

玄海原子力発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	QGN3-PLM30-疲労
提出年月日	2023 年 4 月 20 日

玄海原子力発電所 3 号炉
高経年化技術評価
(低サイクル疲労)

補足説明資料

2023 年 4 月 20 日
九州電力株式会社

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

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3.1 評価対象	3
3.2 評価手法	4
4. 代表機器の技術評価	5
4.1 健全性評価	5
4.2 現状保全	16
4.3 総合評価	17
4.4 高経年化への対応	17
5. 代表機器以外の技術評価	18
5.1 健全性評価	18
5.2 現状保全	20
5.3 総合評価	21
5.4 高経年化への対応	21
6. まとめ	22
6.1 審査ガイド適合性	22
6.2 長期施設管理方針として策定する事項	23

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

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 82 条第 1 項の規定に基づき実施した、運転を断続的に行うことを前提とした高経年化技術評価のうち、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による影響について、これまでの運転実績をもとに疲労割れの発生の有無について評価を実施した。

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「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」及び「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の要求事項を満たすことを確認することである。

低サイクル疲労についての要求事項を表 1 に整理する。

表1 低サイクル疲労についての要求事項

ガイド	要求事項
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>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>イ 実用炉規則第82条第1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60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。）</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>

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。

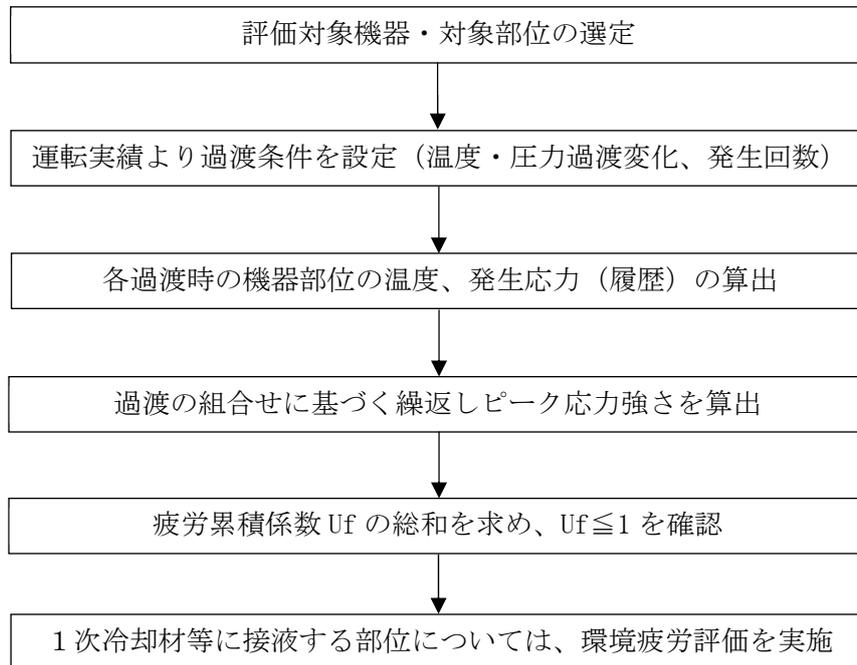


図1 低サイクル疲労の技術評価フロー

(2) 適用規格・基準

低サイクル疲労の評価に用いた規格・基準及び評価手法を以下に示す。

- ① 「日本原子力学会 原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008（AESJ-SC-P005：2008）」（以下、「実施基準」という。）
- ② 「日本機械学会 設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）」（以下、「設計・建設規格」という。）
（一部の部位は設計・建設規格（JSME S NC1-2012）に基づき評価）
- ③ 「日本機械学会 環境疲労評価手法（JSME S NF1-2009）」（以下、「環境疲労評価手法」という。）

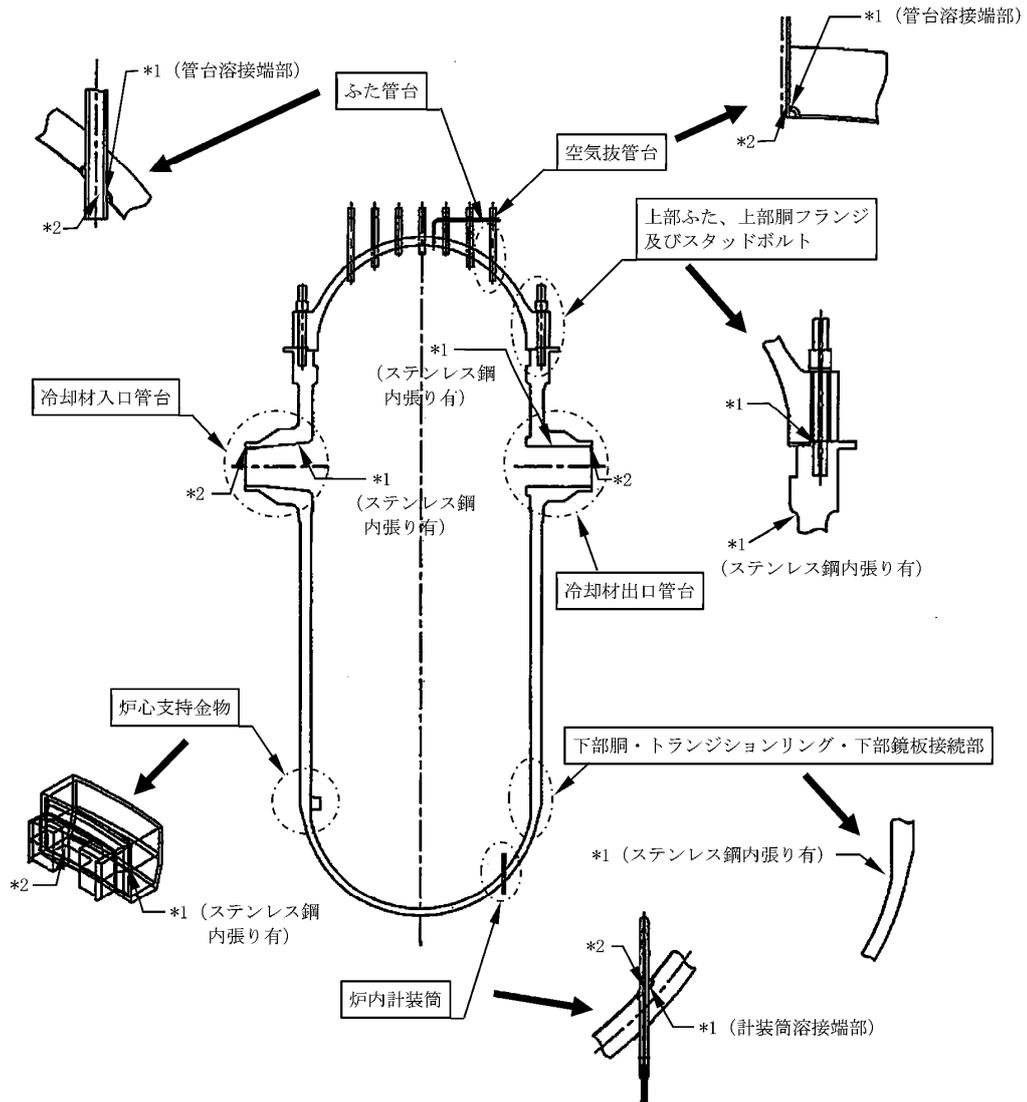
4. 代表機器の技術評価

4.1 健全性評価

(1) 原子炉容器

a. 評価対象部位の選定

原子炉容器の評価対象部位を図2に、選定理由を表2に示す。



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

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

図2 原子炉容器の疲労評価対象部位

表2 評価対象部位の選定理由

	評価対象部位	選定理由
原子炉容器	冷却材入口管台	建設時工認評価部位
	冷却材出口管台	建設時工認評価部位
	ふた管台	原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位
	空気抜管台	原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位
	炉内計装筒	建設時工認評価部位
	上部ふた	原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位
	上部胴フランジ	建設時工認評価部位
	下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部	建設時工認評価部位
	炉心支持金物	建設時工認評価部位
	スタッドボルト	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2018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、実績過渡回数及び年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱いを図4に、疲労評価に用いた過渡回数を表4に示す。

具体的には以下に示す計算方法に基づき未取替機器（上部ふた、ふた管台及び空気抜管台を除く）、取替機器（上部ふた、ふた管台及び空気抜管台）の2種の過渡回数を設定する。

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

① 未取替機器

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

② 取替機器（上部ふた、ふた管台及び空気抜管台）

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

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 [] とする。
4	起動・停止 (温度上昇・下降率 55.6°C/h)	起動・停止回数が異なる場合は、保守側に回数が多い方に設定した。 なお、過渡変化率は、評価上最も厳しい設計過渡条件としており、十分保守的な値を設定した。
5	燃料交換	計算上は 0.70 回/年であるが、 [] とする。
6	タービン回転試験	プラント建設時の機能試験に係る過渡のため、今後は発生しない。
7	取替機器の実績過渡	原子炉容器上部ふたは第 17 回定検 (2023 年度) の取替予定、2023 年 6 月から供用開始と仮定する。 なお、2018 年度末までの実績過渡で評価。
8	取替機器の平均過渡回数について	平均過渡回数は未取替機器と同様(スタッドボルトの起動・停止及び 1 次系漏洩試験を除く)とする。
9	試運転の実績過渡回数	実績過渡回数に含めるが、試運転過渡事象は試運転時特有のものであり、年平均過渡回数の算定には含めない。
10	長期停止期間中に発生した過渡の扱い	実績過渡回数に含めるが、長期停止期間中の過渡は特有のものであり、年平均過渡回数の算定には含めない。
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 (2018 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。玄海 3 号炉については、1.5 とする。

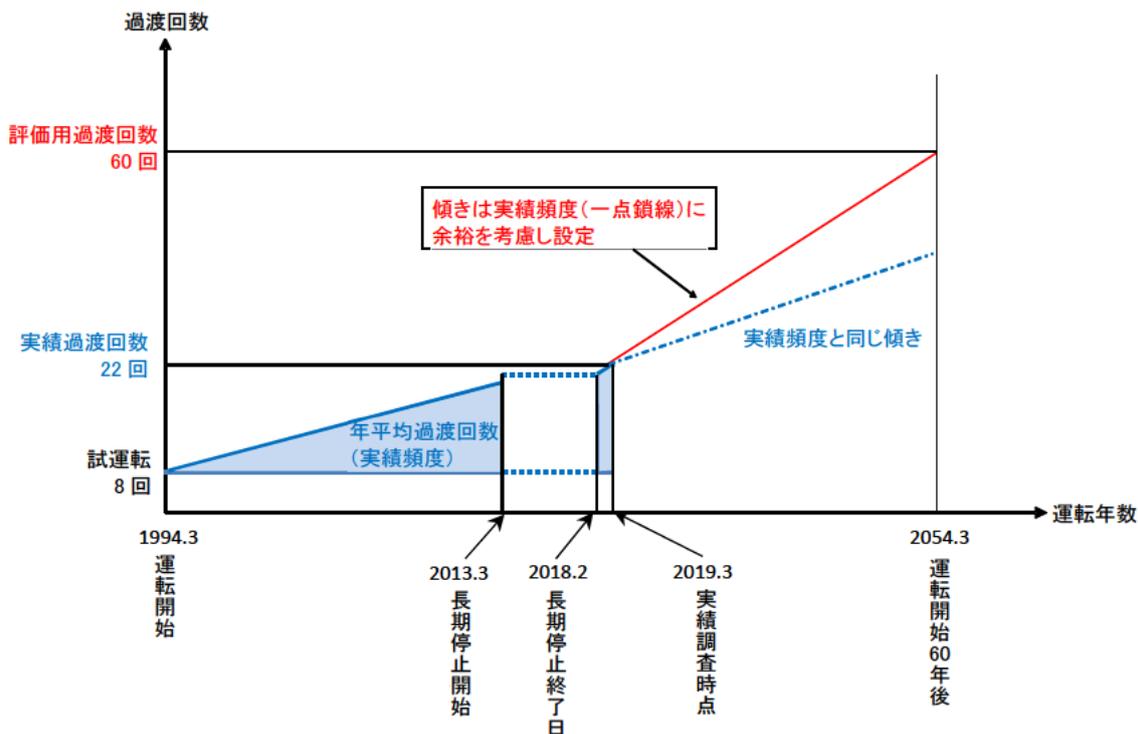


図3 評価用過渡回数の略式図(「停止」の例)

	営業運転 開始時点 1994. 3. 18		現時点 (実績調査 時点) 2019. 3. 31	運転開始後 60年時点 2054. 3. 17
実際の 運転状況	通常の 断続運転	13回定検	通常の 断続運転	
評価上の 取扱い	①	②	①	③
<p>① 通常の断続運転状態の期間であるため、この期間に発生した過渡の回数を実績値としてカウントするとともに、年平均過渡回数の算出に考慮している。</p> <p>② 評価上、長期停止期間として扱うため、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 実績過渡回数及び年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱い

表 4(1/2) 未取替機器（上部ふた、ふた管台及び空気抜管台を除く）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3月末時点	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	23(24)*3	60(63)*3
停止（温度下降率55.6℃/h）	4、9	22(22)*3	60(63)*3
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3、9	201	884
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3、9	193	876
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2、9	2	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	2、9	2	4
100%からの大きいステップ状負荷減少	2、9	1	4
定常負荷運転時の変動*1	1	—	—
燃料交換	5、9	15	68
0%から15%への負荷上昇	9	24	64
15%から0%への負荷減少	9	17	57
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3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値
負荷の喪失	2、9	4	7
外部電源喪失	2、9	1	5
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	2、9	1	8
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	6	6
1次系漏えい試験	9	21	59(61)*3

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側±2.4℃、1次冷却材圧力+0.39MPa、-0.29MPa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11、12は記載省略。

*3：（ ）内はスタッドボルトの過渡回数を示す。

表 4(2/2) 取替機器（上部ふた、ふた管台及び空気抜管台）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3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3
起動（温度上昇率55.6℃/h）	4	—	32
停止（温度下降率55.6℃/h）	4	—	32
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3	—	601
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3	—	601
90%から100%へのステップ状負荷上昇	—	—	2
100%から90%へのステップ状負荷減少	—	—	2
100%からの大きいステップ状負荷減少	—	—	2
定常負荷運転時の変動*1	1	—	—
燃料交換	5	—	47
0%から15%への負荷上昇	—	—	35
15%から0%への負荷減少	—	—	35
1 ループ停止 / 1 ループ起動			
I) 停止	—	—	2
II) 起動	—	—	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3月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3
負荷の喪失	—	—	2
外部電源喪失	—	—	3
1次冷却材流量の部分喪失	—	—	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	—	—	7
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	—	—	2
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	—	—	2
1次冷却系の異常な減圧	—	—	2
制御棒クラスタの落下	—	—	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	—	—	2
1次冷却系停止ループの誤起動	—	—	2
タービン回転試験	—	—	0
1次系漏えい試験	—	—	34

*1：設計評価においては、1次冷却材温度は高温側±1.4℃、低温側±2.4℃、1次冷却材圧力＋0.39MPa、－0.29MPa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、11、12は記載省略。

*3：運転開始後29年時点（第17回定期検査（2023年度））での上部ふた取替に伴い、プラント運転開始後60年時点での過渡回数としては、上部ふた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31年間の過渡回数とした。

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。

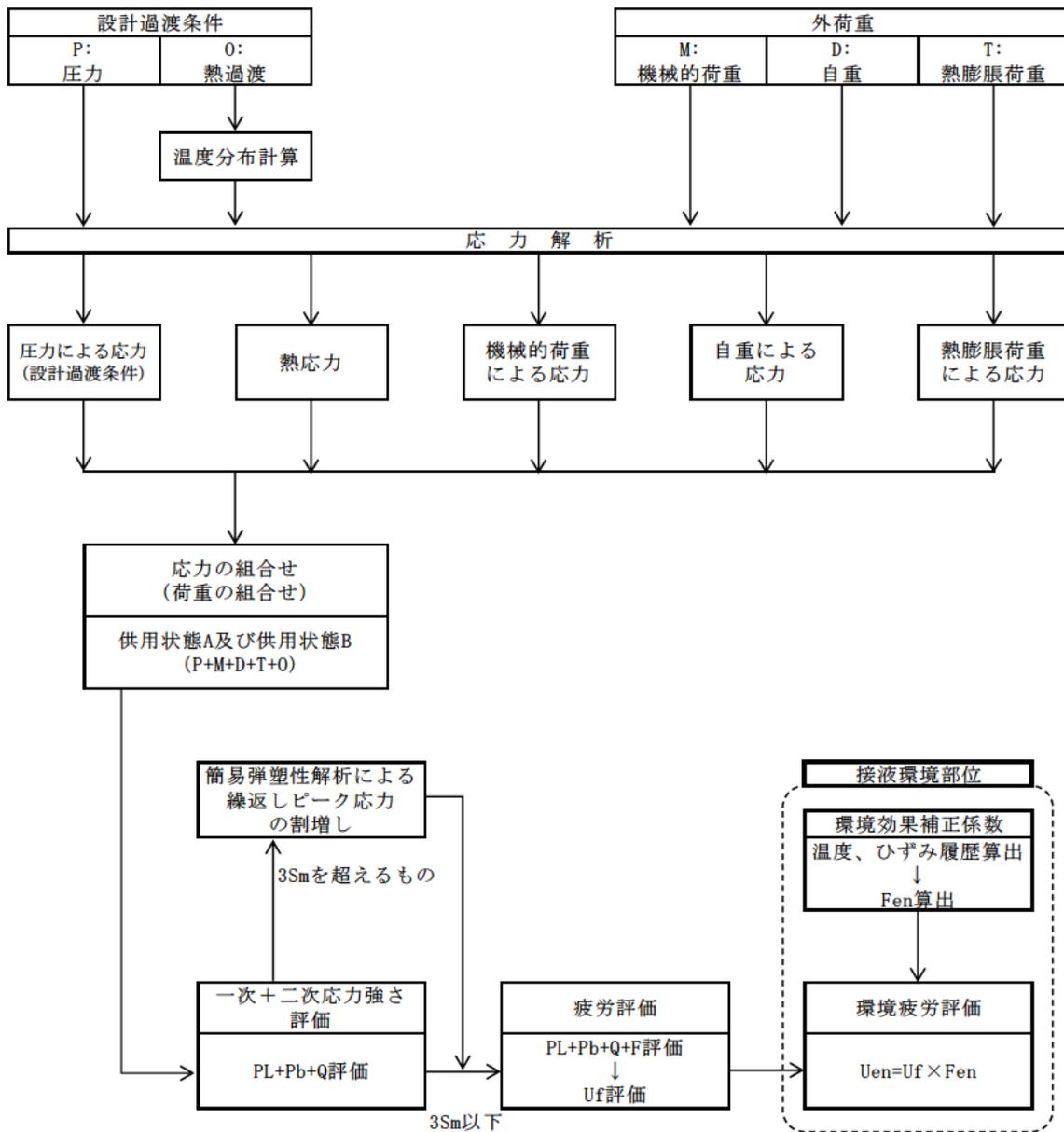


図 5(1/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルトを除く部位)

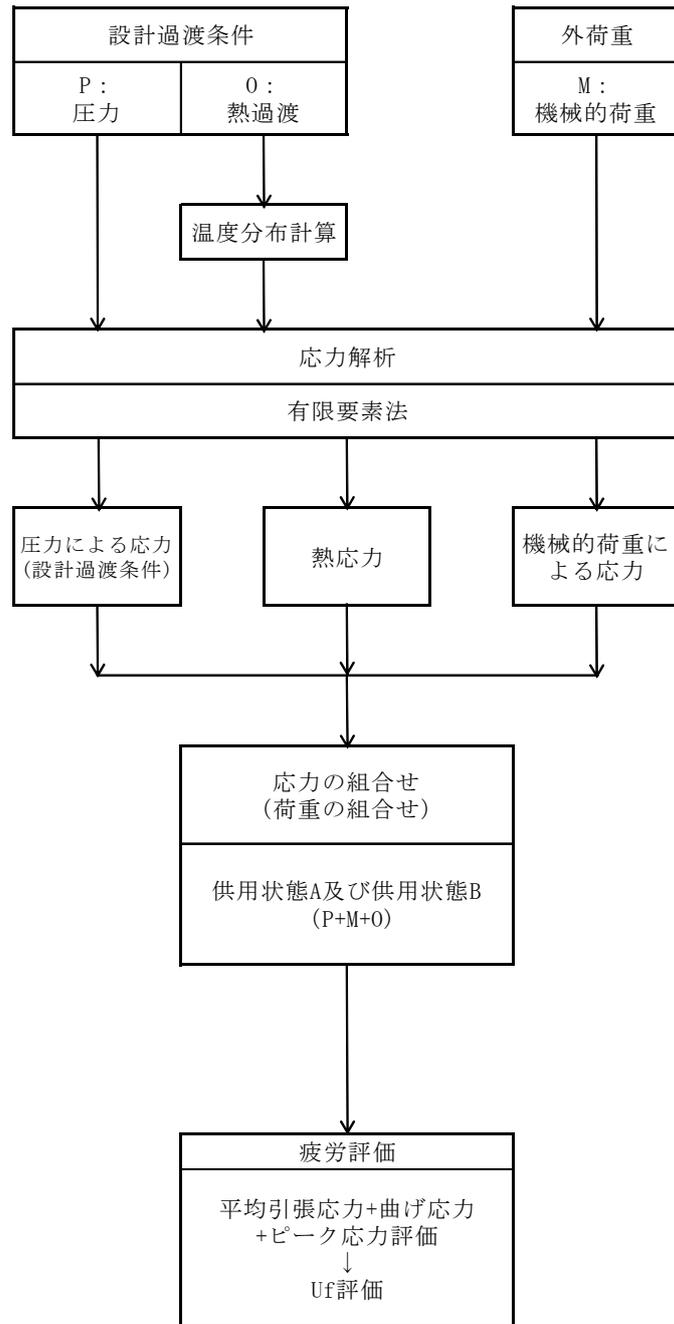


図 5(2/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルト)

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	0.038	0.001 ^{*2}
冷却材出口管台	0.044	0.001 ^{*2}
ふた管台 ^{*1}	0.040	0.001 ^{*2}
空気抜管台 ^{*1}	0.023	0.001 ^{*2}
炉内計装筒	0.462	0.001 ^{*2}
上部ふた ^{*1} 、上部胴フランジ	0.006	— ^{*3}
下部胴・トランジションリング・ 下部鏡板接続部	0.005	— ^{*3}
炉心支持金物	0.005	0.001 ^{*2}
スタッドボルト	0.341	— ^{*3}

*1：第17回定期検査時（2023年度）に上部ふたを取り替えるため、31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。

4.2 現状保全

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

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

なお、低サイクル疲労の予防保全の観点から行っている工事はない。

原子炉容器の供用期間中検査の内容を表6に示す。

表6 原子炉容器の供用期間中検査の内容

部 位	検査部位	検査内容	検査範囲 / 頻度	至近の検査実績	検査結果
冷却材入口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査	100%/10年	①第16回定期検査 ②第15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%/10年	①第16回定期検査 ②第16回定期検査	良
ふた管台	制御棒駆動装置ハウジングの溶接継手	浸透探傷検査による目視確認(VT-2)	25%/10年	第16回定期検査	良
空気抜管台	上部鏡板の貫通部	漏えい検査	毎定検	第16回定期検査	良
炉内計装筒	下部鏡板の貫通部	ベアメタル検査*	100%/5年	第14回定期検査	良
上部胴フランジ	溶接部（円周方向）	超音波探傷検査	100%/10年	第16回定期検査	良
下部胴・トランジションリング・下部鏡板接続部	溶接部（円周方向）	超音波探傷検査	100%/10年	第16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%/10年	第16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%/10年	第16回定期検査	良
	ナット	目視確認(VT-1)	100%/10年	第16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。

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

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

4.4 高経年化への対応

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

5. 代表機器以外の技術評価

5.1 健全性評価

代表機器以外の機器についての評価結果一覧を表7に示す。

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

表7(1/2) 代表機器以外の機器についての評価結果一覧

評価対象機器、部位			疲労累積係数 (許容値：1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	0.028	0.012
	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	0.088	0.522 ^{*1}
		ケーシング脚部	0.089	0.524 ^{*1}
熱交換器	再生熱交換器	管板部	0.074	0.097
	余熱除去冷却器	管板部	0.022	0.032
	蒸気発生器	管板廻り	0.154	0.164 ^{*1}
		給水入口管台	0.168	0.446 ^{*2}
容器	加圧器	スプレイライン用管台	0.042	0.057 ^{*2}
		サージ用管台	0.016	0.020
	機械ペネトレーション	主蒸気ライン貫通部端板	0.000	— ^{*3}
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統出口配管 (1次冷却材管高温側余熱除去管台～余熱除去ポンプ入口内隔離弁)	0.011	0.217
		余熱除去系統出口配管 (余熱除去ポンプ入口内隔離弁～原子炉格納容器貫通部)	0.074	0.464

*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	0.004	0.002*2
		加圧器スプレイ配管	0.011	0.105*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)	0.002	0.016
		1次冷却材管	ホットレグ	0.001
	クロスオーバーレグ		0.002	0.008
	コールドレグ		0.001	0.005
	加圧器サージ管台		0.010	0.047
	蓄圧タンク注入管台		0.009	0.034
充てん管台	0.003	0.023		
弁	仕切弁	余熱除去ラインループ高温側出口弁弁箱	0.005	0.126
	玉形弁	抽出ライン止弁弁箱	0.034	0.485
	スイング逆止弁	蓄圧タンク出口第二逆止弁弁箱	0.095	0.693
	リフト逆止弁	加圧器補助スプレイ逆止弁弁箱	0.008	0.051
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	0.004	0.029
		上部炉心支持柱	0.001	0.001
		上部炉心板	0.001	0.003
		下部炉心板	0.001	0.002
		下部炉心支持柱	0.003	0.028
		下部炉心支持板	0.001	0.007
		炉心槽下部接続部	0.001	0.001
重機器サポート	加圧器	加圧器スカート溶接部	0.194	—*3

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

*3：非接液部。

5.2 現状保全

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

表8(1/2) 代表機器以外の現状保全

評価対象機器、部位		現状保全内容	検査範囲 / 頻度	至近の検査実績	検査結果	
ポンプ	余熱除去ポンプ	ケーシング	目視確認	1回/4定検	第16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%/10年(1台) ②毎定検	①第14回定期検査 ②第16回定期検査	良
熱交換器	再生熱交換器	管板部	漏えい検査(VT-2)	100%/10年	第16回定期検査	良
	余熱除去冷却器	管板部	漏えい検査(VT-2)	1回/10定検	第16回定期検査	良
	蒸気発生器	管板廻り	①溶接部の超音波探傷検査 ②内張りの目視確認 ③漏えい検査(VT-2)	①25%/10年 ②毎定検 ③毎定検	①②③第16回定期検査	良
		給水入口管台	漏えい検査(VT-2)	1回/10年	第16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%/10年 ②25%/10年 ③毎定検	①第16回定期検査 ②第一回定期検査 ③第16回定期検査	良
		サージ用管台			①第16回定期検査 ②第16回定期検査 ③第16回定期検査	
	機械ペネトレーション	主蒸気ライン貫通部端板	原子炉格納容器漏えい率検査	2回/3定検	第16回定期検査	良
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統出口配管(1次冷却材管高温側余熱除去管台～余熱除去ポンプ入口内隔離弁)	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%/10年 ②25%/10年 ③毎定検	①第16回定期検査 ②第14回定期検査 ③第16回定期検査	良
		余熱除去系統出口配管(余熱除去ポンプ入口内隔離弁～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%/10年 ②100%/10年	①第16回定期検査 ②第13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%/10年 ②毎定検	①第14回定期検査 ②第16回定期検査	良
		加圧器スプレイ配管			①第16回定期検査 ②第16回定期検査	良

表 8(2/2) 代表機器以外の現状保全

評価対象機器、部位		現状保全内容	検査範囲 / 頻度	至近の検査実績	検査結果	
配管	炭素鋼配管	主給水系統配管 (原子炉格納容器貫通部～蒸気発生器給水管台)	漏えい検査(VT-2)	100%/10年	第16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、加圧器サージ管台、蓄圧タンク注入管台、余熱除去系出口配管、充てん管台	①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査 ③漏えい検査(VT-2)	①25%/10年 ②25%/10年 ③毎定検	①第16回定期検査 ②第16回定期検査 ③第16回定期検査	良
弁	仕切弁	余熱除去ラインループ高温側出口弁弁箱	①目視確認 ②漏えい検査	①1回/8定検 ②毎定検	①第15回定期検査 ②第16回定期検査	良
	玉形弁	抽出ライン止弁弁箱	①目視確認 ②漏えい検査	①1回/3定検 ②毎定検	①第12回定期検査 ②第16回定期検査	良
	スイング逆止弁	蓄圧タンク出口第二逆止弁弁箱	①目視確認 ②漏えい検査	①1回/5定検 ②毎定検	①第12回定期検査 ②第16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漏えい検査	①1回/10定検 ②毎定検	①第10回定期検査 ②第16回定期検査	良
炉内構造物		上部炉心板 上部炉心支持柱 上部炉心支持板 下部炉心板 下部炉心支持柱 下部炉心支持板 炉心槽下部接続部	水中テレビカメラによる目視確認(VT-3)	100%/10年	第16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	溶接部の超音波探傷検査	7.5%/10年	第15回定期検査	良

5.3 総合評価

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

また、疲労割れは現状保全で有意な異常のないことを確認している。

5.4 高経年化への対応

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

6. まとめ

6.1 審査ガイド適合性

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

表9 低サイクル疲労についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	技術評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1) 高経年化技術評価の審査 ⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。	4.1及び5.1の「健全性評価」に示すとおり、運転開始後60年時点の推定過渡回数を用いて健全性評価を実施した。
	⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。	4.2及び5.2に示すとおり、現状保全の評価結果から、現状の保全策が妥当であることを確認した。
	⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。 (2) 長期施設管理方針の審査 ①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	4.4及び5.4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。
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3.1 高経年化技術評価の実施及び見直し 高経年化技術評価の実施及び見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 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。 イ 実用炉規則第82条第1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60年間（ただし、⑧ただし書の規定に該当する場合にはプラントの運転を開始した日から40年間とする。） 3.2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ① 高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。	4.4及び5.4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。

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、玄海原子力発電所原子炉施設保安規定に記載し、確実に実施していく。

表 10 玄海原子力発電所 3 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。	中長期

※：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：2024 年 3 月 18 日からの 5 年間、中長期：2024 年 3 月 18 日からの 10 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

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、玄海原子力発電所 3 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

$$23 \text{ 回}^{\text{注1)}} + 0.69 \text{ 回/年}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 35.0 \text{ 年 (残りの年数)} \approx 59.225 \text{ 回} = 60 \text{ 回 (評価用)}$$

注1) 試運転：9回（うち、微小過渡1回）

2019年3月末までの実績（試運転除く）：13.654回→14回（うち微小過渡0.654回→1回）

（試運転の過渡回数は下表の①、2019年3月末までの実績（試運転除く）は②参照）

注2) 2019年3月末までの実績（試運転及び長期停止期間（2013年3月から2018年2月まで）を除く）÷2019年3月末までの年数（長期停止期間（2013年3月から2018年2月まで）を除く）

$$13.649 \text{ 回} \div 20.0 \text{ 年} \approx 0.682 \text{ 回/年} \rightarrow 0.69 \text{ 回/年}$$

（試運転時及び長期停止期間（2013年3月から2018年2月まで）の過渡は特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない。）

過渡回数説明リスト（1/9）

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均 回数 20.0年	現状～60年 までの増加分 (35.0年)	60年ベースの 過渡回数
1 起動	8	13	23 (8+1+13+0.654) =22.654 →23	0.69 13+0.649 =13.649 13.649 20.0 ≈ 0.682 →0.69	37 (35.0 × 0.69 × 1.5) =36.225 →37	60 (=23+37)
微小過渡	0.109	0.654 このうち長期停止期間 中以外の実績 0.649				
(実績+微小過渡)	(8+1)	(13+1)	(21+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

201 回^{注1)} + ^{注2)} × 1.5 × 35.0 年 (残りの年数) ÷ 884 回 = 884 回 (評価用)

注 1) 試運転 : 13 回

2019 年 3 月末までの実績 (試運転除く) : 188 回

(試運転の過渡回数は下表の③、2019 年 3 月末までの実績 (試運転除く) は④参照)

注 2) 2019 年 3 月末までの実績 (試運転及び長期停止期間 (2013 年 3 月から 2018 年 2 月まで) を除く) ÷ 2019 年 3 月末までの年数 (長期停止期間 (2013 年 3 月から 2018 年 2 月まで) を除く)

188 回 ÷ 20.0 年 = 9.4 回/年 → 9.4 回/年

(試運転時及び長期停止期間 (2013 年 3 月から 2018 年 2 月まで) 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 9.4 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、と設定する。

過渡回数説明リスト (2 / 9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 20.0年	現状~60年 までの増加分 (35.0年)	60年
3 ランプ状負荷上昇 負荷上昇	<input type="text" value="13"/> ③	<input type="text" value="188"/> ④	201 (=13+188)	<input type="text"/> 注1) $\left(\frac{188}{20.0} \approx 9.4\right)$	683 $\left(35.0 \times \left[\frac{188}{20.0}\right] \times 1.5\right)$ = <input type="text"/> →683	884 (=201+683)

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

○「負荷の喪失」の運転開始後 60 年時点の過渡回数算出

4 回^{注1)} + ^{注2)} × 1.5 × 35.0 年 (残りの年数) ÷ 7 回 = 7 回 (評価用)

注 1) 試運転 : 4 回

2019 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、2019 年 3 月末までの実績 (試運転除く) は⑥参照)

注 2) 玄海原子力発電所 3 号炉では経験はないが、電共研「応力解析手法の高度化」より
を用いる。

過渡回数説明リスト (3 / 9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 20.0年	現状~60年 までの増加分 (35.0年)	60年
31 負荷の喪失	<input type="text" value="4"/> ⑤	<input type="text" value="0"/> ⑥	4	<input type="text"/> 注1)	3 $\left(35.0 \times \left[\frac{4}{20.0}\right] \times 1.5\right)$ = <input type="text"/> →3	7 (=4+3)

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (4/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均 回数 20.0年	現状~60年 までの増加分 (35.0年)	60年ベースの 過渡回数	評価用過渡回数
2 停止	7	13	22 $(7+1+13+0.211)$ =21.211 →22	0.67 $(13+0.206)$ =13.206 $\frac{13.206}{20.0} \approx 0.67$	36 $(35.0 \times 0.67 \times 1.5)$ =35.175→36	58 (=22+36)	60 注1)
微小過渡	0.068	0.211 (このうち長期 停止期間中以外 の実績 0.206)					
(実績+微小過渡)	(7+1)	(13+1)	(20+2*)				

注1) 「起動」に合わせた回数。

*1: 総微小過渡回数

過渡回数説明リスト (5/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの 回数	年平均過渡回数 回数 20.0年	現状~60年 までの増加分 (35.0年)	60年
4 ランプ状負荷減少 負荷減少	5	188	193 (=5+188)	<input type="checkbox"/> 注2) $(\frac{188}{20.0} \approx 9.4)$	683 $(35.0 \times \text{} \times 1.5)$ = <input type="checkbox"/> →683	876 (=193+683)
5 ステップ状負荷上昇 (+10%)	2	0	2	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $(35.0 \times \text{} \times 1.5)$ = <input type="checkbox"/> →2	4 (=2+2)
6 ステップ状負荷減少 (-10%)	2	0	2	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $(35.0 \times \text{} \times 1.5)$ = <input type="checkbox"/> →1→2	4 (=2+2)
7 100%からの大きいステップ 状負荷減少	1	0	1	<input type="checkbox"/> 注1)	3 $(35.0 \times \text{} \times 1.5)$ = <input type="checkbox"/> →3	4 (=1+3)
8 定常負荷運転時の変動	-	-	-	-	-	-
9 燃料交換	1	14 (=13 +1)	15 (=1+14)	<input type="checkbox"/> 注3) $(\frac{14}{20.0} \approx 0.7)$	53 $(35.0 \times \text{} \times 1.5)$ = <input type="checkbox"/> →53	68 (=15+53)

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

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

注3) 現状平均は、0.7回/年であるが、とする。

過渡回数説明リスト (6 / 9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 20.0年	現状～60年 までの増加分 (35.0年)	60年
10 0%→15%負荷上昇	9	15	24 (=9+15)	0.75 $\left(\frac{15}{20.0} \approx 0.75\right)$	40 $\left(35.0 \times 0.75 \times 1.5\right)$ =39.375→40	64 (=24+40)
11 15%→0%負荷減少	2	15	17 (=2+15)	0.75 $\left(\frac{15}{20.0} \approx 0.75\right)$	40 $\left(35.0 \times 0.75 \times 1.5\right)$ =39.375→40	57 (=17+40)
12 1 ループ停止/起動 (1 ループ停止)	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $\left(35.0 \times \square \times 1.5\right)$ = \square → +2	2
(1 ループ起動)	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $\left(35.0 \times \square \times 1.5\right)$ = \square → +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	実績	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 20.0年	現状～60年 までの増加分 (35.0年)	60年
32 外部電源喪失	1	0	1	<input type="checkbox"/> 注1)	4 $\left(35.0 \times \square \times 1.5\right)$ = \square → +4	5 (=1+4)
33 1次冷却材流量の 部分喪失	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注1)	2 $\left(35.0 \times \square \times 1.5\right)$ = \square → +1→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	実績	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 20.0年	現状~60年 までの増加分 (35.0年)	60年
34 100%からの 原子炉トリップ a)不注意な冷却を伴わ ないトリップ	1	0	1	注1)	$\left[\begin{array}{l} 7 \\ 35.0 \times \frac{7}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 7 \end{array} \right]$	8 (=1+7)
b)不注意な冷却を伴う トリップ	0	0	0	注1)	$\left[\begin{array}{l} 2 \\ 35.0 \times \frac{2}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 2 \end{array} \right]$	2
c)不注意な冷却とSIを 伴うトリップ	0	0	0	注1)	$\left[\begin{array}{l} 2 \\ 35.0 \times \frac{2}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 1 \Rightarrow 2 \end{array} \right]$	2
35 1次冷却系の異常な減圧	0	0	0	注1)	$\left[\begin{array}{l} 2 \\ 35.0 \times \frac{2}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 2 \end{array} \right]$	2
36 制御棒クラスタの落下	0	0	0	注1)	$\left[\begin{array}{l} 3 \\ 35.0 \times \frac{3}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 3 \end{array} \right]$	3
37 出力運転中の非常用 炉心冷却系の誤起動	0	0	0	注1)	$\left[\begin{array}{l} 2 \\ 35.0 \times \frac{2}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 2 \end{array} \right]$	2
38 1次冷却系停止ループ の誤起動	0	0	0	注1)	$\left[\begin{array}{l} 2 \\ 35.0 \times \frac{2}{20.0} < 1.5 \\ \rightarrow 2 \end{array} \right]$	2

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

過渡回数説明リスト (9/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均 回数 20.0年	現状~60年 までの増加分 (35.0年)	60年ベースの 過渡回数
39 1次系漏えい試験	5	14	21 $\left[\begin{array}{l} 5+14+0.230 \\ =20.230 \rightarrow 21 \end{array} \right]$	0.72 $\left[\begin{array}{l} 14+0.230 \\ =14.230 \\ \frac{14.230}{20.0} \approx 0.72 \end{array} \right]$	38 $\left[\begin{array}{l} 35.0 \times 0.72 \times \\ 1.5 \\ =37.8 \rightarrow 38 \end{array} \right]$	59 (=21+38)
微小過渡	0.169	0.230				
(実績+微小過渡)	(5+1)	(14+1)	(19+2*)			
40 タービン回転試験	6	0	6	0	-	6

*1: 総微小過渡回数

表1 微小過渡（起動の微小過渡）

	$\Delta T / \Delta t$ (°C/H)	ΔT (°C)	ΔP (MPa)	α ※1	等価回数 ($1/\alpha$) ※1
1	3.6	15.1	—	559 (53)	0.002 (0.019)
2	8.4	22.9	—	137 (22)	0.008 (0.046)
3	—	—	0.9	559 (53)	0.002 (0.019)
4	—	—	0.8	559 (53)	0.002 (0.019)
5	—	—	0.8	559 (53)	0.002 (0.019)
6	—	—	0.7	559 (53)	0.002 (0.019)
7	—	—	0.3	559 (53)	0.002 (0.019)
8	18.0	56.8	—	20 (6)	0.050 (0.167)
9	9.9	23.5	—	83 (16)	0.012 (0.063)
10	7.6	14.7	—	209 (29)	0.005 (0.035)
11	11.7	22.2	—	45 (11)	0.023 (0.091)
12	—	—	0.3	559 (53)	0.002 (0.019)
13	17.6	50.7	—	20 (6)	0.050 (0.167)
14	19.4	49.8	—	6 (3)	0.167 (0.334)
15	22.1	48.7	—	6 (3)	0.167 (0.334)
16	21.8	51.4	—	6 (3)	0.167 (0.334)
17	—	—	2.75	83 (16)	0.012 (0.063)
18	—	—	2.21	137 (22)	0.008 (0.046)
19	—	—	2.72	83 (16)	0.012 (0.063)
20	—	—	2.70	83 (16)	0.012 (0.063)
21	—	—	2.75	83 (16)	0.012 (0.063)
22	—	—	2.59	83 (16)	0.012 (0.063)
23	—	—	2.75	83 (16)	0.012 (0.063)
24	—	—	2.28	137 (22)	0.008 (0.046)
25	—	—	2.04	209 (29)	0.005 (0.035)
26	—	—	2.79	83 (16)	0.012 (0.063)

※1：() 内はスタッドボルトに適用する

表2 微小過渡 (停止の微小過渡)

	$\Delta T / \Delta t$ (°C/H)	ΔT (°C)	ΔP (MPa)		α ※1	等価回数 ($1/\alpha$) ※1
1	16.0	80.0	—		20 (6)	0.050 (0.167)
2	—	—	0.9		559 (53)	0.002 (0.019)
3	—	—	0.8		559 (53)	0.002 (0.019)
4	—	—	0.8		559 (53)	0.002 (0.019)
5	—	—	0.7		559 (53)	0.002 (0.019)
6	2.3	16.4	—		559 (53)	0.002 (0.019)
7	—	—	0.3		559 (53)	0.002 (0.019)
8	6.5	25.6	—		302 (36)	0.004 (0.028)
9	4.8	15.1	—		559 (53)	0.002 (0.019)
10	—	—	0.3		559 (53)	0.002 (0.019)
11	—	—	0.2		559 (53)	0.002 (0.019)
12	10.4	22.5	—		83 (16)	0.012 (0.063)
13	12.8	25.6	—		45 (11)	0.023 (0.091)
14	10.8	25.7	—		83 (16)	0.012 (0.063)
15	15.8	25.8	—		20 (6)	0.050 (0.167)
16	—	—	2.21		137 (22)	0.008 (0.046)
17	—	—	2.28		137 (22)	0.008 (0.046)
18	4.2	12.6	—		559 (53)	0.002 (0.019)
19	—	—	2.23		137 (22)	0.008 (0.046)
20	—	—	2.20		209 (29)	0.005 (0.035)
21	—	—	2.22		137 (22)	0.008 (0.046)
22	14.1	25.5	—		20 (6)	0.050 (0.167)
23	—	—	2.24		137 (22)	0.008 (0.046)
24	—	—	2.26		137 (22)	0.008 (0.046)
25	—	—	1.99		209 (29)	0.005 (0.035)
26	—	—	2.31		137 (22)	0.008 (0.046)

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表3 微小過渡 (漏えい試験の微小過渡)

	$\Delta T / \Delta t$ (°C/H)	ΔT (°C)	ΔP (MPa)		α ※1	等価回数 ($1/\alpha$) ※1
1	10.0	63.4	—		6(3)	0.167(0.334)
2	—	—	0.2		559(53)	0.002(0.019)
3	6.8	13.7	—		302(36)	0.004(0.028)
4	8.8	14.7	—		137(22)	0.008(0.046)
5	9.6	15.6	—		83(16)	0.012(0.063)
6	7.5	15.6	—		209(29)	0.005(0.035)
7	16.5	18.0	—		20(6)	0.050(0.167)
8	15.1	15.1	—		20(6)	0.050(0.167)
9	15.8	19.2	—		20(6)	0.050(0.167)
10	17.0	17.0	—		20(6)	0.050(0.167)
11	6.1	13.8	—		418(44)	0.003(0.023)

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 4 微小過渡の内訳 (非取替機器)

過渡項目	試運転	実績
起動 微小過渡	0.109 内訳 1/559×7 (表 1 No. 1, 3, 4, 5, 6, 7, 12) 1/137×1 (表 1 No. 2) 1/20×1 (表 1 No. 8) 1/83×1 (表 1 No. 9) 1/209×1 (表 1 No. 10) 1/45×1 (表 1 No. 11)	0.654 内訳 1/20×1 (表 1 No. 13) 1/6×3 (表 1 No. 14, 15, 16) 1/83×7 (表 1 No. 17, 19, 20, 21, 22, 23, 26) 1/137×2 (表 1 No. 18, 24) 1/209×1 (表 1 No. 25) ※1
停止 微小過渡	0.068 内訳 1/20×1 (表 2 No. 1) 1/559×8 (表 2 No. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10) 1/302×1 (表 2 No. 8)	0.211 内訳 1/559×2 (表 2 No. 11, 18) 1/83×2 (表 2 No. 12, 14) 1/45×1 (表 2 No. 13) 1/20×2 (表 2 No. 15, 22) 1/137×7 (表 2 No. 16, 17, 19, 21, 23, 24, 26) 1/209×1 (表 2 No. 20) 1/209×1 (表 2 No. 25) ※1
漏えい試験 微小過渡	0.169 内訳 1/6×1 (表 3 No. 1) 1/559×1 (表 3 No. 2)	0.230 内訳 1/302×1 (表 3 No. 3) 1/137×1 (表 3 No. 4) 1/83×1 (表 3 No. 5) 1/209×1 (表 3 No. 6) 1/20×4 (表 3 No. 7, 8, 9, 10) 1/418×1 (表 3 No. 11)

※1 : 長期停止期間中の過渡

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

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

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

(1) 他プラントで経験のある過渡項目

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

(2) 他プラントでも未経験の過渡項目

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

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

ポアソン分布では、一定時間内に発生する平均回数(=期待値)を 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。

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

$$\rightarrow \lambda' = -\ln \frac{[]}{[]} = []$$

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

<p>タイトル</p>	<p>原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について</p>							
<p>説明</p>	<p>原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p>1. 解析モデル</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> <table border="1" data-bbox="435 551 1329 1709"> <tr> <td data-bbox="435 551 659 600"> <p>解析プログラム</p> </td> <td data-bbox="659 551 1329 600"> <p>ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3、2018</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 600 659 792"> <p>要素種類</p> </td> <td data-bbox="659 600 1329 1709" rowspan="4"> <!-- Empty cell for element details --> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 792 659 842"> <p>要素次数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 842 659 1274"> <p>要素数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="435 1274 659 1709"> <p>節点数</p> </td> </tr> </table>	<p>解析プログラム</p>	<p>ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3、2018</p>	<p>要素種類</p>	Empty cell for element details	<p>要素次数</p>	<p>要素数</p>	<p>節点数</p>
<p>解析プログラム</p>	<p>ABAQUS Ver. 6.3、6.12-3、2018</p>							
<p>要素種類</p>	Empty cell for element details							
<p>要素次数</p>								
<p>要素数</p>								
<p>節点数</p>								

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

(単位：MPa)

使用箇所	材料	温 度	
		289.2℃	324.9℃
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	SUSF316	120	117
冷却材入口管台、冷却材出口管 台、上部胴、トランジションリ ング	SFVQ1A	184	184
炉内計装筒、炉心支持金物	NCF600	164	—
上部ふた、上部胴フランジ	SFVQ1A	183	183
スタッドボルト	SNB24-3	—	245
ふた管台	GNCf690HL	—	137
空気抜管台	GNCf690CM	—	161

3. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。

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

4. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付-1に示す。

5. 割り増し係数 K_e

評価に用いた割り増し係数を添付-1に示す。

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

6. 環境評価パラメータ

JSME S NF1-2009 による詳細評価手法を適用している。

【冷却材入口管台、冷却材出口管台、炉内計装筒】

PWR プラント環境

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

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

【ふた管台、空気抜管台、炉内計装筒、炉心支持金物】

PWR プラント環境

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

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

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



冷却材入口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

冷却材入口管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00000	0.00000
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.00000	0.00007
6	0.00000	0.0	0.00011
7	0.00443	0.0	0.00878
8	0.00301	0.0	0.00424
9	0.0	0.00289	0.00101
10	0.00207	0.00035	0.00063
11	0.0	0.00082	0.0
12	0.00188	0.00024	0.00091
13	0.00007	0.00084	0.00007
14	0.00080	0.00016	0.00045
15L	0.02558	0.03652	0.00137
16L	0.0	0.00282	0.00166
15C	0.00095	0.00184	0.00209
16C	0.0	0.02225	0.01272
17L	0.03701	0.01912	0.00001
18L	0.0	0.00296	0.00210
17C	0.00275	0.00149	0.00102
18C	0.0	0.02281	0.01372
19L	0.03567	0.03241	0.00175
20L	0.0	0.00346	0.00339
19C	0.00055	0.00142	0.00223
20C	0.0	0.02438	0.01723

許容値 $U_i=1.0$

0.03701 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

冷却材入口管台 疲労解析結果 (評価点 : 17L)

評価点 - 17L
(S12)

応力強さ (単位 : MPa)		Ke	繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)		
極大値	極小値		N	N*			
43.4	-501.8	1.0	272.6	320.6	7	5490	0.00128
43.4	-498.4	1.0	270.9	318.6	2	5590	0.00036
43.4	-487.3	1.0	265.4	312.1	2	5950	0.00034
43.4	-482.3	1.0	262.9	309.1	5	6120	0.00082
43.4	-479.4	1.0	261.4	307.5	43	6220	0.00691
33.9	-479.4	1.0	256.7	301.9	16	6570	0.00244
33.9	-472.9	1.0	253.4	298.1	2	6820	0.00029
33.9	-462.3	1.0	248.1	291.8	6	7260	0.00083
33.9	-450.5	1.0	242.2	284.9	4	7800	0.00051
33.9	-448.0	1.0	241.0	283.4	32	7920	0.00404
3.5	-448.0	1.0	225.8	265.5	68	9610	0.00708
0.0	-448.0	1.0	224.0	263.5	119	9830	0.01211
-214.6	-448.0	1.0	116.7	137.3	2	101000	0.00002
-332.0	-448.0	1.0	58.0	68.2	3		0.0
疲労累積係数 =					0.03701		

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

→通常 UF : 0.038

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材入口管台 環境疲労評価結果（評価点：1）

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n [*]	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 ueh
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2D4	20.5	-225.0	1.00	122.7	136.0	2	3720000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	111	20.5	-169.5	1.00	95.1	105.3	58	19400000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	111	6.3	-169.5	1.00	87.9	97.4	10	85900000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	2G1	6.3	-167.2	1.00	88.7	96.1	2	80400000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	2E1	6.3	-136.4	1.00	71.3	79.0	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00000

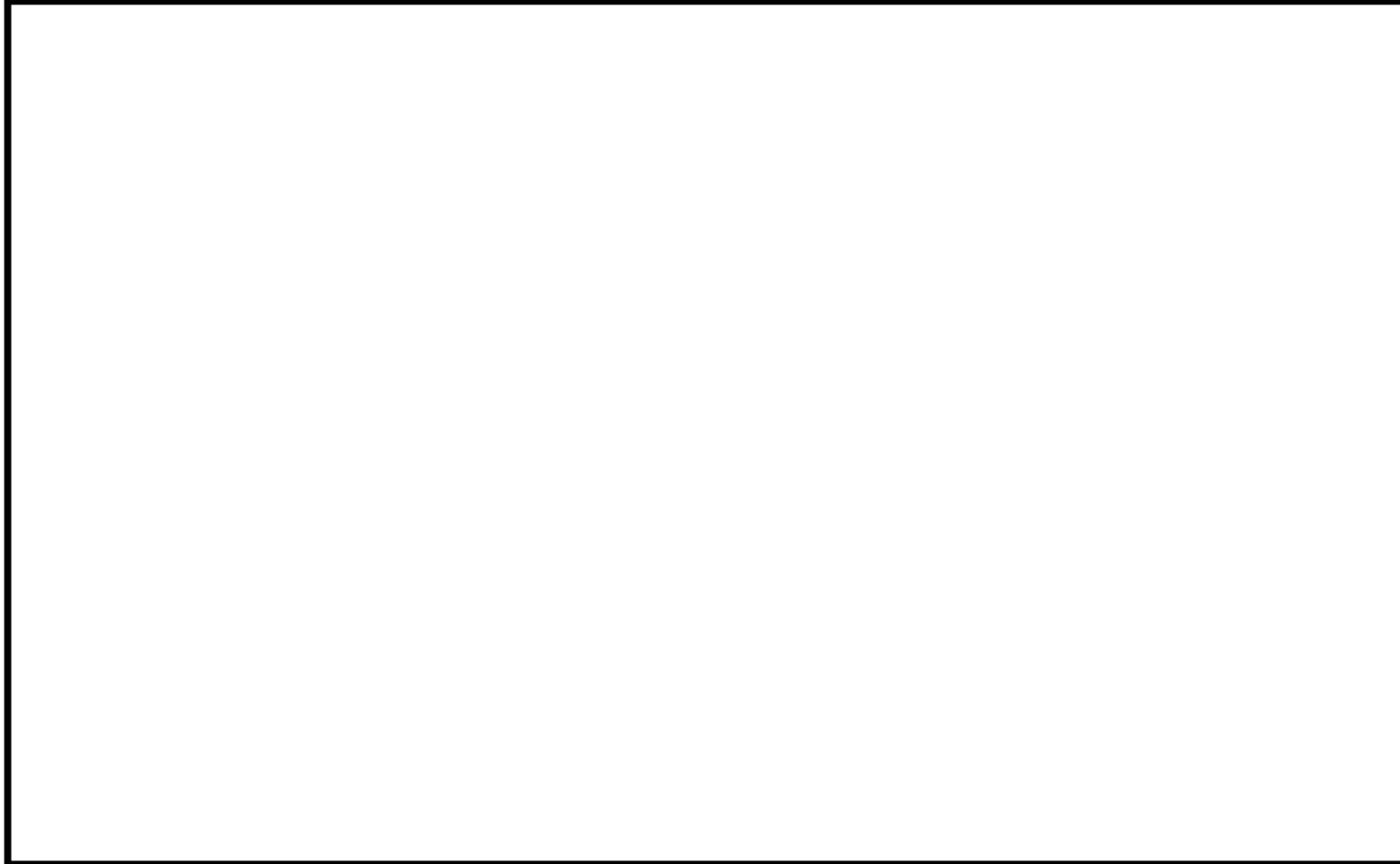
（注）ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ （salt' ≤ 214.6 ）の場合、fen=1.0

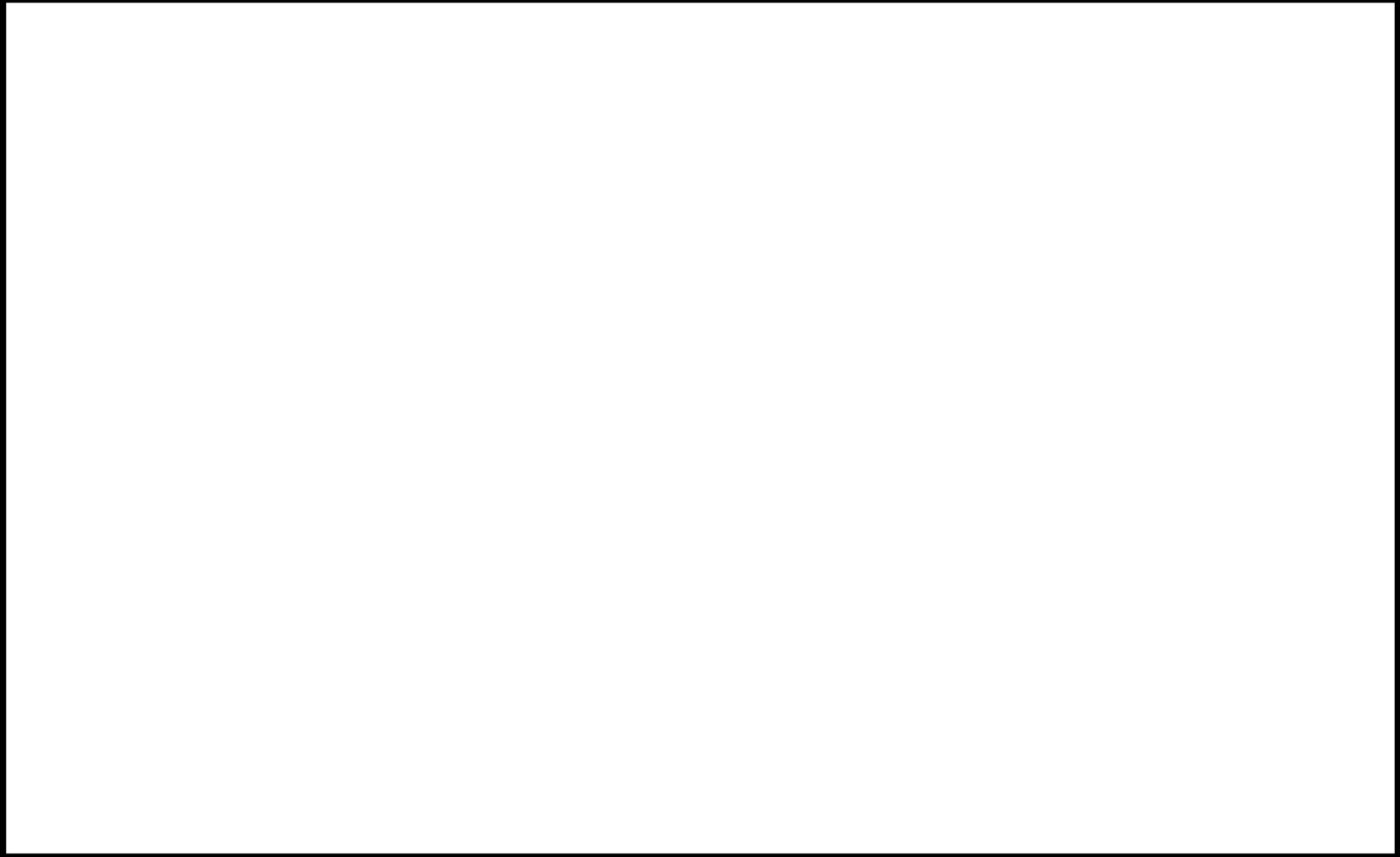
→環境 UF : 0.001

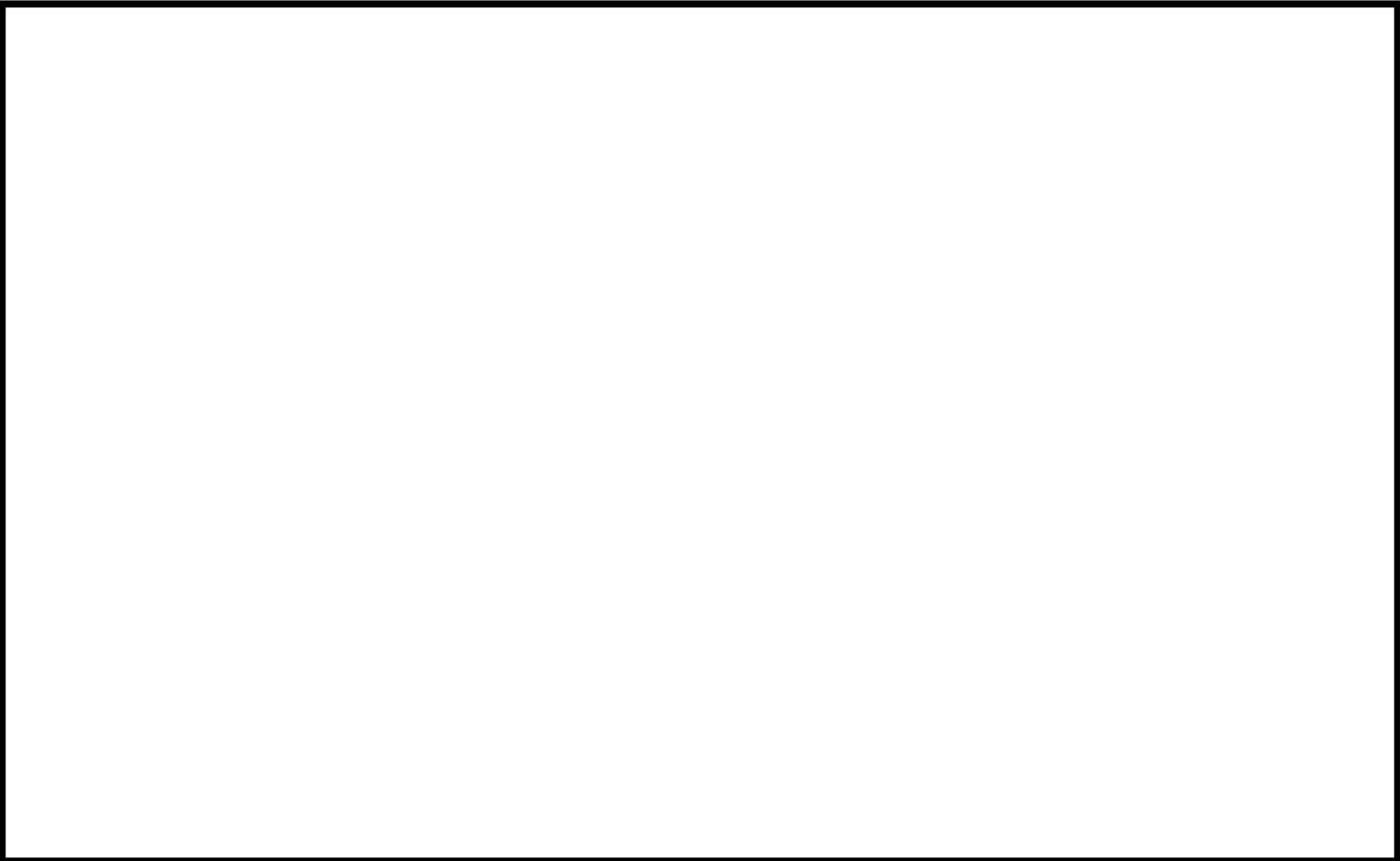
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

