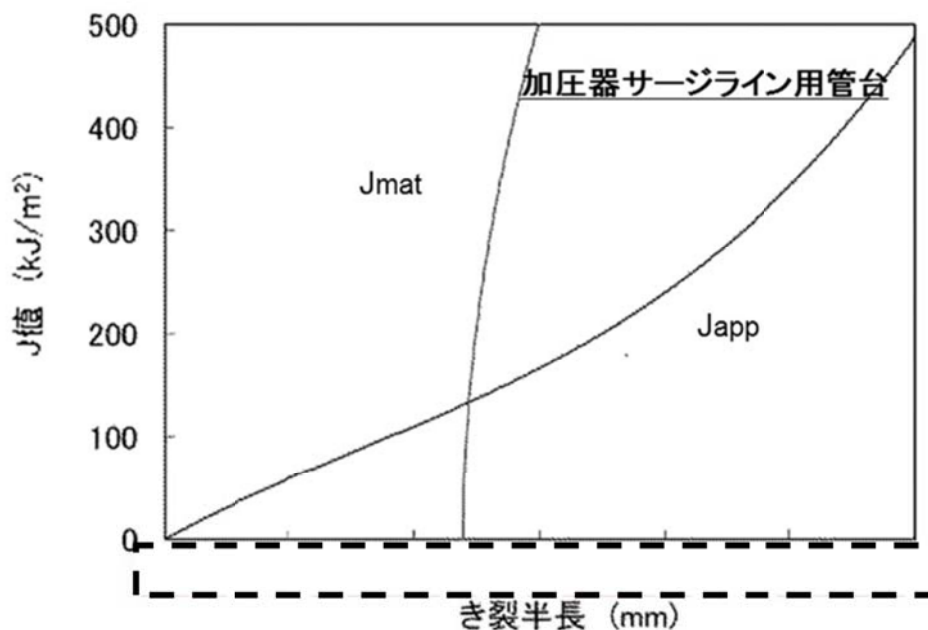
b. 評価結果

高浜1号炉の評価結果を例として示す。

高浜1号炉の評価用選定部位は、加圧器サージライン用管台および6B安全注入ライン用管台を選定した。以下に、選定部位のうち加圧器サージライン用管台について決定した J_{app} と J_{mat} の値の比較を示す。Ss地震時の荷重を加えて求めたき裂進展力 J_{app} と材料の破壊抵抗 J_{mat} を比較し、各評価部位において $J_{app} < J_{mat}$ であること、交点で J_{app} の傾きが J_{mat} の傾きを下回ることを確認している。また重大事故等時におけるプラント条件を考慮しても、健全であることを確認している。

このことから、1次冷却材管は不安定破壊することなく、熱時効に対して耐震安全性評価上問題ない。

高浜1号炉のき裂安定性評価結果(重大事故等時)



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(10) 炉内構造物（下部炉心支持柱）の熱時効を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

炉内構造物（下部炉心支持柱）の熱時効を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

経年劣化事象	熱時効
想定部位	炉内構造物(下部炉心支持柱)
技術評価内容	熱時効による靱性低下は、フェライト量が多く、使用温度が高いほど大きくなり、応力が大きいほど厳しくなることから、各条件を比較し評価を行う。
耐震安全性評価内容	「技術評価」の評価手法と同様に、下部炉心支持柱と1次冷却材管について、フェライト量、使用温度および応力の各条件を比較し評価を行う。

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。

機器(部位)	1号炉※		
	フェライト量	運転温度	応力
下部炉心支持柱	11.2 %	289 °C	140 N/mm ²
1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台)	15.5 %	289 °C	208 N/mm ²
1次冷却材管 (加圧器サージライン用管台)	13.7 %	323 °C	215 N/mm ²

※ 下部炉心支持柱に、熱時効の発生が想定されるステンレス鋼を用いている高浜1号炉のみ評価対象。

下部炉心支持柱の方がフェライト量および応力が小さく、使用温度も低いことから、下部炉心支持柱の熱時効に対する耐震安全性評価は、1次冷却材管の評価で代表できる。

また、下部炉心支持柱の応力評価に水平2方向および鉛直方向地震力による影響を考慮しても、1次冷却材管の代表性は損なわれないことを確認している。

1次冷却材管の熱時効に対して耐震安全性評価上問題ないと評価していることから、下部炉心支持柱の熱時効に対しても耐震安全性評価上問題ない。

(11) 動的機能維持に対する評価

①評価の考え方

地震時に動的機能維持が要求される機器（弁、ポンプ、ファン等）については、地震時の応答加速度が機器の機能確認済加速度以下であること等により動的機能が維持されることを確認しているが、想定される経年劣化を考慮した場合にも動的機能が維持されることを確認する。

なお、制御棒の地震時動的機能維持については別途、制御棒挿入性の評価を実施する。

②評価内容および結果

動的機能維持が要求される機器に対して、発生の可能性が否定できないと評価される経年劣化事象については、以下 a. b. いずれかの評価結果より、60年の運転を想定した場合において機器の地震時の動的機能が維持されることを確認している

- a. 定期的な保守管理活動により生じ得る劣化事象の進展量では、機器の振動応答特性へ及ぼす影響は軽微もしくは無視できる。
- b. 60年運転を想定した経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施し、振動応答特性に影響を与えることがないことを確認している。ただし、主蒸気系統の弁については、弁に接続する配管の流れ加速型腐食による振動応答特性への影響を考慮しても、弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることから、弁の動的機能が維持されることを確認している。

動的機能維持が必要な機器の評価（例）について

◎弁

想定される劣化事象として1次冷却系統等の弁の疲労があるが、60年までの運転を想定した地震を考慮した評価により疲労累積係数が1以下であるため、疲労割れが発生しないことを確認したことから地震時の動的機能は維持される。

ただし、主蒸気系統の弁については、当該弁に接続する配管の流れ加速型腐食による振動応答特性への影響を考慮しても、弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることから、弁の動的機能が維持されることを確認している。

◎ポンプ

想定される経年劣化事象として余熱除去ポンプのケーシングの疲労、海水ポンプの基礎ボルトの腐食等が想定されるが、60年運転を想定した経年劣化を考慮した耐震安全性評価の結果、疲労割れが発生しないこと、および基礎ボルトの腐食を考慮しても強度上の問題はなく支持機能に影響がないことを確認したことから、地震時の動的機能は維持されることを確認している。

(12) 経年劣化を考慮した地震時の制御棒挿入性評価

経年劣化を考慮した地震時の制御棒挿入性評価のフローを以下に示す。

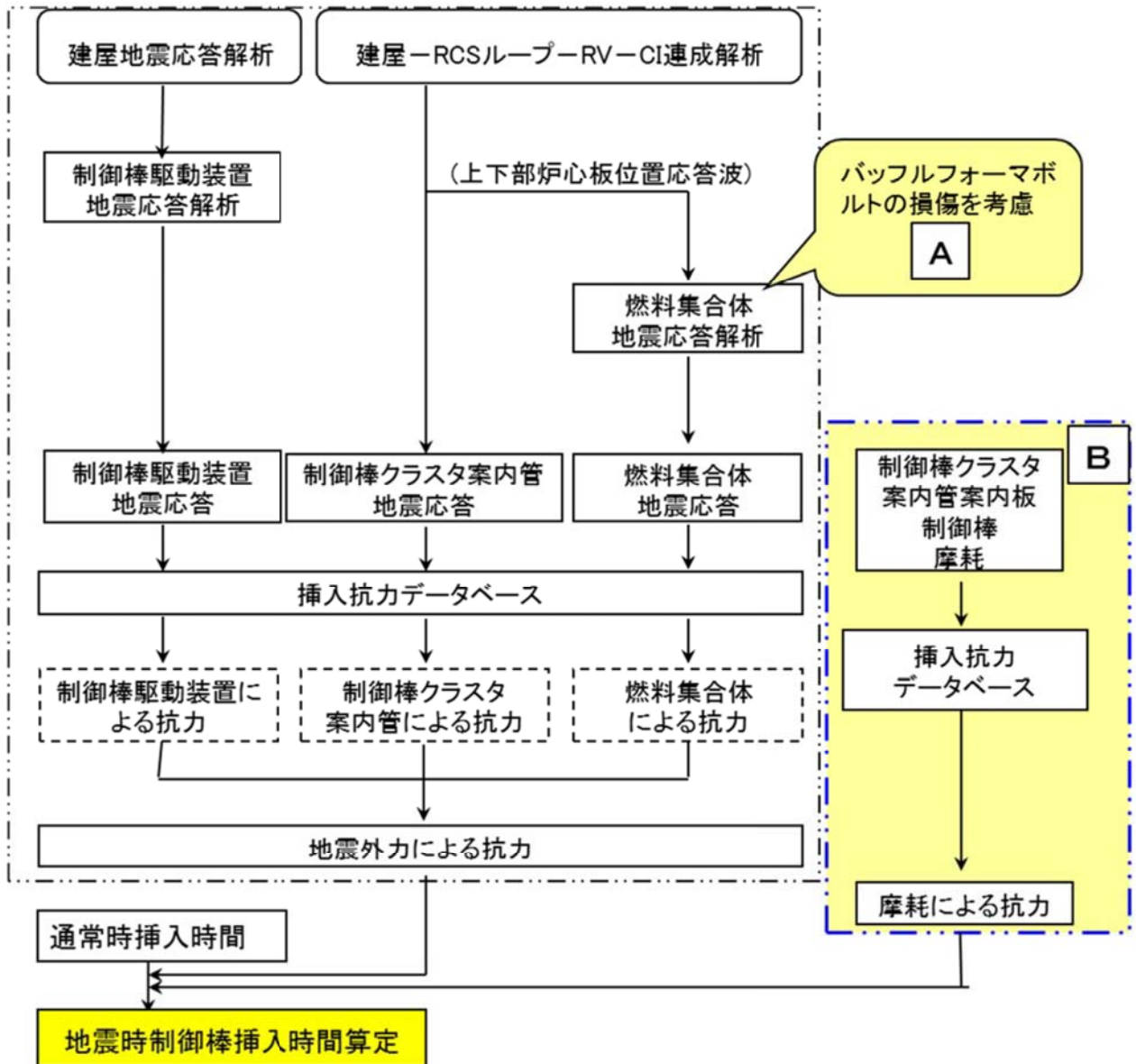
劣化状況評価における制御棒挿入性評価では、工事計画認可申請の評価手法をベースとし、下記の経年劣化をそれぞれ考慮した評価を行う。

A. バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れ

下記フローのA. で示した通り、燃料集合体の地震応答解析においてバッフルフォーマボルトの損傷を考慮した解析を実施することで、地震時の制御棒の挿入時間を評価し、規定時間以内であることを確認する。

B. 制御棒クラスタ案内管(案内板)および被覆管の摩耗

下記フローのB. で示した通り、制御棒クラスタ案内管(案内板)および被覆管の摩耗を考慮した摩擦による抗力を想定して、地震時の制御棒の挿入時間を評価し。規定時間以内であることを確認する。



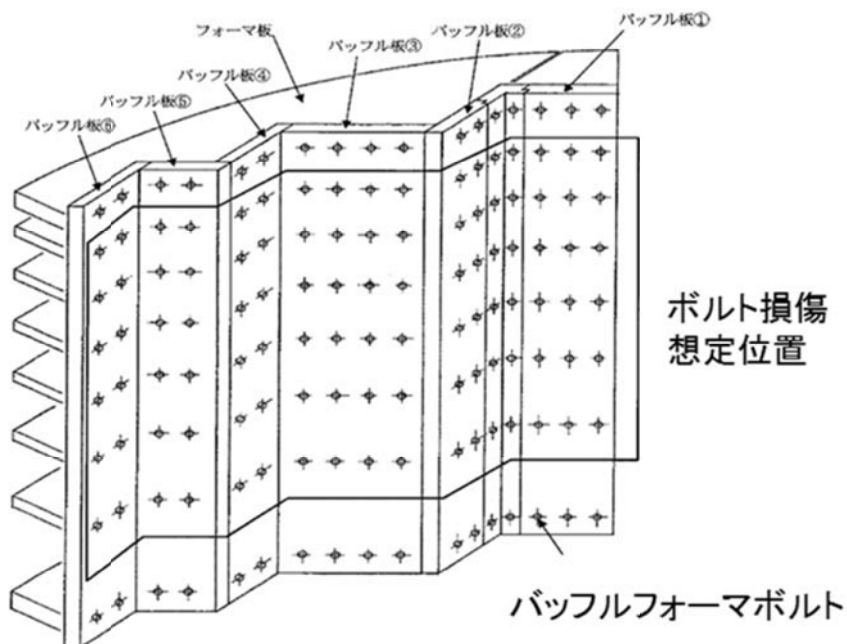
制御棒挿入時間の詳細な評価条件については工事計画認可申請にあわせた評価手法を反映しており、以下の通りである。

	工認を反映した評価手法
評価条件	燃料集合体は照射影響を考慮
解析モデル	建屋-RCSループ-RV-CI連成モデル RCSループの減衰定数:3% 燃料集合体の減衰定数:1%
評価手法	<p>《挿入経路機器の応答解析》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置:スペクトルモデル解析 ・制御棒クスタ案内管:時刻歴手法 ・燃料集合体:時刻歴手法 <p>《地震時挿入抗力の考慮方法》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置:最大抗力一定 ・制御棒クスタ案内管:最大抗力一定 ・燃料集合体:時刻歴手法

a. 評価内容

(A. バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れ)

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れによる損傷想定位置について概要図を以下に示す。



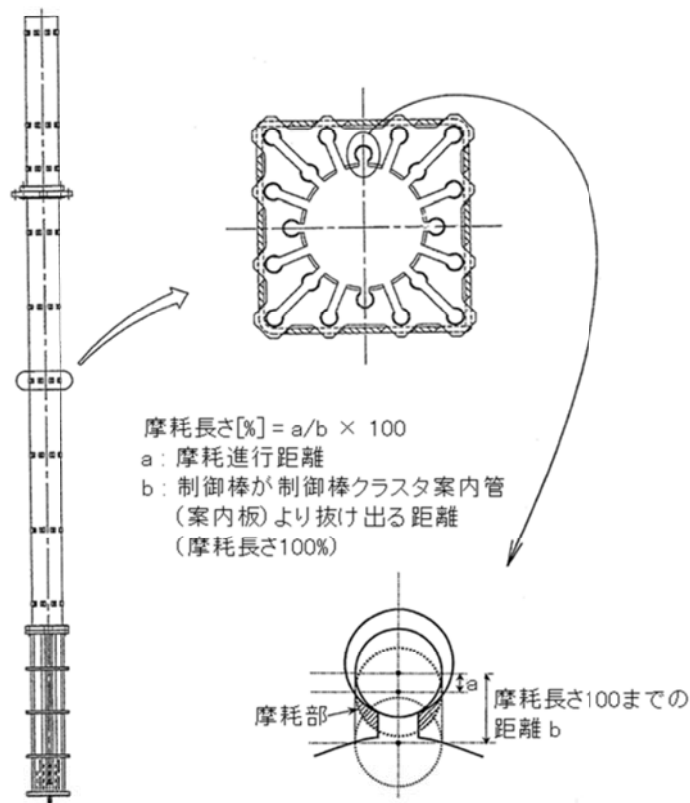
【バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れの想定部位】

バブルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した制御棒挿入性評価内容を以下に示す。

経年劣化事象	照射誘起型応力腐食割れ
想定部位	バブルフォーマボルト
技術評価内容	バブルフォーマボルトは60年の運転を考慮すると、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。中性子照射量、応力、温度条件等からき裂発生可能性の評価を実施した結果、運転60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数(全体の20%)以下であり、安全に関わる機能を維持できる。
耐震安全性評価内容	1. バブルフォーマボルトの損傷想定 全8段のうち2～7段目の全ボルト損傷を仮定。 2. 評価対象部位と評価手法 (地震応答解析は工認と同様の手法を適用) ボルト損傷を仮定した燃料集合体解析モデルによる時刻歴応答解析により制御棒挿入時間を評価、規定時間以内であることを確認する。

(B. 制御棒クラスタ案内管 (案内板) および被覆管の摩耗)

制御棒クラスタ案内管 (案内板) の摩耗について概要図を以下に示す。



【制御棒クラスタ案内管 (案内板) 摩耗の想定部位】

制御棒クラスタ案内管（案内板）および被覆管の摩耗を考慮した耐震安全性評価内容を以下に示す。

項目	評価内容等
想定される経年劣化事象	摩耗
想定部位	制御棒クラスタ案内管(案内板)および被覆管
技術評価内容	制御棒被覆管の摩耗減肉が認められており、長期的には制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗が発生する可能性は否定できない。しかしながら摩耗が急激に進展することはない。摩耗が制御棒の案内機能へ与える影響については制御棒落下試験により検知可能である。
耐震安全性評価内容	(地震応答解析は工認と同様の手法を適用) 制御棒被覆管の一部が100%摩耗すると仮定し、制御棒クラスタ案内管(案内板)が管理摩耗長さ(摩耗長さ74%)に至るまでの摩耗過程で最大となる抗力を考慮した地震時の制御棒挿入時間を評価、規定時間以内であることを確認する。

b. 評価結果

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮した評価結果、ならびに制御棒クラスタ案内管（案内板）および被覆管の摩耗を考慮した評価結果は以下の通り。経年劣化を想定した場合の地震時の制御棒挿入時間は規定時間以下であることから、耐震安全性評価上問題ない。

	地震力	地震時挿入時間*2	バッフルフォーマボルトの損傷を想定した場合に地震が発生した時の挿入時間*2	規定値*1
1号炉	Ss	1.65秒	1.69秒	1.8秒
2号炉	Ss	1.67秒	1.72秒	1.8秒

	地震力	地震時挿入時間*2	制御棒クラスタ被覆管の摩耗を想定した場合に地震が発生した時の挿入時間*2	規定値*1
1号炉	Ss	1.65秒	1.69秒	1.8秒
2号炉	Ss	1.67秒	1.70秒	1.8秒

* 1 : 工事計画認可申請書 添付 1 3 耐震性に関する説明書 に記載の値

* 2 : 燃料集合体の照射影響を考慮し、時刻歴解析手法により評価した値

(注) : 各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの 85%に至るまでの時間

2.5.3 その他の評価について

その他の機器・経年劣化事象の組合せに対する評価についても、耐震安全性に問題のないことを確認した。

2.6 耐震安全性評価のまとめ

高浜1、2号炉の劣化状況評価における耐震安全性評価については、経年劣化事象を考慮した場合であってもプラントの耐震安全性に問題ないことを確認した。また、以下の1点については保守管理に関する方針として策定する。

No.	内容	実施時期 ^{※1}
1	<p>配管の腐食(流れ加速型腐食)については、肉厚測定による実測データに基づき耐震安全性評価を実施した炭素鋼配管*に対して、サポート改造等の設備対策を行い、必要最小肉厚まで減肉を想定した評価においても耐震安全性評価上問題ないことを確認する。なお、サポート改造等の設備対策が完了するまでは、減肉進展の実測データを反映した耐震安全性評価を継続して行い、サポート改造等の設備対策が完了するまでの間、耐震安全性評価上問題ないことを確認する。</p> <p>*: 第4抽気系統配管 グランド蒸気系統配管 復水系統配管 ドレン系統配管</p>	短期

※1: 実施時期は以下の期限を示す。

高浜1号炉:「短期」は平成26年11月14日から5年間

高浜2号炉:「短期」は平成27年11月14日から5年間

2.7 延長しようとする期間における要求事項(耐震安全性評価)

以上の評価結果について、原子力規制委員会「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」(以下、審査基準)に規定されている延長しようとする期間における要求事項との対比を下表に示す。

評価対象機器は、本資料の本文や別紙にて評価内容および結果を説明した機器を例として示す。

延長しようとする期間における要求事項との対比 (耐震安全性評価)

審査基準の要求事項	想定した経年劣化事象	評価対象機器(例)	評価内容	詳細結果
○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について地震時に発生する応力及び疲労累積係数を評価した結果、耐震設計上の許容限界を下回ること。	疲労割れ	原子炉容器	○考慮すべき経年劣化事象に対し地震時に発生する応力および疲労累積係数を評価し、許容限界を下回っていることを確認した。	2.5.2(1)に記載
	摩耗	制御棒クラスタ被覆管		2.5.2(4)に記載
	照射誘起型応力腐食割れ	炉内構造物(パッフルフォーマボルト)		別紙10に記載
	全面腐食	燃料取替用水タンク(基礎ボルト)		2.5.2(5)に記載
	流れ加速型腐食	2次系配管		2.5.2(6)に記載
○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について地震時に発生する応力、亀裂進展力及び応力拡大係数を評価した結果、想定亀裂(欠陥)に対する破壊力学評価上の許容限界を下回ること。	中性子照射脆化	原子炉容器	○考慮すべき経年劣化事象に対し地震時に発生する応力、き裂進展力および応力拡大係数を評価し、想定するき裂に対する破壊力学評価を行って、許容限界を下回っていることを確認した。	2.5.2(7)に記載
	中性子照射による靱性低下	炉内構造物(炉心そう)		2.5.2(8)に記載
	中性子およびガンマ線照射脆化	原子炉容器サポート		別紙21に記載
	熱時効	1次冷却材管		2.5.2(9)に記載
	応力腐食割れ	蒸気発生器		別紙1に記載
○経年劣化事象を考慮した、地震時に動的機能が要求される機器・構造物の地震時の応答加速度を評価した結果、機能確認済加速度以下であること。	疲労割れ、熱時効、全面腐食、流れ加速型腐食	地震時に動的機能が要求される機器(弁、ポンプなど)	○考慮すべき経年劣化事象が現状保全により管理されており、機器の振動応答特性に与える影響が軽微または無視できるものであることを確認した。ただし、主蒸気系統の弁については、弁に接続する配管の流れ加速型腐食による振動応答特性への影響を考慮しても、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認した。	2.5.2(11)に記載
○経年劣化事象を考慮した、地震時の燃料集合体の変位を評価した結果、機能確認済相対変位以下であるか又は、同様に制御棒挿入時間を評価した結果、安全評価上の規定時間以下であること。	摩耗	制御棒クラスタ案内管および被覆管	○考慮すべき経年劣化事象に対し制御棒挿入時間を評価し、安全評価上の規定時間以下であることを確認した。	2.5.2(12)に記載
	照射誘起型応力腐食割れ	炉内構造物(パッフルフォーマボルト)		

3. 耐津波安全性評価

3.1 耐津波安全性評価の評価手順

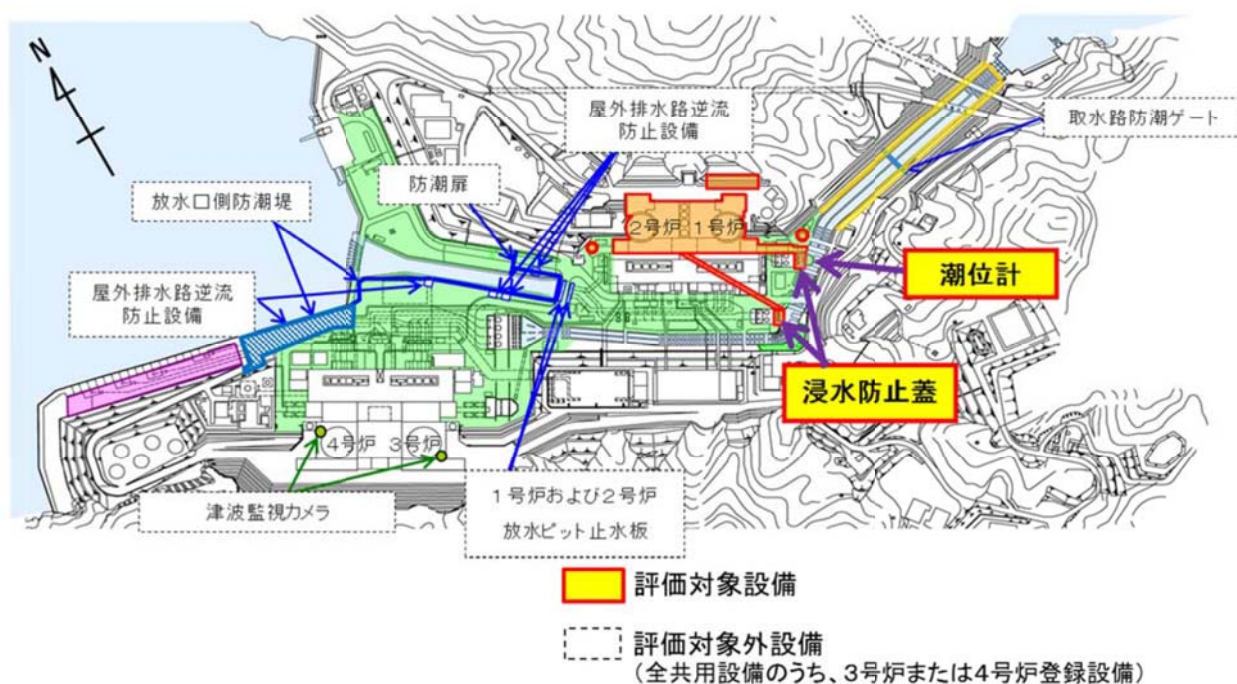
3.1.1 耐津波安全性評価の目的

耐津波安全性に影響を及ぼす可能性がある経年劣化事象について、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施し、評価対象設備の機能維持に対する経年劣化事象の影響を評価する。

3.1.2 評価対象設備

「技術評価」の評価対象設備のうち浸水防護施設で、津波による浸水高または波力等による影響を受けると考えられるもの。

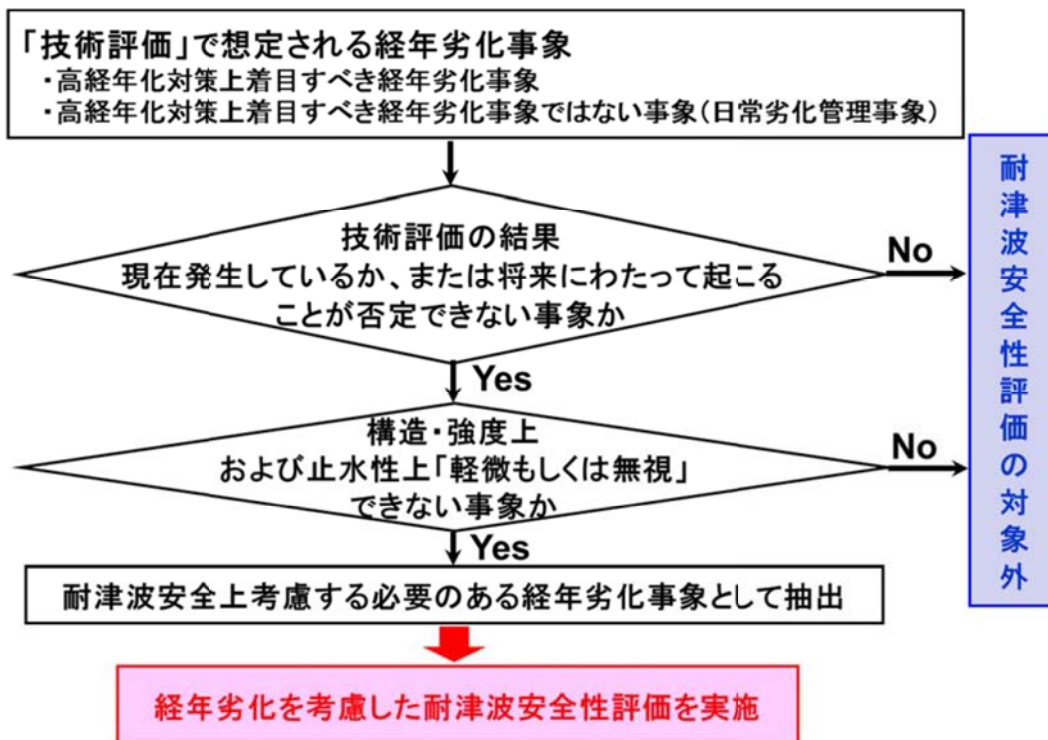
以下に高浜1、2号炉の耐津波安全性評価の対象機器を示す。



3.1.3 評価フロー

劣化技術評価における耐津波安全性評価は、新規制基準への適合に係る評価条件等（基準津波高さ、影響を受ける浸水防護施設等）を踏まえ、これに合せた評価としている。

津波を受ける浸水防護施設に対し、耐津波安全性に影響を及ぼす可能性がある経年劣化事象を抽出し、経年劣化を考慮した耐津波安全性評価を実施している。評価フローを以下に示す。



3.1.4 基準津波高さ

評価に使用する基準津波高さは以下の通り。

最大水位変動量（初期潮位：T.P.±0.00m）	
水位上昇側(m)	水位下降側(m)
放水路(奥)：T.P.+6.7m	1.2号機海水ポンプ室前面：T.P.-2.3m

3.1.5 津波による影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象

津波による影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象は以下の通り。

津波の影響を受ける 浸水防護施設※1			想定される劣化事象				備 考
			強度低下 (コンクリート)	鉄骨の腐食 による強度 低下	支持構造物 基礎ボルト の腐食	樹脂劣化 (基礎ボルト)	
浸水防止 設備	コンクリート構 造物および鉄 骨構造物	取水構造物（浸水防止蓋）	—	—※2	—	—	1,2号炉それ ぞれで評価
津波監視 設備	プロセス計測 制御設備	潮位計	—	—	—※2	×	1号炉にて 評価(共用)

※1：浸水防護施設のパッキンは、定期取替品であることから、劣化状況評価対象外とする。

※2：ステンレス鋼製のため腐食は想定されない。

- * 凡例 ○：評価対象（現在発生しているか、または将来にわたって起こることが否定できない）
 ×：評価対象から除外（現在発生せず今後も発生の可能性がない、または小さい）
 —：評価対象から除外

3.2 耐津波安全性評価結果

津波の影響を受ける浸水防護施設に想定される経年劣化事象を下表に示す。3.1.3の
 評価フローに従い抽出された耐津波安全上考慮する必要のある経年劣化事象はなかつ
 た。

津波の影響を受ける 浸水防護施設			想定される劣化事象				備 考
			強度低下 (コンクリート)	鉄骨の腐食に よる強度低下	支持構造物 基礎ボルト の腐食	樹脂劣化 (基礎ボルト)	
浸水防止 設備	コンクリート構造物 および鉄骨構造物	取水構造物 (浸水防止蓋)	—	—	—	—	1、2号炉それ ぞれで評価
津波監視 設備	プロセス計測制御設備	潮位計	—	—	—	—	1号炉にて評価 (共用)

- * 凡例 ■：将来にわたって起こることが否定できないが、構造・強度上および止水上「軽微もしくは無視」できるもの
 —：経年劣化事象が想定されないものおよび今後も発生の可能性がないもの、または小さいもの

3.3 耐津波安全性評価のまとめ

高浜1、2号炉の劣化状況評価における耐津波安全性評価上考慮する必要のある経年
 劣化事象はなく、プラントの耐津波安全上に問題のないことを確認した。

3.4 延長しようとする期間における要求事項（耐津波安全性評価）

以上の評価結果について、原子力規制委員会「実用発電用原子炉の運転の期間の延長
 の審査基準」（以下、審査基準）に規定されている延長しようとする期間における要求
 事項との対比を下表に示す。

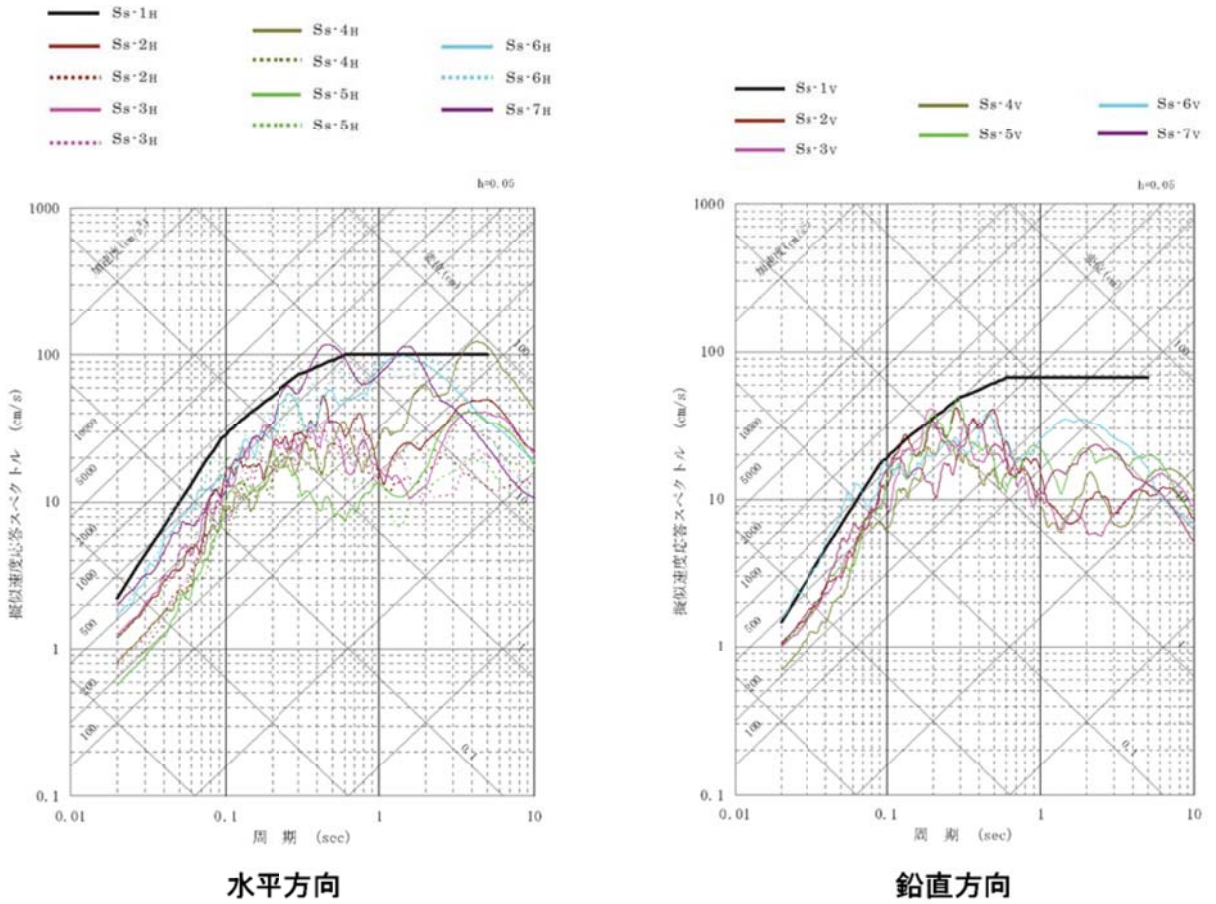
延長しようとする期間における要求事項との対比

審査基準の要求事項	評価内容
○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について、津波時に発生する応力等を評価した結果、許容限界を下回ること。	○対象となる機器・構築物について、考慮すべき劣化事象のないことを確認した。（日常安全管理により機能維持を確認）

参考：基準地震動の特性について

基準地震動の特性について、以下に示す。

【加速度応答スペクトル】



別紙

<耐震安全性評価>

【高浜1号炉】

- 別紙 1. 蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れに対する評価について
- 別紙 2. 原子炉容器の中性子照射脆化（関連温度上昇）に対する耐震安全性評価について
- 別紙 3. 原子炉容器の中性子照射脆化（上部棚吸収エネルギーの低下）に対する耐震安全性評価について
- 別紙 4. 主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価について
- 別紙 5. 余熱除去系統配管のアンカーサポート取付部の疲労割れに対する評価について
- 別紙 6. 母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する評価について
- 別紙 7. 第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管及びドレン系統配管の減肉評価について
- 別紙 8. 耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに行うサポート改造等の設備対策工事、これを反映した耐震安全性評価について
- 別紙 9. 弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁に対する地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価について
- 別紙 10. バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価について
- 別紙 11. 制御棒被覆管の摩耗に対する評価について
- 別紙 12. 海水ポンプ、脱気器タンク、燃料取替用水タンク、復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価について
- 別紙 13. 後打ちアンカの評価に対する、減肉後の応力比の算定根拠について
- 別紙 14. 浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）のリストアップ並びに、これら施設から耐震安全性評価の評価対象設備とした、抽出根拠、抽出プロセス及び評価について
- 別紙 15. 工事計画認可審査の内容を踏まえ劣化状況評価の見直しがある場合の見直し前後の相違点について
- 別紙 16. 耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について

【高浜2号炉】

- 別紙 17. 主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価について
- 別紙 18. 余熱除去系統配管のアンカーサポート取付部の疲労割れに対する評価について
- 別紙 19. 母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する評価について
- 別紙 20. 第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、復水系統配管及びドレン系統配管の減肉評価について
- 別紙 21. 耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに行うサポート改造等の設備対策工事、これを反映した耐震安全性評価について
- 別紙 22. 弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁に対する地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価について
- 別紙 23. 原子炉容器サポートの補強材及びボルトの中性子及びγ線照射脆化に対する評価について

- 別紙 24. 燃料取替用水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価について
- 別紙 25. 後打ちアンカの評価に対する、減肉後の応力比の算定根拠について
- 別紙 26. 高浜 1 号炉の運転期間延長認可申請との相違点について
- 別紙 27. 工事計画認可審査の内容を踏まえ劣化状況評価の見直しがある場合の見直し前後の相違点について
- 別紙 28. 耐震 S クラス、耐震 B クラス及び耐震 C クラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について

<耐津波安全性評価>

【高浜 1 号炉】

- 別紙 29. 浸水防護施設（津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備）のリストアップ、並びにこれら施設から耐津波安全性評価の評価対象設備とした、抽出根拠・抽出プロセス及び評価内容について
- 別紙 30. 経年劣化事象として止水材料の劣化を評価対象としない場合の根拠及び妥当性について
- 別紙 31. 改良地盤の経年変化について

【高浜 2 号炉】

- 別紙 32. 高浜 1 号炉の運転期間延長認可申請との相違点について

タイトル	蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れに対する評価について
説明	<p>蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れについては、「美浜2号における評価」に基づき同様の評価を実施する。なお、対象の劣化モードはPWSCCであるが、「美浜2号における評価」においては下記に示すとおり（1）「PWSCC」に加え（2）「低サイクル疲労」による進展も考慮しているため、同様に「低サイクル疲労」による進展も加えた評価を行う。</p> <p>（1）PWSCC進展評価 セーフエンド部の運転中の軸方向応力は表面は引張応力であるが、板厚内で圧縮応力となることから、SCC進展における応力拡大係数$K=0$となる深さの全周内表面欠陥を想定する。</p> <p>（2）低サイクル疲労進展評価 PWSCCによるき裂の進展が停留する応力拡大係数$K=0$を初期欠陥深さとして疲労進展評価を行い、得られた進展量を加えた欠陥深さを評価用の欠陥とする。</p> <p>評価内容および結果を添付-1に示す。</p>

