

福島第二原子力発電所 4 号炉 高経年化技術評価  
(耐震安全性評価)

補足説明資料

## 目 次

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 1. はじめに.....          | 7-1  |
| 2. 耐震安全性評価の目的.....    | 7-1  |
| 3. 評価対象機器.....        | 7-1  |
| 4. 耐震安全性評価の評価手順.....  | 7-1  |
| 5. 耐震安全性評価の概要.....    | 7-5  |
| 6. 耐震安全性評価内容及び結果..... | 7-7  |
| 7. 耐震安全性評価のまとめ.....   | 7-15 |
| 8. 高経年化への対応.....      | 7-15 |

### 別紙 1～20

|   |      |
|---|------|
| 別紙 1 現行の JEAG 4601 に基づく標準的な手法以外の値を適用したケース<br>(設計用減衰定数, 地震応答解析手法, 等価繰り返し回数) の適用内容について.....   | 7-16 |
| 別紙 2 建設後の耐震補強の実績 (実施時期, 以下のいずれに該当するかを整理,<br>工事概要 (サポートの撤去, 移動, 追設, 容量変更の要点を含む)) について<br>イ) 基準地震動 $S_s$ 等に対する耐震補強ケース<br>ロ) 配管の減肉評価結果に基づく耐震補強ケース<br>ハ) 上記のイ), ロ) 以外の耐震補強ケース.....  | 7-17 |
| 別紙 3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象として, 「③現在までの運転経験<br>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, 運転を断続的に行うこと<br>を前提とした場合には経年劣化の進展が考えられるが, 冷温停止状態が維持される<br>ことを前提とした場合には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<br>小さいと考えられる経年劣化事象」の区分 (耐震安全性評価の対象とし, 高経年化<br>対策上着目すべき経年劣化事象として扱うもの) を適用しない理由について..... | 7-26 |
| 別紙 4 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フロー (図 1) において<br>「△→ー」の区分 (日常劣化管理事象であるが, ... 発生の可能性がないもの,<br>または小さいもの) を設定しない理由について).....  | 7-28 |
| 別紙 5 安定停止の維持状態で動的機能維持が必要となる機器とその理由, 並びに個別機器<br>ごとの動的機能維持評価の記載方針について.....  | 7-30 |
| 別紙 6 安定停止の維持状態での劣化の想定期間について, 本冊 (表) と別冊 (表 2) との<br>相違点について.....  | 7-33 |
| 別紙 7 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴の腐食 (全面腐食) に対する評価の具体的<br>内容 (評価仕様, 解析モデル, 入力 (荷重) 条件, 評価結果を含む) について.....  | 7-34 |

|       |  |       |
|-------|--|-------|
| 別紙 8  | 炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食（FAC））に対する評価の具体的内容について.....  | 7-49  |
| 別紙 9  | 原子炉冷却材浄化系配管（炭素鋼配管）の（流れ加速型腐食（FAC））を耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象としていない評価について.....  | 7-61  |
| 別紙 10 | 残留熱除去系配管の疲労割れに対する評価における、伸縮可能な構造で相対変位に追従可能とするベローズの地震時の疲労割れに対する評価について.....   | 7-62  |
| 別紙 11 | 炉心シュラウドの疲労割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について.....   | 7-63  |
| 別紙 12 | 上部格子板の靱性低下に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について.....   | 7-74  |
| 別紙 13 | 現行耐震設計技術指針地震力に対する基準地震動 $S_s$ により定まる地震力等の増減率（ $\beta$ ）の具体的評価内容について（地震動の周期特性との関係を含む）.....   | 7-81  |
| 別紙 14 | 後打ちアンカの評価について、許容荷重とボルトの発生応力及び許容応力の関係（引張荷重、せん断荷重）について.....  | 7-84  |
| 別紙 15 | 後打ちメカニカルアンカの評価における設計許容荷重の設定根拠及び減肉後の応力評価の算定根拠（プラント設計時の耐震条件含む）について.....  | 7-87  |
| 別紙 16 | 詳細耐震安全性評価の対象機器の選定結果（表 3.14-5, 7, 9, 13）の耐震重要度 B 及び C の機器における詳細安全性評価対象の絞り込み手順について.....  | 7-88  |
| 別紙 17 | 詳細耐震安全性評価の結果（表 3.14-6）の低圧炉心スプレイ系ポンプ、（表 3.14-8）の残留熱除去冷却系熱交換器における機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について.....             | 7-89  |
| 別紙 18 | 詳細耐震安全性評価の結果（表 3.14-10）の中央制御室サージタンク及びコントロール建屋電気品室サージタンクにおける機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について.....                 | 7-102 |
| 別紙 19 | 詳細耐震安全性評価の結果（表 3.14-12（3/3））の非常用ディーゼル発電機（A）室給気フィルタユニット及び同（B）室給気フィルタユニットにおける機器付基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について..... | 7-127 |
| 別紙 20 | 原子炉压力容器胴の中性子照射脆化に対する冷温停止状態評価と運転状態評価の差異（耐圧試験時と炉心臨界時の差異含む）、最低温度要求（55℃、-1℃）の内容、圧力-温度制限曲線と飽和圧力温度曲線に対する線形破壊力学に基づく評価（破壊靱性値、応力拡大係数値等）について.....  | 7-142 |



## 1. はじめに

本資料は、福島第二原子力発電所4号炉の高経年化技術評価における耐震安全性評価の補足として、評価結果を示すと共に評価内容の補足資料を取り纏めたものである。なお、高経年化対策に関する各機器・構造物の技術評価については技術評価書に取り纏めている。

技術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。

## 2. 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技術評価を行った結果、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、高経年化対策の検討の一環として耐震安全性の評価を実施するものである。

## 3. 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及び最高使用温度が95℃を超える、または最高使用圧力が1,900 kPa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)

## 4. 耐震安全性評価の評価手順

### 4.1 評価手順

耐震安全性評価の評価手順を以下に示す。

- (1) 代表機器の選定
- (2) 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出
- (3) 経年劣化事象に対する耐震安全性評価
- (4) 評価対象機器への水平展開検討
- (5) 経年劣化事象に対する動的機能維持評価
- (6) 保全対策に反映すべき項目の抽出

- (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が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(JEAG 4601-1987)」等に基づき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る。

- ① 設備の耐震重要度分類
- ② 設備に作用する地震力の算定
- ③ 想定される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もと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。

(6) 評価手順(1)から(5)をもとに、耐震安全性の観点から保全対策に反映すべき項目があるか、検討を実施する。

#### 4.2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出

4.1 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。

技術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」で設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、①、②の事象を評価の対象として、次頁のフローに基づき、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。

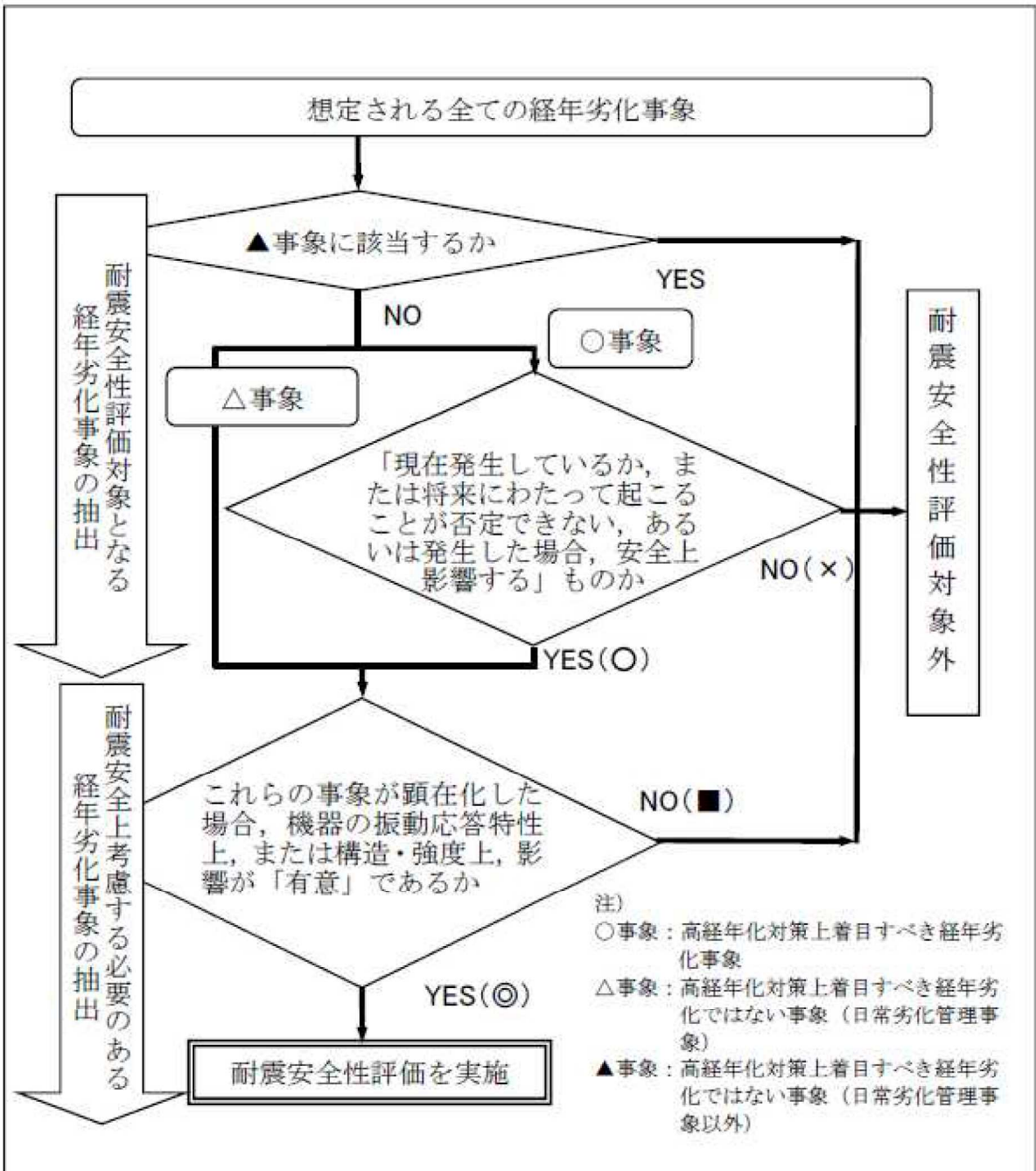


図1 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フロー

#### 4.3 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。

- S クラス  
 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力  
 基準地震動 S<sub>1</sub> により定まる地震力と S クラスに適用される静的地震力の大きい方
- B クラス  
 B クラスに適用される静的地震力<sup>\*1</sup>
- C クラス  
 C クラスに適用される静的地震力

\*1: 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、基準地震動 S<sub>1</sub> により定まる地震力の 1/2 についても考慮する。

#### 4.4 評価地震動

福島第二 4 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、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果による基準地震動及び震源を特定せず策定する基準地震動による評価を実施する。

基準地震動の最大加速度を下表に示す。

表 1 考慮した地震と地震動

| 項目               | 最大加速度振幅<br>(解放基盤表面) |        | 備考     |   |
|------------------|---------------------|--------|--------|---|
|                  | 水平方向                | 鉛直方向   |        |   |
| S <sub>s</sub> * | Ss-1                | 450Gal | 300Gal | 内陸地殻内地震・プレート間地震                           |
|                  | Ss-2                | 600Gal | 400Gal | 海洋プレート内地震                                 |
|                  | Ss-3                | 450Gal | 300Gal | 震源を特性せず策定する地震動                            |
| S <sub>1</sub>   | 180Gal              | —      | 過去の地震  | 1677 年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震<br>1938 年福島県東方沖地震 |
|                  |                     |        | 活断層    | 海域 F3 断層                                  |

\*: 原子力安全委員会決定「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(平成 18 年 9 月 19 日) に照らして策定



5. 耐震安全性評価の概要

5.1 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象

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

表2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出結果

| 機器・構造物        | 摩耗 | 腐食  | 疲労割れ | 応力腐食割れ | 熱時効 | 劣化  | その他 |
|---------------|----|-----|------|--------|-----|-----|-----|
| ポンプ           | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 熱交換器          | —  | ◎*1 | —    | —      | —   | —   | —   |
| ポンプモータ        | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 容器            | —  | —   | ◎    | —      | —   | ◎*4 | —   |
| 配管            | —  | ◎*2 | ◎    | —      | —   | —   | —   |
| 弁             | —  | —   | ◎    | —      | —   | —   | —   |
| 炉内構造物         | —  | —   | ◎    | ◎*3    | —   | ◎*5 | —   |
| ケーブル          | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| コンクリート及び鉄骨構造物 | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 計測制御設備        | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 空調設備          | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 機械設備          | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 電源設備          | —  | —   | —    | —      | —   | —   | —   |
| 基礎ボルト         | —  | ◎*1 | —    | —      | —   | —   | —   |

◎：耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象

—：対象なし

\*1：全面腐食

\*2：流れ加速型腐食

\*3：照射誘起型応力腐食割れ

\*4：中性子照射脆化

\*5：中性子照射による靱性低下

## 5.2 経年劣化事象ごとの耐震安全性評価の概要

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

表 3 耐震安全性評価の概要

| 経年劣化事象       | 対象機器              | 耐震安全性評価の概要  |
|--------------|-------------------|---|
| 腐食(全面腐食)     | 熱交換器,<br>基礎ボルト    | 評価期間における腐食量を想定し、地震時の発生応力を算出し、許容応力を下回ることを確認する。   |
| 腐食(流れ加速型腐食)  | 炭素鋼配管             | 配管減肉想定範囲を必要最低板厚または評価期間における腐食量を想定した配管板厚とした解析モデルにより、地震時の発生応力を算出し、許容応力を下回ること、または、疲労累積係数が許容値以下であることを確認する。 |
| 疲労割れ         | 炉心シュラウド, 原子炉圧力容器等 | 評価時点(平成 27 年 8 月 25 日時点)での運転実績及び地震発生時の疲労累積係数の合計値が許容値以下であることを確認する。                                     |
| 中性子照射脆化      | 原子炉圧力容器           | 評価対象機器に亀裂を想定し、中性子照射脆化及び地震を考慮して線形破壊力学に基づき求めた温度・圧力制限曲線が、運転制限の範囲内であることを確認する。                             |
| 照射誘起型応力腐食割れ  | 上部格子板等            | 評価対象機器に亀裂の発生、評価期間における亀裂の進展を想定し、地震時の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下回ることを確認する。                               |
| 中性子照射による靱性低下 | 上部格子板等            |   |

## 6. 耐震安全性評価内容及び結果

### 6.1 補足説明資料における代表機器の選定

福島第二4号炉の耐震安全性評価においては、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全てを対象として評価を実施し、耐震安全性評価上問題ないことを確認する。ここでは、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等を以下の通り選定し、具体的な耐震安全性評価内容及び結果を示す。

表4 代表機器の選定理由

| 経年劣化事象       | 対象機器                             | 選定理由                             |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 腐食(全面腐食)     | 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器(胴)               | 地震時の評価結果(発生応力と許容応力の比)が最も厳しい機器を選定 |
|              | 非常用ディーゼル発電機(B)室給気フィルタユニット(基礎ボルト) | 地震時の評価結果(発生応力と許容応力の比)が最も厳しい機器を選定 |
| 腐食(流れ加速型腐食)  | 炭素鋼配管(給水系)                       | 代表機器のため選定<br>(代表機器以外に評価対象機器なし)   |
| 疲労割れ         | 炉心シュラウド(胴)                       | 地震時における疲労累積係数の評価結果が厳しい機器を選定      |
| 中性子照射脆化      | 原子炉圧力容器(胴)                       | 代表機器のため選定<br>(代表機器以外に評価対象機器なし)   |
| 照射誘起型応力腐食割れ  | 上部格子板(グリッドプレート)                  | 中性子照射量が大きいため選定                   |
| 中性子照射による靱性低下 | 上部格子板(グリッドプレート)                  | 中性子照射量が大きいため選定                   |



6.2 各機器における耐震安全性評価内容及び結果

6.1の「補足説明資料における代表機器の選定」で選定した各機器の耐震安全性評価内容及び結果を以下に示す。

(1) 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の腐食(全面腐食)を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の腐食(全面腐食)を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

表5 腐食(全面腐食)の評価内容

|           |  |
|-----------|--|
| 経年劣化事象    | 腐食(全面腐食)   |
| 想定部位      | 胴  |
| 技術評価内容    | 類似環境下にある福島第二1号炉における肉厚測定において、有意な腐食は確認されていない。また、運転圧による漏えいの有無により健全性の確認を行うこととしている。 |
| 耐震安全性評価内容 | 運転開始後40年間の腐食量を想定し地震時の発生応力が許容値を下回ることを確認する。                                      |

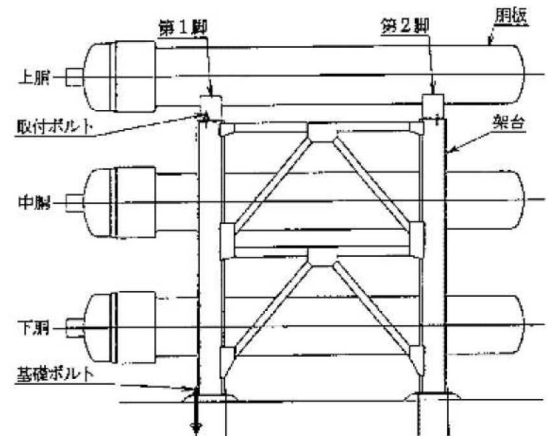


図2 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器概略図

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。運転開始後40年までの劣化を想定した場合にも、地震時の発生応力が許容応力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。

表6 腐食(全面腐食)の評価結果

| 評価対象            | 区分   | 耐震重要度 | 評価地震力             | 許容応力状態           | 応力種別    | 発生応力 (MPa) | 許容* 応力 (MPa) |
|-----------------|------|-------|-------------------|------------------|---------|------------|--------------|
| 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器 | クラス3 | B     | 1/2S <sub>1</sub> | B <sub>s</sub> S | 一次一般膜応力 | 101        | 198          |
|                 |      |       |                   |                  | 一次応力    | 115        | 198          |

(2) 非常用ディーゼル発電機(B)室 給気フィルタユニットの機器付き基礎ボルトの腐食(全面腐食)に対する評価

a. 評価内容

非常用ディーゼル発電機(B)室 給気フィルタユニットの機器付き基礎ボルトの腐食(全面腐食)を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

表7 腐食(全面腐食)の評価内容

|           |  |
|-----------|--|
| 経年劣化事象    | 腐食(全面腐食)   |
| 想定部位      | 基礎ボルト(コンクリート直上部)   |
| 技術評価内容    | 福島第一1号炉にて機器取替に合わせて、運転開始後31年間使用した基礎ボルトの引張試験を実施し健全であることを確認している。また、目視確認においても大気接触部及び埋設部にほとんど腐食が確認されていない。 |
| 耐震安全性評価内容 | 評価対象の絞込みを行い、詳細な耐震安全性評価が必要な機器について、運転開始後40年間の腐食量を想定し地震時の発生応力が許容値を下回ることを確認する。                           |

