

美浜3号炉－低サイクル疲労－1rev2

| | |
|------|---|
| タイトル | 過渡回数推定値の算出方針について (断続運転別冊－共通) |
| 説明 | <p>運転開始後60年時点での過渡回数は、2011年3月末の運転実績をベースに残りの年数を考慮して、次のとおり保守的に発生回数を想定している。</p> <p>60年時点過渡回数\geq実績過渡回数$+$(運開後実績過渡回数/運開後実績過渡回数調査時点までの年数)$\times 1.5 \times$残年数[※]</p> <p>※ 2011.4から運転開始後60年までの期間。ただし現在の冷温停止期間は2011.5～2017.9と保守的に想定し、その期間は残年数から差し引く。</p> <p>「起動」、「負荷上昇」、「負荷の喪失」の過渡事象を例に、60年時点での過渡回数の算出方法の詳細について添付1に示す。</p> <p>なお、評価に用いる過渡項目を列記しているが、いずれの過渡項目にも該当しない微小過渡が存在する。これらの微小過渡は、「起動」、「停止」、「1次系漏えい試験」のいずれかの項目に微小過渡として分類し実績に算定している。至近10年(平成11～21年度)の微小過渡の一覧を添付2に示す。</p> <p>また、美浜3号炉で未経験の過渡項目(実績過渡回数が0である項目)の年平均過渡回数については、電共研の研究結果より添付3の通り設定している。</p> |

○「起動」の運転開始後60年時点の過渡回数算出

$$46回^{注1)} + 1.02回/年^{注2)} \times 19.3年^{注3)} (残りの年数) \times 1.5^{注4)} \approx 76回 < 78回(評価用)$$

注1) 試運転：11回（うち、微小過渡3回）

実績：34.701回→35回（うち、微小過渡3.701回→4回）

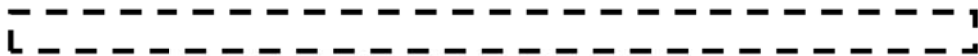
（試運転の過渡回数は下表の①、実績は②参照）

注2) 2011年3月末までの実績過渡回数÷2011年3月末までの年数

$$\frac{46}{45} \rightarrow 1.02回/年$$

注3) 2011年4月から運転開始後60年（2036年11月）までの年数から、現在の冷温停止期間（2011.5～2017.9と想定）を差し引いた年数

注4) 将来の発生回数を保守的に想定するため1.5倍とする



過渡回数説明リスト (1/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均回数 34.3年 | 現状～60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|-------------|-------|--------|-----------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 起動 | 7 | 31 | 46 | 1.02 | 30 | 76 | 78 |
| SGR 後試験中の起動 | 1 | | | | | | |
| 微小過渡 | 2.026 | 3.701 | | | | | |
| (実績+微小過渡) | (8+3) | (31+4) | (39+7 ^{*)}) | | | | |

*1：総微小過渡回数

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。

過渡回数説明リスト (4/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 34.3年 | 現状～60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|-------------|-------|--------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 停止 | 6 | 30 | 44 | 0.98 | 29 | 73 | 78 |
| SGR 後試験中の停止 | 1 | | | | | | |
| 微小過渡 | 2,026 | 3,340 | | | | | |
| (実績+微小過渡) | (7+3) | (30+4) | (37+7 ^{*)}) | | | | |

*1：総微小過渡回数

過渡回数説明リスト (5/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 34.3年 | 現状～60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|--------------------------------|-----|-----|---------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 負荷減少 | 10 | 343 | 353 | 10.0 | 290 | 643 | 691 |
| 90%から100%へのステップ状 負荷上昇(+10%) | 2 | 0 | 2 | 注1) | 1 | 3 | 3 |
| 100%から90%へのステップ状 負荷減少(-10%) | 2 | 0 | 2 | 注1) | 1 | 3 | 3 |
| 100%負荷からの大きい ステップ状負荷減少 | 2 | 2 | 4 | 0.06 | 2 | 6 | 7 |
| 定常運転中における冷却材の 変動 | - | - | - | - | - | - | - |
| 燃料交換 | 0 | 23 | 23 | 0.68 | 20 | 43 | 52 |

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

過渡回数説明リスト (6/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均回数 34.3年 | 現状~60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|-------------------------|-----|----|---------|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 0%→15%負荷上昇 | 10 | 40 | 50 | 1.17 | 34 | 84 | 84 |
| 15%→0%負荷減少 | 2 | 35 | 37 | 1.03 | 30 | 67 | 69 |
| 1 ループ起動/停止 (1 ループ停止) | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |
| (1 ループ起動) | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (7/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均回数 34.3年 | 現状~60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|--------------|-----|----|---------|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 外部電源喪失 | 1 | 1 | 2 | 0.03 | 1 | 3 | 5 |
| 1次冷却材流量の部分喪失 | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

過渡回数説明リスト (8/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 34.3年 | 現状～60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|---|-----|----|---------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 100%からの原子炉トリップ a)不注意な冷却を伴わない トリップ | 1 | 3 | 4 | 0.09 | 3 | 7 | 7 |
| b)不注意な冷却を伴う トリップ | 1 | 0 | 1 | 注1) | 1 | 2 | 2 |
| c)不注意な冷却と SI を伴う トリップ | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |
| 1次冷却系の異常な減圧 | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |
| 制御棒クラスタの落下 | 0 | 1 | 1 | 0.03 | 1 | 2 | 4 |
| 出力運転中の非常用炉心冷却 系の誤起動 | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |
| 1次冷却系停止ループの誤起動 | 0 | 0 | 0 | 注1) | 1 | 1 | 1 |

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (9/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 34.3年 | 現状～60年 までの増加分 (19.3年) | 実績+60年までの 増加分 | PLM 評価用回数 |
|-----------|-------|--------|---------|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 1次系漏洩試験 | 5 | 28 | 27 | 0.90 | 27 | 64 | 64 |
| 微小過渡 | 1 | 2.7 | | | | | |
| (実績+微小過渡) | (5+1) | (28+3) | (33+4*) | | | | |
| タービン回転試験 | 6 | 0 | 6 | 0 | — | 6 | 6 |
| 1次系水压試験 | 1 | 0 | 1 | 0 | — | 1 | 1 |

*1: 総微小過渡回数

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 微小過渡 (起動の微小過渡)



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 微小過渡 (停止の微小過渡)

| |
|--|
| |
|--|

表3 微小過渡 (1次系漏えい試験の微小過渡)

| |
|--|
| |
|--|

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。

電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値について

美浜3号炉で未経験の過渡項目については、電共研「応力解析手法の高度化」に基づき年平均過渡回数を定めて、60年時点の過渡回数を決めています。国内PWRプラントで経験のある過渡項目は、研究当時における国内全PWRプラントの実績回数を総運転年数で割ることで算出しています。(下記(1))

国内PWRプラントで未経験の過渡項目は確率評価によって求めます。(下記(2))

(1) 他プラントで経験のある過渡項目

| 過渡項目 | 年平均過渡回数 (実績回数/炉・年) |
|-------------------------------|-----------------------|
| 100%から90%へのステップ状負荷減少 | |
| 1次冷却材流量の部分喪失 | |
| 負荷の喪失 | |
| 原子炉トリップ (不注意な冷却とSIを伴うトリップ) | |

(2) 他プラントでも未経験の過渡項目

国内全PWRプラントで未経験の過渡項目については、確率評価によって故障率(年平均過渡回数)を求めます。

発生確率の低い事象が一定時間内に発生する回数はポアソン分布で近似されます。(機械工学便覧参照)

ポアソン分布では、一定時間内に発生する平均回数(=期待値)を λ 、一定時間内に発生する回数を x ($x=0, 1, 2, \dots$)としたとき、一定時間内に x 回発生する確率 $p(x)$ は、

$$p(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad \text{と表されます。}$$

ここで、 λ' を1年間あたりの平均発生回数、 T を調査対象年数とすると、 T 年の間に発生する平均回数は $\lambda = \lambda' T$ となるので、

$$p(x) = e^{-\lambda' T} \frac{(\lambda' T)^x}{x!} \quad \text{と表されます。}$$

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。

故障率（年平均故障回数） λ' の事象が、本共同研究をまとめた時点における国内全PWRプラントの運転開始後経過時間Tで1回も発生していないという実績から、信頼水準で検定を行い、故障率 λ' を求めます。

$x=0$ $p(x)=$ $T=$ を代入します。



従って、未経験過渡の年平均過渡回数は となります。

| 過渡項目 | 年平均過渡回数 |
|------------------------|---------|
| 90%から100%へのステップ状負荷上昇 | |
| 1ループ停止 / 1ループ起動 | |
| 原子炉トリップ（不注意な冷却を伴うトリップ） | |
| 1次冷却系の異常な減圧 | |
| 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | |
| 1次冷却系停止ループの誤起動 | |

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。

美浜3号炉—低サイクル疲労—11

| | |
|-------------|---|
| <p>タイトル</p> | <p>抽出ライン貫通部、主蒸気・主給水ライン貫通部の疲労累積係数の算出根拠について (4-3. 2-36頁)</p> |
| <p>説明</p> | <p>抽出ライン貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位に加わる負荷を算出し、材料力学公式（参考文献：Formulas for Stress and Strain Raymond J. Roark他著）と、PVE-3100に準じてPVB-3130の応力集中係数にかかわる規定を用いた疲労評価により算出している。 抽出ライン貫通部の仕様と、疲労評価結果を添付-1に示す。</p> <p>主蒸気・主給水ライン貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位の発生変位を算出し、「Kellogg」の計算式とPVE-3810の疲労評価にかかわる規定を用いて算出している。 主蒸気・主給水ライン貫通部の仕様と、疲労評価結果を添付-2に示す。</p> |

抽出ライン配管貫通部の基本寸法箇所と仕様（形状、材料）を図1、表1に示す。

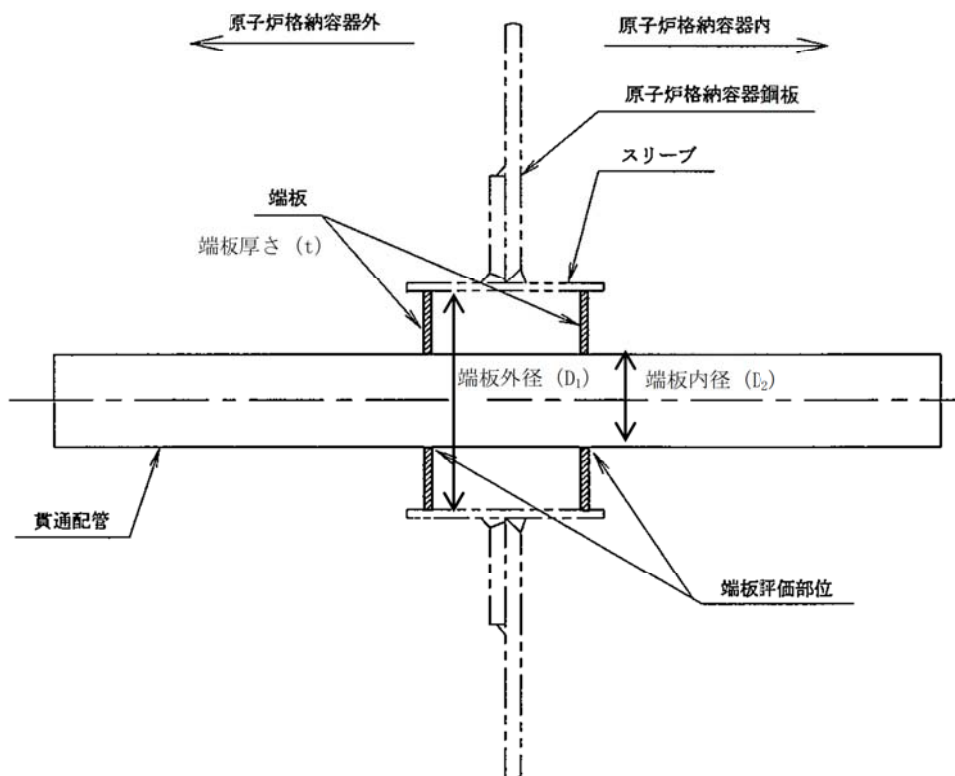


図1 抽出ライン貫通部の基本寸法箇所

表1 抽出ライン貫通部の仕様

| 格納容器最高 使用圧力 (MPa) | 最高使用 温度(°C) | 端板外径 (mm) D ₁ | 端板内径 (mm) D ₂ | 端板板厚 (mm) t | 端板材料 | 材料の最高使用 温度における 縦弾性係数 (MPa) |
|-------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------|-------------------------------------|
| | | | | | | |

配管解析からの負荷と貫通部の仕様を用いて材料力学公式によって評価部位の最大発生応力が求まる。その応力に対応する許容回数を疲労線図(JSME S NC1-2005/2007)から算出し、以下の式により疲労累積係数(U_f)が算出される。

なお、評価部位は端板と配管との境界部分であり、応力集中係数は4を考慮している。

$$U_f = \frac{n}{N}$$

ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

表2 抽出ライン貫通部の評価結果

| | ピーク応力 強さ (MPa) | 過渡による 負荷回数 (n) | 許容回数 (N) | U _f |
|-------|-------------------|-------------------|-------------|----------------|
| 固定式端板 | | | | 0.524 |

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・主給水ライン配管貫通部の基本寸法箇所と仕様（形状、材料）を図2、表3に示す。

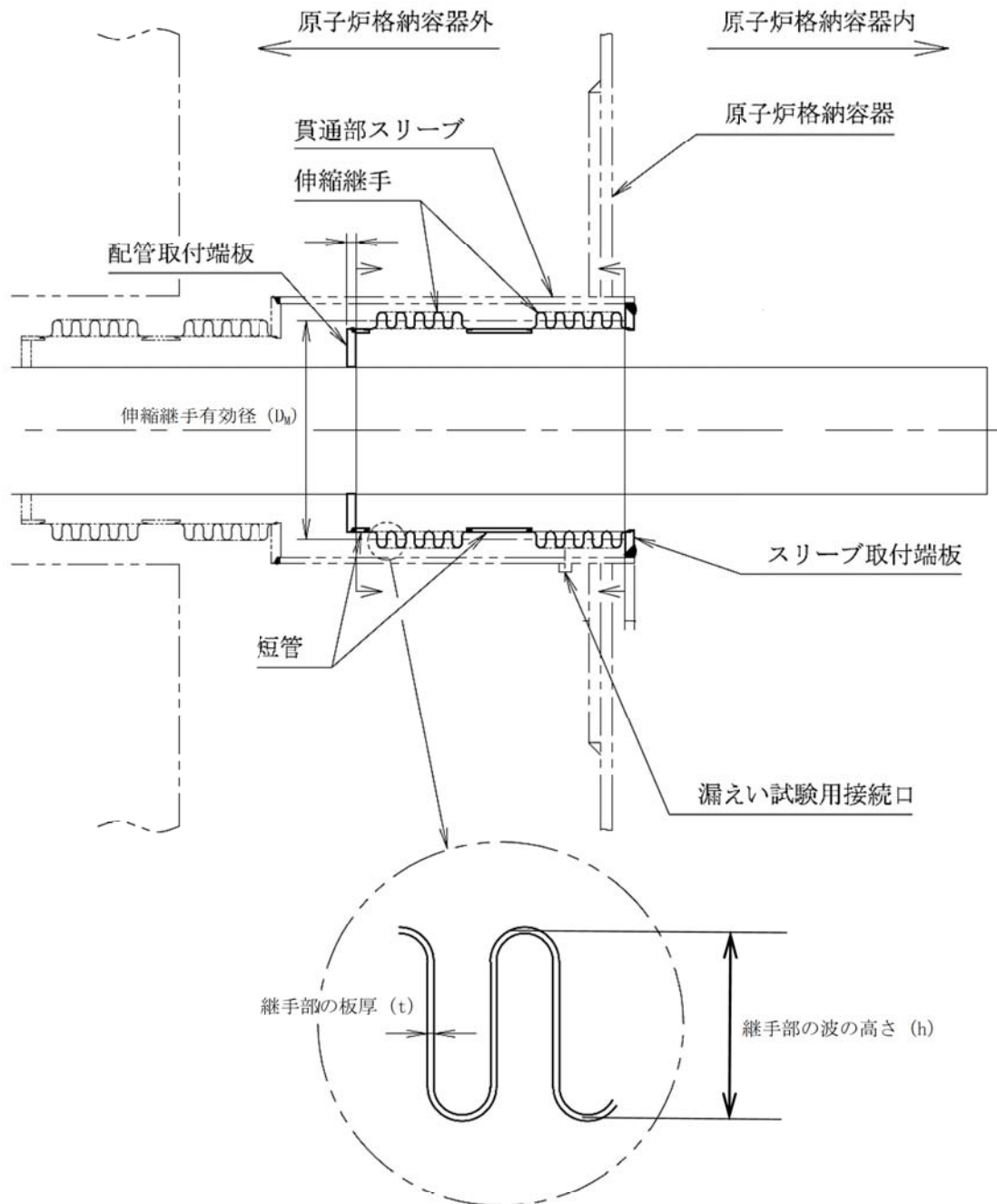


図2 主蒸気・主給水ライン貫通部の基本寸法箇所

表3 主蒸気・主給水ライン(伸縮継手)の仕様*

| 配管名称 | 格納容器 最高 使用圧力 (MPa) | 伸縮継手 有効径 (mm) D _M | 継手部の 波の高さ (mm) h | 継手部の 板厚 (mm) t | 継手部の 全山数 n | 継手部 材料 | 材料の最高使用 温度における 縦弾性係数 (MPa) |
|-------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-----------|-------------------------------------|
| 主蒸気配管 | | | | | | | |
| 主給水配管 | | | | | | | |

*：伸縮継手の疲労評価結果が最も厳しくなったC主蒸気系統、C主給水系統の仕様

配管解析から伸縮継手に作用する変位量が求まる。変位量による応力および最高使用圧力による応力を考慮して、PVE-3810で示す以下の式により許容繰り返し回数を求める。

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

ここで、 σ = 全伸縮量による応力 + 最高使用圧力による応力

許容繰り返し回数と過渡による負荷の回数から、以下の式により疲労累積係数(U_f)が算出される。

$$U_f = \frac{n}{N}$$

ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

表4 主蒸気・主給水貫通部の評価結果

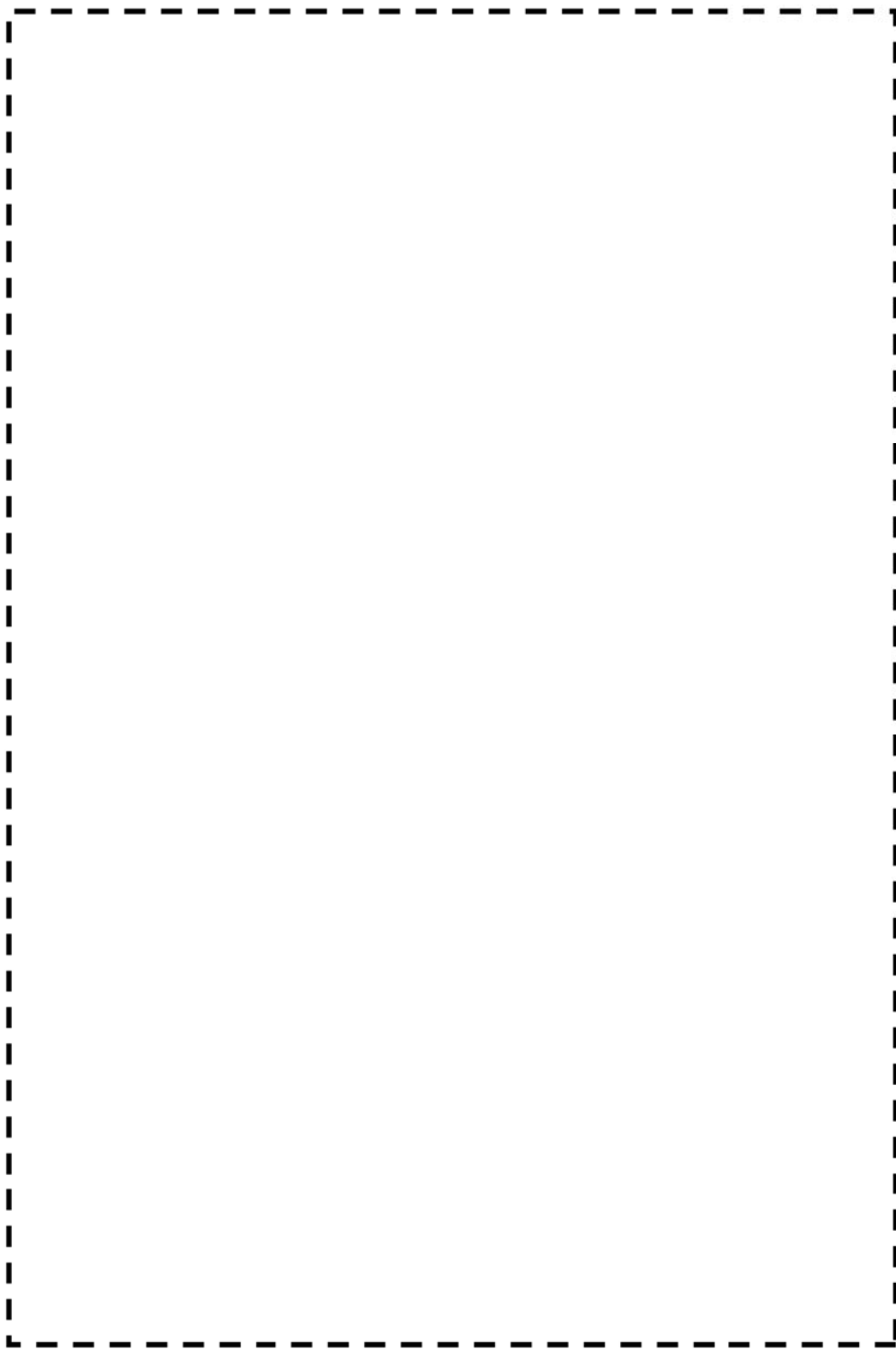
| | | ピーク応力 強さ(MPa) | 過渡による 負荷回数(n) | 許容回数 (N) | U _f | 全体 U _f |
|-----------|--------|------------------|------------------|-------------|----------------|----------------------|
| 主蒸気 配管 | 起動停止 | | | | | 0.005 |
| | 起動停止以外 | | | | | |
| 主給水 配管 | 起動停止 | | | | | 0.010 |
| | 起動停止以外 | | | | | |

美浜3号炉—低サイクル疲労—12

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---------|--|------|--|-----|-----|--|---------|--|------|--|------|-----|-----|--|
| <p>タイトル</p> | <p>1次冷却系統配管の疲労累積係数の算出根拠について (5-4-11頁)</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>説明</p> | <p>1次系冷却系統配管の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>【通常疲労】</p> <table border="1" data-bbox="475 860 1310 1256"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(加圧器サージ配管) MSAP(配管)PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管)PC1.0</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="border: 2px dashed black;"></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table> <p>【熱成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="475 1332 1310 1771"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 15.0</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="5" style="border: 2px dashed black;"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table> <p>解析モデルを添付1に示す。</p> | 解析プログラム | (加圧器サージ配管) MSAP(配管)PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管)PC1.0 | 要素種類 | | 要素数 | 節点数 | | 解析プログラム | (加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 15.0 | 要素種類 | | 要素次数 | 要素数 | 節点数 | |
| 解析プログラム | (加圧器サージ配管) MSAP(配管)PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管)PC1.0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 解析プログラム | (加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 15.0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

| <p>2. 材料物性 材料物性を以下に示す。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>使用箇所</th> <th>温度 (°C)</th> <th>S_m (MPa)</th> <th>使用材料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器サージ配管</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>加圧器スプレ配管</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | 使用箇所 | 温度 (°C) | S _m (MPa) | 使用材料 | 加圧器サージ配管 | | | | 加圧器スプレ配管 | | | |
|---|-----------------------|-------------------------|------|------|------------|-------------------------|-----------------------|----------|--|--|--|----------|--|--|--|
| 使用箇所 | 温度 (°C) | S _m (MPa) | 使用材料 | | | | | | | | | | | | |
| 加圧器サージ配管 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 加圧器スプレ配管 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>3. 最大評価点の選定 通常疲労における解析モデル上の評価点は、構造不連続部等の応力が大きくなる点を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。解析モデル上の評価結果及び最大評価点の選定結果を、添付2に示す。 また、加圧器サージ配管およびスプレ配管は、熱成層による影響を考慮しており、接液部位で、加圧器サージ配管および加圧器スプレ配管ともに1次+2次+ピーク応力が最大となる点について、環境疲労評価を実施している。 解析モデル上の評価結果及び最大評価点の選定結果を、添付4に示す。</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価フローを添付3に示します。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> | | | | 状態 | 荷重の組み合わせ | 供用状態 A, B | 圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡 | | | | | | | | |
| 状態 | 荷重の組み合わせ | | | | | | | | | | | | | | |
| 供用状態 A, B | 圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡 | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>5. K_e係数 環境疲労評価において用いたK_e係数を添付4に示す。</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>6. 環境評価パラメータ 評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数f_{en}）を、添付4に示す。</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



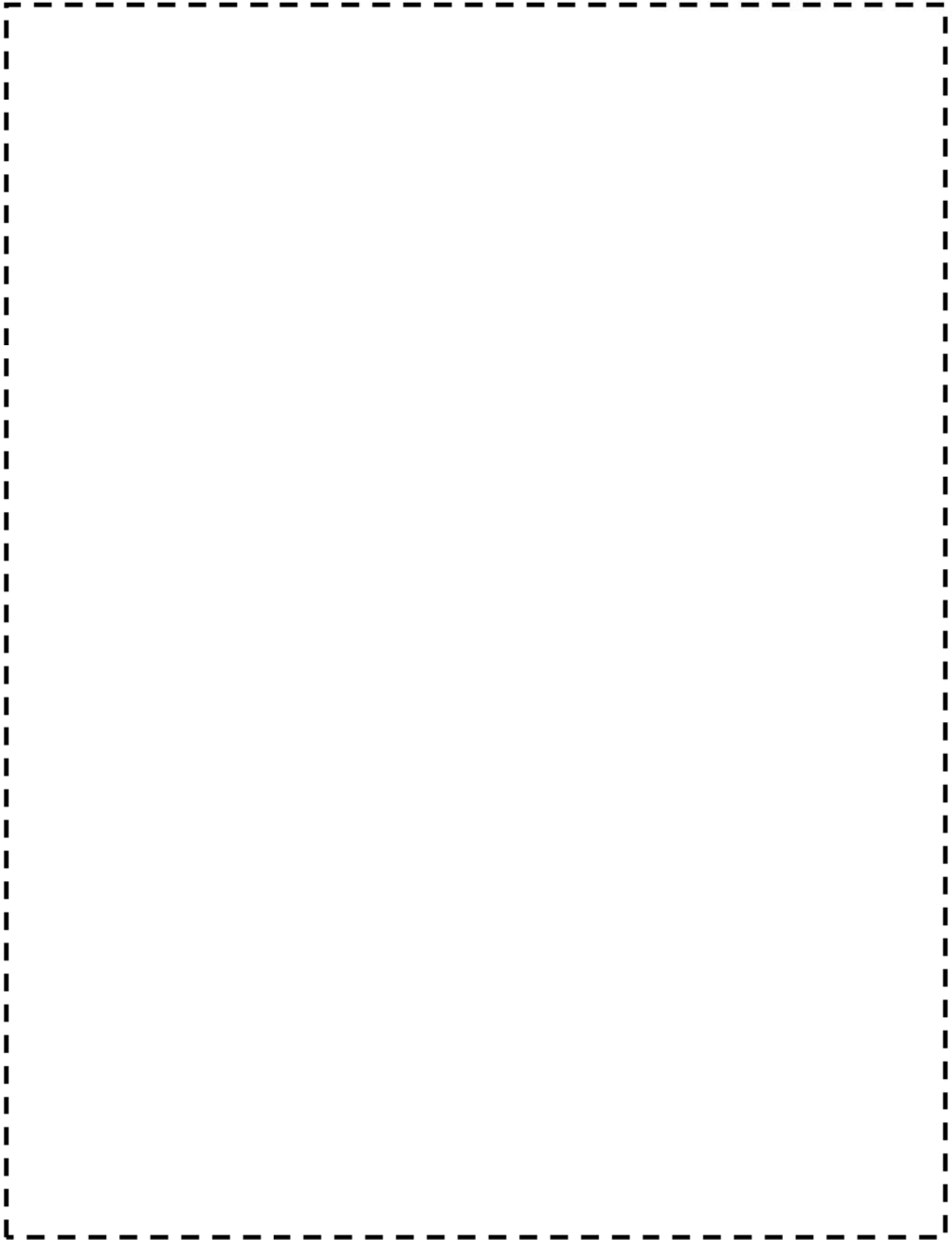
加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)

【 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 】



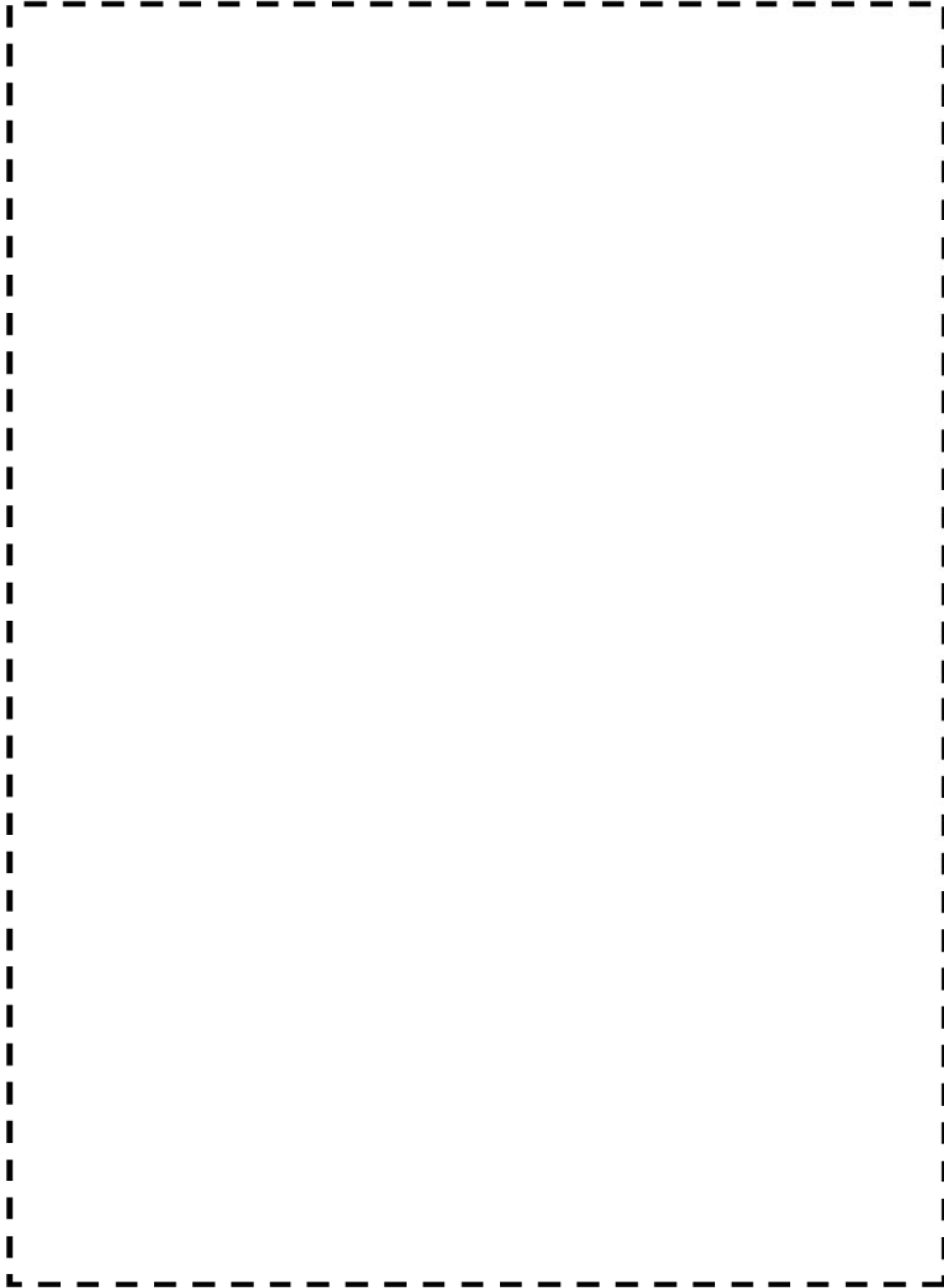
加圧器サージ配管 解析モデル (2/2)

【 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 】



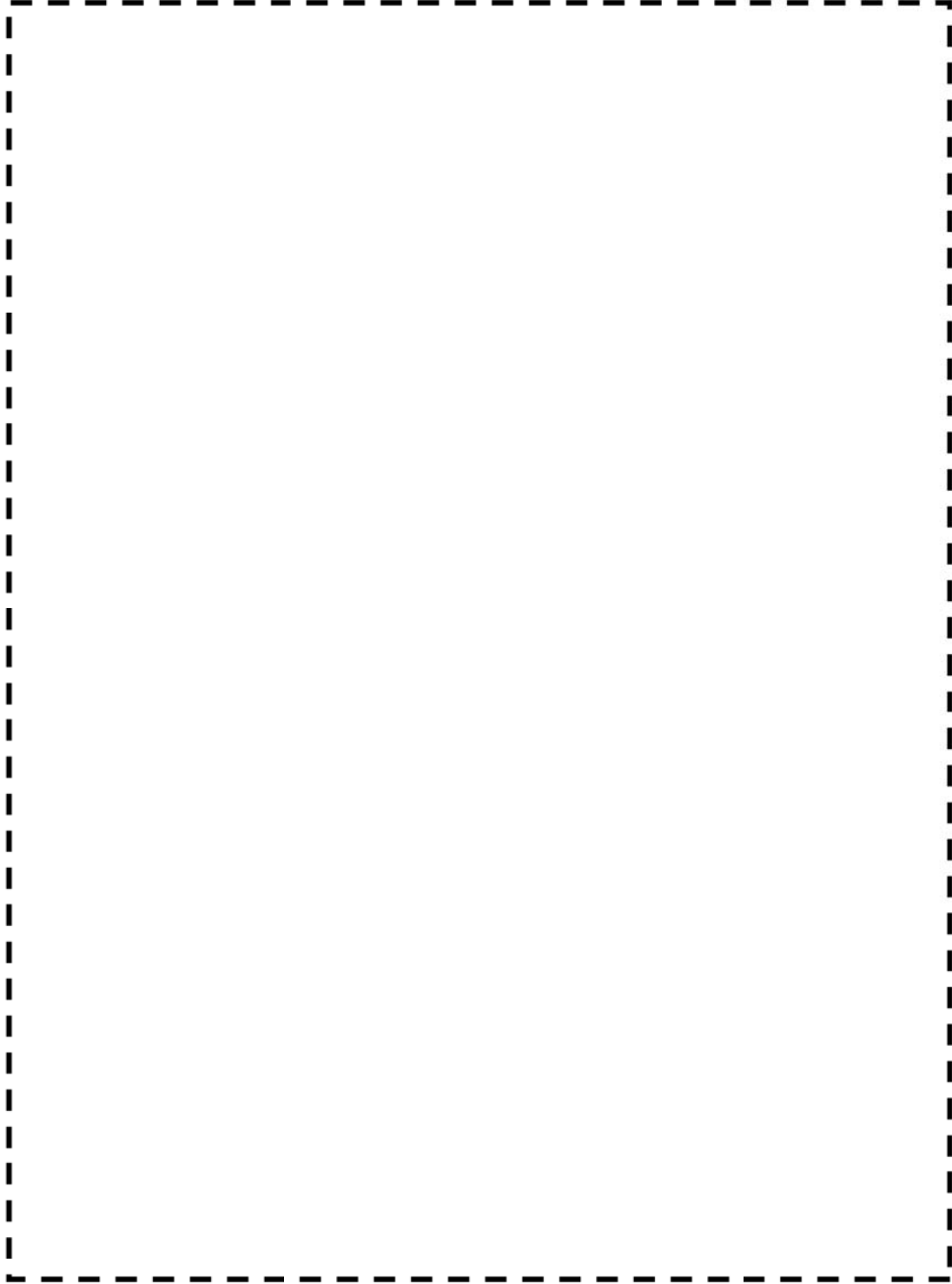
加圧器スプレ配管 解析モデル (1 / 5)

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



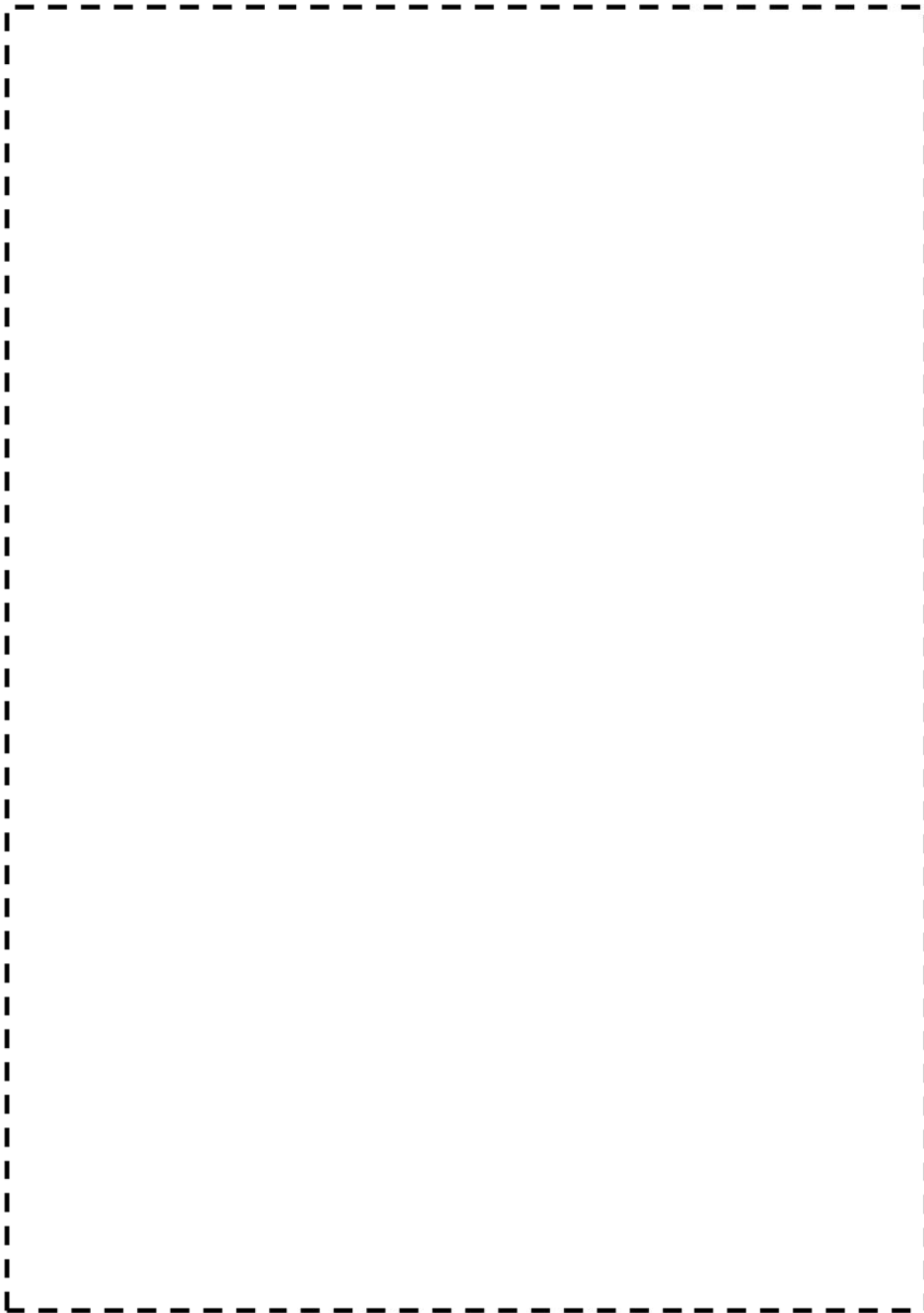
加圧器スプレ配管 解析モデル (2/5)

【 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 】



加圧器スプレ配管 解析モデル (3/5)

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



加圧器スプレ配管 解析モデル (4 / 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



加圧器スプレ配管 解析モデル (5/5)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

| 節点番号 | 圧力による 応力 (MPa) | 外荷重による 応力 (MPa) | 板厚方向線形温 度差による応力 (MPa) | 構造上の不連続 による熱応力 (MPa) | 板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa) | ピーク 応力 (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注) | 疲労累積 係数 | 許容値 |
|------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|-----|
| 501 | | | | | | | | | 1.0 |
| 101 | | | | | | | | | |
| 600 | | | | | | | | | |
| 103 | | | | | | | | | |
| 812 | | | | | | | | | |
| 105 | | | | | | | | | |
| 604 | | | | | | | | | |
| 805 | | | | | | | | | |
| 605 | | | | | | | | | |
| 806 | | | | | | | | | |
| 107 | | | | | | | | | |
| 807 | | | | | | | | | |
| 608 | | | | | | | | | |
| 111 | | | | | | | | | |
| 502 | | | | | | | | | |

→通常UF : 0.011

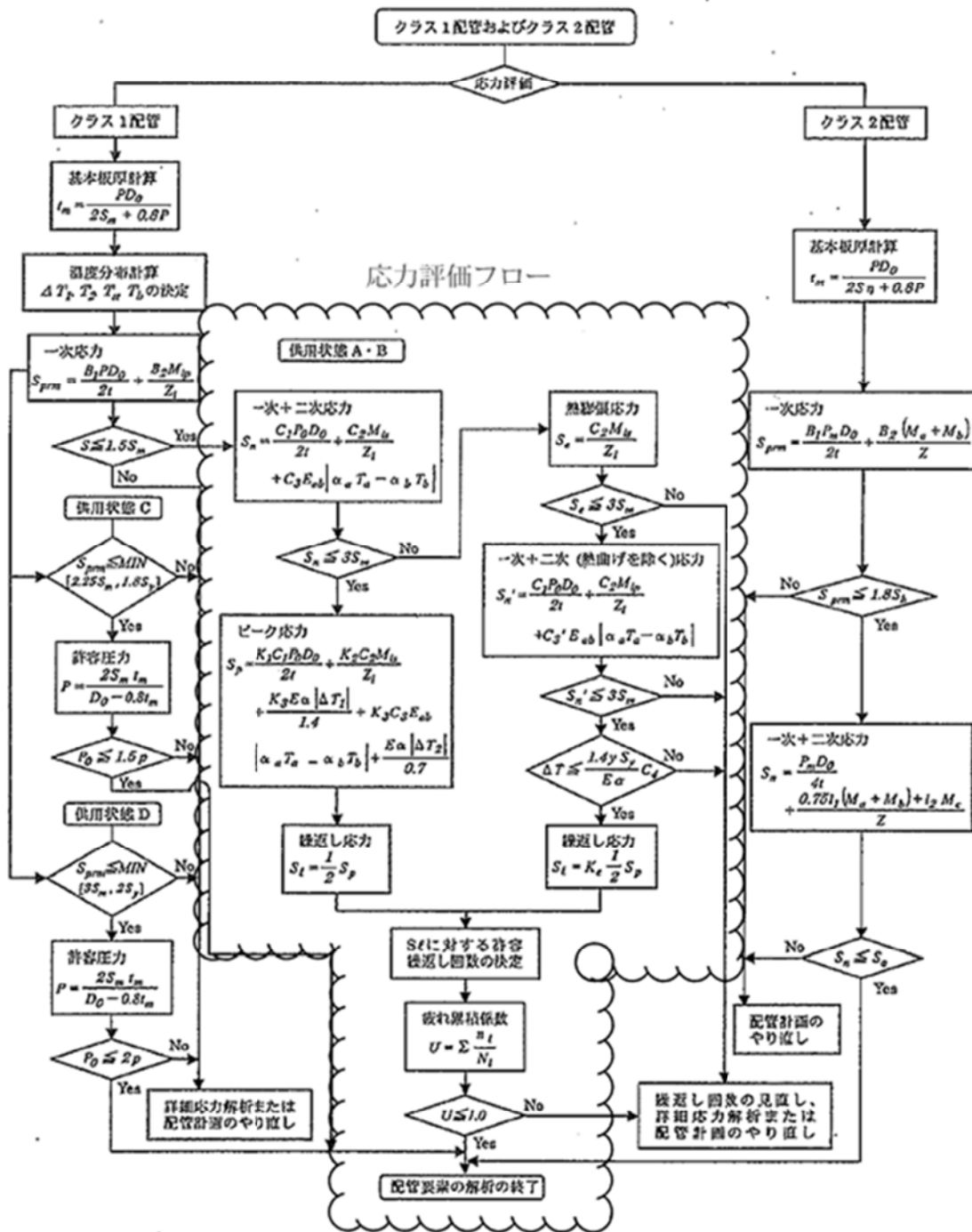
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

加圧器スプレ配管 最大評価点の選定

| 節点番号 | 圧力による 応力 (MPa) | 外荷重による 応力 (MPa) | 板厚方向線形温度 差による応力 (MPa) | 構造上の不連続 による熱応力 (MPa) | 板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa) | ピーク 応力 (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注) | 疲労累積 係 数 | 許容値 |
|------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|-----|
| 111 | | | | | | | | | 1.0 |
| 113 | | | | | | | | | |
| 501 | | | | | | | | | |
| 173 | | | | | | | | | |
| 627 | | | | | | | | | |
| 174 | | | | | | | | | |
| 176 | | | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | | | |
| 204 | | | | | | | | | |
| 231 | | | | | | | | | |
| 502 | | | | | | | | | |
| 736 | | | | | | | | | |
| 329 | | | | | | | | | |
| 331 | | | | | | | | | |
| 550 | | | | | | | | | |

→通常UF : 0.005

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



(備考) クラス2配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント M_b を含む場合の式のみを記載した

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

Ke 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【加圧器サージ配管 (節点番号502)】

| 過渡 記号 A | 過渡 記号 B | 応力強さ 強さ (MPa) | | 割増 係数 ke | ピーク応力 強さ (MPa) salt' | 実過渡 回数 n | 許容繰 返し回数 n* | 疲労損 傷係数 u | 環境効 果係数 fen | 環境中疲労 損傷係数 uen |
|---------------|---------------|------------------|------|----------------|----------------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| | | smax | smin | | | | | | | |
| total | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 0.00097 | | 0.00278 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ ($salt' \leq 214.5$) の場合、 $fen=1.0$