1. 評価仕様

想定する欠陥は、周方向欠陥とする。発電用原子力設備規格維持規格（以下、JSME 維持規格）の EB-1320 の第二段階の欠陥評価に基づき、蒸気発生器入口セーフエンド部の周方向欠陥の健全性評価を実施する。当部位の運転中の応力分布は、引張応力から圧縮応力に変化するため、SCC による進展は停留すると考えられることから、停留した欠陥深さから疲労によるき裂進展評価を実施する。破壊評価は、評価末期の欠陥に対して、極限荷重法を用いて実施する。評価フローを図1に示す。

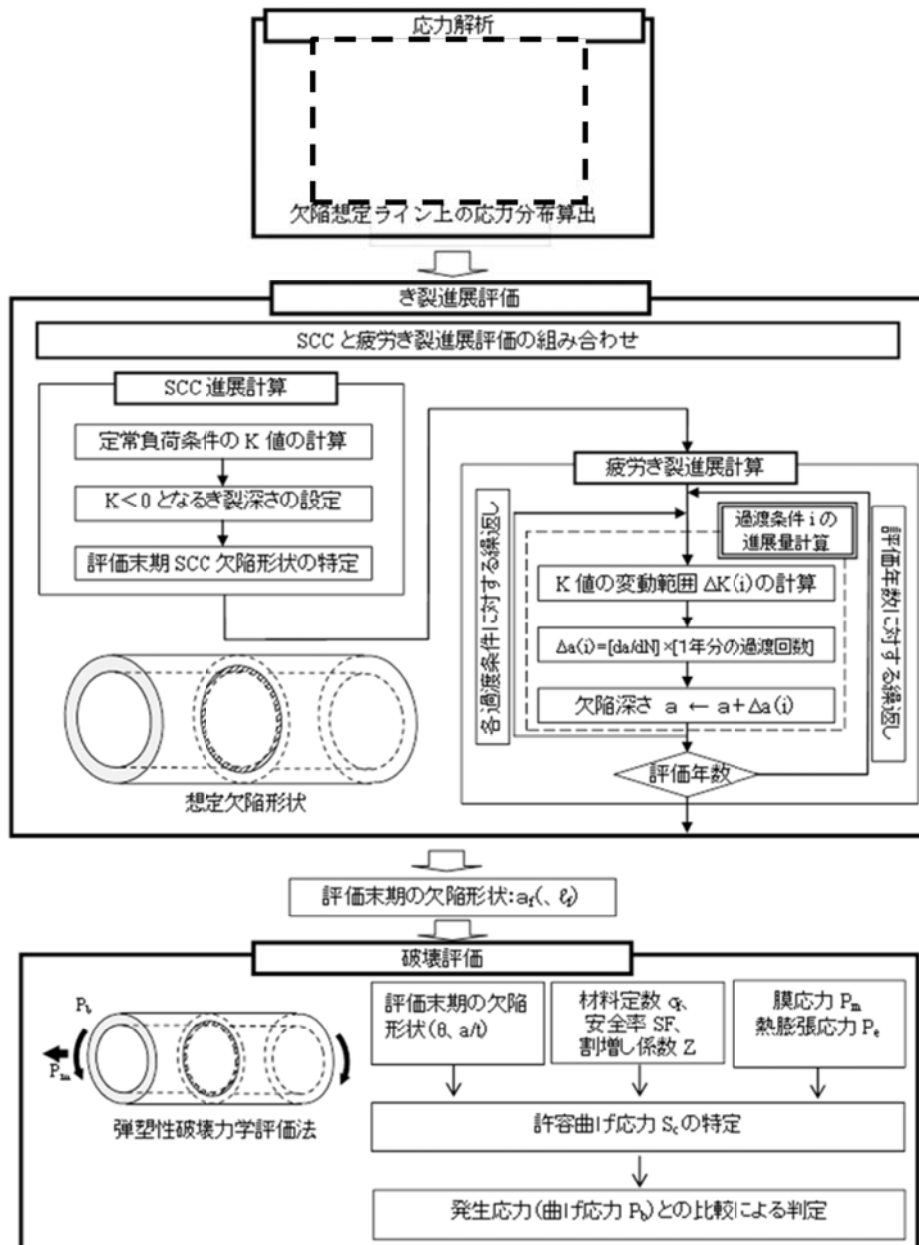


図1 評価フロー

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 解析モデル

セーフエンドの主要形状寸法を表1に、評価対象の構造を図2に示す。評価用荷重条件は、JSME維持規格「添付 E-7」より定常負荷条件とする。定常負荷条件で発生する応力は、溶接時残留応力、出力運転時の内圧および熱荷重による応力、機械的荷重による応力である。なお、欠陥想定ライン上の応力分布算出のうち溶接時残留応力は、蒸気発生器管台セーフエンド部のニッケル基合金溶接部の溶接過程を模擬した FEM 弾塑性解析により求めたものを用いた。内圧及び熱による応力は定常運転時の内圧と温度より FEM 弾性解析により求めたものを用いた。

表1 主要形状寸法

部位	外径 Do (mm)	内径 (mm)	板厚 t (mm)
入口管台			

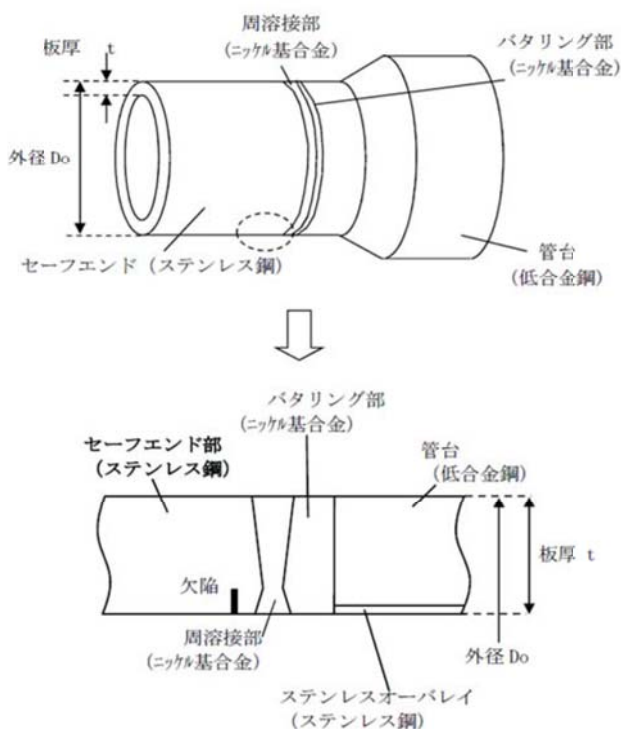


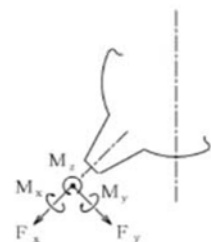
図2 評価対象構造

3. 評価条件

評価に用いた機械的荷重 (外荷重) 条件を表2、疲労進展評価に考慮した過渡条件を表3、破壊評価に考慮した条件を表4に示す。

表2 荷重条件

荷重の種類	軸力 (kN)			曲げモーメント (kN・m)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
自重						
熱膨張						
管台 反力	S_s 地震時					
	S_d 地震時					



(注) Z軸は手前方向である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表3 疲労進展評価時の過渡条件（供用状態 A 及び B、並びに 地震荷重）

供用状態	過渡条件	PLM 評価用過渡回数 (プラント供用 60 年想定)	
A	起動	-	
	停止		
	負荷上昇（負荷上昇率 5%/min）		
	負荷減少（負荷減少率 5%/min）		
	90%から 100%へのステップ状負荷上昇		
	100%から 90%へのステップ状負荷減少		
	100%からの大きいステップ状負荷減少		
	定常負荷運転時の変動		
	燃料交換		
	0%から 15%への負荷上昇		
	15%から 0%への負荷減少		
	1 ループ停止		
	1 ループ起動		
	B		負荷の喪失
外部電源喪失			
1 次冷却材流量の部分喪失			
100%からの 原子炉トリップ		不注意な冷却を伴わないトリップ	
		不注意な冷却を伴うトリップ	
		不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	
1 次冷却系の異常な減圧			
制御棒クラスタの落下			
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動			
1 次冷却系停止ループの誤起動			
タービン回転試験			
1 次系漏えい試験			
地震	S _d *の 1/3 の地震力	-	

*：プラント使用 60 年到達時点（SG 取替後の想定使用年数（39 年）到達時点）で考慮する回数。
 なお、地震回数は下記のとおり算出した。

- ・ 1/3 S_d 地震の頻度：1 回/10 年
 - ・ 地震 1 回あたりの等価繰り返し回数：1 回/地震 1 回
 - ・ 使用期間：39 年
- 以上より、地震回数は、1 回 ⇒ 安全側に 1 回と想定した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表4 破壊評価用条件

供用状態		供用状態 C&D	
温度 T(°C)			
設計応力強さ S _m (MPa)			
流動応力 σ _f (MPa) (=2.7S _m)			
周方向欠陥用 応力	膜応力 P _m (MPa)		
	曲げ応力 P _b (MPa)		
	熱膨張応力 P _c (MPa)		
	地震	S _s (S _s -1)	膜応力 P _m (MPa) 曲げ応力 P _b (MPa)
最大合計	膜応力 P _m (MPa)		
	曲げ応力 P _b (MPa)		
	熱膨張応力 P _c (MPa)		

(注) 供用状態 C&D の膜応力及び曲げ応力は、供用状態 C&D の過渡条件を包絡する圧力（最高使用圧力を 1.1 倍した圧力）に対するものを適用した。

4. SCC による進展評価

SCC によるき裂進展は、JSME 維持規格 EB-4352 の考え方に基づいて実施した。き裂は保守側に全周内表面欠陥とし、溶接部境界から 10mm 以内のステンレス鋼母材部に想定した。SCC 進展評価用応力拡大係数算出式として、JSME 維持規格の EB-4360 に基づき、添付 E-5 5.3(4)a 項の周方向全周内表面欠陥の式を使用する。

$$K = \left[(\sigma_0 + \sigma_p)G_0 + \sigma_1 G_1 \left(\frac{a}{t}\right) + \sigma_2 G_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + \sigma_3 G_3 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + \sigma_4 G_4 \left(\frac{a}{t}\right)^4 + \sigma_{bg} G_{bg} \right] \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (3-1)$$

σ₀, σ₁, σ₂, σ₃, σ₄, σ_p : 板厚方向の応力分布を(3-2)式の四次多項式で与えた時の係数。σ_p は、内圧が円筒内表面の欠陥に働く場合 p, それ以外は 0 とする。

σ_{bg} : 断面曲げ応力

$$\sigma(x) = \sigma_0 + \sigma_1 \left(\frac{x}{t}\right) + \sigma_2 \left(\frac{x}{t}\right)^2 + \sigma_3 \left(\frac{x}{t}\right)^3 + \sigma_4 \left(\frac{x}{t}\right)^4 \dots\dots\dots (3-2)$$

a : 欠陥深さ

t : 板厚

x : き裂表面からの距離 0 ≤ x ≤ t

G₀, G₁, G₂, G₃, G₄, G_{bg} : 管厚比 Ri/t および欠陥深さ a/t から決定される補正係数。周方向全周表面欠陥に対する表添付 E-5-13 を用いて Ri/t, a/t で補間。

R_i : 内半径

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

なお、当該部においては運転中の板厚内応力分布計算結果（図3）から、内表面の引張応力から圧縮応力に転じ、応力拡大係数 $K < 0$ となる欠陥深さで SCC による進展が停留すると考えられることから、 $K=0$ となる深さを SCC による進展深さとした（図4）。



図3 運転中の応力分布



図4 き裂深さと応力拡大係数（SCC）

5. 疲労による進展評価

疲労によるき裂進展は、JSME 維持規格 EB-4351 に基づいて実施した。疲労き裂進展速度は、JSME 維持規格の添付 E-2 4.1(2)b 項に示されるオーステナイト系ステンレス鋼の PWR 一次系水質環境中の疲労き裂進展速度線図を用いて評価を実施する。

$$da/dN = 4.35 \times 10^{-13} T_c^{0.63} tr^{0.33} \Delta K^{3.0} / (1-R)^{1.56} \dots \dots \dots (3-3)$$

- ただし、 da/dN : 疲労き裂進展速度 (m/cycle)
- ΔK : 応力拡大係数の範囲 ($MPa\sqrt{m}$)
($\Delta K = K_{max} - K_{min}$: $R \geq 0$ 、 $\Delta K = K_{max}$: $R < 0$)
- T_c : 温度 ($^{\circ}C$)
- tr : 負荷上昇時間 (秒)
($tr < 1$ の場合は $tr=1$ 、 tr が定義できない場合は $tr=1000$)
- R : 応力比 = K_{min}/K_{max} ($R < 0$ のときは、 $R=0$ とする)
- K_{min} 、 K_{max} : 応力拡大係数の最小、最大

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

き裂は前章で求めた SCC によるき裂形状から、プラント供用 60 年時点（蒸気発生器取替後 39 年間）までの疲労によるき裂進展を算出した。評価結果を図 5 及び表 5 に示す。



図 5 疲労によるき裂進展評価結果

表 5 プラント供用 60 年時点における欠陥形状

	初期欠陥深さ a ₀ (mm)	疲労欠陥 評価年数	欠陥深さ a (mm)	欠陥角度 2θ (°)
入口管台		39 年		360

6. 破壊評価結果

破壊評価は、JSME 維持規格 EB-4440 に基づいて実施した。破壊評価は、セーフエンド部のオーステナイト系ステンレス鋼管の評価末期の周方向欠陥に対して、弾塑性破壊力学法を用いた。評価方法は「事例規格 周方向欠陥に対する許容欠陥角度の制限の代替規定、NA-CC-002、2005、日本機械学会」にて欠陥角度 2θ>60°の欠陥にも適用可能な以下評価式を用いた。なお、安全率 SF については、PLM耐震評価における欠陥は、実際に生じているものではなく、あくまで想定であることから、JSME 維持規格で記載される周方向欠陥（許容状態 C&D）の評価に使用する SF:1.39 を考慮する必要はないと考えるが、ここでは安全側に考慮することとした。

$$\beta \leq \pi - \theta \text{ の場合 } P_b' = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 \sin \beta - \frac{a}{t} \sin \theta \right)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\pi - \frac{a}{t} \theta - \pi \frac{P_m}{\sigma_f} \right)$$

$$\beta > \pi - \theta \text{ の場合 } P_b' = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 - \frac{a}{t} \right) \sin \beta$$

$$\beta = \frac{\pi}{2 - a/t} \left(1 - \frac{a}{t} - \frac{P_m}{\sigma_f} \right)$$

$$\text{塑性崩壊の曲げ応力 } P_b' = Z (SF) \left(P_m + P_b + \frac{P_e}{(SF)} \right) - P_m$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

- ただし、 t : 板厚 [mm]
 a : 評価期間末期の欠陥深さ [mm]
 σ_r : 流動応力 (実測降伏点と引張強さの平均、または $2.7S_m$)
 S_m : 設計応力強さ
 β : 周方向欠陥付き管の中立軸に対応する角度
 SF : 安全率 周方向欠陥のとき = 1.39 (許容状態 C&D)
 P_b' : 欠陥形状で表した塑性崩壊曲げ応力
 θ : 周方向欠陥半長に対応する角度 (欠陥角度) = π rad
 P_m : 一次一般膜応力
 P_b : 一次曲げ応力
 P_e : 熱膨脹応力
 Z : Z 係数 (割増し係数)

許容曲げ応力は次式となる。

$$S_c = \frac{1}{SF} \left(\frac{P_b'}{Z} - P_e \right) - P_m \left(1 - \frac{1}{Z \cdot SF} \right)$$

ただし、




前章で求めたプラント供用 60 年時点 (39 年後) のき裂に対する、 S_8 地震時の発生応力及び許容曲げ応力を算出した結果を表 6 に示す。評価部位に作用する曲げ応力は許容曲げ応力以下であることから、SCC に対する耐震安全性は問題ない。

表 6 プラント供用 60 年時点の欠陥形状に対する破壊評価結果

部位	評価き裂 深さ (mm)	安全率	曲げ応力 P_b (MPa)	許容曲げ 応力 S_c (MPa)	応力比 (P_b / S_c)
入口管台		1.39 (供用状態 C&D)			0.53

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	原子炉容器の中性子照射脆化（関連温度上昇）に対する耐震安全性評価について
説明	<p>原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価は、工認の審査状況を踏まえ、燃料集合体の減衰定数を1%とした評価結果を以下に示す。</p> <p>【想定き裂深さ10mmでの評価】 JEAC4206-2007「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」では、加圧熱衝撃評価を実施するにあたって深さ10 mmの想定き裂を設定するように定められている。原子炉容器内表面からの深さ10 mm位置での評価結果を以下に示す。</p> <p>① PTSでの応力評価部位と応力値 PTS事象のK_1上限包絡曲線については、技術評価書「容器－原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故（小破断LOCA）、大破断1次冷却材喪失事故（大破断LOCA）、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対するK_1曲線を上限包絡して示したものの。 K_1値は、原子炉容器胴部に想定欠陥（長さ60 mm、深さ10 mmの半楕円表面欠陥）を仮定し評価している。</p> <p>② Ss地震時の応力評価部位と応力値 Ss地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点（原子炉容器管台ノズル部（図中④）の6.64×10^{10} N・mmを使用している。この曲げモーメントを断面係数（2.60×10^9 mm³）で除して算出した曲げ応力値（σ_b）は25.6 MPa（3.72 ksi）になる。</p> 

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

③ K_{IC} の算出式とその根拠

K_{IC} はJEAC4206-2007の附属書C「供用状態C, Dにおける加圧水型原子炉压力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に基づき、以下の式で計算している。（技術評価書「容器-原子炉容器」参照）

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp\{0.0161(T - T_p)\} \quad (MPa\sqrt{m})$$

④ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線（上記①）に、Ss地震で生じる K_I 値を一律でかさ上げしている。Ss地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥（長さ60 mm、深さ10 mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ t mm）に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. Aの解（作用分布応力を線形近似する場合）を用いて7.18 MPa \sqrt{m} を算出した。

PTS事象の K_I 値はJEAC4206-2007でPTS事象の K_I 値算出に引用されているC. B. Buchalet & W. H. Bamfordの応力拡大係数式（附属図C-2000-1及びC-2000-2の係数を使用）を用いて算出されたものだが、Ss地震で生じる K_I 値の算出に対しては規定がないため、JEAC4206-2007の附属書F「応力拡大係数」にて記載のあるASME Sec. XI App. Aの解（作用分布応力を線形近似する場合）を使用している。

応力拡大係数を計算する際のき裂寸法は、長さ60 mm、深さ10 mmの半楕円表面欠陥である。

Ss地震で生じる K_I 値：7.18の算出過程は以下のとおりである。

JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. Aの解（作用分布応力を線形近似する場合）により、 K_I 値を算出します。想定欠陥のサイズは、

$$\begin{aligned} \text{欠陥深さ} & a = 10\text{mm} = 0.394 \text{ in} \\ \text{欠陥長さ} & l = 60 \text{ mm} \\ \text{母材厚さ} & t = \boxed{\quad} \text{ mm} \end{aligned}$$

附属書表F-3200-1 (1/2) 最深点Aでの係数（添付-1）において、 $a/t = 0.051$ 、 $a/l = 0.167$ より、

$$M_m = G_0 = 1.0921$$

$$G_1 = 0.6773$$

よって、

$$\begin{aligned} q_y &= [(\sigma_m \cdot M_m + A_p \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b) / \sigma_{ys}]^2 / 6 \\ &= [(2.49 \times 1.0921 + 3.72 \times 1.02331) / 44.1]^2 / 6 = 0.00365 \end{aligned}$$

$$\text{ここで } A_p = 17.16 \text{ MPa}^{\ast} = 2.49 \text{ ksi}$$

$$M_b = G_0 - 2(a/t) \quad G_1 = 1.0231$$

$$\sigma_{ys} = 304.3 \text{ MPa} = 44.1 \text{ ksi}$$

$$(T_c = 288.6 \text{ }^\circ\text{C} \text{ における JSME S NC1-2005/2007 の値})$$

$$\sigma_m = 0$$

$$Q = 1 + 4.593(a/l)^{1.65} - q_y = 1.236$$

※：欠陥面にかかる内圧は、PTS事象とし考慮している小破断LOCA、大破断LOCA、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失時の最高圧力を上回る、最高使用圧力（17.16 MPa）を評価に用いている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

以上より、

$$\begin{aligned}
 K_I &= [(\sigma_m + A_p) \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b] \sqrt{\pi a / Q} \\
 &= [2.49 \times 1.0921 + 3.72 \times 1.0231] \sqrt{\pi \times 0.394 / 1.236} \\
 &= 6.53 \text{ ksi} \sqrt{\text{in}} = 7.18 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}
 \end{aligned}$$

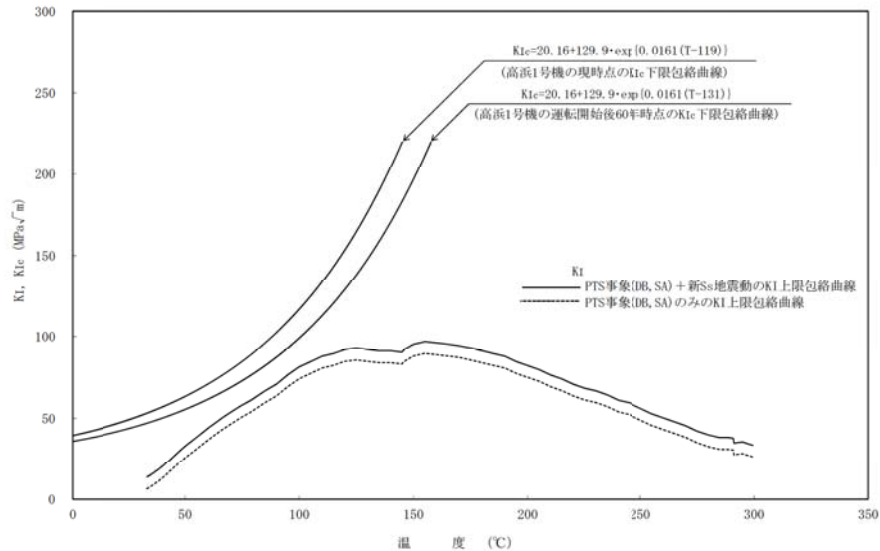


図1 高浜1号機 Ss地震を考慮したPTS評価結果(欠陥深さ10 mm)
(燃料集合体の減衰定数を1%とした評価)

【想定き裂深さ5mmでの評価】

運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検の結果を踏まえて、想定き裂深さを5mmとした評価も実施している。原子炉容器内表面からの深さ5mm位置での評価結果を以下に示す。

① PTSでの応力評価部位と応力値

PTS事象の K_I 上限包絡曲線については、技術評価書「容器—原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故(小破断LOCA)、大破断1次冷却材喪失事故(大破断LOCA)、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対する K_I 曲線を上限包絡して示したものの、 K_I 値は、特別点検の結果を踏まえ、原子炉容器胴部に想定欠陥(長さ30mm、深さ5mmの半楕円表面欠陥)を仮定し評価している。

② Ss地震時の応力評価部位と応力値

Ss地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点(原子炉容器管台ノズル部(図中④))の $6.64 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$ を使用している。この曲げモーメントを断面係数($2.60 \times 10^9 \text{ mm}^3$)で除して算出した曲げ応力値(σ_b)は25.6 MPa (3.72 ksi)になる。

③ K_{IC} の算出式とその根拠

K_{IC} はJEAC4206-2007の附属書C「供用状態C, Dにおける加圧水型原子炉压力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に基づき、以下の式で計算している。(技術評価書「容器—原子炉容器」参照)

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp\{0.0161(T - T_p)\} \text{ (MPa} \sqrt{\text{m}})$$

④ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線(上記①)に、Ss地震動で生じる K_I 値を一律でかさ上げしている。Ss地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥(長さ30 mm、深さ5 mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ \square mm)に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. Aの解(作用分布応力を線形近似する場合)を用いて $5.18 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ を算出した。

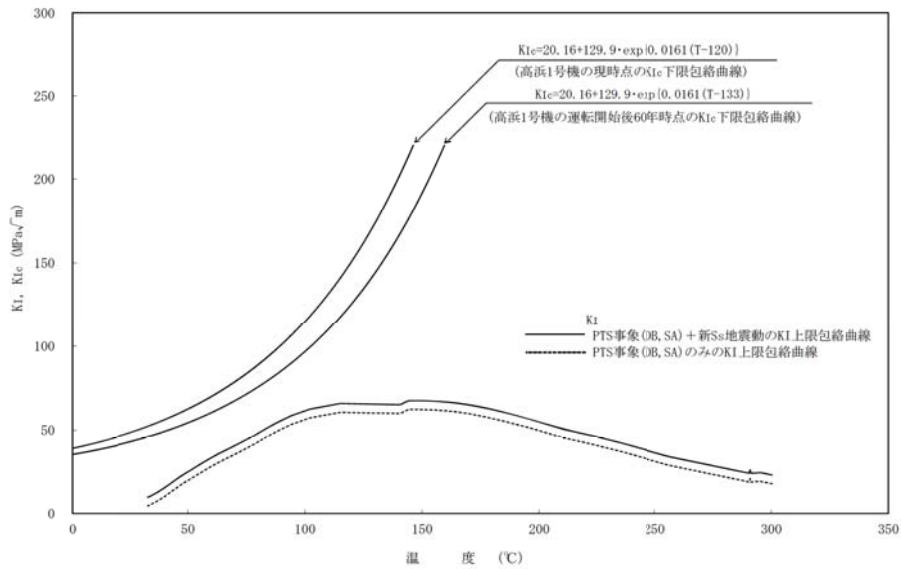


図2 高浜1号機 Ss地震を考慮したPTS評価結果(欠陥深さ5 mm)
(燃料集合体の減衰定数を1%とした評価)

以上を踏まえて、耐震安全性評価書には深さ10 mmの想定き裂の評価結果、あわせて深さ5 mmの想定き裂の評価結果を併記している。

以上の結果より、運転開始後60年時点での K_{Ic} 下限包絡曲線とPTS事象にSs地震を考慮した K_I を比較すると、両曲線は交差することなく、 $K_{Ic} > K_I$ は満足され、原子炉容器の中性子照射による関連温度上昇は、耐震安全性評価上問題ないことを確認した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

附属書表 F-3200-1 (1/2) 最深点 A での係数

		Uniform G_0					
		a / ℓ					
a / t		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.00		1.1208	1.0969	1.0856	1.0727	1.0564	1.0366
0.05		1.1461	1.1000	1.0879	1.0740	1.0575	1.0373
0.10		1.1945	1.1152	1.0947	1.0779	1.0609	1.0396
0.15		1.2670	1.1402	1.1058	1.0842	1.0664	1.0432
0.20		1.3654	1.1744	1.1210	1.0928	1.0739	1.0482
0.25		1.4929	1.2170	1.1399	1.1035	1.0832	1.0543
0.30		1.6539	1.2670	1.1621	1.1160	1.0960	1.0614
0.40		2.1068	1.3840	1.2135	1.1448	1.1190	1.0772
0.50		2.8254	1.5128	1.2693	1.1757	1.1457	1.0931
0.60		4.0420	1.6372	1.3216	1.2039	1.1699	1.1058
0.70		6.3743	1.7373	1.3610	1.2237	1.1868	1.1112
0.80		11.991	1.7899	1.3761	1.2285	1.1902	1.1045

5mm 時
 $a/t=0.025$
 $a/l=0.167$
 $G_0=1.0907$

10mm 時
 $a/t=0.051$
 $a/l=0.167$
 $G_0=1.0921$

		Linear G_1					
		a / ℓ					
a / t		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.00		0.7622	0.6635	0.6826	0.7019	0.7214	0.7411
0.05		0.7624	0.6651	0.6833	0.7022	0.7216	0.7413
0.10		0.7732	0.6700	0.6855	0.7031	0.7221	0.7418
0.15		0.7945	0.6780	0.6890	0.7046	0.7230	0.7426
0.20		0.8267	0.6891	0.6939	0.7067	0.7243	0.7420
0.25		0.8706	0.7029	0.7000	0.7094	0.7260	0.7451
0.30		0.9276	0.7193	0.7073	0.7126	0.7282	0.7468
0.40		1.0907	0.7584	0.7249	0.7209	0.7338	0.7511
0.50		1.3501	0.8029	0.7454	0.7314	0.7417	0.7566
0.60		1.7863	0.8488	0.7671	0.7441	0.7520	0.7631
0.70		2.6125	0.8908	0.7882	0.7588	0.7653	0.7707
0.80		4.5727	0.9288	0.8063	0.7753	0.7822	0.7792

5mm 時
 $a/t=0.025$
 $a/l=0.167$
 $G_0=0.6768$

10mm 時
 $a/t=0.051$
 $a/l=0.167$
 $G_1=0.6773$

タイトル	原子炉容器の中性子照射脆化（上部棚吸収エネルギーの低下）に対する耐震安全性評価について
説明	<p>原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価は、工認の審査状況を踏まえ燃料集合体の減衰定数 1%とした評価結果を以下に示す。</p> <p>1. 弾塑性破壊力学評価</p> <p>(1) J_{mat} の算出 欠陥深さ a に対する上部棚破壊靱性 J_{mat} は次式で評価している。 $J_{mat} = M_j \cdot C_1 \cdot \Delta a^{C_2}$ $M_j = 0.863$ [供用状態 A, B] $C_1 = \exp\{0.147 + 2.64 \cdot \log(\text{USE 調整値}) - 0.00087 \cdot T\}$ $C_2 = -0.549 + 0.383 \cdot \log(C_1)$ USE 調整値：60 年運転時点における 1/4t 深さでの値 (=65J) T：評価位置での温度 (=288.6 °C) (出典：JEAC4206-2007 附属書 G G-3200)</p> <p>本評価に用いた想定き裂は、周方向欠陥を想定する。なお、想定き裂はアスペクト比一定とし、き裂深さ：き裂長さ = 1：6 としている。</p> <p>(2) J_{app} の算出 欠陥深さ a に対するき裂進展力 J_{app} は次式、及び表 1 の評価条件を基に評価している。 $J_{app} = 1000 \cdot (K_I')^2 / E'$</p> $K_I' = \sqrt{\frac{a_e}{a}} \cdot K_I$ $a_e = a + \left(\frac{1000}{6\pi} \right) \cdot \left[\frac{K_I}{\sigma_y} \right]^2$ <p>σ_y：降伏応力 (MPa) $K_I = 0.961(K_{IP}^e + K_{I-S2}^e) + 0.961C \cdot K_{II}^e$ $C = 1.0 - \{-0.159(a/t) + 0.155\}(\sigma_t / \sigma_{total})$ ただし、C の下限は次式とする。 $C = 1.0 - 0.12 \cdot (\sigma_t / \sigma_{total})$ σ_t：欠陥深さ位置の熱応力 (MPa)、 σ_{total}：欠陥深さ位置の応力 (Ss 地震力含む) (MPa) t：胴部母材厚さ (mm) K_{IP}^e：内圧応力に対する応力拡大係数 K_{II}^e：熱応力に対する応力拡大係数 K_{I-S2}^e：Ss 地震力に対する応力拡大係数 (出典：JEAC4206-2007 附属書 G G-6200)</p>

※ K_{IP}^e 及び K_{IT}^e は、ASME Code Section XI, Appendix A の解（作用分布応力を多項式近似する場合）により算出する。

K_{I-S2}^e は、ASME Code Section XI, Appendix A の解（作用分応力を線形近似する場合）により算出する。

表1 評価に使用した各条件

仮想欠陥 ^{※1※2}	内圧 ^{※4}	温度過渡 ^{※3}	地震 ^{※4}
深さ \sqrt{a} mm (1/4t) 長さ $\sqrt{2a}$ mm (1.5t)	18.88 (MPa) 一定 (最高使用圧力の 1.1 倍)	55.6 °C/h (停止までの下降率)	25.6 (MPa) (Ss-1 地震時の曲げ応力)

※1: tは原子炉容器胴部の板厚

※2: 欠陥の想定位置は、別紙2におけるPTS評価部位(炉心領域モデル④番部位)と同じ位置

※3: 温度過渡から求める α 、 K_{IT} は一定値ではなく過渡に伴う変数となります。 $\Delta a = 0\text{mm}, 1\text{mm}, 2\text{mm}, 2.5\text{mm}, 3\text{mm}$ において、それぞれの、 α 及び K_{IT} の履歴をもとに算出した J_{app} 値の履歴のうち最大値となる J_{app} を評価値とする。

※4: $\Delta a = 0\text{mm}, 1\text{mm}, 2\text{mm}, 2.5\text{mm}, 3\text{mm}$ における、それぞれの、 K_{IP} および K_{I-Ss} を表 2 に示す。

表2 各想定欠陥深さにおける内圧による応力拡大係数 K_{IP} 及び
Ss 地震による応力拡大係数 K_{I-Ss}

Δa [mm]	内圧による応力拡大係数 K_{IP} [MPa \sqrt{m}]	Ss 地震による応力拡大係数 K_{I-Ss} [MPa \sqrt{m}]
0	56.74	7.37
1	57.47	7.41
2	58.20	7.44
2.5	58.56	7.46
3	58.92	7.47

(算出に必要な条件)

【RV 寸法】

内半径：1994mm (クラッド内面)、1999.5mm (母材内面)

母材板厚： \sqrt{a} mm

【熱伝導率、熱拡散率】

ASME Sec II Part D の Table TCD を使用 (母材: Group C、クラッド: Group J)

【縦弾性係数】

母材： 1.84×10^{11} Pa

【熱膨張係数】

母材： 15.05×10^{-6} mm/mm $^{\circ}\text{C}$

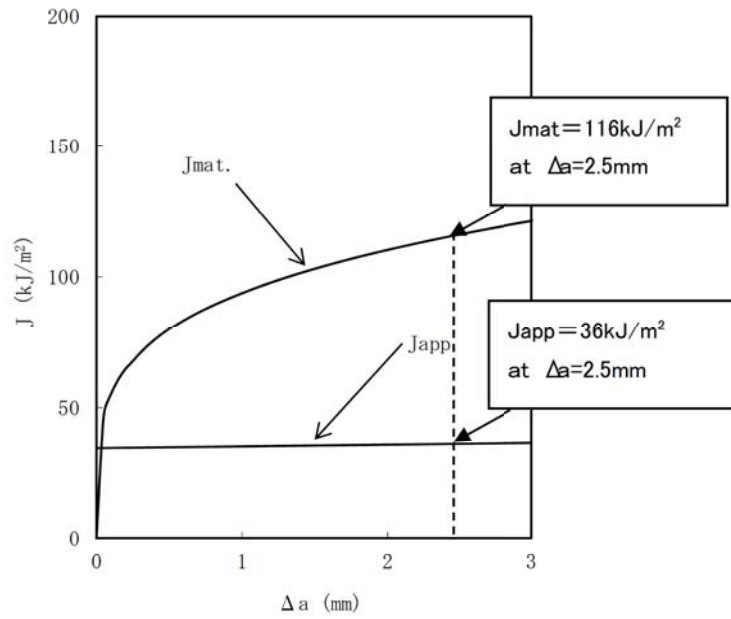
【ポアソン比】

0.3

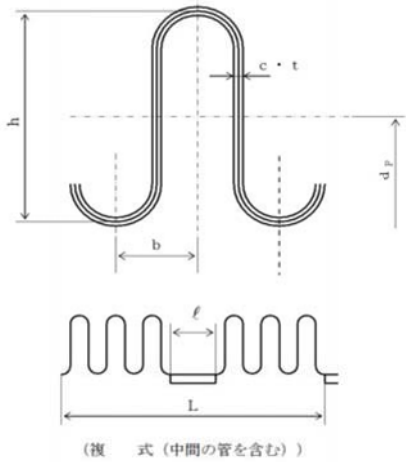
【降伏応力 σ_y 】

304 MPa (母材の低温側配管の冷却材温度 (288.6 °C) での値)

(3) 評価結果
評価結果を下図に示す。



高浜1号 Ss地震を考慮した供用状態A, Bに対するき裂安定性評価結果
(燃料集合体の減衰定数を1%とした評価)

<p>タイトル</p>	<p>主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価について</p>																																																																								
<p>説明</p>	<p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表 1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="406 533 1311 1276"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定 義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの 2 分の 1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_p</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径 (平均径)</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度における JSME S NCI-2005/2007 付録図表 Part 6 表 11 に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の 1 山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>ℓ</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手の波数の 2 倍の値 (1 波の継手にあつては 2)</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>—</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W_N</td> <td>—</td> <td>1 個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量 (表 3 における X の 2 倍 (両振幅))</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量 (表 3 における $\delta y = \sqrt{(y^2 + z^2)}$ の 2 倍 (両振幅))</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図 1 に示す。</p>  <p style="text-align: center;">(複 式 (中間の管を含む))</p> <p style="text-align: center;">図 1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定 義	b	mm	継手部の波のピッチの 2 分の 1	c	—	継手部の層数	d_p	mm	継手部の有効径 (平均径)	E	MPa	最高使用温度における JSME S NCI-2005/2007 付録図表 Part 6 表 11 に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の 1 山当たりの総変位量	e_x	mm	軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量	e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	L	mm	継手部の有効長さ	ℓ	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数	n	—	継手の波数の 2 倍の値 (1 波の継手にあつては 2)	P	MPa	最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	U	—	疲れ係数	UF	—	疲れ累積係数	W_N	—	1 個の継手部の山数	X	mm	軸方向変位量 (表 3 における X の 2 倍 (両振幅))	Y	mm	軸直角方向変位量 (表 3 における $\delta y = \sqrt{(y^2 + z^2)}$ の 2 倍 (両振幅))	δ	mm	全伸縮量	σ	MPa	合計応力	σ_D	MPa	全伸縮量による応力	σ_P	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定 義																																																																							
b	mm	継手部の波のピッチの 2 分の 1																																																																							
c	—	継手部の層数																																																																							
d_p	mm	継手部の有効径 (平均径)																																																																							
E	MPa	最高使用温度における JSME S NCI-2005/2007 付録図表 Part 6 表 11 に規定する材料の縦弾性係数																																																																							
e	mm	継手部の 1 山当たりの総変位量																																																																							
e_x	mm	軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量																																																																							
e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量																																																																							
h	mm	継手部の波の高さ																																																																							
L	mm	継手部の有効長さ																																																																							
ℓ	mm	中間の管の長さ																																																																							
N	—	許容繰返し回数																																																																							
n	—	継手の波数の 2 倍の値 (1 波の継手にあつては 2)																																																																							
P	MPa	最高使用圧力																																																																							
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																							
U	—	疲れ係数																																																																							
UF	—	疲れ累積係数																																																																							
W_N	—	1 個の継手部の山数																																																																							
X	mm	軸方向変位量 (表 3 における X の 2 倍 (両振幅))																																																																							
Y	mm	軸直角方向変位量 (表 3 における $\delta y = \sqrt{(y^2 + z^2)}$ の 2 倍 (両振幅))																																																																							
δ	mm	全伸縮量																																																																							
σ	MPa	合計応力																																																																							
σ_D	MPa	全伸縮量による応力																																																																							
σ_P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																							

