

川内原子力発電所 1 号炉 劣化状況評価
(低サイクル疲労)

補足説明資料

2023年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. 疲労評価に用いた過渡回数のうち過渡項目No.17「100%からの原子炉トリップ：不注意な冷却を伴わないトリップ」の過渡回数が30年目評価から40年目評価において減少している理由について	10-1
別紙 11. 経年劣化傾向の評価	11-1

1. 概要

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

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

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

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

2. 基本方針

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

低サイクル疲労についての要求事項を表 1 に整理する。

表 1 (1/2) 低サイクル疲労についての要求事項

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

表 1 (2/2) 低サイクル疲労についての要求事項

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

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

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

① 低サイクル疲労に係る評価対象機器

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

② 代表機器の選定

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

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

3.2 評価手法

(1) 低サイクル疲労評価のフロー

低サイクル疲労の技術評価のフローを図1に示す。

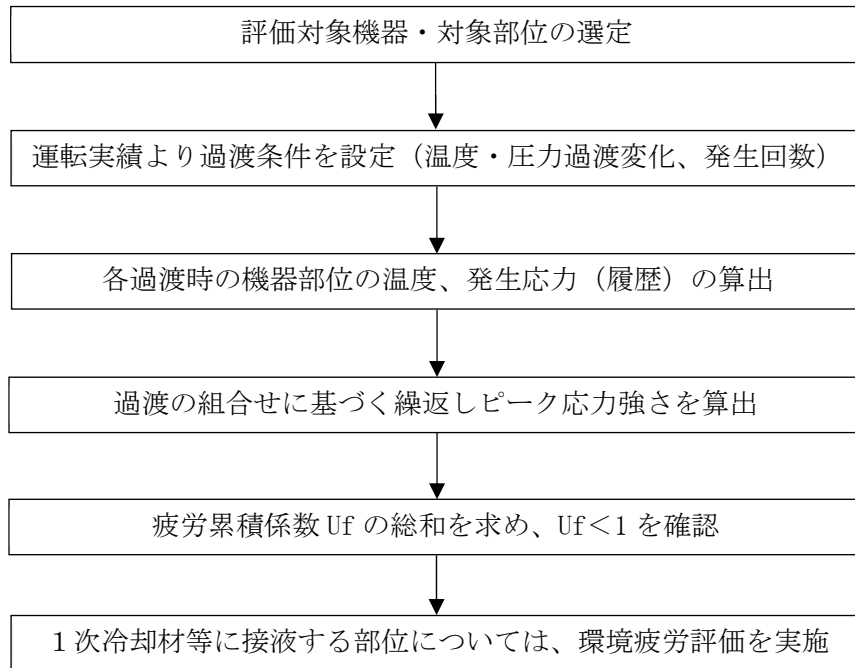


図1 低サイクル疲労の技術評価フロー

(2) 適用規格・基準

低サイクル疲労の評価に用いた規格・基準及び評価手法を以下に示す。

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

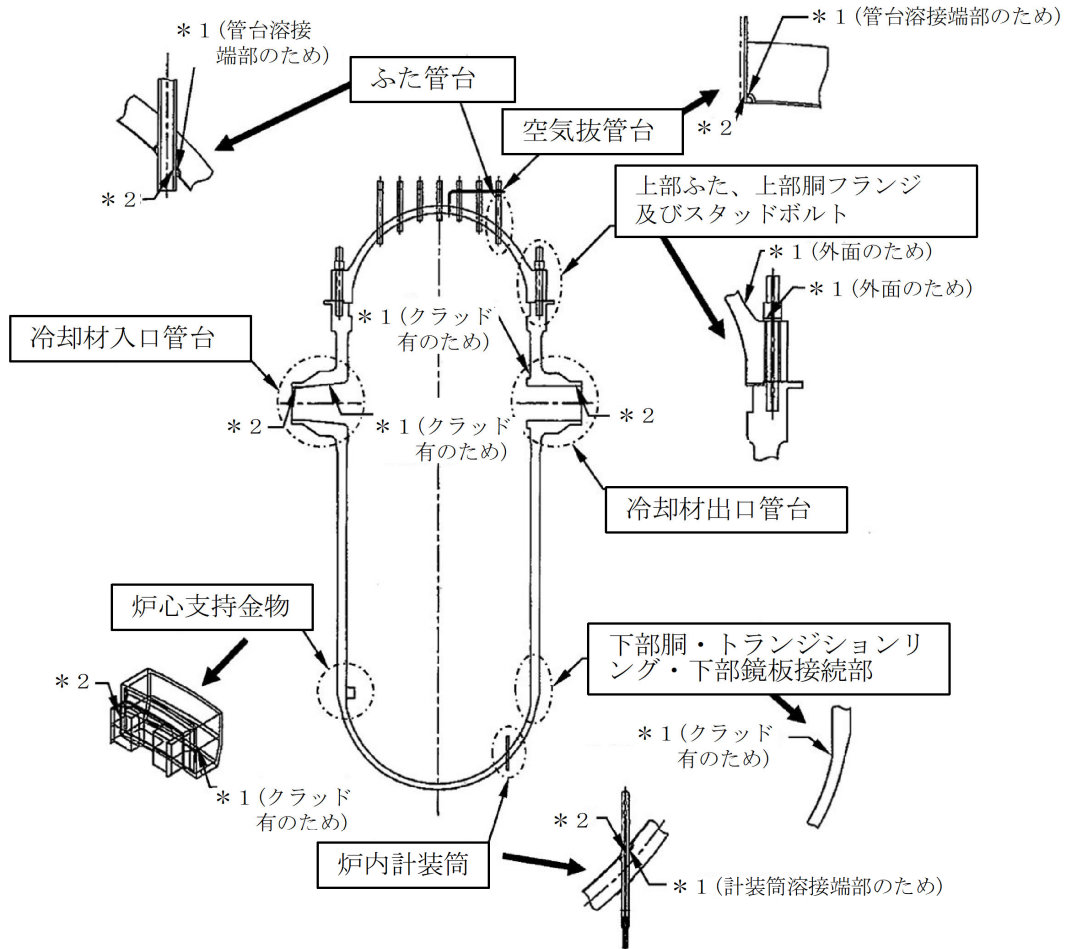
4. 代表機器の技術評価

4.1 健全性評価

(1) 原子炉容器

a. 評価対象部位の選定

原子炉容器の評価対象部位を図2に、選定理由を表2に示す。



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

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

図2 原子炉容器の疲労評価対象部位

表2 評価対象部位の選定理由

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

b. 過渡回数の設定

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

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

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

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

① 未取替機器

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

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方に設定した。 なお、過渡変化率は、評価上最も厳しい設計過渡条件としており、十分保守的な値を設定した。
5	燃料交換	計算上は 0.76 回/年であるが、 <input type="text"/> とする。
6	タービン回転試験	プラント建設時の機能試験に係る過渡のため、今後は発生しない。
7	取替機器の実績過渡	原子炉容器上部ふた及びスタッドボルトは第 19 回定検 (2008 年度) の取替後、2019 年度末までの実績過渡で評価。
8	取替機器の平均過渡回数について	平均過渡回数は未取替機器と同様(スタッドボルトの起動・停止及び 1 次系漏洩試験を除く)とする。
9	試運転の実績過渡回数	実績過渡回数に含めるが、試運転過渡事象は試運転時特有のものであり、年平均過渡回数の算定には含めない。
10	推定過渡回数の算出に用いる残年数	評価上、実績過渡回数調査時点 (2019 年度末) から運転開始後 60 年時点までの期間を残年数とする。
11	評価用過渡回数の余裕	評価用過渡回数は、年平均過渡回数に残年数を掛けた値に十分な余裕 (1 を超える値) を考慮し設定する。川内 1 号炉については、1.5 とする

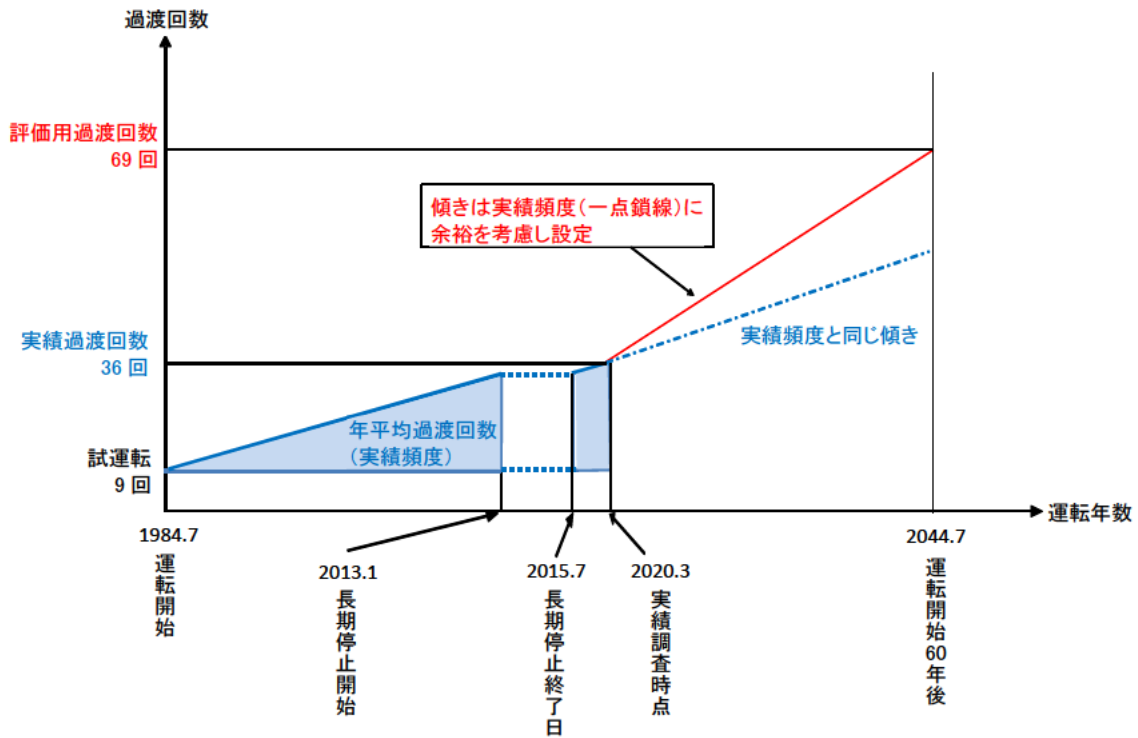


図3 評価用過渡回数の略式図(「停止」の例)

	営業運転開始時点 1984. 7. 4		現時点 (実績調査時点) 2020. 3. 31	運転開始後 60年時点 2044. 7. 4
実際の 運転状況	通常の断続運転		21回定検	通常の断続運転
評価上の 取扱い	①	②	①	③
<p>① 通常の断続運転状態の期間であるため、この期間に発生した過渡の回数を実績値としてカウントするとともに、年平均過渡回数の算出に考慮している。</p> <p>② 評価上、長期停止期間として取り扱い、過渡の発生回数は0回とする。</p> <p>③ 評価上、通常の断続運転状態が継続している期間として取り扱い、①の期間における年平均過渡回数に余裕を考慮した頻度で過渡が発生するものと想定する。</p>				

図4 実績過渡回数及び年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱い

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

運転状態 I

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

運転状態 II

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	2、9	5	7
外部電源喪失	2、9	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	2
100%からの原子炉トリップ			
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	9	3	6
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	0	2
1次冷却系の異常な減圧	2	0	2
制御棒クラスタの落下	2	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	2
タービン回転試験	6、9	2	2
1次系漏えい試験	9	31	61

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

*2：過渡回数特記事項10、11は記載省略。

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

運転状態Ⅰ

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

運転状態Ⅱ

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3
負荷の喪失	2	0	2
外部電源喪失	2	0	3
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	2
100%からの原子炉トリップ			
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	—	0	3
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	2
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	0	2
1次冷却系の異常な減圧	2	0	2
制御棒クラスタの落下	2	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	2
1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	2
タービン回転試験	6	0	0
1次系漏えい試験	—	7	37

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

*2：過渡回数特記事項7、8、10、11は記載省略。

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

*4：（ ）内はスタッドボルトの過渡回数を示す。

c. 応力解析、疲労累積係数算出

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

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

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

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

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

それぞれの疲労評価の解析フローを図5に示す。

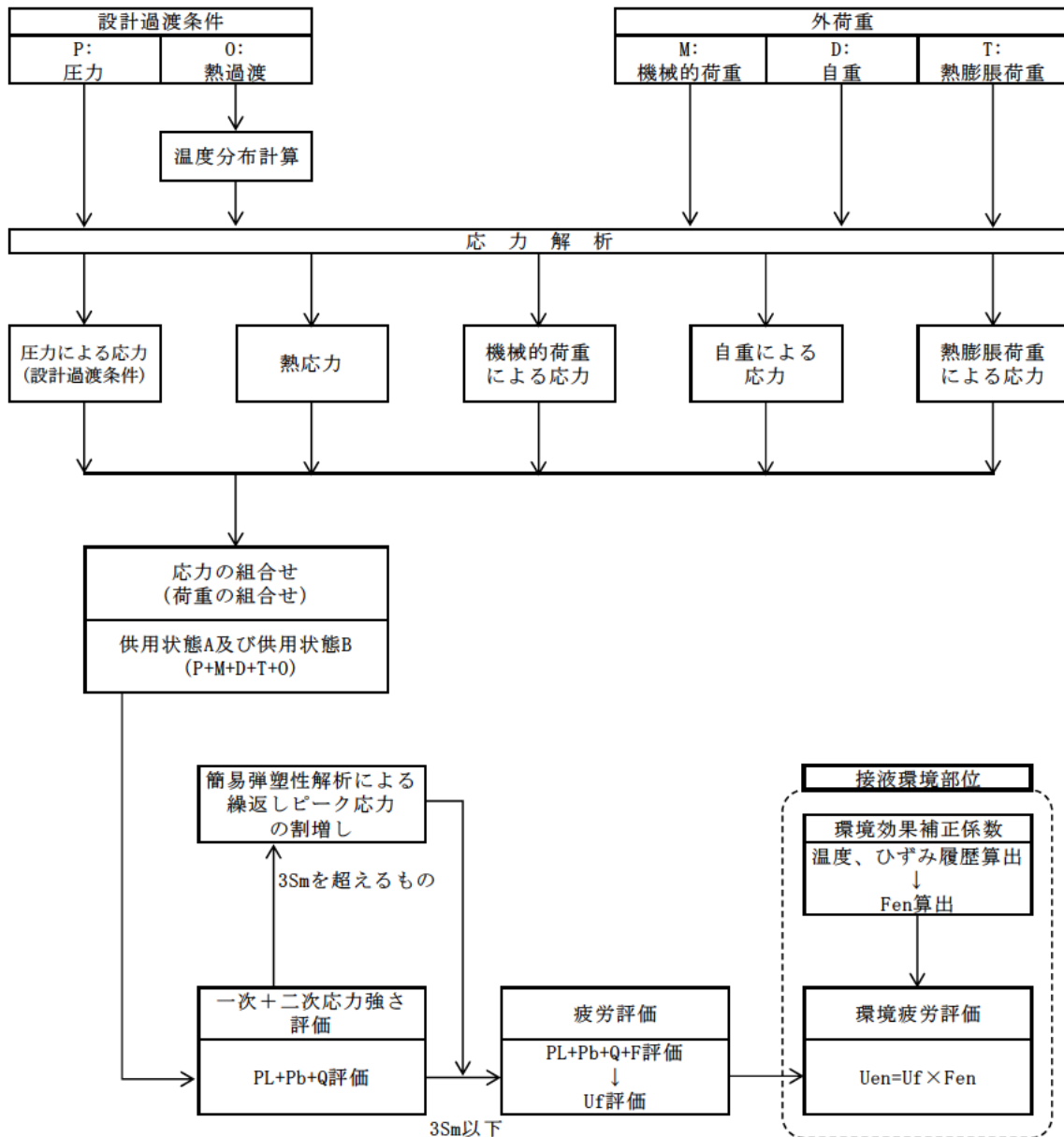


図 5(1/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルトを除く部位)

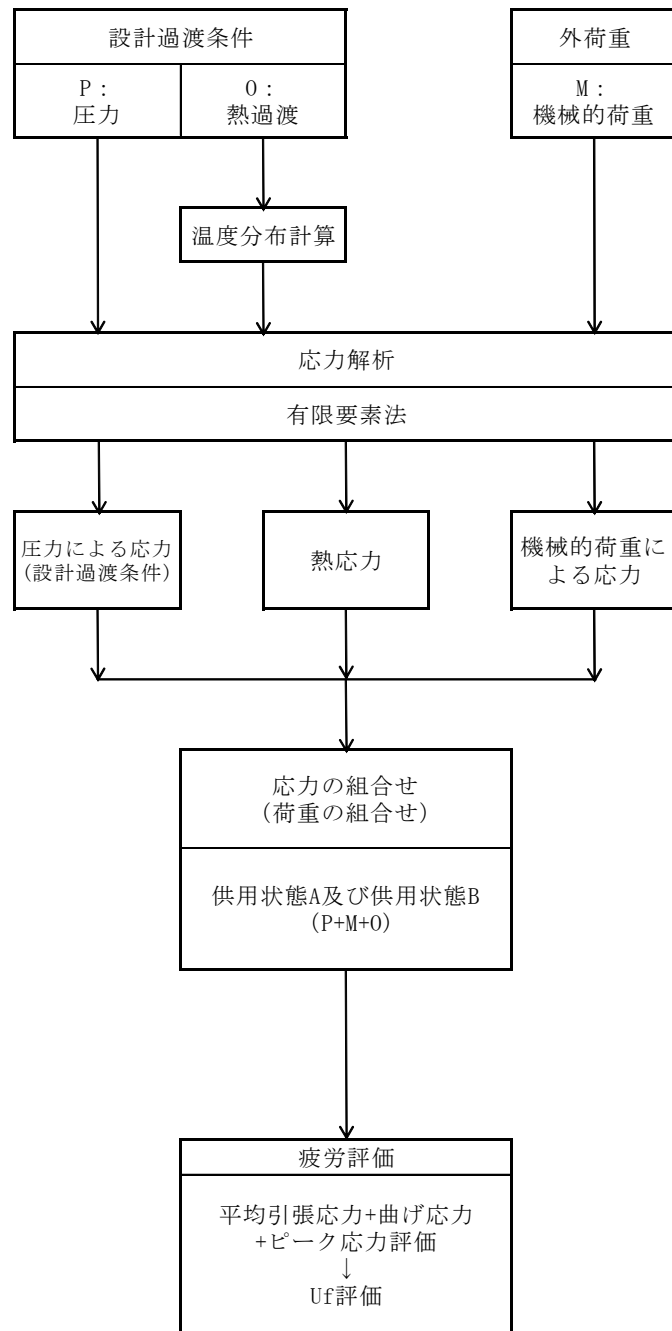


図 5(2/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルト)

d. 評価結果

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

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

原子炉容器の疲労評価結果を表5に示す。

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

表5 原子炉容器の疲労評価結果

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

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

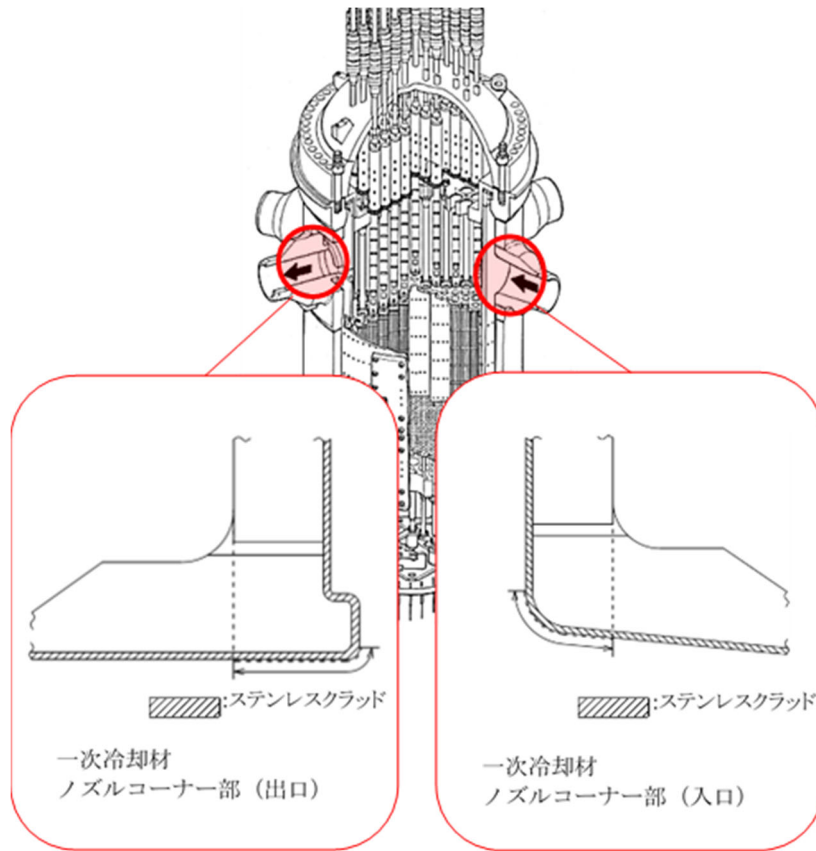
*2：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、疲労評価対象箇所と異なる。

*3：非接液部。

e. 特別点検を踏まえた劣化状況評価

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

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



4.2 現状保全

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

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

なお、低サイクル疲労の予防保全の観点から行っている工事はない。

原子炉容器の供用期間中検査の内容を表6に示す。

表6 原子炉容器の供用期間中検査の内容

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

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

4.3 総合評価

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

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

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

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

4.4 高経年化への対応

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

5. 代表機器以外の技術評価

5.1 健全性評価

代表機器以外の機器についての評価結果一覧を表7に示す。

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

表7(1/2) 代表機器以外の機器についての評価結果一覧

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

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

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

*3：非接液部。

表7(2/2) 代表機器以外の機器についての評価結果一覧

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

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

*3：非接液部。

5.2 現状保全

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

表8(1/2) 代表機器以外の現状保全

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

表 8(2/2) 代表機器以外の現状保全

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

5.3 総合評価

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

また、疲労割れは現状保全で有意な異常のないことを確認している。

5.4 高経年化への対応

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

6. まとめ

6.1 審査ガイド適合性

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

表9 (1/2) 低サイクル疲労についての要求事項との対比

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

表9 (2/2) 低サイクル疲労についての要求事項との対比

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

6.2 長期施設管理方針として策定する事項

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

表 10 川内原子力発電所 1 号炉 長期施設管理方針（抜粋）

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

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

長期：2024 年 7 月 4 日からの 20 年間

別紙

- 別紙 1. 過渡回数推定値の算出方針について
- 別紙 2. 建設時に考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて
- 別紙 3. 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について
- 別紙 4. クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について
- 別紙 5. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について
- 別紙 6. 環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法について
- 別紙 7. 代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
- 別紙 8. 詳細評価法による環境効果補正係数の算出手順について
- 別紙 9. 有限要素法解析における応力分類について
- 別紙 10. 疲労評価に用いた過渡回数のうち過渡項目No.17「100%からの原子炉トリップ：不注意な冷却を伴わないトリップ」の過渡回数が30年目評価から40年目評価において減少している理由について
- 別紙 11. 経年劣化傾向の評価

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

○「起動」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

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

注 1) 試運転：10 回（うち、微小過渡 1 回）

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

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

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

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

（試運転時の過渡は特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない。）

過渡回数説明リスト（1 / 9）

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

*1：総微小過渡回数

○「負荷上昇」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

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

注 1) 試運転 : 21 回

2020 年 3 月末までの実績 (試運転除く) : 314 回

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

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

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

(試運転時の過渡は特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない)

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

過渡回数説明リスト (2 / 9)

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

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

○「負荷の喪失」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

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

注 1) 試運転 : 5 回

2020 年 3 月末までの実績 (試運転除く) : 0 回

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

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

過渡回数説明リスト (3 / 9)

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

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (4/9)

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

注1) 「起動」に合わせた回数。

*1: 総微小過渡回数

過渡回数説明リスト (5/9)

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

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

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

注3) 現状平均は、0.76回/年であるが、 \square とする。

過渡回数説明リスト (6 / 9)

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

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (7 / 9)

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

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (8/9)

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

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (9/9)

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

*1: 総微小過渡回数

表 1 (1/2) 微小過渡 (起動の微小過渡)

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

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 1 (2/2) 微小過渡 (起動の微小過渡)

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

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 2(1/2) 微小過渡 (停止の微小過渡)

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

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 2(2/2) 微小過渡 (停止の微小過渡)

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

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表3 微小過渡 (漏えい試験の微小過渡)

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

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表4 微小過渡の内訳 (非取替機器)

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

電力共通研究「応力解析手法の高度化」にて設定した値について

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

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

(1)他プラントで経験のある過渡項目

過渡項目	年平均過渡回数 (実績回数/炉・年)
100%からの大きいステップ状負荷減少	
負荷の喪失	
外部電源喪失	
1次冷却材流量の部分喪失	
原子炉トリップ (不注意な冷却とSIを伴うトリップ)	
制御棒クラスタの落下	

(2)他プラントでも未経験の過渡項目

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

発生確率の低い事象が一定時間内に発生する回数はポアソン分布で近似する。(参考文献：機械工学便覧)

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

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

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

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

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

$x=0$ $p(x)=[]$ $T=[]$ を代入する。

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

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

したがって、未経験過渡の年平均過渡回数は [] 回となる。

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

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

●運転経験

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

●最新知見

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

以上

タイトル	原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p data-bbox="448 398 1219 432">原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p data-bbox="427 472 619 506">1. 解析モデル</p> <p data-bbox="475 512 1134 546">疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="435 553 1329 1711"><tr><td data-bbox="435 553 660 600">解析プログラム</td><td data-bbox="660 553 1329 600">ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3</td></tr><tr><td data-bbox="435 600 660 795">要素種類</td><td data-bbox="660 600 1329 1711" rowspan="4"></td></tr><tr><td data-bbox="435 795 660 842">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="435 842 660 1274">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="435 1274 660 1711">節点数</td></tr></table>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3							
要素種類								
要素次数								
要素数								
節点数								

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

(単位：MPa)

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

3. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。

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

4. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点は、強度評価上厳しくなる材料及び構造上の不連続部を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付-1に示す。

5. 割り増し係数 K_e

評価に用いた割り増し係数を添付-1に示す。

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

6. 環境評価パラメータ

JSME S NF1-2009 による詳細評価手法を適用している。

【冷却材入口管台、冷却材出口管台、炉内計装筒】

PWR プラント環境

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

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

【ふた管台、空気抜管台、炉内計装筒、炉心支持金物】

PWR プラント環境

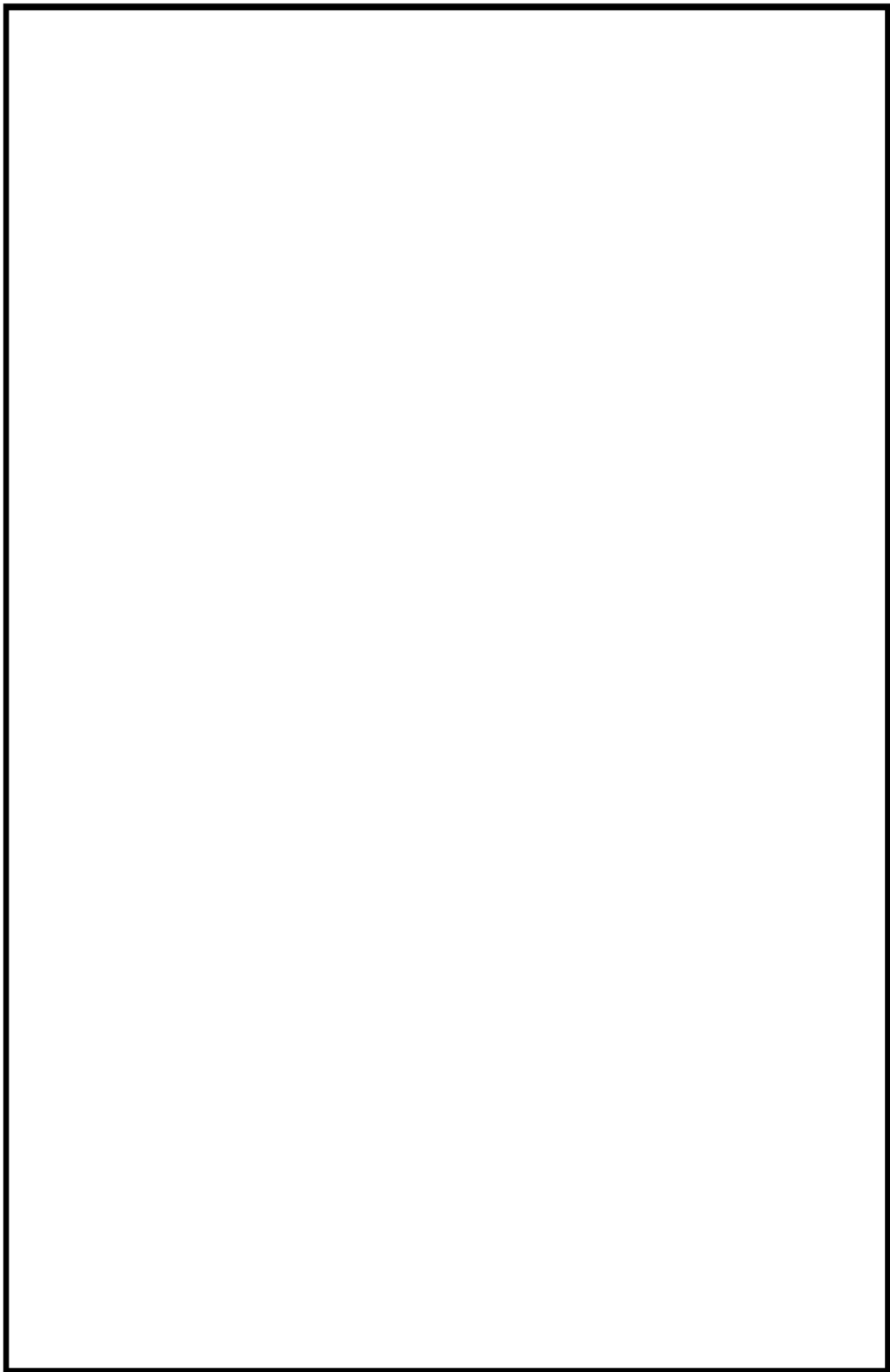
$$\ln(F_{en}) = (2.94 - \varepsilon^*) \times T^*$$

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 F_{en} ）を添付-1に示す。



冷却材入口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

冷却材入口管台 最大評価点の選定

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

許容値 $U_r=1.0$

0.03648 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

冷却材入口管台 疲労解析結果 (評価点: 9L)

評価点 - 9L (S23)

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

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

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材入口管台 環境疲労評価結果（評価点：1）

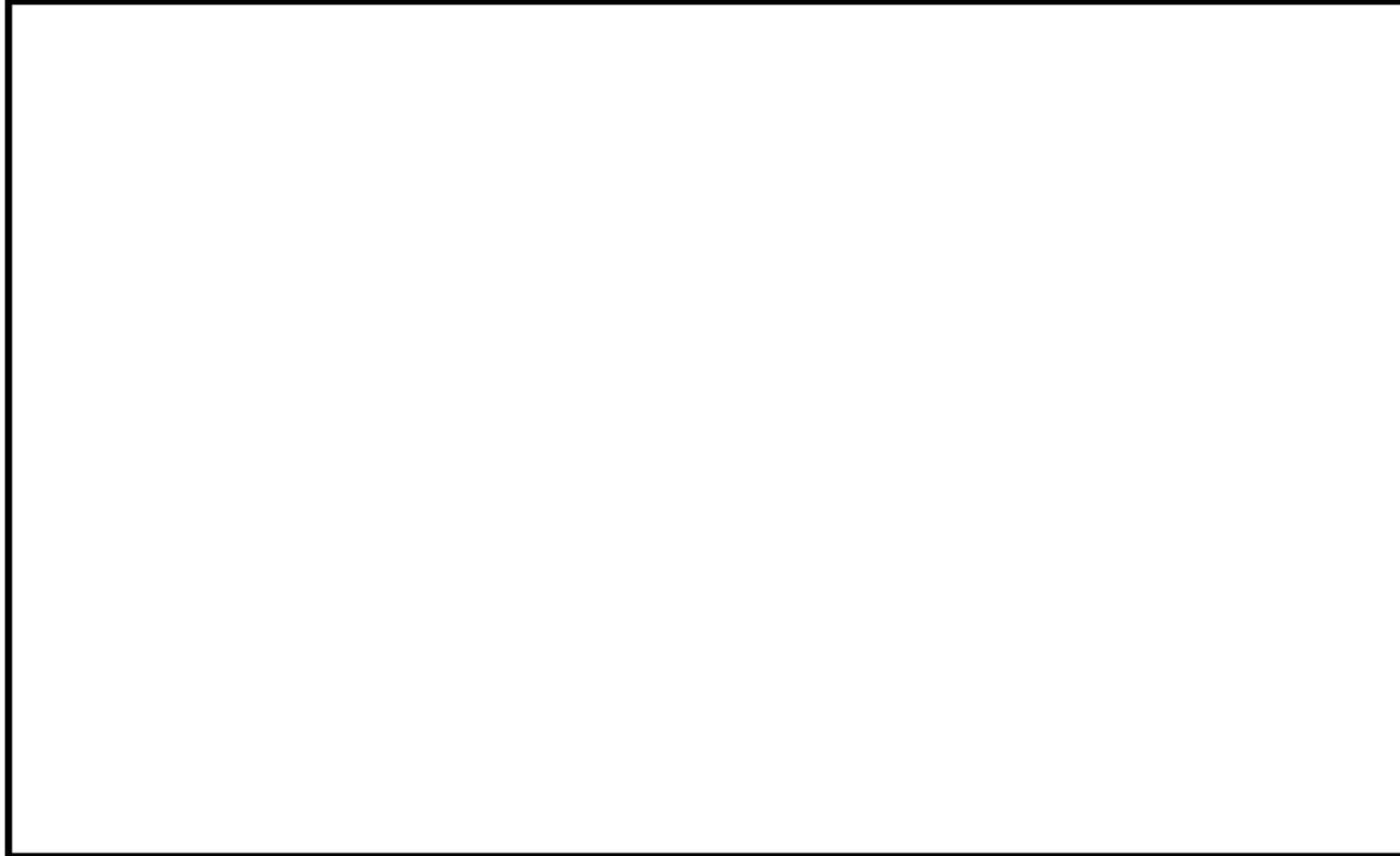
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D4	1A1	212.1	-46.7	1.00	129.4	142.6	2	3030000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1A1	143.4	-46.7	1.00	95.0	104.7	2	20900000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	1A1	139.8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

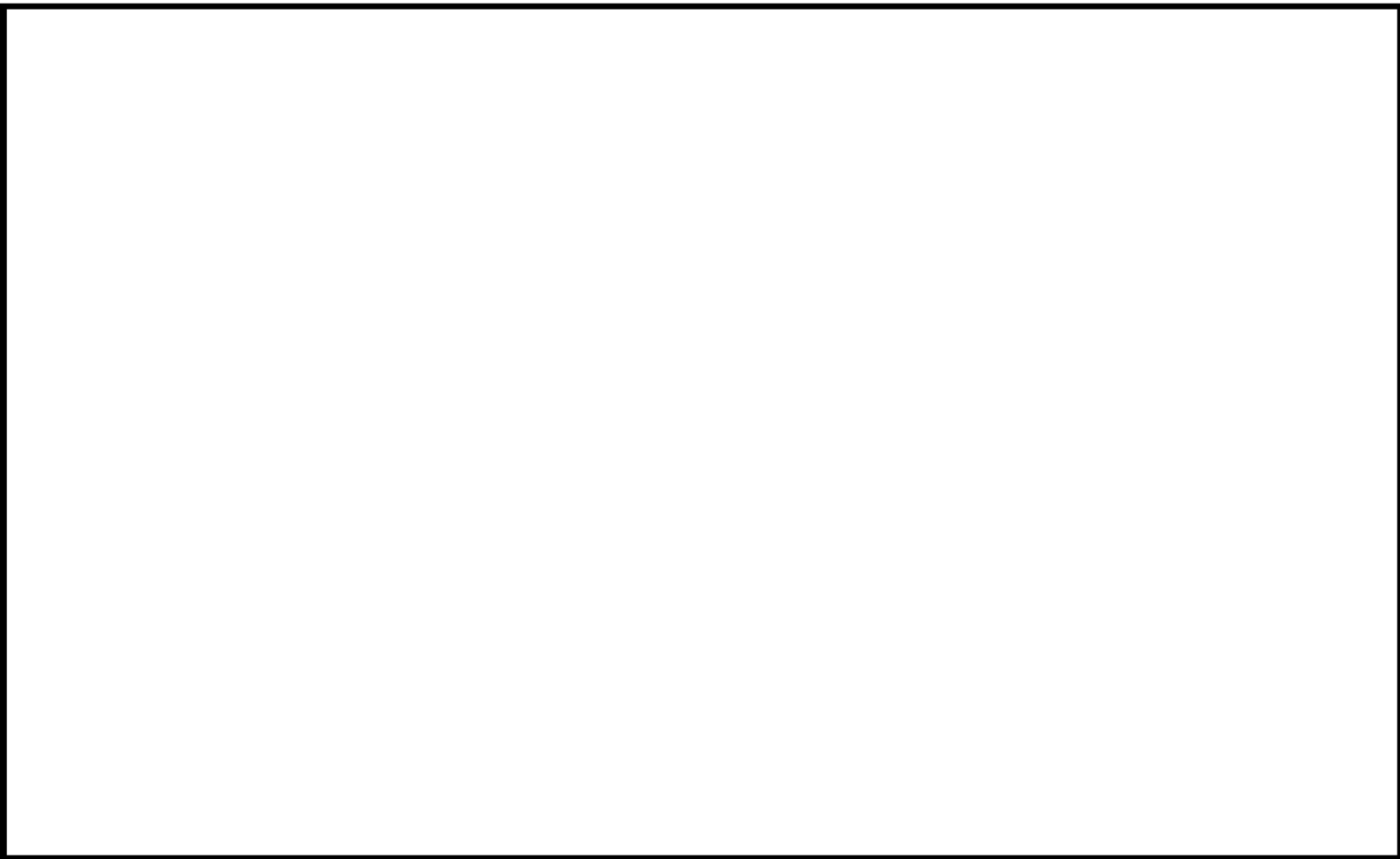
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

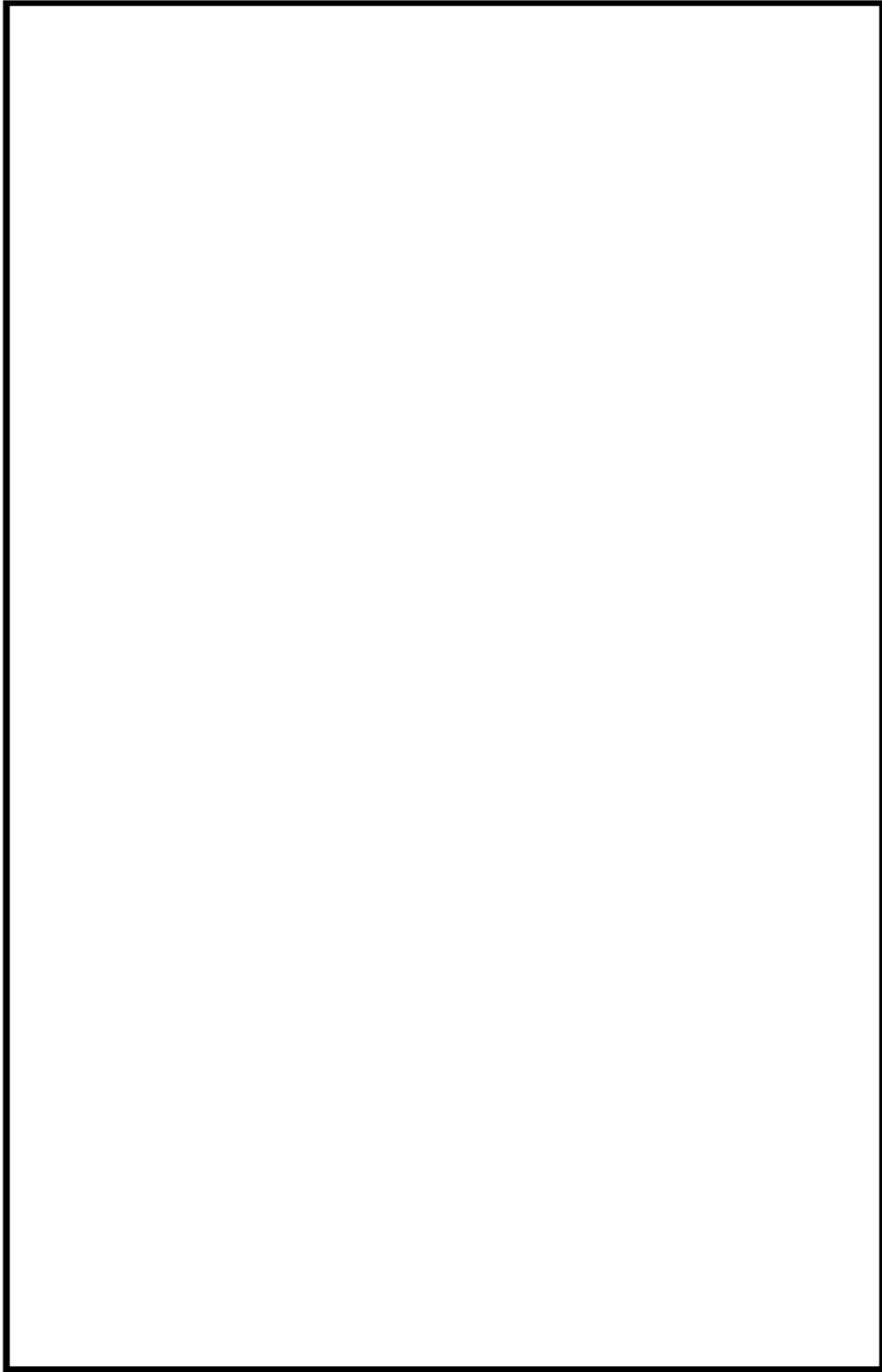
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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







冷却材出口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

冷却材出口管台 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f=1.0$

0.04148 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

冷却材出口管台 疲労解析結果 (評価点: 17L)

評価点: 17L (S23)

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

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

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材出口管台 環境疲労評価結果（評価点：1）

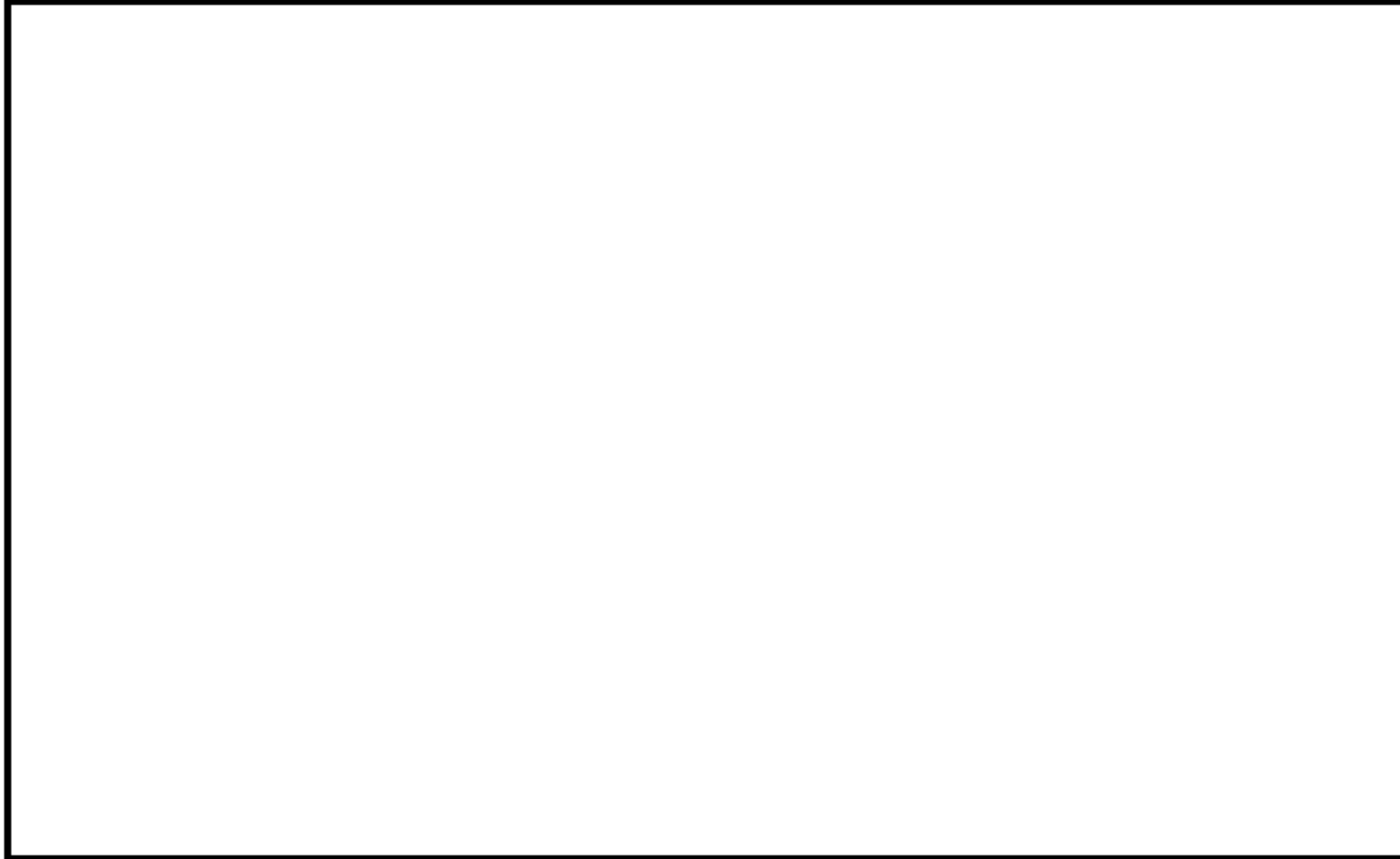
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	2D2	0.0	-478.1	1.00	239.1	267.9	2	130000	0.00002	8.710	0.00013
NSS	2F1	0.0	-476.0	1.00	238.0	266.7	2	133000	0.00002	8.486	0.00013
NSS	2D4	0.0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

