

川内原子力発電所 2 号炉 劣化状況評価  
(低サイクル疲労)

補足説明資料

2023年7月18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. 川内原子力発電所 1 号炉の高経年化評価との相違点について	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・圧力及び流量変化により、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。

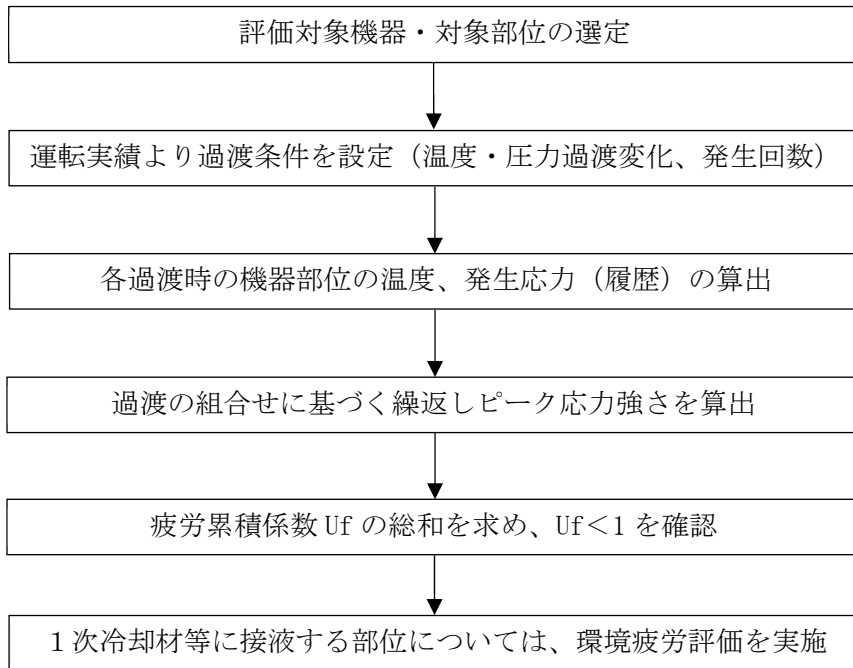


図1 低サイクル疲労の技術評価フロー

#### (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。）



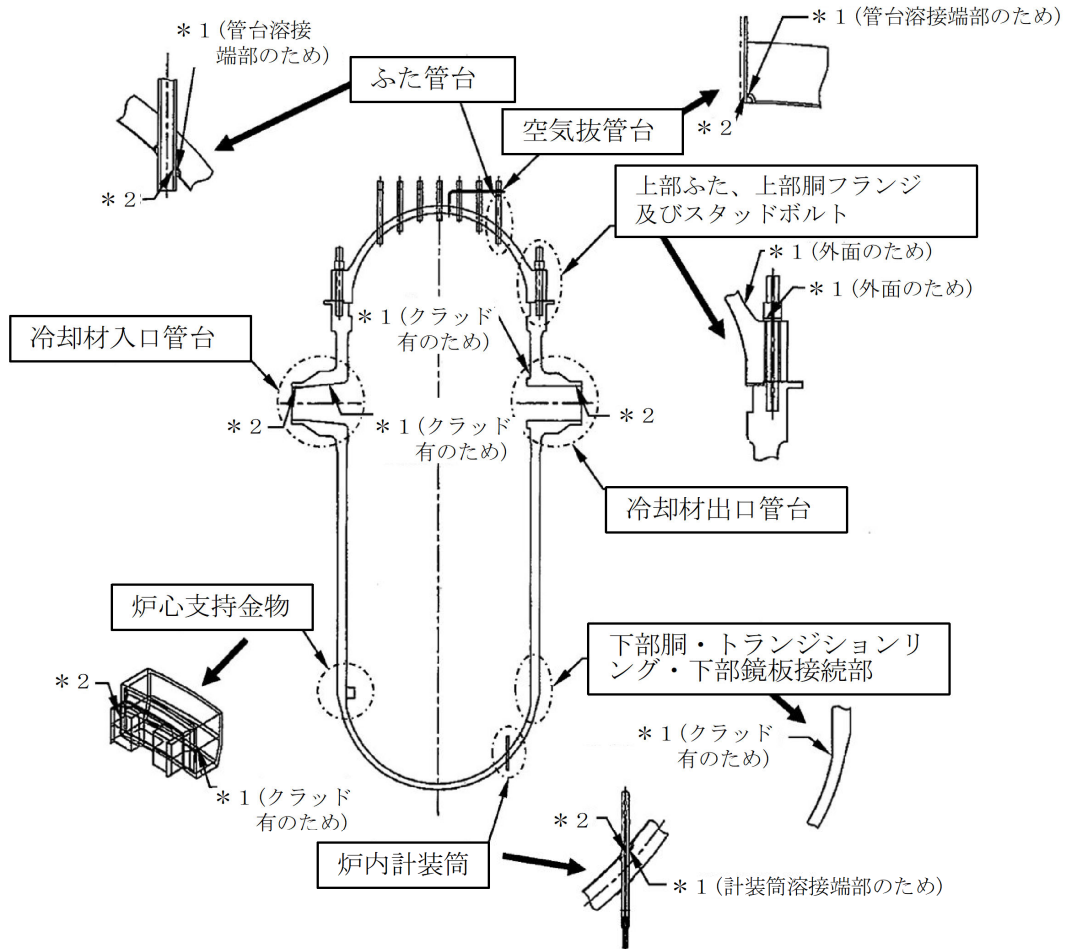
#### 4. 代表機器の技術評価

##### 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

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

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）

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

※ 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ほうに設定した。 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 18 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。川内原子力発電所 2 号炉については、1.5 とする

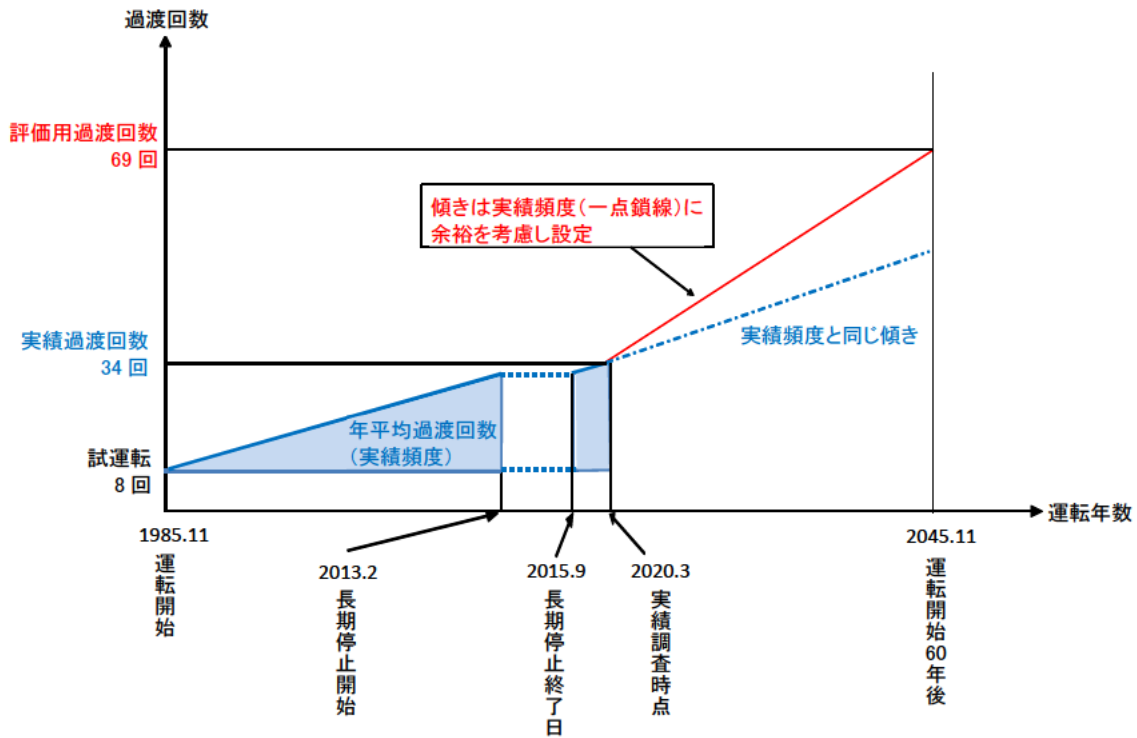


図3 評価用過渡回数の略式図(「停止」の例)

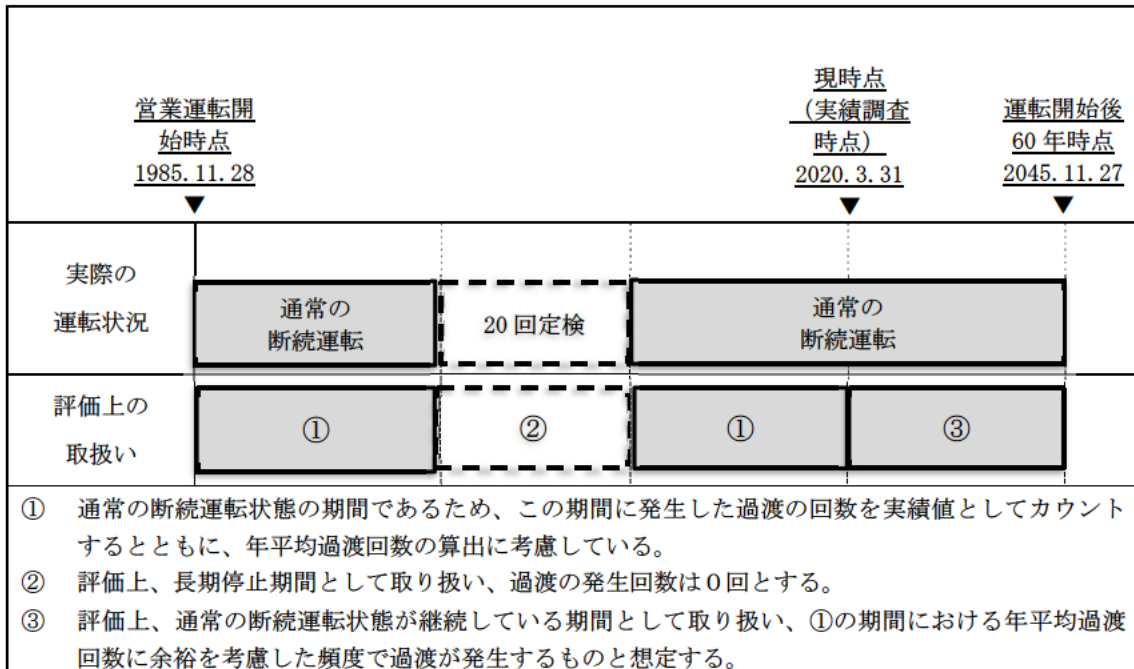


図4 実績過渡回数及び年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱い

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	36	69
停止（温度下降率55.6℃/h）	4、9	34	69
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3、9	322	824
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3、9	313	815
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2、9	1	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	9	2	4
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	24	63
0%から15%への負荷上昇	9	35	67
15%から0%への負荷減少	9	28	60
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	4	6
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	1	7
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	64

\*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	41(44)*4
停止（温度下降率55.6℃/h）	4、9	7	41(44)*4
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3	73	575
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3	72	574
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	45
0%から15%への負荷上昇	—	7	39
15%から0%への負荷減少	—	6	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	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	0	0
1次系漏えい試験	—	7	40(41)*4

\*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23年時点（第18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37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。



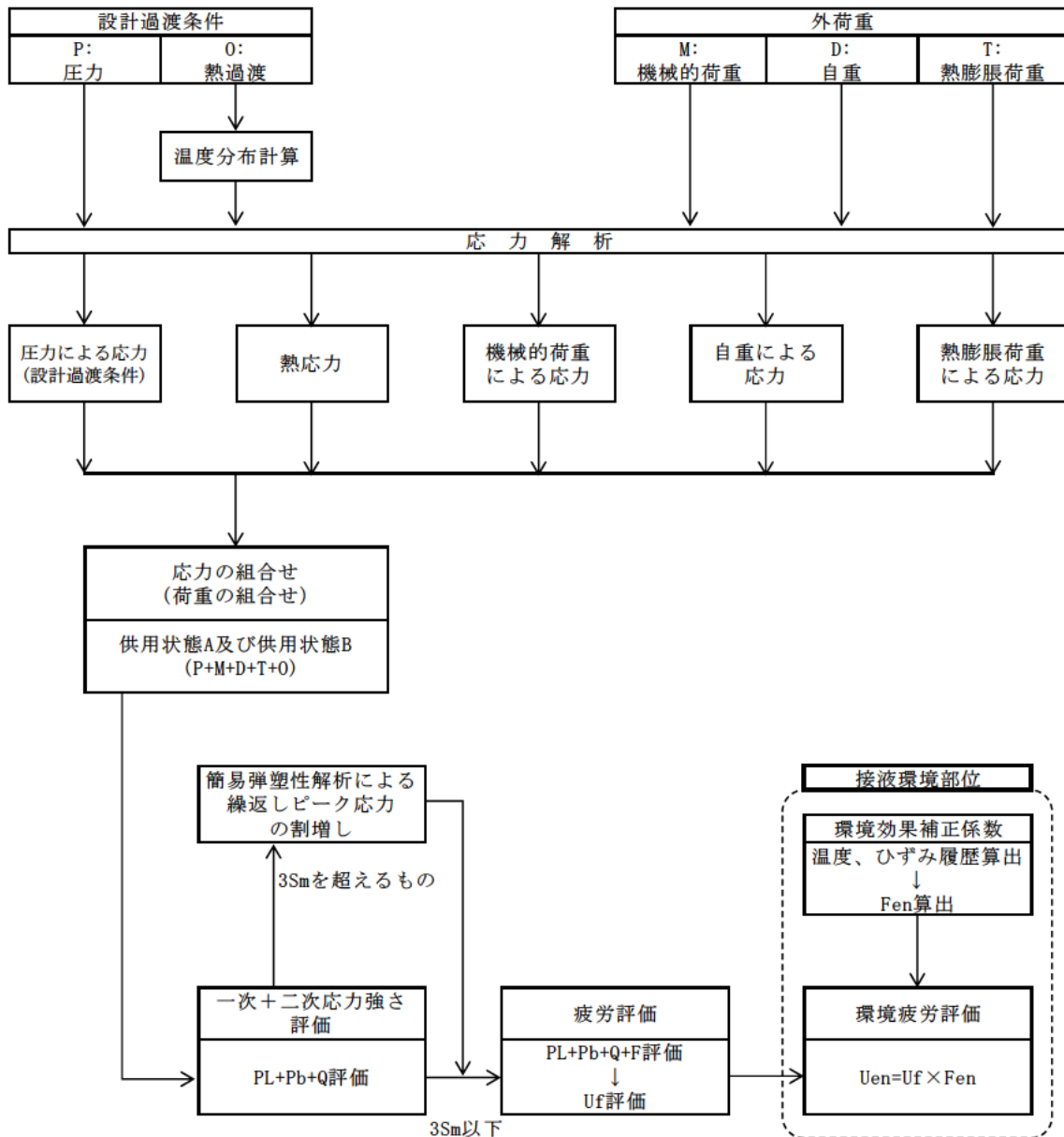


図 5(1/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルトを除く部位)

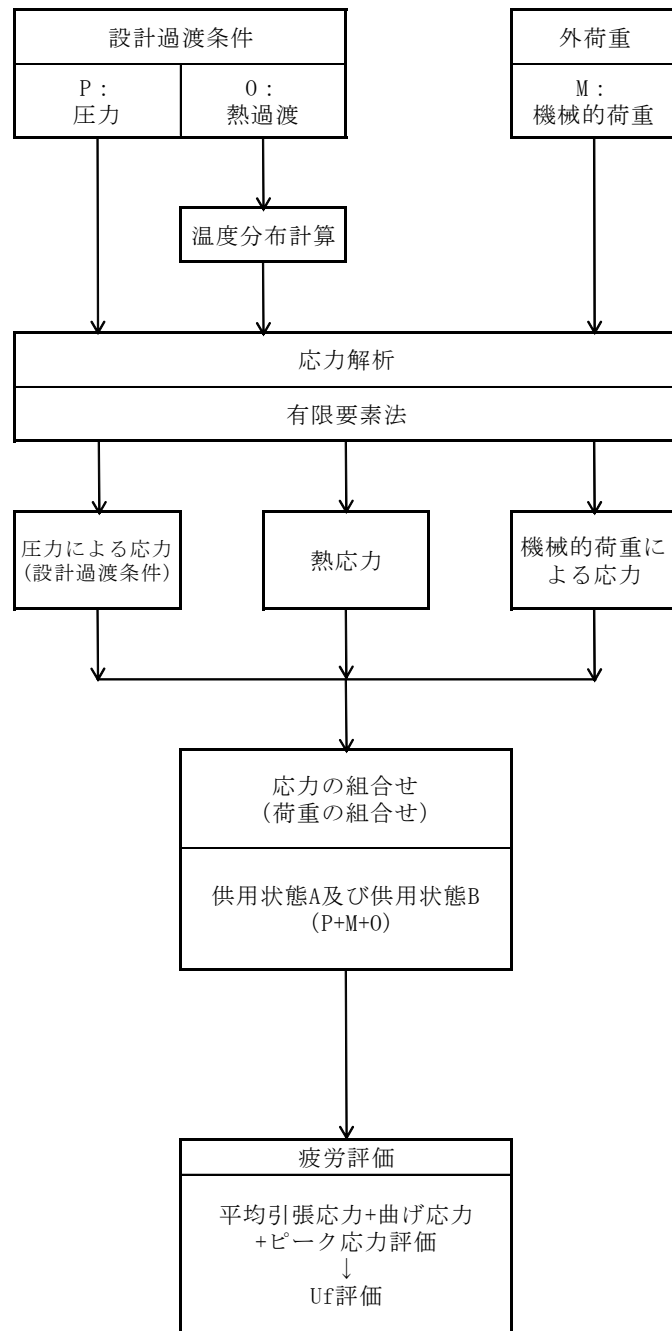


図 5(2/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルト)

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	0.038	0.001 <sup>*2</sup>
冷却材出口管台	0.043	0.001 <sup>*2</sup>
ふた管台 <sup>*1</sup>	0.113	0.001 <sup>*2</sup>
空気抜管台 <sup>*1</sup>	0.014	0.001 <sup>*2</sup>
炉内計装筒	0.137	0.004 <sup>*2</sup>
上部ふた <sup>*1</sup> 、上部胴フランジ	0.008	— <sup>*3</sup>
下部胴・トランジションリング・ 下部鏡板接続部	0.004	— <sup>*3</sup>
炉心支持金物	0.006	0.001 <sup>*2</sup>
スタッドボルト <sup>*1</sup>	0.220	— <sup>*3</sup>

\*1：第18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、37年間の過渡回数を基に算出した。

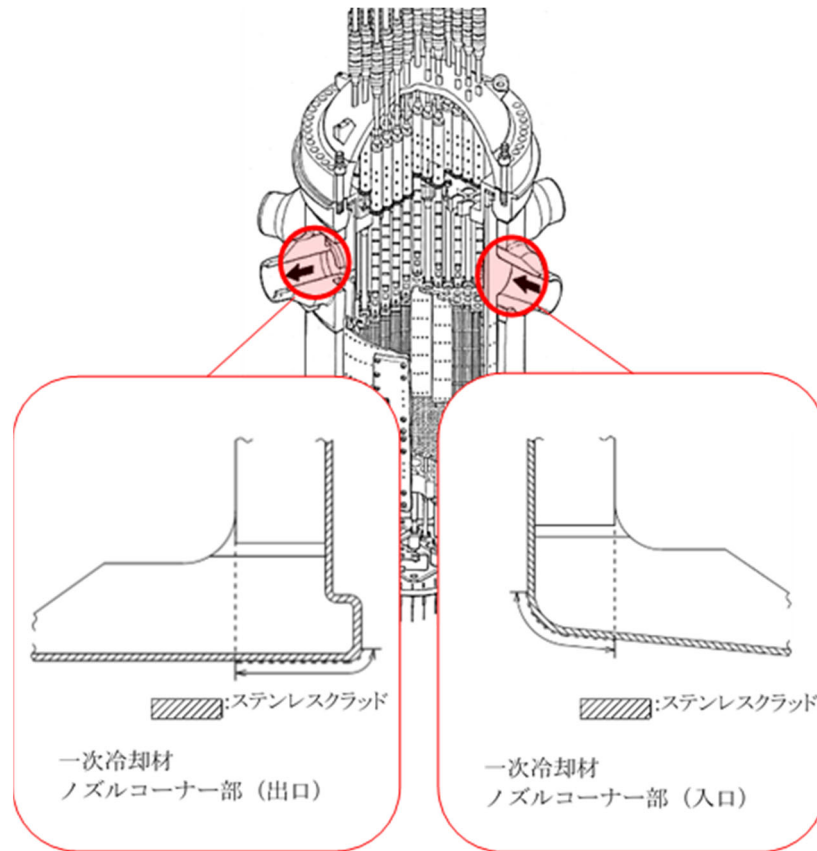
\*2：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、疲労評価対象箇所と異なる。

\*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 ②第23回定期検査 ③第25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25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25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24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25回定期検査	良
	ナット	目視確認(VT-1)	100%/7年	第25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	0.092	0.419
	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	0.050	0.516
		ケーシング脚部	0.080	0.470*1
熱交換器	再生熱交換器	管板部	0.067	0.284
	余熱除去冷却器	管板部	0.053	0.078
	蒸気発生器	管板廻り	0.093	0.112*1
		給水入口管台	0.092	0.309*2
容器	加圧器	スプレイライン用管台	0.049	0.050*1*2
		サージ用管台	0.034	0.206
	機械ペネトレーション	余熱除去出口配管貫通部 端板	0.000	—*3
		主蒸気管貫通部伸縮継手	0.024	—*3
		主給水管貫通部伸縮継手	0.229	—*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)	0.028	0.176

\*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	0.008	0.116*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	0.005
		加圧器サージ管台	0.031	0.164
		蓄圧タンク注入管台	0.008	0.030
		余熱除去系戻り及び安全注 入管台	0.007	0.022
		充てん管台	0.003	0.024
弁	仕切弁	R H R S 入口隔離弁弁箱	0.004	0.115
	玉形弁	加圧器水位制御弁弁箱	0.029	0.396
	スイング逆止弁	蓄圧タンク出口第2逆止弁 弁箱	0.099	0.916
	リフト逆止弁	加圧器補助スプレイ逆止弁 弁箱	0.011	0.064
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	0.020
		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	0.146	—*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/4定検	第24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23回定期検査 ②第25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20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25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 ③100%/10年	①②③第25回定期検査	良
		給水入口管台	漏えい試験(VT-2)	1回/10年	第23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	①②③第25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25回定期検査	
	機械 ペネトレーション	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25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	①第24回定期検査 ②第25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	①第24回定期検査 ②第25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	①第24回定期検査 ②第25回定期検査	良
		加圧器スプレイ配管	②漏えい検査(VT-2)	②毎定検	①②第25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23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	①③第25回定期検査 ②第24回定期検査	良
弁	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	①第21回定期検査 ②第25回定期検査	良
	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24回定期検査 ②第25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25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	①第24回定期検査 ②第25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
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	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 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。	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。
	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。	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。
	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。	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。
	(2) 長期施設管理方針の審査 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。	
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	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。 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。	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。
	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。 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  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。 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。 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。	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。

## 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 2 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>*            ・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））</p>	中長期

短期：2025 年 11 月 28 日からの 5 年間、中長期：2025 年 11 月 28 日からの 10 年間、

長期：2025 年 11 月 28 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. 川内原子力発電所 1 号炉の高経年化評価との相違点について
- 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<math>\geq</math>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) <math>\times</math> 余裕 (1.5) <math>\times</math> 残年数</p> <p>②取替機器  60 年時点過渡回数<math>\geq</math>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) <math>\times</math> 余裕 (1.5) <math>\times</math> 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 2 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

$$36 \text{ 回}^{\text{注1)}} + 0.84 \text{ 回/年}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 25.7 \text{ 年 (残りの年数)} \approx 69 \text{ 回} = 69 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転：9 回（うち、微小過渡 0 回）

2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）：27 回（うち微小過渡 2 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 2 月から 2015 年 9 月まで）を除く）

$$27 \text{ 回} \div 31.7 \text{ 年} \approx 0.84 \text{ 回/年} \rightarrow 0.84 \text{ 回/年}$$

（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 31.7年	現状～60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
1 起動	8	25	36	0.84	33	69 (=36+33)
SGR 後試験中の起動	1		$\left[ \begin{array}{l} 8+1+25+1.607 \\ =35.607 \\ \rightarrow 36 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 25+1.607 \\ =26.607 \\ \frac{26.607}{31.7}=0.839 \\ \rightarrow 0.84 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 25.7 \times 0.84 \times \\ 1.5 \\ =32.3 \\ \rightarrow 33 \end{array} \right]$	
微小過渡		1.607				
	①		②			
(実績+微小過渡)	(9+0)	(25+2)	(34+2*)			

\*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

$$322 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \boxed{\phantom{000}}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 25.7 \text{ 年 (残りの年数)} \div 824 \text{ 回} = 824 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転：11 回

2020 年 3 月末までの実績（試運転除く）：311 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 2 月から 2015 年 9 月まで）を除く）

$$311 \text{ 回} \div 31.7 \text{ 年} \div 9.82 \text{ 回/年} \rightarrow 9.9 \text{ 回/年}$$

（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  $\boxed{\phantom{000}}$  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、 $\boxed{\phantom{000}}$  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 31.7年	現状～60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
3 ランプ状負荷上昇 負荷上昇	$\boxed{11^{\text{注1}}}$ ③	$\boxed{311}$ ④ (=280 <sup>注1</sup> +31)	322 (=11+311)	$\boxed{\phantom{000}}$ 注 2) $\left[ \frac{311}{31.7} \div 9.82 \right]$	502 $\left[ 25.7 \times \boxed{\phantom{000}} \times 1.5 \right]$	824 (=322+502)

\*1：過渡回数

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、 $\boxed{\phantom{000}}$  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

$$4 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \boxed{\phantom{000}}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 25.7 \text{ 年 (残りの年数)} \div 6 \text{ 回} = 6 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転：4 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 2 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  $\boxed{\phantom{000}}$  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 31.7年	現状～60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
31 負荷の喪失	$\boxed{4^{\text{注1}}}$ ⑤	$\boxed{0}$ ⑥	$\boxed{\phantom{000}}$	$\boxed{\phantom{000}}$ 注 2)	2 $\left[ 25.7 \times \boxed{\phantom{000}} \times 1.5 \right]$	6 (=4+2)

\*1：過渡回数

注 2) 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 31.7年	現状~60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数	評価用過渡回数
2 停止	7	25	$\left( \begin{array}{l} 34 \\ 7+1+25 \\ +0.298 \\ =33.298 \\ \rightarrow 34 \end{array} \right)$	$\left( \begin{array}{l} 0.80 \\ 25+0.298 \\ =25.298 \\ \frac{25.298}{31.7} \approx 0.80 \end{array} \right)$	$\left( \begin{array}{l} 30 \\ 25.7 \times 0.80 \times \\ 1.5 \\ =30.84 \rightarrow 31 \end{array} \right)$	65 (=34+31)	69 注1)
SGR 後試験中の停止	1						
微小過渡		0.298					
(実績+微小過渡)	(7+1)	(25+1)	(33+1*)				

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 31.7年	現状~60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
4 ランプ状負荷減少 負荷減少	2*1	311 (=280*1+31)	313 (=2+311)	<input type="checkbox"/> 注2) $\left( \frac{311}{31.7} \approx 9.82 \right)$	$\left( 25.7 \times \frac{311}{31.7} \times 1.5 \right)$	815 (=313+502)
5 ステップ状負荷上昇 (+10%)	1*1	0	1	<input type="checkbox"/> 注1)	$\left( 25.7 \times \frac{1}{2} \times 1.5 \right)$	3 (=1+2)
6 ステップ状負荷減少 (-10%)	2*1	0	2	<input type="checkbox"/> 注3)	$\left( 25.7 \times \frac{2}{2} \times 1.5 \right)$	4 (=2+2)
7 100%負荷からの大きい ステップ状負荷減少	1*1	0	1	<input type="checkbox"/> 注3)	$\left( 25.7 \times \frac{1}{2} \times 1.5 \right)$	3 (=1+2)
8 定常負荷運転時の変動	-	-	-	-	-	-
9 燃料交換	0	24 (=22*1+2)	24	<input type="checkbox"/> 注4) $\left( \frac{24}{31.7} \approx 0.76 \right)$	$\left( 25.7 \times \frac{24}{31.7} \times 1.5 \right)$	63 (=24+39)

\*1: 過渡回数

\*2: 算出値が1になるため、余裕を1回加算

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、とする。

注3) 川内2号炉では未経験過渡だが、他プラントで実績があるため評価上加えた。

注4) 現状平均は、0.76回/年であるが、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 31.7年	現状～60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
10 0→15%負荷上昇	9 <sup>*1</sup>	26 (=24 <sup>*1</sup> +2)	35 (=9+26)	0.83 $\left(\frac{26}{31.7} \approx 0.83\right)$	32 $\left(25.7 \times 0.83 \times 1.5 \approx 32\right)$	67 (=35+32)
11 15→0%負荷減少	2 <sup>*1</sup>	26 (=24 <sup>*1</sup> +2)	28 (=2+26)	0.83 $\left(\frac{26}{31.7} \approx 0.83\right)$	32 $\left(25.7 \times 0.83 \times 1.5 \approx 32\right)$	60 (=28+32)
12 1 ループ起動/停止 (1 ループ停止)	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注 1)	$\left(25.7 \times \frac{2}{31.7} < 1.5\right)$	2
(1 ループ起動)	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注 1)	$\left(25.7 \times \frac{2}{31.7} < 1.5\right)$	2

\*1 : 過渡回数

\*2 : 算出値が 1 になるため、余裕を 1 回加算

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 31.7年	現状～60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
32 外部電源喪失	1 <sup>*1</sup>	0	1	<input type="checkbox"/> 注 2)	$\left(25.7 \times \frac{3}{31.7} < 1.5\right)$	4 (=1+3)
33 1 次冷却材流量の部分喪失	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注 2)	$\left(25.7 \times \frac{2}{31.7} < 1.5\right)$	2

\*1 : 過渡回数

\*2 : 算出値が 1 になるため、余裕を 1 回加算

注 2) 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 31.7年	現状~60年 までの増加分 (25.7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 <sup>*1</sup>	0	1	□注2)	$(25.7 \times \frac{6}{\approx 6} < 1.5)$	7 (=1+6)
b)不注意な冷却を伴う トリップ	0	0	0	□注1)	$(25.7 \times \frac{2}{2^{*2}} < 1.5)$	2
c)不注意な冷却とSIを伴う トリップ	0	0	0	□注2)	$(25.7 \times \frac{2}{2^{*2}} < 1.5)$	2
35 1次冷却系の異常な減圧	0	0	0	□注1)	$(25.7 \times \frac{2}{2^{*2}} < 1.5)$	2
36 制御棒クラスタの落下	0	0	0	□注2)	$(25.7 \times \frac{2}{2^{*2}} < 1.5)$	2
37 出力運転中の非常用炉心冷却系 の誤起動	0	0	0	□注1)	$(25.7 \times \frac{2}{2^{*2}} < 1.5)$	2
38 1次冷却系停止ループの誤起動	0	0	0	□注1)	$(25.7 \times \frac{2}{2^{*2}} < 1.5)$	2

\*1：過渡回数

\*2：算出値が1になるため、余裕を1回加算

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)川内2号炉では未経験過渡だが、他プラントで実績があるため評価上加えた。

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 31.7年	現状~60年 までの増加分 (25.7年)	60年ベースの 過渡回数
39 1次系漏えい試験	3	26	31 $(3+1+26)$ $+0.622$ $=30.622 \rightarrow 31$	0.84 $26+0.622$ $=26.622$ $\frac{26.622}{31.7} \approx 0.84$	33 $(25.7 \times 0.84 \times 1.5)$ $=32.38 \rightarrow 33$	64 (=31+33)
微小過渡	0.050	0.622				
(実績+微小過渡)	(3+1)	(26+1)	(29+2 <sup>*1</sup> )			
40 タービン回転試験	2	0	2	0	-	2

\*1：総微小過渡回数

表1 微小過渡 (起動の微小過渡)

	$\Delta T / \Delta t$ (°C/H)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (MPa)		$\alpha$ ※1	等価回数 ( $1/\alpha$ ) ※1
1	21.1	46.4	—		6(3)	0.167(0.334)
2	15.3	41.9	—		20(6)	0.050(0.167)
3	16.8	48.6	—		20(6)	0.050(0.167)
4	17.3	47.8	—		20(6)	0.050(0.167)
5	16.0	50.0	—		20(6)	0.050(0.167)
6	21.9	50.0	—		6(3)	0.167(0.334)
7	21.1	48.6	—		6(3)	0.167(0.334)
8	20.0	52.1	—		6(3)	0.167(0.334)
9	20.0	49.8	—		6(3)	0.167(0.334)
10	11.6	92.6	—		6(3)	0.167(0.334)
11	17.2	91.8	—		6(3)	0.167(0.334)
12	12.2	28.3	—		45(11)	0.023(0.091)
13	15.7	16.6	—		20(6)	0.050(0.167)
14	—	—	2.70		83(16)	0.012(0.063)
15	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
16	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
17	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
18	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
19	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
20	—	—	2.70		83(16)	0.012(0.063)
21	6.50	14.3	—		302(36)	0.004(0.028)
22	—	—	2.70		83(16)	0.012(0.063)
23	3.80	12.8	—		559(53)	0.002(0.019)
24	6.60	13.2	—		302(36)	0.004(0.028)
25	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
26	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
27	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
28	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
29	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
30	9.90	13.0	—		83(16)	0.012(0.063)
31	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
32	8.20	12.6	—		137(22)	0.008(0.046)
33	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
34	1.70	12.9			559(53)	0.002(0.019)
35	—	—	2.50		137(22)	0.008(0.046)
36	—	—	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 微小過渡 (停止の微小過渡)

	$\Delta T / \Delta t$ (°C/H)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (MPa)		$\alpha$ ※1	等価回数 ( $1/\alpha$ ) ※1
1	9.70	23.9	—		83(16)	0.012(0.063)
2	9.50	19.0	—		83(16)	0.012(0.063)
3	13.1	25.6	—		45(11)	0.023(0.091)
4	5.80	22.6	—		302(36)	0.004(0.028)
5	15.5	44.6	—		20(6)	0.050(0.167)
6	15.2	39.6	—		45(11)	0.023(0.091)
7	15.5	33.0	—		20(6)	0.050(0.167)
8	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
9	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
10	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
11	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
12	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
13	—	—	2.30		137(22)	0.008(0.046)
14	6.20	14.5	—		302(36)	0.004(0.028)
15	—	—	2.20		209(29)	0.005(0.035)
16	9.0	13.0	—		137(22)	0.008(0.046)
17	—	—	2.20		209(29)	0.005(0.035)
18	9.60	16.0	—		83(16)	0.012(0.063)
19	7.50	14.4	—		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			2.50		209(29)	0.005(0.035)
28			2.20		209(29)	0.005(0.035)
29	4.50	12.9			559(53)	0.002(0.019)

※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)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (MPa)		$\alpha$ ※1	等価回数 ( $1/\alpha$ ) ※1
1	6.80	15.8	—		302(36)	0.004(0.028)
2	11.8	19.5	—		45(11)	0.023(0.091)
3	20.1	20.1	—		6(3)	0.167(0.334)
4	12.1	17.0	—		45(11)	0.023(0.091)
5	25.0	25.0	—		6(3)	0.167(0.334)
6	4.0	21.2	—		83(16)	0.012(0.063)
7	20.2	20.2	—		6(3)	0.167(0.334)
8	8.40	8.40	—		83(16)	0.012(0.063)
9	12.2	15.0	—		45(11)	0.023(0.091)
10	10.0	20.0	—		83(16)	0.012(0.063)
11	7.0	15.0	—		302(36)	0.004(0.028)
12	4.0	13.6	—		559(53)	0.002(0.019)
13	7.50	15.1	—		83(16)	0.012(0.063)
14	7.30	13.6	—		83(16)	0.012(0.063)
15	7.20	14.4	—		83(16)	0.012(0.063)
16	7.50	15.0	—		83(16)	0.012(0.063)
17	7.50	15.0	—		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		1.607 内訳 1/6×7 (表 1 No. 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11) 1/20×5 (表 1 No. 2, 3, 4, 5, 13) 1/45×1 (表 1 No. 12) 1/83×4 (表 1 No. 14, 20, 22, 30) 1/137×15 (表 1 No. 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36) 1/302×2 (表 2 No. 21, 24) 1/559×2 (表 2 No. 23, 34)
停止 微小過渡		0.298 内訳 1/83×3 (表 2 No. 1, 2, 18) 1/45×2 (表 2 No. 3, 6) 1/302×2 (表 2 No. 4, 14) 1/20×2 (表 2 No. 5, 7) 1/137×7 (表 2 No. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16) 1/209×12 (表 2 No. 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28) 1/559×1 (表 2 No. 29)
漏えい試験 微小過渡	0.050 内訳 1/45×1 (表 3 No. 8, 10) 1/83×2 (表 1 No. 9) 1/302×1 (表 2 No. 11)	0.622 内訳 1/302×1 (表 2 No. 1) 1/45×2 (表 3 No. 2, 4) 1/6×3 (表 3 No. 3, 5, 7) 1/83×6 (表 3 No. 6, 13, 14, 15, 16, 17) 1/559×1 (表 2 No. 12)



## 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2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90%へのステップ状負荷減少	
100%からの大きいステップ状負荷減少	
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 (不注意な冷却を伴わないトリップ)	
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 $\lambda$ 、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、 $\lambda'$  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） $\lambda'$ 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 $\lambda'$ 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"> <li>（1）キャビティフロー型熱成層</li> <li>（2）弁シートリーク型熱成層</li> <li>（3）弁グランドリーク型熱成層</li> <li>（4）運転操作型熱成層</li> </ol> <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"> <li>●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。</li> <li>●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。</li> <li>●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。</li> <li>●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。</li> </ul> <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

<p>タイトル</p>	<p>原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について</p>							
<p>説明</p>	<p>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>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="435 551 1329 1709"> <tr> <td data-bbox="435 551 659 600"> <p>解析プログラム</p> </td> <td data-bbox="659 551 1329 600"> <p>ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 600 659 792"> <p>要素種類</p> </td> <td data-bbox="659 600 1329 1709" rowspan="4"> <!-- Empty cell for element details --> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 792 659 842"> <p>要素次数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 842 659 1274"> <p>要素数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 1274 659 1709"> <p>節点数</p> </td> </tr> </table>	<p>解析プログラム</p>	<p>ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3</p>	<p>要素種類</p>	Empty cell for element details	<p>要素次数</p>	<p>要素数</p>	<p>節点数</p>
<p>解析プログラム</p>	<p>ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3</p>							
<p>要素種類</p>	Empty cell for element details							
<p>要素次数</p>								
<p>要素数</p>								
<p>節点数</p>								

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]

$\varepsilon^*$  : 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

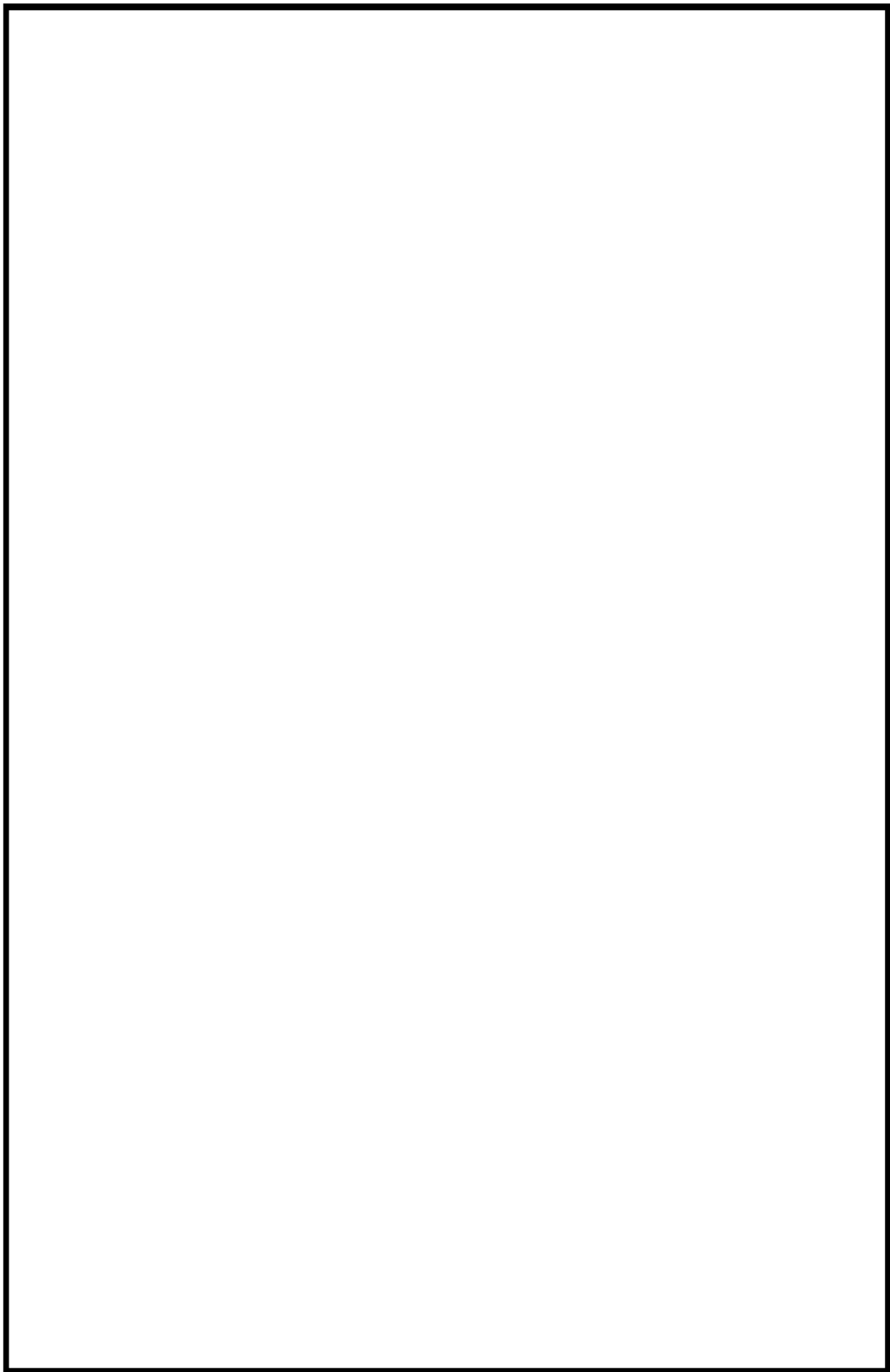
$$\ln(F_{en}) = (2.94 - \varepsilon^*) \times T^*$$

[記号の説明]

$\varepsilon^*$  : 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	0.00318	0.0	0.00195
6	0.00149	0.0	0.00047
7	0.00009	0.00049	0.00007
8	0.00022	0.0	0.00002
9L	0.02604	0.03728	0.00125
10L	0.0	0.00181	0.00056
9C	0.00121	0.00229	0.00186
10C	0.0	0.02002	0.00942
11L	0.02700	0.03533	0.00001
12L	0.0	0.00196	0.00110
11C	0.00261	0.00086	0.00101
12C	0.0	0.02040	0.01160
13L	0.03682	0.03491	0.00230
14L	0.0	0.00220	0.00198
13C	0.00046	0.00105	0.00235
14C	0.0	0.02113	0.01367

許容値  $U_r=1.0$

0.03728 : 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: 9L)

評価点 - 9L  
(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'	
528.1	-46.4	1.0	287.3	337.9	2   4680   0.00043
523.7	-46.4	1.0	285.1	335.3	2   4790   0.00042
472.2	-46.4	1.0	259.3	305.0	6   6370   0.00094
466.4	-46.4	1.0	256.4	301.6	54   6580   0.00821
466.4	-44.4	1.0	255.4	300.4	10   6660   0.00150
465.3	-44.4	1.0	254.9	299.8	2   6700   0.00030
464.1	-44.4	1.0	254.3	299.1	4   6750   0.00059
447.0	-44.4	1.0	245.7	289.0	2   7470   0.00027
436.2	-44.4	1.0	240.3	282.7	51   7980   0.00639
436.2	0.0	1.0	218.1	256.5	133   10700   0.01243
436.2	2.6	1.0	216.8	255.0	63   10900   0.00578
436.2	185.7	1.0	125.2	147.3	2   72700   0.00003
436.2	327.9	1.0	54.1	63.7	6   -----   0.0

疲労累積係数 = 0.03728

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）

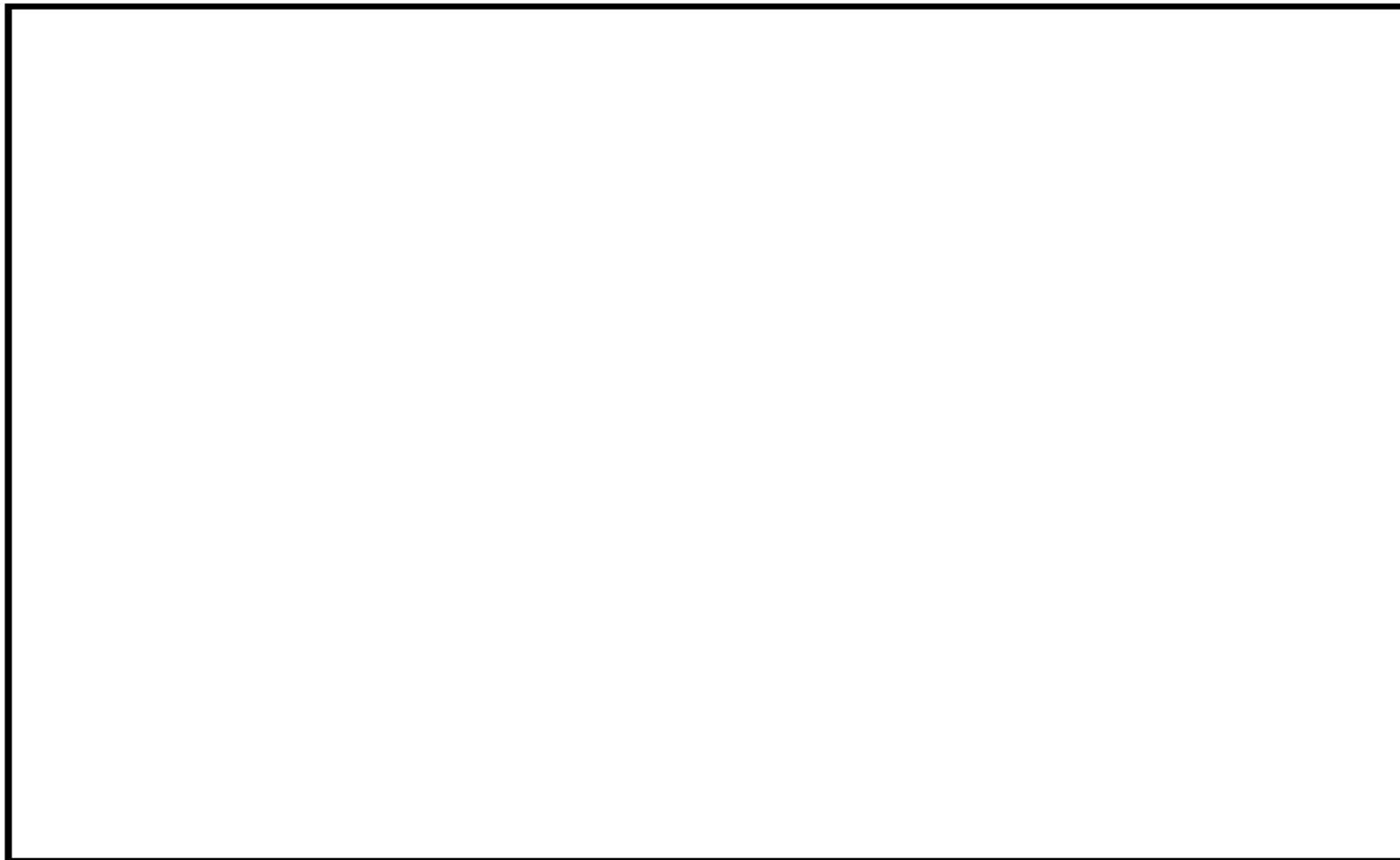
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 Ke	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n <sup>e</sup>	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D4	1A1	213.8	-46.7	1.00	130.2	143.5	2	2850000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1A1	144.1	-48.7	1.00	95.4	105.1	2	19800000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	1A1	141.4	-46.7	1.00	94.0	103.6	2	24500000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1A1	98.2	-46.7	1.00	72.5	79.8	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00000

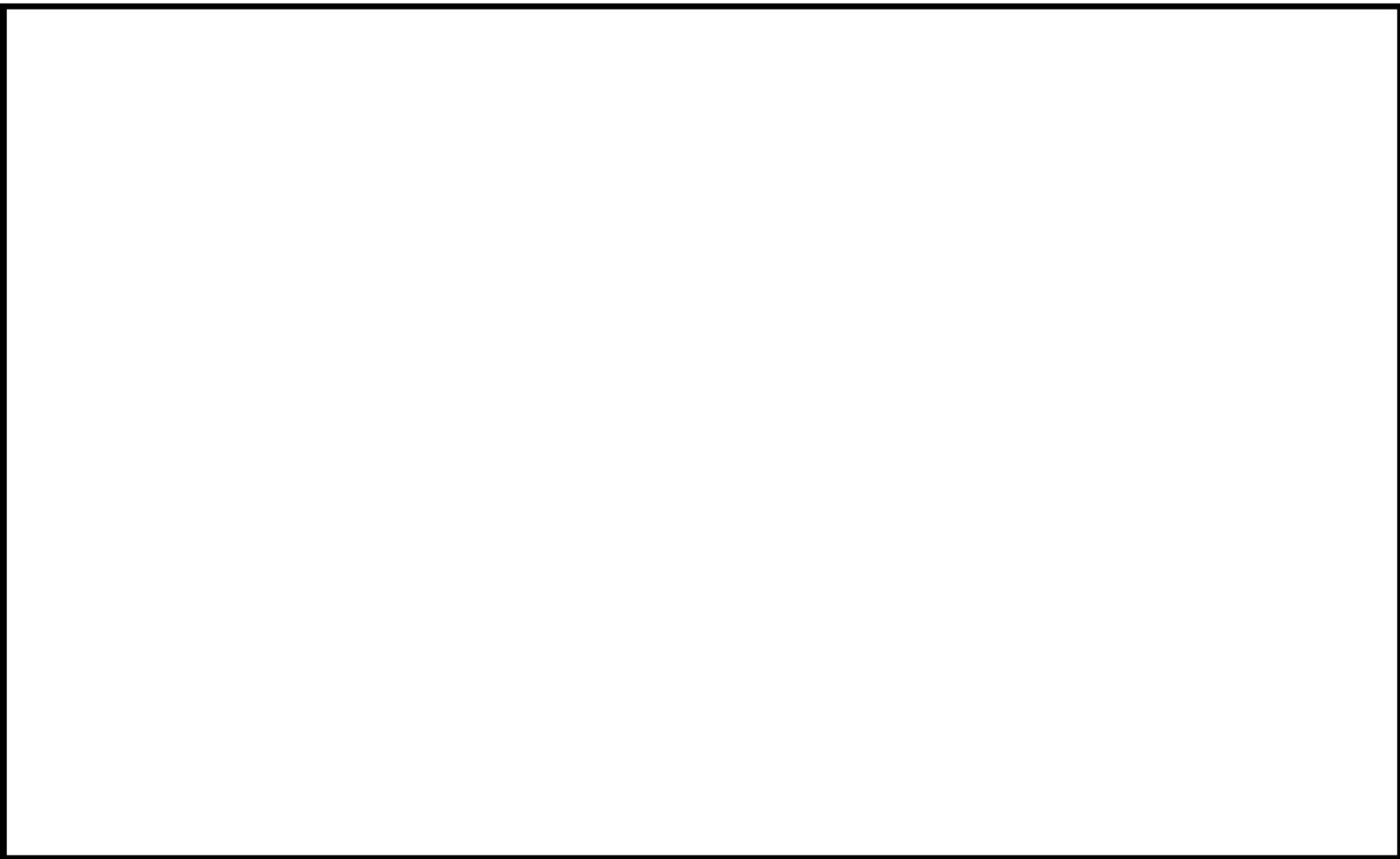
〈注〉ヒズみ振幅 $\leq 0.110\%$ （salt'  $\leq 214.6$ ）の場合、fen=1.0