2. 評価部位

評価する伸縮継手は、技術評価で厳しい系統とし、主蒸気配管はCループ（改造なし）、主給水配管はBループ（改造あり）とする。図2にC-主蒸気配管、図3にB-主給水配管の伸縮継手の模式図を示す。

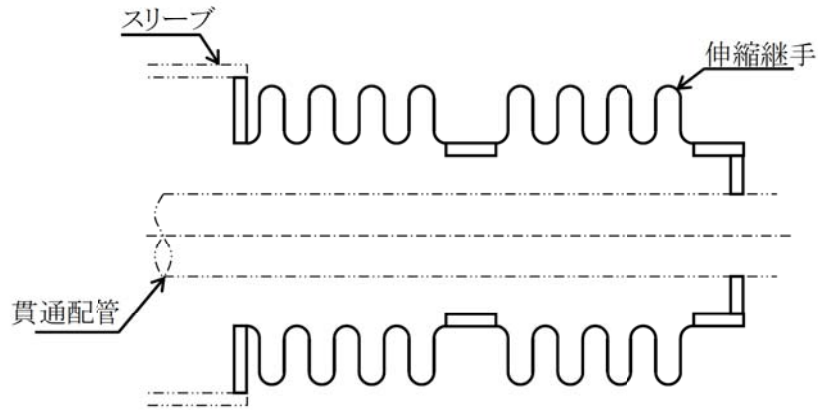


図2 C-主蒸気配管(改造なし)

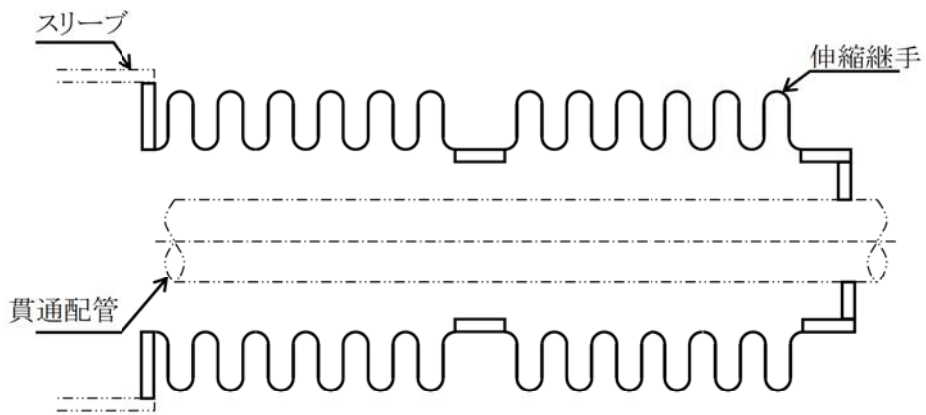


図3 B-主給水配管(改造あり)

評価部位は、図4に示す伸縮継手の頂部とする。

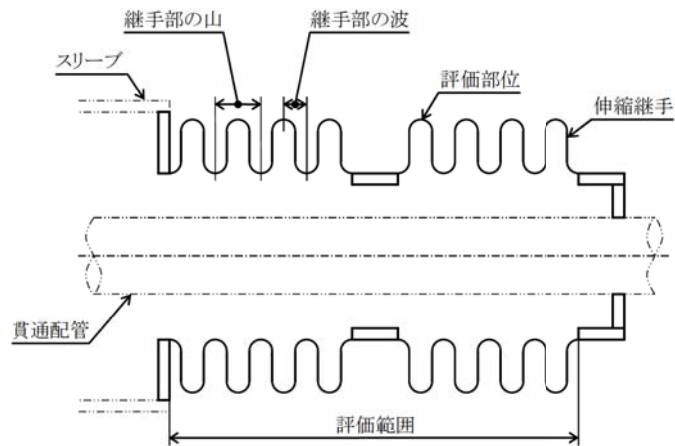


図4 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表 2 に示す。

表 2 格納容器貫通部の仕様

配管	原子炉格納容器最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	伸縮継手有効径 (mm)	継手部の波の高さ (mm)	継手部の波のピッチの 2分の1 (mm)	継手部の板の厚さ (mm)	伸縮継手 1個の山数	継手部の長さ (mm)	材料	ヤング率 (MPa)	様式伸縮継手の長さ (mm)		
											中心間距離 A	中間の管の長さ T	伸縮継手の長さ L
主蒸気配管格納容器貫通部	0261												
主給水配管格納容器貫通部	0261												

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表 3 に示す。

表 3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

表 3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

注：表 3 に示す座標系は、格納容器半径方向をx方向、鉛直方向をz方向とする右手直交座標系であり、表 1 に示すX、Yとは異なるものである。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価用繰返し回数と許容繰返し回数の比（疲れ累積係数）を算出する（日本機械学会 設計・建設規格「PVE-3800 伸縮継手」参照）。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

(b) 軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$e_y = \frac{3 d_P Y}{2 W_N \left\{ L + \ell \left(\frac{\ell}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の 1 山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5 E t \delta}{n \sqrt{b h^3}}$$

注：ヤング率Eについては、表2における高温時の値ではなく、常温（21℃）におけるヤング率195,000(MPa)を用いる。

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{P h^2}{2 t^2 c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

(b) 許容繰返し回数

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

(c) 疲れ累積係数

$$U F = \Sigma \frac{\text{評価用繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示す。

表4 Ss地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.200
主給水ライン貫通部				0.005

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示す。

表5 Sd地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.031
主給水ライン貫通部				0.002

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果

通常運転時のUFを加えた結果を表6及び表7に示す。

表6 Ss地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Ss地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.008	0.200	0.208
主給水ライン貫通部	0.033	0.005	0.038









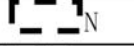
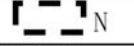





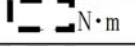


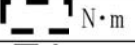
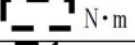
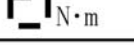

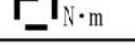
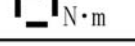









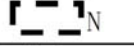
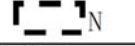
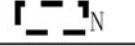
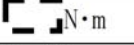




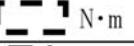
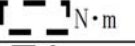
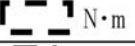
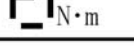











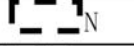
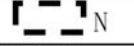





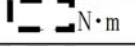


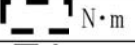
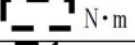
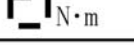

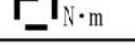
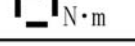









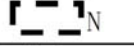
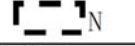
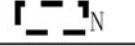
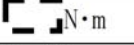




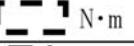
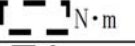
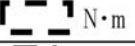
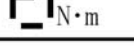











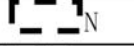
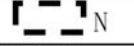





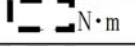


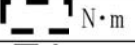
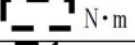
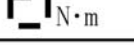

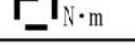
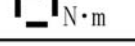









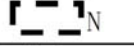
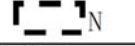
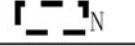
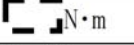




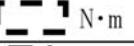
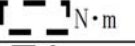
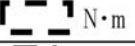
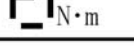



表7 Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Sd地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.008	0.031	0.039
主給水ライン貫通部	0.033	0.002	0.035

以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	余熱除去系統配管のアンカーサポート取付部の疲労割れに対する評価について																																																																														
説明	<p>余熱除去系統配管のアンカーサポートにかかる荷重をもとに、各応力を算出した過程は以下のとおり。また、サポートの位置を添付-1の系統図、アイソメ図に示す。</p> <p>1. 評価用荷重の算出</p> <p>配管を3次元梁モデル化してS_s、S_d地震時の支持点荷重をスペクトルモード解析にて算出している。評価部位はサポートラグ（固定点）であり、隣接する解析ブロックとの境界部になる。この為、両ブロックの解析結果から得られた荷重を合成し、評価用荷重とする。さらに、当該アンカーサポートをモデル化し、算出された評価用荷重を用いて評価対象部位の部材力を算出した結果を表1、表2に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 評価用荷重 (S_s: 部材力)</p> <table border="1" data-bbox="432 920 1329 1301"> <thead> <tr> <th rowspan="2">方向</th> <th colspan="2">配管とラグ</th> <th colspan="2">ラグと底板</th> </tr> <tr> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F_x</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> </tr> <tr> <td>F_y</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> </tr> <tr> <td>F_z</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> </tr> <tr> <td>M_x</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> </tr> <tr> <td>M_y</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> </tr> <tr> <td>M_z</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">表2 評価用荷重 (S_d: 部材力)</p> <table border="1" data-bbox="432 1379 1329 1760"> <thead> <tr> <th rowspan="2">方向</th> <th colspan="2">配管とラグ</th> <th colspan="2">ラグと底板</th> </tr> <tr> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> <th>1次</th> <th>1次+2次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F_x</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> </tr> <tr> <td>F_y</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> </tr> <tr> <td>F_z</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> <td> N</td> </tr> <tr> <td>M_x</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> </tr> <tr> <td>M_y</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> </tr> <tr> <td>M_z</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> <td> N·m</td> </tr> </tbody> </table>	方向	配管とラグ		ラグと底板		1次	1次+2次	1次	1次+2次	F_x	 N	 N	 N	 N	F_y	 N	 N	 N	 N	F_z	 N	 N	 N	 N	M_x	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m	M_y	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m	M_z	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m	方向	配管とラグ		ラグと底板		1次	1次+2次	1次	1次+2次	F_x	 N	 N	 N	 N	F_y	 N	 N	 N	 N	F_z	 N	 N	 N	 N	M_x	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m	M_y	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m	M_z	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m
方向	配管とラグ		ラグと底板																																																																												
	1次	1次+2次	1次	1次+2次																																																																											
F_x	 N	 N	 N	 N																																																																											
F_y	 N	 N	 N	 N																																																																											
F_z	 N	 N	 N	 N																																																																											
M_x	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m																																																																											
M_y	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m																																																																											
M_z	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m																																																																											
方向	配管とラグ		ラグと底板																																																																												
	1次	1次+2次	1次	1次+2次																																																																											
F_x	 N	 N	 N	 N																																																																											
F_y	 N	 N	 N	 N																																																																											
F_z	 N	 N	 N	 N																																																																											
M_x	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m																																																																											
M_y	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m																																																																											
M_z	 N·m	 N·m	 N·m	 N·m																																																																											

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 応力の算出

溶接部に発生する応力は、下式で算出している。本評価式は、材料力学に基づく公式をもとにして設定したものであり、設計・建設規格や耐震設計審査指針等に規定されたものではないことから、応力集中係数に係る規定はない。また、支持構造物は、降伏点を許容値としており許容値を厳しくする設計体系となっていることから、発生応力の算出において応力係数を考慮する必要はないと判断している。なお、本評価式により適切な応力が評価できることは、FEM解析により確認し採用している。

$$\sigma_1 = \frac{|Mx| + |Fy| \cdot L}{Z_{wx}} + \frac{|My| + |Fx| \cdot L}{Z_{wy}} + \frac{|Fz|}{A_w}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\left(\frac{Fx}{A_w}\right)^2 + \left(\frac{Fy}{A_w}\right)^2} + \frac{|Mz|}{Z_{wp}}$$

A_w : 溶接部の断面積

Z_{wx} , Z_{wy} , Z_{wp} : 各方向の溶接部の断面係数

L : 荷重作用点から評価部位までの距離

応力評価は、以下の組合せ応力を用いる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\sigma_2^2}$$

3. 評価仕様

評価に用いたデータを以下に示す。

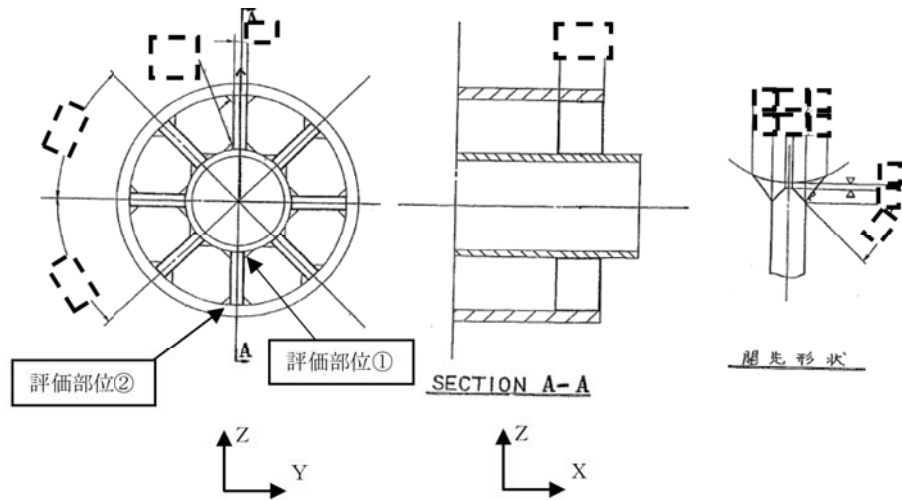


図-1 配管サポートの外形図

表4 諸元表

(単位: mm)

母管 外径	リブの長さ	リブの厚さ	スリーブ外径	スリーブの厚さ
b_1	a	t_1	b_2	t_2

評価部位	L (mm)	A_w (mm^2)	Z_{wx} (mm^3)	Z_{wy} (mm^3)	Z_{wp} (mm^3)
①配管とラグの 溶接部					
②ラグとプレート の溶接部					

(注1) アンカーラグサポートは形状が特殊なため、サポートをモデル化し、評価点(溶接部)での荷重を直接算出して評価を実施しているため、L寸法は評価に使用されていないことから「L=0」としている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 評価結果

各部位の許容応力を表5に、評価結果を表6に示す。発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全上問題ない。

表5 許容応力 (MPa)

部 位		リブ (ラグ)	スリーブ (プレート)
物 性 値	材 質		
	使用温度(°C)		
	F 値		
1 次応力の許容値			
1 次 + 2 次応力の許容値			

表6 (1/2) 配管とラグの溶接部 (評価部位①)

1 次応力 評価	S _S ^(注1)	発生応力		MPa
		許容応力		MPa
1 次 + 2 次 応力評価	S _S ^(注1)	発生応力		MPa
		許容応力		MPa

表6 (2/2) ラグとプレートの溶接部 (評価部位②)

1 次応力 評価	S _S ^(注1)	発生応力		MPa
		許容応力		MPa
1 次 + 2 次 応力評価	S _S ^(注1)	発生応力		MPa
		許容応力		MPa

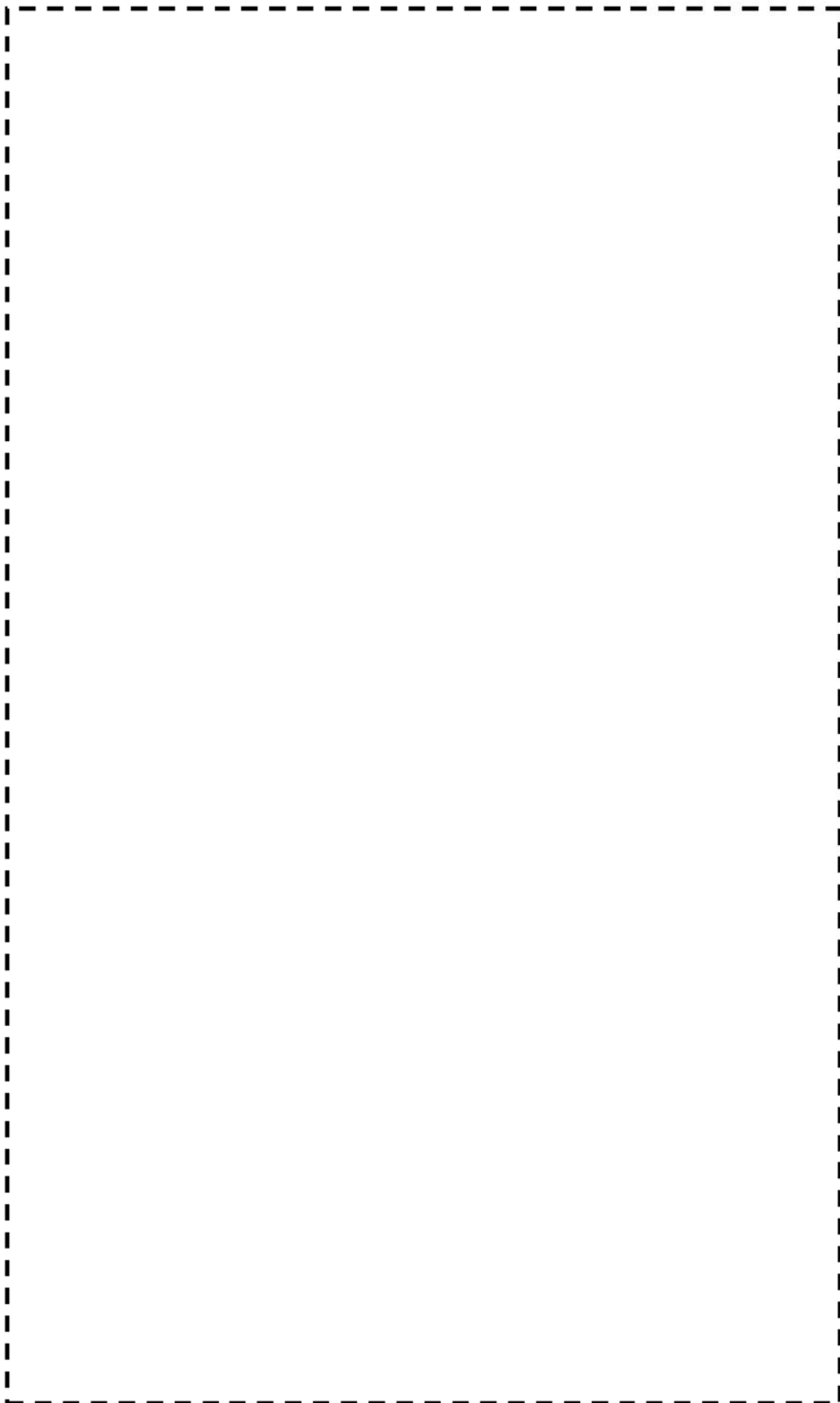
(注1) S_S地震力がS_d地震力および静的地震力より大きく、S_S地震力による評価応力が共用状態C_sの許容応力を下回るため、S_d地震力および静的地震力による評価を省略する。

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

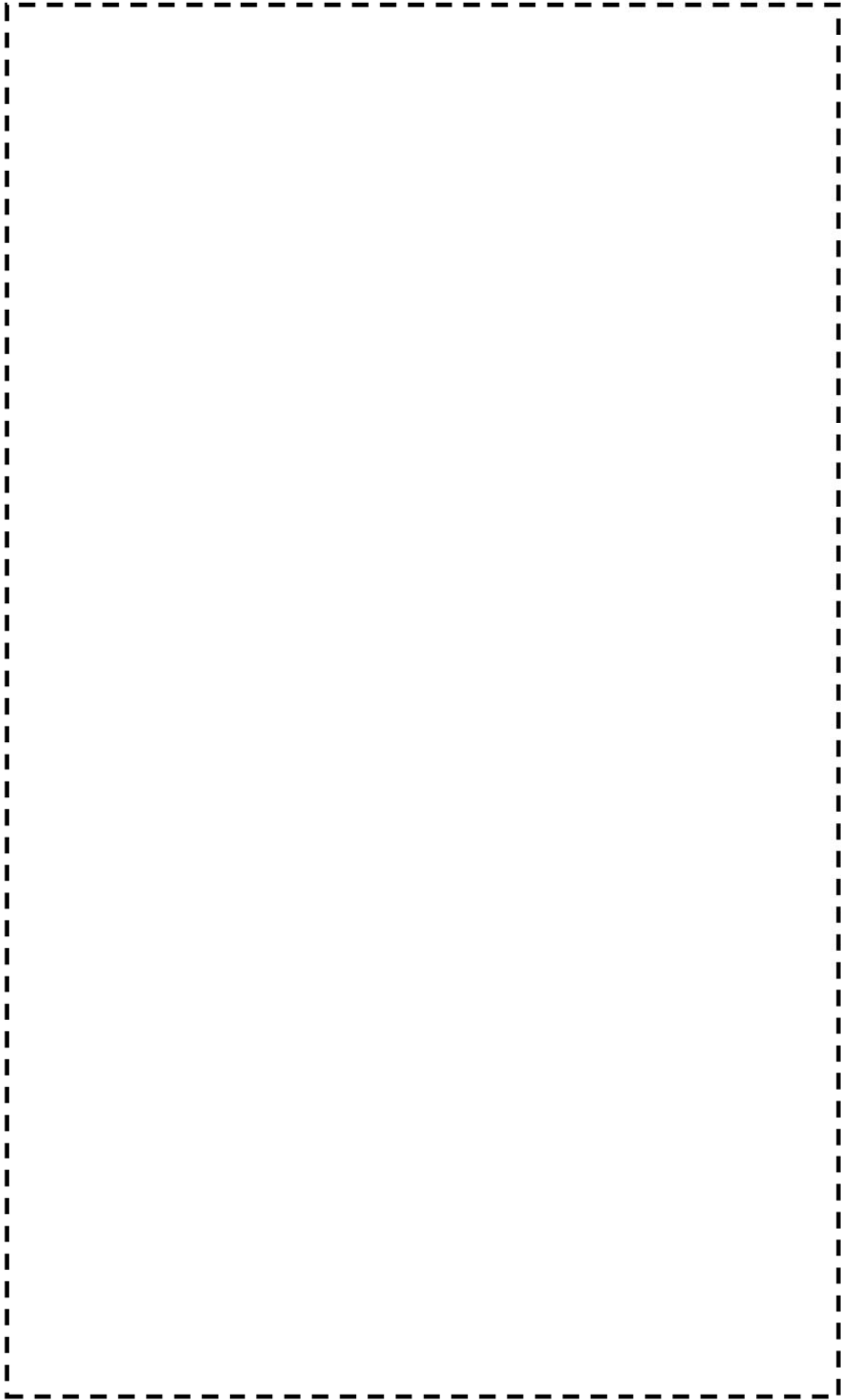
高浜 1 号機 余熱除去系統図 (評価対象アンカーサポートの設置位置)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜 1 号機 余熱除去系統配管 (A-余熱除去クローラ出口配管 (PEN側))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜 1 号機 余熱除去系統配管 (B-余熱除去クーラ出口配管 (PEN側))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜 1 号機 余熱除去系統配管サポートの疲労評価について

1. 評価対象サポート

高浜 1 号機については、余熱除去系統配管サポートのうち、3 方向の変位及びモーメントを拘束する 8 個のアンカーサポートについて評価を実施している。その結果、応力比の大きい [] 及び [] の評価結果を技術評価側に記載し、耐震評価については、特に応力比の大きい [] に対する評価を行っている。

なお、[] と [] は、それぞれ図 1 に示す評価部位に対して、評価を行っている。

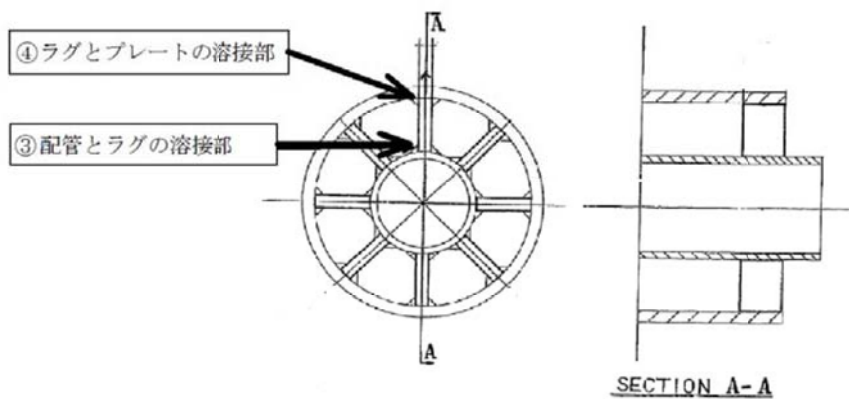
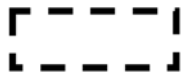
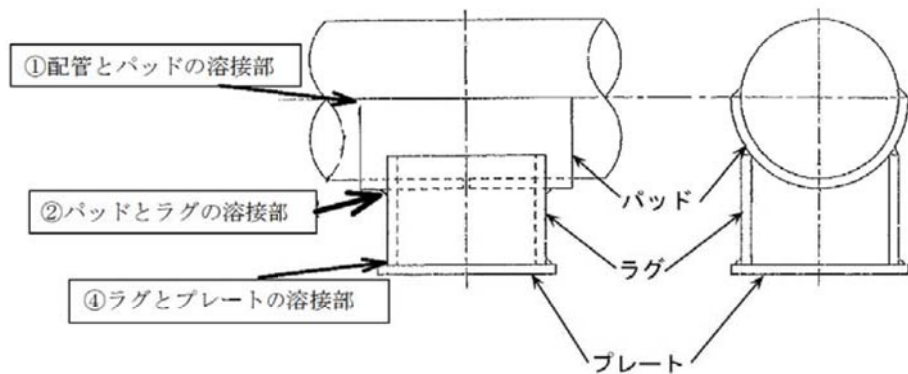
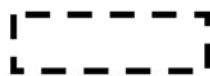


図 1 [] 及び [] の評価部位

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 技術評価結果及び耐震評価結果について

技術評価書及び耐震評価書に記載している「一次＋二次応力」における応力比の対象サポートと、それぞれの発生値、許容値は以下のとおり。

高浜1号 技術評価

評価項目			
①配管とパッドの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比	0.47	
②パッドとラグの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比	0.27	
③配管とラグの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比		0.79
④ラグとプレートの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比	0.21	0.97

耐震評価は技術評価において応力比の厳しい を評価対象とした



高浜1号 耐震評価

評価項目			
①配管とパッドの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比	—	
②パッドとラグの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比	—	
③配管とラグの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比		0.78
④ラグとプレートの溶接部	一次＋二次応力		
	許容応力		
	応力比	—	0.82

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

許容応力の算出

(単位:MPa)

アンカーサポート番号		リブ (ラグ)	スリーブ (底板)
部 位			
物 性 値	材 質		
	評価温度(°C)		
	① Sy (付録図表 Part 5 表 8) (at 使用温度)		
	Su (付録図表 Part 5 表 9) (at 使用温度)		
	② Sy (at 常温)		
	③ 1.35Sy		
	④ 0.7Su		
	F=min (②, ③, ④) (注1)		
	引張許容応力 ft=F/1.5		
	曲げ許容応力 fb=F/1.5		
せん断許容応力 fs=F/1.5√3			
一 次 応 力 の 許 容 値	引張許容応力 1.5ft [1.5ft*] (注2)		
	曲げ許容応力 1.5fb [1.5fb*] (注2)		
	せん断許容応力 1.5fs [1.5fs*] (注2)		
一 次 + 二 次 応 力 の 許 容 値	引張許容応力 3ft		
	曲げ許容応力 3fb		
	せん断許容応力 3fs (溶け込み) [1.5fs(すみ肉)]		

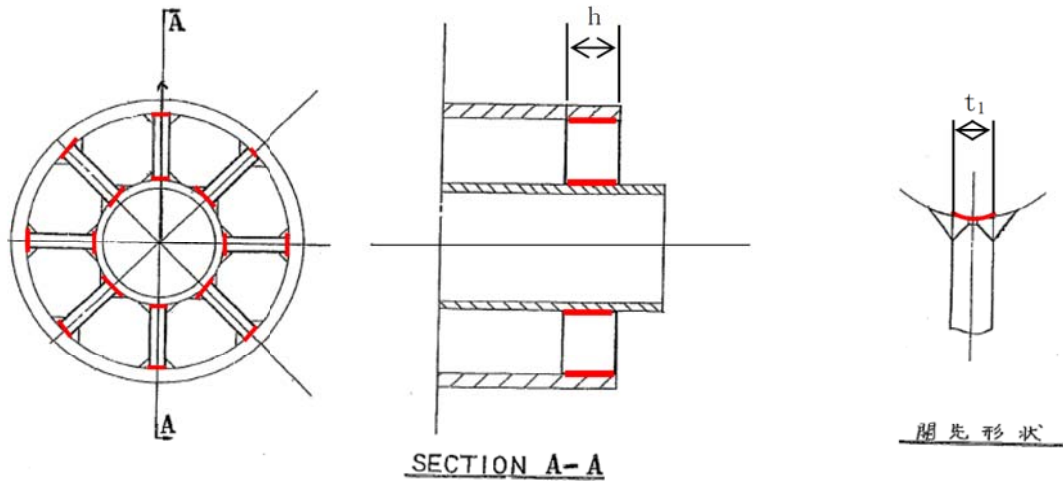
(注1) 使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の場合のみ。それ以外については、 $F = \min (①, ④)$

(注2) Ss 地震の一次応力評価では JEAG4601 の支持構造物規程に従い①, ②の値を「別表第 9 (付録図表 Part 5 表 8) に定める値の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値を使用する。

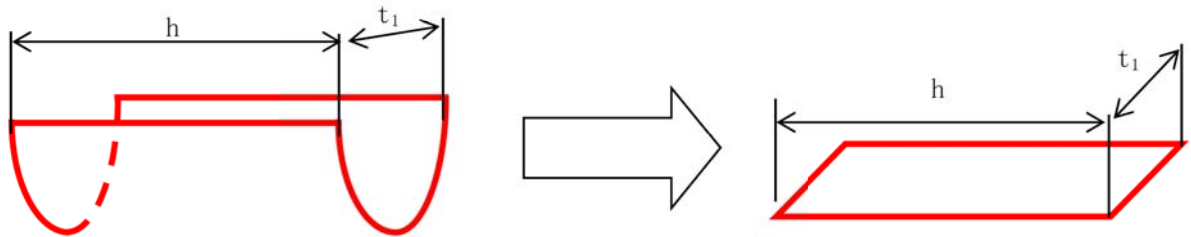
(注3) 本サポートはスリーブ内設置である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

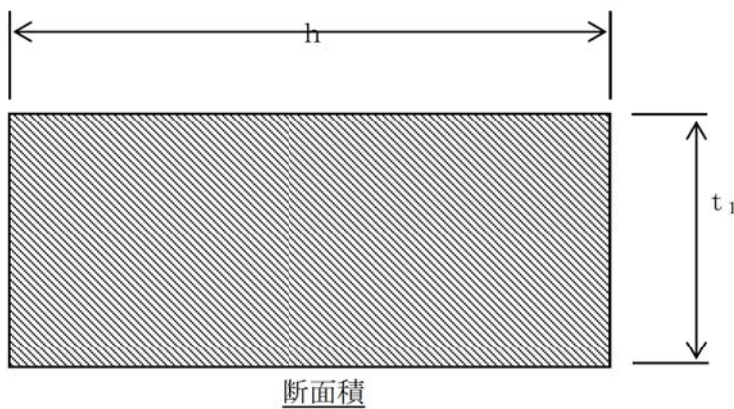
<溶接部の断面積計算例>



1. 溶接部の保守的なモデル化



2. 断面積 (A_w) の計算

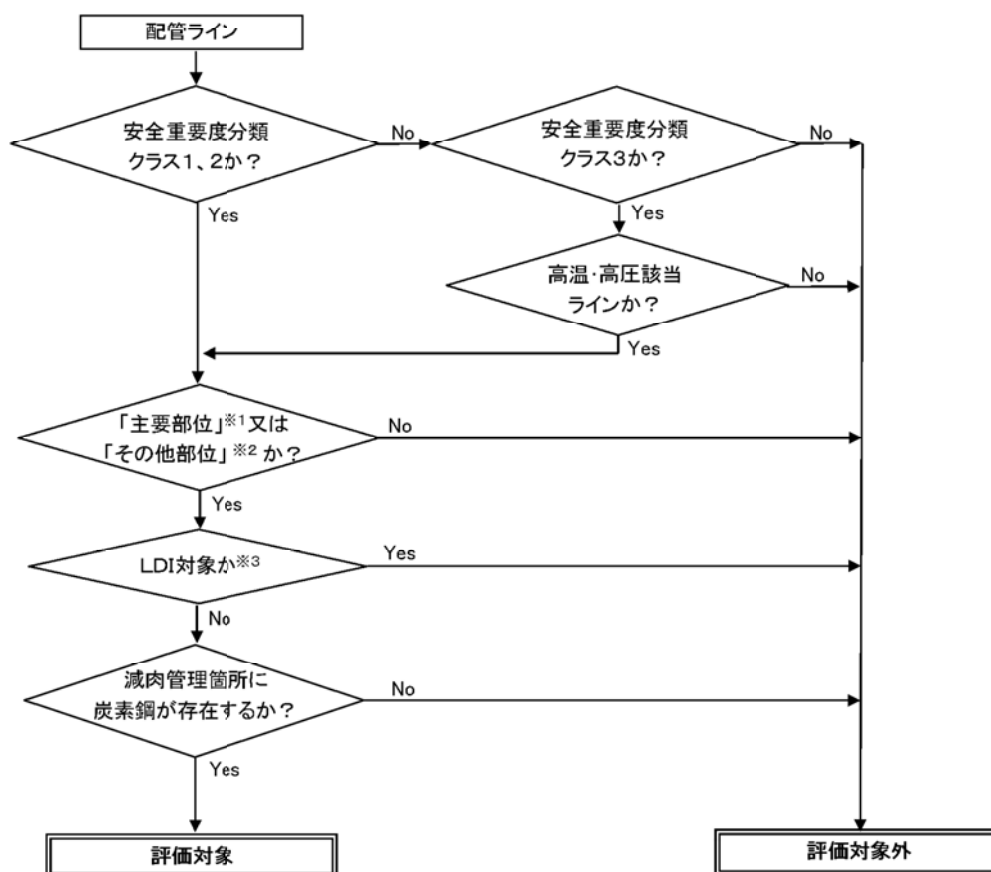


$$A_w = h \times t_1 = \boxed{} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ [mm}^2\text{]}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

タイトル	母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する以下を含む評価について
説明	<p>1. 評価対象ラインの抽出について</p> <p>高浜1号のPLM評価における「母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）」に対する耐震安全性評価は、発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（以下「技術規格」という。）等を踏まえて策定した当社の管理指針「2次系配管肉厚の管理指針」に規定する検査対象システムを基に、評価対象ラインを選定し、耐震安全性評価を行っている。選定フローを添付-1に示す。</p> <p>2. 評価対象ライン数</p> <p>その結果、評価対象として抽出され評価を行ったライン数は、系統分類毎にそれぞれ以下のとおり。</p> <p>主蒸気系統配管：7ライン 主給水系統配管：14ライン 低温再熱蒸気系統配管：1ライン 第3抽気系統配管：1ライン 第4抽気系統配管：3ライン 補助蒸気系統配管：2ライン グラント蒸気系統配管：1ライン 復水系統配管：9ライン ドレン系統配管：19ライン 蒸気発生器ブローダウン系統配管：3ライン</p> <p>3. 評価結果</p> <p>各評価仕様〔各評価用地震、想定減肉（必要最小肉厚or実測データ）、解析手法（梁モデル解析orFEM解析）〕と共に、各ラインの評価結果を添付-2に示す。</p> <p>4. 評価モデル</p> <p>評価対象ラインのうち、PLM評価書に厳しいラインとして代表で記載した応力比の、対象箇所を含む解析モデル図を添付-3に示す。</p> <p>さらに、主蒸気系統配管、主給水配管のCクラスのうち、応力比の厳しい箇所を含むラインの解析モデル図を添付-4に示す。</p>

配管内面からの腐食（流れ加速型腐食）評価対象ラインの抽出フロー



※ 1 : 当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」において、減肉が発生する可能性があるとし点検対象として選定している部位（「発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格」の流れ加速型腐食（FAC）による試験対象系統、液滴衝撃エロージョン（LDI）による試験対象系統の試験対象箇所にあたる部位

※ 2 : 当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」において、2次系冷却水が常時流れる系統のうち主要部位に該当しない偏流発生部位

※ 3 : 液滴衝撃エロージョン（LDI）については、減肉が発生したとしても局所的であり、応答特性・強度に影響がないことから対象外とし、流れ加速型腐食（FAC）のみを耐震評価対象としているもの

以 上

高浜1号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用位置	全面降圧モデル						60年時点(2034年)モデル						実測データに基づく50年時点(2024年)モデル						
				梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価				
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価		
主蒸気系統	S	湿分層加熱器加熱蒸気管	C	Sd	1次	0.68	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
					1次+2次	0.54	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					1次	0.21	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					Ss	1次	0.35	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Sd	1次+2次	0.42	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Ss	1次	0.52	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Sd	1次+2次	0.20	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Ss	1次	0.34	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Sd	1次+2次	0.41	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Ss	1次	0.64	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Sd	1次+2次	0.24	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Ss	1次	0.42	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Sd	1次+2次	0.48	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Ss	1次	0.95	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Sd	1次+2次	0.24	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ss	1次	0.41	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Sd	1次+2次	0.50	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Ss	1次	0.88以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Sd	1次+2次	0.69以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Ss	1次	0.42	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Sd	1次+2次	0.69	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Ss	1次	0.87以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Sd	1次+2次	0.70以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Ss	1次	0.42	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Sd	1次+2次	0.70	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