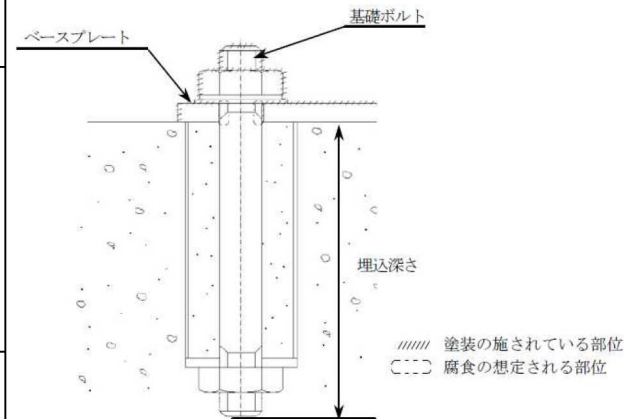


図3 基礎ボルトの腐食が想定される部位(概念図)

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。運転開始後40年までの劣化を想定した場合にも、地震時の発生応力が許容応力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。

表8 腐食(全面腐食)の評価結果

| 機器名                           | 区分  | 荷重種別  | 発生応力 (MPa) | 許容応力*1 (MPa) | 備考 |
|-------------------------------|-----|-------|------------|--------------|----|
| 非常用ディーゼル発電機(B)室<br>給気フィルタユニット | —*2 | 引張荷重  | 421        | 475          |    |
|                               |     | せん断荷重 | 90         | 366          |    |

\*1: 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む)) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5 表8, 表9より求まる値

\*2: 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む)) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」にて定められる区分としては基準外であるが、耐震評価上クラス3として扱った

(3) 炭素鋼配管(給水系)の腐食(流れ加速型腐食)を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

炭素鋼配管(給水系)の腐食(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。

表9 腐食(流れ加速型腐食)の評価内容

|           |  |
|-----------|--|
| 経年劣化事象    | 腐食(流れ加速型腐食)  |
| 想定部位      | エルボ部, 分岐部, レデューサ部等の偏流発生部及びその下流部  |
| 技術評価内容    | 配管材質条件及び内部流体の環境条件を考慮して点検箇所を選定し, 肉厚測定を行って減肉傾向を把握しており, さらに必要最小肉厚に達するまでの余寿命を算出し, その結果に応じて次回測定または取替を行っている。   |
| 耐震安全性評価内容 | エルボ部, 分岐部, レデューサ部等の偏流発生部及びその下流部の減肉想定範囲について, 必要最小肉厚までの様な減肉を想定し, 地震時の発生応力を評価する。また, 評価結果が許容応力を超える場合は実測データに基づく減肉を想定した評価を実施する。  |
| 備考        | 評価の結果, 許容応力状態で発生応力が大きく変わらない傾向が確認された。その主な理由は, III <sub>A</sub> S では静的地震力 (C <sub>H</sub> * <sup>1</sup> ), IV <sub>A</sub> S では動的地震力 (ZPA* <sup>2</sup> (S <sub>s</sub> )) における応力値が最大となり, 地震力の差が小さいことが許容応力状態ごとの応力評価の結果に有意な差が表れづらいものと評価している。 |

\*1: 静的震度

\*2: 最大応答加速度

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。運転開始後 40 年までの劣化として必要最小肉厚までの減肉を想定した場合にも, 地震時の発生応力が許容応力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。

表10 腐食(流れ加速型腐食)の評価結果

| 評価対象 | 区分   | 耐震重要度 | 評価地震力          | 許容応力状態             | 応力種別             | 発生応力 (MPa) *1 |           | 許容応力*4 (MPa) |
|------|------|-------|----------------|--------------------|------------------|---------------|-----------|--------------|
|      |      |       |                |                    |                  | 必要最小肉厚*2      | 40年時点肉厚*3 |              |
| 給水系  | クラス1 | S     | S <sub>i</sub> | III <sub>A</sub> S | 1次応力             | 73            | —         | 310          |
|      |      |       |                |                    | 1次+2次応力          | 117           | —         | 414          |
|      |      |       | S <sub>s</sub> | IV <sub>A</sub> S  | 1次応力             | 77            | —         | 414          |
|      |      |       |                |                    | 1次+2次応力          | 142           | —         | 414          |
|      | クラス2 | S     | S <sub>i</sub> | III <sub>A</sub> S | 1次応力             | 90            | —         | 209          |
|      |      |       |                |                    | 1次+2次応力          | 69            | —         | 418          |
|      |      |       | S <sub>s</sub> | IV <sub>A</sub> S  | 1次応力             | 94            | —         | 380          |
|      |      |       |                |                    | 1次+2次応力          | 74            | —         | 418          |
|      |      |       | B              | 1/2 S <sub>i</sub> | B <sub>A</sub> S | 1次応力          | 83        | —            |

\*1: 評価対象ラインにおける最大の発生応力を示す

\*2: 配管の内圧等より決定される最小の肉厚

\*3: これまでの測定データに基づき想定した肉厚

\*4: 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版を含む)) <第1編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」付録材料図表Part5表1または表8, 表9より求まる値



(4) 炉心シュラウドの疲労割れを考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

炉心シュラウド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。

表 11 疲労割れの評価内容

|           |   |
|-----------|---|
| 経年劣化事象    | 疲労割れ  |
| 想定部位      | 中間胴   |
| 技術評価内容    | 評価時点(平成 27 年 8 月 25 日)までの運転実績に対する疲労累積係数が許容値以下であることを確認している。  |
| 耐震安全性評価内容 | 評価時点(平成 27 年 8 月 25 日)までの運転実績と地震発生時の疲労累積係数の合計が許容値以下であることを確認する。<br>また、東北地方太平洋沖地震(以下、TPO という)による疲労強度への影響評価として、上記の評価結果に対して TPO による疲労累積係数を足し合わせた合計が許容値以下であることを確認する。 |

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。東北地方太平洋沖地震を含めた運転実績に基準地震動 Ss 発生時の疲労累積係数を加えた場合においても、疲労累積係数が許容値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。

表 12 疲労割れの評価結果

| 評価対象     | 区分      | 耐震重要度 | 運転実績回数に基づく疲れ累積係数(環境を考慮) | 地震動による疲れ累積係数(Ss地震動) | 地震動による疲れ累積係数(TPO地震動) | 合計*2(許容値1以下) |
|----------|---------|-------|-------------------------|---------------------|----------------------|--------------|
| シュラウド(胴) | 炉心支持構造物 | S     | 0.077*1                 | 0.543               | 0.016                | 0.636        |

\*1：環境考慮

\*2：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む）」により算出

(5) 原子炉压力容器の中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価

a. 評価内容

原子炉压力容器の中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価内容は以下の通り。

表 13 中性子照射脆化の評価内容

|           |  |
|-----------|--|
| 経年劣化事象    | 中性子照射脆化  |
| 想定部位      | 胴  |
| 技術評価内容    | 評価時点(平成 27 年 8 月 25 日)までの中性子照射量を考慮した最低使用温度及び、監視試験結果による上部棚吸収エネルギーの評価を行い、現状までの運転において炉心領域部材の照射脆化が問題となる可能性が小さいことを確認している。 |
| 耐震安全性評価内容 | 評価対象機器に亀裂を想定し、中性子照射脆化及び地震を考慮して線形破壊力学に基づき求めた温度・圧力制限曲線が、運転制限の範囲内であることを確認する。  |

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。評価対象機器に亀裂を想定し、中性子照射脆化及び基準地震動  $S_s$  を考慮した温度・圧力制限曲線が、運転制限の範囲内であることを確認しており、耐震安全性評価上問題ない。

なお、安定停止維持状態における評価にあたり、耐圧試験時よりも保守的な炉心臨界時の温度・圧力制限曲線を用いているが、安定停止維持状態においても原子炉冷却材温度は管理されており、運転制限を満足していることから耐震安全性評価上問題ない。

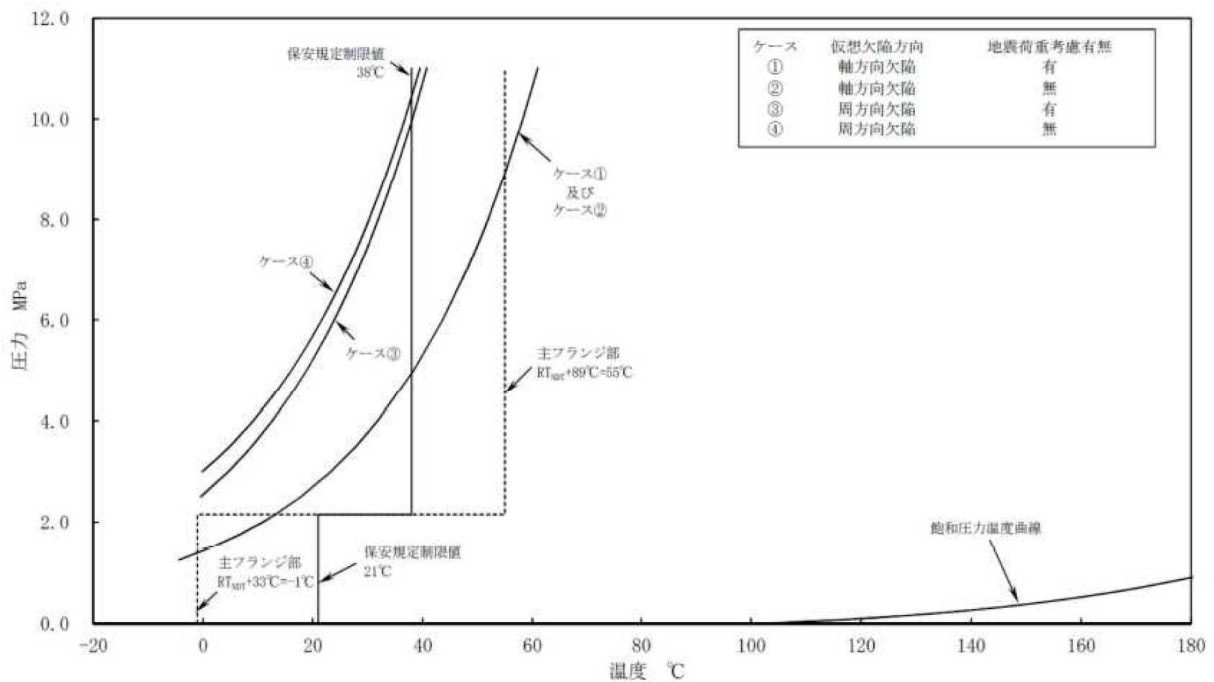


図 4 原子炉压力容器の圧力-温度制限図 (炉心臨界時)

(6) 上部格子板の照射誘起型応力腐食割れ及び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

上部格子板の照射誘起型応力腐食割れ及び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。

表 14 照射誘起型応力腐食割れ及び中性子照射による靱性低下の評価内容

|           |   |
|-----------|---|
| 経年劣化事象    | 照射誘起型応力腐食割れ及び中性子照射による靱性低下   |
| 想定部位      | グリッドプレート  |
| 技術評価内容    | 上部格子板は、中性子照射量の多いグリッドプレート中央部に溶接部はなく、運転中の差圧等に起因する引張応力成分は低いことから、照射誘起型応力腐食割れの感受性が増加する可能性のある中性子のしきい照射量を超えるものの、照射誘起型応力腐食割れの可能性は小さいと評価している。            |
| 耐震安全性評価内容 | 照射誘起型応力腐食割れの発生・進展を想定し、グリッドプレート切り欠き部に亀裂が発生したと仮定して、運転開始後 40 年時点までの亀裂の進展と中性子照射量の増加による靱性低下を考慮した評価を行い、地震時の想定欠陥の応力拡大係数が中性子照射材料の破壊靱性値の下限値以下であることを確認する。 |

b. 評価結果

評価結果は以下の通り。照射誘起型応力腐食割れによる亀裂の発生、進展を想定した評価においても、地震時の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下回ることを確認しており、耐震安全性評価上問題ない。

表 15 照射誘起型応力腐食割れ及び中性子照射による靱性低下の評価結果

| 評価対象  | 区分      | 耐震重要度 | 評価地震力 | 許容応力状態 | 想定欠陥応力拡大係数*4<br>( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) | 破壊靱性値*1<br>( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) |
|-------|---------|-------|-------|--------|---|--|
| 上部格子板 | 炉心支持構造物 | S     | Ss    | —*2    | 5.8*3   | 43.2                                       |

\*1：発電設備技術検査協会「プラントの長寿命化技術開発に関する調査報告書」における照射ステンレス鋼の破壊靱性値の下限値（BWR）

\*2：破壊靱性値と比較

\*3：運転開始後40年時点における評価とした

\*4：日本機械学会論文集（A編）50巻460号（昭59-12）「切欠き底に発生したき裂の応力拡大係数の簡便評価式」により算出



(7) 動的機能維持に対する評価

a. 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。

b. 評価内容及び結果

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①, ②いずれかの評価結果より, 40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。

- ① 技術評価での検討の結果, 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事象であるが, 機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できること。
- ② 運転開始後40年時点の経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施し, 地震時または地震後の動的機能に影響を与えないこと。  
ただし, 給水系の弁については, 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原子炉冷却材圧力バウンダリ弁の疲労があるが, 40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, 給水系の弁については, 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残留熱除去系ポンプの主軸等の摩耗等が想定されるが, 機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できると評価されることから, 地震時の動的機能は維持される。

さらに, 基礎ボルトの腐食により機器の支持機能への影響は無いことを確認している。

### 6.3 その他の評価について

その他の機器における経年劣化事象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。

### 7. 耐震安全性評価のまとめ

福島第二4号炉の技術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。

### 8. 高経年化への対応

福島第二4号炉の技術評価における耐震安全性評価の結果、現状保全項目に高経年化対策の観点から追加すべきものはないと判断する。

以 上

|      |  |
|------|--|
| タイトル | <p>現行の JEAG 4601 に基づく標準的な手法以外の値を適用したケース（設計用減衰定数，地震応答解析手法，等価繰り返し回数）の適用内容について</p>  |
| 説明   | <p>現行の JEAG 4601 に基づく標準的な手法以外の値を適用したケース（設計用減衰定数，地震応答解析手法）及び適用内容は，以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価項目：配管疲労評価，炭素鋼配管の腐食</li> <li>・対象系統：給水系，原子炉再循環系</li> <li>・適用項目：減衰定数 (<math>S_s</math> : 0.5～3.0 %)</li> <li>・参照規格：日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC 4601-2008」</li> </ul> <p>ただし，設計地震動 <math>S_1</math> については，建設時に適用した減衰定数が 0.5 % と 1.0 % の 2 種類のみのため，JEAC 4601-2008 にて 0.5 % に適合しないものは一律 1.0 % を採用した。</p> <p>[例]</p> <p>各系統における配管解析に用いた減衰定数</p> <p>① 給水系                      <math>S_s</math> : 2.5 % ， <math>S_1</math> : 1.0 %</p> <p>② 原子炉再循環系            <math>S_s</math> : 2.5 %</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

|             |   |
|-------------|---|
| <p>タイトル</p> | <p>建設後の耐震補強の実績（実施時期，以下のいずれに該当するかの整理，工事概要（サポートの撤去，移動，追設，容量変更の要点を含む））について</p> <p>イ) 基準地震動 <math>S_s</math> 等に対する耐震補強ケース</p> <p>ロ) 配管の減肉評価結果に基づく耐震補強ケース</p> <p>ハ) 上記のイ)，ロ) 以外の耐震補強ケース</p>  |
| <p>説明</p>   | <p>建設後の耐震補強の実績として，工事目的及び実施時期を以下に示す。<br/>また，工事概要を添付-1，2に示す。</p> <p>イ) 基準地震動 <math>S_s</math> 等に対する耐震補強ケース<br/>「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴い新たに策定した基準地震動 <math>S_s</math> に対して，耐震設計上重要な施設の安全機能を向上させるため耐震補強を実施した。</p> <p>① 平成 23 年 2 月～平成 24 年 4 月<br/>以下の機器の耐震補強を実施。<br/>原子炉建屋クレーン，燃料取替機，原子炉建屋天井トラス</p> <p>② 第 17 回定検（平成 22 年 9 月～平成 23 年 1 月）<br/>以下のシステムの耐震補強（配管サポート改造）を実施。<br/>残留熱除去系，残留熱除去冷却系，残留熱除去冷却海水系，<br/>高圧炉心スプレイ系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ補機冷却系，<br/>非常用補機冷却系，ほう酸水注入系，制御棒駆動水圧系，復水補給水系，<br/>燃料プール冷却浄化系，可燃性ガス濃度制御系，非常用ガス処理系</p> <p>ロ) 配管の減肉評価結果に基づく耐震補強ケース<br/>該当工事なし</p> <p>ハ) 上記のイ)，ロ) 以外の耐震補強ケース<br/>該当工事なし</p> <p><b>【添付資料】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・添付-1：「基準地震動 <math>S_s</math> 等に対する耐震補強工事一覧」</li> <li>・添付-2：「基準地震動 <math>S_s</math> 等に対する耐震補強工事概要」</li> </ul> <p style="text-align: right;">以 上</p> |



## 基準地震動Ss等に対する耐震補強工事一覧

| No.        | 対象設備       | 耐震強化工事概要                                   |                                     |
|------------|------------|--|-------------------------------------|
| 1          | 原子炉建屋クレーン  | 落下防止ラグ構造変更, トロリストoppa構造変更                  |                                     |
| 2          | 燃料取替機      | 横行用転倒防止金具構造変更,<br>走行レール構造変更, ガーダ落下防止部材追加 等 |                                     |
| 3          | 原子炉建屋天井トラス | 斜材, 補強材の追加                                 |                                     |
| 4          | 配管         | 残留熱除去系                                     | 架構補強                                |
|            |            | 残留熱除去冷却系                                   | 架構補強, サポート取替, サポート撤去,<br>サポート拘束方向変更 |
|            |            | 残留熱除去冷却海水系                                 | 架構補強, サポート取替                        |
|            |            | 高压炉心スプレイ系                                  | 架構補強                                |
|            |            | 低压炉心スプレイ系                                  | 架構補強                                |
|            |            | 高压炉心スプレイ補機冷却系                              | 架構補強, サポート取替                        |
|            |            | 非常用補機冷却系                                   | 架構補強, サポート撤去,<br>サポート拘束方向変更         |
|            |            | ほう酸水注入系                                    | 架構補強, サポート追加                        |
|            |            | 制御棒駆動水圧系                                   | 架構補強                                |
|            |            | 復水補給水系                                     | 架構補強                                |
|            |            | 燃料プール冷却浄化系                                 | 架構補強                                |
| 可燃性ガス濃度制御系 | 架構補強       |  |                                     |
| 非常用ガス処理系   | 架構補強       |  |                                     |

基準地震動 Ss 等に対する耐震補強工事概要

(1) 原子炉建屋クレーン

落下防止ラグ及びトロリストップの落下防止ラグは、ランウェイガード及びクレーン本体ガードの空間部分に潜り込む構造となっているため、クレーン浮き上がり量を考慮した構造に変更。



図1 原子炉建屋クレーン耐震補強工事概略図

(2) 燃料取替機

本体あるいはトロリに設置されている転倒防止金具の構造を変更（片ツメ→両ツメ）。  
走行レールを構造変更し、新規品と交換。ガード落下防止金具の追設を実施。  
また、走行レールの構造変更に伴い、リミットスイッチ移設等の付随作業を実施。



