

|              |                |
|--------------|----------------|
| 東海第二発電所 審査資料 |                |
| 資料番号         | TKK 補-III-7 改9 |
| 提出年月日        | 平成30年5月31日     |

東海第二発電所 劣化状況評価  
(耐震安全性評価)

補足説明資料

平成30年5月31日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

## 目次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1. 概要                        | 1  |
| 2. 基本方針                      | 1  |
| 3. 評価対象と評価手法                 | 4  |
| (1) 評価対象                     | 4  |
| ① 耐震安全性評価対象                  | 4  |
| ② 耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象の抽出    | 4  |
| (2) 評価手法                     | 7  |
| ① 適用規格                       | 7  |
| ② 耐震安全性評価の評価手法               | 9  |
| ③ 工事計画認可申請で用いた耐震評価手法等の反映について | 18 |
| (3) 評価用地震力                   | 20 |
| (4) 評価用地震動                   | 21 |
| (5) 代表の選定                    | 25 |
| 4. 代表の技術評価                   | 26 |
| (1) 健全性評価                    | 26 |
| ① 低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価        | 26 |
| ② 中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価        | 26 |
| ③ 照射誘起型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価    | 26 |
| ④ 熱時効を考慮した耐震安全性評価            | 27 |
| ⑤ 粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価      | 28 |
| ⑥ 腐食（流れ加速型腐食）を考慮した耐震安全性評価    | 28 |
| ⑦ 腐食（全面腐食）を考慮した耐震安全性評価       | 30 |
| ⑧ 動的機能維持に係る耐震安全性評価           | 31 |
| ⑨ 制御棒挿入性に係る耐震安全性評価           | 33 |
| ⑩ TPO 地震を考慮した耐震安全性評価         | 35 |
| (2) 現状保全                     | 35 |
| (3) 総合評価                     | 35 |
| (4) 高経年化への対応                 | 36 |
| 5. まとめ                       | 36 |
| (1) 審査基準適合性                  | 36 |
| (2) 保守管理に関する方針として策定する事項      | 39 |

|   |     |
|---|-----|
| 別紙 1. 低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価について                       | 41  |
| 別紙 2. 中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価について                       | 52  |
| 別紙 3. 照射誘起型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価について                   | 70  |
| 別紙 4. シュラウドサポートの粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価について           | 71  |
| 別紙 5. 流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価について                       | 83  |
| 別紙 6. 建設後の耐震補強の実績及び今後の予定について                        | 110 |
| 別紙 7. 機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価について                   | 181 |
| 別紙 8. 後打ちアンカの腐食を考慮した耐震安全性評価について                     | 206 |
| 別紙 9. 弁の動的機能維持評価について                                | 208 |
| 別紙 10. 震災が評価に与える影響とその考え方について                        | 217 |
| 別紙 11. 水平 2 方向を考慮した影響評価について                         | 229 |
| 別紙 12. 浸水防護施設の耐震安全性評価について                           | 231 |
| 別紙 13. 工事計画認可申請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 | 240 |

添付資料-1 V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書

添付資料-2 V-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書



## 別紙

- 別紙 1. 低サイクル疲労を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 2. 中性子照射脆化を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 3. 照射誘起型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 4. シュラウドサポートの粒界型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 5. 流れ加速型腐食を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 6. 建設後の耐震補強の実績及び今後の予定について
- 別紙 7. 機器付基礎ボルトの腐食を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 8. 後打ちアンカの腐食を考慮した耐震安全性評価について
- 別紙 9. 弁の動的機能維持評価について
- 別紙 10. 震災が評価に与える影響とその考え方について
- 別紙 11. 水平 2 方向を考慮した影響評価について
- 別紙 12. 浸水防護施設の耐震安全性評価について
- 別紙 13. 工事計画認可申請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

添付資料-1 V-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書

添付資料-2 V-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書

## 流れ加速型腐食を考慮した耐震安全評価について

腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価については、以下の劣化事象について実施する。

1. 配管内面の腐食（流れ加速型腐食）（炭素鋼配管）
2. 管支持板の腐食（流れ加速型腐食）（第3給水加熱器）
3. 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）（非常用ディーゼル機関及び付属設備／高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関及び付属設備）

## 1. 配管内面の腐食（流れ加速型腐食）（炭素鋼配管）に対する耐震安全性評価

## (1) 評価対象ラインの抽出について

東海第二の劣化状況評価における、「配管の腐食（流れ加速型腐食）」に対する耐震安全性評価は、日本機械学会「発電用原子力設備規格 沸騰水型原子力発電所 配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NH1-2006）」（以下、JSME 減肉管理規格という）において、流れ加速型腐食の可能性が小さいとされている FAC-1 管理範囲以外の箇所を含むラインを評価対象ラインとして選定した。

## (2) 評価対象ライン数

評価対象として抽出され評価を実施したライン数は合計 31 ラインであり、系統分類毎に以下のとおりである。

- ・原子炉系（蒸気部） 3 ライン
- ・原子炉系（純水系） 2 ライン
- ・給水系 5 ライン
- ・復水系 18 ライン
- ・給水加熱器ドレン系 3 ライン

## (3) 評価対象ライン

評価対象ラインの概略図を図 1 に、評価対象ラインのうち、劣化状況評価書に評価結果を記載した代表ラインの解析モデル図を図 2～図 10 に示す。

解析モデルは、3 次元多質点系モデルとし、その他のモデル化の条件は、工事計画認可申請の評価と同等とする。解析は、計算機コード「H I S A P」を使用する。

また、地震動による配管応力解析の結果、発生応力が許容応力を上回った際に実施する疲労累積係数の評価を計算機コードにより実施する。

#### (4) 使用する地震動

耐震評価を行うにあたり使用する地震動は、東海第二発電所設置変更許可申請書（平成 29 年 11 月 8 日補正）及び工事計画認可申請書（平成 29 年 11 月 24 日補正）で記載される基準地震動  $S_s$  ( $S_s$ -D1,  $S_s$ -11~14,  $S_s$ -21~22,  $S_s$ -31) の 8 波, 弾性設計用地震動  $S_d$  等を用いて原子炉建屋, タービン建屋各床レベルの地震応答解析結果に基づき作成された床応答スペクトルを包絡したスペクトル波にて評価を行った。

