

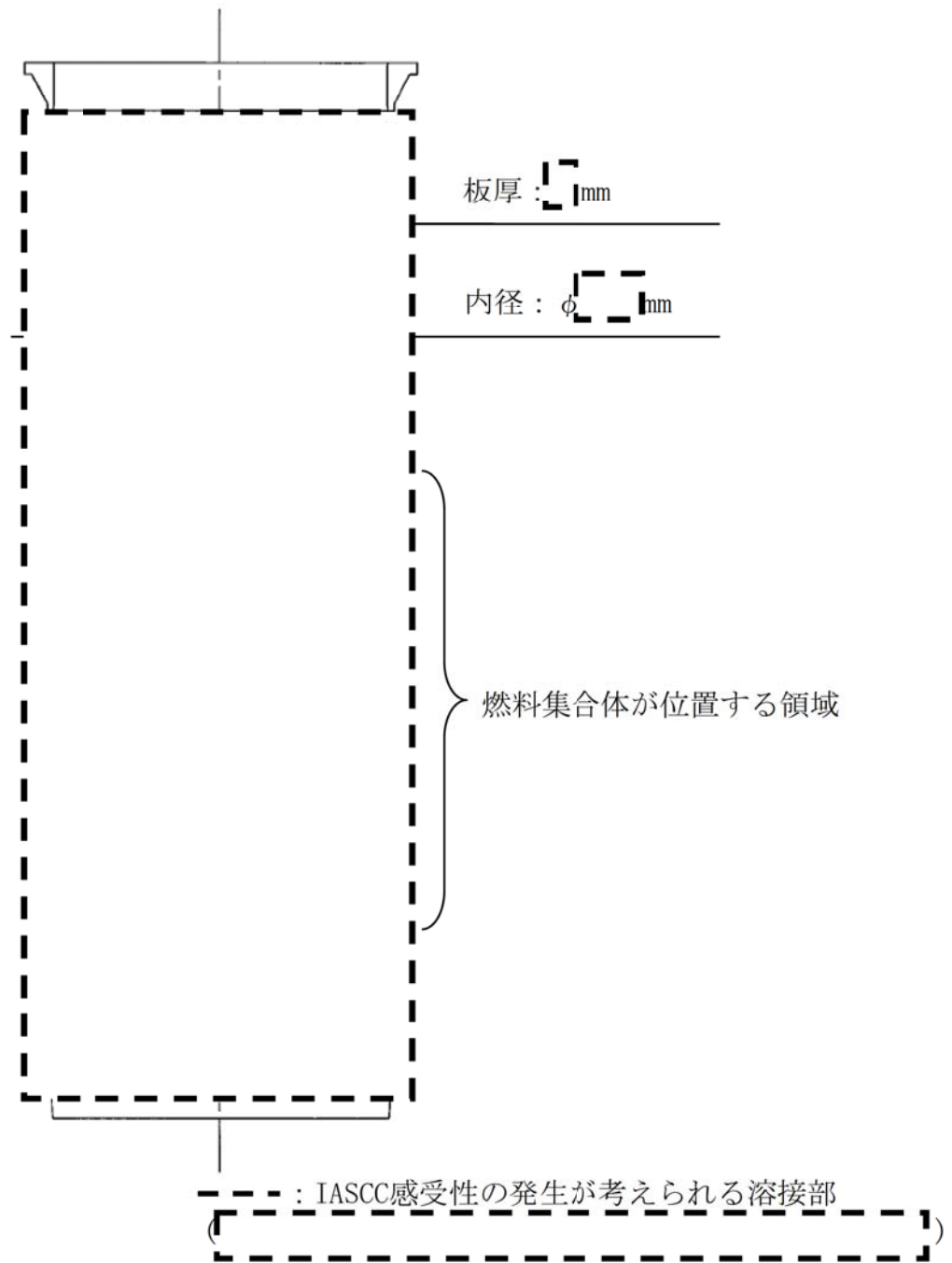
| No. | 高浜2-IASCC-6 | 事象：IASCC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--------------|------------|-------------|-------------|--|------------|---------|---------|----------|----------|---------|------------|--------------|------------|-------------|-------------|------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|------|----|----|----|----|----|
| 質 問 | <p>(別冊-7-40頁) 技術評価で参照又は参考としたIASCC事例の概要とその分析結果を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>バッフルフォーマボルトのIASCC事例については、1988年にフランスのBugey発電所2号炉において確認されたバッフルフォーマボルト損傷事例を初め、海外の複数のプラントでIASCCによるバッフルフォーマボルト損傷事例が報告されています。</p> <p>高浜2号炉と同時期に建設された米国のW社製3ループプラントにおけるバッフルフォーマボルトの点検実績を下記に示します。</p> <table border="1" data-bbox="406 990 1311 1155"> <thead> <tr> <th></th> <th>Robinson2u</th> <th>Surry1u</th> <th>Surry2u</th> <th>Farley1u</th> <th>Farley2u</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>営業運転開始日</td> <td>1971. 3. 7</td> <td>1972. 12. 22</td> <td>1973. 5. 1</td> <td>1977. 12. 1</td> <td>1981. 7. 30</td> </tr> <tr> <td>点検時間</td> <td>31. 4EFPY</td> <td>28EFPY</td> <td>28EFPY</td> <td>16. 6EFPY</td> <td>15. 1EFPY</td> </tr> <tr> <td>損傷本数</td> <td>8本</td> <td>1本</td> <td>2本</td> <td>0本</td> <td>0本</td> </tr> </tbody> </table> <p>日本機械学会維持規格においては、バッフルフォーマボルトは縦列に2本のボルトが残存すればよく、ボルト全数(1,088本)の約7割が損傷した場合においても炉内構造物の安全機能の確保は可能とされています。これに比べると海外事例におけるボルト損傷本数はいずれも十分少なく、炉内構造物の安全機能に影響を及ぼすものではないと考えます。</p> <p>また、バッフルフォーマボルト以外の炉内構造物の部位では、これまでに入手している国内外の情報の範囲においてはIASCCが発生した事例はありません。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | | | | | | Robinson2u | Surry1u | Surry2u | Farley1u | Farley2u | 営業運転開始日 | 1971. 3. 7 | 1972. 12. 22 | 1973. 5. 1 | 1977. 12. 1 | 1981. 7. 30 | 点検時間 | 31. 4EFPY | 28EFPY | 28EFPY | 16. 6EFPY | 15. 1EFPY | 損傷本数 | 8本 | 1本 | 2本 | 0本 | 0本 |
| | Robinson2u | Surry1u | Surry2u | Farley1u | Farley2u | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 営業運転開始日 | 1971. 3. 7 | 1972. 12. 22 | 1973. 5. 1 | 1977. 12. 1 | 1981. 7. 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 点検時間 | 31. 4EFPY | 28EFPY | 28EFPY | 16. 6EFPY | 15. 1EFPY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 損傷本数 | 8本 | 1本 | 2本 | 0本 | 0本 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|-----|--|----------|
| No. | 高浜2-IASCC-9 rev1 | 事象：IASCC |
| 質 問 | <p>(別冊-7炉内構造物-43頁) 炉心そう溶接部の残留応力を含む応力がバップルフォーマボルト首下部の応力より低いと考えられる根拠を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>炉心そうについては、運転中の炉心そう溶接部に発生する応力を評価するため、溶接残留応力や機械荷重・熱応力を考慮したFEM解析を実施しています。各応力の評価方法を以下に示します。また、添付資料に炉心そうの材質、板厚等を示します。</p> <p>①溶接残留応力を算出 材料の弾塑性を考慮した非定常熱伝導解析、弾塑性解析により、炉心そう溶接部残留応力を評価</p> <p>②機械荷重・熱応力を算出 ・機械荷重条件：下部炉心構造物の自重、燃料集合体の自重、炉心そう内外差圧を設定 ・温度条件：CFD解析により求めたフォーマ領域冷却材温度分布を考慮して求めた炉心そうの温度分布を設定</p> <p>上記の通り炉心そう溶接部の発生応力を算出した結果、運転初期で約 1.5 MPaと評価しております。 一方、バップルフォーマボルトは運転初期で約 1.5 MPaと評価していることから、炉心そうに発生する応力はバップルフォーマボルト以下であると判断しております。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

炉心そのの材質、板厚等について

- 材質 : []
- 板厚等 : 下図に示します。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

| | | |
|-----|---|---------------|
| No. | 高浜 2 - I A S C C - 1 0 | 事象： I A S C C |
| 質 問 | <p>(別冊-7-46頁) 炉心そう等の炉心支持構造物の検査（維持規格又は亀裂解釈（実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈 平成26年8月6日 原規技発第1408063）、その他に基づく非破壊試験）の実施状況とその結果（欠陥指示の有無）を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>炉心支持構造物については、日本機械学会維持規格（JSME S NA1-2008）に基づき、定期的「<u> </u>」に可視範囲に対して目視検査を実施しています。点検の結果、これまで有意な異常は確認されておりません。至近の検査記録を添付1に示します。炉心支持構造物の可視範囲は「高浜 1 - I A S C C - 1 1」に示したとおりです</p> <p>また、炉内構造物のうち、I A S C C に対して評価上最も厳しいバップルフォーマボルトに対して、第 1 5 回定期検査時に超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥のないことを確認しています。（添付 2 参照）</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

関西電力株式会社 高浜発電所

第2号機 第27保全サイクル

定期事業者検査要領書

設 備 名：原子炉本体
原子炉冷却系統設備
計測制御系統設備

検 査 名：クラス1機器供用期間中検査
要領書番号：T2-27-101

原子炉容器検査箇所図 (20/21)

| | | | |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 項目番号 | G1.70 | カテゴリ | G-P-2 |
| 検査対象箇所 | 下部炉心支持構造物 | | |
| 設備数 | 1箇所 | 検査方法 | VT-3 |
| 10年間の検査範囲 | 可能範囲 100% | 当該年検査箇所 | 可能範囲 100% |

非破壊検査記録 (2 / 2)

検査年月日 平成23年12月7日

検査員 XXXXXXXXXX

| 項目番号 | カテゴリ | 機器名 | 検査の対象機器 | 検査箇所 | | |
|----------------|----------------|--|-----------|----------|------|------|
| G1.70 | G-P-2 | 原子炉容器 | 下部炉心支持構造物 | 可能範囲100% | | |
| 検査 実施 内容 | 目視検査 | 1. 直接目視検査(VT-) (2) 遠隔目視検査(VT-3、水中テレビカメラ) | | | | |
| | 表面検査 | 浸透探傷検査 | 探傷剤 | 温度 | 浸透時間 | 現像時間 |
| | | 超音波探傷検査 | 探傷器 | 探触子 | 試験片 | 感度 |
| | 体積検査 | 超音波探傷検査 | サジェクション | 接触媒質 | | |
| | | | OFF | | | |
| | 検査 実施 結果 | 検査項目 | | 結果 | 備考 | |
| 目視検査 | | 良 | | | | |
| 表面検査 | | 浸透探傷検査 | | | | |
| 体積検査 | | 超音波探傷検査 | | | | |
| 評価 | | | | | | |

関西電力株式会社 高浜発電所
第2号機 第26保全サイクル
定期事業者検査要領書

設 備 名：原子炉本体
原子炉冷却系統設備
計測制御系統設備
検 査 名：クラス1機器供用期間中検査
要領書番号：T2-26-101

原子炉容器検査箇所図(7/9)

| | | | |
|-----------|-----------|---------|-----------|
| 項目番号 | G1.70 | カテゴリ | G-P-2 |
| 検査対象箇所 | 上部炉心支持構造物 | | |
| 設備数 | 1箇所 | 検査方法 | VT-3 |
| 10年間の検査範囲 | 可能範囲 100% | 当該年検査箇所 | 可能範囲 100% |

非破壊検査記録 (/ /)

検査年月日 平成22年6月20日

検査員 XXXXXXXXXX

| 項目番号 | カテゴリ | 機器名 | 検査の対象機器 | 検査箇所 | | |
|----------------|-------|--|-----------|----------|------|------|
| G1.70 | G-P-2 | 原子炉容器 | 上部炉心支持構造物 | 可能範囲100% | | |
| 検査 実施 内容 | 目視検査 | 1. 直接目視検査(VT-) ② 遠隔目視検査 (VT-3、水中テレビカメラ) | | | | |
| | 表面検査 | 浸透探傷検査 | 探傷剤 | 温度 | 浸透時間 | 現像時間 |
| | | 超音波探傷検査 | 探傷器 | 探触子 | 試験片 | 感度 |
| | 体積検査 | リジエクション | 接触媒質 | | | |
| | | OFF | | | | |
| 検査 実施 結果 | 検査項目 | | 結果 | 備考 | | |
| | 目視検査 | | 良 | | | |
| | 表面検査 | 浸透探傷検査 | | | | |
| | 体積検査 | 超音波探傷検査 | | | | |
| 評価 | | | | | | |

バッフルフォーマボルトUT検査結果 (0°~180°)

| 領域 No. | 段 No. | 列 No. | 検査 日付 | 結果 | 備考 | 領域 No. | 段 No. | 列 No. | 検査 日付 | 結果 | 備考 | 領域 No. | 段 No. | 列 No. | 検査 日付 | 結果 | 備考 |
|-----------|----------|----------|----------|----|----|-----------|----------|----------|----------|----|----|-----------|----------|----------|----------|----|----|
| 1 | 1 | 5 | 10/7 H | 良 | | 1 | 5 | 6 | 10/7 H | 良 | | 2 | 1 | 1 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 1 | 6 | 10/7 H | 良 | | 1 | 5 | 6 | 10/7 H | 良 | | 2 | 1 | 2 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 1 | 7 | 10/7 H | 良 | | 1 | 5 | 7 | 10/7 H | 良 | | 2 | 1 | 3 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 1 | 8 | 10/7 H | 良 | | 1 | 5 | 8 | 10/7 H | 良 | | 2 | 2 | 1 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 2 | 5 | 10/7 H | 良 | | 1 | 6 | 5 | 10/7 H | 良 | | 2 | 2 | 2 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 2 | 6 | 10/7 H | 良 | | 1 | 6 | 6 | 10/7 H | 良 | | 2 | 2 | 3 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 2 | 7 | 10/7 H | 良 | | 1 | 6 | 7 | 10/7 H | 良 | | 2 | 3 | 1 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 2 | 8 | 10/7 H | 良 | | 1 | 6 | 8 | 10/7 H | 良 | | 2 | 3 | 2 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 3 | 5 | 10/7 H | 良 | | 1 | 7 | 5 | 10/12 I | 良 | | 2 | 3 | 3 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 3 | 6 | 10/7 H | 良 | | 1 | 7 | 6 | 10/7 H | 良 | | 2 | 4 | 1 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 3 | 7 | 10/7 H | 良 | | 1 | 7 | 7 | 10/7 H | 良 | | 2 | 4 | 2 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 3 | 8 | 10/7 H | 良 | | 1 | 7 | 8 | 10/7 H | 良 | | 2 | 4 | 3 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 4 | 5 | 10/7 H | 良 | | 1 | 8 | 5 | 10/7 H | 良 | | 2 | 5 | 1 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 4 | 6 | 10/7 H | 良 | | 1 | 8 | 6 | 10/7 H | 良 | | 2 | 5 | 2 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 4 | 7 | 10/7 H | 良 | | 1 | 8 | 7 | 10/7 H | 良 | | 2 | 5 | 3 | 10/17 H | 良 | |
| 1 | 4 | 8 | 10/7 H | 良 | | 1 | 8 | 8 | 10/7 H | 良 | | 2 | 6 | 1 | 10/17 H | 良 | |

備考： 領域、段、列 は検査位置図による。

KTN-2 #15

バッフルフォーマボルトUT検査結果 (0°~180°)

| 領域 No. | 段 No. | 列 No. | 検査 日付 | 結果 | 備考 | 領域 No. | 段 No. | 列 No. | 検査 日付 | 結果 | 備考 | 領域 No. | 段 No. | 列 No. | 検査 日付 | 結果 | 備考 |
|-----------|----------|----------|----------|----|----|-----------|----------|----------|----------|----|----|-----------|----------|----------|----------|----|----|
| 2 | 6 | 2 | 10/17 H | 良 | | 3 | 1 | 1 | 10/7 H | 良 | | 3 | 5 | 1 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 6 | 3 | 10/17 H | 良 | | 3 | 1 | 2 | 10/7 H | 良 | | 3 | 5 | 2 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 7 | 1 | 10/17 H | 良 | | 3 | 1 | 3 | 10/7 H | 良 | | 3 | 5 | 3 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 7 | 2 | 10/17 H | 良 | | 3 | 1 | 4 | 10/7 H | 良 | | 3 | 5 | 4 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 7 | 3 | 10/17 H | 良 | | 3 | 2 | 1 | 10/7 H | 良 | | 3 | 6 | 1 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 8 | 1 | 10/17 H | 良 | | 3 | 2 | 2 | 10/7 H | 良 | | 3 | 6 | 2 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 8 | 2 | 10/17 H | 良 | | 3 | 2 | 3 | 10/7 H | 良 | | 3 | 6 | 3 | 10/7 H | 良 | |
| 2 | 8 | 3 | 10/17 H | 良 | | 3 | 2 | 4 | 10/7 H | 良 | | 3 | 6 | 4 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 3 | 1 | 10/7 H | 良 | | 3 | 7 | 1 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 3 | 2 | 10/7 H | 良 | | 3 | 7 | 2 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 3 | 3 | 10/7 H | 良 | | 3 | 7 | 3 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 3 | 4 | 10/7 H | 良 | | 3 | 7 | 4 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 4 | 1 | 10/7 H | 良 | | 3 | 8 | 1 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 4 | 2 | 10/7 H | 良 | | 3 | 8 | 2 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 4 | 3 | 10/7 H | 良 | | 3 | 8 | 3 | 10/7 H | 良 | |
| | | | | | | 3 | 4 | 4 | 10/7 H | 良 | | 3 | 8 | 4 | 10/7 H | 良 | |

備考： 領域、段、列 は検査位置図による。

KTN-2 #15

| No. | 高浜 2 - 熱時効 - 1 rev2 | 事象：2相ステンレス鋼の熱時効 | | | | | | | | | |
|-----------------|--|----------------------------|----|----|------|-----------------|-------|----------------------------|--------------|----|----------------------------|
| 質 問 | <p>(別冊-共通) 高浜発電所 2 号炉劣化状況評価書におけるステンレス鋼の熱時効について、高浜発電所 2 号炉高経年化技術評価書 (40 年目) [冷温停止状態が維持されることを前提とした評価]以降の最新知見等の反映により評価方法及び/又は評価結果に変更があった場合はその内容及び変更根拠を提示すること。</p> | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>高浜発電所 2 号炉劣化状況評価書では、高浜 2 号炉の新技術基準への適合に係る工事計画認可申請書の記載を反映して内容の修正を行っています。</p> <p>熱時効に係る評価のうち、高経年化対策上着目すべき劣化事象としている評価について、評価方法及び/又は評価結果に変更があった対象は以下に示すものとなっています。</p> <table border="1" data-bbox="405 987 1347 1254"> <thead> <tr> <th data-bbox="405 987 719 1025">設備</th> <th data-bbox="719 987 1034 1025">部位</th> <th data-bbox="1034 987 1347 1025">変更内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="405 1025 719 1140">ポンプ (1 次冷却材ポンプ)</td> <td data-bbox="719 1025 1034 1140">ケーシング</td> <td data-bbox="1034 1025 1347 1140">基準地震動見直しによる評価見直し。(添付 1 参照)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="405 1140 719 1254">配管 (1 次冷却材管)</td> <td data-bbox="719 1140 1034 1254">母管</td> <td data-bbox="1034 1140 1347 1254">基準地震動見直しによる評価見直し。(添付 2 参照)</td> </tr> </tbody> </table> | | 設備 | 部位 | 変更内容 | ポンプ (1 次冷却材ポンプ) | ケーシング | 基準地震動見直しによる評価見直し。(添付 1 参照) | 配管 (1 次冷却材管) | 母管 | 基準地震動見直しによる評価見直し。(添付 2 参照) |
| 設備 | 部位 | 変更内容 | | | | | | | | | |
| ポンプ (1 次冷却材ポンプ) | ケーシング | 基準地震動見直しによる評価見直し。(添付 1 参照) | | | | | | | | | |
| 配管 (1 次冷却材管) | 母管 | 基準地震動見直しによる評価見直し。(添付 2 参照) | | | | | | | | | |

1次冷却材ポンプケーシングの熱時効評価変更内容について

高浜2号炉の1次冷却材ポンプのケーシングの熱時効評価については、工事計画認可申請（H27.7.3申請）を踏まえて、適用する基準地震動の変更を行っております。このため評価に用いた地震時応力が変更になっており、評価の見直しを行っております。

ただし変更後も1次冷却材管と発生応力及びフェライト量の比較を行い、1次冷却材ポンプの熱時効評価が1次冷却材管に包絡されることを確認しており、評価結果に変更はありません。

変更後の1次冷却材ポンプケーシングと1次冷却材管の発生応力とフェライト量の比較を表1に示します。

表1 1次冷却材ポンプケーシング熱時効評価結果

| 部位 | Ss地震時応力 (MPa) | フェライト量 (%) | 使用温度 (°C) |
|------------------------------|------------------|---------------|--------------|
| 1次冷却材 ポンプケーシング (吐出ノズル) | 約111 | 約16.0 | 289 |
| 1次冷却材管 (コールドレグ 直管) | 約111 | 約17.0 | 289 |

応力の詳細評価について表2に示します。

表2 1次冷却材ポンプケーシングの応力値の詳細

| 評価部位 | 内圧による 応力 | 曲げ応力 | | | | 軸力による応力 | | | | 合算値 (MPa) |
|-------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|
| | | 自重 (MPa) | 熱 (MPa) | 地震 (MPa) | 合計 (MPa) | 自重 (MPa) | 熱 (MPa) | 地震 (MPa) | 合計 (MPa) | |
| 1次冷却材ポンプ ケーシング | | | | | | | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

1 次冷却材配管の熱時効評価変更内容について

高浜 2 号炉の 1 次冷却材管の母管および管台の熱時効評価については、工事計画認可申請 (H27.7.3申請) を踏まえて、適用する基準地震動の変更を行っております。このため評価に用いた地震時応力が変更になっており、評価の見直しを行っております。

変更後の地震応力条件 (Ss地震動) を適用した上で、発生応力及びフェライト量の比較を行い、応力最大部位とフェライト量最大部位についてき裂安定性評価を行った結果、評価部位が不安定破壊することはなく、健全性評価上問題とならないことを確認しています。

(1) 評価対象部位の選定

表 2 に 1 次冷却材管の評価部位とフェライト量と応力 (Ss地震動による地震応力を含む) の一覧を示します。応力最大部位としてホットレグ直管、フェライト量最大部位としてコールドレグ直管を選定しました。また、応力とフェライトの組合せを考慮して SG 入口 50° エルボ、クロスオーバーレグ直管 (垂直管)、エルボの曲率部で応力の高い部位として SG 出口 40° エルボを選定しました。

ただし、クロスオーバーレグ直管 (垂直管) は、配管寸法、温度条件が同じであり、フェライト量と応力条件がほぼ包絡されるコールドレグ直管の評価で代表させます。

表 2 評価対象部位一覧

| 評価部位 | フェライト量 [%] | 使用温度 [°C] | 応力 [MPa] | 選定 |
|-------------------|------------|-----------|----------|-------|
| ホットレグ直管 | 約 12.3 | 322.8 | 約 173 | ○*1 |
| SG 入口 50° エルボ | 約 13.8 | 322.8 | 約 128 | △*1 |
| SG 出口 40° エルボ | 約 11.9 | 288.6 | 約 155 | △*2 |
| クロスオーバーレグ直管 (垂直管) | 約 15.5 | 288.6 | 約 118 | △*1,3 |
| コールドレグ直管 | 約 17.0 | 288.6 | 約 111 | ○*1 |

* 1 : フェライト量、応力の組合せを考慮して選定した箇所

* 2 : エルボで応力大であるため選定した箇所

* 3 : コールドレグ直管の評価で代表させる

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

応力は供用状態A, Bの内圧、自重・熱膨張荷重、地震荷重(Ss)を考慮して算出し、熱時効評価対象部位の詳細な応力値を表 3 に示す。

表 3 熱時効対象部位の応力詳細

| 評価部位 | 内圧による応力 (MPa) | 曲げ応力 | | | | 軸力による応力 | | | | 合算値 (MPa) |
|------------|---------------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|-----------|
| | | 自重 (MPa) | 熱 (MPa) | 地震 (MPa) | 合計 (MPa) | 自重 (MPa) | 熱 (MPa) | 地震 (MPa) | 合計 (MPa) | |
| ホットレグ直管 | | | | | | | | | | 173 |
| SG入口50°エルボ | | | | | | | | | | 128 |
| SG出口40°エルボ | | | | | | | | | | 155 |
| コールドレグ直管 | | | | | | | | | | 111 |

(2) き裂進展力の決定

き裂安定性評価に用いる想定き裂は既評価と同じとし、表 4 に示すものとする。

表 4 き裂安定性評価用想定き裂

| | き裂長さ (mm) | 板厚 (mm) |
|------------|-----------|---------|
| ホットレグ直管 | | |
| SG入口50°エルボ | | |
| SG出口40°エルボ | | |
| コールドレグ直管 | | |

評価用き裂と表 5 に示す評価条件を入力条件(Ss地震動による荷重を含む)として、FEM(有限要素法)解析により、き裂進展力 (Japp) を求める。なお、各き裂長さにおけるJappは、以下のとおり。

| き裂長さ | ホットレグ直管 (kJ/m ²) | SG 入口 50°エルボ (kJ/m ²) | SG 出口 40°エルボ (kJ/m ²) | コールドレグ直管 (kJ/m ²) |
|------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 t | | | | |
| 3 t | | | | |
| 5 t | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表5 評価条件 (1/2)

| | ホットレグ直管 | SG入口 50° エルボ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|--------------|-------|----|----|--------|----|---------|--------|--|---------|--------|--|---|---|----|----|----|----|--------|---|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 形状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内径 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 外径 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| き裂形状 | 周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t、3t、5t の3種類) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 荷重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内圧 ^(注) [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 軸力 [kN] | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 曲げモーメント* [kN・m] | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | My | Mz | My | Mz | My | Mz | My | Mz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 物性値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤング率 [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ポアソン比 | ν=0.3(弾性域)、ν=0.5(塑性域) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 応力-ひずみ関係 | <p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究 (STEP1)」で得られた知見を参考にしている。本電共研では2つの試験片について引っ張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="8">化学成分%</th> <th rowspan="2">Cre/Nie</th> <th colspan="2">フェライト量</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>S</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Ni</th> <th>MO</th> <th>Cb(Nb)</th> <th>N</th> <th colspan="2">F%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table> </div> | | 化学成分% | | | | | | | | Cre/Nie | フェライト量 | | C | S | Mn | Cr | Ni | MO | Cb(Nb) | N | F% | | | | | | | | | | | | |
| 化学成分% | | | | | | | | Cre/Nie | フェライト量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | S | Mn | Cr | Ni | MO | Cb(Nb) | N | | F% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表5 評価条件(2/2)

| | SG 出口 40° エルボ | コールドレグ直管 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|----------|-------|----|----|--------|----|---------|----|--|--------|--|---|----|----|----|----|----|--------|---|---------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 形状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内径 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 外径 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| き裂形状 | 周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t、3t、5t の3種類) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 荷重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内圧 ^(注) [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 軸力 [kN] | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 曲げモーメント *[kN・m] | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | My | Mz | My | Mz | My | Mz | My | Mz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 物性値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤング率 [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ポアソン比 | ν=0.3(弾性域)、ν=0.5(塑性域) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 応力-ひずみ関係 | <p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究(STEP1)」で得られた知見を参考としている。本電共研では2つの試験片について引っ張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp 値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p> <p>公称ひずみ [%]</p> <p>公称応力 [MPa]</p> <p>非時効材のフェライト量</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">化学成分%</th> <th colspan="2">フェライト量</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Ni</th> <th>MO</th> <th>Cb(Nb)</th> <th>N</th> <th>Cre/Nie</th> <th>F%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 化学成分% | | | | | | | | フェライト量 | | C | Si | Mn | Cr | Ni | MO | Cb(Nb) | N | Cre/Nie | F% | | | | | | | | | | |
| 化学成分% | | | | | | | | フェライト量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | Cr | Ni | MO | Cb(Nb) | N | Cre/Nie | F% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(3) 材料のき裂進展抵抗 (J_{mat})

き裂進展抵抗値 J_{mat} は、既評価と同じである。

電共研「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEP III) (その2)」で改良された脆化予測モデル (H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に決定する (算出方法は ASME PVP2005-71528 参照)。 J_{Ic} 、 J_6 はデータの下限值 (-2σ) を用いて算出した下記の値とした。

| | ホットレグ 直管 | SG 入口 50° エルボ | SG 出口 40° エルボ | コールドレグ 直管 |
|-------------------------------|-------------|------------------|------------------|--------------|
| J_{Ic} [kJ/m ²] | | | | |
| J_6 [kJ/m ²] | | | | |

電共研「1次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEP III) (その2)」では最大で [] で時効させた材料データを用いて脆化予測モデルを作成しており、この条件で J_{Ic} 、 J_6 とも飽和傾向であることを確認した。

なお、 [] は [] で換算した場合、約80年運転相当の時間 (稼働率80%想定) である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(4) き裂安定性評価結果

変更後の地震応力条件(Ss地震動)を適用した応力状態においても、図1-1、1-2、1-4においては J_{mat} と J_{app} が J_{Ic} 以下の低いJ値で交差しており、 $J_{app} < J_{Ic}$ であることが確認できるため、延性き裂は発生しないと判断できる。また、図1-3においても J_{mat} と J_{app} の交点においては、 J_{mat} の傾きが J_{app} の傾きを上回ることから、不安定破壊は起こらないと判断できる。

