

高浜発電所 4 号炉 審査資料	
資料番号	KTN4-PLM40-疲労 <u>改2</u>
提出年月日	令和5年11月9日

高浜発電所 4 号炉 劣化状況評価
(低サイクル疲労)

補足説明資料

令和5年11月9日
関西電力株式会社

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	19
4.3 総合評価	20
4.4 高経年化への対応	20
5. 代表機器以外の技術評価	21
5.1 健全性評価	21
5.2 現状保全	23
5.3 総合評価	25
5.4 高経年化への対応	25
6. まとめ	26
6.1 審査ガイド適合性	26
6.2 長期施設管理方針として策定する事項	28

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. 高浜 3 号炉の高経年化評価との相違点について	10-1
別紙 11. 高浜 4 号炉 制御棒クラスターの落下による原子炉トリップの影響について	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」および「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. 1 ⑤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

低サイクル疲労が想定される機器は多数存在するが、高経年化技術評価では評価対象となる機器の中から代表機器を選定して評価を行う。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設備

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 対象設備のグループ化及び代表機器の選定

高経年化技術評価では、評価対象機器を構造（型式等）、使用環境（内部流体等）、材料に応じてグループ化を行っており、設備の重要度（高い）、使用条件（温度、圧力が高い）等を考慮してグループ内代表機器を選定している。

以降の説明では、②で選ばれた低サイクル疲労が想定されるグループ内代表機器のうち、1機器を代表機器として評価の詳細を説明する。

ここでは、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、原子炉容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。

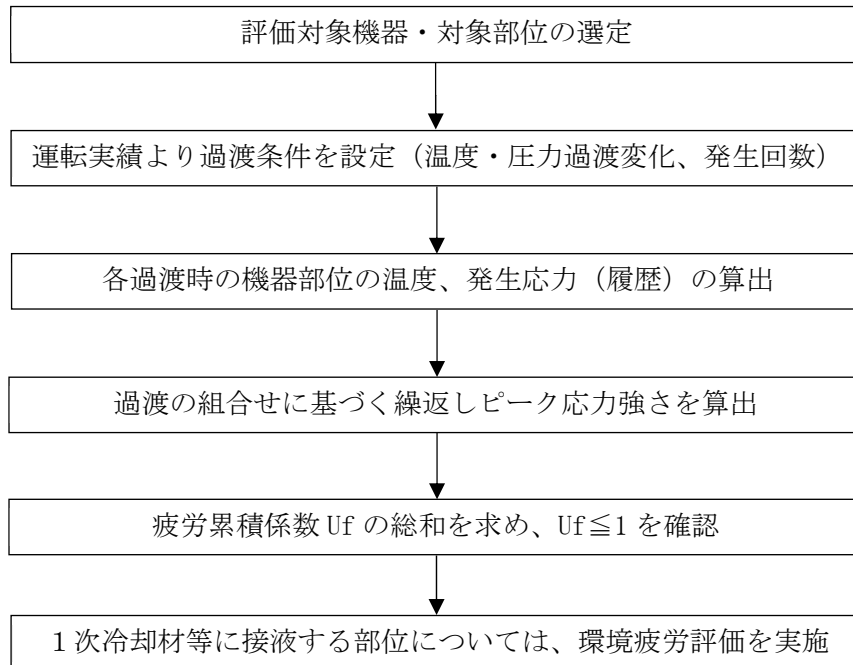


図1 低サイクル疲労の技術評価フロー

(2) 適用規格

低サイクル疲労の評価に用いた規格およ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)

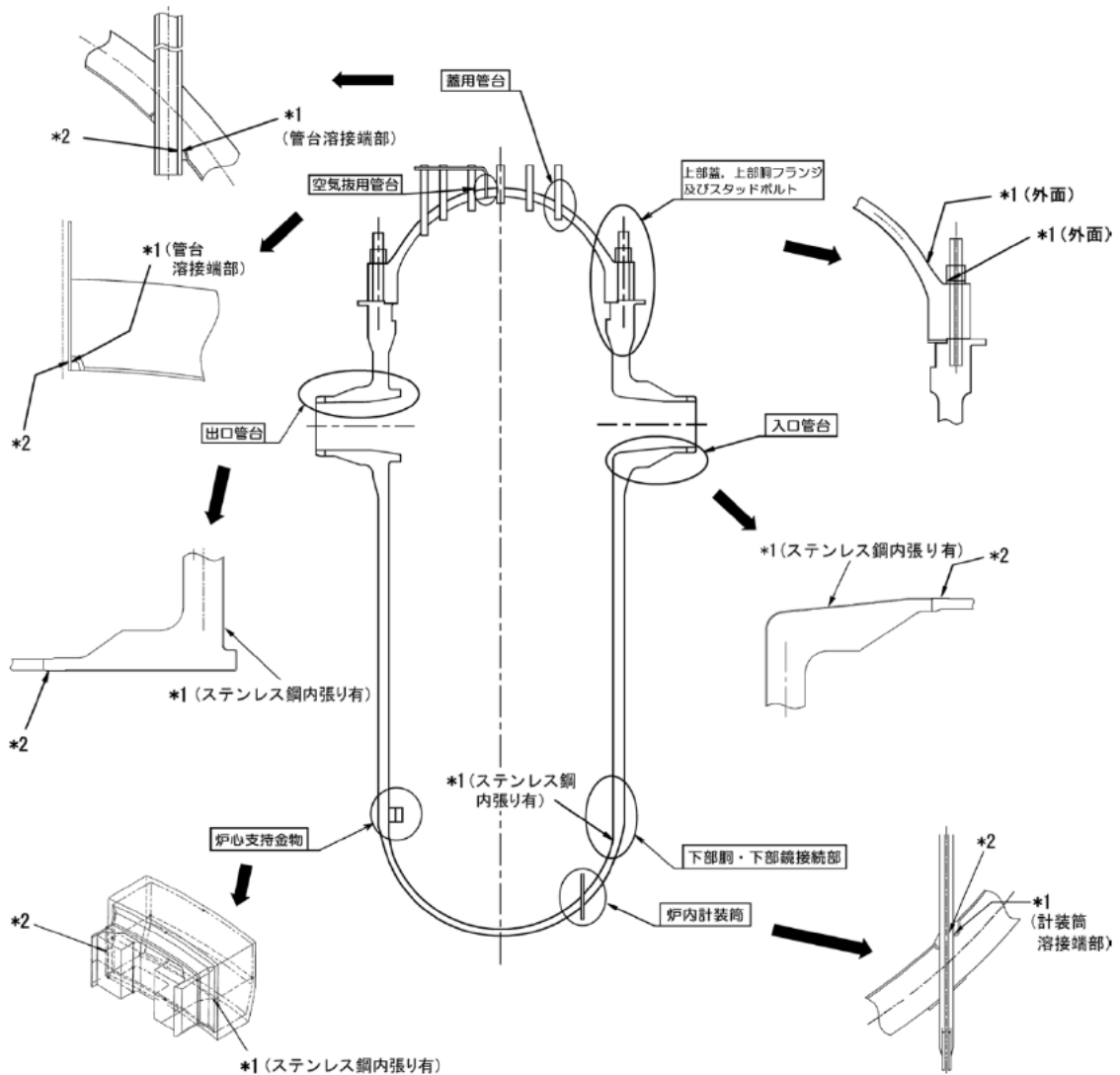


図2 原子炉容器の疲労評価対象部位

表2 対象部位の選定理由

	対象機器・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
	蓋用管台	原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位
	空気抜用管台	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
	上部蓋および上部胴フランジ	建設時工認評価部位
	下部胴・下部鏡接続部	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	建設時工認評価部位

(b) 過渡条件の設定

各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年時点の過渡回数を推定する。

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、実績過渡回数およ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計算方法に基づき未取替機器（上部蓋、蓋用管台、空気抜用管台以外）、取替機器（上部蓋、蓋用管台、空気抜用管台）、スタッドボルトの3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

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

② 取替機器（上部蓋、蓋用管台、空気抜用管台）

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

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に示す。

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 55.6°C/h)	起動・停止回数が異なる場合は、保守側に回数が多いほうに設定した。 なお、過渡変化率は、評価上最も厳しい設計過渡条件としており、十分保守的な値を設定した。
5	燃料交換	計算上は 0.78 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	原子炉容器上部蓋は第 17 回定検（2007 年度）の取替後、2019 年度末までの実績過渡で評価。
8	スタッドボルトおよび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	長期停止期間に発生した過渡の扱い	実績過渡回数に含めるが、年平均過渡回数の算定には含めない。長期停止期間の開始と終了は、燃料取出から燃料装荷までとする。 長期停止期間:2011 年 7 月 29 日～2016 年 1 月 30 日 2016 年 8 月 20 日～2017 年 4 月 28 日
11	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。
12	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。高浜 4 号炉については、1.5 とする。

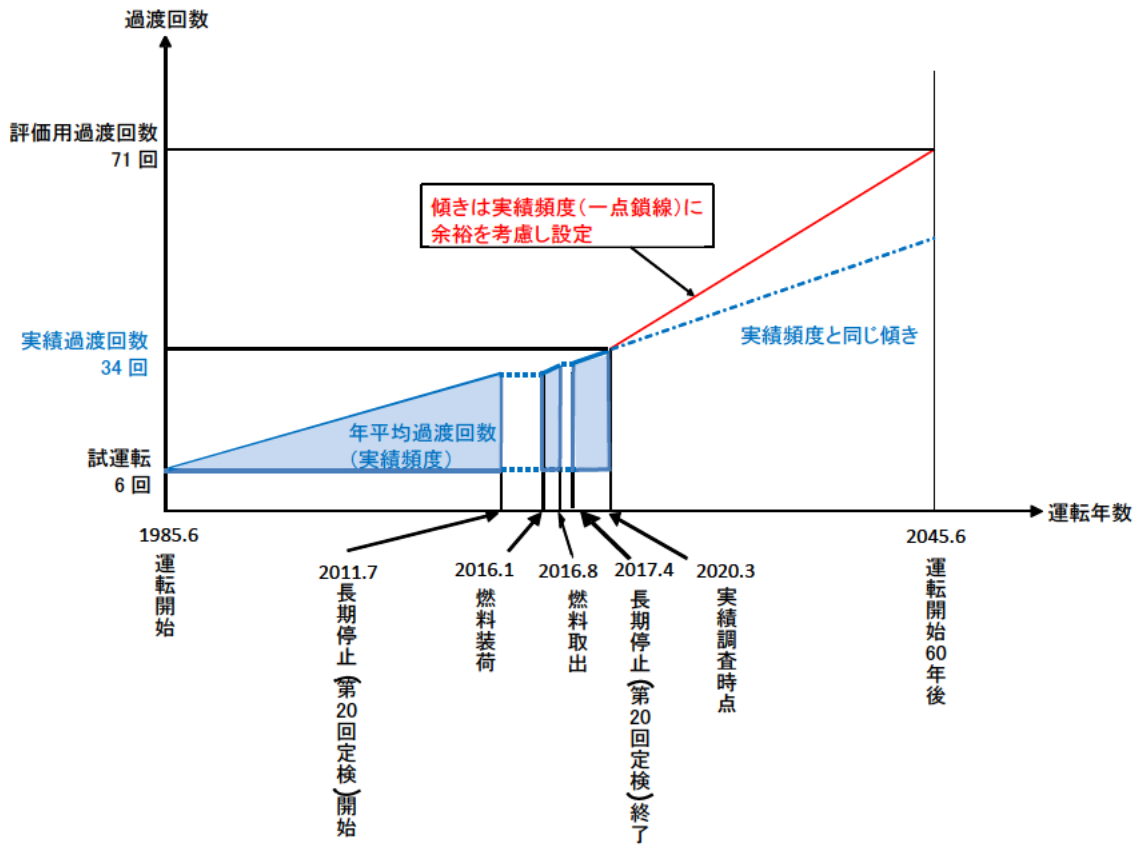


図3 評価用過渡回数の略式図(「停止」の例)

	営業運転開始時点 1985.6.5	現時点 (実績調査時点) 2020.3.31	運転開始後 60年時点 2045.6.4
実際の 運転状況	通常の 断続運転	20回 定検 運転 20回 定検	通常の 断続運転
評価上の 取扱い	①	② 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 長期停止期間であるため、この期間に発生した過渡の回数を実績値としてはカウントするが、年平均過渡回数の算出には考慮しない。</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 実績過渡回数およ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(1/3) 未取替機器（上部蓋、蓋用管台、空気抜用管台、およ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	35	71
停止（温度下降率55.6℃/h）	4、9	34	71
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3、9	308	800
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3、9	298	790
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	2、9	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2、9	2	4
定常負荷運転時の変動*1	1	-	-
燃料交換	5、9	24	62
0%から15%への負荷上昇	9	35	66
15%から0%への負荷減少	9	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動			
Ⅰ) 停止	2	0	2
Ⅱ) 起動	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	2、9	4	6
外部電源喪失	2、9	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	2
100%からの原子炉トリップ			
Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	9	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	3	3
1次系漏えい試験	9	31	65

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ （ $\pm 3.5\text{kg/cm}^2$ ）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：過渡回数特記事項10、11、12は記載省略。

表 4(2/3) 取替機器（上部蓋、蓋用管台、空気抜用管台）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°C/h）	4	10	46
停止（温度下降率55.6°C/h）	4	9	46
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3	68	560
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3	67	559
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	44
0%から15%への負荷上昇	-	7	38
15%から0%への負荷減少	-	6	36
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	-	1	4
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	-	9	43

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ （ $\pm 3.5\text{kg/cm}^2$ ）の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：過渡回数特記事項7、8、10、11、12は記載省略。

*3：運転開始後22年時点での上部蓋取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、上部蓋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38年間の過渡回数とした。

表 4(3/3) 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
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	4、9	37	75
停止 (温度下降率55.6°C/h)	4、9	35	75
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	3、9	308	800
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	3、9	298	790
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	2、9	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2、9	2	4
定常負荷運転時の変動*1	1	-	-
燃料交換	5、9	24	62
0%から15%への負荷上昇	9	35	66
15%から0%への負荷減少	9	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動			
I) 停止	2	0	2
II) 起動	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年度末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	2、9	4	6
外部電源喪失	2、9	1	4
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	2
100%からの原子炉トリップ			
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	9	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	3
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	3	3
1次系漏えい試験	9	33	70

*1：設計評価においては、1次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

*2：過渡回数特記事項8、10、11、12は記載省略。

(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。

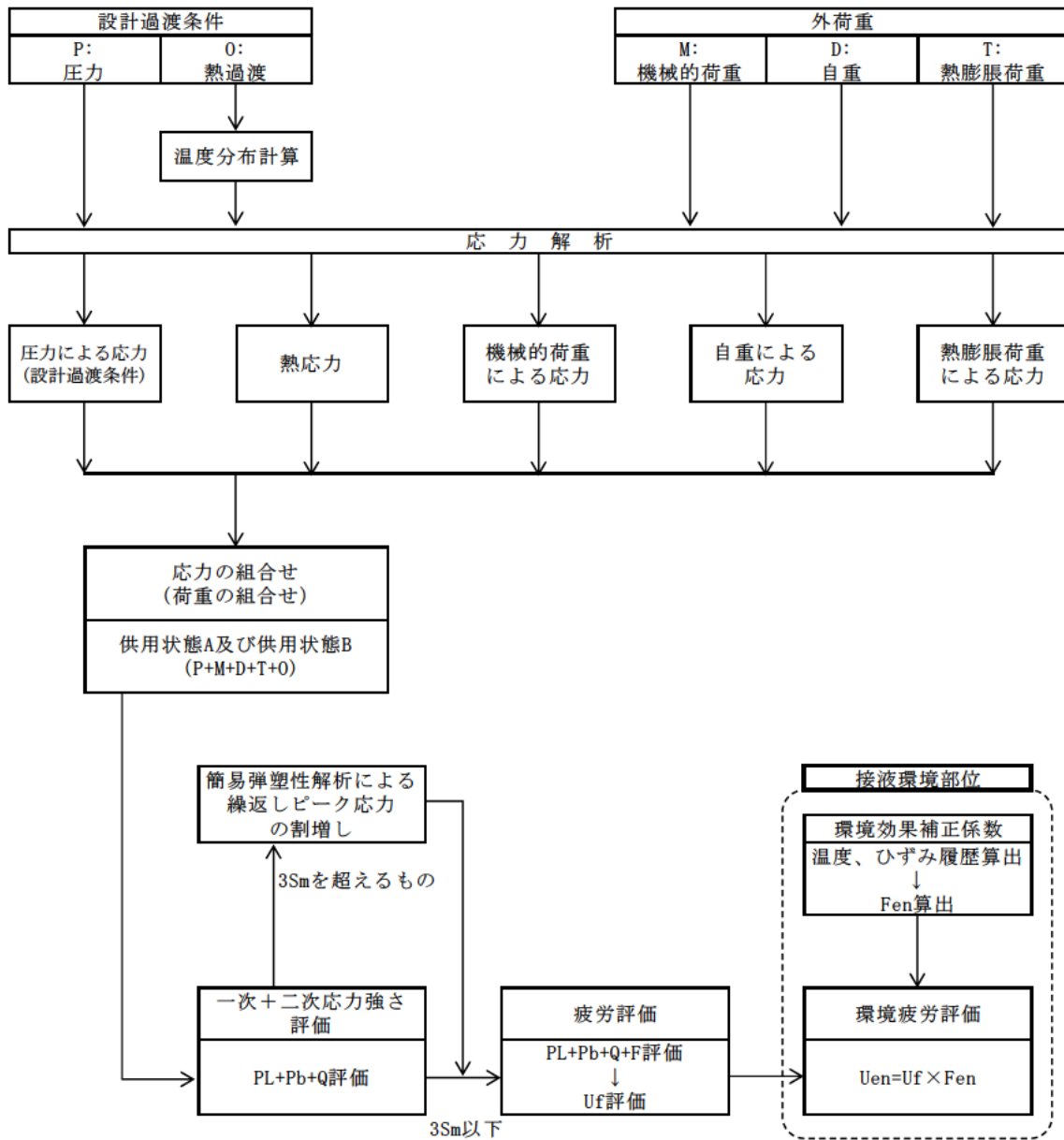


図 5(1/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルトを除く部位)

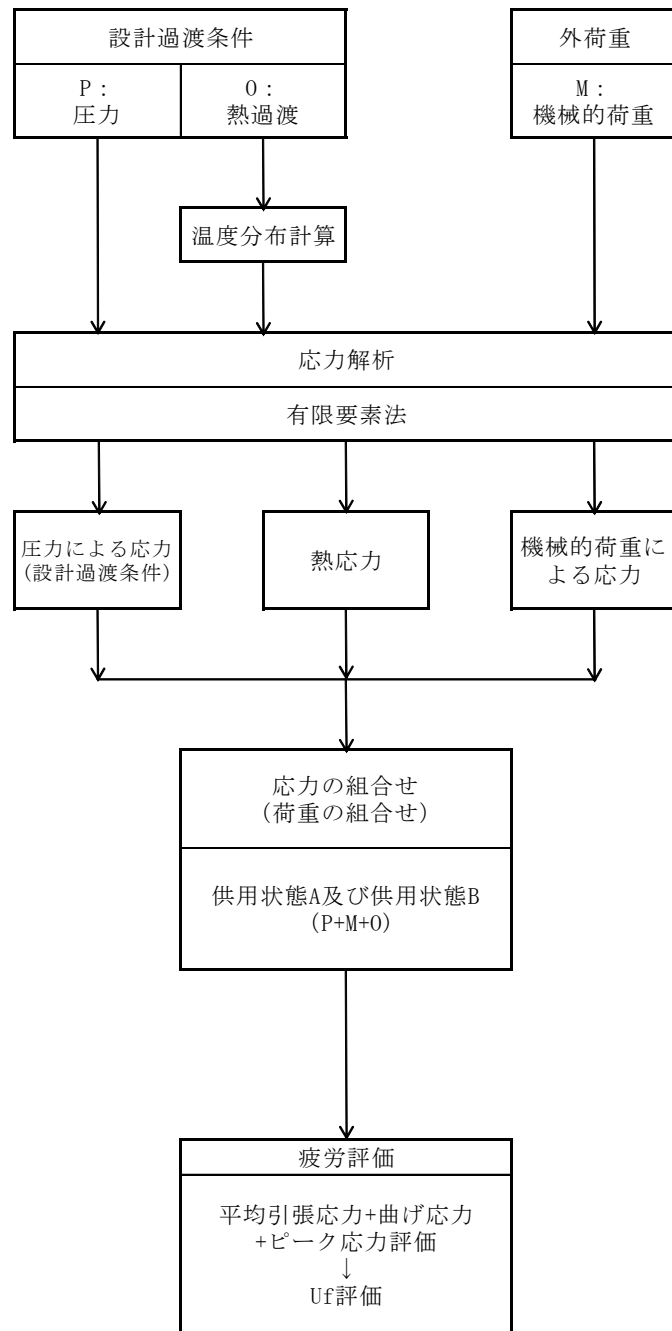


図 5(2/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルト)

(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
冷却材入口管台	0.039	0.001 ^{*2}
冷却材出口管台	0.043	0.001 ^{*2}
蓋用管台 ^{*1}	0.122	0.001 ^{*2}
空気抜用管台 ^{*1}	0.014	0.002 ^{*2}
炉内計装筒	0.120	0.002 ^{*2}
上部蓋 ^{*1} および上部胴フランジ	0.008	— ^{*3}
下部胴・下部鏡接続部	0.005	— ^{*3}
炉心支持金物	0.006	0.001 ^{*2}
スタッドボルト	0.372	— ^{*3}

*1：第17回定期検査時（2007年度）に原子炉容器上部蓋を取替えているため、38年間の過渡回数を基に算出した。

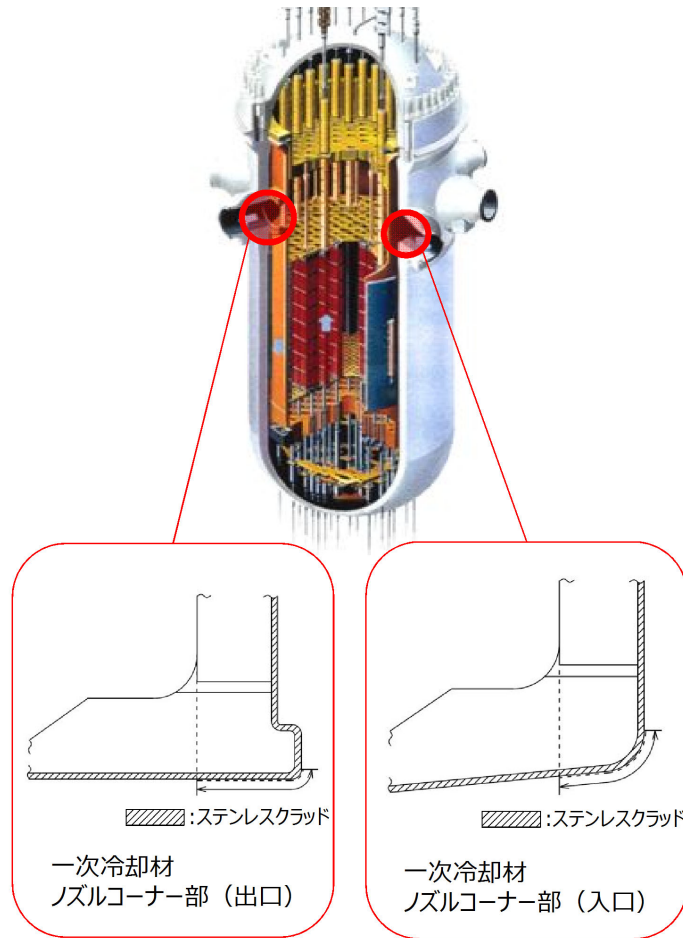
*2：炉水環境にあり、かつ疲労評価上最も厳しい箇所について評価を実施しており、疲労評価対象箇所と異なる。

*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）のノズルコーナ部に対して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）および「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、試験方法およ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、定期的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	100%/7年	①第20回定期検査 ②第22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	①第20回定期検査 ②第22回定期検査	良
蓋用管台	制御棒駆動装置ハウジングとの溶接部	浸透探傷検査	25%/7年	第22回定期検査	良
空気抜用管台	上部蓋の貫通部	漏えい検査による目視確認(VT-2)	毎定検	第23回定期検査	良
炉内計装筒	下部鏡の貫通部	ベアメタル検査*	100%/3.5年	第21回定期検査	良
上部蓋および上部胴フランジ	溶接部	超音波探傷検査	100%/7年	第20回定期検査	良
下部胴・下部鏡接続部	溶接部	超音波探傷検査	100%/7年	第20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22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22回定期検査	良
	ナット	目視確認(VT-1)	100%/7年	第22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のノズルコーナ部に対して、渦流探傷試験を実施した。その結果クラッド表面について損傷が認められなかった。これによりクラッドが健全であることおよびクラッド表面からの割れが確認されなかったことから、疲労評価結果の現時点での妥当性が確認できた。

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

なお、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

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。

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
ポンプ	余熱除去ポンプ	ケーシング	0.026	0.082*1
	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	0.103	0.795*1
		ケーシング脚部	0.105	0.796*1
熱交換器	再生熱交換器	管板部	0.038	0.048
	余熱除去冷却器	管板部	0.053	0.074
	蒸気発生器	管板まわり	0.142	0.151*1
		給水入口管台	0.163	0.513*2
容器	加圧器	スプレイライン用管台	0.063	0.034*1*2
		サージ用管台	0.040	0.199*1
	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	0.024	—*3
		主給水管貫通部伸縮継手	0.419	—*3
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側出 口管台～余熱除去ポンプ 入口第2隔離弁」	0.001	0.020
		余熱除去系統入口配管 「余熱除去ポンプ入口 第2隔離弁～原子炉格 納容器貫通部」	0.004	0.026

*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	0.007	0.004*2
		加圧器スプレイ配管	0.011	0.503*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	0.075
	1次冷却材管	ホットレグ	0.001	0.002
		クロスオーバーレグ	0.002	0.009
		コールドレグ	0.001	0.005
		加圧器サージライン用管台	0.031	0.165
		蓄圧タンク注入ライン管台	0.008	0.030
		余熱除去系戻りおよび安全 注入管台	0.008	0.027
		充てんライン用管台	0.003	0.027
弁	仕切弁	余熱除去ポンプCループ側 入口第1隔離弁弁箱	0.004	0.101
	玉形弁	抽出水止め弁弁箱	0.028	0.375
	スイング逆止弁	蓄圧タンク出口第2逆止弁 弁箱	0.100	0.918
	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
		下部炉心支持板	0.002	0.022
		下部炉心支持柱	0.003	0.031
重機器サ ポート	加圧器	加圧器スカート溶接部	0.150	—*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ない。

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	ケーシング内面全体の目視確認	1回/6定検	第22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19回定期検査 ②第23回定期検査	良
熱交換器	再生熱交換器	管板	漏えい検査(VT-2)	100%/7年	第22回定期検査	良
	余熱除去冷却器	管板	目視確認	1回/10定検	第18回定期検査	良
	蒸気発生器	管板	①溶接部の超音波探傷検査 ②漏えい試験(VT-2)	①25%/7年 ②毎定検	①第22回定期検査 ②第23回定期検査	良
		給水入口管台	漏えい試験(VT-2)	100%/7年	第22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	①第19回定期検査 ②第19回定期検査 ③第23回定期検査	良
		サージ用管台			①第19回定期検査 ②第19回定期検査 ③第23回定期検査	
	機械 ペネトレーション	余熱除去出口配管貫通部	①目視確認 ②原子炉格納容器漏えい率試験	①②1回/3定検	①②第22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						

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	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側 出口管台～余熱除去ポンプ入口第2隔離弁」	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	①第22回定期検査 ②第20回定期検査 ③第23回定期検査	良
		余熱除去系統入口配管 「余熱除去ポンプ入口第2隔離弁～原子炉格納容器貫通部」	①溶接部の浸透探傷検査 ②漏えい検査(VT-2)	①7.5%/7年 ②100%/7年	①第23回定期検査 ②第23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 ②漏えい検査(VT-2)	①25%/7年 ②毎定検	①第21回定期検査 ②第23回定期検査	良	
	加圧器スプレイ配管			①第22回定期検査 ②第23回定期検査	良	
	炭素鋼配管	主給水系統配管	漏えい検査(VT-2)	100%/7年	第22回定期検査	良
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、加圧器サージライン用管台、蓄圧タンク注入ライン管台、余熱除去系戻りおよび安全注入管台、充てんライン用管台	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	①第22回定期検査 ②第22回定期検査 ③第23回定期検査	良	
弁	仕切弁	余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁弁箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/10定検 ②毎定検	①第20回定期検査 ②第23回定期検査	良
	玉形弁	抽出水止め弁弁箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/4定検 ②毎定検	①第23回定期検査 ②第23回定期検査	良
	スイング逆止弁	蓄圧タンク出口第2逆止弁弁箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/10定検 ②毎定検	①第22回定期検査 ②第23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/20定検 ②毎定検	①第23回定期検査 ②第23回定期検査	良
炉内構造物	上部炉心支持板 上部炉心支持柱	水中テレビカメラによる目視確認(VT-3)	7.5%/7年	第22回定期検査	良	
	下部炉心支持板			第20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22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、疲労評価は実績過渡回数に依存するため、今後も実績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を下回ることを確認した。</p>	<p>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>
<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>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>
	<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>4.4および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

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および5.1の「健全性評価」に示すとおり、運転開始後60年時点の推定過渡回数を用いて健全性評価を実施した。</p> <p>4.2、4.3、5.2および5.3の「現状保全」および「総合評価」に示すとおり、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>4.4および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および見直し 高経年化技術評価の実施およ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および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、大飯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 高浜発電所 4 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
原子炉容器等※	原子炉容器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。	長期

※：疲労累積係数による低サイクル疲労の評価を実施した全ての機器

短期：2025 年 6 月 5 日からの 5 年間、中長期：2025 年 6 月 5 日からの 10 年間、

長期：2025 年 6 月 5 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. 高浜 3 号炉の高経年化評価との相違点について
- 別紙 11. 高浜 4 号炉 制御棒クラスターの落下による原子炉トリップの影響について

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 年間当たりの平均過渡回数)\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、高浜 4 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

$$35 \text{ 回}^{\text{注1)}} + 0.94 \text{ 回/年}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 25.2 \text{ 年 (残りの年数)} \approx 71 \text{ 回} = 71 \text{ 回 (評価用)}$$

注1) 試運転：7回

2020年3月末までの実績(試運転除く):34.665回→35回(うち微小過渡1.665回→2回)
(試運転の過渡回数は下表の①、2020年3月末までの実績(試運転除く)は②参照)

注2) 2020年3月末までの実績(試運転および長期停止期間(2011年8月から2016年1月までおよび2016年8月から2017年4月まで)を除く)

÷2020年3月末までの年数(長期停止期間(2011年8月から2016年1月までおよび2016年8月から2017年4月まで)を除く)

$$27.645 \text{ 回} \div 29.6 \text{ 年} \approx 0.933 \text{ 回/年} \rightarrow 0.94 \text{ 回/年}$$

(試運転時および長期停止期間中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	2020年3月末までの実績(試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状～60年までの増加分(25.2年)	現状までの回数+現状～60年までの増加分	評価用過渡回数
1 起動	7	26	35 (7+26+1.665 =34.665 →35)	0.94 (26+1.645 =27.645 27.645 29.6 →0.933 →0.94)	36 (25.2×0.94× 1.5 =35.532 →36)	71 (=35+36)	71
微小過渡		1.665 (このうち長期停止期間中の実績 0.020)					
(実績+微小過渡)	(7+0)	(26+2)	(33+2*)				

*1：総微小過渡回数

○「負荷上昇」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

$$308 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \boxed{}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 25.2 \text{ 年 (残りの年数)} \div 800 \text{ 回} = 800 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転 : 13 回

2020 年 3 月末までの実績 (試運転除く) : 295 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 (試運転および長期停止期間 (2011 年 8 月から 2016 年 1 月までおよび 2016 年 8 月から 2017 年 4 月まで) を除く)

÷ 2020 年 3 月末までの年数 (長期停止期間 (2011 年 8 月から 2016 年 1 月までおよび 2016 年 8 月から 2017 年 4 月まで) を除く)

$$295 \text{ 回} \div 29.6 \text{ 年} = 9.97 \text{ 回/年}$$

(試運転時および長期停止期間中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 9.97 回/年となるが、稼働率が高くなった場合のステムフリーテスト回数増加を考慮し、 $\boxed{}$ と設定する。

過渡回数説明リスト (2 / 9)

過渡項目	試運転	2020 年 3 月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6 年	現状~60 年までの増加分 (25.2 年)	現状までの回数+現状~60 年までの増加分	評価用過渡回数
3 負荷上昇	$\boxed{13}$ ③	$\boxed{295}$ ④	308 (=13+295)	$\boxed{}$ 注 1) $\left(\frac{295}{29.6} = 9.97 \right)$	492 $\left(25.2 \times \boxed{} \times 1.5 \right)$ $\left(\boxed{} \rightarrow 492 \right)$	800 (=308+492)	800

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、 $\boxed{}$ とする。

○「負荷の喪失」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

$$4 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \boxed{}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 25.2 \text{ 年 (残りの年数)} \div 6 \text{ 回} = 6 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転 : 4 回

2020 年 3 月末までの実績 (試運転除く) : 0 回

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

注 2) 高浜 4 号炉では経験はないが、電共研「応力解析手法の高度化」より $\boxed{}$ を用いる。

過渡回数説明リスト (3 / 9)

過渡項目	試運転	2020 年 3 月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6 年	現状~60 年までの増加分 (25.2 年)	現状までの回数+現状~60 年までの増加分	評価用過渡回数
31 負荷の喪失	$\boxed{4}$ ⑤	$\boxed{0}$ ⑥	4	$\boxed{}$ 注 1)	2 $\left(25.2 \times \boxed{} \times 1.5 \right)$ $\left(\boxed{} \rightarrow 2 \right)$	6 (=4+2)	6

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	2020年3月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状~60年 までの増加分 (25.2年)	現状までの回数+ 現状~60年までの 増加分	評価用過渡回数
2 停止	6	26	34 $\left(\begin{array}{l} 6+26+1.467 \\ =33.467 \\ \rightarrow 34 \end{array} \right)$	0.93 $\left(\begin{array}{l} 26+1.444 \\ =27.444 \\ \frac{27.444}{29.6} \approx 0.93 \end{array} \right)$	36 $\left(\begin{array}{l} 25.2 \times 0.93 \times \\ 1.5 \\ =35.154 \rightarrow 36 \end{array} \right)$	70 (=34+36)	71 ^{*2}
微小過渡		1.467 (このうち長期 停止期間中の 実績 0.023)					
(実績+微小過渡)	(6+0)	(26+2)	(32+2 ^{*1})				

*1: 総微小過渡回数
*2: 起動に合わせた回数

過渡回数説明リスト (5 / 9)

過渡項目	試運転	2020年3月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状~60年 までの増加分 (25.2年)	現状までの回数+ 現状~60年までの 増加分	評価用過渡回数
4 負荷減少	4	294	298 (=4+294)	<input type="checkbox"/> 注2) $\left(\frac{294}{29.6} \approx 9.94 \right)$	492 $\left(\begin{array}{l} 25.2 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 492 \end{array} \right)$	790 (=298+492)	790
5 90%から 100%へのステップ状 負荷上昇	3	0	3	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $\left(\begin{array}{l} 25.2 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 1 \rightarrow 2 \end{array} \right)$	5 (=3+2)	5
6 100%から 90%へのステップ状 負荷減少	3	0	3	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $\left(\begin{array}{l} 25.2 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 1 \rightarrow 2 \end{array} \right)$	5 (=3+2)	5
7 100%負荷からの大きい ステップ状負荷減少	2	0	2	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $\left(\begin{array}{l} 25.2 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 2 \end{array} \right)$	4 (=2+2)	4
8 定常負荷運転時の変動	-	-	-	-	-	-	-
9 燃料交換	1	23	24 (=1+23)	<input type="checkbox"/> 注3) $\left(\frac{23}{29.6} \approx 0.78 \right)$	38 $\left(\begin{array}{l} 25.2 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 38 \end{array} \right)$	62 (=24+38)	62

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) 稼働率が上がった場合のシステムフリーテスト回数増加を考慮し、とする。
 注3) 現状平均は、0.78回/年であるが、とする。

過渡回数説明リスト (6 / 9)

過渡項目	試運転	2020年3月未 までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状～60年 までの増加分 (25.2年)	現状までの回数+ 現状～60年までの 増加分	評価用過渡回数
10 0%から15%への負荷上昇	11	24	35 (=11+24)	0.82 $\left(\frac{24}{29.6} \approx 0.82\right)$	31 $\left(25.2 \times 0.82 \times 1.5\right)$ =30.996→31	66 (=35+31)	66
11 15%から0%への負荷減少	2	23	25 (=2+23)	0.78 $\left(\frac{23}{29.6} \approx 0.78\right)$	30 $\left(25.2 \times 0.78 \times 1.5\right)$ =29.484→30	55 (=25+30)	55
12 I) 1ループ起動/停止 I) 1ループ停止	0	0	0	<input type="text"/> 注1)	2 $\left(25.2 \times \text{} \times 1.5\right)$ →1→2	2	2
II) 1ループ起動	0	0	0	<input type="text"/> 注1)	2 $\left(25.2 \times \text{} \times 1.5\right)$ →1→2	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 (7 / 9)

過渡項目	試運転	2020年3月未 までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状～60年 までの増加分 (25.2年)	現状までの回数+ 現状～60年までの 増加分	評価用過渡回数
32 外部電源喪失	1	0	1	<input type="text"/> 注1)	3 $\left(25.2 \times \text{} \times 1.5\right)$ →3	4 (=1+3)	4
33 1次冷却材流量の部分喪失	0	0	0	<input type="text"/> 注1)	2 $\left(25.2 \times \text{} \times 1.5\right)$ →1→2	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 (8/9)

過渡項目	試運転	2020年3月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状～60年 までの増加分 (25.2年)	現状までの回数+ 現状～60年までの 増加分	評価用過渡回数
34 100%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	1	2	3 (=1+2)	0.07 $\left(\frac{2}{29.6}=0.07\right)$	3 $\left(\frac{25.2 \times 0.07 \times}{1.5}\right)$ =2.646→3	6 (=3+3)	6
Ⅱ)不注意な冷却を伴う トリップ	0	0	0	注1)	2 $\left(\frac{25.2 \times \square \times}{1.5}\right)$ →1→2	2	2
Ⅲ)不注意な冷却と安全注入 を伴うトリップ	0	0	0	注1)	2 $\left(\frac{25.2 \times \square \times}{1.5}\right)$ →1→2	2	2
35 1次冷却系の異常な減圧	0	0	0	注1)	2 $\left(\frac{25.2 \times \square \times}{1.5}\right)$ →1→2	2	2
36 制御棒クラスタの落下	0	0	0	注1)	2 $\left(\frac{25.2 \times \square \times}{1.5}\right)$ →1→2	2	2
37 出力運転中の非常用炉心冷却 系の誤起動	0	0	0	注1)	2 $\left(\frac{25.2 \times \square \times}{1.5}\right)$ →1→2	2	2
38 1次冷却系停止ループの誤起動	0	0	0	注1)	2 $\left(\frac{25.2 \times \square \times}{1.5}\right)$ →1→2	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	2020年3月末ま での実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 29.6年	現状～60年 までの増加分 (25.2年)	現状までの回数+ 現状～60年までの 増加分	評価用過渡回数
39 1次系漏えい試験	3	24	31 $\left(\begin{array}{l} 3+1+24 \\ +2.117 \\ =30.117 \rightarrow 31 \end{array}\right)$	0.89 $\left(\frac{24+2.117}{29.6}=26.117\right)$ $\frac{26.117}{29.6} \approx 0.89$	34 $\left(\frac{25.2 \times 0.89 \times}{1.5}\right)$ =33.642→34	65 (=31+34)	65
微小過渡	0.100	2.117					
(実績+微小過渡)	(3+1)	(24+3)	(27+4*)				
40 タービン回転試験	3	0	3	0	—	3	3

*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 ※ <u>1,2</u>	等価回数 ($1/\alpha$) ※ <u>2</u>
1	20.1	49.2	-		6(3)	0.167(0.334)
2	19.3	49.2	-		6(3)	0.167(0.334)
3	13.9	82.6	-		20(6)	0.050(0.167)
4	4.8	14.0	-		559(53)	0.002(0.019)
5	12.4	45.2	-		45(11)	0.023(0.091)
6	-	-	82.0		1(1)	1.000(1.000)
7	10.6	19.0	-		83(16)	0.012(0.063)
8	-	-	2.75		83(16)	0.012(0.063)
9	1.6	13.8	-		559(53)	0.002(0.019)
10	-	-	2.25		137(22)	0.008(0.046)
11	-	-	2.75		83(16)	0.012(0.063)
12	9.4	17.2	-		83(16)	0.012(0.063)
13	6.4	12.8	-		302(36)	0.004(0.028)
14	-	-	2.75		83(16)	0.012(0.063)
15	3.2	22.2	-		559(53)	0.002(0.019)
16	4.6	13.5	-		559(53)	0.002(0.019)
17	-	-	2.77		83(16)	0.012(0.063)
18	-	-	2.75		83(16)	0.012(0.063)
19	15.7	40.4	-		20(6)	0.050(0.167)
20	1.2	16.3	-		559(53)	0.002(0.019)
21	5.0	16.3	-		559(53)	0.002(0.019)
22	-	-	2.26		137(22)	0.008(0.046)
23	37.9	38.5	-		137(22)	0.008(0.046)
24	13.4	15.2	-		559(53)	0.002(0.019)
25	14.2	14.2	-		559(53)	0.002(0.019)
26	0.5	12.5	-		559(53)	0.002(0.019)
27	1.5	14.8	-		559(53)	0.002(0.019)
28	-	-	2.24		137(22)	0.008(0.046)
29	-	-	2.27		137(22)	0.008(0.046)
30	-	-	2.25		137(22)	0.008(0.046)
31	-	-	2.27		137(22)	0.008(0.046)
32	29.2	29.2	-		418(44)	0.003(0.023)
33	-	-	2.09		209(29)	0.005(0.035)

※1: $\alpha = R^{(1/\tan a)}$ で算出する。 $1/\alpha$ は微小過渡が基準過渡何回分に相当するかを表す。Rは および の最大値で、aは設計疲労線図(S-Nカーブ)の勾配である。

※2: ()内はスタッドボルトに適用する。低合金鋼およびオーステナイトステンレス鋼と高張力ボルトでは、設計疲労線図(S-Nカーブ)の勾配が異なるため、等価回数は異なる。(それぞれ $a=20^\circ$ および $a=30^\circ$)

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 ※ <u>1,2</u>	等価回数 ($1/\alpha$) ※ <u>2</u>
34	1.7	16.3	-		559(53)	0.002(0.019)
35	-	-	2.26		137(22)	0.008(0.046)
36	12.5	12.5	-		559(53)	0.002(0.019)
37	-	-	1.85		302(36)	0.004(0.028)
38	-	-	2.71		83(16)	0.012(0.063)
39	-	-	2.02		209(29)	0.005(0.035)
40	-	-	2.21		137(22)	0.008(0.046)
41	-	-	2.29		137(22)	0.008(0.046)

※1: $\alpha = R^{(1/\tan a)}$ で算出する。 $1/\alpha$ は微小過渡が基準過渡何回分に相当するかを表す。R は および の最大値で、a は設計疲労線図(S-N カーブ)の勾配である。

※2: () 内はスタッドボルトに適用する。低合金鋼およびオーステナイトステンレス鋼と高張力ボルトでは、設計疲労線図(S-N カーブ)の勾配が異なるため、等価回数は異なる。(それぞれ $a=20^\circ$ および $a=30^\circ$)

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 ※1,2	等価回数 ($1/\alpha$) ※2
1	14.4	54.0	-	20(6)	0.050(0.167)
2	20.8	71.0	-	6(3)	0.167(0.334)
3	15.4	58.7	-	20(6)	0.050(0.167)
4	-	-	82.0	1(1)	1.000(1.000)
5	10.0	14.4	-	83(16)	0.012(0.063)
6	-	-	2.75	83(16)	0.012(0.063)
7	2.6	13.8	-	559(53)	0.002(0.019)
8	-	-	2.42	137(22)	0.008(0.046)
9	9.7	20.4	-	83(16)	0.012(0.063)
10	-	-	2.35	137(22)	0.008(0.046)
11	3.2	13.0	-	559(53)	0.002(0.019)
12	-	-	2.35	137(22)	0.008(0.046)
13	9.0	13.8	-	137(22)	0.008(0.046)
14	4.8	17.1	-	559(53)	0.002(0.019)
15	11.4	17.3	-	45(11)	0.023(0.091)
16	-	-	2.47	137(22)	0.008(0.046)
17	-	-	2.43	137(22)	0.008(0.046)
18	8.8	14.4	-	559(53)	0.002(0.019)
19	-	-	2.25	137(22)	0.008(0.046)
20	38.0	38.0	-	137(22)	0.008(0.046)
21	13.4	13.4	-	559(53)	0.002(0.019)
22	14.2	14.2	-	559(53)	0.002(0.019)
23	4.6	16.3	-	559(53)	0.002(0.019)
24	-	-	2.27	137(22)	0.008(0.046)
25	-	-	2.29	137(22)	0.008(0.046)
26	-	-	2.25	137(22)	0.008(0.046)
27	-	-	2.26	137(22)	0.008(0.046)
28	29.2	29.5	-	302(36)	0.004(0.028)
29	-	-	2.09	209(29)	0.005(0.035)
30	3.4	13.0	-	559(53)	0.002(0.019)
31	6.2	15.5	-	559(53)	0.002(0.019)
32	-	-	2.26	137(22)	0.008(0.046)
33	12.5	12.5	-	559(53)	0.002(0.019)

※1: $\alpha = R^{(1/\tan a)}$ で算出する。1/αは微小過渡が基準過渡何回分に相当するかを表す。Rは および の最大値で、aは設計疲労線図(S-Nカーブ)の勾配である。

※2: ()内はスタッドボルトに適用する。低合金鋼およびオーステナイトステンレス鋼と高張力ボルトでは、設計疲労線図(S-Nカーブ)の勾配が異なるため、等価回数は異なる。(それぞれ a=20° および a=30°)

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 ※ <u>1,2</u>	等価回数 ($1/\alpha$) ※ <u>2</u>
34	-	-	2.60		83 (16)	0.012 (0.063)
35	3.2	12.6	-		559 (53)	0.002 (0.019)
36	-	-	2.28		137 (22)	0.008 (0.046)

※1 : $\alpha = R^{(1/\tan a)}$ で算出する。 $1/\alpha$ は微小過渡が基準過渡何回分に相当するかを表す。 R は および の最大値で、 a は設計疲労線図 (S-N カーブ) の勾配である。

※2 : () 内はスタッドボルトに適用する。 低合金鋼およびオーステナイトステンレス鋼と高張力ボルトでは、設計疲労線図 (S-N カーブ) の勾配が異なるため、等価回数は異なる。(それぞれ $a=20^\circ$ および $a=30^\circ$)

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 ※ <u>1,2</u>	等価回数 ($1/\alpha$) ※ <u>2</u>
1	15.0	15.0	-		20 (6)	0.050 (0.167)
2	7.5	15.0	-		83 (16)	0.012 (0.063)
3	-	-	6.6		559 (53)	0.002 (0.019)
4	-	-	5.9		559 (53)	0.002 (0.019)
5	7.2	14.0	-		83 (16)	0.012 (0.063)
6	11.8	21.9	-		45 (11)	0.023 (0.091)
7	12.8	56.0	-		6 (3)	0.167 (0.334)
8	-	-	42.0		45 (11)	0.023 (0.091)
9	14.8	38.3	-		20 (6)	0.050 (0.167)
10	20.5	57.4	-		6 (3)	0.167 (0.334)
11	11.9	15.9	-		45 (11)	0.023 (0.091)
12	14.0	33.6	-		20 (6)	0.050 (0.167)
13	18.2	46.0	-		20 (6)	0.050 (0.167)
14	12.5	46.4	-		20 (6)	0.050 (0.167)
15	15.3	44.4	-		20 (6)	0.050 (0.167)
16	19.3	47.6	-		6 (3)	0.167 (0.334)
17	14.8	24.4	-		20 (6)	0.050 (0.167)
18	15.6	22.8	-		20 (6)	0.050 (0.167)
19	30.6	41.0	-		1 (1)	1.000 (1.000)
20	-	-	4.12		45 (11)	0.023 (0.091)
21	-	-	4.17		45 (11)	0.023 (0.091)
22	-	-	4.15		45 (11)	0.023 (0.091)
23	-	-	4.17		45 (11)	0.023 (0.091)
24	-	-	4.12		45 (11)	0.023 (0.091)
25	-	-	4.13		45 (11)	0.023 (0.091)
26	-	-	4.22		45 (11)	0.023 (0.091)
27	-	-	4.15		45 (11)	0.023 (0.091)
28	-	-	4.16		45 (11)	0.023 (0.091)
29	-	-	4.18		45 (11)	0.023 (0.091)

※1: $\alpha = R^{(1/\tan a)}$ で算出する。 $1/\alpha$ は微小過渡が基準過渡何回分に相当するかを表す。Rは および の最大値で、aは設計疲労線図(S-Nカーブ)の勾配である。

※2: ()内はスタッドボルトに適用する。低合金鋼およびオーステナイトステンレス鋼と高張力ボルトでは、設計疲労線図(S-Nカーブ)の勾配が異なるため、等価回数は異なる。(それぞれ $a=20^\circ$ および $a=30^\circ$)

表 4(1/2) 微小過渡の内訳 (非取替機器)

過渡項目	試運転	実績
起動 微小過渡	-	1.665 内訳 1/6×2 (表 1 No. 1, 2) 1/20×2 (表 1 No. 3, 19) 1/559×9 (表 1 No. 4, 9, 15, 16, 20, 21, 27, 34, 36) 1/45×1 (表 1 No. 5) 1×1 (表 1 No. 6) 1/83×8 (表 1 No. 7, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 38) 1/137×9 (表 1 No. 10, 22, 28, 29, 30, 31, 35, 40, 41) 1/302×2 (表 1 No. 13, 37) 1/209×1 (表 1 No. 39) 1/137×1 (表 1 No. 23) ※1 1/559×3 (表 1 No. 24, 25, 26) ※1 1/418×1 (表 1 No. 32) ※1 1/209×1 (表 1 No. 33) ※1
停止 微小過渡	-	1.467 内訳 1/20×2 (表 2 No. 1, 3) 1/6×1 (表 2 No. 2) 1×1 (表 2 No. 4) 1/83×4 (表 2 No. 5, 6, 9, 34) 1/559×7 (表 2 No. 7, 11, 14, 18, 31, 33, 35) 1/137×13 (表 2 No. 8, 10, 12, 13, 16, 17, 19, 24, 25, 26, 27, 32, 36) 1/45×1 (表 2 No. 15) 1/137×1 (表 2 No. 20) ※1 1/559×4 (表 2 No. 21, 22, 23, 30) ※1 1/302×1 (表 2 No. 28) ※1 1/209×1 (表 2 No. 29) ※1

※1 : 長期停止期間中の過渡

表 4(2/2) 微小過渡の内訳 (非取替機器)

過渡項目	試運転	実績
漏えい試験 微小過渡	0.100 内訳 1/20×1 (表 3 No. 1) 1/45×1 (表 3 No. 6) 1/83×2 (表 3 No. 2, 5) 1/559×2 (表 3 No. 3, 4)	2.117 内訳 1/6×3 (表 3 No. 7, 10, 16) 1/45×12 (表 3 No. 8, 11, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29) 1/20×7 (表 3 No. 12, 13, 14, 15, 17, 18) 1×1 (表 3 No. 19)

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

高浜4号炉で未経験の過渡項目については、電力共通研究「応力解析手法の高度化」に基づき年平均過渡回数を定めて、60年時点の過渡回数を決めている。国内PWRプラントで経験のある過渡項目は、研究当時における国内全PWRプラントの実績回数を総運転年数で割ることで算出している。(下記(1))

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

(1) 他プラントで経験のある過渡項目

過渡項目	年平均過渡回数 (実績回数/炉・年)
100%から90%へのステップ状負荷減少	
100%からの大きいステップ状負荷減少	
負荷の喪失	
外部電源喪失	
1次冷却材流量の部分喪失	
原子炉トリップ (不注意な冷却とSIを伴うトリップ)	
制御棒クラスタの落下	

(2) 他プラントでも未経験の過渡項目

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

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

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

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

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

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

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

$x=0$ $p(x) = []$ $T = []$ を代入する。

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

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

したがって、未経験過渡の年平均過渡回数は [] 回となる。

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

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

●運転経験

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

●最新知見

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

以上

タイトル	原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p data-bbox="448 398 1219 432">原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p data-bbox="427 472 619 506">1. 解析モデル</p> <p data-bbox="475 512 1134 546">疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="437 553 1329 1803"><tr><td data-bbox="437 553 662 600">解析プログラム</td><td data-bbox="662 553 1329 600">ABAQUS Ver. 6.3</td></tr><tr><td data-bbox="437 600 662 795">要素種類</td><td data-bbox="662 600 1329 1803" rowspan="4"></td></tr><tr><td data-bbox="437 795 662 842">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="437 842 662 1274">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="437 1274 662 1803">節点数</td></tr></table>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3							
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、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 (SFVQ1A 相当)	184	184
上部蓋	SFVQ1A	—	184
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
炉内計装筒、炉心支持金物	SB166 (NCF1B 相当)	164	—
蓋用管台	GNCf690H	—	137
空気抜用管台	GNCf690C	—	164
スタッドボルト	SA540 Gr. B24 Class3 (SNB24-3 相当)	—	245

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およ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

【蓋用管台、空気抜用管台、炉内計装筒、炉心支持金物】

PWR プラント環境

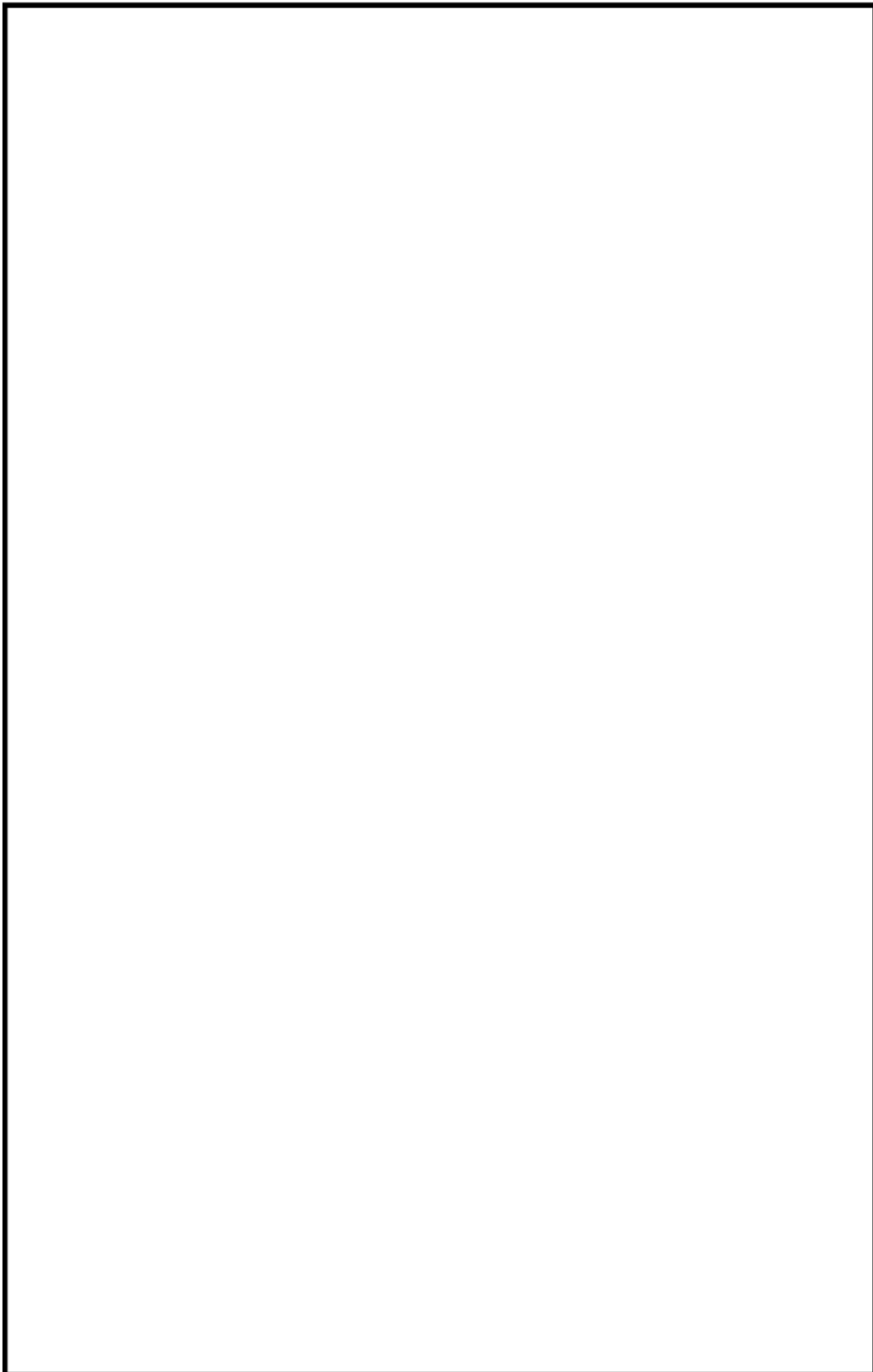
$$\ln(F_{en}) = (2.94 - \varepsilon^*) \times T^*$$

[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、評価点および解析モデル

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	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.00001	0.00007
6	0.00000	0.0	0.00009
7	0.00267	0.0	0.00315
8	0.00232	0.0	0.00142
9	0.0	0.00121	0.00149
10	0.00085	0.00011	0.00034
11	0.0	0.00066	0.00046
12	0.00082	0.00010	0.00042
13	0.00008	0.00062	0.00014
14	0.00045	0.00001	0.00028
15L	0.02669	0.03895	0.00103
16L	0.0	0.00207	0.00066
15C	0.00112	0.00184	0.00195
16C	0.0	0.02126	0.01004
17L	0.02721	0.03562	0.0
18L	0.0	0.00231	0.00144
17C	0.00265	0.00090	0.00079
18C	0.0	0.02188	0.01278
19L	0.03782	0.03613	0.00202
20L	0.0	0.00270	0.00289
19C	0.00060	0.00080	0.00235
20C	0.0	0.02293	0.01617