#### (5) 評価内容

エルボ部, 分岐部, レジューサ等の偏流発生部位及びその下流側に周方向及び軸方向一様に必要最小板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運転開始後 60 年時点の減肉を想定した応力評価及び疲労解析による評価を実施する。

#### (6) 評価結果

必要最小板厚又は運転開始後 60 年時点までの減肉を想定し, 地震時に発生する応力又は疲労累積係数を評価した結果, 許容値を下回ることを確認した。

評価対象ラインのうち, 補足説明資料の代表機器である原子炉系 (蒸気部) 配管の 60 年時点板厚における疲労累積係数の算出結果を表 1 に, また, 詳細な算出過程を添付番号 1 に示す。

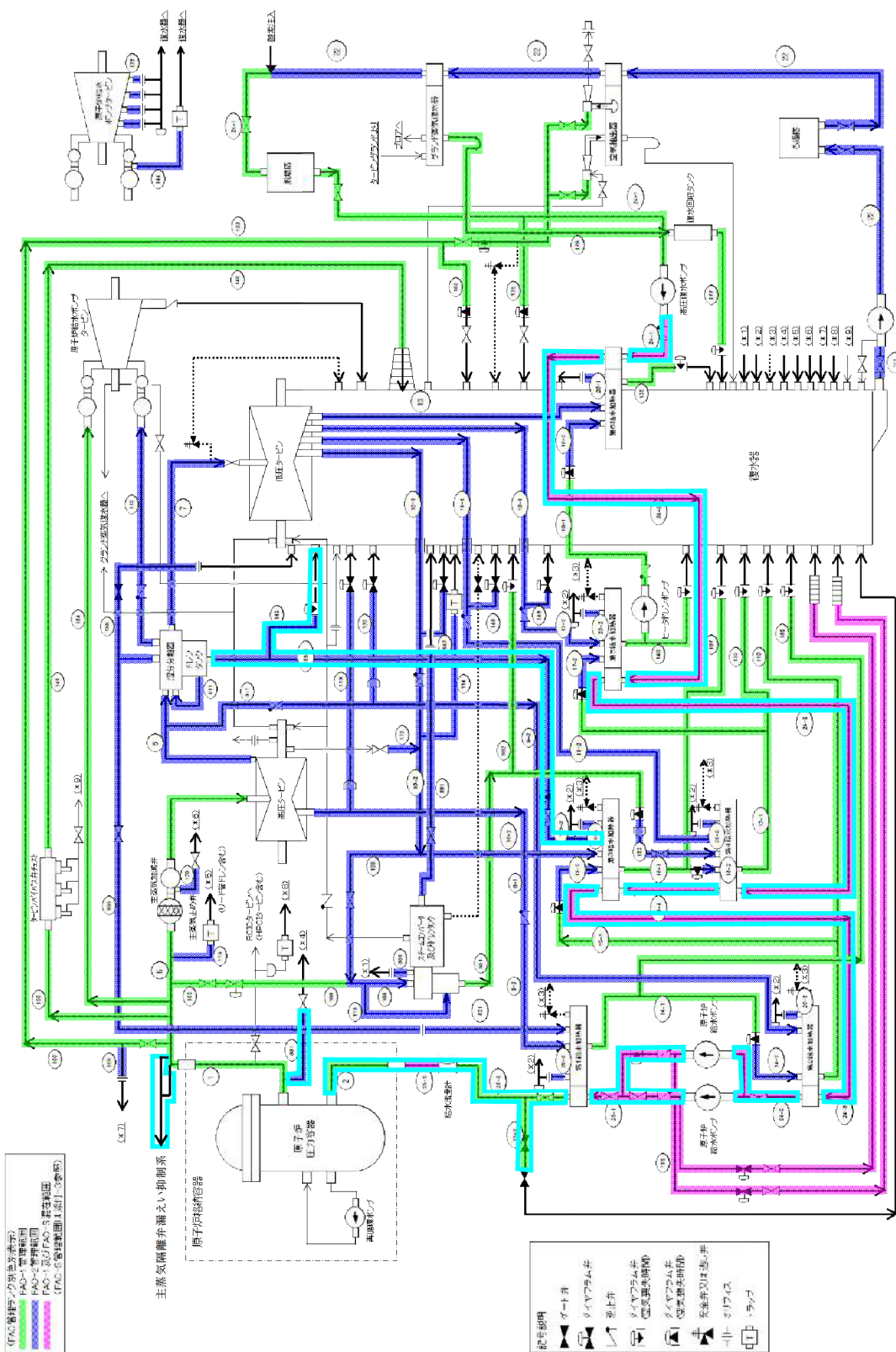


図 CA-1000-1 FAC管理範囲図(概略系統図)