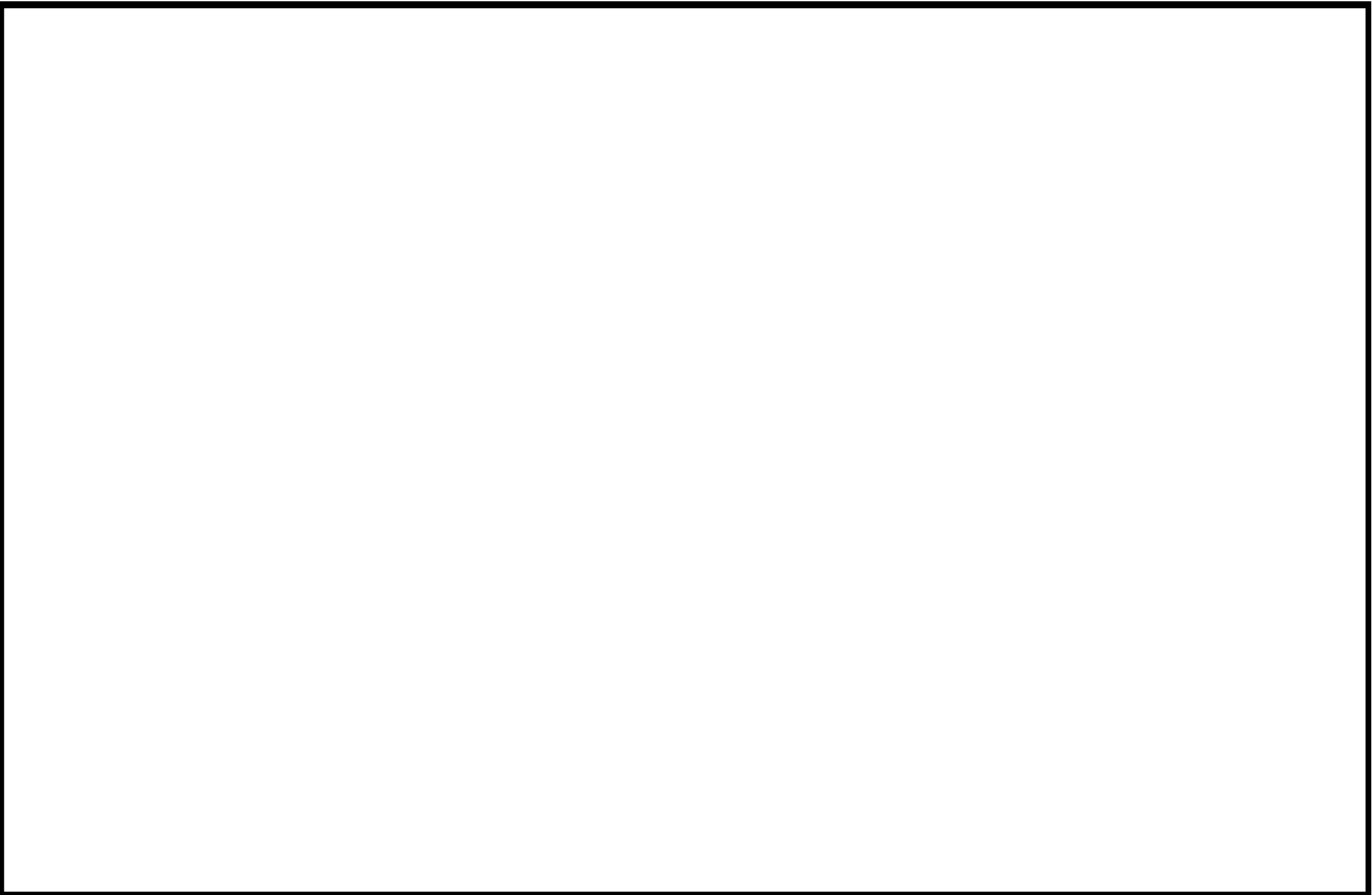
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

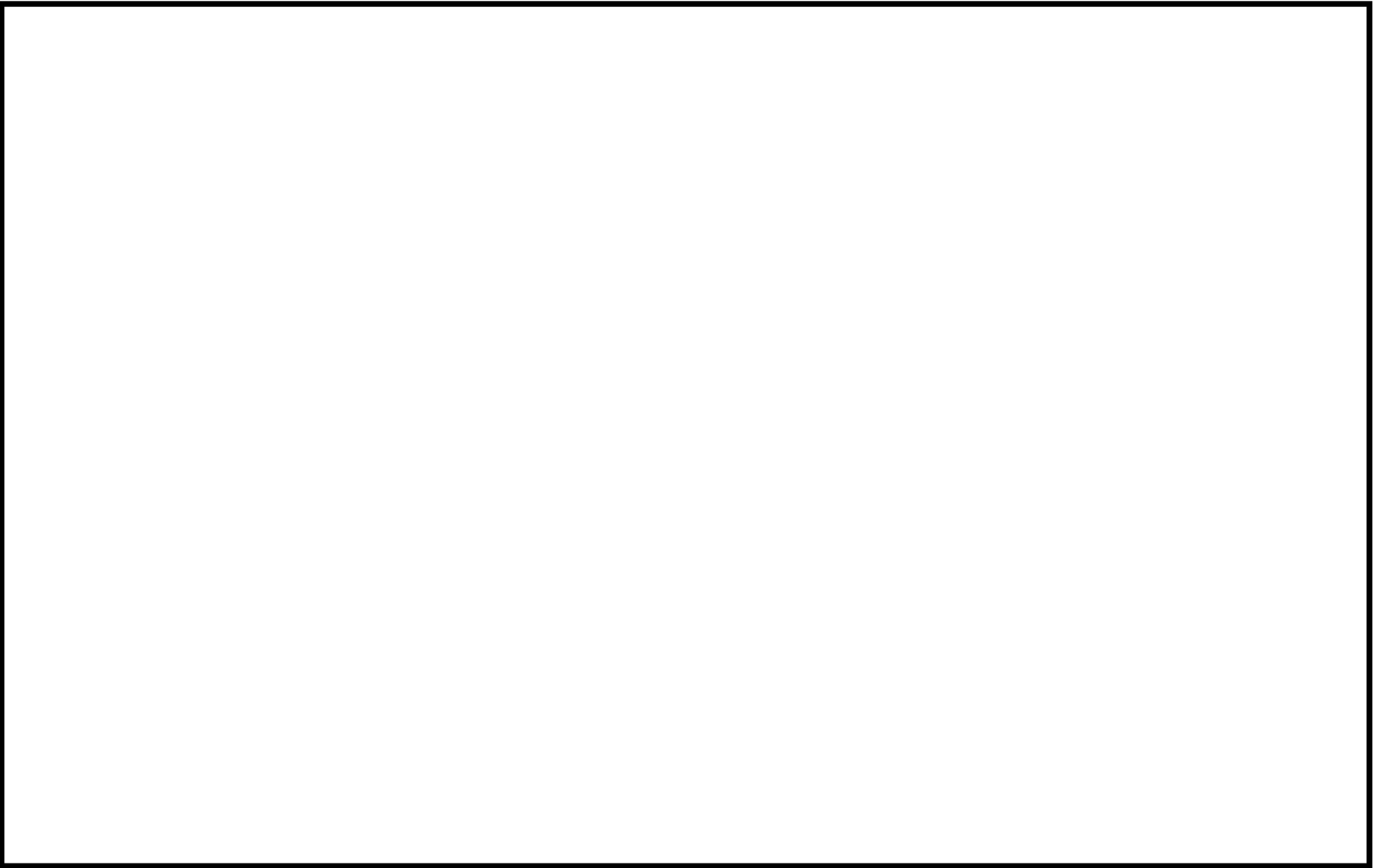
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

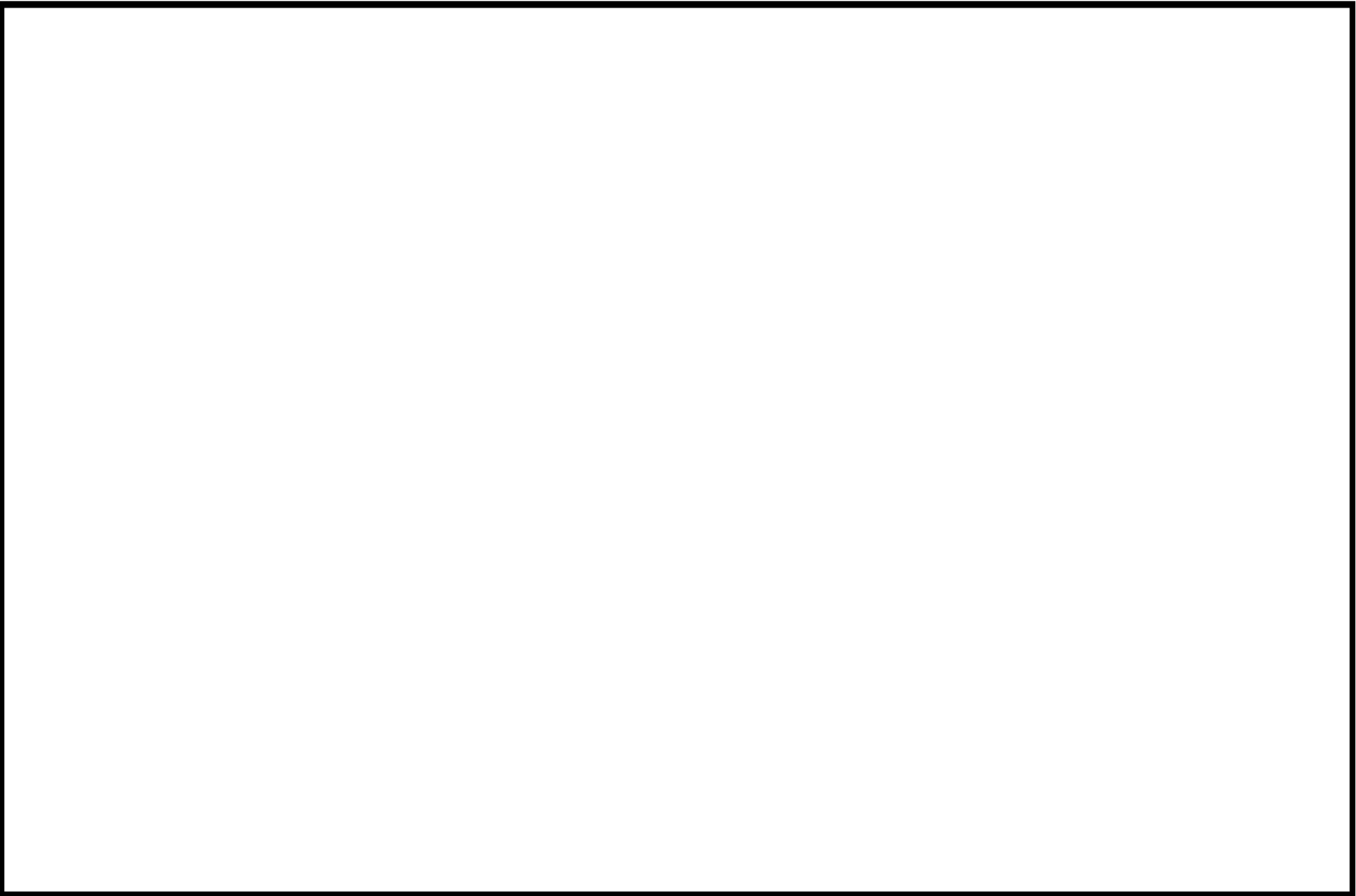
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

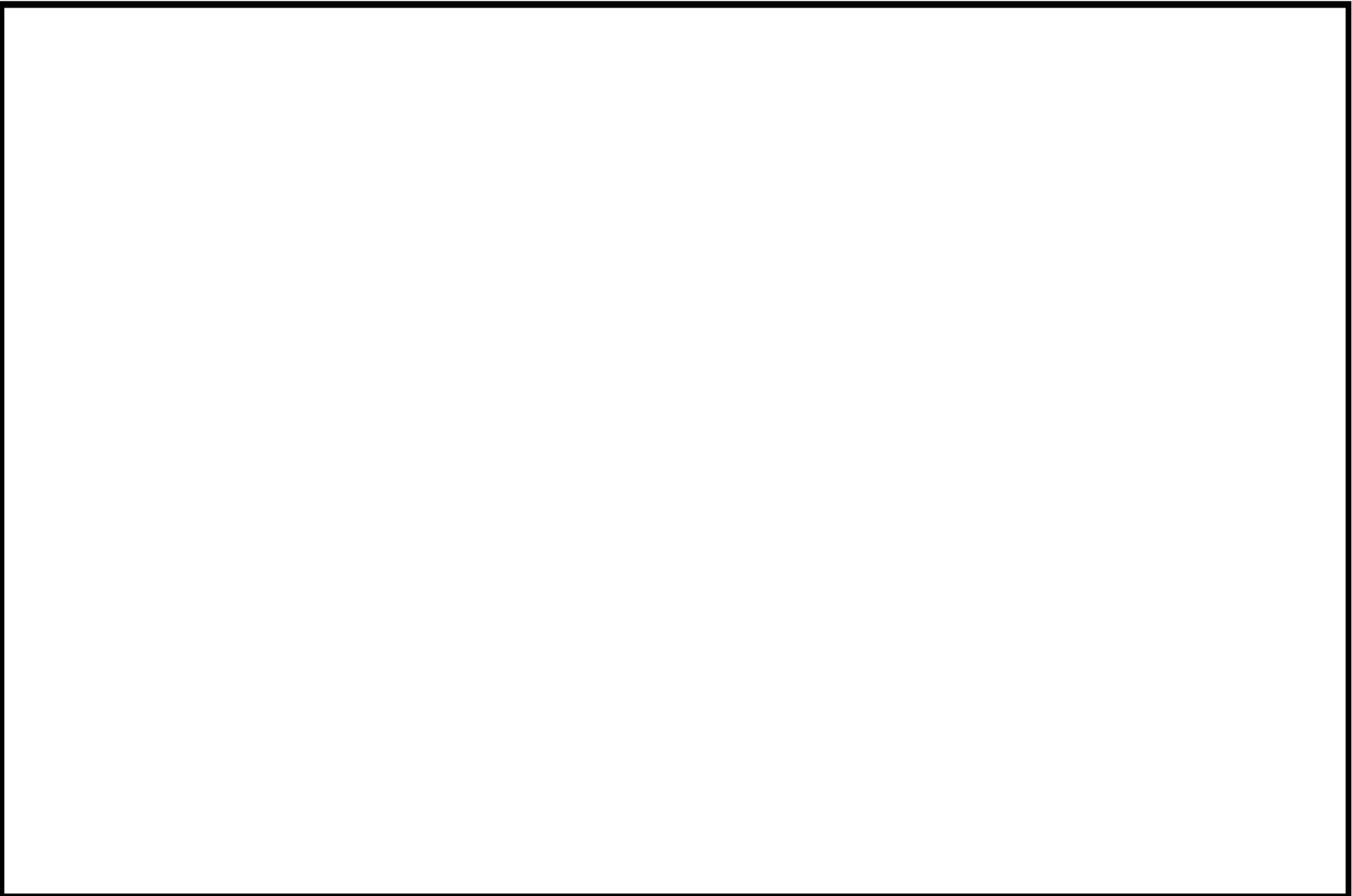
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

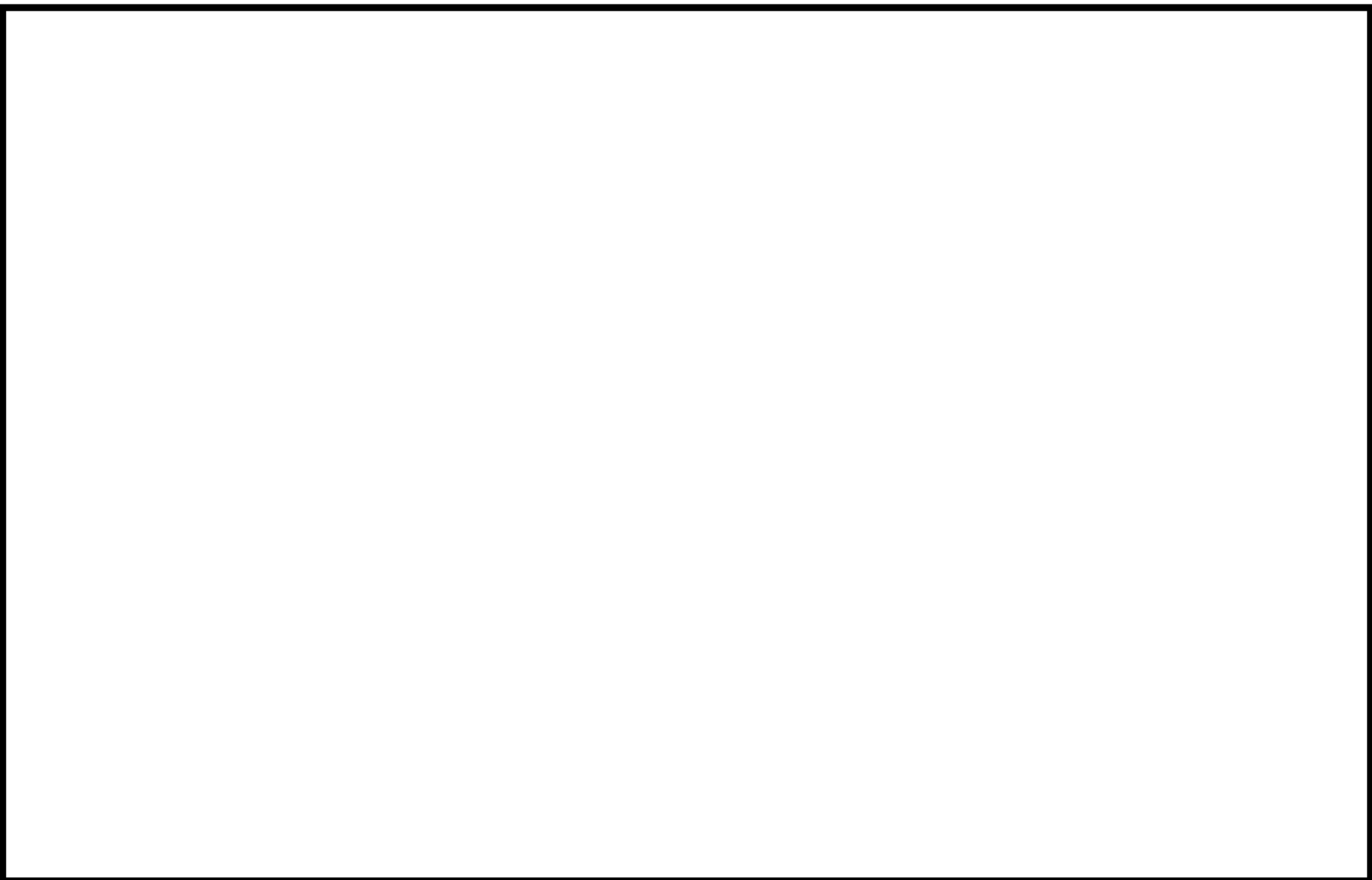


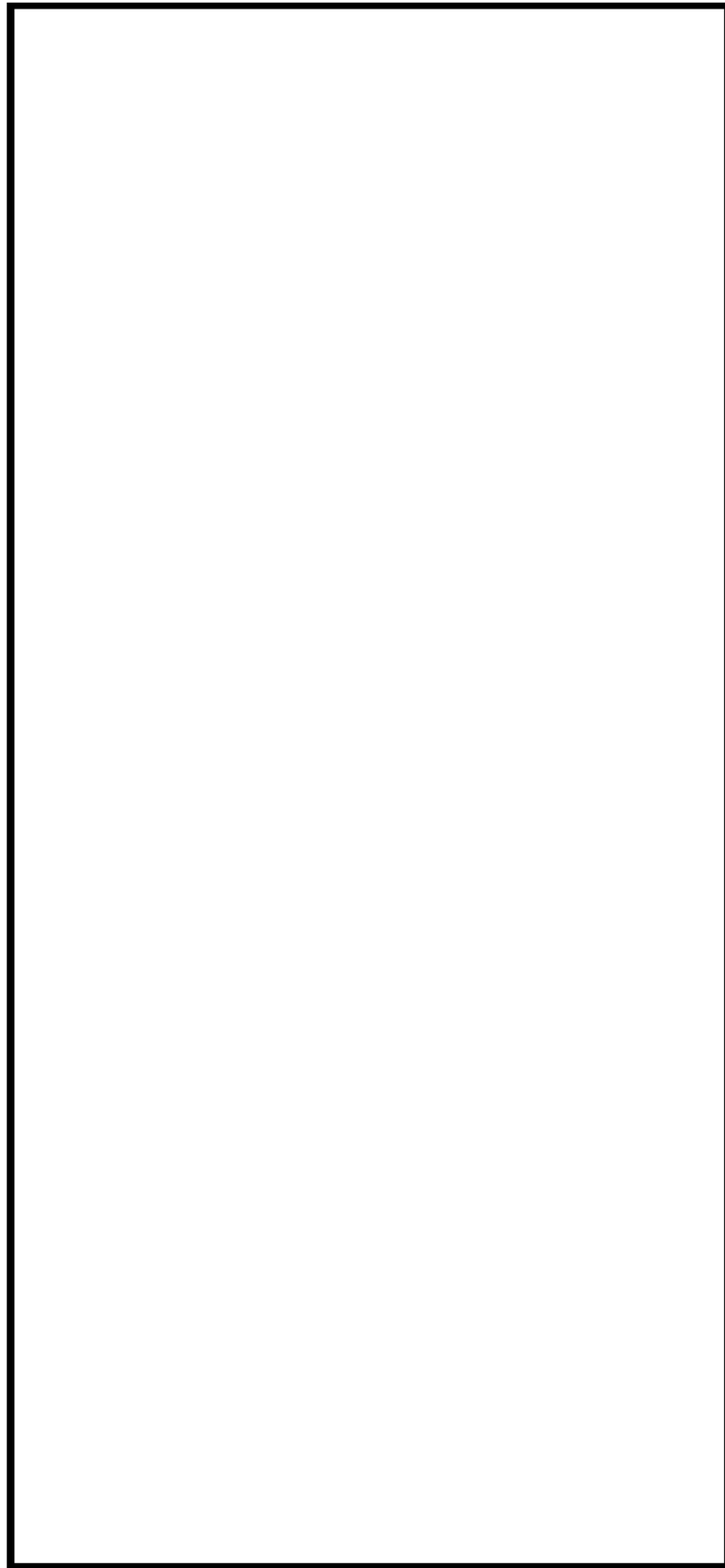












ふた管台形状寸法、評価点及び解析モデル

ふた管台 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$

0.10652 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

ふた管台 疲労解析結果 (評価点 : 6)

評価点 - 6
(S31)

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

疲労累積係数 = 0.10652

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

1.0 : 割増し係数 K_e を示す

ふた管台 環境疲労評価結果 (評価点 : 5)

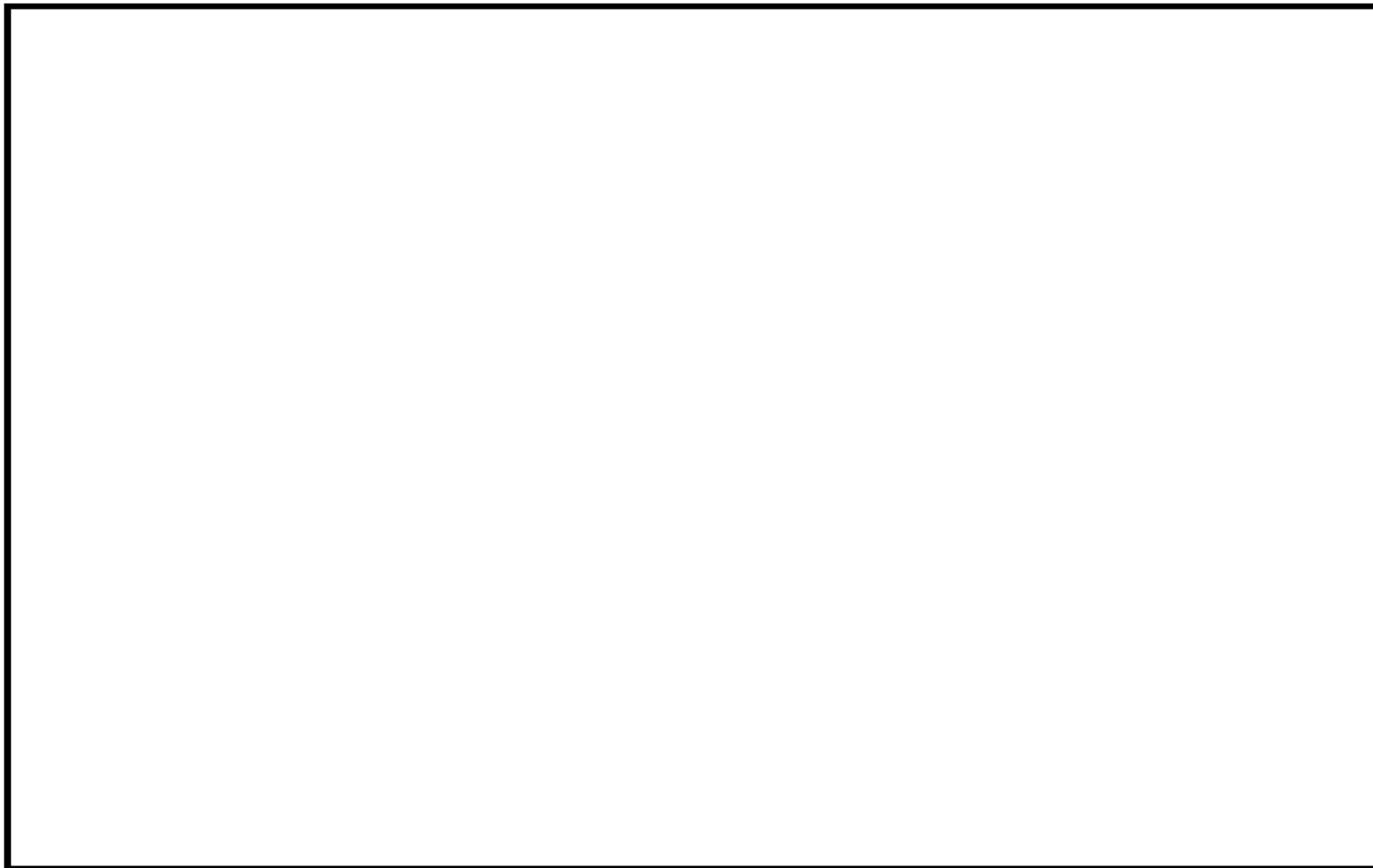
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2D4	64.4	-439.2	1.27	319.3	329.4	2	42500	0.00005	3.090	0.00015
1A1	2G1	64.4	-413.2	1.17	278.3	287.2	2	88700	0.00002	3.179	0.00007
1A1	1L1	64.4	-325.7	1.00	195.1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

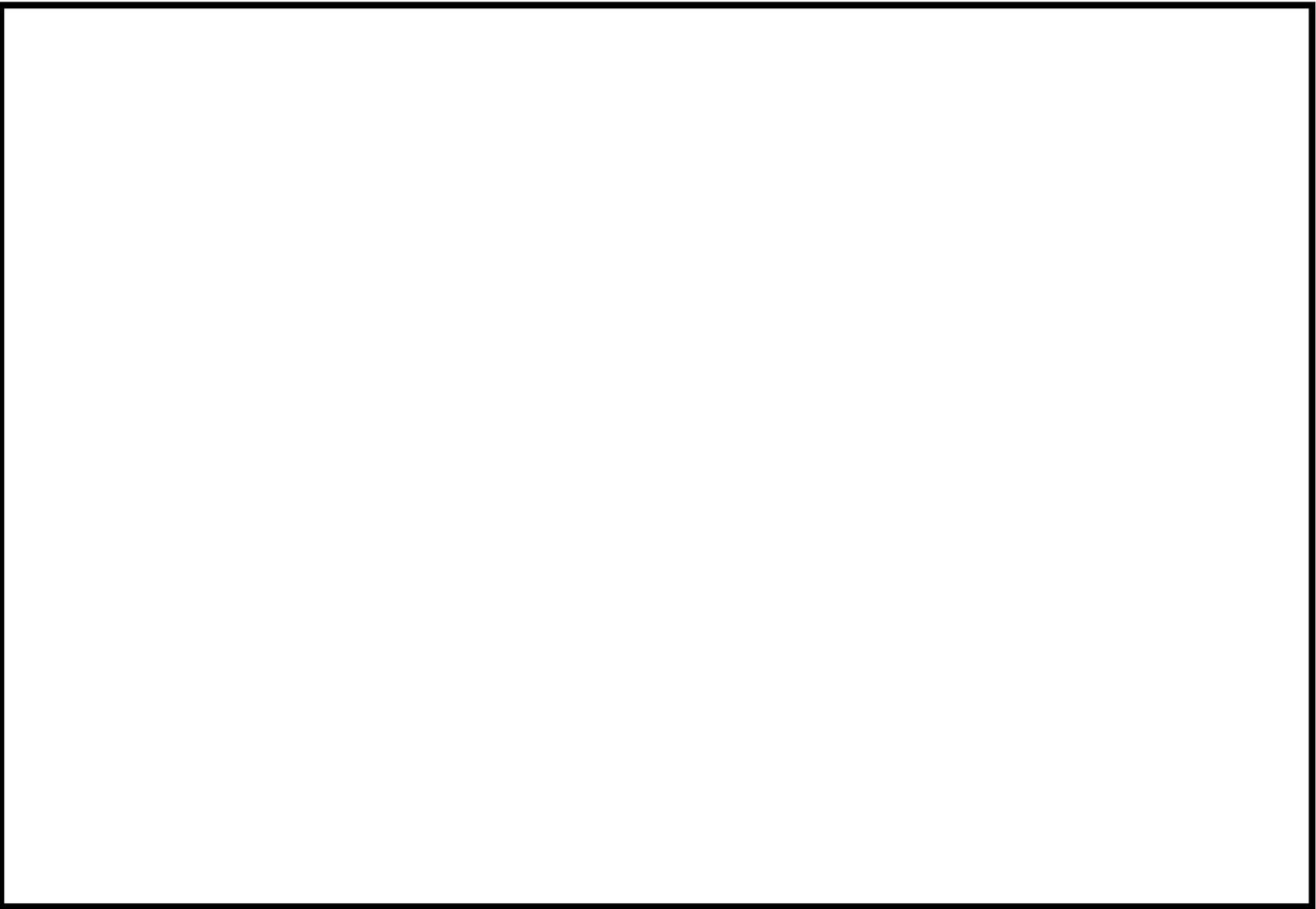
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

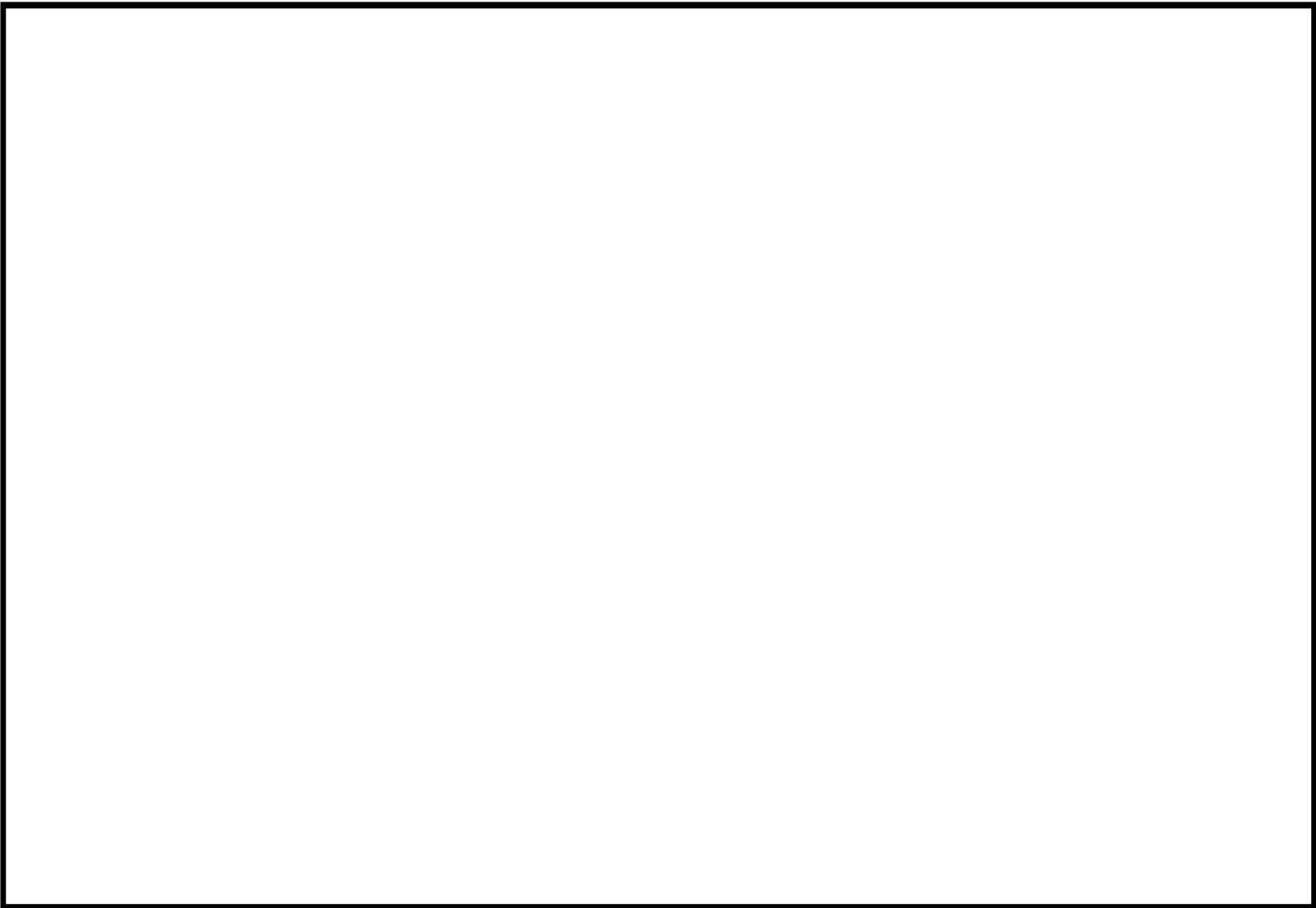
: 割り増し係数 K_e , 環境効果補正係数 f_{en} を示す

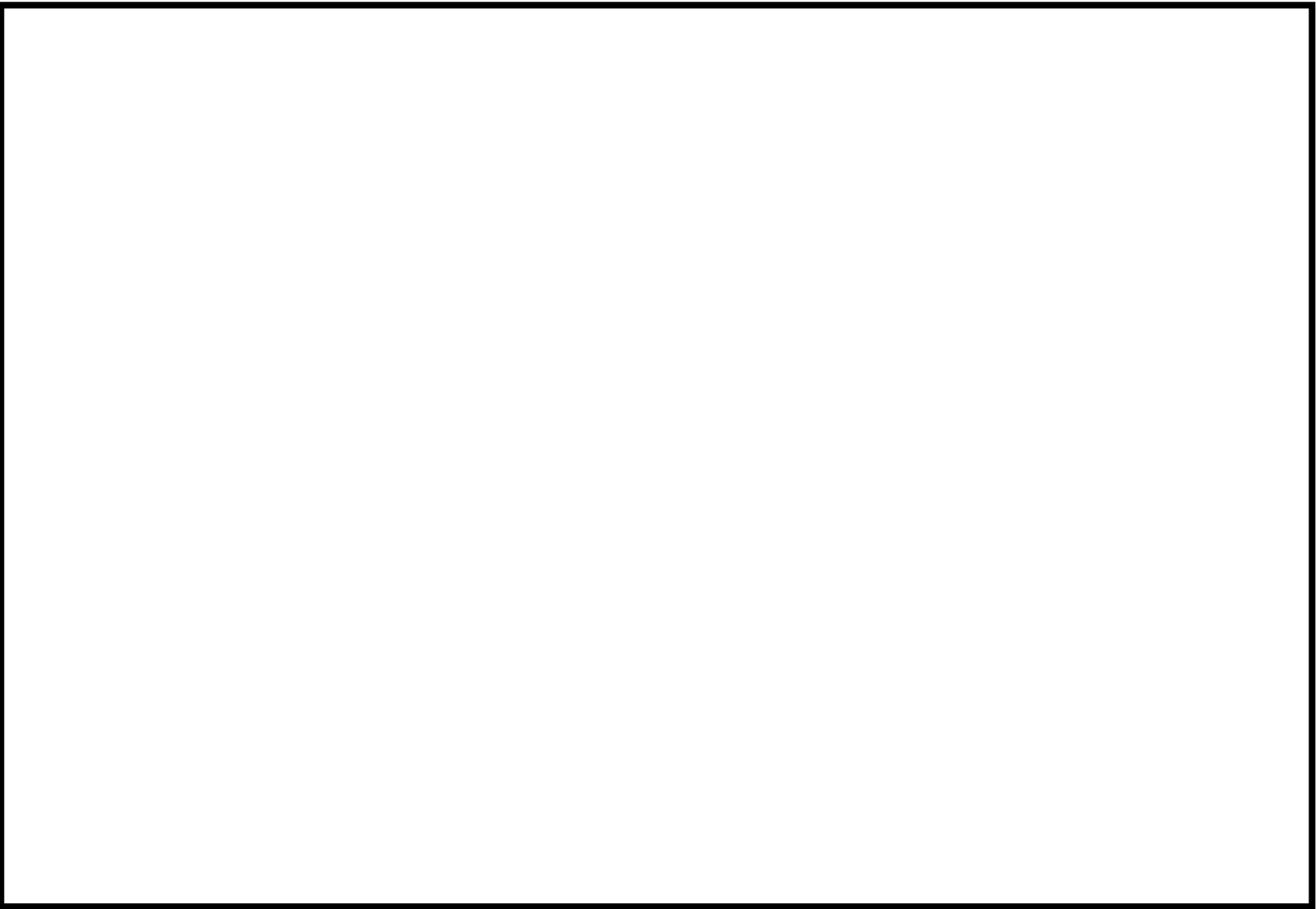
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

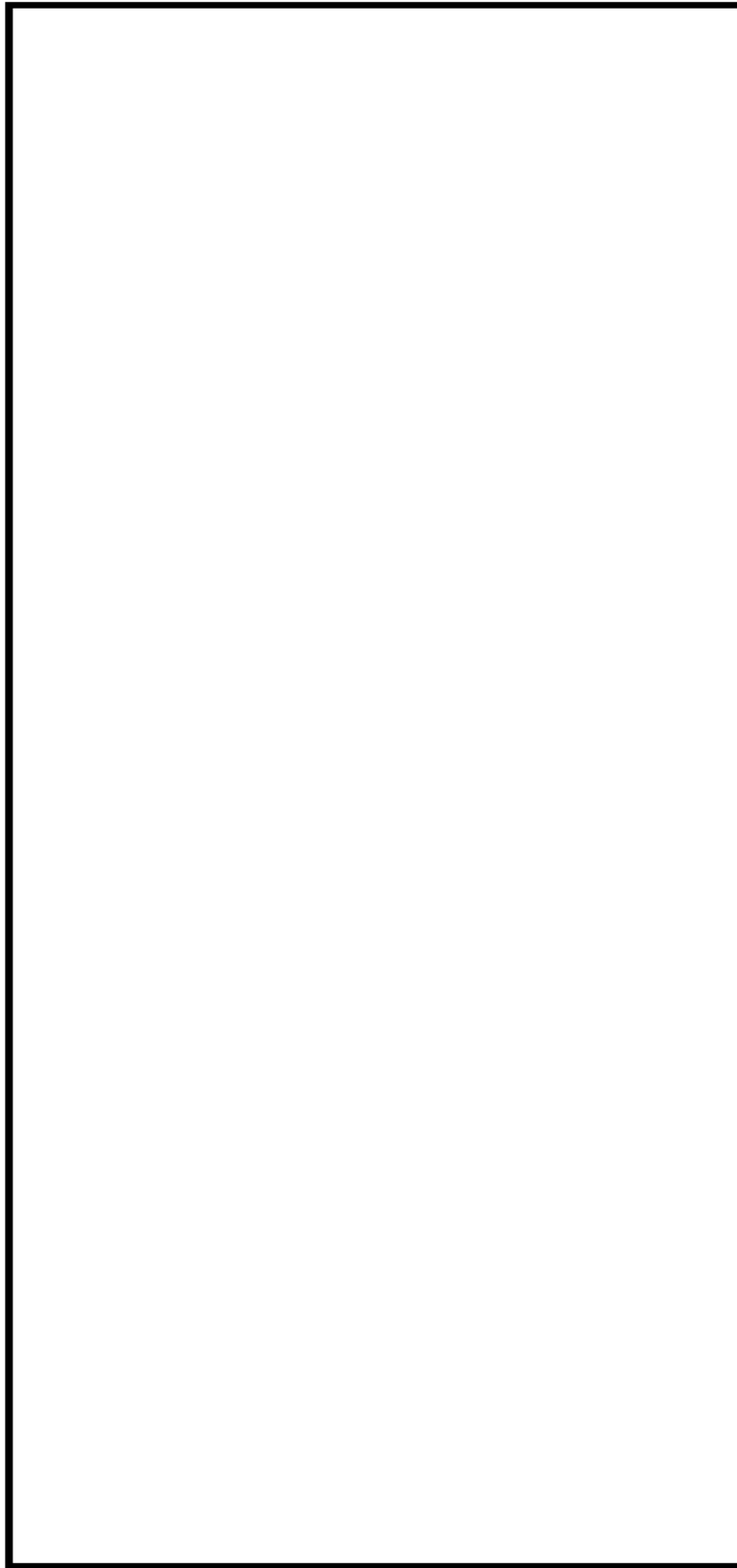
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。











空気抜管台形状寸法、評価点及び解析モデル

空気抜管台 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$

0.01151 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

空気抜管台 疲労解析結果 (評価点 : 4)

評価点 - 4
(S12)

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

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

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

空気抜管台 環境疲労評価結果（評価点：3）

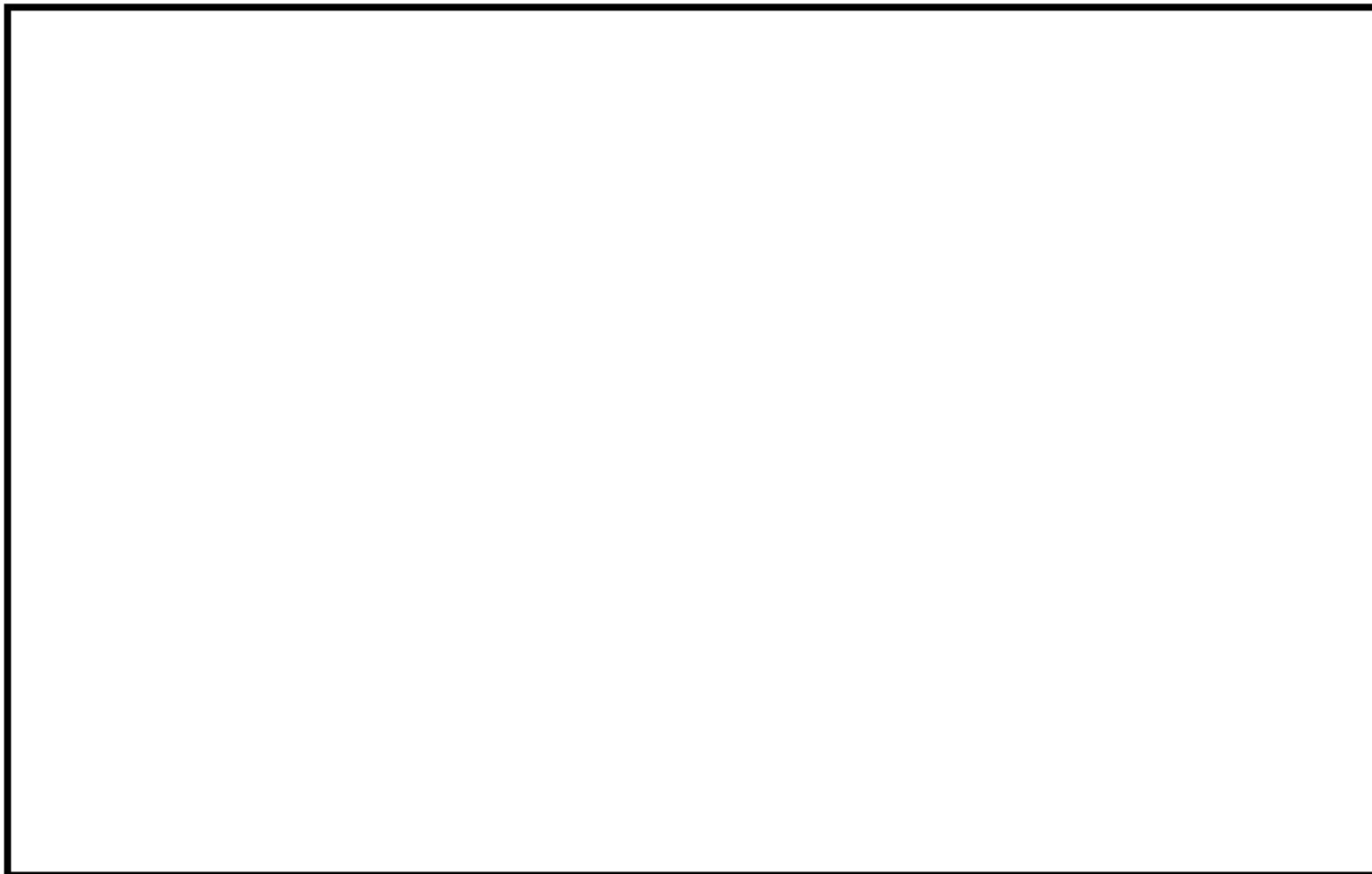
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2D4	94.6	-566.8	1.24	408.7	421.7	2	12400	0.00016	3.011	0.00049
1A1	2G1	94.6	-493.2	1.00	293.9	303.3	2	65900	0.00003	3.094	0.00009
1A1	2D2	94.6	-376.4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

