

高浜発電所 1 号炉 審査資料	
資料番号	KTN1-PLM50-疲労
提出年月日	令和 5 年 11 月 2 日

高浜発電所 1 号炉 高経年化技術評価
(低サイクル疲労)

補足説明資料

令和 5 年 11 月 2 日
関西電力株式会社

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

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	3
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	17
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	19
5.1 健全性評価	19
5.2 現状保全	21
5.3 総合評価	24
5.4 高経年化への対応	21
6. まとめ	25
6.1 審査ガイド等に対する確認結果	25
6.2 長期施設管理方針として策定する事項	26

別紙

別紙1. 過渡回数推定値の算出方針について	1-1
別紙2. 建設時に考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて	2-1
別紙3. 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について	3-1
別紙4. クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について	4-1
別紙5. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について	5-1
別紙6. 環境疲労評価手法における環境効果補正係数の算出方法について	6-1
別紙7. 代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について	7-1
別紙8. 詳細評価法による環境効果補正係数の算出手順について	8-1
別紙9. 有限要素法解析における応力分類について	9-1

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

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

2. 基本方針

低サイクル疲労に対する評価の基本方針は、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド」および「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド」の記載事項（以下、「審査ガイド等記載事項」という。）を踏まえ、対象機器について運転開始後 60 年時点までの期間における低サイクル疲労に対して、高経年化に関する技術評価を適切に実施し、その結果に基づき長期施設管理方針を適切に策定していることを確認することである。

低サイクル疲労についての審査ガイド等記載事項を表 1 に整理する。

表1 低サイクル疲労についての審査ガイド等記載事項

ガイド	記載事項
<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>ロ 実用炉規則第82条第2項又は第3項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から40年間に同条第2項又は第3項に規定する延長する期間を加えた期間</p> <p>3. 2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたものとの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p>

3. 評価対象と評価手法

3.1 評価対象

低サイクル疲労が想定される機器は多数存在するが、高経年化技術評価では評価対象となる機器の中から代表機器を選定して評価を行う。評価対象機器、代表機器は以下の条件に該当する機器を抽出する。