許容値 $U_r=1.0$

0.03895 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

冷却材入口管台 疲労解析結果 (評価点 : 15L)

評価点 - 15L
(S23)

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*	
527.0	-36.5	1.0	281.8	331.4	2	4980	0.00040
524.5	-36.5	1.0	280.5	329.9	2	5040	0.00040
486.2	-36.5	1.0	261.4	307.4	6	6220	0.00096
475.2	-36.5	1.0	255.9	300.9	55	6630	0.00830
475.2	-32.9	1.0	254.1	298.8	10	6770	0.00148
475.2	-32.9	1.0	254.1	298.8	4	6770	0.00059
470.7	-32.9	1.0	251.8	296.1	2	6950	0.00029
451.6	-32.9	1.0	242.2	284.9	3	7790	0.00039
445.6	-32.9	1.0	239.2	281.4	52	8090	0.00643
445.6	0.0	1.0	222.8	262.0	136	9990	0.01361
445.6	3.7	1.0	221.0	259.9	62	10200	0.00608
445.6	191.5	1.0	127.0	149.4	2	67700	0.00003
445.6	332.9	1.0	56.3	66.3	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.03895

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）

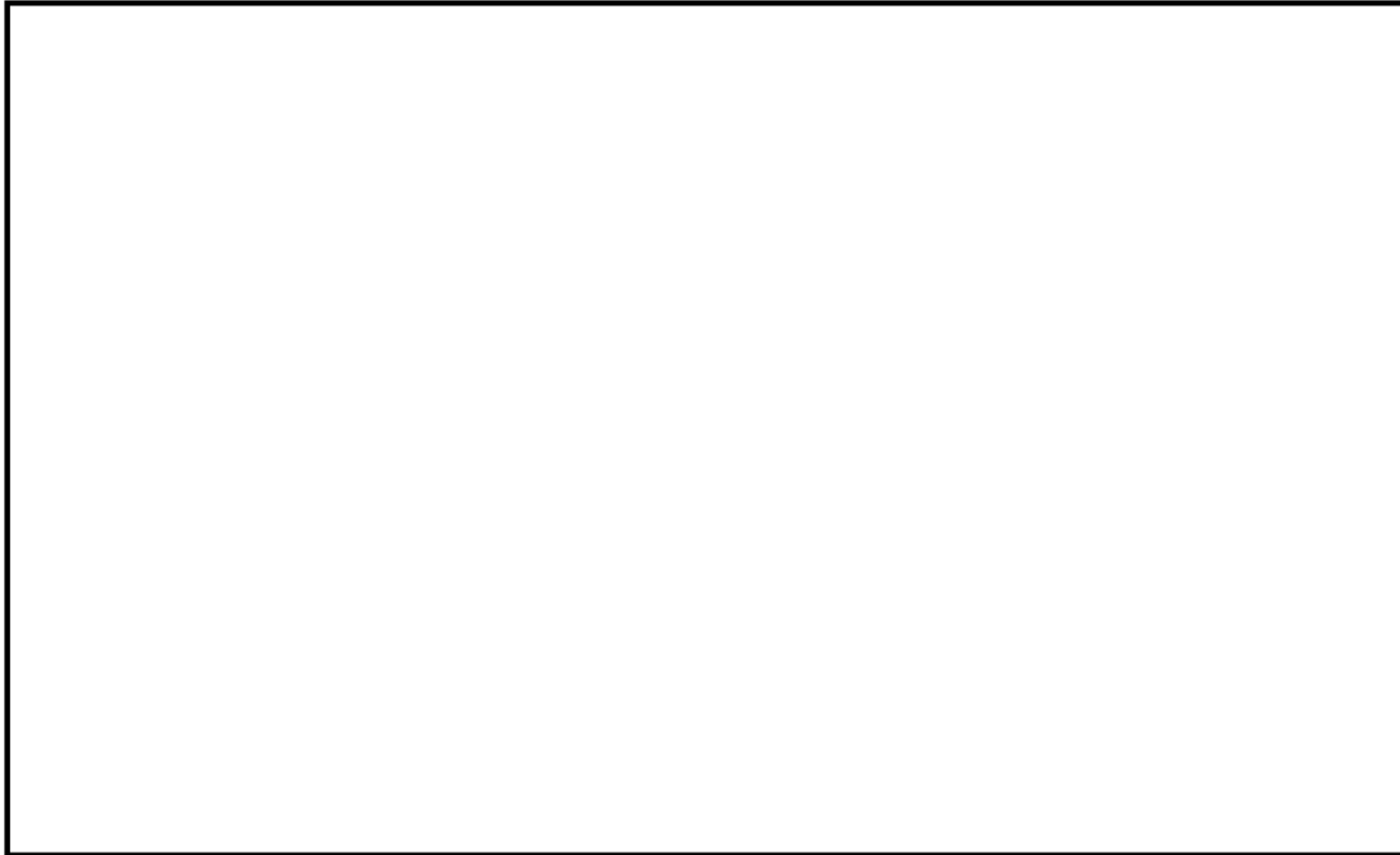
環境条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		表通過 回数 n	許容繰返し 回数 n [*]	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	2D4	0.0	-263.5	1.00	131.7	145.1	2	2800000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2E1	0.0	-222.0	1.00	111.0	122.3	2	6280000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2D2	0.0	-208.5	1.00	104.3	114.9	2	9060000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2G1	0.0	-187.2	1.00	93.6	103.1	2	26500000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2F1	0.0	-171.8	1.00	85.9	94.6	2	475000000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2I1	0.0	-144.2	1.00	72.1	79.5	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00000

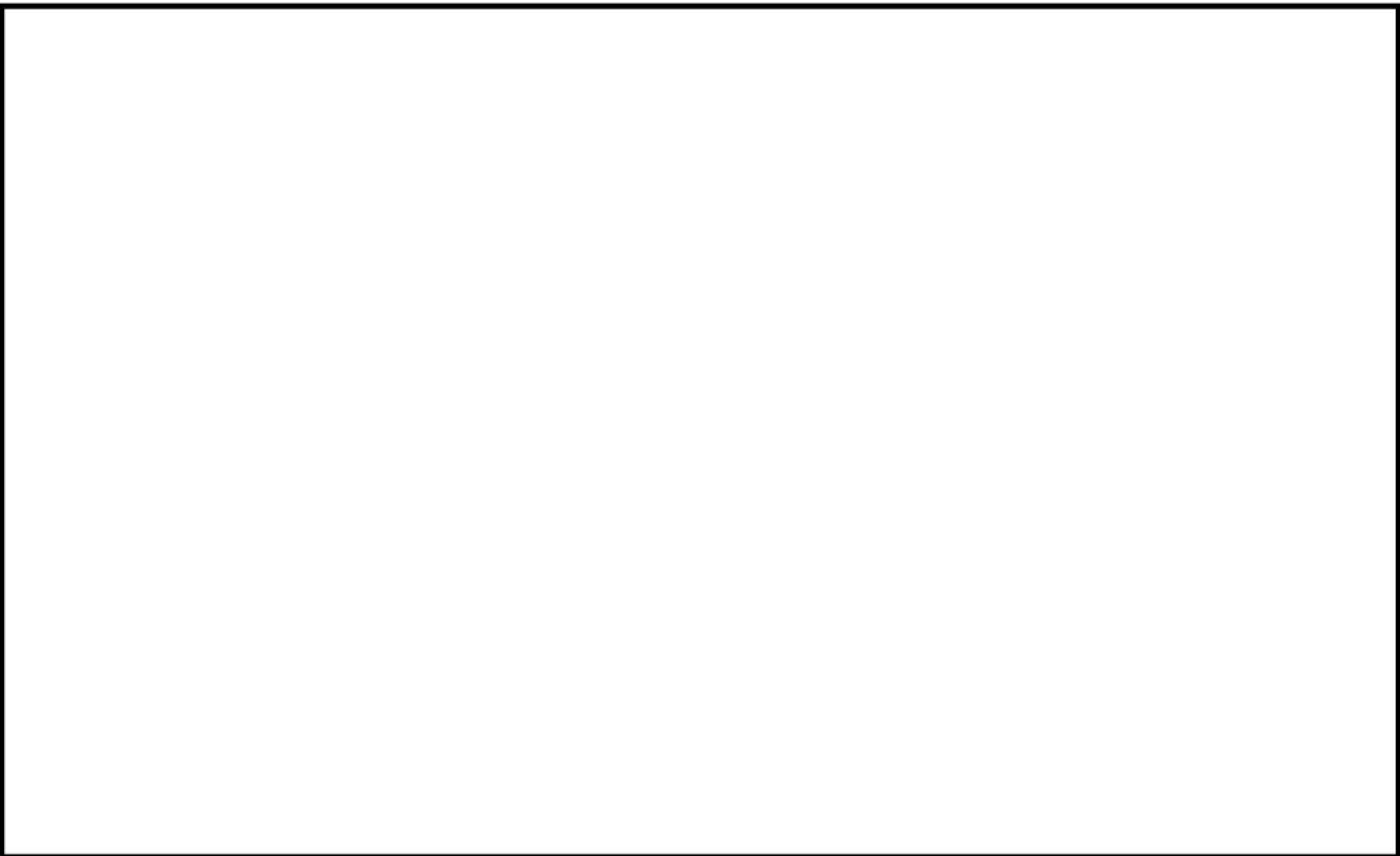
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.6) の場合、fen=1.0

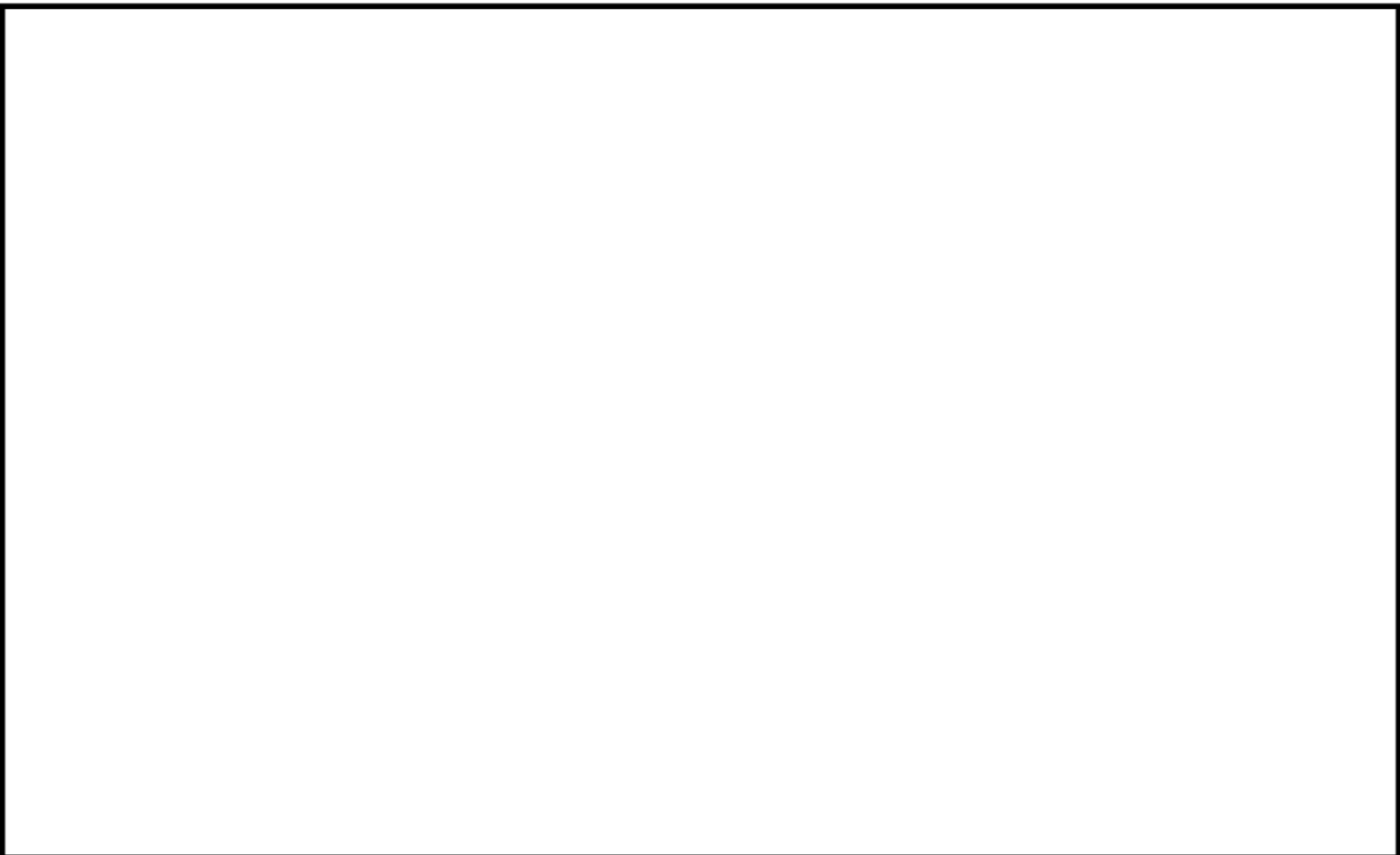
 : 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

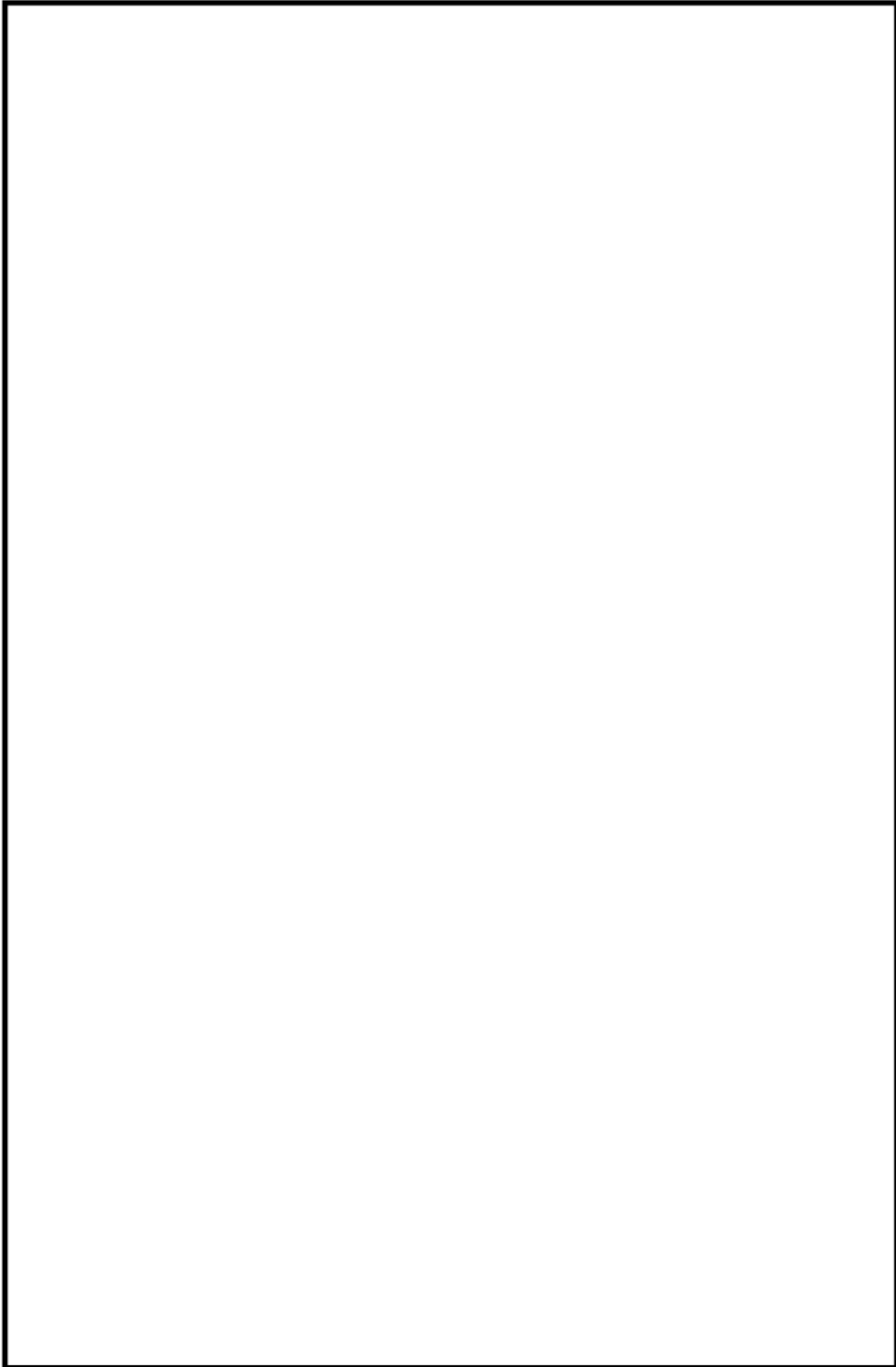
環境効果補正係数（Fen）の算出根拠

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









冷却材出口管台形状寸法、評価点および解析モデル

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	0.00222	0.00000	0.00567
5	0.0	0.00000	0.00017
6	0.00003	0.0	0.00011
7	0.00374	0.0	0.00638
8	0.00473	0.00000	0.00428
9	0.0	0.00105	0.00005
10	0.00284	0.00001	0.00104
11	0.0	0.00121	0.00174
12	0.00354	0.00001	0.00214
13L	0.02850	0.04216	0.00069
14L	0.0	0.00203	0.00122
13C	0.00166	0.00134	0.00270
14C	0.0	0.02225	0.01137
15L	0.04239	0.02416	0.0
16L	0.0	0.00251	0.00166
15C	0.00248	0.00001	0.00016
16C	0.0	0.02415	0.01307
17L	0.03184	0.04296	0.00246
18L	0.0	0.00347	0.00337
17C	0.00078	0.00081	0.00258
18C	0.0	0.02584	0.01637

許容値 $U_f=1.0$

17L : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

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	N	N*				
509.6	-39.7	1.0	274.6	328.6	2	5100	0.00039
496.8	-39.7	1.0	268.2	320.9	2	5470	0.00037
474.8	-39.7	1.0	257.3	307.8	6	6200	0.00097
464.0	-39.7	1.0	251.8	301.3	4	6600	0.00061
451.7	-39.7	1.0	245.7	294.0	2	7100	0.00028
450.1	-39.7	1.0	244.9	293.0	49	7170	0.00683
450.1	-32.1	1.0	241.1	288.5	16	7510	0.00213
431.5	-32.1	1.0	231.8	277.3	4	8440	0.00047
429.6	-32.1	1.0	230.8	276.2	3	8550	0.00035
427.1	-32.1	1.0	229.6	274.7	5	8680	0.00058
426.8	-32.1	1.0	229.5	274.6	0	8700	0.00000
425.9	-32.1	1.0	229.0	274.0	2	8750	0.00023
423.7	-32.1	1.0	227.9	272.7	41	8880	0.00462
423.7	-18.4	1.0	221.1	264.5	62	9710	0.00639
423.7	-0.8	1.0	212.2	253.9	71	11000	0.00645
423.7	0.0	1.0	211.9	253.5	136	11100	0.01225
423.7	158.5	1.0	132.6	158.7	2	50500	0.00004
423.7	318.9	1.0	52.4	62.7	2	—	0.0

疲労累積係数 = 0.04296

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

Ke : 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)

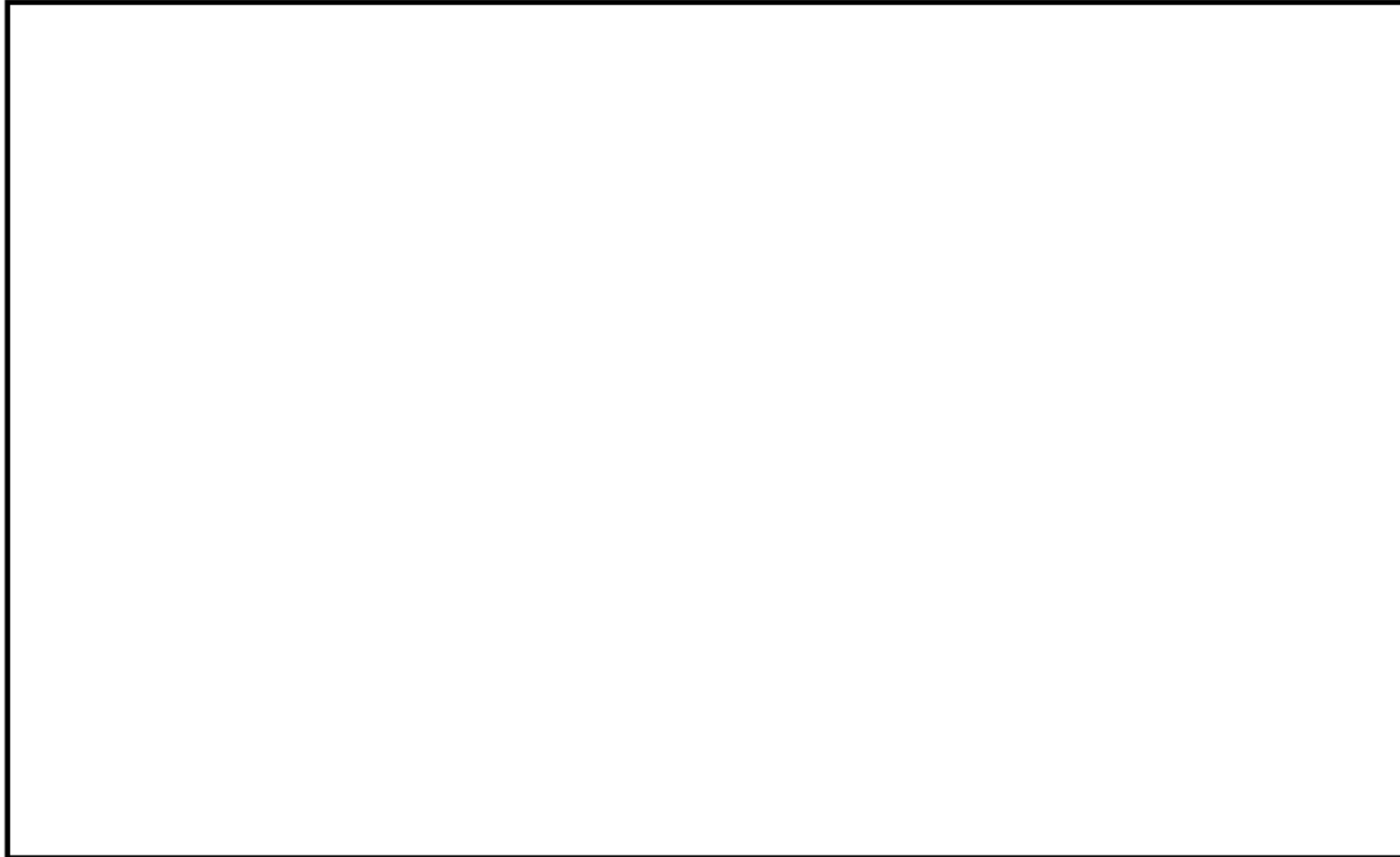
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数	
A	B	amax	amin		KE	補正前 salt						補正後 salt'
NSS	2D2	0.0	-477.3	1.00	238.6	267.4	2	131000	0.00002	8.866	0.00013	
NSS	2F1	0.0	-475.1	1.00	237.5	266.2	2	135000	0.00001	8.493	0.00013	
NSS	2D4	0.0	-464.4	1.00	232.2	260.2	2	153000	0.00001	11.099	0.00015	
NSS	2E1	0.0	-420.5	1.00	210.2	235.6	2	274000	0.00001	9.080	0.00007	
NSS	2C2	0.0	-419.9	1.00	209.9	235.3	2	277000	0.00001	10.971	0.00008	
NSS	2D1	0.0	-409.7	1.00	204.9	229.6	6	322000	0.00002	8.204	0.00015	
NSS	2G1	0.0	-408.8	1.00	204.4	229.1	2	327000	0.00001	9.065	0.00006	
NSS	1L1	0.0	-380.1	1.00	190.0	213.0	2	517000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	2H2	0.0	-375.6	1.00	187.8	210.5	2	582000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	2A1	0.0	-356.7	1.00	178.4	199.9	6	809000	0.00001	1.000	0.00001	
NSS	1G1	0.0	-295.0	1.00	147.5	165.3	4	1690000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	1D1	0.0	-284.6	1.00	142.3	159.5	104	1890000	0.00006	1.000	0.00006	
2H1	1D1	-31.0	-284.6	1.00	126.8	142.1	2	3070000	0.00000	1.000	0.00000	
1I1	1D1	-169.7	-284.6	1.00	57.5	64.4	62	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計:	0.00083

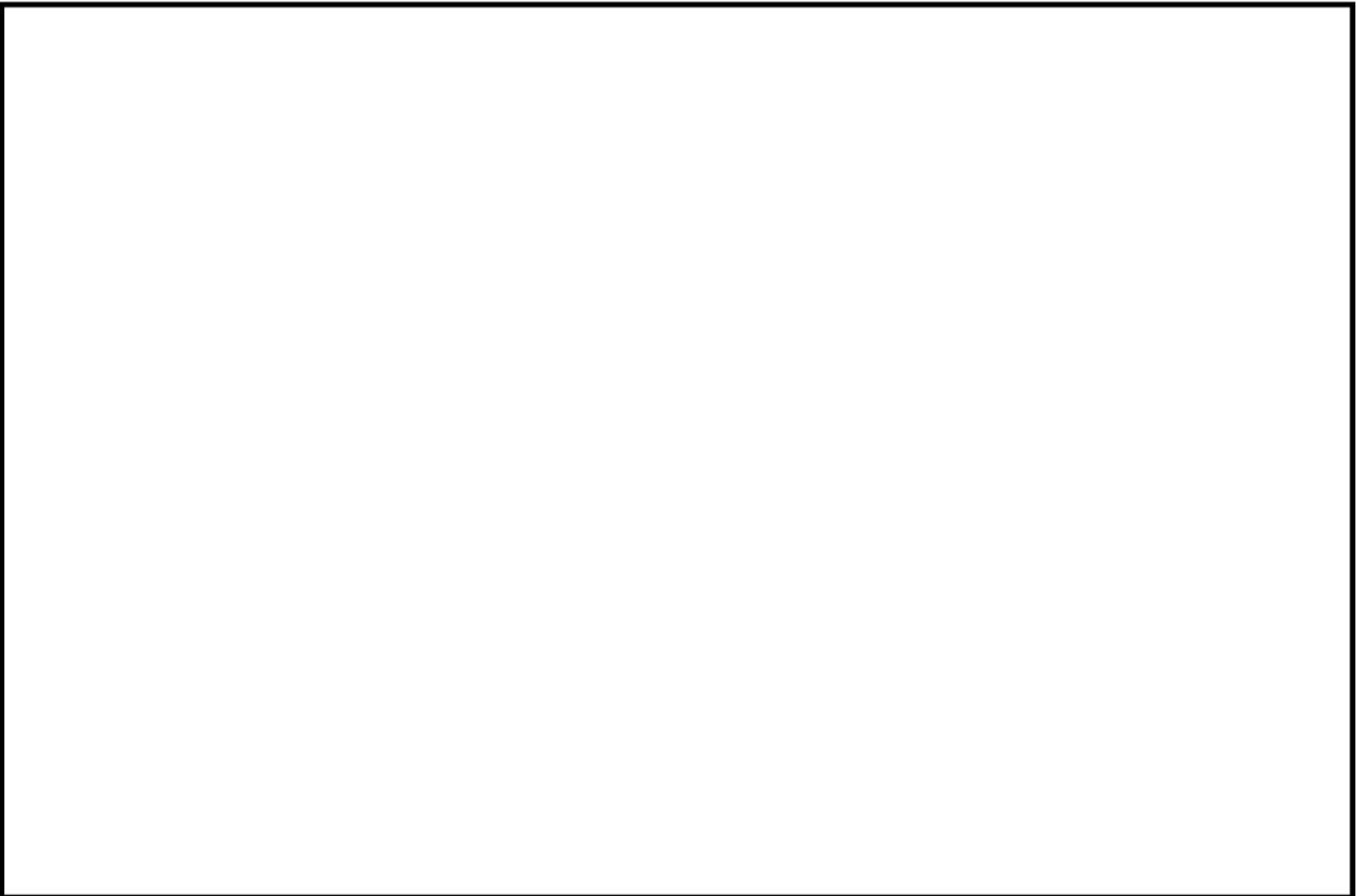
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

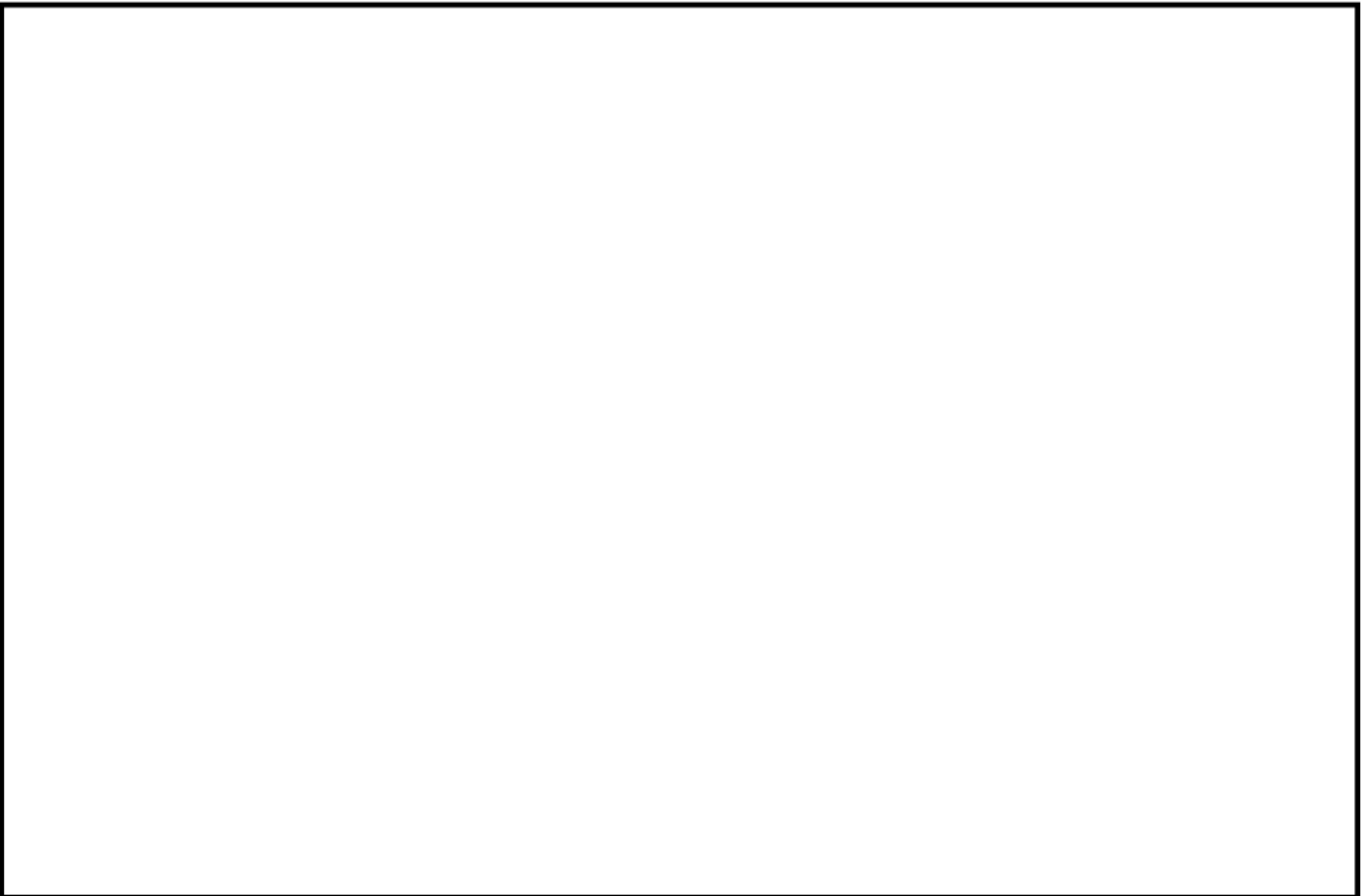
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

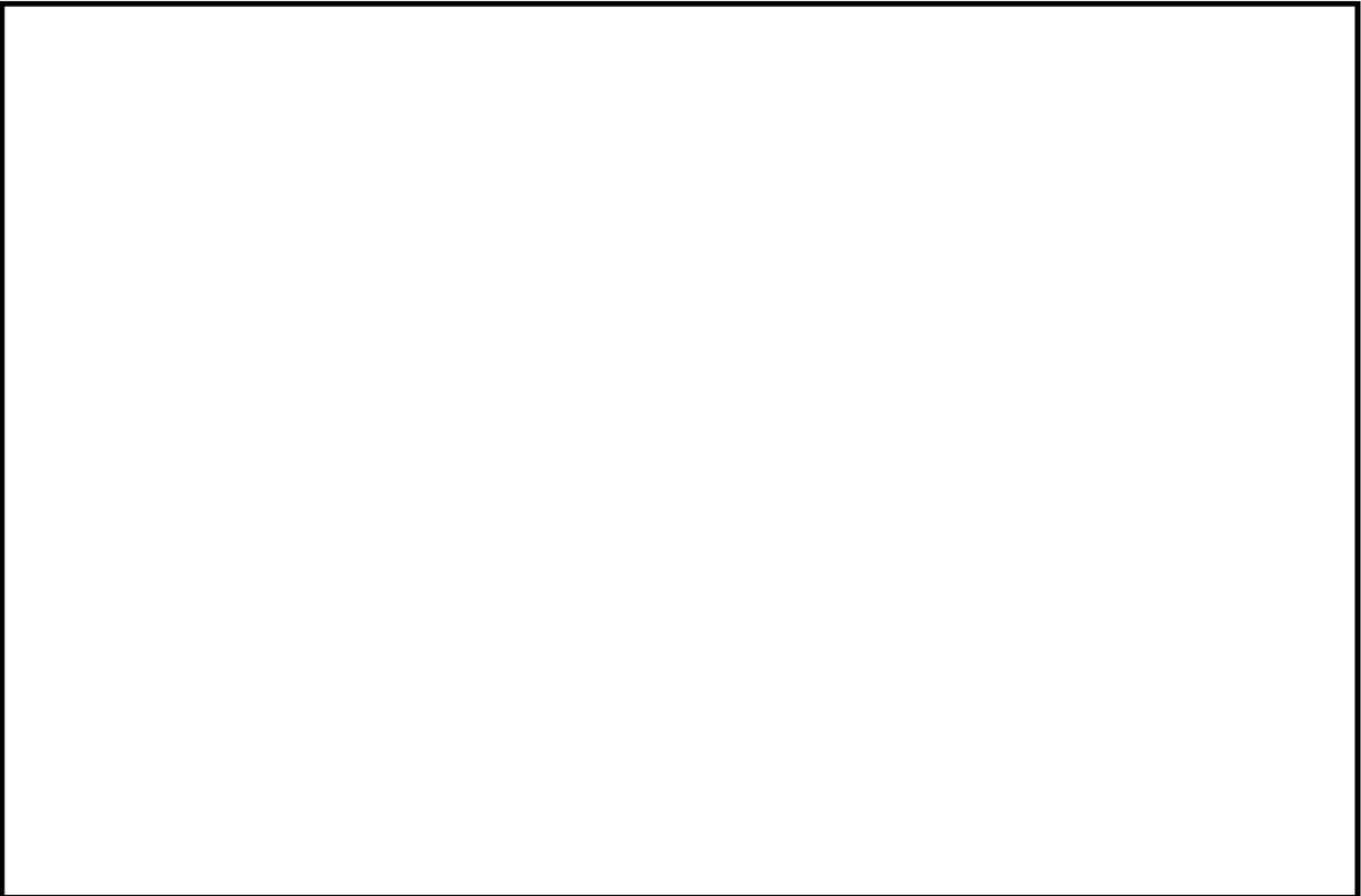
環境効果補正係数（Fen）の算出根拠

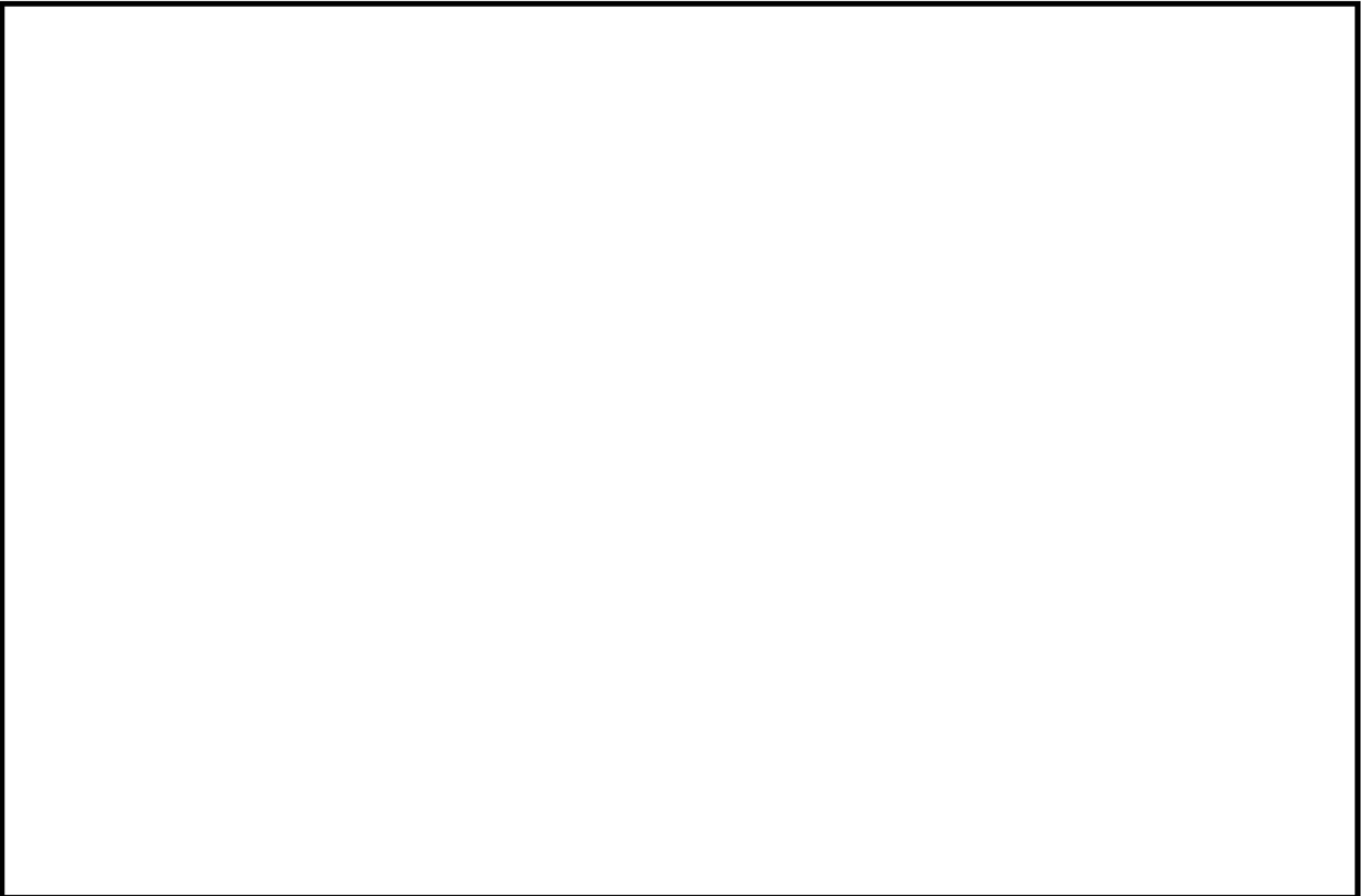
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

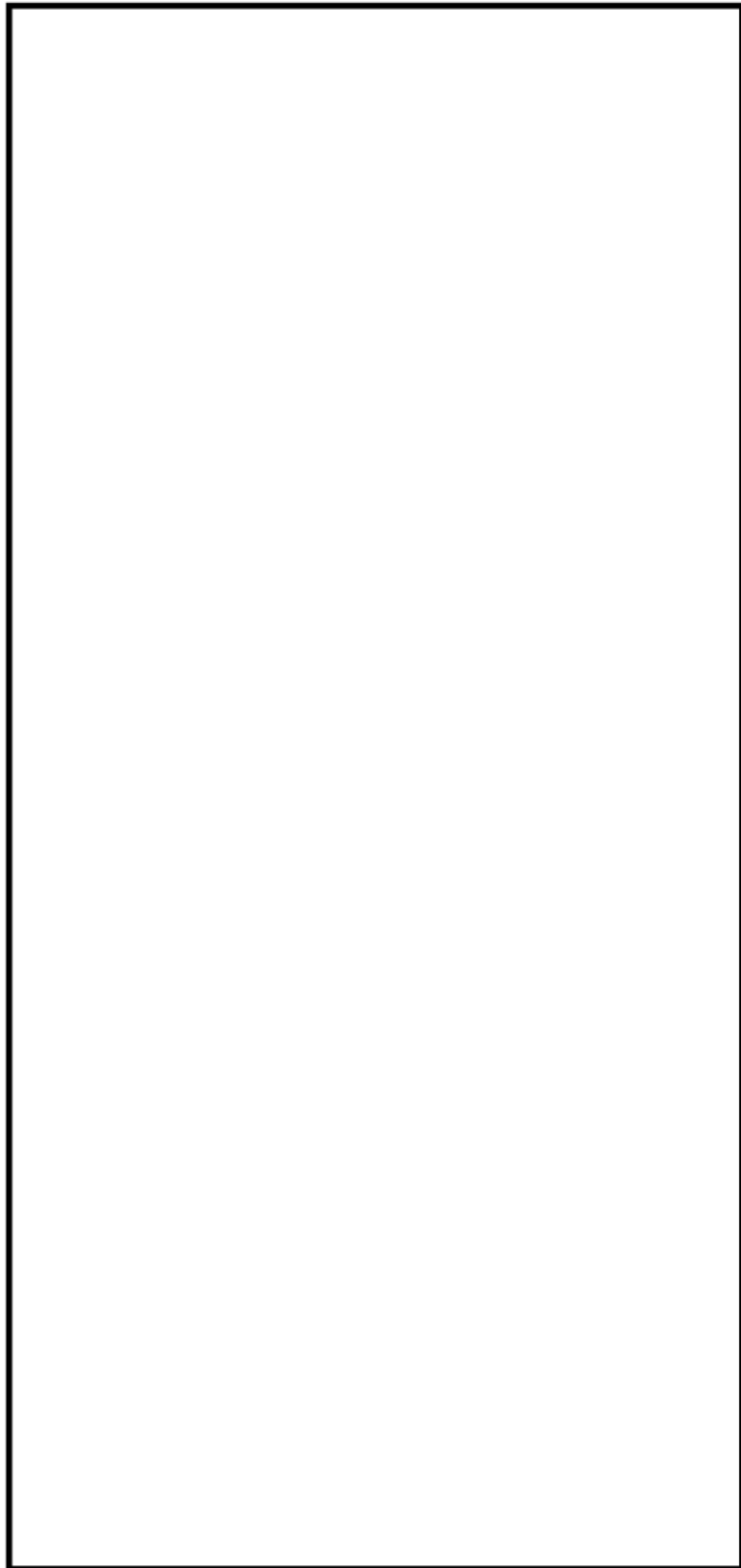












蓋用管台形状寸法、評価点および解析モデル

蓋用管台 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	0.00039	0.00004	0.00000
6	0.09512	0.00000	0.12126

許容値 $U_T=1.0$

0.12126 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

蓋用管台 疲労解析結果 (評価点 : 6)

評価点 - 6 (S31)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
1932.6	-333.4	1.0	1133.0	1169.0	2	332	0.00602
1770.3	-333.4	1.0	1051.9	1085.2	2	415	0.00482
1356.0	-333.4	1.0	844.7	871.5	2	824	0.00243
1231.6	-333.4	1.0	792.5	807.4	2	1050	0.00190
1186.6	-333.4	1.0	760.0	784.1	4	1160	0.00345
1186.6	-333.4	1.0	760.0	784.1	2	1160	0.00172
1181.3	-333.4	1.0	757.3	781.4	32	1170	0.02735
1181.3	-313.0	1.0	747.1	770.8	43	1230	0.03496
1181.3	0.0	1.0	590.7	609.4	89	2830	0.03145
1181.3	564.6	1.0	308.4	318.2	2	50700	0.00004
1181.3	581.4	1.0	299.9	309.5	398	59000	0.00666
1153.9	581.4	1.0	286.3	295.3	2	76100	0.00003
1093.0	581.4	1.0	255.8	263.9	43	141000	0.00030
1079.0	581.4	1.0	248.8	256.7	2	165000	0.00001
1073.8	581.4	1.0	246.2	254.0	2	175000	0.00001
1060.8	581.4	1.0	239.7	247.3	3	203000	0.00001
1048.3	581.4	1.0	233.4	240.8	0	239000	0.00000
1030.9	581.4	1.0	224.7	231.9	2	303000	0.00001
941.5	581.4	1.0	180.1	185.8	36	1150000	0.00003
900.4	581.4	1.0	174.5	180.0	2	1270000	0.00000
915.2	581.4	1.0	166.9	172.2	0	1470000	0.00000
903.8	581.4	1.0	161.2	166.3	2	1650000	0.00000
891.1	581.4	1.0	154.9	159.8	2	1880000	0.00000
888.9	581.4	1.0	153.7	158.6	46	1930000	0.00002
888.9	581.4	1.0	153.7	158.6	25	1930000	0.00001
888.9	613.8	1.0	137.5	141.9	2	3090000	0.00000
888.9	717.3	1.0	85.8	88.5	2	—	0.0
疲労累積係数 =							0.12126

Ke : 割り増し係数
 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弾塑性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

蓋用管台 環境疲労評価結果（評価点：5）

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 Ke	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	乗換効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	σmax	σmin		修正前 salt	修正後 salt'					
1A1	2D4	75.8	-513.9	1.27	374.3	386.1	2	19200	0.00010	3.112	0.00032
1A1	2G1	75.8	-493.5	1.20	336.0	346.7	2	32900	0.00008	3.196	0.00019
1A1	1L1	75.8	-380.8	1.00	228.3	235.6	2	275000	0.00001	3.130	0.00002
1A1	1G1	75.8	-338.6	1.00	207.2	213.8	2	503000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1D1	75.8	-337.1	1.00	206.5	213.0	38	516000	0.00007	1.000	0.00007
2J1	1D1	72.3	-337.1	1.00	204.7	211.2	43	548000	0.00008	1.000	0.00008
N55	1D1	0.0	-337.1	1.00	168.5	173.9	89	1430000	0.00006	1.000	0.00006
2B1	1D1	-186.2	-337.1	1.00	90.6	93.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00076

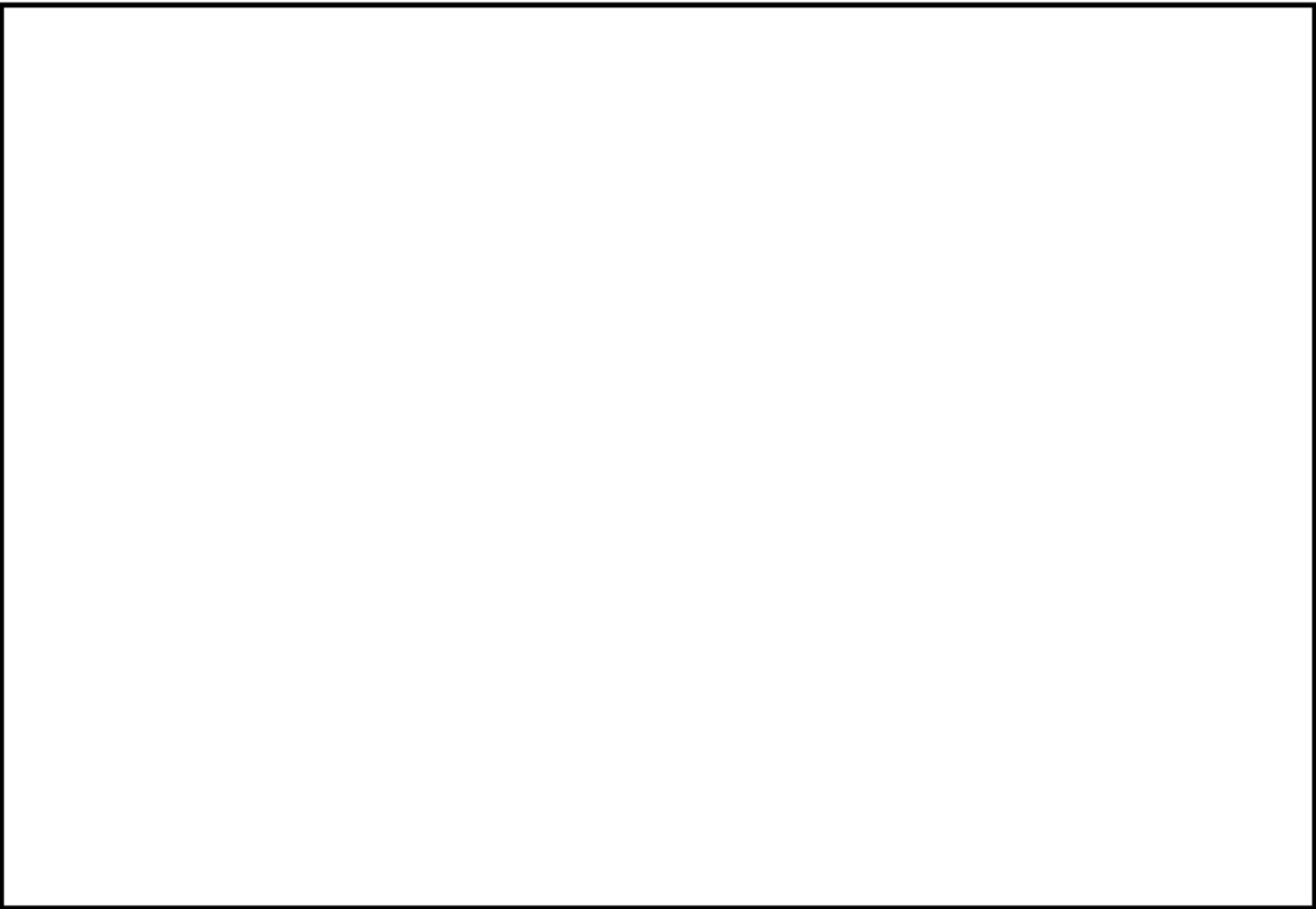
(注) ひずみ変動 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.6) の場合、fen=1.0

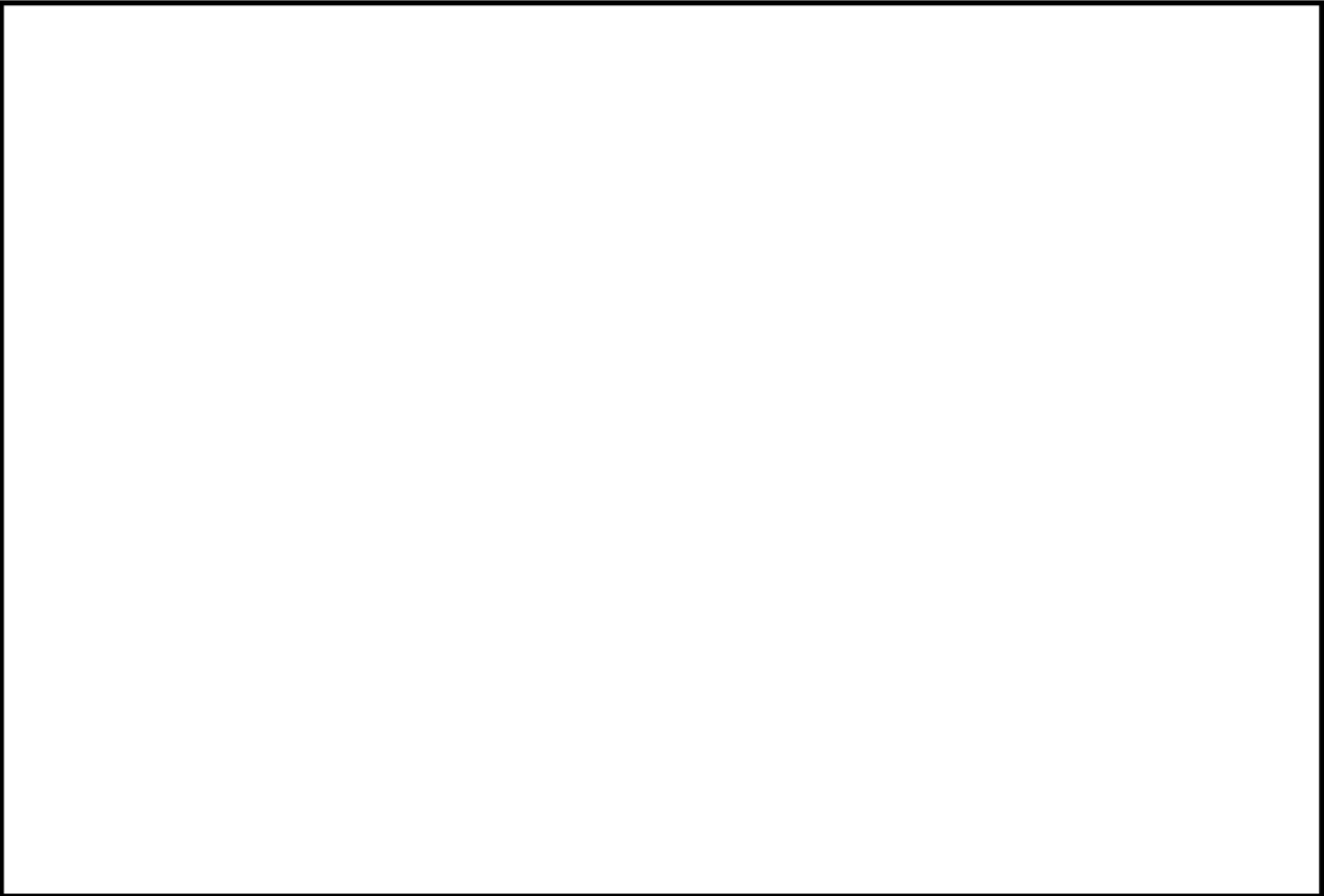
 : 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

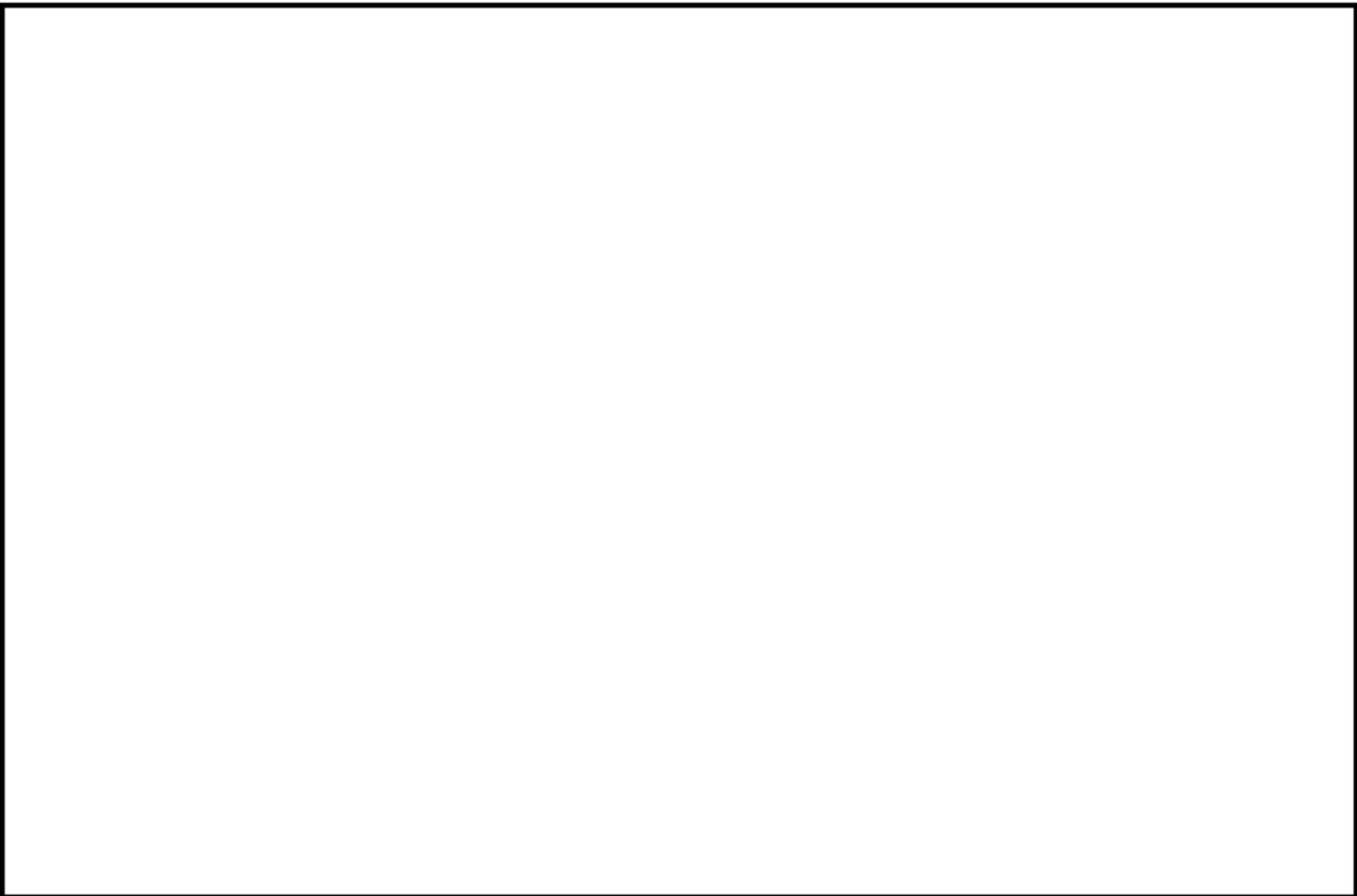
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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