評価書に反映した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	断層クラス	配管名称	評価用地震	全面所1号モデル						東測データに基づく60年時点(2024年)モデル						西測データに基づく50年時点(2024年)モデル					
				梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価			
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
低温再熱蒸気系統	C	低温再熱蒸気管	C	0.25	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第3抽気管	C	1.42	x	0.36	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第4抽気管(A)	C	1.21	x	0.53	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第4抽気管(B)	C	0.99	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
第4抽気系統	C	第4抽気管(C)	C	1.70	x	1.31	x	0.60	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	主給水ポンプ~第6高圧給水加熱器	C	0.33	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第6高圧給水加熱器~主給水隔離弁	C	0.87	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	給水プースタポンプ吸込管(A)	C	0.57	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	給水プースタポンプ吸込管(B)	C	0.57	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	給水プースタポンプ吸込管(C)	C	0.57	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	給水プースタポンプ吐出管(A)	C	0.29	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	給水プースタポンプ吐出管(B)	C	0.29	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	給水プースタポンプ吐出管(C)	C	0.29	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	主給水系統	Sd	A-主給水配管 (CV内)	1次	0.50	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1次+2次		0.26		○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次		0.46		○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ss		B-主給水配管 (CV内)	1次+2次	0.59	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次			0.50	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次+2次			0.26	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ss		C-主給水配管 (CV内)	1次	0.45	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1次+2次			0.53	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次			0.52	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sd		A-主給水配管 (CV外)	1次+2次	0.31	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次			0.50	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次+2次			0.64	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sd	B-主給水配管 (CV外)	1次	0.84以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次+2次		0.89以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次		0.51	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Ss	C-主給水配管 (CV外)	1次+2次	0.69	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次		0.47	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次+2次		0.56	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S	G-主給水配管 (CV外)	1次	0.38	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次+2次		1.22	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次		UF0.275	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Sd	G-主給水配管 (CV外)	1次	0.79以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次+2次		0.87以下	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次		0.48	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Ss	G-主給水配管 (CV外)	1次+2次	0.87	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1次		0.48	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1次+2次		0.87	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所100モデル						東海1号機(2034年)モデル						東海1号機(2024年)モデル					
				球モデル評価			FEM評価			球モデル評価			FEM評価			球モデル評価			FEM評価		
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
復水系統	C	復水ポンプ～コンナミ取合い～復水ブースタポンプ	C	1.01	x		0.96	○													
	C	復水ブースタポンプ～第1低圧給水加熱器	C	0.88	○		-														
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(A)	C	0.34	○		-														
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(B)	C	0.86	○		-														
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(C)	C	0.99	○		-														
	C	第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(A)	C	0.43	○		-														
	C	第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(B)	C	0.43	○		-														
	C	第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(C)	C	0.43	○		-														
	C	第4低圧給水加熱器～放気器	C	2.15	x		-														

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全面所100モデル						実測データに基づく60年時点(2034年)モデル						実測データに基づく50年時点(2024年)モデル					
				梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価			
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
ドレン系統	C	第6高圧給水加熱器ドレン管(A)	C	0.92	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第6高圧給水加熱器ドレン管(B)	C	1.01	x	-	0.53	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(A)	C	0.77	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(B)	C	0.94	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(C)	C	1.28	x	-	1.15	x	-	0.94	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(A)	C	0.35	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(B)	C	0.53	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(C)	C	0.80	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレン管(1A)	C	0.38	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレン管(2A)	C	0.57	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレン管(3A)	C	0.66	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレン管(1B)	C	0.39	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレン管(2B)	C	0.60	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレン管(3B)	C	0.39	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	C	湿分種加熱器ドレンタンクドレン管(A,B)	C	0.71	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所FEMモデル						実測データに基づく 50年時点(2044年)モデル								
				梁モデル評価			FEM評価			梁モデル評価			FEM評価					
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価			
ドレン系統	C	湿分離器ドレン管(A)	C	0.51	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	湿分離器ドレン管(B)	C	0.62	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	湿分離器ドレンポンプ吸込管	C	0.95	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	湿分離器ドレンポンプ吐出管	C	3.51	x	-	-	0.92	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グラウンド蒸気系統	C	グラウンド蒸気管	C	2.22	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.35	x	-	-
	C	スチームコンバータ給水管	C	0.08	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
補助蒸気系統	C	補助蒸気配管(1次系)	C	0.48	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C		C															

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

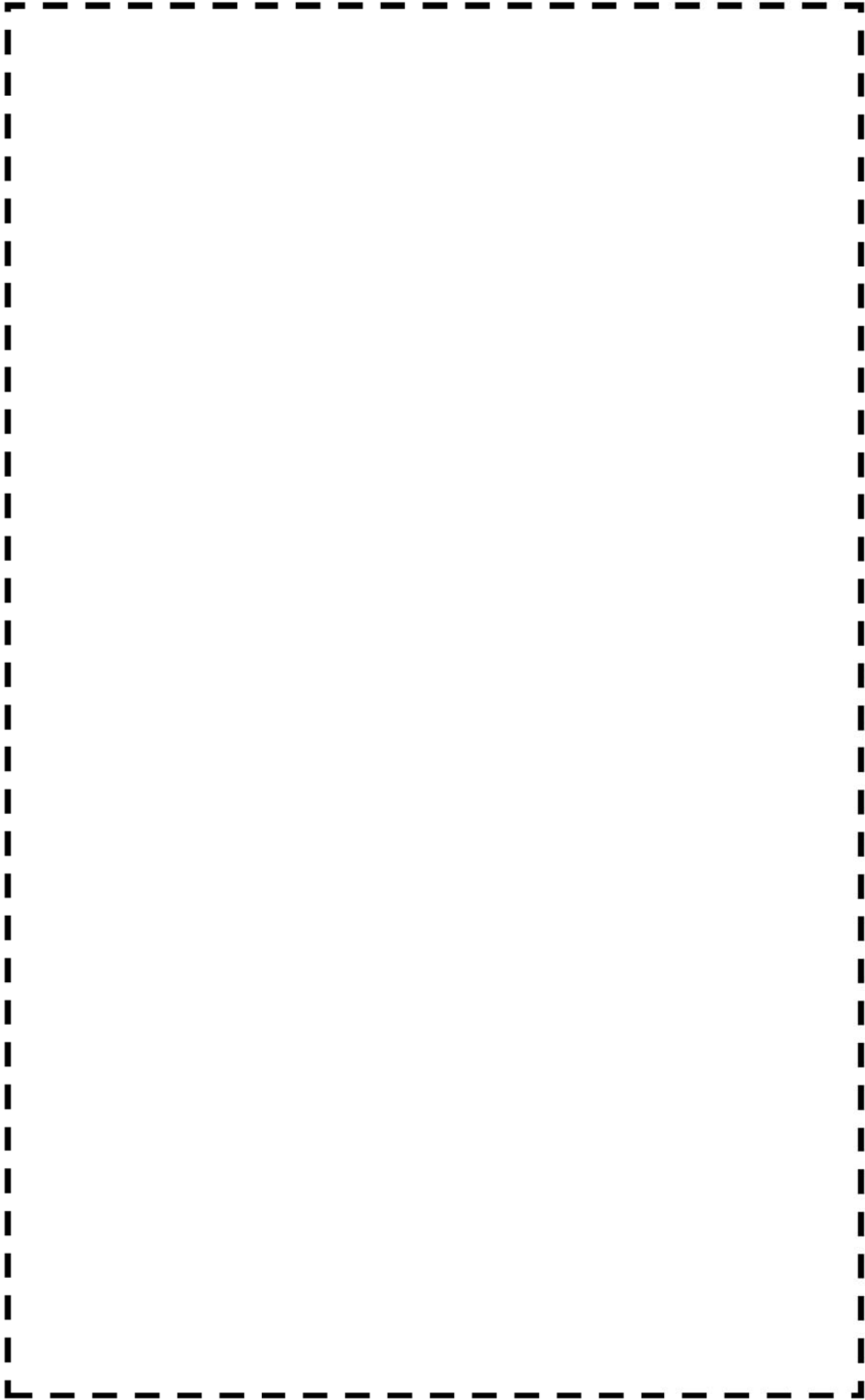
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全面所inモデル						実測データに基づく50年時点(2034年)モデル						実測データに基づく50年時点(2034年)モデル					
				梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価		梁モデル評価		FEM評価			
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
高気圧生排 フローゲル系統配管※1	S	A/ループSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD内	Sd	1次	0.66	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ss	1次+2次	0.51	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss	1次+2次	1.02	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C※2	A/ループSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD外	Sd	1次	0.67	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ss	1次+2次	0.17	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Ss	1次	0.41	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	B/ループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD内	Sd	1次	0.85以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Ss	1次+2次	0.87以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ss	1次	0.43	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C※2	B/ループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD外	Sd	1次	0.87	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Ss	1次+2次	0.56以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ss	1次	0.28	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	C/ループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD内	Sd	1次	0.23	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Ss	1次+2次	0.66以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ss	1次	0.91以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C※2	C/ループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD外	Sd	1次	0.33	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Ss	1次+2次	0.91	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ss	1次	0.83以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Sd	1次+2次	0.40以下	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				Ss	1次	0.42	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
				Ss	1次+2次	0.40	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

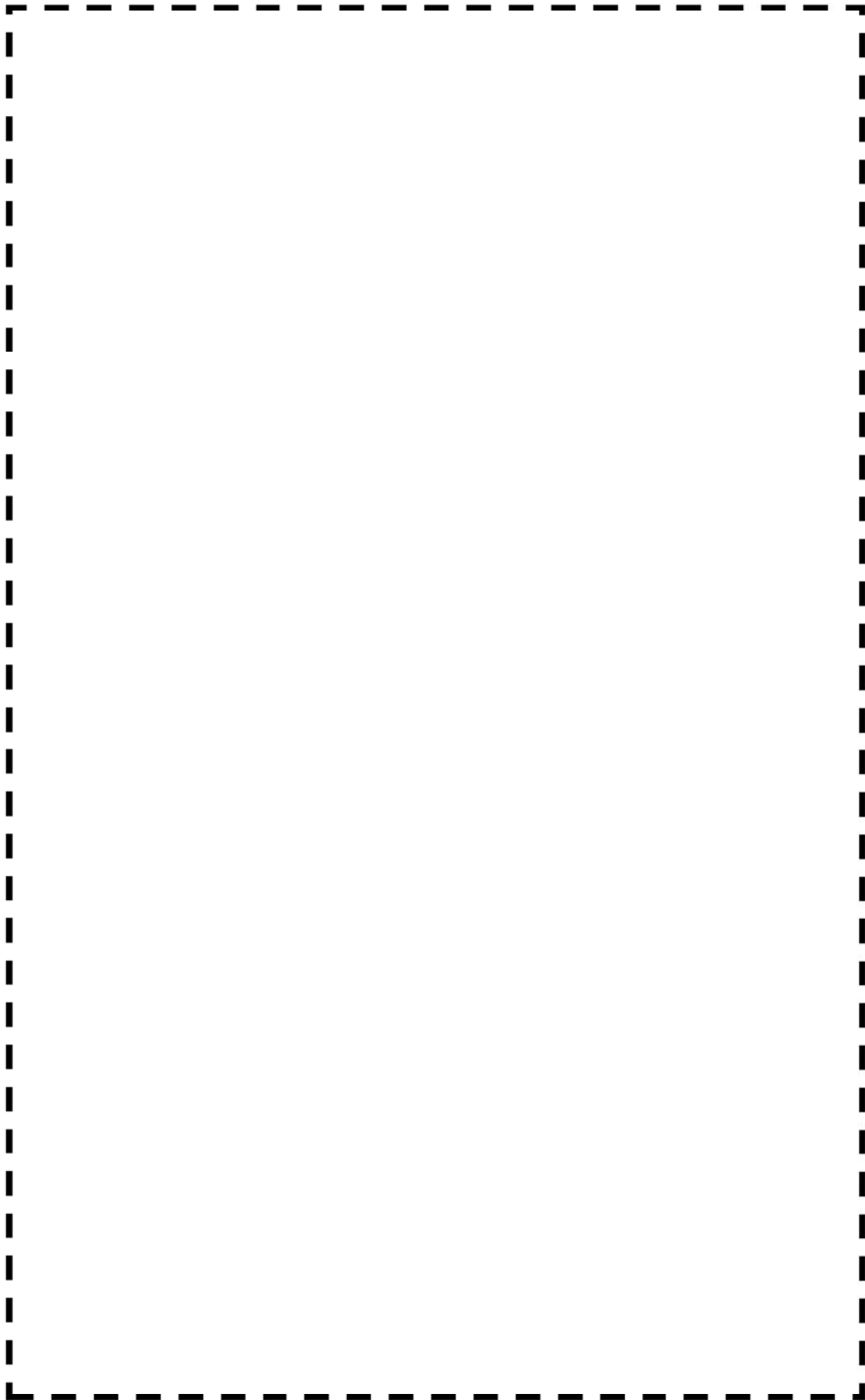
※1: 耐震運転評価では、等価耐震について、CVBD内(Sクラス)、および、CVBD外(Cクラス)の評価を行っている。
 ※2: Cクラス範囲については、保守的にSクラスと同等の評価を行っている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



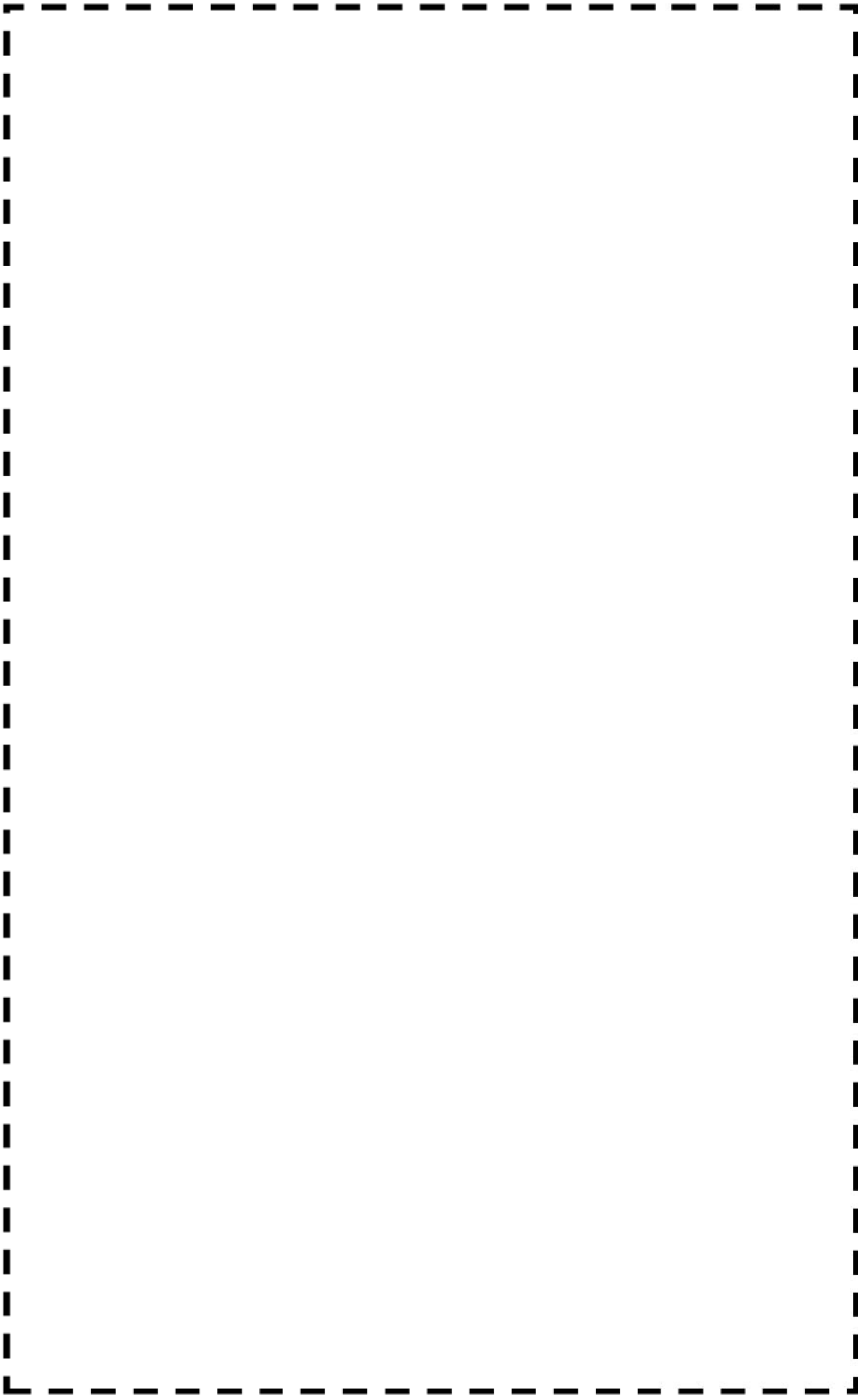
主蒸気系統配管(C-主蒸気配管(CV内)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



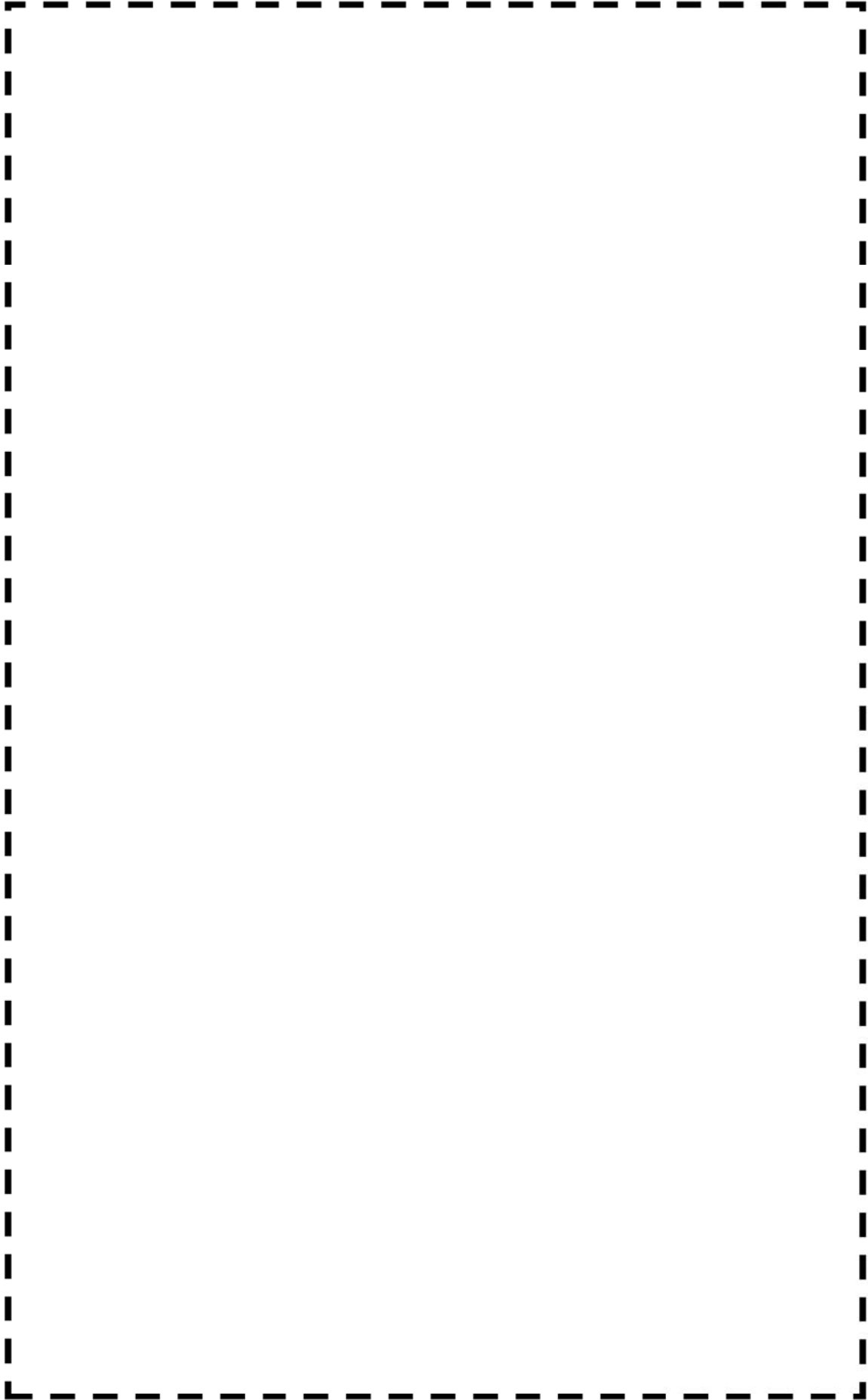
主蒸気系統配管(B-主蒸気配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



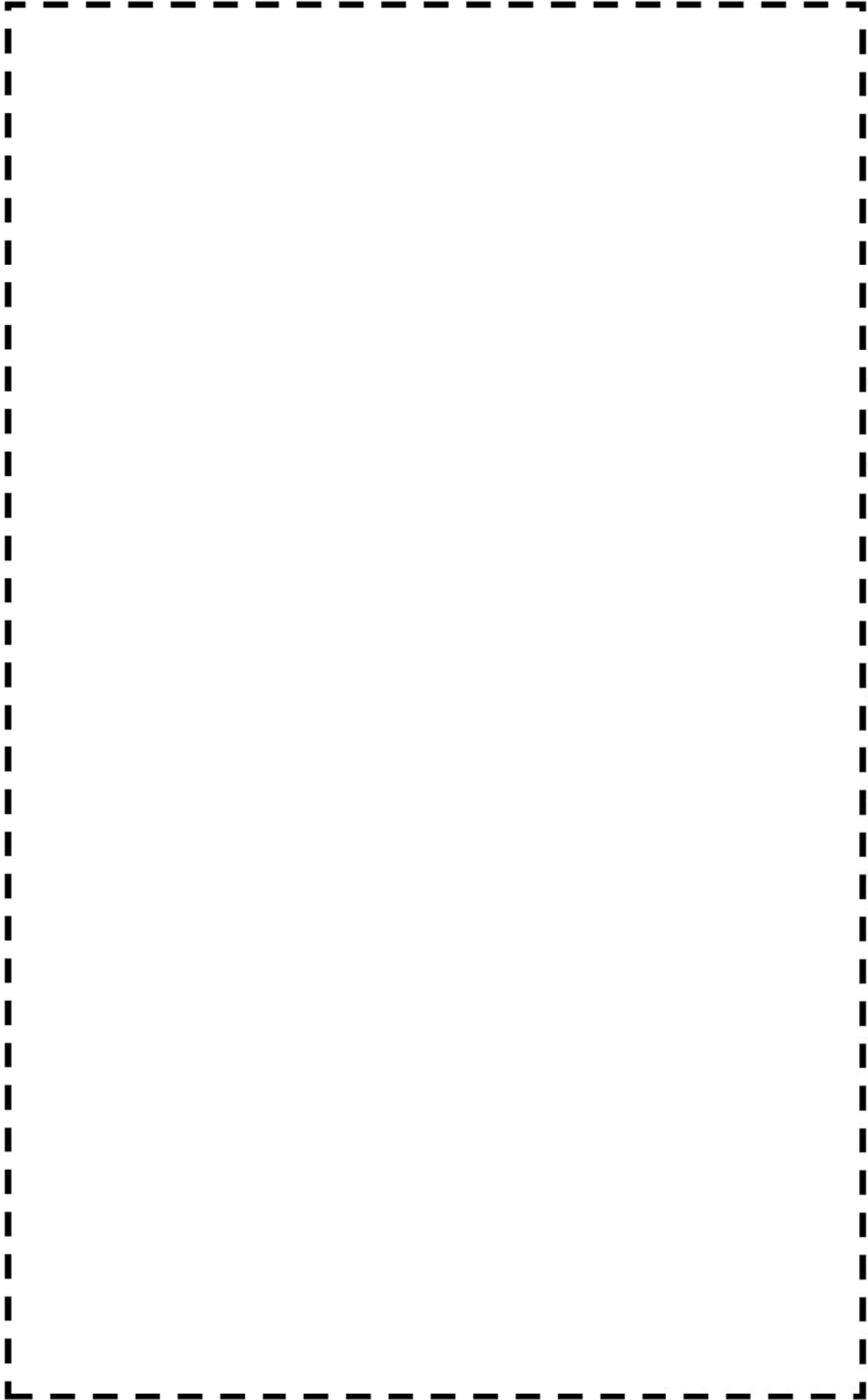
主蒸気系統配管(C-主蒸気配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



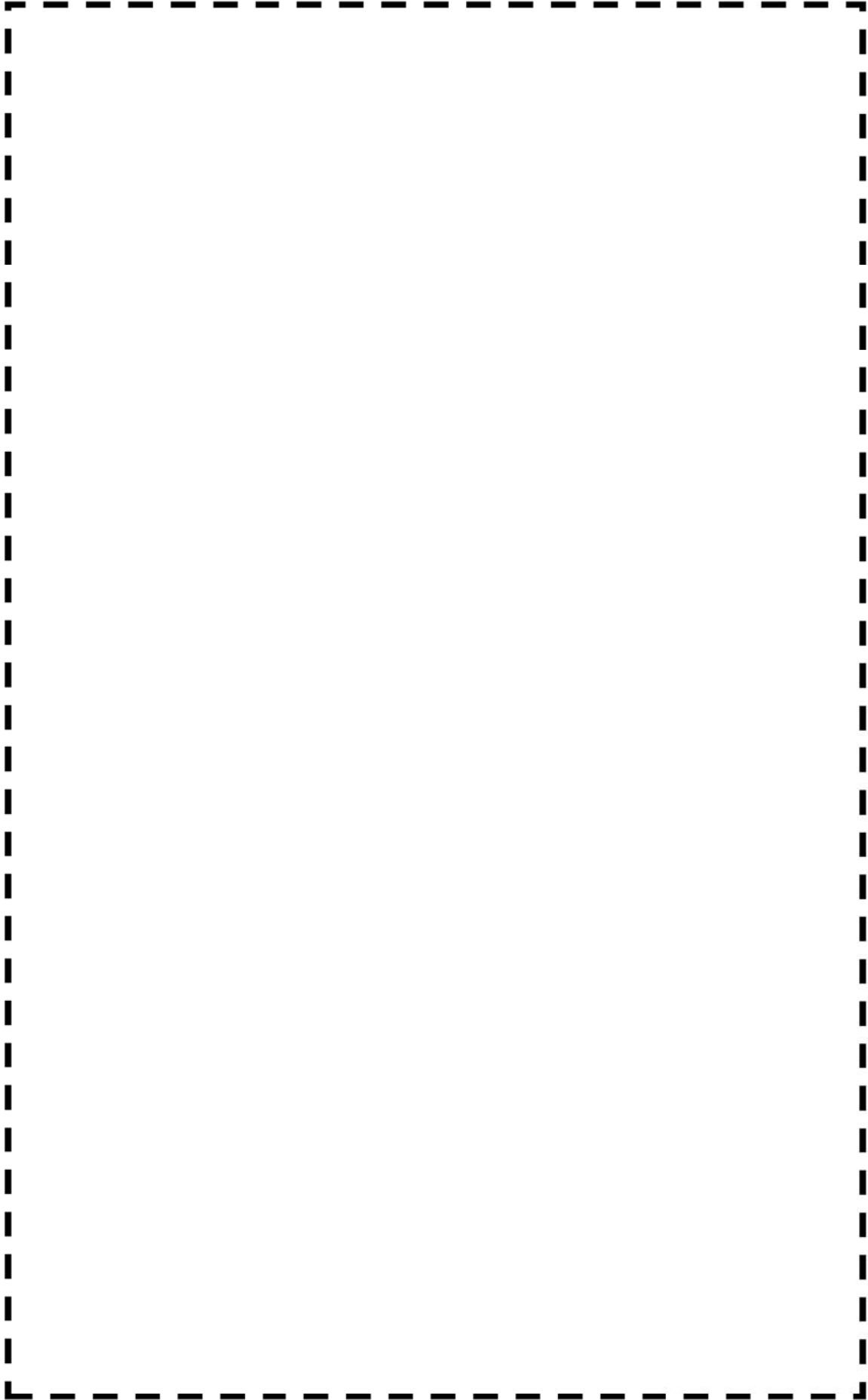
主蒸気系統配管(C-主蒸気配管 (CV内)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



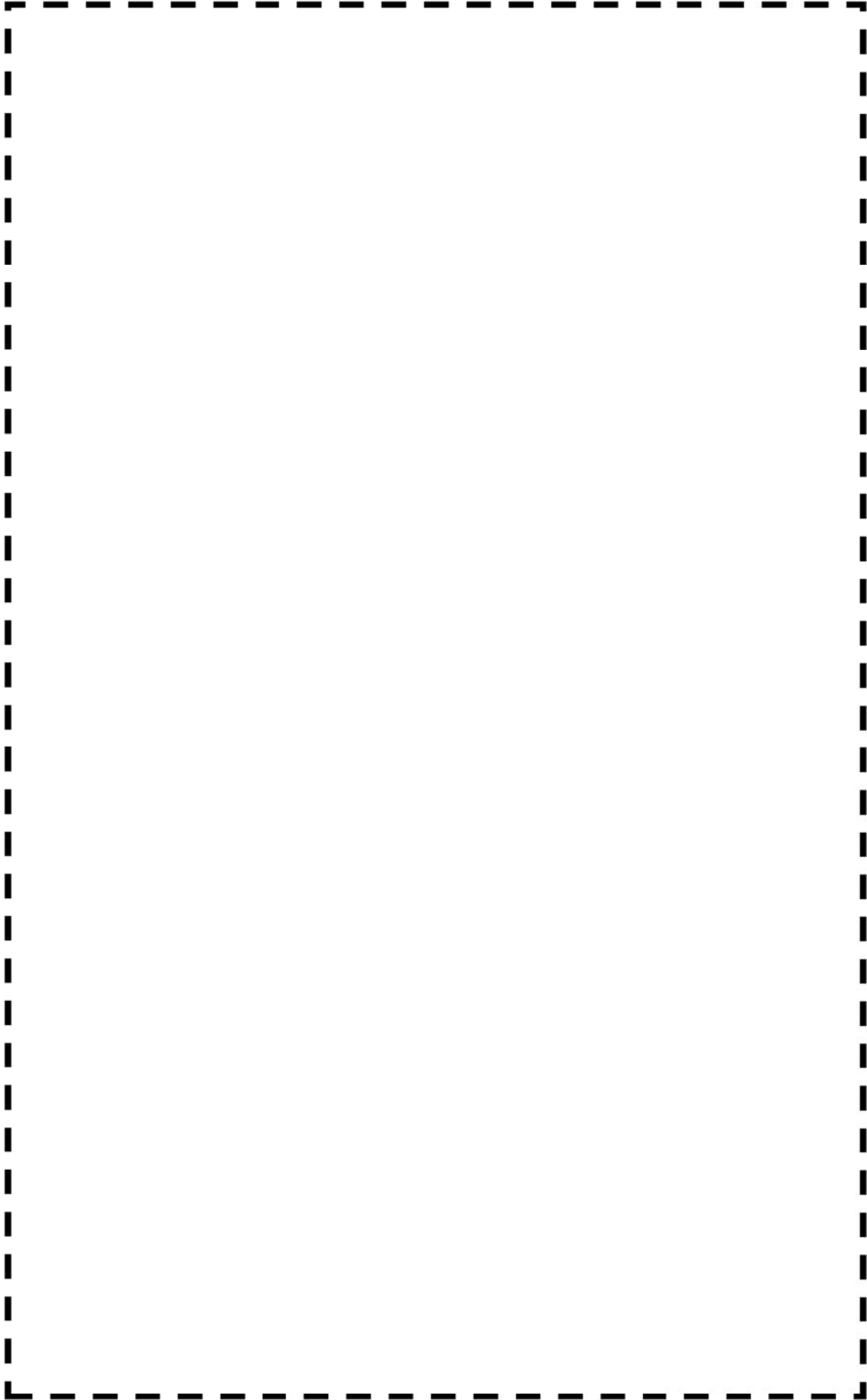
主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



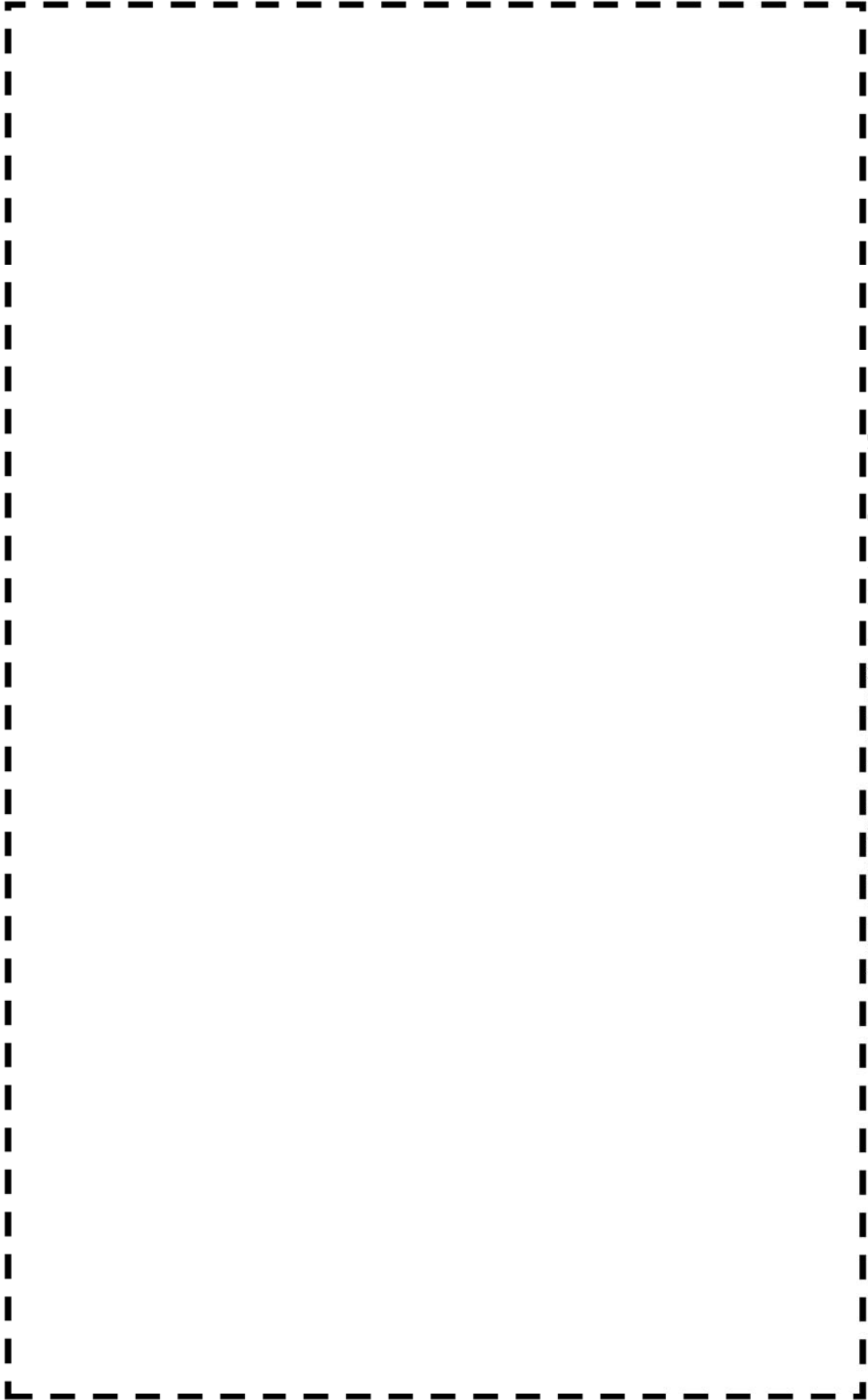
主給水系統配管(A-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



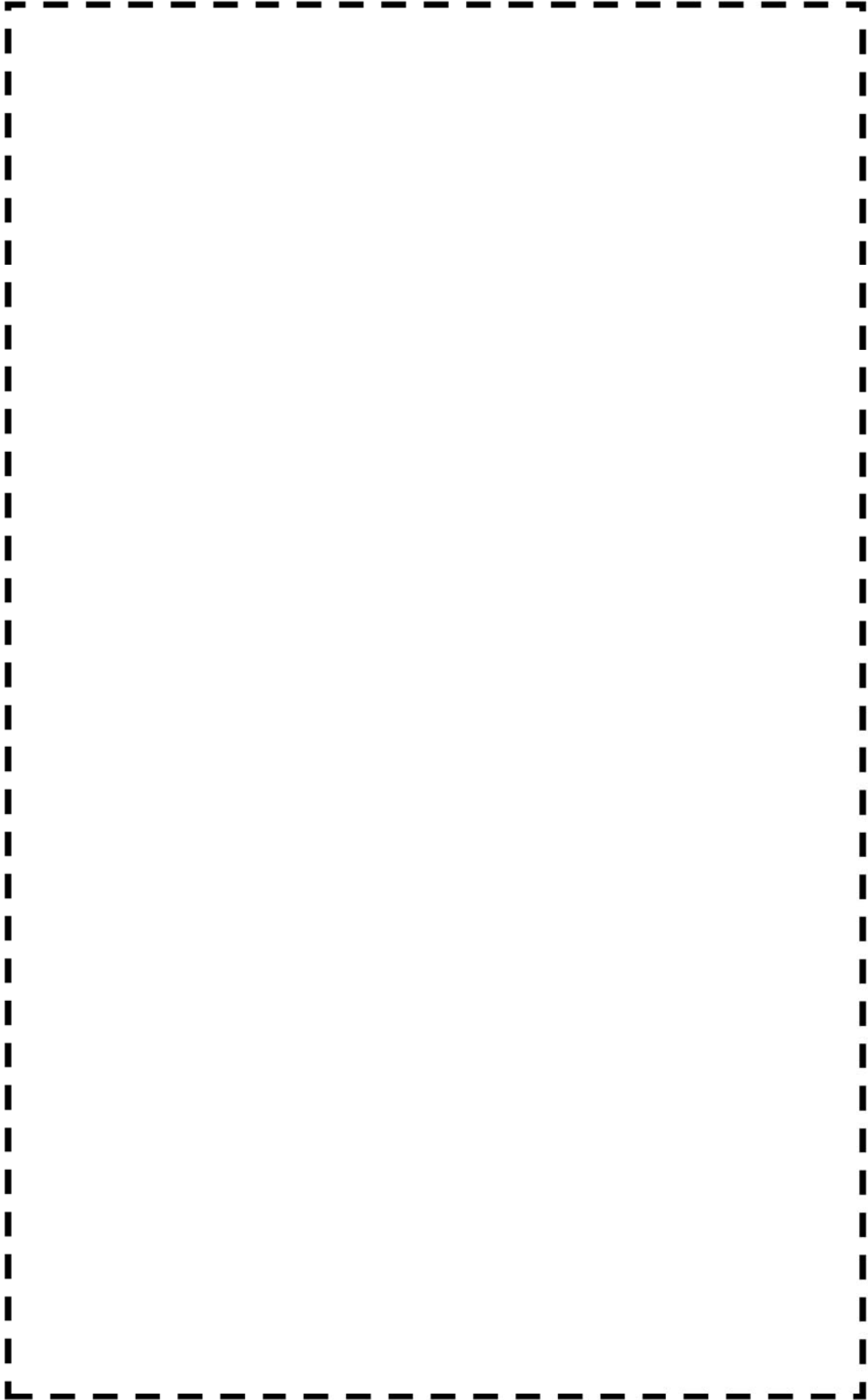
主給水系統配管(B-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