以上より健全性が確認できたと判断する。

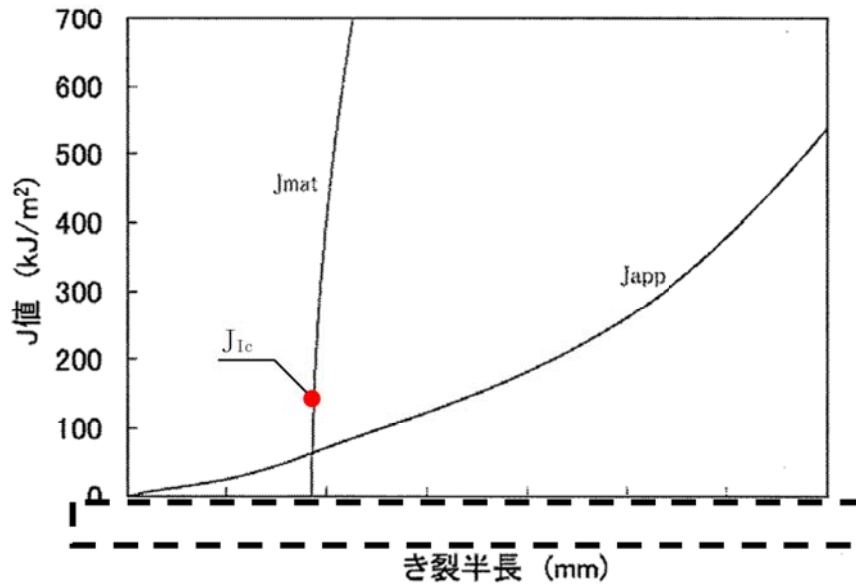


図1-1 ホットレグ直管

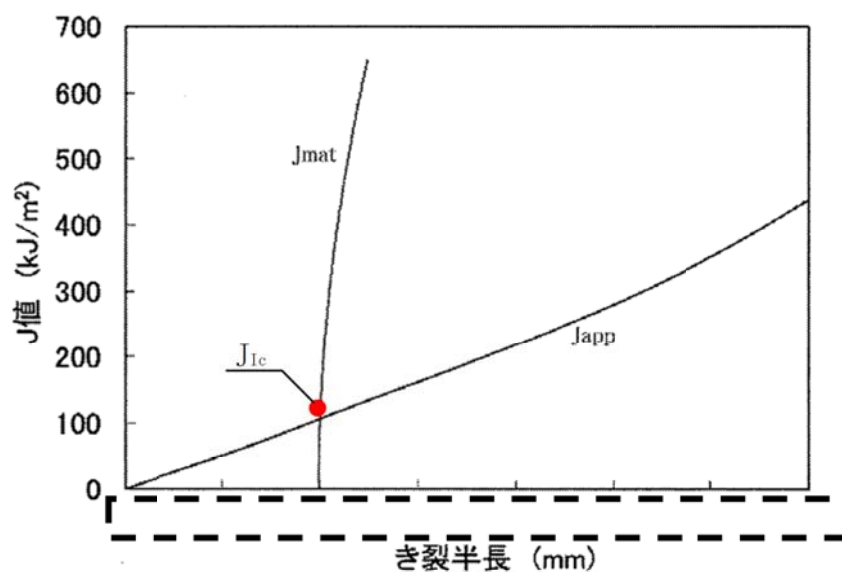


図1-2 SG入口50°エルボ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

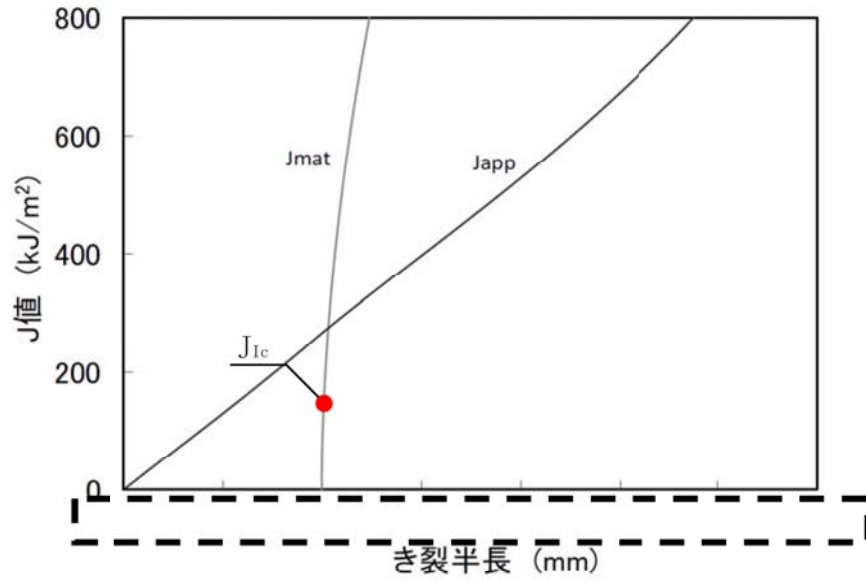


図1-3 SG出口40° エルボ

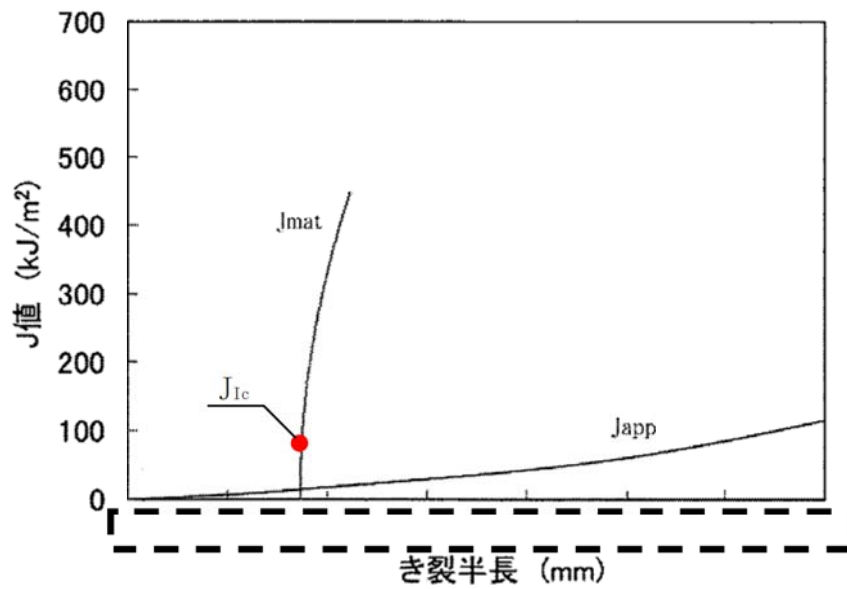


図1-4 コールドレグ直管

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

| | | |
|-----|--|-----------------|
| No. | 高浜2-熱時効-5 rev3 | 事象：2相ステンレス鋼の熱時効 |
| 質 問 | <p>(別冊-5配管-4 1次冷却材管-14, 15頁)</p> <p>母管の熱時効に係る健全性評価について、重大事故等時(原子炉停止機能喪失)におけるプラント条件(ピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPa)を考慮しても、配管は不安定破壊することはないとした考え方及び具体的根拠を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>重大事故等時のプラント条件を考慮した1次冷却材管に係る健全性評価の具体的評価内容を添付-1に示します。</p> <p>重大事故等時における健全性評価への入力条件としては、プラント条件が最も厳しくなるピーク温度360℃、ピーク圧力18.5MPaとしており、地震荷重はS s地震動による荷重としております。当該の重大事故等時のプラント条件は高浜2号機 工事計画認可申請書(平成28年2月29日補正申請)に記載されております。</p> <p>なお、通常運転時の条件から温度、圧力が異なっておりますが、重大事故等時の条件においても従来評価方法が問題なく適用できると判断しており、評価結果として配管は不安定破壊することはないことを確認しております。</p> <p>添付-1の評価は過去の電共研で得られたデータに基づき、き裂進展抵抗(Jmat)とき裂進展力(Japp)を算出していますが、材料データ採取時の試験温度と、重大事故等時のプラント条件の温度とは差があります。温度差を考慮しても健全性評価結果に影響がないことを添付-2に示します。</p> | |

1. 代表点の抽出

重大事故等時の健全性を確認するにあたっては、評価対象部位の中で応力が最大であり、通常運転時の評価における評価点となっているホットレグ直管、エルボの曲率部で応力が大きく評価の厳しくなるSG出口40° エルボを代表点とする。

なお、重大事故等時の入力条件において応力最大部位に変更がないことを確認するため、通常運転時の応力が3番目に高いSG入口50° エルボについても重大事故等時の応力を算出し、評価部位における応力の大小関係に逆転が無いことを確認している。

| 評価部位 | フェライト量 [%] | 使用温度 [°C] | 通常運転時 (参考) ※ | 重大事故等時※ |
|-------------|------------|-----------|--------------|----------|
| | | | 応力 [MPa] | 応力 [MPa] |
| ホットレグ直管 | 約 12.3 | 322.8 | 約 173 | 約 183 |
| SG入口50° エルボ | 約 13.8 | 322.8 | 約 128 | 約 135 |
| SG出口40° エルボ | 約 11.9 | 288.6 | 約 155 | 約 161 |

※小数点第1位切り上げ

2. フェライト量の算出

フェライト量は、ミルシートの化学成分から、ASTM A800に基づき算出している。

| 評価部位 | 化学成分 (溶鋼分析) % | | | | | | | | Cre/Nie (注1) | フェライト量 (注2) |
|-------------|---------------|----|----|----|----|----|--------|---|--------------|-------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Cb(Nb) | N | | F% |
| ホットレグ直管 | | | | | | | | | | 約 12.3 |
| SG出口40° エルボ | | | | | | | | | | 約 11.9 |

(注1) ASTM A800の7.1.2参照

(注2) ASTM A800のFig. X1.1参照

3. 評価用Jmatの決定

き裂進展抵抗値 (Jmat値) は、電共研で改良された脆化予測モデル (H3Tモデル: Hyperbolic-Time, Temperature Toughness) を用いて、評価部位のフェライト量を基に求める。

なお、重大事故等時の温度条件(360°C)と[]の温度条件で採取されたデータの下限值 (H3Tモデルの下限線) には温度条件の違いがあるが、過去に実施した破壊靱性試験の結果から、[]のJ値と[]のJ値に大きな差が認められず、それぞれのJ値はH3Tモデルの下限線以上であることから、360°CのJ値をH3Tモデルの下限線として想定する現在の評価は重大事故時の条件においても適用でき、妥当であると判断している。

JmatのJ_{1c}、J₆の値は以下のとおりである。

| き裂進展抵抗 (Jmat) | J _{1c} (kJ/m ²) | J ₆ (kJ/m ²) |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| ホットレグ直管 | | |
| SG出口40° エルボ | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

4. 評価部位の応力

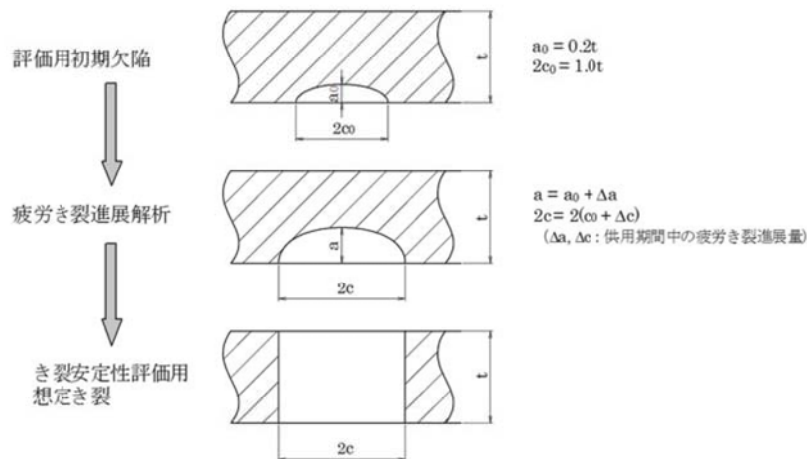
重大事故等時の内圧、自重、熱膨張及び地震荷重(Ss地震動)を考慮した応力値を示す。

| 評価部位 | 評価条件 | 内圧による応力 (MPa) | 曲げ応力 | | | | 軸力による応力 | | | | 合算値 (MPa) (小数点第1位切り上げ) |
|------------|------------|---------------|--------|-------|-------------|----------|---------|-------|-------------|----------|---------------------------|
| | | | 自重 (%) | 熱 (%) | 地震 (Ss) (%) | 合計 (MPa) | 自重 (%) | 熱 (%) | 地震 (Ss) (%) | 合計 (MPa) | |
| ホットレグ直管 | 重大事故等時 | | | | | | | | | | 約183 |
| | 通常運転時 (参考) | | | | | | | | | | 約173 |
| SG出口40°エルボ | 重大事故等時 | | | | | | | | | | 約161 |
| | 通常運転時 (参考) | | | | | | | | | | 約155 |

5. Jappの決定

(1) 評価用き裂

き裂安定性評価を保守的に行うために評価用き裂を貫通き裂とする。



| 評価部位 | 内径(mm) | 初期き裂(mm) | き裂進展解析(mm) | 評価用き裂(mm) |
|------------|--------|----------|------------|-----------|
| ホットレグ直管 | | | | |
| SG出口40°エルボ | | | | |

(2) FEM解析

評価用き裂と表1に示す評価条件を入力条件として、FEM(有限要素法)解析により、破壊力(Japp値)を求める。

Jappの算出には、作用荷重(Ss地震動による荷重を含む)と材料物性(応力-歪関係)を使用する。また、材料物性(応力-歪関係)には、通常運転時の評価では、保守的な条件としてフェライト量が小さく、時効していない材料の応力-ひずみ関係を使用しているが、重大事故時等条件を考慮した評価においても同じものを使用している。重大事故時等条件(360°C)を考慮した場合の応力-ひずみ関係はフェライト量、温度条件、時効劣化の有無の影響を総合すると、通常運転時の評価に使用する応力-ひずみ関係より大きくなるため、今回の評価で使用した応力-ひずみ関係は保守

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

的な評価条件となる。

なお、各き裂長さにおけるJappは以下のとおり。

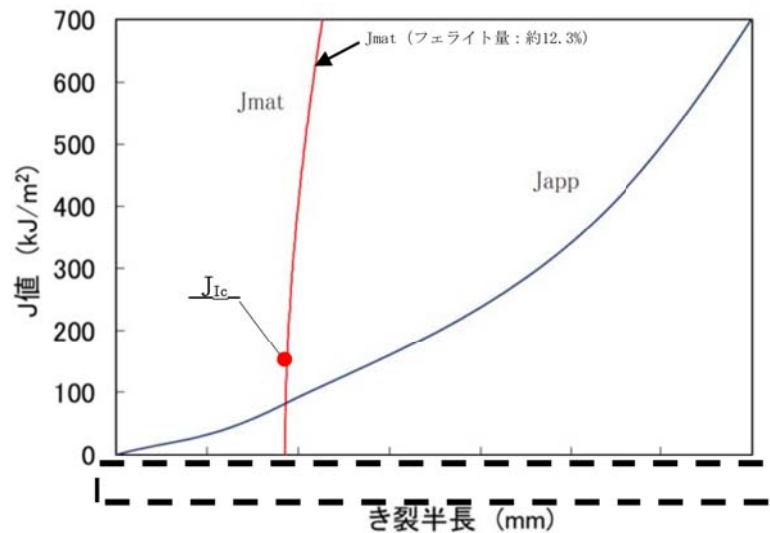
| き裂長さ | 1t | 3t | 5t |
|----------------------------------|----|----|----|
| ホットレグ直管 (kJ/m ²) | | | |
| SG出口40° エルボ (kJ/m ²) | | | |

6. き裂安定性評価

重大事故等時のホットレグ直管およびSG出口40° エルボにおけるき裂安定性評価結果を下図に示す。

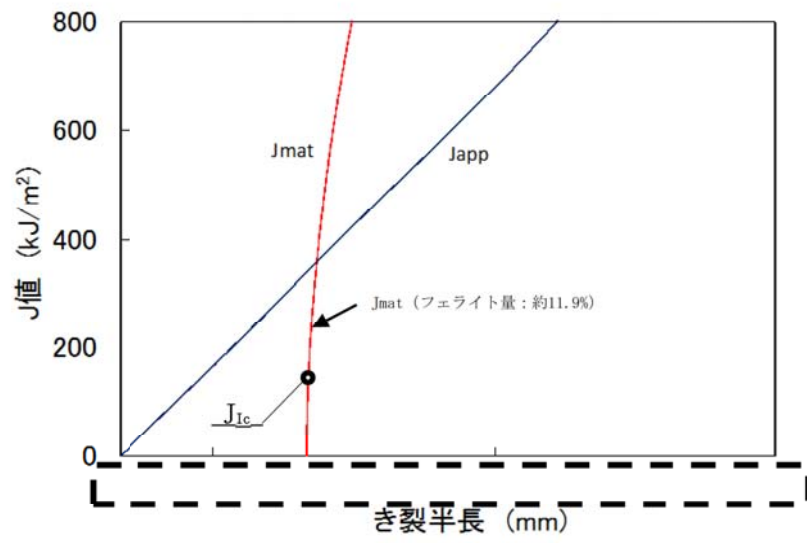
重大事故等時においても、き裂進展抵抗がき裂進展力を上回ることで、およびき裂進展抵抗とき裂進展力の交点で、き裂進展抵抗の傾きがき裂進展力の傾きを上回っていることから、配管は不安定破壊することなく、重大事故等時のプラント条件を考慮しても健全であることが判断できる。

ホットレグ直管のき裂安定性評価結果



SG出口40° エルボのき裂安定性評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表1 評価条件

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|---|---------------|----|---------|---------|--|--|--------|---|----|----|----|----|----|---------|--|--|--|--|--|---------|---|--|--|--|--|--|--|----|
| | ホットレグ直管 | SG出口40° エルボ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内径 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 外径 [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| き裂形状 | 周方向貫通き裂(き裂長さ: 1t、3t、5t の3種類) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 荷重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 内圧 [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 軸力 [kN] | 自重 | 熱 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 地震 | 地震 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 合計 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 曲げモーメント [kN・m] | 自重 | 自重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 熱 | 熱 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 地震 | 地震 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 合計 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | My Mz | My Mz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | My Mz | My Mz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 物性値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤング率 [MPa] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ポアソン比 | $\nu=0.3$ (弾性域)、 $\nu=0.5$ (塑性域) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 応力-ひずみ関係 | <p>フェライト量が低い非時効材の応力-ひずみ線図を用いる。本評価データは電共研「1次冷却材管の時効劣化に関する研究 (STEP1)」で得られた知見を参考に行っている。本電共研では2つの試験片について引張り試験を実施し、結果がほぼ同等であったことから1つの試験片のデータを用いて応力-ひずみ線図を導出した。Japp 値は応力-ひずみ線図の下部の面積に比例するため、強度が低い非時効材を用いることはより安全側の評価となります。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <p>公称応力 [MPa]</p> <p>ひずみ [%]</p> <p>応力 [MPa]</p> <p>公称ひずみ [%]</p> | <p>非時効材のフェライト量</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="6">化学成分 (詳細分析) %</td> <td>フェライト量</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td>Cr</td> <td>Ni</td> <td>Mo</td> <td>Cre/Nie</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Cb (Nb)</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>P%</td> </tr> </table> | 化学成分 (詳細分析) % | | | | | | フェライト量 | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Cre/Nie | | | | | | Cb (Nb) | N | | | | | | | P% |
| 化学成分 (詳細分析) % | | | | | | フェライト量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Cre/Nie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Cb (Nb) | N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | P% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

重大事故等時の条件を考慮した一次冷却材管の熱時効に対する健全性評価について

高浜2号炉の一次冷却材管（主冷却材管及び蓄圧注入系管台等）について、重大事故等時の温度、圧力条件を考慮した熱時効に対する健全性評価への影響の評価を以下に示す。

1. Jappの算出（応力-ひずみ関係）における重大事故等時条件（360℃）の考慮について

Jappの算出には、作用荷重（Ss地震動による荷重を含む）と材料物性（応力-歪関係）を使用する。そのうち、作用荷重には重大事故等時条件（360℃）を考慮している。

また、材料物性（応力-ひずみ関係）には、通常運転時 [] の評価では、保守的な条件としてフェライト量が小さく、時効していない材料の [] における応力-ひずみ関係を使用しているが、重大事故等時条件を考慮した評価においても同じものを使用している。

なお、重大事故等時条件（360℃）を考慮した場合の時効後の応力-ひずみ関係は図1に示す通り、通常運転時 [] の評価に使用する応力-ひずみ関係（非時効）より大きくなるため、今回の評価で使用した応力-ひずみ関係は保守的な評価条件となる。



図1. 通常運転時 [] の評価に使用する応力-ひずみ関係と時効した360℃における応力-ひずみ関係

また、応力-ひずみ関係は、通常運転時の評価を目的とするため、 [] におけるデータしか取得していないため、360℃における応力-ひずみ関係は次頁の方法にて予想している。

(1) 熱時効により強度は上昇する。電共研において時効条件（時効温度・時間）と強度上昇の関係が整理されており、時効していない材料の耐力（ σ_{y0} ）と [] けて時効した後の耐力の比を図 2 に示す。高浜 2 号炉の運転時間は約 22 万時間であり、約 22 万時間時効した材料の強度は時効前と比べて [] 上昇することがわかる。



図 2 時効時間と強度上昇の関係

(出典：電共研「1 次冷却材管等の時効劣化に関する研究 (STEPⅢ) (その 2) (平成 10 年度)」)

(2) 温度上昇により強度は低下する。JSME 設計・建設規格において各温度における設計降伏点応力（ S_y ）がまとめられており、図 3 に [] における強度と各温度における強度の比を示す。360℃ における降伏点応力は [] に比べて [] 低下することがわかる。

(3) (1) 及び (2) の関係から応力-ひずみ関係は、熱時効により [] 上昇し、温度上昇により [] 低下することから、[] 上昇すると考えられる。なお、高浜 2 号炉ホットレグ直管のフェライト量は約 12.3%、SG 出口 40° エルボのフェライト量は約 11.9% であり、応力-ひずみ関係には依然保守性が含まれる。

表 1. 各応力-ひずみ関係の条件

| 条件 | 評価条件 | 実機の 重大事故等時条件 | 備考 |
|--------|------|--|----|
| 熱時効の有無 | | | |
| 温度 | | 360℃ | |
| フェライト量 | | 約 12.3% (ホットレグ直管) 約 11.9% (SG 出口 40° エルボ) | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



図3. 材料強度と温度の関係

(出典：JSME S NC1 - 2005/2007「設計・建設規格」(日本機械学会))

2. Jmatの算出(破壊靱性値)における重大事故等時条件(360℃)の考慮について

Jmatについては、 の温度条件で採取されたデータの下限值(H3Tモデルの下限線)を用いて設定しているが、重大事故等時の条件(360℃)を考慮した評価において、 で求めたJmatを用いることの妥当性を確認するため、以下のとおり破壊靱性試験を行った。

(1) 供試材



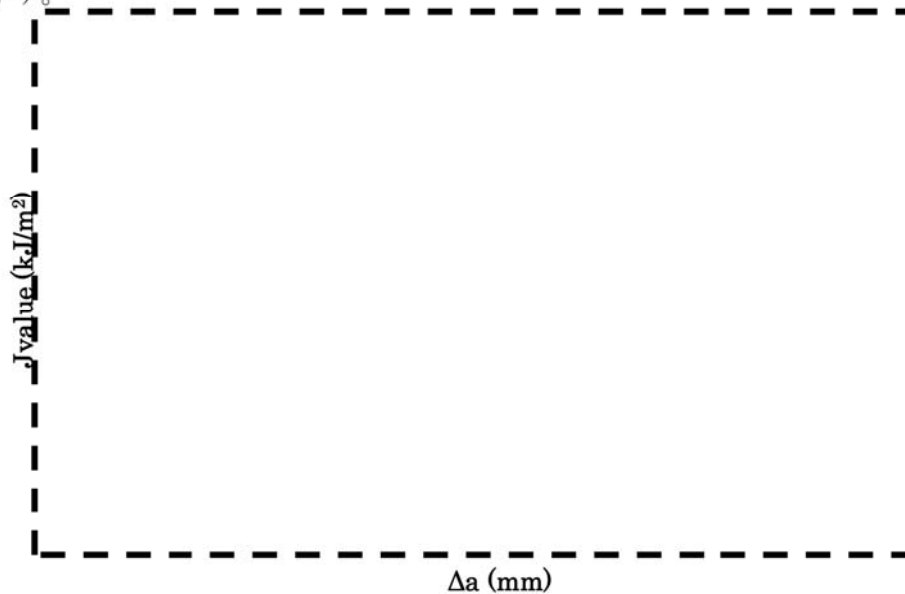
(2) 試験内容



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(3) 試験結果

今回の試験で採取された破壊靱性試験結果のプロットと J_{Ic} 試験の結果、 J_Q 値を以下に示す。



| 試験温度 | 試験片番号 | J_{Ic} 試験結果 | $J_Q(J_{Ic})$ |
|------|-------|---------------|---------------|
| | | | |

以上の結果より、 のJ値と のJ値に大きな差は認められない。また、今回取得された のJ値および のJ値はH3Tモデルの下限線以上であることから、360℃のJ値をH3Tモデルの下限線として想定する現在の評価は妥当であると判断できる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

| | | |
|-----|---|-----------------|
| No. | 高浜2－熱時効－ 7 | 事象：2相ステンレス鋼の熱時効 |
| 質 問 | <p>(別冊-共通) 高経年化対策上着目すべき事象としている機器（1次冷却材管及び1次冷却材ポンプのケーシング）について、亀裂進展力（Japp）を含めた評価部位の選定の考え方（例えば評価部位以外で亀裂進展力が最大となる評価点がないこと、評価部位が亀裂進展力が最大となる評価点であること等）を提示すること。（通常運転時及び重大事故等時とも提示すること。）</p> | |
| 回 答 | <p>「高浜1－熱時効－11」の回答と同様。</p> | |

| | | |
|-----|--|---------|
| No. | 高浜2-コンクリート鉄骨-19 | 事象：機械振動 |
| 質 問 | <p>(別冊-11コンクリート構造物-13頁)</p> <p>比較的大きな振動を浮ける部位として、タービン架台と非常用ディーゼル発電機基礎が機械振動の評価対象として選定されているが、選定した過程を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>機械振動の評価対象は、以下の考え方に基づいて選定している。</p> <p>1. 構造的に独立した部位について 振動を受けるコンクリート部位が他部位から独立しているタービン架台を選定した。</p> <p>2. その他機器からの振動影響について その他機器からの振動を受ける部位については、機器出力が相対的に大きい非常用ディーゼル発電機（ディーゼル発電機内燃機関）および1次冷却材ポンプを選定し、それぞれについて、コンクリート部位への支持形状を確認した。 その結果、非常用ディーゼル発電機については、発生する振動を直接的にコンクリート部位が受ける構造であるが、1次冷却材ポンプについては、地震時の変位を拘束する目的で重機器サポートを設置しており、発生する振動を直接的にコンクリート部位が支持する構造ではないことから、非常用ディーゼル発電機基礎を選定した。</p> <p>なお、『日本原子力学会 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2013暫定版：経年劣化メカニズムまとめ表（追補4）』においても、同様の対象となっている。</p> <p>添付-1 高浜2号炉 タービン建屋断面図 添付-2 主要な機器の振動影響について 添付-3 高浜2号炉 非常用ディーゼル発電機室配置図 添付-4 高浜2号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図 添付-5 経年劣化メカニズムまとめ表-PWR</p> | |

高浜2号炉 タービン建屋断面図



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

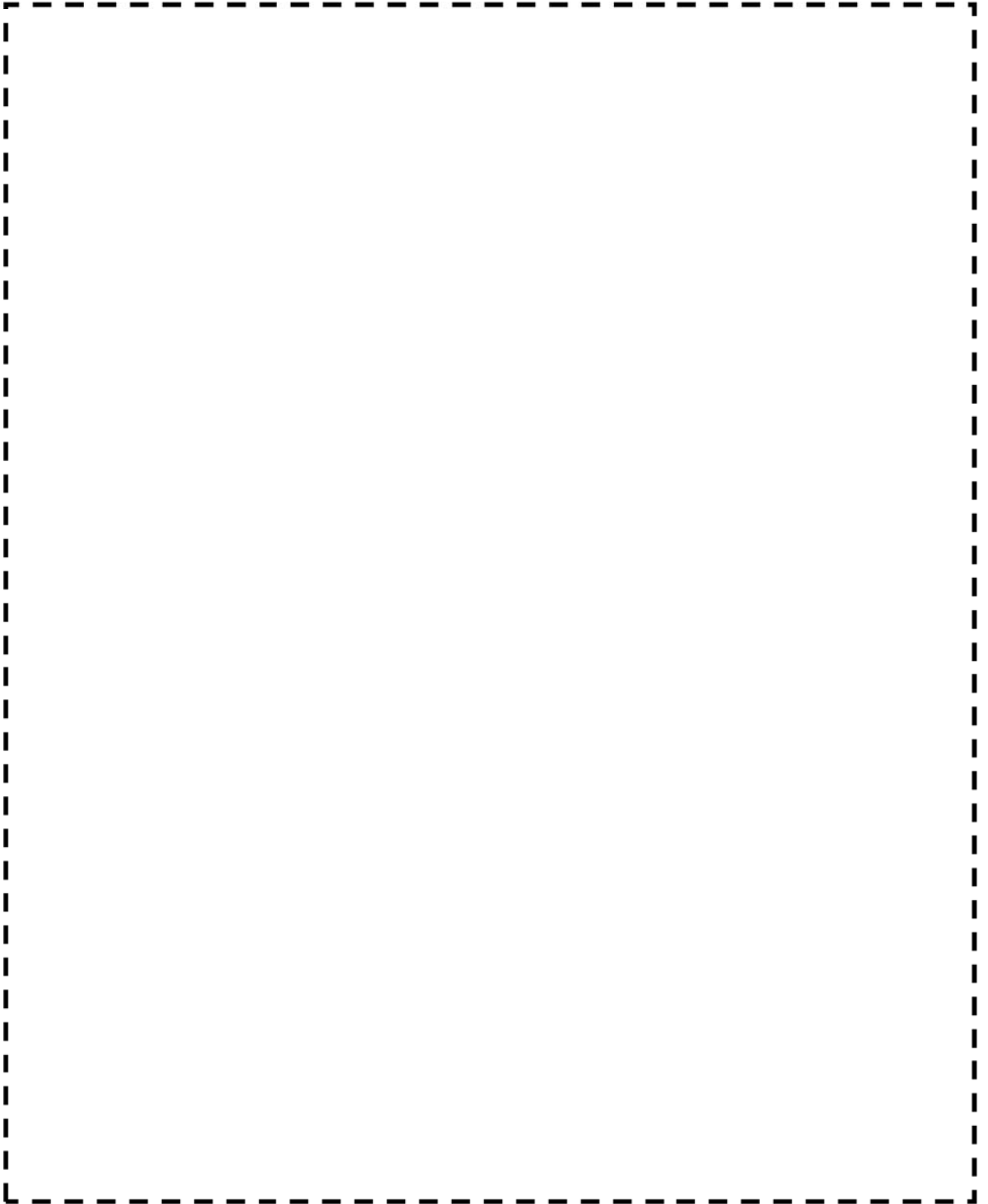
主要な機器の振動影響について

高浜3号炉の工事計画認可申請書に基づき主要な機器の原動機出力を振動影響の大きさとして抽出し、高浜2号炉においても機器のスペックに大きな相違がないことから、機器出力が相対的に大きい非常用ディーゼル発電機（ディーゼル発電機内燃機関）および1次冷却材ポンプを検討対象として選定した。

| 名称 | 種類 | 原動機出力 (kw/個) | 備考 |
|--------------|----|-----------------|---------|
| 1次冷却材ポンプ | | | |
| ディーゼル発電機内燃機関 | | | 機関出力を記載 |
| 余熱除去ポンプ | | | |
| 充てん/高圧注入ポンプ | | | |
| 海水ポンプ | | | |
| 原子炉補助冷却水ポンプ | | | |
| タービン動補助給水ポンプ | | | |
| 格納容器スプレイポンプ | | | |

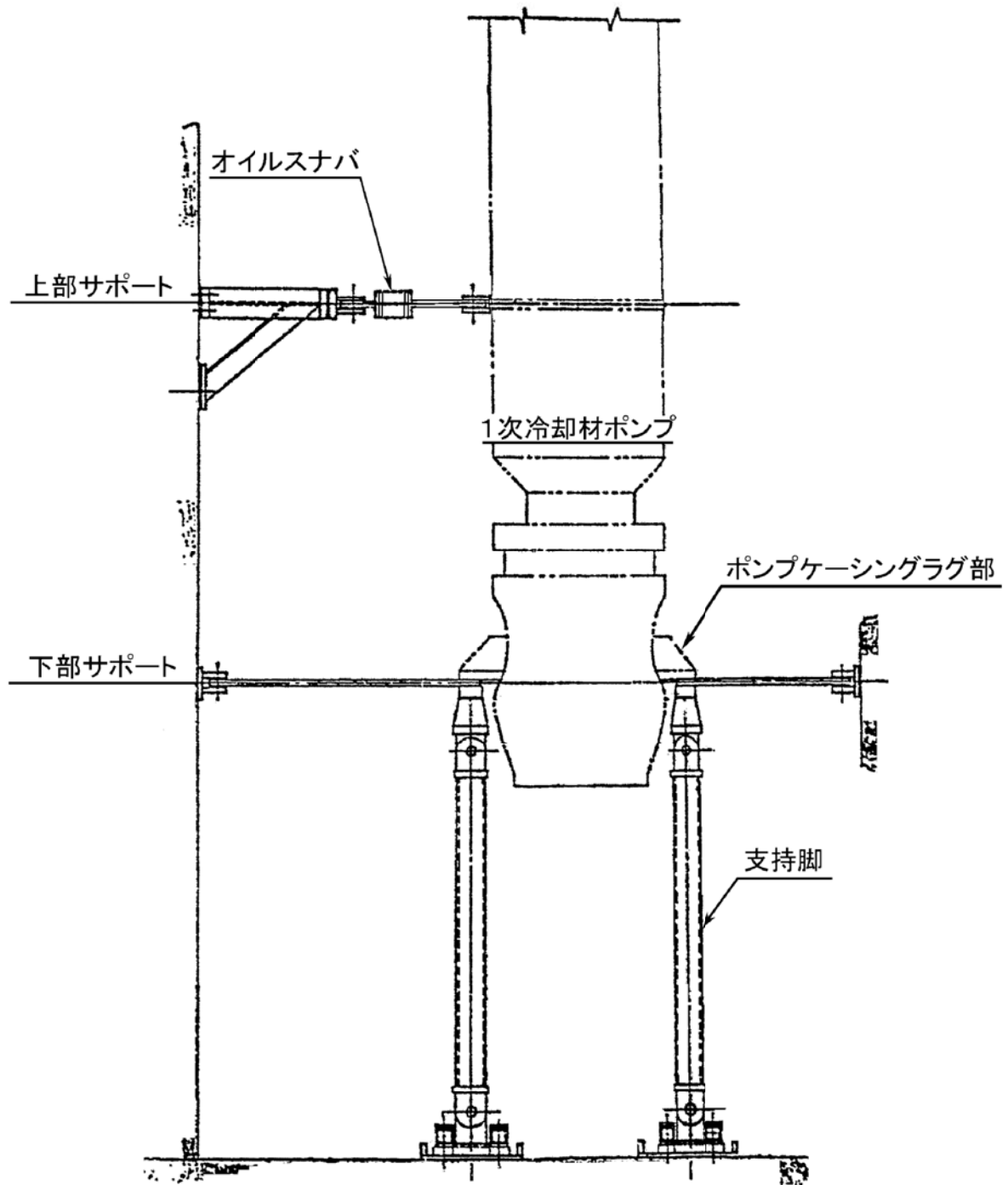
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号炉 非常用ディーゼル発電機室配置図