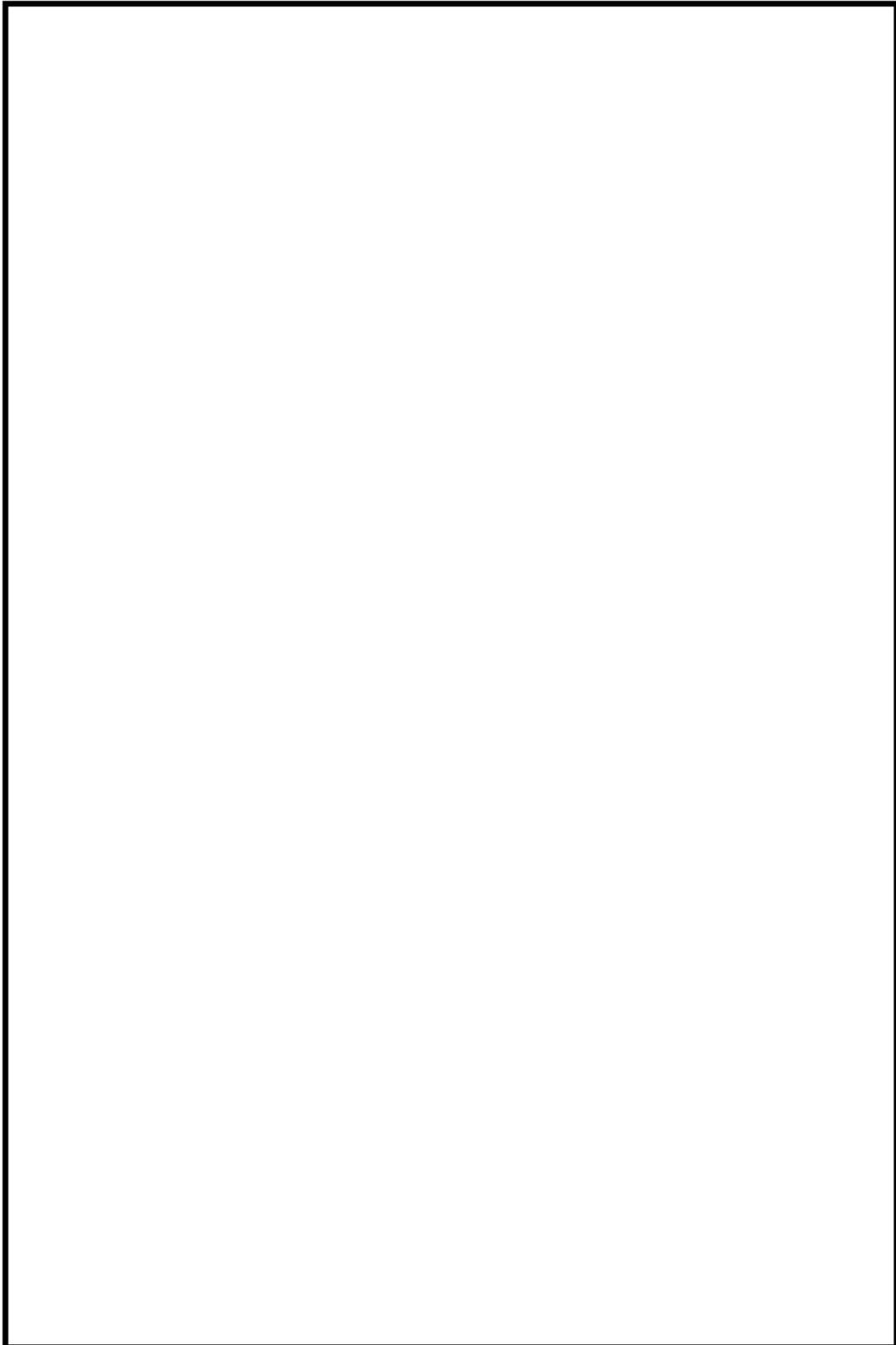
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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









冷却材出口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

冷却材出口管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00002	0.00001	0.00013
2	0.0	0.0	0.00001
3	0.0	0.0	0.00000
4	0.00000	0.00000	0.00003
5	0.00000	0.0	0.00000
6	0.00016	0.00000	0.00026
7	0.00003	0.0	0.00036
8	0.00014	0.0	0.00178
9	0.00384	0.0	0.00799
10	0.01609	0.00001	0.01723
11	0.0	0.00073	0.00202
12	0.01159	0.00009	0.00783
13	0.0	0.00123	0.00329
14	0.00571	0.00000	0.00391
15L	0.02753	0.04341	0.00045
16L	0.0	0.00221	0.00095
15C	0.00188	0.00105	0.00229
16C	0.0	0.02224	0.00941
17L	0.03795	0.02209	0.0
18L	0.0	0.00397	0.00179
17C	0.00511	0.00075	0.00015
18C	0.0	0.02549	0.01341
19L	0.02955	0.04260	0.00048
20L	0.0	0.00453	0.00343
19C	0.00124	0.00046	0.00419
20C	0.0	0.02718	0.01642

許容値 $U_r=1.0$

0.04341 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

冷却材出口管台 疲労解析結果 (評価点 : 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*	
508.3	-53.9	1.0	281.1	336.3	2	4750	0.00042
506.4	-53.9	1.0	280.1	335.2	2	4800	0.00042
480.9	-53.9	1.0	267.4	319.9	2	5530	0.00036
447.4	-53.9	1.0	250.7	299.9	53	6690	0.00792
447.4	-41.5	1.0	244.5	292.5	6	7210	0.00083
438.8	-41.5	1.0	240.1	287.3	54	7600	0.00711
438.8	-26.3	1.0	232.6	278.3	68	8360	0.00813
438.8	-4.8	1.0	221.8	265.3	60	9630	0.00623
438.8	0.0	1.0	219.4	262.5	119	9940	0.01197
438.8	238.5	1.0	100.1	119.8	2	167000	0.00001
438.8	305.2	1.0	66.8	79.9	3	-----	0.0

疲労累積係数 = 0.04341

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 : 0.044

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材出口管台 環境疲労評価結果 (評価点 : 1)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 Ke	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 ueh
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	2D4	0.0	-439.4	1.00	219.7	246.2	2	209000	0.00001	10.472	0.00010
NSS	2F1	0.0	-426.4	1.00	213.2	238.9	3	251000	0.00001	9.799	0.00012
NSS	2D2	0.0	-409.6	1.00	204.8	229.5	2	323000	0.00001	9.965	0.00006
NSS	2E1	0.0	-386.4	1.00	193.2	216.5	2	465000	0.00000	10.616	0.00005
NSS	1L1	0.0	-381.3	1.00	190.6	213.6	2	508000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2C2	0.0	-381.2	1.00	190.6	213.6	2	508000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2G1	0.0	-380.0	1.00	190.0	212.9	2	518000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2D1	0.0	-376.8	1.00	188.4	211.1	8	550000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	2H2	0.0	-356.2	1.00	178.1	199.6	2	818000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2A1	0.0	-329.9	1.00	165.0	184.9	7	1170000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	1I1	0.0	-314.9	1.00	157.4	176.4	68	1360000	0.00006	1.000	0.00005
NSS	1G1	0.0	-283.8	1.00	141.8	159.0	4	1910000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2I1	0.0	-282.1	1.00	141.1	158.1	6	1950000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	1D1	0.0	-279.7	1.00	139.8	156.7	9	2010000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	1D1	-71.8	-279.7	1.00	103.9	116.6	2	8350000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1D1	-188.3	-279.7	1.00	45.7	61.2	866	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00042

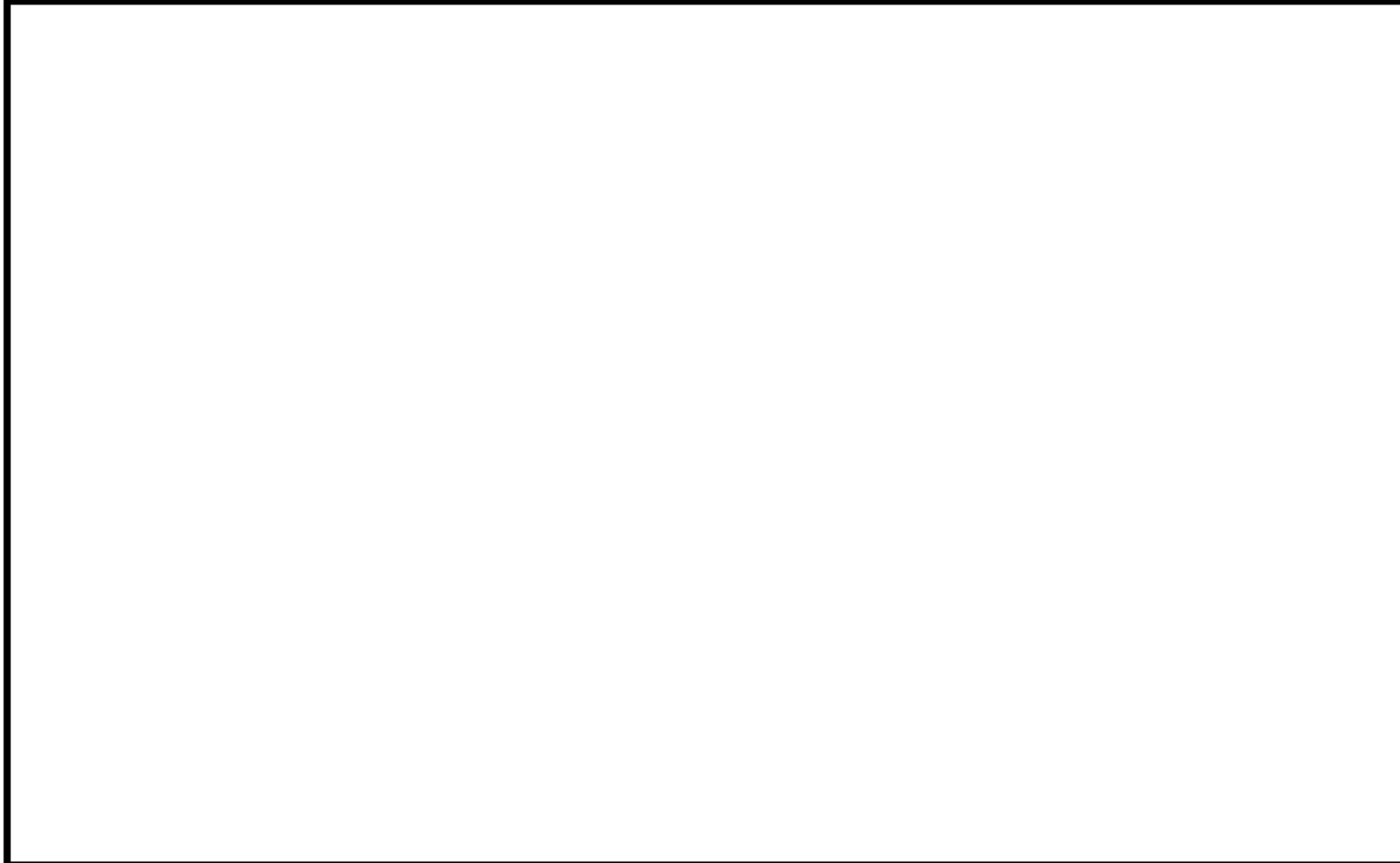
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.6) の場合、fen=1.0

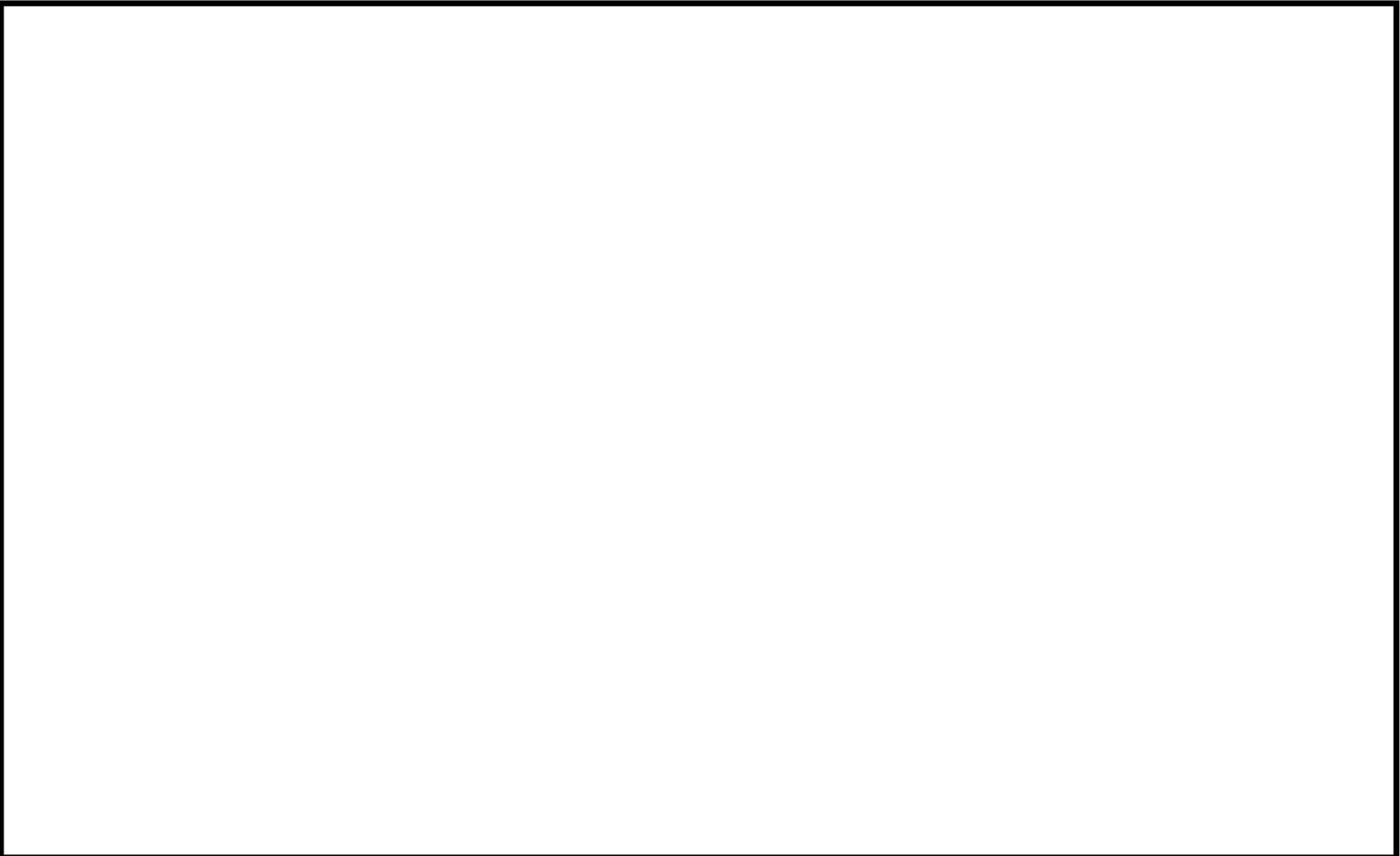
→環境 UF : 0.001

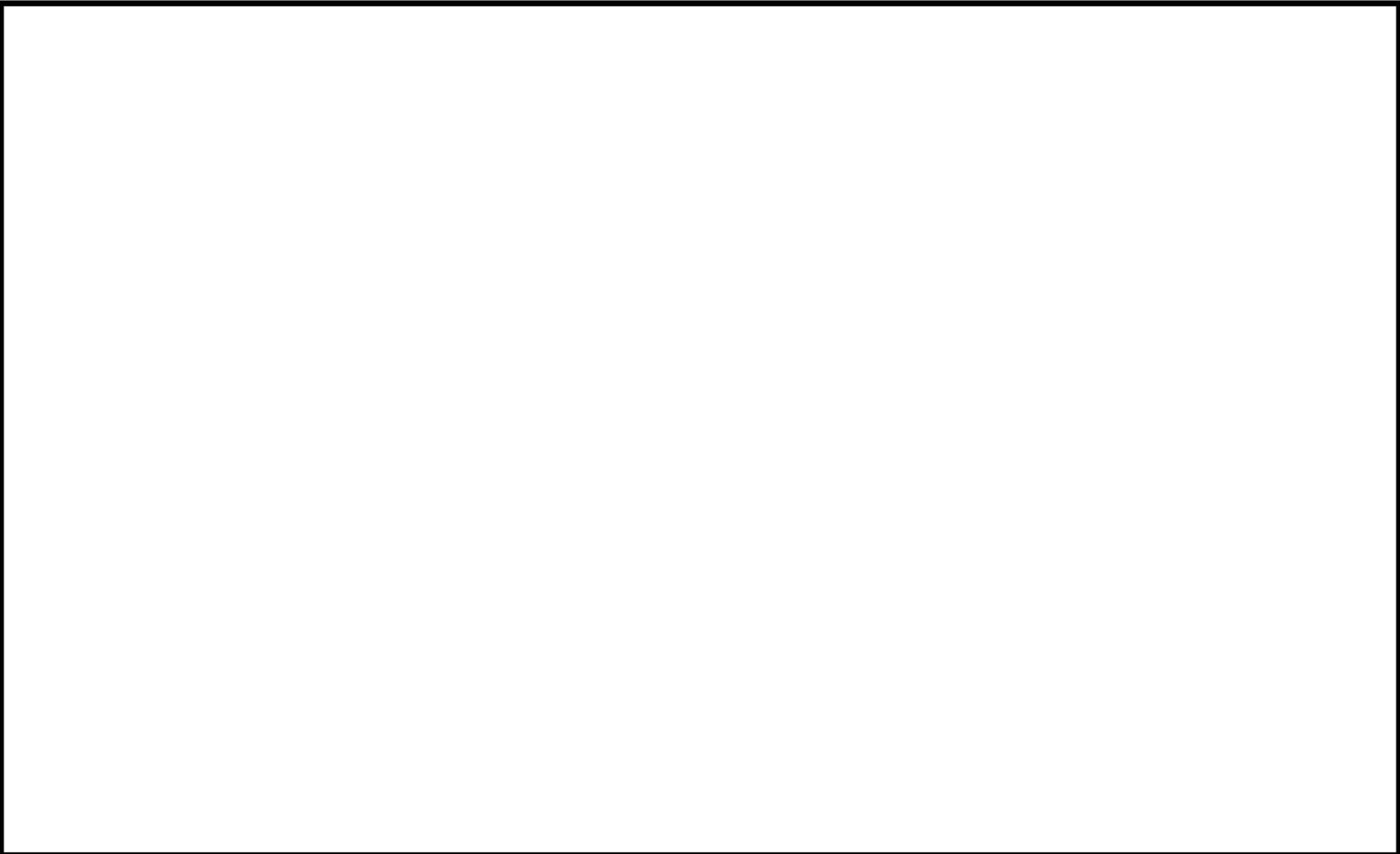
 : 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

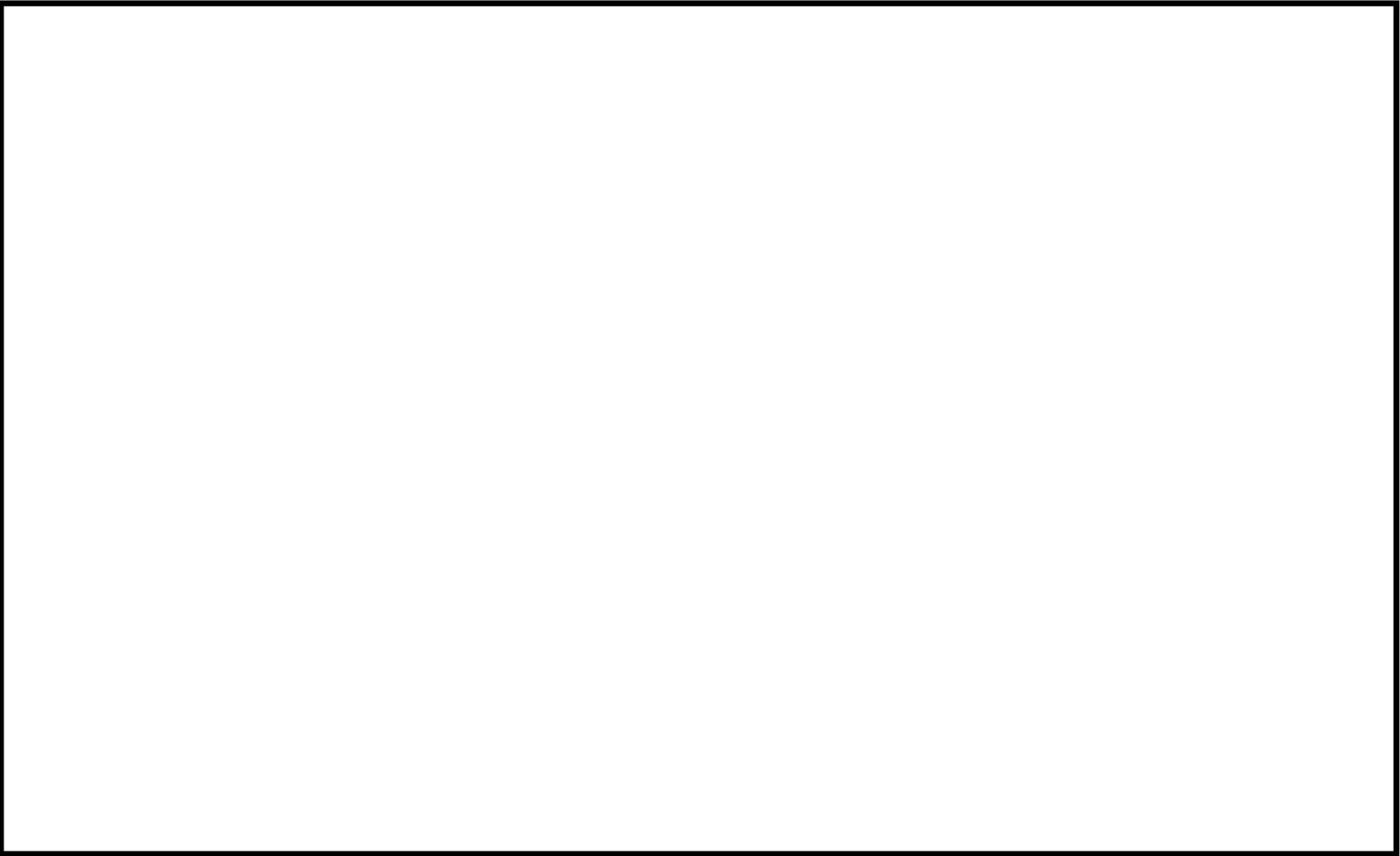
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

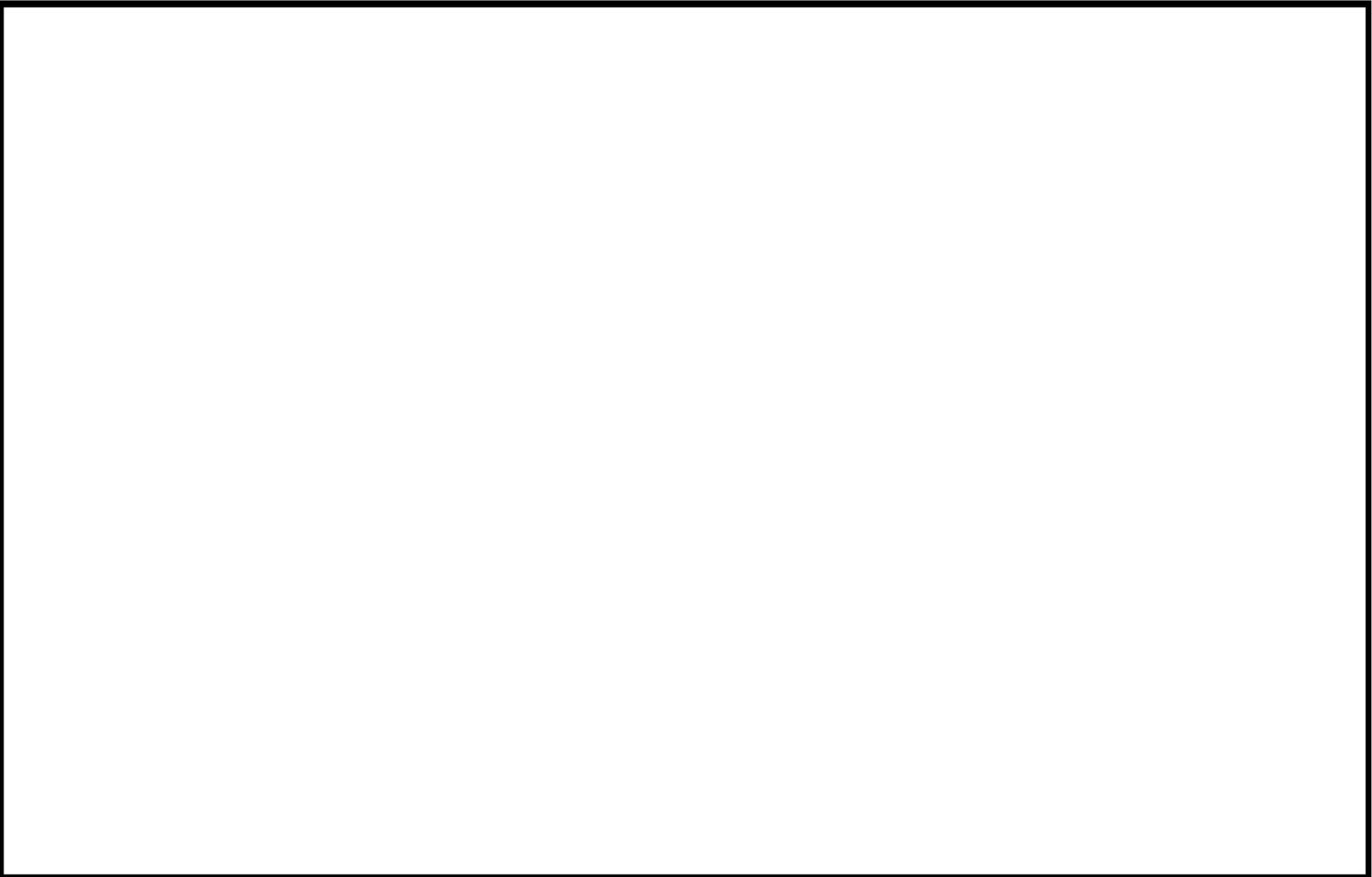
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

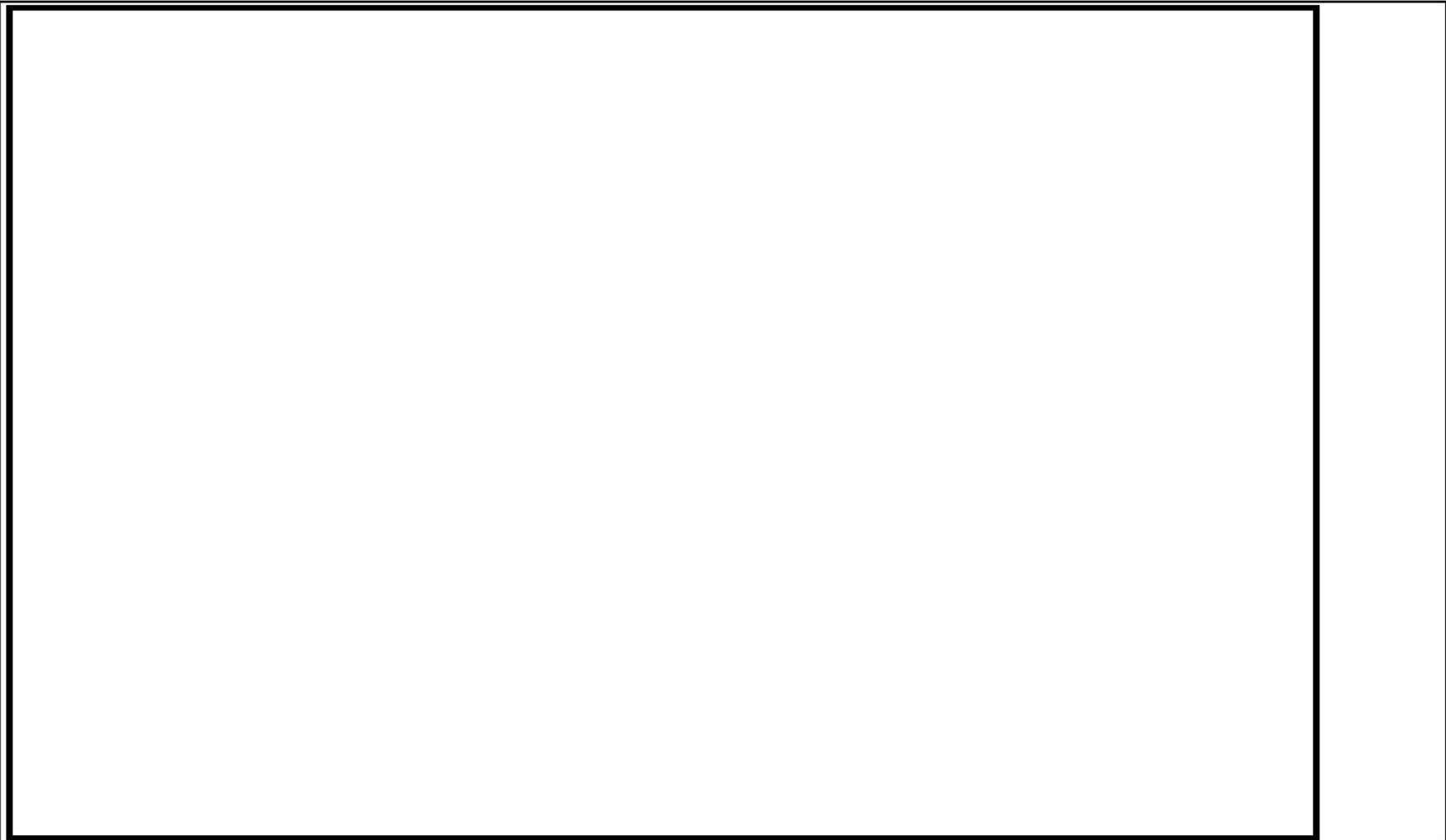


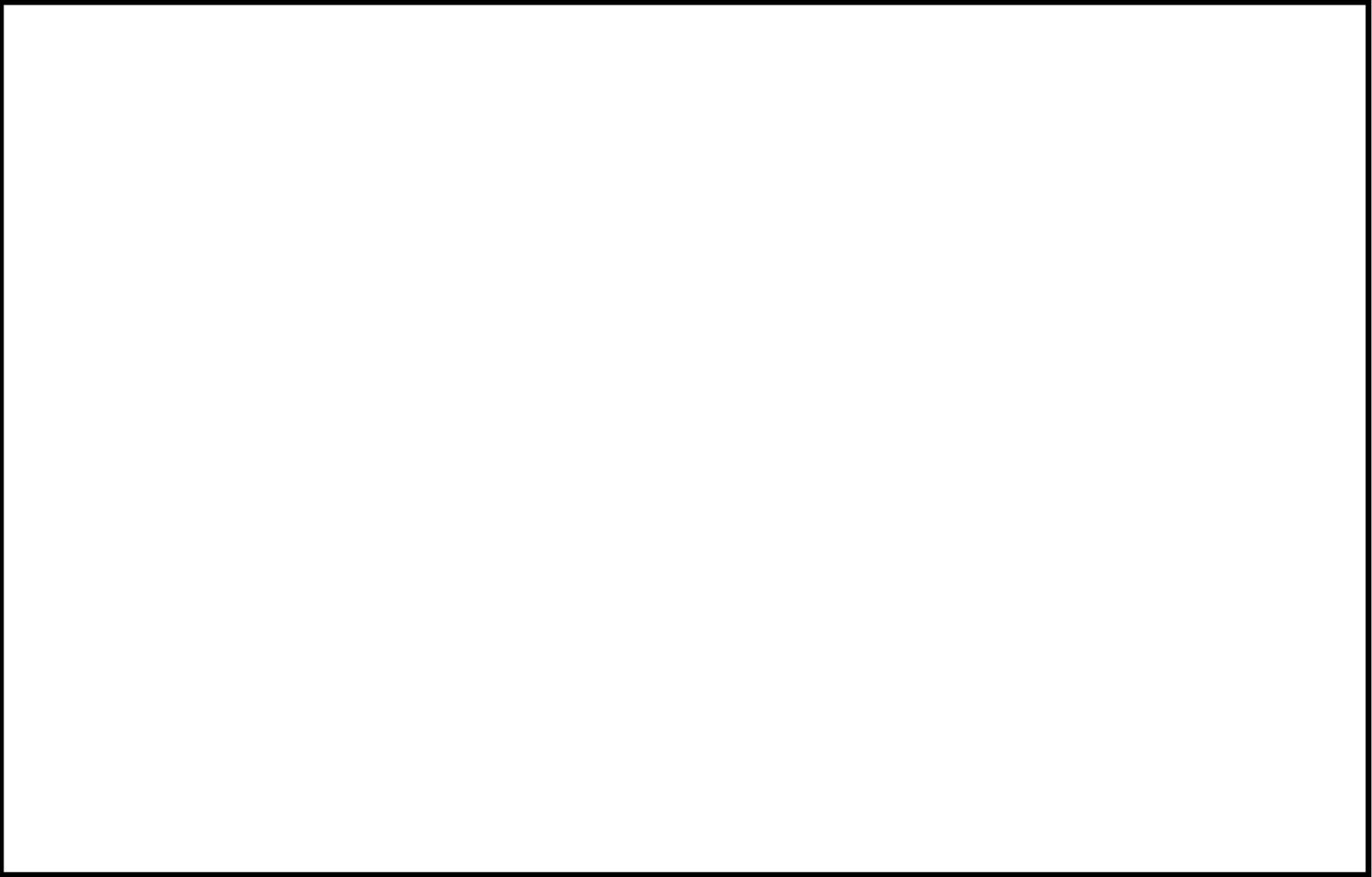


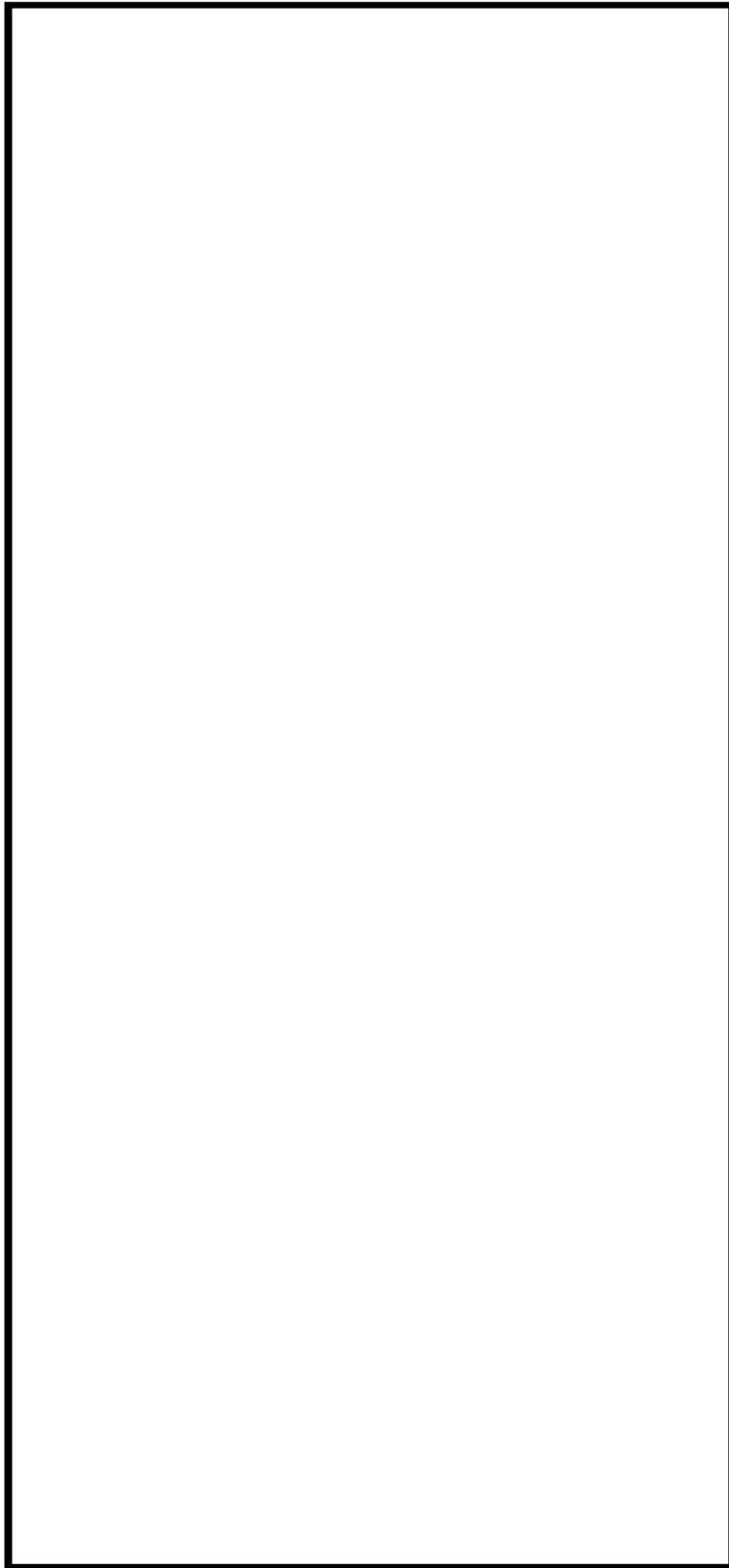












ふた管台形状寸法、評価点及び解析モデル

ふた管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.00012	0.00001	0.0
6	0.03350	0.0	0.03978

許容値 $U_F=1.0$

0.03978 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

ふた管台 疲労解析結果 (評価点 : 6)

評価点 - 6
(S31)

応力強さ (単位 : MPa)		Ko	ALT	ALT'	繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値				N	N*	
1373.8	-359.4	1.0	866.6	880.2	2	798	0.00251
1251.4	-359.4	1.0	805.4	818.0	2	1000	0.00200
1043.8	-359.4	1.0	701.6	712.6	2	1610	0.00124
887.6	-359.4	1.0	623.5	633.3	26	2450	0.01061
887.6	-351.1	1.0	619.4	629.1	34	2510	0.01355
887.6	0.0	1.0	443.8	450.7	66	9150	0.00721
887.6	361.8	1.0	262.9	267.0	2	132000	0.00002
887.6	397.3	1.0	245.2	249.0	473	195000	0.00243
878.7	397.3	1.0	240.7	244.5	0	218000	0.00000
876.8	397.3	1.0	239.8	243.5	34	224000	0.00015
856.6	397.3	1.0	229.7	233.2	2	292000	0.00001
827.9	397.3	1.0	215.3	218.7	2	437000	0.00000
824.8	397.3	1.0	213.8	217.1	2	457000	0.00000
816.0	397.3	1.0	209.4	212.6	7	522000	0.00001
794.3	397.3	1.0	198.5	201.6	3	762000	0.00000
748.0	397.3	1.0	175.4	178.1	2	1320000	0.00000
734.3	397.3	1.0	168.5	171.1	2	1500000	0.00000
725.4	397.3	1.0	164.1	166.6	2	1640000	0.00000
705.7	397.3	1.0	154.2	156.6	35	2020000	0.00002
685.4	397.3	1.0	144.0	146.3	2	2710000	0.00000
678.6	397.3	1.0	140.7	142.9	0	3000000	0.00000
677.9	397.3	1.0	140.3	142.5	2	3030000	0.00000
674.9	397.3	1.0	138.8	141.0	2	3180000	0.00000
667.1	397.3	1.0	134.9	137.0	31	3590000	0.00001
667.1	463.2	1.0	102.0	103.6	1	24700000	0.00000
667.1	463.2	1.0	102.0	103.6	1	24700000	0.00000
667.1	474.0	1.0	96.6	98.1	2	68400000	0.00000
667.1	516.8	1.0	75.1	76.3	2		0.0

疲労累積係数 = 0.03978

Ko : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT' : ALT(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 : 0.040

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

ふた管台 環境疲労評価結果 (評価点 : 5)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2D4	92.3	-397.6	1.21	296.5	300.1	2	69800	0.00003	3.217	0.00009
1A1	2G1	92.3	-372.0	1.10	254.9	258.8	2	157000	0.00001	3.262	0.00004
1A1	1L1	92.3	-319.6	1.00	206.0	209.2	2	586000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2J2	92.3	-281.2	1.00	186.8	189.7	26	1070000	0.00002	1.000	0.00002
2J1	2J2	91.4	-281.2	1.00	186.3	189.2	8	1080000	0.00001	1.000	0.00001
2J1	1D1	91.4	-278.2	1.00	184.8	187.7	26	1110000	0.00002	1.000	0.00002
NBS	1D1	0.0	-278.2	1.00	139.1	141.3	66	3150000	0.00002	1.000	0.00002
2E1	1D1	-99.4	-278.2	1.00	89.4	90.8	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00021

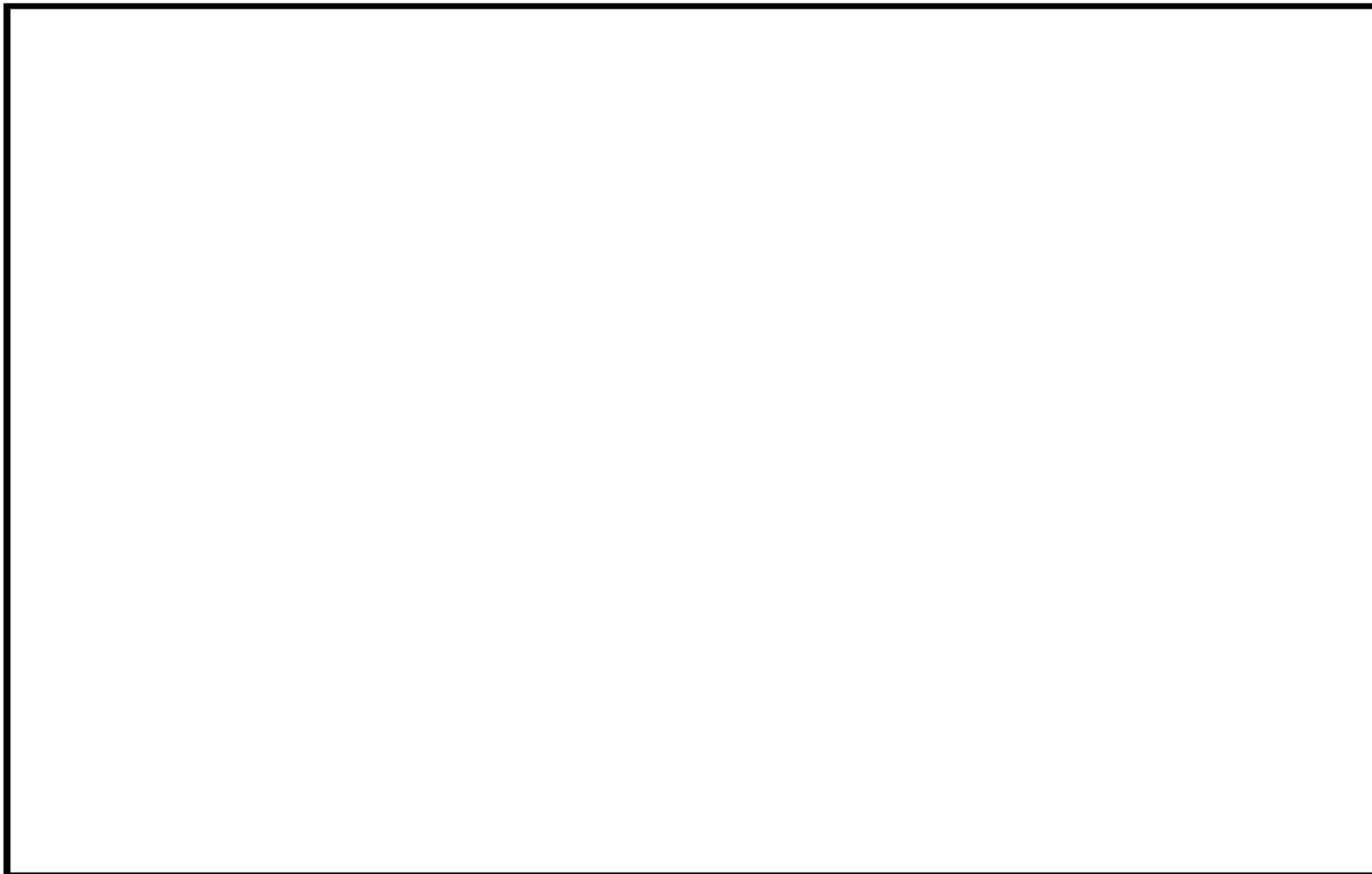
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

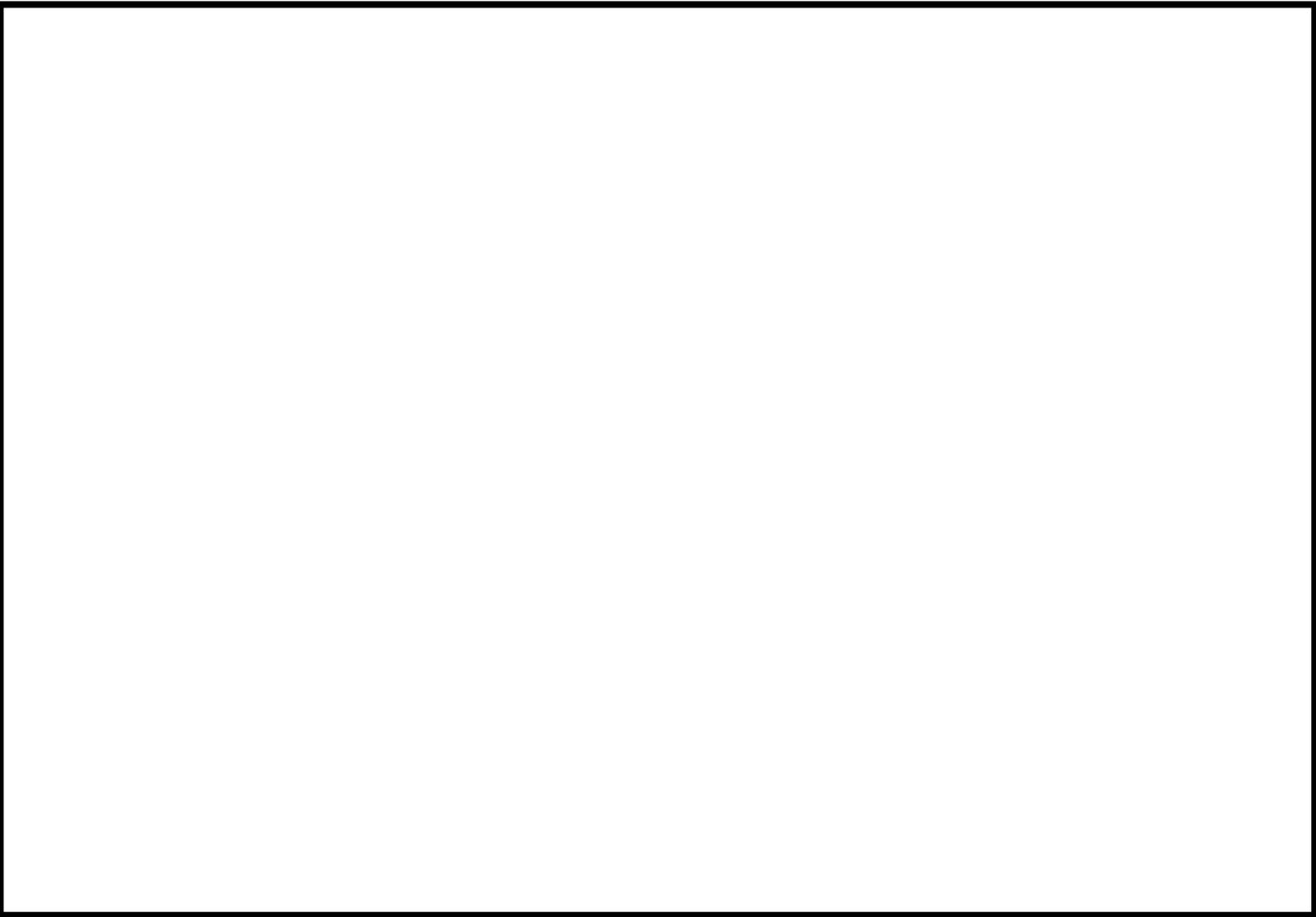
→環境 UF : 0.001

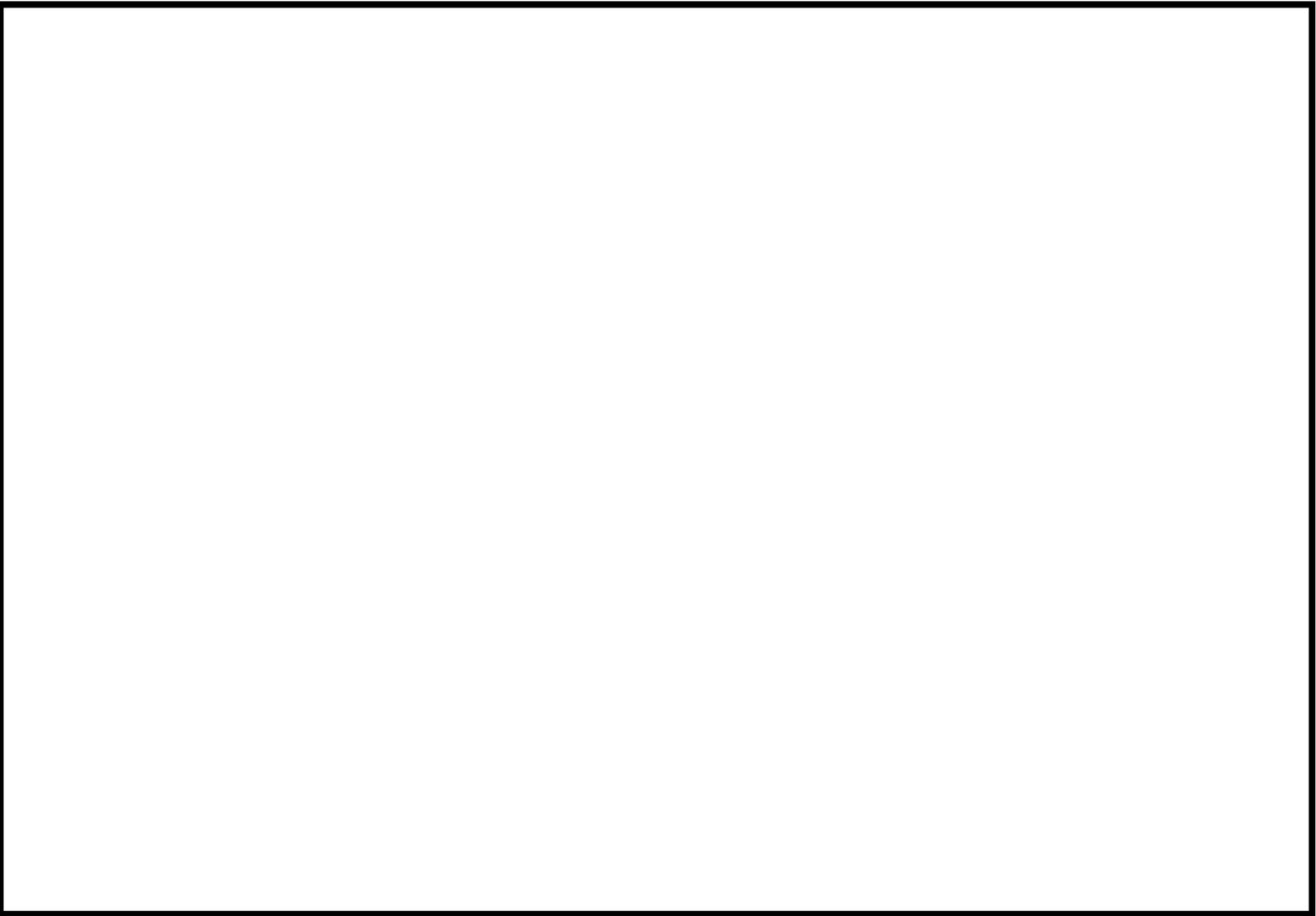
 : 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

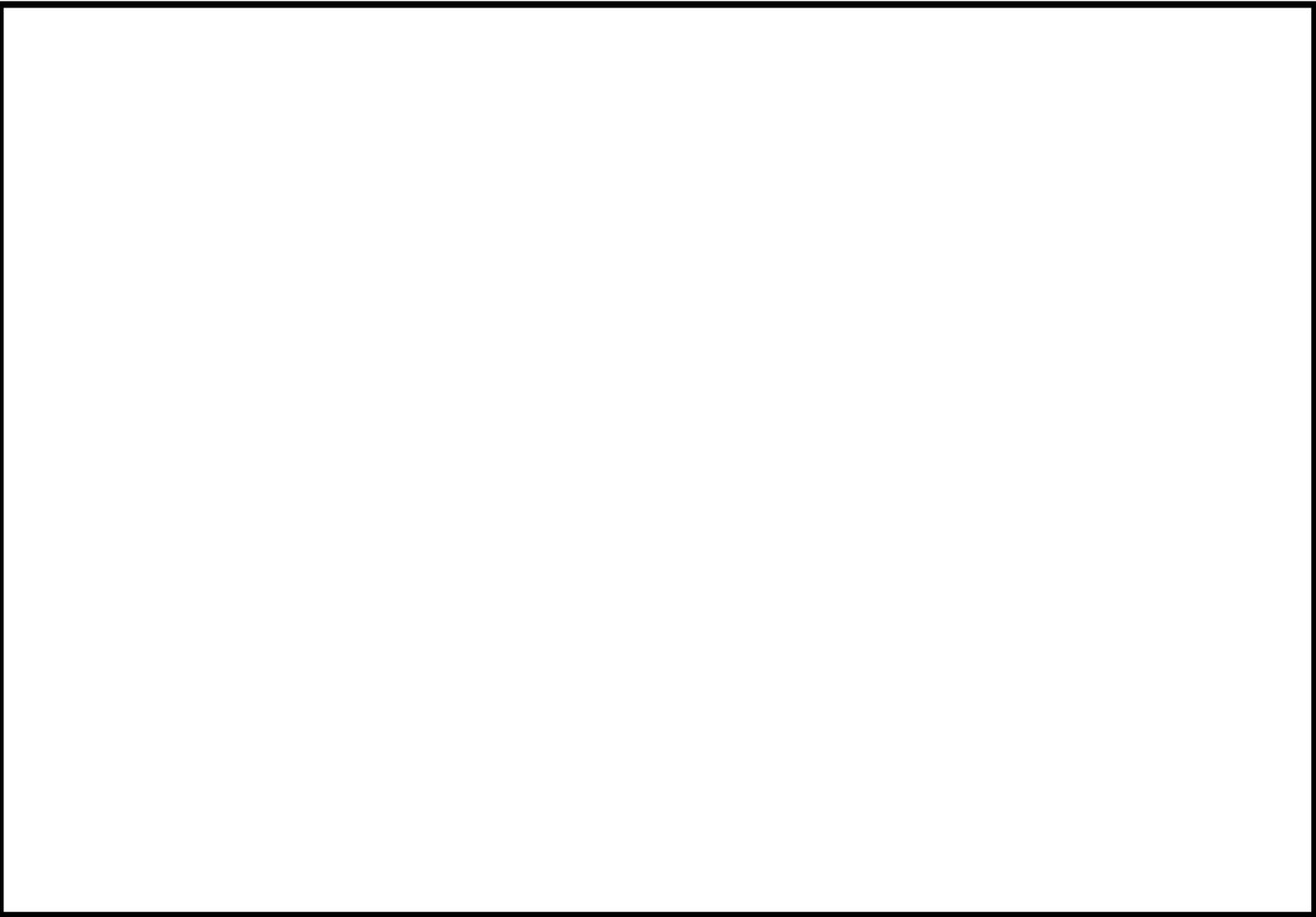
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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











空気抜管台形状寸法、評価点及び解析モデル

空気抜管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.00028	0.00003	0.00000
4	0.01479	0.00000	0.02246

許容値 $U_r = 1.0$

0.02246 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

空気抜管台 疲労解析結果 (評価点 : 4)

評価点 - 4
(S31)

