

川内原子力発電所 1 号炉 劣化状況評価
(低サイクル疲労)

補足説明資料

2023年9月5日
九州電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る
事項ですので公開することはできません。

目次

| | |
|-----------------------|----|
| 1. 概 要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 1 |
| 3. 評価対象と評価手法 | 4 |
| 3.1 評価対象 | 4 |
| 3.2 評価手法 | 5 |
| 4. 代表機器の技術評価 | 6 |
| 4.1 健全性評価 | 6 |
| 4.2 現状保全 | 18 |
| 4.3 総合評価 | 19 |
| 4.4 高経年化への対応 | 19 |
| 5. 代表機器以外の技術評価 | 20 |
| 5.1 健全性評価 | 20 |
| 5.2 現状保全 | 22 |
| 5.3 総合評価 | 23 |
| 5.4 高経年化への対応 | 23 |
| 6. まとめ | 24 |
| 6.1 審査ガイド適合性 | 24 |
| 6.2 長期施設管理方針として策定する事項 | 26 |

別紙

| | |
|---|------|
| 別紙 1. 過渡回数推定値の算出方針について | 1-1 |
| 別紙 2. 建設時に考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて | 2-1 |
| 別紙 3. 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について | 3-1 |
| 別紙 4. クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について | 4-1 |
| 別紙 5. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について | 5-1 |
| 別紙 6. 環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法について | 6-1 |
| 別紙 7. 代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について | 7-1 |
| 別紙 8. 詳細評価法による環境効果補正係数の算出手順について | 8-1 |
| 別紙 9. 有限要素法解析における応力分類について | 9-1 |
| 別紙 10. 疲労評価に用いた過渡回数のうち過渡項目No.17「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」の過渡回数が30年目評価から40年目評価において減少している理由について | 10-1 |
| 別紙 11. 経年劣化傾向の評価 | 11-1 |

1. 概 要

本資料は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第 113 条規定に基づき実施した劣化状況評価のうち、低サイクル疲労の評価結果について補足説明するものである。

低サイクル疲労とは、プラントの起動・停止時等に受ける温度・圧力により、機器の構造不連続部等に局所的に大きな応力変動が生じ、それが供用期間中に繰り返された場合に、疲労割れの発生に至る可能性がある劣化事象である。

このような応力変動の影響を考慮しても、評価対象期間（運転開始後 60 年）を通して疲労割れの発生に至らないことを確認する必要がある。

ここでは、原子炉容器を代表とし、具体的な評価を「4. 代表機器の技術評価」に、その他の評価対象については、「5. 代表機器以外の技術評価」にて評価を実施する。

2. 基本方針

低サイクル疲労に対する評価の基本方針は、対象機器について低サイクル疲労に対する技術評価を行い、運転開始後 60 年時点までの期間において「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項を満たすことを確認することである。

低サイクル疲労についての要求事項を表 1 に整理する。

表 1 (1/2) 低サイクル疲労についての要求事項

| 審査基準、ガイド | 要求事項 |
|------------------------------------|---|
| <p>実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準</p> | <p>2. 実用炉規則第113条第2項第2号に掲げる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価の結果、延長しようとする期間において、同評価の対象となる機器・構造物が下表に掲げる要求事項（以下「要求事項」という。）に適合すること、又は同評価の結果、要求事項に適合しない場合には同項第3号に掲げる延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針の実施を考慮した上で、延長しようとする期間において、要求事項に適合すること。</p> <p>○健全性評価の結果、評価対象部位の疲れ累積係数が1を下回ること。</p> |
| <p>実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド</p> | <p>3. 2 (1) 「延長しようとする期間における運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価」（以下「劣化状況評価」という。）の記載内容について評価の対象とする機器・構造物及び評価手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての経年劣化に関する技術的な評価におけるものと同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴うものとして評価を行い、その結果の記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3. 1の特別点検の結果を踏まえた劣化状況評価。</p> <p>④実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。）（運転開始以後40年を経過する日において適用されているものに限る。）に定める基準に照らした評価。</p> <p>3. 3 (1) 「延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針」（以下「施設管理方針」という。）の策定に係る手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての施設管理に関する方針の策定と同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3. 2の劣化状況評価を踏まえた施設管理方針。</p> |

表 1 (2/2) 低サイクル疲労についての要求事項

| 審査基準、ガイド | 要求事項 |
|----------------------------------|--|
| <p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p> | <p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p> |
| <p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p> | <p>3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>③運転開始後40年を迎えるプラントの高経年化技術評価には、当該申請に至るまでの間の運転に伴い生じた原子炉その他の設備の劣化の状況の把握のために実施した点検（特別点検）の結果を適切に反映すること。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>ロ 実用炉規則第82条第2項又は第3項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から40年間に同条第2項又は第3項に規定する延長する期間を加えた期間</p> <p>3. 2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p> |

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

低サイクル疲労の評価対象機器、代表機器は以下の条件に該当する機器を抽出する。

① 低サイクル疲労に係る評価対象機器

プラントの起動・停止時等に温度・圧力変化の影響を受ける機器を評価対象として抽出している。

② 代表機器の選定

評価対象機器のうちプラント安全上最も重要と考える「原子炉容器」を代表機器として選定し、具体的な評価結果を「4. 代表機器の技術評価」に示す。

なお、代表機器以外の機器の評価結果については「5. 代表機器以外の技術評価」に示す。

3.2 評価手法

(1) 低サイクル疲労評価のフロー

低サイクル疲労の技術評価のフローを図1に示す。

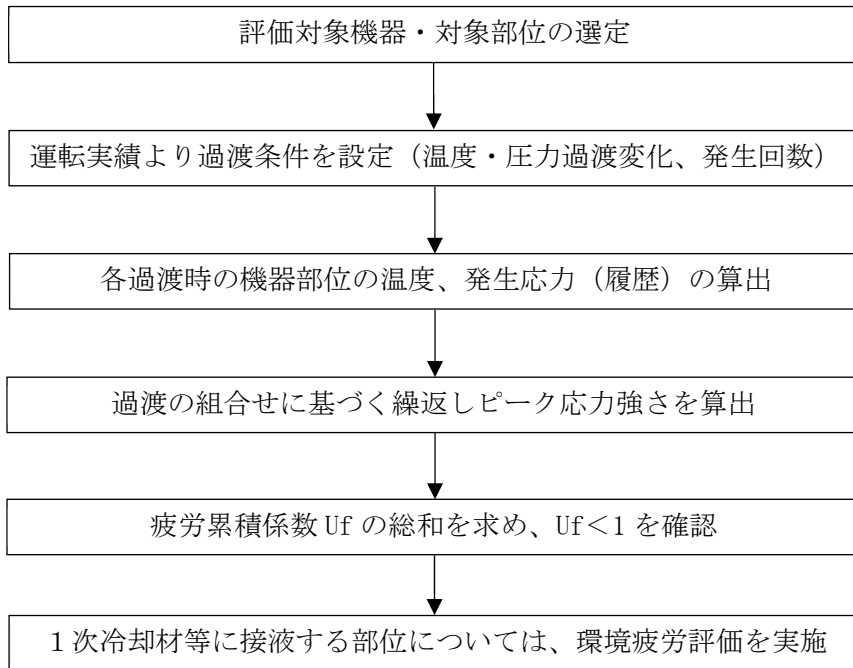


図1 低サイクル疲労の技術評価フロー

(2) 適用規格・基準

低サイクル疲労の評価に用いた規格・基準及び評価手法を以下に示す。

- ① 「日本原子力学会 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008（AESJ-SC-P005：2008）」（以下、「実施基準」という。）
- ② 「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」（以下、「設計・建設規格」という。）
- ③ 「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」（以下、「環境疲労評価手法」という。）

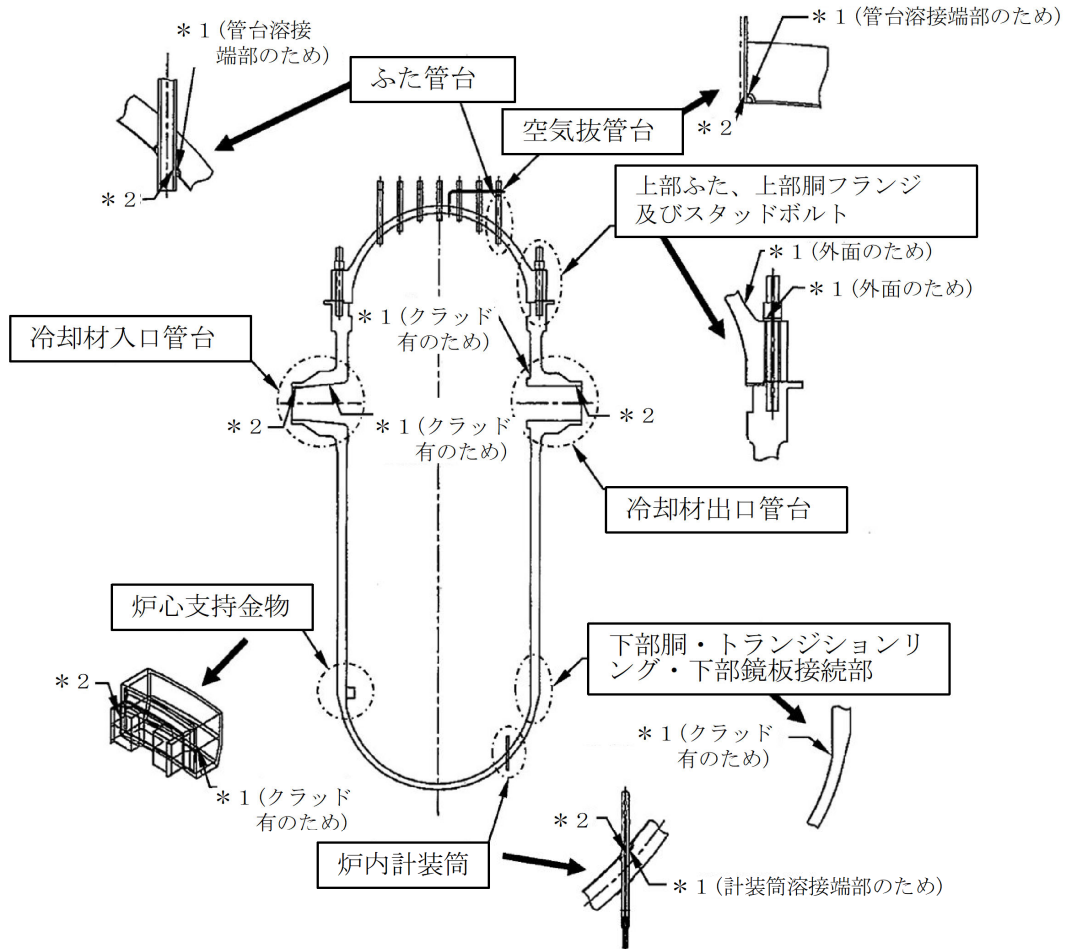
4. 代表機器の技術評価

4.1 健全性評価

(1) 原子炉容器

a. 評価対象部位の選定

原子炉容器の評価対象部位を図2に、選定理由を表2に示す。



*1: 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大) (非接液部の場合は () 内に理由を記載)

*2: 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図2 原子炉容器の疲労評価対象部位

表2 評価対象部位の選定理由

| 評価対象部位 | | 選定理由 |
|--------|------------------------|--------------------|
| 原子炉容器 | 冷却材入口管台 | 建設時工認評価部位 |
| | 冷却材出口管台 | 建設時工認評価部位 |
| | ふた管台 | 原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位 |
| | 空気抜管台 | 原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位 |
| | 炉内計装筒 | 建設時工認評価部位 |
| | 上部ふた | 原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位 |
| | 上部胴フランジ | 建設時工認評価部位 |
| | 下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部 | 建設時工認評価部位 |
| | 炉心支持金物 | 建設時工認評価部位 |
| | スタッドボルト | 原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位 |

b. 過渡回数の設定

過渡条件の繰返し回数は「実施基準」に基づき、運転実績に基づく2019年度末までの過渡回数を用い、運転開始後60年時点の推定過渡回数（評価用過渡回数）を設定する。

過渡回数策定方針特記事項を表3に、評価用過渡回数の略式図を図3に、実績過渡回数及び年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱いを図4に、疲労評価に用いた過渡回数を表4に示す。

具体的には以下に示す設定方法に基づき未取替機器（上部ふた、ふた管台、空気抜管台及びスタッドボルトを除く）、取替機器（上部ふた、ふた管台、空気抜管台及びスタッドボルト）の2種の過渡回数を設定する。

なお、設定する過渡は運転状態Ⅰ（通常運転時の運転状態）、運転状態Ⅱ（供用期間中に予想される機器の単一故障等による通常運転状態からの逸脱状態）とした。

① 未取替機器

$$\begin{aligned} & 60 \text{ 年時点の推定過渡回数（評価用過渡回数）}^{\ast} \\ & \geq \text{実績過渡回数} + (\text{実績過渡回数に基づく1年間当たりの平均過渡回数}) \\ & \quad \times \text{余裕} \times \text{残年数} \end{aligned}$$

② 取替機器（上部ふた、ふた管台、空気抜管台及びスタッドボルト）

$$\begin{aligned} & 60 \text{ 年時点の推定過渡回数（評価用過渡回数）}^{\ast} \\ & \geq \text{取替後実績過渡回数} + (\text{未取替機器の1年間当たり平均過渡回数}) \\ & \quad \times \text{余裕} \times \text{残年数} \end{aligned}$$

※ 60年時点の推定過渡回数（評価用過渡回数）の設定にあたっては、算出過程の中で60年時点の推定過渡回数に保守性を持たせるために、小数点以下を切り上げている。

また、過渡回数推定値の算出方針について別紙1に、建設時に考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて別紙2示す。

表 3 過渡回数策定方針特記事項

| 項目 | | 内容 |
|----|---------------------------------|--|
| 1 | 定常負荷運転時の変動 | 有意な変動は生じていないことから、カウントしない。 |
| 2 | 未経験過渡回数 | 電力共通研究「応力解析手法の高度化」のデータを使用する。 |
| 3 | 5%/min 負荷上昇、減少の平均過渡回数 | 稼働率向上を考慮すると、ステムフリー試験回数が増加するため、負荷上昇、減少の平均回数は <input type="text"/> とする。 |
| 4 | 起動・停止 (温度上昇・下降率 55.6°C/h) | 起動・停止回数が異なる場合は、保守側に回数が多い方に設定した。 なお、過渡変化率は、評価上最も厳しい設計過渡条件としており、十分保守的な値を設定した。 |
| 5 | 燃料交換 | 計算上は 0.76 回/年であるが、 <input type="text"/> とする。 |
| 6 | タービン回転試験 | プラント建設時の機能試験に係る過渡のため、今後は発生しない。 |
| 7 | 取替機器の実績過渡 | 原子炉容器上部ふた及びスタッドボルトは第 19 回定検（2008 年度）の取替後、2019 年度末までの実績過渡で評価。 |
| 8 | 取替機器の平均過渡回数について | 平均過渡回数は未取替機器と同様（スタッドボルトの起動・停止及び 1 次系漏洩試験を除く）とする。 |
| 9 | 試運転の実績過渡回数 | 実績過渡回数に含めるが、試運転過渡事象は試運転時特有のものであり、年平均過渡回数の算定には含めない。 |
| 10 | 推定過渡回数の算出に用いる残年数 | 評価上、実績過渡回数調査時点（2019 年度末）から運転開始後 60 年時点までの期間を残年数とする。 |
| 11 | 評価用過渡回数の余裕 | 評価用過渡回数は、年平均過渡回数に残年数を掛けた値に十分な余裕（1 を超える値）を考慮し設定する。川内 1 号炉については、1.5 とする |

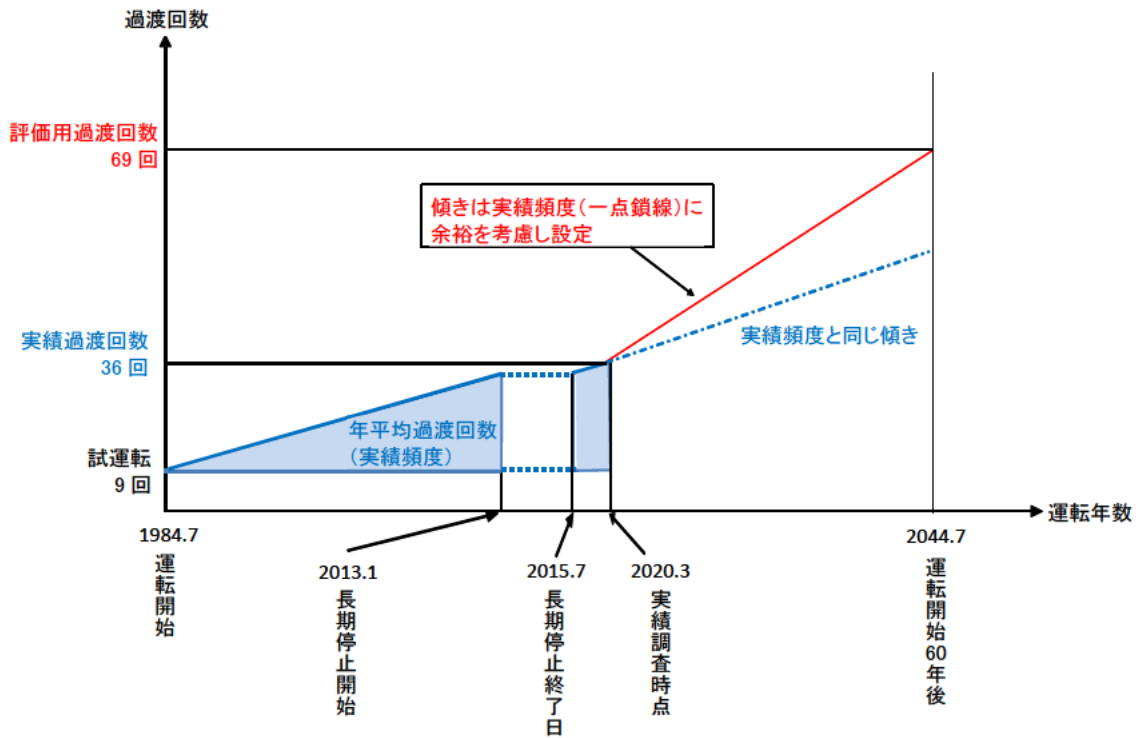


図3 評価用過渡回数の略式図(「停止」の例)

| | 営業運転開始時点 1984.7.4 | | 現時点 (実績調査時点) 2020.3.31 | 運転開始後 60年時点 2044.7.4 |
|--|----------------------|-------|------------------------------|----------------------------|
| 実際の 運転状況 | 通常の 断続運転 | 21回定検 | 通常の 断続運転 | |
| 評価上の 取扱い | ① | ② | ① | ③ |
| <p>① 通常の断続運転状態の期間であるため、この期間に発生した過渡の回数を実績値としてカウントするとともに、年平均過渡回数の算出に考慮している。</p> <p>② 評価上、長期停止期間として取り扱い、過渡の発生回数は0回とする。</p> <p>③ 評価上、通常の断続運転状態が継続している期間として取り扱い、①の期間における年平均過渡回数に余裕を考慮した頻度で過渡が発生するものと想定する。</p> | | | | |

図4 実績過渡回数及び年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱い

表 4(1/2) 未取替機器（上部ふた、ふた管台、空気抜管台及びスタッドボルトを除く）の
疲労評価に用いた過渡回数

運転状態Ⅰ

| 過渡項目 | 過渡回数 特記事項*2 | 運転実績に基づく過渡回数 | |
|----------------------|----------------|--------------|--------------------|
| | | 2019年度末時点 | 運転開始後60年 時点の推定値 |
| 起動（温度上昇率55.6℃/h） | 4、9 | 38 | 69 |
| 停止（温度下降率55.6℃/h） | 4、9 | 36 | 69 |
| 負荷上昇（負荷上昇率5%/min） | 3、9 | 335 | 809 |
| 負荷減少（負荷減少率5%/min） | 3、9 | 324 | 798 |
| 90%から100%へのステップ状負荷上昇 | 2、9 | 3 | 5 |
| 100%から90%へのステップ状負荷減少 | 9 | 4 | 6 |
| 100%からの大きいステップ状負荷減少 | 2、9 | 1 | 3 |
| 定常負荷運転時の変動*1 | 1 | — | — |
| 燃料交換 | 5 | 25 | 62 |
| 0%から15%への負荷上昇 | 9 | 39 | 72 |
| 15%から0%への負荷減少 | 9 | 30 | 61 |
| 1 ループ停止 / 1 ループ起動 | | | |
| Ⅰ) 停止 | 2 | 0 | 2 |
| Ⅱ) 起動 | 2 | 0 | 2 |

運転状態Ⅱ

| 過渡項目 | 過渡回数 特記事項*2 | 運転実績に基づく過渡回数 | |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------------|
| | | 2019年度末時点 | 運転開始後60年 時点の推定値 |
| 負荷の喪失 | 2、9 | 5 | 7 |
| 外部電源喪失 | 2、9 | 1 | 4 |
| 1次冷却材流量の部分喪失 | 2 | 0 | 2 |
| 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 | 9 | 3 | 6 |
| Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ | 2 | 0 | 2 |
| Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ | 2 | 0 | 2 |
| 1次冷却系の異常な減圧 | 2 | 0 | 2 |
| 制御棒クラスタの落下 | 2 | 0 | 2 |
| 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | 2 | 0 | 2 |
| 1次冷却系停止ループの誤起動 | 2 | 0 | 2 |
| タービン回転試験 | 6、9 | 2 | 2 |
| 1次系漏えい試験 | 9 | 31 | 61 |

*1：設計評価においては、1次冷却材温度±1.7℃、1次冷却材圧力±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：過渡回数特記事項10、11は記載省略。

表 4(2/2) 取替機器（上部ふた、ふた管台、空気抜管台及びスタッドボルト）の
疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

| 過渡項目 | 過渡回数 特記事項*2 | 運転実績に基づく過渡回数 | |
|----------------------|----------------|--------------|----------------------|
| | | 2019年度末時点 | 運転開始後60年 時点の推定値*3 |
| 起動（温度上昇率55.6℃/h） | 4、9 | 8 | 39(42)*4 |
| 停止（温度下降率55.6℃/h） | 4、9 | 8 | 39(42)*4 |
| 負荷上昇（負荷上昇率5%/min） | 3 | 72 | 546 |
| 負荷減少（負荷減少率5%/min） | 3 | 72 | 546 |
| 90%から100%へのステップ状負荷上昇 | 2 | 0 | 2 |
| 100%から90%へのステップ状負荷減少 | 2 | 0 | 2 |
| 100%からの大きいステップ状負荷減少 | 2 | 0 | 2 |
| 定常負荷運転時の変動*1 | 1 | — | — |
| 燃料交換 | 5 | 6 | 43 |
| 0%から15%への負荷上昇 | — | 7 | 40 |
| 15%から0%への負荷減少 | — | 7 | 38 |
| 1 ループ停止 / 1 ループ起動 | | | |
| Ⅰ) 停止 | 2 | 0 | 2 |
| Ⅱ) 起動 | 2 | 0 | 2 |

運転状態 II

| 過渡項目 | 過渡回数 特記事項*2 | 運転実績に基づく過渡回数 | |
|-----------------------|----------------|--------------|----------------------|
| | | 2019年度末時点 | 運転開始後60年 時点の推定値*3 |
| 負荷の喪失 | 2 | 0 | 2 |
| 外部電源喪失 | 2 | 0 | 3 |
| 1次冷却材流量の部分喪失 | 2 | 0 | 2 |
| 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 | — | 0 | 3 |
| Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ | 2 | 0 | 2 |
| Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ | 2 | 0 | 2 |
| 1次冷却系の異常な減圧 | 2 | 0 | 2 |
| 制御棒クラスタの落下 | 2 | 0 | 2 |
| 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | 2 | 0 | 2 |
| 1次冷却系停止ループの誤起動 | 2 | 0 | 2 |
| タービン回転試験 | 6 | 0 | 0 |
| 1次系漏えい試験 | — | 7 | 37 |

*1：設計評価においては、1次冷却材温度±1.7℃、1次冷却材圧力±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：過渡回数特記事項7、8、10、11は記載省略。

*3：運転開始後24年時点（第19回定期検査（2008年度））での上部ふた及びスタッドボルト取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、上部ふた及びスタッドボルト取替からプラント運転開始後60年時点までの年数である36年間の過渡回数とした。

*4：（ ）内はスタッドボルトの過渡回数を示す。

c. 応力解析、疲労累積係数算出

原子炉容器各部位（スタッドボルトを除く）の健全性評価は、設計・建設規格の規定に従い、大気環境中の疲労評価を行う。

供用状態A、B（運転状態Ⅰ、Ⅱ）の過渡条件に対し、P（圧力）、O（熱過渡）、M（機械的荷重）、D（自重）、T（熱膨張荷重）の各荷重を考慮して、応力解析を行い、過渡条件の組合せを考慮して疲労累積係数（ U_f ）を算出する。

接液部に対しては、環境疲労評価手法に従い、環境効果補正係数（ F_{en} ）を算出し、環境効果を考慮した疲労累積係数（ U_{en} ）を算出する。

スタッドボルトの健全性評価については、設計・建設規格の規定に従い、疲労評価を行う。

供用状態A、B（運転状態Ⅰ、Ⅱ）の過渡条件に対して、P（圧力）、O（熱過渡）、M（機械的荷重）の各荷重を考慮して、応力解析を行い、過渡条件の組合せを考慮して疲労累積係数（ U_f ）を算出する。

それぞれの疲労評価の解析フローを図5に示す。

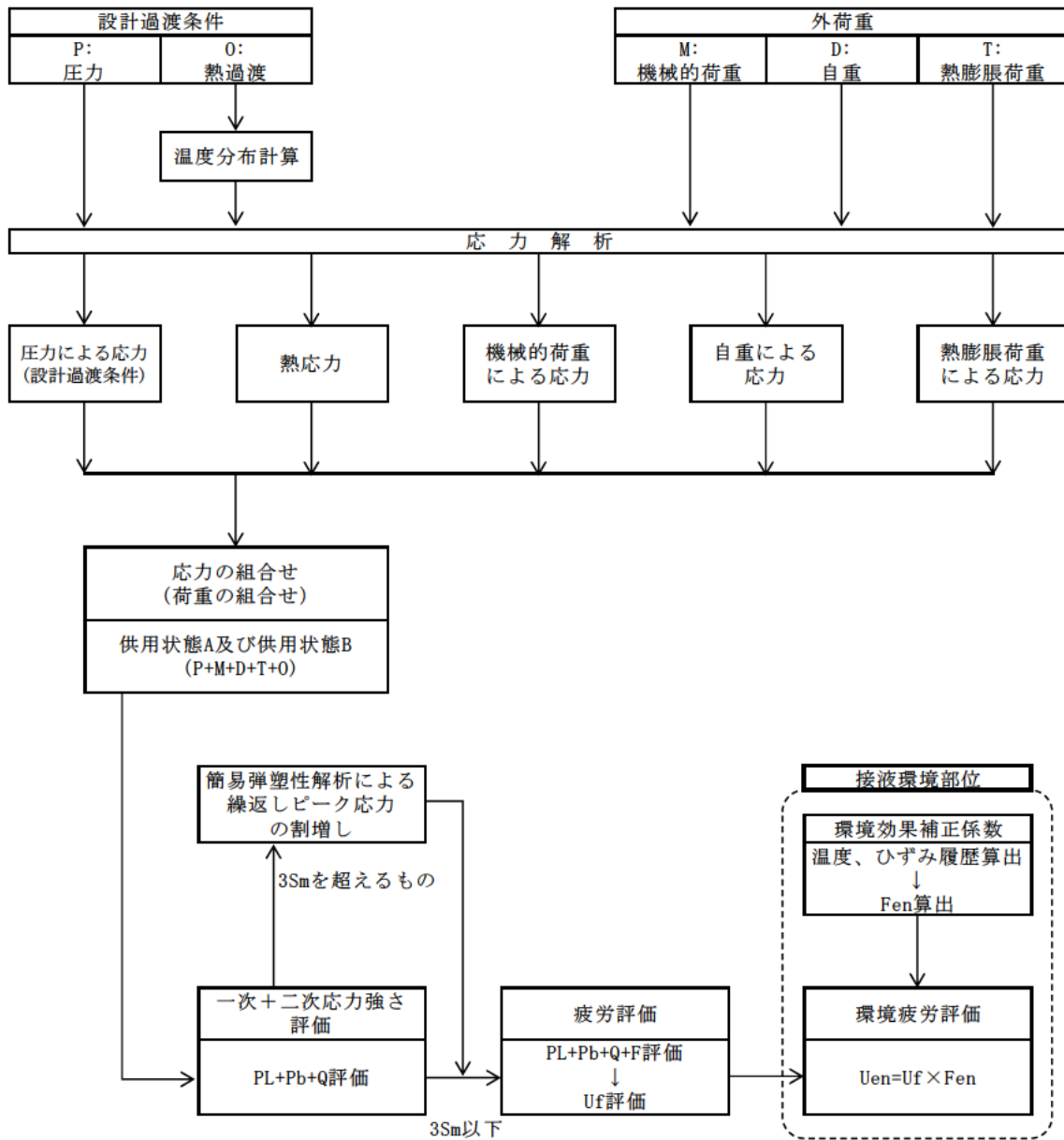


図 5(1/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルトを除く部位)

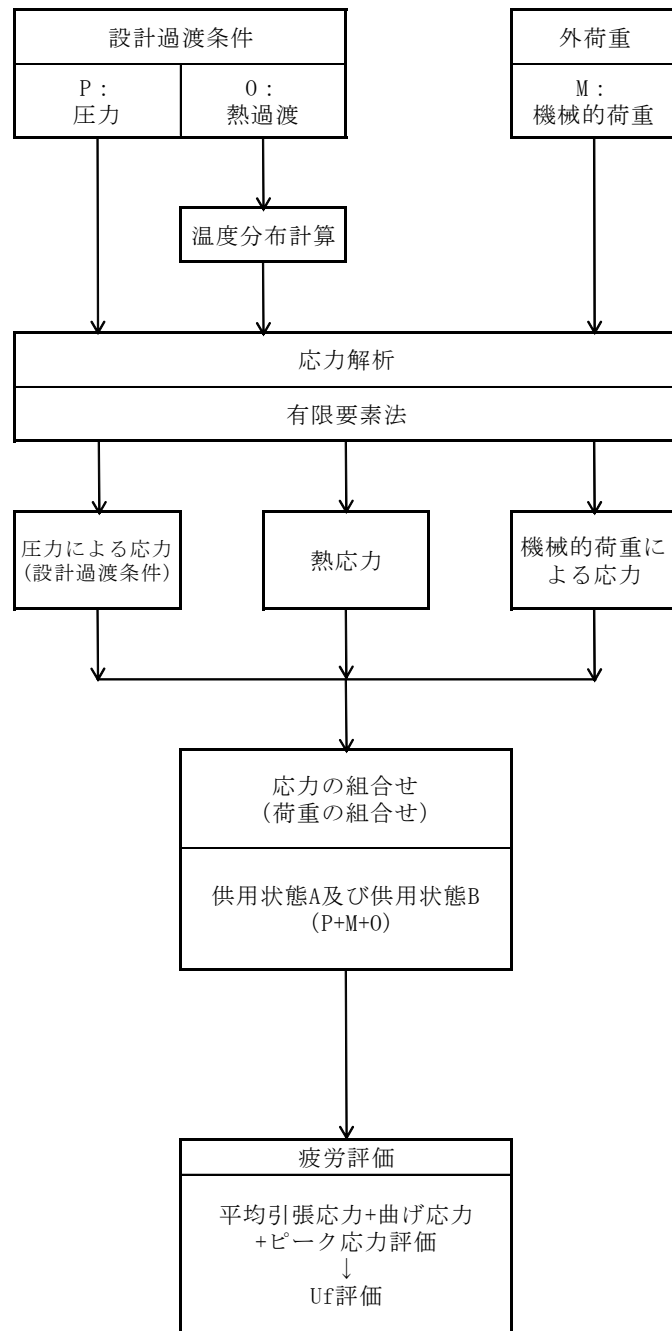


図 5(2/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルト)

d. 評価結果

設計・建設規格に基づき、大気環境中での疲労評価を行った結果、疲労累積係数(Uf)が1を下回ることを確認した。

さらに、接液環境にある評価点について環境疲労評価手法に基づき、接液環境を考慮した疲労評価を行った結果、疲労累積係数(Uen)が1を下回ることを確認した。

原子炉容器の疲労評価結果を表5に示す。

また、原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について別紙3、クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について別紙4に示す。

表5 原子炉容器の疲労評価結果

| 評価対象部位 | 疲労累積係数 (許容値：1) | |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|
| | 設計・建設規格 による解析 | 環境疲労評価手法 による解析 |
| 冷却材入口管台 | 0.037 | 0.001 ^{*2} |
| 冷却材出口管台 | 0.042 | 0.001 ^{*2} |
| ふた管台 ^{*1} | 0.107 | 0.001 ^{*2} |
| 空気抜管台 ^{*1} | 0.012 | 0.001 ^{*2} |
| 炉内計装筒 | 0.130 | 0.004 ^{*2} |
| 上部ふた ^{*1} 、上部胴フランジ | 0.007 | — ^{*3} |
| 下部胴・トランジションリング・ 下部鏡板接続部 | 0.004 | — ^{*3} |
| 炉心支持金物 | 0.005 | 0.001 ^{*2} |
| スタッドボルト ^{*1} | 0.204 | — ^{*3} |

*1：第19回定期検査時（2008年度）に原子炉容器上部ふた及びスタッドボルトを取替えているため、36年間の過渡回数を基に算出した。

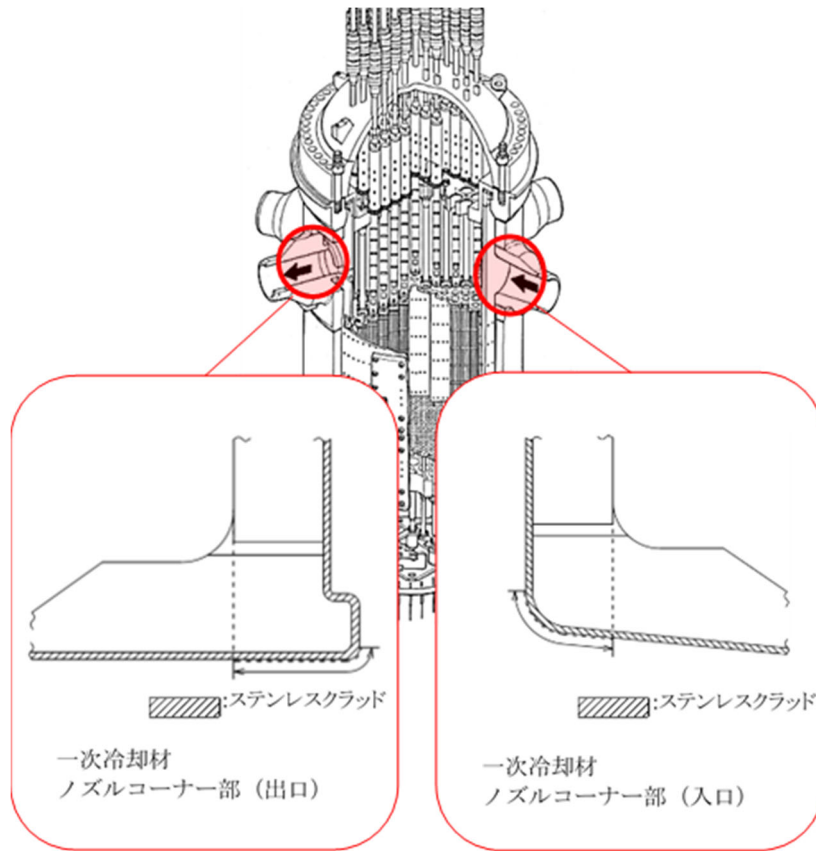
*2：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、疲労評価対象箇所と異なる。

*3：非接液部。

e. 特別点検を踏まえた劣化状況評価

運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、比較的疲労累積係数の高い原子炉容器出入口管台（合計6箇所）のノズルコーナー部に対して渦流探傷試験を実施した結果、1mm程度の欠陥が十分検出可能な渦流探傷試験により確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。

この結果より、内張り（ステンレスクラッド）に疲労割れ等の有意な経年劣化は発生しておらず、母材部はステンレスクラッドにより適切に保護されていることが確認できた。



4.2 現状保全

原子炉容器の評価対象部位における疲労割れに対する保全は、原子力規制委員会文書「実用発電用原子炉及びその付属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈の制定について」（平成26年8月6日付け原規技発第1408063号）及び「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格」に従った検査プログラム、試験方法及び試験範囲で供用期間中検査として超音波探傷検査、浸透探傷検査、目視確認（VT-1、VT-2、VT-3）を実施し、健全性を確認している。

原子炉容器内面の内張りに対しては、開放点検時に目視確認を実施し、内張りの損傷などの異常の有無を確認しており、これまでの点検の結果、問題のないことを確認できている。

なお、低サイクル疲労の予防保全の観点から行っている工事はない。

原子炉容器の供用期間中検査の内容を表6に示す。

表6 原子炉容器の供用期間中検査の内容

| 部 位 | 検査部位 | 検査内容 | 検査範囲 / 頻度 | 至近の検査実績 | 検査結果 |
|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------------|------|
| 冷却材入口管台 | 内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部 | ①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査 ③ベアメタル検査* | 100%/7年 | ①第25回定期検査 ②③第26回定期検査 | 良 |
| 冷却材出口管台 | 内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部 | ①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査 | 100%/7年 | ①②第25回定期検査 | 良 |
| ふた管台 | 制御棒駆動装置ハウジングの溶接継手 | 浸透探傷検査 | 25%/7年 | 第26回定期検査 | 良 |
| 空気抜管台 | 上部鏡板の貫通部 | 漏えい検査による目視確認(VT-2) | 毎定検 | 第26回定期検査 | 良 |
| 炉内計装筒 | 下部鏡板の貫通部 | ベアメタル検査* | 100%/3.5年 | 第25回定期検査 | 良 |
| 上部胴フランジ | 溶接部（円周方向） | 超音波探傷検査 | 100%/7年 | 第25回定期検査 | 良 |
| 下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部 | 溶接部（円周方向、長手方向） | 超音波探傷検査 | 100%/7年 | 第25回定期検査 | 良 |
| 炉心支持金物 | 胴との溶接部 | 目視確認(VT-3) | 100%/7年 | 第25回定期検査 | 良 |
| スタッドボルト | ボルト本体 | 超音波探傷検査 | 100%/7年 | 第26回定期検査 | 良 |
| | ナット | 目視確認(VT-1) | 100%/7年 | 第26回定期検査 | 良 |

*ベアメタル検査：加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおけるNi基合金使用部位に係る検査で、保温材をはがして地金にホウ酸の付着がないかを目視により確認する。

4.3 総合評価

運転開始後 60 年間の供用を想定した原子炉容器の疲労評価結果は、疲労累積係数が 1 を下回り、疲労割れの発生が問題となる可能性はないと考える。

また、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検で冷却材出入口管台に対して、渦流探傷試験を実施した結果、有意な欠陥は認められなかった。これにより、疲労評価結果の現時点での妥当性が確認できた。

ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、今後も実過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは超音波探傷検査等により、原子炉容器内面の内張りの欠陥については、有意な異常のないことを目視確認により検知可能であり、点検手法として適切である。

4.4 高経年化への対応

冷却材出入口管台等の疲労割れについては、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後 60 年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

5. 代表機器以外の技術評価

5.1 健全性評価

代表機器以外の機器についての評価結果一覧を表7に示す。

また、クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について別紙4、環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について別紙5、環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法について別紙6、代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について別紙7に示す。

表7(1/2) 代表機器以外の機器についての評価結果一覧

| 評価対象機器、部位 | | | 疲労累積係数 (許容値：1) | |
|-----------|------------|---|-------------------|-------------------|
| | | | 設計・建設規格 による解析 | 環境疲労評価手法 による解析 |
| ポンプ | 余熱除去ポンプ | ケーシング | 0.090 | 0.410 |
| | 1次冷却材ポンプ | ケーシング吸込ノズル | 0.001 | 0.001 |
| | | ケーシング吐出ノズル | 0.049 | 0.513 |
| | | ケーシング脚部 | 0.080 | 0.467*1 |
| 熱交換器 | 再生熱交換器 | 管板部 | 0.138 | 0.175 |
| | 余熱除去冷却器 | 管板部 | 0.048 | 0.072 |
| | 蒸気発生器 | 管板廻り | 0.097 | 0.117*1 |
| | | 給水入口管台 | 0.096 | 0.307*2 |
| 容器 | 加圧器 | スプレイライン用管台 | 0.049 | 0.051*1*2 |
| | | サージ用管台 | 0.033 | 0.201 |
| | 機械ペネトレーション | 余熱除去出口配管貫通部 端板 | 0.001 | —*3 |
| | | 主蒸気管貫通部伸縮継手 | 0.021 | —*3 |
| | | 主給水管貫通部伸縮継手 | 0.235 | —*3 |
| 配管 | ステンレス鋼配管 | 余熱除去系統出口配管 (1次冷却材管高温側余熱除去管台～余熱除去入口弁(内隔離弁)) | 0.001 | 0.020 |
| | | 余熱除去系統出口配管 (余熱除去入口弁(内隔離弁)～原子炉格納容器貫通部) | 0.021 | 0.132 |

*1：接液部のうち疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

*2：熱成層による発生応力を含めた解析であり、3次元有限要素法を用いた評価である。また、熱成層を考慮した応力評価の結果最も厳しい箇所について評価しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

*3：非接液部。

表7(2/2) 代表機器以外の機器についての評価結果一覧

| 評価対象機器、部位 | | | 疲労累積係数 (許容値：1以下) | |
|---------------------------------|----------|---------------------------------------|---------------------|-------------------|
| | | | 設計・建設規格 による解析 | 環境疲労評価手法 による解析 |
| 配管 | ステンレス鋼配管 | 加圧器サージ配管 | 0.008 | 0.004*2 |
| | | 加圧器スプレイ配管 | 0.009 | 0.118*2 |
| | 炭素鋼配管 | 主給水系統配管 「原子炉格納容器貫通部～ 蒸気発生器給水管台」 | 0.016 | 0.119 |
| | 1次冷却材管 | ホットレグ | 0.001 | 0.003 |
| | | クロスオーバーレグ | 0.002 | 0.009 |
| | | コールドレグ | 0.001 | 0.004 |
| | | 加圧器サージ管台 | 0.031 | 0.162 |
| | | 蓄圧タンク注入管台 | 0.008 | 0.031 |
| | | 安全注入管台 | 0.007 | 0.023 |
| | | 充てん管台 | 0.003 | 0.023 |
| 弁 | 仕切弁 | R H R S 入口隔離弁弁箱 | 0.004 | 0.113 |
| | 玉形弁 | 加圧器水位制御弁弁箱 | 0.051 | 0.693 |
| | スイング逆止弁 | 蓄圧タンク出口第2逆止弁 弁箱 | 0.099 | 0.915 |
| | リフト逆止弁 | 加圧器補助スプレイ逆止弁 弁箱 | 0.011 | 0.065 |
| 炉内 構造物 | 炉心支持構造物 | 上部炉心支持板 | 0.003 | 0.020 |
| | | 上部炉心支持柱 | 0.001 | 0.001 |
| | | 上部炉心板 | 0.001 | 0.002 |
| | | 下部炉心板 | 0.003 | 0.026 |
| | | 下部炉心支持柱 | 0.002 | 0.030 |
| | | 下部炉心支持板 | 0.002 | 0.022 |
| | | 炉心槽下部接続部 | 0.001 | 0.001 |
| 重 機 器 サ ポ ー ト | 加圧器 | 加圧器スカート溶接部 | 0.145 | —*3 |

*2：熱成層による発生応力を含めた解析であり、3次元有限要素法を用いた評価である。また、熱成層を考慮した応力評価の結果最も厳しい箇所について評価しており、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。

*3：非接液部。

5.2 現状保全

代表機器以外の現状保全を表8に示す。なお、低サイクル疲労の予防保全の観点から行っている工事は無い。

表8(1/2) 代表機器以外の現状保全

| 評価対象機器、部位 | | 現状保全内容 | 検査範囲 / 頻度 | 至近の検査実績 | 検査結果 | |
|-----------|----------------|---|---|----------------------------|-------------------------|---|
| ポンプ | 余熱除去ポンプ | ケーシング | 目視確認 | 1回/5定検 | 第26回定期検査 | 良 |
| | 1次冷却材ポンプ | ケーシング | ①ケーシング内面の目視確認(VT-3) ②漏えい検査(VT-2) | ①100%/7年(1台) ②毎定検 | ①第24回定期検査 ②第26回定期検査 | 良 |
| 熱交換器 | 再生熱交換器 | 管板部 | 漏えい検査(VT-2) | 1回/10年 | 第26回定期検査 | 良 |
| | 余熱除去冷却器 | 管板部 | ①漏えい検査(VT-2) ②目視確認 | ①②1回/10定検 | ①②第26回定期検査 | 良 |
| | 蒸気発生器 | 管板廻り | ①溶接部の超音波探傷検査 ②内張りの目視確認 ③漏えい試験(VT-2) | ①25%/7年 ②毎定検 ③1回/10年 | ①②③第26回定期検査 | 良 |
| | | 給水入口管台 | 漏えい試験(VT-2) | 1回/10年 | 第24回定期検査 | |
| 容器 | 加圧器 | スプレイライン用管台 | ①溶接部の超音波探傷検査 ②溶接部の浸透探傷検査 ③漏えい検査(VT-2) | ①25%/7年 ②25%/7年 ③毎定検 | ①②第24回定期検査 ③第26回定期検査 | 良 |
| | | サージ用管台 | ①溶接部の超音波探傷検査 ②漏えい検査(VT-2) | ①25%/7年 ②毎定検 | ①②第26回定期検査 | |
| | 機械 ベネトレーション | 余熱除去出口配管貫通部端板 | 原子炉格納容器漏えい率試験 | 2回/3定検 | 第26回定期検査 | 良 |
| | | 主蒸気管貫通部伸縮継手 | | | | |
| | | 主給水管貫通部伸縮継手 | | | | |
| 配管 | ステンレス鋼配管 | 余熱除去系統出口配管(1次冷却材管高温側余熱除去管台～余熱除去入口弁(内隔離弁)) | ①溶接部の超音波探傷検査 ②漏えい検査(VT-2) | ①25%/7年 ②毎定検 | ①②第26回定期検査 | 良 |
| | | 余熱除去系統出口配管(余熱除去入口弁(内隔離弁)～原子炉格納容器貫通部) | ①溶接部の超音波探傷検査 ②漏えい検査(VT-2) | ①7.5%/7年 ②毎定検 | ①②第26回定期検査 | 良 |
| | | 加圧器サージ配管 | ①溶接部の超音波探傷検査 | ①25%/7年 ②毎定検 | ①第24回定期検査 ②第26回定期検査 | 良 |
| | | 加圧器スプレイ配管 | ②漏えい検査(VT-2) | | ①②第26回定期検査 | 良 |
| | 炭素鋼配管 | 主給水系統配管(原子炉格納容器貫通部～蒸気発生器給水管台) | 漏えい検査(VT-2) | 1回/10年 | 第24回定期検査 | 良 |

表 8(2/2) 代表機器以外の現状保全

| 評価対象機器、部位 | | | 現状保全内容 | 検査範囲 / 頻度 | 至近の検査実績 | 検査結果 |
|-----------|---------|--|-------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------|
| 配管 | 1次冷却材管 | ホットレグ、クロスオーバーレグ、コールドレグ、加圧器サージ管台、蓄圧タンク注入管台、安全注入管台、充てん管台 | ①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査 ③漏えい検査(VT-2) | ①25%/7年 ②25%/7年 ③毎定検 | ①②③第26回定期検査 | 良 |
| | | 仕切弁 | RHRS入口隔離弁弁箱 | ①目視確認 ②漏えい確認 | ①1回/8定検 ②毎定検 | ①②第26回定期検査 |
| 弁 | 玉形弁 | 加圧器水位制御弁弁箱 | ①目視確認 ②漏えい確認 | ①1回/3定検 ②毎定検 | ①第25回定期検査 ②第26回定期検査 | 良 |
| | スイング逆止弁 | 蓄圧タンク第2逆止弁弁箱 | ①目視確認 ②漏えい確認 | ①1回/5定検 ②毎定検 | ①②第26回定期検査 | 良 |
| | リフト逆止弁 | 加圧器補助スプレイ逆止弁弁箱 | ①目視確認 ②漏えい確認 | ①1回/10定検 ②毎定検 | ①②第26回定期検査 | 良 |
| 炉内構造物 | | 上部炉心板 上部炉心支持柱 上部炉心支持板 下部炉心板 下部炉心支持柱 下部炉心支持板 炉心槽下部接続部 | 水中テレビカメラによる目視確認(VT-3) | 100%/7年 | 第25回定期検査 | 良 |
| 重機器サポート | 加圧器 | 加圧器スカート溶接部 | 溶接部の浸透探傷検査 | 7.5%/7年 | 第25回定期検査 | 良 |

5.3 総合評価

劣化が進展すると仮定した場合における運転開始後60年間の供用を想定した各機器の疲労評価結果は、疲労累積係数が1を下回り疲労割れ発生が問題となる可能性はないと考える。ただし、疲労評価は実過渡回数に依存するため、今後も実過渡回数を把握し評価する必要がある。

また、疲労割れは現状保全で有意な異常のないことを確認している。

5.4 高経年化への対応

低サイクル疲労については、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

6. まとめ

6.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について技術評価を行った結果、すべての要求事項を満足していることを確認した。低サイクル疲労についての要求事項との対比を表9に示す。

表9 (1/2) 低サイクル疲労についての要求事項との対比

| 審査基準、ガイド | 要求事項 | 技術評価結果 |
|------------------------------------|---|---|
| <p>実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準</p> | <p>2. 実用炉規則第113条第2項第2号に掲げる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価の結果、延長しようとする期間において、同評価の対象となる機器・構造物が下表に掲げる要求事項（以下「要求事項」という。）に適合すること、又は同評価の結果、要求事項に適合しない場合には同項第3号に掲げる延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針の実施を考慮した上で、延長しようとする期間において、要求事項に適合すること。</p> <p>○健全性評価の結果、評価対象部位の疲れ累積係数が1を下回ること。</p> | <p>4.1及び5.1の「健全性評価」に示すとおり、延長しようとする期間において、評価対象部位の運転開始後60年時点における疲れ累積係数（設計・建設規格による疲労累積係数及び環境疲労評価手法による環境疲労累積係数）が、全ての部位で1を下回ることを確認した。</p> |
| <p>実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド</p> | <p>3. 2 (1) 「延長しようとする期間における運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況に関する技術的な評価」（以下「劣化状況評価」という。）の記載内容について評価の対象とする機器・構造物及び評価手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての経年劣化に関する技術的な評価におけるものと同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴うものとして評価を行い、その結果の記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3. 1の特別点検の結果を踏まえた劣化状況評価。</p> <p>④実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第6号。以下「技術基準規則」という。）（運転開始以後40年を経過する日において適用されているものに限る。）に定める基準に照らした評価。</p> <hr/> <p>3. 3 (1) 「延長しようとする期間における原子炉その他の設備に係る施設管理方針」（以下「施設管理方針」という。）の策定に係る手法は、実用炉規則第82条第2項に規定する運転開始後40年を迎える発電用原子炉に係る発電用原子炉施設についての施設管理に関する方針の策定と同様とする。特に運転期間延長認可申請に伴い策定するものとして記載が求められる事項は次のとおり。</p> <p>①上記3. 2の劣化状況評価を踏まえた施設管理方針。</p> | <p>4.1(1)e.の「特別点検を踏まえた劣化状況評価」に示すとおり、原子炉容器出入口管台のノズルコーナ部に対して、渦流探傷試験を実施し有意な欠陥指示は認められなかったことから、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>また、4.1および5.1の「健全性評価」に示すとおり、延長しようとする期間において、評価対象部位の運転開始後60年時点における疲れ累積係数（設計・建設規格による疲労累積係数および環境疲労評価手法による環境疲労累積係数）が、全ての部位で1を下回ることを確認した。</p> <hr/> <p>4.4及び5.4の「高経年化への対応」に示すとおり、疲労評価における実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認することを施設管理方針として策定した。</p> |

表9 (2/2) 低サイクル疲労についての要求事項との対比

| ガイド | 要求事項 | 技術評価結果 |
|----------------------------------|---|---|
| <p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p> | <p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p> | <p>4.1及び5.1の「健全性評価」に示すとおり、運転開始後60年時点の推定過渡回数を用いて健全性評価を実施した。</p> <p>4.2、4.3、5.2および5.3の「現状保全」および「総合評価」に示すとおり、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>4.4及び5.4の「高経年化への対応」に示すとおり、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認することを長期施設管理方針として策定した。</p> |
| <p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p> | <p>3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>③運転開始後40年を迎えるプラントの高経年化技術評価には、当該申請に至るまでの間の運転に伴い生じた原子炉その他の設備の劣化の状況の把握のために実施した点検（特別点検）の結果を適切に反映すること。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>ロ 実用炉規則第82条第2項又は第3項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から40年間に同条第2項又は第3項に規定する延長する期間を加えた期間</p> <p>3. 2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>① 高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p> | <p>4.1(1)e.の「特別点検を踏まえた劣化状況評価」に示すとおり、原子炉容器出入口管台のノズルコーナ部に対して、渦流探傷試験を実施し有意な欠陥指示は認められなかったことから、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>4.4及び5.4の「高経年化への対応」に示すとおり、疲労評価における実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認することを長期施設管理方針として策定した。</p> |

6.2 長期施設管理方針として策定する事項

運転開始後 60 年時点の推定過渡回数は、実績過渡回数に依存するため、継続的に実績過渡回数を把握する必要があることから、長期施設管理方針を表 10 のとおり定め、川内原子力発電所原子炉施設保安規定に記載し、確実に実施していく。

表 10 川内原子力発電所 1 号炉 長期施設管理方針（抜粋）

| 機器名 | 長期施設管理方針 | 実施時期 |
|------------------------------------|---|------|
| ポンプ、熱交換器、容器、配管、弁、炉内構造物、タービン設備、機械設備 | <p>1 次冷却材ポンプ（ケーシング）等*の疲労割れについては、実過渡回数に基づく疲労評価を実施する。</p> <p>*</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1 次冷却材ポンプ（ケーシング） ・余熱除去ポンプ（ケーシング（ケーシングカバー含む）） ・再生熱交換器（管板） ・余熱除去冷却器（管板） ・蒸気発生器（管板及び給水入口管台） ・原子炉容器（入口管台、出口管台、ふた管台、空気抜管台、炉内計装筒、上部ふた、上部胴フランジ、下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部、炉心支持金物、スタッドボルト） ・加圧器本体（スプレイライン用管台、サージ用管台） ・余熱除去出口配管貫通部（固定式配管貫通部）（端板） ・主蒸気管貫通部及び主給水管貫通部（伸縮式配管貫通部）（伸縮継手） ・余熱除去系統配管（母管） ・1 次冷却材系統配管（母管） ・主給水系統配管（母管） ・1 次冷却材管（母管及び管台） ・余熱除去系統仕切弁（弁箱） ・化学体積制御系統玉形弁（弁箱） ・安全注入系統スイング逆止弁（弁箱） ・化学体積制御系統リフト逆止弁（弁箱） ・炉内構造物（炉心支持構造物） ・高圧タービン（内部車室） ・低圧タービン（内部車室） ・タービン動補助給水ポンプタービン（ケーシング、ケーシングカバー、ダイヤフラム） ・加圧器サポート（加圧器スカート溶接部） ・制御棒クラスタ駆動装置 (圧力ハウジング（ラッチハウジング及び駆動軸ハウジング）) | 中長期 |

短期：2024 年 7 月 4 日からの 5 年間、中長期：2024 年 7 月 4 日からの 10 年間、

長期：2024 年 7 月 4 日からの 20 年間

別紙

- 別紙 1. 過渡回数推定値の算出方針について
- 別紙 2. 建設時に考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて
- 別紙 3. 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について
- 別紙 4. クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について
- 別紙 5. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について
- 別紙 6. 環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法について
- 別紙 7. 代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
- 別紙 8. 詳細評価法による環境効果補正係数の算出手順について
- 別紙 9. 有限要素法解析における応力分類について
- 別紙 10. 疲労評価に用いた過渡回数のうち過渡項目No.17「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」の過渡回数が30年目評価から40年目評価において減少している理由について
- 別紙 11. 経年劣化傾向の評価

| | |
|------|---|
| タイトル | 過渡回数推定値の算出方針について |
| 説明 | <p>運転開始後 60 年時点での過渡回数は、これまでの運転実績をベースに残りの年数を考慮して、次のとおり設定している。</p> <p>①未取替機器 60 年時点過渡回数\geq実績過渡回数+ (実績過渡回数に基づく 1 年間当たりの平均過渡回数) \times 余裕 (1.5) \times 残年数</p> <p>②取替機器 60 年時点過渡回数\geq取替後実績過渡回数+ (未取替機器の 1 年間当たり平均過渡回数) \times 余裕 (1.5) \times 残年数</p> <p>未取替機器における「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に該当しない微小過渡については、「起動」、「停止」、「1 次系漏えい試験」のいずれかの項目に分類し実績に算定している。微小過渡の一覧及び分類内訳を添付-2 に示す。</p> <p>また、川内原子力発電所 1 号炉で未経験の過渡項目の年平均過渡回数については、電力共通研究の研究結果より添付-3 のとおり設定している。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> |

○「起動」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

$$38 \text{ 回}^{\text{注1)}} + 0.83 \text{ 回/年}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 24.3 \text{ 年 (残りの年数)} \approx 69 \text{ 回} = 69 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転：10 回（うち、微小過渡 1 回）

2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）：27.271 回→28 回（うち微小過渡 2.271 回→3 回）

（試運転の過渡回数は下表の①、2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）は②参照）

注 2) 2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）÷2020 年 3 月末までの年数（長期停止期間（2013 年 1 月から 2015 年 7 月まで）を除く）

$$27.271 \text{ 回} \div 33.2 \text{ 年} \approx 0.821 \text{ 回/年} \rightarrow 0.83 \text{ 回/年}$$

（試運転時の過渡は特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない。）

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 33.2年 | 現状～60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|-------------|-------|--------|---|--|---|-----------------|
| 1 起動 | 8 | 25 | 38 | 0.83 | 31 | 69 (=38+31) |
| SGR 後試験中の起動 | 1 | | $\left[\begin{array}{l} 8+1+1+25+2.271 \\ =37.271 \\ \rightarrow 38 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 25+2.271 \\ =27.271 \\ \frac{27.271}{33.2}=0.821 \\ \rightarrow 0.83 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times 0.83 \times \\ 1.5 \\ =30.254 \\ \rightarrow 31 \end{array} \right]$ | |
| 微小過渡 | 0.026 | 2.271 | | | | |
| | ① | | ② | | | |
| (実績+微小過渡) | (9+1) | (25+3) | (34+4*) | | | |

*1：総微小過渡回数

○「負荷上昇」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

$$335 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \text{[]}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 24.3 \text{ 年 (残りの年数)} \div 808.9 \text{ 回} = 809 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転：21 回

2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）：314 回

（試運転の過渡回数は下表の③、2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）は④参照）

注 2) 2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）÷2020 年 3 月末までの年数（長期停止期間（2013 年 1 月から 2015 年 7 月まで）を除く）

$$314 \text{ 回} \div 33.2 \text{ 年} \div 9.46 \text{ 回/年} \rightarrow 9.5 \text{ 回/年}$$

（試運転時の過渡は特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない）

上記より [] となるが、稼働率が高くなった場合のステムフリーテスト回数増加を考慮し、[] と設定する。

過渡回数説明リスト (2 / 9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 33.2年 | 現状～60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|-----------------------|-------------|-----------|------------------|--|--|-------------------|
| 3 ランプ状負荷上昇 負荷上昇 | [21] ③ | [314] ④ | 335 (=21+314) | [] 注1) $\left[\frac{314}{33.2} \div 9.46 \right]$ | 474 $\left[24.3 \times \frac{[]}{[]} \times 1.5 \right]$ | 809 (=335+474) |

注1) 稼働率が高くなった場合のステムフリーテスト回数増加を考慮し、[] とする。

○「負荷の喪失」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

$$5 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \text{[]}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 24.3 \text{ 年 (残りの年数)} \div 7 \text{ 回} = 7 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転：5 回

2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）：0 回

（試運転の過渡回数は下表の⑤、2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）は⑥参照）

注 2) 川内原子力発電所 1 号炉では経験はないが、電共研「応力解析手法の高度化」より [] [] を用いる。

過渡回数説明リスト (3 / 9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 33.2年 | 現状～60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|-------------|------------|------------|---------|---------------------|--|-----------------|
| 31 負荷の喪失 | [5] ⑤ | [0] ⑥ | [] | [] 注1) | 2 $\left[24.3 \times \frac{[]}{[]} \times 1.5 \right]$ | 7 (=5+2) |

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 (4/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 33.2年 | 現状~60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 | 評価用過渡回数 |
|-------------|-------|--------|---|---|---|-----------------|---------|
| 2 停止 | 7 | 26 | 36 | 0.80 | 30 | 66 | 69 注1) |
| SGR 後試験中の停止 | 1 | | $\left[\begin{array}{l} 7+1+1+26 \\ +0.388 \\ =35.388 \\ \rightarrow 36 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 26+0.388 \\ =26.388 \\ \frac{26.388}{33.2} \approx 0.80 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times 0.80 \times \\ 1.5 \\ =29.16 \rightarrow 30 \end{array} \right]$ | (=36+30) | |
| 微小過渡 | 0.056 | 0.388 | | | | | |
| (実績+微小過渡) | (8+1) | (26+1) | (34+2*) | | | | |

注1) 「起動」に合わせた回数。

*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 33.2年 | 現状~60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|---------------------------------|-----|-----|------------------|--|---|-------------------|
| 4 ランプ状負荷減少 負荷減少 | 12 | 312 | 324 (=12+312) | $\left[\begin{array}{l} \square \text{ 注2)} \\ \frac{312}{33.2} \approx 9.40 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times \square \times 1.5 \\ \square \end{array} \right]$ | 798 (=324+474) |
| 5 ステップ状負荷上昇 (+10%) | 3 | 0 | 3 | $\left[\begin{array}{l} \square \text{ 注1)} \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times \square \times 1.5 \\ \square \end{array} \right]$ | 5 (=3+2) |
| 6 ステップ状負荷減少 (-10%) | 3 | 1 | 4 (=3+1) | $\left[\begin{array}{l} \square \\ \frac{1}{33.2} \approx 0.04 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times \square \times 1.5 \\ \square \end{array} \right]$ | 6 (=4+2) |
| 7 100%負荷からの大きい ステップ 状負荷減少 | 1 | 0 | 1 | $\left[\begin{array}{l} \square \text{ 注1)} \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times \square \times 1.5 \\ \square \end{array} \right]$ | 3 (=1+2) |
| 8 定常負荷運転時の変動 | - | - | - | - | - | - |
| 9 燃料交換 | 0 | 25 | 25 | $\left[\begin{array}{l} \square \text{ 注3)} \\ \frac{25}{33.2} \approx 0.76 \end{array} \right]$ | $\left[\begin{array}{l} 24.3 \times \square \times 1.5 \\ \square \end{array} \right]$ | 62 (=25+37) |

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。

注2) 稼働率が高くなった場合のステムフリーテスト回数増加を考慮し、 \square とする。

注3) 現状平均は、0.76回/年であるが、 \square とする。

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 33.2年 | 現状~60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|-------------------------------|-----|----|----------------|--|---|-----------------|
| 10 0→15%負荷上昇 | 10' | 29 | 39 (=10+29) | 0.88 $\left[\frac{29}{33.2} \div 0.88 \right]$ | 33 $\left[24.3 \times 0.88 \times 1.5 \right]$ $\div 33$ | 72 (=39+33) |
| 11 15→0%負荷減少 | 2' | 28 | 30 (=2+28) | 0.85 $\left[\frac{28}{33.2} \div 0.85 \right]$ | 31 $\left[24.3 \times 0.85 \times 1.5 \right]$ $\div 31$ | 61 (=30+31) |
| 12 1 ループ起動/停止 (1 ループ停止) | 0 | 0 | 0 | <input type="checkbox"/> 注1) | 2 $\left[24.3 \times \frac{2}{2} \times 1.5 \right]$ | 2 |
| (1 ループ起動) | 0 | 0 | 0 | <input type="checkbox"/> 注1) | 2 $\left[24.3 \times \frac{2}{2} \times 1.5 \right]$ | 2 |

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 33.2年 | 現状~60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|--------------------|-----|----|---------|------------------------------|--|-----------------|
| 32 外部電源喪失 | 1 | 0 | 1 | <input type="checkbox"/> 注1) | 3 $\left[24.3 \times \frac{3}{2} \times 1.5 \right]$ | 4 (=1+3) |
| 33 1次冷却材流量の部分喪失 | 0 | 0 | 0 | <input type="checkbox"/> 注1) | 2 $\left[24.3 \times \frac{2}{2} \times 1.5 \right]$ | 2 |

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 (8/9)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 | 現状までの回数 | 現状平均 回数 33.2年 | 現状~60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|---|-----|----|-------------|---------------------------------------|---|-----------------|
| 34 100%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 | 2 | 3 (=1+2) | $\left(\frac{\square}{33.2} \right)$ | $\left(24.3 \times \frac{3}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒3 | 6 (=3+3) |
| b)不注意な冷却を伴う トリップ | 0 | 0 | 0 | \square 注1) | $\left(24.3 \times \frac{2}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒2 | 2 |
| c)不注意な冷却とSIを伴う トリップ | 0 | 0 | 0 | \square 注1) | $\left(24.3 \times \frac{2}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒2 | 2 |
| 35 1次冷却系の異常な減圧 | 0 | 0 | 0 | \square 注1) | $\left(24.3 \times \frac{2}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒2 | 2 |
| 36 制御棒クラスタの落下 | 0 | 0 | 0 | \square 注1) | $\left(24.3 \times \frac{2}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒2 | 2 |
| 37 出力運転中の非常用炉心冷却系 の誤起動 | 0 | 0 | 0 | \square 注1) | $\left(24.3 \times \frac{2}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒2 | 2 |
| 38 1次冷却系停止ループの誤起動 | 0 | 0 | 0 | \square 注1) | $\left(24.3 \times \frac{2}{\square} \times 1.5 \right)$ ≒2 | 2 |

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 33.2年 | 現状~60年 までの増加分 (24.3年) | 60年ベースの 過渡回数 |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--|---|---|-----------------|
| 39 1次系漏えい試験 | 3 | 26 | 31 $\left(\begin{array}{l} 3+1+26 \\ +0.309 \\ =30.309 \rightarrow 31 \end{array} \right)$ | 0.80 $\left(\begin{array}{l} 26+0.309 \\ =26.309 \\ \frac{26.309}{33.2} \approx 0.80 \end{array} \right)$ | 30 $\left(\begin{array}{l} 24.3 \times 0.80 \times \\ 1.5 \\ =29.16 \rightarrow 30 \end{array} \right)$ | 61 (=31+30) |
| 微小過渡 (実績+微小過渡) | 0.222 (3+1) | 0.309 (26+1) | (29+2*) | | | |
| 40 タービン回転試験 | 2 | 0 | 2 | 0 | - | 2 |

*1: 総微小過渡回数

表 1 (1/2) 微小過渡 (起動の微小過渡)

| | $\Delta T / \Delta t$ (°C/H) | ΔT (°C) | ΔP (MPa) | | α ※1 | 等価回数 ($1/\alpha$) ※1 |
|----|---------------------------------|--------------------|---------------------|--|-------------|---------------------------|
| 1 | 13.2 | 50.2 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 2 | 28.4 | 93.8 | — | | 6(3) | 0.167(0.334) |
| 3 | — | — | 42.0 | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 4 | 23.4 | 48.0 | — | | 6(3) | 0.167(0.334) |
| 5 | 16.5 | 51.4 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 6 | 16.3 | 44.0 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 7 | 13.5 | 40.6 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 8 | 23.2 | 42.6 | — | | 6(3) | 0.167(0.334) |
| 9 | — | — | 28.0 | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 10 | 17.7 | 49.0 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 11 | 14.6 | 14.6 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 12 | 19.0 | 47.4 | — | | 6(3) | 0.167(0.334) |
| 13 | 16.4 | 50.7 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 14 | 13.5 | 24.8 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 15 | 12.7 | 66.6 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 16 | 5.4 | 16.0 | — | | 559(53) | 0.002(0.019) |
| 17 | 10.0 | 20.0 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 18 | 10.2 | 51.0 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 19 | 28.4 | 51.5 | — | | 1(1) | 1.000(1.000) |
| 20 | — | — | 2.70 | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 21 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 22 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 23 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 24 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 25 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 26 | — | — | 2.70 | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 27 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 28 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 29 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 30 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 31 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 32 | — | — | 2.70 | | 83(16) | 0.012(0.063) |

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 1 (2/2) 微小過渡 (起動の微小過渡)

| | $\Delta T / \Delta t$ (°C/H) | ΔT (°C) | ΔP (MPa) | | α ※1 | 等価回数 ($1/\alpha$) ※1 |
|----|---------------------------------|--------------------|---------------------|--|-------------|---------------------------|
| 33 | — | — | 2.70 | | 83 (16) | 0.012 (0.063) |
| 34 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 35 | 7.50 | 13.0 | — | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 36 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 37 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 38 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 39 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 40 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 41 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 42 | 7.60 | 13.3 | — | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 43 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 44 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 45 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 2(1/2) 微小過渡 (停止の微小過渡)

| | $\Delta T / \Delta t$ (°C/H) | ΔT (°C) | ΔP (MPa) | | α ※1 | 等価回数 ($1/\alpha$) ※1 |
|----|---------------------------------|--------------------|---------------------|--|-------------|---------------------------|
| 1 | 12.5 | 18.0 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 2 | 15.4 | 27.9 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 3 | 12.2 | 23.5 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 4 | 9.20 | 17.3 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 5 | 12.7 | 24.0 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 6 | 7.80 | 22.0 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 7 | 9.70 | 21.3 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 8 | 9.60 | 40.4 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 9 | 7.90 | 17.6 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 10 | 17.1 | 41.3 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 11 | 5.0 | 14.6 | — | | 559(53) | 0.002(0.019) |
| 12 | 9.0 | 36.0 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 13 | 11.7 | 35.0 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 14 | 4.60 | 55.0 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 15 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 16 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 17 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 18 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 19 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 20 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 21 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 22 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 23 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 24 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 25 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 26 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 27 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 28 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 29 | 12.6 | 12.6 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 30 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 31 | 7.80 | 15.0 | — | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 32 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |
| 33 | — | — | 2.20 | | 209(29) | 0.005(0.035) |

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 2(2/2) 微小過渡 (停止の微小過渡)

| | $\Delta T / \Delta t$ (°C/H) | ΔT (°C) | ΔP (MPa) | | α ※1 | 等価回数 ($1/\alpha$) ※1 |
|----|---------------------------------|--------------------|---------------------|--|-------------|---------------------------|
| 34 | 7.80 | 15.6 | — | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 35 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 36 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 37 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 38 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 39 | 6.6 | 12.9 | — | | 302 (36) | 0.004 (0.028) |
| 40 | 19.5 | 41.7 | — | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 41 | — | — | 2.50 | | 137 (22) | 0.008 (0.046) |
| 42 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |
| 43 | — | — | 2.20 | | 209 (29) | 0.005 (0.035) |

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表3 微小過渡 (漏えい試験の微小過渡)

| | $\Delta T / \Delta t$ (°C/H) | ΔT (°C) | ΔP (MPa) | | α ※1 | 等価回数 ($1/\alpha$) ※1 |
|---|---------------------------------|--------------------|---------------------|--|-------------|---------------------------|
| 1 | 12.0 | 15.6 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 2 | 8.60 | 13.7 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 3 | 9.0 | 35.4 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 4 | 22.8 | 22.8 | — | | 6(3) | 0.167(0.334) |
| 5 | 8.30 | 31.3 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 6 | 5.80 | 26.0 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |
| 7 | 11.5 | 27.8 | — | | 45(11) | 0.023(0.091) |
| 8 | 15.8 | 15.8 | — | | 20(6) | 0.050(0.167) |
| 9 | 11.1 | 13.7 | — | | 83(16) | 0.012(0.063) |