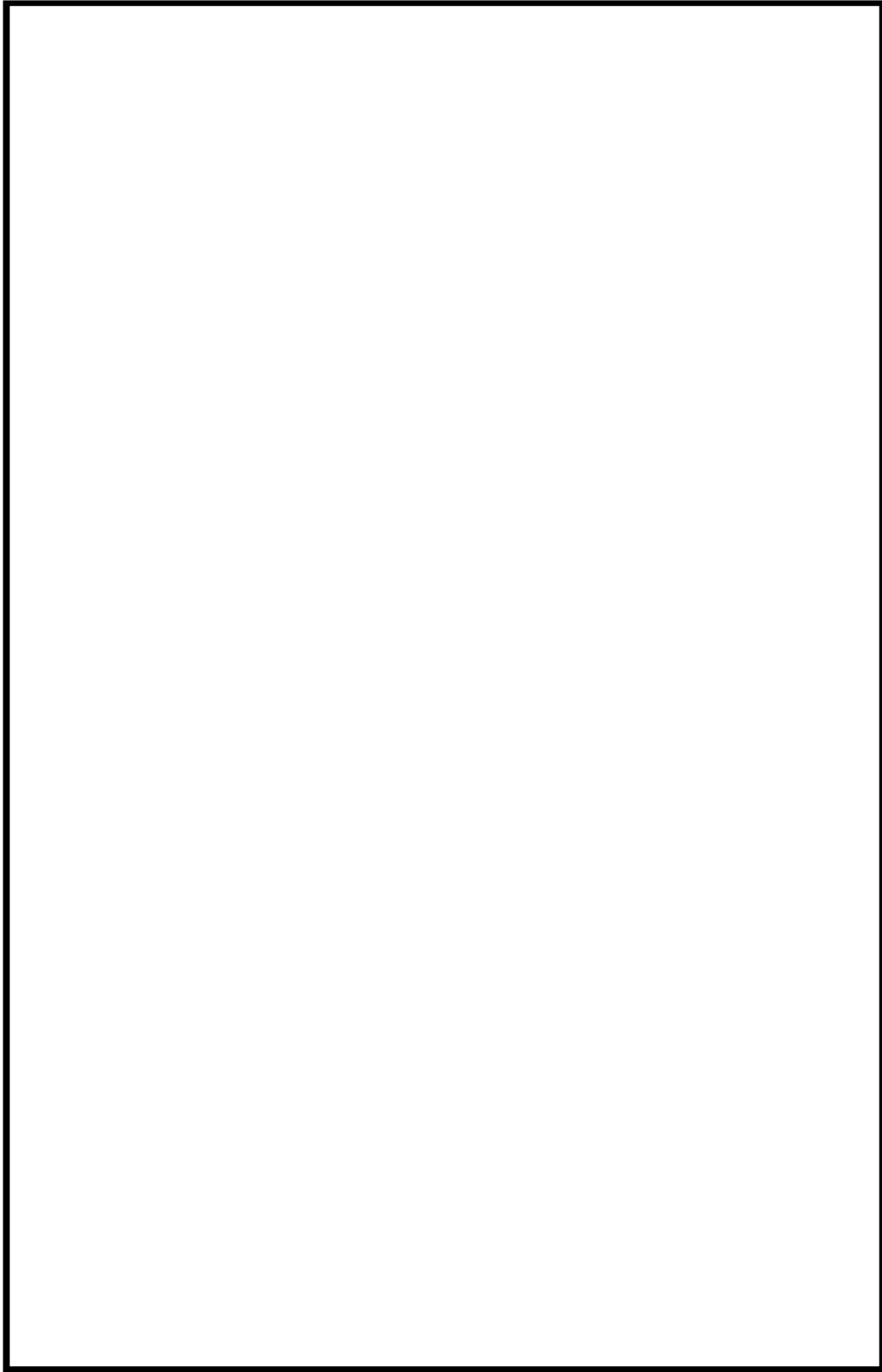
：割り増し係数 Ke、環境効果補正係数 fen を示す

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	0.00015
2	0.0	0.00000	0.00004
3	0.0	0.00000	0.00000
4	0.00213	0.00000	0.00550
5	0.0	0.00000	0.00017
6	0.00003	0.0	0.00011
7	0.00367	0.0	0.00626
8	0.00463	0.00000	0.00421
9	0.0	0.00104	0.00006
10	0.00277	0.00001	0.00104
11	0.0	0.00121	0.00173
12	0.00344	0.00001	0.00209
13L	0.02815	0.04156	0.00067
14L	0.0	0.00200	0.00120
13C	0.00166	0.00129	0.00265
14C	0.0	0.02187	0.01119
15L	0.04171	0.02386	0.0
16L	0.0	0.00247	0.00164
15C	0.00244	0.00001	0.00015
16C	0.0	0.02371	0.01283
17L	0.03145	0.04223	0.00239
18L	0.0	0.00340	0.00329
17C	0.00082	0.00078	0.00253
18C	0.0	0.02534	0.01606

許容値  $U_f = 1.0$

0.04223 : 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)

応力値 (単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)		
極大値	極小値	$K_e$	ALT	ALT'			
509.5	-39.7	1.0	274.6	328.6	2	5100	0.00039
496.8	-39.7	1.0	268.3	321.0	2	5470	0.00037
475.0	-39.7	1.0	257.3	307.9	6	6190	0.00097
464.1	-39.7	1.0	251.9	301.4	4	6600	0.00061
451.7	-39.7	1.0	245.7	294.0	2	7100	0.00028
450.0	-39.7	1.0	244.9	293.0	48	7170	0.00669
450.0	-32.1	1.0	241.1	288.5	16	7510	0.00213
432.3	-32.1	1.0	232.2	277.8	3	8400	0.00036
429.5	-32.1	1.0	230.8	276.2	2	8650	0.00023
427.1	-32.1	1.0	229.6	274.8	3	8680	0.00035
426.8	-32.1	1.0	229.5	274.6	0	8700	0.00000
425.8	-32.1	1.0	229.0	274.0	2	8760	0.00023
423.7	-32.1	1.0	227.9	272.7	43	8880	0.00484
423.7	-18.5	1.0	221.1	264.6	63	9710	0.00649
423.7	-0.9	1.0	212.3	254.0	69	11000	0.00627
423.7	0.0	1.0	211.9	253.5	133	11100	0.01198
423.7	158.4	1.0	132.6	158.7	2	50400	0.00004
423.7	318.6	1.0	52.6	62.9	2		0.0

疲労累積係数 = 0.04223

$K_e$  : 割増し係数  
 ALT : 繰返し破断応力値  
 ALT' : ALT/(207000) (材料の使用温度における弾塑性係数) 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

冷却材出口管台 環境疲労評価結果 (評価点: 1)

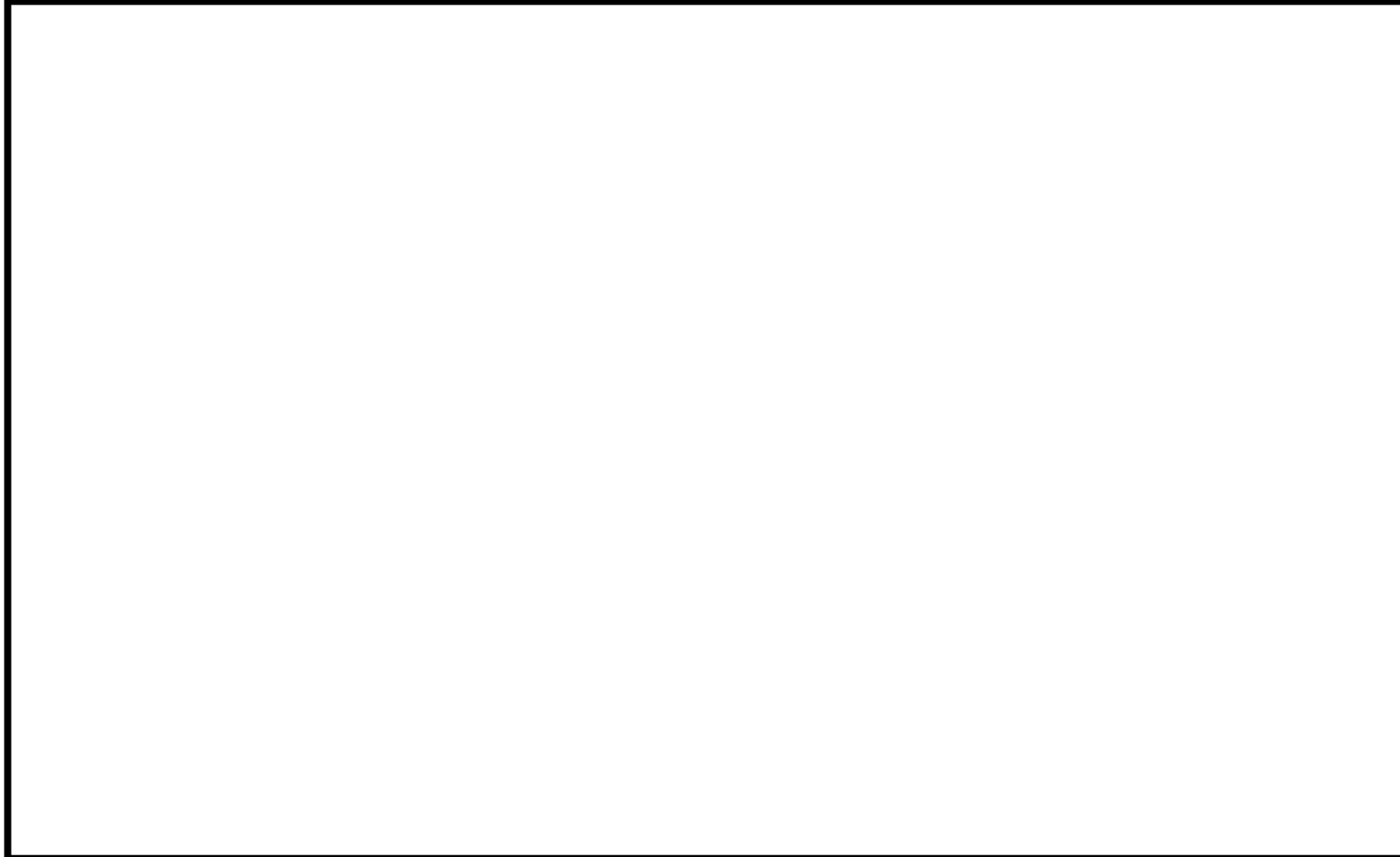
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 Ke	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uef
A	B	smax	smb		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	2D2	0.0	-474.0	1.00	237.0	265.6	2	136000	0.00001	8.709	0.00013
NSS	2P1	0.0	-471.8	1.00	235.9	264.4	2	140000	0.00001	8.485	0.00012
NSS	2D4	0.0	-462.1	1.00	231.1	258.9	2	157000	0.00001	11.002	0.00014
NSS	2E1	0.0	-417.2	1.00	208.6	233.8	2	288000	0.00001	9.055	0.00006
NSS	2C2	0.0	-416.9	1.00	208.4	233.6	2	290000	0.00001	10.988	0.00008
NSS	2D1	0.0	-406.7	1.00	203.9	227.9	7	338000	0.00002	8.219	0.00017
NSS	2G1	0.0	-406.1	1.00	203.1	227.6	2	341000	0.00001	9.071	0.00005
NSS	1L1	0.0	-377.6	1.00	188.8	211.6	2	541000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2H2	0.0	-372.5	1.00	186.4	208.9	2	592000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2A1	0.0	-354.2	1.00	177.1	198.5	6	850000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	1G1	0.0	-293.7	1.00	146.8	164.5	3	1710000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	1D1	0.0	-283.6	1.00	141.8	158.9	101	1920000	0.00005	1.000	0.00005
2H1	1D1	-30.7	-283.6	1.00	126.5	141.7	2	3110000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1D1	-189.1	-283.6	1.00	57.2	64.1	63	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00082

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

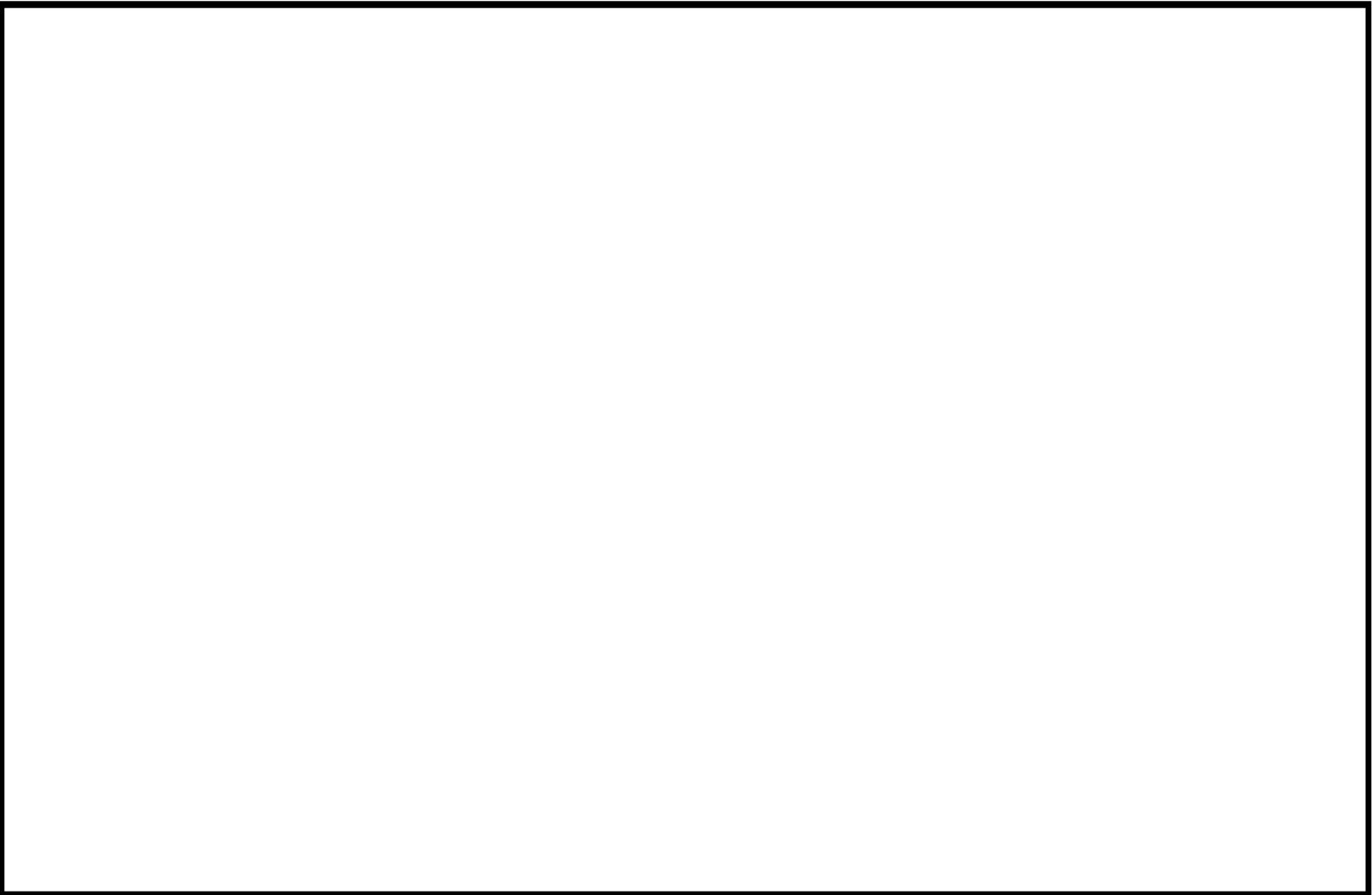
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

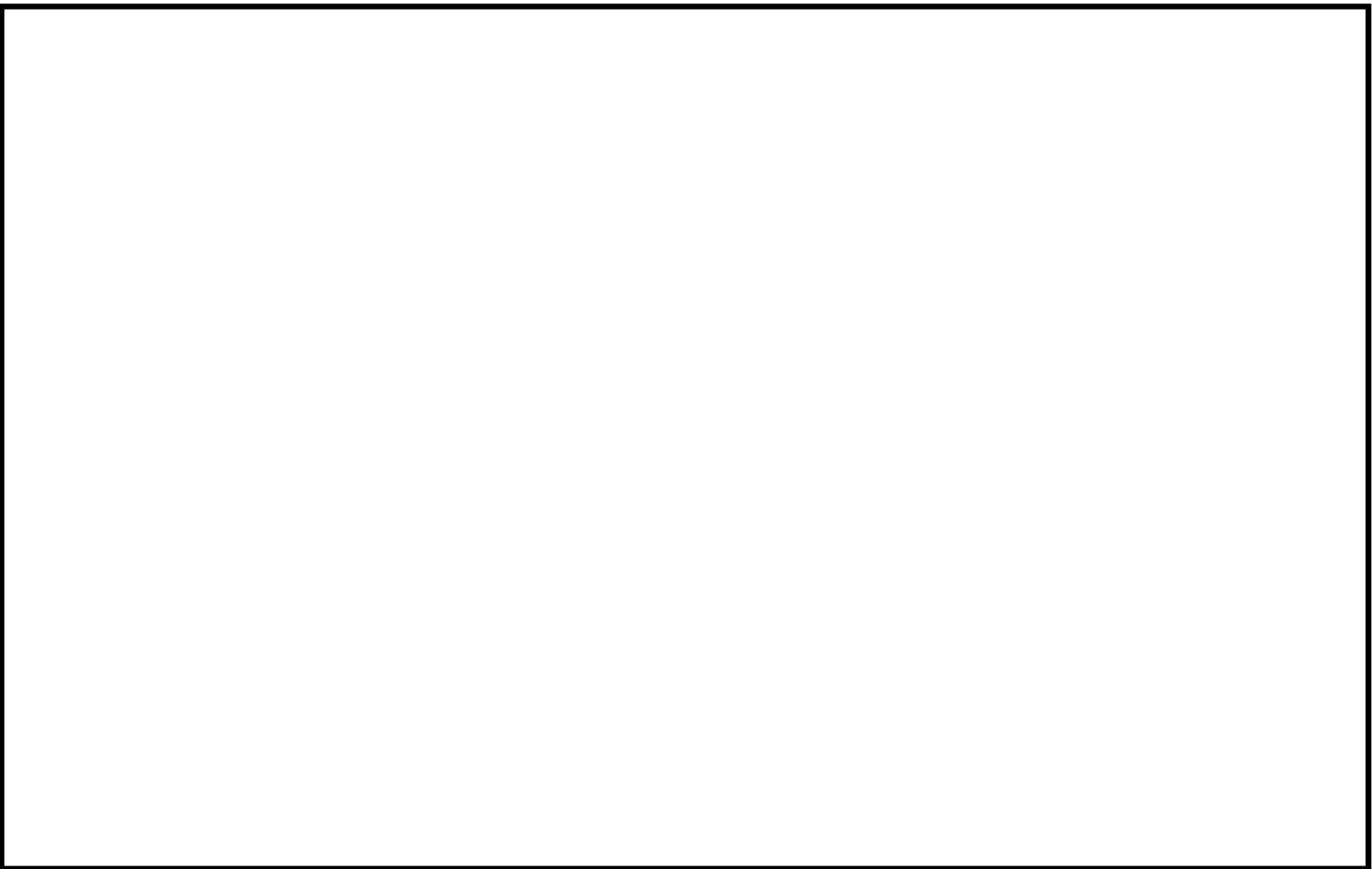
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

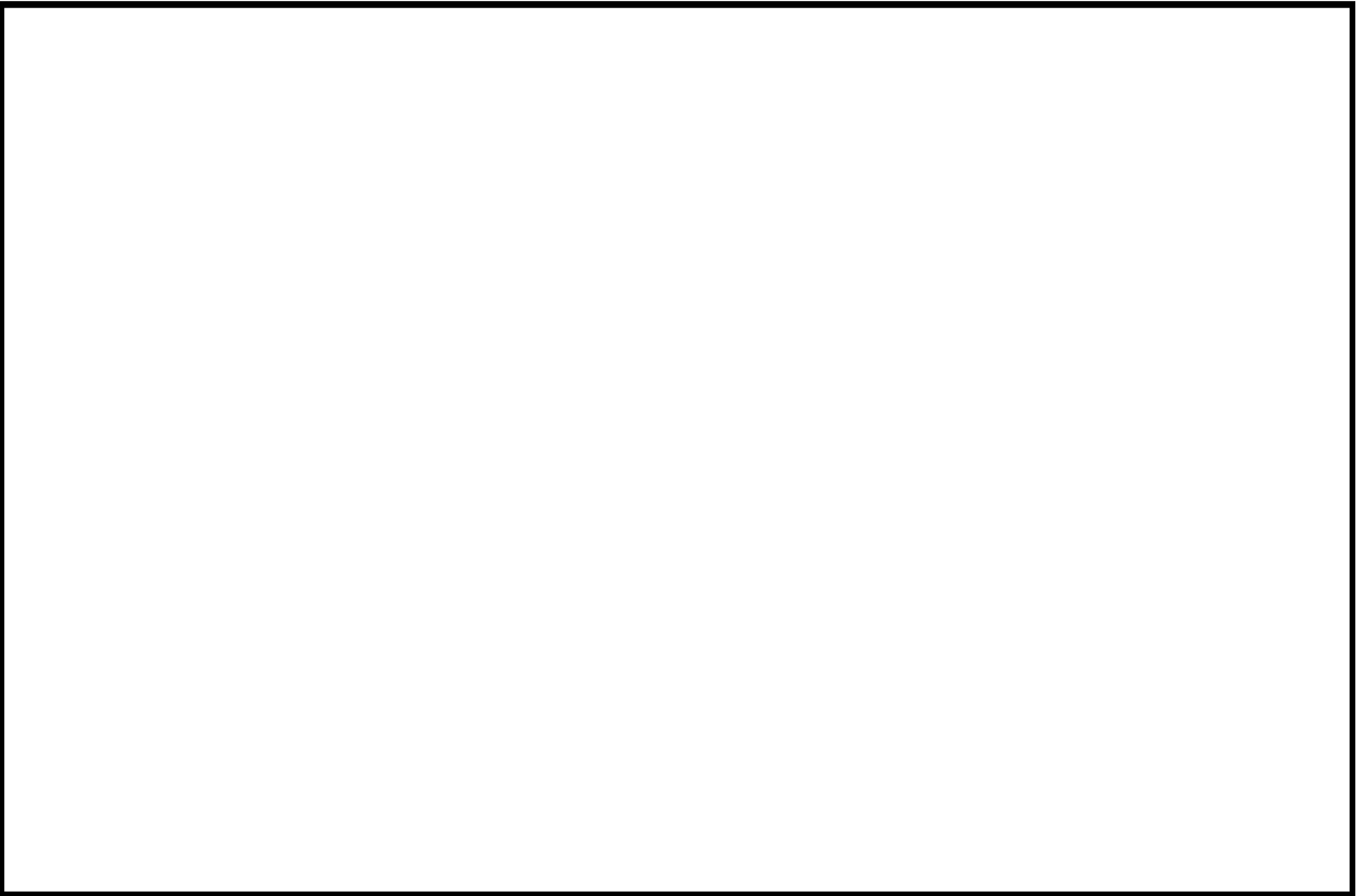




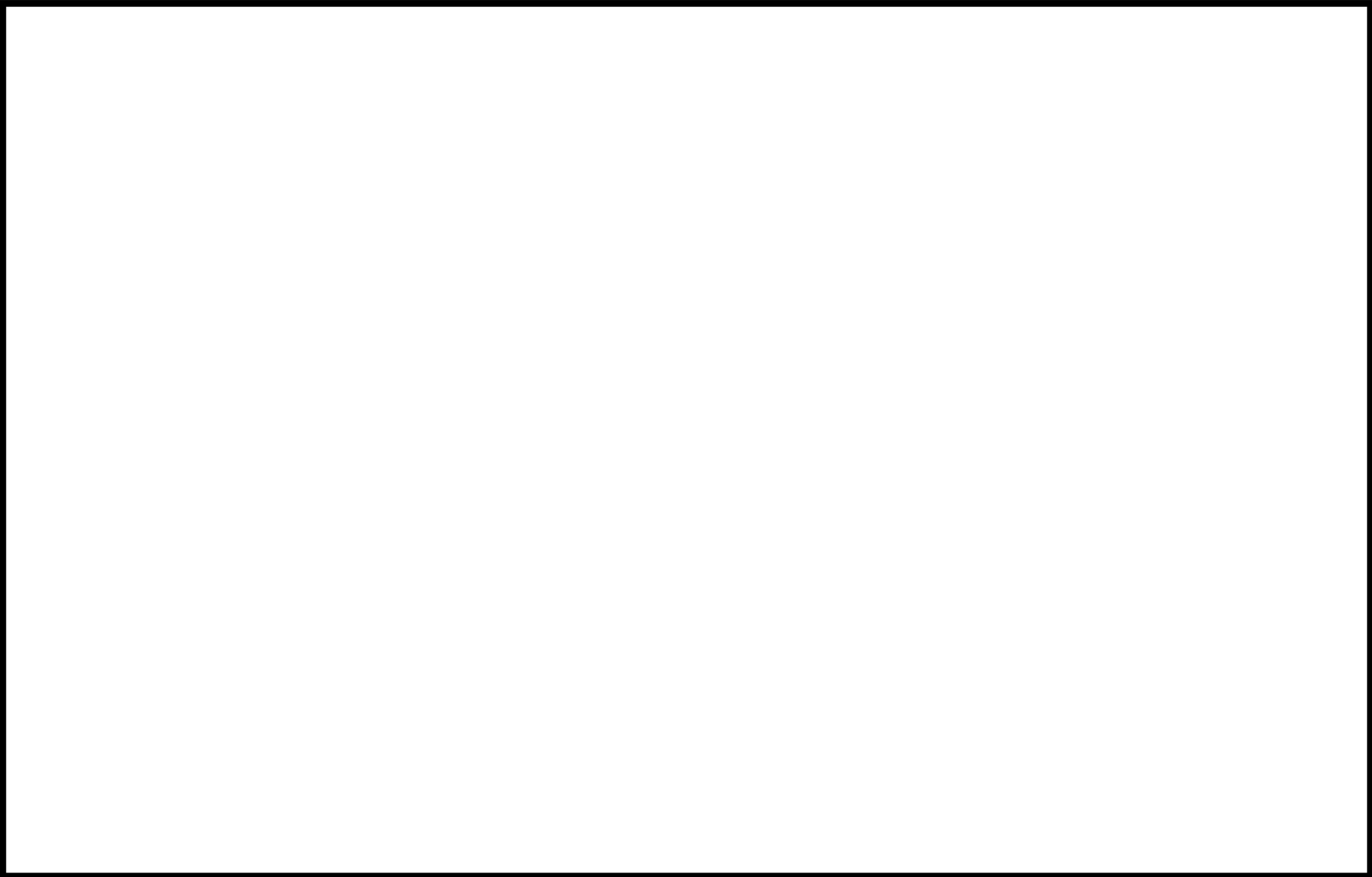


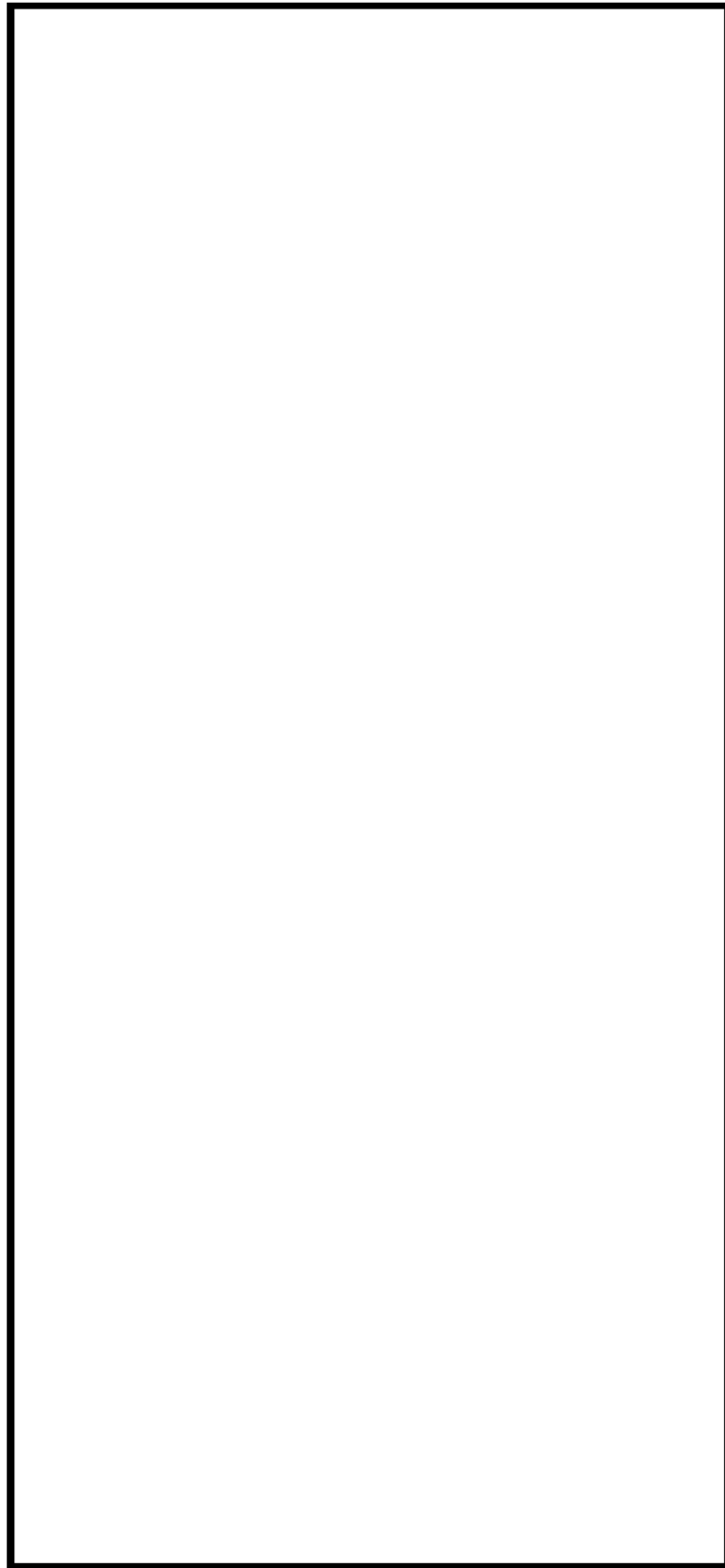












ふた管台形状寸法、評価点及び解析モデル

### 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	0.00017	0.00001	0.0
6	0.08850	0.00000	0.11286

許容値  $U_f = 1.0$

0.11286 : 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	Ke	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	1093.7	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	805.9	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	6	1170	0.00513
1184.4	-332.8	1.0	758.6	782.7	25	1170	0.02137
1184.4	-312.4	1.0	748.4	772.2	40	1220	0.03279
1184.4	0.0	1.0	592.2	611.0	81	2810	0.02383
1184.4	563.9	1.0	310.2	320.1	2	49100	0.00004
1184.4	580.8	1.0	301.8	311.4	426	57000	0.00747
1151.6	580.8	1.0	285.4	294.4	2	77400	0.00003
1092.3	580.8	1.0	255.7	263.9	40	141000	0.00028
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	291000	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	41	1930000	0.00002
888.3	580.8	1.0	153.7	158.6	11	1930000	0.00001
888.3	613.3	1.0	137.5	141.9	2	3030000	0.00000
888.3	714.9	1.0	86.7	89.4	2	—	0.0

疲労累積係数 = 0.11286

Ke : 割増し係数  
 ALT : 繰返しびーク応力強さ  
 ALT\* : ALTに(195000)/(材料の使用温度における弾塑性係数)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



ふた管台 環境疲労評価結果（評価点：5）

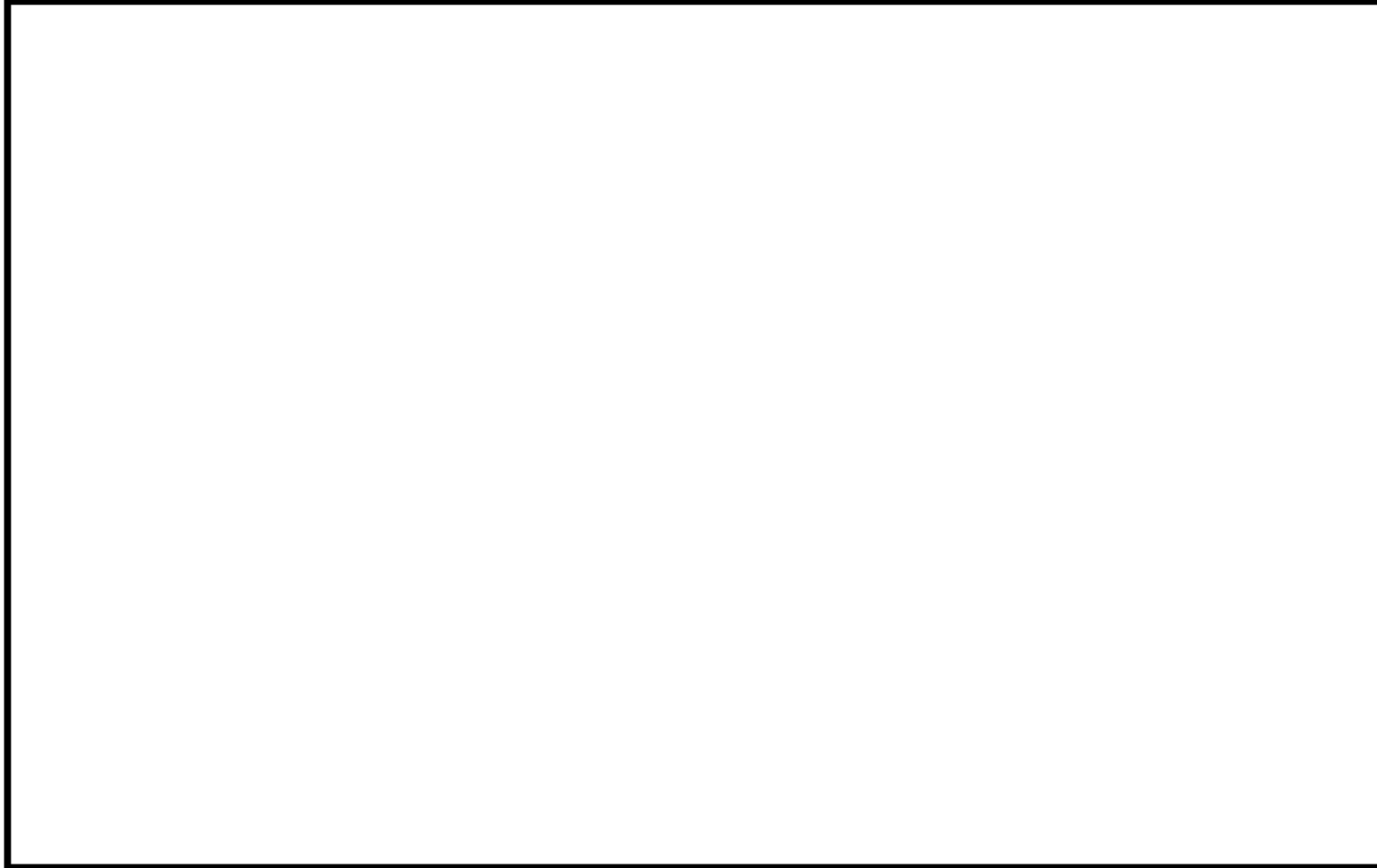
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 Ke	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		修正前 salt	修正後 salt'					
1A1	2D4	64.4	-439.2	1.27	319.3	329.4	2	42500	0.00005	3.090	0.00015
1A1	2G1	64.4	-413.2	1.17	278.3	287.2	2	88700	0.00002	3.179	0.00007
1A1	1L1	64.4	-325.7	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	33	1220000	0.00003	1.000	0.00003
2J1	1D1	61.4	-289.4	1.00	175.4	181.0	40	1250000	0.00003	1.000	0.00003
NSS	1D1	0.0	-289.4	1.00	144.7	149.3	81	2480000	0.00003	1.000	0.00003
2B1	1D1	-133.8	-289.4	1.00	77.8	80.2	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00031

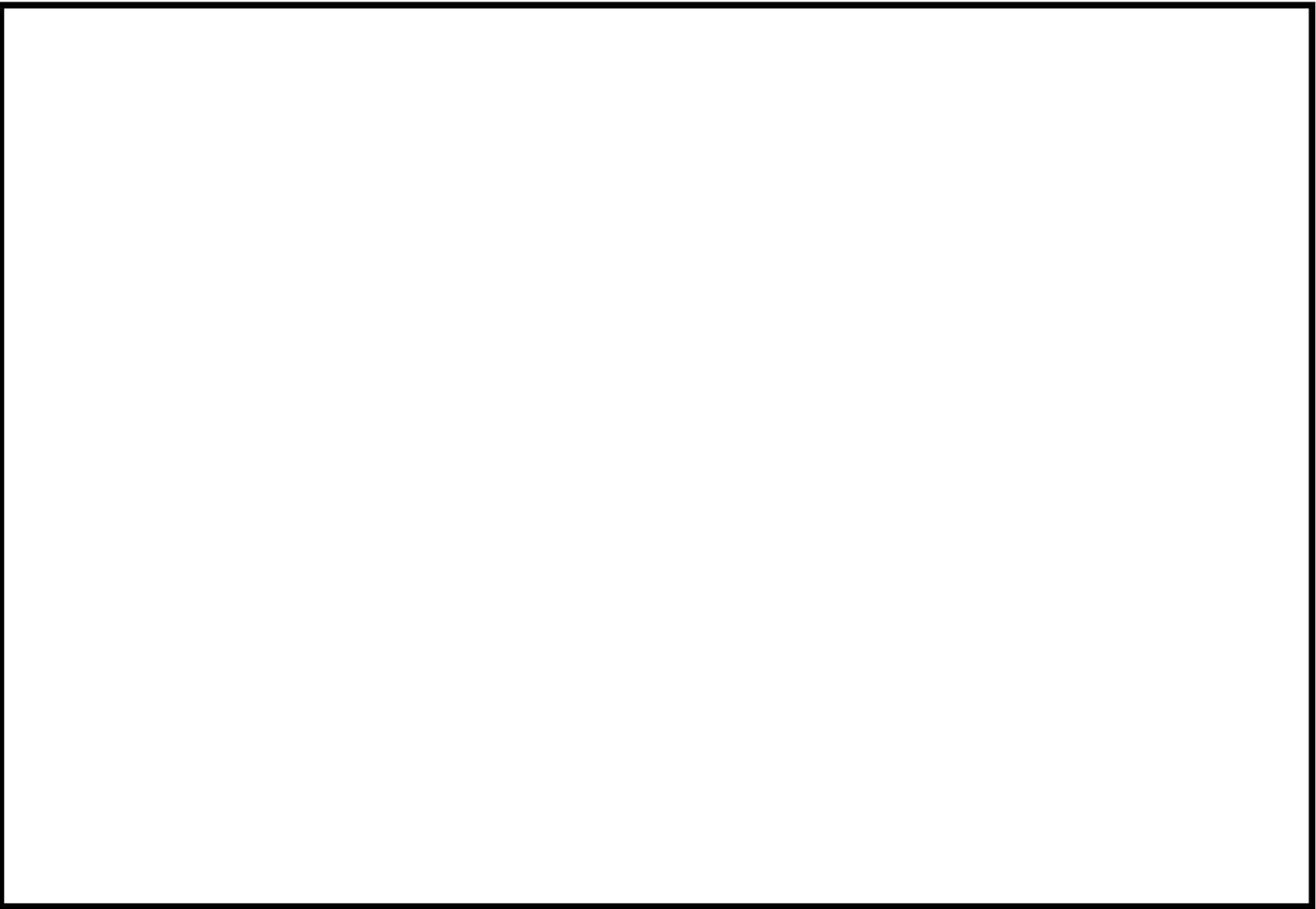
（注）ひびき振幅 $\leq 0.110\%$ （salt' $\leq 214.5$ ）の場合、fen=1.0

：割り増し係数 Ke、環境効果補正係数 fen を示す

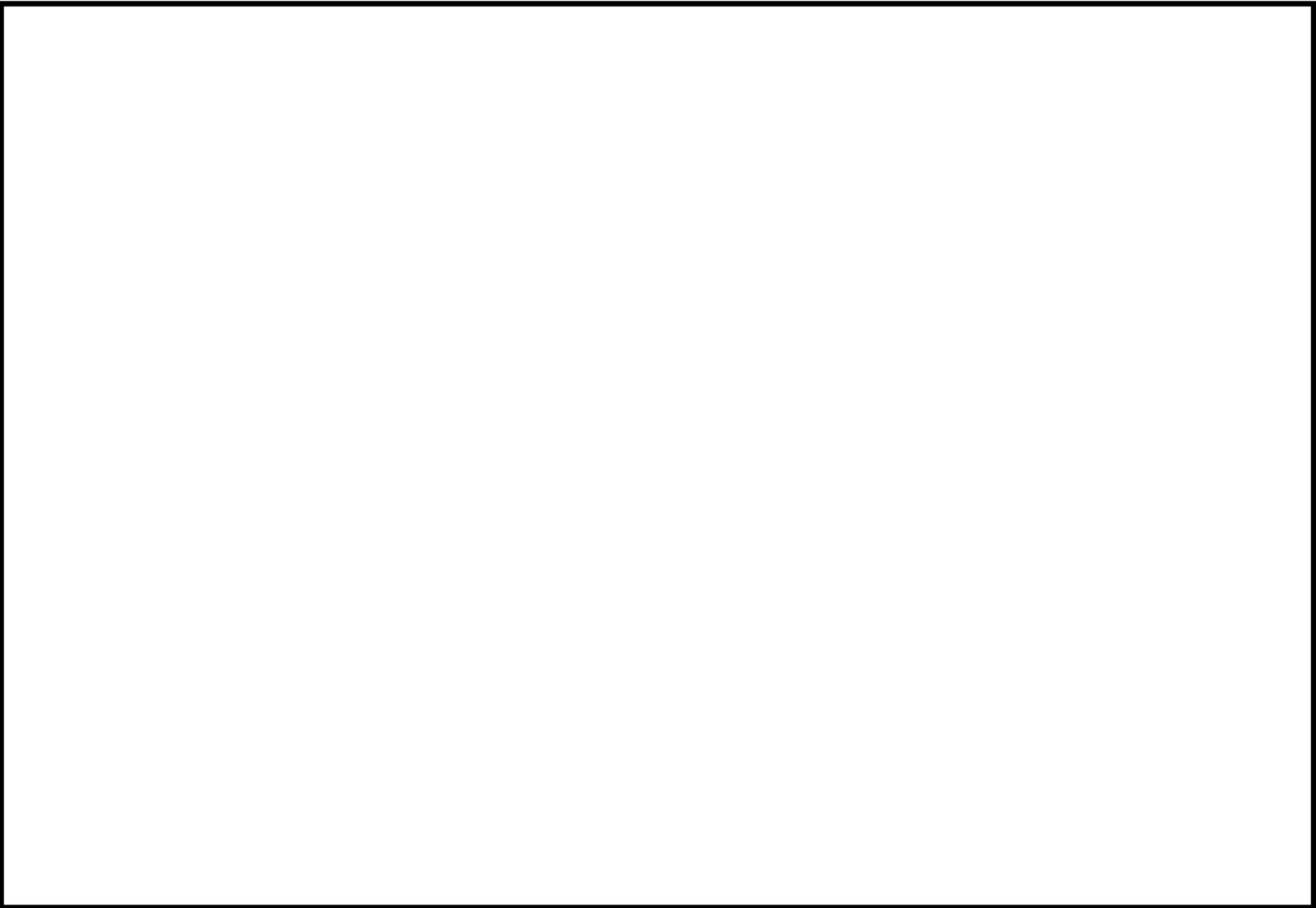
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

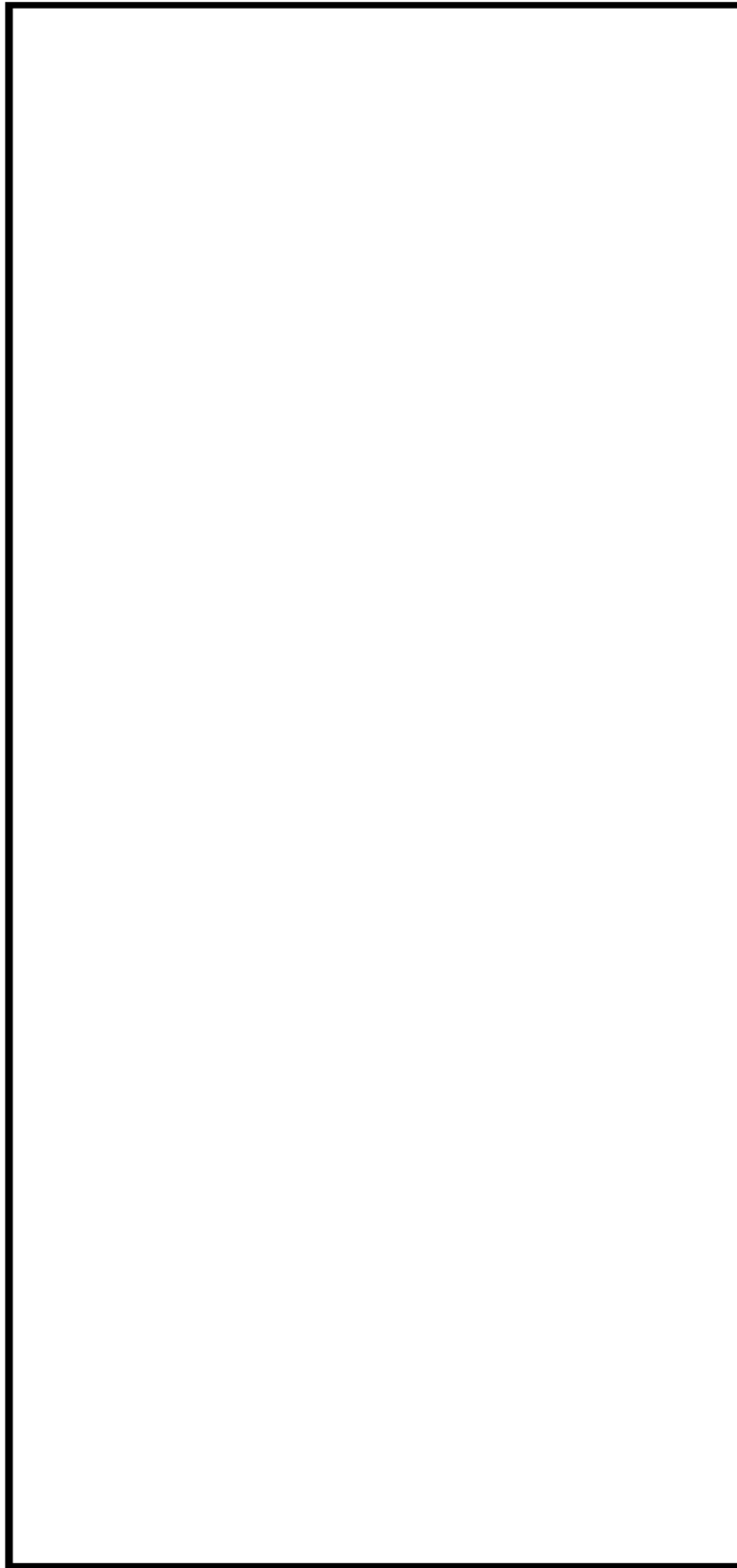
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。











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	0.00039	0.00003	0.00000
4	0.01332	0.00000	0.01204

許容値  $U_f = 1.0$

0.01332 : 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		( 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*	
156.0	-1216.1	1.0	686.0	707.8	2	1650	0.00121
156.0	-1064.7	1.0	610.4	629.7	2	2500	0.00080
156.0	-831.1	1.0	493.6	509.3	2	5600	0.00036
156.0	-812.7	1.0	484.4	499.7	2	6040	0.00033
156.0	-792.0	1.0	474.0	489.0	2	6590	0.00030
156.0	-759.0	1.0	457.5	472.0	6	7610	0.00079
156.0	-749.9	1.0	452.9	467.3	2	7920	0.00025
156.0	-713.7	1.0	434.9	448.7	2	9320	0.00021
156.0	-698.5	1.0	427.3	440.8	2	10000	0.00020
156.0	-695.9	1.0	425.9	439.5	2	10100	0.00020
156.0	-694.3	1.0	425.1	438.6	17	10200	0.00167
146.5	-694.3	1.0	420.4	433.7	40	10800	0.00370
0.0	-694.3	1.0	347.1	358.2	81	27900	0.00290
-318.0	-694.3	1.0	188.1	194.1	2	995000	0.00000
-336.2	-694.3	1.0	179.1	184.7	434	1170000	0.00037
-336.2	-642.2	1.0	153.0	157.8	0	1960000	0.00000
-336.2	-631.9	1.0	147.8	152.5	2	2250000	0.00000
-336.2	-606.6	1.0	135.2	139.5	40	3330000	0.00001
-336.2	-596.7	1.0	130.3	134.4	3	3910000	0.00000
-336.2	-549.5	1.0	106.7	110.1	38	12800000	0.00000
-336.2	-541.5	1.0	102.7	105.9	2	18300000	0.00000
-336.2	-528.0	1.0	95.9	98.9	0	51000000	0.00000
-336.2	-525.0	1.0	94.4	97.4	2	87400000	0.00000
-336.2	-515.3	1.0	89.6	92.4	41		0.0

疲労累積係数 = 0.01332

$K_e$  : 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 : 割り増し係数  $K_e$  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	91.3	-571.2	1.25	414.3	427.4	2	11600	0.00017	3.010	0.00052
1A1	2G1	91.3	-497.7	1.00	294.5	303.9	2	65200	0.00003	3.093	0.00009
1A1	2D2	91.3	-380.9	1.00	236.1	243.6	2	223000	0.00001	3.034	0.00003
1A1	1L1	91.3	-369.2	1.00	230.2	237.5	2	261000	0.00001	3.041	0.00002
1A1	2F1	91.3	-360.6	1.00	226.0	233.2	2	293000	0.00001	3.026	0.00002
1A1	2D1	91.3	-342.0	1.00	216.7	223.5	6	381000	0.00002	3.065	0.00005
1A1	2C2	91.3	-340.2	1.00	215.8	222.6	2	391000	0.00001	3.052	0.00002
1A1	2E1	91.3	-314.0	1.00	202.7	209.1	2	588000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2H2	91.3	-313.6	1.00	202.5	208.9	2	593000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1G1	91.3	-307.8	1.00	199.6	205.9	2	656000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1D1	91.3	-306.9	1.00	199.1	205.4	17	667000	0.00003	1.000	0.00003
2J1	1D1	85.3	-306.9	1.00	195.6	202.8	40	729000	0.00005	1.000	0.00005
NSS	1D1	0.0	-306.9	1.00	153.4	158.3	81	1940000	0.00004	1.000	0.00004
2H1	1D1	-104.8	-306.9	1.00	101.0	104.2	2	22300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1D1	-115.8	-306.9	1.00	95.5	98.8	434	57900000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2A1	-115.8	-279.5	1.00	81.9	84.5	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00089

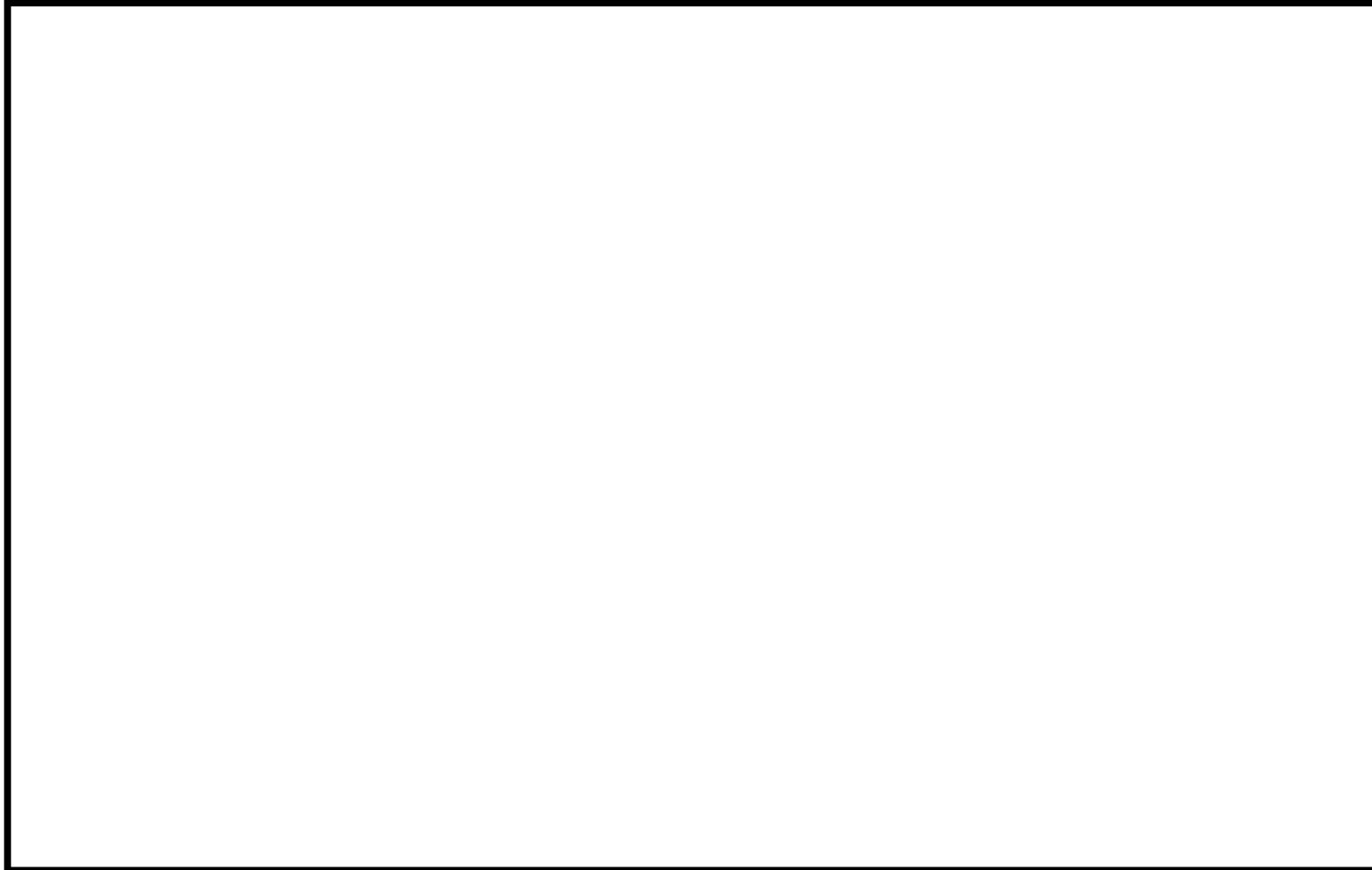
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt' $\leq 214.5$ ) の場合、fen=1.0