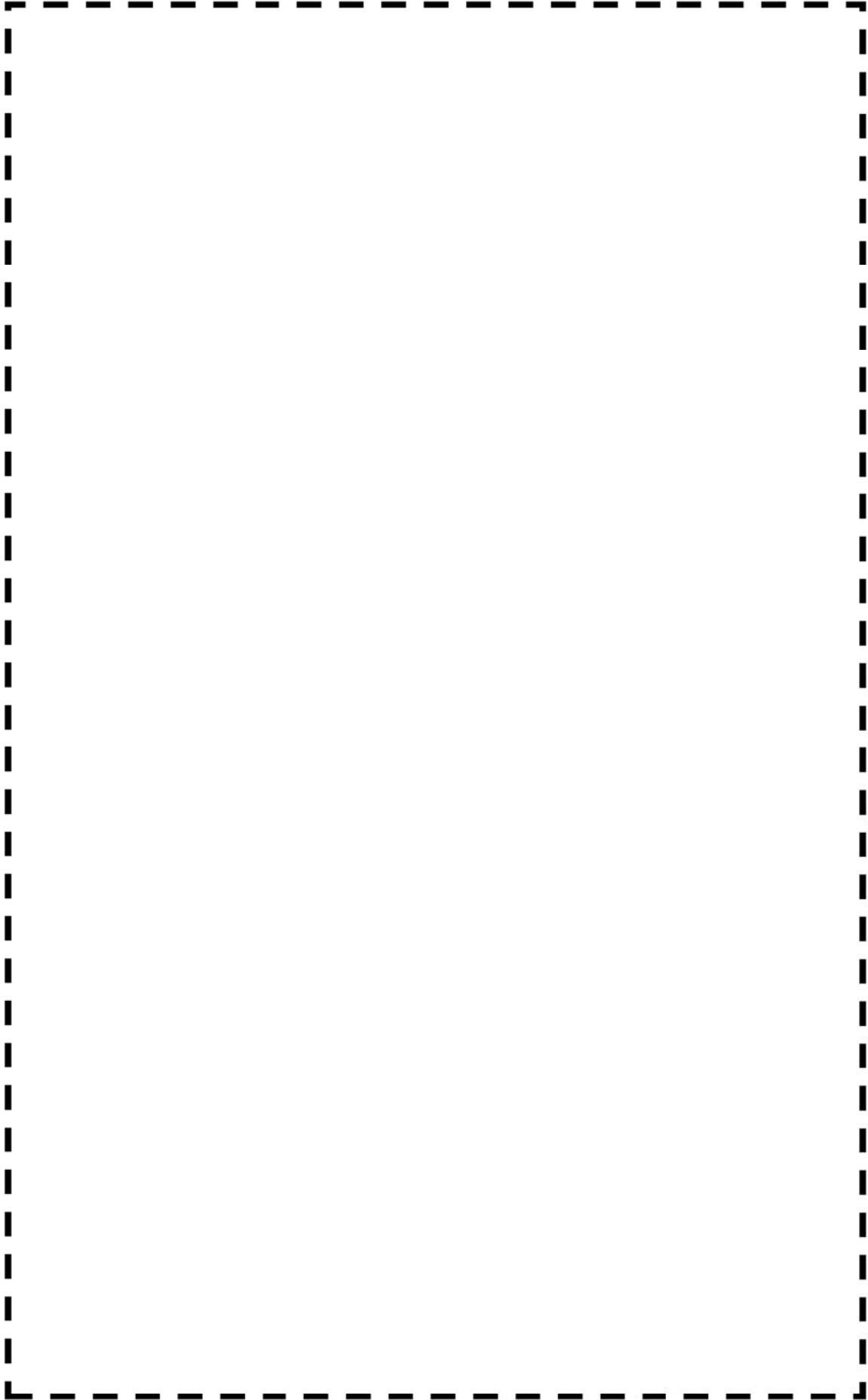
主給水系統配管(C-主給水配管(CV内)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



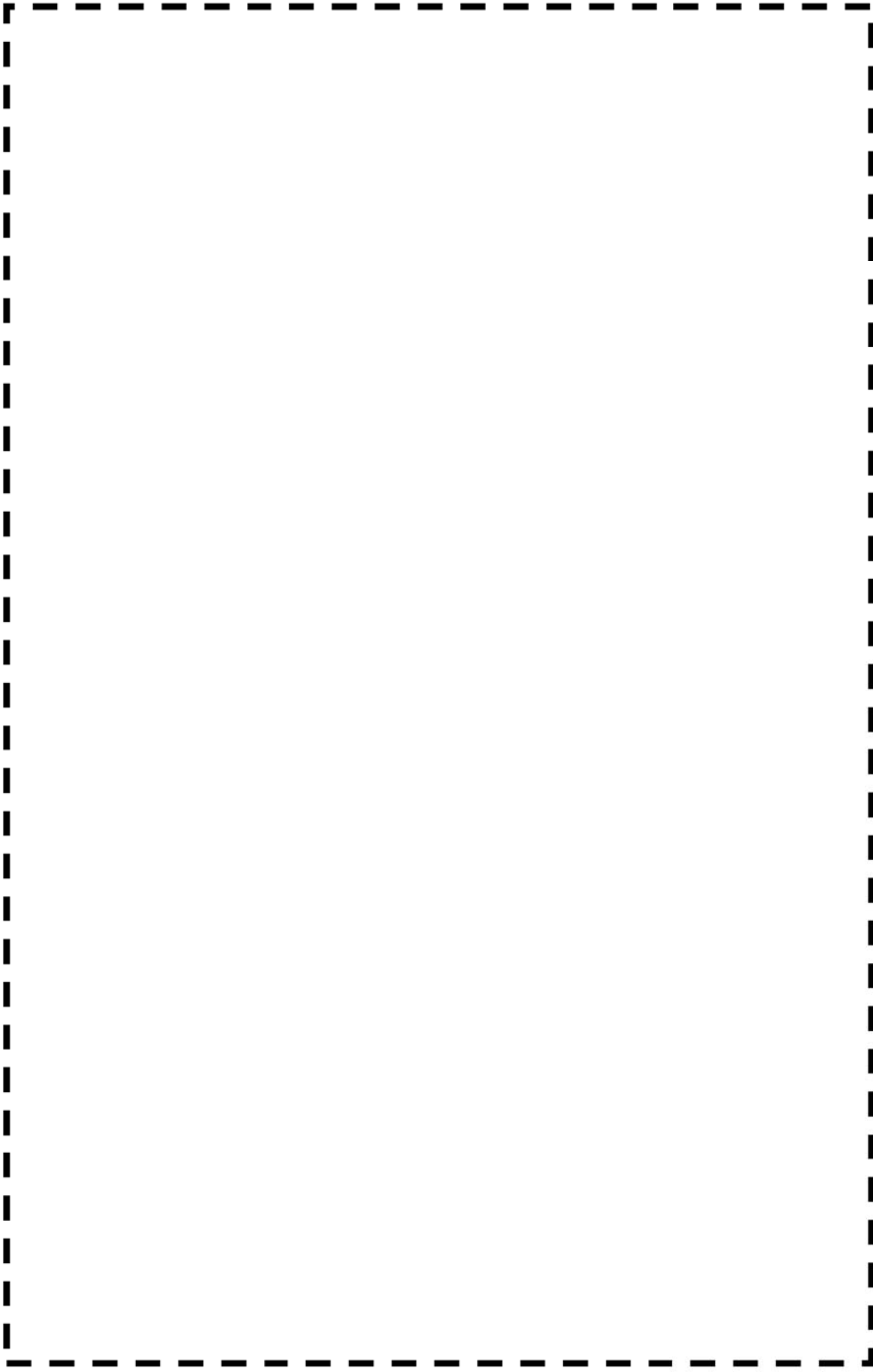
主給水系統配管(B-主給水配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



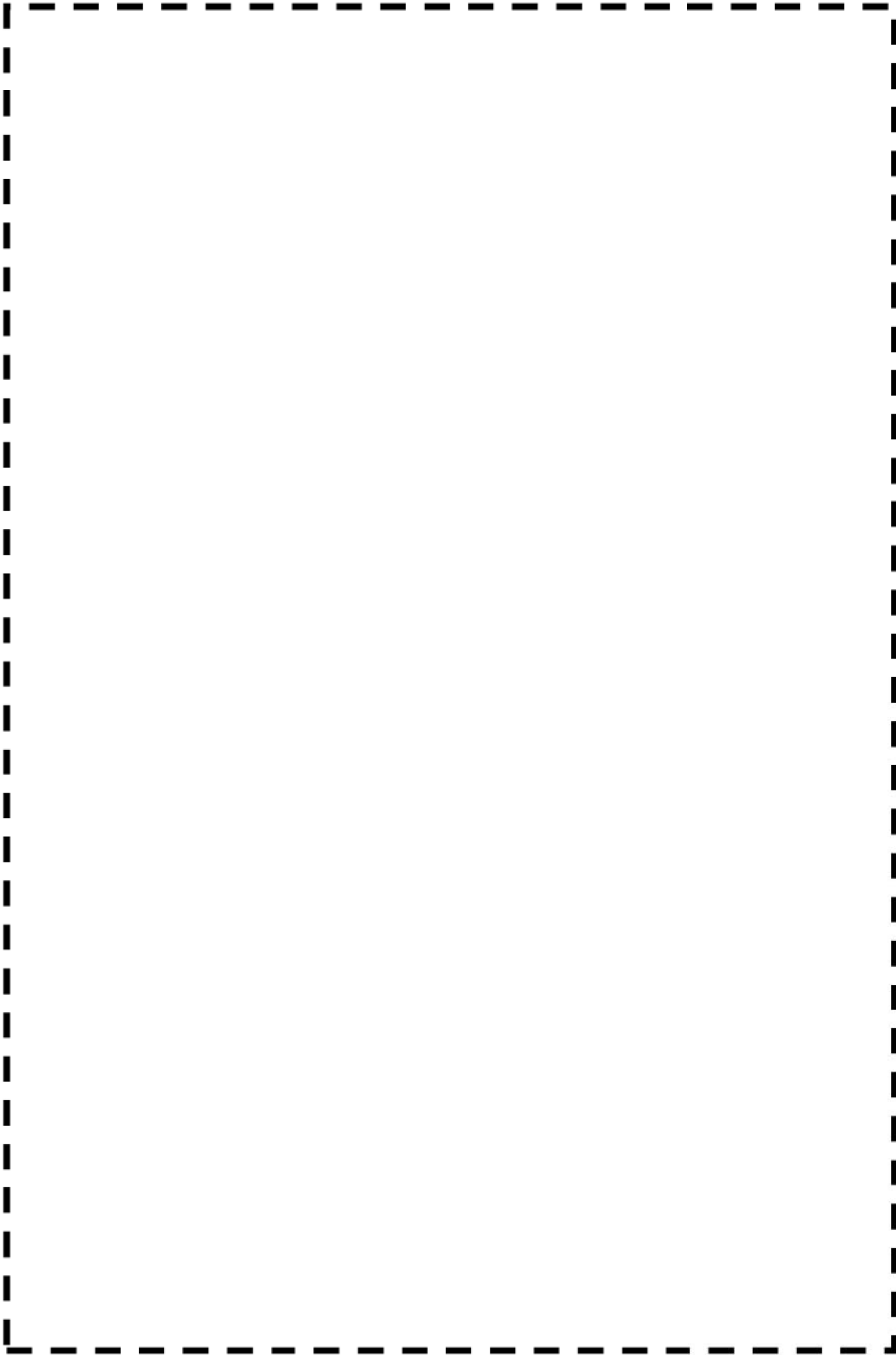
低温再熱蒸気系統配管(低温再熱蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



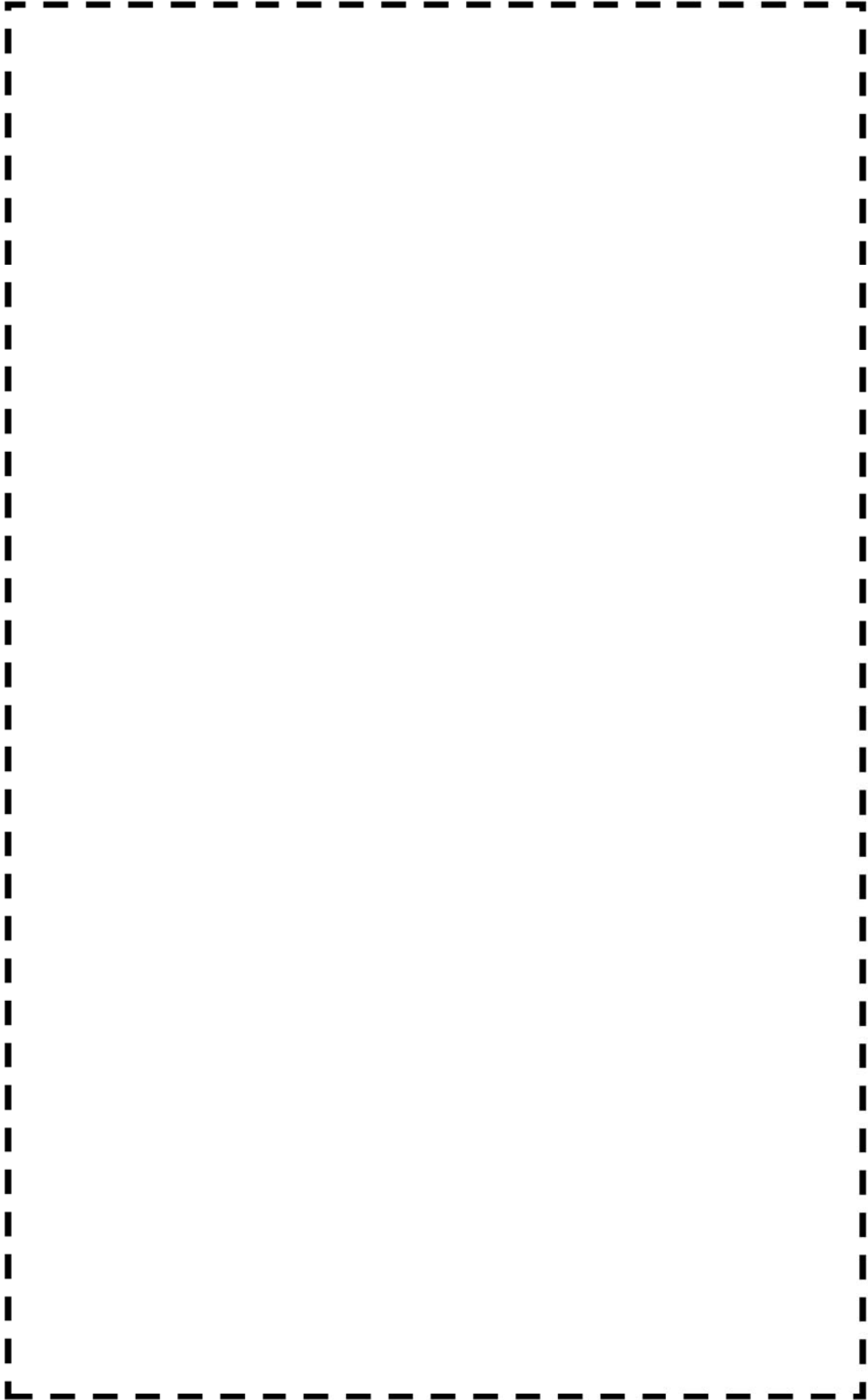
第3抽気系統配管 (第3抽気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



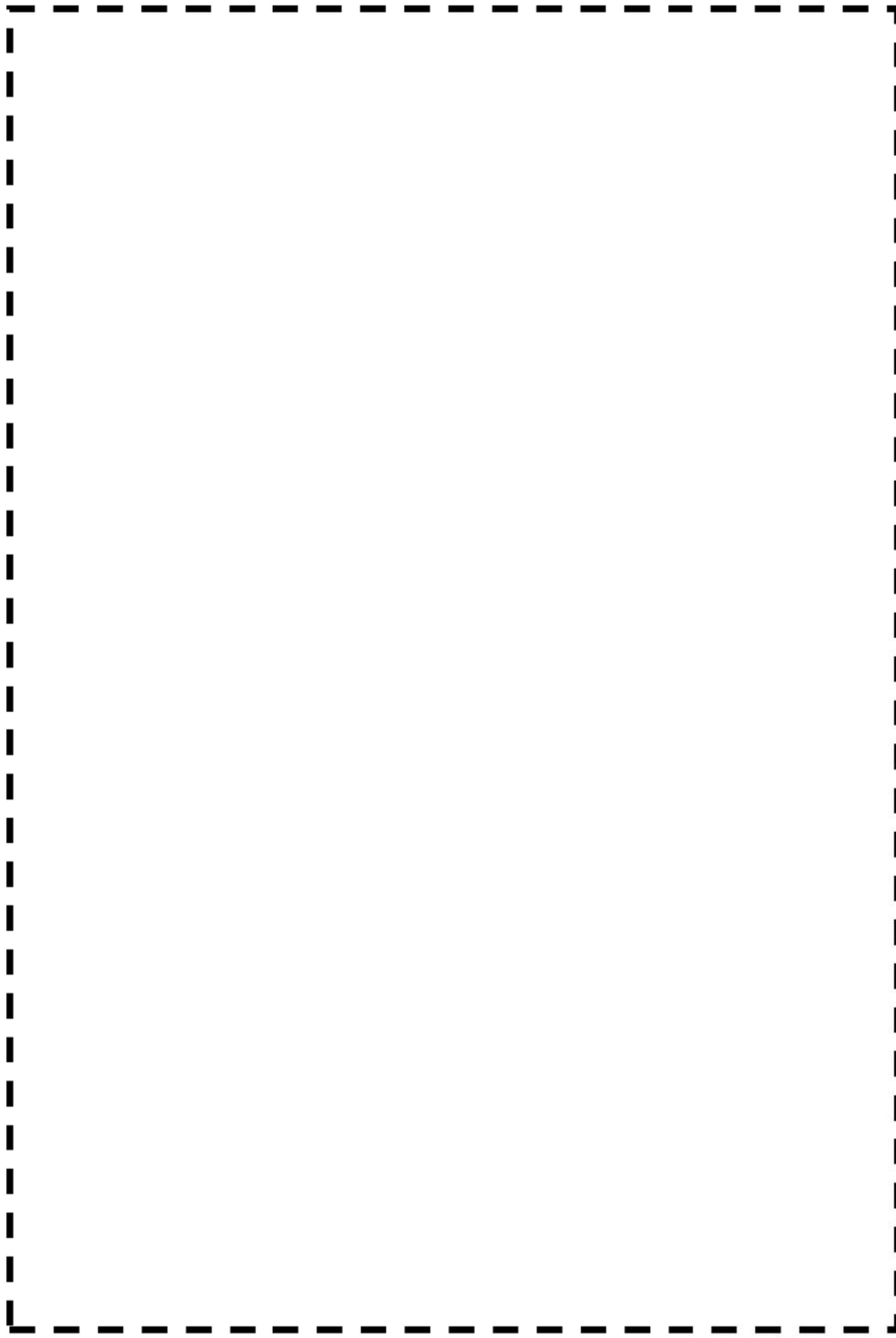
第4抽気系統配管（第4抽気管（C））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



グラウンド蒸気系統配管 (グラウンド蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



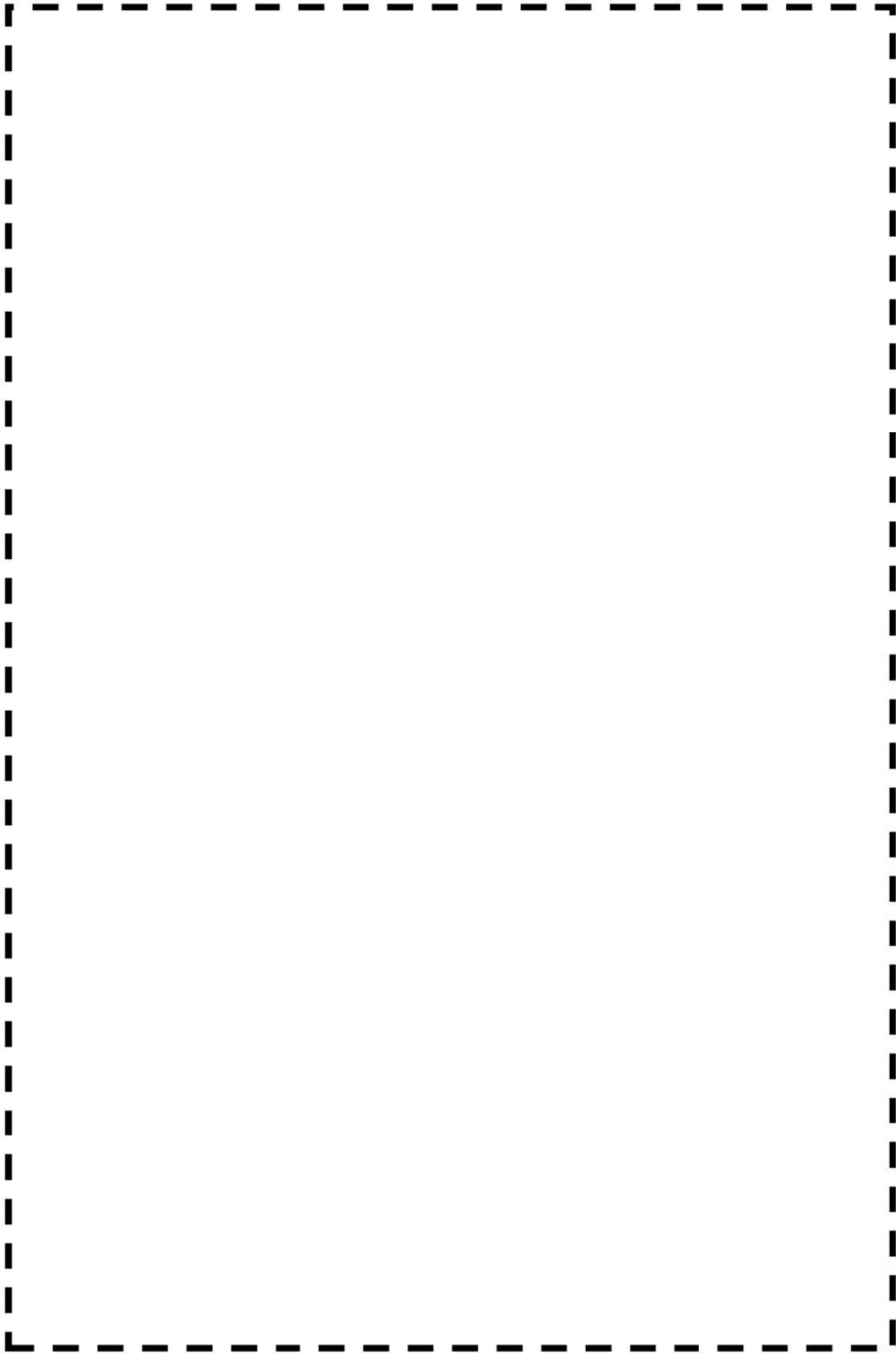
復水系統配管 (第4 低圧給水加熱器～脱気器)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



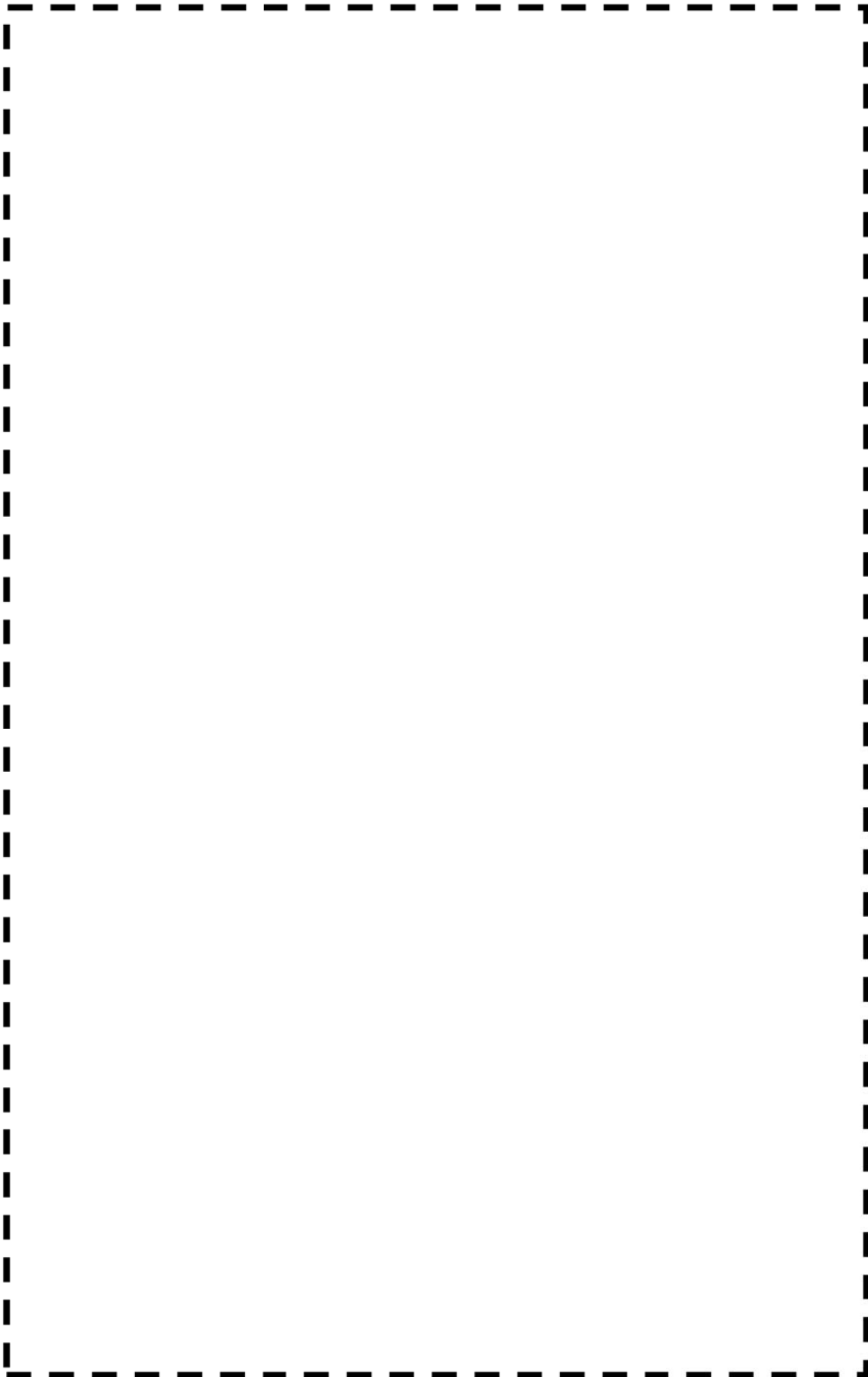
ドレン系統配管（第3低圧給水加熱器ドレン管（C））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



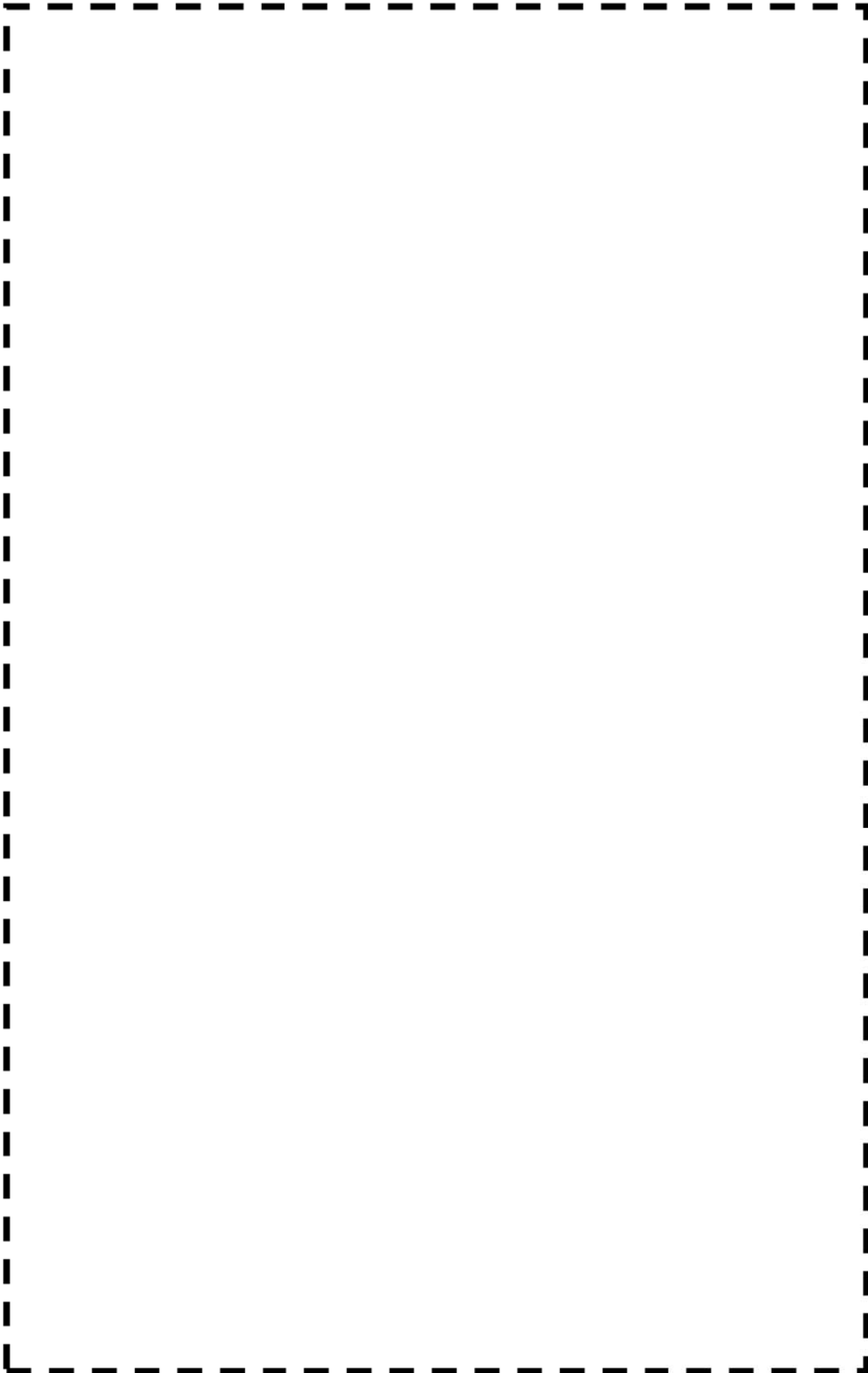
蒸気発生器ブローダウン系統配管(A/ループSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD内) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



蒸気発生器ブローダウン系統配管(BルーブSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD内) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



蒸気発生器ブローダウンシステム配管 (AループSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD内) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

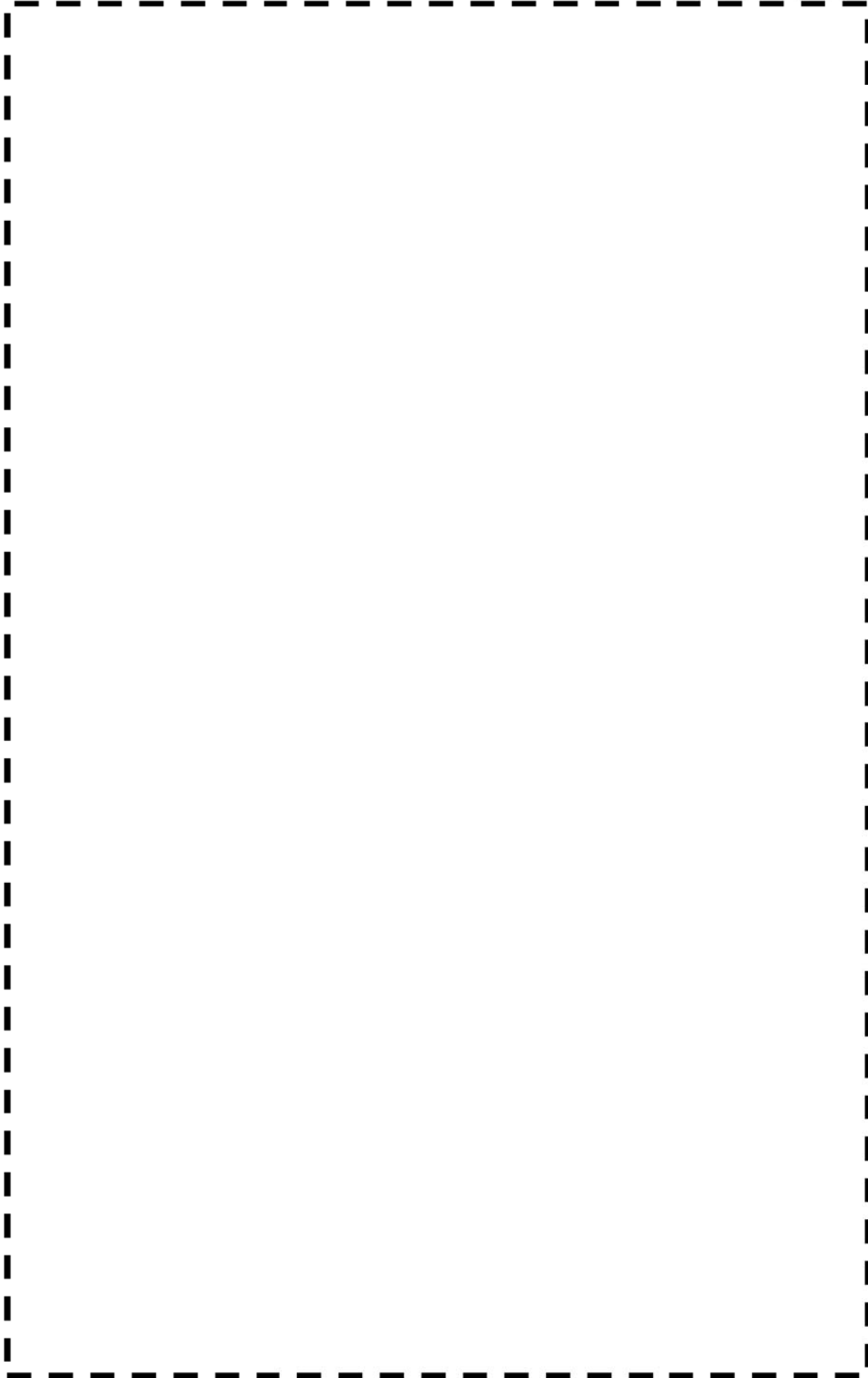


蒸気発生器ブローダウンシステム配管 (AルーブSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD外) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管 (湿分分離加熱器加熱蒸気管) (Cクラス)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



主給水系統配管（第6 高圧給水加熱器～主給水隔離弁）（Cクラス）

「
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。
」

タイトル	第4抽気系統配管、グランド蒸気系統配管及びドレン系統配管の減肉評価について
説明	<p>1. 第4抽気系統配管、グランド蒸気系統配管、復水系統配管、及びドレン系統配管の評価内容について</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管(C)」、復水系統配管「第4低圧給水加熱器～脱気器」、ドレン系統配管の「第3低圧給水加熱器ドレン管(C)」 「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の4ラインについては、60年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施している。また、グランド蒸気系統配管の「グランド蒸気管」については、50年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施している。(他のラインはすべて全箇所tsrでモデル化)</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管(C)」の評価に用いた解析モデルを添付-1(1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点(部位②, ③)について、評価に用いた実測データに基づく肉厚及びその算出過程を添付-1(2/2)に示す。</p> <p>復水系統配管「第4低圧給水加熱器～脱気器」の評価に用いた解析モデルを添付-2(1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位3点(部位②～④)について、評価に用いた実測データに基づく肉厚及びその算出過程を添付-2(2/2)に示す。</p> <p>ドレン系統配管「第3低圧給水加熱器ドレン管(C)」の評価に用いた解析モデルを添付-3(1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点(部位②, ③)について、評価に用いた実測データに基づく肉厚及びその算出過程を添付-3(2/2)に示す。</p> <p>また、「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」については、評価に用いた解析モデルを添付-4(1/2)に示し、部位①(応力比Max点)、部位②(減肉率Max点)、部位③(60年時点の肉厚Min点)の3点を明示した。これらの3点について、評価に用いた実測データに基づく肉厚及びその算出過程を添付-4(2/2)に示す。</p> <p>グランド蒸気系統配管「グランド蒸気管」の評価に用いた解析モデルを添付-5(1/5)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①(FEM解析実施)とその周辺の部位3点(部位②～④)について、評価に用いた実測データに基づく肉厚及びその算出過程を添付-5(2/5)に示す。また、FEM解析を実施している部位①は、FEMモデルや入力荷重等について添付-5(3/5～5/5)に示す。</p>

2. 肉厚測定計画について

配管肉厚については、当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」に基づき、点検計画を立てる。

添付-6に下記のスケルトン図（1/10～5/10）および測定計画（6/10～10/10）を示す。（第27回定検の前の計画であり、第27回定検での測定結果によって測定計画の修正を行うことになる）。

第4抽気系統配管 : 「第4抽気管」
ドレン系統配管 : 「主復水管4/4」
復水系統配管 : 「No.3ヒータドレン管(2/2)」
グラント蒸気系統配管 : 「タービングラント蒸気管」
「高圧車室最終加熱蒸気管」