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表4 微小過渡の内訳 (非取替機器)

| 過渡項目 | 試運転 | 実績 |
|---------------|---|---|
| 起動 微小過渡 | 0.026 内訳 1/559×1 (表1 No.16) 1/83×2 (表1 No.17,18) | 2.271 内訳 1/45×3 (表1 No.1,7,14) 1/6×4 (表1 No.2,4,8,12) 1/20×7 (表1 No.3,5,6,10,11,13,15) 1/83×5 (表1 No.9,20,26,32,33) 1×1 (表1 No.19) 1/209×13 (表1 No.21,22,23,24,25,27,28,29,30,31,35,37,42) 1/137×9 (表1 No.34,36,38,39,40,41,43,44,45) |
| 停止 微小過渡 | 0.056 内訳 1/83×1 (表2 No.12) 1/45×2 (表2 No.13,14) | 0.388 内訳 1/45×4 (表2 No.1,3,5,29) 1/20×2 (表2 No.2,10) 1/83×5 (表2 No.4,6,7,8,9) 1/559×1 (表2 No.11) 1/209×25 (表2 No.15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,30,31,32,33,34,35,36,37,38,42,43) 1/302×1 (表2 No.39) 1/137×2 (表2 No.40,41) |
| 漏えい試験 微小過渡 | 0.222 内訳 1/45×1 (表3 No.1) | 0.309 内訳 1/83×4 (表3 No.2,5,6,9) 1/45×2 (表3 No.3,7) 1/6×1 (表3 No.4) 1/20×1 (表3 No.8) |

電力共通研究「応力解析手法の高度化」にて設定した値について

川内原子力発電所1号炉で未経験の過渡項目については、電力共通研究「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る。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る。(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る。(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%からの大きいステップ状負荷減少 | |
| 負荷の喪失 | |
| 外部電源喪失 | |
| 1次冷却材流量の部分喪失 | |
| 原子炉トリップ (不注意な冷却とSIを伴うトリップ) | |
| 制御棒クラスタの落下 | |

(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)を求める。

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する。(参考文献：機械工学便覧)

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、

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

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、

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

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' を求める。

$x=0$ $p(x) = []$ $T = []$ を代入する。

$$[] = e^{-[] \lambda'} \times \frac{([] \lambda')^0}{0!}$$

$$\rightarrow \lambda' = -\ln [] [] = []$$

したがって、未経験過渡の年平均過渡回数は [] 回となる。

| 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 | |

| | |
|------|--|
| タイトル | 建設時に考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて |
| 説明 | <p>高経年化技術評価書で想定している経年劣化事象については、評価対象機器の使用条件（形式、材料、環境条件等）を考慮し、これまでの高経年化技術評価で想定されている部位と経年劣化事象の組み合わせを取り纏めた日本原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準」附属書A（規定）「経年劣化メカニズムまとめ表」を参考に抽出している。</p> <p>このうち、例えば運転経験により建設時考慮されていない有意な応力変動（熱成層）が想定される部位については、「経年劣化メカニズムまとめ表」で疲労想定部位として記載され、附属書E「経年劣化事象一覧表」にて熱成層が生じる場所において想定要となっているため、この部位について抽出した。</p> <p>なお、熱成層が生じる場所は、日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」で損傷事例が記載されているため、これを参考とした。</p> <p>「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」に記載されている熱成層による損傷事例としては、</p> <ol style="list-style-type: none"> （1）キャビティフロー型熱成層 （2）弁シートリーク型熱成層 （3）弁グランドリーク型熱成層 （4）運転操作型熱成層 <p>であり、これらについて評価した結果は以下の通り、</p> <ul style="list-style-type: none"> ●キャビティフロー型熱成層については、発生の可能性のある箇所を「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」に基づいて評価し、構造上有意となる温度変動の発生を回避できることを確認している。 ●弁シートリーク型熱成層については、対象となる止め弁の定期的な分解点検によって弁のシートリークを防止している。 ●弁グランドリーク型熱成層については、対象となる隔離弁の定期的な分解点検時に弁ディスク位置を調整して、弁シート部の隙間を適正に管理していくことで弁ディスクの熱膨張による閉止が生じないようにしており、熱成層の発生、消滅の繰返しを防止している。 ●運転操作型熱成層については、今後熱成層が発生しない運転操作をすることが困難であるため、熱成層の発生を想定した評価を行い、許容値を満足していることを確認した。 <p>なお、運転操作型熱成層を考慮している部位としては「蒸気発生器給水入口管台」、「加圧器サージ配管」、「加圧器スプレイ配管」、「加圧器スプレイライン用管台」の4箇所である。</p> <p>また、前述の「経年劣化メカニズムまとめ表」作成以降の知見については、それ以降に認可された先行評価プラントの高経年化技術評価書を参考にするとともに、以下の通り国内外の新たな運転経験及び最新知見についても抽出し、技術評価への反映要否を検討した結果、新たに有意な低サイクル応力変動（熱成層等）が把握された部位はないことを確認した。</p> |

●運転経験

国内運転経験として、原子力安全推進協会が運営している原子力発電情報公開ライブラリーにおいて公開されている「トラブル情報」、「保全品質情報」を、海外運転経験としてNRC（米国原子力規制委員会：Nuclear Regulatory commission）のBulletin（通達）、Generic Letter及びInformation Notice等を対象としてスクリーニングを実施。期間中の情報において、新たに高経年化技術評価書に反映すべき運転経験を抽出している。

●最新知見

原子力規制委員会指示文書及び原子力規制委員会設置以前については、旧：原子力安全・保安院指示文書等、日本機械学会、日本電気協会、日本原子力学会の規格・基準類、並びに原子力規制委員会のホームページに公開されている試験研究の情報等を検討し、高経年化技術評価を実施する上で、新たに反映が必要な知見を抽出している。

以上

| | | | | | | | | |
|---------|---|---------|------------------------|------|--|------|-----|-----|
| タイトル | 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について | | | | | | | |
| 説明 | <p data-bbox="448 398 1219 432">原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p data-bbox="427 472 619 506">1. 解析モデル</p> <p data-bbox="475 512 1134 546">疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="437 553 1329 1711"><tr><td data-bbox="437 553 660 600">解析プログラム</td><td data-bbox="660 553 1329 600">ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3</td></tr><tr><td data-bbox="437 600 660 795">要素種類</td><td data-bbox="660 600 1329 1711" rowspan="4"></td></tr><tr><td data-bbox="437 795 660 842">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="437 842 660 1274">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="437 1274 660 1711">節点数</td></tr></table> | 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3 | 要素種類 | | 要素次数 | 要素数 | 節点数 |
| 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3 | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | |

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

(単位：MPa)

| 使用箇所 | 材料 | 温 度 | |
|---|--------------------------------|--------|--------|
| | | 283.6℃ | 321.1℃ |
| 冷却材入口管台セーフエンド、 冷却材出口管台セーフエンド、 炉内計装筒セーフエンド | SA182 Gr. F316 (SUSF316 相当) | 120 | 117 |
| 冷却材入口管台、冷却材出口管 台、上部胴、上部胴フランジ、 トランジションリング | SA508 Class3 (SFVV3 相当) | 184 | — |
| 炉内計装筒、炉心支持金物 | SB166 (NCF600 相当) | 164 | — |
| 上部ふた | SFVQ1A | — | 184 |
| スタッドボルト | SNB24-3 | — | 245 |
| ふた管台 | GNCF690H | — | 137 |
| 空気抜管台 | GNCF690C | — | 164 |

3. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。

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

4. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点は、強度評価上厳しくなる材料及び構造上の不連続部を抽出しており、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および最大評価点の選定結果を添付-1に示す。

5. 割り増し係数 K_e

評価に用いた割り増し係数を添付-1に示す。

なお、添付-1における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。

6. 環境評価パラメータ

JSME S NF1-2009 による詳細評価手法を適用している。

【冷却材入口管台、冷却材出口管台、炉内計装筒】

PWR プラント環境

$$\ln(F_{en}) = (3.910 - \varepsilon^*) \times T^*$$

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

【ふた管台、空気抜管台、炉内計装筒、炉心支持金物】

PWR プラント環境

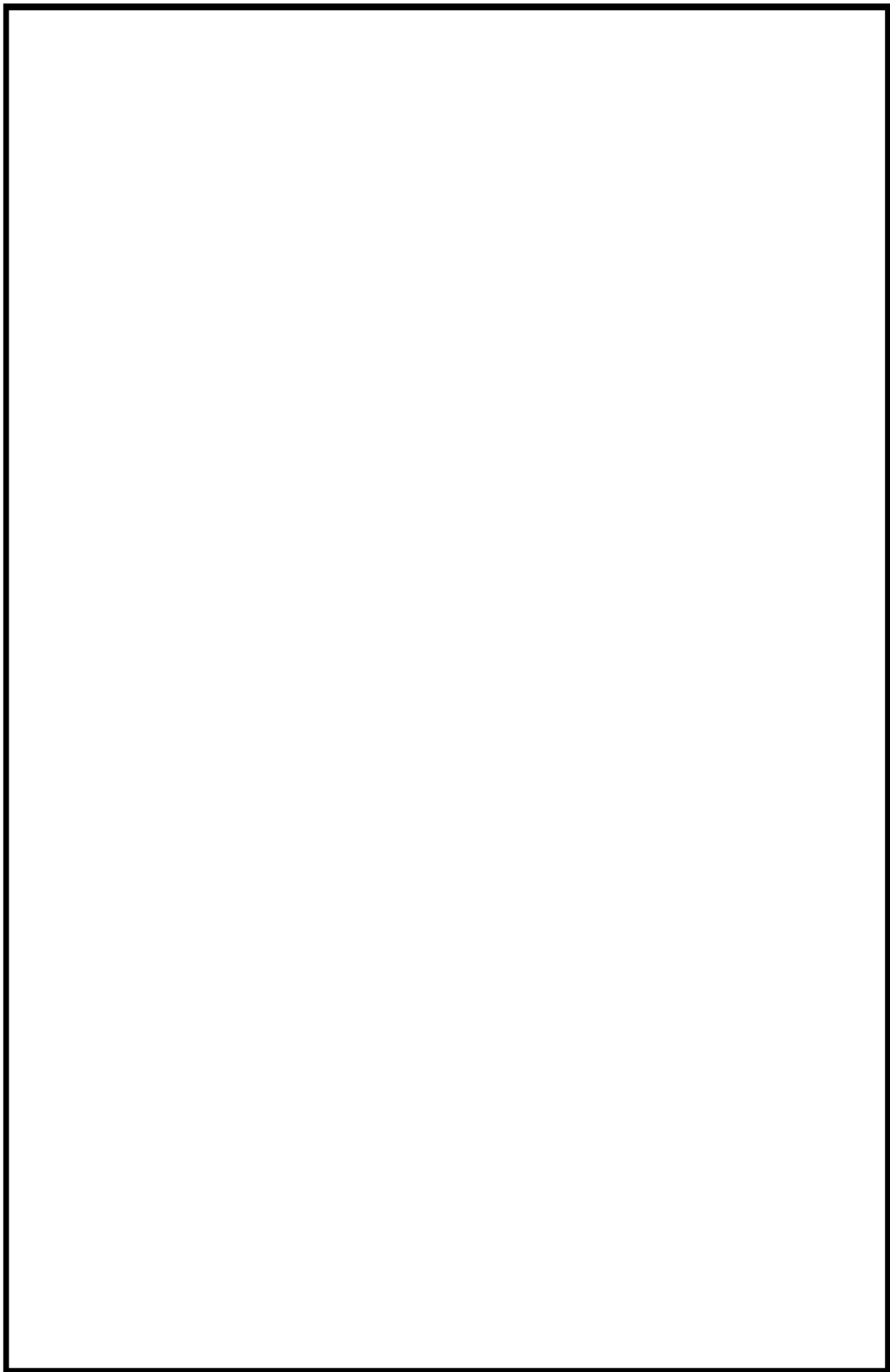
$$\ln(F_{en}) = (2.94 - \varepsilon^*) \times T^*$$

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

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-1に示す。



冷却材入口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

冷却材入口管台 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.00000 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 0.00000 | 0.0 | 0.00008 |
| 5 | 0.00313 | 0.0 | 0.00191 |
| 6 | 0.00147 | 0.0 | 0.00046 |
| 7 | 0.00008 | 0.00048 | 0.00007 |
| 8 | 0.00019 | 0.0 | 0.00002 |
| 9L | 0.02536 | 0.03648 | 0.00123 |
| 10L | 0.0 | 0.00178 | 0.00055 |
| 9C | 0.00119 | 0.00226 | 0.00182 |
| 10C | 0.0 | 0.01967 | 0.00925 |
| 11L | 0.02079 | 0.03401 | 0.00001 |
| 12L | 0.0 | 0.00192 | 0.00109 |
| 11C | 0.00257 | 0.00085 | 0.00099 |
| 12C | 0.0 | 0.01999 | 0.01138 |
| 13L | 0.03606 | 0.03416 | 0.00227 |
| 14L | 0.0 | 0.00216 | 0.00196 |
| 13C | 0.00045 | 0.00103 | 0.00231 |
| 14C | 0.0 | 0.02071 | 0.01342 |

許容値 $U_r=1.0$

0.03648 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

冷却材入口管台 疲労解析結果 (評価点: 9 L)

評価点 - 9L
(S23)

| 応力強さ | | (単位: MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | N | N* | |
| 527.9 | -46.7 | 1.0 | 287.3 | 337.9 | 2 | 4680 | 0.00043 |
| 523.5 | -46.7 | 1.0 | 285.1 | 335.3 | 2 | 4790 | 0.00042 |
| 472.0 | -46.7 | 1.0 | 259.3 | 305.0 | 7 | 6370 | 0.00110 |
| 466.2 | -46.7 | 1.0 | 256.4 | 301.6 | 50 | 6580 | 0.00760 |
| 466.2 | -44.7 | 1.0 | 255.4 | 300.4 | 11 | 6660 | 0.00165 |
| 465.1 | -44.7 | 1.0 | 254.9 | 299.8 | 2 | 6700 | 0.00030 |
| 463.9 | -44.7 | 1.0 | 254.3 | 299.1 | 4 | 6750 | 0.00059 |
| 446.8 | -44.7 | 1.0 | 245.7 | 289.0 | 2 | 7470 | 0.00027 |
| 436.0 | -44.7 | 1.0 | 240.3 | 282.7 | 50 | 7980 | 0.00627 |
| 436.0 | 0.0 | 1.0 | 218.0 | 256.4 | 130 | 10700 | 0.01215 |
| 436.0 | 2.3 | 1.0 | 216.8 | 255.0 | 62 | 10900 | 0.00569 |
| 436.0 | 185.5 | 1.0 | 125.2 | 147.3 | 2 | 72600 | 0.00003 |
| 436.0 | 327.7 | 1.0 | 54.1 | 63.7 | 7 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.03648 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材入口管台 環境疲労評価結果（評価点：1）

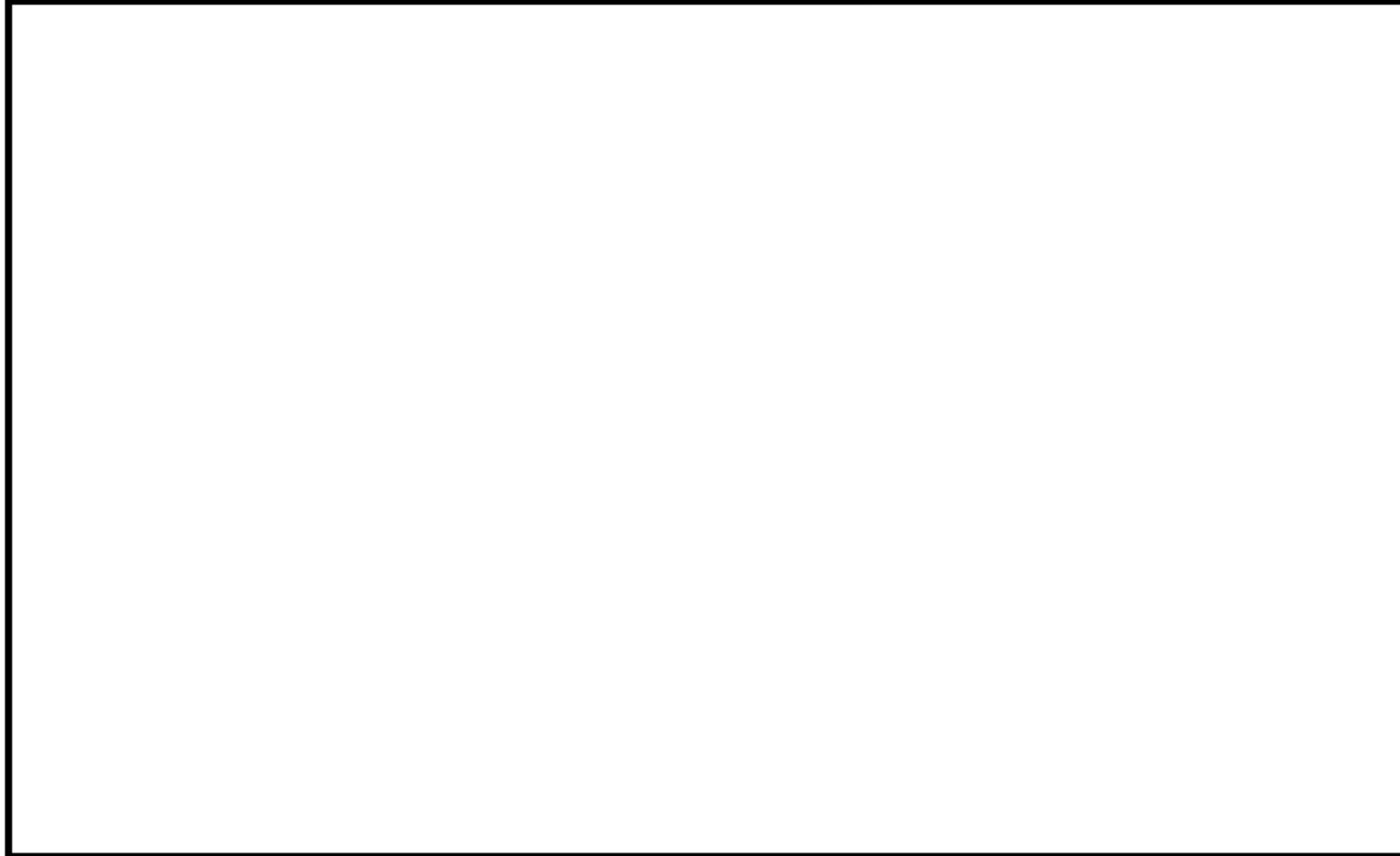
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|-----|-------------------|-------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 2D4 | 1A1 | 212.1 | -46.7 | 1.00 | 129.4 | 142.6 | 2 | 3030000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2G1 | 1A1 | 143.4 | -46.7 | 1.00 | 95.0 | 104.7 | 2 | 20900000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2D2 | 1A1 | 139.8 | -46.7 | 1.00 | 93.3 | 102.7 | 2 | 28000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2F1 | 1A1 | 96.6 | -46.7 | 1.00 | 71.6 | 78.9 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.00000 |

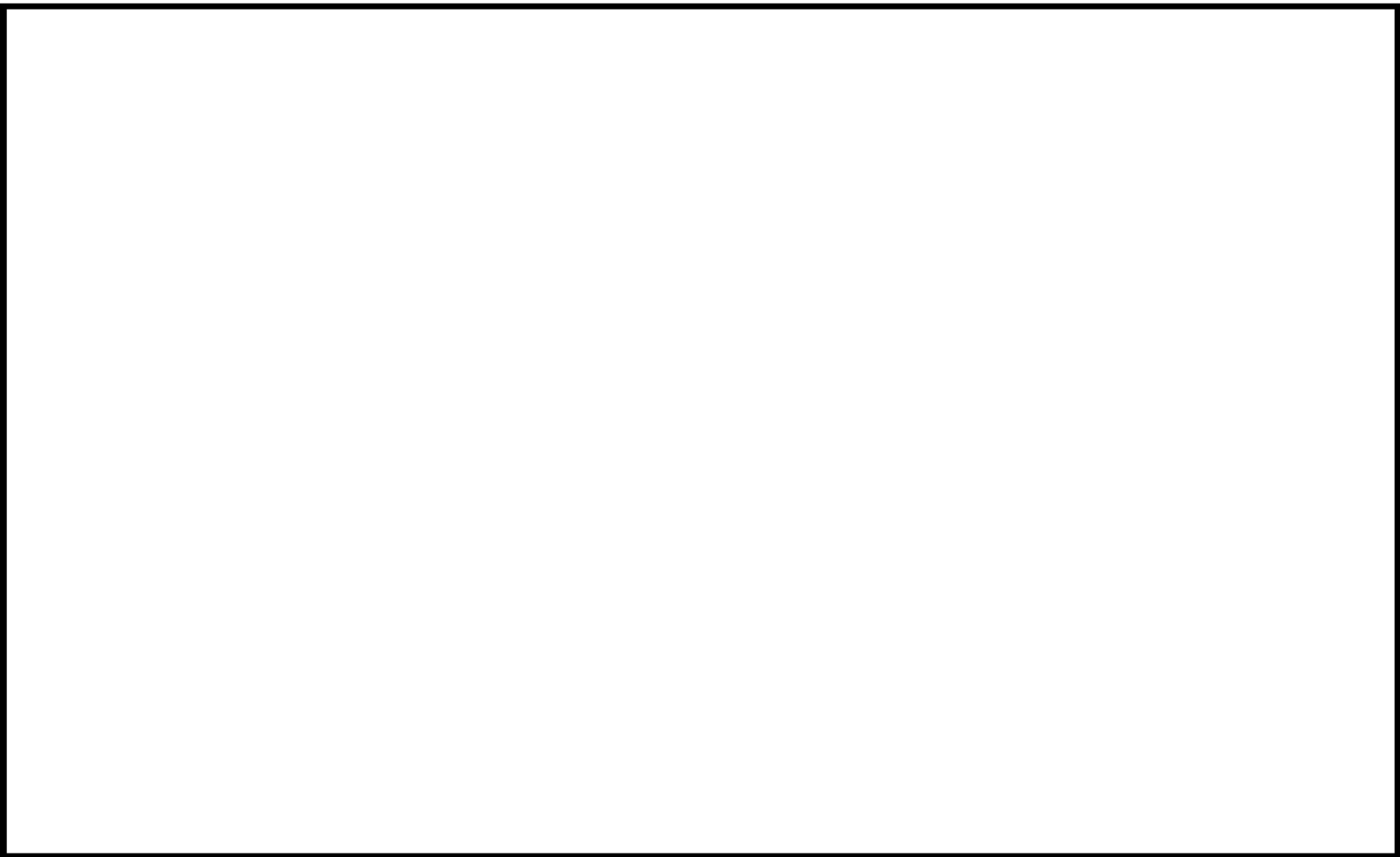
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

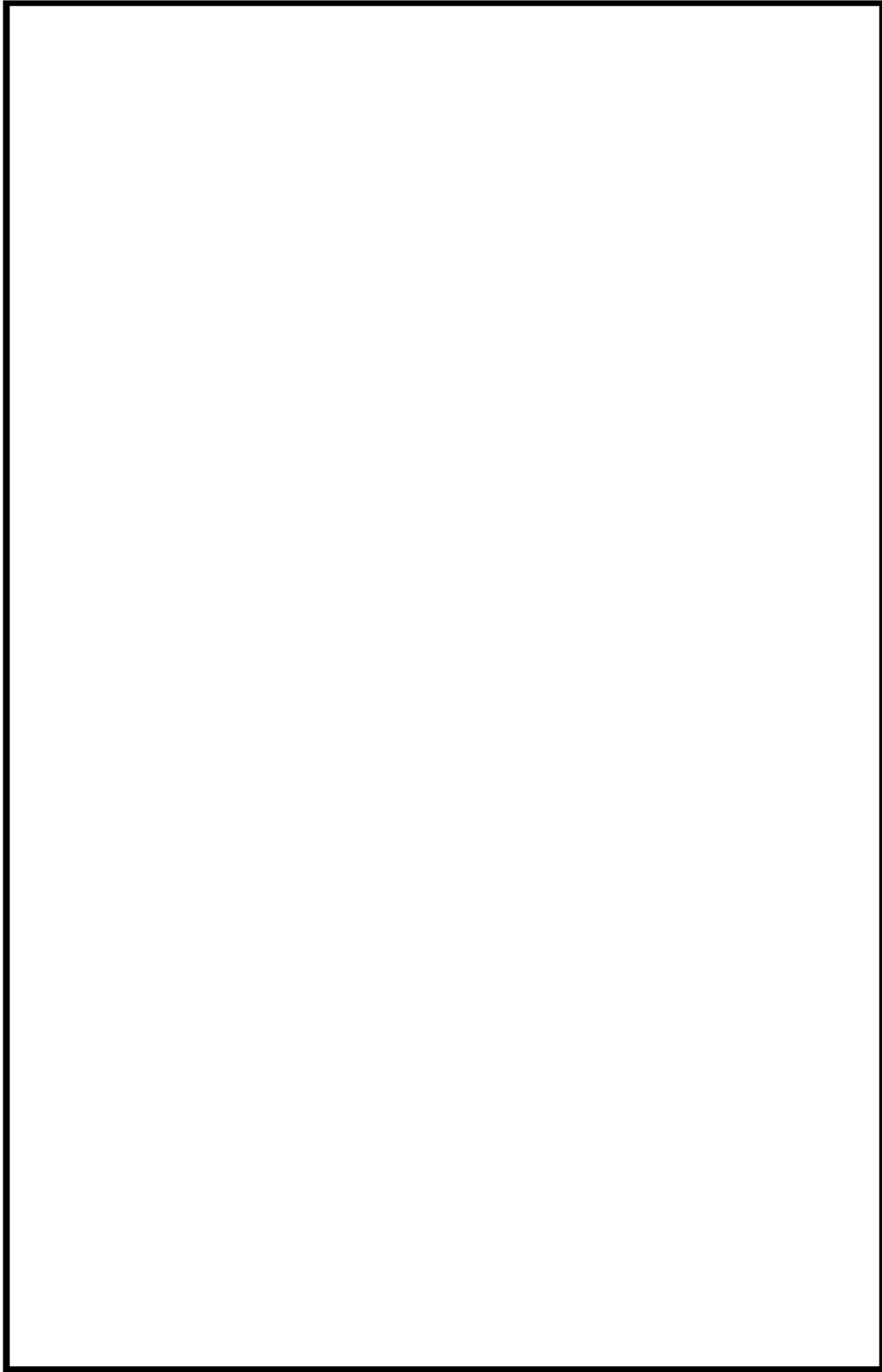
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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。







冷却材出口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

冷却材出口管台 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00016 |
| 2 | 0.0 | 0.00000 | 0.00005 |
| 3 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4 | 0.00237 | 0.00000 | 0.00591 |
| 5 | 0.0 | 0.00000 | 0.00017 |
| 6 | 0.00003 | 0.0 | 0.00011 |
| 7 | 0.00364 | 0.0 | 0.00618 |
| 8 | 0.00461 | 0.00000 | 0.00419 |
| 9 | 0.0 | 0.00103 | 0.00005 |
| 10 | 0.00280 | 0.00001 | 0.00106 |
| 11 | 0.0 | 0.00118 | 0.00173 |
| 12 | 0.00350 | 0.00001 | 0.00217 |
| 13L | 0.02775 | 0.04061 | 0.00067 |
| 14L | 0.0 | 0.00201 | 0.00121 |
| 13C | 0.00161 | 0.00128 | 0.00260 |
| 14C | 0.0 | 0.02147 | 0.01098 |
| 15L | 0.04095 | 0.02345 | 0.0 |
| 16L | 0.0 | 0.00248 | 0.00165 |
| 15C | 0.00241 | 0.00001 | 0.00015 |
| 16C | 0.0 | 0.02332 | 0.01260 |
| 17L | 0.03119 | 0.04148 | 0.00250 |
| 18L | 0.0 | 0.00335 | 0.00288 |
| 17C | 0.00077 | 0.00080 | 0.00247 |
| 18C | 0.0 | 0.02471 | 0.01553 |

許容値 $U_f=1.0$

0.04148 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

冷却材出口管台 疲労解析結果 (評価点: 17L)

評価点: 17L (S23)

| 応力強さ (単位: MPa) | | Ke | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) | | |
|----------------|-------|-----|-------|-------|--------------|-------|---------|
| 極大値 | 極小値 | | ALT | ALT' | | | |
| 515.4 | -36.6 | 1.0 | 276.0 | 330.2 | 2 | 5030 | 0.00040 |
| 498.5 | -36.6 | 1.0 | 267.6 | 320.2 | 2 | 5510 | 0.00036 |
| 476.5 | -36.6 | 1.0 | 256.6 | 307.0 | 7 | 6250 | 0.00112 |
| 465.5 | -36.6 | 1.0 | 251.1 | 300.4 | 4 | 6660 | 0.00060 |
| 452.7 | -36.6 | 1.0 | 244.7 | 292.7 | 2 | 7190 | 0.00028 |
| 449.8 | -36.6 | 1.0 | 243.2 | 291.0 | 44 | 7320 | 0.00601 |
| 449.8 | -28.6 | 1.0 | 239.2 | 286.2 | 17 | 7690 | 0.00221 |
| 433.7 | -28.6 | 1.0 | 231.1 | 276.6 | 3 | 8510 | 0.00035 |
| 433.3 | -28.6 | 1.0 | 230.9 | 276.3 | 2 | 8540 | 0.00023 |
| 428.1 | -28.6 | 1.0 | 228.3 | 273.2 | 5 | 8830 | 0.00057 |
| 428.1 | -28.6 | 1.0 | 228.3 | 273.2 | 0 | 8830 | 0.00000 |
| 426.5 | -28.6 | 1.0 | 227.5 | 272.2 | 2 | 8920 | 0.00022 |
| 424.5 | -28.6 | 1.0 | 226.5 | 271.1 | 40 | 9040 | 0.00442 |
| 424.5 | -19.1 | 1.0 | 221.8 | 265.4 | 62 | 9620 | 0.00644 |
| 424.5 | -3.3 | 1.0 | 213.9 | 255.9 | 69 | 10800 | 0.00639 |
| 424.5 | 0.0 | 1.0 | 212.3 | 254.0 | 130 | 11000 | 0.01182 |
| 424.5 | 151.2 | 1.0 | 136.7 | 163.5 | 2 | 45800 | 0.00004 |
| 424.5 | 315.9 | 1.0 | 54.3 | 65.0 | 2 | | 0.0 |
| | | | | | 疲労累積係数 = | | 0.04148 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しヒーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材出口管台 環境疲労評価結果（評価点：1）

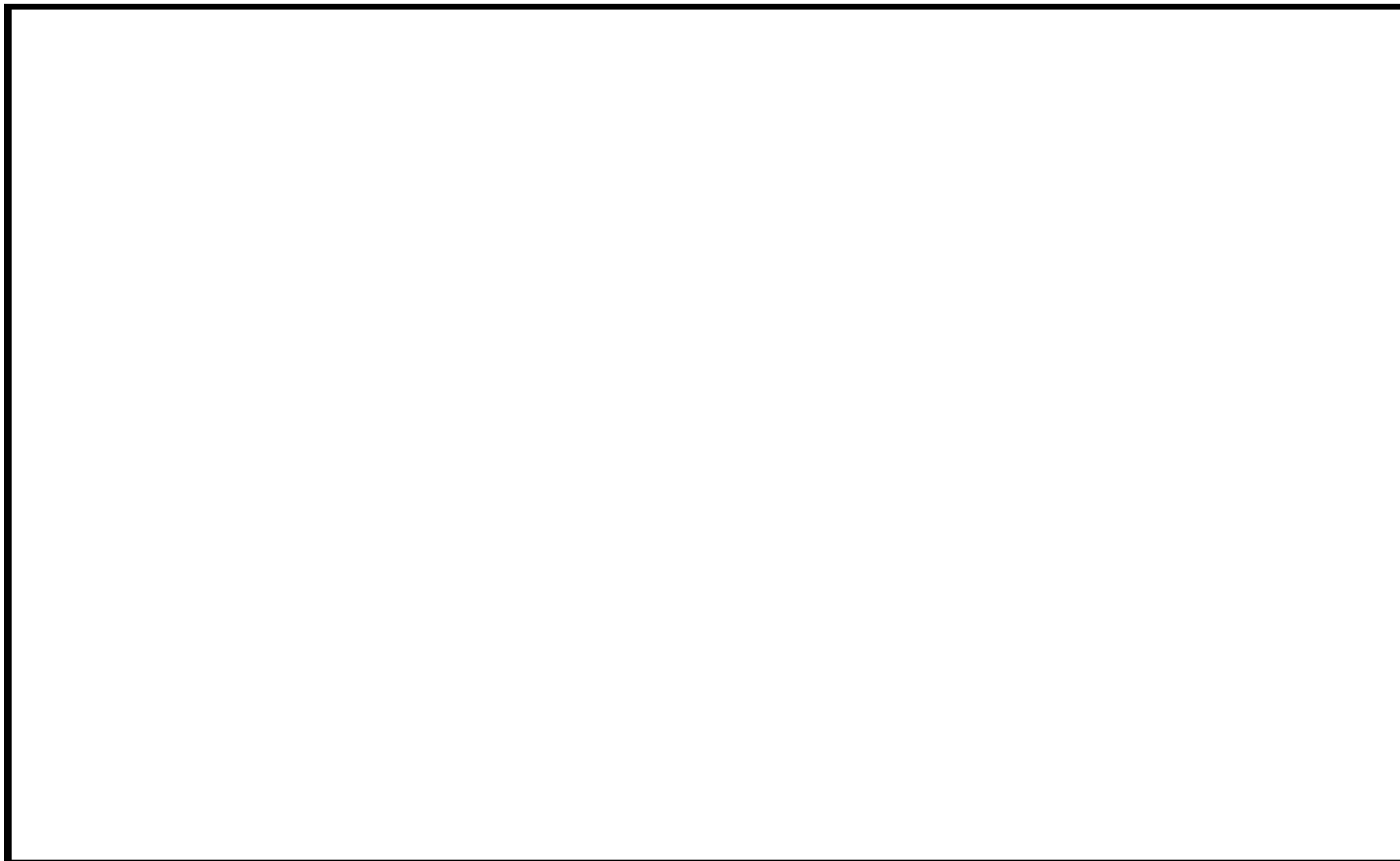
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回 数 n | 許容繰返し 回 数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|-----|-------------------|--------|------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| NSS | 2D2 | 0.0 | -478.1 | 1.00 | 239.1 | 267.9 | 2 | 130000 | 0.00002 | 8.710 | 0.00013 |
| NSS | 2F1 | 0.0 | -476.0 | 1.00 | 238.0 | 266.7 | 2 | 133000 | 0.00002 | 8.486 | 0.00013 |
| NSS | 2D4 | 0.0 | -466.3 | 1.00 | 233.1 | 261.3 | 2 | 149000 | 0.00001 | 11.004 | 0.00015 |
| NSS | 2E1 | 0.0 | -421.3 | 1.00 | 210.7 | 236.1 | 2 | 271000 | 0.00001 | 9.056 | 0.00007 |
| NSS | 2C2 | 0.0 | -421.1 | 1.00 | 210.5 | 235.9 | 2 | 272000 | 0.00001 | 10.989 | 0.00008 |
| NSS | 2D1 | 0.0 | -410.8 | 1.00 | 205.4 | 230.2 | 6 | 317000 | 0.00002 | 8.220 | 0.00016 |
| NSS | 2G1 | 0.0 | -410.3 | 1.00 | 205.1 | 229.9 | 2 | 320000 | 0.00001 | 9.072 | 0.00006 |
| NSS | 1L1 | 0.0 | -381.8 | 1.00 | 190.9 | 214.0 | 2 | 500000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| NSS | 2H2 | 0.0 | -377.0 | 1.00 | 188.5 | 211.3 | 2 | 547000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| NSS | 2A1 | 0.0 | -358.4 | 1.00 | 179.2 | 200.8 | 7 | 783000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| NSS | 1G1 | 0.0 | -297.8 | 1.00 | 148.9 | 166.9 | 3 | 1630000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| NSS | 1D1 | 0.0 | -287.8 | 1.00 | 143.9 | 161.3 | 98 | 1830000 | 0.00005 | 1.000 | 0.00005 |
| 2H1 | 1D1 | -32.7 | -287.8 | 1.00 | 127.5 | 142.9 | 2 | 3000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1D1 | -173.4 | -287.8 | 1.00 | 57.2 | 64.1 | 62 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.00084 |

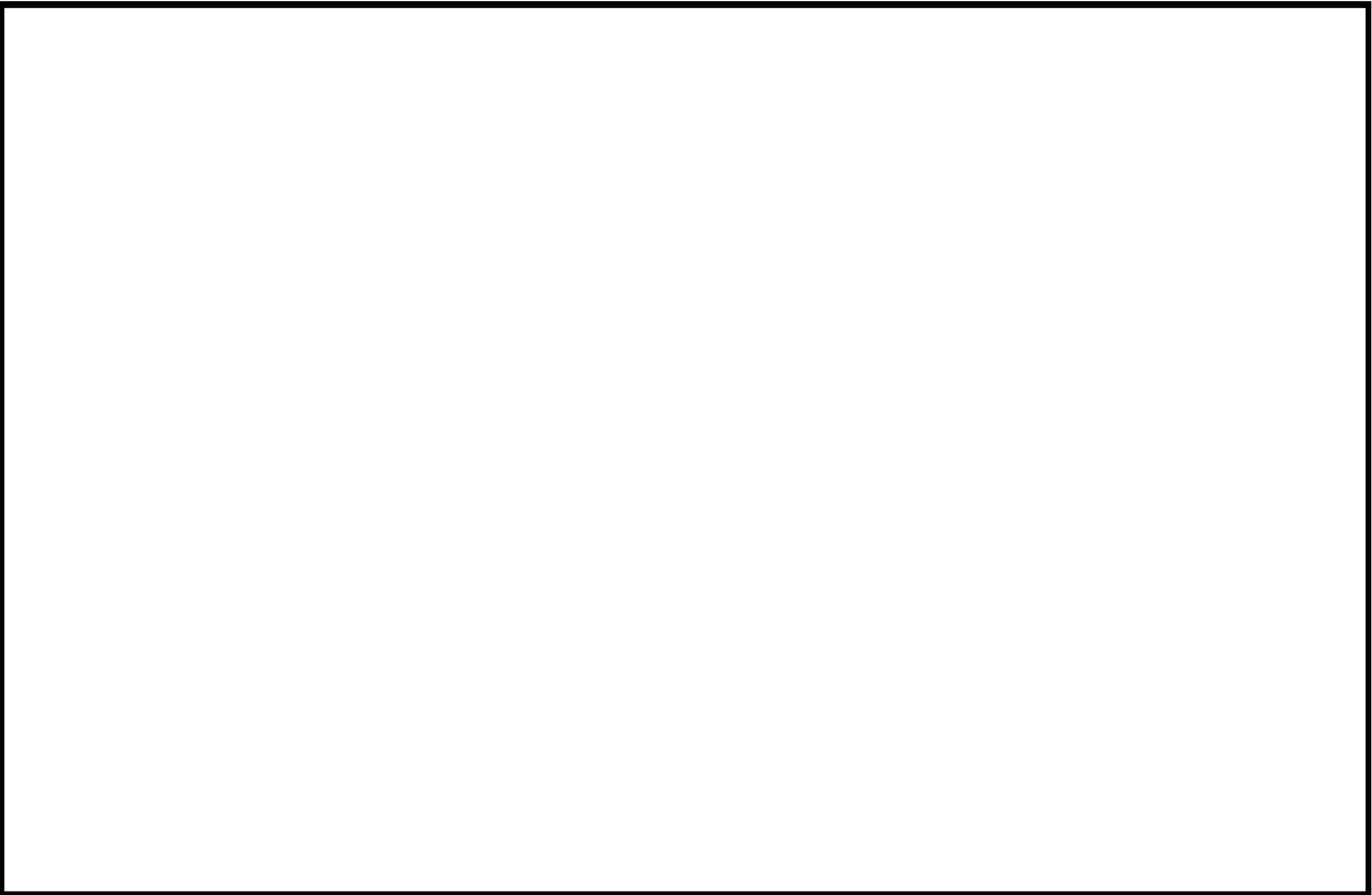
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

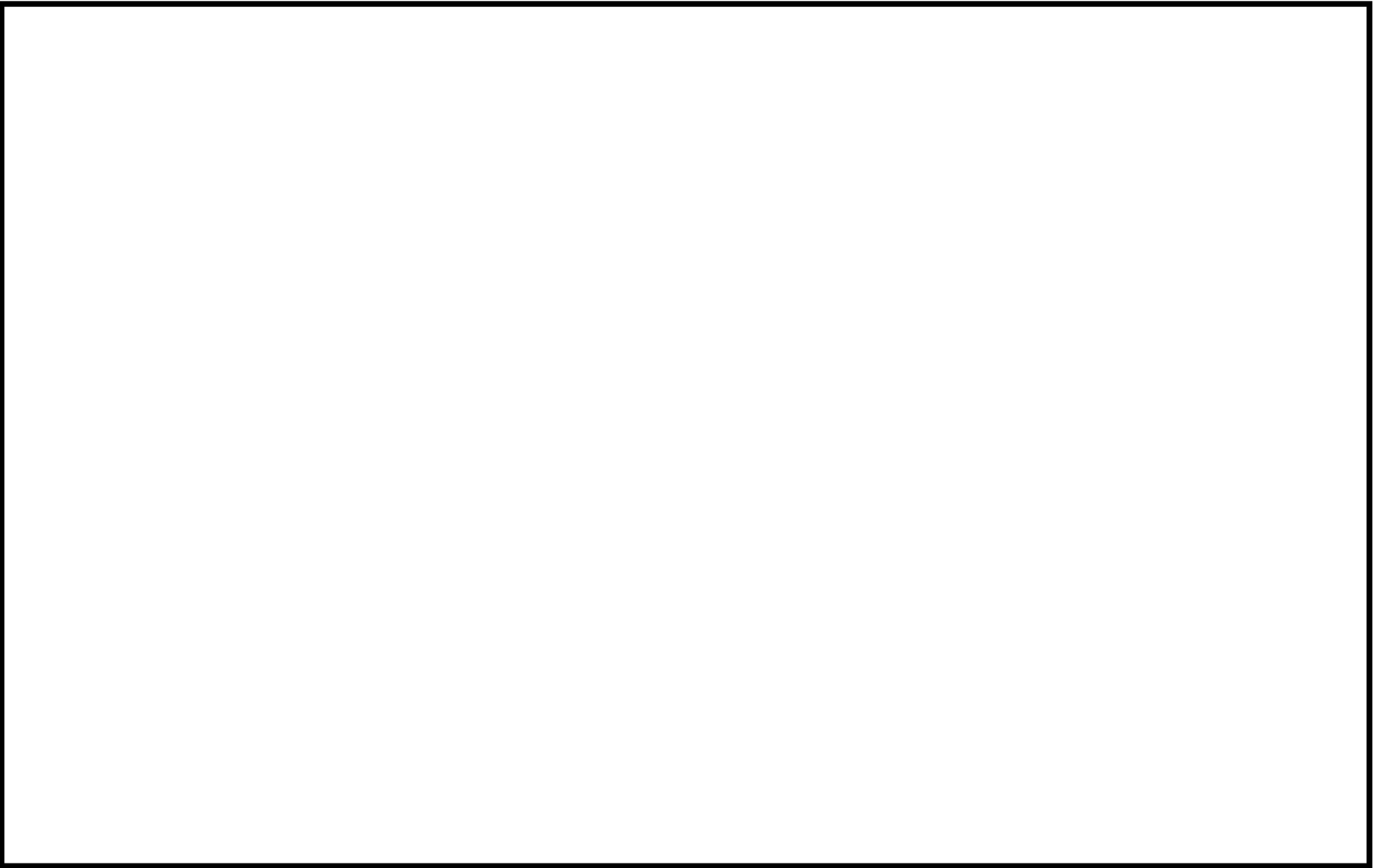
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

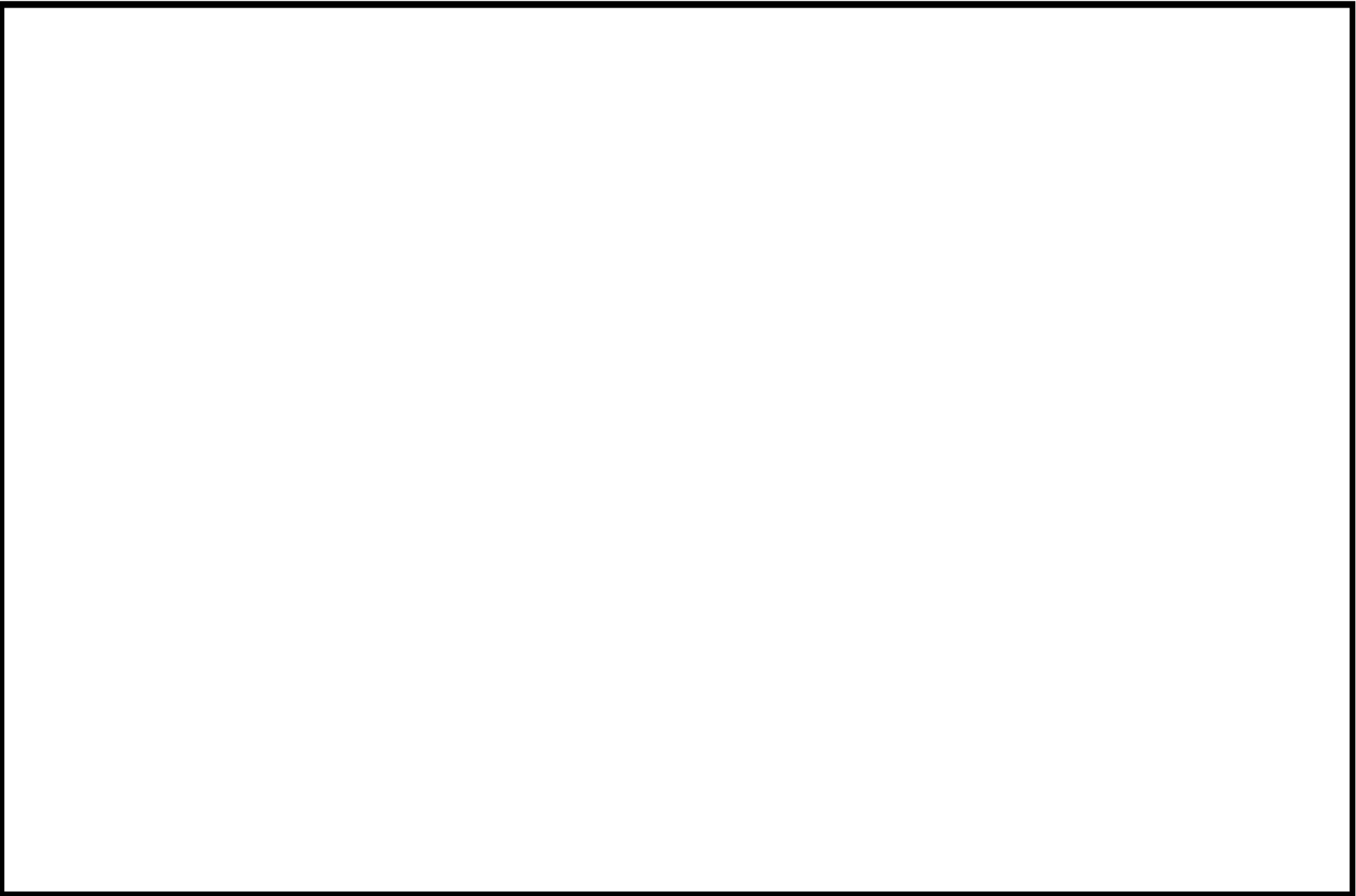
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

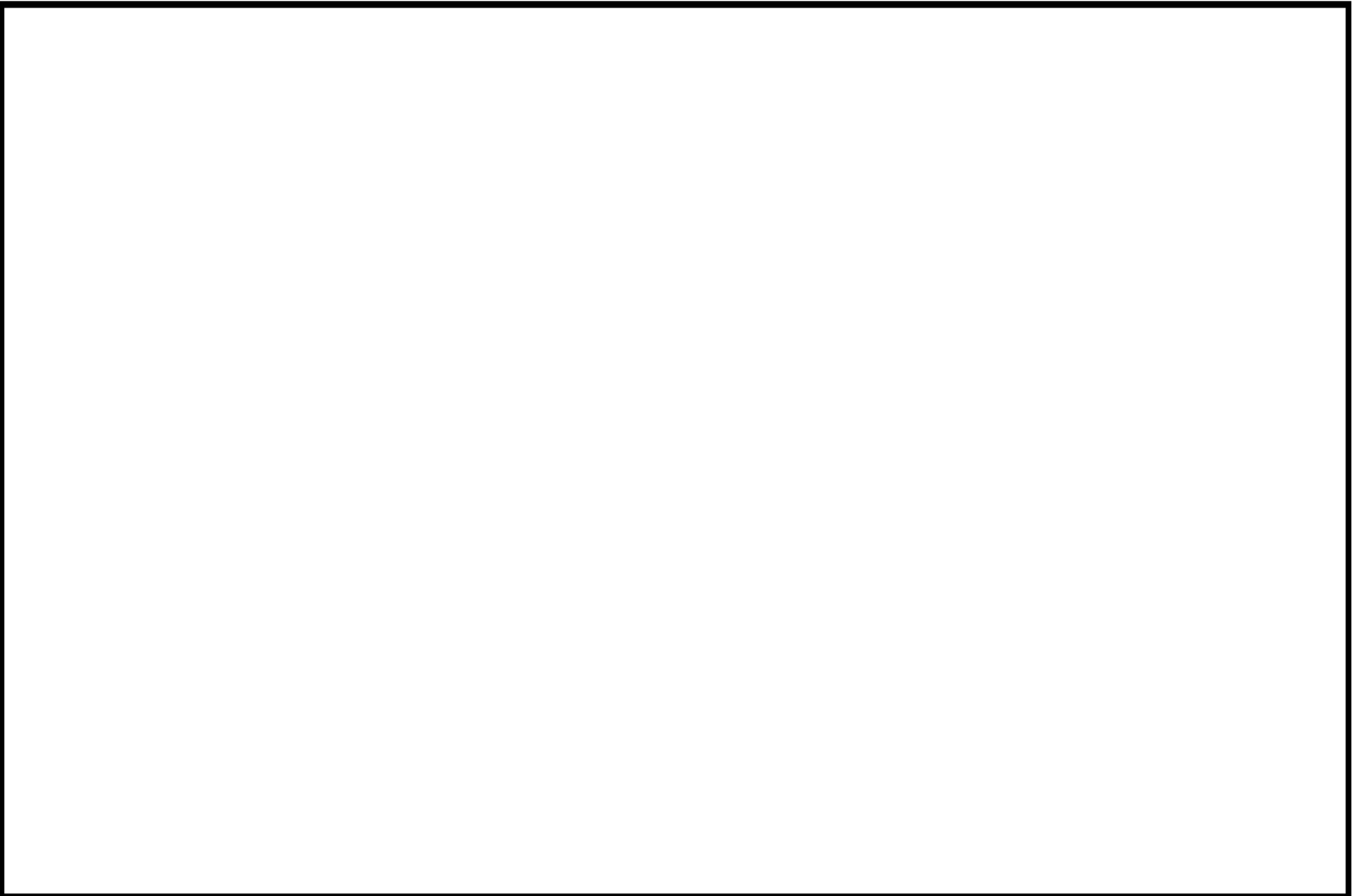
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

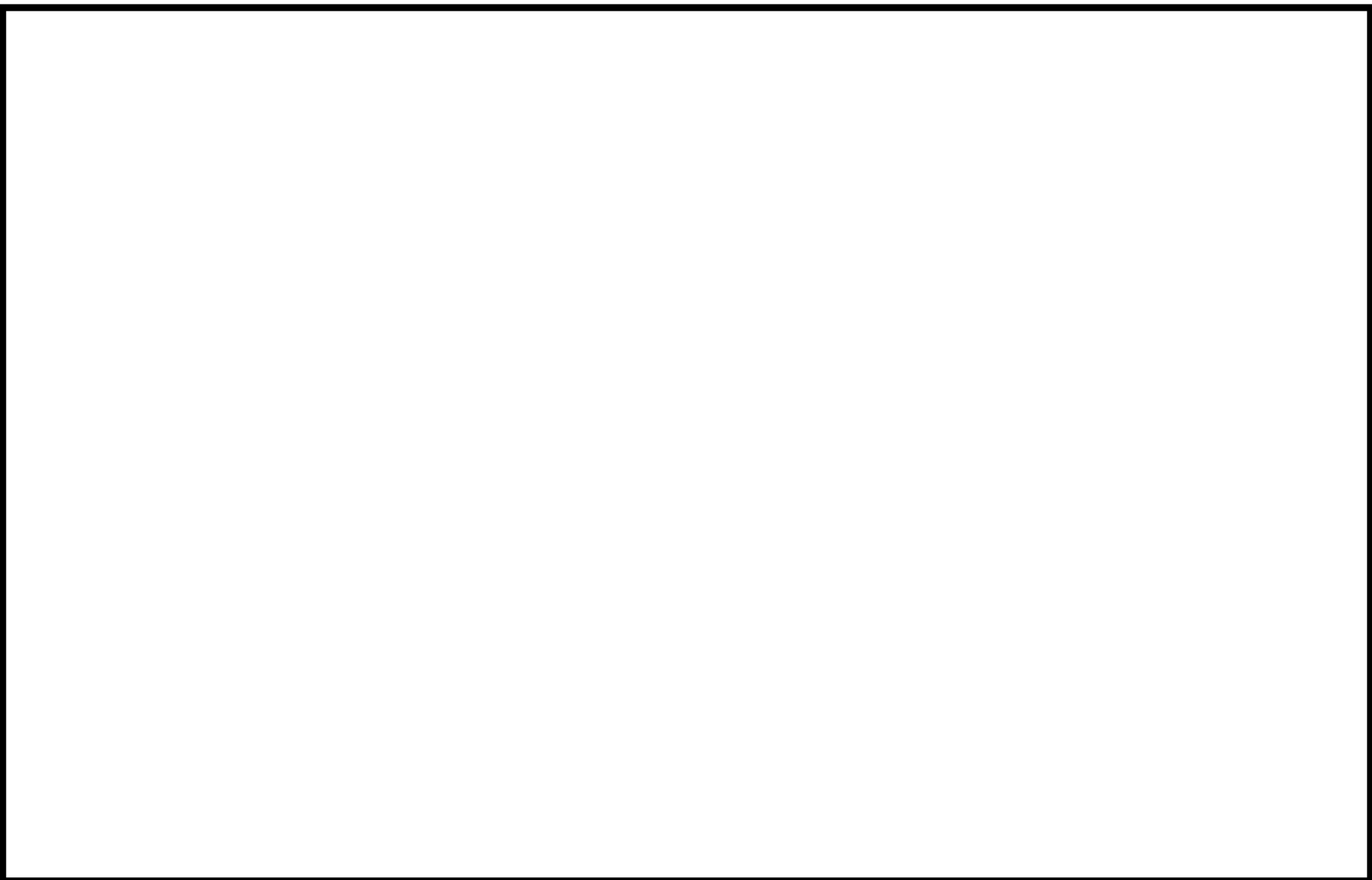


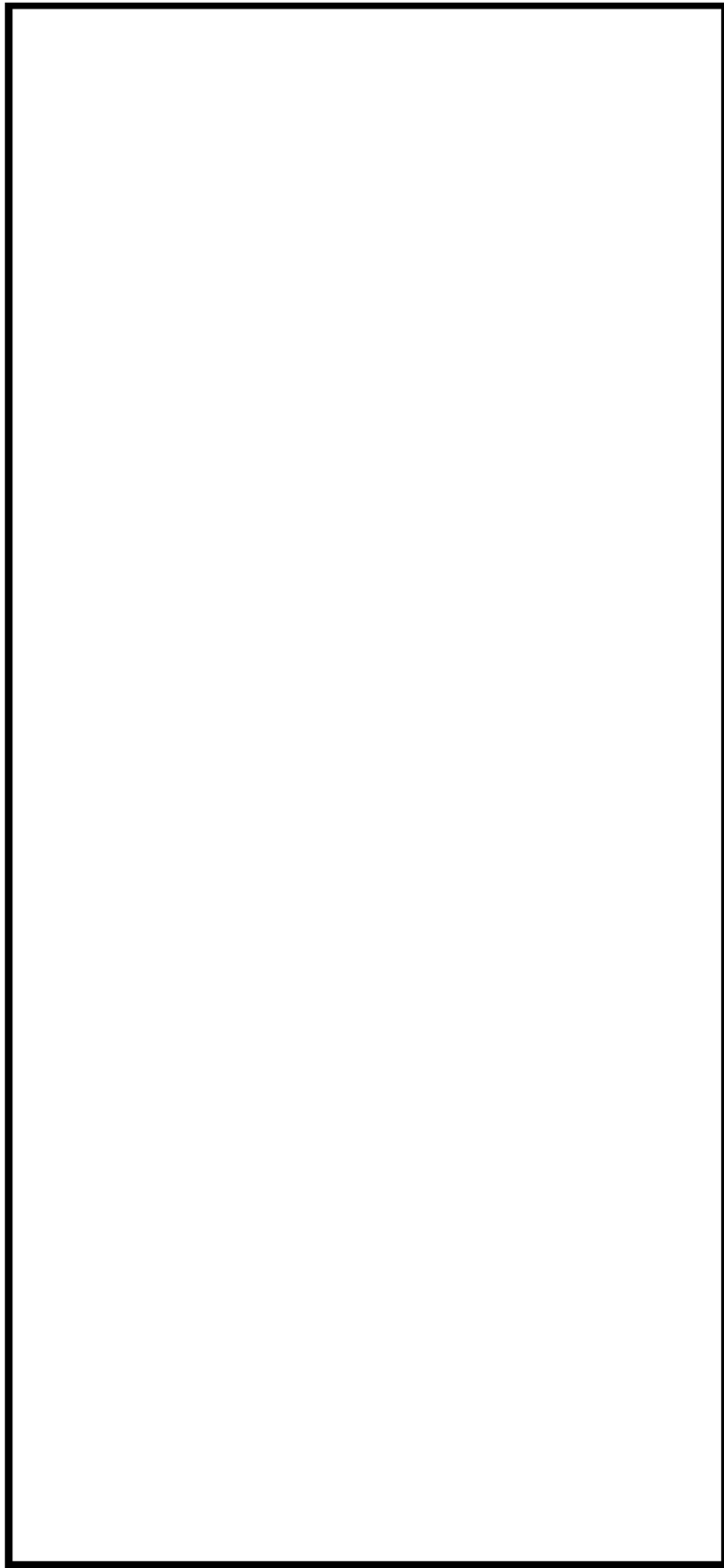












ふた管台形状寸法、評価点及び解析モデル

ふた管台 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 0.00016 | 0.00001 | 0.0 |
| 6 | 0.08347 | 0.00000 | 0.10652 |

許容値 $U_f = 1.0$

0.10652 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

ふた管台 疲労解析結果 (評価点 : 6)

評価点 - 6
(S31)

| 応力強さ | | (単位 : MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|--------|--------|------------|--------|--------|-------|---------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | K_e | ALT | ALT' | N | N* | |
| 1930.1 | -332.8 | 1.0 | 1131.5 | 1167.4 | 2 | 334 | 0.00599 |
| 1767.8 | -332.8 | 1.0 | 1050.3 | 1083.7 | 2 | 417 | 0.00480 |
| 1354.5 | -332.8 | 1.0 | 843.7 | 870.5 | 2 | 827 | 0.00242 |
| 1229.5 | -332.8 | 1.0 | 781.1 | 806.9 | 2 | 1060 | 0.00189 |
| 1185.9 | -332.8 | 1.0 | 759.4 | 783.5 | 2 | 1160 | 0.00172 |
| 1184.8 | -332.8 | 1.0 | 758.8 | 782.9 | 3 | 1170 | 0.00256 |
| 1184.4 | -332.8 | 1.0 | 758.6 | 782.7 | 26 | 1170 | 0.02222 |
| 1184.4 | -312.4 | 1.0 | 748.4 | 772.2 | 37 | 1220 | 0.03033 |
| 1184.4 | 0.0 | 1.0 | 592.2 | 611.0 | 76 | 2810 | 0.02705 |
| 1184.4 | 563.9 | 1.0 | 310.2 | 320.1 | 2 | 49100 | 0.00004 |
| 1184.4 | 580.8 | 1.0 | 301.8 | 311.4 | 405 | 57000 | 0.00711 |
| 1151.6 | 580.8 | 1.0 | 285.4 | 294.4 | 2 | 77400 | 0.00003 |
| 1092.3 | 580.8 | 1.0 | 255.7 | 263.9 | 37 | 141000 | 0.00026 |
| 1077.1 | 580.8 | 1.0 | 248.1 | 256.0 | 2 | 167000 | 0.00001 |
| 1073.1 | 580.8 | 1.0 | 246.2 | 254.0 | 2 | 175000 | 0.00001 |
| 1060.9 | 580.8 | 1.0 | 240.0 | 247.7 | 3 | 201000 | 0.00001 |
| 1047.0 | 580.8 | 1.0 | 233.1 | 240.5 | 0 | 242000 | 0.00000 |
| 1029.5 | 580.8 | 1.0 | 224.3 | 231.5 | 2 | 307000 | 0.00001 |
| 940.8 | 580.8 | 1.0 | 180.0 | 185.7 | 38 | 1150000 | 0.00003 |
| 929.8 | 580.8 | 1.0 | 174.5 | 180.0 | 2 | 1270000 | 0.00000 |
| 914.6 | 580.8 | 1.0 | 166.9 | 172.2 | 0 | 1470000 | 0.00000 |
| 905.2 | 580.8 | 1.0 | 162.2 | 167.3 | 2 | 1620000 | 0.00000 |
| 889.0 | 580.8 | 1.0 | 154.1 | 159.0 | 2 | 1920000 | 0.00000 |
| 888.4 | 580.8 | 1.0 | 153.8 | 158.7 | 2 | 1930000 | 0.00000 |
| 888.3 | 580.8 | 1.0 | 153.7 | 158.6 | 39 | 1930000 | 0.00002 |
| 888.3 | 580.8 | 1.0 | 153.7 | 158.6 | 8 | 1930000 | 0.00000 |
| 888.3 | 613.3 | 1.0 | 137.5 | 141.9 | 2 | 3090000 | 0.00000 |
| 888.3 | 714.9 | 1.0 | 86.7 | 89.4 | 2 | ————— | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.10652

K_e : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割増し係数 K_e を示す

ふた管台 環境疲労評価結果 (評価点 : 5)

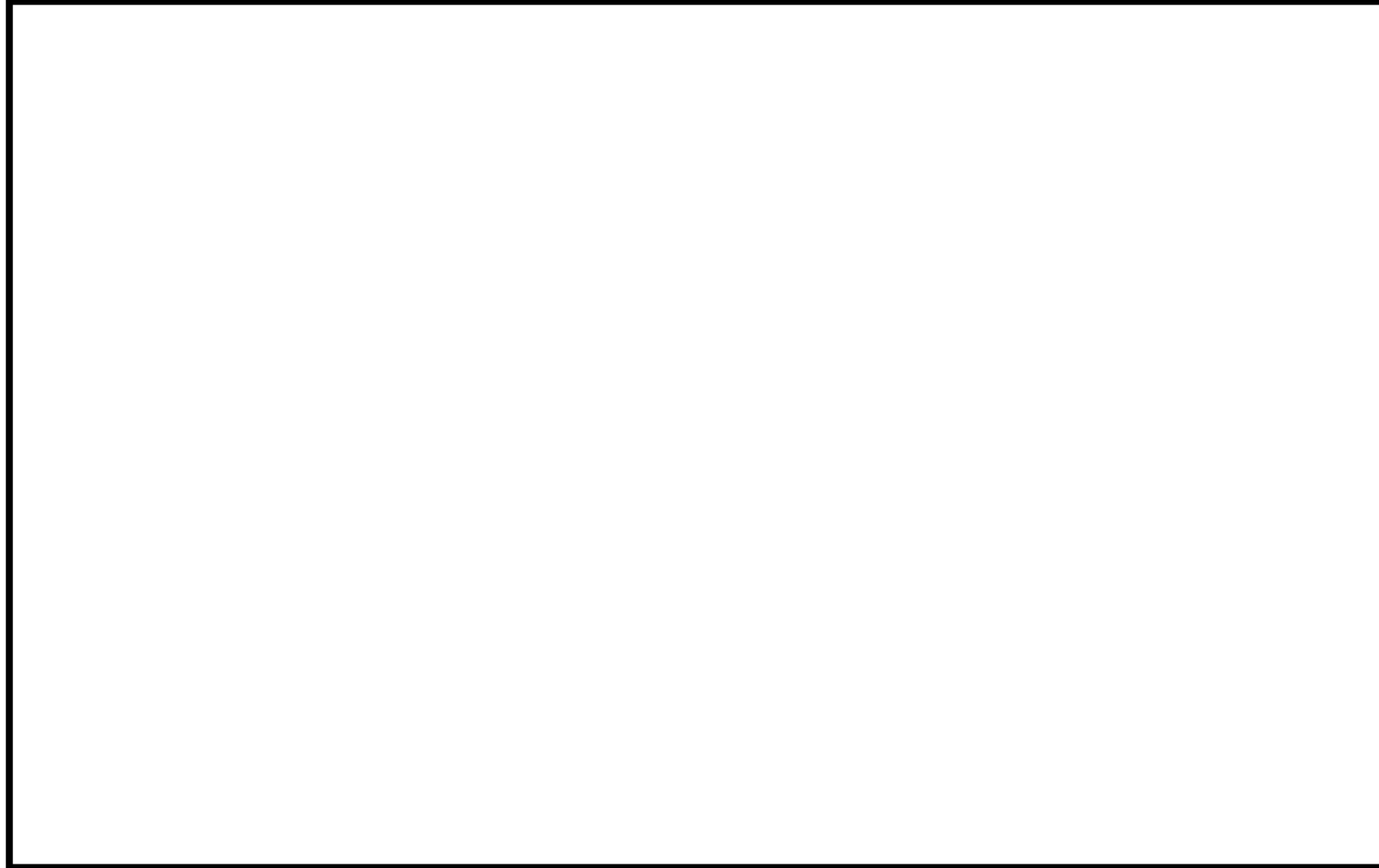
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 | 許容繰返し 回数 | 疲労累積係数 | 環境効果 補正係数 | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 |
|------------|-----|-------------------|--------|------------|----------------|--------------|-----------|-------------|---------|--------------|---------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 1A1 | 2D4 | 64.4 | -439.2 | 1.27 | 319.3 | 329.4 | 2 | 42500 | 0.00005 | 3.090 | 0.00015 |
| 1A1 | 2G1 | 64.4 | -413.2 | 1.17 | 278.3 | 287.2 | 2 | 88700 | 0.00002 | 3.179 | 0.00007 |
| 1A1 | 1L1 | 64.4 | -325.7 | 1.00 | 195.1 | 201.2 | 2 | 771000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 1G1 | 64.4 | -289.8 | 1.00 | 177.1 | 182.7 | 2 | 1210000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 1D1 | 64.4 | -289.4 | 1.00 | 176.9 | 182.5 | 31 | 1220000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 |
| 2J1 | 1D1 | 61.4 | -289.4 | 1.00 | 175.4 | 181.0 | 37 | 1250000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 |
| NSS | 1D1 | 0.0 | -289.4 | 1.00 | 144.7 | 149.3 | 76 | 2480000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 |
| 2E1 | 1D1 | -133.8 | -289.4 | 1.00 | 77.8 | 80.2 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.00031 |

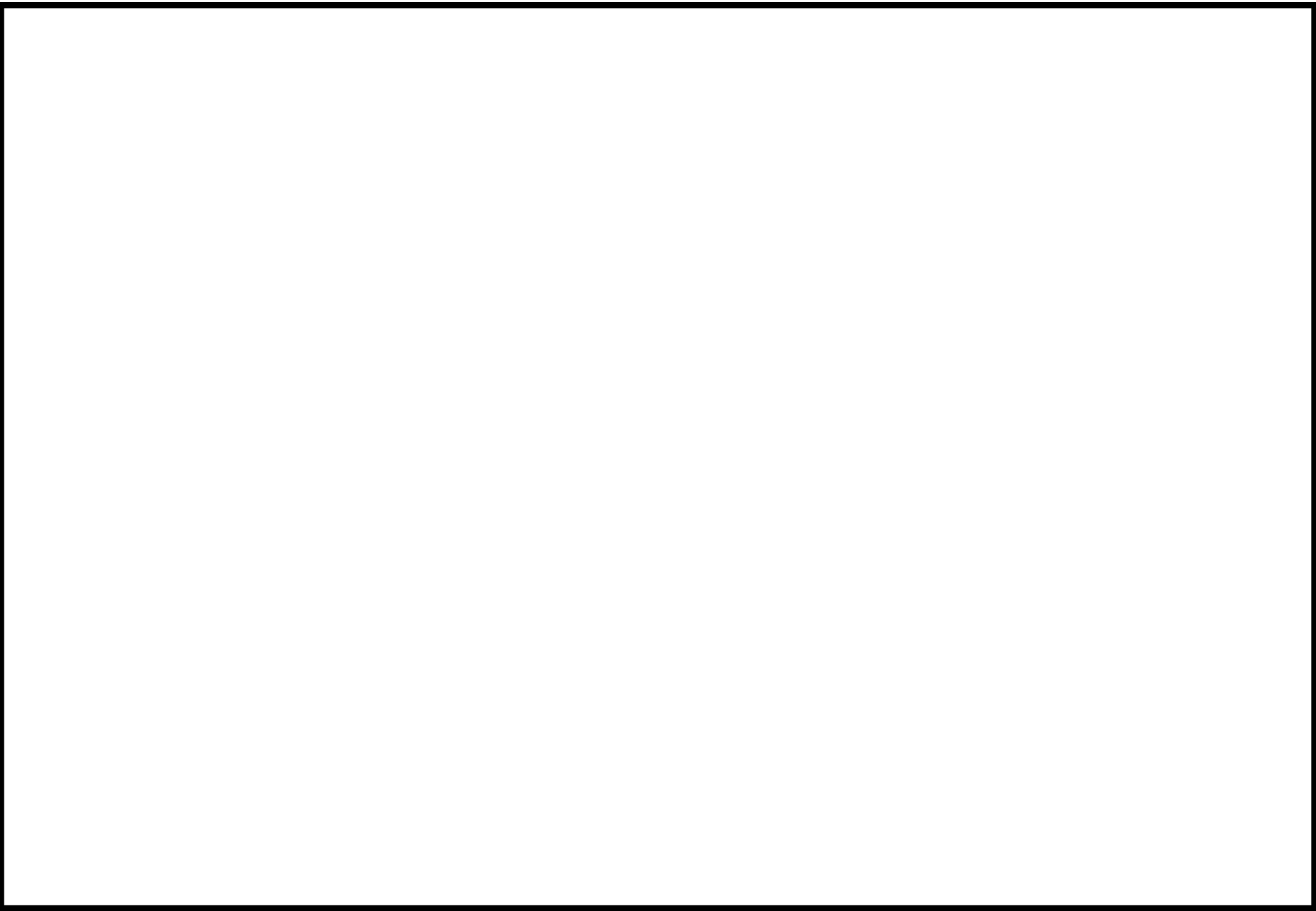
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