① 低サイクル疲労に係る評価対象設備

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

② 対象設備のグループ化及び代表機器の選定

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

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

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

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

3.2 評価手法

(1) 低サイクル疲労評価のフロー

低サイクル疲労の技術評価のフローを図1に示す。

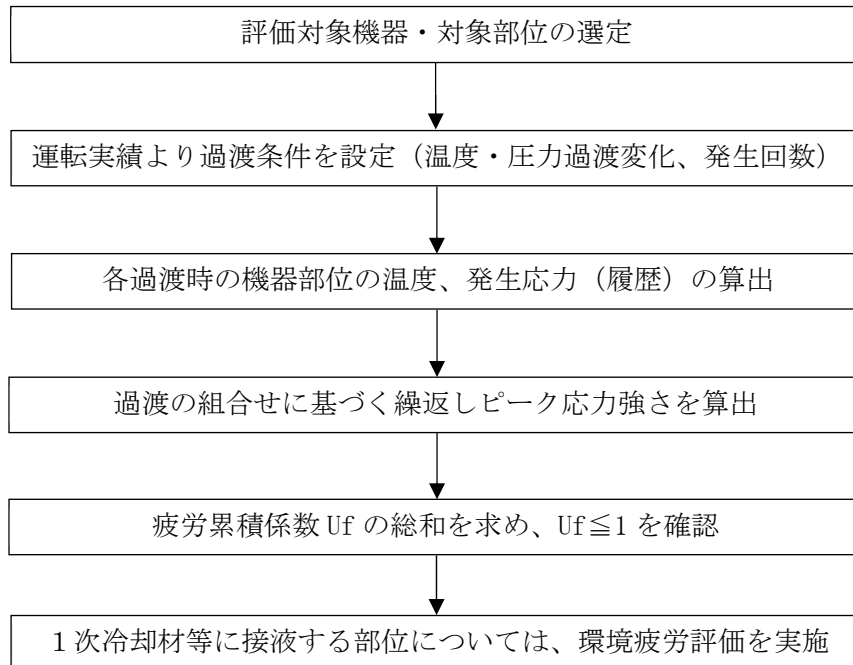


図1 低サイクル疲労の技術評価フロー

(2) 適用規格

低サイクル疲労の評価に用いた規格および評価手法を以下に示す。

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

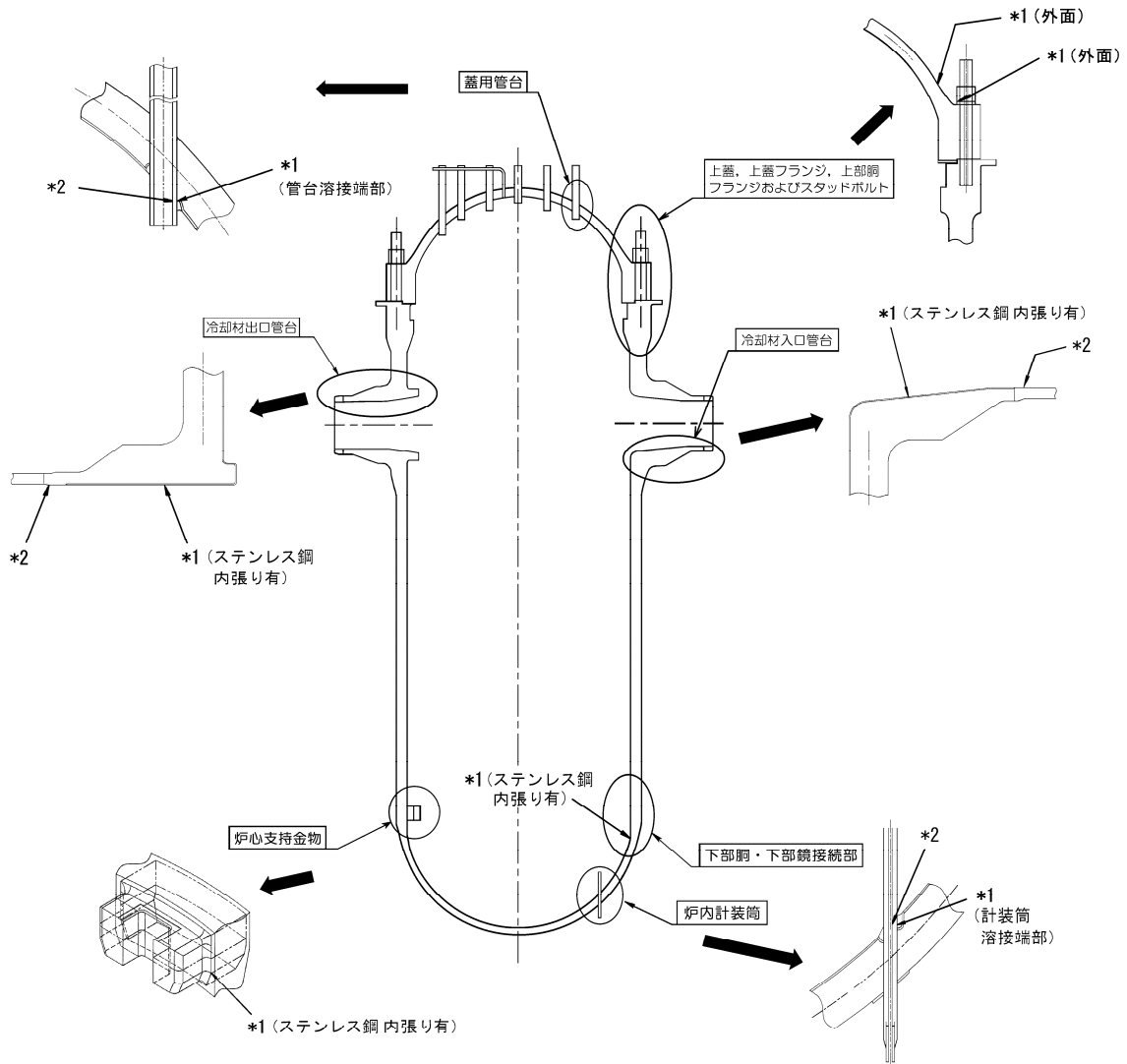
4. 代表機器の技術評価

4.1 健全性評価

(1) 原子炉容器

(a) 評価対象部位の選定

原子炉容器の評価対象部位を図2に、選定理由を表2に示す。



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

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

図2 原子炉容器の疲労評価対象部位

表2 対象部位の選定理由

	対象機器・部位	選定理由
原子 炉 容 器	冷却材入口管台	建設時工認評価部位
	冷却材出口管台	建設時工認評価部位
	蓋用管台	原子炉容器上部蓋取替工事工認評価部位
	炉内計装筒	構造、材料不連続部
	上蓋、上蓋フランジおよび上部胴フランジ	建設時工認評価部位
	下部胴・下部鏡接続部	建設時工認評価部位
	炉心支持金物	構造、材料不連続部
	スタッドボルト	建設時工認評価部位

(b) 過渡条件の設定

各過渡条件の繰返し回数は「実施基準」に基づき、運転実績に基づく2019年11月末までの過渡回数を用い、運転開始後60年時点の過渡回数を推定する。

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