→環境UF : 0.003

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

【加圧器スプレ配管 (評価点A)】

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|------------|---|-------------------|------|------------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | KE | 補正前 salt | 補正後 salt' | n | n* | u | 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



| | |
|-----|---------|
| 合計: | 0.14917 |
|-----|---------|

→環境UF : 0.150

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

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

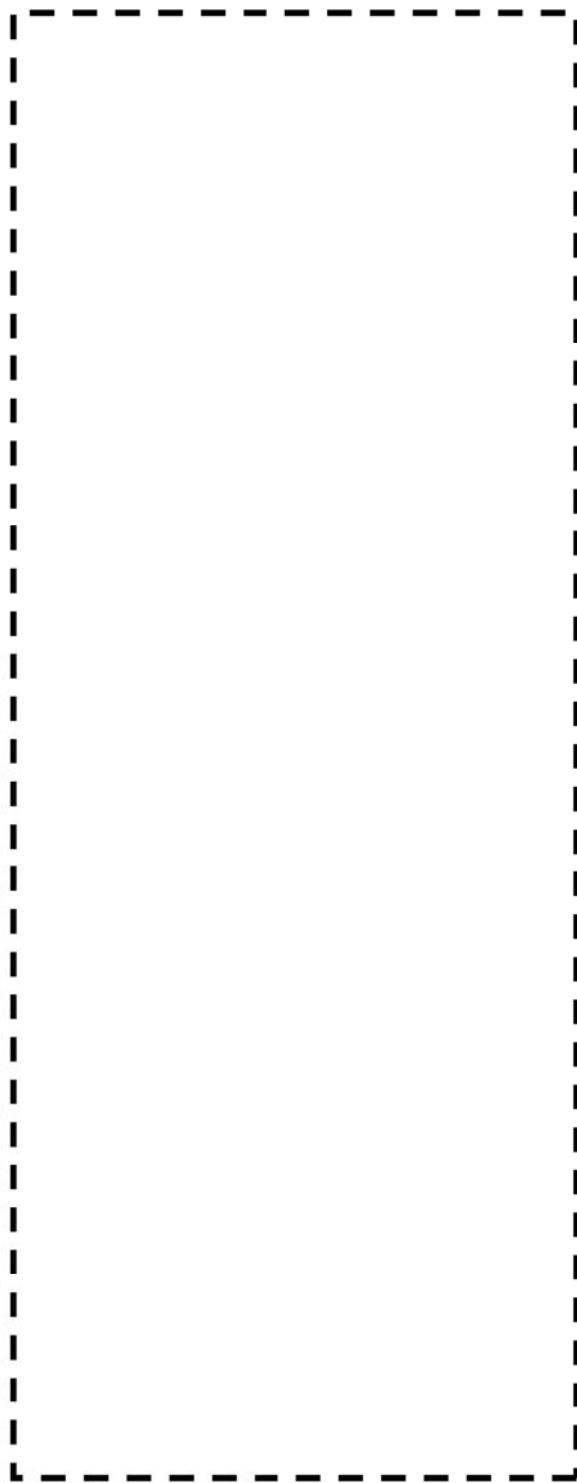
(1) 加圧器サージ配管

a. 過渡2D3[100%からの原子炉トリップ(III)不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ]—2D3[100%からの原子炉トリップ(III)不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ]

b. 過渡2G1[出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動]—2G1[出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動]

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

c. 過渡2H1[1次冷却系停止ループの誤起動] - 2H1[1次冷却系停止ループの誤起動]



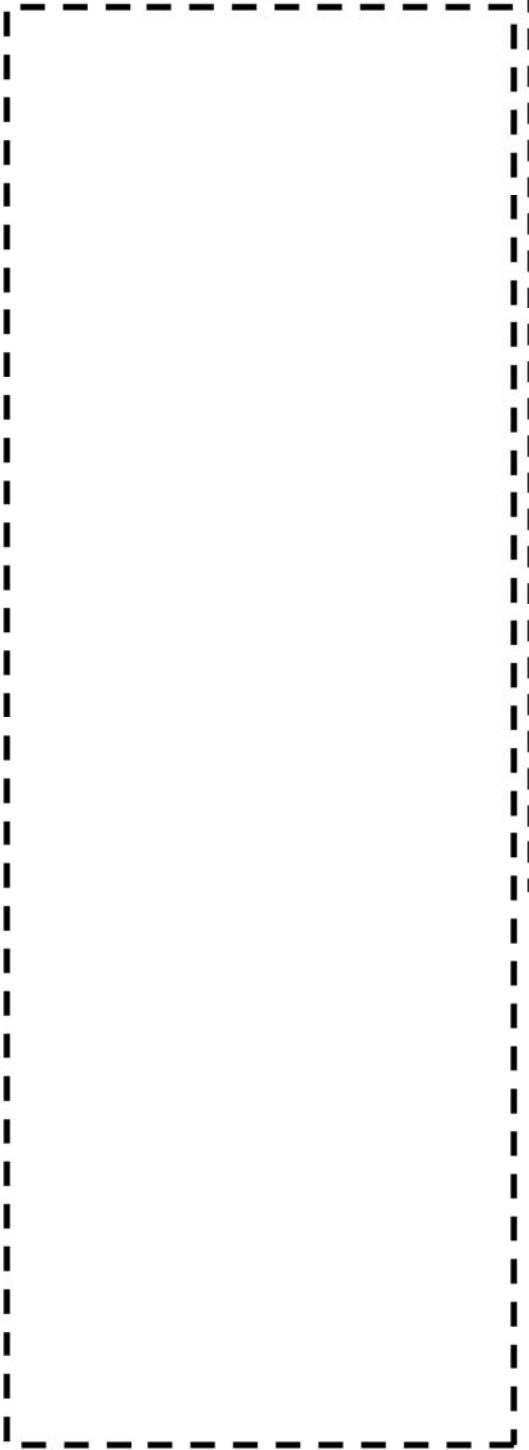
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(2) 加圧器スプレ配管 (U f が大きい過渡の温度、ひずみ履歴を 6 例示す)

a. 過渡1A3[起動時の冷水注入] - 1A7[起動時の冷水注入]

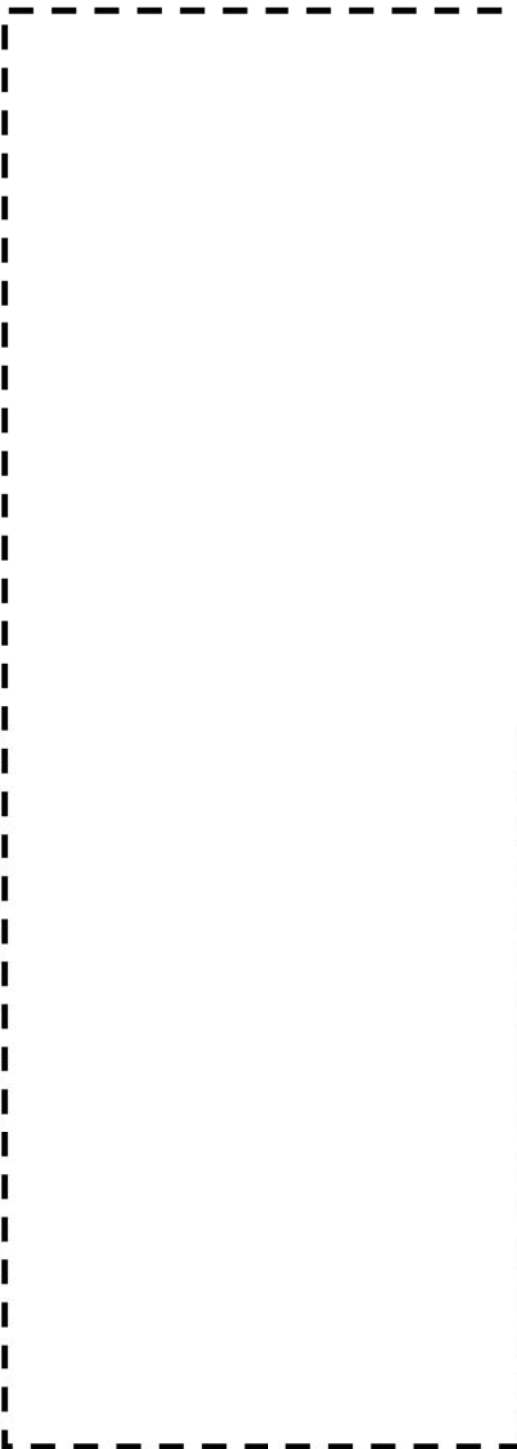


b. 過渡1B2[停止時の冷水注入] - 1B2[停止時の冷水注入]

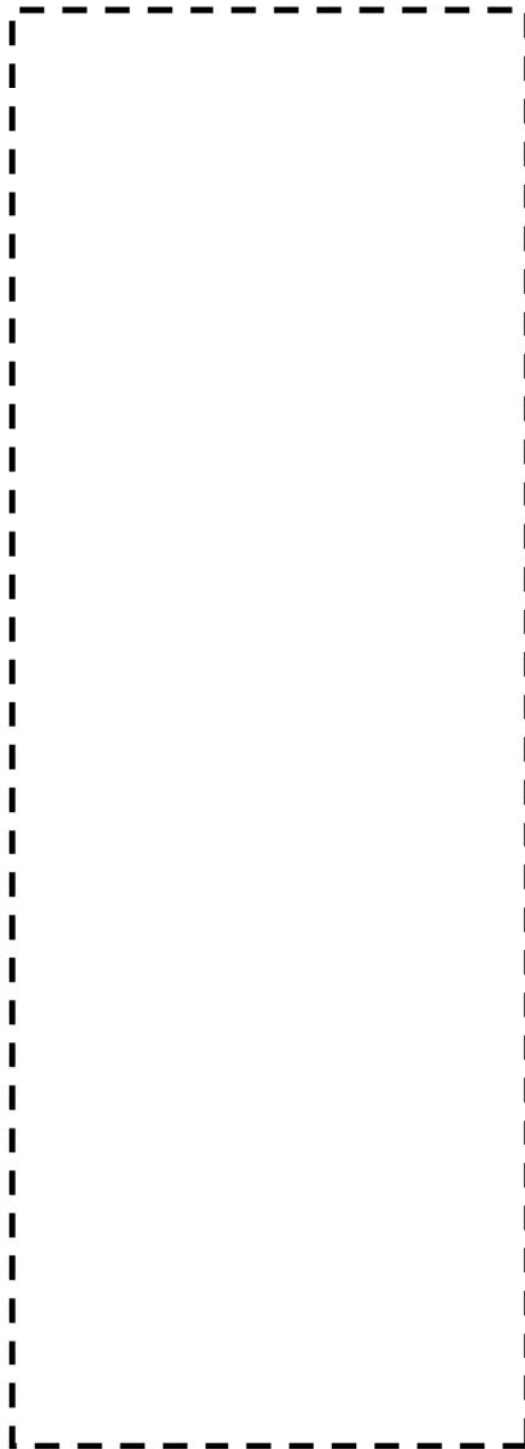


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

c. 過渡 III [ほう素濃度の均一化] - ID1 [負荷減少 (負荷減少率 5 %/min)]



d. 過渡 III [ほう素濃度の均一化] - IC1 [負荷上昇 (負荷上昇率 5 %/min)]



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

e. 過渡1D1[負荷減少(負荷減少率5%/min)]-111[ほう素濃度の均一化]

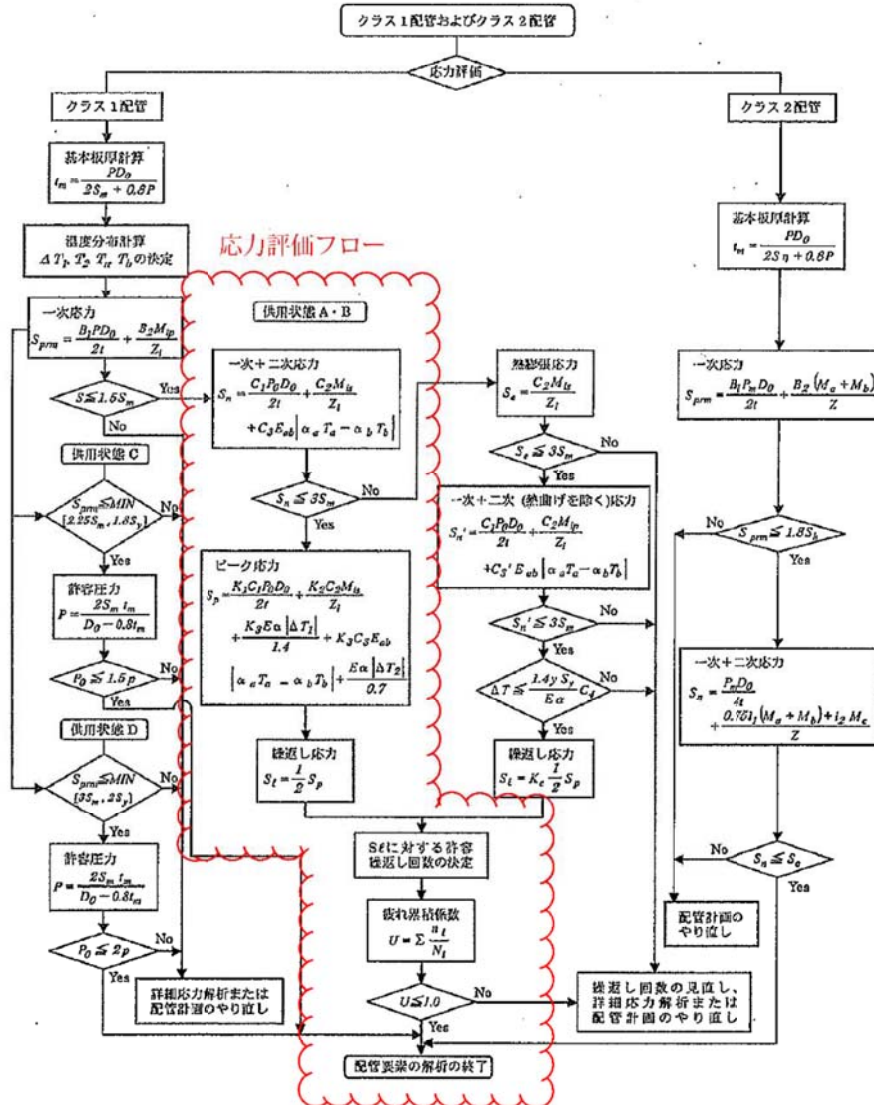
f. 過渡1C1[負荷上昇(負荷上昇率5%/min)]-111[ほう素濃度の均一化]

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

美浜3号炉—低サイクル疲労—13 rev 1

| | |
|------|--|
| タイトル | 主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠について (5-3-25頁) |
| 説明 | <p>主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 応力分類 応力評価フローチャートを添付1に示す。 荷重の組合せ：圧力＋自重＋熱＋機械的荷重(設計・建設規格による)2. 材料物性値（最高使用温度時※） ヤング率：1.90×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.238×10^{-5} (mm/mm・°C) ※主給水配管の場合、熱膨張荷重において、ヤング率及び熱膨張係数は過渡条件に応じた変動値を使用している。3. 解析モデル 解析モデルを添付2に示す。 なお、配管各部位に考慮する応力係数は設計・建設規格のPPB-3812に定める応力係数に従って設定している。4. 最大評価点の選定 評価範囲を全て計算してもっとも厳しいものを記載している。 最大評価点の過渡の組合せ毎の疲労累積係数の内訳を添付3に示す。5. Ke係数 評価に用いたKe係数を添付3に示す。 なお、一次＋二次ピーク応力が許容値を超えた評価点7500以外は簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。6. 環境評価パラメータ JSME S NF1-2009による係数倍法を適用している。<ul style="list-style-type: none">・最高使用温度：230°C・硫黄含有量：規格で許容される最大含有量(0.035wt%)・溶存酸素濃度：主給水の管理基準 (1ppb)PWR 2次系環境の式に適用し、$F_{en}=4.435$ を評価に用いている。 |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

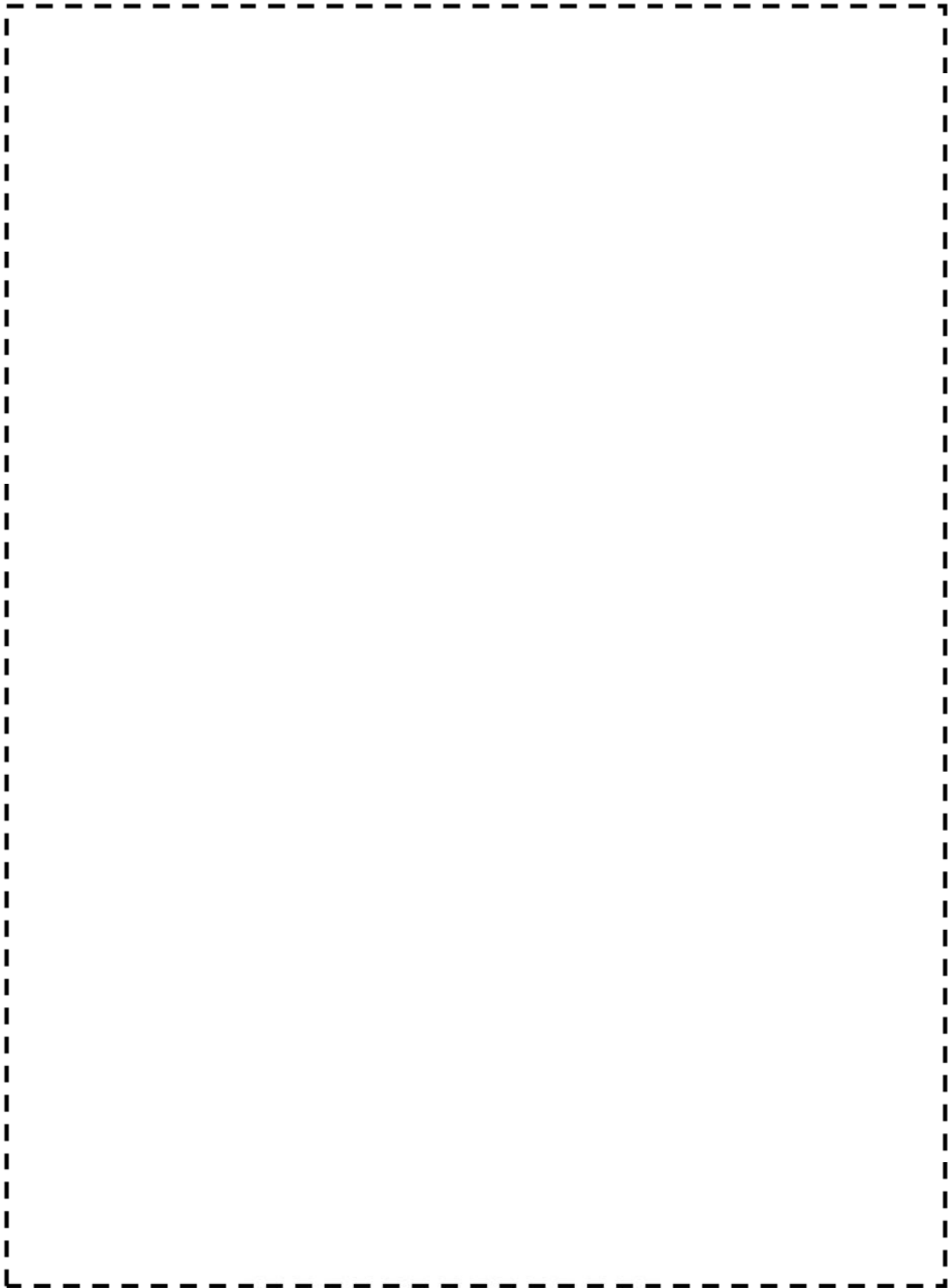


(備考) クラス2配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント M_b を含む場合の式のみを記載した

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

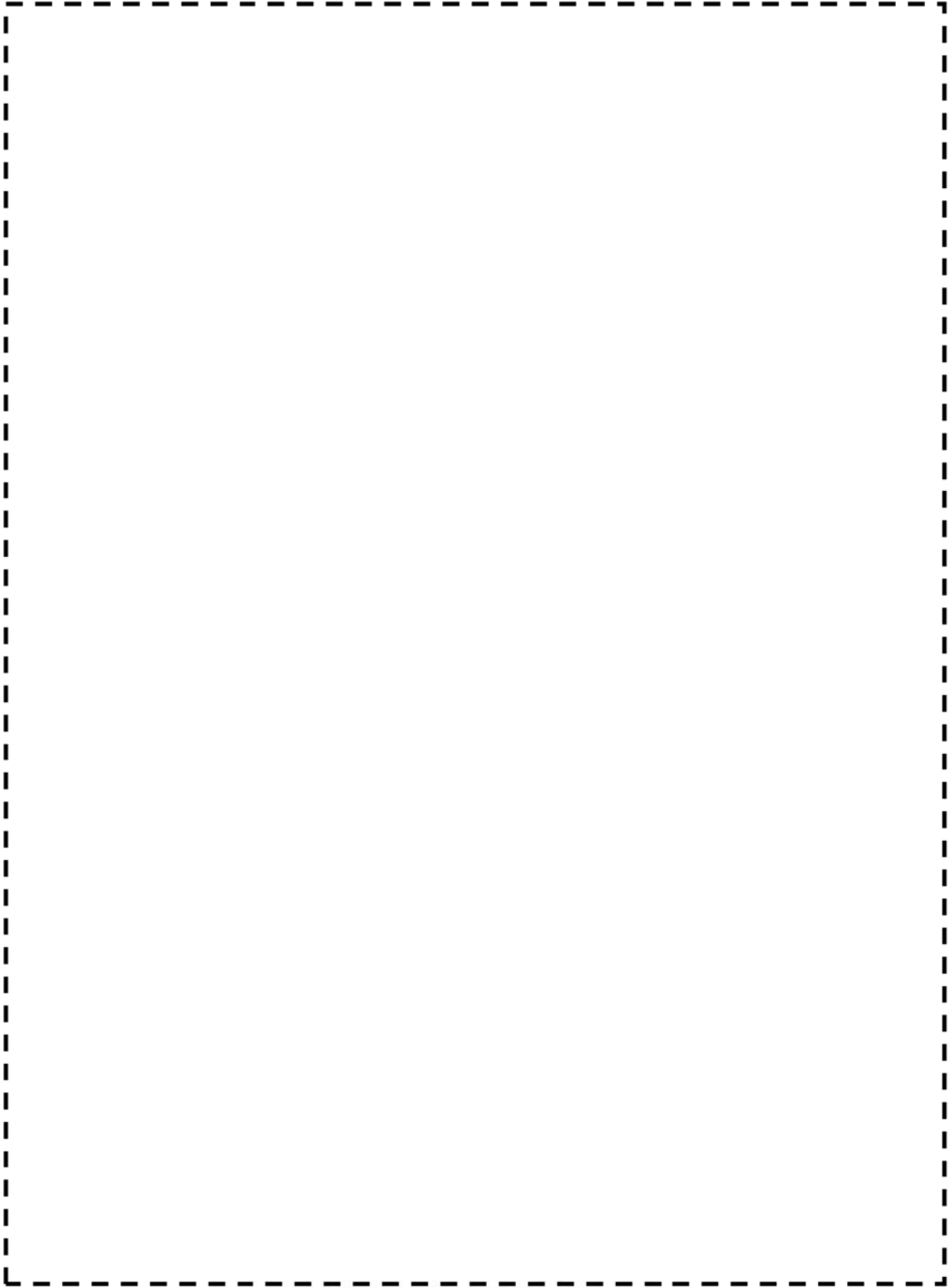
I-解説 5-8

図1 応力評価フローチャート



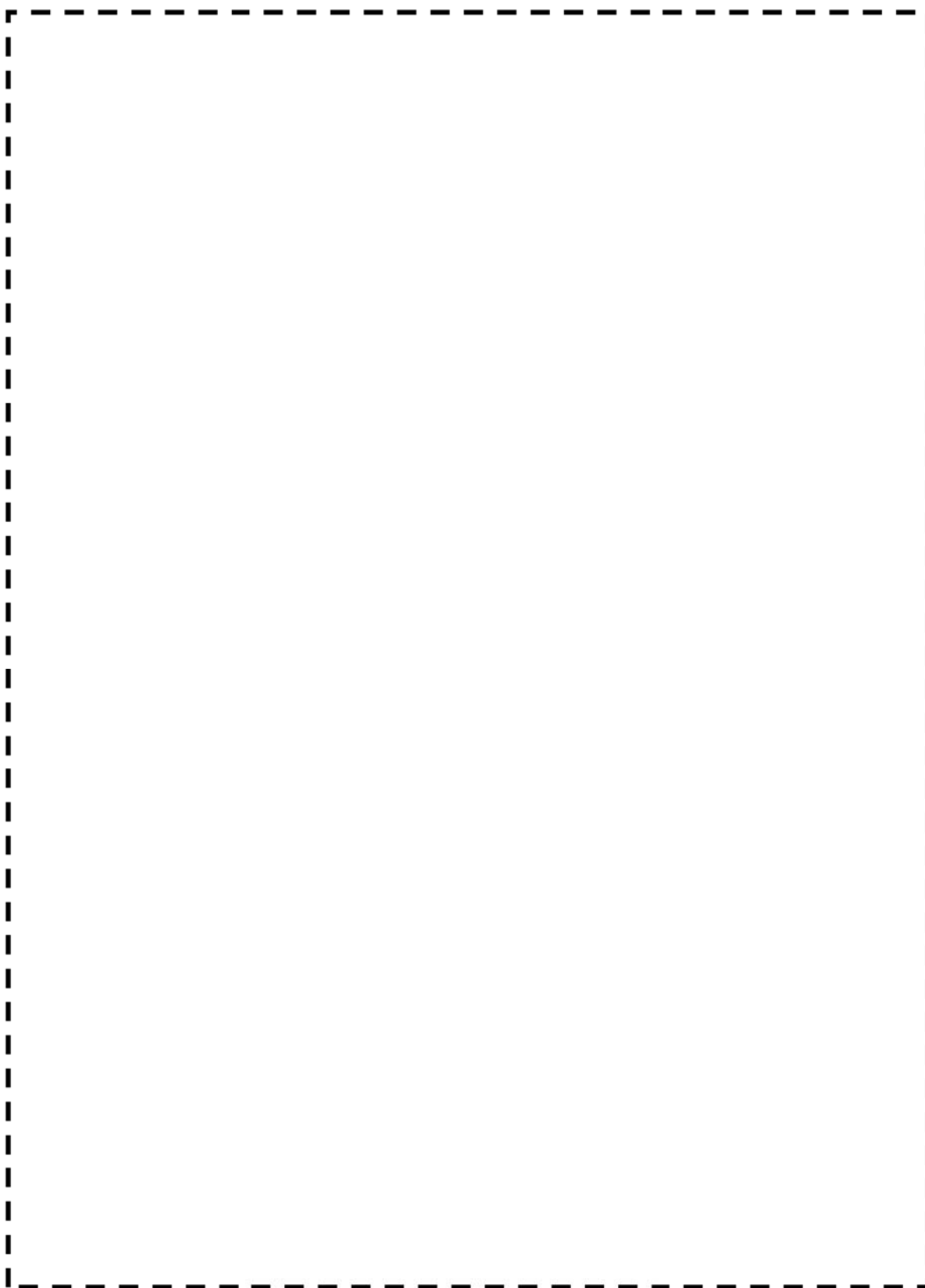
美浜3号炉 A-主給水配管 (CV内)

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。



美浜3号炉 B-主給水配管 (CV内)

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。



美浜3号炉 C-主給水配管 (CV内)

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 疲労評価結果 (C-主給水配管 評価点7500)

| Spi | Ke | ALT' | N | N* | Uf |
|-----|----|------|---|----|----|
| | | | | | |

上記の疲労累積係数は全ての組み合わせのうち、Ufが大きいものを代表して記載

Spi : ピーク応力強さ

ALT' : ヤング率補正後の繰り返しピーク応力強さ

N : 繰り返し回数 N* : 許容繰り返し回数 Uf : 疲労累積係数

...

合計 0.04666

→通常UF : 0.047

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。

美浜3号炉—低サイクル疲労—14

| <p>タイトル</p> | <p>1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠について (5-4-11頁)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------------|------|--|---------|-----------------|------|--|------|--|-----|--|-----|--|-----|-----------|-------------|------|--|--|--|-------|--|--|--|--------------------|
| <p>説明</p> | <p>1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>＜配管荷重の算出＞</p> <table border="1" data-bbox="475 853 1311 936"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p>＜温度分布の算出＞</p> <table border="1" data-bbox="475 976 1311 1335"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> </table> <p>解析モデルを添付1に示す。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="418 1487 1366 1783"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>温度 (℃)</th> <th>Sm (MPa)</th> <th>使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>クロスオーバレグ コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は構造不連続部等において応力が大きくなる点を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付2に示す。</p> | 解析プログラム | MSAP | 要素種類 | | 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 | 要素種類 | | 要素次数 | | 要素数 | | 節点数 | | 材 料 | 温度 (℃) | Sm (MPa) | 使用箇所 | | | | ホットレグ | | | | クロスオーバレグ コールドレグ |
| 解析プログラム | MSAP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 材 料 | 温度 (℃) | Sm (MPa) | 使用箇所 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ホットレグ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | クロスオーバレグ コールドレグ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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

4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付3に示す。

| 状態 | 荷重の組み合わせ |
|---------|-----------------------|
| 供用状態A、B | 圧力+機械的荷重+配管の熱膨張荷重+熱過渡 |

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を、添付4に示す。

【管台】

1. 解析モデル

疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。

<配管荷重の算出>

| | |
|---------|-----------------|
| 解析プログラム | MSAP (配管) PC1.0 |
| 要素種類 | |

<応力の算出>

| | |
|---------|-----------------|
| 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 |
| 要素種類 | |
| 要素次数 | |
| 要素数 | |
| 節点数 | |

解析モデルを添付5に示す。

2. 材料物性

材料物性値を以下に示す。

| 材 料 | 温度 (°C) | Sm (MPa) | 使用箇所 |
|-----|------------|-------------|--------------|
| | | | 加圧器サージライン用管台 |
| | | | 安全注入系ライン用管台 |
| | | | 化学体積制御系 |
| | | | ライン用管台 |

3. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点は、構造不連続部において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。

解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付6に示す。

4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付7に示す。

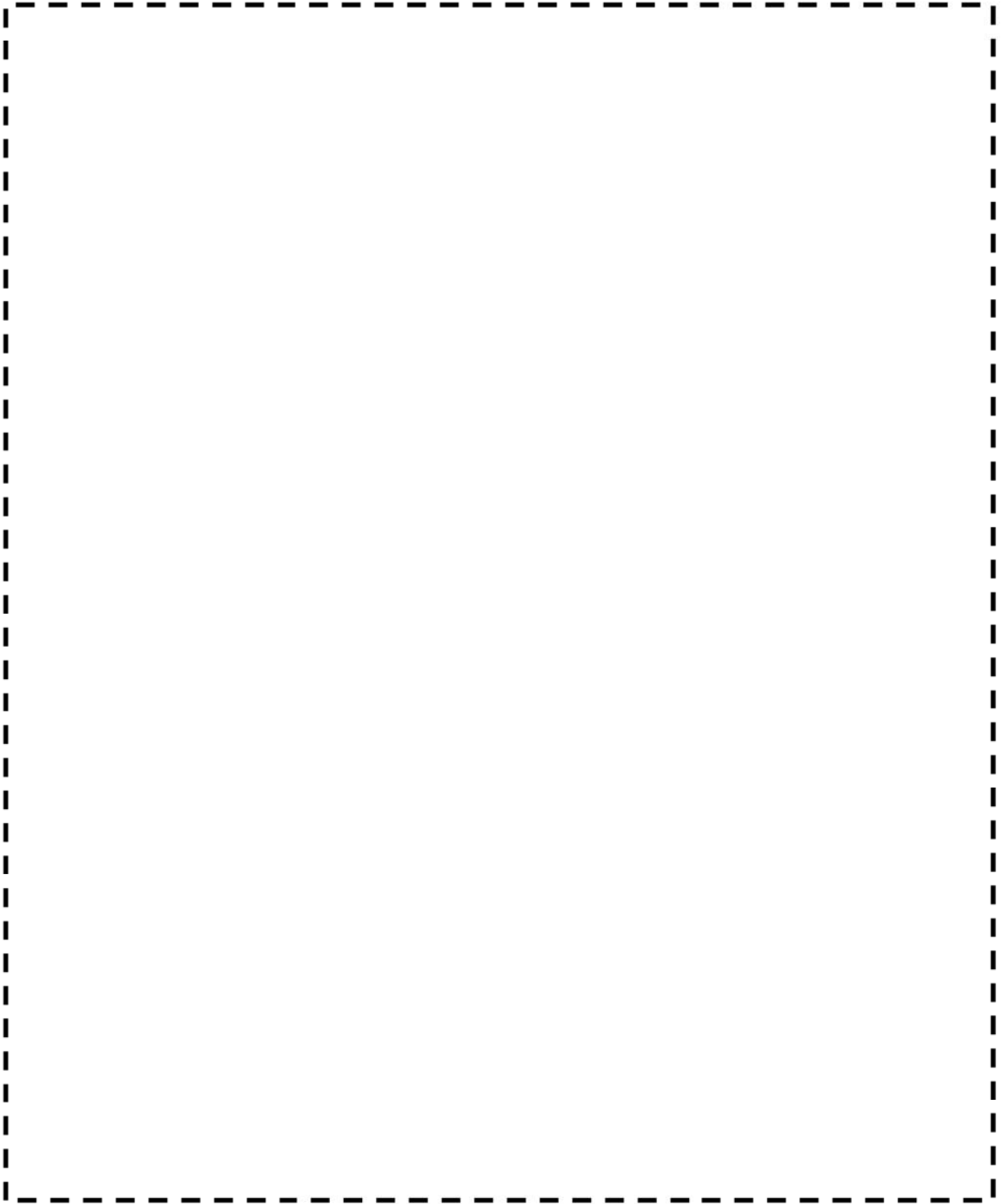
| 状態 | 荷重の組み合わせ |
|---------|-----------------------|
| 供用状態A、B | 圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡 |

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付8に示す。

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付8に示す。



1次冷却材管 形状及び評価点

1次冷却材管（ホットレグ） 解析モデル（ABAQUSによるモデル）

1次冷却材管（クロスオーバーレグ） 解析モデル（ABAQUSによるモデル）

1次冷却材管（コールドレグ） 解析モデル（ABAQUSによるモデル）

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



1次冷却材管 ループ解析モデル

1次冷却材管は上記のようにループ連成の多質点梁モデルで解析を行っている。多質点モデルによる解析の妥当性については、手計算との比較や、PWR 1次冷却材管の耐震実証試験^{※1}にて地震応力による各部位の応力実測値と解析結果とを比較している。その結果、例えばクロスオーバーレグについても解析結果が応力実測値を上回っており、大きい応力が発生する位置では応力実測値の \square 倍以上となり、実測値を上回る保守的な解析結果となっていることから、解析が妥当であることを確認している。耐震実証試験では地震加速度による配管が変形する応力を検証しており、地震によって各部位の様々な方向の変形が再現できていることから、配管の変形を生じる応力について包括的に検証できていると判断している。

※1



1 次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1 / 2)

| 評価部位 | 節点番号 | 圧力による 応力 (MPa) | 外荷重による 応力 (MPa) | 板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa) | 構造上の 不連続による 熱応力 (MPa) | 板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa) | ピーク応力 Sp (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa) | 疲労累積係数 | 許容値 |
|----------|------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-----|
| ホットレグ | 107 | | | | | | | | | 1.0 | |
| | 109 | | | | | | | | | | |
| | 111 | | | | | | | | | | |
| | 113 | | | | | | | | | | |
| | 114 | | | | | | | | | | |
| | 117 | | | | | | | | | | |
| | 141 | | | | | | | | | | |
| クロスオーバレグ | 142 | | | | | | | | | | |
| | 143 | | | | | | | | | | |
| | 145 | | | | | | | | | | |
| | 147 | | | | | | | | | | |
| | 149 | | | | | | | | | | |
| | 151 | | | | | | | | | | |
| | 153 | | | | | | | | | | |
| 157 | | | | | | | | | | | |

→ ホットレグ通常UF: 0.001

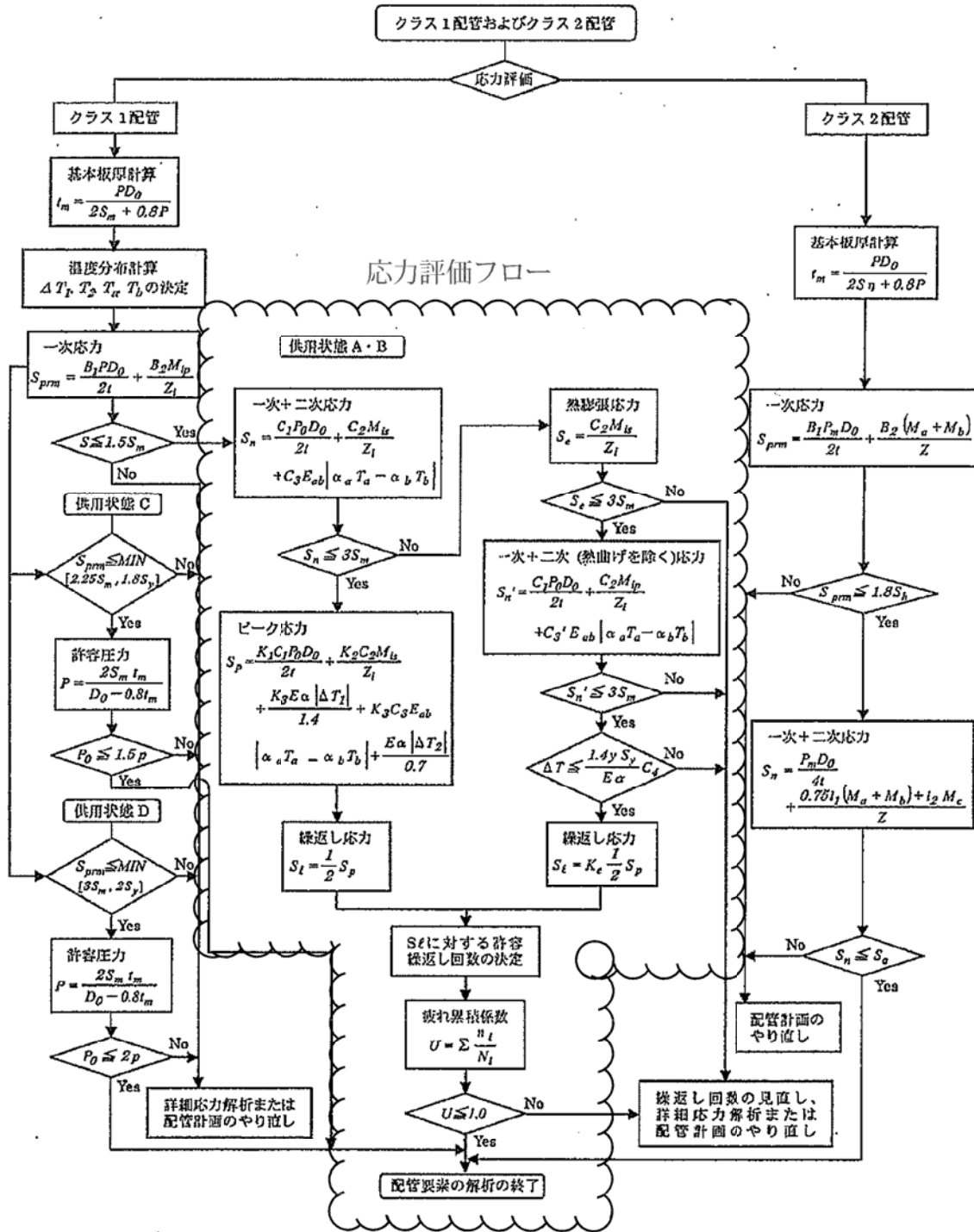
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

1 次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2 / 2)

| 評価部位 | 節点番号 | 圧力による 応力 (MPa) | 外荷重による 応力 (MPa) | 板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa) | 構造上の 不連続による 熱応力 (MPa) | 板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa) | ピーク応力 Sp (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa) | 疲労累積係数 | 許容値 |
|-----------|------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------|-----|
| クロスオーバーレグ | 159 | | | | | | | | | 1.0 | |
| | 160 | | | | | | | | | | |
| | 161 | | | | | | | | | | |
| | 163 | | | | | | | | | | |
| | 165 | | | | | | | | | | |
| | 167 | | | | | | | | | | |
| | 181 | | | | | | | | | | |
| コールドレグ | 183 | | | | | | | | | | |
| | 185 | | | | | | | | | | |
| | 189 | | | | | | | | | | |
| | 194 | | | | | | | | | | |

→クロスオーバーレグ 通常UF：0.002
コールドレグ 通常UF：0.001

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



(備考) クラス2配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント M_b を含む場合の式のみを記載した

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

Ke 係数と環境評価パラメータ (ホットレグ) (詳細評価手法: 評価点114)

| 過渡条件番号 | | 一次+二次+ ピーク応力 sp | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|--------|---|-----------------------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 合計: | 0.00052 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF : 0.001

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

Ke 係数と環境評価パラメータ (クロスオーバーレグ) (詳細評価手法: 評価点167)

| 通過条件番号 | | 一次+二次+ ピーク応力 sp | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|--------|---|-----------------------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 合計: | 0.00857 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ ($salt' \leq 214.5$) の場合、 $fen=1.0$

→環境UF: 0.009

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

Ke 係数と環境評価パラメータ (コールドレグ) (詳細評価手法: 評価点181)

| 過渡条件番号 | | 一次+二次+ピーク応力 sp | 削り増し係数 KE | 繰返しピーク応力強さ | | 実過渡回数 n | 許容繰返し回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果補正係数 fen | 環境効果を考慮した疲労累積係数 uen |
|--|---|-------------------|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|-------------|-----------------|------------------------|
| A | B | | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| <div style="border: 1px dashed black; width: 100%; height: 100%;"></div> | | | | | | | | | | |
| 合計: | | | | | | | | | | 0.00297 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF: 0.003

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

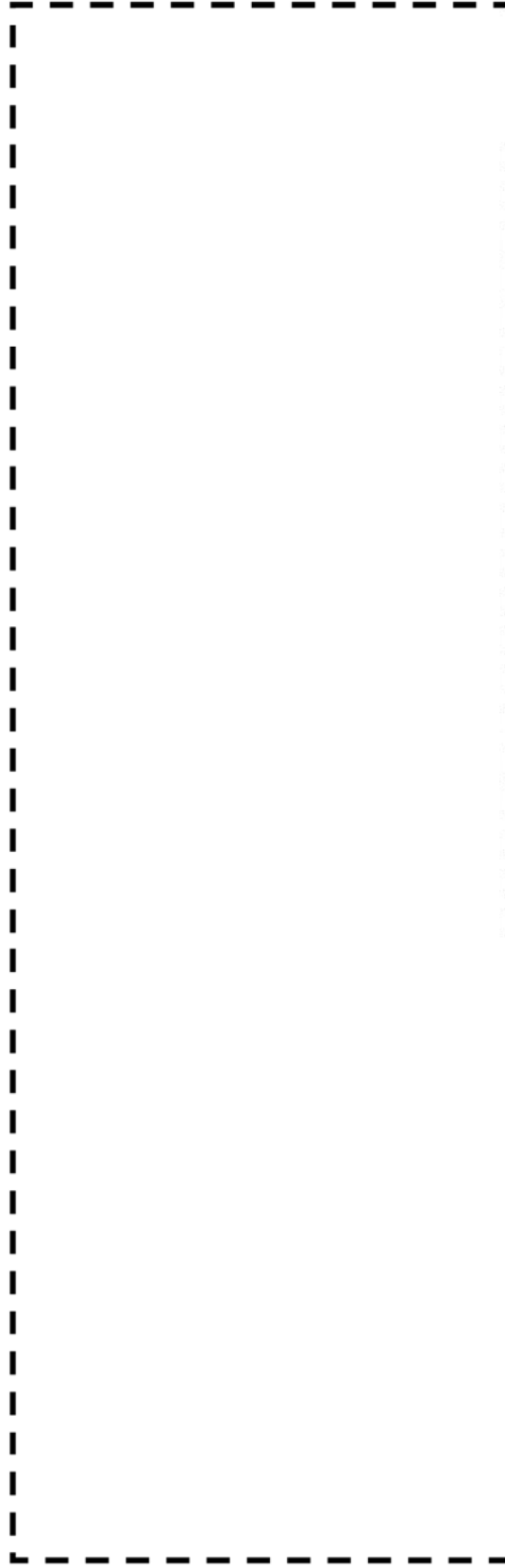
環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) ホットレグ

a. 過渡2H1[1次冷却系停止ループの誤作動] - 1I1[燃料交換] - 2F1[制御棒クラスタの落下] - 1I1[燃料交換]

環境疲労評価手法 (JSME S NF1) のEF-3233に従い、式EF-20におけるΔT項が支配的ではないため、EF-3222により「起動」時の上昇過程に線形としたひずみ速度で評価。



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) クロスオーバーバレーダ

a. 過渡2JI[1次系漏えい試験] - IBI[停止(温度降下率55.6°C/h)]

b. 過渡1AI[起動(温度上昇率55.6°C/h)] - IBI[停止(温度降下率55.6°C/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

c. 過渡1A1[起動(温度上昇率 $55.6^{\circ}\text{C}/\text{h}$)]-2J2[1次系漏えい試験]



【 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) コールドレダ

a. 過渡2J1[1次系漏えい試験] - 1B1[停止(温度降下率55.6%/h)]