空気抜用管台形状寸法、評価点および解析モデル

空気抜用管台 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	0.00043	0.00003	0.00000
4	0.01355	0.00000	0.01324

許容値 $U_f = 1.0$

0.01355 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

空気抜用管台 疲労解析結果 (評価点 : 4)

評価点 - 4
(S12)

応力強さ (単位 : MPa)		Ke	(単位 : MPa)		繰返し回数		疲労係数 (=1/N*)
極大値	極小値		ALT	ALT'	N	N*	
103.0	-1241.1	1.0	672.1	693.4	2	1770	0.00113
103.0	-1092.1	1.0	597.6	616.5	2	2710	0.00074
103.0	-857.6	1.0	480.3	495.6	2	6250	0.00032
103.0	-840.1	1.0	471.6	486.6	2	6730	0.00030
103.0	-818.5	1.0	460.8	475.4	2	7390	0.00027
103.0	-786.2	1.0	444.6	458.7	4	8530	0.00047
103.0	-776.3	1.0	439.6	453.6	2	8920	0.00022
103.0	-724.8	1.0	413.9	427.0	2	11700	0.00017
103.0	-722.7	1.0	412.9	426.0	2	11800	0.00017
103.0	-719.3	1.0	411.2	424.2	26	12100	0.00215
95.4	-719.3	1.0	407.4	420.3	43	12600	0.00341
0.0	-719.3	1.0	359.6	371.1	89	23400	0.00380
-337.7	-719.3	1.0	190.8	196.8	2	902000	0.00900
-351.3	-719.3	1.0	184.0	189.8	399	1070000	0.00937
-351.3	-706.6	1.0	177.6	183.2	2	1200000	0.00900
-351.3	-668.7	1.0	158.7	163.7	0	1740000	0.00900
-351.3	-657.6	1.0	153.1	158.0	2	1950000	0.00900
-351.3	-631.9	1.0	140.3	144.7	43	2840000	0.00902
-351.3	-621.5	1.0	135.1	139.4	3	3340000	0.00900
-351.3	-574.3	1.0	111.5	115.0	36	9000000	0.00900
-351.3	-566.0	1.0	107.3	110.7	2	12000000	0.00900
-351.3	-552.0	1.0	100.3	103.5	0	25000000	0.00900
-351.3	-547.0	1.0	97.8	100.9	2	37000000	0.00900
-351.3	-539.2	1.0	93.9	96.9	46	124000000	0.00900
-351.3	-539.2	1.0	93.9	96.9	25	124000000	0.00900
-401.4	-539.2	1.0	68.9	71.1	2		0.0

疲労累積係数 = 0.01355

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

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

空気抜用管台 環境疲労評価結果（評価点：3）

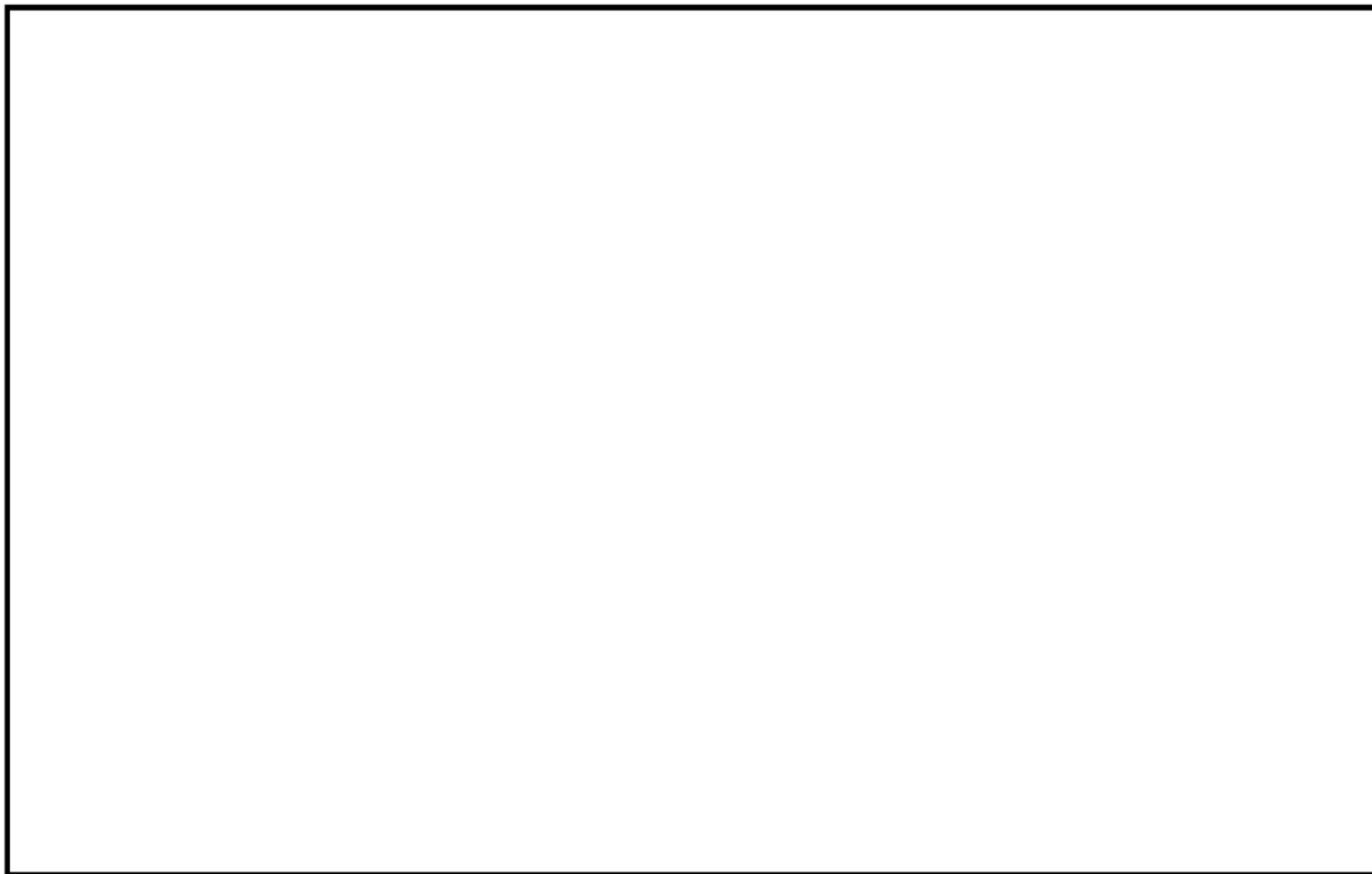
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果 単を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2D4	85.3	-575.0	1.28	421.5	434.8	2	10700	0.00019	3.031	0.00057
1A1	2G1	85.3	-501.7	1.11	325.9	337.3	2	37700	0.00005	3.119	0.00017
1A1	2D2	85.3	-384.8	1.00	235.1	242.5	2	229000	0.00001	3.050	0.00003
1A1	1L1	85.3	-373.0	1.00	229.1	236.4	2	269000	0.00001	3.077	0.00002
1A1	2F1	85.3	-364.5	1.00	224.9	232.1	2	302000	0.00001	3.054	0.00002
1A1	2D1	85.3	-345.9	1.00	215.6	222.4	4	393000	0.00001	3.099	0.00003
1A1	2C2	85.3	-344.1	1.00	214.7	221.5	2	403000	0.00000	3.082	0.00002
1A1	2E1	85.3	-317.9	1.00	201.0	208.0	2	611000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2H2	85.3	-317.4	1.00	201.4	207.8	2	616000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1G1	85.3	-311.4	1.00	198.4	204.7	2	684000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1D1	85.3	-309.6	1.00	197.5	203.8	24	707000	0.00003	1.000	0.00003
2J1	1D1	80.2	-309.6	1.00	194.9	201.1	43	774000	0.00006	1.000	0.00006
NSS	1D1	0.0	-309.6	1.00	154.8	159.7	89	1880000	0.00005	1.000	0.00005
2H1	1D1	-108.8	-309.6	1.00	100.4	103.6	2	24500000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1D1	-119.0	-309.6	1.00	95.3	98.4	401	62000000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2A1	-119.0	-283.3	1.00	82.2	84.8	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00100

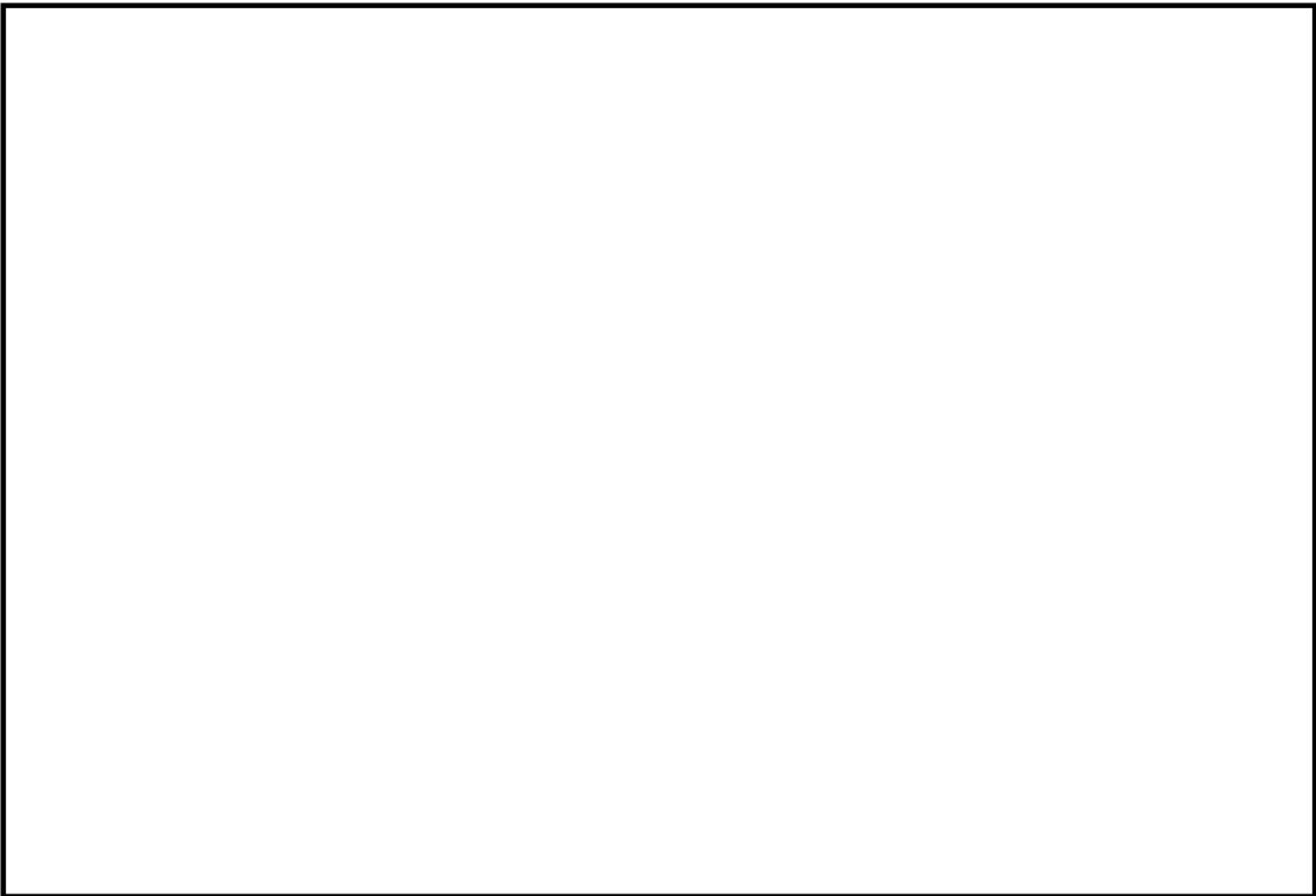
（注）ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ （salt' ≤ 214.9 ）の場合、fen=1.0

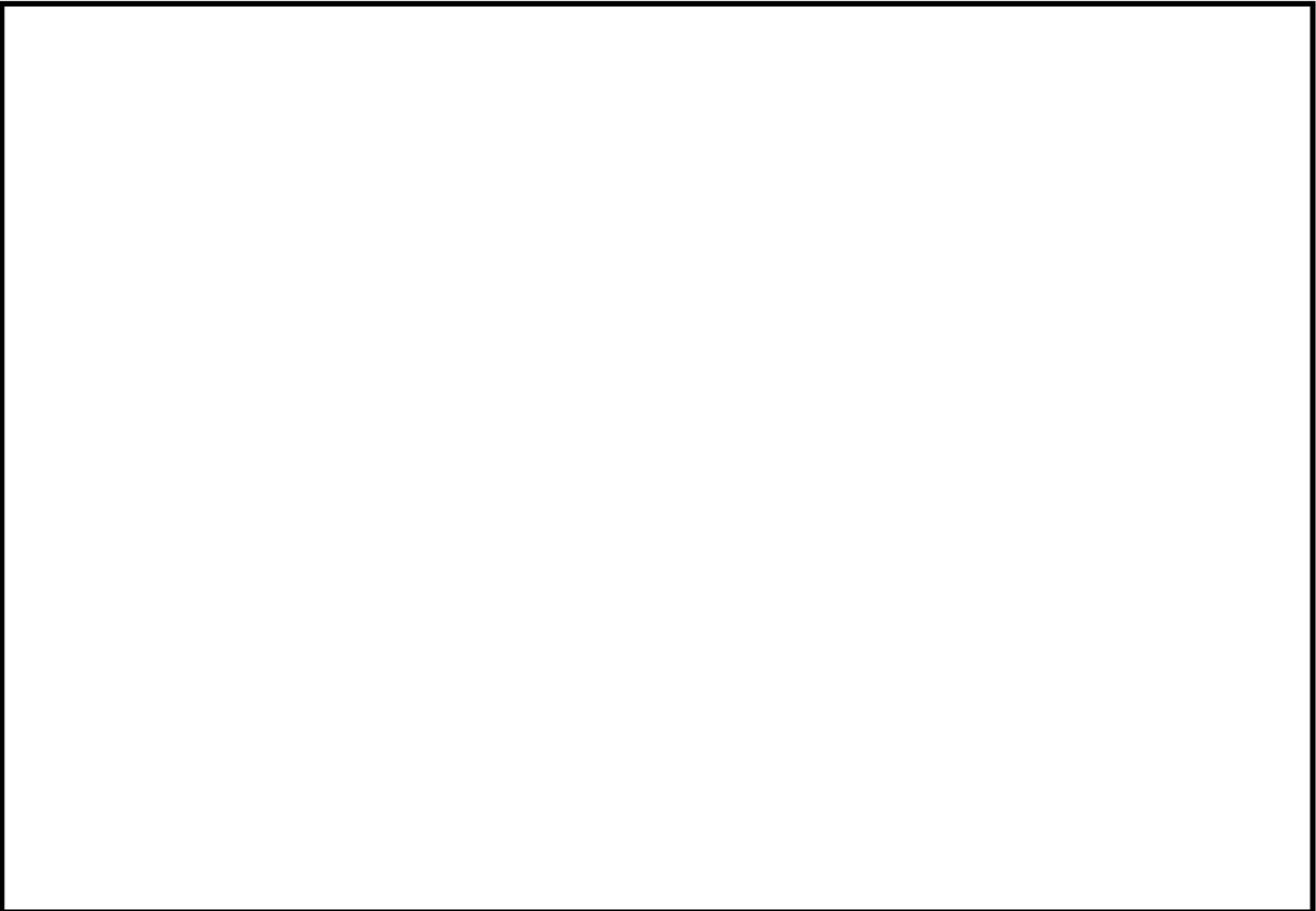
：割り増し係数 Ke，環境効果補正係数 fen を示す

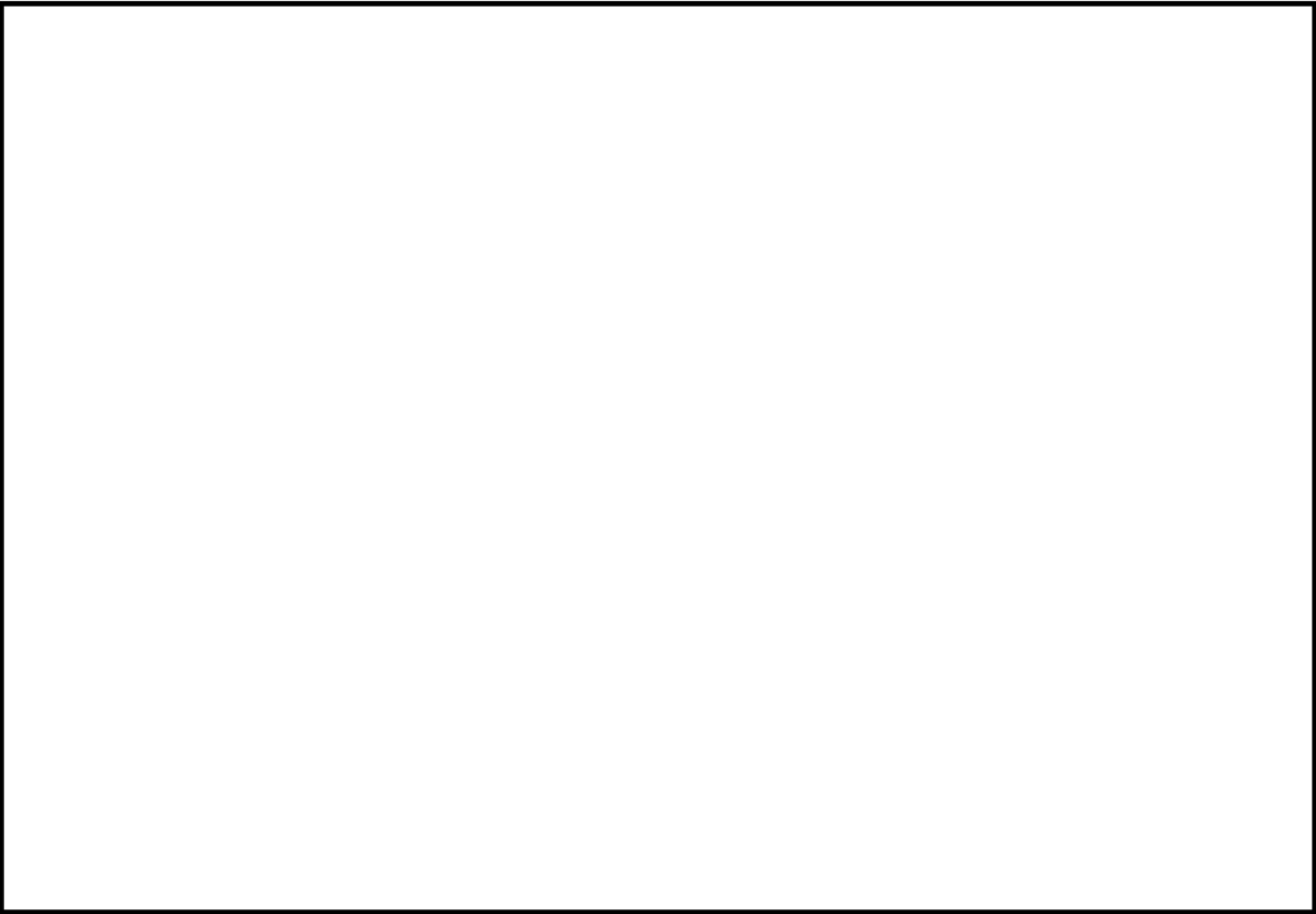
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

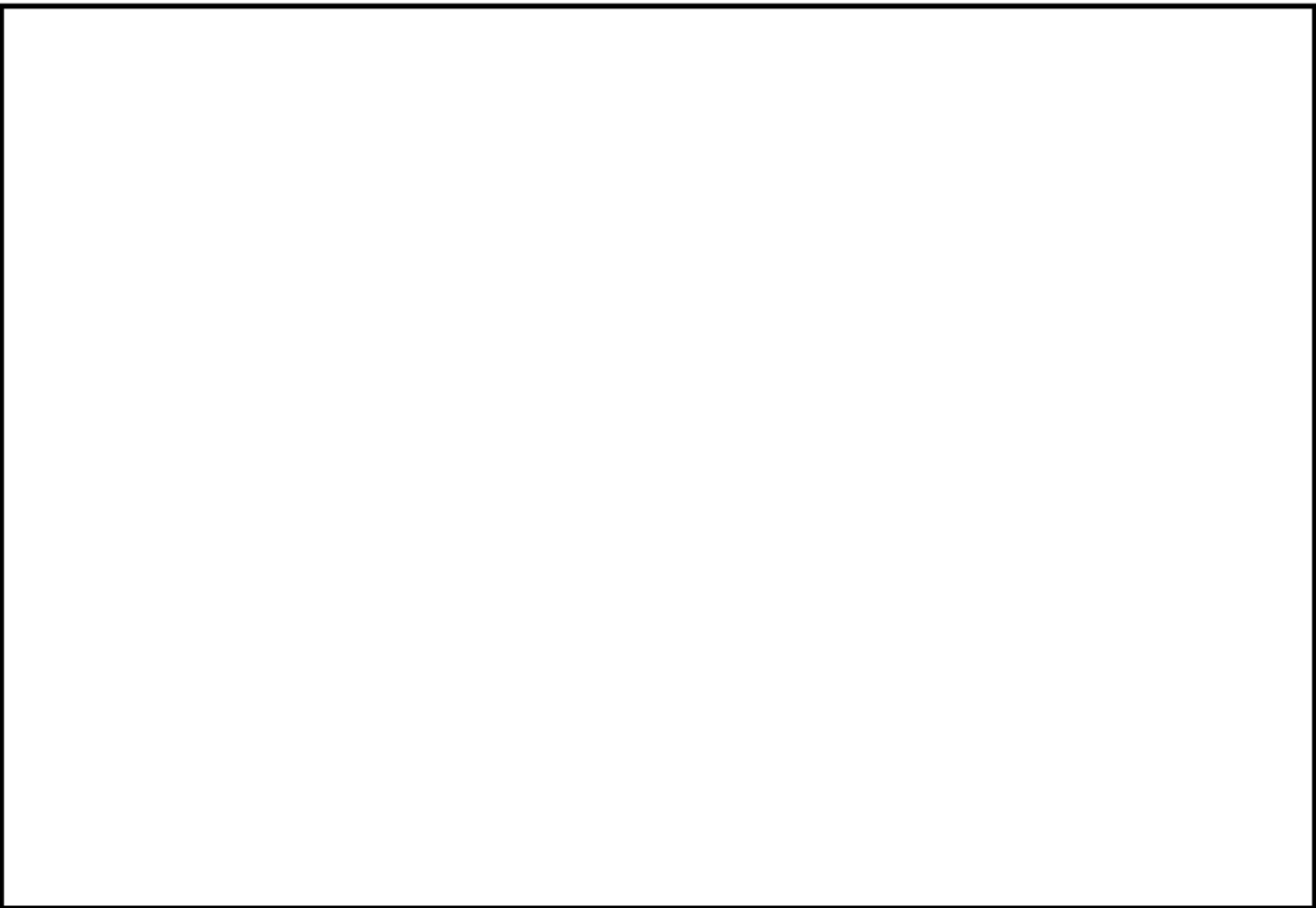
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

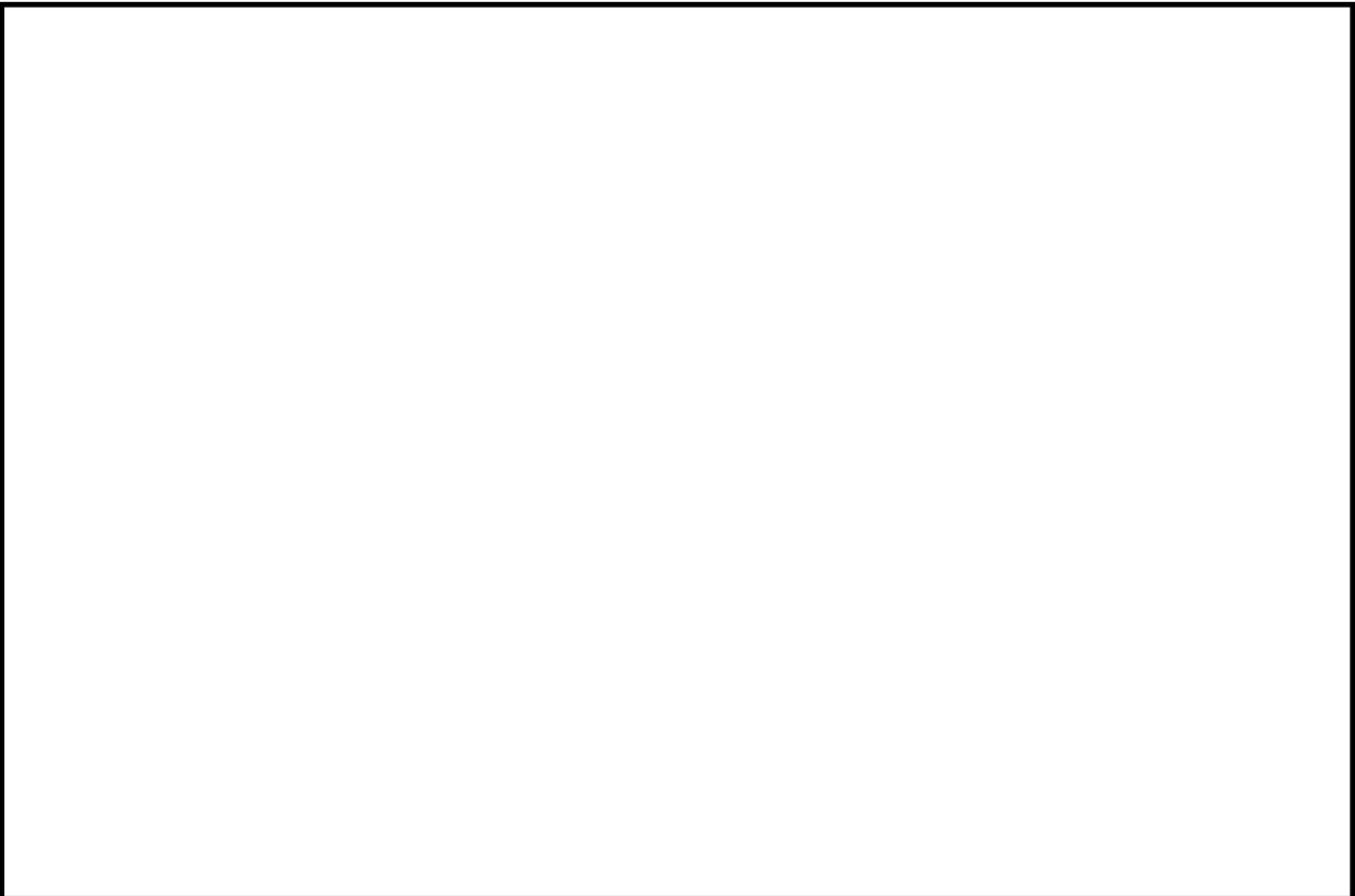


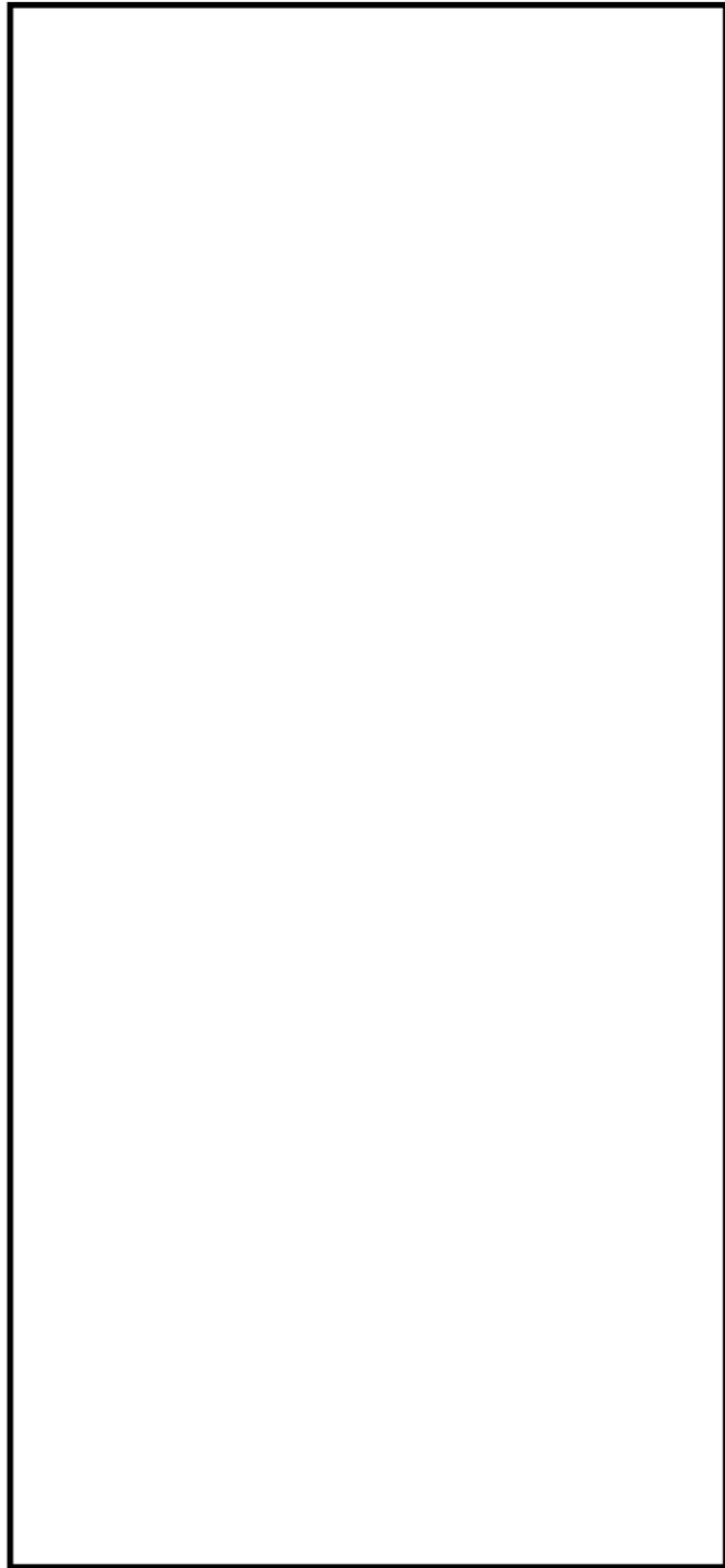












炉内計装筒形状寸法、評価点および解析モデル

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	0.00092	0.00017	0.0
10	0.01119	0.00158	0.11901

許容値 $U_f=1.0$

0.11901 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

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)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
1594.4	-145.9	1.0	870.2	852.7	2	883	0.00227
1443.1	-145.9	1.0	794.5	778.5	2	1190	0.00168
1143.1	-145.9	1.0	644.5	631.5	6	2480	0.00242
1139.8	-145.9	1.0	642.9	630.0	2	2500	0.00080
1136.3	-145.9	1.0	641.1	628.2	53	2530	0.02095
1136.3	-125.0	1.0	630.6	618.0	12	2690	0.00446
1123.2	-125.0	1.0	624.1	611.5	3	2800	0.00107
1121.6	-125.0	1.0	623.3	610.8	4	2810	0.00142
1076.0	-125.0	1.0	600.5	588.4	52	3230	0.01610
1076.0	-115.9	1.0	595.9	584.0	71	3330	0.02132
1076.0	-115.4	1.0	595.7	583.7	62	3330	0.01862
1076.0	0.0	1.0	538.0	527.2	136	4880	0.02787
1076.0	482.9	1.0	296.6	290.6	2	83200	0.00002
1076.0	713.9	1.0	181.0	177.4	6	1340000	0.00000
1076.0	792.8	1.0	141.6	138.8	2	3410000	0.00000
1076.0	812.6	1.0	131.7	129.1	2	4660000	0.00000
1076.0	832.9	1.0	121.6	119.1	2	7310000	0.00000
1076.0	850.2	1.0	112.9	110.6	2	12100000	0.00000
1076.0	855.1	1.0	110.4	108.2	6	15000000	0.00000
1076.0	873.2	1.0	101.4	99.4	2	47100000	0.00000
1076.0	880.0	1.0	98.0	96.0	4	95700000	0.00000
1076.0	889.8	1.0	93.1	91.2	2	-----	0.0

疲労累積係数 = 0.11901

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

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

炉内計装筒 環境疲労評価結果（評価点：9）

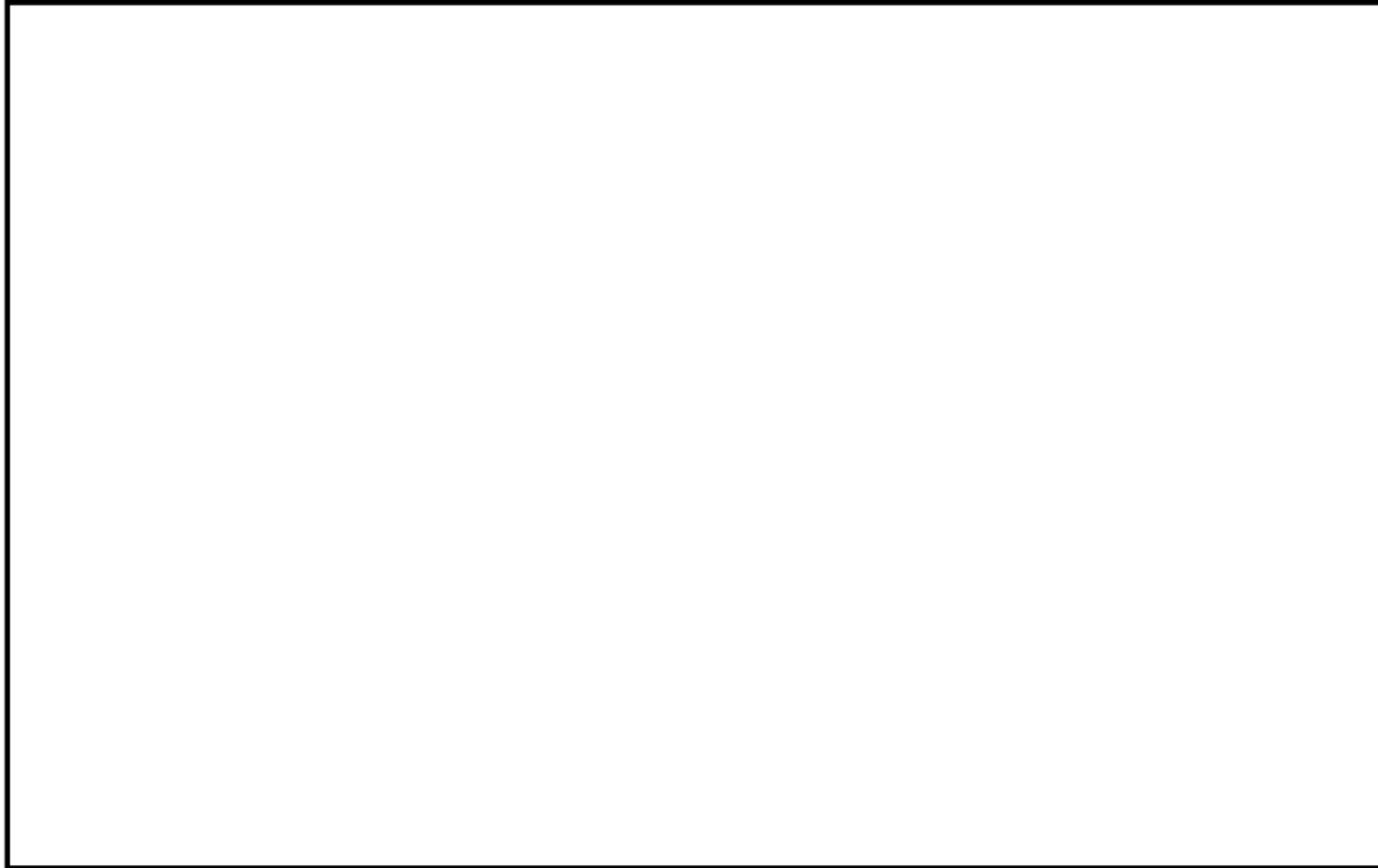
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n _k	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 u _{en}
A	B	s _{max}	s _{min}		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D4	13.8	-611.2	1.00	312.5	306.2	2	62500	0.00003	2.568	0.00008
2J1	2G1	13.8	-561.6	1.00	287.7	281.9	2	86300	0.00002	2.617	0.00005
2J1	2A1	13.8	-465.6	1.00	239.7	234.9	6	280000	0.00002	2.414	0.00005
2J1	2J2	13.8	-455.9	1.00	234.9	230.1	55	318000	0.00017	2.386	0.00041
1B1	2J2	7.4	-455.9	1.00	231.7	227.0	10	346000	0.00003	1.166	0.00003
1B1	2B2	7.4	-453.2	1.00	230.3	225.7	4	369000	0.00001	1.650	0.00002
1B1	2H1	7.4	-449.1	1.00	228.2	223.7	2	380000	0.00001	1.531	0.00001
1B1	2I1	7.4	-446.6	1.00	226.9	222.4	3	393000	0.00001	1.544	0.00001
1B1	1C1	7.4	-432.3	1.00	219.9	215.5	52	479000	0.00011	1.504	0.00018
1I1	1C1	4.0	-432.3	1.00	218.2	213.8	62	503000	0.00012	1.000	0.00012
1A1	1C1	0.6	-432.3	1.00	216.4	212.1	71	532000	0.00013	1.000	0.00013
NSS	1C1	0.0	-432.3	1.00	216.2	211.8	136	537000	0.00025	1.000	0.00025
2E1	1C1	-205.1	-432.3	1.00	113.6	111.3	2	1150000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1C1	-300.1	-432.3	1.00	66.1	64.8	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00135

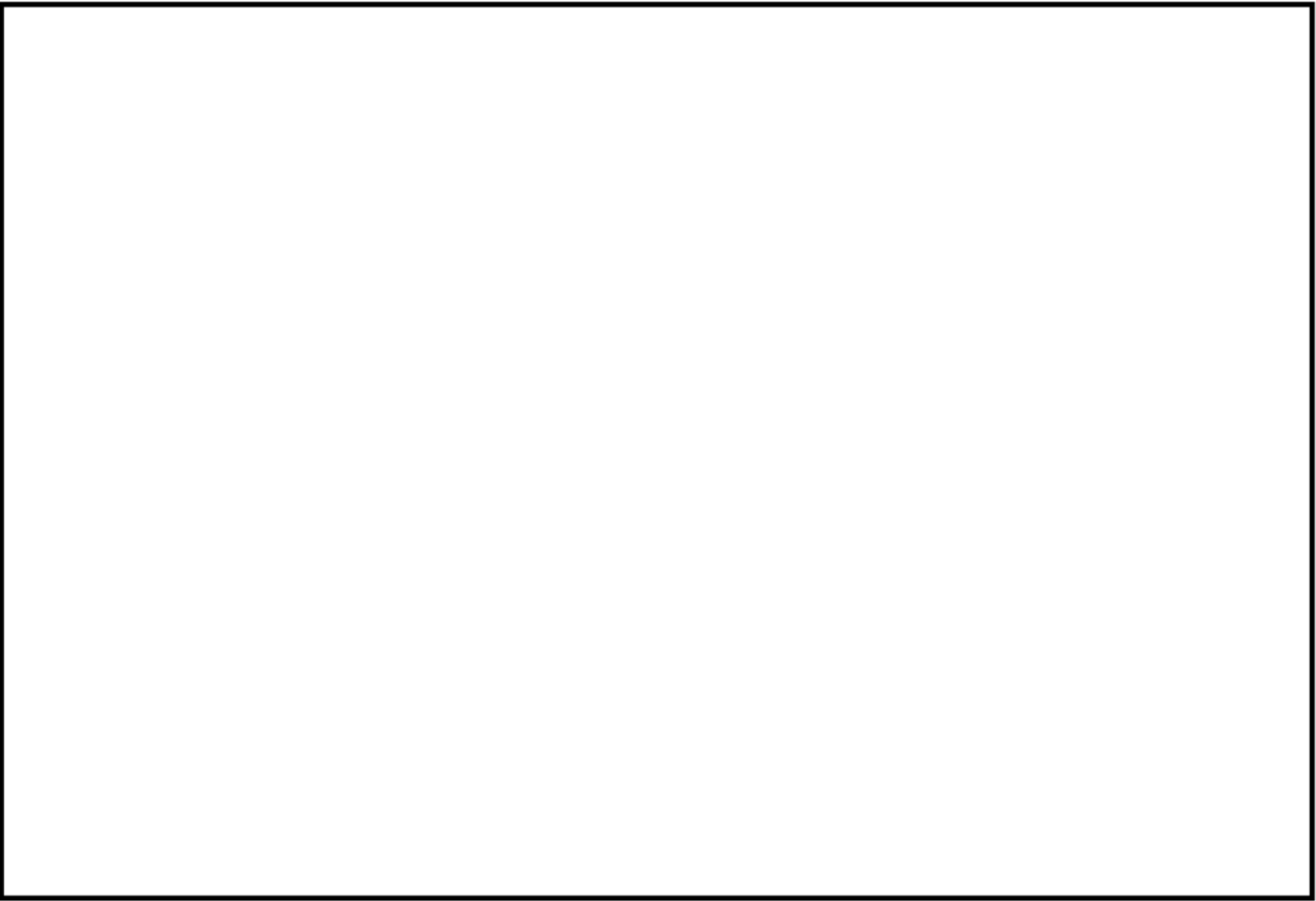
（注）ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ （salt' ≤ 214.5 ）の場合、fen=1.0

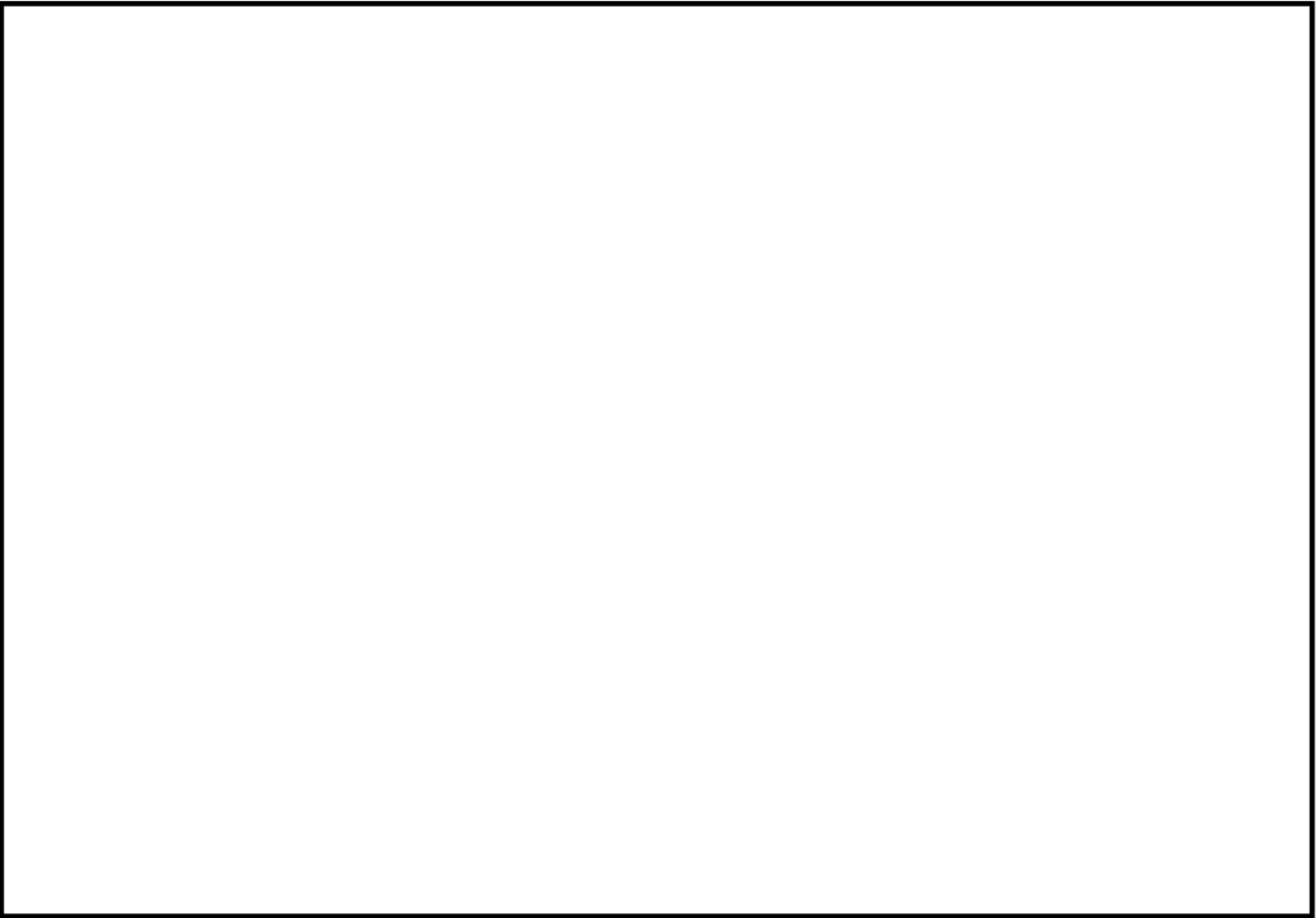
：割り増し係数 KE, 環境効果補正係数 fen を示す

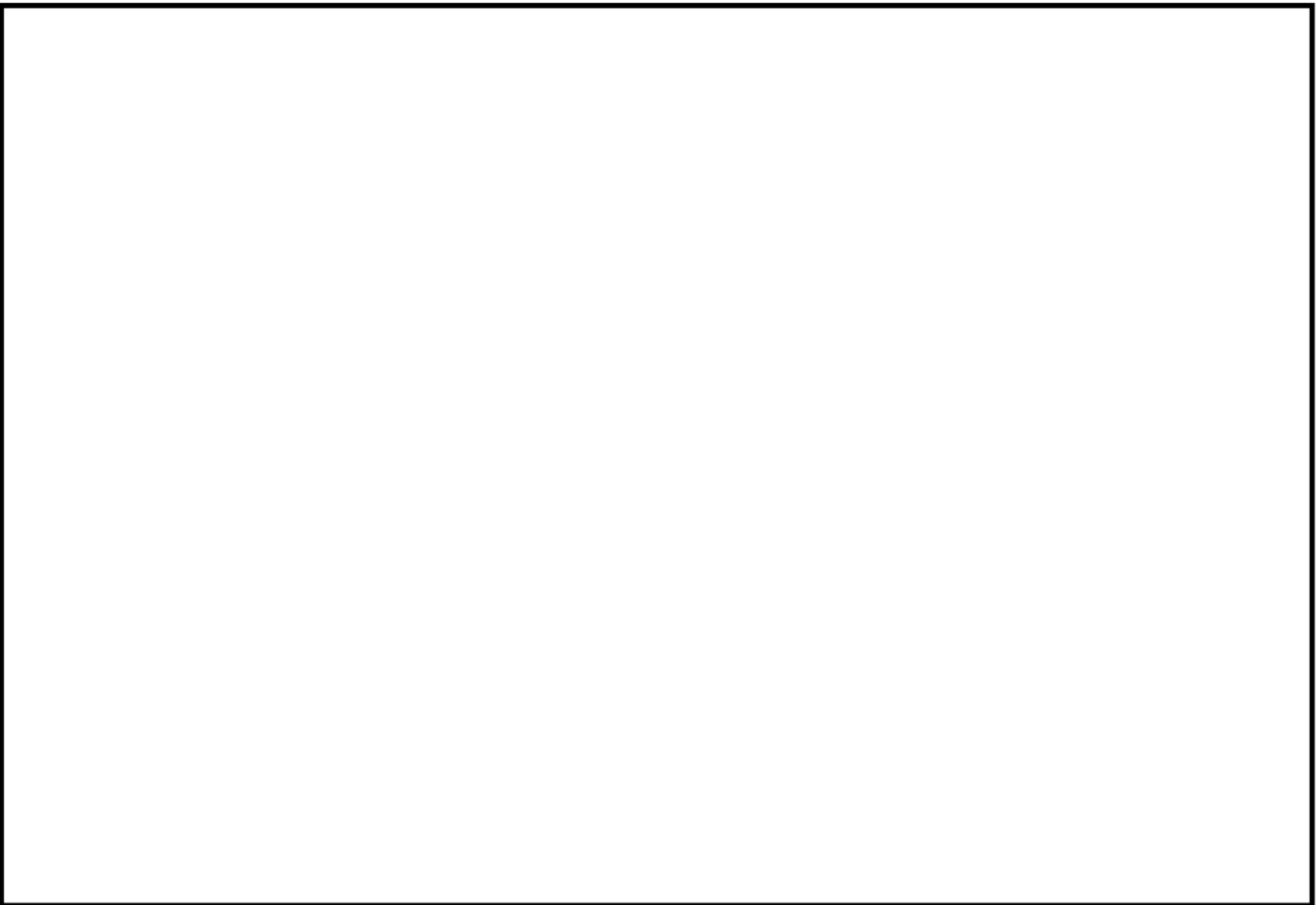
環境効果補正係数（Fen）の算出根拠

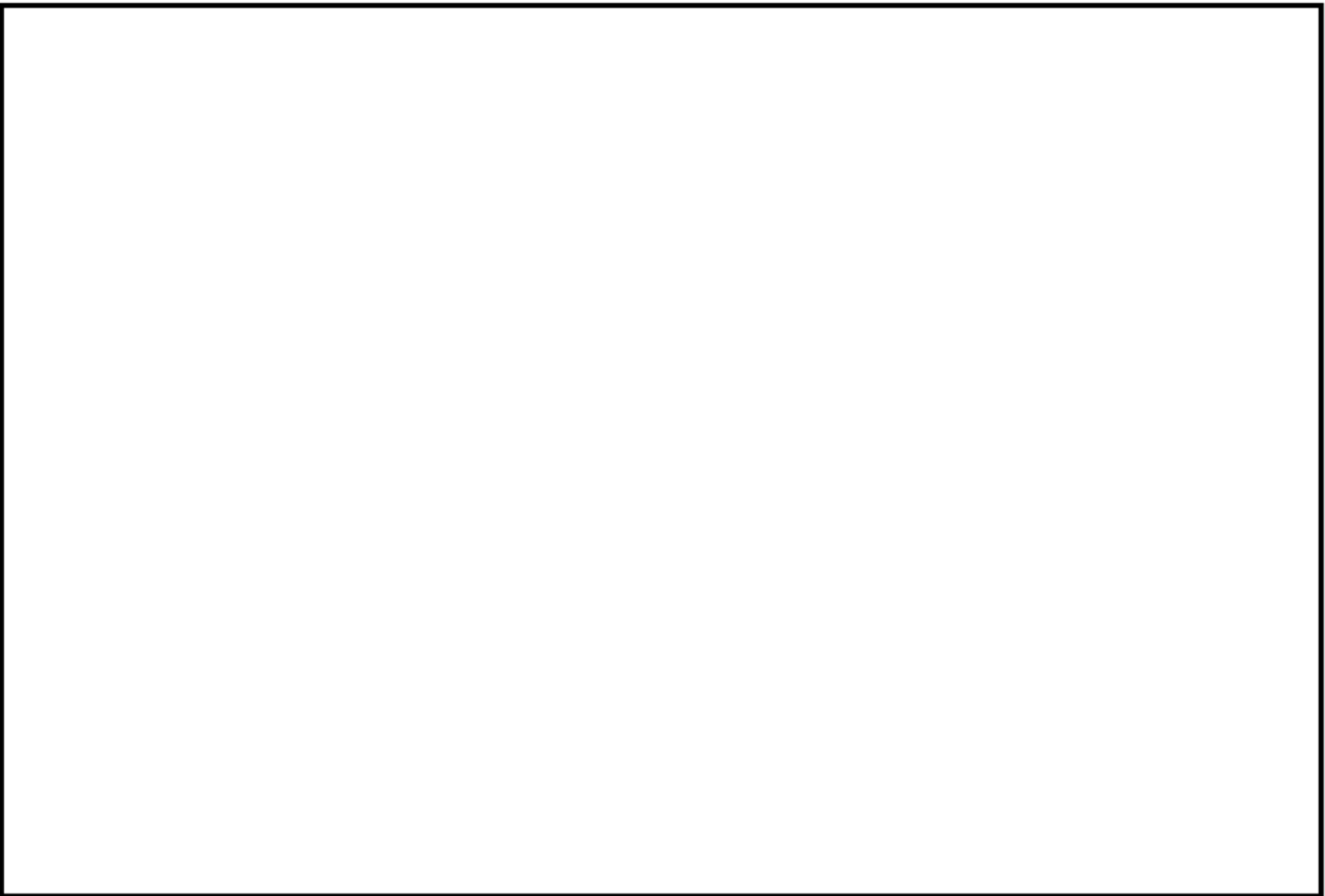
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

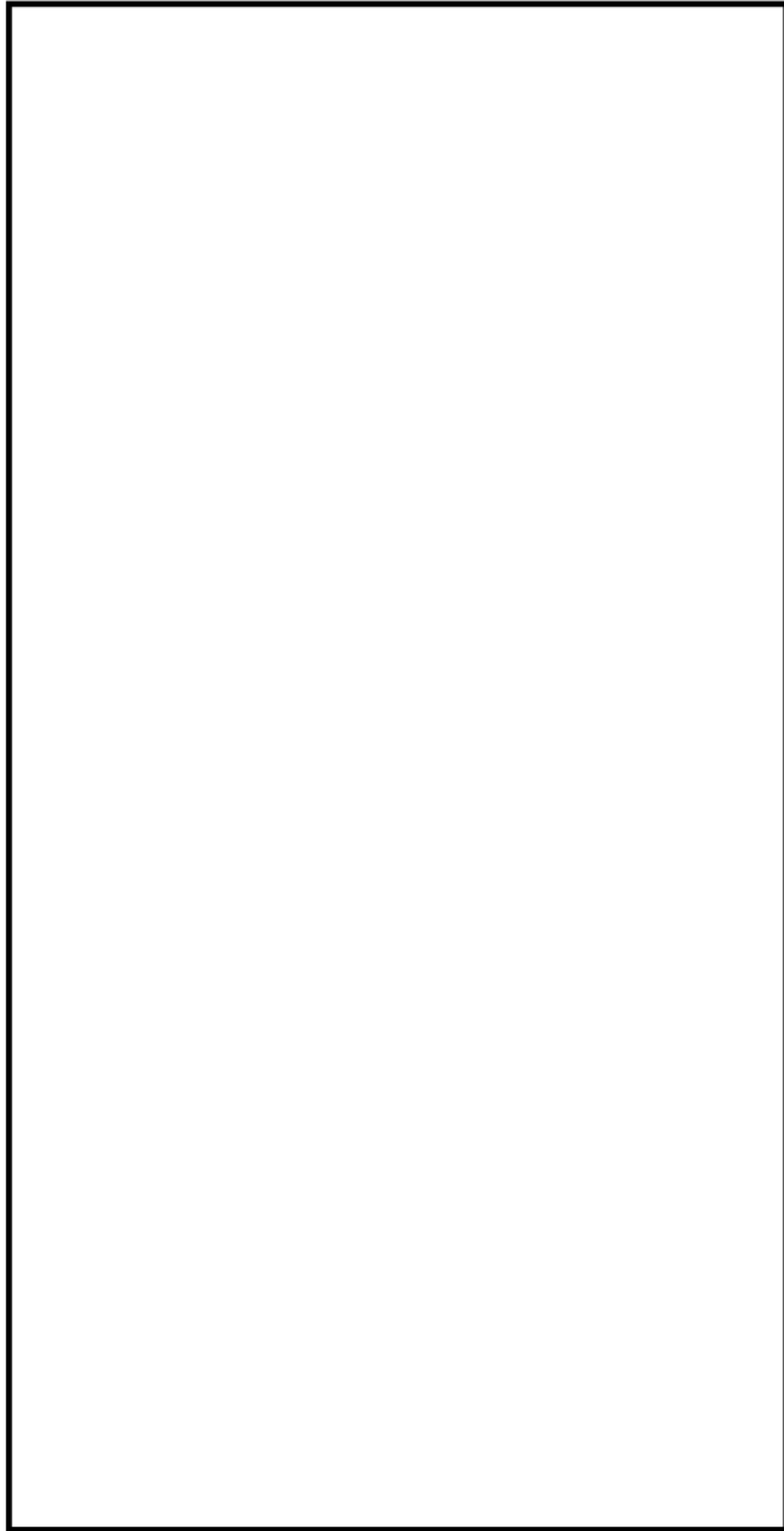












上部蓋、上部胴フランジおよびスタッドボルト寸法、評価点および解析モデル

上部蓋、上部胴フランジおよびスタッドボルト 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00018	0.00112	0.00051
2	0.00071	0.00050	0.00787
3	0.00046	0.00152	0.00008
4	0.00088	0.00129	0.00026
5	0.0	0.00316	0.00464
6	0.0	0.00091	0.00159
7	0.37159	0.0	0.37159
8	0.08583	0.0	0.08583
9	0.21652	0.0	0.21652
10	0.08169	0.0	0.08169

許容値 $U_f = 1.0$

0.00787 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

上部蓋、上部胴フランジ 疲労解析結果 (評価点 : 2)

評価点 - 2
(S31)

応力強さ		(単位 : MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT'	N	N*	
0.0	-427.8	1.0	213.9	255.9	43	10800	0.00398
-43.5	-427.8	1.0	192.1	229.9	3	15500	0.00019
-43.5	-383.7	1.0	170.1	203.5	43	23300	0.00185
-71.8	-380.1	1.0	154.1	184.4	2	31600	0.00006
-71.8	-377.9	1.0	153.0	183.1	3	32300	0.00009
-71.8	-369.0	1.0	148.6	177.8	38	35400	0.00107
-106.3	-369.0	1.0	131.4	157.2	2	52800	0.00004
-124.5	-369.0	1.0	122.3	146.3	43	75100	0.00057
-179.7	-369.0	1.0	94.6	113.2	2	206000	0.00001
-234.9	-369.0	1.0	67.1	80.3	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.00787