3. 配管肉厚が必要最小肉厚に到達するまでの年数の算出条件について
配管肉厚が必要最小肉厚に到達するまでの年数の算出に用いた条件について添付-7に示す。

以 上

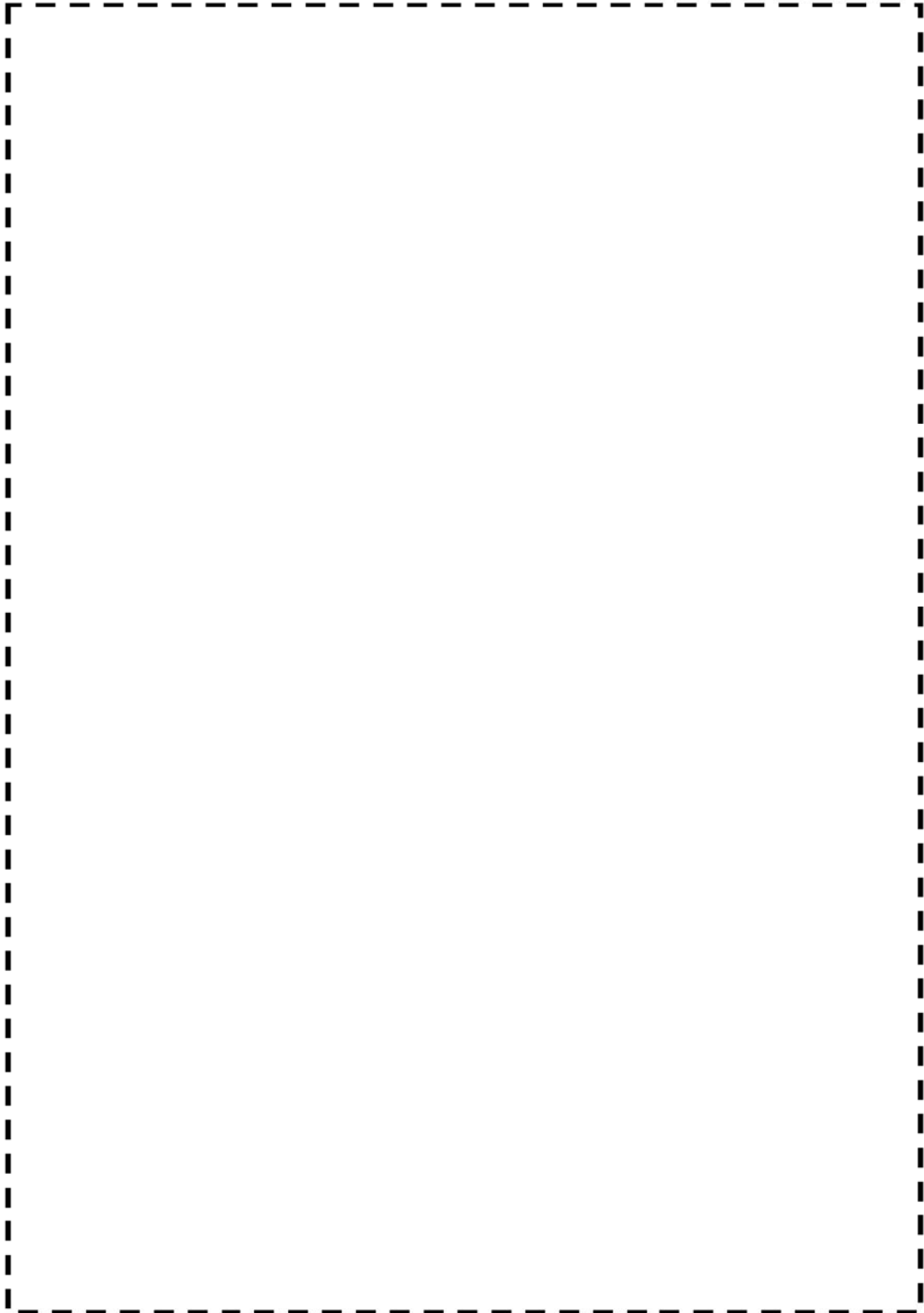
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4抽気系統配管 (第4抽気管 (C))

第4抽気系統配管（第4抽気管（C））部位①～③ の実測データに基づく
肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (年)	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	最新測定-6(年の年数 (年)	最新測定-60年の減肉量 (mm)	60年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②									
③									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



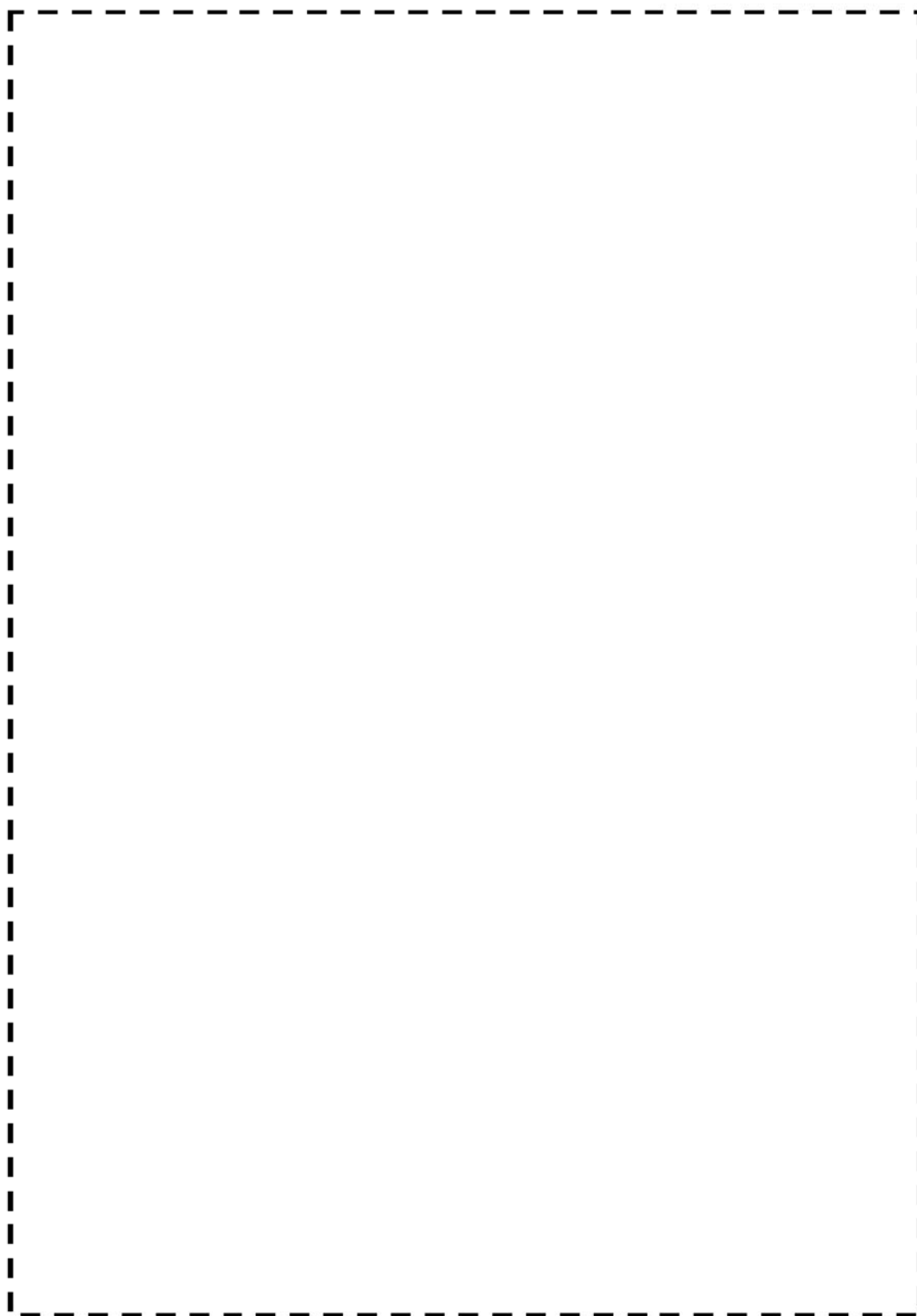
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

復水系統配管 (第4 低圧給水加熱器～脱気器)

復水系統配管（第4 低圧給水加熱器～脱気器）部位①～④ の実測データに基づく
肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (年)	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-6}$ mm/hr)	最新測定-60年の年数 (年)	最新測定-60年の減肉量 (mm)	60年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②	大径側								
	小径側								
③	大径側								
	小径側								
④									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



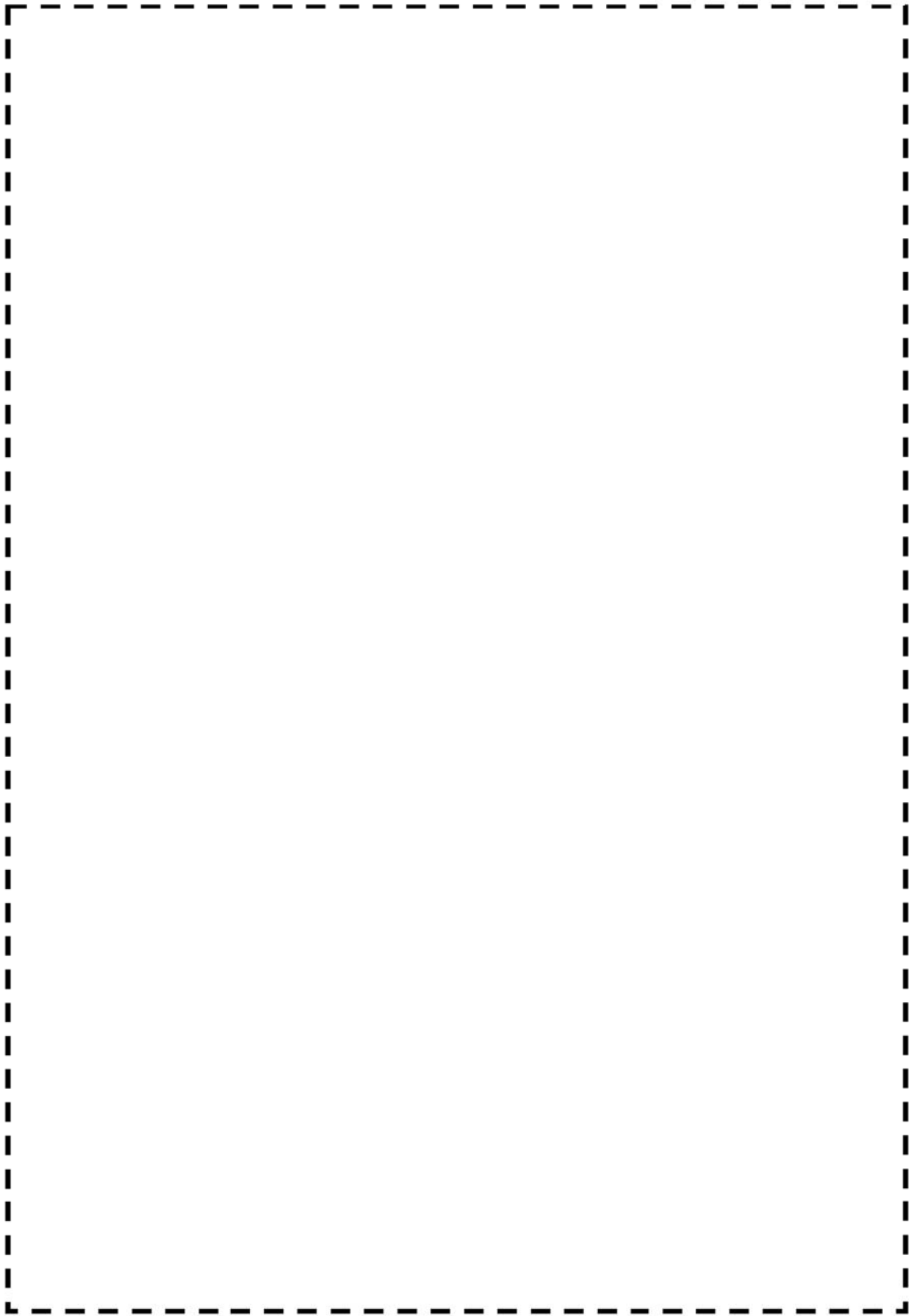
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管 (第3低圧給水加熱器ドレン管 (C))

ドレン系統配管（第3低圧給水加熱器ドレン管（C））部位①～③
 の実測データに基づく肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (年)	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	最新測定-60年の年数 (年)	最新測定-60年の減肉量 (mm)	60年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①									
②									
③									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



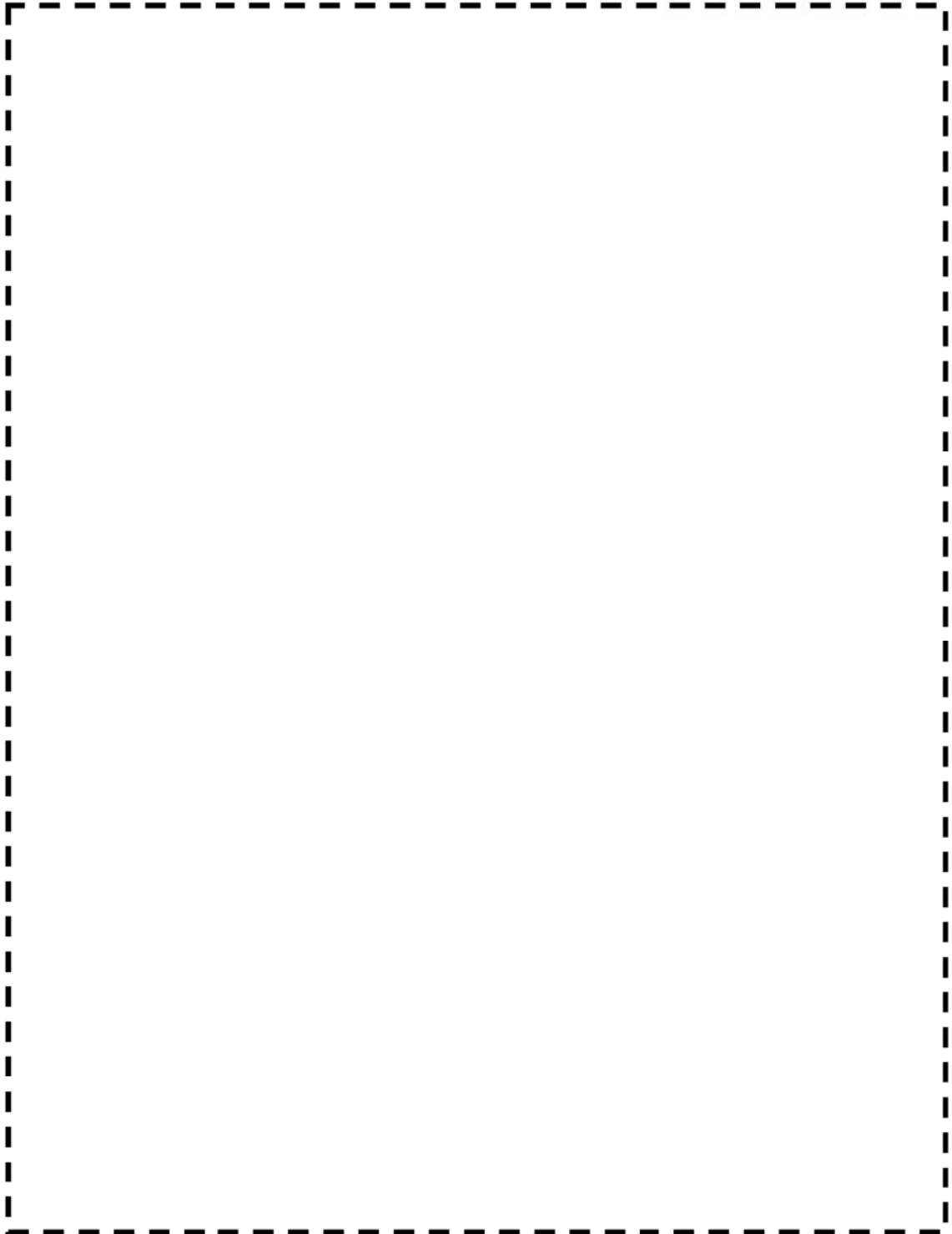
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管 (湿分分離器ドレンポンプ吐出管)

ドレン系統配管（湿分分離器ドレンポンプ吐出管）部位①～③
 の実測データに基づく肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (年)	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-4}$ mm/hr)	最新測定-60年の年数 (年)	最新測定-60年の減肉量 (mm)	60年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②、③									

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラント蒸気系統配管 (グラント蒸気管)

グラント蒸気系統配管（グラント蒸気管）部位①～④
の実測データに基づく肉厚算出過程

部位	肉厚(呼び厚さ) (mm)	必要最小肉厚 (mm)	最新測定時期 (運転開始後時間(hr))	最新測定厚さ (mm)	減肉率 ($\times 10^{-6}$ mm/hr)	最新測定-50年の時間 (hr)	最新測定-50年の減肉量 (mm)	50年時点の肉厚 (評価条件) (mm)	備考
①	母管側								
	枝管側								
②									
③	母管側								
	枝管側								
④	母管側								
	枝管側								

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラウンド蒸気系統配管（グラウンド蒸気管）に対するFEM解析について（部位①）

本FEM解析では、一次要素のソリッドモデルにて解析を行い、ミーゼス応力を算出している。

固定端は偏平を許容しない真円固定としているが、真円固定条件が評価部（3次元梁モデル解析で応力評価上厳しい結果となった部位）に影響を与えない範囲を考慮して、評価部から2D程度（評価する配管の外径の2倍程度）の位置を固定端としている。

また、肉厚方向のメッシュ数を3層としているが、これは曲げにより偏平を生じる解析においてもCクラス配管の耐震評価で対象とする1次応力を適切に評価できることを過去の解析や試解析等により確認しているため、採用したものである。

【部位①】

【FEM入力荷重】

A		力 (N)			モーメント (N・m)		
荷重ケース	X	Y	Z	X	Y	Z	
自重							
地震 (+Z)							
自重+地震(+Z)							

} 梁モデル解析結果
} FEM入力荷重

C		力 (N)			モーメント (N・m)		
荷重ケース	X	Y	Z	X	Y	Z	
自重							
地震 (+Z)							
自重+地震(+Z)							

} 梁モデル解析結果
} FEM入力荷重

【FEM解析モデル及び結果】

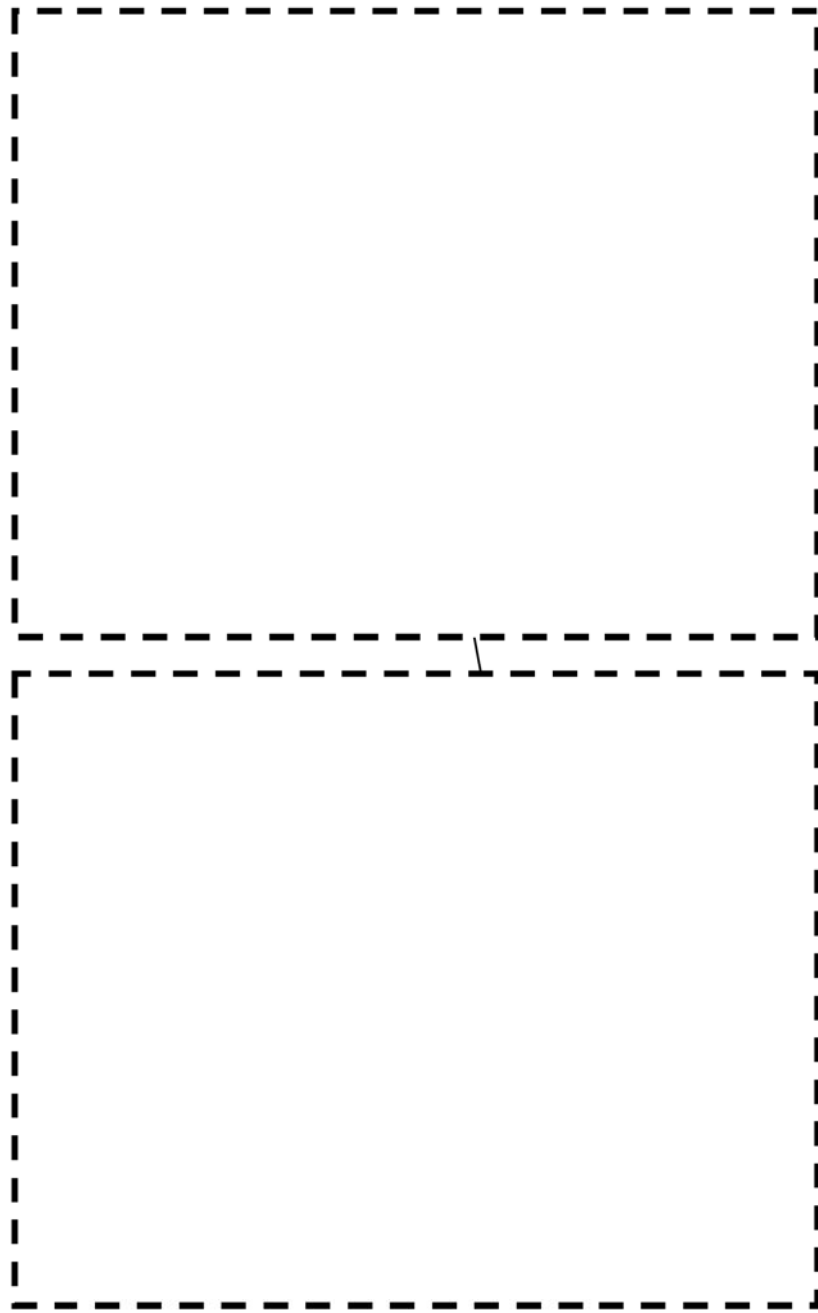


外表面



地震方向	発生応力(MPa)			許容応力 S_y (MPa)	応力比
	内圧	自重+地震 (FEM解析結果)	合計		
Z					0.88

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

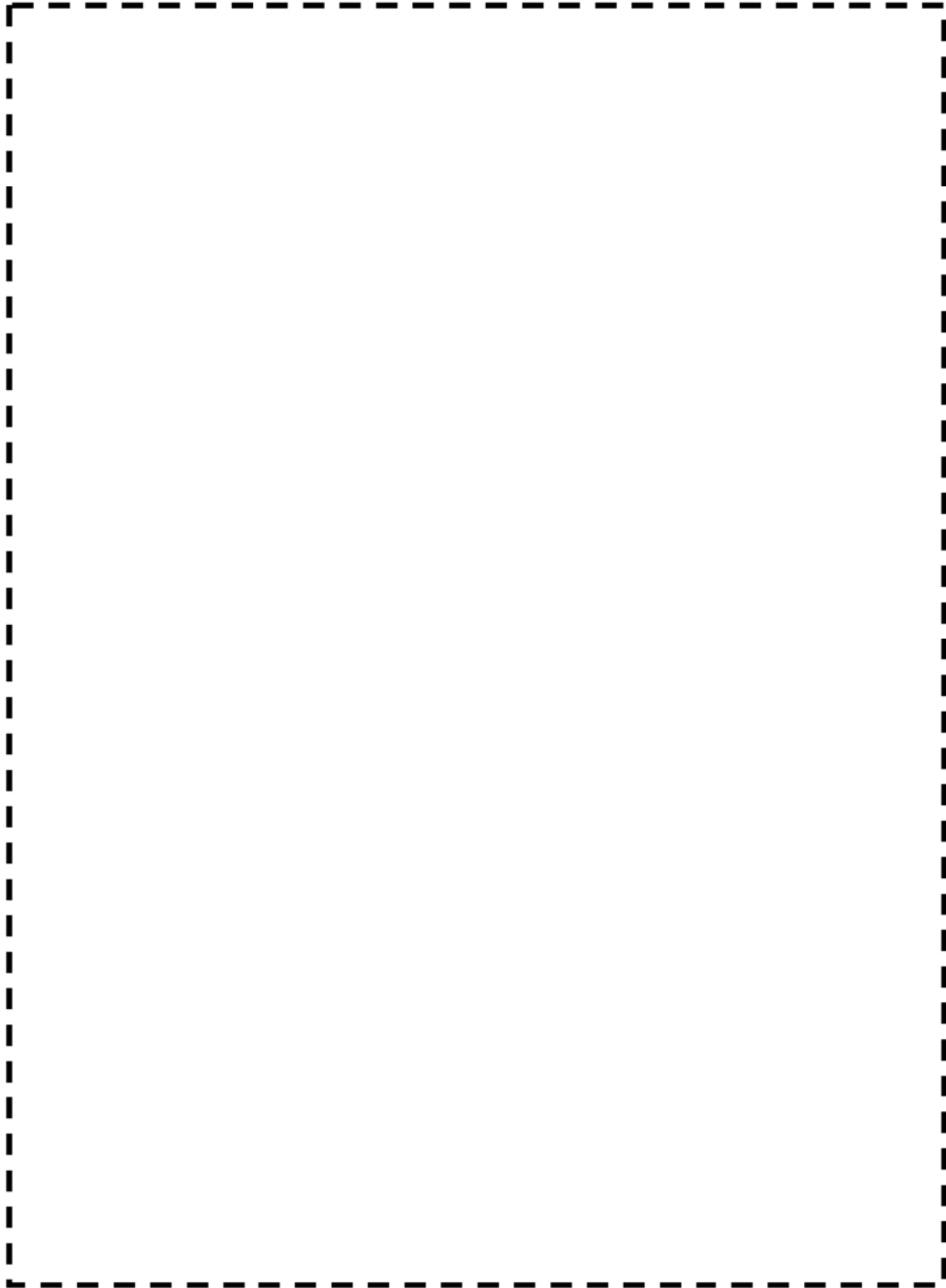


グラウンド蒸気管 部位① メッシュ図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第4抽気管(C)」の肉厚測定について

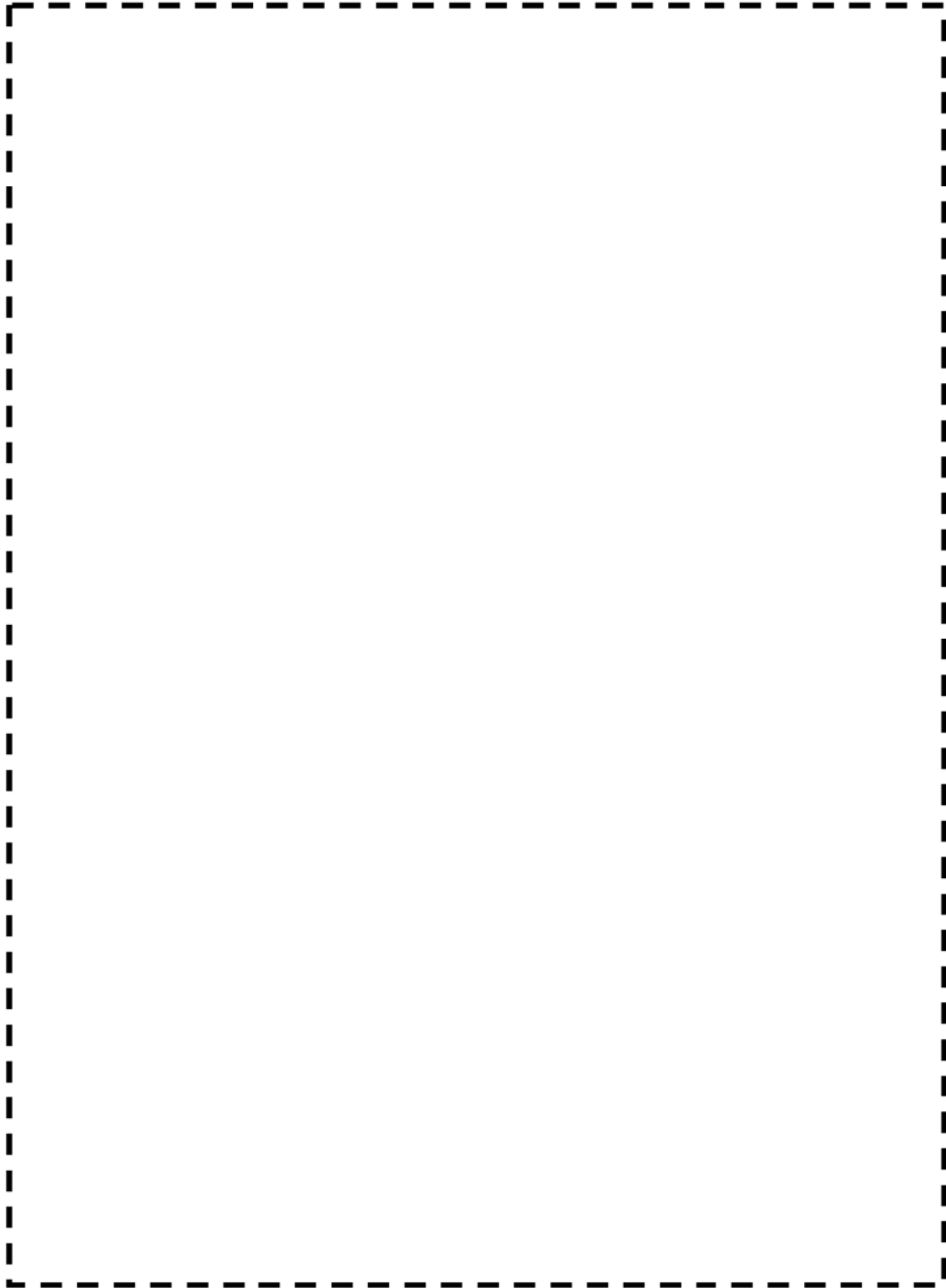
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第4 低圧給水加熱器～脱気器」の肉厚測定について

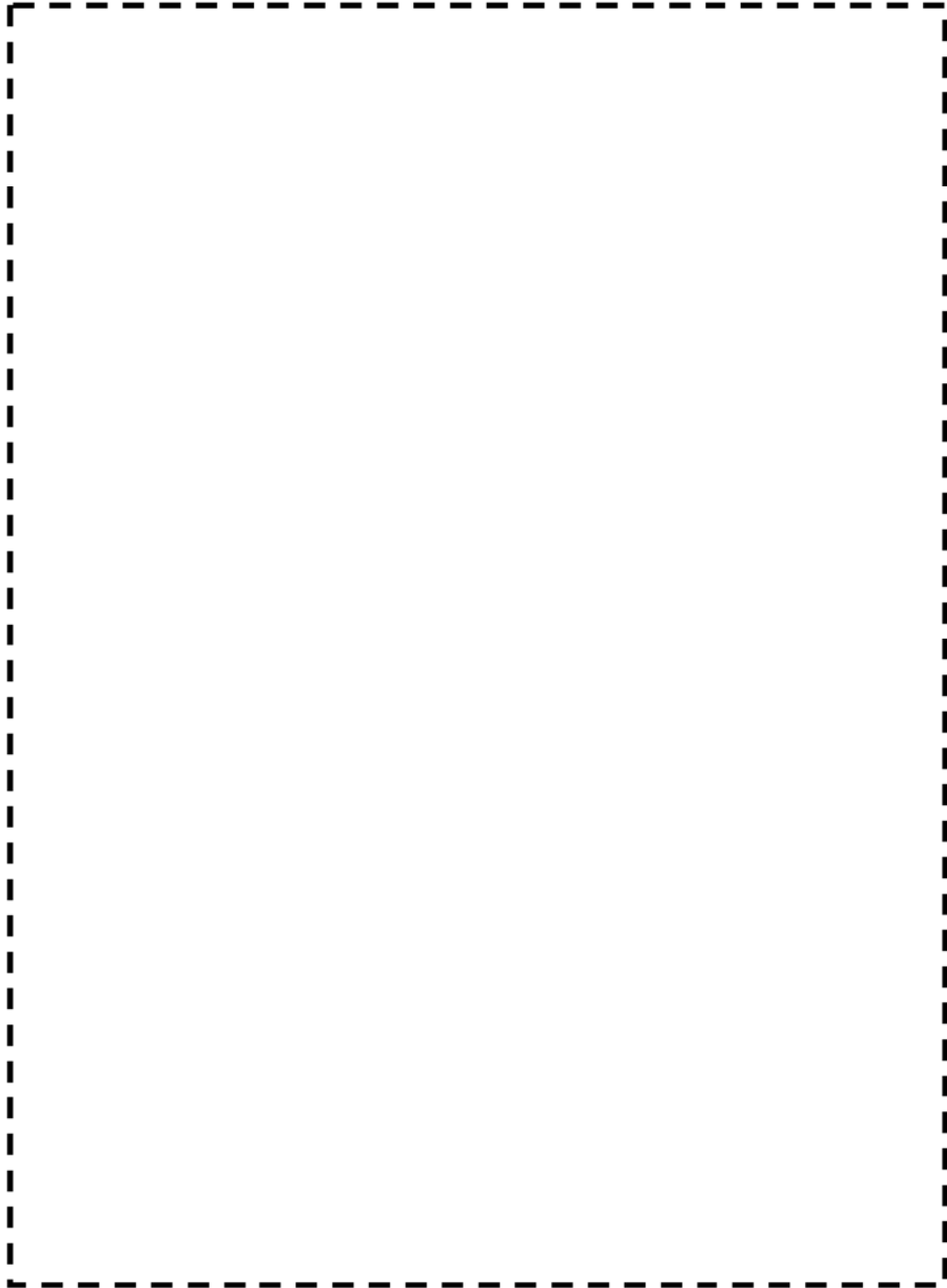
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第3低圧給水加熱器ドレン管(C)」の肉厚測定について

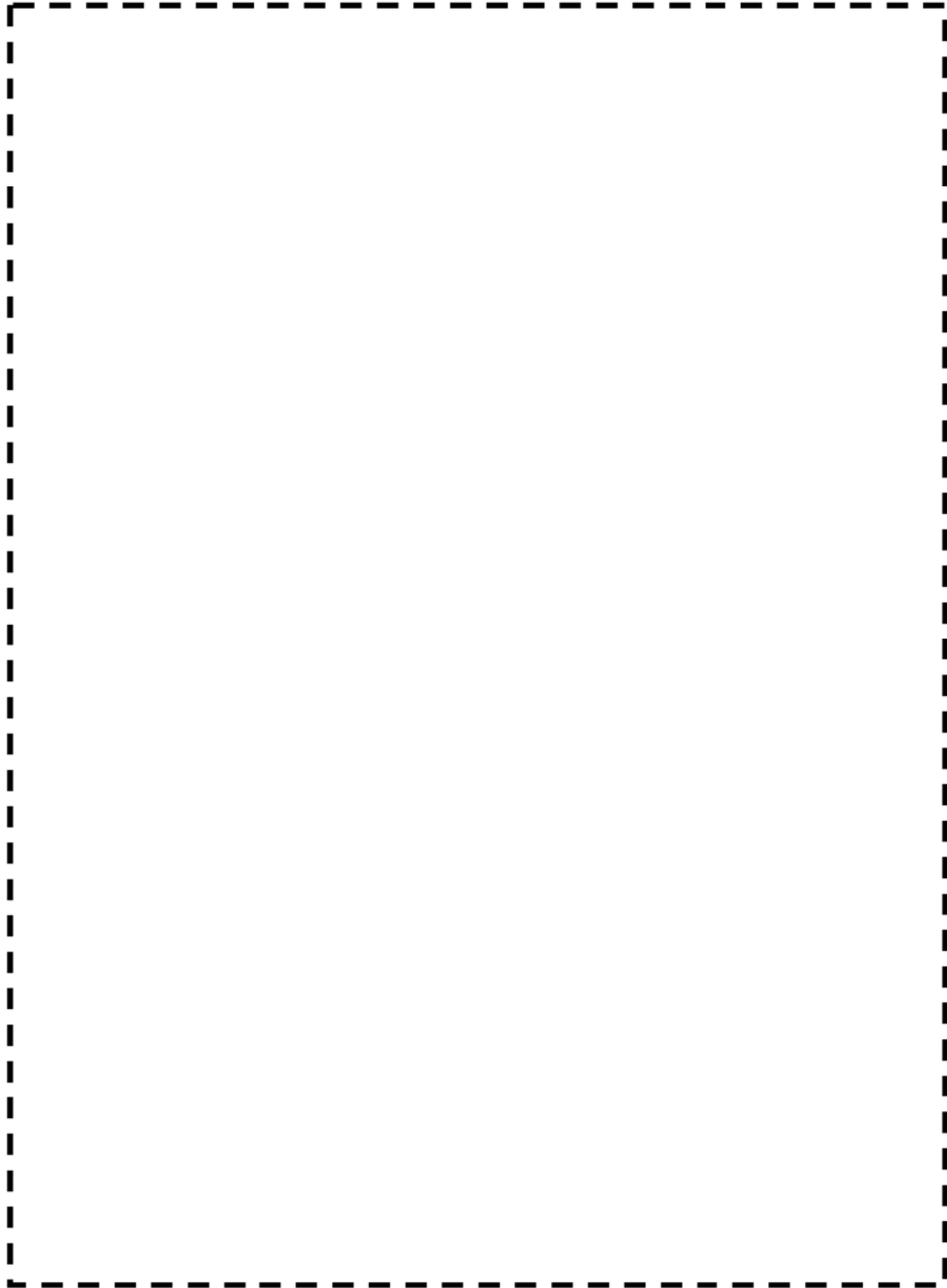
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「グラウンド蒸気管」の肉厚測定について