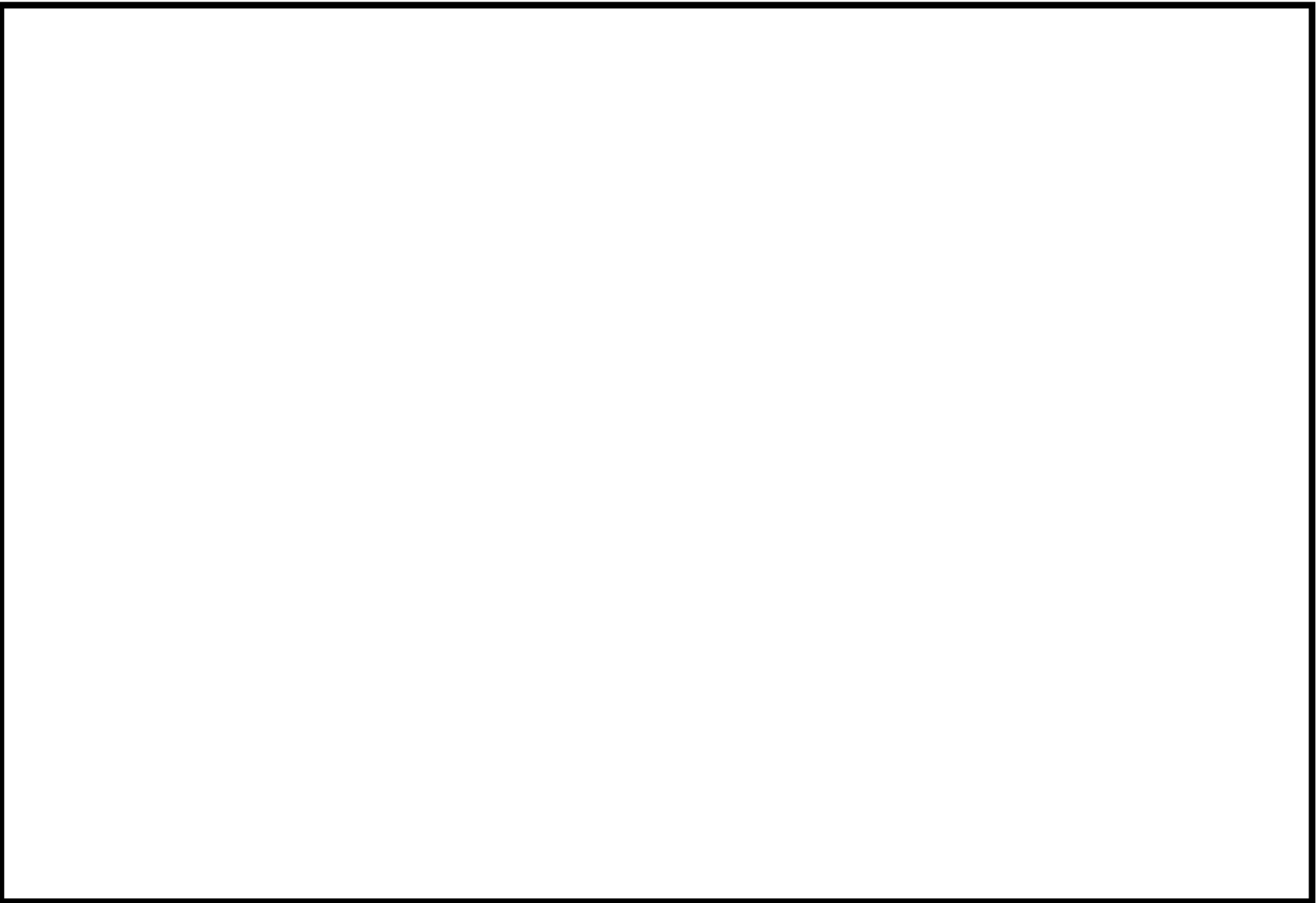
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

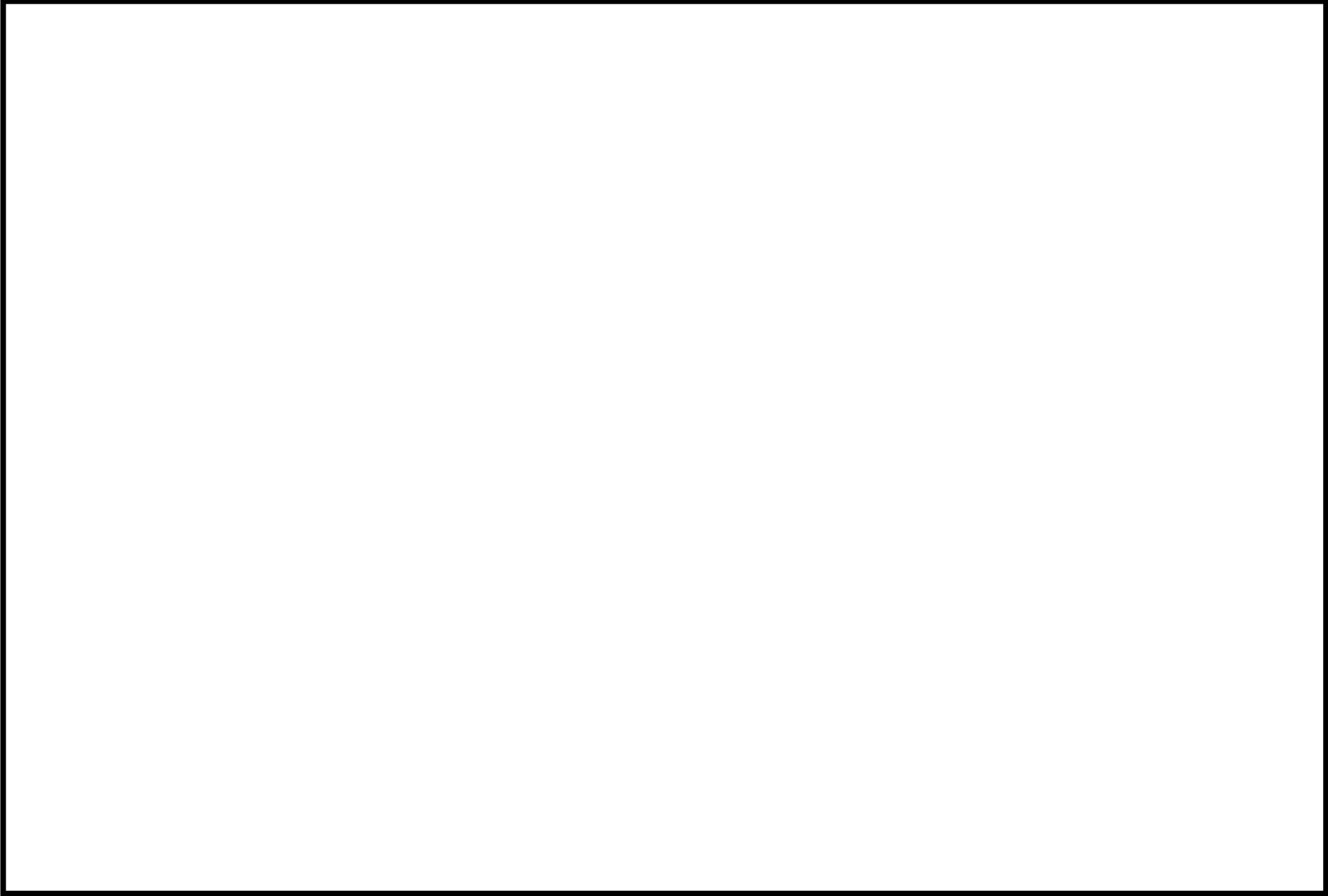
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

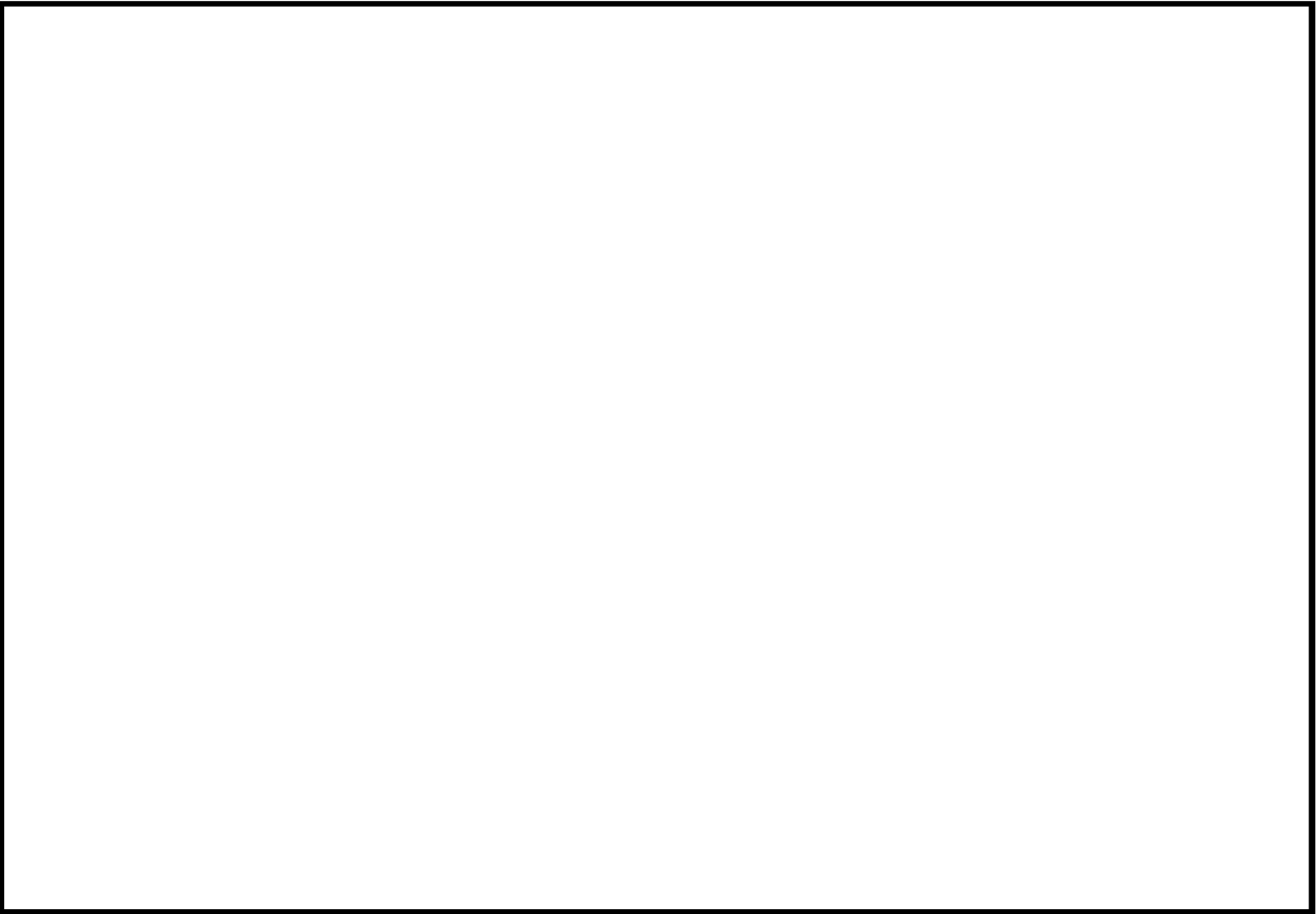
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

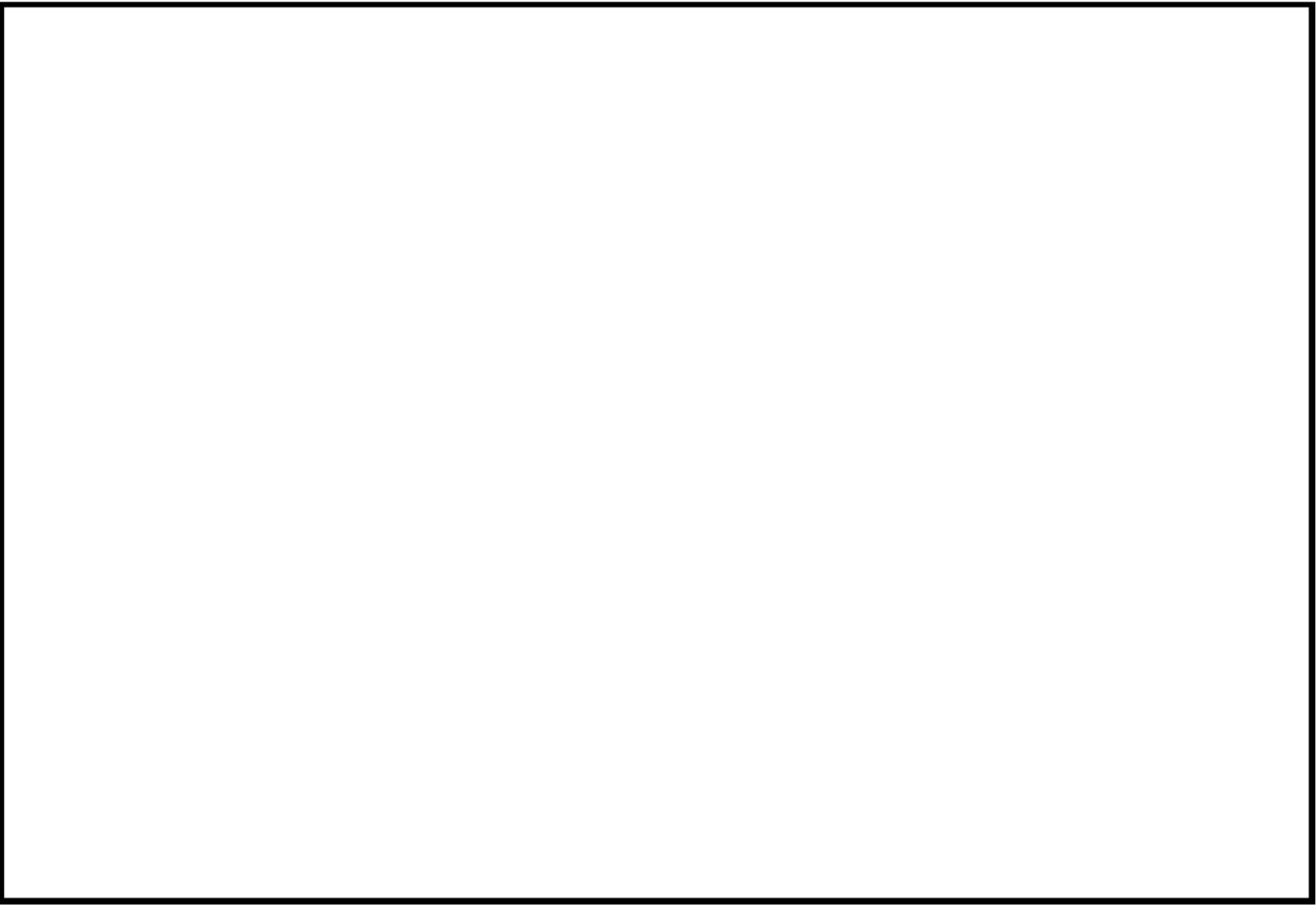
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

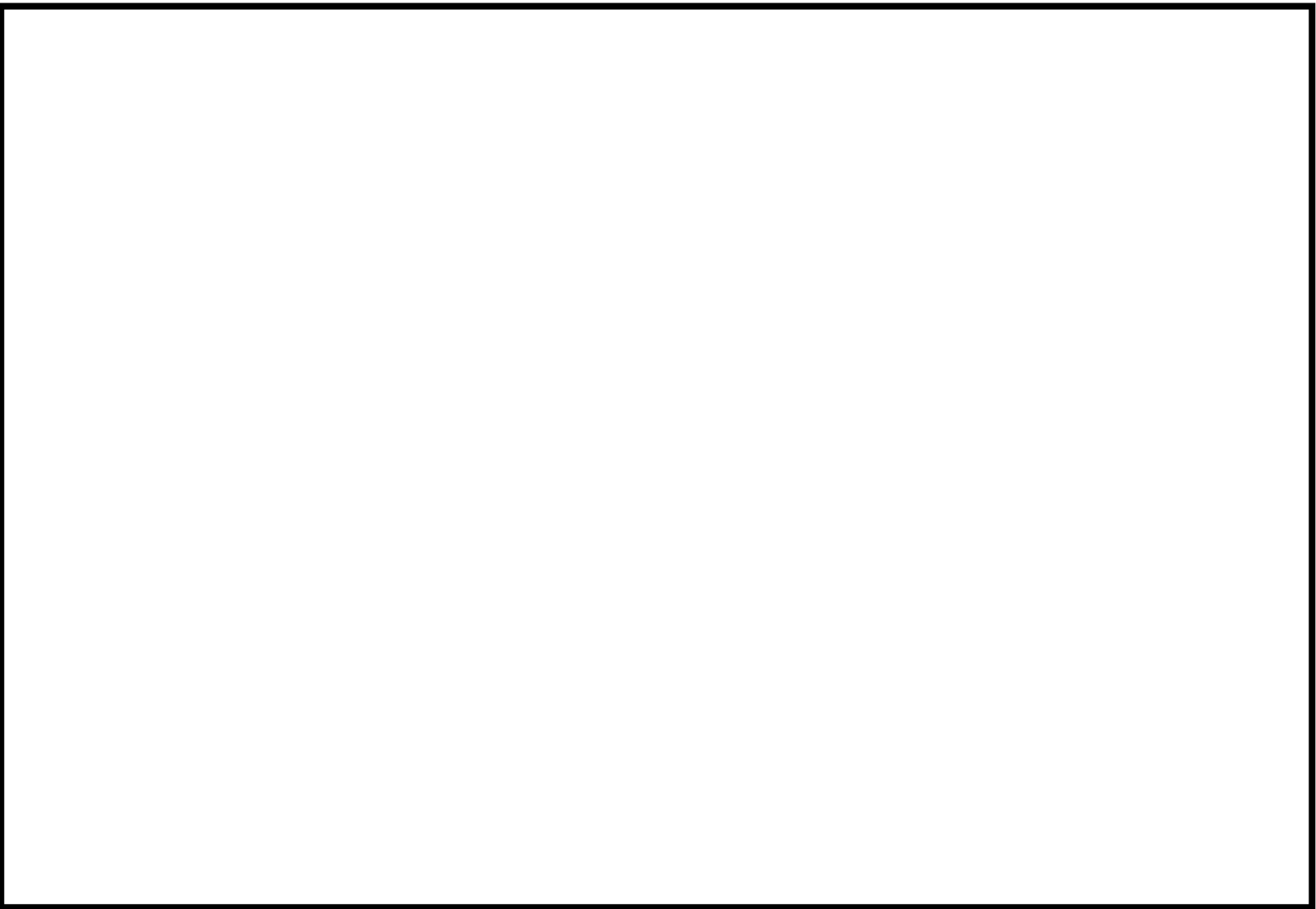




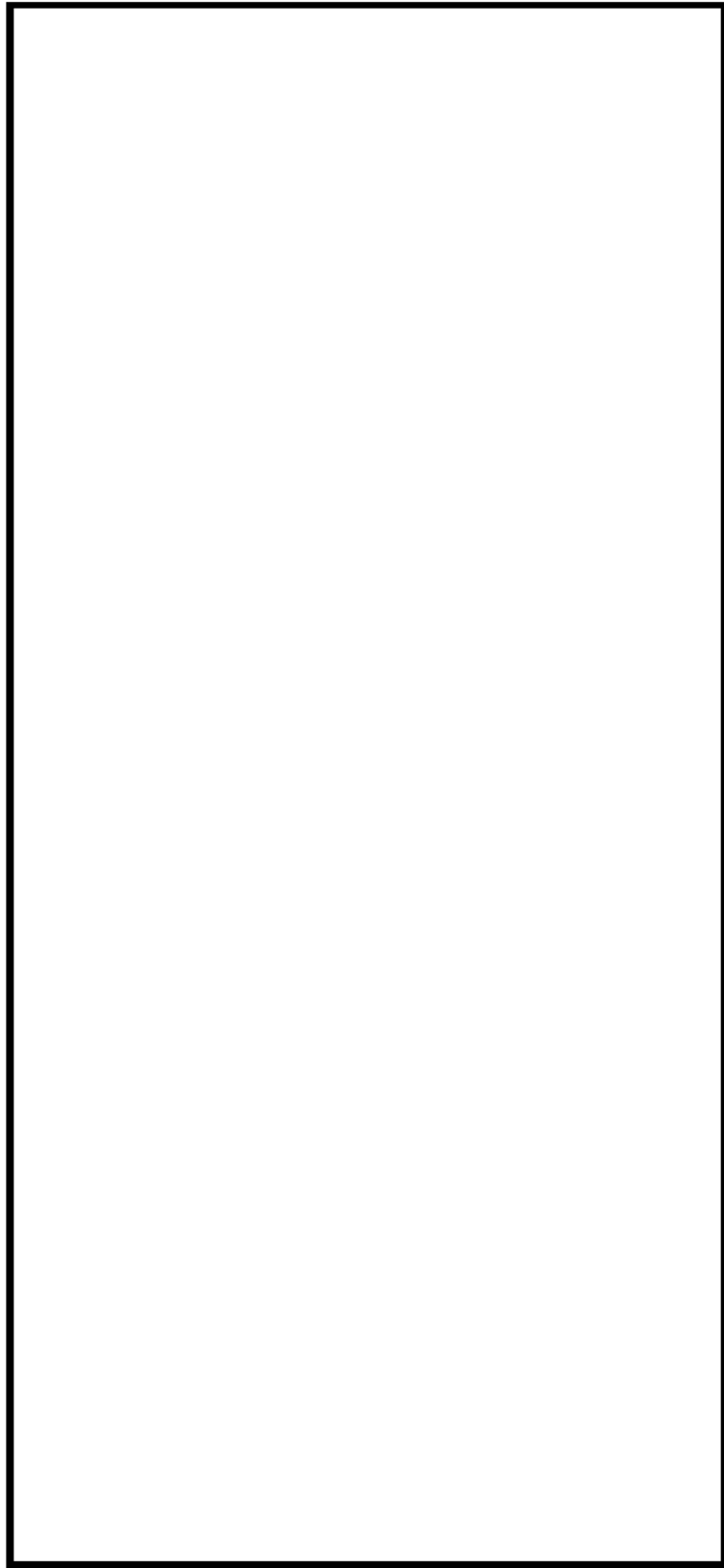












炉内計装筒形状寸法、評価点及び解析モデル

炉内計装筒 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$

0.12933 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

炉内計装筒 疲労解析結果 (評価点 : 10)

評価点 - 10
(S31)

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

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

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

炉内計装筒 環境疲労評価結果（評価点：9）

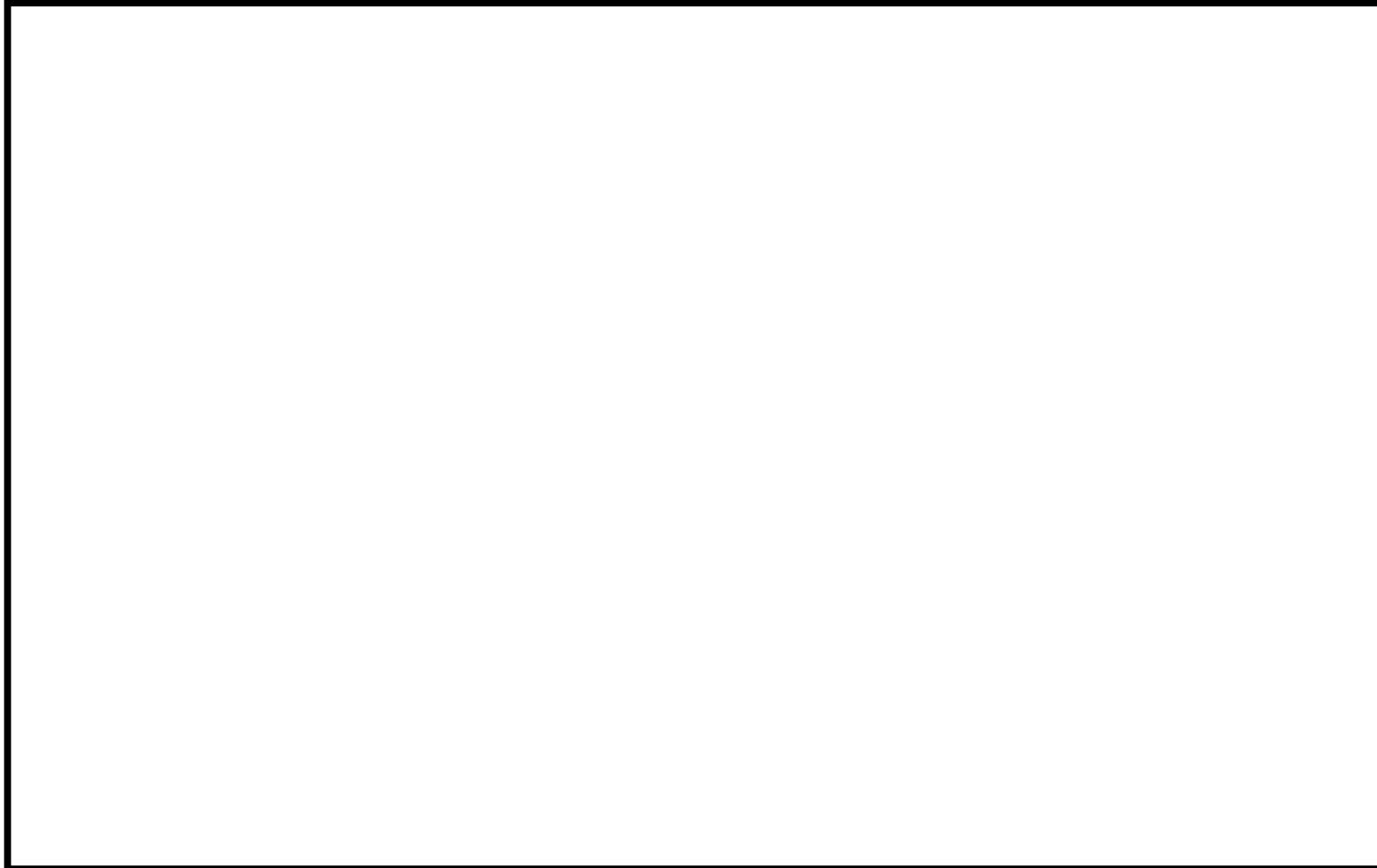
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D4	22.3	-661.2	1.00	341.8	334.9	2	39100	0.00005	2.844	0.00015
2J1	2G1	22.3	-604.7	1.00	313.5	307.2	2	61400	0.00003	3.062	0.00010
2J1	2A1	22.3	-496.3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

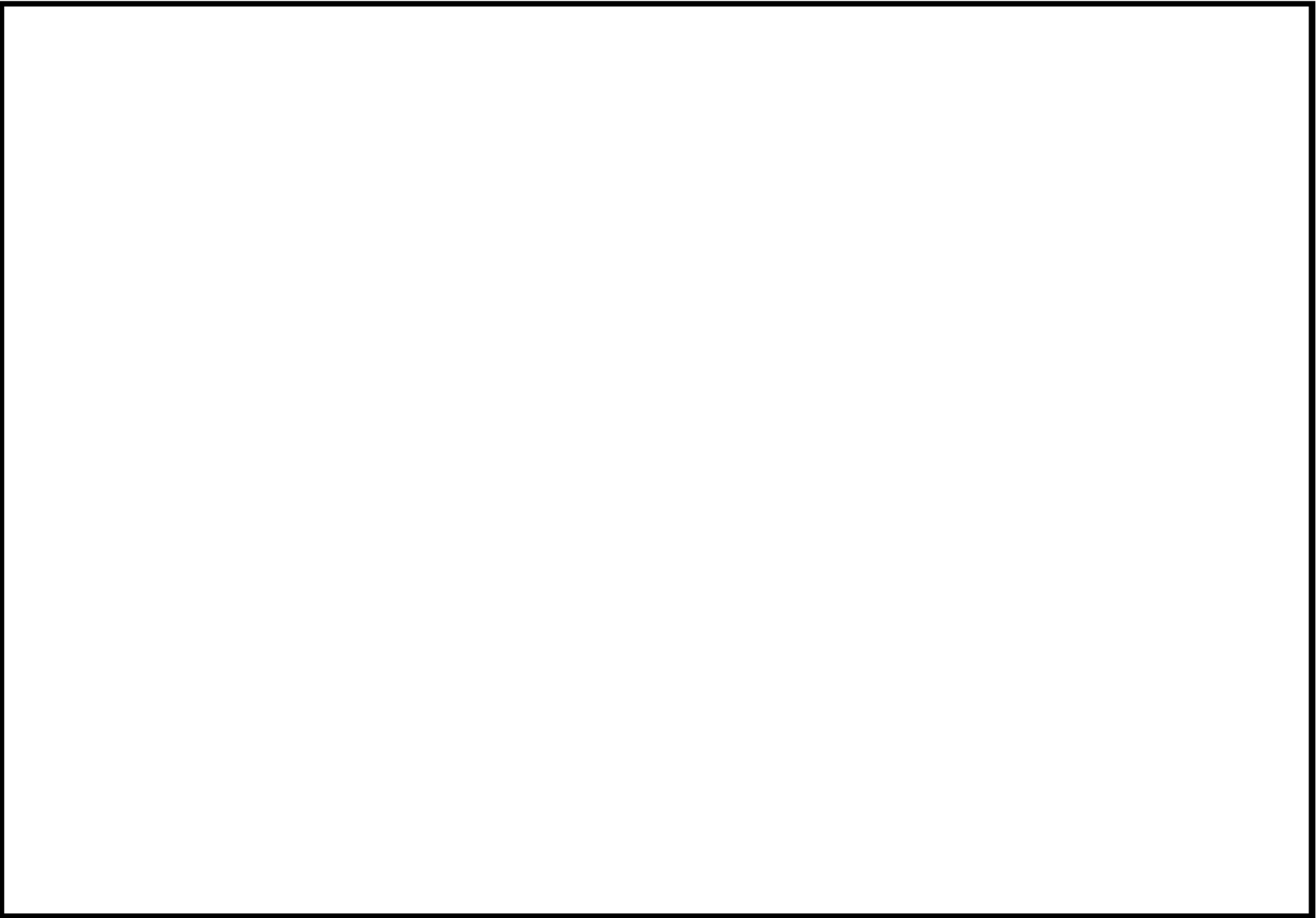
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

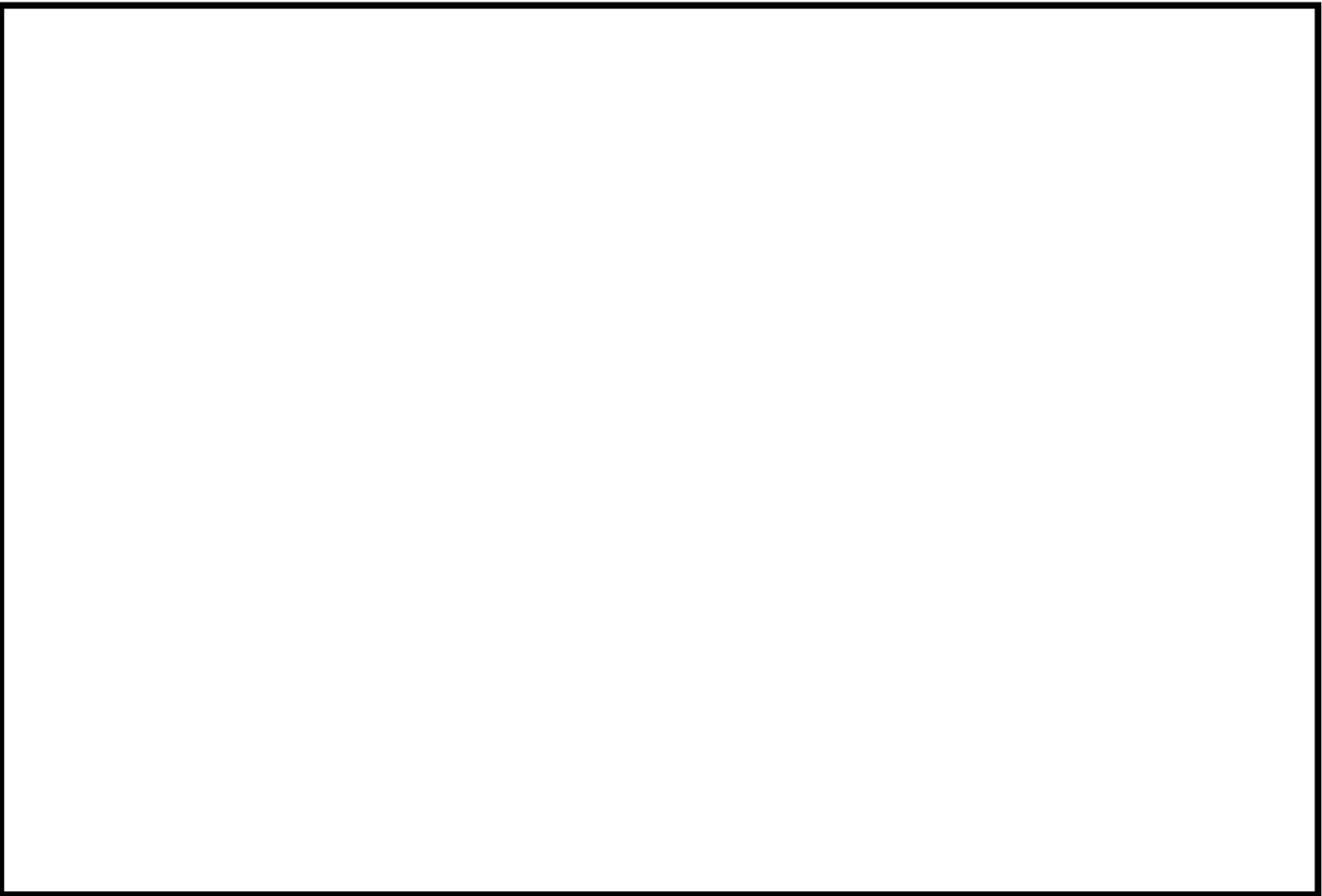
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

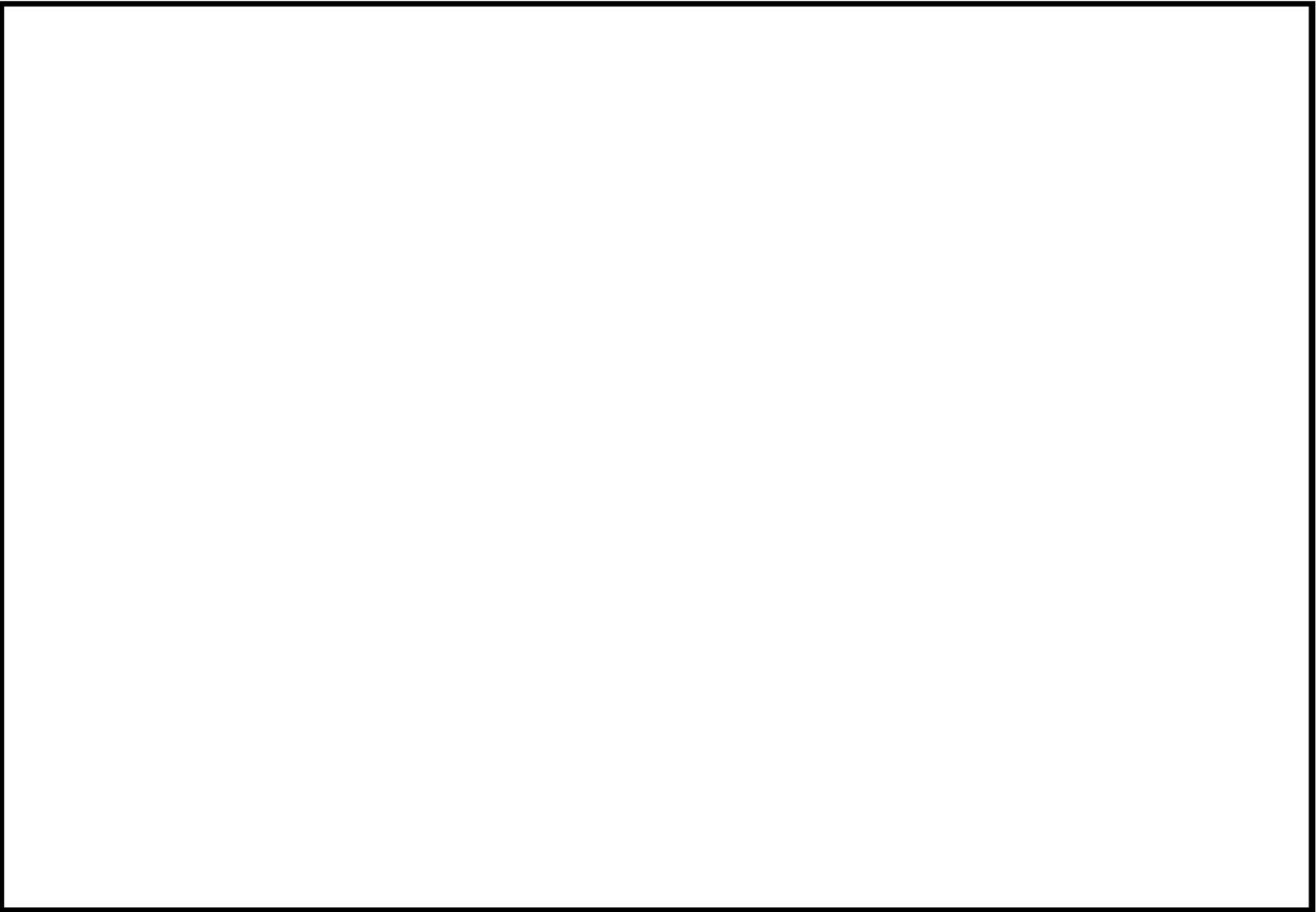
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

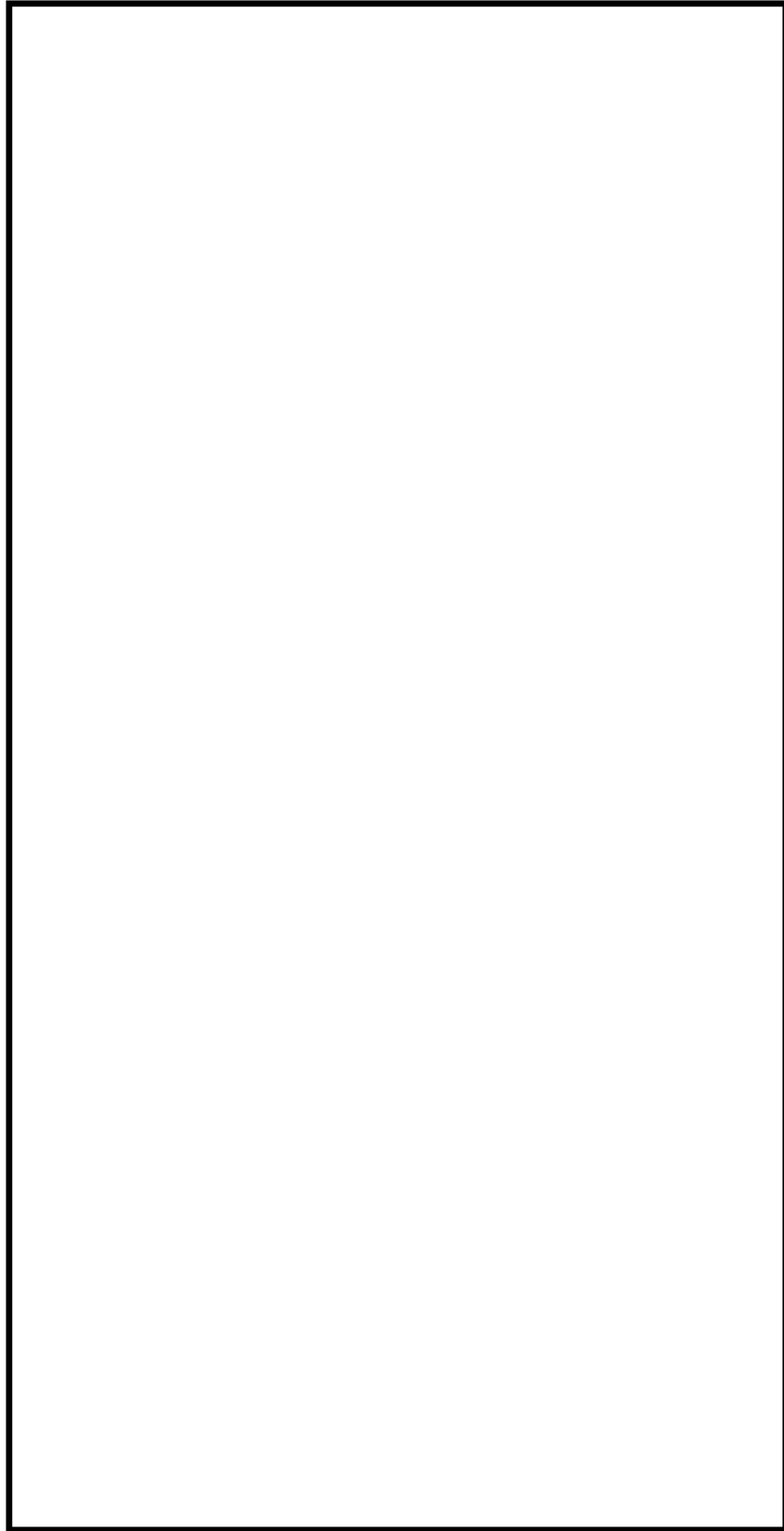
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。











上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト寸法、評価点及び解析モデル

上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト 最大評価点の選定

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

許容値 $U_t=1.0$

0.00671 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

上部ふた、上部胴フランジ 疲労解析結果 (評価点 : 2)

評価点 - 2
(S31)

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

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

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

スタッドボルト 疲労解析結果 (評価点 : 7)

評価点 - 7
(S12)

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

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

: 割り増し係数 Ke を示す



下部胴・下部鏡接続部形状寸法、評価点及び解析モデル

下部胴・下部鏡接続部 最大評価点の選定

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

許容値 $U_r=1.0$

0.00379 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

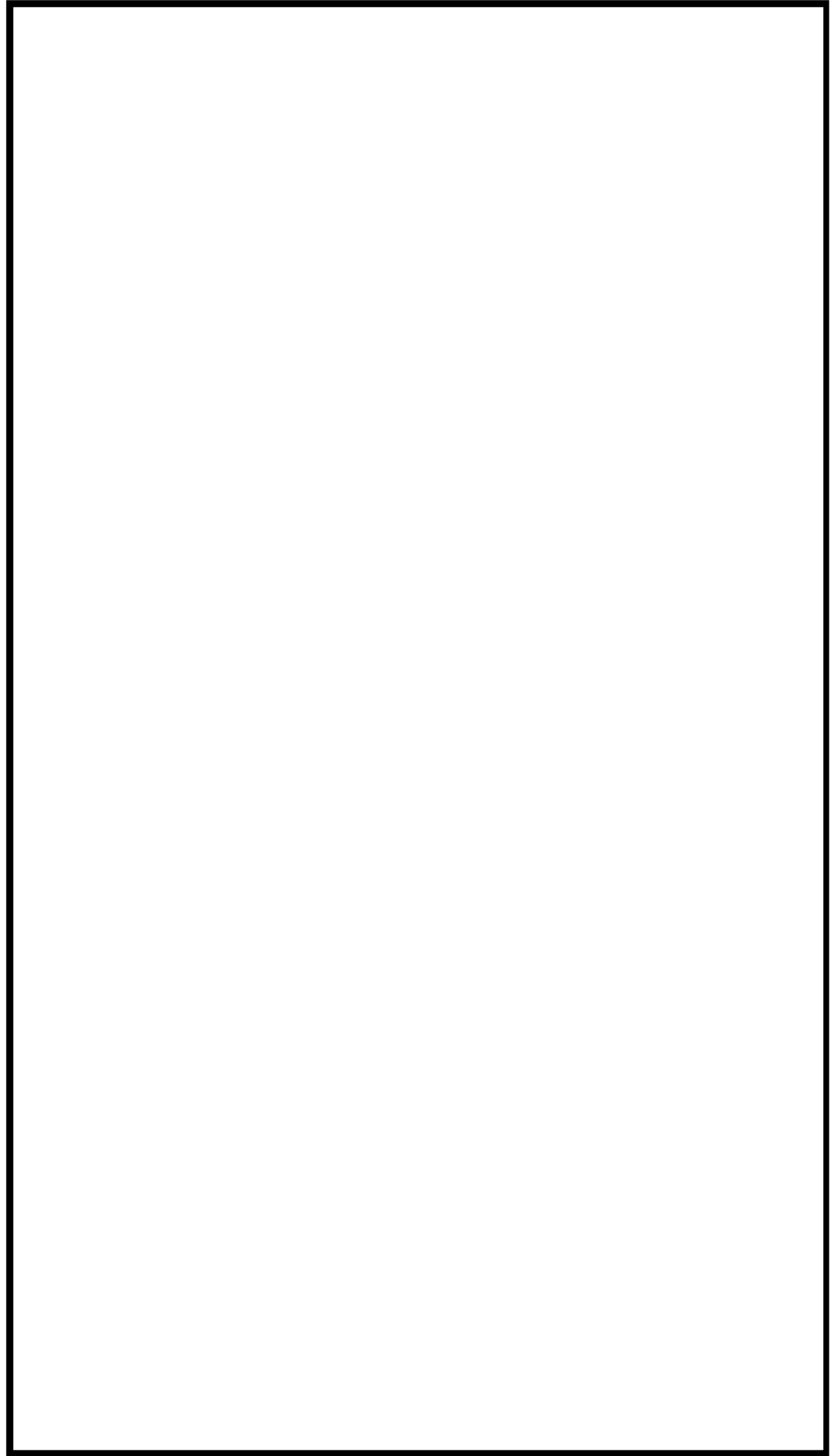
下部胴・下部鏡接続部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3
(S31)