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

1.0 : 割り増し係数 K_e を示す

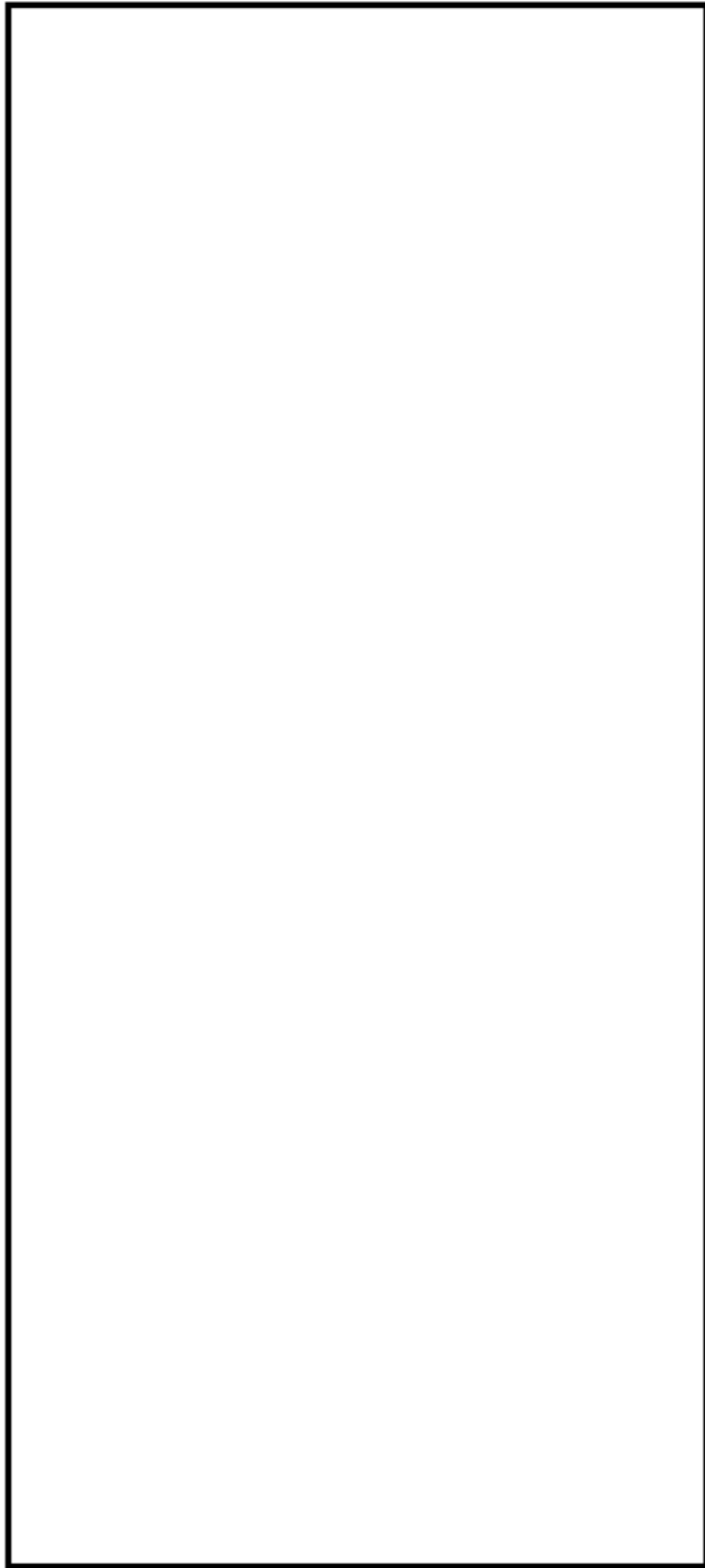
スタッドボルト 疲労解析結果 (評価点 : 7)

評価点 - 7
(S12)

応力強さ		(単位 : MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
1954.2	0.0	1.0	977.1	1169.1	70	354	0.19774
1954.2	219.6	1.0	867.3	1037.7	5	450	0.01111
1703.8	219.6	1.0	742.1	888.0	70	612	0.11438
1372.6	425.6	1.0	473.5	566.6	2	1480	0.00135
1356.3	425.6	1.0	465.3	556.8	4	1540	0.00260
1287.8	425.6	1.0	431.1	515.8	2	1800	0.00111
1273.2	425.6	1.0	423.8	507.1	62	1860	0.03333
1273.2	547.0	1.0	363.1	434.5	2	2540	0.00079
1273.2	714.6	1.0	279.3	334.2	2	4300	0.00047
1273.2	858.3	1.0	207.5	248.2	9	8640	0.00104
1271.8	858.3	1.0	206.7	247.4	61	8720	0.00700
1271.8	899.1	1.0	186.3	222.9	2	11500	0.00017
1271.8	916.2	1.0	177.8	212.7	2	13300	0.00015
1271.8	969.4	1.0	151.2	180.9	1	22600	0.00004
1262.7	969.4	1.0	146.7	175.5	1	26000	0.00004
1262.7	1015.6	1.0	123.6	147.8	2	56900	0.00004
1255.8	1015.6	1.0	120.1	143.7	4	64900	0.00006
1255.8	1019.5	1.0	118.2	141.4	2	70000	0.00003
1255.8	1032.7	1.0	111.6	133.5	6	91500	0.00007
1255.8	1039.9	1.0	108.0	129.2	3	108000	0.00003
1255.8	1057.3	1.0	99.2	118.7	4	182000	0.00002
1255.8	1070.6	1.0	92.6	110.8	2	295000	0.00001
1255.8	1071.4	1.0	92.2	110.4	0	304000	0.00000
1255.8	1080.4	1.0	87.7	105.0	5	436000	0.00001
1255.8	1083.6	1.0	86.1	103.0	0	499000	0.00000
1255.8	1086.9	1.0	84.5	101.1	2	568000	0.00000
1255.8	1093.4	1.0	81.2	97.2	5	743000	0.00001
1255.8	1097.5	1.0	79.1	94.7	0	885000	0.00000
1255.8	1101.8	1.0	77.0	92.1	5	—————	0.0
疲労累積係数 =							0.37159

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、評価点および解析モデル

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	0.00101	0.00004
2	0.0	0.00016	0.0
3	0.0	0.00116	0.00420
4	0.0	0.00001	0.00000

許容値 $U_f = 1.0$

0.00420 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

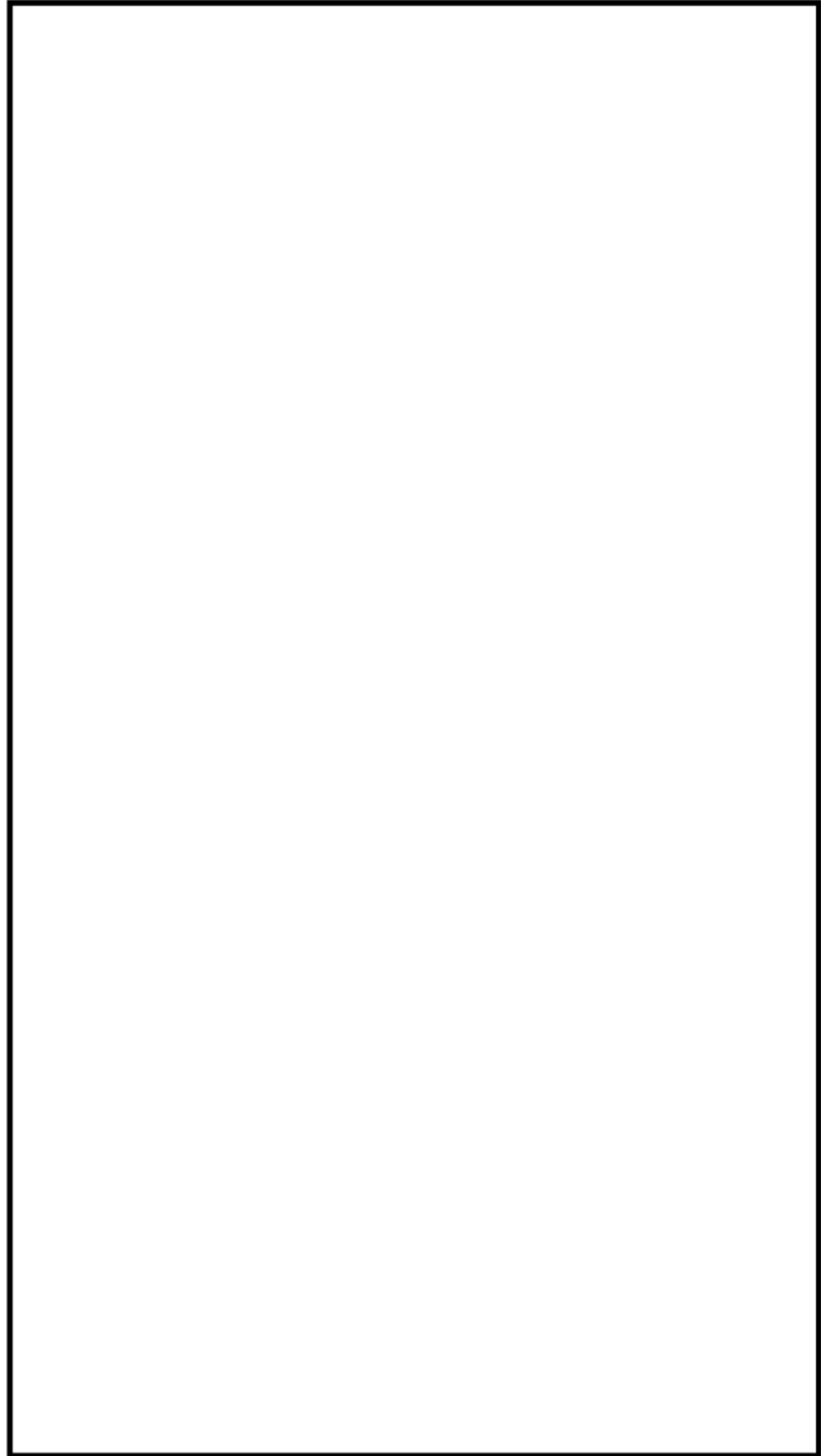
下部胴・下部鏡接続部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3
(S31)

応力強さ (単位 : MPa)		Ke	繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値		ALT	ALT'	
15.0	-369.5	1.0	192.2	226.1	2 16500 0.00012
15.0	-323.3	1.0	169.1	198.9	2 25000 0.00008
15.0	-264.8	1.0	139.9	164.5	3 44900 0.00007
15.0	-251.6	1.0	133.3	156.7	2 53600 0.00004
15.0	-245.2	1.0	130.1	153.0	6 60400 0.00010
15.0	-242.6	1.0	128.8	151.5	50 63400 0.00079
9.2	-242.6	1.0	125.9	148.1	15 70800 0.00021
9.2	-241.9	1.0	125.5	147.6	4 71800 0.00006
9.2	-238.2	1.0	123.7	145.5	52 77200 0.00067
0.0	-238.2	1.0	119.1	140.1	136 92800 0.00147
-6.0	-238.2	1.0	116.1	136.6	62 103000 0.00060
-135.8	-238.2	1.0	51.2	60.3	2 0.0
疲労累積係数 =					0.00420

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



炉心支持金物および炉心支持金物取付部形状寸法、評価点および解析モデル

炉心支持金物および炉心支持金物取付部 最大評価点の選定

第5-7-4表 疲労累積係数

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00060	0.00040
2	0.0	0.00040	0.0
3	0.0	0.00519	0.00025
4	0.0	0.00016	0.0
5	0.0	0.00023	0.00109
6	0.0	0.00008	0.0
7	0.00001	0.00501	0.00026
8	0.0	0.00016	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 $U_f=1.0$

0.00519 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

炉心支持金物およ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)		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*	
364.2	-40.9	1.0	202.5	238.2	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	3	34300	0.00009
250.1	-40.9	1.0	145.5	171.1	64	39800	0.00161
250.1	-38.7	1.0	144.4	169.8	1	40800	0.00002
248.2	-38.7	1.0	143.5	168.7	2	41600	0.00005
246.5	-38.7	1.0	142.6	167.7	6	42400	0.00014
242.5	-38.7	1.0	140.6	165.4	4	44200	0.00009
234.3	-38.7	1.0	136.5	160.5	52	48500	0.00107
234.3	0.0	1.0	117.1	137.8	136	100000	0.00136
234.3	11.9	1.0	111.2	130.8	62	121000	0.00051
234.3	110.2	1.0	62.0	72.9	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.00519

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

炉心支持金物および炉心支持金物取付部 環境疲労評価結果（評価点：11）

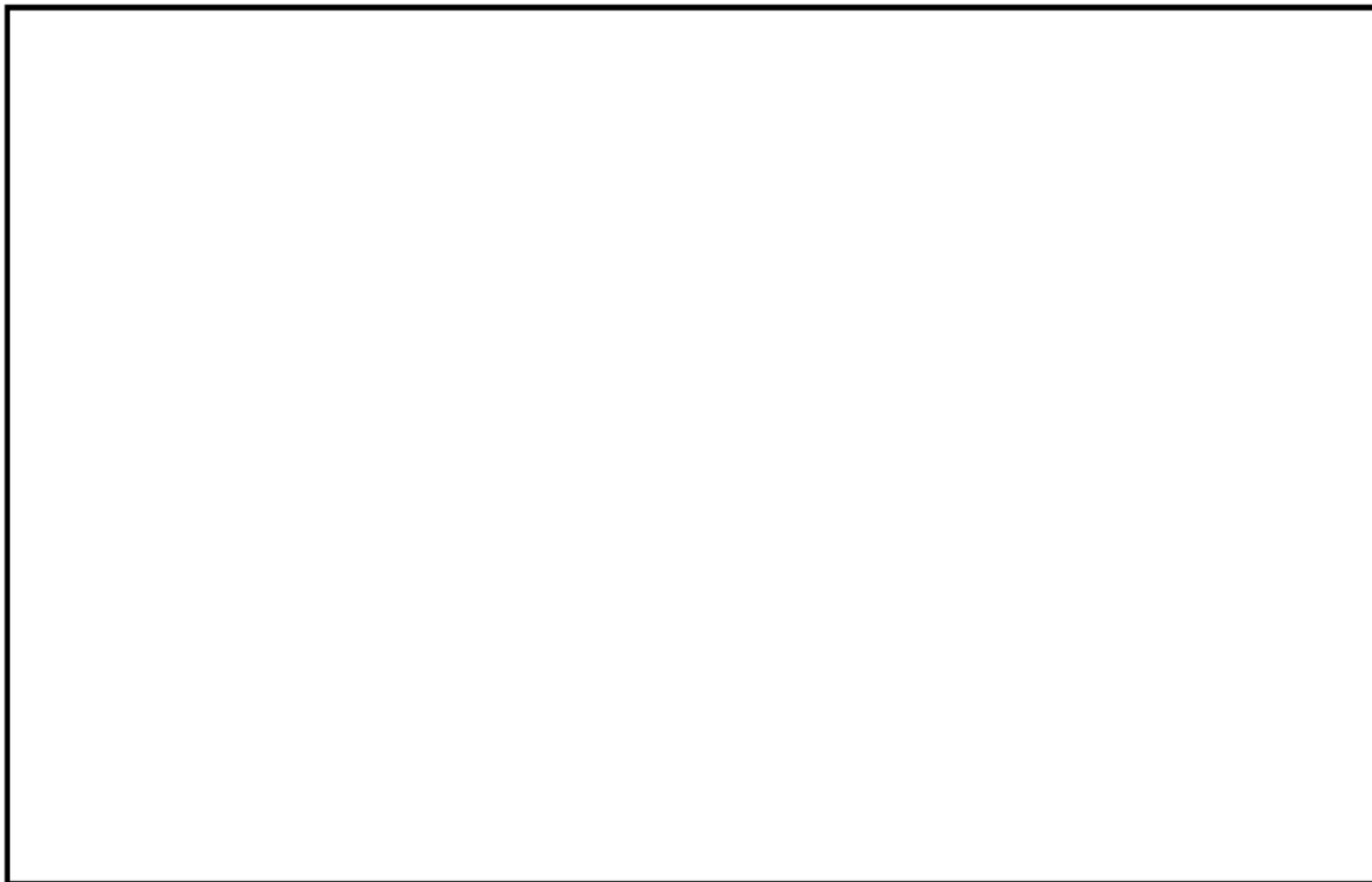
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 Ke	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
2A1	2D4	68.4	-127.6	1.00	98.0	95.1	2	88800000	0.00000	1.000	0.00000	
2A1	2D2	68.4	-101.1	1.00	84.8	83.1	2	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計：	0.00000

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

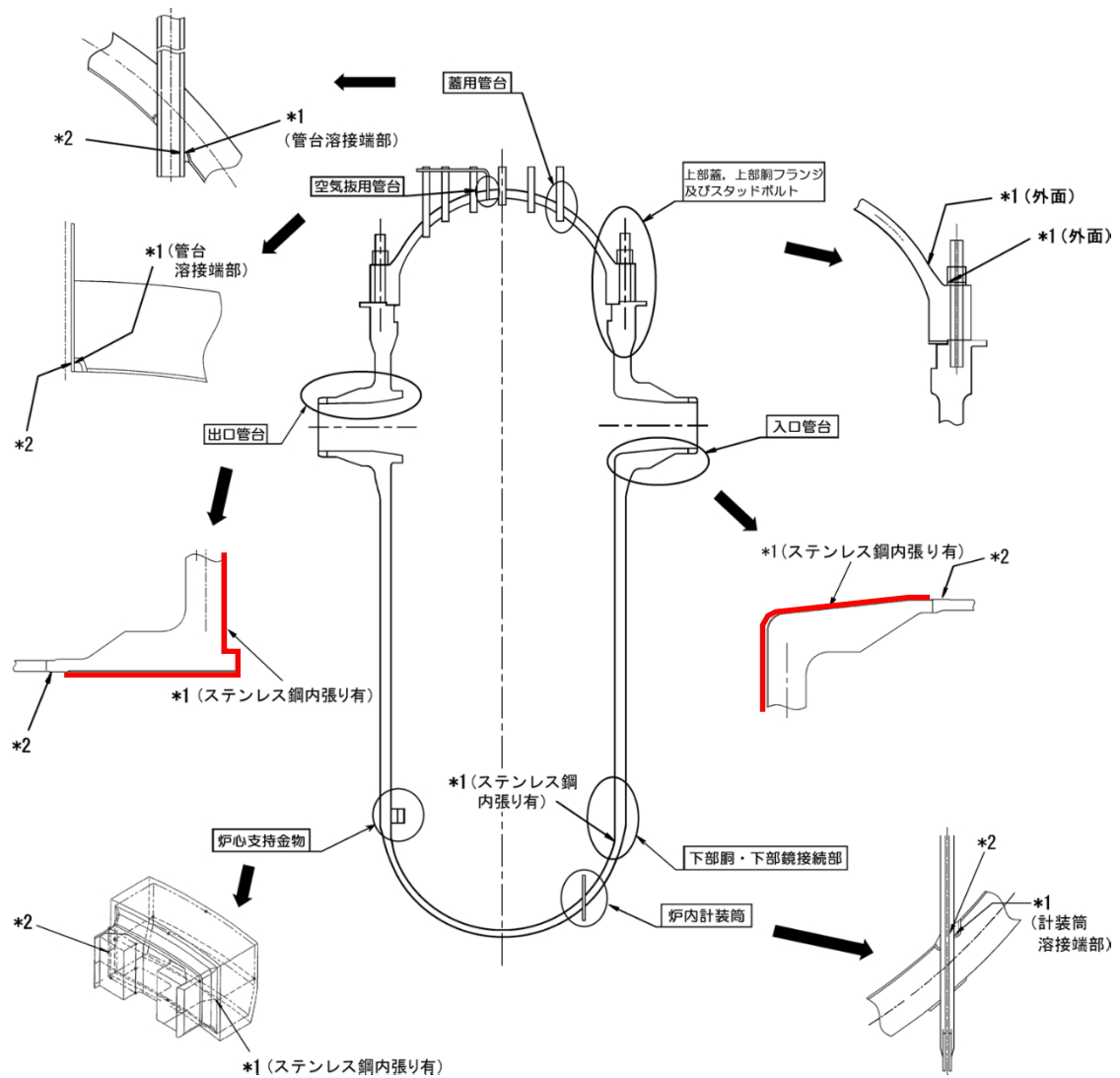
：割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

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								



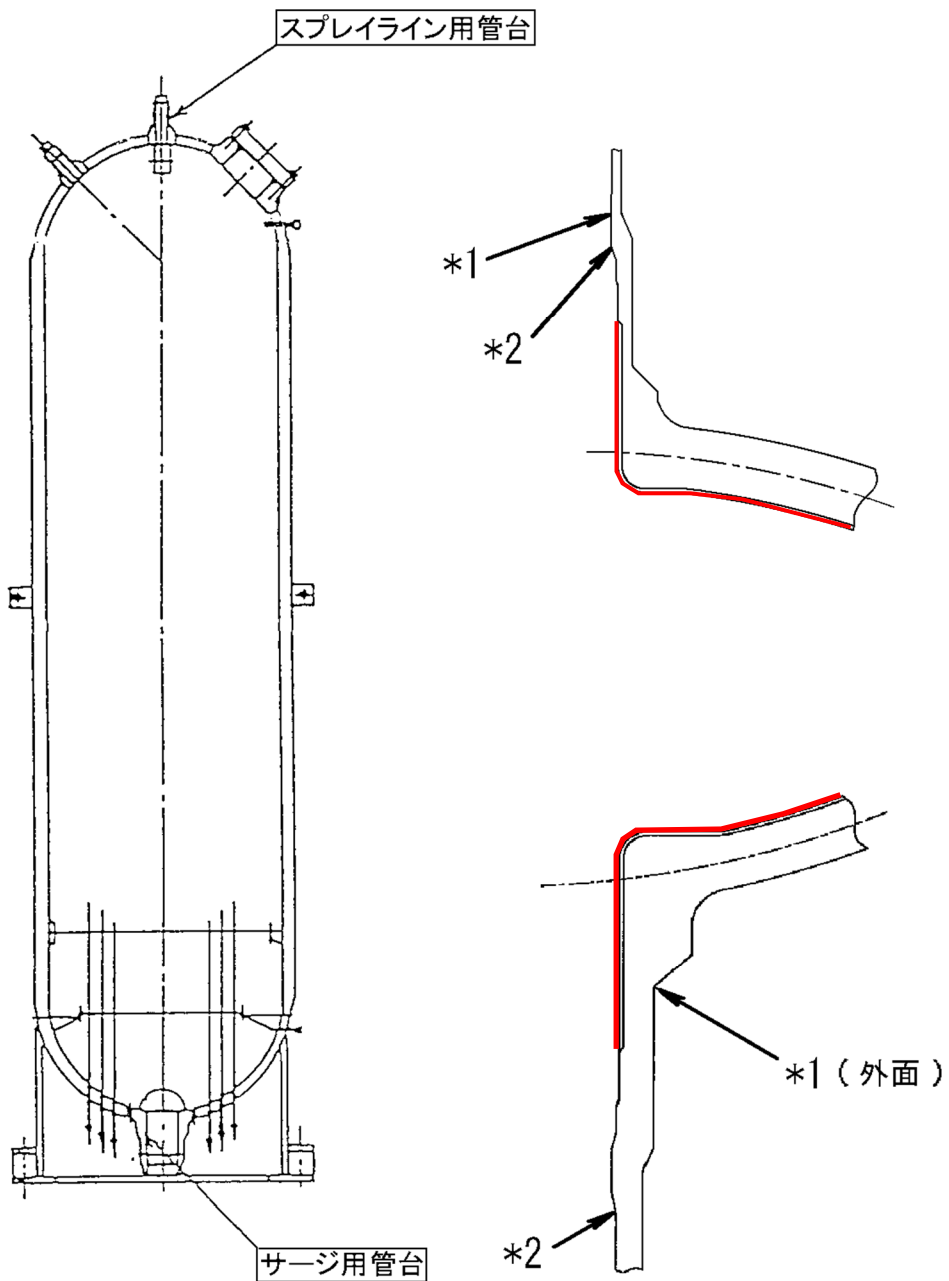
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(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

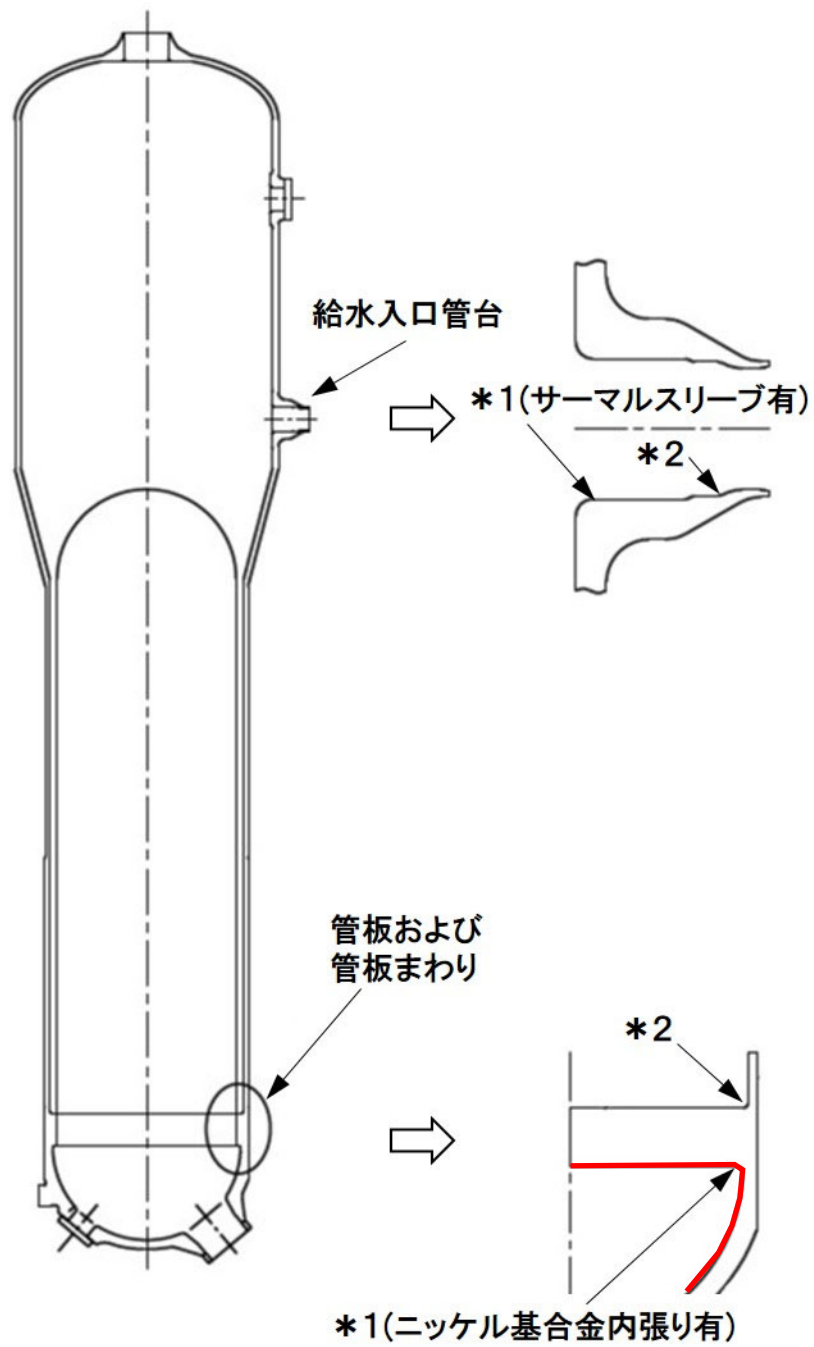


* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 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



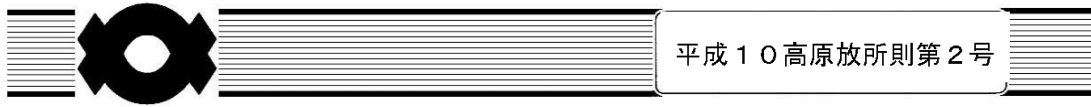
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
 (非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 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>高浜4号炉の高経年化技術評価書において、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="421 846 1361 1003"> <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>管板まわり</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 を標準値として監視・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	管板まわり	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													
	管板まわり	低合金鋼	給水													
炭素鋼配管	主給水系統配管	炭素鋼	給水													



高浜発電所 化学管理業務所則

平成10年 6月 8日 制 定

2021年 1月26日 57次改正

関西電力株式会社

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	管板まわり	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
		蓋用管台	詳細評価
		空気抜用管台	詳細評価
		炉内計装筒	詳細評価
		上部蓋および上部胴フランジ	—
		下部胴・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	余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口第2隔離弁」	係数倍法
		余熱除去系統入口配管 「余熱除去ポンプ入口第2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
		加圧器サージライン用管台	詳細評価
		蓄圧タンク注入ライン管台	詳細評価
		余熱除去系戻りおよび安全注入管台	詳細評価
		充てんライン用管台	詳細評価
	弁	仕切弁	余熱除去ポンプCループ側入口 第1隔離弁弁箱
玉形弁		抽出水止め弁弁箱	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）

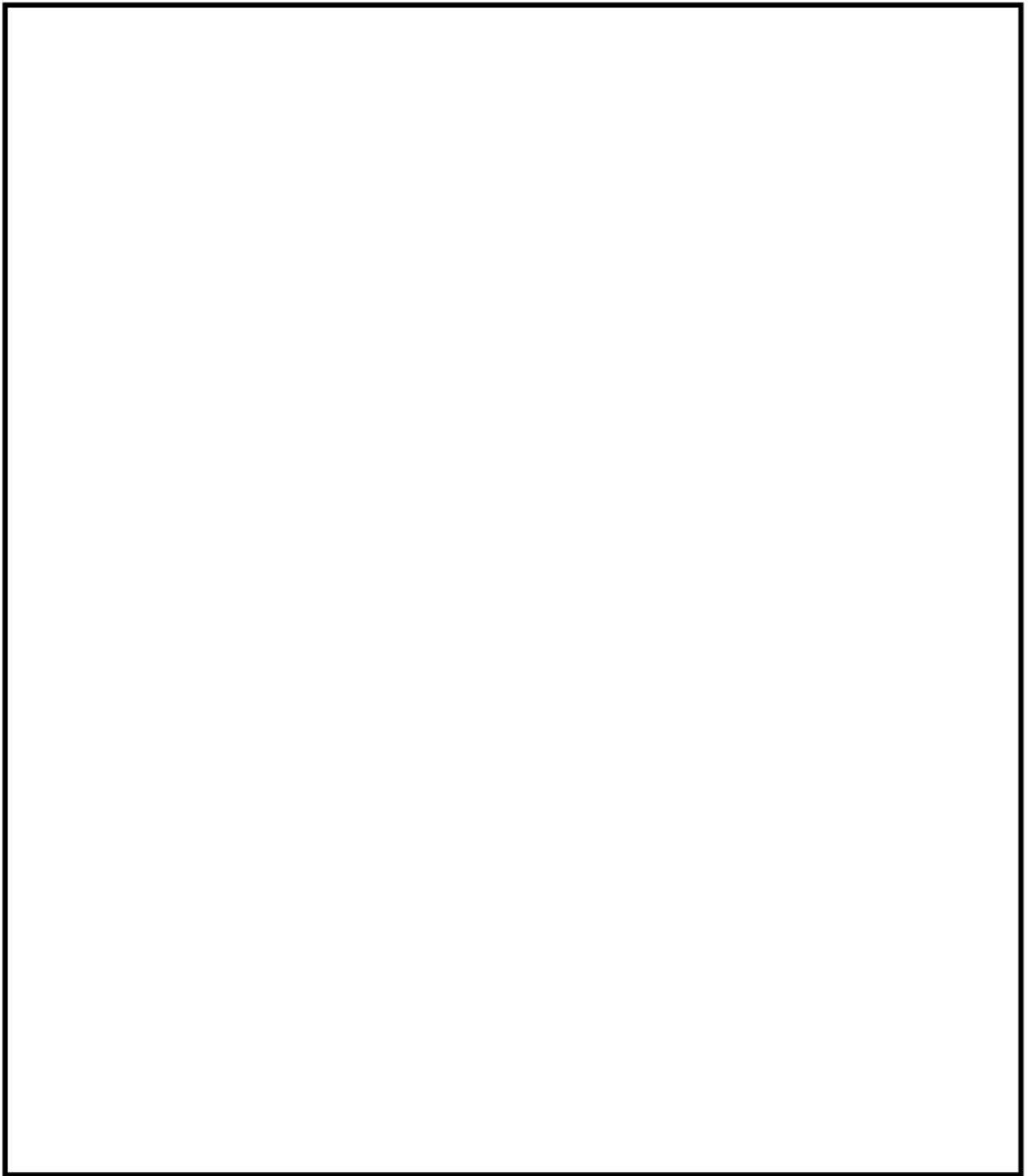
評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	詳細評価
		上部炉心支持柱	詳細評価
		下部炉心支持板	詳細評価
		下部炉心支持柱	詳細評価
重機器サポート		加圧器スカート溶接部	－

※ 1 : 環境中評価に用いた溶存酸素量は運転管理値である 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。

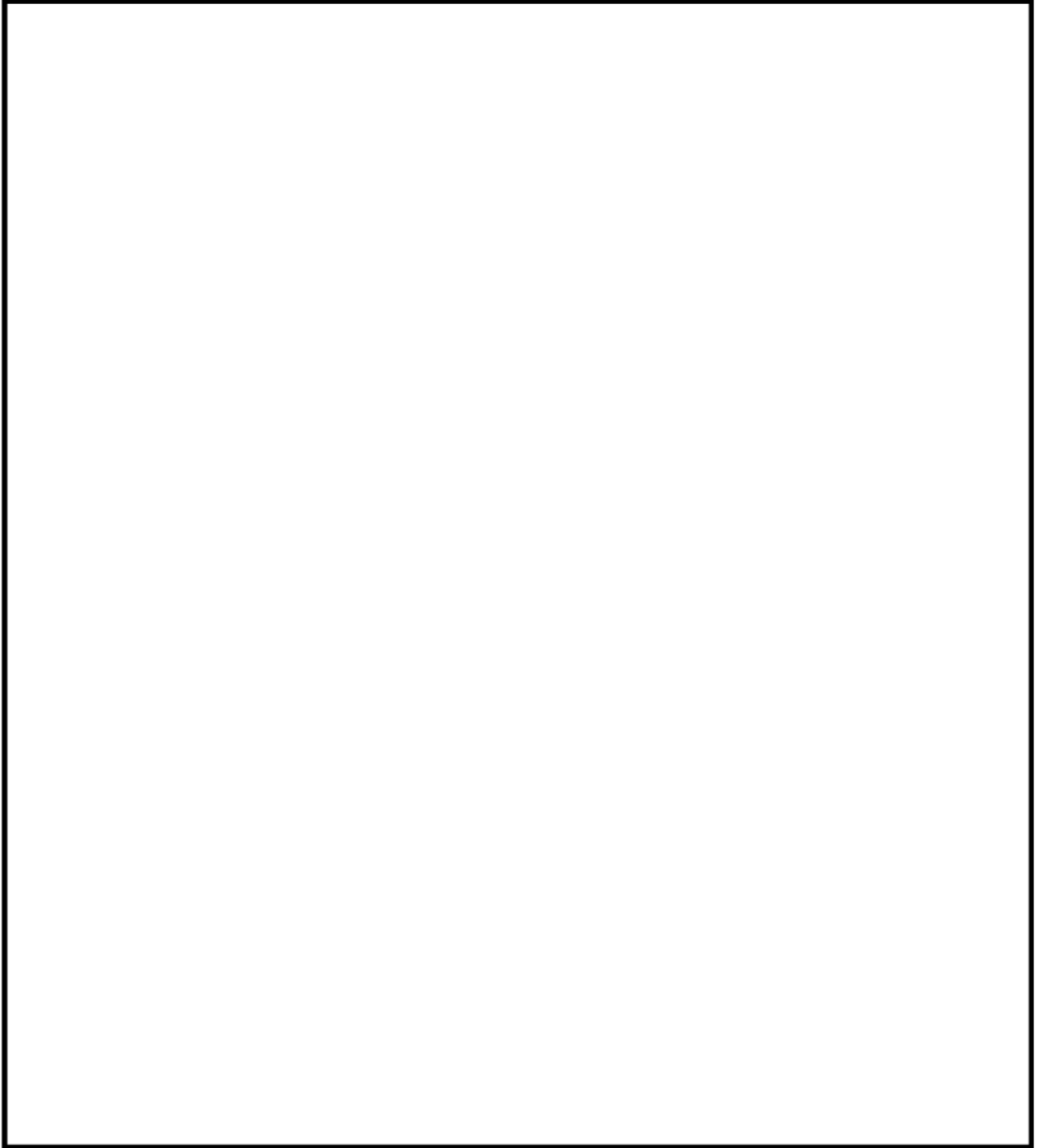
※ 2 : 環境中評価に用いた溶存酸素量は運転管理値である 0.005ppm、材料中の硫黄含有量は材料規格における最大値である 0.035%とした。

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・・・・・・・・・・7-20 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・・・・7-30 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・・・7-40 ⑤ 機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-51 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・7-57 ⑦ 1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-75 ⑧ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-97 ⑨ スイング逆止弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-101 ⑩ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-105 ⑪ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠・・・・7-119</p>

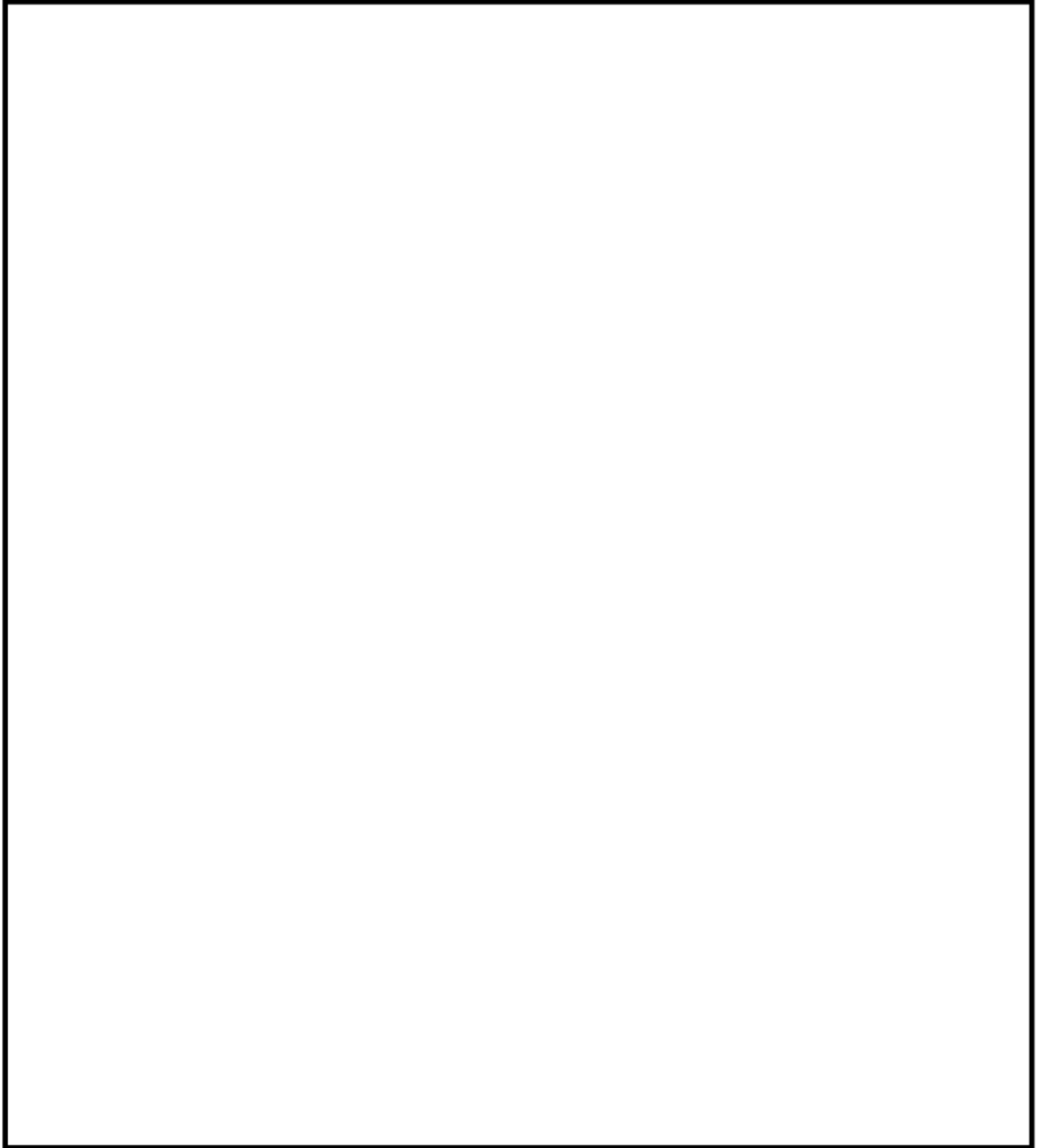
タイトル	1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 622 1310 824"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td colspan="2">ABAQUS Standard Ver. 6.8-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td colspan="2" rowspan="4"></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>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="462 943 1321 1144"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351 CF8 (SCS13A相当)</td> <td>117</td> <td>283.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="422 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. 6.8-1		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)	SA351 CF8 (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. 6.8-1																					
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)																				
SA351 CF8 (SCS13A相当)	117	283.6																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重																					



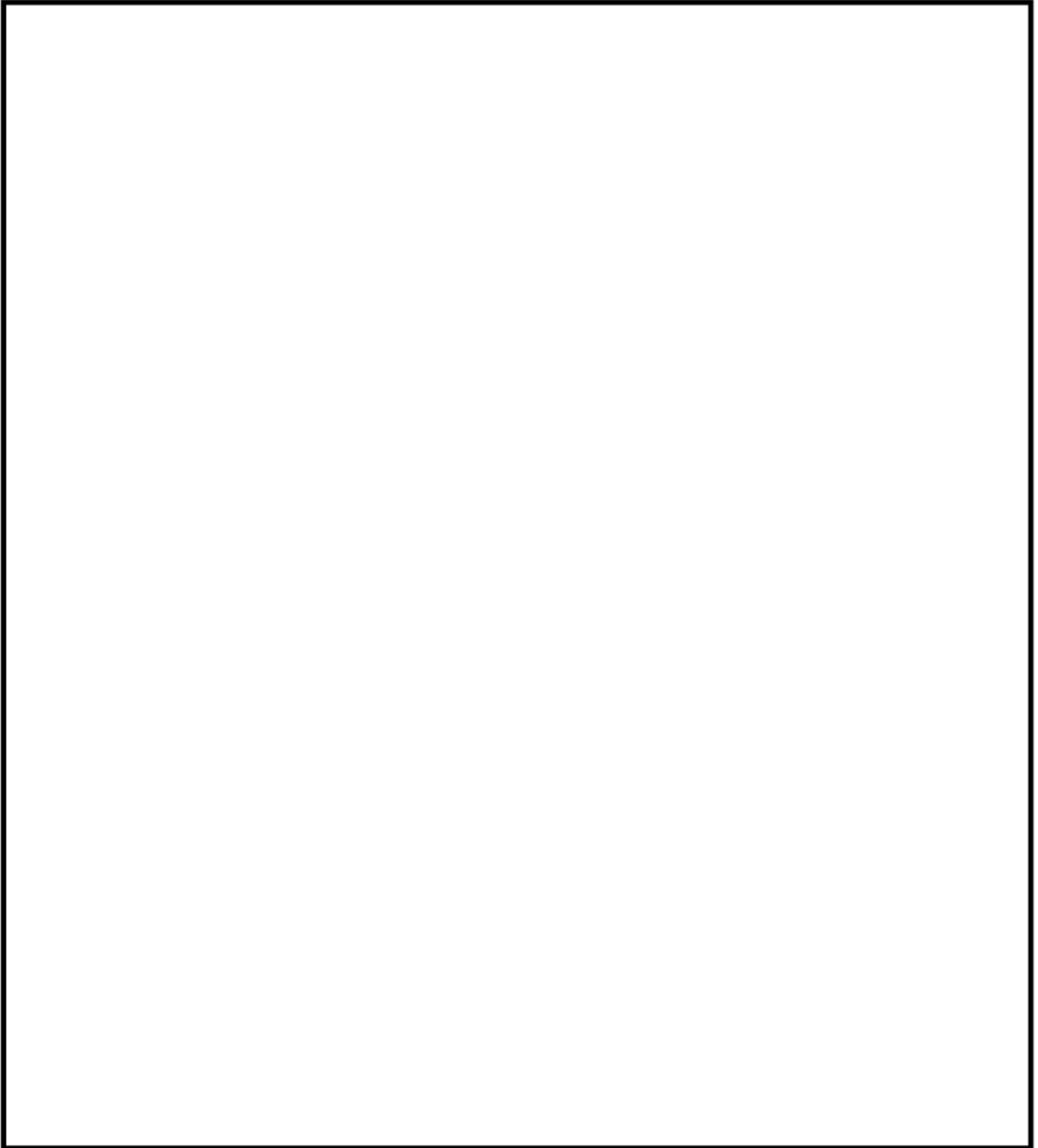
ケージング吸込ノズル 評価点



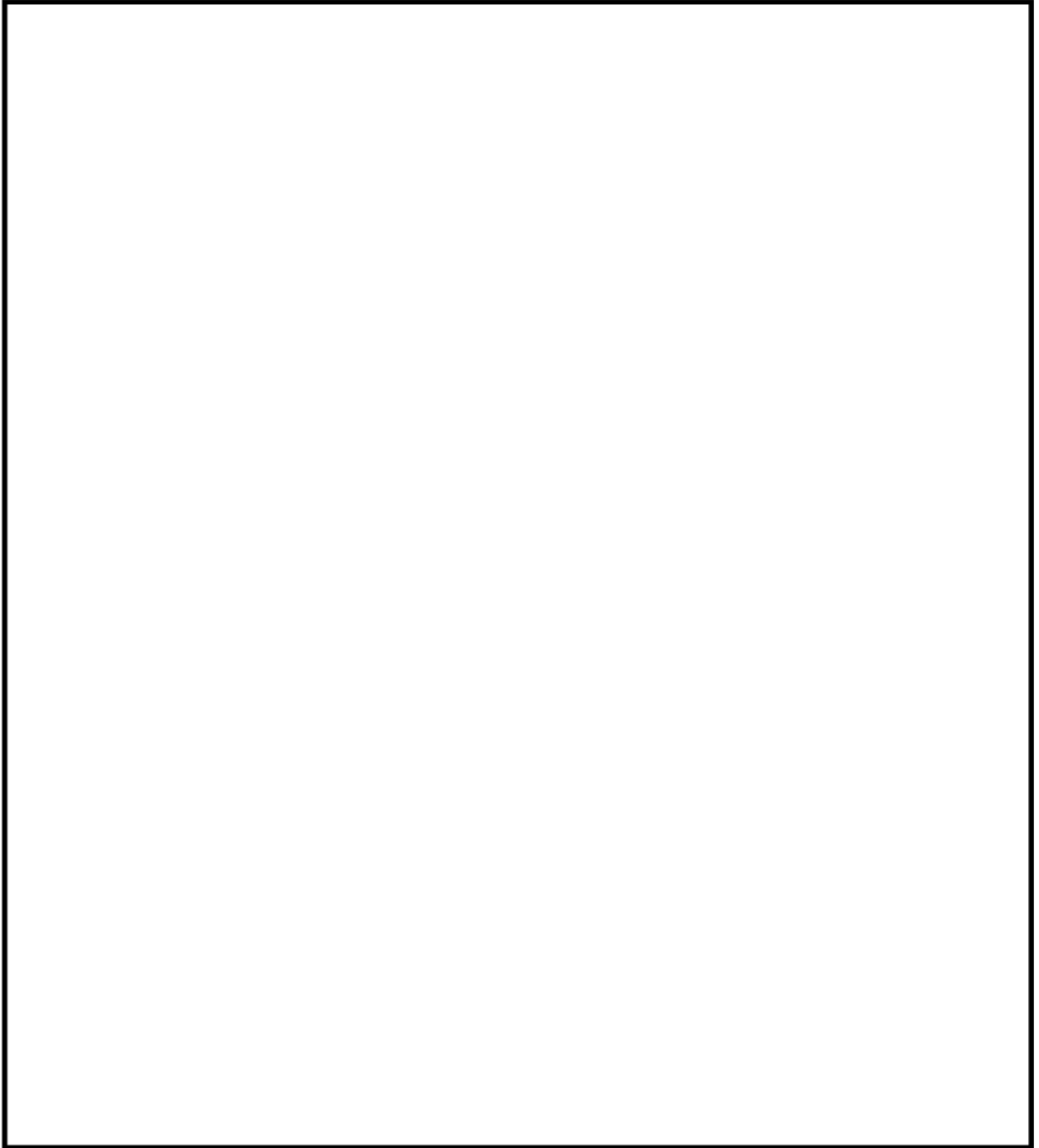
ケーシング吐出ノズル 評価点



ケーシング脚部 評価点 (1 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (2 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

吸込ノズル 最大疲労評価点の選定

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
SU01I	0.0	0.00000	0.00000
SU010	0.0	0.00000	0.00000
SU02I	0.0	0.00000	0.00000
SU020	0.0	0.00000	0.00000
SU03I	0.0	0.00000	0.00001
SU030	0.0	0.0	0.00000
SU04I	0.0	0.00000	0.00000
SU040	0.0	0.0	0.00000
SU05I	0.0	0.00000	0.00000
SU050	0.0	0.00000	0.00000
SU06I	0.0	0.00000	0.00000
SU060	0.0	0.00000	0.00000
SU07I	0.0	0.00000	0.00000
SU070	0.0	0.0	0.0
SU08I	0.0	0.00001	0.00000
SU080	0.0	0.0	0.0
SU09I	0.0	0.00000	0.00000
SU090	0.0	0.0	0.0
SU10I	0.0	0.00001	0.00001
SU100	0.0	0.0	0.0
SU11I	0.0	0.00001	0.00001
SU110	0.0	0.0	0.0
SU12I	0.0	0.00000	0.00000
SU120	0.0	0.0	0.0

※ピーク応力強さが疲労限未満の場合は0.0、疲労限以上の場合は小数第5位（小数第6位を四捨五入）まで記載する。

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : SU10I)

評価点 - SU10I
(S23)

応力強さ		(単位 : N/mm ²)			繰返し回数		疲れ係数
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
309.0	-70.5	1.0	189.7	209.4	2	583000	0.00000
216.6	-70.5	1.0	143.5	158.4	2	1940000	0.00000
188.8	-70.5	1.0	129.6	143.1	2	2980000	0.00000
183.0	-70.5	1.0	126.7	139.8	2	3290000	0.00000
166.6	-70.5	1.0	118.5	130.8	3	4390000	0.00000
140.8	-70.5	1.0	105.6	116.6	2	8300000	0.00000
139.7	-70.5	1.0	105.1	116.0	2	8560000	0.00000
109.4	-70.5	1.0	90.0	99.3	55	47800000	0.00000
108.3	-70.5	1.0	89.4	98.6	1	56400000	0.00000
108.3	-69.1	1.0	88.7	97.9	65	72700000	0.00000
108.3	0.0	1.0	54.2	59.8	65		0.0
疲れ累積係数 =							0.00001

Ke : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.001

吐出ノズル 最大疲労評価点の選定

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
HA01I	0.0	0.00086	0.00136
HA01O	0.03253	0.04597	0.0
HA02I	0.0	0.00086	0.00136
HA02O	0.03253	0.04596	0.0
HA03I	0.00159	0.04334	0.00003
HA03O	0.00090	0.00048	0.0
HA04I	0.00647	0.05885	0.00000
HA04O	0.00035	0.00016	0.0
HA05I	0.00028	0.00003	0.00013
HA05O	0.00000	0.00000	0.0
HA06I	0.0	0.00008	0.00000
HA06O	0.00002	0.00316	0.00004
HA07I	0.00001	0.00001	0.00017
HA07O	0.00777	0.0	0.04265
HA08I	0.00000	0.00018	0.00001
HA08O	0.03865	0.0	0.10246
HA09I	0.0	0.00000	0.00000
HA09O	0.0	0.00000	0.00000
HA10I	0.00033	0.00056	0.00000
HA10O	0.0	0.00000	0.0
HA11I	0.0	0.00008	0.00000
HA11O	0.00002	0.00307	0.00004
HA12I	0.00000	0.00018	0.00001
HA12O	0.03003	0.0	0.08744

※ピーク応力強さが疲労限未満の場合は0.0、疲労限以上の場合は小数第5位（小数第6位を四捨五入）まで記載する。

吐出ノズル疲労評価結果 (評価点 : HA080)

評価点 - HA080
(S31)

応力強さ		(単位 : N/mm ²)			繰返し回数		疲れ係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
148.5	-641.3	1.93	763.1	842.2	71	918	0.07734
80.2	-558.1	1.68	535.3	590.8	4	3180	0.00126
80.2	-505.4	1.55	454.4	501.4	6	5960	0.00101
80.2	-502.0	1.51	441.0	486.6	55	6730	0.00817
-25.7	-478.6	1.93	437.5	482.8	71	6940	0.01023
-15.0	-502.0	1.32	321.1	354.3	10	29500	0.00034
-15.0	-459.1	1.37	303.1	334.5	6	39400	0.00015
-15.0	-486.6	1.28	302.6	334.0	4	39700	0.00010
-15.0	-488.1	1.27	300.4	331.6	42	41200	0.00102
0.0	-488.1	1.21	294.4	324.9	24	45600	0.00053
0.0	-484.5	1.20	290.6	320.7	41	48600	0.00084
-25.3	-484.5	1.17	268.8	296.7	14	74300	0.00019
-25.3	-481.9	1.17	266.6	294.2	51	77700	0.00066
-45.2	-481.9	1.16	252.6	278.7	65	104000	0.00062
-282.2	-481.9	1.07	107.3	118.4	2	756000	0.00000
-315.1	-481.9	1.07	89.6	98.9	2	5140000	0.00000
-393.2	-481.9	1.07	47.7	52.6	3		0.0
疲れ累積係数 =							0.10246

Ke : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT' : ALT に (195000) / (材料の使用温度における縦弾性係数) を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常 UF : 0.103

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (1/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A101I	0.0	0.00092	0.00118
A1010	0.00036	0.00119	0.0
A102I	0.0	0.00126	0.00126
A1020	0.00114	0.00294	0.0
A103I	0.00008	0.02472	0.00022
A1030	0.00019	0.00195	0.0
A104I	0.00010	0.02553	0.00018
A1040	0.00028	0.00280	0.0
A105I	0.00000	0.00020	0.00087
A1050	0.00027	0.00004	0.00162
A106I	0.00000	0.00016	0.00129
A1060	0.00013	0.00001	0.01896
A107I	0.00000	0.00013	0.00110
A1070	0.00006	0.00001	0.00913
A108I	0.0	0.00126	0.00126
A1080	0.00114	0.00294	0.0
A109I	0.00008	0.02472	0.00022
A1090	0.00019	0.00195	0.0
A110I	0.00010	<i>0.02553</i>	0.00018
A1100	0.00028	0.00280	0.0
A111I	0.00000	0.00016	0.00129
A1110	0.00013	0.00001	0.01896
A112I	0.00000	0.00020	0.00087
A1120	0.00027	0.00004	0.00161

※ピーク応力強さが疲労限未満の場合は0.0、疲労限以上の場合は小数第5位（小数第6位を四捨五入）まで記載する。

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (2/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A201I	0.00159	0.04309	0.00003
A2010	0.00087	0.00049	0.0
A202I	0.00647	0.05888	0.00000
A2020	0.00030	0.00018	0.0
A203I	0.0	0.00086	0.00135
A2030	0.03268	0.04596	0.0
A204I	0.0	0.00097	0.00126
A2040	0.02854	0.04065	0.0
A205I	0.0	0.00008	0.00001
A2050	0.00002	0.00359	0.00003
A206I	0.0	0.00008	0.00000
A2060	0.00002	0.00306	0.00004
A207I	0.00001	0.00003	0.00000
A2070	0.0	0.00000	0.00001
A208I	0.00000	0.00018	0.00001
A2080	0.03016	0.0	0.08732
A209I	0.0	0.00141	0.00121
A2090	0.00118	0.00283	0.0
A210I	0.00009	0.02513	0.00022
A2100	0.00023	0.00219	0.0
A211I	0.00008	0.03460	0.00019
A2110	0.00008	0.00233	0.0
A212I	0.0	0.00015	0.00130
A2120	0.00107	0.00000	0.04375

※ピーク応力強さが疲労限未満の場合は0.0、疲労限以上の場合は小数第5位（小数第6位を四捨五入）まで記載する。

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (3/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A301I	0.00159	0.04309	0.00003
A3010	0.00086	0.00050	0.0
A302I	0.00647	0.05888	0.00000
A3020	0.00030	0.00018	0.0
A303I	0.0	0.00086	0.00135
A3030	0.03268	0.04569	0.0
A304I	0.0	0.00097	0.00125
A3040	0.02842	0.04062	0.0
A305I	0.0	0.00008	0.00001
A3050	0.00002	0.00355	0.00003
A306I	0.0	0.00008	0.00000
A3060	0.00002	0.00311	0.00004
A307I	0.00001	0.00003	0.00000
A3070	0.0	0.00000	0.00001
A308I	0.00000	0.00018	0.00001
A3080	0.03961	0.0	0.10434
A309I	0.0	0.00141	0.00120
A3090	0.00118	0.00282	0.0
A310I	0.00009	0.02505	0.00022
A3100	0.00023	0.00219	0.0
A311I	0.00008	0.03460	0.00019
A3110	0.00008	0.00232	0.0
A312I	0.0	0.00015	0.00129
A3120	0.00107	0.00000	0.04399

※ピーク応力強さが疲労限未満の場合は0.0、疲労限以上の場合は小数第5位（小数第6位を四捨五入）まで記載する。

脚部 疲労評価結果 (評価点 : A3080)

評価点 - A3080
(S31)