応力強さ		Ke	〈 単位 : MPa 〉			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値		ALT	ALT'	N	N*		
1486.1	-333.3	1.0	909.7	923.9	2	684	0.00292	
1230.0	-333.3	1.0	781.6	793.9	2	1110	0.00180	
944.7	-333.3	1.0	639.0	649.0	2	2240	0.00089	
923.8	-333.3	1.0	628.5	638.4	2	2380	0.00084	
875.5	-333.3	1.0	604.4	613.9	2	2760	0.00072	
849.1	-333.3	1.0	591.2	600.5	2	3090	0.00067	
805.7	-333.3	1.0	569.5	578.4	2	3450	0.00058	
801.5	-333.3	1.0	567.4	576.3	7	3490	0.00201	
780.9	-333.3	1.0	557.1	565.8	0	3740	0.00000	
732.3	-333.3	1.0	532.8	541.1	2	4430	0.00045	
662.2	-333.3	1.0	497.8	505.5	2	5770	0.00035	
660.7	-333.3	1.0	497.0	504.8	7	5810	0.00120	
660.7	-320.8	1.0	490.7	498.4	34	6110	0.00556	
660.7	0.0	1.0	330.4	335.5	66	38800	0.00170	
660.7	166.0	1.0	247.4	251.2	494	186000	0.00266	
578.2	166.0	1.0	206.1	209.3	34	584000	0.00006	
569.5	166.0	1.0	201.8	204.9	2	679000	0.00000	
527.9	166.0	1.0	181.0	183.8	3	1190000	0.00000	
488.8	166.0	1.0	161.4	163.9	35	1730000	0.00002	
469.5	166.0	1.0	151.7	154.1	2	2169000	0.00000	
453.5	166.0	1.0	143.7	146.0	31	2730000	0.00001	
453.5	181.3	1.0	136.1	138.2	1	3460000	0.00000	
447.2	181.3	1.0	132.9	135.0	0	3830000	0.00000	
445.2	181.3	1.0	131.9	134.0	1	3960000	0.00000	
445.2	288.1	1.0	78.5	79.8	1	—————	0.0	

疲労累積係数 = 0.02246

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

→通常 UF : 0.023

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

空気抜管台 環境疲労評価結果 (評価点 : 3)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2D4	116.4	-548.3	1.21	402.1	408.4	2	14500	0.00014	3.106	0.00043
1A1	2G1	116.4	-463.4	1.00	289.9	294.4	2	77400	0.00003	3.168	0.00008
1A1	1L1	116.4	-357.3	1.00	236.8	240.6	2	241000	0.00001	3.139	0.00003
1A1	2E1	116.4	-333.1	1.00	224.7	228.3	2	334000	0.00001	3.142	0.00002
1A1	2F1	116.4	-328.0	1.00	222.2	225.7	2	359000	0.00001	3.119	0.00002
1A1	2D2	116.4	-322.0	1.00	219.2	222.6	2	391000	0.00001	3.138	0.00002
1A1	2D1	116.4	-308.8	1.00	212.6	215.9	7	473000	0.00001	3.157	0.00005
1A1	2C2	116.4	-308.5	1.00	212.4	215.7	2	475000	0.00000	3.141	0.00001
1A1	2H2	116.4	-283.6	1.00	200.0	203.1	2	722000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1G1	116.4	-277.7	1.00	197.0	200.1	2	803000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1D1	116.4	-277.6	1.00	197.0	200.0	7	805000	0.00001	1.000	0.00001
2J1	1D1	113.2	-277.6	1.00	195.4	198.4	34	853000	0.00004	1.000	0.00004
NSS	1D1	0.0	-277.6	1.00	138.8	141.0	66	3180000	0.00002	1.000	0.00002
2H1	1D1	-87.3	-277.6	1.00	95.1	96.6	2	231000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1D1	-89.3	-277.6	1.00	94.1	95.6	492	1550000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2J2	-89.3	-246.1	1.00	78.4	79.6	34	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00072

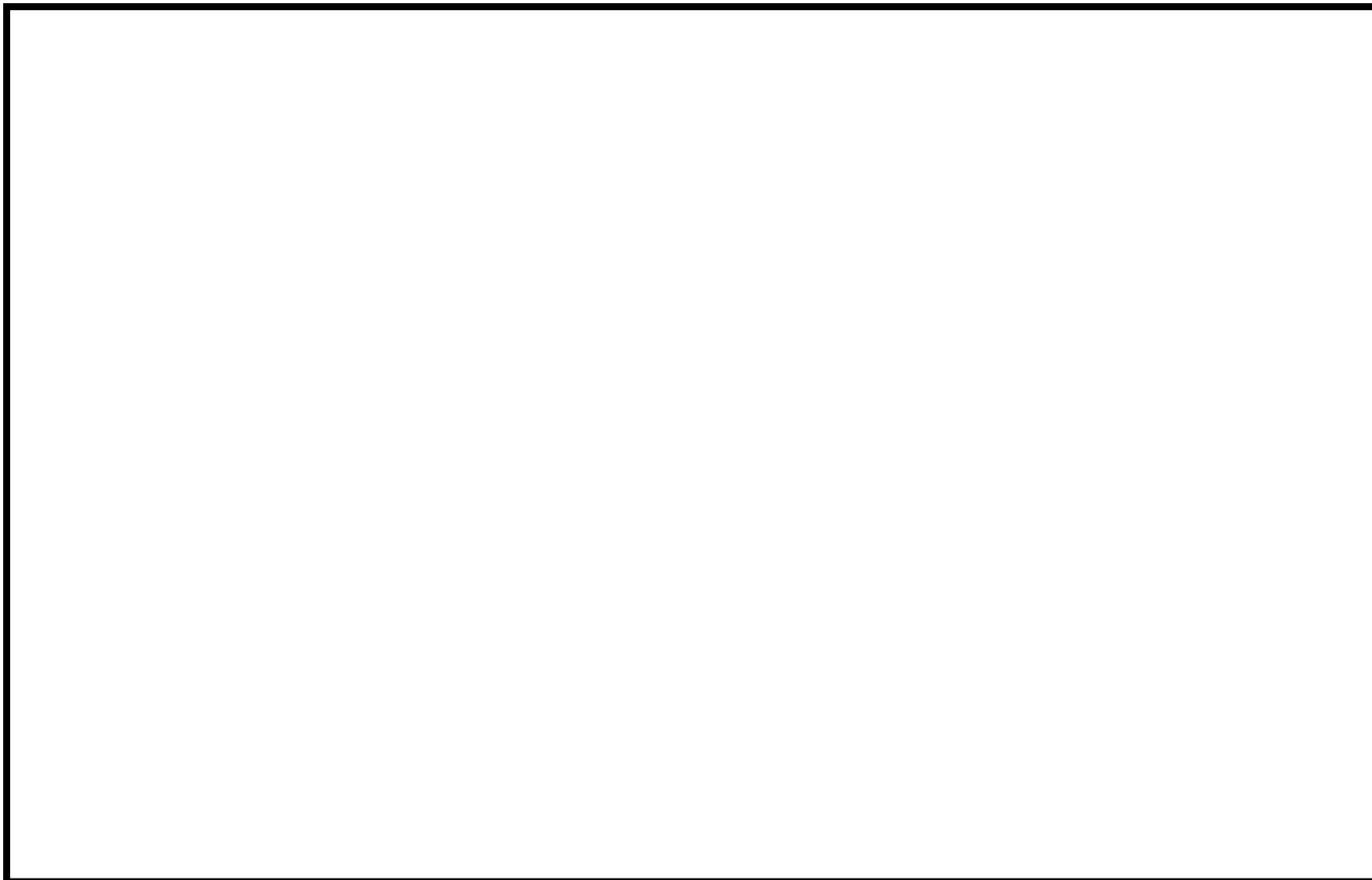
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

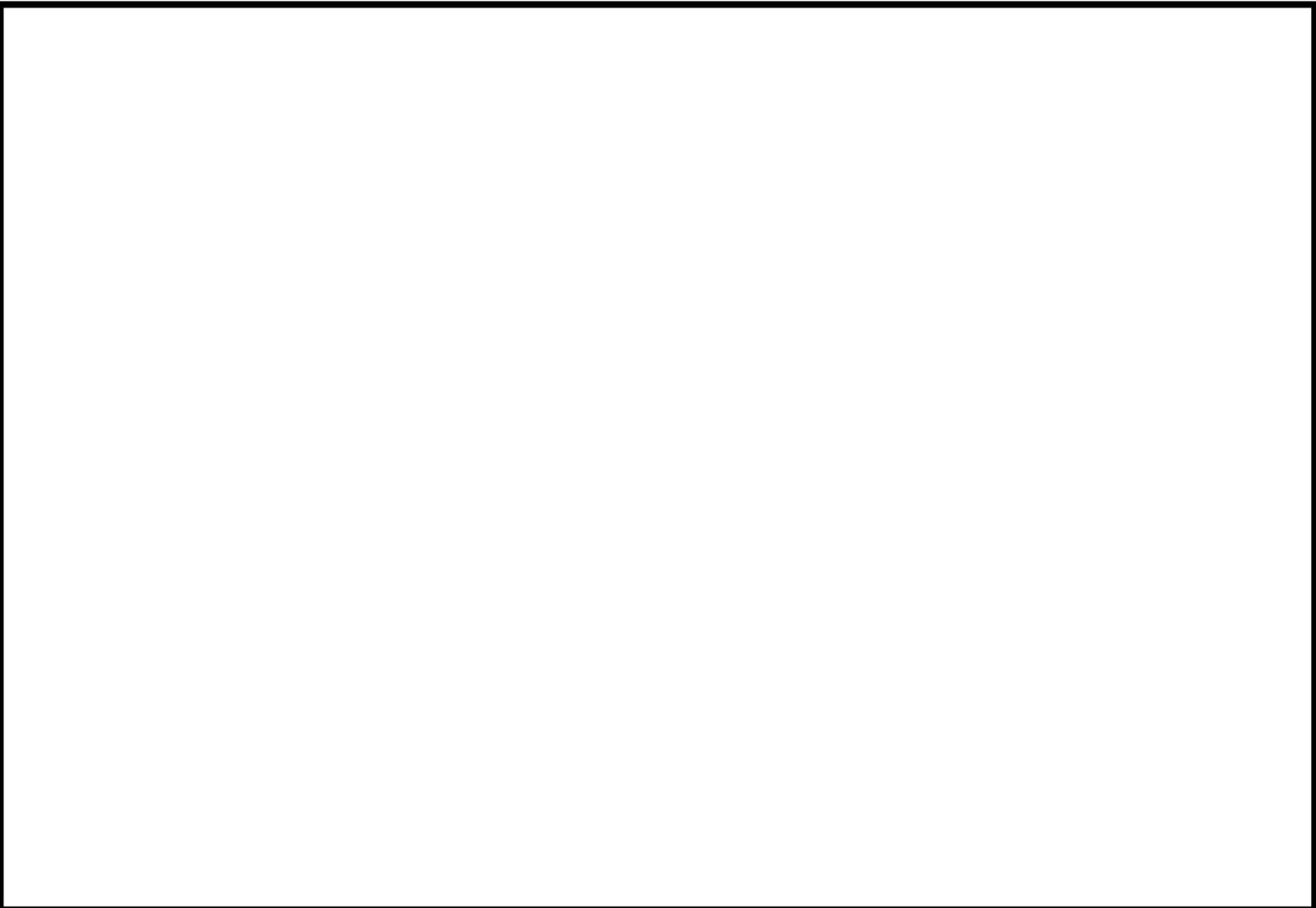
→環境 UF : 0.001

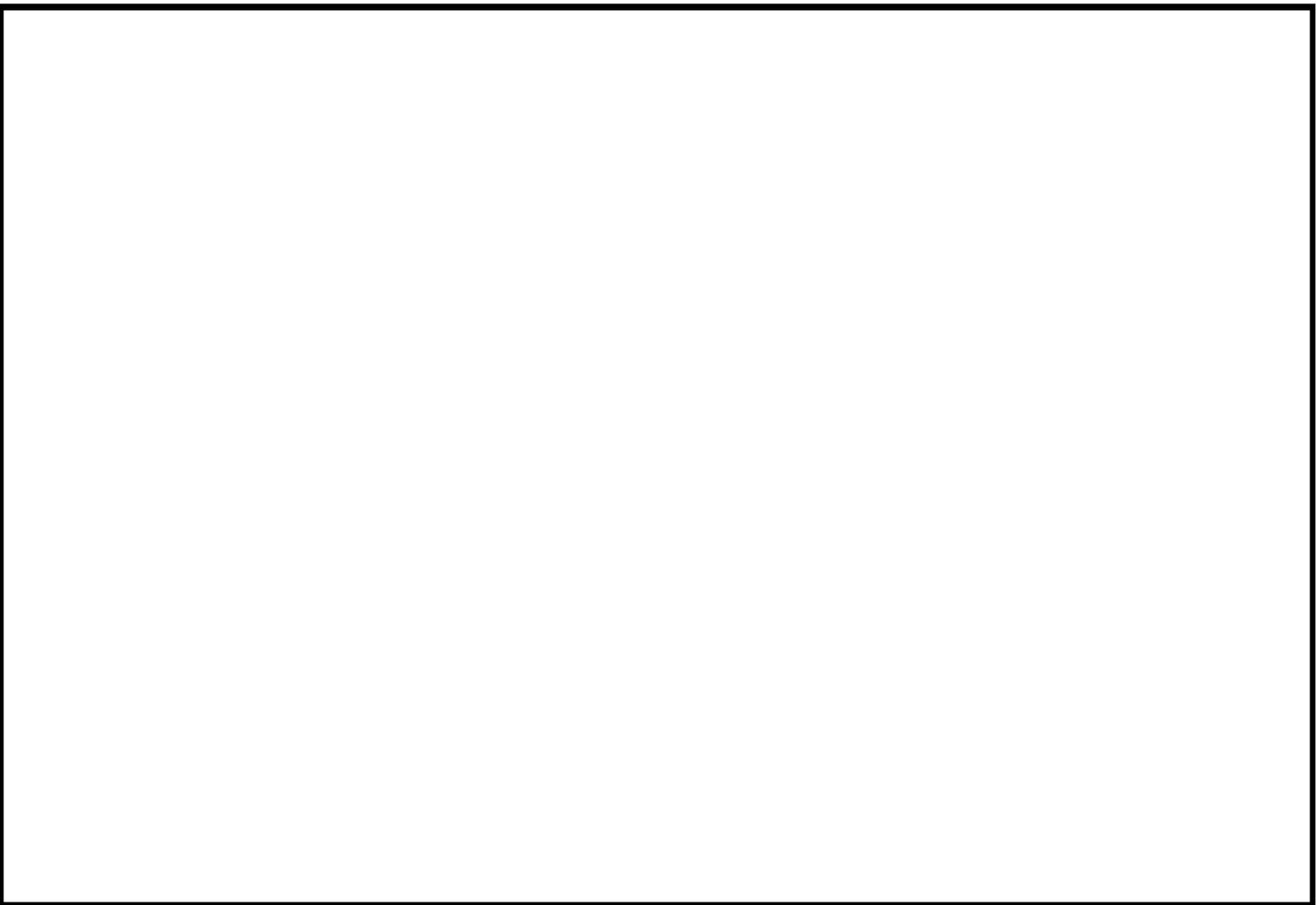
 : 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

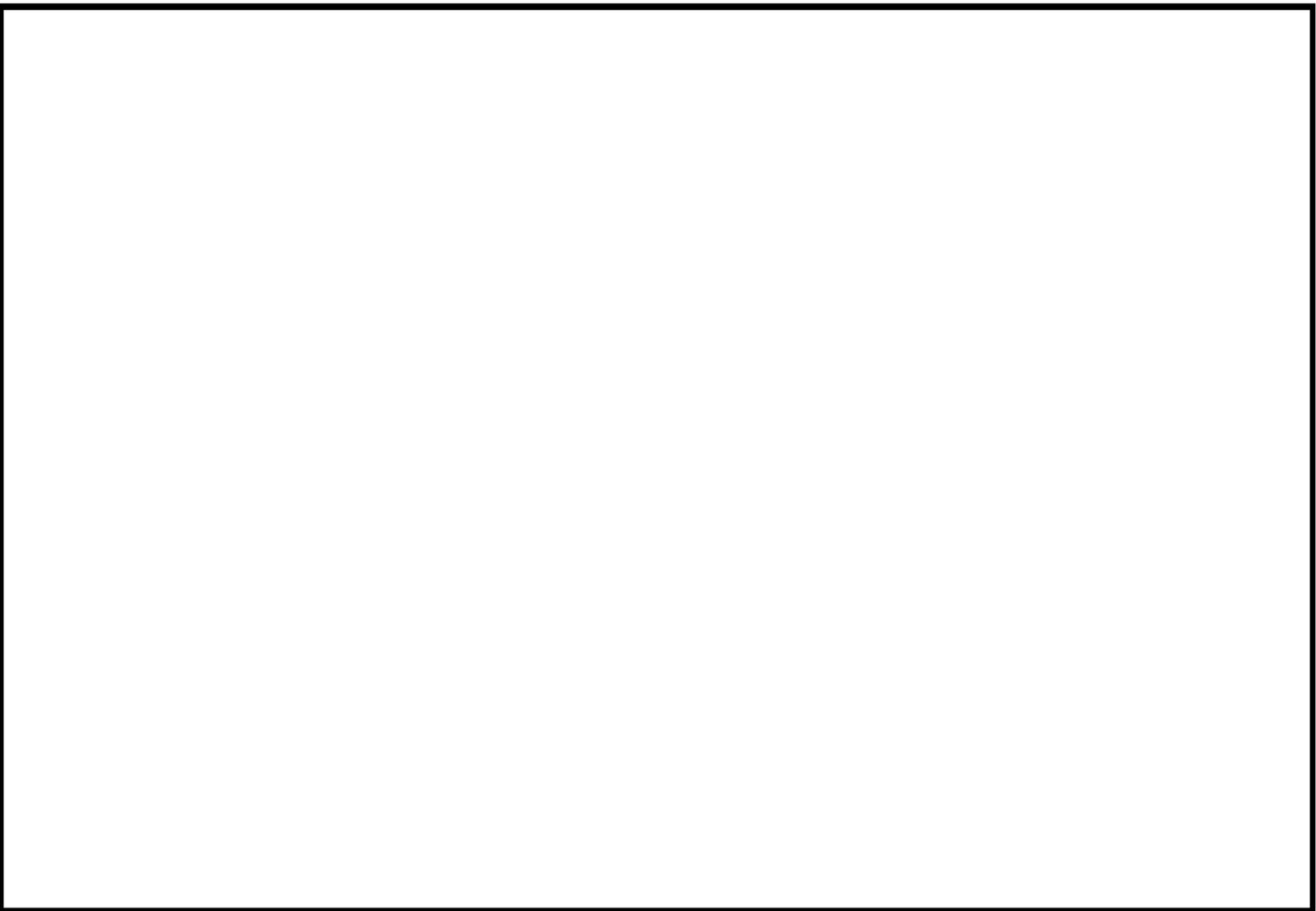
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

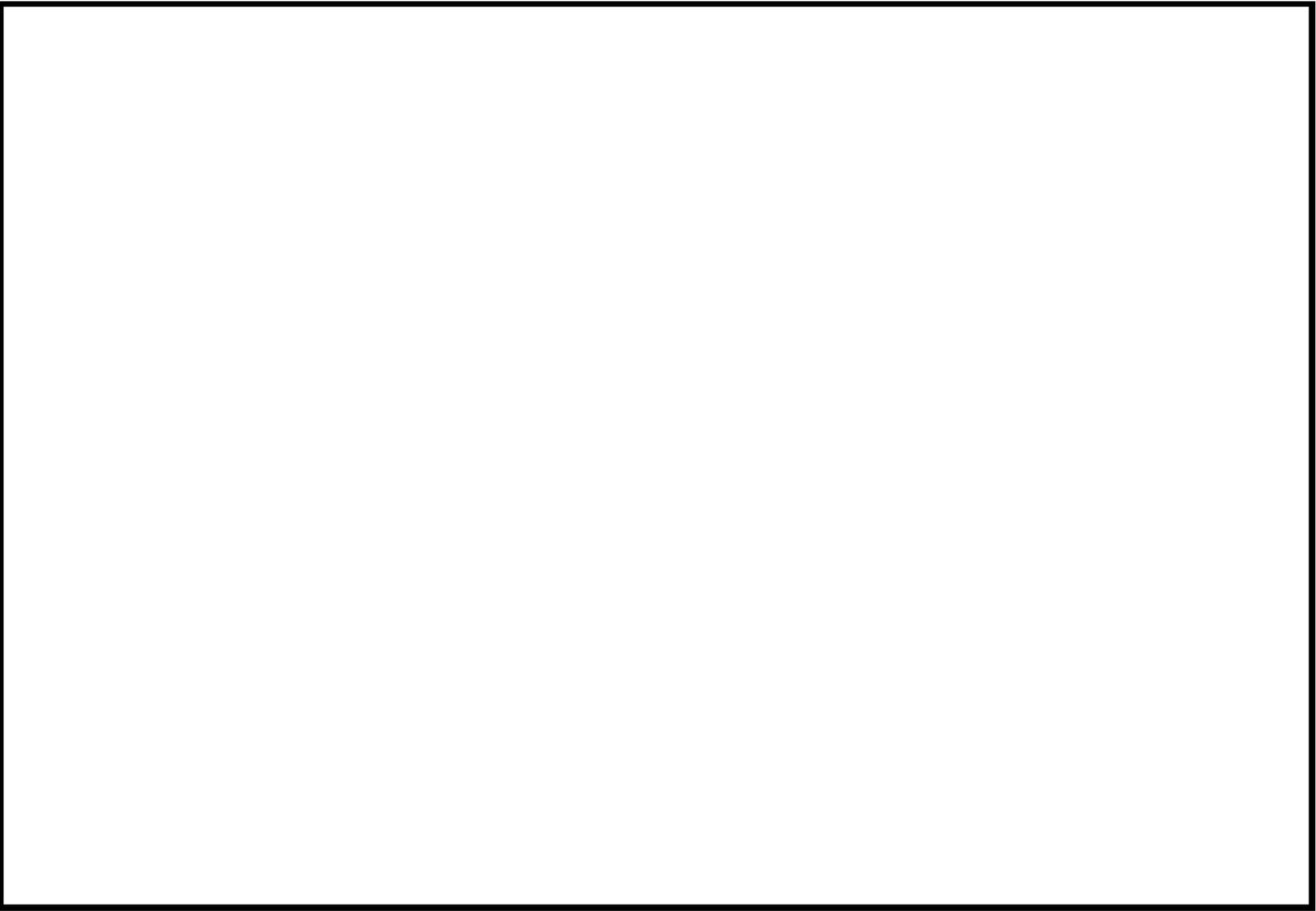
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

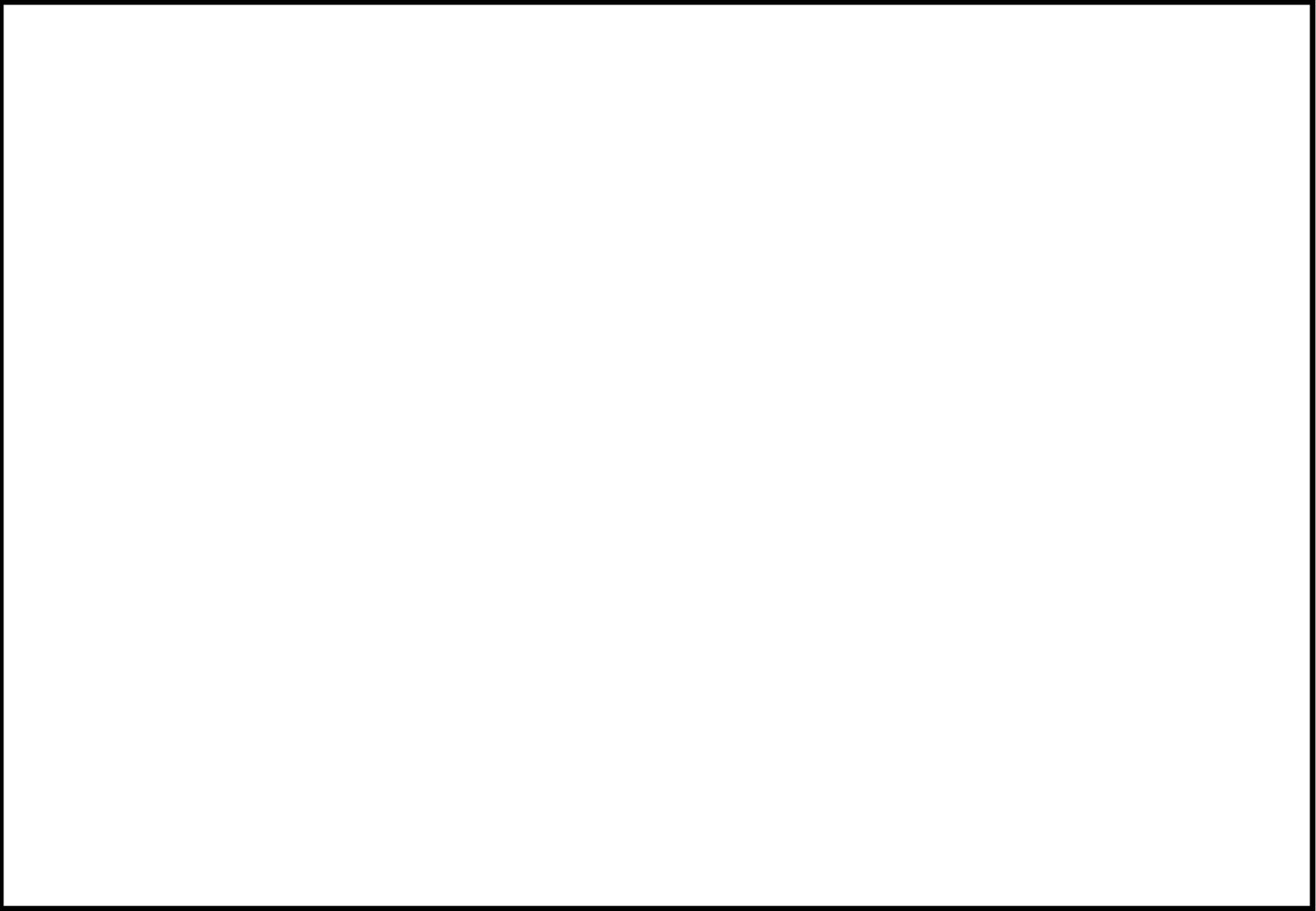


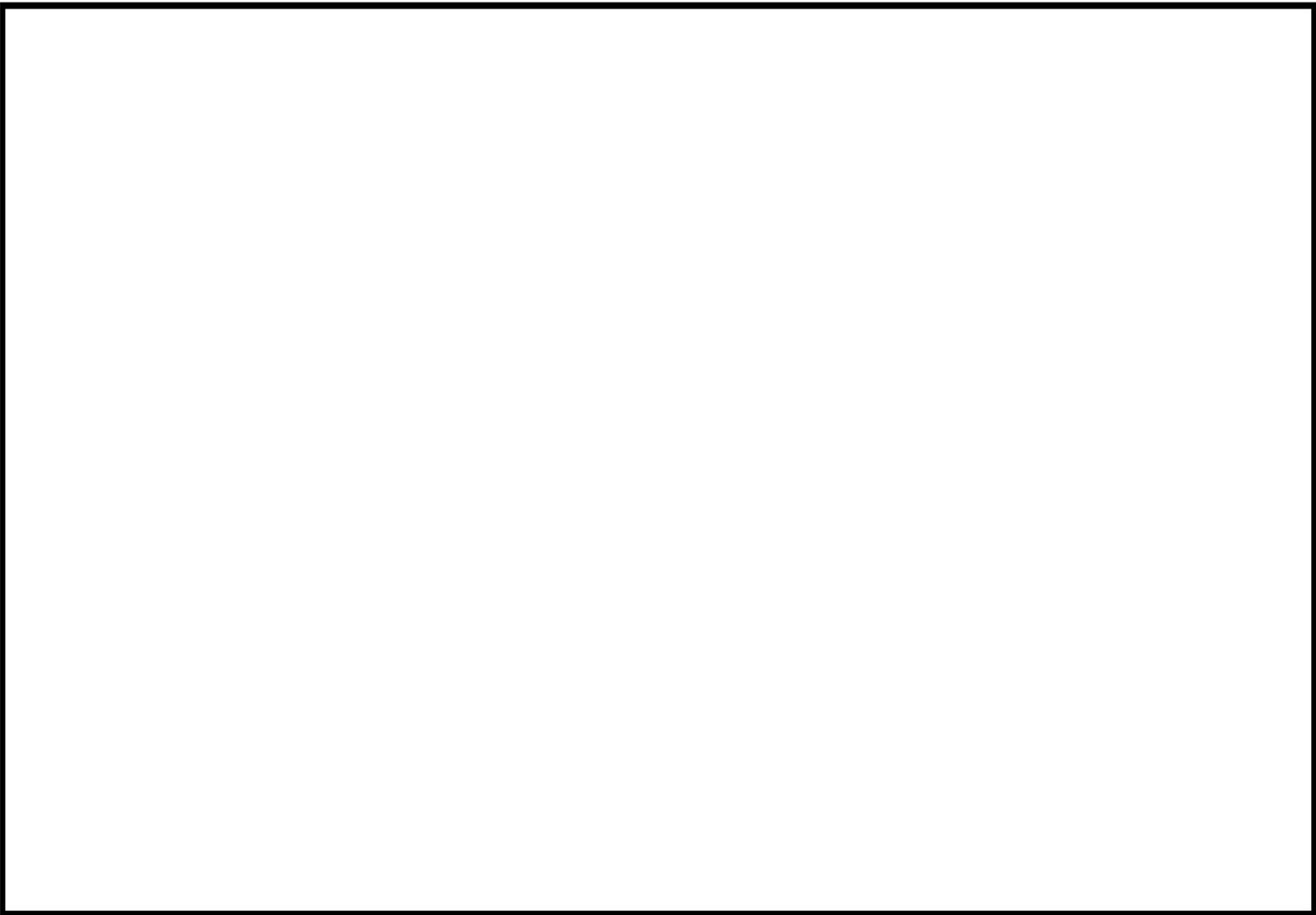


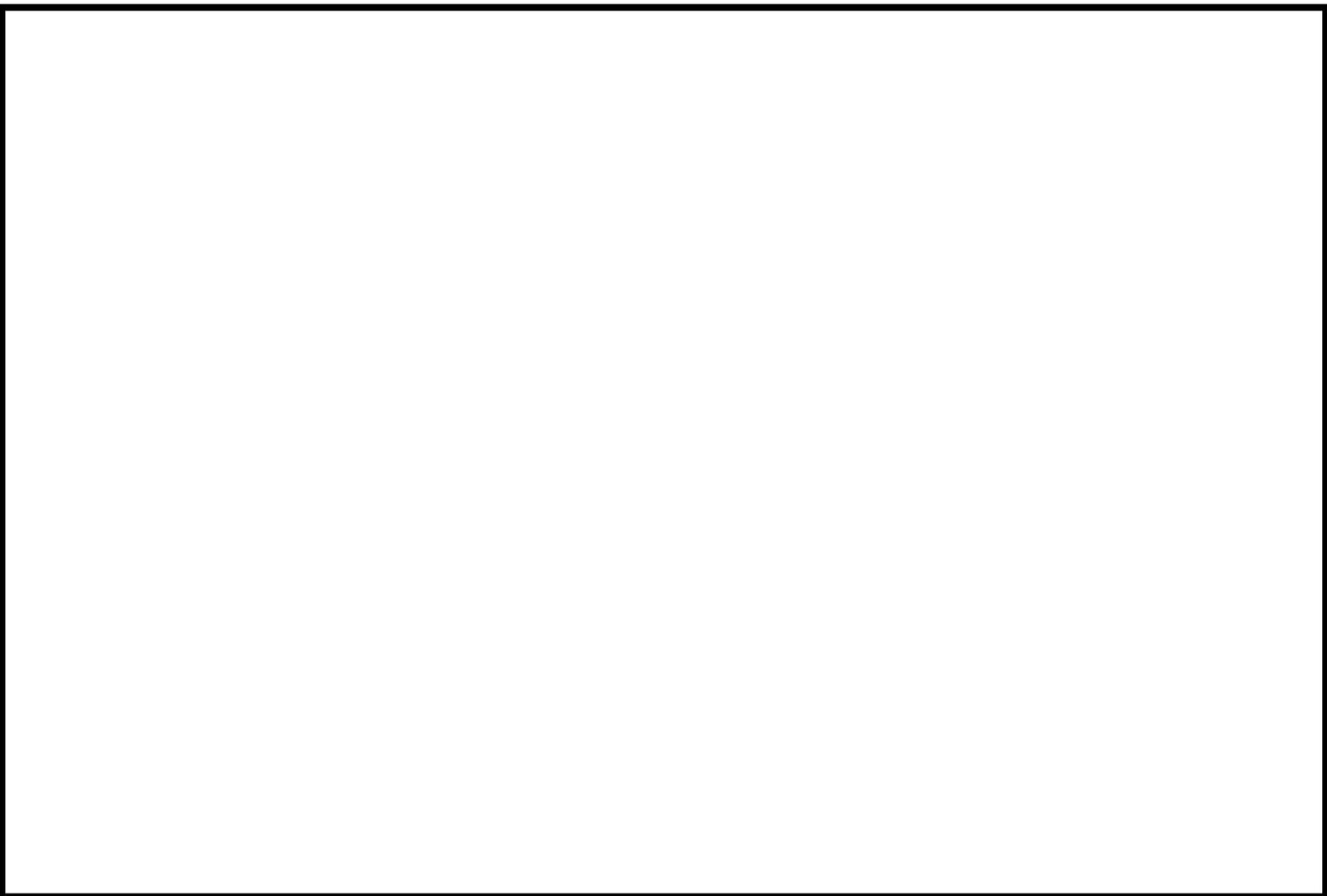


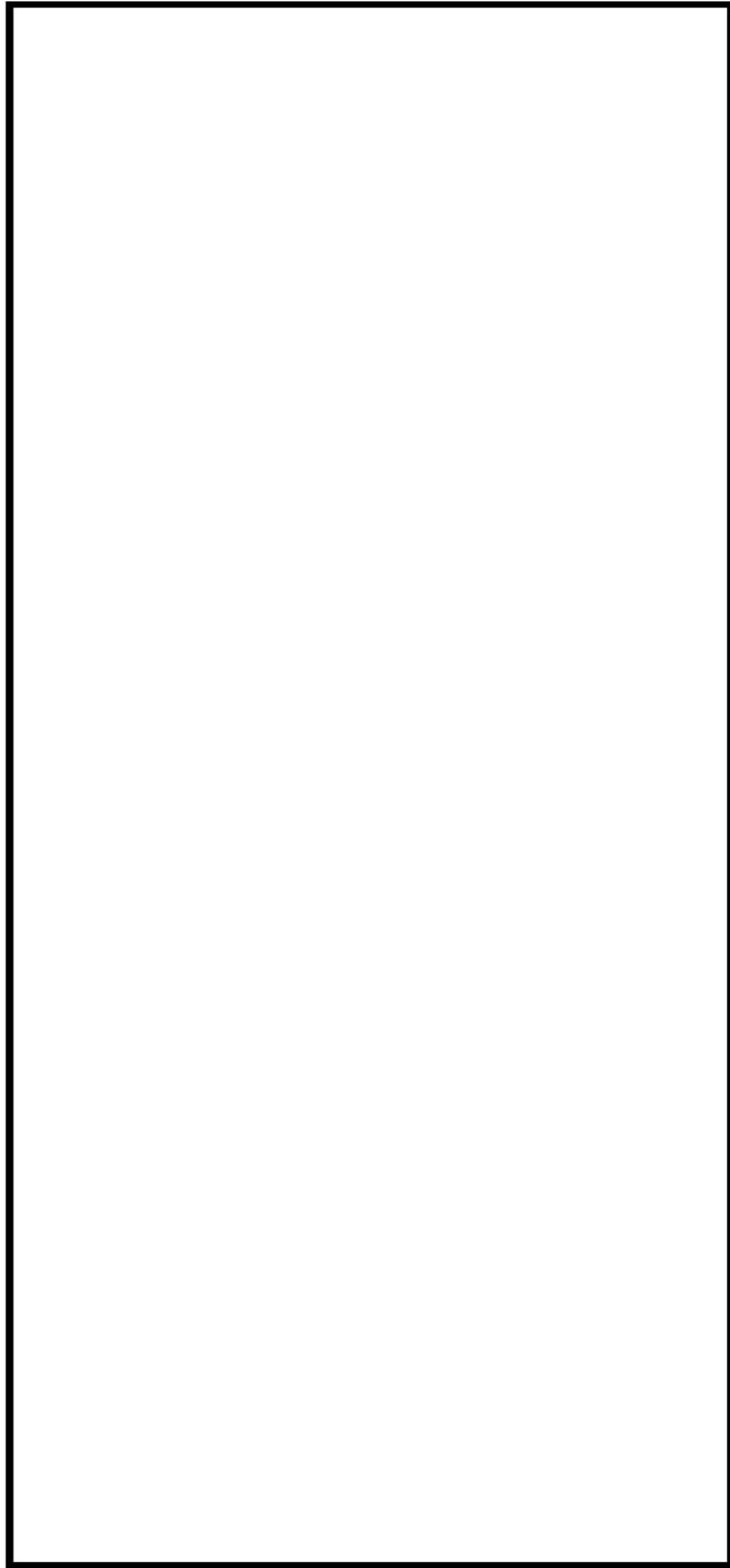












炉内計装筒形状寸法、評価点及び解析モデル

炉内計装筒 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.00000
6	0.00000	0.0	0.00000
7	0.00000	0.0	0.0
8	0.00000	0.0	0.00000
9	0.00017	0.00002	0.0
10	0.09317	0.00707	0.46156

許容値 $U_r=1.0$

0.46156 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

炉内計装筒 疲労解析結果 (評価点 : 10)

評価点 - 10
(S31)

応力強さ (単位 : MPa)		Ke	繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
最大値	極小値		ALT	ALT*	
2448.1	-210.3	1.0	1329.2	1309.1	2 237 0.00844
2120.8	-210.3	1.0	1165.6	1147.9	2 351 0.00570
1851.1	-210.3	1.0	1030.7	1015.1	6 507 0.01183
1753.4	-210.3	1.0	981.9	967.0	7 592 0.01182
1752.7	-210.3	1.0	981.5	966.6	2 593 0.00337
1734.2	-210.3	1.0	972.2	957.5	40 611 0.06547
1734.2	-160.0	1.0	947.1	932.7	19 664 0.02861
1710.2	-160.0	1.0	935.1	920.9	5 691 0.00724
1662.3	-160.0	1.0	911.1	897.3	36 751 0.04794
1662.3	-104.3	1.0	883.3	869.9	60 828 0.07246
1662.3	-85.9	1.0	874.1	860.8	68 856 0.07944
1662.3	0.0	1.0	831.1	818.5	119 1000 0.11900
1662.3	882.4	1.0	390.0	384.0	2 19700 0.00010
1662.3	1038.6	1.0	311.8	307.1	7 61500 0.00011
1662.3	1256.0	1.0	203.1	200.0	3 805000 0.00000
1662.3	1278.1	1.0	192.1	189.2	2 1080000 0.00000
1662.3	1294.9	1.0	183.7	180.9	2 1250000 0.00000
1662.3	1299.8	1.0	181.3	178.5	2 1310000 0.00000
1662.3	1323.7	1.0	169.3	166.7	8 1640000 0.00000
1662.3	1343.7	1.0	159.3	156.9	2 2000000 0.00000
1662.3	1360.7	1.0	150.8	148.5	2 2540000 0.00000
1662.3	1376.0	1.0	143.1	141.0	5 3180000 0.00000
1662.3	1378.7	1.0	141.8	139.6	4 3320000 0.00000
1662.3	1465.2	1.0	93.5	97.0	562 98600000 0.00001
1621.1	1465.2	1.0	78.0	76.8	4 — 0.0

疲労累積係数 = 0.46156

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 : 0.462

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

炉内計装筒 環境疲労評価結果（評価点：9）

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D4	27.6	-427.6	1.00	227.6	224.1	2	375000	0.00001	2.667	0.00001
2J1	2G1	27.6	-374.8	1.00	201.2	198.2	2	860000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	2I1	27.6	-328.7	1.00	178.1	175.4	6	1390000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	2A1	27.6	-320.8	1.00	174.2	171.6	7	1490000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	2J2	27.6	-312.9	1.00	170.2	167.6	42	1610000	0.00003	1.000	0.00003
1A1	2J2	17.6	-312.9	1.00	165.2	162.7	17	1770000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	2H1	17.6	-309.7	1.00	163.7	161.2	2	1830000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2B1	17.6	-308.9	1.00	163.3	160.8	5	1840000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1C1	17.6	-299.3	1.00	158.5	156.1	36	2050000	0.00002	1.000	0.00002
1B1	1C1	9.7	-299.3	1.00	154.5	152.1	60	2290000	0.00003	1.000	0.00003
1I1	1C1	6.2	-299.3	1.00	152.8	150.4	68	2400000	0.00003	1.000	0.00003
NSS	1C1	0.0	-299.3	1.00	149.7	147.4	119	2620000	0.00005	1.000	0.00005
2E1	1C1	-158.1	-299.3	1.00	70.6	69.5	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00018

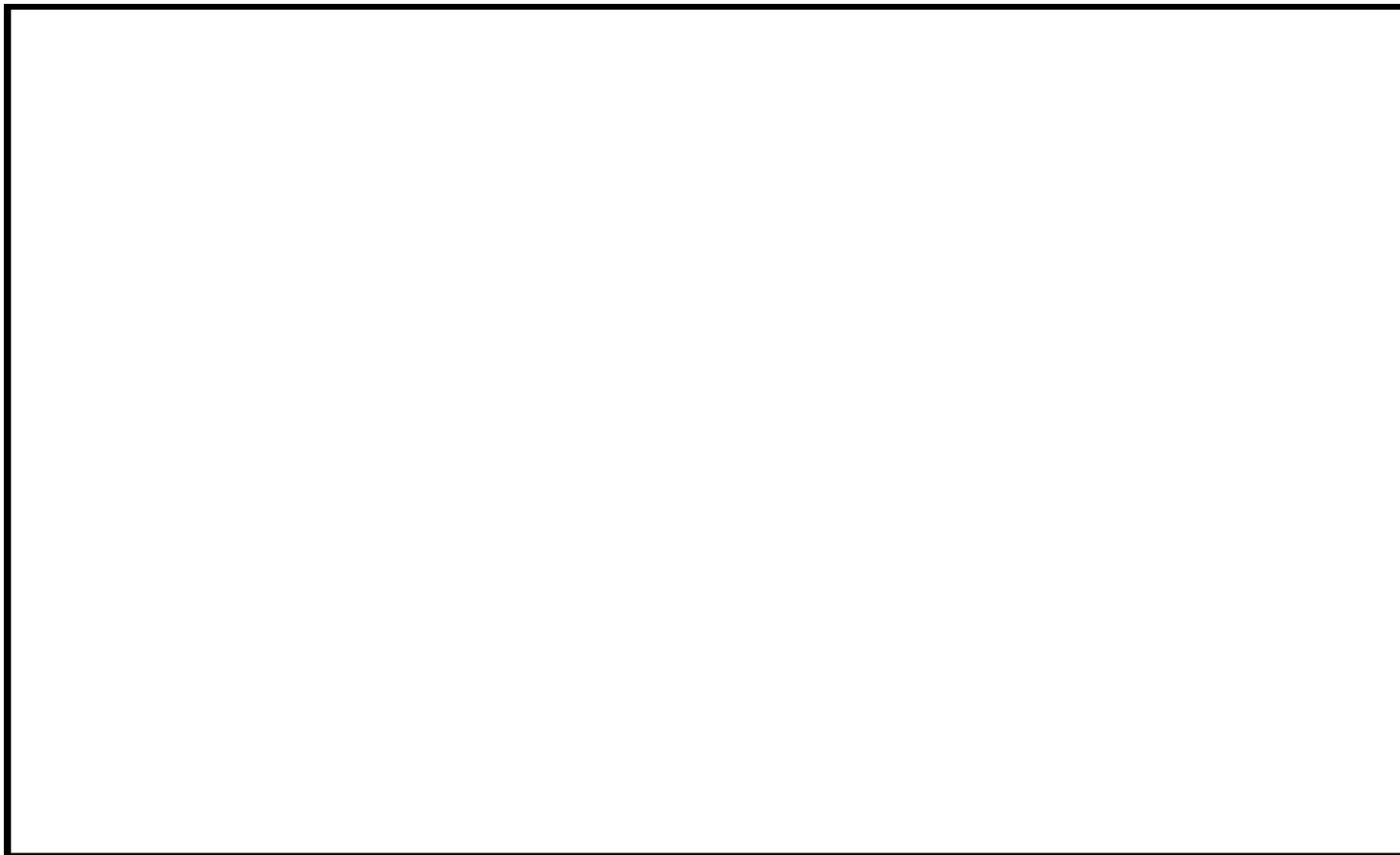
（注）ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ （salt' ≤ 214.5 ）の場合、fen=1.0

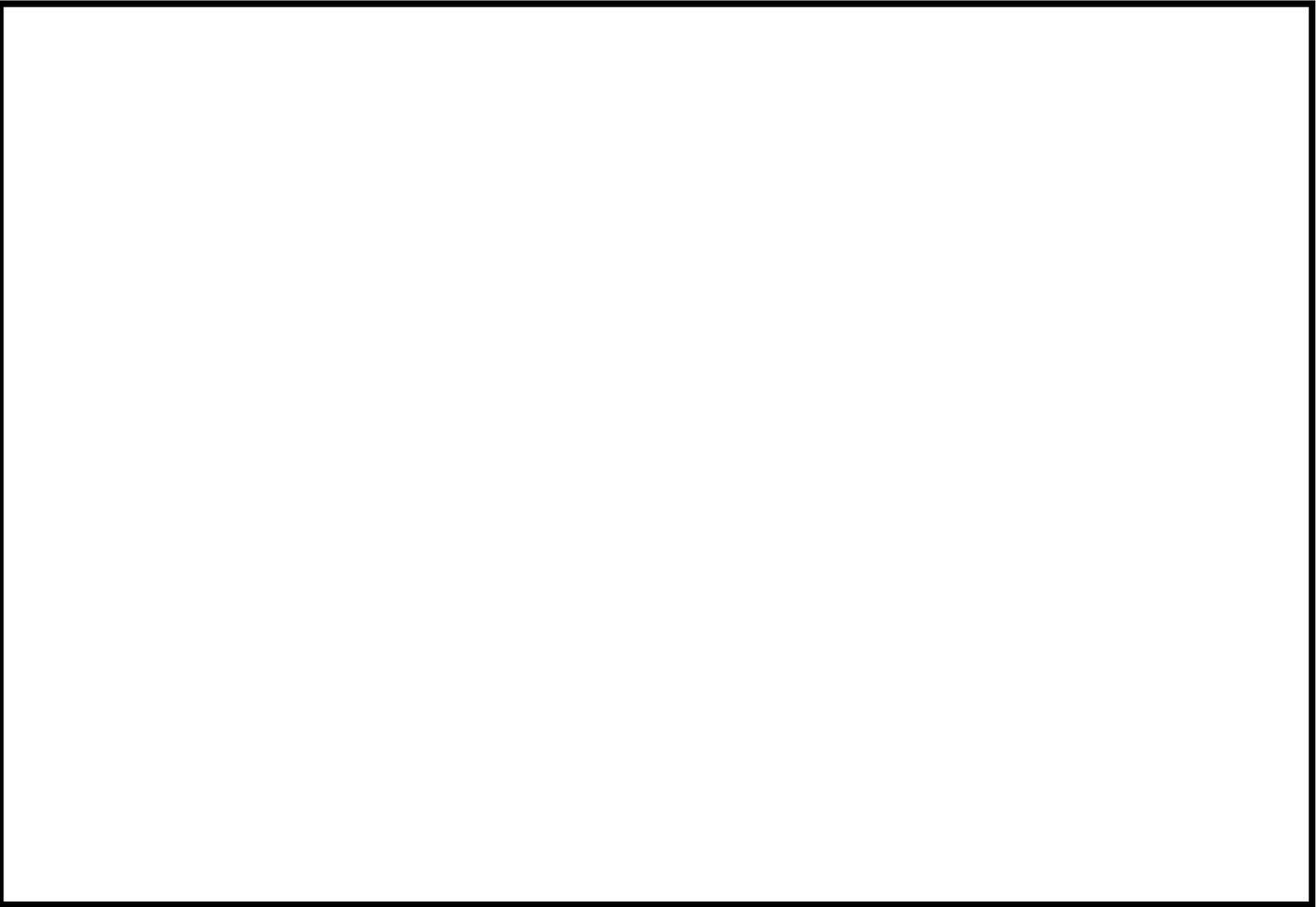
→環境 UF : 0.001

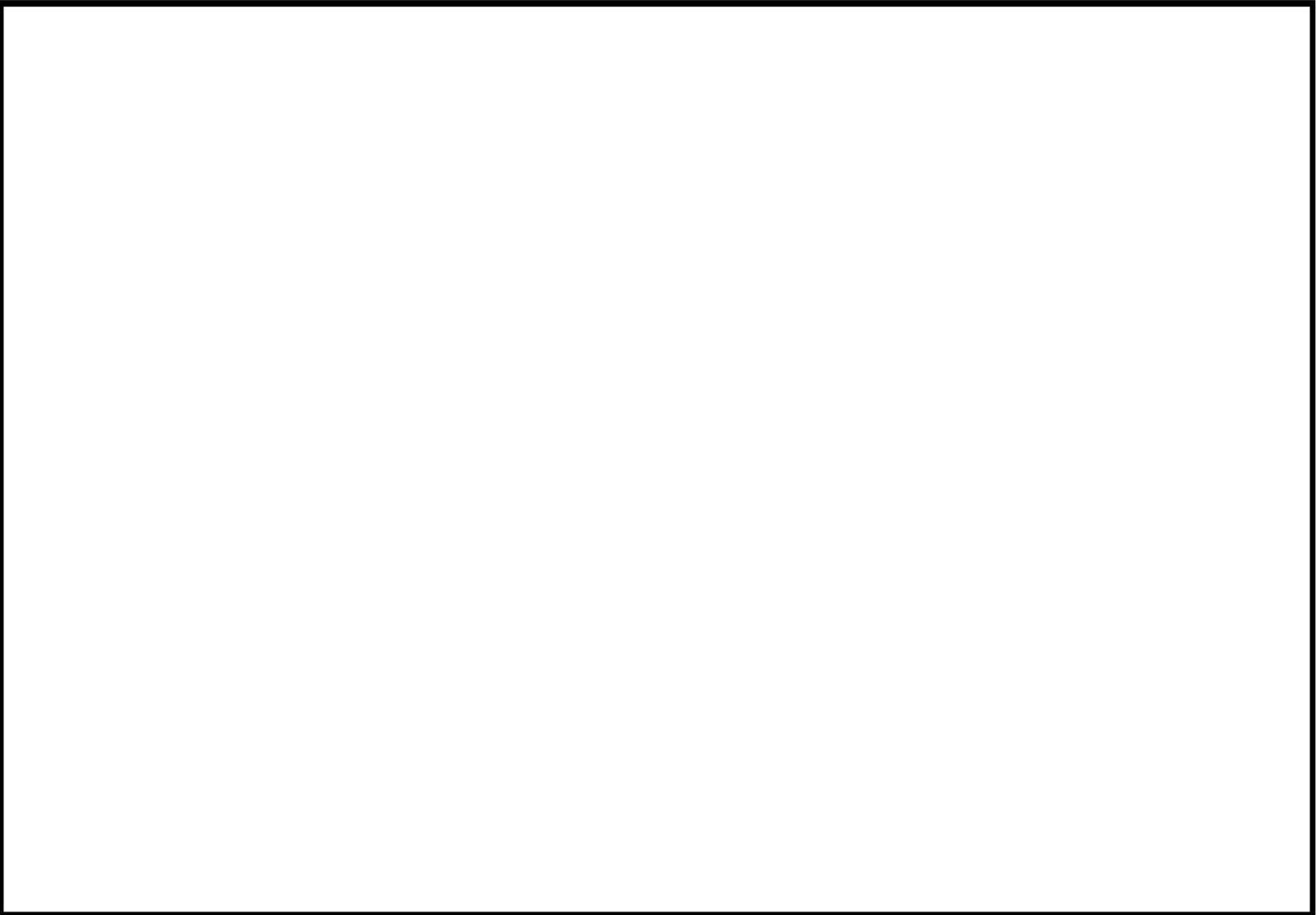
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

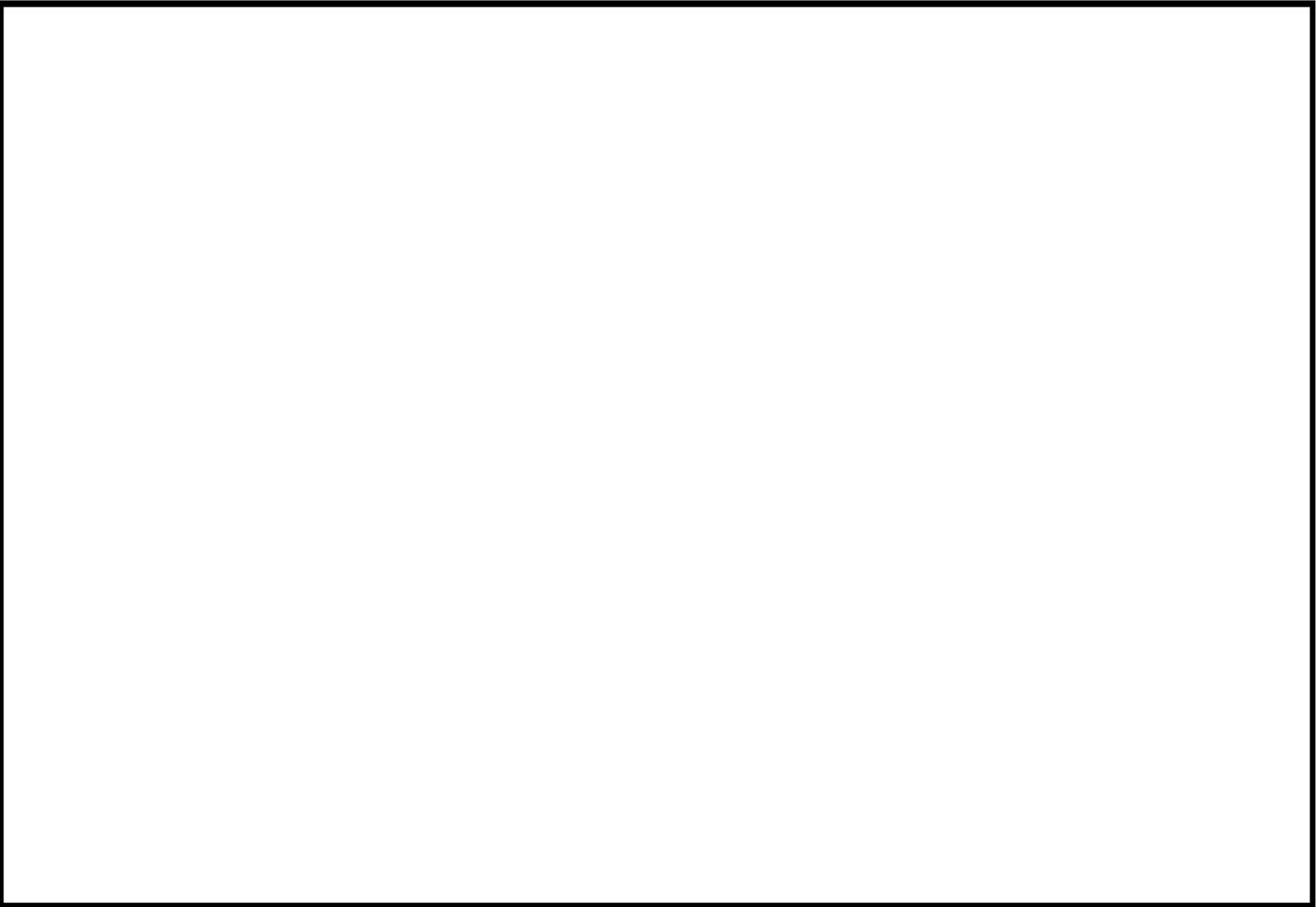
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

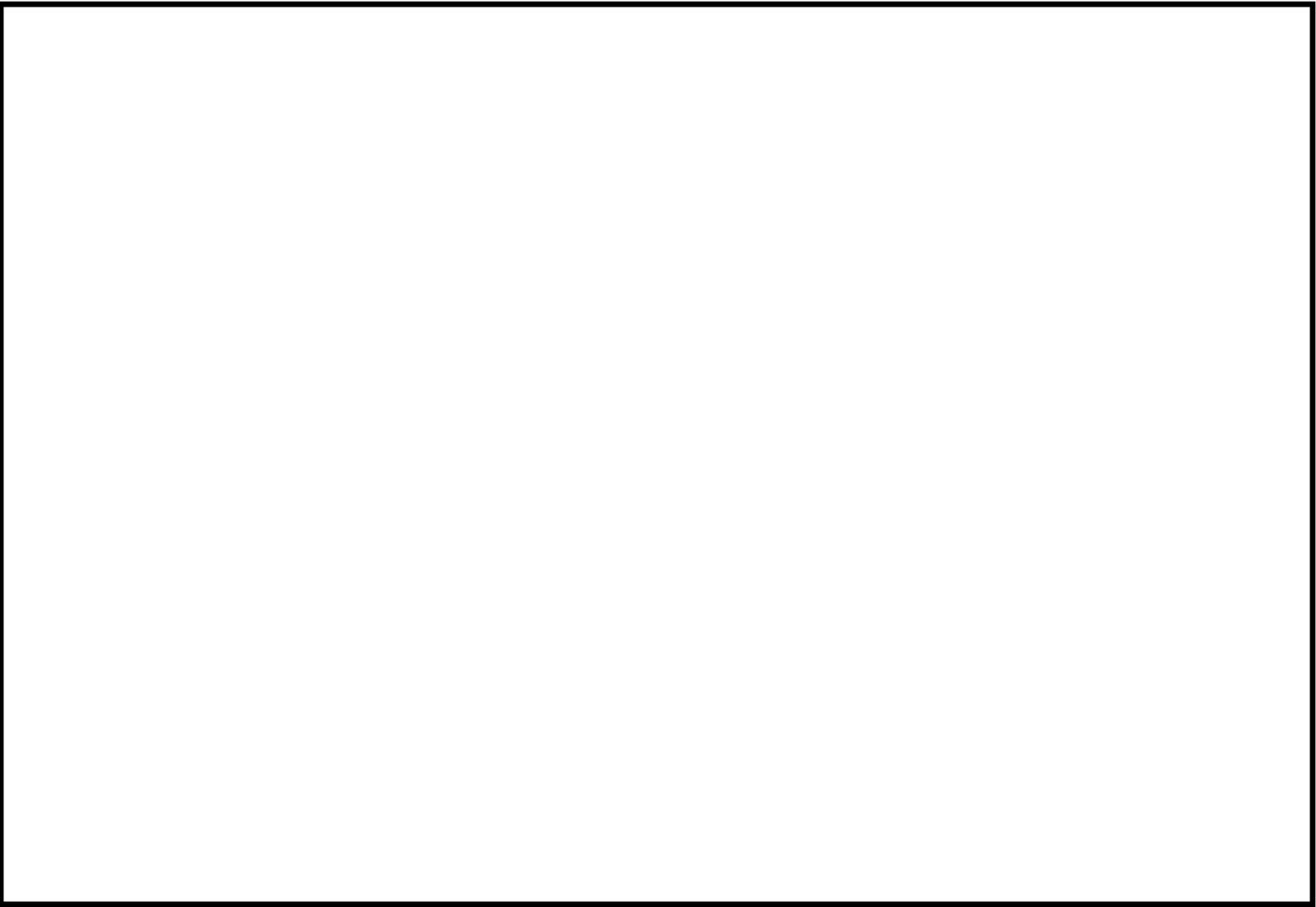
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