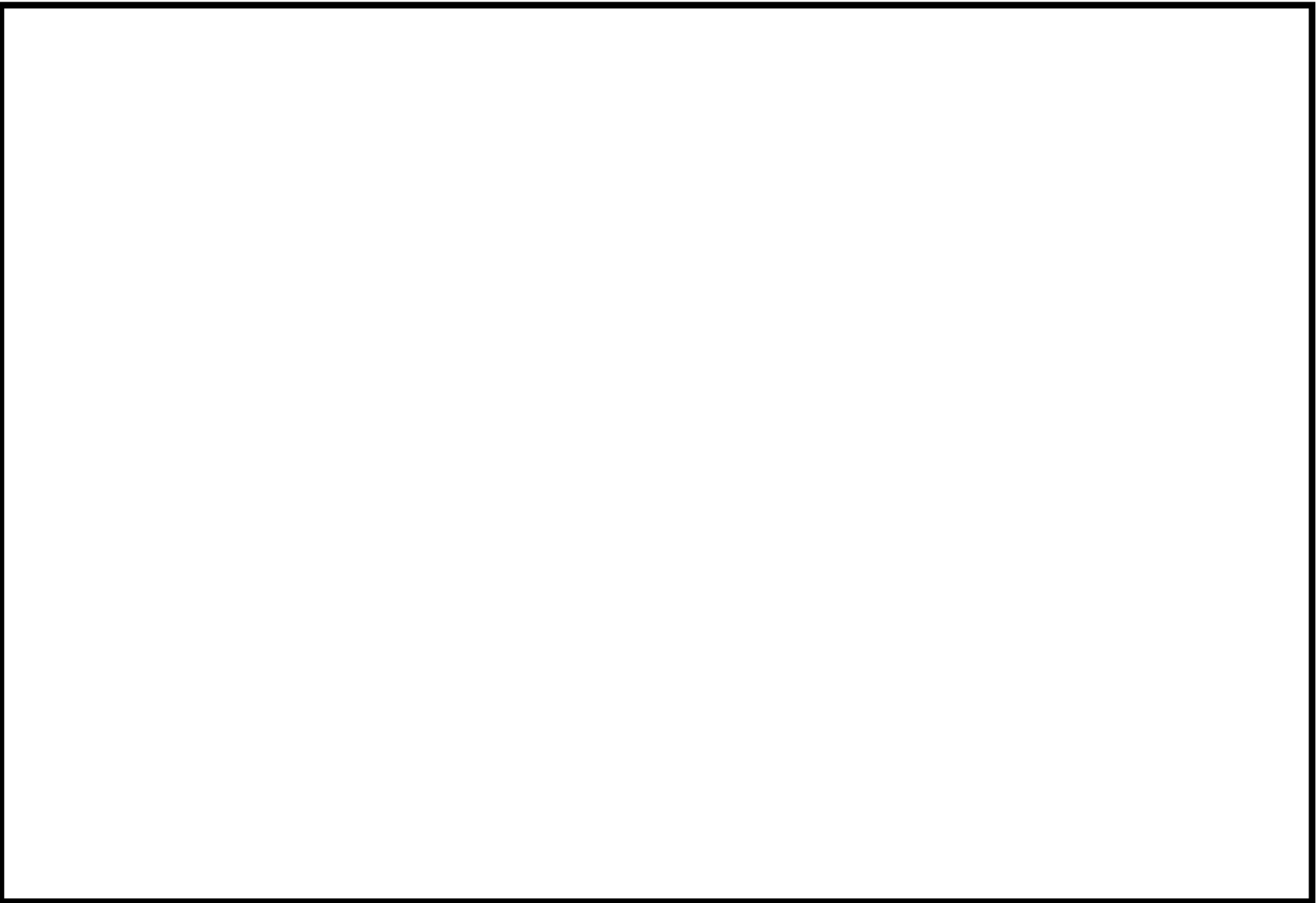
：割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

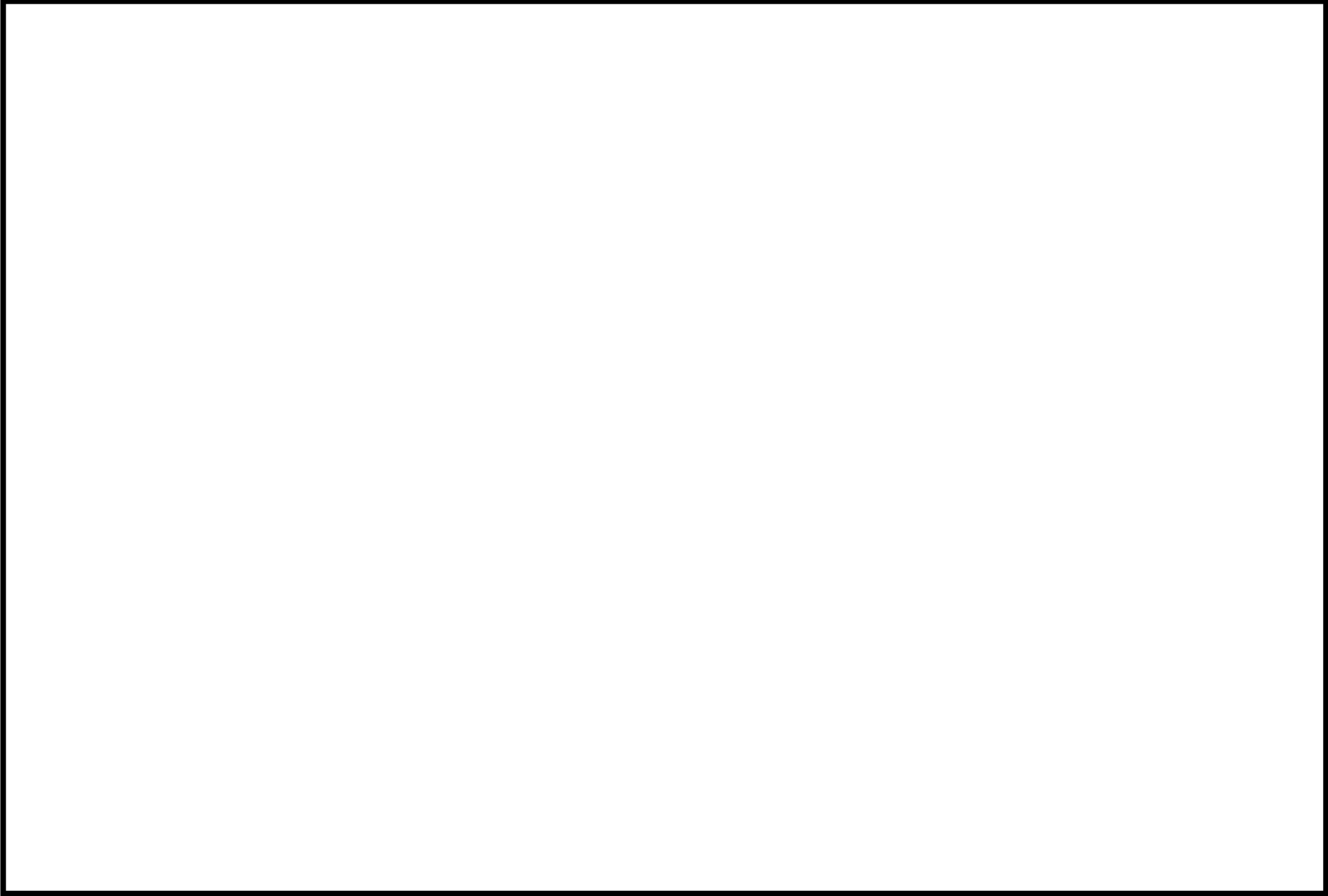


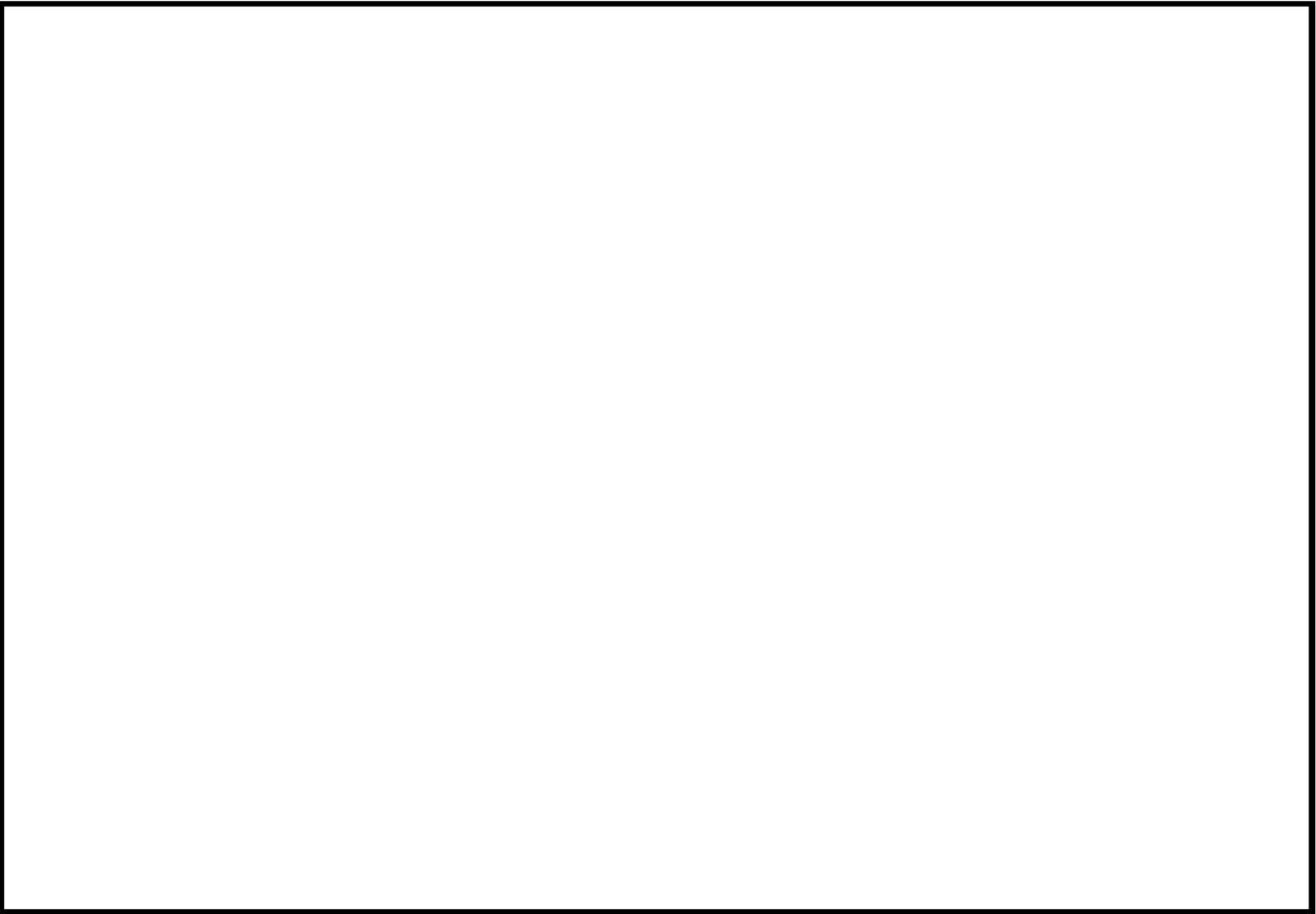
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

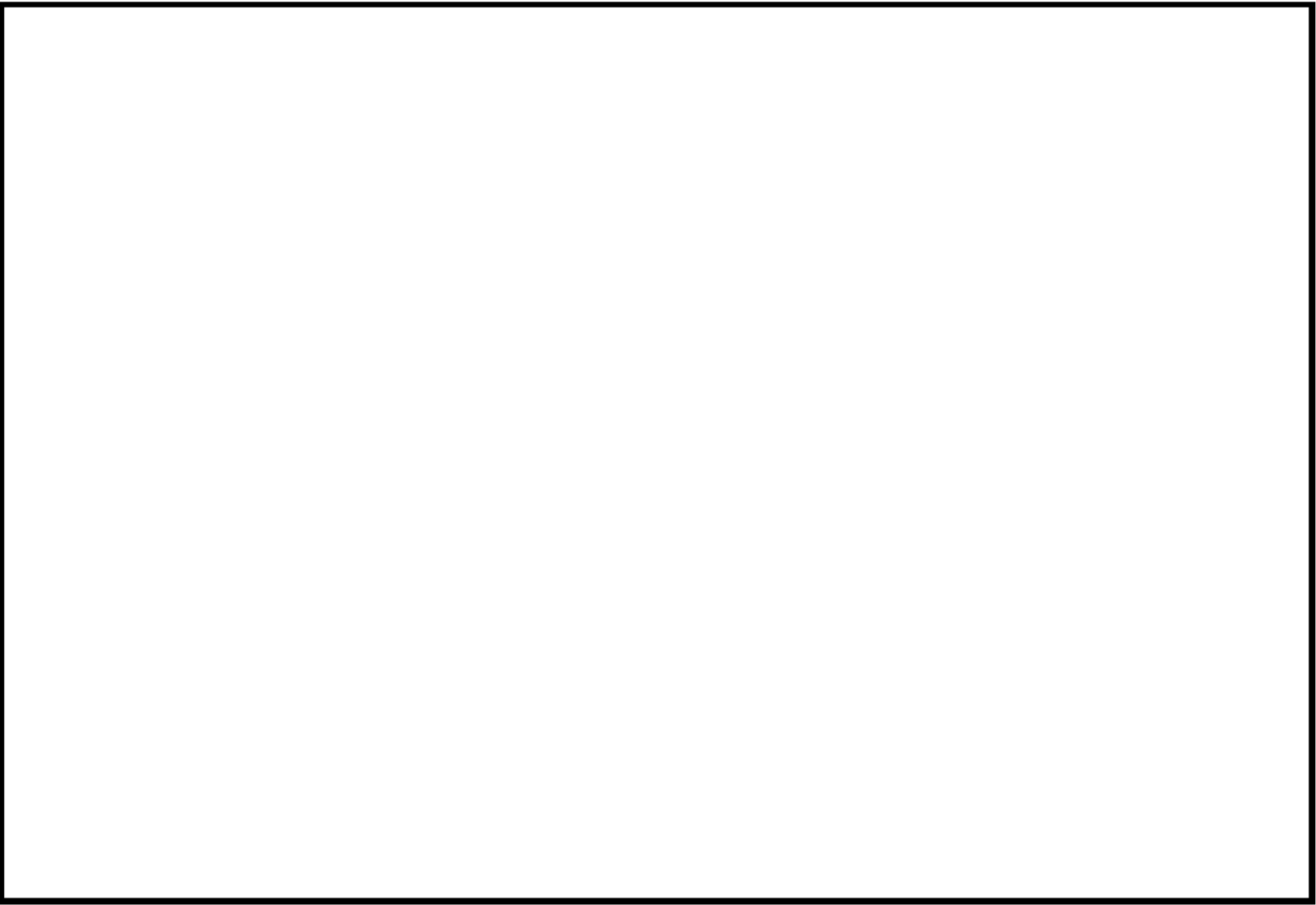
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。



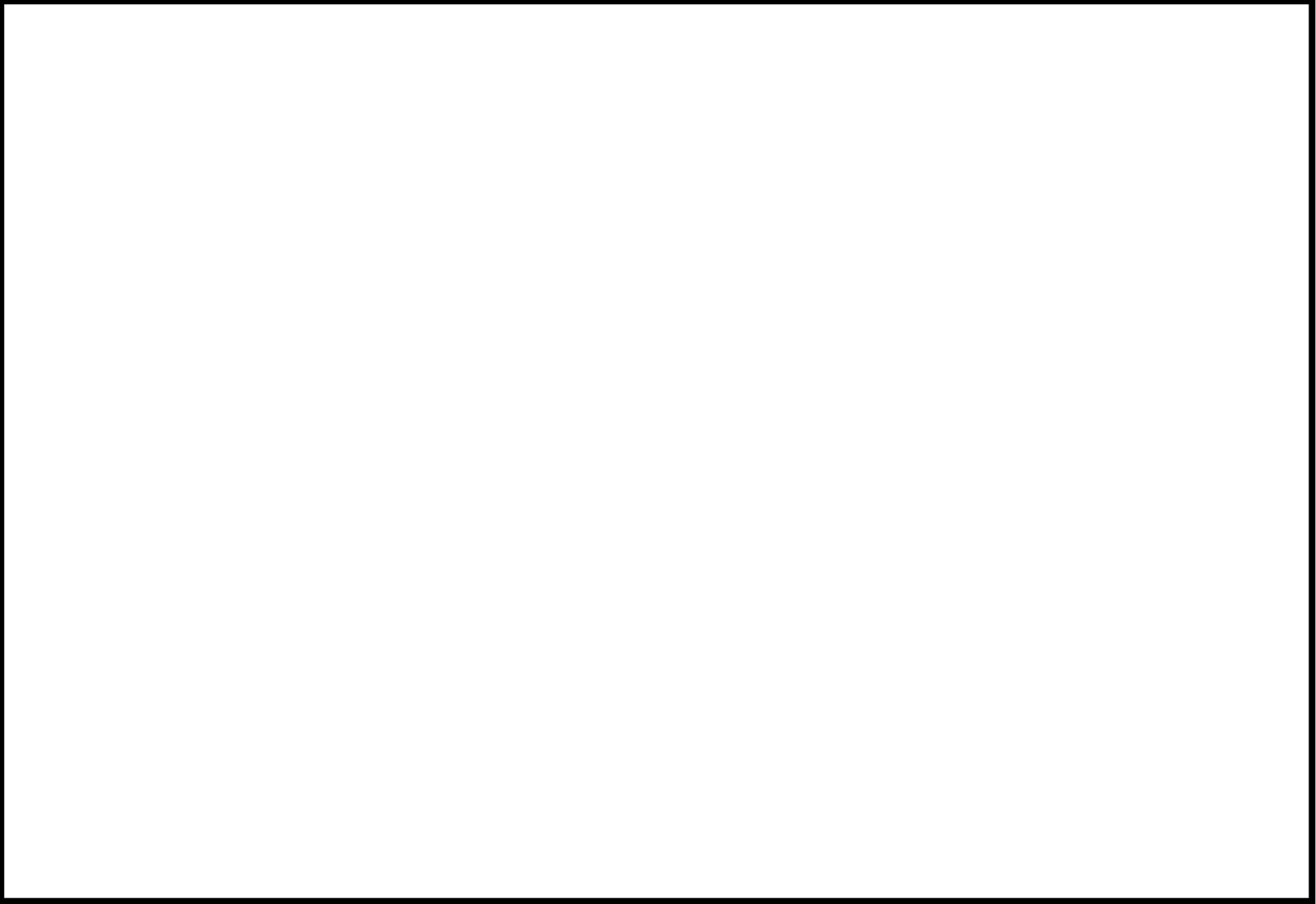


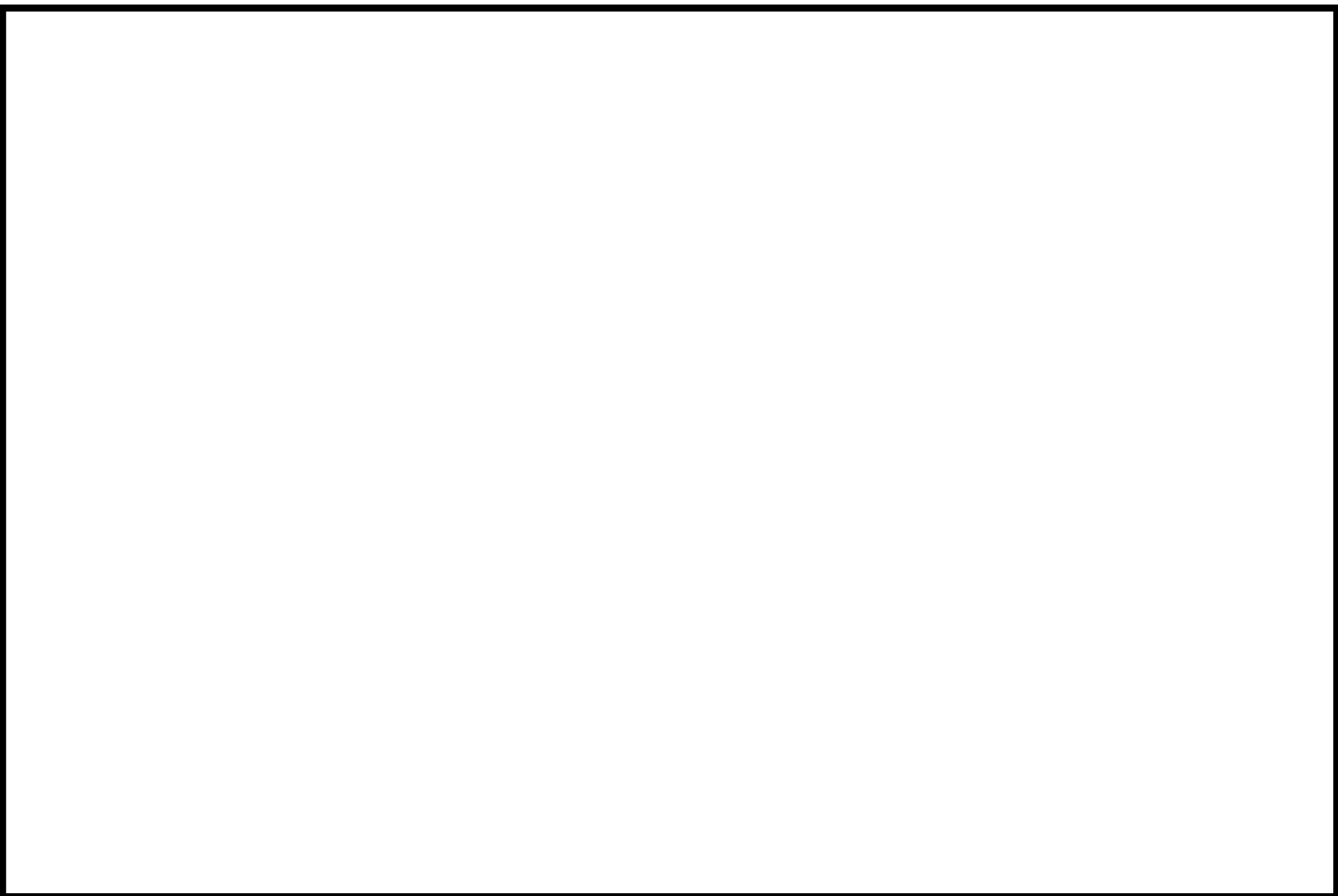




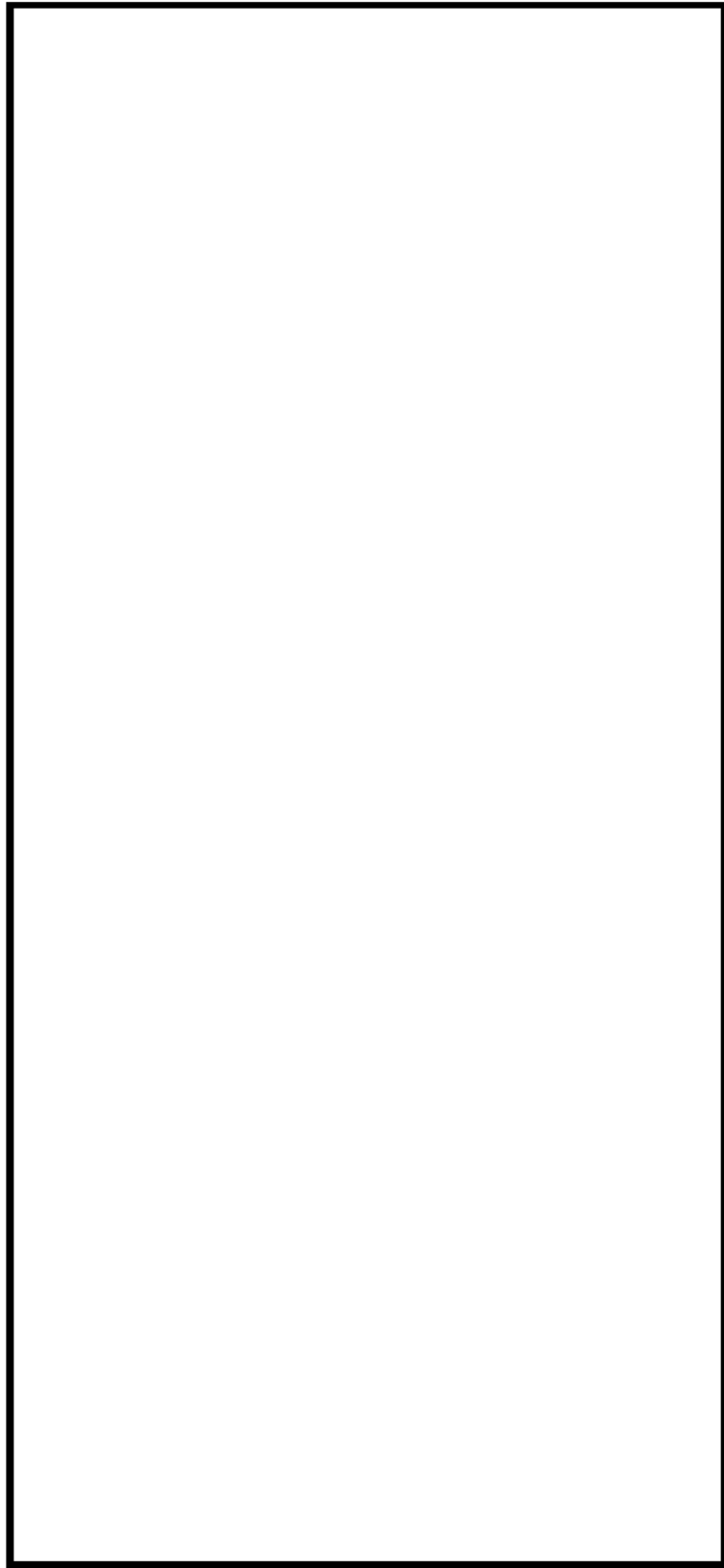












炉内計装筒形状寸法、評価点及び解析モデル

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	0.0	0.0	0.00000
7	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00148	0.00019	0.0
10	0.01927	0.00068	0.13615

許容値  $U_T = 1.0$

0.13615 : 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		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*	
1761.7	-38.6	1.0	909.2	882.1	2	793	0.00252
1594.2	-38.6	1.0	816.4	800.0	2	1080	0.00185
1273.8	-38.6	1.0	656.2	643.0	2	2320	0.00086
1266.3	-38.6	1.0	652.5	639.4	6	2370	0.00253
1264.3	-38.6	1.0	651.5	638.4	52	2380	0.02185
1264.3	-8.5	1.0	636.4	623.6	12	2600	0.00462
1258.4	-8.5	1.0	633.4	620.7	2	2640	0.00076
1246.9	-8.5	1.0	627.7	615.1	4	2740	0.00146
1205.6	-8.5	1.0	607.1	594.9	51	3100	0.01645
1205.6	-8.3	1.0	607.0	594.8	69	3100	0.02226
1205.6	0.0	1.0	602.8	590.7	133	3190	0.04169
1205.6	8.6	1.0	598.5	586.5	63	3270	0.01927
1205.6	604.1	1.0	309.8	294.7	2	77000	0.00003
1205.6	824.2	1.0	190.7	186.9	6	1130000	0.00001
1205.6	923.0	1.0	141.3	138.5	2	3430000	0.00000
1205.6	941.5	1.0	132.1	129.4	2	4610000	0.00000
1205.6	957.1	1.0	124.3	121.8	2	6420000	0.00000
1205.6	971.0	1.0	117.3	115.0	2	9020000	0.00000
1205.6	978.3	1.0	113.6	111.4	7	11400000	0.00000
1205.6	990.7	1.0	107.5	105.3	3	19400000	0.00000
1205.6	995.8	1.0	104.9	102.8	2	27700000	0.00000
1205.6	1012.4	1.0	96.6	94.7	2	453000000	0.00000
1205.6	1049.7	1.0	78.0	76.4	4		0.0

疲労累積係数 = 0.13615

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）

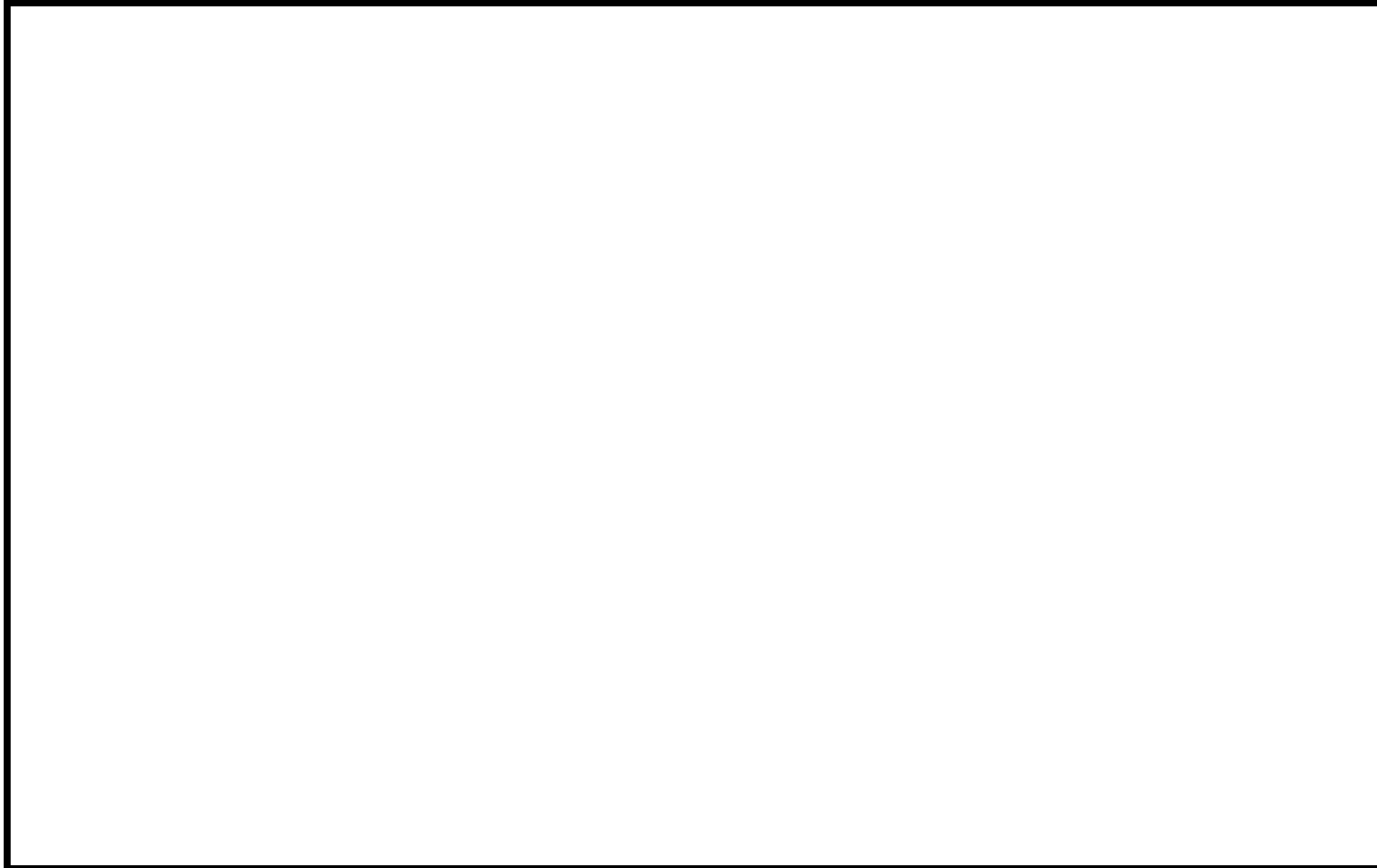
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
2J1	2D4	17.9	-666.6	1.00	341.8	334.9	2	39100	0.00005	2.570	0.00013
2J1	2G1	17.9	-609.1	1.00	313.5	307.2	2	61400	0.00003	2.619	0.00009
2J1	2A1	17.9	-500.7	1.00	259.3	254.1	6	174000	0.00003	2.412	0.00008
2J1	2J2	17.9	-491.1	1.00	254.6	249.4	64	193000	0.00028	2.387	0.00067
1B1	2J2	9.5	-491.1	1.00	250.3	245.3	10	214000	0.00005	1.160	0.00005
1B1	2B2	9.5	-487.6	1.00	248.6	243.6	4	223000	0.00002	1.632	0.00003
1B1	2H1	9.5	-484.8	1.00	247.2	242.2	2	231000	0.00001	1.525	0.00001
1B1	2I1	9.5	-482.6	1.00	246.0	241.1	2	238000	0.00001	1.547	0.00001
1B1	1C1	9.5	-466.6	1.00	238.1	233.3	51	292000	0.00017	1.507	0.00026
1I1	1C1	5.4	-466.6	1.00	236.0	231.3	63	308000	0.00020	3.349	0.00069
1A1	1C1	3.6	-466.6	1.00	235.1	230.4	69	315000	0.00022	2.702	0.00059
NSS	1C1	0.0	-466.6	1.00	233.3	228.6	133	331000	0.00040	3.349	0.00135
2B1	1C1	-223.7	-466.6	1.00	121.5	119.0	2	7350000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1C1	-320.4	-466.6	1.00	73.1	71.7	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00396

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

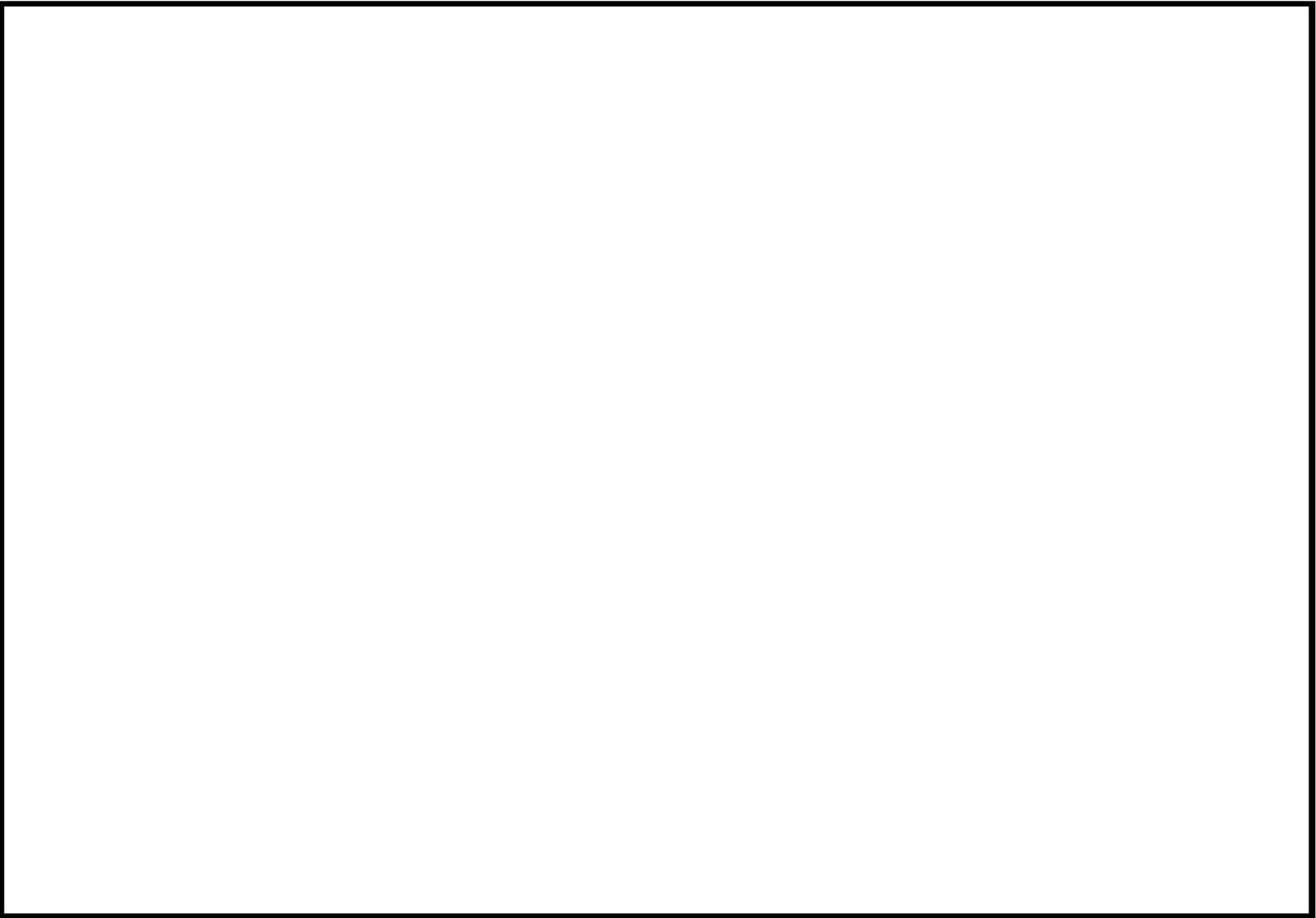
：割り増し係数 Ke、環境効果補正係数 fen を示す

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。





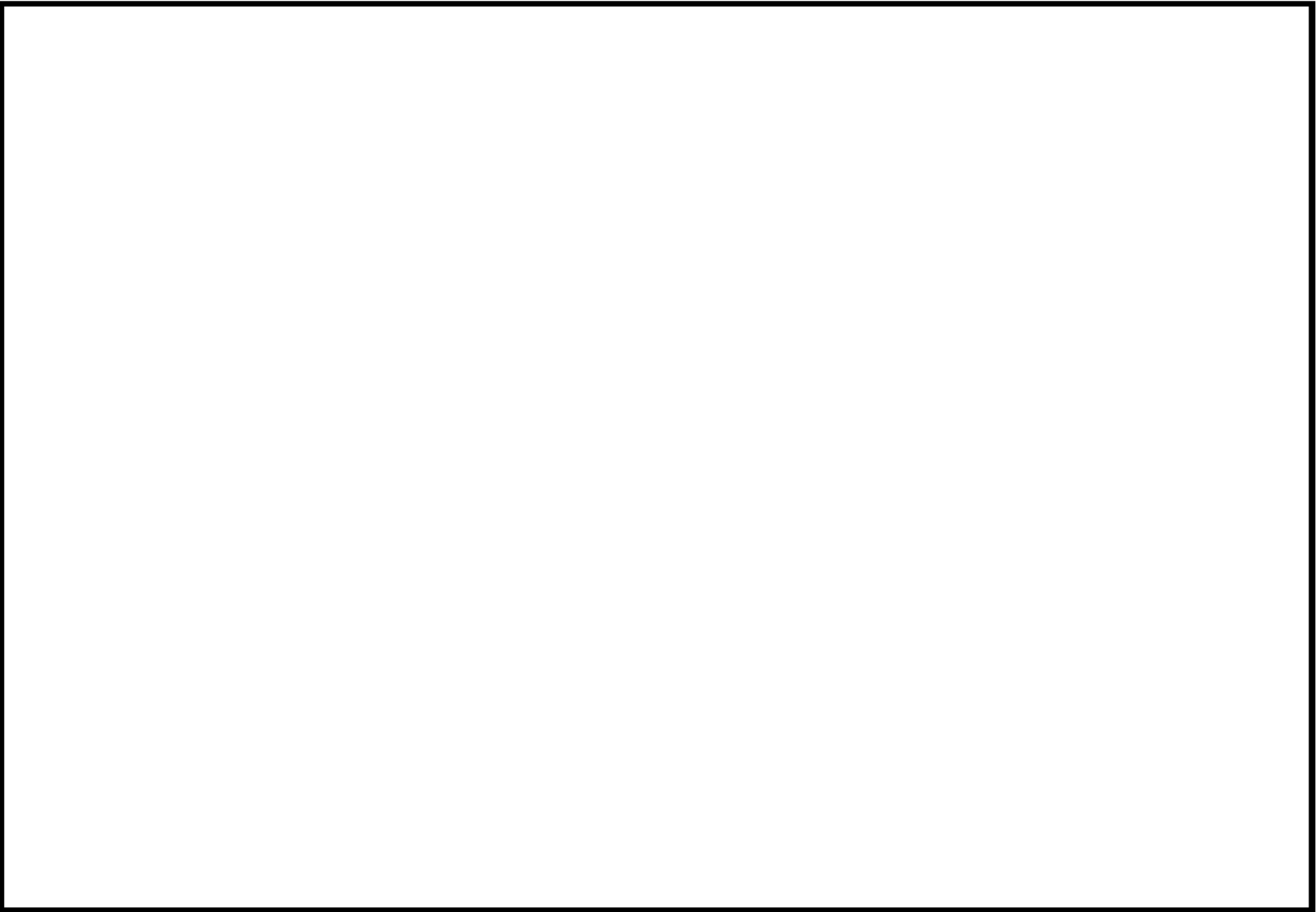


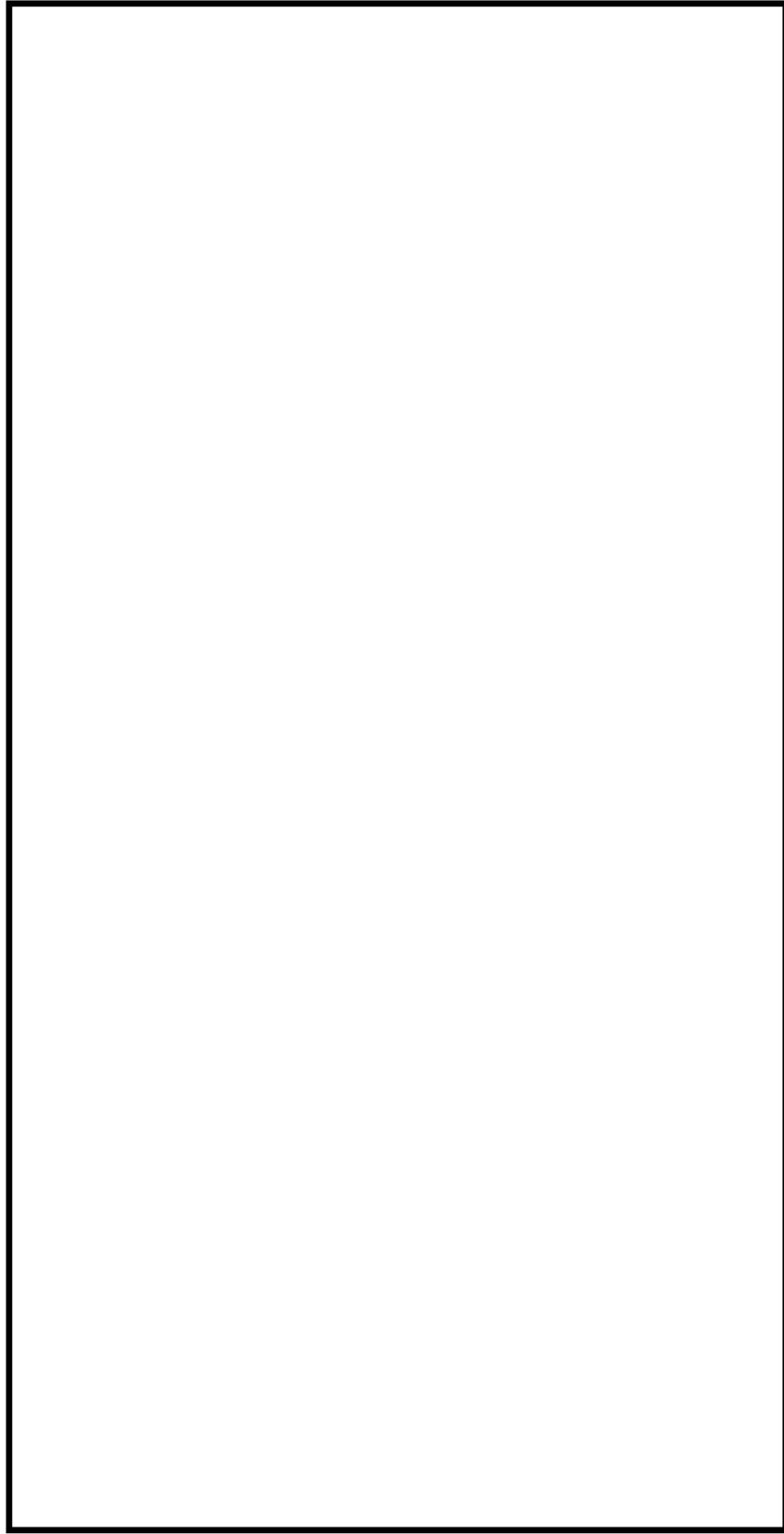












上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト寸法、評価点及び解析モデル

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	0.00017	0.00110	0.00048
2	0.00065	0.00046	0.00717
3	0.00043	0.00143	0.00009
4	0.00081	0.00117	0.00024
5	0.0	0.00312	0.00460
6	0.0	0.00090	0.00149
7	0.21969	0.0	0.21969
8	0.05304	0.0	0.05304
9	0.12842	0.0	0.12842
10	0.04883	0.0	0.04883

許容値  $U_T=1.0$

0.00717 : 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	$K_e$	ALT	ALT'	N	N*	
0.0	-427.2	1.0	213.6	255.6	40	10800	0.00370
-42.0	-427.2	1.0	192.6	230.5	1	15400	0.00006
-42.0	-382.8	1.0	170.4	203.9	40	23200	0.00172
-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	35	35900	0.00097
-103.2	-366.2	1.0	131.5	157.4	2	52500	0.00004
-124.5	-366.2	1.0	120.9	144.6	40	79400	0.00050
-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 =							0.00717

$K_e$  : 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

1.0 : 割り増し係数  $K_e$  を示す

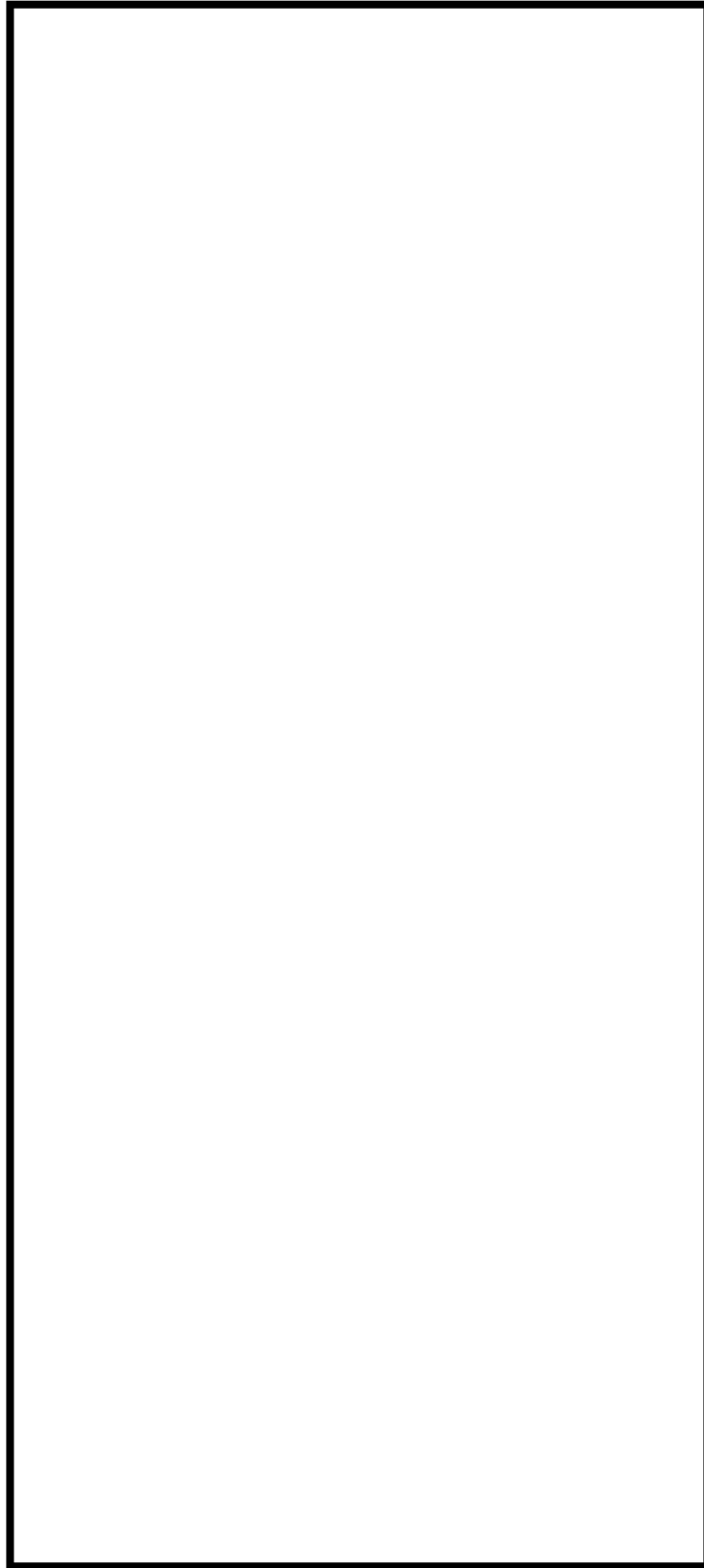
### スタッドボルト 疲労解析結果 (評価点 : 7)

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	41	352	0.11648
1957.9	216.7	1.0	870.6	1041.7	3	447	0.00671
1704.9	216.7	1.0	744.1	890.4	41	609	0.06732
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	34	1860	0.01828
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	6	8780	0.00068
1269.2	858.3	1.0	205.4	245.8	35	8850	0.00395
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
1260.1	964.7	1.0	147.7	176.8	0	25100	0.00000
1252.9	964.7	1.0	144.1	172.4	2	28200	0.00007
1252.9	1010.8	1.0	121.0	144.8	6	62600	0.00010
1252.9	1014.7	1.0	119.1	142.5	2	67500	0.00003
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 =							0.21969

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	0.00100	0.00004
2	0.0	0.00015	0.0
3	0.0	0.00109	0.00388
4	0.0	0.00001	0.00001

許容値  $U_F=1.0$

0.00388 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

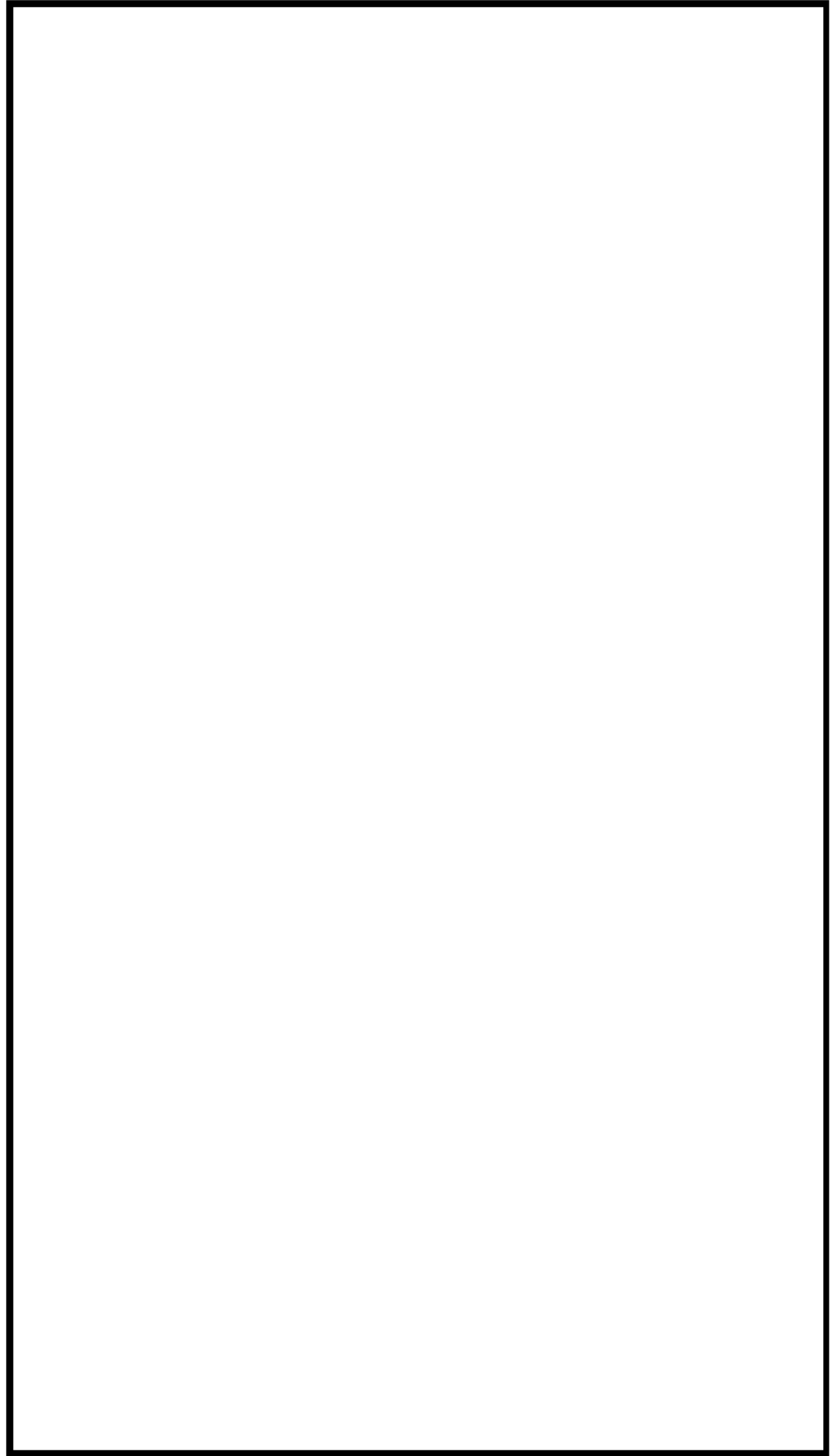
下部胴・下部鏡接続部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3  
( S31 )