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

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

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す



炉心支持金物及び炉心支持金物取付部形状寸法、評価点及び解析モデル

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f=1.0$

0.00499 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3
(S23)

応力強さ (単位 : MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)		
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'		N	N*
364.3	-40.9	1.0	202.6	238.3	2	13700	0.00015
320.5	-40.9	1.0	180.7	212.5	2	20400	0.00010
264.4	-40.9	1.0	152.7	179.5	2	34300	0.00006
250.1	-40.9	1.0	145.5	171.1	61	39800	0.00153
248.2	-40.9	1.0	144.5	170.0	2	40600	0.00005
246.7	-38.7	1.0	142.7	167.8	7	42300	0.00017
242.7	-38.7	1.0	140.7	165.5	4	44200	0.00009
234.4	-38.7	1.0	136.6	160.6	50	48400	0.00103
234.4	0.0	1.0	117.2	137.8	130	100000	0.00130
234.4	11.9	1.0	111.2	130.8	62	121000	0.00051
234.4	110.2	1.0	62.1	73.0	2	-----	0.0
					疲労累積係数 =		0.00499

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

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 環境疲労評価結果（評価点：11）

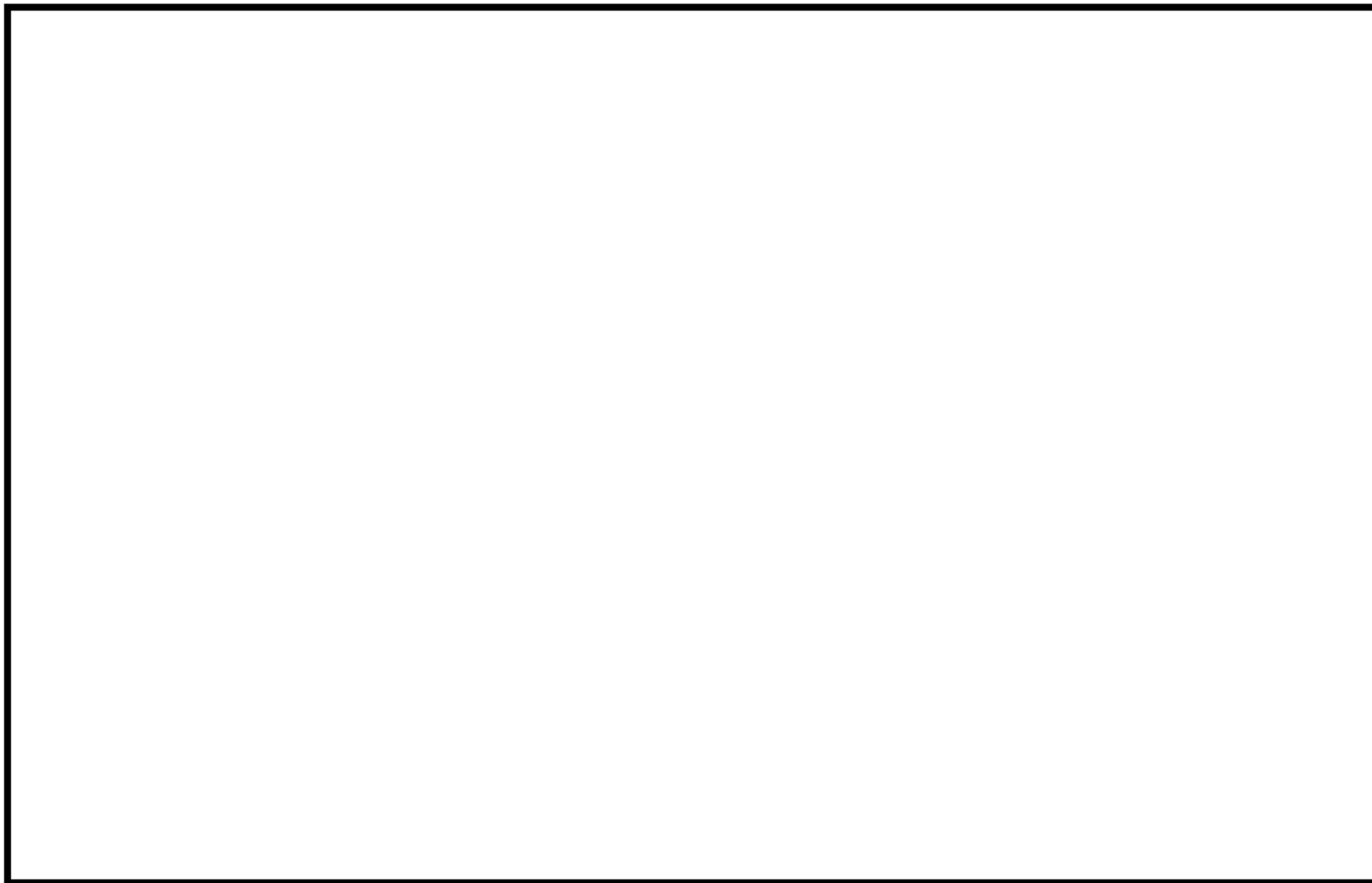
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2A1	2D4	68.5	-127.8	1.00	98.2	96.2	2	653000000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2D2	68.5	-101.1	1.00	84.8	83.1	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：								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

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

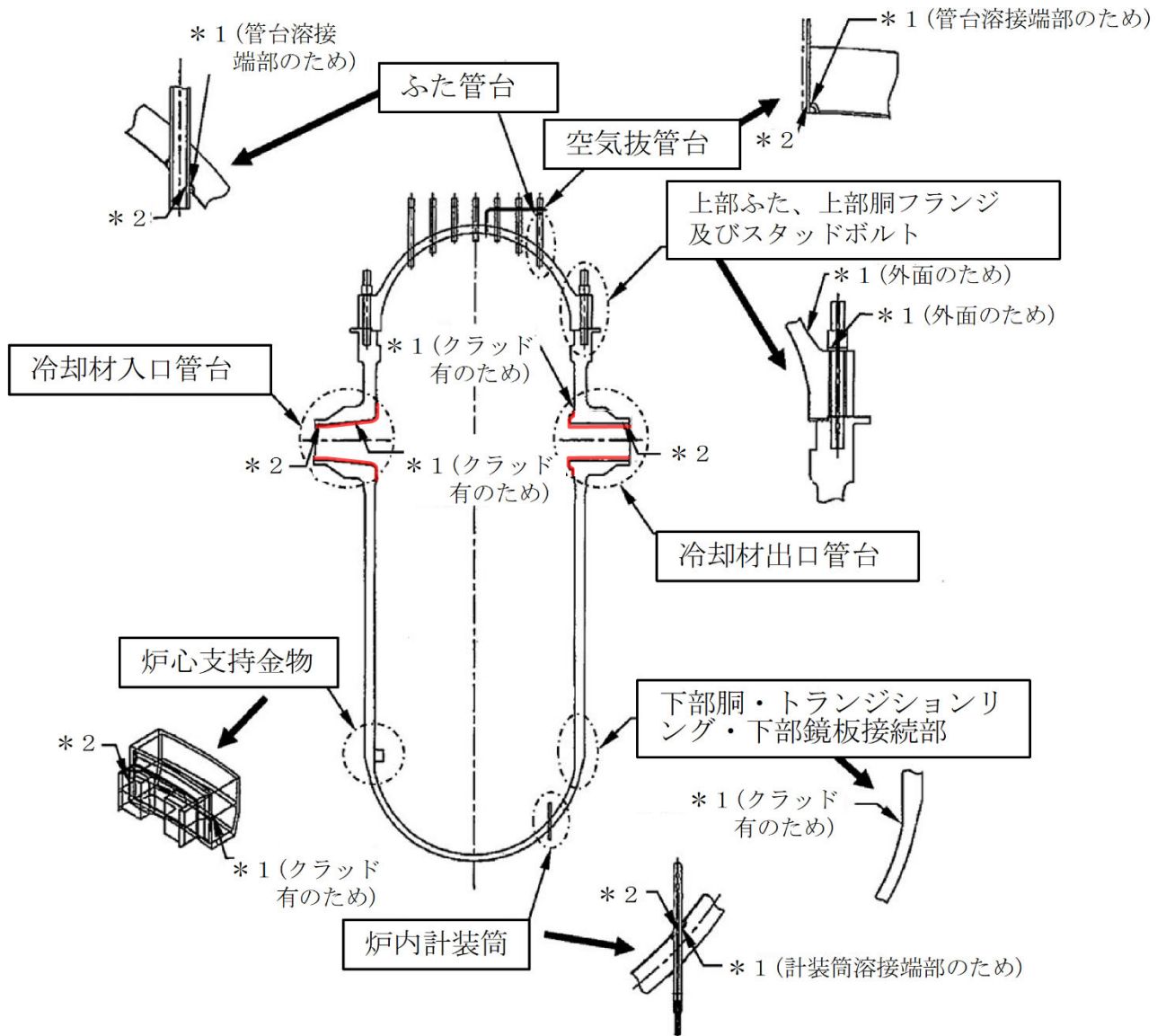
: 割り増し係数 Ke , 環境効果補正係数 fen を示す

環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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



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



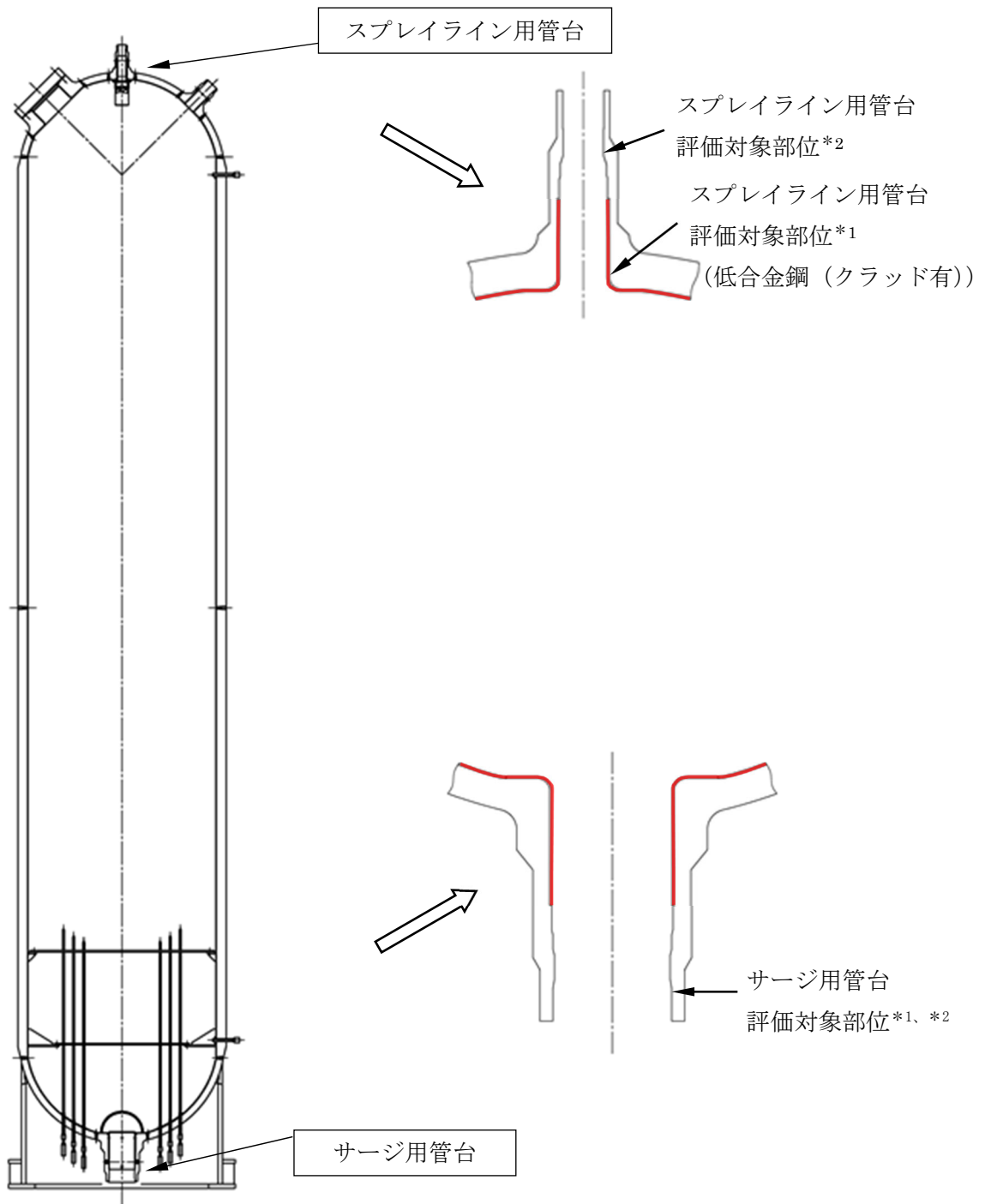
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位 (なお原子炉容器内面は全面クラッド施工されている)

原子炉容器 疲労評価対象部位と管台クラッド施工部位



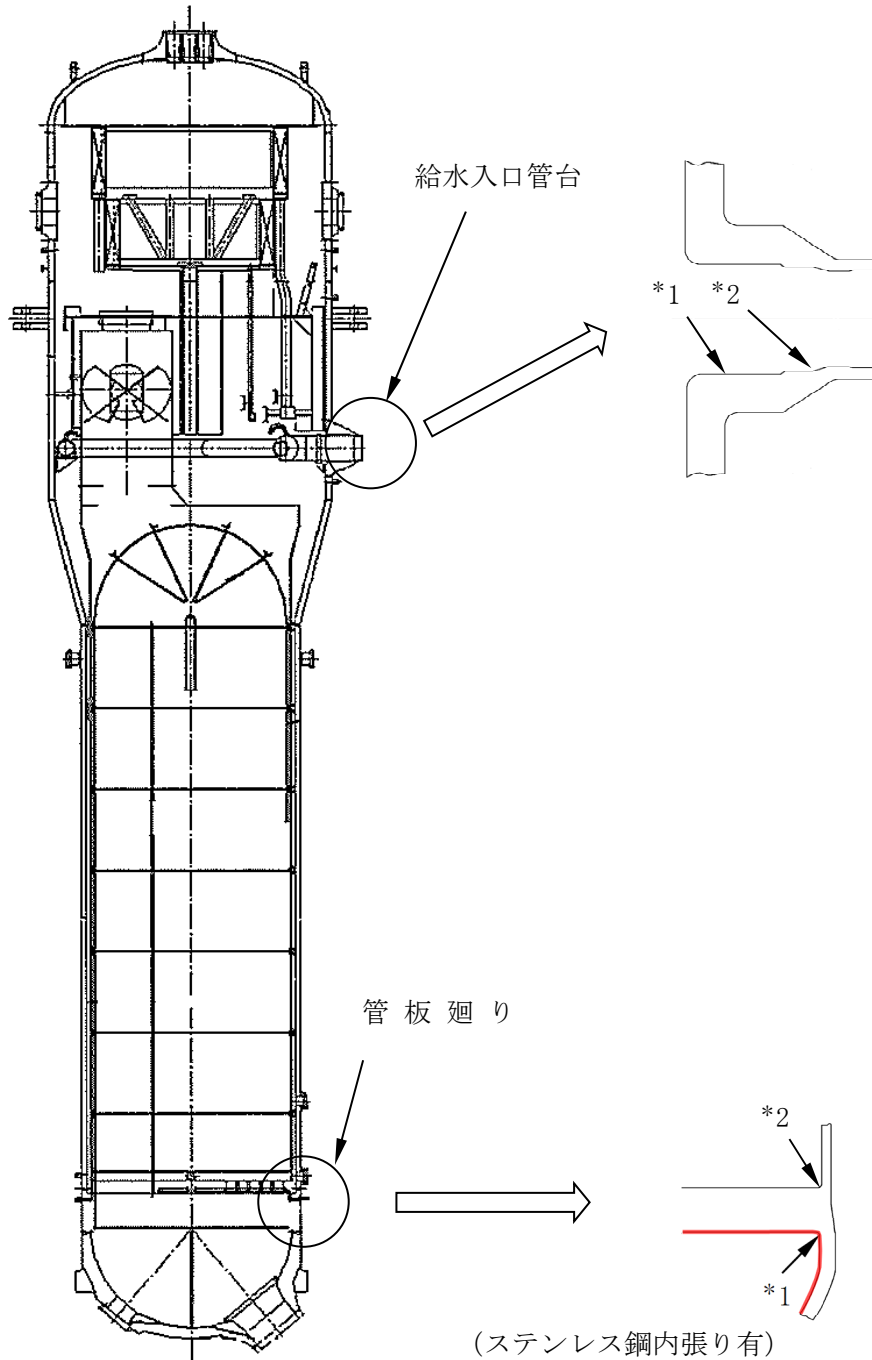
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位 (なお加圧器内面は全面クラッド施工されている)

加圧器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位



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

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

— クラッド施工部位

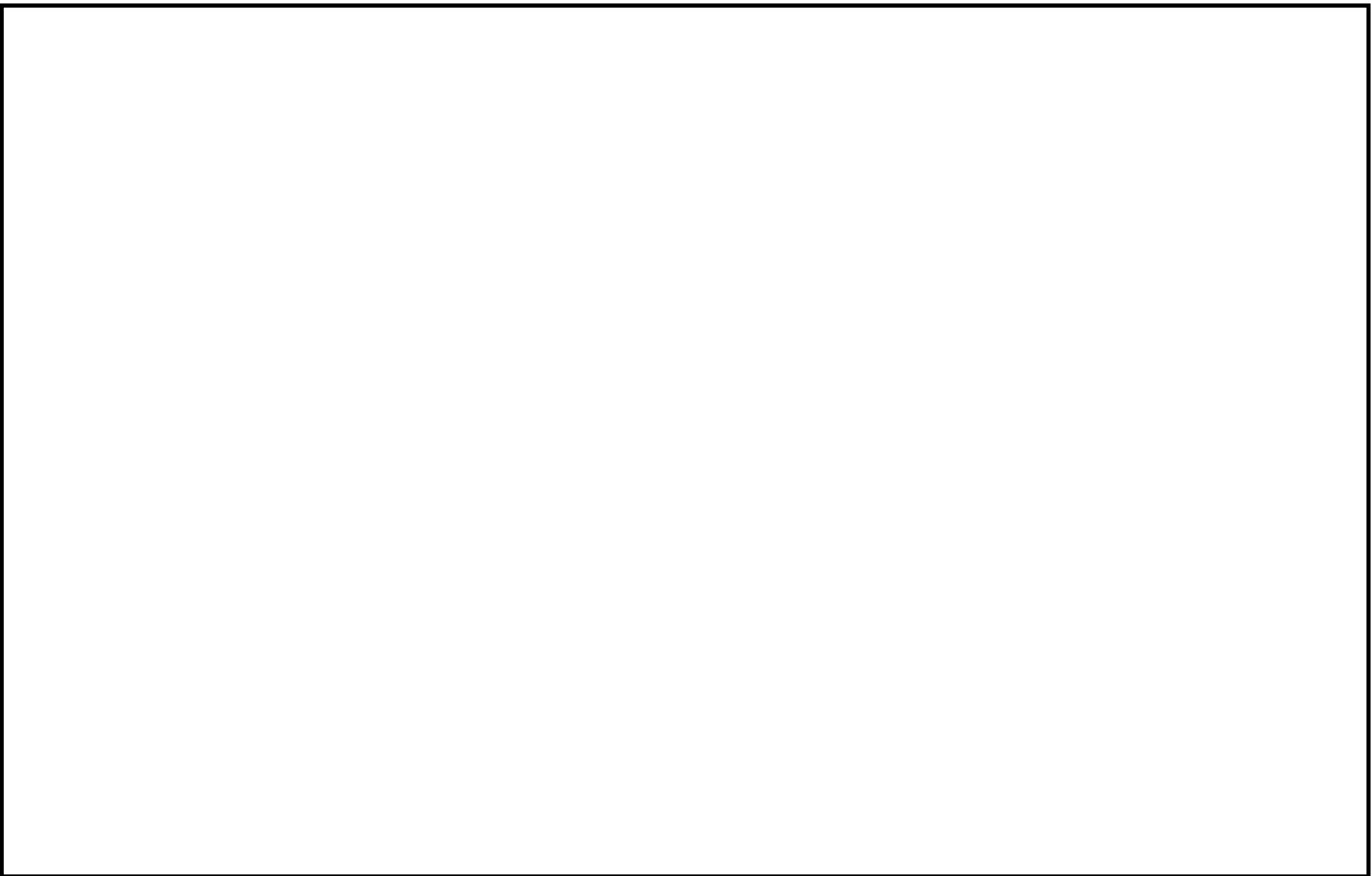
蒸気発生器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位

タイトル	環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について															
説明	<p>環境疲労評価は、「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009 年版）」（以下環境疲労評価手法）に基づいて実施している。</p> <p>環境疲労評価手法では、環境疲労補正係数（Fen）に溶存酸素が影響する場合として炭素鋼・低合金鋼を定めている。</p> <p>川内原子力発電所 1 号炉の劣化状況評価書において、炭素鋼・低合金鋼の接液部位のうち溶存酸素を考慮して環境疲労評価を行った部位は以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">溶存酸素が影響する炭素鋼・低合金鋼の評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="421 884 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※1
		給水入口管台	詳細評価※1
容器	原子炉容器	冷却材入口管台	詳細評価
		冷却材出口管台	詳細評価
		ふた管台	詳細評価
		空気抜管台	詳細評価
		炉内計装筒	詳細評価
		上部ふた、上部胴フランジ	—
		下部胴・トラジションリング・下部鏡 接続部	—
		炉心支持金物	詳細評価
		スタッドボルト	—
	加圧器	スプレイライン用管台	詳細評価
		サージ用管台	詳細評価
	機械ペネトレーション	余熱除去出口配管貫通部端板	—
		主蒸気管貫通部伸縮継手	—
主給水管貫通部伸縮継手		—	

表1 環境効果補正係数の算出方法 (2/3)

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

表1 環境効果補正係数の算出方法 (3/3)

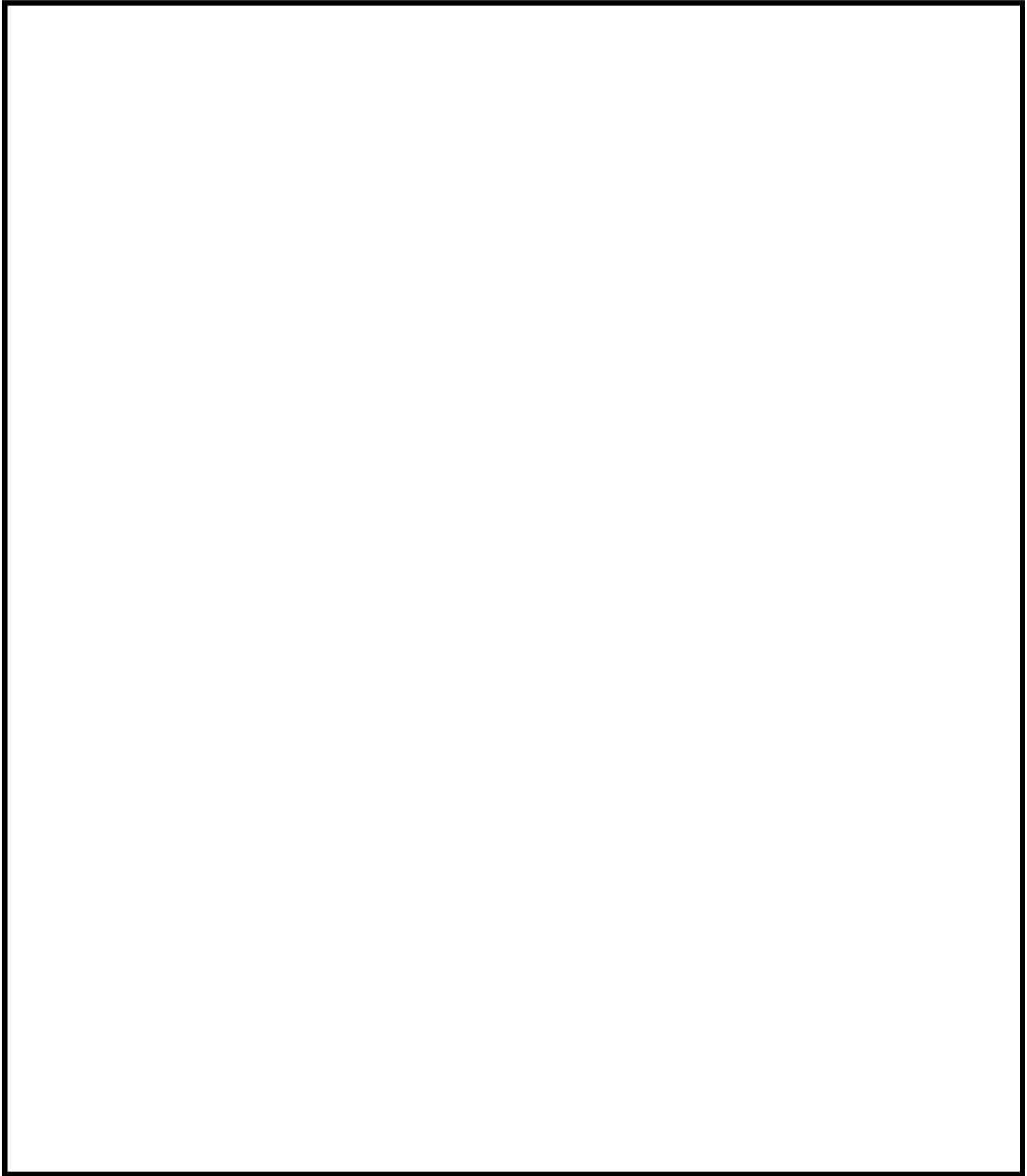
評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	詳細評価
		上部炉心支持柱	詳細評価
		上部炉心板	詳細評価
		下部炉心板	詳細評価
		下部炉心支持柱	詳細評価
		下部炉心支持板	詳細評価
		炉心槽下部接続部	詳細評価
重機器サポート	加圧器スカート溶接部	—	

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

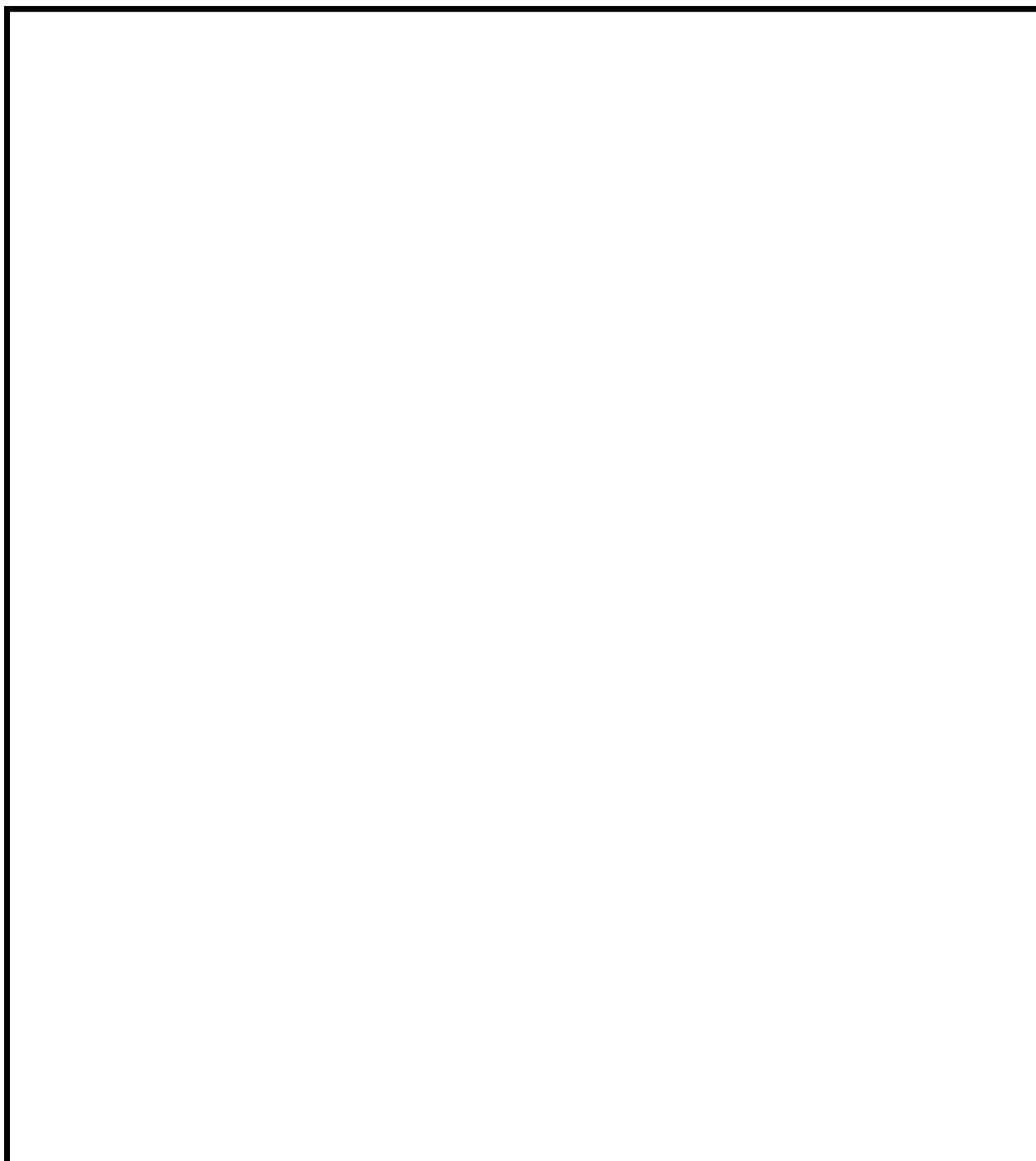
※2：環境中評価に用いた溶存酸素量は管理目標値である 0.005ppm、材料中の硫黄含有量は材料規格における最大値である 0.035%とした。

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

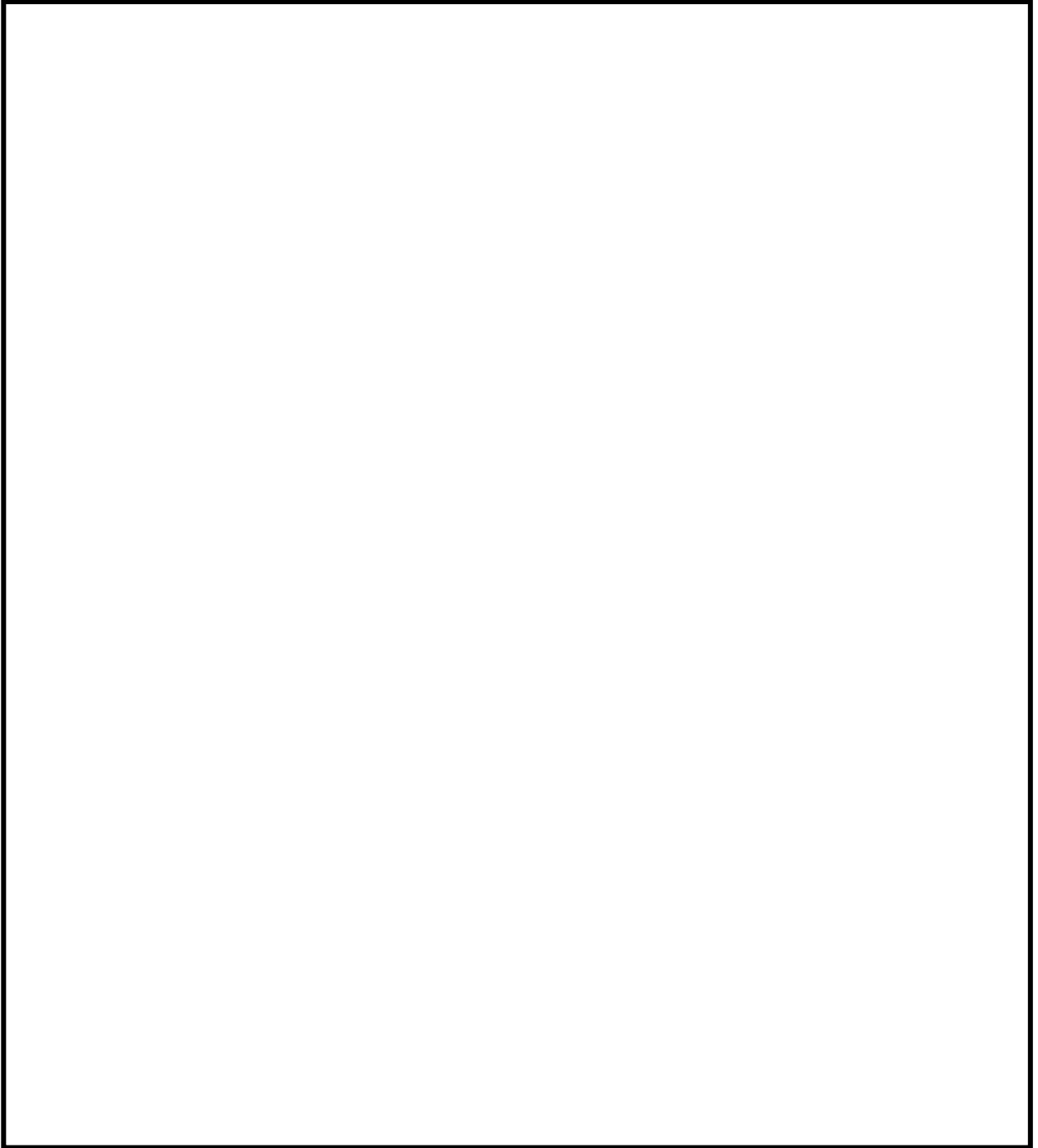
タイトル	1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について																			
説明	<p>1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 627 1310 826"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Standard Ver. 6.7-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="462 943 1319 1146"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351CF8 (SCS13A相当)</td> <td>117</td> <td>283.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="424 1536 1358 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																			



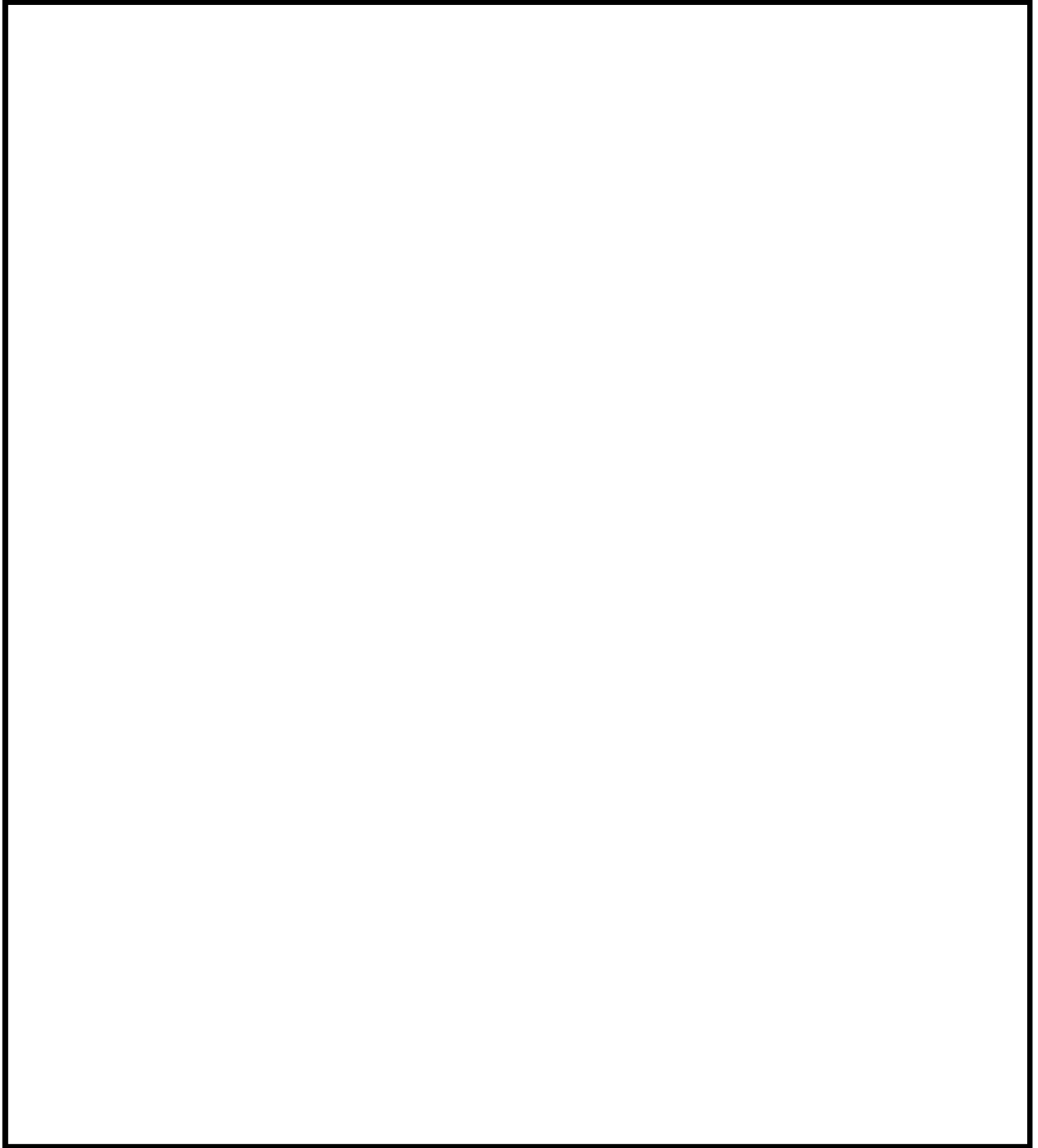
ケーシング吸込ノズル 評価点



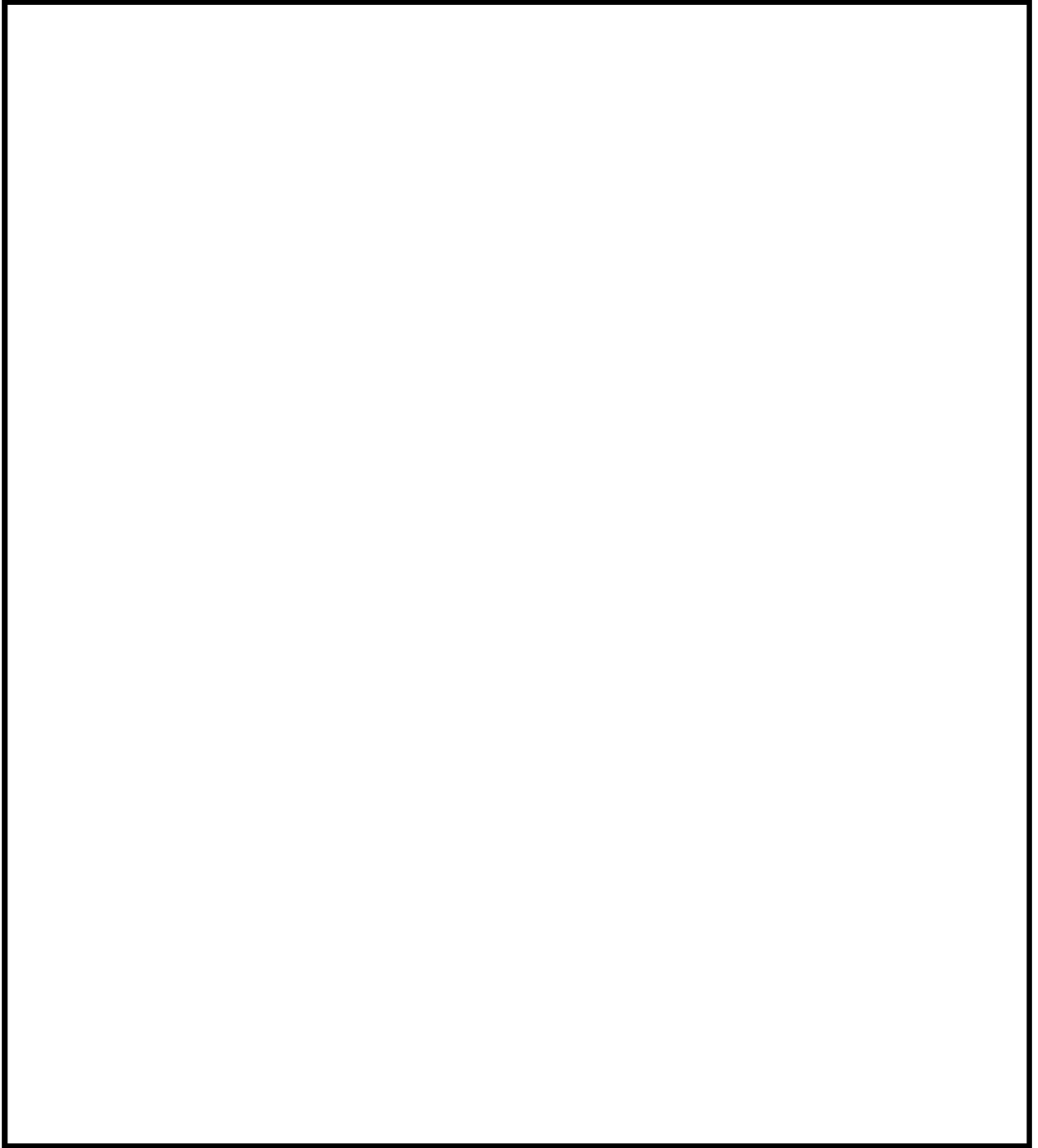
ケーシング吐出ノズル 評価点



ケーシング脚部 評価点 (1 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (2 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

最大疲労評価点の選定

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

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : 500618)

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

→通常UF : 0.001

吐出ノズル疲労評価結果 (評価点 : 8526)

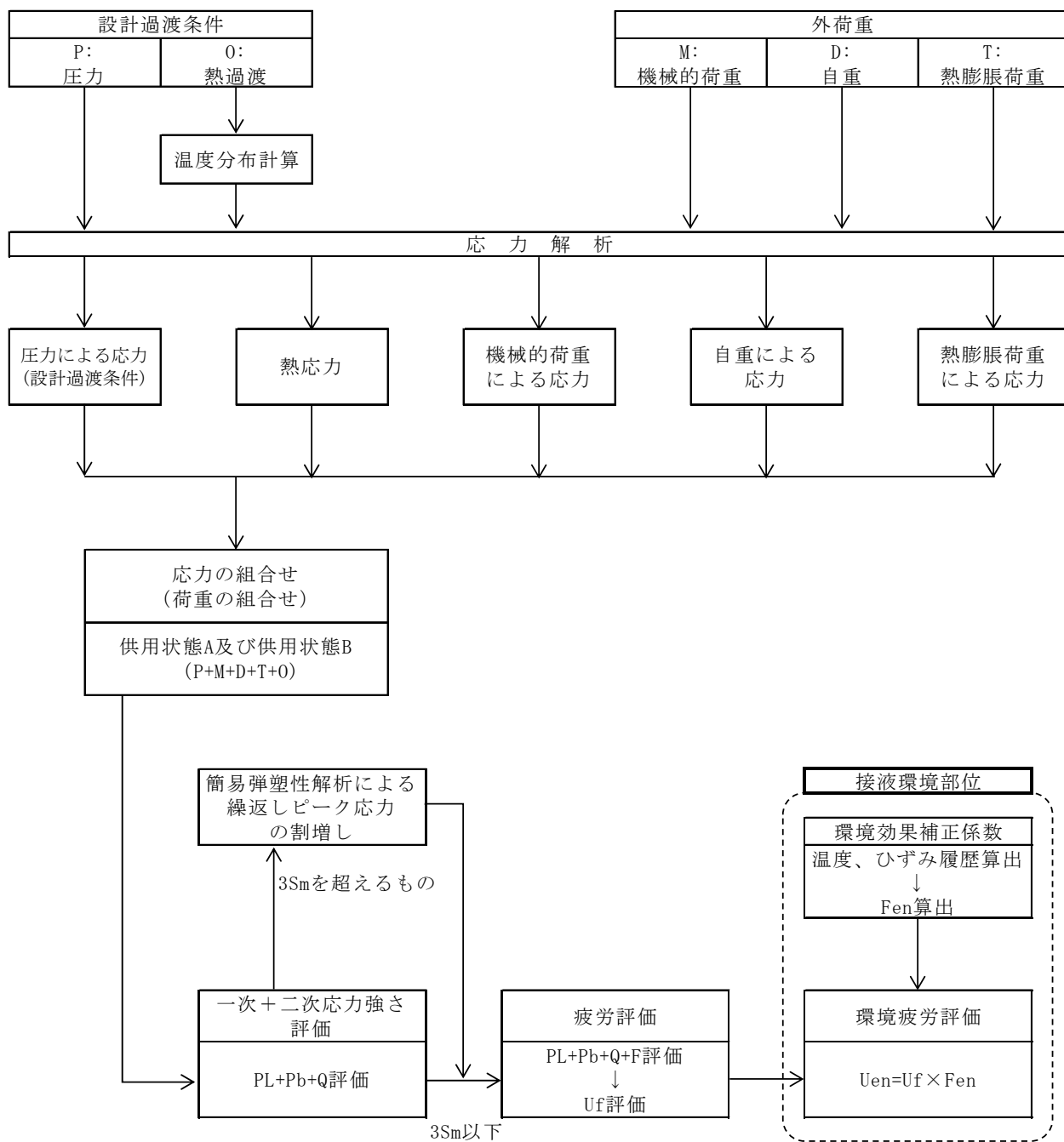
STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
370.9	-335.6	1.79	633.9	69	1710	0.04035
288.1	-297.1	1.49	435.5	61	7070	0.00863
245.8	-136.3	1.0	191.0	2	555000	0.00000
134.5	-136.3	1.0	135.4	2	2470000	0.00000
125.4	-106.6	1.0	116.0	7	4820000	0.00000
125.4	-58.2	1.0	91.8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