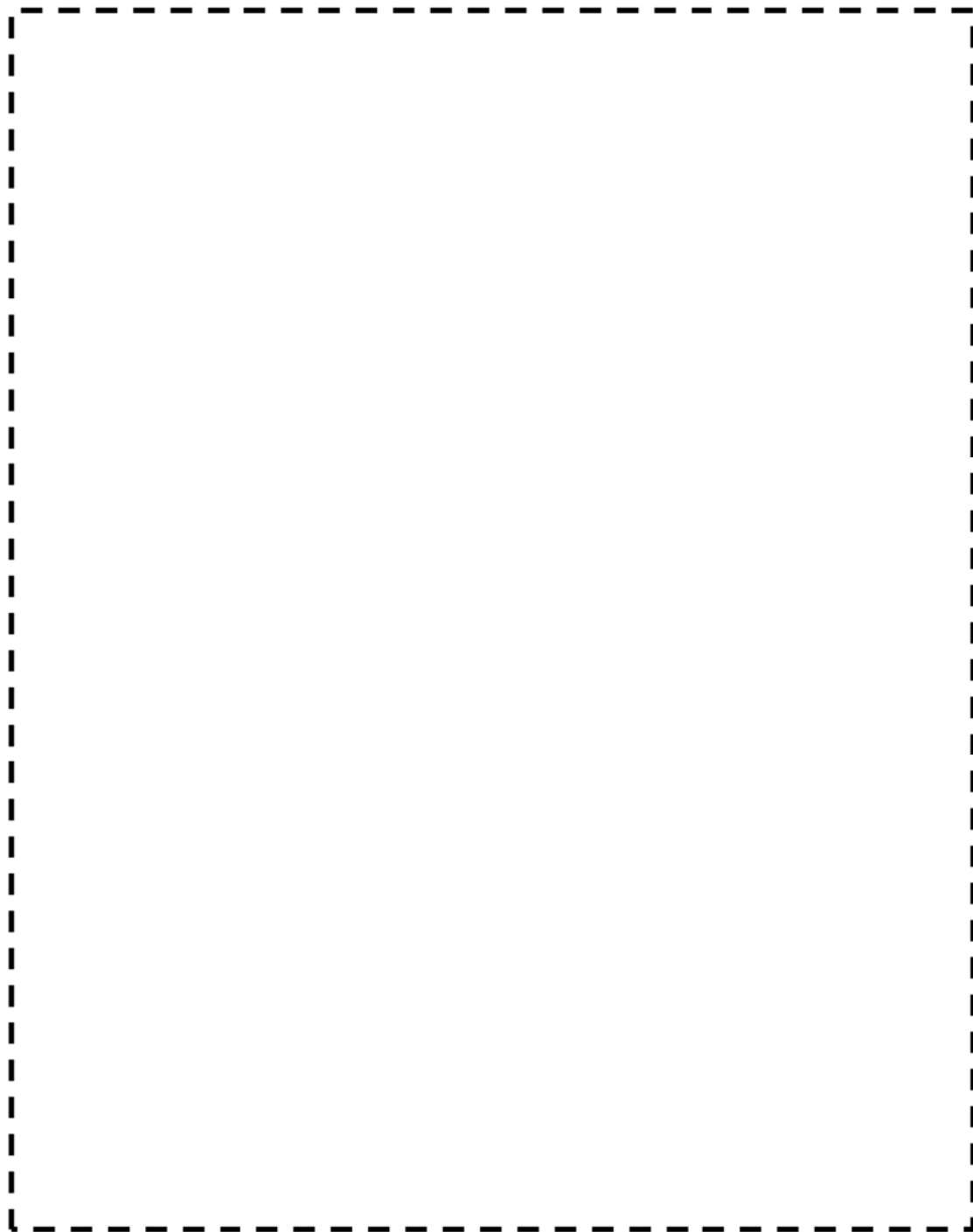
b. 過渡1A1[起動(温度上昇率55.6%/h)] - 1B1[停止(温度降下率55.6%/h)]

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

c. 過渡1A1[起動(温度上昇率55.6%/h)]-2J2[1次系漏えい試験]

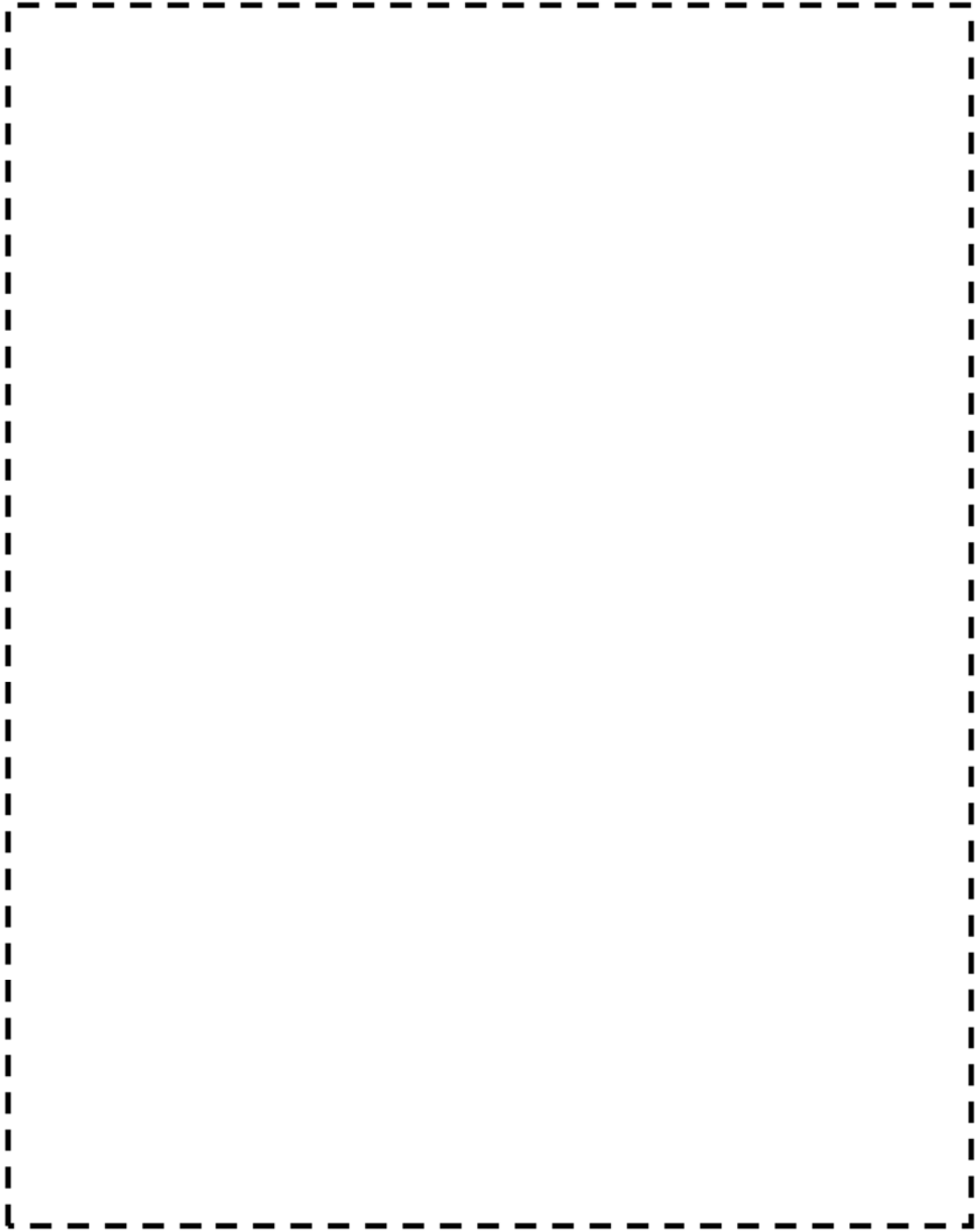


【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】



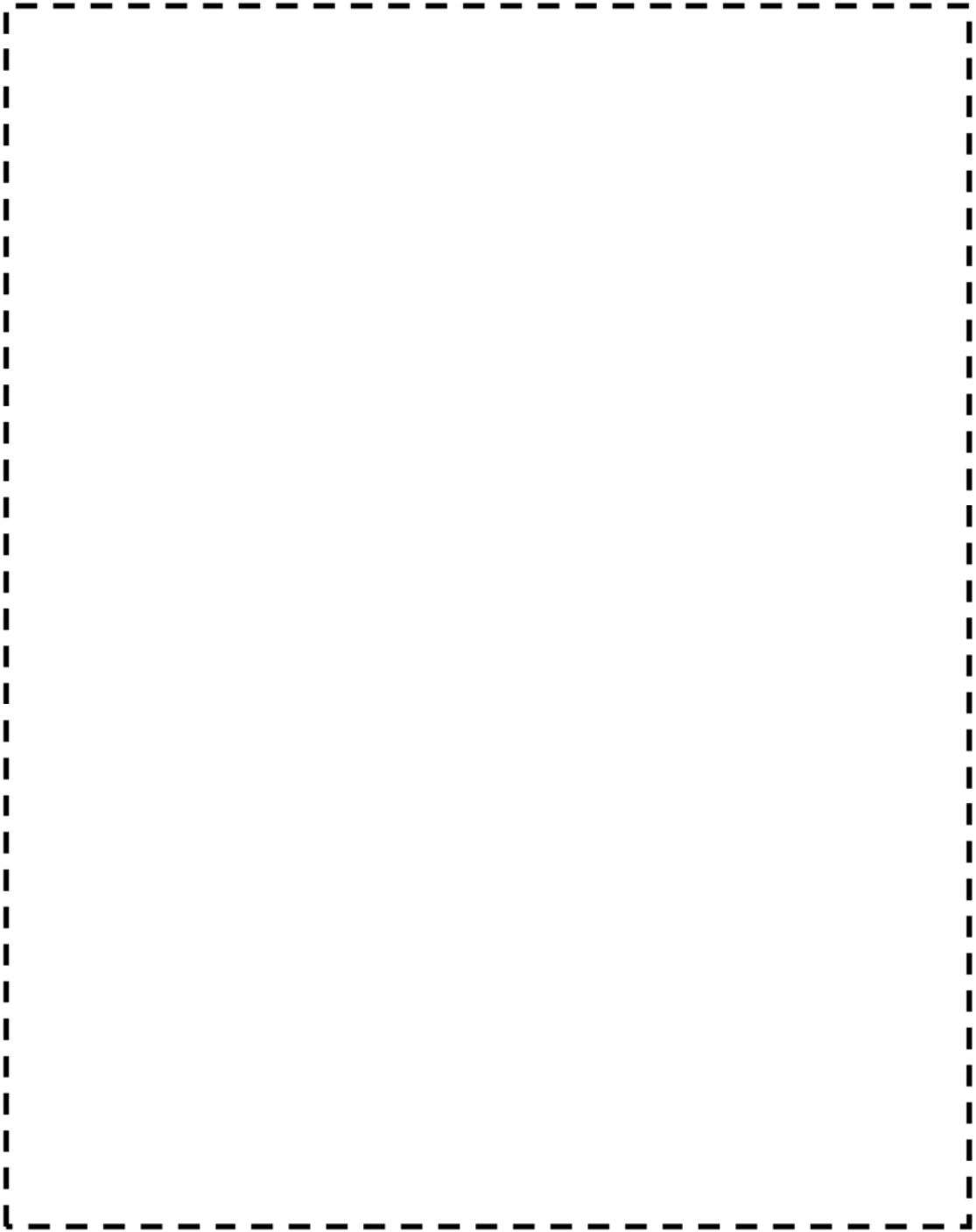
(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 解析モデル

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



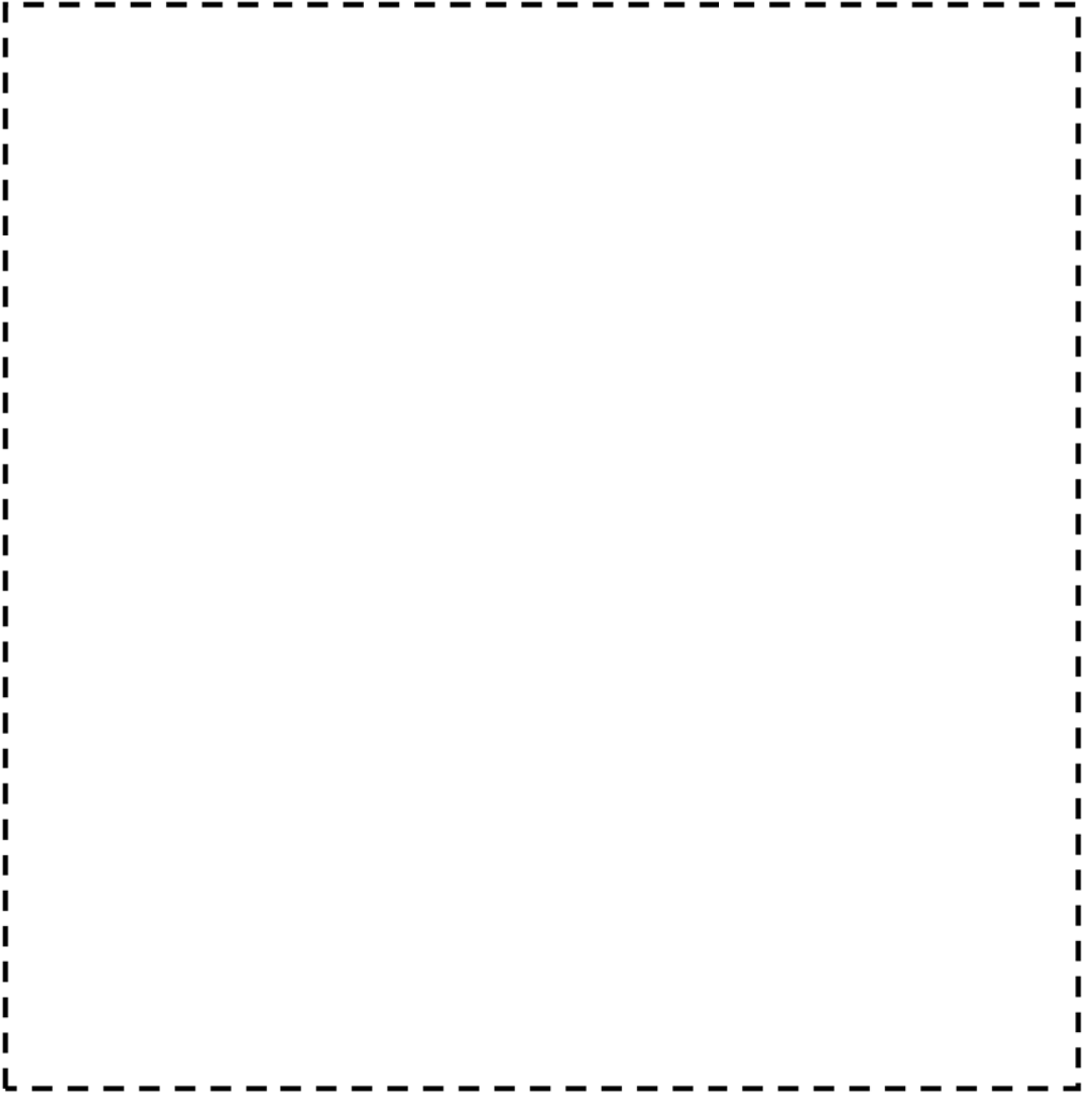
(2) 1次冷却材管（安全注入系ライン用管台） 解析モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



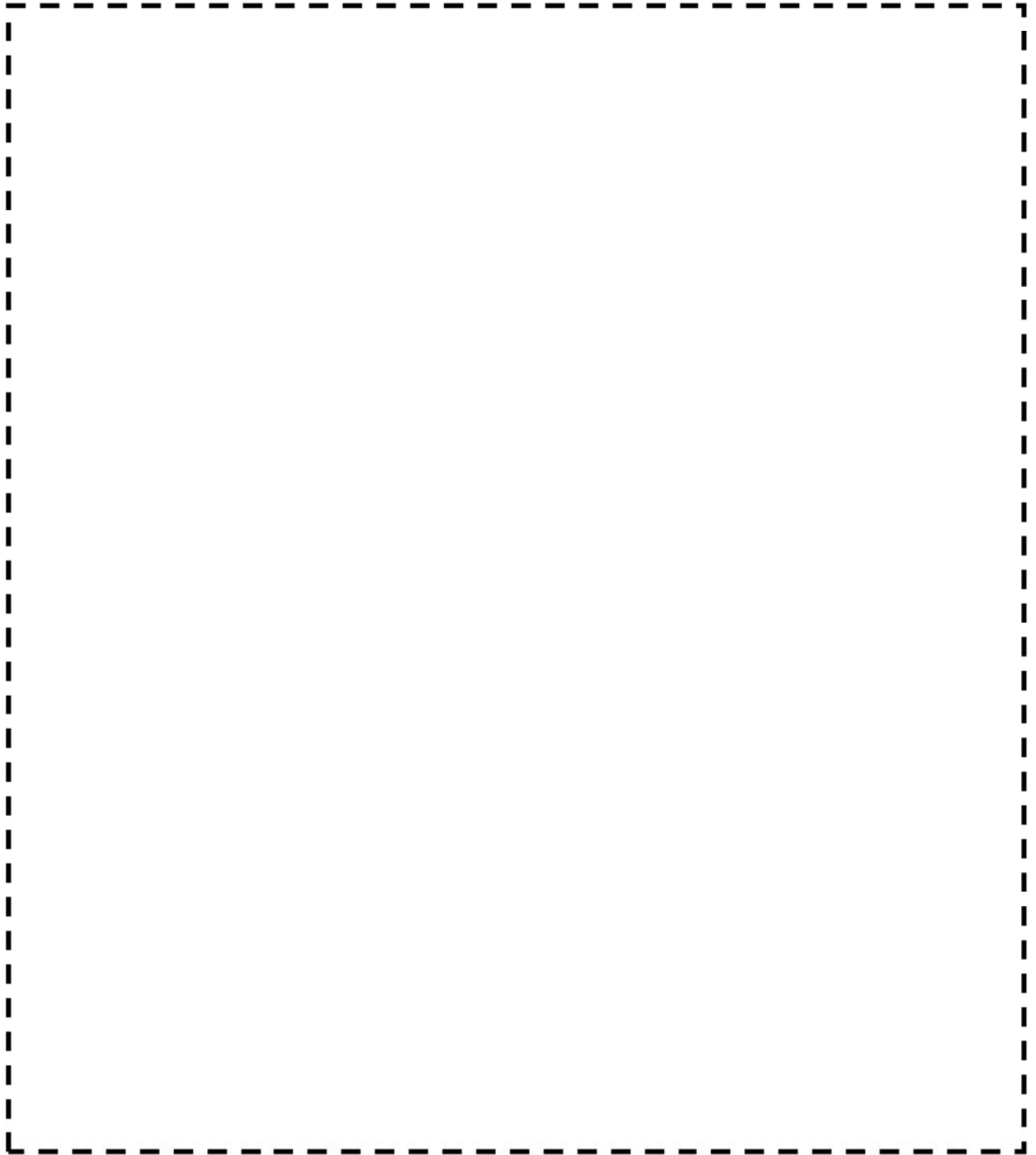
(3) 1次冷却材管（化学体積制御系ライン用管台） 解析モデル

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



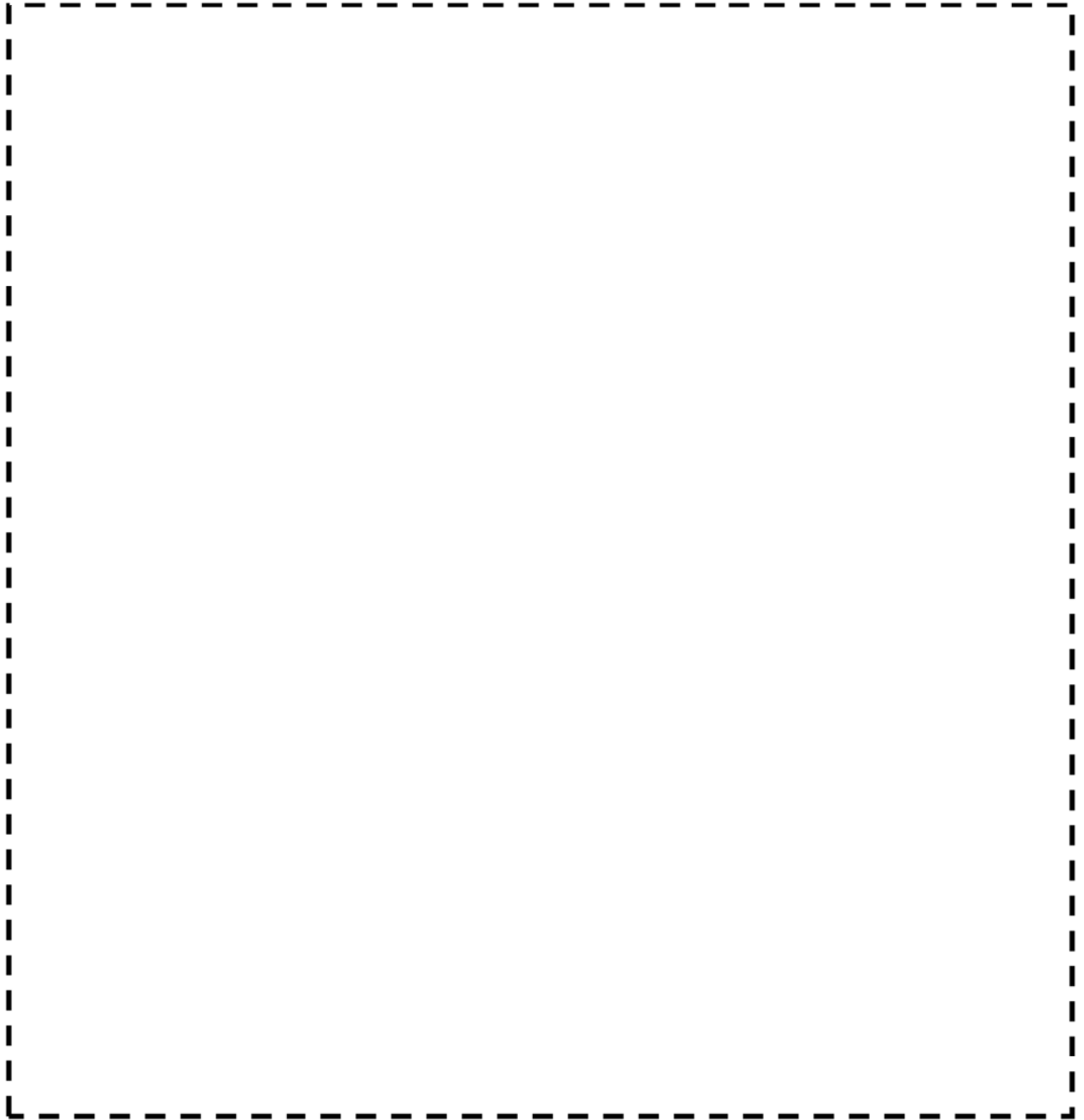
(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 評価点

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) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 評価点

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) 1次冷却材管（化学体積制御系ライン用管台）評価点

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) 1次冷却材管 (加圧器サージライン用管台) 最大疲労評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|--------|--------|--------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7L | | | |
| 8L | | | |
| 7C | | | |
| 8C | | | |
| 9L | | | |
| 10L | | | |
| 9C | | | |
| 10C | | | |
| 11L | | | |
| 12L | | | |
| 11C | | | |
| 12C | | | |

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.154$

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) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|--------|--------|--------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7L | | | |
| 8L | | | |
| 7C | | | |
| 8C | | | |
| 9L | | | |
| 10L | | | |
| 9C | | | |
| 10C | | | |
| 11L | | | |
| 12L | | | |
| 11C | | | |
| 12C | | | |

許容値 $U_f=1.0$ →通常 $U_f: 0.004$

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) 1次冷却材管 (化学体積制御系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

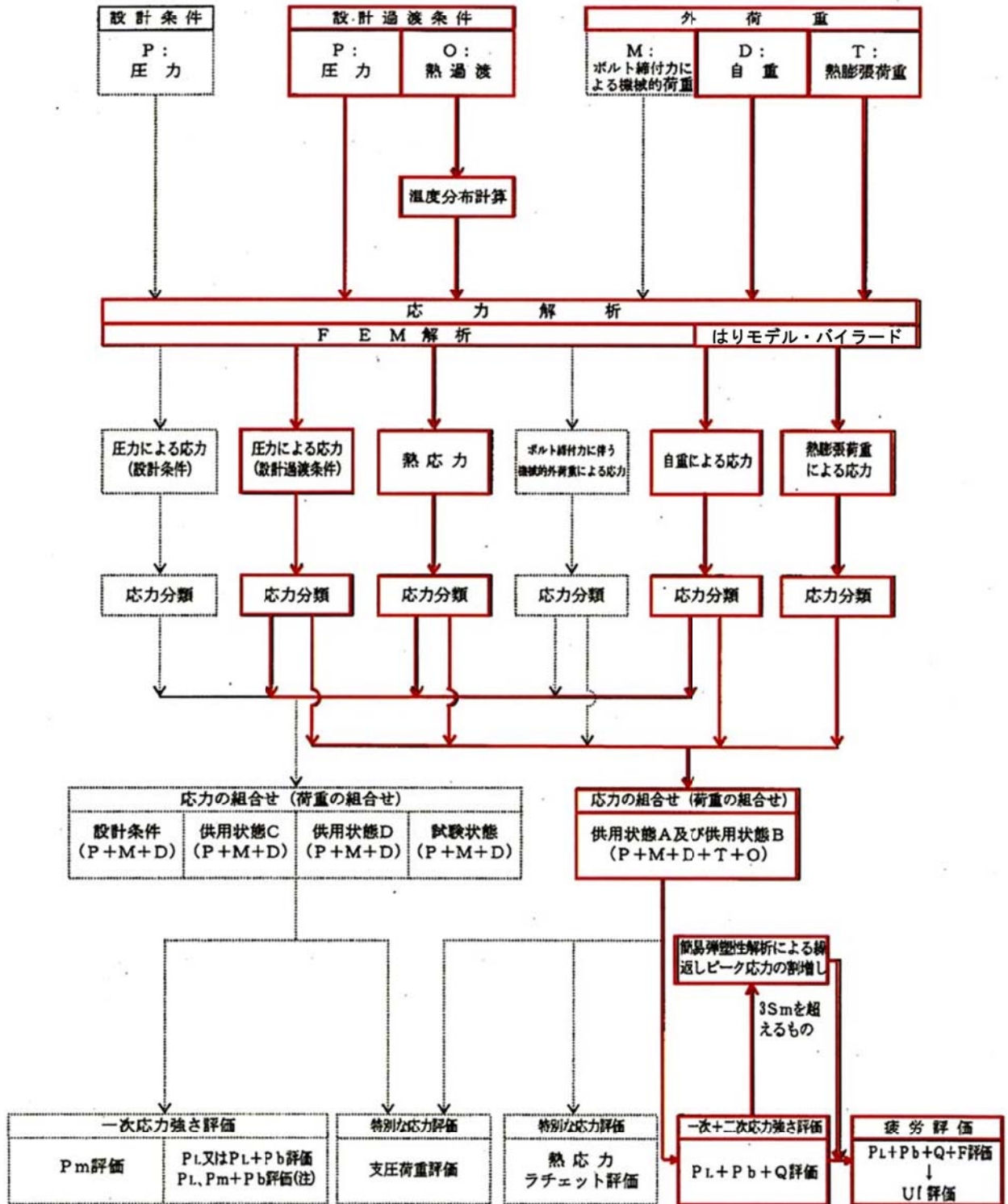
| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|--------|--------|--------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7L | | | |
| 8L | | | |
| 7C | | | |
| 8C | | | |
| 9L | | | |
| 10L | | | |
| 9C | | | |
| 10C | | | |
| 11L | | | |
| 12L | | | |
| 11C | | | |
| 12C | | | |

許容値 $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.003

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

応力評価フロー



(注) 試験状態に適用
(.....部分は本評価では対象外)

(1) Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器サージライン用管台) (詳細評価手法: 評価点3)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|------------|---|-------------------|------|------------|----------------|-------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | | KE | 補正前 salt | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.39916 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF: 0.400

(2) Ke係数と環境疲労パラメータ (安全注入系ライン用管台) (詳細評価手法: 評価点3)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|------------|---|-------------------|------|------------|----------------|-------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | | KE | 補正前 salt | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.01232 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF: 0.013

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) Ke係数と環境疲労パラメータ (化学体積制御系ライン用管台) (詳細評価手法: 評価点7L)

| 通過条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実通過 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|------------|---|-------------------|------|------------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | KE | 補正前 salt | 補正後 salt' | n | n* | u | fen | uen |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 合計: | 0.01790 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF: 0.018

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

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) 加圧器サージライン用管台

a. 過渡1A2[起動時の冷水注入]－2D5[100%からの原子炉トリップ(III)不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ]

b. 過渡1A2[起動時の冷水注入]－1L1[1ループ停止/1ループ起動(I)停止]

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

c. 過渡1A2[起動時の冷水注入] - 1G1[100%からの大きいステップ状負荷減少]

d. 過渡1B2[停止時の冷水注入] - 2G1[出力運転中の非常用炉心冷却系の誤作動]

【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】

e. 過渡1B2[停止時の冷水注入]-2E1[1次冷却系の異常な減圧]

f. 過渡1B2[停止時の冷水注入]-1M1[ほう素濃度の均一化]

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) 安全注入系ライン用管台

a. 過渡2L1[蓄圧タンク出口電動弁の誤作動]→2E1[1次冷却系の異常な減圧]

b. 過渡2E1[1次冷却系の異常な減圧]→2L1[蓄圧タンク出口電動弁の誤作動]

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) 化学体積制御系ライン用管台

a. 過渡2S1[抽出流量の100%増加及び復帰]ー2J2[1次系漏えい試験]

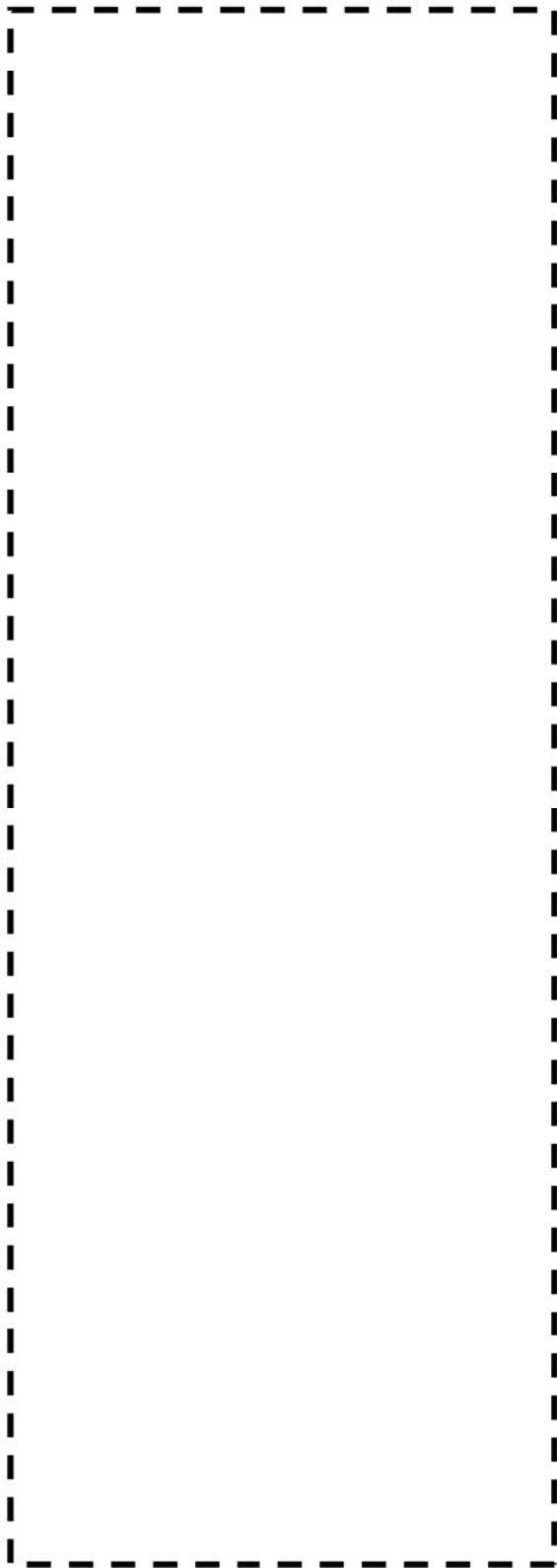
b. 過渡2S1[抽出流量の100%増加及び復帰]ー1I1[燃料交換]

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

c. 過渡2S1 [抽出流量の100%増加及び復帰] - NSS



d. 過渡2S1 [抽出流量の100%増加及び復帰] - 204 [充てんライン 隔離及び復帰]



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

e. 過渡2S1[抽出流量の100%増加及び復帰] - 2QE[充てん流量の50%増加及び復帰]

f. 過渡2S1[抽出流量の100%増加及び復帰] - 2E1[1次冷却系の異常な減圧]

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ありません

美浜3号炉—低サイクル疲労—21

| <p>タイトル</p> | <p>(一) 環境疲労評価を実施している機器・部位において、環境補正係数の算出に用いているパラメータ及びそれらの根拠を提示すること。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|-------------|----|----|---------|-------|--------|----------|---------|--------|------------|--------|------------|--------|-------|----|--------|---------|----|--------|-------|------|------|--------|------|-------|---------|--------|---------|--------|------|-------------|-------|-------------|--------|-------------|
| <p>説明</p> | <p>環境疲労評価は、「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009年版）」（以下環境疲労評価手法）に基づいて実施している。</p> <p>環境疲労評価手法では、F_{en}（環境疲労補正係数）算出式が「炭素鋼・低合金鋼」、「オーステナイト系ステンレス鋼」、「ニッケルクロム鉄合金」の3つの区分で決められており、それぞれの式（PWR炉に適用する式）および、その関係パラメータは以下のとおりである。</p> <p>(1) 炭素鋼・低合金鋼 $\ln(F_{en}) = 0.00822(0.772 - \dot{\epsilon}^*) \times S^* \times T^* \times O^*$</p> <p>(2) オーステナイト系ステンレス鋼 $\ln(F_{en}) = (3.910 - \dot{\epsilon}^*) \times T^*$</p> <p>(3) ニッケルクロム鉄合金 $\ln(F_{en}) = (2.94 - \dot{\epsilon}^*) \times T^*$</p> <p>$\dot{\epsilon}^*$：ひずみ速度依存パラメータ S^*：硫黄含有量依存パラメータ T^*：温度依存パラメータ O^*：溶存酸素依存パラメータ</p> <p>各依存パラメータの決定式は、環境疲労評価手法のEF-2300参照</p> <p>このように、環境疲労評価に用いる関係パラメータは材質によって異なっている。美浜3号炉の劣化状況評価書において、接液環境中であり、環境疲労評価を行った機器・部位とその材質は以下のとおりである。</p> <p style="text-align: center;">環境疲労評価対象機器・部位とその材質</p> <table border="1" data-bbox="421 1476 1331 2022"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>部位</th> <th>材質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>余熱除去ポンプ</td> <td>ケーシング</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1次冷却材ポンプ</td> <td>ケーシング脚部</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>ケーシング吐出ノズル</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>ケーシング吸込ノズル</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>再生クーラ</td> <td>管板</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>余熱除去クーラ</td> <td>管板</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">蒸気発生器</td> <td>管板廻り</td> <td>低合金鋼</td> </tr> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>低合金鋼</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">原子炉容器</td> <td>冷却材入口管台</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>冷却材出口管台</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>蓋用管台</td> <td>690系ニッケル基合金</td> </tr> <tr> <td>炉内計装筒</td> <td>600系ニッケル基合金</td> </tr> <tr> <td>炉心支持金物</td> <td>600系ニッケル基合金</td> </tr> </tbody> </table> | 機器 | 部位 | 材質 | 余熱除去ポンプ | ケーシング | ステンレス鋼 | 1次冷却材ポンプ | ケーシング脚部 | ステンレス鋼 | ケーシング吐出ノズル | ステンレス鋼 | ケーシング吸込ノズル | ステンレス鋼 | 再生クーラ | 管板 | ステンレス鋼 | 余熱除去クーラ | 管板 | ステンレス鋼 | 蒸気発生器 | 管板廻り | 低合金鋼 | 給水入口管台 | 低合金鋼 | 原子炉容器 | 冷却材入口管台 | ステンレス鋼 | 冷却材出口管台 | ステンレス鋼 | 蓋用管台 | 690系ニッケル基合金 | 炉内計装筒 | 600系ニッケル基合金 | 炉心支持金物 | 600系ニッケル基合金 |
| 機器 | 部位 | 材質 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 余熱除去ポンプ | ケーシング | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1次冷却材ポンプ | ケーシング脚部 | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ケーシング吐出ノズル | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ケーシング吸込ノズル | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 再生クーラ | 管板 | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 余熱除去クーラ | 管板 | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 蒸気発生器 | 管板廻り | 低合金鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 給水入口管台 | 低合金鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 原子炉容器 | 冷却材入口管台 | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 冷却材出口管台 | ステンレス鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 蓋用管台 | 690系ニッケル基合金 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 炉内計装筒 | 600系ニッケル基合金 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 炉心支持金物 | 600系ニッケル基合金 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 機器 | 部位 | 材質 |
|----------|-------------------|----------|
| 加圧器 | スプレイライン用管台 | ステンレス鋼 |
| | サージ用管台 | ステンレス鋼 |
| ステンレス鋼配管 | 余熱除去系配管 | ステンレス鋼 |
| | 加圧器サージ配管 | ステンレス鋼 |
| | 加圧器スプレイ配管 | ステンレス鋼 |
| 炭素鋼配管 | 主給水系統配管 | 炭素鋼 |
| 1次冷却材管 | ホットレグ | ステンレス鋼鋳鋼 |
| | クロスオーバーレグ | ステンレス鋼鋳鋼 |
| | コールドレグ | ステンレス鋼鋳鋼 |
| | 1次冷却系加圧器サージライン用管台 | ステンレス鋼 |
| | 安全注入系ライン用管台 | ステンレス鋼 |
| | 化学体積制御系ライン用管台 | ステンレス鋼 |
| 仕切弁 | 余熱除去ポンプ入口弁 | ステンレス鋼鋳鋼 |
| 玉形弁 | 抽出水第1しゃ断弁 | ステンレス鋼鋳鋼 |
| スイング逆止弁 | 原子炉容器連絡逆止弁 | ステンレス鋼鋳鋼 |
| リフト逆止弁 | 加圧器補助スプレイライン逆止弁 | ステンレス鋼 |
| 炉内構造物 | 上部炉心支持板 | ステンレス鋼 |
| | 上部炉心支持柱 | ステンレス鋼 |
| | 下部炉心支持板 | ステンレス鋼 |
| | 下部炉心支持柱 | ステンレス鋼 |

各々の部位の環境疲労評価に用いたパラメータについては下記を参照のこと。

余熱除去ポンプ：美浜3号炉－低サイクル疲労－4
 1次冷却材ポンプ：美浜3号炉－低サイクル疲労－5
 再生クーラ：美浜3号炉－低サイクル疲労－6
 余熱除去クーラ：美浜3号炉－低サイクル疲労－6
 蒸気発生器：美浜3号炉－低サイクル疲労－3、7
 原子炉容器：美浜3号炉－低サイクル疲労－9
 加圧器本体：美浜3号炉－低サイクル疲労－10
 ステンレス鋼配管：美浜3号炉－低サイクル疲労－12
 炭素鋼配管：美浜3号炉－低サイクル疲労－3、13
 1次冷却材管：美浜3号炉－低サイクル疲労－14
 仕切弁：美浜3号炉－低サイクル疲労－15
 玉形弁：美浜3号炉－低サイクル疲労－16
 スイング逆止弁：添付1
 リフト逆止弁：添付2
 炉内構造物：添付3

スイング逆止弁（原子炉容器連絡逆止弁）の環境効果補正係数算出パラメータ

| 運転状態 | 過渡の組合せ | | S _{pl} (MPa) | N (回) | N/N* (回) | Δt (sec) | E (MPa) | ε (%/sec) | 判別:1 以外:2 | ε* (-) | T (°C) | T* (°C) | Fen (-) | Fen×N/N* | |
|--------------------------|--------|------|--------------------------|----------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|------------|----------|--|
| | 加熱過程 | 冷却過程 | | | | | | | | | | | | | |
| 起動時及び停止時 1次系漏えい試験(注1) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 起動時及び停止時 以外 | | | | | | | | | | | | | | | |

ΣFen×N/N* 0.08801

Uen→0.089

ΣN/N* (注3) 0.00756

Uf→0.008

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。

リフト逆止弁（加圧器補助スプレイライン逆止弁）の環境効果補正係数算出パラメータ

| 運転状態 | 過渡の組合せ | S _{pi} (MPa) | N (回) | N* (回) | N/N* | Δt (sec) | E (MPa) | ε (%/sec) | ε* (-) | T (℃) | T* (℃) | Fen (-) | Fen×N/N* |
|----------------------------|-----------|--------------------------|----------|-----------|------|-------------|------------|--------------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|
| | 加熱過程/冷却過程 | | | | | | | | | | | | |
| 起動時及び停止時 1. 次系補えい試験(注1) | | | | | | | | | | | | | |
| 起動時及び停止時 以外 | | | | | | | | | | | | | |
| ΣN/N* (注3) | | | | | | | | | | | | | 0.003 |
| ΣFen×N/N* | | | | | | | | | | | | | 0.023 |
| Uf→0.003 | | | | | | | | | | | | | Uen→0.023 |

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。

炉内構造物の環境効果補正係数算出パラメータ

環境疲労評価結果詳細 (上部炉心支持板)

| 過渡条件 記号 (注1) | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 (注2) | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回 数 n | 許容繰返し 回 数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 (注5) fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 (注6) uen |
|-----------------|---|-------------------|------|--------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------|-------------|-----------------------------|------------------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| Uf=0.00020 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 合計: | 0.00113 |

上表は繰返しピーク応力強さが疲労限以上で、大きな過渡の組合せから順に記載している。 Uen=0.00113

(注1) A: 応力強さの最大値の時の過渡条件, B: 応力強さの最小値の時の過渡条件

(注2) KE: 簡易弾塑性解析を行う際に繰返しピーク応力強さに乗じる値

なお、弾性解析では KE=1 とする

(注3) Salt: 応力強さの変動幅に 0.5 を乗じた値

(注4) Salt': Salt に $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じた値

(注5) fen: ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (Salt ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

(注6) uen: 疲労累積係数に環境効果補正係数を乗じた値

環境疲労評価結果詳細 (上部炉心支持柱)

| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回 数 n | 許容繰返し 回 数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|---|-------------------|------|------------|----------------|-------------|-----------------|--------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | KE | 補正前 salt | | | | | |
| Uf=0.00001 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 合計: | 0.00001 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

Uen=0.00001

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。

環境疲労評価結果詳細 (下部炉心支持板)

| 過渡条件記号 | | 一次+二次+ピーク応力強さ | | 割り増し係数 KE | 繰返しピーク応力強さ | | 実過渡回数 n | 許容繰返し回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果補正係数 fen | 環境効果を考慮した疲労累積係数 uen |
|--------|---|---------------|------|--------------|------------|-----------|------------|---------------|-------------|-----------------|------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.00012 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 14.5) の場合、fen=1.0

Uf=0.00001

Uen=0.00012

環境疲労評価結果詳細 (下部炉心支持柱)

| 過渡条件記号 | | 一次+二次+ピーク応力強さ | | 割り増し係数 KE | 繰返しピーク応力強さ | | 実過渡回数 n | 許容繰返し回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果補正係数 fen | 環境効果を考慮した疲労累積係数 uen |
|--------|---|---------------|------|--------------|------------|-----------|------------|---------------|-------------|-----------------|------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.00001 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 14.5) の場合、fen=1.0

Uf=0.00001

Uen=0.00001

なお、以上の炉内構造物の疲労評価に用いた過渡回数は、表1に示すように運転実績に基づく60年時点の推定回数と異なっていることから、この評価結果を用いて、60年時点の推定回数に対する疲労累積係数(Uf、Uen)を算出する。炉内構造物の評価では各過渡をグループ分けして、最大温度変化幅、最大温度変化率を包絡した安全側の評価となる条件(包絡条件)を用いている。表2に包絡条件の過渡回数を示す。

表1 炉内構造物の評価用過渡回数 (1/2) 運転状態 I

| 過 渡 項 目 | 過渡グループ | 評価に用いた過渡回数 | 60年時点の推定過渡回数 |
|-----------------------|--------|------------|--------------|
| 起動 (温度上昇率 5.5. 6°C/h) | A-1 | 24 | 30 |
| 停止 (温度下降率 5.5. 6°C/h) | A-2 | 24 | 30 |
| 負荷上昇 (負荷上昇率 5%/min) | B-1 | 262 | 296 |
| 負荷減少 (負荷減少率 5%/min) | B-2 | 262 | 290 |
| 90%から100%へのステップ状負荷上昇 | B-1 | 1 | 1 |
| 100%から90%へのステップ状負荷減少 | B-2 | 1 | 1 |
| 100%からの大きいステップ状負荷減少 | D-2 | 2 | 2 |
| 定常負荷運転時の変動*1 | - | - | - |
| 燃料交換 | C | 22 | 22 |
| 0%から15%への負荷上昇 | B-1 | 26 | 34 |
| 15%から0%への負荷減少 | B-2 | 24 | 30 |
| 1ループ停止/1ループ起動 | | | |
| Ⅰ) 停 止 | E | 1 | 1 |
| Ⅱ) 起 動 | D-1 | 1 | 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。

表1 炉内構造物の評価用過渡回数 (2/2) 運転状態II

| 過 渡 項 目 | 過渡グループ | 評価に用いた過渡回数 | 60年時点の推定過渡回数 |
|-----------------------|----------|------------|--------------|
| 負荷の喪失 | D-2 | 1 | 2 |
| 外部電源喪失 | D-2 | 2 | 2 |
| 1次冷却材流量の部分喪失 | E | 1 | 1 |
| 100%からの原子炉トリップ | | | |
| Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ | E | 2 | 3 |
| Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ | E | 1 | 1 |
| Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ | F | 1 | 1 |
| 1次冷却系の異常な減圧 | F | 1 | 1 |
| 制御棒クラスタの落下 | E | 2 | 2 |
| 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | F | 1 | 1 |
| 1次冷却系停止ループの誤起動 | D-1 | 1 | 1 |
| 1次系漏えい試験 | A-1, A-2 | 20 | 27 |

表2 炉内構造物の評価用過渡回数 包絡条件

| 過渡グループ | グループ名称 | 評価に用いた過渡回数 | 60年時点の推定過渡回数 |
|--------|-----------------------|------------|--------------|
| A-1 | 起動 | 44 | 57 |
| A-2 | 停止 | 44 | 57 |
| B-1 | 負荷上昇 | 289 | 331 |
| B-2 | 負荷減少 | 287 | 321 |
| C | 燃料交換 | 22 | 22 |
| D-1 | 1次冷却系停止ループの誤起動 | 2 | 2 |
| D-2 | 負荷の喪失 | 5 | 6 |
| E | 不注意な冷却を伴う原子炉トリップ | 7 | 8 |
| F | 不注意な冷却と安全注入を伴う原子炉トリップ | 3 | 3 |

60年時点の推定過渡回数に対する疲労累積係数は、「環境疲労評価結果詳細」に示す疲労累積係数 (Uf, Uen) × 「60年時点の推定過渡回数」 / 「評価に用いた過渡回数」として保守的に求めることができる。

「60年時点の推定過渡回数」 / 「評価に用いた過渡回数」の最大値=57/44≒1.3 であることから、60年時点の推定過渡回数に対する疲労累積係数 (Uf, Uen) は、表3に示す結果となる。

表3 炉心支持構造物の60年時点の推定過渡回数に対する疲労評価結果

| | 設計・建設規格 による解析 | 環境疲労評価手法 による解析 |
|---------------------|---|---|
| 上部炉心支持板 (ステンレス鋼) | $0.0002 \times 1.3 = 0.00026$ 0.001 | $0.00113 \times 1.3 = 0.00147$ 0.002 |
| 上部炉心支持柱 (ステンレス鋼) | $0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001 | $0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001 |
| 下部炉心支持板 (ステンレス鋼) | $0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001 | $0.00012 \times 1.3 = 0.00016$ 0.001 |
| 下部炉心支持柱 (ステンレス鋼) | $0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001 | $0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001 |