図1 配管の腐食(流れ加速型腐食)による減肉を考慮した耐震評価対象範囲

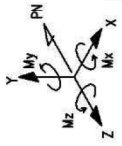
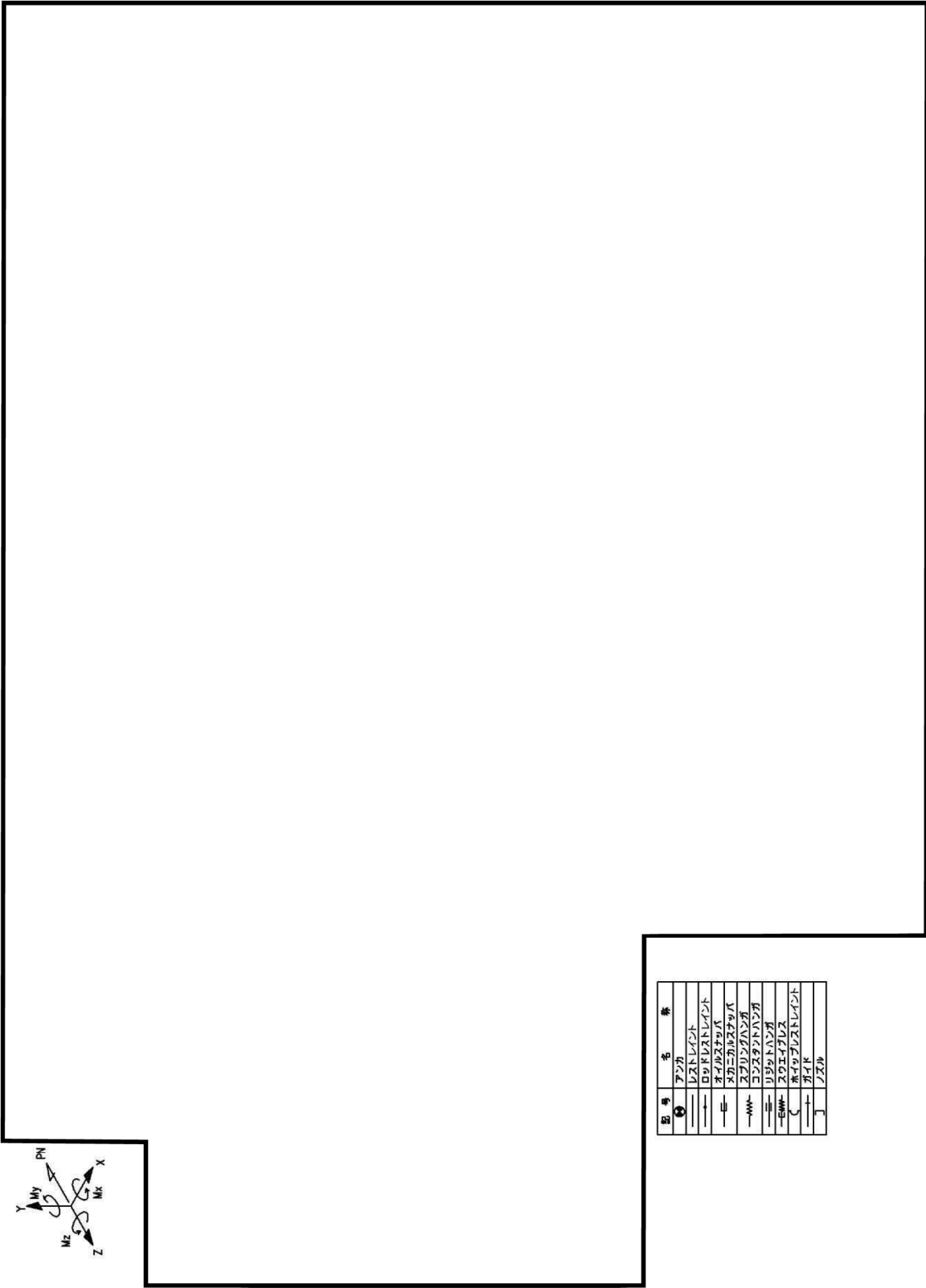
□ : 配管の腐食(流れ加速型腐食)による減肉を考慮した耐震評価対象範囲

(JSME S NHI-2006 図 CA-1000-1 (追加))









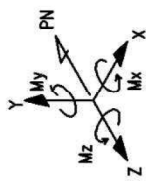
| 記号 | 名称          |
|----|-------------|
| ●  | アンカ         |
| —  | レストレイント     |
| —  | ロッドレストレイント  |
| —  | オイルスタンプ     |
| —  | メカニカルスタンプ   |
| —  | スプリングハンガ    |
| —  | コンスタントハンガ   |
| —  | リフトハンガ      |
| —  | スウェープレス     |
| —  | ホウソウレストレイント |
| —  | ガイド         |
| —  | ノズル         |

図 4 (2/2) 原子炉系 (蒸気部) [クラス 1-耐震 S クラス] アイソメ図









| 記号 | 名称          |
|----|-------------|
| ●  | アンカ         |
| —  | レストレイント     |
| →  | ロッドレストレイント  |
| —  | オイルスタンプ     |
| —  | メカニカルスタンプ   |
| —  | スプリングハンガ    |
| —  | コンスタントハンガ   |
| —  | リジッドハンガ     |
| —  | スウェイブレス     |
| —  | ホイップレストレイント |
| +  | ブイ          |
| ]  | ノズル         |