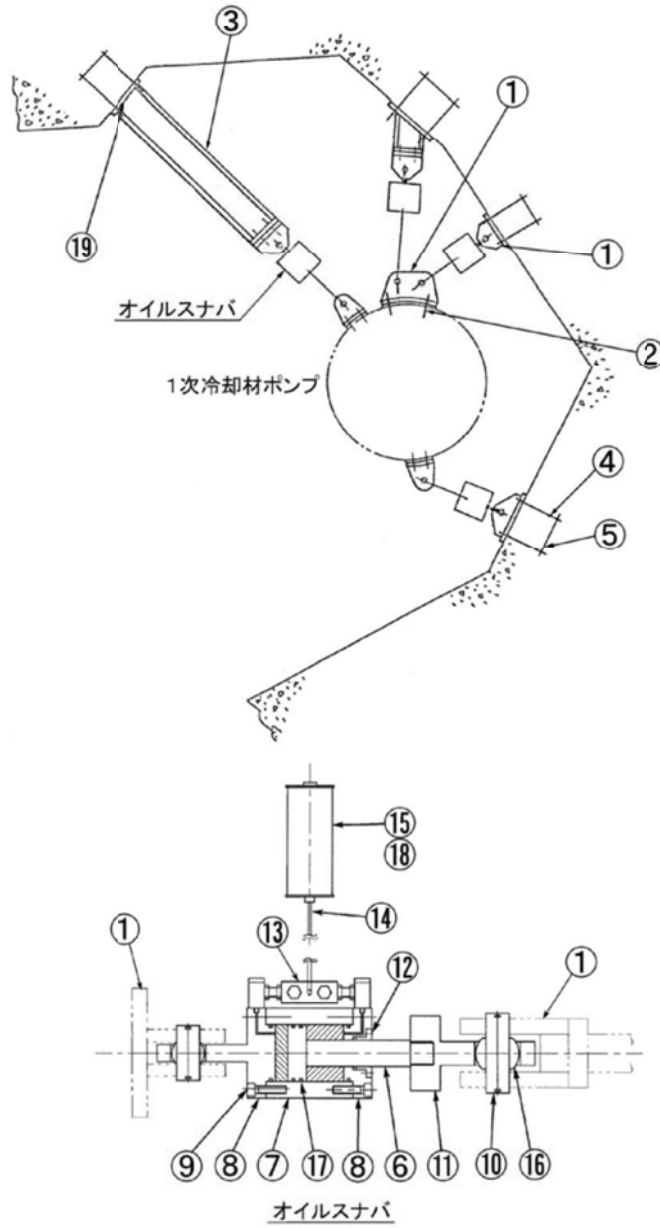


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図

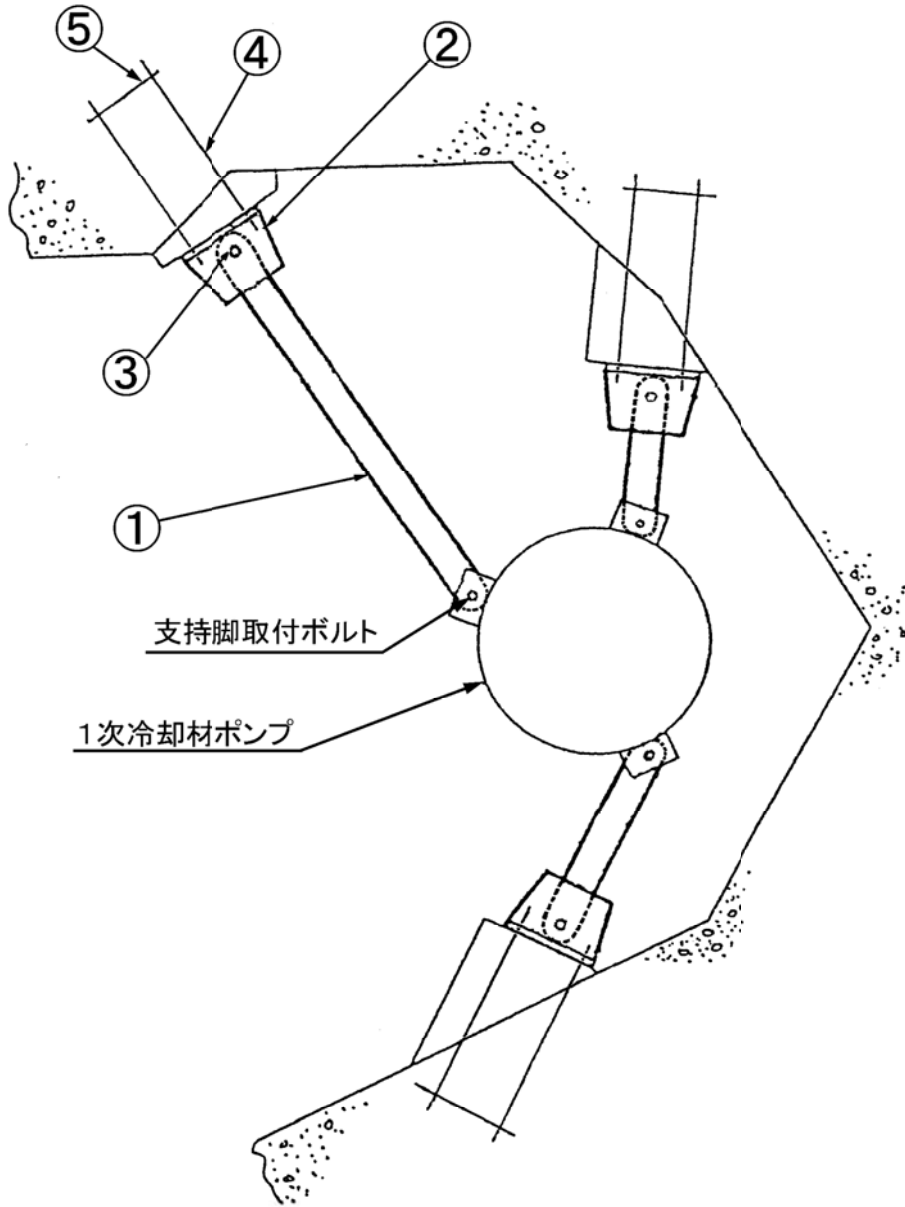


高浜1号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図



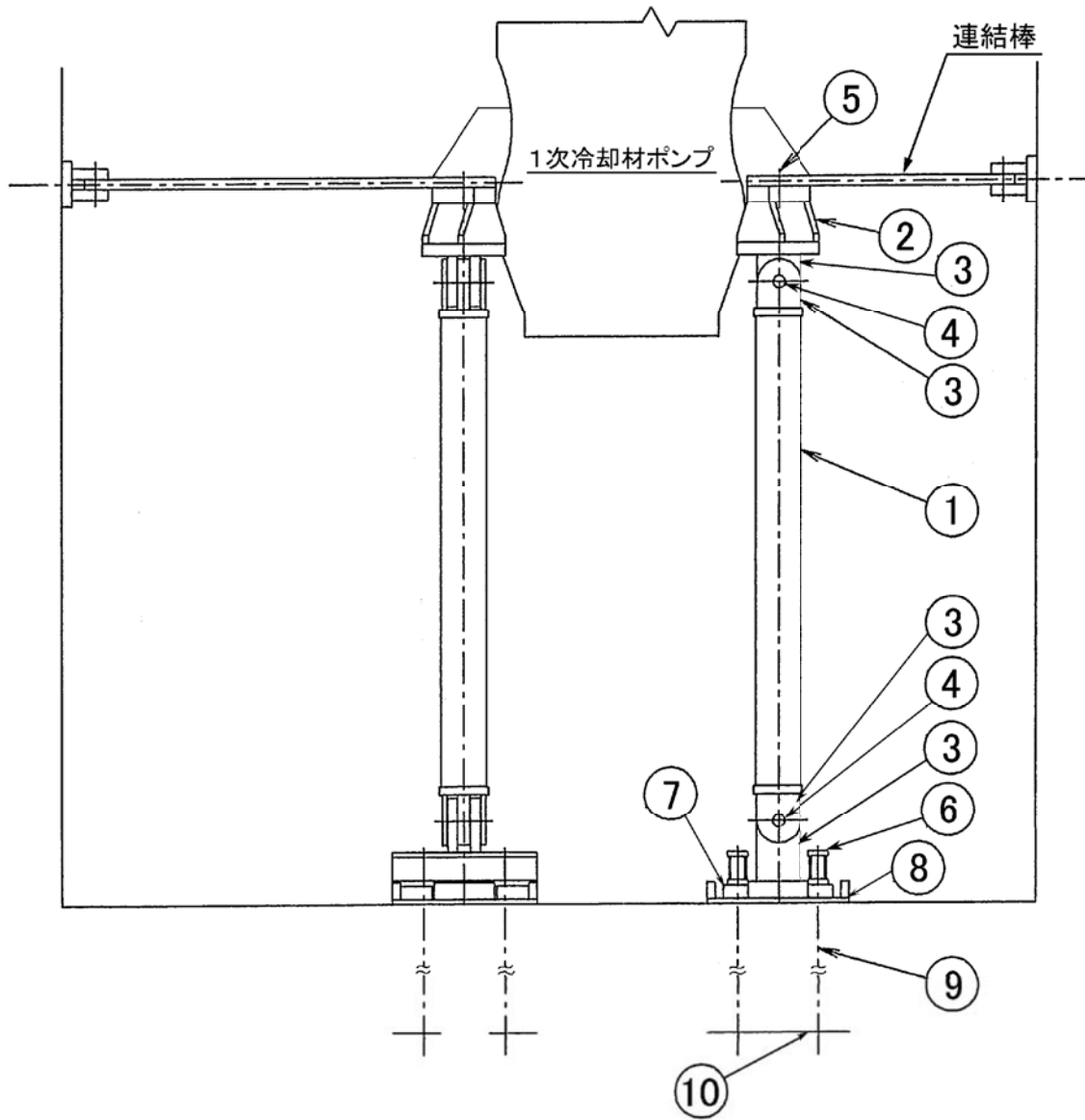
| No. | 部 位 | No. | 部 位 |
|-----|-----------------|-----|-------------------|
| ① | ブラケット | ⑪ | オイルスナバ コネクティングラグ |
| ② | モータ側ブラケット取付ボルト | ⑫ | オイルスナバ ブッシュ |
| ③ | サポートビーム | ⑬ | オイルスナバ コントロールバルブ |
| ④ | 基礎ボルト | ⑭ | オイルスナバ パイプ |
| ⑤ | 埋込金物 | ⑮ | オイルスナバ オイルリザーバ |
| ⑥ | オイルスナバ ピストンロッド | ⑯ | オイルスナバ 球面軸受 (すべり) |
| ⑦ | オイルスナバ シリンダチューブ | ⑰ | オイルスナバ オイルシール |
| ⑧ | オイルスナバ シリンダカバー | ⑱ | オイルスナバ オイル |
| ⑨ | オイルスナバ タイボルト | ⑲ | 取付ボルト |
| ⑩ | オイルスナバ コッターピン | | |

高浜2号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図



| No. | 部 位 |
|-----|-------|
| ① | 連結棒 |
| ② | ブラケット |
| ③ | ピン |
| ④ | 基礎ボルト |
| ⑤ | 埋込金物 |

高浜2号炉 1次冷却材ポンプサポート構造図



| No. | 部 位 |
|-----|----------------|
| ① | 支 柱 |
| ② | 支持脚ブラケット |
| ③ | ヒンジ |
| ④ | 支持脚ピン |
| ⑤ | 支持脚取付ボルト |
| ⑥ | 押え金物 |
| ⑦ | 支持脚ヒンジ側ベースプレート |
| ⑧ | ベースプレート |
| ⑨ | 基礎ボルト |
| ⑩ | 埋込金物 |

経年劣化メカニズムまとめ表-PWR

(1/1)

P11-01 コンクリート（コンクリート構造物及び鉄骨構造物）

| No. | 機能達成に必要な項目 | 部位 | 材料 | 経年劣化事象 | 高経年化技術評価 不要 | 耐震安全上の | | 耐震上の影響 | |
|-----|-------------|---|---|-----------------|----------------|--------|------|--------|---|
| | | | | | | 静的機能 | 動的機能 | | |
| 1 | コンクリート強度の維持 | 外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、原子炉補助建家（主蒸気室）、取水構造物、タービン建屋（タービン架台）、復水タンク基礎（配管基礎含む） | コンクリート | 中性化による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 2 | | 外部遮へい壁、取水構造物 | コンクリート | 塩分浸透による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 3 | | 外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋、タービン建屋（タービン架台）、特高閉閉所、脱気器基礎、非常用ディーゼル発電機用燃料タンク基礎（配管基礎含む）、復水タンク基礎（配管基礎含む） | コンクリート | アルカリ骨材反応による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 4 | | 外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋（タービン架台） | コンクリート | 凍結融解による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 5 | | 外部遮へい壁、内部コンクリート、原子炉格納施設基礎、原子炉補助建屋、取水構造物、タービン建屋（タービン架台） | コンクリート | 化学的侵食による強度低下 | ① | ★ | / | / | |
| 6 | | 内部コンクリート（1次遮へい壁） | コンクリート | 熱による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 7 | | 内部コンクリート（1次遮へい壁） | コンクリート | 放射線照射による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 8 | | 原子炉補助建屋（非常用ディーゼル発電機基礎）、タービン建屋（タービン架台） | コンクリート | 機械振動による強度低下 | | ★ | / | ▼ | |
| 9 | | コンクリート遮へい能力の維持 | 内部コンクリート（1次遮へい壁） | コンクリート | 熱による遮へい能力低下 | | ★ | / | ▼ |
| 10 | | 鉄骨強度の維持 | 原子炉補助建屋（燃料取扱建屋）、タービン建屋（鉄骨部）、特高閉閉所、内部コンクリート（鉄骨部）、原子炉補助建家（燃料取扱室、中央制御室）、原子炉補助建屋（鉄骨部）、脱気器基礎（鉄骨部、配管架台） | 鉄骨 | 腐食による強度低下 | | ★ | / | ▼ |
| 11 | | | タービン建屋（鉄骨部）、内部コンクリート（鉄骨部）、原子炉補助建屋（鉄骨部） | 鉄骨 | 金属疲労による強度低下 | ① | ★ | / | / |

| | | |
|-----|--|---------------|
| No. | 高浜2-コンクリート鉄骨-20 | 事象：火災（耐火能力低下） |
| 質 問 | <p>（別冊-11コンクリート構造物-17頁） 「コンクリート構造物は、断面厚により耐火能力を確保する設計である。」とあるが、具体的に説明し、耐火能力が要求されている壁の位置と厚さを提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>コンクリート構造物の耐火能力は、コンクリートの断面厚により確保する設計としているが、これは、添付-1に示すとおり、コンクリート壁の厚さ（＝断面厚）に応じた耐火能力が示されるためである。 なお、具体的に耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについては、添付-2に示す。</p> <p>添付-1 高浜発電所第3号機 工事計画認可申請書 資料7 発電用原子炉の火災防護に関する説明書（抜粋） 添付-2 火災区域等の位置図</p> | |

第 6-1 表 2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説

| | |
|--|--|
| <p>普通コンクリート壁の屋内火災耐火時間（遮熱性）の算定図</p> <p>「建設省告示第 1433 号 耐火性能検証法に関する算出方法等を定める件」講習会テキスト」に加筆</p> | |
| <p>解説</p> | <p>火災強度 2 時間を越えた場合、建築基準法により指定された耐火構造壁はないが、2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説（「建設省告示第 1433 号 耐火性能検証法に関する算出方法等を定める件」講習会テキスト（国土交通省住宅局建築指導課））により、コンクリート壁の屋内火災保有耐火時間（遮熱性）の算定方法が次式のとおり示されており、これにより最小壁厚を算出することができる。</p> $t = \left(\frac{460}{\alpha} \right)^{3/2} 0.012^{CD} D^2$ <p>ここで、t：保有耐火時間 [min]，D：壁の厚さ [mm]，α：火災温度上昇係数 [460：標準加熱曲線]^{※1}，CD：遮熱特性係数 [1.0：普通コンクリート]^{※2}である。</p> <p>※1 建築基準法の防火規定は 2000 年に国際的な調和を図るため、国際標準の加熱曲線 (ISO834) が導入され、火災温度係数 α は 460 とする。</p> <p>※2 普通コンクリート (1.0)、軽量コンクリート (1.2)</p> <p>上記式より、屋内火災保有耐火時間 180min (3 時間) に必要な壁厚は 123mm と算出できる。</p> <p>また、普通コンクリート壁の屋内火災保有耐火時間（遮熱性）について、上図のとおり 240min (4 時間) までの算定図が示されている。</p> |

第6-2表 海外規定のNFPAハンドブック
(「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」に加筆)

| | |
|---|--|
| <p>耐火壁の厚さと耐火時間の関係 (米国 NFPA Handbook Twentieth Edition より)</p> <p>Reproduced with permission from NFPA's Fire Protection Handbook[®] Copyright©2008, National Fire Protection Association</p> | <p>Concrete thickness (in.)</p> <p>Concrete thickness (mm)</p> <p>Fire resistance (min)</p> <p>Normal agg</p> <p>Slag</p> <p>Exp. shale</p> <p>NORMAL AGGREGATE : 普通骨材 SLAG : スラグ骨材 EXPANDED SHALE : 膨張頁(けつ)岩骨材 EXPANDED SLAG : 膨張スラグ骨材</p> |
| <p>解説</p> | <p>コンクリート壁の耐火性を示す海外規格として、米国のNFPAハンドブックがあり、3時間耐火に必要な壁の厚さは約150mm^{※1}と読み取れる。</p> <p>※1 3時間耐火に必要なコンクリート壁の厚さとしては、「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」に例示された、米国NFPA (National Fire Protection Association) ハンドブックに記載される耐火壁の厚さと耐火時間の関係より、3時間耐火に必要な厚さが約150mm程度であることが読み取れる。</p> |

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜 2 - 耐震 - 1 | 事象：耐震 |
| 質 問 | <p>(本冊/別冊-16耐震) 高浜 1 号炉の運転期間延長認可申請との相違点を整理し提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>高浜 1 号炉と高浜 2 号炉の運転期間延長認可申請において、耐震評価に差異が生じ得る理由は、以下のとおり分類される。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 評価対象設備の差 <ol style="list-style-type: none"> ① 1・2号共用設備 1・2号共用設備については1号側で評価している。 ② 設備仕様の差 1号側と2号側で、設備構造の違いや材質の違いがある場合、差が生じる場合がある。 ③ 代表設備・部位の差 技術評価側の評価結果の差等により代表設備・部位に差が生じる場合がある。 2. 劣化想定レベルの差 <ol style="list-style-type: none"> ① 技術評価側の評価結果の差等により、劣化想定レベルの差異が生じ、耐震評価結果に影響する場合がある（技術評価側の評価結果によらず、劣化状態を固定して想定して耐震評価を行っている場合は影響しない）。 3. 地震応答の差 <ol style="list-style-type: none"> ① 入力 of 差 1号と2号で、サポート位置や設置位置の差により入力が異なる場合は差が生じる。 ② 応答 of 差 設備構造の違いや材質の違いによる差、サポート位置や配管ルートに差がある場合は応答に差が生じる。 ③ 評価手法 of 差 片側のプラントに対してのみ、詳細評価手法を用いた場合等は結果に差が生じる。 <p>高浜 1 号と高浜 2 号の高経年化技術評価（耐震）について、耐震安全性評価の対象（◎事象）の評価項目及び評価結果を比較した一覧表を添付-1に示し、差が生じている理由（結果的に差が生じていない場合も生じ得た理由を含む）を上記説明の 1 ①～③、2 ①、3 ①～③で分類し「1号と2号の差」欄に記載した。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | |

高浜1/2号炉 耐震評価結果 (1/3)

| 種別 | 装置名称 <small>(※名称・代名以外)</small> | 部位 | 経年劣化特徴 | 耐震重要度 | 第3回甲正(2月29日) | | 第3回甲正(2月29日) | | 第3回甲正(2月29日) | | 1号と2号の差 | |
|-------|-----------------------------------|-----------------|-------------------|-------|--------------|-----------|--------------|------------------------|--------------|-----------|------------------------|------|
| | | | | | 評価部位 | 評価部位 | 評価部位 | 評価部位 | 評価部位 | 評価部位 | | |
| ポンプ | ターボポンプ | ターボポンプ | 疲労割れ | S | 耐震重要度 | 発生値 (Mpa) | 応力比 | 発生値 (Mpa) | 応力比 | 許容値 (Mpa) | 合計 | |
| | | | | | | | | | | | | 評価部位 |
| ポンプ | 熱源除去ポンプ | ターボポンプ | 疲労割れ | Sd | 0.062 | 0.000 | 0.062 | 0.061 | 0.000 | 0.061 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.062 | 0.000 | 0.062 | 0.061 | 0.000 | 0.061 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.235 | 0.001 | 0.236 | 0.185 | 0.000 | 0.185 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.235 | 0.001 | 0.236 | 0.185 | 0.001 | 0.186 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.337 | 0.000 | 0.337 | 0.267 | 0.000 | 0.267 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.337 | 0.000 | 0.337 | 0.267 | 0.000 | 0.267 | 3.0 | |
| | 1次冷却ポンプ | 1次冷却ポンプ | ケーシング | 疲労割れ | Sd | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 1.3 |
| | | | | | Sb | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 3.0 |
| | | | | | Sd | 0.11% | 約288°C | 約111 N/mm ² | 約16% | 約288°C | 約111 N/mm ² | 1.3 |
| | | | | | Sb | 0.11% | 約288°C | 約111 N/mm ² | 約17% | 約288°C | 約111 N/mm ² | 3.0 |
| | | | | | Sd | 0.137% | 約323°C | 約215 N/mm ² | 約12.3% | 約323°C | 約179 N/mm ² | 1.3 |
| | | | | | Sb | 0.137% | 約323°C | 約215 N/mm ² | 約12.3% | 約323°C | 約179 N/mm ² | 3.0 |
| 熱交換器 | 1次系冷却水クーラ | 伝熱管 | 内面腐食 (流れ加速型腐食) | Sd | 0.36 | 0.000 | 0.36 | 0.36 | 0.000 | 0.36 | 3.0 | |
| | | | | Sb | 0.36 | 0.000 | 0.36 | 0.36 | 0.000 | 0.36 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.272 | 0.000 | 0.272 | 0.209 | 0.000 | 0.209 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.272 | 0.000 | 0.272 | 0.209 | 0.000 | 0.209 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.069 | 0.000 | 0.069 | 0.052 | 0.000 | 0.052 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.069 | 0.000 | 0.069 | 0.052 | 0.000 | 0.052 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.25 | 0.021 | 0.25 | 0.25 | 0.021 | 0.25 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.25 | 0.021 | 0.25 | 0.25 | 0.021 | 0.25 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.34 | 0.034 | 0.34 | 0.34 | 0.034 | 0.34 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.34 | 0.034 | 0.34 | 0.34 | 0.034 | 0.34 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.26 | 0.026 | 0.26 | 0.26 | 0.026 | 0.26 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.26 | 0.026 | 0.26 | 0.26 | 0.026 | 0.26 | 3.0 | |
| 高気圧容器 | 高気圧容器 | 管板および 管板入口管台 | 疲労割れ | Sd | 0.235 | 0.001 | 0.236 | 0.185 | 0.000 | 0.185 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.235 | 0.001 | 0.236 | 0.185 | 0.000 | 0.185 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.173 | 0.000 | 0.173 | 0.115 | 0.000 | 0.115 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.173 | 0.000 | 0.173 | 0.115 | 0.000 | 0.115 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.53 | 0.053 | 0.53 | 0.53 | 0.053 | 0.53 | 1.3 | |
| | | | | Sb | 0.53 | 0.053 | 0.53 | 0.53 | 0.053 | 0.53 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.54 | 0.054 | 0.54 | 0.44 | 0.000 | 0.44 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.54 | 0.054 | 0.54 | 0.44 | 0.000 | 0.44 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.053 | 0.001 | 0.053 | 0.052 | 0.001 | 0.052 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.053 | 0.001 | 0.053 | 0.052 | 0.001 | 0.052 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.173 | 0.000 | 0.173 | 0.133 | 0.000 | 0.133 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.173 | 0.000 | 0.173 | 0.133 | 0.000 | 0.133 | 3.0 | |
| Sd | 0.188 | 0.001 | 0.189 | 0.157 | 0.001 | 0.158 | 2.0 | | | | | |
| Sb | 0.188 | 0.001 | 0.189 | 0.157 | 0.001 | 0.158 | 3.0 | | | | | |
| Sd | 0.026 | 0.000 | 0.026 | 0.021 | 0.000 | 0.021 | 2.0 | | | | | |
| Sb | 0.026 | 0.000 | 0.026 | 0.021 | 0.000 | 0.021 | 3.0 | | | | | |
| 容器 | 高気圧容器 | 管板および 管板入口管台 | 疲労割れ | Sd | 0.190 | 0.001 | 0.191 | 0.121 | 0.000 | 0.121 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.190 | 0.001 | 0.191 | 0.121 | 0.000 | 0.121 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.061 | 0.000 | 0.061 | 0.061 | 0.001 | 0.062 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.061 | 0.000 | 0.061 | 0.061 | 0.001 | 0.062 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.061 | 0.001 | 0.062 | 0.062 | 0.001 | 0.062 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.061 | 0.001 | 0.062 | 0.062 | 0.001 | 0.062 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.427 | 0.001 | 0.428 | 0.356 | 0.004 | 0.360 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.427 | 0.001 | 0.428 | 0.356 | 0.004 | 0.360 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.008 | 0.001 | 0.009 | 0.009 | 0.029 | 0.038 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.008 | 0.001 | 0.009 | 0.009 | 0.029 | 0.038 | 3.0 | |
| | | | | Sd | 0.023 | 0.002 | 0.023 | 0.040 | 0.001 | 0.041 | 2.0 | |
| | | | | Sb | 0.023 | 0.002 | 0.023 | 0.040 | 0.001 | 0.041 | 3.0 | |

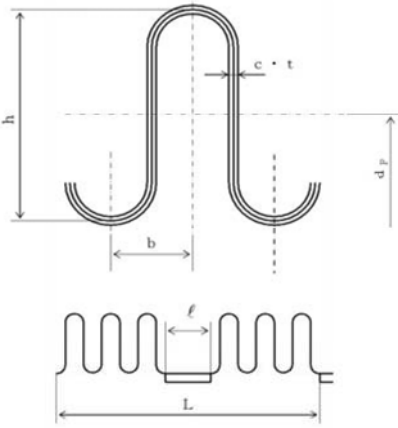
[]内は水平・2方向および鉛直地震力の組合わせによる影響評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜1/2号炉 耐震評価結果 (3/3)

| 機種 | 章 | 装置名称 ※炉外(代表機種以外) | 部位 | 経年劣化事象 | 耐震 重要度 | 評価部位 | 高浜1号 第3回修正(2月28日) | | | | 高浜2号 第3回修正(2月28日) | | | | 1号と2号の差 | | | | |
|-----------|---------|---|------------------------------|-----------------|-----------|------|----------------------|----------|-------|--------------------|----------------------|--------------------|------|----------|---------|--------------------|------|--------------------|-----|
| | | | | | | | 耐震 重要度 | 発生 位置 | 耐力比 | 発生 位置 | 耐震 重要度 | 発生 位置 | 耐力比 | 発生 位置 | | | | | |
| 炉内構造物 | 炉内構造物 | 炉心支持構造物 (上部炉心板、上部炉心支柱、炉心支持構造物、炉心支持構造物、下部炉心支持板、炉心支持構造物、下部炉心支持板、炉心支持構造物) | 上部炉心支柱板 | | S | Sd | S | Sd | 0.181 | 0.000 | 0.181 | S | Sd | 0.180 | 0.000 | 0.180 | 20) | | |
| | | | 上部炉心支柱 | | S | Sd | S | Sd | 0.000 | 0.000 | 0.000 | S | Sd | 0.023 | 0.000 | 0.023 | 20) | | |
| | | | 下部炉心支柱板 | 疲労割れ | S | Sd | S | Sd | 0.017 | 0.027 | 0.044 | S | Sd | 0.020 | 0.001 | 0.021 | 20) | | |
| | | | 下部炉心支柱 | | S | Sd | S | Sd | 0.001 | 0.001 | 0.002 | S | Sd | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 20) | | |
| | | | 炉心スラ | 中性子照射による割れ 下 | S | Ss | S | Ss | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | S | Ss | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 30) |
| | | | 側部クラスカス内管(案内板) | 摩耗 | S | Ss | S | Ss | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | S | Ss | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 30) |
| | | | バフフルクォームホルト | | S | Ss | S | Ss | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | S | Ss | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 0.15 | 7.5MPa/m (51MPa/m) | 30) |
| | | | 炉内許容用シフト チューブ | | S | Ss | S | Ss | 0.02 | 0.02 | 0.02 | S | Ss | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 30) | |
| | | | 主蒸気入口管 | | C | C | C | C | 0.39 | 0.39 | 0.39 | C | C | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 10) | |
| | | | 凝縮器伝熱管 | | C | C | C | C | 0.19 | 0.19 | 0.19 | C | C | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 10) | |
| 配管 | | C | C | C | C | 0.04 | 0.04 | 0.04 | C | C | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 10) | | | | |
| 冷水サージタンク | | C | C | C | C | 0.63 | 0.63 | 0.63 | C | C | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 10) | | | | |
| 温水冷却コイル | | C | C | C | C | 0.36 | 0.36 | 0.36 | C | C | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 20) | | | | |
| サポートブラケット | | S | Ss | S | Ss | 0.35 | 0.35 | 0.35 | S | Ss | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 20) | | | | |
| 機械設備 | 重機器サポート | 蒸気発生器サポート(汽機) | ヒンジ関節部 | 摩耗 | S | Ss | S | Ss | 0.20 | 0.17 | 0.17 | S | Ss | 0.20 | 0.17 | 0.17 | 20) | | |
| | | | 1次冷却材ポンプサ ポート(支持部) | 摩耗 | S | Ss | S | Ss | 0.08 | 0.08 | 0.08 | S | Ss | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 30) | | |
| | | | 1次冷却材ポンプサ ポート(下部サ ポート) | 摩耗 | S | Ss | S | Ss | 0.16 | 0.16 | 0.16 | S | Ss | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 20) | | |
| | | | 格納容器外側用空気 圧縮装置 | 疲労割れ | S | Sd | S | Sd | 0.216 | 0.001 | 0.217 | S | Sd | 0.216 | 0.001 | 0.217 | 20) | | |
| | | | 格納容器外側用空気 圧縮装置 | 疲労(全面疲労) | S | Ss | S | Ss | 0.25 | 0.25 | 0.25 | S | Ss | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 30) | | |
| | | | 非鉄鋼材料組成品 | | S | Ss | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 30) | | |
| | | | 鋼製クラスト | | S | Ss | S | Ss | 0.48 | 0.48 | 0.48 | S | Ss | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 30) | | |
| | | | 凝縮器 | | S | Ss | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 30) | | |
| | | | 凝縮器 | | S | Ss | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 30) | | |
| | | | 凝縮器 | | S | Ss | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 30) | | |
| 配管設備 | 基礎ホルト | 燃料貯留用水タンク | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.01 | 0.01 | 0.01 | S | Ss | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.14 | 0.14 | 0.14 | S | Ss | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | S | Ss | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| | | | 燃料貯留用水タンク | | S | Ss | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | S | Ss | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 30) | | |
| 配管設備 | 母管 | 母管 | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |
| | | | 母管 | | S | Ss | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | S | Ss | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 30) | | |