炉内構造物の環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境効果補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下にfenが1を超える値となった過渡の温度、ひずみ履歴を示す。なお、上部炉心支持柱、下部炉心支持柱については、fenが1を超えるものはなかった。

(1) 上部炉心支持板

a. D-1 (1次冷却系停止ループの誤起動) -F (不注意な冷却とSIを伴うトリップ)



b. B-1 (負荷上昇) -F (不注意な冷却とSIを伴うトリップ)



c. B-1 (負荷上昇) -E (不注意な冷却を伴うトリップ)



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。

(2) 下部炉心支持板

- a. F (不注意な冷却とSIを伴うトリップ) -D-2 (負荷の喪失)



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。

美浜3号炉－IASCC－7

| | |
|------|--|
| タイトル | バッフルフォーマボルトの損傷本数評価手法が使用できるとした検討結果について。 |
| 説明 | <p>バッフルフォーマボルトの損傷本数評価については、「原子力安全基盤機構 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」に示された評価ガイド(案)(以下、評価ガイドという)および「原子力安全推進協会 PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト]」(以下、ガイドラインという)に基づき評価を実施している。具体的には、バッフル構造をモデル化した応力解析結果と、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業で得られた最新知見に基づき設定したIASCC発生しきい線との比較によりボルトの損傷可能性を評価している。</p> <p>ガイドラインに規定された応力解析手法については、国内外の学会に解析内容を発表しており、有識者の評価を得ている。なお、応力解析におけるスウェリング量については、米国の実験炉EBR-II炉心の中性子反射体要素(SUS304材)から採取したデータを基に作成したdpaレイト補正Foster-Flinn式を用いて評価している。本評価式は照射量、dpaレイト(照射速度)、温度のスウェリング量への影響を定式化したものである。クリープ量については、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業において示された照射下クリープ評価式を用いた評価を行っている。本評価式は、Halden炉での照射下クリープデータに基づき作成されたものである。</p> <p>IASCC発生しきい線については、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業で得られたバッフルフォーマボルト材のIASCC発生試験結果の下限を取って設定している。</p> <p>また、美浜3号炉は炉内構造物取替を前提とした評価を実施している。炉内構造物取替後の類似プラントにおけるバッフルフォーマボルトの点検実績はないことから、同様の手法で評価した炉内構造物取替前のIASCC評価結果と、美浜3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*で、かつ、バッフルフォーマボルトの点検実績があるSurry1.2u、Farley1.2u、Robinson2uのバッフルフォーマボルト点検結果との比較を実施した結果、損傷本数評価結果と実機の損傷本数が概ね整合していることを確認している(表1、図1参照)。</p> <p>※日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格では、バッフルフォーマボルトの仕様によってプラントをグループ1～4に分類し、IASCCによるき裂発生についてはグループ1が最も厳しく、以下グループ2, 3, 4の順になると記載されており、炉内構造物取替前の美浜3号炉はグループ2に分類される。この分類は日本のPWRプラントを対象に作成されたものであるが、美浜3号炉と同時期に建設され</p> |

た米国のW社製3ループプラントについては、ボルトの仕様からグループ1もしくは2に相当するものとする。

以上のことから、今回実施したバッフルフォーマボルトの損傷本数評価は妥当であると判断している。

表1. 米国3ループプラントにおけるバッフルフォーマボルト点検結果

| | 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 (炉内構造物取替前の美浜3号炉評価結果※1) | 9本 < (11本) | 1本 < (11本) | 2本 < (11本) | 0本 = (11本) | 0本 = (11本) |

※1: 各プラントの点検時間における評価損傷本数

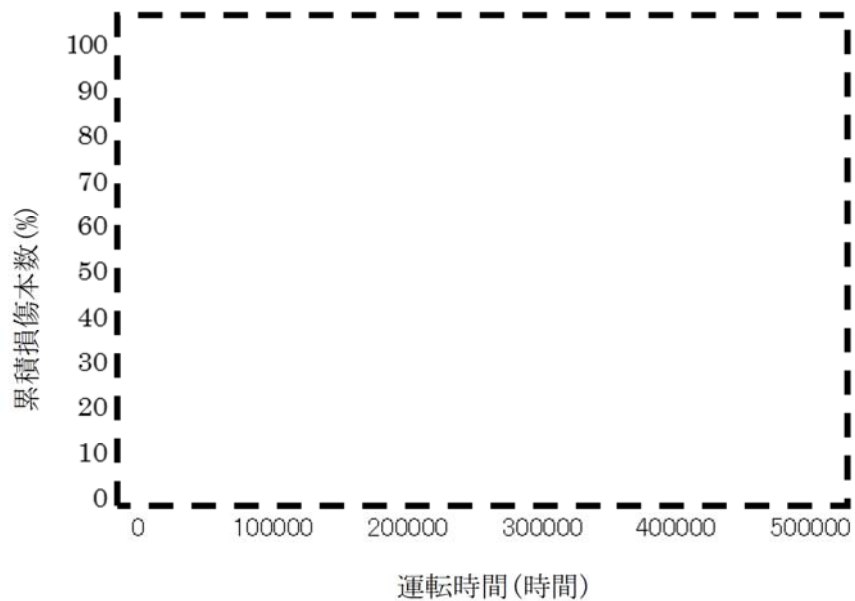


図1. 炉内構造物取替前の美浜3号炉 IASCC評価結果と米国点検実績の比較

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

美浜3号炉-IASCC-12 Rev.1

| | |
|------|---|
| タイトル | 炉心槽溶接部の応力がバッフルフォーマボルト首下部の応力より低いとする根拠について。 |
| 説明 | <p>炉心槽については、運転中の炉心槽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解析を実施している。各応力の評価方法を以下に示す。また、添付-1に炉心槽の材質、板厚、溶接方法を示す。</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、炉心槽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、炉心槽内外差圧を設定 ・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槽の温度分布を設定</p> <p>上記の通り炉心槽溶接部の発生応力を算出した結果、運転初期で約1.2 MPaと評価している。</p> <p>一方、バッフ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、炉心槽に発生する応力はバッフルフォーマボルト以下であると判断している。</p> |

また、日本機械学会 発電用原子力施設規格 維持規格 (JSME S NA1-2008) に基づき実施した、炉心槽溶接部のき裂安定性評価の結果を以下に示す。

【評価内容】

- ・ 炉心槽溶接部にき裂を想定し、FEM解析 (2次元断面モデル) によって応力拡大係数Kを算出する。

【評価条件】

- ・ 溶接タイプ (残留応力) : 電子ビーム溶接
- ・ 機械及び熱応力 : 通常運転時の応力
- ・ 地震による応力 : S_s 地震動による応力
(約 $\underline{\quad}\underline{\quad}$ MPa)
- ・ 想定き裂形状 : 溶接線中心 (内面) に全周き裂
(図 1 にき裂のイメージを示す)
- ・ 炉心槽形状 : 板厚 $\underline{\quad}\underline{\quad}$ mm、内径 ϕ $\underline{\quad}\underline{\quad}$ mm

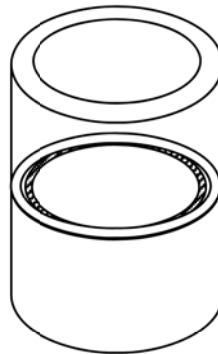


図 1 想定き裂のイメージ
(斜線部分)

【評価結果】

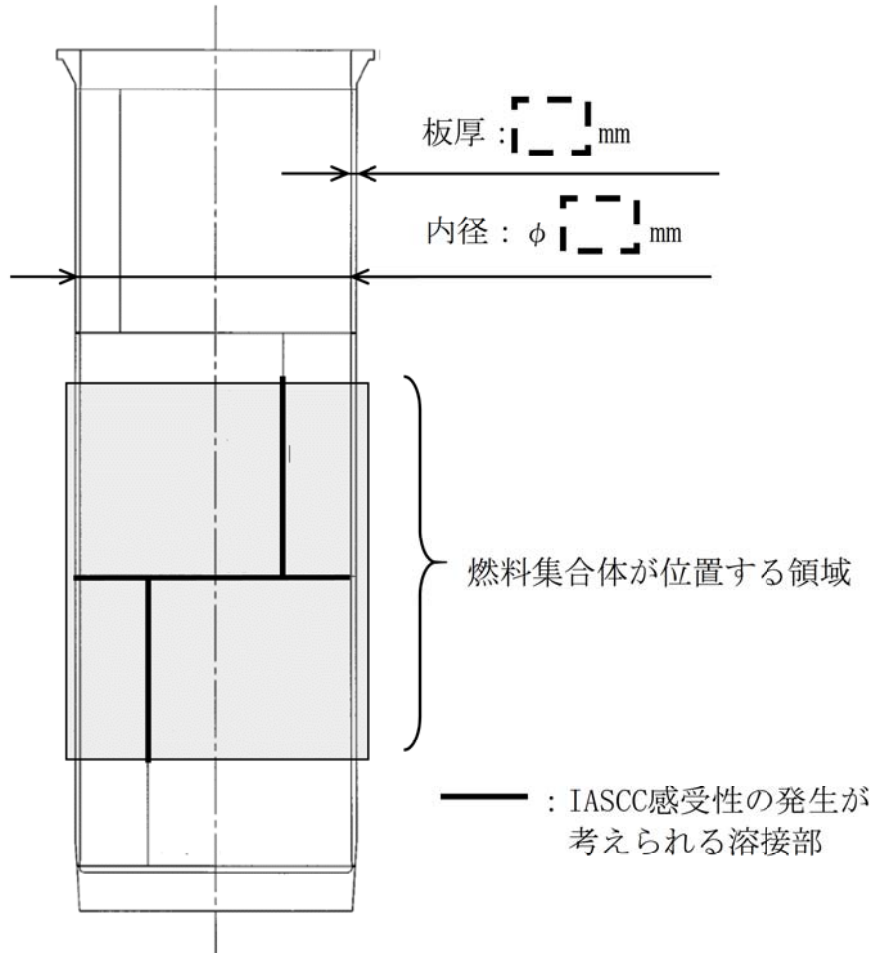
評価条件の応力状態における炉心槽に対し、き裂深さをパラメータとして応力拡大係数Kを算出した結果、応力拡大係数Kは最大値約 $\underline{\quad}\underline{\quad}$ MPa \sqrt{m} となり、破壊靱性値 $K_{Ic} : 51\text{MPa}\sqrt{m}$ に対して十分小さい値であった。

以上の結果から、仮に炉心槽溶接部にき裂が生じても不安定破壊は起こらないと評価している。

以上

炉心槽の材質、板厚、溶接方法について

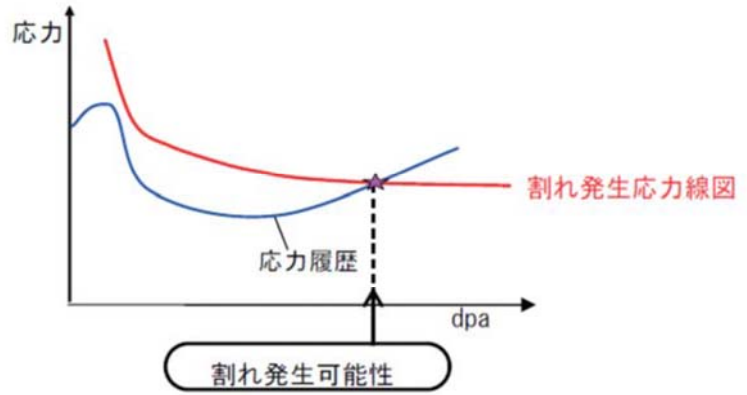
- 材質：SUS304
- 板厚等：下図に示す。



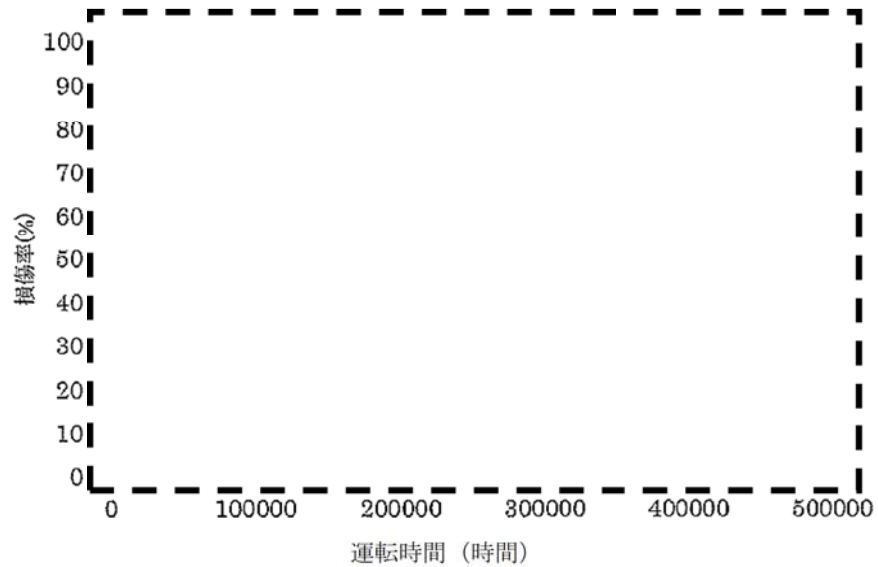
| 溶接方法 | 開先形状 | 溶接パス順序 |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 電子ビーム溶接 (表面にTIG盛り直し) | 電子ビーム溶接は炉心槽外側から照射 | 数字はTIG溶接による盛り直しのパス順を示す |

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

美浜3号炉-IASCC-13Rev.1

| | |
|------|---|
| タイトル | バッフルフォーマボルトの運転開始後60年時点までのボルト損傷予測について。 |
| 説明 | <p>バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れ発生可能性については、「原子力安全基盤機構 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」に示された評価ガイド(案)(以下、「評価ガイド」)および「原子力安全推進協会 PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト]」の考え方にに基づき以下のとおり評価している。</p> <p>① 運転時間(照射量)によって変動するバッフルフォーマボルトの応力履歴を算出する(添付-1)</p> <p>↓</p> <p>② 評価ガイドに定められている IASCC 割れ発生しきい応力線図と①で算出したバッフルフォーマボルトの応力履歴を重ね合わせる</p> <p>↓</p> <p>③ バッフルフォーマボルトの応力履歴が IASCC 割れ発生しきい応力線図を超えた時点を照射誘起型応力腐食割れの発生時間とする</p>  <p>割れ発生予測評価概念図 [出典：「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書」 (独)原子力安全基盤機構]</p> |

上記評価の結果、運転開始後60年時点（炉内構造物取替後約14万時間）までにバップルフォーマボルト（全数）の応力履歴がIASCC割れ発生応力しきい線図を超えることはなく、IASCCは発生しないと評価している。





バップルフォーマボルトの累積損傷本数の予測

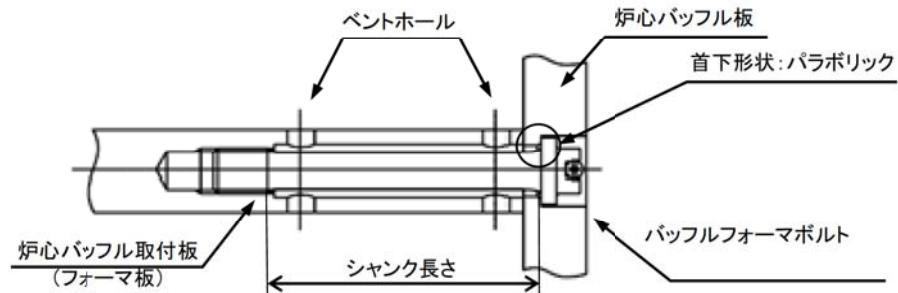
<補足説明事項>

- 管理損傷ボルト本数は、日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格に記載のとおり、許容損傷ボルトパターン（最上段および最下段のボルトのみ健全でそれ以外は損傷しているパターン）に3倍の余裕をとって設定している。美浜3号炉の許容損傷ボルトパターンは5段/7段＝71.4%であるため、これに3倍の余裕をとることで管理損傷ボルト本数は $71.4/3=23.8\%$ 、これを丸めて20%とし、ボルト全数672本の20%にあたる134本が管理損傷ボルト本数となる。
- 美浜3号炉の運転開始後60年（炉内構造物取替後約14万時間）における照射量(dpa)は最大のバップルフォーマボルトで約22dpa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

○美浜3号炉のバッフルフォーマボルトの仕様を以下に示す。

- ・材料：
- ・首下形状 (R)：パラボリック
- ・シャンク長さ： (ベントホール有)



○スウェリングの評価について

今回の応力評価におけるスウェリングの影響については、米国の高速実験炉EBR-II炉心の中性子反射体要素(SUS304材)から採取したデータを基に作成したdpaレイト補正Foster-Flinn式(下式)を用いて評価している。本評価式は照射量、dpaレイト(照射速度)、温度のスウェリング量への影響を定式化したものとなっている。

スウェリングによる体積膨張率

$$S = \% \frac{\Delta V}{V_0} = A \cdot \left(\frac{\text{dpa} \times 10^7}{1.25} \right)^{-0.73} \cdot \left(\frac{\dot{\text{dpa}}}{4.9} \right)^2$$

ΔV : スウェリングによる体積膨張量

V_0 : スウェリング前の体積

$\% \Delta V / V_0$: $\Delta V / V_0 \times 100$ [%]

$\dot{\text{dpa}}$ = dpaレイト [dpa/sec]

$A = \exp(-1.591 + 0.245T - 1.210T^2 - 1.384T^3 - 1.204T^4)$

$T = (T' [\text{°C}] - 490) / 100$ T' : 評価箇所の温度[°C]

○照射下クリープの評価について

今回の応力評価における照射下クリープの影響については、国プロ「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業において示された照射下クリープ評価式を用いた評価を行っている。

本評価式は、Halden炉での約1dpaまでの照射下クリープデータ(遷移クリープ、定常クリープ両方のデータ)に基づき作成されたものであり、この照射量(1dpa)は、実機PWRと同等の照射速度、現実的な照射時間(約2年間)で定常クリープ領域に達するのに必要な照射量として設定されたものである。

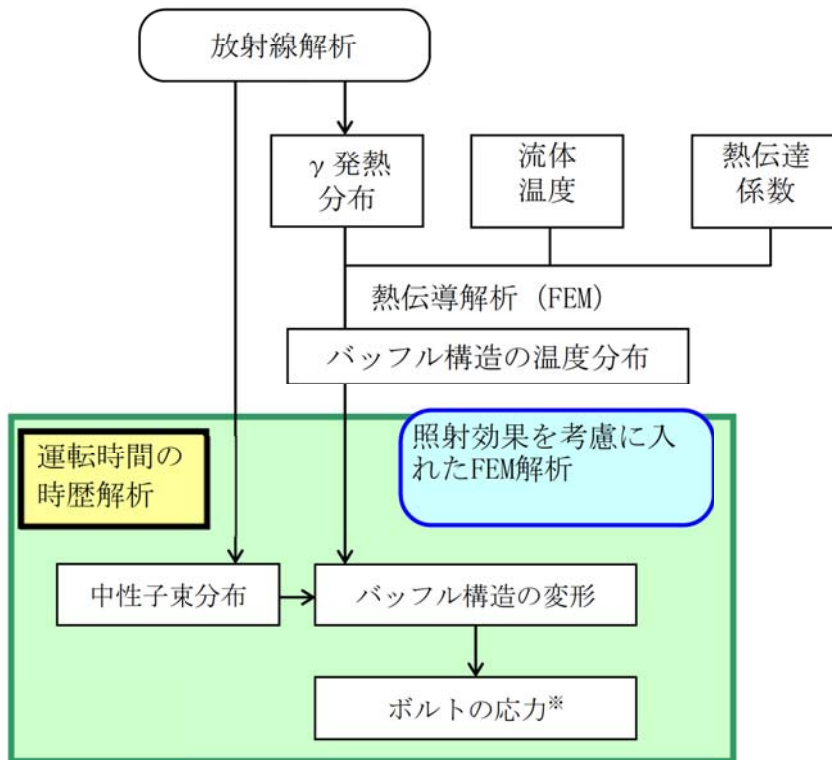
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

また、加速クリープの影響については、高照射領域での照射下クリープデータがないため考慮されていないが、考慮しない方が保守的（クリープが小さい方がボルトの応力緩和が小さくなる）であることから、実機評価を行う上では問題ないと考えている。

なお、評価ガイドにおいて、照射下クリープについて本評価式を用いることとされている。

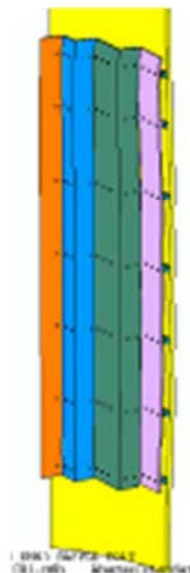
以上

バッフルフォーマボルトの応力評価手法について

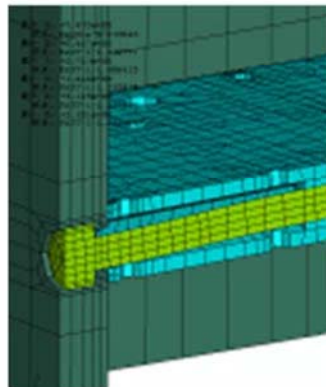


※ボルトの応力は、解析で算出したボルト首下一般部の応力に応力集中係数 K_t を掛けて応力を算出している。

応力集中係数は、ボルト形状を詳細に模擬した解析モデルにおいて、ボルトに荷重を付与した際に生じるボルト一般部（シャンク部）の応力とボルト首下部の応力の比を算出し、応力集中係数としている。



《全体図》



《ボルト部拡大図》

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

美浜3号炉－熱時効－2

| タイトル | (1-2-14頁) ケーシングの熱時効に係る健全性評価の具体的内容について | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|------------|---------------|------------|-----------|-----------------------|---------|----------|-----------|------------------|------|-------|-------|------|---------|------|--|--|--|---------|--|--|--|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|-------------|--|--|--|--|--|--|---------|-----------|---|----|----|----|----|--------|---|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 説明 | <p>1次冷却材ポンプのケーシングのフェライト量、使用温度、応力を表1に示す。熱時効による靱性低下への影響は、フェライト量が多いほど大きくなる。また、使用条件としては応力（荷重）が大きいほど厳しくなる。このため、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いる。</p> <p style="text-align: center;">表1 1次冷却材ポンプケーシング熱時効評価結果</p> <table border="1" data-bbox="422 931 1361 1205"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>Ss地震時応力 (MPa)</th> <th>フェライト量 (%)</th> <th>使用温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1次冷却材ポンプケーシング (吐出ノズル)</td> <td>約111</td> <td>10.84</td> <td>288.6</td> </tr> <tr> <td>1次冷却材管 (ホットレグ直管)</td> <td>約193</td> <td>16.09</td> <td>322.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>応力の詳細評価について表2に示す。</p> <p style="text-align: center;">表2 1次冷却材ポンプケーシングの応力値の詳細</p> <table border="1" data-bbox="422 1352 1361 1545"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">内圧による応力</th> <th colspan="4">曲げ応力</th> <th colspan="4">軸力による応力</th> <th rowspan="2">合算値 (MPa)</th> </tr> <tr> <th>自重 (MPa)</th> <th>熱 (MPa)</th> <th>地震 (MPa)</th> <th>合計 (MPa)</th> <th>自重 (MPa)</th> <th>熱 (MPa)</th> <th>地震 (MPa)</th> <th>合計 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1次冷却材ポンプケーシング</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>フェライト量算出に当たっては表3に示す材料成分表及びASTM A800(図1)により算出している。製造時ミルシートを添付-1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表3 製造時ミルシートによる材料成分表示</p> <table border="1" data-bbox="422 1727 1268 1890"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th colspan="7">化学成分(溶鋼分析)%</th> <th rowspan="2">Cre/Nie</th> <th rowspan="2">フェライト量 F%</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Ni</th> <th>Cb(Nb)</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1次冷却材ポンプケーシング</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※N及びNbの測定値について、これらはフェライト量計算に必要な値のため、電共研で用いた材料データの値等を参考にフェライト量を算出している。</p> | 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 | 10.84 | 288.6 | 1次冷却材管 (ホットレグ直管) | 約193 | 16.09 | 322.8 | 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 | | | | | | | | | | | 評価部位 | 化学成分(溶鋼分析)% | | | | | | | Cre/Nie | フェライト量 F% | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cb(Nb) | N | 1次冷却材ポンプケーシング | | | | | | | | | |
| 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 | 10.84 | 288.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1次冷却材管 (ホットレグ直管) | 約193 | 16.09 | 322.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 評価部位 | 化学成分(溶鋼分析)% | | | | | | | Cre/Nie | フェライト量 F% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cb(Nb) | N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1次冷却材ポンプケーシング | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

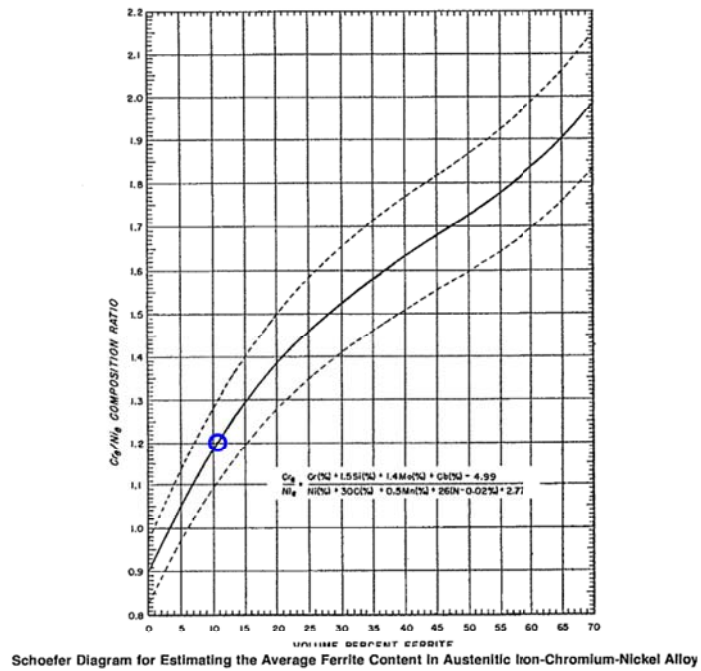


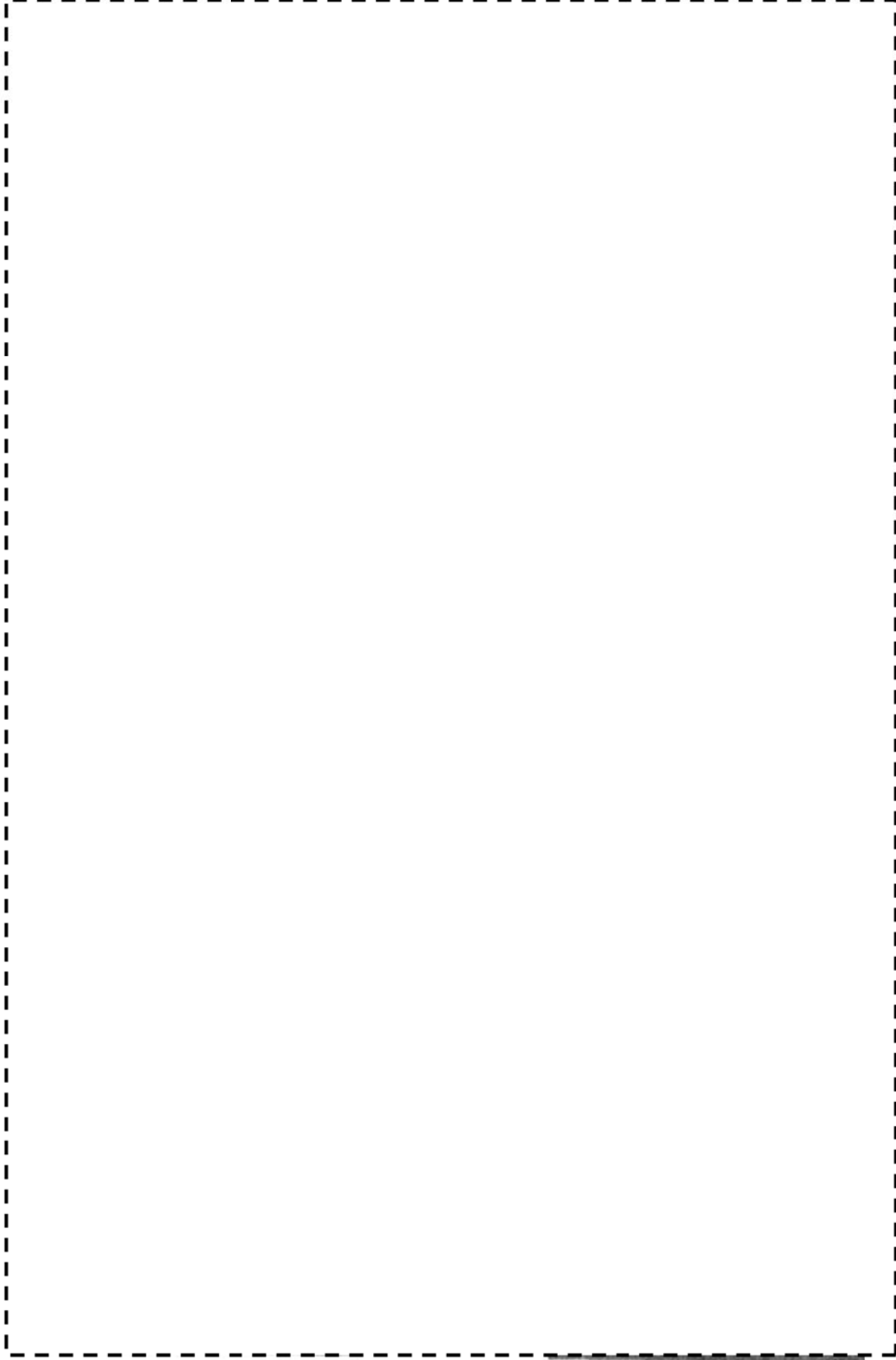
図1 フェライト量導出図 ASTM A800参照

1次冷却材ポンプ（ケーシング）については、重大事故等時における発生応力とフェライト量の比較により厳しい条件となる1次冷却材管の評価に包絡されることを確認しており、重大事故等時における1次冷却材管の健全性を確認できたことで、1次冷却材ポンプ（ケーシング）も健全であると確認している。

1次冷却材ポンプ（ケーシング）の発生応力とフェライト量の1次冷却材管との比較を添付ー2に示す。

SERIAL 1415

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-----------|-----|----|----|------------|--|--|----|----|----|------------|--|--|--|---|
| <p>PENCIL RUBBING OF MARK</p> <p>P.O. NO. 7-660541</p> <p>T-HT47B1249 471166</p> <p>B-HT47B1209^L</p> <p>F-HT47B1209 225</p> <p>L-HT46D758-3-5</p> | 7-481506 | UEG-0177C | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0100 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>関西電力(株)美浜発電所 第3号機</p> <p>冷却材ポンプ</p> <p>ケーシング</p> <p>RC-3A.B.C.</p> <p>1台 / 3台</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>検査成績書</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>監査</td> <td>存印</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>課長</td> <td>係長</td> <td>係員</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">[Redacted]</td> </tr> </table> | | | 監査 | 存印 | | [Redacted] | | | 課長 | 係長 | 係員 | [Redacted] | | | | |
| 監査 | 存印 | | | | | | | | | | | | | | | |
| [Redacted] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 課長 | 係長 | 係員 | | | | | | | | | | | | | | |
| [Redacted] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 昭和50年5月30日 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>送付先</td> <td>比文</td> <td>現地</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>RC</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table> | | | 送付先 | 比文 | 現地 | | | | | 5 | 1 | RC | | | | 1 |
| 送付先 | 比文 | 現地 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1 | RC | | | | 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

重大事故等時における1次冷却材ポンプの熱時効評価

美浜3号炉の1次冷却材ポンプのケーシングの発生応力（重大事故等時+Ss地震力）、フェライト量に対して、1次冷却材管との比較を以下に示す。

重大事故等時の条件で応力、フェライトが1次冷却材管の条件で包絡されることを確認しており、重大事故等時でも1次冷却材管の評価を代表として健全性が示される。

1次冷却材ポンプケーシング熱時効評価結果

| 部位 | 重大事故等時 応力 ^{※1} (MPa) | (参考) 通常運転時 応力 ^{※1} (MPa) | フェライト量 (%) | 使用温度 ^{※2} (°C) |
|------------------------------|-------------------------------------|--|---------------|----------------------------|
| 1次冷却材 ポンプケーシング (吐出ノズル) | 約117 | 約111 | 10.84 | 288.6 |
| 1次冷却材管 (ホットレグ直管) | 約201 | 約193 | 16.09 | 322.8 |

※1 Ss地震荷重含む

※2 通常運転時の温度。重大事故等時の条件は360°Cとする。

美浜3号炉－熱時効－3

| | |
|------|---|
| タイトル | (1-2-14頁) ケーシングの現状保全の具体的内容および製造時の検査内容について |
| 説明 | <p>1次冷却材ポンプケーシングに対しては、供用期間中検査としてケーシングと配管の溶接部の超音波探傷検査（添付1）およびケーシング内面全体の目視確認（添付2）を実施し、またケーシング本体の溶接部に関して（添付3）も有意な欠陥のないことを確認している。</p> <p>現状保全の方法を以下に示す。</p> <p>ケーシングと配管の溶接部 点検方法：超音波探傷検査（供用期間中検査） 判定基準：維持規格（JSME S NA1 2008）に基づき実施 点検結果：結果良好</p> <p>ケーシング内面全体 点検方法：目視検査（供用期間中検査） 判定基準：維持規格（JSME S NA1 2008）に基づき実施 点検結果：結果良好</p> <p>ケーシング本体の溶接部 点検方法：浸透探傷検査（供用期間中検査） 判定基準：維持規格（JSME S NA1 2008）に基づき実施 点検結果：結果良好</p> <p>製造時の検査内容を以下に示します。 検査方法：放射線透過検査 判定基準：ASME Pumps and Valves code 1968 Ed. With addenda dated March 1970 検査結果：結果良好（添付4（1/7-5/7））</p> <p>検査方法：浸透探傷検査 判定基準：ASME Pumps and Valves code 1968 Ed. With addenda dated March 1970 検査結果：結果良好（添付4（6/7-7/7））</p> |

関西電力株式会社 美浜発電所

第3号機 第25保全サイクル

定期事業者検査要領書

設 備 名 : 原子炉本体

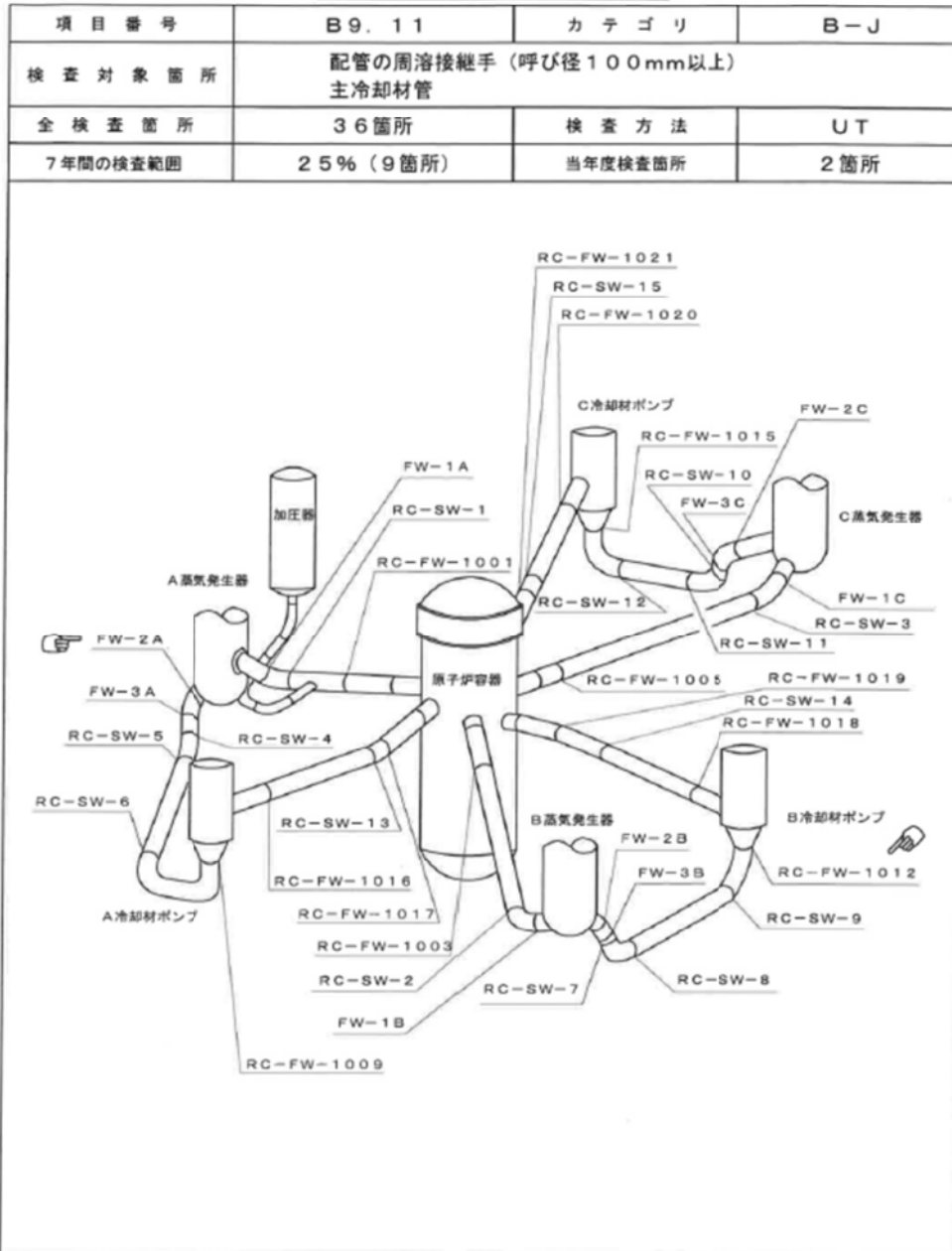
原子炉冷却系統設備

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 : M3-25-101

配管検査箇所図(2/25)



非破壊検査記録 (2 / 7)

検査年月日 平成23年 6 月 21 日

検査員 [Redacted]

| 項目番号 | カテゴリ | 機器名 | 検査の対象機器 | 検査箇所 | | |
|--|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------|
| B9.11 | B-J | 配管 | 配管の周溶接継手 (呼び径100mm以上) 主冷却材管 | RC-FW-1012 1箇所 | | |
| 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-) | | | | |
| | 表面検査 | 浸透探傷検査 | 探傷剤 | 温度 | 浸透時間 | 現像時間 |
| | | 体積検査 | 超音波探傷検査 | 探傷器 | 探触子 | 試験片 |
| | 体積検査 | 超音波探傷検査 | | | MP-3A | [Redacted] |
| | | | | | MP-3R | |
| | | | リジェクション | 接触媒質 | パルス幅 | |
| | | | OFF | ソニコート | — | |
| | 検査 実施 結果 | 検査項目 | | 結果 | 備考 | |
| | | 目視検査 | | | | |
| | | 表面検査 | 浸透探傷検査 | | 検査員: [Redacted] | |
| 体積検査 | | 超音波探傷検査 | 良 | 検査員: [Redacted] UT Ⅱ ⁺ #3 | | |
| <p>評価</p> <p>角度の取り方 (上流側より見る)</p> <p>起点: 上流側エネルギーの音を0°とした。 0°: 外表面形状のため、一部探傷不可。 DAC 2.0%を超えて反射波を認めず。 斜角4.5° (直角): 外表面形状のため、一部探傷不可。 内表面近傍以外、DAC 2.0%を超える反射波を認めず。 内表面近傍ノイズレベル (DAC 7%) を超える反射波は、仕込品伝播による金属組織のコーである。 斜角4.5° (平行): 外表面形状のため、探傷不可。</p> | | | | | | |
| | | | | | | |
| 試験員 [Redacted] UT Ⅱ ⁺ #3 | | | | | | |

関西電力株式会社 美浜発電所

第3号機 第25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

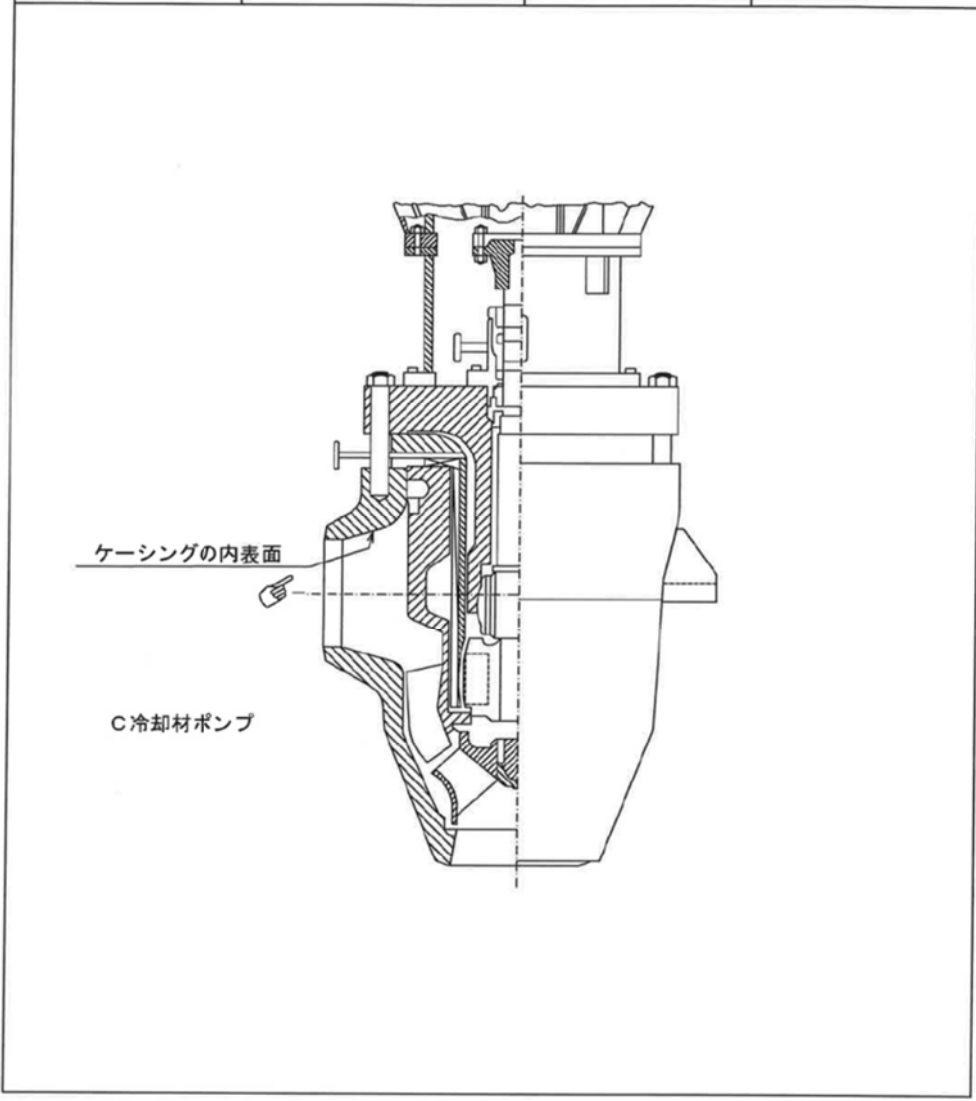
計測制御系統設備

検 査 名 : クラス1機器供用期間中検査

要領書番号 : M3-25-101

ポンプ検査箇所図 (6/7)

| | | | |
|----------|--------------|---------|--------|
| 項目番号 | B12.20 | カテゴリ | B-L-2 |
| 検査対象箇所 | ポンプケーシングの内表面 | | |
| 全検査箇所 | 1/台×3台 | 検査方法 | VT-3 |
| 7年間の検査範囲 | 代表1台の100% | 当年度検査箇所 | C 100% |



非破壊検査記録 (2 / 2)

検査年月日 平成23年 6月 4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 | | |
|--|---------|---------------------------------------|--------------|--------|------|------|
| B12.20 | B-L-2 | ポンプ | ポンプケーシングの内表面 | C 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) | | | | |
| | 表面検査 | 浸透探傷検査 | 探傷剤 | 温度 | 浸透時間 | 現像時間 |
| | 体積検査 | 超音波探傷検査 | 探傷器 | 探触子 | 試験片 | 感度 |
| | | リジェクション | 接触媒質 | パルス幅 | | |
| | | 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 | | 検査員: | | |
| 体積検査 | 超音波探傷検査 | | 検査員: | | | |
| <p><u>評価</u></p> <p>吐出ノズル形状のため、一部目視不可。</p> | | | | | | |

関西電力株式会社 美浜発電所

第3号機 第25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

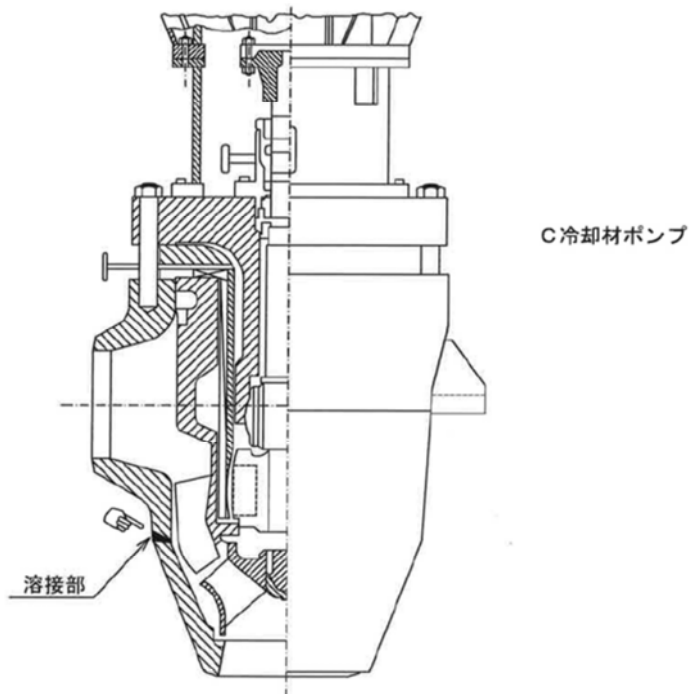
計測制御系統設備

検 査 名 : クラス1機器供用期間中検査

要領書番号 : M3-25-101

ポンプ検査箇所図 (5/7)

| | | | |
|----------|---------------|---------|-------|
| 項目番号 | B12.10 | カテゴリ | B-L-1 |
| 検査対象箇所 | ポンプケーシングの溶接継手 | | |
| 全検査箇所 | 1箇所/台×3台 | 検査方法 | PT |
| 7年間の検査範囲 | 代表1台の25%(1箇所) | 当年度検査箇所 | C 1箇所 |