→通常 UF : 0.049

脚部 疲労評価結果 (評価点 : 509935)

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

→通常UF : 0.080



応力評価フロー

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	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
2I1	2D3	116.8	-503.7	1.00	310.3	342.4	2	35000	0.00006	10.025	0.00057
2I1	2G1	116.8	-330.1	1.00	223.5	246.6	2	207000	0.00001	11.371	0.00011
2I1	2E1	116.8	-285.1	1.00	201.0	221.8	2	400000	0.00000	11.181	0.00006
2I1	2D2	116.8	-279.1	1.00	197.9	218.4	2	440000	0.00000	9.308	0.00004
2I1	2J1	116.8	-248.3	1.00	182.6	201.5	2	765000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2F1	116.8	-215.9	1.00	166.4	183.6	2	1190000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2H1	116.8	-175.6	1.00	146.2	161.4	2	1820000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1I1	116.8	-172.2	1.00	144.5	159.5	47	1900000	0.00002	1.000	0.00002
1A1	1I1	113.7	-172.2	1.00	143.0	157.8	15	1960000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1B1	113.7	-165.5	1.00	139.6	154.1	54	2170000	0.00002	1.000	0.00002
NSS	1B1	0.0	-165.5	1.00	82.7	91.3	0	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00084	

→環境UF : 0.001

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	1A1	370.9	-335.6	1.79	633.9	699.5	69	1710	0.04035	11.173	0.45085
2I2	2I1	288.1	-297.1	1.49	435.5	480.7	61	7070	0.00863	7.112	0.06136
2D3	2B1	245.8	-136.3	1.00	191.0	210.8	2	555000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	134.5	-136.3	1.00	135.4	149.4	2	2470000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	125.4	-106.6	1.00	116.0	128.0	7	4820000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	125.4	-58.2	1.00	91.8	101.3	3	34800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	125.4	-54.5	1.00	90.0	99.3	2	47700000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	125.4	-53.7	1.00	89.6	98.9	6	52300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	125.4	-53.0	1.00	89.2	98.5	2	60200000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	125.4	-52.7	1.00	89.0	98.3	42	64300000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	43.6	-52.2	1.49	71.3	78.7	61	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.51221

→環境UF : 0.513

Ke 係数と環境疲労パラメータ (脚部 評価点9652) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	1A1	350.5	-330.4	1.81	615.7	679.5	69	1890	0.03651	11.201	0.40893
2I2	2I1	271.9	-291.5	1.52	428.8	473.2	61	7530	0.00810	7.080	0.05735
2D3	2B1	234.8	-141.3	1.00	188.0	207.5	2	621000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	122.6	-141.3	1.00	131.9	145.6	2	2770000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	120.1	-111.2	1.00	115.7	127.6	7	4890000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	120.1	-66.2	1.00	93.1	102.8	3	27800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	120.1	-60.8	1.00	90.5	99.8	2	43900000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	120.1	-60.1	1.00	90.1	99.4	50	46800000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	38.9	-57.4	1.52	73.3	80.9	61	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.46629

→環境UF : 0.467

タイトル	蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 817 1310 1097"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3 および Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="430 1211 1377 1478"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>SFVQ2A</td> <td>184</td> <td>269.3</td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> <td>321.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。</p> <p>管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施している。</p> <p>また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。</p> <p>解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3 および Ver. 2018	要素種類		要素次数	節点数	要素数	使用箇所	材料	設計応力強さ		Sm (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台	SFVQ2A	184	269.3	管板及び管板廻り	SFVQ1A	184	321.1
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3 および Ver. 2018																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
使用箇所	材料	設計応力強さ																				
		Sm (MPa)	温度 (°C)																			
給水入口管台	SFVQ2A	184	269.3																			
管板及び管板廻り	SFVQ1A	184	321.1																			

4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。

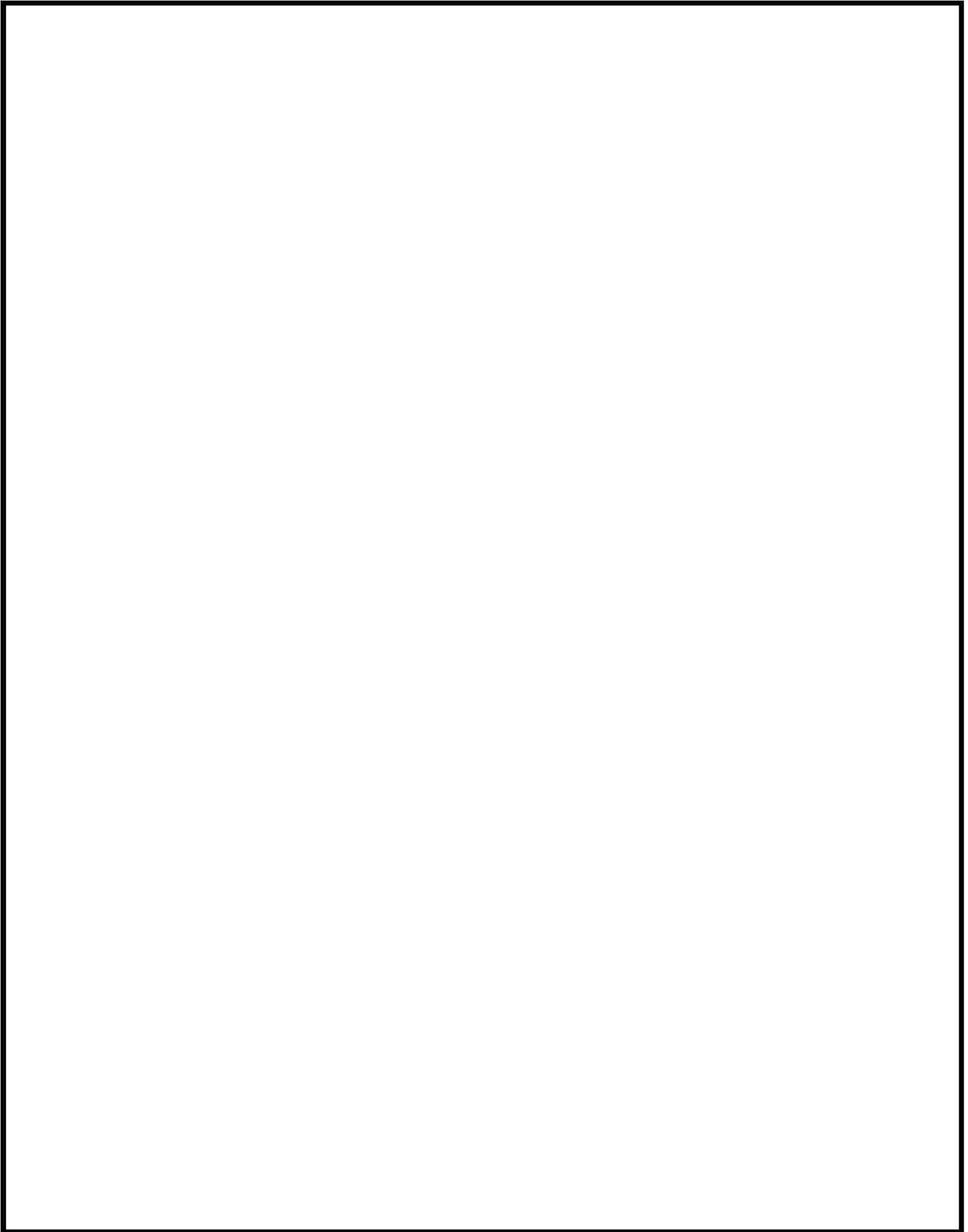
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境パラメータ

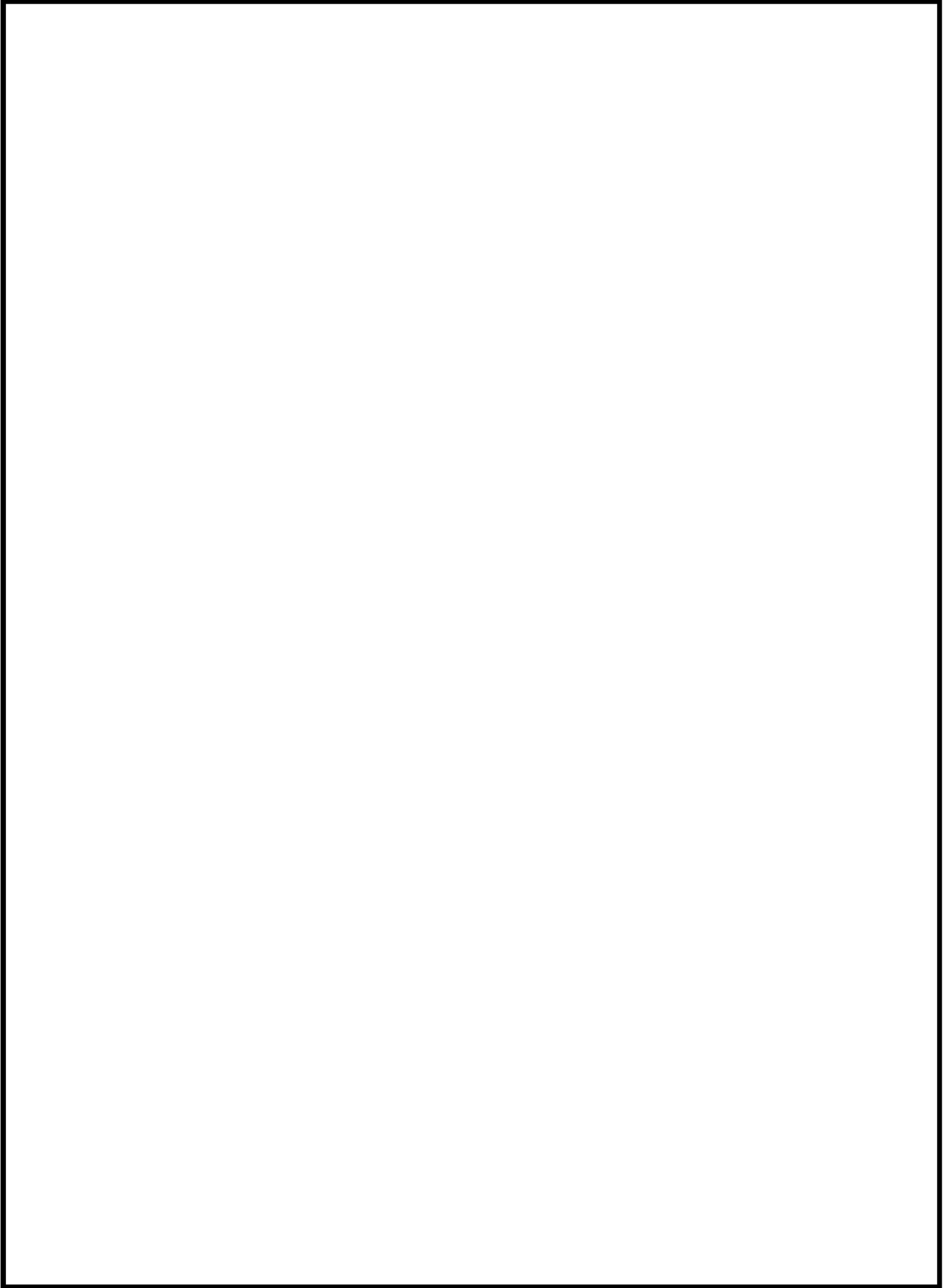
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。

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	0.03076	0.00003	0.02817
2	0.0	0.00152	0.00053
3	0.03428	0.00022	0.07905
4	0.0	0.00012	0.00018
P1 SIDE R/R* = 0.0		0.00918	
P1 SIDE R/R* = 1.0		0.09659	
P2 SIDE R/R* = 0.0		0.02643	
P2 SIDE R/R* = 1.0		0.02292	

疲労累積係数(最大)
(ただし、非接液)

許容値 $U_f=1.0$

→通常 U_f : 0.097

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2/2)
給水入口管台

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

疲労累積係数(最大)
(接液する評価点)

許容値 $U_f=1.0$

→通常 U_f : 0.096

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

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

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

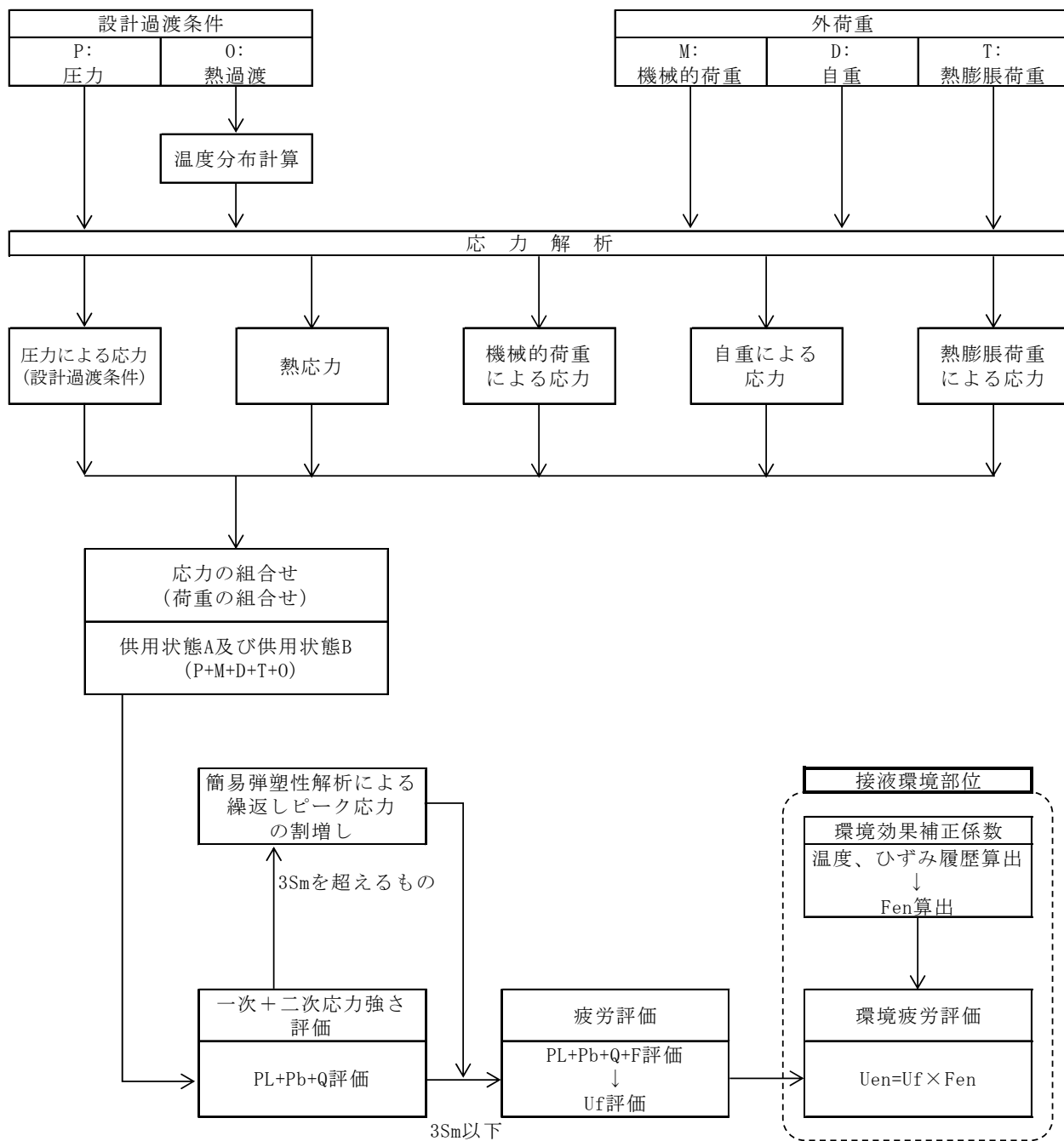
→通常UF : 0.097

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 9L)

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

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

→通常UF : 0.096



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2E1	2J1	368.2	-242.2	1.00	305.2	365.2	2	3650	0.00055	3.527	0.00193
2K1	2J1	320.9	-242.2	1.00	281.5	336.9	35	4720	0.00742	1.000	0.00742
2K1	1C1	320.9	-225.6	1.00	273.2	326.9	2	5180	0.00039	4.743	0.00183
2D5	1C1	258.6	-225.6	1.00	242.1	289.7	2	7420	0.00027	3.891	0.00105
2D3	1C1	229.8	-225.6	1.00	227.7	272.4	2	8900	0.00022	3.829	0.00086
2F1	1C1	218.8	-225.6	1.00	222.2	265.9	2	9570	0.00021	3.699	0.00077
1B1	1C1	174.2	-225.6	1.00	199.9	239.2	39	13600	0.00287	4.807	0.01379
2D1	1C1	167.8	-225.6	1.00	196.7	235.3	3	14300	0.00021	3.848	0.00081
2G1	1C1	161.4	-225.6	1.00	193.5	231.5	2	15200	0.00013	3.916	0.00052
2C2	1C1	154.2	-225.6	1.00	189.9	227.2	2	16200	0.00012	3.825	0.00047
2A1	1C1	153.4	-225.6	1.00	189.5	226.7	2	16300	0.00012	4.099	0.00050
1L1	1C1	128.9	-225.6	1.00	177.3	212.1	2	20500	0.00010	4.731	0.00046
1G1	1C1	128.3	-225.6	1.00	176.9	211.7	2	20600	0.00010	4.763	0.00046
2H2	1C1	125.7	-225.6	1.00	175.6	210.2	2	21100	0.00009	3.837	0.00036
2I1	1C1	103.2	-225.6	1.00	164.4	196.7	0	25900	0.00000	4.746	0.00000
1K1	1C1	102.7	-225.6	1.00	164.1	196.4	38	26000	0.00146	4.747	0.00694
1I1	1C1	97.3	-225.6	1.00	161.4	193.2	43	27400	0.00157	4.142	0.00650
1A1	1C1	96.4	-225.6	1.00	161.0	192.6	39	27600	0.00141	4.821	0.00681
1D1	1C1	96.0	-225.6	1.00	160.8	192.4	364	27700	0.01314	4.830	0.06347
1D1	2H1	96.0	-199.3	1.00	147.6	176.6	2	36100	0.00006	3.849	0.00021
1D1	1H1	96.0	-193.0	1.00	144.5	172.9	0	38600	0.00000	4.875	0.00000
1D1	1E1	96.0	-181.3	1.00	138.7	165.9	2	43800	0.00005	4.889	0.00022
1D1	2C2	96.0	-180.1	1.00	138.0	165.2	2	44400	0.00005	4.901	0.00022
1D1	1G1	96.0	-177.2	1.00	136.6	163.4	2	45900	0.00004	4.917	0.00021
1D1	1H1	96.0	-161.5	1.00	128.7	154.1	0	58300	0.00000	4.915	0.00000
1D1	1E1	96.0	-155.9	1.00	125.9	150.7	2	65000	0.00003	4.889	0.00015
1D1	1F1	96.0	-137.4	1.00	116.7	139.6	2	94500	0.00002	4.920	0.00010
1D1	1A1	96.0	-79.6	1.00	87.8	105.1	39	288000	0.00014	4.685	0.00063
1D1	NSS	96.0	0.0	1.00	48.0	57.4	113	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.11671

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

→環境UF : 0.117

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2T1	66.2	-779.1	1.00	422.6	494.3	39	1470	0.02653	2.255	0.05982
1B1	2T1	56.0	-779.1	1.00	417.5	488.3	16	1520	0.01053	1.848	0.01945
1B1	2G1	56.0	-529.8	1.00	292.9	342.5	2	4480	0.00045	1.306	0.00058
1B1	2D5	56.0	-528.6	1.00	292.3	341.8	2	4510	0.00044	1.289	0.00057
1B1	2E1	56.0	-528.2	1.00	292.1	341.6	2	4510	0.00044	1.363	0.00060
1B1	2D3	56.0	-513.1	1.00	284.5	332.8	2	4910	0.00041	1.572	0.00064
1B1	1N1	56.0	-484.0	1.00	270.0	315.8	15	5740	0.00261	2.110	0.00551
NSS	1N1	0.0	-484.0	1.00	242.0	283.0	76	7950	0.00956	2.110	0.02017
1C1	1N1	-24.4	-484.0	1.00	229.8	268.7	546	9270	0.05890	2.122	0.12498
1N1	1N1	-26.9	-484.0	1.00	228.6	267.3	306	9420	0.03248	2.256	0.07329
1N1	2B2	-26.9	-448.6	1.00	210.8	246.6	3	12200	0.00025	1.964	0.00048
1N1	1D1	-26.9	-151.5	1.00	62.3	72.9	546	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.30610

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

→環境UF : 0.307

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

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

1. 概要

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

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

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

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

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

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

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図1に示す。

熱成層応力の解析は3次元のFEM解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

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

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

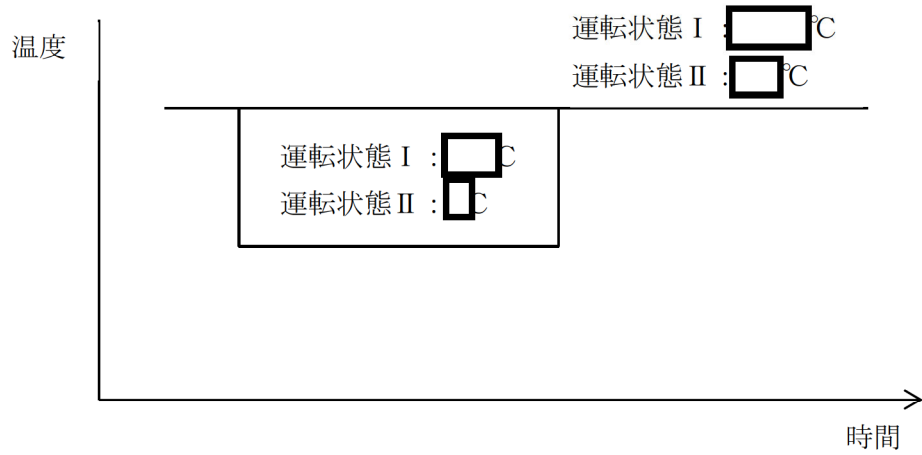
解析に使用したモデルを図2、3、4に示す。

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 2018を使用する。

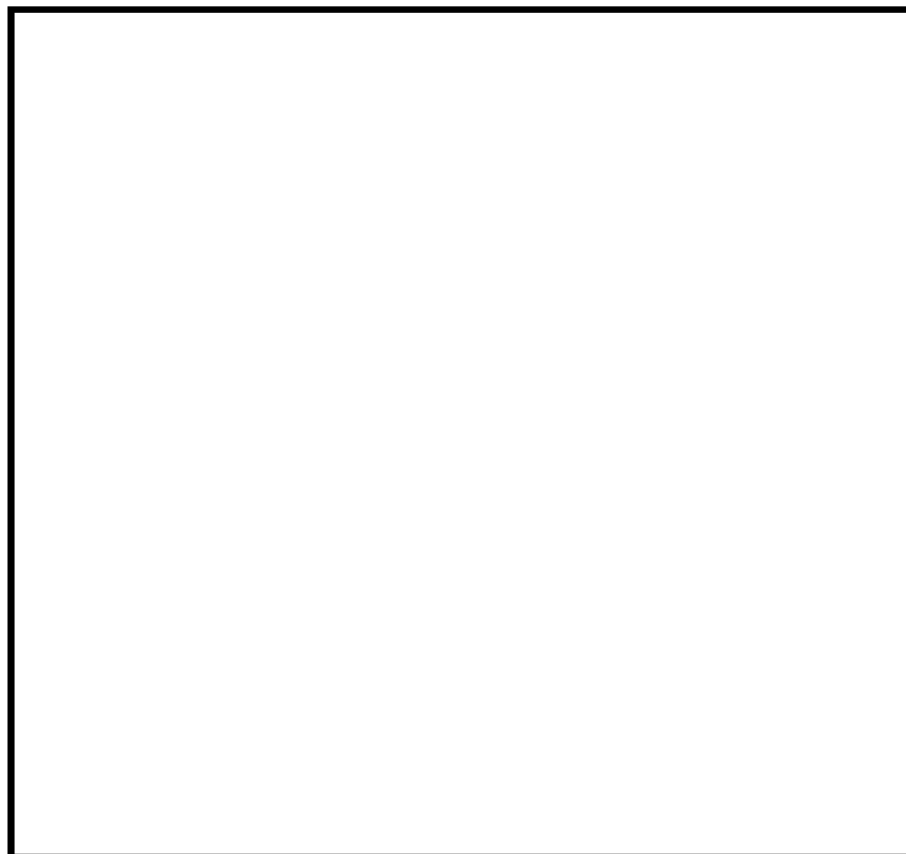
(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



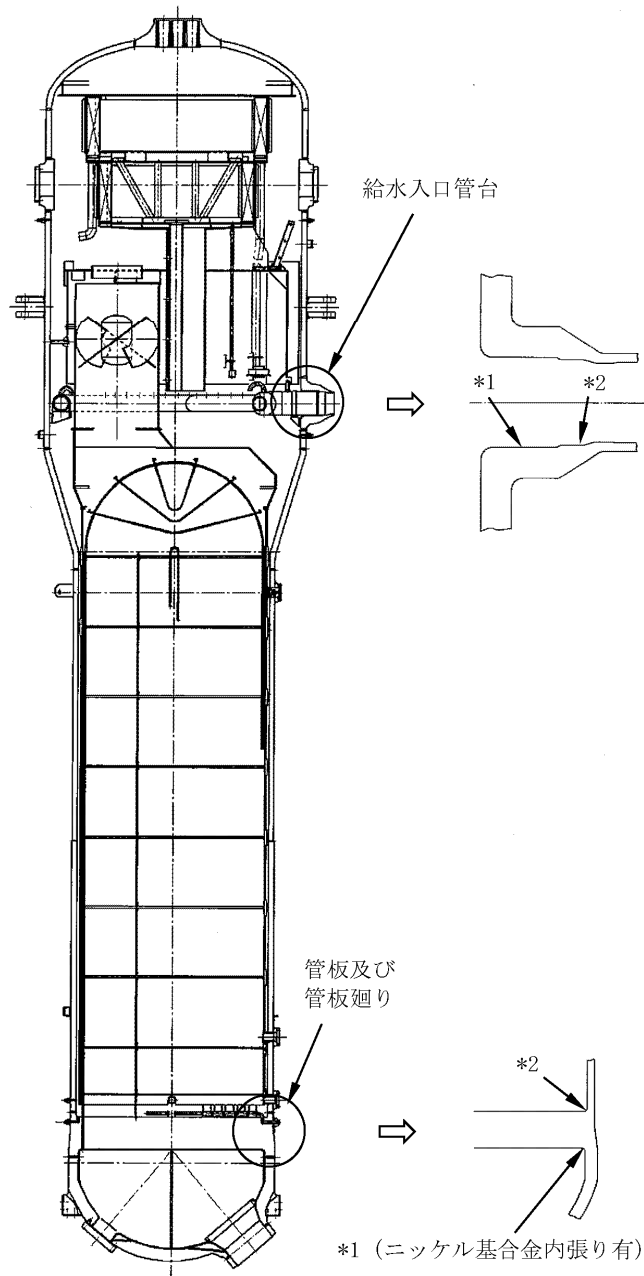
(4) 熱伝達率

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



(5) 物性値

熱成層による応力の解析に用いる材料の物性値は表1に示すとおりである。



* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

図1 川内原子力発電所1号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位

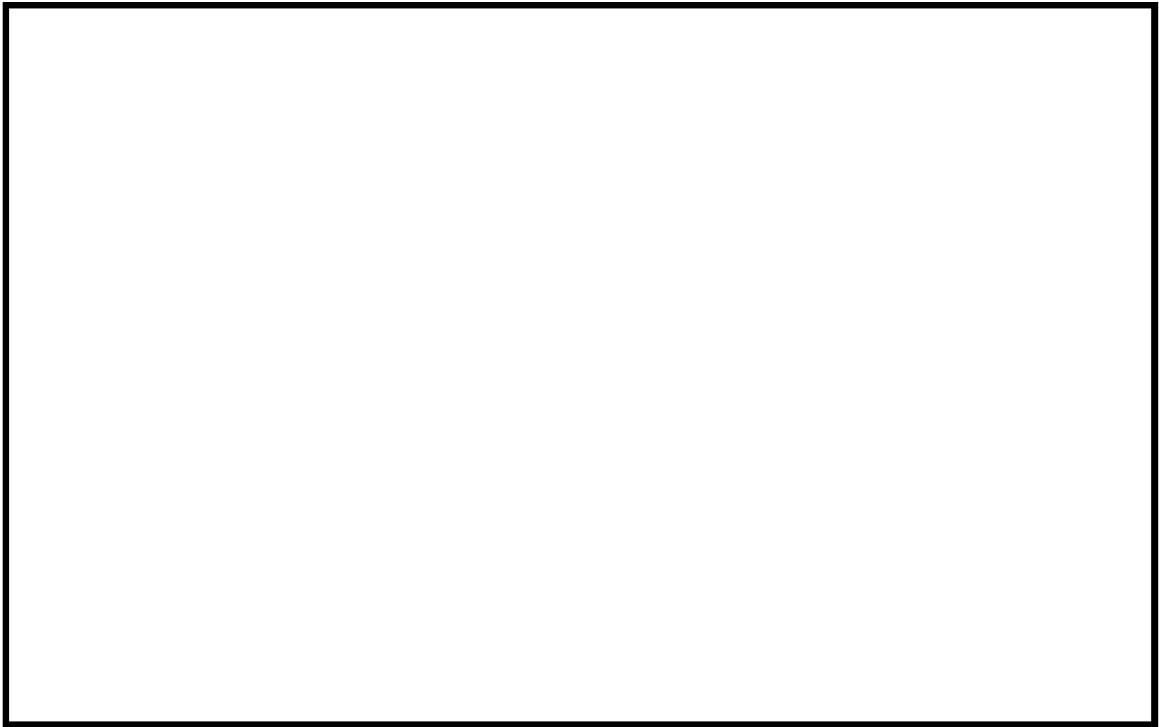


図2 解析モデル (全体図)



図3 解析モデル (断面図)

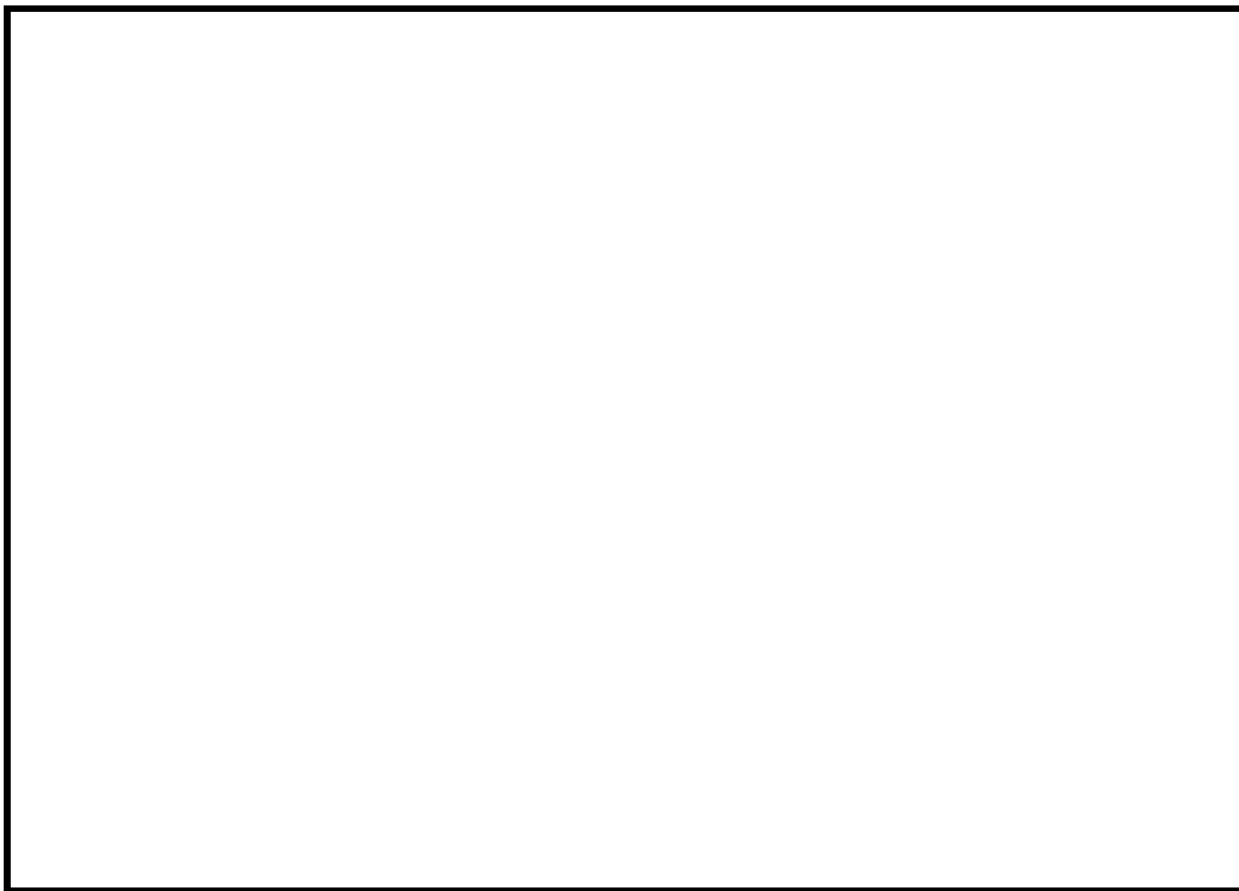


図4 解析モデル (拡大図)

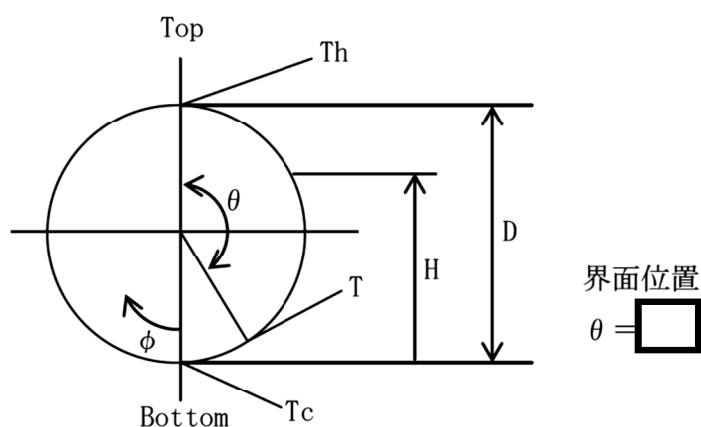
表1 材料物性値

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

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

(6) 温度プロファイル

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



3.2 過渡条件

(1) 過渡回数

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

(2) 温度条件

低温水の微小給水・給水停止の繰返しによる熱成層の発生・消滅を評価する。

4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価結果を表2に、過渡記号を表3に示す。

以上

表2 給水入口管台環境疲労評価結果(環境U. F. が最大となる評価点)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2T1	66.2	-779.1	1.00	422.6	494.3	39	1470	0.02653	2.255	0.05982
1B1	2T1	56.0	-779.1	1.00	417.5	488.3	16	1520	0.01053	1.848	0.01945
1B1	2G1	56.0	-529.8	1.00	292.9	342.5	2	4480	0.00045	1.306	0.00058
1B1	2D5	56.0	-528.6	1.00	292.3	341.8	2	4510	0.00044	1.289	0.00057
1B1	2E1	56.0	-528.2	1.00	292.1	341.6	2	4510	0.00044	1.363	0.00060
1B1	2D3	56.0	-513.1	1.00	284.5	332.8	2	4910	0.00041	1.572	0.00064
1B1	1N1	56.0	-484.0	1.00	270.0	315.8	15	5740	0.00261	2.110	0.00551
NSS	1N1	0.0	-484.0	1.00	242.0	283.0	76	7950	0.00956	2.110	0.02017
1C1	1N1	-24.4	-484.0	1.00	229.8	268.7	546	9270	0.05890	2.122	0.12498
1N1	1N1	-26.9	-484.0	1.00	228.6	267.3	306	9420	0.03248	2.256	0.07329
1N1	2B2	-26.9	-448.6	1.00	210.8	246.6	3	12200	0.00025	1.964	0.00048
1N1	1D1	-26.9	-151.5	1.00	62.3	72.9	546	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.30610

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

→環境UF : 0.307

表 3 過渡記号

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

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

2. 材料物性値

材料物性値を以下に示す。

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

3. 最大評価点の選定

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

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

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

解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付1に示す。

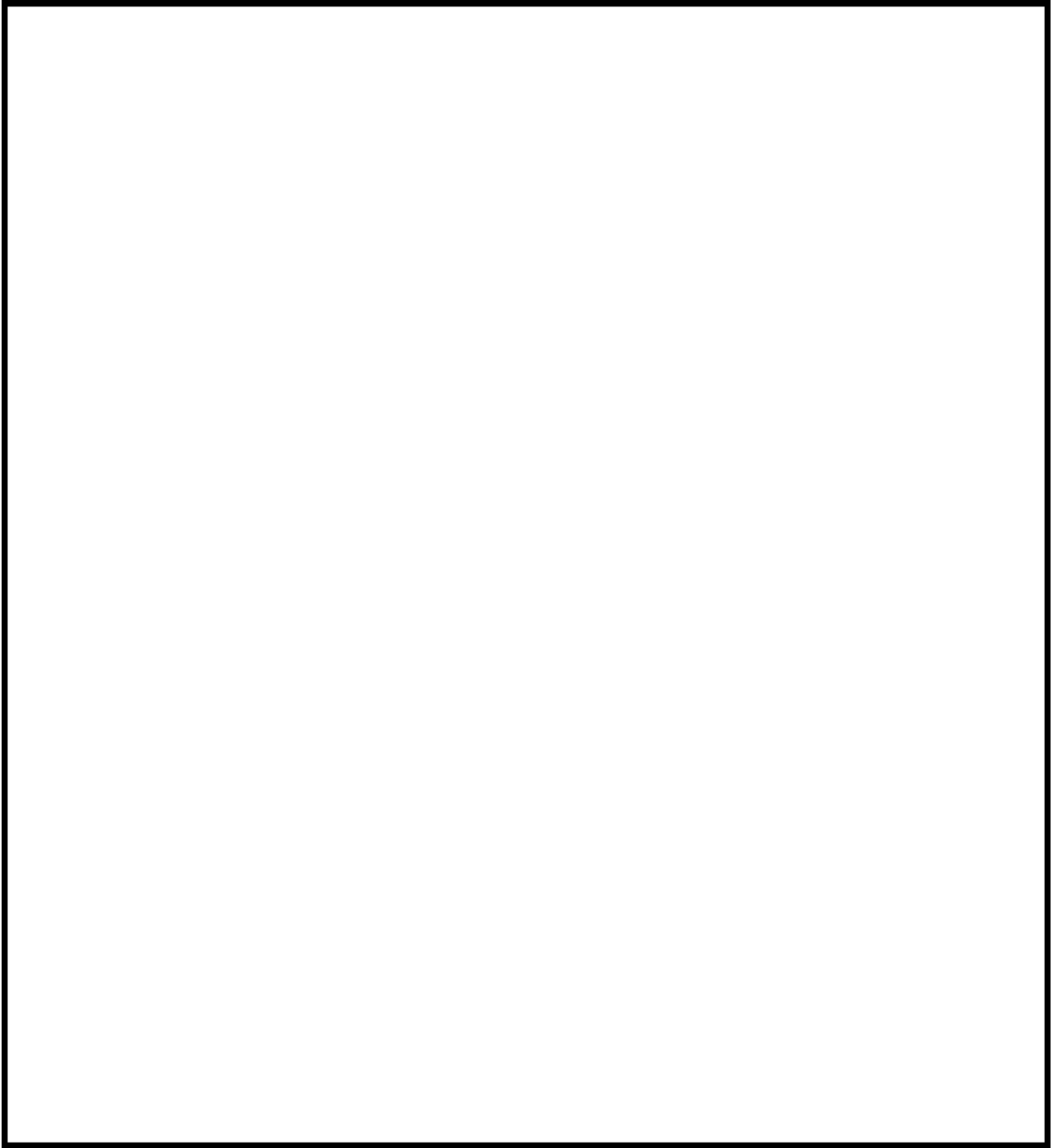
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. K e 係数および環境評価パラメータ

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



加圧器 スプレイライン用管台 評価点

スプレイライン用管台 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$

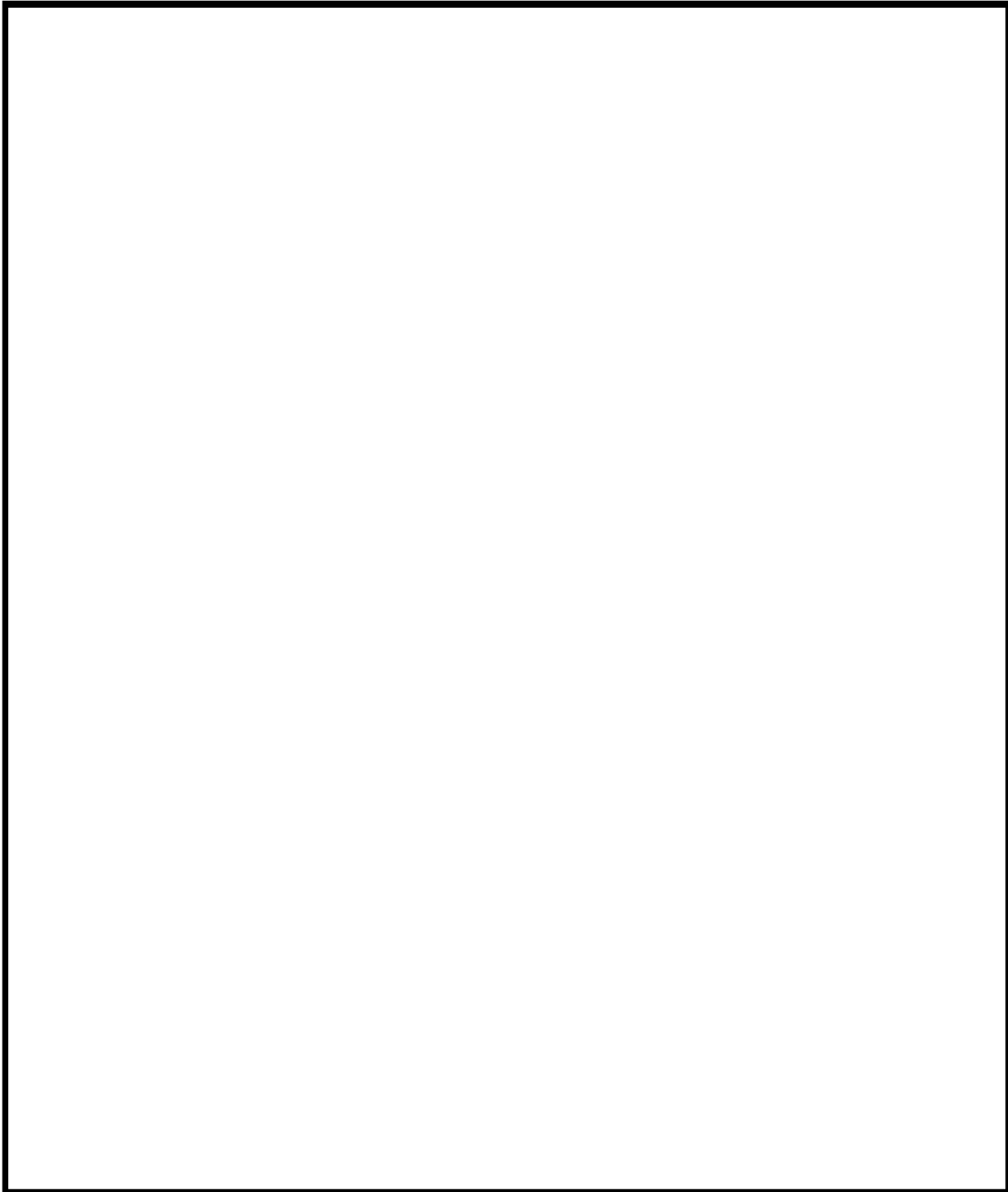
スプレイライン用管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

評価点 - 19
(S12)