応力強さ		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*	
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	6	64500	0.00009
15.0	-239.0	1.0	127.0	149.4	50	67800	0.00074
9.3	-239.0	1.0	124.2	146.0	14	75800	0.00018
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	49	82100	0.00060
0.0	-234.9	1.0	117.5	138.2	133	99400	0.00134
-5.9	-234.9	1.0	114.5	134.7	63	109000	0.00058
-134.2	-234.9	1.0	50.4	59.3	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.00388

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	0.00059	0.00039
2	0.0	0.00039	0.0
3	0.0	0.00509	0.00025
4	0.0	0.00015	0.0
5	0.0	0.00023	0.00108
6	0.0	0.00008	0.0
7	0.00001	0.00493	0.00026
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  $U_f=1.0$

0.00509 : 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	63	39800	0.00158
250.1	-38.7	1.0	144.4	169.8	1	40800	0.00002
248.2	-38.7	1.0	143.5	168.7	2	41600	0.00005
246.7	-38.7	1.0	142.7	167.8	6	42300	0.00014
242.7	-38.7	1.0	140.7	165.5	4	44200	0.00009
234.4	-38.7	1.0	136.6	160.6	51	48400	0.00195
234.4	0.0	1.0	117.2	137.8	133	109000	0.00133
234.4	11.9	1.0	111.2	130.8	63	121000	0.00052
234.4	110.2	1.0	62.1	73.0	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.00509

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 環境疲労評価結果 (評価点 : 11)

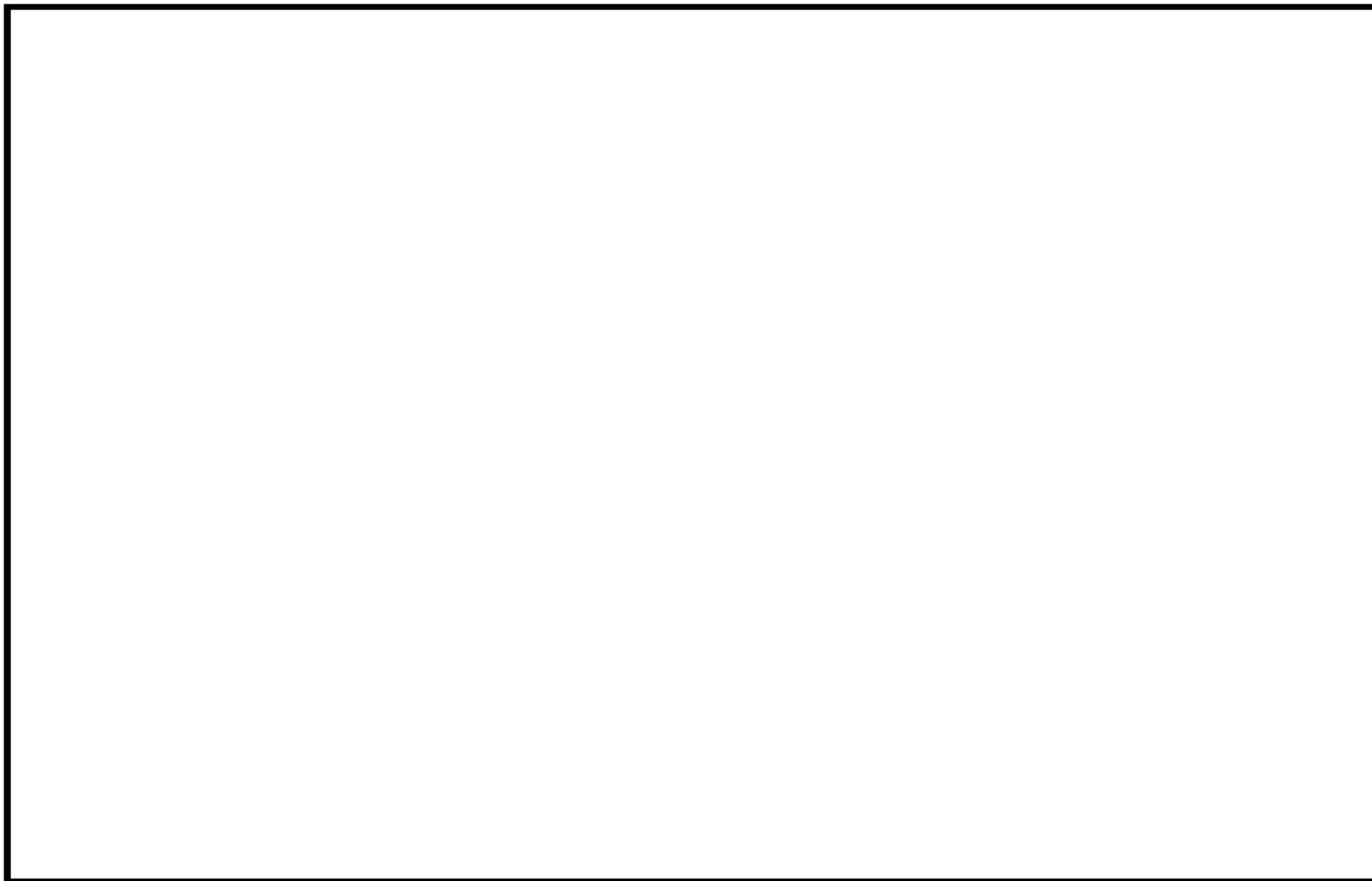
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smaz	shin		補正前 salt	補正後 salt'					
2A1	2D4	68.5	-127.5	1.00	98.2	96.2	2	653000000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2D2	68.5	-101.1	1.00	84.8	83.1	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00000

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

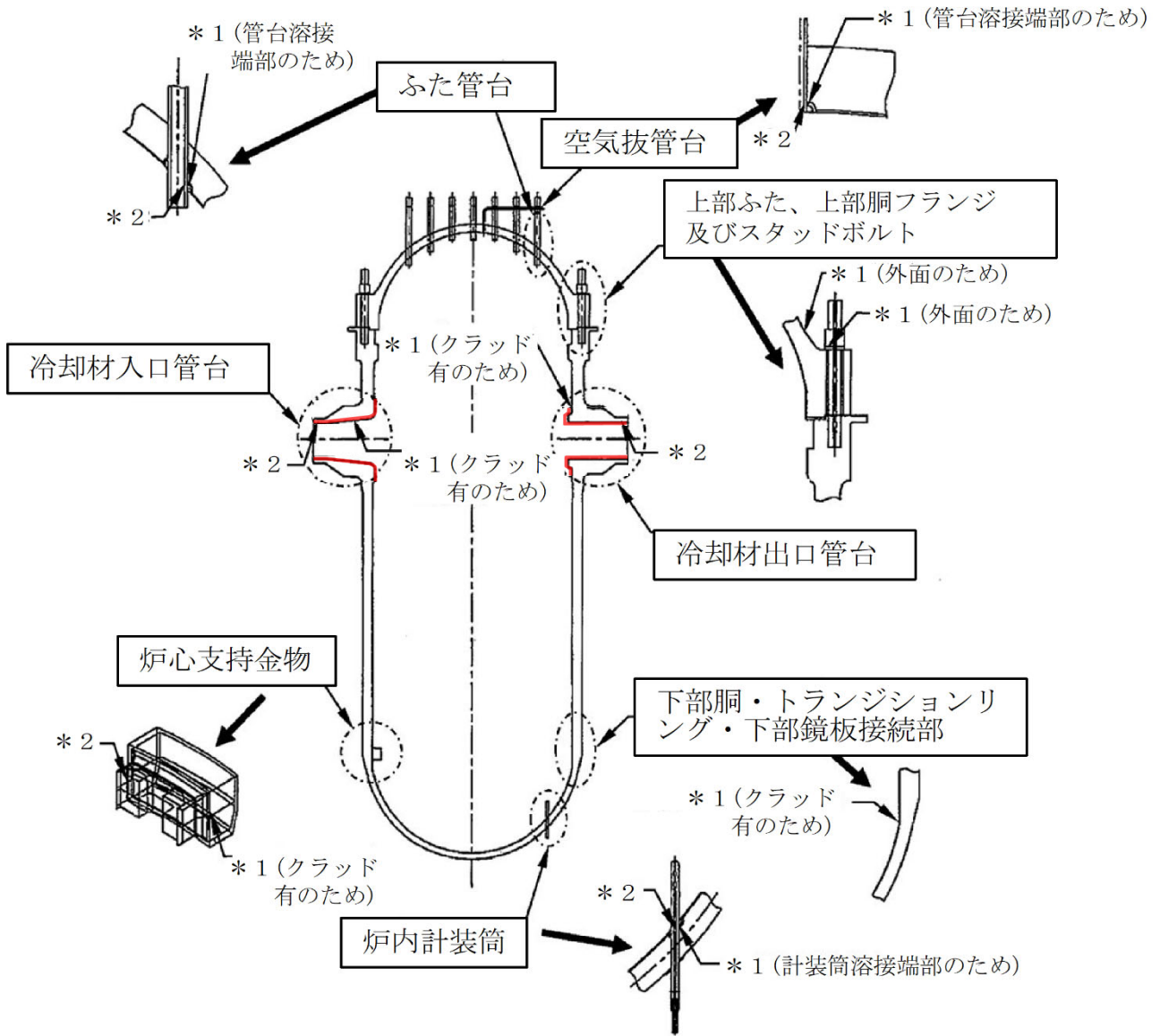
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

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<sup>※1</sup></td> </tr> <tr> <td>加圧器</td> <td>目視確認<sup>※2</sup></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 <sup>※1</sup>	加圧器	目視確認 <sup>※2</sup>	蒸気発生器	目視確認
	点検方法								
原子炉容器	目視確認 <sup>※1</sup>								
加圧器	目視確認 <sup>※2</sup>								
蒸気発生器	目視確認								



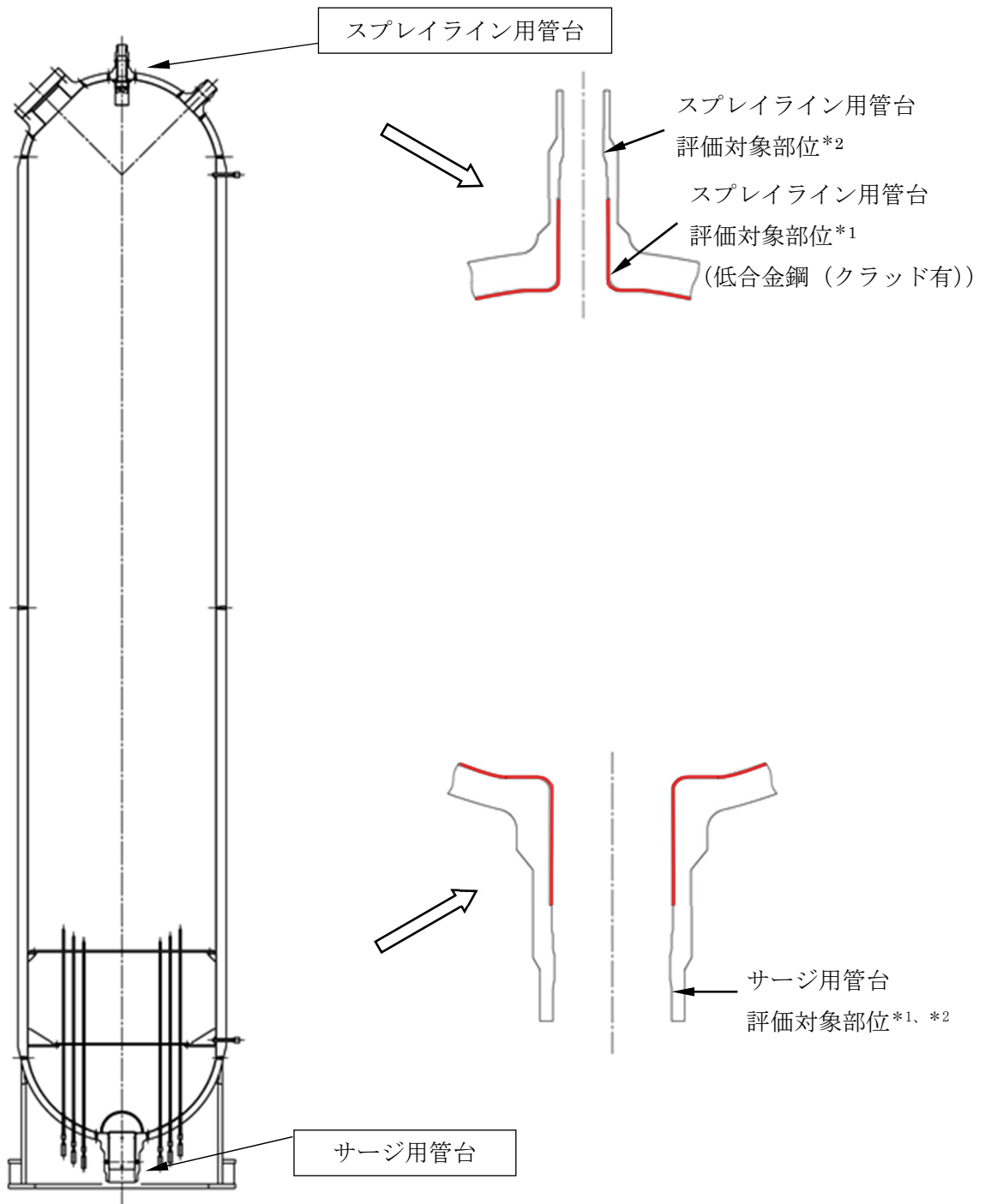
\* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(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



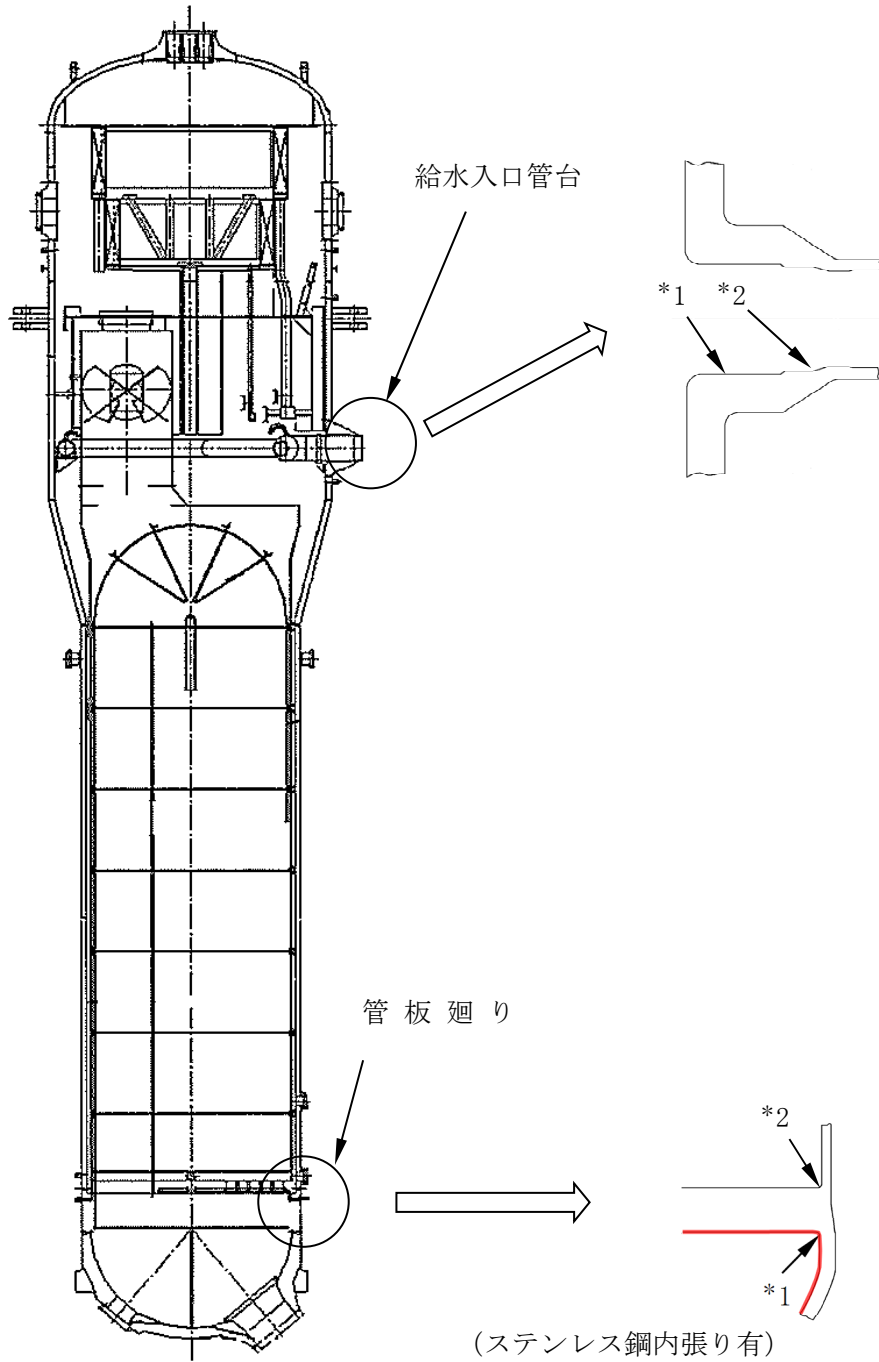
\* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(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

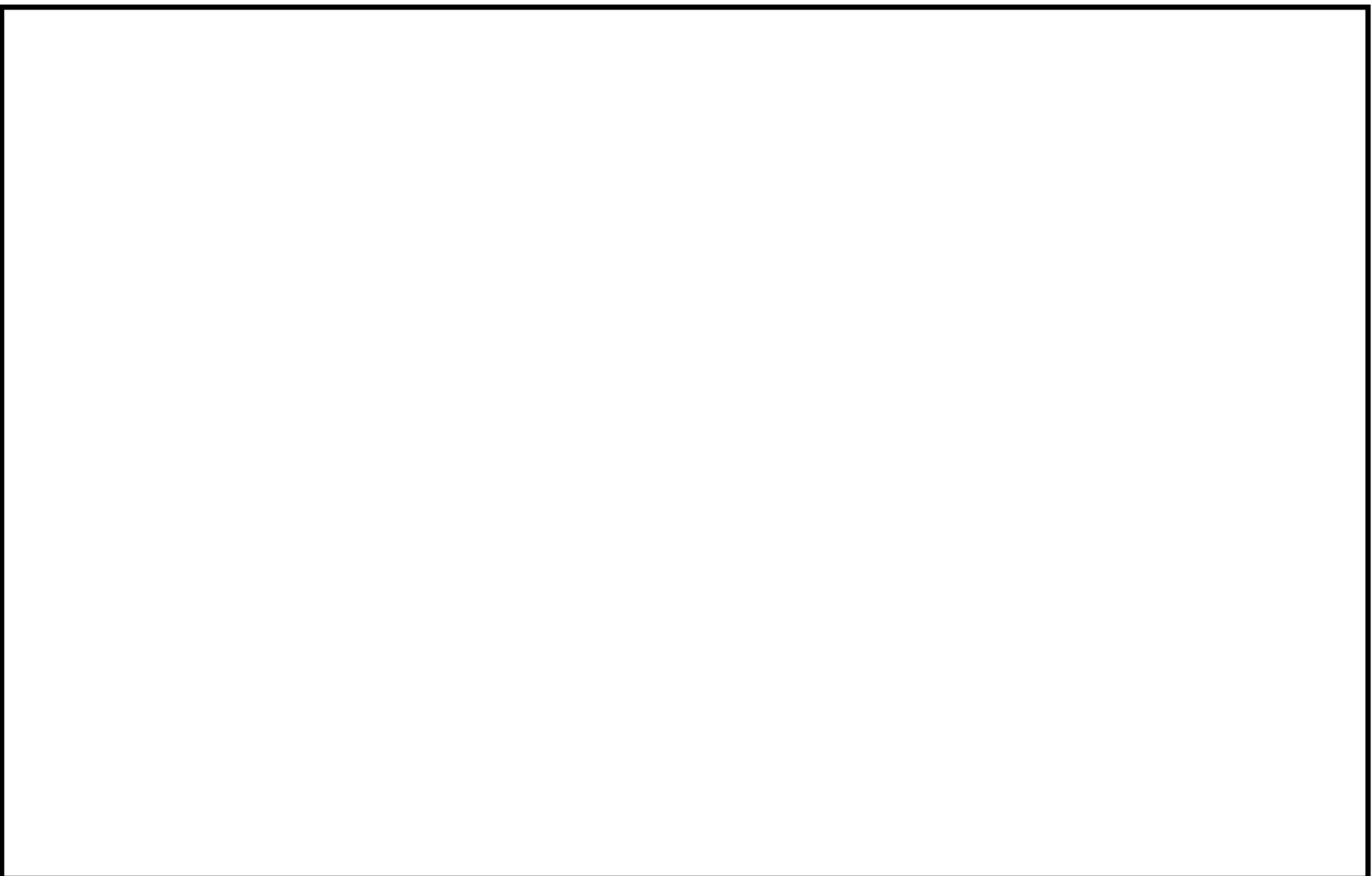
タイトル	環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について															
説明	<p>環境疲労評価は、「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009 年版）」（以下環境疲労評価手法）に基づいて実施している。</p> <p>環境疲労評価手法では、環境疲労補正係数（Fen）に溶存酸素が影響する場合として炭素鋼・低合金鋼を定めている。</p> <p>川内原子力発電所 2 号炉の劣化状況評価書において、炭素鋼・低合金鋼の接液部位のうち溶存酸素を考慮して環境疲労評価を行った部位は以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">溶存酸素が影響する炭素鋼・低合金鋼の評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="421 882 1361 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※ <sup>1</sup>
		給水入口管台	詳細評価※ <sup>1</sup>
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 <sup>※2</sup>
	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
余熱除去系戻り及び安全注入管台		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	簡易評価
	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)

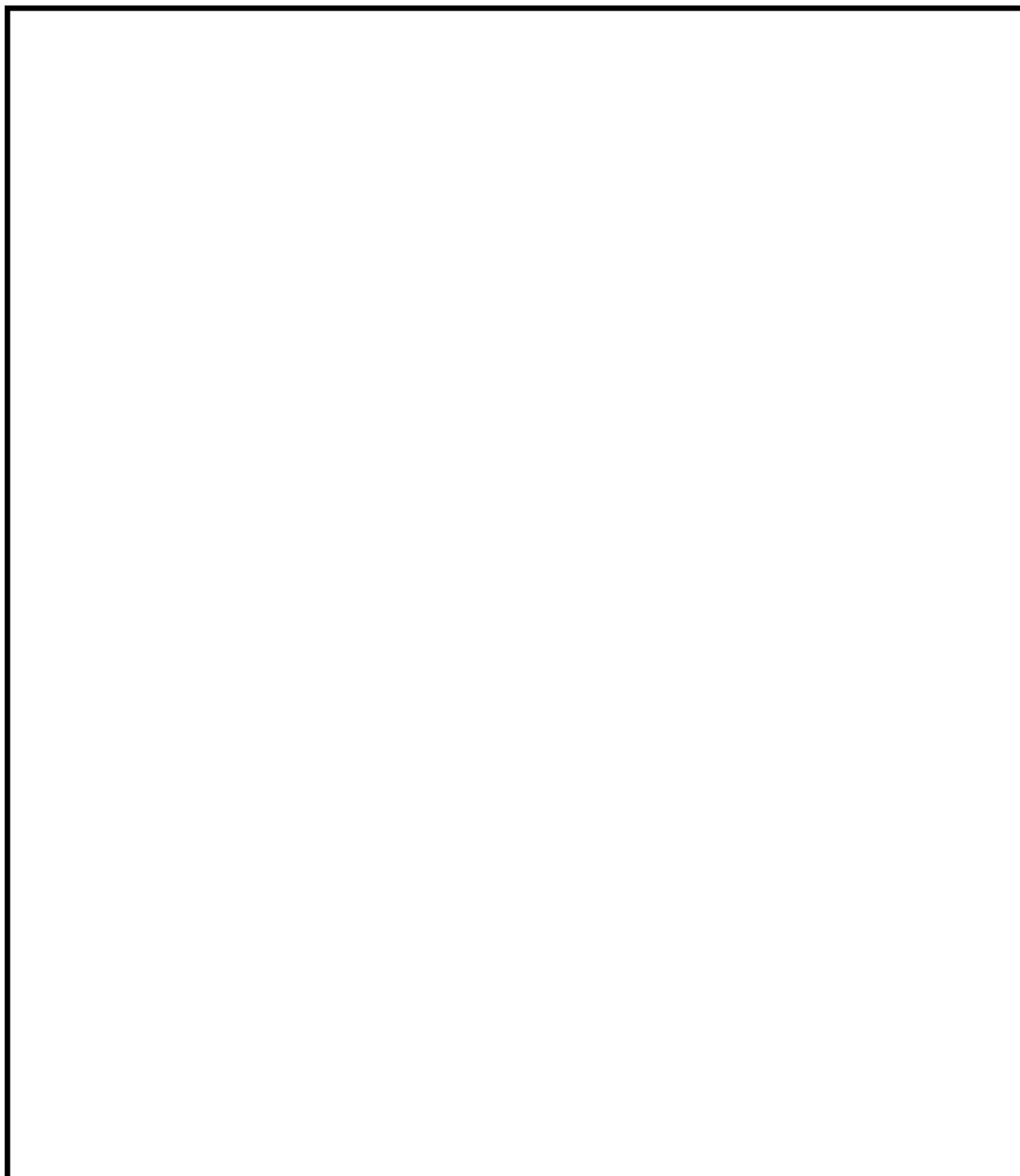
評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	詳細評価
		上部炉心支持柱	詳細評価
		上部炉心板	詳細評価
		下部炉心板	詳細評価
		下部炉心支持柱	詳細評価
		下部炉心支持板	詳細評価
		炉心槽下部接続部	詳細評価
重機器サポート	加圧器スカート溶接部	—	

- ※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。

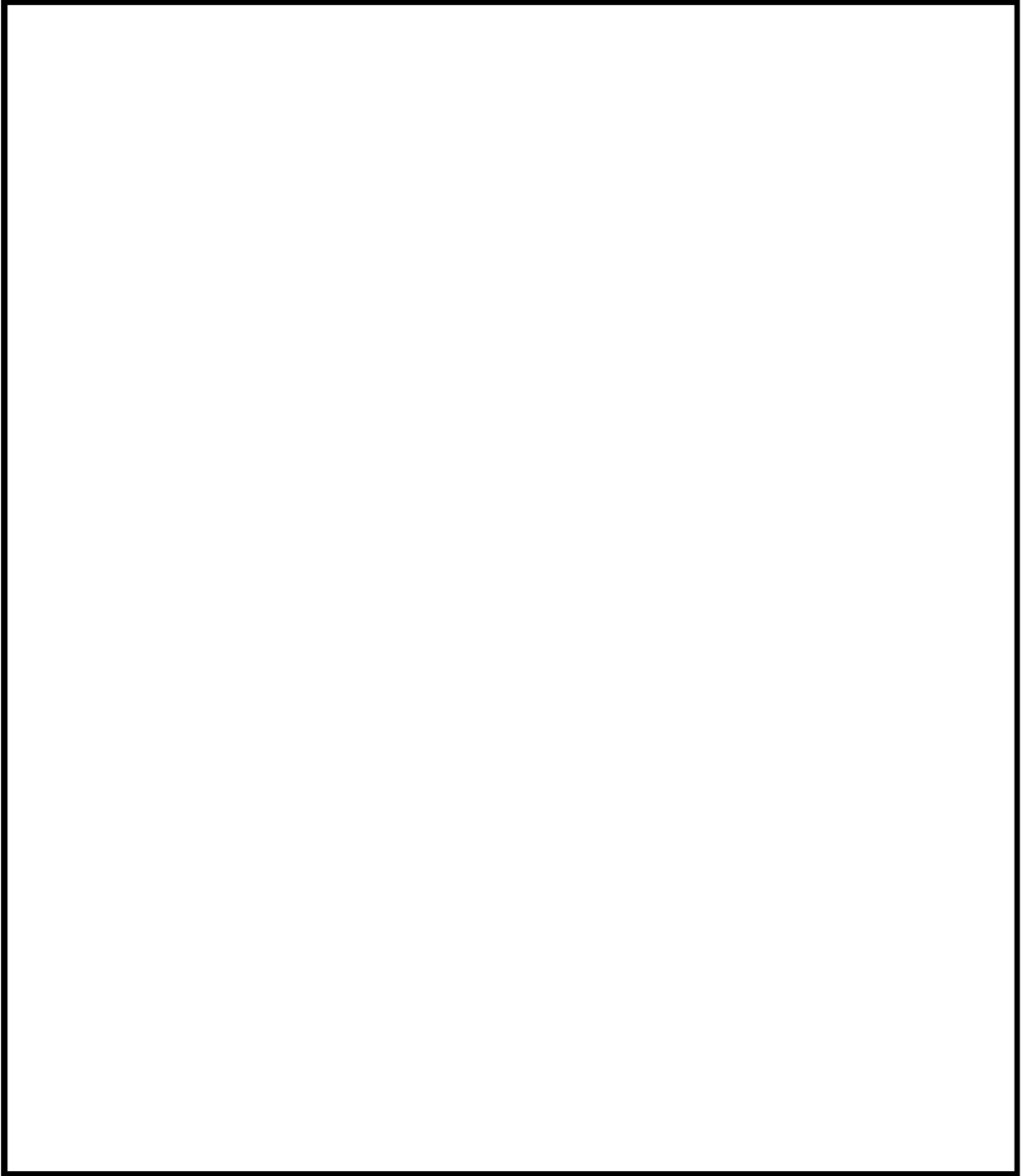
タイトル	代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>以下の各機器の評価についての算出根拠を次ページ以降に示す。          なお、次ページ以降における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。</p> <p>① 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・7-2          ② 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-16          ③ 蒸気発生器給水管台の熱成層を考慮した評価の算出根拠・・・・7-26          ④ 加圧器管台（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠・・・7-36          ⑤ 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="475 622 1310 824"> <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 1321 1144"> <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="422 1534 1358 1704"> <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																			

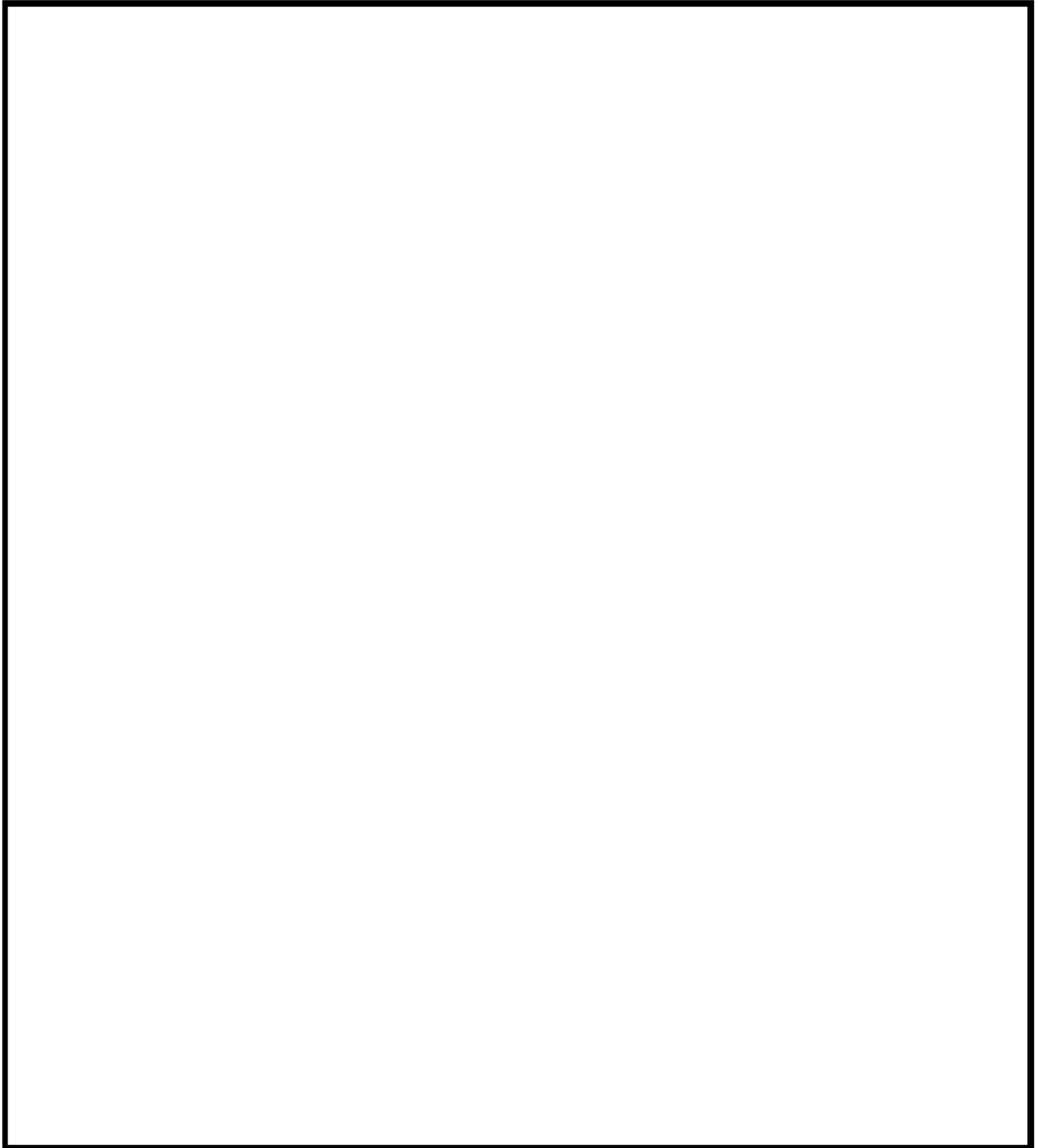




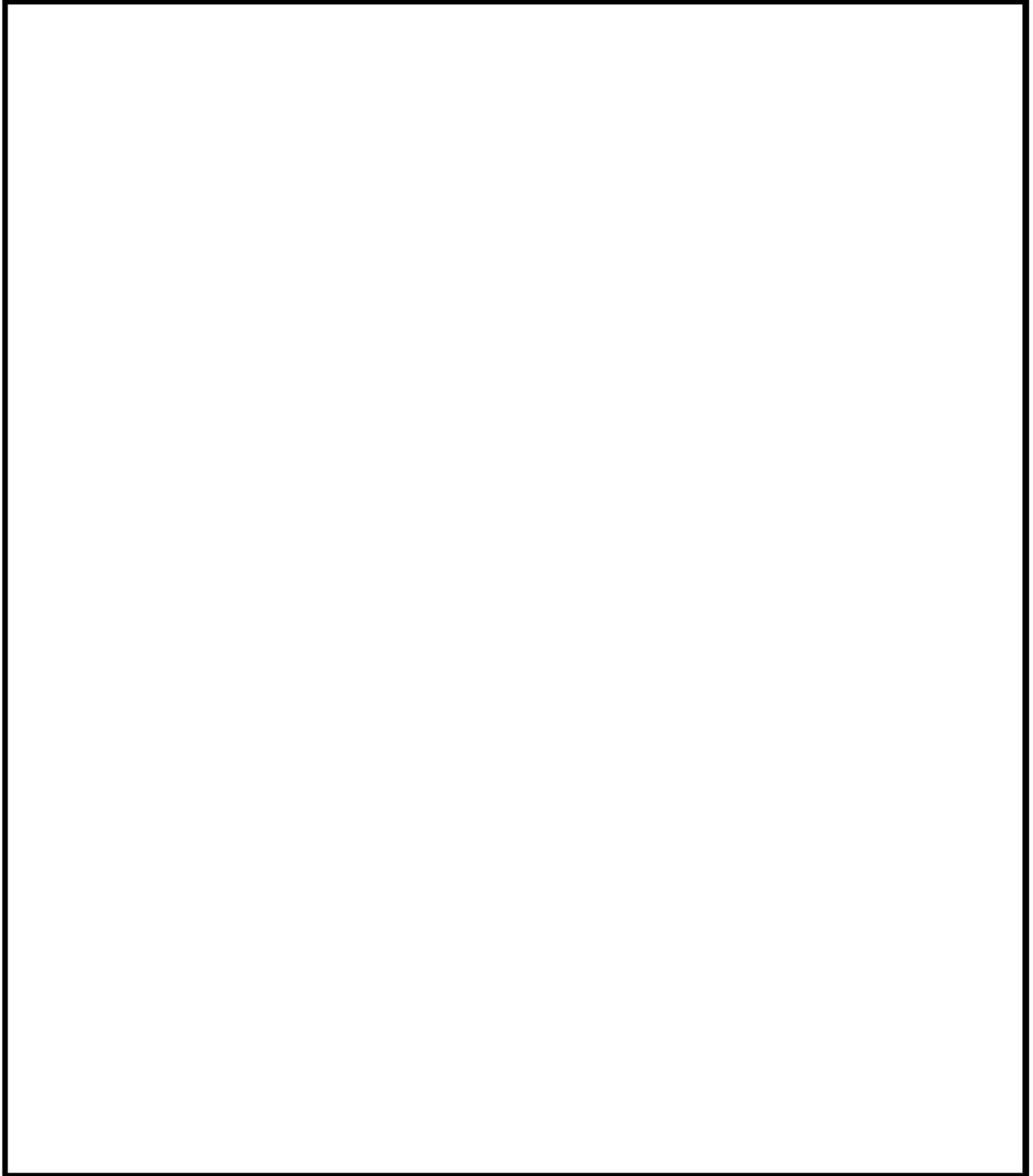
ケージング吸込ノズル 評価点



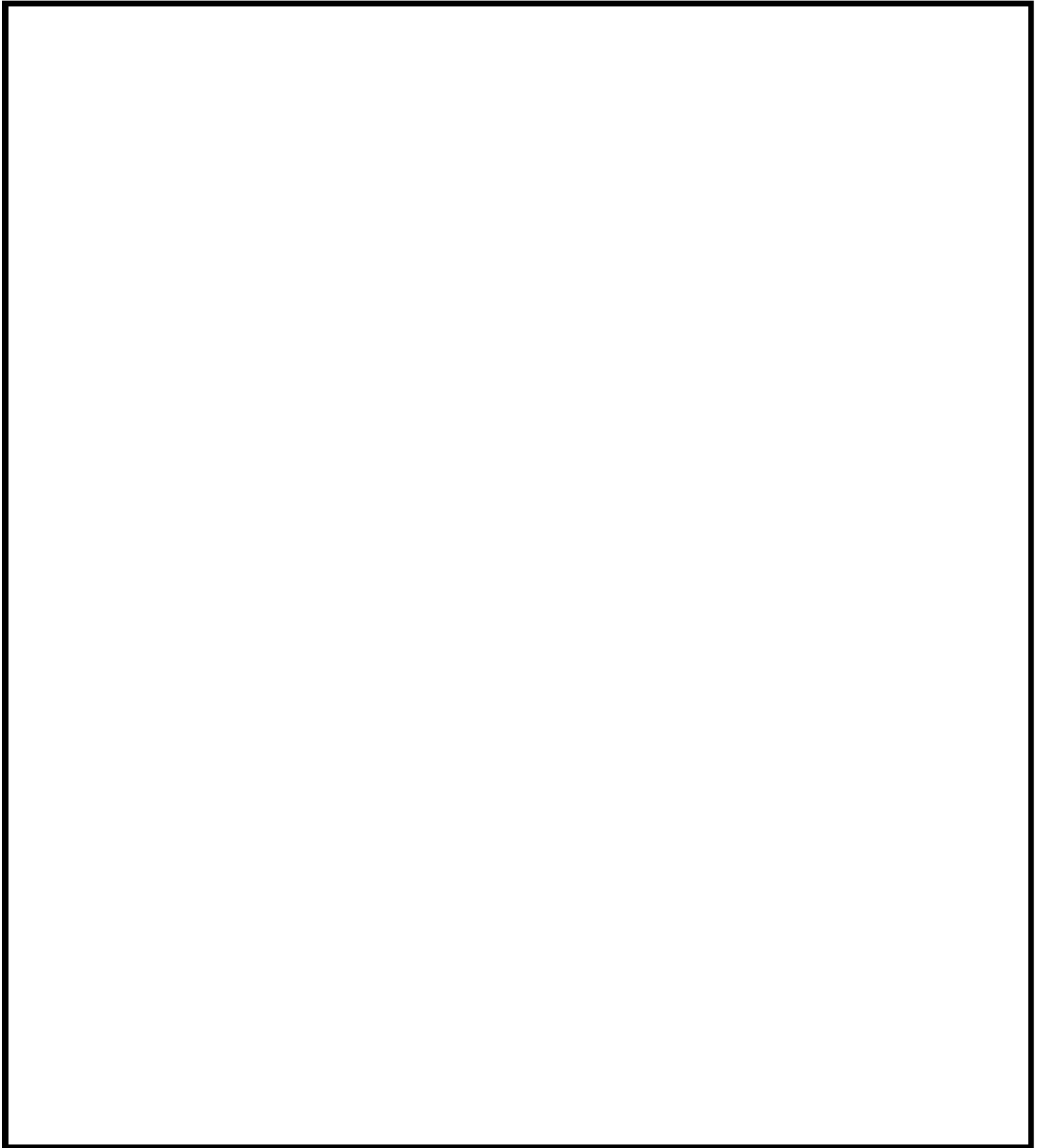
ケーシング吐出ノズル 評価点



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					LIMIT
			S1-S2	S2-S3	S3-S1	Max	判定	
吸込 ノズル 付根部	548	内面	0.00002	0.00001	0.00000	0.00002	OK	1.00000
	541	外面	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	OK	
	571	内面	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	OK	
	574	外面	0.00000	0.00000	0.00002	0.00002	OK	
	10522	内面	0.00000	0.00003	0.00003	0.00003	OK	
	7670	外面	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	OK	
	500618	内面	0.00000	0.00002	0.00014	0.00014	OK	
	500609	外面	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	OK	
吐出 ノズル 付根部	8526	内面	0.00791	0.04941	0.00000	0.04941	OK	
	10288	外面	0.00884	0.00279	0.00000	0.00884	OK	
	8560	内面	0.00541	0.04489	0.00000	0.04489	OK	
	10287	外面	0.01304	0.00357	0.00000	0.01304	OK	
	9648	内面	0.00018	0.00046	0.00000	0.00046	OK	
	9855	外面	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	OK	
	502033	内面	0.00005	0.00000	0.00003	0.00005	OK	
	502035	外面	0.00003	0.00116	0.00004	0.00116	OK	
	508526	内面	0.00786	0.04915	0.00000	0.04915	OK	
	510288	外面	0.00886	0.00280	0.00000	0.00886	OK	
	508560	内面	0.00530	0.04484	0.00000	0.04484	OK	
510287	外面	0.01304	0.00361	0.00000	0.01304	OK		
脚部 (1) 付根部	8235	内面	0.00010	0.01365	0.00008	0.01365	OK	
	10245	外面	0.00326	0.00315	0.00000	0.00326	OK	
	8664	内面	0.00005	0.02453	0.00016	0.02453	OK	
	9777	外面	0.00002	0.00062	0.00000	0.00062	OK	
	8669	内面	0.00004	0.00014	0.00021	0.00021	OK	
	9775	外面	0.00000	0.00001	0.00001	0.00001	OK	
	508023	内面	0.00000	0.00011	0.00085	0.00085	OK	
	508946	外面	0.00006	0.00001	0.01213	0.01213	OK	
	508206	内面	0.00002	0.00017	0.00030	0.00030	OK	
	510113	外面	0.00000	0.00033	0.00000	0.00033	OK	
	508574	内面	0.00009	0.02604	0.00012	0.02604	OK	
509897	外面	0.00007	0.00115	0.00000	0.00115	OK		
脚部 (2) 付根部	8674	内面	0.00000	0.00001	0.00008	0.00008	OK	
	9520	外面	0.01015	0.00000	0.06258	0.06258	OK	
	8796	内面	0.00000	0.00000	0.00006	0.00006	OK	
	9935	外面	0.01565	0.00000	0.07798	0.07798	OK	
	8819	内面	0.00000	0.00015	0.00101	0.00101	OK	
	8847	外面	0.00069	0.02353	0.00000	0.02353	OK	
	9652	内面	0.00467	0.04501	0.00000	0.04501	OK	
9813	外面	0.02103	0.00936	0.00000	0.02103	OK		
脚部 (3) 付根部	508796	内面	0.00000	0.00000	0.00006	0.00006	OK	
	509935	外面	0.01625	0.00000	0.07940	0.07940	OK	
	508819	内面	0.00000	0.00015	0.00102	0.00102	OK	
	508847	外面	0.00067	0.02351	0.00000	0.02351	OK	
	509427	内面	0.00000	0.00015	0.00050	0.00050	OK	
	509327	外面	0.00222	0.00000	0.02445	0.02445	OK	
	509652	内面	0.00455	0.04475	0.00000	0.04475	OK	
509813	外面	0.02097	0.00948	0.00000	0.02097	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
116.0	-503.7	1.0	309.8	2	35300	0.00006
116.0	-330.0	1.0	223.0	2	209000	0.00001
116.0	-284.9	1.0	200.5	2	406000	0.00000
116.0	-278.9	1.0	197.5	2	446000	0.00000
116.0	-248.0	1.0	182.0	2	781000	0.00000
116.0	-215.6	1.0	165.8	2	1210000	0.00000
116.0	-175.0	1.0	145.5	2	1850000	0.00000
116.0	-171.8	1.0	143.9	50	1920000	0.00003
112.9	-171.8	1.0	142.4	13	1990000	0.00001
112.9	-164.9	1.0	138.9	56	2210000	0.00003
0.0	-164.9	1.0	82.5	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
372.8	-333.6	1.79	633.9	69	1710	0.04035
290.1	-295.1	1.49	435.5	64	7070	0.00905
247.7	-134.3	1.0	191.0	2	556000	0.00000
136.4	-134.3	1.0	135.4	2	2470000	0.00000
127.4	-104.6	1.0	116.0	6	4830000	0.00000
127.4	-56.2	1.0	91.8	3	35100000	0.00000
127.4	-52.5	1.0	89.9	2	48200000	0.00000
127.4	-51.7	1.0	89.5	7	53300000	0.00000
127.4	-51.0	1.0	89.2	2	61500000	0.00000
127.4	-50.6	1.0	89.0	43	65700000	0.00000
45.5	-50.1	1.49	71.2	64		0.0
TOTAL =						0.04941

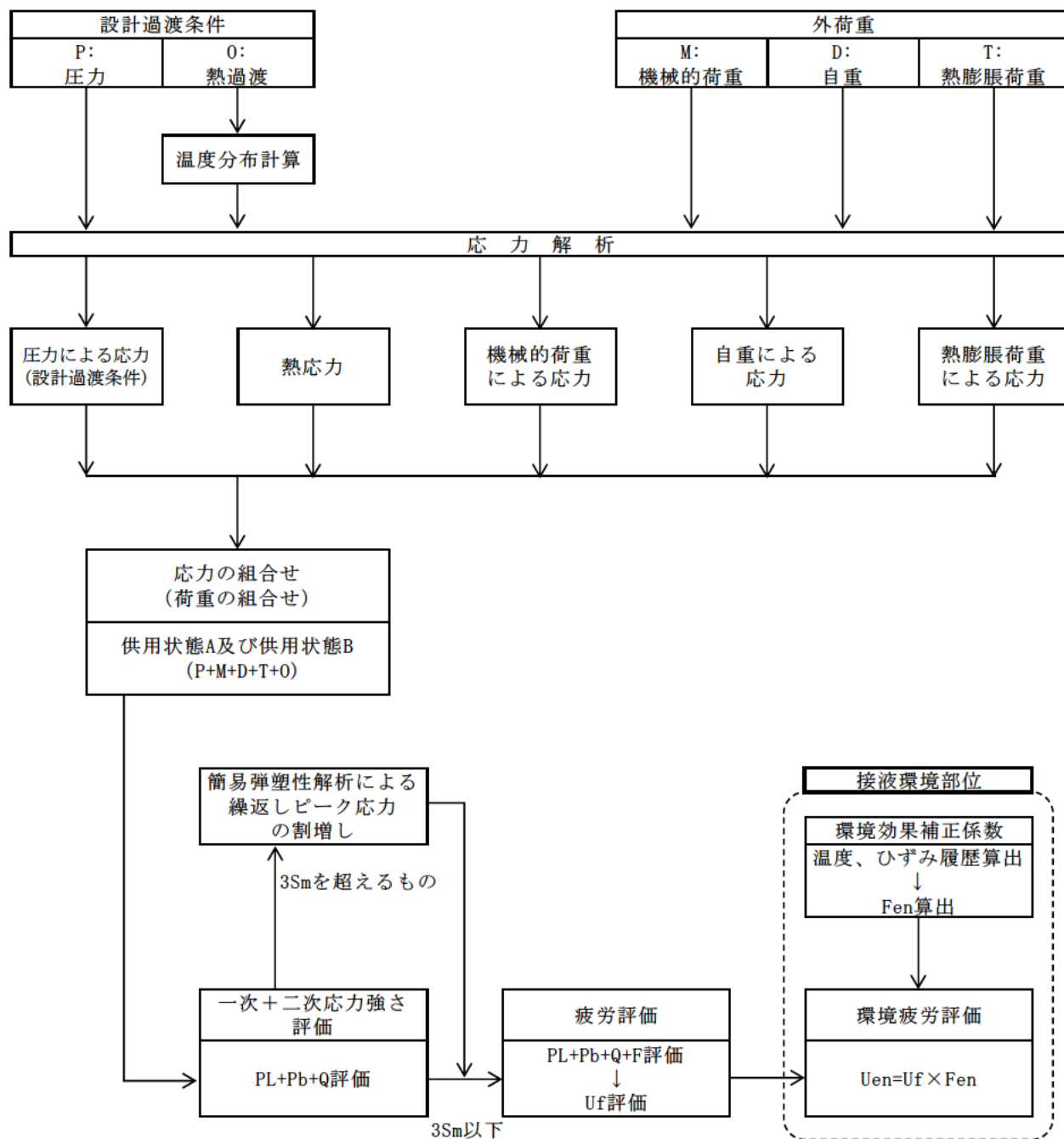
→通常 UF : 0.050



## 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
169.5	-684.5	1.77	756.5	69	944	0.07309
87.4	-565.1	1.40	456.7	4	5840	0.00068
87.4	-503.8	1.31	387.8	60	11500	0.00522
-25.9	-503.8	1.0	238.9	4	142000	0.00003
-25.9	-495.3	1.0	234.7	59	157000	0.00038
-314.8	-495.3	1.0	90.3	2	45300000	0.00000
-328.9	-495.3	1.0	83.2	2		0.0
TOTAL =						0.07940

→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 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'					
2I1	2D3	116.0	-503.7	1.00	309.8	341.9	2	35300	0.00006	10.047	0.00057
2I1	2G1	116.0	-330.0	1.00	223.0	246.1	2	209000	0.00001	11.408	0.00011
2I1	2E1	116.0	-284.9	1.00	200.5	221.2	2	406000	0.00000	11.222	0.00006
2I1	2D2	116.0	-278.9	1.00	197.5	217.9	2	446000	0.00000	9.336	0.00004
2I1	2J1	116.0	-248.0	1.00	182.0	200.9	2	781000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2F1	116.0	-215.6	1.00	165.8	183.0	2	1210000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2H1	116.0	-175.0	1.00	145.5	160.6	2	1850000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1I1	116.0	-171.8	1.00	143.9	158.8	50	1920000	0.00003	1.000	0.00003
1A1	1I1	112.9	-171.8	1.00	142.4	157.1	13	1990000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1B1	112.9	-164.9	1.00	138.9	153.3	56	2210000	0.00003	1.000	0.00003
NSS	1B1	0.0	-164.9	1.00	82.5	91.0	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	372.8	-333.6	1.79	633.9	699.5	69	1710	0.04035	11.172	0.45081
2I2	2I1	290.1	-295.1	1.49	435.5	480.6	64	7070	0.00905	7.110	0.06436
2D3	2B1	247.7	-134.3	1.00	191.0	210.8	2	556000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	136.4	-134.3	1.00	135.4	149.4	2	2470000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	127.4	-104.6	1.00	116.0	128.0	6	4830000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	127.4	-56.2	1.00	91.8	101.3	3	35100000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	127.4	-52.5	1.00	89.9	99.2	2	48200000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	127.4	-51.7	1.00	89.5	98.8	7	53300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	127.4	-51.0	1.00	89.2	98.4	2	61500000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	127.4	-50.6	1.00	89.0	98.2	43	65700000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	45.5	-50.1	1.49	71.2	78.6	64	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.51517