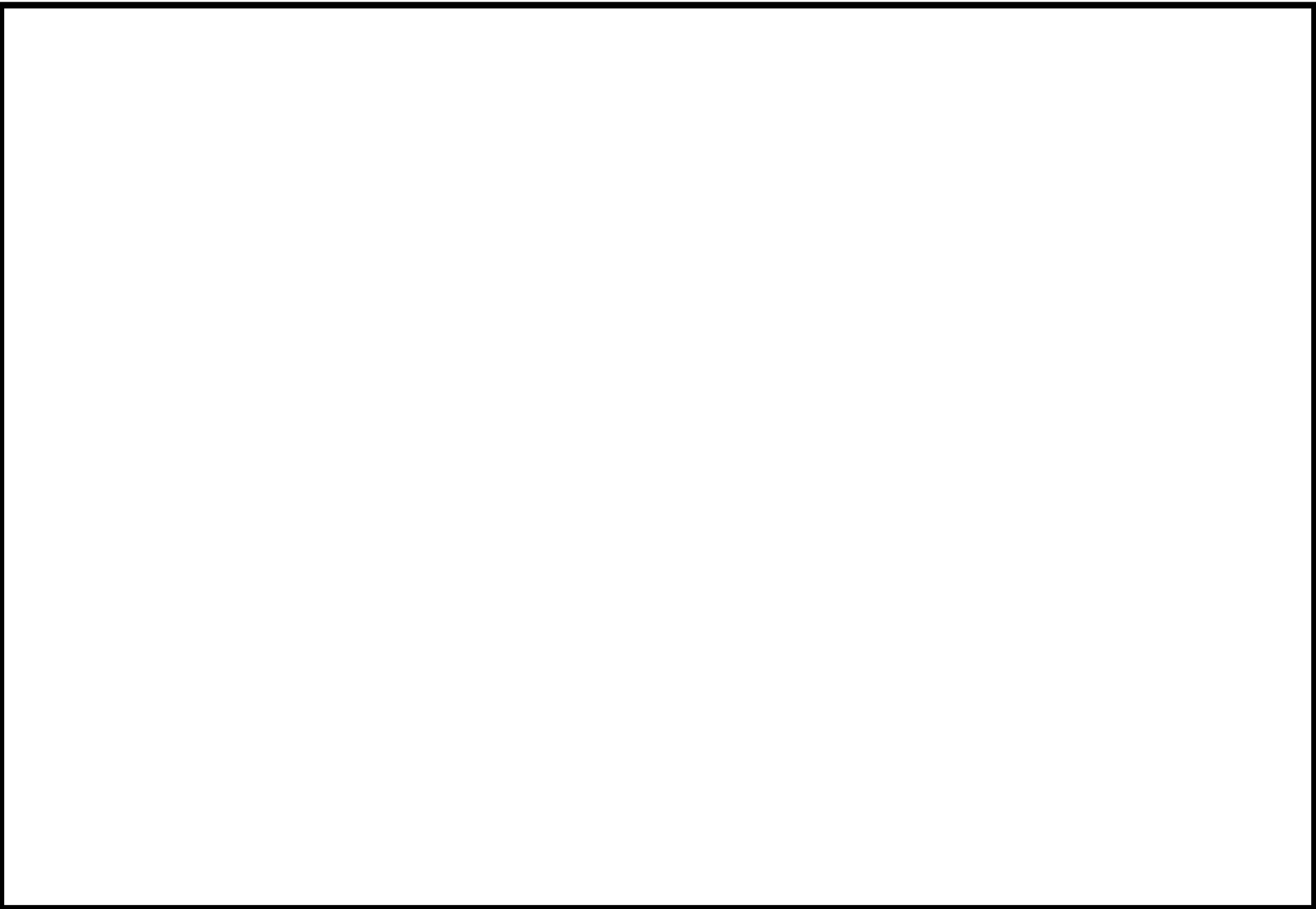
 : 割り増し係数 K_e , 環境効果補正係数 f_{en} を示す

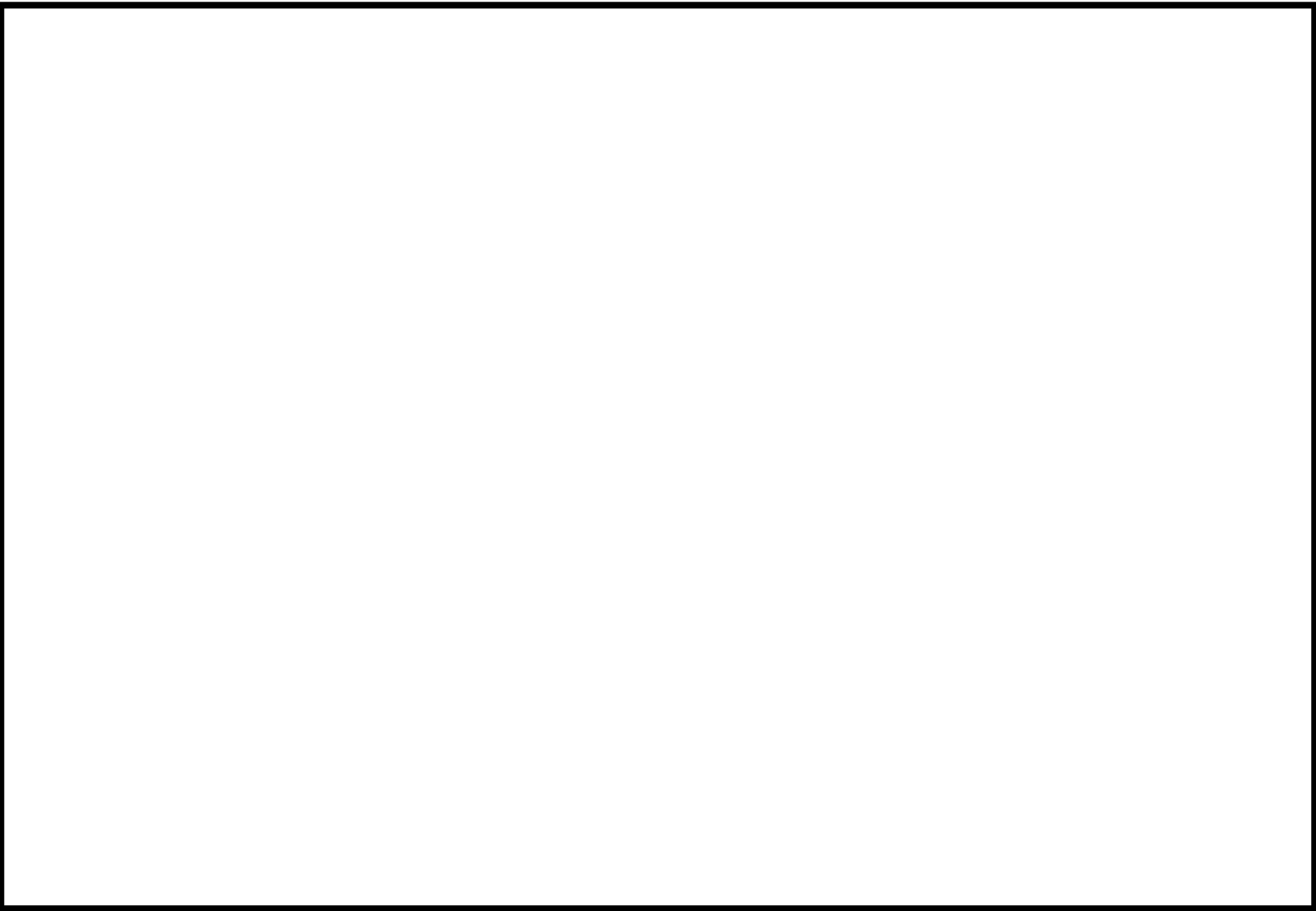
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

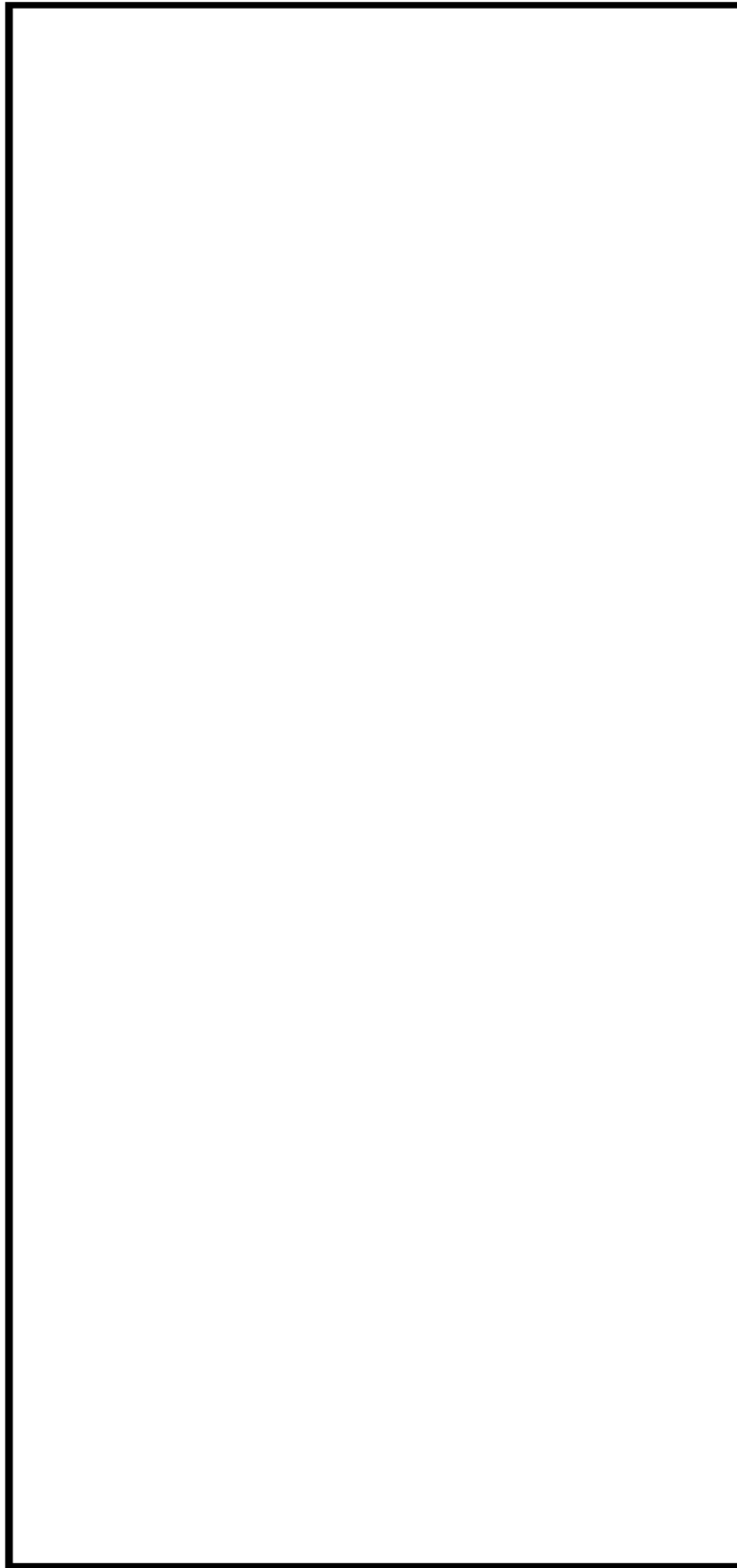
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。











空気抜管台形状寸法、評価点及び解析モデル

空気抜管台 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.00036 | 0.00003 | 0.00000 |
| 4 | 0.01151 | 0.00000 | 0.01029 |

許容値 $U_f = 1.0$

0.01151 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

空気抜管台 疲労解析結果 (評価点 : 4)

評価点 - 4
(S12)

| 応力強さ | | Ke | (単位: MPa) | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------|---------|-----|-----------|-------|-------|-----------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | | ALT | ALT' | N | N* | |
| 168.4 | -1192.7 | 1.0 | 680.6 | 702.2 | 2 | 1690 | 0.00118 |
| 168.4 | -1040.1 | 1.0 | 604.2 | 623.4 | 2 | 2600 | 0.00077 |
| 168.4 | -806.3 | 1.0 | 487.4 | 502.8 | 2 | 5900 | 0.00034 |
| 168.4 | -787.7 | 1.0 | 478.0 | 493.2 | 2 | 6370 | 0.00031 |
| 168.4 | -766.9 | 1.0 | 467.6 | 482.5 | 2 | 6960 | 0.00029 |
| 168.4 | -733.7 | 1.0 | 451.1 | 465.4 | 3 | 8050 | 0.00037 |
| 168.4 | -724.7 | 1.0 | 446.5 | 460.7 | 2 | 8380 | 0.00024 |
| 168.4 | -688.9 | 1.0 | 428.7 | 442.3 | 2 | 9880 | 0.00020 |
| 168.4 | -673.2 | 1.0 | 420.8 | 434.2 | 2 | 10700 | 0.00019 |
| 168.4 | -670.8 | 1.0 | 419.6 | 432.9 | 2 | 10900 | 0.00018 |
| 168.4 | -669.2 | 1.0 | 418.8 | 432.1 | 18 | 11000 | 0.00164 |
| 158.6 | -669.2 | 1.0 | 413.9 | 427.1 | 37 | 11700 | 0.00316 |
| 0.0 | -669.2 | 1.0 | 334.6 | 345.2 | 76 | 33600 | 0.00226 |
| -291.9 | -669.2 | 1.0 | 188.7 | 194.7 | 2 | 976000 | 0.00000 |
| -312.4 | -669.2 | 1.0 | 178.4 | 184.1 | 413 | 1180000 | 0.00035 |
| -312.4 | -616.7 | 1.0 | 152.2 | 157.0 | 0 | 2000000 | 0.00000 |
| -312.4 | -606.3 | 1.0 | 147.0 | 151.6 | 2 | 2320000 | 0.00000 |
| -312.4 | -582.0 | 1.0 | 134.8 | 139.1 | 37 | 3370000 | 0.00001 |
| -312.4 | -572.1 | 1.0 | 129.8 | 134.0 | 3 | 3970000 | 0.00000 |
| -312.4 | -524.5 | 1.0 | 106.1 | 109.4 | 38 | 13500000 | 0.00000 |
| -312.4 | -516.5 | 1.0 | 102.1 | 105.3 | 2 | 19400000 | 0.00000 |
| -312.4 | -503.2 | 1.0 | 95.4 | 98.4 | 0 | 60400000 | 0.00000 |
| -312.4 | -500.0 | 1.0 | 93.8 | 96.8 | 2 | 157000000 | 0.00000 |
| -312.4 | -490.3 | 1.0 | 89.0 | 91.8 | 39 | | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.01151 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

空気抜管台 環境疲労評価結果（評価点：3）

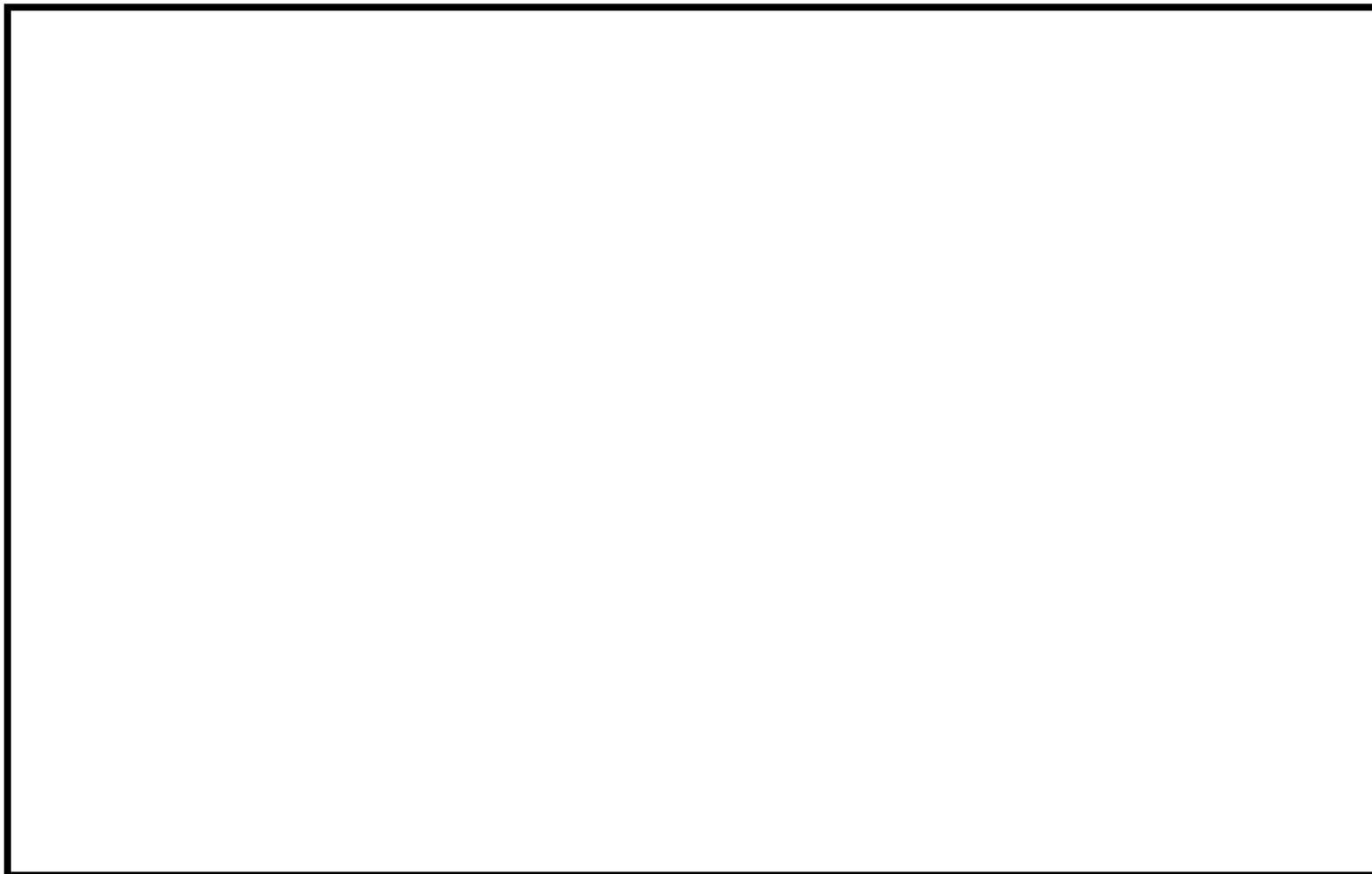
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|-----|-------------------|--------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 1A1 | 2D4 | 94.6 | -566.8 | 1.24 | 408.7 | 421.7 | 2 | 12400 | 0.00016 | 3.011 | 0.00049 |
| 1A1 | 2G1 | 94.6 | -493.2 | 1.00 | 293.9 | 303.3 | 2 | 65900 | 0.00003 | 3.094 | 0.00009 |
| 1A1 | 2D2 | 94.6 | -376.4 | 1.00 | 235.5 | 243.0 | 2 | 227000 | 0.00001 | 3.035 | 0.00003 |
| 1A1 | 1L1 | 94.6 | -364.7 | 1.00 | 229.6 | 236.9 | 2 | 265000 | 0.00001 | 3.042 | 0.00002 |
| 1A1 | 2F1 | 94.6 | -356.1 | 1.00 | 225.4 | 232.5 | 2 | 298000 | 0.00001 | 3.027 | 0.00002 |
| 1A1 | 2D1 | 94.6 | -337.5 | 1.00 | 216.1 | 222.9 | 3 | 387000 | 0.00001 | 3.066 | 0.00002 |
| 1A1 | 2C2 | 94.6 | -335.7 | 1.00 | 215.2 | 222.0 | 2 | 397000 | 0.00001 | 3.053 | 0.00002 |
| 1A1 | 2E1 | 94.6 | -309.5 | 1.00 | 202.1 | 208.5 | 2 | 601000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 2H2 | 94.6 | -309.1 | 1.00 | 201.9 | 208.3 | 2 | 605000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 1G1 | 94.6 | -303.3 | 1.00 | 198.9 | 205.3 | 2 | 671000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 1D1 | 94.6 | -302.4 | 1.00 | 198.5 | 204.8 | 18 | 682000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 |
| 2J1 | 1D1 | 89.6 | -302.4 | 1.00 | 196.0 | 202.2 | 37 | 746000 | 0.00005 | 1.000 | 0.00005 |
| NSS | 1D1 | 0.0 | -302.4 | 1.00 | 151.2 | 156.0 | 76 | 2050000 | 0.00004 | 1.000 | 0.00004 |
| 2H1 | 1D1 | -99.9 | -302.4 | 1.00 | 101.2 | 104.4 | 2 | 21700000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 1D1 | -110.9 | -302.4 | 1.00 | 95.7 | 98.7 | 413 | 54600000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1C1 | 2A1 | -110.9 | -275.0 | 1.00 | 82.0 | 84.6 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.00082 |

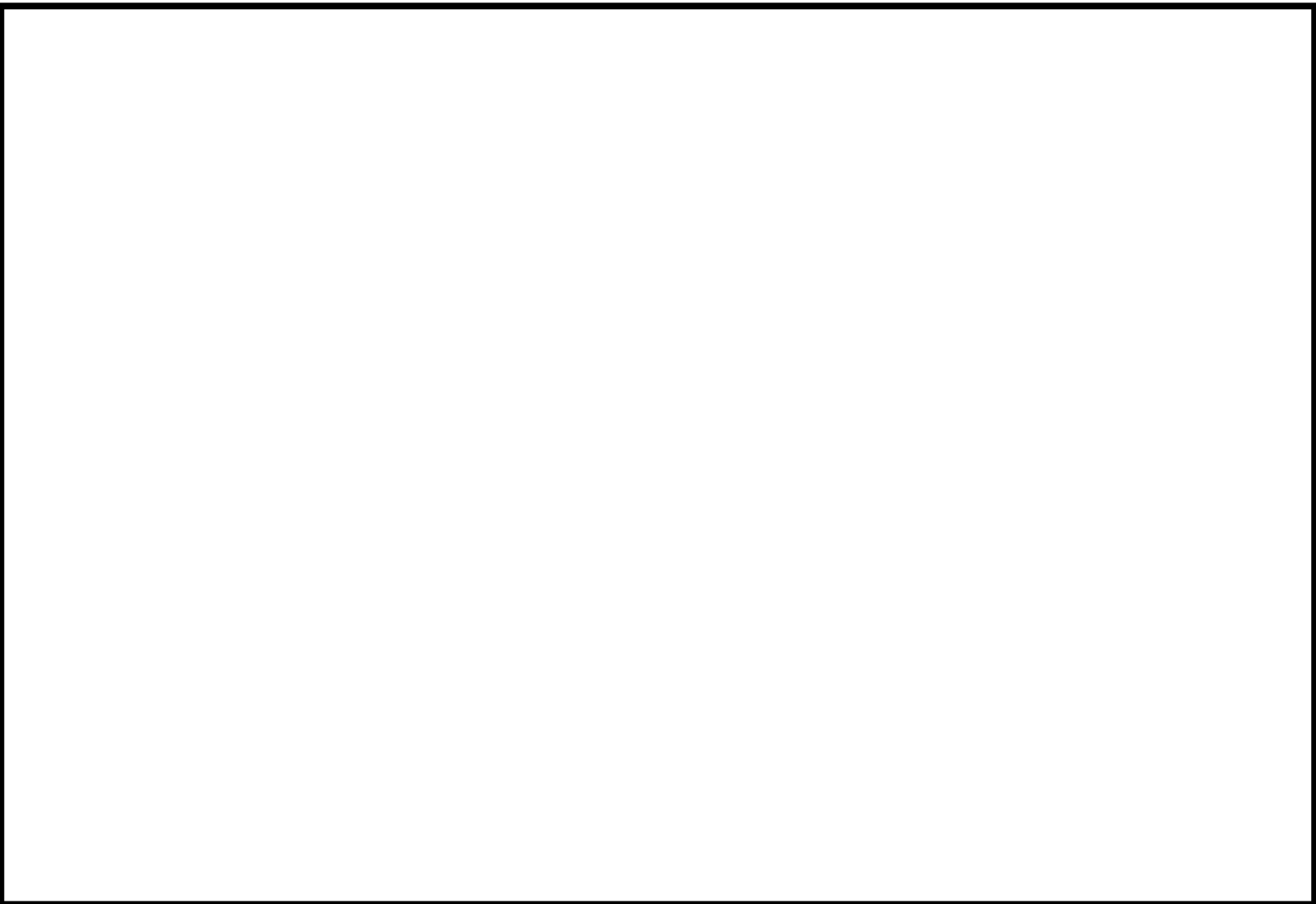
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

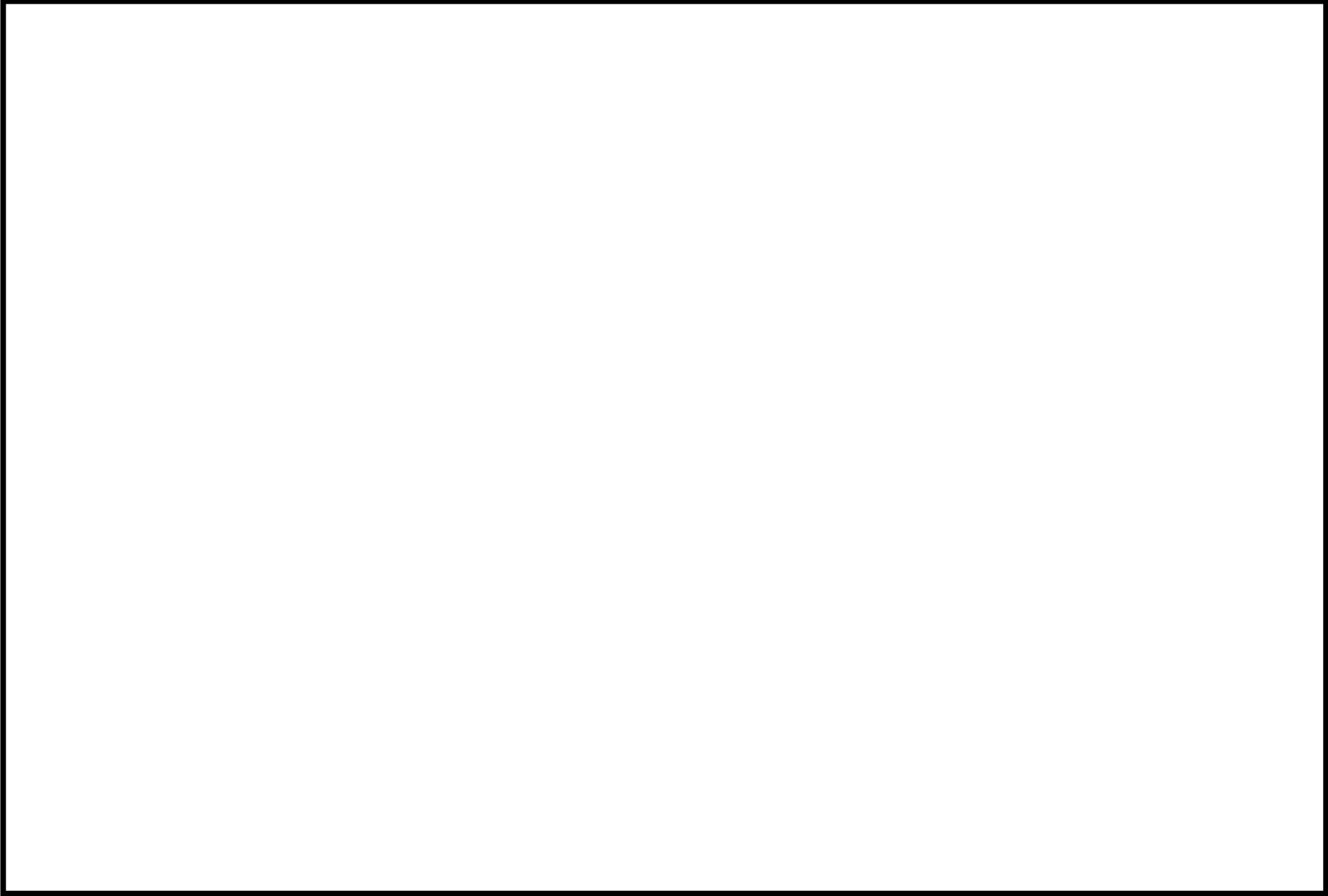
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

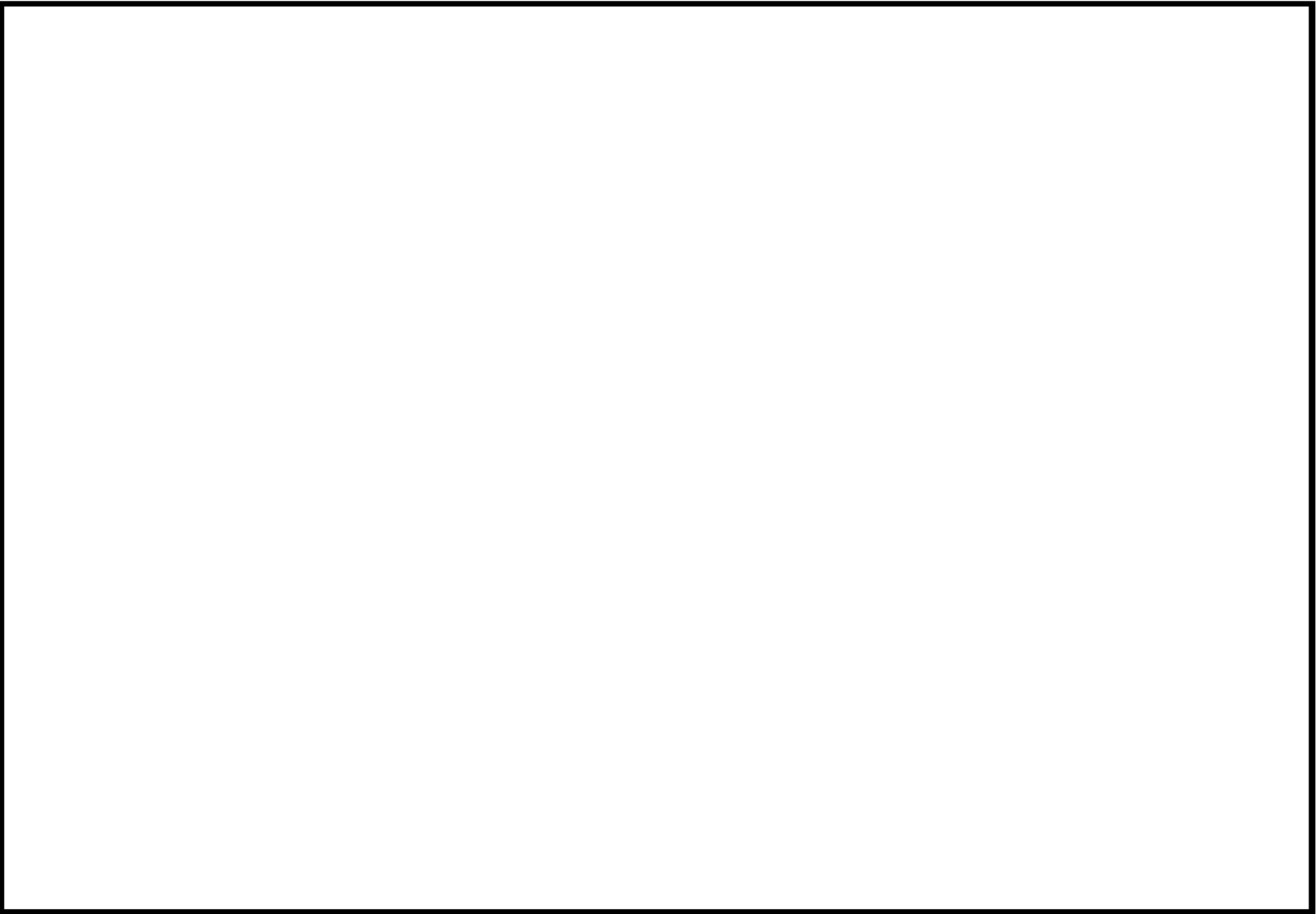
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

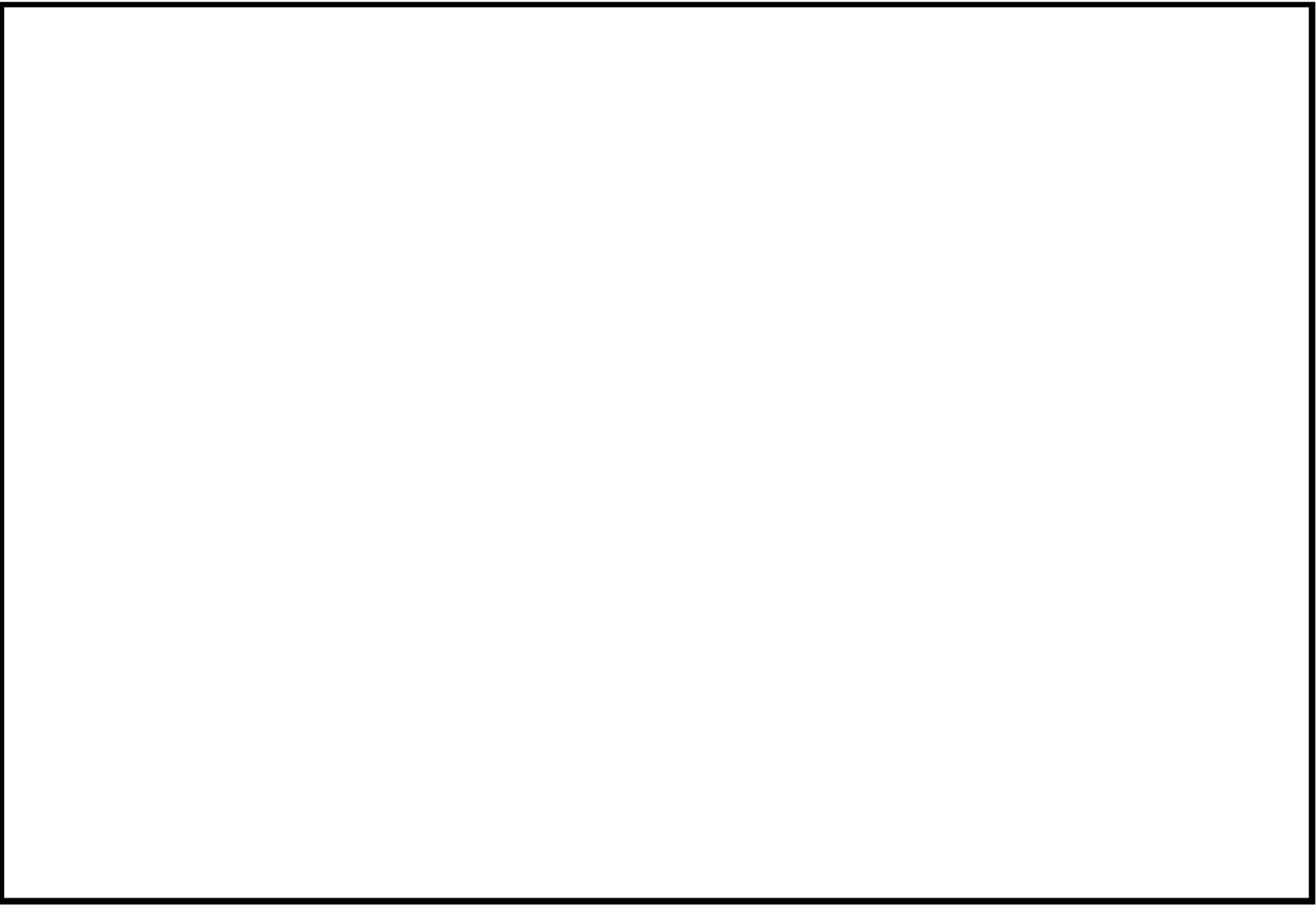
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

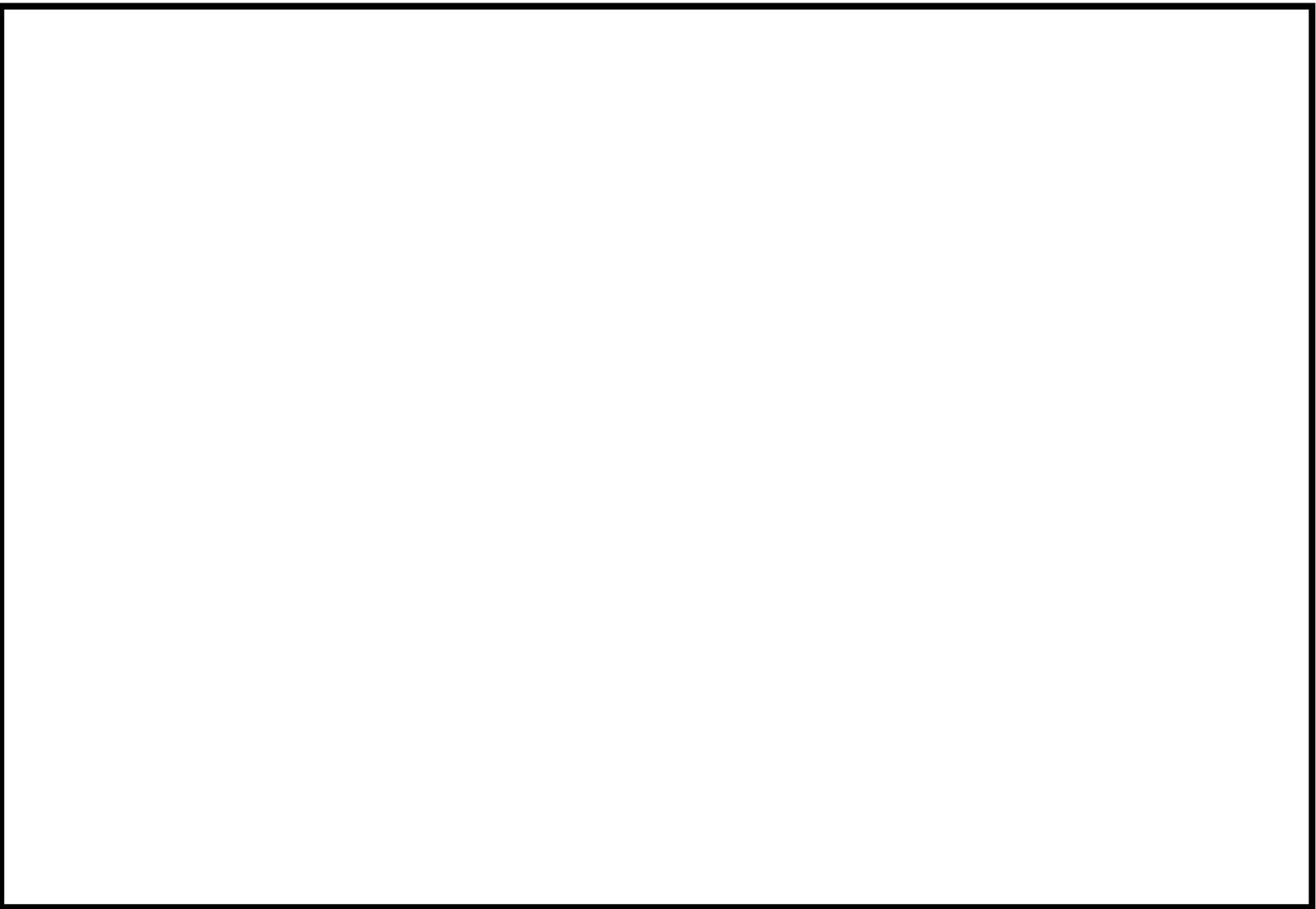




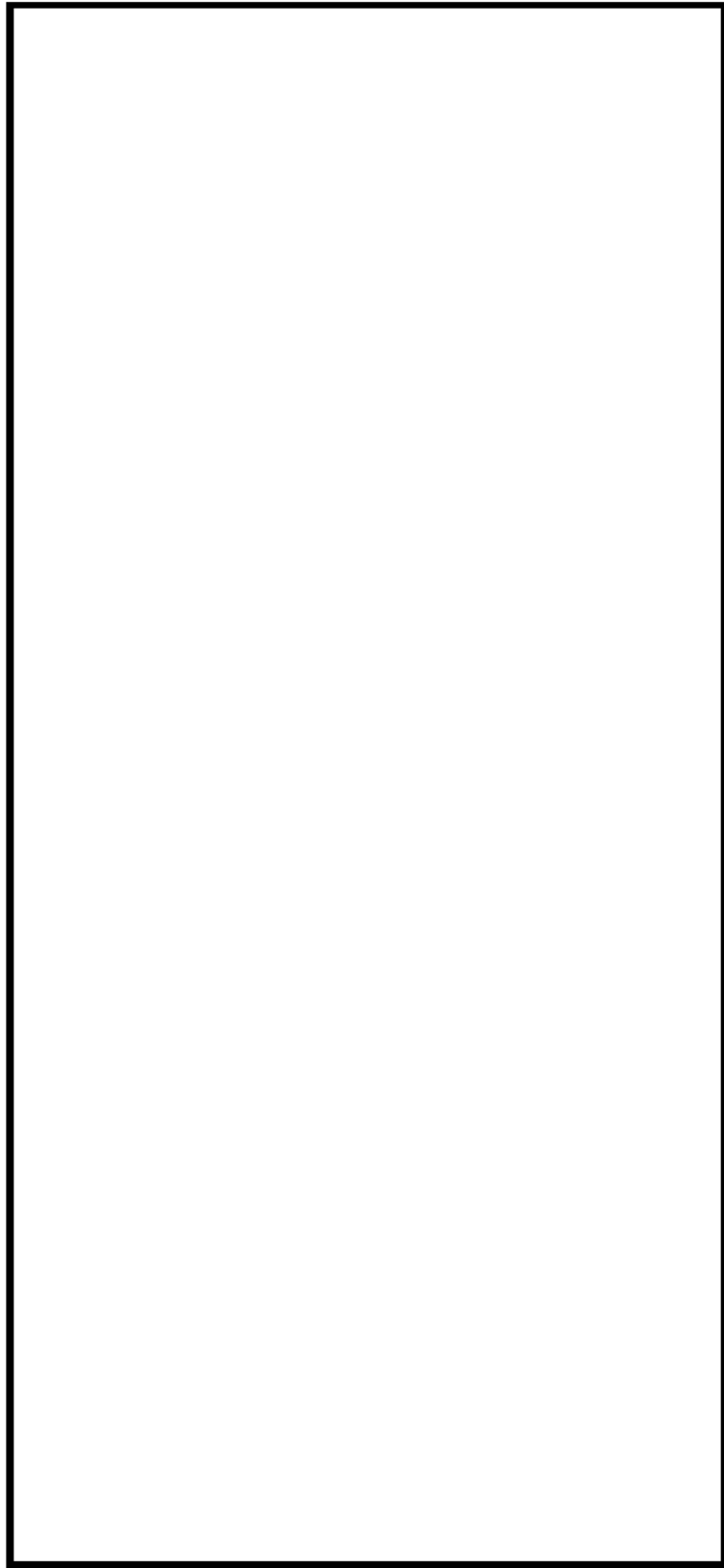












炉内計装筒形状寸法、評価点及び解析モデル

炉内計装筒 最大評価点の選定

| 評価点 | U (S12) | U (S23) | U (S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 0.0 | 0.0 | 0.00000 |
| 6 | 0.00000 | 0.0 | 0.00000 |
| 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 0.00000 | 0.0 | 0.00000 |
| 9 | 0.00143 | 0.00019 | 0.0 |
| 10 | 0.01979 | 0.00081 | 0.12933 |

許容値 $U_f = 1.0$

0.12933 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

炉内計装筒 疲労解析結果 (評価点 : 10)

評価点 - 10
(S31)

| 応力強さ (単位 : MPa) | | Ke | (単位 : MPa) | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|-----------------|--------|-----|------------|-------|-------|-----------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | | ALT | ALT' | N | N* | |
| 1647.5 | -176.0 | 1.0 | 911.8 | 893.4 | 2 | 761 | 0.00263 |
| 1480.9 | -176.0 | 1.0 | 828.5 | 811.8 | 2 | 1030 | 0.00194 |
| 1161.4 | -176.0 | 1.0 | 668.7 | 655.3 | 2 | 2160 | 0.00093 |
| 1154.6 | -176.0 | 1.0 | 665.3 | 651.9 | 7 | 2200 | 0.00318 |
| 1152.3 | -176.0 | 1.0 | 664.2 | 650.8 | 48 | 2210 | 0.02172 |
| 1152.3 | -148.3 | 1.0 | 650.3 | 637.2 | 13 | 2400 | 0.00542 |
| 1146.0 | -148.3 | 1.0 | 647.1 | 634.1 | 2 | 2440 | 0.00082 |
| 1135.1 | -148.3 | 1.0 | 641.7 | 628.8 | 4 | 2520 | 0.00159 |
| 1093.7 | -148.3 | 1.0 | 621.0 | 608.5 | 50 | 2850 | 0.01754 |
| 1093.7 | -147.1 | 1.0 | 620.4 | 607.9 | 69 | 2860 | 0.02413 |
| 1093.7 | -137.6 | 1.0 | 615.7 | 603.3 | 62 | 2940 | 0.02109 |
| 1093.7 | 0.0 | 1.0 | 546.9 | 535.9 | 130 | 4590 | 0.02832 |
| 1093.7 | 495.4 | 1.0 | 299.1 | 293.1 | 2 | 79300 | 0.00003 |
| 1093.7 | 714.3 | 1.0 | 189.7 | 185.9 | 7 | 1150000 | 0.00001 |
| 1093.7 | 812.3 | 1.0 | 140.7 | 137.9 | 2 | 3500000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 830.8 | 1.0 | 131.5 | 128.8 | 2 | 4690000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 846.1 | 1.0 | 123.8 | 121.3 | 2 | 6550000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 860.1 | 1.0 | 116.8 | 114.5 | 2 | 9250000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 867.4 | 1.0 | 113.2 | 110.9 | 6 | 11900000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 879.7 | 1.0 | 107.0 | 104.8 | 3 | 20400000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 884.6 | 1.0 | 104.6 | 102.5 | 2 | 29100000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 901.3 | 1.0 | 96.2 | 94.3 | 2 | 715000000 | 0.00000 |
| 1093.7 | 938.9 | 1.0 | 77.4 | 75.9 | 4 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.12933 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

炉内計装筒 環境疲労評価結果（評価点：9）

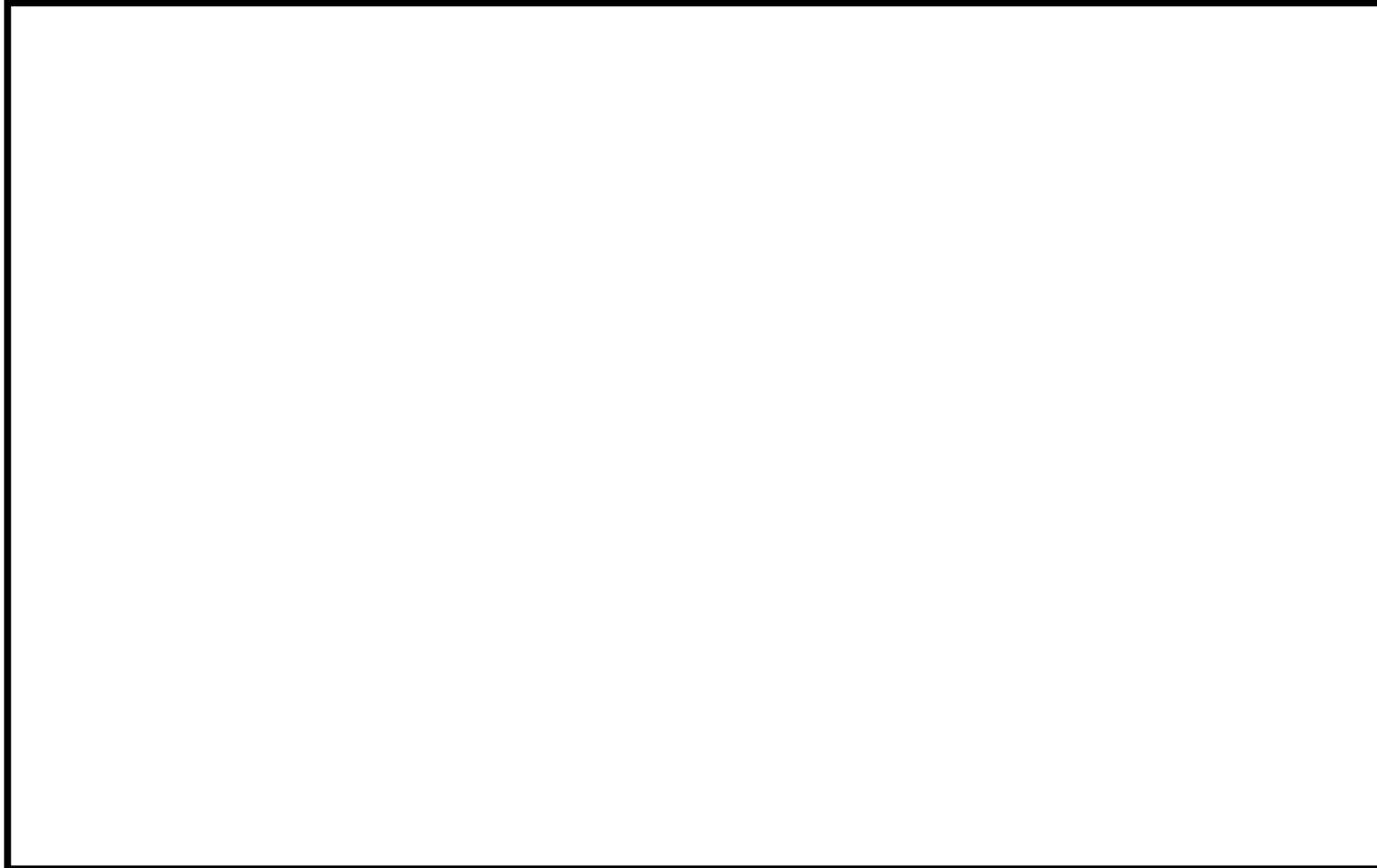
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|-----|-------------------|--------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 2J1 | 2D4 | 22.3 | -661.2 | 1.00 | 341.8 | 334.9 | 2 | 39100 | 0.00005 | 2.844 | 0.00015 |
| 2J1 | 2G1 | 22.3 | -604.7 | 1.00 | 313.5 | 307.2 | 2 | 61400 | 0.00003 | 3.062 | 0.00010 |
| 2J1 | 2A1 | 22.3 | -496.3 | 1.00 | 259.3 | 254.1 | 7 | 174000 | 0.00004 | 2.470 | 0.00010 |
| 2J1 | 2J2 | 22.3 | -486.7 | 1.00 | 254.5 | 249.4 | 50 | 193000 | 0.00026 | 1.884 | 0.00049 |
| 1B1 | 2J2 | 13.9 | -486.7 | 1.00 | 250.3 | 245.3 | 11 | 214000 | 0.00005 | 1.159 | 0.00006 |
| 1B1 | 2B2 | 13.9 | -483.2 | 1.00 | 248.6 | 243.6 | 4 | 223000 | 0.00002 | 1.632 | 0.00003 |
| 1B1 | 2H1 | 13.9 | -480.4 | 1.00 | 247.2 | 242.2 | 2 | 231000 | 0.00001 | 1.525 | 0.00001 |
| 1B1 | 2I1 | 13.9 | -478.2 | 1.00 | 246.1 | 241.1 | 2 | 238000 | 0.00001 | 1.547 | 0.00001 |
| 1B1 | 1C1 | 13.9 | -462.2 | 1.00 | 238.1 | 233.3 | 50 | 292000 | 0.00017 | 1.507 | 0.00026 |
| 1I1 | 1C1 | 9.8 | -462.2 | 1.00 | 236.0 | 231.3 | 62 | 308000 | 0.00020 | 3.349 | 0.00067 |
| 1A1 | 1C1 | 8.0 | -462.2 | 1.00 | 235.1 | 230.4 | 69 | 315000 | 0.00022 | 2.700 | 0.00059 |
| NSS | 1C1 | 0.0 | -462.2 | 1.00 | 231.1 | 226.5 | 130 | 351000 | 0.00037 | 3.349 | 0.00124 |
| 2E1 | 1C1 | -219.4 | -462.2 | 1.00 | 121.4 | 119.0 | 2 | 7350000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2A1 | 1C1 | -316.0 | -462.2 | 1.00 | 73.1 | 71.7 | 7 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.00371 |

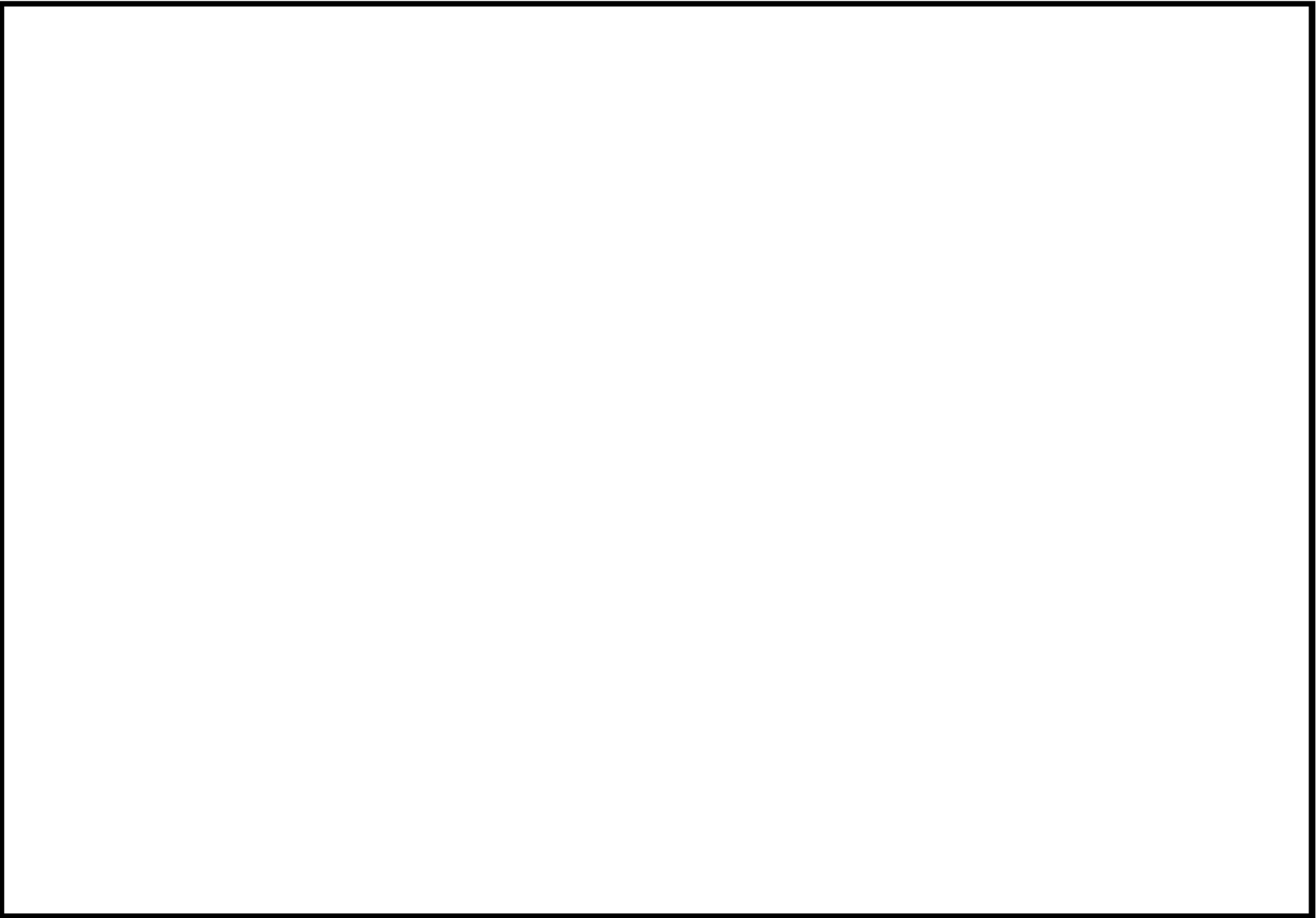
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

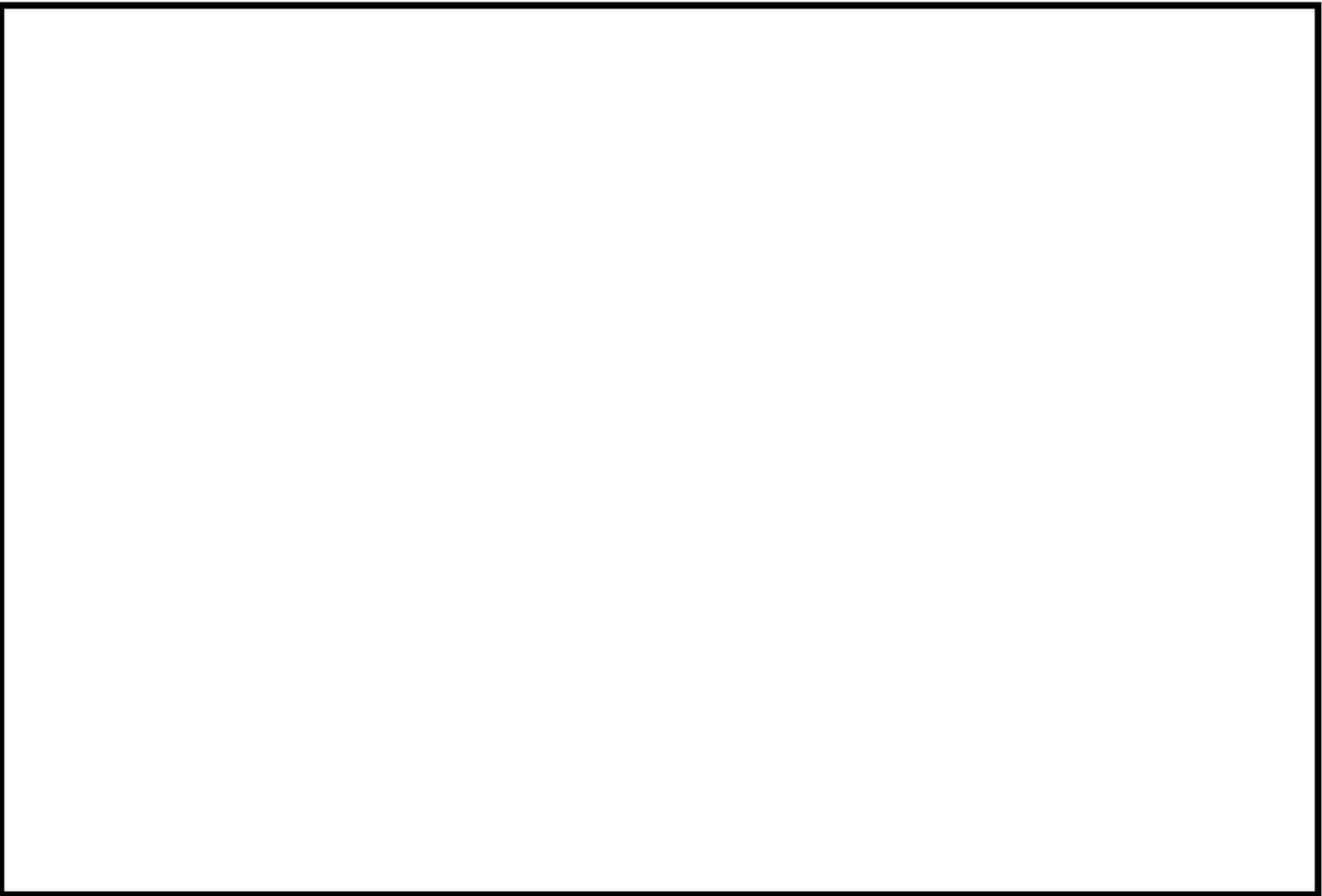
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

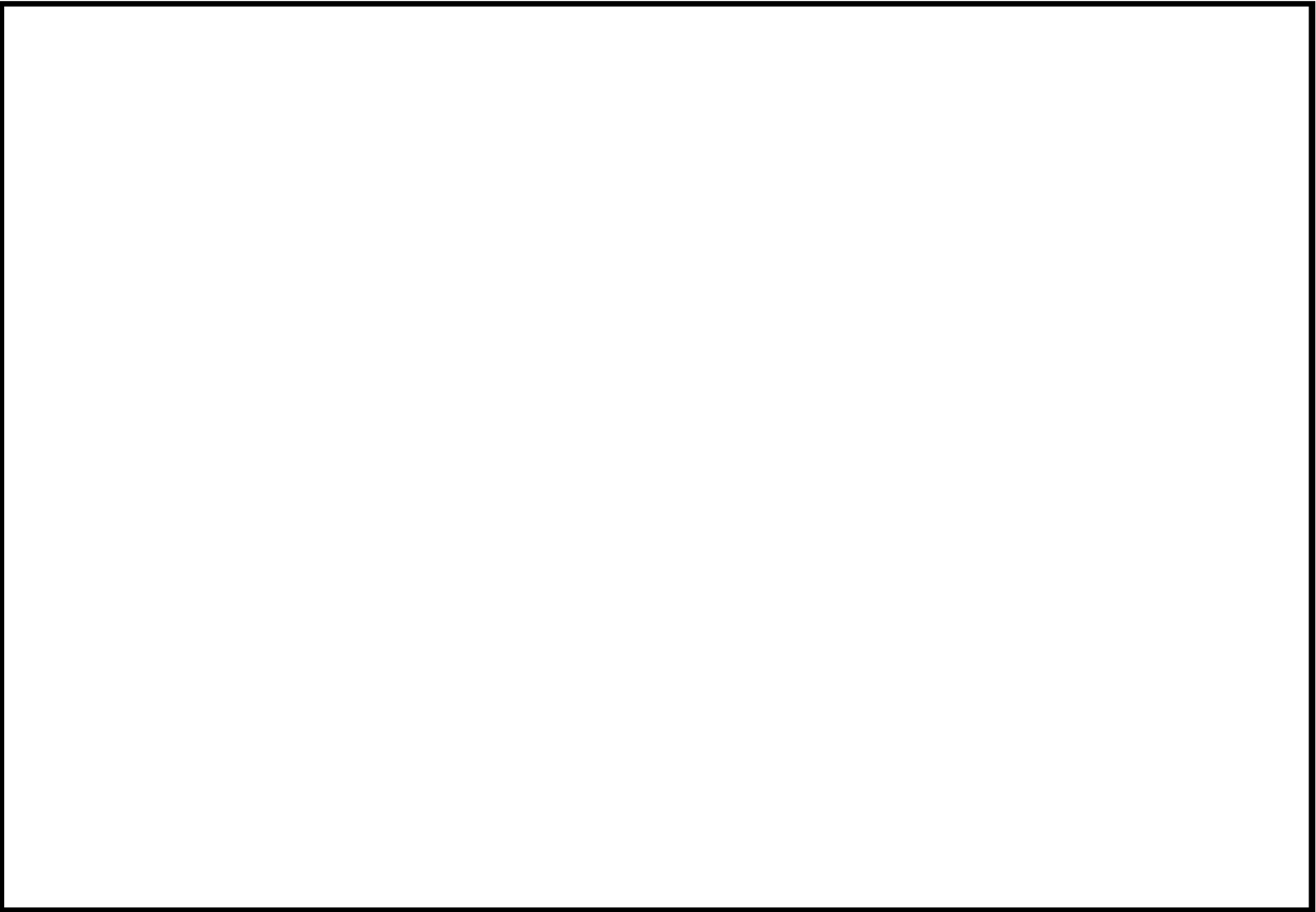
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

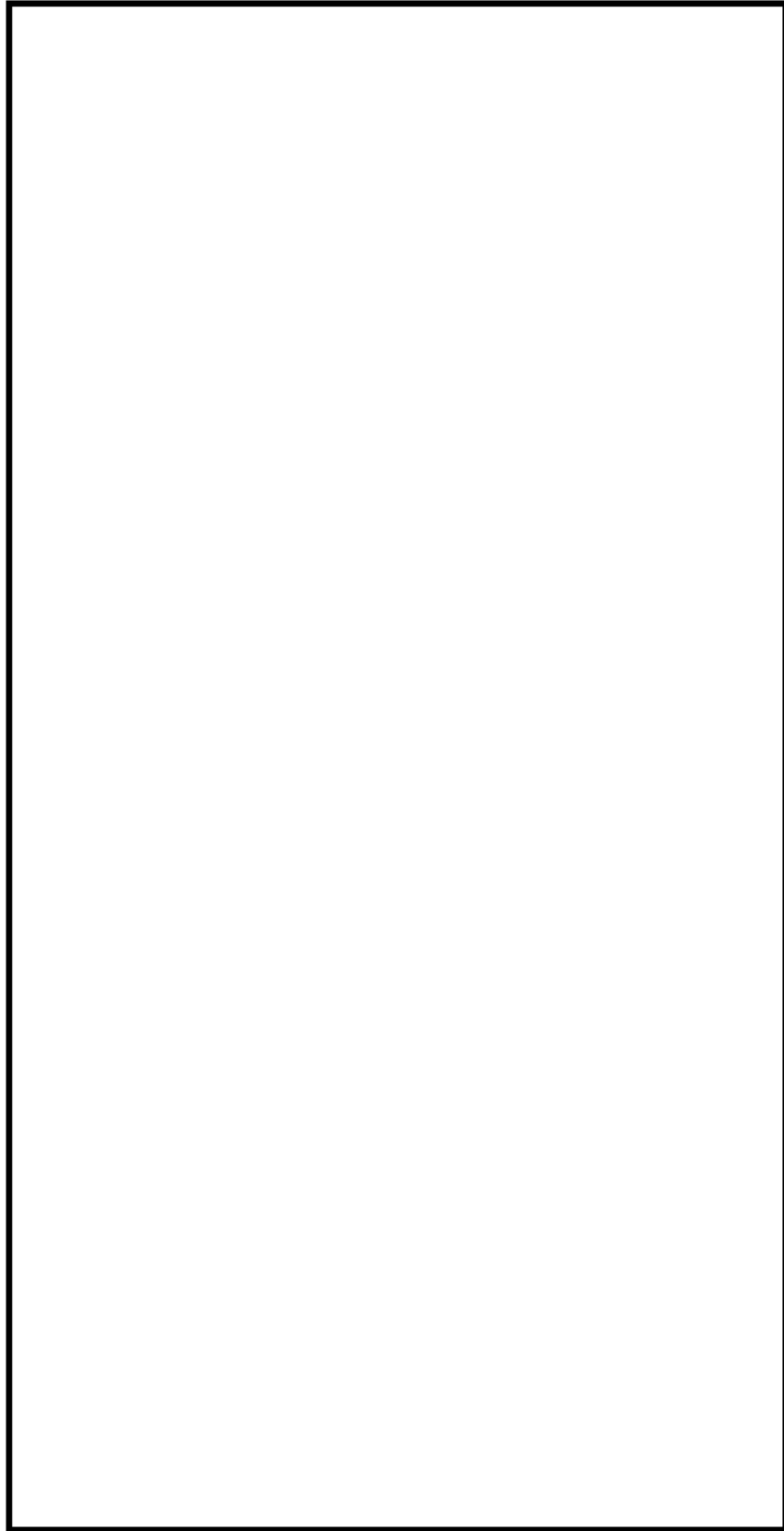
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。











上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト寸法、評価点及び解析モデル

上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.00016 | 0.00104 | 0.00046 |
| 2 | 0.00061 | 0.00043 | 0.00671 |
| 3 | 0.00041 | 0.00136 | 0.00008 |
| 4 | 0.00076 | 0.00111 | 0.00022 |
| 5 | 0.0 | 0.00308 | 0.00453 |
| 6 | 0.0 | 0.00089 | 0.00146 |
| 7 | 0.20363 | 0.0 | 0.20363 |
| 8 | 0.04789 | 0.0 | 0.04789 |
| 9 | 0.11701 | 0.0 | 0.11701 |
| 10 | 0.04565 | 0.0 | 0.04565 |

許容値 $U_t=1.0$

0.00671 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

上部ふた、上部胴フランジ 疲労解析結果 (評価点 : 2)

評価点 - 2
(S31)

| 応力強さ (単位 : MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) | | |
|-------------------|--------|-----|-------|-------|-----------------|--------|---------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | | N | N* |
| 0.0 | -427.2 | 1.0 | 213.6 | 255.6 | 37 | 10800 | 0.00343 |
| -42.0 | -427.2 | 1.0 | 192.6 | 230.5 | 2 | 15400 | 0.00013 |
| -42.0 | -382.8 | 1.0 | 170.4 | 203.9 | 37 | 23200 | 0.00159 |
| -70.5 | -377.1 | 1.0 | 153.3 | 183.4 | 2 | 32100 | 0.00006 |
| -70.5 | -374.8 | 1.0 | 152.2 | 182.1 | 3 | 32900 | 0.00009 |
| -70.5 | -366.2 | 1.0 | 147.9 | 176.9 | 32 | 35900 | 0.00089 |
| -103.2 | -366.2 | 1.0 | 131.5 | 157.4 | 2 | 52500 | 0.00004 |
| -124.5 | -366.2 | 1.0 | 120.9 | 144.6 | 37 | 79400 | 0.00047 |
| -176.6 | -366.2 | 1.0 | 94.8 | 113.5 | 2 | 204000 | 0.00001 |
| -231.7 | -366.2 | 1.0 | 67.2 | 80.4 | 2 | ----- | 0.0 |
| | | | | | 疲労累積係数 = | | 0.00671 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

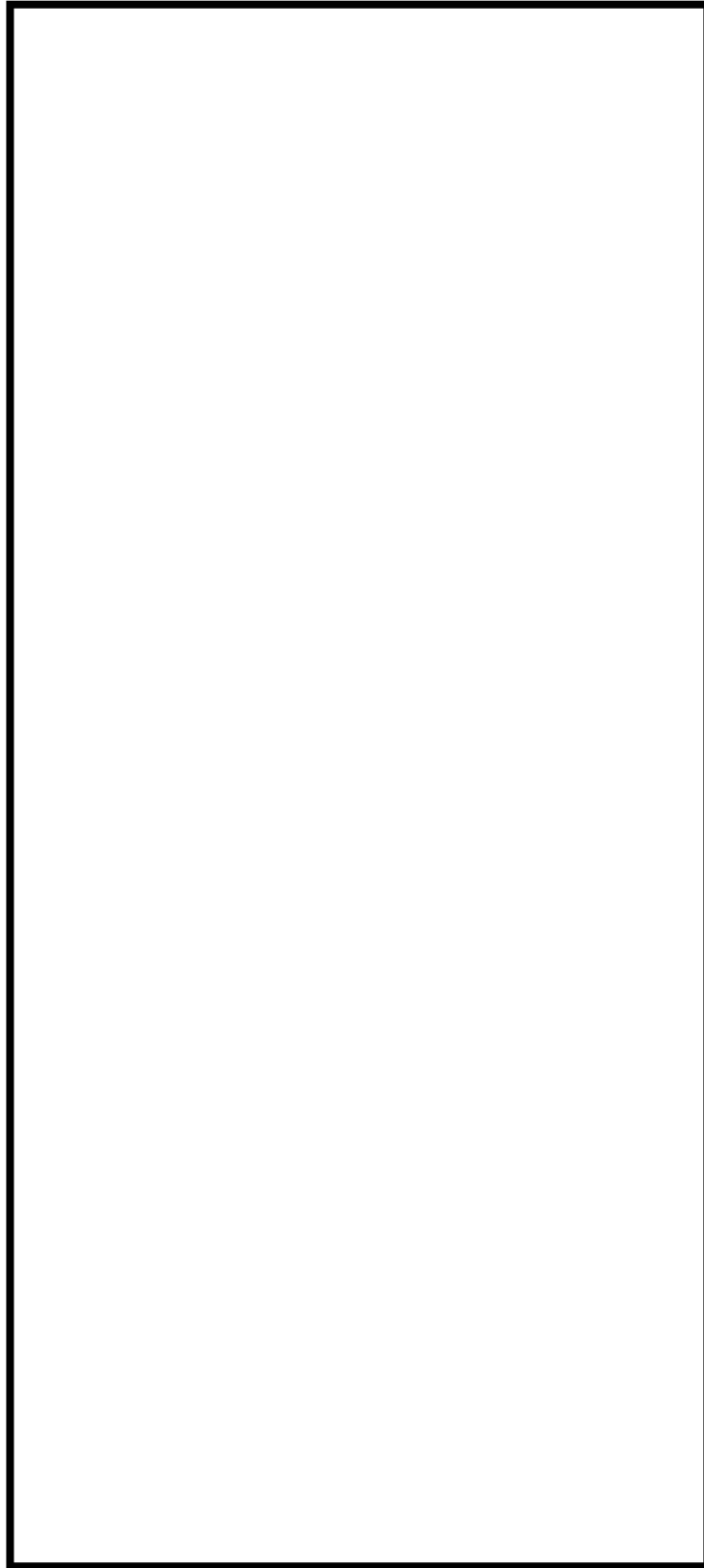
スタッドボルト 疲労解析結果 (評価点 : 7)