具体的には以下に示す計算方法に基づき未取替機器（上蓋、蓋用管台以外）、取替機器（上蓋、蓋用管台）、スタッドボルトの3種の過渡回数を設定する。

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

① 未取替機器

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

② 取替機器（上部蓋、蓋用管台）

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

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に示す。

表3 過渡回数策定方針特記事項

項目		内容
1	定常負荷運転時の変動	有意な変動は生じていないことから、カウントしない。
2	未経験過渡回数	電力共通研究「応力解析手法の高度化」のデータを使用する。
3	5%/min 負荷上昇、減少の平均過渡回数	稼働率向上を考慮すると、ステムフリー試験回数が増加するため、負荷上昇、減少の平均回数は <input type="text"/> とする。
4	起動・停止 (温度上昇・下降 55.6°C/h)	起動・停止回数が異なる場合は、保守側に回数が多いほうに設定した。 なお、過渡変化率は、評価上最も厳しい設計過渡条件としており、十分保守的な値を設定した。
5	燃料交換	計算上は 0.8 回/年であるが、 <input type="text"/> とする。
6	タービン回転試験	プラント建設時の機能試験に係る過渡のため、今後は発生しない。
7	取替機器の実績過渡	原子炉容器スタッドボルトは第 10 回定検 (1987～1988 年度) の取替後、2019 年 11 月末までの実績過渡で評価。 原子炉容器上部蓋は第 16 回定検 (1995～1996 年度) の取替後、2019 年 11 月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	長期停止期間に発生した過渡の扱い	実績過渡回数に含めるが、年平均過渡回数の算定には含めない。
11	推定過渡回数の算出に用いる残年数	評価上、実績過渡回数調査時点 (2019 年 11 月末) から運転開始後 60 年時点までの期間を残年数とする。ただし、2011 年 1 月から 2023 年 6 月末までを冷温停止状態と想定し、その期間は残年数から差し引く。
12	評価用過渡回数の余裕	評価用過渡回数は、年平均過渡回数に残年数を掛けた値に十分な余裕 (1 を超える値) を考慮し設定する。高浜 1 号炉については、1.5 とする。