応力強さ		(単位 : N/mm ²)			繰返し回数		疲れ係数
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
141.7	-649.4	1.94	765.7	845.0	71	909	0.07811
74.2	-566.4	1.69	540.4	596.4	4	3070	0.00130
74.2	-513.7	1.56	459.7	507.4	6	5690	0.00105
74.2	-510.3	1.53	446.3	492.6	55	6410	0.00858
-34.4	-486.9	1.94	438.0	483.3	71	6910	0.01027
-21.1	-510.3	1.35	330.3	364.5	10	25600	0.00039
-21.1	-495.0	1.32	312.0	344.3	4	34100	0.00012
-21.1	-467.4	1.40	311.4	343.7	6	34400	0.00017
-21.1	-496.4	1.30	309.9	342.0	42	35200	0.00119
0.0	-496.4	1.22	302.5	333.9	24	39700	0.00060
0.0	-492.8	1.21	298.7	329.7	41	42300	0.00097
-34.0	-492.8	1.17	269.2	297.1	14	73700	0.00019
-34.0	-490.2	1.17	267.0	294.6	51	77200	0.00066
-53.8	-490.2	1.19	259.1	286.0	65	90800	0.00072
-291.0	-490.2	1.11	110.5	121.9	2	6360000	0.00000
-332.4	-490.2	1.11	87.5	96.6	2	27900000	0.00000
-401.7	-490.2	1.11	49.1	54.2	3		0.0
疲れ累積係数 =							0.10434

Ke : 割増し係数

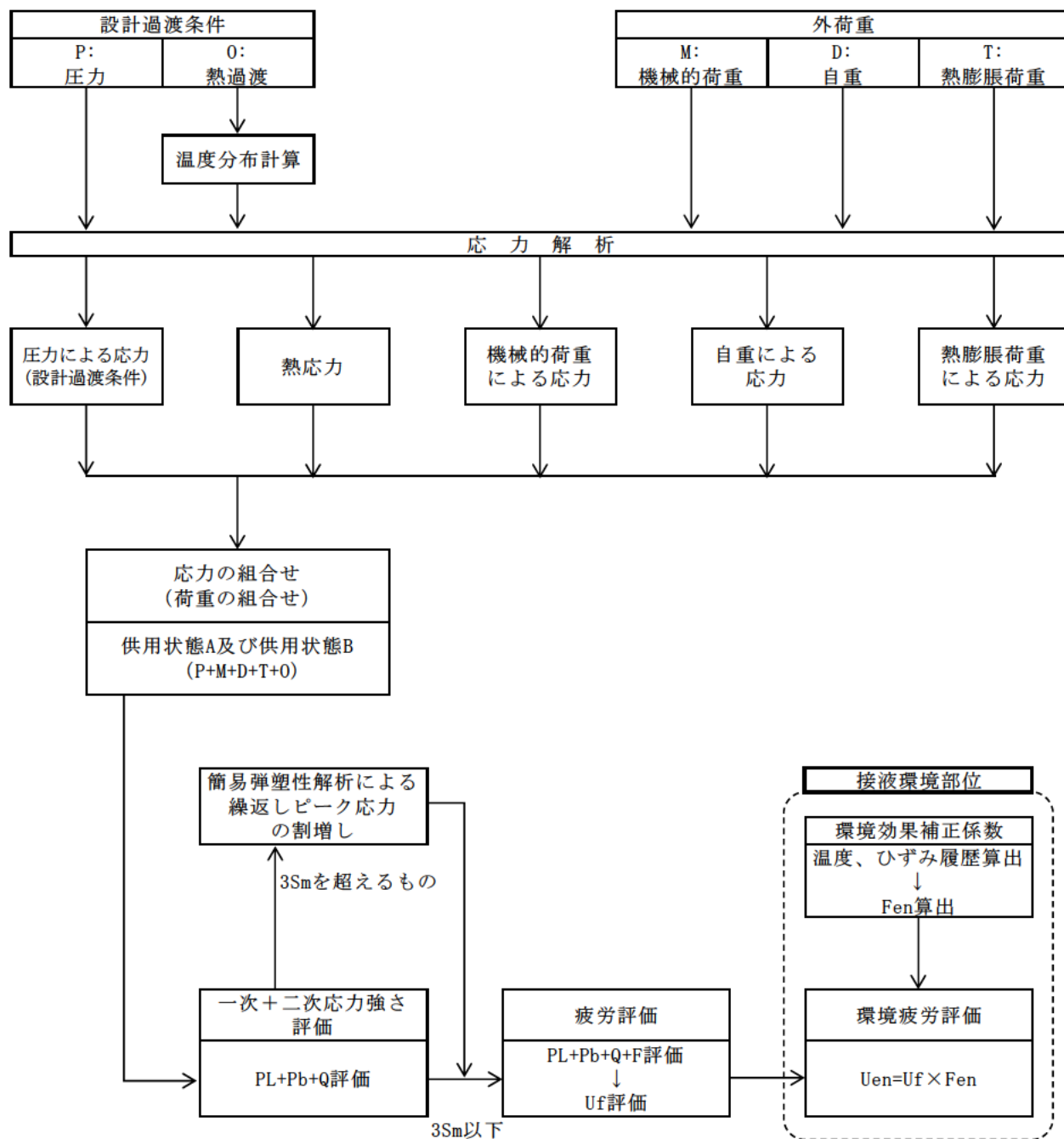
ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.105



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SU10I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D3	1A1	309.0	-70.5	1.00	189.7	209.4	2	583000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1A1	216.6	-70.5	1.00	143.5	158.4	2	1940000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	1A1	188.8	-70.5	1.00	129.6	143.1	2	2980000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	1A1	183.0	-70.5	1.00	126.7	139.8	2	3290000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	1A1	166.6	-70.5	1.00	118.5	130.8	3	4390000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1A1	140.8	-70.5	1.00	105.6	116.6	2	8300000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	1A1	139.7	-70.5	1.00	105.1	116.0	2	8560000	0.00000	1.000	0.00000
1K1	1A1	109.4	-70.5	1.00	90.0	99.3	55	47800000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1A1	108.3	-70.5	1.00	89.4	98.6	1	56400000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2I1	108.3	-69.1	1.00	88.7	97.9	65	72700000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	NSS	108.3	0.0	1.00	54.2	59.8	65		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

→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HA04I) (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		突過渡 回数 n	許容繰返し 回数 h*	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	356.1	-368.6	1.84	666.7	735.8	71	1440	0.04931	14.651	0.72237
2I2	2I1	262.9	-317.1	1.52	439.4	485.0	65	6820	0.00953	7.607	0.07250
2D3	2B1	215.1	-162.3	1.00	188.7	208.3	2	605000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	108.7	-162.3	1.00	135.5	149.6	2	2460000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	101.0	-150.6	1.00	125.8	138.9	6	3400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2E1	101.0	-122.0	1.00	111.5	123.0	2	6030000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	101.0	-92.8	1.00	96.9	106.9	4	16800000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1B1	46.1	-59.2	1.84	96.9	106.9	71	16800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	101.0	-84.1	1.00	92.5	102.1	2	30700000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	101.0	-83.2	1.00	92.1	101.7	2	33000000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	101.0	-82.6	1.00	91.8	101.4	6	34600000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	101.0	-80.6	1.00	90.8	100.2	2	41300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	101.0	-78.9	1.00	90.0	99.3	38	47700000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	34.6	-71.3	1.52	80.3	88.6	65	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.79488

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

→環境UF : 0.795

Ke係数と環境疲労パラメータ (脚部 評価点A202I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
1B1	1A1	352.4	-372.2	1.84	666.9	736.0	71	1440	0.04931	14.649	0.72229
2I2	2I1	259.3	-320.8	1.52	439.7	485.3	65	6800	0.00956	7.606	0.07271
2D3	2B1	211.4	-166.0	1.00	188.7	208.3	2	605000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	105.0	-166.0	1.00	135.5	149.5	2	2470000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	97.4	-154.3	1.00	125.8	138.9	6	3400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2E1	97.4	-125.6	1.00	111.5	123.0	2	6030000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	97.4	-96.4	1.00	96.9	106.9	4	16800000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1B1	42.4	-62.8	1.84	96.8	106.8	71	17000000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	97.4	-87.7	1.00	92.5	102.1	2	30800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	97.4	-86.9	1.00	92.1	101.6	2	33100000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	97.4	-86.3	1.00	91.8	101.3	6	34700000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	97.4	-84.2	1.00	90.8	100.2	2	41400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	97.4	-82.6	1.00	90.0	99.3	38	47800000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	31.0	-75.0	1.52	80.3	88.7	65		0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.79501

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

→環境UF : 0.796

タイトル	蒸気発生器本体管板およ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および給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 815 1310 1095"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3</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="419 1211 1388 1485"> <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>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>SA508 Class2 (SFV2相当)</td> <td>184</td> <td>269.3</td> </tr> <tr> <td>管板および管板まわり</td> <td>SA508 Class3 (SFV3相当)</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>管板および管板まわりについては、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	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		S _m (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台	SA508 Class2 (SFV2相当)	184	269.3	管板および管板まわり	SA508 Class3 (SFV3相当)	184	321.1
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																						
使用箇所	材料	設計応力強さ																				
		S _m (MPa)	温度 (°C)																			
給水入口管台	SA508 Class2 (SFV2相当)	184	269.3																			
管板および管板まわり	SA508 Class3 (SFV3相当)	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。

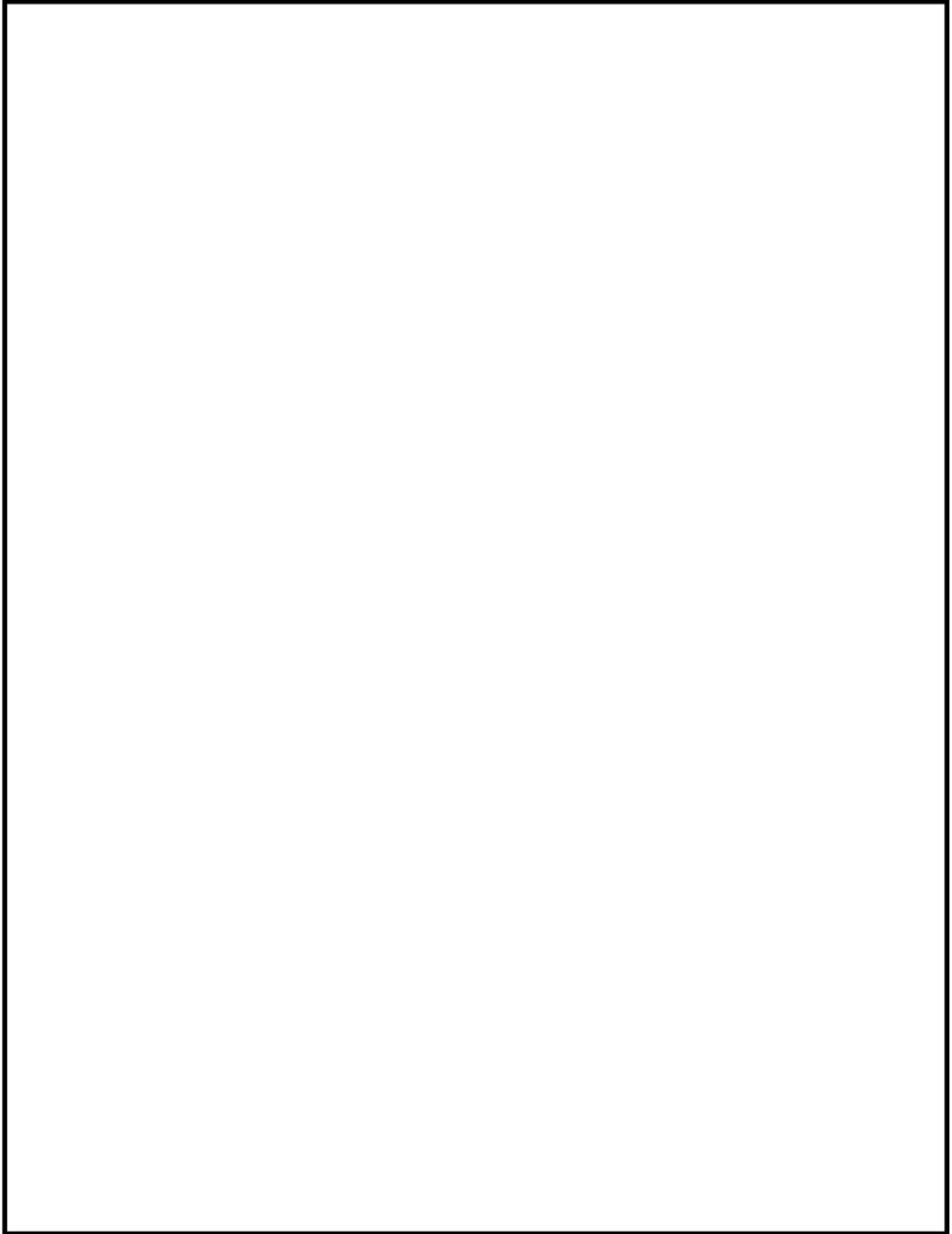
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境パラメータ

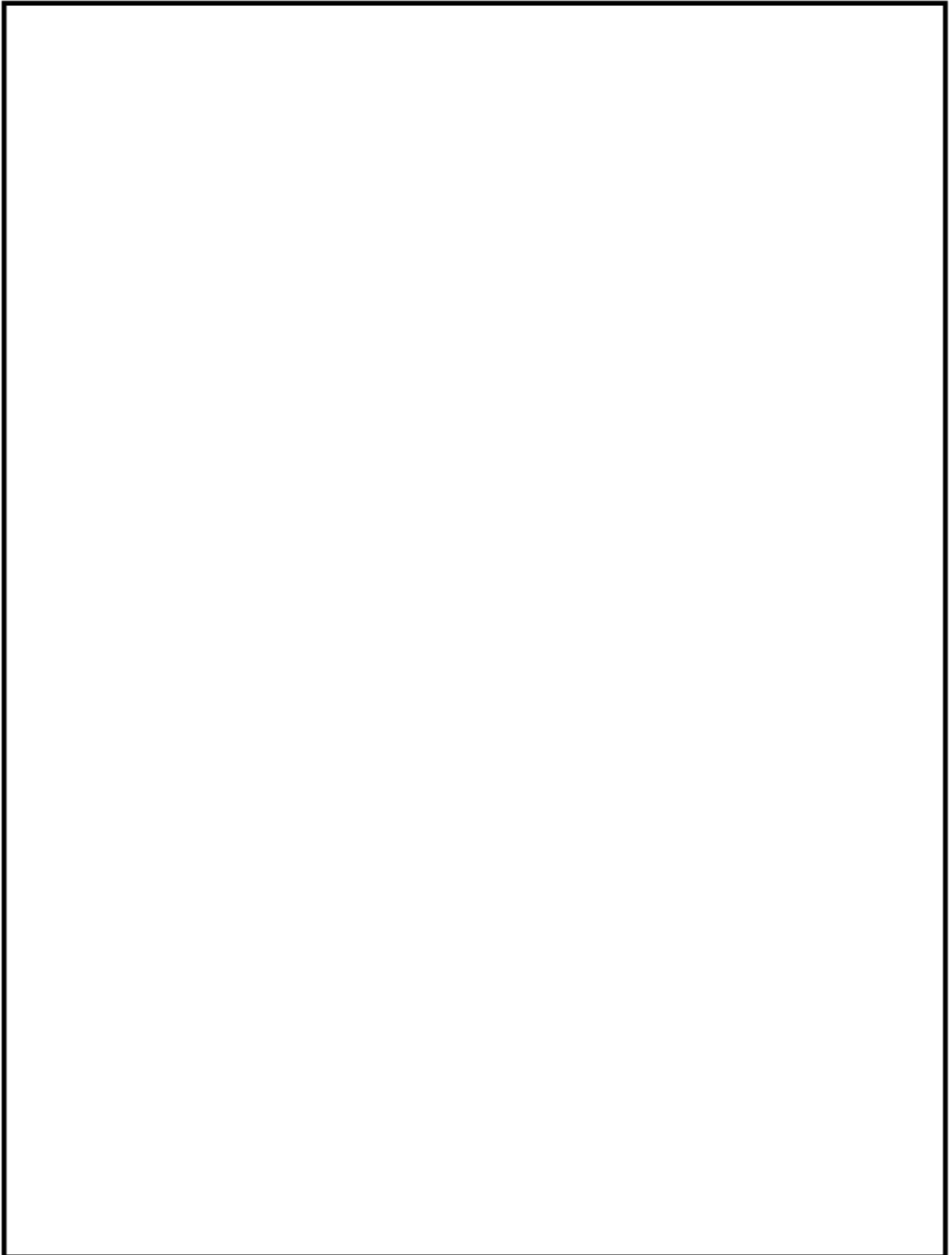
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。

なお、評価に用いた溶存酸素濃度は、主給水の管理基準より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 管板および管板まわり 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)
管板および管板まわり

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.04674	0.00004	0.04334
2	0.0	0.00226	0.00053
3	0.07066	0.00028	0.14174
4	0.0	0.00032	0.00072
P1 SIDE R/R* = 0.0		0.02246	
P1 SIDE R/R* = 1.0		0.10356	
P2 SIDE R/R* = 0.0		0.04486	
P2 SIDE R/R* = 1.0		0.04334	

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 : 0.142

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2/2)
給水入口管台

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00002	0.00108	0.00523
2	0.0	0.00015	0.00157
3	0.00080	0.00125	0.01487
4	0.0	0.00021	0.00179
5	0.02719	0.00032	0.00323
6	0.0	0.00002	0.00002
7	0.01098	0.04587	0.00010
8	0.00024	0.0	0.00009
9L	0.07720	0.16276	0.00020
10L	0.00013	0.00315	0.00190
9C	0.00235	0.01564	0.00679
10C	0.00114	0.03240	0.01737
11L	0.15988	0.10631	0.0
12L	0.0	0.00321	0.00195
11C	0.01280	0.01154	0.00169
12C	0.0	0.03249	0.01545
13L	0.07421	0.04102	0.00001
14L	0.00001	0.00328	0.00403
13C	0.00257	0.0	0.00181
14C	0.00003	0.03375	0.01924

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 : 0.163

蒸気発生器本体 疲労評価結果 管板および管板まわり (評価点:3)

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*	
151.5	-984.7	1.0	568.1	679.7	2	601	0.00333
151.5	-889.7	1.0	520.6	622.9	2	778	0.00257
151.5	-673.8	1.0	412.6	493.7	2	1480	0.00135
151.5	-668.1	1.0	409.8	490.3	2	1500	0.00133
151.5	-629.6	1.0	390.5	467.3	57	1710	0.03333
61.2	-629.6	1.0	345.4	413.3	8	2460	0.00325
61.2	-612.8	1.0	337.0	403.2	2	2660	0.00075
61.2	-587.3	1.0	324.2	388.0	2	3010	0.00066
61.2	-577.8	1.0	319.5	382.3	6	3150	0.00190
61.2	-562.9	1.0	312.0	373.4	3	3400	0.00088
61.2	-555.9	1.0	308.5	369.2	2	3520	0.00057
61.2	-548.1	1.0	304.6	364.5	48	3670	0.01308
57.1	-548.1	1.0	302.6	362.0	65	3750	0.01733
4.3	-548.1	1.0	276.2	330.4	62	5020	0.01235
0.0	-548.1	1.0	274.0	327.9	201	5140	0.03911
-221.1	-548.1	1.0	163.5	195.6	2	26300	0.00008
-274.6	-548.1	1.0	136.7	163.6	412	45700	0.00902
-274.6	-547.6	1.0	136.5	163.3	4	46000	0.00009
-274.6	-503.3	1.0	114.3	136.8	2	103000	0.00002
-274.6	-463.1	1.0	94.2	112.7	6	210000	0.00003
-274.6	-457.5	1.0	91.5	109.4	4	240000	0.00002
-274.6	-451.6	1.0	88.5	105.9	55	278000	0.00020
-274.6	-434.5	1.0	79.9	95.7	2	440000	0.00000
-274.6	-427.0	1.0	76.2	91.1	71	598000	0.00012
-274.6	-427.0	1.0	76.2	91.1	71	598000	0.00012
-274.6	-425.3	1.0	75.3	90.1	5	660000	0.00001
-274.6	-424.6	1.0	75.0	89.7	168	687000	0.00024
-300.9	-424.6	1.0	61.9	74.0	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.14174

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

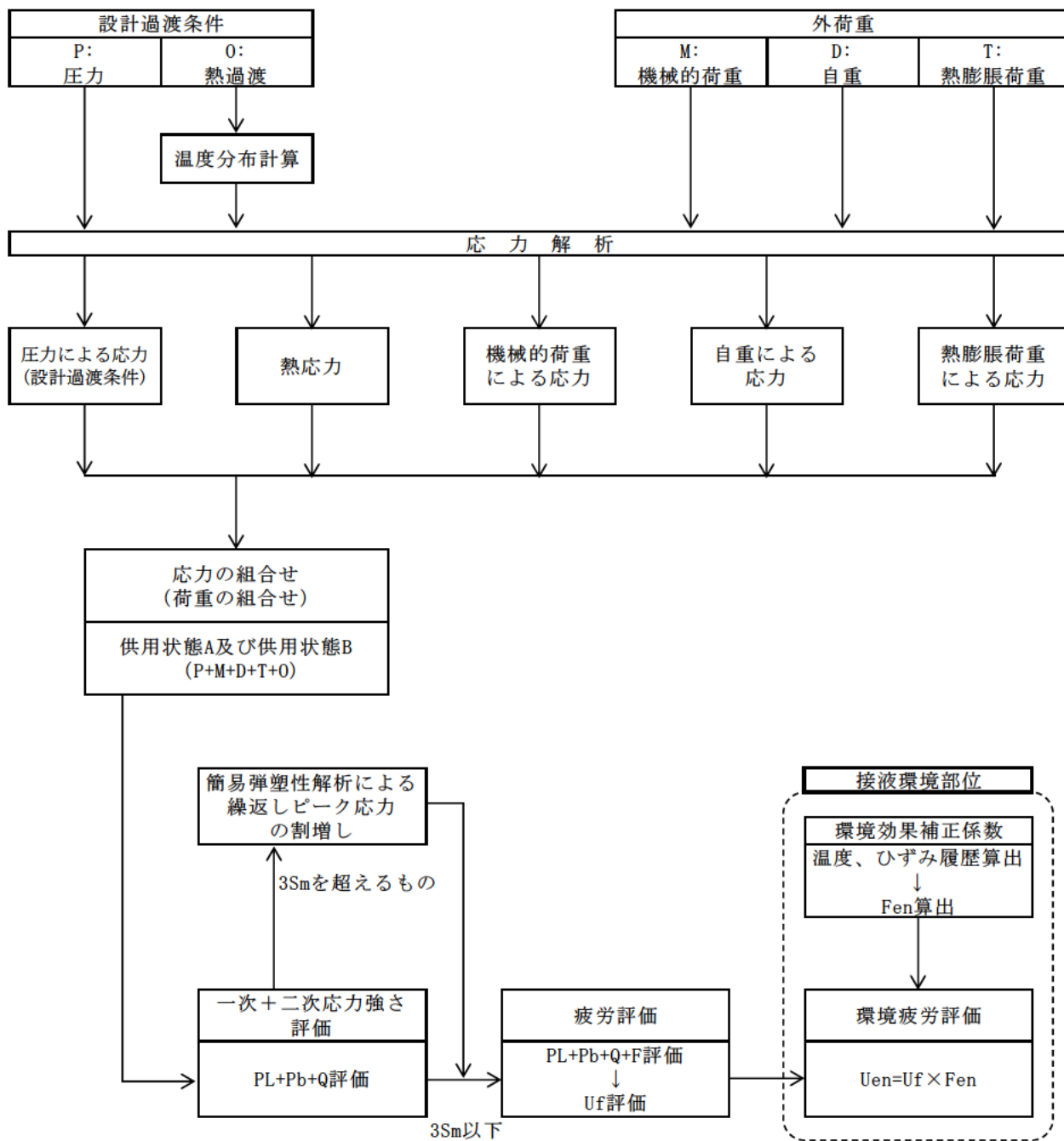
→通常UF : 0.142

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
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
893.5	-24.1	1.0	458.8	536.5	4	1180	0.00339
831.3	-24.1	1.0	427.7	500.2	67	1420	0.04718
831.3	-18.2	1.0	424.8	496.7	7	1450	0.00483
767.7	-18.2	1.0	393.0	459.6	2	1790	0.00112
742.8	-18.2	1.0	380.5	445.0	2	1950	0.00103
723.7	-18.2	1.0	370.9	433.8	4	2100	0.00190
723.2	-18.2	1.0	370.7	433.6	2	2110	0.00095
718.7	-18.2	1.0	368.4	430.9	54	2150	0.02512
718.7	0.0	1.0	359.3	420.2	1	2330	0.00043
708.9	0.0	1.0	354.4	414.5	66	2430	0.02716
708.6	0.0	1.0	354.3	414.4	69	2440	0.02828
708.6	282.3	1.0	213.2	249.3	3	11700	0.00026
708.6	355.1	1.0	176.8	206.7	2	22200	0.00009
708.6	402.8	1.0	152.9	178.8	2	34700	0.00006
708.6	418.0	1.0	145.3	169.9	800	40700	0.01966
708.6	429.3	1.0	139.7	163.4	5	46000	0.00011
708.6	429.4	1.0	139.6	163.3	2	46000	0.00004
708.6	430.6	1.0	139.0	162.6	0	46600	0.00000
708.6	433.8	1.0	137.4	160.7	2	48400	0.00004
708.6	435.8	1.0	136.4	159.5	2	49400	0.00004
708.6	439.6	1.0	134.5	157.3	2	52600	0.00004
708.6	441.9	1.0	133.4	156.0	0	54900	0.00000
708.6	453.1	1.0	127.8	149.4	0	67700	0.00000
708.6	455.4	1.0	126.6	148.0	5	70900	0.00007
708.6	472.7	1.0	117.9	137.9	5	100000	0.00005
708.6	493.0	1.0	107.8	126.1	3	138000	0.00002
708.6	508.3	1.0	100.1	117.1	2	181000	0.00001
708.6	513.3	1.0	97.6	114.2	71	198000	0.00036
708.6	513.3	1.0	97.6	114.2	71	198000	0.00036
708.6	531.2	1.0	88.7	103.8	2	305000	0.00001
708.6	531.5	1.0	88.5	103.5	2	308000	0.00001
708.6	534.1	1.0	87.3	102.0	6	329000	0.00002
708.6	546.2	1.0	81.2	95.0	65	454000	0.00014
708.6	645.7	1.0	31.4	36.8	6	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.16276

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 : 0.163



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 (管板および管板まわり 評価点1) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次十二次十 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'					
2K1	2J1	331.0	-288.0	1.00	309.5	370.3	65	3490	0.01862	1.000	0.01862
2E1	1G1	315.4	-252.1	1.00	283.8	339.5	2	4610	0.00043	3.923	0.00170
2D5	1G1	191.1	-252.1	1.00	221.6	265.2	2	9640	0.00021	3.871	0.00080
2D3	1G1	181.0	-252.1	1.00	216.6	259.1	2	10300	0.00019	3.817	0.00074
2F1	1G1	171.2	-252.1	1.00	211.7	253.3	2	11100	0.00018	3.686	0.00066
2D1	1G1	122.1	-252.1	1.00	187.1	223.9	6	17100	0.00035	3.830	0.00134
2A1	1G1	116.3	-252.1	1.00	184.2	220.4	6	18000	0.00033	4.070	0.00136
1B1	1G1	111.8	-252.1	1.00	182.0	217.7	71	18800	0.00378	4.709	0.01778
2G2	1G1	110.9	-252.1	1.00	181.5	217.2	2	18900	0.00011	3.818	0.00040
2G1	1G1	108.3	-252.1	1.00	180.2	215.6	2	19400	0.00010	3.889	0.00040
2H2	1G1	83.7	-252.1	1.00	167.9	200.9	2	24200	0.00008	3.818	0.00032
1J1	1G1	82.6	-252.1	1.00	167.4	200.2	62	24500	0.00253	4.166	0.01054
1L1	1G1	80.1	-252.1	1.00	166.1	198.8	2	25100	0.00008	4.736	0.00038
1G1	1G1	79.6	-252.1	1.00	165.9	198.4	4	25200	0.00016	4.763	0.00076
1K1	1G1	63.4	-252.1	1.00	157.8	188.8	55	29400	0.00187	4.750	0.00889
2I1	1G1	62.3	-252.1	1.00	157.2	188.1	3	29700	0.00010	4.748	0.00048
1A1	1G1	58.7	-252.1	1.00	155.4	185.9	71	30800	0.00231	4.842	0.01116
1J1	1G1	51.5	-252.1	1.00	151.8	181.6	66	33100	0.00199	4.746	0.00946
1D1	1G1	48.9	-252.1	1.00	150.5	180.1	440	34000	0.01294	4.831	0.06252
1D1	2H1	48.9	-236.8	1.00	142.8	170.9	2	40000	0.00005	4.061	0.00020
1D1	1H1	48.9	-227.4	1.00	138.1	165.3	0	44300	0.00000	4.880	0.00000
1D1	1E1	48.9	-216.6	1.00	132.7	158.8	5	50200	0.00010	4.879	0.00049
1D1	2G2	48.9	-215.8	1.00	132.3	158.3	2	51000	0.00004	4.899	0.00019
1D1	1G1	48.9	-213.0	1.00	130.9	156.7	4	53700	0.00007	4.916	0.00037
1D1	1H1	48.9	-193.8	1.00	121.3	145.2	0	77900	0.00000	4.919	0.00000
1D1	1E1	48.9	-186.5	1.00	117.7	140.8	5	90500	0.00006	4.879	0.00027
1D1	1F1	48.9	-176.6	1.00	112.7	134.9	5	108000	0.00005	4.919	0.00023
1D1	1A1	48.9	-83.3	1.00	66.1	79.0	71	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.15008

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

→環境UF : 0.151

Ke係数と環境疲労パラメータ（給水入口管台 評価点5）（詳細評価手法）

過渡条件 記号		一次十二次十 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	smi n		補正前 salt	補正後 salt*					
1A1	2T1	72.7	-786.9	1.00	429.8	502.6	71	1410	0.05035	2.398	0.12077
1B1	2T1	62.3	-786.9	1.00	424.6	496.5	3	1450	0.00207	1.913	0.00396
1B1	2D5	62.3	-532.8	1.00	297.5	348.0	2	4260	0.00047	1.417	0.00067
1B1	2E1	62.3	-532.3	1.00	297.3	347.7	2	4270	0.00047	1.450	0.00068
1B1	2G1	62.3	-531.8	1.00	297.0	347.4	2	4280	0.00047	1.366	0.00064
1B1	2D3	62.3	-516.3	1.00	289.3	338.3	2	4660	0.00043	1.575	0.00068
1B1	1N1	62.3	-484.9	1.00	273.6	319.9	60	5520	0.01087	2.216	0.02408
NSS	1N1	0.0	-484.9	1.00	242.4	283.5	136	7910	0.01719	2.216	0.03809
1C1	1N1	-27.3	-484.9	1.00	228.8	267.6	800	9390	0.08520	2.204	0.18774
1N1	1N1	-27.7	-484.9	1.00	228.6	267.3	555	9420	0.05892	2.276	0.13409
1N1	2B2	-27.7	-450.8	1.00	211.5	247.4	4	12100	0.00033	2.090	0.00069
1N1	1D1	-27.7	-150.4	1.00	61.4	71.8	790	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.51209

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

→環境UF : 0.513

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・応力評価の方法および評価結果を添付 1 に示す。</p>

高浜4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 $0.513 < 1.0$ 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。

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

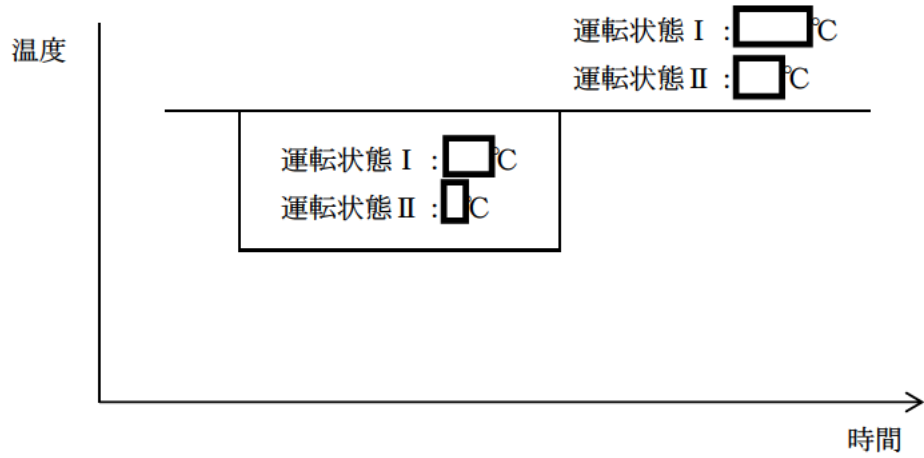
解析に使用したモデルを図2、3、4に示す。

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 6.3を使用する。

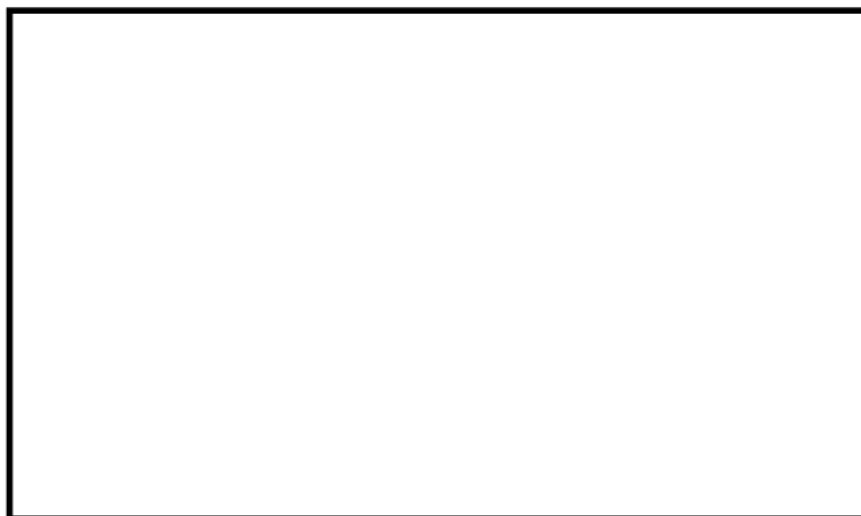
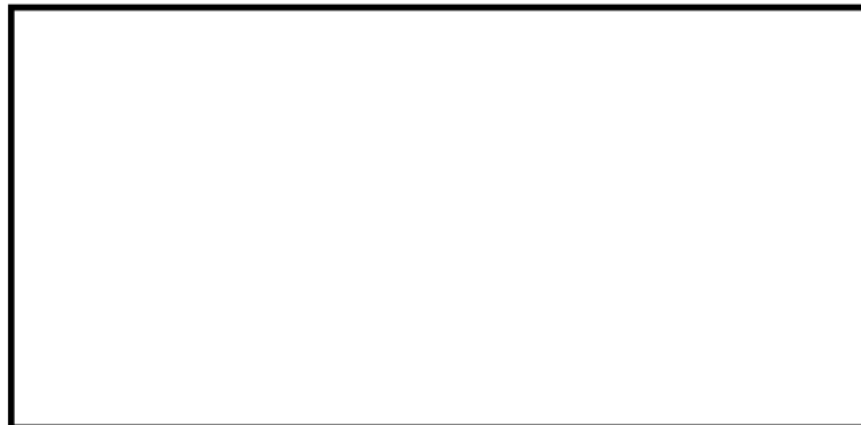
(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



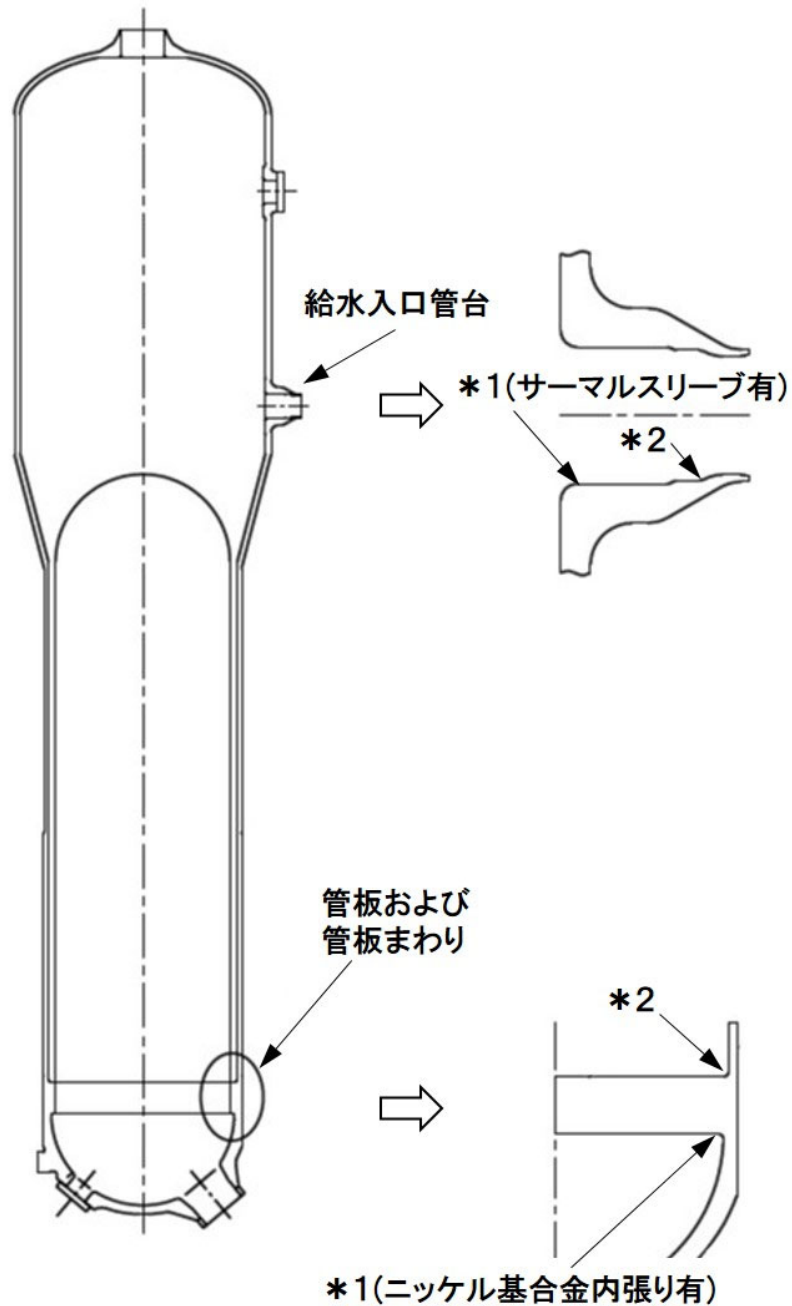
(4) 熱伝達率

熱成層による応力の解析に用いる熱伝達率は、以下に示すとおり流量およ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 高浜4号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位

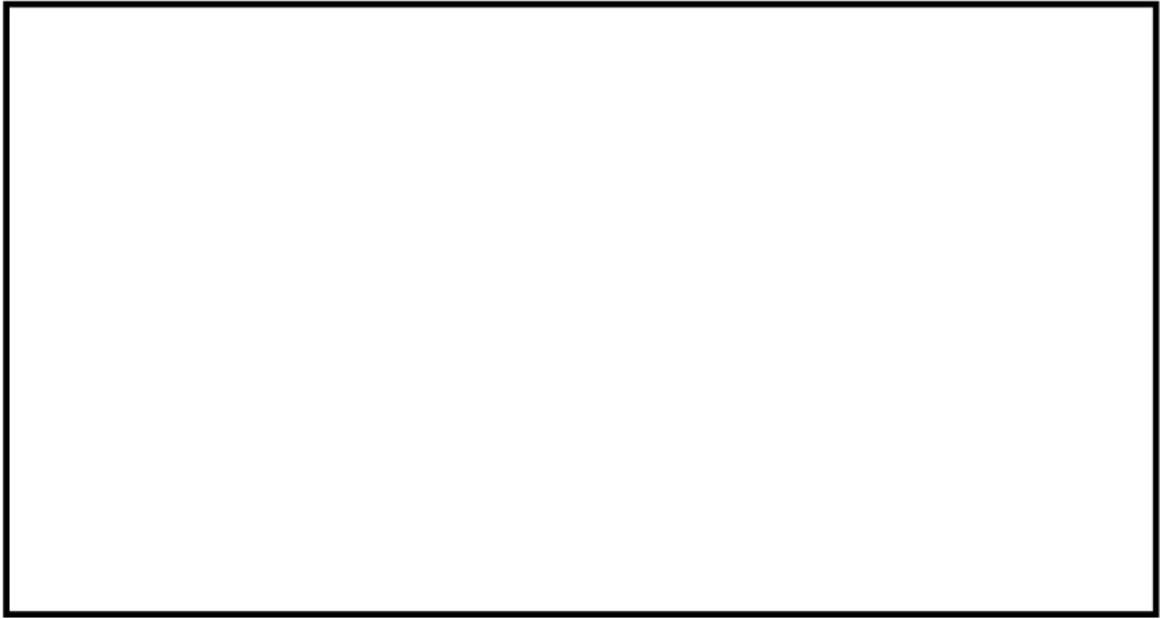


図2 解析モデル (全体図)

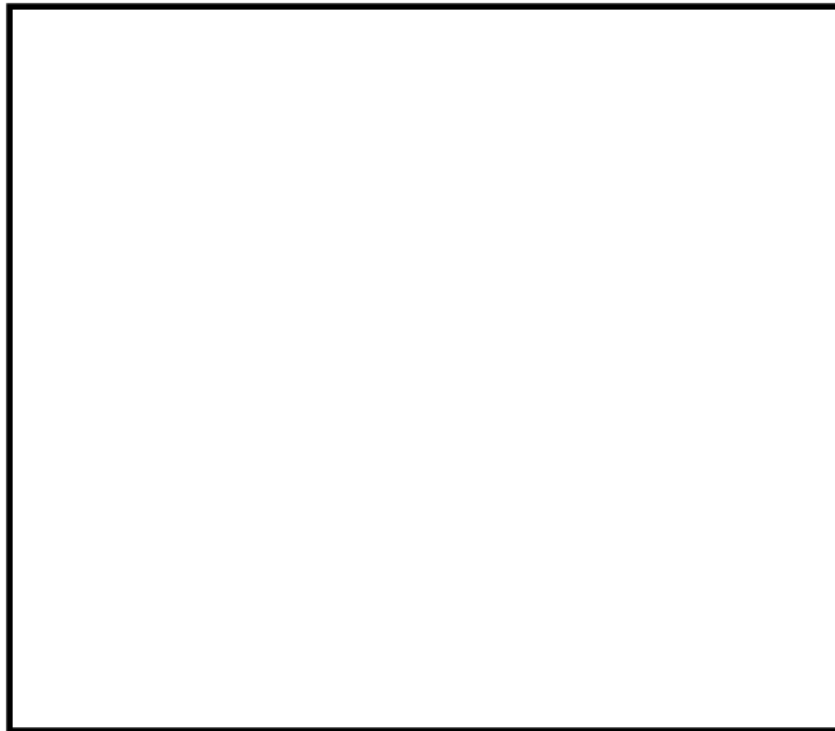


図3 解析モデル (断面図)



図4 解析モデル (拡大図)

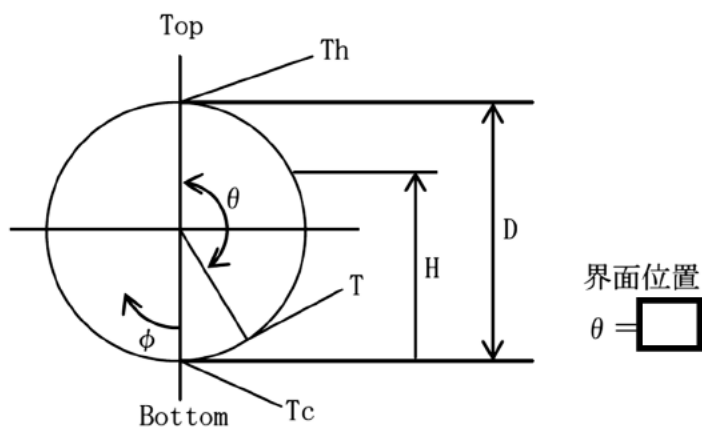
表1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴
材料	STS49	SA508 Class2 (SFVV2相当)	SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当)
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号機と高浜4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		一次十二次十 ピーク応力強さ		調り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実週波 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	72.7	-786.9	1.00	429.8	502.6	71	1410	0.05035	2.398	0.12077
1B1	2T1	62.3	-786.9	1.00	424.6	496.5	3	1450	0.00207	1.913	0.00396
1B1	2D5	62.3	-532.8	1.00	297.5	348.0	2	4260	0.00047	1.417	0.00067
1B1	2E1	62.3	-532.3	1.00	297.3	347.7	2	4270	0.00047	1.450	0.00068
1B1	2G1	62.3	-531.8	1.00	297.0	347.4	2	4280	0.00047	1.366	0.00064
1B1	2D3	62.3	-516.3	1.00	289.3	338.3	2	4660	0.00043	1.575	0.00068
1B1	1N1	62.3	-484.9	1.00	273.6	319.9	60	5520	0.01087	2.216	0.02408
NSS	1N1	0.0	-484.9	1.00	242.4	283.5	136	7910	0.01719	2.216	0.03809
1C1	1N1	-27.3	-484.9	1.00	228.8	267.6	800	9390	0.08520	2.204	0.18774
1N1	1N1	-27.7	-484.9	1.00	228.6	267.3	555	9420	0.05892	2.276	0.13409
1N1	2B2	-27.7	-450.8	1.00	211.5	247.4	4	12100	0.00033	2.090	0.00069
1N1	1D1	-27.7	-150.4	1.00	61.4	71.8	790	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.51209

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

→環境UF : 0.513

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

タイトル	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														
説明	<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 1160"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>【熟成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="456 1238 1310 1438"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数	要素数	節点数	解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3														
要素種類															
要素次数															
要素数															
節点数															
解析プログラム		(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3													
要素種類															
要素次数															
要素数															
節点数															

2. 材料物性値

材料物性値を以下に示す。

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

3. 最大評価点の選定

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

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

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

解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付1に示す。

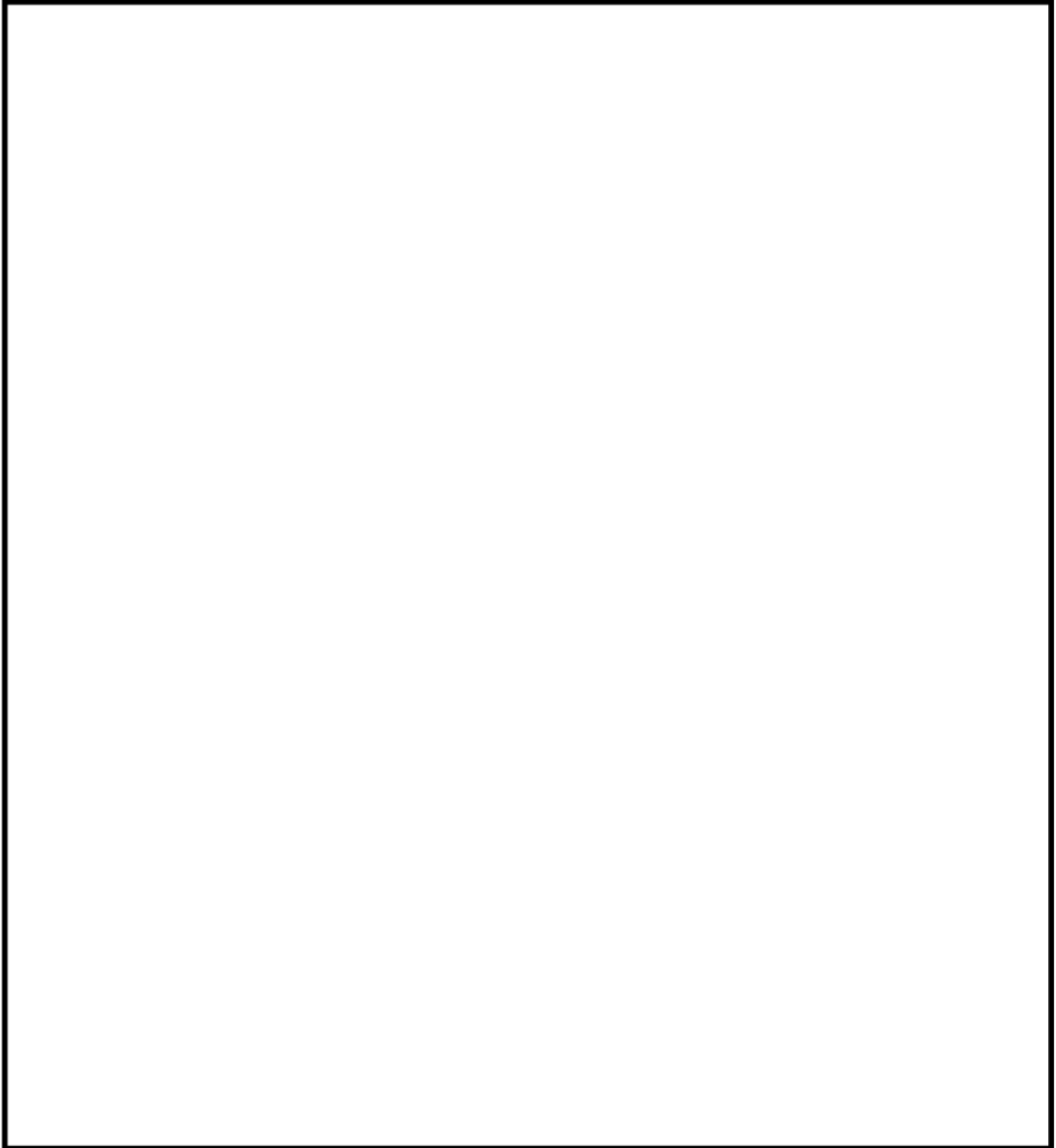
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示します。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	0.00585	0.01935
2	0.0	0.00013	0.00008
3	0.0	0.00840	0.06263
4	0.00005	0.00037	0.00999
5	0.00027	0.05370	0.00228
6	0.0	0.00000	0.0
7	0.0	0.00871	0.01132
8	0.0	0.00000	0.00002
9	0.00001	0.00001	0.00086
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.00000	0.00000
12	0.00002	0.0	0.00039
13	0.0	0.00404	0.00762
14	0.00334	0.0	0.00083
15	0.0	0.00107	0.00033
16	0.00001	0.00026	0.00461
17	0.00674	0.01397	0.0
18	0.0	0.0	0.0
19	0.04430	0.03818	0.0
20	0.0	0.00000	0.00000
21	0.0	0.00279	0.00061
22	0.0	0.00047	0.00398

許容値 $U_f=1.0$

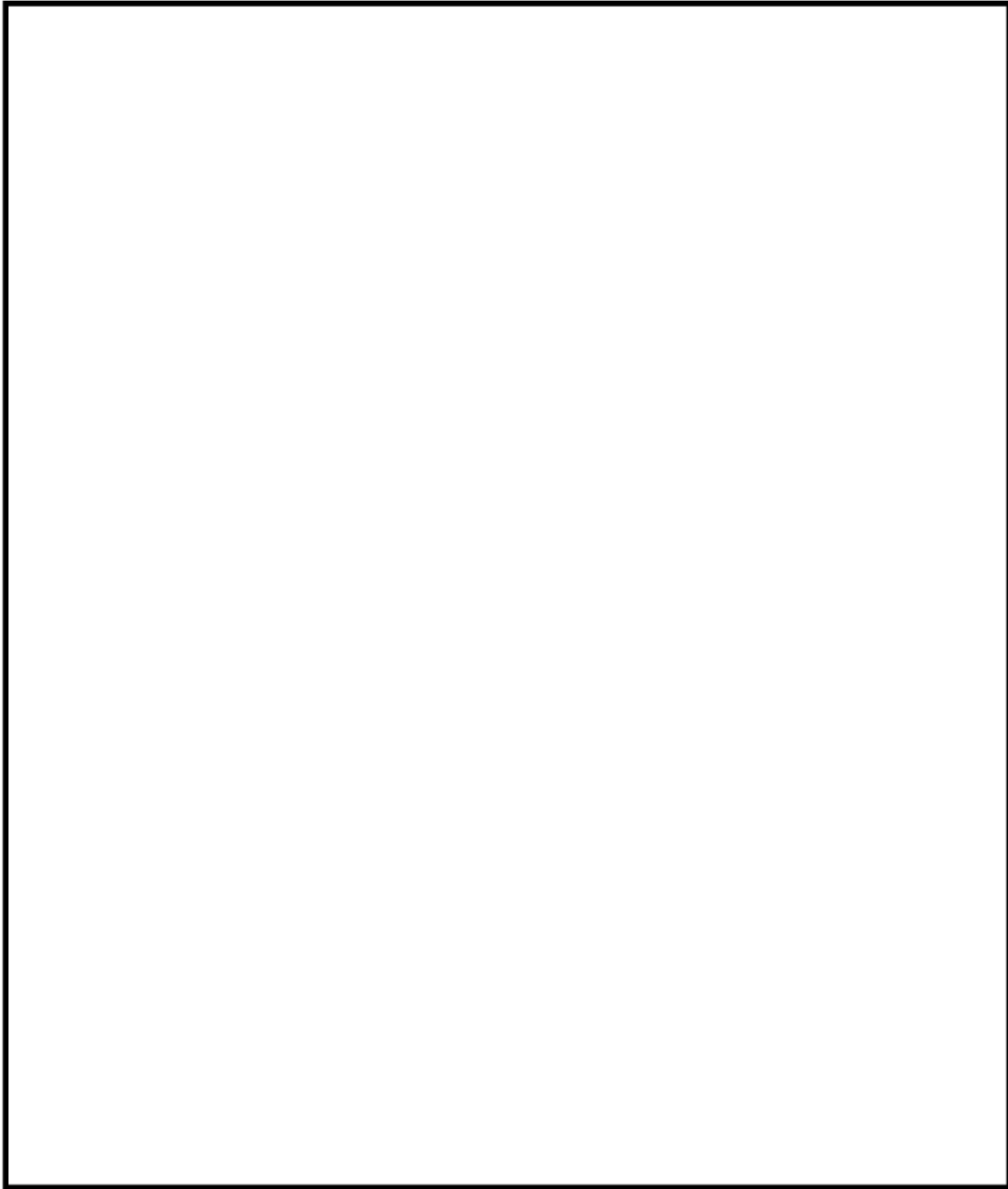
スプレイライン用管台 疲労評価結果 (評価点 : 3)

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*	
43.1	-758.7	1.96	786.0	885.9	2	782	0.00256
0.0	-592.6	1.51	448.1	505.1	71	5790	0.01226
0.0	-574.7	1.53	441.0	497.1	65	6170	0.01053
-22.3	-574.7	1.53	424.0	477.9	6	7240	0.00083
-22.3	-558.8	1.53	411.8	464.1	65	8140	0.00799
-26.2	-558.8	1.51	402.7	453.9	6	8900	0.00067
-26.2	-557.3	1.51	401.6	452.7	65	9000	0.00722
-26.8	-557.3	1.42	376.1	423.9	6	12100	0.00050
-28.5	-534.3	1.42	358.6	404.2	71	15300	0.00464
-30.6	-527.3	1.41	350.8	395.4	71	17100	0.00415
-36.6	-487.1	1.33	299.4	337.5	71	37700	0.00188
-39.0	-487.1	1.31	293.9	331.3	71	41300	0.00172
-26.8	-457.0	1.15	248.2	279.8	349	102000	0.00342
-35.0	-457.0	1.15	242.1	272.8	6	117000	0.00005
-46.7	-441.5	1.16	229.5	258.7	71	158000	0.00045
-50.5	-423.0	1.16	216.9	244.5	71	218000	0.00033
-35.0	-415.3	1.0	190.2	214.4	2	494000	0.00000
-35.0	-368.9	1.0	167.0	188.2	6	1100000	0.00001
-35.0	-368.9	1.0	166.9	188.2	2	1100000	0.00000
-35.0	-365.9	1.0	165.5	186.5	5	1130000	0.00000
-35.0	-365.6	1.0	165.3	186.3	2	1140000	0.00000
-35.0	-363.6	1.0	164.3	185.2	2	1160000	0.00000
-35.0	-363.4	1.0	164.2	185.1	4	1160000	0.00000
-35.0	-363.2	1.0	164.1	185.0	42	1160000	0.00004
-49.2	-363.2	1.0	157.0	177.0	748	1350000	0.00055
-49.2	-363.2	1.0	157.0	177.0	2152	1350000	0.00159
-49.2	-363.2	1.0	157.0	177.0	748	1350000	0.00055
-49.2	-363.2	1.0	157.0	177.0	2	1350000	0.00000
-49.2	-362.9	1.0	156.8	176.8	50	1350000	0.00004
-53.6	-362.9	1.0	154.6	174.3	2	1120000	0.00000
-55.3	-362.9	1.0	153.8	173.4	5	1440000	0.00000
-55.4	-362.9	1.0	153.8	173.3	14	1440000	0.00001
-55.4	-362.8	1.0	153.7	173.3	5	1440000	0.00000
-55.4	-362.7	1.0	153.7	173.2	52	1440000	0.00004
-55.5	-362.7	1.0	153.6	173.1	71	1450000	0.00005
-57.0	-362.7	1.0	152.9	172.3	677	1470000	0.00046
-57.0	-347.0	1.0	145.0	163.4	71	1750000	0.00004
-57.0	-296.5	1.0	119.8	135.0	42	3840000	0.00001
-57.5	-296.5	1.0	119.5	134.7	2	3870000	0.00000
-61.7	-296.5	1.0	117.4	132.3	27	4180000	0.00001
-61.7	-86.1	1.0	12.2	13.7	4	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.06263

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

→通常UF : 0.063



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	0.00006	0.00160	0.03465
2	0.00002	0.00032	0.00124
3	0.0	0.00320	0.01151
4	0.00036	0.00022	0.00521
5	0.00004	0.00573	0.00071
6	0.0	0.00000	0.0
7	0.00014	0.00427	0.00600
8	0.0	0.00000	0.00000
9	0.00016	0.00023	0.00332
10	0.00000	0.0	0.00002
11	0.0	0.00012	0.00054
12	0.00009	0.0	0.00275
13	0.00462	0.0	0.00372
14	0.00636	0.0	0.00503
15	0.00000	0.00056	0.00368
16	0.03668	0.0	0.03935
17	0.00296	0.00910	0.0
18	0.00118	0.00024	0.00338
19	0.01923	0.01485	0.00039
20	0.0	0.00350	0.00740
21	0.0	0.00269	0.00343
22	0.00000	0.00492	0.01483