非破壊検査記録 (4/7)

検査年月日 平成23年6月23日

検査員

| 項目番号 | カテゴリ | 機器名 | 検査の対象機器 | 検査箇所 | | |
|---|---------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------|------|------|
| B12.10 | B-L-1 | ポンプ | ポンプケーシングの溶接継手 | C 1箇所 (0°~90°) | | |
| 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-) | | | | |
| | 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 | リジェクション | 接触媒質 | パルス幅 | | |
| | | OFF | | | | |
| 検査実施結果 | 検査項目 | 結果 | 備考 | | | |
| | 目視検査 | | | | | |
| 表面検査 | 浸透探傷検査 | 良 | 検査員: [Redacted] PT V ^h #2 | | | |
| 体積検査 | 超音波探傷検査 | | 検査員: | | | |
| <p>評価</p> <p>記録すべき浸透剤の模様を認めます。</p> <p style="text-align: right;">試験員: [Redacted] PT V^h#2</p> | | | | | | |

非破壊検査記録 (5 / 7)

検査年月日 平成23年6月23日

検査員 [Redacted]

| 項目番号 | カテゴリ | 機器名 | 検査の対象機器 | 検査箇所 | | |
|---|---------|-------------------------------|------------------------|------------------|------|------|
| B12.10 | B-L-1 | ポンプ | ポンプケーシングの溶接継手 | C 1箇所 (90°~180°) | | |
| 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-) | | | | |
| | 表面検査 | 浸透探傷検査 | 探傷剤 | 温度 | 浸透時間 | 現像時間 |
| | 体積検査 | 超音波探傷検査 | 探傷器 | 探触子 | 試験片 | 感度 |
| | | | リジェクション | 接触媒質 | パルス幅 | |
| | | | OFF | | | |
| | | | | | | |
| 検査実施結果 | 検査項目 | 結果 | 備考 | | | |
| | 目視検査 | | | | | |
| 表面検査 | 浸透探傷検査 | 良 | 検査員: [Redacted] PT ⅴ#2 | | | |
| 体積検査 | 超音波探傷検査 | | 検査員: | | | |
| <p><u>評価</u></p> <p>記録すべき浸透剤の痕跡を認めます。</p> | | | | | | |
| 試験員: [Redacted] PT ⅴ#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

非破壊検査記録 (6 / 7)

検査年月日 平成23年6月23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 | | |
|---|---------|-------------------------------|--|-------------------|------|------|
| B12.10 | B-L-1 | ポンプ | ポンプケーシングの溶接継手 | C 1箇所 (180°~270°) | | |
| 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-) | | | | |
| | 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 | リジェクション | 接触媒質 | パルス幅 | | |
| | | OFF | | | | |
| 検査実施結果 | 検査項目 | 結果 | 備考 | | | |
| | 目視検査 | | | | | |
| 表面検査 | 浸透探傷検査 | 良 | 検査員: XXXXXXXXXX PT ⅴ ^o #2 | | | |
| 体積検査 | 超音波探傷検査 | | 検査員: | | | |
| <p>評価</p> <p>記録すべき浸透探傷様を確認す。</p> <p style="text-align: right;">試験員 XXXXXXXXXX PT ⅴ^o #2</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

非破壊検査記録 (7 / 7)

検査年月日 平成23年6月23日

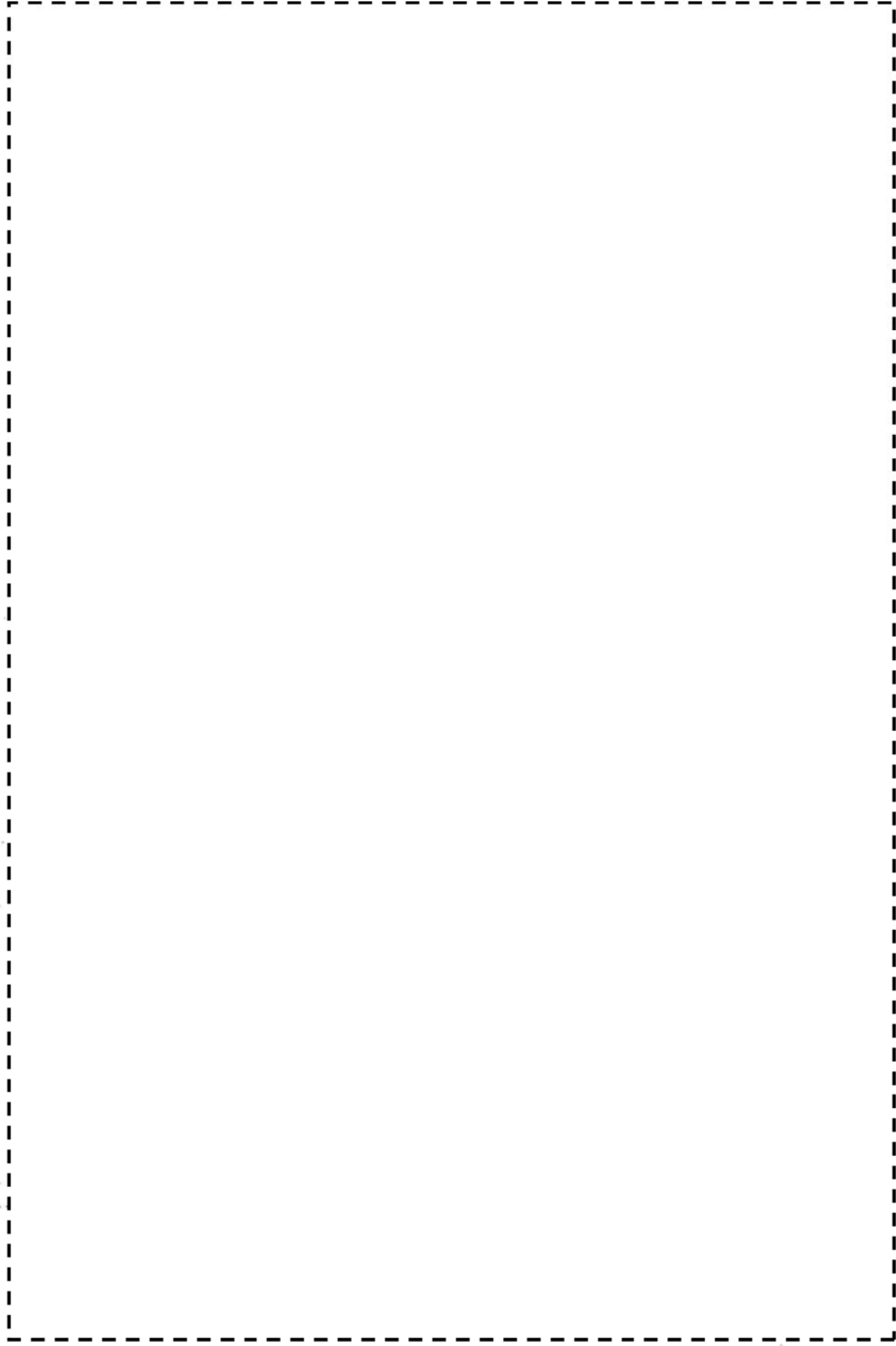
検査員 XXXXXXXXXX

| 項目番号 | カテゴリ | 機器名 | 検査の対象機器 | 検査箇所 | | |
|--|----------------|-------------------------------|---------------|-----------------|--|------|
| B12.10 | B-L-1 | ポンプ | ポンプケーシングの溶接継手 | C 1箇所 (270°~0°) | | |
| 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-) | | | | |
| | 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 | リジェクション | 接触媒質 | パルス幅 | | |
| | | OFF | | | | |
| | | | | | | |
| | 検査 実施 結果 | 検査項目 | | 結果 | 備考 | |
| | | 目視検査 | | | | |
| | | 表面検査 | 浸透探傷検査 | 良 | 検査員 XXXXXXXXXX PT 16' #3 | |
| | 体積検査 | 超音波探傷検査 | | 検査員: | | |
| <p>評価</p> <p>記録すべき浸透剤不揮発を忘れます。</p> <p style="text-align: right;">試験員: XXXXXXXXXX PT 16' #3</p> | | | | | | |

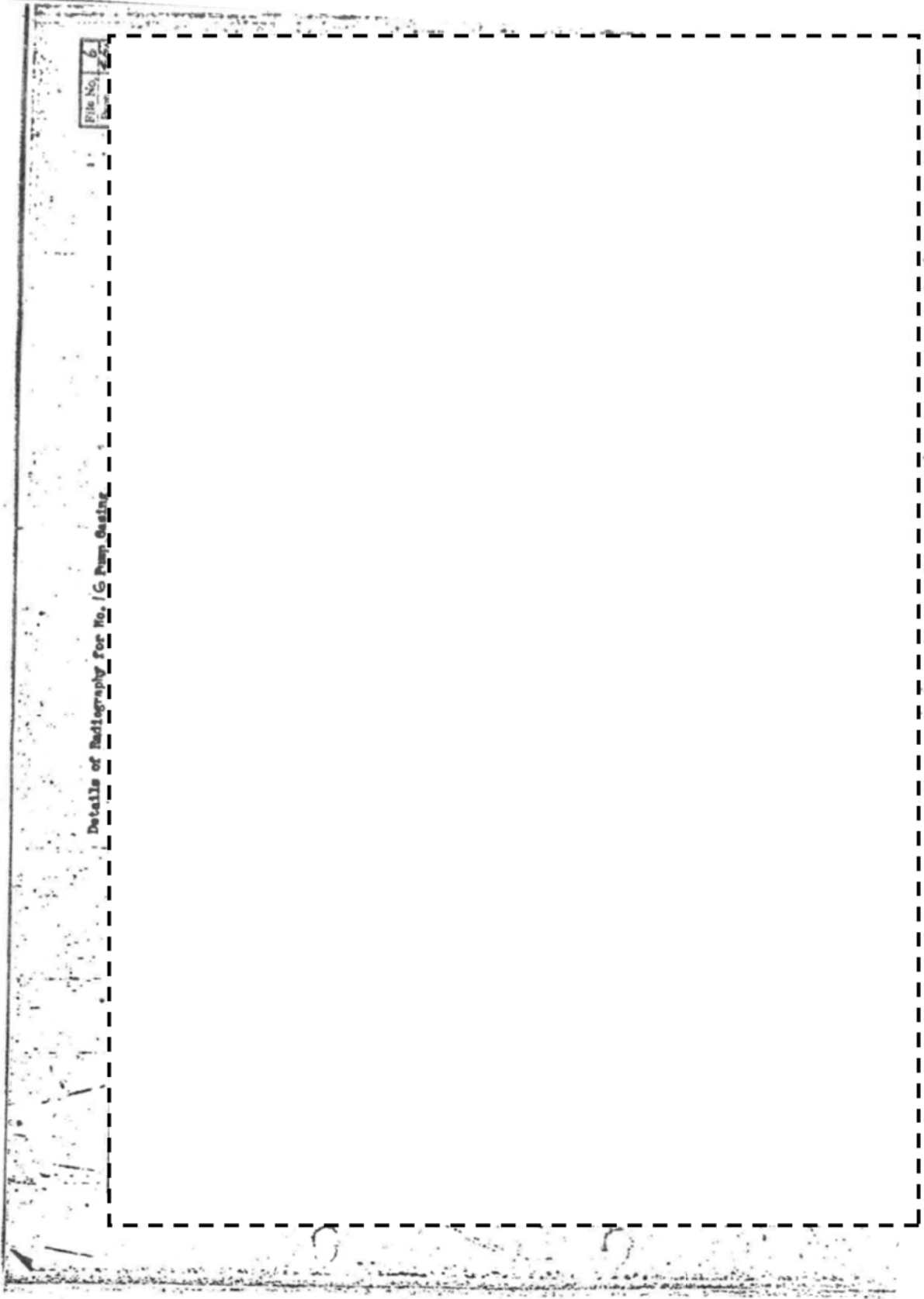
| | | |
|---|--|------------------|
| <p>PENCIL RUBBING OF MARK P.O. NO. 7-660542 T-HT 48B173 48A156 B-HT 48A157 E-HT 47B1209-E42 L-HT 46D958-3-5</p> | <p>7-481506 0100</p> | <p>UEG-0177C</p> |
| | <p>検査成績書</p> <p>冷却材ポンプ ケーシング RC-3A.B.C. 1台/3台</p> <p>関西電力(株)美浜発電所 第3号機</p> | |
| <p>50.6.19</p> <p>50.6.19</p> <p>課長 係長 係員</p> | | |
| <p>昭和50年5月30日</p> | | |
| <p>送付先 51</p> | | |

昭和50年 5月 30日

1-36



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

File No. 6
Page 6 of 20

RECORD OF REVIEW OF RADIOGRAPHS

| DESCRIPTION | | SERIAL NUMBER | CUSTOMER | | REMARKS | |
|------------------------|-------------|---------------|---|---|--|---|
| 93A PUMP CASING | | NO.16 | [REDACTED] | | Feb. Stage for file No. RL-1 to 841 See note 1). | |
| FILM NUMBER (ORIGINAL) | THICKNESS | PENETRA-METER | DEFECT IDENTIFICATION - REVIEWER - DATE | DEFECT IDENTIFICATION - REVIEWER - DATE | FILM NUMBER (FIRST) | DEFECT IDENTIFICATION - REVIEWER - DATE |
| PG-2015-BE-1 | 1/8" | 100 | OK | | | |
| -2 | " | " | OK | | | |
| -3 | " | " | OK | | | |
| -4 | " | " | OK | | | |
| -5 | " | " | OK | | | |
| -6 | " | " | OK | | | |
| -7 | " | " | OK | | | |
| -8 | " | " | OK | | | |
| -9 | " | " | OK | | | |
| -10 | " | " | OK | | | |
| -11 | " | " | OK | | | |
| -12 | " | " | OK | | | |
| -13 | " | " | OK | | | |
| -14 | " | " | OK | | | |
| -15 | " | " | OK | | | |
| -16 | " | " | OK | | | |
| -17 | 2/8" ~ 5/8" | 20560 | OK | | | |
| -18 | " | " | OK | | | |
| -19 | " | " | OK | | | |
| -20 | " | " | OK | | | |
| -21 | " | " | OK | | | |
| -22 | " | " | OK | | | |
| -23 | " | " | OK | | | |
| -24 | " | " | OK | | | |
| -25 | " | " | OK | | | |

Note 1) : Before voiding of birth seen between Top and Bottom Casting

File No. 11
Page 23

IS No. 16-1063-2-1
Date of Issue Nov 28, 1973
Chief of Inspection Section
[Redacted]

EXAMINATION CONDITIONS

Date of test: Nov 28, 1973
Result: Acceptable
Operator: [Redacted] (Level II)
Staff engineers: [Redacted] (Level III)

Audited by AED of [Redacted] 70
Q. A. Engineer
Witnessed by [Redacted]
Witnessed by [Redacted]
Inspector [Redacted]

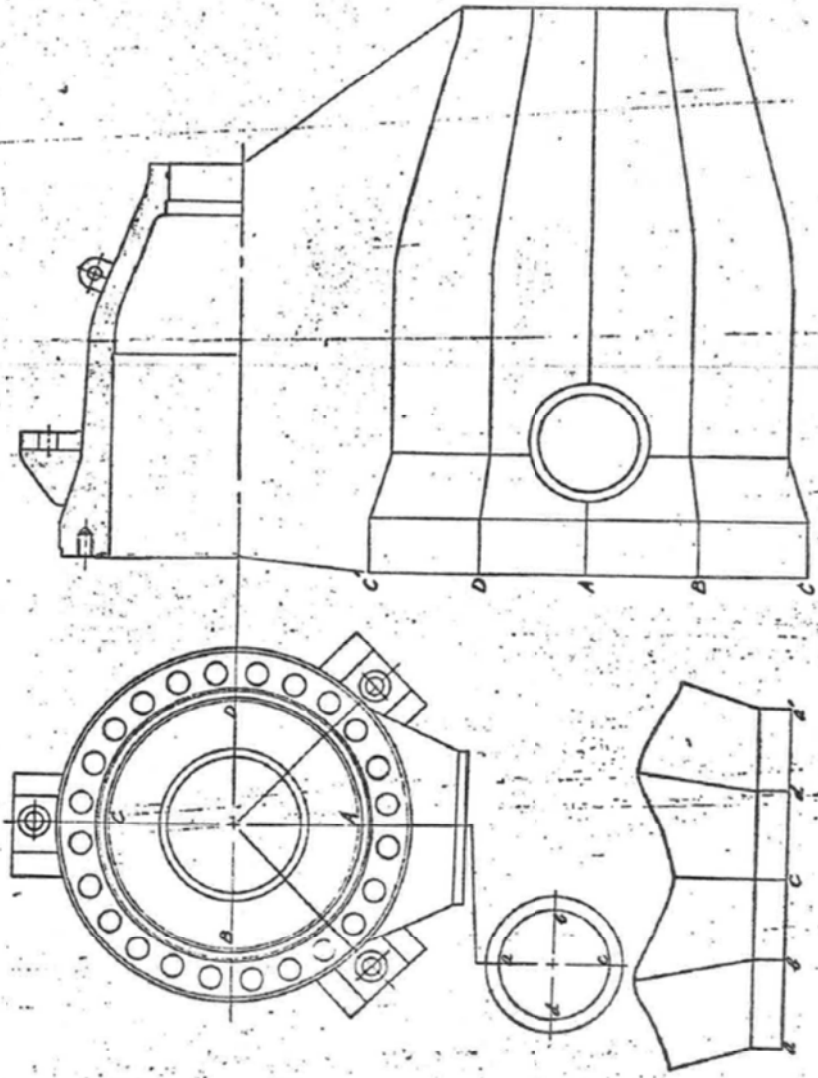
RECORD OF INSPECTION

Record of Results of Liquid Penetrant Examination

Outer Surface

Name of Client [Redacted]
Order Number 7-668562
Project KAN-3 (NHK)
Work Number CN1-2063 (Foot)
Heat Number 40A158 (BA157) 470007512
Spec. No. N-5178 Rev 1 460950-3-5

ASME Pumps and Valves code 1989 Ed.
With addenda dated March 1979.



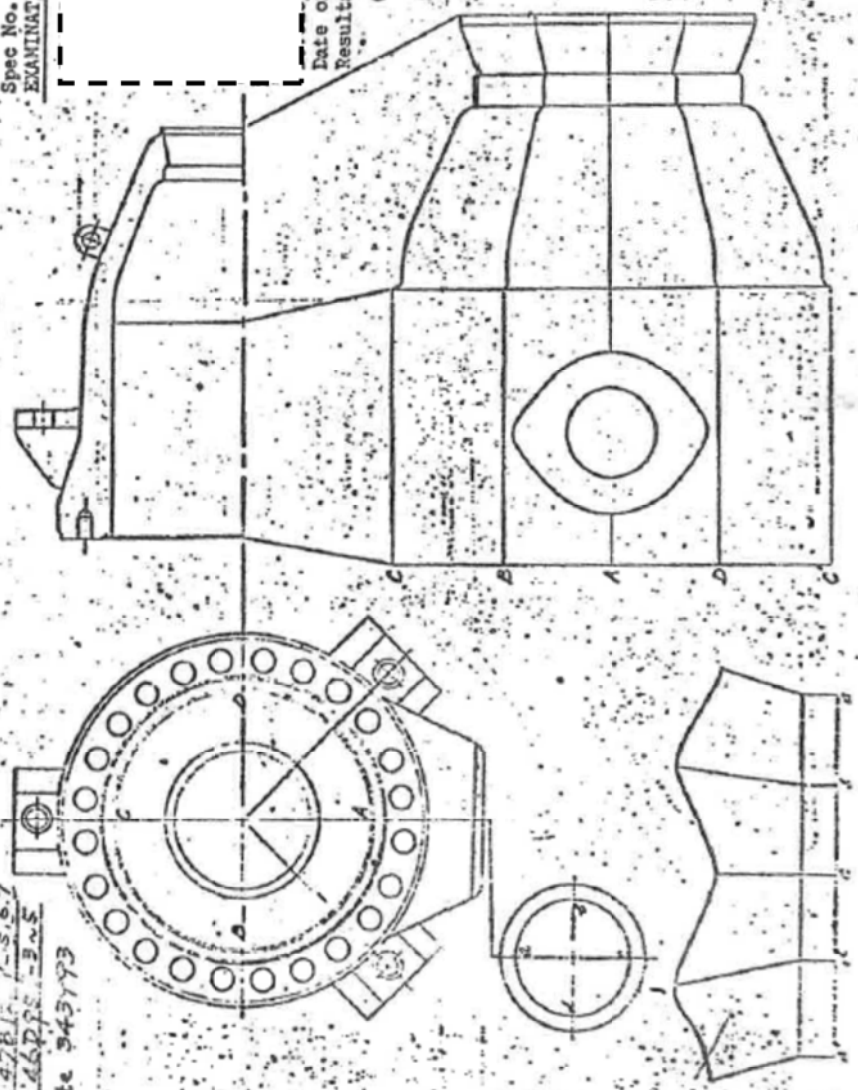
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

RECORD OF INSPECTION

Record of Results of Liquid Penetrant Examination

Name of Client: KMN-3
 Order Number: 7-668513
 Casting Number: 16
 Heat Number: 458173
 Top: 458173
 Bottom: 458157
 Feet: 428157-1-5.6.7
 Lug: 458157-3-2.5
 Wairplate: 343793

Inner Surface



TAKASAGO MACHINERY WORKS.

Date of Issue: SEP. 28. 1974
 Quality Control Section

Spec No.: 9-16 R&VI
 EXAMINATION CONDITIONS

Date of test: SEP. 28. 1974
 Results: Pass

Operator: [Redacted]
 Staff Engineer: [Redacted]

Audited by: [Redacted]
 Q.A. Engineer

Witnessed by: [Redacted]
 KEPCO

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

美浜3号炉－絶縁低下－1

| | |
|------|---|
| タイトル | 主な電気・計装設備の保全項目、判定基準及び点検頻度について |
| 説明 | <p>主な電気・計装設備の保全項目、判定基準及び点検頻度については添付1の通り。</p> <p>なお、動作確認を行っている電気・計装設備については、絶縁抵抗測定を実施している同種機器等の結果を踏まえ、健全性を確認している。</p> |

| 代表機器名称 | 保全項目 | 判定基準 | 頻度 ^{※1} |
|-------------------|--|------|------------------|
| 海水ポンプモータ | 絶縁抵抗測定 直流吸収試験 tan δ 試験 部分放電試験 | | |
| 充てん/高圧注入ポンプモータ | 同上 | | |
| ほう酸ポンプモータ | 絶縁抵抗測定 | | |
| ビッグテイル型電気ペネトレーション | 絶縁抵抗測定または系統機器の動作確認 | | |
| 余熱除去ポンプ入口弁電動装置 | 絶縁抵抗測定 | | |
| 難燃高圧CSHVケーブル | 絶縁抵抗測定 直流漏洩電流測定 tan δ 試験 シース絶縁抵抗測定 遮蔽層抵抗測定 部分放電試験 | | |
| 難燃KKケーブル | | | |
| 難燃PHケーブル | | | |
| SHVVケーブル | 絶縁抵抗測定または系統機器の動作確認 | | |
| VVケーブル | | | |
| 三重同軸ケーブル | 絶縁抵抗測定 | | |
| 難燃三重同軸ケーブル-2 | | | |
| 気密端子箱接続 | | | |
| 直ジョイント | | | |
| 原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続 | 絶縁抵抗測定または系統機器の動作確認 | | |
| 三重同軸コネクタ接続-1 | | | |
| メタクラ(安全系) | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| 動力変圧器 | 絶縁抵抗測定 | | |
| パワーセンタ(安全系) | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |

※1：冷温停止状態における点検頻度については、断続運転における点検計画を考慮するため、断続運転の周期を記載。

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。

| 代表機器名称 | 保全項目 | 判定基準 | 頻度 ^{※1} |
|-----------------------|-----------------|------|------------------|
| 非常用ディーゼル発電機 制御盤 | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | tan δ 試験 | | |
| | 直流吸収試験 | | |
| 補助建屋よう素除去排気 ファンモータ | 絶縁抵抗測定 | | |
| 制御建屋送気ファンモータ | 絶縁抵抗測定 | | |
| チラーユニット用圧縮機 モータ | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 直流吸収試験 | | |
| | tan δ 試験 | | |
| | 部分放電試験 | | |
| 計器用空気圧縮装置 | 絶縁抵抗測定 | | |

※1：冷温停止状態における点検頻度については、断続運転における点検計画を考慮するため、断続運転の周期を記載。

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。

| 代表機器名称 | 保全項目 | 判定基準 | 頻度 ^{※1} |
|-------------|----------|------|------------------|
| 燃料取換クレーン | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| 燃料移送装置 | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| 非常用ディーゼル発電機 | 絶縁抵抗測定 | | |
| | 直流吸収試験 | | |
| | tan δ 試験 | | |
| | 部分放電試験 | | |
| | 絶縁抵抗測定 | | |
| 燃料弁冷却水ポンプ | 絶縁抵抗測定 | | |
| 燃料油移送ポンプ | | | |
| 安全系インバータ | 絶縁抵抗測定 | | |

※1：冷温停止状態における点検頻度については、断続運転における点検計画を考慮するため、断続運転の周期を記載。

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。

美浜3号炉－絶縁低下－5

| コメント | ピッグテイル型電気ペネトレーション（外部リード含む）の設計基準事故時条件及び重大事故等時を包絡性について | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|-----------|-----------------------|---------|----|------------------------|--|----------|-----------------------|--|----------|--|-----------|------------|--|--------|--------------------|--|--------|--|--------|--|----|---------|----|------------------------|--|----------|-----------------------|--|----------|--|----------|------------|--|--------|--------------------|--|--------|--|--------|
| 説明 | <p>①設計基準事故時条件の包絡性について</p> <p>添付-1に設計基準事故の安全解析結果（事故後27時間までの解析を実施）を、添付-2に事故時雰囲気曝露の試験条件を添付する。</p> <p>以下に示すように、事故時雰囲気曝露の試験条件は、実機の設計基準事故時条件を包絡している。</p> <p>（ポッティング材：シリコン樹脂）</p> <table border="1" data-bbox="424 792 1359 1182"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*1</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 曝露 試験</td> <td></td> <td>628824時間</td> <td rowspan="3">2177128時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>228969時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1319335時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td></td> <td>9821時間</td> <td rowspan="3">22611時間 (約2.6年)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4054時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8736時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー 1 kcal/molでの換算値</p> <p>（外部リード：シリコンゴム）</p> <table border="1" data-bbox="424 1299 1359 1688"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*1</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 曝露 試験</td> <td></td> <td>305157時間</td> <td rowspan="3">1330119時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>133681時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>891281時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td></td> <td>6673時間</td> <td rowspan="3">18562時間 (約2.1年)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3153時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8736時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー 1 kcal/molでの換算値</p> | | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 628824時間 | 2177128時間 (100年以上) | | 228969時間 | | 1319335時間 | 設計基 準事故 | | 9821時間 | 22611時間 (約2.6年) | | 4054時間 | | 8736時間 | | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 305157時間 | 1330119時間 (100年以上) | | 133681時間 | | 891281時間 | 設計基 準事故 | | 6673時間 | 18562時間 (約2.1年) | | 3153時間 | | 8736時間 |
| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 628824時間 | 2177128時間 (100年以上) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 228969時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1319335時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基 準事故 | | 9821時間 | 22611時間 (約2.6年) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4054時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8736時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 305157時間 | 1330119時間 (100年以上) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 133681時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 891281時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基 準事故 | | 6673時間 | 18562時間 (約2.1年) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3153時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8736時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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。

説明

②重大事故等時条件の包絡性について

添付-3に実機の重大事故等時の劣化条件を、添付-2に事故時雰囲気暴露の試験条件を添付する。

以下に示すように、事故時雰囲気暴露の試験条件は、実機の重大事故等時の劣化条件を包絡している。

(ポッティング材：シリコーン樹脂)

| | 条件 | 65°C換算*2 | 合計 |
|--------------------|---------|-----------|-----------------------|
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 628824時間 | 2177128時間 (100年以上) |
| | | 228969時間 | |
| | | 1319335時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 845175時間 (約97年) |
| | | 23時間 | |
| | | 193時間 | |
| | | 12394時間 | |
| | | 159115時間 | |
| | | 31781時間 | |
| | | 246304時間 | |
| | | 84888時間 | |
| | | 73848時間 | |
| | | 58266時間 | |
| | | 54201時間 | |
| | | 29464時間 | |
| | | 23079時間 | |
| | | 20036時間 | |
| | | 17176時間 | |
| | 13352時間 | | |
| | 9411時間 | | |
| | 11643時間 | | |

* 1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

* 2 : 活性化エネルギー [] cal/molでの換算値

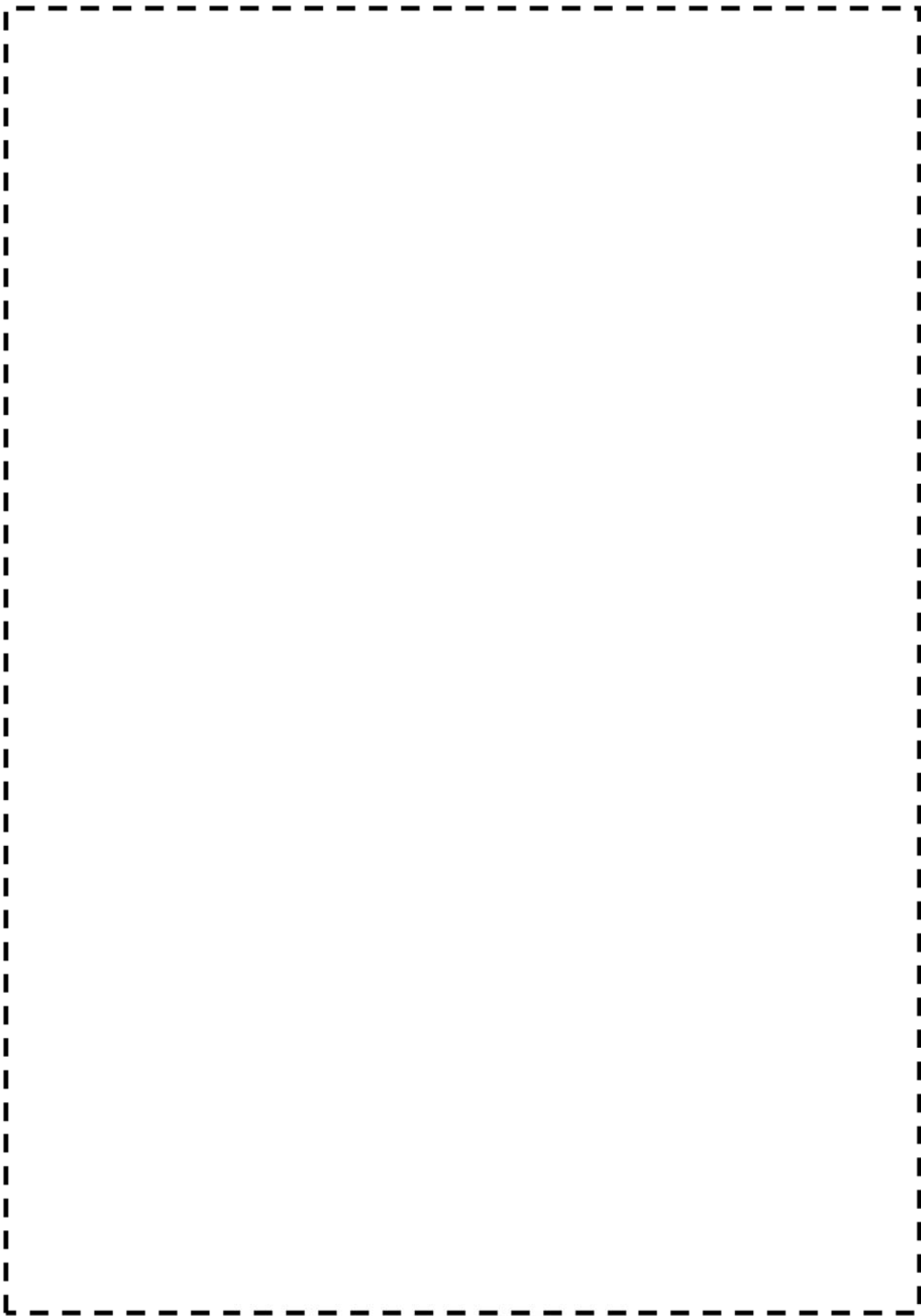
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| 説明 | (外部リード：シリコンゴム) | | |
|--------------------|----------------|----------|-----------------------|
| | 条件 | 65°C換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 305157時間 | 1330119時間 (100年以上) |
| | | 133681時間 | |
| | | 891281時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 551448時間 (約62.9年) |
| | | 20時間 | |
| | | 150時間 | |
| | | 8777時間 | |
| | | 97838時間 | |
| | | 21104時間 | |
| | | 158150時間 | |
| | | 55114時間 | |
| | | 48486時間 | |
| | | 38691時間 | |
| | | 36405時間 | |
| | | 20020時間 | |
| | | 15865時間 | |
| | | 13937時間 | |
| | | 12091時間 | |
| | 9512時間 | | |
| | 6787時間 | | |
| | 8500時間 | | |

*1：CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

*2：活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

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。



美浜3号炉 格納容器内圧力温度解析結果

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。



電気ペネ 事故時雰囲気暴露試験条件



外部リード：シリコーンゴム 事故時雰囲気暴露試験条件

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。



SA条件と包絡条件

上記重大事故等時環境解析の入力条件としては、別途審査いただいている美浜3号炉原子炉設置許可申請書の添付書類10の第7.2.1.2.2表「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）」の主要解析条件（外部電源喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、補助給水機能が喪失する事故）（1/4～4/4）の通りとし、事故発生後7日間までの解析をした環境条件としている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉－絶縁低下－11

| <p>タイトル</p> | <p>各種ケーブル等の電気学会推奨案等に基づく健全性評価のCV内事故包絡性について</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|-----------|-----------------------|---------|----|------------------------|--|----------|-----------------------|--|----------|--|-----------|------------|--|--------|--------------------|--|--------|--|--------|
| <p>説明</p> | <p>添付-1に設計基準事故の安全解析結果（事故後27時間までの解析を実施）を、添付-2に事故時雰囲気曝露の試験条件を添付する。 以下に示す通り、事故時雰囲気曝露の試験条件は、実機の設基準定事故時条件を包絡している。</p> <p>①難燃KKケーブル</p> <table border="1" data-bbox="427 887 1358 1335"> <thead> <tr> <th></th> <th>条件</th> <th>65℃換算*1</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">事故時 雰囲気 曝露 試験</td> <td></td> <td>456007時間</td> <td rowspan="3">1744547時間 (100年以上)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>180263時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1108277時間</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">設計基 準事故</td> <td></td> <td>8271時間</td> <td rowspan="3">20632時間 (約2.4年)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3625時間</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8736時間</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：活性化エネルギー kcal/molでの換算値</p> | | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) | | 180263時間 | | 1108277時間 | 設計基 準事故 | | 8271時間 | 20632時間 (約2.4年) | | 3625時間 | | 8736時間 |
| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 180263時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1108277時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 設計基 準事故 | | 8271時間 | 20632時間 (約2.4年) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3625時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8736時間 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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。

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|-----------------------|-------------------------|
| 説 明 | ②難燃PHケーブル | | | |
| | | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 |
| | 事故時 雰囲気 曝露 試験 | [Redacted] | 281601時間 | 1260796時間 (100年以上) |
| | | | 125922時間 | |
| | | | 853273時間 | |
| | 設計基 準事故 | [Redacted] | 6393時間 | 18195時間 (約2.1年) |
| | | | 3066時間 | |
| | | | 8736時間 | |
| | *1：活性化エネルギー [Redacted] kcal/molでの換算値 | | | |
| | ③難燃三重同軸ケーブルー2 | | | |
| | | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 |
| | 事故時 雰囲気 曝露 試験 | [Redacted] | 194224014時間 | 226387669時間 (100年以上) |
| | | | 8673101時間 | |
| | | | 8923024時間 | |
| | | | 14567530時間 | |
| 設計基 準事故 | [Redacted] | 111110時間 | 139476時間 (約16年) | |
| | | 19630時間 | | |
| | | 8736時間 | | |
| *1：活性化エネルギー [Redacted] kcal/molでの換算値 | | | | |
| ④気密端子箱接続 | | | | |
| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 | |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | [Redacted] | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) | |
| | | 180263時間 | | |
| | | 1108277時間 | | |
| 設計基 準事故 | [Redacted] | 8271時間 | 20632時間 (約2.4年) | |
| | | 3625時間 | | |
| | | 8736時間 | | |
| *1：活性化エネルギー [Redacted] kcal/molでの換算値 | | | | |

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。

| | | | | |
|--|--|--------------|-----------------------|--------------------|
| 説明 | ⑤直ジョイント | | | |
| | | 条件 | 6.5℃換算*1 | 合計 |
| | 事故時 雰囲気 曝露 試験 | ┌──────────┐ | 107389時間 | 674621時間 (約77年) |
| | | | 61446時間 | |
| | | | 505786時間 | |
| | 設計基 準事故 | └──────────┘ | 3819時間 | 14748時間 (約1.7年) |
| | | | 2193時間 | |
| | | | 8736時間 | |
| | *1：活性化エネルギー ┌──────────┐ kcal/molでの換算値 | | | |
| | ⑥原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続 (絶縁物) | | | |
| | 条件 | 6.5℃換算*1 | 合計 | |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | ┌──────────┐ | 2562時間 | 73034時間 (約8.3年) | |
| | | 3811時間 | | |
| | | 66661時間 | | |
| 設計想 定事故 | └──────────┘ | 519時間 | 9854時間 (約1.1年) | |
| | | 599時間 | | |
| | | 8736時間 | | |
| *1：活性化エネルギー ┌──────────┐ kcal/molでの換算値 | | | | |
| (Oリング、ブッシュ) | | | | |
| | 条件 | 6.5℃換算*1 | 合計 | |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | ┌──────────┐ | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) | |
| | | 180263時間 | | |
| | | 1108277時間 | | |
| 設計想 定事故 | └──────────┘ | 8271時間 | 20632時間 (約2.4年) | |
| | | 3625時間 | | |
| | | 8736時間 | | |
| *1：活性化エネルギー ┌──────────┐ kcal/molでの換算値 | | | | |

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。

説明

⑦三重同軸コネクタ-1接続
(絶縁物)

| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 |
|------------------------|-----|-------------------|-----------------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | [] | 895792360537071時間 | 37381543045197日 (100年以上) |
| | | 1088648579443時間 | |
| | | 215991022229時間 | |
| | | 60032945978時間 | |
| 設計基 準事故 | [] | 404965645時間 | 17043221日 (100年以上) |
| | | 4062934時間 | |
| | | 8736時間 | |

*1：活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

(Oリング)

| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 |
|------------------------|-----|-----------|-----------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | [] | 1520021時間 | 3137865時間 (100年以上) |
| | | 210444時間 | |
| | | 364315時間 | |
| | | 1043084時間 | |
| 設計基 準事故 | [] | 8271時間 | 20632時間 (約2.4年) |
| | | 3625時間 | |
| | | 8736時間 | |

*1：活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

[] 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。

説明

また、添付-3に実機の重大事故等時の劣化条件を、添付-2に事故時雰囲気曝露の試験条件を添付する。

以下に示す通り、事故時雰囲気曝露の試験条件は、実機の重大事故等時の劣化条件を包絡している。

①難燃KKケーブル

| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
|------------------------|---------|-----------|-----------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) |
| | | 180263時間 | |
| | | 1108277時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 698934時間 (約80年) |
| | | 21時間 | |
| | | 173時間 | |
| | | 10632時間 | |
| | | 128187時間 | |
| | | 26494時間 | |
| | | 202283時間 | |
| | | 70061時間 | |
| | | 61253時間 | |
| | | 48572時間 | |
| | | 45414時間 | |
| | | 24814時間 | |
| | | 19538時間 | |
| | | 17050時間 | |
| | | 14695時間 | |
| | 11484時間 | | |
| | 8138時間 | | |
| | 10124時間 | | |

* 1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

* 2 : 活性化エネルギー | kcal/molでの換算値

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。

| 説明 | ②難燃PHケーブル | | |
|------------------------|-----------|----------|-----------------------|
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 281601時間 | 1260796時間 (100年以上) |
| | | 125922時間 | |
| | 853273時間 | | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 525952時間 (約60年) |
| | | 19時間 | |
| | | 146時間 | |
| | | 8447時間 | |
| | | 92691時間 | |
| | | 20166時間 | |
| | | 150554時間 | |
| | | 52532時間 | |
| | | 46272時間 | |
| | | 36970時間 | |
| | | 34830時間 | |
| | | 19179時間 | |
| | | 15218時間 | |
| | | 13386時間 | |
| | | 11628時間 | |
| | 9161時間 | | |
| | 6544時間 | | |
| | 8208時間 | | |

* 1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

* 2 : 活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

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。

| 説明 | ③難燃三重同軸ケーブル-2 | | |
|------------------------|---------------|-------------|-------------------------|
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 194224014時間 | 226387669時間 (100年以上) |
| | | 8673101時間 | |
| 8923024時間 | | | |
| 14567530時間 | | | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 12800455時間 (100年以上) |
| | | 59時間 | |
| | | 935時間 | |
| | | 108165時間 | |
| | | 3369812時間 | |
| | | 415327時間 | |
| | | 3974889時間 | |
| | | 1277788時間 | |
| | | 1036109時間 | |
| | | 761434時間 | |
| | | 659268時間 | |
| | | 333329時間 | |
| | | 242659時間 | |
| | | 195644時間 | |
| | | 155647時間 | |
| 112193時間 | | | |
| 73270時間 | | | |
| 83926時間 | | | |

* 1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

* 2 : 活性化エネルギー kcal/molでの換算値

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。

| 説明 | ④気密端子箱接続 | | |
|--------------------|-----------|----------|-----------------------|
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) |
| | | 180263時間 | |
| | 1108277時間 | | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 698934時間 (約80年) |
| | | 21時間 | |
| | | 173時間 | |
| | | 10632時間 | |
| | | 128187時間 | |
| | | 26494時間 | |
| | | 202283時間 | |
| | | 70061時間 | |
| | | 61253時間 | |
| | | 48572時間 | |
| | | 45414時間 | |
| | | 24814時間 | |
| | | 19538時間 | |
| | | 17050時間 | |
| | | 14695時間 | |
| | 11484時間 | | |
| | 8138時間 | | |
| | 10124時間 | | |

*1：CV過温破損の包絡条件（添付-3）

*2：活性化エネルギー kcal/mol での換算値

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。

| 説明 | ⑤直ジョイント | | |
|--------------------|----------|----------|--------------------|
| | 条件 | 65°C換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 107389時間 | 674621時間 (約77年) |
| | | 61446時間 | |
| | 505786時間 | | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 298521時間 (約34年) |
| | | 16時間 | |
| | | 104時間 | |
| | | 5332時間 | |
| | | 48466時間 | |
| | | 11683時間 | |
| | | 83398時間 | |
| | | 29533時間 | |
| | | 26405時間 | |
| | | 21418時間 | |
| | | 20488時間 | |
| | | 11456時間 | |
| | | 9233時間 | |
| | | 8250時間 | |
| | | 7281時間 | |
| | 5829時間 | | |
| | 4232時間 | | |
| | 5396時間 | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

*2 : 活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

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。

| 説明 | ⑥原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続 (絶縁物) | | | |
|--------------------|-----------------------------|---------|--------------------|--------------------|
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 | |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 2562時間 | 73034時間 (約8.3年) | |
| | | 3811時間 | | |
| | | 66661時間 | | |
| | 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 34297時間 (約3.9年) |
| | | | 7時間 | |
| | | | 29時間 | |
| | | | 896時間 | |
| | | | 3928時間 | |
| | | | 1409時間 | |
| | | | 8454時間 | |
| | | | 3170時間 | |
| | | | 3004時間 | |
| | | | 2583時間 | |
| | | | 2621時間 | |
| | | | 1556時間 | |
| | | | 1332時間 | |
| | | | 1265時間 | |
| | | | 1187時間 | |
| | | | 1011時間 | |
| | | | 782時間 | |
| | 1062時間 | | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)
 *2 : 活性化エネルギー kcal/molでの換算値

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。

| 説明 | ⑥原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続 (Oリング、ブッシュ) | | |
|--------------------|-----------------------------------|----------|-----------------------|
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 456007時間 | 1744547時間 (100年以上) |
| | | 180263時間 | |
| | 1108277時間 | | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 698934時間 (約80年) |
| | | 21時間 | |
| | | 173時間 | |
| | | 10632時間 | |
| | | 128187時間 | |
| | | 26494時間 | |
| | | 202283時間 | |
| | | 70061時間 | |
| | | 61253時間 | |
| | | 48572時間 | |
| | | 45414時間 | |
| | | 24814時間 | |
| | | 19538時間 | |
| | | 17050時間 | |
| | | 14695時間 | |
| | 11484時間 | | |
| | 8138時間 | | |
| | 10124時間 | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

*2 : 活性化エネルギー kcal/molでの換算値

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。

| 説明 | ⑦三重同軸コネクタ-1接続 (絶縁物) | | |
|--------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| | 条件 | 65°C換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | [Redacted] | 102189409142年 | 102345087050年 (100年以上) |
| | | 124189890年 | |
| 24639633年 | | | |
| 6848385年 | | | |
| 重大事故 等時*1 | [Redacted] | 1年 | 20944025年 (100年以上) |
| | | 1年 | |
| | | 22年 | |
| | | 18702年 | |
| | | 11668956年 | |
| | | 281190年 | |
| | | 5491759年 | |
| | | 1395117年 | |
| | | 891874年 | |
| | | 515515年 | |
| | | 350213年 | |
| | | 138592年 | |
| | | 78772年 | |
| | | 49460年 | |
| | | 30565年 | |
| 17069年 | | | |
| 8614年 | | | |
| 7603年 | | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