評価点 - 7
(S12)

| 応力強さ | | (単位 : MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------|--------|--------------|-------|--------|-------|--------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | N | N* | |
| 1957.9 | 0.0 | 1.0 | 978.9 | 1171.3 | 37 | 352 | 0.10511 |
| 1957.9 | 216.7 | 1.0 | 870.6 | 1041.7 | 5 | 447 | 0.01119 |
| 1704.9 | 216.7 | 1.0 | 744.1 | 890.4 | 37 | 609 | 0.06076 |
| 1370.9 | 422.3 | 1.0 | 474.3 | 567.5 | 2 | 1480 | 0.00135 |
| 1351.8 | 422.3 | 1.0 | 464.8 | 556.1 | 3 | 1540 | 0.00195 |
| 1285.2 | 422.3 | 1.0 | 431.5 | 516.3 | 2 | 1790 | 0.00112 |
| 1270.6 | 422.3 | 1.0 | 424.2 | 507.5 | 30 | 1860 | 0.01613 |
| 1270.6 | 542.3 | 1.0 | 364.2 | 435.7 | 2 | 2520 | 0.00079 |
| 1270.6 | 709.9 | 1.0 | 280.4 | 335.5 | 2 | 4260 | 0.00047 |
| 1270.6 | 858.3 | 1.0 | 206.2 | 246.7 | 8 | 8780 | 0.00091 |
| 1269.2 | 858.3 | 1.0 | 205.4 | 245.8 | 29 | 8850 | 0.00328 |
| 1269.2 | 894.4 | 1.0 | 187.4 | 224.2 | 2 | 11300 | 0.00018 |
| 1269.2 | 911.6 | 1.0 | 178.8 | 213.9 | 2 | 13100 | 0.00015 |
| 1269.2 | 964.7 | 1.0 | 152.3 | 182.2 | 2 | 21900 | 0.00009 |
| 1269.2 | 1010.8 | 1.0 | 129.2 | 154.6 | 3 | 46300 | 0.00006 |
| 1269.2 | 1014.7 | 1.0 | 127.2 | 152.3 | 2 | 49600 | 0.00004 |
| 1260.1 | 1028.0 | 1.0 | 116.1 | 138.9 | 0 | 76100 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1028.0 | 1.0 | 112.4 | 134.5 | 2 | 88300 | 0.00002 |
| 1252.9 | 1037.2 | 1.0 | 107.8 | 129.0 | 0 | 109000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1052.5 | 1.0 | 100.2 | 119.9 | 2 | 172000 | 0.00001 |
| 1252.9 | 1066.3 | 1.0 | 93.3 | 111.6 | 2 | 280000 | 0.00001 |
| 1252.9 | 1066.6 | 1.0 | 93.2 | 111.5 | 0 | 283000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1075.4 | 1.0 | 88.7 | 106.2 | 2 | 401000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1078.8 | 1.0 | 87.0 | 104.1 | 0 | 462000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1082.1 | 1.0 | 85.4 | 102.2 | 2 | 527000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1088.6 | 1.0 | 82.2 | 98.3 | 2 | 686000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1092.7 | 1.0 | 80.1 | 95.8 | 0 | 817000 | 0.00000 |
| 1252.9 | 1097.5 | 1.0 | 77.7 | 93.0 | 2 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.20363 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

: 割り増し係数 Ke を示す



下部胴・下部鏡接続部形状寸法、評価点及び解析モデル

下部胴・下部鏡接続部 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|--------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00098 | 0.00004 |
| 2 | 0.0 | 0.00015 | 0.0 |
| 3 | 0.0 | 0.00107 | 0.00379 |
| 4 | 0.0 | 0.00001 | 0.00001 |

許容値 $U_r=1.0$

0.00379 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

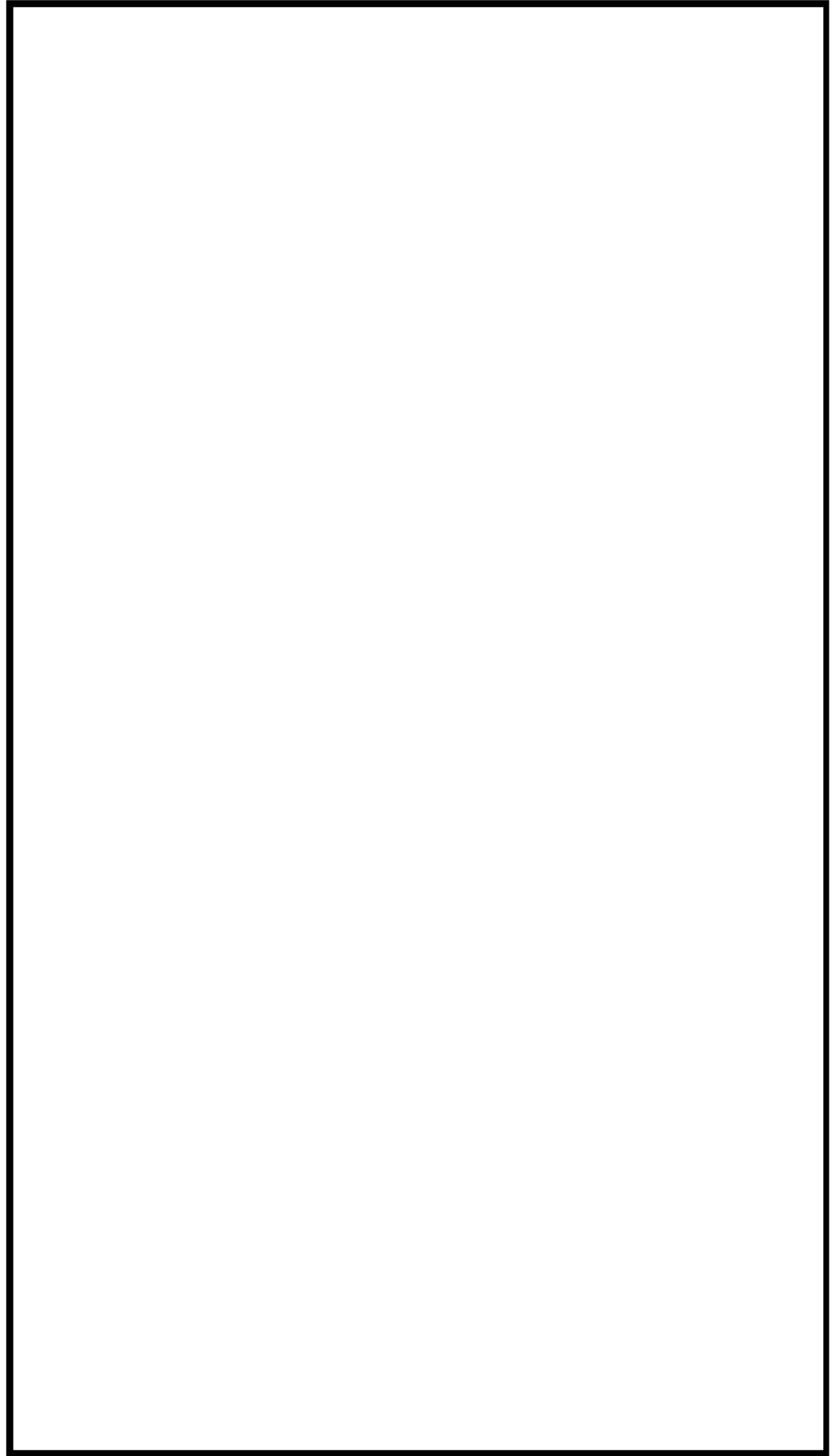
下部胴・下部鏡接続部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3
(S31)

| 応力強さ | | (単位 : MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------|--------|--------------|-------|-------|-------|--------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | N | N* | |
| 15.0 | -365.5 | 1.0 | 190.2 | 223.7 | 2 | 17100 | 0.00012 |
| 15.0 | -319.3 | 1.0 | 167.1 | 196.6 | 2 | 25900 | 0.00008 |
| 15.0 | -261.3 | 1.0 | 138.2 | 162.5 | 2 | 46700 | 0.00004 |
| 15.0 | -248.1 | 1.0 | 131.5 | 154.7 | 2 | 57100 | 0.00004 |
| 15.0 | -241.6 | 1.0 | 128.3 | 150.9 | 7 | 64500 | 0.00011 |
| 15.0 | -239.0 | 1.0 | 127.0 | 149.4 | 46 | 67800 | 0.00068 |
| 9.3 | -239.0 | 1.0 | 124.2 | 146.0 | 15 | 75800 | 0.00020 |
| 9.3 | -238.3 | 1.0 | 123.8 | 145.6 | 4 | 76800 | 0.00005 |
| 9.3 | -235.2 | 1.0 | 122.2 | 143.8 | 2 | 81800 | 0.00002 |
| 9.3 | -234.9 | 1.0 | 122.1 | 143.7 | 48 | 82100 | 0.00058 |
| 0.0 | -234.9 | 1.0 | 117.5 | 138.2 | 130 | 99400 | 0.00131 |
| -5.9 | -234.9 | 1.0 | 114.5 | 134.7 | 62 | 109000 | 0.00057 |
| -134.2 | -234.9 | 1.0 | 50.4 | 59.3 | 2 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.00379 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す



炉心支持金物及び炉心支持金物取付部形状寸法、評価点及び解析モデル

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00058 | 0.00038 |
| 2 | 0.0 | 0.00039 | 0.0 |
| 3 | 0.0 | 0.00499 | 0.00024 |
| 4 | 0.0 | 0.00015 | 0.0 |
| 5 | 0.0 | 0.00022 | 0.00106 |
| 6 | 0.0 | 0.00008 | 0.0 |
| 7 | 0.00001 | 0.00484 | 0.00025 |
| 8 | 0.0 | 0.00015 | 0.0 |
| 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 0.0 | 0.0 | 0.00000 |
| 12 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 13 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

許容値 $U_f=1.0$

0.00499 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3
(S23)

| 応力強さ (単位 : MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) | | |
|-------------------|-------|-----|-------|-------|-----------------|--------|---------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | | N | N* |
| 364.3 | -40.9 | 1.0 | 202.6 | 238.3 | 2 | 13700 | 0.00015 |
| 320.5 | -40.9 | 1.0 | 180.7 | 212.5 | 2 | 20400 | 0.00010 |
| 264.4 | -40.9 | 1.0 | 152.7 | 179.5 | 2 | 34300 | 0.00006 |
| 250.1 | -40.9 | 1.0 | 145.5 | 171.1 | 61 | 39800 | 0.00153 |
| 248.2 | -40.9 | 1.0 | 144.5 | 170.0 | 2 | 40600 | 0.00005 |
| 246.7 | -38.7 | 1.0 | 142.7 | 167.8 | 7 | 42300 | 0.00017 |
| 242.7 | -38.7 | 1.0 | 140.7 | 165.5 | 4 | 44200 | 0.00009 |
| 234.4 | -38.7 | 1.0 | 136.6 | 160.6 | 50 | 48400 | 0.00103 |
| 234.4 | 0.0 | 1.0 | 117.2 | 137.8 | 130 | 100000 | 0.00130 |
| 234.4 | 11.9 | 1.0 | 111.2 | 130.8 | 62 | 121000 | 0.00051 |
| 234.4 | 110.2 | 1.0 | 62.1 | 73.0 | 2 | ----- | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00499

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 環境疲労評価結果 (評価点 : 1 1)

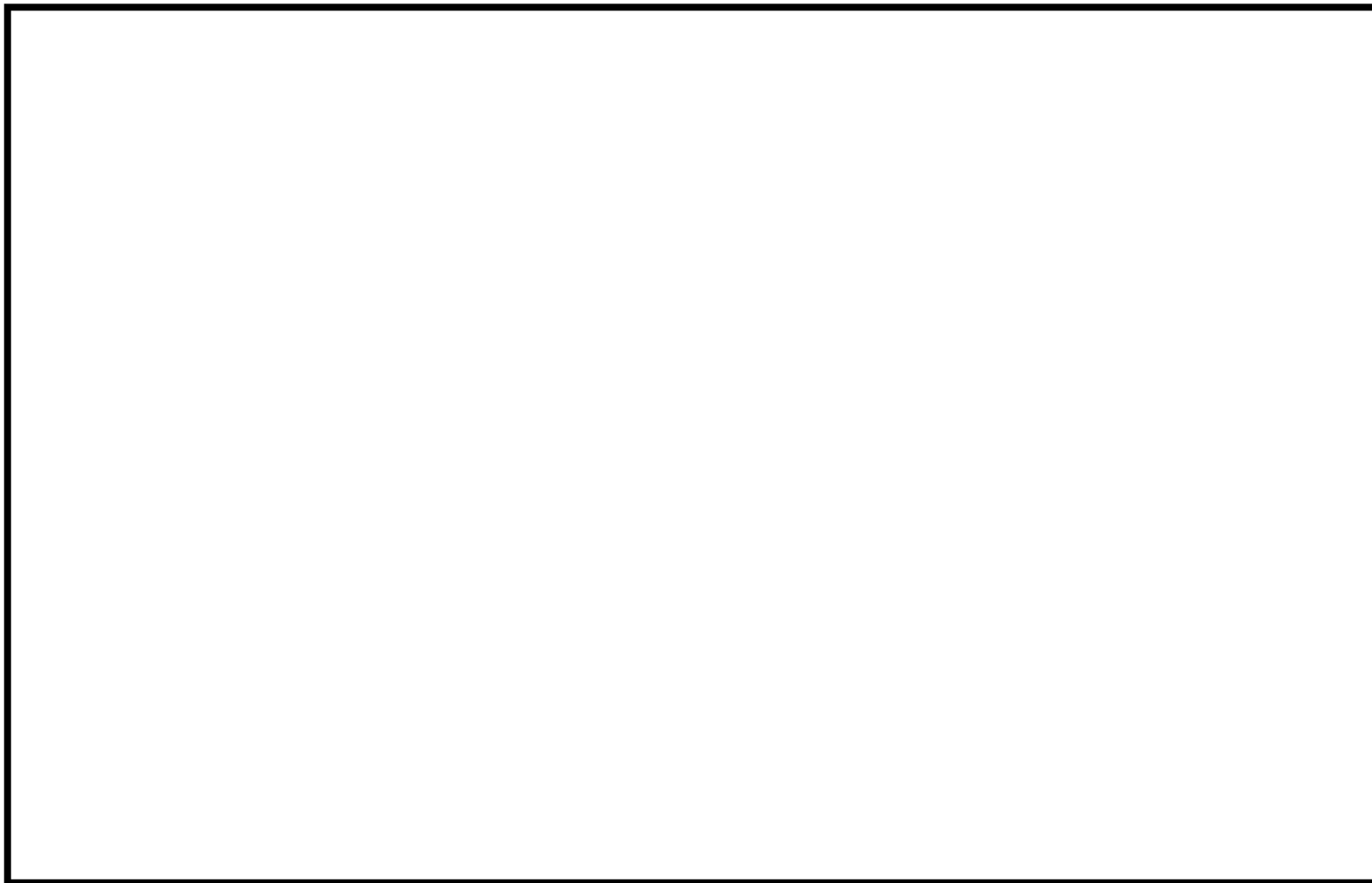
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回 数 n | 許容繰返し 回 数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|------------|-----|-------------------|--------|------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 2A1 | 2D4 | 68.5 | -127.8 | 1.00 | 98.2 | 96.2 | 2 | 653000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2A1 | 2D2 | 68.5 | -101.1 | 1.00 | 84.8 | 83.1 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.00000 |

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

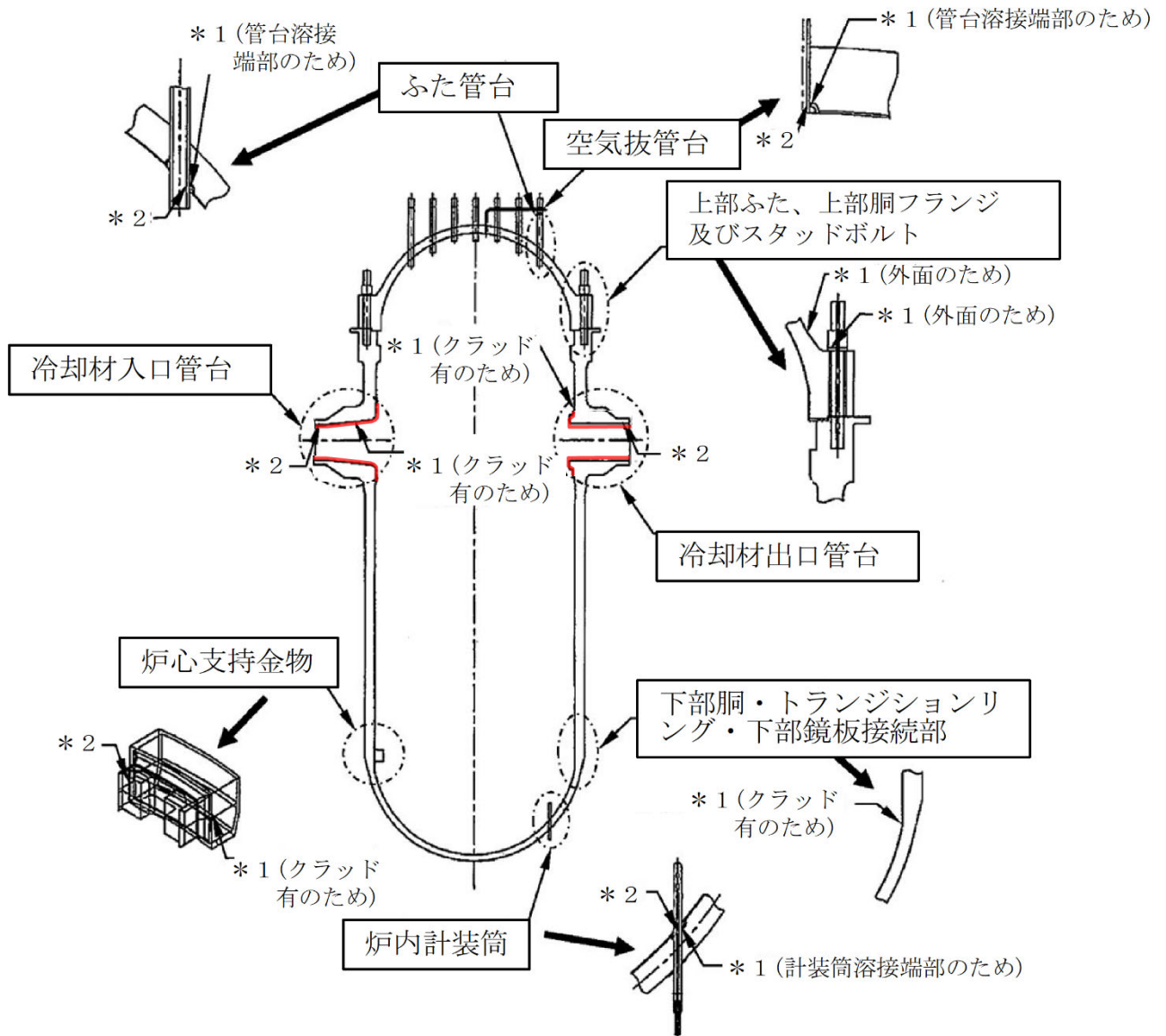
: 割り増し係数 Ke , 環境効果補正係数 fen を示す

環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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。



| タイトル | クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について | | | | | | | | |
|-------|--|--|------|-------|--------------------|-----|--------------------|-------|------|
| 説明 | <p>ステンレス鋼等クラッドにより接液していないとして環境疲労評価を行っていない部位がある機器としては、原子炉容器、加圧器、蒸気発生器がある。 (添付-1)</p> <p>これらの機器のクラッド施工部については、定期的に目視確認等を行い、異常がないことを確認している。</p> <table border="1" data-bbox="592 602 1190 757"> <thead> <tr> <th></th> <th>点検方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉容器</td> <td>目視確認^{※1}</td> </tr> <tr> <td>加圧器</td> <td>目視確認^{※2}</td> </tr> <tr> <td>蒸気発生器</td> <td>目視確認</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：維持規格においては、表面のき裂を検出するための目視試験（VT-1およびMVT-1）を定めているが、当該箇所を目視確認はこの条件を満たすものではない。ただし、供用期間中検査で実施している検査範囲に含まれるクラッド施工範囲については、変形、剥がれ、発錆などクラッド損傷に伴う異常がないことは確認できている。</p> <p>※2：加圧器のクラッド施工部のうち疲労の蓄積が考えられるスプレイライン用管台、サージ用管台の内面については、目視確認による確認が困難な場所である。しかし、供用期間中検査としてコーナー部や溶接継手部の超音波探傷検査を実施しており、この検査はクラッドを直接確認するための検査ではないがクラッド施工部に異常がないことを確認できると考えている。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | | 点検方法 | 原子炉容器 | 目視確認 ^{※1} | 加圧器 | 目視確認 ^{※2} | 蒸気発生器 | 目視確認 |
| | 点検方法 | | | | | | | | |
| 原子炉容器 | 目視確認 ^{※1} | | | | | | | | |
| 加圧器 | 目視確認 ^{※2} | | | | | | | | |
| 蒸気発生器 | 目視確認 | | | | | | | | |



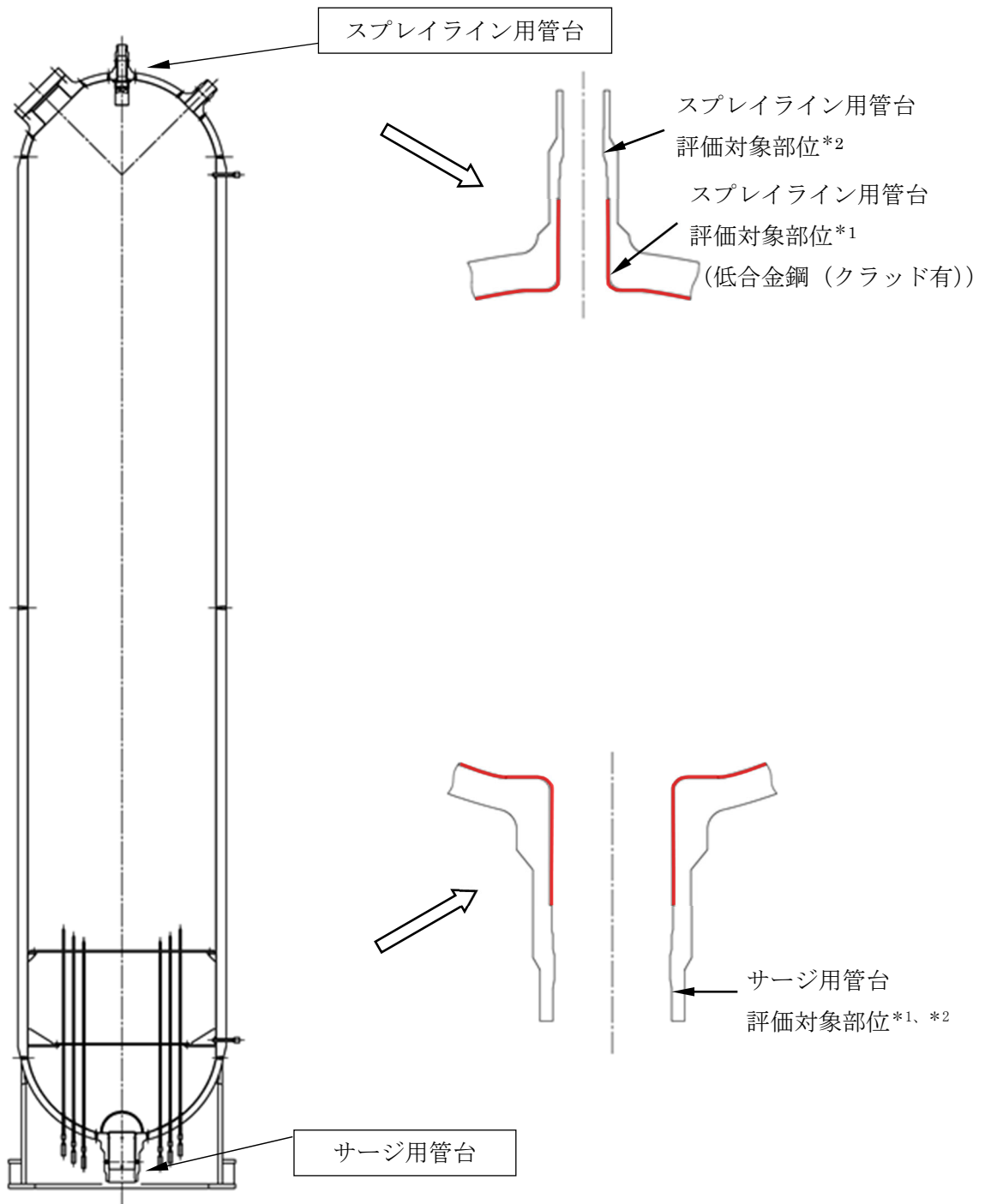
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

— クラッド施工部位 (なお原子炉容器内面は全面クラッド施工されている)

原子炉容器 疲労評価対象部位と管台クラッド施工部位



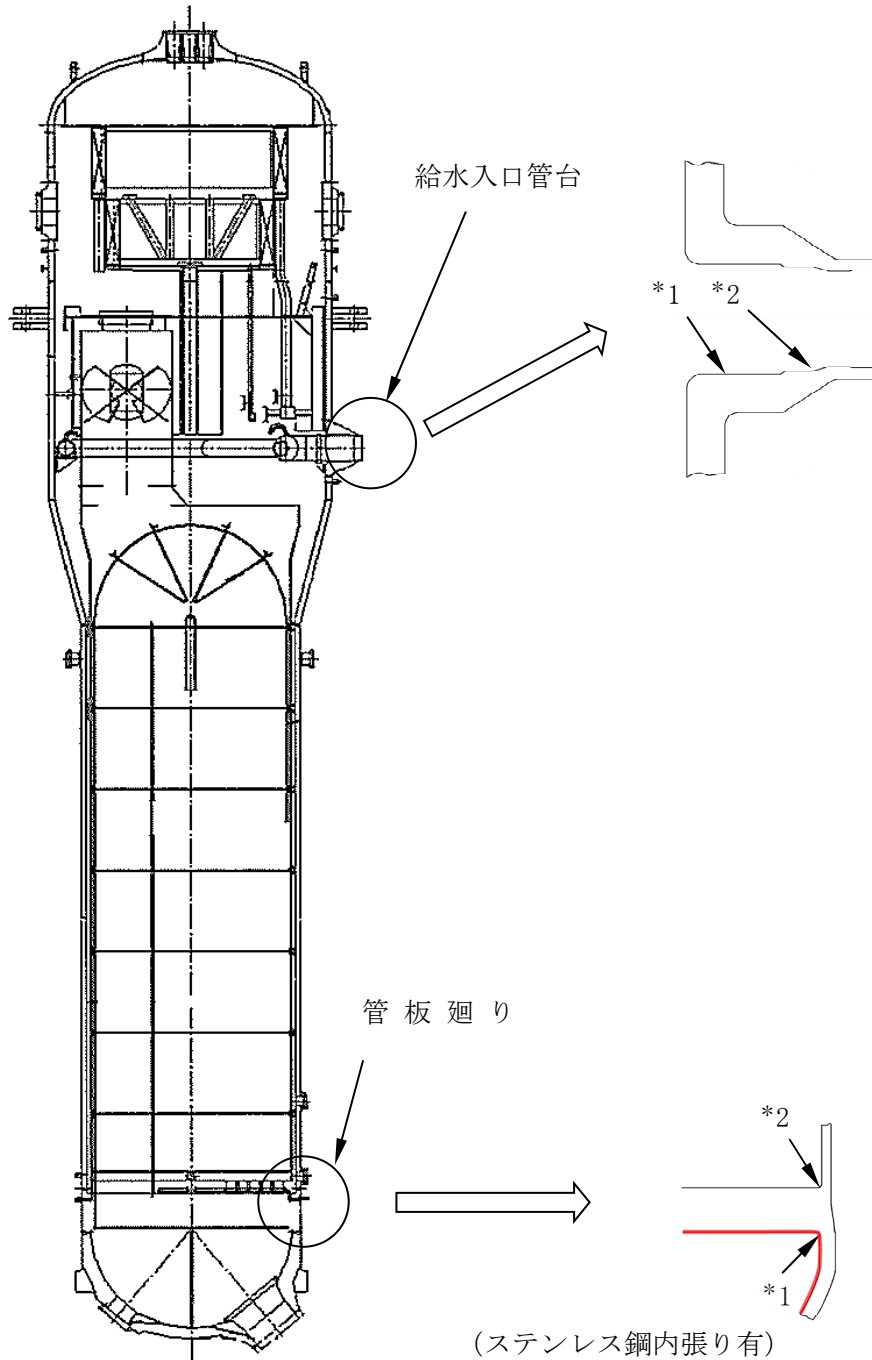
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

— クラッド施工部位 (なお加圧器内面は全面クラッド施工されている)

加圧器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位



* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
 (非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

— クラッド施工部位

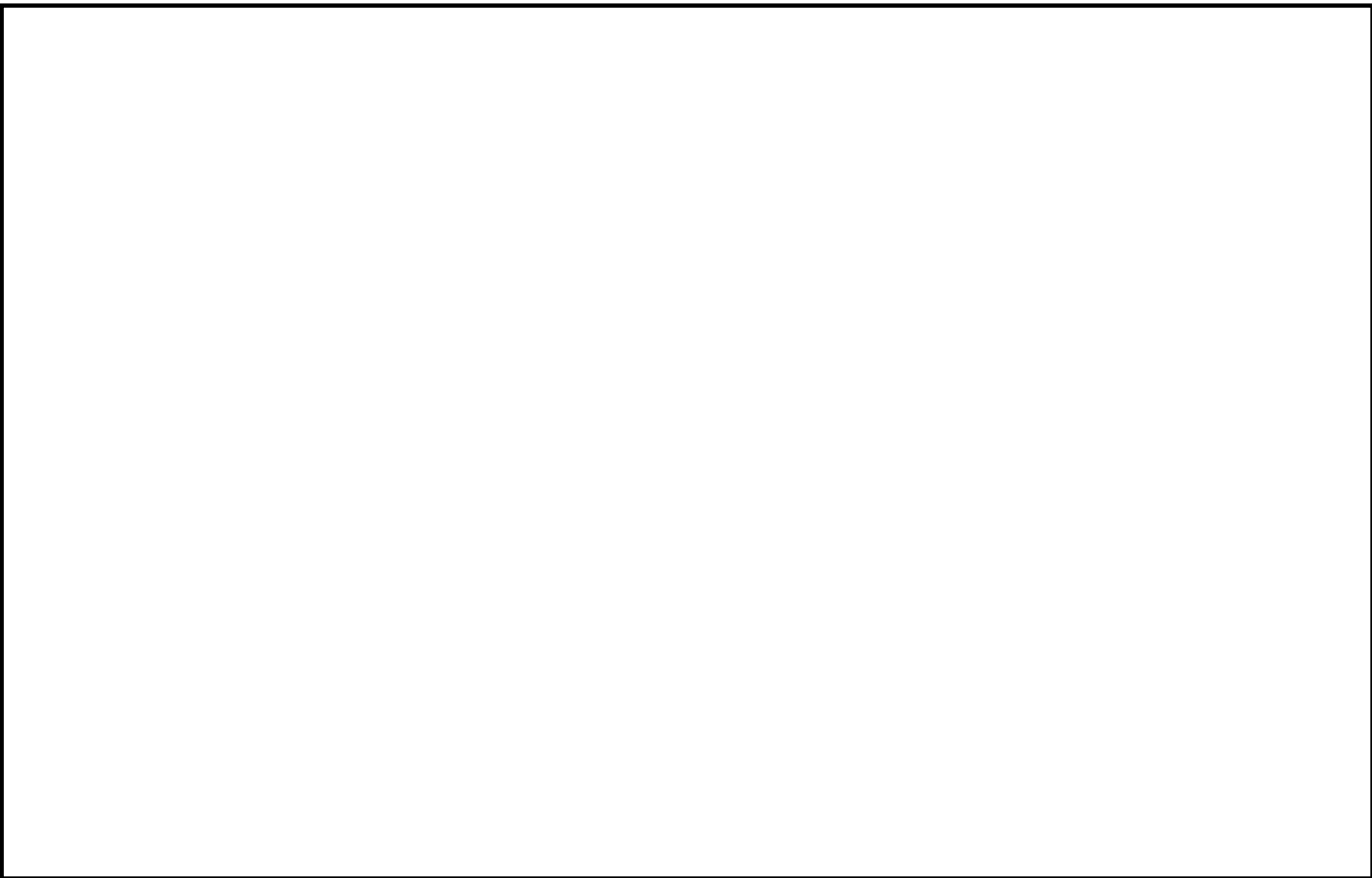
蒸気発生器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位

| タイトル | 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|------|----|----|----|-------|--------|------|----|------|------|----|-------|---------|-----|----|
| 説明 | <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、環境疲労補正係数（Fen）に溶存酸素が影響する場合として炭素鋼・低合金鋼を定めている。</p> <p>川内原子力発電所 1 号炉の劣化状況評価書において、炭素鋼・低合金鋼の接液部位のうち溶存酸素を考慮して環境疲労評価を行った部位は以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">溶存酸素が影響する炭素鋼・低合金鋼の評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="421 884 1359 1039"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>部位</th> <th>材質</th> <th>水質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">蒸気発生器</td> <td>給水入口管台</td> <td>低合金鋼</td> <td>給水</td> </tr> <tr> <td>管板廻り</td> <td>低合金鋼</td> <td>給水</td> </tr> <tr> <td>炭素鋼配管</td> <td>主給水系統配管</td> <td>炭素鋼</td> <td>給水</td> </tr> </tbody> </table> <p>給水の溶存酸素濃度は 0.005ppm 以下 を管理目標値として監視・管理されていることから、当該部の環境疲労評価に対しては、溶存酸素濃度（DO）を 0.005ppm として溶存酸素濃度依存パラメータ（0*）を算出し、環境疲労補正係数の算出を行なった。</p> <p>[0*の算出式]</p> $0* = \ln(3.28) \quad (DO < 0.02\text{ppm})$ <p>なお、主給水系統配管の環境疲労評価は係数倍法を使用しており、Fen の計算に際して溶存酸素濃度を直接的には使用していないが、環境疲労評価手法の解説 EF-3121 において、PWR2 次系環境における炭素鋼・低合金鋼の Fen, sc は溶存酸素濃度を 0.005ppm とした場合の計算式であることが示されている。</p> <p>添付－1 に給水の水質管理基準を示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> | 機器 | 部位 | 材質 | 水質 | 蒸気発生器 | 給水入口管台 | 低合金鋼 | 給水 | 管板廻り | 低合金鋼 | 給水 | 炭素鋼配管 | 主給水系統配管 | 炭素鋼 | 給水 |
| 機器 | 部位 | 材質 | 水質 | | | | | | | | | | | | | |
| 蒸気発生器 | 給水入口管台 | 低合金鋼 | 給水 | | | | | | | | | | | | | |
| | 管板廻り | 低合金鋼 | 給水 | | | | | | | | | | | | | |
| 炭素鋼配管 | 主給水系統配管 | 炭素鋼 | 給水 | | | | | | | | | | | | | |

川内原子力発電所
化 学 業 務 要 領

| | | |
|------|-------------|-------------|
| 制 定 | 平成15年11月 1日 | 川内原要領5-2 |
| 最終改正 | 2022年 9月30日 | 川内原要領5-2~88 |
| 主管箇所 | 安 全 管 理 課 | |

九州電力株式会社
川内原子力発電所



| | |
|------|---|
| タイトル | 環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法について |
| 説明 | <p>環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法（「係数倍法」、「簡易評価法」または「詳細評価法」のいずれによるか）を添付－1に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

表1 環境効果補正係数の算出方法 (1/3)

| 評価対象機器、部位 | | 環境効果補正係数の算出方法 | |
|-------------|------------|--------------------------|--------|
| 機種・機器名 | 部位 | | |
| ポンプ | 余熱除去ポンプ | ケーシング | 詳細評価 |
| | 1次冷却材ポンプ | ケーシング脚部 | 詳細評価 |
| | | ケーシング吐出ノズル | 詳細評価 |
| | | ケーシング吸込ノズル | 詳細評価 |
| 熱交換器 | 再生熱交換器 | 管板部 | 詳細評価 |
| | 余熱除去冷却器 | 管板部 | 詳細評価 |
| | 蒸気発生器 | 管板廻り | 詳細評価※1 |
| | | 給水入口管台 | 詳細評価※1 |
| 容器 | 原子炉容器 | 冷却材入口管台 | 詳細評価 |
| | | 冷却材出口管台 | 詳細評価 |
| | | ふた管台 | 詳細評価 |
| | | 空気抜管台 | 詳細評価 |
| | | 炉内計装筒 | 詳細評価 |
| | | 上部ふた、上部胴フランジ | — |
| | | 下部胴・トラジションリング・下部鏡 接続部 | — |
| | | 炉心支持金物 | 詳細評価 |
| | | スタッドボルト | — |
| | 加圧器 | スプレイライン用管台 | 詳細評価 |
| | | サージ用管台 | 詳細評価 |
| | 機械ペネトレーション | 余熱除去出口配管貫通部端板 | — |
| | | 主蒸気管貫通部伸縮継手 | — |
| 主給水管貫通部伸縮継手 | | — | |

表1 環境効果補正係数の算出方法 (2/3)

| 評価対象機器、部位 | | 環境効果補正係数の算出方法 | |
|-----------|----------|--|--------------------|
| 機種・機器名 | 部位 | | |
| 配管 | ステンレス鋼配管 | 余熱除去系統出口配管 「1次冷却材管高温側余熱除去管台～ 管高温側余熱除去管台～余熱除去入口 弁(内隔離弁)」 | 係数倍法 |
| | | 余熱除去系統出口配管 「余熱除去入口弁(内隔離弁)～原子炉 格納容器貫通部」 | 係数倍法 |
| | | 加圧器サージ配管 | 詳細評価 |
| | | 加圧器スプレイ配管 | 詳細評価 |
| | 炭素鋼配管 | 主給水系統配管 「原子炉格納容器貫通部～ 蒸気発生器給水管台」 | 係数倍法 ^{※2} |
| | 1次冷却材管 | ホットレグ | 詳細評価 |
| | | クロスオーバーレグ | 詳細評価 |
| | | コールドレグ | 詳細評価 |
| | | 加圧器サージ管台 | 詳細評価 |
| | | 蓄圧タンク注入管台 | 詳細評価 |
| | | 安全注入管台 | 詳細評価 |
| | | 充てん管台 | 詳細評価 |
| | 弁 | 仕切弁 | R H R S 入口隔離弁弁箱 |
| 玉形弁 | | 加圧器水位制御弁弁箱 | 簡易評価 |
| スイング逆止弁 | | 蓄圧タンク出口第2逆止弁弁箱 | 簡易評価 |
| リフト逆止弁 | | 加圧器補助スプレイ逆止弁弁箱 | 簡易評価 |

表1 環境効果補正係数の算出方法 (3/3)

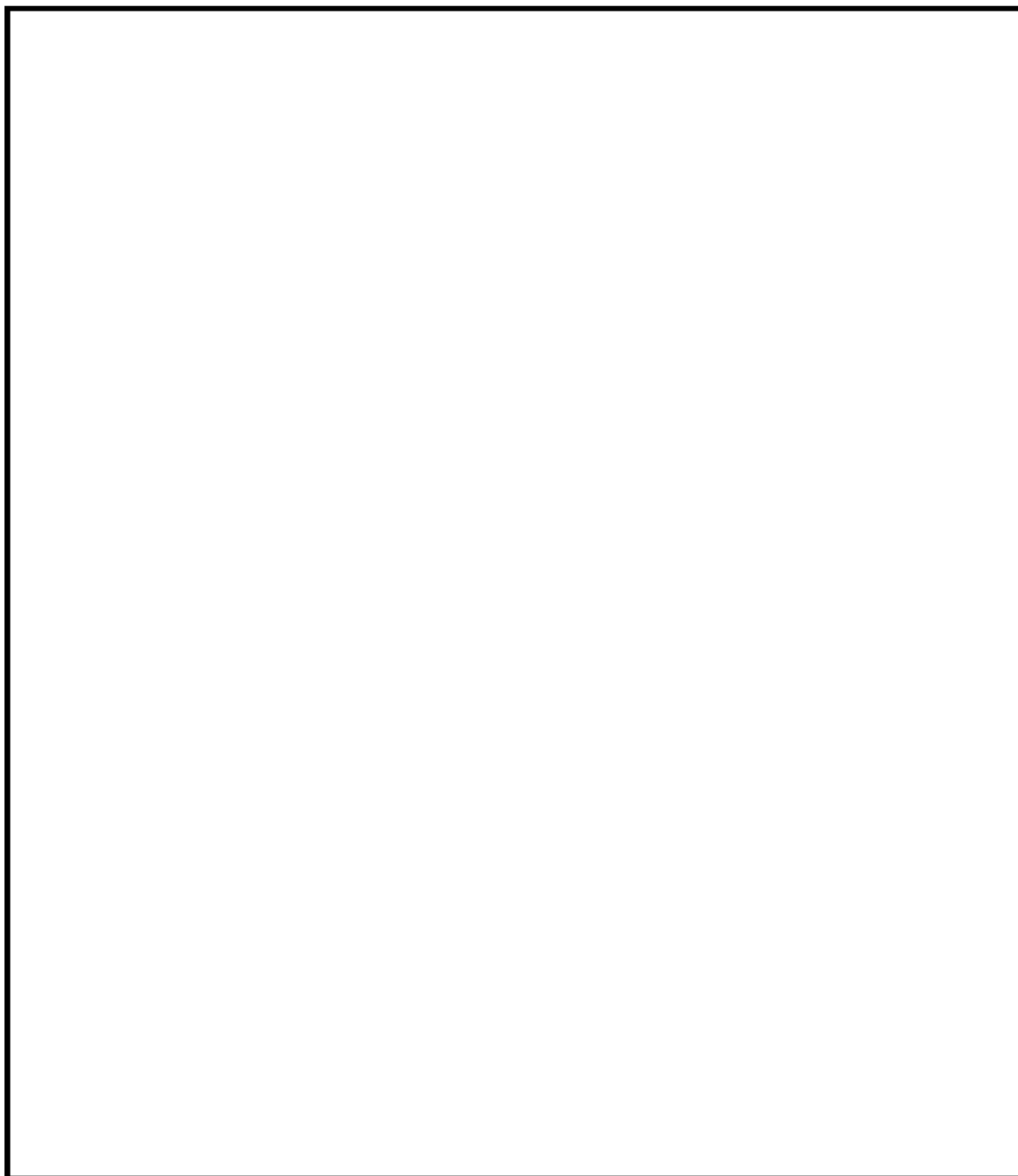
| 評価対象機器、部位 | | 環境効果補正係数の算出方法 | |
|-----------|------------|---------------|------|
| 機種・機器名 | 部位 | | |
| 炉内構造物 | 炉心支持構造物 | 上部炉心支持板 | 詳細評価 |
| | | 上部炉心支持柱 | 詳細評価 |
| | | 上部炉心板 | 詳細評価 |
| | | 下部炉心板 | 詳細評価 |
| | | 下部炉心支持柱 | 詳細評価 |
| | | 下部炉心支持板 | 詳細評価 |
| | | 炉心槽下部接続部 | 詳細評価 |
| 重機器サポート | 加圧器スカート溶接部 | — | |

※1：環境中評価に用いた溶存酸素量は管理目標値である 0.005ppm、材料中の硫黄含有量は材料規格における最大値である 0.025%とした。

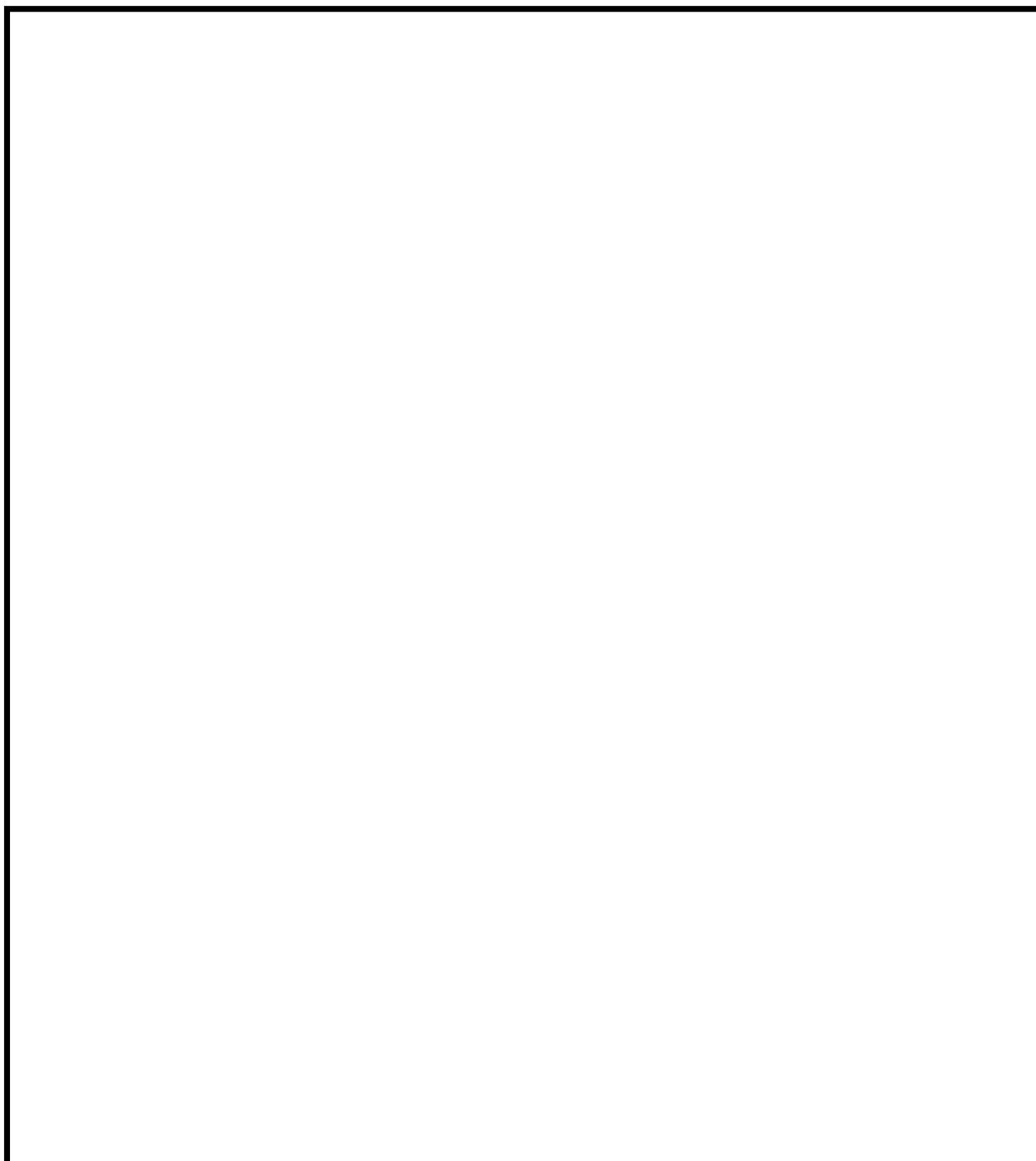
※2：環境中評価に用いた溶存酸素量は管理目標値である 0.005ppm、材料中の硫黄含有量は材料規格における最大値である 0.035%とした。

| | |
|------|--|
| タイトル | 代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について |
| 説明 | <p>以下の各機器の評価についての算出根拠を次ページ以降に示す。 なお、次ページ以降における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。</p> <p>① 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・7-2 ② 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-16 ③ 蒸気発生器給水管台の熱成層を考慮した評価の算出根拠・・・・7-26 ④ 加圧器管台（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠・・・7-36 ⑤ 機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-48 ⑥ 加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠・7-54 ⑦ 1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-72 ⑧ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-94 ⑨ スイング逆止弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-98 ⑩ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-102 ⑪ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠・・・・7-122</p> |

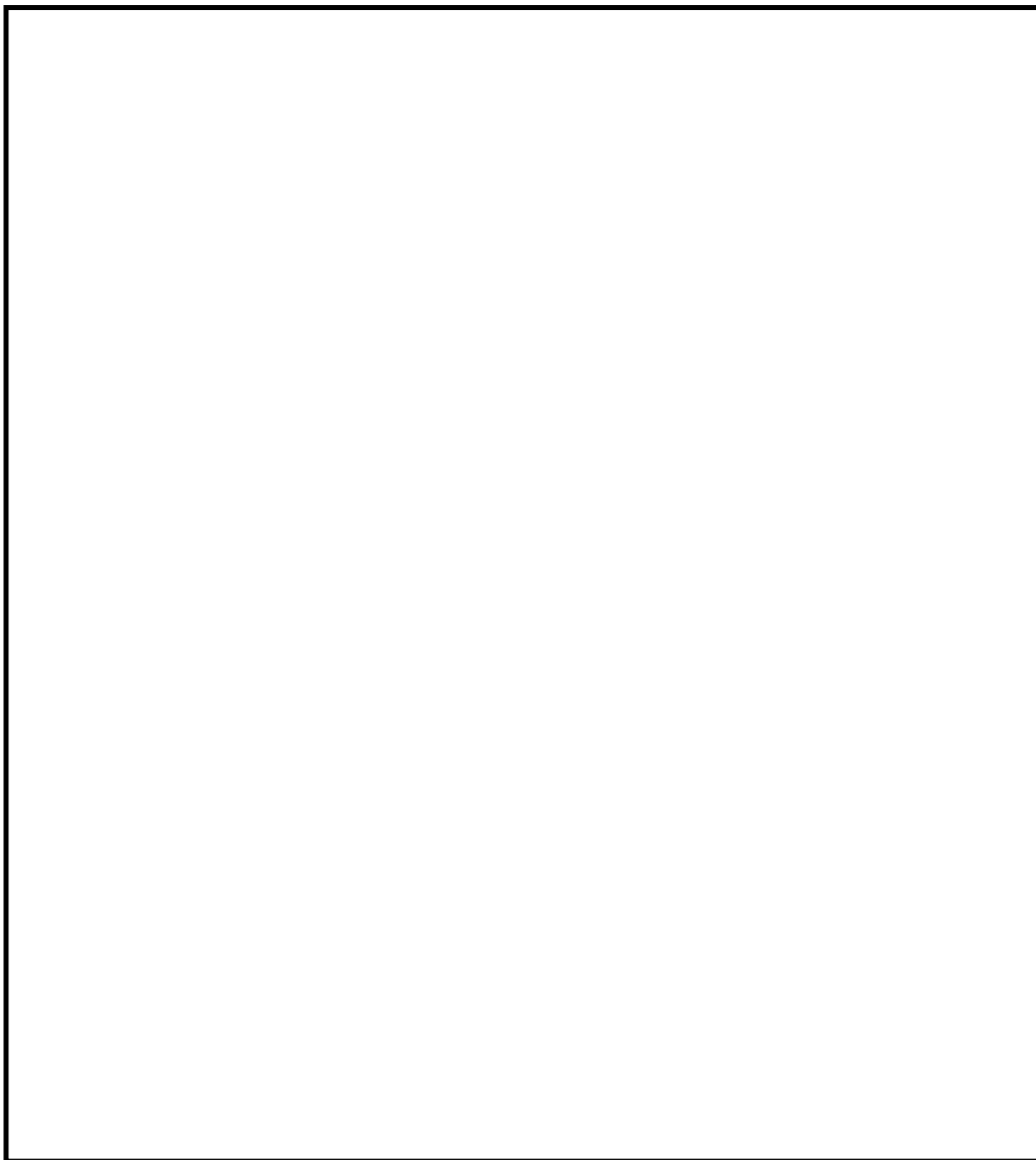
| タイトル | 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---------|----------------------------|------|--|------|-----|-----|----|--------|--|----------|---------|------------------------|-----|-------|----|----------|-----------|-------------------------|
| 説明 | <p>1次冷却材ポンプケーシング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> <table border="1" data-bbox="475 629 1310 831"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Standard Ver. 6.7-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid 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> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="462 943 1319 1149"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351CF8 (SCS13A相当)</td> <td>117</td> <td>283.6</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、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、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および最大評価点の選定結果を添付1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、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="424 1536 1358 1706"> <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+熱過渡荷重</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いたKe 係数を添付3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fen）を添付3に示す。</p> | 解析プログラム | ABAQUS Standard Ver. 6.7-1 | 要素種類 | | 要素次数 | 要素数 | 節点数 | 材料 | 設計応力強さ | | Sm (MPa) | 温度 (°C) | SA351CF8 (SCS13A相当) | 117 | 283.6 | 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+熱過渡荷重 |
| 解析プログラム | ABAQUS Standard Ver. 6.7-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 材料 | 設計応力強さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sm (MPa) | 温度 (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SA351CF8 (SCS13A相当) | 117 | 283.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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+熱過渡荷重 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



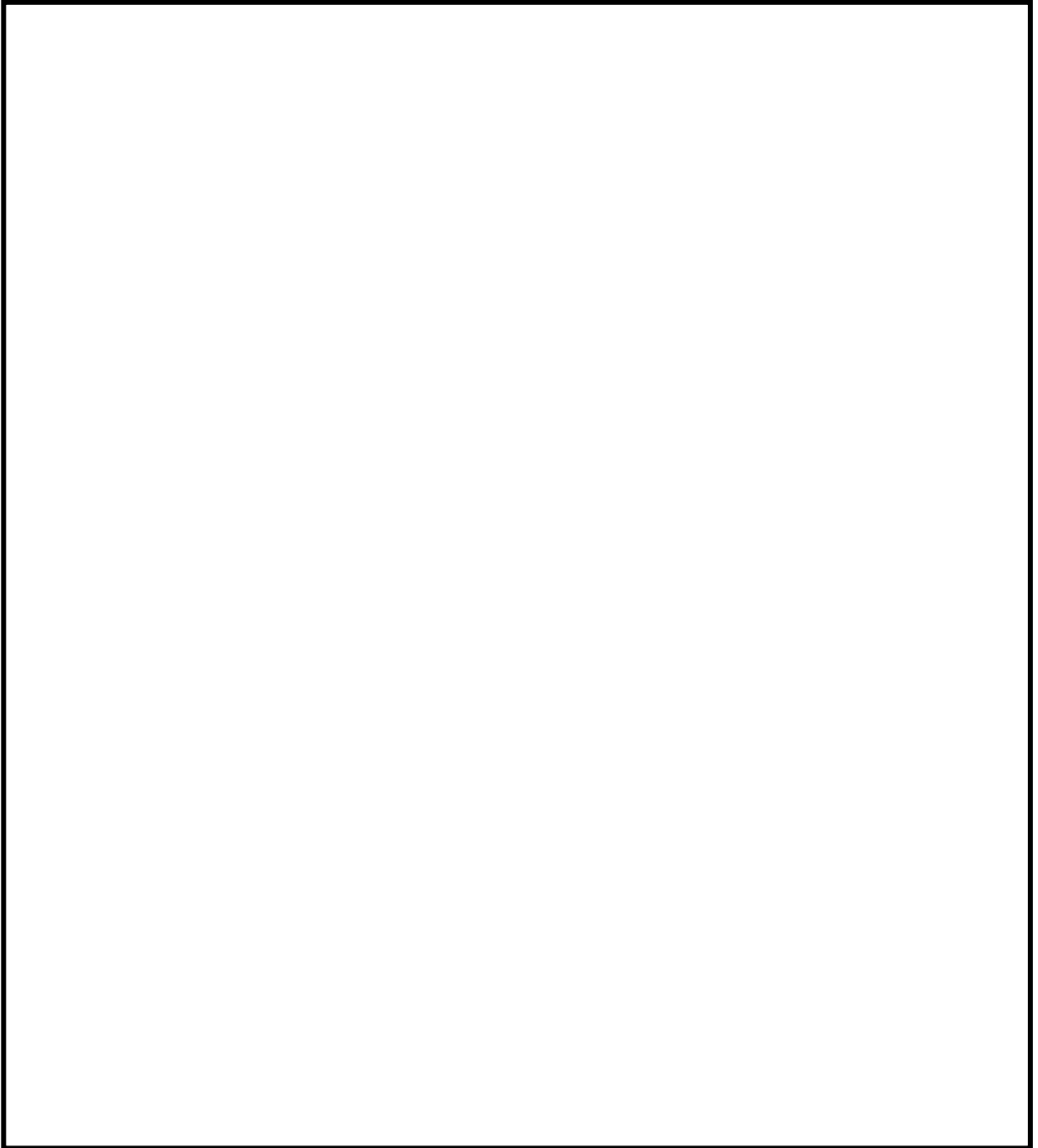
ケーシング吸込ノズル 評価点



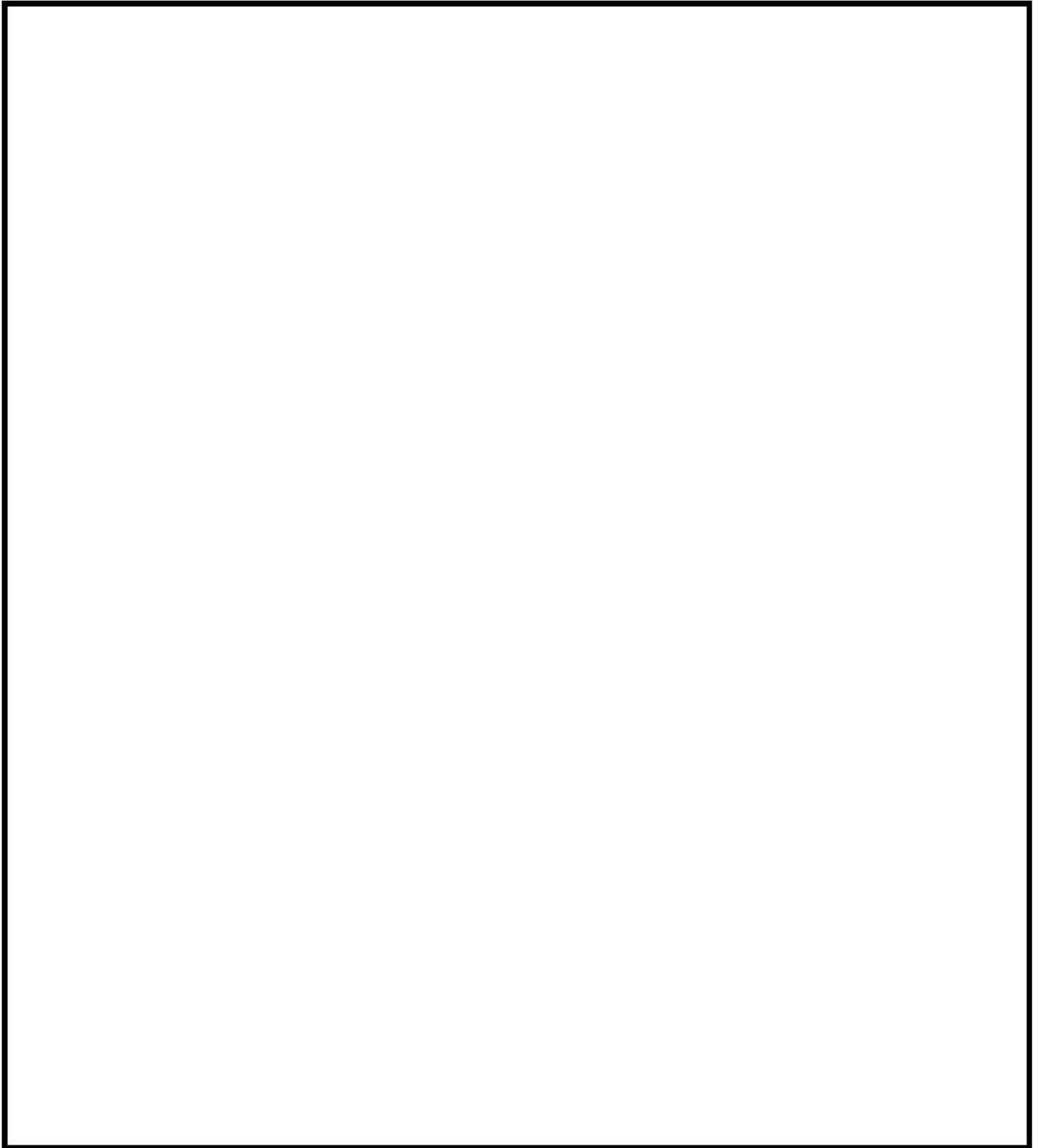
ケーシング吐出ノズル 評価点



ケーシング脚部 評価点 (1 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (2 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

最大疲労評価点の選定

| 部位 ^{※2} | 評価点 ^{※1} | | Overall Usage Factors | | | | | 判定 | LIMIT |
|------------------|-------------------|---------|-----------------------|---------|---------|---------|----|---------|-------|
| | | | S1-S2 | S2-S3 | S3-S1 | Max | | | |
| 吸込 ノズル 付根部 | 500618 | Start | 0.00000 | 0.00002 | 0.00014 | 0.00014 | OK | 1.00000 | |
| | 500609 | End | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | OK | | |
| | 505 | Start | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | OK | | |
| | 508 | End | 0.00000 | 0.00000 | 0.00001 | 0.00001 | OK | | |
| | 548 | Start | 0.00002 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00002 | OK | | |
| | 541 | End | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | OK | | |
| | 10522 | Start | 0.00000 | 0.00002 | 0.00003 | 0.00003 | OK | | |
| | 7670 | End | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | OK | | |
| 吐出 ノズル 付根部 | 508526 | Start | 0.00784 | 0.04873 | 0.00000 | 0.04873 | OK | | |
| | 510288 | End | 0.00881 | 0.00281 | 0.00000 | 0.00881 | OK | | |
| | 508560 | Start | 0.00528 | 0.04444 | 0.00000 | 0.04444 | OK | | |
| | 510287 | End | 0.01293 | 0.00361 | 0.00000 | 0.01293 | OK | | |
| | 8526 | Start | 0.00790 | 0.04899 | 0.00000 | 0.04899 | OK | | |
| | 10288 | End | 0.00880 | 0.00279 | 0.00000 | 0.00880 | OK | | |
| | 8560 | Start | 0.00540 | 0.04450 | 0.00000 | 0.04450 | OK | | |
| | 10287 | End | 0.01290 | 0.00357 | 0.00000 | 0.01290 | OK | | |
| | 9648 | Start | 0.00018 | 0.00046 | 0.00000 | 0.00046 | OK | | |
| | 9855 | End | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | OK | | |
| | 502033 | Start | 0.00005 | 0.00000 | 0.00003 | 0.00005 | OK | | |
| | 502035 | End | 0.00003 | 0.00113 | 0.00004 | 0.00113 | OK | | |
| 脚部 (1) 付根部 | 508206 | Start | 0.00002 | 0.00016 | 0.00029 | 0.00029 | OK | | |
| | 510113 | End | 0.00000 | 0.00033 | 0.00000 | 0.00033 | OK | | |
| | 508574 | Start | 0.00009 | 0.02587 | 0.00011 | 0.02587 | OK | | |
| | 509897 | End | 0.00007 | 0.00115 | 0.00000 | 0.00115 | OK | | |
| | 8235 | Start | 0.00010 | 0.01363 | 0.00008 | 0.01363 | OK | | |
| | 10245 | End | 0.00325 | 0.00315 | 0.00000 | 0.00325 | OK | | |
| | 8664 | Start | 0.00005 | 0.02435 | 0.00015 | 0.02435 | OK | | |
| | 9777 | End | 0.00002 | 0.00062 | 0.00000 | 0.00062 | OK | | |
| | 8669 | Start | 0.00004 | 0.00014 | 0.00021 | 0.00021 | OK | | |
| | 9775 | End | 0.00000 | 0.00001 | 0.00001 | 0.00001 | OK | | |
| 脚部 (2) 付根部 | 508023 | Start | 0.00000 | 0.00011 | 0.00084 | 0.00084 | OK | | |
| | 508946 | End | 0.00006 | 0.00001 | 0.01210 | 0.01210 | OK | | |
| | 8674 | Start | 0.00000 | 0.00001 | 0.00007 | 0.00007 | OK | | |
| | 9520 | End | 0.01015 | 0.00000 | 0.06239 | 0.06239 | OK | | |
| | 8796 | Start | 0.00000 | 0.00000 | 0.00006 | 0.00006 | OK | | |
| | 9935 | End | 0.01563 | 0.00000 | 0.07773 | 0.07773 | OK | | |
| | 8819 | Start | 0.00000 | 0.00015 | 0.00100 | 0.00100 | OK | | |
| 脚部 (3) 付根部 | 8847 | End | 0.00069 | 0.02346 | 0.00000 | 0.02346 | OK | | |
| | 9652 | Start | 0.00466 | 0.04462 | 0.00000 | 0.04462 | OK | | |
| | 9813 | End | 0.02083 | 0.00936 | 0.00000 | 0.02083 | OK | | |
| | 508796 | Start | 0.00000 | 0.00000 | 0.00006 | 0.00006 | OK | | |
| | 509935 | End | 0.01642 | 0.00000 | 0.07964 | 0.07964 | OK | | |
| | 508819 | Start | 0.00000 | 0.00015 | 0.00101 | 0.00101 | OK | | |
| | 508847 | End | 0.00067 | 0.02345 | 0.00000 | 0.02345 | OK | | |
| 509188 | Start | 0.00234 | 0.03088 | 0.00000 | 0.03088 | OK | | | |
| 510323 | End | 0.01903 | 0.00701 | 0.00000 | 0.01903 | OK | | | |
| 509427 | Start | 0.00000 | 0.00015 | 0.00049 | 0.00049 | OK | | | |
| 509327 | End | 0.00222 | 0.00000 | 0.02439 | 0.02439 | OK | | | |
| 509652 | Start | 0.00451 | 0.04435 | 0.00000 | 0.04435 | OK | | | |
| 509813 | End | 0.02077 | 0.00949 | 0.00000 | 0.02077 | OK | | | |

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : 500618)

| STRESS INTENSITY | | | | NUMBER OF CYCLES | | USAGE |
|------------------|---------|-----|-------|------------------|---------|---------|
| MAXIMUM | MINIMUM | KE | ALT | N | N* | FACTOR |
| 116.8 | -503.7 | 1.0 | 310.3 | 2 | 35000 | 0.00006 |
| 116.8 | -330.1 | 1.0 | 223.5 | 2 | 207000 | 0.00001 |
| 116.8 | -285.1 | 1.0 | 201.0 | 2 | 400000 | 0.00000 |
| 116.8 | -279.1 | 1.0 | 197.9 | 2 | 440000 | 0.00000 |
| 116.8 | -248.3 | 1.0 | 182.6 | 2 | 765000 | 0.00000 |
| 116.8 | -215.9 | 1.0 | 166.4 | 2 | 1190000 | 0.00000 |
| 116.8 | -175.6 | 1.0 | 146.2 | 2 | 1820000 | 0.00000 |
| 116.8 | -172.2 | 1.0 | 144.5 | 47 | 1900000 | 0.00002 |
| 113.7 | -172.2 | 1.0 | 142.9 | 15 | 1960000 | 0.00001 |
| 113.7 | -165.5 | 1.0 | 139.6 | 54 | 2170000 | 0.00002 |
| 0.0 | -165.5 | 1.0 | 82.7 | 0 | | 0.0 |
| TOTAL = | | | | | | 0.00014 |

→通常UF : 0.001

吐出ノズル疲労評価結果 (評価点 : 8526)

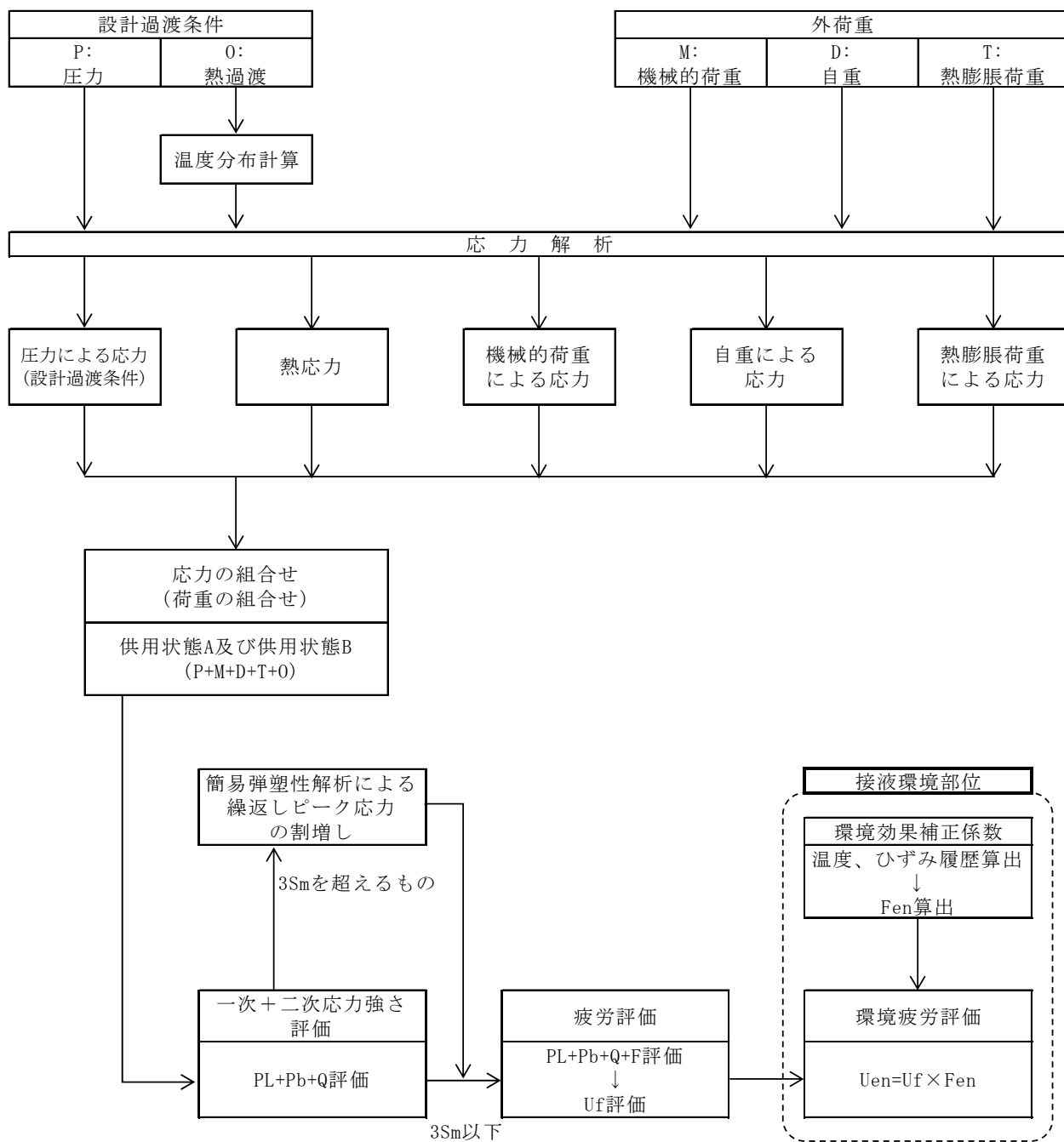
| STRESS INTENSITY | | | | NUMBER OF CYCLES | | USAGE |
|------------------|---------|------|-------|------------------|----------|---------|
| MAXIMUM | MINIMUM | KE | ALT | N | N* | FACTOR |
| 370.9 | -335.6 | 1.79 | 633.9 | 69 | 1710 | 0.04035 |
| 288.1 | -297.1 | 1.49 | 435.5 | 61 | 7070 | 0.00863 |
| 245.8 | -136.3 | 1.0 | 191.0 | 2 | 555000 | 0.00000 |
| 134.5 | -136.3 | 1.0 | 135.4 | 2 | 2470000 | 0.00000 |
| 125.4 | -106.6 | 1.0 | 116.0 | 7 | 4820000 | 0.00000 |
| 125.4 | -58.2 | 1.0 | 91.8 | 3 | 34800000 | 0.00000 |
| 125.4 | -54.5 | 1.0 | 90.0 | 2 | 47700000 | 0.00000 |
| 125.4 | -53.7 | 1.0 | 89.6 | 6 | 52300000 | 0.00000 |
| 125.4 | -53.0 | 1.0 | 89.2 | 2 | 60200000 | 0.00000 |
| 125.4 | -52.7 | 1.0 | 89.0 | 42 | 64300000 | 0.00000 |
| 43.6 | -52.2 | 1.49 | 71.3 | 61 | ----- | 0.0 |
| TOTAL = | | | | | | 0.04899 |