図2 燃料取替機耐震補強工事概略図

内は商業機密に属しますので公開できません

(3) 原子炉建屋天井トラス

主トラス及びつなぎ梁へ斜材，補強材を追加。

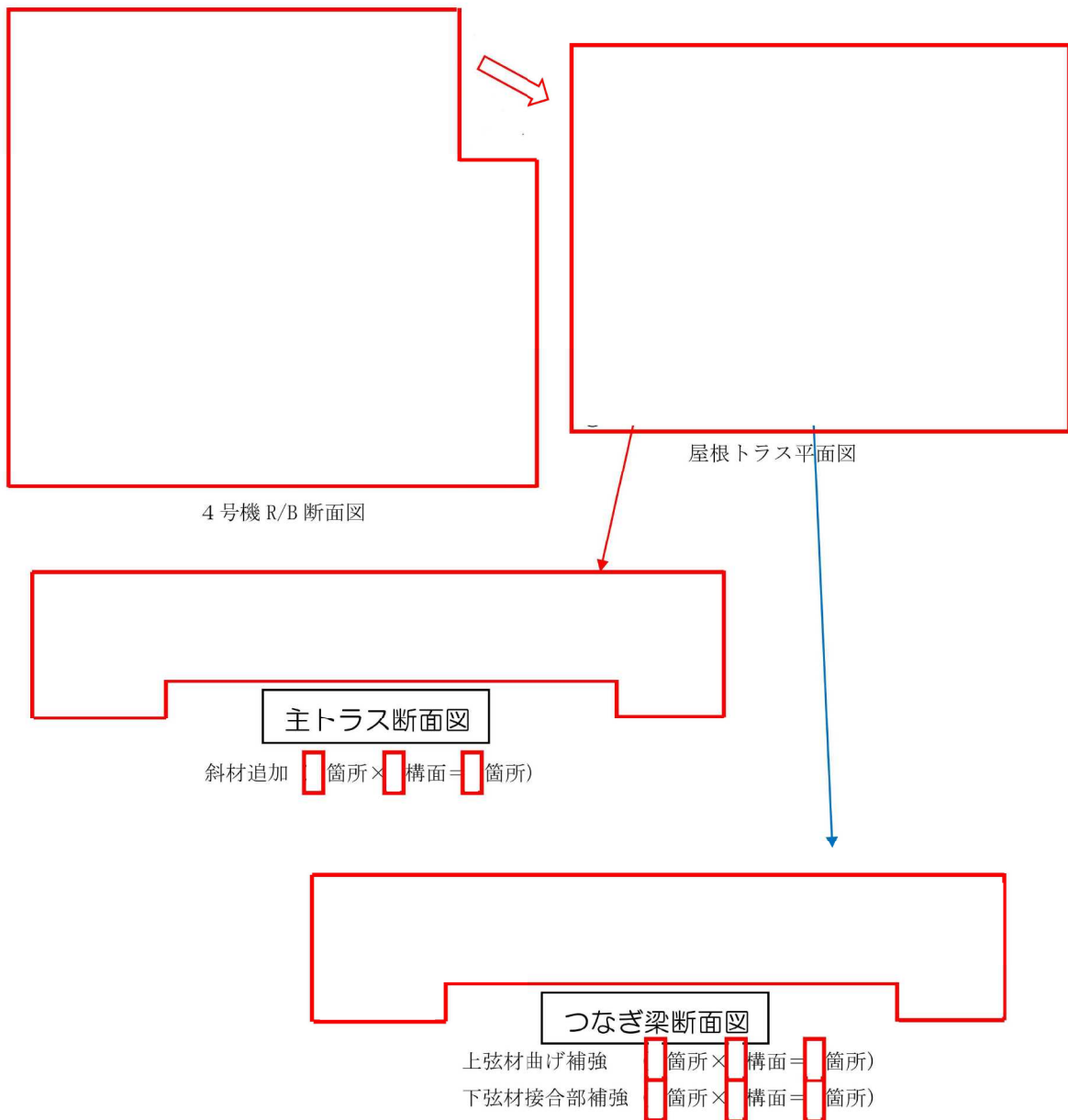


図3 原子炉建屋天井トラス耐震補強工事概略図

 内は商業機密に属しますので公開できません

(4) 配管サポート改造

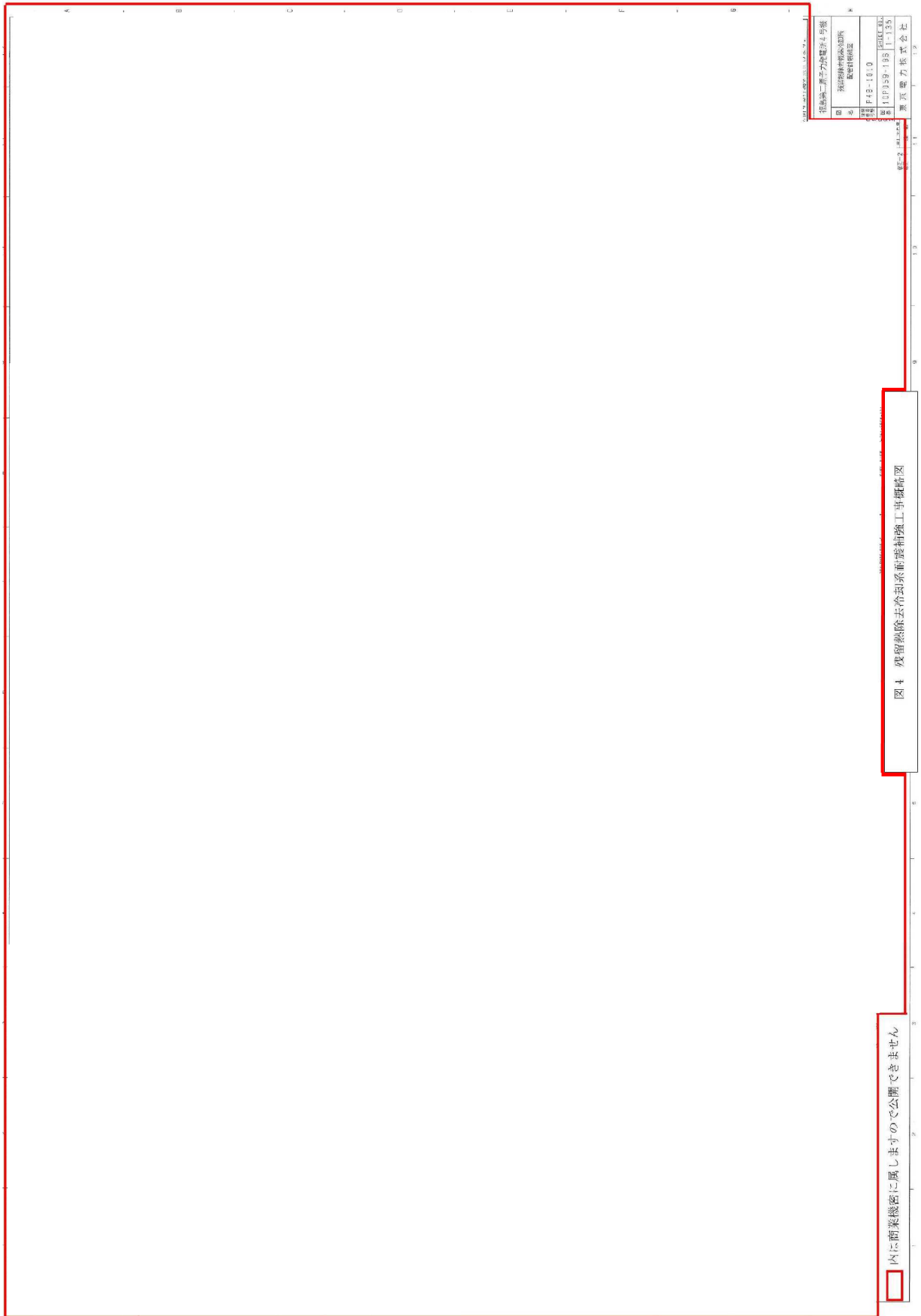
以下の系統の耐震補強（配管サポート改造）を実施。（計 63 箇所）

残留熱除去系，残留熱除去冷却系，残留熱除去冷却海水系，  
高圧炉心スプレイ系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ補機冷却系，  
非常用補機冷却系，ほう酸水注入系，制御棒駆動水压系，復水補給水系，  
燃料プール冷却浄化系，可燃性ガス濃度制御系，非常用ガス処理系

耐震補強を実施した系統のうち，最も補強箇所の多かった系統である残留熱除去冷却系について，補強箇所及び補強内容の概要を図 4 に示す。

また，残留熱除去冷却系の各補強内容について，詳細な補強箇所の代表例を図 5 に示す。





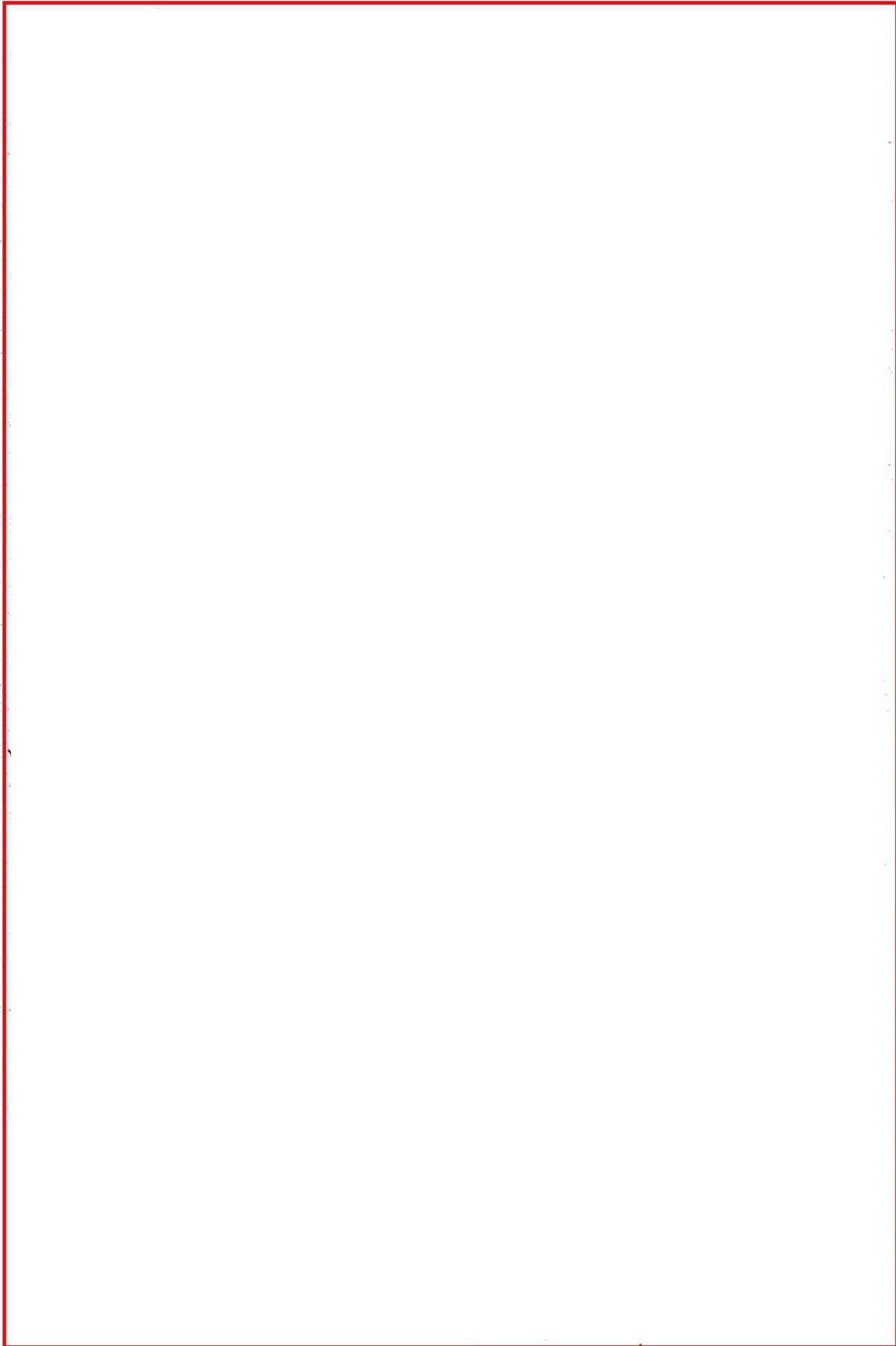
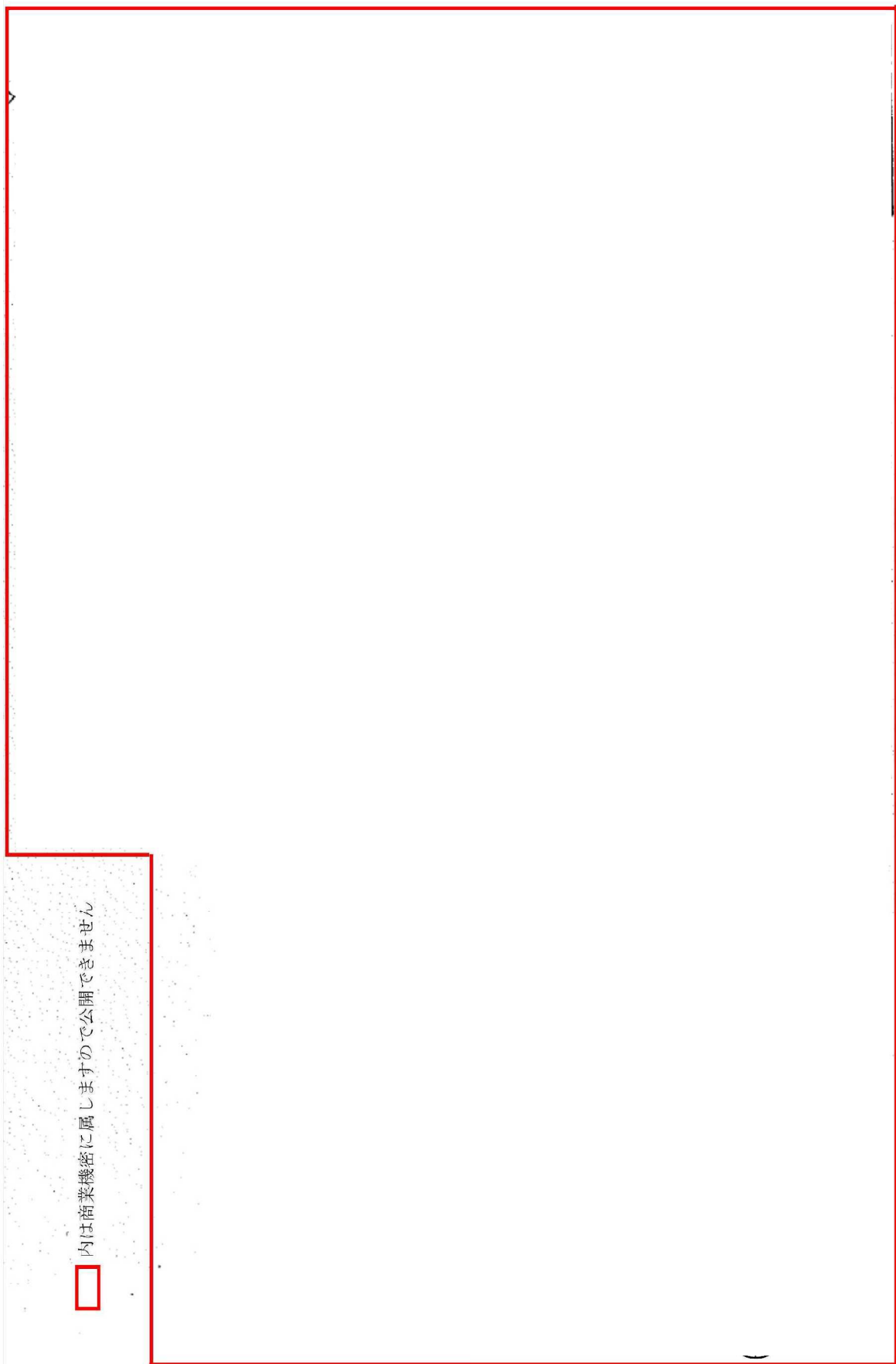


図 5 残留熱除去冷却系耐震補強工事例 (1/3)

内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません

図 5 残留熱除去冷却系耐震補強工事例 (2/3)

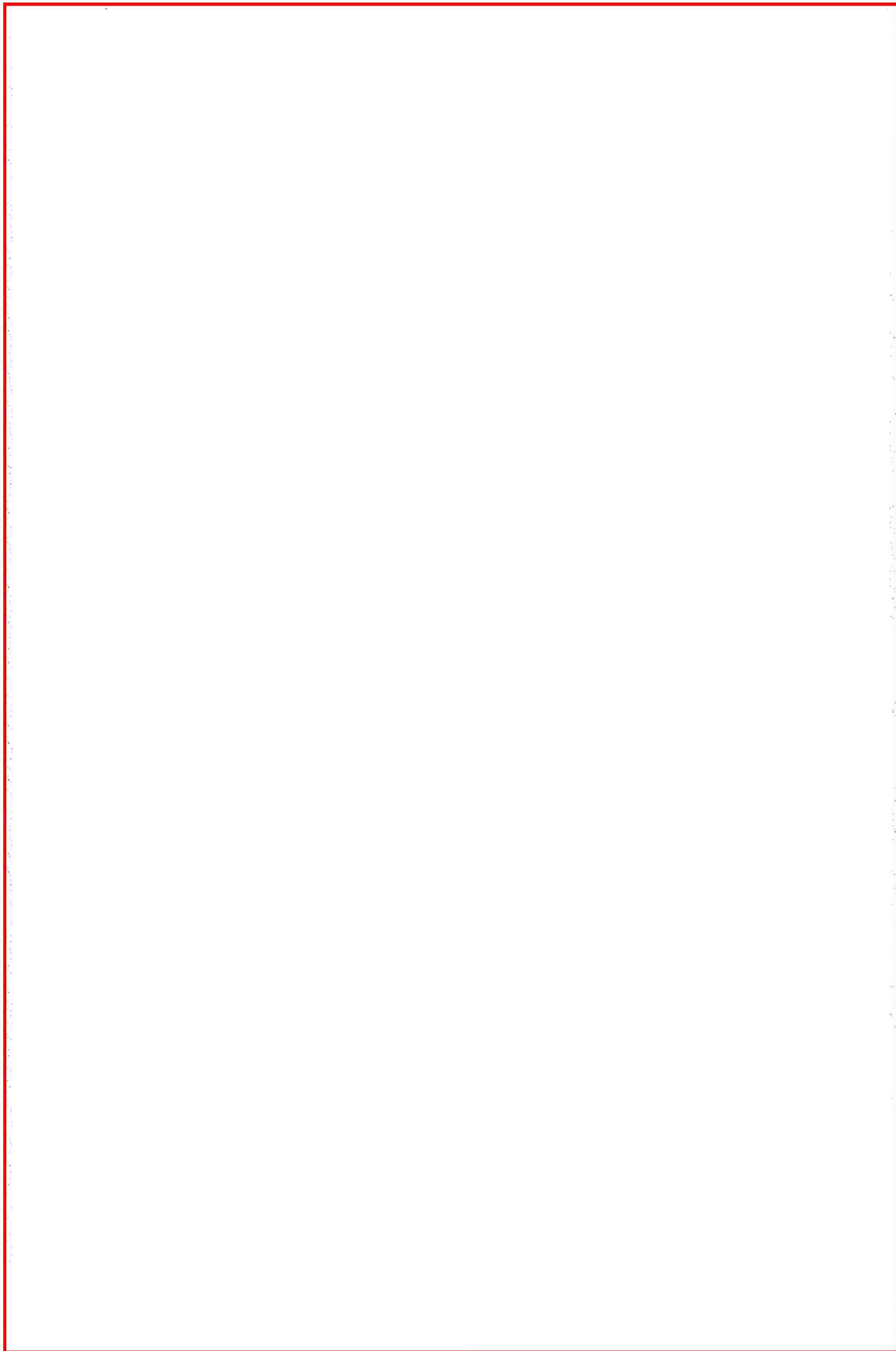


図5 残留熱除去冷却系耐震補強工事例 (3/3)