*2 : 活性化エネルギー [Redacted] kcal/molでの換算値

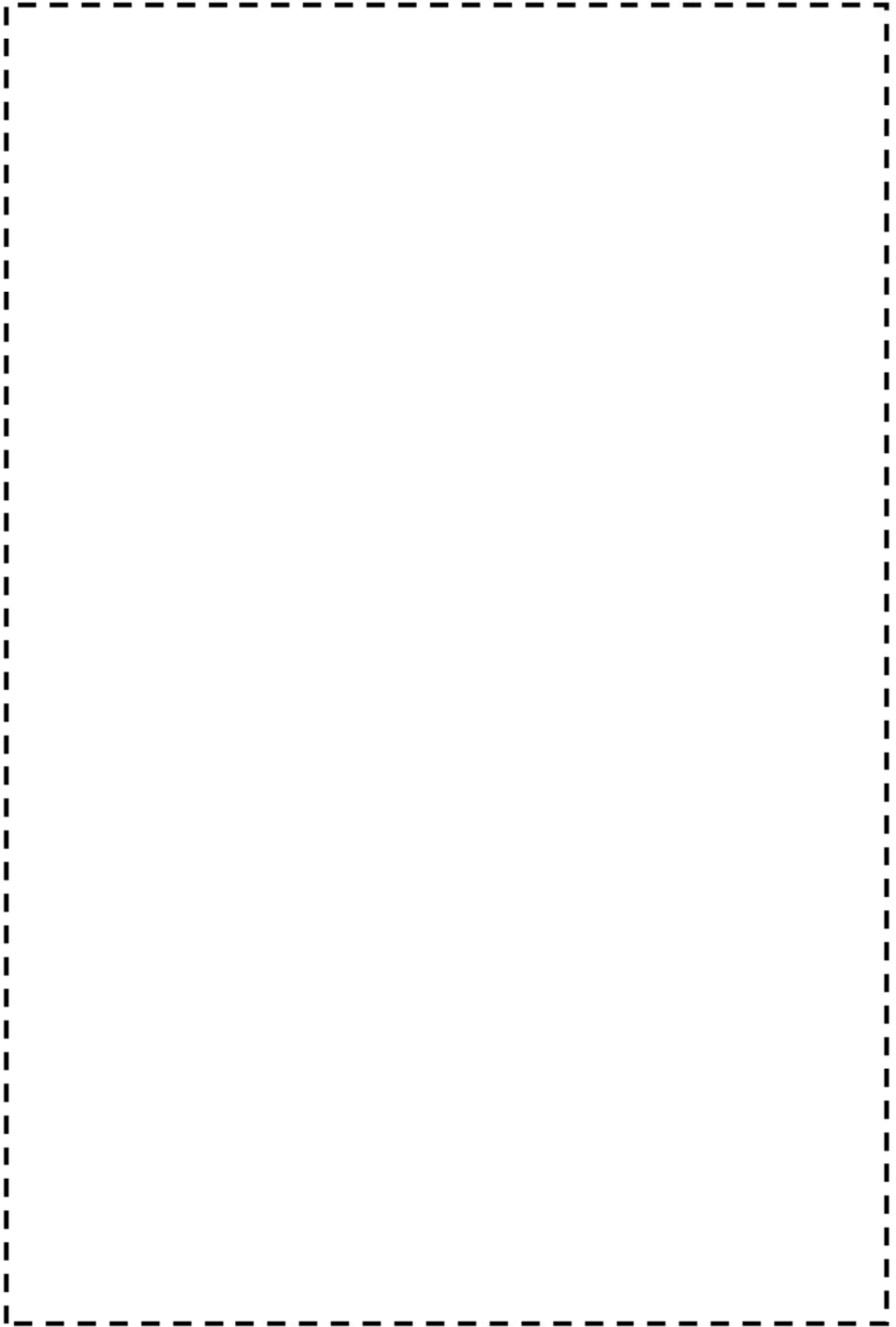
[Redacted] 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| 説明 | ⑦三重同軸コネクタ-1 接続 (Oリング) | | |
|--------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|
| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
| 事故時 雰囲気 暴露試験 | | 1520021時間 | 3137865時間 (100年以上) |
| | | 210444時間 | |
| | | 364315時間 | |
| | | 1043084時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 698934時間 (約80年) |
| | | 21時間 | |
| | | 173時間 | |
| | | 10632時間 | |
| | | 128187時間 | |
| | | 26494時間 | |
| | | 202283時間 | |
| | | 70061時間 | |
| | | 61253時間 | |
| | | 48572時間 | |
| | | 45414時間 | |
| | | 24814時間 | |
| | | 19538時間 | |
| | | 17050時間 | |
| | | 14695時間 | |
| | 11484時間 | | |
| | 8138時間 | | |
| | 10124時間 | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-3)

*2 : 活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

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。



美浜3号炉 格納容器内圧力温度解析結果

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。



難燃KKケーブル 事故時雰囲気暴露試験条件



難燃PHケーブル 事故時雰囲気暴露試験条件

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。



難燃三重同軸ケーブル 2 事故時雰囲気暴露試験条件



気密端子箱接続 事故時雰囲気暴露試験条件

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。



直ジョイント 事故時雰囲気暴露試験条件



原子炉格納容器内電動弁コネクタ接続 事故時雰囲気暴露試験条件

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。



三重同軸コネクタ-1 接続 事故時雰囲気暴露試験条件

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。



SA条件と包絡条件

上記重大事故等時環境解析の入力条件としては、別途審査いただいている美浜3号炉原子炉設置許可申請書の添付書類10の第7.2.1.2.2表「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）」の主要解析条件（外部電源喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、補助給水機能が喪失する事故）（1/4～4/4）の通りとし、事故発生後7日間までの解析をした環境条件としている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉－絶縁低下－26

| <p>タイトル</p> | <p>設計基準事故又は重大事故時の環境条件下で機能要求のある伝送器等の取替周期の妥当性について</p> | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|------|----|------|--|------|----|------|--|------|----|------|---|
| <p>説明</p> | <p>①設計基準事故時雰囲気内で機能要求がある機器の取替周期と、その期間内において事故時雰囲気で健全性が維持できることの根拠は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・伝送器（1次冷却材圧力、加圧器圧力、蒸気流量、加圧器水位、格納容器再循環サンプ水位、蒸気発生器広域水位、蒸気発生器狭域水位） <table border="1" data-bbox="421 846 1366 1081"> <thead> <tr> <th>取替周期</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>〇年以内</td> <td>伝送器の耐環境性評価研究（H17電共研）： 〇年のエージング（基準温度49℃） →アレニウス換算 〇eV, 47.7℃^{*1}）で〇年相当と評価 ・同研究で〇年のエージング</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：当社11プラントを対象として、C/V内に設置された電気・計装品の環境温度調査にて実測した通路部（伝送器が設置される）の最大平均温度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・测温抵抗体（1次冷却材高温側温度（広域）・（狭域）、1次冷却材低温側温度（広域）・（狭域）、格納容器温度） <table border="1" data-bbox="421 1256 1366 1451"> <thead> <tr> <th>取替周期</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>〇年以内</td> <td>社内試験 〇℃×〇h 〇のエージング（基準温度50℃、10℃半減則採用） →アレニウス換算 〇eV, 49.3℃^{*2}）で稼働率を考慮して〇年相当と評価</td> </tr> </tbody> </table> <p>※2：同電気・計装品の環境温度調査にて実測したループ室の最大平均温度（但し、大飯1/2号機は除く）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射線検出器（格納容器内高レンジエリアモニタ） <table border="1" data-bbox="421 1588 1366 1783"> <thead> <tr> <th>取替周期</th> <th>根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>〇年以内</td> <td>「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告（H17）」および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究（H16電共研）」 〇℃×〇h 〇年のエージング（基準温度50℃）：10℃半減則</td> </tr> </tbody> </table> | 取替周期 | 根拠 | 〇年以内 | 伝送器の耐環境性評価研究（H17電共研）： 〇年のエージング（基準温度49℃） →アレニウス換算 〇eV, 47.7℃ ^{*1} ）で〇年相当と評価 ・同研究で〇年のエージング | 取替周期 | 根拠 | 〇年以内 | 社内試験 〇℃×〇h 〇のエージング（基準温度50℃、10℃半減則採用） →アレニウス換算 〇eV, 49.3℃ ^{*2} ）で稼働率を考慮して〇年相当と評価 | 取替周期 | 根拠 | 〇年以内 | 「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告（H17）」および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究（H16電共研）」 〇℃×〇h 〇年のエージング（基準温度50℃）：10℃半減則 |
| 取替周期 | 根拠 | | | | | | | | | | | | |
| 〇年以内 | 伝送器の耐環境性評価研究（H17電共研）： 〇年のエージング（基準温度49℃） →アレニウス換算 〇eV, 47.7℃ ^{*1} ）で〇年相当と評価 ・同研究で〇年のエージング | | | | | | | | | | | | |
| 取替周期 | 根拠 | | | | | | | | | | | | |
| 〇年以内 | 社内試験 〇℃×〇h 〇のエージング（基準温度50℃、10℃半減則採用） →アレニウス換算 〇eV, 49.3℃ ^{*2} ）で稼働率を考慮して〇年相当と評価 | | | | | | | | | | | | |
| 取替周期 | 根拠 | | | | | | | | | | | | |
| 〇年以内 | 「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告（H17）」および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究（H16電共研）」 〇℃×〇h 〇年のエージング（基準温度50℃）：10℃半減則 | | | | | | | | | | | | |

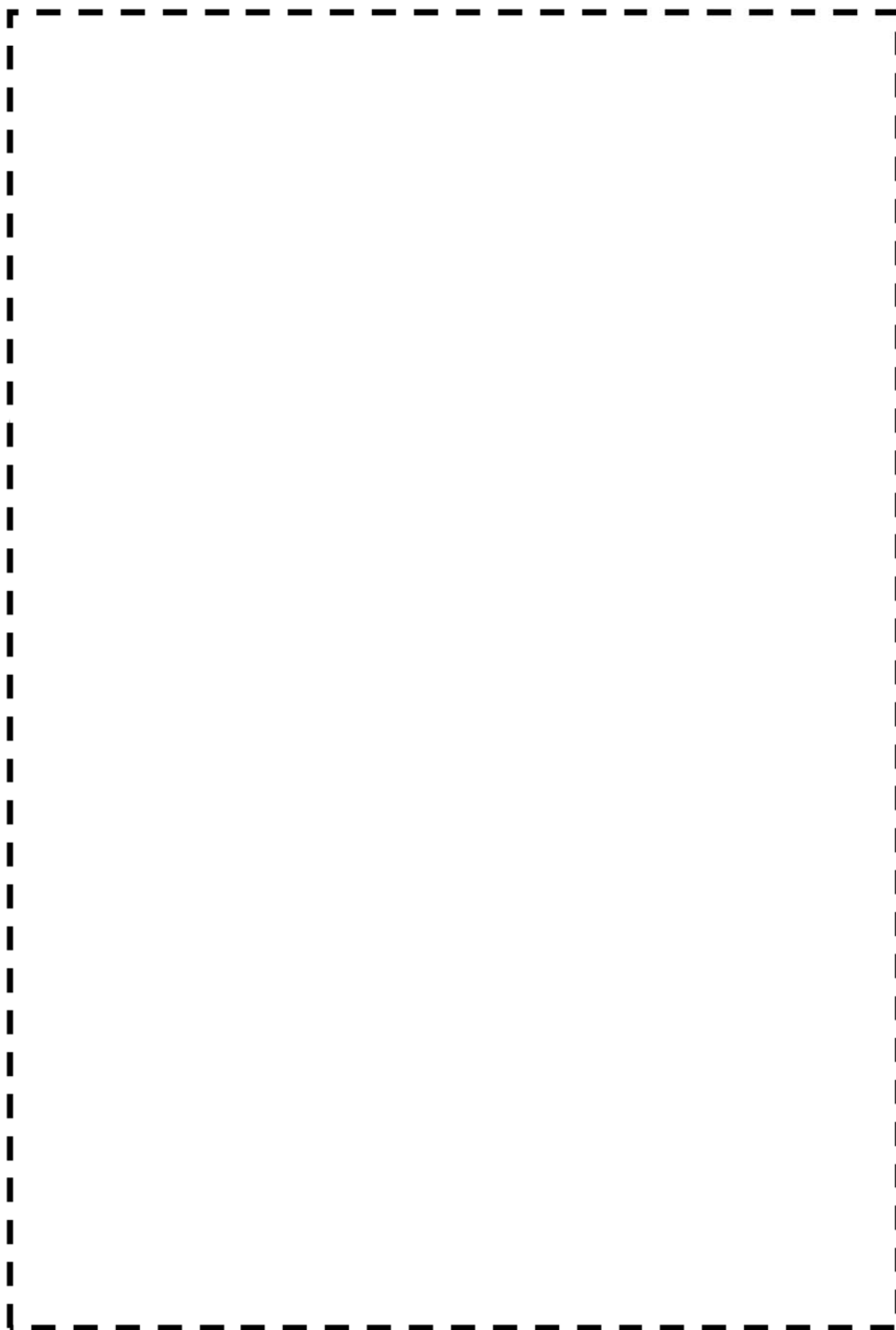
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

| <p>説明</p> | <p>また、格納容器内の設計基準事故時の劣化条件（以下、「DB条件」とする）と包絡条件を添付1に、各機器の事故時雰囲気暴露試験条件がDB条件を包絡している根拠を添付2～4に示す。</p> <p>添付-1：DB条件と包絡条件</p> <p>添付-2：1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器 事故時雰囲気暴露試験条件</p> <p>添付-3：1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置測温抵抗体 事故時雰囲気暴露試験条件</p> <p>添付-4：格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器 事故時雰囲気暴露試験条件</p> <p>②重大事故時雰囲気環境下において機能要求のある機器の取替周期と、その期間内において重大事故等時雰囲気で健全性が維持できることの根拠は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・伝送器（1次冷却材圧力、加圧器水位、格納容器再循環サンプル水位、蒸気発生器広域水位、蒸気発生器狭域水位、原子炉水位） <table border="1" data-bbox="422 981 1359 1256"> <thead> <tr> <th>取替周期</th> <th>根拠</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>〇年以内</td> <td>SA時の計装品の耐環境性能評価委託（H26電共委）：〇°C×〇日（〇年のエイジング（基準温度50°C）） →アレニウス換算（〇eV, 47.7°C*1）で〇年相当と評価</td> <td>〇年の健全性が担保されており、現在の取替え周期〇年は妥当である。</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：当社11プラントを対象として、C/V内に設置された電気・計装品の環境温度調査にて実測した通路部（伝送器が設置される）の最大平均温度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測温抵抗体（1次冷却材高温側温度（広域）、1次冷却材低温側温度（広域）、格納容器温度） <table border="1" data-bbox="422 1435 1359 1711"> <thead> <tr> <th>取替周期</th> <th>根拠</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>〇年以内</td> <td>〇社内試験：〇°C×〇h〇年のエイジング（基準温度50°C、10°C半減則採用） →アレニウス換算 〇eV, 49.3°C*2）で稼働率を考慮して〇年相当と評価</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※2：同電気・計装品の環境温度調査にて実測したループ室の最大平均温度（但し、大飯1/2号機は除く）</p> | 取替周期 | 根拠 | 備考 | 〇年以内 | SA時の計装品の耐環境性能評価委託（H26電共委）：〇°C×〇日（〇年のエイジング（基準温度50°C）） →アレニウス換算（〇eV, 47.7°C*1）で〇年相当と評価 | 〇年の健全性が担保されており、現在の取替え周期〇年は妥当である。 | 取替周期 | 根拠 | 備考 | 〇年以内 | 〇社内試験：〇°C×〇h〇年のエイジング（基準温度50°C、10°C半減則採用） →アレニウス換算 〇eV, 49.3°C*2）で稼働率を考慮して〇年相当と評価 | |
|-----------|---|----------------------------------|----|----|------|---|----------------------------------|------|----|----|------|---|--|
| 取替周期 | 根拠 | 備考 | | | | | | | | | | | |
| 〇年以内 | SA時の計装品の耐環境性能評価委託（H26電共委）：〇°C×〇日（〇年のエイジング（基準温度50°C）） →アレニウス換算（〇eV, 47.7°C*1）で〇年相当と評価 | 〇年の健全性が担保されており、現在の取替え周期〇年は妥当である。 | | | | | | | | | | | |
| 取替周期 | 根拠 | 備考 | | | | | | | | | | | |
| 〇年以内 | 〇社内試験：〇°C×〇h〇年のエイジング（基準温度50°C、10°C半減則採用） →アレニウス換算 〇eV, 49.3°C*2）で稼働率を考慮して〇年相当と評価 | | | | | | | | | | | | |

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。

| | | | |
|--|--|---|----|
| 説 明 | ・放射線検出器（格納容器内高レンジエリアモニタ） | | |
| | 取替周期 | 根拠 | 備考 |
| | 1年以内 | 「事故時エリアの耐環境性評価に関する検討報告（H17）」および「事故時エリアモニタの耐環境性評価研究（H16電共研）」 × 1年のエイジング（基準温度50℃）：10℃半減則 | |
| | ・熱電対、測温抵抗体（静的触媒式水素再結合装置温度、原子炉格納容器水素燃焼装置温度） | | |
| 取替周期 | 根拠 | 備考 | |
| 1年以内 | SA時の計装品の耐環境性能評価委託（H26電共委）： 1年のエイジング（基準温度50℃）→10℃半減則 | | |
| <p>また、格納容器内の重大事故等時の劣化条件（以下、「SA条件」とする）と包絡条件を添付-5に、各機器の事故時雰囲気暴露試験条件がSA条件を包絡している根拠を添付-6～9に示す。</p> <p>添付-5：SA条件と包絡条件 添付-6：伝送器 事故時雰囲気暴露試験条件 添付-7：測温抵抗体 事故時雰囲気暴露試験条件 添付-8：放射線検出器 事故時雰囲気暴露試験条件 添付-9：熱電対、測温抵抗体 事故時雰囲気暴露試験条件</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。



DB条件と包絡条件

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。

1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器

| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 |
|------------------------|----|---------|---------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 2013時間 | 43140時間 (約1797日) |
| | | 3423時間 | |
| | | 10178時間 | |
| | | 27526時間 | |
| 設計基 準事故 | | 456時間 | 9743時間 (約406日) |
| | | 551時間 | |
| | | 8736時間 | |

*1：活性化エネルギー \square kcal/molでの換算値



1次冷却材圧力及び加圧器水位計測制御装置伝送器 事故時雰囲気曝露試験条件

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。

1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置測温抵抗体

| | 条件 | 6.5℃換算*1 | 合計 |
|------------------------|----|----------|---------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 977時間 | 42351時間 (約1764日) |
| | | 1860時間 | |
| | | 39514時間 | |
| 設計基 準事故 | | 310時間 | 9474時間 (約395日) |
| | | 428時間 | |
| | | 8736時間 | |

* 1 : 活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

1次冷却材高温側温度（広域）計測制御装置測温抵抗体 事故時雰囲気曝露試験条件

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。

格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器

| | 条件 | 65℃換算*1 | 合計 |
|------------------------|----|---------|--------------------|
| 事故時 雰囲気 曝露 試験 | | 965時間 | 21911時間 (約913日) |
| | | 1056時間 | |
| | | 19890時間 | |
| 設計基 準事故 | | 156時間 | 9130時間 (約380日) |
| | | 238時間 | |
| | | 8736時間 | |

* 1 : 10℃半減則での換算値



格納容器内高レンジエリアモニタ放射線検出器 事故時雰囲気曝露試験条件

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。



SA条件と包絡条件

上記重大事故等時環境解析の入力条件としては、別途審査いただいております高浜1、2号炉 原子炉設置許可申請書の添付書類10の第7.2.1.2.2表「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過温破損）」の主要解析条件（外部電源喪失時に非常用所内交流電源が喪失し、補助給水機能が喪失する事故）（1/4～4/4）の通りとし、事故発生後7日間までの解析をした環境条件としている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(伝送器)

| | 条件 | 65°C換算*2 | 合計 |
|---------------------------------------|-------|----------|---------------------|
| 事故時 雰囲気 暴露試験 (添付-6 (2/2)) | | 10112時間 | 79623時間 (約3318日) |
| | | 5567時間 | |
| | | 19025時間 | |
| | | 20043時間 | |
| | | 10112時間 | |
| | | 8175時間 | |
| | | 6589時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 29880時間 (約1245日) |
| | | 7時間 | |
| | | 26時間 | |
| | | 799時間 | |
| | | 3340時間 | |
| | | 1229時間 | |
| | | 7294時間 | |
| | | 2745時間 | |
| | | 2611時間 | |
| | | 2253時間 | |
| | | 2296時間 | |
| | | 1368時間 | |
| | | 1175時間 | |
| | | 1120時間 | |
| | | 1056時間 | |
| | 903時間 | | |
| | 701時間 | | |
| | 956時間 | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-5)

*2 : 活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

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。



伝送器 事故時雰囲気暴露試験条件

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。

(測温抵抗体)

| | 条件 | 65°C換算*2 | 合計 |
|-----------------------------------|----|----------|---------------------|
| 事故時雰囲気 暴露試験 (添付-7 (2/2)) | | 977時間 | 42351時間 (約1765日) |
| | | 1860時間 | |
| | | 39514時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 19786時間 (約824日) |
| | | 6時間 | |
| | | 20時間 | |
| | | 566時間 | |
| | | 2054時間 | |
| | | 816時間 | |
| | | 4683時間 | |
| | | 1782時間 | |
| | | 1714時間 | |
| | | 1496時間 | |
| | | 1542時間 | |
| | | 929時間 | |
| | | 808時間 | |
| | | 779時間 | |
| | | 743時間 | |
| 643時間 | | | |
| 506時間 | | | |
| 698時間 | | | |

*1: CV過温破損の包絡条件 (添付-5)

*2: 活性化エネルギー [] kcal/molでの換算値

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。



測温抵抗体 事故時雰囲気暴露試験条件

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。

(放射線検出器)

| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
|-----------------------------------|----|---------|--------------------|
| 事故時雰囲気 暴露試験 (添付-8 (2/2)) | | 965時間 | 21911時間 (約913日) |
| | | 1056時間 | |
| | | 19890時間 | |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 10092時間 (約421日) |
| | | 4時間 | |
| | | 11時間 | |
| | | 288時間 | |
| | | 1086時間 | |
| | | 412時間 | |
| | | 2391時間 | |
| | | 905時間 | |
| | | 867時間 | |
| | | 755時間 | |
| | | 776時間 | |
| | | 468時間 | |
| | | 407時間 | |
| | | 394時間 | |
| | | 377時間 | |
| 328時間 | | | |
| 260時間 | | | |
| 362時間 | | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-5)

*2 : 10℃半減則での換算値

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。



放射線検出器 事故時雰囲気暴露試験条件

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。

(熱電対、測温抵抗体)

| | 条件 | 65℃換算*2 | 合計 |
|-----------------------------------|-------|---------|---------------------|
| 事故時雰囲気 暴露試験 (添付-9 (2/3)) | | 60822時間 | 60822時間 (約2534日) |
| 重大事故 等時*1 | | 1時間 | 10092時間 (約421日) |
| | | 4時間 | |
| | | 11時間 | |
| | | 288時間 | |
| | | 1086時間 | |
| | | 412時間 | |
| | | 2391時間 | |
| | | 905時間 | |
| | | 867時間 | |
| | | 755時間 | |
| | | 776時間 | |
| | | 468時間 | |
| | | 407時間 | |
| | | 394時間 | |
| | 377時間 | | |
| 328時間 | | | |
| 260時間 | | | |
| 362時間 | | | |

*1 : CV過温破損の包絡条件 (添付-5)

*2 : 10℃半減則での換算値

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。



熱電対 事故時雰囲気暴露試験条件

静的触媒式水素再結合装置・原子炉格納容器水素燃焼装置温度計（熱電対、測温抵抗体）の健全性試験の条件及び試験後特性試験結果を以下に示す。

健全性試験の条件

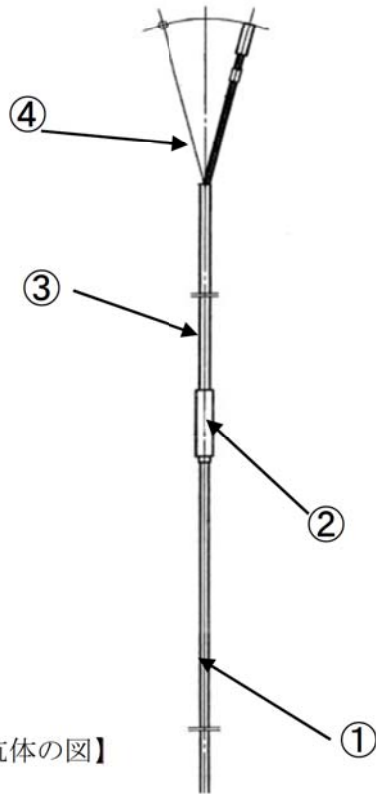
| | 試験条件 | 説明 |
|---------|------|--|
| 熱加速試験 | | 通常雰囲気温度（約50℃）で枠間を想定した熱劣化を与えた。 |
| 放射線照射試験 | | 枠間の運転に予想される線量に重大事故等時の線量を加えた線量を与えた。 |
| 蒸気暴露試験 | | 重大事故等時の最高温度（約138℃）、最高圧力（約0.305MPa）を包絡した条件を与えた。 |

試験後特性試験結果

| 項目 | 試験条件 | 判定 |
|----------|--|----|
| 精度試験 | レンジの0, 25, 50, 75, 100%に相当する温度を測定し、精度を確認する | 良 |
| 絶縁抵抗測定試験 | 室温及び400℃の環境下で絶縁抵抗を確認する。 | 良 |

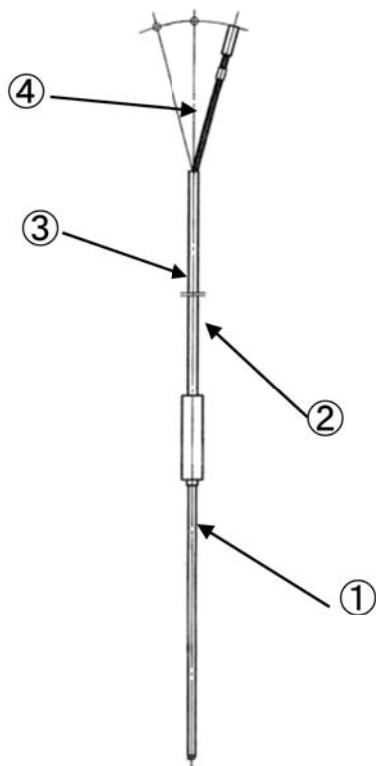
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【熱電対の図】



| No | 部位 | 材 料 |
|----|------|-----|
| ① | シース部 | |
| ② | スリーブ | |
| ③ | 補償導線 | |
| ④ | ケーブル | |

【測温抵抗体の図】



| No | 部位 | 材 料 |
|----|------|-----|
| ① | シース部 | |
| ② | スリーブ | |
| ③ | 延長導線 | |
| ④ | ケーブル | |

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。

美浜3号炉ーコン&鉄骨ー10 rev2

| | |
|------|--|
| タイトル | 熱による強度低下における、RVサポート直下部の1次遮蔽壁における温度解析について |
| 説明 | <p>RV サポート直下部の1次遮蔽壁における温度解析の方法などについて、以下に示す。</p> <p>1. 温度解析の方法</p> <p>RV サポート廻りコンクリート部の温度分布解析は対象範囲を3次元ソリッド要素でモデル化し、定常伝熱解析を実施している。解析条件である冷却空気温度および熱伝達率は、解析より得られた温度を用いて算出し、繰返し定常伝熱解析を実施している。解析コードは“ANSYS Ver. 5.7”を使用している。</p> <p>(1) 解析モデル</p> <p>解析モデルの対象範囲は、温度条件の厳しいRV出口ノズル部廻りとし、以下の要素から構成している。具体的な対象範囲と解析モデルは添付-1に示す。</p> <ul style="list-style-type: none">・ サポートパッド・ RVサポート・ 1次遮蔽壁（コンクリート） <p>(2) 入力条件</p> <p>入力条件としては下記のとおりとしている。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 1次冷却材温度 T_H : [] °C・ RV 冷却ファン出口流量 [] m³/min, 冷却空気温度 [] °C・ γ 発熱…添付グラフを考慮（添付-2）・ 材料物性値…添付表参照（添付-3） <p>解析の条件としては、下記のとおり解析モデルと入力条件を適切かつ保守的に設定している。</p> <p>解析モデル</p> <ul style="list-style-type: none">・ 1次遮蔽壁は原子炉容器側の面および1次冷却材配管側の面以外は熱が逃げない断熱モデルとしている <p>入力条件</p> <ul style="list-style-type: none">・ サポートパッドの配管接触部温度は保守的に1次冷却材温度と等しいとみなしている・ 冷却空気温度は実機測定温度が設計値よりも低いことを確認している・ 各部位の熱伝導率は使用材料、文献に基づき適切に設定している・ RVサポート、1次遮蔽壁（コンクリート）の寸法などについて、許容差（施工誤差、摩耗など）を考慮しても最大で0.5°C程度の温度上昇であることを確認している |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

2. 解析結果

温度分布解析の結果、RVサポート直下のコンクリート部の最高温度は約64℃であり、強度上の熱に対するコンクリートの温度制限値（一般部65℃、局部90℃）を下回る結果である（添付－4）。

解析の条件は実機に比べて保守的に設定していること、また、1次遮蔽壁の評価点近傍における温度計の実測温度（約[]℃）が解析結果（約[]℃）よりも低いことを確認していることから、RVサポート直下のコンクリート部の実機の最高温度は解析値より低くなると判断している。

なお、炉心領域部での最高温度は約[]℃となり、RVサポート下部の温度より下回ることを確認している（添付－5）。

添付－1 解析対象範囲および解析モデル

添付－2 1次遮蔽壁（コンクリート）の γ 発熱量分布

添付－3 材料物性値

添付－4 RVサポート直下の1次遮蔽壁（コンクリート）の最高温度部位

添付－5 1次遮蔽壁（コンクリート）内温度分布

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. 解析対象範囲



図2. 解析モデル (全体)

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 1次遮蔽壁（コンクリート）の γ 発熱量分布

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 材料物性値

| 部位 | 材質 | 熱伝導率 (W/(m・K)) ※ |
|-----------|----------|------------------------------------|
| サポートパッド | 低合金鋼 | 43.0(300K), 41.7(500K), 34.8(800K) |
| サポートシュー | 低合金鋼 | 43.0(300K), 41.7(500K), 34.8(800K) |
| シムプレート | 低合金鋼 | 43.0(300K), 41.7(500K), 34.8(800K) |
| サポートブラケット | 炭素鋼 | 51.6(300K), 47.8(500K), 38.2(800K) |
| コンクリート | 普通コンクリート | 1.5(293K), 1.1(600K) |

※(出典) 伝熱工学資料 改訂第4版 日本機械学会

熱伝導率は記載の値を定義し、その間の温度では解析コード内で線形補完した値を設定している

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



図4 RVサポート直下の1次遮蔽壁（コンクリート）の最高温度部位

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

1次遮蔽壁（コンクリート）内温度分布

1次遮蔽壁のガンマ発熱による温度分布は、1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布を1次元輸送計算コードANISNを用いて算出したガンマ線束に、エネルギー吸収係数を乗じて1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布を算出した後、熱伝導方程式を解いて温度分布を求めている。

ANISNコードは、米国のオークリッジ国立研究所で開発された中性子輸送方程式を数値的に解くコードであり、入力パラメータは、以下のとおりである。

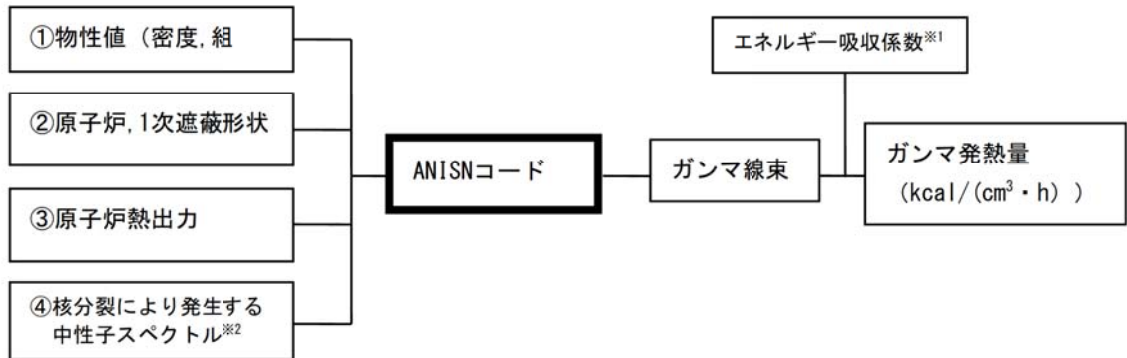


図5 評価概要図

※1：（出典）REACTOR PHYSICS CONSTANTS, ANL-5800

※2：（出典）L. CRANBERG, G. FRYE, N. NERESON, AND L. ROSEN(1956). Fission Neutron Spectrum of U235. PHYSICAL REVIEW, 103(3), 662-670.

1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布の評価では、下図に示すような1次元の円筒形状を入力して、評価している。

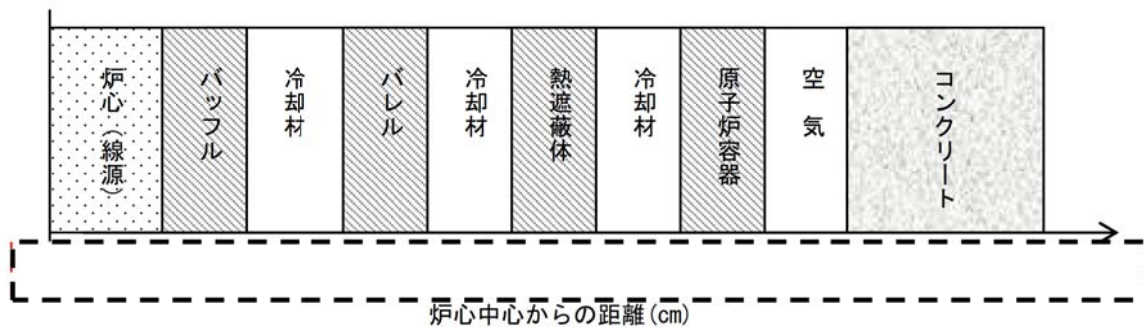


図6 炉心中心からの距離模式図

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

上記の方法で算出した1次遮蔽壁内のガンマ発熱量分布を基に、円筒形状に対する熱伝導方程式を解いて、温度分布を求めると、1次遮蔽壁（コンクリート）内での最高温度は、0° 角度方向の1次遮蔽壁（コンクリート）内面から約 \square cmの位置に現れ、約 \square °Cである。1次遮蔽壁（コンクリート）内温度分布を以下に示す。

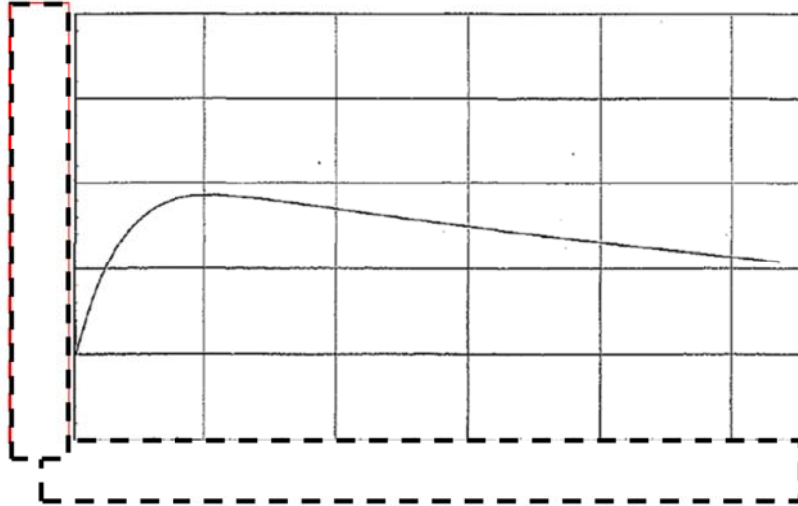


図7 1次遮蔽壁（コンクリート）内温度分布

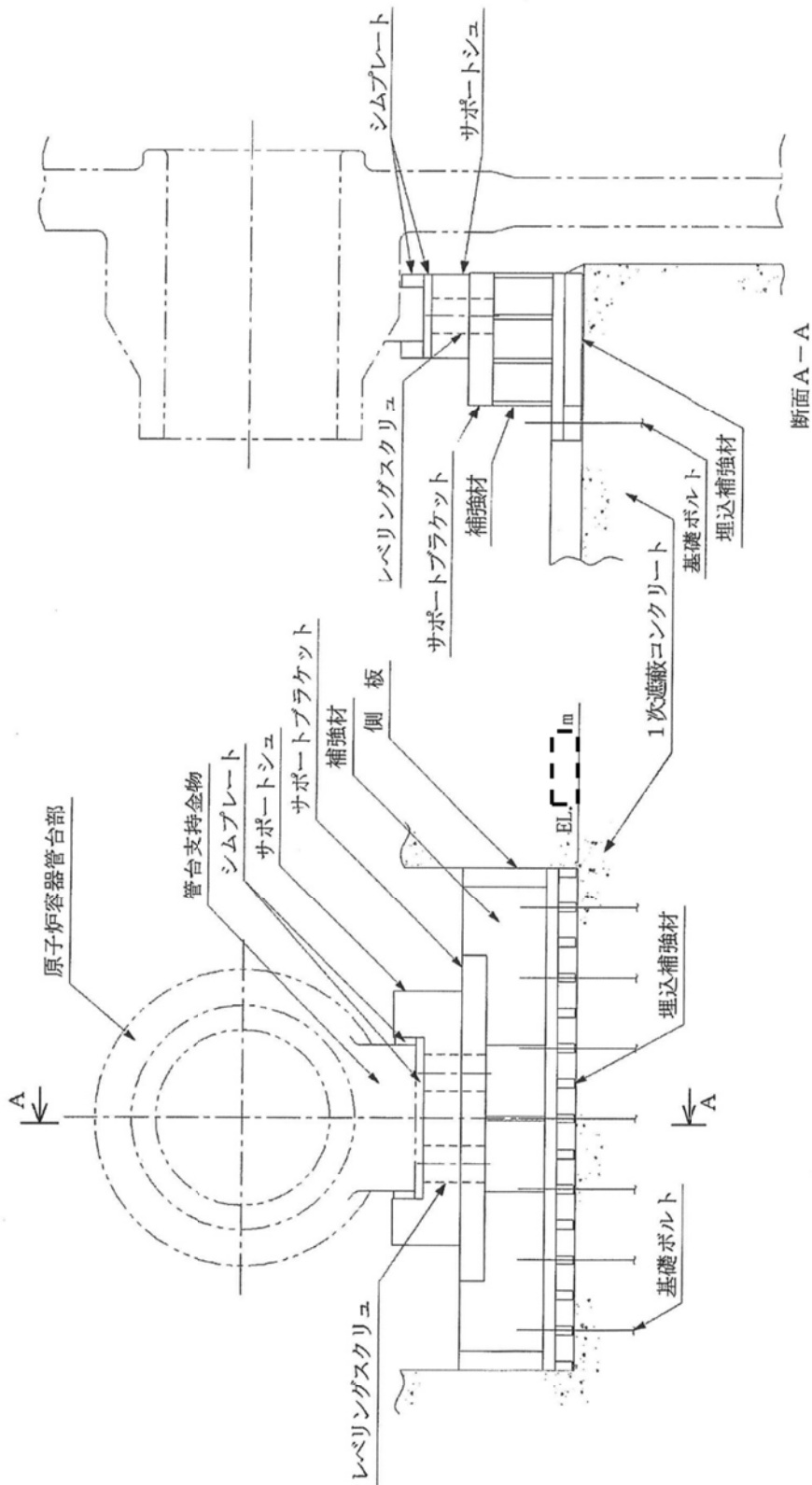
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

美浜3号炉—コン&鉄骨—12 rev1

| <p>タイトル</p> | <p>1次遮蔽壁炉心側コンクリートの運転開始後60年時点で予想されるガンマ線照射量が、目安値を超えても構造上問題とはならないとする根拠について</p> | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|---------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|---|-------------------|---|----------------------|
| <p>説明</p> | <p>以下のとおり、ガンマ線照射量に対する耐力評価を行った。</p> <p>1. 原子炉容器の鉛直荷重は、シムプレート、サポートシュー、サポートブラケットを経て1次遮蔽壁に伝わるが、以下に示すように、荷重の耐力に対する割合は約 \square % である（添付-1）。</p> <table border="1" data-bbox="464 645 1326 797"> <thead> <tr> <th data-bbox="464 645 708 734">荷重 (kN)</th> <th data-bbox="708 645 1098 734">サポートブラケット下部 コンクリートの圧縮耐力 (kN)</th> <th data-bbox="1098 645 1326 734">荷重の耐力に 対する割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="464 734 708 797">\square</td> <td data-bbox="708 734 1098 797">\square</td> <td data-bbox="1098 734 1326 797">\square</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. ガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える範囲を添付-2に示す。 2×10^{10} rad を超える範囲は、最大でも炉心中心部で深さ方向に約4cmであり、その断面積は \square m² で1次遮蔽壁コンクリート断面積 (\square m²) の約 \square % である。</p> <p>3. 地震時の構造体の耐力と設計荷重との関係を示す指標の一つとして、基準地震動による地震力を負担する断面に対して、ガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える範囲を考慮し、構造健全性を評価した結果、以下の通り最大せん断ひずみが基準値を下回っていることを確認した（添付-3）。</p> <table border="1" data-bbox="464 1178 1270 1330"> <thead> <tr> <th data-bbox="464 1178 991 1267">ガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える 範囲を考慮した最大せん断ひずみ</th> <th data-bbox="991 1178 1270 1267">基準値^{※1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="464 1267 991 1330">約 0.0911×10^{-3} ^{※2}</td> <td data-bbox="991 1267 1270 1330">2.0×10^{-3}</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：(社)日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1987) ※2：内部コンクリート (1次遮蔽壁を含む) の最大せん断ひずみを基に算出</p> <p>以上を踏まえ、保守的に内部コンクリート (1次遮蔽壁) からこの範囲を除いても、構造体の耐力が地震時の鉛直荷重などの設計荷重を上回ることを、地震時のせん断ひずみへの影響が極めて軽微であることを確認していることから、内部コンクリート (1次遮蔽壁) の強度への影響はないと考えられる。</p> <p>添付-1 原子炉本体の基礎に関する説明書 (工事計画認可申請書 H28.5.31申請分) 添付-2 1次遮蔽壁におけるガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える範囲 添付-3 ガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える範囲を考慮した基準地震動に対する最大せん断ひずみの算出</p> | 荷重 (kN) | サポートブラケット下部 コンクリートの圧縮耐力 (kN) | 荷重の耐力に 対する割合 | \square | \square | \square | ガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える 範囲を考慮した最大せん断ひずみ | 基準値 ^{※1} | 約 0.0911×10^{-3} ^{※2} | 2.0×10^{-3} |
| 荷重 (kN) | サポートブラケット下部 コンクリートの圧縮耐力 (kN) | 荷重の耐力に 対する割合 | | | | | | | | | |
| \square | \square | \square | | | | | | | | | |
| ガンマ線照射量が 2×10^{10} rad を超える 範囲を考慮した最大せん断ひずみ | 基準値 ^{※1} | | | | | | | | | | |
| 約 0.0911×10^{-3} ^{※2} | 2.0×10^{-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。

資料 1 5 原子炉本体の基礎に関する説明書



第2-1図 原子炉容器支持構造物概略図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(3) コンクリートに作用する荷重

コンクリートに作用する荷重を第3-1表に示す。

第3-1表 コンクリートに作用する荷重

(単位：kN)

| | | Sd 地震時 | | Ss 地震時 | |
|---|--------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| | | 鉛直方向荷重 による圧縮 ^(注1) | 接線方向荷重 による圧縮 及びせん断 | 鉛直方向荷重 による圧縮 ^(注1) | 接線方向荷重 による圧縮 及びせん断 |
| 原子炉容器支 持構造物より 加わる荷重 ^(注3) | 自重 ^(注4) | | | | |
| | 熱膨張荷重 | | | | |
| | 地震荷重 | | | | |
| 荷重 ^(注2、3) | | | | | |

(注1) 荷重は、鉛直上向きを正とする。

(注2) 保守的になるように十の位を端末処理しているため、必ずしも合計は一致しない。

(注3) 資料 13-17-3-23 「1次冷却材管の耐震計算書」に示すループ荷重の値を使用する。

(注4) 自重は、スクラム荷重を含む。

(4) まとめ

第3-2表に示すとおり、コンクリートの圧縮耐力及びせん断耐力は、いずれも地震時の荷重を上回っている。

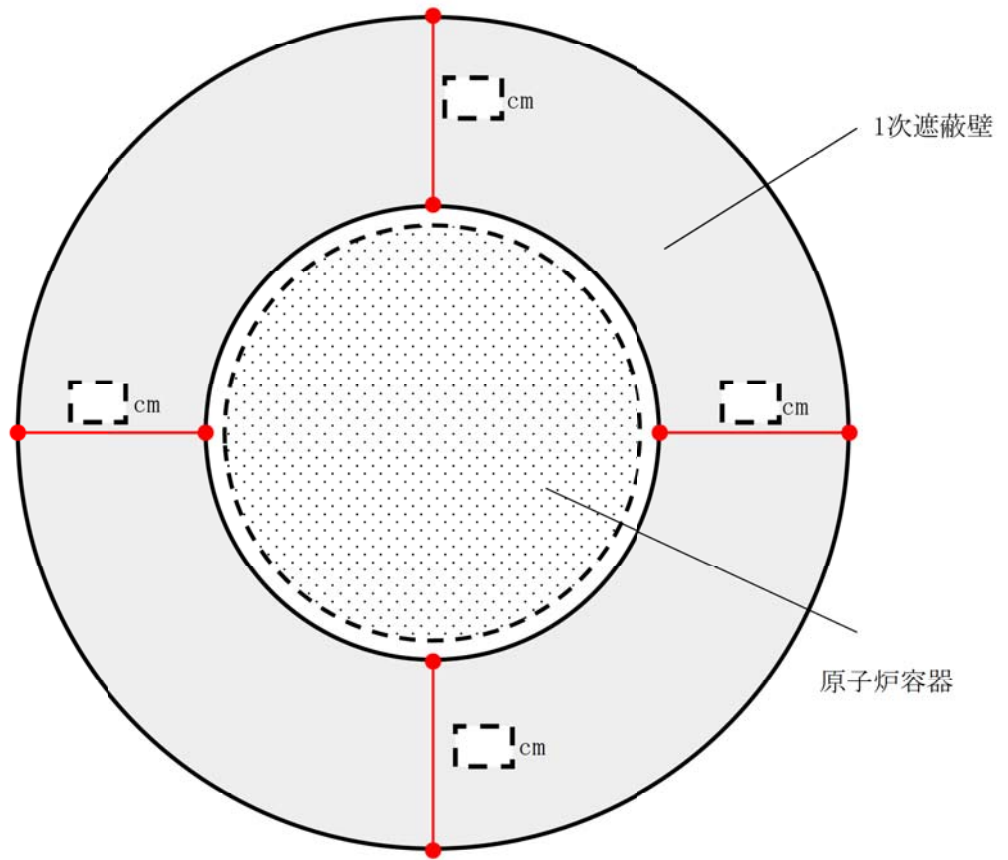
第3-2表 コンクリートの評価結果

(単位：kN)