→通常 UF : 0.049

脚部 疲労評価結果 (評価点 : 509935)

| STRESS INTENSITY | | | | NUMBER OF CYCLES | | USAGE |
|------------------|---------|------|-------|------------------|----------|---------|
| MAXIMUM | MINIMUM | KE | ALT | N | N* | FACTOR |
| 157.9 | -696.5 | 1.77 | 757.8 | 69 | 939 | 0.07348 |
| 76.7 | -577.1 | 1.41 | 460.7 | 4 | 5640 | 0.00071 |
| 76.7 | -515.7 | 1.31 | 389.5 | 57 | 11300 | 0.00504 |
| -37.8 | -515.7 | 1.0 | 239.0 | 4 | 142000 | 0.00003 |
| -37.8 | -507.3 | 1.0 | 234.8 | 58 | 156000 | 0.00037 |
| -326.7 | -507.3 | 1.0 | 90.3 | 2 | 45300000 | 0.00000 |
| -340.8 | -507.3 | 1.0 | 83.2 | 2 | | 0.0 |
| TOTAL = | | | | | | 0.07964 |

→通常UF : 0.080



応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ (吸込ノズル 評価点500618) (詳細評価手法)

| 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 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 | | | | | |
| 2I1 | 2D3 | 116.8 | -503.7 | 1.00 | 310.3 | 342.4 | 2 | 35000 | 0.00006 | 10.025 | 0.00057 |
| 2I1 | 2G1 | 116.8 | -330.1 | 1.00 | 223.5 | 246.6 | 2 | 207000 | 0.00001 | 11.371 | 0.00011 |
| 2I1 | 2E1 | 116.8 | -285.1 | 1.00 | 201.0 | 221.8 | 2 | 400000 | 0.00000 | 11.181 | 0.00006 |
| 2I1 | 2D2 | 116.8 | -279.1 | 1.00 | 197.9 | 218.4 | 2 | 440000 | 0.00000 | 9.308 | 0.00004 |
| 2I1 | 2J1 | 116.8 | -248.3 | 1.00 | 182.6 | 201.5 | 2 | 765000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2I1 | 2F1 | 116.8 | -215.9 | 1.00 | 166.4 | 183.6 | 2 | 1190000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2I1 | 2H1 | 116.8 | -175.6 | 1.00 | 146.2 | 161.4 | 2 | 1820000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2I1 | 1I1 | 116.8 | -172.2 | 1.00 | 144.5 | 159.5 | 47 | 1900000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1A1 | 1I1 | 113.7 | -172.2 | 1.00 | 143.0 | 157.8 | 15 | 1960000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1A1 | 1B1 | 113.7 | -165.5 | 1.00 | 139.6 | 154.1 | 54 | 2170000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| NSS | 1B1 | 0.0 | -165.5 | 1.00 | 82.7 | 91.3 | 0 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | 0.00084 | |

→環境UF : 0.001

Ke係数と環境疲労パラメータ (吐出ノズル 評価点8526) (詳細評価手法)

| 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 | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 1B1 | 1A1 | 370.9 | -335.6 | 1.79 | 633.9 | 699.5 | 69 | 1710 | 0.04035 | 11.173 | 0.45085 |
| 2I2 | 2I1 | 288.1 | -297.1 | 1.49 | 435.5 | 480.7 | 61 | 7070 | 0.00863 | 7.112 | 0.06136 |
| 2D3 | 2B1 | 245.8 | -136.3 | 1.00 | 191.0 | 210.8 | 2 | 555000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2G1 | 2B1 | 134.5 | -136.3 | 1.00 | 135.4 | 149.4 | 2 | 2470000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2A1 | 125.4 | -106.6 | 1.00 | 116.0 | 128.0 | 7 | 4820000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1G1 | 125.4 | -58.2 | 1.00 | 91.8 | 101.3 | 3 | 34800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2C1 | 125.4 | -54.5 | 1.00 | 90.0 | 99.3 | 2 | 47700000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2D1 | 125.4 | -53.7 | 1.00 | 89.6 | 98.9 | 6 | 52300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2G1 | 125.4 | -53.0 | 1.00 | 89.2 | 98.5 | 2 | 60200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1J1 | 125.4 | -52.7 | 1.00 | 89.0 | 98.3 | 42 | 64300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2I1 | 2I2 | 43.6 | -52.2 | 1.49 | 71.3 | 78.7 | 61 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.51221 |

→環境UF : 0.513

Ke 係数と環境疲労パラメータ (脚部 評価点9652) (詳細評価手法)

| 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' | | | | | |
| 1B1 | 1A1 | 350.5 | -330.4 | 1.81 | 615.7 | 679.5 | 69 | 1890 | 0.03651 | 11.201 | 0.40893 |
| 2I2 | 2I1 | 271.9 | -291.5 | 1.52 | 428.8 | 473.2 | 61 | 7530 | 0.00810 | 7.080 | 0.05735 |
| 2D3 | 2B1 | 234.8 | -141.3 | 1.00 | 188.0 | 207.5 | 2 | 621000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2G1 | 2B1 | 122.6 | -141.3 | 1.00 | 131.9 | 145.6 | 2 | 2770000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2A1 | 120.1 | -111.2 | 1.00 | 115.7 | 127.6 | 7 | 4890000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1G1 | 120.1 | -66.2 | 1.00 | 93.1 | 102.8 | 3 | 27800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2C1 | 120.1 | -60.8 | 1.00 | 90.5 | 99.8 | 2 | 43900000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1J1 | 120.1 | -60.1 | 1.00 | 90.1 | 99.4 | 50 | 46800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2I1 | 2I2 | 38.9 | -57.4 | 1.52 | 73.3 | 80.9 | 61 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.46629 |

→環境UF : 0.467

| タイトル | 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|----------|-------------------------------|------|--|------|-----|-----|------|----|--------|--|----------|---------|--------|--------|-----|-------|----------|--------|-----|-------|
| 説明 | <p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</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> <table border="1" data-bbox="475 817 1310 1097"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3 および Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="430 1211 1377 1478"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>SFVQ2A</td> <td>184</td> <td>269.3</td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> <td>321.1</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。</p> <p>管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施している。</p> <p>また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。</p> <p>解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p> | 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 および Ver. 2018 | 要素種類 | | 要素次数 | 節点数 | 要素数 | 使用箇所 | 材料 | 設計応力強さ | | Sm (MPa) | 温度 (°C) | 給水入口管台 | SFVQ2A | 184 | 269.3 | 管板及び管板廻り | SFVQ1A | 184 | 321.1 |
| 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 および Ver. 2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 使用箇所 | 材料 | 設計応力強さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sm (MPa) | 温度 (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 給水入口管台 | SFVQ2A | 184 | 269.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 管板及び管板廻り | SFVQ1A | 184 | 321.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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 2 に示す。

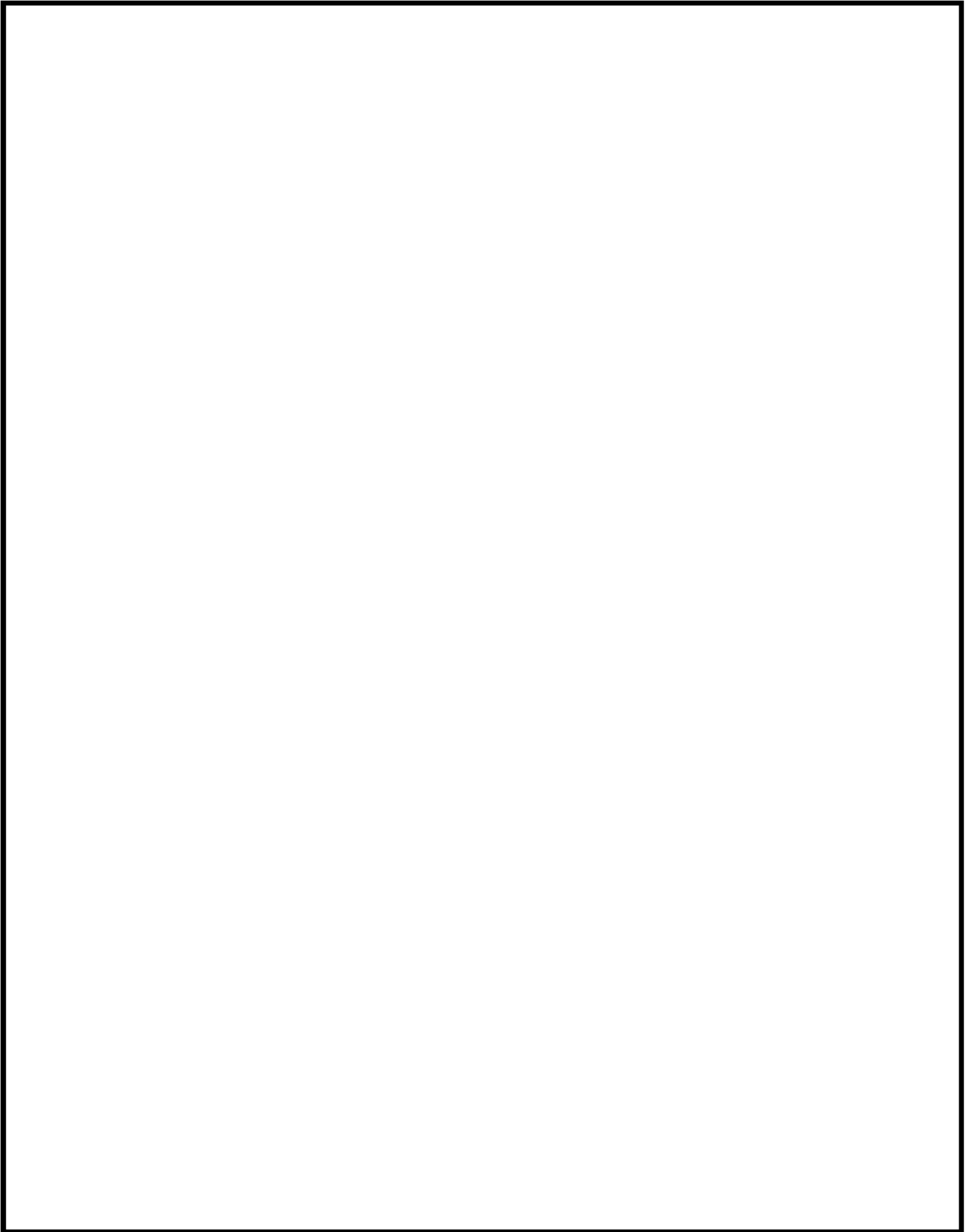
| 状態 | 荷重の組み合わせ |
|-----------|-----------------------|
| 供用状態 A, B | 圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡 |

5. Ke 係数および環境パラメータ

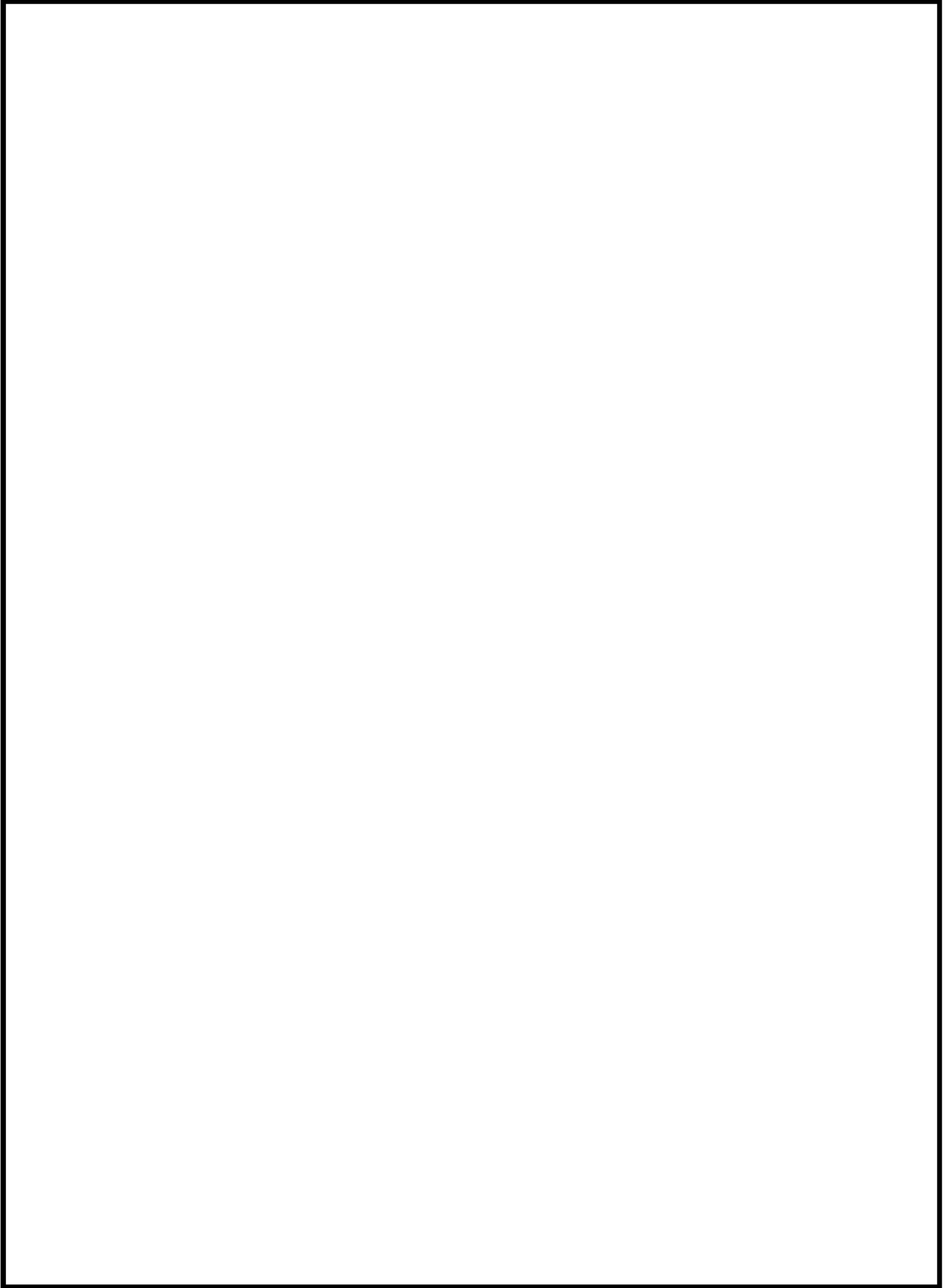
評価に用いた Ke 係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を添付 3 に示す。

なお、評価に用いた溶存酸素濃度は、主給水の管理目標値より 0.005ppm とした。

評価に用いた材料中の硫黄含有量は、材料規格における最大値である 0.025% とした。



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 評価点



蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (1/2)
管板及び管板廻り

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|--------------------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.03076 | 0.00003 | 0.02817 |
| 2 | 0.0 | 0.00152 | 0.00053 |
| 3 | 0.03428 | 0.00022 | 0.07905 |
| 4 | 0.0 | 0.00012 | 0.00018 |
| P1 SIDE R/R* = 0.0 | | 0.00918 | |
| P1 SIDE R/R* = 1.0 | | 0.09659 | |
| P2 SIDE R/R* = 0.0 | | 0.02643 | |
| P2 SIDE R/R* = 1.0 | | 0.02292 | |

疲労累積係数(最大)
(ただし、非接液)

許容値 $U_f=1.0$

→通常 U_f : 0.097

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2/2)
給水入口管台

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.00030 | 0.00102 | 0.00679 |
| 2 | 0.0 | 0.00016 | 0.00087 |
| 3 | 0.00040 | 0.00121 | 0.01164 |
| 4 | 0.0 | 0.00021 | 0.00105 |
| 5 | 0.00022 | 0.02372 | 0.00212 |
| 6 | 0.0 | 0.00001 | 0.00002 |
| 7 | 0.00707 | 0.02829 | 0.00008 |
| 8 | 0.00020 | 0.0 | 0.00005 |
| 9L | 0.04776 | 0.09529 | 0.00011 |
| 10L | 0.00007 | 0.00180 | 0.00107 |
| 9C | 0.00428 | 0.02028 | 0.00010 |
| 10C | 0.0 | 0.00964 | 0.02027 |
| 11L | 0.09131 | 0.05791 | 0.0 |
| 12L | 0.0 | 0.00184 | 0.00107 |
| 11C | 0.01484 | 0.01371 | 0.0 |
| 12C | 0.0 | 0.00974 | 0.01836 |
| 13L | 0.04408 | 0.02477 | 0.00001 |
| 14L | 0.00001 | 0.00190 | 0.00239 |
| 13C | 0.00190 | 0.00089 | 0.00001 |
| 14C | 0.00099 | 0.00851 | 0.02137 |

疲労累積係数(最大)
(接液する評価点)

許容値 $U_f=1.0$

→通常 U_f : 0.096

蒸気発生器本体 疲労評価結果 管板及び管板廻り (評価点: 1次側 R/R*=1.0)

| 応力強さ (単位: MPa) | | | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------------|--------|-----|-------|-------|-------|--------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | N | N* | |
| 884.6 | -281.6 | 1.0 | 583.1 | 697.7 | 2 | 557 | 0.00359 |
| 862.8 | -281.6 | 1.0 | 572.2 | 684.6 | 2 | 589 | 0.00340 |
| 820.7 | -281.6 | 1.0 | 551.1 | 659.4 | 33 | 658 | 0.05015 |
| 820.7 | 0.0 | 1.0 | 410.3 | 491.0 | 4 | 1500 | 0.00267 |
| 819.6 | 0.0 | 1.0 | 409.8 | 490.4 | 2 | 1500 | 0.00133 |
| 806.8 | 0.0 | 1.0 | 403.4 | 482.7 | 2 | 1570 | 0.00127 |
| 774.0 | 0.0 | 1.0 | 387.0 | 463.1 | 2 | 1750 | 0.00114 |
| 730.5 | 0.0 | 1.0 | 365.2 | 437.0 | 2 | 2050 | 0.00098 |
| 705.3 | 0.0 | 1.0 | 352.7 | 422.0 | 3 | 2300 | 0.00130 |
| 693.3 | 0.0 | 1.0 | 346.7 | 414.8 | 2 | 2430 | 0.00082 |
| 599.4 | 0.0 | 1.0 | 299.7 | 358.6 | 0 | 3870 | 0.00000 |
| 576.6 | 0.0 | 1.0 | 288.3 | 345.0 | 2 | 4380 | 0.00046 |
| 570.8 | 0.0 | 1.0 | 285.4 | 341.5 | 94 | 4520 | 0.02080 |
| 570.8 | 20.4 | 1.0 | 275.2 | 329.3 | 43 | 5070 | 0.00848 |
| 570.8 | 176.2 | 1.0 | 197.3 | 236.1 | 2 | 14200 | 0.00014 |
| 570.8 | 297.0 | 1.0 | 136.9 | 163.8 | 2 | 45600 | 0.00004 |
| 570.8 | 363.8 | 1.0 | 103.5 | 123.9 | 2 | 147000 | 0.00001 |
| 570.8 | 421.2 | 1.0 | 74.8 | 89.5 | 3 | 702000 | 0.00000 |
| 570.8 | 432.9 | 1.0 | 68.9 | 82.5 | 400 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.09659 |

Ke : 割増し係数
ALT : 繰返しピーク応力強さ
ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
N : 設計繰返し回数
N* : 許容繰返し回数

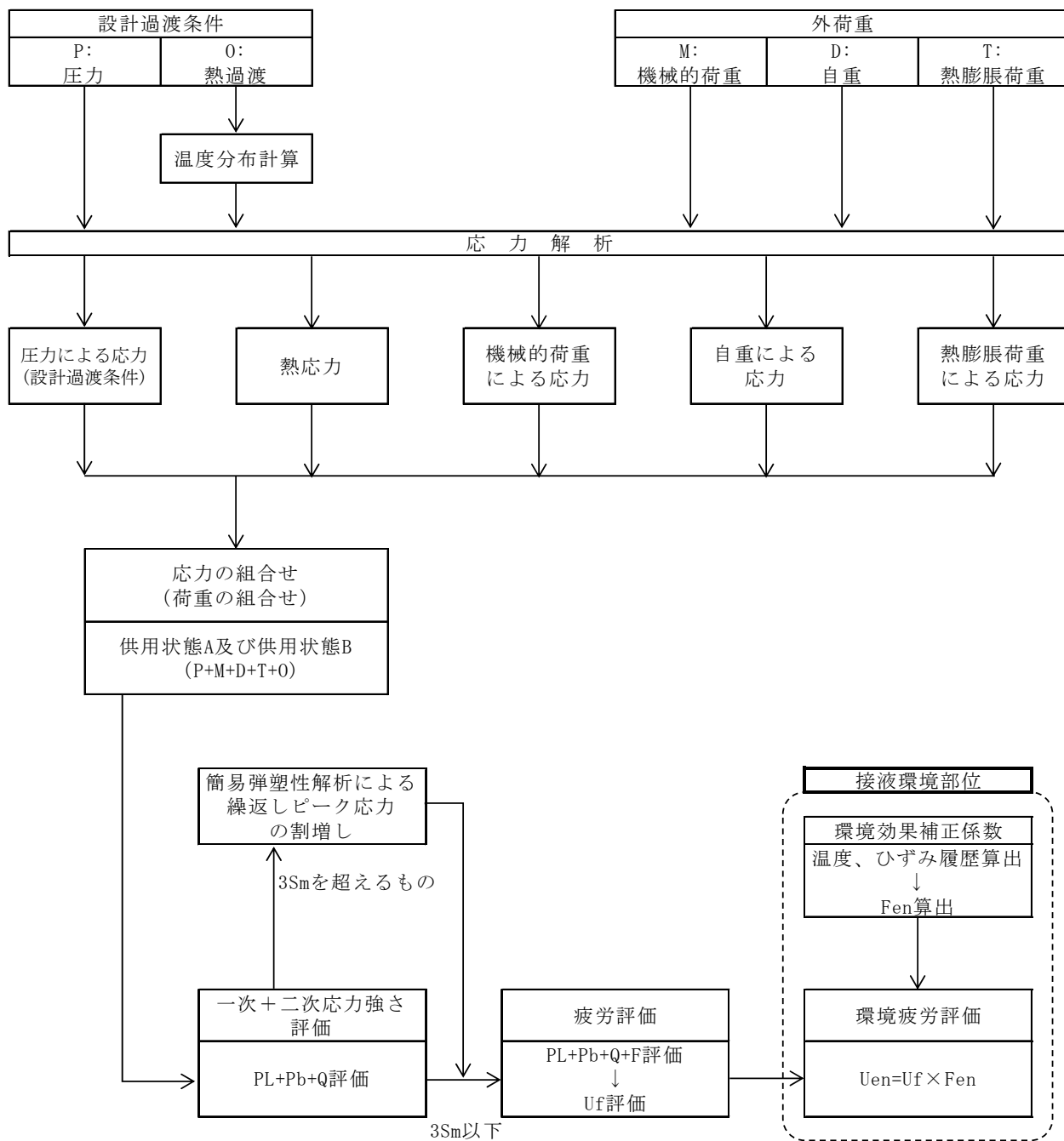
→通常UF : 0.097

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 9L)

| 応力強さ | | (単位 : MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------|-------|--------------|-------|-------|-------|--------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT' | N | N* | |
| 873.5 | -23.3 | 1.0 | 448.4 | 524.4 | 3 | 1260 | 0.00238 |
| 829.6 | -23.3 | 1.0 | 426.5 | 498.8 | 36 | 1440 | 0.02500 |
| 829.6 | -17.4 | 1.0 | 423.5 | 495.3 | 19 | 1460 | 0.01301 |
| 745.2 | -17.4 | 1.0 | 381.3 | 445.9 | 2 | 1940 | 0.00103 |
| 719.2 | -17.4 | 1.0 | 368.3 | 430.7 | 2 | 2150 | 0.00093 |
| 718.4 | -17.4 | 1.0 | 367.9 | 430.2 | 2 | 2160 | 0.00093 |
| 713.0 | -17.4 | 1.0 | 365.2 | 427.1 | 2 | 2210 | 0.00090 |
| 712.3 | -17.4 | 1.0 | 364.9 | 426.7 | 12 | 2220 | 0.00541 |
| 712.3 | 0.0 | 1.0 | 356.2 | 416.5 | 26 | 2390 | 0.01088 |
| 708.9 | 0.0 | 1.0 | 354.4 | 414.5 | 50 | 2430 | 0.02058 |
| 708.9 | 281.1 | 1.0 | 213.9 | 250.1 | 0 | 11600 | 0.00000 |
| 708.9 | 353.3 | 1.0 | 177.8 | 207.9 | 2 | 21800 | 0.00009 |
| 708.9 | 390.8 | 1.0 | 159.0 | 186.0 | 2 | 30800 | 0.00006 |
| 708.9 | 419.0 | 1.0 | 144.9 | 169.5 | 546 | 41000 | 0.01332 |
| 708.9 | 426.5 | 1.0 | 141.2 | 165.1 | 2 | 44400 | 0.00005 |
| 708.9 | 426.8 | 1.0 | 141.0 | 164.9 | 2 | 44600 | 0.00004 |
| 708.9 | 427.8 | 1.0 | 140.5 | 164.3 | 0 | 45100 | 0.00000 |
| 708.9 | 432.2 | 1.0 | 138.3 | 161.8 | 2 | 47400 | 0.00004 |
| 708.9 | 435.6 | 1.0 | 136.7 | 159.8 | 2 | 49200 | 0.00004 |
| 708.9 | 436.9 | 1.0 | 136.0 | 159.0 | 2 | 49900 | 0.00004 |
| 708.9 | 439.2 | 1.0 | 134.8 | 157.7 | 0 | 52100 | 0.00000 |
| 708.9 | 450.6 | 1.0 | 129.1 | 151.0 | 0 | 64300 | 0.00000 |
| 708.9 | 452.6 | 1.0 | 128.1 | 149.8 | 2 | 66800 | 0.00003 |
| 708.9 | 470.1 | 1.0 | 119.4 | 139.6 | 2 | 94300 | 0.00002 |
| 708.9 | 494.4 | 1.0 | 107.2 | 125.4 | 0 | 141000 | 0.00000 |
| 708.9 | 507.2 | 1.0 | 100.8 | 117.9 | 2 | 177000 | 0.00001 |
| 708.9 | 514.2 | 1.0 | 97.3 | 113.8 | 39 | 201000 | 0.00019 |
| 708.9 | 514.2 | 1.0 | 97.3 | 113.8 | 39 | 201000 | 0.00019 |
| 708.9 | 529.5 | 1.0 | 89.7 | 104.9 | 2 | 291000 | 0.00001 |
| 708.9 | 529.6 | 1.0 | 89.6 | 104.8 | 2 | 291000 | 0.00001 |
| 708.9 | 532.2 | 1.0 | 88.3 | 103.3 | 3 | 311000 | 0.00001 |
| 708.9 | 547.1 | 1.0 | 80.9 | 94.6 | 37 | 462000 | 0.00008 |
| 708.9 | 643.7 | 1.0 | 32.6 | 38.1 | 2 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.09529 |

Ke : 割増し係数
ALT : 繰返しピーク応力強さ
ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
N : 設計繰返し回数
N* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.096



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

K e 係数と環境疲労パラメータ (管板及び管板廻り 評価点①) (詳細評価手法)

| 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 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' | | | | | |
| 2E1 | 2J1 | 368.2 | -242.2 | 1.00 | 305.2 | 365.2 | 2 | 3650 | 0.00055 | 3.527 | 0.00193 |
| 2K1 | 2J1 | 320.9 | -242.2 | 1.00 | 281.5 | 336.9 | 35 | 4720 | 0.00742 | 1.000 | 0.00742 |
| 2K1 | 1C1 | 320.9 | -225.6 | 1.00 | 273.2 | 326.9 | 2 | 5180 | 0.00039 | 4.743 | 0.00183 |
| 2D5 | 1C1 | 258.6 | -225.6 | 1.00 | 242.1 | 289.7 | 2 | 7420 | 0.00027 | 3.891 | 0.00105 |
| 2D3 | 1C1 | 229.8 | -225.6 | 1.00 | 227.7 | 272.4 | 2 | 8900 | 0.00022 | 3.829 | 0.00086 |
| 2F1 | 1C1 | 218.8 | -225.6 | 1.00 | 222.2 | 265.9 | 2 | 9570 | 0.00021 | 3.699 | 0.00077 |
| 1B1 | 1C1 | 174.2 | -225.6 | 1.00 | 199.9 | 239.2 | 39 | 13600 | 0.00287 | 4.807 | 0.01379 |
| 2D1 | 1C1 | 167.8 | -225.6 | 1.00 | 196.7 | 235.3 | 3 | 14300 | 0.00021 | 3.848 | 0.00081 |
| 2G1 | 1C1 | 161.4 | -225.6 | 1.00 | 193.5 | 231.5 | 2 | 15200 | 0.00013 | 3.916 | 0.00052 |
| 2C2 | 1C1 | 154.2 | -225.6 | 1.00 | 189.9 | 227.2 | 2 | 16200 | 0.00012 | 3.825 | 0.00047 |
| 2A1 | 1C1 | 153.4 | -225.6 | 1.00 | 189.5 | 226.7 | 2 | 16300 | 0.00012 | 4.099 | 0.00050 |
| 1L1 | 1C1 | 128.9 | -225.6 | 1.00 | 177.3 | 212.1 | 2 | 20500 | 0.00010 | 4.731 | 0.00046 |
| 1G1 | 1C1 | 128.3 | -225.6 | 1.00 | 176.9 | 211.7 | 2 | 20600 | 0.00010 | 4.763 | 0.00046 |
| 2H2 | 1C1 | 125.7 | -225.6 | 1.00 | 175.6 | 210.2 | 2 | 21100 | 0.00009 | 3.837 | 0.00036 |
| 2I1 | 1C1 | 103.2 | -225.6 | 1.00 | 164.4 | 196.7 | 0 | 25900 | 0.00000 | 4.746 | 0.00000 |
| 1K1 | 1C1 | 102.7 | -225.6 | 1.00 | 164.1 | 196.4 | 38 | 26000 | 0.00146 | 4.747 | 0.00694 |
| 1I1 | 1C1 | 97.3 | -225.6 | 1.00 | 161.4 | 193.2 | 43 | 27400 | 0.00157 | 4.142 | 0.00650 |
| 1A1 | 1C1 | 96.4 | -225.6 | 1.00 | 161.0 | 192.6 | 39 | 27600 | 0.00141 | 4.821 | 0.00681 |
| 1D1 | 1C1 | 96.0 | -225.6 | 1.00 | 160.8 | 192.4 | 364 | 27700 | 0.01314 | 4.830 | 0.06347 |
| 1D1 | 2H1 | 96.0 | -199.3 | 1.00 | 147.6 | 176.6 | 2 | 36100 | 0.00006 | 3.849 | 0.00021 |
| 1D1 | 1H1 | 96.0 | -193.0 | 1.00 | 144.5 | 172.9 | 0 | 38600 | 0.00000 | 4.875 | 0.00000 |
| 1D1 | 1E1 | 96.0 | -181.3 | 1.00 | 138.7 | 165.9 | 2 | 43800 | 0.00005 | 4.889 | 0.00022 |
| 1D1 | 2C2 | 96.0 | -180.1 | 1.00 | 138.0 | 165.2 | 2 | 44400 | 0.00005 | 4.901 | 0.00022 |
| 1D1 | 1G1 | 96.0 | -177.2 | 1.00 | 136.6 | 163.4 | 2 | 45900 | 0.00004 | 4.917 | 0.00021 |
| 1D1 | 1H1 | 96.0 | -161.5 | 1.00 | 128.7 | 154.1 | 0 | 58300 | 0.00000 | 4.915 | 0.00000 |
| 1D1 | 1E1 | 96.0 | -155.9 | 1.00 | 125.9 | 150.7 | 2 | 65000 | 0.00003 | 4.889 | 0.00015 |
| 1D1 | 1F1 | 96.0 | -137.4 | 1.00 | 116.7 | 139.6 | 2 | 94500 | 0.00002 | 4.920 | 0.00010 |
| 1D1 | 1A1 | 96.0 | -79.6 | 1.00 | 87.8 | 105.1 | 39 | 288000 | 0.00014 | 4.685 | 0.00063 |
| 1D1 | NSS | 96.0 | 0.0 | 1.00 | 48.0 | 57.4 | 113 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.11671 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.042\%$ ($salt' \leq 86.9$) の場合、 $fen=1.0$

→環境UF : 0.117

K e 係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点⑤) (詳細評価手法)

| 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' | | | | | |
| 1A1 | 2T1 | 66.2 | -779.1 | 1.00 | 422.6 | 494.3 | 39 | 1470 | 0.02653 | 2.255 | 0.05982 |
| 1B1 | 2T1 | 56.0 | -779.1 | 1.00 | 417.5 | 488.3 | 16 | 1520 | 0.01053 | 1.848 | 0.01945 |
| 1B1 | 2G1 | 56.0 | -529.8 | 1.00 | 292.9 | 342.5 | 2 | 4480 | 0.00045 | 1.306 | 0.00058 |
| 1B1 | 2D5 | 56.0 | -528.6 | 1.00 | 292.3 | 341.8 | 2 | 4510 | 0.00044 | 1.289 | 0.00057 |
| 1B1 | 2E1 | 56.0 | -528.2 | 1.00 | 292.1 | 341.6 | 2 | 4510 | 0.00044 | 1.363 | 0.00060 |
| 1B1 | 2D3 | 56.0 | -513.1 | 1.00 | 284.5 | 332.8 | 2 | 4910 | 0.00041 | 1.572 | 0.00064 |
| 1B1 | 1N1 | 56.0 | -484.0 | 1.00 | 270.0 | 315.8 | 15 | 5740 | 0.00261 | 2.110 | 0.00551 |
| NSS | 1N1 | 0.0 | -484.0 | 1.00 | 242.0 | 283.0 | 76 | 7950 | 0.00956 | 2.110 | 0.02017 |
| 1C1 | 1N1 | -24.4 | -484.0 | 1.00 | 229.8 | 268.7 | 546 | 9270 | 0.05890 | 2.122 | 0.12498 |
| 1N1 | 1N1 | -26.9 | -484.0 | 1.00 | 228.6 | 267.3 | 306 | 9420 | 0.03248 | 2.256 | 0.07329 |
| 1N1 | 2B2 | -26.9 | -448.6 | 1.00 | 210.8 | 246.6 | 3 | 12200 | 0.00025 | 1.964 | 0.00048 |
| 1N1 | 1D1 | -26.9 | -151.5 | 1.00 | 62.3 | 72.9 | 546 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.30610 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.042\%$ (salt' ≤ 86.9) の場合、fen=1.0

→環境UF : 0.307

| | |
|------|--|
| タイトル | 蒸気発生器給水入口管台における、熱成層現象の想定と根拠、熱過渡・応力評価の方法および評価結果について |
| 説明 | <p>蒸気発生器給水入口管台では、プラント起動・停止時等における低温水の微小給水および停止により、熱成層の発生・消滅が繰返される可能性があることから、熱成層の発生を想定した環境疲労評価を行っている。</p> <p>環境疲労評価における熱成層現象の想定と根拠、熱過渡・応力評価の方法及び評価結果を添付 1 に示す。</p> |

川内原子力発電所1号炉 蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価 (熱成層考慮)

1. 概要

本資料は、蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価の結果についてまとめたものである。
その結果、環境疲労累積係数（以降 環境U. F. と記す）は $0.307 < 1.0$ であり、問題ないことを確認した。

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

- 1) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」
(JSME S NC1-2005/2007、以降「設計・建設規格」と記す。)
- 2) 日本機械学会「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」
(JSME S NF1-2009、以降「環境疲労評価手法」と記す。)

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

環境疲労評価は、環境疲労評価手法に従って評価を行うものとし、設計・建設規格に基づき算出したU. F. に環境効果補正係数 (Fen) を掛け合わせるにより求める。

$$\text{環境U. F.} = \text{U. F.} \times \text{Fen}$$

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図1に示す。

熱成層応力の解析は3次元のFEM解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

熱成層応力の解析においては評価部位周辺を3次元モデルでモデル化した有限要素法解析により行う。

管台及び管台近傍の配管を3次元でモデル化し、その箇所からアンカーサポートまでをはり要素でモデル化する。

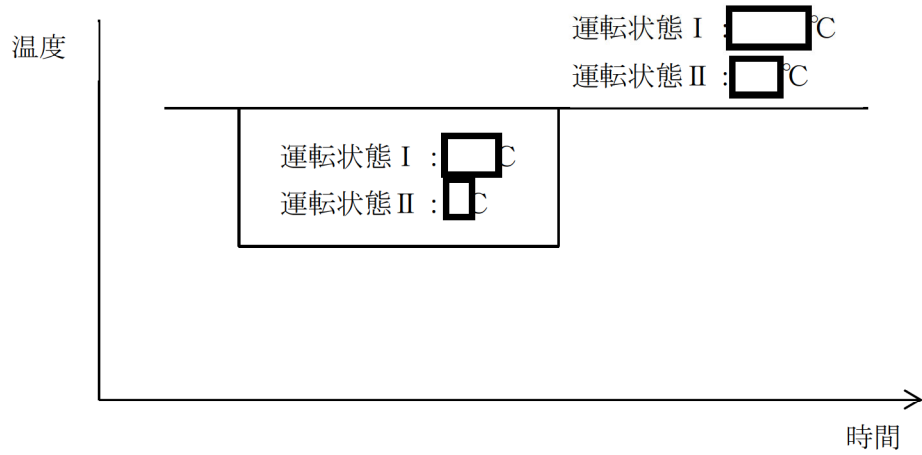
解析に使用したモデルを図2、3、4に示す。

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 2018を使用する。

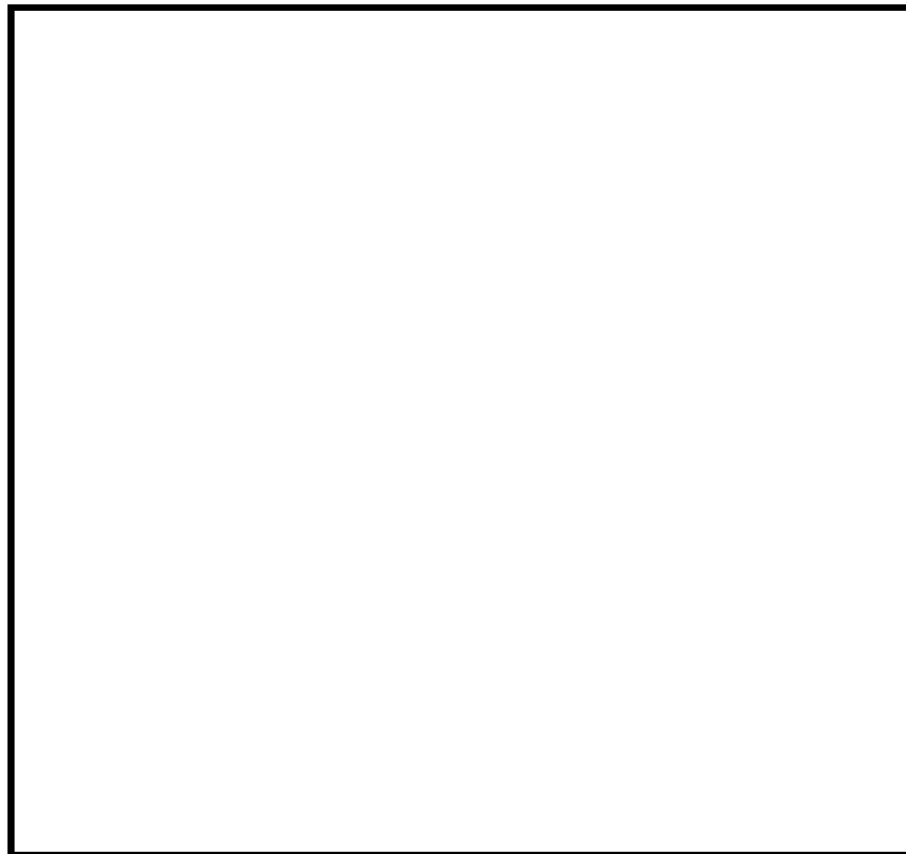
(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



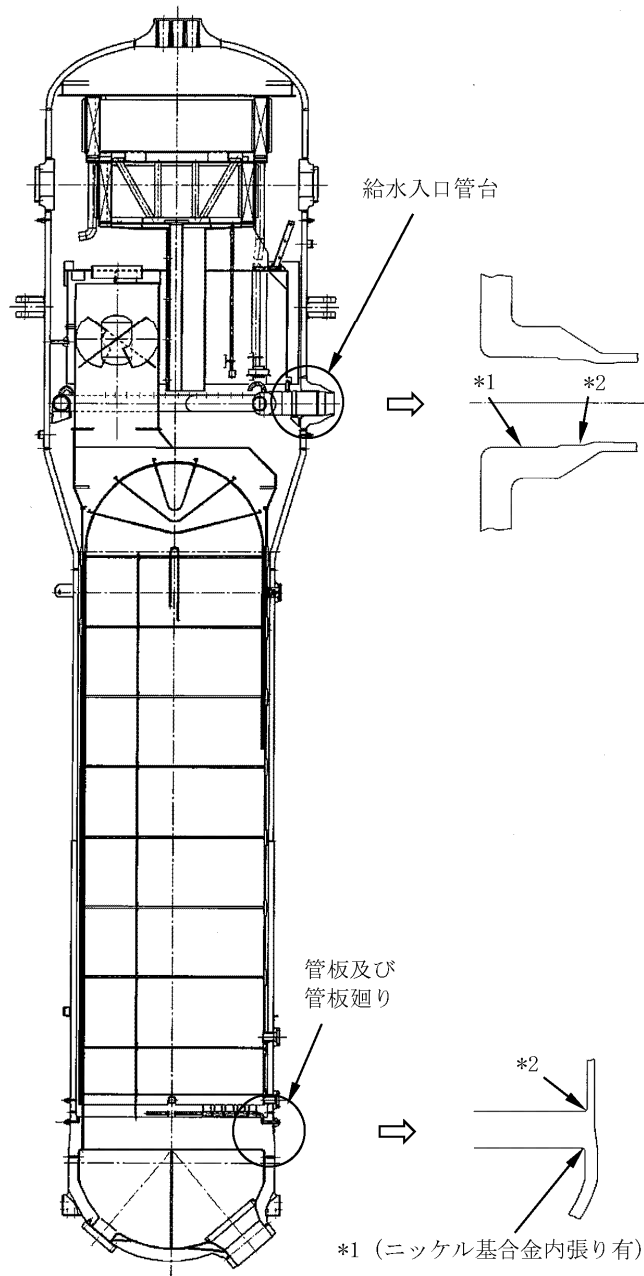
(4) 熱伝達率

熱成層による応力の解析に用いる熱伝達率は、以下に示すとおり流量及び温度から給水管台部を領域分けして設定している。



(5) 物性値

熱成層による応力の解析に用いる材料の物性値は表1に示すとおりである。



* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 2 : 「環境疲労評価手法」に基づく疲労評価対象部位(最大) (接液部が対象)

図1 川内原子力発電所1号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位

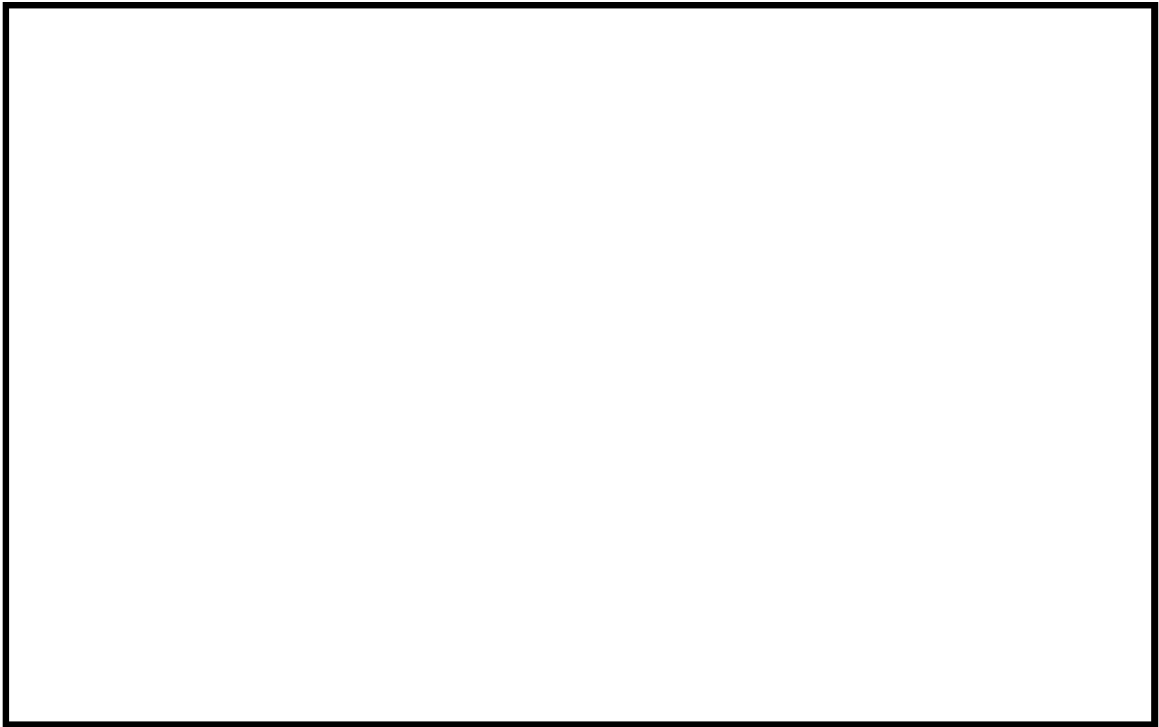


図2 解析モデル (全体図)



図3 解析モデル (断面図)

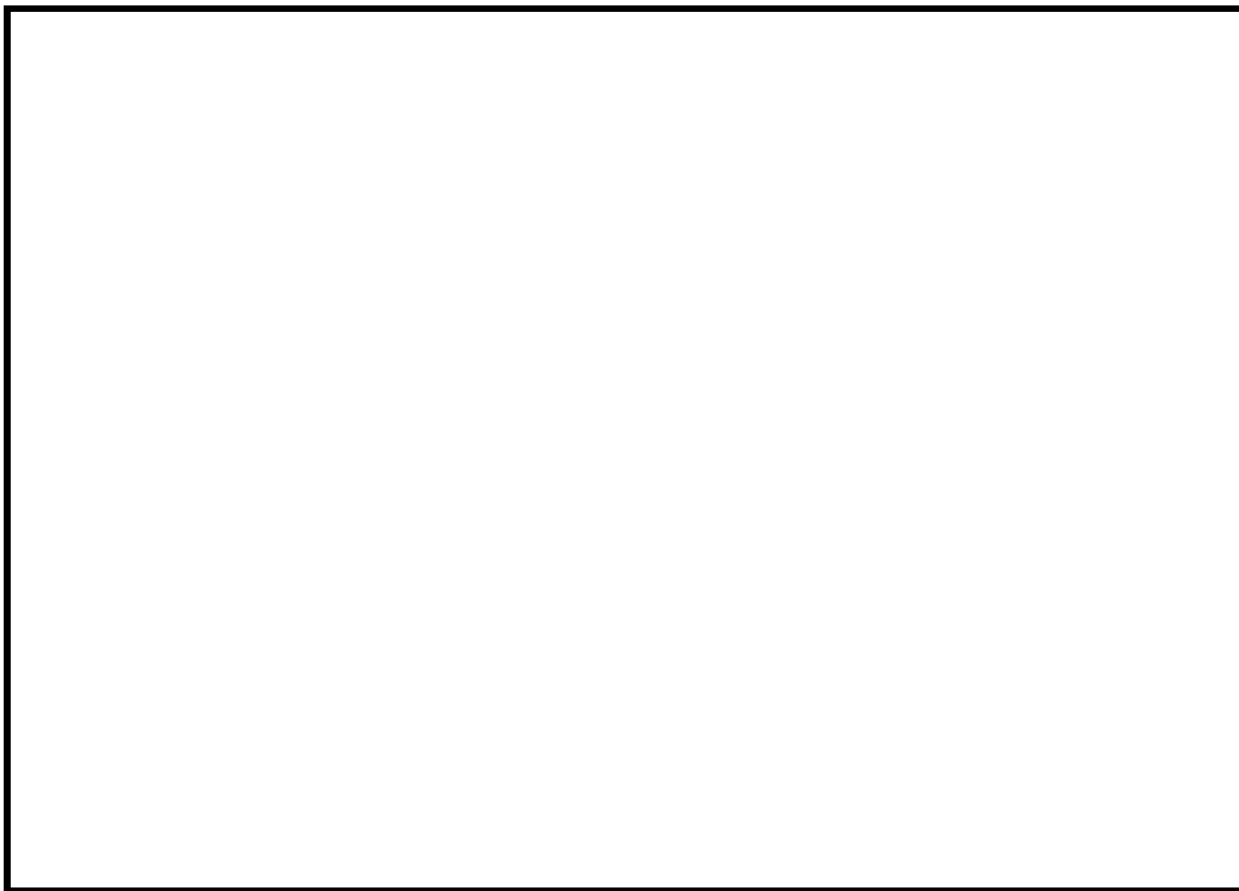


図4 解析モデル (拡大図)

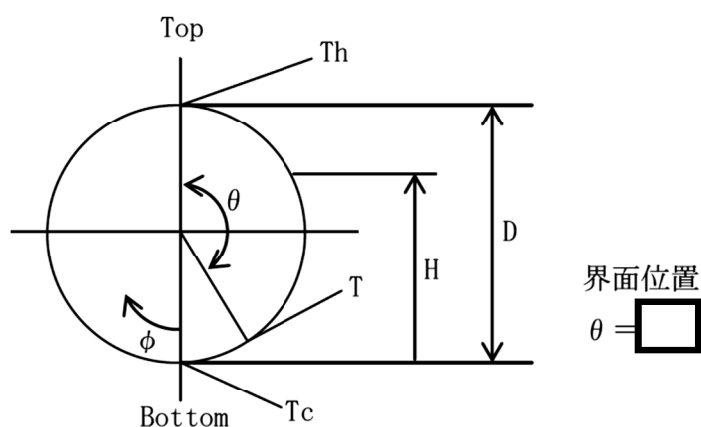
表1 材料物性値

| 部位 | 主給水管 | 給水入口管台 | 上部胴 |
|--|---------|---------|---------|
| 材料 | STS49 | SFVQ2A | SQV2B |
| 熱伝導率 (W/mK) | 44.6 | 39.1 | 39.1 |
| 熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K) | 4.38 | 4.30 | 4.30 |
| 熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm ^o C) | 12.77 | 13.11 | 13.90 |
| 縦弾性係数 (MPa) | 187,000 | 177,000 | 185,000 |
| ポアソン比 (-) | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

(注) 上記物性値は蒸気発生器2次側の定格出力運転時の温度 (269.3^oC) における値であり、解析上は温度依存性を考慮してそれぞれの時刻の温度に基づく値を使用している。

(6) 温度プロファイル

過去に他実機プラントである大飯1号機での給水管内熱成層発生時の応力を計測しており、熱成層界面位置が水平頂部からの角度 $\theta = \square$ の場合に最大応力が確認されている。大飯1号機と川内原子力発電所1号機では給水管台の形状(口径)が同等であることから、大飯1号機にて最大応力が確認された水平配管頂部からの角度 $\theta = \square$ を界面位置に設定している。



3.2 過渡条件

(1) 過渡回数

これまでの運転実績に基づく運転開始後60年時点での推定過渡回数で評価を実施する。

(2) 温度条件

低温水の微小給水・給水停止の繰返しによる熱成層の発生・消滅を評価する。

4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価結果を表2に、過渡記号を表3に示す。

以上

表2 給水入口管台環境疲労評価結果(環境U. F. が最大となる評価点)

| 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 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' | | | | | |
| 1A1 | 2T1 | 66.2 | -779.1 | 1.00 | 422.6 | 494.3 | 39 | 1470 | 0.02653 | 2.255 | 0.05982 |
| 1B1 | 2T1 | 56.0 | -779.1 | 1.00 | 417.5 | 488.3 | 16 | 1520 | 0.01053 | 1.848 | 0.01945 |
| 1B1 | 2G1 | 56.0 | -529.8 | 1.00 | 292.9 | 342.5 | 2 | 4480 | 0.00045 | 1.306 | 0.00058 |
| 1B1 | 2D5 | 56.0 | -528.6 | 1.00 | 292.3 | 341.8 | 2 | 4510 | 0.00044 | 1.289 | 0.00057 |
| 1B1 | 2E1 | 56.0 | -528.2 | 1.00 | 292.1 | 341.6 | 2 | 4510 | 0.00044 | 1.363 | 0.00060 |
| 1B1 | 2D3 | 56.0 | -513.1 | 1.00 | 284.5 | 332.8 | 2 | 4910 | 0.00041 | 1.572 | 0.00064 |
| 1B1 | 1N1 | 56.0 | -484.0 | 1.00 | 270.0 | 315.8 | 15 | 5740 | 0.00261 | 2.110 | 0.00551 |
| NSS | 1N1 | 0.0 | -484.0 | 1.00 | 242.0 | 283.0 | 76 | 7950 | 0.00956 | 2.110 | 0.02017 |
| 1C1 | 1N1 | -24.4 | -484.0 | 1.00 | 229.8 | 268.7 | 546 | 9270 | 0.05890 | 2.122 | 0.12498 |
| 1N1 | 1N1 | -26.9 | -484.0 | 1.00 | 228.6 | 267.3 | 306 | 9420 | 0.03248 | 2.256 | 0.07329 |
| 1N1 | 2B2 | -26.9 | -448.6 | 1.00 | 210.8 | 246.6 | 3 | 12200 | 0.00025 | 1.964 | 0.00048 |
| 1N1 | 1D1 | -26.9 | -151.5 | 1.00 | 62.3 | 72.9 | 546 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.30610 |

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.042\%$ (salt' ≤ 86.9) の場合、fen=1.0

→環境UF : 0.307

表 3 過渡記号

| | |
|-----|--|
| NSS | 無応力状態 |
| 1A1 | 起 動 |
| *00 | 無負荷運転状態 |
| 1B1 | 停 止 |
| 1C1 | 負荷上昇 (15%から100%出力) |
| *10 | 100%負荷運転状態 |
| 1D1 | 負荷減少 (100%から15%出力) |
| 1E1 | 90%から100%負荷へのステップ状負荷上昇 |
| 1F1 | 100%から90%負荷へのステップ状負荷減少 |
| 1G1 | 100%からの大きいステップ状負荷減少 |
| 1H1 | 定常負荷運転時の変動 |
| 1J1 | 0%→15%への負荷上昇 |
| 1K1 | 15%→0%への負荷減少 |
| 1L1 | 1 ループ停止 / 1 ループ起動 (1ループ停止・停止ループ) |
| 1L2 | 1 ループ停止 / 1 ループ起動 (1ループ停止・運転ループ) |
| 1L3 | 1 ループ停止 / 1 ループ起動 (1ループ起動・起動ループ) |
| 1L4 | 1 ループ停止 / 1 ループ起動 (1ループ起動・運転ループ) |
| 1N1 | 運転状態 I における低温給水 |
| 2A1 | 負荷の喪失 |
| 2B1 | 外部電源喪失 (補助給水されるループ) |
| 2B2 | 外部電源喪失 (補助給水されないループ) |
| 2C1 | 1 次冷却材流量の部分喪失 (健全側) |
| 2C2 | 1 次冷却材流量の部分喪失 (故障側) |
| 2D1 | 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴わない) |
| 2D2 | 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴う・冷却ループ) |
| 2D3 | 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴う・正常ループ) |
| 2D4 | 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却と S I を伴う・冷却ループ) |
| 2D5 | 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却と S I を伴う・正常ループ) |
| 2E1 | 1 次冷却系の異常な減圧 |
| 2F1 | 制御棒クラスタの落下 |
| 2G1 | 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 |
| 2H1 | 1 次冷却系停止ループの誤起動 (起動ループ) |
| 2H2 | 1 次冷却系停止ループの誤起動 (運転ループ) |
| 2I1 | タービン回転試験 |
| 2K1 | 2 次系漏洩試験 |
| 2T1 | 運転状態 II における低温給水 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|---------|---|------|--|------|-----|-----|---------|------------------------------|------|--|------|-----|-----|
| <p>タイトル</p> | <p>加圧器スプレイライン用管台等の疲労累積係数の算出根拠について</p> | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>説明</p> | <p>加圧器スプレイライン用管台およびサージ用管台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="456 882 1310 1200"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 2018 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>【熟成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="456 1276 1310 1478"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> | 解析プログラム | (スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 2018 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 6.3 | 要素種類 | | 要素次数 | 要素数 | 節点数 | 解析プログラム | (スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3 | 要素種類 | | 要素次数 | 要素数 | 節点数 |
| 解析プログラム | (スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 2018 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 6.3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 解析プログラム | (スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | |

2. 材料物性値

材料物性値を以下に示す。

| 評価部位 | 材料 | 設計応力 (MPa) |
|----------------------|---------------------------------|------------|
| | | 345℃ |
| スプレイライン用管台 | SA508 Class3 (SFVQ1A相当) | 184 |
| 上部鏡板 | SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当) | 184 |
| スプレイライン用管台 セーフエンド | SUSF316 | 114 |
| サージ用管台 | SA508 Class3 (SFVQ1A相当) | 184 |
| 下部胴板、下部鏡板 | SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当) | 184 |
| サージ用管台セーフエンド | SUSF316 | 114 |

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。

スプレイライン用管台については、熱成層による影響を考慮しており、接液部位で疲労累積係数が最大となる点について、環境疲労評価を実施している。

サージ用管台については、管台に作用する外荷重を配管解析で求めており、サージ配管で熱成層が発生した場合の応力を考慮せずに評価しているが、評価に用いる外荷重条件は熱成層を考慮した条件より厳しい評価条件となる。

解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付1に示す。

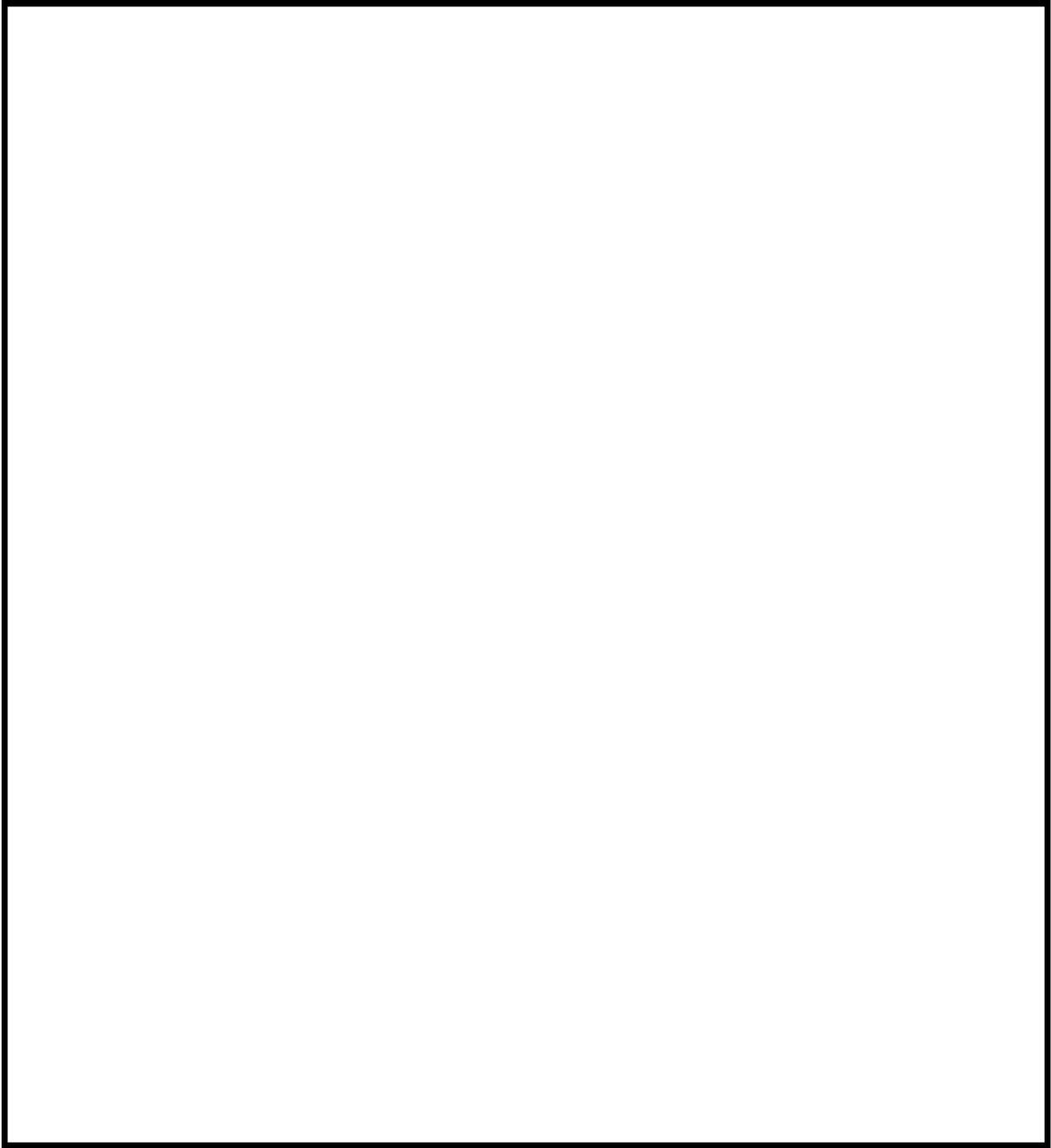
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

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

5. K e 係数および環境評価パラメータ

評価に用いたK e 係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を添付3に示す。



加圧器 スプレイライン用管台 評価点

スプレイライン用管台 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00288 | 0.00408 |
| 2 | 0.0 | 0.00001 | 0.00001 |
| 3 | 0.00000 | 0.00490 | 0.00740 |
| 4 | 0.00000 | 0.00009 | 0.00137 |
| 5 | 0.00004 | 0.01187 | 0.00118 |
| 6 | 0.0 | 0.00000 | 0.0 |
| 7 | 0.0 | 0.00612 | 0.00562 |
| 8 | 0.0 | 0.00000 | 0.00001 |
| 9 | 0.00000 | 0.00001 | 0.00085 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 12 | 0.00001 | 0.0 | 0.00048 |
| 13 | 0.0 | 0.00456 | 0.00930 |
| 14 | 0.00291 | 0.0 | 0.00063 |
| 15 | 0.0 | 0.00188 | 0.00054 |
| 16 | 0.0 | 0.00040 | 0.00181 |
| 17 | 0.01194 | 0.01919 | 0.0 |
| 18 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19 | 0.04806 | 0.04116 | 0.0 |
| 20 | 0.0 | 0.0 | 0.00000 |
| 21 | 0.0 | 0.00289 | 0.00046 |
| 22 | 0.0 | 0.00044 | 0.00377 |

許容値 $U_f = 1.0$

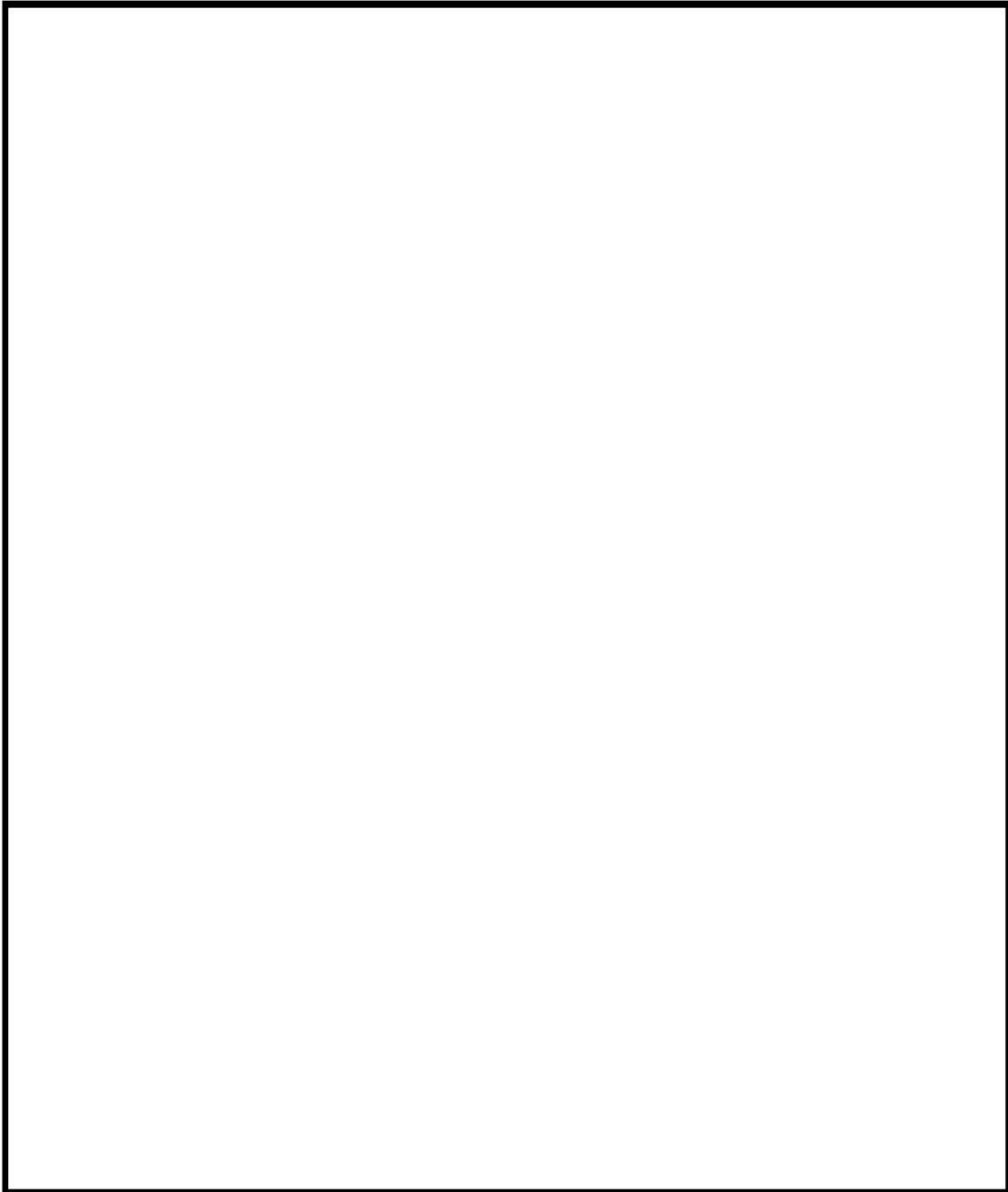
スプレイライン用管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

評価点 - 19
(S12)

| 応力強さ (単位 : MPa) | | Ke | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) | | |
|-----------------|--------|-----|-------|-------|--------------|--------|---------|
| 極大値 | 極小値 | | ALT | ALT' | | N | N* |
| 1.1 | -427.1 | 1.0 | 214.1 | 257.6 | 69 | 10500 | 0.00657 |
| 0.0 | -427.1 | 1.0 | 213.5 | 257.0 | 130 | 10600 | 0.01226 |
| -71.0 | -427.1 | 1.0 | 178.1 | 214.3 | 69 | 19900 | 0.00347 |
| -74.3 | -427.1 | 1.0 | 176.4 | 212.3 | 69 | 20500 | 0.00337 |
| -80.0 | -427.1 | 1.0 | 173.6 | 208.9 | 69 | 21500 | 0.00321 |
| -80.9 | -427.1 | 1.0 | 173.1 | 208.3 | 69 | 21700 | 0.00318 |
| -89.0 | -427.1 | 1.0 | 169.1 | 203.5 | 69 | 23300 | 0.00296 |
| -97.6 | -427.1 | 1.0 | 164.7 | 198.3 | 69 | 25300 | 0.00273 |
| -109.3 | -427.1 | 1.0 | 158.9 | 191.2 | 69 | 28300 | 0.00244 |
| -109.9 | -427.1 | 1.0 | 158.6 | 190.9 | 69 | 28400 | 0.00243 |
| -114.8 | -427.1 | 1.0 | 156.1 | 187.9 | 69 | 29800 | 0.00232 |
| -136.0 | -427.1 | 1.0 | 145.6 | 175.2 | 2 | 37000 | 0.00005 |
| -156.7 | -427.1 | 1.0 | 135.2 | 162.7 | 69 | 46500 | 0.00148 |
| -195.2 | -427.1 | 1.0 | 116.0 | 139.6 | 69 | 94600 | 0.00073 |
| -216.1 | -427.1 | 1.0 | 105.5 | 127.0 | 69 | 135000 | 0.00051 |
| -231.8 | -427.1 | 1.0 | 97.7 | 117.5 | 2 | 178000 | 0.00001 |
| -258.9 | -427.1 | 1.0 | 84.1 | 101.2 | 2 | 341000 | 0.00001 |
| -259.2 | -427.1 | 1.0 | 83.9 | 101.0 | 69 | 344000 | 0.00020 |
| -263.0 | -427.1 | 1.0 | 82.1 | 98.8 | 2 | 381000 | 0.00001 |
| -274.0 | -427.1 | 1.0 | 76.5 | 92.1 | 2 | 544000 | 0.00000 |
| -274.1 | -427.1 | 1.0 | 76.5 | 92.1 | 69 | 547000 | 0.00013 |
| -292.6 | -427.1 | 1.0 | 67.2 | 80.9 | 6 | ----- | 0.0 |
| | | | | | 疲労累積係数 = | | 0.04806 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.049



加圧器サージ用管台 評価点

サージ用管台 最大評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.00007 | 0.00153 | 0.03226 |
| 2 | 0.00002 | 0.00041 | 0.00145 |
| 3 | 0.0 | 0.00279 | 0.01093 |
| 4 | 0.00037 | 0.00024 | 0.00631 |
| 5 | 0.00003 | 0.00466 | 0.00065 |
| 6 | 0.0 | 0.00000 | 0.0 |
| 7 | 0.00006 | 0.00205 | 0.00534 |
| 8 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 9 | 0.00014 | 0.00018 | 0.00289 |
| 10 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00002 |
| 11 | 0.0 | 0.00011 | 0.00050 |
| 12 | 0.00008 | 0.0 | 0.00204 |
| 13 | 0.00407 | 0.0 | 0.00342 |
| 14 | 0.00551 | 0.0 | 0.00432 |
| 15 | 0.0 | 0.00062 | 0.00314 |
| 16 | 0.02819 | 0.0 | 0.03010 |
| 17 | 0.00386 | 0.00998 | 0.0 |
| 18 | 0.0 | 0.00102 | 0.00111 |
| 19 | 0.01963 | 0.01578 | 0.0 |
| 20 | 0.0 | 0.00219 | 0.00408 |
| 21 | 0.00023 | 0.00214 | 0.00037 |
| 22 | 0.0 | 0.00468 | 0.01044 |