【1】内は水平2方向および鉛直地盤力の組合わせによる影響評価結果
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| No. | 高浜2-耐震-6 Rev.1 | 分類：容器 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--|---|----|----|----|---|----|----------------|---|---|--------|-------|----|--------------|---|-----|--|---|----|----------------|-------|----|-----------------------|-------|----|-------------------------|---|----|----------|---|----|----------|--------|----|---------|---|---|---------|---|---|-------------------------|---|-----|--------|---|----|----------|---|---|------|----|---|--------|-------|---|-----------|---|----|-------------------------|---|----|---|----------|----|------|----------|-----|------|------------|-----|-----------|------------|-----|-------------|
| 質問 | <p>機械ペネトレーションの主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する具体的評価内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 回答 | <p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表1に示します。</p> <p style="text-align: center;">表1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="408 640 1311 1402"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの2分の1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_p</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径（平均径）</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度におけるJSME S NC1-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の1山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>ℓ</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手の波数の2倍の値（1波の継手にあつては2）</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>—</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W_N</td> <td>—</td> <td>1個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量（表3におけるxの2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量（表3における$\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図1に示します。</p>  <p style="text-align: center;">(複式（中間の管を含む）)</p> <p style="text-align: center;">図1 伸縮継手の基本寸法箇所</p> | | 記号 | 単位 | 定義 | b | mm | 継手部の波のピッチの2分の1 | c | — | 継手部の層数 | d_p | mm | 継手部の有効径（平均径） | E | MPa | 最高使用温度におけるJSME S NC1-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数 | e | mm | 継手部の1山当たりの総変位量 | e_x | mm | 軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量 | e_y | mm | 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量 | h | mm | 継手部の波の高さ | L | mm | 継手部の有効長さ | ℓ | mm | 中間の管の長さ | N | — | 許容繰返し回数 | n | — | 継手の波数の2倍の値（1波の継手にあつては2） | P | MPa | 最高使用圧力 | t | mm | 継手部の板の厚さ | U | — | 疲れ係数 | UF | — | 疲れ累積係数 | W_N | — | 1個の継手部の山数 | X | mm | 軸方向変位量（表3におけるxの2倍（両振幅）） | Y | mm | 軸直角方向変位量（表3における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の2倍（両振幅）） | δ | mm | 全伸縮量 | σ | MPa | 合計応力 | σ_D | MPa | 全伸縮量による応力 | σ_P | MPa | 最高使用圧力による応力 |
| 記号 | 単位 | 定義 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b | mm | 継手部の波のピッチの2分の1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c | — | 継手部の層数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d_p | mm | 継手部の有効径（平均径） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | MPa | 最高使用温度におけるJSME S NC1-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e | mm | 継手部の1山当たりの総変位量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e_x | mm | 軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e_y | mm | 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| h | mm | 継手部の波の高さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | mm | 継手部の有効長さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ℓ | mm | 中間の管の長さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | — | 許容繰返し回数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| n | — | 継手の波数の2倍の値（1波の継手にあつては2） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | MPa | 最高使用圧力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t | mm | 継手部の板の厚さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U | — | 疲れ係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UF | — | 疲れ累積係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W_N | — | 1個の継手部の山数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | mm | 軸方向変位量（表3におけるxの2倍（両振幅）） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y | mm | 軸直角方向変位量（表3における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の2倍（両振幅）） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| δ | mm | 全伸縮量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ | MPa | 合計応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_D | MPa | 全伸縮量による応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_P | MPa | 最高使用圧力による応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2. 評価部位

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

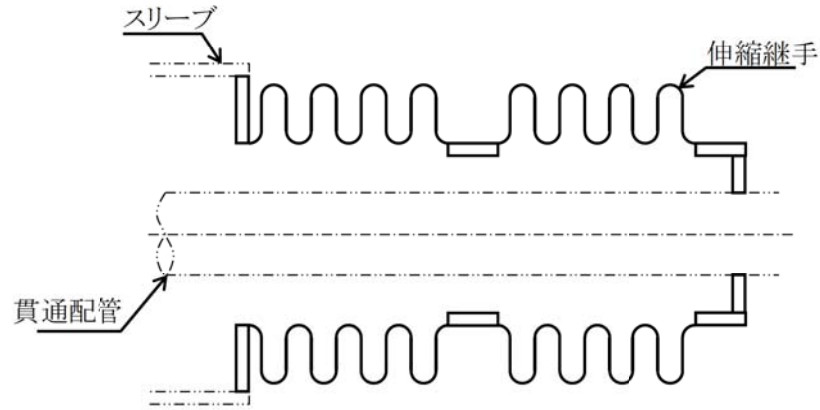


図2 C－主蒸気配管(改造なし)

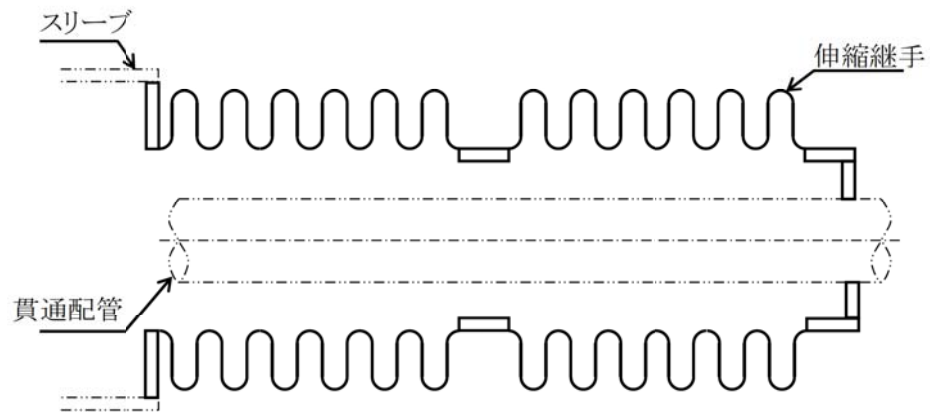


図3 B－主給水配管(改造あり)

評価部位は、図4に示す伸縮継手の頂部とします。

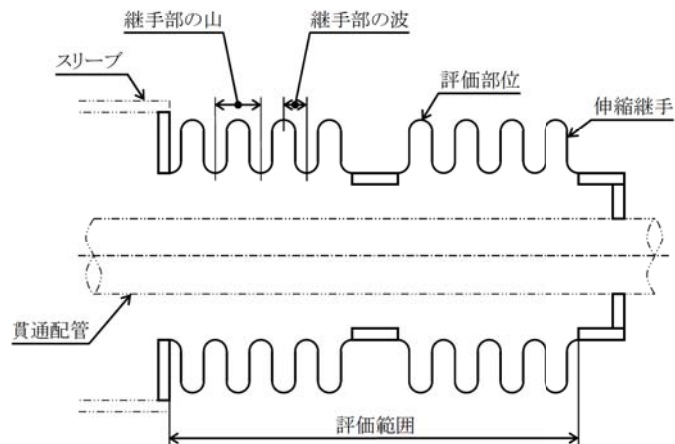


図4 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表 2 に示します。

表 2 格納容器貫通部の仕様

| 配管 | 原子炉格納容器最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 伸縮継手有効径 (mm) | 継手部の深さの高さ (mm) | 継手部の深さのピッチの 2分の1 (mm) | 継手部の板の厚さ (mm) | 伸縮継手1個の山数 | 継手部の山数 | 材料 | ヤング率 (MPa) | 様式伸縮継手の長さ (mm) | | |
|--------------|---------------------|-------------|--------------|----------------|-----------------------|---------------|-----------|--------|----|------------|----------------|-----------|-----------|
| | | | | | | | | | | | 中心間距離 A | 中間の管の長さ B | 伸縮継手の長さ C |
| 主蒸気配管格納容器貫通部 | 0.261 | | | | | | | | | | | | |
| 主給水配管格納容器貫通部 | 0.261 | | | | | | | | | | | | |

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表 3 に示します。

表 3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

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

表 3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

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

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

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

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

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(b) 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量

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

(c) 継手部の1山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

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

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

最高使用圧力による応力

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

発生応力

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

(b) 許容繰返し回数

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

(c) 疲れ累積係数

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

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示します。

表4 Ss地震によるUF評価結果

| 格納容器貫通部 | 発生応力 [MPa] | 許容繰返し 回数 | 評価繰返し 回数 | UF |
|-----------|---------------|-------------|-------------|-------|
| 主蒸気ライン貫通部 | | | | 0.193 |
| 主給水ライン貫通部 | | | | 0.002 |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示します。

表5 Sd地震によるUF評価結果

| 格納容器貫通部 | 発生応力 [MPa] | 許容繰返し 回数 | 評価繰返し 回数 | UF |
|-----------|---------------|-------------|-------------|-------|
| 主蒸気ライン貫通部 | | | | 0.029 |
| 主給水ライン貫通部 | | | | 0.001 |

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果

通常運転時のUFを加えた結果を表6及び表7に示します。

表6 Ss地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

| 格納容器貫通部 | 通常運転時 | Ss地震時 | 合計 |
|-----------|-------|-------|-------|
| 主蒸気ライン貫通部 | 0.009 | 0.193 | 0.202 |
| 主給水ライン貫通部 | 0.040 | 0.002 | 0.042 |

表7 Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

| 格納容器貫通部 | 通常運転時 | Sd地震時 | 合計 |
|-----------|-------|-------|-------|
| 主蒸気ライン貫通部 | 0.009 | 0.029 | 0.038 |
| 主給水ライン貫通部 | 0.040 | 0.001 | 0.041 |

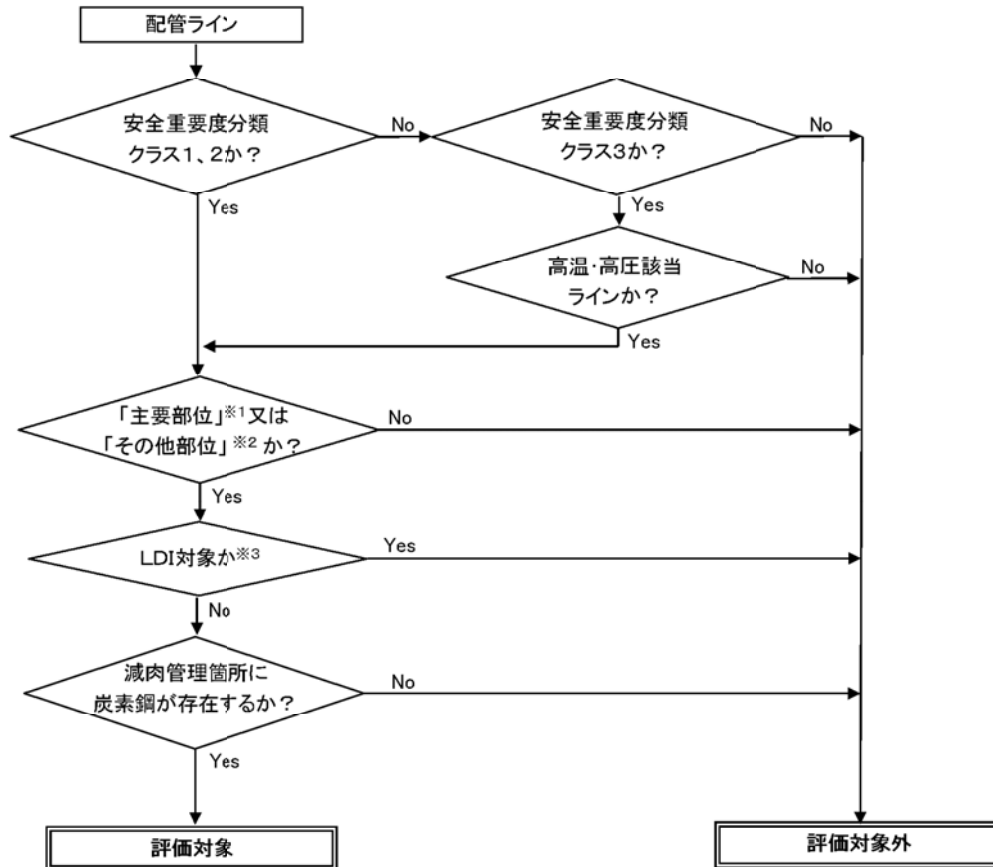
以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はありません。

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜2-耐震-7 | 分類：共通 |
| 質 問 | <p>母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する以下を含む評価の具体的内容を提示すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・評価仕様 ・解析モデル ・入力（荷重）条件 ・評価対象とした系統ごとのライン数、ラインの抽出根拠及び減肉の種別（配管減肉管理に関する技術規格（日本機械学会）との対応に係る説明を含む。） ・評価対象としたラインに係る耐震重要度区分ごとの範囲、及び評価対象部位（解析モデル図に図示） ・評価結果 | |
| 回 答 | <p>1. 評価対象ラインの抽出について 高浜2号のPLM評価における「母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）」に対する耐震安全性評価は、発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（以下「技術規格」という。）等を踏まえて策定した当社の管理指針「2次系配管肉厚の管理指針」に規定する検査対象系統を基に、評価対象ラインを選定し、耐震安全性評価を行っている。選定フローを添付-1に示す。</p> <p>2. 評価対象ライン数 その結果、評価対象として抽出され評価を行ったライン数は、系統分類毎にそれぞれ以下のとおり。 主蒸気系統配管：7ライン 主給水系統配管：14ライン 低温再熱蒸気系統配管：1ライン 第3抽気系統配管：1ライン 第4抽気系統配管：3ライン 補助蒸気系統配管：2ライン グランド蒸気系統配管：1ライン 復水系統配管：9ライン ドレン系統配管：22ライン 蒸気発生器ブローダウン系統配管：3ライン</p> <p>3. 評価結果 各評価仕様〔各評価用地震、想定減肉（必要最小肉厚or実測データ）、解析手法（梁モデル解析orFEM解析）〕と共に、各ラインの評価結果を添付-2に示す。</p> <p>4. 評価モデル 評価対象ラインのうち、PLM評価書に厳しいラインとして代表で記載した応力比の、対象箇所を含む解析モデル図を添付-3に示す。</p> | |

配管内面からの腐食（流れ加速型腐食）評価対象ラインの抽出フロー



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

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

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

以 上

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

| 系統分類 | 耐震クラス | 配管名称 | 評価用地震 | 全断面モデル | | | | | | 要素データ外に基づく60年時点(2035年)モデル | | | | | | 要素データ外に基づく60年時点(2035年)モデル | | | | | |
|-------|---------------|---------------|-------|----------|------|----|----------|-----|----|---------------------------|-----|----|----------|-----|----|---------------------------|-----|----|----------|-----|----|
| | | | | 梁モデル評価 | | | FCM評価 | | | 梁モデル評価 | | | FCM評価 | | | 梁モデル評価 | | | FCM評価 | | |
| | | | | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 |
| 主蒸気系統 | C | 水分離加熱器加熱蒸気管 | C | Sd | 0.66 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | 1次 | 0.68 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | S | A-主蒸気配管 (CV内) | Ss | 1次 | 0.28 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | 1次+2次 | 0.46 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | S | B-主蒸気配管 (CV内) | Sd | 1次 | 0.59 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | 1次+2次 | 0.52 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | S | C-主蒸気配管 (CV内) | Ss | 1次 | 0.21 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | 1次+2次 | 0.34 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | S | A-主蒸気配管 (CV外) | Sd | 1次 | 0.43 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | 1次+2次 | 0.57 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | S | B-主蒸気配管 (CV外) | Ss | 1次 | 0.24 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | 1次+2次 | 0.36 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| S | C-主蒸気配管 (CV外) | Sd | 1次 | 0.48 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | 0.95 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | A-主蒸気配管 (CV外) | Ss | 1次 | 0.53 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | 0.68 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | B-主蒸気配管 (CV外) | Sd | 1次 | 1.12 | x | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | UF0.951 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | C-主蒸気配管 (CV外) | Ss | 1次 | 0.85 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | 0.36 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | A-主蒸気配管 (CV外) | Sd | 1次 | 0.48 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | 0.79 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | B-主蒸気配管 (CV外) | Ss | 1次 | 0.93以下 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | 0.88以下 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | C-主蒸気配管 (CV外) | Sd | 1次 | 0.44 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 1次+2次 | 0.88 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

| 系統分類 | 制震クラス | 配管名称 | 評価用地震 | 全面評価モデル | | | | | | 実測データに基づく 60年時点(2035年)モデル | | | | | | 実測データに基づく 50年時点(2025年)モデル | | | | | |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|----|--------------|-----|--------|-----|------------------------------|--------------|--------|----|-------|----|------------------------------|-----|-------|--------------|-----|----|
| | | | | 梁モデル評価 | | FEM評価 | | 梁モデル評価 | | FEM評価 | | 梁モデル評価 | | FEM評価 | | 梁モデル評価 | | FEM評価 | | | |
| | | | | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 |
| 低濃再熱蒸気系統 | C | 低濃再熱蒸気管 | C | 0.25 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 第3抽気管 | C | 0.60 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 第4抽気系統 | C | 第4抽気管(A) | C | 2.41 | X | 1.15 | X | 0.74 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 第4抽気管(B) | C | 2.06 | X | 1.02 | X | 0.55 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 第4抽気管(C) | C | 1.61 | X | 1.18 | X | 0.55 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 主給水系統 | C | 主給水ポンプ-第6高圧給水加熱器 | C | 0.39 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 第6高圧給水加熱器-神船取合い | C | 0.47 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 給水プ-ースタポンプ吸込管(A) | C | 2.04 | X | 0.57 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 給水プ-ースタポンプ吸込管(B) | C | 2.04 | X | 0.57 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 給水プ-ースタポンプ吐出管(C) | C | 1.75 | X | 0.57 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 給水プ-ースタポンプ吐出管(A) | C | 0.32 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 給水プ-ースタポンプ吐出管(B) | C | 0.29 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 給水プ-ースタポンプ吐出管(C) | C | 0.30 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | S | A-主給水配管 (CV内) | Sd 1次 1次/2次 | 0.49 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | S | B-主給水配管 (CV内) | Ss 1次 1次/2次 | 0.24 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| S | C-主給水配管 (CV内) | Sd 1次 1次/2次 | 0.44 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.49 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | A-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.55 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.34 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | B-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.52 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.66 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | C-主給水配管 (CV内) | Sd 1次 1次/2次 | 0.24 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.49 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | A-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.77 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.39 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | B-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.70 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.78 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | C-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.63以下 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.85以下 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | A-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.85 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.71以下 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | B-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.63以下 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.43 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| S | C-主給水配管 (CV外) | Sd 1次 1次/2次 | 0.83 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | Ss 1次 1次/2次 | 0.83 | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

| 系統分 | 耐震クラス | 配管名称 | 評価項目 | 全面所収モデル | | | | | | 実測データに基づく50年寿命(2038年)モデル | | | | | | 実測データに基づく50年寿命(2025年)モデル | | | | | |
|------|-------|--------------------------|------|---------|----|----------|-------|----|----------|--------------------------|----|----------|-------|----|----------|--------------------------|----|----------|-------|----|----------|
| | | | | 奥モデル評価 | | | FCM評価 | | | 奥モデル評価 | | | FCM評価 | | | 奥モデル評価 | | | FCM評価 | | |
| | | | | 応力比 | 評価 | 応力比/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力比/許容応力 |
| 配水系統 | C | 配水ポンプ～コンデンサ取込～配水ブースターポンプ | C | 0.85 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 配水ブースターポンプ～第1低圧給水加熱器 | C | 0.63 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(A) | C | 0.34 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(B) | C | 0.92 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3低圧給水加熱器～第5低圧給水加熱器(C) | C | 0.92 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(A) | C | 0.43 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(B) | C | 0.43 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3低圧給水加熱器～第4低圧給水加熱器(C) | C | 0.44 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第4低圧給水加熱器～河変器 | C | 0.77 | X | 1.17 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

評価書に記載した系統毎の代表数値及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

| 系統分岐 | 配管クラス | 配管名称 | 配管用途 | 全断面モデル | | | | | | 実モデル評価 | | | | | | 実モデル評価 | | | | | | 実モデル評価 | | | | | |
|------|--------------|--------------------|------|----------|-----|------|----------|-----|----|----------|-----|----|----------|-----|----|----------|-----|----|----------|-----|----|----------|-----|----|----------|-----|----|
| | | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | | FEM評価 | | |
| | | | | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 許容 |
| レノ系統 | C | 第1高圧給水加熱器ドレン管(A) | C | 1.01 | x | 0.56 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 第3高圧給水加熱器ドレン管(B) | C | 1.38 | x | 0.70 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | C | 第4高圧給水加熱器ドレン管(A) | C | 0.27 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第4高圧給水加熱器ドレン管(B) | C | 0.30 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第4高圧給水加熱器ドレン管(C) | C | 0.39 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3高圧給水加熱器ドレン管(A) | C | 0.79 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3高圧給水加熱器ドレン管(B) | C | 0.57 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 第3高圧給水加熱器ドレン管(C) | C | 0.52 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 低圧給水加熱器レノポンプ吐出管(A) | C | 0.30 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 低圧給水加熱器レノポンプ吐出管(B) | C | 0.47 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | C | 低圧給水加熱器レノポンプ吐出管(C) | C | 0.32 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | C | 低分槽加熱器レノ管(A) | C | 0.38 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 低分槽加熱器レノ管(B) | C | 0.38 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 低分槽加熱器レノ管(C) | C | 0.52 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 低分槽加熱器レノ管(D) | C | 0.38 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | C | 低分槽加熱器レノ管(E) | C | 0.47 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| C | 低分槽加熱器レノ管(F) | C | 0.47 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| C | 低分槽加熱器レノ管(G) | C | 0.69 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加型廃食に対する配管評価結果一覧

| 系統分類 | 耐震クラス | 配管名称 | 評価用地震 | 全断形モデル | | | | | | 実測データに基づく 60年時点(2035年)モデル | | | | | | 実測データに基づく 50年時点(2025年)モデル | | | | | |
|---------|-------|----------------|-------|--------------|------|----|--------------|-----|----|------------------------------|-----|----|--------------|-----|----|------------------------------|------|----|--------------|-----|----|
| | | | | 梁モデル評価 | | | FEM評価 | | | 梁モデル評価 | | | FEM評価 | | | 梁モデル評価 | | | FEM評価 | | |
| | | | | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/ 許容応力 | 応力比 | 評価 |
| ドレン系統 | C | 湿分分離器ドレン管(A) | C | | 0.31 | C | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | 湿分分離器ドレン管(B) | C | | 0.56 | C | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | 湿分分離器ドレンポンプ吸込管 | C | | 0.95 | C | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | 湿分分離器ドレンポンプ吐出管 | C | | 3.43 | x | 2.72 | x | | 0.70 | O | | | | | | | | | | |
| クラン蒸気系統 | C | クラン蒸気管 | C | | 1.25 | x | 1.40 | x | | | | | | | | | 0.60 | O | | | |
| | C | スチームコンバーター給水管 | C | | 0.11 | C | | | | | | | | | | | | | | | |
| 補助蒸気系統 | C | 補助蒸気配管(1次系) | C | | 0.52 | O | | | | | | | | | | | | | | | |

 評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

高浜2号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

| 系統分類 | 耐震クラス | 配管名称 | 評価用地震 | 全箇所モデル | | | | | | 実測データに基づいた60年時点(2034年)モデル | | | | | | 実測データに基づいた50年時点(2024年)モデル | | | | | | |
|---------------------|-------|------------------------------------|-------|----------|--------|----|----------|-----|----|---------------------------|-----|----|----------|-----|----|---------------------------|-----|----|----------|-----|----|---|
| | | | | 梁モデル評価 | | | FEM評価 | | | 梁モデル評価 | | | FEM評価 | | | 梁モデル評価 | | | FEM評価 | | | |
| | | | | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | 応力値/許容応力 | 応力比 | 評価 | |
| 蒸気発生器 フローパイプ系統配管 | S | AグループSCBD配管 PEN#279CV外 CVB)内 | 1次 | Sd | 0.70以下 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | | 1次+2次 | 0.73以下 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | Ss | 1次 | 0.35 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | | 1次+2次 | 0.73 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Sd | 1次 | 0.89以下 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | | 1次+2次 | 0.80以下 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Ss | 1次 | 0.45 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 1次+2次 | 0.80 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 1次 | 0.77 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 1次+2次 | 0.60 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 1次 | 0.41 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 1次+2次 | 1.23 | x | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | | UF=0.125 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(A-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

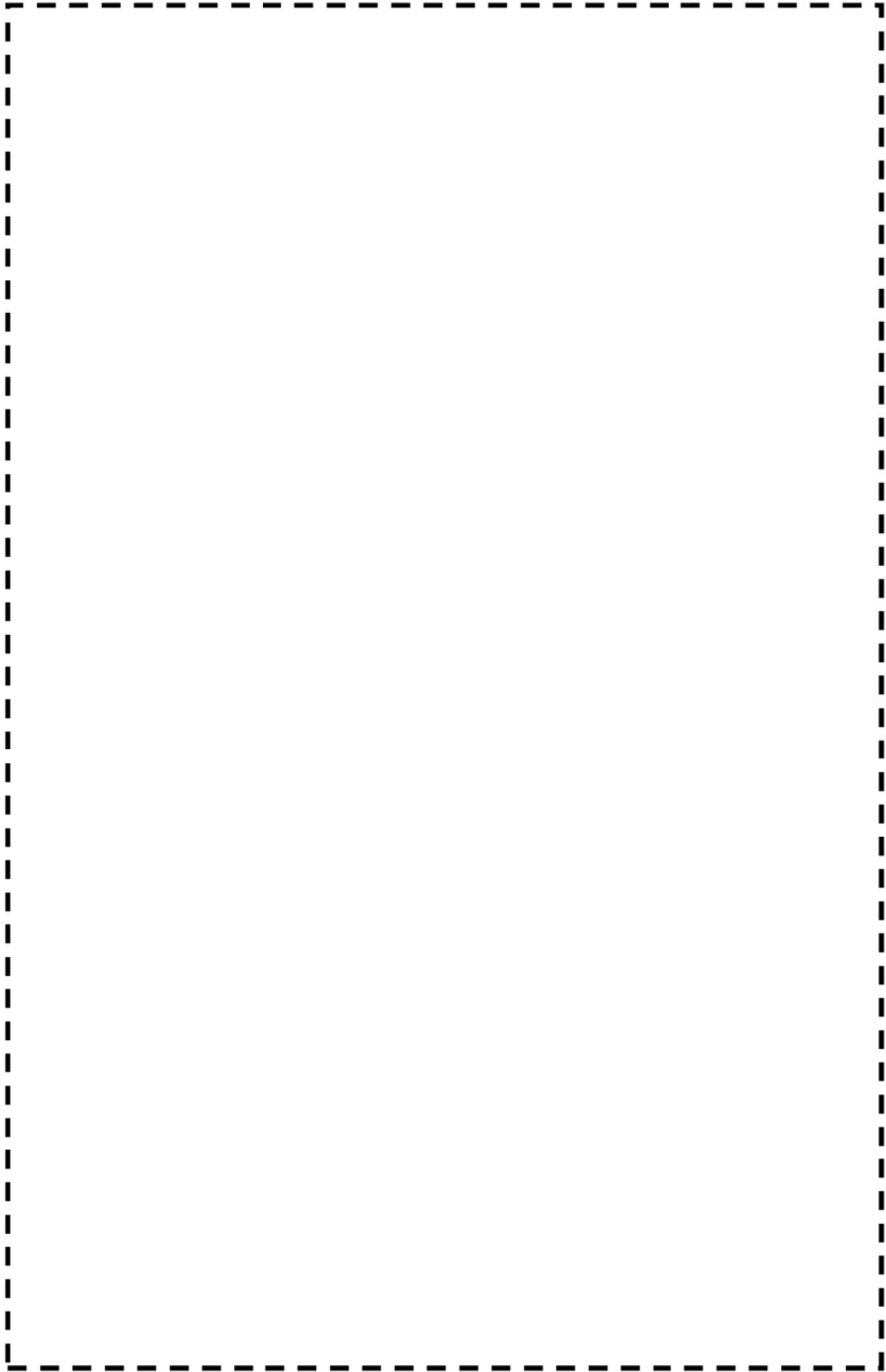
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(B-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

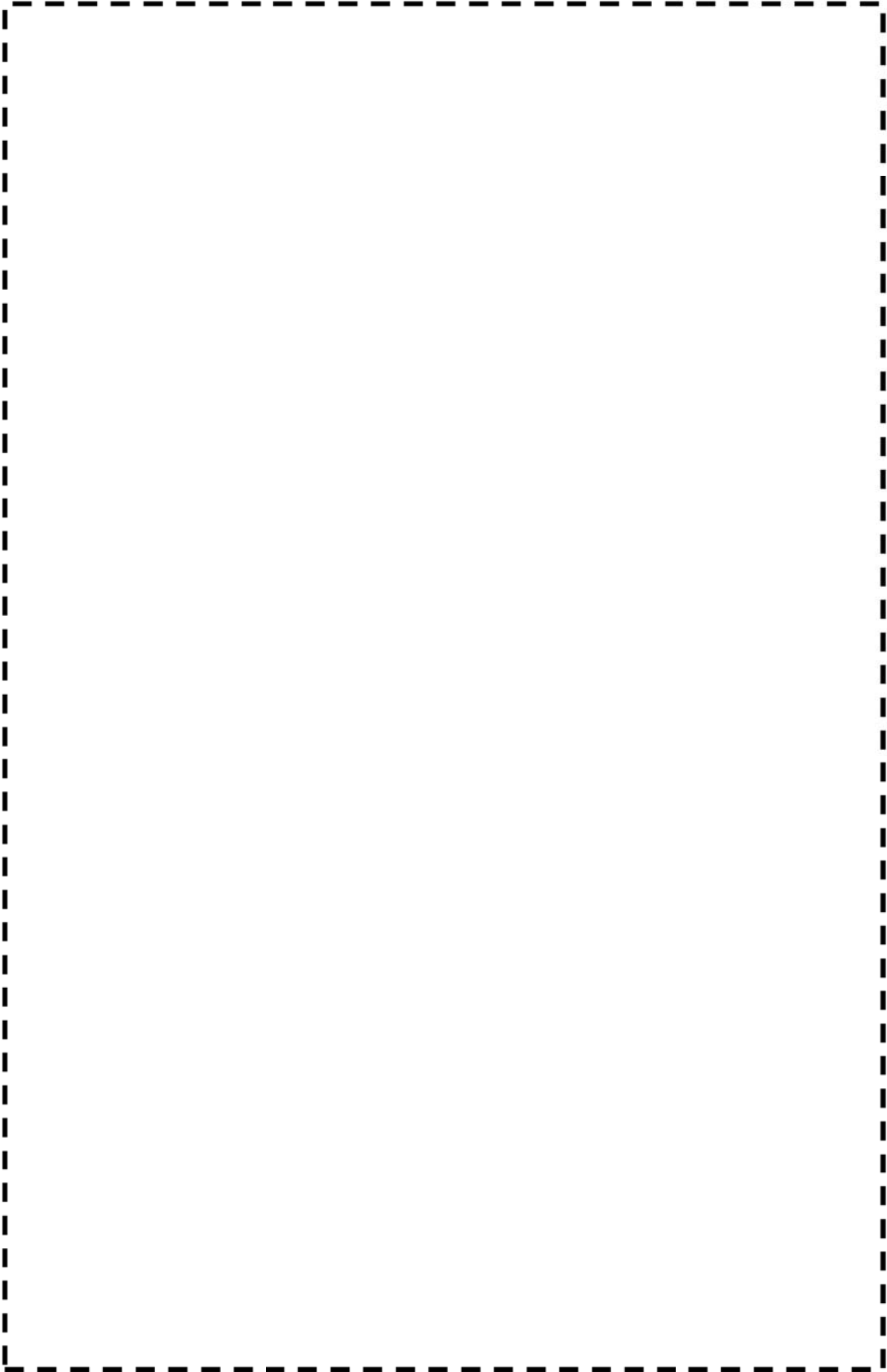
主給水系統配管(A-主給水配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



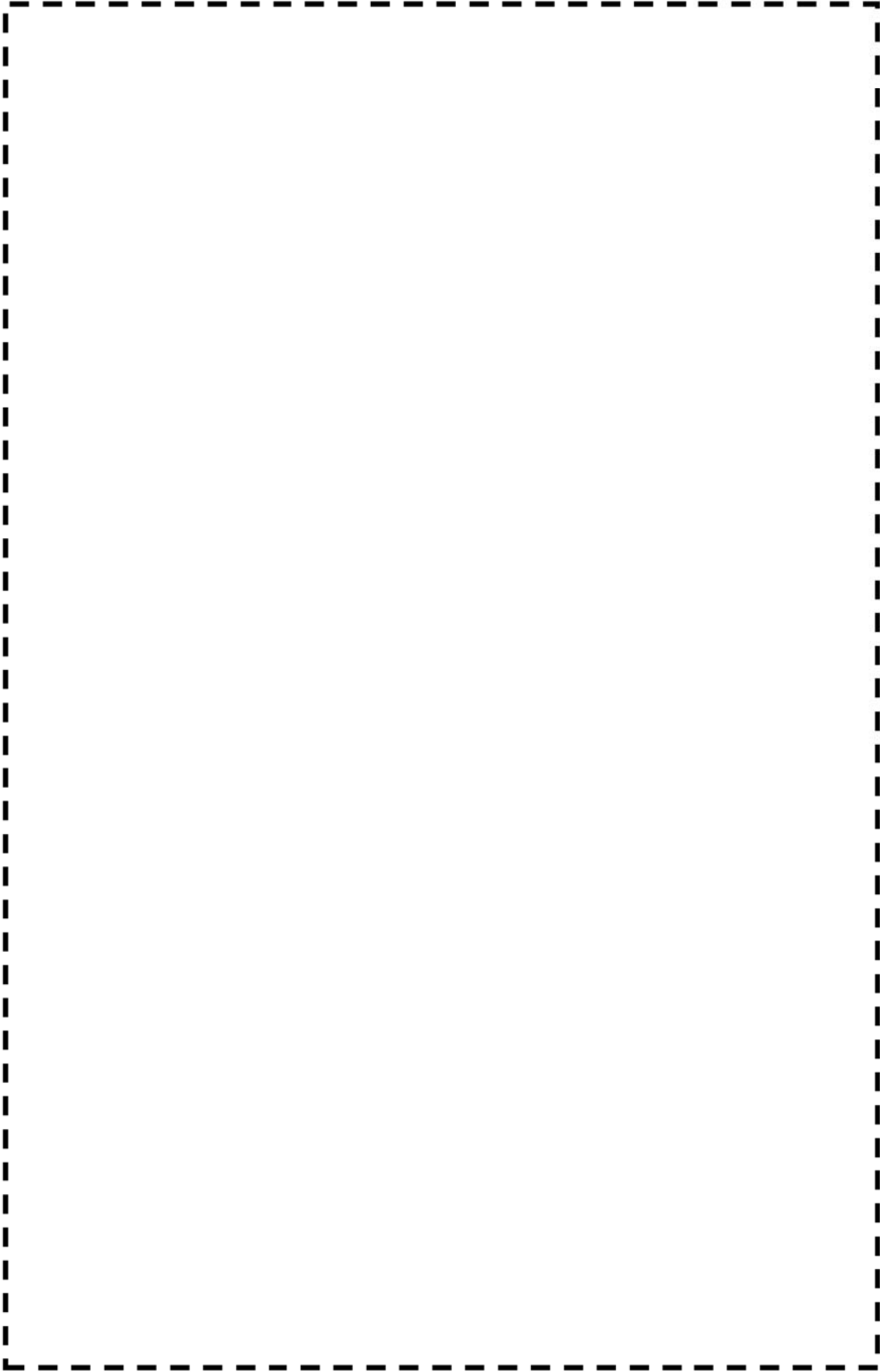
低温再熱蒸気系統配管(低温再熱蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