□内は商業機密に属しますので公開できません

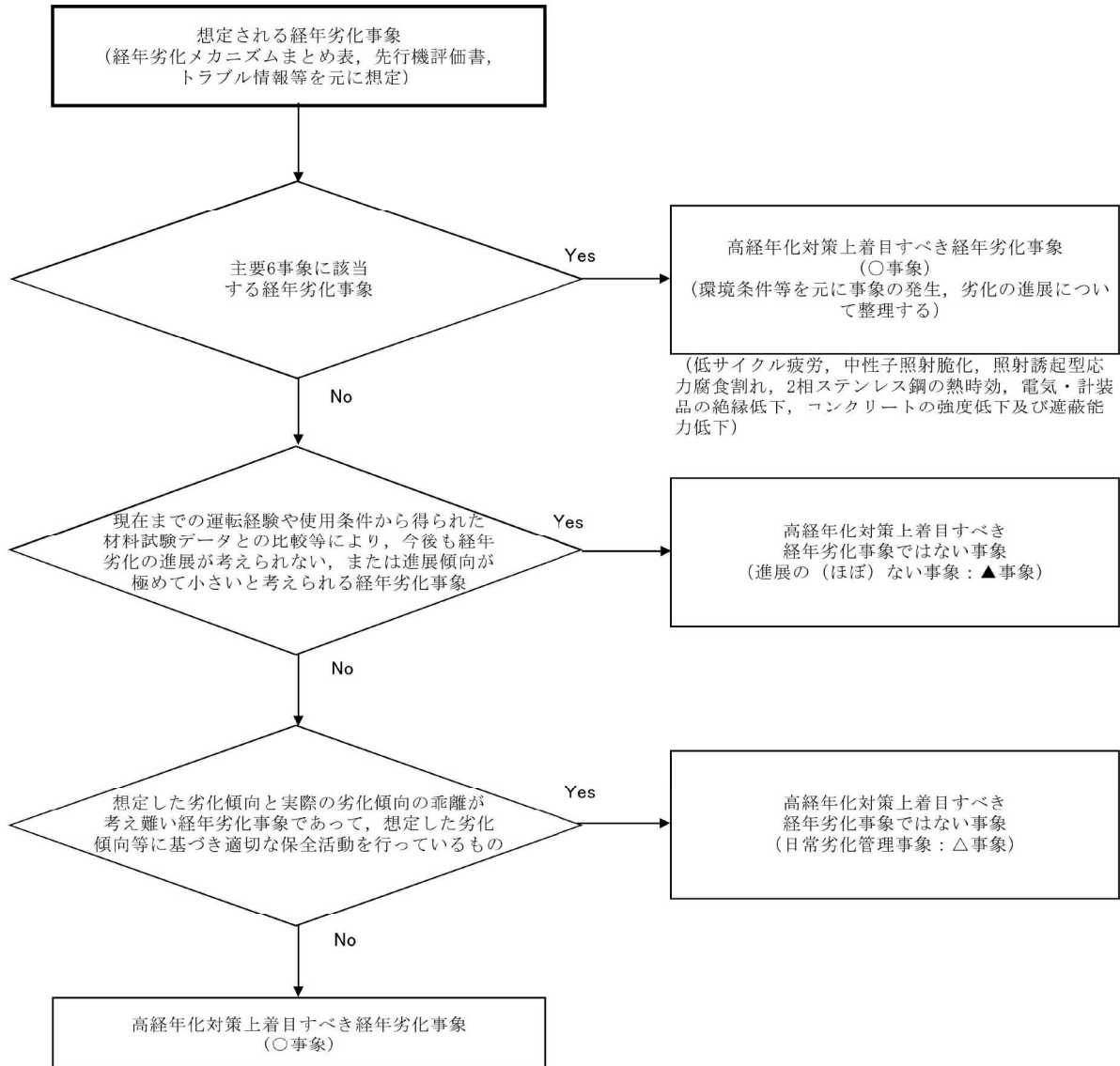


| <p>タイトル</p>  | <p>高経年化対策上着目すべき経年劣化事象でない事象として、「③現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、運転を断続的に行うことを前提とした場合には経年劣化の進展が考えられるが、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には経年劣化の進展が考えられない、または進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象」の区分（耐震安全性評価の対象とし、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として扱うもの）を適用しない理由について</p>   |                        |                          |                    |                          |                    |                          |      |                           |                        |  |  |  |       |                           |                        |  |  |  |                |                        |  |  |  |  |                     |                        |  |  |  |
|--------------|---|------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|------|---------------------------|------------------------|--|--|--|-------|---------------------------|------------------------|--|--|--|----------------|------------------------|--|--|--|--|---------------------|------------------------|--|--|--|
| <p>説明</p>    | <p>福島第二4号炉の高経年化技術評価においては、冷温停止を前提とした評価を実施しており、経年劣化事象の進展するものは進展するものとして評価し、経年劣化事象の進展しないものは進展しないものとして評価している。</p> <p>従って、冷温停止状態が維持されることを前提とした場合には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の区分（耐震安全性評価の対象とし、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として扱うもの）は適用していない。</p> <p>以下に、経年劣化の進行の有無と実際の評価期間の関係図の概略を示す。</p> <table border="1" data-bbox="336 969 1402 1805"> <thead> <tr> <th data-bbox="336 969 491 1122">冷温停止状態での劣化状況</th> <th data-bbox="491 969 679 1122">劣化事象(対象機器)</th> <th data-bbox="679 969 868 1122">評価期間</th> <th data-bbox="868 969 1086 1122">東北地方太平洋沖地震<br/>平成23年3月11日</th> <th data-bbox="1086 969 1265 1122">評価時点<br/>平成27年8月25日</th> <th data-bbox="1265 969 1402 1122">運転開始後40年時点<br/>平成39年8月25日</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="336 1122 491 1283">進展する</td> <td data-bbox="491 1122 679 1283">炭素鋼製機器・配管等の腐食(熱交換器, RPV等)</td> <td data-bbox="679 1122 868 1283">実際に評価した期間<br/>要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="868 1122 1402 1283"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="336 1283 491 1444" rowspan="2">進展しない</td> <td data-bbox="491 1283 679 1444">過度回数を使用する評価(炉内, RPV, 配管等)</td> <td data-bbox="679 1283 868 1444">実際に評価した期間<br/>要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="868 1283 1402 1444"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1444 679 1606">中性子照射(炉内, RPV)</td> <td data-bbox="679 1444 868 1606">実際に評価した期間<br/>要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="868 1444 1402 1606"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="336 1606 491 1805" rowspan="2"></td> <td data-bbox="491 1606 679 1805">IASCCの亀裂進展(炉内上部格子板)</td> <td data-bbox="679 1606 868 1805">実際に評価した期間<br/>要求される評価期間</td> <td colspan="3" data-bbox="868 1606 1402 1805"> </td> </tr> </tbody> </table> | 冷温停止状態での劣化状況           | 劣化事象(対象機器)               | 評価期間               | 東北地方太平洋沖地震<br>平成23年3月11日 | 評価時点<br>平成27年8月25日 | 運転開始後40年時点<br>平成39年8月25日 | 進展する | 炭素鋼製機器・配管等の腐食(熱交換器, RPV等) | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |  |  |  | 進展しない | 過度回数を使用する評価(炉内, RPV, 配管等) | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |  |  |  | 中性子照射(炉内, RPV) | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |  |  |  |  | IASCCの亀裂進展(炉内上部格子板) | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |  |  |  |
| 冷温停止状態での劣化状況 | 劣化事象(対象機器)  | 評価期間                   | 東北地方太平洋沖地震<br>平成23年3月11日 | 評価時点<br>平成27年8月25日 | 運転開始後40年時点<br>平成39年8月25日 |                    |                          |      |                           |                        |  |  |  |       |                           |                        |  |  |  |                |                        |  |  |  |  |                     |                        |  |  |  |
| 進展する         | 炭素鋼製機器・配管等の腐食(熱交換器, RPV等)   | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |                          |                    |                          |                    |                          |      |                           |                        |  |  |  |       |                           |                        |  |  |  |                |                        |  |  |  |  |                     |                        |  |  |  |
| 進展しない        | 過度回数を使用する評価(炉内, RPV, 配管等)   | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |                          |                    |                          |                    |                          |      |                           |                        |  |  |  |       |                           |                        |  |  |  |                |                        |  |  |  |  |                     |                        |  |  |  |
|              | 中性子照射(炉内, RPV)  | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |                          |                    |                          |                    |                          |      |                           |                        |  |  |  |       |                           |                        |  |  |  |                |                        |  |  |  |  |                     |                        |  |  |  |
|              | IASCCの亀裂進展(炉内上部格子板)   | 実際に評価した期間<br>要求される評価期間 |                          |                    |                          |                    |                          |      |                           |                        |  |  |  |       |                           |                        |  |  |  |                |                        |  |  |  |  |                     |                        |  |  |  |

|                    |  |
|--------------------|--|
| <p>説明<br/>(続き)</p> | <p>また、配管減肉については安定停止期間中に進展しない事象であるが、評価上は保守的に40年時点まで事象が進展するものとして評価を行っている。</p> <p>なお、炉内構造物（上部格子版）の照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）の評価では、中性子照射量が亀裂発生のしきい値を超えた時点から運開後 40 年目までとしているが、しきい値を超過した時点から震災時点まではプラント運転中の亀裂進展が支配的であるためプラント運転中のみ亀裂が進展し、震災時点から 40 年時点まではプラント停止期間が長期になることから、保守的に全期間亀裂が進展するものとしている。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> |
|--------------------|--|

|             |  |
|-------------|--|
| <p>タイトル</p> | <p>耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フロー（図1）において「△→」の区分（日常劣化管理事象であるが、・・・発生の可能性がないもの、または小さいもの）を設定しない理由について</p>   |
| <p>説明</p>   | <p>2F4 高経年化技術評価については、PLM 評価の6事象化に伴い、6事象を除く○事象について、以下の経年劣化事象の分類に基づき評価の見直しを行っている。</p> <p>その際、これまで耐震側で×（－）に相当する事象については、技術評価側にて既に▲事象として分類し評価されるため、耐震側での「△→」の設定は不要とした。</p> <p>経年劣化事象の抽出ロジックについては、「共通事項 別紙 1 2F4PLM 経年劣化事象の分類」にて評価。以下に必要事項を抜粋し記載する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主要な6事象に該当しない事象については、以下の通り「高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（△事象、▲事象）として分類し、該当しない事象を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（○事象）とした。</li> <li>・ 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（日常劣化管理事象以外：▲事象）</li> <li>・ 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考え難い経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの（日常劣化管理事象：△事象）</li> </ul> <p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 添付-1：2F4PLM 経年劣化事象の分類</li> </ul> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

2F4PLM 経年劣化事象の分類



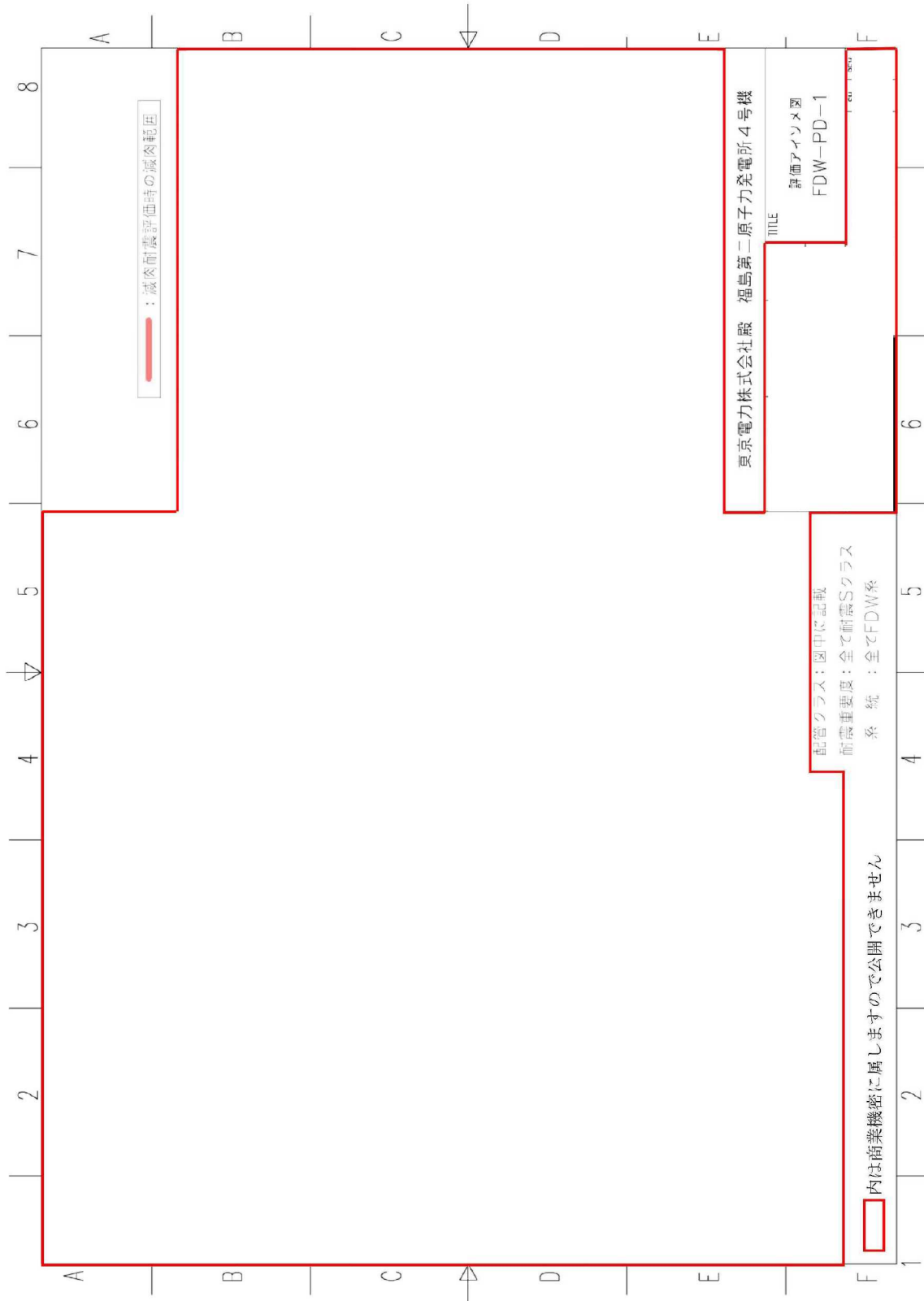


|             |   |
|-------------|---|
| <p>タイトル</p> | <p>安定停止の維持状態で動的機能維持が必要となる機器とその理由、並びに個別機器ごとの動的機能維持評価の記載方針について</p>  |
| <p>説明</p>   | <p>原子炉の安定停止を維持するため、原子炉冷却材バウンダリの維持や炉心からの崩壊熱の除去等に関する機能は必要であることから、地震時または地震後に動作可能なことを確認するため動的機能維持評価を行う。</p> <p>安定停止維持設備のうち、動的機能維持評価の必要な対象設備は「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (JEAG 4601・補-1984)」を参考に抽出している。主な評価対象機器を添付-1 に示す。</p> <p>個別機器ごとの動的機能維持の評価では、動的機能維持が必要な機器に対して、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、以下のいずれかの評価結果により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。</p> <p>① 技術評価での検討の結果、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事象であるが、機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できること。</p> <p>② 運転開始後 40 年時点の経年劣化を考慮した耐震安全性評価を実施し、地震時または地震後の動的機能に影響を与えないこと。</p> <p>添付資料<br/> (1) 添付-1：「安定停止維持状態における動的機能維持評価の対象機器」</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

安定停止維持状態における動的機能維持評価の対象機器

| No. | 評価理由                              | 動的機能維持評価の主な評価対象機器      | 主な評価部位と経年劣化事象  | 事象区分※1   |
|-----|-----------------------------------|------------------------|--|--|
| 1   | RPVバウンダリを構成する弁のうち、その健全性を維持するため    | 給水系弁                   | ①弁箱の疲労割れ<br>②弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）<br>③電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下<br>④炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）※3 | ①◎（給水系弁）※2<br>②■<br>③耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象<br>④◎（給水系弁）※4 |
| 2   |                                   | 原子炉冷却材浄化系弁             |  |  |
| 3   | 炉心から崩壊熱を除去するため                    | 高压炉心スプレー系弁             | ①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）<br>②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下                                     | ①■<br>②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象                             |
| 4   |                                   | 低压炉心スプレー系弁             |  |  |
| 5   |                                   | 残留熱除去系弁                |  |  |
| 6   |                                   | 高压炉心スプレー系ポンプ           | ①主軸等の摩耗<br>②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）<br>③基礎ボルトの腐食   | ①■<br>②■<br>③◎※5   |
| 7   |                                   | 低压炉心スプレー系ポンプ           |  |  |
| 8   |                                   | 残留熱除去系ポンプ              |  |  |
| 9   |                                   | 非常用補機冷却水ポンプ            |  |  |
| 10  |                                   | 非常用ディーゼル機関（A, B号機）     | ①シリンダヘッド等の腐食（全面腐食）<br>②燃料移送ポンプモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下<br>③基礎ボルトの腐食                  | ①■<br>②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象<br>③◎※5                     |
| 11  |                                   | HPCSディーゼル機関            |  |  |
| 12  |                                   | 非常用ディーゼル機関（A, B号機）付属設備 |  |  |
| 13  | HPCSディーゼル機関付属設備                   |                        |  |  |
| 14  | 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部拡散を抑制するため | 残留熱除去系弁                | ①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）<br>②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下                                     | ①■<br>②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象                             |
| 15  |                                   | 残留熱除去系ポンプ              | ①主軸等の摩耗<br>②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）<br>③基礎ボルトの腐食   | ①■<br>②■<br>③◎※5   |
| 16  |                                   | 非常用補機冷却水ポンプ            |  |  |
| 17  |                                   | 可燃性ガス濃度制御系設備           | ①弁（電動弁駆動部）のステムナット及びギアの摩耗<br>②プロウ用モータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下<br>③基礎ボルトの腐食               | ①■<br>②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象<br>③◎※5                     |
| 18  |                                   | 非常用ガス処理系換気ファン          | ①ファンモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下<br>②基礎ボルトの腐食  | ①耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象<br>②◎※5                           |
| 19  |                                   | 非常用ディーゼル機関（A, B号機）     | ①シリンダヘッド等の腐食（全面腐食）<br>②燃料移送ポンプモータの固定子コイル及び口出線・接続部品等の絶縁特性低下<br>③基礎ボルトの腐食                  | ①■<br>②耐震安全性に影響を与えないことが自明な経年劣化事象<br>③◎※5                     |
| 20  |                                   | HPCSディーゼル機関            |  |  |
| 21  |                                   | 非常用ディーゼル機関（A, B号機）付属設備 |  |  |
| 22  |                                   | HPCSディーゼル機関付属設備        |  |  |
| 23  |                                   | 使用済み燃料プール水を補給するため      | 残留熱除去系弁  | ①弁箱等の腐食（流れ加速型腐食）<br>②電動弁用駆動部の固定子コイル、口出線・接続部品等の絶縁特性低下         |
| 24  | 残留熱除去系ポンプ                         |                        | ①主軸等の摩耗<br>②主軸等の腐食（孔食、隙間腐食）<br>③基礎ボルトの腐食   | ①■<br>②■<br>③◎※5   |