許容値 $U_f=1.0$

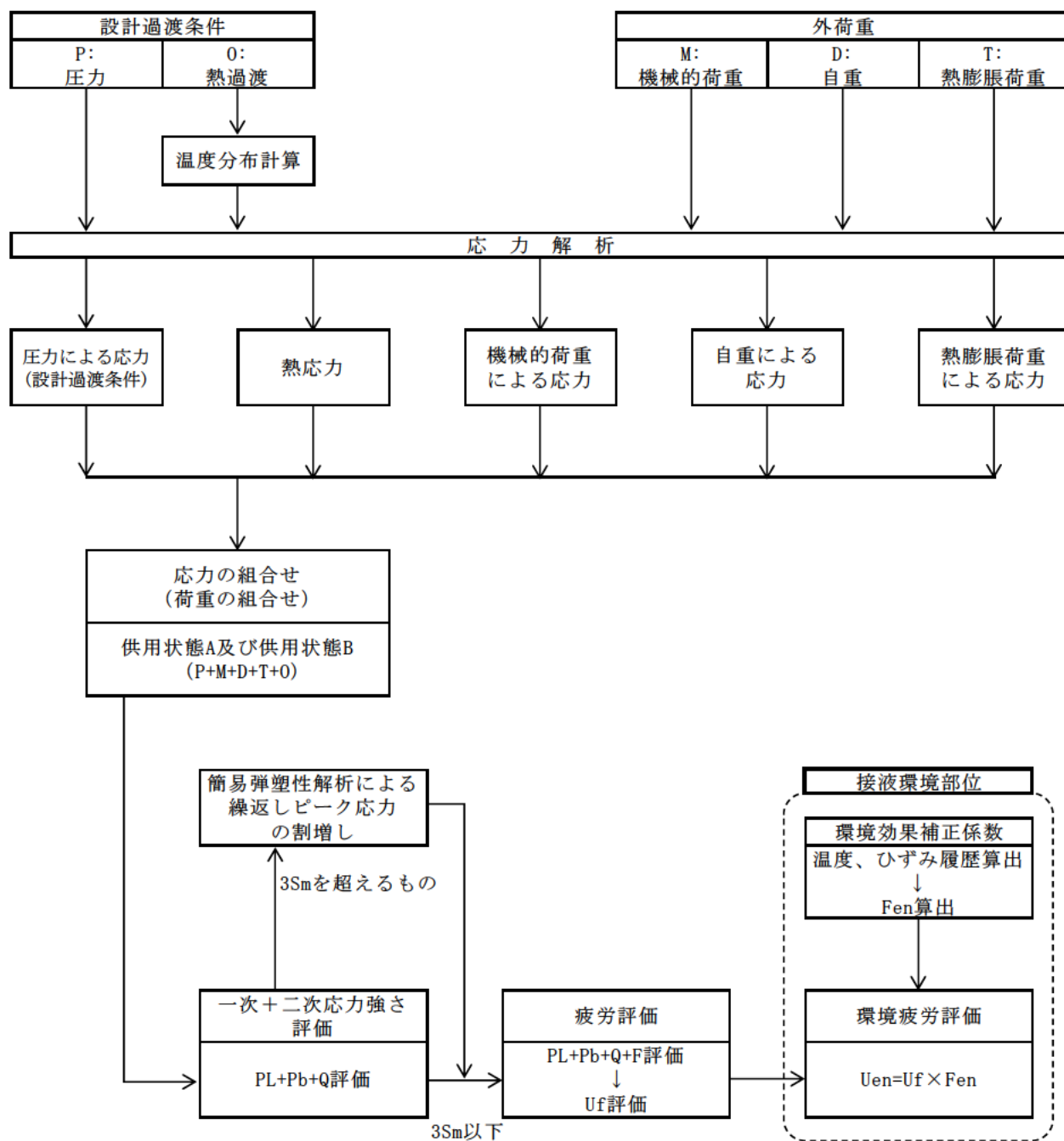
サージ用管台 疲労評価結果 (評価点 : 16)

評価点 : 16
(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*	
658.6	0.0	1.0	329.3	396.3	2	2810	0.00071
623.4	0.0	1.0	311.7	375.1	2	3350	0.00060
616.6	0.0	1.0	308.3	371.1	132	3470	0.03804
616.6	505.6	1.0	55.5	66.8	2		0.0
疲労累積係数 =							0.03935

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 : 0.040



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【スプレイライン用管台 (評価点: 5)】

選定条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実選定 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境疲労 補正係数	環境物品を考慮した 疲労累積係数
A	B	σmax	σmin	KE	補正前 σalt	補正後 σalt'	n	n*	u	fen	uen
2E2	2E2	543.7	-372.6	2.09	959.6	1081.7	3	419	0.09477	5.750	0.02744
1B8	1B6	313.3	-95.2	1.09	204.3	230.2	71	317000	0.00022	4.480	0.00100
1A6	1B7	288.7	-93.9	1.09	191.3	215.5	71	477000	0.00015	6.866	0.00102
2G1	1B5	278.3	-93.5	1.09	185.9	209.6	3	579000	0.00000	1.000	0.00000
1B3	1B5	276.9	-93.5	1.09	185.2	208.8	69	995000	0.00012	1.000	0.00012
1B5	1M1	276.9	-85.3	1.09	181.1	204.1	2	698000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1M1	276.3	-85.3	1.09	180.8	203.8	71	796000	0.00010	1.000	0.00010
1A7	1M1	273.6	-85.3	1.09	179.5	202.3	71	744000	0.00010	1.000	0.00010
1A5	1M1	271.0	-85.3	1.09	178.2	200.8	71	783000	0.00009	1.000	0.00009
1B4	1M1	270.8	-85.3	1.09	178.0	200.7	71	787000	0.00009	1.000	0.00009
1B5	1M1	267.3	-85.3	1.09	176.3	198.7	71	844000	0.00008	1.000	0.00008
2A1	1M1	251.2	-85.3	1.09	168.2	189.6	5	1070000	0.00001	1.000	0.00001
1B6	1M1	247.5	-85.3	1.09	166.4	187.5	71	1119000	0.00006	1.000	0.00006
2H1	1M1	246.9	-85.3	1.09	166.1	187.2	2	1129000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1M1	241.9	-85.3	1.09	163.6	184.4	5	1180000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1M1	241.6	-85.3	1.09	163.4	184.2	2	1180000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1M1	240.9	-85.3	1.09	163.1	183.8	790	1190000	0.00065	1.000	0.00065
1G1	1M1	240.7	-85.3	1.09	163.0	183.7	4	1190000	0.00000	1.000	0.00000
1L2	1M1	240.5	-85.3	1.09	162.9	183.6	2	1190000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1M1	240.0	-85.3	1.09	162.7	183.3	3	1209000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1M1	239.3	-85.3	1.09	162.3	182.9	71	1210000	0.00006	1.000	0.00006
1C1	1M1	239.2	-85.3	1.09	162.3	182.9	800	1210000	0.00065	1.000	0.00065
1M1	1M1	239.2	-85.3	1.09	162.2	182.9	785	1210000	0.00065	1.000	0.00065
1M1	1C1	239.2	-85.0	1.09	162.1	182.7	805	1210000	0.00065	1.000	0.00065
1M1	1B4	239.2	-80.1	1.09	159.6	179.9	71	1270000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	2G1	239.2	-77.8	1.09	158.5	178.7	2	1309000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1A6	239.2	-75.5	1.09	157.3	177.4	71	1340000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1E1	239.2	-71.9	1.09	155.5	175.3	5	1390000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1B3	239.2	-69.2	1.09	154.2	173.8	71	1430000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1D1	239.2	-66.8	1.09	153.0	172.4	790	1470000	0.00054	1.000	0.00054
1M1	1A7	239.2	-65.1	1.09	152.1	171.5	71	1490000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1L2	239.2	-65.1	1.09	152.1	171.5	2	1490000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1A5	239.2	-65.1	1.09	152.1	171.5	71	1490000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1B2	239.2	-60.8	1.09	150.0	169.1	71	1560000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1A5	239.2	-58.7	1.09	148.9	167.9	71	1600000	0.00004	1.000	0.00004
1M1	1A4	239.2	-58.3	1.09	148.7	167.6	19	1610000	0.00001	1.000	0.00001
2C1	1A4	236.8	-58.3	1.09	147.5	166.3	2	1650000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1A4	228.9	-58.3	1.09	143.6	161.8	59	1810000	0.00003	1.000	0.00003
1A4	1G1	228.9	-33.0	1.09	130.9	147.6	4	2610000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1A2	228.9	-25.0	1.09	127.0	143.1	17	2980000	0.00001	1.000	0.00001
1B9	1A2	223.2	-25.0	1.09	124.1	139.9	54	3290000	0.00002	1.000	0.00002
1B9	1F1	223.2	-22.1	1.09	122.6	138.2	5	3460000	0.00000	1.000	0.00000
1B9	1L1	223.2	-4.5	1.09	113.8	128.3	2	4780000	0.00000	1.000	0.00000
1B9	1B1	223.2	-0.2	1.09	111.7	125.9	19	5260000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1B1	190.4	-0.2	1.09	95.3	107.4	61	16190000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	2J1	190.4	-0.1	1.09	95.2	107.4	19	16200000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	2J1	173.7	-0.1	1.09	86.9	97.9	55	72100000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	N55	173.7	0.0	1.09	86.8	97.9	16	73700000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	N55	141.8	0.0	1.09	70.9	79.9	71	—————	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03479

→環境UF : 0.034

【サージ用管台 (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 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	2H1	0.0	-605.4	1.32	398.5	449.1	2	9290	0.00022	4.906	0.00106
NSS	1B2	0.0	-590.2	1.33	392.3	442.1	134	9890	0.01355	2.435	0.03299
2G1	1B2	-50.0	-590.2	1.29	347.7	391.9	2	17800	0.00011	9.057	0.00102
2D3	1B2	-100.7	-590.2	1.24	302.5	341.0	2	35800	0.00006	7.265	0.00041
2E1	1B2	-101.5	-590.2	1.24	301.8	340.2	2	36200	0.00006	3.335	0.00018
1C1	1B2	-122.9	-590.2	1.22	285.5	321.8	712	47800	0.01490	8.491	0.12648
1C1	2E1	-122.9	-578.2	1.19	270.9	305.3	2	63500	0.00003	9.539	0.00030
1C1	1A2	-122.9	-575.6	1.19	268.9	303.1	86	66100	0.00130	8.703	0.01132
2B1	1A2	-137.3	-575.6	1.19	259.9	292.9	4	79700	0.00005	8.717	0.00044
1D1	1A2	-144.7	-575.6	1.19	255.5	288.0	336	87400	0.00384	6.127	0.02355
1A2	2D3	-162.7	-502.3	1.19	201.3	226.9	2	347000	0.00001	7.455	0.00004
1A2	2G1	-162.7	-473.5	1.19	184.3	207.7	2	617000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L1	-162.7	-459.5	1.19	175.9	198.3	2	856000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	-162.7	-436.9	1.19	162.6	183.2	4	1200000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2A1	-162.7	-425.3	1.19	155.7	175.5	6	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L2	-162.7	-408.4	1.19	145.7	164.2	2	1720000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1C1	-162.7	-393.9	1.19	137.1	154.5	408	2140000	0.00019	1.000	0.00019
1B2	1C1	-184.0	-393.9	1.22	128.2	144.6	392	2850000	0.00014	1.000	0.00014
1B2	1G1	-184.0	-380.8	1.22	120.2	135.5	4	3770000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1D1	-184.0	-377.5	1.22	118.2	133.2	456	4060000	0.00011	1.000	0.00011
1D1	1D1	-144.7	-377.5	1.00	116.4	131.2	334	4340000	0.00008	1.000	0.00008
1D1	1F1	-144.7	-369.0	1.00	112.1	126.4	5	5140000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1E1	-144.7	-335.9	1.00	95.6	107.8	5	15600000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2C1	-144.7	-323.2	1.00	89.3	100.6	2	38700000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2F1	-144.7	-303.1	1.00	79.2	89.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.19833

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

→環境UF : 0.199

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・主給水管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。

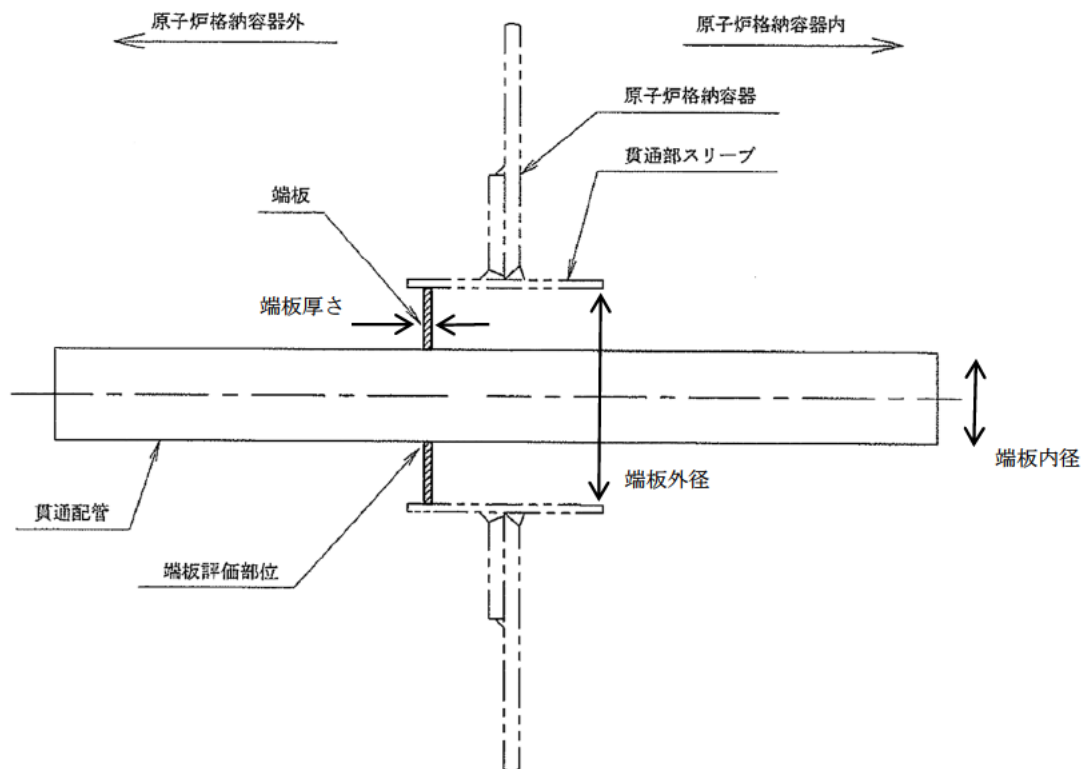


図1 余熱除去出口配管貫通部の基本寸法箇所

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	0.283	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と疲労線図(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	-9	-48	30	-39	15	29

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	159	272	1,949,246	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。

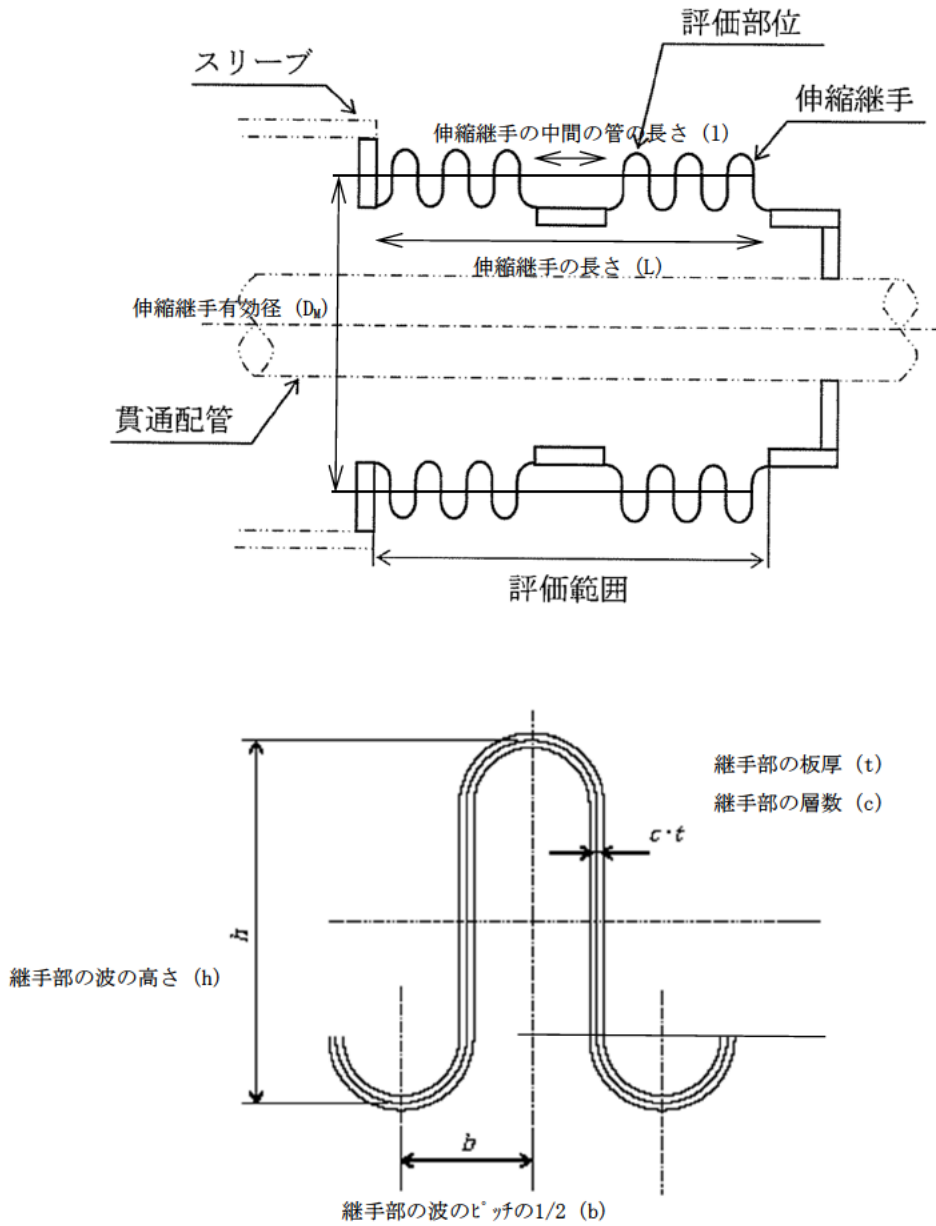


図 2 主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所

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)	0.283	0.283
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	120
伸縮継手の長さ (mm) L	620	520

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

表 5 伸縮継手に作用する変位量

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

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

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

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

ここで、 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	594	71	27,708	0.003	0.024
	起動・停止以外	424	1,827	90,481	0.021	
主給水管	起動・停止	1,152	71	2,721	0.027	0.419
	起動・停止以外	987	1,827	4,669	0.392	

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 1368 1310 1805"> <tr> <td data-bbox="472 1368 699 1447">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 1368 1310 1447">(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 12.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1447 699 1603">要素種類</td> <td data-bbox="699 1447 1310 1603" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1603 699 1648">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1648 699 1715">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1715 699 1805">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. 12.0 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 12.0	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) 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. 12.0 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 12.0												
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)	Sm (MPa)	使用材料
加圧器サージ配管	360	113	SUS316TP、 SA376 TP316 (SUS316TP相当)
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。

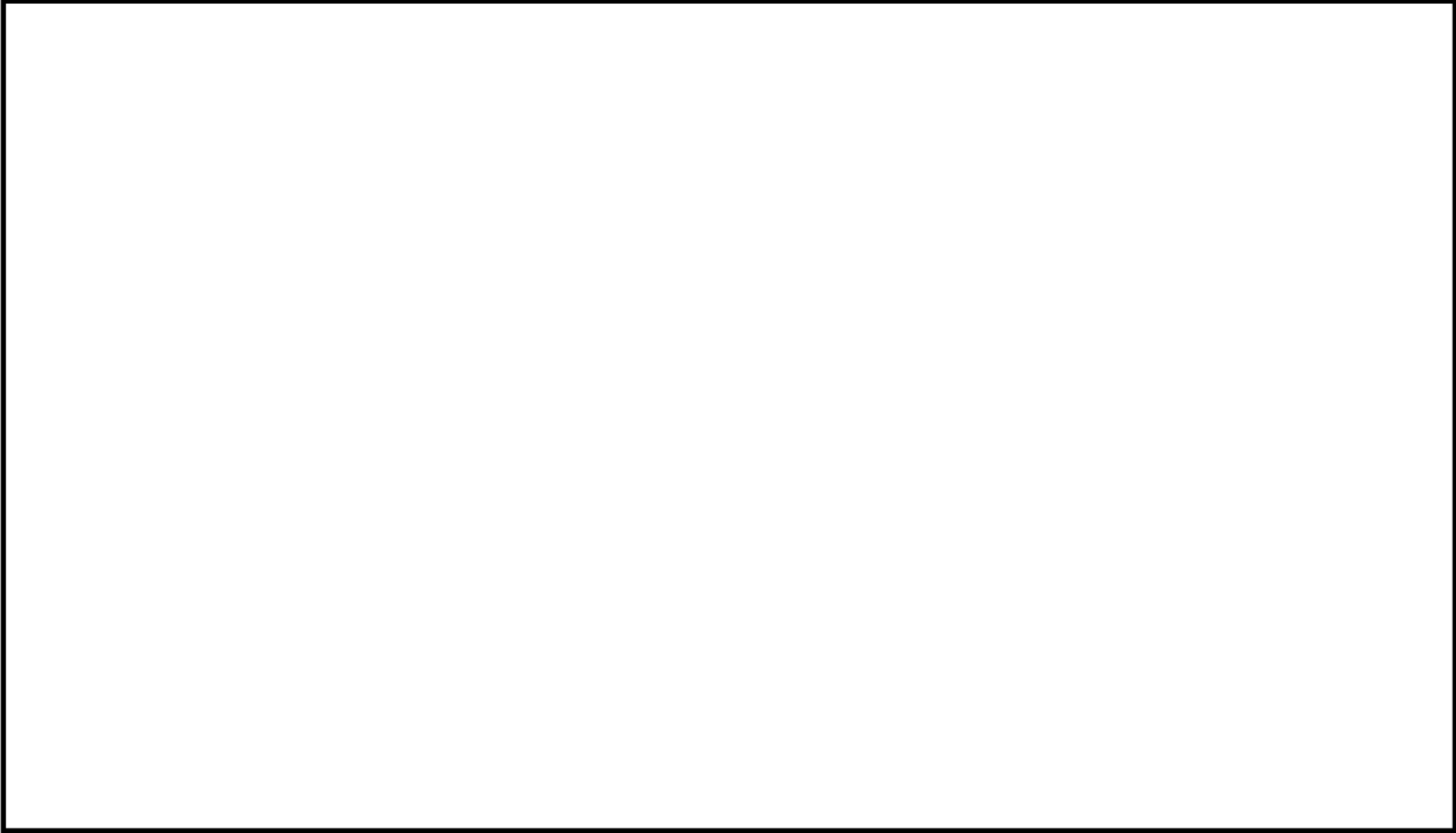
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	【通常疲労】 圧力+熱膨張荷重+熱過渡
	【熱成層を考慮した環境疲労】 圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

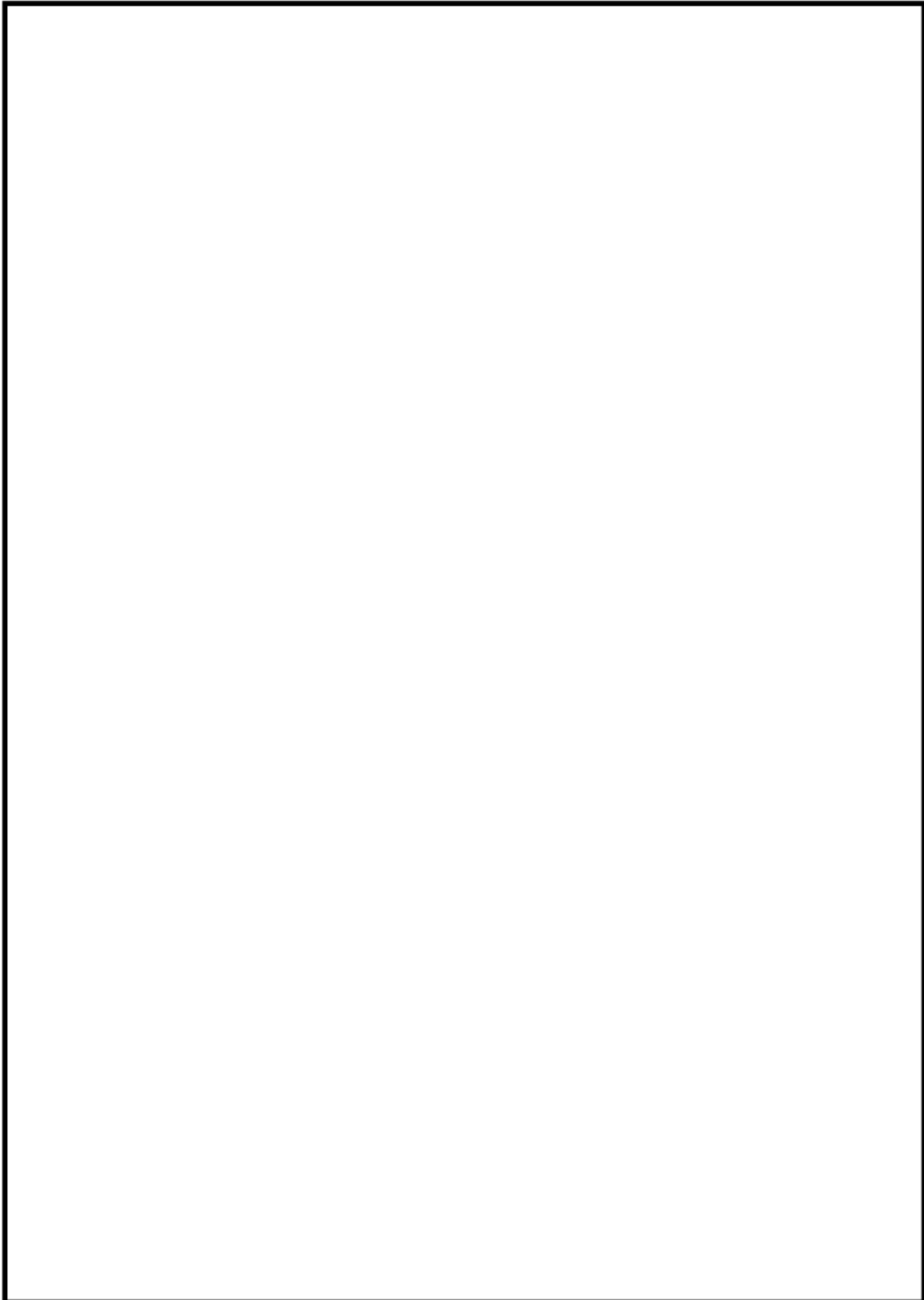
環境疲労評価において用いたKe係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

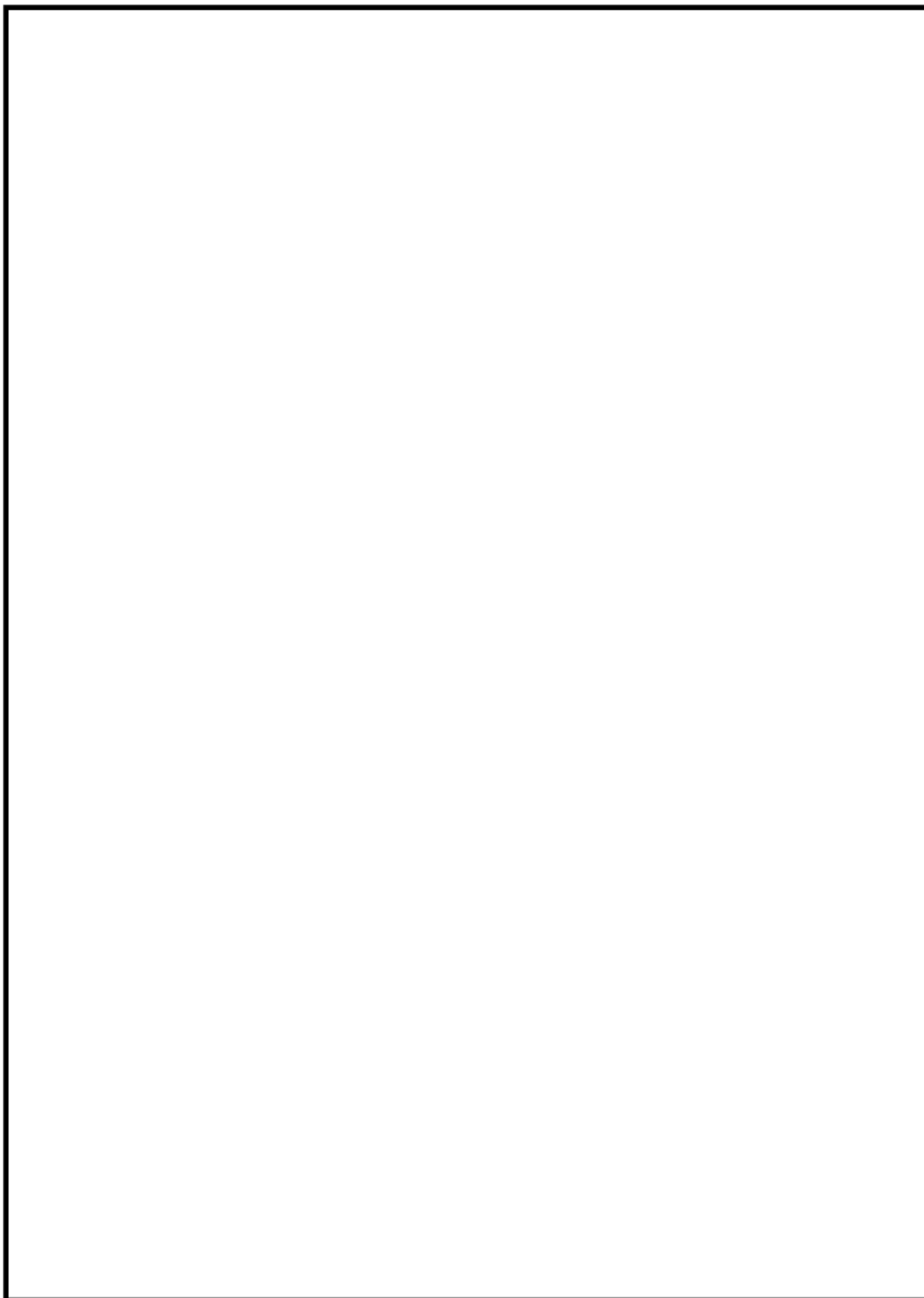
評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示す。



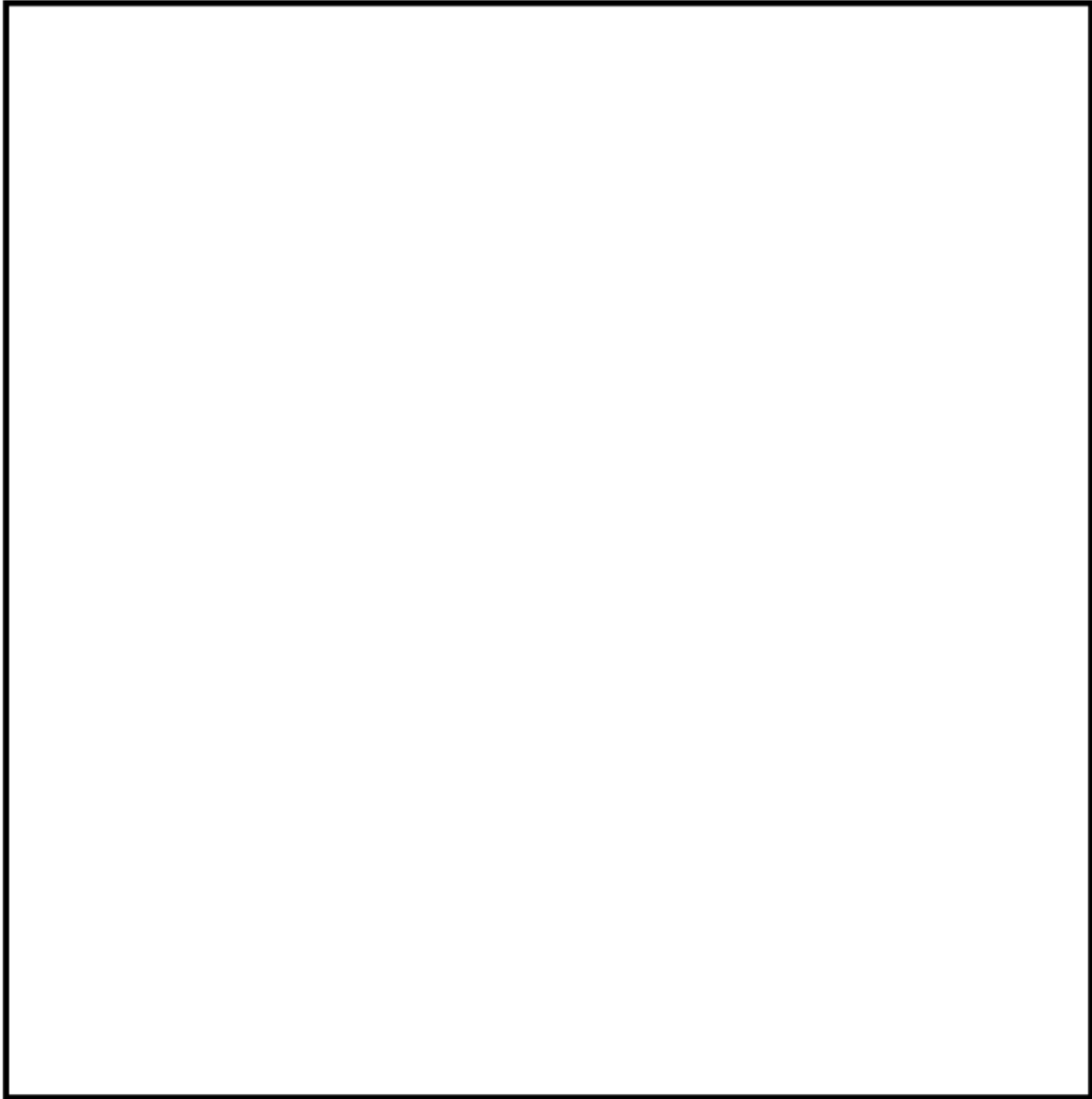
加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



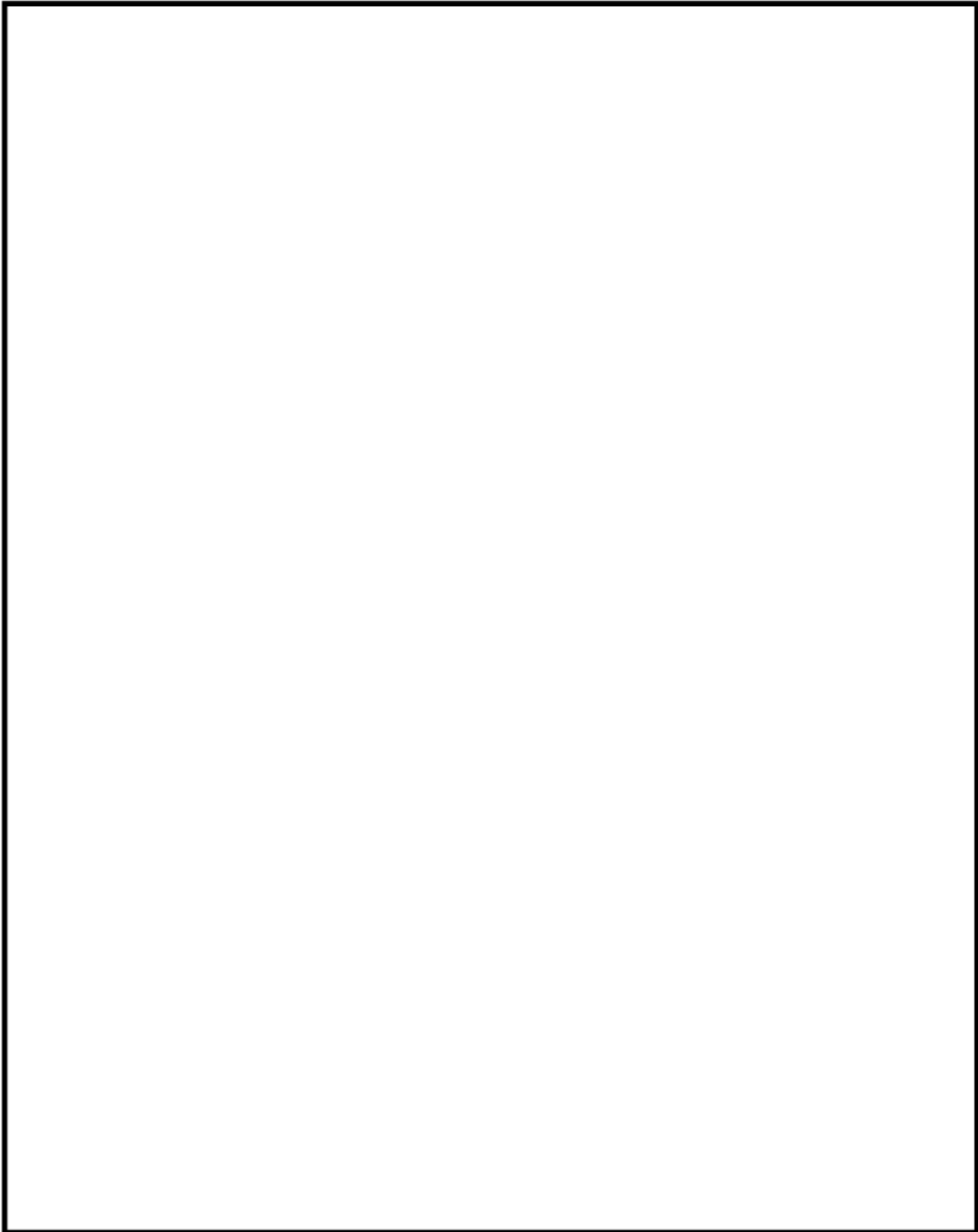
加圧器サージ配管 解析モデル (2 / 2)



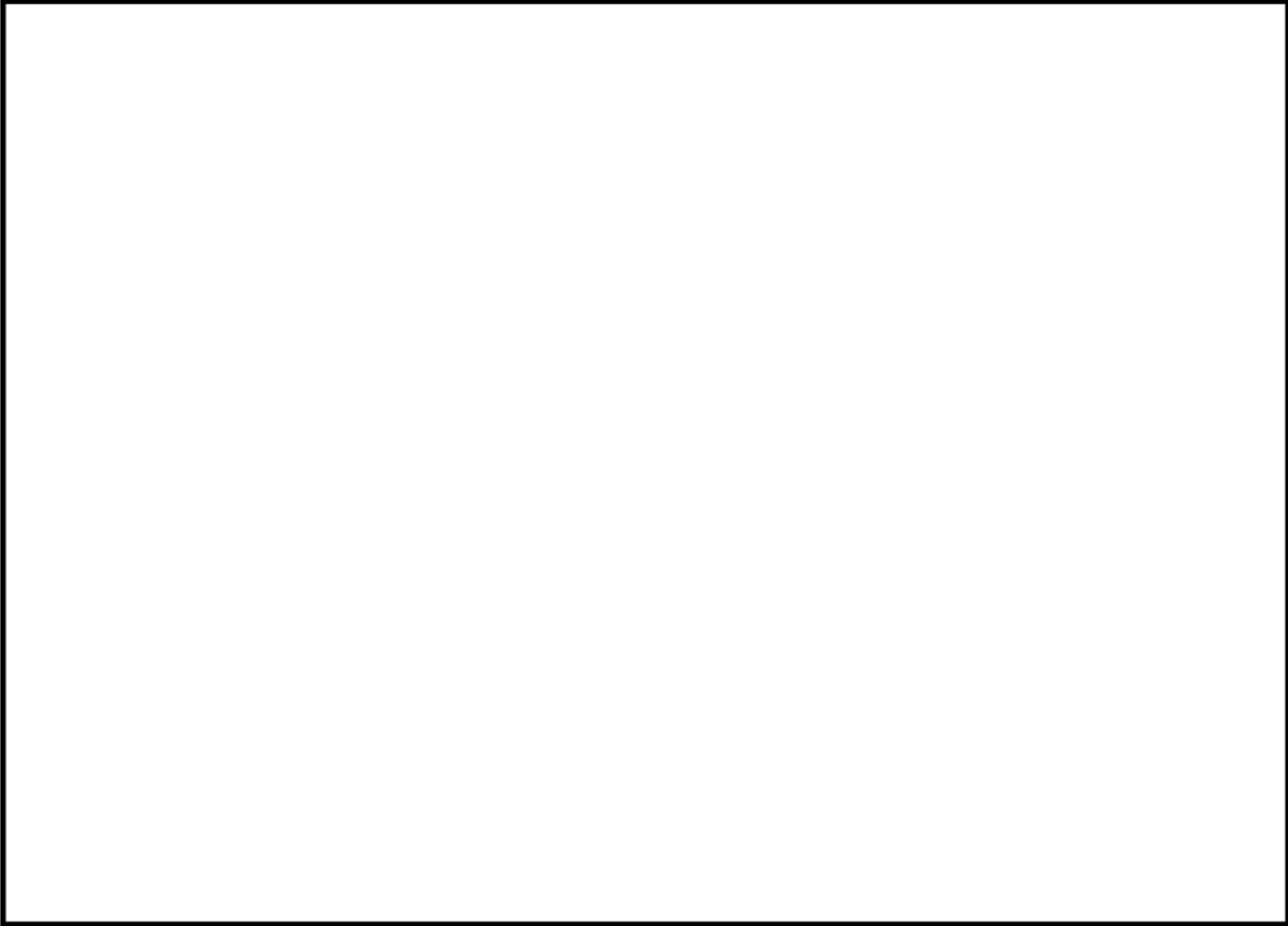
加圧器スプレイ配管 解析モデル (1 / 7)



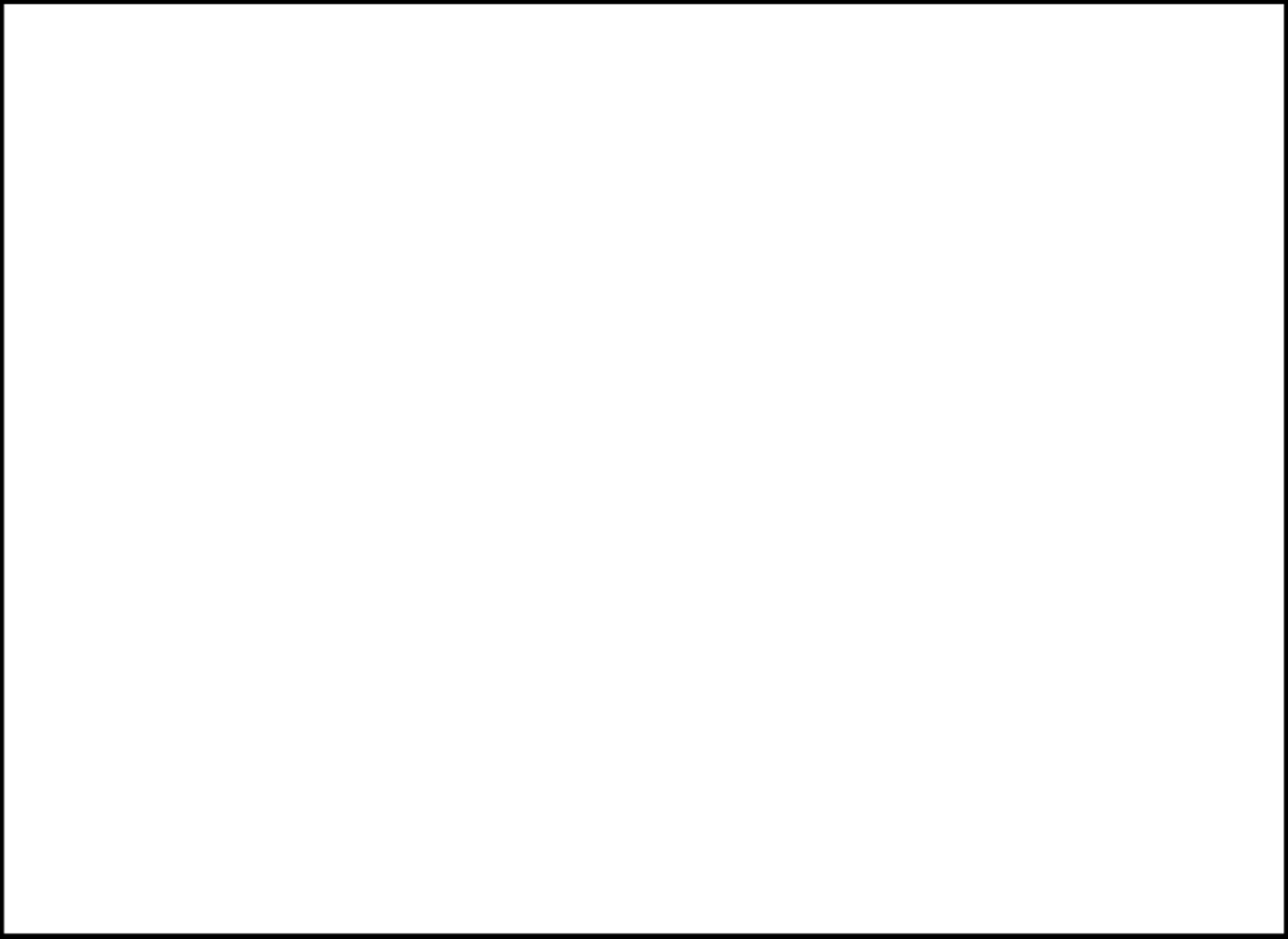
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 7)



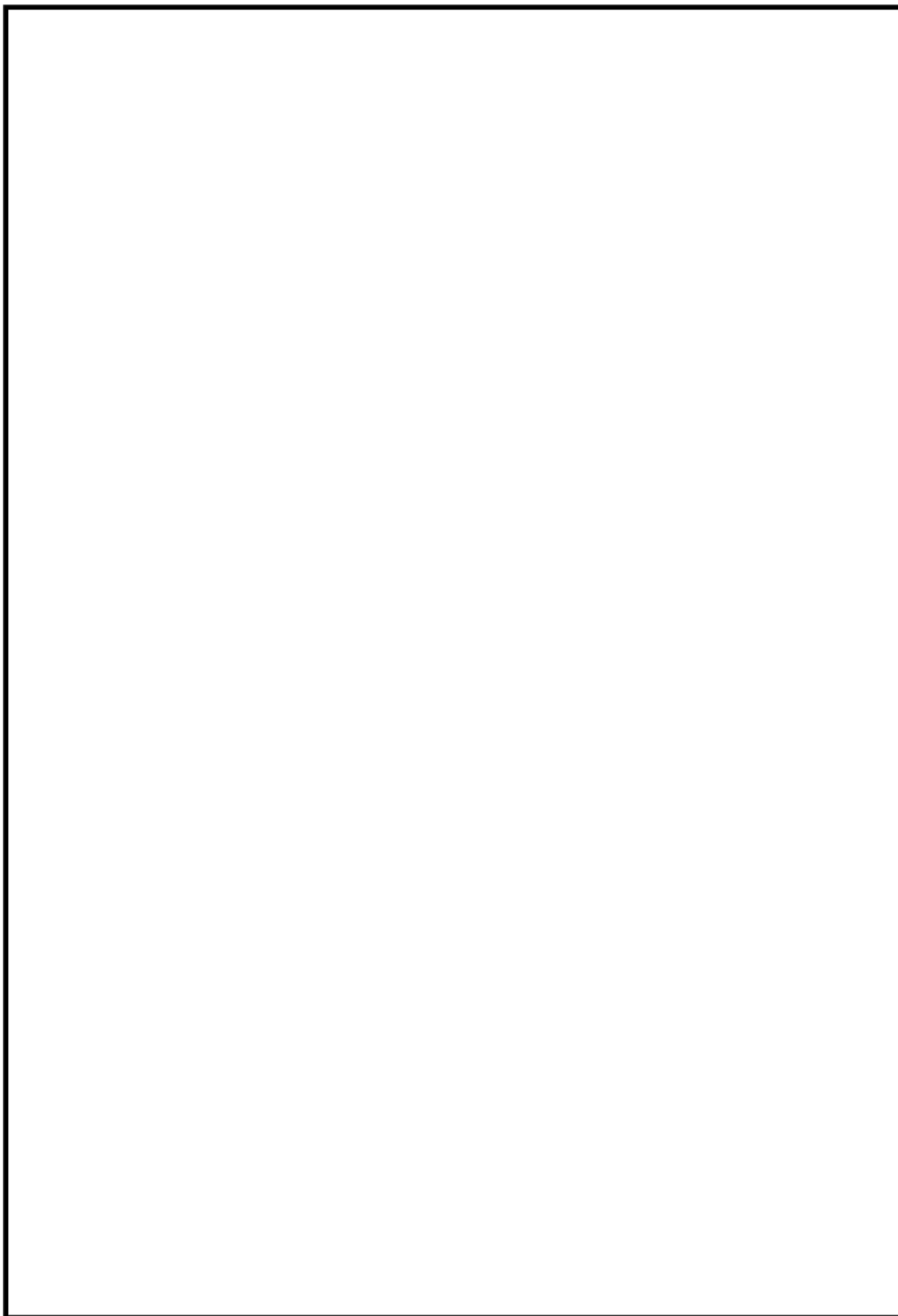
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 7)



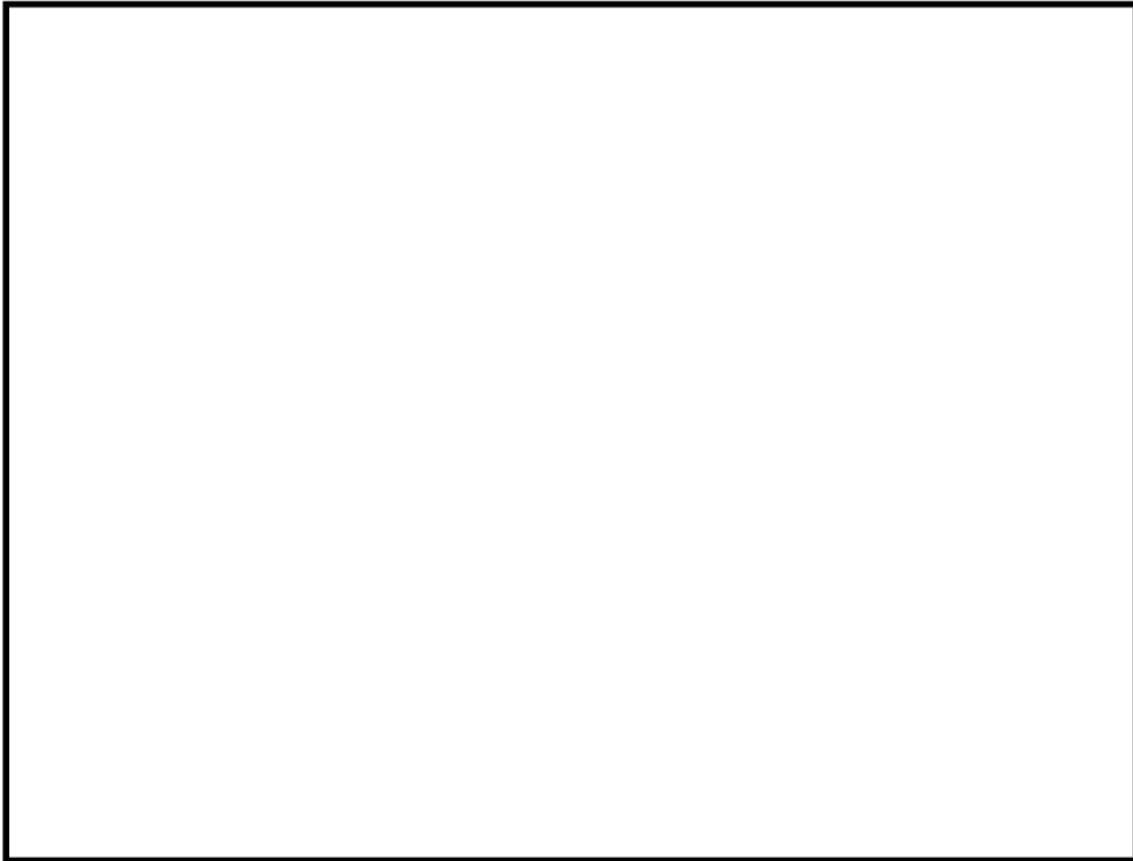
加圧器スプレイ配管 解析モデル (4 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (5 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (6 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (7 / 7)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

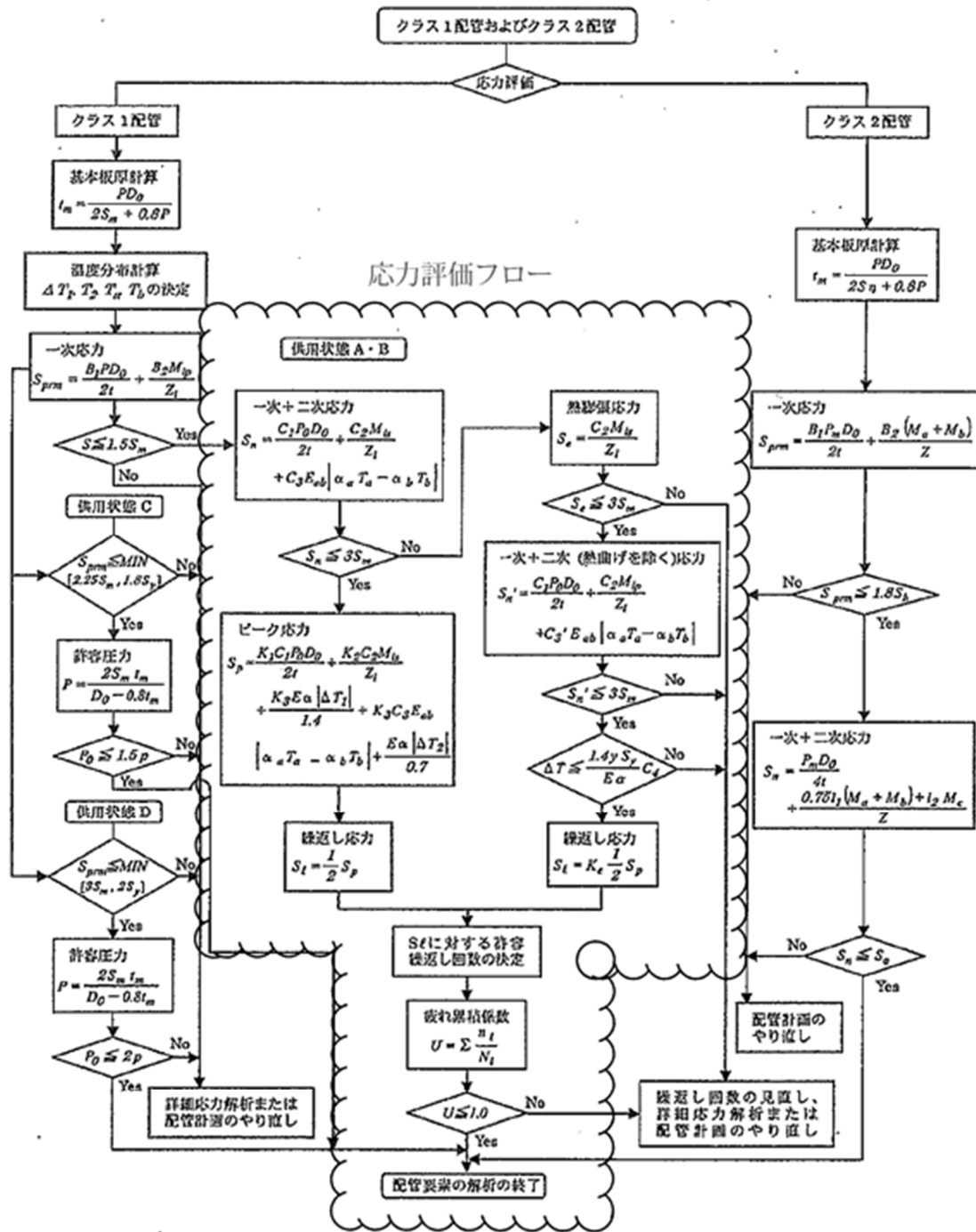
節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
1001	27.1	14.4	287.3	0.0	196.9	526	297	0.00147	1.0
602	19.5	41.4	261.2	0.0	196.9	520	293	0.00133	
803	19.5	43.6	261.2	0.0	196.9	522	294	0.00139	
108	21.2	66.5	261.2	0.0	196.9	546	308	0.00242	
603	21.2	76.2	261.2	0.0	196.9	556	314	0.00297	
110	21.2	67.2	261.2	0.0	196.9	547	308	0.00246	
114	21.2	60.3	261.2	0.0	196.9	540	305	0.00212	
606	21.2	79.4	261.2	0.0	196.9	559	315	0.00317	
116	23.3	87.6	287.3	0.0	196.9	596	336	0.00497	
119	23.3	85.3	287.3	0.0	196.9	593	335	0.00476	
810	21.2	77.3	261.2	0.0	196.9	557	314	0.00303	
125	23.3	39.2	287.3	0.0	196.9	547	309	0.00195	
130	23.3	33.1	287.3	0.0	196.9	541	305	0.00173	
132	21.2	45.0	261.2	0.0	196.9	525	296	0.00155	
1002	27.1	96.4	287.3	0.0	196.9	608	343	0.00698	