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

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

→通常UF : 0.049



加圧器サージ用管台 評価点

サージ用管台 最大評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$

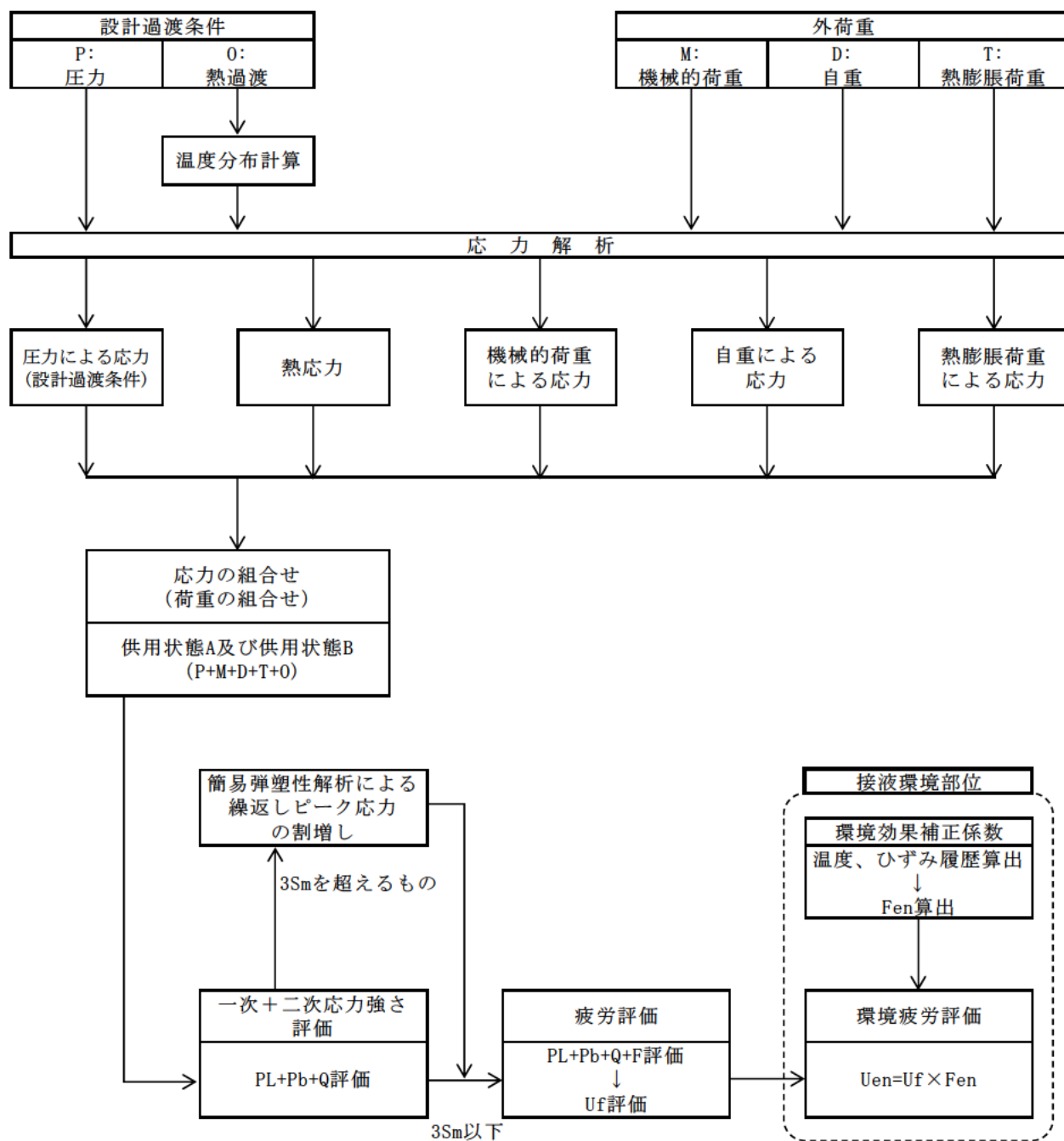
サージ用管台 疲労評価結果 (評価点: 1)

評価点 - 1
(S31)

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

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

→通常UF : 0.033



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【スプレイライン用管台 (評価点: 5)】

通過条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
2E2	2E2	558.2	-382.4	2.13	1000.0	1127.2	2	370	0.00541	5.795	0.03132
1B8	1B6	305.1	-129.0	1.00	217.0	244.6	69	217000	0.00032	5.190	0.00165
1A6	1B5	292.9	-127.5	1.00	210.2	236.9	69	265000	0.00026	7.555	0.00197
2G1	1B7	288.4	-126.4	1.00	207.4	233.8	2	288000	0.00001	5.556	0.00004
1B2	1B7	279.5	-126.4	1.00	202.9	228.7	67	330000	0.00020	6.657	0.00135
1B2	1B4	279.5	-111.7	1.00	195.6	220.5	2	415000	0.00000	9.495	0.00005
1B3	1B4	278.9	-111.7	1.00	195.3	220.1	67	419000	0.00016	9.087	0.00145
1B3	1M1	278.9	-111.4	1.00	195.1	220.0	2	421000	0.00000	13.024	0.00006
1A7	1M1	276.8	-111.4	1.00	194.1	218.8	69	435000	0.00016	13.347	0.00212
1A5	1M1	275.2	-111.4	1.00	193.3	217.9	69	446000	0.00015	12.989	0.00201
1B4	1M1	272.0	-111.4	1.00	191.7	216.1	69	470000	0.00015	12.360	0.00181
1B5	1M1	267.0	-111.4	1.00	189.2	213.3	69	512000	0.00013	1.000	0.00013
2A1	1M1	261.5	-111.4	1.00	186.5	210.2	7	567000	0.00001	1.000	0.00001
2H1	1M1	256.6	-111.4	1.00	184.0	207.4	2	624000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1M1	252.1	-111.4	1.00	181.7	204.9	6	680000	0.00001	1.000	0.00001
1L1	1M1	251.7	-111.4	1.00	181.5	204.6	2	686000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1M1	251.0	-111.4	1.00	181.2	204.3	798	695000	0.00115	1.000	0.00115
1G1	1M1	250.7	-111.4	1.00	181.1	204.1	3	698000	0.00000	1.000	0.00000
1L2	1M1	250.5	-111.4	1.00	181.0	204.0	2	701000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1M1	249.9	-111.4	1.00	180.7	203.6	5	709000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	1M1	248.9	-111.4	1.00	180.1	203.1	809	724000	0.00112	1.000	0.00112
1M1	1M1	248.8	-111.4	1.00	180.1	203.0	988	725000	0.00136	1.000	0.00136
1M1	1C1	248.8	-111.2	1.00	180.0	202.9	809	728000	0.00111	1.000	0.00111
1M1	1A6	248.8	-105.9	1.00	177.4	199.9	69	808000	0.00009	1.000	0.00009
1M1	2G1	248.8	-102.3	1.00	175.6	197.9	2	868000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1B3	248.8	-99.5	1.00	174.2	196.3	69	920000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1E1	248.8	-97.7	1.00	173.3	195.3	5	953000	0.00001	1.000	0.00001
1M1	1A7	248.8	-93.7	1.00	171.3	193.1	69	1010000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1A5	248.8	-92.5	1.00	170.7	192.4	69	1020000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1D1	248.8	-91.2	1.00	170.0	191.7	798	1040000	0.00077	1.000	0.00077
1M1	1L2	248.8	-89.5	1.00	169.1	190.7	2	1050000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1B2	248.8	-88.9	1.00	168.8	190.3	20	1060000	0.00002	1.000	0.00002
1B6	1B2	245.8	-88.9	1.00	167.3	188.6	49	1090000	0.00004	1.000	0.00004
1B6	1A4	245.8	-81.1	1.00	163.4	184.2	20	1180000	0.00002	1.000	0.00002
2C1	1A4	244.1	-81.1	1.00	162.6	183.2	2	1200000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1A4	237.1	-81.1	1.00	159.1	179.3	47	1290000	0.00004	1.000	0.00004
1B7	1A3	237.1	-78.7	1.00	157.9	178.0	22	1320000	0.00002	1.000	0.00002
1A4	1A3	233.1	-78.7	1.00	155.9	175.7	47	1380000	0.00003	1.000	0.00003
1A4	1G1	233.1	-60.0	1.00	146.5	165.2	3	1690000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1F1	233.1	-48.2	1.00	140.6	158.5	6	1930000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1A2	233.1	-34.5	1.00	133.8	150.8	13	2380000	0.00001	1.000	0.00001
1B9	1A2	223.7	-34.5	1.00	129.1	145.5	56	2770000	0.00002	1.000	0.00002
1B9	1L1	223.7	-27.5	1.00	125.6	141.6	2	3120000	0.00000	1.000	0.00000

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
1B9	2J2	223.7	-12.1	1.00	117.9	132.9	11	4110000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	2J2	194.2	-12.1	1.00	103.2	116.3	50	8440000	0.00001	1.000	0.00001
1A3	2A1	194.2	-7.1	1.00	100.7	113.5	7	9750000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1B8	194.2	-6.1	1.00	100.2	112.9	12	10000000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	1B8	174.2	-6.1	1.00	90.2	101.7	57	33000000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	2H1	174.2	-5.3	1.00	89.8	101.2	2	35700000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	1B1	174.2	-0.6	1.00	87.4	98.5	10	58900000	0.00000	1.000	0.00000
1BB	1B1	142.3	-0.6	1.00	71.4	80.5	59	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.05004

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

→環境UF : 0.051

【サージ用管台 (評価点: 1)】

選流条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	2H1	0.0	-624.1	1.34	419.4	472.7	2	7560	0.00026	6.133	0.00162
NSS	1B2	0.0	-595.8	1.33	397.1	447.7	128	9410	0.01360	3.573	0.04861
2G1	1B2	-65.9	-595.8	1.28	338.4	381.4	2	20400	0.00010	9.659	0.00095
2E1	1B2	-118.3	-595.8	1.22	291.7	328.8	2	42900	0.00005	4.282	0.00020
2D3	1B2	-118.6	-595.8	1.22	291.4	328.5	2	43100	0.00005	7.946	0.00037
1C1	1B2	-145.0	-595.8	1.22	275.1	310.1	694	58300	0.01190	8.999	0.10712
1C1	1A2	-145.0	-590.9	1.23	273.3	308.0	115	60500	0.00190	8.840	0.01680
2B1	1A2	-158.0	-590.9	1.23	265.2	299.0	4	71200	0.00006	8.867	0.00050
1D1	1A2	-164.7	-590.9	1.23	261.1	294.3	295	77600	0.00380	6.188	0.02353
1D1	2B1	-164.7	-599.1	1.21	259.7	292.7	2	80000	0.00002	7.224	0.00018
1A2	2D3	-180.7	-518.9	1.23	207.2	233.6	2	290000	0.00001	7.463	0.00005
1A2	2G1	-180.7	-489.5	1.23	189.2	213.3	2	512000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L1	-180.7	-478.2	1.23	182.3	205.5	2	666000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	-180.7	-450.4	1.23	165.2	186.2	4	1140000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2A1	-180.7	-444.5	1.23	161.6	182.2	7	1320000	0.00001	1.000	0.00001
1A2	1L2	-180.7	-426.3	1.23	150.5	169.6	2	1550000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1G1	-180.7	-399.9	1.23	134.3	151.4	3	2340000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1D1	-180.7	-395.9	1.23	131.8	148.6	392	2530000	0.00015	1.000	0.00015
1B2	1D1	-193.1	-395.9	1.22	123.7	139.5	406	3330000	0.00012	1.000	0.00012
1B2	1C1	-193.1	-394.2	1.22	122.7	138.3	422	3450000	0.00012	1.000	0.00012
1D1	1C1	-164.7	-394.2	1.00	114.7	129.3	387	4620000	0.00008	1.000	0.00008
1D1	1P1	-164.7	-387.9	1.00	111.6	125.7	6	5300000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1E1	-164.7	-354.7	1.00	95.0	107.1	5	16500000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2C1	-164.7	-342.8	1.00	89.0	100.4	2	40400000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2P1	-164.7	-321.9	1.00	78.6	88.6	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.20043

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

→環境UF : 0.201

タイトル	機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去出口配管貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位にかかわる負荷を算出し、材料力学公式（参考文献：Formulas for Stress and Strain, Raymond J. Roark他著）と、PVE-3100に準じてPVB-3130の応力集中係数にかかわる規定を用いた疲労評価により算出している。</p> <p>余熱除去出口配管貫通部の仕様、荷重および疲労評価結果を添付 1 に示す。</p> <p>主蒸気・主給水管貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位の発生変位を算出し、「Kellogg」の計算式とPVE-3810の疲労評価にかかわる規定を用いて算出している。</p> <p>主蒸気・主給水ライン貫通部の仕様および疲労評価結果を添付 2 に示す。</p>

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

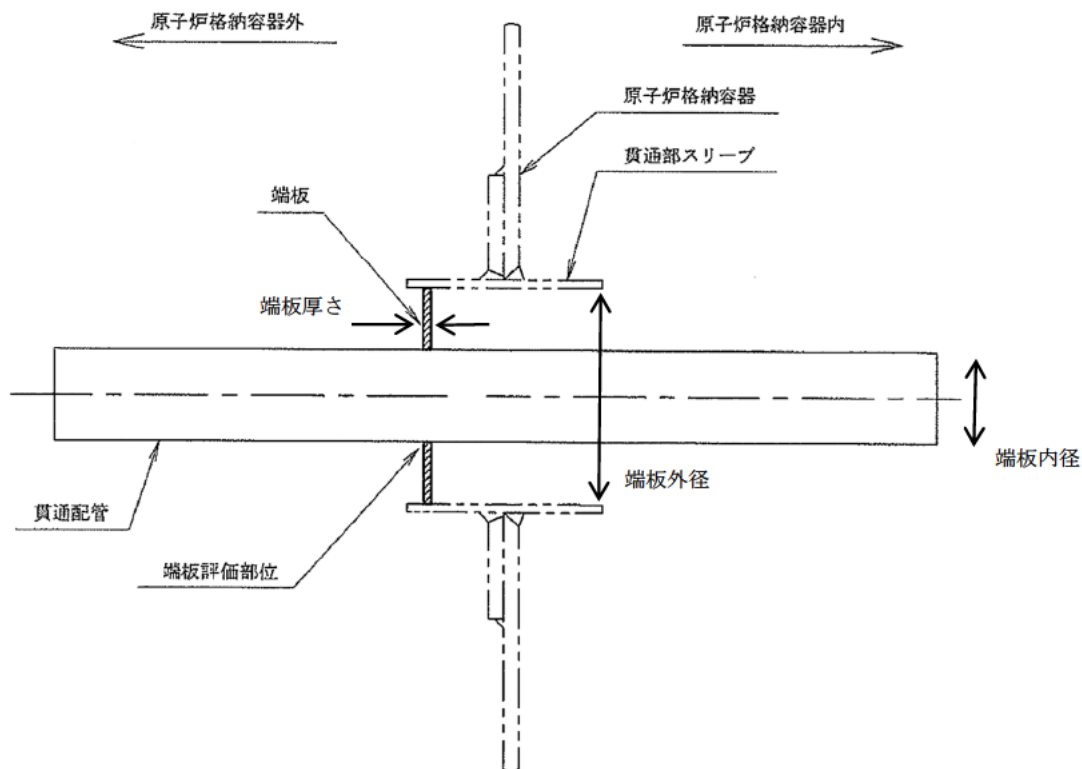


図1 余熱除去出口配管貫通部の基本寸法箇所

表1 余熱除去出口配管貫通部の仕様

格納容器貫通部	格納容器最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°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	-4	3	-7	2	24	-6

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

表3 端板の疲労評価結果

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

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

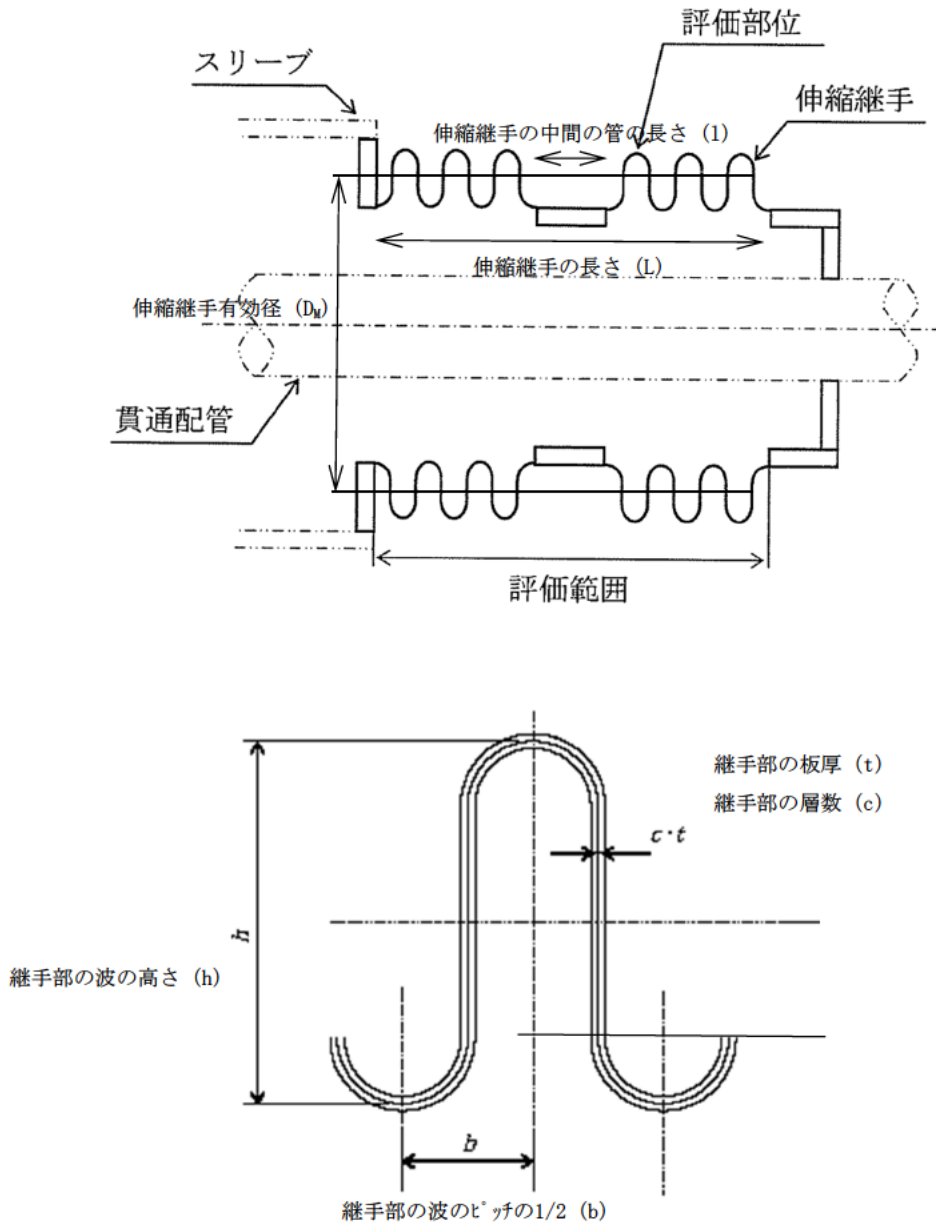


図 2 主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所

表4 主蒸気・主給水管貫通部の仕様

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

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

表5 伸縮継手に作用する変位量

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

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

変位量による応力および最高使用圧力による応力を考慮して、PVE-3800で示す以下の式により許容繰り返し回数を求める。

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

ここで、 σ = 全伸縮量による応力 + 最高使用圧力による応力

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

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

ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

伸縮継手の疲労評価結果を表6に示す。

表6 伸縮継手の疲労評価結果

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

タイトル	加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠について													
説明	<p>加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>【通常疲労】</p> <table border="1" data-bbox="472 898 1310 1292"> <tr> <td 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="4"></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>【熱成層を考慮した環境疲労】</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. Ke係数

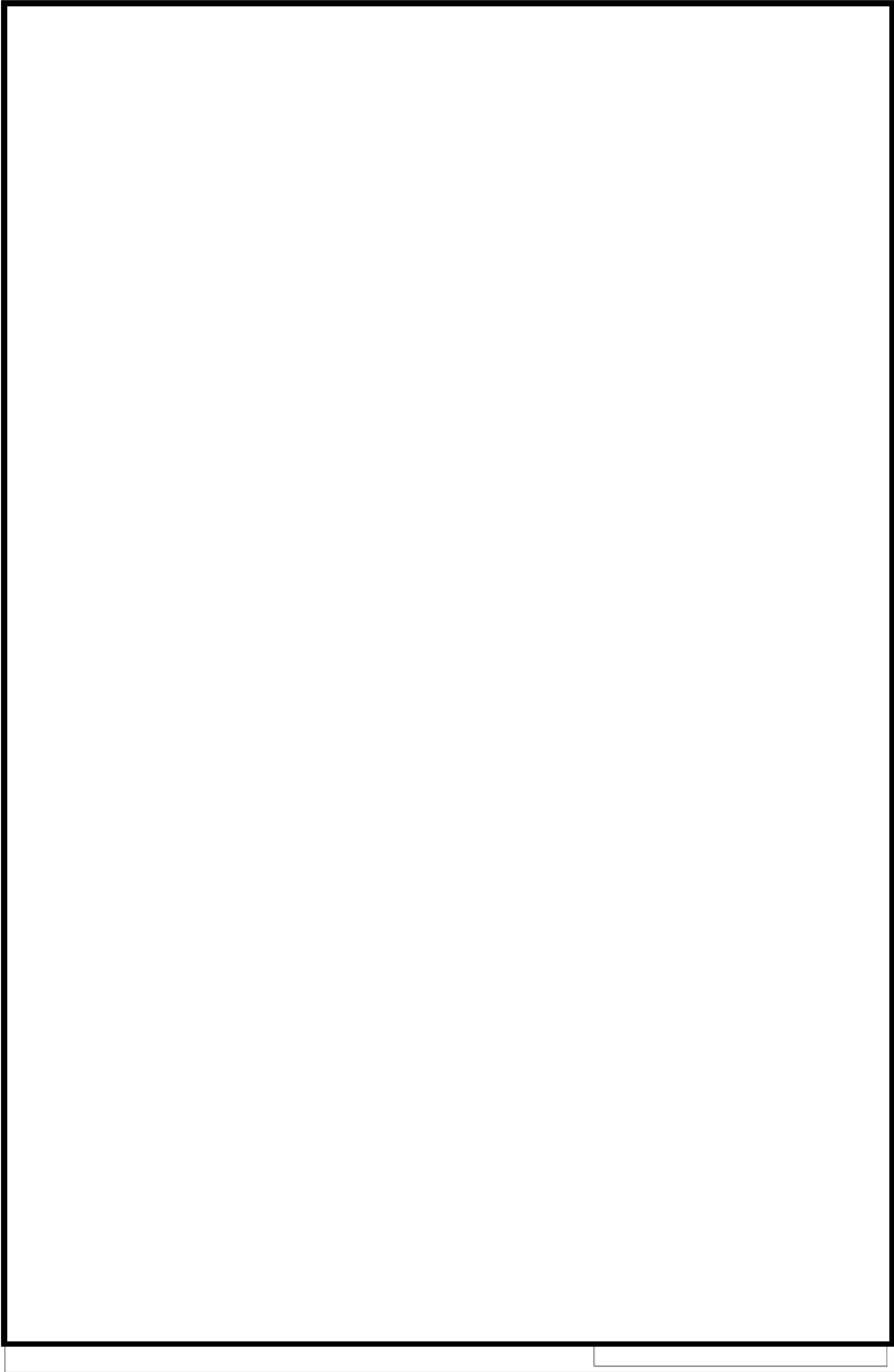
環境疲労評価において用いたKe係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

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



加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



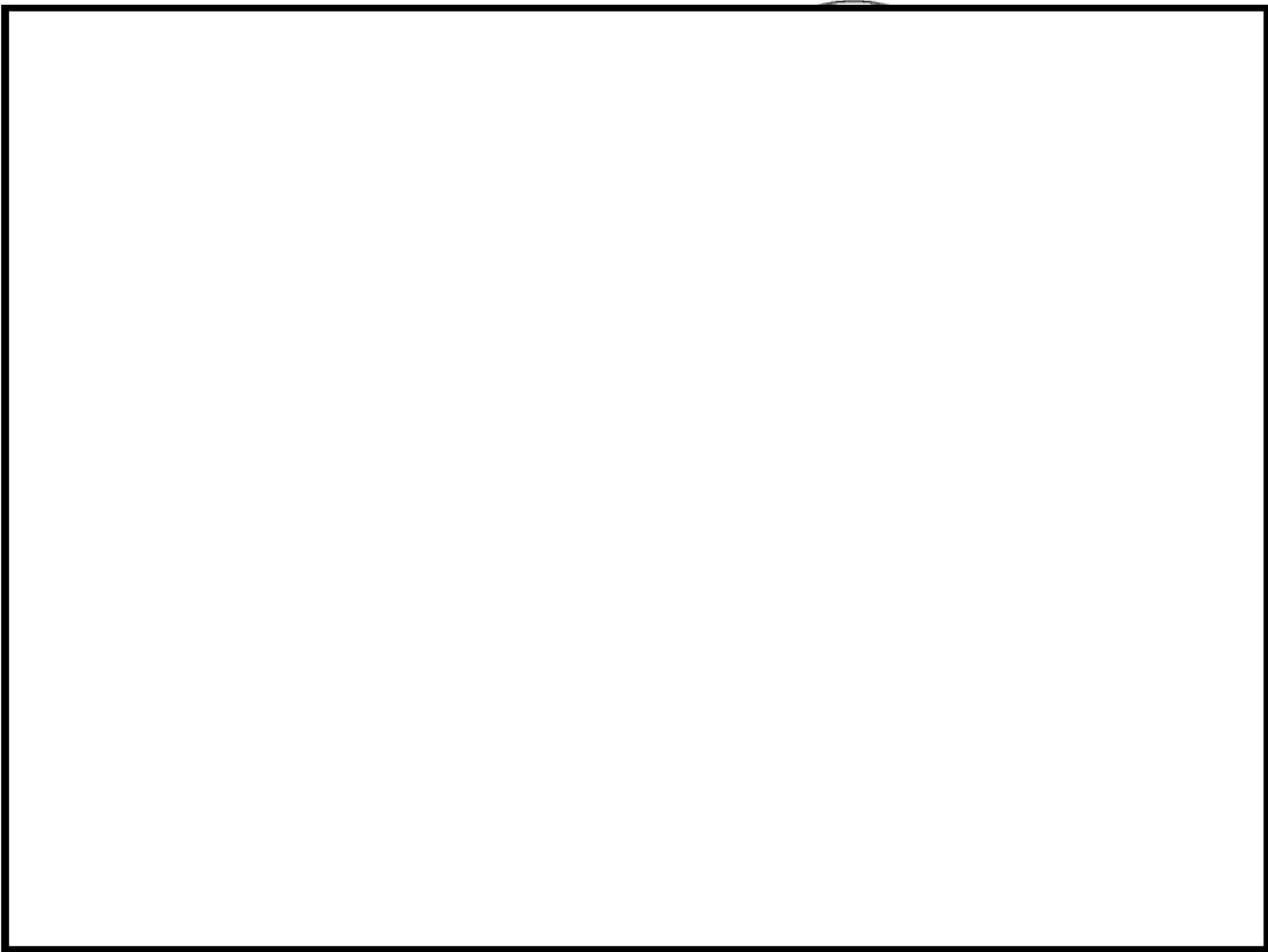
加圧器サージ配管 解析モデル (2/2)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (1 / 6)



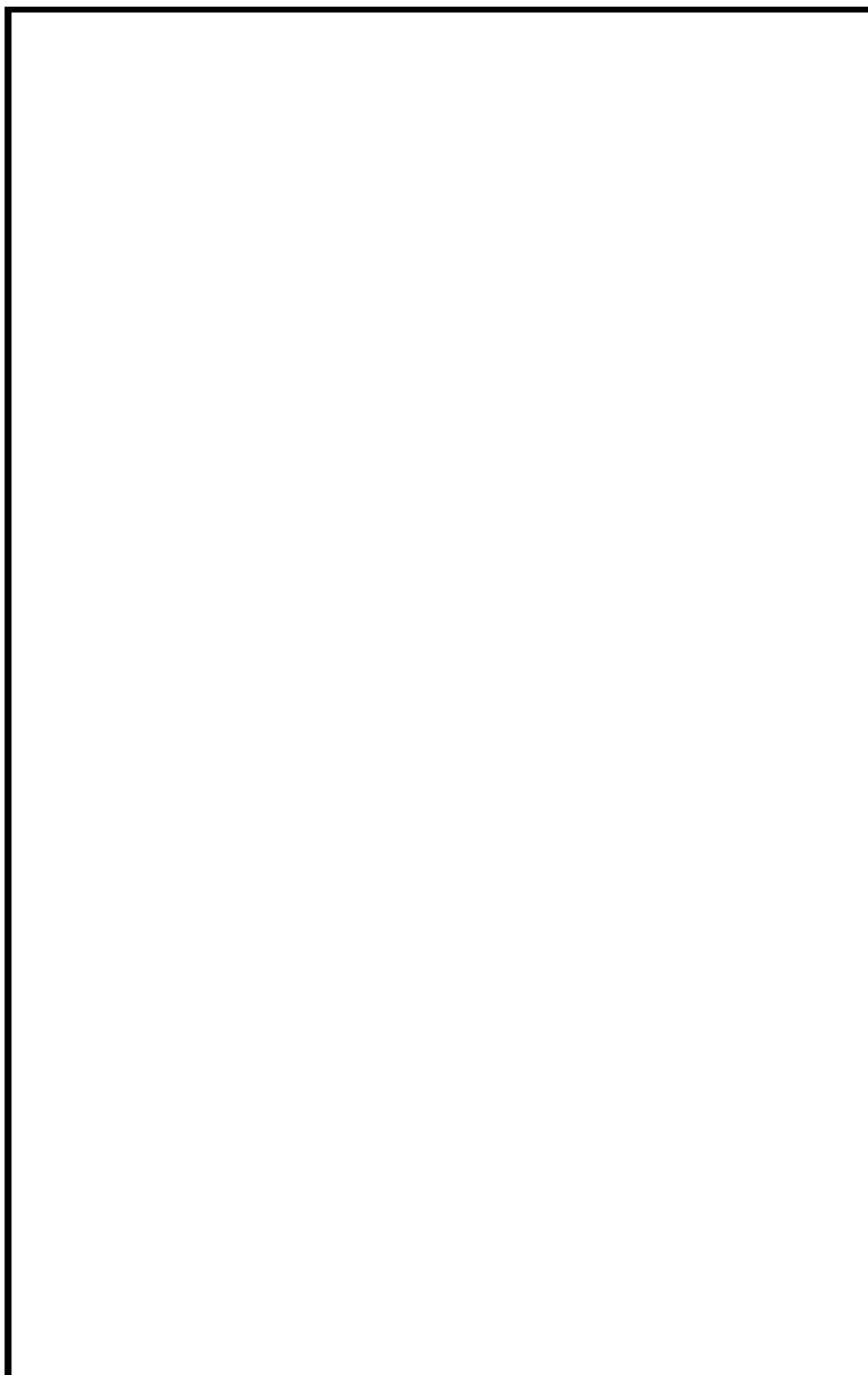
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 6)



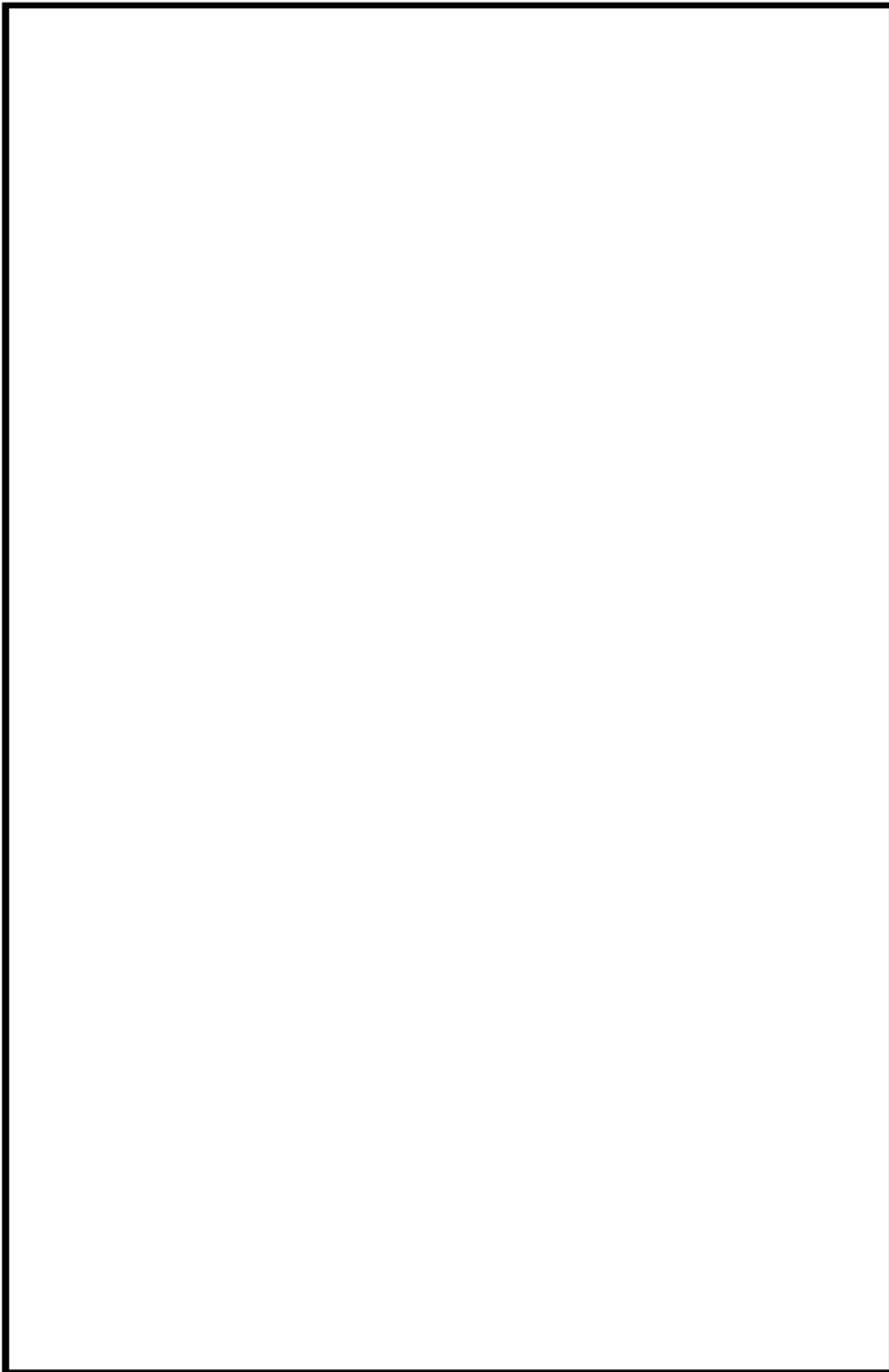
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (4 / 6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (5/6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (6/6)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
1001	27.1	96.3	308.6	0.0	206.9	639	361	0.00738	1.0
99	21.2	45.0	280.6	0.0	206.9	554	313	0.00166	
101	23.3	33.1	308.6	0.0	206.9	572	323	0.00186	
104	23.3	39.2	308.6	0.0	206.9	579	326	0.00211	
600	21.2	48.8	280.6	0.0	206.9	558	315	0.00179	
106	23.3	85.3	308.6	0.0	206.9	625	352	0.00507	
109	23.3	87.6	308.6	0.0	206.9	627	354	0.00529	
111	21.2	60.2	280.6	0.0	206.9	569	321	0.00226	
119	21.2	67.1	280.6	0.0	206.9	576	325	0.00263	
605	21.2	75.8	280.6	0.0	206.9	585	330	0.00314	
121	21.2	66.4	280.6	0.0	206.9	576	325	0.00259	
803	19.5	43.6	280.6	0.0	206.9	551	311	0.00148	
607	19.5	41.4	280.6	0.0	206.9	549	310	0.00142	
804	19.5	39.2	280.6	0.0	206.9	547	308	0.00136	
1002	27.1	14.5	308.6	0.0	206.9	558	315	0.00160	

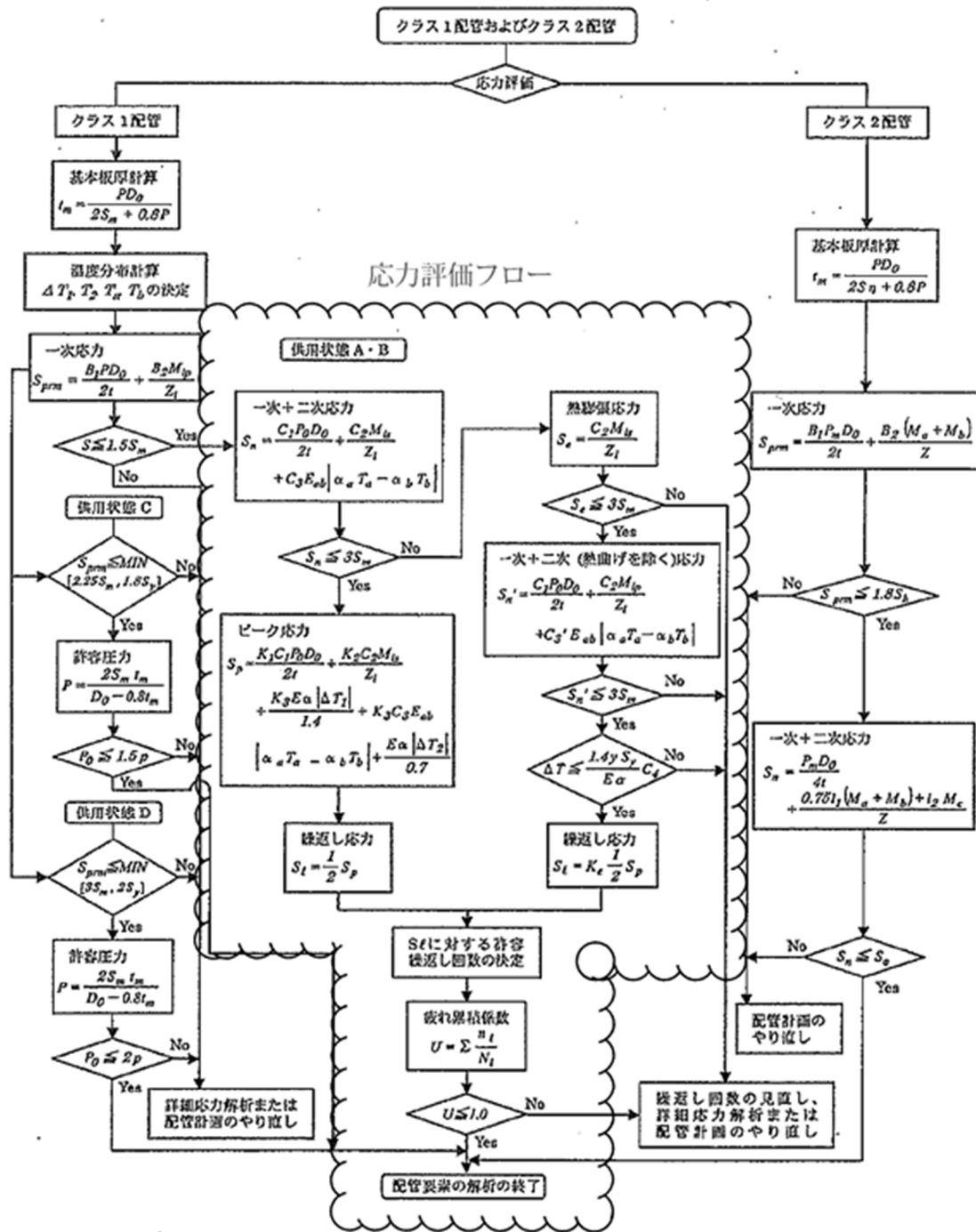
(注) 本表に示す繰返しピーク応力強さは、疲労解析による繰返しピーク応力強さに
 (1.95×10⁵/材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値である。 →通常UF: 0.008

加圧器スプレイ配管 最大評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
177	451.4	44.9	7.3	0.0	3.1	507	281	0.00133	1.0
179	285.2	28.0	306.0	0.0	138.8	759	420	0.00513	
186	58.9	30.6	315.3	0.0	148.3	554	312	0.00626	
187	59.4	25.2	346.9	0.0	148.3	580	327	0.00791	
4001	79.8	63.7	296.9	0.0	141.3	582	330	0.00821	
196	74.6	17.3	304.1	0.0	137.8	534	300	0.00012	
197	61.3	96.0	386.0	0.0	211.9	756	424	0.00167	
199	47.0	62.0	386.0	0.0	211.9	707	397	0.00055	
624	30.8	13.6	407.2	0.0	220.4	673	371	0.00020	
894	30.8	16.3	407.2	0.0	220.4	675	372	0.00017	
301	38.8	40.5	407.2	0.0	220.4	707	390	0.00030	
303	38.8	41.8	407.2	0.0	220.4	709	391	0.00029	
625	30.8	12.6	407.2	0.0	220.4	672	370	0.00014	
420	37.0	15.4	448.0	101.0	220.4	822	453	0.00036	
430	239.4	10.4	253.7	271.0	48.0	823	412	0.01765	

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

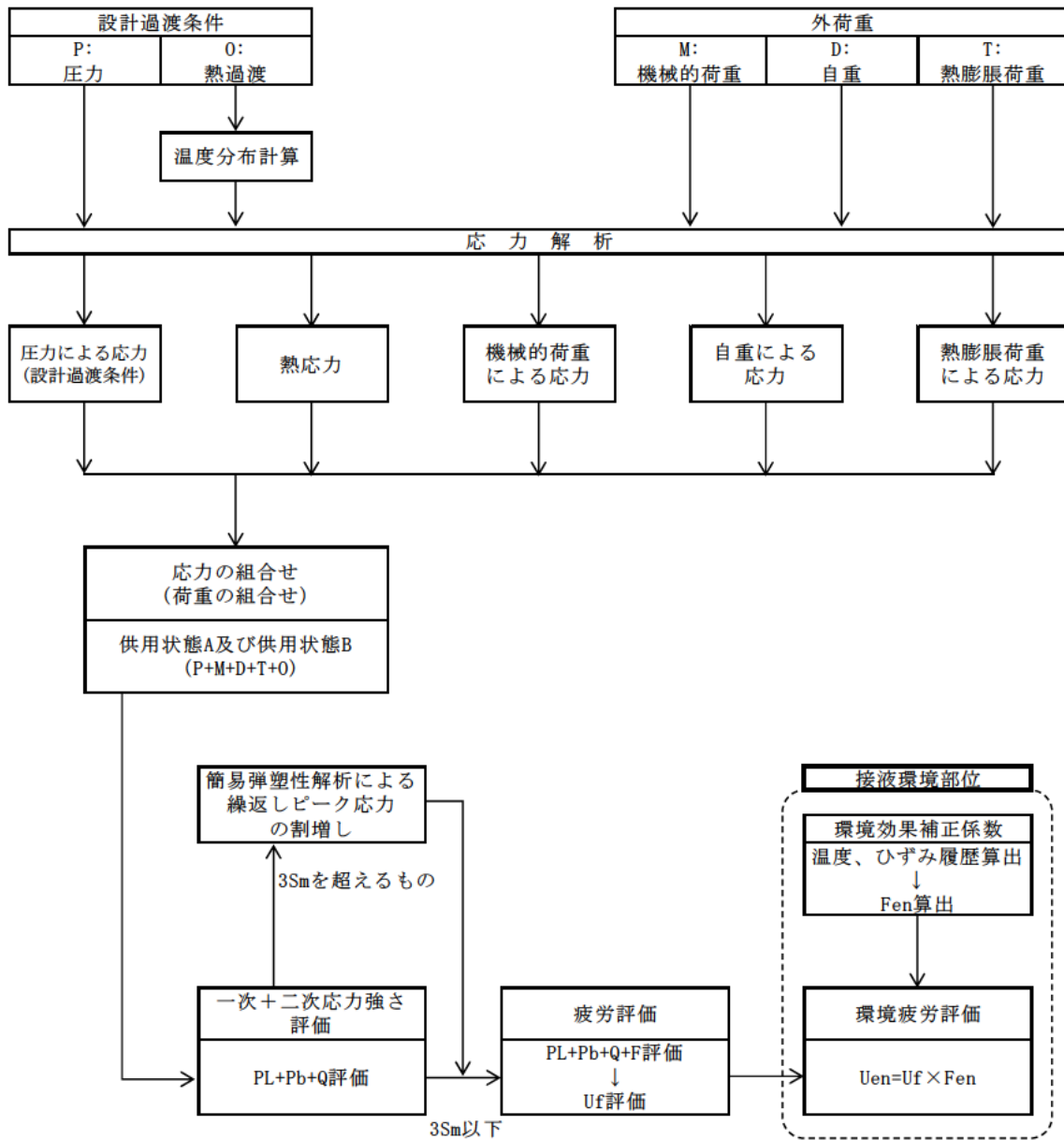
→通常UF : 0.009



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート (通常疲労)