- ◎：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できない事象
- ：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できる事象
- ※1：機器の振動応答特性または構造強度への影響が軽微もしくは無視できない事象が抽出された場合、該当する動的機能維持評価の評価対象機器を（ ）内に示す。
- ※2：弁箱の疲労割れは、耐震安全性上考慮する必要のある経年劣化事象であるが、疲れ累積係数が許容値を満足しており疲労割れは発生しないため、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している。
- ※3：炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）は、静的機器の経年劣化事象であるが、動的機能維持評価の対象機器に影響を与える可能性があることから抽出する。
- ※4：炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食）は、耐震安全性上考慮する必要のある経年劣化事象であるが、配管に接続される動的機能維持評価の対象弁の応答加速度が機能確認済み応答加速度以下であることを別紙に示す通り確認しており、動的機能に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している。
- ※5：基礎ボルトの腐食は、耐震安全性上考慮する必要のある経年劣化事象であるが、発生応力が許容応力を下回ることを確認しており、支持機能への影響はないことを確認している。



|             |   |
|-------------|---|
| <p>タイトル</p> | <p>安定停止の維持状態での劣化の想定期間について、本冊（表）と別冊（表 2）との相違点について</p>  |
| <p>説明</p>   | <p>別冊（表 2）「安定停止の維持状態での劣化の想定期間」と本冊（33 頁の表）「安定停止の維持状態での劣化の想定期間」の相違点とその理由は、以下の通り。</p> <p><b>【相違点】</b><br/> 別冊（表 2）には、劣化事象の詳細として、IASCC の亀裂進展の想定期間が記載されているが、本冊（33 頁の表）には記載がない。</p> <p><b>【理由】</b><br/> 劣化事象のうち IASCC・照射脆化における中性子照射による劣化の想定期間は、本冊（表）と別冊（表 2）に示す通り、震災以降プラントが停止していることから震災に伴うプラント停止までを想定している。</p> <p>IASCC・照射脆化については、技術評価に基づく計画的な点検を実施することで原子炉の安全性は維持されると考えられるが、耐震安全性評価では保守的な評価となるよう、震災時点からプラント運転開始後 40 年時点までの停止期間においても IASCC による亀裂が進展するものと仮定し、評価を実施している。</p> <p>このため、IASCC・照射脆化の劣化の想定期間として耐震安全性評価において保守的に設定した「IASCC の亀裂進展」については、評価条件を明確にするため別冊（表 2）にて個別に記載している。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |



|             |  |
|-------------|--|
| <p>タイトル</p> | <p>原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴の腐食（全面腐食）に対する評価の具体的内容（評価仕様，解析モデル，入力（荷重）条件，評価結果を含む）について</p>   |
| <p>説明</p>   | <p>JEAG 4601-1987 に基づき，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の各部位（第 1 脚つけ根部，第 2 脚つけ根部）に対して胴の腐食（全面腐食）時に，地震を受けた場合の健全性の評価を実施した。以下に，その具体的内容を示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>(1) 機器構造</p> <p>原子炉冷却材浄化系再生熱交換器は，横置円筒形容器であり，3 個の胴が架台に三段重ねられた構造となっている。各胴は 2 個の脚で支持され，脚はそれぞれ取付ボルトで架台に固定されている。ただし，2 個の脚のうち第 2 脚は胴の長手方向について架台に対してスライドできる構造となっている。添付-1 に原子炉冷却材浄化系再生熱交換器構造図を示す。</p> <p>(2) 解析モデルと計算条件</p> <p>本評価では，評価対象機器の胴部の腐食を想定しており，脚の胴へのつけ根部に作用する荷重により生じる局部応力について評価している。</p> <p>本評価対象の概略図，胴に生じるモーメント，脚が胴に及ぼす力の関係及び荷重状態を図 1-1～6 に示す。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="466 1249 798 1518"> </div> <div data-bbox="986 1299 1289 1460"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="545 1545 730 1579"> <p>図 1-1 概略図</p> </div> <div data-bbox="912 1545 1369 1579"> <p>図 1-2 脚の位置での曲げモーメント</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="395 1657 874 1787"> </div> <div data-bbox="1034 1601 1241 1792"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="386 1818 874 1892"> <p>図 1-3 長手方向荷重により胴が受ける局部モーメント</p> </div> <div data-bbox="912 1818 1369 1892"> <p>図 1-4 横方向荷重により胴が受ける局部モーメント</p> </div> </div> |

説明  
(続き)

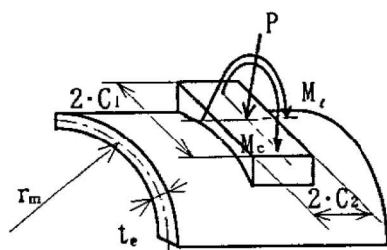


図 1-5 脚が胴に及ぼす力の関係

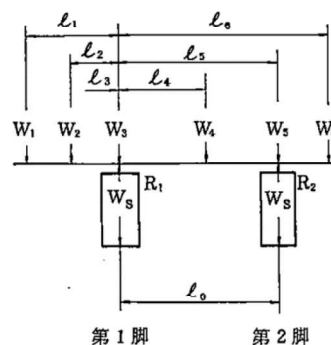


図 1-6 荷重状態

(3) 耐震条件

| 項目         | 記号             | 入力値             | 単位 |
|------------|----------------|-----------------|----|
| 耐震重要度      | —              | B               | —  |
| クラス区分      | —              | クラス 3           | —  |
| 据付設置建屋     | —              | 原子炉建屋           | —  |
| 据付設置位置     | —              | O. P. 31, 800*1 | mm |
| 水平方向固有周期   | T              |                 | s  |
| 水平方向設計震度*4 | C <sub>H</sub> | 0.40*3          | —  |

\*1：基準床レベルを示す

\*2：建設時工認に記載の固有周期。「(5) 水平方向固有周期の設定方法」参照

\*3：固有周期が柔であるため、固有周期に対する床応答スペクトルにおける水平震度の 1/2 を設計震度とする

\*4：水平方向設計震度は、動的地震力 (1/2 S<sub>1</sub>) と静的地震力 (1.8 C<sub>H</sub>) を比較し、最大値を評価用震度とする

(4) 評価概要

本評価では、JEAG 4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」に示される応力の計算方法に基づき、評価部位(胴の脚つけ根部)への腐食を想定した場合の発生応力を評価している。

(5) 水平方向固有周期の設定方法

固有周期は、建設時工認において算出された値を採用している。

JEAG 4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」では胴単体を 1 質点系モデルとして固有周期を算出するが、工認は胴、脚及び架台からなる系全体を多質点系モデルとして算出している。評価対象機器は図 1-1 に示す構造であることから、工認記載値の採用が妥当であると判断した。

JEAG 4601-1987「6.6.3 B及びCクラス機器 (1)容器 e.横置円筒形容器」における固有周期計算モデル及び工認における固有周期計算モデルを、図 1-7、図 1-8 に示す。

内は商業機密に属しますので公開できません

説明  
(続き)

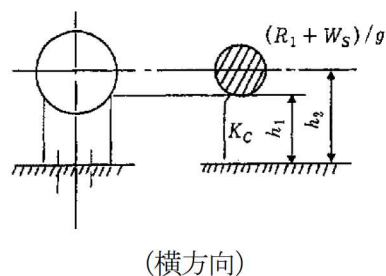
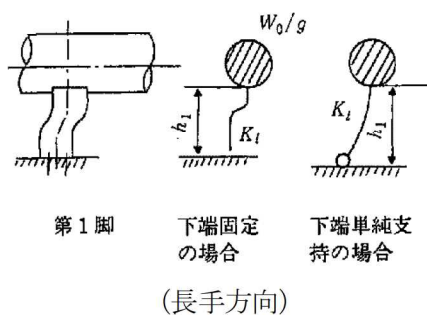


図 1-7 JEA の固有周期計算モデル

図 1-8 工認の固有周期計算モデル

(6) 評価条件

応力算出に用いた評価条件を以下に示す。

| 項目                | 記号       | 入力値   | 単位  | 備考                         |
|-------------------|----------|-------|-----|----------------------------|
| 最高使用圧力            | $P_r$    | 10.0  | MPa |                            |
| 最高使用温度            | $T_h$    | 302   | °C  |                            |
| 胴の内径 (腐食前)        | $D_{i0}$ | 700   | mm  |                            |
| 胴の板厚 (腐食前)        | $t_0$    | 38    | mm  |                            |
| 内面腐食量             | $\delta$ | 0.8   | mm  |                            |
| 胴の内径 (腐食後)        | $D_i$    | 701.6 | mm  | $D_{i0} + \delta \times 2$ |
| 胴の板厚 (腐食後)        | $t$      | 37.2  | mm  | $t_0 - \delta$             |
| 胴の外径              | $D_o$    | 776   | mm  | $D_{i0} + t_0 \times 2$    |
| 第1脚つけ根部における胴の外径   | $r_o$    | 388   | mm  | $D_i/2 + t_e$              |
| 第1脚つけ根部における胴の有効板厚 | $t_e$    | 37.2  | mm  | 胴の板厚 $t$                   |
| 第1脚つけ根部における胴の平均半径 | $r_m$    | 369.4 | mm  | $(D_i + t_e)/2$            |
| 第1脚の質量            | $m_{s1}$ | 117   | kg  |                            |
| 容器の運転時質量          | $m_0$    | 11900 | kg  |                            |
| 容器各部の質量 1         | $m_1$    |       | kg  |                            |
| 容器各部の質量 2         | $m_2$    |       | kg  |                            |

内は商業機密に属しますので公開できません

|  |                                 |       |                     |  |    |
|--|---------------------------------|-------|---------------------|--|----|
| 説明<br>(続き)   | 項目                              | 記号    | 入力値                 | 単位   | 備考 |
|  | 容器各部の質量 3                       | $m_3$ |                     | kg   |    |
|  | 容器各部の質量 4                       | $m_4$ |                     | kg   |    |
|  | 容器各部の質量 5                       | $m_5$ |                     | kg   |    |
|  | 容器各部の質量 6                       | $m_6$ |                     | kg   |    |
|  | 第 1 脚から各荷重までの距離                 | $l_1$ | -1106               | mm   |    |
|  | 第 1 脚から各荷重までの距離                 | $l_2$ | -464                | mm   |    |
|  | 第 1 脚から各荷重までの距離                 | $l_3$ | 0                   | mm   |    |
|  | 第 1 脚から各荷重までの距離                 | $l_4$ | 1500                | mm   |    |
|  | 第 1 脚から各荷重までの距離                 | $l_5$ | 3000                | mm   |    |
|  | 第 1 脚から各荷重までの距離                 | $l_6$ | 3655                | mm   |    |
|  | 脚中心間距離                          | $l_0$ | 3000                | mm   |    |
|  | 重力加速度                           | $g$   | 9.80665             | $m/s^2$  |    |
|  | 第 1 脚つけ根部における胴の回転時質量によるモーメント    | $M_1$ | $3.465 \times 10^7$ | $N \cdot mm$   |    |
|  | 第 1 脚の受ける荷重                     | $R_1$ | $7.501 \times 10^4$ | N  |    |
|  | 架台の取付部から脚の胴つけ根部までの高さ            | $h_1$ | 408                 | mm   |    |
|  | 架台の取付部から胴の中心までの高さ               | $h_2$ | 620                 | mm   |    |
|  | 脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の横方向)  | $C_1$ | 325                 | mm   |    |
|  | 脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の 1/2 (胴の長手方向) | $C_2$ | 142.5               | mm   |    |
|  | 第 1 脚下端の支持条件*1                  | —     | 単純支持                | —  |    |
| *1：脚を架台に固定する取付ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。その他の場合は固定とする |                                 |       |                     |  |    |
| 参考文献 (1) によるアタッチメントパラメータの計算値を以下に示す。  |                                 |       |                     |  |    |
| 項目   | 記号                              | 入力値   | 単位                  | 備考*1   |    |
| シェルパラメータ   | $\gamma$                        | 9.93  | —                   | $r_m/t_e$  |    |
| アタッチメントパラメータ   | $\beta_1$                       | 0.88  | —                   | $C_1/r_m$  |    |
|  | $\beta_2$                       | 0.39  | —                   | $C_2/r_m$  |    |
|  | $\beta_\ell$                    | 0.51  | —                   | $(\beta_1 \cdot \beta_2^2)^{(1/3)}$  |    |
|  | $\beta_c$                       | 0.67  | —                   | $(\beta_1^2 \cdot \beta_2)^{(1/3)}$  |    |
|  | $\beta_{N\phi}$                 | 0.56  | —                   | $\{1-1/3 \cdot (\beta_1/\beta_2-1)(1-K_I^{N\phi})\} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/2)}$ |    |
|  | $\beta_{Nx}$                    | 0.75  | —                   | $\{1-1/3 \cdot (\beta_1/\beta_2-1)(1-K_I^{Nx})\} \cdot (\beta_1 \cdot \beta_2)^{(1/2)}$    |    |
| *1：各応力計算で用いるアタッチメントパラメータの計算式を記載  |                                 |       |                     |  |    |

 内は商業機密に属しますので公開できません



| 説明<br>(続き)                                | シェルパラメータ及びアタッチメントパラメータから参考資料(1)より得た値を以下に示す。   |  |     |           |           |
|---|---|--|-----|-----------|-----------|
|   | 項目  | 記号   | 入力値 | 単位        | 備考*1      |
|   | WRC によるアタッチメントパラメータ $\beta_{N\phi}$ の周方向の補正係数 | $K_I^{N\phi}$                                |     | —         | Table 6   |
|   | WRC によるアタッチメントパラメータ $\beta_{Nx}$ の軸方向の補正係数    | $K_I^{Nx}$                                   |     | —         | Table 6   |
|   | WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ に対する周方向一次応力補正係数       | $C_c^{N\phi}$                                |     | —         | Table 7   |
|   | WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ に対する軸方向一次応力補正係数       | $C_c^{Nx}$                                   |     | —         | Table 7   |
|   | WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ に対する周方向一次応力補正係数 | $C_\theta^{N\phi}$                           |     | —         | Table 8   |
|   | WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ に対する軸方向一次応力補正係数 | $C_\theta^{Nx}$                              |     | —         | Table 8   |
|   | WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ による周方向一次応力係数          | $[N_\phi / (M_c / r_m^2 \beta_c)]$           |     | —         | Fig. 3A   |
|   | WRC による周方向曲げモーメント $M_c$ による軸方向一次応力係数          | $[N_x / (M_c / r_m^2 \beta_c)]$              |     | —         | Fig. 4A   |
|   | WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ による周方向一次応力係数    | $[N_\phi / (M_\theta / r_m^2 \beta_\theta)]$ |     | —         | Fig. 3B   |
|   | WRC による長手方向曲げモーメント $M_\theta$ による軸方向一次応力係数    | $[N_x / (M_\theta / r_m^2 \beta_\theta)]$    |     | —         | Fig. 4B   |
|   | WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 $P$ による周方向一次応力係数        | $[N_\phi / (P / r_m)]$                       |     | —         | Fig. 3C*2 |
|   | WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 $P$ による軸方向一次応力係数        | $[N_x / (P / r_m)]$                          |     | —         | Fig. 3C*2 |
|   | WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 $P$ による周方向一次応力係数        | $[N_\phi / (P / r_m)]$                       |     | —         | Fig. 4C*2 |
| WRC による胴の脚つけ根部に作用する反力 $P$ による軸方向一次応力係数    | $[N_x / (P / r_m)]$                           |  | —   | Fig. 4C*2 |           |
| *1 : 参考文献(1)より得られる値の読み取り元である図表番号を記載       |   |  |     |           |           |
| *2 : Fig. 3C と Fig. 4C を比較して、それぞれ大きな係数を採用 |   |  |     |           |           |

内は商業機密に属しますので公開できません

|                    |   |
|--------------------|---|
| <p>説明<br/>(続き)</p> | <p>2. 応力評価</p> <p>(1) 胴の応力</p> <p>① 脚の受ける重量</p> <p>脚にかかる質量は、モーメントの釣合より求める。図 1-3 において第 1 脚まわりのモーメントの釣合より次式が成り立つ。</p> $\sum_{i=1}^6 m_i g l_i - R_2 l_0 = 0$ <p>したがって、脚の受ける質量は、次式によって与えられる。</p> $R_2 = \sum_{i=1}^6 m_i g l_i / l_0$ $R_1 = \sum_{i=1}^6 m_i g - R_2$ <p>② 曲げモーメント</p> <p>図 1-6 に示すように胴は集中荷重を受けるはりとして考える。</p> <p>図 1-2 において脚つけ根部における曲げモーメント <math>M_1</math>, <math>M_2</math> は、次式によって与えられる。</p> $M_1 = \sum_{i=1}^2 m_i g  l_i $ $M_2 = m_6 g  l_6 - l_0 $ <p>(2) 内圧による応力</p> <p>内圧による応力 <math>\sigma_{\phi 1}</math>, <math>\sigma_{x1}</math> は以下の式によって求まる。</p> $\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r (D_i + 1.2t)}{2t}$ $\sigma_{x1} = \frac{P_r (D_i + 1.2t)}{4t}$ |
|--------------------|---|

説明  
(続き)

(3) 運転時重量により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

脚つけ根の部分における曲げモーメントにより生じる応力は、次のように求める。参考文献(2)によると、曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置換され、胴の局部変形を生じさせようとする。

今、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上  $\theta_0/6$  の点とすると、長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は、図 1-9 に  $2\theta$  で示される円殻となる。したがって、応力は次式で表される。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z}$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2}$$

$$Z = r_m^2 t_e \left( \frac{\theta + \sin \theta \cos \theta - 2 \sin^2 \theta / \theta}{\sin \theta / \theta - \cos \theta} \right)$$

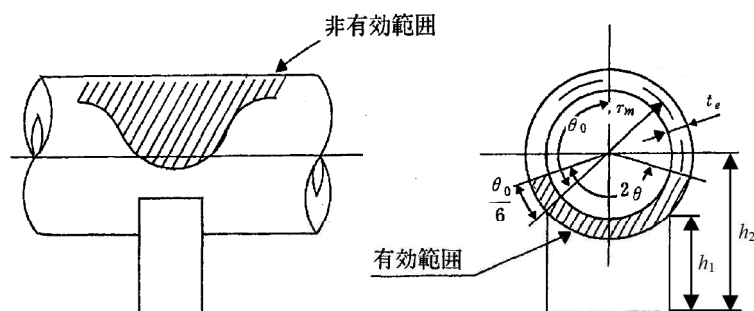


図 1-9 脚つけ根部の有効範囲

(4) 運転時重量による脚つけ根部の応力解析モデルと計算条件

胴の脚つけ根部には、脚反力による局部応力が生じる。胴の第 1 脚つけ根部に作用する反力は、次式で表される。

$$P = R_1$$

この反力 P により生じる胴の局部応力は、次式で表される。

$$\sigma_{\phi 3} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P/r_m} \right] \left( \frac{P}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x3} = \left[ \frac{N_x}{P/r_m} \right] \left( \frac{P}{r_m t_e} \right)$$