許容値 $U_f = 1.0$

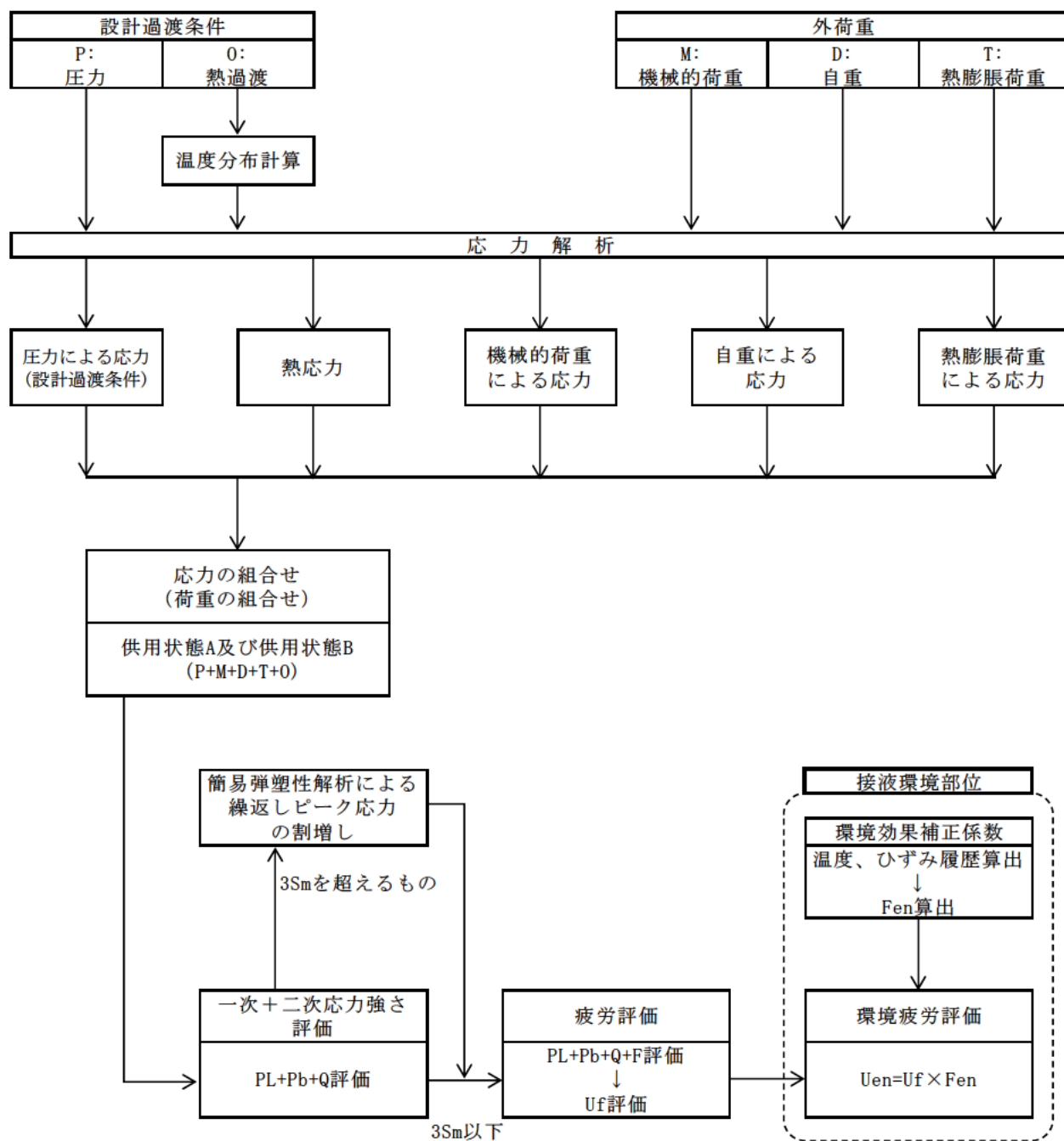
サージ用管台 疲労評価結果 (評価点: 1)

評価点 - 1
(S31)

| 応力強さ | | (単位: MPa) | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------|--------|-----------|-------|------------------|-------|----------|-----------------|
| 極大値 | 極小値 | Ke | ALT | ALT ^T | N | N* | |
| 0.0 | -624.1 | 1.34 | 419.4 | 472.7 | 2 | 7560 | 0.00026 |
| 0.0 | -595.8 | 1.33 | 397.1 | 447.7 | 128 | 9410 | 0.01360 |
| -65.9 | -595.8 | 1.28 | 338.4 | 381.4 | 2 | 20400 | 0.00010 |
| -118.3 | -595.8 | 1.22 | 291.7 | 328.8 | 2 | 42900 | 0.00005 |
| -118.6 | -595.8 | 1.22 | 291.4 | 328.5 | 2 | 43100 | 0.00005 |
| -145.0 | -595.8 | 1.22 | 275.1 | 310.1 | 694 | 58300 | 0.01190 |
| -145.0 | -590.9 | 1.23 | 273.3 | 308.0 | 115 | 60500 | 0.00190 |
| -158.0 | -590.9 | 1.23 | 265.2 | 299.0 | 4 | 71200 | 0.00006 |
| -164.7 | -590.9 | 1.23 | 261.1 | 294.3 | 295 | 77600 | 0.00380 |
| -164.7 | -593.1 | 1.21 | 259.7 | 292.7 | 2 | 80000 | 0.00002 |
| -180.7 | -518.9 | 1.23 | 207.2 | 233.6 | 2 | 290000 | 0.00001 |
| -180.7 | -489.5 | 1.23 | 189.2 | 213.3 | 2 | 512000 | 0.00000 |
| -180.7 | -478.2 | 1.23 | 182.3 | 205.5 | 2 | 666000 | 0.00000 |
| -180.7 | -450.4 | 1.23 | 165.2 | 186.2 | 4 | 1140000 | 0.00000 |
| -180.7 | -444.5 | 1.23 | 161.6 | 182.2 | 7 | 1220000 | 0.00001 |
| -180.7 | -426.3 | 1.23 | 150.5 | 169.6 | 2 | 1550000 | 0.00000 |
| -180.7 | -399.9 | 1.23 | 134.3 | 151.4 | 3 | 2340000 | 0.00000 |
| -180.7 | -395.9 | 1.23 | 131.8 | 148.6 | 392 | 2530000 | 0.00015 |
| -193.1 | -395.9 | 1.22 | 123.7 | 139.5 | 406 | 3330000 | 0.00012 |
| -193.1 | -394.2 | 1.22 | 122.7 | 138.3 | 422 | 3450000 | 0.00012 |
| -164.7 | -394.2 | 1.0 | 114.7 | 129.3 | 387 | 4620000 | 0.00008 |
| -164.7 | -387.9 | 1.0 | 111.6 | 125.7 | 6 | 5300000 | 0.00000 |
| -164.7 | -354.7 | 1.0 | 95.0 | 107.1 | 5 | 16600000 | 0.00000 |
| -164.7 | -342.8 | 1.0 | 89.0 | 100.4 | 2 | 40400000 | 0.00000 |
| -164.7 | -321.9 | 1.0 | 78.6 | 88.6 | 2 | ----- | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.03226 |

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しヒック応力強さ
 ALT^T : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.033



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【スプレイライン用管台 (評価点: 5)】

| 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 | | | | | |
| 2E2 | 2E2 | 558.2 | -382.4 | 2.13 | 1000.0 | 1127.2 | 2 | 370 | 0.00541 | 5.795 | 0.03132 |
| 1B8 | 1B6 | 305.1 | -129.0 | 1.00 | 217.0 | 244.6 | 69 | 217000 | 0.00032 | 5.190 | 0.00165 |
| 1A6 | 1B5 | 292.9 | -127.5 | 1.00 | 210.2 | 236.9 | 69 | 265000 | 0.00026 | 7.555 | 0.00197 |
| 2G1 | 1B7 | 288.4 | -126.4 | 1.00 | 207.4 | 233.8 | 2 | 288000 | 0.00001 | 5.556 | 0.00004 |
| 1B2 | 1B7 | 279.5 | -126.4 | 1.00 | 202.9 | 228.7 | 67 | 330000 | 0.00020 | 6.657 | 0.00135 |
| 1B2 | 1B4 | 279.5 | -111.7 | 1.00 | 195.6 | 220.5 | 2 | 415000 | 0.00000 | 9.495 | 0.00005 |
| 1B3 | 1B4 | 278.9 | -111.7 | 1.00 | 195.3 | 220.1 | 67 | 419000 | 0.00016 | 9.087 | 0.00145 |
| 1B3 | 1M1 | 278.9 | -111.4 | 1.00 | 195.1 | 220.0 | 2 | 421000 | 0.00000 | 13.024 | 0.00006 |
| 1A7 | 1M1 | 276.8 | -111.4 | 1.00 | 194.1 | 218.8 | 69 | 435000 | 0.00016 | 13.347 | 0.00212 |
| 1A5 | 1M1 | 275.2 | -111.4 | 1.00 | 193.3 | 217.9 | 69 | 446000 | 0.00015 | 12.989 | 0.00201 |
| 1B4 | 1M1 | 272.0 | -111.4 | 1.00 | 191.7 | 216.1 | 69 | 470000 | 0.00015 | 12.360 | 0.00181 |
| 1B5 | 1M1 | 267.0 | -111.4 | 1.00 | 189.2 | 213.3 | 69 | 512000 | 0.00013 | 1.000 | 0.00013 |
| 2A1 | 1M1 | 261.5 | -111.4 | 1.00 | 186.5 | 210.2 | 7 | 567000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 2H1 | 1M1 | 256.6 | -111.4 | 1.00 | 184.0 | 207.4 | 2 | 624000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1F1 | 1M1 | 252.1 | -111.4 | 1.00 | 181.7 | 204.9 | 6 | 680000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1L1 | 1M1 | 251.7 | -111.4 | 1.00 | 181.5 | 204.6 | 2 | 686000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1D1 | 1M1 | 251.0 | -111.4 | 1.00 | 181.2 | 204.3 | 798 | 695000 | 0.00115 | 1.000 | 0.00115 |
| 1G1 | 1M1 | 250.7 | -111.4 | 1.00 | 181.1 | 204.1 | 3 | 698000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1L2 | 1M1 | 250.5 | -111.4 | 1.00 | 181.0 | 204.0 | 2 | 701000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1E1 | 1M1 | 249.9 | -111.4 | 1.00 | 180.7 | 203.6 | 5 | 709000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1C1 | 1M1 | 248.9 | -111.4 | 1.00 | 180.1 | 203.1 | 809 | 724000 | 0.00112 | 1.000 | 0.00112 |
| 1M1 | 1M1 | 248.8 | -111.4 | 1.00 | 180.1 | 203.0 | 988 | 725000 | 0.00136 | 1.000 | 0.00136 |
| 1M1 | 1C1 | 248.8 | -111.2 | 1.00 | 180.0 | 202.9 | 809 | 728000 | 0.00111 | 1.000 | 0.00111 |
| 1M1 | 1A6 | 248.8 | -105.9 | 1.00 | 177.4 | 199.9 | 69 | 808000 | 0.00009 | 1.000 | 0.00009 |
| 1M1 | 2G1 | 248.8 | -102.3 | 1.00 | 175.6 | 197.9 | 2 | 868000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1M1 | 1B3 | 248.8 | -99.5 | 1.00 | 174.2 | 196.3 | 69 | 920000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00008 |
| 1M1 | 1E1 | 248.8 | -97.7 | 1.00 | 173.3 | 195.3 | 5 | 953000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1M1 | 1A7 | 248.8 | -93.7 | 1.00 | 171.3 | 193.1 | 69 | 1010000 | 0.00007 | 1.000 | 0.00007 |
| 1M1 | 1A5 | 248.8 | -92.5 | 1.00 | 170.7 | 192.4 | 69 | 1020000 | 0.00007 | 1.000 | 0.00007 |
| 1M1 | 1D1 | 248.8 | -91.2 | 1.00 | 170.0 | 191.7 | 798 | 1040000 | 0.00077 | 1.000 | 0.00077 |
| 1M1 | 1L2 | 248.8 | -89.5 | 1.00 | 169.1 | 190.7 | 2 | 1050000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1M1 | 1B2 | 248.8 | -88.9 | 1.00 | 168.8 | 190.3 | 20 | 1060000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1B6 | 1B2 | 245.8 | -88.9 | 1.00 | 167.3 | 188.6 | 49 | 1090000 | 0.00004 | 1.000 | 0.00004 |
| 1B6 | 1A4 | 245.8 | -81.1 | 1.00 | 163.4 | 184.2 | 20 | 1180000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 2C1 | 1A4 | 244.1 | -81.1 | 1.00 | 162.6 | 183.2 | 2 | 1200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1B7 | 1A4 | 237.1 | -81.1 | 1.00 | 159.1 | 179.3 | 47 | 1290000 | 0.00004 | 1.000 | 0.00004 |
| 1B7 | 1A3 | 237.1 | -78.7 | 1.00 | 157.9 | 178.0 | 22 | 1320000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1A4 | 1A3 | 233.1 | -78.7 | 1.00 | 155.9 | 175.7 | 47 | 1380000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 |
| 1A4 | 1G1 | 233.1 | -60.0 | 1.00 | 146.5 | 165.2 | 3 | 1690000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A4 | 1F1 | 233.1 | -48.2 | 1.00 | 140.6 | 158.5 | 6 | 1930000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A4 | 1A2 | 233.1 | -34.5 | 1.00 | 133.8 | 150.8 | 13 | 2380000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1B9 | 1A2 | 223.7 | -34.5 | 1.00 | 129.1 | 145.5 | 56 | 2770000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1B9 | 1L1 | 223.7 | -27.5 | 1.00 | 125.6 | 141.6 | 2 | 3120000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |

| 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 | | | | | |
| 1B9 | 2J2 | 223.7 | -12.1 | 1.00 | 117.9 | 132.9 | 11 | 4110000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A3 | 2J2 | 194.2 | -12.1 | 1.00 | 103.2 | 116.3 | 50 | 8440000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1A3 | 2A1 | 194.2 | -7.1 | 1.00 | 100.7 | 113.5 | 7 | 9750000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A3 | 1B8 | 194.2 | -6.1 | 1.00 | 100.2 | 112.9 | 12 | 10000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1BA | 1B8 | 174.2 | -6.1 | 1.00 | 90.2 | 101.7 | 57 | 33000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1BA | 2H1 | 174.2 | -5.3 | 1.00 | 89.8 | 101.2 | 2 | 35700000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1BA | 1B1 | 174.2 | -0.6 | 1.00 | 87.4 | 98.5 | 10 | 58900000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1BB | 1B1 | 142.3 | -0.6 | 1.00 | 71.4 | 80.5 | 59 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.05004 |

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

→環境UF : 0.051

【サージ用管台 (評価点: 1)】

| 選流条件 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 | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | | n |
| NSS | 2H1 | 0.0 | -624.1 | 1.34 | 419.4 | 472.7 | | 2 | 7560 | 0.00026 | 6.133 | 0.00162 |
| NSS | 1B2 | 0.0 | -595.8 | 1.33 | 397.1 | 447.7 | 128 | | 9410 | 0.01360 | 3.573 | 0.04861 |
| 2G1 | 1B2 | -65.9 | -595.8 | 1.28 | 338.4 | 381.4 | | 2 | 20400 | 0.00010 | 9.659 | 0.00095 |
| 2E1 | 1B2 | -118.3 | -595.8 | 1.22 | 291.7 | 328.8 | | 2 | 42900 | 0.00005 | 4.282 | 0.00020 |
| 2D3 | 1B2 | -118.6 | -595.8 | 1.22 | 291.4 | 328.5 | | 2 | 43100 | 0.00005 | 7.946 | 0.00037 |
| 1C1 | 1B2 | -145.0 | -595.8 | 1.22 | 275.1 | 310.1 | 694 | | 58300 | 0.01190 | 8.999 | 0.10712 |
| 1C1 | 1A2 | -145.0 | -590.9 | 1.23 | 273.3 | 308.0 | 115 | | 60500 | 0.00190 | 8.840 | 0.01680 |
| 2B1 | 1A2 | -158.0 | -590.9 | 1.23 | 265.2 | 299.0 | 4 | | 71200 | 0.00006 | 8.867 | 0.00050 |
| 1D1 | 1A2 | -164.7 | -590.9 | 1.23 | 261.1 | 294.3 | 295 | | 77600 | 0.00380 | 6.188 | 0.02353 |
| 1D1 | 2B1 | -164.7 | -599.1 | 1.21 | 259.7 | 292.7 | | 2 | 80000 | 0.00002 | 7.224 | 0.00018 |
| 1A2 | 2D3 | -180.7 | -518.9 | 1.23 | 207.2 | 233.6 | | 2 | 290000 | 0.00001 | 7.463 | 0.00005 |
| 1A2 | 2G1 | -180.7 | -489.5 | 1.23 | 189.2 | 213.3 | | 2 | 512000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A2 | 1L1 | -180.7 | -478.2 | 1.23 | 182.3 | 205.5 | | 2 | 666000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A2 | 2B1 | -180.7 | -450.4 | 1.23 | 165.2 | 186.2 | 4 | | 1140000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A2 | 2A1 | -180.7 | -444.5 | 1.23 | 161.6 | 182.2 | 7 | | 1320000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1A2 | 1L2 | -180.7 | -426.3 | 1.23 | 150.5 | 169.6 | | 2 | 1550000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A2 | 1G1 | -180.7 | -399.9 | 1.23 | 134.3 | 151.4 | 3 | | 2340000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A2 | 1D1 | -180.7 | -395.9 | 1.23 | 131.8 | 148.6 | 392 | | 2530000 | 0.00015 | 1.000 | 0.00015 |
| 1B2 | 1D1 | -193.1 | -395.9 | 1.22 | 123.7 | 139.5 | 406 | | 3330000 | 0.00012 | 1.000 | 0.00012 |
| 1B2 | 1C1 | -193.1 | -394.2 | 1.22 | 122.7 | 138.3 | 422 | | 3450000 | 0.00012 | 1.000 | 0.00012 |
| 1D1 | 1C1 | -164.7 | -394.2 | 1.00 | 114.7 | 129.3 | 387 | | 4620000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00008 |
| 1D1 | 1P1 | -164.7 | -387.9 | 1.00 | 111.6 | 125.7 | 6 | | 5300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1D1 | 1E1 | -164.7 | -354.7 | 1.00 | 95.0 | 107.1 | 5 | | 16500000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1D1 | 2C1 | -164.7 | -342.8 | 1.00 | 89.0 | 100.4 | 2 | | 40400000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1D1 | 2P1 | -164.7 | -321.9 | 1.00 | 78.6 | 88.6 | 2 | | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.20043 | |

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

→環境UF : 0.201

| | |
|------|--|
| タイトル | 機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠について |
| 説明 | <p>余熱除去出口配管貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位にかかわる負荷を算出し、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。</p> <p>余熱除去出口配管貫通部の仕様、荷重および疲労評価結果を添付 1 に示す。</p> <p>主蒸気・主給水管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。</p> <p>主蒸気・主給水ライン貫通部の仕様および疲労評価結果を添付 2 に示す。</p> |

余熱除去出口配管貫通部の基本寸法箇所を図1に示す。また、仕様（形状、材料）を表1に示す。

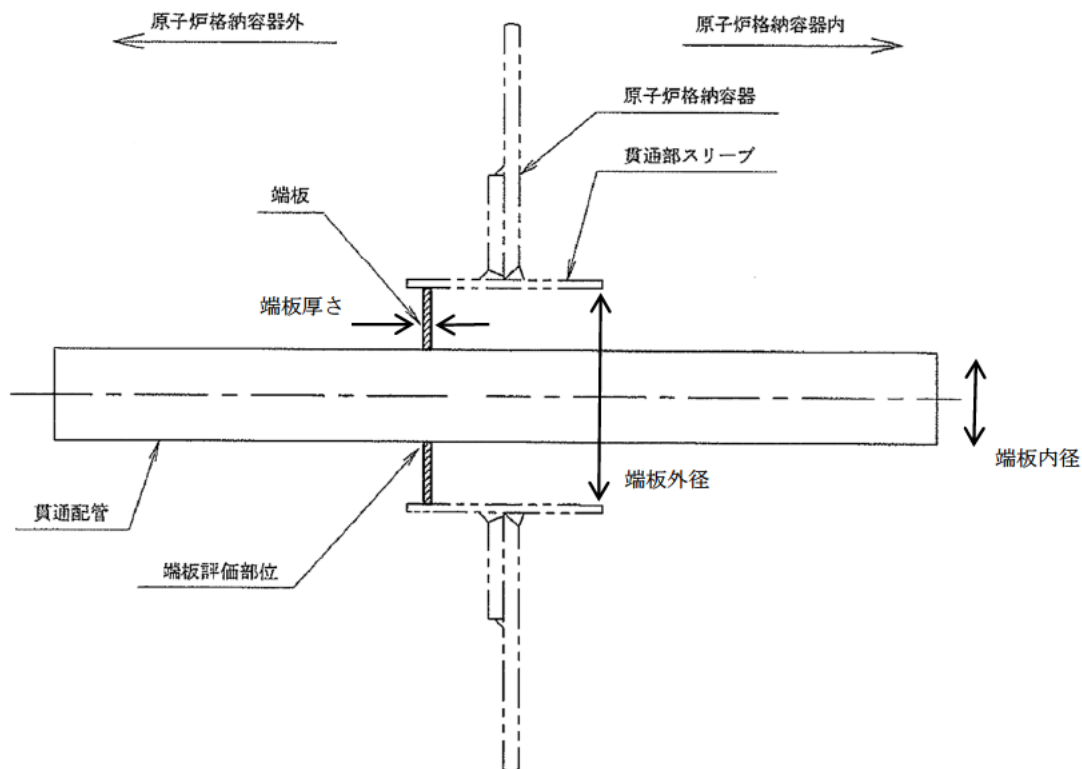


図1 余熱除去出口配管貫通部の基本寸法箇所

表1 余熱除去出口配管貫通部の仕様

| 格納容器貫通部 | 格納容器 最高使用 圧力 (MPa) | 最高使用 温度 (℃) | 端板 外径 (mm) D1 | 端板 内径 (mm) D2 | 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) |
|----------|-----------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------|-------------------------------------|
| 余熱除去出口配管 | 0.245 | 200 | | | | SUS304 | 183,000 |

配管解析からの荷重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。配管解析から得られる荷重の評価結果を表2に示す。

その応力に対応する許容回数を疲労線図(JSME S NC1-2005/2007)から疲労累積係数(Uf)が算出される。端板の疲労評価結果を表3に示す。

表2 端板に作用する荷重

| 格納容器貫通部 | 軸力[kN] | | | モーメント[kN・m] | | |
|----------|--------|----|----|-------------|----|----|
| | Fx | Fy | Fz | Mx | My | Mz |
| 余熱除去出口配管 | -4 | 3 | -7 | 2 | 24 | -6 |

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

表3 端板の疲労評価結果

| 格納容器貫通部 | 繰返しピーク応力強さ(MPa) | 過渡による負荷回数(n) | 許容繰返し回数(N) | 疲労累積係数(Uf) |
|----------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 余熱除去出口配管 | 193 | 260 | 1,036,034 | 0.001 |

主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所を図 2 に示す。また、仕様（形状、材料）を表 4 に示す。

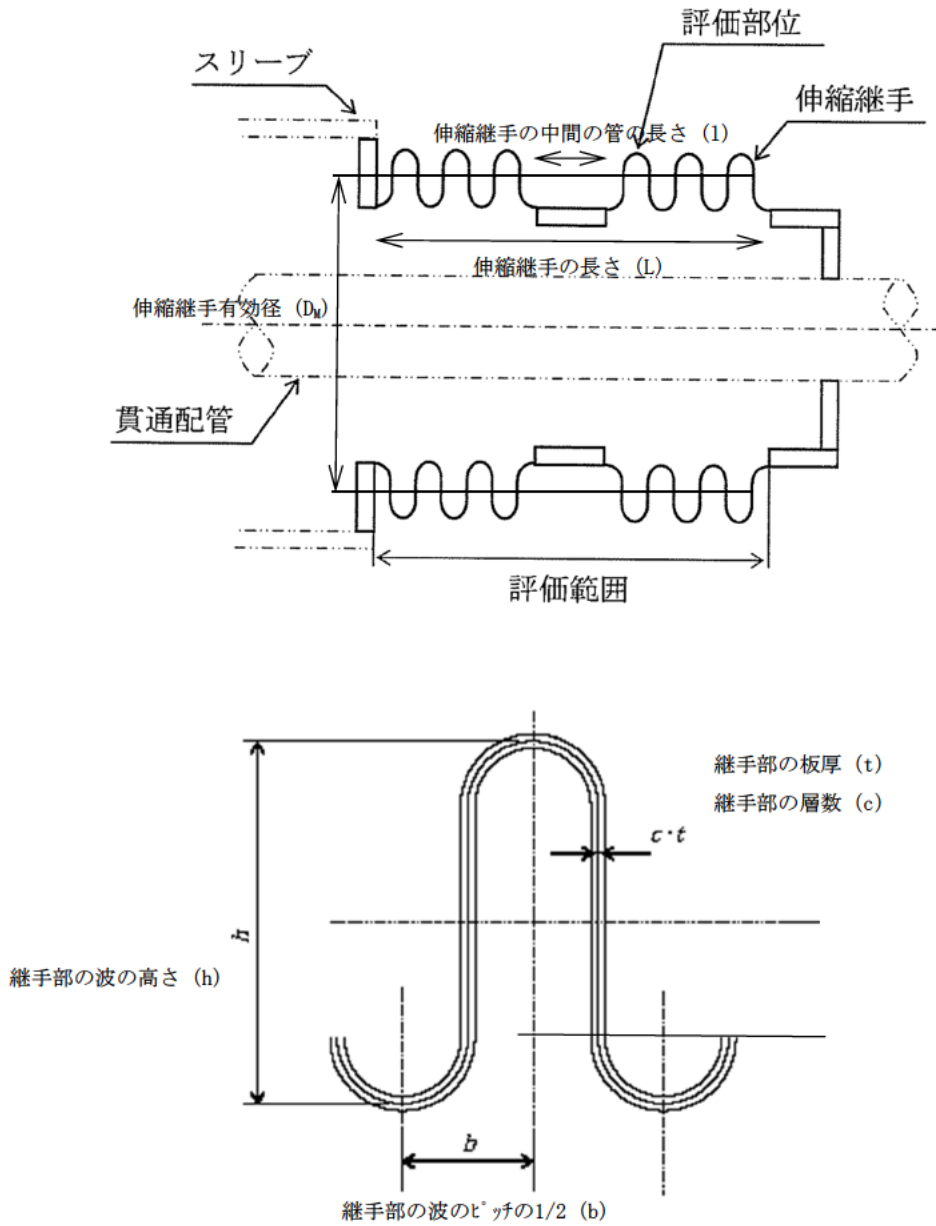


図 2 主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所

表4 主蒸気・主給水管貫通部の仕様

| 配管名称 | 主蒸気管 | 主給水管 |
|---|---------|---------|
| 格納容器最高 使用圧力 (MPa) | 0.245 | 0.245 |
| 伸縮継手有効径 (mm) D_M | | |
| 継手部の波の高さ (mm) h | | |
| 継手部の波のピッチの 1/2 (mm) b | | |
| 継手部の板厚 (mm) t | | |
| 伸縮継手1個の山数 W_N | | |
| 継手部の層数 c | | |
| 継手部材料 | SUS304 | SUS304 |
| 材料の評価温度 (21°C) に おける縦弾性係数 (MPa) E | 195,000 | 195,000 |
| 伸縮継手の中間の管の長さ (mm) l | 120 | 70 |
| 伸縮継手の長さ (mm) L | 520 | 470 |

配管解析から伸縮継手に作用する変位量が求まる。配管解析から得られる変位量の評価結果を表5に示す。

表5 伸縮継手に作用する変位量

| 配管名称 | 起動・停止 | | | | 起動・停止以外 | | | |
|------|------------|---|---|------------------|------------|---|---|------------------|
| | 熱膨張変位 (mm) | | | | 熱膨張変位 (mm) | | | |
| | x | y | z | $\sqrt{y^2+z^2}$ | x | y | z | $\sqrt{y^2+z^2}$ |
| 主蒸気管 | | | | | | | | |
| 主給水管 | | | | | | | | |

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

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-3800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(Uf)が算出される。

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

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

伸縮継手の疲労評価結果を表6に示す。

表6 伸縮継手の疲労評価結果

| 格納容器 貫通部 | 過渡 | 繰返し ピーク応力 強さ(MPa) | 過渡による 負荷回数(n) | 許容回数 (N) | Uf | 全体 Uf |
|-------------|---------|-------------------------|------------------|-------------|-------|----------|
| 主蒸気管 | 起動・停止 | 624 | 69 | 23,243 | 0.003 | 0.021 |
| | 起動・停止以外 | 405 | 1,852 | 106,005 | 0.018 | |
| 主給水管 | 起動・停止 | 1,031 | 69 | 4,013 | 0.018 | 0.235 |
| | 起動・停止以外 | 831 | 1,852 | 8,541 | 0.217 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|---------|---|------|--|-----|-----|--|---------|--|------|--|------|-----|-----|
| タイトル | 加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠について | | | | | | | | | | | | | | |
| 説明 | <p>加圧器スプレイ配管およびサージ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="472 898 1310 1292"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></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="472 1391 1310 1823"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.1 (加圧器スプレイ配管) ANSYS 2019</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</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) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. 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. 12.1 (加圧器スプレイ配管) ANSYS 2019 | 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) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. 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. 12.1 (加圧器スプレイ配管) ANSYS 2019 | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | |

2. 材料物性

材料物性を以下に示す。

| 使用箇所 | 温度 (°C) | S m (MPa) | 使用材料 |
|-----------|------------|--------------|----------|
| 加圧器サージ配管 | 360 | 113 | SUS316TP |
| 加圧器スプレイ配管 | 343 | 114 | SUS316TP |

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イ配管は、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イ配管ともに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。

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に示す。

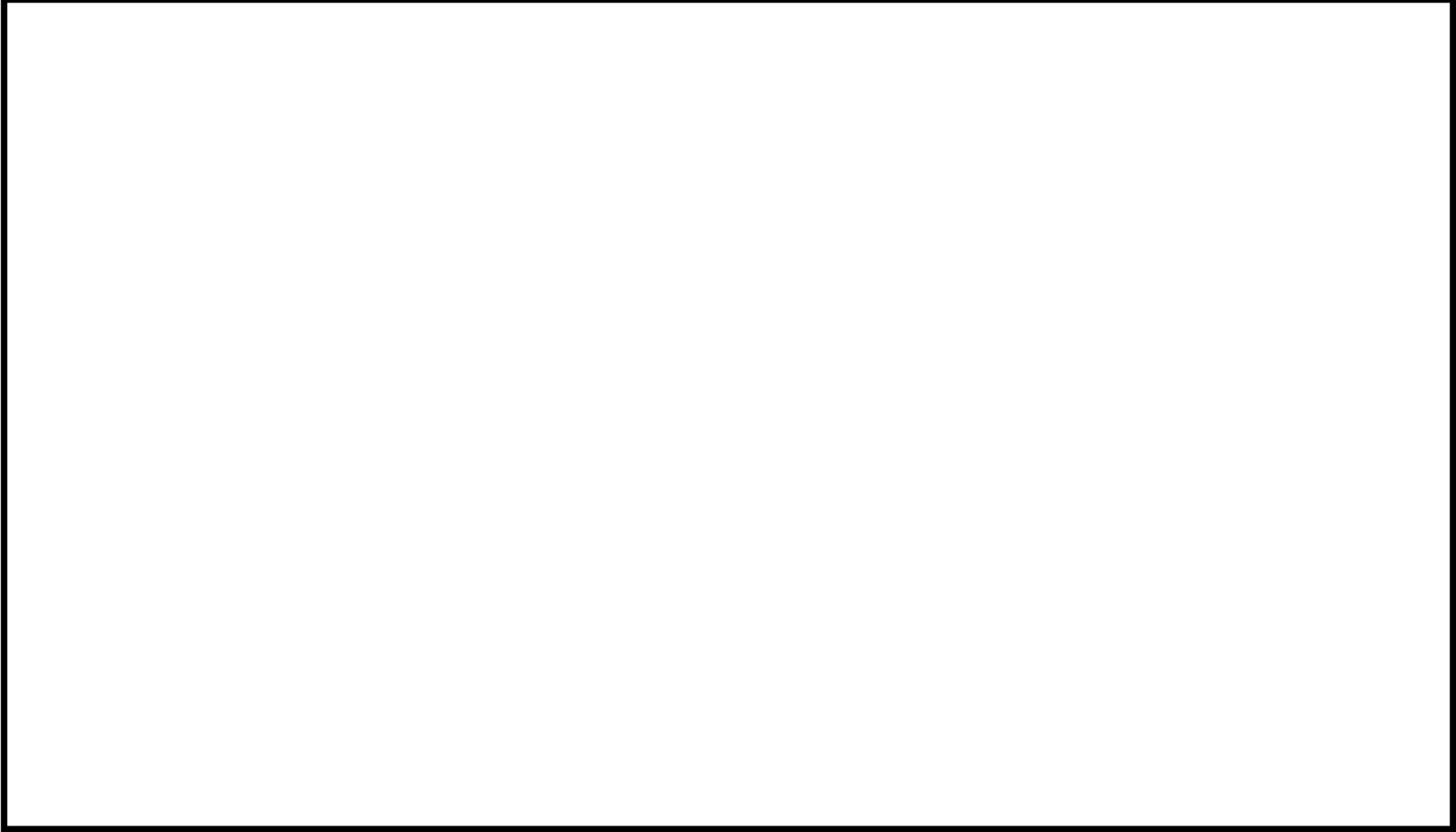
| 状態 | 荷重の組み合わせ |
|----------|-----------------------------------|
| 供用状態A, B | 【通常疲労】 圧力+熱膨張荷重+熱過渡 |
| | 【熱成層を考慮した環境疲労】 圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡 |

5. Ke係数

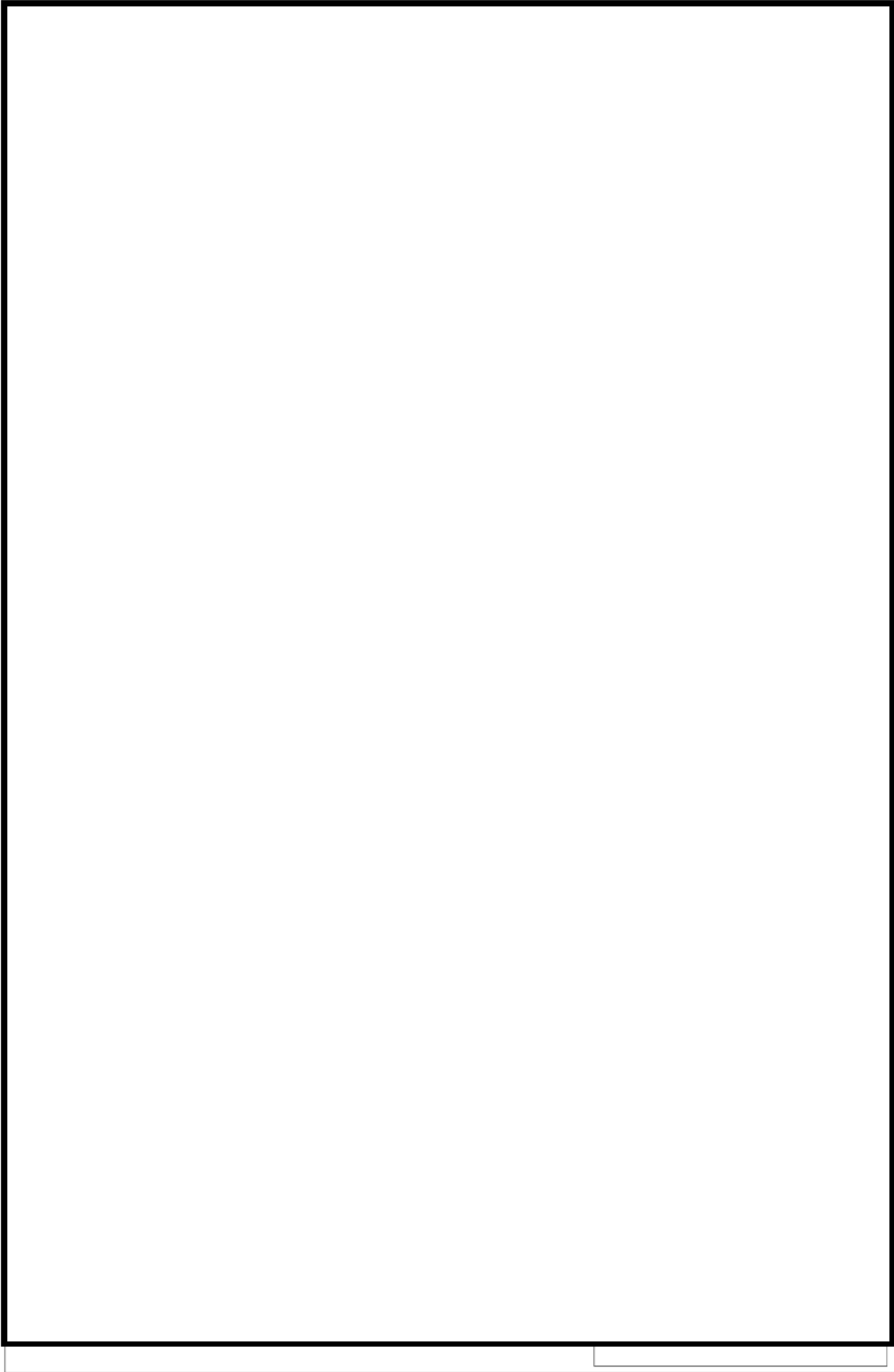
環境疲労評価において用いたKe係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

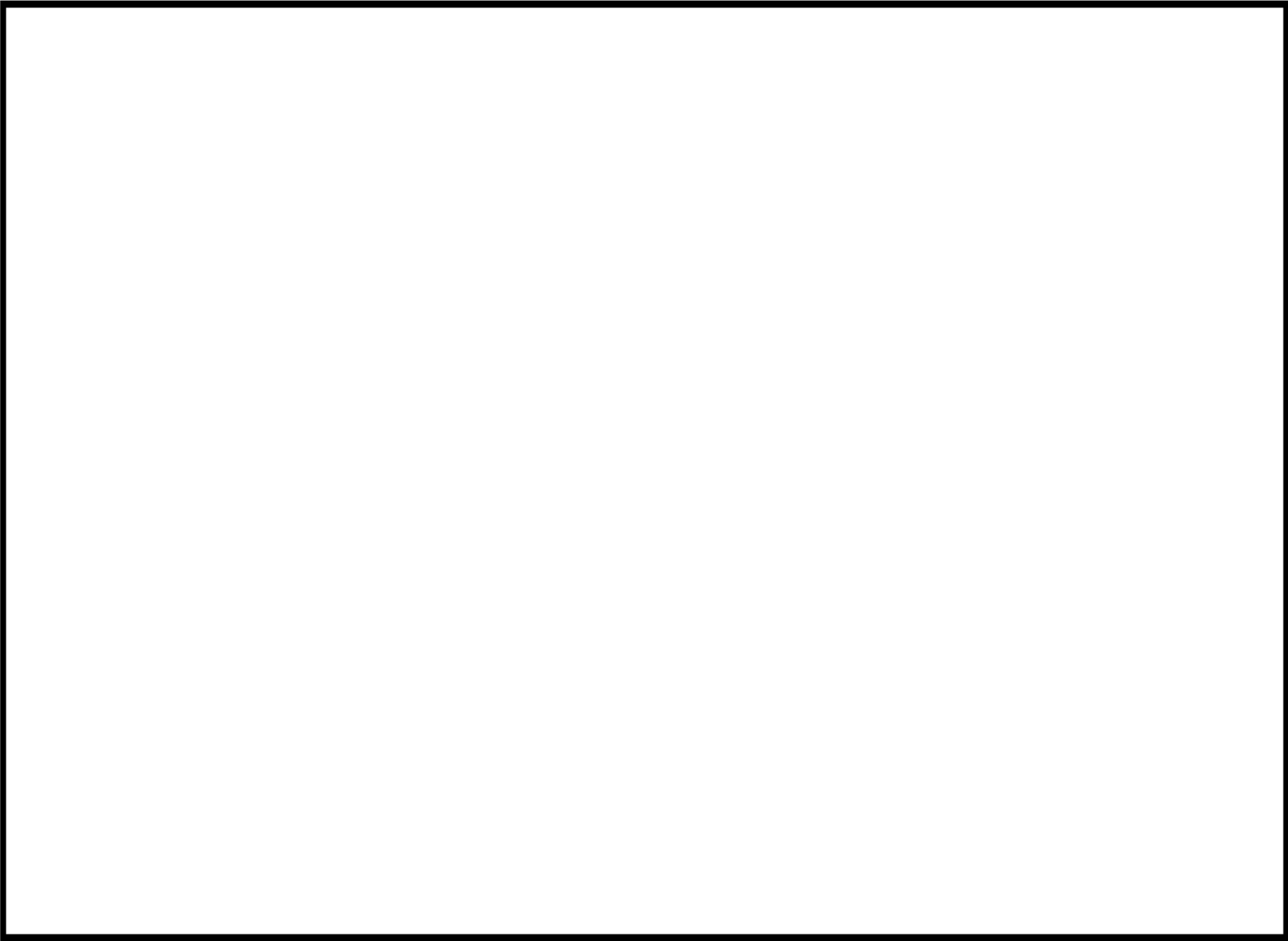
評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示す。



加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



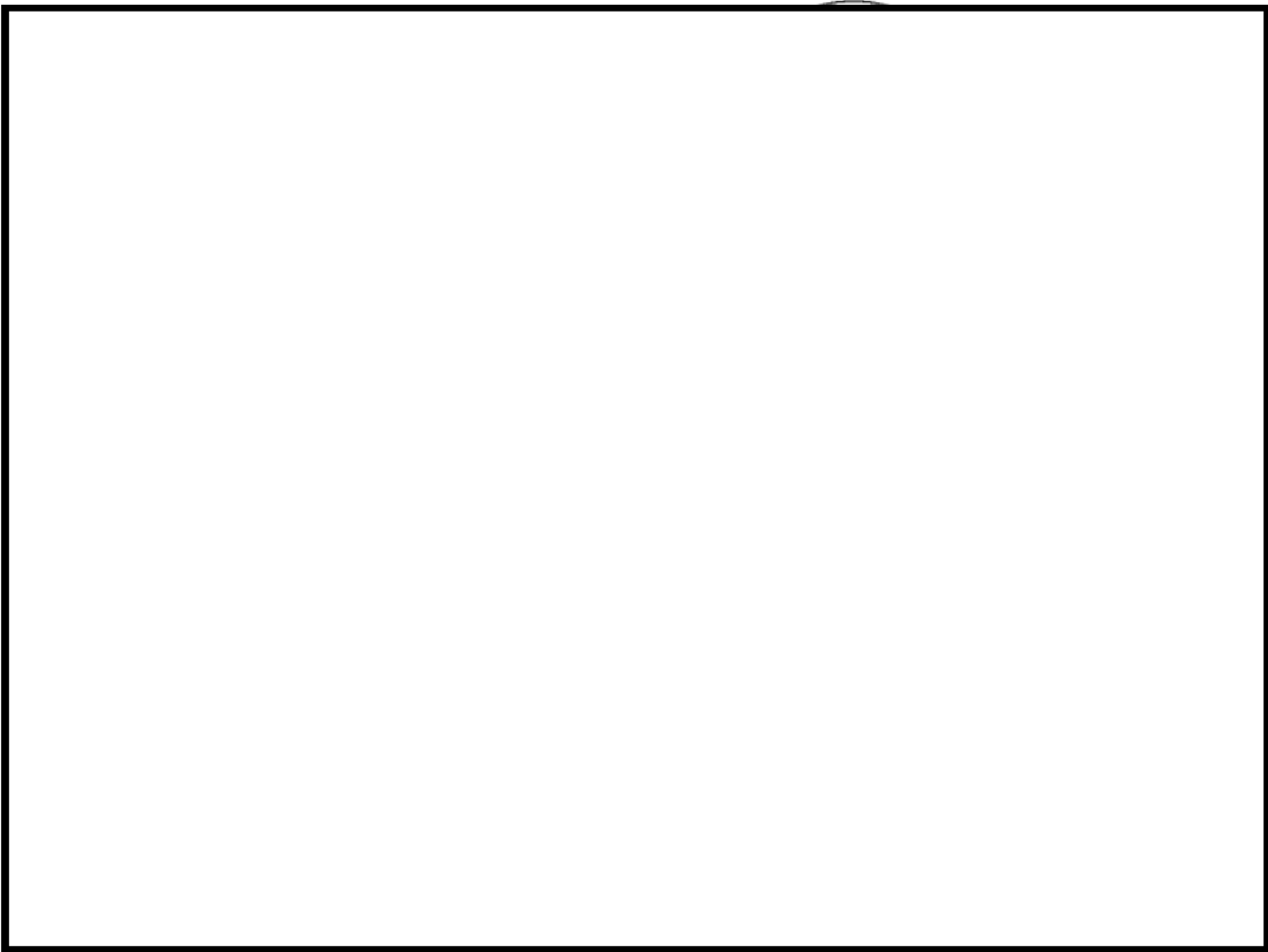
加圧器サージ配管 解析モデル (2/2)



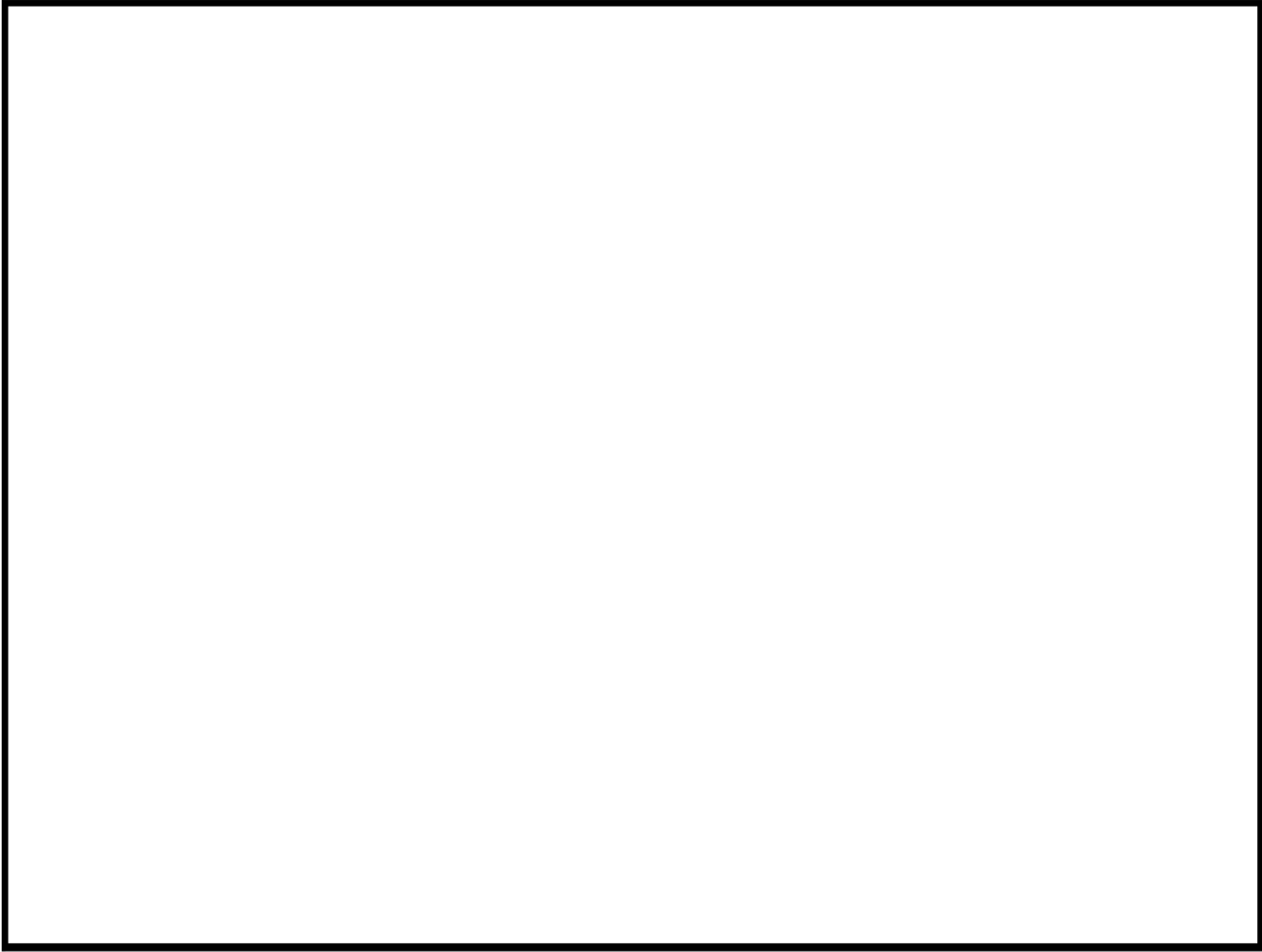
加圧器スプレイ配管 解析モデル (1 / 6)



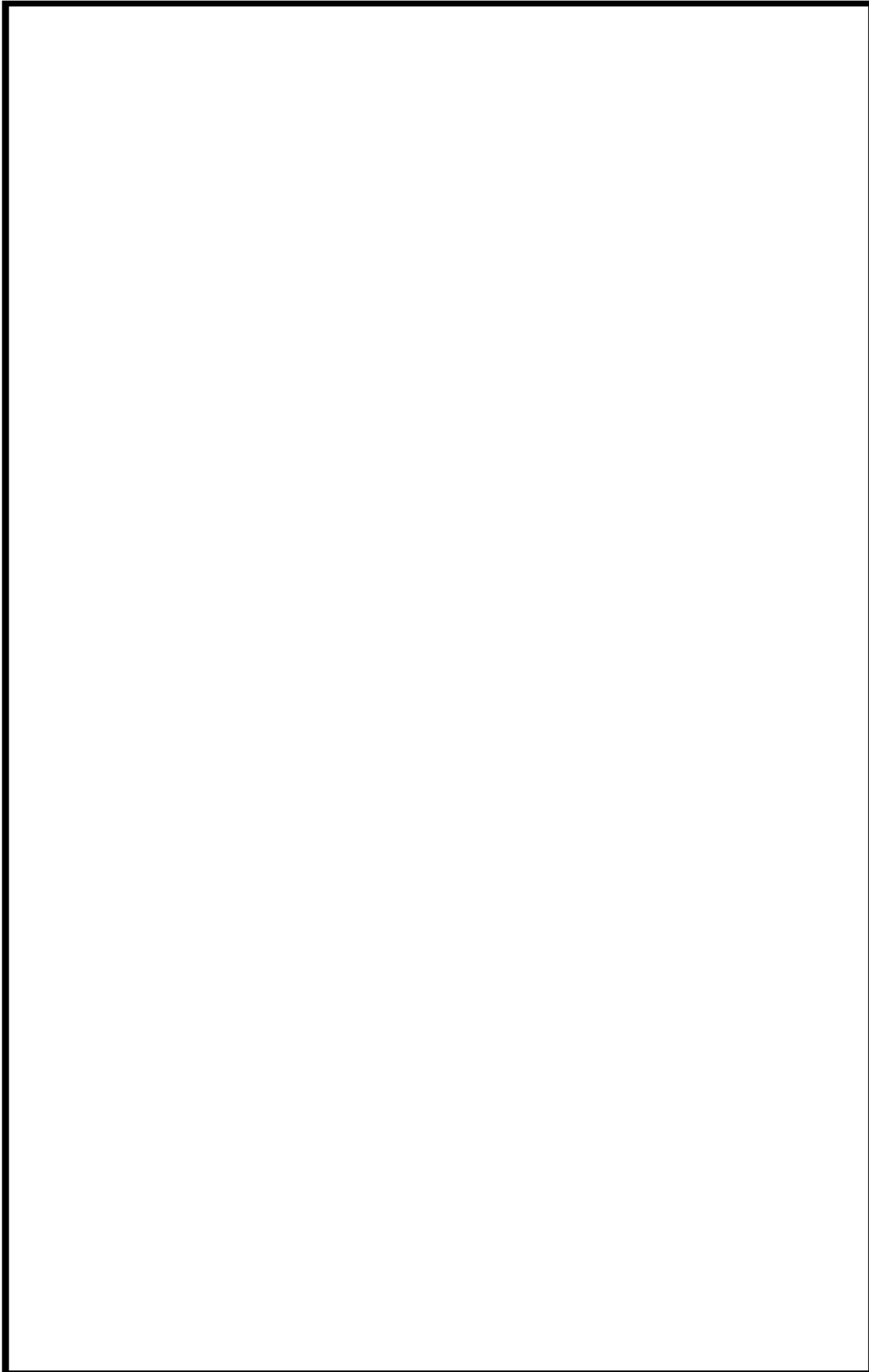
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 6)



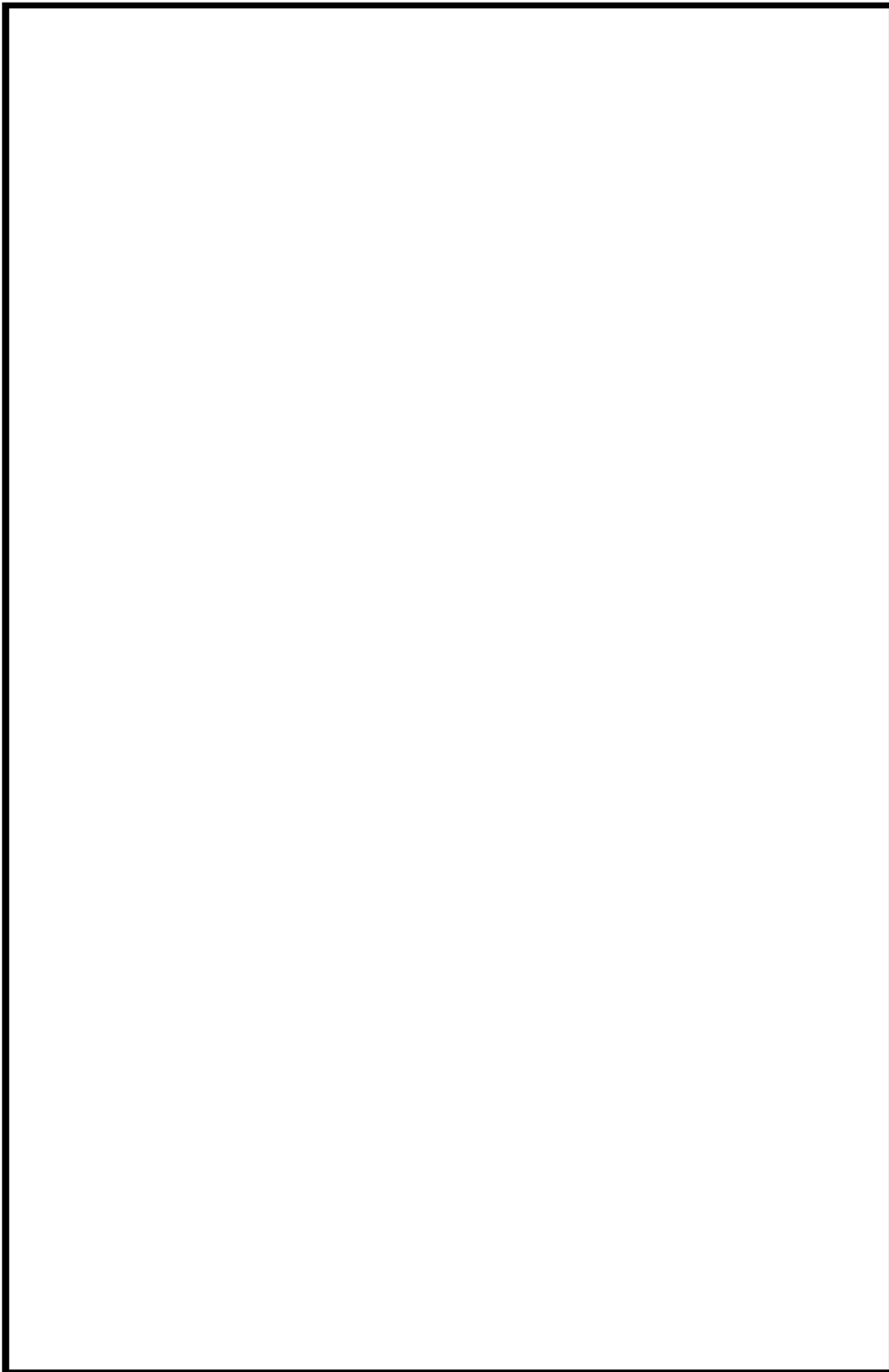
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (4 / 6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (5/6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (6/6)

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 |
|------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|-----|
| 1001 | 27.1 | 96.3 | 308.6 | 0.0 | 206.9 | 639 | 361 | 0.00738 | 1.0 |
| 99 | 21.2 | 45.0 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 554 | 313 | 0.00166 | |
| 101 | 23.3 | 33.1 | 308.6 | 0.0 | 206.9 | 572 | 323 | 0.00186 | |
| 104 | 23.3 | 39.2 | 308.6 | 0.0 | 206.9 | 579 | 326 | 0.00211 | |
| 600 | 21.2 | 48.8 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 558 | 315 | 0.00179 | |
| 106 | 23.3 | 85.3 | 308.6 | 0.0 | 206.9 | 625 | 352 | 0.00507 | |
| 109 | 23.3 | 87.6 | 308.6 | 0.0 | 206.9 | 627 | 354 | 0.00529 | |
| 111 | 21.2 | 60.2 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 569 | 321 | 0.00226 | |
| 119 | 21.2 | 67.1 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 576 | 325 | 0.00263 | |
| 605 | 21.2 | 75.8 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 585 | 330 | 0.00314 | |
| 121 | 21.2 | 66.4 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 576 | 325 | 0.00259 | |
| 803 | 19.5 | 43.6 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 551 | 311 | 0.00148 | |
| 607 | 19.5 | 41.4 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 549 | 310 | 0.00142 | |
| 804 | 19.5 | 39.2 | 280.6 | 0.0 | 206.9 | 547 | 308 | 0.00136 | |
| 1002 | 27.1 | 14.5 | 308.6 | 0.0 | 206.9 | 558 | 315 | 0.00160 | |

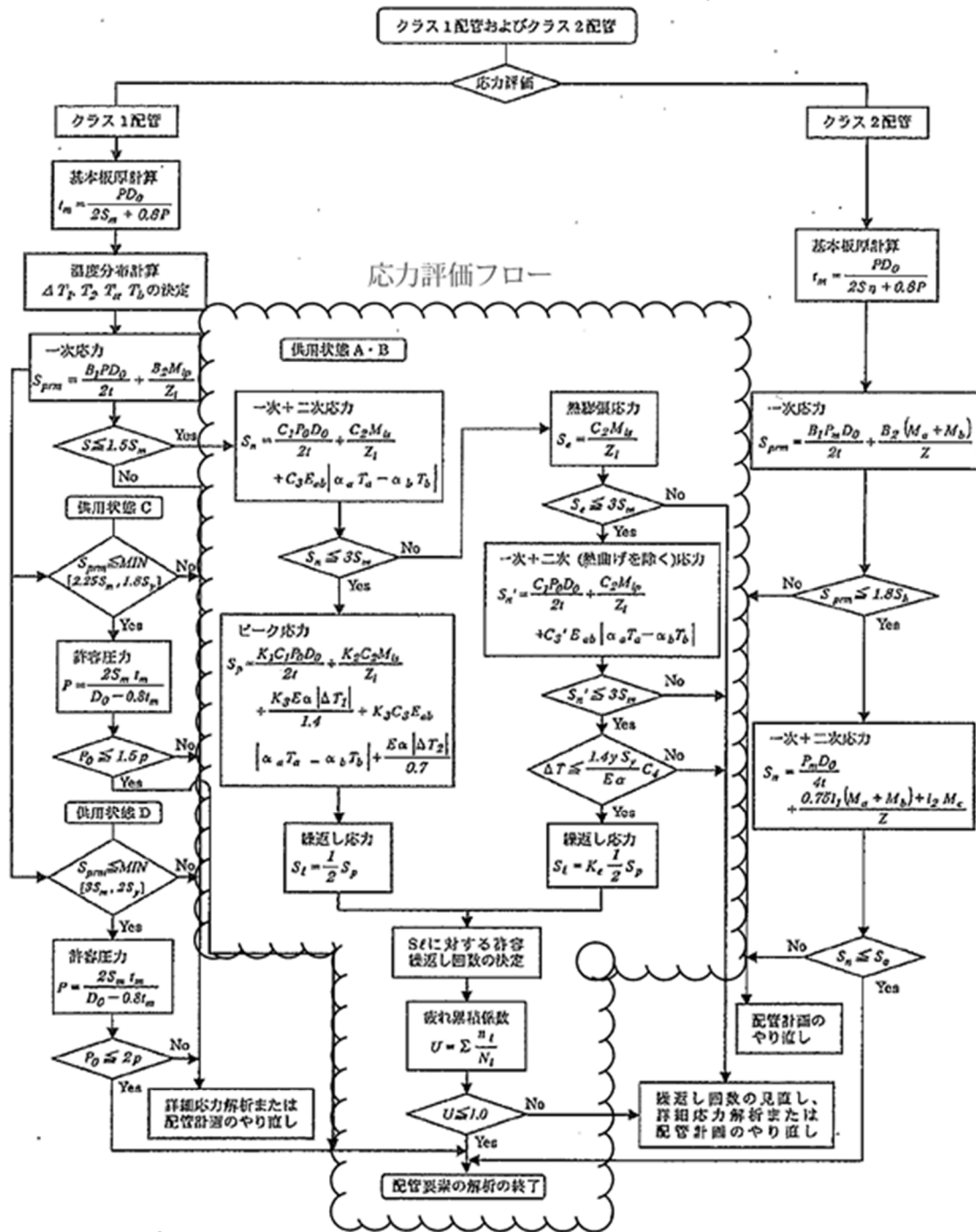
(注) 本表に示す繰返しピーク応力強さは、疲労解析による繰返しピーク応力強さに
 (1.95×10⁵/材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値である。 →通常UF: 0.008

加圧器スプレイ配管 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 |
|------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------|-----|
| 177 | 451.4 | 44.9 | 7.3 | 0.0 | 3.1 | 507 | 281 | 0.00133 | 1.0 |
| 179 | 285.2 | 28.0 | 306.0 | 0.0 | 138.8 | 759 | 420 | 0.00513 | |
| 186 | 58.9 | 30.6 | 315.3 | 0.0 | 148.3 | 554 | 312 | 0.00626 | |
| 187 | 59.4 | 25.2 | 346.9 | 0.0 | 148.3 | 580 | 327 | 0.00791 | |
| 4001 | 79.8 | 63.7 | 296.9 | 0.0 | 141.3 | 582 | 330 | 0.00821 | |
| 196 | 74.6 | 17.3 | 304.1 | 0.0 | 137.8 | 534 | 300 | 0.00012 | |
| 197 | 61.3 | 96.0 | 386.0 | 0.0 | 211.9 | 756 | 424 | 0.00167 | |
| 199 | 47.0 | 62.0 | 386.0 | 0.0 | 211.9 | 707 | 397 | 0.00055 | |
| 624 | 30.8 | 13.6 | 407.2 | 0.0 | 220.4 | 673 | 371 | 0.00020 | |
| 894 | 30.8 | 16.3 | 407.2 | 0.0 | 220.4 | 675 | 372 | 0.00017 | |
| 301 | 38.8 | 40.5 | 407.2 | 0.0 | 220.4 | 707 | 390 | 0.00030 | |
| 303 | 38.8 | 41.8 | 407.2 | 0.0 | 220.4 | 709 | 391 | 0.00029 | |
| 625 | 30.8 | 12.6 | 407.2 | 0.0 | 220.4 | 672 | 370 | 0.00014 | |
| 420 | 37.0 | 15.4 | 448.0 | 101.0 | 220.4 | 822 | 453 | 0.00036 | |
| 430 | 239.4 | 10.4 | 253.7 | 271.0 | 48.0 | 823 | 412 | 0.01765 | |

(注)本表に示す繰返しピーク応力強さは、疲労解析による繰返しピーク応力強さに
(1.95×10^5 /材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値である。

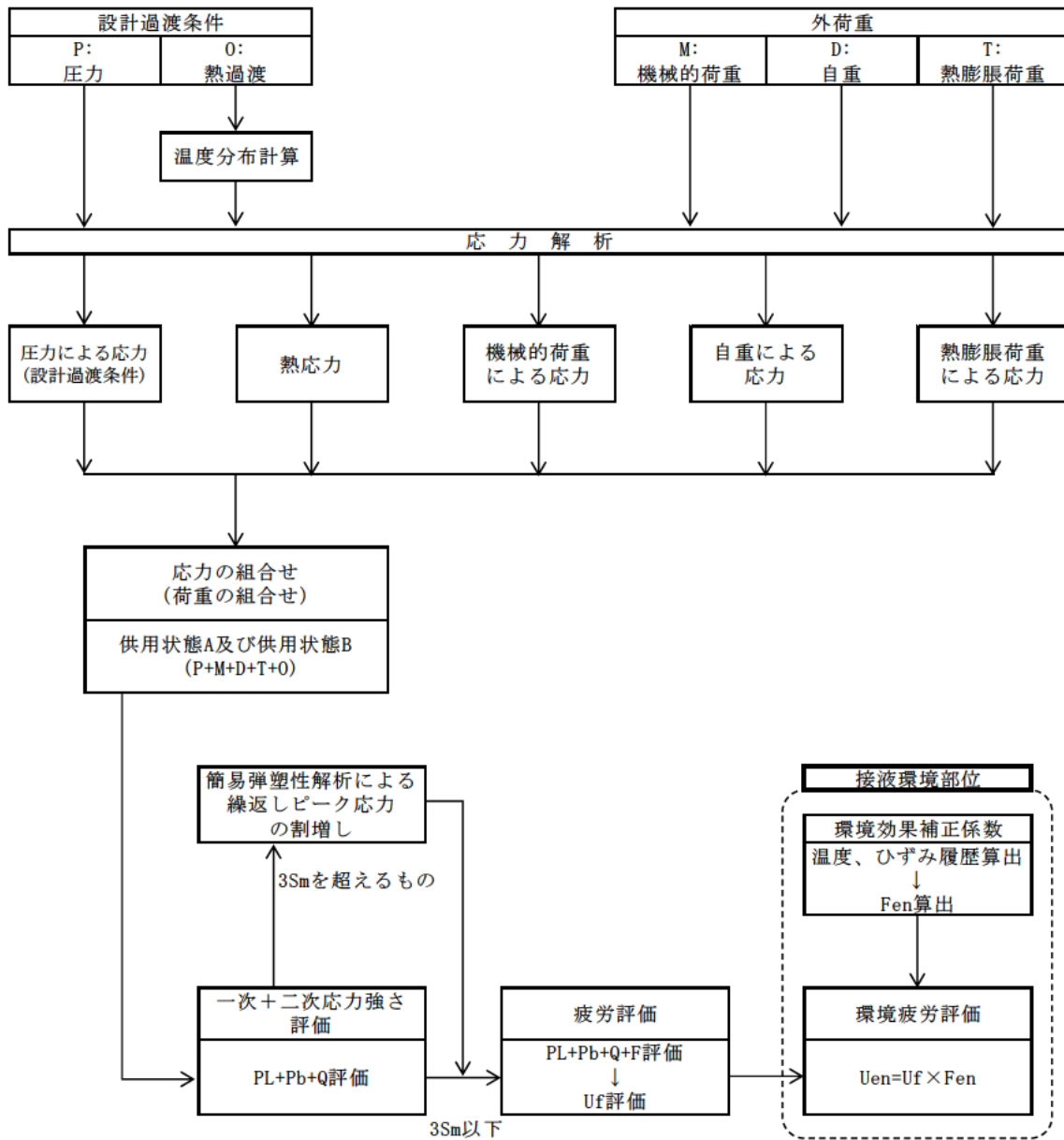
→通常UF : 0.009



(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 (通常疲労)



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー（熱成層を考慮した環境疲労）

K e 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】

| 過渡 記号 A | 過渡 記号 B | 応力強さ 強さ (MPa) | | 割増 係数 ke | ヒック応力 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 | snin | | | | | | | |
| 2D3 | 2D3 | 285.3 | -316.5 | 1.30 | 446.8 | 2 | 8480 | 0.00021 | 12.082 | 0.00255 |
| 2G1 | 2G1 | 281.5 | -283.9 | 1.00 | 298.1 | 2 | 75100 | 0.00003 | 10.857 | 0.00028 |
| 2H1 | 1X1 | 200.2 | -236.5 | 1.00 | 246.1 | 2 | 209000 | 0.00001 | 11.021 | 0.00011 |
| 2E1 | 1X1 | 179.2 | -236.5 | 1.00 | 234.3 | 4 | 284000 | 0.00001 | 8.009 | 0.00011 |
| 1J1 | 1X1 | 150.6 | -236.5 | 1.00 | 218.1 | 2 | 444000 | 0.00000 | 13.054 | 0.00008 |
| 2D2 | 1X1 | 134.8 | -236.5 | 1.00 | 209.3 | 2 | 584000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1Y2 | 2H1 | 118.2 | -230.8 | 1.00 | 187.3 | 2 | 887000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1Y2 | 2J1 | 118.2 | -229.7 | 1.00 | 186.8 | 2 | 910000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1Y2 | 1X1 | 118.2 | -236.5 | 1.00 | 184.8 | 58 | 971000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00008 |
| 1Y2 | 1X2 | 118.2 | -236.5 | 1.00 | 184.8 | 6 | 971000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 2C1 | 1X2 | 108.0 | -236.5 | 1.00 | 184.1 | 2 | 988000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2D1 | 1X2 | 108.5 | -236.5 | 1.00 | 183.3 | 6 | 1010000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 2F1 | 1X2 | 103.0 | -236.5 | 1.00 | 181.3 | 2 | 1040000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1G1 | 1X2 | 82.4 | -236.5 | 1.00 | 179.7 | 3 | 1280000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1Y4 | 1X2 | 77.8 | -236.5 | 1.00 | 172.1 | 50 | 1480000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00003 |
| 1Y4 | 1X3 | 77.8 | -233.9 | 1.00 | 189.8 | 19 | 1540000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 2J1 | 1X3 | 81.9 | -233.9 | 1.00 | 186.7 | 2 | 1840000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2A1 | 1X3 | 57.1 | -233.9 | 1.00 | 184.9 | 7 | 1700000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2B1 | 1X3 | 52.3 | -233.9 | 1.00 | 181.3 | 12 | 1830000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1X2 | 1X3 | 58.3 | -233.9 | 1.00 | 180.0 | 29 | 1870000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1X2 | 1X4 | 58.3 | -233.9 | 1.00 | 180.0 | 40 | 1870000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1X4 | 1X4 | 58.7 | -233.9 | 1.00 | 159.4 | 29 | 1800000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1X4 | 1J1 | 58.7 | -222.5 | 1.00 | 158.5 | 2 | 1930000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1X4 | 1X5 | 58.7 | -225.7 | 1.00 | 154.9 | 38 | 2110000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1Y8 | 1X5 | 51.8 | -225.7 | 1.00 | 150.3 | 31 | 2410000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1Y8 | 1X8 | 51.8 | -225.7 | 1.00 | 150.3 | 38 | 2410000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 1X8 | 1X8 | 51.2 | -225.7 | 1.00 | 150.0 | 31 | 2430000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1X8 | 1W5 | 51.2 | -211.7 | 1.00 | 145.7 | 38 | 2760000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1W8 | 1W5 | 35.1 | -211.7 | 1.00 | 136.7 | 31 | 3830000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1W8 | 1W8 | 35.1 | -211.7 | 1.00 | 136.7 | 38 | 3830000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 122 | 1W8 | 35.0 | -211.7 | 1.00 | 136.7 | 31 | 3830000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 122 | 1J2 | 35.0 | -208.1 | 1.00 | 135.9 | 6 | 3730000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 122 | 1G1 | 35.0 | -204.8 | 1.00 | 135.1 | 3 | 3820000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 122 | 2E1 | 35.0 | -204.5 | 1.00 | 135.0 | 4 | 3840000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 122 | 1V3 | 35.0 | -205.0 | 1.00 | 134.5 | 25 | 3900000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1J2 | 1V3 | 28.8 | -205.0 | 1.00 | 131.8 | 6 | 4250000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1V4 | 1V3 | 28.6 | -205.0 | 1.00 | 130.9 | 38 | 4380000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1V4 | 1V4 | 28.6 | -205.0 | 1.00 | 130.9 | 31 | 4380000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1W4 | 1V4 | 20.5 | -205.0 | 1.00 | 126.4 | 38 | 5140000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1W4 | 2D2 | 20.5 | -196.9 | 1.00 | 122.5 | 2 | 8190000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1W4 | 1W3 | 20.5 | -196.2 | 1.00 | 121.4 | 29 | 8530000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1V2 | 1W3 | 20.2 | -196.2 | 1.00 | 121.3 | 40 | 8580000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1V2 | 1W4 | 20.2 | -196.2 | 1.00 | 121.3 | 29 | 8580000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 124 | 1W4 | 19.3 | -196.2 | 1.00 | 120.8 | 40 | 8720000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 124 | 1V1 | 19.3 | -195.4 | 1.00 | 119.6 | 29 | 7140000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1D1 | 1V2 | 13.1 | -185.4 | 1.00 | 117.5 | 89 | 7830000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1D1 | 1V1 | 13.1 | -185.4 | 1.00 | 117.5 | 40 | 7830000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1D1 | 2C1 | 13.1 | -189.0 | 1.00 | 113.9 | 2 | 8540000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1D1 | 1D1 | 13.1 | -181.2 | 1.00 | 109.5 | 1485 | 13400000 | 0.00011 | 1.000 | 0.00011 |
| 126 | 1D1 | 11.8 | -181.2 | 1.00 | 108.8 | 89 | 14200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1V6 | 1D1 | 7.5 | -181.2 | 1.00 | 106.4 | 42 | 17600000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1V8 | 2D1 | 7.5 | -180.8 | 1.00 | 106.0 | 6 | 18200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1V8 | 1C1 | 7.5 | -180.5 | 1.00 | 106.0 | 21 | 18200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1W2 | 1C1 | 7.5 | -180.5 | 1.00 | 106.0 | 89 | 18200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1U8 | 1C1 | 7.2 | -180.5 | 1.00 | 105.8 | 89 | 18600000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1E1 | 1C1 | 5.5 | -180.5 | 1.00 | 104.8 | 5 | 20800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 211 | 1C1 | 0.8 | -180.5 | 1.00 | 102.2 | 81 | 30400000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1U4 | 1C1 | -1.9 | -180.5 | 1.00 | 100.6 | 89 | 38900000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 1C1 | -6.7 | -180.5 | 1.00 | 98.0 | 515 | 70500000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1C1 | 1V5 | -6.7 | -179.9 | 1.00 | 97.6 | 89 | 81100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 1V8 | -6.7 | -179.9 | 1.00 | 97.6 | 89 | 81100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 1W1 | -6.7 | -179.9 | 1.00 | 97.6 | 89 | 81100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 1W2 | -6.7 | -179.9 | 1.00 | 97.6 | 89 | 81100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 2F1 | -6.7 | -179.7 | 1.00 | 87.5 | 2 | 83800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-------|--------|------|------|----|-----------|---------|-------|---------|
| 1C1 | 1U8 | -6.7 | -178.3 | 1.00 | 88.7 | 18 | 189000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1B1 | 1U5 | -7.8 | -178.3 | 1.00 | 86.1 | 88 | 783000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 1U8 | -10.1 | -178.3 | 1.00 | 84.7 | 53 | 444000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1A1 | 1U4 | -10.1 | -188.2 | 1.00 | 89.1 | 18 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| total | | | | | | | | 0.00078 | | 0.00382 |