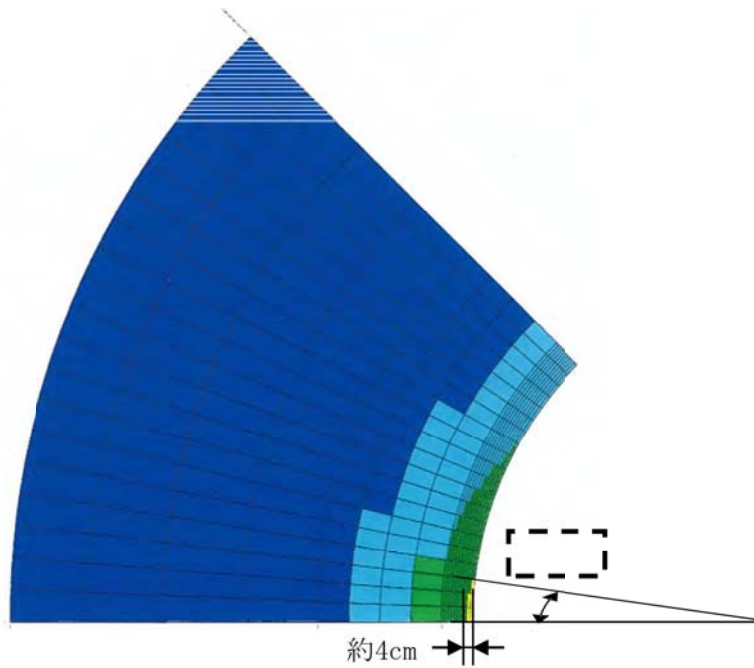
| | Sd 地震時 | | Ss 地震時 | |
|----------------------|-------------------|----|-------------------|----|
| | 荷重 ^(注) | 耐力 | 荷重 ^(注) | 耐力 |
| 鉛直方向荷重による 圧縮 | | | | |
| 接線方向荷重による 圧縮及びせん断 | | | | |

(注) 荷重は、絶対値で表示する。

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。

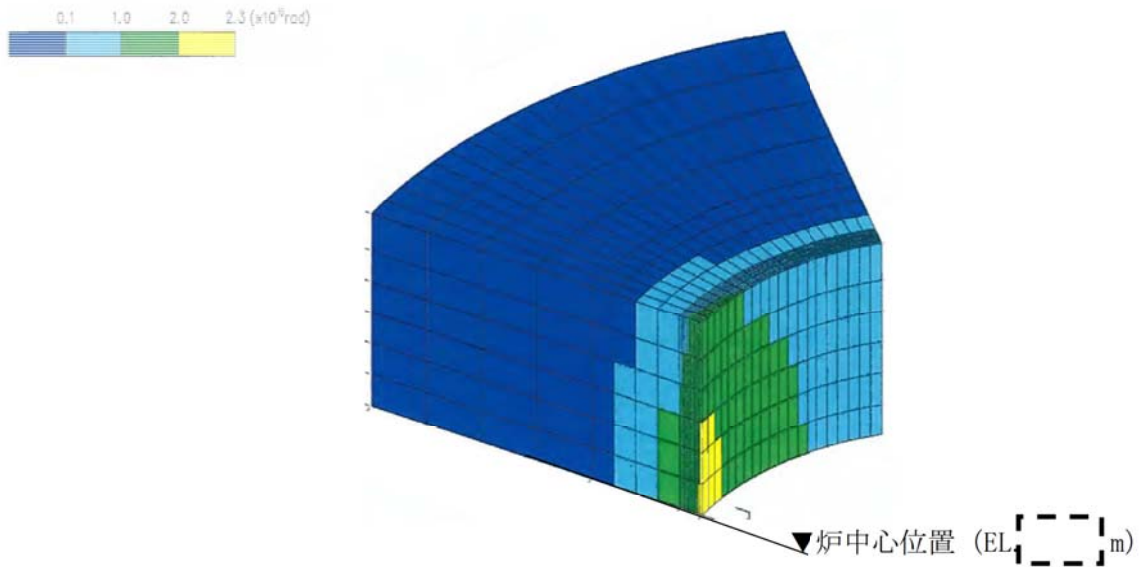


1次遮蔽壁平面模式図

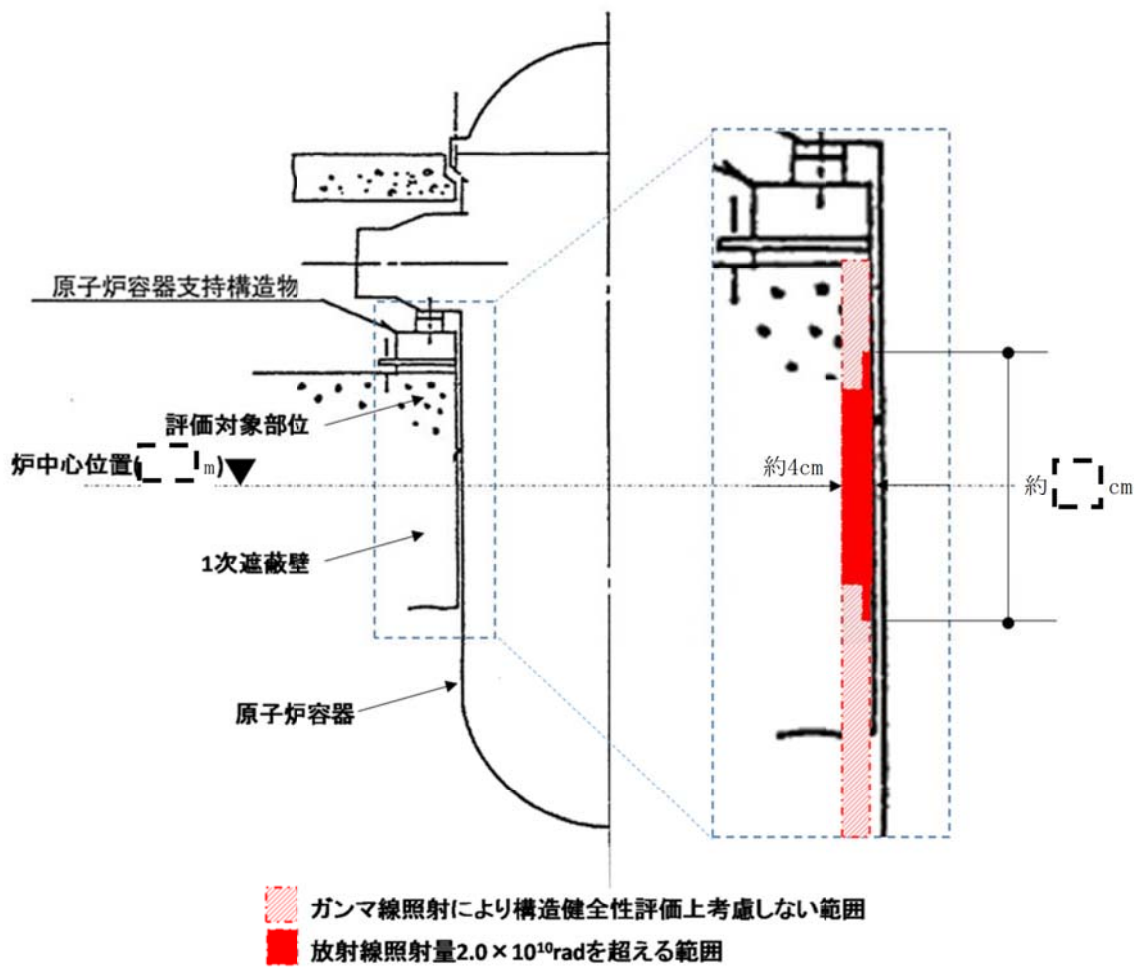


炉中心位置でのガンマ線照射線量当量分布

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。



放射線照射量コンタ図 モデル全体



2.0×10^{10} radを超える範囲 (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。

ガンマ線照射量が 2×10^{10} radを超える範囲を考慮した
基準地震動に対する最大せん断ひずみの算出

美浜発電所3号機の1次遮蔽壁において、ガンマ線照射量が 2×10^{10} radを超える範囲のコンクリートが欠損したと仮定し、その範囲のコンクリート強度を期待しない場合の、最大せん断ひずみ量についての検討を実施した。

(1) ガンマ線照射を考慮しない場合の最大せん断ひずみ

美浜発電所3号機の内部コンクリート（1次遮蔽壁含む）における、基準地震動に対する最大せん断ひずみは、 0.0909×10^{-3} です。

(出典：美浜発電所第3号機 工事計画認可申請書 資料13-16-3 内部コンクリートの耐震計算書)

(2) ガンマ線照射を考慮した場合の最大せん断ひずみ

せん断ひずみ γ は、以下の式で算出される。

$$\gamma = \tau / G$$

τ ：せん断応力

G ：せん断弾性係数

ここで、 τ ：せん断応力については、ガンマ線照射量が 2×10^{10} radを超える範囲のコンクリートが欠損したと仮定すると、断面積の比に反比例して増加する。

一方、 G ：せん断弾性係数は、コンクリートの物性値であることから、ガンマ線照射の影響がない範囲の値は照射後においても変化がないといえる。

したがって、ガンマ線照射を考慮した場合の最大せん断ひずみは、以下のとおり算出される。

$$0.0909 \times 10^{-3} \times \left[\text{-----} \right] = 0.09111 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\text{約}0.0911 \times 10^{-3}}}$$

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。

美浜3号炉－耐震－2 Rev.1

| | |
|------|--|
| タイトル | <ul style="list-style-type: none">・代表基準地震動（Ss-3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21）の抽出根拠、適用範囲について。・「基準地震動を考慮した耐震安全性評価」における、各機器・構造物の評価方法について。 |
| 説明 | <p>当初申請では、基準となる Ss-1 の加速度応答スペクトルに対し、全周期帯における応答比（$[Ss-2\sim 24] / [Ss-1]$）の最大が、比較的大きいと判断した断層モデルによる基準地震動8波（Ss-3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21）を、代表基準地震動として抽出している。</p> <p>① ディーゼル発電設備の空気冷却器、燃料弁冷却水冷却器、清水冷却器の内面の腐食（流れ加速型腐食）に対する評価以外については、基準地震動 S s - 1 に対する評価結果（発生応力値等）を基に、Ss-1 および上記代表基準地震動（Ss-3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21）との応答加速度や発生荷重の固有周期での応答倍率を用いて、S s 基準地震動に対する評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認した。</p> <p>② ディーゼル発電設備の空気冷却器、燃料弁冷却水冷却器、清水冷却器の内面の腐食（流れ加速型腐食）に対する評価については、基準地震動 Ss-1～24 に対する評価を行い、耐震安全性に問題ないことを確認した。</p> <p>以上のとおり、申請当初は、Sクラス機器の大部分は①の評価により耐震安全性に問題ないことを確認しているが、最終的には全て②の評価方法で基準地震動Ss-1～24に対する評価を実施する。</p> |

美浜3号炉－耐震－9

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

1. 評価仕様

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

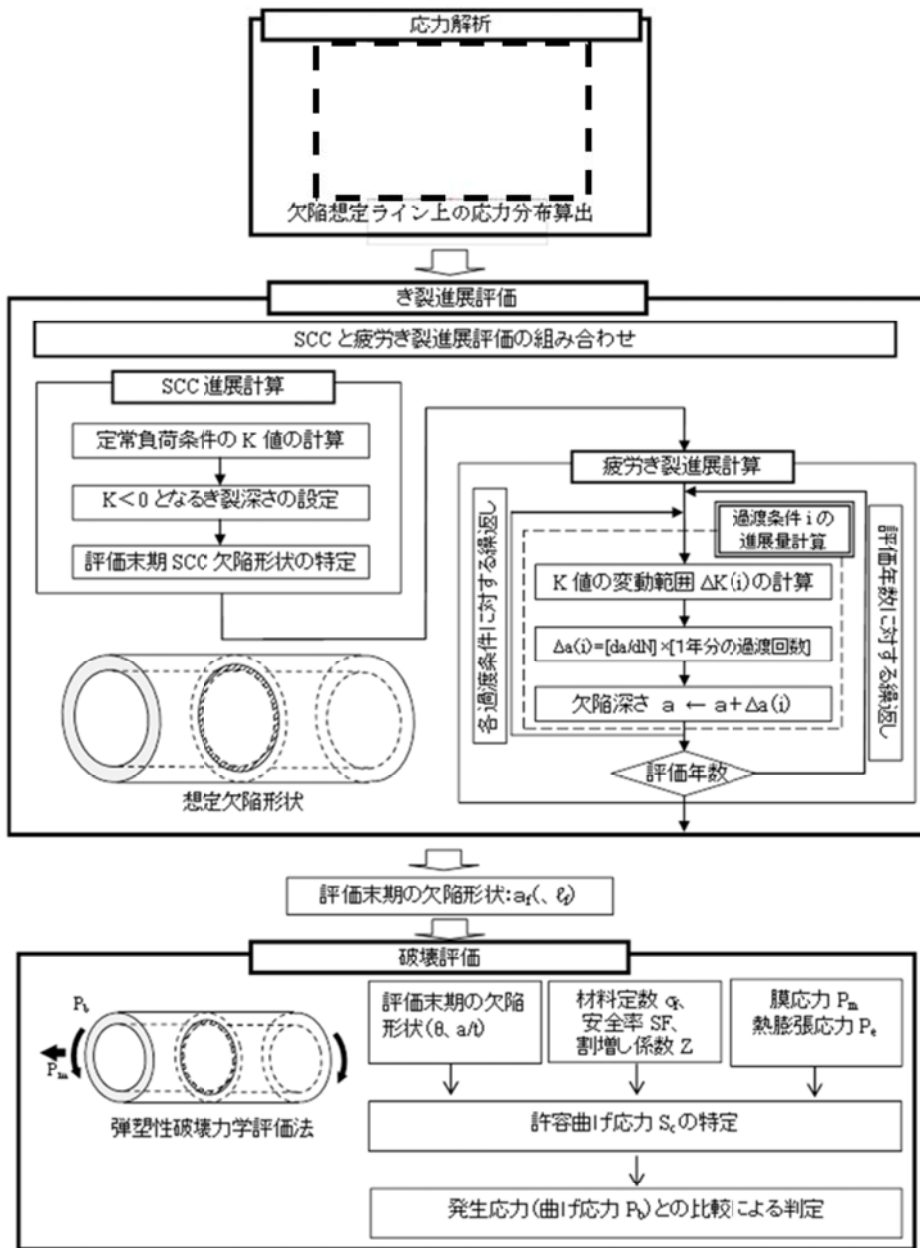


図1 評価フロー

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

2. 解析モデル

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

表1 主要形状寸法

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

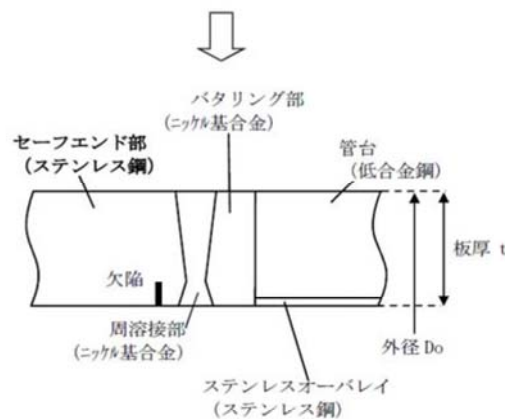
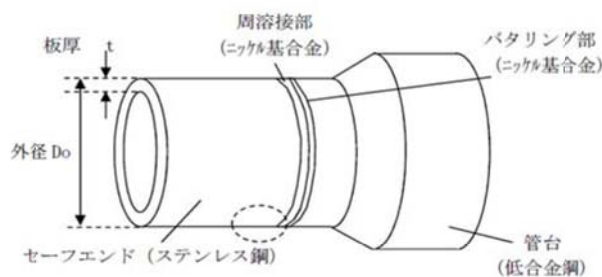


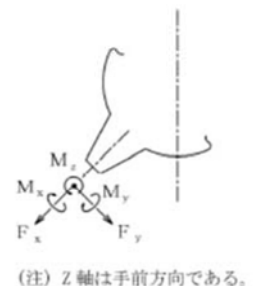
図2 評価対象構造

3. 評価条件

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

表2 荷重条件

| 荷重の種類 | | 軸力 (kN) | | | 曲げモーメント (kN・m) | | |
|----------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | F _X | F _Y | F _Z | M _X | M _Y | M _Z |
| 自重 | | | | | | | |
| 熱膨張 | | | | | | | |
| 管台 反力 | S _s 地震時 | | | | | | |
| | S _d 地震時 | | | | | | |



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表3 疲労進展評価時の過渡条件 (供用状態A及びB、並びに、地震荷重)

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

*: プラント使用60年到達時点 (SG取替後の想定使用年数 (40年) 到達時点) で考慮する回数。
なお、地震回数は下記のとおり算出した。

- ・ 1/3 S_d地震の頻度: 1回/10年
- ・ 地震1回あたりの等価繰り返し回数: 1回/地震1回
- ・ 使用期間: 40年

以上より、地震回数は、1回 ⇒ 安全側は、1回と想定した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表4 破壊評価用条件

| | | | | |
|---|----------------------------|---------|--|---------------------------------------|
| 供用状態 | | 供用状態C&D | | |
| 温度 T(°C) | | | | |
| 設計応力強さ S _m (MPa) | | | | |
| 流動応力 σ _f (MPa) (=2.7S _m) | | | | |
| 周方向欠陥用 応力 | 膜応力 P _m (MPa) | | | |
| | 曲げ応力 P _b (MPa) | | | |
| | 熱膨張応力 P _c (MPa) | | | |
| | 地震 | | | S _s (S _s -3) |
| 最大合計 | 膜応力 P _m (MPa) | | | |
| | 曲げ応力 P _b (MPa) | | | |
| | 熱膨張応力 P _c (MPa) | | | |

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

4. SCCによる進展評価

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

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

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

σ_{bg} : 断面曲げ応力

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

a : 欠陥深さ

t : 板厚

x : き裂表面からの距離 0 ≤ x ≤ t

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

R_i : 内半径

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

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



図3 運転中の応力分布



図4 き裂深さと応力拡大係数（SCC）

5. 疲労による進展評価

疲労によるき裂進展は、JSME維持規格EB-4351に基づいて実施した。疲労き裂進展速度は、JSME維持規格の添付E-2 4.1(2)b項に示されるオーステナイト系ステンレス鋼のPWR 1次系水質環境中の疲労き裂進展速度線図を用いて評価を実施する。

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

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

き裂は前章で求めたSCCによるき裂形状から、プラント供用60年時点（蒸気発生器取替後40年間）までの疲労によるき裂進展を算出した。評価結果を図5及び表5に示す。



図5 疲労によるき裂進展評価結果

表5 プラント供用60年時点における欠陥形状

| | 初期欠陥深さ a ₀ (mm) | 疲労欠陥 評価年数 | 欠陥深さ a (mm) | 欠陥角度 2θ (°) |
|------|-------------------------------|--------------|----------------|----------------|
| 入口管台 | | 40年 | | 360 |

6. 破壊評価結果

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

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

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

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

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

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

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

許容曲げ応力は次式となる。

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

ただし、 Z : Z係数 (割増し係数)

オーステナイト系ステンレス鋼管 (GTAWおよびSMAW) の場合

$Z = \frac{I}{A \cdot r}$
 OD : 呼び径 (A) \square 相当 (外径 \square mm)
 $GTAW$: ティグ溶接
 $SMAW$: 被覆アーク溶接

前章で求めたプラント供用60年時点 (40年後) のき裂に対する、 S_s 地震時の発生応力及び許容曲げ応力を算出した結果を表6に示す。評価部位に作用する曲げ応力は許容曲げ応力以下であることから、SCCに対する耐震安全性は問題ない。

表6 プラント供用60年時点の欠陥形状に対する破壊評価結果

| 部位 | 評価き裂 深さ (mm) | 安全率 | 曲げ応力 P_b (MPa) | 許容曲げ 応力 S_c (MPa) | 応力比 (P_b / S_c) |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| 入口管台 | | 1.39 (供用状態 C&D) | | | 0.93 |

美浜3号炉－耐震－10

| | |
|------|--|
| タイトル | 原子炉容器の中性子照射脆化（関連温度上昇）に対する耐震安全性評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。 |
| 回答 | <p>原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価の具体的な内容を以下に示す。</p> <p>【想定き裂深さ10mmでの評価】 JEAC4206-2007「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」では、加圧熱衝撃評価を実施するにあたって深さ10 mmの想定き裂を設定するように定められている。原子炉容器内表面からの深さ10 mm位置での評価結果を以下に示す。</p> <p>① PTSでの応力評価部位と応力値 PTS事象のK_1上限包絡曲線については、技術評価書「容器－原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故（小破断LOCA）、大破断1次冷却材喪失事故（大破断LOCA）、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対するK_1曲線を上限包絡して示している。 K_1値は、原子炉容器胴部に想定欠陥（長さ60 mm、深さ10 mmの半楕円表面欠陥）を仮定し評価している。</p> <p>② Ss地震時の応力評価部位と応力値 Ss地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点（原子炉容器管台（ノズル部）（図中④））の8.09×10^{10} N・mmを使用している。この曲げモーメントを断面係数（2.60×10^9 mm³）で除して算出した曲げ応力値（σ_b）は31.2 MPaとなる。</p> <div data-bbox="497 1214 1209 2011" style="border: 2px dashed black; height: 356px; width: 446px; margin: 20px auto;"></div> |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

③ K_{IC} の算出式とその根拠

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

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

④ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線（上記①）に、Ss地震で生じる K_I 値を一律でかさ上げしている。Ss地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥（長さ60 mm、深さ10 mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ t mm）に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. Aの解（作用分布応力を線形近似する場合）を用いて $8.09 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ を算出した。

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

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

Ss地震で生じる K_I 値：8.09の算出過程は以下のとおり。

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

| | |
|------|---------------------|
| 欠陥深さ | $a = 10 \text{ mm}$ |
| 欠陥長さ | $l = 60 \text{ mm}$ |
| 母材厚さ | $t = t \text{ mm}$ |

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

$$M_m = G_0 = 1.0921$$

$$G_1 = 0.6773$$

よって、

$$q_y = [(\sigma_m \cdot M_m + A_p \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b) / \sigma_{ys}]^2 / 6$$

$$= [(17.16 \times 1.0921 + 31.2 \times 1.0231) / 304.3]^2 / 6 = 0.00462$$

ここで $A_p = 17.16 \text{ MPa}^*$

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

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

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

$$\sigma_m = 0$$

$$Q = 1 + 4.593(a/l)^{1.65} - q_y = 1.235$$

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

以上より、

$$\begin{aligned}
 K_I &= \left(\sqrt{1/1000}\right) [(\sigma_m + A_p) \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b] \sqrt{\pi a/Q} \\
 &= \left(\sqrt{1/1000}\right) [17.16 \times 1.0921 + 31.2 \times 1.0231] \sqrt{\pi \times 10/1.235} \\
 &= 8.09 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}
 \end{aligned}$$

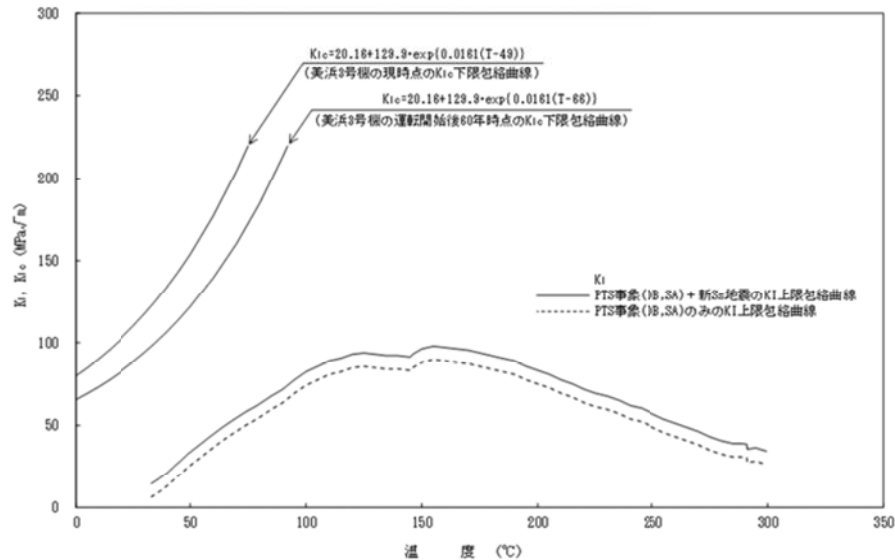


図1 美浜3号機 Ss地震を考慮したPTS評価結果(欠陥深さ10 mm)

【想定き裂深さ5mmでの評価】

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

① PTSでの応力評価部位と応力値

PTS事象のK_I上限包絡曲線については、技術評価書「容器—原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故(小破断LOCA)、大破断1次冷却材喪失事故(大破断LOCA)、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対するK_I曲線を上限包絡して示している。

K_I値は、特別点検の結果を踏まえ、原子炉容器胴部に想定欠陥(長さ30mm、深さ5mmの半楕円表面欠陥)を仮定し評価している。

② Ss地震時の応力評価部位と応力値

Ss地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点(原子炉容器管台ノズル部(図中④))の $8.09 \times 10^{10} \text{ N}\cdot\text{mm}$ を使用している。この曲げモーメントを断面係数($2.60 \times 10^9 \text{ mm}^3$)で除して算出した曲げ応力値(σ_b)は31.2MPaとなる。

③ K_{IC}の算出式とその根拠

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

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

④ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線(上記①)に、Ss地震動で生じる K_I 値を一律でかさ上げしている。Ss地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥(長さ30 mm、深さ5 mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ t (mm)に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、JEAC4206-2007 F-3300 ASME Sec. XI App. Aの解(作用分布応力を線形近似する場合)を用いて $5.84 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ を算出した。

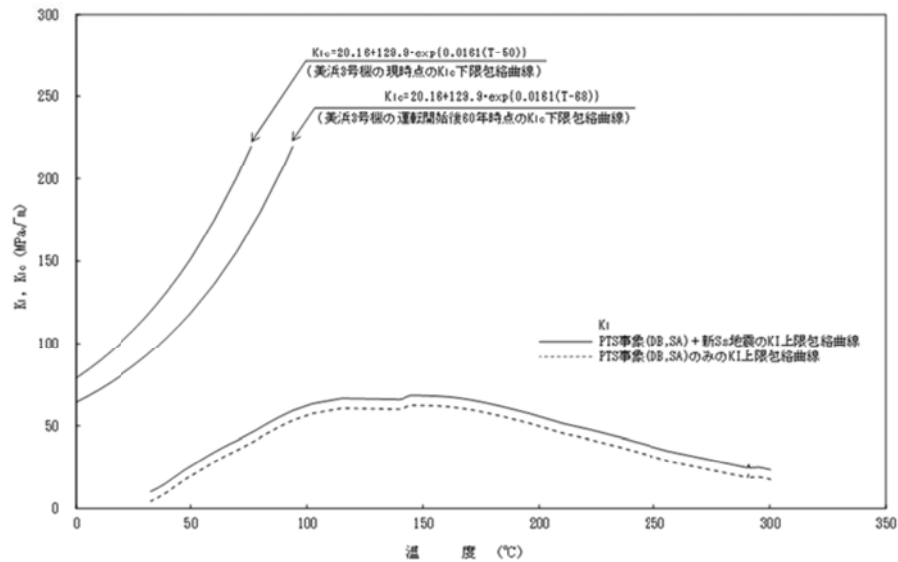


図2 美浜3号機 Ss地震を考慮したPTS評価結果(欠陥深さ5 mm)

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

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

以上

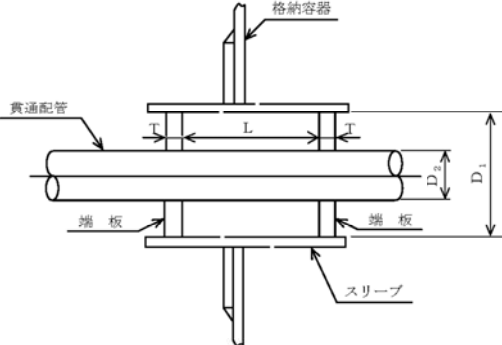
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

附属書表 F-3200-1 (1/2) 最深点 A での係数

| | | Uniform G_0 | | | | | |
|---------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | a / ℓ | | | | | |
| a / t | | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| 0.00 | 1.1208 | 1.0969 | 1.0856 | 1.0727 | 1.0564 | 1.0366 | 5mm 時 $a/t=0.025$ $a/l=0.167$ $G_0=1.0907$ |
| 0.05 | 1.1461 | 1.1000 | 1.0879 | 1.0740 | 1.0575 | 1.0373 | |
| 0.10 | 1.1945 | 1.1152 | 1.0947 | 1.0779 | 1.0609 | 1.0396 | 10mm 時 $a/t=0.051$ $a/l=0.167$ $G_0=1.0921$ |
| 0.15 | 1.2670 | 1.1402 | 1.1058 | 1.0842 | 1.0664 | 1.0432 | |
| 0.20 | 1.3654 | 1.1744 | 1.1210 | 1.0928 | 1.0739 | 1.0482 | |
| 0.25 | 1.4929 | 1.2170 | 1.1399 | 1.1035 | 1.0832 | 1.0543 | |
| 0.30 | 1.6539 | 1.2670 | 1.1621 | 1.1160 | 1.0960 | 1.0614 | |
| 0.40 | 2.1068 | 1.3840 | 1.2135 | 1.1448 | 1.1190 | 1.0772 | |
| 0.50 | 2.8254 | 1.5128 | 1.2693 | 1.1757 | 1.1457 | 1.0931 | |
| 0.60 | 4.0420 | 1.6372 | 1.3216 | 1.2039 | 1.1699 | 1.1058 | |
| 0.70 | 6.3743 | 1.7373 | 1.3610 | 1.2237 | 1.1868 | 1.1112 | |
| 0.80 | 11.991 | 1.7899 | 1.3761 | 1.2285 | 1.1902 | 1.1045 | |

| | | Linear G_1 | | | | | |
|---------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | a / ℓ | | | | | |
| a / t | | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| 0.00 | 0.7622 | 0.6635 | 0.6826 | 0.7019 | 0.7214 | 0.7411 | 5mm 時 $a/t=0.025$ $a/l=0.167$ $G_0=0.6768$ |
| 0.05 | 0.7624 | 0.6651 | 0.6833 | 0.7022 | 0.7216 | 0.7413 | |
| 0.10 | 0.7732 | 0.6700 | 0.6855 | 0.7031 | 0.7221 | 0.7418 | 10mm 時 $a/t=0.051$ $a/l=0.167$ $G_1=0.6773$ |
| 0.15 | 0.7945 | 0.6780 | 0.6890 | 0.7046 | 0.7230 | 0.7426 | |
| 0.20 | 0.8267 | 0.6891 | 0.6939 | 0.7067 | 0.7243 | 0.7420 | |
| 0.25 | 0.8706 | 0.7029 | 0.7000 | 0.7094 | 0.7260 | 0.7451 | |
| 0.30 | 0.9276 | 0.7193 | 0.7073 | 0.7126 | 0.7282 | 0.7468 | |
| 0.40 | 1.0907 | 0.7584 | 0.7249 | 0.7209 | 0.7338 | 0.7511 | |
| 0.50 | 1.3501 | 0.8029 | 0.7454 | 0.7314 | 0.7417 | 0.7566 | |
| 0.60 | 1.7863 | 0.8488 | 0.7671 | 0.7441 | 0.7520 | 0.7631 | |
| 0.70 | 2.6125 | 0.8908 | 0.7882 | 0.7588 | 0.7653 | 0.7707 | |
| 0.80 | 4.5727 | 0.9288 | 0.8063 | 0.7753 | 0.7822 | 0.7792 | |

美浜3号炉－耐震－11

| <p>タイトル</p> | <p>抽出ライン系統配管の固定式継手（端板）の疲労割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|----|----|------|-----|-------------------|------|-----|------------------------|------|-----|-------------------------------|-----|-----|-----------|---|----|-------|---|----|----------------------|---|----|----------------------|-----|---|------------------|-----|---|------------------|-----|---|------------------|-----|---|----------------------------------|-----|-----|-----------------------------------|-----|-----|--------------------------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|-------------------------|---|----|--------|---|-----|--|-----|-----|-------------|----|---|--------|----|-----|-----------------------------------|----|---|--------|
| <p>説明</p> | <p>1. 記号の説明 固定式継手（2枚端板）の疲労評価に用いる記号について、表1に示す。</p> <p>表1 固定式継手（2枚端板）の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="440 734 1342 1509"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SR3S</td> <td>MPa</td> <td>地震時の管軸方向反力による二次応力</td> </tr> <tr> <td>SR4S</td> <td>MPa</td> <td>地震時の管軸直角方向反力による一次一般膜応力</td> </tr> <tr> <td>SR5S</td> <td>MPa</td> <td>地震時の曲げモーメント配管荷重（偶力）による一次一般膜応力</td> </tr> <tr> <td>STS</td> <td>MPa</td> <td>一次＋二次応力強さ</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>mm</td> <td>端板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>mm</td> <td>端板外半径（$A = D_1/2$）</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>mm</td> <td>端板穴半径（$B = D_2/2$）</td> </tr> <tr> <td>FXS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力によるX方向反力</td> </tr> <tr> <td>FYS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力によるY方向反力</td> </tr> <tr> <td>FZS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力によるZ方向反力</td> </tr> <tr> <td>FOS</td> <td>N</td> <td>地震時の設計外力による鉛直方向反力 （$FOS =$ ）</td> </tr> <tr> <td>MOS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力による曲げモーメント （$MOS =$ ）</td> </tr> <tr> <td>MXS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力によるX軸回りのねじりモーメント</td> </tr> <tr> <td>MYs</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力によるY軸回りの曲げモーメント</td> </tr> <tr> <td>MZS</td> <td>N・m</td> <td>地震時の設計外力によるZ軸回りの曲げモーメント</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>端板間の長さ</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度における日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JISME S NC1-2005/2007、以下「設計・建設規格」という）付録材料図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>PSS</td> <td>MPa</td> <td>地震時のピーク応力強さ</td> </tr> <tr> <td>KC</td> <td>—</td> <td>応力集中係数</td> </tr> <tr> <td>E'</td> <td>MPa</td> <td>設計・建設規格 添付4-2 設計疲労線図の備考に規定する縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲労累積係数</td> </tr> </tbody> </table> <p>固定式継手（2枚端板）の基本寸法箇所を図1に示す。</p>  <p>図1 固定式継手（2枚端板）の基本寸法箇所</p> | 記号 | 単位 | 定義 | SR3S | MPa | 地震時の管軸方向反力による二次応力 | SR4S | MPa | 地震時の管軸直角方向反力による一次一般膜応力 | SR5S | MPa | 地震時の曲げモーメント配管荷重（偶力）による一次一般膜応力 | STS | MPa | 一次＋二次応力強さ | T | mm | 端板の厚さ | A | mm | 端板外半径（ $A = D_1/2$ ） | B | mm | 端板穴半径（ $B = D_2/2$ ） | FXS | N | 地震時の設計外力によるX方向反力 | FYS | N | 地震時の設計外力によるY方向反力 | FZS | N | 地震時の設計外力によるZ方向反力 | FOS | N | 地震時の設計外力による鉛直方向反力 （ $FOS =$ ） | MOS | N・m | 地震時の設計外力による曲げモーメント （ $MOS =$ ） | MXS | N・m | 地震時の設計外力によるX軸回りのねじりモーメント | MYs | N・m | 地震時の設計外力によるY軸回りの曲げモーメント | MZS | N・m | 地震時の設計外力によるZ軸回りの曲げモーメント | L | mm | 端板間の長さ | E | MPa | 最高使用温度における日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JISME S NC1-2005/2007、以下「設計・建設規格」という）付録材料図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数 | PSS | MPa | 地震時のピーク応力強さ | KC | — | 応力集中係数 | E' | MPa | 設計・建設規格 添付4-2 設計疲労線図の備考に規定する縦弾性係数 | UF | — | 疲労累積係数 |
| 記号 | 単位 | 定義 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SR3S | MPa | 地震時の管軸方向反力による二次応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SR4S | MPa | 地震時の管軸直角方向反力による一次一般膜応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SR5S | MPa | 地震時の曲げモーメント配管荷重（偶力）による一次一般膜応力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STS | MPa | 一次＋二次応力強さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T | mm | 端板の厚さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | mm | 端板外半径（ $A = D_1/2$ ） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | mm | 端板穴半径（ $B = D_2/2$ ） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FXS | N | 地震時の設計外力によるX方向反力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FYS | N | 地震時の設計外力によるY方向反力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FZS | N | 地震時の設計外力によるZ方向反力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FOS | N | 地震時の設計外力による鉛直方向反力 （ $FOS =$ ） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MOS | N・m | 地震時の設計外力による曲げモーメント （ $MOS =$ ） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MXS | N・m | 地震時の設計外力によるX軸回りのねじりモーメント | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MYs | N・m | 地震時の設計外力によるY軸回りの曲げモーメント | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MZS | N・m | 地震時の設計外力によるZ軸回りの曲げモーメント | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | mm | 端板間の長さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | MPa | 最高使用温度における日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JISME S NC1-2005/2007、以下「設計・建設規格」という）付録材料図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PSS | MPa | 地震時のピーク応力強さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC | — | 応力集中係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E' | MPa | 設計・建設規格 添付4-2 設計疲労線図の備考に規定する縦弾性係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UF | — | 疲労累積係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2. 評価部位

評価部位は、図2に示す格納容器貫通配管に設置された固定式継手（2枚端板）のうち、C/VバウンダリーであるC/V内側端板の配管溶接部とする。

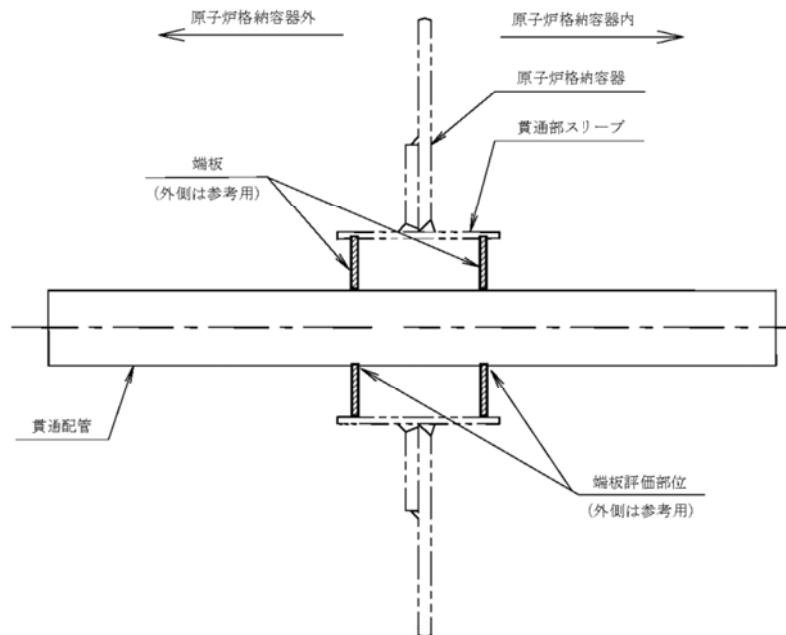


図2 固定式継手（2枚端板）の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

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

| ペネ番号 | | | PEN#286 (CVCS抽出配管) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 諸 元 板 | 格納容器最高使用温度 | ℃ | ┌──────────┐ └──────────┘ |
| | 配管最高使用温度 | ℃ | |
| | 材 質 | — | |
| | 端板外径 | mm | |
| | 端板内径 | mm | |
| | 板 厚 | mm | |
| | 2枚端板間の距離 | mm | |
| | 設計疲れ線図の 縦弾性係数 | $\times 10^5 \text{N/mm}^2$ | |
| | 材料の使用温度に おける縦弾性係数 | $\times 10^5 \text{N/mm}^2$ | |
| | 配 管 | 材 質 | |
| 外 径 | | mm | |
| 板 厚 | | mm | |
| 応力集中係数 | | | — |

(注1) 物性値の算出はクラス2過渡における最高温度に基づき算出した。

(注2) 「SUS27」は、「SUS304」として評価を実施する。

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

ii. 固定式継手（2枚端板）の繰返しピーク応力強さと許容繰返し回数
(a) ピーク応力強さ

ピーク応力強さ = 応力集中係数 × (一次 + 二次応力強さ)

$$PSS = KC \times STS$$

(b) 繰返しピーク応力強さ

$$\text{繰返しピーク応力強さ} = \frac{1}{2} \times \text{ピーク応力強さ}$$

(c) 許容繰返し回数

許容繰返し回数は、設計・建設規格 添付 4-2設計疲労線図より繰返しピーク応力強さを用いて求める。

なお、許容繰返し回数の算出に使用する繰返しピーク応力強さは、(b)項で求めた繰返しピーク応力強さに $\frac{E'}{E}$ を乗じた値とする。

(d) 疲労累積係数

$$UF = \frac{\text{評価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss, Sd地震によるUF評価結果を、表4に示す。

表4 Ss, Sd地震によるUF評価結果

| ペネ番号 | 地震力 | 評価部位 | (注1) (注2) | | 評価繰返し回数 | UF |
|-----------------------|-----|------------|-----------------------------|-----------------|---------|-------|
| | | | 繰返し ピーク応力 強さ [MPa] | 許容 繰返し 回数 | | |
| PEN#286 (CVCS抽出配管) | Ss | CV内側 端板 | - | - | 200 | 0.003 |
| | Sd | CV内側 端板 | | | 300 | 0.001 |

(注1) 繰返しピーク応力強さが、ステンレス鋼の許容繰返し回数 10^{11} 回における繰返しピーク応力強さ(94MPa)を下回る場合は、UF=0.000とする。

(注2) 温度補正後の値を示す。

(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5に示す。

表5 Ss, Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

| ペネ番号 | 地震力 | 評価部位 | 通常 運転時 | 地震時 | 合計 | 許容値 | 評価 |
|-----------------------|-----|------------|-----------|-------|-------|-----|----|
| PEN#286 (CVCS抽出配管) | Ss | CV内側 端板 | 0.524 | 0.003 | 0.527 | 1.0 | ○ |
| | Sd | CV内側 端板 | 0.524 | 0.001 | 0.525 | 1.0 | ○ |

以上より、抽出ライン系統配管の固定式継手(2枚端板)の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

以上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

美浜3号炉－耐震－15

| <p>タイトル</p> | <p>余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-----|-----------|----|----|--|--|----|--|----|--|--|----|----|---|----|----|----|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|
| <p>説明</p> | <p>余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する評価を添付－1のフローに従い算出した過程は、以下の通り。</p> <p>1. 発生応力の算出 配管を3次元梁モデル化してSs, Sd地震時の支持点応力をスペクトルモーダル解析にて算出している。 算出した発生応力を表1に示す。また、評価位置を添付－2に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 発生応力</p> <table border="1" data-bbox="405 862 1348 1057"> <thead> <tr> <th rowspan="3">B-RHR熱交換器 出口合流部(CV外) 10B-sch40</th> <th rowspan="3">地震力</th> <th colspan="5">発生応力(MPa)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Pm</th> <th colspan="3">Pb</th> </tr> <tr> <th>内圧</th> <th>自重</th> <th>熱</th> <th>地震</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss</td> <td colspan="5" style="border: 1px dashed black;"></td> </tr> <tr> <td>Sd</td> <td colspan="5" style="border: 1px dashed black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 判定応力の算出 判定応力Pfは「実断面応力基準」によって、以下に示す式で算出している（添付－1⑦参照）。</p> $Pf = Pm + Pb' / Hp$ <p><記号説明></p> <p>Pm:内圧によって発生する膜応力(= 0.5Sm) $Pb' = 2 \sigma f (2 \sin \beta - \sin \theta) / \pi$ $\beta = [\pi - \theta - (Pm / \sigma f) \pi] / 2$ $\sigma f = (Sy + Su) / 2$ θ:貫通き裂半角度 Sy:設計降伏点 Su:設計引張強さ Hp:補正係数(炭素鋼4B以下1.1、その他は1.0)</p> | B-RHR熱交換器 出口合流部(CV外) 10B-sch40 | 地震力 | 発生応力(MPa) | | | | | Pm | | Pb | | | 内圧 | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | Ss | | | | | | Sd | | | | | |
| B-RHR熱交換器 出口合流部(CV外) 10B-sch40 | 地震力 | | | 発生応力(MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Pm | | Pb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 内圧 | 自重 | 熱 | 地震 | 合計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ss | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sd | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. 判定応力算出条件

判定応力算出に用いたデータを以下に示す。

表2 判定応力算出条件

| 項目 | 単位 | B-RHR熱交換器 出口合流部(CV外) |
|------------------------|-------|-------------------------|
| 配管口径 | (呼径) | |
| | mm | |
| 配管肉厚 | (sch) | |
| | mm | |
| 配管材料 | - | |
| 最高使用温度 | ℃ | |
| 最高使用圧力 | MPa | |
| 縦弾性係数($\times 10^5$) | MPa | |
| σ_y | MPa | |
| σ_u | MPa | |
| Sm | MPa | |
| σ_f | MPa | |

4. き裂形状の算出

GcとDhからき裂形状を添付-1に示す方法で算出している。算出結果を表3に示す。

表3 評価対象配管のき裂形状 (1gpm漏洩時)

| 対象配管 | 臨界流量 | き裂面積 | き裂長さ | き裂角度 |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------|------|------|
| | Gc | A | 2c | 2θ |
| | [gpm/mm ²] | [mm ²] | [mm] | [度] |
| B-RHR熱交換器 出口合流部(CV外) 10B-sch40 | | | | |