→通常UF : 0.007

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
399	439.4	171.7	3.8	0.0	1.5	617	346	0.00431	1.0
4001	95.4	65.9	297.3	0.0	141.5	601	341	0.01098	
203	95.4	65.6	297.3	0.0	141.5	600	340	0.01039	
198	58.9	24.0	315.3	0.0	148.3	547	309	0.00634	
401	285.2	37.0	306.0	0.0	138.8	768	425	0.00588	
375	239.4	5.0	253.7	190.6	48.0	737	369	0.01114	
313	315.2	42.5	77.1	0.0	45.0	480	240	0.00147	
309	40.4	17.2	448.0	161.8	220.4	888	490	0.00047	
307	33.9	23.4	448.0	0.0	220.4	726	400	0.00021	
306	234.3	49.9	386.6	0.0	212.2	884	490	0.00390	
305	33.9	24.2	448.0	0.0	220.4	727	401	0.00021	
177	33.5	30.4	407.2	0.0	220.4	692	381	0.00027	
179	33.5	32.1	407.2	0.0	220.4	694	382	0.00028	
300	60.9	83.8	386.0	0.0	211.9	743	417	0.00072	
299	74.1	15.3	304.1	0.0	137.8	532	298	0.00011	

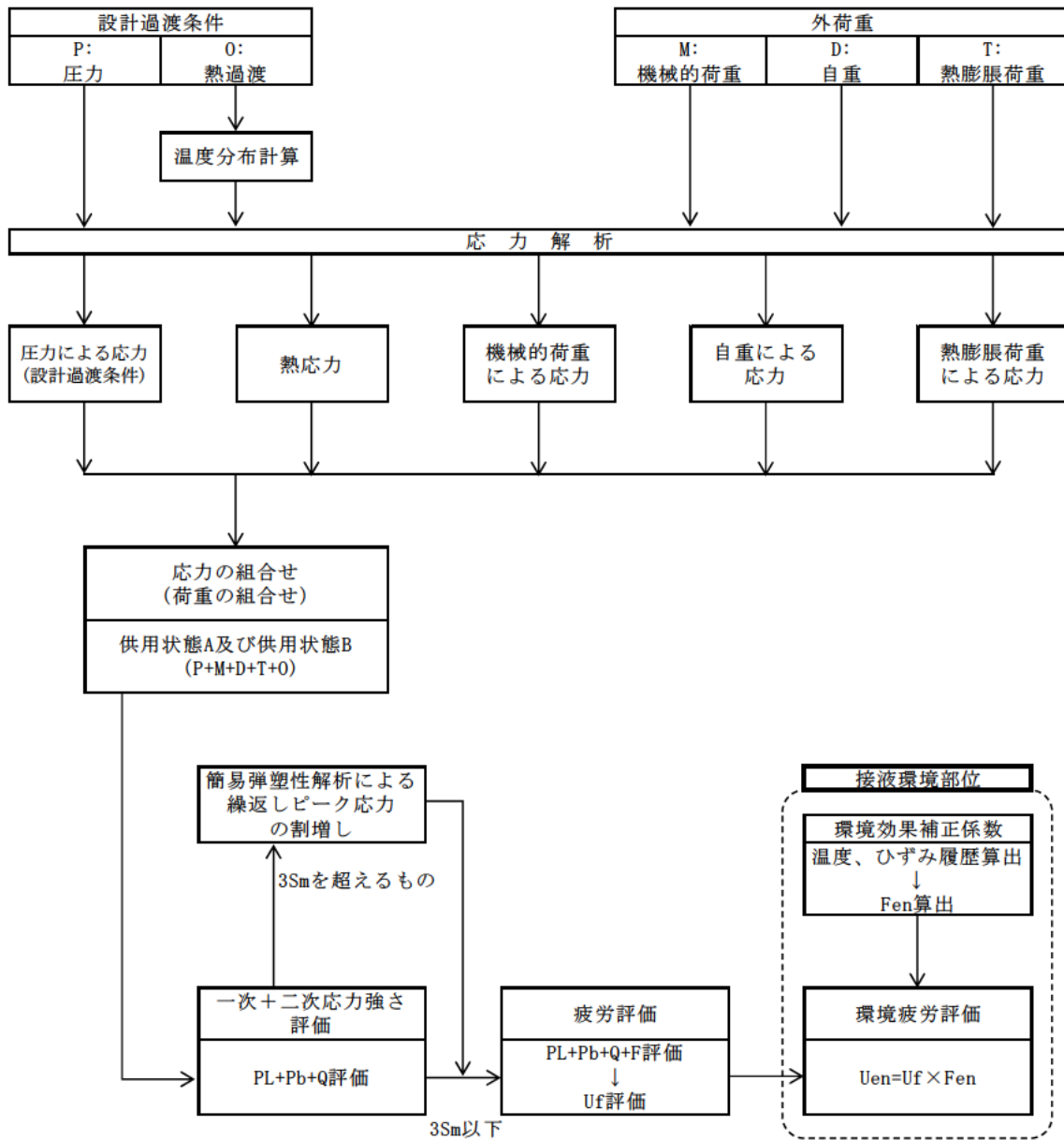
→通常UF : 0.011



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート (通常疲労)



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー（熱成層を考慮した環境疲労）

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【加圧器サージ配管】

過渡 記号 A	過渡 記号 B	応力強さ 強さ(MPa)		割増 係数 ke	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	301.0	-320.3	1.30	458.1	2	8580	0.00023	12.047	0.00281
2G1	2G1	256.0	-288.1	1.00	295.8	2	75400	0.00003	10.288	0.00027
2H1	1J1	204.3	-247.0	1.00	254.3	2	174000	0.00001	12.612	0.00014
2E1	2H1	148.0	-234.0	1.00	215.3	2	481000	0.00000	9.858	0.00004
2D2	1X1	133.2	-234.1	1.00	205.8	2	858000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	1X1	120.3	-234.1	1.00	189.7	2	814000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	2J1	120.8	-232.2	1.00	197.8	3	871000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	1X1	120.8	-234.1	1.00	184.4	87	985000	0.00007	1.000	0.00007
1Y2	1X2	120.8	-234.1	1.00	184.4	1	985000	0.00000	1.000	0.00000
1J1	1X2	107.0	-234.1	1.00	182.8	2	1020000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1X2	102.0	-234.1	1.00	189.8	4	1070000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1X2	104.2	-234.1	1.00	189.8	8	1070000	0.00001	1.000	0.00001
2F1	1X2	101.7	-234.1	1.00	187.1	2	1120000	0.00000	1.000	0.00000
1Y4	1X2	81.1	-234.1	1.00	172.8	58	1480000	0.00004	1.000	0.00004
1Y4	1X3	81.1	-231.4	1.00	170.2	15	1530000	0.00001	1.000	0.00001
2A1	1X3	68.5	-231.4	1.00	187.8	8	1800000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	1X3	68.2	-231.4	1.00	187.8	3	1800000	0.00000	1.000	0.00000
1X2	1X3	59.0	-231.4	1.00	158.8	47	1890000	0.00002	1.000	0.00002
1X2	1X4	59.0	-231.4	1.00	158.8	24	1890000	0.00001	1.000	0.00001
1X4	1X4	60.4	-231.4	1.00	159.0	47	1910000	0.00002	1.000	0.00002
1X4	1X5	60.4	-223.0	1.00	154.4	24	2140000	0.00001	1.000	0.00001
2B1	1X5	49.4	-223.0	1.00	153.5	12	2200000	0.00001	1.000	0.00001
1Y8	1X5	58.4	-223.0	1.00	151.3	35	2340000	0.00001	1.000	0.00001
1Y6	1X6	56.4	-223.0	1.00	151.3	36	2340000	0.00002	1.000	0.00002
1X8	1X8	53.2	-223.0	1.00	149.8	35	2480000	0.00001	1.000	0.00001
1X8	1J2	53.2	-208.8	1.00	147.5	8	2810000	0.00000	1.000	0.00000
1X8	1G1	53.2	-207.0	1.00	147.1	4	2850000	0.00000	1.000	0.00000
1X8	1W5	53.2	-208.8	1.00	145.1	28	2810000	0.00001	1.000	0.00001
1Z2	1W5	39.1	-208.8	1.00	137.3	45	3580000	0.00001	1.000	0.00001
1Z2	1W8	39.1	-208.8	1.00	137.3	28	3580000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	1W6	37.3	-208.8	1.00	136.3	45	3680000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	2E1	37.3	-207.0	1.00	136.1	2	3700000	0.00000	1.000	0.00000
1W6	1V3	37.3	-202.0	1.00	134.1	24	3850000	0.00001	1.000	0.00001
1V4	1V3	31.0	-202.0	1.00	130.5	47	4440000	0.00001	1.000	0.00001
1V4	1V4	31.0	-202.0	1.00	130.5	24	4440000	0.00001	1.000	0.00001
1Z4	1V4	23.0	-202.0	1.00	128.8	47	5090000	0.00001	1.000	0.00001
1Z4	2D2	23.0	-189.3	1.00	125.1	2	5480000	0.00000	1.000	0.00000
1Z4	1W3	23.0	-183.0	1.00	121.5	22	8500000	0.00000	1.000	0.00000
1W4	1W3	23.0	-183.0	1.00	121.0	49	8880000	0.00001	1.000	0.00001
1W4	1W4	23.0	-183.0	1.00	121.0	22	8880000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	1W4	22.8	-183.0	1.00	120.8	49	8890000	0.00001	1.000	0.00001
1Y2	2C1	22.8	-181.1	1.00	120.5	2	8820000	0.00000	1.000	0.00000
1Y2	1V1	22.8	-182.1	1.00	119.7	20	7100000	0.00000	1.000	0.00000
1Z8	1V2	18.0	-182.1	1.00	118.3	71	8420000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1V1	11.8	-182.1	1.00	115.0	51	9010000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	2D1	11.8	-182.5	1.00	108.5	8	13400000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1D1	11.8	-182.4	1.00	109.5	1523	13400000	0.00011	1.000	0.00011
1V8	1D1	10.3	-182.4	1.00	108.8	57	14500000	0.00000	1.000	0.00000
1V8	2F1	10.3	-181.7	1.00	108.2	2	15000000	0.00000	1.000	0.00000
1V8	1V5	10.3	-178.3	1.00	105.1	12	19800000	0.00000	1.000	0.00000
1W2	1V6	10.3	-178.3	1.00	105.1	59	19800000	0.00000	1.000	0.00000
1W2	1V8	10.3	-178.3	1.00	105.1	12	19800000	0.00000	1.000	0.00000
1U8	1W2	10.0	-178.3	1.00	105.0	71	20000000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1V8	3.7	-178.3	1.00	101.4	5	34400000	0.00000	1.000	0.00000
1U4	1W1	3.0	-178.3	1.00	101.0	71	38800000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1V8	0.7	-178.3	1.00	99.8	54	44100000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1C1	0.7	-178.3	1.00	99.8	11	44100000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1C1	0.0	-178.3	1.00	99.4	71	48800000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	1C1	0.0	-178.3	1.00	99.4	71	48800000	0.00000	1.000	0.00000
1J2	1C1	-8.1	-178.3	1.00	95.9	8	1120000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1C1	-7.4	-178.3	1.00	95.2	84	2480000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1U6	-7.4	-174.6	1.00	94.2	71	7920000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1U8	-7.4	-174.6	1.00	94.2	71	7920000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1U4	-7.4	-184.8	1.00	88.7	17	-----	0.00000	1.000	0.00000
total								0.00079		0.00378

(注) ひずみ振幅≤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							
2E2	2E2	407.5	-758.8	2.30	1488.1	2	185	0.01212	8.002	0.09899
1B7	1B8	207.7	-819.7	1.80	700.4	71	1710	0.04152	4.531	0.18814
1B6	2G1	195.0	-464.0	1.40	521.9	2	5080	0.00039	5.375	0.00212
1B6	1A8	195.0	-468.8	1.40	519.3	69	5180	0.01332	5.343	0.07117
1B8	1A6	188.6	-466.8	1.40	488.5	2	8620	0.00030	4.488	0.00136
1B8	1A7	188.6	-446.6	1.40	488.3	68	7780	0.00887	4.307	0.03820
1B5	1A7	153.3	-446.6	1.30	448.3	2	2880	0.00021	5.696	0.00122
1B5	1B2	153.3	-445.7	1.30	447.4	68	2430	0.00732	5.696	0.04168
1A3	1B2	132.2	-445.7	1.30	423.2	2	12200	0.00016	5.252	0.00086
1B9	1B3	125.1	-418.3	1.20	380.2	71	20700	0.00343	3.344	0.01147
1A4	1B8	128.2	-458.2	1.00	321.2	71	48300	0.00147	5.044	0.00741
1A3	2A1	132.2	-404.1	1.00	302.2	8	67200	0.00009	5.354	0.00048
1A3	2H1	132.2	-388.3	1.00	288.6	2	70400	0.00003	5.384	0.00015
1A3	1G1	132.2	-386.6	1.00	288.0	4	72500	0.00006	5.402	0.00030
1A3	1A5	132.2	-402.1	1.00	287.7	57	72800	0.00078	5.307	0.00415
1B8	1A5	87.6	-402.1	1.00	278.4	14	105000	0.00013	3.284	0.00044
1B8	1J1	87.6	-385.4	1.00	277.9	2	108000	0.00002	3.354	0.00006
1B8	1P1	87.6	-384.6	1.00	277.4	5	107000	0.00005	3.358	0.00016
1B8	1E1	87.6	-384.4	1.00	277.3	5	107000	0.00005	3.388	0.00016
1B8	1C1	87.6	-384.3	1.00	277.2	45	107000	0.00042	3.394	0.00143
1B4	1C1	82.1	-384.3	1.00	268.5	71	128000	0.00055	6.902	0.00383
1B8	1D1	78.4	-384.3	1.00	268.8	71	142000	0.00050	8.141	0.00407
1A5	1D1	88.0	-384.3	1.00	257.7	71	161000	0.00044	10.418	0.00459
1B0	1D1	81.8	-384.3	1.00	257.0	71	164000	0.00043	8.604	0.00372
1A2	1D1	38.9	-384.3	1.00	241.3	71	237000	0.00030	9.345	0.00280
1B0	1D1	27.4	-384.3	1.00	237.7	71	280000	0.00027	8.280	0.00226
1B3	1D1	20.3	-384.3	1.00	233.8	71	280000	0.00024	10.898	0.00282
1A8	1D1	7.2	-384.3	1.00	223.3	71	353000	0.00020	11.357	0.00228
1A1	1D1	0.0	-384.3	1.00	222.2	71	385000	0.00018	9.708	0.00174
2I1	1C1	-6.7	-384.3	1.00	218.4	65	440000	0.00015	4.681	0.00089
2G1	1C1	-24.2	-384.3	1.00	208.6	2	589000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1D1	-27.8	-384.3	1.00	208.5	222	643000	0.00035	1.000	0.00035
1I1	1C1	-27.8	-384.3	1.00	208.5	817	643000	0.00096	1.000	0.00096
1I1	1I1	-27.8	-384.2	1.00	208.5	2081	643000	0.00321	1.000	0.00321

1J2	111	-28.8	-394.2	1.00	205.9	2	658000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	111	-28.8	-394.2	1.00	205.9	5	658000	0.00001	1.000	0.00001
2B1	111	-29.5	-394.2	1.00	205.5	2	665000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	111	-35.9	-394.2	1.00	201.9	800	754000	0.00106	1.000	0.00106
1J1	111	-36.6	-394.2	1.00	201.6	2	762000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	111	-36.8	-394.2	1.00	201.5	28	764000	0.00004	1.000	0.00004
1D1	1J2	-36.8	-394.2	1.00	201.4	2	767000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2C1	-36.8	-393.8	1.00	201.3	2	770000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1B4	-36.8	-368.4	1.00	186.9	71	1120000	0.00006	1.000	0.00006
1D1	1B4	-36.8	-360.6	1.00	182.5	71	1220000	0.00006	1.000	0.00006
1D1	1B5	-36.8	-325.4	1.00	182.7	71	1770000	0.00004	1.000	0.00004
1D1	1A1	-36.8	-300.8	1.00	148.7	71	2520000	0.00003	1.000	0.00003
1D1	1B8	-36.8	-296.1	1.00	146.1	71	2720000	0.00003	1.000	0.00003
1D1	2J1	-36.8	-286.5	1.00	140.7	3	3210000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2J1	-36.8	-284.3	1.00	139.5	3	3330000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1A4	-36.8	-283.0	1.00	138.8	71	3400000	0.00002	1.000	0.00002
1D1	1B6	-36.8	-269.6	1.00	131.2	71	4340000	0.00002	1.000	0.00002
1D1	2B1	-36.8	-263.3	1.00	127.7	4	4880000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1B7	-36.8	-257.3	1.00	124.3	71	5680000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	2D1	-36.8	-254.8	1.00	122.8	6	6100000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2D2	-36.8	-254.8	1.00	122.8	2	6100000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2D3	-36.8	-254.8	1.00	122.8	2	6100000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2E1	-36.8	-254.8	1.00	122.8	2	6100000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2F1	-36.8	-254.8	1.00	122.8	2	6100000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2B1	-36.8	-251.8	1.00	121.0	4	6680000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2D1	-36.8	-244.1	1.00	118.8	6	8210000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2D9	-36.8	-237.1	1.00	112.9	2	10000000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1BC	-36.8	-236.3	1.00	112.5	71	10400000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	2D2	-36.8	-233.0	1.00	110.6	2	12200000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2F1	-36.8	-233.0	1.00	110.6	2	12200000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1BD	-36.8	-225.2	1.00	106.2	71	17900000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2I1	-36.8	-221.8	1.00	104.3	8	22100000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2I1	-37.4	-221.8	1.00	103.9	4	23500000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	2I1	-39.5	-221.8	1.00	102.7	53	28200000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1A3	-39.5	-213.2	1.00	87.9	18	73000000	0.00000	1.000	0.00000
1A7	1A3	-39.7	-213.2	1.00	87.7	53	78300000	0.00000	1.000	0.00000
1A7	2E1	-39.7	-199.6	1.00	80.1	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計： 0.50247										

→環境UF：0.503

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="475 855 1310 936"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p><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 1680 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>SUSF316</td> <td>321.1</td> <td>117</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <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	SUSF316	321.1	117	ホットレグ	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																								
SUSF316	321.1	117	ホットレグ																								
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	(加圧器サージライン用管台) ABAQUS Ver. 2018 (蓄圧タンク注入ライン管台、余熱除去系戻りおよび安全注入管台、充てんライン用管台) ABAQUS Ver. 6.3
要素種類	
要素次数	
要素数	
節点数	

2. 材料物性

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	加圧器サージライン用管台
	283.6	120	余熱除去系戻りおよび安全注入管台
SA351 Gr. CF8M (SCS14A相当)	283.6	122	充てんライン用管台、蓄圧タンク注入ライン管台、

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。

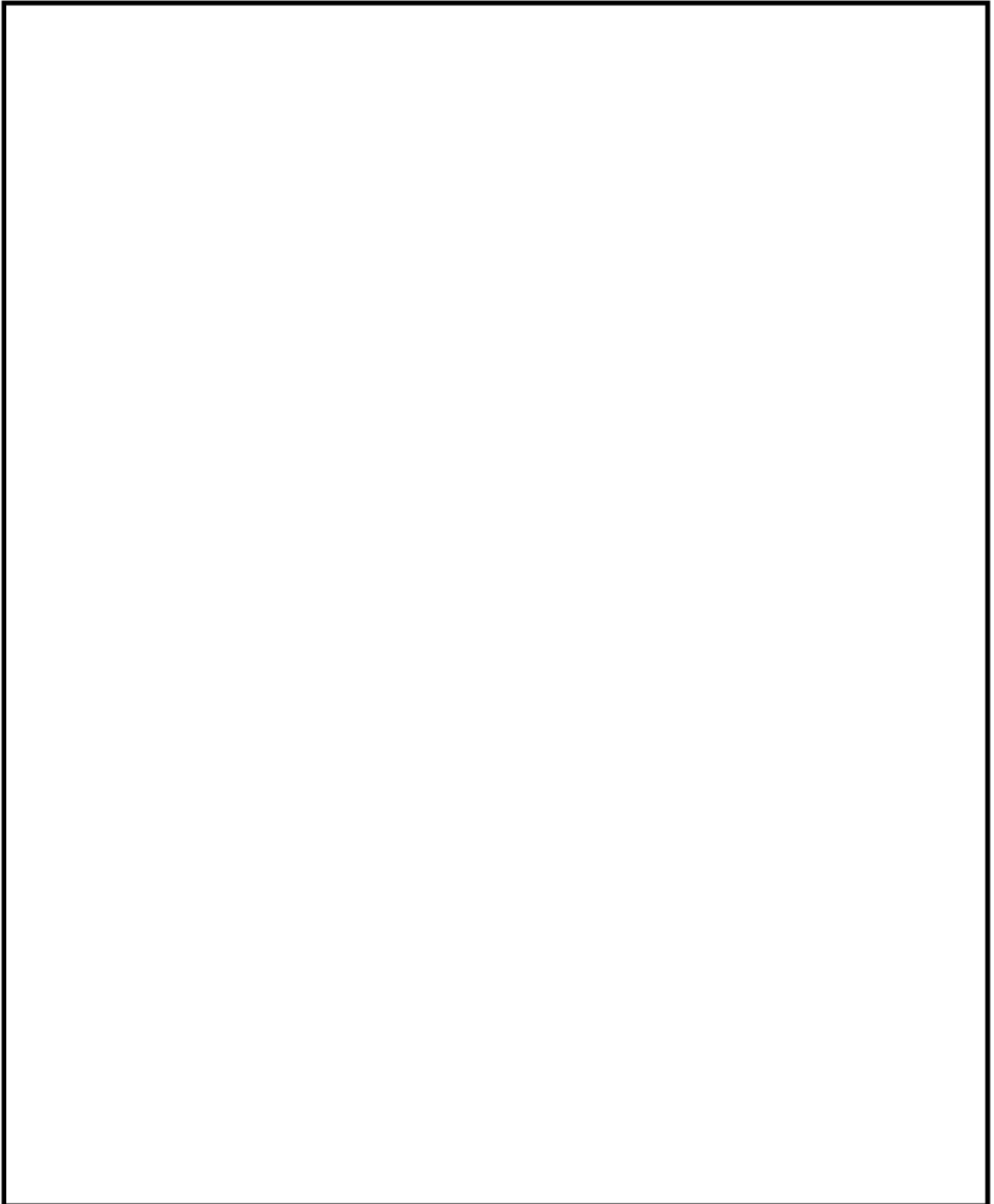
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

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 形状および評価点

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

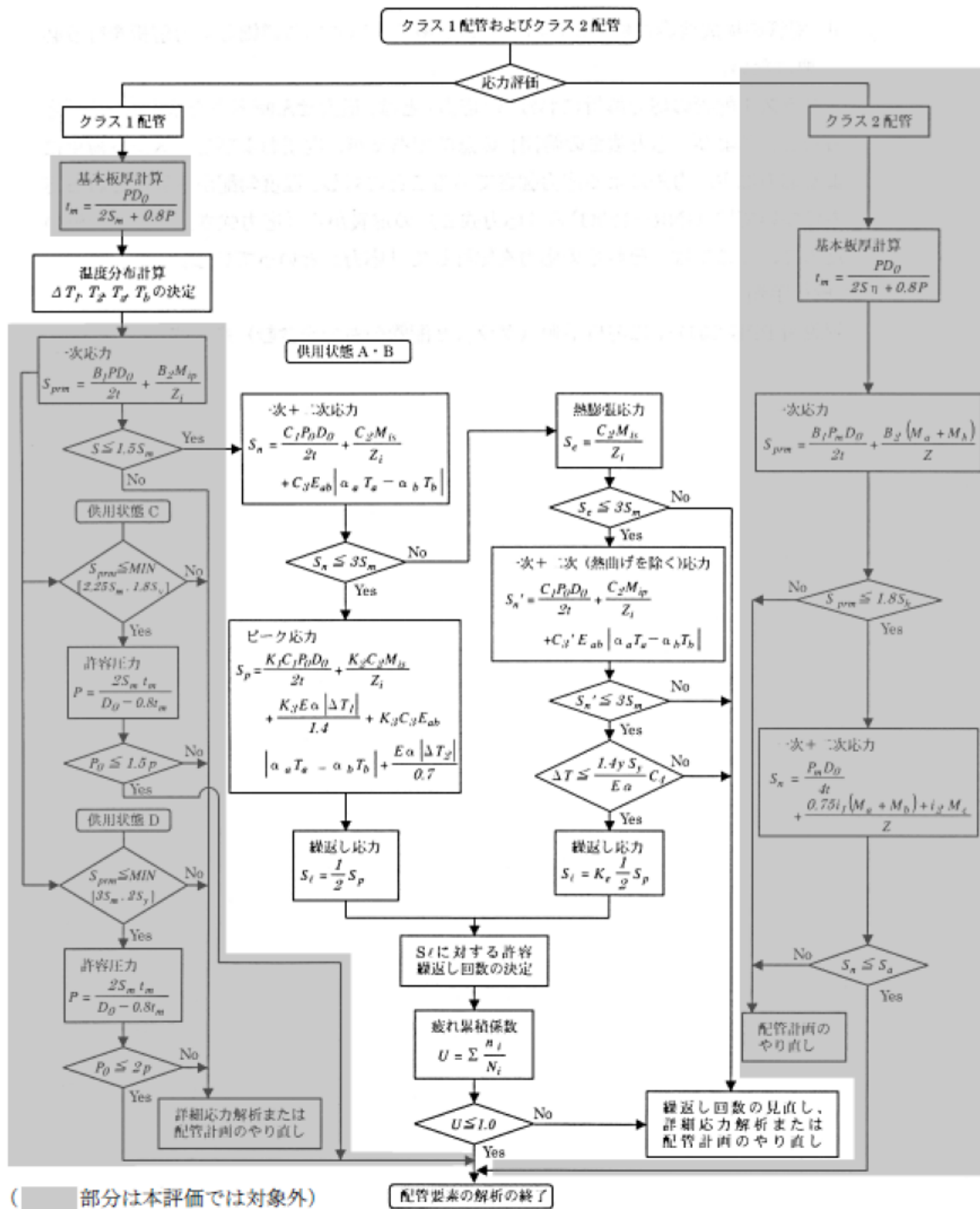
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	90.4	20.4	194.8	0.0	121.6	427.2	213.6	239.4	0.00009	1.0
	109	82.2	5.1	177.1	0.0	121.6	386.0	193.0	216.3	0.00002	
	110	90.4	9.3	194.8	0.0	121.6	416.2	208.1	233.2	0.00005	
	112	102.9	27.5	186.9	49.0	121.8	488.1	244.0	273.5	0.00022	
	113	97.5	26.4	207.2	0.0	127.4	458.4	229.2	256.9	0.00020	
	114	105.0	35.2	191.8	46.4	121.8	500.2	250.1	280.3	0.00037	
	115	129.6	121.6	97.4	0.0	121.6	470.2	235.1	263.5	0.00022	
	118	90.3	13.0	201.6	0.0	121.6	426.6	213.3	239.0	0.00007	
クロスオーバーレグ	141	97.3	3.2	114.4	0.0	43.0	257.9	128.9	142.0	0.00001	
	142	139.6	36.3	62.4	24.9	43.0	306.1	153.1	168.6	0.00008	
	143	131.9	27.0	78.5	0.0	47.5	284.8	142.4	156.9	0.00006	
	145	139.6	30.5	62.4	24.9	43.0	300.3	150.2	165.4	0.00008	
	147	97.3	2.6	114.4	0.0	43.0	257.3	128.6	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	2.4	114.4	0.0	43.0	257.1	128.6	141.6	0.00001	
	152	110.5	6.6	107.5	25.6	43.0	293.1	146.6	161.5	0.00007	

→ 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	153	126.8	22.6	78.5	0.0	47.5	275.3	137.7	151.7	0.00005	1.0
	155	134.5	29.1	62.4	24.9	43.0	293.8	146.9	161.9	0.00007	
	157	148.0	31.4	69.8	0.0	43.0	292.2	146.1	161.0	0.00004	
	159	88.5	2.6	104.0	0.0	43.0	238.0	119.0	131.1	0.00000	
	160	148.0	34.8	69.8	0.0	43.0	295.6	147.8	162.8	0.00005	
	161	134.5	32.7	62.4	24.9	43.0	297.4	148.7	163.8	0.00007	
	163	126.8	31.1	78.5	0.0	47.5	283.9	141.9	156.4	0.00006	
	165	134.5	40.3	62.4	24.9	43.0	305.0	152.5	168.0	0.00008	
	167	134.2	24.1	103.2	217.1	13.0	491.6	245.8	270.8	0.00105	
コールドレグ	181	151.2	84.2	67.7	112.0	19.4	434.5	217.2	239.3	0.00054	
	183	88.8	2.3	98.7	0.0	41.3	231.1	115.5	127.3	0.00000	
	185	131.4	80.1	58.4	33.6	41.3	344.8	172.4	190.0	0.00013	
	189	109.7	56.3	82.2	0.0	48.3	296.5	148.3	163.4	0.00008	
	194	114.5	74.1	65.9	24.7	44.3	323.4	161.7	178.2	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114)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
43 (2H1)	38 (2E1)	500.2	1.0	250.1	280.3	2	101000	0.00002	11.435	0.00023
39 (2F1)	2 (1B1)	414.9	1.0	207.5	232.5	2	298000	0.00001	13.808	0.00009
33 (2D2)	2 (1B1)	393.4	1.0	196.7	220.4	2	416000	0.00000	13.808	0.00007
21 (1L1)	2 (1B1)	392.3	1.0	196.2	219.8	2	422000	0.00000	13.808	0.00007
29 (2C1)	2 (1B1)	392.3	1.0	196.2	219.8	2	423000	0.00000	13.808	0.00007
37 (2E1)	2 (1B1)	390.8	1.0	195.4	219.0	2	433000	0.00000	13.808	0.00006
25 (2A1)	2 (1B1)	389.3	1.0	194.7	218.2	6	443000	0.00001	13.808	0.00019
15 (1I1)	36 (2D5)	388.9	1.0	194.4	217.9	2	446000	0.00000	10.358	0.00005
35 (2D4)	2 (1B1)	388.5	1.0	194.2	217.7	2	449000	0.00000	13.808	0.00006
41 (2G1)	2 (1B1)	387.1	1.0	193.5	216.9	2	460000	0.00000	13.808	0.00006
31 (2D1)	2 (1B1)	385.9	1.0	193.0	216.3	6	468000	0.00001	13.808	0.00018
3 (1C1)	2 (1B1)	369.7	1.0	184.8	207.1	45	629000	0.00007	1.000	0.00007
3 (1C1)	16 (1I1)	362.8	1.0	181.4	203.3	62	718000	0.00009	1.000	0.00009
3 (1C1)	48 (2J2)	361.3	1.0	180.6	202.4	65	740000	0.00009	1.000	0.00009
42 (2G1)	15 (1I1)	345.1	1.0	172.5	193.3	2	1010000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	322.1	1.0	161.0	180.5	2	1260000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	313.7	1.0	156.9	175.8	2	1380000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	310.4	1.0	155.2	173.9	2	1420000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	299.9	1.0	150.0	168.1	6	1600000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	15 (1I1)	297.0	1.0	148.5	166.4	2	1650000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	286.4	1.0	143.2	160.5	44	1860000	0.00002	1.000	0.00002
47 (2J1)	26 (2A1)	193.8	1.0	96.9	108.6	6	14500000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	189.4	1.0	94.7	106.1	2	18000000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	12 (1G1)	175.4	1.0	87.7	98.3	4	63400000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	46 (2I1)	171.6	1.0	85.8	96.2	3	656000000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	6 (1D1)	165.6	1.0	82.8	92.8	53	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00139

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

→環境UF : 0.002

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

過渡条件番号		一次+二次+ピーク応力 sp	割り増し係数 KE	繰返しピーク応力強さ		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)	491.6	1.0	245.8	270.8	71	122000	0.00058	10.237	0.00596
47 (2J1)	48 (2J2)	472.1	1.0	236.0	260.1	65	153000	0.00042	5.761	0.00245
27 (2B1)	36 (2D5)	397.7	1.0	198.8	219.1	2	432000	0.00000	17.480	0.00008
27 (2B1)	38 (2E1)	382.7	1.0	191.3	210.8	2	556000	0.00000	1.000	0.00000
25 (2A1)	16 (1I1)	343.7	1.0	171.8	189.3	6	1080000	0.00001	1.000	0.00001
33 (2D2)	16 (1I1)	308.8	1.0	154.4	170.1	2	1530000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	296.6	1.0	148.3	163.4	2	1750000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	293.9	1.0	146.9	161.9	2	1800000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	290.7	1.0	145.3	160.1	2	1870000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	286.2	1.0	143.1	157.6	4	1970000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	279.0	1.0	139.5	153.7	2	2190000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	274.7	1.0	137.4	151.3	2	2340000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	42 (2G1)	272.3	1.0	136.2	150.0	2	2430000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	16 (1I1)	266.9	1.0	133.4	147.0	0	2650000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	16 (1I1)	262.7	1.0	131.4	144.7	2	2840000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	16 (1I1)	262.5	1.0	131.3	144.6	38	2850000	0.00001	1.000	0.00001
46 (2I1)	15 (1I1)	243.3	1.0	121.7	134.0	3	3960000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	201.3	1.0	100.6	110.9	2	11900000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	185.3	1.0	92.6	102.1	55	31000000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	40 (2F1)	113.1	1.0	56.6	62.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00852

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

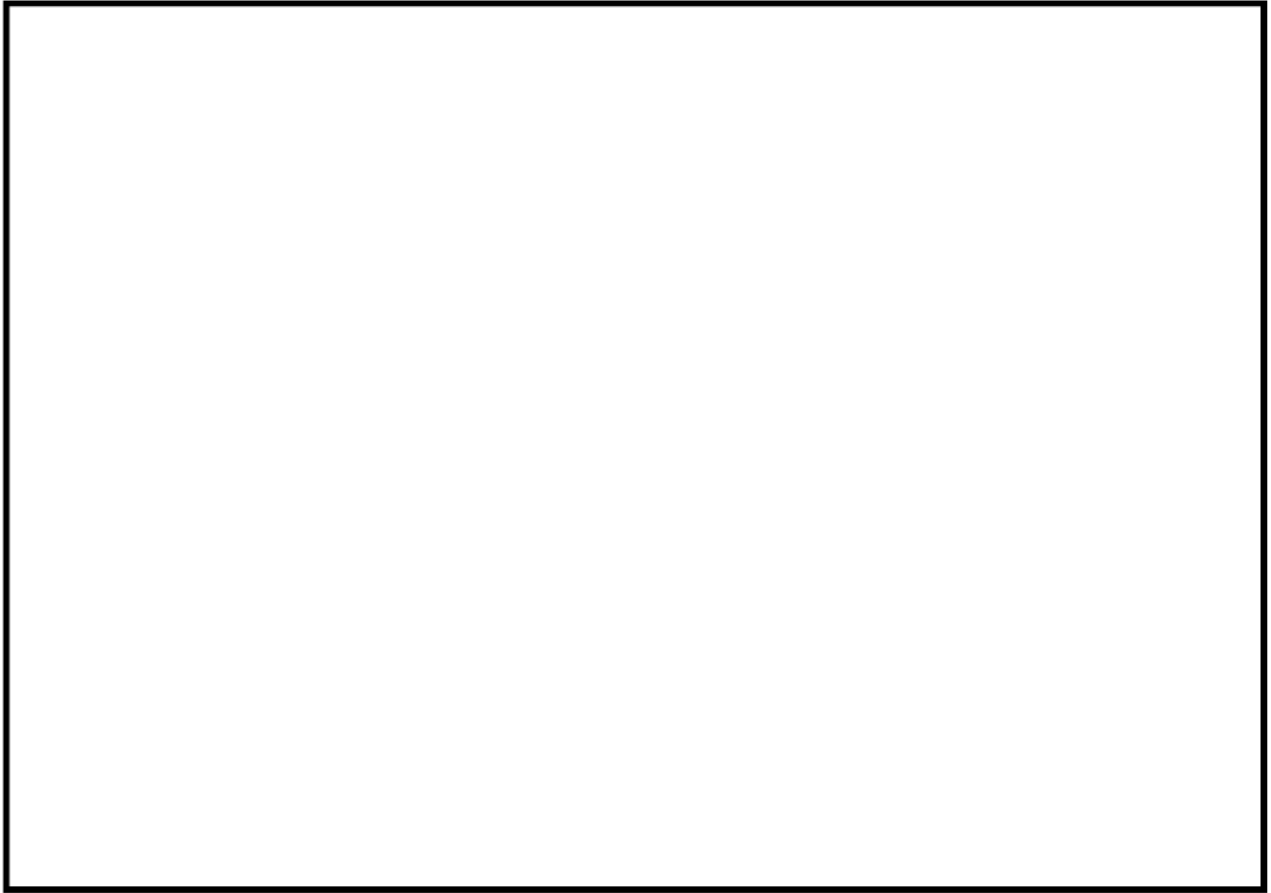
→環境UF : 0.009

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'					
27 (2B1)	2 (1B1)	434.5	1.0	217.2	239.3	4	249000	0.00002	16.617	0.00027
1 (1A1)	2 (1B1)	434.3	1.0	217.2	239.2	67	250000	0.00027	10.390	0.00278
1 (1A1)	48 (2J2)	421.7	1.0	210.9	232.3	4	300000	0.00001	5.630	0.00008
25 (2A1)	48 (2J2)	412.4	1.0	206.2	227.2	6	345000	0.00002	23.114	0.00040
47 (2J1)	48 (2J2)	410.2	1.0	205.1	226.0	55	356000	0.00015	5.780	0.00089
47 (2J1)	16 (1I1)	388.6	1.0	194.3	214.1	10	499000	0.00002	1.000	0.00002
15 (1I1)	36 (2D5)	369.0	1.0	184.5	203.3	2	718000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	16 (1I1)	346.3	1.0	173.2	190.8	2	1050000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	339.5	1.0	169.7	187.0	2	1120000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	330.9	1.0	165.5	182.3	2	1220000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	329.9	1.0	165.0	181.7	4	1230000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	326.8	1.0	163.4	180.0	2	1270000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	314.5	1.0	157.3	173.3	2	1440000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	312.6	1.0	156.3	172.2	2	1470000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	16 (1I1)	311.9	1.0	155.9	171.8	0	1480000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	16 (1I1)	306.9	1.0	153.5	169.1	2	1560000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	16 (1I1)	305.1	1.0	152.5	168.0	34	1600000	0.00002	1.000	0.00002
42 (2G1)	15 (1I1)	295.5	1.0	147.8	162.8	2	1770000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	278.6	1.0	139.3	153.5	2	2200000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	262.1	1.0	131.1	144.4	3	2870000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	239.8	1.0	119.9	132.1	2	4210000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	224.5	1.0	112.3	123.7	53	5840000	0.00001	1.000	0.00001
5 (1D1)	40 (2F1)	118.0	1.0	59.0	65.0	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00449

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

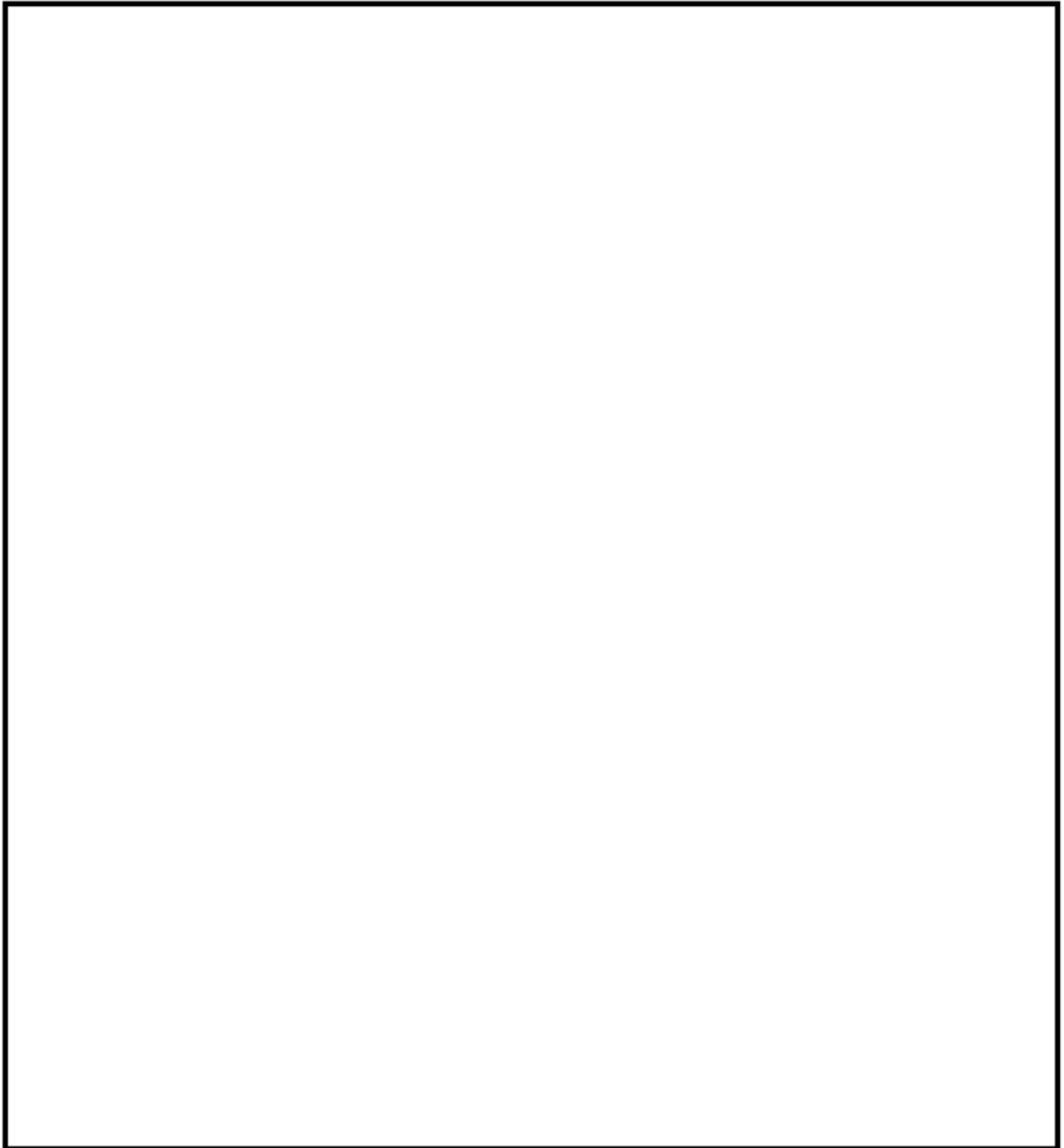
→環境UF : 0.005



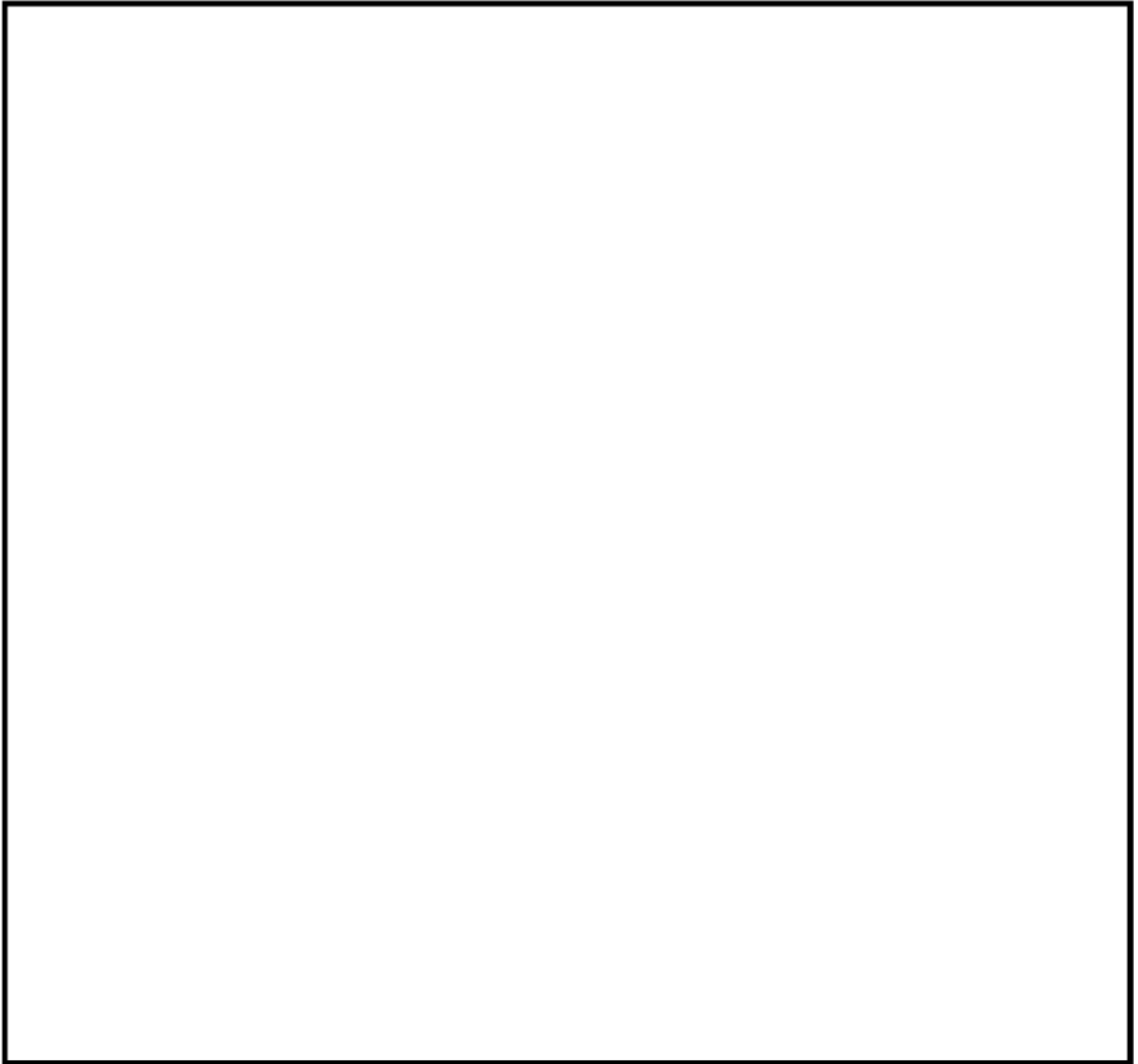
(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 評価点



(2) 1次冷却材管（蓄圧タンク注入ライン管台） 評価点



(3) 1次冷却材管（余熱除去系戻りおよび安全注入管台） 評価点



(4) 1次冷却材管 (充てんライン用管台) 評価点

(1) 1次冷却材管 (加圧器サージライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.03060	0.00596
2	0.0	0.00000	0.00004
3	0.0	0.00543	0.00204
4	0.0	0.00000	0.00001
5	0.0	0.00257	0.00075
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00015	0.01020	0.00065
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00535	0.01616	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.00016	0.00001
12	0.0	0.0	0.00005

許容値 $U_F=1.0$

→通常UF : 0.031

(2) 1次冷却材管 (蓄圧タンク注入ライン管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00747	0.00475
2	0.0	0.00007	0.00011
3	0.00000	0.00085	0.00093
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	0.00001	0.0	0.0
9	0.00078	0.00068	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	0.00010

許容値 $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.008

(3) 1次冷却材管 (余熱除去系戻りおよび安全注入管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00796	0.00455
2	0.0	0.00002	0.00008
3	0.00000	0.00000	0.00005
4	0.0	0.00000	0.00000
5	0.0	0.00003	0.00000
6	0.00000	0.0	0.0
7L	0.00023	0.00121	0.00001
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00001	0.00014	0.00001
8C	0.0	0.00011	0.00004
9L	0.00032	0.00059	0.0
10L	0.0	0.00000	0.0
9C	0.00003	0.00002	0.0
10C	0.0	0.00011	0.00003
11L	0.00027	0.00018	0.00000
12L	0.0	0.00000	0.0
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.0	0.00011	0.00004

許容値 $U_f=1.0$

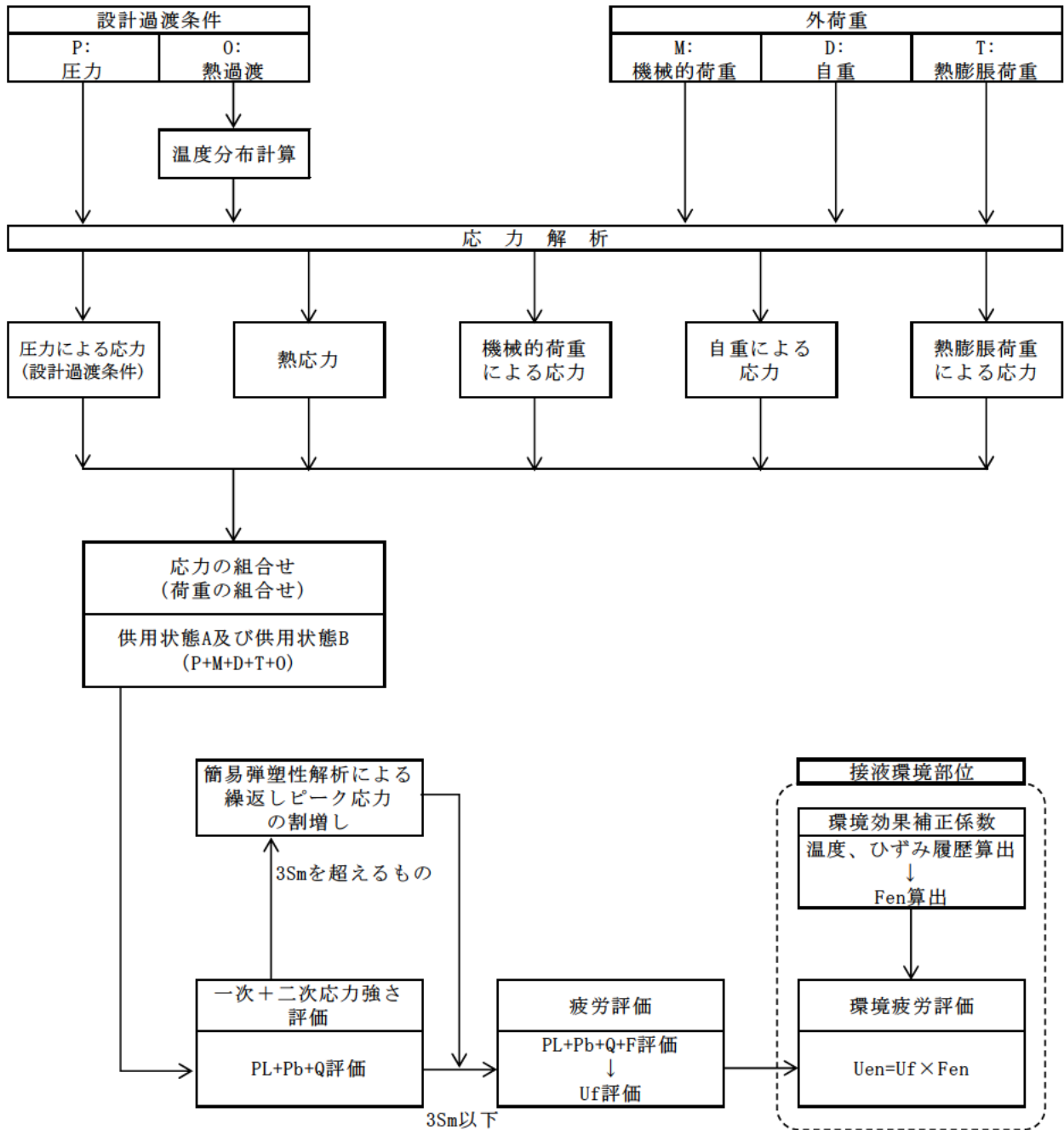
→通常UF : 0.008

(4) 1次冷却材管 (充てんライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00103	0.00057
2	0.00000	0.00000	0.00001
3	0.0	0.00000	0.00001
4	0.0	0.00000	0.00000
5	0.0	0.00001	0.00000
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00019	0.00142	0.00002
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.0	0.00001	0.00005
8C	0.0	0.00010	0.00003
9L	0.00288	0.00101	0.0
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00008	0.00004	0.00000
10C	0.0	0.00010	0.00005
11L	0.00015	0.00024	0.00000
12L	0.00000	0.00000	0.00000
11C	0.0	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00009	0.00013

許容値 $U_f=1.0$

→通常UF : 0.003



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 (加圧器サージライン用管台) (詳細評価手法: 評価点1)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D4	1A2	266.8	-318.5	1.32	387.1	433.8	2	10800	0.00019	6.185	0.00115
1G1	1A2	201.3	-318.5	1.24	322.0	360.8	4	26900	0.00015	6.361	0.00095
1D1	1A2	196.1	-318.5	1.23	317.0	355.2	420	29100	0.01443	5.371	0.07751
1D1	1B2	196.1	-318.5	1.23	317.0	355.2	370	29100	0.01271	5.371	0.06828
2G1	1B2	171.1	-318.5	1.00	244.8	274.3	2	114000	0.00002	4.911	0.00009
1L4	1B2	168.9	-318.5	1.00	243.7	273.1	2	117000	0.00002	6.448	0.00011
1M1	1B2	144.2	-318.5	1.00	231.4	259.3	478	156000	0.00306	5.130	0.01572
1M1	2E1	144.2	-310.1	1.00	227.1	254.5	2	173000	0.00001	16.543	0.00019
2E1	2D4	137.9	-239.4	1.11	209.2	234.5	2	283000	0.00001	14.739	0.00010
1M1	2G1	144.2	-206.2	1.00	175.2	196.3	2	919000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2H1	144.2	-191.6	1.00	167.9	188.1	2	1100000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1L3	144.2	-31.6	1.00	87.9	98.5	2	58700000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1L2	144.2	-6.2	1.00	75.2	84.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.16410

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

→環境UF: 0.165

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2E1	2E1	708.9	-311.1	1.99	1014.2	1117.3	2	380	0.00526	4.279	0.02252
2L1	2L1	618.3	-255.2	1.76	767.0	845.0	2	908	0.00220	3.186	0.00702
2H1	NSS	139.4	0.0	1.00	69.7	76.8	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02954

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

→環境UF: 0.030

(3) Ke係数と環境疲労パラメータ (余熱除去系戻りおよび安全注入管台)

(詳細評価手法: 評価点1)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D5	2E1	732.4	-178.6	1.89	860.5	948.0	2	630	0.00317	3.352	0.01064
2E1	2G1	717.3	-107.4	1.89	778.5	857.7	2	867	0.00231	3.705	0.00855
2G1	1B2	729.3	-99.9	1.75	724.3	797.9	2	1090	0.00183	3.164	0.00581
1B2	2D5	369.6	-90.1	1.75	401.8	442.7	2	9840	0.00020	3.511	0.00071
1B2	1B2	369.6	-99.9	1.00	234.8	258.6	69	158000	0.00044	2.871	0.00125
1I1	2J1	120.1	-3.7	1.00	61.9	68.2	62	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02696

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

→環境UF: 0.027

(4) Ke係数と環境疲労パラメータ (充てんライン用管台) (詳細評価手法: 評価点9L)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	205	4.0	-635.2	1.35	432.0	475.9	2	7360	0.00027	5.263	0.00143
2J1	203	4.0	-604.3	1.31	399.0	439.6	2	10100	0.00020	4.722	0.00094
2J1	201	4.0	-600.3	1.32	399.0	439.6	2	10100	0.00020	5.545	0.00110
2J1	2N4	4.0	-549.9	1.24	343.4	378.4	2	21200	0.00009	8.592	0.00081
2J1	2N5	4.0	-503.5	1.00	253.8	279.6	2	102000	0.00002	8.199	0.00016
2J1	2N2	4.0	-499.4	1.00	251.7	277.3	2	107000	0.00002	8.517	0.00016
2J1	2S1	4.0	-467.0	1.00	235.5	259.5	53	155000	0.00034	11.867	0.00406
1B1	2S1	3.8	-467.0	1.00	235.4	259.4	71	155000	0.00046	6.372	0.00292
1I1	2S1	2.6	-467.0	1.00	234.8	258.7	62	158000	0.00039	11.867	0.00466
NSS	2S1	0.0	-467.0	1.00	233.5	257.2	136	163000	0.00083	11.867	0.00990
204	2S1	-15.5	-467.0	1.00	225.8	248.7	2	196000	0.00001	11.867	0.00012
2QE	2S1	-21.4	-467.0	1.00	222.8	245.5	2	213000	0.00001	11.867	0.00011
202	2S1	-149.3	-467.0	1.20	191.1	210.5	2	561000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	2S1	-128.3	-467.0	1.00	169.4	186.6	2	1130000	0.00000	1.000	0.00000
2N3	2S1	-147.6	-467.0	1.00	159.7	175.9	2	1370000	0.00000	1.000	0.00000
2QC	2S1	-159.9	-467.0	1.00	153.5	169.1	2	1560000	0.00000	1.000	0.00000
205	2S1	-262.6	-467.0	1.30	132.4	145.9	2	2740000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2S1	-202.7	-467.0	1.00	132.1	145.6	2	2770000	0.00000	1.000	0.00000
2QA	2S1	-203.1	-467.0	1.00	132.0	145.4	2	2780000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2S1	-207.3	-467.0	1.00	129.9	143.1	2	2980000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2S1	-207.6	-467.0	1.00	129.7	142.9	2	3000000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2S1	-214.1	-467.0	1.00	126.5	139.3	6	3350000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2S1	-236.7	-467.0	1.00	115.1	126.9	2	5030000	0.00000	1.000	0.00000
2D3	2S1	245.0	467.0	1.00	112.0	123.4	2	5930000	0.00000	1.000	0.00000
201	2S1	-292.1	-467.0	1.27	111.3	122.6	2	6150000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2S1	-246.5	-467.0	1.00	110.2	121.4	2	6520000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	2S1	-250.8	-467.0	1.00	108.1	119.1	2	7310000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2S1	-252.9	-467.0	1.00	107.0	117.9	6	7760000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2S1	-256.4	-467.0	1.00	105.3	116.0	2	8560000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	2S1	-261.6	-467.0	1.00	102.7	113.1	2	9930000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2S1	-262.1	-467.0	1.00	102.5	112.9	4	10000000	0.00000	1.000	0.00000
2QG	2S1	-268.4	-467.0	1.00	99.3	109.4	2	13500000	0.00000	1.000	0.00000
2Q8	2S1	-276.0	-467.0	1.00	95.5	105.2	2	19600000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	2S1	-279.3	-467.0	1.00	93.8	103.4	4	25400000	0.00000	1.000	0.00000
2Q9	2S1	-279.8	-467.0	1.00	93.6	103.1	6	26300000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	2S1	-281.0	-467.0	1.00	93.0	102.4	2	29300000	0.00000	1.000	0.00000
2QH	2S1	-281.1	-467.0	1.00	93.0	102.4	2	29400000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2S1	-281.9	-467.0	1.00	92.6	102.0	408	31500000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2Q5	-281.9	-439.3	1.00	78.7	86.7	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02639