→環境UF : 0.516

## 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	351.9	-328.9	1.81	615.7	679.4	69	1890	0.03651	11.199	0.40886
2I2	2I1	273.4	-290.0	1.52	428.8	473.2	64	7530	0.00850	7.077	0.06015
2D3	2B1	236.3	-139.8	1.00	188.0	207.5	2	622000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	124.0	-139.8	1.00	131.9	145.6	2	2770000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	121.5	-109.7	1.00	115.6	127.6	6	4900000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	121.5	-64.7	1.00	93.1	102.7	3	28000000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	121.5	-59.3	1.00	90.4	99.8	2	44300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	121.5	-58.6	1.00	90.0	99.4	52	47200000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	40.3	-55.9	1.52	73.2	80.8	64	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.46901

→環境UF : 0.470

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="475 815 1310 1095"> <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="429 1211 1377 1476"> <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。

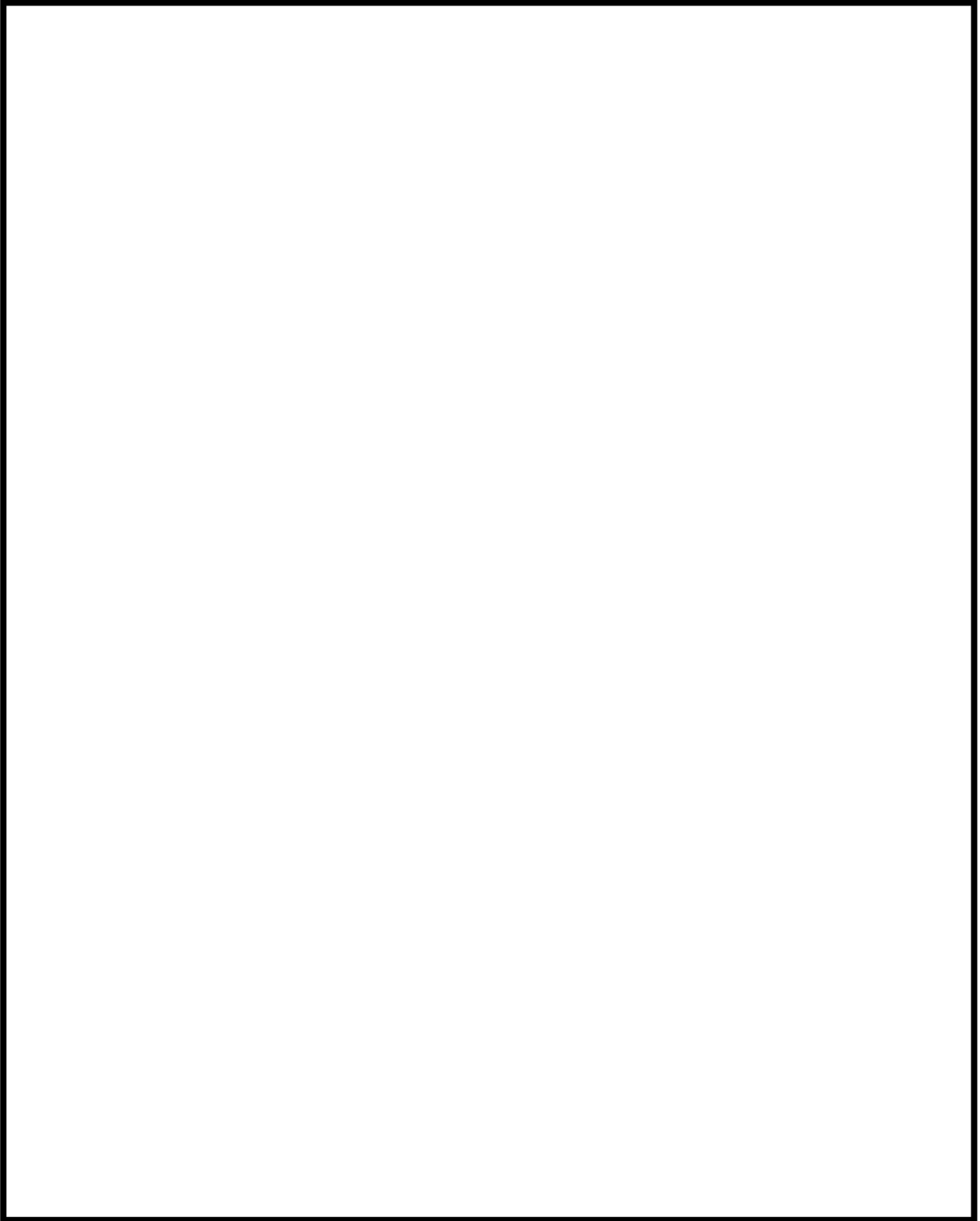
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

#### 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fen）を添付3に示す。

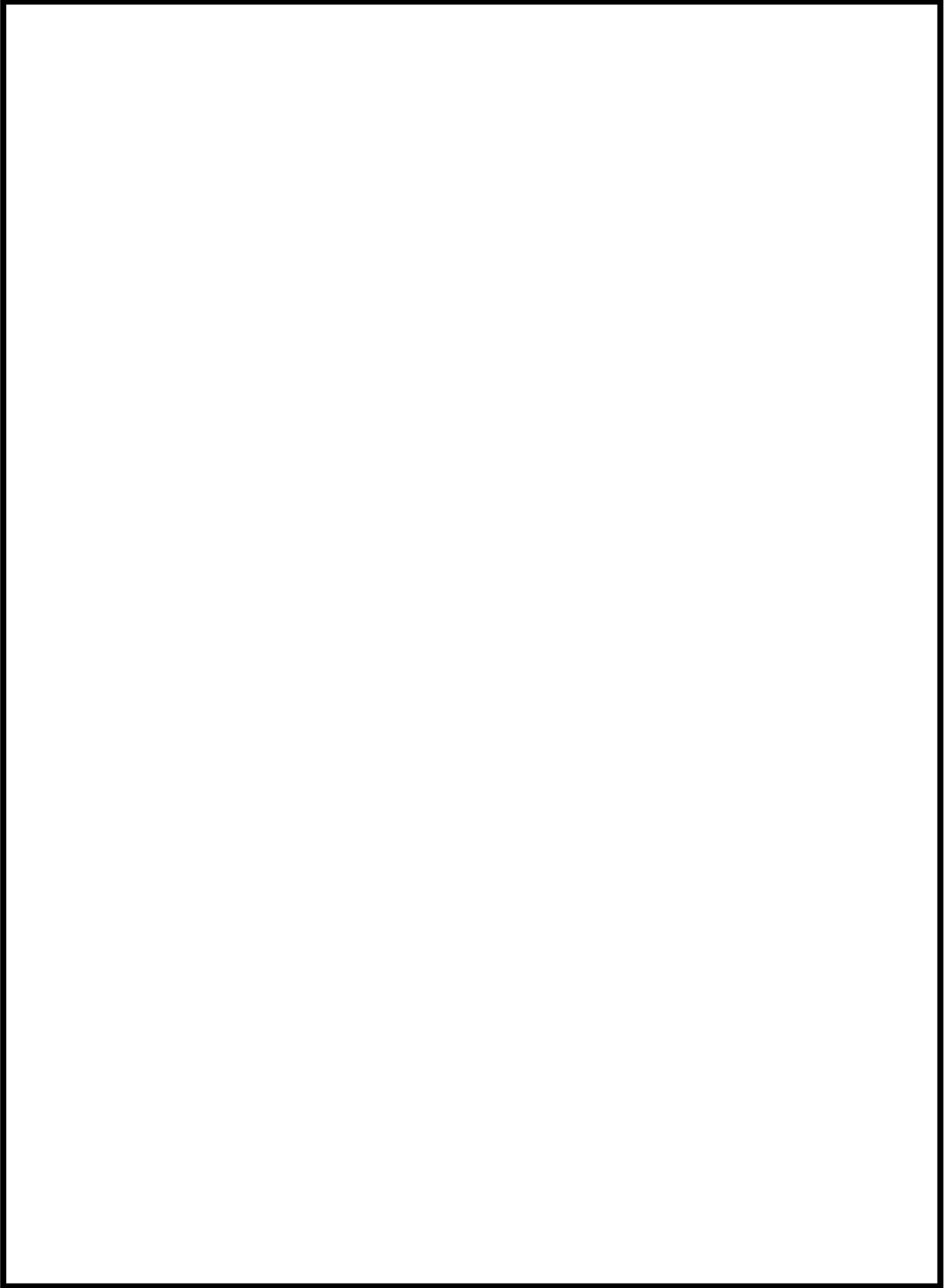
なお、評価に用いた溶存酸素濃度は、主給水の管理目標値より0.005ppmとした。

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	0.02940	0.00004	0.02687
2	0.0	0.00145	0.00051
3	0.03261	0.00022	0.07527
4	0.0	0.00012	0.00018
P1 SIDE R/R* = 0.0		0.00871	
P1 SIDE R/R* = 1.0		0.09228	
P2 SIDE R/R* = 0.0		0.02502	
P2 SIDE R/R* = 1.0		0.02204	

疲労累積係数(最大)  
(ただし、非接液)

許容値  $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.093

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	0.00002	0.00099	0.00448
2	0.0	0.00016	0.00080
3	0.00033	0.00121	0.01094
4	0.0	0.00021	0.00096
5	0.00023	0.02362	0.00277
6	0.00002	0.0	0.0
7	0.00689	0.02730	0.00009
8	0.00021	0.0	0.00005
9L	0.04775	0.09185	
10L	0.00007	0.00165	0.00092
9C	0.00413	0.01939	0.00010
10C	0.0	0.00925	0.01949
11L	0.08787	0.05597	0.0
12L	0.0	0.00169	0.00091
11C	0.01687	0.01301	0.0
12C	0.0	0.00932	0.01767
13L	0.04322	0.02423	0.00001
14L	0.00001	0.00175	0.00221
13C	0.00183	0.00099	0.00001
14C	0.00096	0.00649	0.02104

疲労累積係数(最大)  
(接液する評価点)

許容値  $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.092

## 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	31	658	0.04711
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	6	2300	0.00261
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	85	4520	0.01881
570.8	20.4	1.0	275.2	329.3	40	5070	0.00789
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	385	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.09228

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

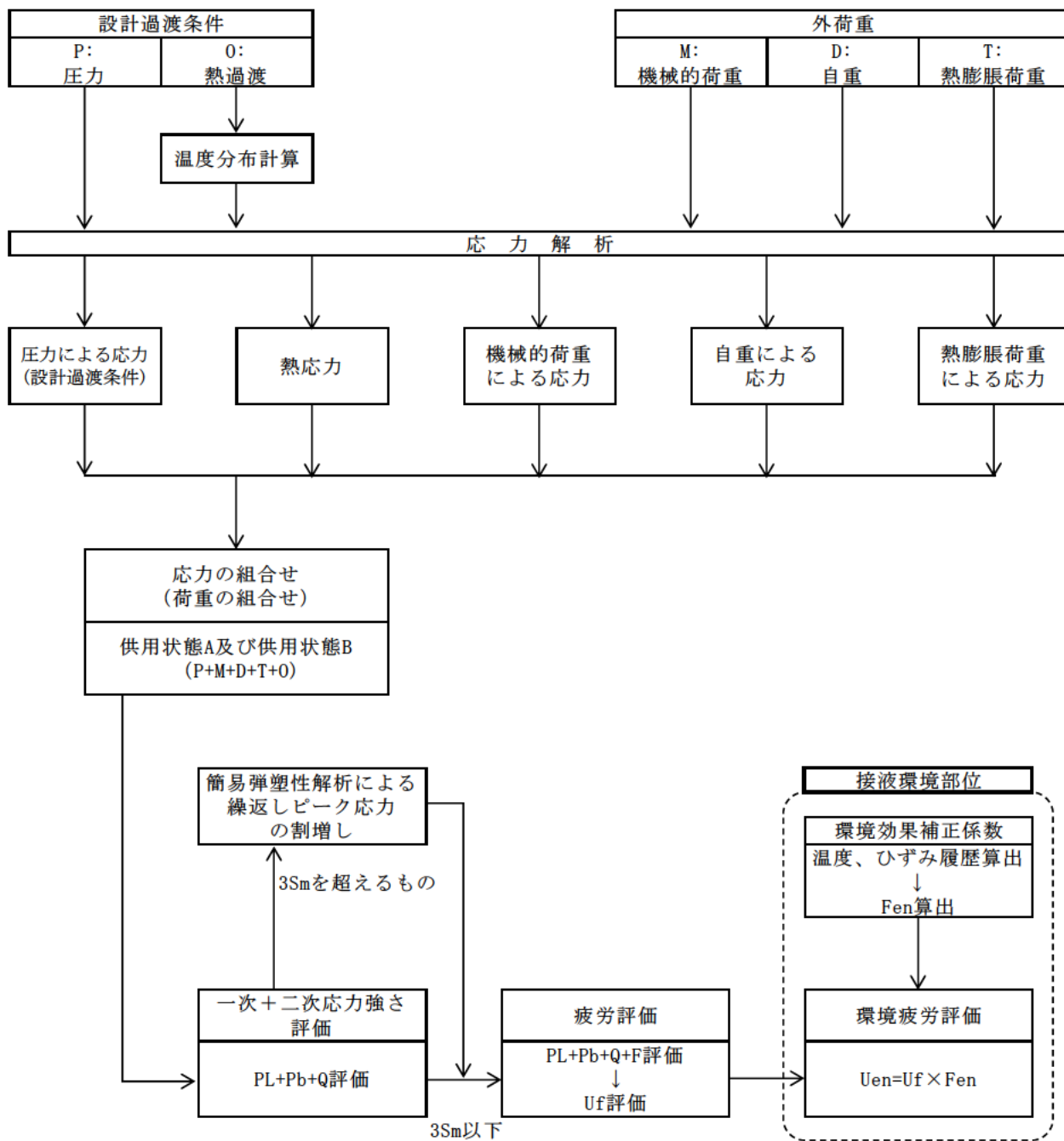
→通常UF : 0.093

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*	
875.0	-21.4	1.0	448.2	524.2	3	1260	0.00238
829.9	-21.4	1.0	425.6	497.8	34	1440	0.02361
829.9	-15.5	1.0	422.7	494.3	24	1470	0.01633
746.7	-15.5	1.0	381.1	445.7	2	1940	0.00103
720.7	-15.5	1.0	368.1	430.5	2	2160	0.00093
720.0	-15.5	1.0	367.7	430.1	2	2160	0.00093
714.2	-15.5	1.0	364.8	426.7	2	2220	0.00090
713.6	-15.5	1.0	364.6	426.3	5	2220	0.00225
713.6	0.0	1.0	356.8	417.3	28	2380	0.01176
710.0	0.0	1.0	355.0	415.2	44	2420	0.01818
710.0	282.9	1.0	213.6	249.8	0	11700	0.00000
710.0	354.6	1.0	177.7	207.8	2	21800	0.00009
710.0	392.4	1.0	158.8	185.8	2	30900	0.00006
710.0	420.4	1.0	144.8	169.4	520	41100	0.01265
710.0	427.7	1.0	141.2	165.1	2	44500	0.00004
710.0	428.3	1.0	140.9	164.8	2	44800	0.00004
710.0	429.3	1.0	140.4	164.1	0	45300	0.00000
710.0	432.6	1.0	138.7	162.2	2	47000	0.00004
710.0	437.0	1.0	136.5	159.7	2	49300	0.00004
710.0	438.4	1.0	135.8	158.8	2	50200	0.00004
710.0	440.7	1.0	134.7	157.5	0	52400	0.00000
710.0	452.1	1.0	129.0	150.8	0	64700	0.00000
710.0	453.9	1.0	128.1	149.8	2	67000	0.00003
710.0	471.6	1.0	119.2	139.4	2	95000	0.00002
710.0	496.2	1.0	106.9	125.0	0	143000	0.00000
710.0	507.4	1.0	101.3	118.5	2	173000	0.00001
710.0	516.0	1.0	97.0	113.4	37	204000	0.00018
710.0	516.0	1.0	97.0	113.4	37	204000	0.00018
710.0	530.3	1.0	89.9	105.1	2	288000	0.00001
710.0	531.2	1.0	89.4	104.6	2	294000	0.00001
710.0	533.8	1.0	88.1	103.1	6	314000	0.00002
710.0	548.9	1.0	80.6	94.2	35	471000	0.00007
710.0	645.4	1.0	32.3	37.8	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.09185

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 : 0.092



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 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'					
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	33	4720	0.00699	1.000	0.00699
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	37	13600	0.00272	4.807	0.01308
2D1	1C1	167.8	-225.6	1.00	196.7	235.3	6	14300	0.00042	3.848	0.00181
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	175.8	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	33	26000	0.00127	4.747	0.00602
1I1	1C1	97.3	-225.6	1.00	161.4	193.2	40	27400	0.00148	4.142	0.00605
1A1	1C1	96.4	-225.6	1.00	161.0	192.6	37	27600	0.00134	4.821	0.00646
1D1	1C1	96.0	-225.6	1.00	160.8	192.4	347	27700	0.01253	4.830	0.08051
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	136.8	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	37	268000	0.00013	4.685	0.00060
1D1	NSS	96.0	0.0	1.00	48.0	57.4	107	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.11168

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

→環境UF : 0.112

## Ke 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	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	2T1	63.8	-778.4	1.00	421.0	482.3	37	1490	0.02483	2.314	0.05747
1B1	2T1	53.3	-778.4	1.00	415.9	486.3	21	1540	0.01364	1.925	0.02624
1B1	2G1	53.3	-532.1	1.00	292.7	342.3	2	4490	0.00045	1.306	0.00058
1B1	2D5	53.3	-530.8	1.00	292.1	341.6	2	4520	0.00044	1.289	0.00057
1B1	2E1	53.3	-530.5	1.00	291.9	341.4	2	4520	0.00044	1.364	0.00060
1B1	2D3	53.3	-515.4	1.00	284.3	332.5	2	4920	0.00041	1.581	0.00064
1B1	1N1	53.3	-484.4	1.00	268.9	314.5	8	5820	0.00137	2.197	0.00302
NSS	1N1	0.0	-484.4	1.00	242.2	283.3	72	7930	0.00908	2.197	0.01995
1C1	1N1	-23.3	-484.4	1.00	230.6	269.7	520	9180	0.05884	2.198	0.12448
1N1	1N1	-27.2	-484.4	1.00	228.6	267.4	305	9410	0.03241	2.300	0.07455
1N1	2B2	-27.2	-450.5	1.00	211.7	247.5	3	12000	0.00025	1.967	0.00049
1N1	1D1	-27.2	-153.9	1.00	63.3	74.1	519	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.30862

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

→環境UF : 0.309

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2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 $0.309 < 1.0$ 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。

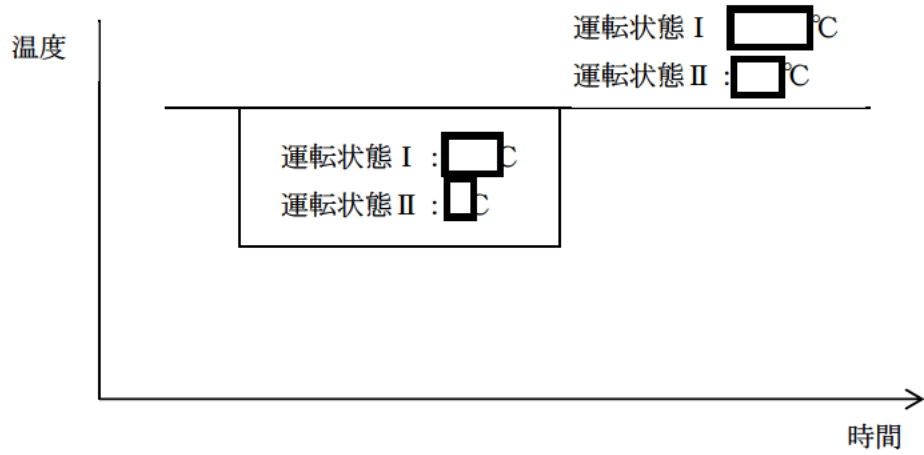
解析に使用したモデルを図2、3、4に示す。

## (2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 6.3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。



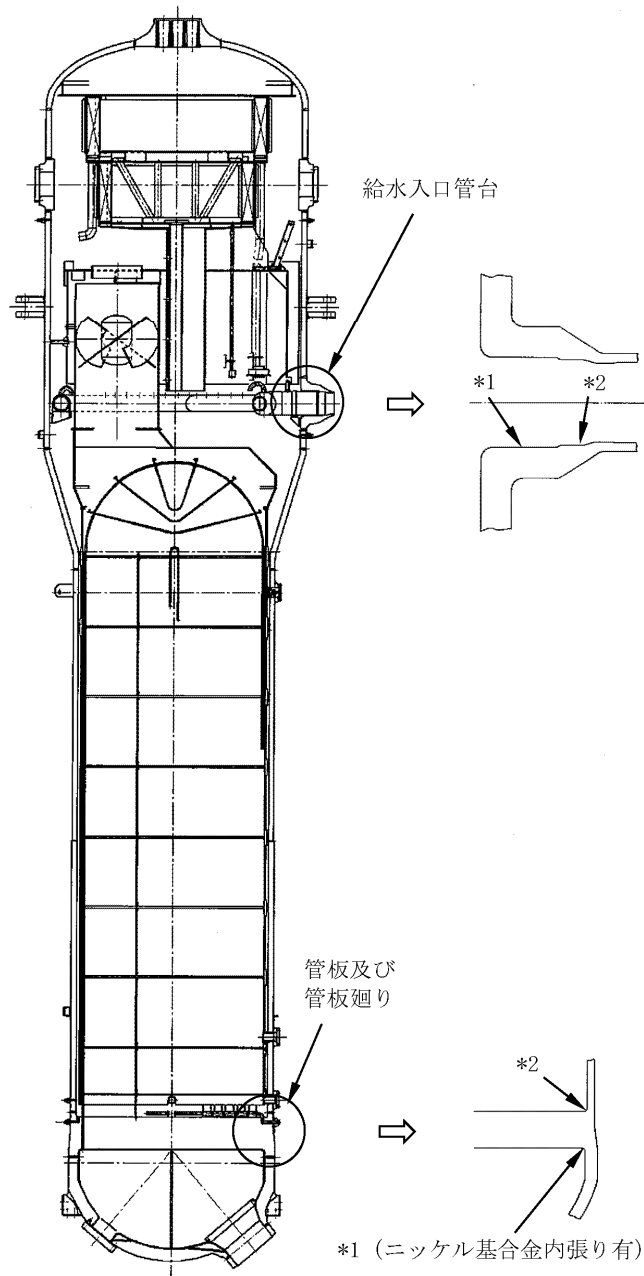
(4) 熱伝達率

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。

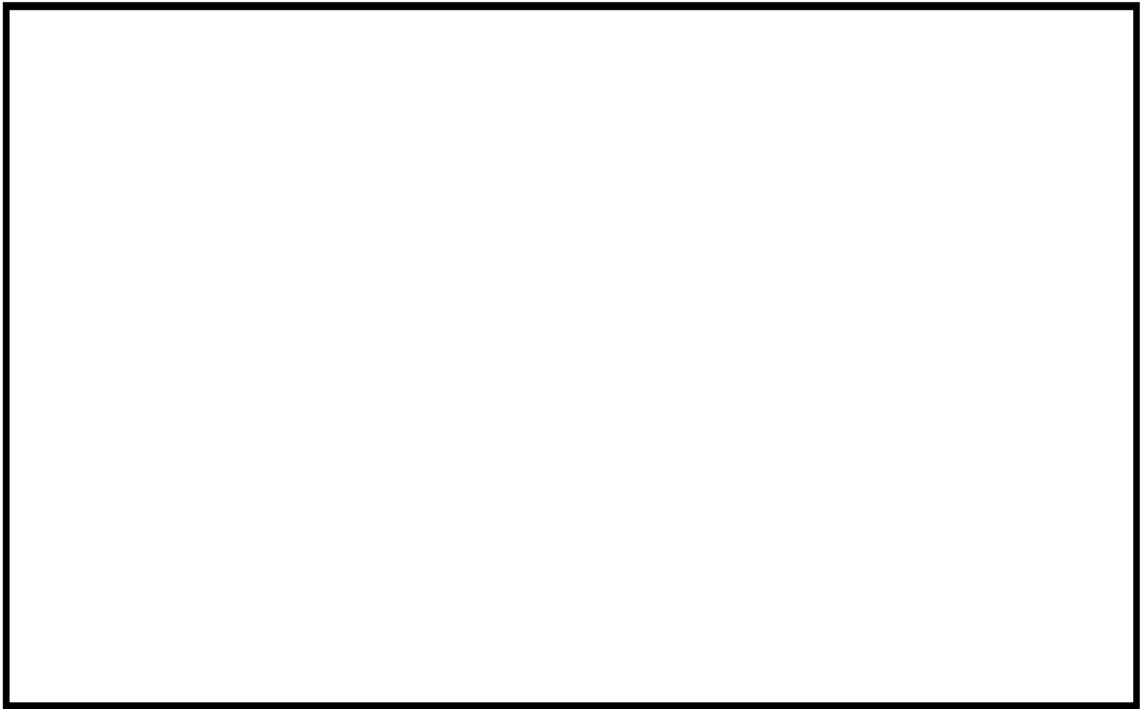


\* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(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2号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位



解析モデル (全体図)



図3 解析モデル (断面図)

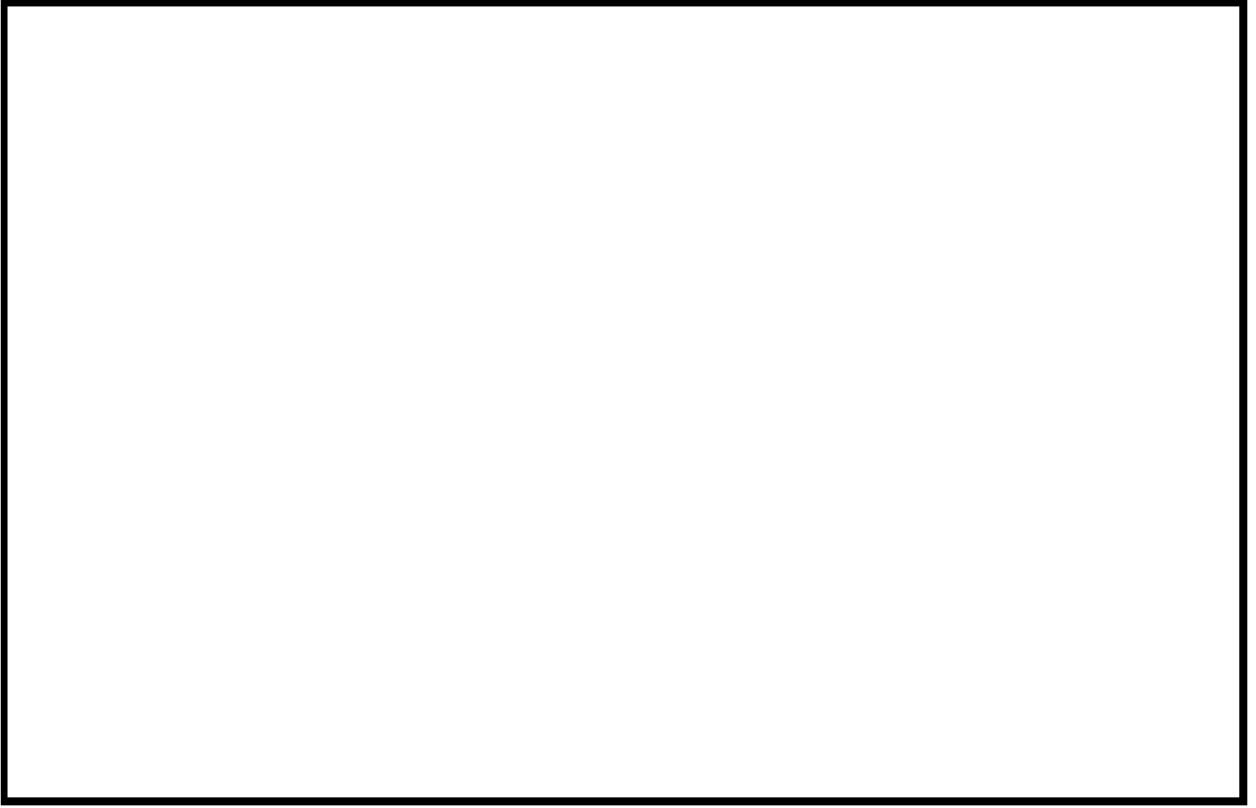


図4 解析モデル (拡大図)

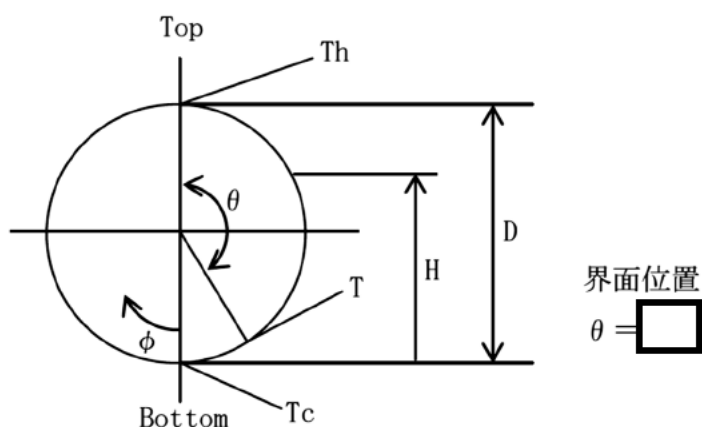
表1 材料物性値

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 <sup>3</sup> K)	4.38	4.30	4.30
熱膨脹率 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ 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 $^{\circ}$ C) 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2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	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
1A1	2T1	63.6	-778.4	1.00	421.0	482.3	37	1490	0.02483	2.314	0.05747
1B1	2T1	53.3	-778.4	1.00	415.9	488.3	21	1540	0.01364	1.925	0.02824
1B1	2G1	53.3	-532.1	1.00	292.7	342.3	2	4490	0.00045	1.306	0.00058
1B1	2D5	53.3	-530.8	1.00	292.1	341.6	2	4520	0.00044	1.289	0.00057
1B1	2E1	53.3	-530.5	1.00	291.9	341.4	2	4520	0.00044	1.364	0.00060
1B1	2D3	53.3	-515.4	1.00	284.3	332.5	2	4920	0.00041	1.581	0.00064
1B1	1N1	53.3	-484.4	1.00	288.9	314.5	8	5820	0.00137	2.197	0.00302
NSS	1N1	0.0	-484.4	1.00	242.2	283.3	72	7930	0.00908	2.197	0.01995
1C1	1N1	-23.3	-484.4	1.00	230.6	269.7	520	9180	0.05664	2.188	0.12448
1N1	1N1	-27.2	-484.4	1.00	228.6	267.4	305	9410	0.03241	2.300	0.07455
1N1	2B2	-27.2	-450.5	1.00	211.7	247.5	3	12000	0.00025	1.967	0.00049
1N1	1D1	-27.2	-153.9	1.00	83.3	74.1	519	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.30882

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

→環境UF : 0.309



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><b>【通常疲労】</b></p> <table border="1" data-bbox="456 882 1310 1160"> <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="5"></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><b>【熟成層を考慮した環境疲労】</b></p> <table border="1" data-bbox="456 1238 1310 1438"> <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="5"></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	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	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。

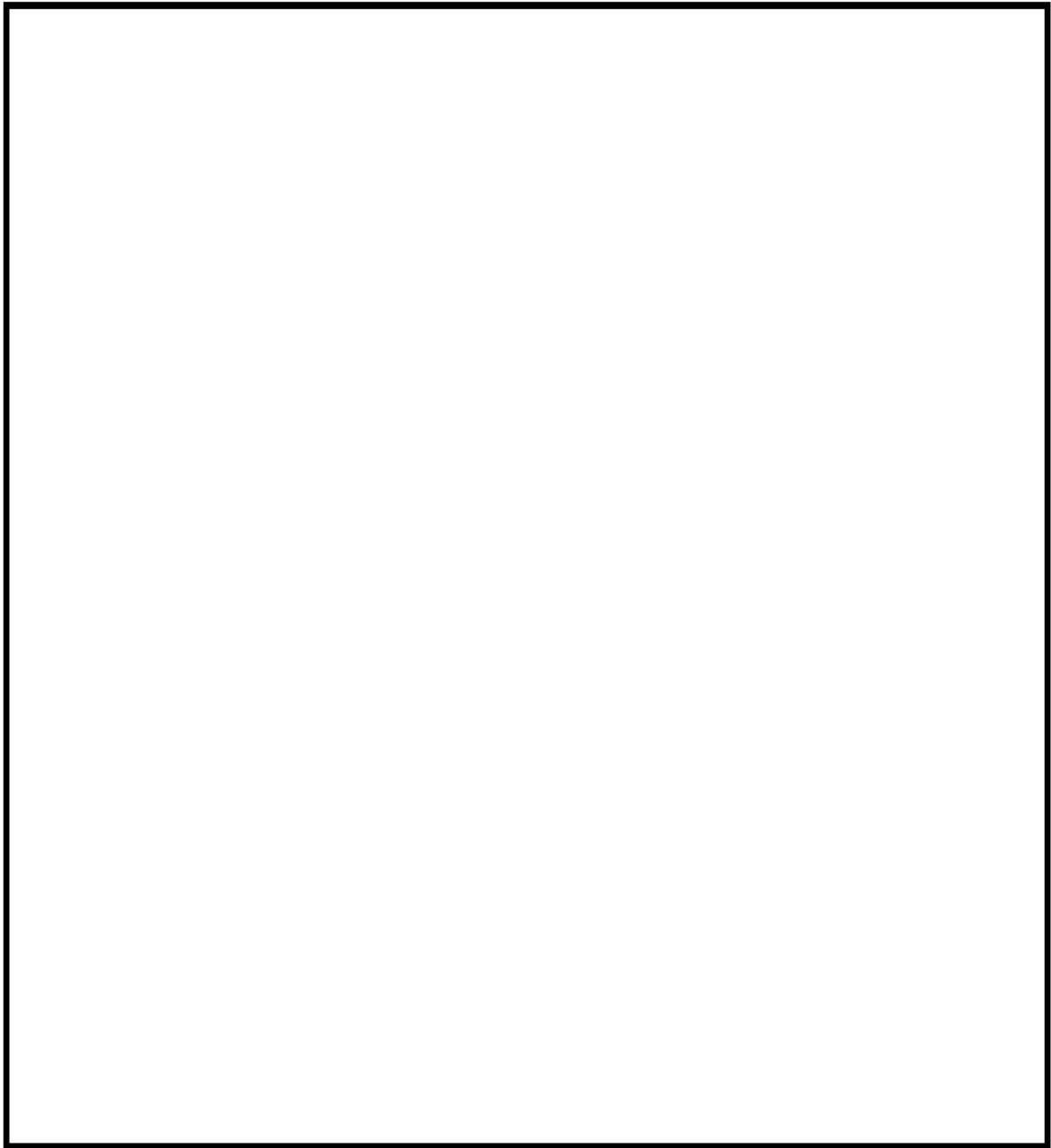
4. 応力分類

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	0.00287	0.00417
2	0.0	0.00001	0.00001
3	0.0	0.00417	0.00730
4	0.00000	0.00007	0.00142
5	0.00004	0.01192	0.00119
6	0.0	0.00000	0.0
7	0.0	0.00615	0.00564
8	0.0	0.00000	0.00001
9	0.00000	0.00000	0.00054
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0
12	0.00001	0.0	0.00043
13	0.0	0.00462	0.00937
14	0.00301	0.0	0.00050
15	0.0	0.00167	0.00041
16	0.0	0.00027	0.00155
17	0.01210	0.01738	0.0
18	0.0	0.0	0.0
19	0.04830	0.04130	0.0
20	0.0	0.0	0.00000
21	0.0	0.00294	0.00047
22	0.0	0.00043	0.00377

許容値  $U_f=1.0$

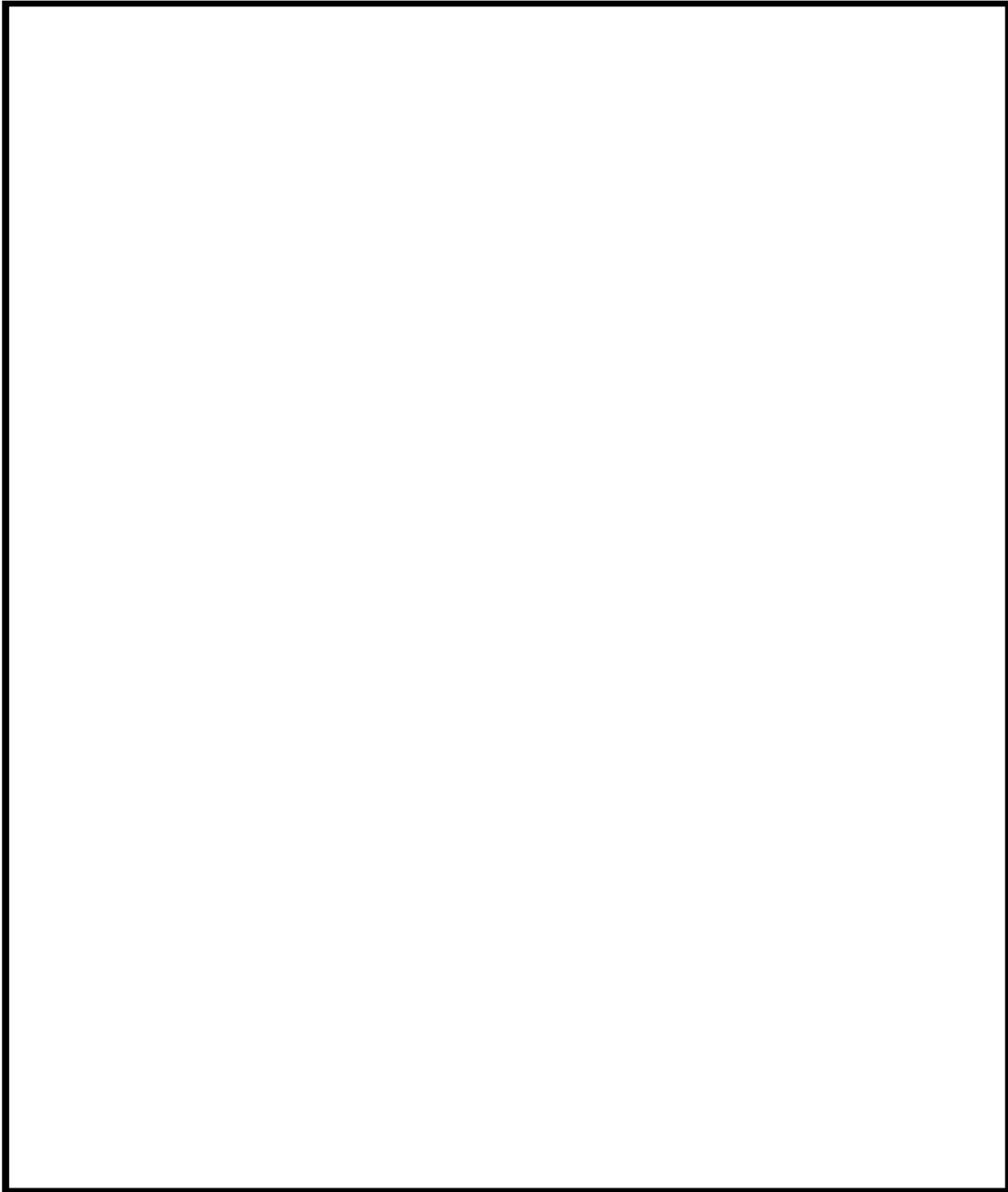
## スプレイライン用管台 疲労評価結果 (評価点: 19)

評価点 - 19  
(S12)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
1.1	-426.6	1.0	213.9	257.4	69	10600	0.00651
0.0	-426.6	1.0	213.3	256.7	133	10600	0.01255
-70.5	-426.6	1.0	178.1	214.3	69	19800	0.00348
-73.9	-426.6	1.0	176.4	212.3	69	20500	0.00337
-79.5	-426.6	1.0	173.6	208.9	69	21500	0.00321
-80.4	-426.6	1.0	173.1	208.3	69	21700	0.00318
-88.5	-426.6	1.0	169.1	203.5	69	23300	0.00296
-97.1	-426.6	1.0	164.8	198.3	69	25300	0.00273
-108.9	-426.6	1.0	158.9	191.2	69	28300	0.00244
-109.5	-426.6	1.0	158.6	190.9	69	28400	0.00243
-114.4	-426.6	1.0	156.1	187.9	69	29800	0.00232
-135.5	-426.6	1.0	145.6	175.2	2	37000	0.00005
-156.2	-426.6	1.0	135.2	162.7	69	46500	0.00148
-194.7	-426.6	1.0	116.0	139.6	69	94600	0.00073
-215.6	-426.6	1.0	105.5	127.0	69	135000	0.00051
-231.3	-426.6	1.0	97.7	117.5	2	178000	0.00001
-258.4	-426.6	1.0	84.1	101.3	2	341000	0.00001
-258.8	-426.6	1.0	83.9	101.0	69	344000	0.00020
-262.5	-426.6	1.0	82.1	98.8	2	381000	0.00001
-273.6	-426.6	1.0	76.5	92.1	2	544000	0.00000
-273.7	-426.6	1.0	76.5	92.1	69	547000	0.00013
-292.1	-426.6	1.0	67.3	80.9	7	—————	0.0
疲労累積係数 =							0.04830

Ke : 割増し係数  
 ALT : 繰返しピーク応力強さ  
 ALT' : ALT/(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	0.00008	0.00153	0.03304
2	0.00002	0.00041	0.00149
3	0.0	0.00281	0.01103
4	0.00039	0.00024	0.00660
5	0.00004	0.00468	0.00065
6	0.00000	0.0	0.0
7	0.00006	0.00206	0.00545
8	0.0	0.00000	0.00000
9	0.00015	0.00018	0.00297
10	0.00000	0.00000	0.00002
11	0.0	0.00011	0.00050
12	0.00008	0.0	0.00211
13	0.00417	0.0	0.00351
14	0.00566	0.0	0.00445
15	0.0	0.00063	0.00322
16	0.02922	0.0	0.03115
17	0.00388	0.01011	0.0
18	0.0	0.00105	0.00116
19	0.01990	0.01593	0.0
20	0.0	0.00226	0.00422
21	0.00024	0.00218	0.00039
22	0.0	0.00478	0.01067

許容値  $U_f=1.0$



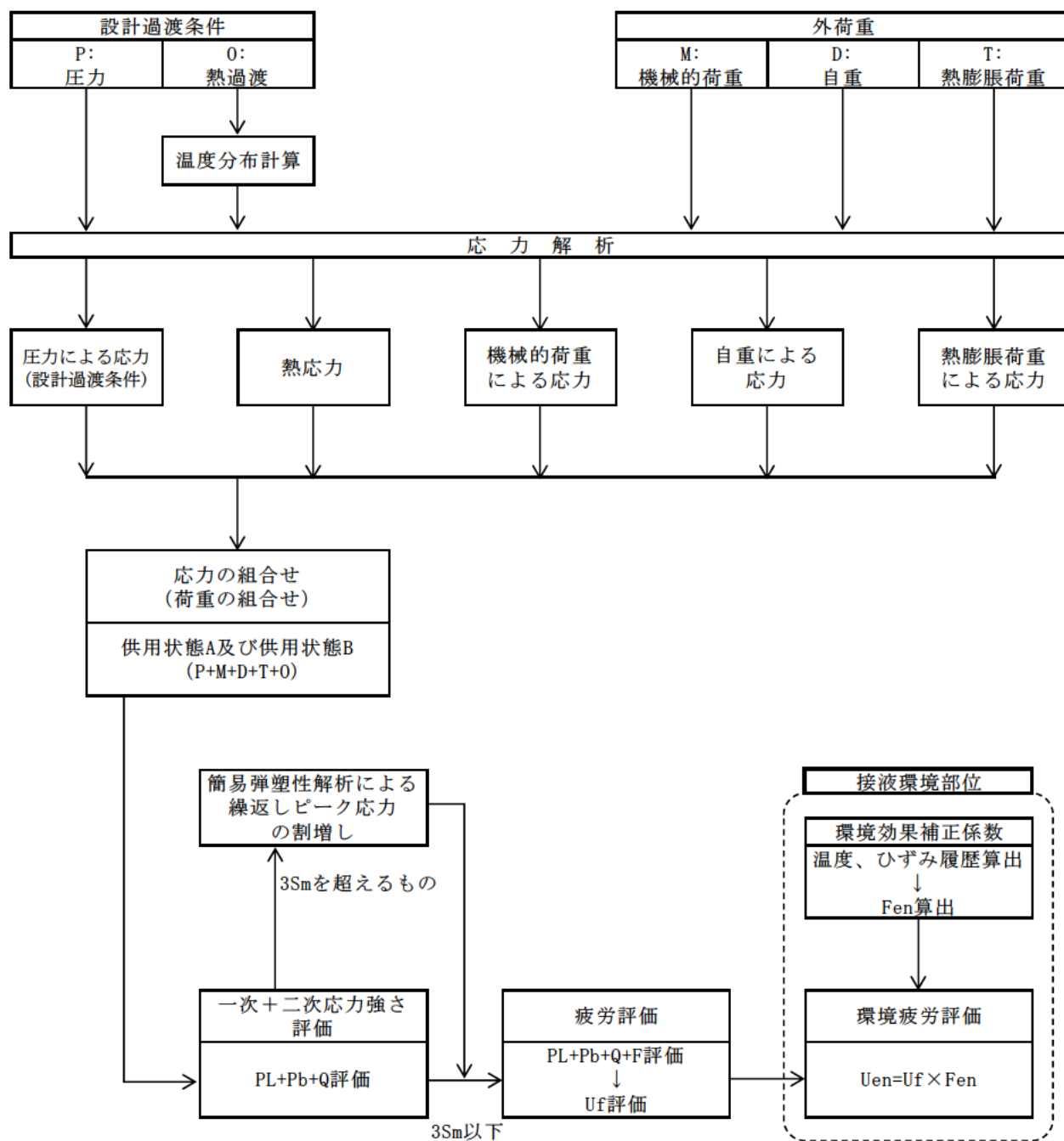
## サージ用管台 疲労評価結果 (評価点: 1)

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'	N	N*	
0.0	-625.1	1.35	420.5	474.0	2	7480	0.00027
0.0	-596.9	1.33	398.3	448.9	131	9300	0.01409
-66.9	-596.9	1.28	338.6	381.7	2	20300	0.00010
-119.4	-596.9	1.22	292.2	329.4	2	42500	0.00005
-119.7	-596.9	1.22	292.0	329.1	2	42700	0.00005
-146.0	-596.9	1.22	275.9	311.0	691	57400	0.01204
-146.0	-592.0	1.23	274.0	308.9	133	59600	0.00223
-159.1	-592.0	1.23	266.0	299.8	4	70200	0.00006
-165.8	-592.0	1.23	261.9	295.2	277	76400	0.00363
-165.8	-594.2	1.22	260.4	293.5	2	78800	0.00003
-181.8	-520.0	1.23	207.8	234.2	2	285000	0.00001
-181.8	-490.6	1.23	189.7	213.9	2	502000	0.00000
-181.8	-479.3	1.23	182.8	206.0	2	653000	0.00000
-181.8	-451.4	1.23	165.7	186.7	4	1130000	0.00000
-181.8	-445.6	1.23	162.1	182.7	6	1210000	0.00000
-181.8	-427.4	1.23	150.9	170.1	2	1530000	0.00000
-181.8	-401.0	1.23	134.7	151.8	3	2310000	0.00000
-181.8	-397.0	1.23	132.2	149.0	393	2500000	0.00016
-194.2	-397.0	1.22	124.1	139.9	422	3290000	0.00013
-194.2	-395.3	1.22	123.0	138.7	406	3410000	0.00012
-165.8	-395.3	1.0	114.7	129.3	418	4620000	0.00009
-165.8	-388.9	1.0	111.6	125.7	4	5300000	0.00000
-165.8	-355.8	1.0	95.0	107.1	3	16600000	0.00000
-165.8	-343.9	1.0	89.0	100.4	2	40400000	0.00000
-165.8	-323.0	1.0	78.6	88.6	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.03304

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

→通常UF : 0.034



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)】

選渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実選渡 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	558.3	-382.0	2.13	999.4	1126.5	2	371	0.00539	5.796	0.03124
1B8	1B6	305.1	-128.6	1.00	216.8	244.4	69	219000	0.00032	5.193	0.00164
1A6	1B5	293.3	-127.0	1.00	210.1	236.9	69	266000	0.00026	7.580	0.00196
2G1	1B7	288.8	-125.0	1.00	207.4	233.8	2	288000	0.00001	5.535	0.00004
1B2	1B7	279.9	-126.0	1.00	202.9	228.7	67	330000	0.00020	6.659	0.00135
1B2	1B4	279.9	-111.2	1.00	195.5	220.4	2	416000	0.00000	9.507	0.00005
1B3	1B4	279.2	-111.2	1.00	195.2	220.0	67	420000	0.00016	9.101	0.00145
1B3	1M1	279.2	-110.9	1.00	195.0	219.8	2	423000	0.00000	12.849	0.00006
1A7	1M1	277.2	-110.9	1.00	194.0	218.7	69	436000	0.00016	13.182	0.00209
1A5	1M1	275.6	-110.9	1.00	193.2	217.8	69	448000	0.00015	12.811	0.00197
1B4	1M1	272.3	-110.9	1.00	191.6	215.9	69	472000	0.00015	12.173	0.00178
1B5	1M1	267.2	-110.9	1.00	189.0	213.1	69	515000	0.00013	1.000	0.00013
2A1	1M1	261.9	-110.9	1.00	186.4	210.1	6	569000	0.00001	1.000	0.00001
2H1	1M1	257.0	-110.9	1.00	183.9	207.3	2	625000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1M1	252.5	-110.9	1.00	181.7	204.8	4	682000	0.00001	1.000	0.00001
1L1	1M1	252.1	-110.9	1.00	181.5	204.5	2	688000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1M1	251.4	-110.9	1.00	181.1	204.2	815	697000	0.00117	1.000	0.00117
1G1	1M1	251.2	-110.9	1.00	181.0	204.0	3	700000	0.00000	1.000	0.00000
1L2	1M1	250.9	-110.9	1.00	180.9	203.9	2	704000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	1M1	250.3	-110.9	1.00	180.6	203.6	3	712000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1M1	249.3	-110.9	1.00	180.1	203.0	824	726000	0.00113	1.000	0.00113
1M1	1M1	249.2	-110.9	1.00	180.0	202.9	961	727000	0.00132	1.000	0.00132
1M1	1C1	249.2	-110.6	1.00	179.9	202.8	824	731000	0.00113	1.000	0.00113
1M1	1A6	249.2	-105.4	1.00	177.3	199.8	69	810000	0.00009	1.000	0.00009
1M1	2G1	249.2	-101.7	1.00	175.5	197.8	2	872000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1B3	249.2	-98.9	1.00	174.1	196.2	69	923000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1E1	249.2	-97.1	1.00	173.2	195.2	3	956000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1A7	249.2	-93.1	1.00	171.2	193.0	69	1010000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1A5	249.2	-91.9	1.00	170.6	192.3	69	1020000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1D1	249.2	-90.6	1.00	169.9	191.5	815	1040000	0.00078	1.000	0.00078
1M1	1L2	249.2	-88.8	1.00	169.0	190.5	2	1060000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1B2	249.2	-88.2	1.00	168.7	190.2	17	1060000	0.00002	1.000	0.00002
1B6	1B2	246.0	-88.2	1.00	167.1	188.4	52	1100000	0.00005	1.000	0.00005
1B6	1A4	246.0	-80.5	1.00	163.3	184.0	17	1180000	0.00001	1.000	0.00001
2C1	1A4	244.5	-80.5	1.00	162.5	183.2	2	1200000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1A4	237.3	-80.5	1.00	158.9	179.1	50	1290000	0.00004	1.000	0.00004
1B7	1A3	237.3	-78.2	1.00	157.7	177.8	19	1330000	0.00001	1.000	0.00001
1A4	1A3	233.3	-78.2	1.00	155.8	175.6	50	1380000	0.00004	1.000	0.00004
1A4	1G1	233.3	-59.3	1.00	146.3	164.9	3	1700000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1F1	233.3	-47.4	1.00	140.4	158.2	4	1950000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1A2	233.3	-33.8	1.00	133.5	150.5	12	2390000	0.00001	1.000	0.00001
1B9	1A2	223.7	-33.8	1.00	128.7	145.1	57	2810000	0.00002	1.000	0.00002
1B9	1L1	223.7	-26.4	1.00	125.0	140.9	2	3180000	0.00000	1.000	0.00000

選抜条件 記号		一次+二次+ ピーク応力値		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力値		実繰返 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	繰返し効果 補正係数 fen	繰返し効果を考慮した 疲労累積係数 uan
A	B	smax	smin		修正前 salt	修正後 salt'					
1B9	2A1	223.7	-9.7	1.00	116.7	131.5	6	4290000	0.00000	1.000	0.00000
1B9	2H1	223.7	-7.4	1.00	116.6	130.3	2	4480000	0.00000	1.000	0.00000
1B9	1B8	223.7	-5.6	1.00	114.7	129.2	2	4630000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1B8	194.5	-5.6	1.00	100.0	112.6	67	10100000	0.00001	1.000	0.00001
1A3	NSS	194.5	0.0	1.00	97.2	109.6	2	13300000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	NSS	174.2	0.0	1.00	87.1	98.2	69	65400000	0.00000	1.000	0.00000
1BS	NSS	142.2	0.0	1.00	71.1	80.1	62	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.04984