5. 評価結果

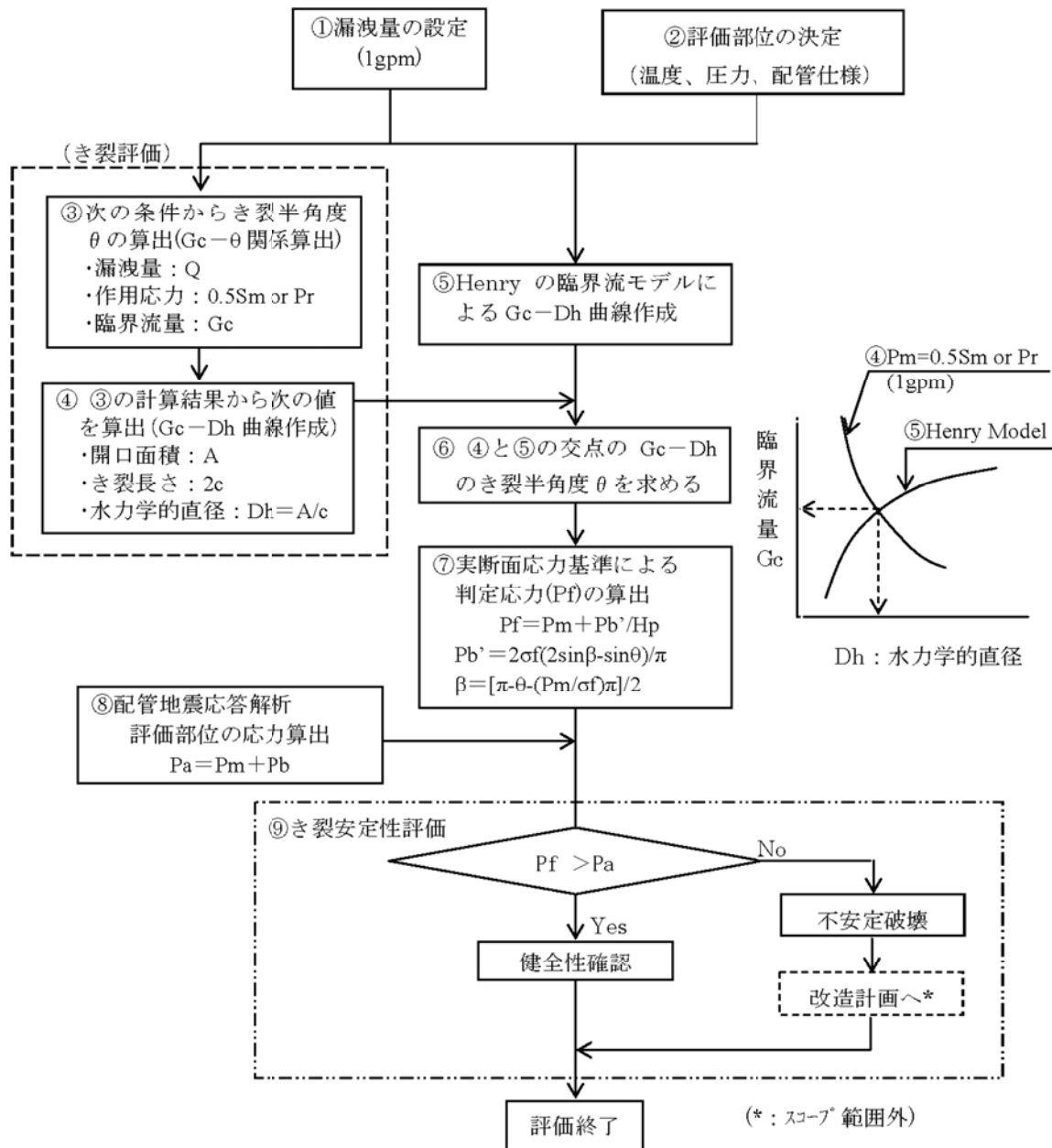
2項に示す方法で算出した評価結果を表4に示す。

表4 き裂安定性評価結果

| B-RHR熱交換器 出口合流部(CV外) 10B-sch40 | 地震力 | 発生応力 (MPa) | 判定応力 (MPa) | 応力比 |
|--------------------------------------|-----|---------------|---------------|--------|
| | Ss | | | |
| Sd | | | | 0.44以下 |

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

地震時のき裂安定性評価フロー



(注記) 記号の内容は以下のとおり。

Gc : 臨界流モデルによる単位面積当りの漏洩量
 Dh : 水力的直径 Pf : 判定応力 Pa : 発生応力 Pr : 設計内圧応力
 Pm : 内圧等による膜応力 Pb' : 曲げ応力
 σf : 流動応力 Hp : 補正係数 (炭素鋼管 4B 以下 1.1、その他は 1.0)

① 漏えい量

き裂安定性評価に用いるき裂開口面積及び判定応力を求めるにあたって、通常の点検パトロールや漏えい検知設備等で、検知可能な漏洩量として1gpmを想定する。

② 評価部位の決定

き裂安定性評価の対象は、流況が複雑で疲労が蓄積する可能性がある部位(複雑流況部)であり、耐震上厳しい部位を評価対象として選定し、これらの部位についてき裂を想定した安定性評価を実施する。

③ き裂評価における(Gc-Dh)の算出

配管の周方向にスリット状き裂を想定して以下の要領で、最初に漏洩量Q、臨界流量Gc、作用荷重0.5Smを与えてき裂半角度 θ を求める。

- a. き裂角度を求めるための開口面積をAINとする。

$$AIN \approx Q / Gc$$

- b. 次式のAtotal > AINとなるまで $0^\circ \rightarrow \theta$ を増加させて下式のパラメータ計算を実施し、最大の θ をき裂半角度とする。

$$A_{total} = (A_t + A_b) \alpha$$

$$A_t = \frac{\sigma_t}{E} (\pi R^2) I_t(\theta)$$

$$A_b = \frac{\sigma_b}{E} (\pi R^2) I_b(\theta)$$

なお、き裂先端の塑性域を考慮し、き裂の半角度は θ に代えて θ_{eff} を次式で求める。

$$\theta_{eff} = \theta + (K_t + K_b)^2 / (2\pi R \sigma_f^2)$$

<記号説明>

θ : き裂半角度

Kt : 軸力による応力拡大係数

Kb : 曲げモーメントによる応力拡大係数

σ_f : 流動応力

R : 平均半径

$I_t(\theta)$ 、 $I_b(\theta)$: 無次元量

α : 補正係数(炭素鋼0.9、その他は1.0)

- c. 水力学的直径(Dh)

き裂長さは次式による。また、DhはAtotalをき裂長さで除したものの。

$$2c = (D - t) \frac{\theta_{eff} \pi}{180}$$

$$\frac{A_{total}}{c} = Dh \text{を算出}$$

<記号説明>

D : 管外径

t : 板厚

④ Gc-Dh曲線

前項のa. からc. を、Gcを変えてパラメータ計算を繰り返すことによりGc-Dh曲線が求められる。

⑤ Henryの臨界流モデルによるGc-Dh曲線

Henryのサブクール水モデル(図1参照)を用いて、配管の内外圧力差、流体性状等から、臨界流量Gc (gpm/mm²)と水力学的直径Dh (mm)の関係曲線を求める。

計算パラメータとしては、漏えい流体の条件(温度、圧力、流体性状等)、外部の状態(外圧の有無)、漏えい流路状態(表面粗さ、流路形状)等を考慮する。

臨界流量Gcは下式により求める。

$$Gc^2 = \left[\frac{xv_g}{\gamma P} - (v_g - v_{\ell 0}) \frac{dx}{dP} \right]_{exit}^{-1} \quad \left(\frac{dx}{dP} \right)_{exit} = N \frac{dx_E}{dP}$$

<記号説明>

x : クオリティ (x_E : 熱平衡時のクオリティ)

v : 比容積(m³/kg)

P : 圧力(Pa)

γ : 断熱係数

(添字・・・g : 気相、ℓ : 液相、ℓ₀ : 入口液相条件)

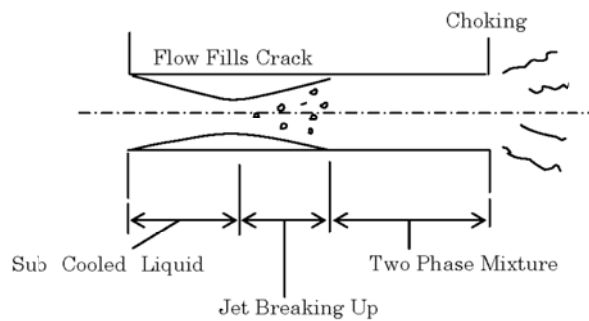


図1 き裂内の流れ(サブクール水)

⑥ 臨界流量(Gc-Dh)の決定

上記④と⑤のGc-Dh曲線は別々の観点から求められたものであり、下図の如く2本の曲線が描け、交点のGc、Dhは両方の条件を満足する。

この時のGc-Dhのき裂角度、開口面積を、き裂安定性評価に用いる判定応力の算出に使用する。

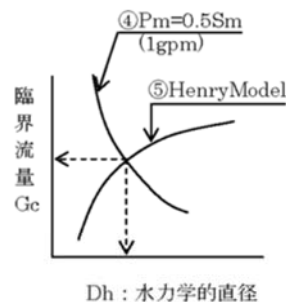


図2 Gc-Dh曲線

⑦ 判定応力の算出

判定応力Pfは「実断面応力基準」によって算出する。この基準は、配管周方向にスリット状開口を想定し、断面のリガメント(開口部以外)の応力が一様な流動応力 σf に達した時に破壊が進行すると仮定したものである。したがって発生応力が流動応力以下であれば、き裂があっても安定していると考えられる。

$$Pf = Pm + Pb' / Hp$$

<記号説明>

Pm : 内圧によって発生する膜応力(= 0.5Sm)

$$Pb' = 2\sigma f(2\sin\beta - \sin\theta) / \pi$$

$$\beta = [\pi - \theta - (Pm / \sigma f)\pi] / 2$$

$$\sigma f = (Sy + Su) / 2$$

θ : 貫通き裂半角度

Sy : 設計降伏点

Su : 設計引張強さ

Hp : 補正係数(炭素鋼4B以下1.1、その他は1.0)

⑧ 発生応力

発生応力Paを求める時の作用荷重は「配管破損防護設計技術指針」より次のとおり。

- a. 考慮すべき運転状態は、I, II, III及びI+Ss, Sd地震とするが、実質的にはI, II+Ss, Sd地震が最も厳しいことから、I, II+Ss, Sd地震の評価を実施する。(JEAG-4613はS1で評価するが、本評価はSs, Sd地震で評価を実施する。)
- b. 評価荷重は1次応力で実施するが、安全側に2次応力である熱膨張応力を含める。

$$Pa = Pm + Pb$$

<記号説明>

Pm : 各配管の設計条件における計算値を採用(内圧応力)

Pb : 曲げ応力(自重応力+熱膨張応力+地震応力*の合計応力、但しねじり応力は算入不要)

* : 地震慣性応力(片振幅)

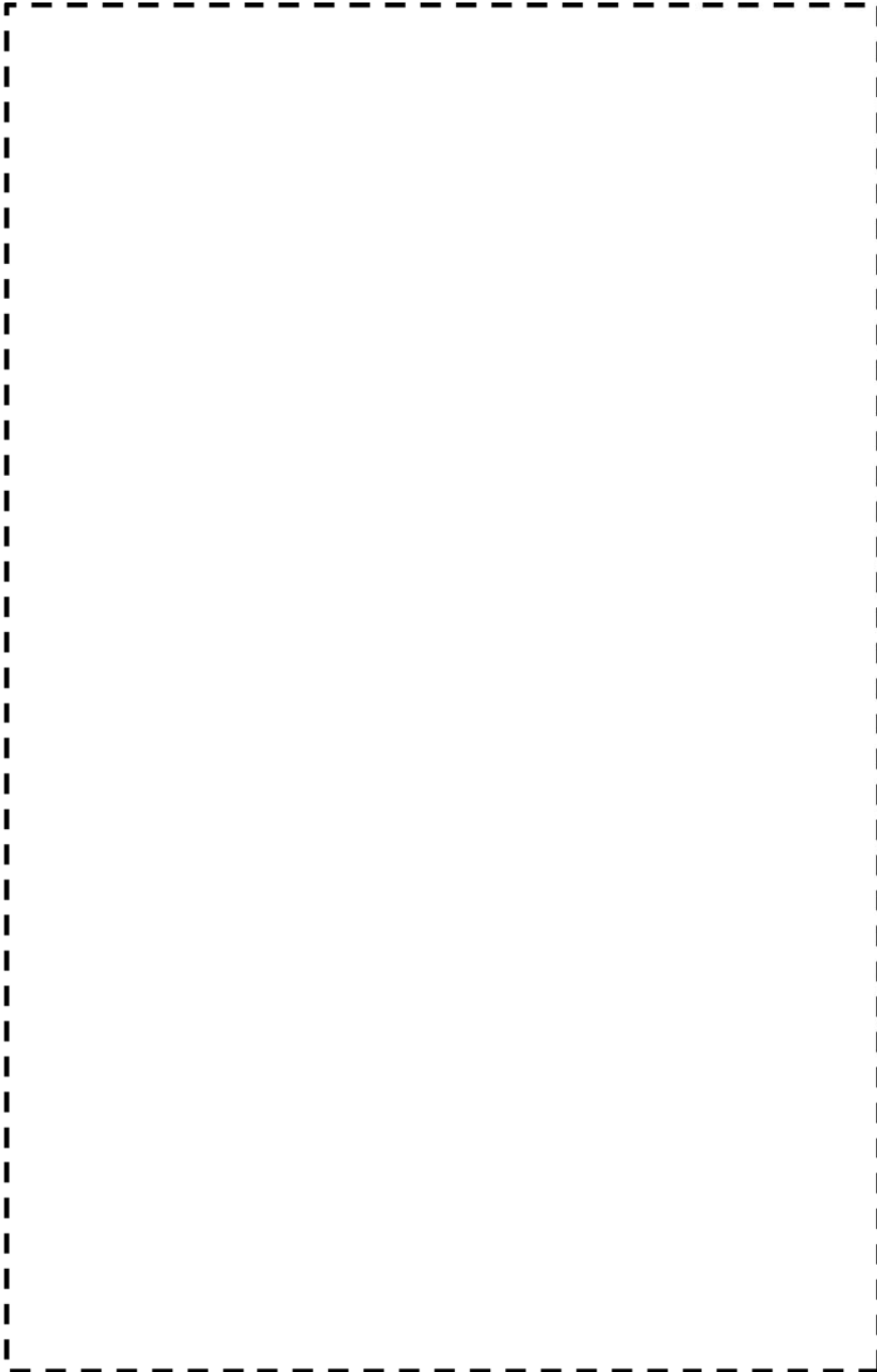
注 : 発生応力は流動応力となることから応力係数は考慮しない。

⑨ 評価

前項までの算出結果を基に以下を評価する。

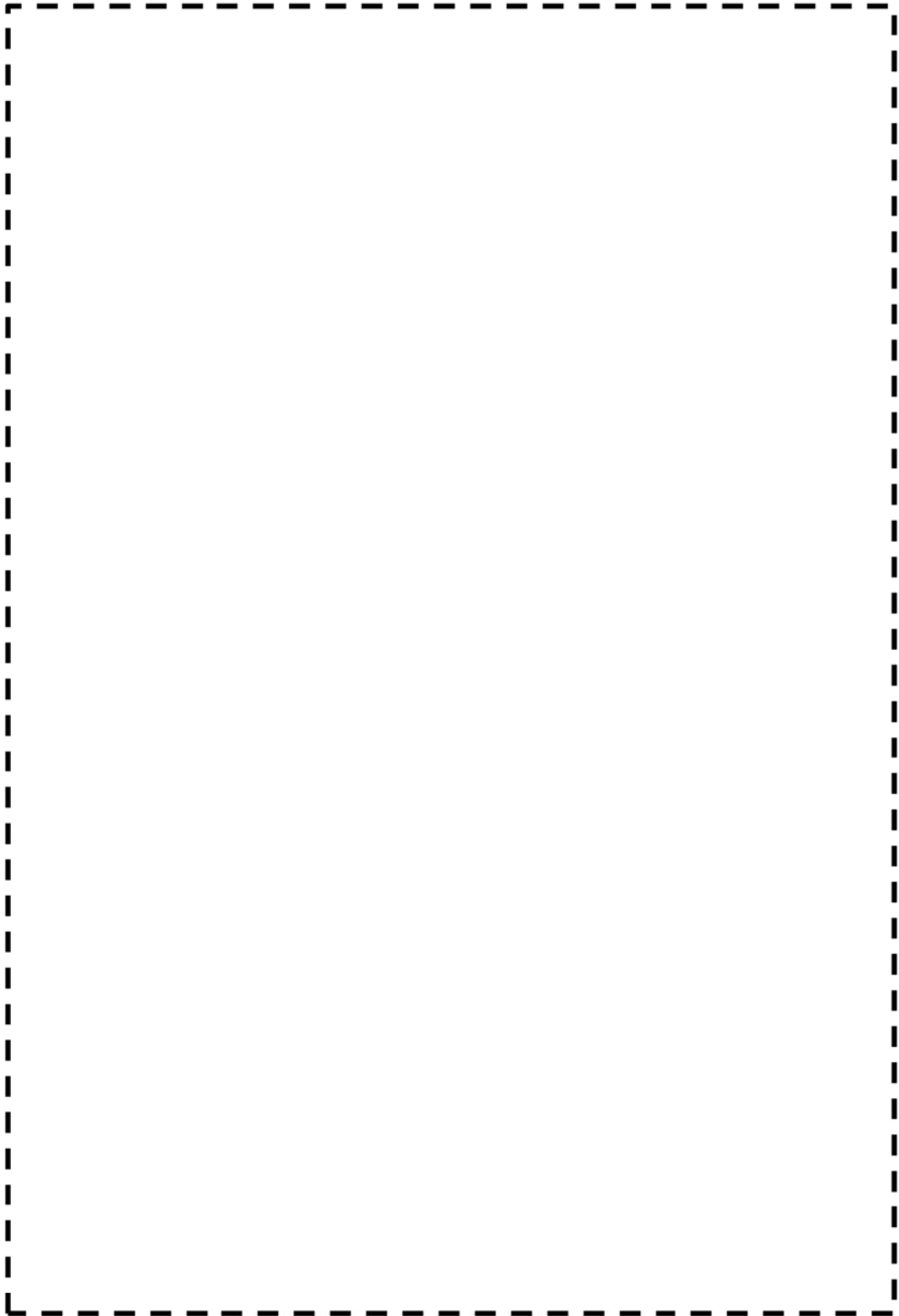
$$Pf > Pa : \text{漏洩}$$

$$Pf \leq Pa : \text{破断}$$



き裂評価対象部位 美浜3号機 B-RHR熱交換器出口合流部(CV外)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



美浜3号機 B-RHR熱交換器出口合流部(CV外)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

美浜3号炉－耐震－17

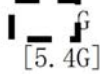
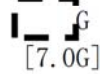
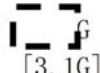

| | |
|-------------|--|
| <p>タイトル</p> | <p>耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として弁と配管の接続部における疲労割れあるいは接続配管の腐食（流れ加速型腐食）が抽出された弁について、地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないとする評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。</p> |
| <p>説明</p> | <p>1. 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定 弁の地震時の応答加速度が機能確認済加速度を上回らないことを確認すべき対象を以下のとおり選定した。</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD Title["①弁と配管の接続部における疲労割れ/②接続配管の腐食(流れ加速型腐食)に対する弁の動的機能維持評価"] --> D1{"振動応答特性に影響する経年劣化事象か?"} D1 -- No ①※1 --> EvalOut["評価対象外"] D1 -- Yes ②※2 --> D2{"振動応答特性に影響が及ぶ範囲に地震時に動的機能維持(主要弁)が存在するか?"} D2 -- No --> EvalOut D2 -- Yes --> EvalIn["主蒸気系統 主給水系統"] EvalIn --> EvalOutBox["評価対象弁の抽出"] EvalOutBox --> EvalInBox["主蒸気逃がし弁・主蒸気安全弁 → これについて評価を実施する"] </pre> </div> <p>※1: 疲労割れが生じた場合は振動応答に影響を与える可能性があるが、疲労累積係数が1以下であることを確認しているため割れは発生せず、振動応答に影響を与える経年劣化事象ではない</p> <p>※2: 弁そのものの経年劣化事象ではないが、接続配管に流れ加速型腐食が生じた場合は、配管の振動応答特性の変化が弁の応答加速度に影響すると考えられる</p> |

図1 動的機能維持評価の対象弁・経年劣化事象の選定フロー

2. 評価結果

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

表1 主蒸気逃がし弁および主蒸気安全弁の動的機能維持評価結果

| 地震力 | | 主蒸気逃がし弁 (PCV-3015) | | 主蒸気安全弁 (MS-525A) | |
|----------------|----|--|--------------|--|--------------|
| | | 応答加速度 | 機能確認済 加速度 | 応答加速度 | 機能確認済 加速度 |
| S _s | 水平 |  [5.4G] | 6.0G |  [7.0G] | 10.0G |
| | 鉛直 |  [3.1G] | 6.0G |  [1.5G] | 3.0G |

(注) 1G=9.80665 (m/s²)

[]内は工認での評価結果

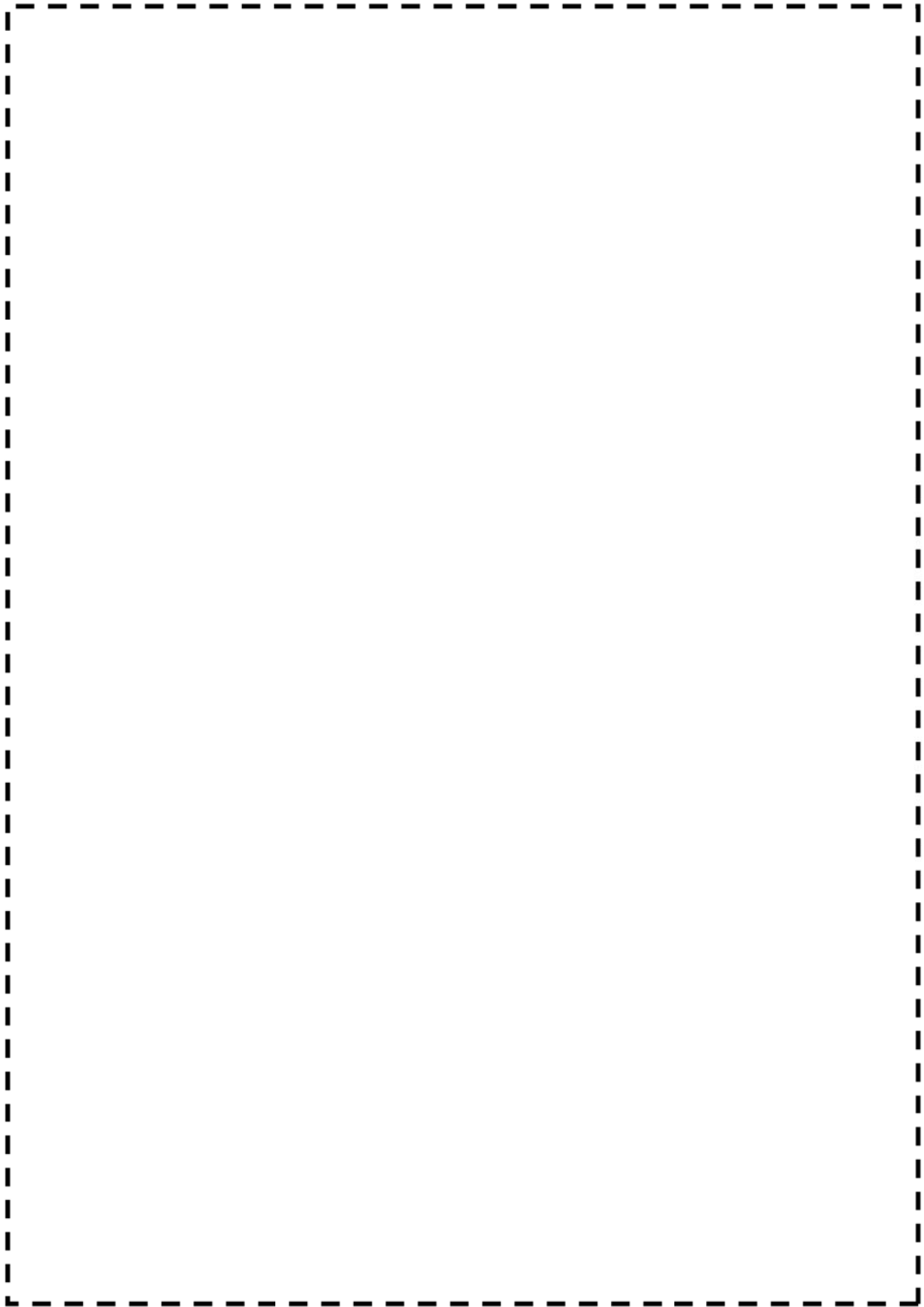
なお、主蒸気逃がし弁については、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価の評価部位となっていることから、流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行った。結果は、以下の表となり、動的機能維持の観点から耐震安全性上問題ないことを確認した。

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

| 地震力 | | 主蒸気逃がし弁 | |
|----------------|---------------|--|--------------|
| | | 水平応答加速度 | 機能確認済 加速度 |
| S _s | 水平 + 鉛直 |  [7.1G] | 9.5G |

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。



主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外))

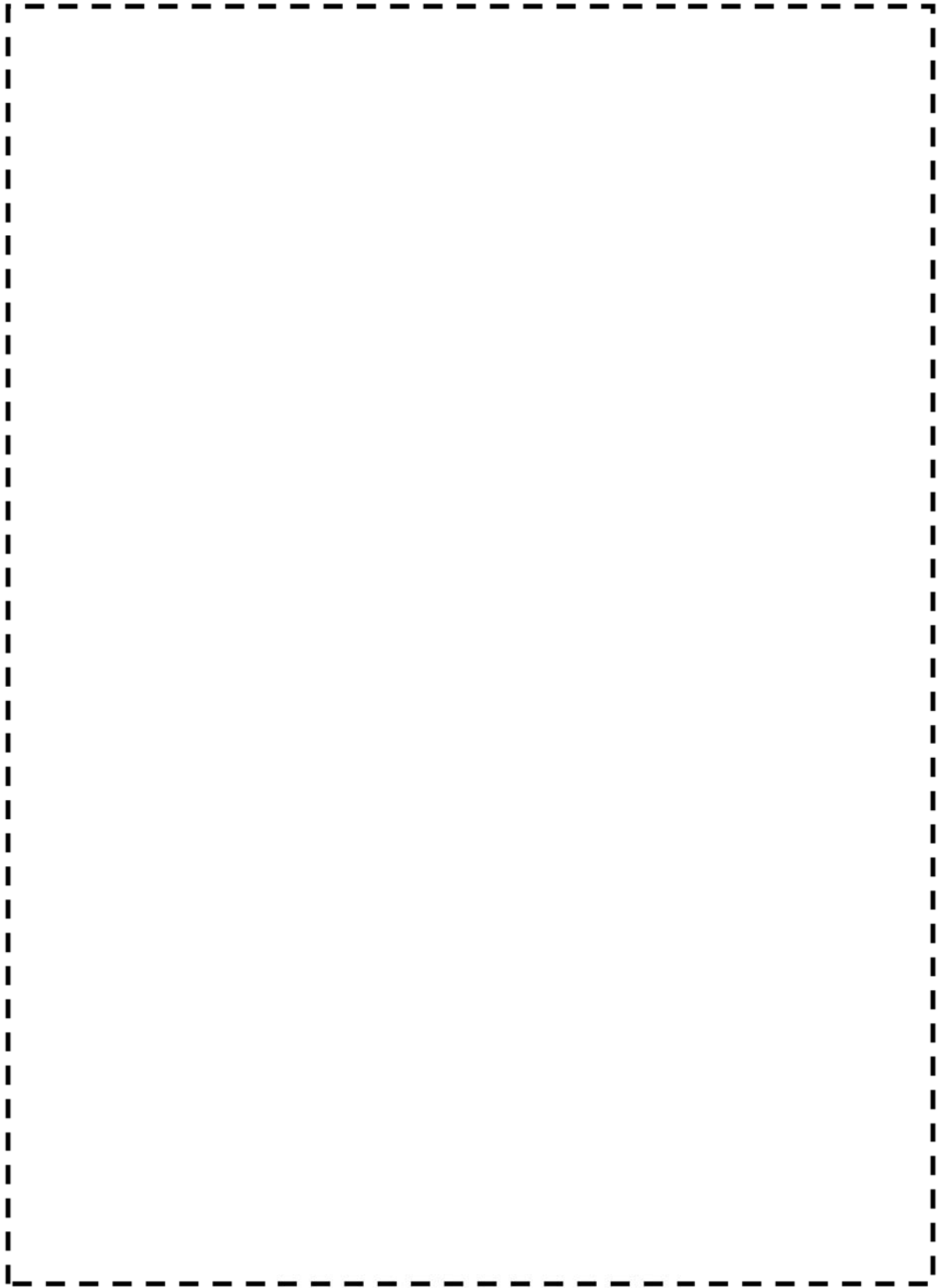
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管 (B-主蒸気配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

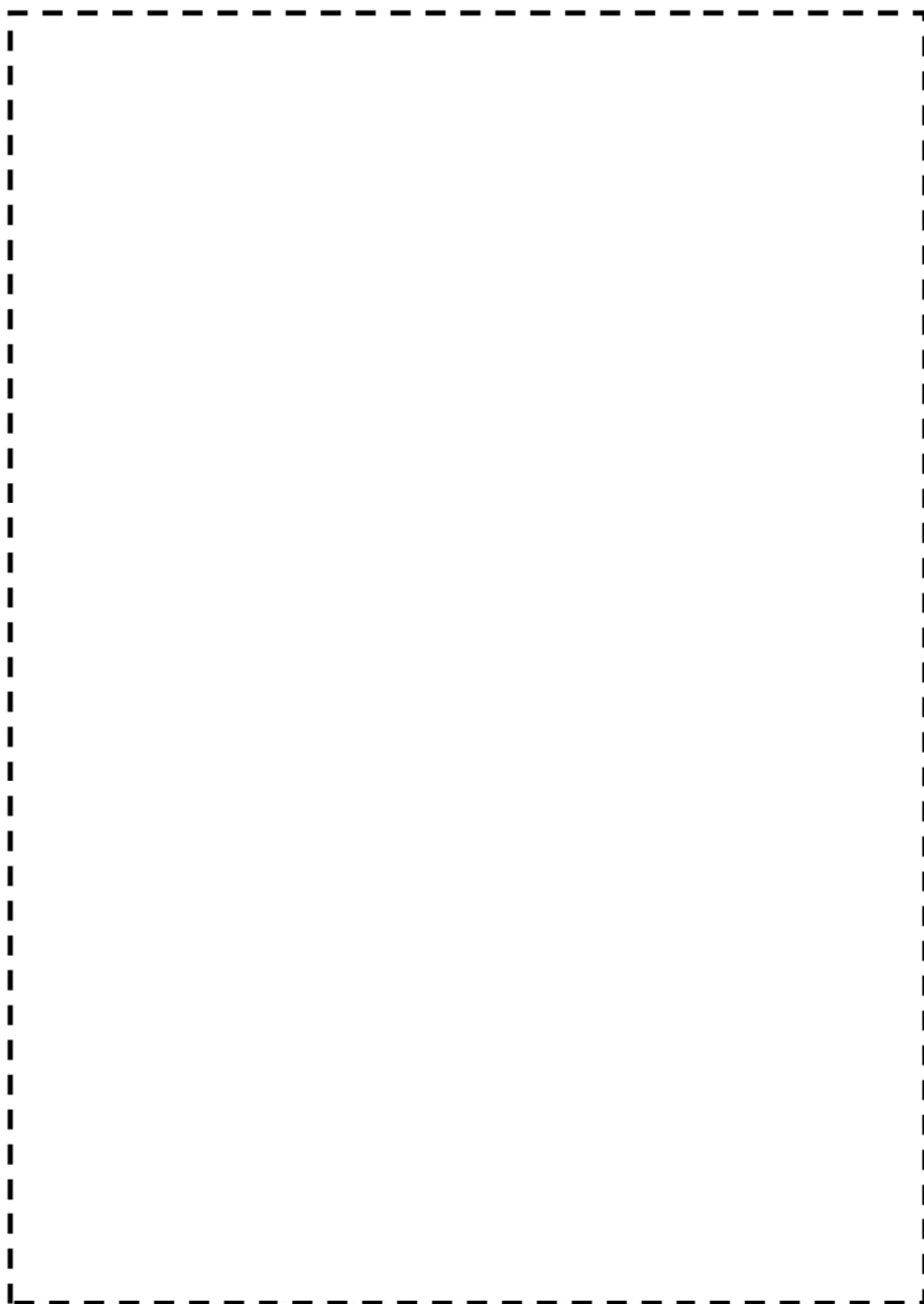
主蒸気系統配管(C-主蒸気配管(CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



主給水系統配管（A－主給水配管（CV外））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



主給水系統配管(B-主給水配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管 (C-主給水配管 (CV外))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉－耐震－27

| | |
|------|---|
| タイトル | 炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について |
| 説明 | <p>本評価では、炉心支持構造物のうち最も照射量が高く、中性子照射脆化による材料の靱性低下が想定される炉心そう溶接部に有意な欠陥が存在すると仮定し、S s 地震発生時の耐震安全性評価を行っている。評価の具体的内容を添付－1に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について

本評価は、想定欠陥に対し、地震時の荷重を考慮して求めた応力拡大係数 K と、中性子照射を受けたステンレス鋼の J_{IC} 値から換算した破壊靱性値 (K_{IC}) とを比較することにより実施している。

1. 解析条件

(1) 想定欠陥

想定欠陥は JSME S NC1-2012を準用し、表1の通りとした。

表1 想定き裂形状

| き裂方向 | き裂長さ | き裂深さ |
|------|------|------|
| 周方向 | 1.5t | 1/4t |

t : 炉心そう板厚 (= \square mm)

き裂の想定部位 (評価部位) は、図1に示す通り、中性子照射量の厳しい下部炉心そう上部胴と下部胴の溶接部とした。

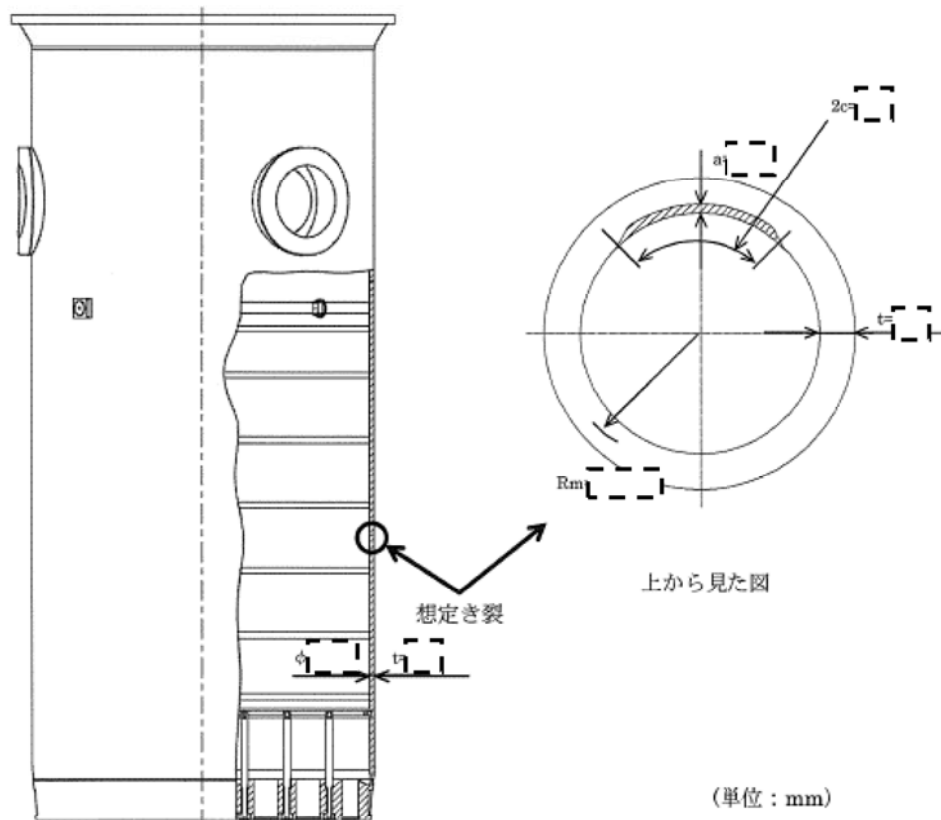


図1 炉心そうにおけるき裂想定部位

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

(2) 応力条件

地震荷重は、水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重とも時刻歴応答解析で算出した。使用した水平方向耐震解析モデル及び鉛直方向耐震解析モデルはそれぞれ図2及び図3の通り。



図2 水平方向耐震解析モデル

図3 鉛直方向耐震解析モデル

評価位置に作用する機械荷重、熱荷重、S_s地震時の荷重による各応力の重ね合わせで評価した。評価に用いた応力条件を表2に示す。

表2 応力条件

| | | | |
|------------------------|-----------------|--|-----|
| 機械荷重による応力 | 引張応力 | | MPa |
| | 曲げ応力 | | MPa |
| 熱荷重による応力 | 引張応力 | | MPa |
| | 曲げ応力* | | MPa |
| S _s 地震による応力 | 引張応力 | | MPa |
| 合計 | 引張応力 σ_m | | MPa |
| | 曲げ応力 σ_b | | MPa |

※：炉心さうの内外面の温度差により生じる曲げ応力

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) 解析モデル

炉心そのの平均半径 R_m の板厚 t に対する比「 R_m/t 」は約 $\left[\quad \right]$ と大きいことから、炉心その胴部はき裂付き平板で近似している。図4に平板近似モデルを示す。また、表3に平板近似した想定き裂の寸法を示す。

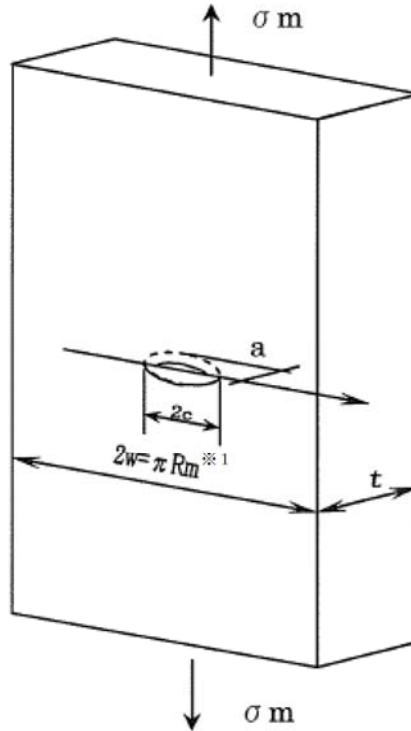


図4 想定き裂の平板近似モデル

※1 Raju-Newmanの式において、板幅(w)が小さいほど、平板端部の影響を受けて応力拡大係数は大きくなる。円筒形状である炉心そのを平板にて模擬するため、端部があるわけではないので、平板端部の影響を考慮する必要はないと考え、十分に大きな幅として半周分に設定している。

なお、Raju-Newmanの式の適用範囲として、き裂長さ(c)と板幅(w)の関係が $c/w < 0.5$ ($w > 2c$)と規定されている。仮に、最も板幅が小さく、平板端部の影響を受ける $w=2c$ ($\left[\quad \right]$ mm)とした場合でも、応力拡大係数は $\left[\quad \right]$ MPa \sqrt{m} となり^(※2)、応力拡大係数に対する板幅の影響が軽微で、許容値 (51MPa \sqrt{m}) に対して十分な裕度があることを確認している。

※2 $2w = \pi R_m$ ($\left[\quad \right]$ mm) の場合、応力拡大係数は8.1 MPa \sqrt{m}

表3 想定き裂寸法

| | き裂長さ (2c) | き裂深さ (a) | 板幅 (2w) | 板厚 (t) |
|---------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 寸法 (mm) | $\left[\quad \right]$ | $\left[\quad \right]$ | $\left[\quad \right]$ | $\left[\quad \right]$ |

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

2. 解析結果

(1) 中性子照射を受けたステンレス鋼の破壊靱性値 (許容値)

評価に用いるステンレス鋼の破壊靱性値 (K_{IC}) は、(財)発電設備技術検査協会の「プラント長寿命化技術開発」で得られた照射ステンレス鋼の J_{IC} 試験結果を用いて、 J_{IC} 最下限値 14 kJ/m^2 から以下の換算式により算出した破壊靱性値 $K_{IC}=51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ とした。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$$

E : 縦弾性係数 (172000 N/mm^2 at 350°C)

ν : ポアソン比 (0.3)

J_{IC} : 破壊靱性値の下限 (14 kJ/m^2 at 350°C)

(2) 地震時の応力拡大係数

応力拡大係数の算出は、以下のとおり、平板中の半楕円表面き裂の応力拡大係数 K を求めるRaju-Newmanの式*を用いた。

$$K = (\sigma_m + H\sigma_b) \sqrt{(\pi a/Q)} \cdot F$$

ここで、

$$Q = 1 + 1.464(a/c)^{1.65} (a/c \leq 1)$$

$$F = [M_1 + M_2(a/t)^2 + M_3(a/t)^4] (1 - k^2 \cos^2 \phi)^{1/4} g \cdot fw$$

$$M_1 = 1.13 - 0.09(a/c)$$

$$M_2 = -0.54 + 0.89/[0.2 + (a/c)]$$

$$M_3 = 0.5 - 1.0/[0.65 + (a/c)] + 14[1.0 - (a/c)]^{2.4}$$

$$g = 1 + [0.1 + 0.35(a/t)^2] (1 - \sin \phi)^2$$

$$fw = [\sec\{\frac{\pi c}{2w} \sqrt{(a/t)}\}]^{1/2}$$

$$k^2 = 1 - (a/c)^2$$

$$H = H_1 + (H_2 - H_1) \sin^p \phi$$

$$p = 0.2 + (a/c) + 0.6(a/t)$$

$$H_1 = 1 - 0.34(a/t) - 0.11(a/c)(a/t)$$

$$H_2 = 1 + G_1(a/t) + G_2(a/t)^2$$

$$G_1 = -1.22 - 0.12(a/c)$$

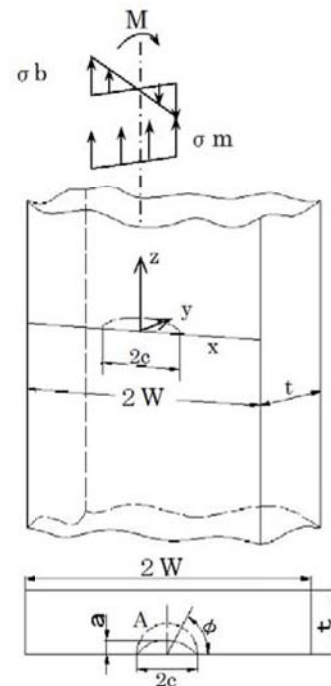
$$G_2 = 0.55 - 1.05(a/c)^{0.75} + 0.47(a/c)^{1.5}$$

a : き裂深さ、 $2c$: 表面き裂長さ、 t : 板厚、 $2w$: 板幅、

σ_m : 引張応力、 σ_b : 曲げ応力

適用範囲 : $0 < a/c \leq 1.0$ 、 $0 \leq a/t < 1.0$ 、 $c/w < 0.5$ 、 $0 \leq \phi \leq \pi$

* : Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.



(3) 評価結果

S_s地震時の応力拡大係数は $K=8.1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となり、照射ステンレス鋼の破壊靱性値 $51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ を下回っていることから不安定破壊が生じることはなく、耐震安全性評価上問題ない。

表4 評価結果

| 地震条件 | 応力拡大係数 | 許容値 | 比 |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------|------|
| S _s | $8.1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ | $51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ | 0.16 |

以 上

美浜3号炉-40年目追加評価-5

| | |
|------|---|
| タイトル | 保全実績の評価の実施期間について また、「格納容器排気筒ダクトの損傷」事象を経年劣化事象に起因する事象ではないとした理由について |
| 説明 | <p>保全実績の評価対象期間については、劣化状況評価書の総括評価書（本冊）4.2.2 国内外の新たな運転経験および最新知見の反映と同様、2015年5月を終点とし10年間（2005年5月以降から2015年5月）としている。</p> <p>また、2005年8月5日に美浜3号機で発生した「格納容器排気ダクト等の損傷」については、原子力施設情報公開ライブラリーの「原因調査の概要」において「ファン運転による内圧変動によりダクトが振動し、溶接部に疲労限を超える応力が作用したことにより疲労き裂が発生した」となっていること、「再発防止対策」が「取付板を厚いもの（板厚2.3mm → 6.0mm）に取替える」としていることから設計不良と判断し、経年劣化事象に起因する事象ではないとした。</p> |

【登録日】 2005/08/26 【更新日】 2006/03/16

基本情報

| | | | |
|-----------|-------------------|-----------------------|--------------|
| 通番 | 3216 | 報告書番号 | 2005-関西-M013 |
| 情報区分 | 保全品質情報 | 報告書状態 | 最終報告 |
| 事象発生日時 | 2005年 08月 05日 | 事象発生日時(補足) | |
| 会社名 | 関西電力株式会社 | 発電所 | 美浜発電所3号 |
| 件名 | 格納容器排気ダクト等の損傷について | | |
| 国への法令報告根拠 | なし | 国際原子力 事象評価尺度(INES) | 評価不要 |

発生箇所および発生時の状況

| | |
|----------|--|
| 事象発生箇所 | 【設備】換気空調設備 【系統】格納容器換気空調系 【機器】排気塔・煙突>煙突【部品】その他(格納容器排気ダクト等) |
| 事象発生時の状況 | 美浜発電所3号機は、定期検査中、平成17年8月3日から補助建屋・格納容器空調ダクト等の点検を実施していたところ、A格納容器排気ファン出口の風量検出器取出部がダクトから外れていることを確認した。また、その他に補助建屋排気ダクト溶接部の割れなどが、放射線管理建屋内で6箇所認められた。 補助建屋排気ダクト溶接部の割れなどが認められた6箇所については、ステンレステープによる養生等、応急補修を行った。 今回、認められた損傷箇所は、いずれも放射線管理建屋内であり、施設外へ放射能の放出はなく、環境への影響はない。 |

原因

| | |
|---------|--|
| 原因調査の概要 | 調査の結果、A格納容器排気系ファン出口風量検出器取出部等の溶接部の割れは、疲労割れの特徴を示していた。疲労割れに関する調査を行った結果、ファン運転による内圧変動によりダクトが振動し、溶接部に疲労限を超える応力が作用したことにより疲労き裂が発生し、割れに至ったと推定される。 |
| 事象の原因 | 溶接部に疲労限を超える応力が作用したことによる疲労 |
| 原因分類 | |
| 事象の種別 | 時間依存性のない事象(偶発事象を含む) 火災に該当しない事象 |

再発防止対策

| | |
|---------|---|
| 再発防止対策 | A格納容器排気系ファン出口風量検出器取出部については、ビーター管※取付板を厚いもの(板厚2.3mm → 6.0mm)に取替えるとともに、ビーター管についても、剛構造のものに取り替える。 補助建屋排気ファン出口煙感知器取付部等については、当該ダクトに補強用部材を追加することにより、ダクト面の振動等による発生応力を低減する。 ※ 圧力取り出し用配管 |
| 水平展開の検討 | 不要 |

参考資料

| | |
|---------|---------------------|
| 添付資料 | 状況図 M3概要図 (1,959KB) |
| プレスリリース | |

プラント状況

| | | | |
|----------|-------|----------|-------|
| 発生時運転モード | その他 | 発生前の電気出力 | 0[MW] |
| 発見の方法 | 作業・点検 | | |
| 発電所への影響 | なし | | |

分析用情報

| | | | |
|-------------|----|------------|----|
| 外部への放射能の影響 | なし | | |
| 保安規定違反 | なし | | |
| 運転上の制限外への移行 | なし | | |
| 自動で作動した安全系 | なし | 手動で作動した安全系 | なし |

関連情報

| | |
|---------------|--|
| 同発電所で発生した同様事例 | |
| その他 | |