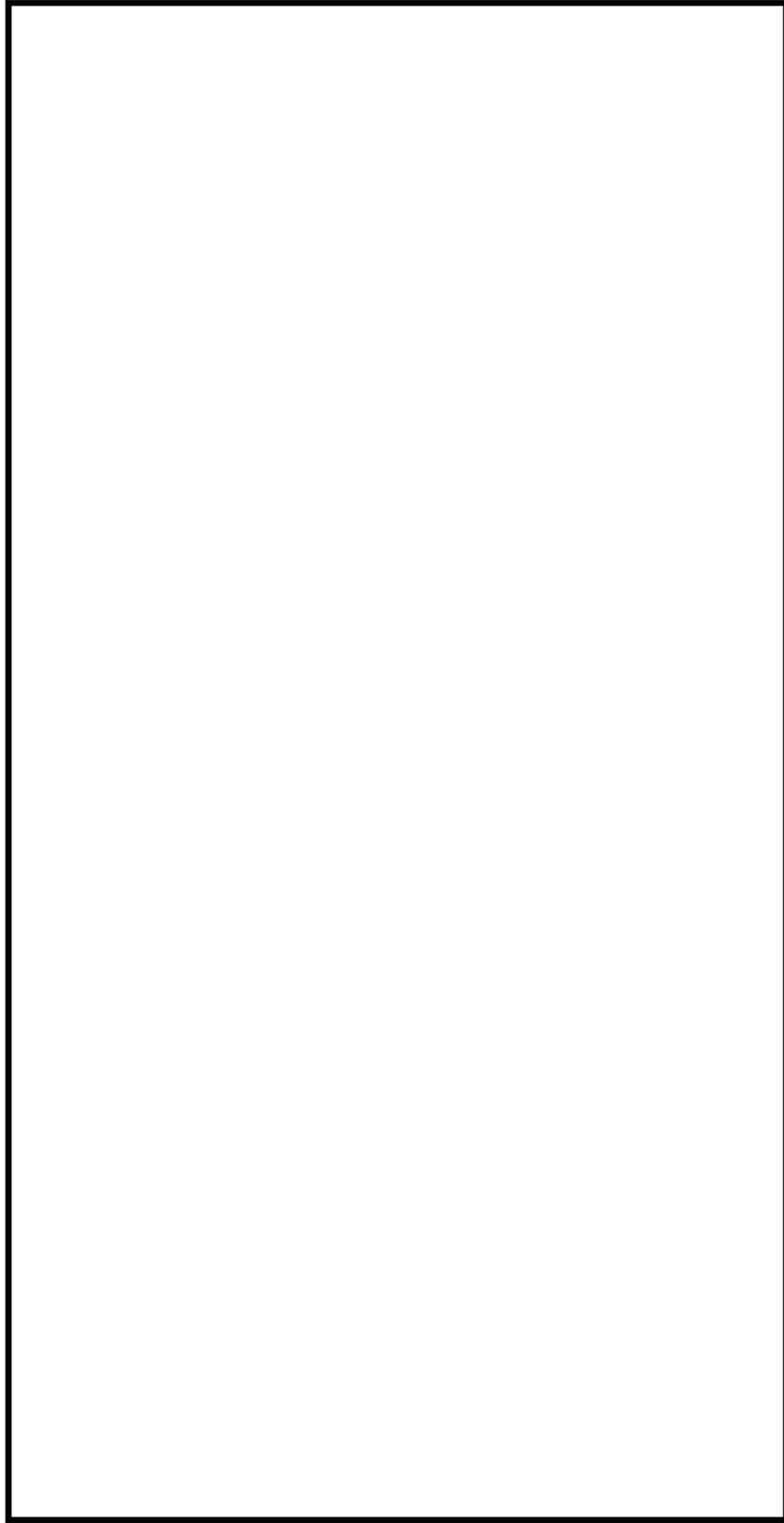












上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト寸法、評価点及び解析モデル

上部ふた、上部胴フランジ及びスタッドボルト 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00012	0.00151	0.00046
2	0.00034	0.00022	0.00433
3	0.00047	0.00173	0.00013
4	0.00113	0.00086	0.00045
5	0.00018	0.00398	0.00567
6	0.0	0.00188	0.00543
7	0.31358	0.0	0.31358
8	0.09497	0.0	0.09497
9	0.34072	0.0	0.34072
10	0.11080	0.0	0.11080

許容値 $U_f=1.0$

 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

上部ふた、上部胴フランジ 疲労解析結果 (評価点 : 5)

評価点 - 5
(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'	
283.4	-101.5	1.0	192.4	227.6	60 16100 0.00373
253.7	-90.6	1.0	172.2	203.6	2 23300 0.00009
253.7	-60.2	1.0	157.0	185.7	57 30900 0.00184
136.4	-60.2	1.0	98.3	116.3	2 185000 0.00001
136.4	-24.3	1.0	80.4	95.1	2 452000 0.00000
136.4	-19.3	1.0	77.9	92.1	1 544000 0.00000
102.0	-19.3	1.0	60.6	71.7	5 0.0
疲労累積係数 =					0.00567

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 : 0.006

 : 割り増し係数 Ke を示す

スタッドボルト 疲労解析結果 (評価点 : 9)

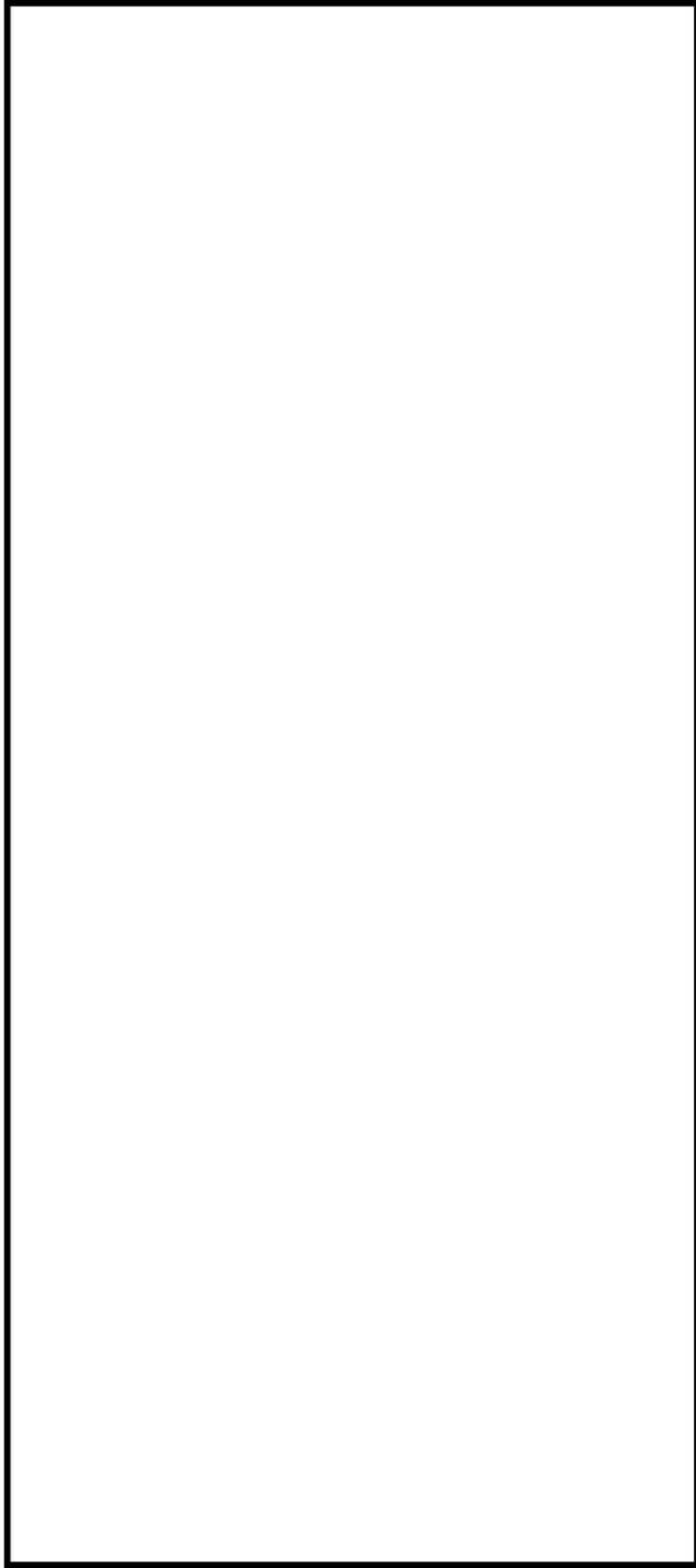
評価点 - 9
(S12)

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*	
2332.9	0.0	1.0	1166.5	1395.7	61	247	0.24696
2332.9	1106.5	1.0	613.2	733.7	2	885	0.00226
2241.9	1106.5	1.0	567.7	679.3	7	1020	0.00686
2237.4	1106.5	1.0	565.5	676.6	5	1030	0.00485
2234.6	1106.5	1.0	564.1	674.9	0	1040	0.00000
2234.4	1106.5	1.0	564.0	674.8	4	1040	0.00385
2233.0	1106.5	1.0	563.3	674.0	2	1040	0.00192
2232.9	1106.5	1.0	563.2	673.9	4	1040	0.00385
2232.1	1106.5	1.0	562.8	673.4	0	1040	0.00000
2226.6	1106.5	1.0	560.1	670.2	0	1050	0.00000
2223.5	1106.5	1.0	558.5	668.3	4	1060	0.00377
2199.6	1106.5	1.0	546.6	654.0	4	1110	0.00360
2184.7	1106.5	1.0	539.1	645.1	2	1140	0.00175
2177.1	1106.5	1.0	535.3	640.5	7	1150	0.00609
2171.4	1106.5	1.0	532.5	637.1	3	1170	0.00256
2168.3	1106.5	1.0	530.9	635.2	2	1170	0.00171
2167.0	1106.5	1.0	530.3	634.5	8	1180	0.00678
2156.1	1106.5	1.0	524.8	627.9	2	1200	0.00167
2154.8	1106.5	1.0	524.1	627.1	2	1210	0.00165
2144.0	1106.5	1.0	518.8	620.7	2	1230	0.00163
2111.3	1106.5	1.0	502.4	601.2	3	1310	0.00229
2111.3	1388.0	1.0	361.7	432.8	58	2560	0.02266
2103.3	1388.0	1.0	357.6	427.9	3	2620	0.00115
2103.3	1592.5	1.0	255.4	305.6	61	5180	0.01178
2103.3	1774.7	1.0	164.3	196.6	2	16900	0.00012
2103.3	1882.7	1.0	110.3	132.0	2	96500	0.00002
2103.3	1901.2	1.0	101.0	120.9	63	163000	0.00039
2103.3	1902.9	1.0	100.2	119.9	64	172000	0.00037
2103.3	1903.0	1.0	100.1	119.8	6	172000	0.00003
2103.3	1924.6	1.0	89.3	106.9	57	383000	0.00015
2103.3	1951.9	1.0	75.7	90.5	618		0.0
疲労累積係数 =							0.34072

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 : 0.341

: 割り増し係数 Ke を示す



下部胴・下部鏡接続部形状寸法、評価点及び解析モデル

下部胴・下部鏡接続部 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00104	0.00006
2	0.0	0.00037	0.0
3	0.0	0.00114	0.00409
4	0.0	0.00019	0.00018

許容値 $U_f = 1.0$

0.00409 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

下部胴・下部鏡接続部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

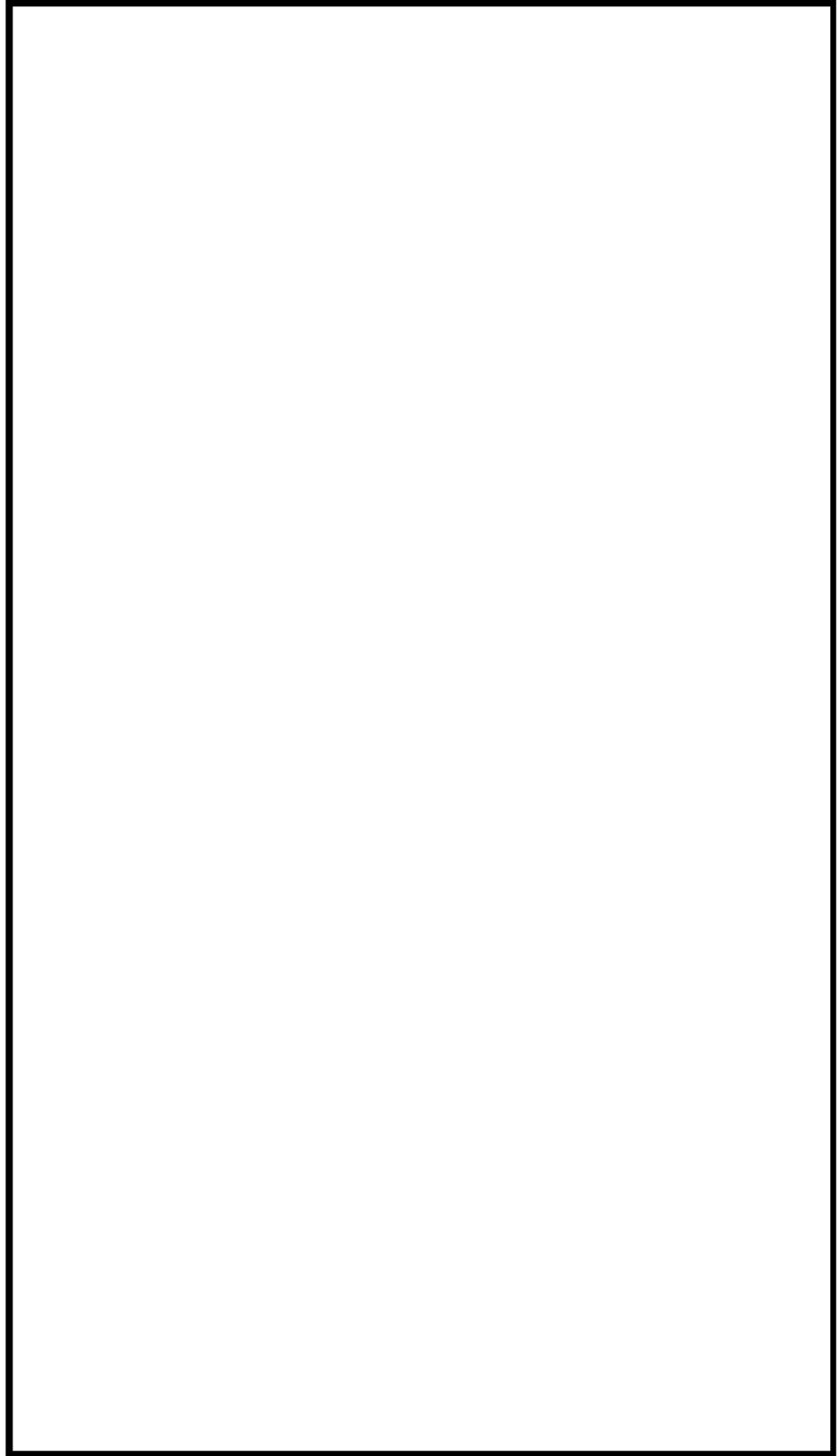
評価点 - 3
(S31)

応力強さ		Ke	(単位 : MPa)		繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値		ALT	ALT'	N	N*	
31.0	-349.3	1.0	190.2	223.7	2	17100	0.00012
31.0	-299.8	1.0	165.4	194.6	2	26800	0.00007
31.0	-275.2	1.0	153.1	180.1	6	34000	0.00018
31.0	-245.9	1.0	138.5	162.9	2	46400	0.00004
31.0	-241.3	1.0	136.2	160.1	7	48900	0.00014
31.0	-238.3	1.0	134.7	158.4	40	50900	0.00079
24.8	-238.3	1.0	131.6	154.7	19	57000	0.00033
24.8	-233.2	1.0	129.0	151.7	5	62800	0.00008
24.8	-232.7	1.0	128.8	151.4	36	63400	0.00057
0.0	-232.7	1.0	116.3	136.8	119	103000	0.00116
-4.9	-232.7	1.0	113.9	134.0	68	111000	0.00061
-135.4	-232.7	1.0	48.7	57.2	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.00409

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 : 0.005

1.0 : 割増し係数 Ke を示す



炉心支持金物及び炉心支持金物取付部形状寸法、評価点及び解析モデル

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00049	0.00050
2	0.0	0.00049	0.0
3	0.0	0.00405	0.00030
4	0.0	0.00034	0.0
5	0.0	0.00039	0.00241
6	0.0	0.00022	0.00006
7	0.0	0.00390	0.00030
8	0.0	0.00034	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	0.00000
13	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0

許容値 $U_r=1.0$

0.00405 : 疲労累積係数が最大となる評価点及び最大値を示す

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

評価点 - 3
(S23)

応力強さ (単位 : MPa)		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*	
306.2	-39.7	1.0	173.0	203.4	2	23300	0.00009
273.0	-39.7	1.0	156.4	183.9	2	31800	0.00006
256.2	-39.7	1.0	148.0	174.0	6	37800	0.00016
241.5	-39.7	1.0	140.6	165.4	50	44200	0.00113
241.5	-39.4	1.0	140.4	165.1	9	44400	0.00020
241.3	-39.4	1.0	140.3	165.0	7	44500	0.00016
236.6	-39.4	1.0	138.0	162.3	2	46900	0.00004
232.2	-39.4	1.0	135.8	159.7	5	49300	0.00010
223.6	-39.4	1.0	131.5	154.7	36	57200	0.00063
223.6	0.0	1.0	111.8	131.5	119	119000	0.00100
223.6	11.2	1.0	106.2	124.9	68	143000	0.00048
223.6	109.7	1.0	57.0	67.0	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.00405

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 : 0.005

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

炉心支持金物及び炉心支持金物取付部 環境疲労評価結果 (評価点 : 11)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力残さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力残さ		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 uan
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	2D4	0.0	-222.5	1.00	111.3	109.6	2	13300000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2E1	0.0	-196.7	1.00	98.3	96.9	2	138000000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	111	0.0	-169.4	1.00	84.7	83.4	68	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00000

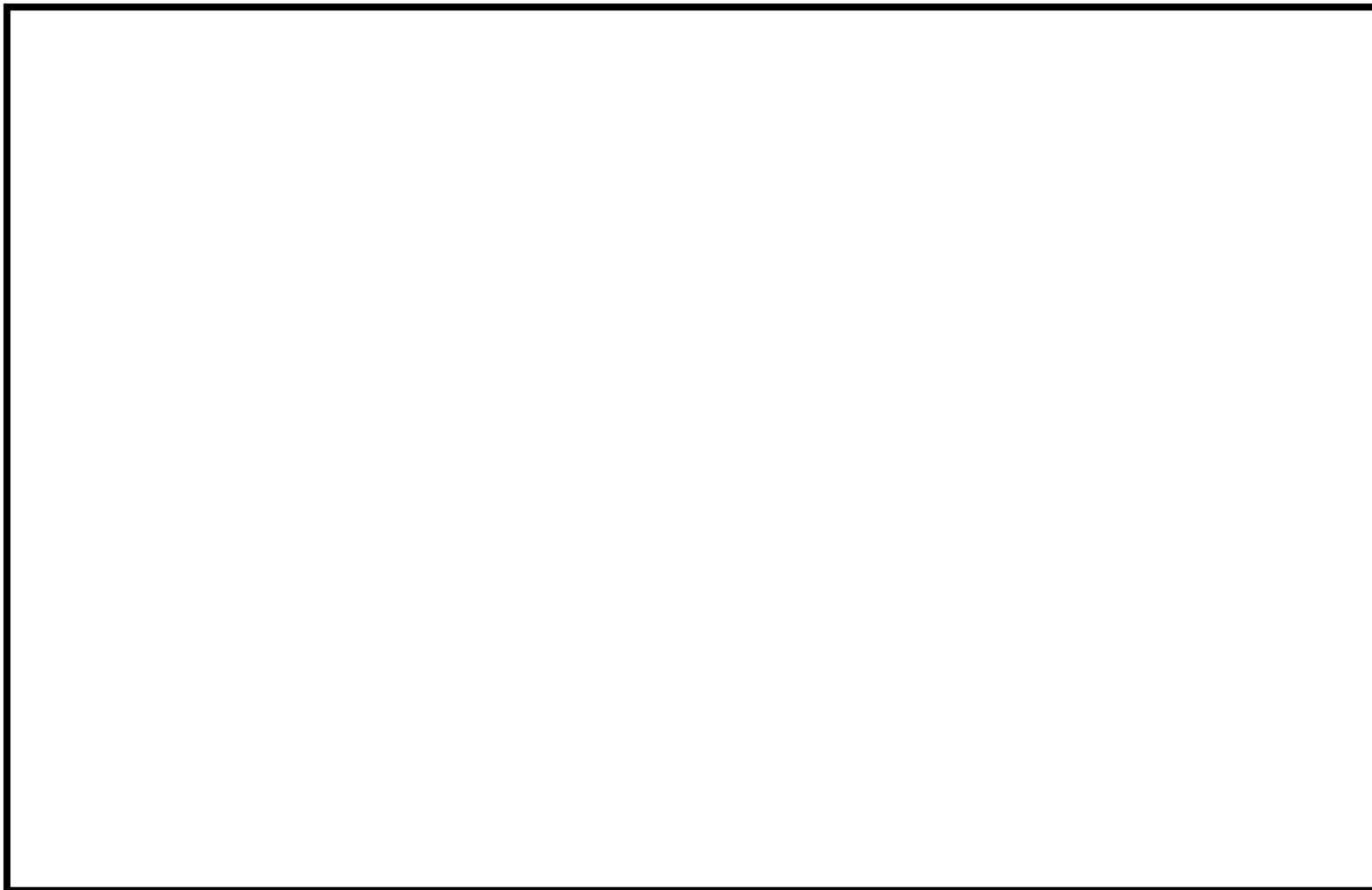
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

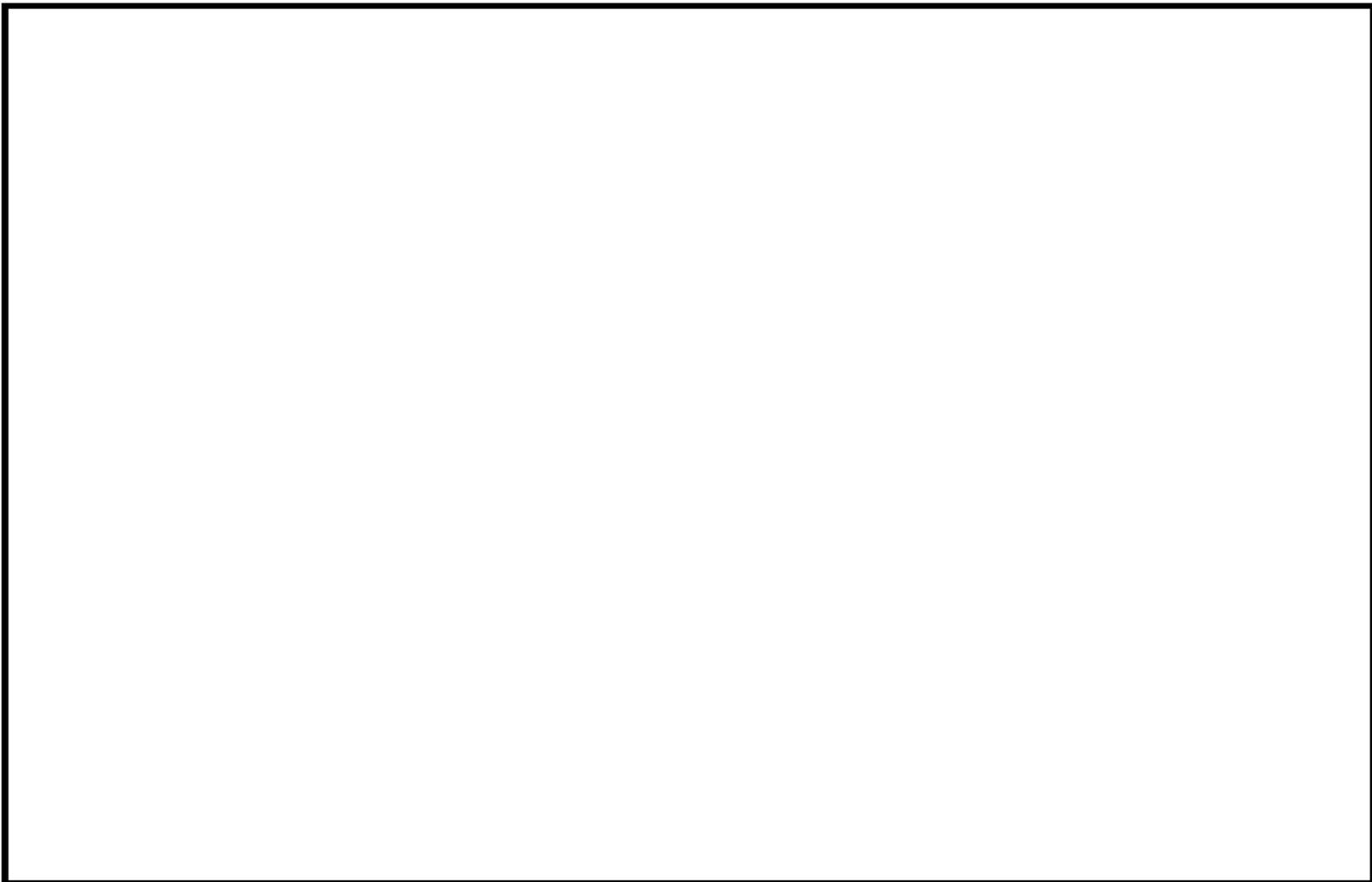
→環境 UF : 0.001

 : 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

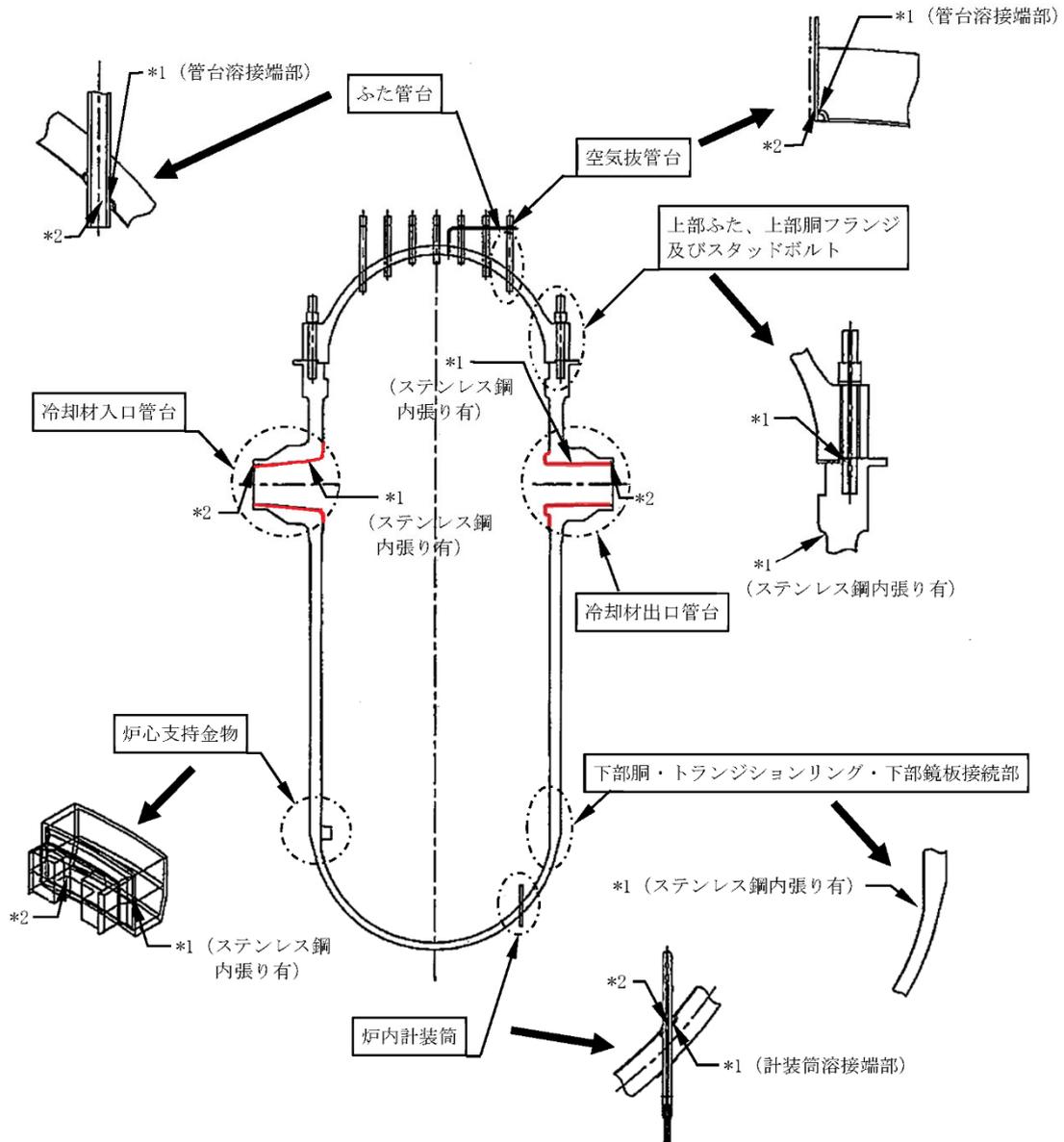
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

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								



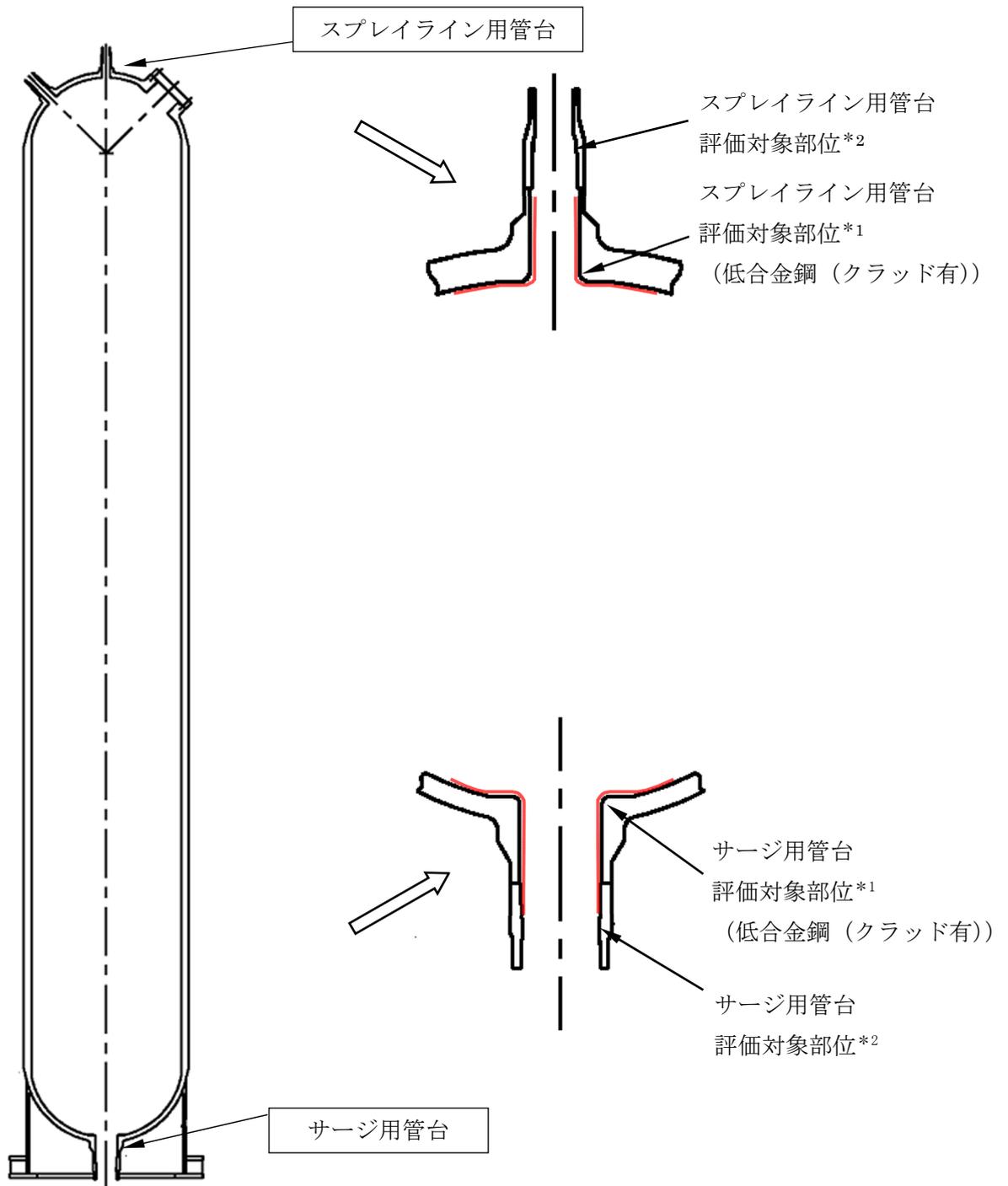
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(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

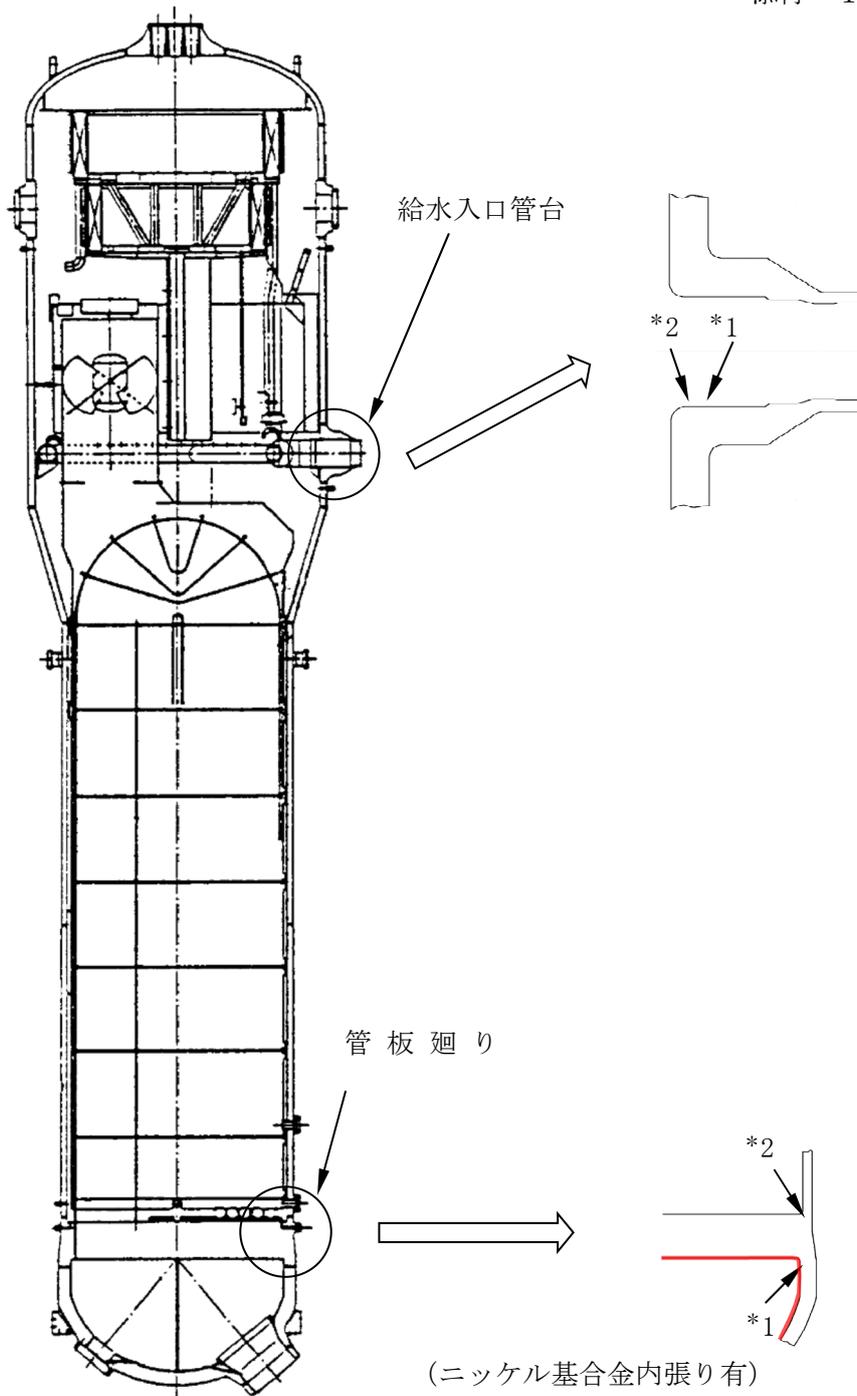


* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 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

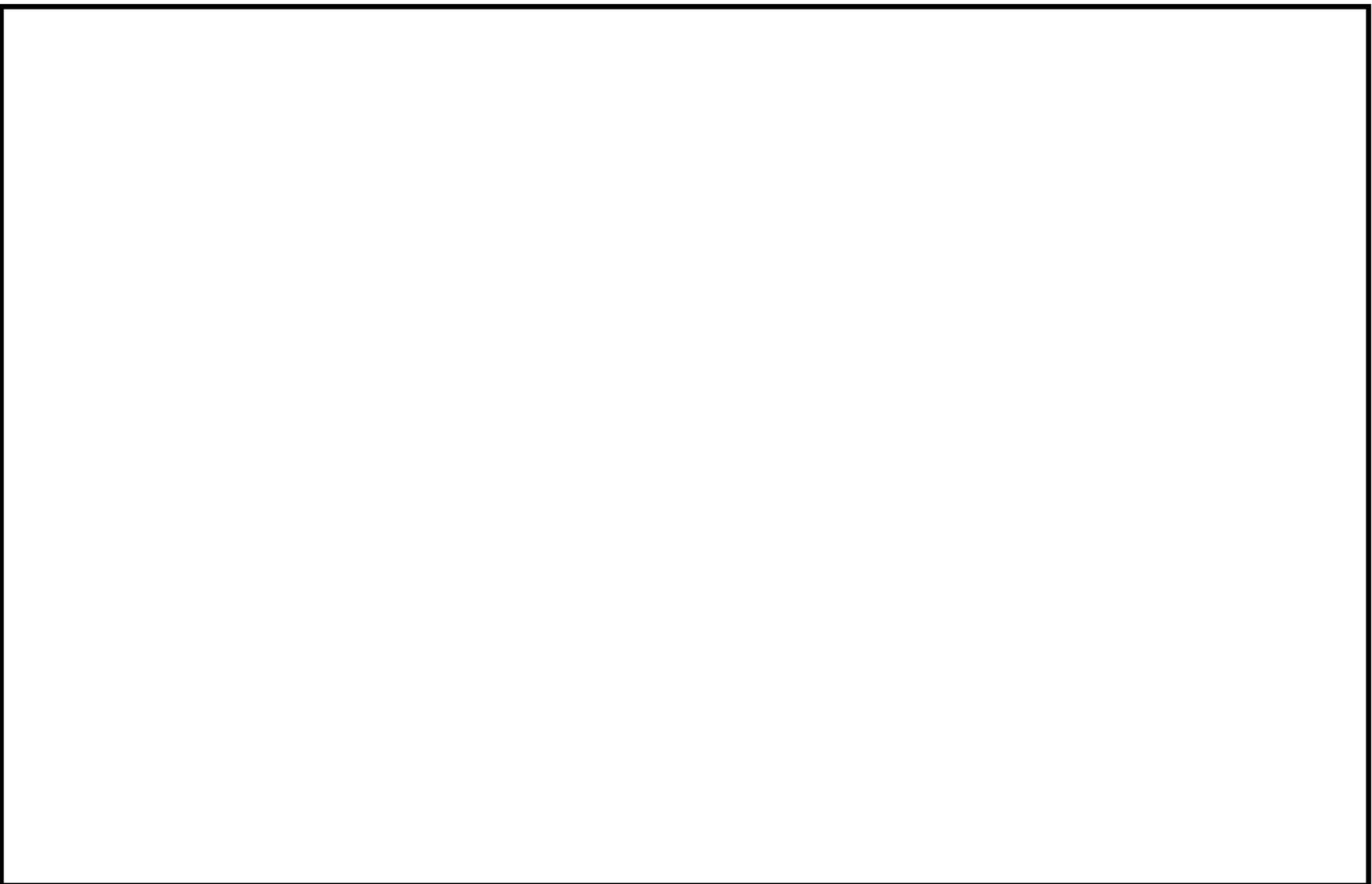
蒸気発生器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位

<p>タイトル</p>	<p>環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について</p>															
<p>説明</p>	<p>環境疲労評価は、「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009 年版）」（以下環境疲労評価手法）に基づいて実施している。</p> <p>環境疲労評価手法では、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>玄海原子力発電所 3 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="421 882 1361 1039"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>部位</th> <th>材質</th> <th>水質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">蒸気発生器</td> <td>給水入口管台</td> <td>低合金鋼</td> <td>給水</td> </tr> <tr> <td>管板廻り</td> <td>低合金鋼</td> <td>給水</td> </tr> <tr> <td>炭素鋼配管</td> <td>主給水系統配管</td> <td>炭素鋼</td> <td>給水</td> </tr> </tbody> </table> <p>給水の溶存酸素濃度は 0.005ppm 以下 を管理目標値として監視・管理されていることから、当該部の環境疲労評価に対しては、溶存酸素濃度（DO）を 0.005ppm として溶存酸素濃度依存パラメータ（0*）を算出し、環境疲労補正係数の算出を行なった。</p> <p>[0*の算出式]</p> $0* = \ln(3.28) \quad (DO < 0.02\text{ppm})$ <p>なお、主給水系統配管の環境疲労評価は係数倍法を使用しており、Fen の計算に際して溶存酸素濃度を直接的には使用していないが、環境疲労評価手法の解説 EF-3121 において、PWR2 次系環境における炭素鋼・低合金鋼の Fen, sc は溶存酸素濃度を 0.005ppm とした場合の計算式であることが示されている。</p> <p>添付－ 1 に給水の管理目標値を示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	機器	部位	材質	水質	蒸気発生器	給水入口管台	低合金鋼	給水	管板廻り	低合金鋼	給水	炭素鋼配管	主給水系統配管	炭素鋼	給水
機器	部位	材質	水質													
蒸気発生器	給水入口管台	低合金鋼	給水													
	管板廻り	低合金鋼	給水													
炭素鋼配管	主給水系統配管	炭素鋼	給水													

化学業務要領（3，4号）

制 定 平成15年11月 1日
最終改正 2023年 1月23日

九州電力株式会社
玄海原子力発電所



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

表1 環境効果補正係数の算出方法 (1/3)

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

表1 環境効果補正係数の算出方法 (2/3)

評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統出口配管 「1次冷却材管高温側余熱除去管台～ 余熱除去ポンプ入口内隔離弁」	係数倍法
		余熱除去系統出口配管 「余熱除去ポンプ入口内隔離弁～原子 炉格納容器貫通部」	係数倍法
		加圧器サージ配管	詳細評価
		加圧器スプレイ配管	詳細評価
	炭素鋼配管	主給水系統配管 「原子炉格納容器貫通部～ 蒸気発生器給水管台」	係数倍法 ^{※2}
	1次冷却材管	ホットレグ	詳細評価
		クロスオーバーレグ	詳細評価
		コールドレグ	詳細評価
		加圧器サージ管台	詳細評価
		蓄圧タンク注入管台	詳細評価
		充てん管台	詳細評価
	弁	仕切弁	余熱除去ラインループ高温側出口弁 弁箱
玉形弁		抽出ライン止弁弁箱	簡易評価
スイング逆止弁		蓄圧タンク出口第二逆止弁弁箱	簡易評価
リフト逆止弁		加圧器補助スプレイ逆止弁弁箱	簡易評価

表1 環境効果補正係数の算出方法 (3/3)

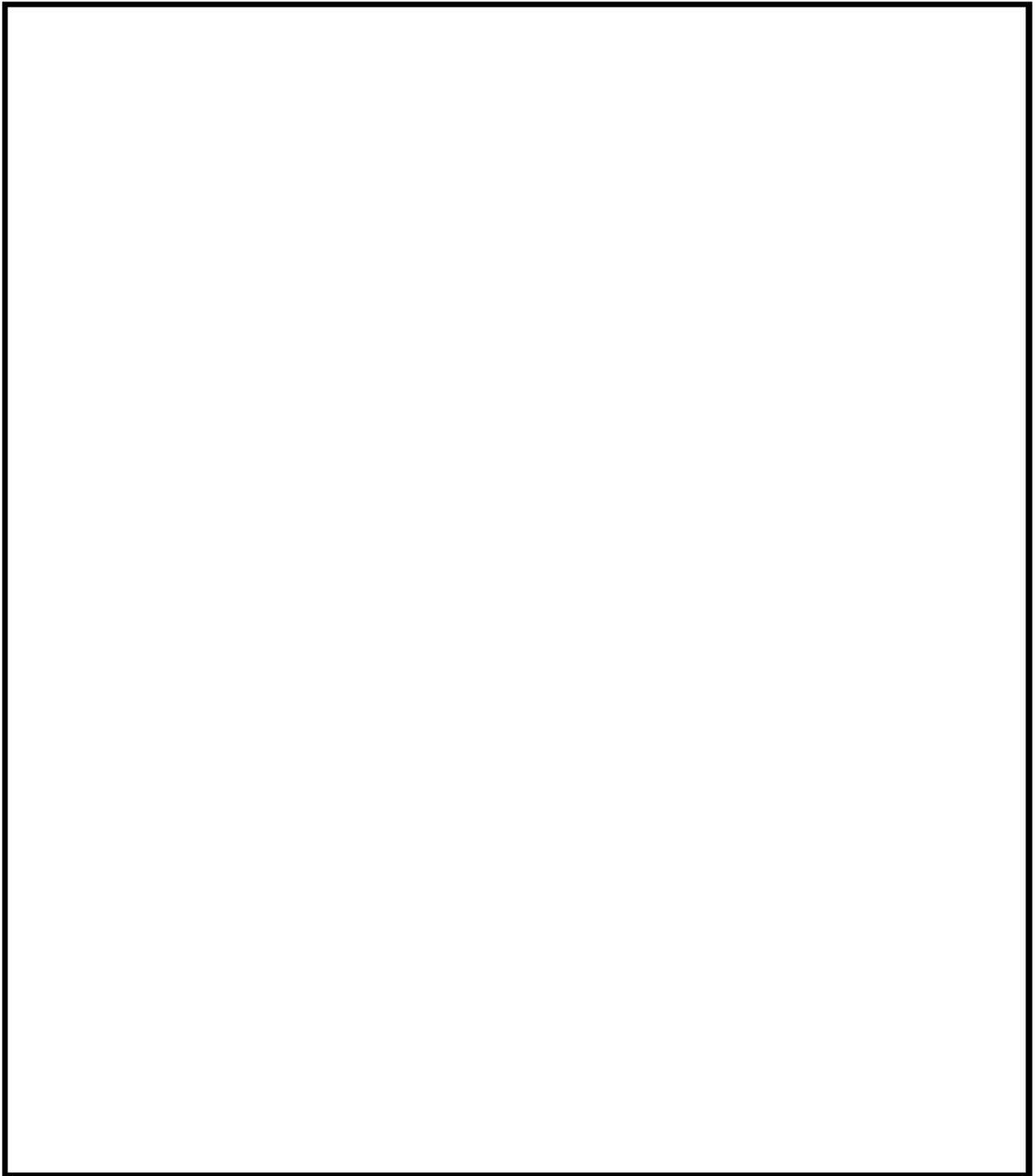
評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	詳細評価
		上部炉心支持柱	詳細評価
		上部炉心板	詳細評価
		下部炉心板	詳細評価
		下部炉心支持柱	詳細評価
		下部炉心支持板	詳細評価
		炉心槽下部接続部	詳細評価
重機器サポート	加圧器スカート溶接部	—	

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

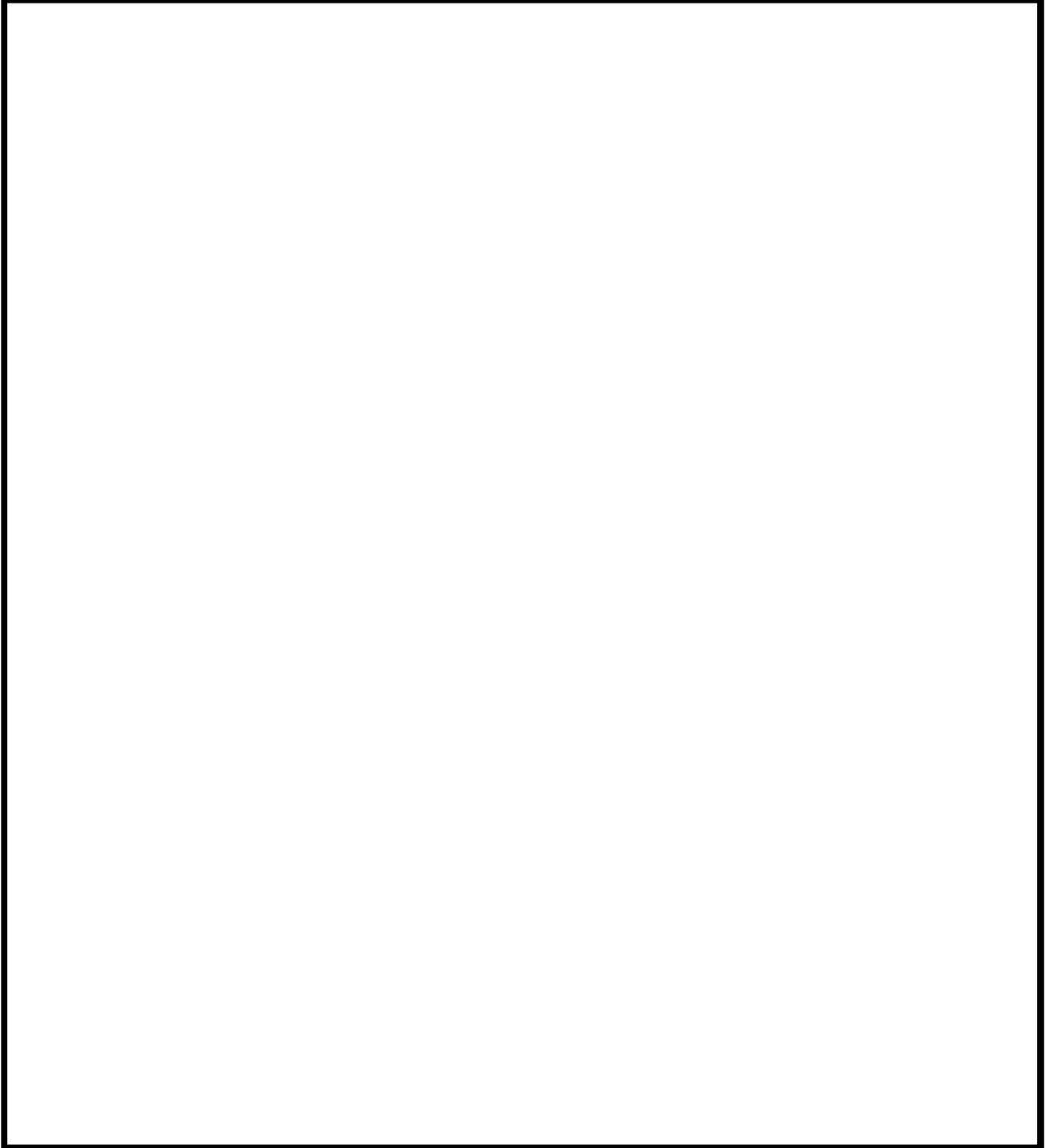
※2：環境中評価に用いた溶存酸素量は管理目標値である 0.005ppm、材料中の硫黄含有量は材料規格における最大値である 0.035%とした。

タイトル	代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>以下の各機器の評価についての算出根拠を次ページ以降に示す。 なお、次ページ以降における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。</p> <p>① 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について・7-2</p> <p>② 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の 疲労累積係数の算出根拠について・・・・・・・・・・・・・・7-20</p> <p>③ 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・・・・・・・・7-30</p> <p>④ 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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7-40</p> <p>⑤ 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・・・・7-51</p> <p>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 算出根拠について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7-54</p> <p>⑦ 1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠について・・・・・・・・7-72</p> <p>⑧ 仕切弁（余熱除去ラインループ高温側出口弁弁箱）の 疲労累積係数の算出根拠について・・・・・・・・・・・・・・7-92</p> <p>⑨ スイング逆止弁（蓄圧タンク出口第二逆止弁弁箱）の 疲労累積係数の算出根拠について・・・・・・・・・・・・・・7-96</p> <p>⑩ 炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠について・・・・・・7-100</p> <p>⑪ 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・・・・7-120</p>

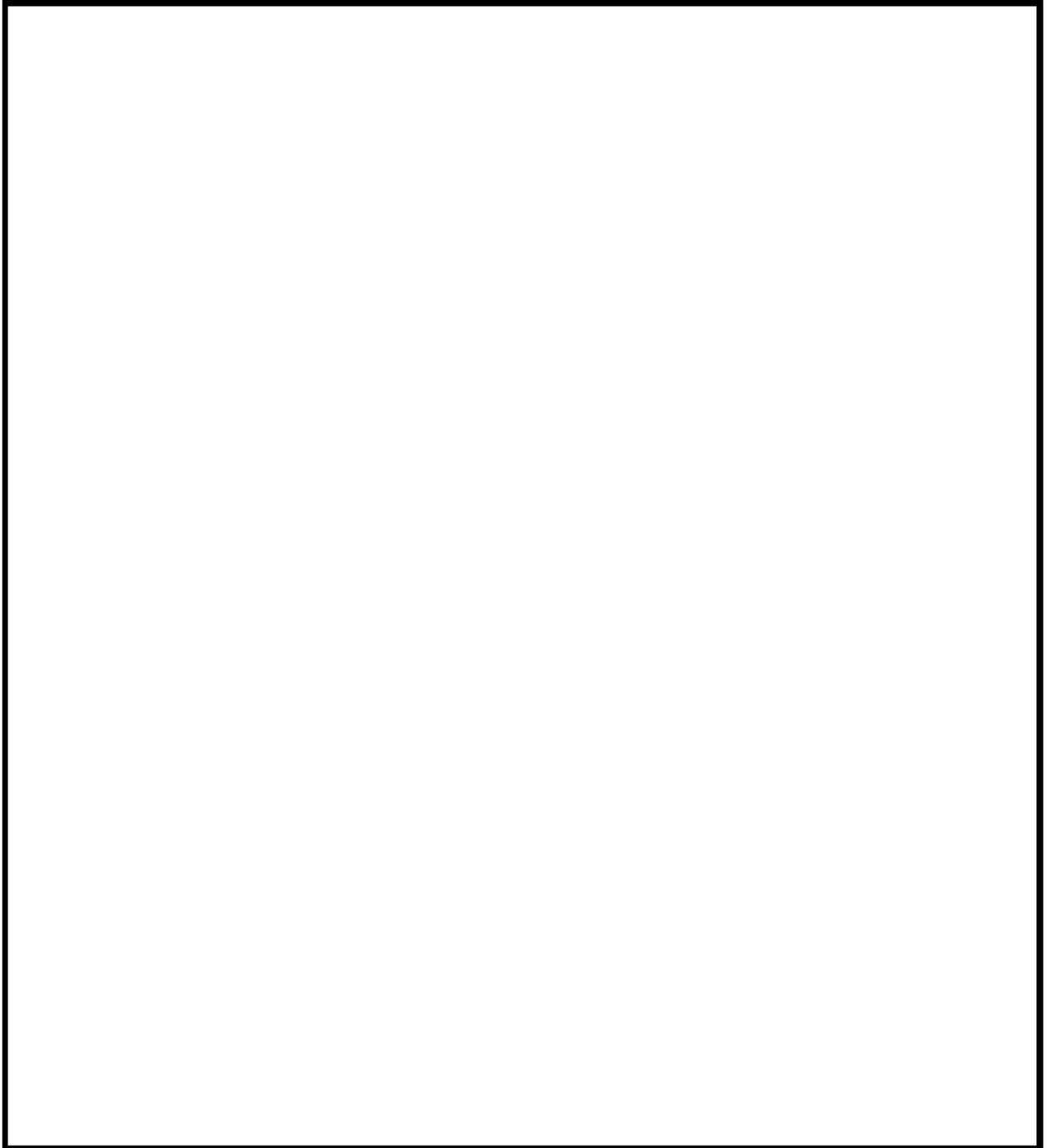
タイトル	1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について																			
説明	<p>1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 624 1310 826"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Standard Ver. 6.8-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="461 943 1321 1149"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351CF8 (SCS13A相当)</td> <td>116</td> <td>289.2</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)	SA351CF8 (SCS13A相当)	116	289.2	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)																		
SA351CF8 (SCS13A相当)	116	289.2																		
状態	荷重の組み合わせ																			
供用状態 A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重																			