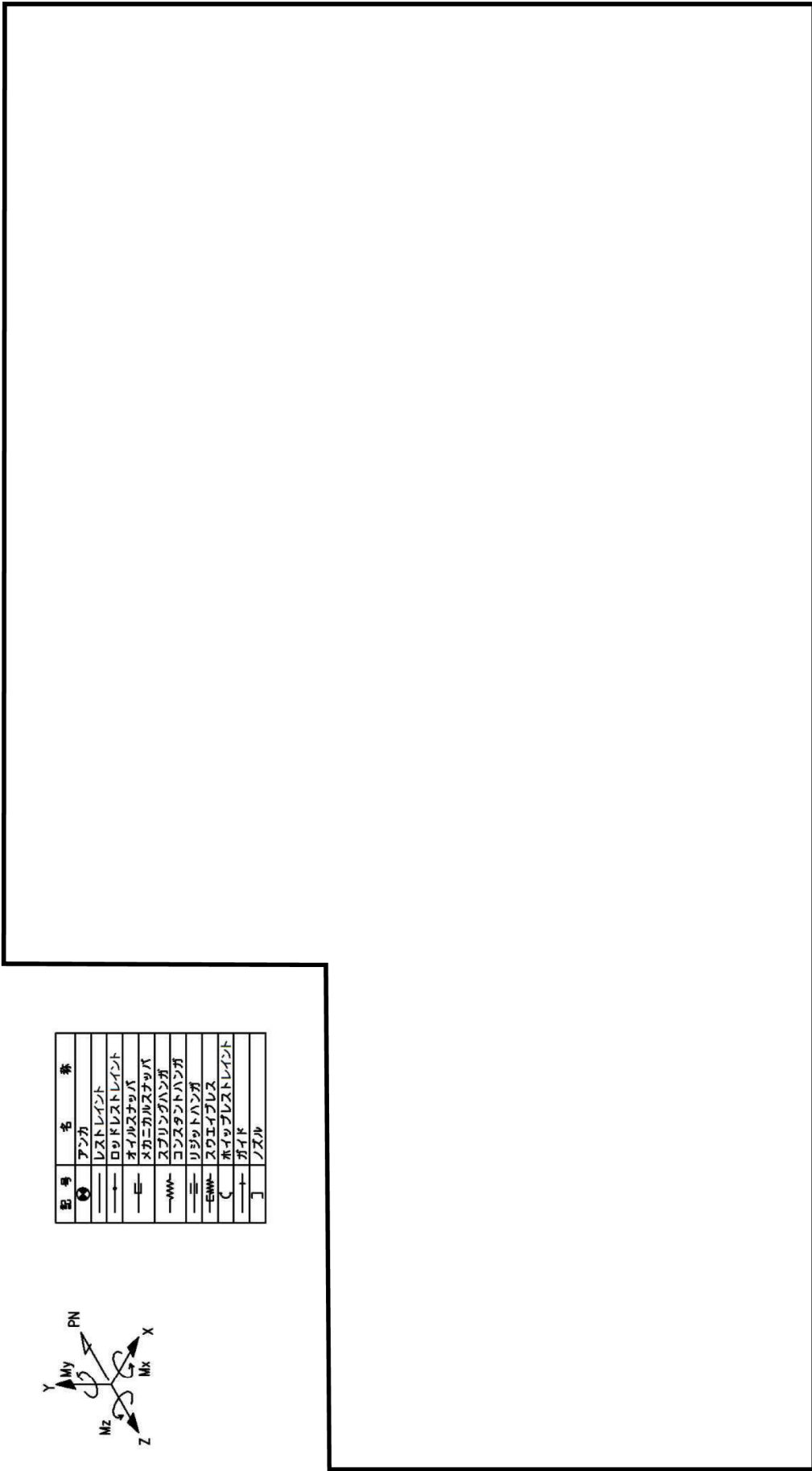
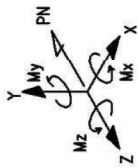


図7 給水系 [クラス2-耐震Sクラス] アイソメ図



| 記号 | 名称         |
|----|------------|
| ⊕  | アツカ        |
| —  | レストレイト     |
| —  | ロッドレストレイト  |
| —  | オイルスタンプ    |
| —  | オメガカルスタンプ  |
| —  | スプリングハンダ   |
| —  | コンスタントハンダ  |
| —  | リベットハンダ    |
| —  | スウェイブレス    |
| ⌋  | ホイップレストレイト |
| —  | ブイト        |
| ⌋  | フスル        |

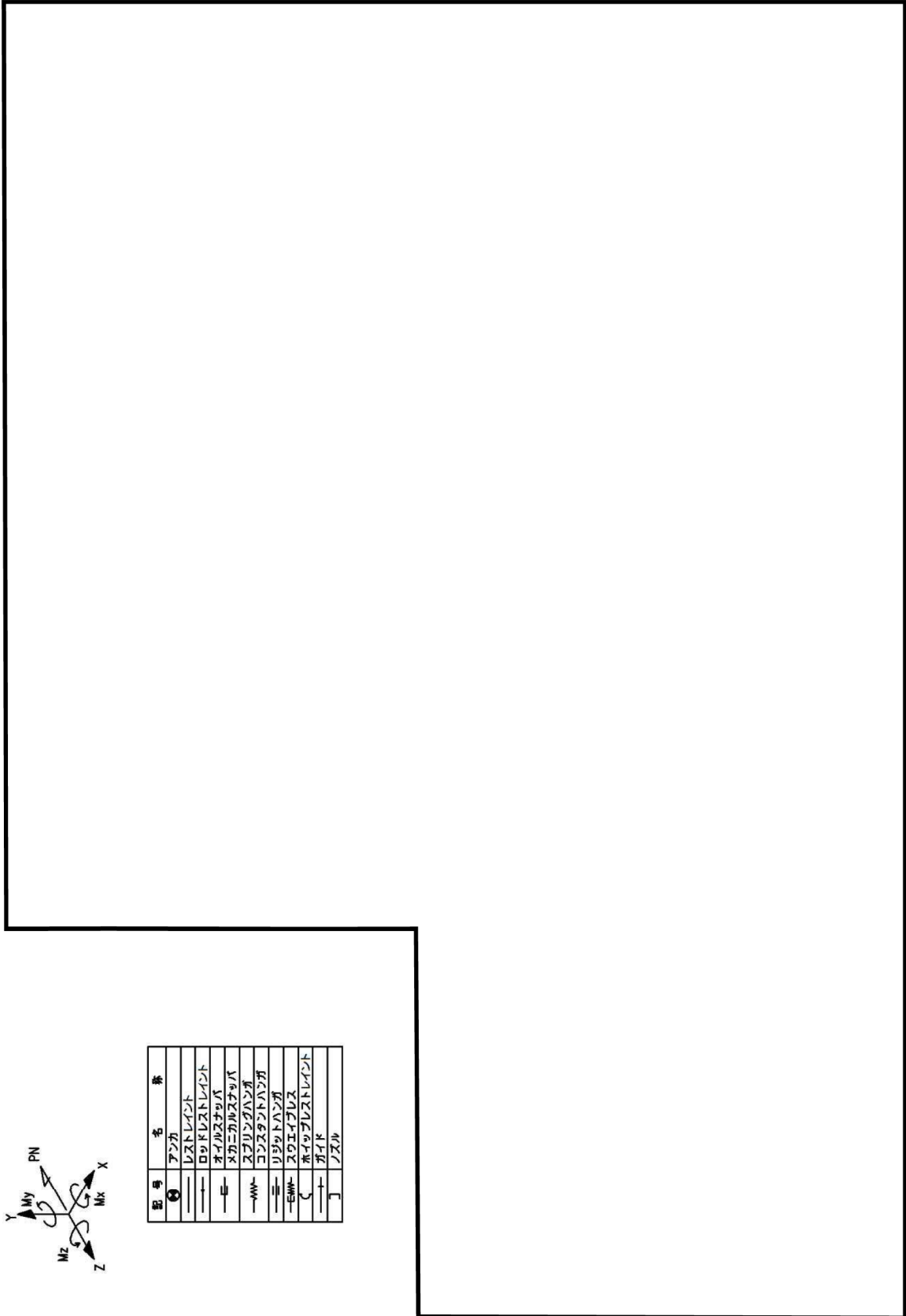
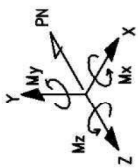