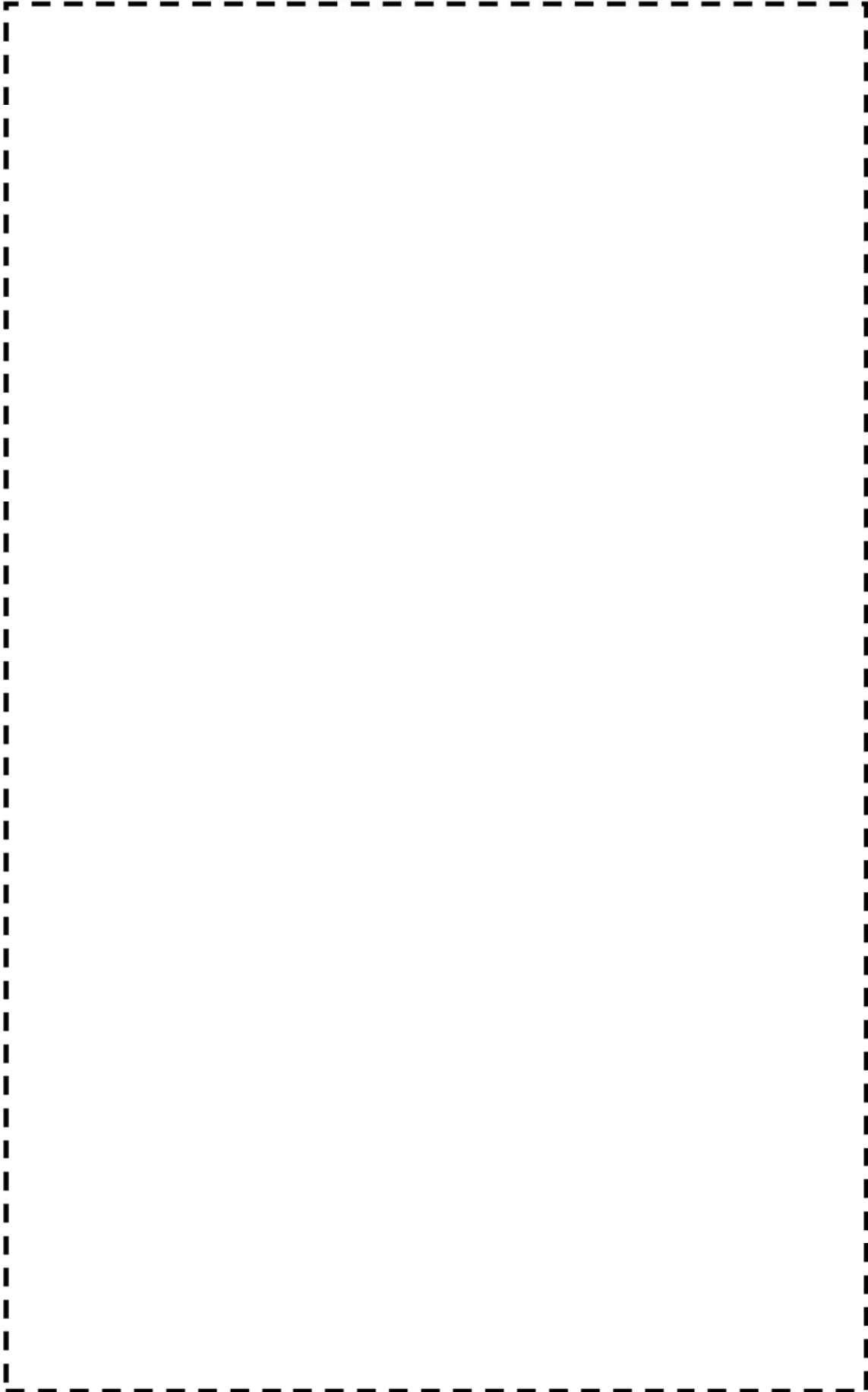
第3抽気系統配管（第3抽気管）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



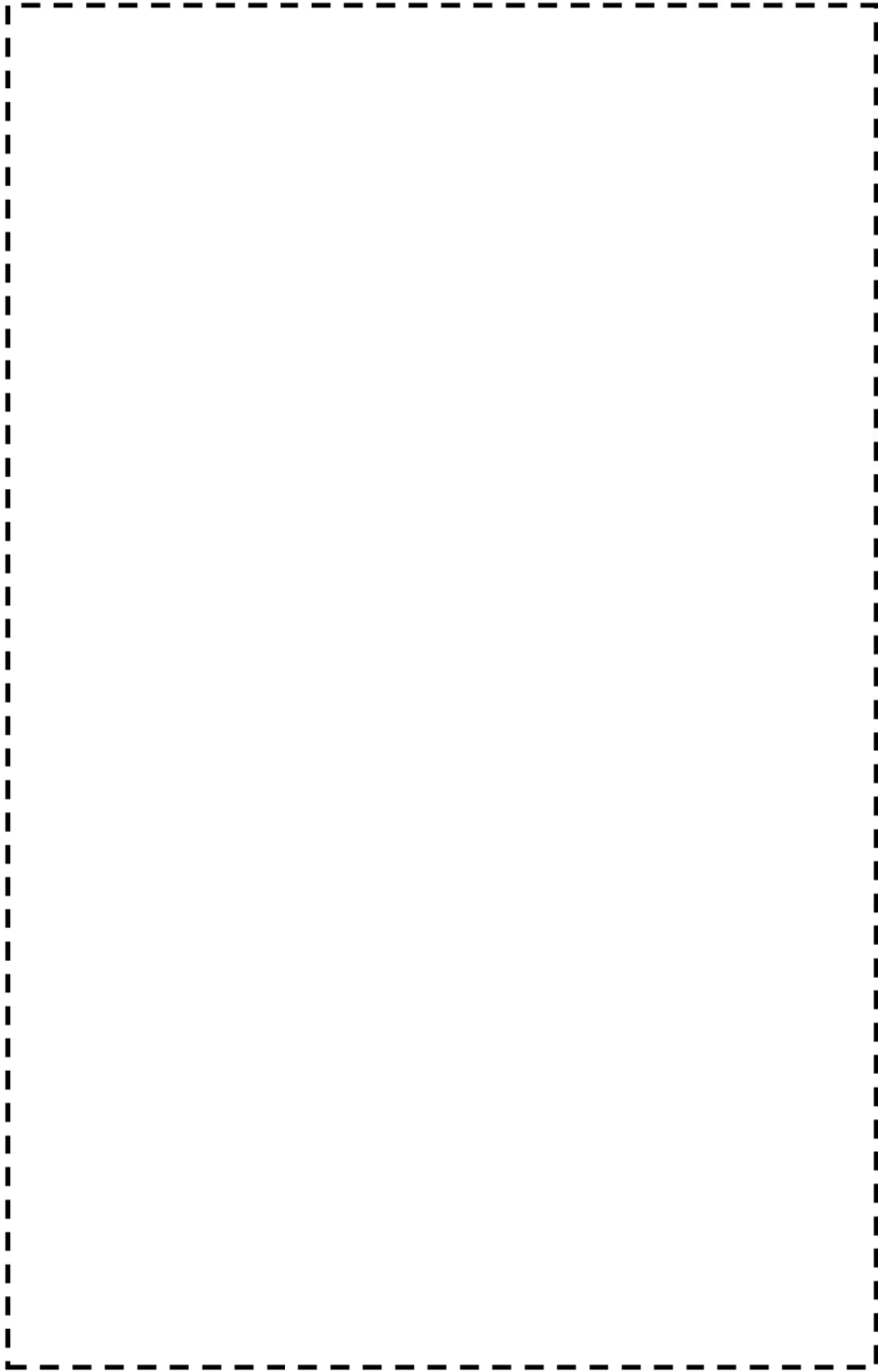
第4抽気系統配管 (第4抽気管 (A))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



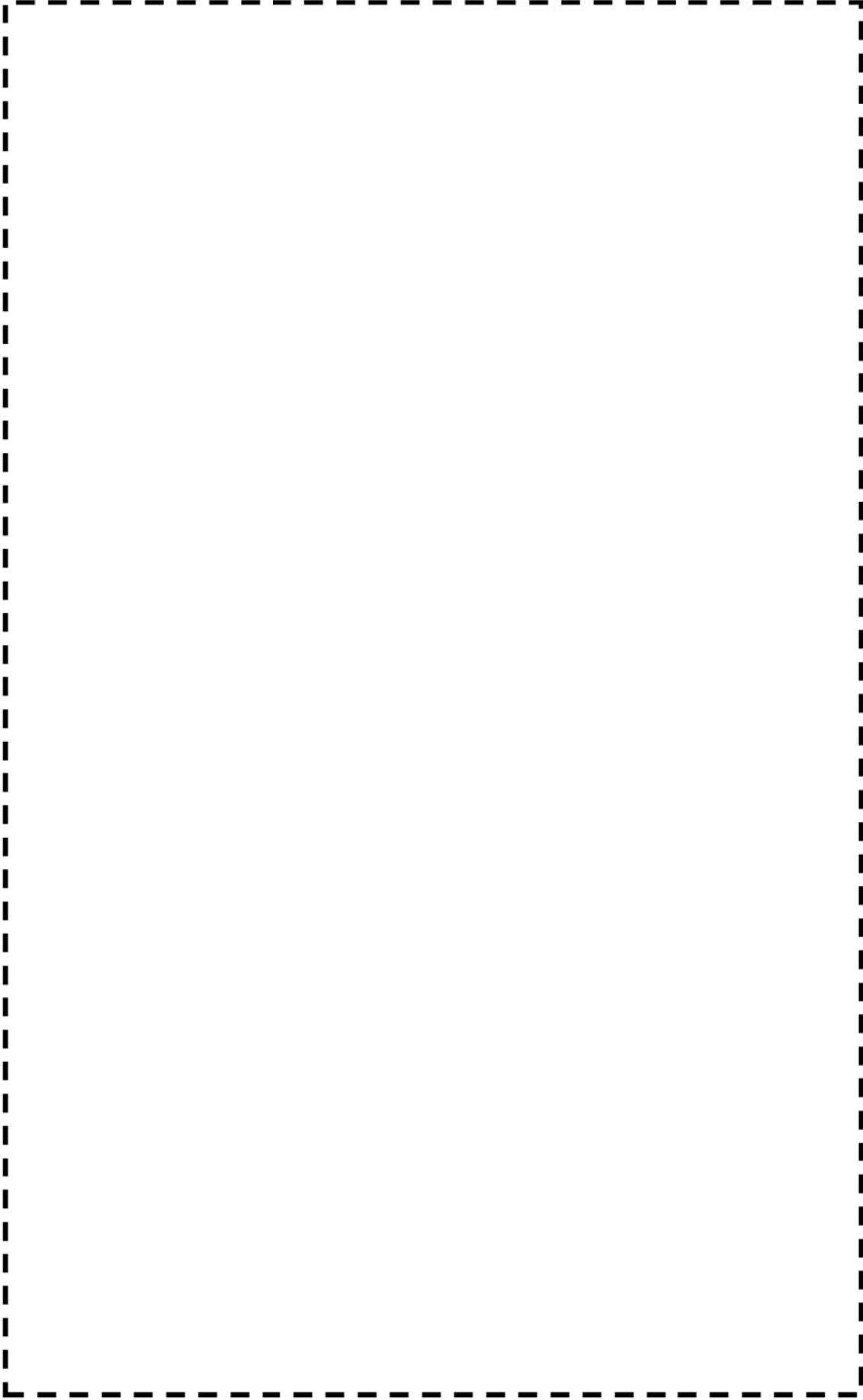
グラウンド蒸気系統配管 (グラウンド蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



復水系統配管（第4 低圧給水加熱器～脱気器）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



ドレン系統配管 (湿分離器ドレンポンプ吐出管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器ブローダウン系統配管(CループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD内) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器ブローダウン系統配管(CループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD内) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| | | |
|-----|--|-------|
| No. | 高浜2-耐震-8 | 分類：共通 |
| 質 問 | <p>第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、復水系統配管及びドレン系統配管の減肉評価の実施時期（運転開始後の年数）、 当該評価に用いた板厚の実測データに係る肉厚測定の実績（各減肉位置の想定板厚と減肉傾向の管理指標（必要最小板厚との差異等）を含む） 及び計画を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>1. 第4抽気系統配管、グラウンド蒸気系統配管、復水系統配管及びドレン系統配管の評価内容について</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（B）」、ドレン系統配管の「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の2ラインについては、60年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施している。また、第4抽気系統配管「第4抽気管（A）」「第4抽気管（C）」、グラウンド蒸気系統配管「グラウンド蒸気管」、復水系統配管の「第4低圧給水加熱器～脱気器」の4ラインについては、50年時点の予測肉厚による減肉状態を想定した実測データに基づく評価を実施している。（他のラインはすべて全箇所tsrでモデル化）</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（B）」の評価に用いた解析モデルを添付-1 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-1 (2/2)に示す。</p> <p>ドレン系統配管「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の評価に用いた解析モデルを添付-2 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位3点（部位②～④）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-2 (2/2)に示す。</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（A）」の評価に用いた解析モデルを添付-3 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-3 (2/2)に示す。</p> <p>第4抽気系統配管「第4抽気管（C）」の評価に用いた解析モデルを添付-4 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-4 (2/2)に示す。</p> <p>グラウンド蒸気系統配管「グラウンド蒸気管」の評価に用いた解析モデルを添付-5 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②，③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-5 (2/2)に示す。</p> | |

復水系統配管「第4 低圧給水加熱器～脱気器」の評価に用いた解析モデルを添付-6 (1/2)に示す。このうち、最も応力比が厳しい箇所となった部位①とその周辺の部位2点（部位②, ③）について、評価に用いた実測データに基づく板厚及びその算出過程を添付-6 (2/2)に示す。

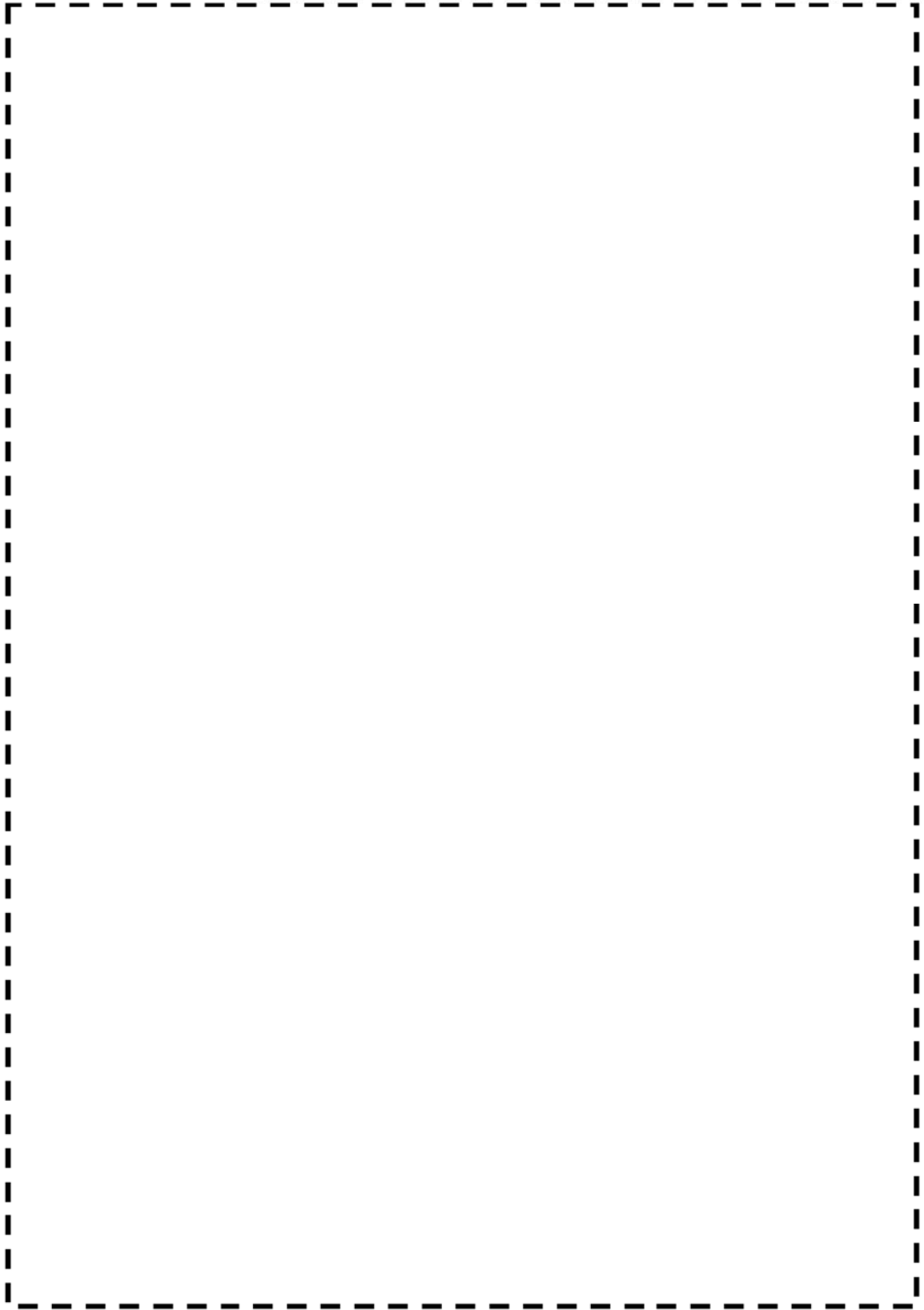
2. 肉厚測定計画について

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

添付-7に下記のスケルトン図（1/8～4/8）および測定計画（5/8～8/8）を示す。（第27回定検の前の計画であり、第27回定検での測定結果によって測定計画の修正を行うことになる）。

第4 抽気系統配管 : 「第4 抽気管」
ドレン系統配管 : 「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」
復水系統配管 : 「主復水管 (4/4) 第4ヒータ～脱気器」
グラウンド蒸気系統配管 : 「タービングラウンド蒸気管」

以 上



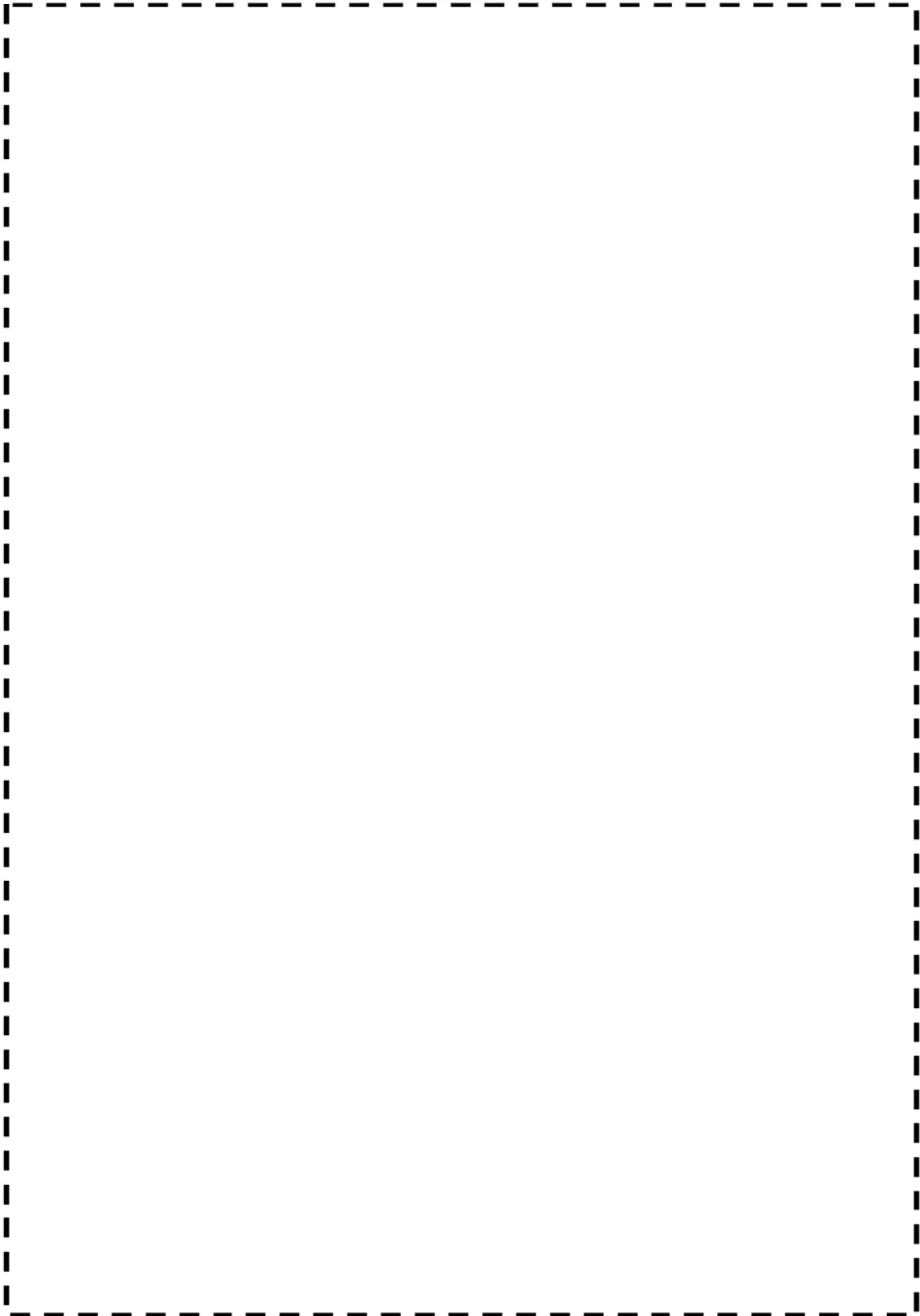
第4抽気系統配管（第4抽気管（B））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

| 部位 | 肉厚(呼び厚さ) (mm) | 必要最小肉厚 (mm) | 最新測定時期 (運転開始後時間(hr)) | 最新測定厚さ (mm) | 減肉率 ($\times 10^{-3}$ mm/hr) | 最新測定-60年の時間 (hr) | 最新測定-60年の減肉量 (mm) | 60年時点の肉厚 (評価条件) (mm) | 備考 |
|----|------------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----|
| ① | 母管側 | | | | | | | | |
| | 枝管側 | | | | | | | | |
| ② | | | | | | | | | |
| ③ | | | | | | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



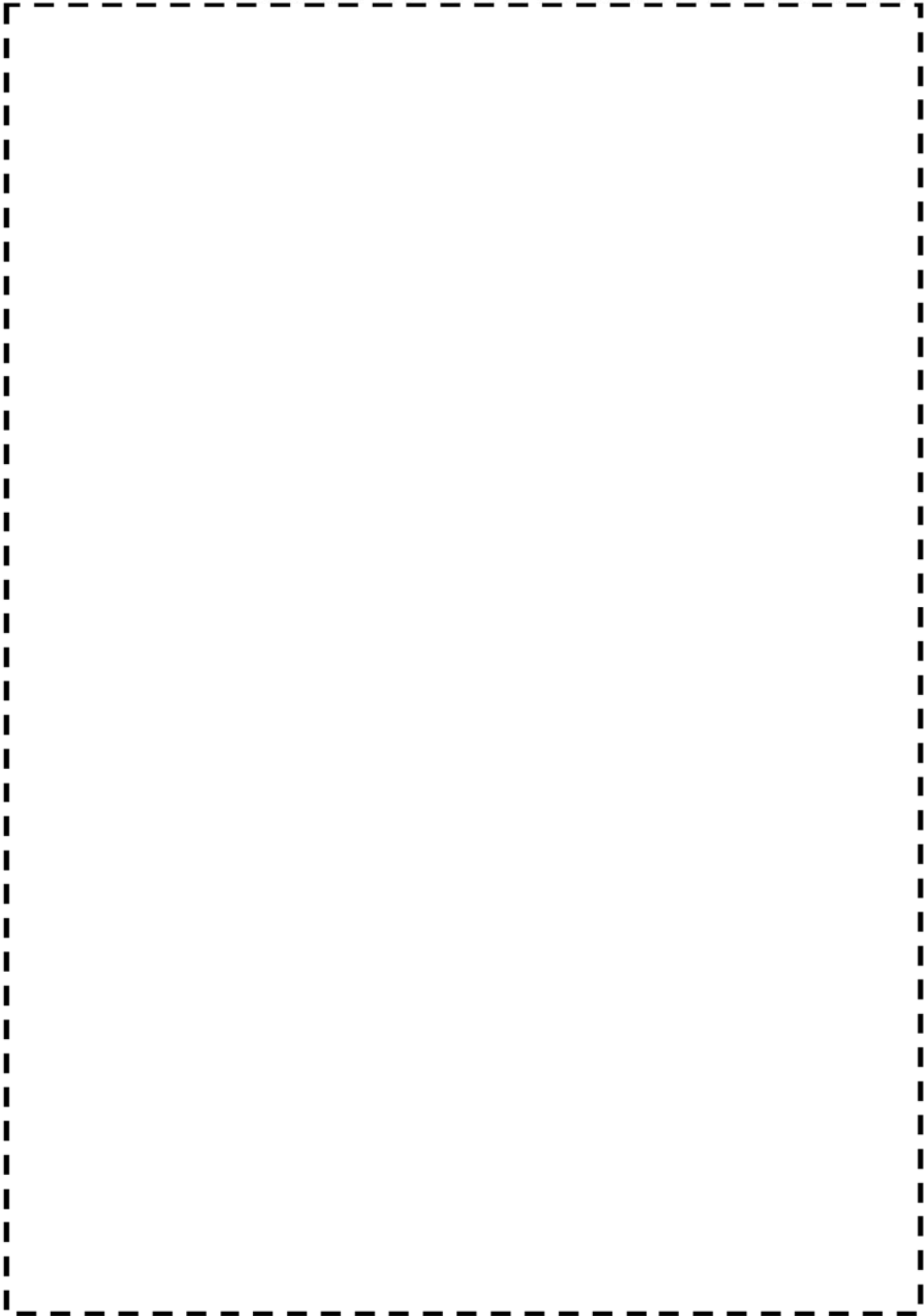
ドレン系統配管（湿分分離器ドレンポンプ吐出管）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管（湿分分離器ドレンポンプ吐出管）部位①～④
 の実測データに基づく肉厚算出過程

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第4抽気系統配管（第4抽気管（A））

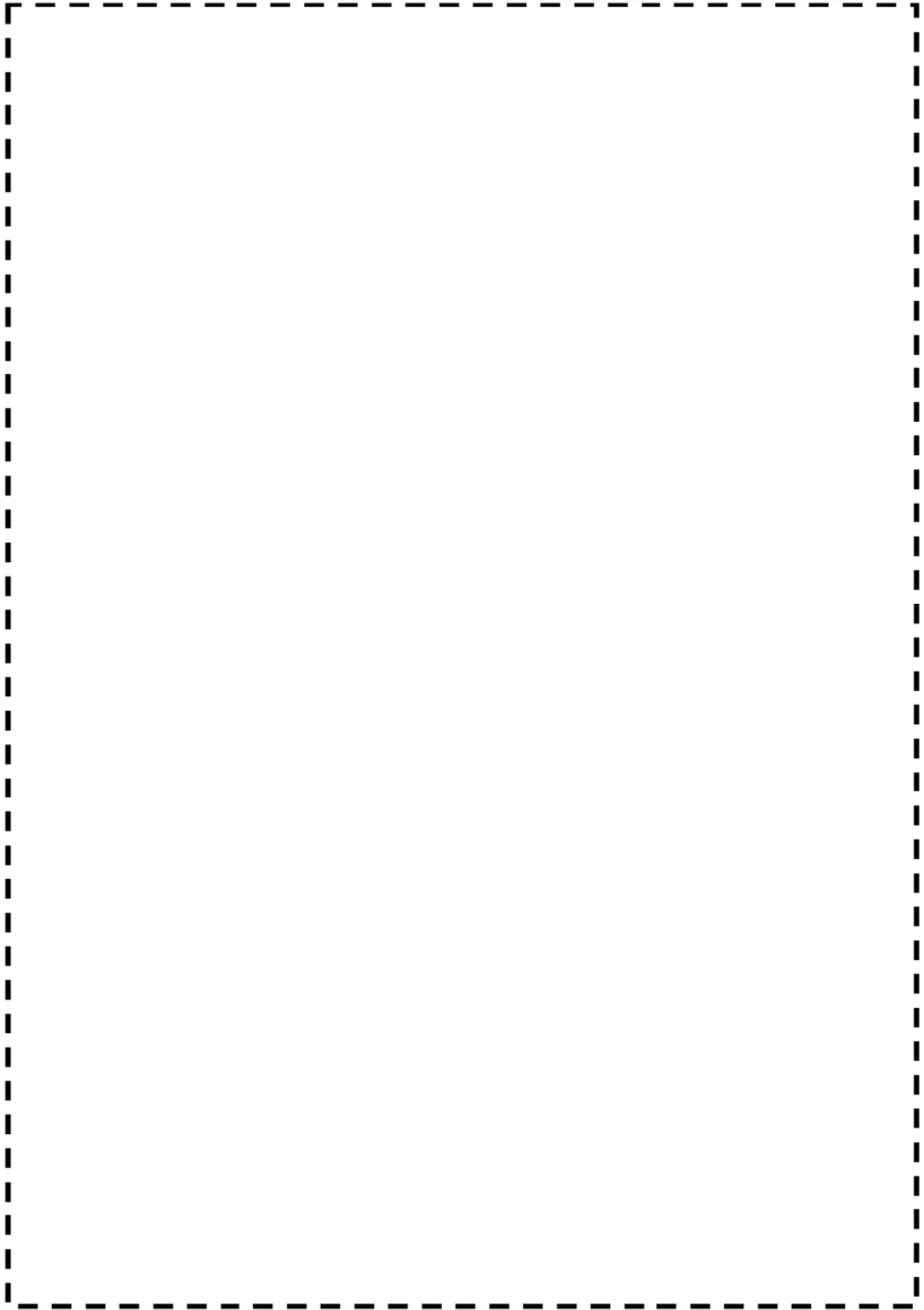
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