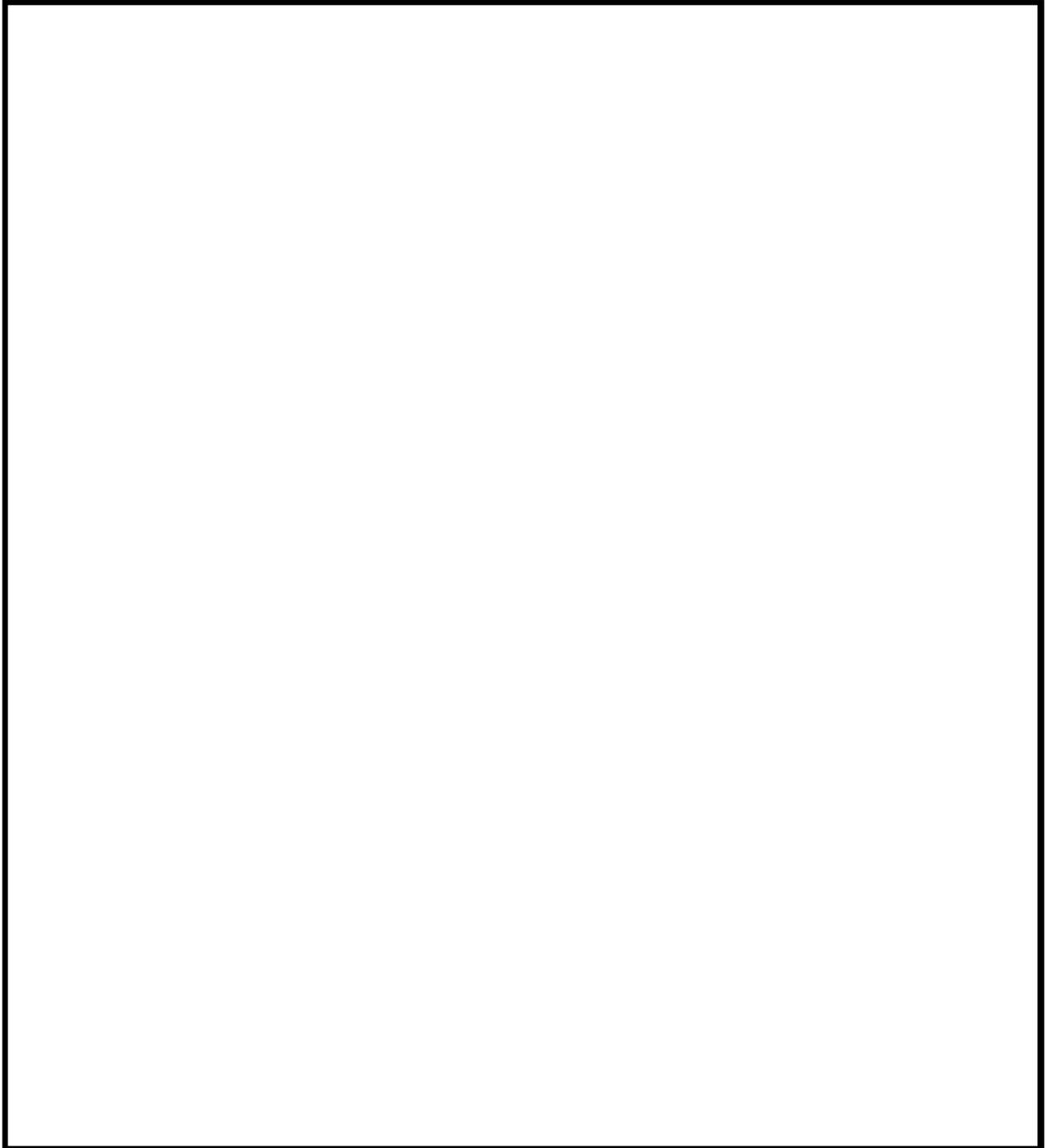
ケージング吸込ノズル 評価点



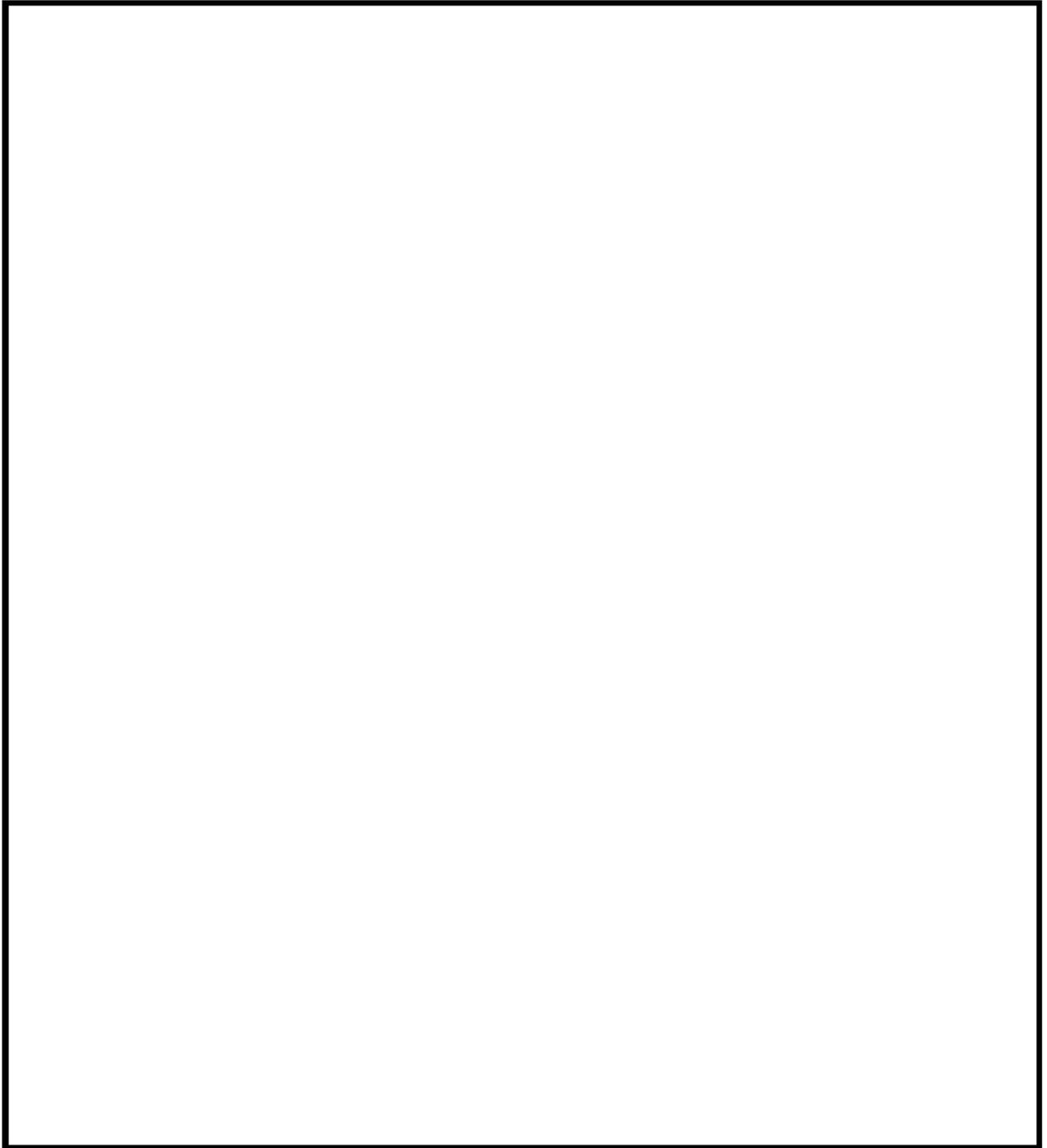
ケーシング吐出ノズル 評価点



ケーシング脚部 評価点 (1 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (2 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

最大疲労評価点の選定 (ケーシング吸込ノズル)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
SU01I	0.0	0.00000	0.00002
SU01O	0.0	0.00001	0.00001
SU02I	0.0	0.00000	0.00002
SU02O	0.0	0.00001	0.00001
SU03I	0.0	0.00000	0.00002
SU03O	0.0	0.00000	0.00000
SU04I	0.0	0.00000	0.00002
SU04O	0.0	0.00000	0.00001
SU05I	0.00002	0.00000	0.0
SU05O	0.0	0.0	0.0
SU06I	0.0	0.00000	0.00002
SU06O	0.0	0.00001	0.00002
SU07I	0.0	0.00002	0.00002
SU07O	0.0	0.00000	0.0
SU08I	0.0	0.00002	0.00002
SU08O	0.0	0.00000	0.0
SU09I	0.00002	0.00000	0.0
SU09O	0.0	0.0	0.0
SU10I	0.0	0.00002	0.00002
SU10O	0.0	0.0	0.0
SU11I	0.0	0.00002	0.00002
SU11O	0.0	0.0	0.0
SU12I	<i>0.00003</i>	0.00000	0.0
SU12O	0.0	0.0	0.0
SU13I	0.0	0.00002	0.00002
SU13O	0.0	0.0	0.0

最大疲労評価点の選定 (ケーシング吐出ノズル)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
HA01I	0.0	0.00069	0.00097
HA01O	0.02230	0.03233	0.0
HA02I	0.0	0.00069	0.00097
HA02O	0.02358	0.03053	0.0
HA03I	0.00112	0.02956	0.00003
HA03O	0.00223	0.00046	0.0
HA04I	0.00442	0.03913	0.00000
HA04O	0.00079	0.00032	0.0
HA05I	0.00058	0.00017	0.00003
HA05O	0.0	0.00001	0.00001
HA06I	0.00070	0.00004	0.00015
HA06O	0.00000	0.00003	0.00000
HA07I	0.00000	0.00001	0.00013
HA07O	0.04212	0.0	0.08534
HA08I	0.00002	0.00004	0.00025
HA08O	0.00279	0.0	0.02382
HA09I	0.00032	0.00051	0.0
HA09O	0.0	0.00000	0.0
HA10I	0.0	0.00001	0.00000
HA10O	0.0	0.00002	0.00000
HA11I	0.00000	0.00001	0.00013
HA11O	0.04011	0.0	0.08702
HA12I	0.00001	0.00001	0.00013
HA12O	0.00903	0.0	0.03653

最大疲労評価点の選定 (ケーシング脚部(1/3))

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A101I	0.00006	0.02326	0.00014
A101O	0.00006	0.00134	0.0
A102I	0.00007	0.02220	0.00011
A102O	0.00007	0.00148	0.0
A103I	0.00007	0.01747	0.00013
A103O	0.00015	0.00188	0.0
A104I	0.00006	0.01720	0.00017
A104O	0.00010	0.00128	0.0
A105I	0.00000	0.00044	0.00082
A105O	0.00002	0.00003	0.0
A106I	0.00000	0.00328	0.00017
A106O	0.0	0.0	0.0
A107I	0.00000	0.00012	0.00078
A107O	0.00009	0.00000	0.01322
A108I	0.00000	0.00044	0.00083
A108O	0.00002	0.00003	0.0
A109I	0.00006	0.01720	0.00017
A109O	0.00010	0.00128	0.0
A110I	0.00007	0.01752	0.00013
A110O	0.00015	0.00188	0.0
A111I	0.00007	0.02220	0.00011
A111O	0.00007	0.00148	0.0
A112I	0.00006	0.02326	0.00014
A112O	0.00006	0.00134	0.0
A113I	0.00000	0.00015	0.00033
A113O	0.00020	0.00003	0.00120
A114I	0.00000	0.00011	0.00068
A114O	0.00004	0.00001	0.00622
A115I	0.00000	0.00011	0.00067
A115O	0.00004	0.00001	0.00622
A116I	0.00000	0.00015	0.00035
A116O	0.00020	0.00003	0.00120
A117I	0.0	0.00006	0.00009
A117O	0.0	0.00002	0.00001
A118I	0.00000	0.00012	0.00078
A118O	0.00009	0.00000	0.01325
A119I	0.00000	0.00013	0.00036
A119O	0.00157	0.0	0.01683

最大疲労評価点の選定 (ケーシング脚部(2/3))

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A201I	0.0	0.00006	0.00027
A201O	0.00000	0.0	0.00021
A202I	0.0	0.00004	0.00002
A202O	0.00004	0.00034	0.0
A203I	0.00000	0.00001	0.00012
A203O	0.04441	0.0	0.08684
A204I	0.00001	0.00009	0.00000
A204O	0.00001	0.00067	0.00009
A205I	0.0	0.00042	0.00021
A205O	0.00001	0.0	0.0
A206I	0.0	0.00045	0.00075
A206O	0.00002	0.00003	0.0
A207I	0.00439	0.03932	0.00000
A207O	0.00074	0.00034	0.0
A208I	0.00112	0.02942	0.00003
A208O	0.00218	0.00047	0.0
A209I	0.0	0.00069	0.00096
A209O	0.02231	0.03218	0.0
A210I	0.00006	0.01684	0.00017
A210O	0.00012	0.00135	0.0
A211I	0.00007	0.01691	0.00013
A211O	0.00023	0.00201	0.0
A212I	0.00007	0.02074	0.00011
A212O	0.00007	0.00160	0.0
A213I	0.00005	0.02182	0.00014
A213O	0.00006	0.00147	0.0
A214I	0.0	0.00010	0.00087
A214O	0.00026	0.00001	0.02983
A215I	0.0	0.00010	0.00065
A215O	0.00005	0.00001	0.00831
A216I	0.0	0.00011	0.00026
A216O	0.0	0.0	0.00010

最大疲労評価点の選定 (ケーシング脚部(3/3))

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A301I	0.0	0.00010	0.00087
A301O	0.00027	0.00001	0.02995
A302I	0.00005	0.02176	0.00014
A302O	0.00006	0.00146	0.0
A303I	0.00007	0.02068	0.00011
A303O	0.00007	0.00160	0.0
A304I	0.00007	0.01692	0.00013
A304O	0.00023	0.00201	0.0
A305I	0.00006	0.01685	0.00017
A305O	0.00012	0.00134	0.0
A306I	0.00004	0.01030	0.00015
A306O	0.00011	0.00059	0.0
A307I	0.0	0.00069	0.00096
A307O	0.02231	0.03218	0.0
A308I	0.00112	0.02942	0.00003
A308O	0.00218	0.00047	0.0
A309I	0.00439	0.03933	0.00000
A309O	0.00074	0.00034	0.0
A310I	0.00000	0.00009	0.00000
A310O	0.00001	0.00066	0.00009
A311I	0.00000	0.00096	0.00009
A311O	0.00009	0.00125	0.0
A312I	0.00000	0.00008	0.00001
A312O	0.00594	0.0	0.01188
A313I	0.00001	0.00001	0.00010
A313O	0.03071	0.0	0.05075
A314I	0.00000	0.00001	0.00012
A314O	0.04057	0.0	0.08837
A315I	0.0	0.00010	0.00075
A315O	0.00009	0.00001	0.01535
A316I	0.0	0.00045	0.00075
A316O	0.00002	0.00003	0.0

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : SU12I)

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*)
75.0	-274.8	1.0	174.9	193.3	2	1010000	0.00000
75.0	-196.9	1.0	136.0	150.3	2	2410000	0.00000
75.0	-177.3	1.0	126.2	139.5	2	3330000	0.00000
75.0	-173.7	1.0	124.3	137.5	6	3550000	0.00000
75.0	-172.7	1.0	123.9	136.9	47	3610000	0.00001
72.8	-172.7	1.0	122.8	135.7	21	3750000	0.00001
72.8	-138.0	1.0	105.4	116.6	2	8320000	0.00000
72.8	-133.7	1.0	103.3	114.1	2	9420000	0.00000
72.8	-126.8	1.0	99.8	110.4	3	12500000	0.00000
72.8	-108.6	1.0	90.7	100.3	32	40800000	0.00000
1.4	-108.6	1.0	55.0	60.8	28		0.0
疲れ累積係数 =							0.00003

→通常UF : 0.001

吐出ノズル疲労評価結果 (評価点 : HA110)

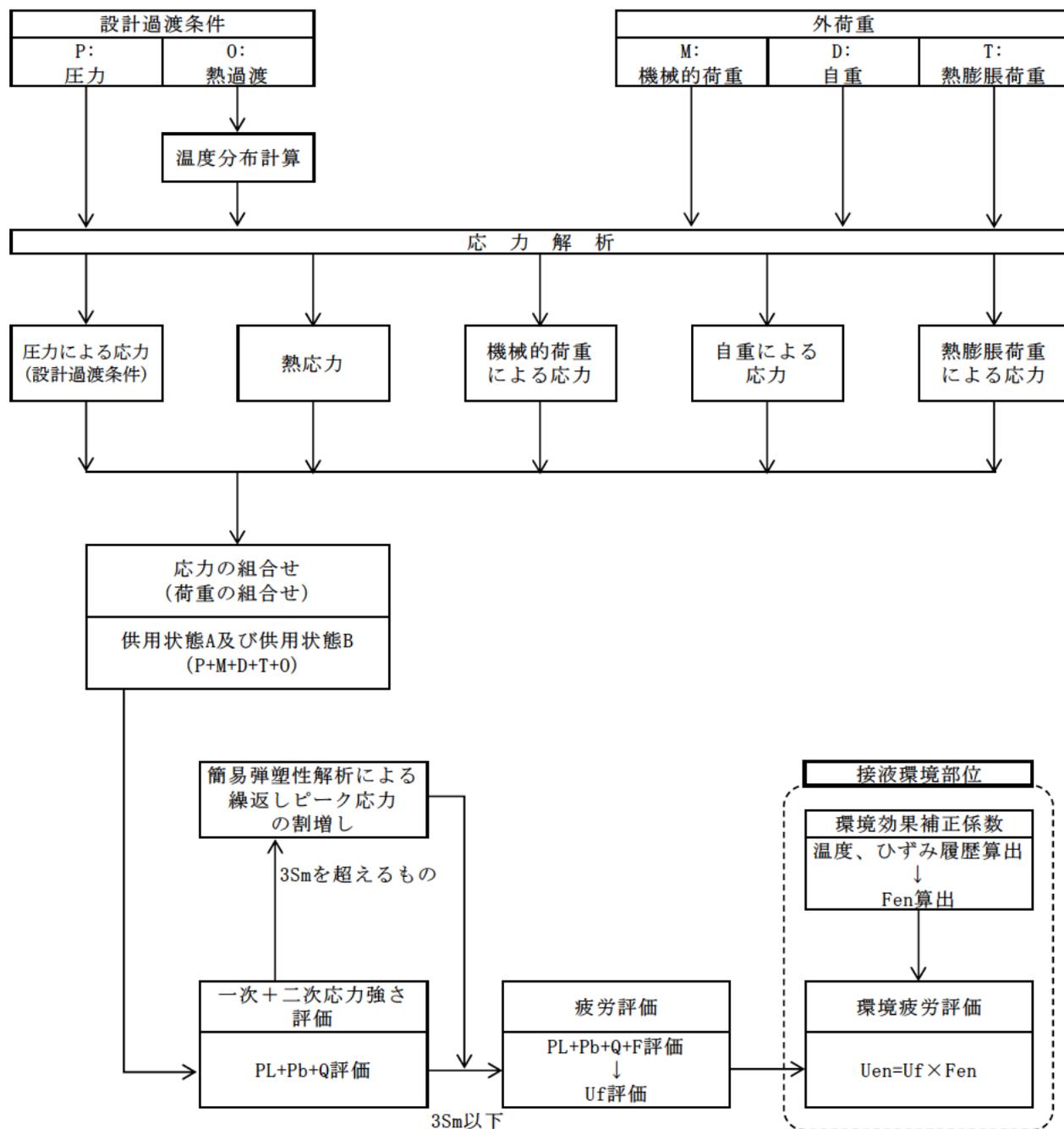
応力強さ			(単位 : N/mm ²)		繰返し回数		疲れ係数
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
156.3	-650.3	1.88	756.9	836.8	60	937	0.06403
85.9	-562.8	1.61	521.4	576.3	5	3490	0.00143
85.9	-510.5	1.49	444.4	491.3	7	6470	0.00108
-23.2	-481.1	1.88	429.7	475.0	60	7420	0.00809
85.9	-507.0	1.45	428.7	473.9	47	7480	0.00628
45.6	-507.0	1.41	389.8	430.9	12	11200	0.00107
45.6	-457.8	1.46	366.8	405.4	7	15100	0.00046
45.6	-488.0	1.37	365.0	403.4	4	15400	0.00026
45.6	-489.7	1.36	363.6	401.9	45	15700	0.00287
0.0	-468.2	1.18	276.4	305.6	4	63200	0.00006
-42.2	-489.7	1.16	259.9	287.3	19	88500	0.00021
-42.2	-483.7	1.15	254.7	281.6	2	98900	0.00002
-42.2	-483.6	1.15	254.6	281.5	38	99000	0.00038
0.0	-483.6	1.0	241.8	267.3	55	131000	0.00042
-22.8	-483.6	1.0	230.4	254.7	59	172000	0.00034
-300.7	-483.6	1.0	91.4	101.1	2	36100000	0.00000
-339.6	-483.6	1.0	72.0	79.6	2		0.0
疲れ累積係数 =							0.08702

→通常 UF : 0.088

脚部 疲労評価結果 (評価点 : A3140)

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*)
153.1	-654.4	1.88	758.6	838.6	60	931	0.06445
83.1	-567.1	1.61	524.4	579.7	5	3420	0.00146
83.1	-514.8	1.50	447.6	494.8	7	6290	0.00111
83.1	-511.2	1.45	431.8	477.3	47	7270	0.00646
-27.9	-485.4	1.88	429.8	475.1	60	7410	0.00810
43.9	-511.2	1.43	395.6	437.3	12	10400	0.00115
43.9	-462.1	1.47	372.1	411.4	7	14000	0.00050
43.9	-492.4	1.38	370.9	410.0	4	14300	0.00028
43.9	-494.0	1.37	369.5	408.5	45	14500	0.00310
0.0	-494.0	1.21	298.5	329.9	19	42200	0.00045
0.0	-472.5	1.19	280.4	310.0	4	58400	0.00007
-46.7	-488.0	1.15	254.8	281.6	2	98700	0.00002
-46.7	-487.9	1.15	254.7	281.5	57	98900	0.00058
0.0	-487.9	1.0	244.0	269.7	36	125000	0.00029
-27.5	-487.9	1.0	230.2	254.5	59	173000	0.00034
-304.5	-487.9	1.0	91.7	101.4	2	3460000	0.00000
-344.0	-487.9	1.0	72.0	79.6	2		0.0
疲れ累積係数 =							0.08837

→通常UF : 0.089



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SU12I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		修正前 salt	修正後 salt'					
2I1	2D3	75.0	-274.8	1.00	174.9	193.3	2	1010000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2G1	75.0	-196.9	1.00	136.0	150.3	2	2410000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2E1	75.0	-177.3	1.00	126.2	139.5	2	3330000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2J1	75.0	-173.7	1.00	124.3	137.5	6	3550000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1I1	75.0	-172.7	1.00	123.9	136.9	47	3610000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1I1	72.8	-172.7	1.00	122.8	135.7	21	3750000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	2H1	72.8	-138.0	1.00	105.4	116.6	2	8320000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2D2	72.8	-133.7	1.00	103.3	114.1	2	9420000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2F1	72.8	-126.8	1.00	99.8	110.4	3	12500000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1B1	72.8	-108.6	1.00	90.7	100.3	32	40800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1B1	1.4	-108.6	1.00	55.0	60.8	28	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00003	

→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		割増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	1A1	348.5	-342.1	1.79	618.1	653.3	60	1860	0.03226	14.687	0.47379
2I2	2I1	263.4	-239.7	1.47	413.9	457.5	59	8620	0.00684	6.912	0.04731
1I1	2B1	197.1	-138.2	1.00	167.6	185.3	5	116000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	197.1	-129.3	1.00	163.2	180.4	7	126000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	197.1	-104.9	1.00	151.0	166.9	2	163000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	197.1	-72.9	1.00	135.0	149.3	2	248000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	253000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	197.1	-71.8	1.00	134.5	148.7	2	253000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	197.1	-68.1	1.00	132.6	146.6	4	269000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	197.1	-67.2	1.00	132.1	146.1	5	273000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	197.1	-66.3	1.00	131.7	145.6	2	276000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	197.1	-57.9	1.00	127.5	140.9	34	318000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	182.2	-57.9	1.00	120.0	132.7	2	413000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2I2	47.2	-55.6	1.59	81.9	90.5	59	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.52113

→環境UF : 0.522

Ke係数と環境疲労パラメータ (脚部 評価点A309I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	1A1	344.7	-345.9	1.79	618.4	683.6	60	1850	0.03243	14.684	0.47624
2I2	2I1	259.6	-303.6	1.47	414.2	457.9	59	8590	0.00687	6.905	0.04743
1I1	2B1	193.3	-142.0	1.00	167.6	185.3	5	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	193.3	-133.1	1.00	163.2	180.4	7	1260000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	193.3	-108.7	1.00	151.0	166.9	2	1630000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	193.3	-76.8	1.00	135.0	149.2	2	2460000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	193.3	-75.7	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	193.3	-75.7	1.00	134.5	148.6	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	193.3	-71.9	1.00	132.6	146.6	4	2690000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	193.3	-71.0	1.00	132.1	146.1	8	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	193.3	-70.2	1.00	131.7	145.6	2	2770000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	193.3	-61.6	1.00	127.5	140.9	34	3190000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	178.3	-61.6	1.00	120.0	132.6	2	4140000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2I2	43.3	-59.5	1.59	81.9	90.5	59	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.52370

→環境UF : 0.524

タイトル	蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 815 1310 1095"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.12-3</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="429 1211 1377 1476"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>SFVQ2A</td> <td>184</td> <td>276.9</td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> <td>324.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。</p> <p>管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施している。</p> <p>また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。</p> <p>解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.12-3	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		Sm (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台	SFVQ2A	184	276.9	管板及び管板廻り	SFVQ1A	184	324.9
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.12-3																					
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																				
		Sm (MPa)	温度 (°C)																			
給水入口管台	SFVQ2A	184	276.9																			
管板及び管板廻り	SFVQ1A	184	324.9																			

4. 応力分類

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

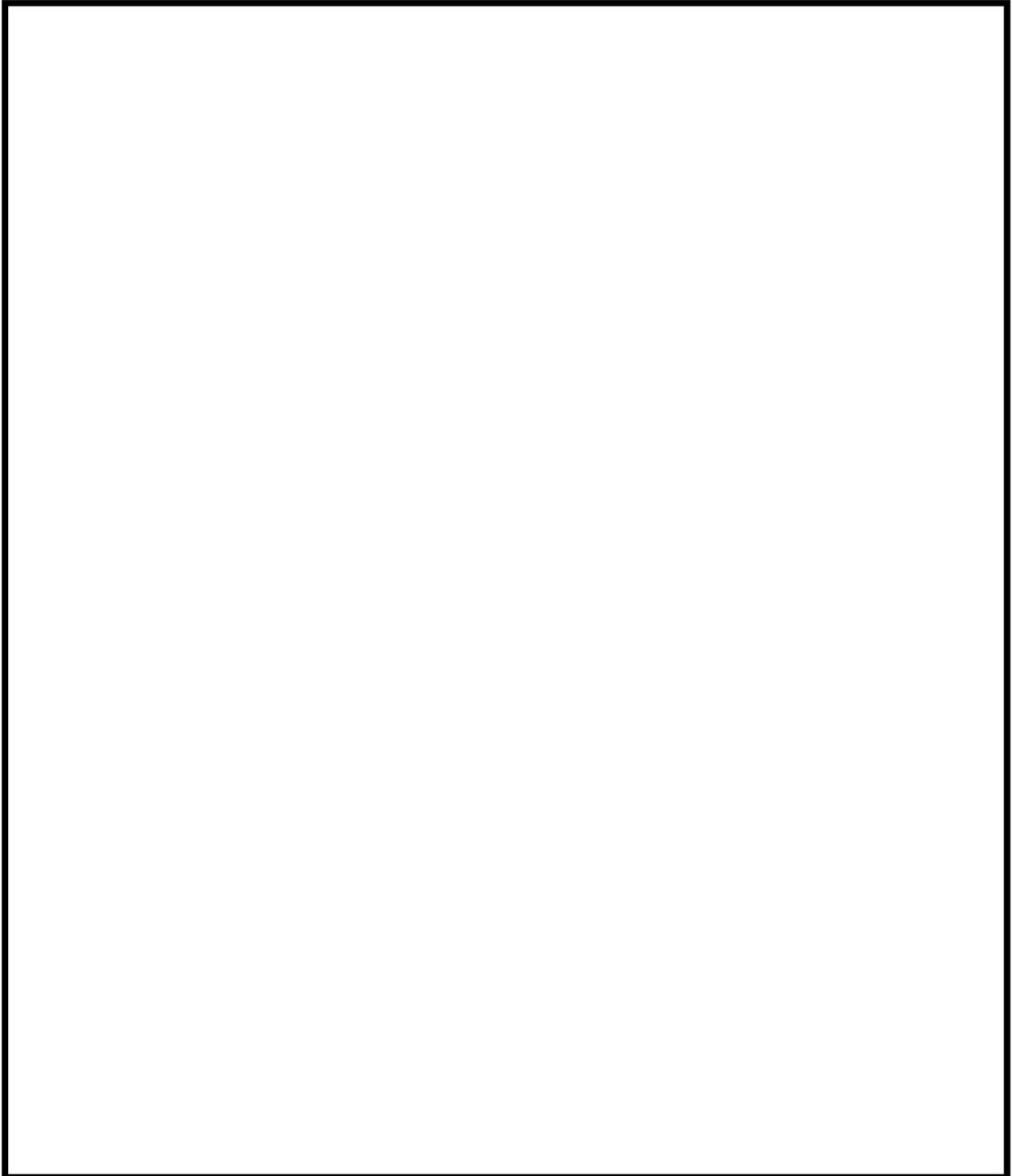
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境パラメータ

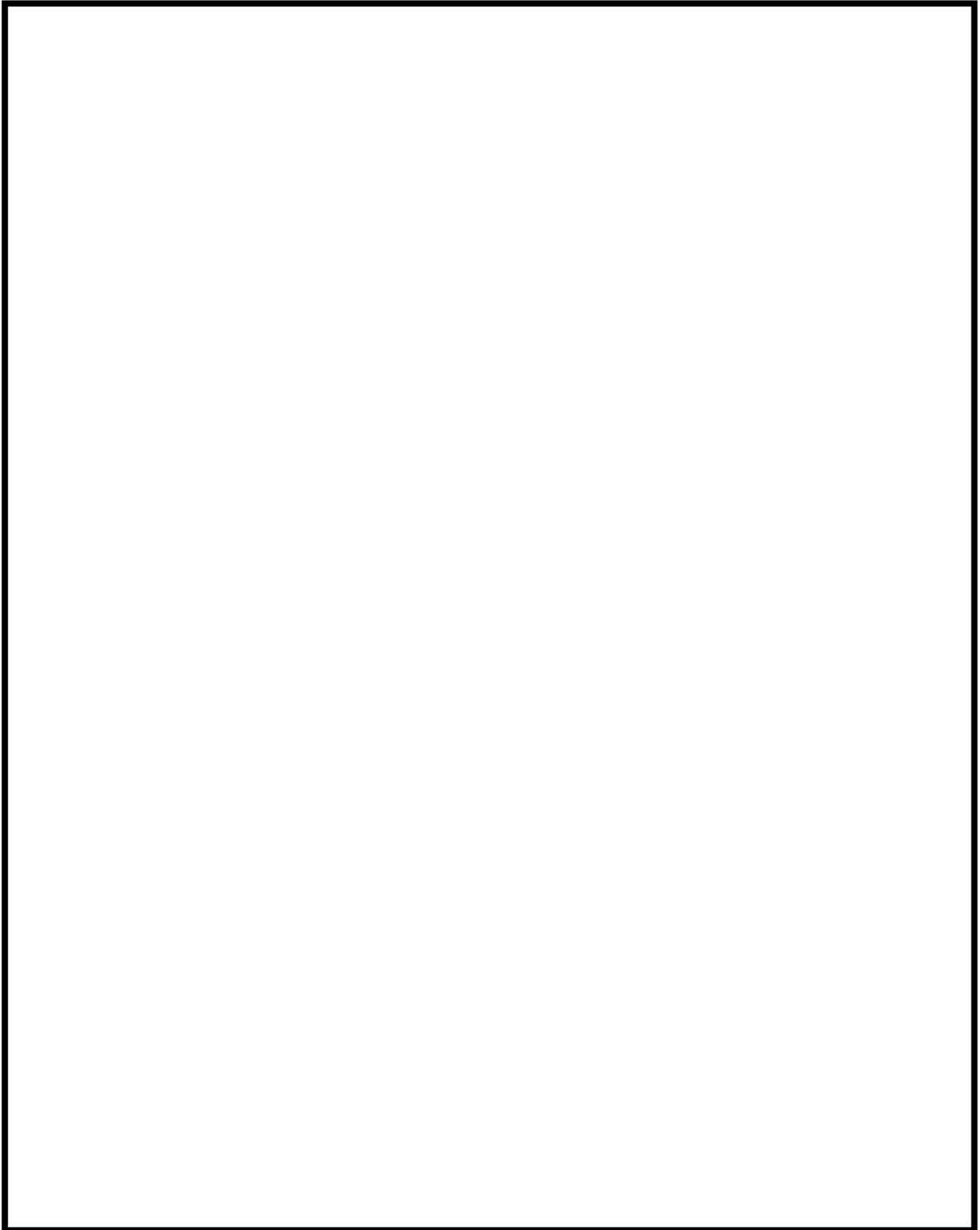
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。

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

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



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 評価点



蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 管板及び管板廻り

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.04362	0.00093	0.04927
2	0.0	0.00247	0.00067
3	0.04916	0.00025	0.11088
4	0.0	0.00016	0.00024
P1 SIDE R/R* = 0.0		0.01527	
P1 SIDE R/R* = 1.0		0.15321	
P2 SIDE R/R* = 0.0		0.03761	
P2 SIDE R/R* = 1.0		0.03021	

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 : 0.154

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 給水入口管台

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00000	0.00536	0.01190
2	0.0	0.00019	0.00071
3	0.00010	0.00777	0.03202
4	0.0	0.00027	0.00391
5	0.00335	0.06168	0.00749
6	0.0	0.00003	0.00002
7	0.02210	0.06768	0.00012
8	0.00313	0.0	0.00012
9L	0.11317	0.16729	
10L	0.0	0.00242	0.00113
9C	0.01263	0.01731	0.00209
10C	0.00011	0.03476	0.01712
11L	0.12184	0.16557	0.0
12L	0.0	0.00244	0.00116
11C	0.01488	0.01383	0.00131
12C	0.00000	0.03487	0.01737
13L	0.08017	0.04132	0.00002
14L	0.00001	0.00247	0.00285
13C	0.00291	0.0	0.00175
14C	0.00003	0.03497	0.02444

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 : 0.168

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

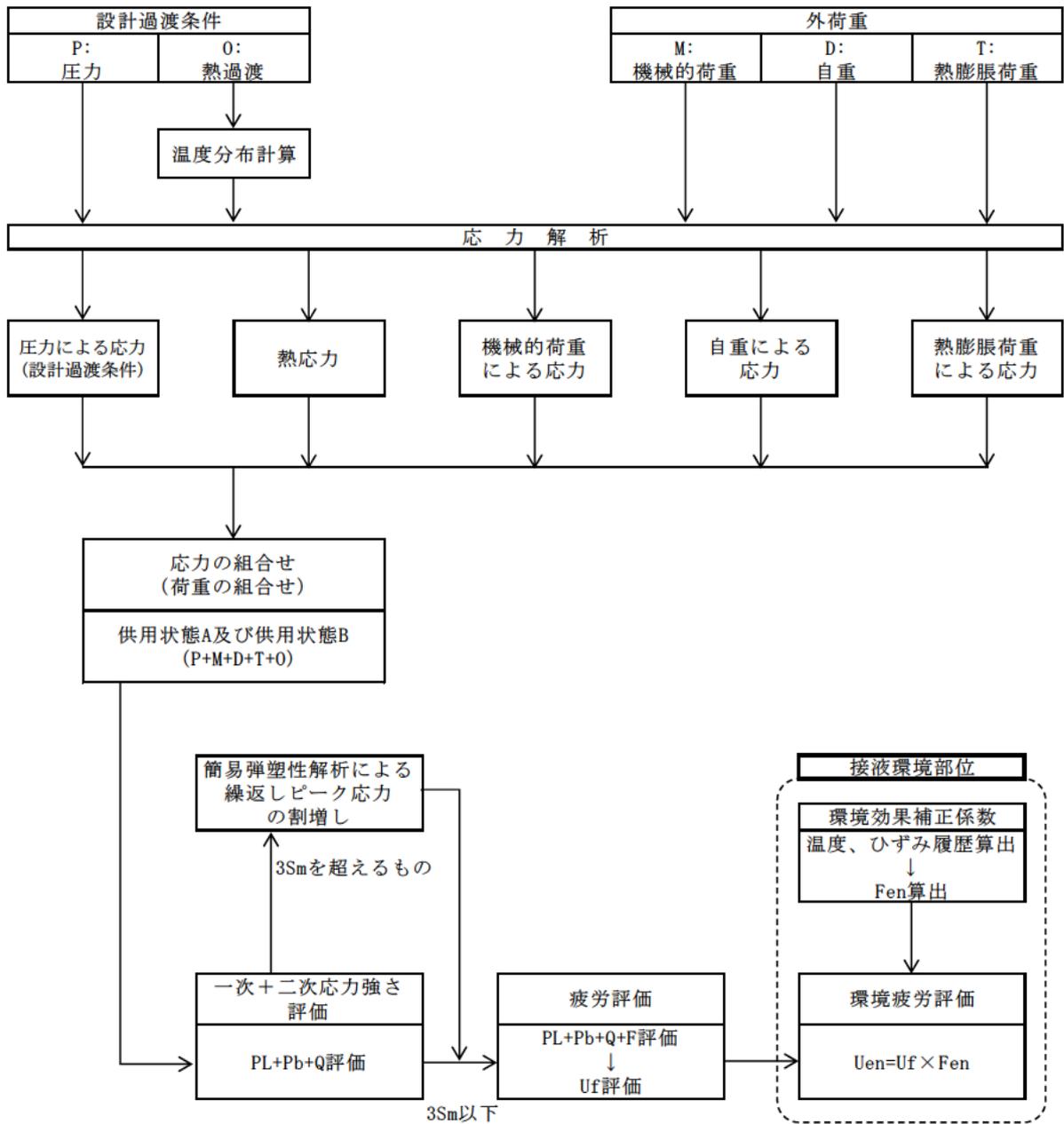
応力強さ			(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*		
846.5	-313.5	1.0	580.0	694.0	2	566	0.00353	
832.8	-313.5	1.0	573.1	685.8	57	586	0.09727	
832.8	0.0	1.0	416.4	498.2	2	1440	0.00139	
806.3	0.0	1.0	403.1	482.4	2	1570	0.00127	
785.9	0.0	1.0	393.0	470.2	2	1680	0.00119	
729.4	0.0	1.0	364.7	436.4	3	2060	0.00146	
728.3	0.0	1.0	364.1	435.7	2	2070	0.00097	
684.8	0.0	1.0	342.4	409.7	2	2520	0.00079	
665.6	0.0	1.0	332.8	398.2	8	2770	0.00289	
662.2	0.0	1.0	331.1	396.2	2	2810	0.00071	
619.9	0.0	1.0	310.0	370.9	6	3470	0.00173	
545.6	0.0	1.0	272.8	326.4	149	5210	0.02860	
545.6	27.6	1.0	259.0	309.9	68	6070	0.01120	
545.6	175.7	1.0	184.9	221.3	2	17800	0.00011	
545.6	319.5	1.0	113.0	135.3	2	107000	0.00002	
545.6	320.1	1.0	112.7	134.9	7	108000	0.00006	
545.6	375.4	1.0	85.1	101.8	5	332000	0.00002	
545.6	409.5	1.0	68.0	81.4	643	-----	0.0	
疲労累積係数 =							0.15321	

→通常UF: 0.154

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 9L)

応力強さ		(単位 : MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
954.5	-13.4	1.0	484.0	566.0	5	1020	0.00490
845.1	-13.4	1.0	429.2	502.0	55	1410	0.03901
845.1	-12.4	1.0	428.7	501.4	35	1420	0.02465
809.8	-12.4	1.0	411.1	480.7	25	1580	0.01582
809.8	0.0	1.0	404.9	473.5	32	1650	0.01939
804.0	0.0	1.0	402.0	470.1	64	1680	0.03810
791.0	0.0	1.0	395.5	462.6	4	1760	0.00227
787.5	0.0	1.0	393.8	460.5	2	1780	0.00112
776.9	0.0	1.0	388.4	454.3	2	1840	0.00109
772.4	0.0	1.0	386.2	451.6	15	1870	0.00802
772.4	295.0	1.0	238.7	279.1	6	8280	0.00072
772.4	428.9	1.0	171.7	200.8	2	24300	0.00008
772.4	442.9	1.0	164.7	192.7	3	27600	0.00011
772.4	505.2	1.0	133.6	156.2	2	54500	0.00004
772.4	507.8	1.0	132.3	154.7	0	57100	0.00000
772.4	513.5	1.0	129.4	151.4	2	63500	0.00003
772.4	514.1	1.0	129.1	151.0	2	64300	0.00003
772.4	516.7	1.0	127.8	149.5	4	67600	0.00006
772.4	525.7	1.0	123.3	144.2	2	80500	0.00002
772.4	525.8	1.0	123.3	144.2	838	80600	0.01040
770.2	525.8	1.0	122.2	142.9	46	84200	0.00055
770.2	526.2	1.0	122.0	142.7	2	85000	0.00002
770.2	529.3	1.0	120.5	140.9	0	90300	0.00000
770.2	546.7	1.0	111.8	130.7	4	121000	0.00003
770.2	549.7	1.0	110.3	129.0	0	127000	0.00000
770.2	551.1	1.0	109.5	128.1	6	131000	0.00005
770.2	561.9	1.0	104.2	121.8	4	157000	0.00003
770.2	576.5	1.0	96.9	113.3	60	205000	0.00029
770.2	576.5	1.0	96.9	113.3	60	205000	0.00029
770.2	585.2	1.0	92.5	108.2	2	253000	0.00001
770.2	604.2	1.0	83.0	97.1	59	412000	0.00014
770.2	618.2	1.0	76.0	88.9	2	746000	0.00000
770.2	618.8	1.0	75.7	88.5	2	774000	0.00000
770.2	621.5	1.0	74.4	87.0	8	906000	0.00001
770.2	624.0	1.0	73.1	85.5	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.16729

→通常UF : 0.168



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2E1	216.2	-484.5	1.00	350.3	419.2	2	2350	0.00085	3.927	0.00334
2J1	2K1	216.2	-444.8	1.00	330.5	395.4	57	2830	0.02014	1.000	0.02014
1A1	2K1	84.2	-444.8	1.00	264.5	316.5	2	5710	0.00035	4.699	0.00165
1A1	2D5	84.2	-398.0	1.00	241.1	288.5	2	7510	0.00027	4.162	0.00111
1A1	2F1	84.2	-346.8	1.00	215.5	257.8	3	10500	0.00029	3.943	0.00113
1A1	2D3	84.2	-329.4	1.00	206.8	247.5	2	12000	0.00017	4.114	0.00069
1A1	2G1	84.2	-315.7	1.00	199.9	239.2	2	13500	0.00015	4.171	0.00062
1A1	2D1	84.2	-300.1	1.00	192.2	229.9	8	15500	0.00052	4.119	0.00213
1A1	2C2	84.2	-291.8	1.00	188.0	225.0	2	16800	0.00012	4.084	0.00049
1A1	2A1	84.2	-290.4	1.00	187.3	224.1	7	17000	0.00041	4.336	0.00179
1A1	1G1	84.2	-287.0	1.00	185.6	222.1	4	17500	0.00023	4.861	0.00111
1A1	1L1	84.2	-267.0	1.00	175.6	210.1	2	21100	0.00009	4.209	0.00040
1A1	2H2	84.2	-258.4	1.00	171.3	205.0	2	22800	0.00009	4.085	0.00036
1A1	2B2	84.2	-255.4	1.00	169.8	203.2	5	23400	0.00021	4.896	0.00105
1A1	1D1	84.2	-251.2	1.00	167.7	200.6	19	24300	0.00078	4.887	0.00382
2H1	1D1	33.4	-251.2	1.00	142.3	170.3	2	40400	0.00005	4.342	0.00021
1C1	1D1	19.7	-251.2	1.00	135.5	162.1	855	47100	0.01815	5.131	0.09315
1C1	1B1	19.7	-251.2	1.00	135.4	162.1	29	47100	0.00062	5.056	0.00311
NSS	1B1	0.0	-251.2	1.00	125.6	150.3	31	65900	0.00047	5.369	0.00253
NSS	1K1	0.0	-244.0	1.00	122.0	146.0	57	75900	0.00075	5.369	0.00403
NSS	211	0.0	-242.1	1.00	121.1	144.9	6	78800	0.00008	5.291	0.00040
NSS	1A1	0.0	-237.6	1.00	118.8	142.1	60	86500	0.00069	4.699	0.00326
NSS	1J1	0.0	-231.8	1.00	115.9	138.7	24	97500	0.00025	1.000	0.00025
1H1	1J1	-15.7	-231.8	1.00	108.1	129.3	0	126000	0.00000	4.042	0.00000
1E1	1J1	-23.5	-231.8	1.00	104.2	124.7	4	144000	0.00003	4.910	0.00014
111	1J1	-25.1	-231.8	1.00	103.3	123.7	36	148000	0.00024	1.816	0.00044
111	111	-25.1	-220.6	1.00	97.7	116.9	32	182000	0.00018	1.816	0.00032
2C2	111	-25.8	-220.6	1.00	97.4	116.5	2	184000	0.00001	2.734	0.00003
1G1	111	-29.9	-220.6	1.00	95.4	114.1	4	199000	0.00002	3.732	0.00008
1D1	111	-31.3	-220.6	1.00	94.6	113.2	30	206000	0.00015	3.659	0.00053
1D1	1L3	-31.3	-215.4	1.00	92.0	110.1	2	233000	0.00001	5.156	0.00004
1D1	1C1	-31.3	-206.7	1.00	87.7	104.9	844	290000	0.00291	5.156	0.01501
1H1	1C1	-43.5	-206.7	1.00	81.6	97.6	0	401000	0.00000	1.991	0.00000
1E1	1C1	-48.2	-206.7	1.00	79.3	94.8	4	457000	0.00001	1.000	0.00001
1F1	1C1	-62.2	-206.7	1.00	72.3	86.5	4	953000	0.00000	1.000	0.00000
2J2	1C1	-90.0	-206.7	1.00	58.3	69.8	32	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.16335

→環境UF : 0.164

Ke係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点11L) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	2B2	22.7	-964.8	1.00	493.8	577.4	5	972	0.00514	4.034	0.02075
1B1	2T1	22.7	-893.4	1.00	458.1	535.7	55	1190	0.04622	4.157	0.19213
1A1	2T1	21.4	-893.4	1.00	457.4	534.9	35	1190	0.02941	2.917	0.08580
1A1	1K1	21.4	-820.5	1.00	421.0	492.3	25	1490	0.01678	2.149	0.03606
NSS	1K1	0.0	-820.5	1.00	410.3	479.8	32	1590	0.02013	2.336	0.04700
NSS	1J1	0.0	-815.1	1.00	407.5	476.6	64	1620	0.03951	1.000	0.03951
NSS	1G1	0.0	-795.8	1.00	397.9	465.3	4	1730	0.00231	3.038	0.00702
NSS	2D3	0.0	-794.6	1.00	397.3	464.6	2	1740	0.00115	2.502	0.00288
NSS	1L4	0.0	-787.6	1.00	393.8	460.6	2	1780	0.00112	2.392	0.00269
NSS	1C1	0.0	-781.2	1.00	390.6	456.8	15	1820	0.00824	1.000	0.00824
2I1	1C1	-299.6	-781.2	1.00	240.8	281.6	6	8070	0.00074	1.000	0.00074
2D4	1C1	-441.8	-781.2	1.00	169.7	198.5	2	25200	0.00008	2.108	0.00017
2F1	1C1	-449.5	-781.2	1.00	165.9	194.0	3	27000	0.00011	2.713	0.00030
2D2	1C1	-511.0	-781.2	1.00	135.1	158.0	2	51500	0.00004	2.290	0.00009
1H1	1C1	-518.6	-781.2	1.00	131.3	153.6	0	59200	0.00000	1.895	0.00000
2H1	1C1	-523.5	-781.2	1.00	128.8	150.7	2	65000	0.00003	3.003	0.00009
2E1	1C1	-524.5	-781.2	1.00	128.4	150.2	2	66100	0.00003	2.373	0.00007
1E1	1C1	-526.8	-781.2	1.00	127.2	148.8	4	69200	0.00006	3.754	0.00022
1L1	1C1	-536.0	-781.2	1.00	122.6	143.4	2	82800	0.00002	1.000	0.00002
2G2	1C1	-538.0	-781.2	1.00	121.6	142.2	2	86300	0.00002	2.752	0.00006
1F1	1C1	-540.1	-781.2	1.00	120.6	141.0	4	90000	0.00004	3.767	0.00017
*1D	1C1	-541.2	-781.2	1.00	120.0	140.3	0	92000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1C1	-541.2	-781.2	1.00	120.0	140.3	3	92000	0.00003	1.000	0.00003
1E1	1C1	-560.0	-781.2	1.00	110.6	129.4	4	126000	0.00003	3.754	0.00012
1H1	1C1	-562.8	-781.2	1.00	109.2	127.8	0	132000	0.00000	1.592	0.00000
2I1	1C1	-570.6	-781.2	1.00	105.3	123.2	6	150000	0.00004	1.000	0.00004
1F1	1C1	-575.8	-781.2	1.00	102.7	120.1	4	165000	0.00002	3.605	0.00009
1L2	1C1	-597.0	-781.2	1.00	92.1	107.7	2	258000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1C1	-598.1	-781.2	1.00	91.6	107.1	60	265000	0.00023	4.324	0.00098
1B1	1C1	-598.1	-781.2	1.00	91.6	107.1	60	265000	0.00023	1.000	0.00023
2K1	1C1	-625.1	-781.2	1.00	78.1	91.3	59	588000	0.00010	1.000	0.00010
2G1	1C1	-635.4	-781.2	1.00	72.9	85.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.44560

→環境UF : 0.446

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

玄海原子力発電所 3 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 $0.446 < 1.0$ であり、問題ないことを確認した。

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

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

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

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

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

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図 1 に示す。

熱成層応力の解析は 3 次元の FEM 解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

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

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

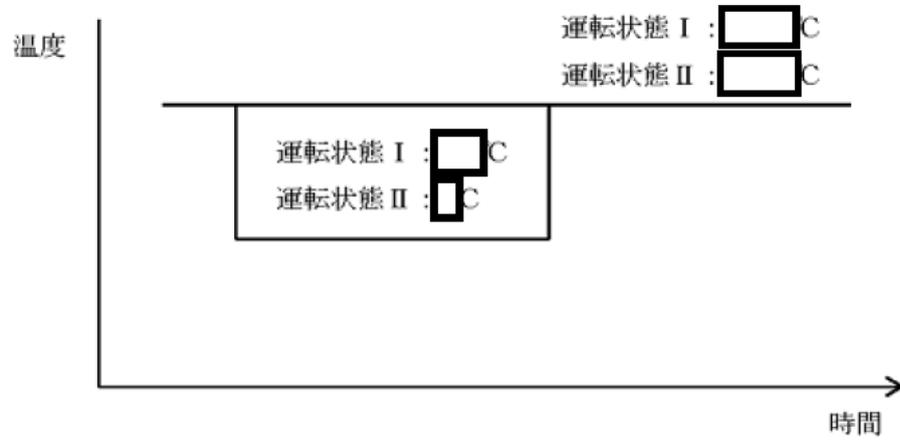
解析に使用したモデルを図 2、3、4 に示す。

(2) 解析コード

解析コードは ABAQUS Ver. 6. 12-3 を使用する。

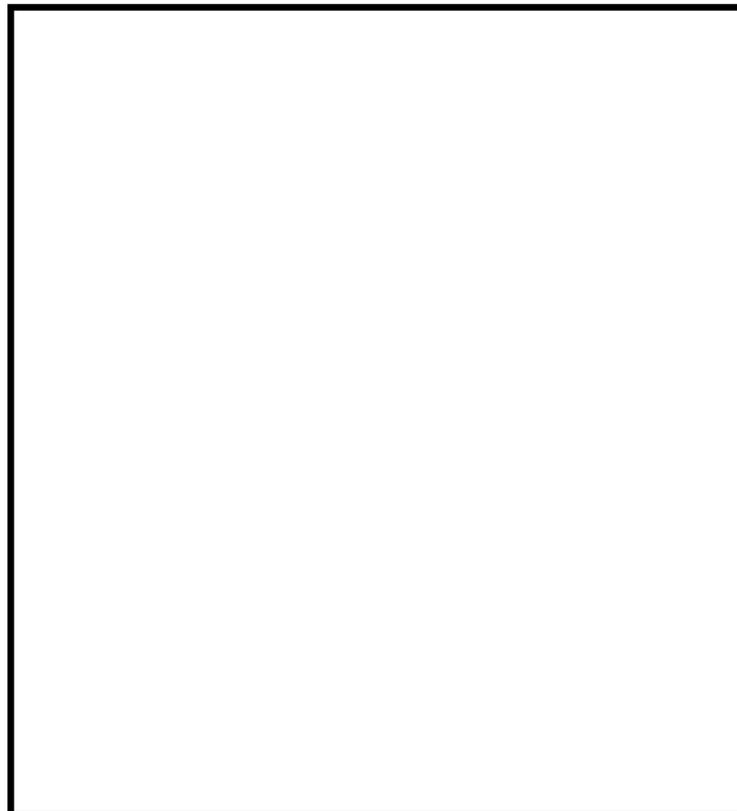
(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



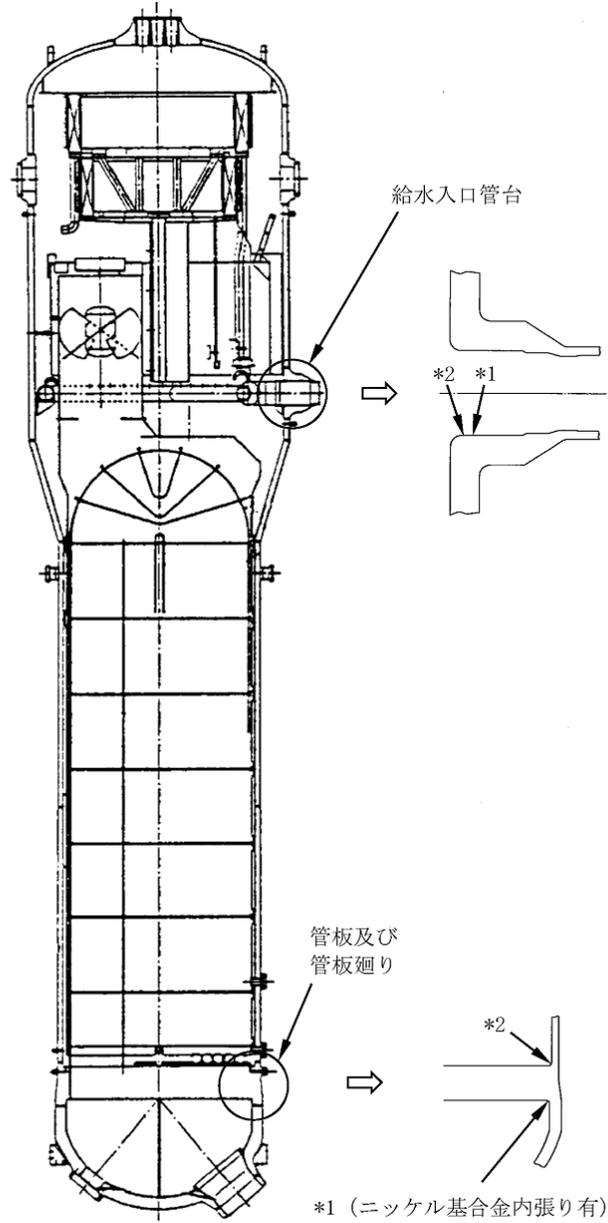
(4) 熱伝達率

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



(5) 物性値

熱成層による応力の解析に用いる材料の物性値は表1に示すとおりである。



*1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

図1 玄海3号炉 蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労評価対象部位



図2 解析モデル (全体図)

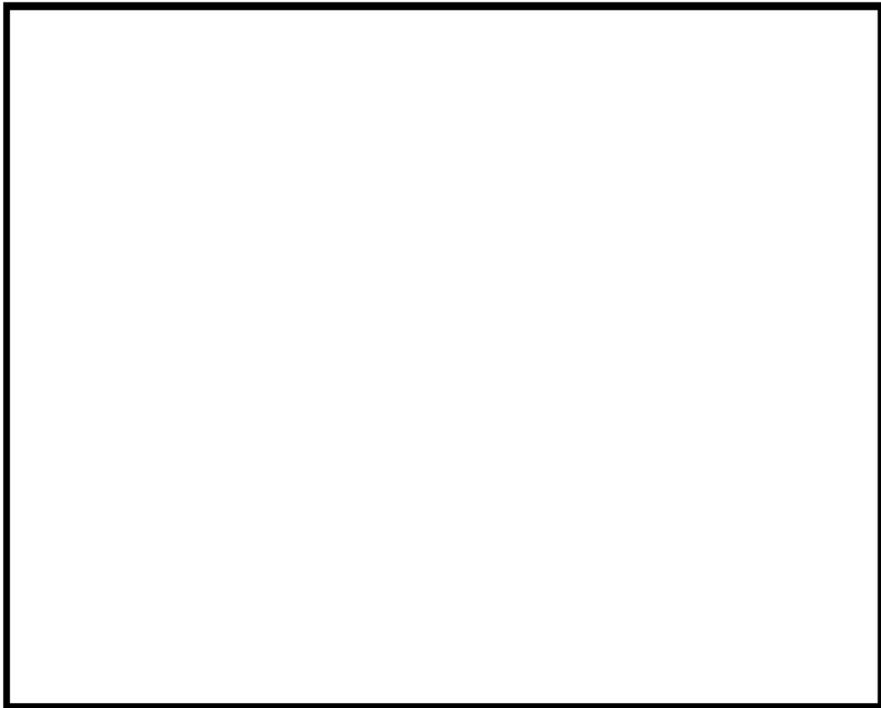


図3 解析モデル (断面図)

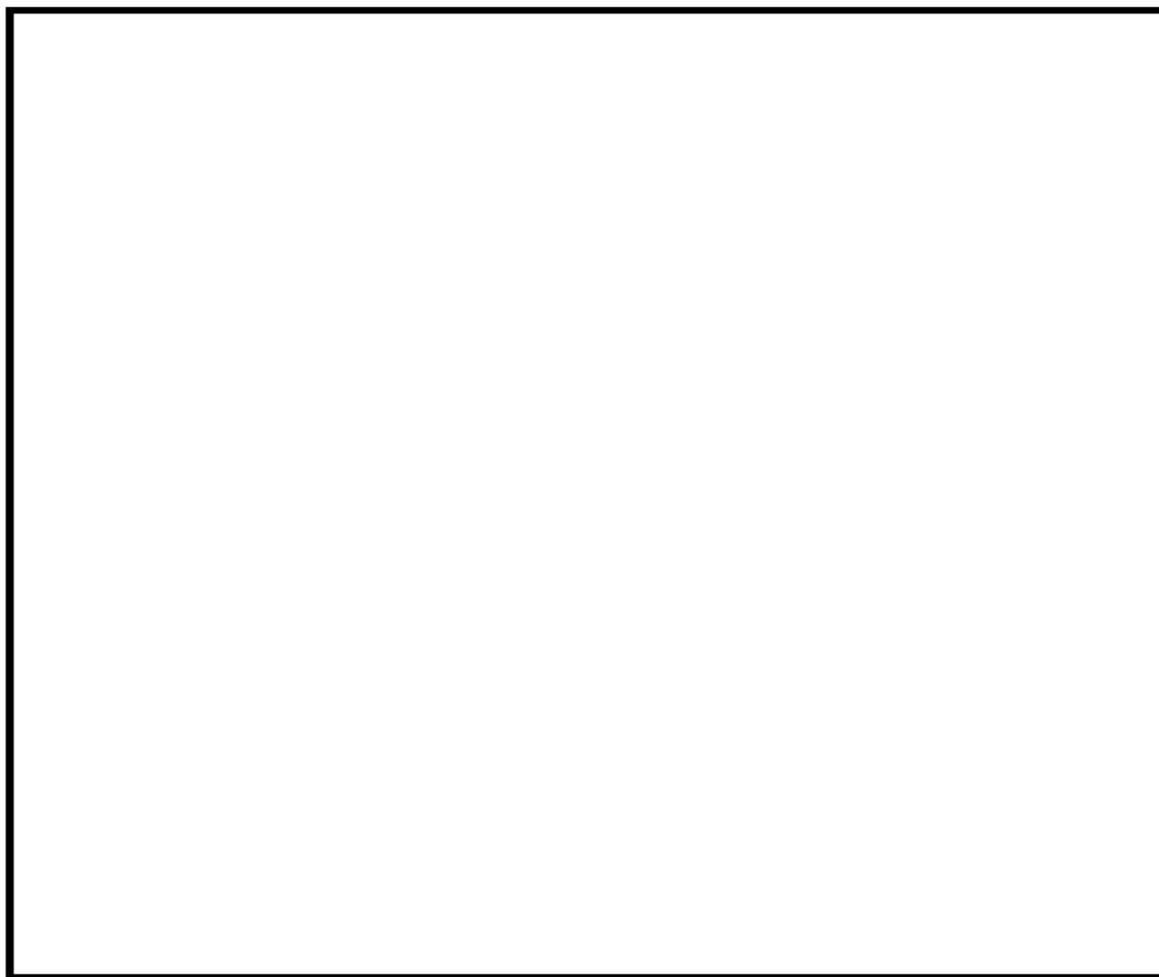


図4 解析モデル (拡大図)