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

→環境UF : 0.050

【サージ用管台 (評価点: 1)】

選定条件 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	繰返し率 修正係数 fen	繰返し率を考慮した 疲労累積係数 uan
A	B	smax	smin		KE	修正前 salt					
NSS	2H1	0.0	-625.1	1.35	420.5	474.0	2	7480	0.00027	6.132	0.00164
NSS	1B2	0.0	-596.9	1.33	396.3	448.9	131	9300	0.01409	3.573	0.05033
2G1	1B2	-68.9	-596.9	1.28	338.6	381.7	2	20300	0.00010	9.662	0.00095
2E1	1B2	-119.4	-596.9	1.22	292.2	329.4	2	42500	0.00005	4.283	0.00020
2D3	1B2	-119.7	-596.9	1.22	292.0	329.1	2	42700	0.00005	7.947	0.00037
1C1	1B2	-146.0	-596.9	1.22	275.9	311.0	691	57400	0.01204	9.000	0.10834
1C1	1A2	-146.0	-592.0	1.23	274.0	308.9	133	59600	0.00223	8.841	0.01973
2E1	1A2	-159.1	-592.0	1.23	266.0	299.8	4	70200	0.00006	8.867	0.00051
1D1	1A2	-165.8	-592.0	1.23	261.9	295.2	277	76400	0.00363	6.189	0.02244
1D1	2E1	-165.8	-594.2	1.22	260.4	293.5	2	78800	0.00003	7.225	0.00018
1A2	2D3	-181.8	-520.0	1.23	207.8	234.2	2	285000	0.00001	7.463	0.00005
1A2	2G1	-181.8	-490.6	1.23	189.7	213.9	2	502000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L1	-181.8	-479.3	1.23	182.6	206.0	2	653000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	-181.8	-451.4	1.23	165.7	186.7	4	1130000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2A1	-181.8	-445.6	1.23	162.1	182.7	6	1210000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L2	-181.8	-427.4	1.23	150.9	170.1	2	1530000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1G1	-181.8	-401.0	1.23	134.7	151.8	3	2310000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1D1	-181.8	-397.0	1.23	132.2	149.0	393	2500000	0.00016	1.000	0.00016
1B2	1D1	-194.2	-397.0	1.22	124.1	139.9	422	3290000	0.00013	1.000	0.00013
1B2	1C1	-194.2	-395.3	1.22	123.0	138.7	406	3410000	0.00012	1.000	0.00012
1D1	1C1	-165.8	-395.3	1.00	114.7	129.3	418	4620000	0.00009	1.000	0.00009
1D1	1F1	-165.8	-388.9	1.00	111.6	125.7	4	5300000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1E1	-165.8	-355.8	1.00	95.0	107.1	3	16600000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2C1	-165.8	-343.9	1.00	89.0	100.4	2	40400000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2F1	-165.8	-323.0	1.00	78.6	88.6	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.20526

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

→環境UF : 0.206

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。

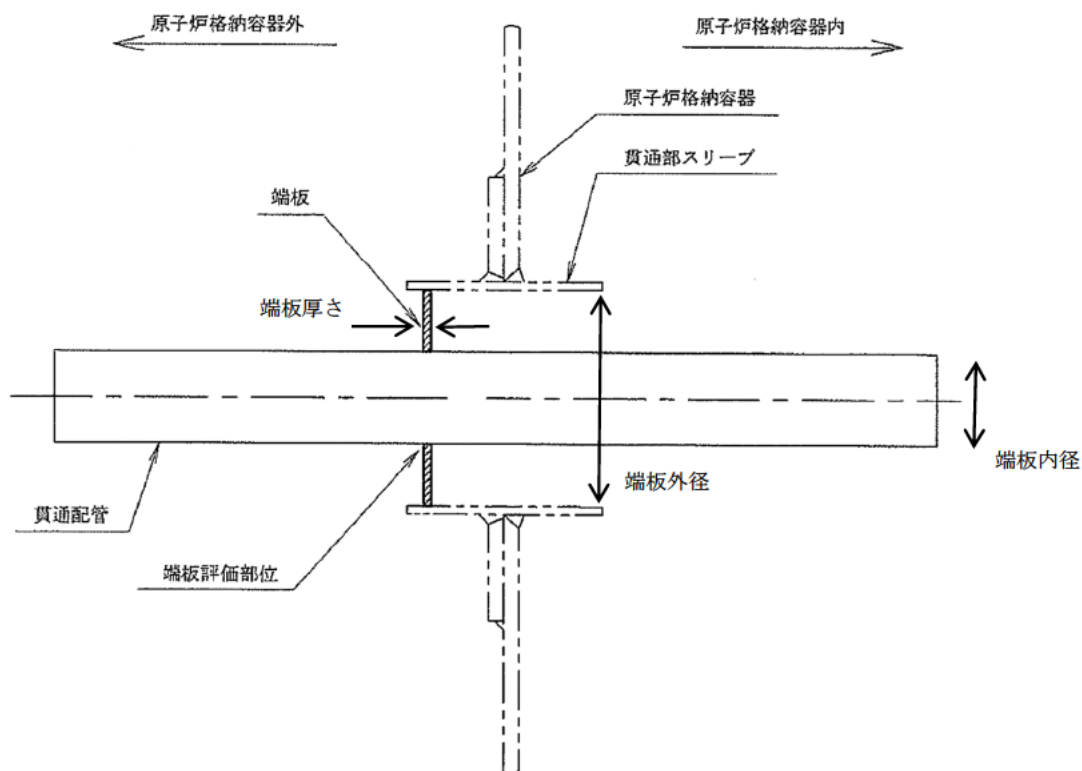


図1 余熱除去出口配管貫通部の基本寸法箇所

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 (°C)	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	-2	5	34	7	14	-1

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	77	266	10 <sup>11</sup>	0.000



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。

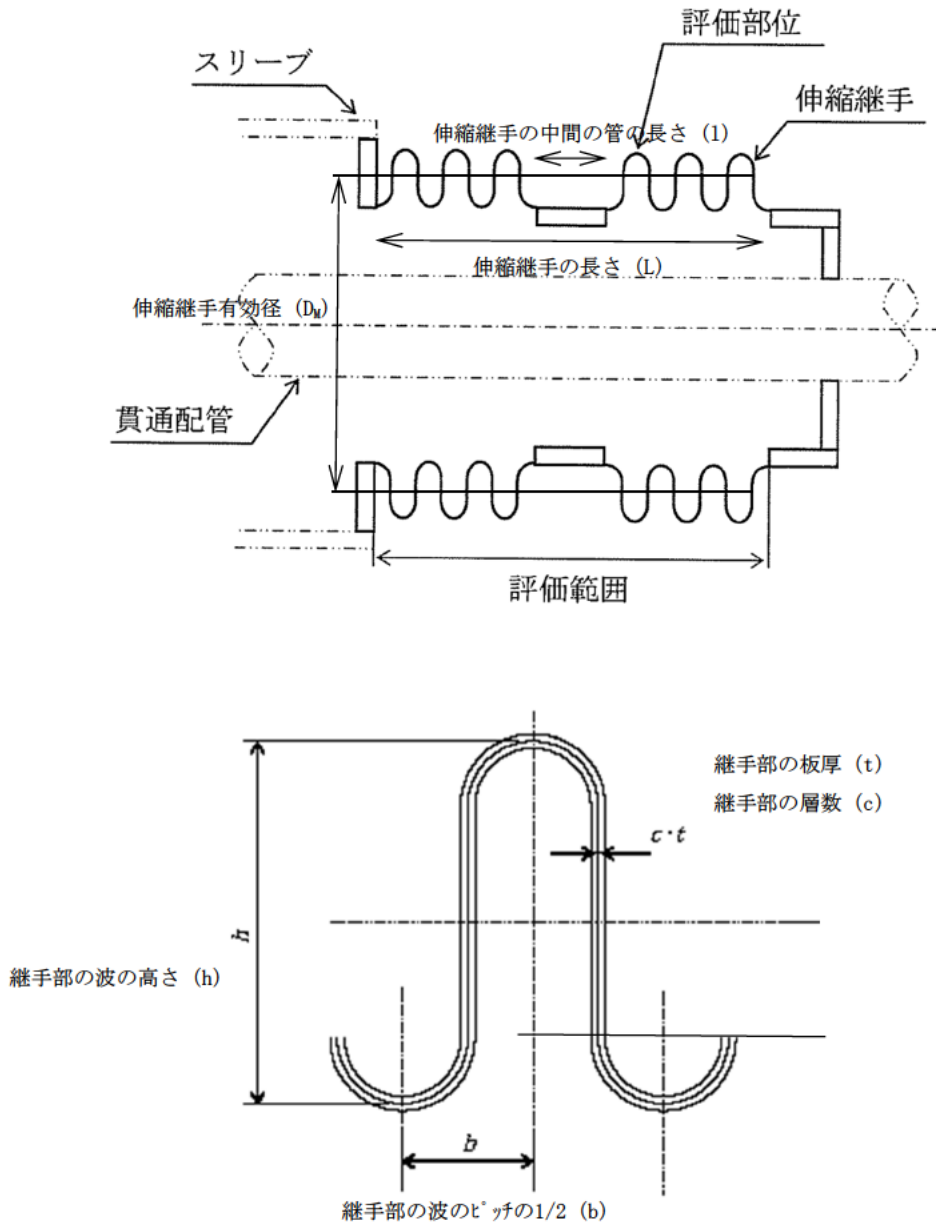


図 2 主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所

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) $l$	180	120
伸縮継手の長さ (mm) $L$	580	520

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、 $\sigma$  = 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	622	69	23,555	0.003	0.024
	起動・停止以外	419	1,877	93,743	0.021	
主給水管	起動・停止	1,007	69	4,356	0.016	0.229
	起動・停止以外	823	1,877	8,822	0.213	

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><b>【通常疲労】</b></p> <table border="1" data-bbox="472 898 1310 1292"> <tr> <td data-bbox="472 898 699 976">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 898 1310 976">(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 data-bbox="472 976 699 1133">要素種類</td> <td data-bbox="699 976 1310 1133" rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1133 699 1211">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1211 699 1292">節点数</td> </tr> </table> <p><b>【熱成層を考慮した環境疲労】</b></p> <table border="1" data-bbox="472 1391 1310 1823"> <tr> <td data-bbox="472 1391 699 1469">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 1391 1310 1469">(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 data-bbox="472 1469 699 1626">要素種類</td> <td data-bbox="699 1469 1310 1626" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1626 699 1659">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1659 699 1738">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1738 699 1823">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. K e 係数

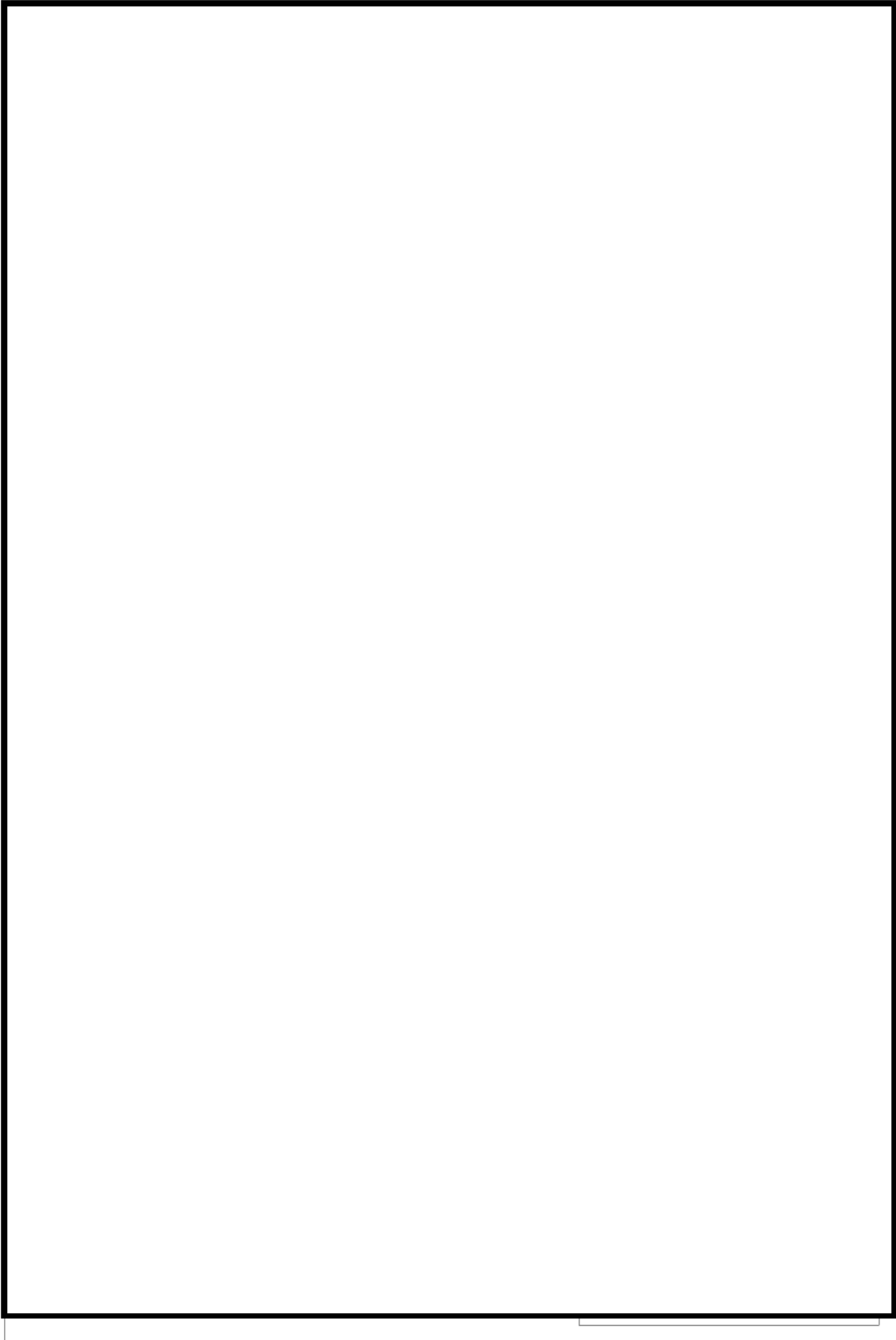
環境疲労評価において用いた K e 係数を添付 4 に示す。

## 6. 環境評価パラメータ

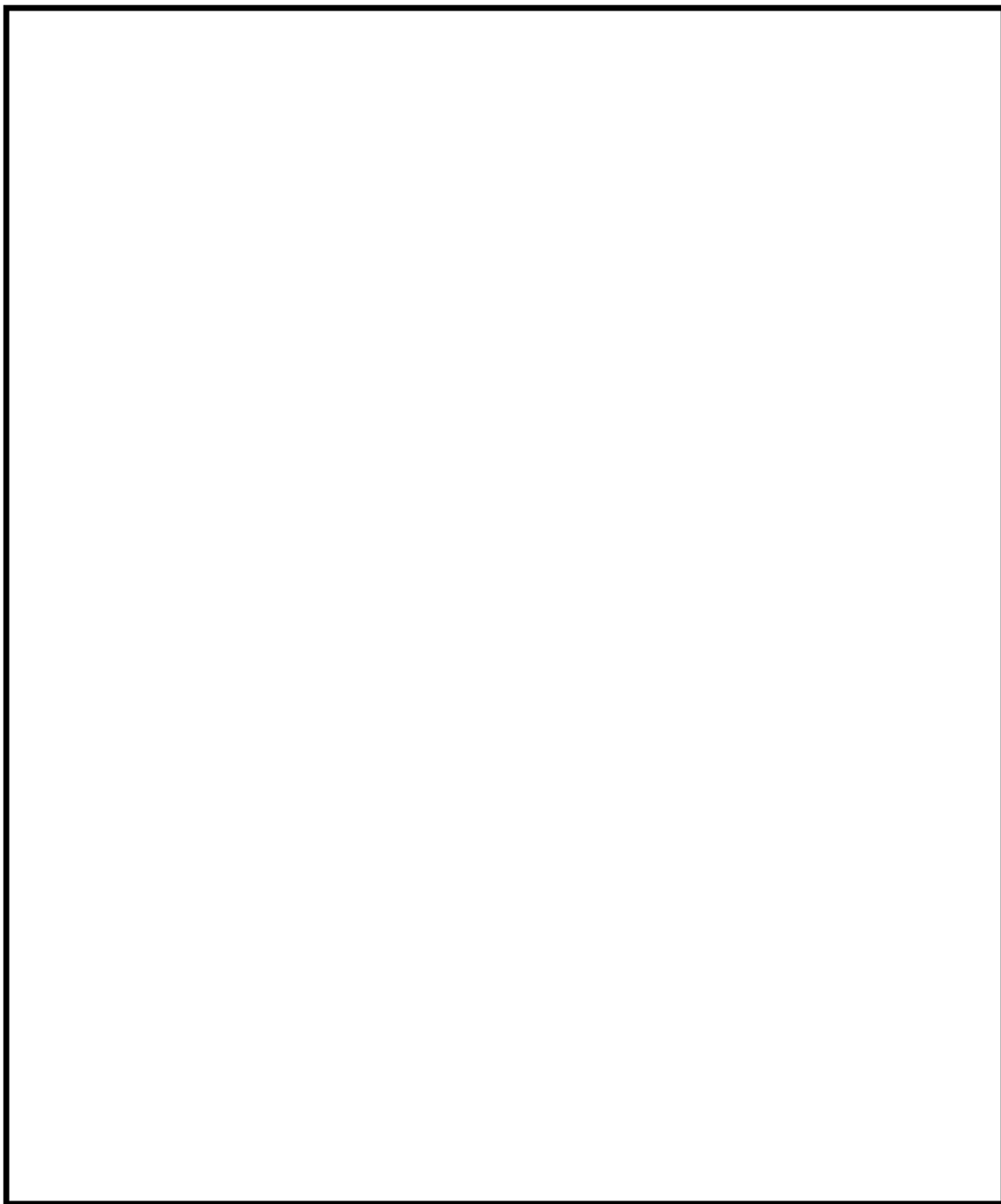
評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数  $f_{en}$ ）を、添付 4 に示す。



加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)

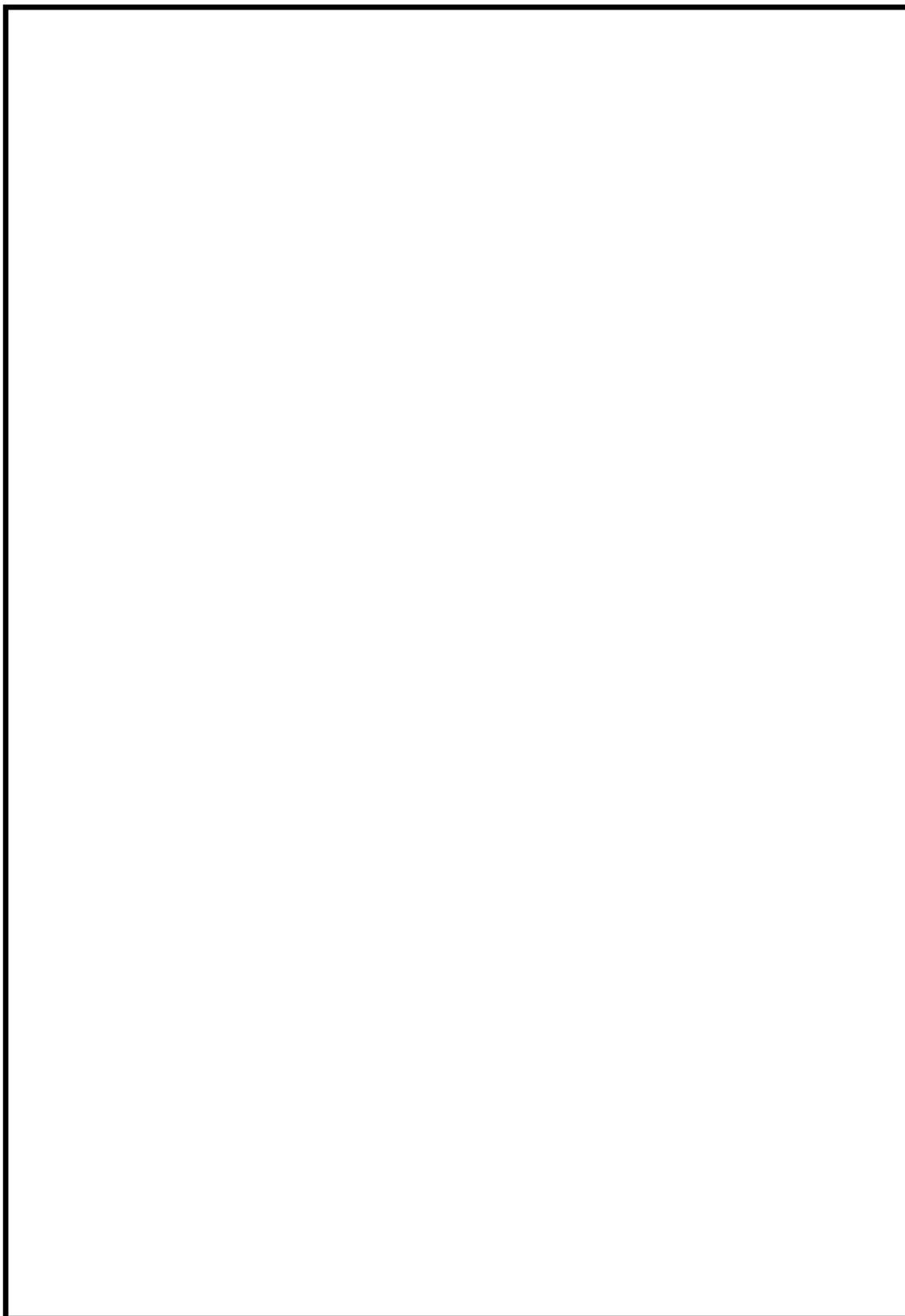


加圧器サージ配管 解析モデル (2/2)

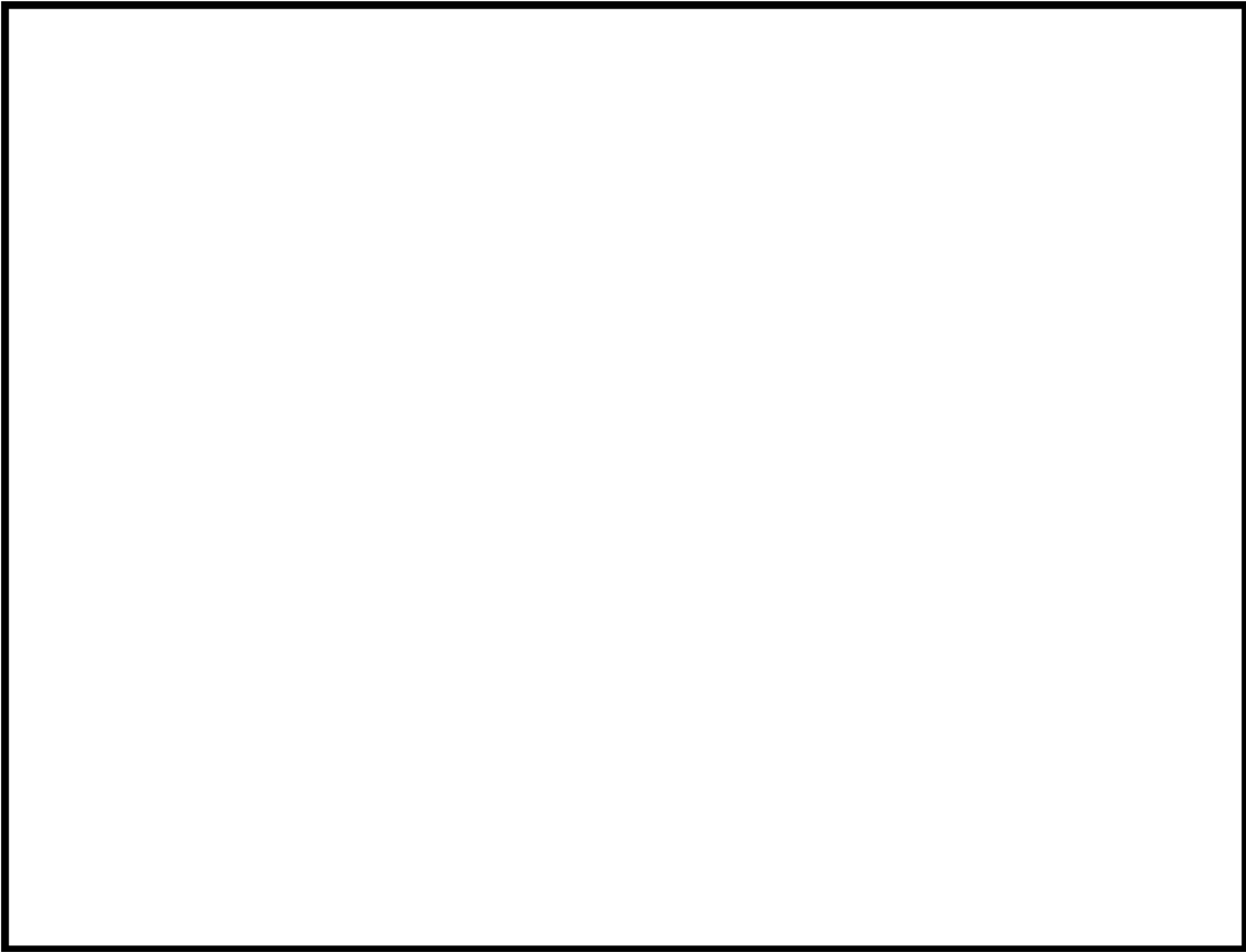


加圧器スプレイ配管 解析モデル (1/6)

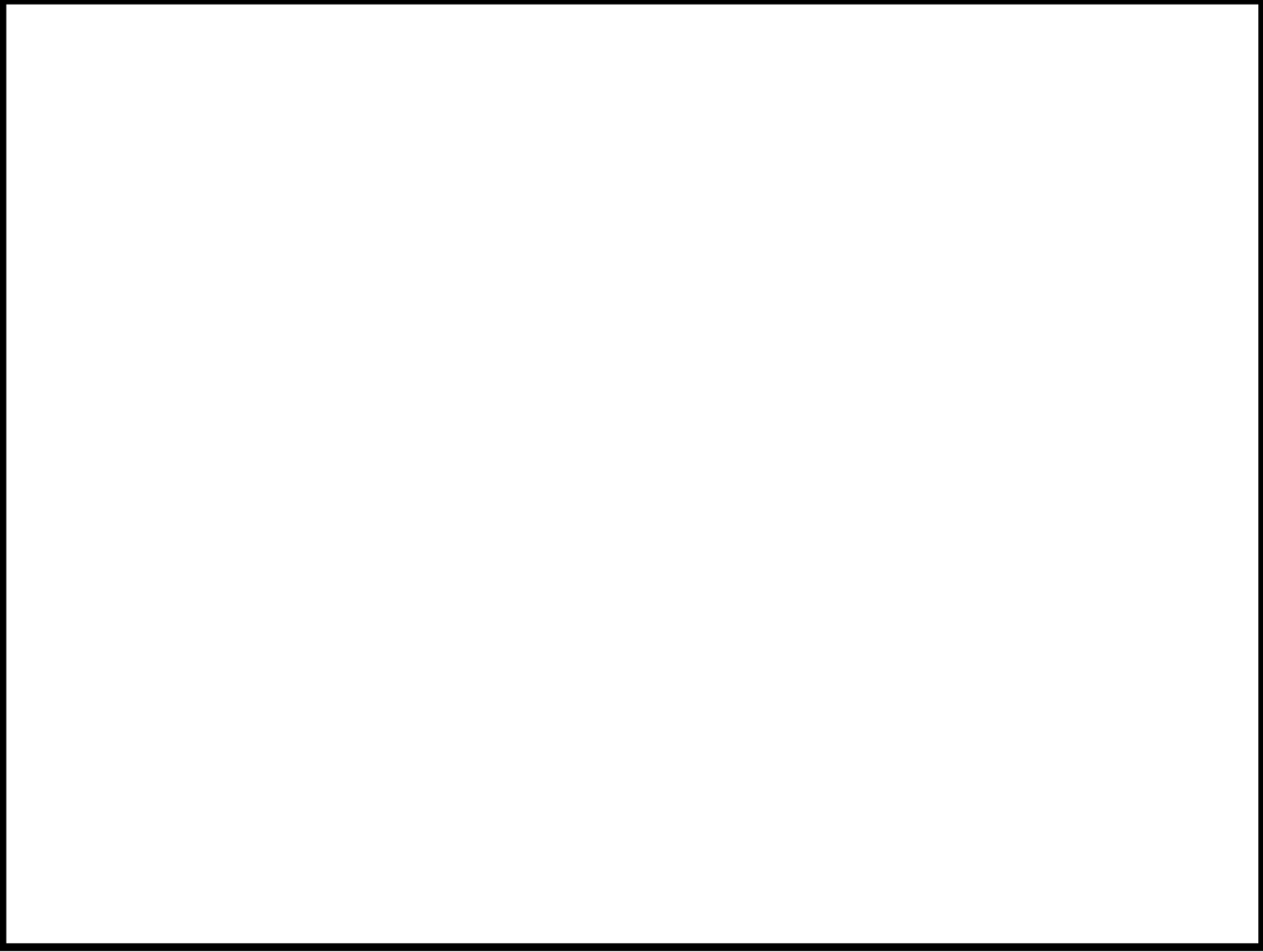




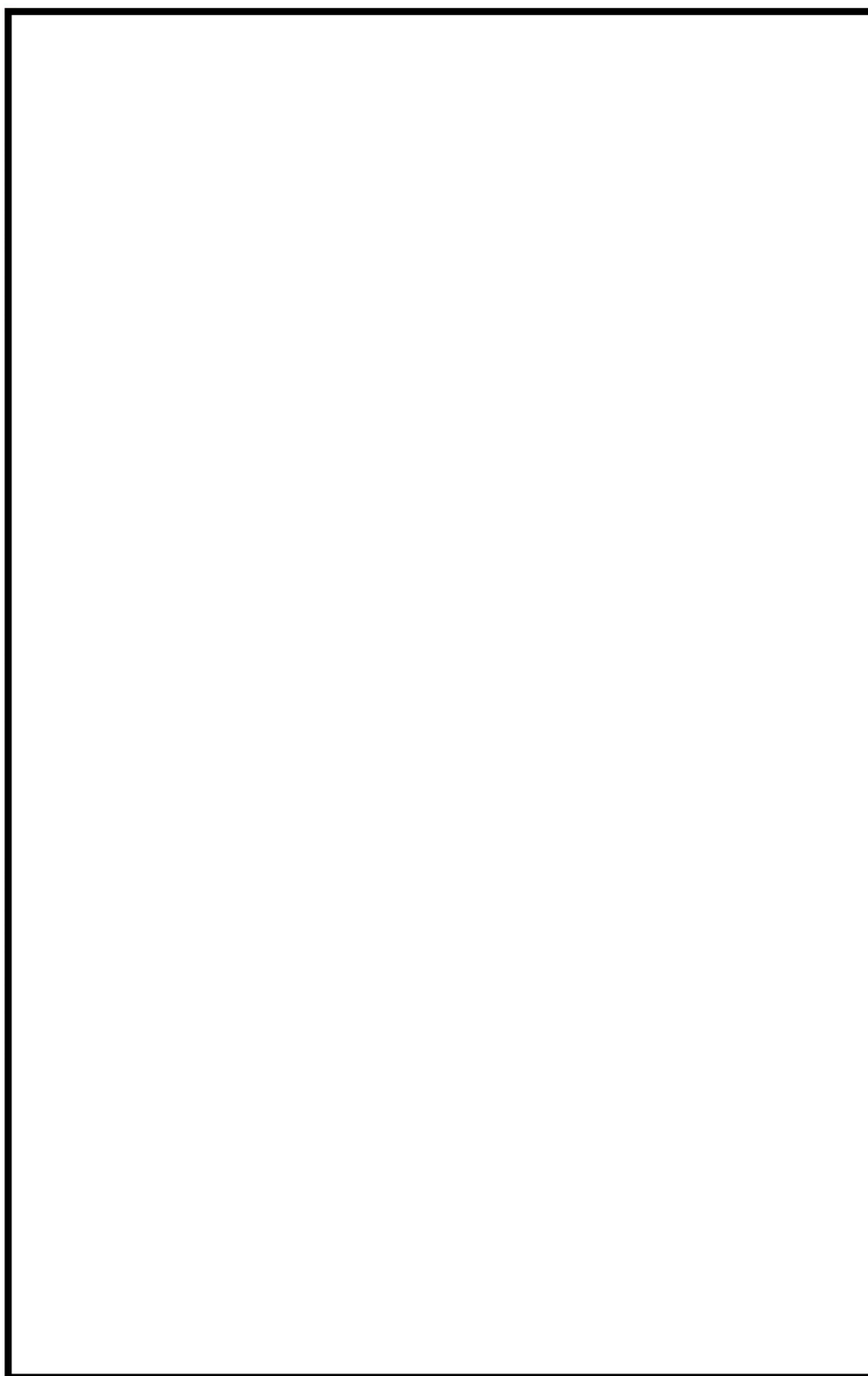
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 6)



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	14.6	308.6	0.0	206.9	558	315	0.00160	1.0
802	19.5	39.2	280.6	0.0	206.9	547	308	0.00137	
602	19.5	41.4	280.6	0.0	206.9	549	310	0.00143	
803	19.5	43.6	280.6	0.0	206.9	551	311	0.00149	
108	21.2	66.4	280.6	0.0	206.9	576	325	0.00260	
603	21.2	75.8	280.6	0.0	206.9	585	330	0.00315	
110	21.2	67.1	280.6	0.0	206.9	576	325	0.00265	
114	21.2	60.3	280.6	0.0	206.9	569	321	0.00227	
116	23.3	87.6	308.6	0.0	206.9	627	354	0.00533	
117	23.3	85.3	308.6	0.0	206.9	625	352	0.00510	
608	21.2	48.8	280.6	0.0	206.9	558	315	0.00180	
119	23.3	39.2	308.6	0.0	206.9	579	326	0.00211	
120	23.3	33.1	308.6	0.0	206.9	572	323	0.00187	
122	21.2	45.0	280.6	0.0	206.9	554	313	0.00166	
1002	27.1	96.3	308.6	0.0	206.9	639	361	0.00743	

(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  
( $1.95 \times 10^5$  / 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。

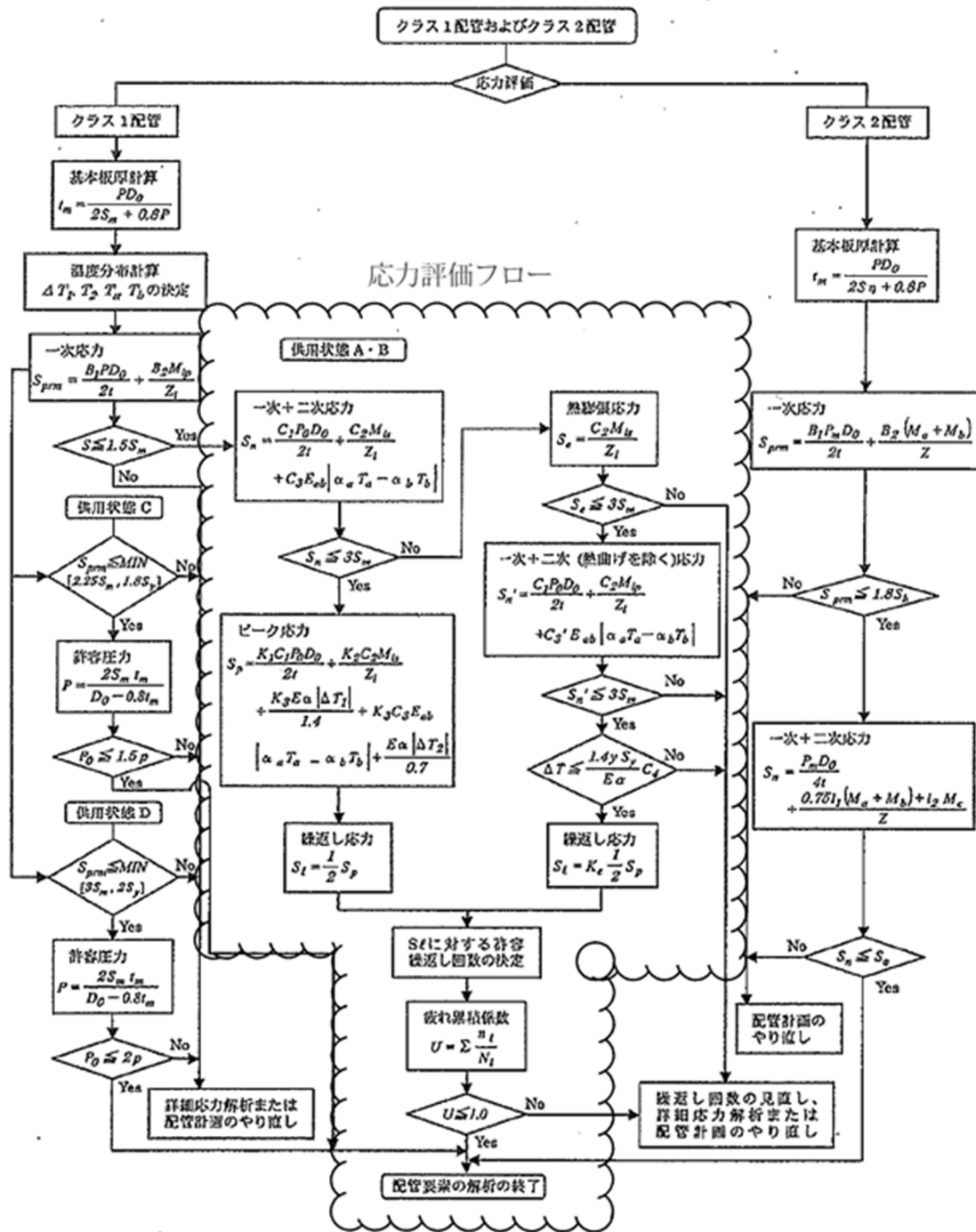
→通常UF : 0.008

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
145	451.4	45.6	7.3	0.0	3.1	508	282	0.00139	1.0
188	285.2	26.0	306.0	0.0	138.8	757	419	0.00541	
259	41.3	11.0	351.0	0.0	143.5	547	302	0.00006	
193	41.0	11.7	319.1	0.0	143.5	516	284	0.00006	
195	58.9	27.1	315.3	0.0	148.3	550	310	0.00618	
196	59.4	21.7	346.9	0.0	148.3	577	325	0.00781	
1003	59.4	21.7	346.9	0.0	148.3	577	325	0.00794	
199	74.6	15.0	304.1	0.0	137.8	532	298	0.00012	
200	61.3	84.2	386.0	0.0	211.9	744	417	0.00125	
261	37.0	31.7	448.0	104.1	220.4	842	464	0.00056	
903	30.8	18.6	407.2	0.0	220.4	678	373	0.00020	
262	63.0	88.1	84.8	15.4	45.0	297	149	0.00012	
202	66.1	96.0	77.1	0.0	45.0	285	143	0.00010	
204	66.1	86.3	77.1	0.0	45.0	275	138	0.00008	
263	239.4	12.9	253.7	271.0	48.0	825	413	0.01797	

(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  
( $1.95 \times 10^5$  / 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 : 0.008

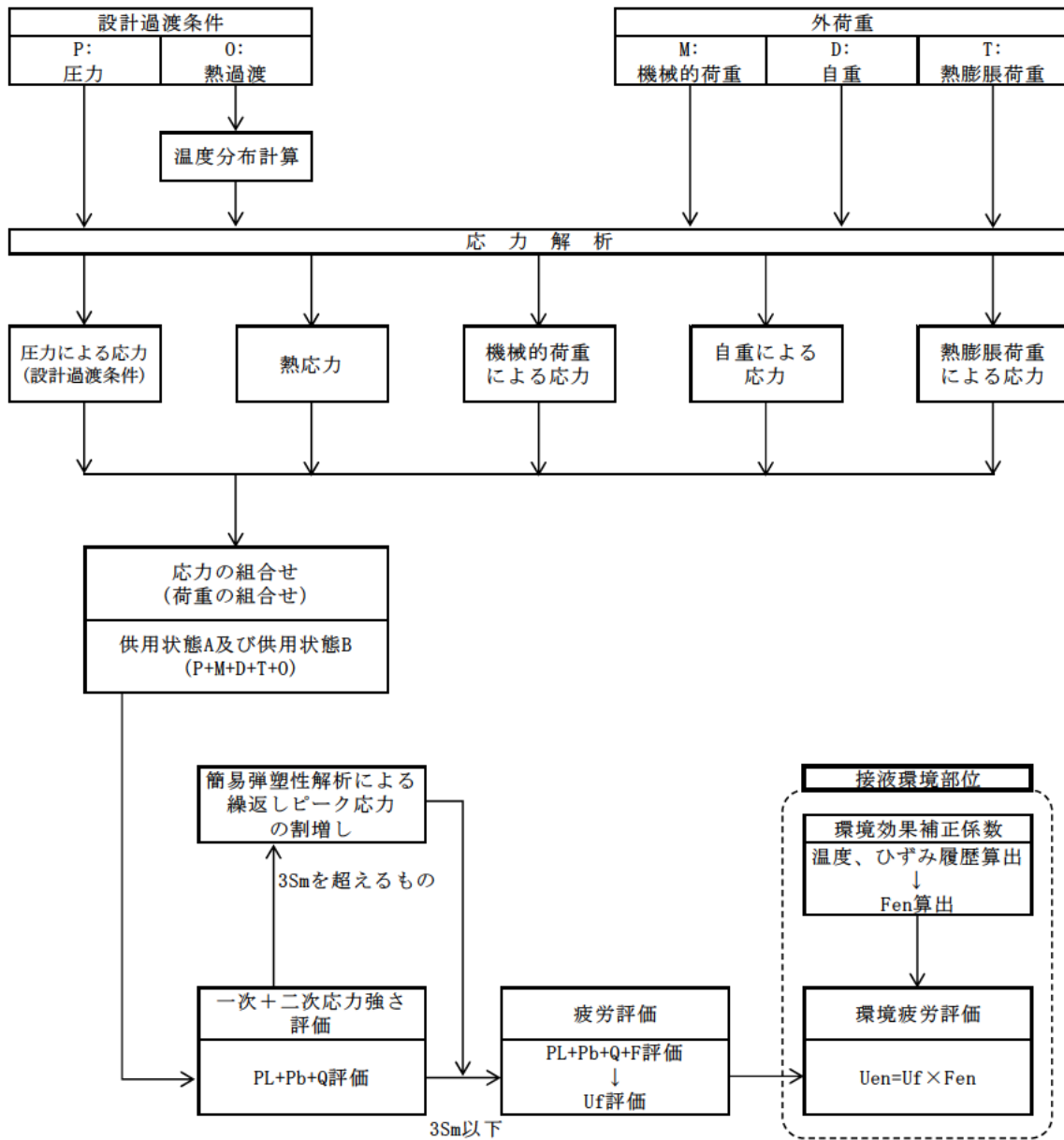


(備考) クラス2配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント  $M_b$  を含む場合の式のみを記載した

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）

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【加圧器サージ配管】

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)	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		salt'					
2D3	2D3	285.3	-316.4	1.30	445.3	2	9610	0.00021	12.084	0.00251
2G1	2G1	281.4	-283.9	1.00	286.1	2	75100	0.00003	10.857	0.00028
2H1	1X1	200.1	-236.5	1.00	246.1	2	209000	0.00001	11.021	0.00011
2E1	1X1	179.1	-236.5	1.00	234.2	4	285000	0.00001	8.008	0.00011
1J1	1X1	150.5	-236.5	1.00	218.1	2	444000	0.00000	13.080	0.00008
2D2	1X1	134.8	-236.5	1.00	209.3	2	584000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	2H1	119.0	-230.9	1.00	187.2	2	880000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	2J1	119.0	-229.7	1.00	186.5	2	913000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	1X1	118.0	-236.5	1.00	184.8	58	971000	0.00008	1.000	0.00008
1Y2	1X2	118.0	-236.5	1.00	184.8	6	971000	0.00001	1.000	0.00001
2C1	1X2	108.0	-236.5	1.00	184.2	2	982000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1X2	108.4	-236.5	1.00	183.3	7	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	82.3	-236.5	1.00	179.7	3	1280000	0.00000	1.000	0.00000
1Y4	1X2	77.6	-236.5	1.00	172.1	48	1480000	0.00003	1.000	0.00003
1Y4	1X3	77.6	-234.0	1.00	169.7	20	1550000	0.00001	1.000	0.00001
2J1	1X3	61.8	-234.0	1.00	166.7	2	1840000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1X3	57.1	-234.0	1.00	165.0	6	1890000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	1X3	52.4	-234.0	1.00	161.4	12	1820000	0.00001	1.000	0.00001
1X2	1X3	58.2	-234.0	1.00	180.0	29	1870000	0.00002	1.000	0.00002
1X2	1X4	58.2	-234.0	1.00	180.0	40	1870000	0.00002	1.000	0.00002
1X4	1X4	58.8	-234.0	1.00	159.4	29	1800000	0.00002	1.000	0.00002
1X4	1J1	58.6	-222.6	1.00	158.5	2	1930000	0.00000	1.000	0.00000
1X4	1X5	58.8	-225.8	1.00	154.9	38	2110000	0.00002	1.000	0.00002
1Y6	1X5	51.7	-225.8	1.00	150.3	31	2410000	0.00001	1.000	0.00001
1Y6	1X8	51.7	-225.8	1.00	150.3	38	2410000	0.00002	1.000	0.00002
1X6	1X8	51.1	-225.8	1.00	150.0	31	2430000	0.00001	1.000	0.00001
1X6	1W5	51.1	-211.8	1.00	145.7	38	2780000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	1W5	35.0	-211.8	1.00	136.7	31	3830000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	1W8	35.0	-211.8	1.00	136.7	38	3830000	0.00001	1.000	0.00001
1Z2	1W8	34.9	-211.8	1.00	136.7	31	3830000	0.00001	1.000	0.00001
1Z2	1J2	34.9	-206.2	1.00	135.9	6	3730000	0.00000	1.000	0.00000
1Z2	1G1	34.9	-204.7	1.00	135.1	3	3820000	0.00000	1.000	0.00000
1Z2	2E1	34.9	-204.5	1.00	134.9	4	3850000	0.00000	1.000	0.00000
1Z2	1V3	34.9	-205.1	1.00	134.5	25	3800000	0.00001	1.000	0.00001
1J2	1V3	28.8	-205.1	1.00	131.8	6	4250000	0.00000	1.000	0.00000
1V4	1V3	28.5	-205.1	1.00	130.9	38	4380000	0.00001	1.000	0.00001
1V4	1V4	28.5	-205.1	1.00	130.9	31	4380000	0.00001	1.000	0.00001
1W4	1V4	20.4	-205.1	1.00	128.3	38	5180000	0.00001	1.000	0.00001
1W4	2D2	20.4	-197.0	1.00	122.5	2	6190000	0.00000	1.000	0.00000
1W4	1W3	20.4	-196.3	1.00	121.4	29	6530000	0.00000	1.000	0.00000
1V2	1W3	20.1	-196.3	1.00	121.3	40	6580000	0.00001	1.000	0.00001
1V2	1W4	20.1	-196.3	1.00	121.3	29	6580000	0.00000	1.000	0.00000
1Z4	1W4	19.2	-196.3	1.00	120.8	40	6720000	0.00001	1.000	0.00001
1Z4	1V1	19.2	-195.5	1.00	119.6	29	7140000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1V2	13.1	-195.5	1.00	117.6	69	7890000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1V1	13.1	-195.5	1.00	117.6	40	7890000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	2C1	13.1	-189.1	1.00	113.9	2	9540000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1D1	13.1	-181.3	1.00	108.5	1519	13400000	0.00011	1.000	0.00011
1Z6	1D1	11.7	-181.3	1.00	108.7	69	14400000	0.00000	1.000	0.00000
1V6	1D1	7.4	-181.3	1.00	106.3	42	17800000	0.00000	1.000	0.00000
1V6	2D1	7.4	-180.8	1.00	106.0	7	18200000	0.00000	1.000	0.00000
1V6	1C1	7.4	-180.8	1.00	106.0	20	18200000	0.00000	1.000	0.00000
1W2	1C1	7.4	-180.8	1.00	106.0	69	18200000	0.00000	1.000	0.00000
1U6	1C1	7.1	-180.6	1.00	105.8	69	18800000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1C1	5.5	-180.8	1.00	104.9	3	20200000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1C1	0.8	-180.6	1.00	102.2	64	30400000	0.00000	1.000	0.00000
1U4	1C1	-2.0	-180.6	1.00	100.7	69	38300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1C1	-6.8	-180.6	1.00	98.0	530	70500000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	1V5	-6.8	-180.0	1.00	97.7	69	78300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1V8	-6.8	-180.0	1.00	97.7	69	78300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1W1	-6.8	-180.0	1.00	97.7	69	78300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1W2	-6.8	-180.0	1.00	97.7	69	78300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2F1	-6.8	-179.8	1.00	97.5	2	83800000	0.00000	1.000	0.00000

1C1	1U5	-6.8	-178.3	1.00	86.7	18	189000000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	1U5	-7.8	-178.3	1.00	86.1	53	783000000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	1U8	-7.8	-178.3	1.00	86.1	18	783000000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1U8	-10.1	-178.3	1.00	84.8	53	3960000000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1U4	-10.1	-176.7	1.00	83.9	18	-----	0.00000	1.000	0.00000
total								0.00078		0.00359

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

→環境UF : 0.004

## 【加圧器スプレイ配管 (評価点B)】

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	salt'	n	n*	u	fen	uen
1B8	2E2	243.6	-387.7	1.90	1004.5	2	524	0.00882	3.802	0.01489
1B8	1B8	243.6	-487.4	1.40	561.7	67	3850	0.01740	3.138	0.05461
1B9	1B8	182.0	-487.4	1.30	488.3	2	7990	0.00025	2.580	0.00085
1B9	2G1	182.0	-481.0	1.30	488.6	2	10100	0.00020	3.874	0.00079
1B9	1A6	182.0	-433.4	1.30	438.6	65	10500	0.00618	3.510	0.02173
1B7	1A6	118.5	-433.4	1.00	308.1	4	80400	0.00007	3.715	0.00025
1B7	1A7	118.5	-414.8	1.00	298.4	65	70700	0.00082	3.824	0.00361
1B8	1A7	112.7	-414.8	1.00	297.3	4	73400	0.00008	3.543	0.00019
1B8	1B2	112.7	-414.4	1.00	297.1	65	73700	0.00088	3.526	0.00311
1B6	1B2	110.5	-414.4	1.00	295.8	4	75500	0.00008	3.836	0.00021
1B6	1B3	110.5	-388.6	1.00	279.7	65	102000	0.00069	3.642	0.00232
1B5	1B3	97.5	-388.6	1.00	272.4	4	118000	0.00003	3.804	0.00013
1B5	2A1	97.5	-378.3	1.00	268.5	6	128000	0.00008	4.293	0.00020
1B5	2H1	97.5	-373.7	1.00	265.6	2	138000	0.00001	4.318	0.00008
1B5	1G1	97.5	-370.7	1.00	263.9	3	141000	0.00002	4.335	0.00009
1B5	2C1	97.5	-369.5	1.00	263.2	2	143000	0.00001	4.077	0.00006
1B5	1J1	97.5	-368.4	1.00	263.2	2	143000	0.00001	4.342	0.00006
1B5	1B9	97.5	-362.6	1.00	263.0	50	144000	0.00038	2.704	0.00094
1B8	1F1	81.9	-368.6	1.00	253.9	4	175000	0.00002	3.858	0.00008
1B8	1D1	81.9	-368.4	1.00	253.8	65	175000	0.00037	3.878	0.00137
2E2	1B9	58.6	-362.6	1.00	248.7	2	196000	0.00001	4.298	0.00004
1B0	1D1	62.8	-368.4	1.00	243.0	69	226000	0.00031	3.873	0.00112
1B0	1D1	54.2	-368.4	1.00	238.1	69	257000	0.00027	3.706	0.00100
1B4	1B9	45.1	-362.6	1.00	237.0	17	285000	0.00006	2.741	0.00018
1B4	1D1	45.1	-368.4	1.00	238.1	52	293000	0.00018	4.537	0.00081
1A3	1A5	40.9	-373.1	1.00	230.7	69	313000	0.00023	3.482	0.00077
1A1	1D1	24.2	-368.4	1.00	221.3	69	405000	0.00017	4.105	0.00070
1A4	1D1	21.8	-368.4	1.00	219.9	69	422000	0.00016	4.286	0.00070
2E1	1D1	17.2	-368.4	1.00	217.3	2	454000	0.00000	6.489	0.00003
1A2	1D1	15.1	-368.4	1.00	216.1	69	470000	0.00015	3.876	0.00058
2I1	1D1	4.5	-368.4	1.00	210.2	64	567000	0.00011	1.000	0.00011
1B3	1D1	-7.7	-368.4	1.00	203.3	69	718000	0.00010	1.000	0.00010
1A5	1D1	-14.7	-368.4	1.00	199.3	69	826000	0.00008	1.000	0.00008

添付4 (4/4)