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



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第4抽気系統配管（第4抽気管（C））

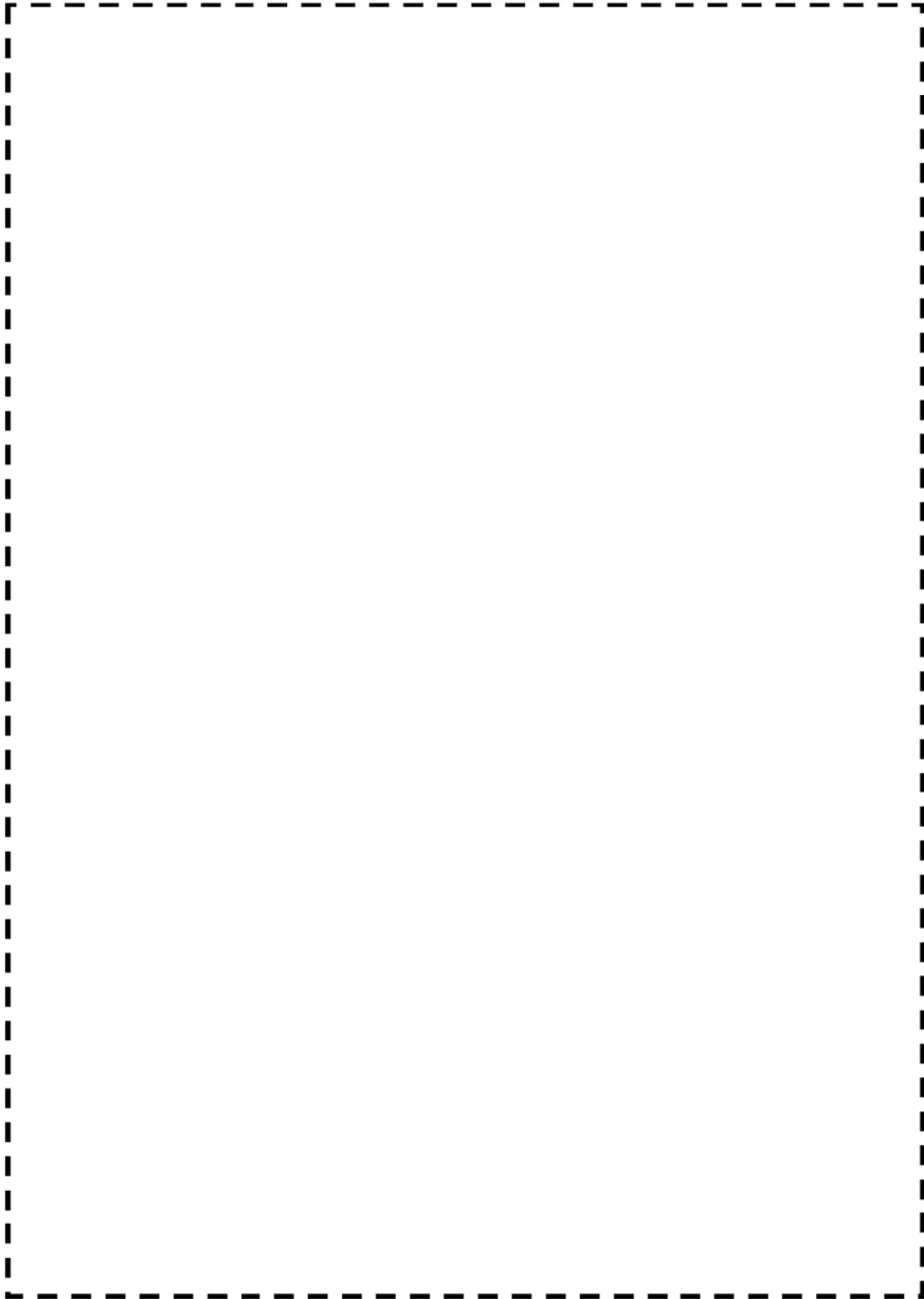
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



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

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



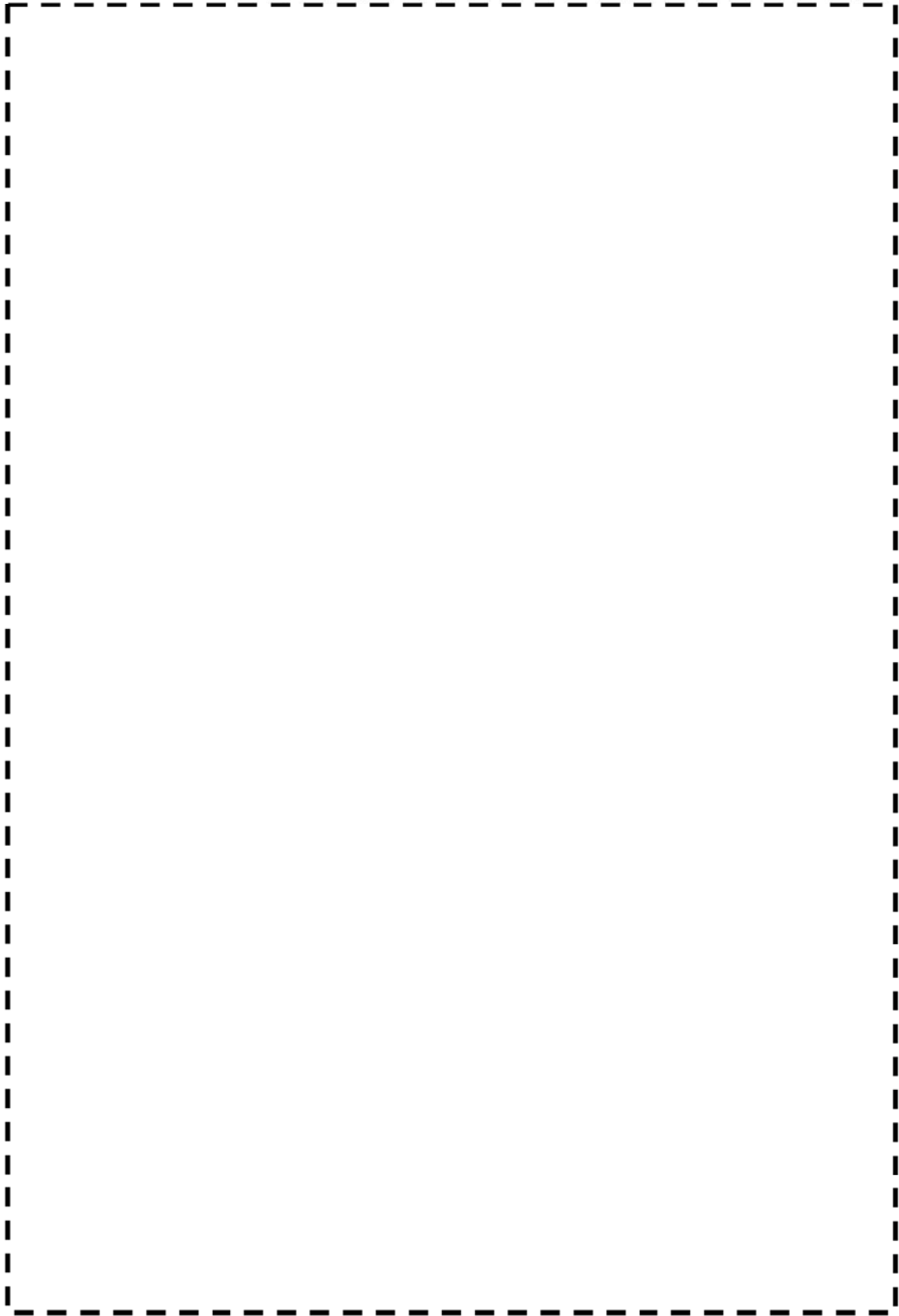
グラント蒸気系統配管 (グラント蒸気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラウンド蒸気系統配管（グラウンド蒸気管）部位①～③
 の実測データに基づく肉厚算出過程

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



復水系統配管（第4低圧給水加熱器～脱気器）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

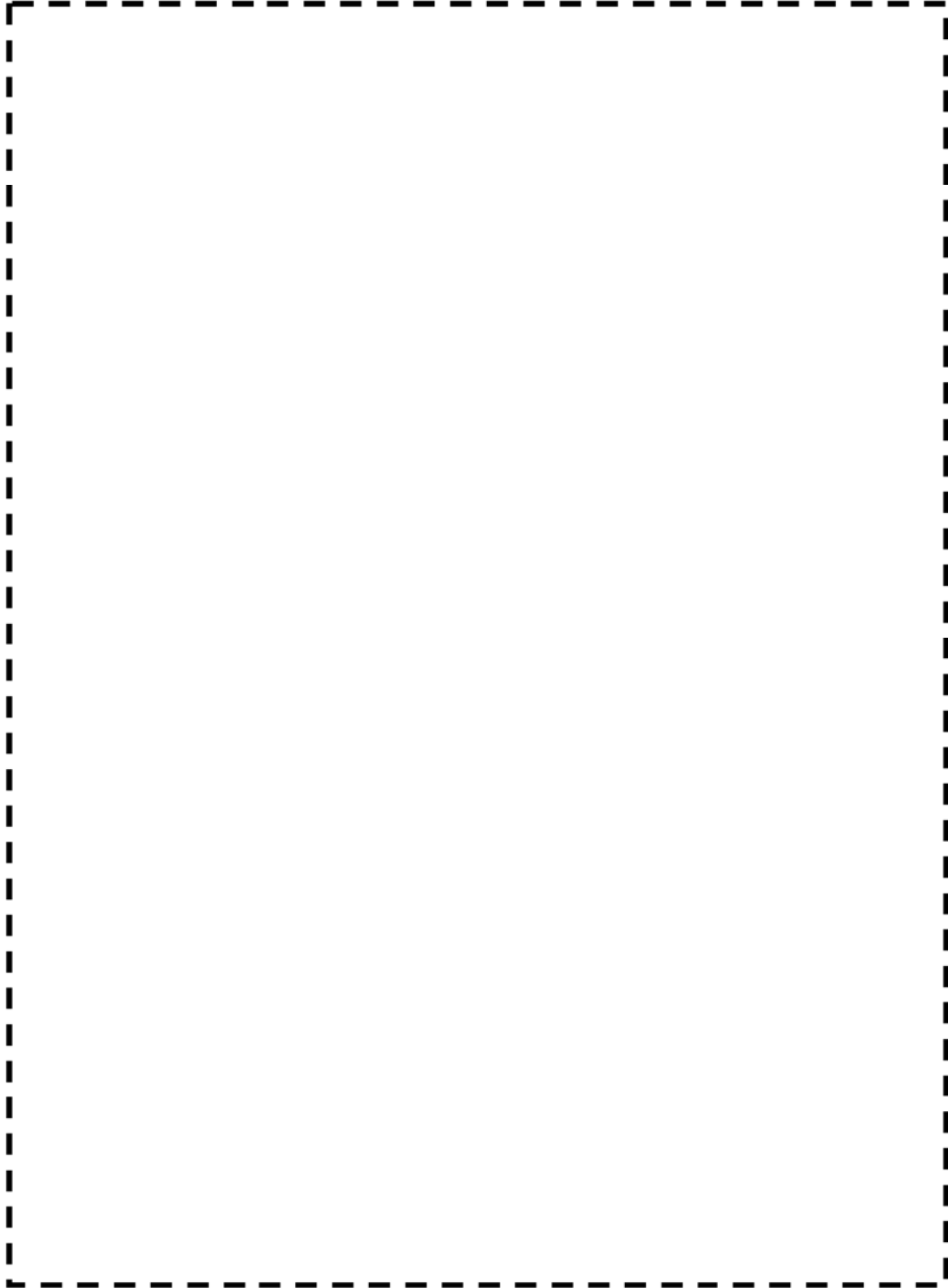
復水系統配管（第4 低圧給水加熱器～脱気器）部位①～③ の実測データに基づく
肉厚算出過程

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第4抽気管（A，B，C）」の肉厚測定について

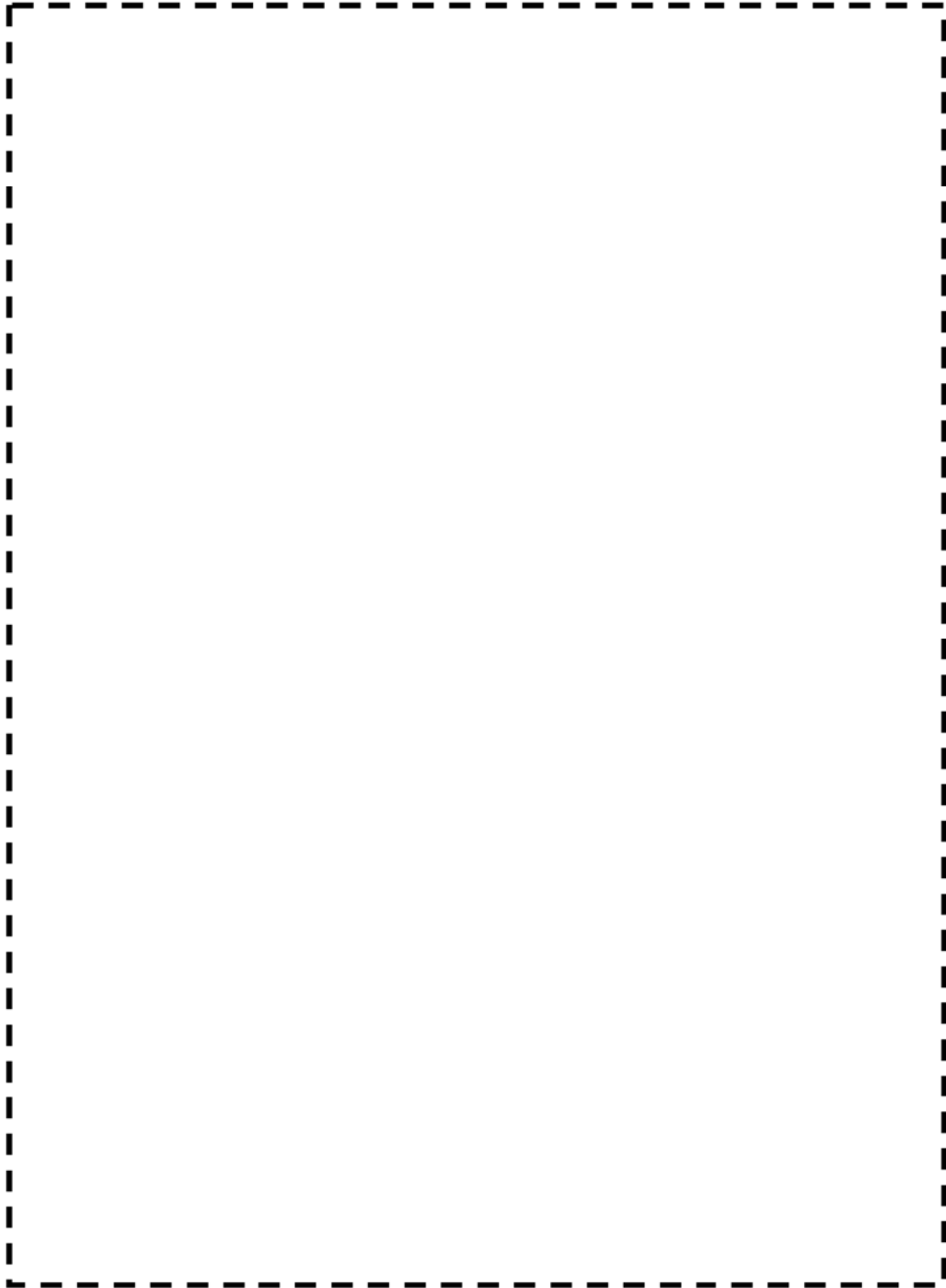
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「湿分分離器ドレンポンプ吐出管」の肉厚測定について

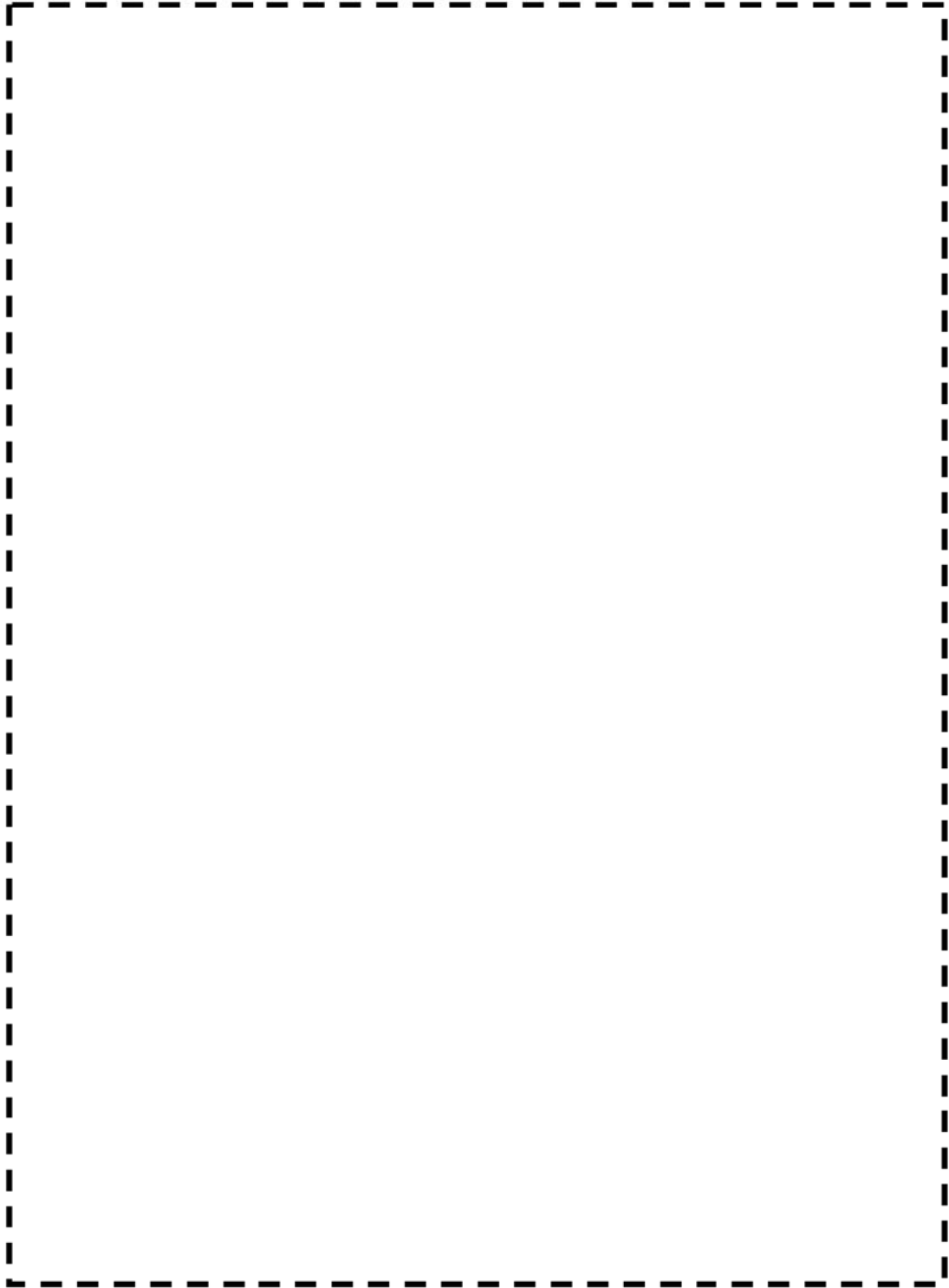
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「グラウンド蒸気管」の肉厚測定について

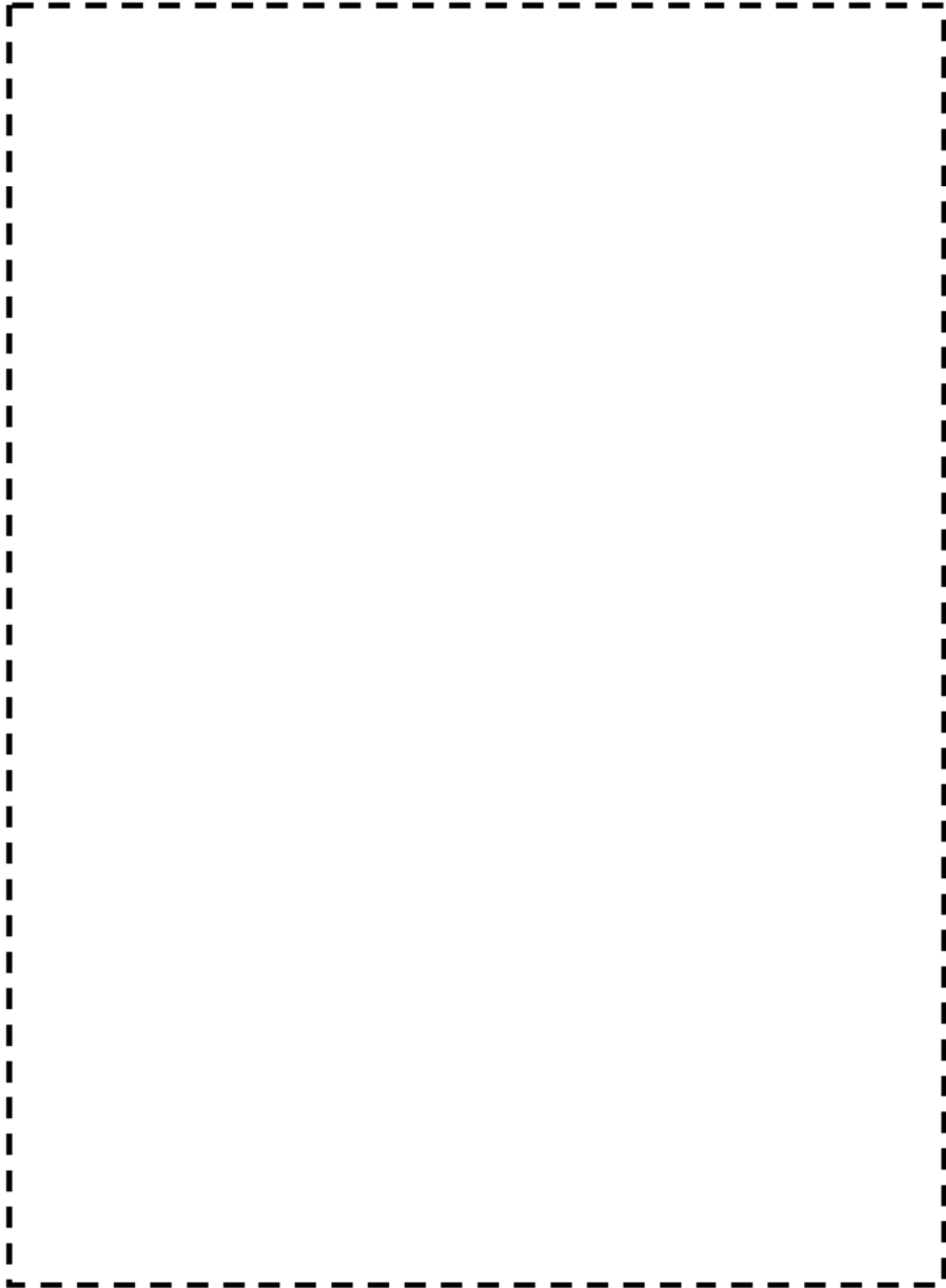
【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「第4 低圧給水加熱器～脱気器」の肉厚測定について

【スケルトン図と部位番号】



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【各部位の測定計画】 グランド蒸気系統配管：「タービングランド蒸気管」

| タービングランド蒸気管 | | | | | 計測データ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| タービン 名称 | タービン 番号 | タービン 位置 | タービン 種別 | タービン 出力 | 計測 項目 | 計測 位置 | 計測 時期 | 計測 回数 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | 計測 結果 | |
| <div style="border: 2px solid black; height: 800px; width: 100%;"></div> | | | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| | | |
|-----|---|-------|
| No. | 高浜2-耐震-11 | 事象：耐震 |
| 質 問 | <p>(別冊-16耐震-3.14機械設備-3.14.70頁) 表3.14.8-1の燃料取替用水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容(評価仕様、解析モデル、入力(荷重)条件、評価結果を含む)を提示すること。</p> | |
| 回 答 | <p>燃料取替用水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について添付に示す。</p> <p>(1) 燃料取替用水タンク : 添付-1</p> | |

(1) 燃料取替用水タンク
 <評価仕様>

表1-1 評価に必要な諸元

| 名称 | 記号 | 単位 | 値 | |
|---------------------|------------|----|-----|-------------|
| 最高使用圧力 | — | — | 大気圧 | |
| 最高使用温度 | — | ℃ | 95 | |
| 容器の満水時重量 | m_0 | kg | | |
| 容器の空質量 | m_e | kg | | |
| タンク全高 | H | mm | | |
| タンク内径 | D_i | mm | | |
| 自由液面高さ | h | mm | | |
| 縦弾性係数比 | s | — | | |
| 基礎ボルト本数 | n | — | | |
| 基礎ボルトのピッチ円直径 | D_c | mm | | |
| ベースプレート外径 | D_{b_o} | mm | | |
| ベースプレート内径 | D_{b_i} | mm | | |
| 基礎ボルト呼び径 | d | — | | |
| 基礎ボルト 腐食量 | — | mm | | 0.3 (直径0.6) |
| 基礎ボルト材質 | — | — | | |
| 評価用加速度(水平) : 図2参照 | C_H | G | | |
| 評価用加速度(鉛直) | C_V | G | | |
| スロッシング評価用加速度 : 図2参照 | C''_{DH} | G | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点計応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を行っています。

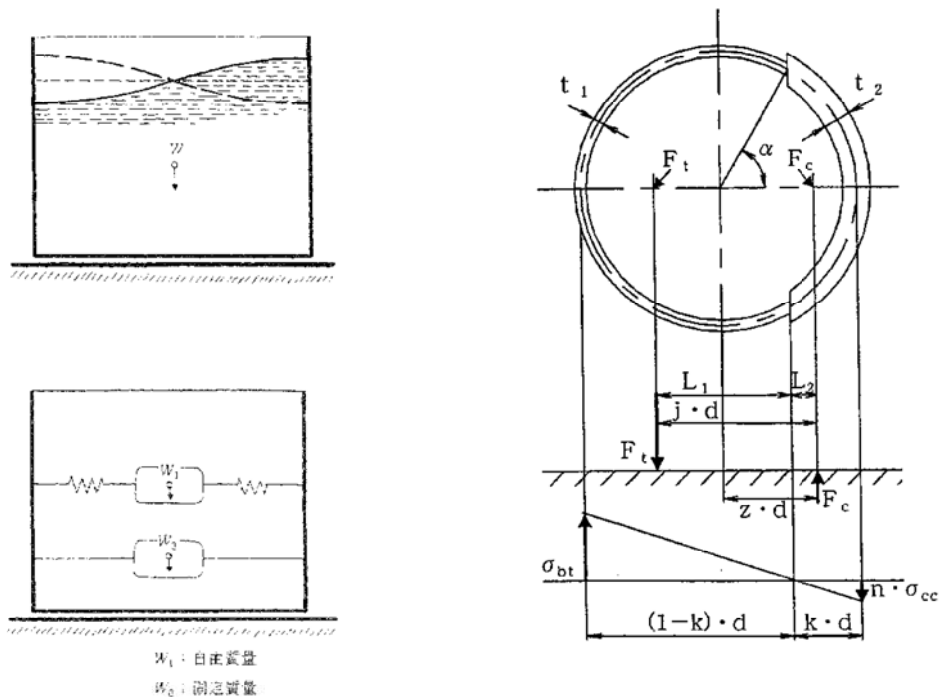


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価しています。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} =$$

$$h' = 1.5R =$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s =$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} =$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_o' は、

$$W_o' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' =$$

$$h'' = h - h' =$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} =$$

全等価重量 W_o は、

$$W_o = W_o' + W'' + m_e + W_s =$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_o = C_H \cdot g \cdot W_o =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

a. 振動力を加味した W_w の等価重量 W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega}$$

c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は、 T' ですが、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要があります。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \text{ となります。ここで、} \omega = 2\pi/T \text{ (} T: \text{固有周期)}$$

図4の床応答曲線より、固有周期 $1(s)$ の時の応答加速度 C''_{DH} は、 C''_{DH} であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH}$$

スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとしたうえ、安全側にスロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g$$

d. 最大変位 A_1 及び自由振動角度 θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2}$$

$$\theta_h = 1.534 \frac{A_1}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)$$

e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3.3 応力の計算 (記号の定義は、JEAG4601-1987によります。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$= \frac{M - m_0(g - a_v)z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

ここで、 $M = M_0 + M_1 =$

$$a_v = C_v \cdot g =$$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_3}{X_4} \right\}$$

$X_1 =$

$X_2 =$

$X_3 =$

$X_4 =$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{X_5}{X_6} \right] + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \right\}$$

$$X_6 = \sin \left[\frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \right]$$

$$C_t = \frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_c = \frac{2 (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

$$F_t = \frac{M - m_0 (g - a_v) z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_0 (g - a_v)$$

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t}$$

(小数第1位以下を切り上げ)

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} (D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_z = \frac{\pi}{4} \times \boxed{}$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n} = \frac{\boxed{}}{\boxed{} \cdot \boxed{}} = \boxed{} \text{ (小数第1位以下を切り上げ)}$$

$$F_H = a_H \cdot m_0 = C_H \cdot g \cdot m_0 = \boxed{}$$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表となります。

| 応力 | 減肉前 | | | 減肉後 | | |
|-----|------------|-----------|------|-------------|-----------|------|
| | 発生応力 (MPa) | 許容値 (MPa) | 応力比 | 発生応力* (MPa) | 許容値 (MPa) | 応力比 |
| 引張 | | | 0.67 | | | 0.70 |
| せん断 | | | 0.41 | | | 0.42 |

*減肉後の発生応力については、次式より求めます。

減肉前の発生応力 \times $\frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \boxed{}}{\frac{\pi}{4} \times \boxed{} - 0.3 \times 2^2}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \frac{F}{A} \quad (\text{MPa})$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \frac{F}{A} \quad (\text{MPa})$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min} \left[\frac{F}{A} \right] \quad (\text{MPa})$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \frac{F}{2} \quad (\text{MPa})$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \frac{F}{2} \quad (\text{MPa})$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \quad (\text{MPa})$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5f_s^* = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \quad (\text{MPa})$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \frac{F}{A} \quad (\text{MPa})$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \frac{F}{2} - 1.6 \times \frac{F}{A} \quad (\text{MPa})$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min} \left[\frac{F}{2} \right] \quad (\text{MPa})$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