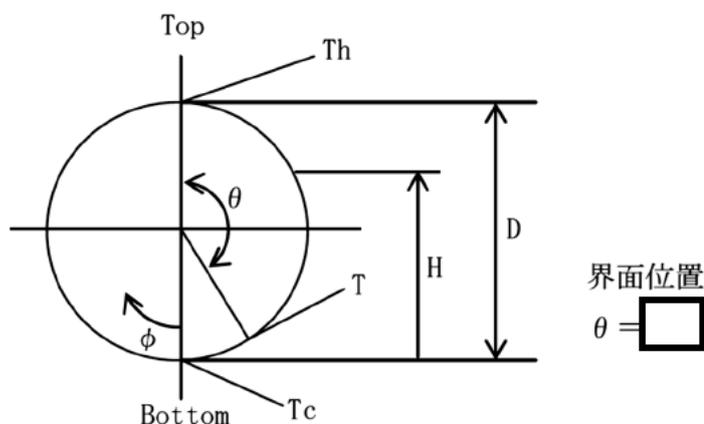
表1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴
材料	STS49	SFVQ2A	SQV2B
熱伝導率 (W/mK)	44.4	39.0	39.0
熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K)	4.39	4.32	4.32
熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C)	12.83	13.15	13.94
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 (276.9 $^{\circ}$ C) における値であり、解析上は温度依存性を考慮してそれぞれの時刻の温度に基づく値を使用している。

(6) 温度プロファイル

過去に他実機プラントである大飯1号機での給水管内熱成層発生時の応力を計測しており、熱成層界面位置が水平頂部からの角度 $\theta =$ 約 の場合に最大応力が確認されている。大飯1号機と玄海原子力発電所3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 $\theta =$ 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)

過積条件 記号		一次十二次+ ピーク応力強さ		割増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過積 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	2B2	22.7	-964.8	1.00	493.8	577.4	5	972	0.00514	4.034	0.02075
1B1	2T1	22.7	-893.4	1.00	458.1	535.7	55	1190	0.04622	4.157	0.19213
1A1	2T1	21.4	-893.4	1.00	457.4	534.9	35	1190	0.02941	2.917	0.08580
1A1	1K1	21.4	-820.5	1.00	421.0	492.3	25	1490	0.01678	2.149	0.03606
NSS	1K1	0.0	-820.5	1.00	410.3	479.8	32	1590	0.02013	2.336	0.04700
NSS	1J1	0.0	-815.1	1.00	407.5	476.6	64	1620	0.03951	1.000	0.03951
NSS	1G1	0.0	-795.8	1.00	397.9	465.3	4	1730	0.00231	3.038	0.00702
NSS	2D3	0.0	-794.6	1.00	397.3	464.6	2	1740	0.00115	2.502	0.00288
NSS	1L4	0.0	-787.6	1.00	393.8	460.6	2	1780	0.00112	2.392	0.00269
NSS	1C1	0.0	-781.2	1.00	390.6	456.8	15	1820	0.00824	1.000	0.00824
2I1	1C1	-299.6	-781.2	1.00	240.8	281.6	6	8070	0.00074	1.000	0.00074
2D4	1C1	-441.8	-781.2	1.00	169.7	198.5	2	25200	0.00008	2.108	0.00017
2F1	1C1	-449.5	-781.2	1.00	165.9	194.0	3	27000	0.00011	2.713	0.00030
2D2	1C1	-511.0	-781.2	1.00	135.1	158.0	2	51500	0.00004	2.290	0.00009
1H1	1C1	-518.6	-781.2	1.00	131.3	153.6	0	59200	0.00000	1.895	0.00000
2H1	1C1	-523.5	-781.2	1.00	128.8	150.7	2	65000	0.00003	3.003	0.00009
2E1	1C1	-524.5	-781.2	1.00	128.4	150.2	2	66100	0.00003	2.373	0.00007
1E1	1C1	-526.8	-781.2	1.00	127.2	148.8	4	69200	0.00006	3.754	0.00022
1L1	1C1	-536.0	-781.2	1.00	122.6	143.4	2	82800	0.00002	1.000	0.00002
2G2	1C1	-538.0	-781.2	1.00	121.6	142.2	2	86300	0.00002	2.752	0.00006
1F1	1C1	-540.1	-781.2	1.00	120.6	141.0	4	90000	0.00004	3.767	0.00017
*10	1C1	-541.2	-781.2	1.00	120.0	140.3	0	92000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1C1	-541.2	-781.2	1.00	120.0	140.3	3	92000	0.00003	1.000	0.00003
1E1	1C1	-560.0	-781.2	1.00	110.6	129.4	4	126000	0.00003	3.754	0.00012
1H1	1C1	-562.8	-781.2	1.00	109.2	127.8	0	132000	0.00000	1.592	0.00000
2I1	1C1	-570.6	-781.2	1.00	105.3	123.2	6	150000	0.00004	1.000	0.00004
1F1	1C1	-575.8	-781.2	1.00	102.7	120.1	4	165000	0.00002	3.605	0.00009
1L2	1C1	-597.0	-781.2	1.00	92.1	107.7	2	258000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1C1	-598.1	-781.2	1.00	91.6	107.1	60	265000	0.00023	4.324	0.00098
1B1	1C1	-598.1	-781.2	1.00	91.6	107.1	60	265000	0.00023	1.000	0.00023
2K1	1C1	-625.1	-781.2	1.00	78.1	91.3	59	588000	0.00010	1.000	0.00010
2C1	1C1	-635.4	-781.2	1.00	72.9	85.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.44560

→環境UF : 0.446

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 1347 1200"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6. 12-3 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 6. 12-3</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 1276 1355 1478"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6. 3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="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>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="432 1597 1362 1957"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> <tr> <th>345℃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スプレイライン用管台セーフエンド サージ用管台セーフエンド</td> <td>SUSF316</td> <td>114</td> </tr> <tr> <td>スプレイライン用管台 サージ用管台</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> </tr> <tr> <td>下部胴板 下部鏡板</td> <td>SQV1A</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6. 12-3 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 6. 12-3	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	評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	スプレイライン用管台セーフエンド サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114	スプレイライン用管台 サージ用管台	SFVQ1A	184	下部胴板 下部鏡板	SQV1A	184
解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6. 12-3 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 6. 12-3																											
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																												
評価部位		材料	設計応力 (MPa)																									
	345℃																											
スプレイライン用管台セーフエンド サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114																										
スプレイライン用管台 サージ用管台	SFVQ1A	184																										
下部胴板 下部鏡板	SQV1A	184																										

3. 最大評価点の選定

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

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

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

解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付1に示す。

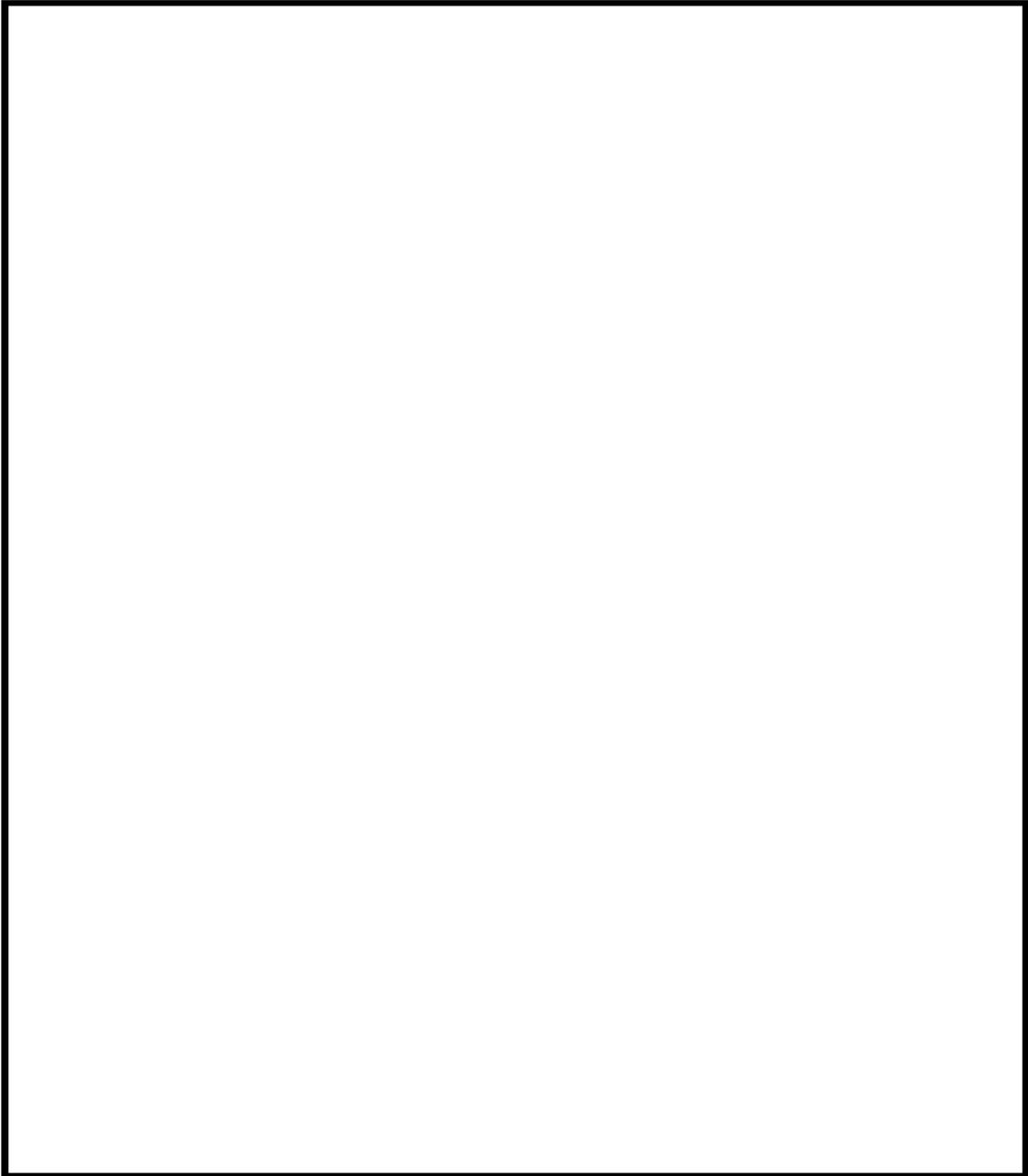
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. K_e 係数および環境評価パラメータ

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



加圧器 スプレイライン用管台 評価点

スプレイライン用管台 最大評価点の選定

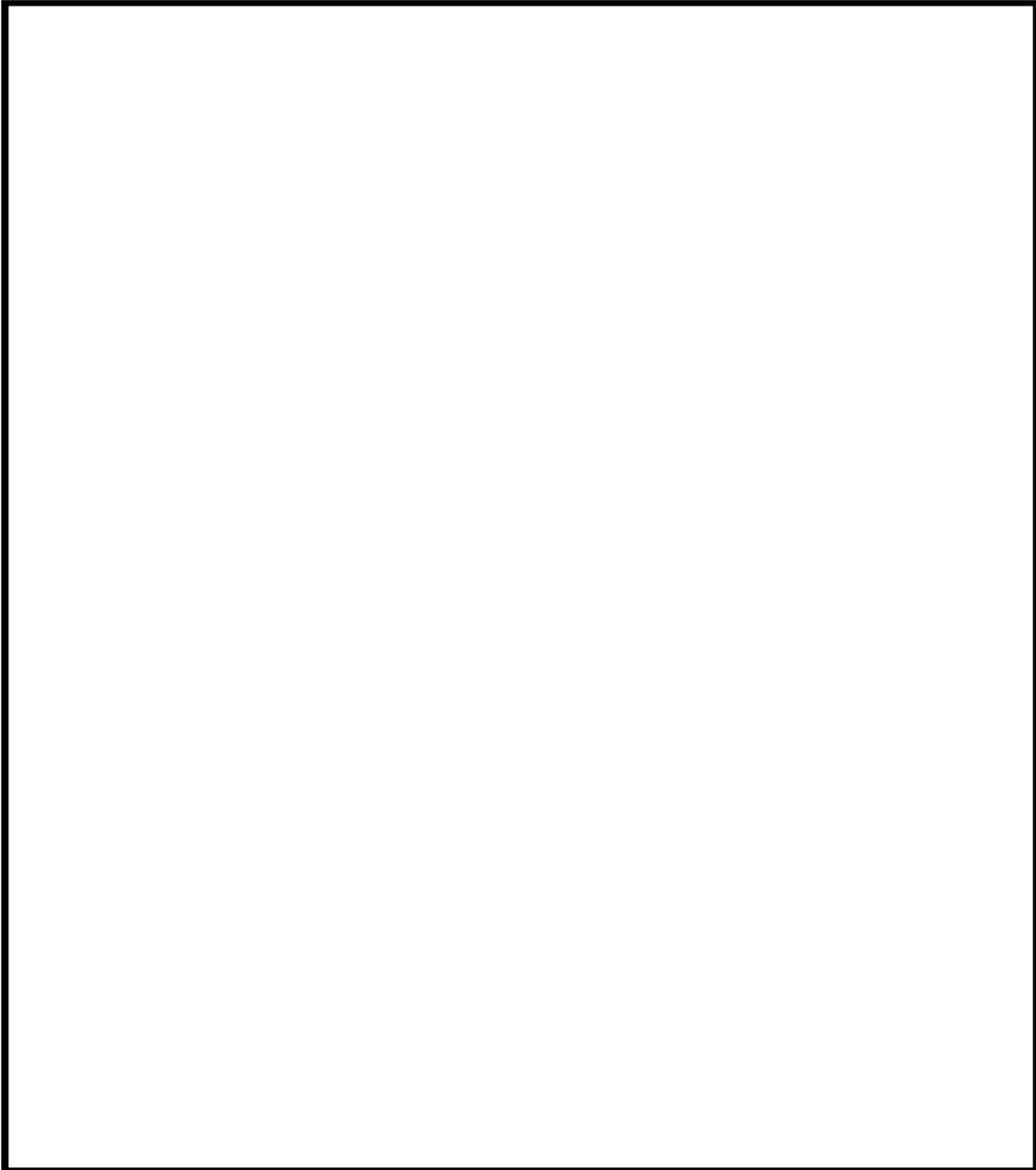
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00534	0.00656
2	0.0	0.00001	0.00002
3	0.0	0.00597	0.01060
4	0.00000	0.00005	0.00043
5	0.00001	0.01176	0.00214
6	0.0	0.00000	0.00000
7	0.0	0.00713	0.00511
8	0.0	0.00000	0.0
9	0.00001	0.00002	0.00284
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0
12	0.00002	0.0	0.00084
13	0.0	0.00437	0.00791
14	0.00305	0.0	0.00076
15	0.0	0.00077	0.00055
16	0.00017	0.00021	0.00397
17	0.00604	0.01416	0.0
18	0.0	0.0	0.0
19	0.04186	0.03974	0.0
20	0.0	0.00001	0.0
21	0.0	0.00269	0.00041
22	0.0	0.00023	0.00340

許容値 $U_f=1.0$

スプレイライン用管台 疲労評価結果 (評価点: 19)

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*	
3.0	-429.0	1.0	216.0	260.0	2	10200	0.00020
3.0	-423.8	1.0	213.4	256.8	58	10600	0.00547
0.0	-423.8	1.0	211.9	255.0	119	10900	0.01092
-68.4	-423.8	1.0	177.7	213.9	60	20000	0.00300
-71.8	-423.8	1.0	176.0	211.8	60	20600	0.00291
-78.1	-423.8	1.0	172.9	208.0	60	21800	0.00275
-78.7	-423.8	1.0	172.5	207.7	60	21900	0.00274
-87.1	-423.8	1.0	168.3	202.6	60	23600	0.00254
-95.1	-423.8	1.0	164.3	197.8	60	25500	0.00235
-106.4	-423.8	1.0	158.7	191.0	60	28300	0.00212
-106.5	-423.8	1.0	158.7	190.9	60	28400	0.00211
-113.0	-423.8	1.0	155.4	187.0	60	30300	0.00198
-147.7	-423.8	1.0	138.0	166.1	2	43600	0.00095
-154.5	-423.8	1.0	134.6	162.0	60	47100	0.00127
-188.4	-423.8	1.0	117.7	141.6	60	88000	0.00068
-213.6	-423.8	1.0	105.1	126.5	60	137000	0.00044
-250.0	-423.8	1.0	86.9	104.6	60	294000	0.00020
-258.3	-423.8	1.0	82.8	99.6	3	367000	0.00001
-265.8	-423.8	1.0	79.0	95.1	2	452000	0.00000
-272.3	-423.8	1.0	75.8	91.2	60	596000	0.00010
-278.7	-423.8	1.0	72.5	87.3	2	874000	0.00000
-291.6	-423.8	1.0	66.1	79.6	6	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.04186

→通常UF : 0.042



加圧器サージ用管台 評価点

サージ用管台 最大評価点の選定

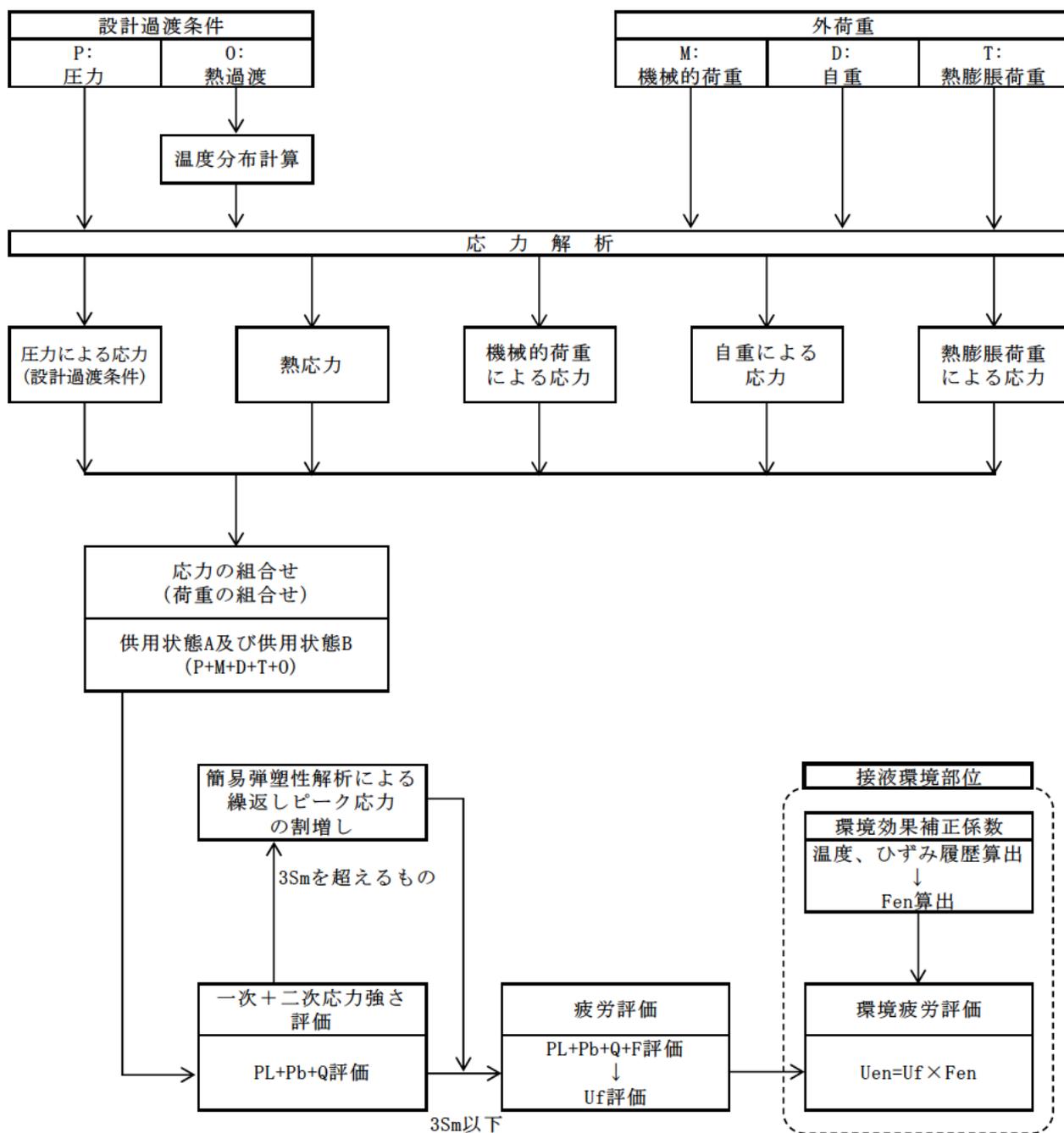
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00090	0.00280
2	0.0	0.00018	0.00027
3	0.0	0.00093	0.00136
4	0.0	0.00021	0.00048
5	0.00000	0.00183	0.00033
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00000	0.00119	0.00159
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00001	0.00010	0.00073
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.00004	0.00030
12	0.00003	0.0	0.00020
13	0.00312	0.0	0.00267
14	0.00284	0.0	0.00132
15	0.0	0.00057	0.00109
16	0.00052	0.0	0.00048
17	0.00470	0.00949	0.0
18	0.0	0.00028	0.0
19	0.01543	0.01280	0.0
20	0.0	0.00061	0.00076
21	0.0	0.00173	0.00002
22	0.0	0.00227	0.00488

許容値 $U_f=1.0$

サージ用管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

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*	
21.3	-320.1	1.0	170.7	205.5	5	22600	0.00022
21.3	-290.8	1.0	156.0	187.8	55	29900	0.00184
18.6	-290.8	1.0	154.7	186.2	59	30700	0.00192
0.0	-290.8	1.0	145.4	175.0	119	37200	0.00320
-59.1	-290.8	1.0	115.9	139.4	651	95000	0.00685
-59.1	-290.3	1.0	115.6	139.2	2	95900	0.00002
-59.1	-289.8	1.0	115.3	138.8	7	97100	0.00007
-59.1	-284.0	1.0	112.5	135.3	60	107000	0.00056
-102.8	-284.0	1.0	90.6	109.1	2	244000	0.00001
-128.8	-284.0	1.0	77.6	93.4	360	490000	0.00073
-166.0	-284.0	1.0	59.0	71.0	3	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.01543

→通常UF : 0.016



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		割増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実繰返 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 修正係数	選定効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KB	修正前 s _{alt}					
2E2	2E2	477.4	-361.9	2.07	869.2	979.7	2	568	0.00352	8.194	0.02885
1B8	1B7	366.2	-137.7	1.23	309.4	348.8	60	31900	0.00188	3.525	0.00663
1A6	1B6	310.3	-136.0	1.19	262.6	296.0	60	75200	0.00080	6.881	0.00549
1B3	1B5	293.7	-132.1	1.14	242.9	273.8	60	115000	0.00052	7.042	0.00367
1B5	1A6	275.6	-103.8	1.13	214.5	241.7	60	234000	0.00026	12.355	0.00317
1B2	1B4	292.4	-113.1	1.00	202.8	228.5	60	332000	0.00018	9.568	0.00173
1A7	1B3	290.0	-100.0	1.00	195.0	219.8	60	423000	0.00014	7.742	0.00110
1A5	1A5	287.0	-88.7	1.00	187.8	211.7	60	539000	0.00011	1.000	0.00011
1B4	1A7	279.7	-88.4	1.00	184.0	207.4	60	622000	0.00010	1.000	0.00010
2A1	1M1	278.0	-85.9	1.00	181.9	205.1	7	675000	0.00001	1.000	0.00001
1B6	1B2	251.8	-84.3	1.08	181.0	204.0	60	701000	0.00009	1.000	0.00009
2H1	1M1	273.8	-85.9	1.00	179.8	202.7	2	733000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1M1	270.7	-85.9	1.00	178.3	201.0	2	778000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1M1	267.5	-85.9	1.00	176.7	199.2	4	830000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1M1	267.5	-85.9	1.00	176.7	199.2	4	830000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	1M1	267.1	-85.9	1.00	176.5	198.9	2	837000	0.00000	1.000	0.00000
1L2	1M1	266.5	-85.9	1.00	176.2	198.6	2	847000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1M1	265.8	-85.9	1.00	175.8	198.2	876	859000	0.00102	1.000	0.00102
1C1	1M1	265.6	-85.9	1.00	175.7	198.1	884	863000	0.00102	1.000	0.00102
1M1	1M1	263.8	-85.9	1.00	174.8	197.1	1117	894000	0.00125	1.000	0.00125
1M1	1C1	263.8	-85.8	1.00	174.8	197.0	884	895000	0.00099	1.000	0.00099
1M1	1A4	263.8	-80.9	1.00	172.4	194.3	60	989000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	1A3	263.8	-80.7	1.00	172.2	194.1	60	995000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	1E1	263.8	-80.6	1.00	172.2	194.1	4	997000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1D1	263.8	-57.5	1.00	160.7	181.1	775	1250000	0.00062	1.000	0.00062
1E1	1D1	263.0	-57.5	1.00	160.3	180.6	4	1260000	0.00000	1.000	0.00000
1B9	1D1	257.0	-57.5	1.00	157.3	177.3	60	1340000	0.00004	1.000	0.00004
1B7	1D1	248.8	-57.5	1.00	153.2	172.6	37	1460000	0.00003	1.000	0.00003
1B7	1G1	248.8	-49.7	1.00	149.3	168.2	4	1590000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1F1	248.8	-38.9	1.00	143.9	162.2	4	1790000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1L2	248.8	-37.2	1.00	143.0	161.2	2	1830000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1B8	248.8	-27.3	1.03	142.3	160.4	13	1860000	0.00001	1.000	0.00001
1A4	1A2	240.4	-35.8	1.00	138.1	155.7	60	2070000	0.00003	1.000	0.00003
1A3	1B8	202.2	-27.3	1.00	114.8	129.4	47	4610000	0.00001	1.000	0.00001
1A3	1B9	202.2	-23.5	1.00	112.9	127.2	13	4950000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	1B9	194.4	-23.5	1.00	109.0	122.8	47	6100000	0.00001	1.000	0.00001
1BA	2A1	194.4	-6.3	1.00	100.3	113.1	7	9940000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	1L1	194.4	-5.6	1.00	100.0	112.7	2	10200000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	2J1	194.4	0.0	1.00	97.2	109.6	4	13300000	0.00000	1.000	0.00000
1BB	2J1	163.2	0.0	1.00	81.6	92.0	65	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.05613

→環境UF : 0.057

【サージ用管台 (評価点: 1)】

選定条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実繰返 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	乗換効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2E1	2H1	16.0	-490.7	1.00	253.4	285.6	2	91500	0.00002	6.051	0.00013
NSS	2E1	0.0	-438.8	1.00	219.4	247.3	2	203000	0.00001	4.829	0.00005
NSS	1B2	0.0	-413.7	1.00	206.9	233.2	117	293000	0.00040	3.485	0.00139
2G1	1B2	-10.8	-413.7	1.00	201.4	227.1	2	346000	0.00001	6.677	0.00004
1C1	1B2	-22.7	-413.7	1.00	196.5	220.4	601	416000	0.00144	8.373	0.01210
1C1	1A2	-22.7	-405.9	1.00	191.6	216.0	283	472000	0.00060	8.378	0.00502
2D3	1A2	-33.2	-405.9	1.00	186.3	210.0	2	570000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	1A2	-37.0	-405.9	1.00	184.4	207.9	5	613000	0.00001	1.000	0.00001
1A2	1A2	-54.5	-405.9	1.00	176.7	198.0	70	864000	0.00008	1.000	0.00008
1A2	2D3	-54.5	-344.5	1.00	145.0	163.4	2	1750000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L1	-54.5	-339.9	1.00	142.7	160.9	2	1840000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L2	-54.5	-331.9	1.00	138.7	156.3	2	2030000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1G1	-54.5	-321.1	1.00	133.3	150.3	4	2410000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	-54.5	-313.7	1.00	129.6	146.1	5	2720000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2A1	-54.5	-307.8	1.00	126.6	142.8	7	3010000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2G1	-54.5	-277.9	1.00	111.7	125.9	2	5260000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1C1	-54.5	-275.3	1.00	110.4	124.4	266	5650000	0.00005	1.000	0.00005
1D1	1C1	-67.0	-275.3	1.00	104.1	117.4	618	7970000	0.00008	1.000	0.00008
1D1	1D1	-67.0	-271.1	1.00	102.1	115.1	258	8970000	0.00003	1.000	0.00003
1B2	1D1	-69.3	-271.1	1.00	100.9	113.7	618	9610000	0.00006	1.000	0.00006
1B2	1F1	-69.3	-253.9	1.00	92.3	104.0	4	23100000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1H1	-69.3	-242.6	1.00	86.6	97.6	0	79700000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1E1	-69.3	-228.0	1.00	79.3	89.4	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.01905

→環境UF : 0.020

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>主蒸気ライン貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位に加わる負荷を算出し、材料力学公式（参考文献：Formulas for Stress and Strain, Raymond J. Roark他著）と、PVE-3100に準じてPVB-3130の応力集中係数にかかわる規定を用いた疲労評価により算出している。</p> <p>主蒸気ライン貫通部の仕様、荷重および疲労評価結果を添付 1 に示す。</p>

主蒸気ライン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。

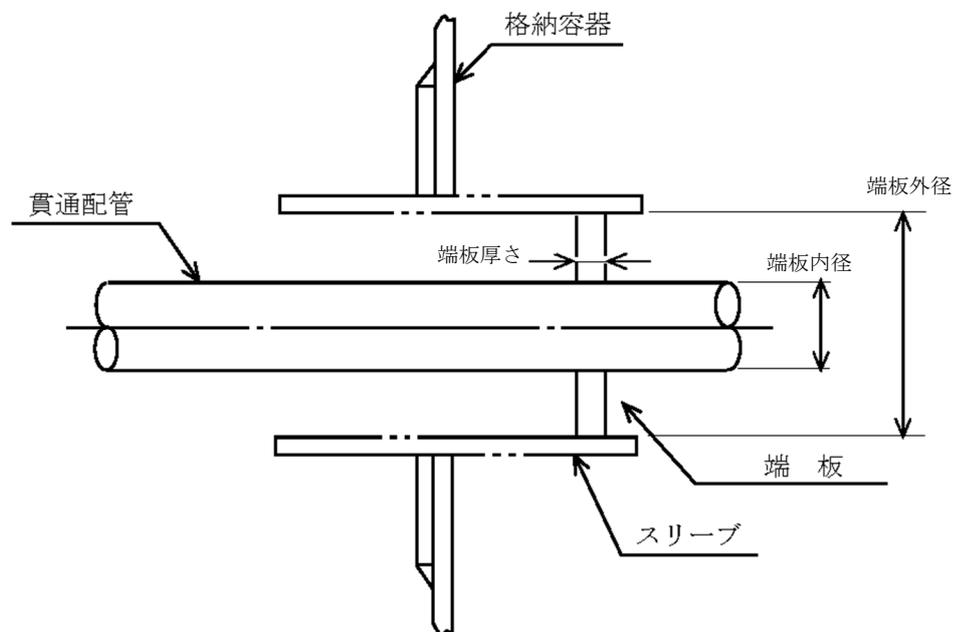


図1 主蒸気ライン貫通部の基本寸法箇所

表1 主蒸気ライン貫通部の仕様

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)
主蒸気系統配管	0.392	298				SFVC2B	185,000

配管解析からの荷重と貫通部の仕様を用いて材料力学公式によって評価部位の最大発生応力が求まる。配管解析から得られる荷重の評価結果を表2に示す。

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

表2 端板に作用する荷重

格納容器貫通部	軸力[kN]			モーメント[kN・m]		
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
主蒸気系統配管	423	-29	-53	141	-182	323

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)
主蒸気系統配管	41	2057	10 ⁶	0.000

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="472 898 699 981">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 898 1310 981">(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="472 981 699 1133">要素種類</td> <td data-bbox="699 981 1310 1133" rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1133 699 1216">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1216 699 1292">節点数</td> </tr> </table> <p>【熱成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="472 1391 1310 1823"> <tr> <td data-bbox="472 1391 699 1473">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 1391 1310 1473">(加圧器サージ配管) ANSYS 2019 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 15.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1473 699 1626">要素種類</td> <td data-bbox="699 1473 1310 1626" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1626 699 1666">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1666 699 1742">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1742 699 1823">節点数</td> </tr> </table> <p>解析モデルを添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0	要素種類		要素数	節点数	解析プログラム	(加圧器サージ配管) ANSYS 2019 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 15.0	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) 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 2019 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 15.0													
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)	S m (MPa)	使用材料
加圧器サージ配管	360	113	SUS316TP
加圧器スプレイ配管	343	114	SUS316TP

3. 最大評価点の選定

通常疲労における解析モデル上の評価点は、構造不連続部等の応力が大きくなる点を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。解析モデル上の評価結果及び最大評価点の選定結果を、添付2に示す。

また、加圧器サージ配管およびスプレイ配管は、熱成層による影響を考慮しており、接液部位で、加圧器サージ配管および加圧器スプレイ配管ともに1次+2次+ピーク応力が最大となる点について、環境疲労評価を実施している。

解析モデル上の評価結果及び最大評価点の選定結果を、添付4に示す。

4. 応力分類

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

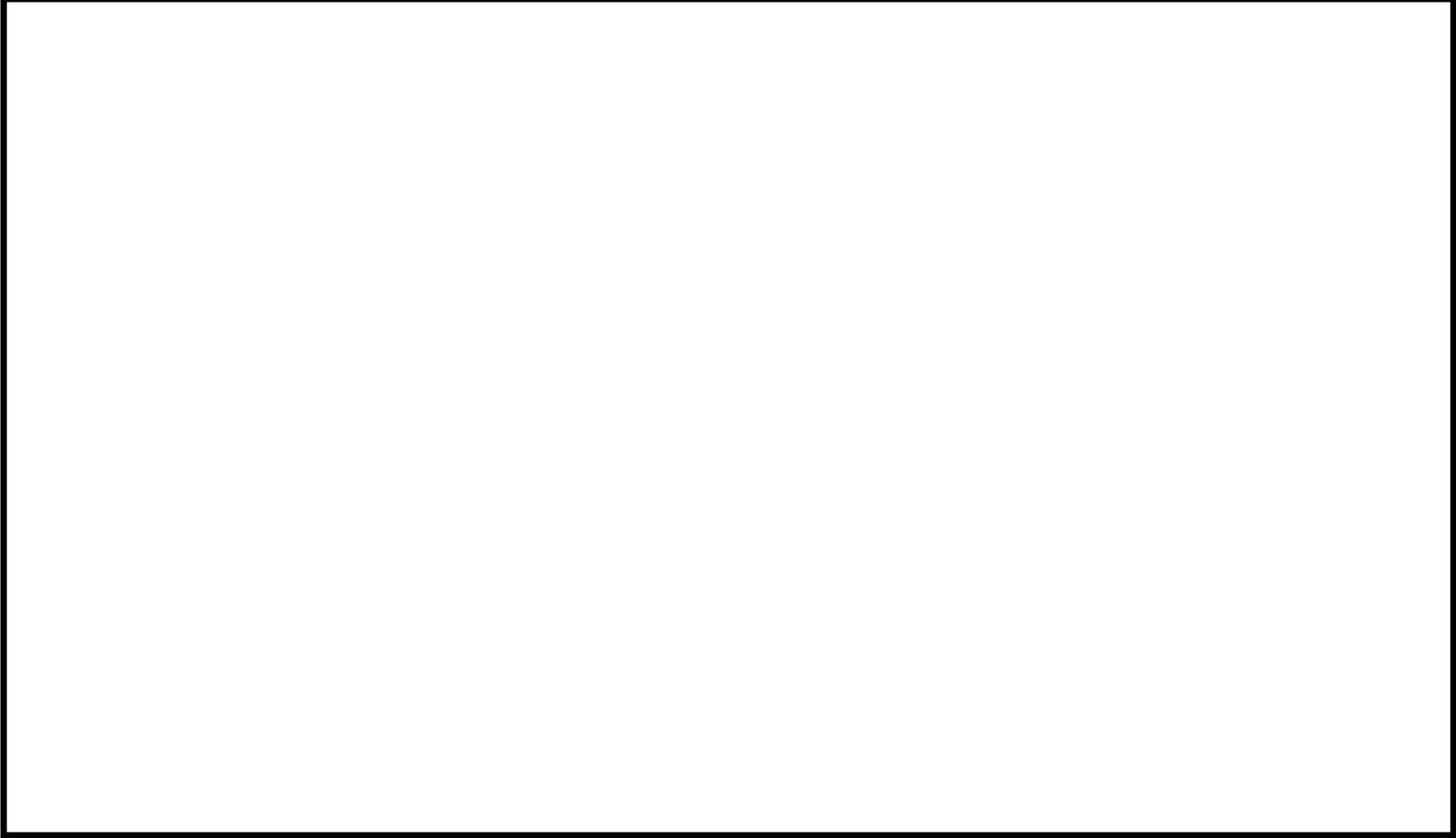
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	【通常疲労】 圧力+熱膨張荷重+熱過渡
	【熱成層を考慮した環境疲労】 圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

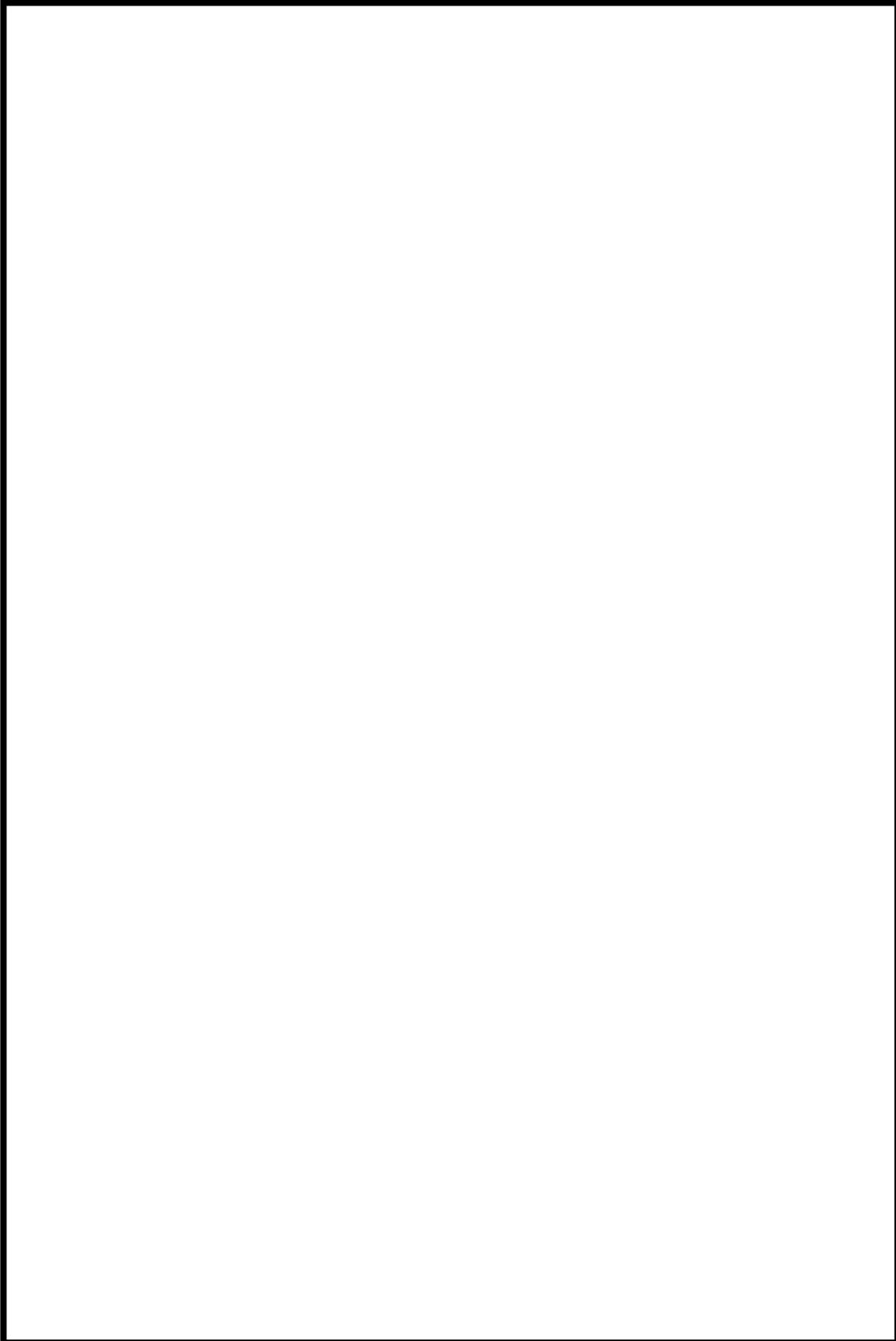
環境疲労評価において用いたKe係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

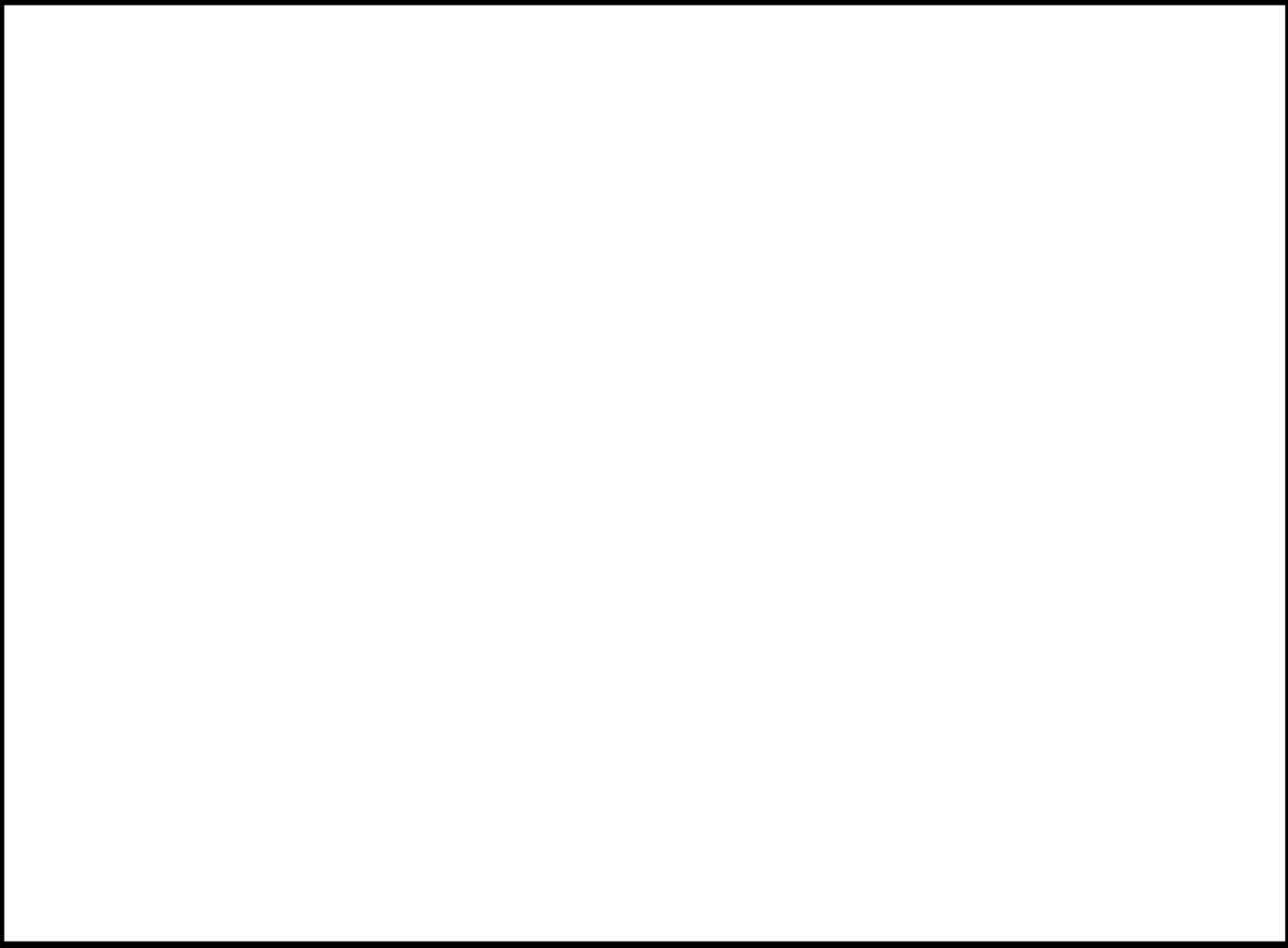
評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示す。



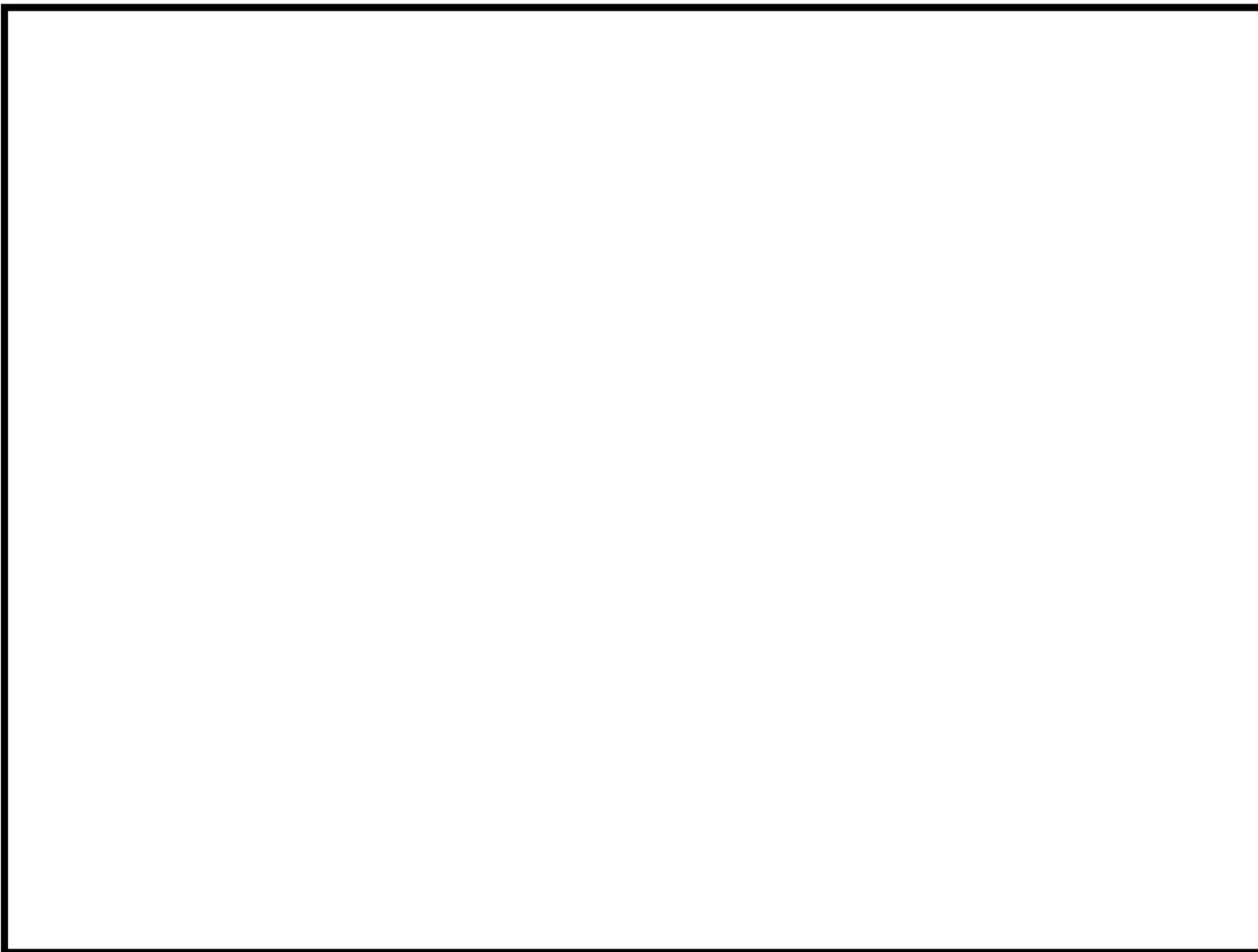
加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



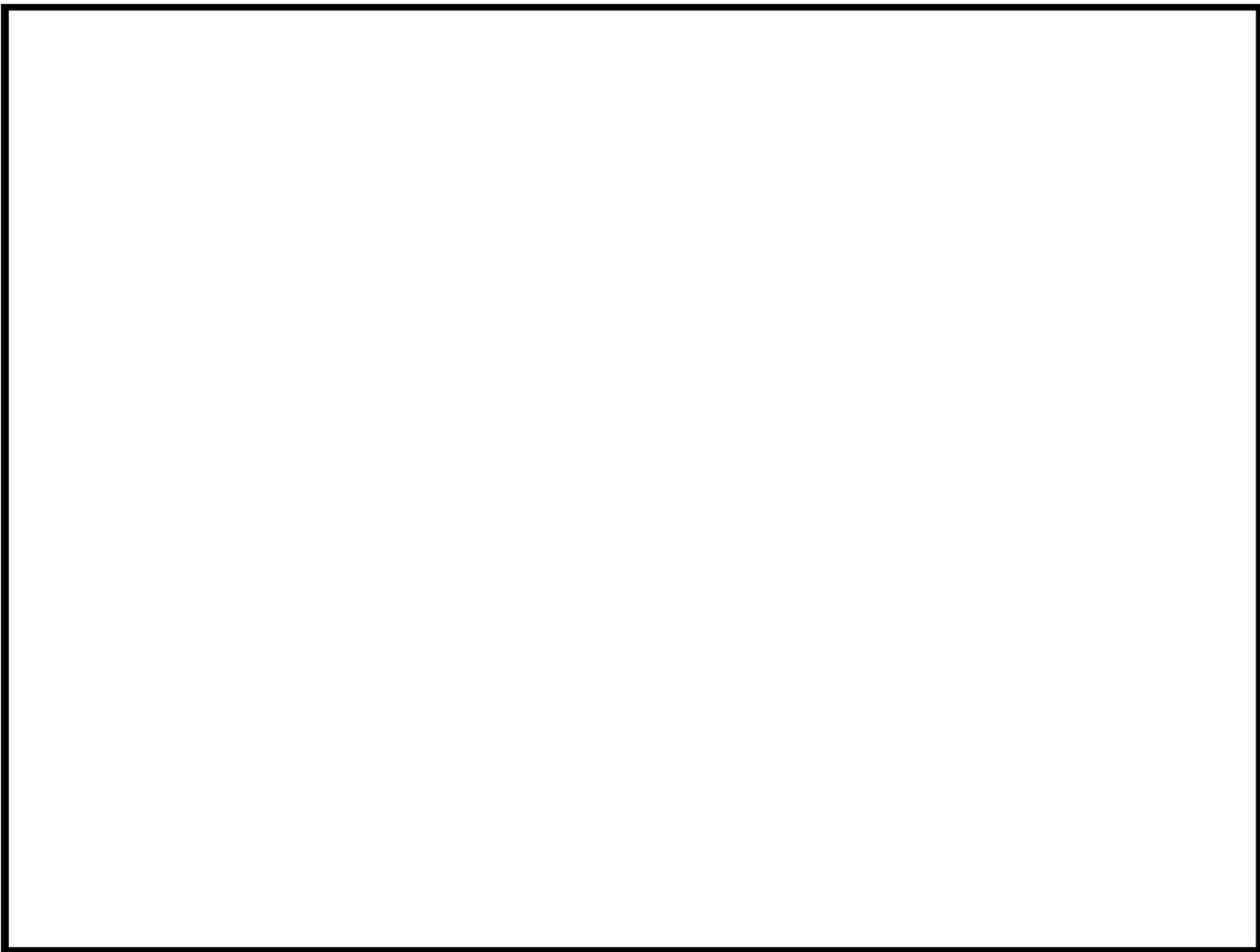
加圧器サージ配管 解析モデル (2 / 2)



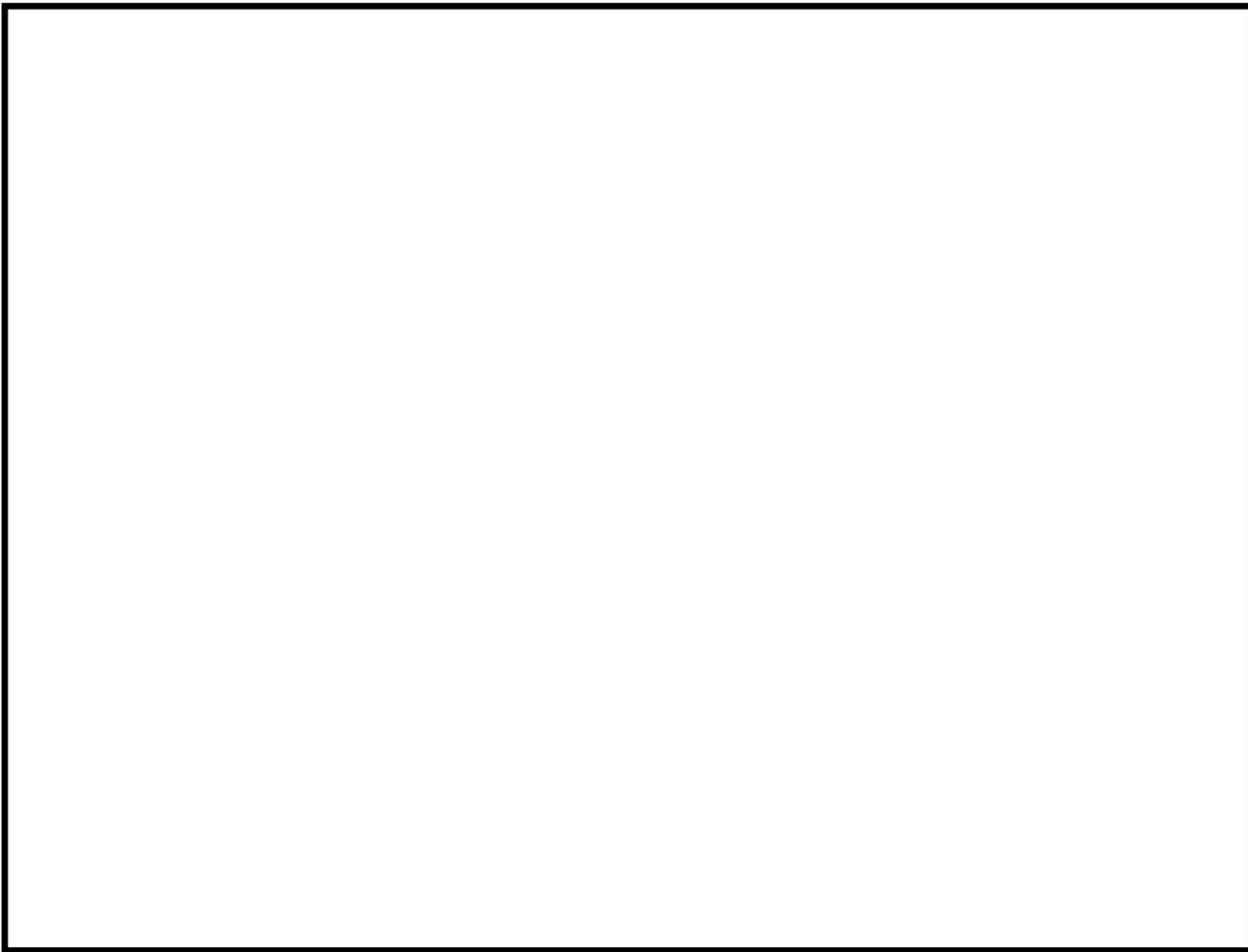
加圧器スプレイ配管 解析モデル (1 / 7)



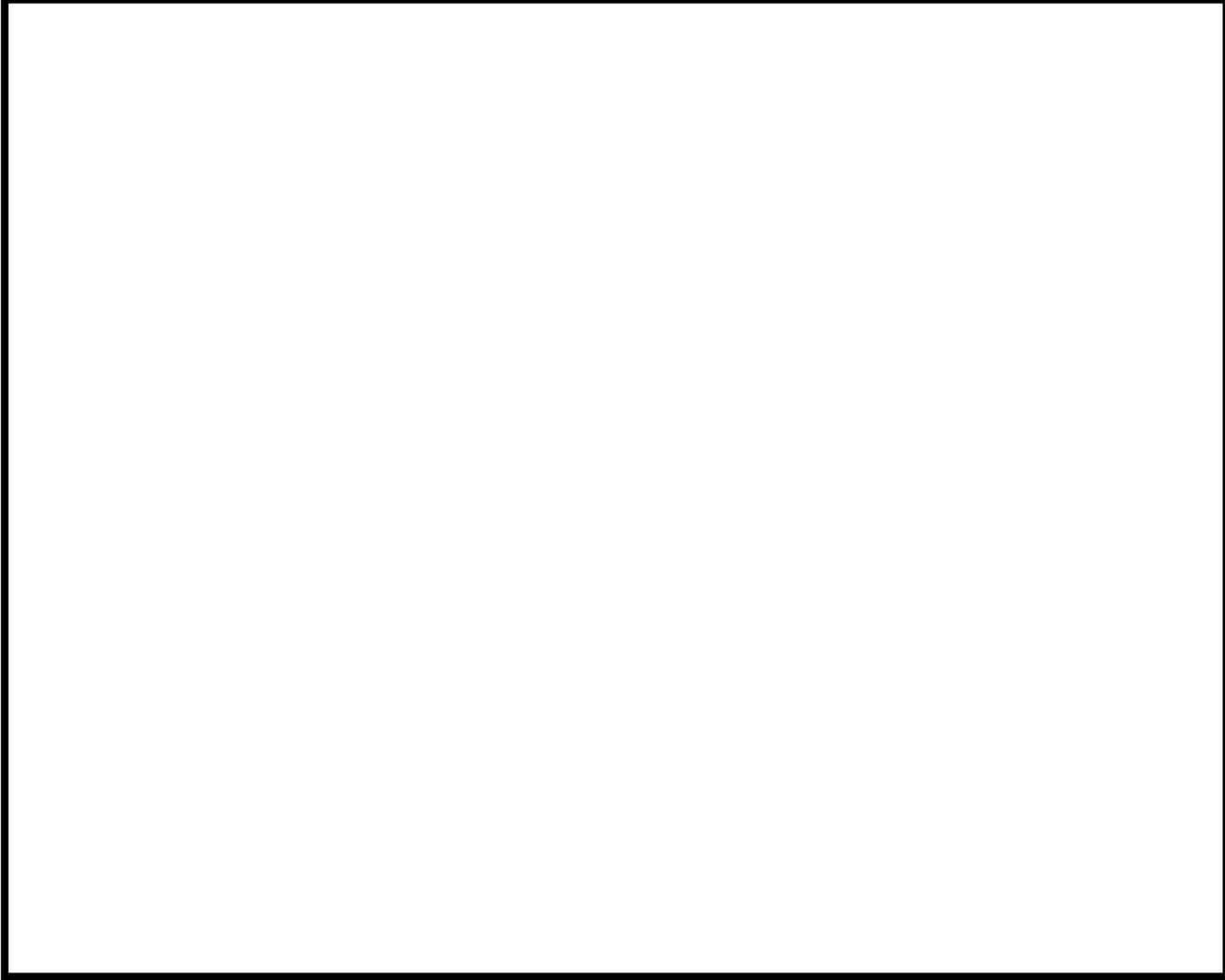
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 7)