説明  
(続き)

(5) 長手方向地震による脚つけ根部の応力

第2脚は、長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図1-3のように変形し、また、脚下端が単純支持であることから、脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重（偶力）は次式により与えられる。

$$M_{\ell} = C_H(m_0 - m_{s1})gh_1$$

$$P_{\ell} = C_H(m_0 - m_{s1})g \frac{h_2}{\ell_0}$$

曲げモーメント  $M_{\ell}$  と鉛直荷重  $P_{\ell}$  により生じる胴の局部応力は参考文献(1)より求められる。曲げモーメント  $M_{\ell}$  により生じる応力は

$$\sigma_{\phi 41} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell}/(r_m^2 \beta_{\ell})} \right] \left( \frac{M_{\ell}}{r_m^2 \beta_{\ell} t_e} \right) C_{\ell}^{N_{\phi}}$$

$$\sigma_{x 41} = \left[ \frac{N_x}{M_{\ell}/(r_m^2 \beta_{\ell})} \right] \left( \frac{M_{\ell}}{r_m^2 \beta_{\ell} t_e} \right) C_{\ell}^{N_x}$$

鉛直荷重  $P_{\ell}$  により生じる応力は

$$\sigma_{\phi 42} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P_{\ell}/r_m} \right] \left( \frac{P_{\ell}}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x 42} = \left[ \frac{N_x}{P_{\ell}/r_m} \right] \left( \frac{P_{\ell}}{r_m t_e} \right)$$

ここで、鉛直荷重  $P_{\ell}$  による一次応力係数は、(4)の反力  $P$  による一次応力係数と同様の値を用いる。

また、水平方向荷重により胴には下記式で表される引張力が生じる。

$$\sigma_{x 43} = \frac{C_H(m_0 - m_{s1})g}{\pi(D_i + t)t}$$

したがって、曲げモーメント  $M_{\ell}$ 、鉛直力  $P_{\ell}$  及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式の通り。

$$\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42}$$

$$\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 43}$$

また、長手方向の地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式の通り。

$$\tau_{\ell} = \frac{C_H(m_0 - m_{s1})g}{4C_2 t}$$

説明  
(続き)

(6) 横方向地震による脚つけ根部の応力

横方向の地震が作用した場合、第1脚のつけ根部に生じる曲げモーメント  $M_c$  は次式の通り。

$$M_c = C_H R_1 r_o$$

この曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の局部応力は、参考文献(1)により求められる。

$$\sigma_{\phi s} = \left[ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \beta_c)} \right] \left( \frac{M_c}{r_m^2 \beta_c t_e} \right) C_c^{N\phi}$$
$$\sigma_{xs} = \left[ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta_c)} \right] \left( \frac{M_c}{r_m^2 \beta_c t_e} \right) C_c^{Nx}$$

また、横方向に地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式の通り。

$$\tau_c = \frac{C_H R_1}{4C_1 t}$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって算出された第1脚つけ根部に生じる胴の応力は、以下により組合せられる。

① 一次一般膜応力

(a) 長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max}(\sigma_{0\ell\phi}, \sigma_{0\ell x})$$

ここで、

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x43}$$

(b) 横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max}(\sigma_{0c\phi}, \sigma_{0cx})$$

ここで、

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2}$$



説明  
(続き)

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は次式の通り。

$$\sigma_0 = \text{Max}(\sigma_{0\ell}, \sigma_{0c})$$

② 一次応力

(a) 長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4\tau_\ell^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4}$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4}$$

(b) 横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4\tau_c^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5}$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5}$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は次式の通り。

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{1\ell}, \sigma_{1c})$$

3. 評価結果

(1) 応力計算について

「2. 応力評価」における計算によって求められた算出応力を以下に示す。

① 胴に生じる応力の最大値

単位：MPa

| 許容応力状態           | 応力               | 算出応力 |
|------------------|------------------|------|
| B <sub>R</sub> S | 一次一般膜 $\sigma_0$ | 101  |
|                  | 一次 $\sigma_1$    | 115  |

説明  
(続き)

② 設計震度による応力の組合せ  
(a) 一次一般膜応力

単位：MPa

| 地震の方向                            |    | 長手方向                    |                    | 横方向                     |                    |
|----------------------------------|----|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| 応力の方向                            |    | 周方向                     | 軸方向                | 周方向                     | 軸方向                |
| 内圧による応力                          |    | $\sigma_{\phi 1} = 101$ | $\sigma_{x1} = 51$ | $\phi 1 = 101$          | $\sigma_{x1} = 51$ |
| 運転時質量による<br>長手方向曲げモー<br>メントによる応力 |    | -                       | $\sigma_{x2} = 23$ | -                       | $\sigma_{x2} = 23$ |
| 地震によ<br>る応力                      | 引張 | -                       | $\sigma_{x43} = 1$ | -                       | -                  |
| 和                                |    | $\sigma_{0\phi} = 101$  | $\sigma_{0x} = 74$ | $\sigma_{0c\phi} = 101$ | $\sigma_{0c} = 73$ |
| 組合せ応力                            |    | $\sigma_{0l} = 101$     |                    | $\sigma_{0c} = 101$     |                    |

(b) 一次応力

単位：MPa

| 地震の方向                            |     | 長手方向                    |                    | 横方向                     |                    |
|----------------------------------|-----|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| 応力の方向                            |     | 周方向                     | 軸方向                | 周方向                     | 軸方向                |
| 内圧による応力                          |     | $\sigma_{\phi 1} = 101$ | $\sigma_{x1} = 51$ | $\sigma_{\phi 1} = 101$ | $\sigma_{x1} = 51$ |
| 運転時質量による<br>長手方向曲げモー<br>メントによる応力 |     | -                       | $\sigma_{x2} = 23$ | -                       | $\sigma_{x2} = 23$ |
| 運転時質量による<br>脚反力による応力             |     | $\sigma_{\phi 3} = 7$   | $\sigma_{x3} = 7$  | $\sigma_{\phi 3} = 7$   | $\sigma_{x3} = 7$  |
| 地震によ<br>る応力                      | 引張  | $\sigma_{\phi 41} = 7$  | $\sigma_{x41} = 5$ | $\sigma_{\phi 5} = 3$   | $\sigma_{x5} = 6$  |
|                                  |     | $\sigma_{\phi 42} = 1$  | $\sigma_{x42} = 1$ |                         |                    |
|                                  |     |                         | $\sigma_{x43} = 1$ |                         |                    |
|                                  | せん断 | $\tau_{\phi} = 3$       |                    | $\tau_c = 1$            |                    |
| 和                                |     | $\sigma_{1\phi} = 115$  | $\sigma_{1x} = 86$ | $\sigma_{1c\phi} = 111$ | $\sigma_{1c} = 85$ |
| 組合せ応力                            |     | $\sigma_{1l} = 115$     |                    | $\sigma_{1c} = 111$     |                    |

説明  
(続き)

(2) 許容応力について

JEAG4601-1987「表 6.3.3-8 容器, 管, 及びポンプの許容応力 第4種容器」に基づき, 許容応力を算出する。

以下に, 算出に用いる算出条件及び算出結果を示す。

① 許容応力の算出条件

| 項目                       | 記号    | 入力値  | 単位  |
|--------------------------|-------|------|-----|
| 胴材料                      | —     | SB49 | —   |
| 最高使用温度                   | —     | 302  | ℃   |
| 胴材料の設計降伏点 <sup>*1</sup>  | $S_y$ | 198  | MPa |
| 胴材料の設計引張強さ <sup>*1</sup> | $S_u$ | 419  | MPa |

\*1: 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) (2007年追補版) 付録材料図表 Part5 表8及び表9引用

② 許容応力の算出結果

単位: MPa

| 許容応力状態           | 一次一般膜                 | 一次    |
|------------------|-----------------------|-------|
| B <sub>A</sub> S | Min ( $S_y, 0.6S_u$ ) | $S_y$ |
|                  | 198                   | 198   |

(3) 結論

上記の結果から, 原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の胴に発生する応力が許容応力を満足することを確認した。

単位: MPa

| 許容応力状態           | 応力    | 算出応力 | 許容応力 |
|------------------|-------|------|------|
| B <sub>A</sub> S | 一次一般膜 | 101  | 198  |
|                  | 一次    | 115  | 198  |

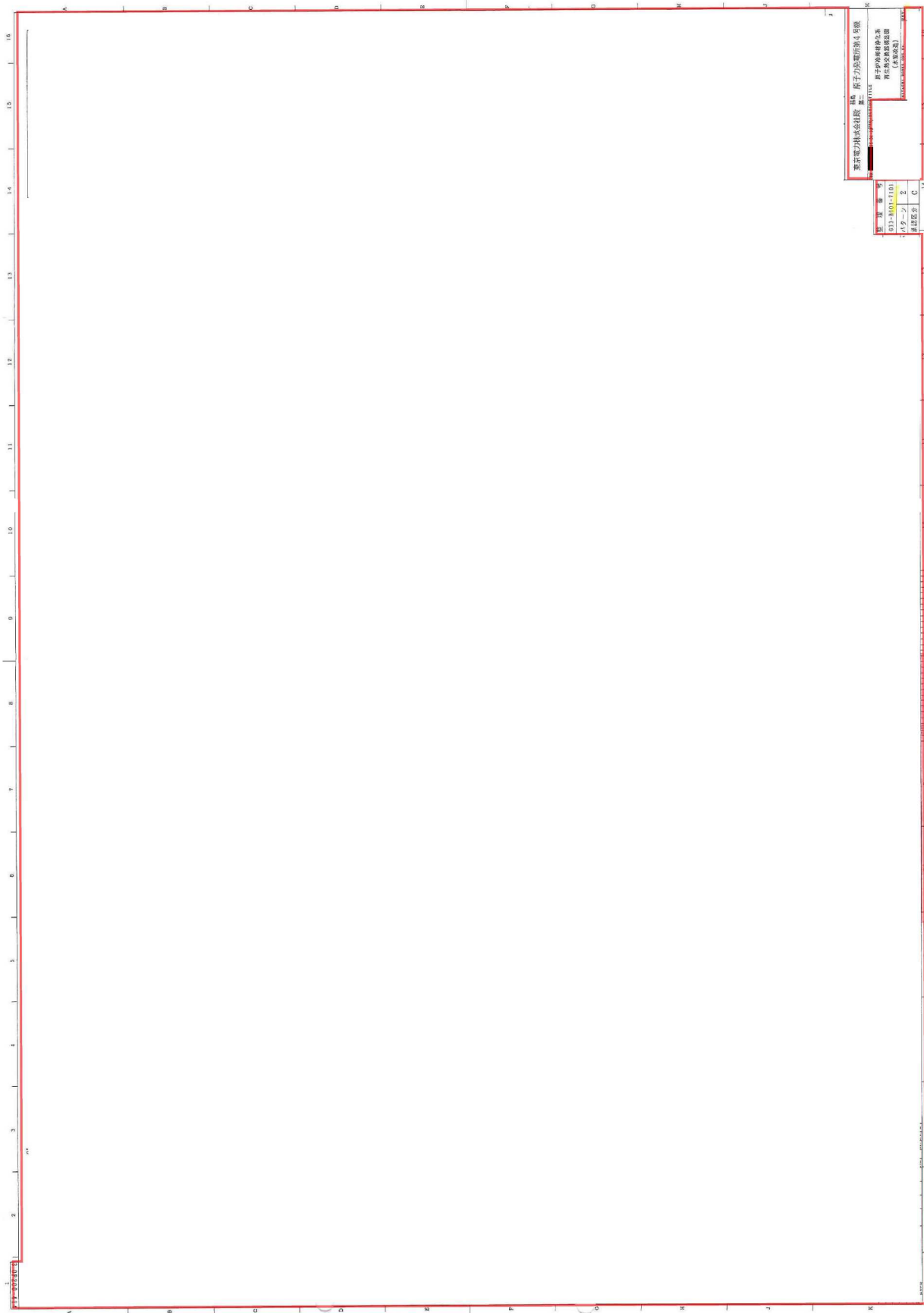
4. 添付資料

- (1) 添付-1「原子炉冷却材浄化系再生熱交換器 構造図」
- (2) 添付-2「水平方向設計震度の設定方法」

5. 参考文献

- (1) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.
- (2) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

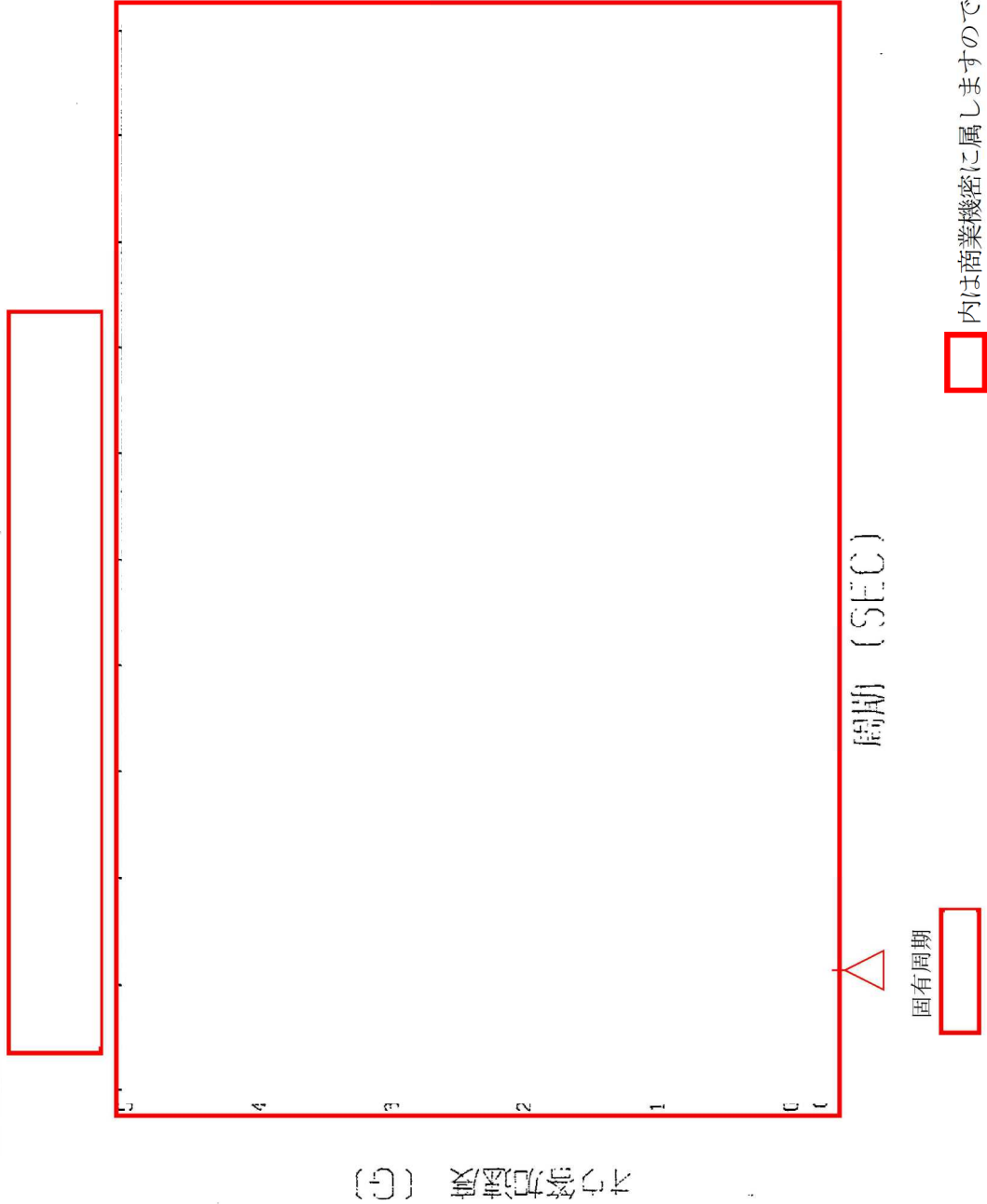
以上



内は商業機密に属しますので公開できません

水平方向設計震度の設定方法 (基準地震動 S1) (1 / 2)

図-16.(a) RESPONSE ACCELERATION SPECTRUM





水平方向設計震度の設定方法（基準地震動 S1）（2 / 2）

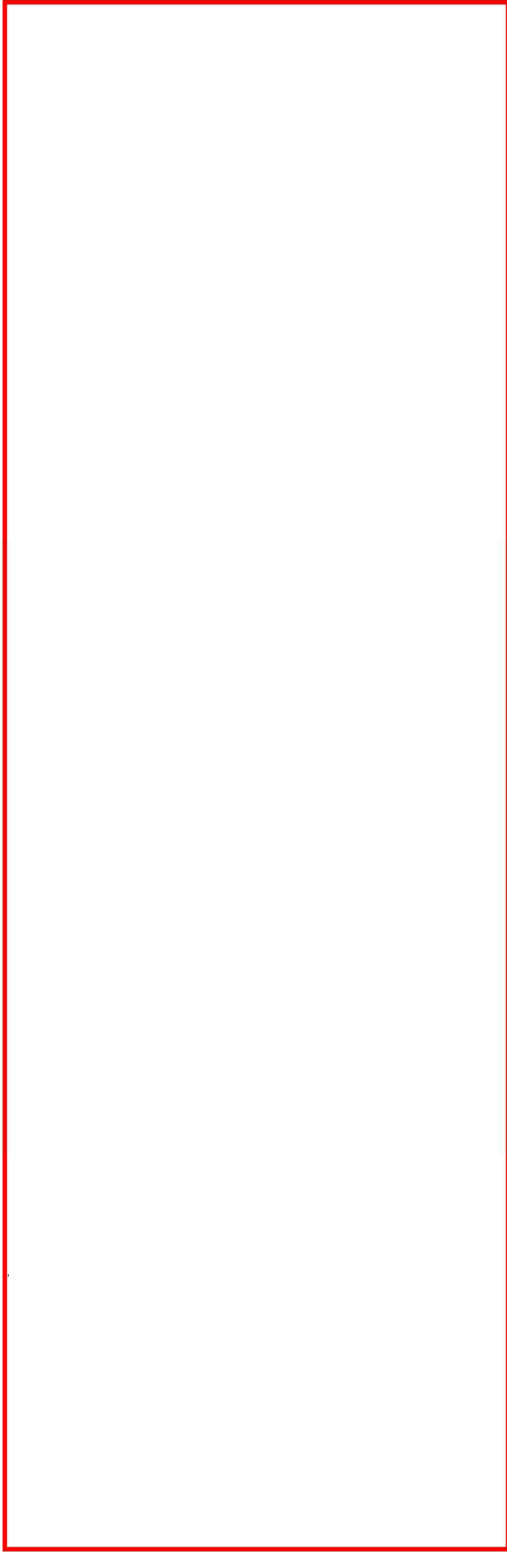


表-22.(a)

床応答スペクトルのデジタル値（原子炉建屋，OP 31.800mm）

<原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の水平方向設計震度の設定>

機器の固有周期は [ ] s であるが，床応答スペクトルのデジタル値には [ ] s に対する震度の記載がないため，補間計算により震度を算出する。

[ ] s の前後の固有周期における震度は，

固有周期 [ ] s のとき，震度 [ ]