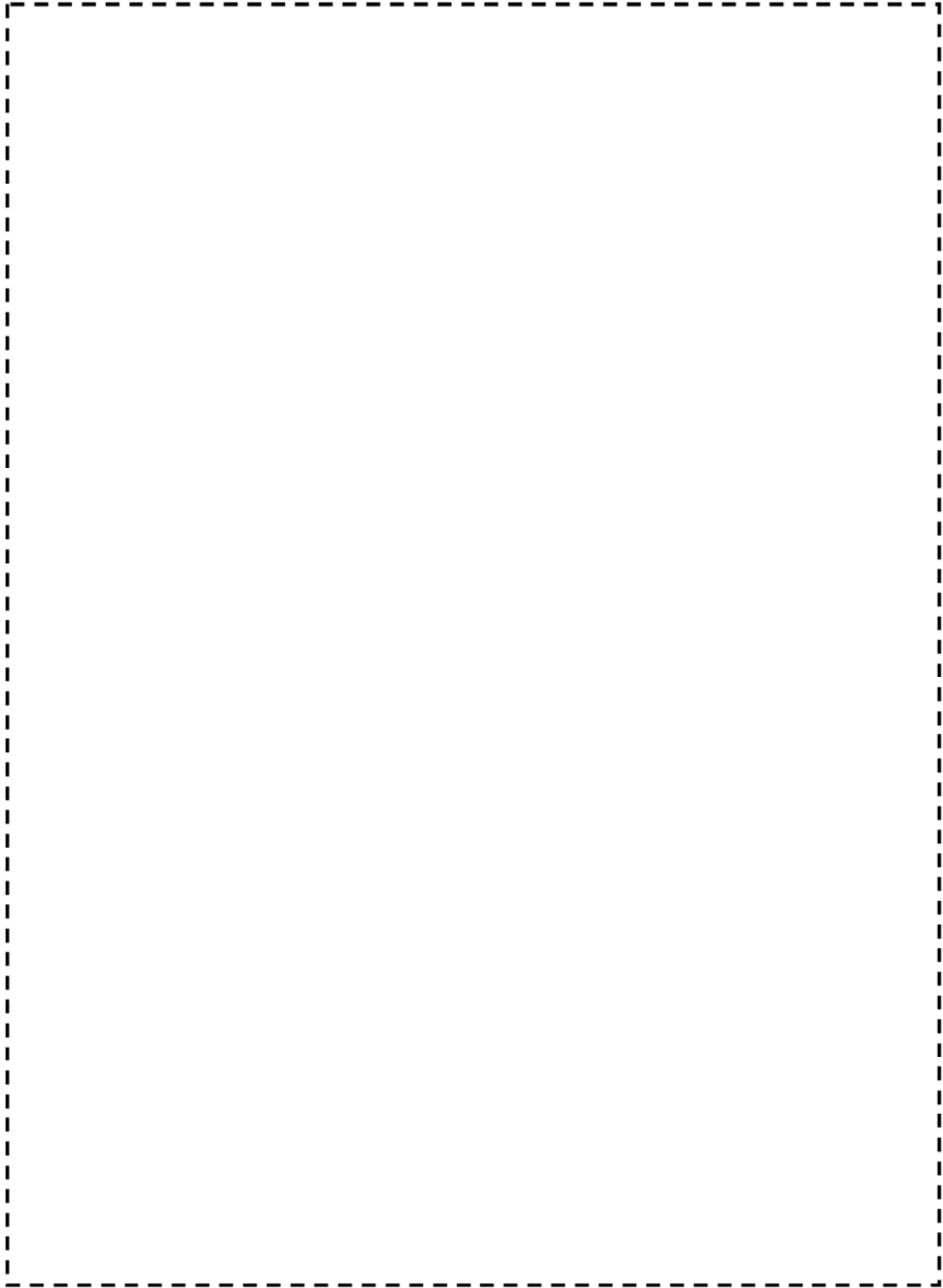


図2 燃料取替用水タンク 床応答曲線（水平方向）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

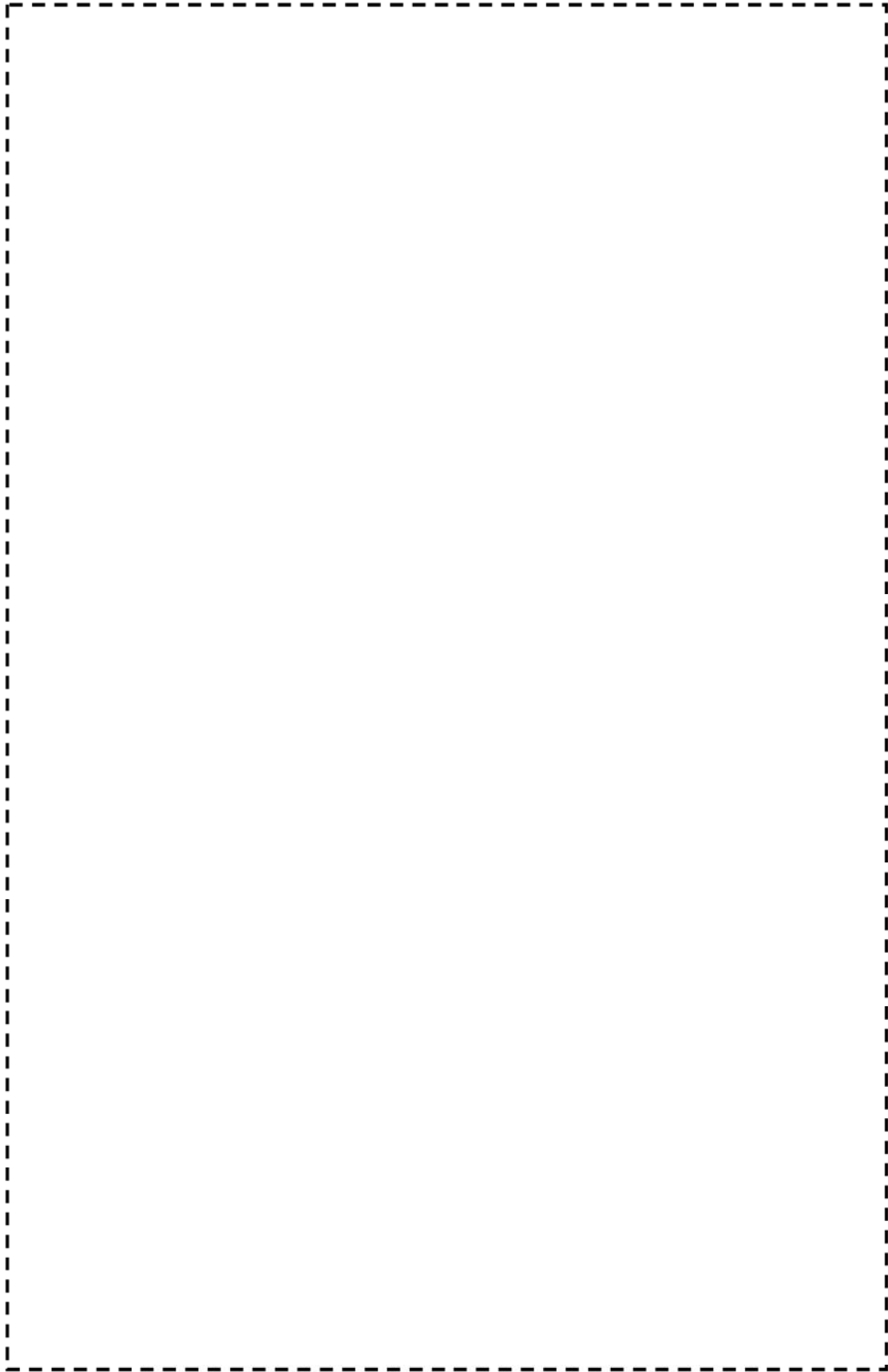


図3 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

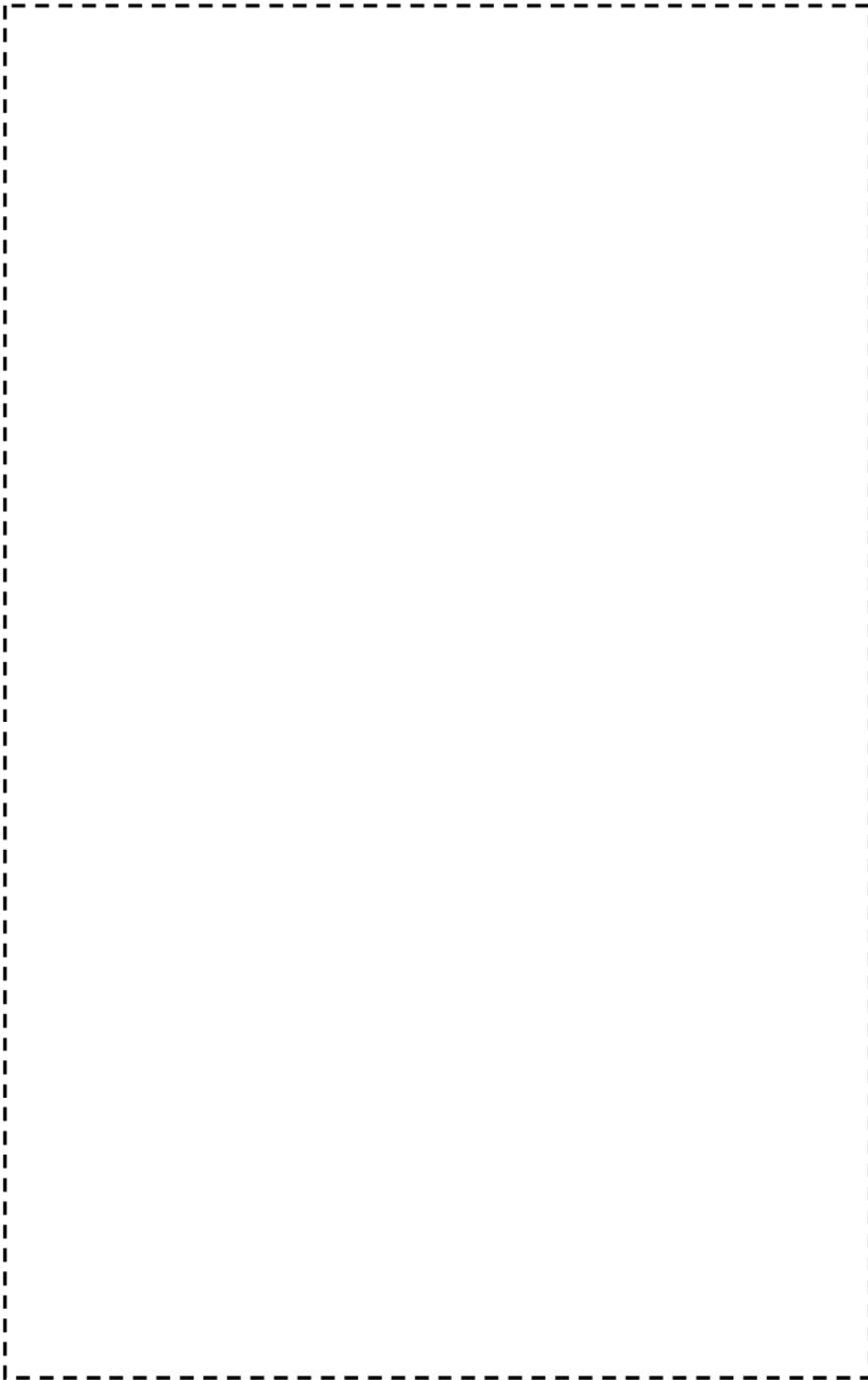
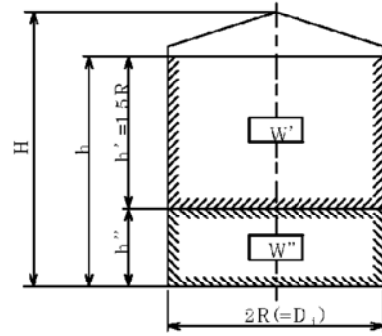


図4 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

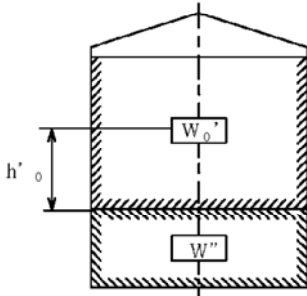
別図

燃料取替用水タンクの基礎ボルト評価に使う 質量・高さ・径の説明図



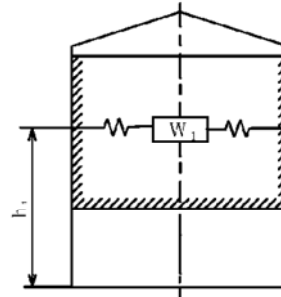
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D_1 : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

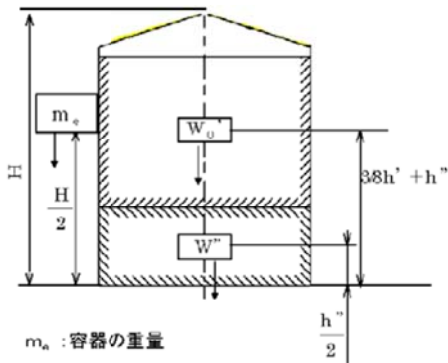


- W_0' : 衝撃力を考慮した W' の等価質量
- $h'0$: W_0' の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W_1 : 揺動力を考慮した W' の等価質量
- h_1 : W_1 の等価着力点の高さ



- m_a : 容器の重量
- W_s : 積雪重量
- W_0 : 衝撃力を考慮した全等価質量
($W_0 = W_0' + W'' + m_a + W_s$)

| No. | 高浜 2 - 40年目追加評価 - 3 | 事象：劣化傾向の評価 | | | | | | | | | | | |
|--------|---|------------------|----|-----------|--|-------|-------|--------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|
| 質 問 | <p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) 給水入口管台及び管板廻りについて、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>蒸気発生器の給水入口管台及び管板廻りの低サイクル疲労評価について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 蒸気発生器疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 902 1249 1171"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>0.041 (0.286)</td> <td>0.102 (0.658)</td> </tr> <tr> <td>管板廻り</td> <td>0.372 (0.105)</td> <td>0.115 (0.102)</td> </tr> </tbody> </table> <p>上段は大気中の疲労累積係数（以下Uf値） ()内は接液環境中の疲労累積係数（以下Uen値）</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【給水入口管台（大気中）】 PLM30とPLM40で給水管台の構造は同一であるが、PLM30では各評価点の応力を不静定解析モデルを用いて評価しており、PLM40ではFEMを用いて応力を評価している。このためPLM30とPLM40では解析方法に差があるためUf値に差が生じたものである。</p> <p>【給水入口管台（接液環境中）】 接液環境中の評価は、PLM30、PLM40ともに熱成層の発生を考慮した評価を行っているが、熱成層による影響が厳しいと考える評価した点が異なるためUen値に差が生じる結果となっている。PLM30では過去のトラブル事例（海外プラント）から、評価部位を決定したのに対して、PLM40では応力解析の結果から熱成層による影響が厳しい評価点を決定したためである。</p> <p>【管板廻り】 PLM30とPLM40で管板廻りの構造は同一であるが、PLM30では各評価点の応力を不静定解析モデルを用いて評価しており、PLM40ではFEMを用いて応力を評価している。このためPLM30とPLM40では解析方法に差があるためUf値、Uen値に差が生じたものである。</p> | | 部位 | 60年時点の予測値 | | PLM30 | PLM40 | 給水入口管台 | 0.041 (0.286) | 0.102 (0.658) | 管板廻り | 0.372 (0.105) | 0.115 (0.102) |
| 部位 | 60年時点の予測値 | | | | | | | | | | | | |
| | PLM30 | PLM40 | | | | | | | | | | | |
| 給水入口管台 | 0.041 (0.286) | 0.102 (0.658) | | | | | | | | | | | |
| 管板廻り | 0.372 (0.105) | 0.115 (0.102) | | | | | | | | | | | |

PLM40では、解析技術の向上を踏まえて、最新の設計方法と同様に精度がより高い方法を用いて評価した結果（給水管台の U_f 、管板廻り）、あるいは、過去の高経年化技術評価の審査結果を踏まえて、より保守的な評価点に見直しを行った結果（給水管台の U_{en} ）であり、適切な評価であると考えている。

添付 1 に給水管台のPLM30とPLM40の評価の違いを示す。
添付 2 に管板廻りのPLM30とPLM40の評価の違いを示す。

蒸気発生器疲労評価におけるPLM30とPLM40の違いについて（給水管台）

【大気中の疲労評価】

PLM30の給水入口管台の構造モデルを図1、PLM40の給水入口管台の構造モデルを図2に示す。PLM30では構造を単純幾何形状に分割し、境界面の不静定力を算出して各形状における応力を算出し、構造不連続部は応力集中係数を掛けてピーク応力を算出している。一方でPLM40では構造をFEMでモデル化して応力解析を実施しており、直接ピーク応力を算出している。このため応力解析結果が異なっている。

表2にPLM30とPLM40との類似評価点におけるUf値の比較を示す。

表2 各評価点におけるUf値の比較（給水管台）

| PLM30 | | PLM40 | |
|-------|----|-------|----|
| 評価点 | Uf | 評価点 | Uf |
| 1 | | 1 | |
| 2 | | 2 | |
| 3 | | 5 | |
| 4 | | 6 | |
| 7 | | 9L | |
| | | 9C | |
| 8 | | 10L | |
| | | 10C | |
| 9L | | 13L | |
| 9C | | 13C | |
| 10L | | 14L | |
| 10C | | 14C | |

赤字はUf最大となった評価点の値

Uf値で比較をすると、各評価点でばらつきはあるものの、大きな差異は生じておらず、応力解析方法の違いによるものと考えられる。

【接液環境中の疲労評価】

給水入口管台の接液環境中の評価は、PLM30, PLM40ともに熱成層を考慮しており、熱成層を考慮する過渡（冷水注入）に対しては3次元FEMモデルで行っている。

PLM30とPLM40で熱成層を考慮したFEMモデルはほぼ同じであるが、評価点が異なっておりそのためにUen値が異なる結果となっている。

これは、PLM30では熱成層を考慮した環境疲労評価部位として、海外プラントでトラブルが発生した給水管台先端部を評価点としたのに対し、PLM40では本解析にて熱成層による応力の影響が最も厳しくなる部位を評価点としたものであり、評価方針が異なるためである。

PLM40では熱成層による応力を含めてUen値が厳しくなる部位を適切に評価できた結果、Uen値が高くなったものと考えられる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

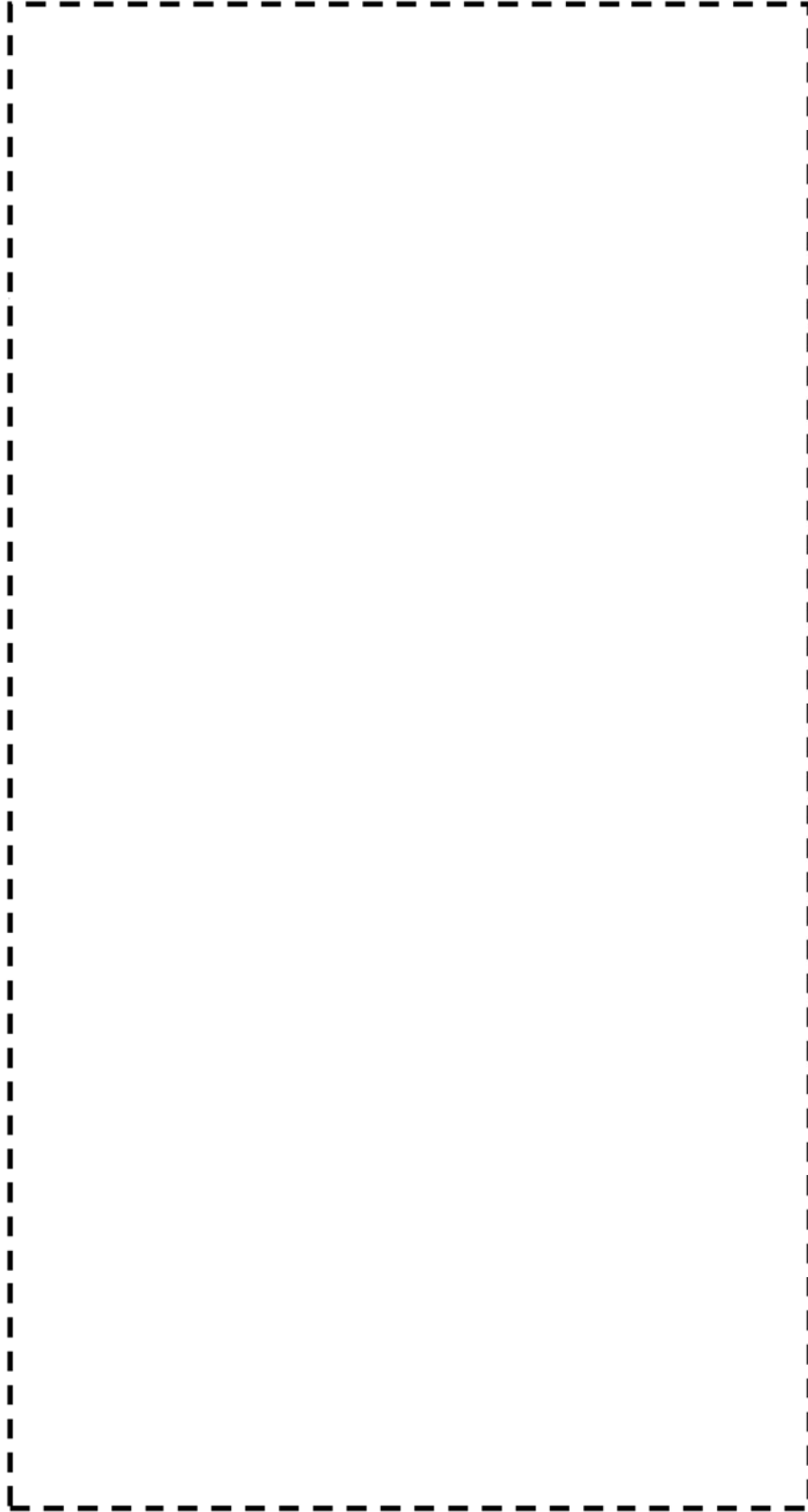


図1 PLM30における給水管台構造モデル (大気中)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

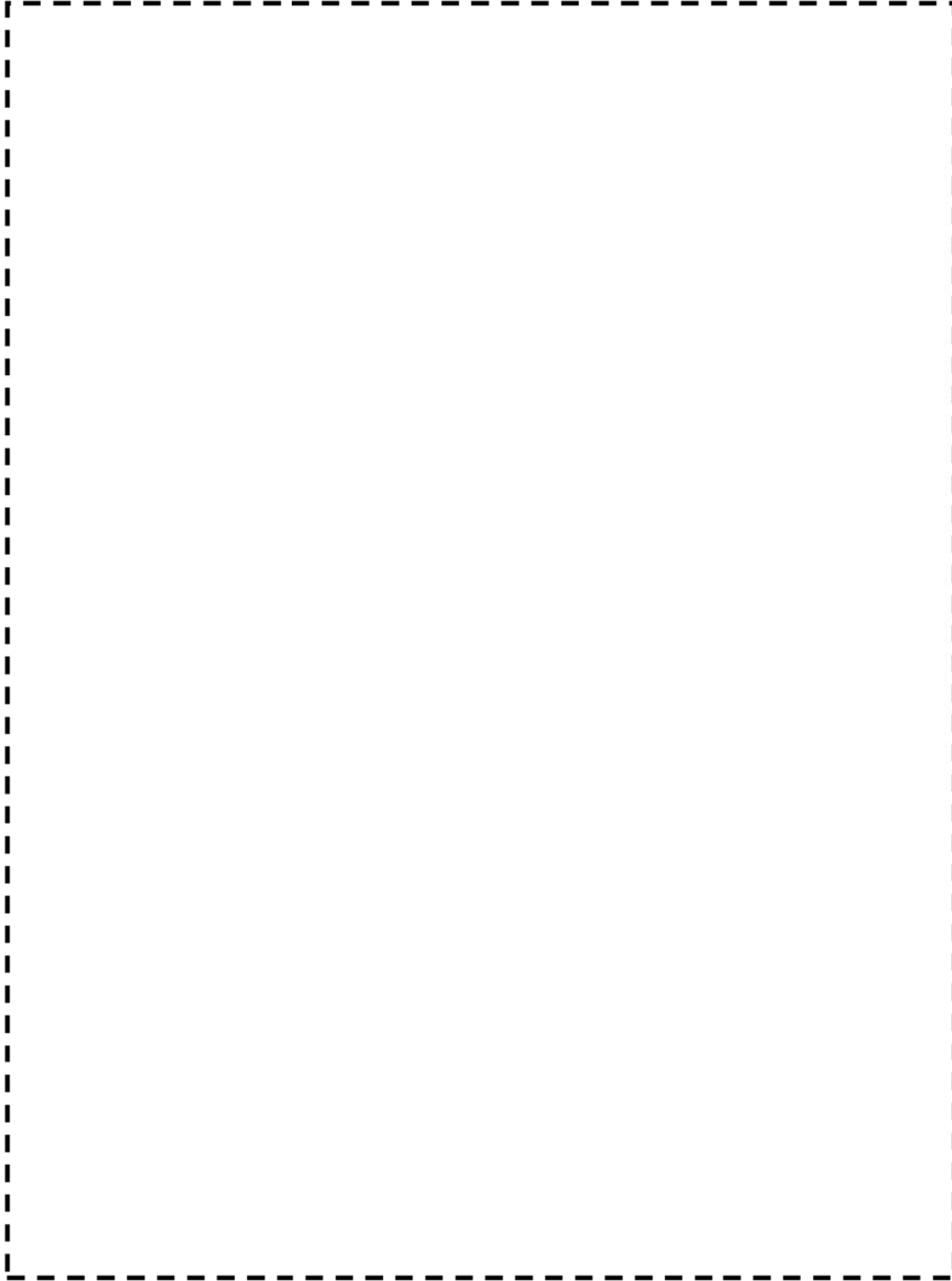


図2 PLM40における給水管台構造モデル (大気中)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器疲労評価におけるPLM30とPLM40の違いについて (管板廻り)

【大気中の疲労評価】

PLM30の給水入口管台の構造モデルを図3、PLM40の給水入口管台の構造モデルを図4に示す。PLM30では構造を単純幾何形状に分割し、境界面の不静定力を算出して各形状における応力を算出し、構造不連続部は応力集中係数を掛けてピーク応力を算出している。一方でPLM40では構造をFEMでモデル化して応力解析を実施しており、直接ピーク応力を算出している。このため応力解析結果が異なっている。

表3にPLM30とPLM40との類似評価点におけるUf値の比較を示す。

表3 各評価点におけるUf値の比較 (管板廻り)

| PLM30 | | PLM40 | |
|-------------|----|--------------|----|
| 評価点 | Uf | 評価点 | Uf |
| 1 | | 1 | |
| 2 | | 2 | |
| 3 | | 3 | |
| 4 | | 4 | |
| P1 R/R*=0.0 | | 1 次側R/R*=0.0 | |
| P1 R/R*=1.0 | | 1 次側R/R*=1.0 | |
| P2 R/R*=0.0 | | 2 次側R/R*=0.0 | |
| P2 R/R*=1.0 | | 2 次側R/R*=1.0 | |

赤字はUf値が最大となった評価点のUf値

青字はUen値が最大となった評価点のUf値

Uf値で比較をすると、各評価点でばらつきはあるものの、大きな差異は生じておらず、応力解析方法の違いによるものと考えられる。

【接液環境の疲労評価】

接液環境中の評価はPLM30、PLM40ともに同一の点 (評価点1) が最大となっている。大気中の疲労累積係数と同様にモデルの違いにより応力が異なることから、Uen値に差が生じたものである。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

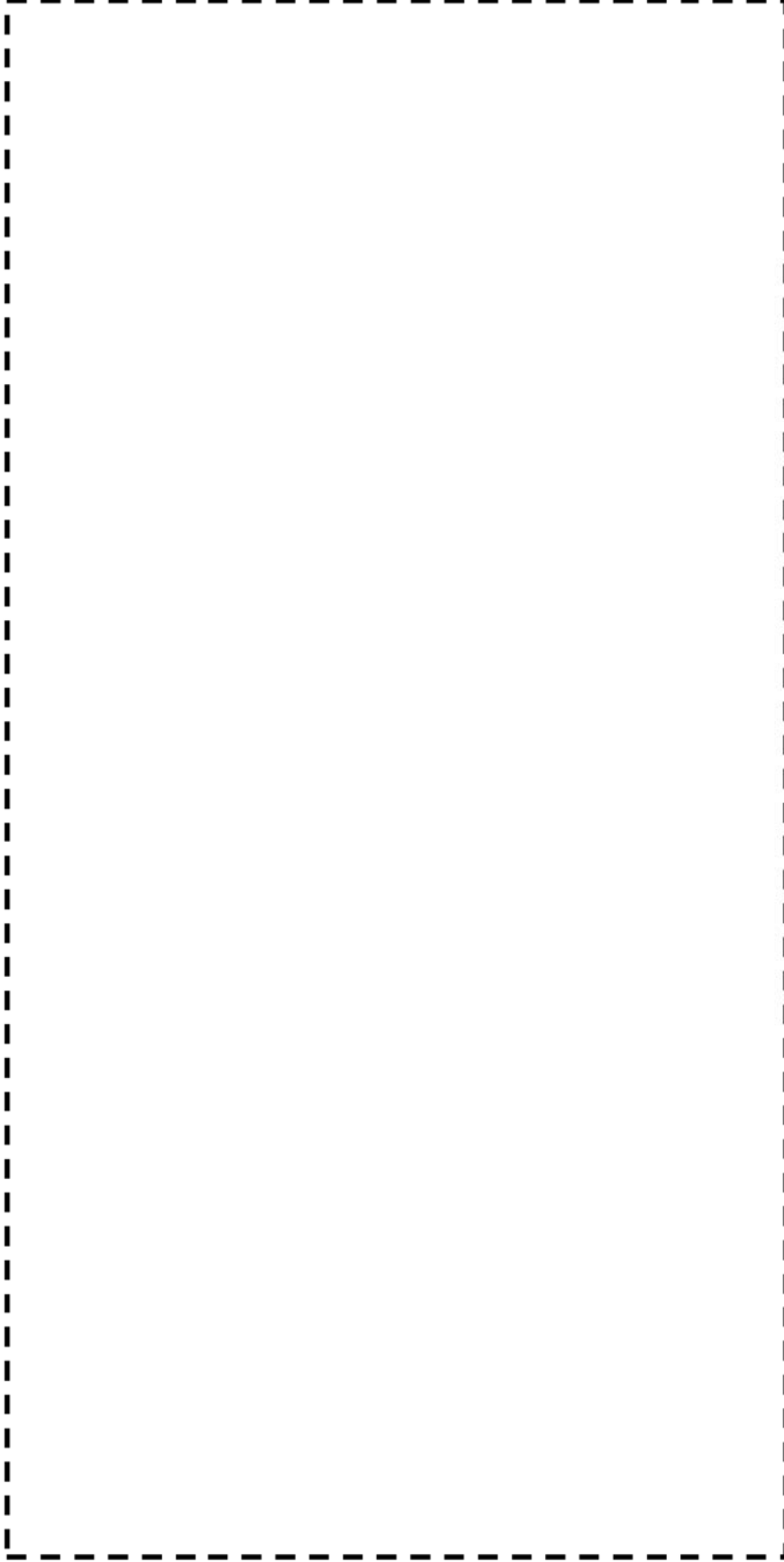


図3 PLM30における管板廻り構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

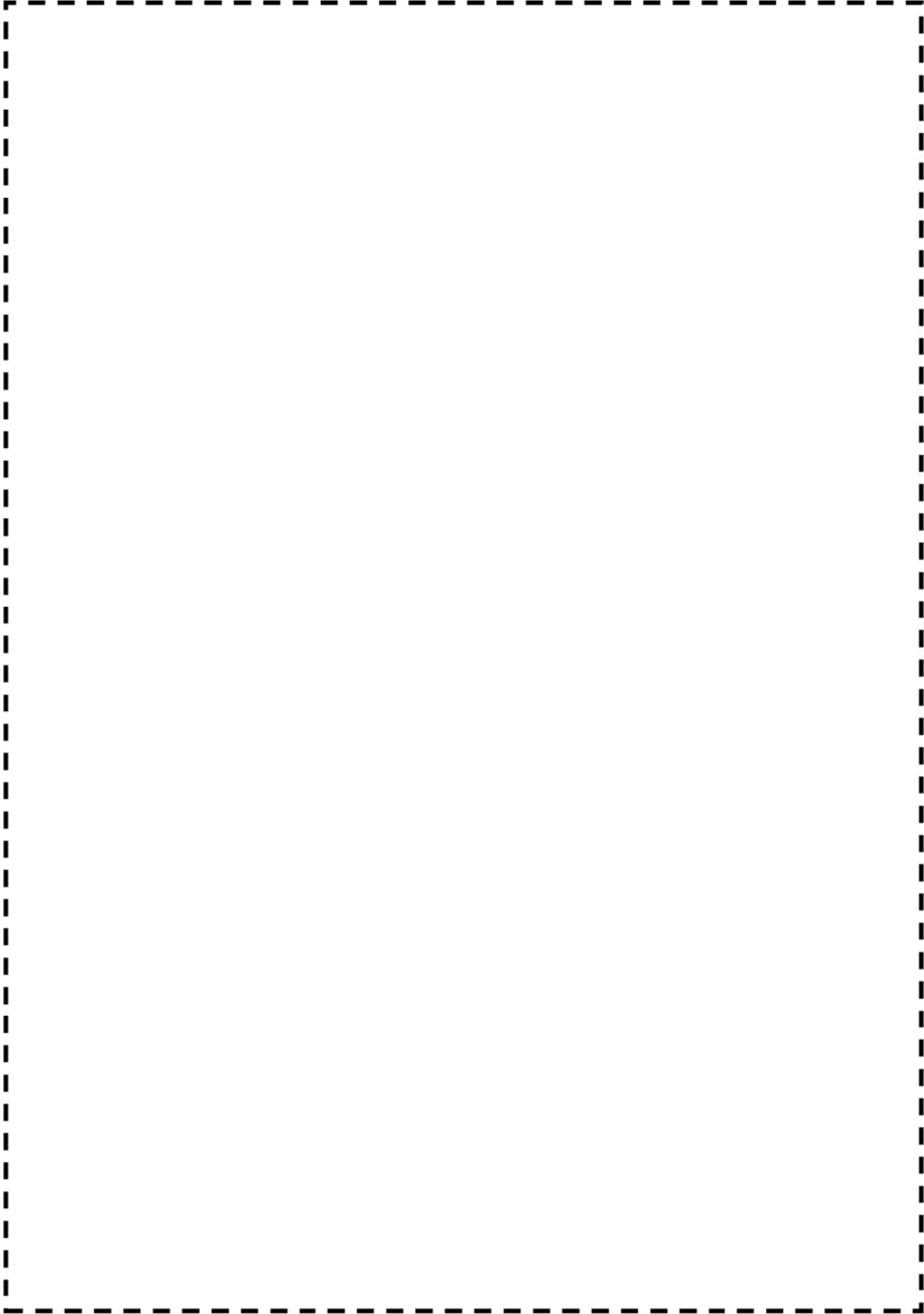


図 4 PLM40における管板廻り構造モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| No. | 高浜2-40年目追加評価-4 rev1 | 事象：劣化傾向の評価 | | | | | | | | | | | |
|------------|---|------------------|----|-----------|--|-------|-------|------------|------------------|------------------|--------|------------------|------------------|
| 質 問 | <p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) スプレイライン用管台及びサージ用管台について、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>加圧器のスプレイライン用管台及びサージ用管台の低サイクル疲労評価について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を下表に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 加圧器疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 913 1249 1171"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スプレイライン用管台</td> <td>0.007 (0.531)</td> <td>0.121 (0.019)</td> </tr> <tr> <td>サージ用管台</td> <td>0.028 (0.072)</td> <td>0.017 (0.061)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 () 内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【スプレイ管台（Uf値）】 加圧器スプレ管台には起動・停止時の固有の過渡として起動時の冷水注入、停止時の冷水注入を考慮しているが、想定する運転モードの違いでPLM30とPLM40では冷水注入時の温度差が異なっている。このためPLM30とPLM40では発生する応力に差があるためUf値の差が生じている。</p> <p>【スプレイ管台（Uen値）】 加圧器スプレ配管は第21回定検（H15年度）に改造を実施しており、PLM30では改造前の配管形状で評価を行った。PLM40では改造後の配管形状で評価を行っている。このためPLM30とPLM40で評価モデルに差があるためUen値に差が生じている。</p> <p>【サージ用管台】 加圧器サージ用管台は、第26回定検（H22年度）に改造を実施しており、PLM30とPLM40で管台の評価モデルが異なっている。このため発生する応力が異なっていることからPLM30とPLM40のUf値、Uen値に差が生じているが、大きな差はなく同等であると考えている。</p> | | 部位 | 60年時点の予測値 | | PLM30 | PLM40 | スプレイライン用管台 | 0.007 (0.531) | 0.121 (0.019) | サージ用管台 | 0.028 (0.072) | 0.017 (0.061) |
| 部位 | 60年時点の予測値 | | | | | | | | | | | | |
| | PLM30 | PLM40 | | | | | | | | | | | |
| スプレイライン用管台 | 0.007 (0.531) | 0.121 (0.019) | | | | | | | | | | | |
| サージ用管台 | 0.028 (0.072) | 0.017 (0.061) | | | | | | | | | | | |