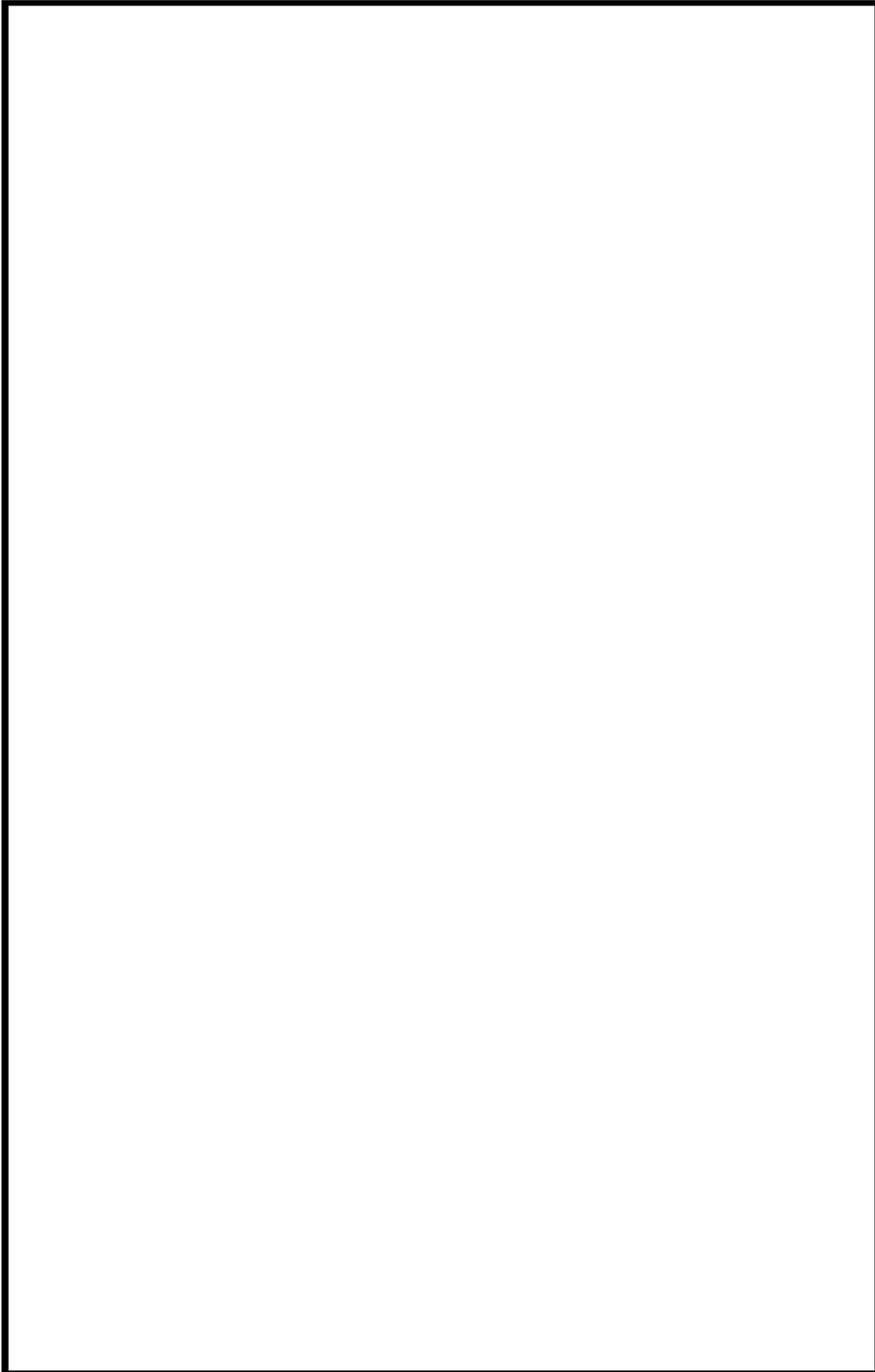
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 7)



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
1101	22.5	33.8	242.8	0.0	210.4	510	288	0.00174	1.0
102	23.2	44.5	220.7	0.0	210.4	499	282	0.00182	
600	23.2	39.7	220.7	0.0	210.4	494	279	0.00160	
104	23.2	37.3	220.7	0.0	210.4	492	278	0.00151	
105	23.2	32.3	220.7	0.0	210.4	487	275	0.00134	
108	23.2	61.2	220.7	0.0	210.4	516	291	0.00272	
603	23.2	68.0	220.7	0.0	210.4	523	295	0.00321	
110	23.2	65.0	220.7	0.0	210.4	520	293	0.00295	
803	20.5	33.2	220.7	0.0	210.4	485	274	0.00120	
804	20.5	25.2	220.7	0.0	210.4	477	269	0.00099	
608	22.2	35.3	220.7	0.0	210.4	489	276	0.00133	
116	22.2	41.5	220.7	0.0	210.4	495	279	0.00148	
117	22.2	44.7	220.7	0.0	210.4	498	281	0.00158	
119	22.2	56.0	220.7	0.0	210.4	510	288	0.00203	
1102	22.5	42.9	242.8	0.0	210.4	519	293	0.00196	

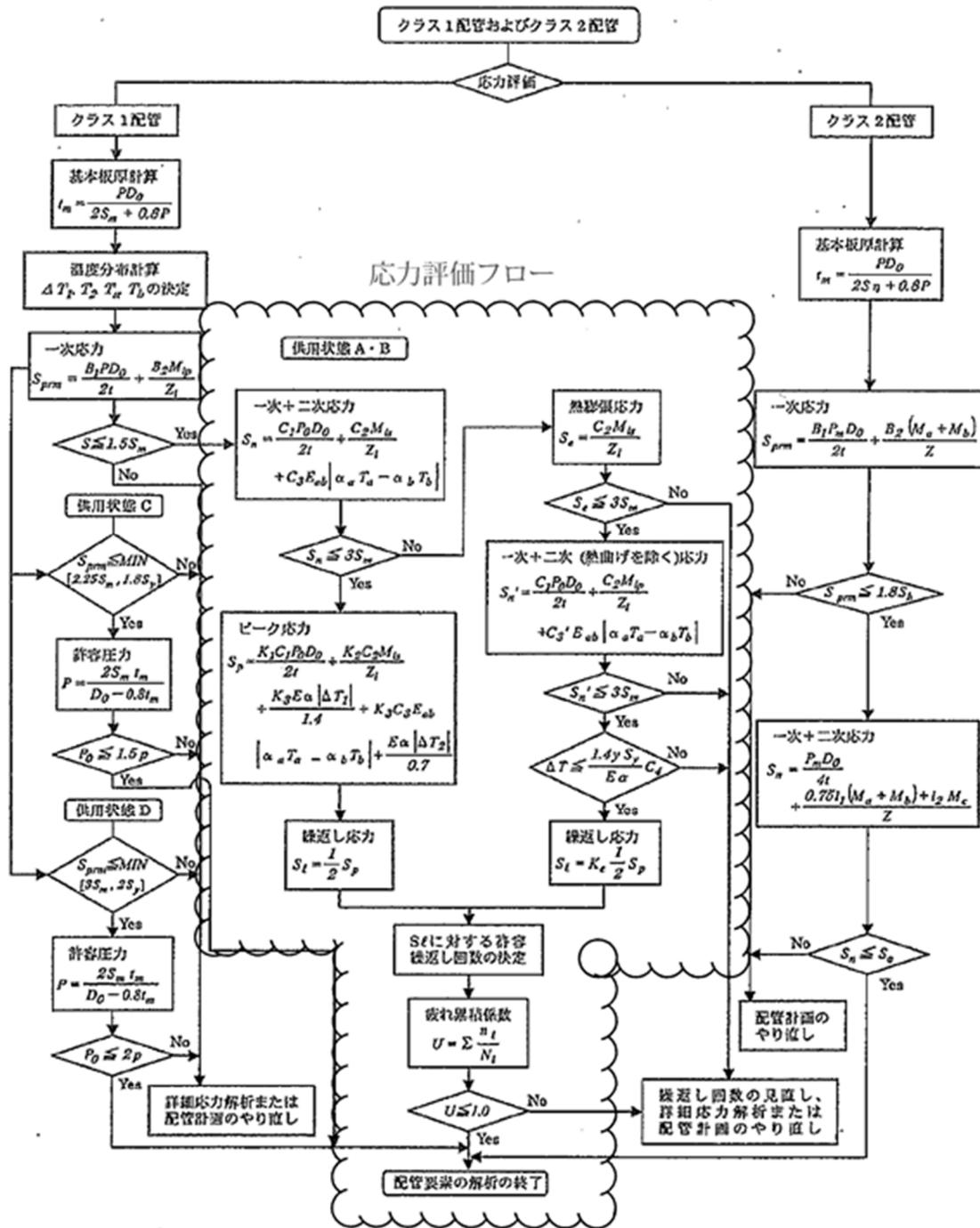
(注) 本表に示す繰返しピーク応力強さは、疲労解析による繰返しピーク応力強さに
 (1.95×10⁵/材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値である。 →通常UF : 0.004

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
123	91.3	258.2	7.5	0.0	2.9	360	202	0.00015	1.0
125	91.3	275.9	7.5	0.0	2.9	378	233	0.00019	
126	109.3	317.0	7.5	0.0	2.9	437	337	0.00071	
128	109.3	310.1	7.5	0.0	2.9	430	325	0.00058	
143	91.3	263.2	7.5	0.0	2.9	365	211	0.00016	
254	55.6	90.3	356.4	0.0	155.7	658	331	0.01002	
1203	18.1	8.5	416.1	0.0	164.0	607	342	0.01007	
260	44.6	12.2	274.1	0.0	119.6	451	252	0.00008	
261	32.7	77.0	360.6	0.0	187.6	658	369	0.00057	
267	239.4	72.0	253.7	285.9	48.0	900	450	0.02506	
269	239.4	58.1	253.7	285.9	48.0	886	443	0.02308	
191	91.3	273.0	7.5	0.0	2.9	375	228	0.00018	
192	109.3	314.6	7.5	0.0	2.9	435	333	0.00066	
194	109.3	308.1	7.5	0.0	2.9	428	321	0.00054	
207	91.3	267.8	7.5	0.0	2.9	370	219	0.00017	

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

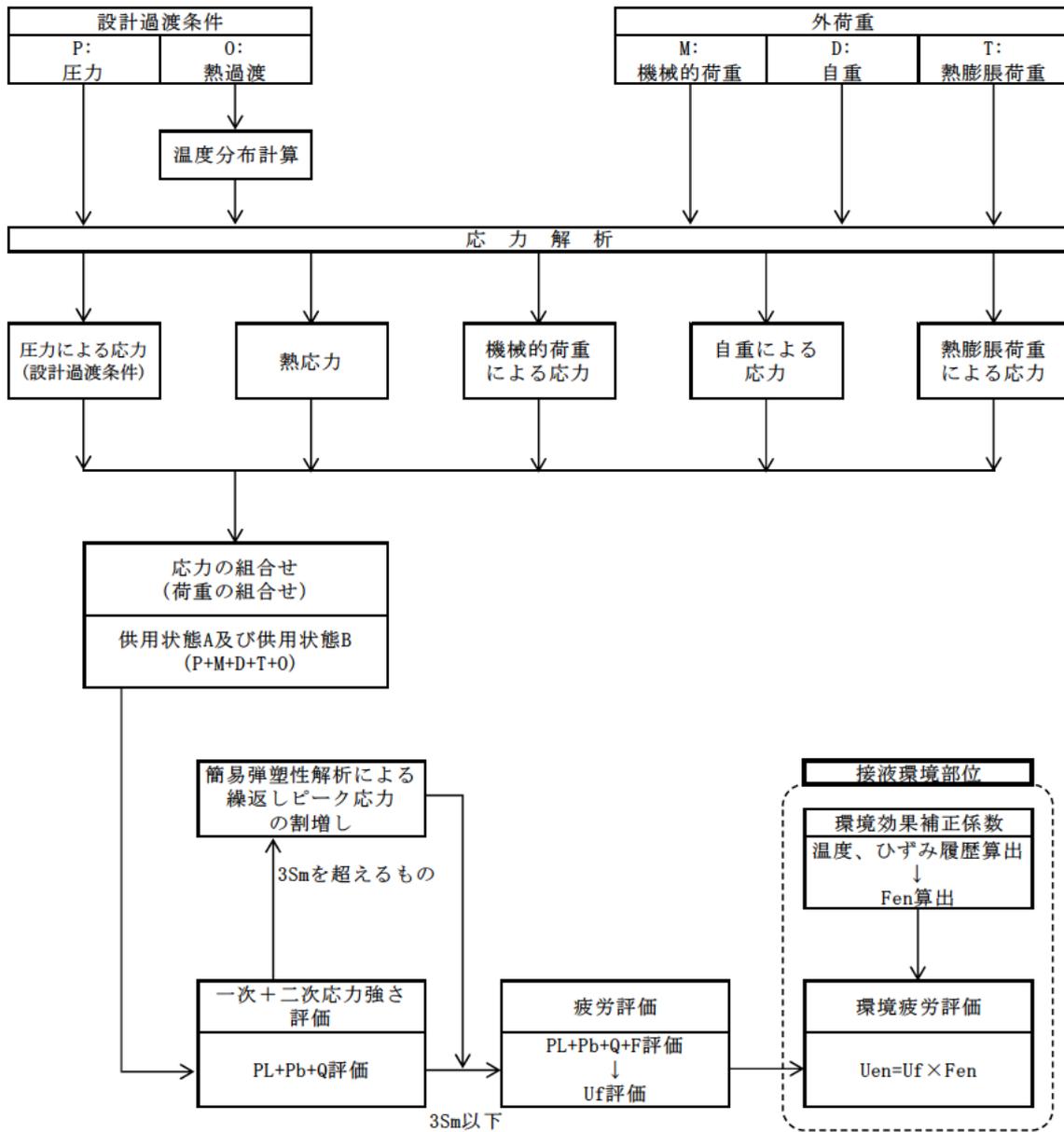
→通常UF : 0.011



(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）

K e 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【加圧器サージ配管】

過渡 記号 A	過渡 記号 B	応力強さ 強さ (MPa)		割増 係数 ke	ピーク応力 強さ (MPa) salt'	実過渡 回数 n	許容繰 返し回数 n*	疲労損 傷係数 u	環境効 果係数 fen	環境中疲労 損傷係数 uen
		smax	smin							
2e1	2h1	108.8	-481.5	1.30	409.1	2	14400	0.00014	8.882	0.00088
2e1	1j1	108.8	-422.1	1.00	298.1	2	72400	0.00003	7.335	0.00020
2d3	1g1	37.6	-327.0	1.00	205.5	2	865000	0.00000	1.000	0.00000
2g1	1g1	35.2	-327.0	1.00	204.2	2	898000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	1g1	18.1	-327.0	1.00	193.4	4	1010000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2c1	18.1	-312.1	1.00	185.0	2	1180000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2d3	18.1	-311.1	1.00	183.3	2	1200000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2b1	18.1	-285.8	1.00	170.2	15	1530000	0.00001	1.000	0.00001
1y1	2e1	18.1	-288.4	1.00	169.7	4	1550000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	1j2	18.1	-278.1	1.00	165.8	4	1870000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2a1	18.1	-275.8	1.00	164.5	7	1710000	0.00000	1.000	0.00000
1c1	1x1	9.2	-273.4	1.00	159.3	60	1900000	0.00003	1.000	0.00003
1c1	1x3	9.2	-270.8	1.00	157.8	60	1980000	0.00003	1.000	0.00003
1c1	1x5	9.2	-260.7	1.00	152.1	60	2290000	0.00003	1.000	0.00003
1y1	1w5	18.1	-243.8	1.00	144.0	22	2900000	0.00001	1.000	0.00001
1c1	1w5	9.2	-243.8	1.00	142.8	38	3030000	0.00001	1.000	0.00001
1c1	1v3	9.2	-239.3	1.00	140.1	60	3270000	0.00002	1.000	0.00002
1c1	1c1	9.2	-231.8	1.00	135.7	606	3750000	0.00016	1.000	0.00016
1y3	1c1	8.9	-231.8	1.00	134.4	60	3910000	0.00002	1.000	0.00002
1y5	1c1	1.1	-231.8	1.00	131.2	60	4340000	0.00001	1.000	0.00001
2i1	1c1	0.8	-231.8	1.00	131.0	58	4370000	0.00001	1.000	0.00001
1a1	1c1	0.3	-231.8	1.00	130.7	60	4410000	0.00001	1.000	0.00001
1b1	1c1	0.3	-231.8	1.00	130.7	39	4410000	0.00001	1.000	0.00001
1b1	1w3	0.3	-228.3	1.00	128.8	21	4700000	0.00000	1.000	0.00000
1z1	1w3	-2.5	-228.3	1.00	128.5	39	5110000	0.00001	1.000	0.00001
1z1	1v1	-2.5	-227.2	1.00	125.2	21	5440000	0.00000	1.000	0.00000
1z3	1v1	-8.1	-227.2	1.00	123.2	39	5880000	0.00001	1.000	0.00001
1z3	2g1	-8.1	-221.0	1.00	121.1	2	6830000	0.00000	1.000	0.00000
1z3	1d1	-8.1	-220.8	1.00	121.0	19	6860000	0.00000	1.000	0.00000
1z5	1d1	-7.8	-220.8	1.00	120.0	60	6990000	0.00001	1.000	0.00001
1z4	1d1	-13.8	-220.8	1.00	118.7	60	8250000	0.00001	1.000	0.00001
1z2	1d1	-13.8	-220.8	1.00	118.7	60	8250000	0.00001	1.000	0.00001
1z6	1d1	-13.8	-220.8	1.00	118.8	60	8300000	0.00001	1.000	0.00001
1z6	1d1	-14.1	-220.8	1.00	118.5	60	8340000	0.00001	1.000	0.00001
1y6	1d1	-14.1	-220.8	1.00	118.5	60	8340000	0.00001	1.000	0.00001
1z4	1d1	-14.2	-220.8	1.00	118.5	60	8340000	0.00001	1.000	0.00001
1z2	1d1	-14.7	-220.8	1.00	118.2	60	8470000	0.00001	1.000	0.00001
1y4	1d1	-14.8	-220.8	1.00	118.1	60	8510000	0.00001	1.000	0.00001
1y2	1d1	-18.3	-220.8	1.00	115.3	60	8870000	0.00001	1.000	0.00001
1y6	1d1	-18.5	-220.8	1.00	115.2	60	8910000	0.00001	1.000	0.00001
1y4	1d1	-21.3	-220.8	1.00	112.5	60	10400000	0.00001	1.000	0.00001
2b1	1d1	-30.3	-220.8	1.00	107.4	15	16100000	0.00000	1.000	0.00000
1y2	1d1	-31.7	-220.8	1.00	108.8	60	17300000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1d1	-31.9	-220.8	1.00	108.5	938	17400000	0.00005	1.000	0.00005
1d1	1f1	-31.9	-214.7	1.00	103.1	8	26500000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1v5	-31.9	-211.7	1.00	101.3	60	34900000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1w1	-31.9	-211.7	1.00	101.3	60	34900000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1u5	-31.9	-205.7	1.00	98.0	60	70500000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1u3	-31.9	-194.9	1.00	91.9	60	-----	0.00000	1.000	0.00000
total								0.00073		0.00169

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

→環境UF : 0.002

【加圧器スプレイ配管 (評価点B)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	salt'	n	n*	u	f _{en}	u _{en}
2E2	2E2	290.0	-808.2	2.00	1008.6	2	518	0.00886	7.294	0.02818
1B8	1B8	214.0	-511.0	1.40	545.6	60	4280	0.01399	3.742	0.05234
1B9	1A7	153.8	-419.0	1.80	415.9	80	13800	0.00451	3.561	0.01808
1B4	1A6	116.4	-390.8	1.00	284.2	60	88800	0.00064	3.203	0.00205
1B6	1B2	89.8	-382.2	1.00	285.9	80	135000	0.00044	3.179	0.00141
1B0	1B9	69.3	-368.5	1.00	242.6	60	228000	0.00026	1.996	0.00052
1B0	2A1	58.4	-348.8	1.00	229.5	7	823000	0.00002	3.307	0.00007
1B0	1B3	58.4	-351.1	1.00	229.4	53	324000	0.00016	2.838	0.00046
1B7	1B3	21.1	-351.1	1.00	208.6	7	598000	0.00001	1.000	0.00001
1B7	2C1	21.1	-346.5	1.00	207.2	2	628000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	2H1	21.1	-343.1	1.00	205.3	2	670000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1G1	21.1	-340.6	1.00	203.8	4	708000	0.00001	1.000	0.00001
1B7	1J1	21.1	-339.1	1.00	203.0	2	725000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1F1	21.1	-338.8	1.00	202.8	4	730000	0.00001	1.000	0.00001
1B7	1E1	21.1	-338.8	1.00	202.7	4	738000	0.00001	1.000	0.00001
1B7	1C1	21.1	-338.8	1.00	202.7	35	738000	0.00005	1.000	0.00005
1B6	1C1	20.8	-338.8	1.00	202.4	60	741000	0.00008	1.000	0.00008
1A3	1C1	15.0	-338.8	1.00	189.3	80	828000	0.00007	1.000	0.00007
1B5	1C1	11.1	-338.8	1.00	197.0	80	897000	0.00007	1.000	0.00007
1A1	1C1	2.0	-338.8	1.00	191.9	60	1030000	0.00006	1.000	0.00006
2I1	1C1	0.9	-338.8	1.00	191.3	59	1040000	0.00006	1.000	0.00006
1A2	1C1	-1.5	-338.6	1.00	190.0	60	1070000	0.00006	1.000	0.00006
1A4	1C1	-5.9	-338.8	1.00	187.5	80	1110000	0.00005	1.000	0.00005
1B4	1C1	-6.8	-338.6	1.00	187.0	60	1120000	0.00005	1.000	0.00005
1B3	1C1	-22.7	-338.8	1.00	178.0	80	1320000	0.00005	1.000	0.00005
1A5	1C1	-22.9	-338.6	1.00	177.9	60	1320000	0.00005	1.000	0.00005
1I1	1C1	-28.5	-338.8	1.00	175.9	250	1370000	0.00018	1.000	0.00018
1I1	1D1	-28.5	-338.5	1.00	175.8	376	1380000	0.00063	1.000	0.00063
1I1	1J2	-28.5	-338.4	1.00	175.8	2	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1I1	-28.5	-338.3	1.00	175.7	1772	1380000	0.00128	1.000	0.00128
1E1	1I1	-28.8	-338.3	1.00	175.6	4	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1I1	-27.0	-338.3	1.00	175.5	884	1380000	0.00064	1.000	0.00064
1D1	1I1	-31.0	-338.3	1.00	173.2	240	1440000	0.00017	1.000	0.00017

添付4 (4/4)

ID1	1A5	-31.0	-333.4	1.00	170.4	80	1520000	0.00004	1.000	0.00004
ID1	1B4	-31.0	-311.8	1.00	158.3	80	1940000	0.00003	1.000	0.00003
ID1	1B4	-31.0	-310.0	1.00	157.3	80	1980000	0.00003	1.000	0.00003
ID1	1B5	-31.0	-286.4	1.00	132.7	80	4130000	0.00001	1.000	0.00001
ID1	1B6	-31.0	-256.2	1.00	123.9	80	5020000	0.00001	1.000	0.00001
ID1	1A4	-31.0	-225.5	1.00	108.7	80	13200000	0.00000	1.000	0.00000
ID1	1B6	-31.0	-217.4	1.00	105.1	80	19800000	0.00000	1.000	0.00000
ID1	1B0	-31.0	-211.5	1.00	101.8	80	32300000	0.00000	1.000	0.00000
ID1	1B7	-31.0	-202.6	1.00	98.8	80	158000000	0.00000	1.000	0.00000
ID1	1B0	-31.0	-180.7	1.00	80.1	80	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.10481

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

→環境UF : 0.105

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 938"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p><温度分布の算出※></p> <table border="1" data-bbox="475 976 1310 1335"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>Abaqus Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>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(℃)</th> <th>Sm (MPa)</th> <th>使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">SCS14A</td> <td>324.9</td> <td>116</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td>289.2</td> <td>120</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. 2018	要素種類		要素次数	要素数	節点数	材料	温度(℃)	Sm (MPa)	使用箇所	SCS14A	324.9	116	ホットレグ	289.2	120	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. 2018																						
要素種類																							
要素次数																							
要素数																							
節点数																							
材料	温度(℃)	Sm (MPa)	使用箇所																				
SCS14A	324.9	116	ホットレグ																				
	289.2	120	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	Abaqus Ver. 6.12-3
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
SUSF316	324.9	117	加圧器サージ管台
	289.2	120	蓄圧タンク注入管台
SCS14A	289.2	121	充てん管台

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付4に示す。

4. 応力分類

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

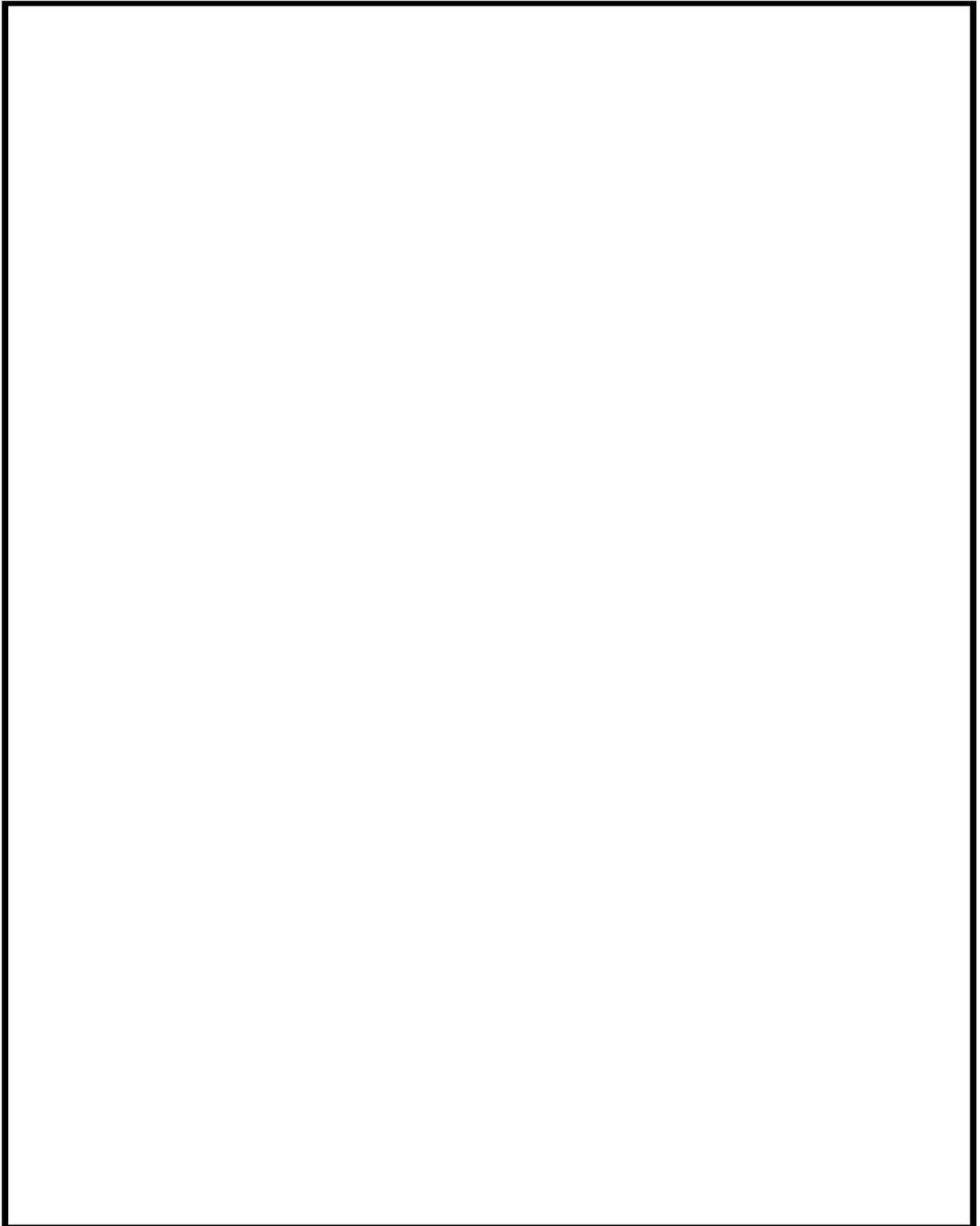
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付6に示す。

6. 環境評価パラメータ

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



1次冷却材管 形状及び評価点

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

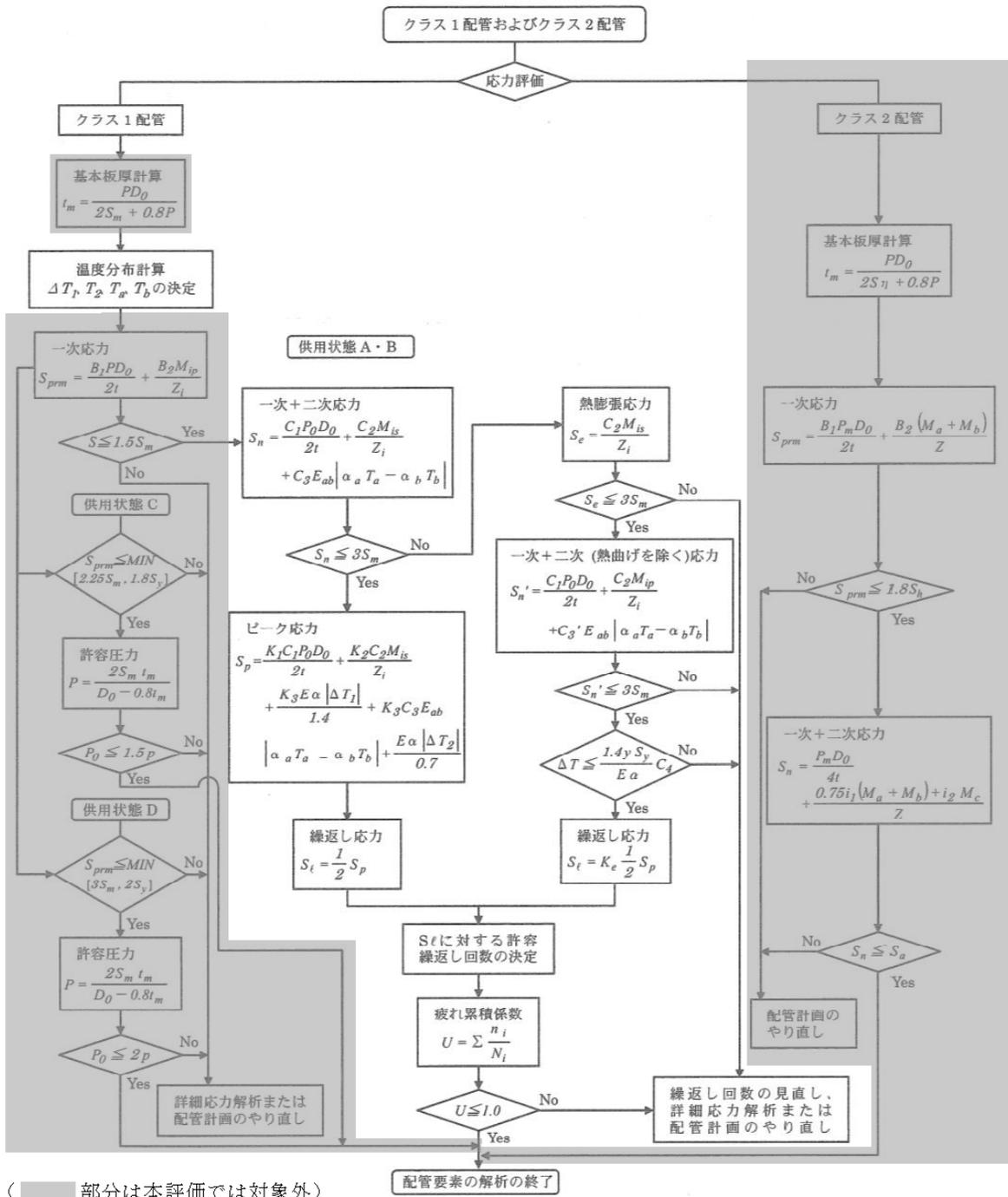
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	111.3	95.3	135.4	0.0	130.0	471.9	236.0	264.4	0.00015	1.0
	109	76.7	8.1	171.4	0.0	130.0	386.1	193.1	216.4	0.00004	
	111	84.3	8.2	188.5	0.0	130.0	411.0	205.5	230.3	0.00006	
	112	126.6	96.2	125.2	32.9	131.9	512.8	256.4	287.4	0.00030	
	113	120.0	101.8	125.7	0.0	143.9	491.4	245.7	275.4	0.00028	
	115	129.3	144.1	125.3	31.9	134.0	564.6	282.3	316.4	0.00065	
	117	111.2	54.4	135.8	0.0	130.5	431.9	215.9	242.0	0.00009	
クロスオーバーレグ	141	120.0	17.3	106.5	0.0	44.6	288.5	144.2	158.9	0.00002	
	142	141.4	47.7	99.7	31.0	45.8	365.7	182.8	201.4	0.00012	
	143	133.6	35.0	105.6	0.0	52.1	326.3	163.2	179.8	0.00009	
	145	141.4	39.0	99.7	31.0	45.8	357.0	178.5	196.7	0.00011	
	147	120.0	13.1	106.5	0.0	44.6	284.2	142.1	156.5	0.00002	
	149	109.1	11.0	96.8	0.0	44.6	261.6	130.8	144.1	0.00001	
	151	120.0	14.3	106.5	0.0	44.6	285.5	142.7	157.3	0.00002	
	152	136.3	40.3	99.7	31.0	45.8	353.2	176.6	194.5	0.00010	
153	128.4	37.2	105.6	0.0	52.1	323.3	161.7	178.1	0.00008		

→ 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 バレッジ	155	136.3	38.9	99.7	31.0	45.8	351.7	175.9	193.7	0.00010	1.0
	157	120.0	13.8	106.5	0.0	44.6	284.9	142.4	156.9	0.00002	
	159	109.1	10.9	96.8	0.0	44.6	261.5	130.7	144.0	0.00001	
	160	120.0	10.5	106.5	0.0	44.6	281.6	140.8	155.1	0.00002	
	161	136.3	28.6	99.7	31.0	45.8	341.4	170.7	188.1	0.00009	
	163	128.4	26.3	105.6	0.0	52.1	312.4	156.2	172.1	0.00007	
	165	136.3	32.6	99.7	31.0	45.8	345.5	172.7	190.3	0.00009	
	167	149.4	12.3	104.5	215.8	12.9	494.9	247.5	272.6	0.00105	
コールド ドレグ	181	151.2	94.1	111.9	108.4	18.2	483.8	241.9	266.5	0.00081	
	183	109.4	10.0	97.7	0.0	42.4	259.5	129.8	143.0	0.00001	
	185	120.4	34.1	107.4	0.0	42.4	304.3	152.2	167.6	0.00003	
	186	134.6	95.2	100.6	32.4	43.7	406.5	203.3	223.9	0.00016	
	189	124.6	82.9	107.4	0.0	50.2	365.1	182.5	201.1	0.00011	
	191	124.5	97.7	102.8	23.7	45.4	394.1	197.0	217.1	0.00014	
	194	111.1	42.3	110.4	0.0	44.8	308.6	154.3	170.0	0.00003	

→クロスオーバーバレッジ 通常UF : 0.002
コールドドレグ 通常UF : 0.001



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

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

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
48 (2H1)	16 (1I1)	504.8	1.0	282.3	318.4	2	52000	0.00004	24.579	0.00094
30 (2F1)	16 (1I1)	484.2	1.0	242.1	271.3	3	121000	0.00002	24.579	0.00061
29 (2C1)	16 (1I1)	467.4	1.0	233.7	261.9	2	147000	0.00001	24.579	0.00033
21 (1L1)	16 (1I1)	465.7	1.0	232.8	260.9	2	150000	0.00001	24.579	0.00033
37 (2E1)	16 (1I1)	461.8	1.0	230.8	258.8	2	158000	0.00001	24.579	0.00031
25 (2A1)	16 (1I1)	460.4	1.0	230.2	258.0	7	180000	0.00004	24.579	0.00108
35 (2D4)	16 (1I1)	458.0	1.0	229.0	258.8	2	185000	0.00001	24.579	0.00030
31 (2D1)	16 (1I1)	457.5	1.0	228.8	258.4	8	186000	0.00005	24.579	0.00118
33 (2D2)	16 (1I1)	457.4	1.0	228.7	258.3	2	188000	0.00001	24.579	0.00030
41 (2G1)	16 (1I1)	454.5	1.0	227.2	254.7	2	172000	0.00001	24.579	0.00029
9 (1C1)	16 (1I1)	432.0	1.0	216.0	242.1	36	232000	0.00016	24.579	0.00381
15 (1I1)	38 (2D5)	399.2	1.0	189.6	223.7	2	379000	0.00001	11.707	0.00008
9 (1C1)	2 (1B1)	378.9	1.0	189.5	212.3	60	528000	0.00011	1.000	0.00011
9 (1C1)	48 (2J2)	370.6	1.0	185.3	207.6	59	618000	0.00010	1.000	0.00010
42 (2G1)	15 (1I1)	367.2	1.0	183.6	205.7	2	680000	0.00000	1.000	0.00000
9 (1C1)	38 (2E1)	366.2	1.0	183.1	205.2	2	672000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	340.8	1.0	170.3	180.9	2	1050000	0.00000	1.000	0.00000
24 (2D3)	15 (1I1)	330.4	1.0	165.2	185.2	2	1180000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	328.5	1.0	164.3	184.1	3	1180000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	15 (1I1)	319.8	1.0	159.9	178.2	2	1280000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	319.7	1.0	159.8	178.2	8	1280000	0.00001	1.000	0.00001
9 (1C1)	15 (1I1)	310.0	1.0	155.0	173.7	47	1430000	0.00003	1.000	0.00003
47 (2J1)	26 (2A1)	198.7	1.0	99.3	111.3	7	11500000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	188.8	1.0	98.8	108.6	2	14500000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	46 (2I1)	182.5	1.0	91.2	102.2	6	30200000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	12 (1G1)	181.1	1.0	90.6	101.5	4	33900000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	8 (1D1)	173.3	1.0	88.7	97.1	40	88000000	0.00000	1.000	0.00000
9 (1C1)	6 (1D1)	127.8	1.0	63.9	71.6	880	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00980

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

→環境UF : 0.010

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

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力	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			sp	KE					
47 (2J1)	2 (1B1)	494.9	1.0	247.5	272.6	59	118000	0.00050	10.362	0.00519
1 (1A1)	2 (1B1)	488.0	1.0	244.0	268.8	1	127000	0.00001	10.888	0.00009
1 (1A1)	16 (1I1)	484.7	1.0	242.4	267.0	59	132000	0.00045	3.590	0.00160
27 (2B1)	16 (1I1)	440.8	1.0	220.4	242.8	5	228000	0.00002	5.812	0.00019
25 (2A1)	16 (1I1)	417.8	1.0	208.9	230.2	4	318000	0.00001	4.564	0.00006
25 (2A1)	48 (2J2)	409.4	1.0	204.7	225.5	3	360000	0.00001	7.308	0.00008
43 (2H1)	48 (2J2)	359.7	1.0	179.9	198.2	2	360000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	48 (2J2)	357.7	1.0	178.9	197.1	2	395000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	36 (2D5)	356.2	1.0	178.1	196.2	2	929000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	48 (2J2)	350.4	1.0	175.2	193.0	4	1010000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	48 (2J2)	350.0	1.0	175.0	192.8	2	1020000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	48 (2J2)	349.7	1.0	174.9	192.6	3	1020000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	346.1	1.0	173.1	190.7	2	1050000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	48 (2J2)	336.5	1.0	168.3	185.4	2	1160000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	48 (2J2)	330.1	1.0	165.0	181.8	0	1230000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	48 (2J2)	326.9	1.0	163.5	180.1	2	1270000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	48 (2J2)	325.8	1.0	163.0	179.5	37	1280000	0.00003	1.000	0.00003
15 (1I1)	42 (2G1)	281.8	1.0	140.9	155.3	2	2080000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	36 (2E1)	269.8	1.0	134.9	148.6	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	46 (2I1)	268.6	1.0	134.3	148.0	6	2580000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	193.0	1.0	96.5	106.3	58	17700000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	40 (2F1)	104.3	1.0	52.2	57.5	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00717

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

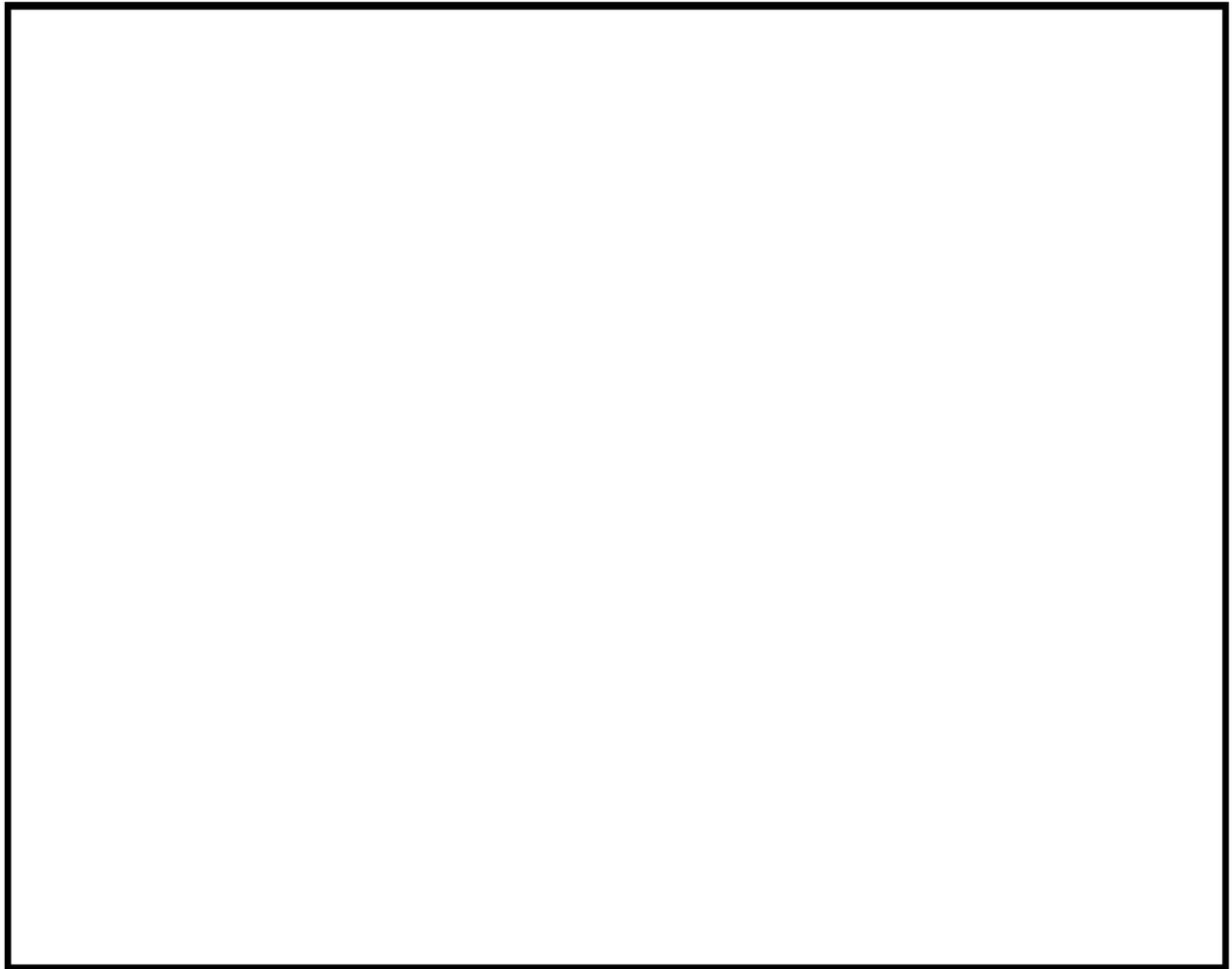
→環境UF : 0.008

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)

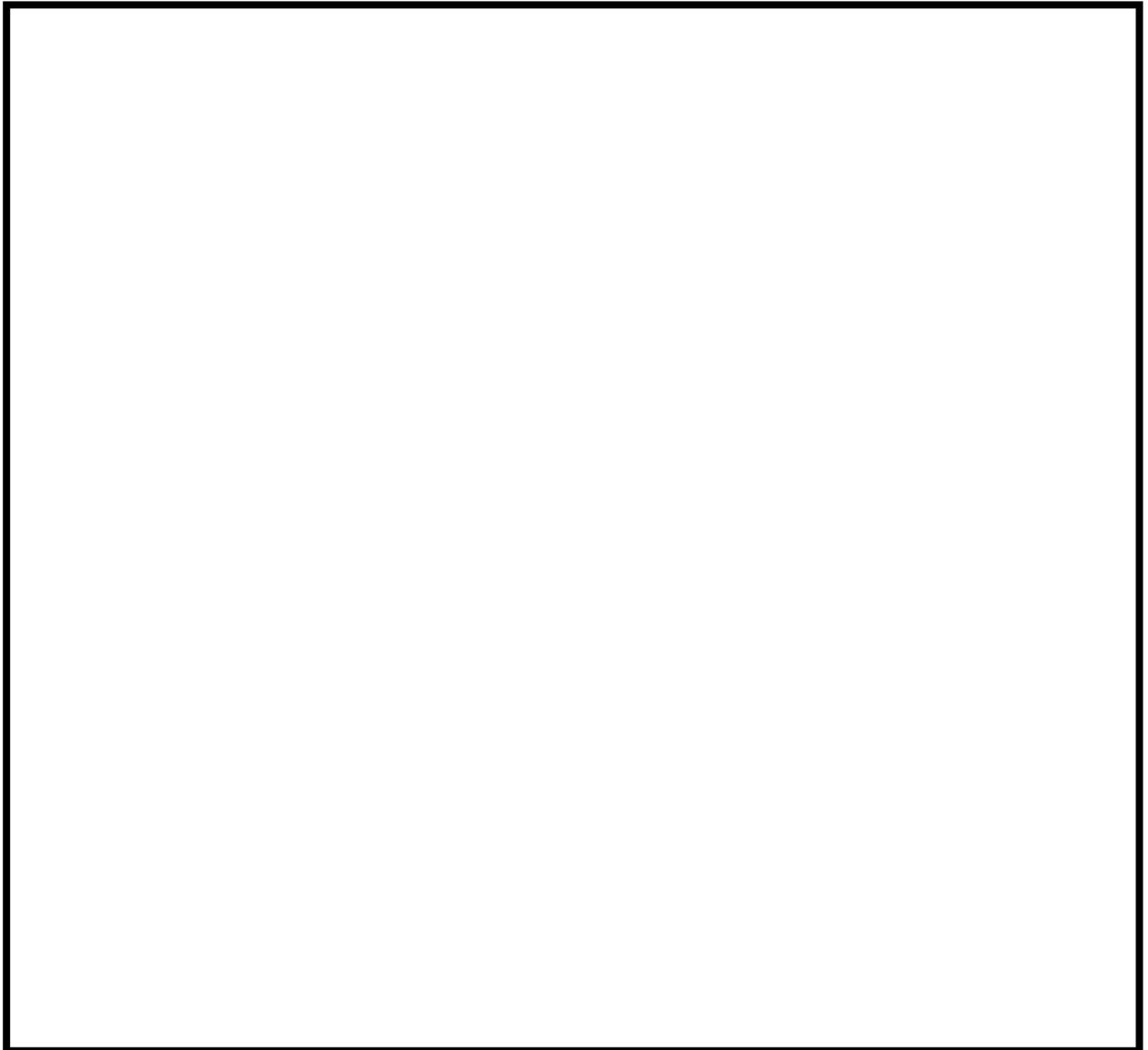
過渡条件番号		一次+二次+ピーク応力 σp	割り増し係数 KE	繰返しピーク応力強さ		実過渡回数 n	許容繰返し回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果補正係数 fen	環境効果を考慮した疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
27 (2B1)	16 (1I1)	483.8	1.0	241.8	266.5	5	124000	0.00004	5.888	0.00021
1 (1A1)	16 (1I1)	483.7	1.0	241.8	266.4	60	134000	0.00045	2.999	0.00134
25 (2A1)	16 (1I1)	476.3	1.0	238.1	262.3	3	146000	0.00002	4.784	0.00010
25 (2A1)	2 (1B1)	432.1	1.0	216.1	238.0	4	258000	0.00002	24.579	0.00038
47 (2J1)	2 (1B1)	430.0	1.0	215.0	236.8	56	266000	0.00021	10.703	0.00225
47 (2J1)	48 (2J2)	420.1	1.0	210.1	231.4	3	307000	0.00001	5.087	0.00005
15 (1I1)	38 (2D5)	388.1	1.0	184.0	202.7	2	732000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	48 (2J2)	367.2	1.0	183.6	202.3	2	744000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	48 (2J2)	359.0	1.0	179.5	197.7	4	873000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	48 (2J2)	356.7	1.0	178.4	198.5	2	913000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	48 (2J2)	355.7	1.0	177.8	195.9	2	932000	0.00000	1.000	0.00000
38 (2F1)	48 (2J2)	354.9	1.0	177.5	195.5	3	847000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	345.9	1.0	173.0	190.6	2	1080000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	48 (2J2)	339.1	1.0	169.6	186.8	2	1130000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	48 (2J2)	339.0	1.0	169.5	186.8	0	1130000	0.00000	1.000	0.00000
28 (2C1)	48 (2J2)	335.7	1.0	167.9	184.9	2	1160000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	48 (2J2)	333.2	1.0	166.6	183.5	37	1190000	0.00003	1.000	0.00003
42 (2G1)	15 (1I1)	310.1	1.0	155.0	170.8	2	1510000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	288.8	1.0	144.4	159.1	6	1810000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	272.3	1.0	136.2	150.0	2	2430000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	15 (1I1)	239.0	1.0	119.5	131.6	58	4280000	0.00001	1.000	0.00001
5 (1D1)	40 (2F1)	108.9	1.0	54.5	60.0	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00441

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

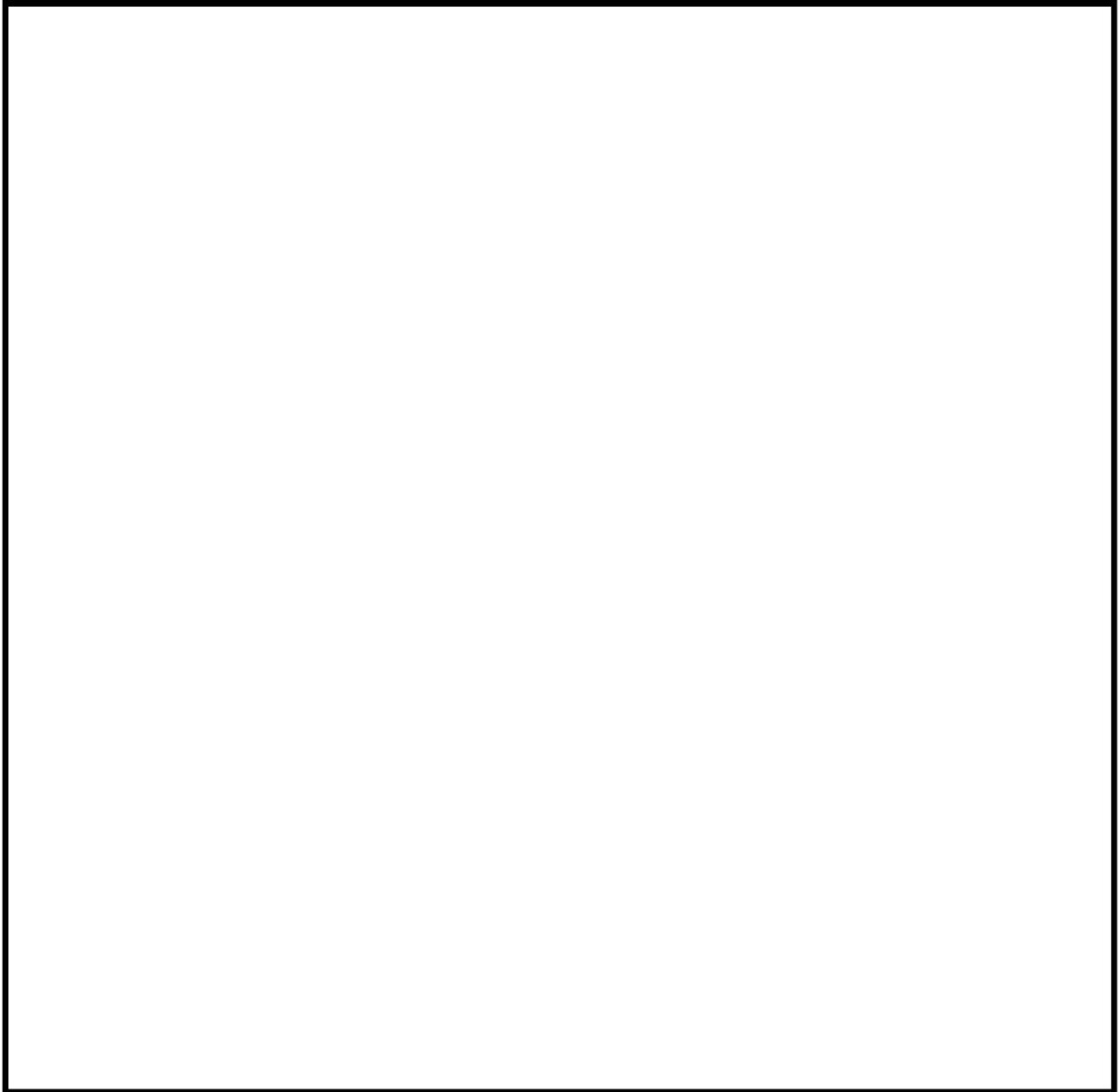
→環境UF : 0.005



(1) 1次冷却材管 (加圧器サージ管台) 評価点



(2) 1次冷却材管（充てん管台） 評価点



(3) 1次冷却材管（蓄圧タンク注入管台）評価点

(1) 1次冷却材管 (加圧器サージ管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00669	0.00252
2	0.0	0.00000	0.00004
3	0.0	0.00062	0.00184
4	0.0	0.0	0.00003
5	0.0	0.00176	0.00056
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00006	0.00585	0.00049
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00282	0.00914	0.0
10	0.0	0.0	0.00000
11	0.0	0.00009	0.00001
12	0.0	0.0	0.00006

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.010$

(2) 1次冷却材管 (充てん管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00130	0.00064
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	0.00039	0.00139	0.00001
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00002	0.00002
8C	0.0	0.00010	0.00003
9L	0.00248	0.00109	0.00000
10L	0.0	0.00000	0.0
9C	0.00007	0.00004	0.00000
10C	0.0	0.00011	0.00005
11L	0.00021	0.00014	0.00000
12L	0.00000	0.00000	0.00001
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00011	0.00013

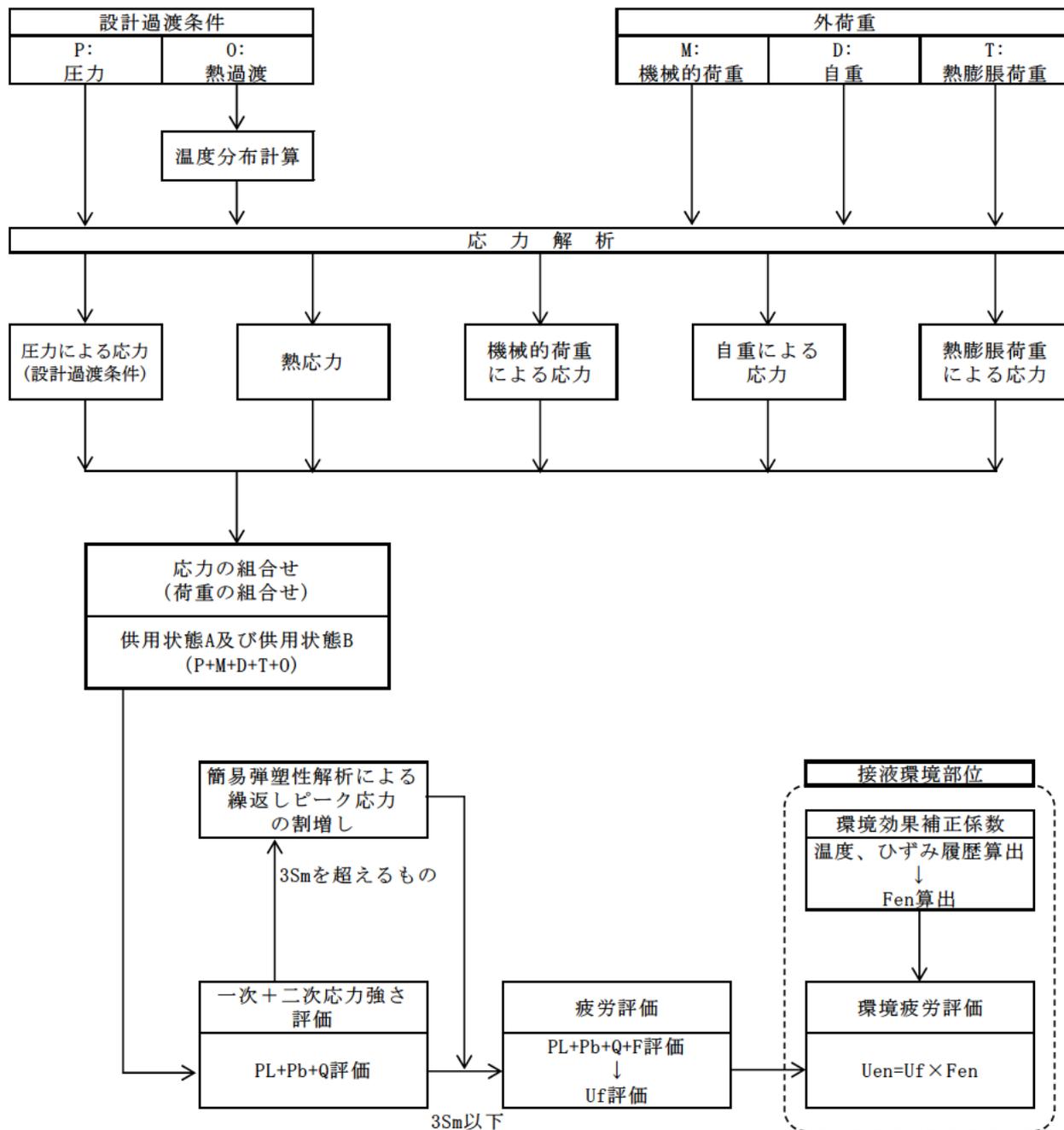
許容値 $U_f = 1.0$ →通常 U_f : 0.003

(3) 1次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00858	0.00444
2	0.0	0.00016	0.00014
3	0.0	0.00007	0.00021
4	0.0	0.00001	0.00000
5	0.0	0.00000	0.00001
6	0.0	0.00000	0.00000
7	0.00001	0.00012	0.00001
8	0.0	0.00000	0.0
9	0.00126	0.00162	0.0
10	0.0	0.00000	0.0
11	0.00001	0.00005	0.00000
12	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.00000	0.00001
14	0.0	0.00000	0.00007

許容値 $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.009



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

(1) Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器サージ管台) (詳細評価手法: 評価点9)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D4	1B2	406.3	-151.5	1.00	278.9	312.5	2	55900	0.00004	5.838	0.00021
2G1	1B2	388.8	-151.5	1.00	270.2	302.8	2	66400	0.00003	6.508	0.00020
1D1	1B2	337.5	-151.5	1.00	244.5	274.0	716	114000	0.00628	5.413	0.03400
1D1	1A2	337.5	-151.5	1.00	244.5	274.0	160	114000	0.00140	5.413	0.00760
2A1	1A2	333.3	-151.5	1.00	242.4	271.7	7	120000	0.00006	3.783	0.00022
2B1	1A2	327.3	-151.5	1.00	239.4	268.3	5	129000	0.00004	4.610	0.00018
1G1	1A2	326.5	-151.5	1.00	239.0	267.9	4	130000	0.00003	5.489	0.00017
2J2	1A2	320.8	-151.5	1.00	236.2	264.7	59	139000	0.00042	1.903	0.00081
2H2	1A2	309.4	-151.5	1.00	230.4	258.3	2	159000	0.00001	3.023	0.00004
2I1	1A2	304.4	-151.5	1.00	228.0	255.5	6	169000	0.00004	2.462	0.00009
1M1	1A2	301.9	-151.5	1.00	226.7	254.1	117	174000	0.00067	4.874	0.00328
1M1	2E1	301.9	-17.2	1.00	159.5	178.8	2	1300000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	NSS	301.9	0.0	1.00	150.9	169.2	119	1560000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1I1	301.9	19.6	1.00	141.1	158.2	68	1950000	0.00003	1.000	0.00003
1M1	2D4	301.9	97.1	1.00	102.4	114.8	2	9120000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2H1	301.9	104.7	1.00	98.6	110.5	2	12300000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2G1	301.9	154.8	1.00	73.5	82.4	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.04689