図8 給水系 [クラス 2-耐震 B クラス] アイソメ図





| 記号   | 名称         |
|------|------------|
| ④    | アンガ        |
| —    | レストレイト     |
| —    | ロッドレストレイト  |
| —    | ネイルスナック    |
| —E—  | ネカニカルスナック  |
| —MM— | スプリングハンガ   |
| —    | コンスタントハンガ  |
| —E—  | リフトハンガ     |
| —E—  | スワイブレス     |
| —C—  | ホイップレストレイト |
| —    | ガイド        |
| —    | ノズル        |

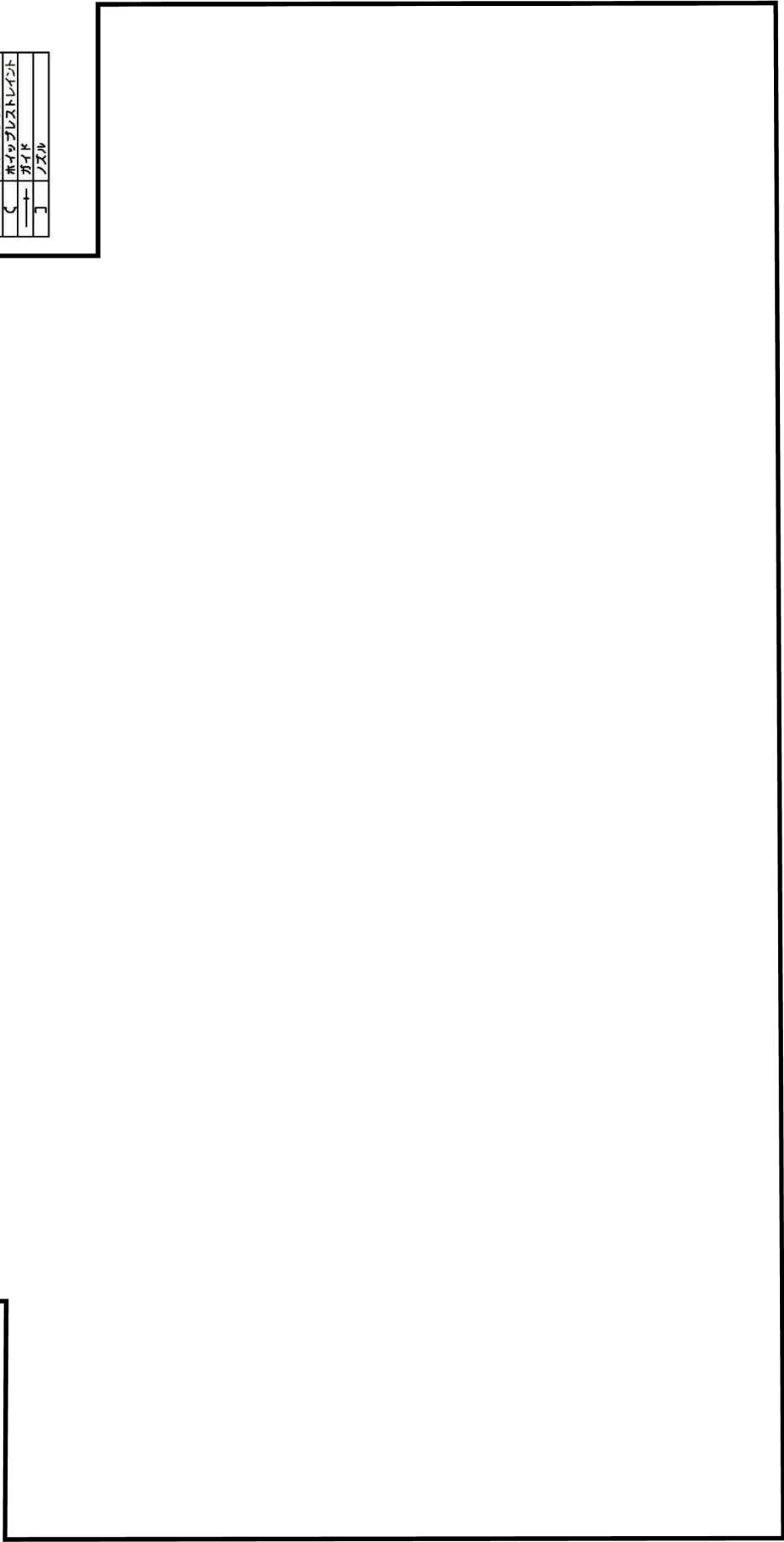


図 10 給水加熱器ドレン系 [クラス 3—耐震 B クラス] アイソメ図

表 1 原子炉系 (蒸気部) 配管の 60 年時点板厚における疲労累積係数の算出結果

| 系統                           |         | 主蒸気系 |    | 配管モデル名 |    | MS-17   |    | 評価点No.             |    | 118                             |   |       |    |        |   |     |           |
|------------------------------|---------|------|----|--------|----|---------|----|--------------------|----|---------------------------------|---|-------|----|--------|---|-----|-----------|
| (1) 熱サイクルによる疲労評価の計算パラメータ及び結果 |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| No.                          | 事象毎の組合せ |      |    | ピーク応力  |    | 一次+二次応力 |    | 繰返しピーク応力 (ヤング率補正前) |    | 材質 STPT42<br>繰返しピーク応力 (ヤング率補正後) |   | 繰返し回数 |    | 疲労累積係数 |   |     |           |
|                              | 名称      | 番号   | 開始 | 終了     | Sp | MPa     | Sn | MPa                | SL | MPa                             | E | MPa   | ni | 実回数    | U |     |           |
| 1                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   | 大気中 |           |
| 2                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 3                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 4                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 5                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 6                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 7                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 8                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 9                            |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 10                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 11                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 12                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 13                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 14                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 15                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 16                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 17                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 18                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 19                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 20                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 21                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 22                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 23                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 24                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 25                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 26                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     |           |
| 27                           |         |      |    |        |    |         |    |                    |    |                                 |   |       |    |        |   |     | 疲労累積係数総合計 |