固有周期 [ ] s のとき，震度 [ ]

したがって，固有周期 [ ] s に対する震度は [ ] となる。

また，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器は耐震クラス B であるため，JEAG4601-1987 に基づき，機器の固有周期における震度を 1/2 倍した値を評価に用いることから，

[ ] ÷ 2 = [ ] ÷ 0.40（小数点第 3 位を切上げ）

したがって，原子炉冷却材浄化系再生熱交換器の水平方向設計震度を 0.40 とする。

[ ] 内は商業機密に属しますので公開できません

| タイトル | 炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食（FAC））に対する評価の具体的内容について  |      |      |      |     |          |   |          |         |
|------|---|------|------|------|-----|----------|---|----------|---------|
| 説明   | <p>炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食（FAC））に対する評価の具体的内容を以下に示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 評価仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 適用地震動：基準地震動 <math>S_s</math> (<math>S_s-1\sim 3</math>)，基準地震動 <math>S_1</math>（建設時）</li> <li>・ 減衰定数：JEAC 4601-2008 に基づく（ただし，基準地震動 <math>S_1</math> は 0.5 % に適合しないものは一律 1.0 % を適用）</li> <li>・ 評価用肉厚：必要最小肉厚</li> </ul> </li> <li>2. 解析モデル及び系統毎のモデル数 <p>3次元多質点梁モデルによるスペクトルモーダル解析にて評価を実施した。なお，系統毎のモデル数は下表となる（添付-1 参照）。</p> <table border="1" data-bbox="587 1099 1177 1301" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>表1 系統毎のモデル数</caption> <thead> <tr> <th>系統</th> <th>モデル名</th> <th>モデル数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">給水系</td> <td>FDW-PD-1</td> <td rowspan="3">3</td> </tr> <tr> <td>FDW-PD-2</td> </tr> <tr> <td>FDW T 7</td> </tr> </tbody> </table> </li> <li>3. ラインの抽出根拠及び減肉の種別 <p>安定停止維持に必要な設備の中で，以下の条件に適合するラインを評価対象とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 材質：炭素鋼（対策材やライニング配管を除く）</li> <li>・ 運転状態：常時運転（安定停止中において配管内部に流体が流れている運転状態）</li> <li>・ 管理ランク：FAC-2，FAC-S（発電用原子力設備規格 配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NH1-2006）に基づく）</li> <li>・ 流体状態：高温（95℃以上）または高圧（1.9 MPa 以上）</li> </ul> </li> <li>4. 評価対象としたラインに係る耐震重要度区分毎の対象及び評価対象部位 <p>クラス区分，耐震重要度区分の範囲及び評価対象部位については，添付-2 の通り。</p> </li> </ol> | 系統   | モデル名 | モデル数 | 給水系 | FDW-PD-1 | 3 | FDW-PD-2 | FDW T 7 |
| 系統   | モデル名  | モデル数 |      |      |     |          |   |          |         |
| 給水系  | FDW-PD-1  | 3    |      |      |     |          |   |          |         |
|      | FDW-PD-2  |      |      |      |     |          |   |          |         |
|      | FDW T 7   |      |      |      |     |          |   |          |         |

| <p>説明<br/>(続き)</p> | <p>5. 評価結果</p> <p>評価対象ラインの応力評価の結果を整理した応力値一覧を、添付-3 に示す。<br/>         なお、耐震安全性評価書では、応力値一覧で整理した応力比（発生応力値/許容応力値）が最も大きい評価点の値を記載している。<br/>         また、耐震安全性評価書に記載している応力評価結果と評価点の位置情報との関係を、添付-2 にて以下のように示す。</p> <p>○：一次応力, ○：一次+二次応力</p> <table border="1" data-bbox="422 593 1141 627"> <thead> <tr> <th>評価条件</th> <th>クラス区分</th> <th>許容応力状態</th> <th>発生応力/許容応力</th> </tr> </thead> </table> <p>なお、応力評価の傾向分析結果を、添付-4 に示す。</p> <p>6. 添付資料</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 添付-1 「評価対象 P&amp;ID」</li> <li>(2) 添付-2 「給水系 (FDW) モデル図」</li> <li>(3) 添付-3 「減肉耐震評価結果 (応力値一覧表)」</li> <li>(4) 添付-4 「減肉耐震評価結果比較表」</li> </ol> <p style="text-align: right;">以上</p> | 評価条件   | クラス区分     | 許容応力状態 | 発生応力/許容応力 |
|--------------------|---|--------|-----------|--------|-----------|
| 評価条件               | クラス区分   | 許容応力状態 | 発生応力/許容応力 |        |           |

|    | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |

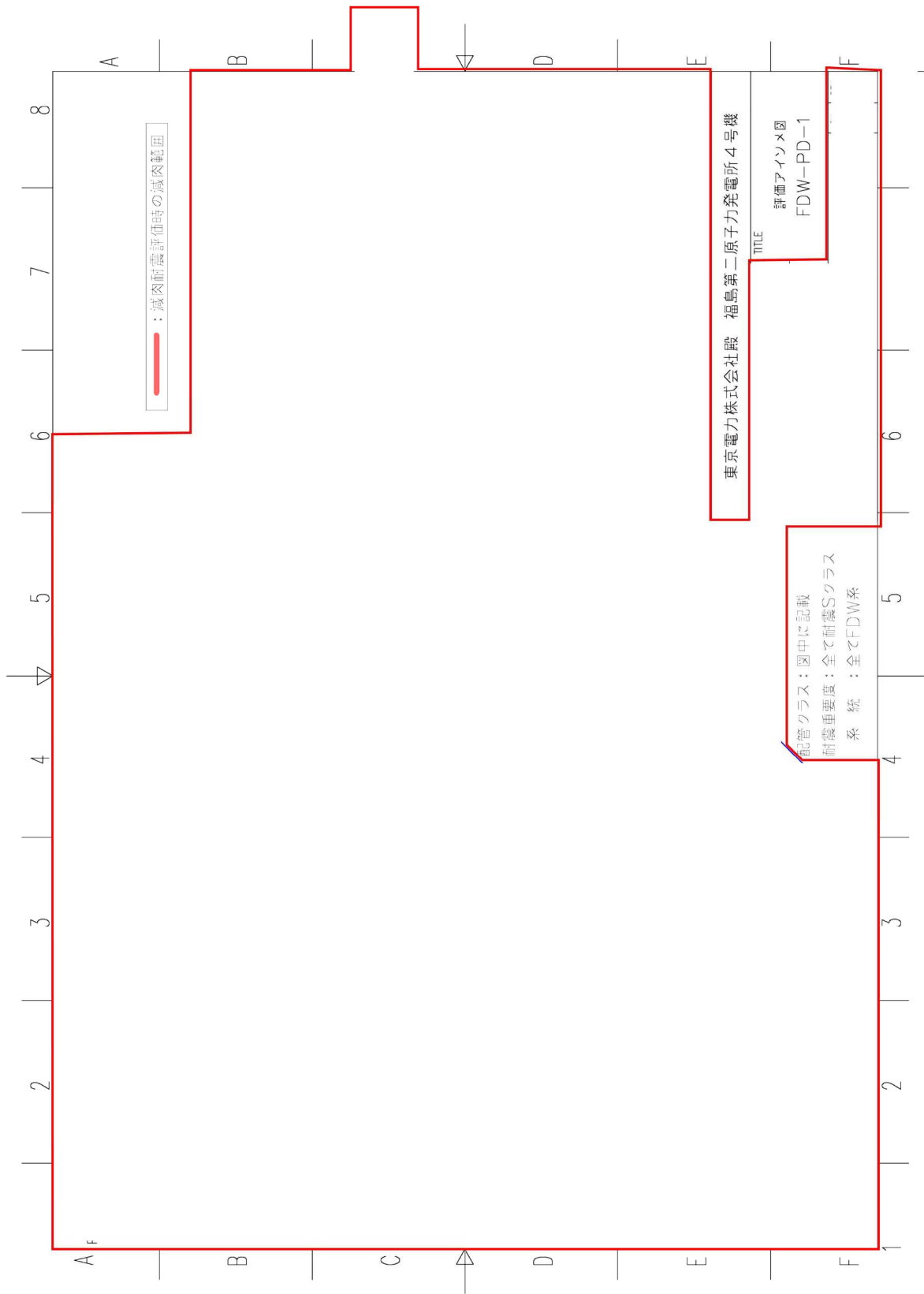
|                |
|----------------|
| 選挙第二回予備選挙人等表   |
| 5 選挙区別選挙区別 1/2 |
| 6              |

内は商業機密に属しますので公開できません

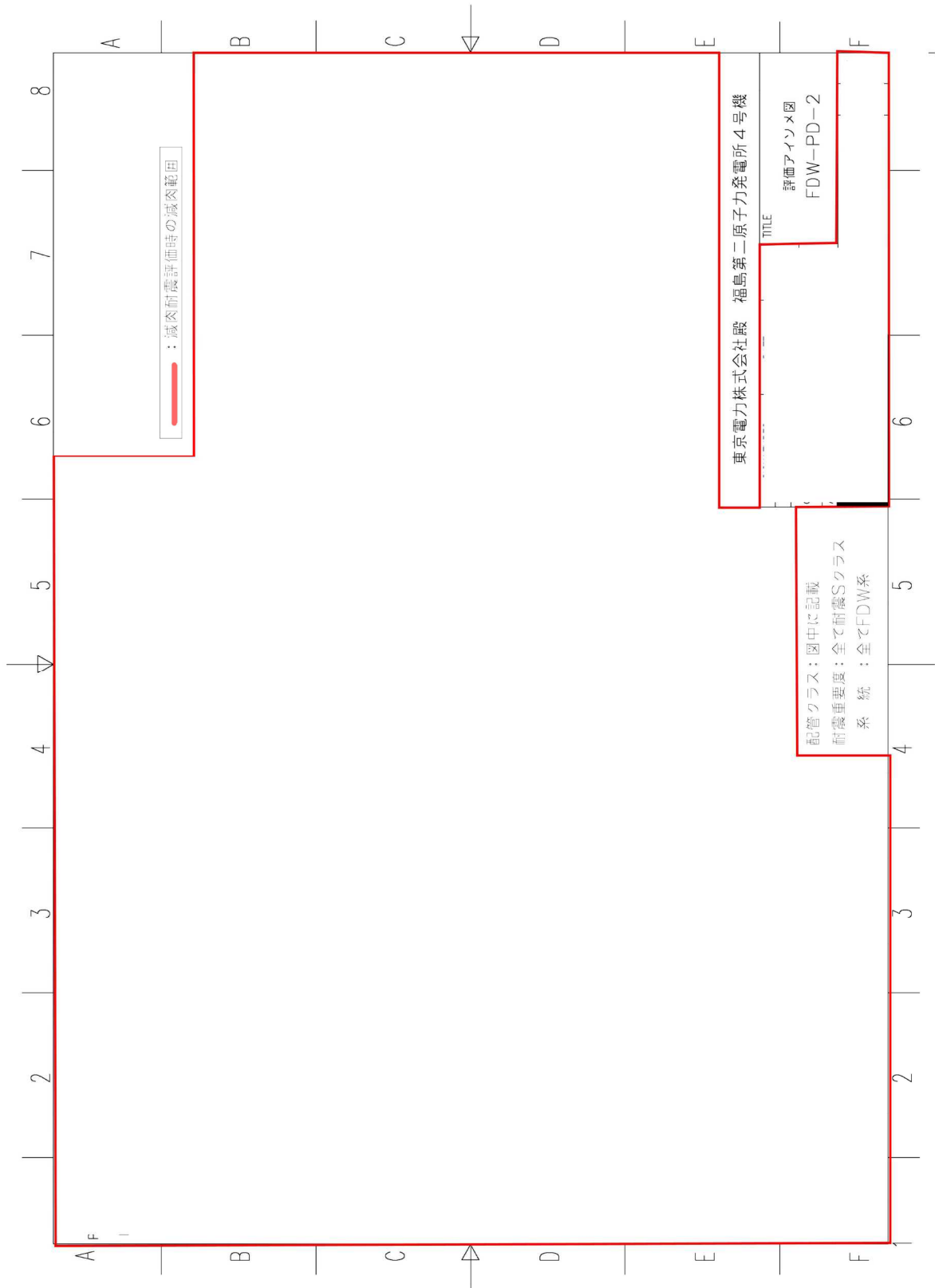
|               |          |  |   |  |               |    |          |    |      |
|---------------|----------|--|---|--|---------------|----|----------|----|------|
|               |          |  | <table border="1"> <tr> <td>福島第二原子力発電所4号機</td> </tr> <tr> <td>種別</td> <td>事故/故障/事件</td> </tr> <tr> <td>発生</td> <td>3/14</td> </tr> </table> |  | 福島第二原子力発電所4号機 | 種別 | 事故/故障/事件 | 発生 | 3/14 |
| 福島第二原子力発電所4号機 |          |  |   |  |               |    |          |    |      |
| 種別            | 事故/故障/事件 |  |   |  |               |    |          |    |      |
| 発生            | 3/14     |  |   |  |               |    |          |    |      |
|               |          |  | <table border="1"> <tr> <td colspan="2">図表</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> </tr> </table>   |  | 図表            |    |          |    |      |
| 図表            |          |  |   |  |               |    |          |    |      |
|               |          |  |   |  |               |    |          |    |      |
|               |          |  |   |  |               |    |          |    |      |