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

→環境UF : 0.047

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
1B1	201	1.7	-675.4	1.40	474.5	525.7	2	4940	0.00040	6.559	0.00266
1B1	205	1.7	-628.4	1.30	410.5	454.8	2	8830	0.00023	4.916	0.00111
1B1	2N2	1.7	-590.8	1.30	383.9	425.3	2	11900	0.00017	6.639	0.00112
1B1	2N5	1.7	-558.7	1.26	351.7	389.6	3	18300	0.00016	6.286	0.00103
1B1	202	1.7	-608.2	1.00	305.0	337.9	2	37400	0.00005	4.823	0.00026
1B1	2N4	1.7	-604.9	1.00	303.3	336.0	2	38500	0.00005	6.566	0.00034
1B1	2Q6	1.7	-513.1	1.00	257.4	285.2	5	92200	0.00005	7.976	0.00043
1B1	204	1.7	-504.9	1.00	253.3	280.7	2	100000	0.00002	4.885	0.00010
1B1	2Q2	1.7	-460.1	1.00	230.9	255.8	4	168000	0.00002	6.996	0.00017
1B1	2Q1	1.7	-458.6	1.00	230.1	255.0	36	171000	0.00021	6.168	0.00130
1I1	2Q1	0.9	-458.6	1.00	229.8	254.6	68	173000	0.00039	12.420	0.00488
NSS	2Q1	0.0	-458.6	1.00	229.3	254.0	119	174000	0.00068	12.420	0.00849
204	2Q1	-53.1	-458.6	1.00	202.8	224.7	2	369000	0.00001	12.420	0.00007
2QE	2Q1	-56.8	-458.6	1.00	200.9	222.6	2	391000	0.00001	12.420	0.00006
2E1	2Q1	-121.2	-458.6	1.00	168.7	186.9	2	1120000	0.00000	1.000	0.00000
202	2Q1	-167.3	-458.6	1.00	145.7	161.4	2	1820000	0.00000	1.000	0.00000
2N3	2Q1	-174.0	-458.6	1.00	142.3	157.7	2	1970000	0.00000	1.000	0.00000
2QC	2Q1	-175.6	-458.6	1.00	141.5	156.8	2	2010000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2Q1	-211.7	-458.6	1.00	123.5	136.8	3	3620000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2Q1	-216.6	-458.6	1.00	121.0	134.1	7	3950000	0.00000	1.000	0.00000
201	2Q1	-291.7	-458.6	1.39	116.4	128.9	2	4680000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2Q1	-244.1	-458.6	1.06	113.6	125.9	3	5260000	0.00000	1.000	0.00000
2D3	2Q1	-236.2	-458.6	1.00	111.2	123.2	2	5990000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2Q1	-240.1	-458.6	1.00	109.2	121.0	2	6650000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2Q1	-244.9	-458.6	1.00	106.9	118.4	3	7570000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2Q1	-278.4	-458.6	1.17	105.0	116.3	2	8410000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	2Q1	-250.3	-458.6	1.00	104.2	115.4	2	8820000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2Q1	-254.1	-458.6	1.00	102.2	113.3	8	9860000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2Q1	-258.2	-458.6	1.00	100.2	111.0	2	11700000	0.00000	1.000	0.00000
205	2Q1	-266.8	-458.6	1.03	99.2	109.9	2	13000000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	2Q1	-261.6	-458.6	1.00	98.5	109.2	2	13800000	0.00000	1.000	0.00000
2QG	2Q1	-268.5	-458.6	1.00	95.1	105.3	2	19400000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2Q1	-268.8	-458.6	1.00	94.9	105.1	4	19700000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	2Q1	-272.4	-458.6	1.00	93.1	103.2	5	26300000	0.00000	1.000	0.00000
2QA	2Q1	-279.1	-458.6	1.00	89.8	99.4	2	46600000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2Q1	-282.5	-458.6	1.00	88.1	97.6	588	82000000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2R1	-282.5	-449.8	1.00	83.7	92.7	60	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02204

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

→環境UF : 0.023

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 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'					
2L1	2E1	659.4	-288.4	1.89	893.8	990.3	2	549	0.00364	3.423	0.01247
2E1	2L1	534.0	-245.0	1.89	734.7	814.0	2	1020	0.00196	4.367	0.00856
2G1	2G1	555.3	-259.7	1.61	654.8	725.5	2	1510	0.00132	5.067	0.00671
2D4	1B2	543.6	-190.9	1.65	607.7	673.2	2	1950	0.00103	3.906	0.00401
1B2	2D5	286.6	-196.3	1.65	399.5	442.6	2	9850	0.00020	4.210	0.00085
1B2	1B2	286.6	-190.9	1.00	238.7	264.5	58	139000	0.00042	3.142	0.00131
1I1	1I1	184.1	-1.4	1.00	92.8	102.8	68	27900000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	1B1	126.3	-1.2	1.00	63.8	70.7	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03392

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

→環境UF: 0.034

タイトル	仕切弁（余熱除去ラインループ高温側出口弁弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去ラインループ高温側出口弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S 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： 3FCV-420/430

呼び径： 12B

弁箱の材質： SCS14A

接続管の材質： SUS316TP

クラス1弁

弁箱の応力解析 (1/2)

(1) 設計条件及び諸元

最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	280 °Cにおける 換算圧力 P _s (MPa)	280 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の280 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	280 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa)	280 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ mm/mm・°C)	AA断面における 金属部の厚さ t _e (mm)	交差部壁面とその二等 分線とに接する円の直 径 T _{e1} (mm)	交差部壁面に接する円の 直径 T _{e2} (mm)
17.18	343	18.5	125	137	178000	18.44			

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

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

(注1) K_e適用判定のS_nはVVB-3370による。

(注2) S_nはVVB-3340による。

(2) 弁箱の応力

項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S _n (注2)	
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)
			P _d	P _v	P _t		
計算応力 (MPa)	59	136	31	80	80	188	150
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 _{pi} (MPa)	S _{I1} (MPa)	S _{I2} (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	鋼種:1 以外:2	ε* (-)	T1 (℃)	T2 (℃)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Fen×N/N*	
	加熱過程	冷却過程																				
起動時及び停止時 1次系漏えい試験	H1	C1	324.8	162.4	162.0	60	1209909	0.00				17800		1								0.001
	H26	C28	324.8	162.4	162.0	59	1209909	0.00				17800		1								0.000
起動時及び停止時 以外	H24	C21	799.9	400.0	450.8	2	9152	0.00				17800		1								0.004
	H2	C23	652.6	326.3	367.8	2	24498	0.00				17800		1								0.002
	H2	C25	599.0	299.5	337.6	2	37649	0.00				17800		1								0.001
	H2	C7	533.8	266.9	300.8	68	68876	0.00				17800		1								0.027
	H2	C24	506.6	253.3	285.5	3	91894	0.00				17800		1								0.001
	H2	C19	488.8	243.4	274.3	2	114252	0.00				17800		1								0.000
	H2	C29	474.4	237.2	267.4	6	131805	0.00				17800		1								0.001
	H2	C9	470.3	235.1	265.0	2	139350	0.00				17800		1								0.000
	H2	C16	468.2	234.1	263.9	2	141767	0.00				17800		1								0.000
	H2	C13	445.1	222.5	250.8	7	187728	0.00				17800		1								0.001
	H2	C18	443.4	221.7	249.9	8	191635	0.00				17800		1								0.001
	H2	C27	443.4	221.7	249.9	2	191635	0.00				17800		1								0.000
	H2	C6	433.1	216.6	244.1	4	220682	0.00				17800		1								0.001
	H2	C3	409.6	204.8	230.8	776	312199	0.00				17800		1								0.080
	H12	C3	334.1	167.1	186.3	7	1102693	0.00				17800		1								0.000
	H9	C3	318.8	159.4	176.7	2	1285232	0.00				17800		1								0.000
	H10	C3	318.0	159.0	178.1	2	1324118	0.00				17800		1								0.000
	H7	C3	308.9	154.5	174.1	64	1425158	0.00				17800		1								0.002
	H13	C3	307.3	153.6	173.2	5	1450381	0.00				17800		1								0.000
	H4	C3	306.5	153.2	172.7	4	1463213	0.00				17800		1								0.000
	H6	C3	305.2	152.6	172.0	4	1482739	0.00				17800		1								0.000
	H19	C3	299.9	149.9	169.0	2	1571998	0.00				17800		1								0.000
	H15	C3	297.8	148.9	167.8	2	1607334	0.00				17800		1								0.000
	H18	C3	297.8	148.9	167.8	2	1607334	0.00				17800		1								0.000
H21	C3	293.7	146.8	165.5	2	1682493	0.00				17800		1								0.000	
H5	C3	293.3	146.6	165.3	4	1690259	0.00				17800		1								0.000	
							ΣN/N*	0.005													ΣFen×N/N*	0.126

→通常UF : 0.005

→環境UF : 0.126

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

例として起動時及び停止時の過渡の組み合わせ $F_{en}=24.579$ 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、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 318.6 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{}(\%/s)$$

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

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、

$$F_{en} = e^{(3.91 + 10.126631) \times \boxed{}} = 24.579$$

タイトル	スイング逆止弁（蓄圧タンク出口第二逆止弁弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>蓄圧タンク出口第二逆止弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1- 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke係数 <p>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： SV-SI-136A/B/C/D(出口側) 呼び径： 125 弁箱の材質： SCS14A 接続管の材質： SUS316TP クラス1弁

弁箱の応力解析 (1/2)

(1) 設計条件及び諸元

最高使用圧力	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における設計降伏点	280 °Cにおける線膨張係数	280 °Cにおける熱膨張係数	AA断面における金属部の厚さ	交差部端面とその二等分線とに接する円の直径	交差部端面に接する円の直径
P (MPa)	(°C)	P _e (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	E (MPa)	α (×10 ⁻⁶ /mm・°C)	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	接続管の断面積の百分の1	AA断面における金属部の断面積	接続管の断面係数	AA断面における断面係数	AA断面における極断面係数	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力
r (mm)	r _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)	QT (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増し係数	材質の種類に応じた値		
			C _b	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅			K _t	A ₀	B ₀
ΔP _{rm} (MPa)	ΔT (°C)	ΔT _{fm} (°C)						K _t (21)				

(注1) K_tは適用単位でS_nはVB-3370による。
(注2) S_nはVB-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)	
	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VB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VB-10.2)
			P _a	P _b	P _c		
計算応力 (MPa)	93	168	39	76	76	239	271
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 ₀₁ (MPa)	S ₁₁ (MPa)	S ₁₂ (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	錆損: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	354.8	177.4	200.0	80	808820	0.000				178000		1								0.002
1次系漏えい試験(注1)	H27	C28	354.8	177.4	200.0	59	808820	0.000				178000		1								0.001
起動時及び停止時 以外	H31	C31	2428.3	1214.1	1888.5	2	207	0.010				178000		1								0.108
	H29	C32	2274.6	1187.3	1838.2	2	222	0.008				178000		1								0.100
	H30	C33	2315.5	1157.7	1805.0	2	239	0.008				178000		1								0.095
	H28	C30	2051.0	1025.5	1155.9	2	344	0.006				178000		1								0.055
	H32	C34	1447.7	723.8	815.9	80	1017	0.053				178000		1								0.289
	H14	C35	709.6	354.8	399.9	5	16172	0.000				178000		1								0.011
	H12	C35	631.5	315.7	355.9	7	28882	0.000				178000		1								0.007
	H25	C35	612.9	306.4	345.4	2	33581	0.000				178000		1								0.001
	H6	C35	584.4	292.2	329.3	4	42611	0.000				178000		1								0.002
	H18	C35	583.1	291.6	328.8	2	43087	0.000				178000		1								0.001
	H20	C35	573.2	286.6	323.1	2	46933	0.000				178000		1								0.001
	H2	C35	570.7	285.4	321.7	38	47384	0.001				178000		1								0.019
	H2	C21	530.2	265.1	298.8	2	71444	0.000				178000		1								0.001
	H2	C7	487.4	243.7	263.4	68	143076	0.000				178000		1								0.009
	H2	C36	487.4	243.7	263.4	68	143076	0.000				178000		1								0.009
	H2	C23	484.8	242.4	245.0	2	215534	0.000				178000		1								0.000
	H2	C29	407.9	204.0	229.9	8	320349	0.000				178000		1								0.000
	H2	C25	388.5	194.2	218.9	2	433785	0.000				178000		1								0.000
	H2	C19	304.2	152.1	171.4	2	1499391	0.000				178000		1								0.000
	H2	C24	291.4	145.7	164.2	3	1726258	0.000				178000		1								0.000
H2	C28	275.3	137.6	155.1	2	2106115	0.000				178000		1								0.000	
H2	C13	261.6	130.8	147.4	7	2623218	0.000				178000		1								0.000	
						ΣN/N* (注3)		0.095												ΣFen×N/N*	0.693	

→通常UF:0.095

→環境UF:0.693

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 $F_{en}=24.579$ 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、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 354.8 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{}(\%/s)$$

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

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、

$$F_{en} = e^{(3.91+10.126631) \times \boxed{}} = 24.579$$

タイトル	炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p>炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 775 1370 1644"> <tr> <td data-bbox="475 775 699 969">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 775 1370 1644" rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 969 699 1200">要素種類</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1200 699 1395">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1395 699 1514">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1514 699 1644">節点数</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="435 1671 1370 1778"> <tr> <td data-bbox="435 1671 1370 1778"></td> </tr> </table>	解析プログラム		要素種類	要素次数	要素数	節点数	
解析プログラム								
要素種類								
要素次数								
要素数								
節点数								

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

使用箇所	材料	設計応力強さ	
		Sm(MPa)	温度(°C)
上部炉心支持板	SUSF304 SUS304	113	324.9
上部炉心支持柱	SUS304TKA	113	324.9
上部炉心板	SUS304	113	324.9
下部炉心板	SUS304	116	289.2
下部炉心支持柱	SUS304	116	289.2
下部炉心支持板	SUSF304	116	289.2
炉心槽下部接続部	SUS304	116	289.2

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を、添付1に示す。

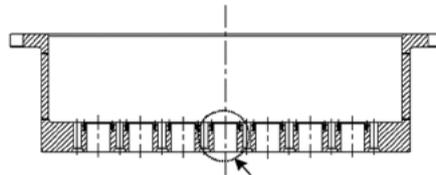
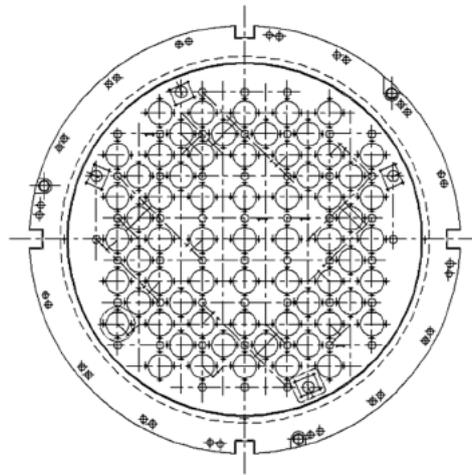
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

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

5. Ke係数および環境パラメータ

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



評価部位 (中央部下面)



上部炉心支持板 評価点

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

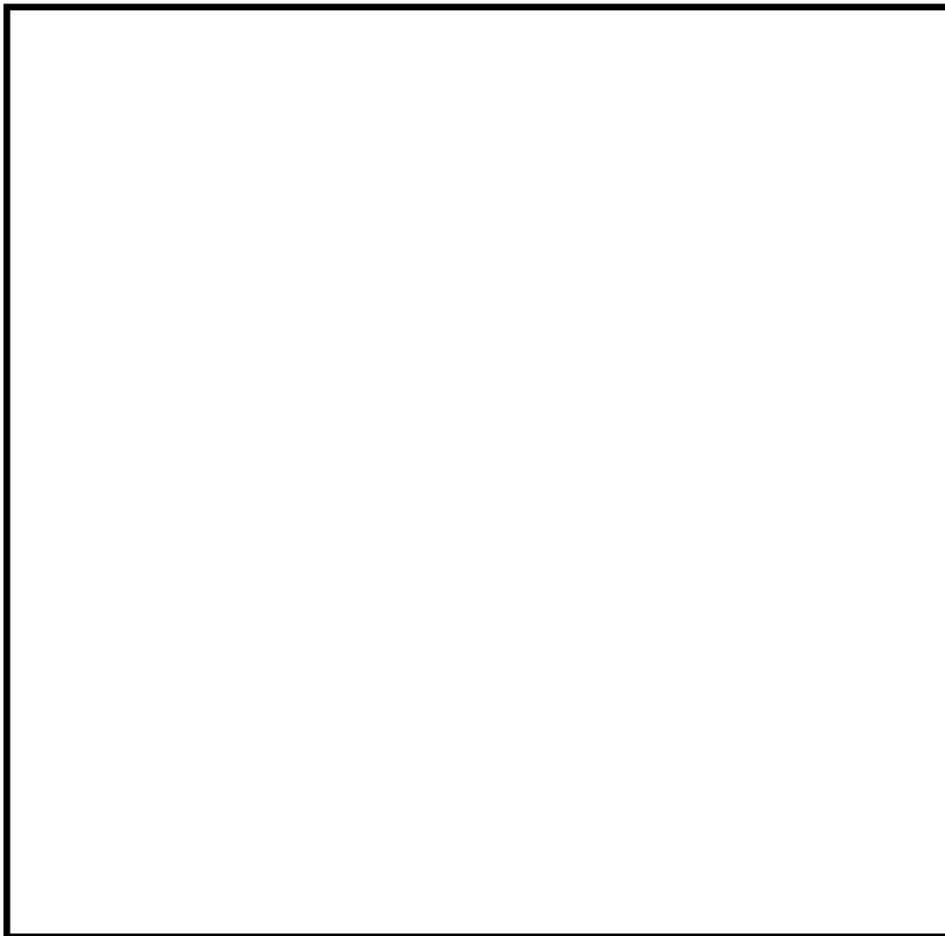
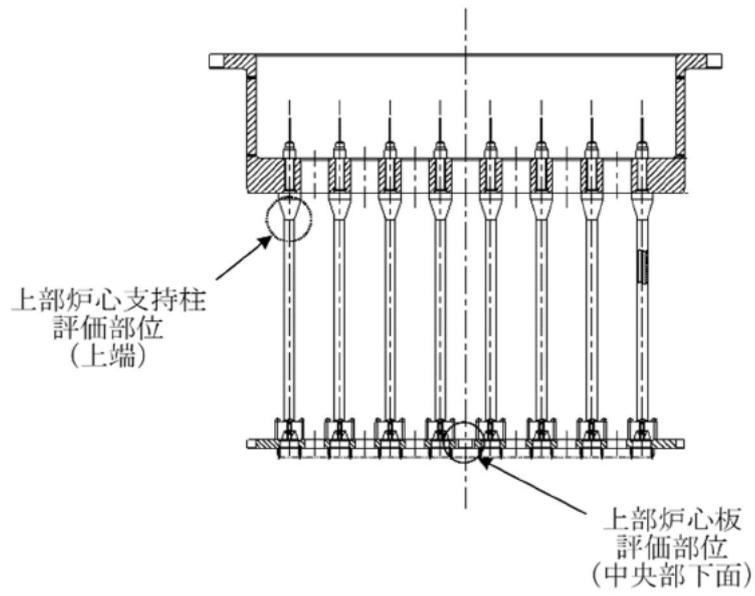
中央部下面

応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$		
最大値	最小値	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*
536.4	-277.7	1.0	407.1 (456.2)	6	8720	0.00069
273.3	-277.7	1.0	275.5 (308.8)	74	59700	0.00124
257.3	-277.7	1.0	267.5 (299.8)	17	70200	0.00024
177.8	-277.7	1.0	227.8 (255.2)	22	170000	0.00013
177.8	-243.3	1.0	210.6 (236.0)	4	272000	0.00001
177.8	-203.0	1.0	190.4 (213.4)	93	510000	0.00018
131.0	-203.0	1.0	167.0 (187.2)	16	1120000	0.00001
106.5	-203.0	1.0	154.8 (173.4)	843	1440000	0.00059
106.5	-98.8	1.0	102.7 (115.1)	16	8980000	0.00000
106.5	-48.7	1.0	77.6 (87.0)	78	—————	0.0

疲労累積係数= 0.00310

(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: 0.004



上部炉心支持柱及び上部炉心板 評価点

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$		
最大値	最小値	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N		許容繰返し回数N*	
0.0	-496.0	1.0	248.0 (277.9)	4	106000	0.00004
0.0	-366.2	1.0	183.1 (205.2)	115	672000	0.00017
-38.9	-366.2	1.0	163.7 (183.4)	4	1200000	0.00000
-38.9	-359.3	1.0	160.2 (179.6)	2	1280000	0.00000
-92.1	-359.3	1.0	133.6 (149.7)	17	2450000	0.00001
-153.9	-359.3	1.0	102.7 (115.1)	74	8950000	0.00001
-205.6	-359.3	1.0	76.8 (86.1)	16	-----	0.0

疲労累積係数= 0.00023

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

→通常UF : 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点 : 中央部下面)

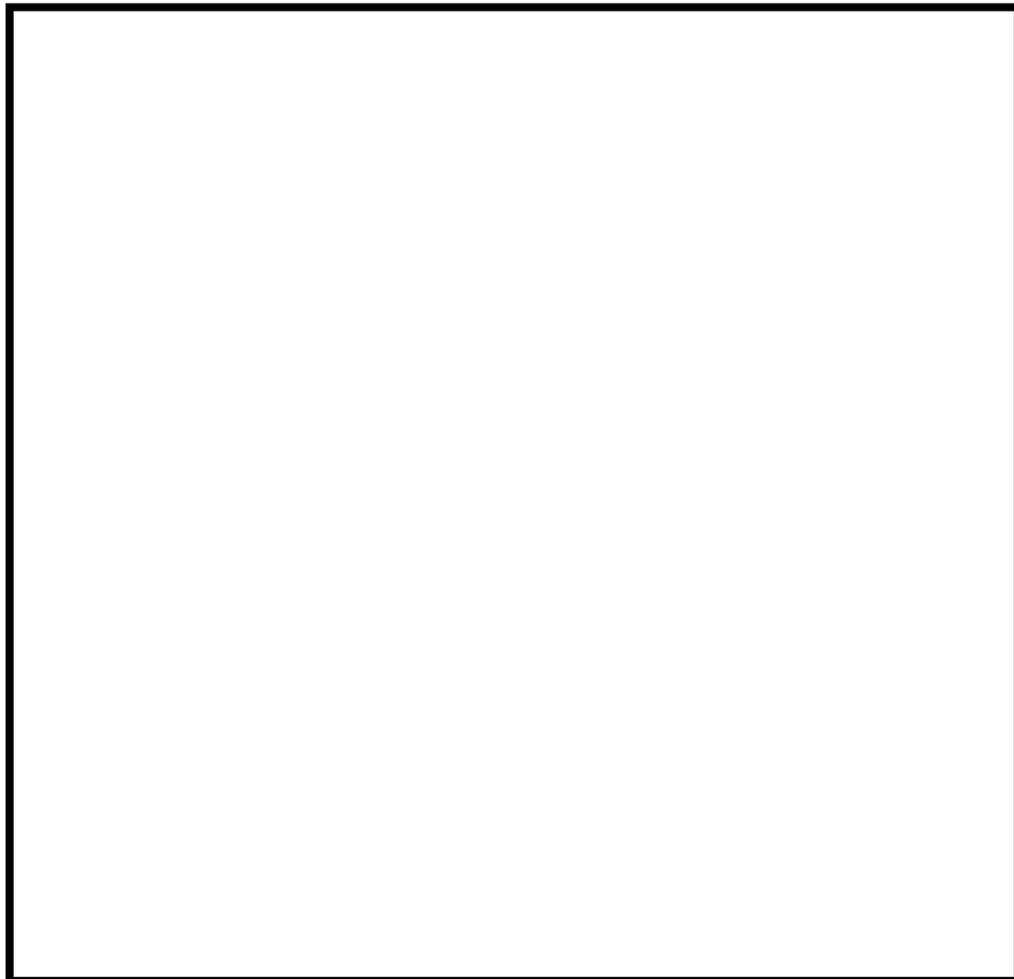
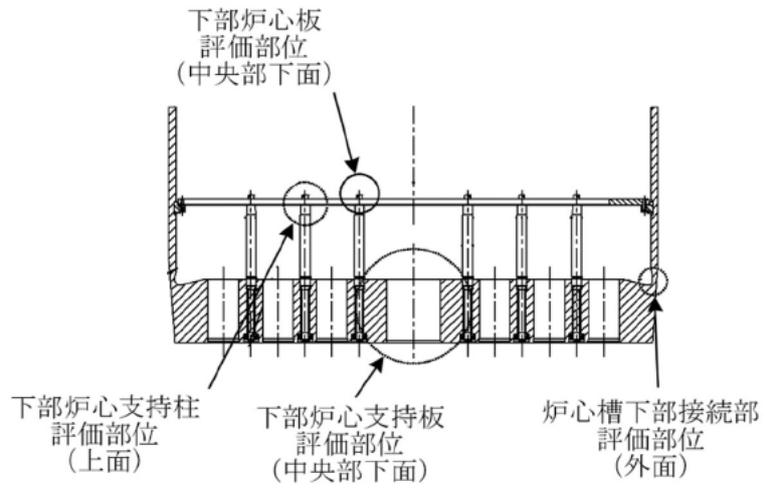
中央部下面 ($\sigma_1 - \sigma_2$)

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*	
292.5	-283.3	1.0	287.9 (322.7)	6	47200	0.00013
284.7	-283.3	1.0	284.0 (318.3)	11	50600	0.00022
284.7	-253.3	1.0	269.0 (301.5)	6	68100	0.00009
102.0	-176.6	1.0	139.3 (156.1)	4	2040000	0.00000
0.0	-176.6	1.0	88.3 (99.0)	12	50700000	0.00000
0.0	-154.0	1.0	77.0 (86.3)	74	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00043

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

→通常UF : 0.001



下部炉心構造物組立体 評価点

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 (= $\frac{N}{N^*}$)
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
281.0	-153.2	1.0	217.1 (240.5)	4	242000	0.00002
271.9	-153.2	1.0	212.5 (235.5)	12	275000	0.00004
271.9	-116.6	1.0	194.2 (215.2)	5	482000	0.00001
250.3	-116.6	1.0	183.4 (203.2)	6	720000	0.00001
205.5	-116.6	1.0	161.0 (178.4)	108	1310000	0.00008
205.5	-107.1	1.0	156.3 (173.2)	119	1450000	0.00008
205.5	-107.1	1.0	156.3 (173.2)	725	1450000	0.00050
0.0	-107.1	1.0	53.5 (59.3)	119	————	0.0

疲労累積係数 = 0.00074

(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

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$)		
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)		実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*
0.0	-618.6	1.0	309.3 (342.7)	16	34900	0.00046
0.0	-542.9	1.0	271.5 (300.8)	103	68900	0.00149
-120.3	-542.9	1.0	211.3 (234.1)	6	286000	0.00002
202.0	542.9	1.0	170.5 (188.9)	74	1090000	0.00007
-314.4	-542.9	1.0	114.2 (126.6)	17	5100000	0.00000
-381.4	-542.9	1.0	80.8 (89.5)	752	—————	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

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$		
最大値	最小値	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N		許容繰返し回数N*	
501.3	-197.5	1.0	349.4 (387.1)	6	18900	0.00032
401.3	-197.5	1.0	299.4 (331.7)	10	41100	0.00024
401.3	0.0	1.0	200.6 (222.3)	64	394000	0.00016
311.9	0.0	1.0	156.0 (172.8)	17	1460000	0.00001
269.0	0.0	1.0	134.5 (149.0)	4	2500000	0.00000
247.6	0.0	1.0	123.8 (137.1)	34	3580000	0.00001
247.6	163.1	1.0	42.2 (46.8)	85	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00075

(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

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

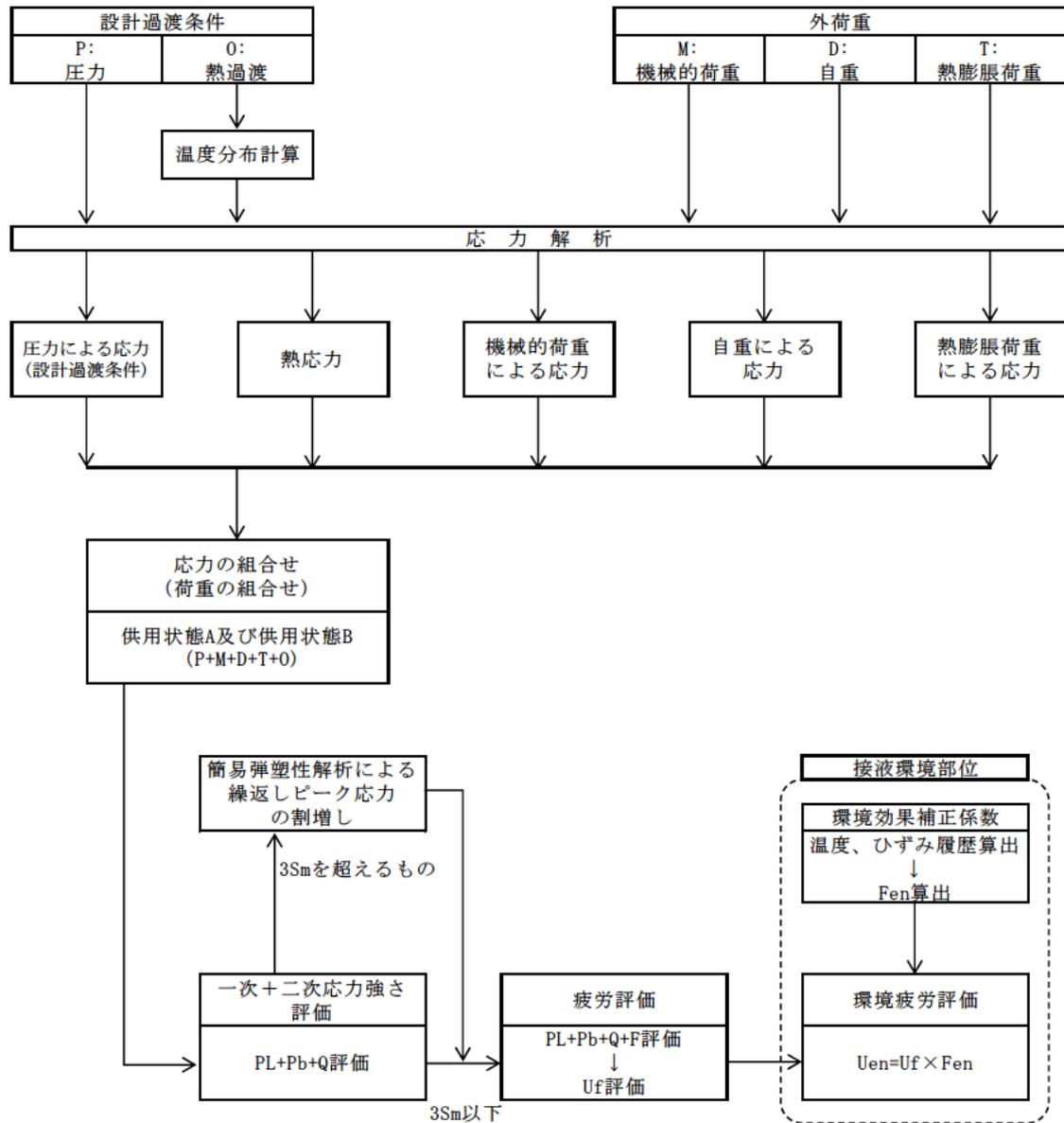
外面 ($\sigma_2 - \sigma_3$)

		応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$)
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
130.8	-85.5	1.0	108.2 (119.8)	6	7050000	0.00000
82.4	-85.5	1.0	84.0 (93.0)	10	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00000

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

→通常UF : 0.001



備考：熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
F	1A1	536.4	-277.7	1.00	407.1	456.2	6	8720	0.00069	10.827	0.00745
C	1A1	273.3	-277.7	1.00	275.5	308.8	74	59700	0.00124	12.783	0.01585
E	1A1	257.3	-277.7	1.00	267.5	299.8	17	70200	0.00024	10.387	0.00251
A-2	1A1	177.8	-277.7	1.00	227.8	255.2	22	170000	0.00013	13.214	0.00171
A-2	D-1	177.8	-243.3	1.00	210.6	236.0	4	272000	0.00001	10.810	0.00016
A-2	B-1	177.8	-203.0	1.00	190.4	213.4	93	510000	0.00018	1.000	0.00018
D-2	B-1	131.0	-203.0	1.00	167.0	187.2	16	1120000	0.00001	1.000	0.00001
B-2	B-1	106.5	-203.0	1.00	154.8	173.4	843	1440000	0.00059	1.000	0.00059
B-2	D-2	106.5	-98.8	1.00	102.7	115.1	16	8980000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	106.5	-48.7	1.00	77.6	87.0	78	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.02846

(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 : 0.029

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	D-1	0.0	-496.0	1.00	248.0	277.9	4	106000	0.00004	7.356	0.00028
NSS	1A1	0.0	-366.2	1.00	183.1	205.2	115	672000	0.00017	1.000	0.00017
F	1A1	-38.9	-366.2	1.00	163.7	183.4	4	1200000	0.00000	1.000	0.00000
F	B-1	-38.9	-359.3	1.00	160.2	179.6	2	1280000	0.00000	1.000	0.00000
E	B-1	-92.1	-359.3	1.00	133.6	149.7	17	2450000	0.00001	1.000	0.00001
C	B-1	-153.9	-359.3	1.00	102.7	115.1	74	8950000	0.00001	1.000	0.00001
D-2	B-1	-205.6	-359.3	1.00	76.8	86.1	16	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00047

(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UF : 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
F	E	292.5	-283.3	1.00	287.9	322.7	6	47200	0.00013	7.098	0.00090
E	E	284.7	-283.3	1.00	284.0	318.3	11	50600	0.00022	6.168	0.00134
E	F	284.7	-253.3	1.00	269.0	301.5	6	68100	0.00009	6.461	0.00057
D-1	D-2	102.0	-176.6	1.00	139.3	156.1	4	2040000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	D-2	0.0	-176.6	1.00	88.3	99.0	12	50700000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	C	0.0	-154.0	1.00	77.0	86.3	74	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00281

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.003

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
D-1	D-2	281.0	-153.2	1.00	217.1	240.5	4	242000	0.00002	5.593	0.00009	
E	D-2	271.9	-153.2	1.00	212.5	235.5	12	275000	0.00004	6.207	0.00027	
E	1A1	271.9	-116.6	1.00	194.2	215.2	5	482000	0.00001	8.951	0.00009	
F	1A1	250.3	-116.6	1.00	183.4	203.2	6	720000	0.00001	1.000	0.00001	
B-1	1A1	205.5	-116.6	1.00	161.0	178.4	108	1310000	0.00008	1.000	0.00008	
B-1	A-2	205.5	-107.1	1.00	156.3	173.2	119	1450000	0.00008	1.000	0.00008	
B-1	B-1	205.5	-107.1	1.00	156.3	173.2	725	1450000	0.00050	1.000	0.00050	
NSS	B-1	0.0	-107.1	1.00	53.5	59.3	119	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計:	0.00113

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

1.00: 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.002

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	-618.6	1.00	309.3	342.7	16	34900	0.00046	12.127	0.00556
NSS	B-1	0.0	-542.9	1.00	271.5	300.8	103	68900	0.00149	14.496	0.02167
F	B-1	-120.3	-542.9	1.00	211.3	234.1	6	286000	0.00002	9.485	0.00020
C	B-1	-202.0	-542.9	1.00	170.5	188.9	74	1090000	0.00007	1.000	0.00007
E	B-1	-314.4	-542.9	1.00	114.2	126.6	17	5100000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	B-1	-381.4	-542.9	1.00	80.8	89.5	752	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02750

(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 : 0.028

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	501.3	-197.5	1.00	349.4	387.1	6	18900	0.00032	8.102	0.00257
C	D-2	401.3	-197.5	1.00	299.4	331.7	10	41100	0.00024	8.712	0.00212
C	NSS	401.3	0.0	1.00	200.6	222.3	64	394000	0.00016	12.308	0.00200
E	NSS	311.9	0.0	1.00	155.9	172.8	17	1460000	0.00001	1.000	0.00001
D-1	NSS	269.0	0.0	1.00	134.5	149.0	4	2500000	0.00000	1.000	0.00000
A-2	NSS	247.6	0.0	1.00	123.8	137.1	34	3580000	0.00001	1.000	0.00001
A-2	B-2	247.6	163.1	1.00	42.2	46.8	85	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00671

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.007

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

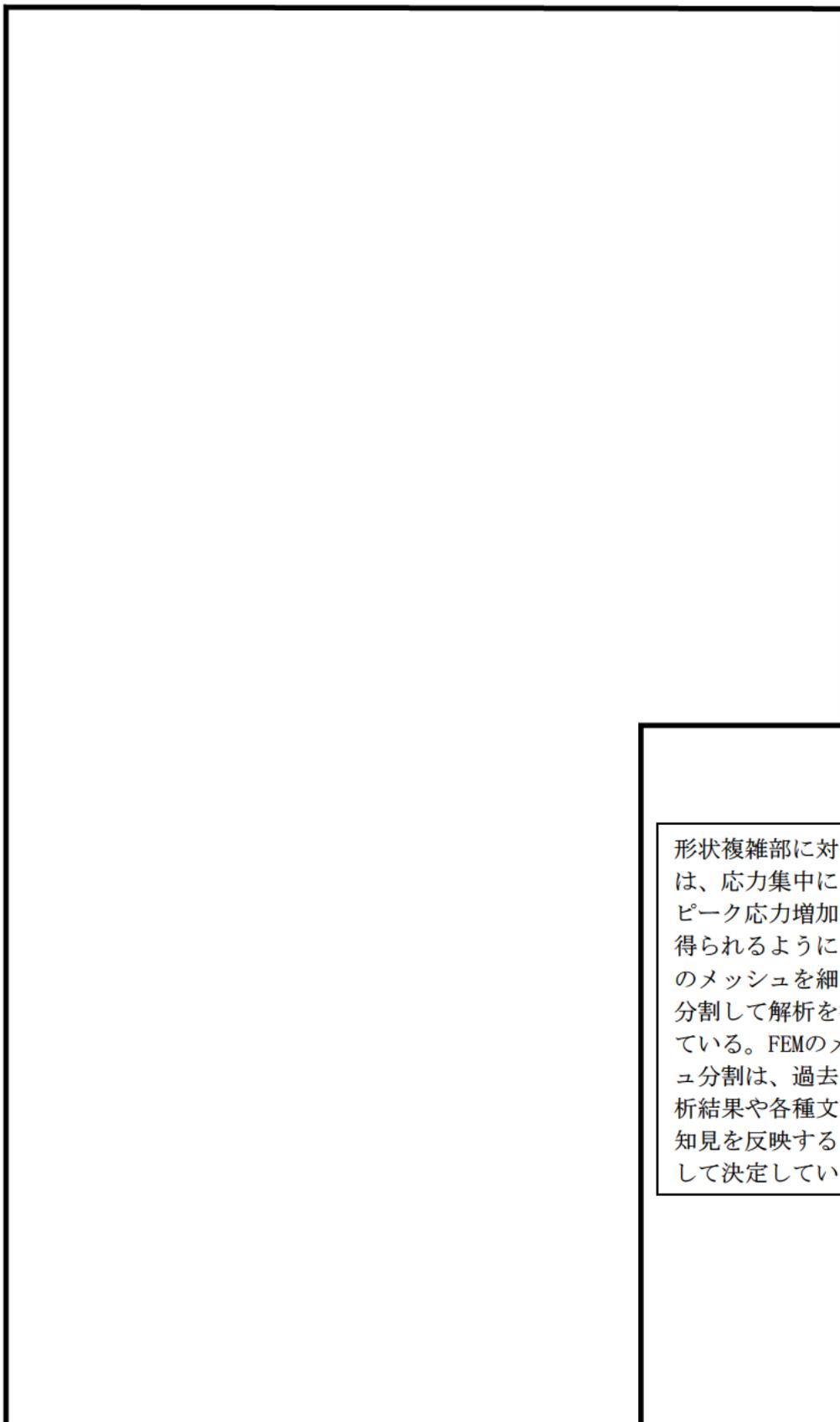
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
F	D-2	130.8	-85.5	1.00	108.2	119.8	6	7050000	0.00000	1.000	0.00000	
C	D-2	82.4	-85.5	1.00	84.0	93.0	10	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計 :	0.00000

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.001

タイトル	加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 779 1310 981"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 2018</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 1227"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345℃</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SQV1A</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 1621 1305 1736"> <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. 2018	要素種類		要素次数		節点数		要素数		評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	下部胴板、下部鏡板	SQV1A	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. 2018																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
評価部位	材料	設計応力 (MPa)																				
		345℃																				
下部胴板、下部鏡板	SQV1A	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)

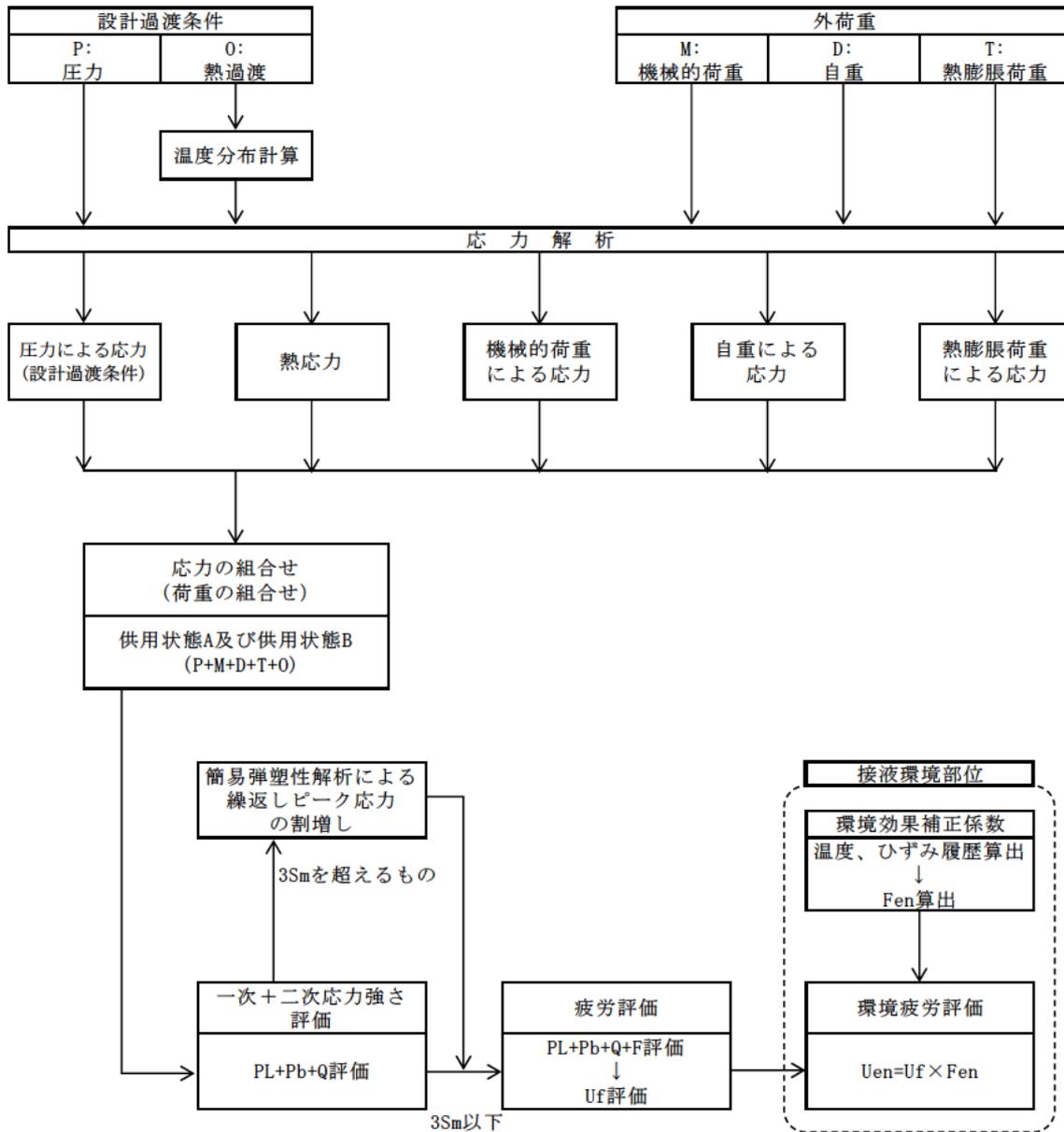
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00008	0.00000
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.00001	0.00016
4	0.00013	0.00000	0.00281
5	0.00254	0.00000	0.00600
6	0.00091	0.0	0.00251
7	0.19399	0.00009	0.16708
8	0.00065	0.00281	0.01607

許容値 $U_f = 1.0$

疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

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*	
191.1	-751.6	1.41	666.9	775.5	60	425	0.14118
73.5	-654.1	1.0	363.8	423.1	5	2280	0.00219
73.5	-632.8	1.0	353.2	410.7	7	2510	0.00279
73.5	-620.1	1.0	346.8	403.3	2	2650	0.00075
73.5	-615.8	1.0	344.7	400.8	4	2710	0.00148
73.5	-613.9	1.0	343.7	399.7	41	2730	0.01502
0.0	-613.9	1.0	307.0	357.0	119	3920	0.03036
-210.1	-613.9	1.0	201.9	234.8	2	14500	0.00014
-459.1	-613.9	1.0	77.4	90.0	59	667000	0.00009
-503.6	-613.9	1.0	55.2	64.2	2		0.0
疲労累積係数 =							0.19399

→通常UF: 0.194



備考：機械的荷重は作用しない。また、接液環境部位はない。

応力評価フローチャート

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

詳細評価法による環境効果補正係数 F_{en} の算出手順について

1. はじめに

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

2. 適用規格

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

3. 評価手順

(1) 評価手法

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

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

(2) 環境効果補正係数 (F_{en})

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

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

ここで、

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

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

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

C : 環境効果補正係数の算出のための定数

$\dot{\epsilon}$: ひずみ上昇過程でのひずみ速度

$\dot{\epsilon}^*$: ひずみ速度依存パラメータ

T : 温度

T^* : 温度依存パラメータ

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

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

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

応力サイクルの F_{en,det} は次式で求める。

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

疲労累積係数は次式で求める。

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

ある区間 k におけるひずみ速度

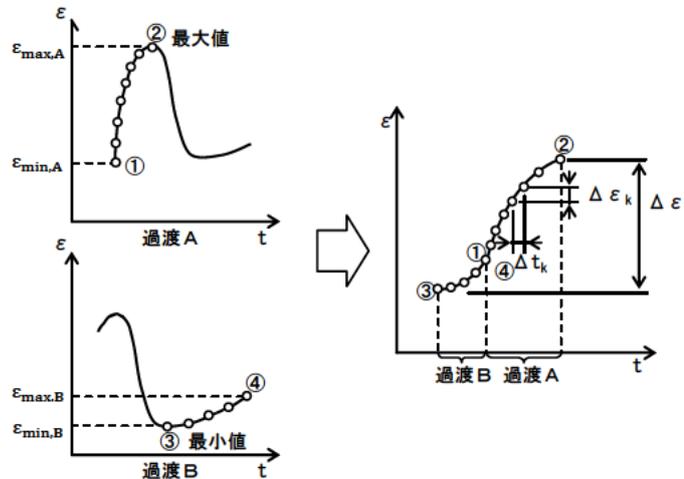
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

過渡 A の環境効果補正係数

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

過渡 B の環境効果補正係数

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



(4) 1次系冷却材ポンプの算出例

① ひずみと温度履歴

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

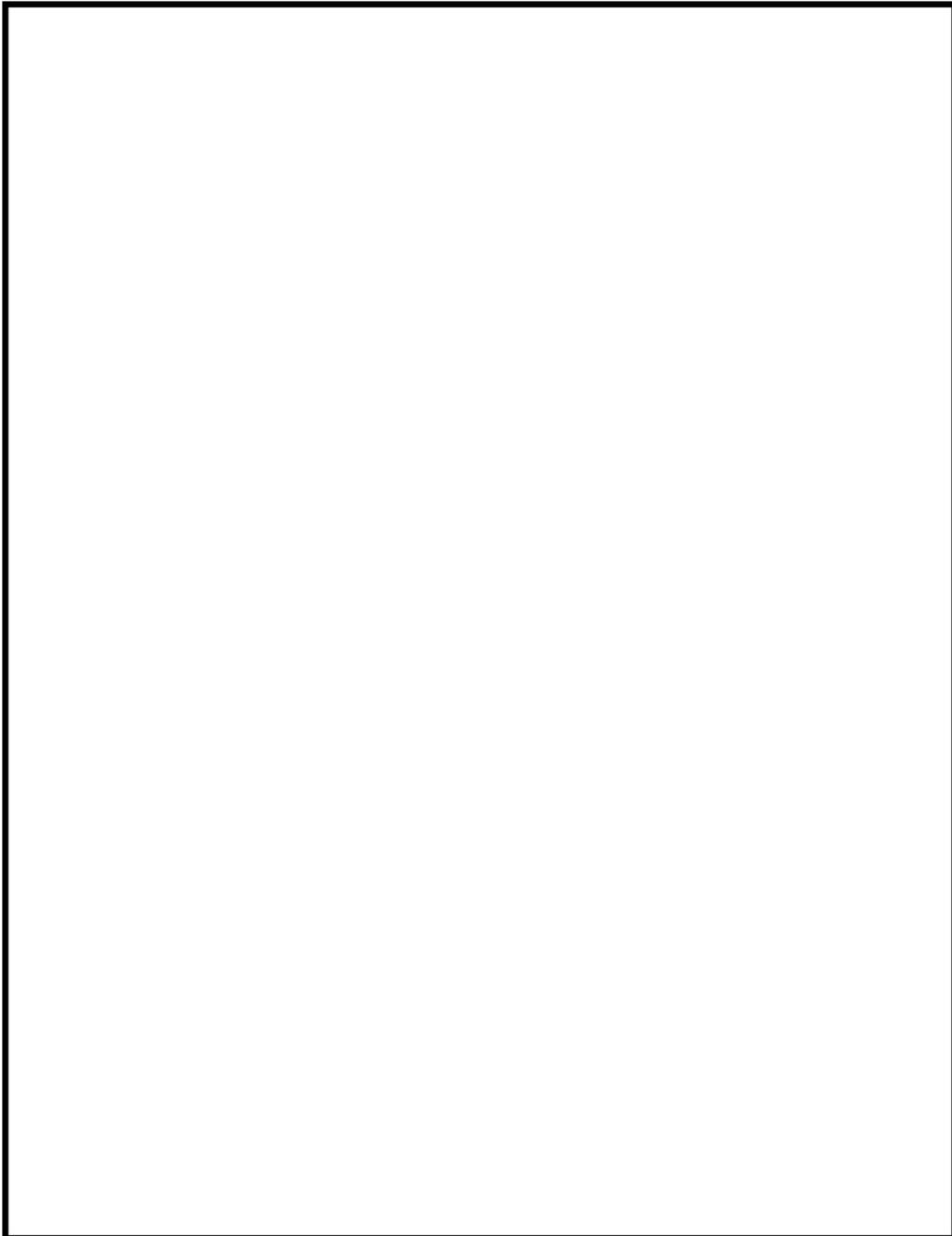


図1 ひずみと温度履歴

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	B	ϵ	Time
			22	-30.4		179296.		
			23	-20.0		179616.		
			23	-20.0		179616.		
			24	-8.5		179984.		
			24	-8.5		179984.		
			25	10.7		180912.		
			25	10.7		180912.		
			26	35.1		182208.		
			26	35.1		182208.		
			27	68.2		183356.		
			27	68.2		183356.		
			28	114.0		184568.		
			28	114.0		184568.		
			29	169.4		187040.		
			29	169.4		187040.		
			30	244.5		190376.		
			30	244.5		190376.		
			31	348.5		194933.		

区間 1

1 B	1A1	SI	Temp	B	ϵ	Time
	6	-342.1		176332.		
	7	-332.8		176332.		
	7	-332.8		176332.		
	8	-317.1		176332.		
	8	-317.1		176332.		
	9	-293.0		176332.		
	9	-293.0		176332.		
	10	-287.2		176332.		
	10	-287.2		176332.		
	11	-234.7		176332.		
	11	-234.7		176332.		
	12	-205.1		176332.		
	12	-205.1		176332.		
	13	-176.0		176332.		
	13	-176.0		176332.		
	14	-144.3		176332.		
	14	-144.3		176332.		
	15	-114.1		176332.		
	15	-114.1		176332.		
	16	-87.5		176332.		
	16	-87.5		176332.		
	17	-69.9		176332.		
	17	-69.9		176332.		
	18	-59.3		176332.		

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。

$$C = 3.910$$

$$\varepsilon_1 = 0.22734375 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_1^* = -10.1266311$$

$$T_1 = \boxed{}$$

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

$$F_{en,1} = e^{(C-\varepsilon^*) \times T^*} = e^{(3.910 - (-10.1266311)) \times \boxed{}} = 13.018$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta\varepsilon_1 = \boxed{} - \boxed{} = 0.00582$$

区間 1 での Fen, det, A, 1 について求めると、

$$F_{en, det, A, 1} = F_{en, 1} \frac{\Delta\varepsilon_1}{(\varepsilon_{max, A} - \varepsilon_{min, A})} = 13.018 \times \frac{0.00582}{\boxed{} - \boxed{}} = 0.387$$

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

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

詳細評価手法による評価

1 A	1B1	SI	Temp	E	Time	ϵ	Temp	Fen,k	Δ Fen
	22	-30.4		179296.		0.228E-04		13.018	0.387
	23	-20.0		179616.					
	23	-20.0		179616.		0.213E-04		12.459	0.408
	24	-8.5		179984.					
	24	-8.5		179984.		0.213E-04		11.845	0.645
	25	10.7		180912.					
	25	10.7		180912.		0.191E-04		10.873	0.743
	26	35.1		182208.					
	26	35.1		182208.		0.179E-04		9.658	0.885
	27	68.2		183356.					
	27	68.2		183356.		0.163E-04		8.147	1.020
	28	114.0		184568.					
	28	114.0		184568.		0.144E-04		6.315	0.930
	29	169.4		187040.					
	29	169.4		187040.		0.126E-04		4.499	0.870
	30	244.5		190376.					
	30	244.5		190376.		0.112E-04		2.703	0.695
	31	348.5		194933.					
								total	6.584

1 B	1A1	SI	Temp	E	Time	ϵ	Temp	Fen,k	Δ Fen
	6	-342.1		176332.		0.208E-04		24.579	0.812
	7	-332.8		176332.					
	7	-332.8		176332.		0.198E-04		24.579	1.363
	8	-317.1		176332.					
	8	-317.1		176332.		0.171E-04		24.579	2.096
	9	-293.0		176332.					
	9	-293.0		176332.		0.146E-04		24.579	2.239
	10	-267.2		176332.					
	10	-267.2		176332.		0.115E-04		24.579	2.821
	11	-234.7		176332.					
	11	-234.7		176332.		0.886E-05		24.579	2.579
	12	-205.1		176332.					
	12	-205.1		176332.		0.658E-05		24.579	2.522
	13	-176.0		176332.					
	13	-176.0		176332.		0.449E-05		24.579	2.756
	14	-144.3		176332.					
	14	-144.3		176332.		0.286E-05		24.579	2.628
	15	-114.1		176332.					
	15	-114.1		176332.		0.168E-05		24.579	2.311
	16	-87.5		176332.					
	16	-87.5		176332.		0.996E-06		24.579	1.527
	17	-69.9		176332.					
	17	-69.9		176332.		0.617E-06		24.579	0.926
	18	-59.3		176332.					
								total	24.579

以上より、過渡 A 及び過渡 B について、 $F_{en, det, A}$ 、 $F_{en, det, B}$ 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 $F_{en, det}$ を算出する。

$$\begin{aligned}
 F_{en, det} &= \frac{F_{en, det, A} \times (\epsilon_{max, A} - \epsilon_{min, A}) + F_{en, det, B} \times (\epsilon_{max, B} - \epsilon_{min, B})}{(\epsilon_{max, A} - \epsilon_{min, A}) + (\epsilon_{max, B} - \epsilon_{min, B})} \\
 &= \frac{6.584 \times (\quad - \quad) + 24.579 \times ((\quad) - (\quad))}{\quad - (\quad) + ((\quad) - \quad)} \\
 &= 14.687
 \end{aligned}$$

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 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	348.5	-342.1	1.79	618.1	653.3	60	1860	0.03226	14.687	0.47379
2I2	2I1	263.4	-299.7	1.47	413.9	457.5	59	8620	0.00684	6.912	0.04731
1I1	2B1	197.1	-138.2	1.00	187.6	185.3	5	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	197.1	-129.3	1.00	183.2	180.4	7	1280000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	197.1	-104.9	1.00	151.0	166.9	2	1630000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	197.1	-72.9	1.00	135.0	149.3	2	2480000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	197.1	-71.8	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	197.1	-68.1	1.00	132.6	146.6	4	2690000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	197.1	-67.2	1.00	132.1	146.1	5	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	197.1	-66.3	1.00	131.7	145.6	2	2760000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	197.1	-57.9	1.00	127.5	140.9	34	3180000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	182.2	-57.9	1.00	120.0	132.7	2	4130000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2I2	47.2	-55.6	1.59	81.9	90.5	59	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.52113

→環境 UF: 0.522

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



FEM 解析値

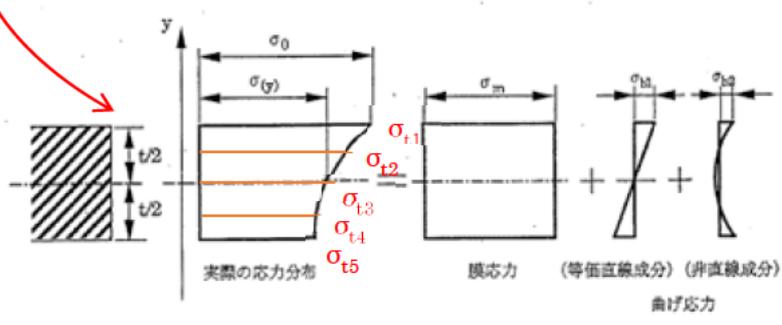
- $\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
- σ_{r1} 板厚方向応力
- σ_{t1} 軸方向応力
- $\sigma_{\theta 2}$
- σ_{r2}
- σ_{t2}
- ⋮
- ⋮
- $\sigma_{\theta 5}$
- σ_{r5}
- σ_{t5}



軸方向応力の抽出例

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

2005 設計・建設規格 第I編 解説 第1章 GNR



解説図 GNR-2130-1 膜応力と曲げ応力の考え方

図1 加圧器スプレイ配管の3次元解析の応力分類概略図