| (2) 地震による疲労評価の計算パラメータ及び結果 |         |    |    |       |    |         |    |                    |    |                    |        |       |     |        |        |
|---------------------------|---------|----|----|-------|----|---------|----|--------------------|----|--------------------|--------|-------|-----|--------|--------|
| No.                       | 事象毎の組合せ |    |    | ピーク応力 |    | 一次+二次応力 |    | 繰返しピーク応力 (ヤング率補正前) |    | 繰返しピーク応力 (ヤング率補正後) |        | 繰返し回数 |     | 疲労累積係数 |        |
|                           | 名称      | 番号 | 開始 | 終了    | Sp | MPa     | Sn | MPa                | SL | MPa                | E      | MPa   | ni  | 実回数    | Us     |
| —                         | Su地震    |    |    |       |    |         |    |                    |    |                    | 182840 |       | 110 | 1,022  | 0.1077 |
| —                         | Ss地震    |    |    |       |    |         |    |                    |    |                    | 182840 |       | 110 | 215    | 0.5117 |

## 原子炉系（蒸気部）配管の 60 年時点板厚における疲労累積係数の算出過程

## 1. 評価仕様

(1) 原子炉系（蒸気部）配管のクラス区分はクラス 1 管に該当することから，原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）6.3.3 項 管の許容応力に基づき，地震動のみによる疲労累積係数に通常運転時における疲労累積係数を加えて評価する。

なお，疲労累積係数の算出には，これまでの測定データに基づき想定した 60 年時点の板厚による一様減肉を仮定した評価モデルを用いて算出する。

疲労累積係数の算出に用いる配管仕様を表 1 に示す。

表 1 原子炉系（蒸気部）配管の配管仕様

| 項目          | 単位  | 評価対象配管    |         |
|-------------|-----|-----------|---------|
|             |     | 原子炉系（蒸気部） |         |
|             |     | 評価点 118   |         |
|             |     | 主管        | 分岐管     |
| 配管口径 Do     | mm  |           |         |
| 配管板厚 t      | mm  | ( ) * 1   | ( ) * 1 |
| 材質          | —   | STPT42    |         |
| 縦弾性係数       | MPa | 182840* 2 |         |
| 最高使用圧力      | MPa | 8.62      |         |
| 最高使用温度      | ℃   | 302       |         |
| 設計応力強さ (Sm) | MPa | 122* 3    |         |

\* 1 : ( ) 内の数値は減肉前の公称板厚を示す

\* 2 : 設計・建設規格（2005/2007）付録材料図表 Part6 表 1 の値を最高使用温度の値に線形補間したもの

\* 3 : 設計・建設規格（2005/2007）付録材料図表 Part5 表 1 の値を最高使用温度の値に線形補間したもの



## 2. 算出過程

(1) 原子炉系（蒸気部）配管の60年時点板厚における疲労累積係数の算出過程を以降に示す。

なお、ここでは疲労累積係数の算出ケースのうち、疲労累積係数が最も大きいSs地震動による算出過程を示す。

算出に用いた諸元を表2に示す。

表2 原子炉系（蒸気部）配管の諸元

| 記号   | 諸元          | 単位              | 説明  |
|--|-------------|-----------------|---|
| 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1984）2.2.1項 第1種管の許容応力の解説より |             |                 |   |
| $Z_r$  |             | mm <sup>3</sup> | 主管の断面係数                                     |
| $Z_b$  |             | mm <sup>3</sup> | 分岐管の断面係数                                    |
| $C_{2r}$   | 3.48        | —               | 主管の応力係数                                     |
| $K_{2r}$   | 1.00        | —               | 主管の応力係数                                     |
| $C_{2b}$   | 3.48        | —               | 分岐管の応力係数                                    |
| $K_{2b}$   | 1.00        | —               | 分岐管の応力係数                                    |
| $S_n$  | —           | MPa             | 一次+二次応力変動値                                  |
| $S_p$  | —           | MPa             | ピーク応力強さ                                     |
| $S_l$  | —           | MPa             | 繰り返しピーク応力強さ                                 |
| $M_{rs}$   |             | N・mm            | 主管の地震のみによる慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅           |
| $M_{bs}$   |             | N・mm            | 分岐管の地震のみによる慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅          |
| $K$  | —           | —               | $S_p / S_n$                                 |
| $K_e$  | —           | —               | $K_e$ 係数                                    |
| 設計・建設規格（2005/2007）第4章 添付4-2より                      |             |                 |   |
| $S_l'$   | —           | MPa             | 繰り返しピーク応力強さ（縦弾性係数補正後）                       |
| $E$  | 1.82840E+05 | MPa             | 材料の使用温度における縦弾性係数                            |
| $S_a$  | —           | MPa             | 任意の点の繰り返しピーク応力強さ                            |
| $N_a$  | —           | —               | $S_a$ に対応する許容繰り返し回数                         |
| $S_1$  | —           | MPa             | （表 添付4-2-1）中の $S_a$ より低く、かつ、最も近い繰り返しピーク応力強さ |
| $S_2$  | —           | MPa             | （表 添付4-2-1）中の $S_a$ より高く、かつ、最も近い繰り返しピーク応力強さ |
| $N_1$  | —           | —               | $S_1$ に対応する許容繰り返し回数                         |
| $N_2$  | —           | —               | $S_2$ に対応する許容繰り返し回数                         |