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

→環境UF: 0.027

タイトル	仕切弁（余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去ポンプCループ側入口第1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。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S 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： 4-PCY-430

呼び径： 120

弁箱の材質： SCS144

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	最高使用温度	200℃における換算圧力	200℃における設計応力強さ	接続管の200℃における設計降伏点	200℃における縦弾性係数	200℃における熱膨張係数	AA断面における金属部の厚さ	交差部壁面とその二等分線とに接する円の直径	交差部壁面に接する円の直径
P (MPa)	(℃)	P _e (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	E (MPa)	α (×10 ⁻⁶ mm/mm・℃)	t _a (mm)	T _{a1} (mm)	T _{a2} (mm)
17.18	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	接続管の断面積	AA断面における断面積	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 _i (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 ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅			σ	A ₀	B ₀
ΔP _{1m} (MPa)	ΔT (℃)	ΔT _{1m} (℃)						K ₁ (注1)				
								-	-	-	-	

(注1) K₁ e 適用判定の S_n は VVB-3370K による。
(注2) S_n は VVB-3340K 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1)	
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)
			P _d	P _o	P _t		
計算応力 (MPa)	03	139	30	81	81	138	147
許容応力 (MPa)	S _m = 125	2.25S _m = 293	1.5S _m = 188			3S _m = 377	
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)	詳細:1 以外:2	ε* (-)	T1 (℃)	T2 (℃)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Fen×N/N*	
	加熱過程	冷却過程																				
起動時及び停止時	H1	C1	310.4	155.2	174.8	71	1403751	0.00				17800		1							23.114	0.001
1次系漏えい試験(注1)	H24	C28	310.4	155.2	174.8	65	1403751	0.00				17800		1							9.427	0.000
起動時及び停止時以外	H22	C21	327.4	163.7	186.3	2	7992	0.00				17800		1							13.777	0.005
	H2	C23	352.3	176.2	197.8	2	24553	0.00				17800		1							25.406	0.002
	H2	C25	307.8	153.9	142.8	2	34884	0.00				17800		1							26.315	0.002
	H2	C19	342.3	171.2	185.7	2	63153	0.00				17800		1							25.329	0.001
	H2	C24	323.3	161.7	184.8	2	78750	0.00				17800		1							25.273	0.001
	H2	C17	478.3	239.6	270.1	2	124533	0.00				17800		1							25.796	0.000
	H2	C10	474.4	237.2	267.4	2	131766	0.00				17800		1							27.018	0.000
	H2	C13	457.4	228.7	257.8	6	181299	0.00				17800		1							26.144	0.001
	H2	C28	453.0	226.5	255.3	3	170284	0.00				17800		1							28.332	0.001
	H2	C27	451.8	225.9	254.6	2	172336	0.00				17800		1							25.920	0.000
	H2	C13	445.3	222.7	251.0	6	137235	0.00				17800		1							26.792	0.001
	H2	C6	442.8	221.4	249.6	4	182987	0.00				17800		1							31.600	0.001
	H2	C7	424.7	212.3	239.3	62	249401	0.00				17800		1							27.781	0.007
	H2	C3	415.0	207.5	233.9	705	237922	0.00				17800		1							31.144	0.078
	H8	C3	332.3	166.3	187.4	2	1120183	0.00				17800		1							28.422	0.000
	H12	C3	328.4	163.2	184.0	6	1138773	0.00				17800		1							28.992	0.000
	H10	C3	325.2	162.6	183.3	2	1204374	0.00				17800		1							29.587	0.000
	H7	C3	312.3	156.1	178.0	66	1375644	0.00				17800		1							34.090	0.002
H6	C3	308.2	154.1	173.7	4	1435631	0.00				17800		1							34.648	0.000	
H12	C3	307.4	153.7	173.3	4	1448035	0.00				17800		1							35.350	0.000	
H4	C3	307.0	153.5	173.0	1	1454290	0.00				17800		1							28.755	0.000	
H4	C14	238.1	119.0	134.8	4	3868634	0.00				17800		1							35.350	0.000	
Σ N/N* (注3)								0.004											Σ Fen×N/N*	0.101		

→通常UF : 0.004

→環境UF : 0.101

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、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 310.4 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{}(\%/s)$$

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

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-3360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-3360（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-3360（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3360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-3360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: 47-S1-1380/R/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) 設計条件及び補元

最高使用圧力	最高使用温度	280 °Cにおける換算圧力	280 °Cにおける設計応力強さ	接続管の280 °Cにおける設計補元点	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 _e (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	E (GPa)	α (×10 ⁻⁶ mm/mm°C)	t _e (mm)	T _{a1} (mm)	T _{a2} (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断面における種断面係数	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力
r (mm)	r _i (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 _e (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			q	A ₀	B ₀
ΔP _{r,m} (MPa)	ΔT (°C)	ΔT _{r,m} (°C)						K	K _e (注1)	3.1	0.7	2.15

(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	配管応力による応力			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 _a	P _b	P _c		
計算応力 (MPa)	63	108	39	76	76	270	307
許容応力 (MPa)	S _m = 125	2.25 S _m = 283	1.5 S _m = 188			3 S _m = 377	
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	H1	C1	497.6	248.8	280.5	71	101027	0.001				178000		1							23.114	0.016
1次系漏えい試験(注1)	H26	C28	497.6	248.8	280.5	65	101027	0.001				178000		1							9.427	0.006
起動時及び停止時 以外	H20	C31	2618.2	2412.3	2719.1	2	36	0.056				178000		1							9.027	0.502
	H27	C30	2393.2	2134.9	2406.4	2	48	0.042				178000		1							8.163	0.332
	H14	C21	765.2	382.8	431.3	2	11158	0.000				178000		1							33.570	0.006
	H14	C23	625.0	312.5	352.3	2	30418	0.000				178000		1							33.570	0.002
	H12	C25	499.5	249.8	281.5	2	88271	0.000				178000		1							17.383	0.000
	H12	C29	489.7	244.9	276.0	3	110458	0.000				178000		1							20.258	0.001
	H12	C18	456.9	228.4	257.5	1	182358	0.000				178000		1							14.454	0.000
	H24	C18	435.3	217.7	245.3	1	213856	0.000				178000		1							12.502	0.000
	H24	C7	433.9	216.9	244.5	1	218400	0.000				178000		1							13.860	0.000
	H18	C7	406.9	203.4	229.3	2	325388	0.000				178000		1							15.212	0.000
	H6	C7	399.5	199.8	225.2	4	384432	0.000				178000		1							20.866	0.000
	H2	C7	382.4	191.2	215.5	55	478707	0.000				178000		1							18.568	0.002
	H2	C24	317.2	158.6	178.8	2	1307925	0.000				178000		1							18.666	0.000
	H2	C22	316.2	158.1	178.2	2	1320648	0.000				178000		1							18.730	0.000
H2	C26	282.2	141.1	163.0	2	1788342	0.000				178000		1							18.358	0.000	
H2	C13	273.6	136.8	154.2	6	2183405	0.000				178000		1							24.129	0.000	
							ΣN/N* (注3)	0.100													ΣFen×N/N*	0.918

→通常UF:0.100

→環境UF:0.918

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、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 497.6 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{} (\%/s)$$

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

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、

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

<p>タイトル</p>	<p>炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠について</p>								
<p>説明</p>	<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="475 775 1364 1424"> <tr> <td data-bbox="475 775 703 891"> <p>解析プログラム</p> </td> <td data-bbox="703 775 1364 891"> <p>(上部炉心支持板) ABAQUS Ver. 6.6-3 (上部及び下部炉心支持柱、下部炉心支持板) NASTRAN Ver. 2005r3b</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 891 703 1008"> <p>要素種類</p> </td> <td data-bbox="703 891 1364 1424" rowspan="5"> <div style="border: 2px solid black; height: 200px;"></div> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1008 703 1124"> <p>要素次数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1124 703 1263"> <p>要素数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1263 703 1424"> <p>節点数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1424 703 1424"> <p> </p> </td> </tr> </table> <div data-bbox="435 1447 1364 1585" style="border: 2px solid black; height: 60px; margin-top: 10px;"></div>	<p>解析プログラム</p>	<p>(上部炉心支持板) ABAQUS Ver. 6.6-3 (上部及び下部炉心支持柱、下部炉心支持板) NASTRAN Ver. 2005r3b</p>	<p>要素種類</p>	<div style="border: 2px solid black; height: 200px;"></div>	<p>要素次数</p>	<p>要素数</p>	<p>節点数</p>	<p> </p>
<p>解析プログラム</p>	<p>(上部炉心支持板) ABAQUS Ver. 6.6-3 (上部及び下部炉心支持柱、下部炉心支持板) NASTRAN Ver. 2005r3b</p>								
<p>要素種類</p>	<div style="border: 2px solid black; height: 200px;"></div>								
<p>要素次数</p>									
<p>要素数</p>									
<p>節点数</p>									
<p> </p>									

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
下部炉心支持板	SA182 Gr. F304 (SUSF304相当)	116	283.6
下部炉心支持柱	SA479 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。

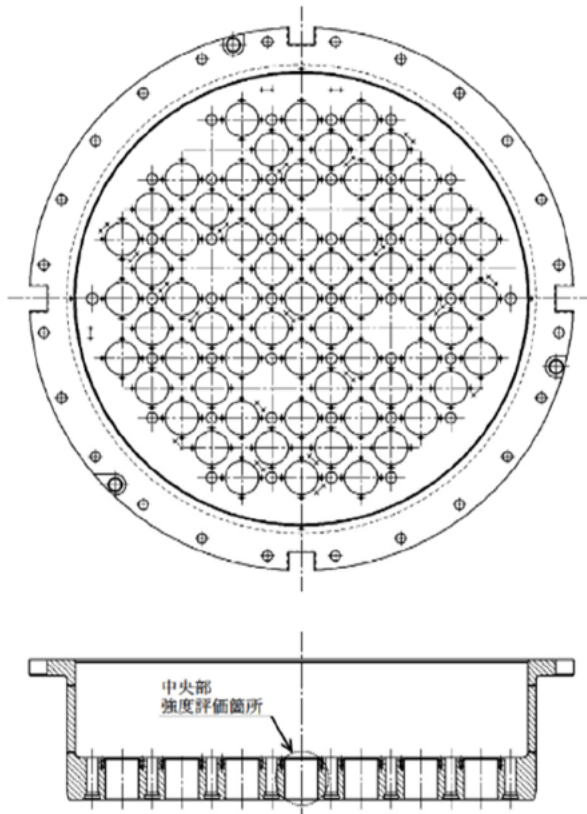
4. 応力分類

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+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。



上部炉心支持板 評価点

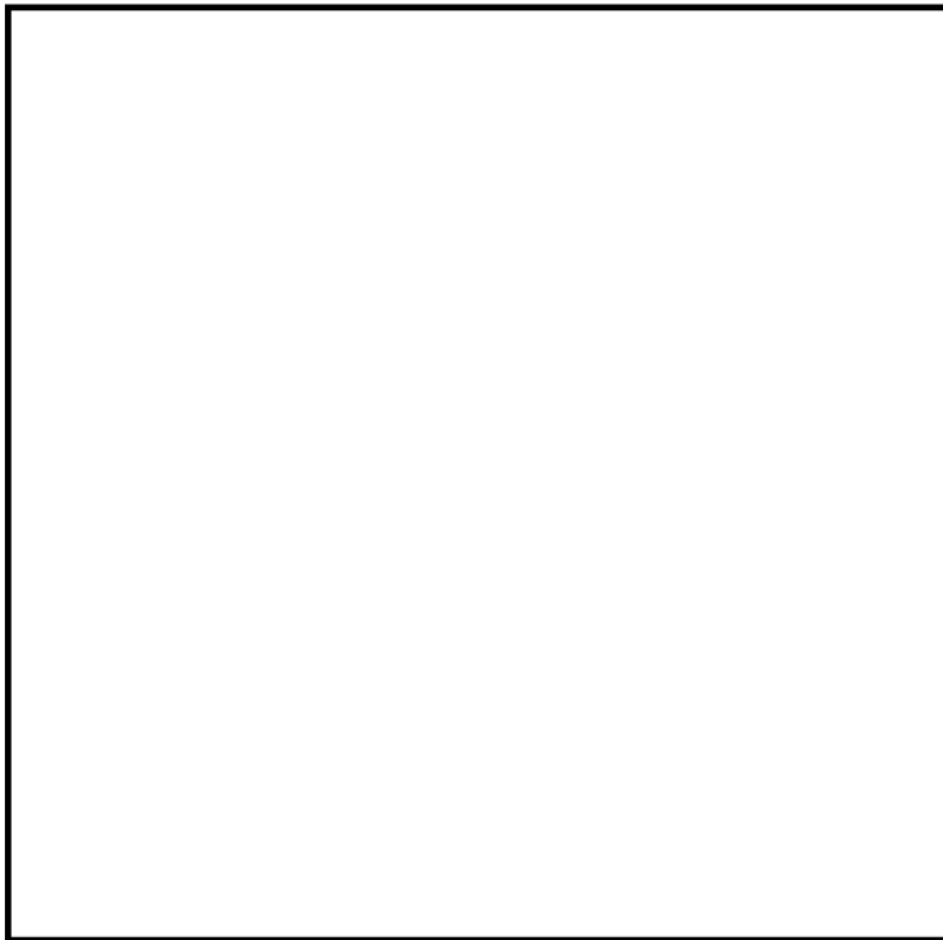
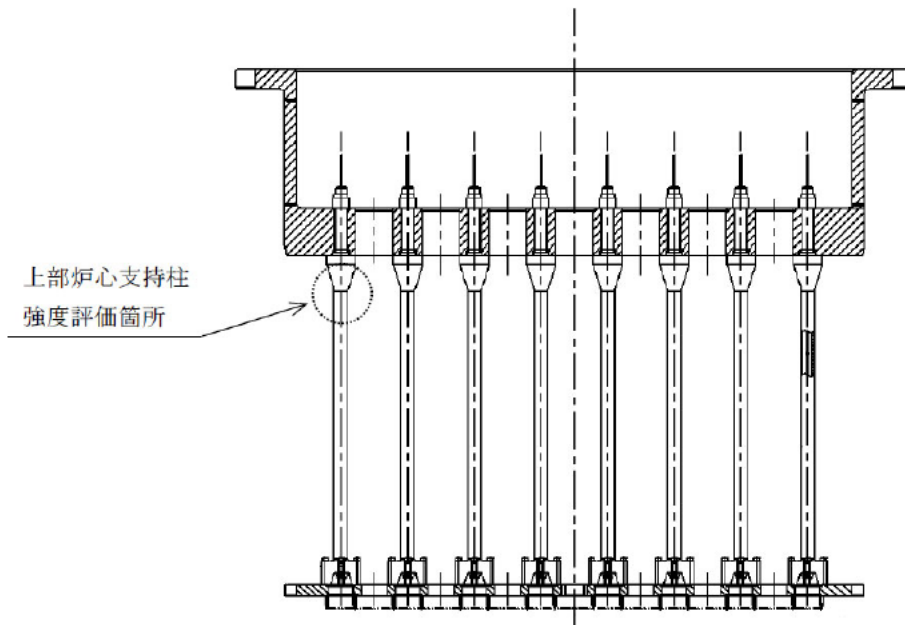
上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

最大値		応力強さ (単位：MPa)		繰返し回数		疲労係数 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$
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*	N/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)	116	204000	0.00057
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)	65	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)	776	1140000	0.00068
127.8	-83.5	1.0	105.7 (118.4)	14	7570000	0.00000
127.8	-38.6	1.0	83.2 (93.2)	60	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00254

(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 評価点

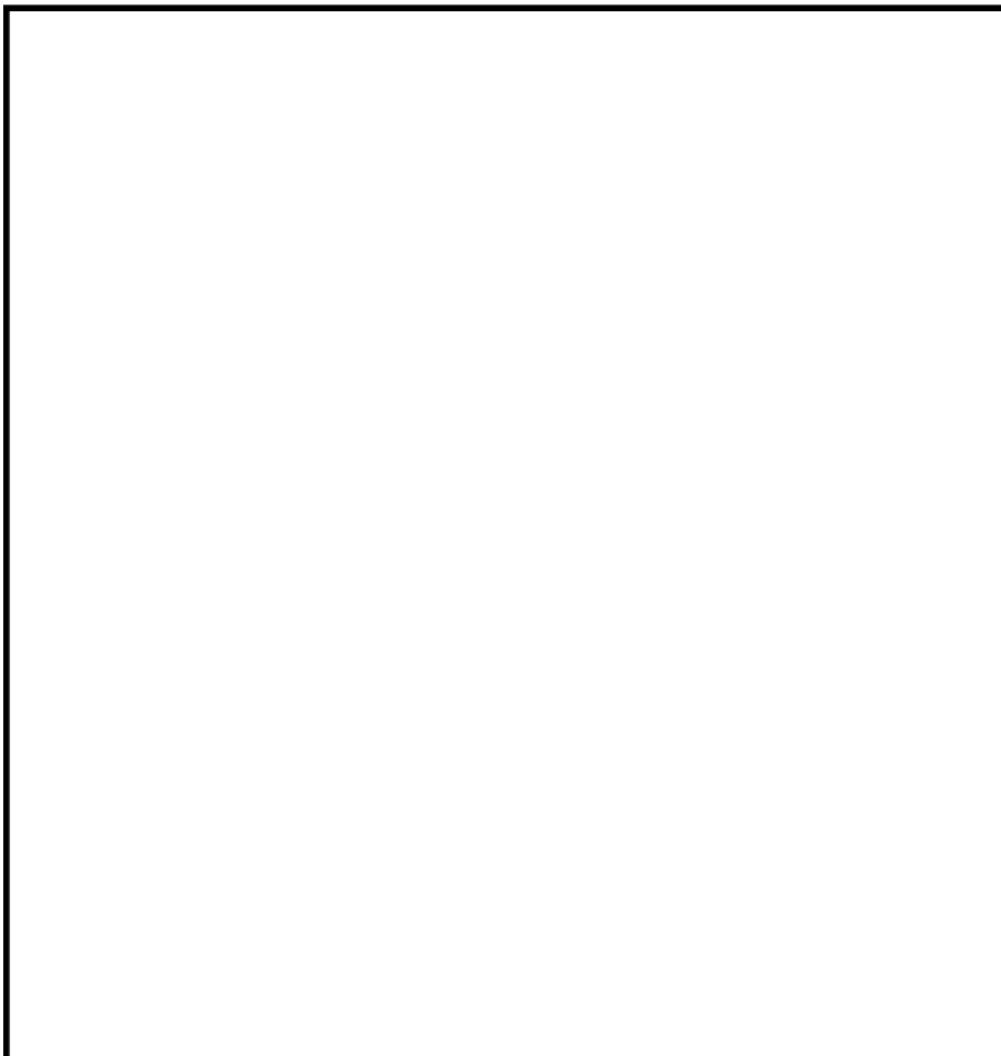
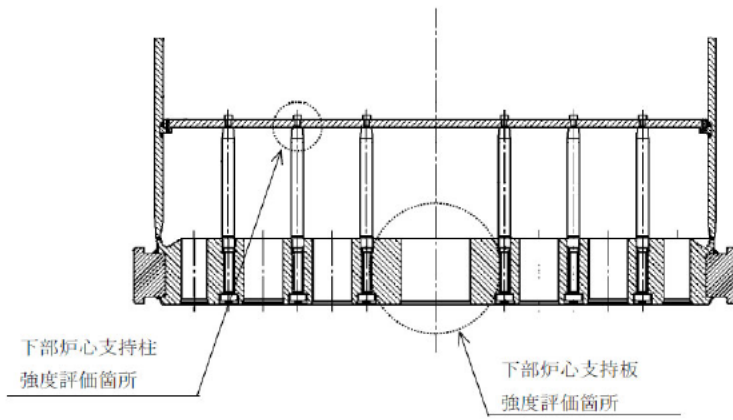
上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点：上端)

応力強さ (単位：MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
0.0	-512.7	1.0	256.3 (287.3)	4	88600	0.00005
0.0	-362.2	1.0	181.1 (203.0)	132	726000	0.00018
-82.8	-362.2	1.0	139.7 (156.6)	6	2020000	0.00000
-84.9	-362.2	1.0	138.7 (155.4)	14	2080000	0.00001
-207.3	-362.2	1.0	77.5 (86.8)	14	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00024

(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

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：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*	
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)	65	795000	0.00008
340.9	0.0	1.0	170.5 (187.8)	4	1110000	0.00000
296.8	0.0	1.0	148.4 (163.5)	61	1750000	0.00003
296.8	235.9	1.0	30.4 (33.5)	75	—	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

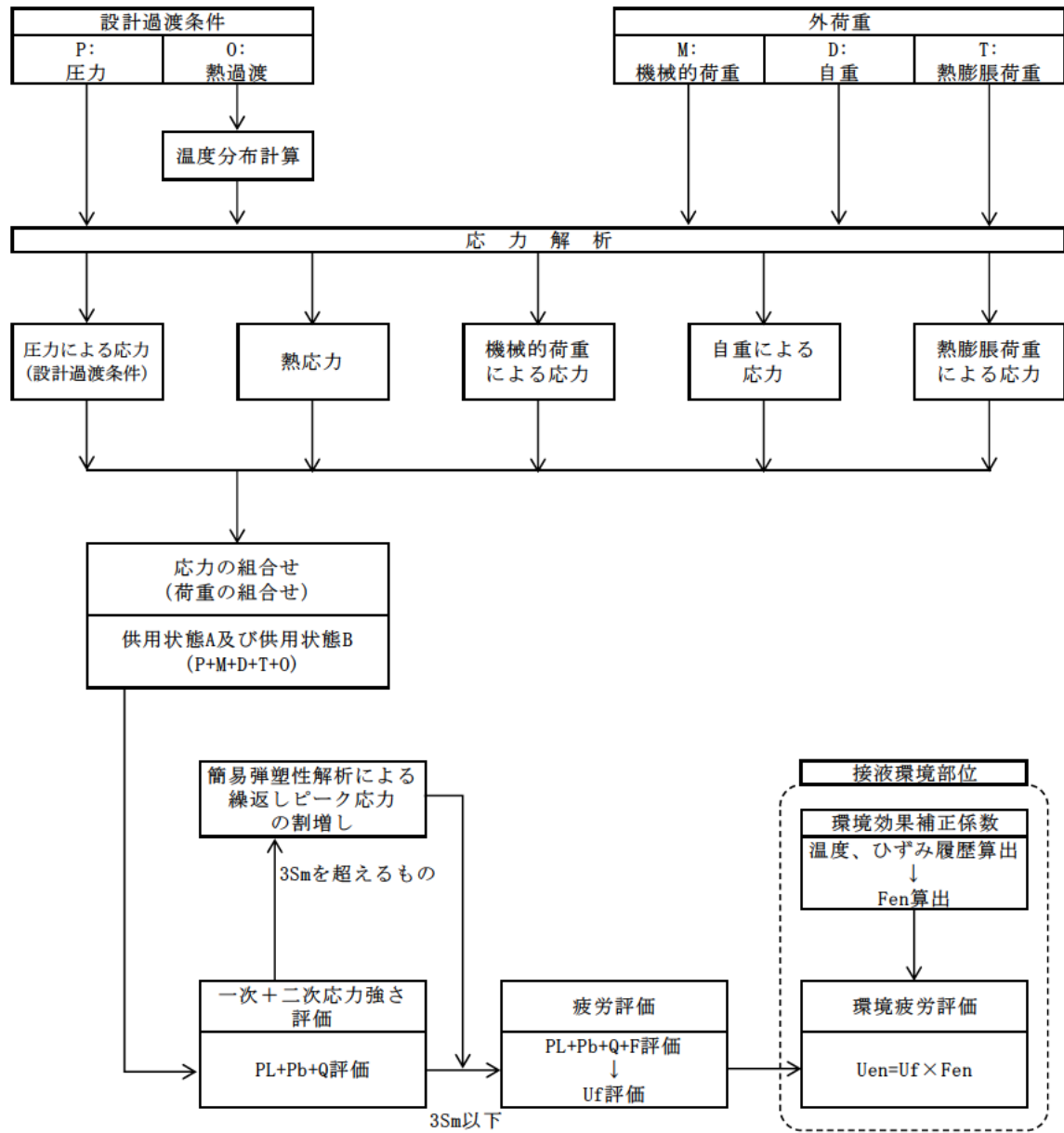
下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

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)	122	81200	0.00150
-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)	65	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00205

(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



備考：圧力、熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		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	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	116	204000	0.00057	12.615	0.00717
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	65	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	776	1140000	0.00068	1.000	0.00068
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	60	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.01936

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ ($salt' \leq 214.5$) の場合、 $fen=1.0$
 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.020

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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	D-1	0.0	-512.7	1.00	256.3	287.3	4	88600	0.00005	6.799	0.00031
NSS	B-1	0.0	-362.2	1.00	181.1	203.0	132	726000	0.00018	1.000	0.00018
F	B-1	-82.8	-362.2	1.00	139.7	156.6	6	2020000	0.00000	1.000	0.00000
E	B-1	-84.9	-362.2	1.00	138.7	155.4	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:											0.00050

(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

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	65	795000	0.00003	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	61	1750000	0.00003	1.000	0.00003
A-2	B-2	296.8	235.9	1.00	30.4	33.5	75	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.02113

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

: 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.022

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	122	81200	0.00150	13.987	0.02101
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	65	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.03031

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

: 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.031

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°C</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°C	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°C																				
下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. A Class1 (SQV1A相当)	184																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡																					



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

加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点および解析モデル

疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00008	0.00000
2	0.0	0.00000	0.0
3	0.0	0.00001	0.00019
4	0.00000	0.00001	0.00182
5	0.00104	0.00000	0.00463
6	0.00105	0.0	0.00184
7	0.14997	0.00000	0.14598
8	0.00174	0.00461	0.03583

許容値 $U_f = 1.0$

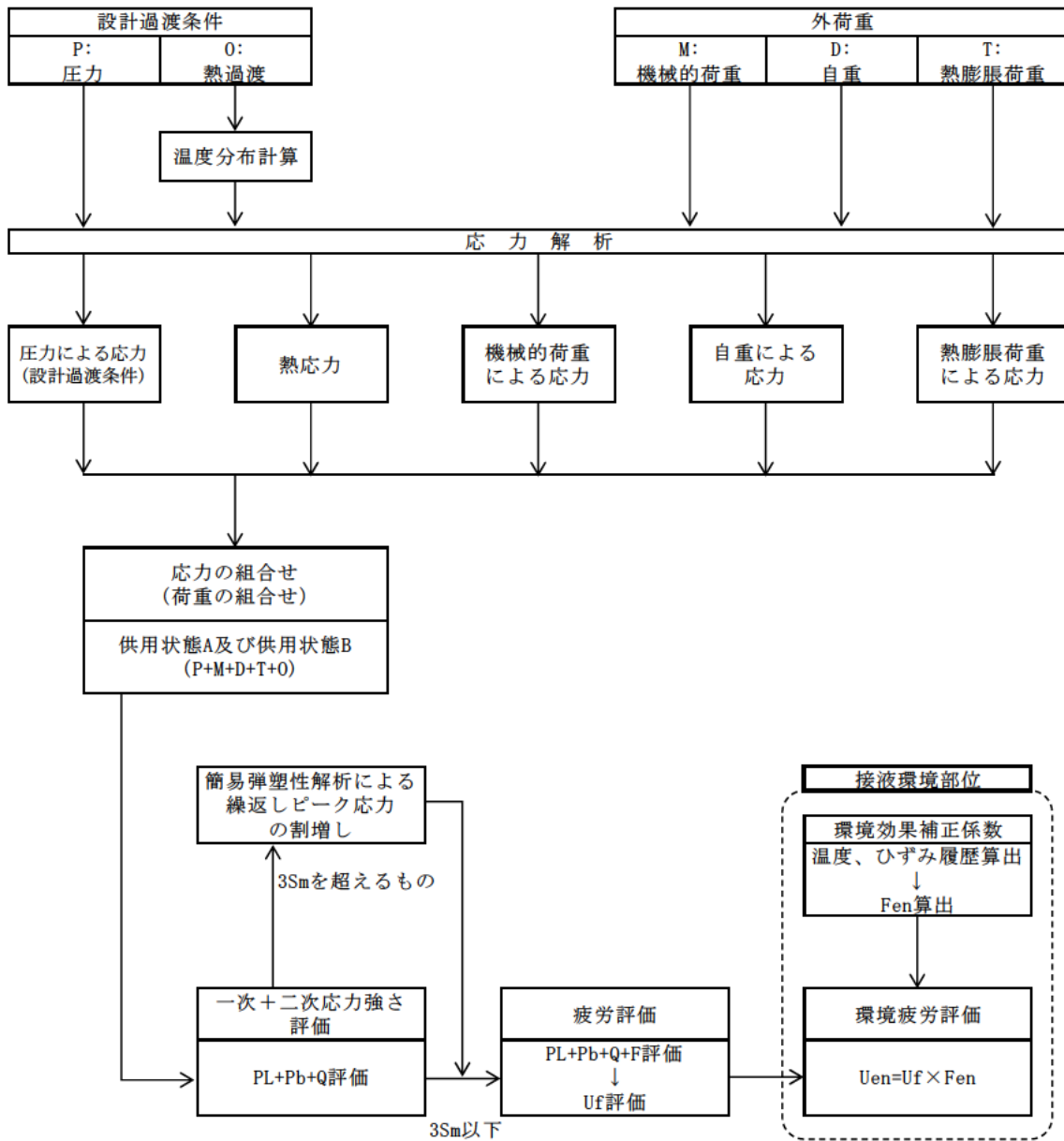
疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

評価点 - 7
(S12)

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
122.8	-698.2	1.33	546.2	635.2	71	734	0.09673
40.1	-643.5	1.0	341.8	397.5	4	2780	0.00144
40.1	-621.6	1.0	330.9	384.8	6	3090	0.00194
40.1	-611.5	1.0	325.8	378.9	2	3240	0.00062
40.1	-607.6	1.0	323.9	376.6	4	3310	0.00121
40.1	-604.7	1.0	322.4	374.9	49	3350	0.01463
0.0	-604.7	1.0	302.3	351.6	136	4120	0.03301
-167.7	-604.7	1.0	218.5	254.1	2	11000	0.00018
-341.4	-604.7	1.0	131.6	153.1	2	60200	0.00003
-432.1	-604.7	1.0	86.3	100.3	65	355000	0.00018
-488.6	-604.7	1.0	58.0	67.5	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.14997

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 : 0.150



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 1347 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 1347 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：SCS13A）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

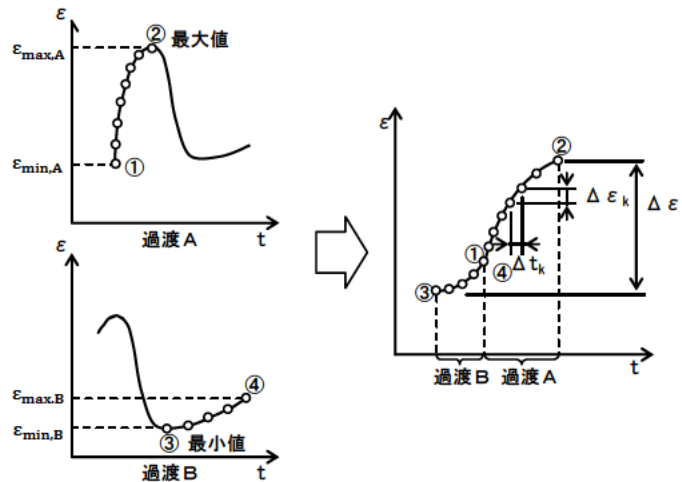
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

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次冷却材ポンプの算出例

① ひずみと温度履歴

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

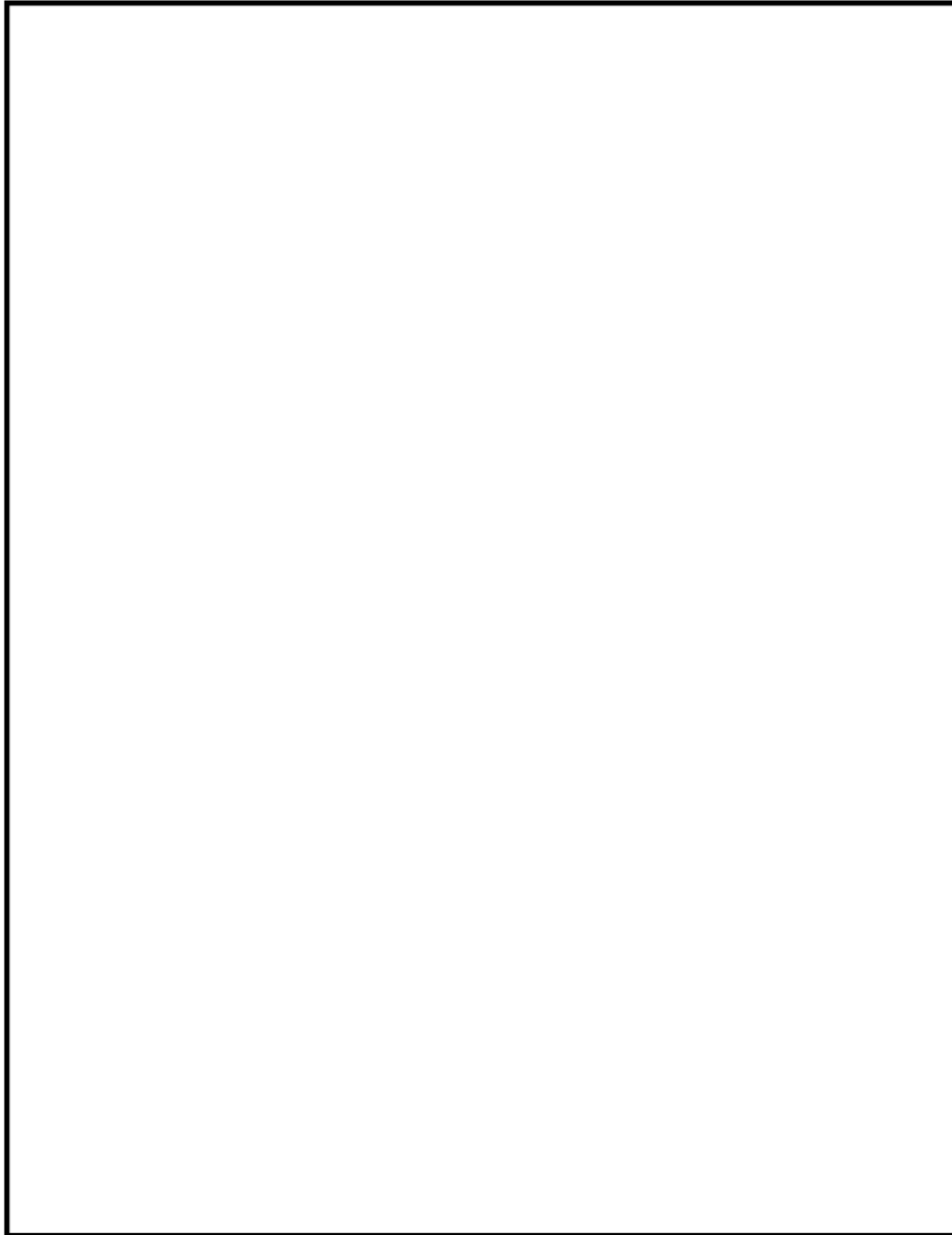


図1 ひずみと温度履歴

② 微小区間 k

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

表1 ひずみ及び温度履歴のデジタル値

詳細評価手法による評価

過渡 A

1 A	1B1	SI	Temp	E	ε	Time
	23	-59.2		178556.		区間 1
	24	-15.8		179560.		
	24	-15.8		179560.		
	25	-8.1		181344.		
	25	-8.1		181344.		
	26	71.6		183780.		
	26	71.6		183780.		
	27	181.4		188008.		
	27	181.4		188008.		
	28	288.7		191016.		
	28	288.7		191016.		
	29	356.1		194933.		

1 B	1A1	SI	Temp	E	ε	Time
	7	-368.6		178556.		
	8	-364.2		178556.		
	8	-364.2		178556.		
	9	-351.0		178556.		
	9	-351.0		178556.		
	10	-338.5		178556.		
	10	-338.5		178556.		
	11	-306.6		178556.		
	11	-306.6		178556.		
	12	-279.7		178556.		
	12	-279.7		178556.		
	13	-250.8		178556.		
	13	-250.8		178556.		
	14	-222.7		178556.		
	14	-222.7		178556.		
	15	-200.4		178556.		
	15	-200.4		178556.		
	16	-169.4		178556.		
	16	-169.4		178556.		
	17	-146.8		178556.		
	17	-146.8		178556.		
	18	-129.8		178556.		
	18	-129.8		178556.		
	19	-107.9		178556.		
	19	-107.9		178556.		
	20	-93.3		178556.		
	20	-93.3		178556.		
	21	-83.2		178556.		
	21	-83.2		178556.		
	22	-76.2		178556.		

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。

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}_1 = 0.686389 \times 10^{-5}$$

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

$$T_1 = \boxed{}$$

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

$$F_{en,1} = e^{(C-\dot{\epsilon}^*) \times T^*} = e^{(3.910 - (-10.1266311)) \times \boxed{}} = 23.114$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta \epsilon_1 = \boxed{} - \boxed{} = 0.02471$$

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

$$F_{en,det,A,1} = F_{en,1} \frac{\Delta \epsilon_1}{(\epsilon_{\max,A} - \epsilon_{\min,A})} = 23.114 \times \frac{0.02471}{\boxed{} - \boxed{}} = 2.642$$

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

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

詳細評価手法による評価

1 A	1B1	SI	Temp	E	ε	Time	ε'	Temp	Fen.k	∫Fen
	23	-59.2		176556.			0.686E-05		23.114	2.642
	24	-15.8		179560.						
	24	-15.8		179560.			0.402E-05		12.555	0.253
	25	-8.1		181344.						
	25	-8.1		181344.			0.201E-04		10.452	2.099
	26	71.6		183780.						
	26	71.6		183780.			0.160E-04		7.252	1.928
	27	181.4		188008.						
	27	181.4		188008.			0.136E-04		3.939	0.806
	28	268.7		191016.						
	28	268.7		191016.			0.121E-04		2.273	0.441
	29	356.1		194933.						
									total	8.170
1 B	1A1	SI	Temp	E	ε	Time	ε'	Temp	Fen.k	∫Fen
	7	-368.6		176556.			0.212E-04		23.114	0.342
	8	-364.2		176556.						
	8	-364.2		176556.			0.209E-04		23.114	1.048
	9	-351.0		176556.						
	9	-351.0		176556.			0.197E-04		23.114	0.988
	10	-338.5		176556.						
	10	-338.5		176556.			0.167E-04		23.114	2.519
	11	-306.6		176556.						
	11	-306.6		176556.			0.141E-04		23.114	2.128
	12	-279.7		176556.						
	12	-279.7		176556.			0.114E-04		23.114	2.283
	13	-250.8		176556.						
	13	-250.8		176556.			0.884E-05		23.114	2.222
	14	-222.7		176556.						
	14	-222.7		176556.			0.702E-05		23.114	1.764
	15	-200.4		176556.						
	15	-200.4		176556.			0.488E-05		23.114	2.451
	16	-169.4		176556.						
	16	-169.4		176556.			0.355E-05		23.114	1.786
	17	-146.8		176556.						
	17	-146.8		176556.			0.268E-05		23.114	1.348
	18	-129.8		176556.						
	18	-129.8		176556.			0.172E-05		23.114	1.730
	19	-107.9		176556.						
	19	-107.9		176556.			0.115E-05		23.114	1.158
	20	-93.3		176556.						
	20	-93.3		176556.			0.790E-06		23.114	0.794
	21	-83.2		176556.						
	21	-83.2		176556.			0.551E-06		23.114	0.554
	22	-76.2		176556.						
									total	23.114

以上より、過渡 A および過渡 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。

$$\begin{aligned}
 F_{en,det} &= \frac{F_{en,det,A} \times (\varepsilon_{max,A} - \varepsilon_{min,A}) + F_{en,det,B} \times (\varepsilon_{max,B} - \varepsilon_{min,B})}{(\varepsilon_{max,A} - \varepsilon_{min,A}) + (\varepsilon_{max,B} - \varepsilon_{min,B})} \\
 &= \frac{8.170 \times (\quad - \quad) + 23.114 \times ((\quad) - (\quad))}{\quad - (\quad) + ((\quad) - \quad)} \\
 &= 14.651
 \end{aligned}$$

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

表2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
1B1	1A1	356.1	-368.6	1.84	666.7	735.8	71	1440	0.04931	14.651	0.72237
2I2	2I1	262.9	-317.1	1.52	439.4	485.0	65	6820	0.00953	7.607	0.07250
2D3	2B1	215.1	-162.3	1.00	188.7	208.3	2	605000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2B1	108.7	-162.3	1.00	135.5	149.6	2	2460000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	101.0	-150.6	1.00	125.8	138.9	6	3400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2E1	101.0	-122.0	1.00	111.5	123.0	2	6030000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	101.0	-92.8	1.00	96.9	106.9	4	16800000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1B1	46.1	-59.2	1.84	96.9	106.9	71	16800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	101.0	-84.1	1.00	92.5	102.1	2	30700000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	101.0	-83.2	1.00	92.1	101.7	2	33000000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	101.0	-82.6	1.00	91.8	101.4	6	34600000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	101.0	-80.6	1.00	90.8	100.2	2	41300000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	101.0	-78.9	1.00	90.0	99.3	38	47700000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	34.6	-71.3	1.52	80.3	88.6	65	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.79488

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

→環境 UF: 0.795

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



FEM 解析値

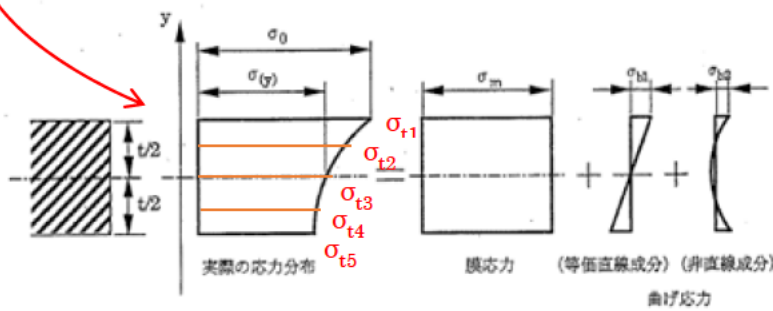
- $\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
- $\sigma_{r 1}$ 板厚方向応力
- $\sigma_{t 1}$ 軸方向応力

軸方向応力の抽出例

- $\sigma_{t 1}$
- $\sigma_{t 2}$
- $\sigma_{t 3}$
- $\sigma_{t 4}$
- $\sigma_{t 5}$

- $\sigma_{\theta 2}$
- $\sigma_{r 2}$
- $\sigma_{t 2}$
-
-
-
- $\sigma_{\theta 5}$
- $\sigma_{r 5}$
- $\sigma_{t 5}$

2005 設計・建設規格 第1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	高浜 3 号炉の高経年化評価との相違点について
説明	<p>高浜 3 号炉と 4 号炉の高経年化技術評価（低サイクル疲労）における差異を以下に示す。</p> <p>1. 評価対象設備の差</p> <p>①対象設備の差 なし。</p> <p>②設備仕様の差 なし。</p> <p>2. 評価手法の差 なし。</p> <p>3. 評価条件の差 全機器共通の差異として 60 年時点における過渡回数が異なる。添付 1 に運転開始後 60 年時点の過渡回数の相違点を示す。 また、一部機器において、構造および外荷重条件に差異がある。詳細は表 1、表 2 に示す。</p> <p>4. 評価結果の差 疲労累積係数の比較を表 1、表 2 に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>

表1 原子炉容器の疲労評価結果の比較

評価対象部位	疲労累積係数 (()内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異
	3号炉	4号炉	
冷却材入口管台	0.037 (0.001)	0.039 (0.001)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過渡回数 ・ 外荷重条件 (冷却材入口管台、冷却材出口管台および炉内計装筒) ・ 構造 (冷却材入口管台および冷却材出口管台)が異なる ・ 疲労評価点 (冷却材出口管台)
冷却材出口管台	0.045 (0.001)	0.043 (0.001)	
蓋用管台	0.110 (0.001)	0.122 (0.001)	
空気抜用管台	0.013 (0.001)	0.014 (0.002)	
炉内計装筒	0.116 (0.002)	0.120 (0.002)	
上部蓋および上部胴フランジ	0.008	0.008	
下部胴・下部鏡接続部	0.005	0.005	
炉心支持金物	0.006 (0.001)	0.006 (0.001)	
スタッドボルト	0.363	0.372	

表 2(1/3) 代表機器以外の疲労評価結果の比較

評価対象機器、部位			疲労累積係数 (()内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異
			3号炉	4号炉	
ポンプ	余熱除去ポンプ	ケーシング	0.025 (0.079)	0.026 (0.082)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
	1次冷却材ポンプ	ケーシング吸込ノズル	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		ケーシング吐出ノズル	0.099 (0.763)	0.103 (0.795)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		ケーシング脚部	0.101 (0.763)	0.105 (0.796)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
熱交換器	再生熱交換器	管板部	0.038 (0.048)	0.038 (0.048)	・ 過渡回数
	余熱除去冷却器	管板部	0.051 (0.072)	0.053 (0.074)	・ 過渡回数
	蒸気発生器	管板まわり	0.139 (0.150)	0.142 (0.151)	・ 過渡回数
		給水入口管台	0.158 (0.525)	0.163 (0.513)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件 ・ 疲労評価点
容器	加圧器	スプレイライン用管台	0.061 (0.034)	0.063 (0.034)	・ 過渡回数
		サージ用管台	0.038 (0.215)	0.040 (0.199)	・ 過渡回数
	機械ペネトレーション	余熱除去出口配管貫通部端板	0.001	0.001	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		主蒸気管貫通部伸縮継手	0.024	0.024	・ 過渡回数
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口第2隔離弁」	0.001 (0.020)	0.001 (0.020)	・ 過渡回数 ・ 構造（配管長さ、サポート位置）が異なる
		余熱除去系統入口配管 「余熱除去ポンプ入口第2隔離弁～原子炉格納容器貫通部」	0.001 (0.007)	0.004 (0.026)	・ 過渡回数 ・ 構造（配管長さ、サポート位置）が異なる

表 2(2/3) 疲労累積係数の比較一覧

評価対象機器、部位		疲労累積係数 (() 内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異	
		3号炉	4号炉		
配管	ステンレス鋼配管	加圧器サージ配管	0.008 (0.004)	0.007 (0.004)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
		加圧器スプレイ配管	0.011 (0.476)	0.011 (0.503)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
	炭素鋼配管	主給水系統配管 「原子炉格納容器貫通部～蒸気発生器 給水管台」	0.014 (0.065)	0.016 (0.075)	・ 過渡回数 ・ 構造 (配管長さ、サポート位置) が異なる
	1次冷却材管	ホットレグ	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	・ 過渡回数 ・ 蒸気発生器入口 50° エルボにおける構造 (配管長さ) およ び材質が異なる ・ 外荷重条件
		クロスオーバーレグ	0.002 (0.009)	0.002 (0.009)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		コールドレグ	0.001 (0.005)	0.001 (0.005)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		加圧器サージライン用管台	0.030 (0.160)	0.031 (0.165)	・ 過渡回数
		蓄圧タンク注入ライン管台	0.008 (0.030)	0.008 (0.030)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		余熱除去系戻りおよび安全注入管台	0.007 (0.022)	0.008 (0.027)	・ 過渡回数 ・ 外荷重条件
		充てんライン用管台	0.003 (0.026)	0.003 (0.027)	・ 過渡回数

表 2(3/3) 疲労累積係数の比較一覧

評価対象機器、部位			疲労累積係数 (()内は環境疲労を考慮した値)		評価手法および評価条件の差異
			3号炉	4号炉	
弁	仕切弁	余熱除去ポンプCループ側入口第1隔離弁弁箱	0.004 (0.101)	0.004 (0.101)	・ 過渡回数
	玉形弁	抽出水止め弁弁箱	0.029 (0.396)	0.028 (0.375)	・ 過渡回数
	スイング逆止弁	蓄圧タンク出口第2逆止弁弁箱	0.099 (0.917)	0.100 (0.918)	・ 過渡回数
	リフト逆止弁	加圧器補助スプレイ逆止弁弁箱	0.011 (0.064)	0.011 (0.065)	・ 過渡回数
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	0.003 (0.020)	0.003 (0.020)	・ 過渡回数
		上部炉心支持柱	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	・ 過渡回数
		下部炉心支持板	0.002 (0.022)	0.002 (0.022)	・ 過渡回数
		下部炉心支持柱	0.002 (0.030)	0.003 (0.031)	・ 過渡回数
重機器サポート	加圧器	加圧器スカート溶接部	0.145	0.150	・ 過渡回数

高浜 3 号炉と 4 号炉の運転開始後 60 年時点の過渡回数の相違点

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

表 3 過渡回数算出条件の相違点

項目		高浜 3 号炉	高浜 4 号炉	備考
①	実績過渡回数	表 4 参照 ※実績調査期間： 1985. 1. 17 ～ 2020. 3. 31	表 4 参照 ※実績調査期間： 1985. 6. 5 ～ 2020. 3. 31	いずれも試運転の実績過渡回数を含む。
②	推定過渡回数の算出に用いる残年数	24. 8 年 (2020. 4. 1 ～ 2045. 1. 16)	25. 2 年 (2020. 4. 1 ～ 2045. 6. 4)	残年数は保守的に丸めて設定している。

表 4(1/3) 原子炉容器の過渡回数の比較

(未取替機器 (上部蓋、蓋管台、空気抜管台、およびスタッドボルトを除く))

運転状態 I

過渡項目	高浜 3 号炉		高浜 4 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	35	68	35	71
停止 (温度下降率55.6℃/h)	35	68	34	71
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	317	801	308	800
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	306	790	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	4	6	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	4	6	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-	-	-
燃料交換	24	62	24	62
0%から15%への負荷上昇	41	75	35	66
15%から0%への負荷減少	30	63	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動				
I) 停止	0	2	0	2
II) 起動	0	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	高浜 3 号炉		高浜 4 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
負荷の喪失	4	6	4	6
外部電源喪失	1	4	1	4
1 次冷却材流量の部分喪失	0	2	0	2
100%からの原子炉トリップ				
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	5	3	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2	0	2
1 次冷却系の異常な減圧	0	2	0	2
制御棒クラスタの落下	1	3	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2	0	2
1 次冷却系停止ループの誤起動	0	2	0	2
タービン回転試験	3	3	3	3
1 次系漏えい試験	31	63	31	65

*1: 設計評価においては、1 次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1 次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表 4(2/3) 原子炉容器の過渡回数の比較
(取替機器 (上部蓋、蓋管台、空気抜管台))

運転状態 I

過渡項目	高浜 3 号炉		高浜 4 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	7	40	10	46
停止 (温度下降率55.6℃/h)	7	40	9	46
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	65	549	68	560
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	65	549	67	559
90%から100%へのステップ状負荷上昇	0	2	0	2
100%から90%へのステップ状負荷減少	0	2	0	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	0	2	0	2
定常負荷運転時の変動*1	-	-	-	-
燃料交換	5	43	6	44
0%から15%への負荷上昇	7	41	7	38
15%から0%への負荷減少	7	40	6	36
1 ループ停止 / 1 ループ起動				
I) 停止	0	2	0	2
II) 起動	0	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	高浜 3 号炉		高浜 4 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
負荷の喪失	0	2	0	2
外部電源喪失	0	3	0	3
1 次冷却材流量の部分喪失	0	2	0	2
100%からの原子炉トリップ				
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	0	2	1	4
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2	0	2
1 次冷却系の異常な減圧	0	2	0	2
制御棒クラスタの落下	0	2	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2	0	2
1 次冷却系停止ループの誤起動	0	2	0	2
タービン回転試験	0	0	0	0
1 次系漏えい試験	7	39	9	43

*1: 設計評価においては、1 次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1 次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

表 4(3/3) 原子炉容器の過渡回数の比較
(スタッドボルト)

運転状態 I

過渡項目	高浜 3 号炉		高浜 4 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
起動 (温度上昇率55.6°C/h)	37	72	37	75
停止 (温度下降率55.6°C/h)	37	72	35	75
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	317	801	308	800
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	306	790	298	790
90%から100%へのステップ状負荷上昇	4	6	3	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	4	6	3	5
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	4	2	4
定常負荷運転時の変動*1	-	-	-	-
燃料交換	24	62	24	62
0%から15%への負荷上昇	41	75	35	66
15%から0%への負荷減少	30	63	25	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動				
I) 停止	0	2	0	2
II) 起動	0	2	0	2

運転状態 II

過渡項目	高浜 3 号炉		高浜 4 号炉	
	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値	2019年度末 時点	運転開始後 60年時点の 推定値
負荷の喪失	4	6	4	6
外部電源喪失	1	4	1	4
1 次冷却材流量の部分喪失	0	2	0	2
100%からの原子炉トリップ				
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	3	5	3	6
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	0	2	0	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	0	2	0	2
1 次冷却系の異常な減圧	0	2	0	2
制御棒クラスタの落下	1	3	0	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	0	2	0	2
1 次冷却系停止ループの誤起動	0	2	0	2
タービン回転試験	3	3	3	3
1 次系漏えい試験	34	69	33	70

*1: 設計評価においては、1 次冷却材温度 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 、1 次冷却材圧力 $\pm 0.34\text{MPa}$ ($\pm 3.5\text{kg/cm}^2$) の変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。

タイトル	高浜 4 号炉 制御棒クラスタの落下による原子炉トリップの影響について																																
説明	<p>2023年1月、高浜 4 号炉において、制御棒クラスタ落下に伴う原子炉トリップが発生したため、劣化状況評価の原子炉容器の低サイクル疲労評価に用いている過渡「制御棒クラスタの落下」を基に評価結果への影響確認を行った。</p> <p>表 1 に、原子炉容器の低サイクル疲労評価に用いている過渡「制御棒クラスタの落下」を 1 回増加させた場合の疲労評価結果への影響確認結果を示す。 結果、疲労累積係数(Uf)に対して小数点以下 4 桁目程度の僅かな影響であることを確認した。</p> <p>表 1 原子炉容器疲労評価に対する過渡「制御棒クラスタの落下」の影響確認結果</p> <table border="1" data-bbox="421 770 1402 1305"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価対象部位</th> <th colspan="2">過渡「制御棒クラスタの落下」1 回増に対する 疲労累積係数への影響</th> </tr> <tr> <th>設計・建設規格 による解析</th> <th>環境疲労評価手法 による解析</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>冷却材入口管台</td> <td>疲労限以下</td> <td>2.1×10^{-10} (*1)</td> </tr> <tr> <td>冷却材出口管台</td> <td>疲労限以下</td> <td>0.6×10^{-4} (*1)</td> </tr> <tr> <td>蓋用管台</td> <td>0.1×10^{-4}</td> <td>疲労限以下 (*1)</td> </tr> <tr> <td>空気抜用管台</td> <td>1.4×10^{-4}</td> <td>0.1×10^{-4} (*1)</td> </tr> <tr> <td>炉内計装筒</td> <td>2.9×10^{-7}</td> <td>疲労限以下 (*1)</td> </tr> <tr> <td>上部蓋及び上部胴フランジ</td> <td>疲労限以下</td> <td>— (*2)</td> </tr> <tr> <td>下部胴・下部鏡接続部</td> <td>疲労限以下</td> <td>— (*2)</td> </tr> <tr> <td>炉心支持金物</td> <td>疲労限以下</td> <td>疲労限以下 (*1)</td> </tr> <tr> <td>スタッドボルト</td> <td>0.8×10^{-4}</td> <td>— (*2)</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1：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。 *2：非接液部 ■：疲労累積係数の影響最大箇所</p> <p>なお、今回の制御棒クラスタ落下に伴う原子炉トリップの実績を考慮しても、運転開始後60年時点の推定値は劣化状況評価で想定した 2 回を超えないことを確認した。</p> <p>1回^{注1)} + 1/32.4回/年^{注2)} × 22.4年(残りの年数) = 1.69回 < 2回(評価用回数) 注1) 2023年1月末までの実績 注2) 2023年1月末までの実績 ÷ 2023年1月末までの年数(長期停止期間(2011年8月から2016年1月までおよび2016年8月から2017年4月まで)を除く)</p> <p style="text-align: right;">以上</p>	評価対象部位	過渡「制御棒クラスタの落下」1 回増に対する 疲労累積係数への影響		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	疲労限以下	2.1×10^{-10} (*1)	冷却材出口管台	疲労限以下	0.6×10^{-4} (*1)	蓋用管台	0.1×10^{-4}	疲労限以下 (*1)	空気抜用管台	1.4×10^{-4}	0.1×10^{-4} (*1)	炉内計装筒	2.9×10^{-7}	疲労限以下 (*1)	上部蓋及び上部胴フランジ	疲労限以下	— (*2)	下部胴・下部鏡接続部	疲労限以下	— (*2)	炉心支持金物	疲労限以下	疲労限以下 (*1)	スタッドボルト	0.8×10^{-4}	— (*2)
評価対象部位	過渡「制御棒クラスタの落下」1 回増に対する 疲労累積係数への影響																																
	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	疲労限以下	2.1×10^{-10} (*1)																															
冷却材出口管台	疲労限以下	0.6×10^{-4} (*1)																															
蓋用管台	0.1×10^{-4}	疲労限以下 (*1)																															
空気抜用管台	1.4×10^{-4}	0.1×10^{-4} (*1)																															
炉内計装筒	2.9×10^{-7}	疲労限以下 (*1)																															
上部蓋及び上部胴フランジ	疲労限以下	— (*2)																															
下部胴・下部鏡接続部	疲労限以下	— (*2)																															
炉心支持金物	疲労限以下	疲労限以下 (*1)																															
スタッドボルト	0.8×10^{-4}	— (*2)																															