PLM40では、最近の改造を踏まえた評価および、標準的な設計条件を適用してより保守的な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。

添付1にスプレイライン管台の疲労評価（Uf値）の比較を示す。

添付2にスプレイライン管台の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。

添付3にサージ用管台の疲労評価（Uf値）、環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。

加圧器スプレイ管台の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ管台の疲労評価に用いた構造モデル図の比較を図 1 に示す。PLM30とPLM40の評価モデルは同等であり、Uf最大点も同等箇所となっている。

しかしながら、表 1 に示すようにUf値が大きく異なっている。

この差は繰返しピーク応力強さの違いが影響しており、それは主に起動・停止時の入力条件がPLM30とPLM40で異なっていることが原因である。

起動・停止時には加圧器スプレイライン固有の過渡として起動時の冷水注入 (加圧器スプレイ)、停止時の冷水注入 (加圧器スプレイ) を複数回想定しているが、PLM30とPLM40では想定した運転モードの相違により冷水注入時の温度差 (加圧器とコールドレグとの温度差) が異なっている。PLM40では設計過渡として実運転よりも温度差がより大きい状態でのスプレイを想定している。その結果、繰返しピーク応力強さに差が生じ、PLM40のUfが大きくなったものである。

例えば、過渡組合せ毎のUfが最大となる部分に注目すると、表 2、表 3 に示すようにPLM40でUf最大となる組合せ [] のピーク応力強さは [] であり、PLM30の同等な過渡の組合せ [] のピーク応力強さは [] となっている。

このようなピーク応力の差は他の過渡の組合せでも同様であり、合計Ufとして大きな差になっているものである。



図 1 疲労評価におけるPLM30とPLM40の構造モデル比較 (加圧器スプレイ管台)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表2 PLM40における疲労評価結果
(Ufに対して支配的な過渡組合せ)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ(MPa) | Ke | 繰返し回数 | Uf |
|-------|---------------------|----|-------|----|
| | | | | |

表3 PLM30における疲労評価結果
(表2と同等の過渡組合せによるUf)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ(MPa) | Ke | 繰返し回数 | Uf |
|-------|---------------------|----|-------|----|
| | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価においては、PLM30とPLM40でUenが最大となる点は同じであり、大気中の疲労評価最大点と同等の部位の評価を実施している。

しかしながら、表1に示すようにUen値が大きく異なっている。

この差は繰返しピーク応力強さの違いが影響しているが、加圧器スプレイ配管の形状に差があることが原因である。

加圧器スプレイ管台の環境疲労評価では、PLM30、PLM40ともに熱成層の影響を考慮して熱成層が発生する範囲の配管を含めた3次元FEMモデルを使って評価を行っているが、加圧器スプレイ配管は第21回定検(H15年度)に改造工事を実施しており、図2および図3に示すようにPLM30とPLM40では熱成層を考慮した部位の配管形状が大きく異なっている。

PLM30では熱成層を考慮する配管の水平距離が長く、加圧器管台への垂直配管の長さが短い。このため、改造前の配管では熱成層による過渡が発生した場合の熱変位に伴う加圧器管台への曲げ、捻りが比較的大きく作用することになる。改造によって熱成層を考慮する範囲の配管の水平長さが短くなり、垂直管長さが長くなったことで応力が大きく緩和されたものである。

このため、熱成層を考慮する過渡との組合せにおいてUenが低減し、合計Uenの差異につながっているものである。

表4 PLM30における疲労評価結果
(Uenに対して支配的な過渡組合せ)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) | Ke | 繰返し 回数 | Uf | Fen | Uen |
|-------|----------------------|----|-----------|----|-----|-----|
| | | | | | | |

表5 PLM40における疲労評価結果
(表4と同等の過渡組合せによるUen)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) | Ke | 繰返し 回数 | Uf | Fen | Uen |
|-------|----------------------|----|-----------|----|-----|-----|
| | | | | | | |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図 2 環境疲労評価におけるPLM30の熟成層評価モデル



図 3 環境疲労評価におけるPLM40の熟成層評価モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器サージ用管台の疲労評価、環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

PLM30とPLM40の加圧器サージ用管台の構造モデルの比較を図4に示す。加圧器サージ用管台はH22年度に行われた改造工事を反映してPLM30とPLM40で管台の評価モデルが異なっている。

このため各評価点の発生応力が異なってくることから、 U_f 、 U_{en} の値に違いが生じているものである。また、PLM40では評価点を増加させており、管台コーナ部付近に新たに評価点を設けたことから、大気中の疲労累積係数が最大になる点が変わっている。

PLM30とPLM40の類似評価点における U_f 値の比較を表6に示す。

各評価点で数値の違いはあるものの、 U_f 値の差は最大でも0.025程度であり、管台形状の差があることを考慮すればほぼ同等の結果であると考ええる。

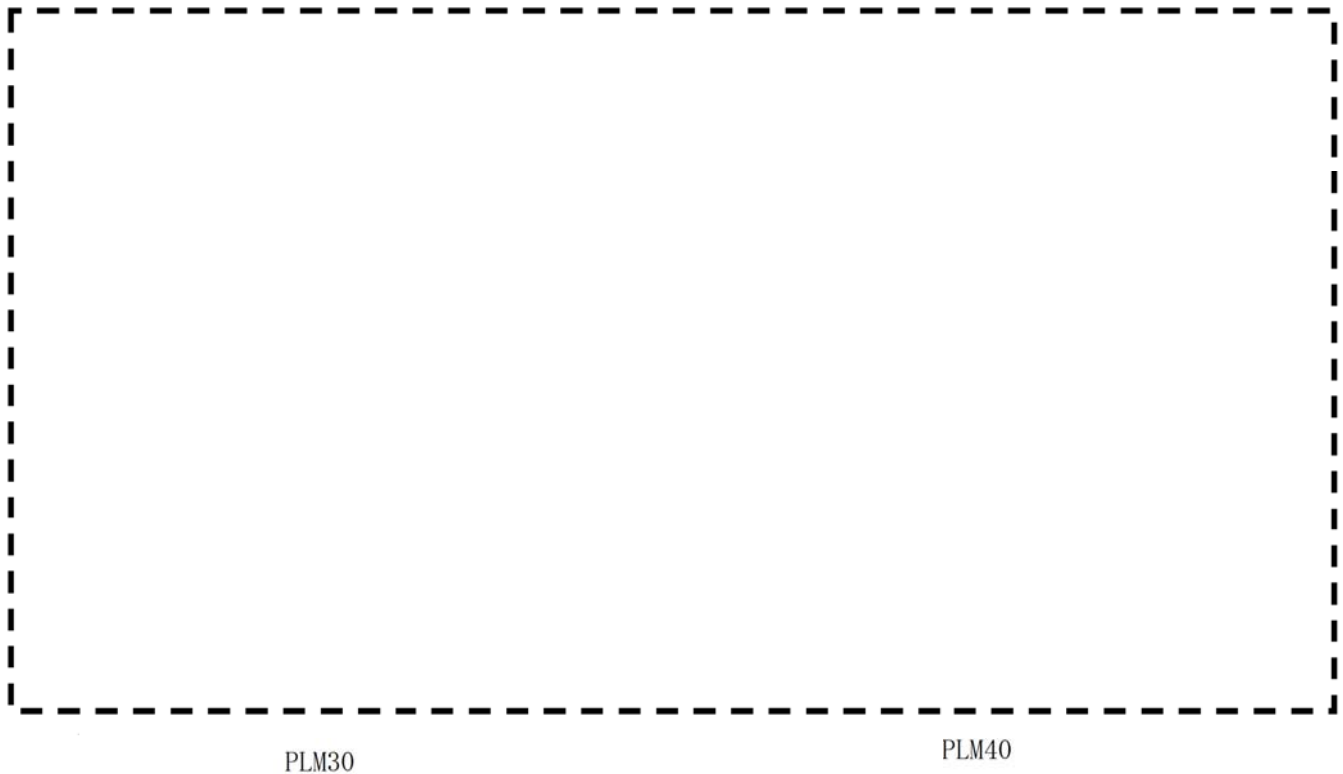


図4 PLM30とPLM40の構造モデル比較 (加圧器サージ用管台)

表6 各評価点におけるUf値の比較(サージ管台)

| PLM30 | | PLM40 | |
|-------|----|-------|----|
| 評価点 | Uf | 評価点 | Uf |
| 1 | | 1 | |
| 2 | | 2 | |
| 3 | | 3 | |
| 4 | | 4 | |
| 7 | | 7 | |
| 8 | | 8 | |
| 9 | | 13 | |
| 10 | | 14 | |
| 11 | | 15 | |
| 12 | | 16 | |
| 15 | | 17 | |
| 16 | | 18 | |
| - | | 19 | |
| 17 | | 21 | |
| 18 | | 22 | |

赤太字はUf値が最大になった評価点のUf値
青太字はUen値が最大となった評価点のUf値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| No. | 高浜 2 - 40年目追加評価 - 5 | 事象：劣化傾向の評価 | | | | | | | | |
|----------|--|------------------|----|-----------|--|-------|-------|----------|------------------|------------------|
| 質 問 | <p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) 加圧器スプレ配管について、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p> | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>加圧器スプレ配管について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">加圧器スプレ配管疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="507 913 1249 1106"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器スプレ配管</td> <td>0.006 (0.183)</td> <td>0.023 (0.267)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数 (Uf) を示す。 () 内の数値は接液中の疲労累積係数 (Uen) を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【大気中の疲労累積係数】 加圧器スプレ配管は、第21回定検（H15年度）に行われた改造工事を反映して配管ルートが変わっている。このためPLM30とPLM40では評価モデルに差があるためUf値に差が生じたものである。</p> <p>【接液中の疲労累積係数】 加圧器スプレ配管は、第21回定検（H15年度）に行われた改造工事を反映して配管ルートが変わっている。またPLM30では第16回定検以降は熱成層が発生しないものと想定して評価を実施していたが、PLM40では他プラントも含めた標準的な評価として熱成層の発生を考慮する評価に変更している。このためPLM30とPLM40で考慮する応力、評価モデルに差があるためUen値に差が生じている。</p> <p>PLM40では、最近の改造を踏まえた評価および、標準的な設計手法導入による保守的な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p> <p>添付1にスプレ配管の疲労評価（Uf値）の比較を示す。 添付2にスプレ配管の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。</p> | | 部位 | 60年時点の予測値 | | PLM30 | PLM40 | 加圧器スプレ配管 | 0.006 (0.183) | 0.023 (0.267) |
| 部位 | 60年時点の予測値 | | | | | | | | | |
| | PLM30 | PLM40 | | | | | | | | |
| 加圧器スプレ配管 | 0.006 (0.183) | 0.023 (0.267) | | | | | | | | |

加圧器スプレイ配管の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器スプレイ配管については第 2 1 回定検 (H15年度) に配管の改造が行われた。このため、PLM30とPLM40の評価モデルは図 1、図 2 のように配管ルートやサポートが異なっており、Uf 最大点となる加圧器スプレイライン合流点の形状やサポートが大きく違うため、発生応力が異なることがPLM30とPLM40の評価の違いの主な理由である。

例えば、PLM40の評価で支配的となっている「負荷上昇」-「停止時の冷水注入」と同等の過渡の組合せのPLM30の結果を比較すると表 2、表 3 に示すように同等の過渡の組合せにおいて繰返しピーク応力強さに差があることから、他の過渡の組合せでも同様にピーク応力強さの差が生じたためUfの差となったものと考えている。

表 2 PLM40における疲労評価結果
(Ufに対して支配的な過渡の例)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) | Ke | 繰返し回 数 | Uf |
|-------|----------------------|----|-----------|----|
| | | | | |

表 3 PLM30における疲労評価結果
(表2と同等の過渡組合せによるUf)

(バイパス流量アップ前※)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) | Ke | 繰返し回 数 | Uf |
|-------|----------------------|----|-----------|----|
| | | | | |

(バイパス流量アップ後※)

| 過渡組合せ | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) | Ke | 繰返し回 数 | Uf |
|-------|----------------------|----|-----------|----|
| | | | | |

※ 第 1 6 回定検以降加圧器スプレイバイパス流量を増加させており、PLM30ではバイパス流量アップ前後に分けて評価を実施した。

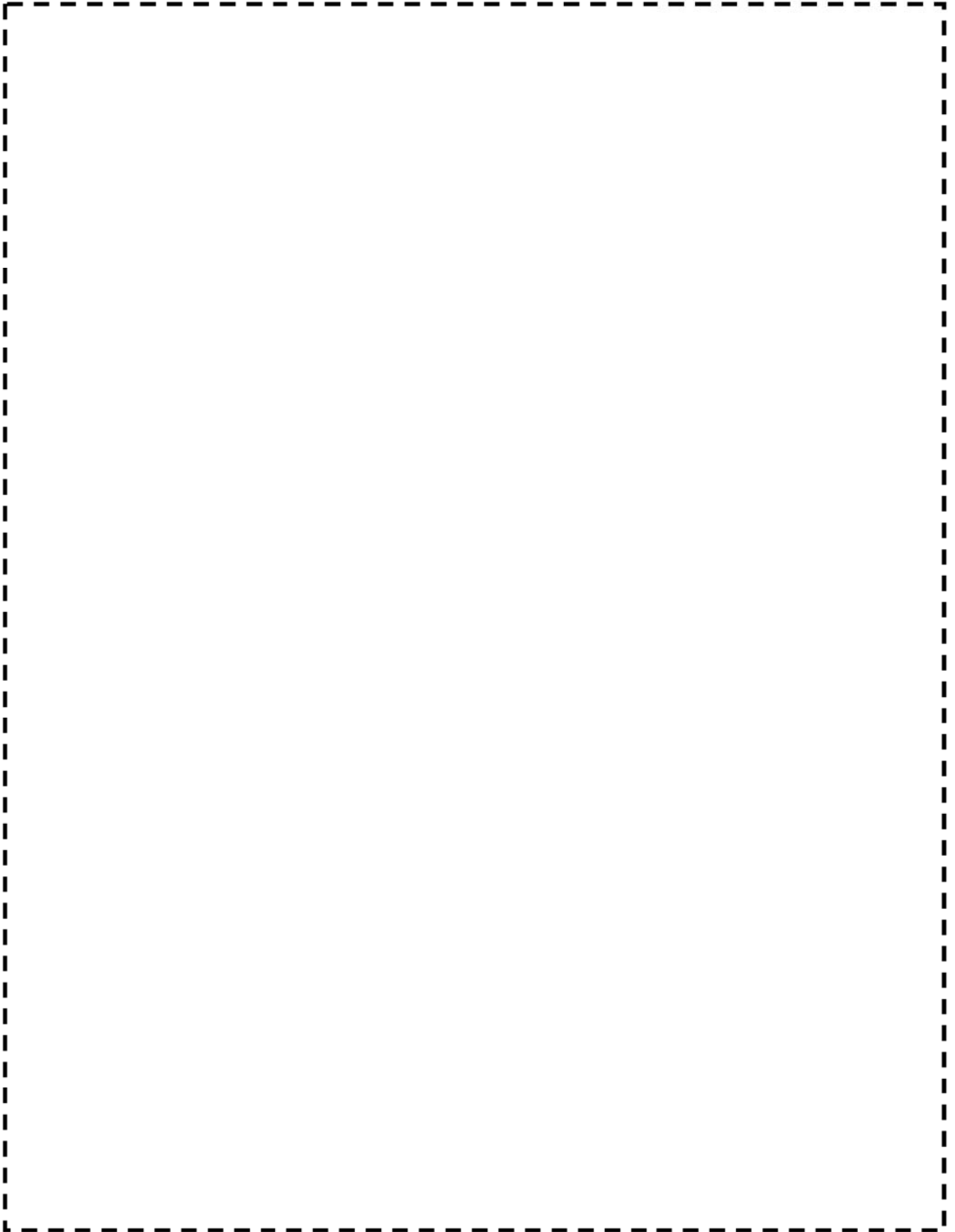


図1 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM30)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

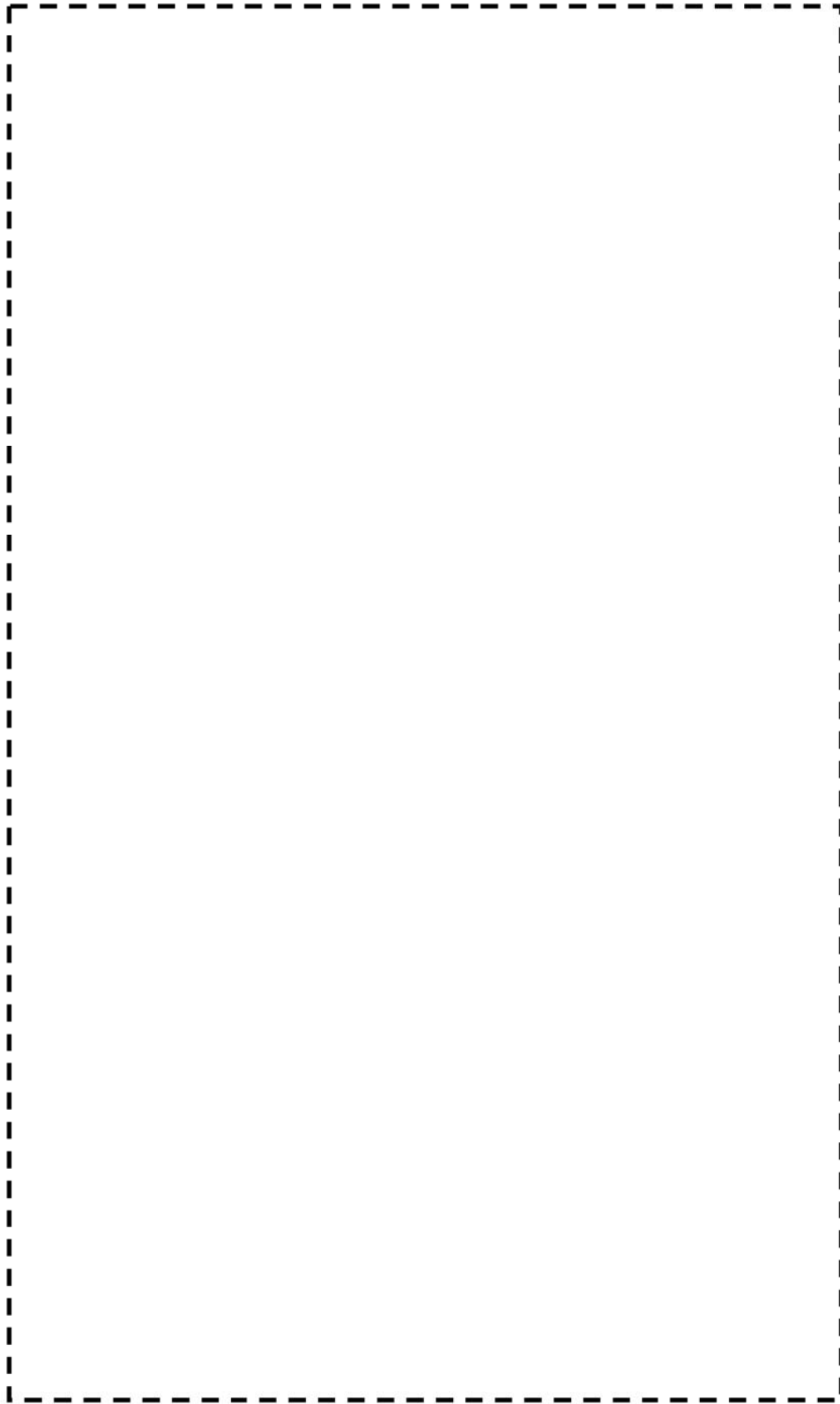


図2 加圧器スプレイ配管疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器スプレイ配管の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

PLM40の加圧器スプレイ配管の環境疲労評価については、添付1の大気中の疲労評価の説明で述べたようにPLM30以降の改造を反映して配管改造を反映しているため、図3、図4に示すように評価モデルが異なる。

また、PLM30では第16回定検(1996年度)以前と第16回定検以降に分けて、第16回定検以前では、加圧器スプレイ配管に熱成層の発生を考慮し、第16回定検以降は熱成層の発生が無いものとして評価を実施している。第16回定検以降は加圧器スプレイのバイパス流量を増加させて、熱成層が発生しないとして評価したものである。

一方PLM40では運転開始後60年までの供用期間にわたって熱成層の発生を考慮して評価を行った。

このため、PLM30とPLM40では評価モデルが大きく異なっていること、PLM40では今後も含めた60年までの供用期間に熱成層の発生を考慮した応力解析を行っていることから、PLM40の方が環境を考慮した疲労累積係数(U_{en})が大きい値となっている。



図3 加圧器スプレイ配管環境疲労評価モデル (PLM30)
(熱成層を考慮した第16回定検までに用いたもの。第16回定検以降は図1と同じ)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

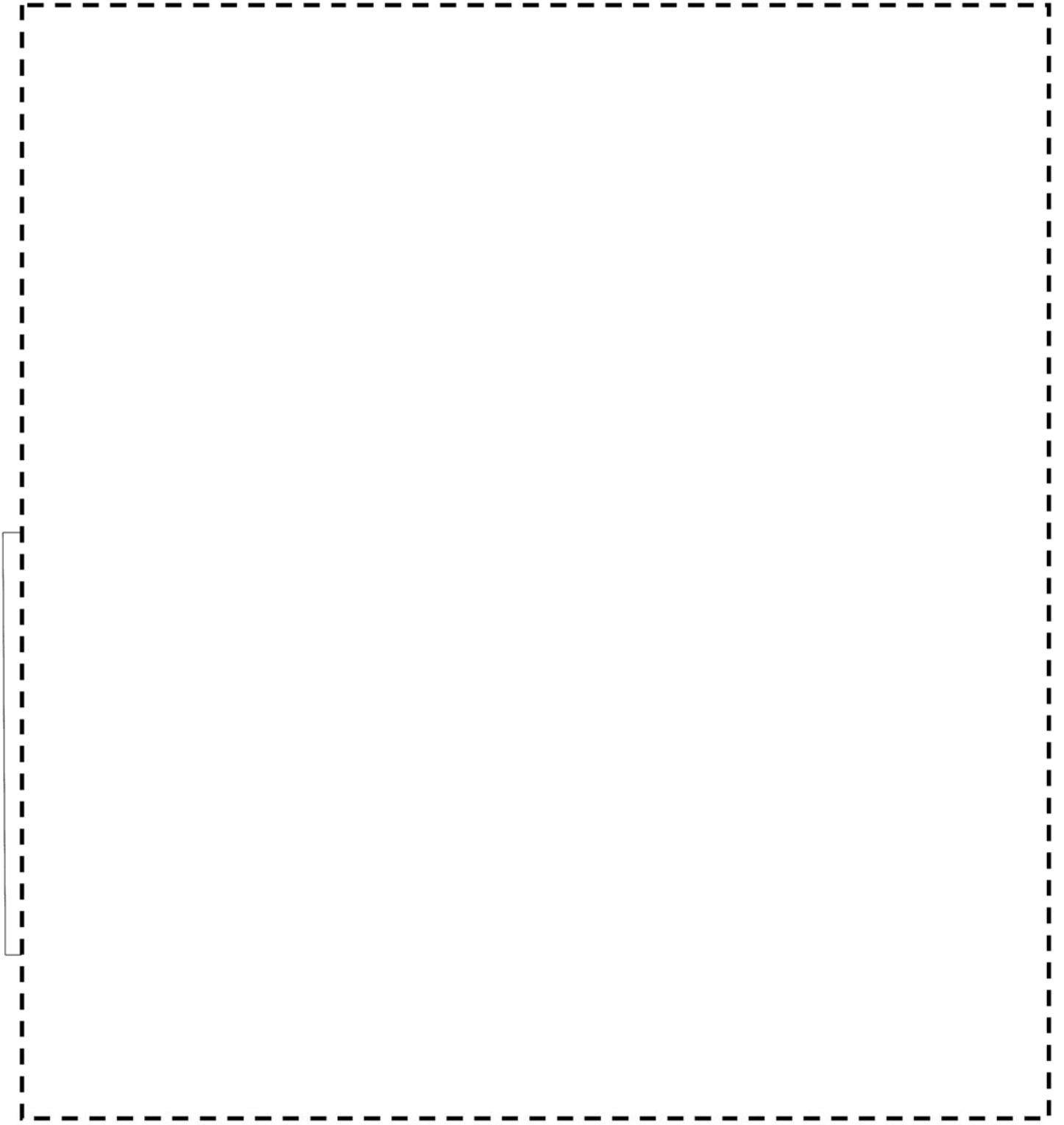


図4 加圧器スプレイ配管環境疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| No. | 高浜2-40年目追加評価-6 | 事象：劣化傾向の評価 | | | | | | | | |
|----------|---|------------------|----|-----------|--|-------|-------|----------|------------------|------------------|
| 質 問 | <p>(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) 加圧器サージライン用配管について、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。</p> | | | | | | | | | |
| 回 答 | <p>加圧器サージ配管について、30年目の高経年化技術評価（以下PLM30という）と劣化状況評価（以下PLM40という）における疲労累積係数の比較を以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">加圧器サージ配管疲労評価結果（疲労累積係数）の比較</p> <table border="1" data-bbox="504 913 1248 1106"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>PLM30</th> <th>PLM40</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器サージ配管</td> <td>0.003 (0.077)</td> <td>0.004 (0.002)</td> </tr> </tbody> </table> <p>表内の上段の数値は大気中の疲労累積係数（Uf）を示す。 () 内の数値は接液中の疲労累積係数（Uen）を示す。</p> <p>PLM30とPLM40で疲労累積係数に差異が生じている主な理由は以下のとおりである。</p> <p>【大気中の疲労累積係数】 PLM30では疲労評価を「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示501号）」に基づいて実施したが、PLM40では「設計・建設規格（2005/2007）」に基づいて実施した。このため設計・建設規格で導入されたフレキシビリティファクター考慮の有無等によりUfの値に差が生じたものである。</p> <p>【接液中の疲労累積係数】 繰り返しピーク応力強さの算出は内圧、熱膨張、熱成層、管板方向の熱勾配を考慮しているが、PLM30では熱膨張+熱成層の項を時刻歴で算出し、その最大値と内圧、管板方向の熱勾配の最大値を絶対和して求めた。一方、PLM40では全ての項を一括して時刻歴で求めた。このため、PLM40の方がピーク応力の最大値が低下するため、Uenの値に差が生じたものである。</p> <p>PLM40では新しい規格に基づく評価、解析技術の性能向上に伴う詳細な評価を実施したものであり、適切な評価結果であると考えている。</p> <p>添付1にサージ配管の疲労評価（Uf値）の比較を示す。 添付2にサージ配管の環境疲労評価（Uen値）の比較を示す。</p> | | 部位 | 60年時点の予測値 | | PLM30 | PLM40 | 加圧器サージ配管 | 0.003 (0.077) | 0.004 (0.002) |
| 部位 | 60年時点の予測値 | | | | | | | | | |
| | PLM30 | PLM40 | | | | | | | | |
| 加圧器サージ配管 | 0.003 (0.077) | 0.004 (0.002) | | | | | | | | |

加圧器サージ配管の疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器サージ配管について、PLM30とPLM40の評価モデルは図 1、図 2 のようにほぼ同じである。

表 1 と表 2 を比較すると、各評価点毎のUF値は全体的にほぼ同じであるが、PLM30, PLM40でUF値が最大となった加圧器管台 (PLM30 : 節点2000
PLM40 : 節点502) のUF値に比較差が出ている。

この加圧器管台部分の評価の差は、適用規格による違いが主な要因であると考えられる。PLM30では疲労評価を「発電用原子力設備に関する構造等の
技術基準 (告示501号)」に基づいて実施したが、PLM40では「設計・建設規格 (2005/2007)」に基づいて実施した。

このため、PLM40では、配管の管台部の剛性にフレキシビリティを考慮していることからPLM30の評価より管台部の応力が厳しくな
り、UF値が増加している。

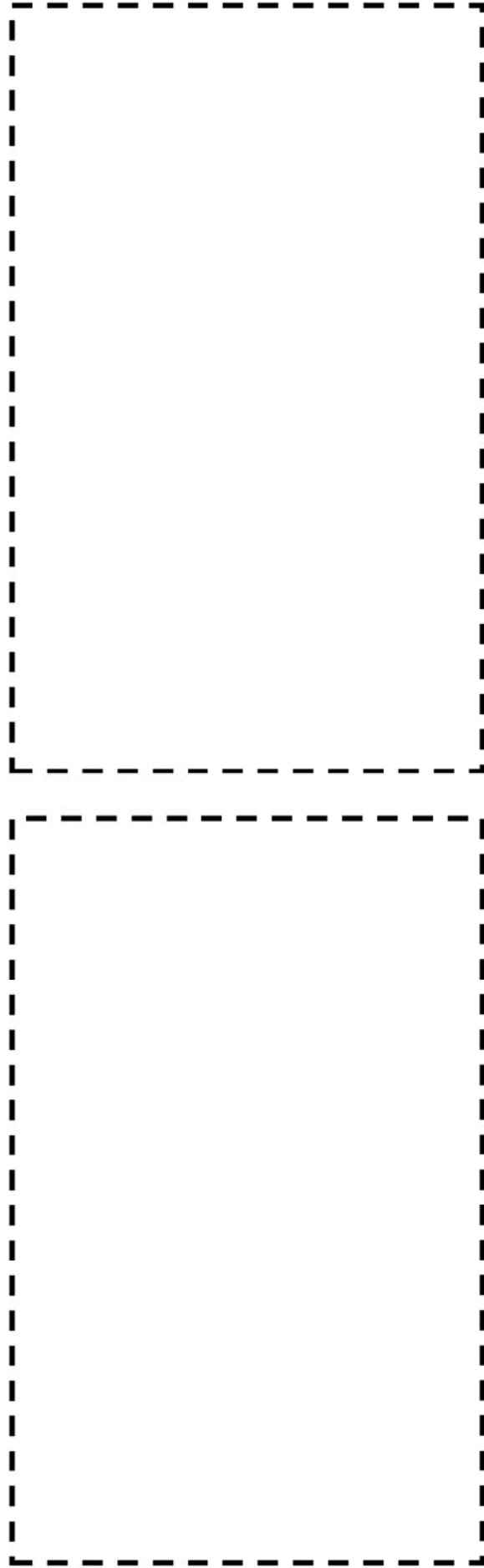


図 1 加圧器サージ配管疲労評価モデル (PLM30)

図 2 加圧器サージ配管疲労評価モデル (PLM40)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表1 PLM30における疲労評価結果 (節点毎のUf値)

| 節点番号 | ピーク応力強さ (MPa) | 繰返しピーク応力強さ (MPa) | 疲労累積係数 |
|------------|---------------|------------------|--------|
| [Redacted] | | | |

表2 PLM40における疲労評価結果 (節点毎のUf値)

| 節点番号 | ピーク応力強さ (MPa) | 繰返しピーク応力強さ (MPa) (注) | 疲労累積係数 | 許容値 |
|------------|---------------|----------------------|--------|-----|
| [Redacted] | | | | 1.0 |

表1の繰返しピーク応力強さの値はヤング率補正前の値、
表2の繰返しピーク応力強さの値はヤング率補正後の値である

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

加圧器サージ配管の環境疲労評価 (PLM30とPLM40との比較)

加圧器サージ配管について、PLM30とPLM40の環境疲労の評価モデルはほぼ同じである。しかしながら、図1、図2に示すようにUen最大値の評価点および、評価値に差が生じている。これはPLM30とPLM40では熱成層応力を考慮した環境疲労評価において、ピーク応力算出の際の応力各項目の足し合わせ方法に差があるためである(詳細を表3に示す)。このためPLM30ではPLM40に比べてピーク応力が大きく設定されたものであり、ピーク応力が厳しくなる評価点も異なっている。

表3 環境疲労評価法の比較

| 評価書 | 評価方法 |
|--------------|--|
| <p>PLM30</p> | <p>(1) 各応力項の算出方法</p> <p> $Sp = \sqrt{\text{内圧} + \text{熱膨張} + \text{熱成層} + \text{板厚方向内外面線形温度差 (線形/非線形)}}$ </p> <p> </p> <p>(2) 発生応力 応力評価式で規定する個々に算出した応力を、発生時刻に関係なく絶対値としてSp(S1)、UFを算出。</p> |
| <p>PLM40</p> | <p>(1) 各応力項の算出方法</p> <p>配管系を3次元FEMモデル化し、過渡変動を与えて時々刻々の管の温度、応力変動を直接算出し、この中で最大値を用いて応力/疲労評価を実施。</p> <p> </p> |