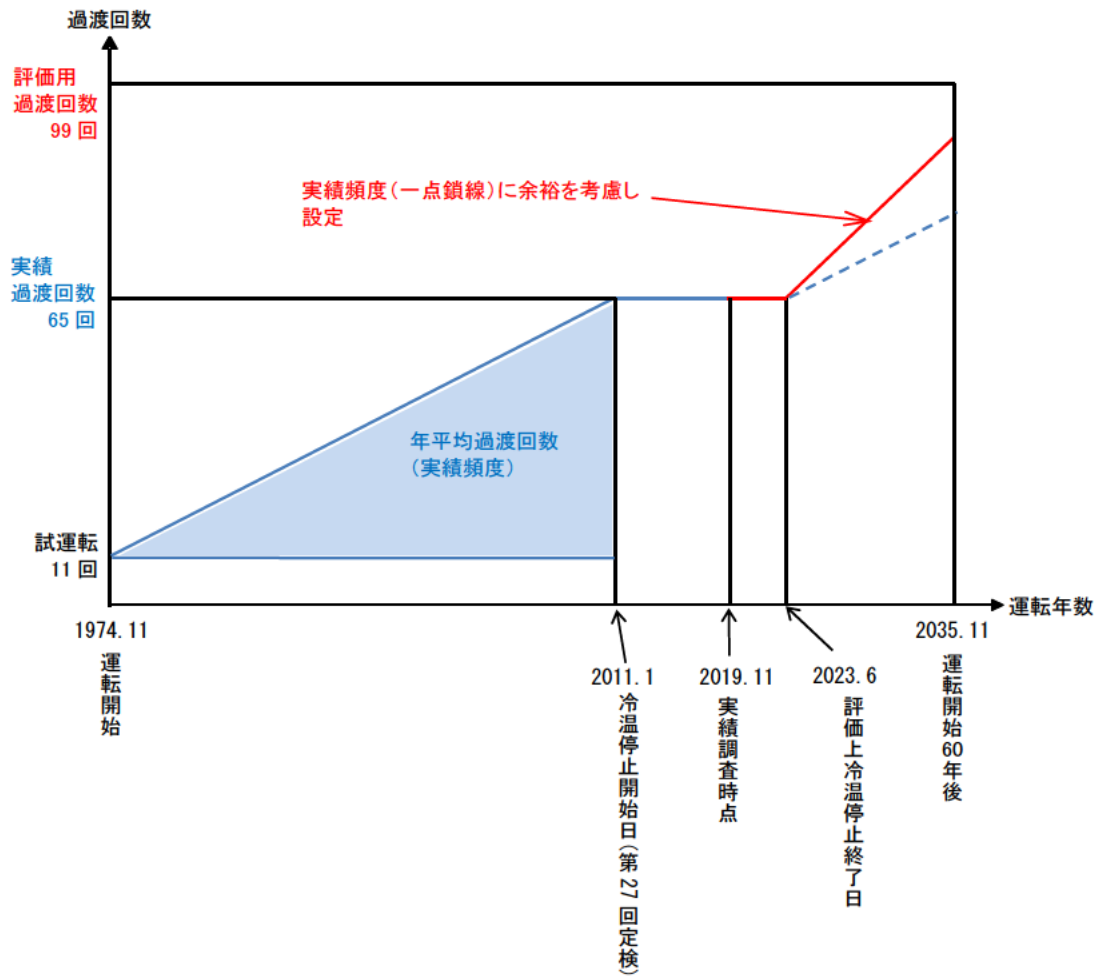


図3 評価用過渡回数の略式図(「停止」の例)

	営業運転開始時点 1974. 11. 14	(実績調査時点) 2019. 11. 30	(冷温停止 終了日) 2023. 6. 30	運転開始後 60年時点 2035. 11. 13
実際の 運転状況	通常の 断続運転		第27回 定検	通常の 断続運転
評価上の 取扱い	①		② ③	④
<p>① 通常の断続運転状態の期間であるため、この期間に発生した過渡の回数を実績値としてカウントするとともに、年平均過渡回数の算出に考慮している。</p> <p>② 長期停止期間であり通常と異なる特有の期間であるため、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、冷温停止状態が継続している期間として取り扱い、過渡の発生回数は0回とする。</p> <p>④ 評価上、通常の断続運転状態が継続している期間として取り扱い、①の期間における年平均過渡回数に余裕を考慮した頻度で過渡が発生するものと想定する。</p>				