2D2	1D1	-19.4	-388.4	1.00	186.7	2	908000	0.0000	1.000	0.0000
2F1	1D1	-19.4	-388.4	1.00	186.7	2	908000	0.0000	1.000	0.0000
2J1	1D1	-23.5	-388.4	1.00	184.4	2	985000	0.0000	1.000	0.0000
2D3	1D1	-23.8	-388.4	1.00	184.2	2	982000	0.0000	1.000	0.0000
2G1	1D1	-28.1	-388.4	1.00	182.9	2	1010000	0.0000	1.000	0.0000
2A1	1D1	-27.1	-388.4	1.00	182.3	6	1020000	0.0000	1.000	0.0001
1A6	1D1	-28.0	-388.4	1.00	181.8	89	1030000	0.0000	1.000	0.0007
2C1	1D1	-30.0	-388.4	1.00	180.7	2	1050000	0.0000	1.000	0.0000
2H1	1D1	-30.4	-388.4	1.00	180.5	2	1060000	0.0000	1.000	0.0000
2D1	1D1	-31.4	-388.4	1.00	189.8	7	1070000	0.0000	1.000	0.0001
1A7	1D1	-35.4	-388.4	1.00	187.7	53	1110000	0.0000	1.000	0.0005
1A7	1E1	-35.4	-388.3	1.00	187.6	3	1110000	0.0000	1.000	0.0000
1A7	1C1	-35.4	-388.2	1.00	187.8	13	1110000	0.0000	1.000	0.0001
1B2	1C1	-35.4	-388.2	1.00	187.6	89	1110000	0.0000	1.000	0.0006
1G1	1C1	-35.5	-388.2	1.00	187.5	3	1110000	0.0000	1.000	0.0000
1J1	1C1	-37.1	-388.2	1.00	186.8	2	1130000	0.0000	1.000	0.0000
1A1	1C1	-38.1	-388.2	1.00	186.1	89	1140000	0.0000	1.000	0.0008
2J1	1C1	-38.1	-388.2	1.00	186.1	2	1140000	0.0000	1.000	0.0000
1F1	1C1	-38.8	-388.2	1.00	185.8	4	1150000	0.0000	1.000	0.0000
1D1	1C1	-39.4	-388.2	1.00	185.3	682	1160000	0.0005	1.000	0.0005
1D1	1I1	-39.4	-388.2	1.00	185.3	153	1160000	0.0013	1.000	0.0013
1J2	1I1	-39.6	-388.2	1.00	185.2	2	1160000	0.0000	1.000	0.0000
2B1	1I1	-39.6	-388.2	1.00	185.2	4	1160000	0.0000	1.000	0.0000
1E1	1I1	-39.8	-388.2	1.00	185.2	3	1160000	0.0000	1.000	0.0000
1I1	1I1	-39.7	-388.2	1.00	185.2	2738	1160000	0.0023	1.000	0.0023
1I1	1J2	-39.7	-388.1	1.00	185.1	2	1160000	0.0000	1.000	0.0000
1I1	1B4	-39.7	-389.7	1.00	189.1	89	1580000	0.0004	1.000	0.0004
1I1	1B8	-39.7	-311.3	1.00	153.1	89	2220000	0.0003	1.000	0.0003
1I1	1B5	-39.7	-303.9	1.00	148.8	23	2510000	0.0001	1.000	0.0001
1C1	1B5	-39.9	-303.9	1.00	148.8	47	2520000	0.0002	1.000	0.0002
1C1	1A4	-39.9	-286.4	1.00	127.7	89	4880000	0.0001	1.000	0.0001
1C1	1B8	-39.9	-285.8	1.00	127.2	89	4960000	0.0001	1.000	0.0001
1C1	1B8	-39.9	-258.1	1.00	123.0	89	6040000	0.0000	1.000	0.0001
1C1	1B7	-39.9	-257.1	1.00	122.5	89	6190000	0.0000	1.000	0.0001
1C1	1B3	-39.9	-215.5	1.00	99.0	89	5000000	0.0000	1.000	0.0000
1C1	1A3	-39.9	-201.5	1.00	91.1	89	-----	0.0000	1.000	0.0000
合計 :										
0.11507										

→環境UF : 0.116

タイトル	1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠について																						
説明	<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><b>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</b></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>&lt;配管荷重の算出&gt;</p> <table border="1" data-bbox="475 857 1310 936"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p>&lt;温度分布の算出※&gt;</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fen）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、余熱除去系戻り及び安全注入管 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 余熱除去系戻り及び安全 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

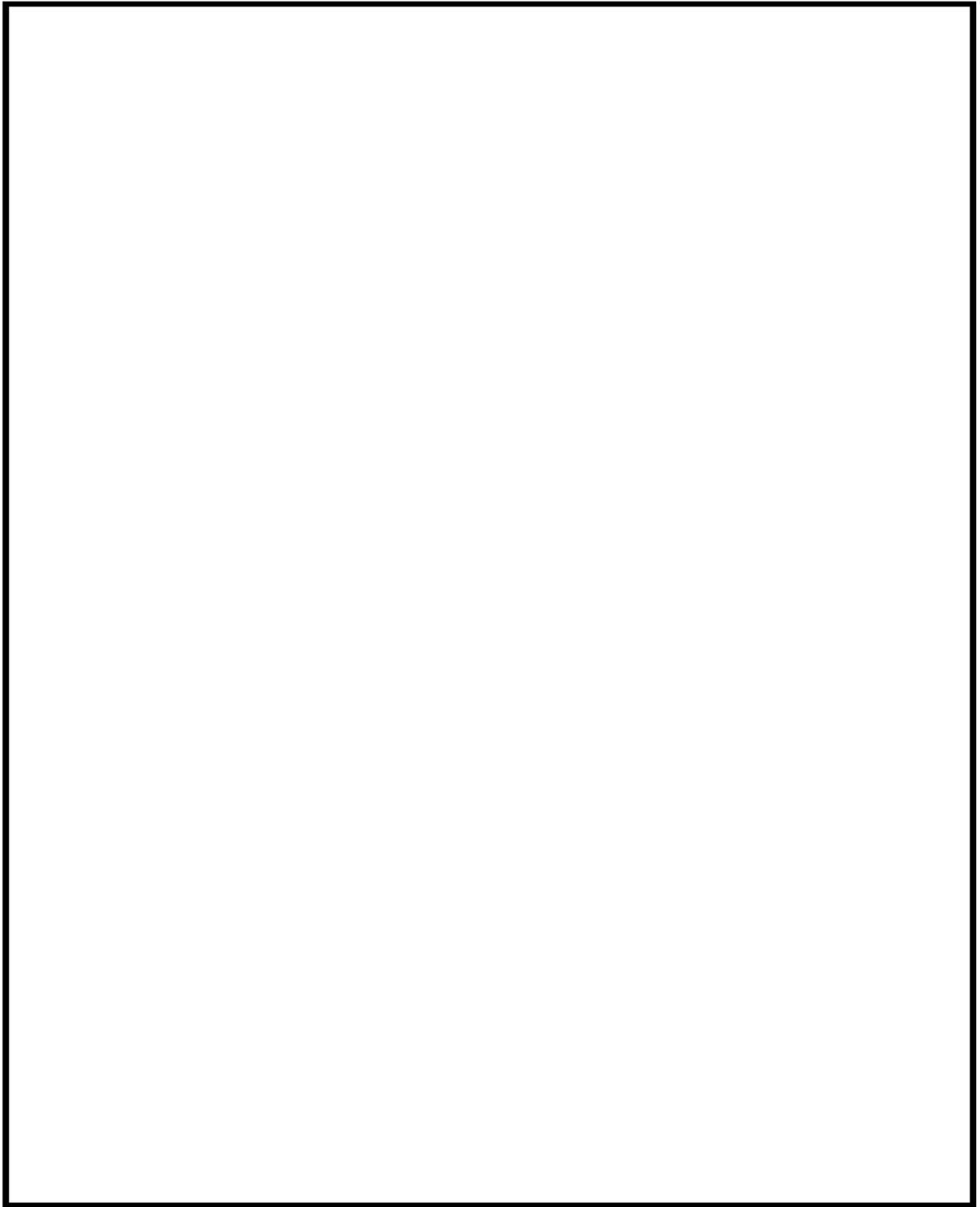
## 5. Ke係数

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)

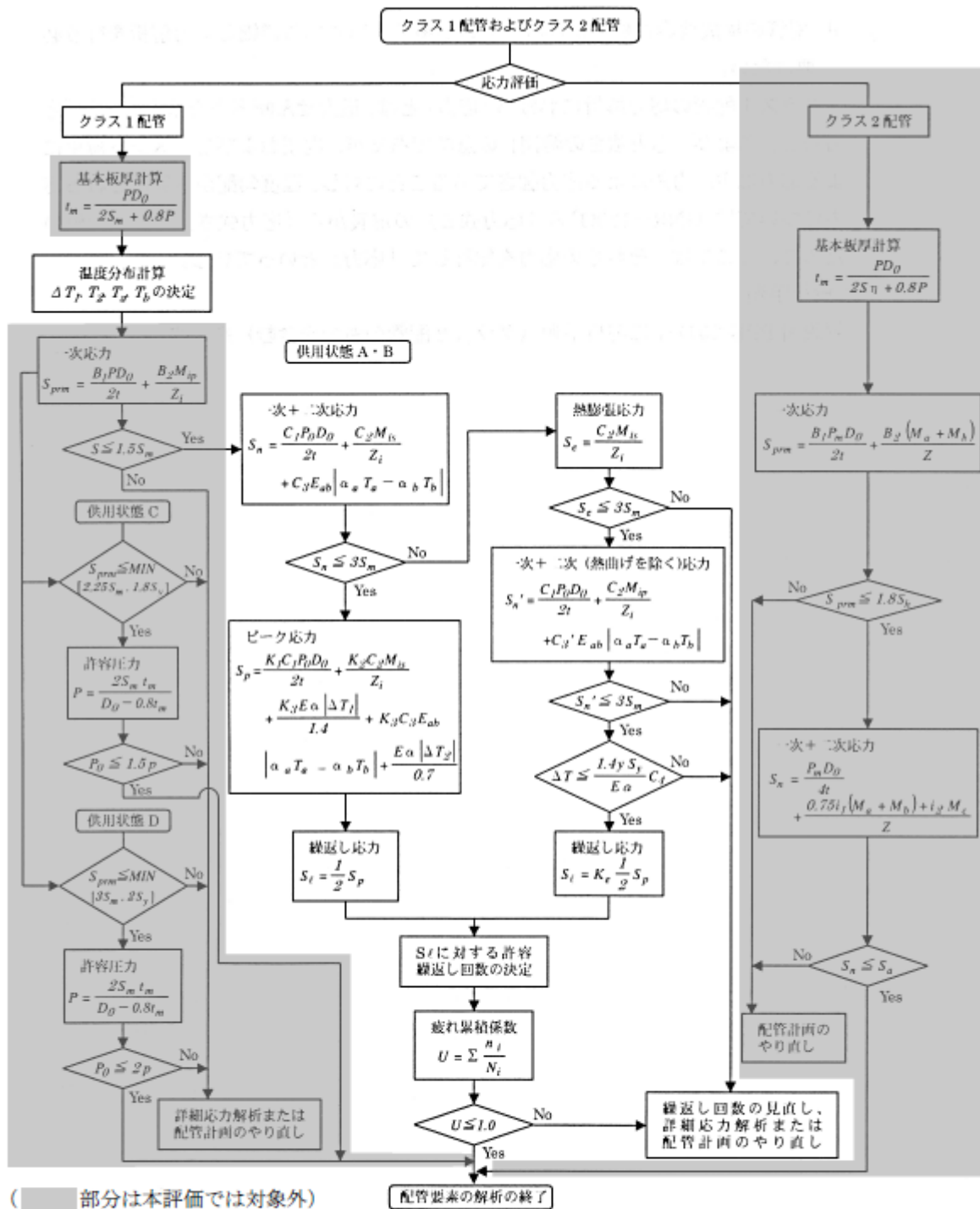
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	90.4	20.1	194.8	0.0	121.6	427.0	213.5	239.2	0.00009	1.0
	109	82.2	5.1	177.1	0.0	121.6	386.0	193.0	216.3	0.00002	
	111	90.4	9.4	194.8	0.0	121.6	416.2	208.1	233.2	0.00005	
	112	102.9	27.2	186.9	49.1	121.8	487.9	243.9	273.4	0.00022	
	113	97.5	26.2	207.2	0.0	127.4	458.2	229.1	256.7	0.00019	
	115	105.0	35.3	191.8	46.5	121.8	500.4	250.2	280.4	0.00037	
	117	90.3	12.7	201.6	0.0	121.6	426.3	213.1	238.9	0.00007	
クロスオーバーレグ	141	97.3	3.2	114.4	0.0	43.0	257.9	128.9	142.0	0.00001	
	142	139.6	36.3	62.4	24.9	43.0	306.2	153.1	168.6	0.00008	
	143	131.9	26.5	78.5	0.0	47.5	284.4	142.2	156.6	0.00006	
	145	139.6	29.7	62.4	24.9	43.0	299.6	149.8	165.0	0.00007	
	147	97.3	2.5	114.4	0.0	43.0	257.2	128.6	141.7	0.00001	
	149	88.5	2.1	104.0	0.0	43.0	237.6	118.8	130.9	0.00000	
	151	97.3	2.4	114.4	0.0	43.0	257.0	128.5	141.6	0.00001	
	152	110.5	6.4	107.5	25.6	43.0	292.9	146.4	161.3	0.00006	
	153	126.7	23.1	78.5	0.0	47.5	275.9	137.9	152.0	0.00005	

→ 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	30.7	62.4	24.9	43.0	295.5	147.7	162.8	0.00007	1.0
	157	147.9	33.3	69.8	0.0	43.0	294.0	147.0	161.9	0.00004	
	159	88.5	2.7	104.0	0.0	43.0	238.2	119.1	131.2	0.00000	
	160	147.9	37.1	69.8	0.0	43.0	297.8	148.9	164.1	0.00005	
	161	134.5	34.8	62.4	24.9	43.0	299.6	149.8	165.0	0.00007	
	163	126.7	32.6	78.5	0.0	47.5	285.3	142.7	157.2	0.00006	
	165	134.5	41.2	62.4	24.9	43.0	305.9	153.0	168.5	0.00008	
	167	134.2	24.6	103.2	217.1	13.0	492.1	246.0	271.1	0.00102	
コールドレグ	181	151.2	88.4	67.7	112.0	19.4	438.7	219.4	241.7	0.00056	
	183	88.8	2.4	98.7	0.0	41.3	231.1	115.6	127.3	0.00000	
	185	131.4	81.7	58.4	33.6	41.3	346.4	173.2	190.8	0.00013	
	189	109.7	57.6	82.2	0.0	48.3	297.8	148.9	164.1	0.00008	
	194	114.5	76.1	65.9	24.7	44.3	325.4	162.7	179.3	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)	500.4	1.0	250.2	280.4	2	101000	0.00002	19.214	0.00028
39 (2F1)	2 (1B1)	415.7	1.0	207.8	232.8	2	295000	0.00001	23.114	0.00018
38 (2D2)	2 (1B1)	393.7	1.0	186.9	220.6	2	413000	0.00000	23.114	0.00011
21 (1L1)	2 (1B1)	393.2	1.0	196.6	220.3	2	417000	0.00000	23.114	0.00011
29 (2C1)	2 (1B1)	382.8	1.0	186.5	220.2	2	419000	0.00000	23.114	0.00011
37 (2E1)	2 (1B1)	381.4	1.0	185.7	218.3	2	429000	0.00000	23.114	0.00011
25 (2A1)	2 (1B1)	389.6	1.0	194.8	218.3	6	441000	0.00001	23.114	0.00031
15 (1I1)	36 (2D5)	389.3	1.0	194.6	218.1	2	444000	0.00000	11.995	0.00005
35 (2D4)	2 (1B1)	388.9	1.0	194.5	217.9	2	446000	0.00000	23.114	0.00010
41 (2G1)	2 (1B1)	387.7	1.0	193.8	217.2	2	455000	0.00000	23.114	0.00010
31 (2D1)	2 (1B1)	386.4	1.0	193.2	216.5	7	464000	0.00002	23.114	0.00035
3 (1C1)	2 (1B1)	370.2	1.0	185.1	207.5	42	622000	0.00007	1.000	0.00007
3 (1C1)	16 (1I1)	363.4	1.0	181.7	203.6	63	710000	0.00009	1.000	0.00009
3 (1C1)	48 (2J3)	361.8	1.0	180.9	202.8	64	732000	0.00009	1.000	0.00009
42 (2G1)	15 (1I1)	345.3	1.0	172.7	193.5	2	1000000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	322.4	1.0	161.2	180.8	2	1260000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	314.2	1.0	157.1	178.0	2	1370000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	310.7	1.0	155.4	174.1	2	1420000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	300.3	1.0	150.1	168.2	7	1590000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	15 (1I1)	297.3	1.0	148.7	168.8	2	1640000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	288.8	1.0	143.4	160.8	44	1850000	0.00002	1.000	0.00002
47 (2J1)	26 (2A1)	194.0	1.0	87.0	106.7	6	14400000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	189.5	1.0	94.7	106.2	2	17900000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	12 (1G1)	175.8	1.0	87.9	98.5	3	59800000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	46 (2I1)	171.9	1.0	86.0	98.3	2	460000000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	6 (1D1)	166.3	1.0	83.1	93.2	53	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00208

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

→環境UF : 0.003

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

過渡条件番号		一次+二次+ピーク応力 sp	割り増し係数 KE	繰返しピーク応力値 応力値		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)	492.1	1.0	246.0	271.1	69	122000	0.00057	10.237	0.00579
47 (2J1)	48 (2J2)	472.4	1.0	236.2	260.2	64	153000	0.00042	5.761	0.00241
27 (2B1)	36 (2D5)	397.9	1.0	199.0	210.2	2	430000	0.00000	17.480	0.00008
27 (2B1)	38 (2E1)	382.9	1.0	191.4	210.9	2	554000	0.00000	1.000	0.00000
25 (2A1)	16 (111)	344.2	1.0	172.1	189.6	6	1070000	0.00001	1.000	0.00001
33 (2D2)	16 (111)	309.3	1.0	154.6	170.4	2	1530000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (111)	297.1	1.0	148.6	163.7	2	1740000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (111)	294.4	1.0	147.2	162.1	2	1780000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (111)	291.2	1.0	145.6	160.4	2	1860000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (111)	288.7	1.0	143.4	157.9	3	1960000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (111)	279.5	1.0	139.7	153.9	2	2170000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (111)	275.2	1.0	137.6	151.6	2	2320000	0.00000	1.000	0.00000
15 (111)	42 (2G1)	272.7	1.0	136.3	150.2	2	2420000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	16 (111)	267.4	1.0	133.7	147.3	0	2630000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	16 (111)	263.2	1.0	131.6	145.0	2	2820000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	16 (111)	263.0	1.0	131.5	144.9	40	2820000	0.00001	1.000	0.00001
48 (2I1)	15 (111)	243.7	1.0	121.8	134.2	2	3930000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (111)	201.7	1.0	100.8	111.1	2	11700000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (111)	185.7	1.0	92.9	102.3	57	29900000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	40 (2F1)	118.2	1.0	58.8	62.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00332

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

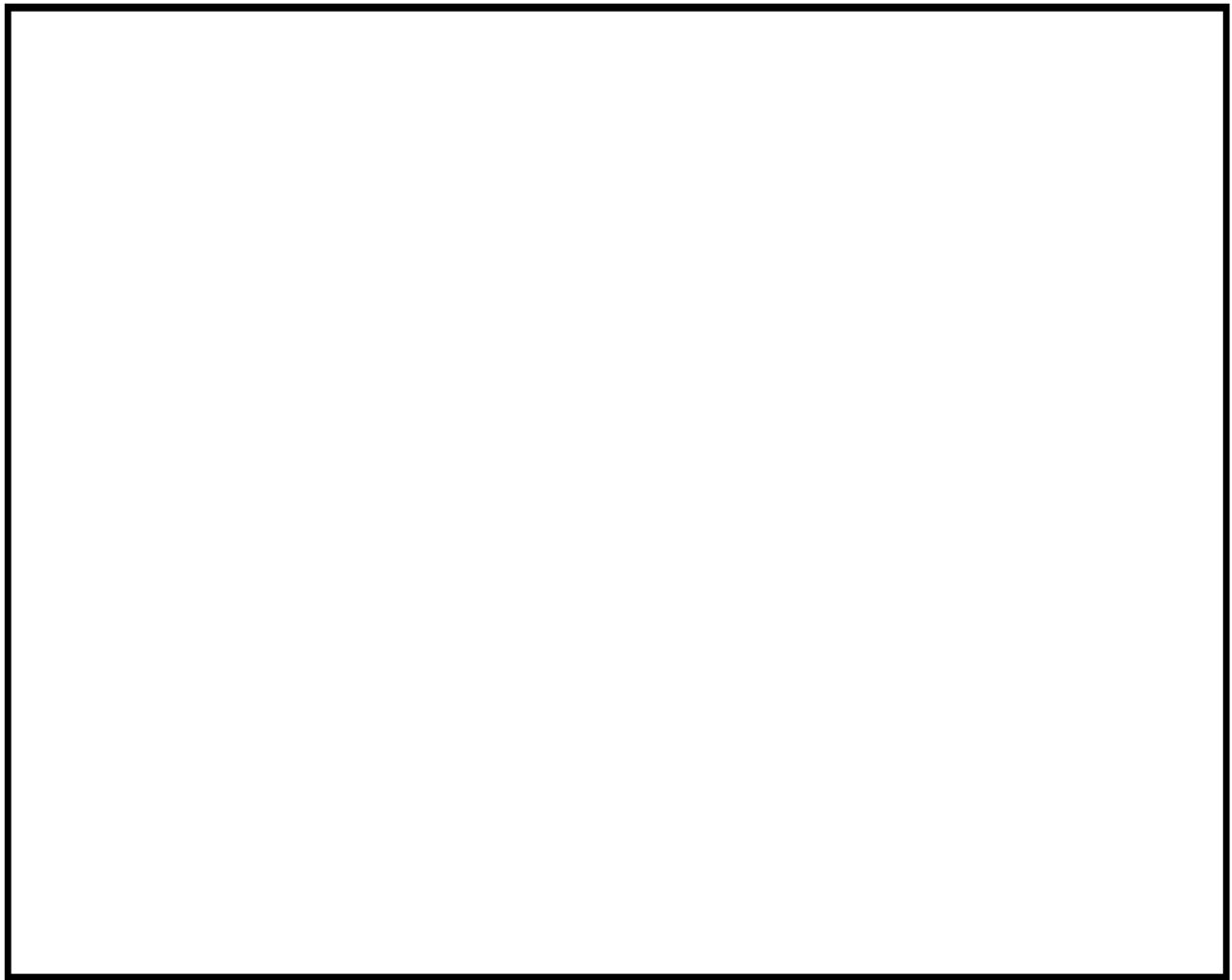
→環境UF: 0.009

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 応力軸さ		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'					
27 (2B1)	2 (1B1)	438.7	1.0	219.4	241.7	4	234000	0.00002	18.817	0.00028
1 (1A1)	2 (1B1)	438.1	1.0	219.0	241.3	65	236000	0.00028	10.390	0.00286
1 (1A1)	48 (2J2)	425.3	1.0	212.6	234.3	4	285000	0.00001	5.830	0.00008
25 (2A1)	48 (2J2)	418.2	1.0	208.1	229.2	6	326000	0.00002	23.114	0.00043
47 (2J1)	48 (2J2)	412.6	1.0	206.3	227.3	54	343000	0.00016	5.780	0.00031
47 (2J1)	18 (1I1)	391.1	1.0	195.6	215.5	10	479000	0.00002	3.343	0.00007
15 (1I1)	38 (2D5)	371.1	1.0	185.6	204.4	2	890000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	18 (1I1)	350.0	1.0	175.0	192.8	2	1020000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	18 (1I1)	343.1	1.0	171.6	189.0	2	1080000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	18 (1I1)	334.6	1.0	167.3	184.3	2	1180000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	18 (1I1)	333.7	1.0	166.8	183.8	3	1190000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	18 (1I1)	330.5	1.0	165.2	182.0	2	1230000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	18 (1I1)	318.2	1.0	159.1	175.3	2	1390000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	18 (1I1)	318.3	1.0	158.2	174.2	2	1420000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	18 (1I1)	315.6	1.0	157.8	173.8	0	1430000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	18 (1I1)	310.7	1.0	155.3	171.1	2	1500000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	18 (1I1)	308.8	1.0	154.4	170.1	38	1530000	0.00002	1.000	0.00002
42 (2G1)	15 (1I1)	298.1	1.0	149.1	164.2	2	1720000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	279.4	1.0	139.7	153.9	2	2180000	0.00000	1.000	0.00000
48 (2I1)	15 (1I1)	284.8	1.0	132.4	145.8	2	2750000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	242.6	1.0	121.3	133.6	2	4010000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	227.7	1.0	113.8	125.4	55	5380000	0.00001	1.000	0.00001
5 (1D1)	40 (2F1)	118.4	1.0	59.2	85.2	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00488

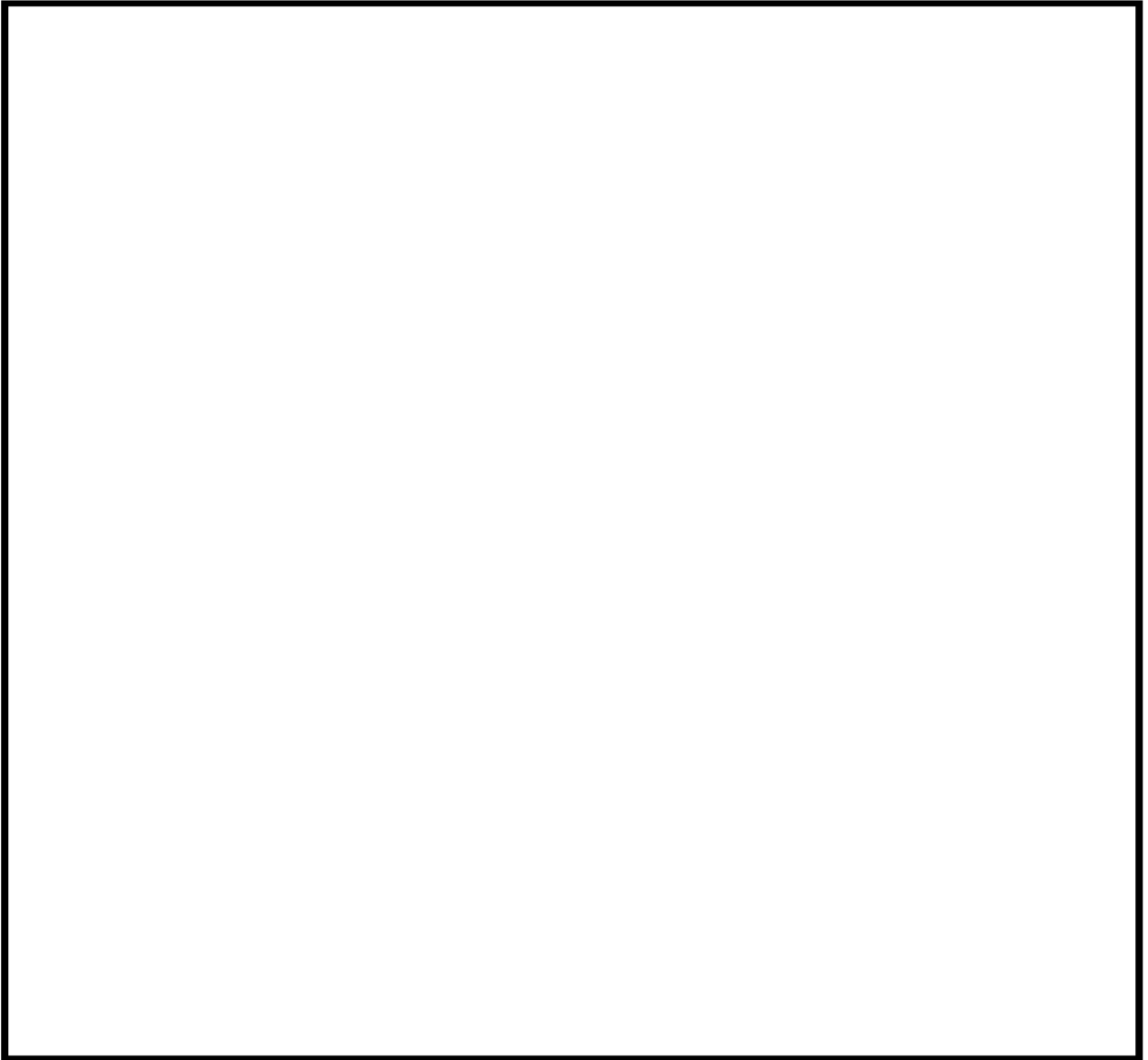
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt' $\leq 214.5$ ) の場合、fen=1.0

→環境UF: 0.005

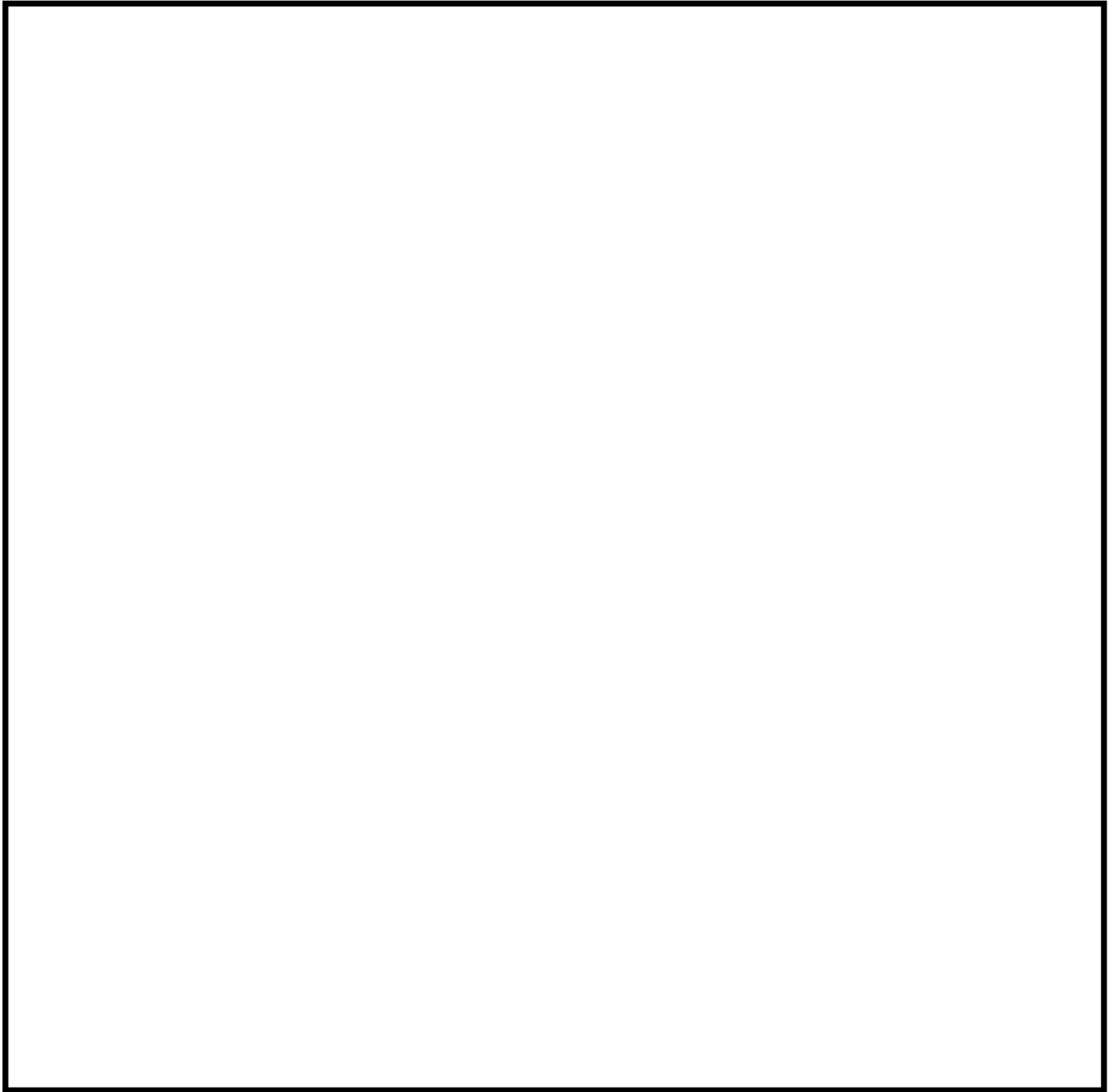


(1) 1次冷却材管 (加圧器サージ管台) 評価点

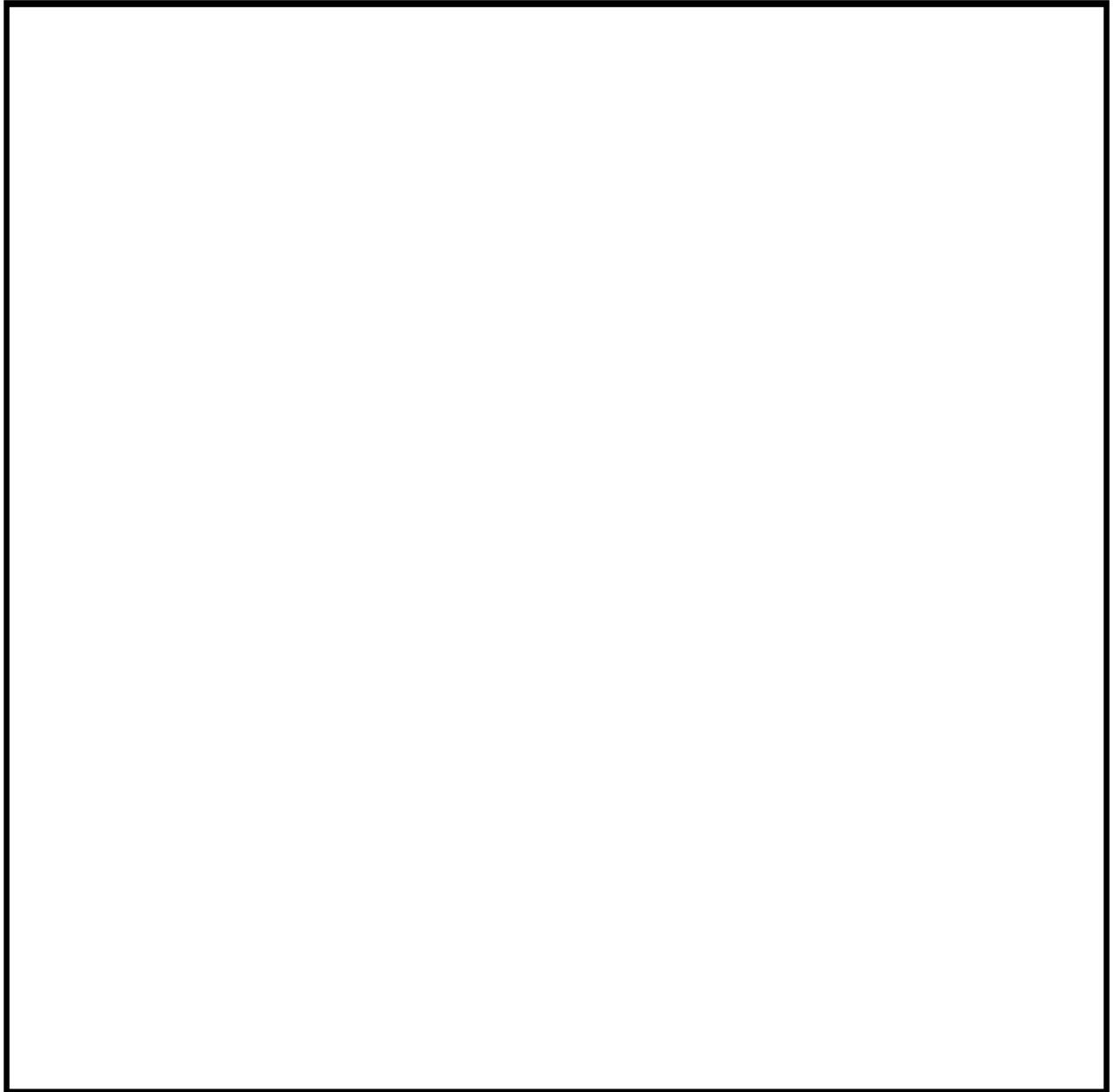




(2) 1次冷却材管（充てん管台） 評価点



(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（余熱除去系戻り及び安全注入管台）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	0.03053	0.00594
2	0.0	0.00000	0.00004
3	0.0	0.00534	0.00206
4	0.0	0.00000	0.00001
5	0.0	0.00245	0.00072
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00011	0.00917	0.00066
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00446	0.01431	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	0.00116	0.00064
2	0.0	0.00000	0.00001
3	0.0	0.00000	0.00001
4	0.0	0.00000	0.0
5	0.0	0.00001	0.00000
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00029	0.00147	0.00002
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.0	0.00002	0.00005
8C	0.0	0.00009	0.00003
9L	0.00274	0.00151	0.0
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00008	0.00004	0.00000
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	0.00009	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	0.00746	0.00439
2	0.0	0.00007	0.00011
3	0.00000	0.00094	0.00108
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	0.0
9	0.00077	0.00067	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

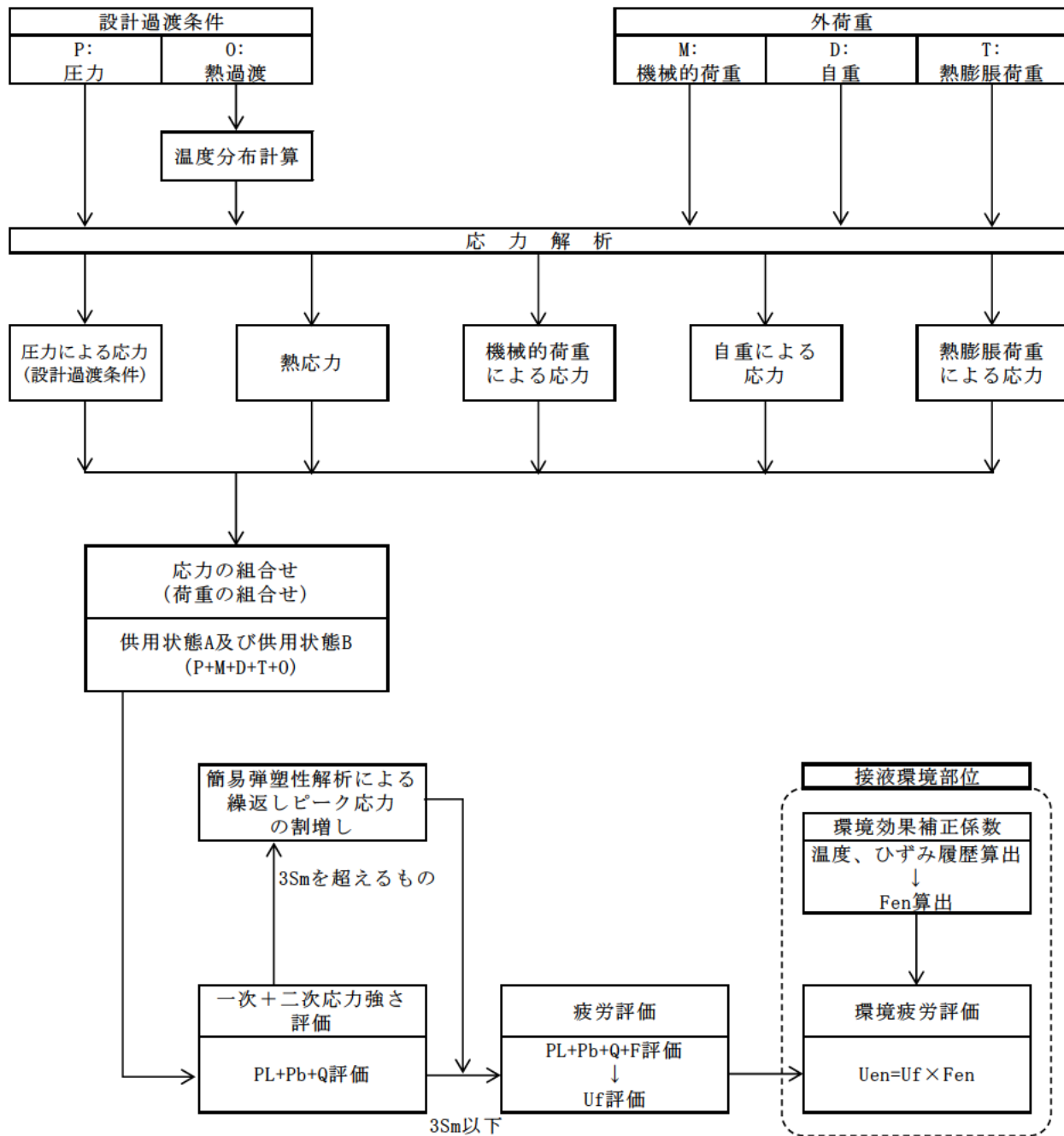
許容値  $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.008$

## (4) 1次冷却材管 (余熱除去系戻り及び安全注入管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00641	0.00515
2	0.0	0.00004	0.00013
3	0.0	0.00003	0.00014
4	0.0	0.00000	0.00000
5	0.0	0.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000	0.00001
7	0.0	0.00006	0.00001
8	0.0	0.0	0.0
9L	0.00019	0.00091	0.00002
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00001	0.00013	0.00003
10C	0.0	0.00011	0.00005
11L	0.00030	0.00059	0.0
12L	0.0	0.00000	0.0
11C	0.00003	0.00002	0.0
12C	0.0	0.00011	0.00003
13L	0.00025	0.00018	0.00000
14L	0.0	0.00000	0.0
13C	0.00000	0.00000	0.00000
14C	0.0	0.00011	0.00004

許容値  $U_f = 1.0$ 

→通常UF : 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	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
2D4	1A2	265.8	-319.1	1.32	386.6	433.2	2	10900	0.00018	6.189	0.00114
1G1	1A2	199.7	-319.1	1.24	320.9	359.6	3	27400	0.00011	6.358	0.00070
1D1	1A2	194.6	-319.1	1.23	315.9	354.0	409	29600	0.01382	5.368	0.07417
1D1	1B2	194.6	-319.1	1.23	315.9	354.0	406	29600	0.01372	5.368	0.07363
2G1	1B2	169.9	-319.1	1.00	244.5	274.0	2	115000	0.00002	4.915	0.00009
1L4	1B2	167.4	-319.1	1.00	243.3	272.6	2	118000	0.00002	6.447	0.00011
1M1	1B2	142.7	-319.1	1.00	230.9	258.7	418	158000	0.00265	5.129	0.01357
1M1	2E1	142.7	-310.4	1.00	226.6	253.9	2	175000	0.00001	16.539	0.00019
2E1	2D4	137.3	-240.1	1.11	208.9	234.1	2	286000	0.00001	14.743	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 :											0.16369

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

→環境UF : 0.164

## (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 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	205	2.7	-636.2	1.35	430.6	474.3	2	7460	0.00027	5.263	0.00141
2J1	201	2.7	-601.3	1.32	398.3	438.8	2	10200	0.00020	5.545	0.00109
2J1	203	2.7	-605.3	1.30	395.5	435.8	2	10600	0.00019	4.721	0.00089
2J1	2N4	2.7	-540.5	1.00	271.6	299.2	2	70900	0.00003	8.796	0.00025
2J1	2N5	2.7	-474.3	1.00	238.5	262.8	2	145000	0.00001	9.009	0.00012
2J1	2N2	2.7	-469.3	1.00	236.0	260.0	2	153000	0.00001	6.348	0.00008
2J1	2S1	2.7	-468.2	1.00	235.5	259.4	52	155000	0.00034	11.561	0.00388
1B1	2S1	2.7	-468.2	1.00	235.4	259.4	69	155000	0.00045	6.120	0.00272
NSS	2S1	0.0	-468.2	1.00	234.1	257.9	133	160000	0.00083	11.561	0.00961
1I1	2S1	-3.4	-468.2	1.00	232.4	256.0	63	167000	0.00038	7.332	0.00277
204	2S1	-17.4	-468.2	1.00	225.4	248.3	2	198000	0.00001	11.561	0.00012
2QE	2S1	-24.0	-468.2	1.00	222.1	244.7	2	217000	0.00001	11.561	0.00011
202	2S1	-150.5	-468.2	1.14	181.5	199.9	2	808000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	2S1	-135.2	-468.2	1.00	166.5	183.4	2	1200000	0.00000	1.000	0.00000
2N4	2S1	-149.0	-468.2	1.00	159.6	175.8	2	1370000	0.00000	1.000	0.00000
2QC	2S1	-162.1	-468.2	1.00	153.0	168.6	2	1580000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2S1	-206.3	-468.2	1.00	130.9	144.2	2	2880000	0.00000	1.000	0.00000
2QA	2S1	-206.7	-468.2	1.00	130.7	144.0	2	2900000	0.00000	1.000	0.00000
205	2S1	-266.3	-468.2	1.28	129.5	142.6	2	3020000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2S1	-211.2	-468.2	1.00	128.5	141.5	2	3130000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2S1	-211.6	-468.2	1.00	128.3	141.3	2	3150000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2S1	-219.5	-468.2	1.00	124.4	137.0	6	3600000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	2S1	-248.3	-468.2	1.00	109.9	121.1	2	6620000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2S1	-250.7	-468.2	1.00	108.7	119.8	2	7080000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2S1	-250.8	-468.2	1.00	108.7	119.8	2	7080000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	2S1	-254.2	-468.2	1.00	107.0	117.9	2	7770000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2S1	-257.3	-468.2	1.00	105.4	116.1	7	8490000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2S1	-261.1	-468.2	1.00	103.5	114.0	2	9460000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2S1	-262.7	-468.2	1.00	102.8	113.2	3	9890000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	2S1	-264.9	-468.2	1.00	101.6	112.0	2	10900000	0.00000	1.000	0.00000
2QG	2S1	-275.3	-468.2	1.00	96.4	106.3	2	17800000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	2S1	-282.7	-468.2	1.00	92.7	102.1	4	30700000	0.00000	1.000	0.00000
2Q8	2S1	-283.2	-468.2	1.00	92.5	101.9	2	31800000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	2S1	-284.3	-468.2	1.00	91.9	101.3	2	34900000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2S1	-285.4	-468.2	1.00	91.4	100.7	447	38400000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2Q5	-285.4	-440.2	1.00	77.4	85.3	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02307

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

→環境UF : 0.024

## (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 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'					
2E1	2E1	707.1	-310.6	1.98	1008.9	1111.5	2	386	0.00518	4.321	0.02239
2L1	2L1	614.5	-254.5	1.78	775.2	854.0	2	878	0.00228	3.253	0.00741
2H1	NSS	137.7	0.0	1.00	68.9	75.9	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02980

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

→環境UF: 0.030

(4) Ke係数と環境疲労パラメータ (余熱除去系戻り及び安全注入管台)  
(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 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'					
2D5	2E1	718.1	-169.7	1.82	808.8	891.1	2	767	0.00261	3.324	0.00867
2E1	2G1	706.2	-111.1	1.82	744.4	820.1	2	999	0.00200	3.707	0.00742
2G1	2D5	714.7	-98.5	1.68	681.7	751.0	2	1340	0.00149	3.377	0.00504
1B2	1B2	356.9	-84.8	1.00	220.8	243.3	69	225000	0.00031	2.727	0.00084
2H1	NSS	104.2	0.0	1.00	52.1	57.4	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02196

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

→環境UF: 0.022

タイトル	仕切弁（RHR 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>RHR 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"> <li>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> </li> <li>2. 材料物性 <p>材質：SCS14A</p> <p>ヤング率：<math>1.78 \times 10^5</math> (MPa)</p> <p>熱膨張係数：<math>1.844 \times 10^{-5}</math> (mm/mm・℃)</p> </li> <li>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> </li> <li>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> </li> <li>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> </li> <li>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> </li> </ol>

## 応力解析結果

弁番号： 22-附-0014

呼び径： 125

弁箱の材質： SCS14A

接続管の材質： SUS316P

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	最高使用温度	260 °Cにおける換算圧力	260 °Cにおける設計応力強さ	接続管の260 °Cにおける設計降伏点	260 °Cにおける縦弾性係数	260 °Cにおける熱膨張係数	AA断面における金属部の厚さ	交差部壁面とその二等分線とに接する円の直径	交差部壁面に接する円の直径
P (MPa)	(°C)	P <sub>e</sub> (MPa)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	E (MPa)	α (×10 <sup>-6</sup> mm/mm°C)	t <sub>e</sub> (mm)	T <sub>e1</sub> (mm)	T <sub>e2</sub> (mm)
17.16	343	18.5	125	137	178000	18.44			

AA断面における平均半径	AA断面における内半径	流体部面積	金属部面積	接続管の断面積の2分の1	AA断面における金属部の断面積	接続管の断面係数	AA断面における断面係数	AA断面における極断面係数	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力
r (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	A <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>3</sub> (mm <sup>3</sup> )	Q T (MPa)

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

(注1) K<sub>e</sub>適用判定のS<sub>n</sub>はVVB-3370による。  
(注2) S<sub>n</sub>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 <sub>0</sub> (注1)	
	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 <sub>a</sub>	P <sub>b</sub>	P <sub>c</sub>		
計算応力 (MPa)	60	132	28	58	58	198	159
許容応力 (MPa)	S <sub>m</sub> = 125	2.25S <sub>m</sub> = 281	1.5S <sub>m</sub> = 187			3S <sub>m</sub> = 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 <sub>pi</sub> (MPa)	S <sub>11</sub> (MPa)	S <sub>12</sub> (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N* (回)	Δt <sub>1</sub> (sec)	Δt <sub>2</sub> (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	繰返し 以外:0	ε̇* (-)	T <sub>1</sub> (℃)	T <sub>2</sub> (℃)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Fen×N/N* (-)
	加熱過程	冷却過程																			
起動時及び停止時	H1	C1	329.2	164.6	185.5	89	1158098	0.000				17800		1						23.114	0.001
1次系漏えい試験(注1)	H24	C28	329.2	164.6	185.5	64	1158098	0.000				17800		1						9.427	0.001
起動時及び停止時 以外	H22	C21	347.3	423.9	477.9	2	7245	0.000				17800		1						18.863	0.005
	H2	C23	907.1	333.6	370.0	2	21943	0.000				17800		1						25.283	0.002
	H2	C25	821.2	310.6	350.1	2	31365	0.000				17800		1						26.171	0.002
	H2	C18	553.6	276.3	312.0	2	59435	0.000				17800		1						25.198	0.001
	H2	C24	534.0	267.0	301.0	2	68730	0.000				17800		1						25.145	0.001
	H2	C17	493.5	244.3	275.3	2	111988	0.000				17800		1						25.872	0.000
	H2	C10	483.5	241.8	272.5	2	118574	0.000				17800		1						28.389	0.000
	H2	C18	468.0	233.0	262.6	7	145530	0.000				17800		1						28.022	0.001
	H2	C29	461.4	230.7	260.0	2	153747	0.000				17800		1						29.694	0.000
	H2	C27	460.2	230.1	259.3	2	158082	0.000				17800		1						25.800	0.000
	H2	C13	453.5	228.7	255.6	6	168266	0.000				17800		1						26.668	0.001
	H2	C8	451.0	225.5	254.2	3	174548	0.000				17800		1						31.455	0.001
	H2	C7	432.2	216.1	243.6	63	223663	0.000				17800		1						27.853	0.008
	H2	C3	422.2	211.1	237.9	729	258740	0.003				17800		1						31.008	0.037
	H8	C3	397.1	188.5	190.0	2	1071332	0.000				17800		1						29.321	0.000
	H12	C3	390.3	185.4	186.4	6	1139225	0.000				17800		1						28.393	0.000
	H10	C3	329.5	164.8	185.7	2	1153461	0.000				17800		1						29.482	0.000
	H7	C3	318.2	158.1	178.2	87	1320818	0.000				17800		1						34.090	0.002
	H6	C3	312.0	156.0	175.9	3	1379561	0.000				17800		1						34.541	0.000
	H13	C3	311.2	155.6	175.4	4	1381717	0.000				17800		1						35.350	0.000
H4	C3	310.3	155.4	175.1	2	1387347	0.000				17800		1						29.863	0.000	
H4	C14	240.7	120.3	135.6	1	3762905	0.000				17800		1						35.350	0.000	
H16	C14	234.3	117.4	132.3	2	4184424	0.000				17800		1						35.350	0.000	
H18	C14	234.3	117.4	132.3	1	4184424	0.000				17800		1						35.350	0.000	
							ΣN/N* (注3)	0.004												ΣFen×N/N*	0.115

→通常UF : 0.004

→環境UF : 0.115

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)、 ε̇\*: 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、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 329.2 / (178000 \times \boxed{\phantom{000}}) = \boxed{\phantom{000}} (\%/s)$$

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

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

$$T = \boxed{\phantom{000}} (^{\circ}\text{C})$$

であるので、 $T^* = \boxed{\phantom{00000000}}$

したがって、

$$F_{en} = e^{(3.91 + 10.126631) \times \boxed{\phantom{000}}} = 23.114$$

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"> <li>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> </li> <li>2. 材料物性 <p>材質：SCS14A  ヤング率：<math>1.78 \times 10^5</math> (MPa)  熱膨張係数：<math>1.844 \times 10^{-5}</math> (mm/mm・°C)</p> </li> <li>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> </li> <li>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> </li> <li>5. Ke係数 <p>評価に用いたKe係数を添付1に示す。</p> </li> <li>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> </li> </ol>



## 応力解析結果

弁番号： 2Y-S1-138A/B/C

口径径： 128

弁箱の材質： SCS14A

接続管の材質： STS316TP

ガラス1粒

弁箱の応力解析 (1/2)

(1) 設計条件及び諸元

最高使用圧力	最高使用温度	200℃における換算圧力	200℃における設計応力強さ	接続管の200℃における設計降伏点	200℃における縦弾性係数	200℃における熱膨張係数	AA断面における金属部の厚さ	交差部壁面とその二等分線とに接する円の直径	交差部壁面に接する円の直径
P (MPa)	(℃)	P <sub>e</sub> (MPa)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	E (MPa)	α (×10 <sup>-6</sup> mm/mm・℃)	t <sub>a</sub> (mm)	T <sub>a1</sub> (mm)	T <sub>a2</sub> (mm)
17.16	343	18.5	125	137	178000	18.44			