注：諸元欄の“—”は計算結果を参照

(2) Ss 地震動による疲労累積係数の算出過程

➤ 一次+二次応力を算出する。

JEAG4601 2.2.1 項 第1種管の許容応力の解説(6)

“a. 管台及び突合せ溶接式テーパー”より

$$\begin{aligned}
 S_n &= \frac{C_{2b} \cdot M_{bs}}{Z_b} + \frac{C_{2r} \cdot M_{rs}}{Z_r} \\
 &= \frac{3.48 \times \boxed{\phantom{000000}}}{\boxed{\phantom{000000}}} + \frac{3.48 \times \boxed{\phantom{000000}}}{\boxed{\phantom{000000}}} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \rightarrow \boxed{\phantom{000000}} \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

➤ ピーク応力強さを算出する。

JEAG4601 2.2.1 項 第1種管の許容応力の解説(8)

“a. 管台及び突合せ溶接式テーパー”より

$$\begin{aligned}
 S_p &= \frac{K_{2b} \cdot C_{2b} \cdot M_{bs}}{Z_b} + \frac{K_{2r} \cdot C_{2r} \cdot M_{rs}}{Z_r} \\
 &= \frac{1.0 \times 3.48 \times \boxed{\phantom{000000}}}{\boxed{\phantom{000000}}} + \frac{1.0 \times 3.48 \times \boxed{\phantom{000000}}}{\boxed{\phantom{000000}}} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \rightarrow \boxed{\phantom{000000}} \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

➤ 繰り返しピーク応力強さを算出する。

JEAG4601 2.2.1 項 第1種管の許容応力の解説(7)より

$$S_l = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \dots A$$

A式のK e係数を算出する。

JSME 設計・建設規格 PVB-3315 簡易弾塑性評価方法 (2) より

$$K = \frac{S_p}{S_n} = \frac{\boxed{\phantom{000000}}}{\boxed{\phantom{000000}}} = 1.0$$

$$B_0 = 2.59$$

よって、K < B<sub>0</sub> となる。

表 PVB-3315-1 より

| 材料の種類          | 炭素鋼  |
|----------------|------|
| q              | 3.1  |
| A <sub>0</sub> | 0.66 |
| B <sub>0</sub> | 2.59 |

$$\frac{S_n}{3S_m} = \frac{\boxed{\phantom{000000}}}{366} = \boxed{\phantom{000000}} \dots \textcircled{1}$$

a.  $K < B_0$  のとき

$$\frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4A_0(q - 1)}}{2A_0}$$

$$= \frac{\left(3.1 + \frac{0.66}{1.0} - 1\right) - \sqrt{\left(3.1 + \frac{0.66}{1.0} - 1\right)^2 - 4 \times 0.66(3.1 - 1)}}{2 \times 0.66}$$

$$= 1.0 \quad \dots \quad \textcircled{2}$$

①式  $\geq$  ②式より (b) の  $K_e$  式を使用する。

$$(b) K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \left(1 - \frac{3Sm}{Sn}\right) \quad (\text{PVB - 84}) \text{式}$$

$$= 1 + (3.1 - 1) \left(1 - \frac{366}{\boxed{\phantom{000}}}\right)$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \rightarrow 2.20$$

$$SI = \frac{K_e \cdot Sp}{2}$$

$$= \frac{2.20 \times \boxed{\phantom{000}}}{2}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \rightarrow \boxed{\phantom{000}} \text{ MPa} \quad (\text{縦弾性係数補正前})$$

➤ 設計疲労線図より許容繰返し回数を算出する。

JSME 設計・建設規格 第4章 添付 4-2 より

繰返しピーク応力強さの縦弾性係数による補正

( $E$  は使用温度である  $302^\circ\text{C}$  の値)

$$E = 1.82840E + 05$$

$$SI' = \frac{2.07E + 05}{E} \cdot SI$$

$$= \frac{2.07E + 05}{1.82840E + 05} \times \boxed{\phantom{000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \rightarrow \boxed{\phantom{000}} \text{ MPa} \quad (\text{縦弾性係数補正後})$$

$$\begin{aligned}
 N_a &= N_2 \times \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{\log S_2/S_a}{S_2/S_1}} \\
 &= 2.00E + 02 \times \left( \frac{5.00E + 02}{2.00E + 02} \right)^{(\log(1069/ \square) / \log(1069/724))} \\
 &= \square \rightarrow 215
 \end{aligned}$$

➤ 疲労累積係数（UF）を算出する。

$$\begin{aligned}
 UF &= \frac{\text{地震繰り返し回数}}{\text{許容繰り返し回数}} = \frac{110}{215} \\
 &= 0.5116279 \rightarrow 0.5117
 \end{aligned}$$

### 3. 評価結果

原子炉系（蒸気部）配管の60年時点板厚における疲労累積係数を表3に示す。  
 評価の結果、疲労累積係数は許容値1を下回ることから、耐震安全性評価上、問題ない。

表3 原子炉系（蒸気部）配管の60年時点板厚における疲労累積係数

|        | 地震動による<br>疲労累積係数 | 通常運転時の<br>疲労累積係数 | 合計     | 許容値  |
|--------|------------------|------------------|--------|------|
| Sd 地震時 | 0.1077           | 0.4580           | 0.5657 | 1 以下 |
| Ss 地震時 | 0.5117           | 0.4580           | 0.9697 |      |

3. 伝熱管の腐食（流れ加速型腐食）（非常用ディーゼル機関及び付属設備／高圧炉心スプレ  
イ系ディーゼル機関及び付属設備）に対する耐震安全性評価について

非常用ディーゼル機関（2C, 2D 号機）及び付属設備、高圧炉心スプレイ系ディーゼル機  
関及び付属設備の空気冷却器、潤滑油冷却器及び清水冷却器の伝熱管については、運転時間  
が短く、流れ加速型腐食が発生する可能性が小さいと評価しているが、現状保全によって管  
理される程度の腐食を想定した場合の部材断面の減少による剛性低下への有意性を確認する  
ため、耐震安全性評価を実施する。