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

→環境UF : 0.004

【加圧器スプレイ配管 (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 | 実速度 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 | salt' | n | n* | u | fen | uen |
| 2E2 | 2E2 | 271.8 | -712.0 | 2.10 | 1152.8 | 2 | 346 | 0.00576 | 7.066 | 0.04084 |
| 1B8 | 1B8 | 163.3 | -540.8 | 1.40 | 519.8 | 69 | 5160 | 0.01337 | 3.797 | 0.05077 |
| 1B7 | 2G1 | 123.7 | -404.7 | 1.00 | 297.8 | 2 | 72800 | 0.00003 | 4.800 | 0.00013 |
| 1B7 | 1A6 | 123.7 | -400.3 | 1.00 | 293.6 | 67 | 78900 | 0.00085 | 4.444 | 0.00379 |
| 1B6 | 1A6 | 118.6 | -400.3 | 1.00 | 290.8 | 2 | 82200 | 0.00002 | 4.552 | 0.00011 |
| 1B6 | 1A7 | 118.6 | -390.8 | 1.00 | 287.1 | 67 | 88900 | 0.00075 | 4.648 | 0.00350 |
| 1B9 | 1A7 | 118.4 | -390.8 | 1.00 | 287.0 | 2 | 89000 | 0.00002 | 3.861 | 0.00009 |
| 1B9 | 1B2 | 118.4 | -390.4 | 1.00 | 286.8 | 67 | 89400 | 0.00075 | 3.811 | 0.00271 |
| 1B5 | 1B9 | 109.0 | -407.8 | 1.00 | 283.1 | 69 | 99000 | 0.00072 | 3.656 | 0.00263 |
| 1B4 | 1B2 | 90.4 | -390.4 | 1.00 | 271.0 | 2 | 122000 | 0.00002 | 3.351 | 0.00005 |
| 1B4 | 2A1 | 90.4 | -381.2 | 1.00 | 254.8 | 7 | 172000 | 0.00004 | 3.445 | 0.00014 |
| 1B4 | 2H1 | 90.4 | -356.2 | 1.00 | 251.7 | 2 | 184000 | 0.00001 | 3.460 | 0.00004 |
| 1B4 | 1G1 | 90.4 | -353.2 | 1.00 | 250.0 | 3 | 191000 | 0.00002 | 3.469 | 0.00005 |
| 1B4 | 1J1 | 90.4 | -352.1 | 1.00 | 249.4 | 2 | 193000 | 0.00001 | 3.473 | 0.00004 |
| 1B4 | 2C1 | 90.4 | -352.0 | 1.00 | 249.4 | 2 | 193000 | 0.00001 | 3.242 | 0.00003 |
| 1B4 | 1F1 | 90.4 | -351.2 | 1.00 | 248.9 | 6 | 198000 | 0.00003 | 3.475 | 0.00011 |
| 1B4 | 1D1 | 90.4 | -351.0 | 1.00 | 248.8 | 45 | 198000 | 0.00023 | 6.978 | 0.00180 |
| 1B3 | 1D1 | 67.2 | -351.0 | 1.00 | 235.7 | 69 | 274000 | 0.00025 | 7.234 | 0.00182 |
| 1B4 | 1D1 | 59.1 | -351.0 | 1.00 | 231.1 | 69 | 310000 | 0.00022 | 8.711 | 0.00194 |
| 1B3 | 1D1 | 54.0 | -351.0 | 1.00 | 228.3 | 69 | 334000 | 0.00021 | 7.568 | 0.00157 |
| 1A3 | 1D1 | 48.5 | -351.0 | 1.00 | 225.2 | 69 | 364000 | 0.00019 | 8.124 | 0.00154 |
| 1A4 | 1D1 | 38.0 | -351.0 | 1.00 | 218.4 | 69 | 469000 | 0.00015 | 8.417 | 0.00125 |
| 1B0 | 1D1 | 22.5 | -351.0 | 1.00 | 210.5 | 69 | 561000 | 0.00012 | 1.000 | 0.00012 |
| 1B3 | 1D1 | 9.6 | -351.0 | 1.00 | 203.3 | 69 | 718000 | 0.00010 | 1.000 | 0.00010 |
| 1A5 | 1D1 | 5.5 | -351.0 | 1.00 | 200.9 | 69 | 781000 | 0.00009 | 1.000 | 0.00009 |
| 1C1 | 1B3 | 0.0 | -351.5 | 1.00 | 198.1 | 69 | 862000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00008 |
| 1C1 | 1D1 | 0.0 | -351.0 | 1.00 | 197.8 | 201 | 871000 | 0.00023 | 1.000 | 0.00023 |
| 1C1 | 1E1 | 0.0 | -351.0 | 1.00 | 197.8 | 5 | 871000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1A1 | 1C1 | 0.0 | -350.9 | 1.00 | 197.8 | 69 | 871000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00008 |
| 1C1 | 1C1 | 0.0 | -350.9 | 1.00 | 197.8 | 534 | 871000 | 0.00081 | 1.000 | 0.00081 |
| 211 | 1C1 | -4.9 | -350.9 | 1.00 | 195.0 | 61 | 964000 | 0.00006 | 1.000 | 0.00006 |
| 1A2 | 1C1 | -7.3 | -350.9 | 1.00 | 193.7 | 69 | 1000000 | 0.00007 | 1.000 | 0.00007 |
| 1A6 | 1C1 | -13.7 | -350.9 | 1.00 | 190.1 | 69 | 1080000 | 0.00007 | 1.000 | 0.00007 |
| 2G1 | 1C1 | -43.1 | -350.9 | 1.00 | 173.5 | 2 | 1440000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |

添付4 (4/4)

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|--------|--------|------|-------|------|----------|---------|-------|---------|---------|
| 1B2 | 1C1 | -45.0 | -350.9 | 1.00 | 172.4 | 5 | 1470000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| 1B2 | 111 | -45.0 | -350.8 | 1.00 | 172.4 | 64 | 1470000 | 0.00004 | 1.000 | 0.00004 | |
| 147 | 111 | -45.1 | -350.8 | 1.00 | 172.3 | 69 | 1470000 | 0.00005 | 1.000 | 0.00005 | |
| 111 | 111 | -69.1 | -350.8 | 1.00 | 158.7 | 2767 | 1930000 | 0.00143 | 1.000 | 0.00143 | |
| 111 | 132 | -69.1 | -350.8 | 1.00 | 158.7 | 2 | 1930000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| 111 | 1A5 | -69.1 | -335.3 | 1.00 | 150.0 | 69 | 2430000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 | |
| 111 | 1B4 | -69.1 | -326.0 | 1.00 | 144.8 | 62 | 2830000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 | |
| 1E1 | 1B4 | -69.4 | -326.0 | 1.00 | 144.6 | 5 | 2850000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| 1D1 | 1B4 | -69.6 | -326.0 | 1.00 | 144.5 | 2 | 2860000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| 1D1 | 1B4 | -69.6 | -298.1 | 1.00 | 136.0 | 69 | 5240000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 | |
| 1D1 | 1B8 | -69.6 | -288.5 | 1.00 | 112.1 | 69 | 10700000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 | |
| 1D1 | 1B5 | -69.6 | -253.0 | 1.00 | 103.4 | 69 | 25400000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| 1A2 | 1A1 | -118.7 | -218.6 | 1.00 | 88.9 | 69 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| | | | | | | | | | | 合計 : | 0.11786 |

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

→環境UF : 0.118

| <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</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</p> <p>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="475 857 1310 938"> <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 1310 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 rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>※ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグの評価点には1次冷却材ポンプの取合部やエルボの外側テーパ部等の構造不連続部が多数あるため、2次元FEM解析にて温度分布を計算している。算出した温度分布は、ピーク応力のうち、板厚内の温度分布による応力のパラメータに用いられる。なお、梁モデルは外荷重による応力算出に用いられる。</p> <p>2. 材料物性</p> <p>材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 1682 1362 1973"> <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 rowspan="2">SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当)</td> <td>321.1</td> <td>117</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td>283.6</td> <td>122</td> <td>クロスオーバレグ コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table> | 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 | SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当) | 321.1 | 117 | ホットレグ | 283.6 | 122 | 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 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当) | 321.1 | 117 | ホットレグ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 283.6 | 122 | クロスオーバレグ コールドレグ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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および最大評価点の選定結果を添付1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2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3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3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 |
| 要素種類 | |

<応力の算出>

| | |
|---------|---|
| 解析プログラム | (加圧器サージ管台) Abaqus Ver. 2018 (充てん管台、蓄圧タンク 注入管台、安全注入管台) Abaqus Ver. 6.3 |
| 要素種類 | |
| 要素次数 | |
| 要素数 | |
| 節点数 | |

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 |
|-------------------------------|------------|-------------|-----------------|
| SA182 Gr. F316 (SUSF316相当) | 321.1 | 117 | 加圧器サージ管台 |
| | 283.6 | 120 | 充てん管台 安全注入管台 |
| SA351 Gr. CF8M (SCS14A相当) | 283.6 | 122 | 蓄圧タンク注入管台 |

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および最大評価点の選定結果を添付4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5に示す。

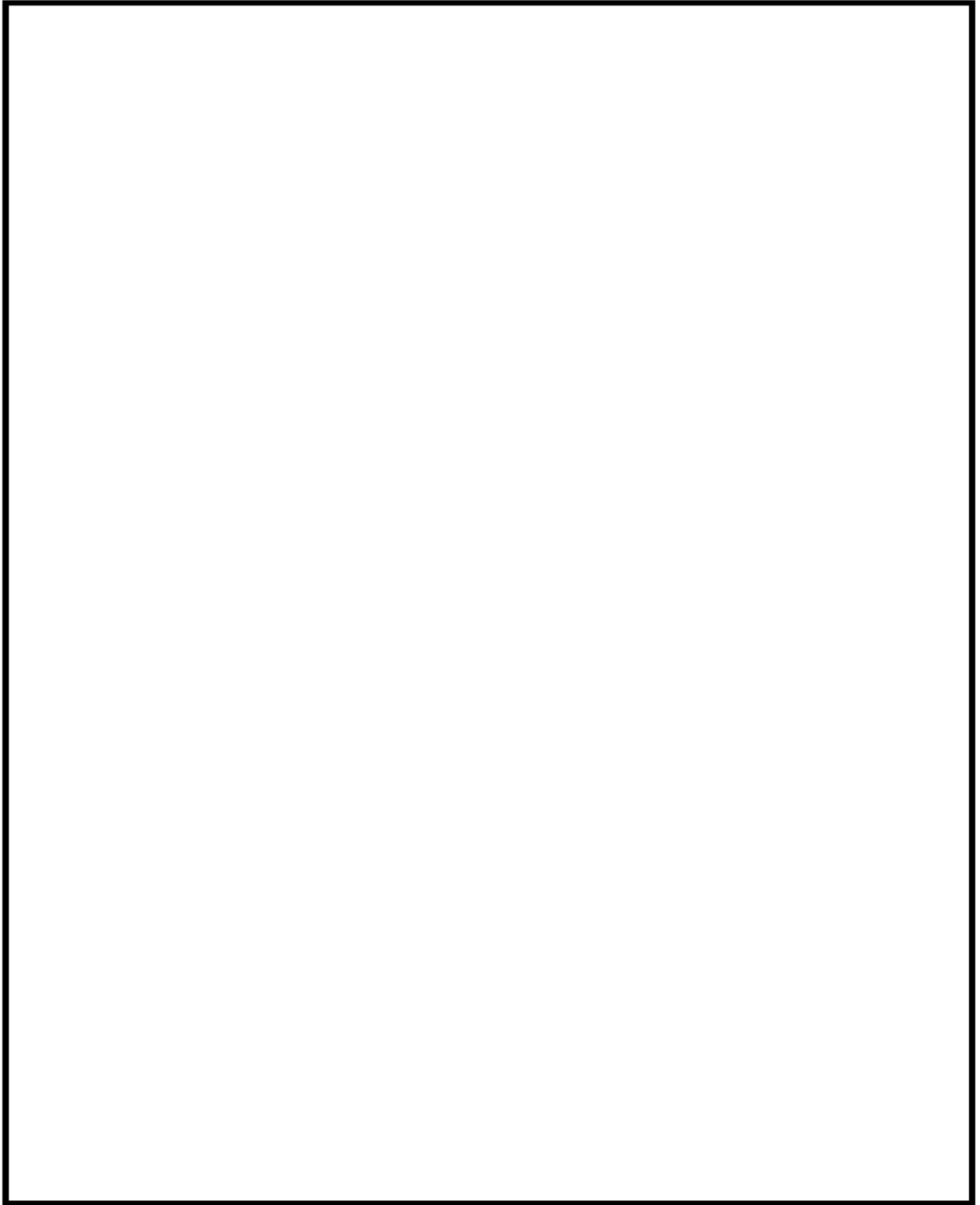
| 状態 | 荷重の組み合わせ |
|---------|-----------------------|
| 供用状態A、B | 圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡 |

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付6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6に示す。



1次冷却材管 形状及び評価点

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

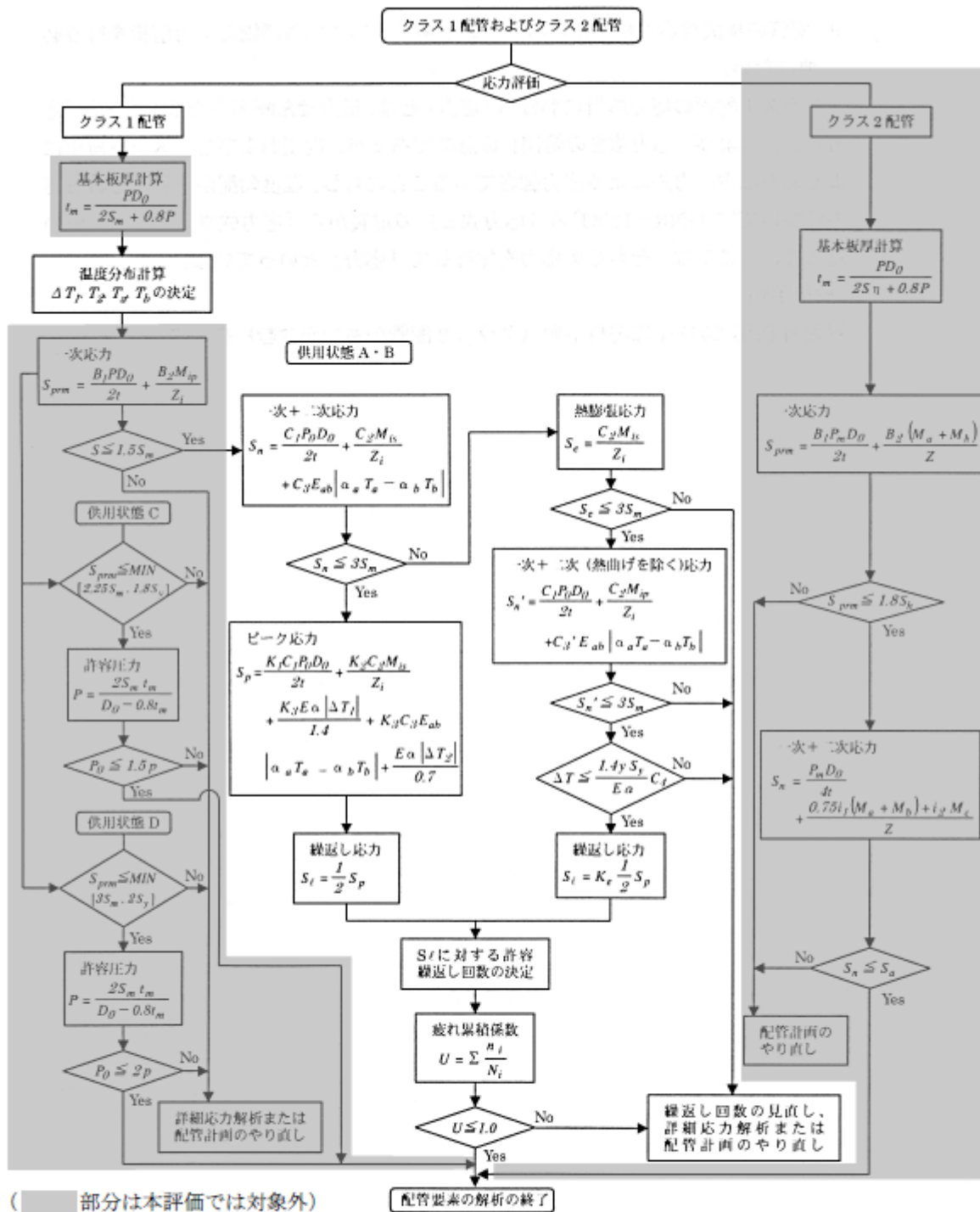
| 評価部位 | 節点番号 | 圧力による 応力 (MPa) | 外荷重による 応力 (MPa) | 板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa) | 構造上の 不連続による 熱応力 (MPa) | 板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa) | ピーク応力 Sp (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa) | 繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa) | 疲労累積係数 | 許容値 |
|-----------|------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|-----|
| ホットレグ | 107 | 90.4 | 20.6 | 194.8 | 0.0 | 121.6 | 427.4 | 213.7 | 239.5 | 0.00009 | 1.0 |
| | 109 | 82.2 | 5.2 | 177.1 | 0.0 | 121.6 | 386.1 | 193.0 | 216.3 | 0.00002 | |
| | 111 | 90.4 | 9.5 | 194.8 | 0.0 | 121.6 | 416.4 | 208.2 | 233.3 | 0.00004 | |
| | 112 | 102.9 | 27.7 | 186.9 | 49.1 | 121.8 | 488.3 | 244.2 | 273.6 | 0.00022 | |
| | 113 | 97.5 | 26.7 | 207.2 | 0.0 | 127.4 | 458.7 | 229.3 | 257.0 | 0.00019 | |
| | 115 | 105.0 | 36.1 | 191.8 | 46.5 | 121.8 | 501.1 | 250.6 | 280.8 | 0.00038 | |
| | 117 | 90.3 | 13.1 | 201.6 | 0.0 | 121.6 | 426.6 | 213.3 | 239.1 | 0.00007 | |
| クロスオーバーレグ | 141 | 97.3 | 3.5 | 114.4 | 0.0 | 43.0 | 258.1 | 129.1 | 142.2 | 0.00001 | |
| | 142 | 139.6 | 39.3 | 62.4 | 24.9 | 43.0 | 309.1 | 154.6 | 170.3 | 0.00008 | |
| | 143 | 131.9 | 28.3 | 78.5 | 0.0 | 47.5 | 286.2 | 143.1 | 157.6 | 0.00006 | |
| | 145 | 139.6 | 31.0 | 62.4 | 24.9 | 43.0 | 300.9 | 150.4 | 165.7 | 0.00007 | |
| | 147 | 97.3 | 2.6 | 114.4 | 0.0 | 43.0 | 257.3 | 128.7 | 141.7 | 0.00001 | |
| | 149 | 88.5 | 2.2 | 104.0 | 0.0 | 43.0 | 237.6 | 118.8 | 130.9 | 0.00000 | |
| | 151 | 97.3 | 2.6 | 114.4 | 0.0 | 43.0 | 257.3 | 128.6 | 141.7 | 0.00001 | |
| | 152 | 110.5 | 7.0 | 107.5 | 25.6 | 43.0 | 293.6 | 146.8 | 161.7 | 0.00007 | |
| | 153 | 126.7 | 25.6 | 78.5 | 0.0 | 47.5 | 278.3 | 139.2 | 153.3 | 0.00006 | |

→ ホットレグ通常UF : 0.001

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 | 155 | 134.5 | 33.3 | 62.4 | 24.9 | 43.0 | 298.0 | 149.0 | 164.1 | 0.00007 | 1.0 |
| | 157 | 147.9 | 35.8 | 69.8 | 0.0 | 43.0 | 296.5 | 148.3 | 163.4 | 0.00005 | |
| | 159 | 88.5 | 2.9 | 104.0 | 0.0 | 43.0 | 238.3 | 119.2 | 131.3 | 0.00000 | |
| | 160 | 147.9 | 40.7 | 69.8 | 0.0 | 43.0 | 301.4 | 150.7 | 166.0 | 0.00005 | |
| | 161 | 134.5 | 38.3 | 62.4 | 24.9 | 43.0 | 303.1 | 151.5 | 166.9 | 0.00008 | |
| | 163 | 126.7 | 37.4 | 78.5 | 0.0 | 47.5 | 290.1 | 145.0 | 159.8 | 0.00007 | |
| | 165 | 134.5 | 48.3 | 62.4 | 24.9 | 43.0 | 313.0 | 156.5 | 172.4 | 0.00009 | |
| | 167 | 134.2 | 28.9 | 103.2 | 217.1 | 13.0 | 496.4 | 248.2 | 273.4 | 0.00105 | |
| コールドレグ | 181 | 134.7 | 70.2 | 72.9 | 143.8 | 8.3 | 429.9 | 215.0 | 236.8 | 0.00049 | |
| | 183 | 88.8 | 2.1 | 98.7 | 0.0 | 41.3 | 230.9 | 115.4 | 127.2 | 0.00000 | |
| | 185 | 131.4 | 77.4 | 58.4 | 33.6 | 41.3 | 342.1 | 171.1 | 188.5 | 0.00012 | |
| | 189 | 109.7 | 54.3 | 82.2 | 0.0 | 48.3 | 294.6 | 147.3 | 162.3 | 0.00007 | |
| | 194 | 114.5 | 71.5 | 65.9 | 24.7 | 44.3 | 320.8 | 160.4 | 176.7 | 0.00010 | |

→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



(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115)

| 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' | | | | | |
| 43 (2H1) | 38 (2E1) | 501.1 | 1.0 | 250.6 | 280.8 | 2 | 100000 | 0.00002 | 13.214 | 0.00026 |
| 39 (2F1) | 2 (1B1) | 418.2 | 1.0 | 209.1 | 234.3 | 2 | 284000 | 0.00001 | 23.114 | 0.00016 |
| 33 (2D2) | 2 (1B1) | 396.3 | 1.0 | 198.1 | 222.1 | 2 | 397000 | 0.00001 | 23.114 | 0.00012 |
| 21 (1L1) | 2 (1B1) | 395.7 | 1.0 | 197.9 | 221.7 | 2 | 400000 | 0.00000 | 23.114 | 0.00012 |
| 29 (2C1) | 2 (1B1) | 395.5 | 1.0 | 197.7 | 221.6 | 2 | 402000 | 0.00000 | 23.114 | 0.00011 |
| 37 (2E1) | 2 (1B1) | 393.9 | 1.0 | 197.0 | 220.7 | 2 | 412000 | 0.00000 | 23.114 | 0.00011 |
| 25 (2A1) | 2 (1B1) | 392.3 | 1.0 | 196.1 | 219.8 | 7 | 423000 | 0.00002 | 23.114 | 0.00038 |
| 35 (2D4) | 2 (1B1) | 391.5 | 1.0 | 195.7 | 219.4 | 2 | 428000 | 0.00000 | 23.114 | 0.00011 |
| 15 (1I1) | 36 (2D5) | 390.5 | 1.0 | 195.3 | 218.8 | 2 | 435000 | 0.00000 | 11.995 | 0.00006 |
| 41 (2G1) | 2 (1B1) | 390.2 | 1.0 | 195.1 | 218.7 | 2 | 437000 | 0.00000 | 23.114 | 0.00011 |
| 31 (2D1) | 2 (1B1) | 389.0 | 1.0 | 194.5 | 218.0 | 6 | 446000 | 0.00001 | 23.114 | 0.00031 |
| 3 (1C1) | 2 (1B1) | 372.8 | 1.0 | 186.4 | 208.9 | 42 | 592000 | 0.00007 | 1.000 | 0.00007 |
| 3 (1C1) | 16 (1I1) | 365.9 | 1.0 | 182.9 | 205.0 | 62 | 676000 | 0.00009 | 1.000 | 0.00009 |
| 3 (1C1) | 48 (2J2) | 364.3 | 1.0 | 182.1 | 204.1 | 61 | 698000 | 0.00009 | 1.000 | 0.00009 |
| 42 (2G1) | 15 (1I1) | 346.9 | 1.0 | 173.5 | 194.4 | 2 | 986000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 34 (2D3) | 15 (1I1) | 324.1 | 1.0 | 162.0 | 181.6 | 2 | 1240000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 22 (1L2) | 15 (1I1) | 315.9 | 1.0 | 158.0 | 177.0 | 2 | 1340000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 40 (2F1) | 15 (1I1) | 312.5 | 1.0 | 156.2 | 175.1 | 2 | 1390000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 32 (2D1) | 15 (1I1) | 302.1 | 1.0 | 151.1 | 169.3 | 6 | 1560000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 30 (2C2) | 15 (1I1) | 299.2 | 1.0 | 149.6 | 167.6 | 2 | 1610000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 3 (1C1) | 15 (1I1) | 289.1 | 1.0 | 144.6 | 162.0 | 44 | 1800000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 47 (2J1) | 26 (2A1) | 194.7 | 1.0 | 97.3 | 109.1 | 7 | 13900000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 47 (2J1) | 44 (2H2) | 190.0 | 1.0 | 95.0 | 106.5 | 2 | 17500000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 47 (2J1) | 12 (1G1) | 176.5 | 1.0 | 88.2 | 98.9 | 3 | 51900000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 3 (1C1) | 46 (2I1) | 172.6 | 1.0 | 86.3 | 96.7 | 2 | 200000000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 47 (2J1) | 6 (1D1) | 167.0 | 1.0 | 83.5 | 93.6 | 49 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | 0.00214 |

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

→環境UF : 0.003

K e 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)

| 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' | | | | | |
| 1 (1A1) | 2 (1B1) | 496.4 | 1.0 | 248.2 | 273.4 | 69 | 116000 | 0.00059 | 10.237 | 0.00609 |
| 47 (2J1) | 48 (2J2) | 475.1 | 1.0 | 237.6 | 261.7 | 61 | 148000 | 0.00041 | 5.761 | 0.00237 |
| 27 (2B1) | 36 (2D5) | 399.7 | 1.0 | 199.9 | 220.2 | 2 | 418000 | 0.00000 | 17.480 | 0.00008 |
| 27 (2B1) | 38 (2E1) | 384.3 | 1.0 | 192.1 | 211.7 | 2 | 540000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 25 (2A1) | 16 (1I1) | 348.7 | 1.0 | 174.3 | 192.1 | 7 | 1030000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 33 (2D2) | 16 (1I1) | 313.4 | 1.0 | 156.7 | 172.7 | 2 | 1460000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 43 (2H1) | 16 (1I1) | 301.3 | 1.0 | 150.6 | 166.0 | 2 | 1660000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 35 (2D4) | 16 (1I1) | 298.5 | 1.0 | 149.3 | 164.4 | 2 | 1710000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 39 (2F1) | 16 (1I1) | 295.3 | 1.0 | 147.7 | 162.7 | 2 | 1780000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 11 (1G1) | 16 (1I1) | 291.0 | 1.0 | 145.5 | 160.3 | 3 | 1860000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 37 (2E1) | 16 (1I1) | 283.6 | 1.0 | 141.8 | 156.2 | 2 | 2040000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 41 (2G1) | 16 (1I1) | 279.4 | 1.0 | 139.7 | 153.9 | 2 | 2170000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 15 (1I1) | 42 (2G1) | 275.7 | 1.0 | 137.8 | 151.8 | 2 | 2310000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 13 (1H1) | 16 (1I1) | 271.6 | 1.0 | 135.8 | 149.6 | 0 | 2460000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 29 (2C1) | 16 (1I1) | 267.4 | 1.0 | 133.7 | 147.3 | 2 | 2630000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 5 (1D1) | 16 (1I1) | 267.2 | 1.0 | 133.6 | 147.2 | 38 | 2640000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 46 (2I1) | 15 (1I1) | 246.7 | 1.0 | 123.3 | 135.9 | 2 | 3730000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 34 (2D3) | 15 (1I1) | 204.8 | 1.0 | 102.4 | 112.8 | 2 | 10100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 4 (1C1) | 15 (1I1) | 189.3 | 1.0 | 94.6 | 104.3 | 56 | 22300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 5 (1D1) | 40 (2F1) | 113.5 | 1.0 | 56.8 | 62.5 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | 0.00859 |

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

→環境UF : 0.009

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)

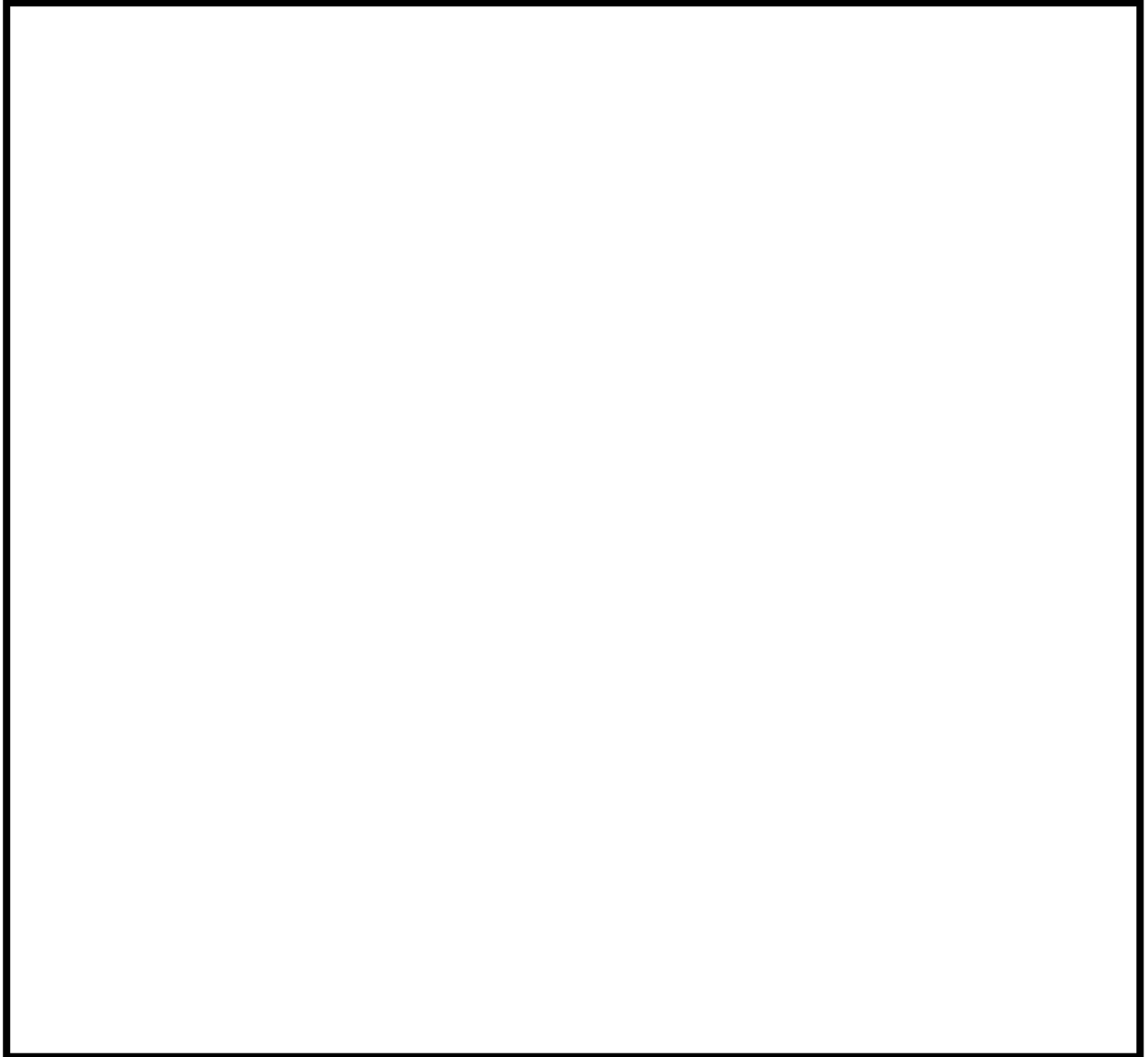
| 過渡条件番号 | | 一次+二次+ ピーク応力 sp | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen |
|----------|----------|-----------------------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| A | B | | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 1 (1A1) | 2 (1B1) | 429.9 | 1.0 | 215.0 | 236.8 | 69 | 266000 | 0.00026 | 10.390 | 0.00270 |
| 27 (2B1) | 48 (2J2) | 417.2 | 1.0 | 208.6 | 229.8 | 4 | 321000 | 0.00001 | 7.309 | 0.00009 |
| 25 (2A1) | 48 (2J2) | 408.0 | 1.0 | 204.0 | 224.7 | 7 | 368000 | 0.00002 | 8.342 | 0.00016 |
| 47 (2J1) | 48 (2J2) | 407.5 | 1.0 | 203.7 | 224.5 | 50 | 371000 | 0.00013 | 5.780 | 0.00078 |
| 47 (2J1) | 16 (1I1) | 385.7 | 1.0 | 192.8 | 212.4 | 11 | 526000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 15 (1I1) | 36 (2D5) | 366.6 | 1.0 | 183.3 | 202.0 | 2 | 752000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 33 (2D2) | 16 (1I1) | 342.0 | 1.0 | 171.0 | 188.4 | 2 | 1100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 43 (2H1) | 16 (1I1) | 335.2 | 1.0 | 167.6 | 184.7 | 2 | 1170000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 39 (2F1) | 16 (1I1) | 326.7 | 1.0 | 163.3 | 180.0 | 2 | 1270000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 11 (1G1) | 16 (1I1) | 325.5 | 1.0 | 162.8 | 179.3 | 3 | 1290000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 35 (2D4) | 16 (1I1) | 322.5 | 1.0 | 161.3 | 177.7 | 2 | 1330000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 37 (2E1) | 16 (1I1) | 310.3 | 1.0 | 155.1 | 170.9 | 2 | 1510000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 41 (2G1) | 16 (1I1) | 308.4 | 1.0 | 154.2 | 169.9 | 2 | 1540000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 13 (1H1) | 16 (1I1) | 307.6 | 1.0 | 153.8 | 169.4 | 0 | 1550000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 29 (2C1) | 16 (1I1) | 302.6 | 1.0 | 151.3 | 166.7 | 2 | 1640000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 21 (1L1) | 16 (1I1) | 300.8 | 1.0 | 150.4 | 165.7 | 2 | 1670000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 5 (1D1) | 16 (1I1) | 300.7 | 1.0 | 150.4 | 165.7 | 32 | 1670000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| 42 (2G1) | 15 (1I1) | 292.5 | 1.0 | 146.2 | 161.1 | 2 | 1830000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 5 (1D1) | 38 (2E1) | 277.7 | 1.0 | 138.8 | 153.0 | 2 | 2230000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 46 (2I1) | 15 (1I1) | 259.0 | 1.0 | 129.5 | 142.7 | 2 | 3020000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 34 (2D3) | 15 (1I1) | 236.7 | 1.0 | 118.3 | 130.4 | 2 | 4460000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 4 (1C1) | 15 (1I1) | 220.9 | 1.0 | 110.4 | 121.7 | 54 | 6440000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 5 (1D1) | 40 (2F1) | 117.6 | 1.0 | 58.8 | 64.8 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | 0.00379 |

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

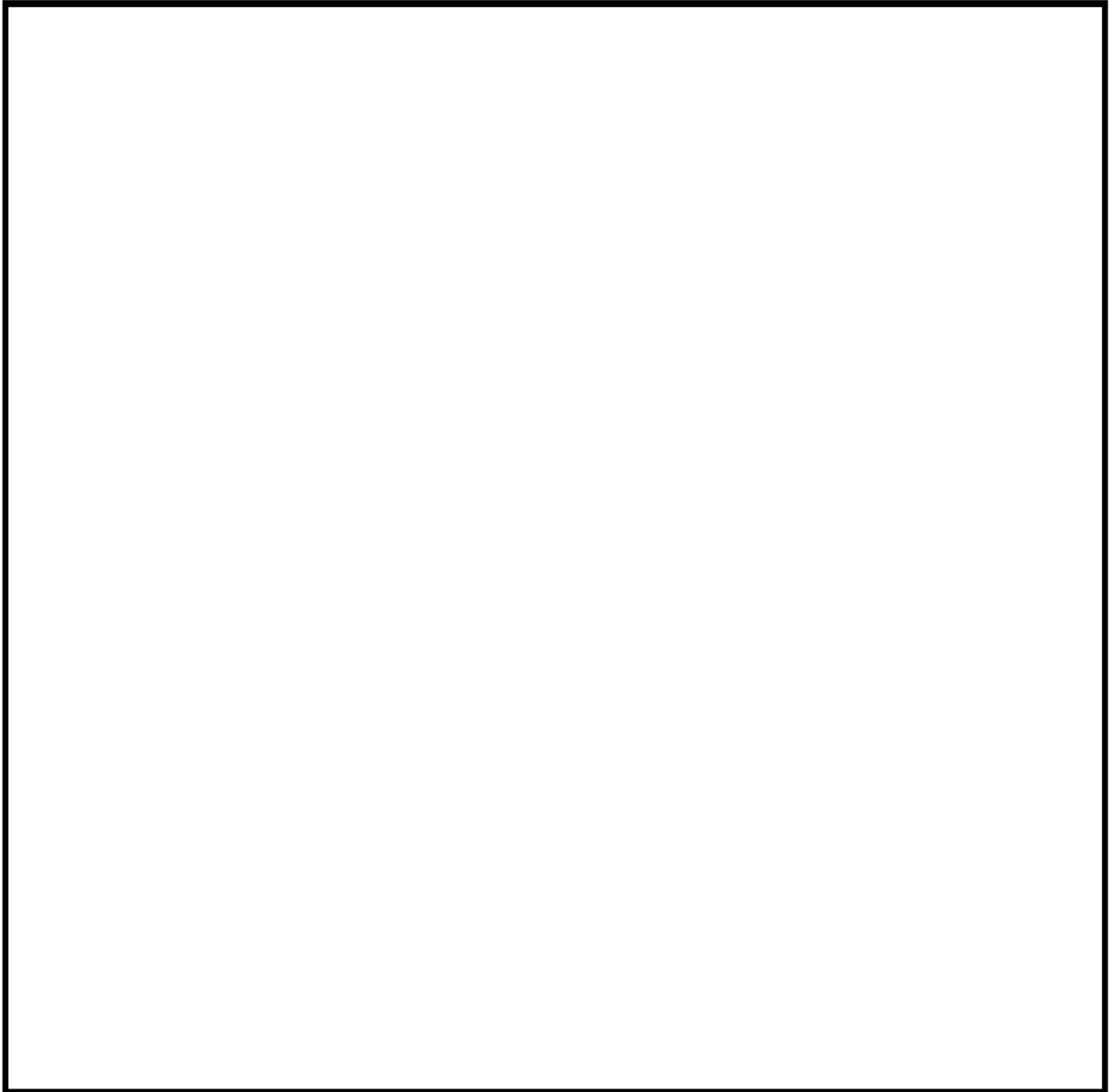
→環境UF: 0.004



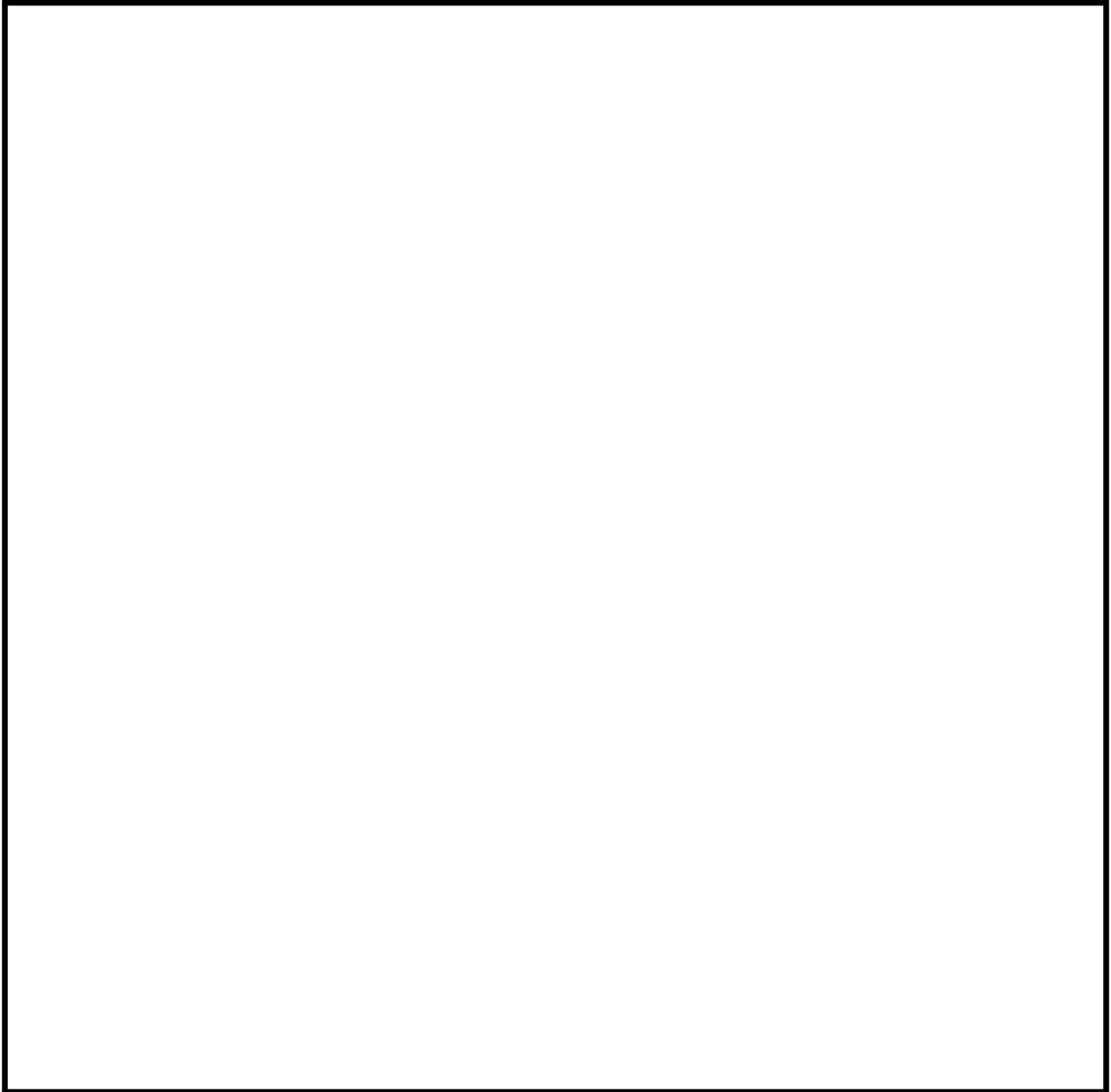
(1) 1次冷却材管（加圧器サージ管台） 評価点



(2) 1次冷却材管（充てん管台） 評価点



(3) 1次冷却材管（蓄圧タンク注入管台）評価点



(4) 1次冷却材管(安全注入管台)評価点

(1) 1次冷却材管 (加圧器サージ管台) 最大疲労評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.03006 | 0.00592 |
| 2 | 0.0 | 0.00000 | 0.00004 |
| 3 | 0.0 | 0.00530 | 0.00203 |
| 4 | 0.0 | 0.00000 | 0.00001 |
| 5 | 0.0 | 0.00243 | 0.00072 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 0.00011 | 0.00912 | 0.00066 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 0.00443 | 0.01423 | 0.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 0.0 | 0.00014 | 0.00001 |
| 12 | 0.0 | 0.00000 | 0.00003 |

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.031$

(2) 1次冷却材管 (充てん管台) 最大疲労評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00106 | 0.00069 |
| 2 | 0.0 | 0.00000 | 0.00001 |
| 3 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 4 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 5 | 0.0 | 0.00001 | 0.00000 |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7L | 0.00028 | 0.00145 | 0.00002 |
| 8L | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 7C | 0.0 | 0.00002 | 0.00005 |
| 8C | 0.0 | 0.00009 | 0.00003 |
| 9L | 0.00271 | 0.00148 | 0.0 |
| 10L | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 9C | 0.00006 | 0.00004 | 0.0 |
| 10C | 0.0 | 0.00010 | 0.00005 |
| 11L | 0.00022 | 0.00024 | 0.00000 |
| 12L | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 11C | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 12C | 0.00000 | 0.00010 | 0.00013 |

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.003$

(3) 1次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 最大疲労評価点の選定

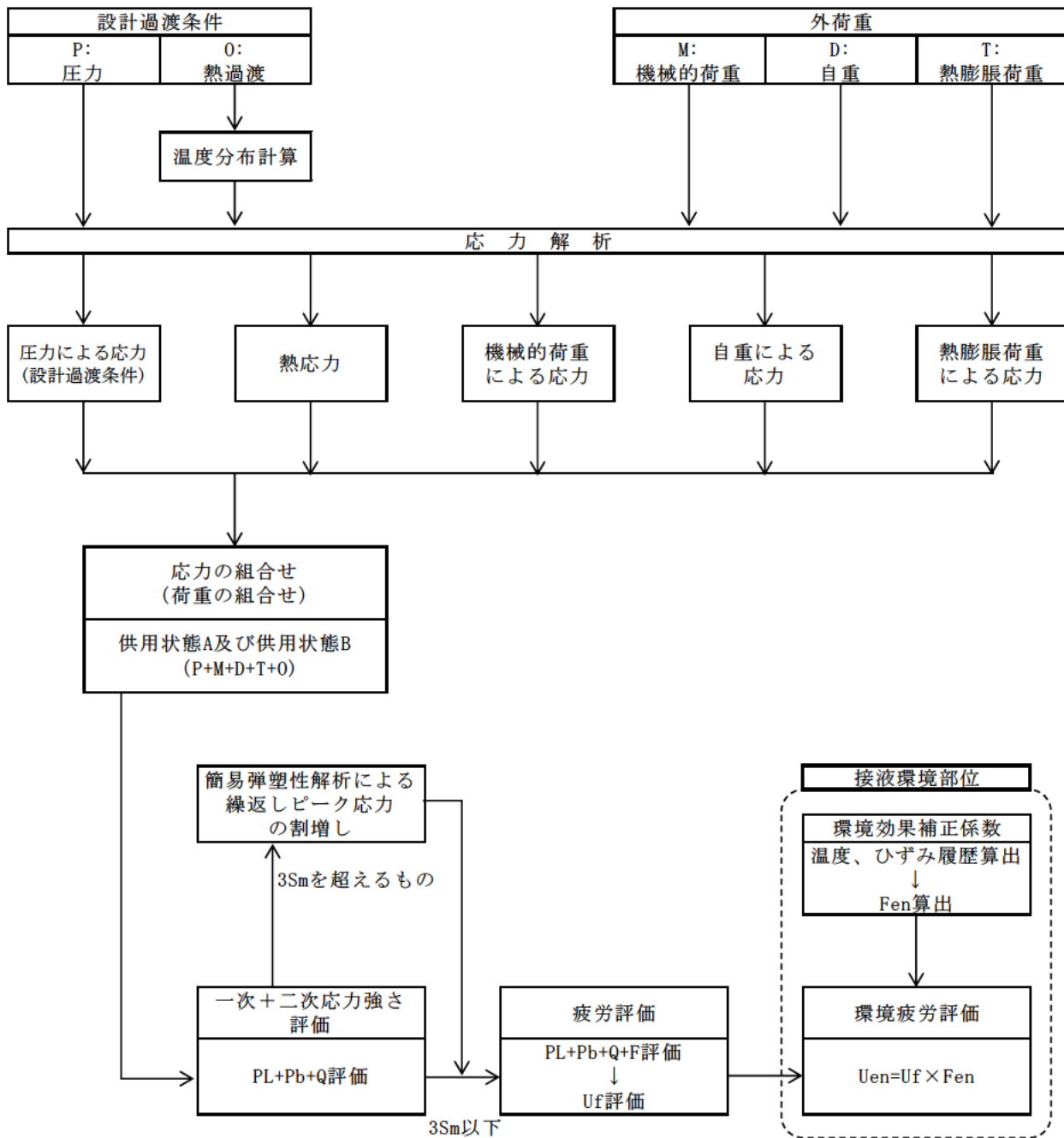
| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00752 | 0.00449 |
| 2 | 0.0 | 0.00007 | 0.00011 |
| 3 | 0.00000 | 0.00095 | 0.00109 |
| 4 | 0.0 | 0.00001 | 0.00001 |
| 5 | 0.00000 | 0.00032 | 0.00002 |
| 6 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 7 | 0.0 | 0.00032 | 0.00010 |
| 8 | 0.00000 | 0.0 | 0.00000 |
| 9 | 0.00076 | 0.00066 | 0.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 12 | 0.00005 | 0.0 | 0.00010 |
| 13 | 0.0 | 0.00000 | 0.00001 |
| 14 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00009 |

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.008$

(4) 1次冷却材管 (安全注入管台) 最大疲労評価点の選定

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00645 | 0.00514 |
| 2 | 0.0 | 0.00004 | 0.00013 |
| 3 | 0.0 | 0.00002 | 0.00007 |
| 4 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 5 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 6 | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 7 | 0.0 | 0.00006 | 0.00001 |
| 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9L | 0.00018 | 0.00091 | 0.00002 |
| 10L | 0.0 | 0.00000 | 0.00000 |
| 9C | 0.00001 | 0.00015 | 0.00003 |
| 10C | 0.0 | 0.00010 | 0.00005 |
| 11L | 0.00031 | 0.00057 | 0.0 |
| 12L | 0.0 | 0.00000 | 0.0 |
| 11C | 0.00003 | 0.00002 | 0.0 |
| 12C | 0.0 | 0.00010 | 0.00003 |
| 13L | 0.00026 | 0.00017 | 0.00000 |
| 14L | 0.0 | 0.00000 | 0.0 |
| 13C | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 14C | 0.0 | 0.00010 | 0.00004 |

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.007$



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

| 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 | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| 2D4 | 1A2 | 265.8 | -319.0 | 1.32 | 386.5 | 433.1 | 2 | 10900 | 0.00018 | 6.190 | 0.00114 |
| 1G1 | 1A2 | 199.7 | -319.0 | 1.24 | 320.8 | 359.5 | 3 | 27400 | 0.00011 | 6.358 | 0.00070 |
| 1D1 | 1A2 | 194.6 | -319.0 | 1.23 | 315.8 | 353.9 | 409 | 29600 | 0.01382 | 5.368 | 0.07417 |
| 1D1 | 1B2 | 194.6 | -319.0 | 1.23 | 315.8 | 353.9 | 389 | 29600 | 0.01314 | 5.368 | 0.07055 |
| 2G1 | 1B2 | 169.9 | -319.0 | 1.00 | 244.4 | 273.9 | 2 | 115000 | 0.00002 | 4.915 | 0.00009 |
| 1L4 | 1B2 | 167.4 | -319.0 | 1.00 | 243.2 | 272.5 | 2 | 118000 | 0.00002 | 6.448 | 0.00011 |
| 1M1 | 1B2 | 142.7 | -319.0 | 1.00 | 230.8 | 258.7 | 435 | 158000 | 0.00275 | 5.129 | 0.01412 |
| 1M1 | 2E1 | 142.7 | -310.4 | 1.00 | 226.5 | 253.9 | 2 | 175000 | 0.00001 | 16.540 | 0.00019 |
| 2E1 | 2D4 | 137.3 | -240.2 | 1.11 | 208.9 | 234.1 | 2 | 286000 | 0.00001 | 14.742 | 0.00010 |
| 1M1 | 2G1 | 142.7 | -207.7 | 1.00 | 175.2 | 196.3 | 2 | 919000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1M1 | 2H1 | 142.7 | -193.0 | 1.00 | 167.8 | 188.1 | 2 | 1100000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1M1 | 1L3 | 142.7 | -33.2 | 1.00 | 87.9 | 98.6 | 2 | 58300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1M1 | 1L2 | 142.7 | -7.7 | 1.00 | 75.2 | 84.3 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.16117 |

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

→環境UF : 0.162

(2) Ke係数と環境疲労パラメータ (充てん管台) (詳細評価手法: 評価点9L)

| 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 | | | | | |
| 2J1 | 205 | 3.7 | -636.2 | 1.35 | 431.8 | 475.7 | 2 | 7370 | 0.00027 | 5.263 | 0.00143 |
| 2J1 | 201 | 3.7 | -601.3 | 1.32 | 399.4 | 440.1 | 2 | 10100 | 0.00020 | 5.545 | 0.00110 |
| 2J1 | 203 | 3.7 | -605.3 | 1.31 | 397.7 | 438.2 | 2 | 10300 | 0.00019 | 4.721 | 0.00092 |
| 2J1 | 2N4 | 3.7 | -540.4 | 1.00 | 272.1 | 299.8 | 2 | 70200 | 0.00003 | 8.797 | 0.00025 |
| 2J1 | 2N5 | 3.7 | -474.3 | 1.00 | 239.0 | 263.3 | 2 | 143000 | 0.00001 | 9.010 | 0.00013 |
| 2J1 | 2N2 | 3.7 | -469.3 | 1.00 | 236.5 | 260.6 | 2 | 151000 | 0.00001 | 6.348 | 0.00008 |
| 2J1 | 2S1 | 3.7 | -468.1 | 1.00 | 235.9 | 259.9 | 49 | 154000 | 0.00032 | 11.561 | 0.00368 |
| 1B1 | 2S1 | 3.7 | -468.1 | 1.00 | 235.9 | 259.9 | 69 | 154000 | 0.00045 | 6.171 | 0.00277 |
| NSS | 2S1 | 0.0 | -468.1 | 1.00 | 234.1 | 257.9 | 130 | 161000 | 0.00081 | 11.561 | 0.00933 |
| 111 | 2S1 | -4.2 | -468.1 | 1.00 | 232.0 | 255.6 | 62 | 169000 | 0.00037 | 7.359 | 0.00270 |
| 204 | 2S1 | -17.5 | -468.1 | 1.00 | 225.3 | 248.2 | 2 | 198000 | 0.00001 | 11.561 | 0.00012 |
| 2QE | 2S1 | -24.1 | -468.1 | 1.00 | 222.0 | 244.6 | 2 | 217000 | 0.00001 | 11.561 | 0.00011 |
| 202 | 2S1 | -150.5 | -468.1 | 1.17 | 185.0 | 203.9 | 2 | 704000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2E1 | 2S1 | -135.2 | -468.1 | 1.00 | 166.5 | 183.4 | 2 | 1200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2N3 | 2S1 | -149.0 | -468.1 | 1.00 | 159.6 | 175.8 | 2 | 1380000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2QC | 2S1 | -162.1 | -468.1 | 1.00 | 153.0 | 168.6 | 2 | 1580000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2N1 | 2S1 | -206.2 | -468.1 | 1.00 | 131.0 | 144.3 | 2 | 2870000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2QA | 2S1 | -206.5 | -468.1 | 1.00 | 130.8 | 144.1 | 2 | 2890000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 205 | 2S1 | -266.3 | -468.1 | 1.28 | 129.6 | 142.7 | 2 | 3010000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2QF | 2S1 | -211.1 | -468.1 | 1.00 | 128.5 | 141.6 | 2 | 3120000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2N5 | 2S1 | -211.5 | -468.1 | 1.00 | 128.3 | 141.4 | 2 | 3140000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2A1 | 2S1 | -216.2 | -468.1 | 1.00 | 126.0 | 138.8 | 7 | 3400000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2D2 | 2S1 | -248.2 | -468.1 | 1.00 | 110.0 | 121.1 | 2 | 6610000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2D5 | 2S1 | -250.7 | -468.1 | 1.00 | 108.7 | 119.8 | 2 | 7070000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2F1 | 2S1 | -250.8 | -468.1 | 1.00 | 108.7 | 119.7 | 2 | 7090000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2C1 | 2S1 | -254.0 | -468.1 | 1.00 | 107.1 | 118.0 | 2 | 7750000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2D1 | 2S1 | -257.3 | -468.1 | 1.00 | 105.4 | 116.1 | 6 | 8490000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2G1 | 2S1 | -261.1 | -468.1 | 1.00 | 103.5 | 114.1 | 2 | 9460000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1G1 | 2S1 | -262.5 | -468.1 | 1.00 | 102.8 | 113.3 | 3 | 9860000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2H2 | 2S1 | -264.8 | -468.1 | 1.00 | 101.7 | 112.0 | 2 | 10800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2QG | 2S1 | -270.6 | -468.1 | 1.00 | 98.8 | 108.8 | 2 | 14200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2B1 | 2S1 | -282.5 | -468.1 | 1.00 | 92.8 | 102.2 | 4 | 30200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2Q8 | 2S1 | -283.1 | -468.1 | 1.00 | 92.5 | 101.9 | 2 | 31800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1L1 | 2S1 | -284.1 | -468.1 | 1.00 | 92.0 | 101.4 | 2 | 34400000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1C1 | 2S1 | -285.2 | -468.1 | 1.00 | 91.5 | 100.8 | 439 | 37900000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| 1C1 | 2Q5 | -285.2 | -440.2 | 1.00 | 77.5 | 85.4 | 4 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.02263 |

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

→環境UF: 0.023

(3) Ke係数と環境疲労パラメータ (蓄圧タンク注入管台) (詳細評価手法: 評価点1)

| 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 | | | | | |
| 2E1 | 2E1 | 707.9 | -311.0 | 1.99 | 1011.3 | 1114.2 | 2 | 384 | 0.00521 | 4.322 | 0.02251 |
| 2L1 | 2L1 | 616.1 | -254.8 | 1.79 | 778.4 | 857.6 | 2 | 867 | 0.00231 | 3.253 | 0.00750 |
| 2H1 | NSS | 138.4 | 0.0 | 1.00 | 69.2 | 76.3 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.03001 |

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

→環境UF: 0.031

(4) Ke係数と環境疲労パラメータ (安全注入管台) (詳細評価手法: 評価点1)

| 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 | | | | | |
| 2D5 | 2E1 | 717.3 | -173.2 | 1.83 | 815.0 | 897.9 | 2 | 749 | 0.00267 | 3.321 | 0.00887 |
| 2E1 | 2G1 | 705.3 | -110.9 | 1.83 | 746.9 | 822.9 | 2 | 988 | 0.00202 | 3.707 | 0.00750 |
| 2G1 | 2D5 | 713.8 | -95.7 | 1.68 | 679.6 | 748.7 | 2 | 1360 | 0.00147 | 3.378 | 0.00497 |
| 1B2 | 1B2 | 352.3 | -83.8 | 1.00 | 218.0 | 240.2 | 69 | 243000 | 0.00028 | 2.705 | 0.00077 |
| 2H1 | 2J1 | 103.4 | -0.9 | 1.00 | 52.2 | 57.5 | 2 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.02211 |

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

→環境UF: 0.023

| | |
|------|---|
| タイトル | 仕切弁（R H R S 入口隔離弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について |
| 説明 | <p>R H R S 入口隔離弁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. 解析モデル <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。</p> <p>設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付 1 に示す。</p> <p>また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付 2 に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A</p> <p>ヤング率：1.78×10^5 (MPa)</p> <p>熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke 係数 <p>簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (Fen) の算出根拠を添付 3 に示す。</p> |

応力解析結果

弁番号： 1V-RH-001A/B

呼び径： 12B

弁箱の材質： SCS14A

接続管の材質： SUS316TP

クラス1弁

弁箱の応力解析 (1/2)

(1) 設計条件及び補元

| 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 280 °Cにおける 境界圧力 P _g (MPa) | 280 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa) | 接続管の280 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa) | 280 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa) | 280 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ mm/mm・°C) | AA断面における 金属部の厚さ t _e (mm) | 交差部壁面とその二等 分線とに接する円の直 径 T _{e1} (mm) | 交差部壁面に接する円の 直径 T _{e2} (mm) |
|-------------------|----------------|--|--|---|--------------------------------|---|---|---|---|
| 17.16 | 343 | 18.5 | 125 | 137 | 178000 | 18.44 | | | |

| AA断面における 平均半径 r (mm) | AA断面における 内半径 r ₁ (mm) | 流体部面積 A _f (mm ²) | 金属部面積 A _m (mm ²) | 接続管の断面積の 2分の1 A ₁ (mm ²) | AA断面における 金属部の断面積 A ₂ (mm ²) | 接続管の断面係数 Z ₁ (mm ³) | AA断面における 断面係数 Z ₂ (mm ³) | AA断面における 極断面係数 Z ₃ (mm ³) | 厚さ方向の温度勾配に よる最大熱応力 Q _T (MPa) |
|----------------------------|--|--|--|---|--|---|---|--|---|
| | | | | | | | | | |

| 圧力の段階的な変化の 最大値と最小値との差 ΔP _{tm} (MPa) | 厚板部分と薄板部分の 平均温度の差の最大値 ΔT (°C) | 流体温度の段階的な温 度変化の最大値と最小 値との差 ΔT _{tm} (°C) | 応力係数 | | | | | ネック部の角度 による係数 K | 繰返しピーク応 力強さの割増し 係数 K _e ^(注1) | 材質の種類に応じた値 | | |
|--|-------------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|--|------------|----------------|----------------|
| | | | C _b | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | | | q | A ₀ | B ₀ |
| | | | | | | | | | - | - | - | - |

(注1) K_e適用判定のS_nはVVB-3370による。

(注2) S_nはVVB-3340による。

(2) 弁箱の応力

| 項 目 | 一次応力 S | | | | | 一次+二次応力 S _n ^(注2) | |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------|----------------|--|---------------------------|
| | 内圧による一次応力 | 一次局部応力 | 配管反力による応力 | | | 起動時及び停止時 (式VVB-10.1) | 起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2) |
| | | | P _d | P _b | P _t | | |
| 計算応力 (MPa) | 60 | 132 | 28 | 56 | 56 | 196 | 150 |
| 許容応力 (MPa) | S _m = 125 | 2.25 S _m = 281 | 1.5 S _m = 187 | | | 3 S _m = 375 | |
| 評 価 | 弁箱に生ずる応力はすべて許容応力以下であるので、強度は十分である。 | | | | | | |

疲労累積係数・環境疲労評価結果

| 運転状態 | 過渡の組合せ | | S _{p1} (MPa) | S ₁₁ (MPa) | S ₁₂ (MPa) | N (回) | N* (回) | N/N* | Δt1 (sec) | Δt2 (sec) | Δt (sec) | E (MPa) | ε (%/sec) | 鋼種:1 以外:2 | ε* (-) | T1 (℃) | T2 (℃) | T (℃) | T* (℃) | Fen (-) | Fen×N/N* | |
|--------------------------|--------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|------------|-------|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-------|
| | 加熱過程 | 冷却過程 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 起動時及び停止時 1次系漏えい試験(注1) | H1 | C1 | 329.2 | 184.6 | 185.5 | 69 | 1158096 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 23.114 | 0.001 | |
| | H24 | C28 | 329.2 | 184.6 | 185.5 | 61 | 1158096 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 9.427 | 0.000 | |
| 起動時及び停止時 以外 | H22 | C21 | 847.8 | 423.9 | 477.8 | 2 | 7245 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 18.683 | 0.005 | |
| | H2 | C23 | 667.1 | 333.6 | 376.0 | 2 | 21943 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 25.283 | 0.002 | |
| | H2 | C25 | 621.2 | 310.6 | 350.1 | 2 | 31365 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 26.171 | 0.002 | |
| | H2 | C19 | 553.6 | 276.8 | 312.0 | 2 | 56435 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 25.198 | 0.001 | |
| | H2 | C24 | 534.0 | 267.0 | 301.0 | 2 | 68730 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 25.145 | 0.001 | |
| | H2 | C17 | 488.5 | 244.3 | 275.3 | 2 | 111986 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 25.672 | 0.000 | |
| | H2 | C10 | 483.5 | 241.8 | 272.5 | 2 | 118574 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 26.889 | 0.000 | |
| | H2 | C18 | 466.0 | 233.0 | 262.6 | 6 | 145530 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 26.022 | 0.001 | |
| | H2 | C29 | 461.4 | 230.7 | 260.0 | 2 | 153747 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 29.694 | 0.000 | |
| | H2 | C27 | 460.2 | 230.1 | 259.3 | 2 | 156082 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 25.800 | 0.000 | |
| | H2 | C13 | 453.5 | 226.7 | 255.8 | 7 | 169266 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 26.688 | 0.001 | |
| | H2 | C6 | 451.0 | 225.5 | 254.2 | 3 | 174546 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 31.455 | 0.001 | |
| | H2 | C7 | 432.2 | 216.1 | 243.8 | 62 | 223663 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 27.659 | 0.008 | |
| | H2 | C3 | 422.2 | 211.1 | 237.9 | 715 | 258740 | 0.003 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 31.009 | 0.036 | |
| | H8 | C3 | 337.1 | 168.5 | 190.0 | 2 | 1071382 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 29.321 | 0.000 | |
| | H12 | C3 | 330.8 | 165.4 | 186.4 | 7 | 1138225 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 28.893 | 0.000 | |
| | H10 | C3 | 329.5 | 164.8 | 185.7 | 2 | 1153461 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 29.489 | 0.000 | |
| H7 | C3 | 316.2 | 158.1 | 178.2 | 72 | 1320818 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 34.090 | 0.002 | | |
| H6 | C14 | 241.9 | 121.0 | 136.3 | 3 | 3879491 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 35.350 | 0.000 | | |
| H13 | C14 | 241.1 | 120.5 | 135.9 | 1 | 3734844 | 0.000 | | | | 178000 | | 1 | | | | | | 35.350 | 0.000 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | ΣN/N* (注3) | 0.004 | | | | | | | | | | | | | ΣFen×N/N* | 0.113 |

→通常UF : 0.004

→環境UF : 0.113

注) Spi:ピーク応力強さの変動幅(MPa)、 N:繰り返し回数(回)、 N*:許容繰り返し回数(回)、
 N/N*:疲労累積係数、 Δt:過渡継続時間(s)、 E:縦弾性係数(MPa)、
 ε:ひずみ速度(%/s)、 ε*:ひずみ速度依存パラメータ、 T:温度(℃)、
 T*:温度依存パラメータ、 Fen:環境効果補正係数、 Fen×N/N*:環境疲労累積係数
 を示す。

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

環境疲労補正係数については、環境疲労評価手法の簡易評価手法によって算出している。

例として起動時及び停止時の過渡の組み合わせ $F_{en}=23.114$ の導出の過程を説明する。

環境疲労評価手法 EF-2320 (オーステナイト系ステンレス鋼及びこれらの溶接部) より、PWRプラント環境 (鋳鋼) では、下記のように定まる。

$$\ln(F_{en}) = (C - \dot{\epsilon}^*) \times T^*$$

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(49.9): [\dot{\epsilon} > 49.9](\%/s)$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(\dot{\epsilon}): [0.00004 \leq \dot{\epsilon} \leq 49.9](\%/s)$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(0.00004): [\dot{\epsilon} < 0.00004](\%/s)$$

$$T^* = 0.000782 \times T: [T \leq 325](^{\circ}\text{C})$$

$$T^* = 0.254: [T > 325](^{\circ}\text{C})$$

ここで、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 329.2 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{} \%/s)$$

$$\dot{\epsilon} < (0.00004)(\%/s)$$

であるから、 $\dot{\epsilon}^* = \ln(0.00004) = -10.126631$

$$T = \boxed{} (^{\circ}\text{C})$$

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

$$F_{en} = e^{(3.91 + 10.126631) \times \boxed{}} = 23.114$$

| | |
|------|---|
| タイトル | スイング逆止弁（蓄圧タンク出口第2逆止弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について |
| 説明 | <p>蓄圧タンク出口第2逆止弁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. 解析モデル <p>JSME S NC1- 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke係数 <p>評価に用いたKe係数を添付1に示す。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (Fen) の算出根拠を添付3に示す。</p> |

応力解析結果

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|--|---|--|---|---|---|--|------------|----------------|----------------|
| 弁番号： 1X-SI-138A/B/C | 呼び径： 128 | 弁箱の材質： SCS14A | 接続管の材質： SUS316TP | クラス1弁 | | | | | | | | |
| 弁箱の応力解析 (1/2) | | | | | | | | | | | | |
| (1) 設計条件及び諸元 | | | | | | | | | | | | |
| 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 280 °Cにおける 換算圧力 P _e (MPa) | 280 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa) | 接続管の280 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa) | 280 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa) | 280 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ mm/mm・°C) | AA断面における 金属部の厚さ t _e (mm) | 交差部壁面とその二等 分線とに接する円の直 径 T _{o1} (mm) | 交差部壁面に接する円 の直径 T _{o2} (mm) | | | |
| 17.18 | 348 | 18.5 | 125 | 127 | 178000 | 18.44 | — | — | — | | | |
| AA断面における 平均半径 r (mm) | AA断面における 内半径 r _i (mm) | 流体部面積 A _f (mm ²) | 金属部面積 A _m (mm ²) | 接続管の断面積の 2分の1 A ₁ (mm ²) | AA断面における 金属部の断面積 A ₂ (mm ²) | 接続管の断面係数 Z ₁ (mm ³) | AA断面における 断面係数 Z ₂ (mm ³) | AA断面における 断面係数 Z ₃ (mm ³) | 厚さ方向の温度勾配に よる最大熱応力 Q T (MPa) | | | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | | |
| 圧力の段階的な変化の 最大値と最小値との差 ΔP _{1/2} (MPa) | 厚板部分と薄板部分の 平均温度の差の最大値 ΔT (°C) | 流体温度の段階的な温 度変化の最大値と最小 値との差 ΔT _{fm} (°C) | 応力係数 | | | | | ネック部の角度 による係数 K | 繰返しピーク応 力強さの増し 係数 K _σ (註1) | 材質の種類に応じた値 | | |
| — | — | — | C _b | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | — | — | q | A ₀ | B ₀ |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.86 | 3.1 | 0.7 | 2.15 |
| (注1) K _σ 適用判定のS _n はVVB-3370による。 (注2) S _n はVVB-3340による。 | | | | | | | | | | | | |
| (2) 弁箱の応力 | | | | | | | | | | | | |
| 項 目 | 一次応力 S | | | | | 一次+二次応力 S _n ^(註2) | | | | | | |
| | 内圧による一次応力 | 一次局部応力 | 配管反力による応力 | | | 起動時及び停止時 (式VVB-10.1) | 起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2) | | | | | |
| | | | P _d | P _b | P _t | | | | | | | |
| 計算応力 (MPa) | 88 | 150 | 34 | 88 | 88 | 282 | 387 | | | | | |
| 許容応力 (MPa) | S _m = 125 | 2.25S _m = 281 | 1.5S _m = 187 | | | 3S _m = 375 | | | | | | |
| 評 価 | 弁箱に生ずる応力はすべて許容応力以下であるので、強度は十分である。 | | | | | | | | | | | |