AA断面における平均半径	AA断面における内半径	流体部面積	金属部面積	接続管の断面積の2分の1	AA断面における金属部の断面積	接続管の断面係数	AA断面における断面係数	AA断面における極断面係数	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力
r (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	A <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>3</sub> (mm <sup>3</sup> )	σ <sub>T</sub> (MPa)

圧力の段階的な変化の最大値と最小値との差	厚板部分と薄板部分の平均温度の差の最大値	流体温度の段階的な温度変化の最大値と最小値との差	応力係数					ネック部の角度による係数	繰り返しピーク応力強さの割増し係数	材質の種類に応じた値				
			C <sub>0</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>			K	K <sub>e</sub> <sup>(注1)</sup>	q	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>
ΔP <sub>max</sub> (MPa)	ΔT (℃)	ΔT <sub>max</sub> (℃)												
									1.85	3.1	0.7	2.15		

(注1) K<sub>e</sub>は適用判定のS<sub>n</sub>はVVB-3370による。  
(注2) S<sub>n</sub>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 <sub>n</sub> <sup>(注2)</sup>	
	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 <sub>a</sub>	P <sub>b</sub>	P <sub>c</sub>		
計算応力 (MPa)	63	159	34	68	68	202	307
許容応力 (MPa)	S <sub>m</sub> = 125	2.25 S <sub>m</sub> = 281	1.5 S <sub>m</sub> = 187			3 S <sub>m</sub> = 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 <sub>pi</sub> (MPa)	S <sub>11</sub> (MPa)	S <sub>12</sub> (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	調鋼: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	H1	C1	490.0	245.0	278.2	69	110102	0.001				178000		1						23.114	0.014
1次系漏えい試験(注1)	H28	C28	490.0	245.0	278.2	64	110102	0.001				178000		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				178000		1						9.027	0.502
	H27	C30	2393.2	2139.8	2411.9	2	48	0.042				178000		1						9.163	0.382
	H14	C21	785.2	382.6	491.9	2	11159	0.000				178000		1						33.570	0.008
	H14	C23	625.0	312.5	352.3	2	30418	0.000				178000		1						33.570	0.002
	H12	C25	499.5	249.8	281.5	2	88871	0.000				178000		1						17.989	0.000
	H12	C28	489.7	244.9	278.0	2	110458	0.000				178000		1						20.259	0.000
	H12	C19	458.9	228.4	257.5	2	102959	0.000				178000		1						14.454	0.000
	H24	C7	433.9	216.9	244.5	2	218400	0.000				178000		1						13.680	0.000
	H18	C7	406.9	203.4	229.3	2	325388	0.000				178000		1						15.212	0.000
	H6	C7	399.5	199.8	225.2	3	364432	0.000				178000		1						20.686	0.000
	H2	C7	382.4	191.2	215.5	56	478707	0.000				178000		1						19.569	0.002
	H2	C24	317.2	158.6	178.8	2	1307825	0.000				178000		1						19.656	0.000
	H2	C32	316.2	158.1	178.2	2	1320649	0.000				178000		1						19.730	0.000
	H2	C26	289.2	144.6	163.0	2	1768842	0.000				178000		1						19.859	0.000
H2	C13	273.6	136.8	154.2	6	2163405	0.000				178000		1						24.189	0.000	
ΣN/N* (注3)								0.088												ΣFen×N/N*	0.916

→通常UF:0.099

→環境UF:0.916

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、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 490.0 / (178000 \times \boxed{\phantom{000}}) = \boxed{\phantom{000}} (\%/s)$$

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

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

$$T = \boxed{\phantom{000}} (^{\circ}\text{C})$$

であるので、 $T^* = \boxed{\phantom{0000000000}}$

したがって、

$$F_{en} = e^{(3.91+10.126631) \times \boxed{\phantom{000}}} = 23.114$$

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 1370 1691"> <tr> <td data-bbox="475 772 699 967">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 772 1370 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 1370 1825"> <tr> <td data-bbox="435 1715 1370 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。

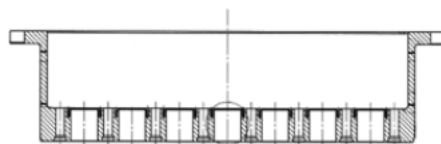
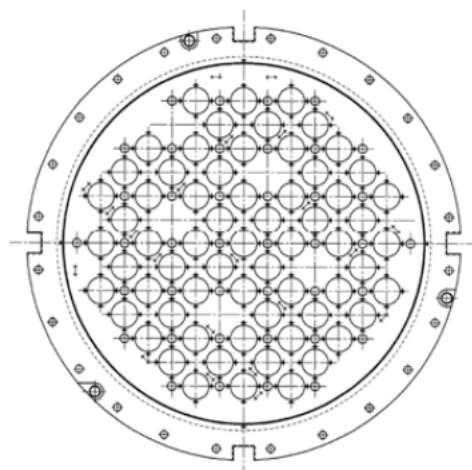
4. 応力分類

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)

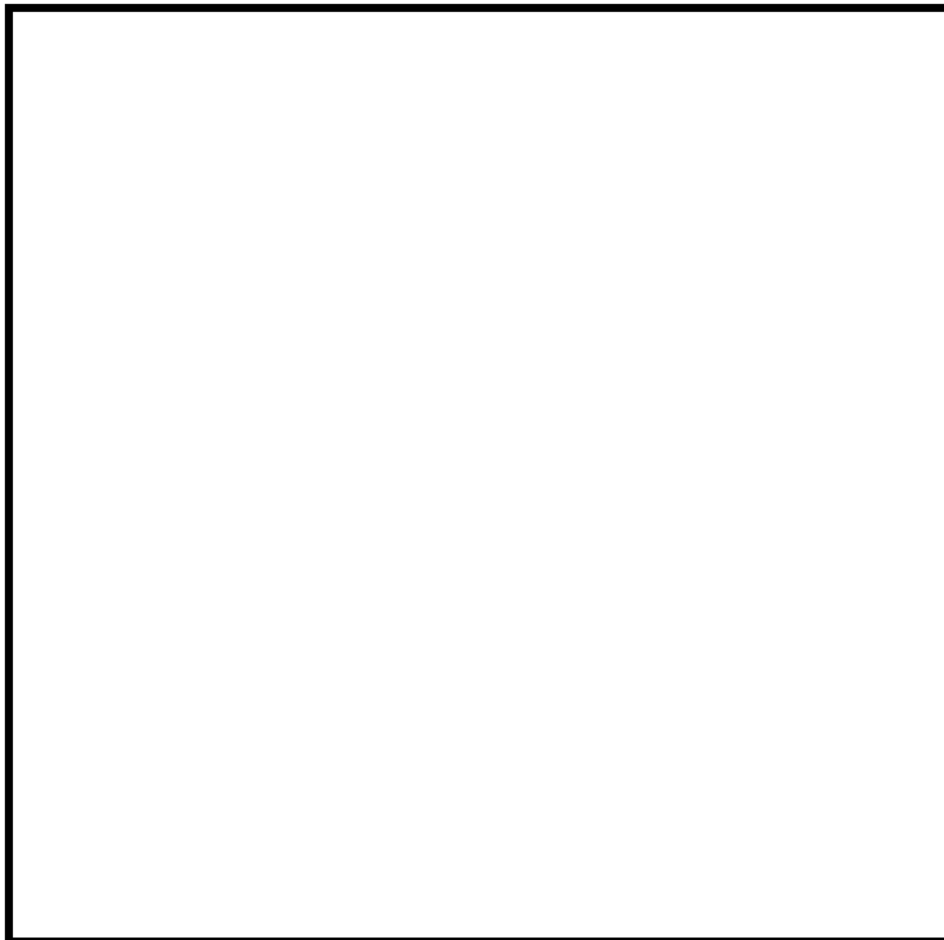
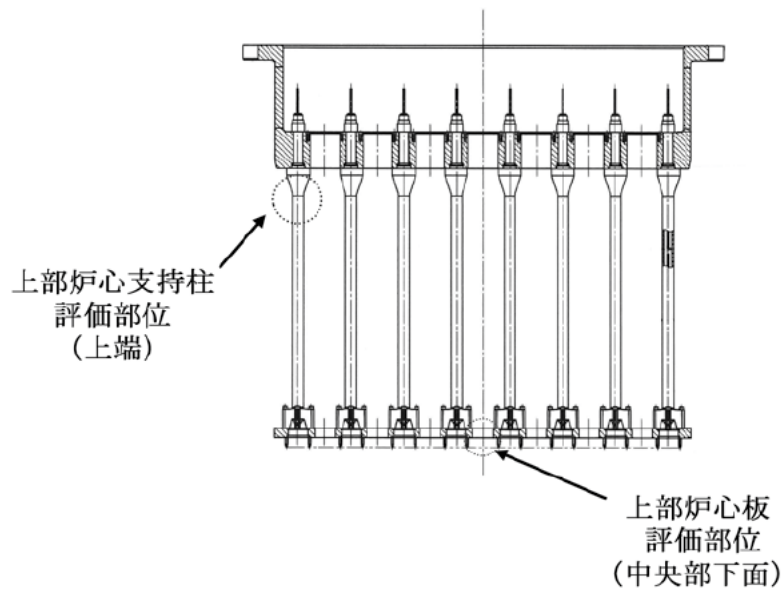
中央部下面

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 <sub>e</sub>	繰返しピーク応力強さ <sup>(注)</sup>			
584.2	-260.5	1.0	422.4 ( 473.3)	6	7520	0.00080
315.1	-260.5	1.0	287.8 ( 322.5)	15	47300	0.00032
180.5	-260.5	1.0	220.5 ( 247.1)	112	204000	0.00055
180.5	-250.6	1.0	215.6 ( 241.6)	4	235000	0.00002
180.5	-204.6	1.0	192.6 ( 215.8)	17	474000	0.00004
173.2	-204.6	1.0	188.9 ( 211.7)	65	538000	0.00012
158.9	-204.6	1.0	181.7 ( 203.7)	13	708000	0.00002
127.8	-204.6	1.0	166.2 ( 186.3)	799	1140000	0.00070
127.8	-83.5	1.0	105.7 ( 118.4)	13	7570000	0.00000
127.8	-38.6	1.0	83.2 ( 93.2)	67	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00256

(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	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	-512.7	1.0	256.4 ( 287.3)	4	88500	0.00005
0.0	-362.2	1.0	181.1 ( 203.0)	129	726000	0.00018
-82.8	-362.2	1.0	139.7 ( 156.6)	6	2020000	0.00000
-84.9	-362.2	1.0	138.7 ( 155.4)	15	2080000	0.00001
-207.3	-362.2	1.0	77.5 ( 86.8)	13	—————	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)

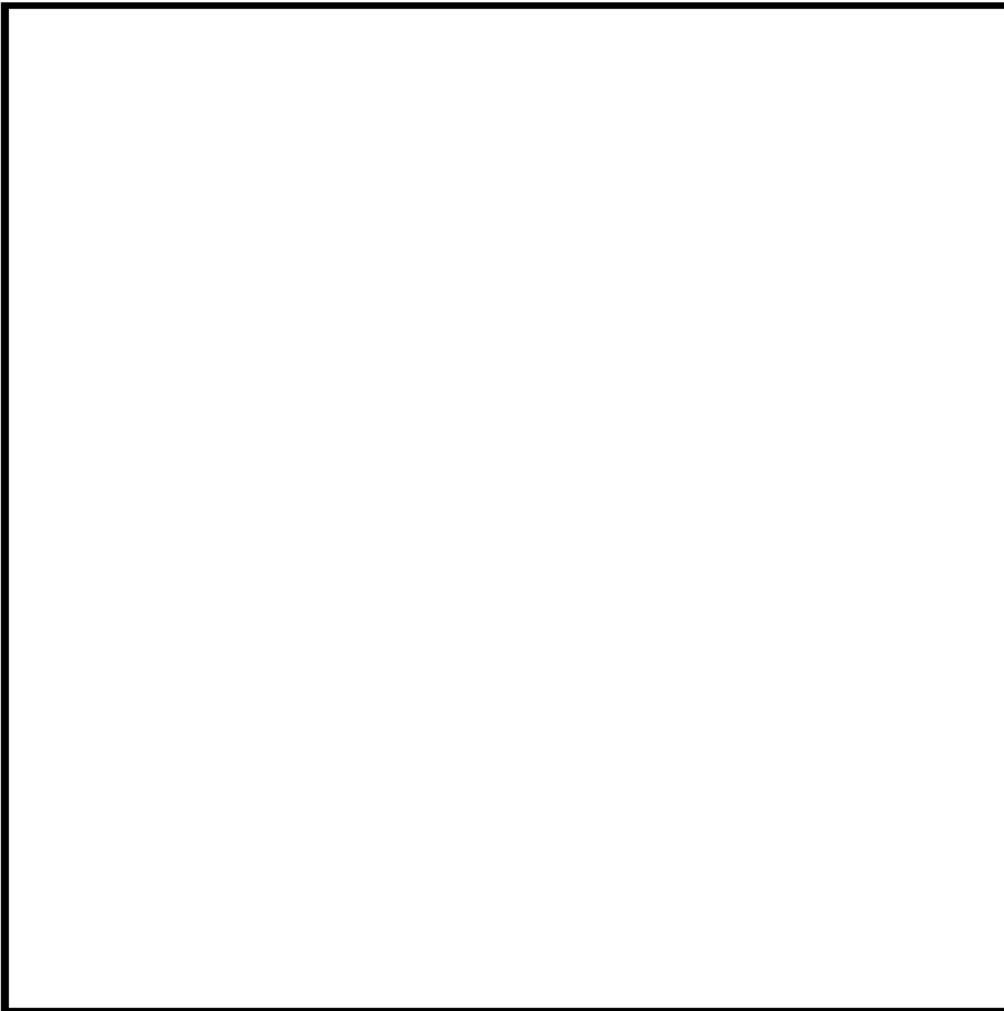
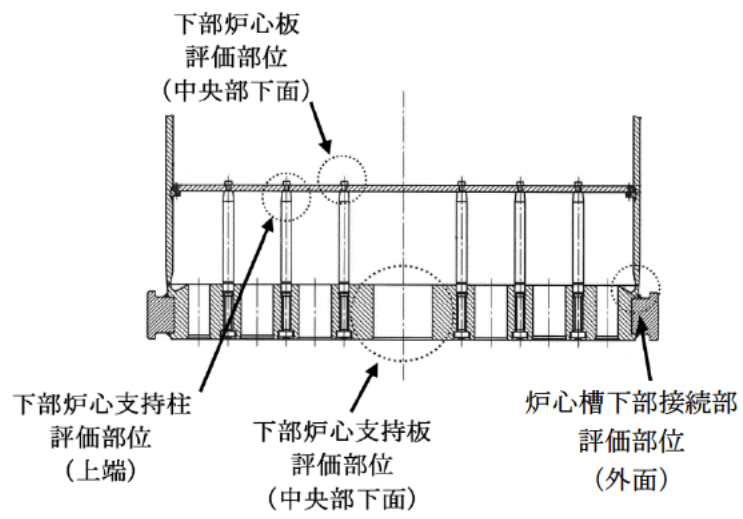
中央部下面 ( $\sigma_3 - \sigma_1$ )

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	K <sub>c</sub>	繰返しピーク応力強さ <sup>(注)</sup>	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)	11	236000	0.00005
56.5	-311.0	1.0	183.8 ( 205.9)	2	655000	0.00000
42.8	-311.0	1.0	176.9 ( 198.2)	4	858000	0.00000
42.8	-213.8	1.0	128.3 ( 143.8)	13	2920000	0.00000
42.8	-101.6	1.0	72.2 ( 80.9)	65	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00022

(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 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$		
最大値	最小値	繰返しピーク応力強さ <sup>(注)</sup>	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)	13	25200	0.00052
371.8	-157.0	1.0	264.4 (291.3)	2	82100	0.00002
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)	121	413000	0.00029
243.5	-148.4	1.0	195.9 (215.9)	133	473000	0.00028
243.5	-148.4	1.0	195.9 (215.9)	640	473000	0.00135
143.6	-148.4	1.0	146.0 (160.8)	133	1840000	0.00007
0.0	-148.4	1.0	74.2 (81.7)	121	—————	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	$K_e$	繰返しピーク応力強さ <sup>(注)</sup>	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)	13	25700	0.00051
0.0	-529.9	1.0	265.0 ( 291.9)	120	81200	0.00148
-256.0	-529.9	1.0	136.9 ( 150.9)	6	2370000	0.00000
-332.4	-529.9	1.0	98.8 ( 108.8)	15	14300000	0.00000
-361.4	-529.9	1.0	84.3 ( 92.8)	65	—	0.0

疲労累積係数= 0.00199

(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	K <sub>c</sub>	繰返しピーク応力強さ <sup>(注)</sup>		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)	7	10700	0.00065
465.6	0.0	1.0	232.8 ( 256.5)	8	165000	0.00005
363.8	0.0	1.0	181.9 ( 200.4)	65	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)	77	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00162

(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)

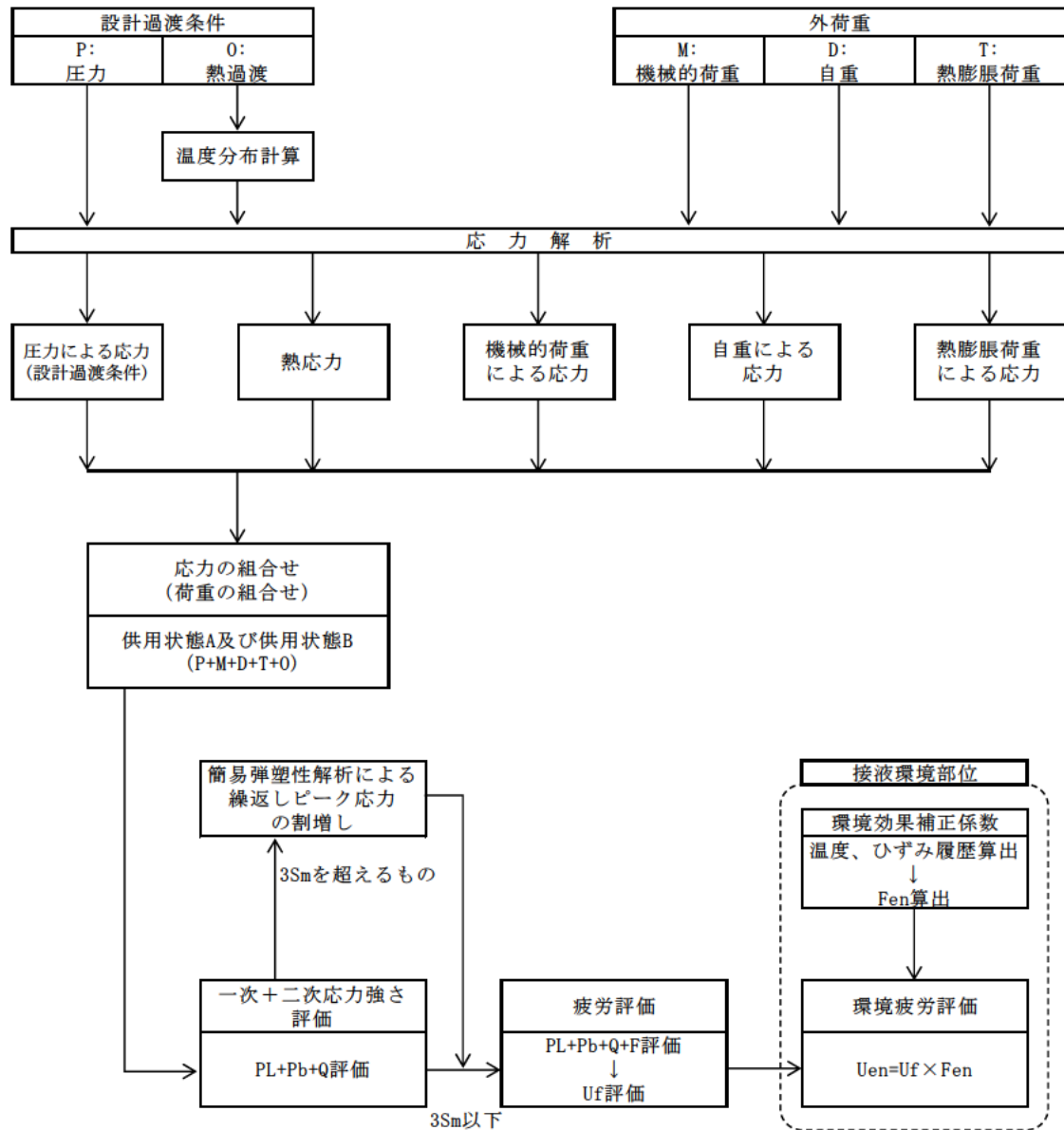
外面 ( $\sigma_2 - \sigma_3$ )

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	$K_e$	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*	
128.9	-148.1	1.0	138.5 ( 152.6)	6	2260000	0.00000
115.7	-148.1	1.0	131.9 ( 145.3)	7	2790000	0.00000
115.7	-33.2	1.0	74.5 ( 82.0)	8	—————	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



## Ke 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+ ピーク応力値		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力値		表過渡 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	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	15	47300	0.00032	9.409	0.00298
A-2	1A1	180.5	-260.5	1.00	220.5	247.1	112	204000	0.00055	12.615	0.00693
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	17	474000	0.00004	13.608	0.00049
C	B-1	173.2	-204.6	1.00	188.9	211.7	65	538000	0.00012	1.000	0.00012
D-2	B-1	158.9	-204.6	1.00	181.7	203.7	13	709000	0.00002	1.000	0.00002
B-2	B-1	127.8	-204.6	1.00	166.2	186.3	799	1140000	0.00070	1.000	0.00070
B-2	D-2	127.8	-83.5	1.00	105.7	118.4	13	7570000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	127.8	-38.6	1.00	83.2	93.2	67	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.01936

(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	129	726000	0.00018	1.000	0.00018
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	15	2080000	0.00001	1.000	0.00001
D-2	B-1	-207.3	-362.2	1.00	77.5	86.8	13	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00050

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

1.00 : 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	11	236000	0.00005	6.482	0.00030	
D-2	F	56.5	-311.0	1.00	183.8	205.9	2	656000	0.00000	1.000	0.00000	
B-1	F	42.8	-311.0	1.00	176.9	198.2	4	858000	0.00000	1.000	0.00000	
B-1	D-2	42.8	-213.8	1.00	128.3	143.8	13	2920000	0.00000	1.000	0.00000	
B-1	C	42.8	-101.6	1.00	72.2	80.9	65	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計 :	0.00136

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.11\%$  (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UF : 0.002

下部炉心板 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'					
E	D-2	371.8	-292.0	1.00	331.9	365.6	13	25200	0.00052	12.610	0.00051
E	1A1	371.8	-157.0	1.00	264.4	291.3	2	82100	0.00002	7.760	0.00019
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	121	413000	0.00029	14.547	0.00426
B-1	A-2	243.5	-148.4	1.00	195.9	215.9	133	473000	0.00028	13.804	0.00388
B-1	B-1	243.5	-148.4	1.00	195.9	215.9	640	473000	0.00135	7.468	0.01011
A-2	B-1	143.6	-148.4	1.00	146.0	160.8	133	1840000	0.00007	1.000	0.00007
NSS	B-1	0.0	-148.4	1.00	74.2	81.7	121	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.02542

(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	13	25700	0.00051	17.066	0.00883
NSS	B-2	0.0	-529.9	1.00	265.0	291.9	120	81200	0.00148	13.987	0.02067
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	15	14300000	0.00000	1.000	0.00000
C	B-2	-361.4	-529.9	1.00	84.3	92.8	65	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02931

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt'  $\leq 214.6$ ) 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	7	10700	0.00065	13.259	0.00867
E	NSS	465.6	0.0	1.00	232.8	256.5	8	165000	0.00005	6.719	0.00033
C	NSS	363.8	0.0	1.00	181.9	200.4	65	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	77	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.01996

(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UF : 0.020

## 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

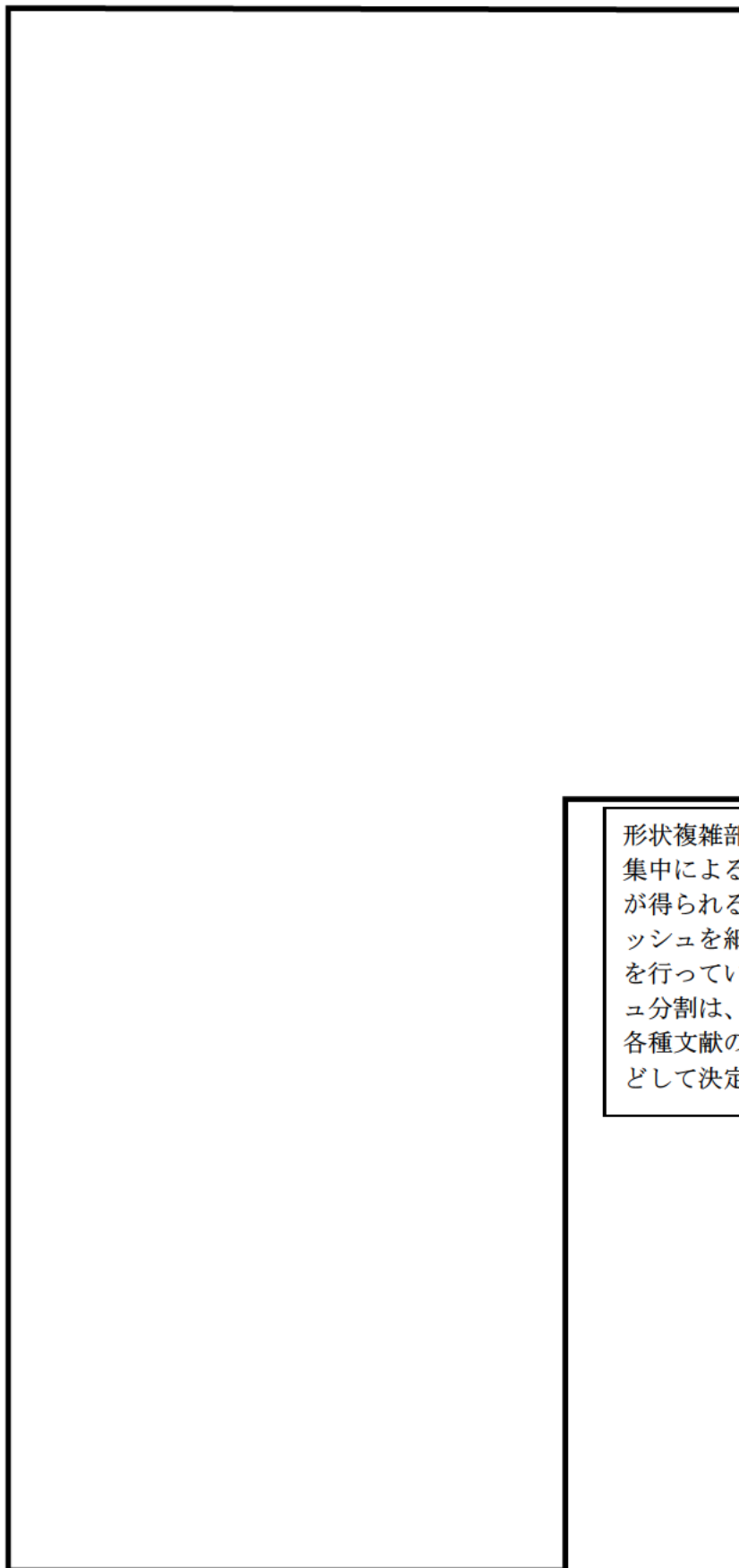
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt'  $\leq 214.5$ ) の場合、fen=1.0

1.00 : 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 1263"> <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="488 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	0.00008	0.00000
2	0.0	0.00000	0.0
3	0.0	0.00001	0.00018
4	0.00000	0.00001	0.00177
5	0.00101	0.00000	0.00453
6	0.00104	0.0	0.00180
7	0.14578	0.00000	0.14247
8	0.00169	0.00450	0.03482

許容値  $U_f=1.0$ 

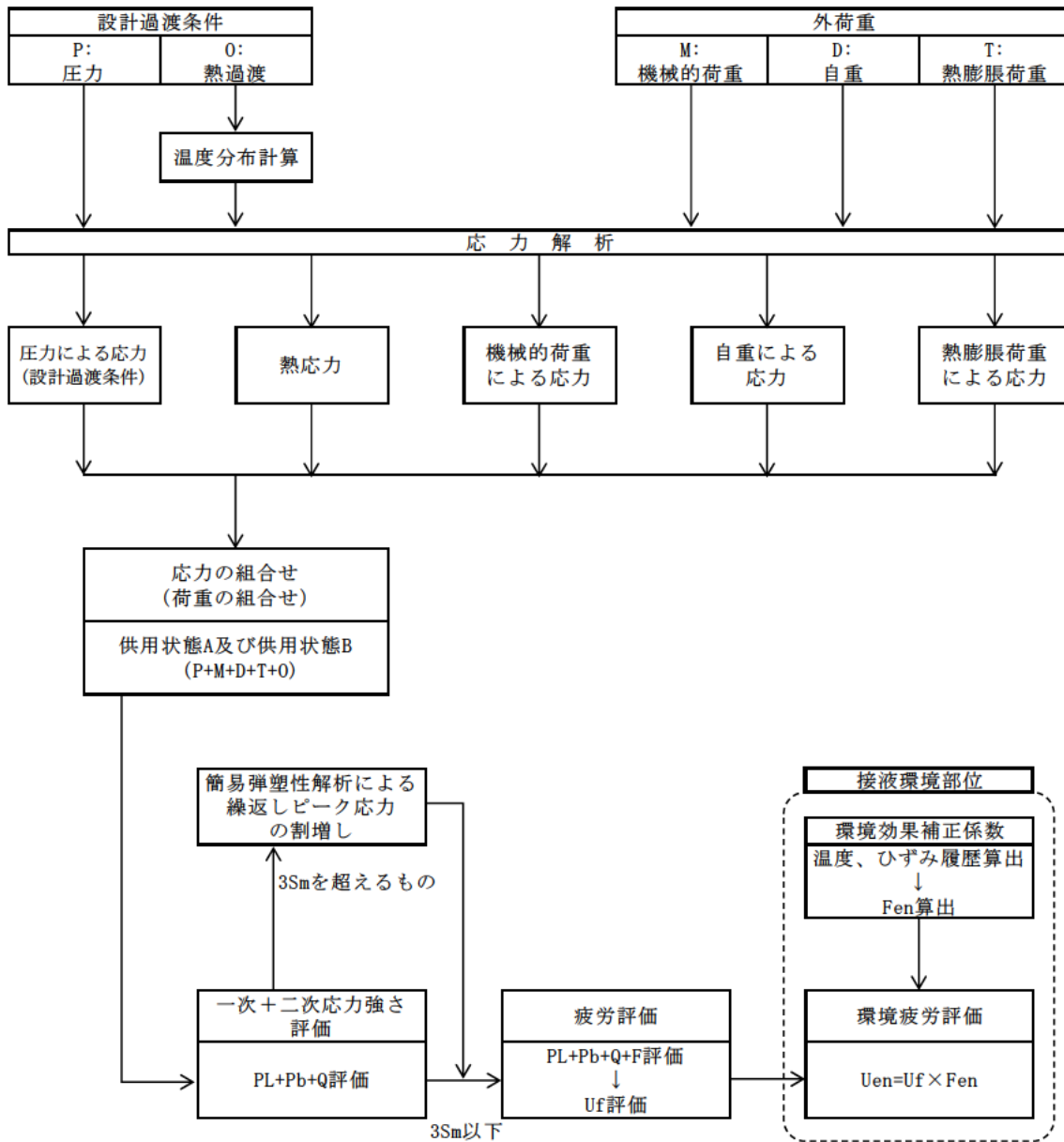
## 疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

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	Ke	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	6	3090	0.00194
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	49	3360	0.01458
0.0	-604.4	1.0	302.2	351.5	133	4120	0.03228
-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	64	357000	0.00018
-491.2	-604.4	1.0	56.6	65.9	2		0.0
疲労累積係数 =							0.14578

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 : 0.146



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 <math>F_{en}</math> 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。

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

ここで、

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

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

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

$C$  : 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

$\epsilon^*$  : 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

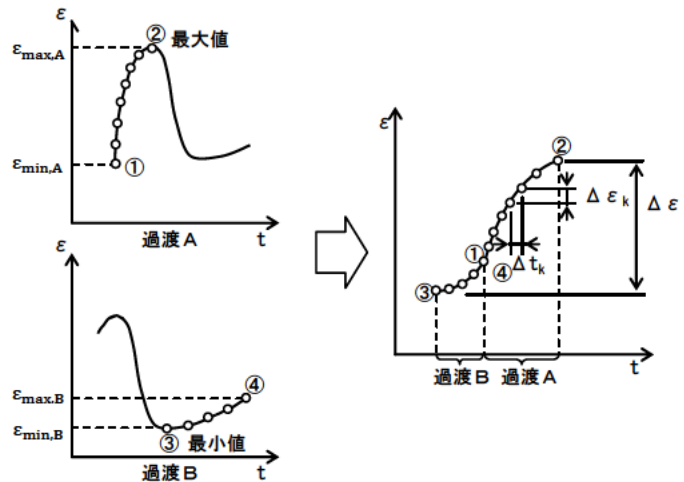
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

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。

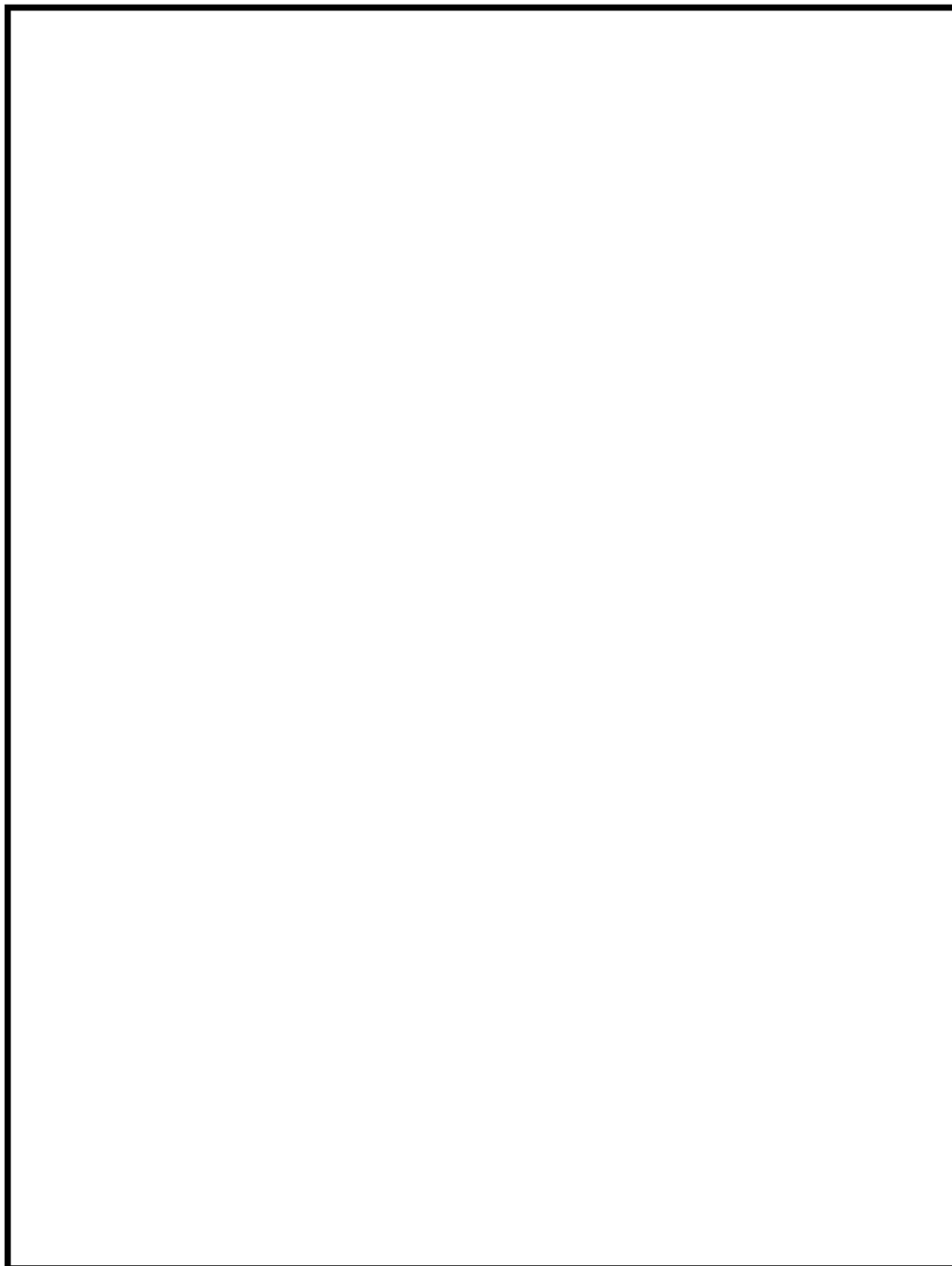


図1 ひずみと温度履歴

##### 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	Time
1 A	1B1	SI				
	18	-21.9		179720.		区間 1
	19	12.3		181356.		
	19	12.3		181356.		
	20	54.3		183040.		
	20	54.3		183040.		
	21	176.4		186808.		
	21	176.4		186808.		
	22	350.4		193913.		
	22	350.4		193913.		
	23	372.8		194900.		

過渡 B				Temp	E	Time
1 B	1A1	SI				
	7	-333.6		177128.		
	8	-331.8		176584.		
	8	-331.8		176584.		
	9	-305.3		176576.		
	9	-305.3		176576.		
	10	-281.2		176576.		
	10	-281.2		176576.		
	11	-241.9		176572.		
	11	-241.9		176572.		
	12	-225.9		176572.		
	12	-225.9		176572.		
	13	-211.7		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。

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}_1 = 0.197497 \times 10^{-4}$$

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

$$T_1 = \boxed{\phantom{0000}}$$

$$T_1^* = \boxed{\phantom{0000}}$$

$$F_{en,1} = e^{(C-\dot{\epsilon}_1^*) \times T_1^*} = e^{(3.910 - (-10.1266311)) \times \boxed{\phantom{0000}}} = 12.282$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta \epsilon_1 = \boxed{\phantom{0000}} - \boxed{\phantom{0000}} = 0.01894$$

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

$$F_{en,det,A,1} = F_{en,1} \frac{\Delta \epsilon_1}{(\epsilon_{\max,A} - \epsilon_{\min,A})} = 12.282 \times \frac{0.01894}{\boxed{\phantom{0000}} - \boxed{\phantom{0000}}} = 1.143$$

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	E	Time	$\epsilon$	Temp	Fen, k	$\Delta$ Fen
	18	-21.9		179720.		0.198E-04		12.282	1.143
	19	12.3		181356.		0.239E-04		10.441	1.175
	19	12.3		181356.		0.169E-04		8.885	2.829
	20	54.3		183040.		0.129E-04		4.644	1.989
	20	54.3		183040.		0.110E-04		1.496	0.677
	21	176.4		186808.					
	21	176.4		186808.					
	22	350.4		193913.					
	22	350.4		193913.					
	23	372.8		194900.					
								total	7.194
1 B	1A1	SI	Temp	E	Time	$\epsilon$	Temp	Fen, k	$\Delta$ Fen
	7	-333.6		177128.		0.452E-06		22.937	0.134
	8	-331.8		176584.		0.204E-04		22.987	5.057
	8	-331.8		176584.		0.184E-04		22.987	4.575
	9	-305.3		176576.		0.150E-04		23.012	7.484
	9	-305.3		176576.		0.123E-04		23.012	3.058
	10	-281.2		176576.		0.108E-04		23.038	2.697
	10	-281.2		176576.					
	11	-241.9		176572.					
	11	-241.9		176572.					
	12	-225.9		176572.					
	12	-225.9		176572.					
	13	-211.7		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。

$$\begin{aligned}
 F_{\text{en,det}} &= \frac{F_{\text{en,det,A}} \times (\epsilon_{\text{max,A}} - \epsilon_{\text{min,A}}) + F_{\text{en,det,B}} \times (\epsilon_{\text{max,B}} - \epsilon_{\text{min,B}})}{(\epsilon_{\text{max,A}} - \epsilon_{\text{min,A}}) + (\epsilon_{\text{max,B}} - \epsilon_{\text{min,B}})} \\
 &= \frac{7.194 \times ( \quad - \quad ) + 23.004 \times ( ( \quad - \quad ) )}{ \quad - \quad + ( \quad - \quad ) } \\
 &= 11.172
 \end{aligned}$$

過渡条件の組み合わせにより環境 U.F. =U×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	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
1B1	1A1	372.8	-333.6	1.79	633.9	699.5	69	1710	0.04035	11.172	0.45081
2I2	2I1	290.1	-295.1	1.49	435.5	480.6	64	7070	0.00905	7.110	0.06436
2D3	2B1	247.7	-134.3	1.00	191.0	210.8	2	556000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	136.4	-134.3	1.00	135.4	149.4	2	2470000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	127.4	-104.6	1.00	116.0	128.0	6	4830000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	127.4	-56.2	1.00	91.8	101.3	3	35100000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	127.4	-52.5	1.00	89.9	99.2	2	48200000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	127.4	-51.7	1.00	89.5	98.8	7	53300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	127.4	-51.0	1.00	89.2	98.4	2	61500000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	127.4	-50.6	1.00	89.0	98.2	43	65700000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	45.5	-50.1	1.49	71.2	78.6	64	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.51517

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt'  $\leq 214.5$ ) の場合、fen=1.00

→環境 UF: 0.516

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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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

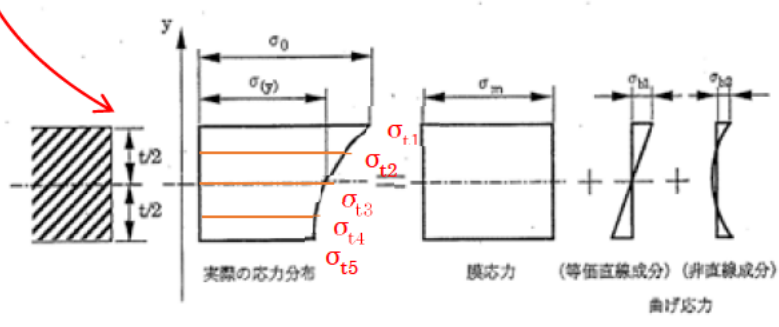
- $\sigma_{\theta 1}$  周方向応力
- $\sigma_{r1}$  板厚方向応力
- $\sigma_{t1}$  軸方向応力
- ...
- $\sigma_{\theta 5}$
- $\sigma_{r5}$
- $\sigma_{t5}$



軸方向応力の抽出例

- $\sigma_{t1}$
- $\sigma_{t2}$
- $\sigma_{t3}$
- $\sigma_{t4}$
- $\sigma_{t5}$

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	川内原子力発電所 1 号炉の高経年化評価との相違点について
説明	<p>川内原子力発電所 1 号炉と 2 号炉の高経年化技術評価(低サイクル疲労)における差異を以下に示す。</p> <p>1. 評価対象設備の差</p> <p>①対象設備の差 ステンレス鋼配管について、一部評価部位が異なる。詳細は表 1 に示す。</p> <p>②設備仕様の差 なし。</p> <p>2. 評価手法の差 なし。</p> <p>3. 評価条件の差 全機器共通の差異として 60 年時点における過渡回数が異なる。添付 - 1 に運転開始後 60 年時点の過渡回数の相違点を示す。 また、一部機器において、構造および外荷重条件に差異がある。詳細は表 1、表 2 に示す。</p> <p>4. 評価結果の差 疲労累積係数の比較を表 1、表 2 に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

表1 原子炉容器の疲労評価結果の比較

評価対象部位	疲労累積係数 ( ( )内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異
	1号炉	2号炉	
冷却材入口管台	0.037 (0.001)	0.038 (0.001)	・ 過渡回数
冷却材出口管台	0.042 (0.001)	0.043 (0.001)	
ふた管台	0.107 (0.001)	0.113 (0.001)	
空気抜管台	0.012 (0.001)	0.014 (0.001)	
炉内計装筒	0.130 (0.004)	0.137 (0.004)	
上部ふた、上部胴フランジ	0.007	0.008	
下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部	0.004	0.004	
炉心支持金物	0.005 (0.001)	0.006 (0.001)	
スタッドボルト	0.204	0.220	

表 2(1/3) 代表機器以外の疲労評価結果の比較

評価対象機器、部位			疲労累積係数 (( )内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異
			1号炉	2号炉	
ポンプ	余熱除去ポンプ	ケーシング	0.090 (0.410)	0.092 (0.419)	・ 過渡回数
	1次冷却材ポンプ	ケーシング吸込ノズル	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	・ 過渡回数
		ケーシング吐出ノズル	0.049 (0.513)	0.050 (0.516)	・ 過渡回数
		ケーシング脚部	0.080 (0.467)	0.080 (0.470)	・ 過渡回数
熱交換器	再生熱交換器	管板部	0.138 (0.175)	0.067 (0.284)	・ 過渡回数
	余熱除去冷却器	管板部	0.048 (0.072)	0.053 (0.078)	・ 過渡回数
	蒸気発生器	管板廻り	0.097 (0.117)	0.093 (0.112)	・ 過渡回数
		給水入口管台	0.096 (0.307)	0.092 (0.309)	・ 過渡回数 ・ 疲労評価点
容器	加圧器	スプレイライン用管台	0.049 (0.051)	0.049 (0.050)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		サージ用管台	0.033 (0.201)	0.034 (0.206)	・ 過渡回数
	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	0.001	・ 過渡回数
		主蒸気管貫通部伸縮継手	0.021	0.024	・ 過渡回数
		主給水管貫通部伸縮継手	0.235	0.229	・ 過渡回数
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管 「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)	0.001 (0.020)	・ 過渡回数 ・ 構造(配管長さ、サポート位置)が異なる
		余熱除去系統入口配管 「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)	0.028 (0.176)	・ 過渡回数 ・ 構造(配管長さ、サポート位置)が異なる

表 2(2/3) 疲労累積係数の比較一覧

評価対象機器、部位		疲労累積係数 ( ( )内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異	
		1号炉	2号炉		
配管	ステンレス鋼配管	加圧器サージ配管	0.008 (0.004)	0.008 (0.004)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
		加圧器スプレイ配管	0.009 (0.118)	0.008 (0.116)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
	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)	0.016 (0.119)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
	1次冷却材管	ホットレグ	0.001 (0.003)	0.001 (0.003)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
		クロスオーバーレグ	0.002 (0.009)	0.002 (0.009)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
		コールドレグ	0.001 (0.004)	0.001 (0.005)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
		加圧器サージ管台	0.031 (0.162)	0.031 (0.164)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		蓄圧タンク注入管台	0.008 (0.031)	0.008 (0.030)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		安全注入管台	0.007 (0.023)	0.007 (0.022)	・ 過渡回数 ・ 2号炉の評価部位は「余熱除去系戻り及び安全注入管台」 ・ 外荷重条件
		充てん管台	0.003 (0.023)	0.003 (0.024)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件



表 2(3/3) 疲労累積係数の比較一覧

評価対象機器、部位			疲労累積係数 (( )内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異
			1号炉	2号炉	
弁	仕切弁	R H R S 入口隔離弁弁箱	0.004 (0.113)	0.004 (0.115)	・ 過渡回数
	玉形弁	加圧器水位制御弁弁箱	0.051 (0.693)	0.029 (0.396)	・ 過渡回数
	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)	0.099 (0.916)	・ 過渡回数
	リフト逆止弁	加圧器補助スプレイ逆止弁弁箱	0.011 (0.065)	0.011 (0.064)	・ 過渡回数
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	0.003 (0.020)	0.003 (0.020)	・ 過渡回数
		上部炉心支持柱	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	・ 過渡回数
		上部炉心板	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	・ 過渡回数
		下部炉心板	0.003 (0.026)	0.003 (0.026)	・ 過渡回数
		下部炉心支持柱	0.002 (0.030)	0.002 (0.030)	・ 過渡回数
		下部炉心支持板	0.002 (0.022)	0.002 (0.020)	・ 過渡回数
		炉心槽下部接続部	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	・ 過渡回数
重機器サポート	加圧器	加圧器スカート溶接部	0.145	0.146	・ 過渡回数

## 川内原子力発電所 1 号炉と 2 号炉の運転開始後 60 年時点の過渡回数の相違点

川内原子力発電所 1 号炉と 2 号炉では、表 3 に示すとおり、実績過渡回数の違いや推定過渡回数の算出に用いる残年数の違いにより運転開始後 60 年時点の過渡回数の推定値に若干の違いが生じている。各号炉の原子炉容器の推定値を表 4 に示す。

表 3 過渡回数算出条件の相違点

項目		川内原子力発電所 1 号炉	川内原子力発電所 2 号炉	備考
①	実績過渡回数	表 4 参照 ※実績調査期間： 1984. 7. 4 ～ 2020. 3. 31	表 4 参照 ※実績調査期間： 1985. 11. 28 ～ 2020. 3. 31	いずれも試運転の 実績過渡回数を含 む。
②	推定過渡回数の 算出に用いる残 年数	24. 3 年 (2020. 4. 1 ～ 2044. 7. 3)	25. 7 年 (2020. 4. 1 ～ 2045. 11. 27)	残年数は保守的に 丸めて設定してい る。

表 4(1/2) 原子炉容器の過渡回数の比較

(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))

運転状態 I

過渡項目	川内原子力発電所 1 号炉		川内原子力発電所 2 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	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)	38	69	36	69
停止 (温度下降率55.6℃/h)	36	69	34	69
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	335	809	322	824
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	324	798	313	815
90%から100%へのステップ状負荷上昇	3	5	1	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	4	6	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	1	3	1	3
定常負荷運転時の変動*1	—	—	—	—
燃料交換	25	62	24	63
0%から15%への負荷上昇	39	72	35	67
15%から0%への負荷減少	30	61	28	60
1 ループ停止 / 1 ループ起動				
I) 停止	0	2	0	2
II) 起動	0	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	川内原子力発電所 1 号炉		川内原子力発電所 2 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
負荷の喪失	5	7	4	6
外部電源喪失	1	4	1	4
1 次冷却材流量の部分喪失	0	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	3	6	1	7
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2	0	2
1 次冷却系の異常な減圧	0	2	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2	0	2
1 次冷却系停止ループの誤起動	0	2	0	2
タービン回転試験	2	2	2	2
1 次系漏えい試験	31	61	31	64

\*1: 設計評価においては、1 次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1 次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$  ( $\pm 3.5\text{kg/cm}^2$ ) 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。

表 4(2/2) 原子炉容器の過渡回数の比較  
(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) )

運転状態 I

過渡項目	川内原子力発電所 1 号炉		川内原子力発電所 2 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	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)	8	39(42) <sup>*2</sup>	8	41(44) <sup>*2</sup>
停止 (温度下降率55.6℃/h)	8	39(42) <sup>*2</sup>	7	41(44) <sup>*2</sup>
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	72	546	73	575
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	72	546	72	574
90%から100%へのステップ状負荷上昇	0	2	0	2
100%から90%へのステップ状負荷減少	0	2	0	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	0	2	0	2
定常負荷運転時の変動 <sup>*1</sup>	—	—	—	—
燃料交換	6	43	6	45
0%から15%への負荷上昇	7	40	7	39
15%から0%への負荷減少	7	38	6	38
1 ループ停止 / 1 ループ起動				
I) 停止	0	2	0	2
II) 起動	0	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	川内原子力発電所 1 号炉		川内原子力発電所 2 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
負荷の喪失	0	2	0	2
外部電源喪失	0	3	0	3
1 次冷却材流量の部分喪失	0	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	0	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2	0	2
1 次冷却系の異常な減圧	0	2	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2	0	2
1 次冷却系停止ループの誤起動	0	2	0	2
タービン回転試験	0	0	0	0
1 次系漏えい試験	7	37	7	40(41) <sup>*2</sup>

\*1: 設計評価においては、1 次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1 次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$  ( $\pm 3.5\text{kg/cm}^2$ ) 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: ( ) 内はスタッドボルトの過渡回数を示す。

## ＜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。

また、蒸気発生器や原子炉容器のスタッドボルトのように機器・設備の取替えに伴い実績過渡回数が減少したことや解析条件の見直しにより、60年時点の疲労累積係数において、40年目の評価の方が小さくなっている機器もある。

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2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)	71	69
2	停止(温度下降率 55.6℃/h)	71	69
3	負荷上昇(負荷上昇率 5%/min)	736	824
4	負荷減少(負荷減少率 5%/min)	727	815
5	90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	3
6	100%から90%へのステップ状負荷減少	3	4
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	63
10	0%から15%への負荷上昇	66	67
11	15%から0%への負荷減少	59	60
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	6	6
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	6	7
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	62	64

表2 川内2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	0.092 (0.419)	0.092 (0.419)
1次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	0.082 (0.479)	0.080 (0.470)
蒸気発生器 <sup>※</sup>	管板廻り	0.132 (0.143)	0.093 (0.112)
原子炉容器	スタッドボルト <sup>※</sup>	0.221 (非接液部)	0.220 (非接液部)
1次冷却材管	加圧器サージ管台	0.027 (0.145)	0.031 (0.164)
	蓄圧タンク注入管台	0.004 (0.016)	0.008 (0.030)
玉形弁	加圧器水位制御弁	0.017 (0.221)	0.029 (0.396)
スイング逆止弁	蓄圧タンク出口 <b>第2逆止弁</b>	0.051 (0.512)	0.099 (0.916)
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。