評価に用いた伝熱管の使用を表 1 及び表 2 に、評価結果を表 3 に示す。

評価の結果、いずれの冷却器も発生応力は許容応力を下回っていることから、耐震安全性  
評価上、問題ない。

表 1 非常用ディーゼル機関（2C, 2D 号機）及び付属設備の伝熱管の仕様

| 項目                            | 単位  | 空気冷却器     | 潤滑油系<br>潤滑油冷却器 | 冷却水系<br>清水冷却器 |
|-------------------------------|-----|-----------|----------------|---------------|
| 設計圧力（管側／胴側）                   | MPa | 0.59／0.20 | 0.98／0.98      | 0.98／0.98     |
| 設計温度（管側／胴側）                   | ℃   | 40／135    | 40／70          | 50／80         |
| 伝熱管外径                         | mm  |           |                |               |
| 伝熱管厚さ                         | mm  |           |                |               |
| 伝熱管減肉後厚さ*1                    | mm  |           |                |               |
| 伝熱管材質                         | —   | C7150T    | C6871          | C6871         |
| 支持間隔（固定（管板）～支<br>持（管支持板））*2   | mm  |           |                |               |
| 支持間隔（支持（管支持板）<br>～支持（管支持板））*2 | mm  |           |                |               |
| 設計引張強さ（Su）*4                  | MPa | 365       | 375            | 375           |

\* 1：伝熱管内面に、施栓基準である 50%まで一様減肉が生じたと仮定する

\* 2：各冷却器における最大の支持間隔を用いて評価する

\* 3：管支持板の箇所数が 1 箇所のため該当部位なし

\* 4：設計・建設規格（2005/2007）の付録材料図表 Part5 表 9 に当該材料の各温度による  
Su 値が規定されていないため、付録材料図表 Part5 表 6 に記載の最小引張強さの値を  
用いた

表 2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の伝熱管の仕様

| 項目                        | 単位  | 空気冷却器     | 潤滑油系<br>潤滑油冷却器 | 冷却水系<br>清水冷却器 |
|---------------------------|-----|-----------|----------------|---------------|
| 最高使用圧力（管側／胴側）             | MPa | 0.59／0.20 | 0.98／0.98      | 0.98／0.98     |
| 最高使用温度（管側／胴側）             | ℃   | 40／135    | 40／70          | 50／80         |
| 伝熱管外径                     | mm  |           |                |               |
| 伝熱管厚さ                     | mm  |           |                |               |
| 伝熱管減肉後厚さ*1                | mm  |           |                |               |
| 伝熱管材質                     | —   | C7150T    | C6871          | C6871         |
| 支持間隔（固定（管板）～支持（管支持板））*2   | mm  |           |                |               |
| 支持間隔（支持（管支持板）～支持（管支持板））*2 | mm  |           |                |               |
| 設計引張強さ（Su）*4              | MPa | 365       | 375            | 375           |

\*1：伝熱管内面に、施栓基準である50%まで一様減肉が生じたと仮定する

\*2：各冷却器における最大の支持間隔を用いて評価する

\*3：管支持板の箇所数が1箇所のため該当部位なし

\*4：設計・建設規格（2005/2007）の付録材料図表 Part5 表 9 に当該材料の各温度による Su 値が規定されていないため、付録材料図表 Part5 表 6 に記載の最小引張強さの値を用いた

表 3 非常用ディーゼル機関及び付属設備／高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル機関及び付属設備の伝熱管の評価結果

| 評価対象                                | 評価条件     | 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)        |
|-------------------------------------|----------|-------|-------|-------------------------------|--------|------|------------|-----------|-------------------|
|                                     |          |       |       |                               |        |      | 管板～管支持板    | 管支持板～管支持板 |                   |
| 非常用ディーゼル機関(2C, 2D 号機)空気冷却器          | 50%減肉を想定 | クラス 3 | S     | S <sub>s</sub> * <sup>2</sup> | IVAS   | 一次応力 | 16         | —         | 328* <sup>1</sup> |
| 非常用ディーゼル機関(2C, 2D 号機)付属設備潤滑油系潤滑油冷却器 | 50%減肉を想定 | クラス 3 | S     | S <sub>s</sub> * <sup>2</sup> | IVAS   | 一次応力 | 16         | 16        | 337* <sup>1</sup> |
| 非常用ディーゼル機関(2C, 2D 号機)付属設備冷却水系清水冷却器  | 50%減肉を想定 | クラス 3 | S     | S <sub>s</sub> * <sup>2</sup> | IVAS   | 一次応力 | 45         | 105       | 337* <sup>1</sup> |
| 高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル機関空気冷却器            | 50%減肉を想定 | クラス 3 | S     | S <sub>s</sub> * <sup>2</sup> | IVAS   | 一次応力 | 16         | —         | 328* <sup>1</sup> |
| 高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル機関付属設備潤滑油系潤滑油冷却器   | 50%減肉を想定 | クラス 3 | S     | S <sub>s</sub> * <sup>2</sup> | IVAS   | 一次応力 | 19         | 19        | 337* <sup>1</sup> |
| 高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル機関付属設備冷却水系清水冷却器    | 50%減肉を想定 | クラス 3 | S     | S <sub>s</sub> * <sup>2</sup> | IVAS   | 一次応力 | 36         | 45        | 337* <sup>1</sup> |

\* 1 : 0.6Su × 1.5 倍の値

\* 2 : S<sub>s</sub> 地震力が S<sub>a</sub> 地震力及び S クラス機器に適用される静的地震力より大きく、S<sub>s</sub> 地震力による評価応力が S<sub>a</sub> 地震力及び S クラス機器に適用される静的地震力の許容応力を下回るため、S<sub>a</sub> 地震力及び静的地震力による評価を省略した