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー（熱成層を考慮した環境疲労）

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 (MPa)		割増係数 ke	ピーク応力強さ (MPa) salt*	実過渡回数 n	許容繰返し回数 n*	疲労損傷係数 u	環境効果係数 fen	環境中疲労損傷係数 uen
		smax	smin							
2D3	2D3	285.3	-316.5	1.30	446.8	2	8480	0.00021	12.082	0.00255
2G1	2G1	281.5	-283.9	1.00	298.1	2	75100	0.00003	10.857	0.00028
2H1	1X1	200.2	-236.5	1.00	246.1	2	209000	0.00001	11.021	0.00011
2E1	1X1	179.2	-236.5	1.00	234.3	4	284000	0.00001	8.008	0.00011
1J1	1X1	150.6	-236.5	1.00	218.1	2	444000	0.00000	13.054	0.00008
2D2	1X1	134.8	-236.5	1.00	209.3	2	584000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	2H1	118.2	-230.8	1.00	197.3	2	887000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	2J1	118.2	-229.7	1.00	198.8	2	910000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	1X1	118.2	-236.5	1.00	194.8	59	971000	0.00008	1.000	0.00008
1Y2	1X2	118.2	-236.5	1.00	194.8	6	971000	0.00001	1.000	0.00001
2C1	1X2	108.0	-236.5	1.00	194.1	2	998000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1X2	108.5	-236.5	1.00	193.3	6	1010000	0.00001	1.000	0.00001
2F1	1X2	103.0	-236.5	1.00	191.3	2	1040000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1X2	82.4	-236.5	1.00	179.7	3	1280000	0.00000	1.000	0.00000
1Y4	1X2	77.8	-236.5	1.00	172.1	50	1480000	0.00008	1.000	0.00003
1Y4	1X3	77.8	-233.9	1.00	189.8	19	1540000	0.00001	1.000	0.00001
2J1	1X3	61.9	-233.9	1.00	186.7	2	1840000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1X3	57.1	-233.9	1.00	184.9	7	1700000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	1X3	52.3	-233.9	1.00	181.3	12	1830000	0.00001	1.000	0.00001
1X2	1X3	58.3	-233.9	1.00	180.0	29	1870000	0.00002	1.000	0.00002
1X2	1X4	58.3	-233.9	1.00	180.0	40	1870000	0.00002	1.000	0.00002
1X4	1X4	58.7	-233.9	1.00	159.4	29	1800000	0.00002	1.000	0.00002
1X4	1J1	58.7	-222.5	1.00	158.5	2	1930000	0.00000	1.000	0.00000
1X4	1X5	58.7	-225.7	1.00	154.9	38	2110000	0.00002	1.000	0.00002
1Y6	1X5	51.8	-225.7	1.00	150.3	31	2410000	0.00001	1.000	0.00001
1Y6	1X6	51.8	-225.7	1.00	150.3	38	2410000	0.00002	1.000	0.00002
1X6	1X6	51.2	-225.7	1.00	150.0	31	2430000	0.00001	1.000	0.00001
1X6	1W5	51.2	-211.7	1.00	145.7	38	2760000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	1W5	35.1	-211.7	1.00	136.7	31	3830000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	1W6	35.1	-211.7	1.00	136.7	38	3830000	0.00001	1.000	0.00001
122	1W6	35.0	-211.7	1.00	136.7	31	3830000	0.00001	1.000	0.00001
122	1J2	35.0	-208.1	1.00	135.9	6	3730000	0.00000	1.000	0.00000
122	1G1	35.0	-204.8	1.00	135.1	3	3820000	0.00000	1.000	0.00000
122	2E1	35.0	-204.5	1.00	135.0	4	3840000	0.00000	1.000	0.00000
122	1V3	35.0	-205.0	1.00	134.5	25	3900000	0.00001	1.000	0.00001
1J2	1V3	28.8	-205.0	1.00	131.8	6	4250000	0.00000	1.000	0.00000
1V4	1V3	28.6	-205.0	1.00	130.9	38	4380000	0.00001	1.000	0.00001
1V4	1V4	28.6	-205.0	1.00	130.9	31	4380000	0.00001	1.000	0.00001
1W4	1V4	20.5	-205.0	1.00	126.4	38	5140000	0.00001	1.000	0.00001
1W4	2D2	20.5	-196.9	1.00	122.5	2	8190000	0.00000	1.000	0.00000
1W4	1W3	20.5	-196.2	1.00	121.4	29	8530000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	1W3	20.2	-196.2	1.00	121.3	40	8560000	0.00001	1.000	0.00001
1Y2	1W4	20.2	-196.2	1.00	121.3	29	8560000	0.00000	1.000	0.00000
124	1W4	19.3	-196.2	1.00	120.8	40	8720000	0.00001	1.000	0.00001
124	1V1	19.3	-195.4	1.00	119.6	29	7140000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1V2	13.1	-185.4	1.00	117.5	89	7830000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1V1	13.1	-185.4	1.00	117.5	40	7830000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	2C1	13.1	-189.0	1.00	113.9	2	8540000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1D1	13.1	-181.2	1.00	109.5	1485	13400000	0.00011	1.000	0.00011
126	1D1	11.8	-181.2	1.00	108.8	89	14200000	0.00000	1.000	0.00000
1V6	1D1	7.5	-181.2	1.00	106.4	42	17600000	0.00000	1.000	0.00000
1Y6	2D1	7.5	-180.8	1.00	106.0	6	18200000	0.00000	1.000	0.00000
1Y6	1C1	7.5	-180.5	1.00	106.0	21	18200000	0.00000	1.000	0.00000
1W2	1C1	7.5	-180.5	1.00	106.0	89	18200000	0.00000	1.000	0.00000
1U6	1C1	7.2	-180.5	1.00	105.8	89	18600000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1C1	5.5	-180.5	1.00	104.8	5	20800000	0.00000	1.000	0.00000
2T1	1C1	0.8	-180.5	1.00	102.2	61	30400000	0.00000	1.000	0.00000
1U4	1C1	-1.9	-180.5	1.00	100.6	89	38900000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1C1	-6.7	-180.5	1.00	98.0	515	70500000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	1V5	-6.7	-179.9	1.00	97.6	89	81100000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1V6	-6.7	-179.9	1.00	97.6	89	81100000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1W1	-6.7	-179.9	1.00	97.6	89	81100000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1W2	-6.7	-179.9	1.00	97.6	89	81100000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2F1	-6.7	-179.7	1.00	97.5	2	83800000	0.00000	1.000	0.00000

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

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

→環境UF : 0.004

【加圧器スプレイ配管 (評価点A)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	実速度 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	salt'	n	n*	u	fen	uen
2E2	2E2	271.8	-712.0	2.10	1152.8	2	346	0.00576	7.066	0.04084
1B8	1B8	163.3	-540.8	1.40	519.8	60	5160	0.01337	3.797	0.05077
1B7	2G1	123.7	-404.7	1.00	297.8	2	72800	0.00003	4.800	0.00013
1B7	1A6	123.7	-400.3	1.00	293.6	67	78900	0.00085	4.444	0.00379
1B6	1A6	118.6	-400.3	1.00	290.8	2	82200	0.00002	4.552	0.00011
1B6	1A7	118.6	-390.8	1.00	287.1	67	88900	0.00075	4.648	0.00350
1B9	1A7	118.4	-390.8	1.00	287.0	2	89000	0.00002	3.861	0.00009
1B9	1B2	118.4	-390.4	1.00	286.8	67	89400	0.00075	3.811	0.00271
1B5	1B9	109.0	-407.8	1.00	283.1	60	99000	0.00072	3.656	0.00263
1B4	1B2	90.4	-390.4	1.00	271.0	2	122000	0.00002	3.351	0.00005
1B4	2A1	90.4	-381.2	1.00	254.8	7	172000	0.00004	3.445	0.00014
1B4	2H1	90.4	-356.2	1.00	251.7	2	184000	0.00001	3.480	0.00004
1B4	1G1	90.4	-353.2	1.00	250.0	3	191000	0.00002	3.469	0.00005
1B4	1J1	90.4	-352.1	1.00	249.4	2	193000	0.00001	3.473	0.00004
1B4	2C1	90.4	-352.0	1.00	249.4	2	193000	0.00001	3.242	0.00003
1B4	1F1	90.4	-351.2	1.00	248.9	6	198000	0.00003	3.475	0.00011
1B4	1D1	90.4	-351.0	1.00	248.8	45	198000	0.00023	6.978	0.00180
1B3	1D1	67.2	-351.0	1.00	235.7	60	274000	0.00025	7.234	0.00182
1B4	1D1	59.1	-351.0	1.00	231.1	60	310000	0.00022	8.711	0.00194
1B3	1D1	54.0	-351.0	1.00	228.3	60	334000	0.00021	7.568	0.00157
1A3	1D1	48.5	-351.0	1.00	225.2	60	364000	0.00019	8.124	0.00154
1A4	1D1	33.0	-351.0	1.00	218.4	60	460000	0.00015	8.417	0.00125
1B0	1D1	22.5	-351.0	1.00	210.5	60	561000	0.00012	1.000	0.00012
1B3	1D1	9.6	-351.0	1.00	203.3	60	718000	0.00010	1.000	0.00010
1A5	1D1	5.5	-351.0	1.00	200.9	60	781000	0.00009	1.000	0.00009
1C1	1B3	0.0	-351.5	1.00	198.1	60	862000	0.00008	1.000	0.00008
1C1	1D1	0.0	-351.0	1.00	197.8	201	871000	0.00023	1.000	0.00023
1C1	1E1	0.0	-351.0	1.00	197.8	5	871000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1C1	0.0	-350.9	1.00	197.8	60	871000	0.00008	1.000	0.00008
1C1	1C1	0.0	-350.9	1.00	197.8	534	871000	0.00081	1.000	0.00081
211	1C1	-4.9	-350.9	1.00	195.0	61	964000	0.00006	1.000	0.00006
1A2	1C1	-7.3	-350.9	1.00	193.7	60	1000000	0.00007	1.000	0.00007
1A6	1C1	-13.7	-350.9	1.00	190.1	60	1080000	0.00007	1.000	0.00007
2G1	1C1	-43.1	-350.9	1.00	173.5	2	1440000	0.00000	1.000	0.00000

添付4 (4/4)

1B2	1C1	-45.0	-350.9	1.00	172.4	5	1470000	0.00000	1.000	0.00000	
1B2	1I1	-45.0	-350.8	1.00	172.4	64	1470000	0.00004	1.000	0.00004	
147	1I1	-45.1	-350.8	1.00	172.3	69	1470000	0.00005	1.000	0.00005	
111	1I1	-69.1	-350.8	1.00	158.7	2767	1930000	0.00143	1.000	0.00143	
111	1J2	-69.1	-350.8	1.00	158.7	2	1930000	0.00000	1.000	0.00000	
111	1A5	-69.1	-335.3	1.00	150.0	69	2430000	0.00003	1.000	0.00003	
111	1B6	-69.1	-326.0	1.00	144.8	62	2830000	0.00002	1.000	0.00002	
1E1	1B6	-69.4	-326.0	1.00	144.8	5	2850000	0.00000	1.000	0.00000	
1D1	1B4	-69.6	-326.0	1.00	144.5	2	2860000	0.00000	1.000	0.00000	
1D1	1B4	-69.6	-298.1	1.00	138.0	69	5240000	0.00001	1.000	0.00001	
1D1	1B8	-69.6	-288.5	1.00	112.1	69	10700000	0.00001	1.000	0.00001	
1D1	1B5	-69.6	-253.0	1.00	103.4	69	25400000	0.00000	1.000	0.00000	
1A2	1A1	-118.7	-218.6	1.00	88.9	69	-----	0.00000	1.000	0.00000	
										合計 :	0.11786

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

→環境UF : 0.118

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>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</p> <p>1. 解析モデル</p> <p>疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p><配管荷重の算出></p> <table border="1" data-bbox="475 857 1310 938"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p><温度分布の算出※></p> <table border="1" data-bbox="475 976 1310 1335"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>Abaqus Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>※ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグの評価点には1次冷却材ポンプの取合部やエルボの外側テーパ部等の構造不連続部が多数あるため、2次元FEM解析にて温度分布を計算している。算出した温度分布は、ピーク応力のうち、板厚内の温度分布による応力のパラメータに用いられる。なお、梁モデルは外荷重による応力算出に用いられる。</p> <p>2. 材料物性</p> <p>材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 1682 1362 1973"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>温度 (°C)</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 (°C)	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 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所																				
SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当)	321.1	117	ホットレグ																				
	283.6	122	クロスオーバレグ コールドレグ																				

3. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点は構造不連続部等において応力が大きくなる点を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。
解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。

4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。

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

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付3に示す。

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付3に示す。

【管台】

1. 解析モデル

疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。

<配管荷重の算出>

解析プログラム	MSAP
要素種類	

<応力の算出>

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

2. 材料物性

材料物性値を以下に示す。

材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所
SA182 Gr. F316 (SUSF316相当)	321.1	117	加圧器サージ管台
	283.6	120	充てん管台 安全注入管台
SA351 Gr. CF8M (SCS14A相当)	283.6	122	蓄圧タンク注入管台

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付4に示す。

4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付5に示す。

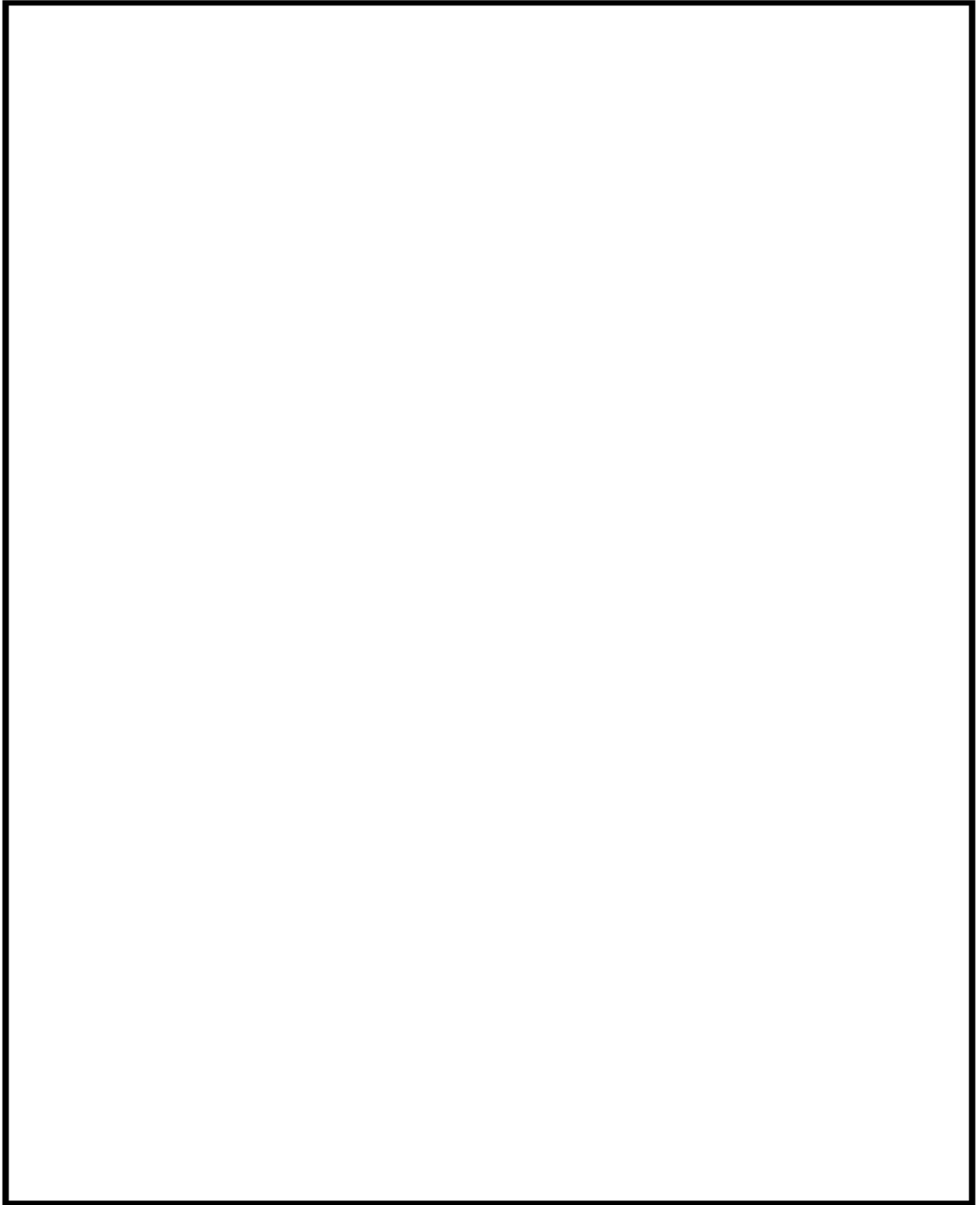
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付6に示す。

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付6に示す。



1次冷却材管 形状及び評価点

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

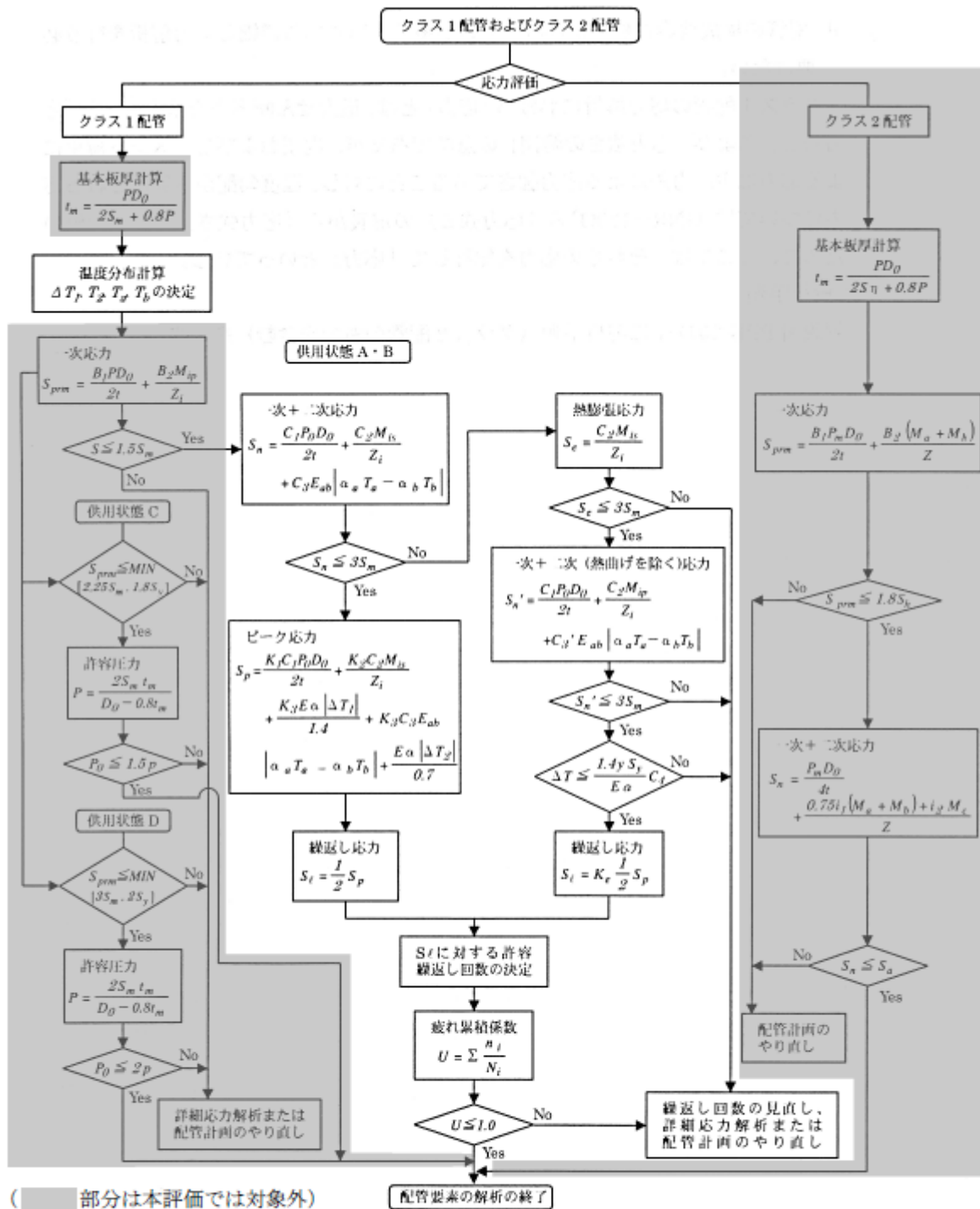
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	90.4	20.6	194.8	0.0	121.6	427.4	213.7	239.5	0.00009	1.0
	109	82.2	5.2	177.1	0.0	121.6	386.1	193.0	216.3	0.00002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

→ ホットレグ通常UF : 0.001

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
クロスオーバーレグ	155	134.5	33.3	62.4	24.9	43.0	298.0	149.0	164.1	0.00007	1.0
	157	147.9	35.8	69.8	0.0	43.0	296.5	148.3	163.4	0.00005	
	159	88.5	2.9	104.0	0.0	43.0	238.3	119.2	131.3	0.00000	
	160	147.9	40.7	69.8	0.0	43.0	301.4	150.7	166.0	0.00005	
	161	134.5	38.3	62.4	24.9	43.0	303.1	151.5	166.9	0.00008	
	163	126.7	37.4	78.5	0.0	47.5	290.1	145.0	159.8	0.00007	
	165	134.5	48.3	62.4	24.9	43.0	313.0	156.5	172.4	0.00009	
	167	134.2	28.9	103.2	217.1	13.0	496.4	248.2	273.4	0.00105	
コールドレグ	181	134.7	70.2	72.9	143.8	8.3	429.9	215.0	236.8	0.00049	
	183	88.8	2.1	98.7	0.0	41.3	230.9	115.4	127.2	0.00000	
	185	131.4	77.4	58.4	33.6	41.3	342.1	171.1	188.5	0.00012	
	189	109.7	54.3	82.2	0.0	48.3	294.6	147.3	162.3	0.00007	
	194	114.5	71.5	65.9	24.7	44.3	320.8	160.4	176.7	0.00010	

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



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

Ke係数と環境評価パラメータ (ホットレグ) (詳細評価手法: 評価点115)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
43 (2H1)	38 (2E1)	501.1	1.0	250.6	280.8	2	100000	0.00002	13.214	0.00026
39 (2F1)	2 (1B1)	418.2	1.0	209.1	234.3	2	284000	0.00001	23.114	0.00016
33 (2D2)	2 (1B1)	396.3	1.0	198.1	222.1	2	397000	0.00001	23.114	0.00012
21 (1L1)	2 (1B1)	395.7	1.0	197.9	221.7	2	400000	0.00000	23.114	0.00012
29 (2C1)	2 (1B1)	395.5	1.0	197.7	221.6	2	402000	0.00000	23.114	0.00011
37 (2E1)	2 (1B1)	393.9	1.0	197.0	220.7	2	412000	0.00000	23.114	0.00011
25 (2A1)	2 (1B1)	392.3	1.0	196.1	219.8	7	423000	0.00002	23.114	0.00038
35 (2D4)	2 (1B1)	391.5	1.0	195.7	219.4	2	428000	0.00000	23.114	0.00011
15 (1I1)	36 (2D5)	390.5	1.0	195.3	218.8	2	435000	0.00000	11.995	0.00006
41 (2G1)	2 (1B1)	390.2	1.0	195.1	218.7	2	437000	0.00000	23.114	0.00011
31 (2D1)	2 (1B1)	389.0	1.0	194.5	218.0	6	446000	0.00001	23.114	0.00031
3 (1C1)	2 (1B1)	372.8	1.0	186.4	208.9	42	592000	0.00007	1.000	0.00007
3 (1C1)	16 (1I1)	365.9	1.0	182.9	205.0	62	676000	0.00009	1.000	0.00009
3 (1C1)	48 (2J2)	364.3	1.0	182.1	204.1	61	698000	0.00009	1.000	0.00009
42 (2G1)	15 (1I1)	346.9	1.0	173.5	194.4	2	986000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	324.1	1.0	162.0	181.6	2	1240000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	315.9	1.0	158.0	177.0	2	1340000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	312.5	1.0	156.2	175.1	2	1390000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	302.1	1.0	151.1	169.3	6	1560000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	15 (1I1)	299.2	1.0	149.6	167.6	2	1610000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	289.1	1.0	144.6	162.0	44	1800000	0.00002	1.000	0.00002
47 (2J1)	26 (2A1)	194.7	1.0	97.3	109.1	7	13900000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	190.0	1.0	95.0	106.5	2	17500000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	12 (1G1)	176.5	1.0	88.2	98.9	3	51900000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	46 (2I1)	172.6	1.0	86.3	96.7	2	200000000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	6 (1D1)	167.0	1.0	83.5	93.6	49	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00214

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

→環境UF : 0.003

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

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
1 (1A1)	2 (1B1)	496.4	1.0	248.2	273.4	69	116000	0.00059	10.237	0.00609
47 (2J1)	48 (2J2)	475.1	1.0	237.6	261.7	61	148000	0.00041	5.761	0.00237
27 (2B1)	36 (2D5)	399.7	1.0	199.9	220.2	2	418000	0.00000	17.480	0.00008
27 (2B1)	38 (2E1)	384.3	1.0	192.1	211.7	2	540000	0.00000	1.000	0.00000
25 (2A1)	16 (1I1)	348.7	1.0	174.3	192.1	7	1030000	0.00001	1.000	0.00001
33 (2D2)	16 (1I1)	313.4	1.0	156.7	172.7	2	1460000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	301.3	1.0	150.6	166.0	2	1660000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	298.5	1.0	149.3	164.4	2	1710000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	295.3	1.0	147.7	162.7	2	1780000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	291.0	1.0	145.5	160.3	3	1860000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	283.6	1.0	141.8	156.2	2	2040000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	279.4	1.0	139.7	153.9	2	2170000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	42 (2G1)	275.7	1.0	137.8	151.8	2	2310000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	16 (1I1)	271.6	1.0	135.8	149.6	0	2460000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	16 (1I1)	267.4	1.0	133.7	147.3	2	2630000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	16 (1I1)	267.2	1.0	133.6	147.2	38	2640000	0.00001	1.000	0.00001
46 (2I1)	15 (1I1)	246.7	1.0	123.3	135.9	2	3730000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	204.8	1.0	102.4	112.8	2	10100000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	189.3	1.0	94.6	104.3	56	22300000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	40 (2F1)	113.5	1.0	56.8	62.5	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00859

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

→環境UF : 0.009

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

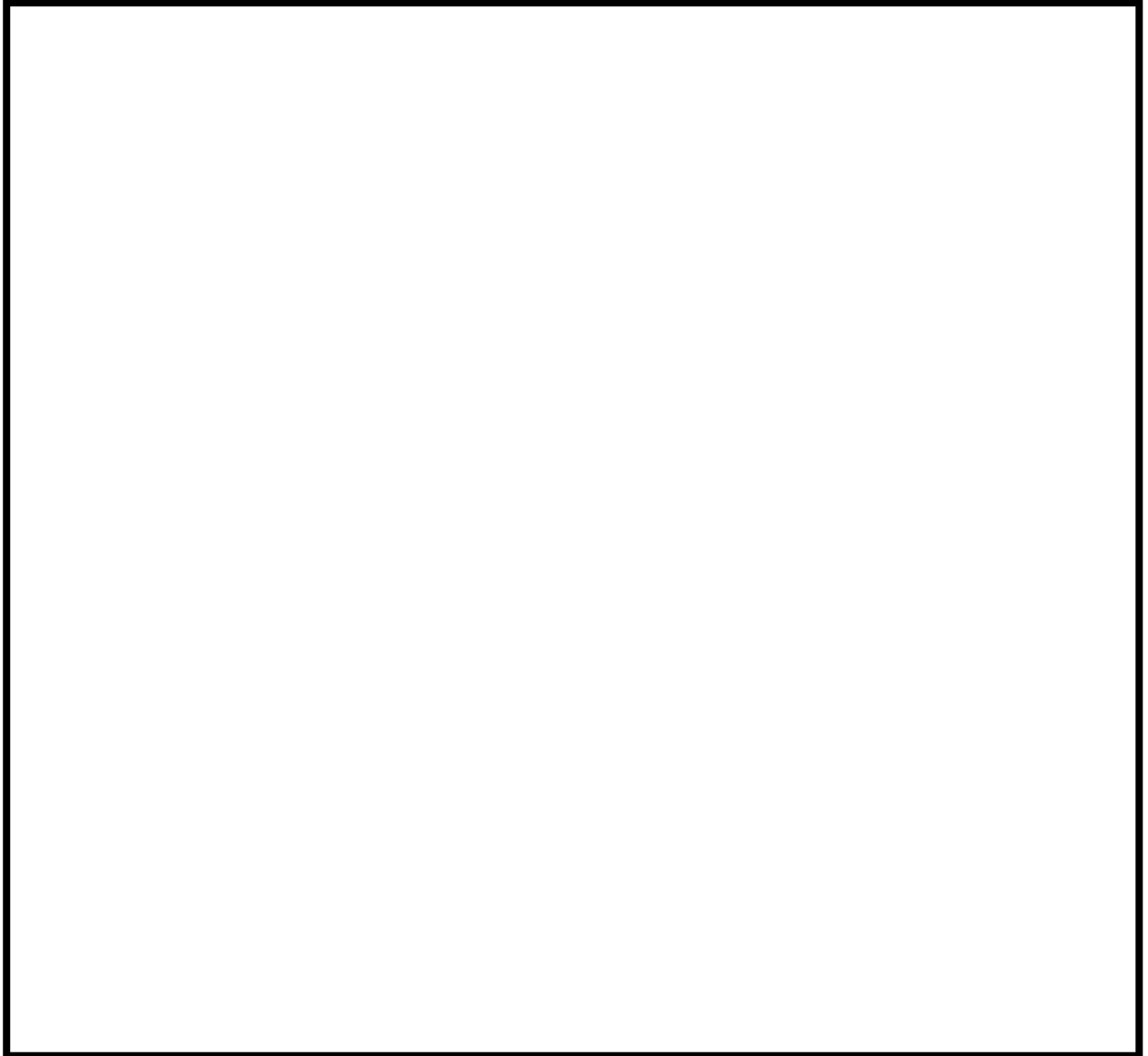
過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
1 (1A1)	2 (1B1)	429.9	1.0	215.0	236.8	69	266000	0.00026	10.390	0.00270
27 (2B1)	48 (2J2)	417.2	1.0	208.6	229.8	4	321000	0.00001	7.309	0.00009
25 (2A1)	48 (2J2)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

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

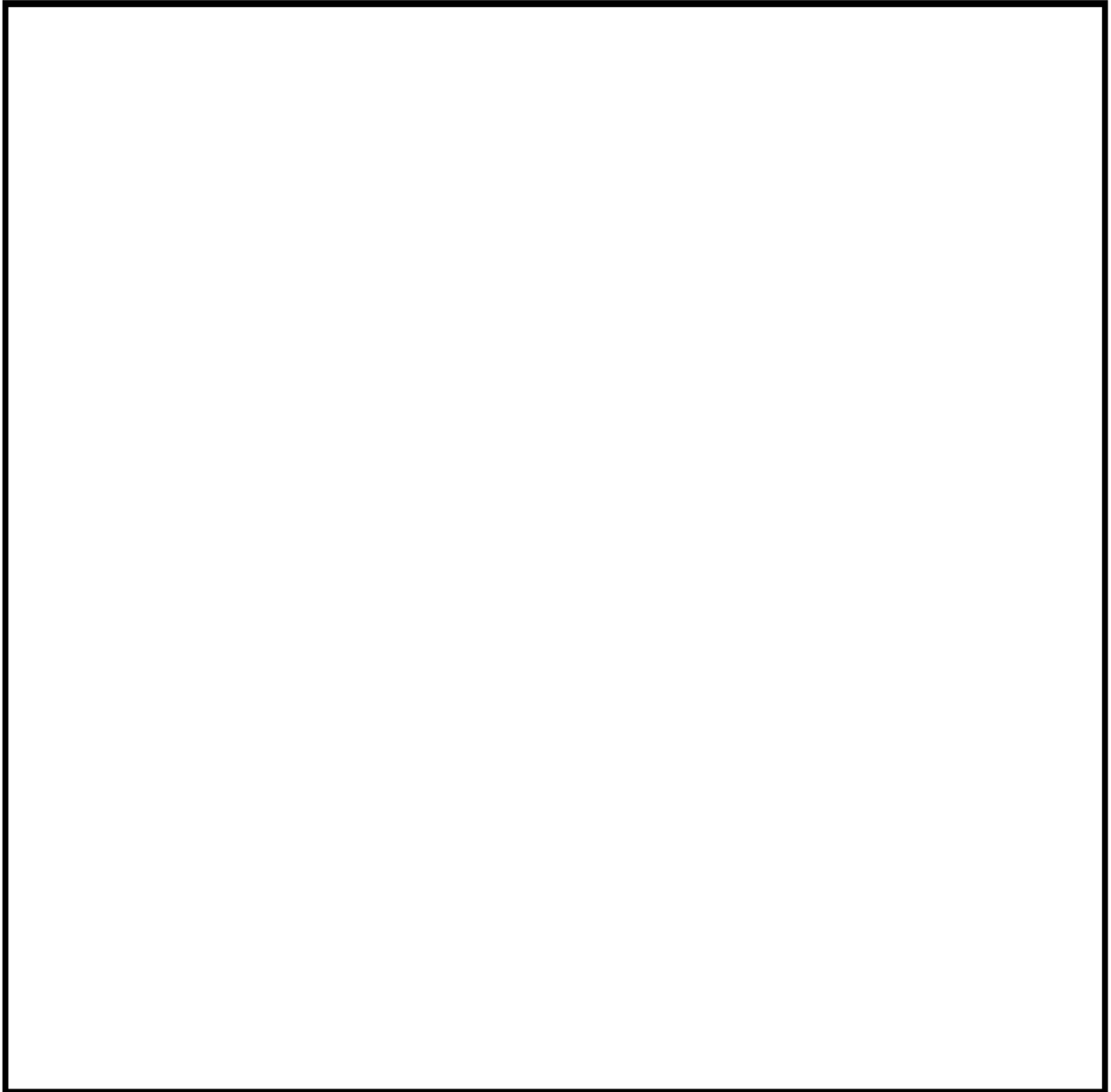
→環境UF: 0.004



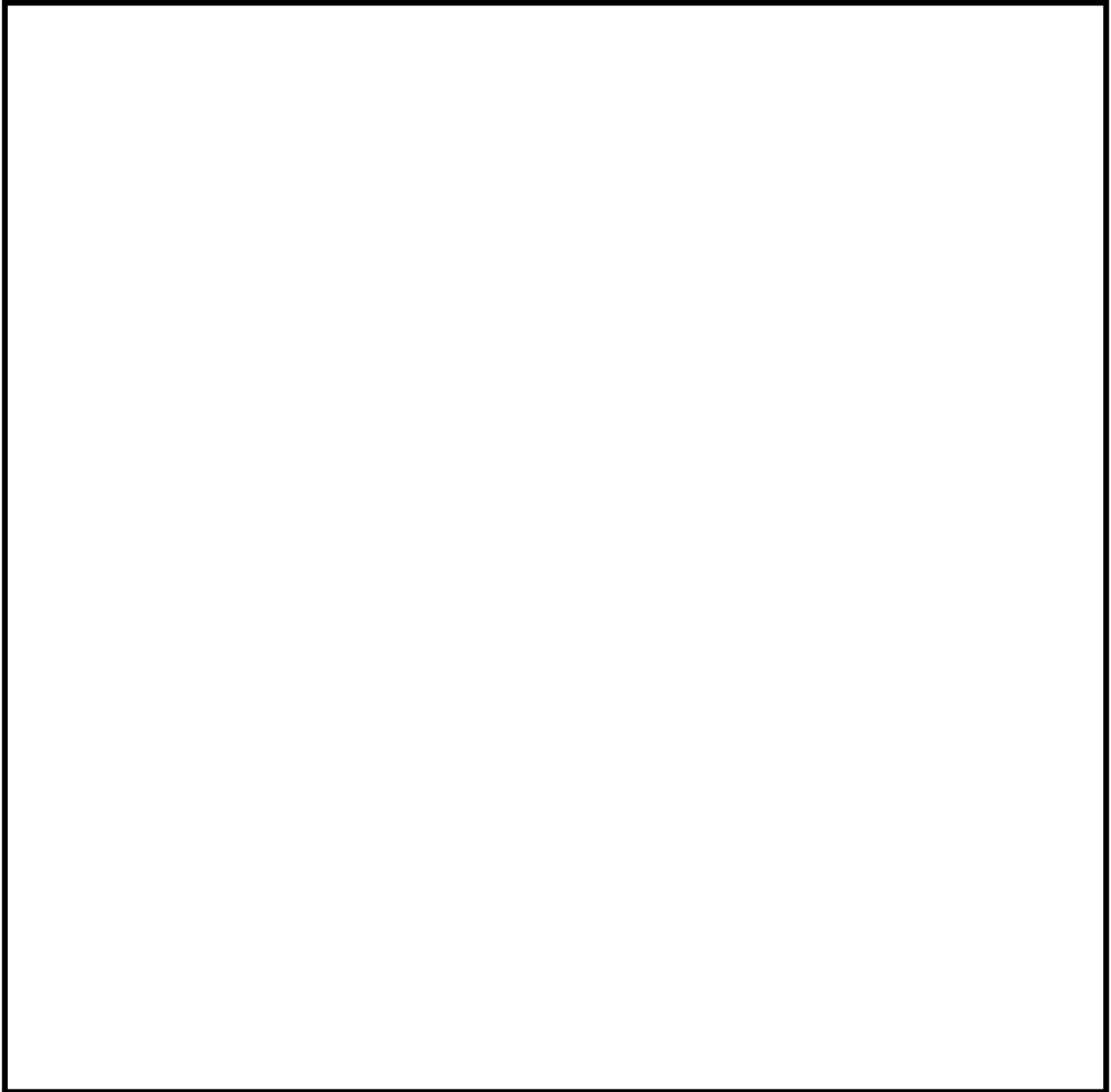
(1) 1次冷却材管（加圧器サージ管台） 評価点



(2) 1次冷却材管（充てん管台） 評価点



(3) 1次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 評価点



(4) 1次冷却材管(安全注入管台)評価点

(1) 1次冷却材管 (加圧器サージ管台) 最大疲労評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.031$

(2) 1次冷却材管 (充てん管台) 最大疲労評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.003$

(3) 1次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 最大疲労評価点の選定

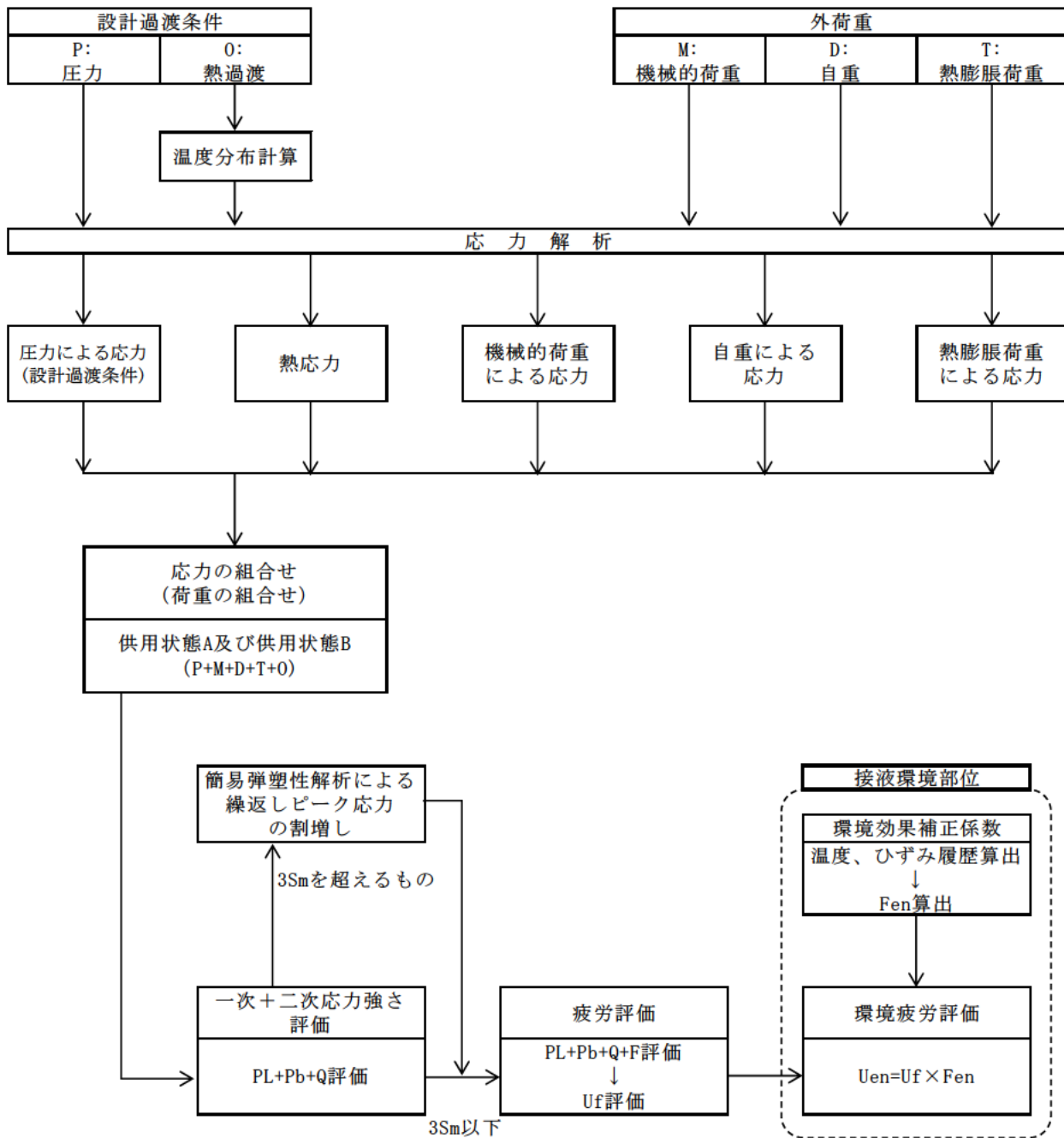
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00752	0.00449
2	0.0	0.00007	0.00011
3	0.00000	0.00095	0.00109
4	0.0	0.00001	0.00001
5	0.00000	0.00032	0.00002
6	0.0	0.00000	0.00000
7	0.0	0.00032	0.00010
8	0.00000	0.0	0.00000
9	0.00076	0.00066	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.00000	0.00000
12	0.00005	0.0	0.00010
13	0.0	0.00000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

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.008$

(4) 1次冷却材管 (安全注入管台) 最大疲労評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.007$



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D4	1A2	265.8	-319.0	1.32	386.5	433.1	2	10900	0.00018	6.190	0.00114
1G1	1A2	199.7	-319.0	1.24	320.8	359.5	3	27400	0.00011	6.358	0.00070
1D1	1A2	194.6	-319.0	1.23	315.8	353.9	409	29600	0.01382	5.368	0.07417
1D1	1B2	194.6	-319.0	1.23	315.8	353.9	389	29600	0.01314	5.368	0.07055
2G1	1B2	169.9	-319.0	1.00	244.4	273.9	2	115000	0.00002	4.915	0.00009
1L4	1B2	167.4	-319.0	1.00	243.2	272.5	2	118000	0.00002	6.448	0.00011
1M1	1B2	142.7	-319.0	1.00	230.8	258.7	435	158000	0.00275	5.129	0.01412
1M1	2E1	142.7	-310.4	1.00	226.5	253.9	2	175000	0.00001	16.540	0.00019
2E1	2D4	137.3	-240.2	1.11	208.9	234.1	2	286000	0.00001	14.742	0.00010
1M1	2G1	142.7	-207.7	1.00	175.2	196.3	2	919000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2H1	142.7	-193.0	1.00	167.8	188.1	2	1100000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1L3	142.7	-33.2	1.00	87.9	98.6	2	58300000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1L2	142.7	-7.7	1.00	75.2	84.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.16117

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

→環境UF : 0.162

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
2J1	205	3.7	-636.2	1.35	431.8	475.7	2	7370	0.00027	5.263	0.00143
2J1	201	3.7	-601.3	1.32	399.4	440.1	2	10100	0.00020	5.545	0.00110
2J1	203	3.7	-605.3	1.31	397.7	438.2	2	10300	0.00019	4.721	0.00092
2J1	2N4	3.7	-540.4	1.00	272.1	299.8	2	70200	0.00003	8.797	0.00025
2J1	2N5	3.7	-474.3	1.00	239.0	263.3	2	143000	0.00001	9.010	0.00013
2J1	2N2	3.7	-469.3	1.00	236.5	260.6	2	151000	0.00001	6.348	0.00008
2J1	2S1	3.7	-468.1	1.00	235.9	259.9	49	154000	0.00032	11.561	0.00368
1B1	2S1	3.7	-468.1	1.00	235.9	259.9	69	154000	0.00045	6.171	0.00277
NSS	2S1	0.0	-468.1	1.00	234.1	257.9	130	161000	0.00081	11.561	0.00933
111	2S1	-4.2	-468.1	1.00	232.0	255.6	62	169000	0.00037	7.359	0.00270
204	2S1	-17.5	-468.1	1.00	225.3	248.2	2	198000	0.00001	11.561	0.00012
2QE	2S1	-24.1	-468.1	1.00	222.0	244.6	2	217000	0.00001	11.561	0.00011
202	2S1	-150.5	-468.1	1.17	185.0	203.9	2	704000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	2S1	-135.2	-468.1	1.00	166.5	183.4	2	1200000	0.00000	1.000	0.00000
2N3	2S1	-149.0	-468.1	1.00	159.6	175.8	2	1380000	0.00000	1.000	0.00000
2QC	2S1	-162.1	-468.1	1.00	153.0	168.6	2	1580000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2S1	-206.2	-468.1	1.00	131.0	144.3	2	2870000	0.00000	1.000	0.00000
2QA	2S1	-206.5	-468.1	1.00	130.8	144.1	2	2890000	0.00000	1.000	0.00000
205	2S1	-266.3	-468.1	1.28	129.6	142.7	2	3010000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2S1	-211.1	-468.1	1.00	128.5	141.6	2	3120000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2S1	-211.5	-468.1	1.00	128.3	141.4	2	3140000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2S1	-216.2	-468.1	1.00	126.0	138.8	7	3400000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	2S1	-248.2	-468.1	1.00	110.0	121.1	2	6610000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2S1	-250.7	-468.1	1.00	108.7	119.8	2	7070000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2S1	-250.8	-468.1	1.00	108.7	119.7	2	7090000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	2S1	-254.0	-468.1	1.00	107.1	118.0	2	7750000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2S1	-257.3	-468.1	1.00	105.4	116.1	6	8490000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2S1	-261.1	-468.1	1.00	103.5	114.1	2	9460000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2S1	-262.5	-468.1	1.00	102.8	113.3	3	9860000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	2S1	-264.8	-468.1	1.00	101.7	112.0	2	10800000	0.00000	1.000	0.00000
2QG	2S1	-270.6	-468.1	1.00	98.8	108.8	2	14200000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	2S1	-282.5	-468.1	1.00	92.8	102.2	4	30200000	0.00000	1.000	0.00000
2Q8	2S1	-283.1	-468.1	1.00	92.5	101.9	2	31800000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	2S1	-284.1	-468.1	1.00	92.0	101.4	2	34400000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2S1	-285.2	-468.1	1.00	91.5	100.8	439	37900000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2Q5	-285.2	-440.2	1.00	77.5	85.4	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02263