疲労累積係数・環境疲労評価結果

| 運転状態 | 過渡の相合せ | | s ₀₁ (MPa) | s ₁₁ (MPa) | s ₁₂ (MPa) | H (回) | N* (回) | N/N* | Δt1 (sec) | Δt2 (sec) | Δt (sec) | E (MPa) | ε̇ (%/sec) | 鋳鋼:1 以外:2 | ε* (-) | T1 (℃) | T2 (℃) | T (℃) | T* (℃) | Fen (-) | Fen×N/N* |
|--------------------------|--------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|------------|-------|--------------|--------------|-------------|------------|---------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|----------|
| | 加熱過程 | 冷却過程 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 起動時及び停止時 1次系漏えい試験(注1) | H1 | C1 | 480.0 | 245.0 | 276.2 | 69 | 110102 | 0.001 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 23.114 | 0.014 |
| | H26 | C28 | 480.0 | 245.0 | 276.2 | 61 | 110102 | 0.001 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 9.427 | 0.005 |
| 起動時及び停止時 以外 | H28 | C31 | 2618.2 | 2418.0 | 2725.5 | 2 | 36 | 0.056 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 9.027 | 0.502 |
| | H27 | C20 | 2393.2 | 2139.8 | 2411.9 | 2 | 48 | 0.042 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 9.163 | 0.332 |
| | H14 | C21 | 785.2 | 382.6 | 431.3 | 2 | 11159 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 33.570 | 0.006 |
| | H14 | C23 | 625.0 | 312.5 | 352.3 | 2 | 30418 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 33.570 | 0.002 |
| | H12 | C25 | 489.5 | 249.8 | 281.5 | 2 | 88871 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 17.988 | 0.000 |
| | H12 | C28 | 489.7 | 244.8 | 276.0 | 2 | 110458 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 20.258 | 0.000 |
| | H12 | C19 | 456.8 | 228.4 | 257.5 | 2 | 162859 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 14.454 | 0.000 |
| | H12 | C7 | 455.4 | 227.7 | 256.7 | 1 | 165389 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 16.518 | 0.000 |
| | H24 | C7 | 433.9 | 216.9 | 244.5 | 2 | 218400 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 13.680 | 0.000 |
| | H18 | C7 | 406.9 | 203.4 | 229.3 | 2 | 325389 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 15.212 | 0.000 |
| | H6 | C7 | 399.5 | 199.8 | 225.2 | 3 | 364432 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 20.668 | 0.000 |
| | H2 | C7 | 382.4 | 191.2 | 215.5 | 54 | 478707 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 19.588 | 0.002 |
| | H2 | C24 | 317.2 | 158.6 | 178.8 | 2 | 1307325 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 19.656 | 0.000 |
| | H2 | C32 | 318.2 | 158.1 | 178.2 | 2 | 1320849 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 19.730 | 0.000 |
| H2 | C26 | 289.2 | 144.6 | 163.0 | 2 | 1768842 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 19.858 | 0.000 | |
| H2 | C13 | 273.6 | 136.8 | 154.2 | 7 | 2163405 | 0.000 | | | | 17800 | | 1 | | | | | | 24.188 | 0.000 | |
| | | | | | | | ΣN/N* (注3) | 0.099 | | | | | | | | | | | | ΣFen×N/N* | 0.915 |

→通常UF:0.099

→環境UF:0.915

注) Spi:ピーク応力強さの変動幅(MPa)、

N:繰り返し回数(回)、

N*:許容繰り返し回数(回)、

N/N*:疲労累積係数、

Δt:過渡継続時間(s)、

E:縦弾性係数(MPa)、

ε̇:ひずみ速度(%/s)、

ε*:ひずみ速度依存パラメータ、

T:温度(℃)、

T*:温度依存パラメータ、

Fen:環境効果補正係数、

Fen×N/N*:環境疲労累積係数

を示す。

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

環境疲労補正係数については、環境疲労評価手法の簡易評価手法によって算出している。

例として起動時及び停止時の過渡の組み合わせ $F_{en}=23.114$ の導出の過程を説明する。

環境疲労評価手法 EF-2320 (オーステナイト系ステンレス鋼及びこれらの溶接部) より、PWRプラント環境 (鋳鋼) では、下記のように定まる。

$$\ln(F_{en}) = (C - \dot{\epsilon}^*) \times T^*$$

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(49.9): [\dot{\epsilon} > 49.9](\%/s)$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(\dot{\epsilon}): [0.00004 \leq \dot{\epsilon} \leq 49.9](\%/s)$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(0.00004): [\dot{\epsilon} < 0.00004](\%/s)$$

$$T^* = 0.000782 \times T: [T \leq 325](^{\circ}\text{C})$$

$$T^* = 0.254: [T > 325](^{\circ}\text{C})$$

ここで、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 490.0 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{} (\%/s)$$

$$\dot{\epsilon} < (0.00004) (\%/s)$$

であるから、 $\dot{\epsilon}^* = \ln(0.00004) = -10.126631$

$$T = \boxed{} (^{\circ}\text{C})$$

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

$$F_{en} = e^{(3.91+10.126631) \times \boxed{}} = 23.114$$

| | | | | | | | | |
|---------|---|---------|--|------|------|-----|-----|--|
| タイトル | 炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠について | | | | | | | |
| 説明 | <p>炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</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> <table border="1" data-bbox="475 772 1364 1691"><tr><td data-bbox="475 772 699 967">解析プログラム</td><td data-bbox="699 772 1364 1691" rowspan="5"></td></tr><tr><td data-bbox="475 967 699 1200">要素種類</td></tr><tr><td data-bbox="475 1200 699 1395">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="475 1395 699 1538">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="475 1538 699 1691">節点数</td></tr></table> <table border="1" data-bbox="435 1715 1364 1825"><tr><td data-bbox="435 1715 1364 1825"></td></tr></table> | 解析プログラム | | 要素種類 | 要素次数 | 要素数 | 節点数 | |
| 解析プログラム | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

| 使用箇所 | 材料 | 設計応力強さ | |
|----------|---|---------|--------|
| | | Sm(MPa) | 温度(°C) |
| 上部炉心支持板 | SA182 Gr. F304 (SUSF304相当) SA240 TYPE304 (SUS304相当) | 113 | 321.1 |
| 上部炉心支持柱 | A511 Gr. MT304 (SUS304TK相当) SA479 TYPE304 (SUS304相当) | 113 | 321.1 |
| 上部炉心板 | SA240 TYPE304 (SUS304相当) | 113 | 321.1 |
| 下部炉心板 | SA240 TYPE304 (SUS304相当) | 116 | 283.6 |
| 下部炉心支持柱 | SA479 TYPE304 (SUS304相当) | 116 | 283.6 |
| 下部炉心支持板 | SA182 Gr. F304 (SUSF304相当) | 116 | 283.6 |
| 炉心槽下部接続部 | SA240 TYPE304 (SUS304相当) | 116 | 283.6 |

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および最大評価点の選定結果を、添付1に示す。

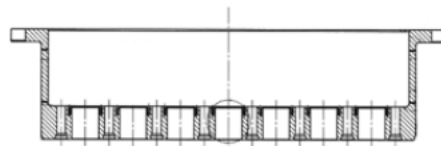
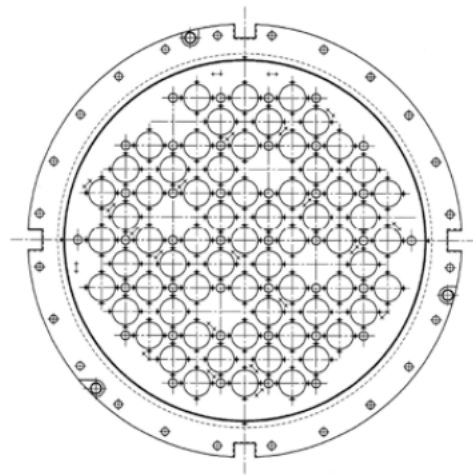
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

| 状態 | 荷重の組み合わせ |
|----------|-------------------|
| 供用状態A, B | 自重+機械的荷重+圧力+熱過渡荷重 |

5. Ke係数および環境パラメータ

評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。



評価部位 (中央部下面)



上部炉心支持板 評価点

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

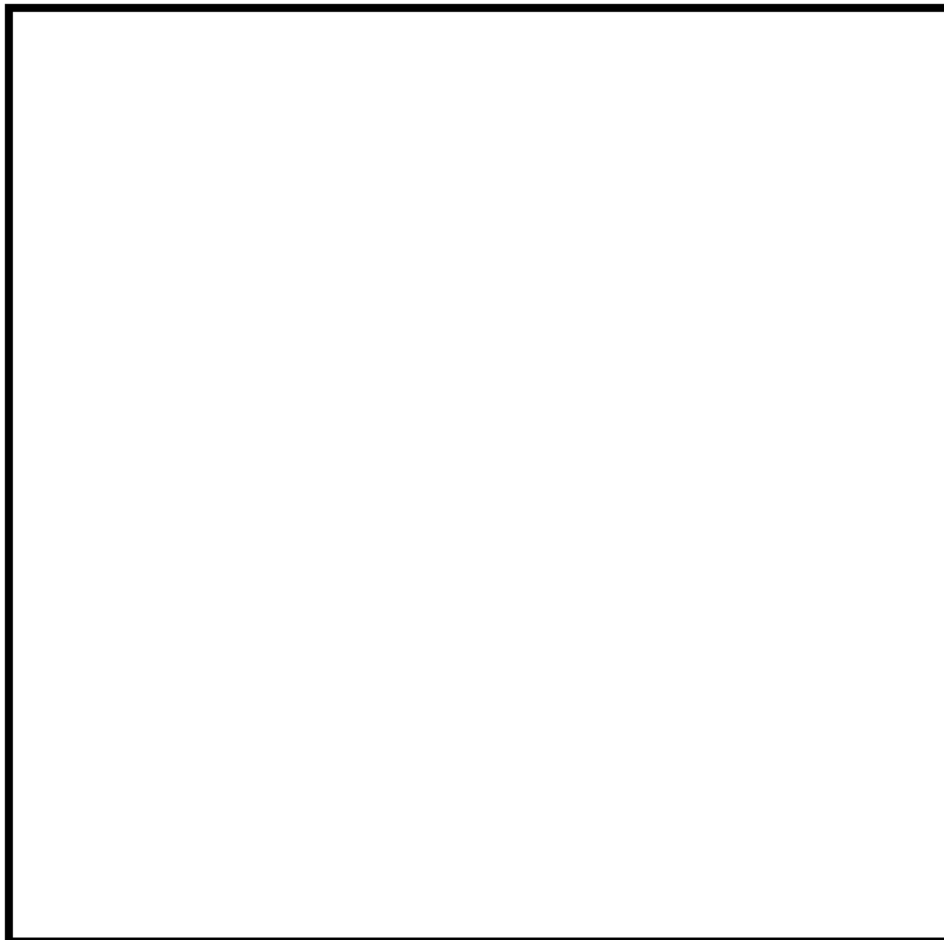
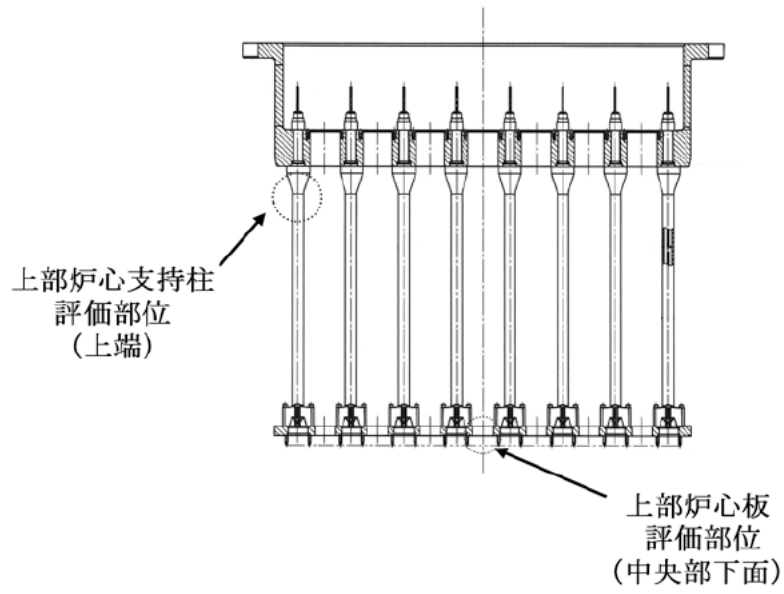
中央部下面

| 応力強さ (単位: MPa) | | 繰返し回数 | | 疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$ | | |
|----------------|--------|-------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 最大値 | 最小値 | K_e | 繰返しピーク応力強さ ^(注) | | 実際の繰返し回数N | 許容繰返し回数N* |
| 584.2 | -260.5 | 1.0 | 422.4 (473.3) | 6 | 7520 | 0.00080 |
| 315.1 | -260.5 | 1.0 | 287.8 (322.5) | 14 | 47300 | 0.00030 |
| 180.5 | -260.5 | 1.0 | 220.5 (247.1) | 110 | 204000 | 0.00054 |
| 180.5 | -250.6 | 1.0 | 215.6 (241.6) | 4 | 235000 | 0.00002 |
| 180.5 | -204.6 | 1.0 | 192.6 (215.8) | 16 | 474000 | 0.00003 |
| 173.2 | -204.6 | 1.0 | 188.9 (211.7) | 64 | 538000 | 0.00012 |
| 158.9 | -204.6 | 1.0 | 181.7 (203.7) | 14 | 708000 | 0.00002 |
| 127.8 | -204.6 | 1.0 | 166.2 (186.3) | 792 | 1140000 | 0.00069 |
| 127.8 | -83.5 | 1.0 | 105.7 (118.4) | 14 | 7570000 | 0.00000 |
| 127.8 | -38.6 | 1.0 | 83.2 (93.2) | 59 | ————— | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00252

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.003



上部炉心支持柱及び上部炉心板 評価点

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

| 応力強さ (単位: MPa) | | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$ |
|----------------|--------|-------|---------------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 最大値 | 最小値 | K_e | 繰返しピーク応力強さ ^(注) | 実際の繰返し回数N | 許容繰返し回数N* | |
| 0.0 | -512.7 | 1.0 | 256.4 (287.3) | 4 | 88500 | 0.00005 |
| 0.0 | -362.2 | 1.0 | 181.1 (203.0) | 126 | 726000 | 0.00017 |
| -82.8 | -362.2 | 1.0 | 139.7 (156.6) | 6 | 2020000 | 0.00000 |
| -84.9 | -362.2 | 1.0 | 138.7 (155.4) | 14 | 2080000 | 0.00001 |
| -207.3 | -362.2 | 1.0 | 77.5 (86.8) | 14 | — | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00023

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

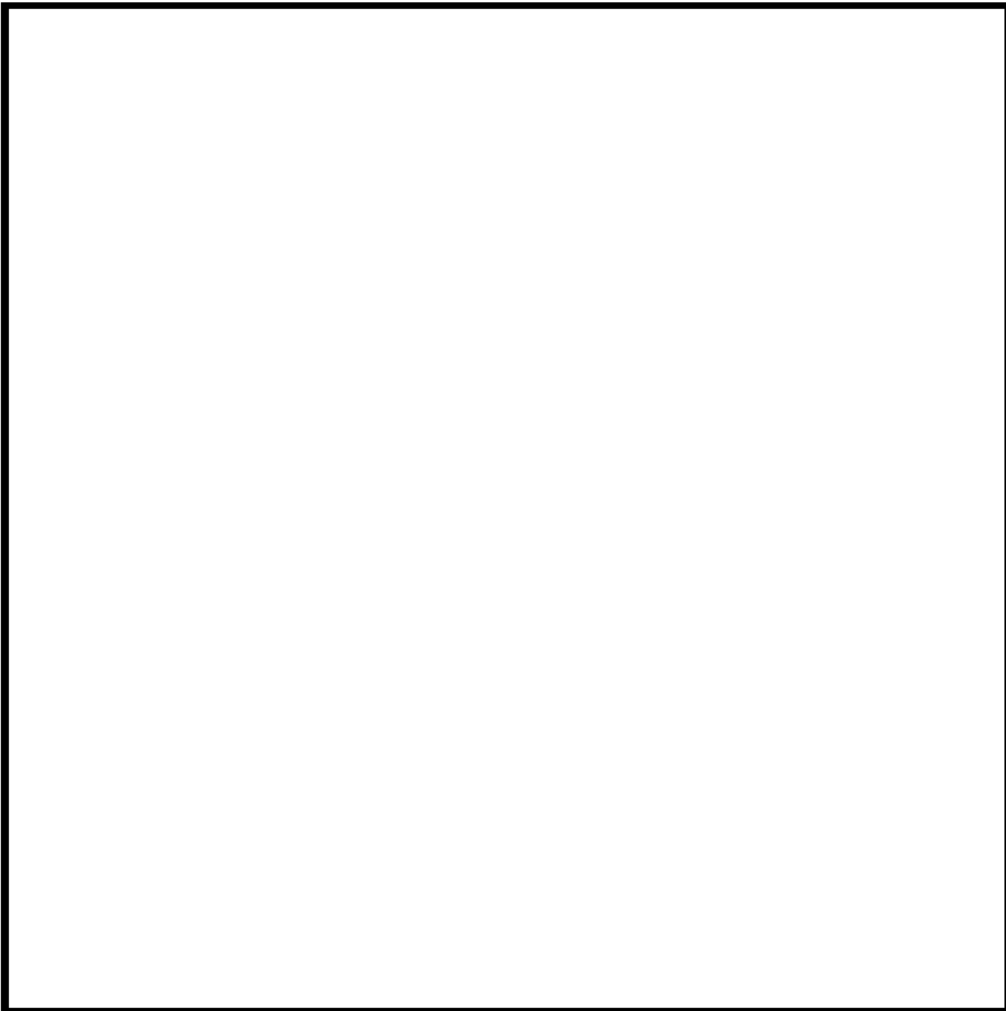
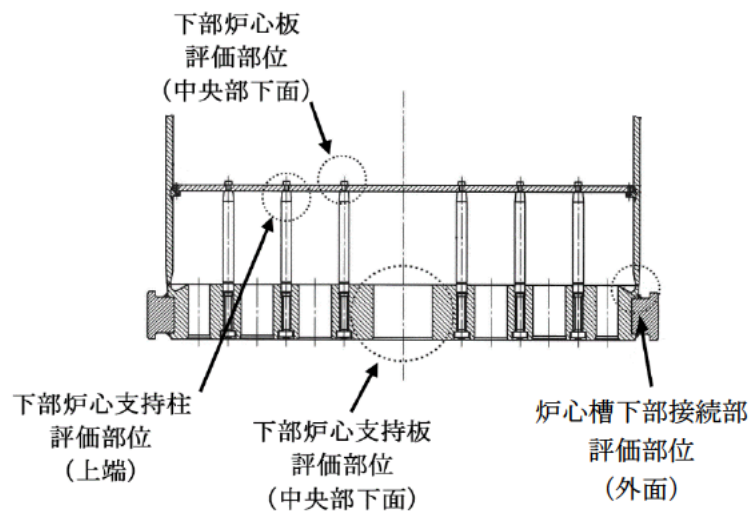
中央部下面 ($\sigma_3 - \sigma_1$)

| 応力強さ (単位: MPa) | | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$) |
|----------------|--------|-----|---------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 最大値 | 最小値 | Ke | 繰返しピーク応力強さ ^(B) | 実際の繰返し回数N | 許容繰返し回数N* | |
| 277.9 | -374.2 | 1.0 | 326.1 (365.4) | 4 | 25300 | 0.00016 |
| 56.5 | -374.2 | 1.0 | 215.4 (241.4) | 10 | 236000 | 0.00004 |
| 56.5 | -311.0 | 1.0 | 183.8 (205.9) | 4 | 655000 | 0.00001 |
| 42.8 | -311.0 | 1.0 | 176.9 (198.2) | 2 | 858000 | 0.00000 |
| 42.8 | -213.8 | 1.0 | 128.3 (143.8) | 14 | 2920000 | 0.00000 |
| 42.8 | -101.6 | 1.0 | 72.2 (80.9) | 64 | — | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00021

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.001



下部炉心構造物組立体 評価点

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

| 応力強さ (単位: MPa) | | 繰返し回数 | | 疲労係数 $(=\frac{N}{N*})$ | | |
|----------------|--------|---------------------------|----------------|------------------------|-----------|---------|
| 最大値 | 最小値 | 繰返しピーク応力強さ ^(B) | 実際の繰返し回数N | | 許容繰返し回数N* | |
| 371.8 | -292.0 | 1.0 | 331.9 (365.6) | 14 | 25200 | 0.00056 |
| 318.1 | -157.0 | 1.0 | 237.6 (261.7) | 4 | 148000 | 0.00003 |
| 279.7 | -157.0 | 1.0 | 218.3 (240.5) | 6 | 241000 | 0.00002 |
| 243.5 | -157.0 | 1.0 | 200.3 (220.6) | 120 | 413000 | 0.00029 |
| 243.5 | -148.4 | 1.0 | 195.9 (215.9) | 130 | 473000 | 0.00027 |
| 243.5 | -148.4 | 1.0 | 195.9 (215.9) | 636 | 473000 | 0.00134 |
| 143.6 | -148.4 | 1.0 | 146.0 (160.8) | 130 | 1840000 | 0.00007 |
| 0.0 | -148.4 | 1.0 | 74.2 (81.7) | 120 | — | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00259

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.003

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

| 応力強さ (単位: MPa) | | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$) |
|----------------|--------|-----|---------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 最大値 | 最小値 | Ke | 繰返しピーク応力強さ ^(注) | 実際の繰返し回数N | 許容繰返し回数N* | |
| 0.0 | -660.9 | 1.0 | 330.4 (364.0) | 14 | 25700 | 0.00054 |
| 0.0 | -529.9 | 1.0 | 265.0 (291.9) | 116 | 81200 | 0.00143 |
| -256.0 | -529.9 | 1.0 | 136.9 (150.9) | 6 | 2370000 | 0.00000 |
| -332.4 | -529.9 | 1.0 | 98.8 (108.8) | 14 | 14300000 | 0.00000 |
| -361.4 | -529.9 | 1.0 | 84.3 (92.8) | 64 | ————— | 0.0 |

疲労累積係数= 0.00198

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.002

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

| 応力強さ (単位: MPa) | | 繰返し回数 | | 疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$ | | |
|----------------|--------|---------------------------|----------------|-------------------------|-----------|---------|
| 最大値 | 最小値 | 繰返しピーク応力強さ ^(注) | 実際の繰返し回数N | | 許容繰返し回数N* | |
| 536.7 | -322.6 | 1.0 | 429.6 (473.3) | 6 | 7520 | 0.00080 |
| 465.6 | -322.6 | 1.0 | 394.1 (434.2) | 8 | 10700 | 0.00075 |
| 465.6 | 0.0 | 1.0 | 232.8 (256.5) | 6 | 165000 | 0.00004 |
| 363.8 | 0.0 | 1.0 | 181.9 (200.4) | 64 | 795000 | 0.00008 |
| 340.9 | 0.0 | 1.0 | 170.5 (187.8) | 4 | 1110000 | 0.00000 |
| 296.8 | 0.0 | 1.0 | 148.4 (163.5) | 56 | 1750000 | 0.00003 |
| 296.8 | 235.9 | 1.0 | 30.4 (33.5) | 74 | — | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00170

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.002

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

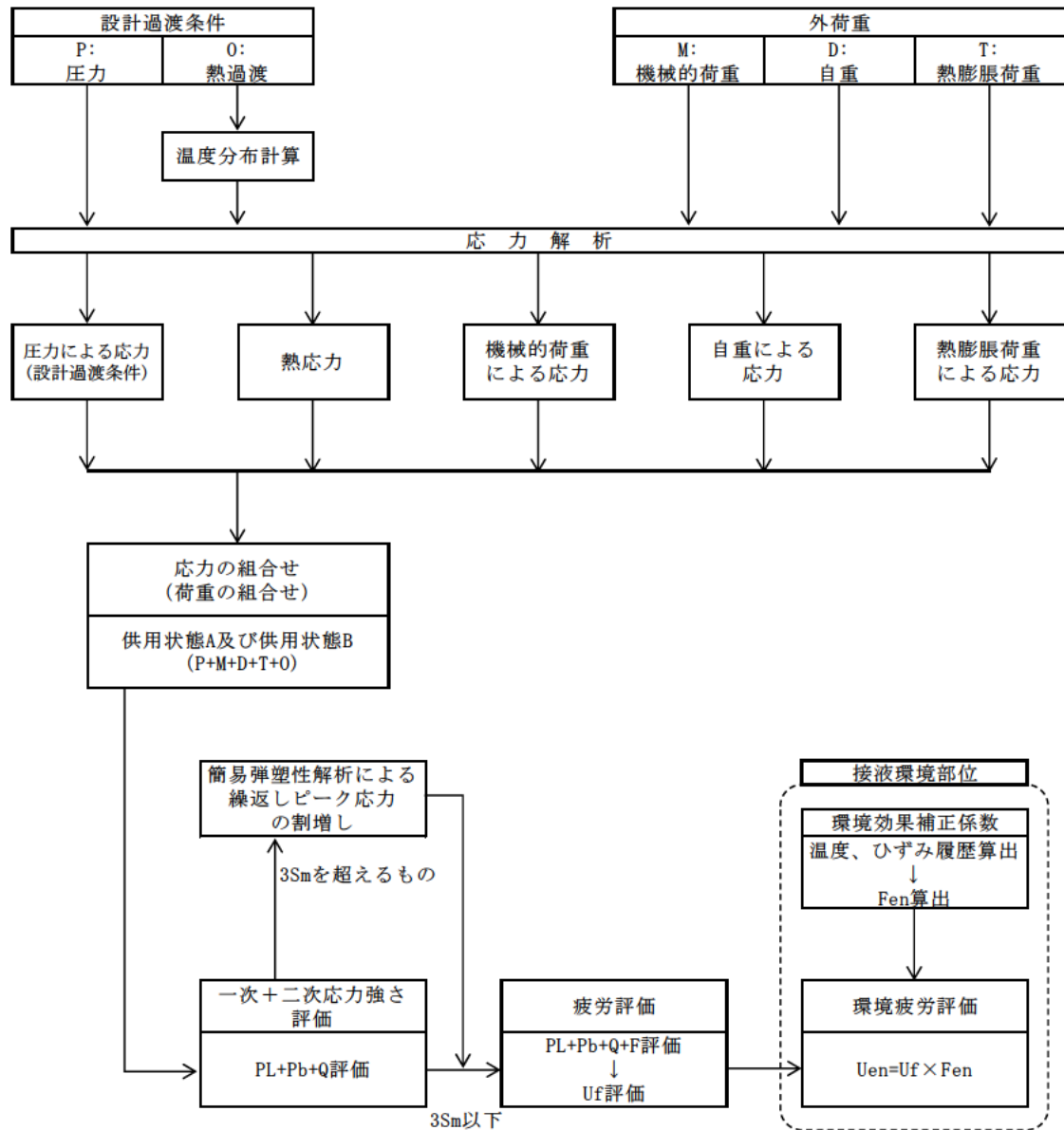
外面 ($\sigma_2 - \sigma_3$)

| | | 応力強さ (単位: MPa) | | 繰返し回数 | | 疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$) |
|-------|--------|----------------|---------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 最大値 | 最小値 | Ke | 繰返しピーク応力強さ ^(注) | 実際の繰返し回数N | 許容繰返し回数N* | |
| 128.9 | -148.1 | 1.0 | 138.5 (152.6) | 6 | 2260000 | 0.00000 |
| 115.7 | -148.1 | 1.0 | 131.9 (145.3) | 8 | 2790000 | 0.00000 |
| 115.7 | -33.2 | 1.0 | 74.5 (82.0) | 6 | ————— | 0.0 |

疲労累積係数 = 0.00001

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.001



備考：熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

K e 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

| 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 | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | |
| F | 1A1 | 584.2 | -260.5 | 1.00 | 422.4 | 473.3 | 6 | 7520 | 0.00080 | 9.960 | 0.00795 |
| E | 1A1 | 315.1 | -260.5 | 1.00 | 287.8 | 322.5 | 14 | 47300 | 0.00030 | 9.409 | 0.00278 |
| A-2 | 1A1 | 180.5 | -260.5 | 1.00 | 220.5 | 247.1 | 110 | 204000 | 0.00054 | 12.615 | 0.00680 |
| A-2 | D-1 | 180.5 | -250.6 | 1.00 | 215.6 | 241.6 | 4 | 235000 | 0.00002 | 10.190 | 0.00017 |
| A-2 | B-1 | 180.5 | -204.6 | 1.00 | 192.6 | 215.8 | 16 | 474000 | 0.00003 | 13.608 | 0.00046 |
| C | B-1 | 173.2 | -204.6 | 1.00 | 188.9 | 211.7 | 64 | 538000 | 0.00012 | 1.000 | 0.00012 |
| D-2 | B-1 | 158.9 | -204.6 | 1.00 | 181.7 | 203.7 | 14 | 708000 | 0.00002 | 1.000 | 0.00002 |
| B-2 | B-1 | 127.8 | -204.6 | 1.00 | 166.2 | 186.3 | 792 | 1140000 | 0.00069 | 1.000 | 0.00069 |
| B-2 | D-2 | 127.8 | -83.5 | 1.00 | 105.7 | 118.4 | 14 | 7570000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| B-2 | A-2 | 127.8 | -38.6 | 1.00 | 83.2 | 93.2 | 59 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.01900 |

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.020

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

| 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' | | | | | |
| NSS | D-1 | 0.0 | -512.7 | 1.00 | 256.4 | 287.3 | 4 | 88500 | 0.00005 | 6.799 | 0.00031 |
| NSS | B-1 | 0.0 | -362.2 | 1.00 | 181.1 | 203.0 | 126 | 726000 | 0.00017 | 1.000 | 0.00017 |
| F | B-1 | -82.8 | -362.2 | 1.00 | 139.7 | 156.6 | 6 | 2020000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| E | B-1 | -84.9 | -362.2 | 1.00 | 138.7 | 155.4 | 14 | 2080000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| D-2 | B-1 | -207.3 | -362.2 | 1.00 | 77.5 | 86.8 | 14 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計: | | | | | | | | | | | 0.00049 |

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF: 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

| 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' | | | | | |
| D-1 | E | 277.9 | -374.2 | 1.00 | 326.1 | 365.4 | 4 | 25300 | 0.00016 | 6.605 | 0.00104 |
| D-2 | E | 56.5 | -374.2 | 1.00 | 215.4 | 241.4 | 10 | 236000 | 0.00004 | 6.482 | 0.00027 |
| D-2 | F | 56.5 | -311.0 | 1.00 | 183.8 | 205.9 | 4 | 656000 | 0.00001 | 1.000 | 0.00001 |
| B-1 | F | 42.8 | -311.0 | 1.00 | 176.9 | 198.2 | 2 | 858000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| B-1 | D-2 | 42.8 | -213.8 | 1.00 | 128.3 | 143.8 | 14 | 2920000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| B-1 | C | 42.8 | -101.6 | 1.00 | 72.2 | 80.9 | 64 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.00133 |

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.002

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

| 通過条件 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 | | 実通過 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' | | | | | |
| E | D-2 | 371.8 | -292.0 | 1.00 | 331.9 | 365.6 | 14 | 25200 | 0.00056 | 12.610 | 0.00701 |
| D-1 | 1A1 | 318.1 | -157.0 | 1.00 | 237.6 | 261.7 | 4 | 148000 | 0.00003 | 5.944 | 0.00016 |
| F | 1A1 | 279.7 | -157.0 | 1.00 | 218.3 | 240.5 | 6 | 241000 | 0.00002 | 9.979 | 0.00025 |
| B-1 | 1A1 | 243.5 | -157.0 | 1.00 | 200.3 | 220.6 | 120 | 413000 | 0.00029 | 14.547 | 0.00423 |
| B-1 | A-2 | 243.5 | -148.4 | 1.00 | 195.9 | 215.9 | 130 | 473000 | 0.00027 | 13.804 | 0.00379 |
| B-1 | B-1 | 243.5 | -148.4 | 1.00 | 195.9 | 215.9 | 636 | 473000 | 0.00134 | 7.468 | 0.01094 |
| A-2 | B-1 | 143.6 | -148.4 | 1.00 | 146.0 | 160.8 | 130 | 1840000 | 0.00007 | 1.000 | 0.00007 |
| NSS | B-1 | 0.0 | -148.4 | 1.00 | 74.2 | 81.7 | 120 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.02555 |

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.026

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

| 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' | | | | | |
| NSS | D-2 | 0.0 | -660.9 | 1.00 | 330.4 | 364.0 | 14 | 25700 | 0.00054 | 17.066 | 0.00930 |
| NSS | B-2 | 0.0 | -529.9 | 1.00 | 265.0 | 291.9 | 116 | 81200 | 0.00143 | 13.987 | 0.01998 |
| F | B-2 | -256.0 | -529.9 | 1.00 | 136.9 | 150.9 | 6 | 2370000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| E | B-2 | -332.4 | -529.9 | 1.00 | 98.8 | 108.8 | 14 | 14300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| C | B-2 | -361.4 | -529.9 | 1.00 | 84.3 | 92.8 | 64 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計 : | | | | | | | | | | | 0.02928 |

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.030

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

| 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' | | | | | |
| F | D-2 | 536.7 | -322.6 | 1.00 | 429.6 | 473.3 | 6 | 7520 | 0.00080 | 13.596 | 0.01085 |
| E | D-2 | 465.6 | -322.6 | 1.00 | 394.1 | 434.2 | 8 | 10700 | 0.00075 | 13.259 | 0.00991 |
| E | NSS | 465.6 | 0.0 | 1.00 | 232.8 | 256.5 | 6 | 165000 | 0.00004 | 6.719 | 0.00024 |
| C | NSS | 363.8 | 0.0 | 1.00 | 181.9 | 200.4 | 64 | 795000 | 0.00008 | 1.000 | 0.00008 |
| D-1 | NSS | 340.9 | 0.0 | 1.00 | 170.5 | 187.8 | 4 | 1110000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| A-2 | NSS | 296.8 | 0.0 | 1.00 | 148.4 | 163.5 | 56 | 1750000 | 0.00003 | 1.000 | 0.00003 |
| A-2 | B-2 | 296.8 | 235.9 | 1.00 | 30.4 | 33.5 | 74 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.02112 |

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.022

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

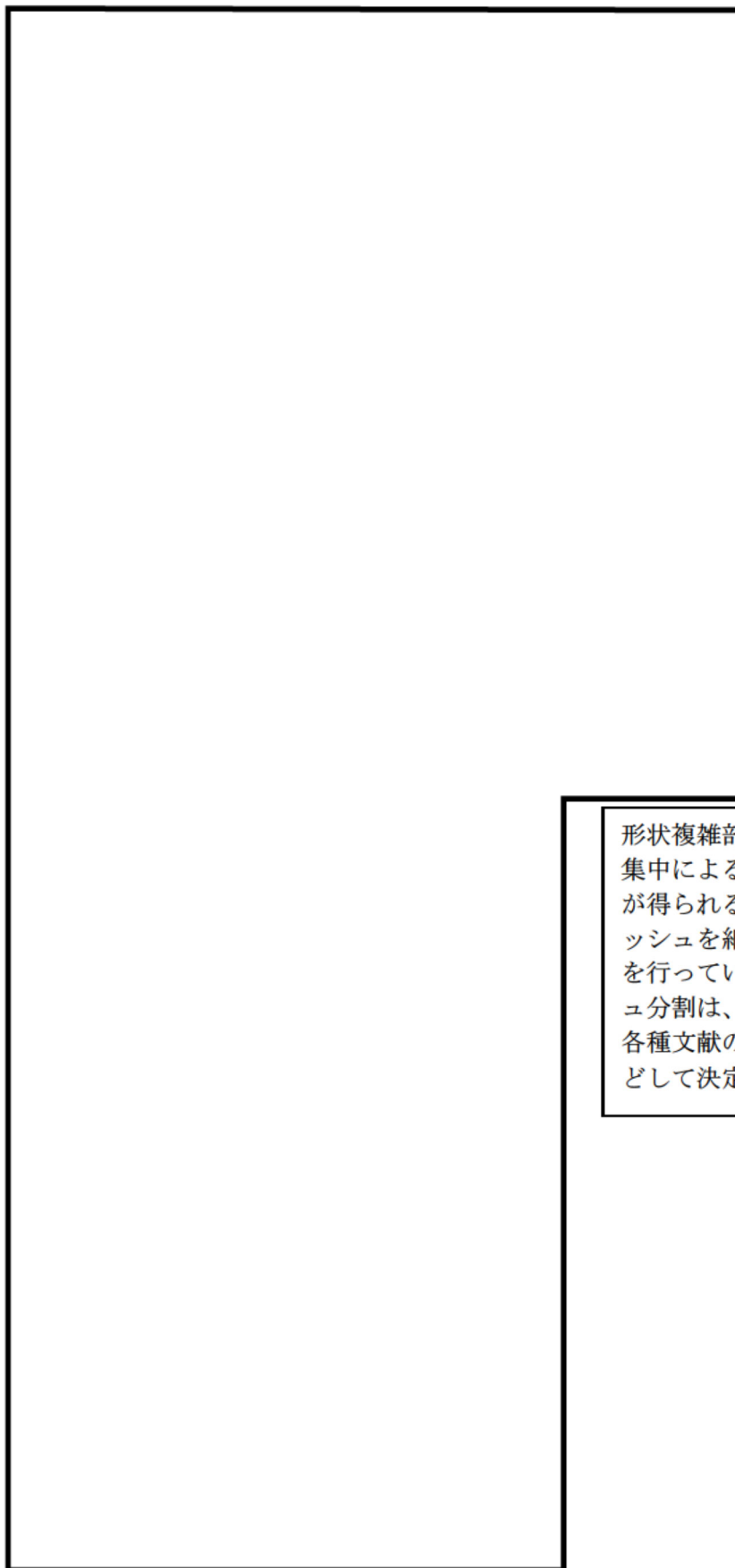
| 過渡条件 記号 | | 一次+二次+ ピーク応力強さ | | 割り増し 係数 KE | 繰返しピーク 応力強さ | | 実過渡 回数 n | 許容繰返し 回数 n* | 疲労累積係数 u | 環境効果 補正係数 fen | 環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen | |
|------------|-----|-------------------|--------|------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------------|----------------------------|---------|
| A | B | smax | smin | | 補正前 salt | 補正後 salt' | | | | | | |
| F | D-2 | 128.9 | -148.1 | 1.00 | 138.5 | 152.6 | 6 | 2260000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| E | D-2 | 115.7 | -148.1 | 1.00 | 131.9 | 145.3 | 8 | 2790000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| E | 1A1 | 115.7 | -33.2 | 1.00 | 74.5 | 82.0 | 6 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 | |
| | | | | | | | | | | | 合計: | 0.00001 |

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

: 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.001

| タイトル | 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠について | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|------------|-----------------|------|--|------|--|-----|--|-----|--|------|----|------------|------|-----------|---------------------------------|-----|----|----------|-----------|-----------------------|
| 説明 | <p>加圧器スカート溶接部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> <table border="1" data-bbox="475 779 1310 981"> <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>節点数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値（設計応力強さ）を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 1099 1321 1261"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345℃</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当)</td> <td>184</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 1 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、応力フローチャートを添付 2 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="486 1653 1305 1771"> <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 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 1 に示す。</p> | 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 | 要素種類 | | 要素次数 | | 節点数 | | 要素数 | | 評価部位 | 材料 | 設計応力 (MPa) | 345℃ | 下部胴板、下部鏡板 | SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当) | 184 | 状態 | 荷重の組み合わせ | 供用状態 A, B | 圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡 |
| 解析プログラム | ABAQUS Ver. 6.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素種類 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素次数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 節点数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要素数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 評価部位 | 材料 | 設計応力 (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 345℃ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下部胴板、下部鏡板 | SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当) | 184 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 状態 | 荷重の組み合わせ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 供用状態 A, B | 圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



形状複雑部に対しては、応力集中によるピーク応力増加分が得られるように、FEMのメッシュを細かく分割して解析を行っている。FEMのメッシュ分割は、過去の解析結果や各種文献の知見を反映するなどして決定している。

加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点および解析モデル

疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

| 評価点 | U(S12) | U(S23) | U(S31) |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0 | 0.00007 | 0.00000 |
| 2 | 0.0 | 0.00000 | 0.0 |
| 3 | 0.0 | 0.00001 | 0.00017 |
| 4 | 0.00000 | 0.00001 | 0.00175 |
| 5 | 0.00099 | 0.00000 | 0.00444 |
| 6 | 0.00103 | 0.0 | 0.00179 |
| 7 | 0.14417 | 0.00000 | 0.13990 |
| 8 | 0.00166 | 0.00444 | 0.03429 |

許容値 $U_F = 1.0$

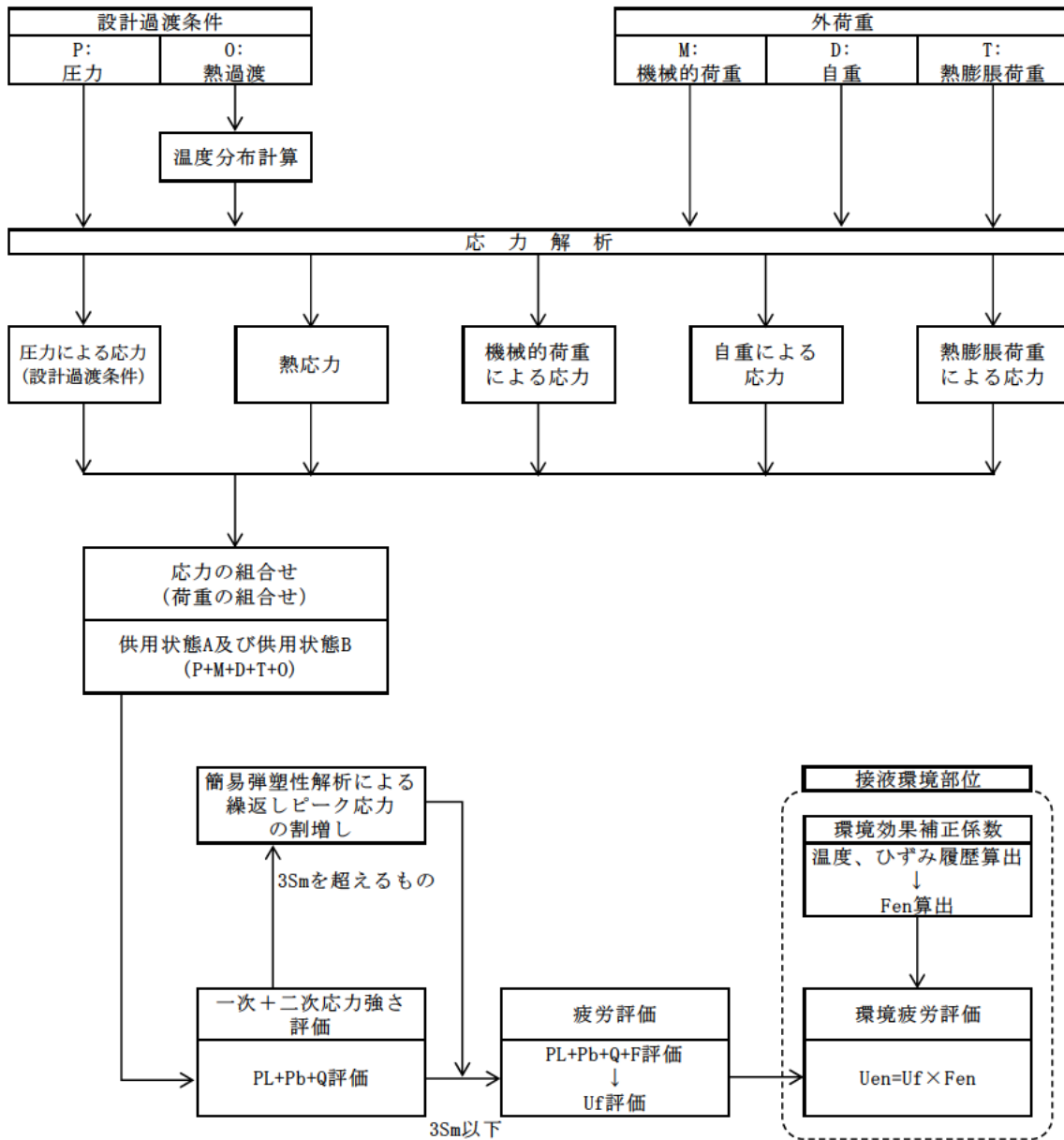
疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

評価点 - 7 (S12)

| 応力強さ (単位: MPa) | | | | | 繰返し回数 | | 疲労係数 (=N/N*) |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| 極大値 | 極小値 | K_e | ALT | ALT' | N | N* | |
| 122.6 | -697.8 | 1.33 | 545.5 | 634.4 | 69 | 737 | 0.09362 |
| 40.2 | -643.1 | 1.0 | 341.6 | 397.3 | 4 | 2790 | 0.00143 |
| 40.2 | -621.1 | 1.0 | 330.6 | 384.5 | 7 | 3090 | 0.00227 |
| 40.2 | -611.2 | 1.0 | 325.7 | 378.7 | 2 | 3250 | 0.00062 |
| 40.2 | -607.4 | 1.0 | 323.8 | 376.5 | 3 | 3310 | 0.00091 |
| 40.2 | -604.4 | 1.0 | 322.3 | 374.8 | 45 | 3360 | 0.01339 |
| 0.0 | -604.4 | 1.0 | 302.2 | 351.5 | 130 | 4120 | 0.03155 |
| -168.6 | -604.4 | 1.0 | 217.9 | 253.4 | 2 | 11100 | 0.00018 |
| -342.2 | -604.4 | 1.0 | 131.1 | 152.5 | 2 | 61300 | 0.00003 |
| -432.2 | -604.4 | 1.0 | 86.1 | 100.2 | 61 | 357000 | 0.00017 |
| -491.2 | -604.4 | 1.0 | 56.6 | 65.9 | 2 | | 0.0 |
| 疲労累積係数 = | | | | | | | 0.14417 |

K_e : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.145



備考：機械的荷重は作用しない。また、接液環境部位はない。

応力評価フローチャート

| | |
|------|--|
| タイトル | 詳細評価法による環境効果補正係数の算出手順について |
| 説明 | <p>1次冷却材ポンプ吐出ノズルを例に、環境疲労評価における、詳細評価法による環境効果補正係数 F_{en} の算出手順を添付-1に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

詳細評価法による環境効果補正係数 F_{en} の算出手順について

1. はじめに

本資料は、環境疲労評価手法のうち、詳細評価手法について纏めたものである。また、本資料では、1次冷却材ポンプの吐出ノズル（材料：SA351CF8（SCS13A相当））の値を用いて説明を行う。

2. 適用規格

日本機械学会「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」
(JSME S NF1-2009、以降「環境疲労評価手法」と記載する。)

3. 評価手順

(1) 評価手法

環境疲労評価は、環境疲労評価手法に従い評価を行うものとする。設計建設規格に基づき算出した疲労累積係数 (U) に環境効果補正係数 (F_{en}) を掛け合わせるにより求める。

$$U_{en} = U \times F_{en}$$

(2) 環境効果補正係数 (F_{en})

環境疲労評価手法のオーステナイト系ステンレス鋼 (PWR プラント 1次系環境) の F_{en} の算出過程を示す。

$$\ln(F_{en}) = (C - \dot{\epsilon}^*) \times T^*$$

ここで、

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(49.9) \quad (\dot{\epsilon} > 49.9\%/s)$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(\dot{\epsilon}) \quad (0.0004\%/s \leq \dot{\epsilon} \leq 49.9\%/s) \quad (\text{鋳鋼以外})$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(\dot{\epsilon}) \quad (0.00004\%/s \leq \dot{\epsilon} \leq 49.9\%/s) \quad (\text{鋳鋼})$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(0.0004) \quad (\dot{\epsilon} < 0.0004\%/s) \quad (\text{鋳鋼以外})$$

$$\dot{\epsilon}^* = \ln(0.00004) \quad (\dot{\epsilon} < 0.00004\%/s) \quad (\text{鋳鋼})$$

$$T^* = 0.000782 \times T \quad (T \leq 325 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T^* = 0.254 \quad (T > 325 \text{ } ^\circ\text{C})$$

C : 環境効果補正係数の算出のための定数

$\dot{\epsilon}$: ひずみ上昇過程でのひずみ速度

$\dot{\epsilon}^*$: ひずみ速度依存パラメータ

T : 温度

T^* : 温度依存パラメータ

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

ひずみの時刻歴変動が得られる場合で、ひずみの時刻歴を用いて以下の方法によって時刻毎に F_{en} を算出し合計することで環境効果補正係数を求める。また、環境効果はひずみの増加時のひずみ速度に強く依存することから、環境疲労評価は過渡中のひずみが連続増加する範囲において実施する。

$$F_{en} = \sum_{k=1}^n F_{en,k} \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta \varepsilon}$$

応力サイクルの F_{en,det} は次式で求める。

$$F_{en,det} = \frac{F_{en,det,A} \times (\varepsilon_{max,A} - \varepsilon_{min,A}) + F_{en,det,B} \times (\varepsilon_{max,B} - \varepsilon_{min,B})}{(\varepsilon_{max,A} - \varepsilon_{min,A}) + (\varepsilon_{max,B} - \varepsilon_{min,B})}$$

疲労累積係数は次式で求める。

$$U_{en} = \sum_{i=1}^n U_i \times F_{en,det,i}$$

ある区間 k におけるひずみ速度

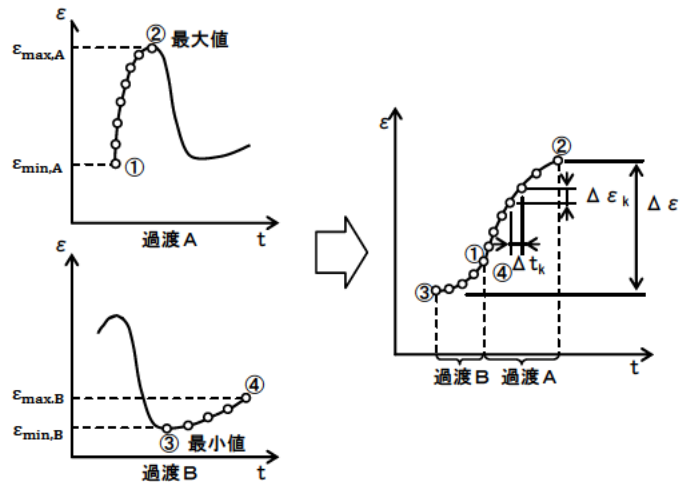
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

過渡 A の環境効果補正係数

$$F_{en,det,A} = \sum_{k=1}^m F_{en,k} \frac{\Delta \varepsilon_k}{(\varepsilon_{max,A} - \varepsilon_{min,A})}$$

過渡 B の環境効果補正係数

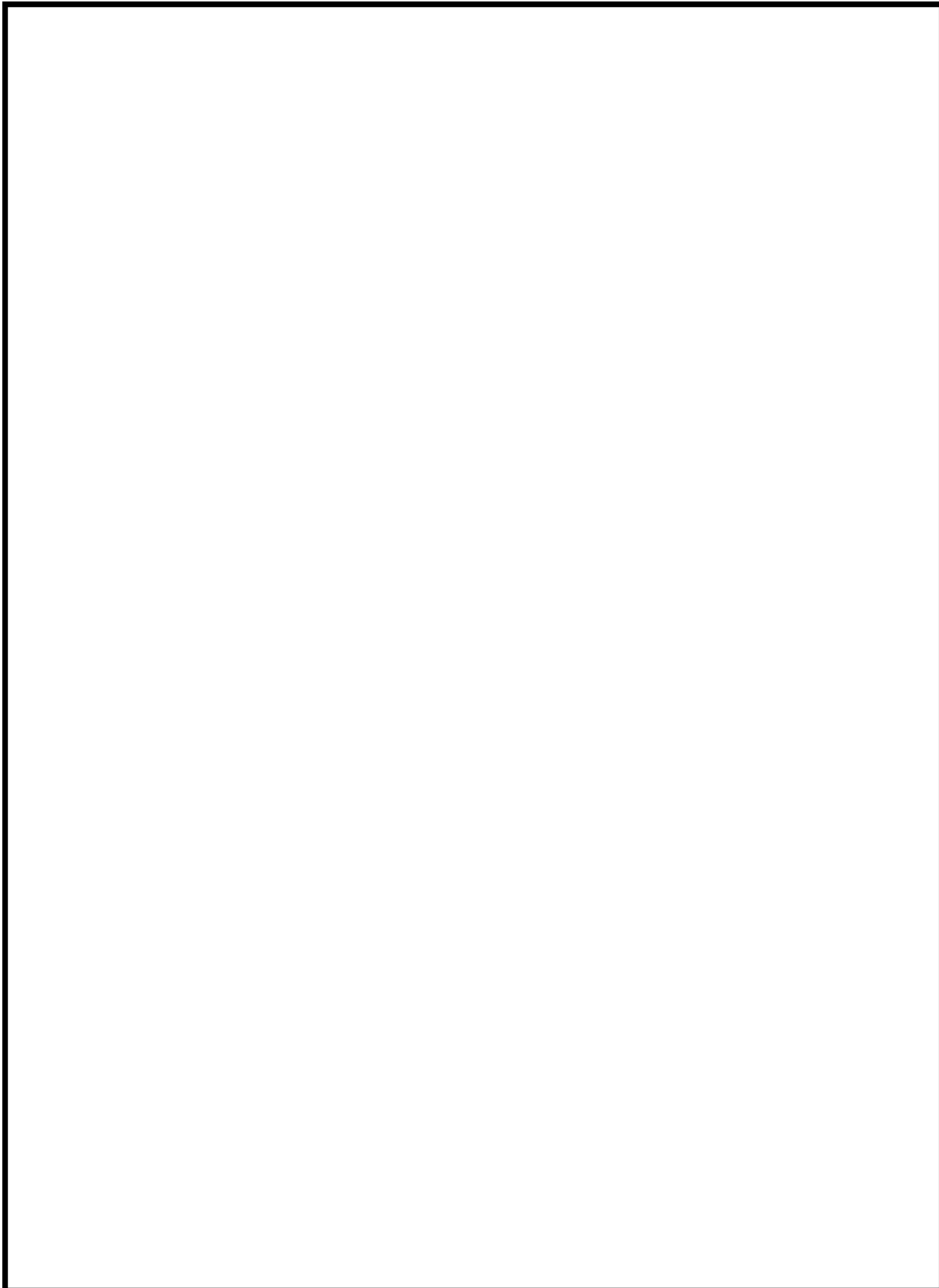
$$F_{en,det,B} = \sum_{k=1}^m F_{en,k} \frac{\Delta \varepsilon_k}{(\varepsilon_{max,B} - \varepsilon_{min,B})}$$



(4) 1次系冷却材ポンプの算出例

① ひずみと温度履歴

ひずみと温度履歴の解析結果を図1に示す。図1よりひずみの上昇過程において微小区間毎の F_{en} 、 k を算出し、ひずみ量による重み付け積分により、応力サイクルに対する F_{en} を求める。



② 微小区間 k

図1より微小区間毎に読み取ったデジタル値を表1に示す。表1より(2)で示した方法を用いて F_{en} を算出する。

表1 ひずみ及び温度履歴のデジタル値

詳細評価手法による評価

| 過渡 A | | | | Temp | E | ε | Time |
|------|-----|-------|--|---------|---|------|------|
| 1 A | LB1 | SI | | | | | |
| | 18 | -23.9 | | 179720. | | 区間 1 | |
| | 19 | 10.7 | | 181356. | | | |
| | 19 | 10.7 | | 181356. | | | |
| | 20 | 52.5 | | 183040. | | | |
| | 20 | 52.5 | | 183040. | | | |
| | 21 | 174.5 | | 186808. | | | |
| | 21 | 174.5 | | 186808. | | | |
| | 22 | 348.5 | | 193913. | | | |
| | 22 | 348.5 | | 193913. | | | |
| | 23 | 370.9 | | 194900. | | | |

| 過渡 B | | | | Temp | E | ε | Time |
|------|-----|--------|--|---------|---|---|------|
| 1 B | LA1 | SI | | | | | |
| | 7 | -335.6 | | 177128. | | | |
| | 8 | -333.8 | | 176584. | | | |
| | 8 | -333.8 | | 176584. | | | |
| | 9 | -307.2 | | 176576. | | | |
| | 9 | -307.2 | | 176576. | | | |
| | 10 | -283.2 | | 176576. | | | |
| | 10 | -283.2 | | 176576. | | | |
| | 11 | -243.9 | | 176572. | | | |
| | 11 | -243.9 | | 176572. | | | |
| | 12 | -227.9 | | 176572. | | | |
| | 12 | -227.9 | | 176572. | | | |
| | 13 | -213.7 | | 176568. | | | |

③ 環境効果補正係数(Fen)

ここでは、過渡 A を用いて Fen を算出過程を説明する。まず、過渡 A について区間 1 について(2)で示したパラメータより算出した結果を以下に示す。

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}_1 = 0.200521 \times 10^{-4}$$

$$\dot{\epsilon}_1^* = -10.1266311$$

$$T_1 = \boxed{}$$

$$T_1^* = \boxed{}$$

$$F_{en,1} = e^{(C-\dot{\epsilon}_1^*) \times T_1^*} = e^{(3.910 - (-10.1266311)) \times \boxed{}} = 12.282$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta \epsilon_1 = \boxed{} - \boxed{} = 0.01923$$

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

$$F_{en,det,A,1} = F_{en,1} \frac{\Delta \epsilon_1}{(\epsilon_{max,A} - \epsilon_{min,A})} = 12.282 \times \frac{0.01923}{\boxed{} - \boxed{}} = 1.160$$

以上の算出過程をすべての区間で実施し、足し合わせることで Fen, det, A を算出する。

また、過渡 B についても同様に算出し、Fen, det, A, Fen, det, B の算出結果を以下に示す。

詳細評価手法による評価

| 1 A | 1B1 | SI | Temp | F | ϵ | Time | $\epsilon \cdot$ | Temp | Fen, k | Δ Fen |
|-----|-----|--------|------|---------|------------|------|------------------|------|--------|--------------|
| | 18 | -23.9 | | 179720. | | | 0.201E-04 | | 12.282 | 1.160 |
| | 19 | 10.7 | | 181356. | | | 0.238E-04 | | 10.441 | 1.168 |
| | 19 | 10.7 | | 181356. | | | 0.169E-04 | | 8.885 | 2.824 |
| | 20 | 52.5 | | 183040. | | | 0.129E-04 | | 4.644 | 1.969 |
| | 20 | 52.5 | | 183040. | | | 0.110E-04 | | 1.490 | 0.077 |
| | 21 | 174.5 | | 186808. | | | | | | |
| | 21 | 174.5 | | 186808. | | | | | | |
| | 22 | 348.5 | | 193913. | | | | | | |
| | 22 | 348.5 | | 193913. | | | | | | |
| | 23 | 370.9 | | 194900. | | | | | | |
| | | | | | | | | | total | 7.198 |
| 1 B | 1A1 | SI | Temp | F | ϵ | Time | $\epsilon \cdot$ | Temp | Fen, k | Δ Fen |
| | 7 | -335.6 | | 177128. | | | 0.448E-06 | | 22.937 | 0.133 |
| | 8 | -333.8 | | 176584. | | | 0.204E-04 | | 22.987 | 5.057 |
| | 8 | -333.8 | | 176584. | | | 0.184E-04 | | 22.987 | 4.575 |
| | 9 | -307.2 | | 176576. | | | 0.150E-04 | | 23.012 | 7.484 |
| | 9 | -307.2 | | 176576. | | | 0.123E-04 | | 23.012 | 3.058 |
| | 10 | -283.2 | | 176576. | | | 0.108E-04 | | 23.038 | 2.697 |
| | 10 | -283.2 | | 176576. | | | | | | |
| | 11 | -243.9 | | 176572. | | | | | | |
| | 11 | -243.9 | | 176572. | | | | | | |
| | 12 | -227.9 | | 176572. | | | | | | |
| | 12 | -227.9 | | 176572. | | | | | | |
| | 13 | -213.7 | | 176568. | | | | | | |
| | | | | | | | | | total | 23.004 |

以上より、過渡 A 及び過渡 B について、Fen, det, A、Fen, det, B と各過渡の最大ひずみと最小ひずみを以下の式を用いて Fen, det を算出する。

$$\begin{aligned}
 F_{\text{en,det}} &= \frac{F_{\text{en,det,A}} \times (\epsilon_{\text{max,A}} - \epsilon_{\text{min,A}}) + F_{\text{en,det,B}} \times (\epsilon_{\text{max,B}} - \epsilon_{\text{min,B}})}{(\epsilon_{\text{max,A}} - \epsilon_{\text{min,A}}) + (\epsilon_{\text{max,B}} - \epsilon_{\text{min,B}})} \\
 &= \frac{7.198 \times (\quad - \quad) + 23.004 \times ((\quad - \quad))}{ \quad - \quad + (\quad - \quad) } \\
 &= 11.173
 \end{aligned}$$

過渡条件の組み合わせにより環境 U.F.= $U \times Fen$ を算出し、足し合わせる。結果を表2に示す。

表2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

| 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 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 | | | | | |
| 1B1 | 1A1 | 370.9 | -335.6 | 1.79 | 633.9 | 699.5 | 69 | 1710 | 0.04035 | 11.173 | 0.45085 |
| 2I2 | 2I1 | 288.1 | -297.1 | 1.49 | 435.5 | 480.7 | 61 | 7070 | 0.00863 | 7.112 | 0.06136 |
| 2D3 | 2B1 | 245.8 | -136.3 | 1.00 | 191.0 | 210.8 | 2 | 555000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2G1 | 2B1 | 134.5 | -136.3 | 1.00 | 135.4 | 149.4 | 2 | 2470000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2A1 | 125.4 | -106.6 | 1.00 | 116.0 | 128.0 | 7 | 4820000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1G1 | 125.4 | -58.2 | 1.00 | 91.8 | 101.3 | 3 | 34800000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2C1 | 125.4 | -54.5 | 1.00 | 90.0 | 99.3 | 2 | 47700000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2D1 | 125.4 | -53.7 | 1.00 | 89.6 | 98.9 | 6 | 52300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 2G1 | 125.4 | -53.0 | 1.00 | 89.2 | 98.5 | 2 | 60200000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 1I1 | 1J1 | 125.4 | -52.7 | 1.00 | 89.0 | 98.3 | 42 | 64300000 | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 2I1 | 2I2 | 43.6 | -52.2 | 1.49 | 71.3 | 78.7 | 61 | ----- | 0.00000 | 1.000 | 0.00000 |
| 合計： | | | | | | | | | | | 0.51221 |

→環境 UF: 0.513

| | |
|------|---|
| タイトル | 有限要素法解析における応力分類について |
| 説明 | <p>1. 応力分類の方法 評価断面において、FEM 解析値を JSME GNR-2130 の考え方にに基づき、膜応力、曲げ応力、ピーク応力に分類する。 図 1 に加圧器スプレイ配管の 3 次元解析の例を示す。</p> <p>2. 評価断面の設定方法 評価候補断面（曲げ部、構造不連続部等）の中で、全節点の全時刻における最大ピーク応力強さを特定し、その最大ピーク応力強さを含む断面を、評価断面としている。</p> <p>3. ピーク応力強さの設定方法 ピーク応力強さは、各過渡事象の過渡条件に基づき、外荷重を考慮して応力履歴を算出し、時刻歴での最大応力をその過渡でのピーク応力強さとしている。</p> <p>4. 3次元解析モデルにおけるメッシュの管理方法 当社では、原子炉施設の許認可申請等に係る解析業務を行う際に、解析業務における品質管理を確実にを行うための調達管理のルールを定めている。具体的には、調達先に対して「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」（原子力安全推進協会）に従った品質管理の実施を要求し、当社も同ガイドラインに従って、調達先が定めた解析業務計画に従って実施しているプロセスの確認をしている。 そのプロセスの中には、「入力根拠の明確化」、「解析結果の検証」が定められており「入力根拠の明確化」では解析モデル作成に関する寸法、境界条件など数値の根拠が明示されることになる。「解析結果の検証」では入力データの確認の他に他の類似解析結果等との比較検証を行うことが含まれている。これらの活動が、解析実施者だけでなく審査者を含む組織として適切に実施していることを、当社は審査で確認している。 従って当社は、解析業務の調達先が、解析業務の FEM モデル作成について、明確な根拠をもとに作成され、その結果は過去の類似解析結果などと比較して妥当な結果となっていることを確認している。 例えば、ある調達先においては FEM モデルを作成するにあたって、構造不連続部のピーク応力が適切に計算されるように、適切なメッシュ分割になっていること、適切な評価断面を想定した分割になっていること等を「入力根拠の明確化」、「解析結果の検証」の段階で確認し、モデルの妥当性を確認している。そのようなチェックポイントは調達先内部のチェックシートを用いて組織的に確認している。 なお、具体的な解析モデル作成の知見は調達先のノウハウであり明示することは困難であるが、技術文献記載の知見や過去からの解析結果のフィードバックをもとにして、調達先社内標準、参照マニュアルが整備され、それらとの整合性を確認して解析者が FEM モデルを作成し、審査、承認を経て解析が実施されるしくみとなっている。</p> <p style="text-align: right;">以上</p> |



FEM 解析値

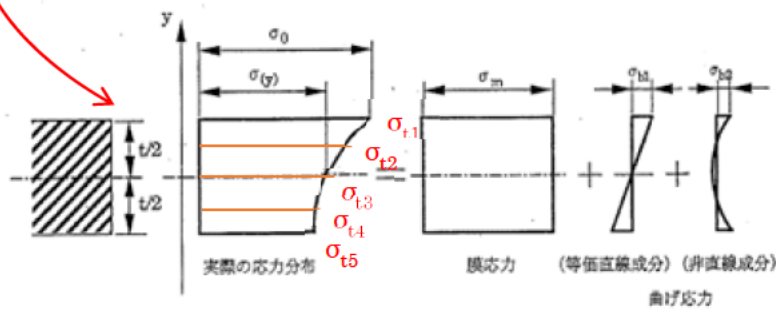
- $\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
- σ_{r1} 板厚方向応力
- σ_{t1} 軸方向応力
- $\sigma_{\theta 2}$
- σ_{r2}
- σ_{t2}
- ⋮
- ⋮
- $\sigma_{\theta 5}$
- σ_{r5}
- σ_{t5}



軸方向応力の抽出例

- σ_{t1}
- σ_{t2}
- σ_{t3}
- σ_{t4}
- σ_{t5}

2005 設計・建設規格 第I編 解説 第1章 GNR



解説図 GNR-2130-1 膜応力と曲げ応力の考え方

図1 加圧器スプレイ配管の3次元解析の応力分類概略図

| | |
|------|---|
| タイトル | 疲労評価に用いた過渡回数のうち過渡項目No.17「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」の過渡回数が30年目評価から40年目評価において減少している理由について |
| 説明 | <p>年平均過渡回数が「30年:0.1回/年」から「40年 <input type="text"/> 回/年」に減少した※こと、60年迄の残りの年数が「30年:36.3年」から「40年:24.3年」に減少したことから、40年目評価の過渡回数が少なくなっている。</p> <p>※ 40年目評価では、(増加分に1.5倍の裕度を取るため)過度な保守性を除くよう小数点以下第2位に切り上げることに変更した。一方、30年目評価では、他で余裕を取っていないことから小数点以下第1位に切り上げる手法としていた。</p> <p>・30年目評価における運転開始後60年時点の推定過渡回数の計算過程 $3(\text{回}) + 0.1(\text{回/年}) \times 36.3(\text{年}) = 6.63 \Rightarrow 7\text{回}$</p> <p>・40年目評価における運転開始後60年時点の推定過渡回数の計算過程 <math>3(\text{回}) + \text{<input type="text"/>}(\text{回/年}) \times 24.3(\text{年}) \times 1.5 = \text{<input type="text"/>} \Rightarrow 6\text{回}</math></p> <p style="text-align: right;">以 上</p> |

＜経年劣化傾向の評価＞

低サイクル疲労の評価について、30年目の評価と40年目の評価について、疲労累積係数の比較を実施した。疲労評価に用いた過渡回数の比較を表1に、主要な低サイクルによる疲労累積係数の予測評価の比較を表2に示す。

主な相違としては、30年目の評価後の供用実績を反映した過渡回数の変更に伴う相違が挙げられる。

原子炉容器等の60年時点での疲労累積係数において、30年目の評価よりも40年目の評価の方が大きくなっている機器・設備があるが、これは運転開始後60年時点の評価用過渡回数の設定にあたり、30年目の評価時には考慮していなかった余裕を40年目の評価においては考慮したためである。

なお、全ての機器の低サイクル疲労の評価では、30年目の評価後の供用実績を反映した過渡回数に変更した。

評価結果はいずれも許容値1を下回ること及び定期的に超音波探傷試験等を実施し、異常のないことを確認できていることから、低サイクル疲労に対する30年目の評価及びそれ以降の保全は有効であったと評価できる。

さらに、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において比較的疲労累積係数が高い原子炉容器出入口管台のノズルコーナ部に対して渦流探傷試験を実施し、疲労割れなどの有意な欠陥は認められなかったことから30年目及び40年目の疲労評価結果の妥当性が確認できたと考える。

表1 川内1号炉 疲労評価に用いた過渡回数の比較

| No. | 過 渡 項 目 | 運転開始後60年時点の推定値 | |
|-----|---------------------------------------|----------------|-------------|
| | | 30年目 の評価 | 40年目 の評価 |
| 1 | 起動(温度上昇率 55.6℃/h) | 68 | 69 |
| 2 | 停止(温度下降率 55.6℃/h) | 68 | 69 |
| 3 | 負荷上昇(負荷上昇率 5%/min) | 735 | 809 |
| 4 | 負荷減少(負荷減少率 5%/min) | 723 | 798 |
| 5 | 90%から100%へのステップ状負荷上昇 | 4 | 5 |
| 6 | 100%から90%へのステップ状負荷減少 | 8 | 6 |
| 7 | 100%からの大きいステップ状負荷減少 | 3 | 3 |
| 8 | 定常負荷運転時の変動 | - | - |
| 9 | 燃料交換 | 59 | 62 |
| 10 | 0%から15%への負荷上昇 | 73 | 72 |
| 11 | 15%から0%への負荷減少 | 59 | 61 |
| 12 | 1ループ停止/1ループ起動: 停止 | 1 | 2 |
| 13 | 1ループ停止/1ループ起動: 起動 | 1 | 2 |
| 14 | 負荷の喪失 | 7 | 7 |
| 15 | 外部電源喪失 | 4 | 4 |
| 16 | 1次冷却材流量の部分喪失 | 1 | 2 |
| 17 | 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 | 7 | 6 |
| 18 | 100%からの原子炉トリップ: 不注意な冷却を伴うトリップ | 1 | 2 |
| 19 | 100%からの原子炉トリップ: 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ | 1 | 2 |
| 20 | 1次冷却系の異常な減圧 | 1 | 2 |
| 21 | 制御棒クラスタの落下 | 2 | 2 |
| 22 | 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | 1 | 2 |
| 23 | 1次冷却系停止ループの誤起動 | 1 | 2 |
| 24 | タービン回転試験 | 2 | 2 |
| 25 | 1次系漏えい試験 | 61 | 61 |

表2 川内1号炉 主要な低サイクル疲労による疲労累積係数の予測評価の比較

| 機器・設備 | 部 位 | 60年時点の予測値 (()内は環境疲労を考慮した値) | |
|--------------------|----------------------|--------------------------------|------------------|
| | | 30年目 の評価 | 40年目 の評価 |
| 余熱除去ポンプ | ケーシング | 0.090 (0.407) | 0.090 (0.410) |
| 1次冷却材ポンプ | ケーシング脚部 | 0.079 (0.461) | 0.080 (0.467) |
| 蒸気発生器 [※] | 管板廻り | 0.074 (0.116) | 0.097 (0.117) |
| 原子炉容器 | スタッドボルト [※] | 0.199 (非接液部) | 0.204 (非接液部) |
| 1次冷却材管 | 加圧器サージ管台 | 0.027 (0.142) | 0.031 (0.162) |
| | 蓄圧タンク注入管台 | 0.004 (0.016) | 0.008 (0.031) |
| 玉形弁 | 加圧器水位制御弁 | 0.029 (0.388) | 0.051 (0.693) |
| スイング逆止弁 | 蓄圧タンク出口 第2逆止弁 | 0.051 (0.512) | 0.099 (0.915) |
| 炉内構造物 | 上部炉心支持板 | 0.003 (0.015) | 0.003 (0.020) |
| | 下部炉心板 | 0.003 (0.024) | 0.003 (0.026) |

※ 蒸気発生器及び原子炉容器のスタッドボルトについては取替えを実施している。