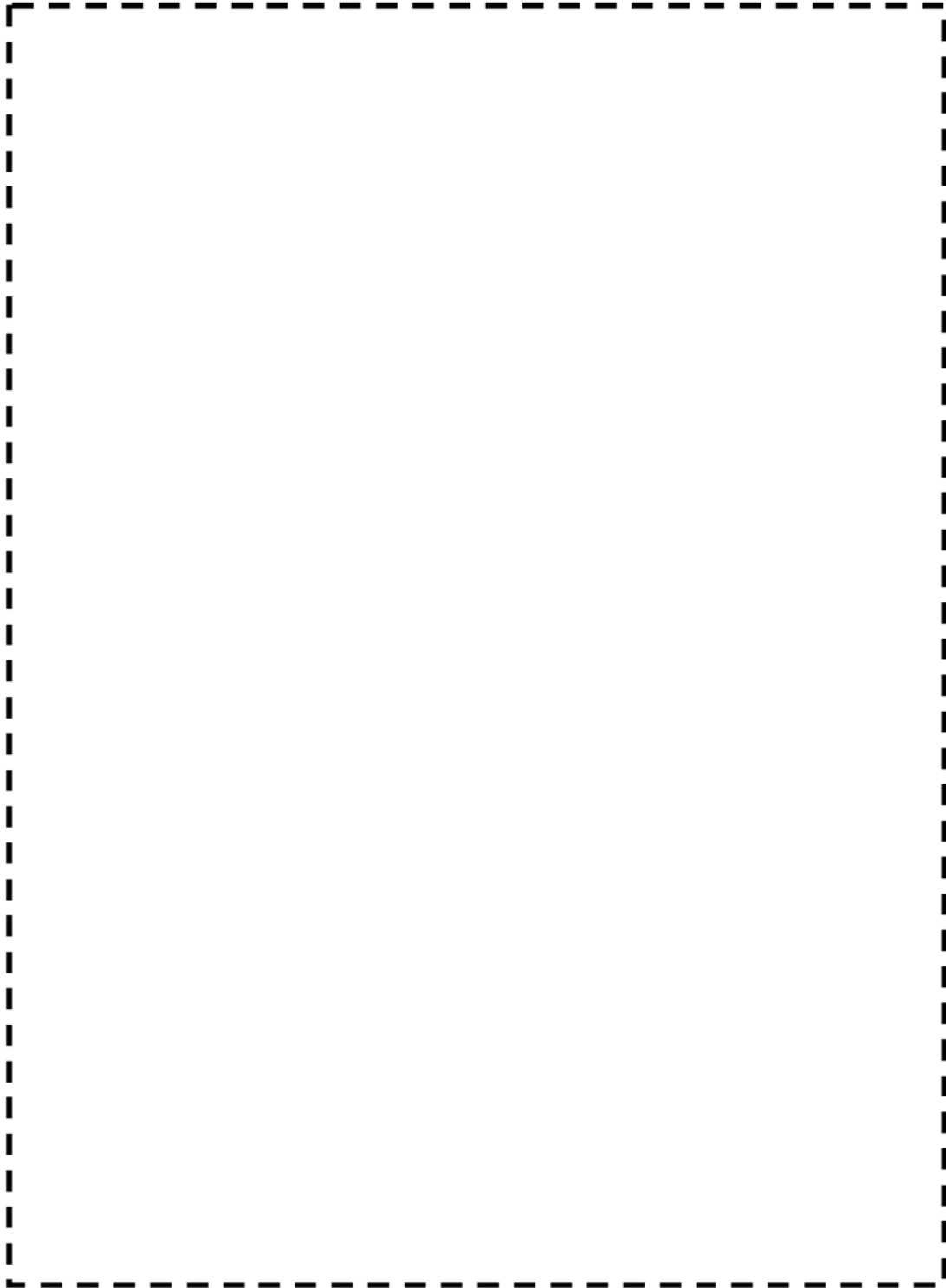
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「グラウンド蒸気管」の肉厚測定について

【スケルトン図と部位番号】



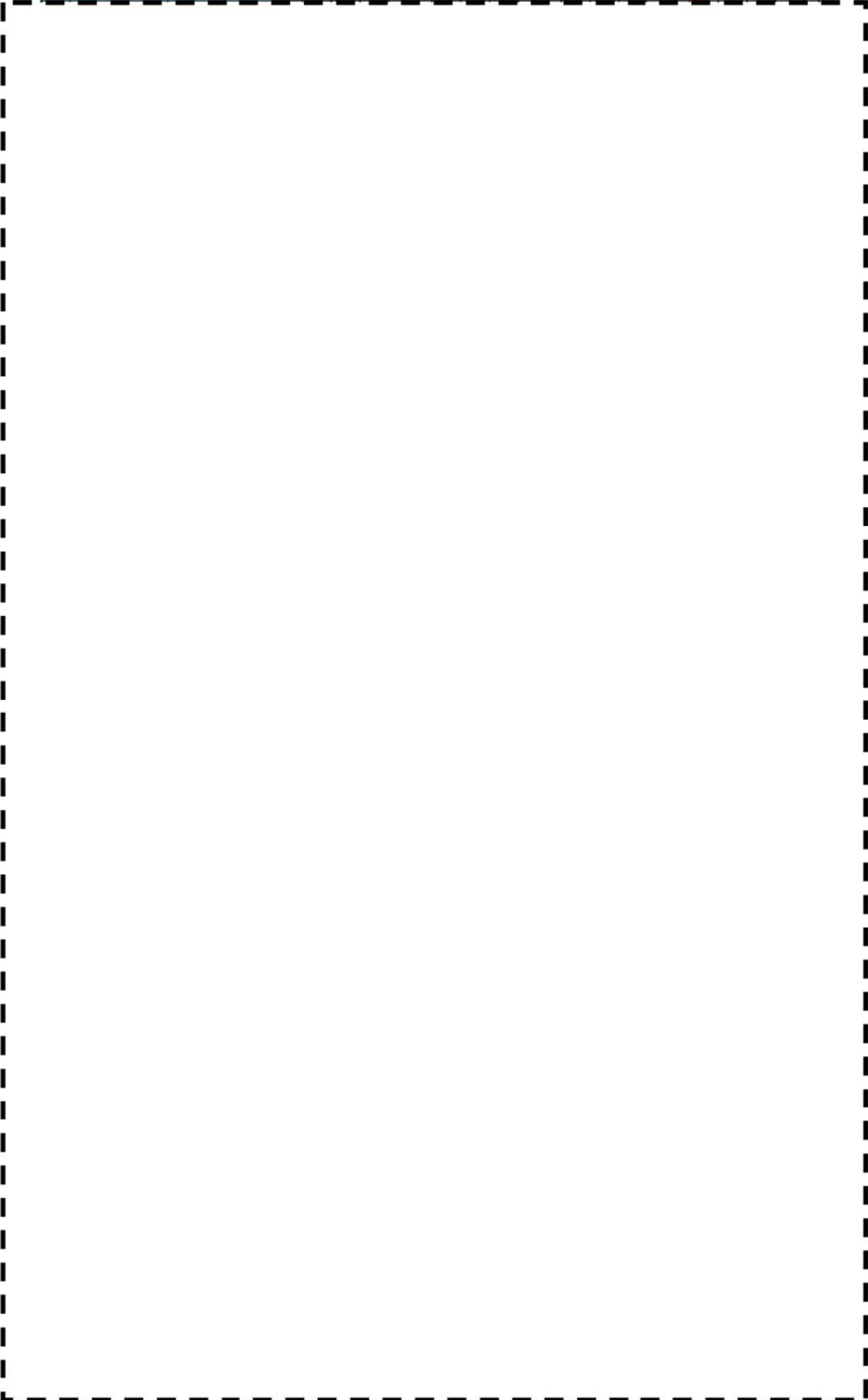
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【各部位の測定計画】 第4抽気系統配管：「第4抽気管」

スクリーン No.	スクリーン名	測定 分類	実測 入射 分類	定検 中 計測 分類	定検 出口 計測 分類	測定																						合計		総計																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
						01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460

【各部位の測定計画】 復水系統配管：「No.3ヒータドレン管 (2/2)」

スケルトン物	部位名	スケルトン名称	測定分類	定検 入時 指針 分類	定検 出 指針 分類	定検 出口 指針 分類	01 00	02 00	03 00	04 00	05 00	06 00	07 00	08 00	09 00	10 00	11 00	12 00	13 00	14 00	15 00	16 00	17 00	18 00	19 00	20 00	21 00	22 00	23 00	24 00	25 00	26 00	27 00	28 00	29 00	30 00	31 00	32 00	33 00	34 00	35 00	36 00	37 00	38 00	39 00	40 00	41 00	42 00	43 00	44 00	45 00	46 00	47 00	48 00	49 00	50 00
--------	-----	---------	------	----------------------	---------------------	----------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1号炉 2次系配管の流れ加速型腐食を考慮した評価における
減肉測定点のいずれかが必要最小肉厚に到達するまでの年数の算出条件について

減肉測定点が必要最小肉厚に到達するまでの年数については、最新計測年および計測結果の肉厚を基準とし、それ以降の稼働率を100%と想定して、減肉率を用いて必要最小肉厚に到達する年数を算出している。

(計算例) 最新計測年2010年での計測結果が、肉厚10.0(mm)、tsr 4.7(mm)、減肉率0.1 (mm/年) の評価点であれば、 $(10.0 - 4.7) / 0.1 + 2010 = 2063$ 年にtsrに到達する。ただし、系統によっては条件の詳細化を以下のように実施している。

①最新計測年から最新の定検(高浜1号炉は第27回定検(2011年1月～))までの期間について、実運転時間を考慮。

②長期停止に伴う冷温停止期間を考慮。

③最新の定検から必要最小肉厚に到達するまでの稼働率を100%ではなく、85%と想定。2015年4月(初回申請時)に用いた、必要最小肉厚に到達する年数の算出条件を示す。

表1 2015年4月(初回申請時)における算出条件

系統名称	算出条件			必要最小肉厚に到達する年数
	①最新計測年から最新定検までの実運転時間	②冷温停止期間	③稼働率	
第4抽気系統(C)	考慮しない	考慮しない	100%	60年以上
復水系統	考慮しない	考慮しない	100%	60年以上
ドレン系統	考慮しない	考慮しない	100%	60年以上
グランド蒸気系統	考慮する	考慮しない	85%	約50年

初回申請時の年数算出条件は上記の通りであるが、必要最小肉厚へ到達するまでの年数については、冷温停止期間の長期化や技術評価側の補正内容を反映し、系統全てについて同様の算出条件を用いて、改めて年数を算出するよう見直した。

表2 見直し後の算出条件

系統名称	算出条件			必要最小肉厚に到達する年数
	①最新計測年から最新定検までの実運転時間	②冷温停止期間	③稼働率	
すべての系統	考慮しない	考慮する※1	100%	本文P14に記載

※1：冷温停止期間は、高浜1号炉は2011年1月～2018年3月を想定。

以上

タイトル	耐震性が確認できる肉厚に到達するまでに行うサポート改造等の設備対策工事、これを反映した耐震安全性評価について
説明	<p>1. 対象配管</p> <p>60年時点または50年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施した以下の5ラインとなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第4抽気系統 : 第4抽気管 (C) ・グラント蒸気系統 : グラント蒸気管 ・復水系統 : 第4 低圧給水加熱器～脱気器 ・ドレン系統 : 第3 低圧給水加熱器ドレン管 (C) 湿分分離器ドレンポンプ吐出管 <p>2. 耐震性が確認できる肉厚に到達する時期</p> <p>現在まで取得した実測データに基づく評価においては、「耐震性が確認できる肉厚に到達する時期」は、「第4 抽気管 (C)」「第4 低圧給水加熱器～脱気器」「第3 低圧給水加熱器ドレン管 (C)」「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の4ラインは、運転開始後60年時点となり、「グラント蒸気管」の1ラインは、運転開始後50年時点となる。</p> <p>しかしながら、新たな肉厚測定記録が追加されることで減肉速度が変わり、場合によっては運転開始後60年または50年時点より前になることも考えられる。このため減肉速度の管理など保全活動が煩雑になることを回避するため、早期にサポート改造等の設備対策工事を行い全箇所tsrとした場合でも耐震安全性を確保できるようにすることを「長期保守管理方針」として掲げ、実施時期は「短期（平成26年11月14日からの5年間）」としている。</p> <p>3. 対策工事の内容</p> <p>対策工事案については、スナバの追設またはスプリングハンガ・スプリングサポートの追設としており各ライン毎の追設本数は以下のとおり（ただし、今後詳細設計において仕様変更の可能性はある）。</p> <p>詳細なサポート設置予定位置については添付-1に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第4 抽気管 (C) : スナバ1本追設 ・グラント蒸気管 : スナバ3本追設 ・第4 低圧給水加熱器～脱気器 : スナバ3本追設, スプリングサポート2本追設 ・第3 低圧給水加熱器ドレン管 (C) : スナバ2本追設 ・湿分分離器ドレンポンプ吐出管 : スナバ6本追設, スプリングハンガ1本追設

4. 対策工事後の耐震安全性評価における解析の条件

5ラインとも 全箇所 t s r モデルでの梁モデル解析による結果は、それぞれ以下のとおり応力比が1以下となり、耐震安全性を満足する。

添付-1 参照

- ・第4 抽気管 (C) : 応力比 0.88
- ・グラント蒸気管 : 応力比 0.87
- ・第4 低圧給水加熱器～脱気器 : 応力比 0.91
- ・第3 低圧給水加熱器ドレン管 (C) : 応力比 0.79
- ・湿分離器ドレンポンプ吐出管 : 応力比 0.94

以 上

第4 抽気系統配管 (第4 抽気管 (C))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラント蒸気系統配管 (グラント蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

復水系統配管（第4低圧給水加熱器～脱気器）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管 (第3 低圧給水加熱器ドレン管 (C))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管 (湿分離器ドレンポンプ吐出管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁に対する地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価について</p>
<p>説明</p>	<p>1. 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定 弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないことを確認すべき対象を以下のとおり選定した。</p> <div data-bbox="510 739 1276 1321" style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">①弁と配管の接続部における疲労割れ/②接続配管の腐食(流れ加速型腐食)に対する弁の動的機能維持評価</p> <pre> graph TD Start[①弁と配管の接続部における疲労割れ/②接続配管の腐食(流れ加速型腐食)に対する弁の動的機能維持評価] --> D1{振動応答特性に影響する経年劣化事象か?} D1 -- No ①※1 --> End[評価対象外] D1 -- Yes ②※2 --> D2{振動応答特性に影響が及ぶ範囲に地震時に動的機能維持(主要弁)が存在するか?} D2 -- No --> End D2 -- Yes 主蒸気系統 --> Box1[評価対象弁の抽出] Box1 --> Box2[主蒸気逃がし弁・主蒸気安全弁 → これについて評価を実施する] </pre> <p style="font-size: small;">主給水系統 低圧再熱蒸気系統 第3・4給気体系統 補助蒸気系統 グランド蒸気系統 復水系統 トレン系統 SG7ローリン系統</p> </div> <p>※1: 疲労割れが生じた場合は振動応答に影響を与える可能性があるが、疲労累積係数が1以下であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答に影響を与える経年劣化事象ではない</p> <p>※2: 弁そのものの経年劣化事象ではないが、接続配管に流れ加速型腐食が生じた場合は、配管の振動応答特性の変化が弁の応答加速度に影響すると考えられる</p> <p>図1 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定フロー</p>

2. 評価結果

主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁に接続する主蒸気系統配管の、流れ加速型腐食に係る減肉管理部位を必要最小肉厚まで一様に減肉させた耐震補強工事後のモデル（添付-1 参照）を用いて、スペクトルモード解析を実施し、対象弁における応答加速度を算出した結果、機能確認済加速度を上回ることがないことを確認した。よって動的機能維持の観点から耐震安全性上問題ないことを確認した。

表1 主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁の動的機能維持評価結果

地震力		主蒸気逃がし弁		主蒸気安全弁	
		応答加速度	機能確認済 加速度	応答加速度	機能確認済 加速度
S s	水平	[4.2G]	6.0G	[5.5G]	10.0G
	鉛直	[1.5G]	6.0G	[2.8G]	3.0G

(注) G=9.8 (m/s²)

[]内は工認での評価結果

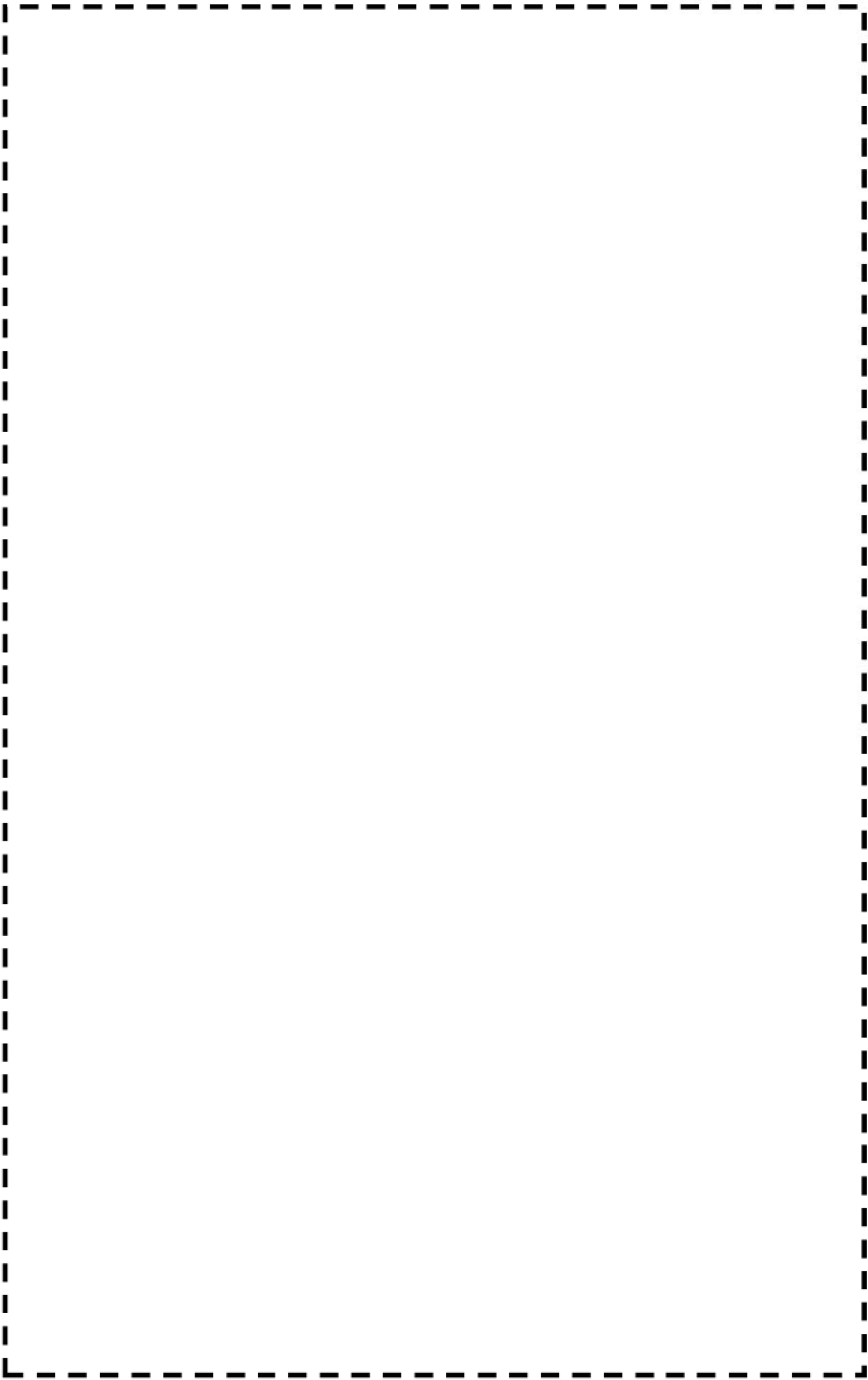
なお、主蒸気逃がし弁については、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価の評価部位となっていることから、流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行った。結果は、以下の表となり、動的機能維持の観点から耐震安全性上問題ないことを確認した。

表2 主蒸気逃がし弁の水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる動的機能維持評価結果

地震力		主蒸気逃がし弁	
		水平応答加速度	機能確認済 加速度
S s	水平 + 鉛直	[6.0G]	6.0G

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

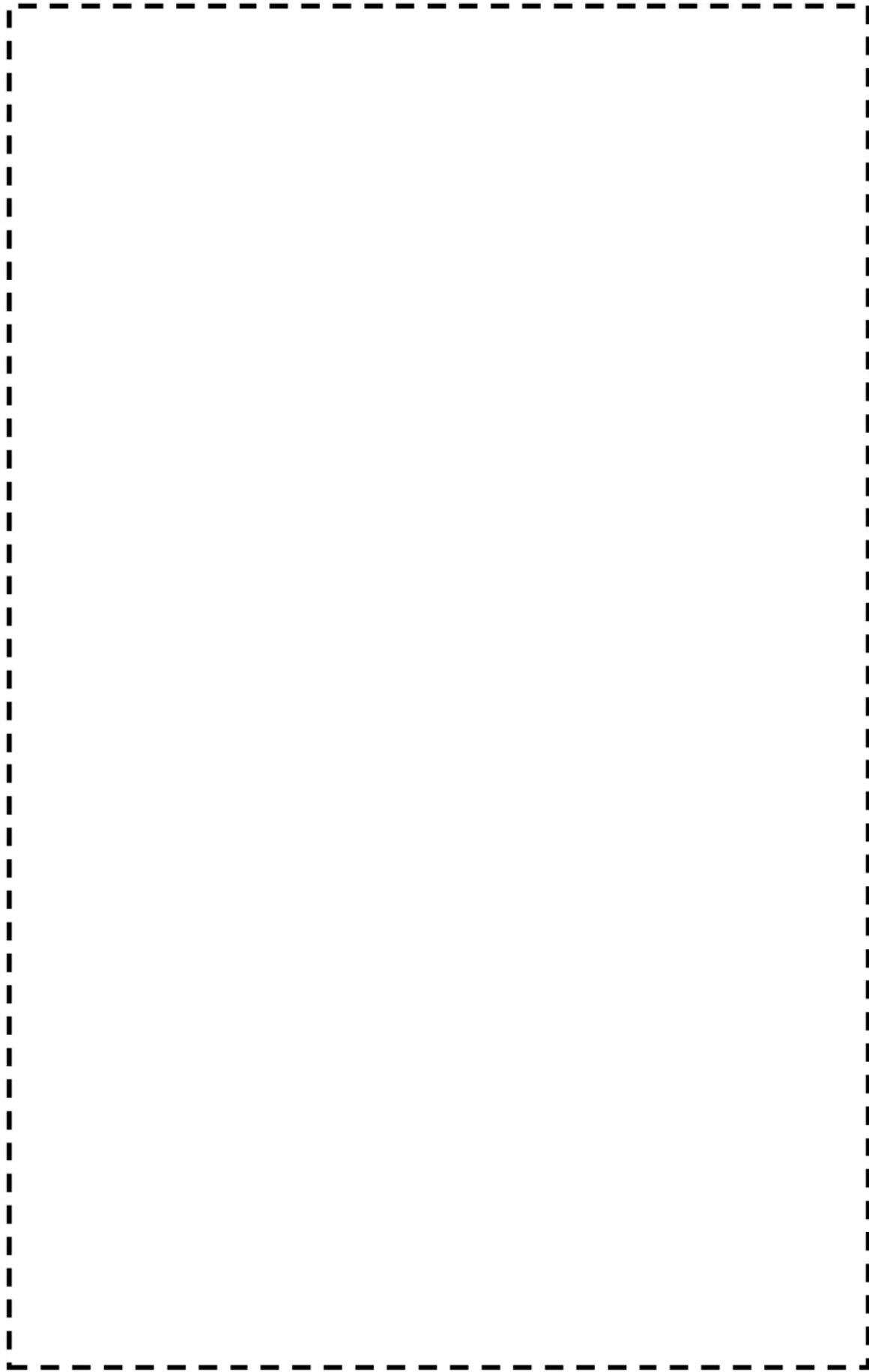


高浜 1 号機 主蒸気系統配管 (A-主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜 1 号機 主蒸気系統配管 (B-主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



高浜 1 号機 主蒸気系統配管 (C-主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>タイトル</p>	<p>バブルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れに対する評価について</p>
<p>説明</p>	<p>以下のとおり評価の具体的内容を示す。 なお、本評価については、工認に合せた評価手法を反映し評価を行っている。</p> <p>1. ボルト損傷本数と想定箇所</p> <p>技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数（全体の20%）以下との結果が得られているが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2～7段全てのバブルフォーマボルト（全バブルフォーマボルト□□本のうち、□□本の損傷を想定）が損傷したと仮定した。</p> <p>図1 バブルフォーマボルト損傷想定箇所</p> <p>【評価対象部位】 他のバブル板で端が支持されていない③、⑤のバブル板（地震荷重を全てボルトで受けるため厳しい）のうち、幅が大きくボルト1本あたりの地震荷重が最も大きくなる「バブル板③」のボルトを評価対象とした。</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 解析モデル及び諸元

(1) 地震応力

バップルフォーマボルトが受ける地震荷重は、図1に記載のバップル板③を
はり要素でモデル化し、これを組込んだ炉内構造物耐震評価モデル(図2)を
用いて、スペクトルモーダル法によるSs地震時の応答解析を実施し算出した。

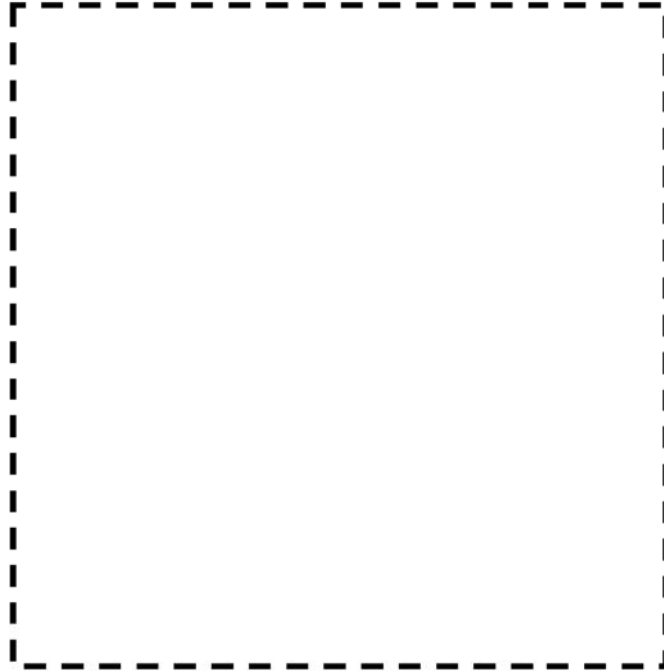


図2 炉内構造物耐震評価モデル

(2) 機械的荷重による応力

機械的荷重として、運転時の差圧によるバップル板荷重を考慮する。評価に
は最大差圧 1.5 kg/cm^2 を用い、最上段及び最下段のそれぞれ4本のボルト
が受ける荷重は、図3に示す斜線部面積に作用する荷重とした。

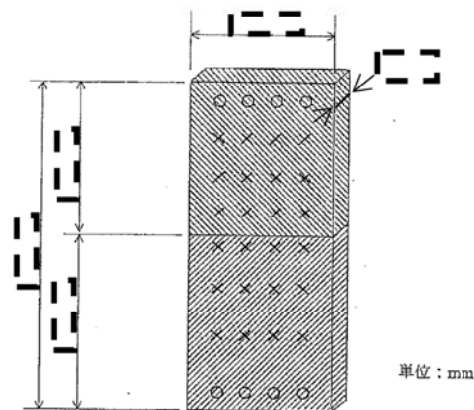


図3 バップルフォーマボルト応力評価モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(3)許容応力

許容応力については、炉内構造物の許容応力の $D_s(IV_{AS})$ の規定を適用した。

表1 炉内構造物の許容応力

	一次応力強さ(一般膜応力)
$D_s(IV_{AS})$	$\text{Min}(2.4S_m, 2/3S_u)$
材料 温度	MPa C

3. 評価内容

(1)地震応力

算出された最上段及び最下段のボルト1本あたりに作用する地震荷重をもとに、地震応力を算出した。

ボルト1本に作用する地震荷重(軸力):

□ N (最上段)
□ N (最下段)

ボルトシャंक径:

□ mm

ボルトの地震応力(軸方向応力):

□ (MPa) (最上段)

□ (MPa) (最下段)

(2)機械的荷重による応力

ボルト1本に作用する差圧荷重(軸力):

□ (N) (最上段)
□ (N) (最下段)

ボルトの機械的荷重による応力(軸方向応力):

□ (MPa) (最上段)

□ (MPa) (最下段)

(3)地震時の応力(合計)

地震時のバップルフォーマボルトの応力は以下の通り。

□ (MPa) (最上段)
□ (MPa) (最下段)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 評価結果

ハッフルフォーマボルトの地震時における応力評価結果を表2に示す。発生応力は許容応力を超えることはなく、耐震安全上問題がないことを確認した。なお、発生応力は大きい方の最下段の評価結果を採用した。

表2 高浜1号炉

ハッフルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する耐震安全性評価結果

評価部位	地震時の発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
ハッフルフォーマボルト (最下段)			0.15

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

5. 制御棒挿入性評価

バッフルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する評価として実施する、制御棒挿入時間評価の内容は以下のとおり。

(1) 評価仕様

制御棒挿入時間評価は、制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮し、下記の運動方程式を解くことで、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求める。地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出する。

バッフルフォーマボルトの照射誘起応力腐食割れに対する評価として実施する制御棒挿入時間評価では、燃料集合体の応答解析において、バッフルフォーマボルトの損傷を仮定した燃料集合体群振動解析モデルにより算出される応答を用いて挿入時間を算出することで、バッフルフォーマボルト損傷の影響を評価している。

なお、地震応答に対応する制御棒挿入抗力は各機器に対する静的抗力測定試験や正弦波加振下での制御棒落下試験結果を基に、機器の応答変位や応答加速度に対応する抗力データを取得している。

制御棒挿入時間解析においては、機器の時刻歴応答解析結果とこれらの抗力データから、解析の各タイムステップにおいて地震外力による抗力を求め、運動方程式に反映し、挿入時間を求めている。

添付-1に制御棒挿入時間評価の全体の流れ、制御棒挿入時間評価において考慮する各種抗力、及び制御棒挿入時間解析における抗力の取り扱いを示す。

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - (F_f + F_v + F_m + F_u)$$

ここで、

M	:	質 量
x	:	制御棒クラスタ挿入距離
t	:	制御棒クラスタ挿入時間
g	:	重力加速度
F _f	:	流体による抗力
F _v	:	地震外力による抗力
F _m	:	メカニカル抗力
F _u	:	浮 力

(2) 入力条件

①ボルト損傷本数と想定箇所

技術評価において、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は管理損傷ボルト数 (全体の20%) 以下との結果が得られているが、本耐震安全性評価では、図1に示すとおり2~7段全てのバップルフォーマボルト (全バップルフォーマボルト□□本のうち、□□本の損傷を想定) が損傷したと仮定した。(「1. ボルト損傷本数と想定箇所」と同じ)

②挿入経路機器の地震応答

制御棒挿入時間評価の入力となる地震時の制御棒挿入経路機器の最大応答変位を表1に示す。これらの機器応答に対応する地震時の制御棒挿入抗力を求め、挿入時間を算出する。

表1 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 (制御棒案内シンプル)

(3) 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表2に示す。バップルフォーマボルトの損傷を考慮した場合も、挿入時間は規定時間を満足しており、耐震安全上問題がないことを確認した。

表2 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
通常運転時	1.31	1.8
地震時 (バップルフォーマボルトの損傷を考慮)	1.69	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書に記載の値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(4) 補足 (バッフルフォーマボルト損傷を考慮しない場合)

①地震時 制御棒挿入経路機器応答

表5 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒クラスタ 駆動装置	制御棒クラスタ 案内管	燃料集合体 制御棒案内シムプル

②評価結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
地震時挿入時間	1.65	1.8

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書に記載の値

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

制御棒挿入性評価について

制御棒挿入性の評価については、新規制基準への適合に係る工認側で評価手法を見直した再評価を実施したため、これに合わせた評価手法により評価の見直しを行った。

	現評価 (H27. 11補正申請)	工認に合せた評価手法反映
評価条件	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(700gal)～Ss-7
解析 モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA連成モデル FA減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA連成モデル FA減衰率： <u>1%</u>
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 	《挿入経路機器の応答解析》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：スペクトルモーダル解析 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：最大抗力一定 ・制御棒クランク案内管：最大抗力一定 ・燃料集合体：時刻歴手法

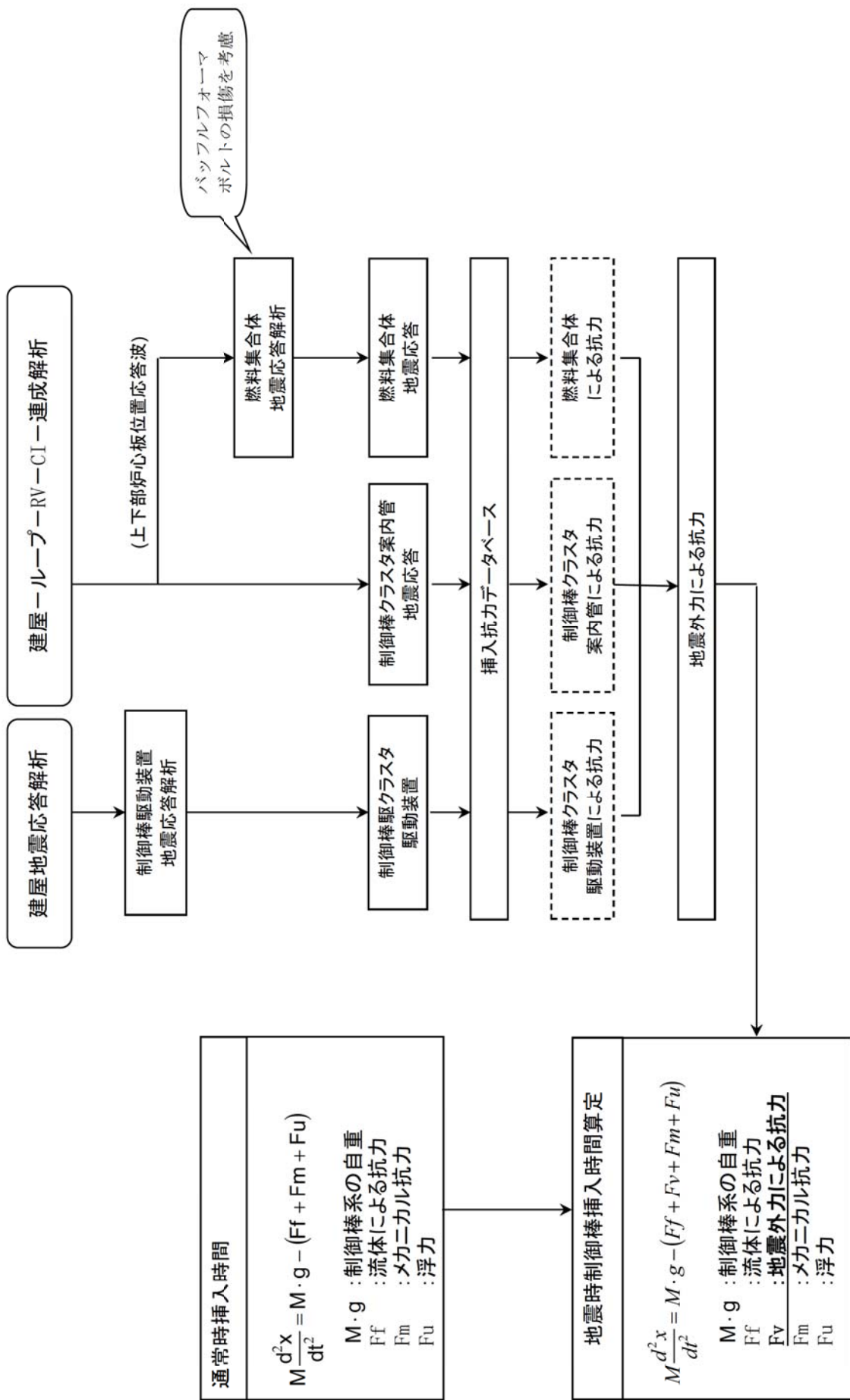


図1 制御棒挿入時間評価の流れ

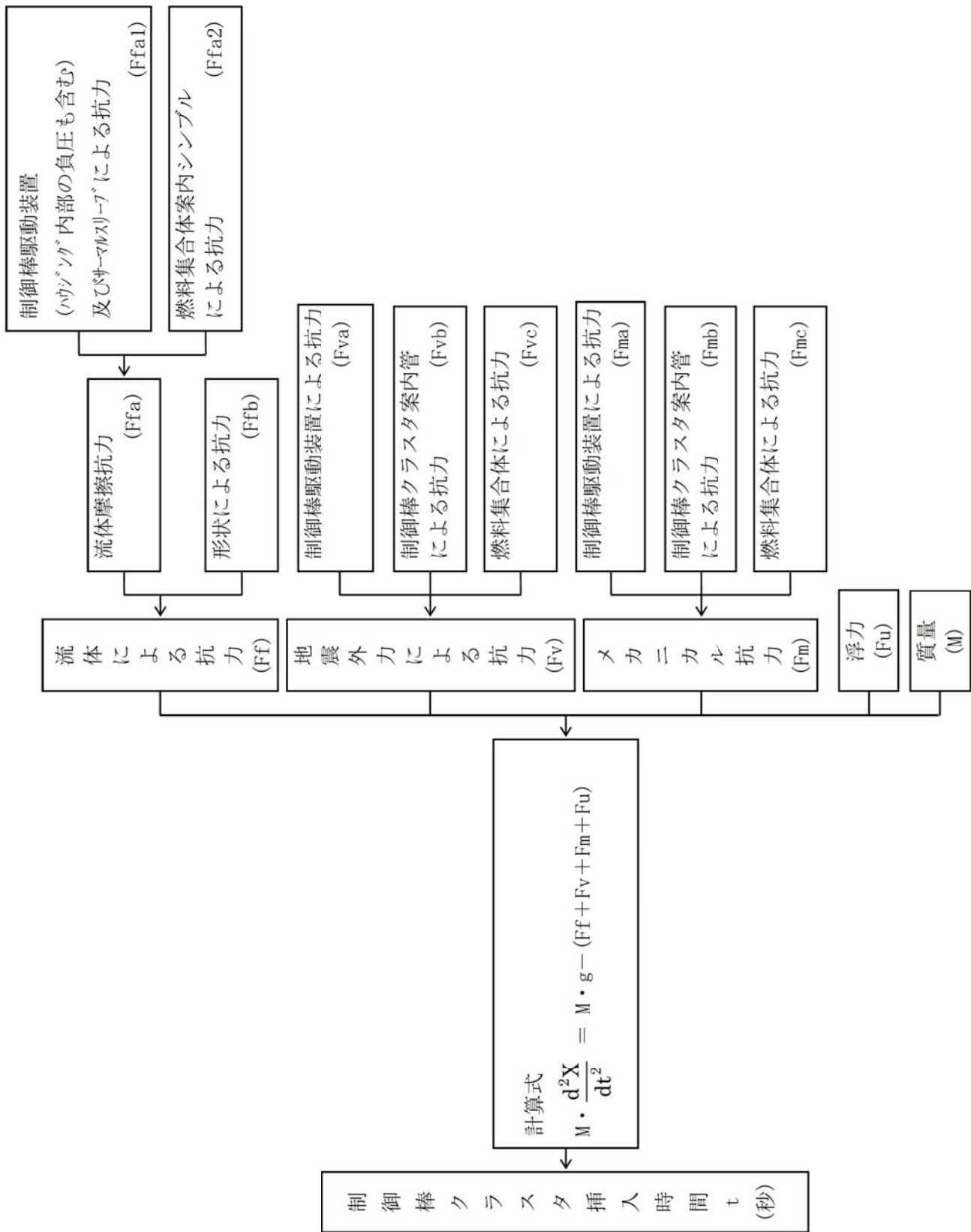
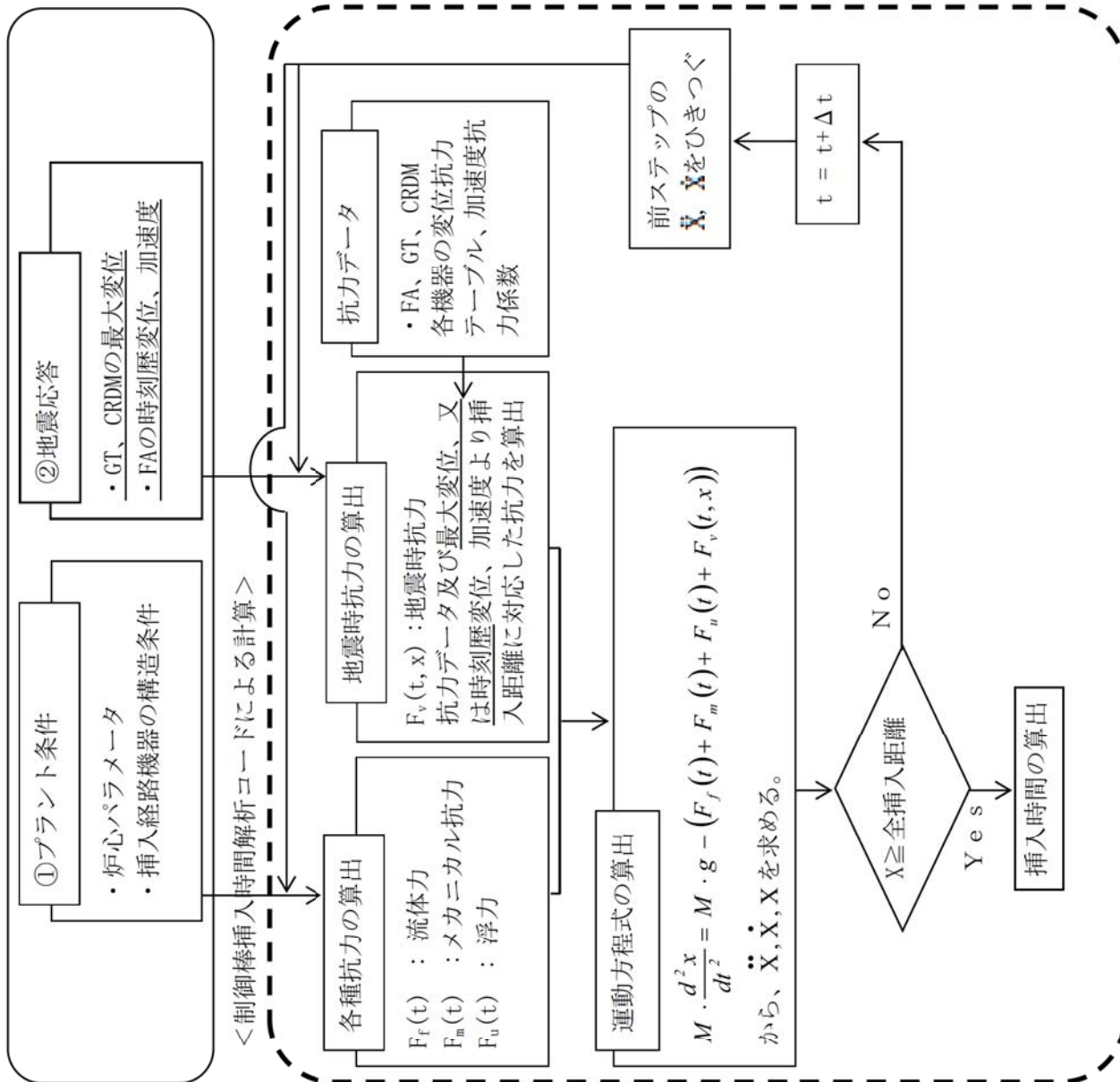