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

→環境UF: 0.023

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2E1	2E1	707.9	-311.0	1.99	1011.3	1114.2	2	384	0.00521	4.322	0.02251
2L1	2L1	616.1	-254.8	1.79	778.4	857.6	2	867	0.00231	3.253	0.00750
2H1	NSS	138.4	0.0	1.00	69.2	76.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03001

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

→環境UF: 0.031

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D5	2E1	717.3	-173.2	1.83	815.0	897.9	2	749	0.00267	3.321	0.00887
2E1	2G1	705.3	-110.9	1.83	746.9	822.9	2	988	0.00202	3.707	0.00750
2G1	2D5	713.8	-95.7	1.68	679.6	748.7	2	1360	0.00147	3.378	0.00497
1B2	1B2	352.3	-83.8	1.00	218.0	240.2	69	243000	0.00028	2.705	0.00077
2H1	2J1	103.4	-0.9	1.00	52.2	57.5	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02211

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

→環境UF: 0.023

タイトル	仕切弁（R H R S 入口隔離弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>R H R S 入口隔離弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。</p> <p>設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付 1 に示す。</p> <p>また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付 2 に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A</p> <p>ヤング率：1.78×10^5 (MPa)</p> <p>熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke 係数 <p>簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (Fen) の算出根拠を添付 3 に示す。</p>

応力解析結果

弁番号： 1V-RH-001A/B

呼び径： 12B

弁箱の材質： SCS14A

接続管の材質： SUS316TP

クラス1弁

弁箱の応力解析 (1/2)

(1) 設計条件及び補元

最高使用圧力	最高使用温度	280 °Cにおける 境界圧力	280 °Cにおける 設計応力強さ	接続管の280 °Cに おける設計降伏点	280 °Cにおける 縦弾性係数	280 °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 _s (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	E (MPa)	α (×10 ⁻⁶ mm/mm・°C)	t _e (mm)	T _{e1} (mm)	T _{e2} (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 ₁ (mm)	A _f (mm ²)	A _m (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	Z ₁ (mm ³)	Z ₂ (mm ³)	Z ₃ (mm ³)	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 _b	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅			K	K _e ^(注1)	q	A ₀	B ₀
ΔP _{tm} (MPa)	ΔT (°C)	ΔT _{tm} (°C)												
									-	-	-	-		

(注1) K_e適用判定のS_nはVVB-3370による。

(注2) S_nはVVB-3340による。

(2) 弁箱の応力

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

疲労累積係数・環境疲労評価結果

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

→通常UF : 0.004

→環境UF : 0.113

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

タイトル	スイング逆止弁（蓄圧タンク出口第2逆止弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>蓄圧タンク出口第2逆止弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1- 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke係数 <p>評価に用いたKe係数を添付1に示す。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (Fen) の算出根拠を添付3に示す。</p>

応力解析結果

弁番号： 1X-SI-138A/B/C	呼び径： 128	弁箱の材質： SCS14A	接続管の材質： SUS316TP	クラス1弁								
弁箱の応力解析 (1/2)												
(1) 設計条件及び諸元												
最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	280 °Cにおける 換算圧力 P _e (MPa)	280 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の280 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	280 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa)	280 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ mm/mm・°C)	AA断面における 金属部の厚さ t _e (mm)	交差部壁面とその二等 分線とに接する円の直 径 T _{o1} (mm)	交差部壁面に接する円 の直径 T _{o2} (mm)			
17.16	348	18.6	126	127	178000	18.44						
AA断面における 平均半径 r (mm)	AA断面における 内半径 r _i (mm)	流体部面積 A _f (mm ²)	金属部面積 A _m (mm ²)	接続管の断面積の 2分の1 A ₁ (mm ²)	AA断面における 金属部の断面積 A ₂ (mm ²)	接続管の断面係数 Z ₁ (mm ³)	AA断面における 断面係数 Z ₂ (mm ³)	AA断面における 断面係数 Z ₃ (mm ³)	厚さ方向の温度勾配に よる最大熱応力 Q T (MPa)			
圧力の段階的な変化の 最大値と最小値との差 ΔP _{1/2} (MPa)	厚板部分と薄板部分の 平均温度の差の最大値 ΔT (°C)	流体温度の段階的な温 度変化の最大値と最小 値との差 ΔT _{fm} (°C)	応力係数					ネック部の角度 による係数 K	繰返しピーク応 力強さの増し 係数 K _σ (註1)	材質の種類に応じた値		
			C _b	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅			q	A ₀	B ₀
									1.86	3.1	0.7	2.16
(注1) K _σ 適用判定のS _n はVVB-3370による。 (注2) S _n はVVB-3340による。												
(2) 弁箱の応力												
項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S _n ^(註2)						
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)					
			P _d	P _b	P _t							
計算応力 (MPa)	68	150	34	68	68	282	387					
許容応力 (MPa)	S _m = 126	2.25S _m = 281	1.5S _m = 187			3S _m = 375						
評 価	弁箱に生ずる応力はすべて許容応力以下であるので、強度は十分である。											

疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡の相合せ		S ₀₁ (MPa)	S ₁₁ (MPa)	S ₁₂ (MPa)	H (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	鋳鋼:1 以外:2	ε* (-)	T1 (℃)	T2 (℃)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Fen×N/N*
	加熱過程	冷却過程																			
起動時及び停止時 1.次系漏えい試験(注1)	H1	C1	480.0	245.0	276.2	69	110102	0.001				17800		1						23.114	0.014
	H26	C28	480.0	245.0	276.2	61	110102	0.001				17800		1						9.427	0.005
起動時及び停止時 以外	H28	C31	2618.2	2418.0	2725.5	2	36	0.056				17800		1						9.027	0.502
	H27	C20	2393.2	2139.8	2411.9	2	48	0.042				17800		1						9.163	0.332
	H14	C21	785.2	382.6	431.3	2	11159	0.000				17800		1						33.570	0.006
	H14	C23	625.0	312.5	352.3	2	30418	0.000				17800		1						33.570	0.002
	H12	C25	489.5	249.8	281.5	2	88871	0.000				17800		1						17.988	0.000
	H12	C28	489.7	244.9	276.0	2	110458	0.000				17800		1						20.258	0.000
	H12	C19	456.8	228.4	257.5	2	162859	0.000				17800		1						14.454	0.000
	H12	C7	455.4	227.7	256.7	1	165389	0.000				17800		1						16.518	0.000
	H24	C7	433.9	216.9	244.5	2	218400	0.000				17800		1						13.680	0.000
	H18	C7	406.9	203.4	229.3	2	325389	0.000				17800		1						15.212	0.000
	H6	C7	389.5	199.8	225.2	3	364432	0.000				17800		1						20.668	0.000
	H2	C7	382.4	191.2	215.5	54	478707	0.000				17800		1						19.588	0.002
	H2	C24	317.2	158.6	178.8	2	1307325	0.000				17800		1						19.656	0.000
	H2	C32	318.2	158.1	178.2	2	1320849	0.000				17800		1						19.730	0.000
H2	C26	289.2	144.6	163.0	2	1768842	0.000				17800		1						19.858	0.000	
H2	C13	273.6	136.8	154.2	7	2163405	0.000				17800		1						24.188	0.000	
ΣN/N* (注3)								0.099												ΣFen×N/N*	0.915

→通常UF:0.099

→環境UF:0.915

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

タイトル	炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p>炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 772 1364 1691"><tr><td data-bbox="475 772 699 969">解析プログラム</td><td data-bbox="699 772 1364 1691" rowspan="5"></td></tr><tr><td data-bbox="475 969 699 1200">要素種類</td></tr><tr><td data-bbox="475 1200 699 1397">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="475 1397 699 1538">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="475 1538 699 1691">節点数</td></tr></table> <table border="1" data-bbox="435 1715 1364 1825"><tr><td data-bbox="435 1715 1364 1825"></td></tr></table>	解析プログラム		要素種類	要素次数	要素数	節点数	
解析プログラム								
要素種類								
要素次数								
要素数								
節点数								

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

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

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を、添付1に示す。

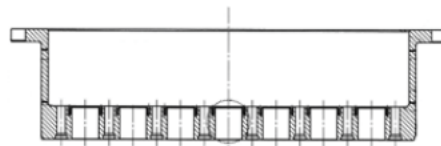
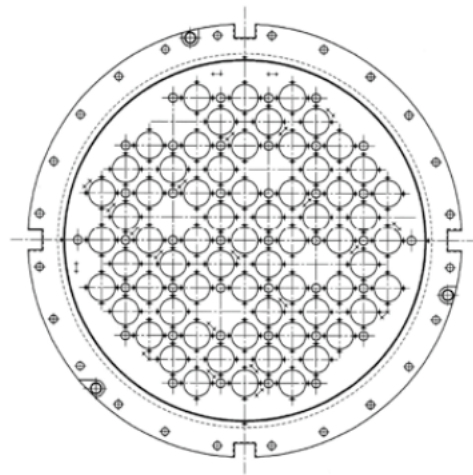
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

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

5. Ke係数および環境パラメータ

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



評価部位 (中央部下面)



上部炉心支持板 評価点

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

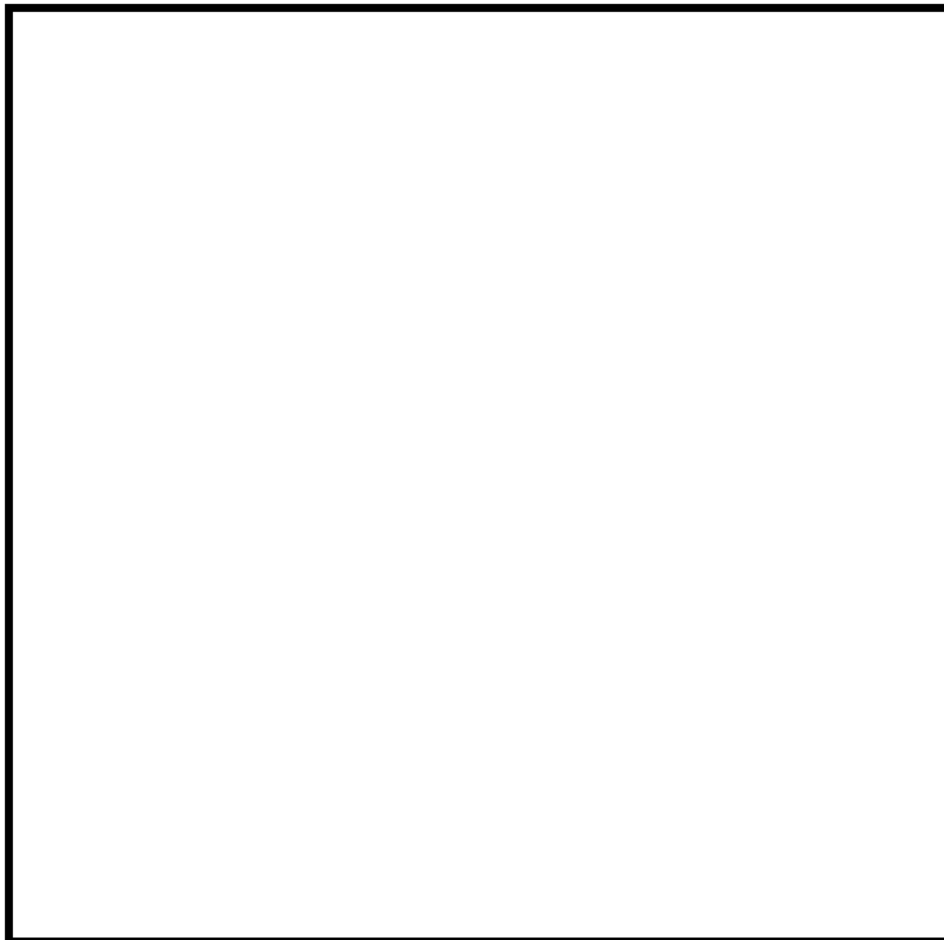
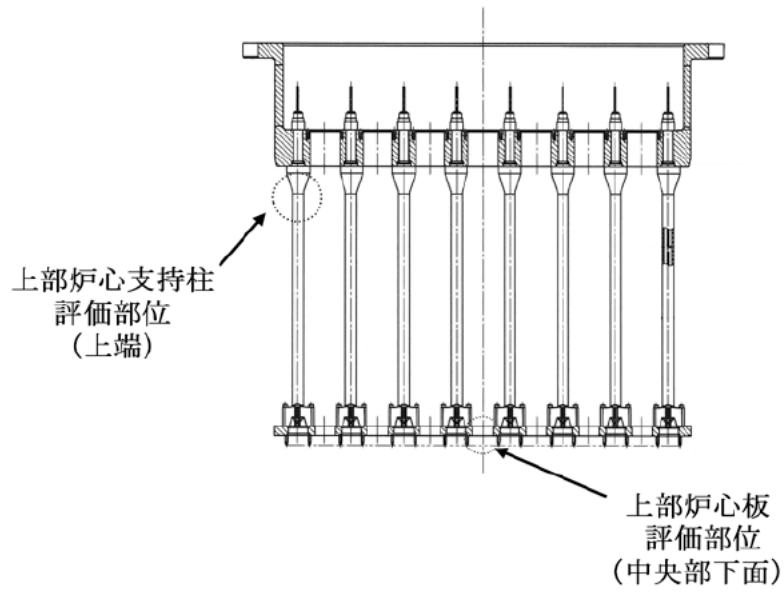
中央部下面

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

疲労累積係数 = 0.00252

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

→通常UF : 0.003



上部炉心支持柱及び上部炉心板 評価点

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

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

疲労累積係数 = 0.00023

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

→通常UF : 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

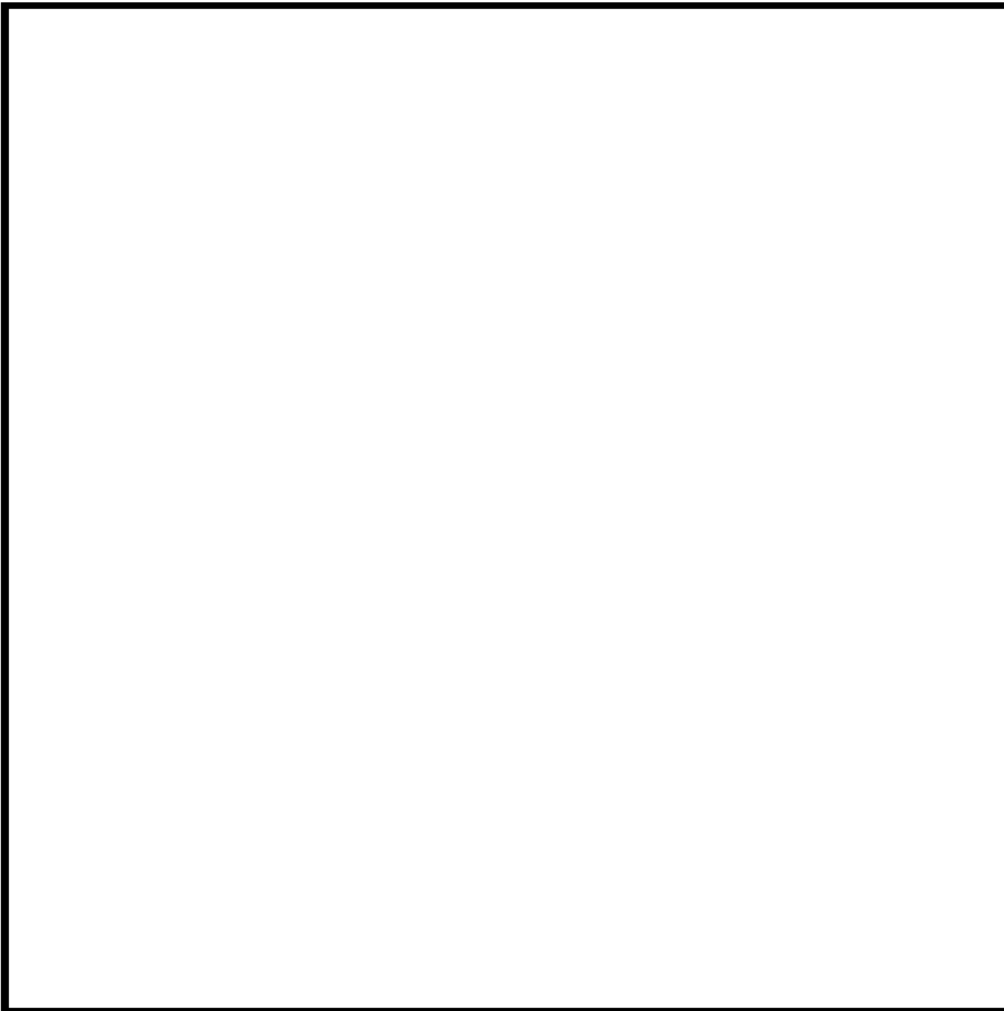
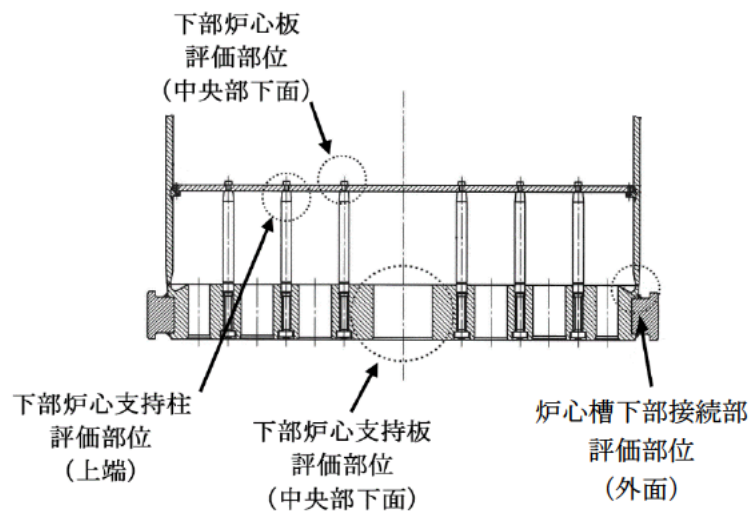
中央部下面 ($\sigma_3 - \sigma_1$)

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

疲労累積係数 = 0.00021

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

→通常UF : 0.001



下部炉心構造物組立体 評価点

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

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

疲労累積係数 = 0.00259

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

→通常UF : 0.003

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

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

疲労累積係数 = 0.00198

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

→通常UF : 0.002

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

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

疲労累積係数 = 0.00170

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

→通常UF : 0.002

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

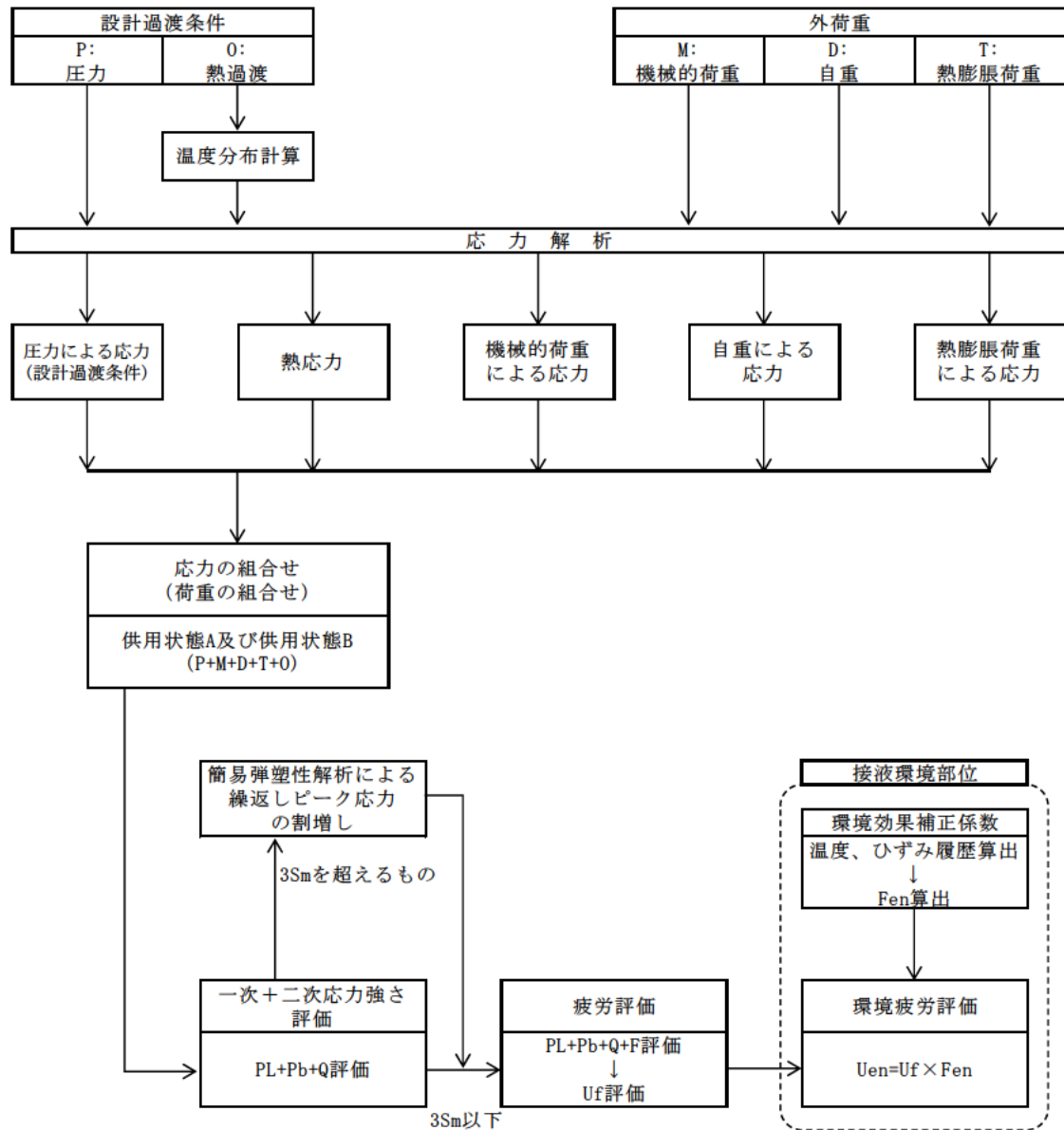
外面 ($\sigma_2 - \sigma_3$)

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

疲労累積係数 = 0.00001

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

→通常UF : 0.001



備考：熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

K e 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
F	1A1	584.2	-260.5	1.00	422.4	473.3	6	7520	0.00080	9.960	0.00795
E	1A1	315.1	-260.5	1.00	287.8	322.5	14	47300	0.00030	9.409	0.00278
A-2	1A1	180.5	-260.5	1.00	220.5	247.1	110	204000	0.00054	12.615	0.00680
A-2	D-1	180.5	-250.6	1.00	215.6	241.6	4	235000	0.00002	10.190	0.00017
A-2	B-1	180.5	-204.6	1.00	192.6	215.8	16	474000	0.00003	13.608	0.00046
C	B-1	173.2	-204.6	1.00	188.9	211.7	64	538000	0.00012	1.000	0.00012
D-2	B-1	158.9	-204.6	1.00	181.7	203.7	14	708000	0.00002	1.000	0.00002
B-2	B-1	127.8	-204.6	1.00	166.2	186.3	792	1140000	0.00069	1.000	0.00069
B-2	D-2	127.8	-83.5	1.00	105.7	118.4	14	7570000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	127.8	-38.6	1.00	83.2	93.2	59	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.01900

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.020

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	D-1	0.0	-512.7	1.00	256.4	287.3	4	88500	0.00005	6.799	0.00031
NSS	B-1	0.0	-362.2	1.00	181.1	203.0	126	726000	0.00017	1.000	0.00017
F	B-1	-82.8	-362.2	1.00	139.7	156.6	6	2020000	0.00000	1.000	0.00000
E	B-1	-84.9	-362.2	1.00	138.7	155.4	14	2080000	0.00001	1.000	0.00001
D-2	B-1	-207.3	-362.2	1.00	77.5	86.8	14	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00049

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF: 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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'					
D-1	E	277.9	-374.2	1.00	326.1	365.4	4	25300	0.00016	6.605	0.00104
D-2	E	56.5	-374.2	1.00	215.4	241.4	10	236000	0.00004	6.482	0.00027
D-2	F	56.5	-311.0	1.00	183.8	205.9	4	656000	0.00001	1.000	0.00001
B-1	F	42.8	-311.0	1.00	176.9	198.2	2	858000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	D-2	42.8	-213.8	1.00	128.3	143.8	14	2920000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	C	42.8	-101.6	1.00	72.2	80.9	64	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00133

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.002

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

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

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.026

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	D-2	0.0	-660.9	1.00	330.4	364.0	14	25700	0.00054	17.066	0.00930
NSS	B-2	0.0	-529.9	1.00	265.0	291.9	116	81200	0.00143	13.987	0.01998
F	B-2	-256.0	-529.9	1.00	136.9	150.9	6	2370000	0.00000	1.000	0.00000
E	B-2	-332.4	-529.9	1.00	98.8	108.8	14	14300000	0.00000	1.000	0.00000
C	B-2	-361.4	-529.9	1.00	84.3	92.8	64	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02928

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.030

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
F	D-2	536.7	-322.6	1.00	429.6	473.3	6	7520	0.00080	13.596	0.01085
E	D-2	465.6	-322.6	1.00	394.1	434.2	8	10700	0.00075	13.259	0.00991
E	NSS	465.6	0.0	1.00	232.8	256.5	6	165000	0.00004	6.719	0.00024
C	NSS	363.8	0.0	1.00	181.9	200.4	64	795000	0.00008	1.000	0.00008
D-1	NSS	340.9	0.0	1.00	170.5	187.8	4	1110000	0.00000	1.000	0.00000
A-2	NSS	296.8	0.0	1.00	148.4	163.5	56	1750000	0.00003	1.000	0.00003
A-2	B-2	296.8	235.9	1.00	30.4	33.5	74	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.02112

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.022

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

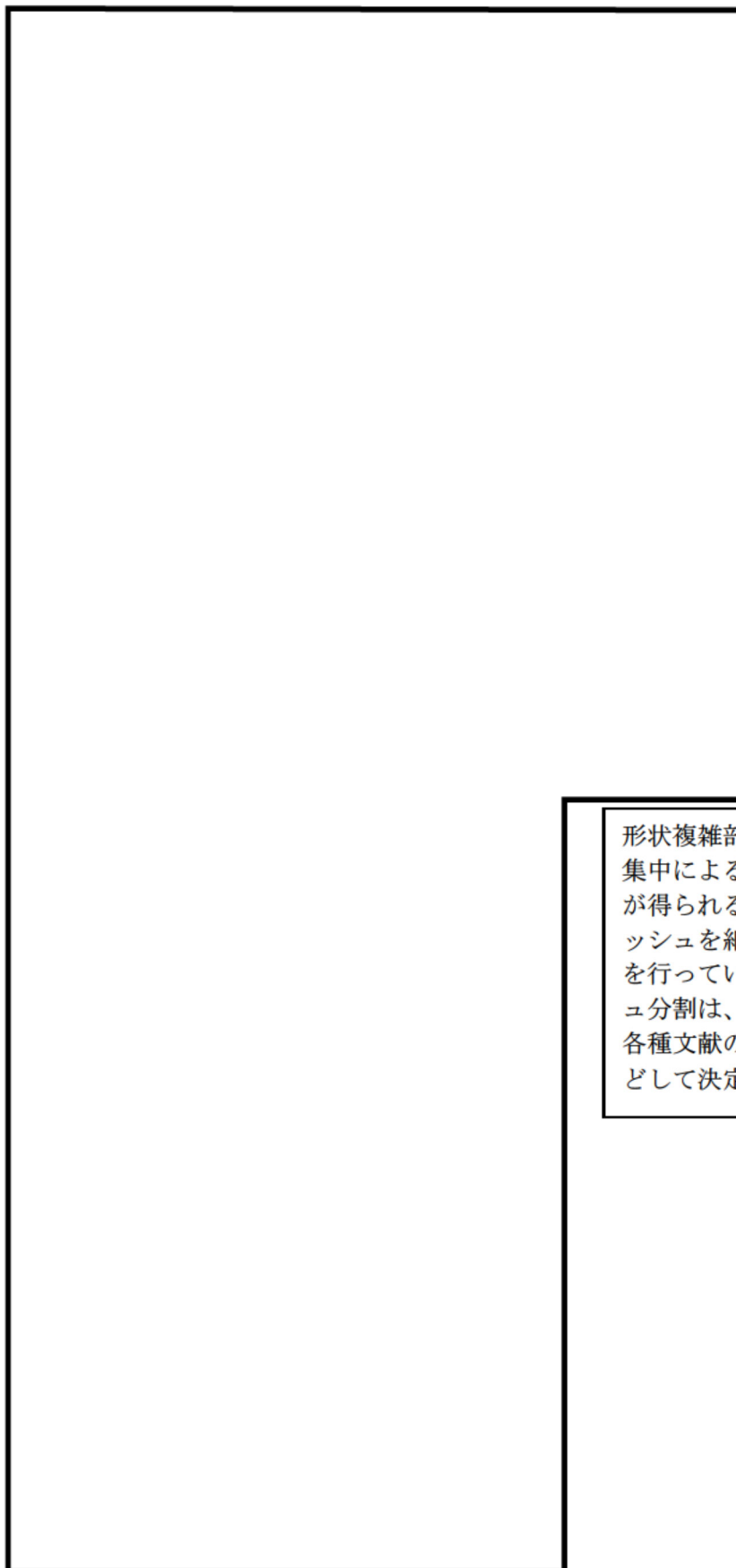
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
F	D-2	128.9	-148.1	1.00	138.5	152.6	6	2260000	0.00000	1.000	0.00000
E	D-2	115.7	-148.1	1.00	131.9	145.3	8	2790000	0.00000	1.000	0.00000
E	1A1	115.7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

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

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 1261"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345℃</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当)</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。 また、応力フローチャートを添付 2 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="486 1653 1305 1767"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数		節点数		要素数		評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当)	184	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
評価部位	材料	設計応力 (MPa)																				
		345℃																				
下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当)	184																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡																					



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

加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点および解析モデル

疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

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

許容値 $U_F = 1.0$

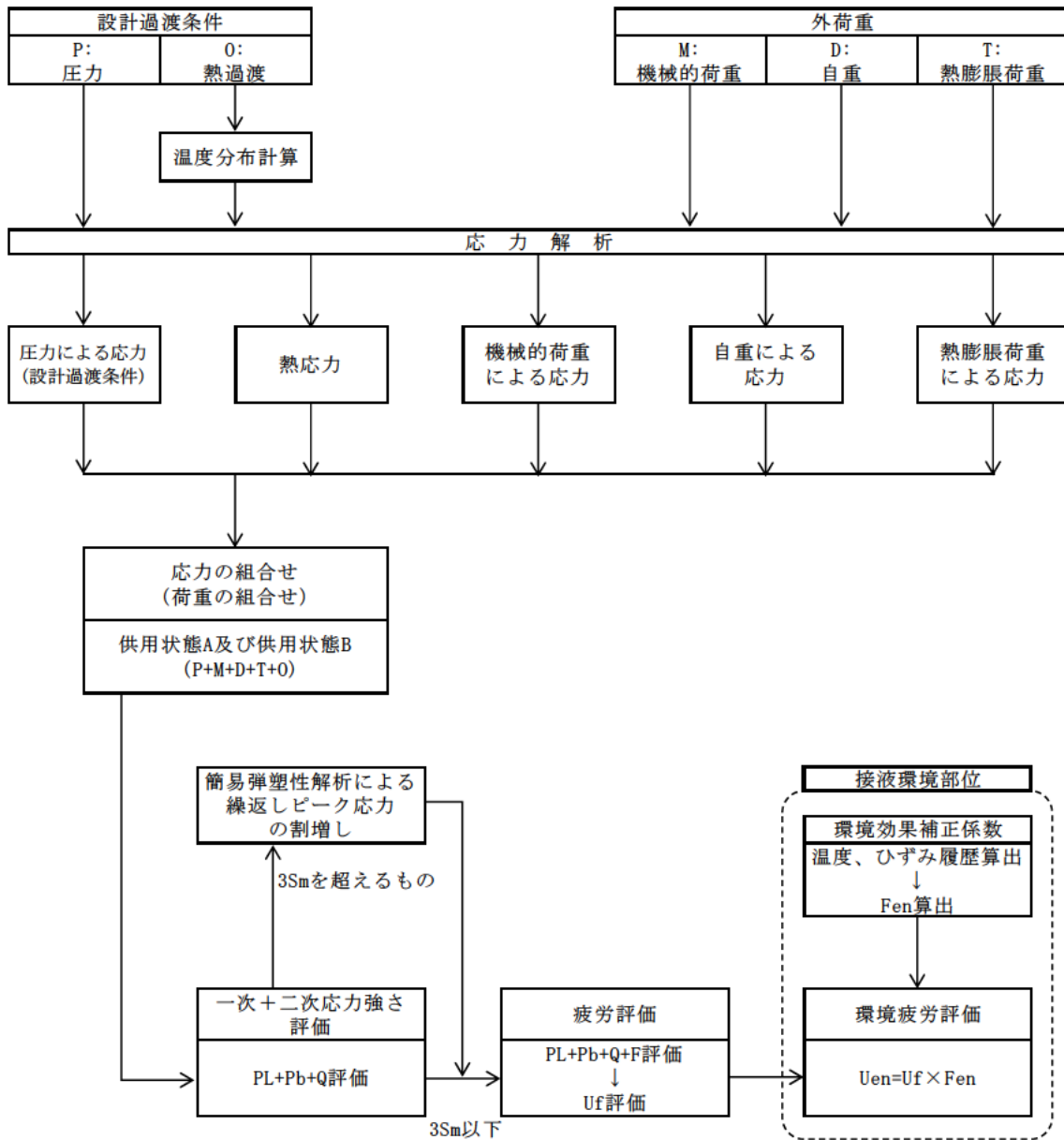
疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

評価点 - 7 (S12)

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

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

→通常UF : 0.145



備考：機械的荷重は作用しない。また、接液環境部位はない。

応力評価フローチャート

タイトル	詳細評価法による環境効果補正係数の算出手順について
説明	<p data-bbox="416 421 1348 488">1次冷却材ポンプ吐出ノズルを例に、環境疲労評価における、詳細評価法による環境効果補正係数 F_{en} の算出手順を添付-1に示す。</p> <p data-bbox="1262 1800 1348 1832">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

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

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

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

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

応力サイクルの $F_{en, det}$ は次式で求める。

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

疲労累積係数は次式で求める。

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

ある区間 k におけるひずみ速度

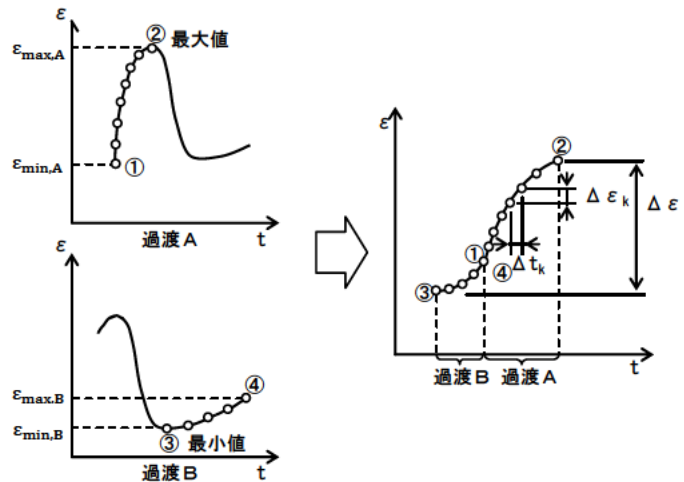
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

過渡 A の環境効果補正係数

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

過渡 B の環境効果補正係数

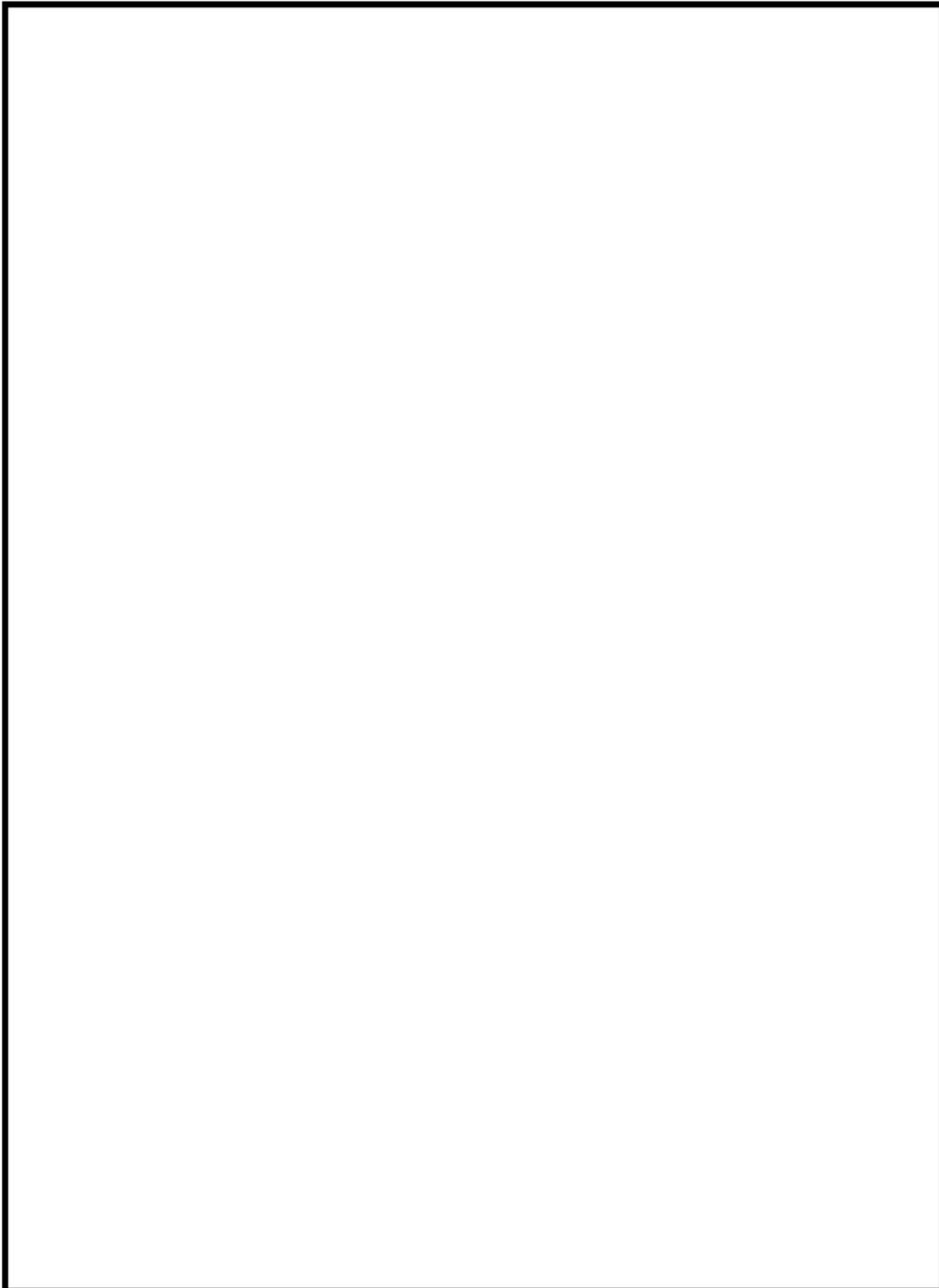
$$F_{en, det, B} = \sum_{k=1}^m F_{en, k} \frac{\Delta \varepsilon_k}{(\varepsilon_{max, B} - \varepsilon_{min, B})}$$



(4) 1次系冷却材ポンプの算出例

① ひずみと温度履歴

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



② 微小区間 k

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

表1 ひずみ及び温度履歴のデジタル値

詳細評価手法による評価

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

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

③ 環境効果補正係数(Fen)

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

$$C = 3.910$$

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

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

$$T_1 = \boxed{}$$

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

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

区間 1 のひずみ変化量は、

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

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

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

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

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

詳細評価手法による評価

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

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

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

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

表2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
1B1	1A1	370.9	-335.6	1.79	633.9	699.5	69	1710	0.04035	11.173	0.45085
2I2	2I1	288.1	-297.1	1.49	435.5	480.7	61	7070	0.00863	7.112	0.06136
2D3	2B1	245.8	-136.3	1.00	191.0	210.8	2	555000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	134.5	-136.3	1.00	135.4	149.4	2	2470000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	125.4	-106.6	1.00	116.0	128.0	7	4820000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	125.4	-58.2	1.00	91.8	101.3	3	34800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	125.4	-54.5	1.00	90.0	99.3	2	47700000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	125.4	-53.7	1.00	89.6	98.9	6	52300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	125.4	-53.0	1.00	89.2	98.5	2	60200000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	125.4	-52.7	1.00	89.0	98.3	42	64300000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	43.6	-52.2	1.49	71.3	78.7	61	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.51221

→環境 UF: 0.513

タイトル	有限要素法解析における応力分類について
説明	<p>1. 応力分類の方法 評価断面において、FEM 解析値を JSME GNR-2130 の考え方にに基づき、膜応力、曲げ応力、ピーク応力に分類する。 図 1 に加圧器スプレイ配管の 3 次元解析の例を示す。</p> <p>2. 評価断面の設定方法 評価候補断面（曲げ部、構造不連続部等）の中で、全節点の全時刻における最大ピーク応力強さを特定し、その最大ピーク応力強さを含む断面を、評価断面としている。</p> <p>3. ピーク応力強さの設定方法 ピーク応力強さは、各過渡事象の過渡条件に基づき、外荷重を考慮して応力履歴を算出し、時刻歴での最大応力をその過渡でのピーク応力強さとしている。</p> <p>4. 3次元解析モデルにおけるメッシュの管理方法 当社では、原子炉施設の許認可申請等に係る解析業務を行う際に、解析業務における品質管理を確実にを行うための調達管理のルールを定めている。具体的には、調達先に対して「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」（原子力安全推進協会）に従った品質管理の実施を要求し、当社も同ガイドラインに従って、調達先が定めた解析業務計画に従って実施しているプロセスの確認をしている。</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

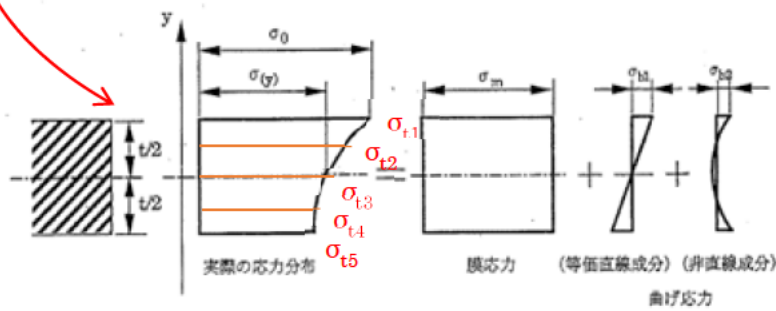
- $\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
- σ_{r1} 板厚方向応力
- σ_{t1} 軸方向応力
- $\sigma_{\theta 2}$
- σ_{r2}
- σ_{t2}
- ⋮
- ⋮
- $\sigma_{\theta 5}$
- σ_{r5}
- σ_{t5}



軸方向応力の抽出例

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

2005 設計・建設規格 第I編 解説 第1章 GNR



解説図 GNR-2130-1 膜応力と曲げ応力の考え方

図1 加圧器スプレイ配管の3次元解析の応力分類概略図

タイトル	疲労評価に用いた過渡回数のうち過渡項目No.17「100%からの原子炉トリップ:不注意な冷却を伴わないトリップ」の過渡回数が30年目評価から40年目評価において減少している理由について
説明	<p>年平均過渡回数が「30年:0.1回/年」から「40年 <input type="text"/> 回/年」に減少した※こと、60年迄の残りの年数が「30年:36.3年」から「40年:24.3年」に減少したことから、40年目評価の過渡回数が少なくなっている。</p> <p>※ 40年目評価では、(増加分に1.5倍の裕度を取るため)過度な保守性を除くよう小数点以下第2位に切り上げることに変更した。一方、30年目評価では、他で余裕を取っていないことから小数点以下第1位に切り上げる手法としていた。</p> <p>・30年目評価における運転開始後60年時点の推定過渡回数の計算過程 $3(\text{回}) + 0.1(\text{回/年}) \times 36.3(\text{年}) = 6.63 \Rightarrow 7\text{回}$</p> <p>・40年目評価における運転開始後60年時点の推定過渡回数の計算過程 <math>3(\text{回}) + \text{<input type="text"/>}(\text{回/年}) \times 24.3(\text{年}) \times 1.5 = \text{<input type="text"/>} \Rightarrow 6\text{回}</math></p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

＜経年劣化傾向の評価＞

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

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

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

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

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

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

表1 川内1号炉 疲労評価に用いた過渡回数の比較

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

表2 川内1号炉 主要な低サイクル疲労による疲労累積係数の予測評価の比較

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

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