内は商業機密に属しますので公開できません

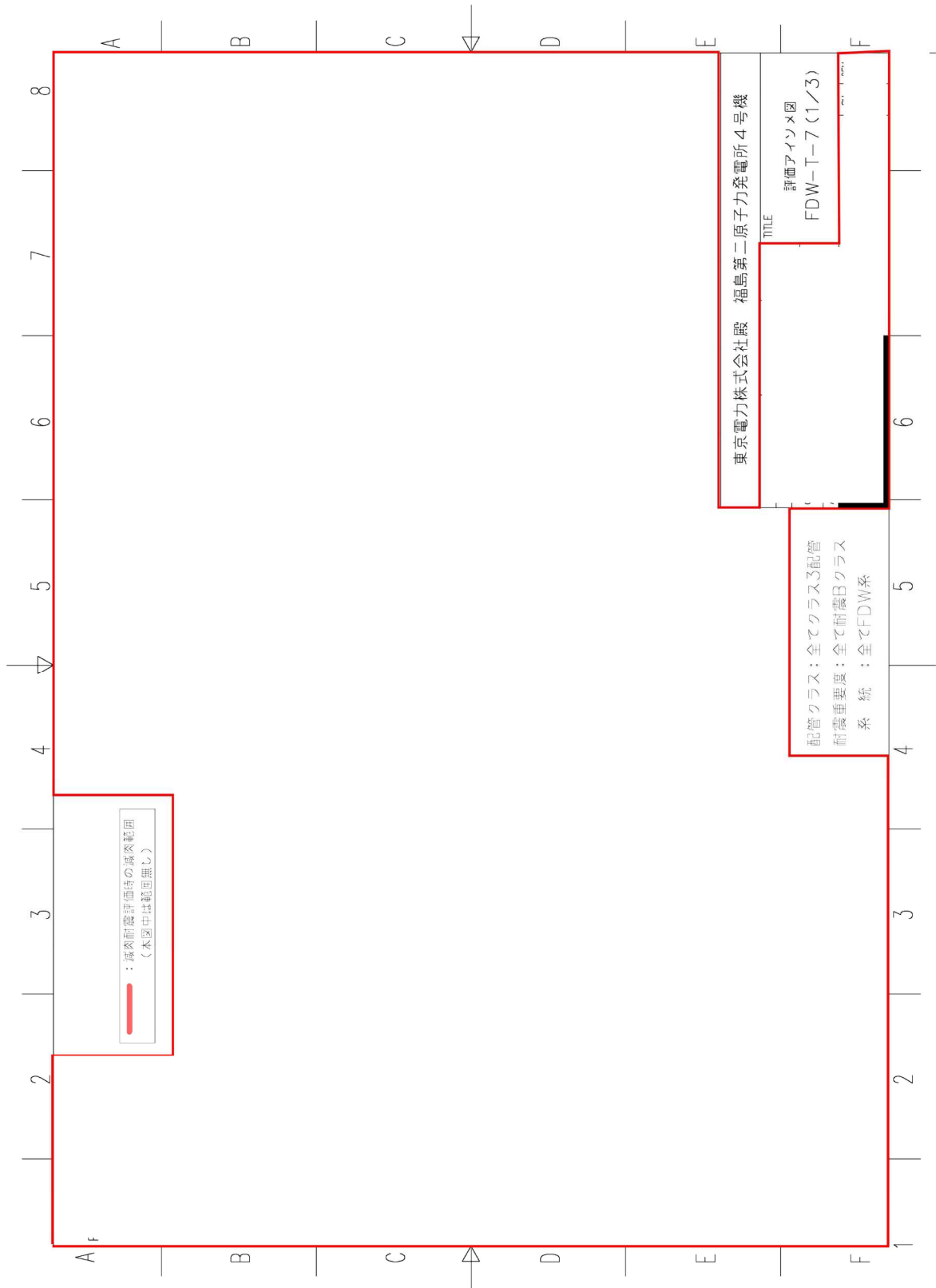




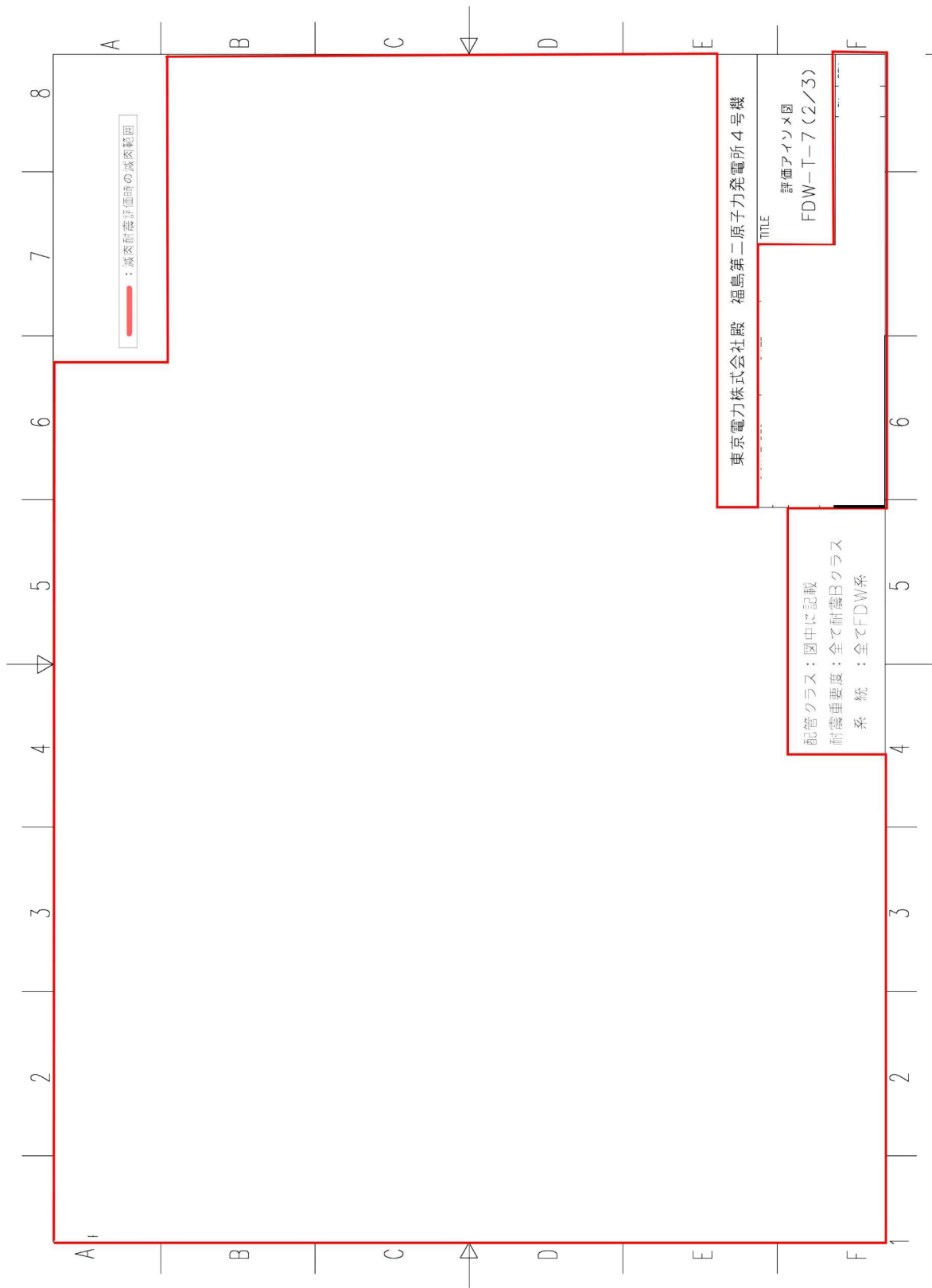
内は商業機密に属しますので公開できません



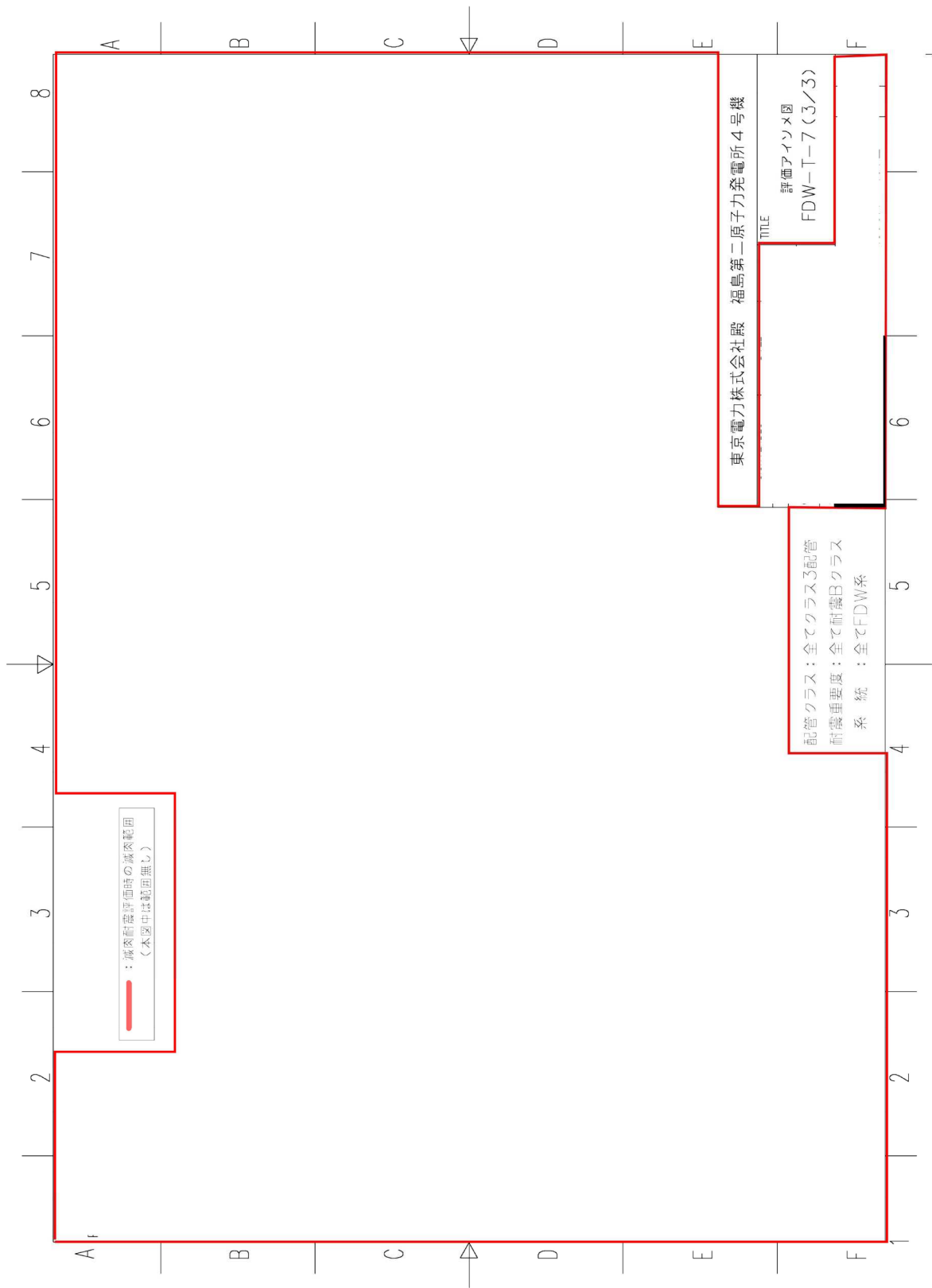
□内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません



内は商業機密に属しますので公開できません



2F-4PLM減肉耐震評価結果 (応力値一覧表)

安定停止維持バウンダリ内  
FDW系モデルについて解析結果の比較を行う。

[比較結果]

許容応力状態Ⅲ<sub>S</sub>(Cs), 一次応力の解析結果を以下に示す。

| 評価箇所     | 機器区分 | 耐震クラス | tsr <sup>*2</sup>   |             | 40年       |                     | 応力比 <sup>*3</sup> |           | 順位  |        |     |
|----------|------|-------|---------------------|-------------|-----------|---------------------|-------------------|-----------|-----|--------|-----|
|          |      |       | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa)       | 許容応力(MPa) | tsr | 40年    | tsr |
| FDW-PD-1 | 77S1 | S     | 10                  | 73          | 310       | -                   | -                 | 0.24      | -   | C1-S-1 | -   |
|          |      | S     | 1A                  | 90          | 209       | -                   | -                 | 0.43      | -   | C2-S-1 | -   |
| FDW-PD-2 | 77S1 | S     | 10                  | 73          | 310       | -                   | -                 | 0.24      | -   | C1-S-1 | -   |
|          |      | S     | 1A                  | 90          | 209       | -                   | -                 | 0.43      | -   | C2-S-1 | -   |

\*1: 評価点は最大発生応力点を示す

\*2: tsr (必要最小肉厚) による解析結果を示す

\*3: 応力比は最大発生応力/許容応力を示す

許容応力状態Ⅲ<sub>S</sub>(Cs), 一次+二次応力の解析結果を以下に示す。

| 評価箇所     | 機器区分 | 耐震クラス | tsr <sup>*2</sup>   |             | 40年       |                     | 応力比 <sup>*3</sup> |           | 順位  |        |     |
|----------|------|-------|---------------------|-------------|-----------|---------------------|-------------------|-----------|-----|--------|-----|
|          |      |       | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa)       | 許容応力(MPa) | tsr | 40年    | tsr |
| FDW-PD-1 | 77S1 | S     | 1A01                | 117         | 414       | -                   | -                 | 0.28      | -   | C1-S-1 | -   |
|          |      | S     | 1A                  | 69          | 418       | -                   | -                 | 0.17      | -   | C2-S-1 | -   |
| FDW-PD-2 | 77S1 | S     | 1A01                | 112         | 414       | -                   | -                 | 0.27      | -   | C1-S-2 | -   |
|          |      | S     | 1A                  | 69          | 418       | -                   | -                 | 0.17      | -   | C2-S-1 | -   |

\*1: 評価点は最大発生応力点を示す

\*2: tsr (必要最小肉厚) による解析結果を示す

\*3: 応力比は最大発生応力/許容応力を示す

許容応力状態Ⅳ<sub>S</sub>(IIs), 一次応力の解析結果を以下に示す。

| 評価箇所     | 機器区分 | 耐震クラス | tsr <sup>*2</sup>   |             | 40年       |                     | 応力比 <sup>*3</sup> |           | 順位  |        |     |
|----------|------|-------|---------------------|-------------|-----------|---------------------|-------------------|-----------|-----|--------|-----|
|          |      |       | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa)       | 許容応力(MPa) | tsr | 40年    | tsr |
| FDW-PD-1 | 77S1 | S     | 10                  | 77          | 414       | -                   | -                 | 0.19      | -   | C1-S-1 | -   |
|          |      | S     | 1A                  | 94          | 380       | -                   | -                 | 0.25      | -   | C2-S-1 | -   |
| FDW-PD-2 | 77S1 | S     | 10                  | 77          | 414       | -                   | -                 | 0.19      | -   | C1-S-1 | -   |
|          |      | S     | 1A                  | 94          | 380       | -                   | -                 | 0.25      | -   | C2-S-1 | -   |

\*1: 評価点は最大発生応力点を示す

\*2: tsr (必要最小肉厚) による解析結果を示す

\*3: 応力比は最大発生応力/許容応力を示す

2F-4PLM減肉耐震評価結果 (応力値一覧表)

安定停止維持バウンダリ内  
FDW系モデルについて解析結果の比較を行う。

[比較結果]

許容応力状態IV<sub>A</sub>S(0s),一次+二次応力の解析結果を以下に示す。

| 評価箇所     | 機器区分 | 耐震クラス | tsr <sup>*2</sup>   |             |           | 40年                 |             |           | 応力比 <sup>*3</sup> |     | 順位     |     |
|----------|------|-------|---------------------|-------------|-----------|---------------------|-------------|-----------|-------------------|-----|--------|-----|
|          |      |       | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | tsr               | 40年 | tsr    | 40年 |
| FDW-PD-1 | ｸﾞｽ1 | S     | 1401                | 142         | 414       | -                   | -           | -         | 0.34              | -   | C1-S-1 | -   |
|          | ｸﾞｽ2 | S     | 1A                  | 74          | 418       | -                   | -           | -         | 0.18              | -   | C2-S-1 | -   |
| FDW-PD-2 | ｸﾞｽ1 | S     | 1401                | 135         | 414       | -                   | -           | -         | 0.33              | -   | C1-S-2 | -   |
|          | ｸﾞｽ2 | S     | 1A                  | 73          | 418       | -                   | -           | -         | 0.17              | -   | C2-S-2 | -   |

\*1：評価点は最大発生応力点を示す

\*2：tsr(必要最小肉厚)による解析結果を示す

\*3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

許容応力状態B<sub>A</sub>S(Cs),一次応力の解析結果を以下に示す。

| 評価箇所    | 機器区分 | 耐震クラス           | tsr <sup>*2</sup>   |             |           | 40年                 |             |           | 応力比 <sup>*3</sup> |     | 順位     |     |
|---------|------|-----------------|---------------------|-------------|-----------|---------------------|-------------|-----------|-------------------|-----|--------|-----|
|         |      |                 | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | 評価点番号 <sup>*1</sup> | 最大発生応力(MPa) | 許容応力(MPa) | tsr               | 40年 | tsr    | 40年 |
| FDW-T-7 | ｸﾞｽ2 | B <sup>*4</sup> | 331                 | 83          | 209       | -                   | -           | -         | 0.40              | -   | C2-B-1 | -   |
|         | ｸﾞｽ2 | B <sup>*5</sup> | 331                 | 83          | 209       | -                   | -           | -         | 0.40              | -   | C2-B-1 | -   |

\*1：評価点は最大発生応力点を示す

\*2：tsr(必要最小肉厚)による解析結果を示す

\*3：応力比は最大発生応力/許容応力を示す

\*4：R/Bの耐震条件による解析結果を示す

\*5：T/Bの耐震条件による解析結果を示す

減肉耐震評価結果比較表

| 区分   | 耐震重要度 | 評価地震力              | 許容応力状態             | 応力種別        | 評価点<br>上段：4号<br>下段：3号 | 一次応力 (MPa)                                      |  | 一次+二次応力 (MPa)                                   |  | 地震相対変位<br>による応力<br>上段：4号<br>下段：3号<br>【参考値】 |
|------|-------|--------------------|--------------------|-------------|-----------------------|---|--|---|--|--|
|      |       |                    |                    |             |                       | 発生応力<br>(合計)<br>許容応力<br>上段：4号<br>下段：3号<br>【参考値】 | 内圧応力<br>+自重応力<br>上段：4号<br>下段：3号<br>【参考値】 | 発生応力<br>(合計)<br>許容応力<br>上段：4号<br>下段：3号<br>【参考値】 | 地震慣性<br>による応力<br>上段：4号<br>下段：3号<br>【参考値】 |  |
| クラス1 | S     | S <sub>1</sub>     | III <sub>A</sub> S | 一次応力        | 10<br>(709)           | 73/310<br>(71/310)                              | —  | —   | 【参考値】                                    |  |
|      |       |                    |                    | 一次+二次<br>応力 | 1401<br>(2)           | —   | 117/414<br>(81/375)                      | —   |  |  |
|      |       | S <sub>S</sub>     | IV <sub>A</sub> S  | 一次応力        | 10<br>(2)             | 77/414<br>(118/375)                             | —  | —   |  |  |
|      |       |                    |                    | 一次+二次<br>応力 | 1401<br>(2)           | —   | 142/414<br>(227/375)                     | —   |  |  |
| クラス2 | S     | S <sub>1</sub>     | III <sub>A</sub> S | 一次応力        | IA<br>(43)            | 90/209<br>(167/209)                             | —  | —   | 【参考値】                                    |  |
|      |       |                    |                    | 一次+二次<br>応力 | IA<br>(43)            | —   | 69/418<br>(108/418)                      | —   |  |  |
|      |       | S <sub>S</sub>     | IV <sub>A</sub> S  | 一次応力        | IA<br>(43)            | 94/380<br>(234/380)                             | —  | —   |  |  |
|      |       |                    |                    | 一次+二次<br>応力 | IA<br>(43)            | —   | 74/418<br>(241/418)                      | —   |  |  |
| クラス2 | B     | 1/2 S <sub>1</sub> | B <sub>A</sub> S   | 一次応力        | 331<br>(139)          | 83/209<br>(119/187)                             | —  | —   |  |  |

**【傾向分析】**  
 減肉耐震評価結果の比較から、4号炉のクラス1、2のSクラスの一次応力（地震による応力）、一次+二次応力（地震慣性による応力）がIII<sub>A</sub>SとIV<sub>A</sub>Sで3号炉と比較し、大きく変わらない傾向が挙げられる。要因としては、以下が考えられる。  
 当該評価点については、III<sub>A</sub>Sでは静的地震力（C<sub>0</sub>）、IV<sub>A</sub>Sでは動的地震力（ZPA（S<sub>S</sub>））における応力値が最大となり、地震力の差が小さいことが許容応力状態ごとの応力評価の結果に有意な差が表れづらい主な要因であると考えられる。  
 なお、同様の配管減肉評価を行っている3号炉では、4号炉と比較して、許容応力状態ごとに適用した地震力（III<sub>A</sub>S：動的地震力（FRS（S<sub>1</sub>））、IV<sub>A</sub>S：動的地震力（FRS（S<sub>S</sub>）））の差が大きいことが、応力評価の結果に有意な差を生じさせる要因であったと考えられる。  
 また、3号炉は一次応力の最大応力評価点がIII<sub>A</sub>SとIV<sub>A</sub>Sで異なる。参考までにIII<sub>A</sub>Sと同評価点の応力値を以下に示す。  
 ・クラス1 Sクラス IV<sub>A</sub>S 評価点：709 一次応力：90 内圧+自重応力：□ 地震による応力：□  
**【考慮する地震荷重】**  
 福島第二4号炉の減肉耐震評価では、許容応力状態に応じて以下の地震力を用いて評価している。  
 ・許容応力状態III<sub>A</sub>S：動的地震力（FRS（S<sub>1</sub>））、動的地震力（ZPA（S<sub>1</sub>））、静的地震力（C<sub>0</sub>）  
 ・許容応力状態IV<sub>A</sub>S：動的地震力（FRS（S<sub>S</sub>））、動的地震力（ZPA（S<sub>S</sub>））  
 以上を地震荷重として考慮し、各評価点ごとに最大となる応力値を出力する。

□内は商業機密に属しますので公開できません

|      |  |
|------|--|
| タイトル | 原子炉冷却材浄化系配管（炭素鋼配管）の（流れ加速型腐食（FAC））を耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象としていない評価について   |
| 説明   | <p>日本機械学会「BWR配管減肉管理技術規格」（JSME S NH1-2006）では、原子炉冷却材浄化系は、配管減肉管理の対象系統範囲には設定されていない。</p> <p>ただし、社内指針（配管減肉管理指針（改訂09））においては、水素注入を実施した場合、原子炉水の溶存酸素濃度が低下し、減肉が発生する可能性があることから、水素注入プラントに限り、配管減肉管理を実施することとしている。</p> <p>2F4については現在までに水素注入を実施しておらず、上記規格及び社内指針に従って原子炉冷却材浄化系配管を配管減肉管理の対象として設定していないことから、原子炉冷却材浄化系配管における炭素鋼配管の腐食（流れ加速型腐食（FAC））については、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していない。</p> <p>なお、震災前の計画では2F4についても水素注入を実施する予定であったことから、知見拡充のため、原子炉冷却材浄化系配管の肉厚測定を実施しており、その結果、有意な減肉は確認されていない。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> |

|             |  |
|-------------|--|
| <p>タイトル</p> | <p>残留熱除去系配管の疲労割れに対する評価における、伸縮可能な構造で相対変位に追従可能とするベローズの地震時の疲労割れに対する評価について</p>   |
| <p>説明</p>   | <p>残留熱除去系（低圧注水系）配管のうちベローズについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象を整理した結果、疲労割れが抽出されたが、ベローズは伸縮可能な構造で相対変位に追従可能であり、構造的に大きな荷重が作用しないため、割れに至る疲労が蓄積される可能性は小さい。</p> <p>したがって、ベローズは安全上（炉心冷却機能）影響を与えるものではないこと及び割れに至る疲労が蓄積されないことから、「▲：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象」（日常劣化管理事象以外）と考えられる。</p> <p>なお、残留熱除去系（低圧注水系）配管の炉心冷却材の流路は、スリーブとフランジネックで形成されており、機械的に結合されている。また、スリーブとフランジネックのスリップジョイント部において熱変形を吸収される構造となっており、ベローズはスリーブとフランジネックの外側にクランプを介してボルトにて取付けられており、炉心冷却材の流路確保の部位ではなく、ベローズが万が一破損に至った場合でも炉心冷却機能に影響を及ぼすものではない。</p> <p>このため建設工認においてはスリーブとフランジネックは応力評価を行っているが、ベローズは応力・疲労評価対象となっていない。</p> <div data-bbox="386 1236 1334 1675" style="border: 2px solid red; height: 196px; margin: 10px 0;"></div> <div data-bbox="671 1684 1093 1720" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin: 0 auto; width: fit-content;">       残留熱除去系(低圧注水系)配管 概略図     </div> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">以上</p> |

内は商業機密に属しますので公開できません