図2 制御棒挿入時間評価において考慮する各種抗力

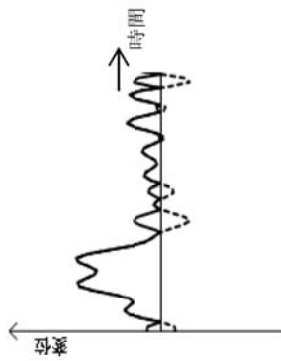
<入力条件>



<時刻歴手法における地震応答及び抗力の取り扱い>

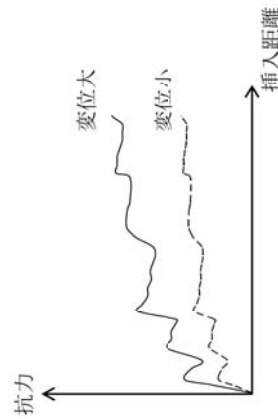
・地震応答の取り扱い

機器の応答解析結果から時々刻々と変化する変位、加速度を用いる



・抗力データ

各機器に対し、変位量に対応する挿入距離に対する抗力テーブル及び加速度抗力係数を設定（下図はFA変位抗力の例）



機器の時刻歴応答（変位、加速度）及び抗力テーブル、加速度抗力係数より、解析の各タイムステップにおいて、その時刻の応答変位、応答加速度と挿入距離に対応する抗力を算出し、運動方程式に反映する。
 ※静的手法では、最大応答に対応する抗力を一定に考慮する。

図3 制御棒挿入時間解析における抗力の取り扱い

タイトル	制御棒被覆管の摩耗に対する評価について
説明	<p>制御棒被覆管の摩耗に対する具体的評価内容（応力評価）について、添付－1に示す。</p> <p>また、制御棒被覆管の摩耗に対する具体的評価内容（挿入時間の評価）について、添付－2に示す。</p> <p>なお、本評価については、別紙のとおり、工認に合せた評価手法を反映し評価を行った。</p>

制御棒挿入性評価について

制御棒挿入性の評価については、新規制基準への適合に係る工認側の評価手法を見直し再評価を実施したため、これに合わせた評価手法により評価の見直しを行った。

	現評価 (H27.11 補正申請)	工認に合せた評価手法反映
評価条件	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(700gal)～Ss-7	燃料集合体照射後条件 (照射影響の考慮有り) Ss-1(700gal)～Ss-7
解析モデル	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率：10%	建屋-RCS-RV-CI-FA 連成モデル FA 減衰率： <u>1%</u>
評価手法	《挿入経路機器の応答解析》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：時刻歴手法 ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 	《挿入経路機器の応答解析》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：<u>スペクトルモーダル解析</u> ・制御棒クランク案内管：時刻歴手法 ・燃料集合体：時刻歴手法 《地震時挿入抗力の考慮方法》 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒駆動装置：<u>最大抗力一定</u> ・制御棒クランク案内管：<u>最大抗力一定</u> ・燃料集合体：時刻歴手法

被覆管の摩耗に対する耐震安全性評価

1. 計算方法の概要

制御棒クラスタの被覆管に摩耗を想定した場合の耐震安全性評価については、摩耗なしの場合の計算を実施し、摩耗なしの状態が発生応力が最大となる条件に対して、膜成分は断面積の減少分を、曲げ成分は断面係数の減少を考慮し、評価を実施する。

2. 制御棒クラスタの構造

制御棒クラスタは、1つの制御棒スパイダ及び20本の制御棒から構成される。

制御棒スパイダは、スパイダ本体より放射状に配置したバーン及び円筒形のフィンガから構成される。

制御棒は、ねじによりフィンガと接合され、ピンにより回り止めされている。

制御棒は、中性子吸収材である $\{ \}$ %銀、 $[\]$ %インジウム、 $[\]$ %カドミウムの合金をステンレス鋼製の被覆管に挿入し、被覆管両端に端栓を溶接した密封構造となっている。

制御棒には、更にコイルばねが入れられており、中性子吸収材の軸方向の動きを制限している。

構造説明図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

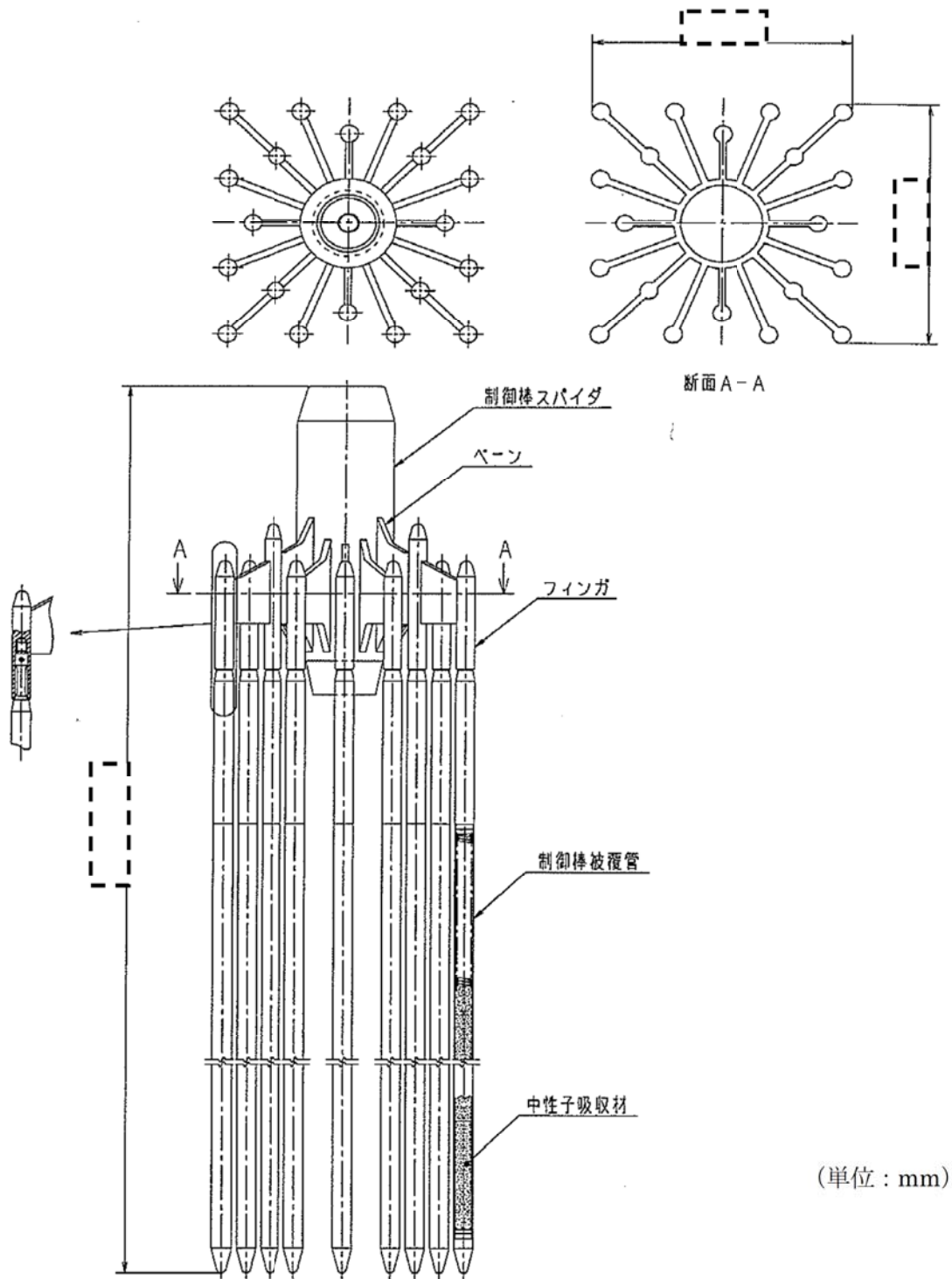


図 2-1 15×15 型制御棒クラスター構造図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

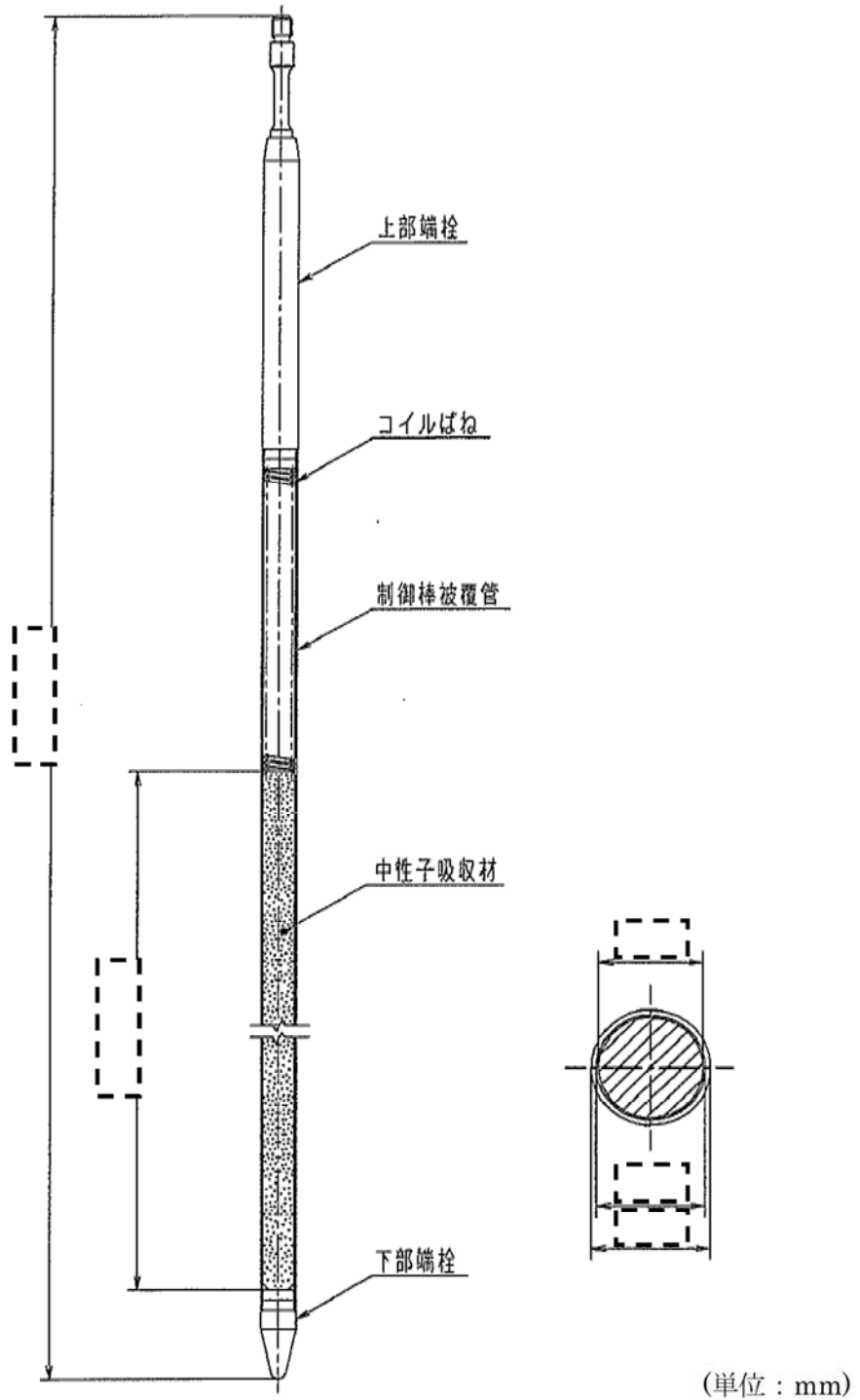


図 2-2 15×15 型制御棒構造図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 地震時応力の算出（解析モデル及び入力条件について）

制御棒クラスタの耐震解析モデルを図 3-1 に、また、各挿入状態におけるこのはりモデルの支持点位置、荷重及び変位を入力する位置を図 3-2 に示す。入力条件として、等分布荷重（制御棒クラスタ案内管加速度）又は、強制変位（燃料集合体変位）を与えて計算により求める。

解析モデルの各はりに対する諸数値を表 3-1 に示す。表 3-1 に示す諸数値は摩耗なしの場合の数値となる。

水平方向については、制御棒クラスタの挿入位置によって地震荷重が変化するので、次の状態について、制御棒クラスタの応力計算を行う。

(1) 全引抜き状態

制御棒クラスタは制御棒クラスタ案内管内に位置し、ほぼ等間隔で水平方向に支持されている。したがって、制御棒クラスタ案内管の最大応答加速度を制御棒の入力加速度とする。

(2) 全挿入状態

全挿入状態では、制御棒クラスタは燃料集合体内に位置し、燃料集合体の振動変位に追従して変形する。したがって、全挿入状態での地震荷重は燃料集合体変位を強制変位として与える。強制変位は、第 2 支持格子（上部側から）の変位が最大となる際の変位とする。

(3) 半挿入状態

制御棒クラスタのうち、制御棒クラスタ案内管内に位置している部分については、全引抜き状態の考え方を適用し、制御棒クラスタ案内管の最大応答加速度を制御棒の入力加速度とし、また、燃料集合体内に挿入されている部分については全挿入状態の考え方を適用し、燃料集合体変位を強制変位として与える。

以上、評価の入力条件である制御棒クラスタ案内管加速度及び燃料集合体変位を表 3-2 に示す。

表 3-1 計算モデルの各はりに対する諸元

はり 番号	部 材	縦弾性係数 E (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	はり長さ ℓ (mm)	単位長さ質量 ρ・A (kg/mm)	断面積 A (mm ²)
1	制御棒スパイダ					
2	上部端栓細径部					
3	上部端栓					
4	制御棒プレナム部					
5	制御棒吸収材部					
6	下部端栓					

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 3-2 入力条件

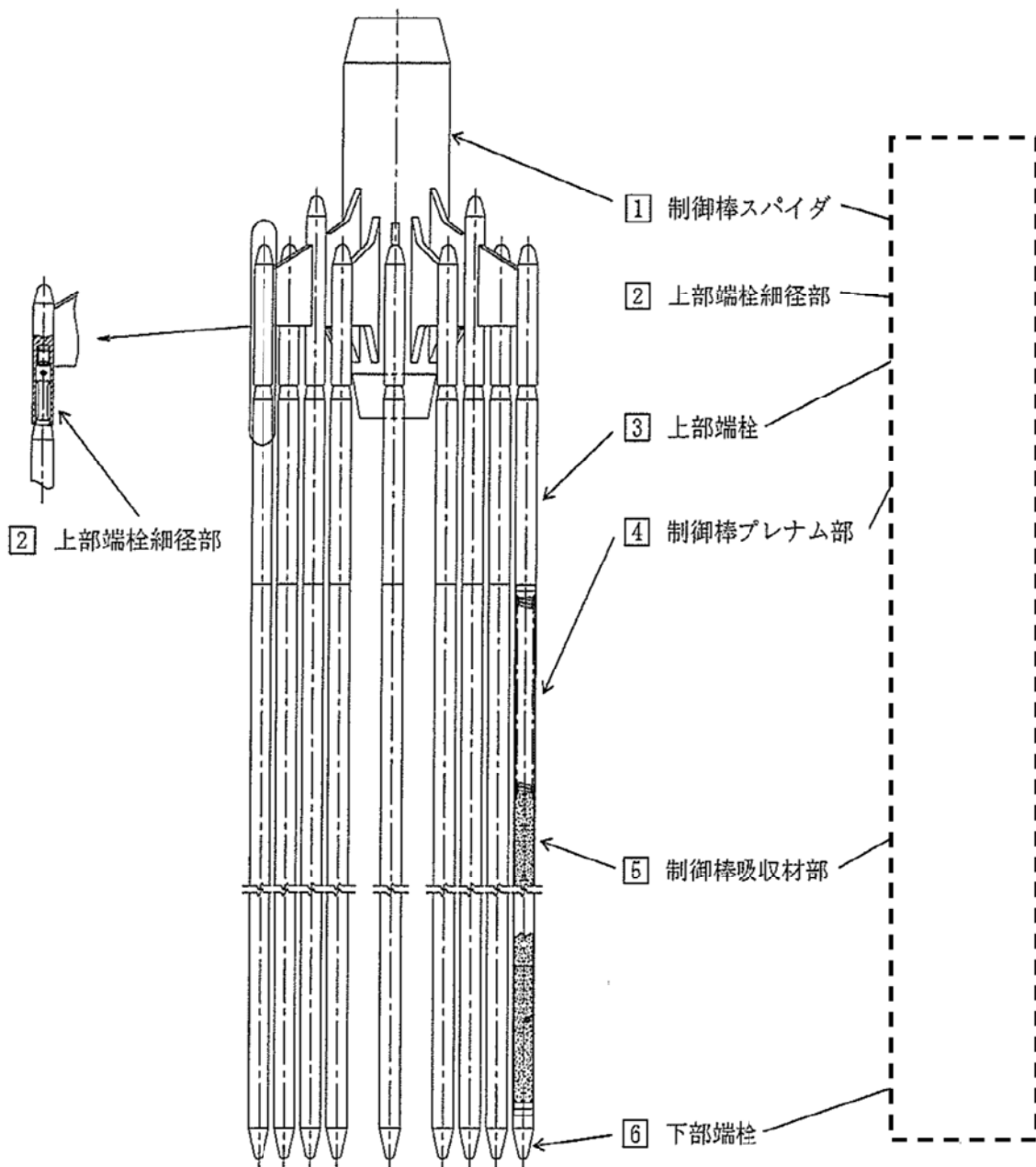
荷 重 条 件		S _s 地震波
水平	全引抜き 状 態	動的加速度 (G)
	全 挿 入 状 態	燃料集合体最大変位 (mm)
	半 挿 入 状 態	動的加速度 (G)
		燃料集合体最大変位 (mm)
鉛 直	動的加速度 (G)	

※1 : S_s-1 波による制御棒クラスタ案内管の加速度

※2 : S_s-7 波による燃料集合体の最大変位

※3 : S_s-1 波による制御棒駆動装置の加速度

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



要素数 : []
 節点数 : []

20本の制御棒を1本の
 はりでモデル化する。

図 3-1 計算モデル (はりモデル要素分割)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

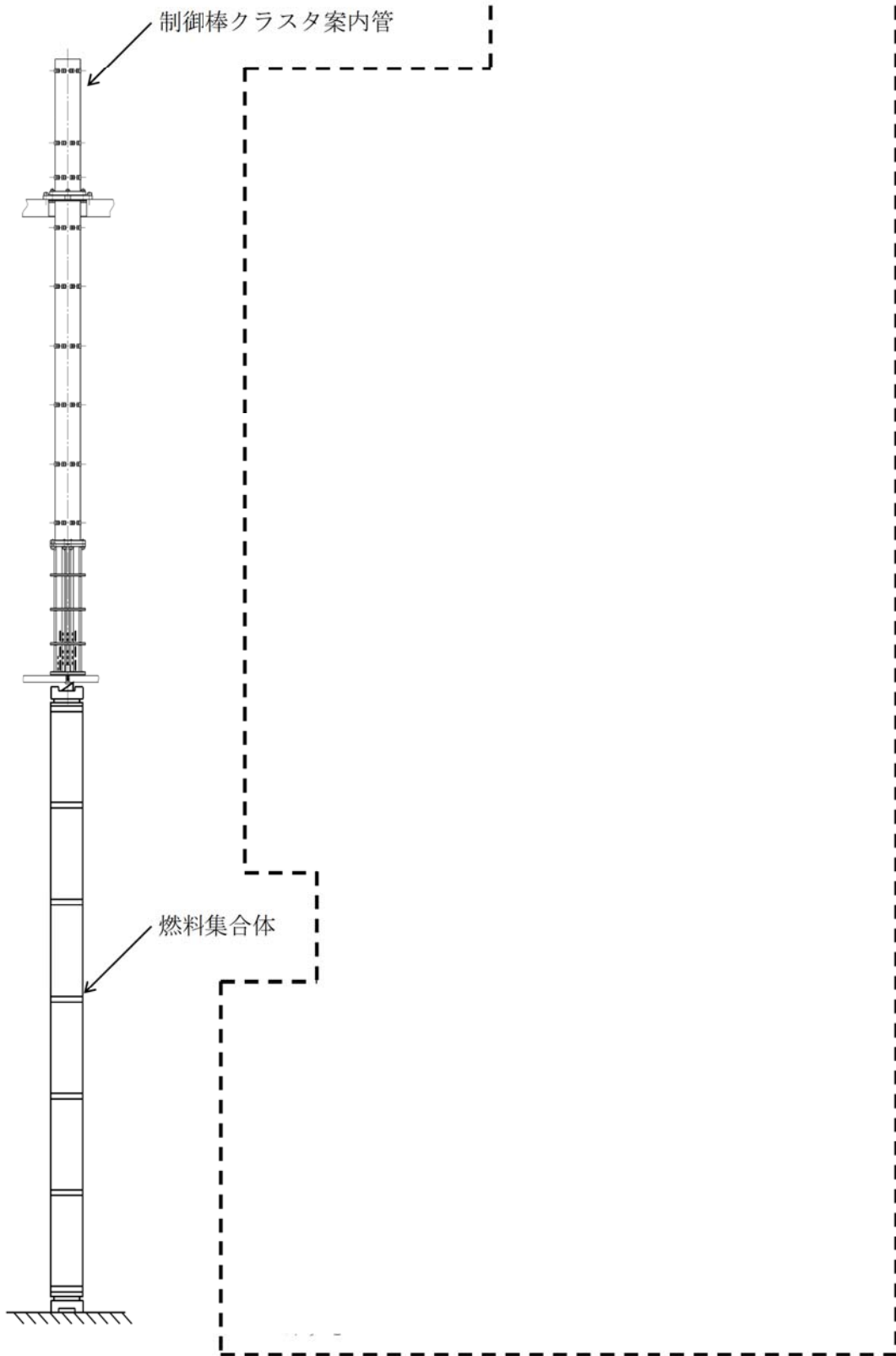


図 3-2 制御棒クラスター応力計算における外力及び支持条件

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 運転時応力（自重及び機械的荷重による応力）の算出について

運転時に制御棒クラスタの被覆管には、自重及び制御棒クラスタ挿入によるスクラム荷重が加わる。軸荷重及び自重による応力は下式により計算する。また、入力となる設計条件を表 4-1 に示す。

$$\sigma_x = \frac{N}{A}$$

ここで、

σ_x : 軸方向応力

N : 軸 荷 重

A : 断 面 積

表 4-1 設計の条件

項 目		数 値
死 荷 重	自 重 (N) (制御棒 1 本当たり)	-
機 械 的 荷 重	スクラム荷重 (N) ^(注) (制御棒 1 本当たり)	

(注) 駆動軸質量と制御棒クラスタ質量の和に、制御棒クラスタの挿入時加速度を考慮している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

5. 計算結果

被覆管の摩耗なしの状態での各挿入状態における運転時応力及び地震荷重による応力を表 5-1 に示す。

表 5-1 計算結果まとめ

(単位 : MPa)

状態	運転時応力 σ_x	地震時応力 σ_x	
		膜応力	曲げ応力
全引き抜き			
半挿入			
全挿入			

6. 摩耗を考慮した計算

被覆管の摩耗なしの状態に対し、発生応力が最大となる全挿入状態において、膜成分は断面積の減少を、曲げ成分は断面係数の減少を考慮した評価を行う。

被覆管摩耗は、図 6-1 に示す通り貫通時の被覆管断面積の欠損割合が最も大きな摩耗形状を考慮する。

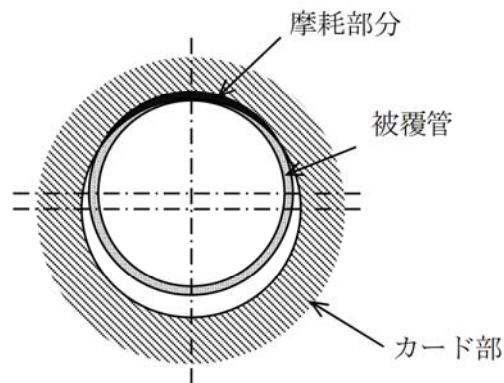


図 6-1 評価で想定する被覆管の摩耗形状

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

被覆管摩耗なしでの地震荷重による応力計算結果（表 5-1）より、地震時の膜応力及び曲げ応力は以下となる。

$$\begin{aligned}\sigma \text{ (曲げ成分)} &= \boxed{} \text{MPa} \\ \sigma \text{ (膜成分)} &= \boxed{} \text{MPa}\end{aligned}$$

次に、被覆管貫通摩耗を想定した場合の地震時曲げ応力は、被覆管貫通摩耗を想定したモデルを用いた応力解析より算出する。

図 6-1 に示す被覆管貫通摩耗を想定した場合の解析モデルを用い、強制変位（燃料集合体支持格子変位）与えて解析を実施し以下のとおり曲げ応力を算出した。

$$\sigma' \text{ (曲げ応力)} = \boxed{} \text{MPa}$$

一方、膜応力は、被覆管断面積の比から、以下のとおり求める。

$$\sigma' \text{ (膜成分)} = \sigma \text{ (膜成分)} \times (A/A')$$

ここで A : 摩耗のない被覆管の断面積 : $\boxed{} \text{mm}^2$

A' : 貫通摩耗ありの断面積 : $\boxed{} \text{mm}^2$

従って、被覆管が貫通した場合の地震時膜応力は以下のとおりとなる。

$$\sigma' \text{ (膜応力)} = \boxed{} \text{MPa}$$

以上より、被覆管貫通摩耗時の地震荷重による発生応力 (σ_x') は、以下のとおり求める。

$$\sigma_x' \text{ (一次膜+一次曲げ応力)} = \sigma' \text{ (曲げ応力)} + \sigma' \text{ (膜応力)}$$

従って、被覆管が貫通した場合の地震時の膜+曲げ応力は以下のとおりとなる。

$$\sigma_x' \text{ (一次膜+一次曲げ応力)} = \boxed{} \text{MPa}$$

運転時応力は膜応力であるので、被覆管断面積の比から以下のように求められる。

$$\sigma_x' \text{ (運転時応力)} = \sigma_x \text{ (運転時応力)} \times (A/A')$$

運転時応力は $\boxed{} \text{MPa}$ なので、

$$\sigma_x' \text{ (運転時応力)} = \boxed{} \text{MPa} \text{ となる。}$$

以上の評価結果から、被覆管摩耗に対する応力強さを表 6-1 に示す。また、評価結果のまとめを表 6-2 に示す。表 6-2 より、発生応力は許容値を満足することが確認できる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 6-1 地震時の被覆管摩耗に対する評価結果

(MPa)

運転時応力 ^(注1)	地震時応力 ^(注1)	合計応力 ^(注2)

(注1) 負の数値は圧縮応力、正の数値は引張応力であることを示す。

(注2) 上段が地震荷重による応力の符号を正にとり、下段が地震荷重による応力の符号を負にとったものである。

表 6-2 評価結果まとめ

発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
		0.48

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

被覆管に摩耗が存在する時の制御棒挿入性評価

制御棒被覆管の摩耗に対する評価として実施する、制御棒挿入時間評価の内容は以下のとおり。

1. 評価仕様

制御棒挿入時間評価は、制御棒クラスタが自重で落下する時に受ける各種の抗力を考慮し、下記の運動方程式を解くことで、最終的に制御棒クラスタの挿入距離と挿入時間を求めるものである。地震時の挿入時間の算出においては、制御棒挿入経路機器である制御棒クラスタ駆動装置、制御棒クラスタ案内管、燃料集合体（制御棒案内シンプル）の地震応答に対応する制御棒挿入抗力を考慮し、挿入時間を算出する。

また、制御棒被覆管の摩耗に対する評価では、制御棒の摩耗及び制御棒クラスタ案内管案内板の摩耗を考慮した挿入抗力を地震時の制御棒挿入抗力に付加し、挿入時間を算出する。評価の全体フローを図2に示す。

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = M \cdot g - (F_f + F_v + F_w + F_m + F_u)$$

ここで、

M	:	質 量
x	:	制御棒クラスタ挿入距離
t	:	制御棒クラスタ挿入時間
g	:	重力加速度
F _f	:	流体による抗力
F _v	:	地震外力による抗力
F _w	:	摩耗による抗力
F _m	:	メカニカル抗力
F _u	:	浮 力

2. 入力条件

(1) 地震外力による抗力

制御棒挿入時間評価の入力となる地震時の制御棒挿入経路機器の最大応答変位を表 1 に示す。この最大変位に対応する地震時の制御棒挿入抗力を求め、挿入時間を算出する。

表 1 地震時 制御棒挿入経路機器応答

最大変位 (mm)		
制御棒駆動装置	制御棒クラスター案内管	燃料集合体 制御棒案内シンプル

(2) 摩耗による抗力

制御棒に対しては、保守的に制御棒の被覆管の一部が 100%摩耗することを仮定している。また、制御棒クラスター案内管の案内板は図 1 に示す様な摩耗を仮定している。

これらの摩耗条件を組み合わせた場合に最大となる制御棒挿入抗力を、摩耗による抗力として設定している。

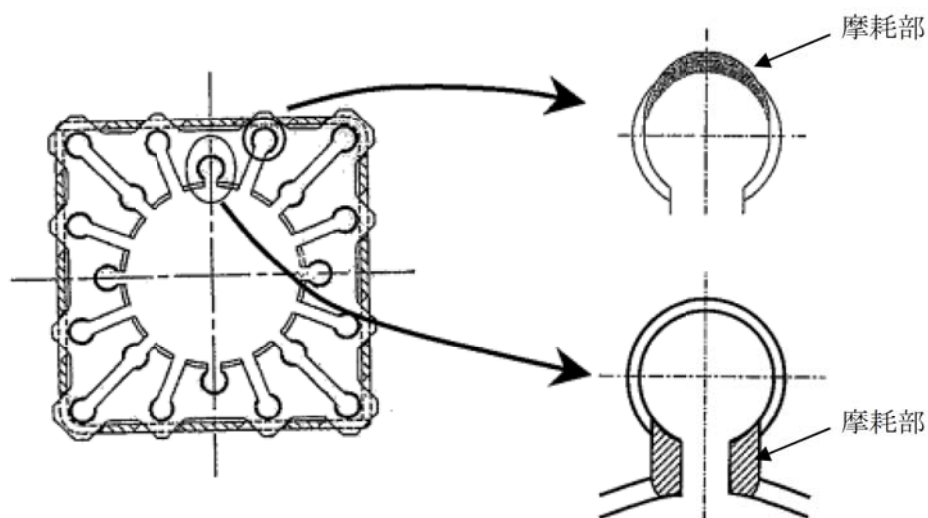


図 1 制御棒クラスター案内管 案内板摩耗の仮定

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 評価結果

制御棒挿入時間の評価結果を表2に示す。

表2 制御棒クラスタ挿入時間計算結果

(単位：秒)

	制御棒クラスタ挿入時間*1	規定時間*2
通常運転時	1.31	1.8
地震時 (制御棒クラスタ案内管 案内板、制御棒被覆管 摩耗考慮)	1.69	

*1：各時間は落下開始から制御棒が全ストロークの85%に至るまでの時間

*2：工事計画認可申請書 添付13 耐震性に関する説明書に記載の値

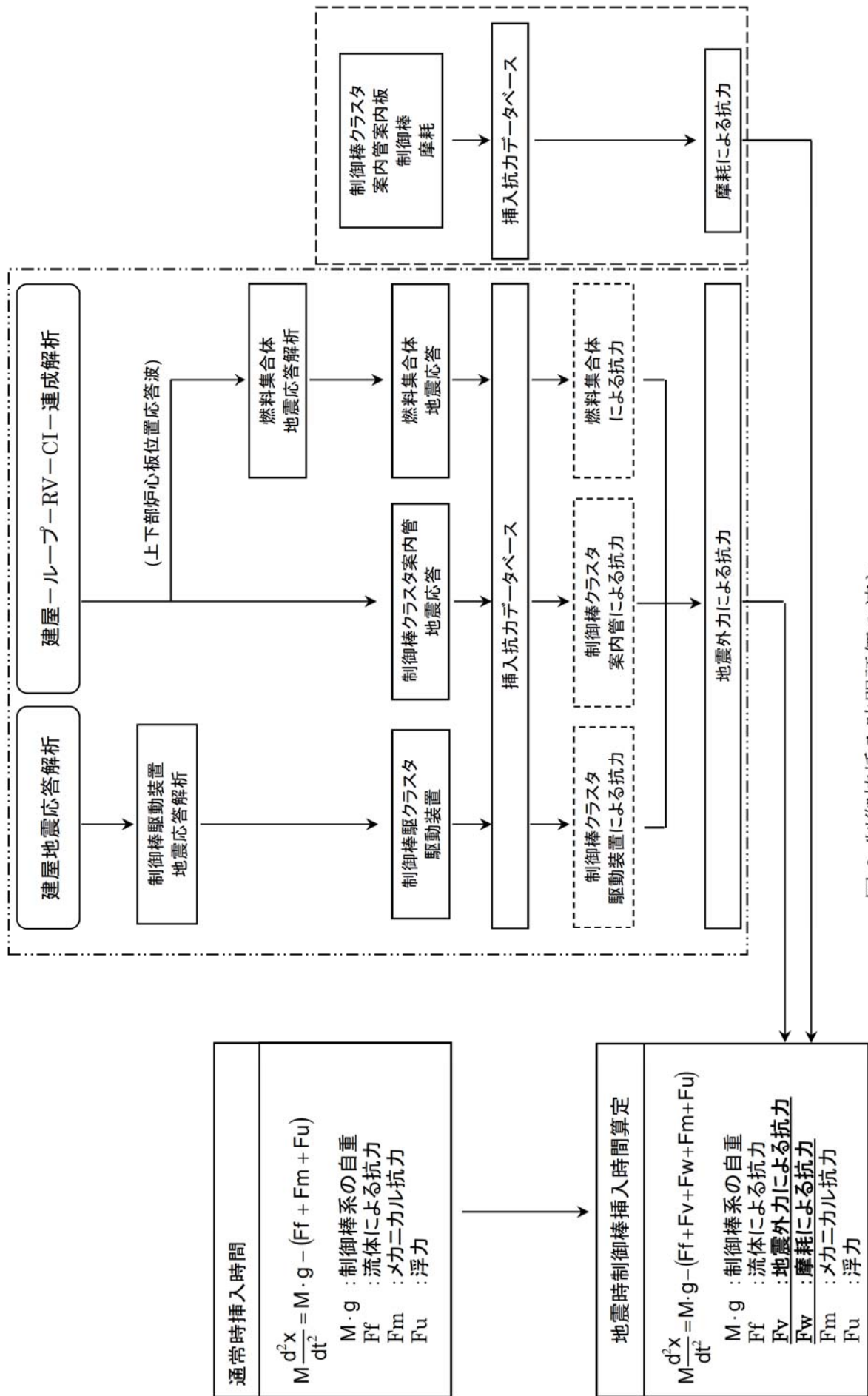


図2 制御棒挿入時間評価の流れ