図4 実績過渡回数および年平均過渡回数の算出における評価上の取り扱い

表 4(1/3) 未取替機器（上部蓋、蓋用管台およびスタッドボルトを除く）の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年11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、9	64	99
停止（温度下降率55.6℃/h）	4、9	65	99
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3、9	396	710
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3、9	374	687
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2、9	4	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	2、9	5	6
100%からの大きいステップ状負荷減少	2、9	3	4
定常負荷運転時の変動*1	1	-	-
燃料交換	5、9	28	55
0%から15%への負荷上昇	9	72	112
15%から0%への負荷減少	9	52	86
1 ループ停止 / 1 ループ起動			
I) 停止	2	0	1
II) 起動	2	0	1

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11月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3
負荷の喪失	2、9	3	4
外部電源喪失	9	2	5
1次冷却材流量の部分喪失	-	1	4
100%からの原子炉トリップ			
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	9	9	12
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	0	1
1次冷却系の異常な減圧	2	0	1
制御棒クラスタの落下	9	3	6
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	1
タービン回転試験	6、9	10	10
1次系漏えい試験	9	66	105

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

*2：過渡回数特記事項10、11、12は記載省略。

*3：評価条件として、2011年1月から2023年6月末までの冷温停止状態を想定した。

表 4(2/3) 取替機器（上部蓋および蓋用管台）の疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年11月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3*4
起動（温度上昇率55.6℃/h）	4、9	14	48
停止（温度下降率55.6℃/h）	4、9	14	48
負荷上昇（負荷上昇率5%/min）	3	152	466
負荷減少（負荷減少率5%/min）	3	151	464
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	0	1
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	0	1
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	0	1
定常負荷運転時の変動*1	1	-	-
燃料交換	5	11	38
0%から15%への負荷上昇	-	14	54
15%から0%への負荷減少	-	13	47
1 ループ停止 / 1 ループ起動			
I) 停止	2	0	1
II) 起動	2	0	1

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11月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3*4
負荷の喪失	2	0	1
外部電源喪失	-	0	3
1次冷却材流量の部分喪失	-	0	3
100%からの原子炉トリップ			
I) 不注意な冷却を伴わないトリップ	-	1	4
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	0	1
1次冷却系の異常な減圧	2	0	1
制御棒クラスタの落下	-	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	1
タービン回転試験	6	0	0
1次系漏えい試験	-	14	53

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

*2：過渡回数特記事項7、8、10、11、12は記載省略。

*3：評価条件として、2011年1月から2023年6月末までの冷温停止状態を想定した。

*4：運転開始後22年時点での上蓋取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、上蓋取替からプラント運転開始後60年時点までの年数である38年間の過渡回数とした。

表 4(3/3) スタッドボルトの疲労評価に用いた過渡回数

運転状態 I

過渡項目	過渡回数 特記事項*2	運転実績に基づく過渡回数	
		2019年11月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3*4
起動 (温度上昇率55.6℃/h)	4、9	24	59
停止 (温度下降率55.6℃/h)	4、9	24	59
負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)	3	224	538
負荷減少 (負荷減少率5%/min)	3	222	535
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	0	1
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	0	1
100%からの大きいステップ状負荷減少	2	0	1
定常負荷運転時の変動*1	1	-	-
燃料交換	5	18	45
0%から15%への負荷上昇	-	23	63
15%から0%への負荷減少	-	21	55
1 ループ停止 / 1 ループ起動			
I) 停止	2	0	1
II) 起動	2	0	1

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11月末時点	運転開始後60年 時点の推定値*3*4
負荷の喪失	2	0	1
外部電源喪失	-	0	3
1次冷却材流量の部分喪失	-	0	3
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	5
II) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	1
III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	0	1
1次冷却系の異常な減圧	2	0	1
制御棒クラスタの落下	-	0	3
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	1
1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	1
タービン回転試験	6	0	0
1次系漏えい試験	-	25	64

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

*2：過渡回数特記事項8、10、11、12は記載省略。

*3：評価条件として、2011年1月から2023年6月末までの冷温停止状態を想定した。

*4：運転開始後13年時点でのスタッドボルト取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、スタッドボルト取替からプラント運転開始後60年時点までの年数である47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。

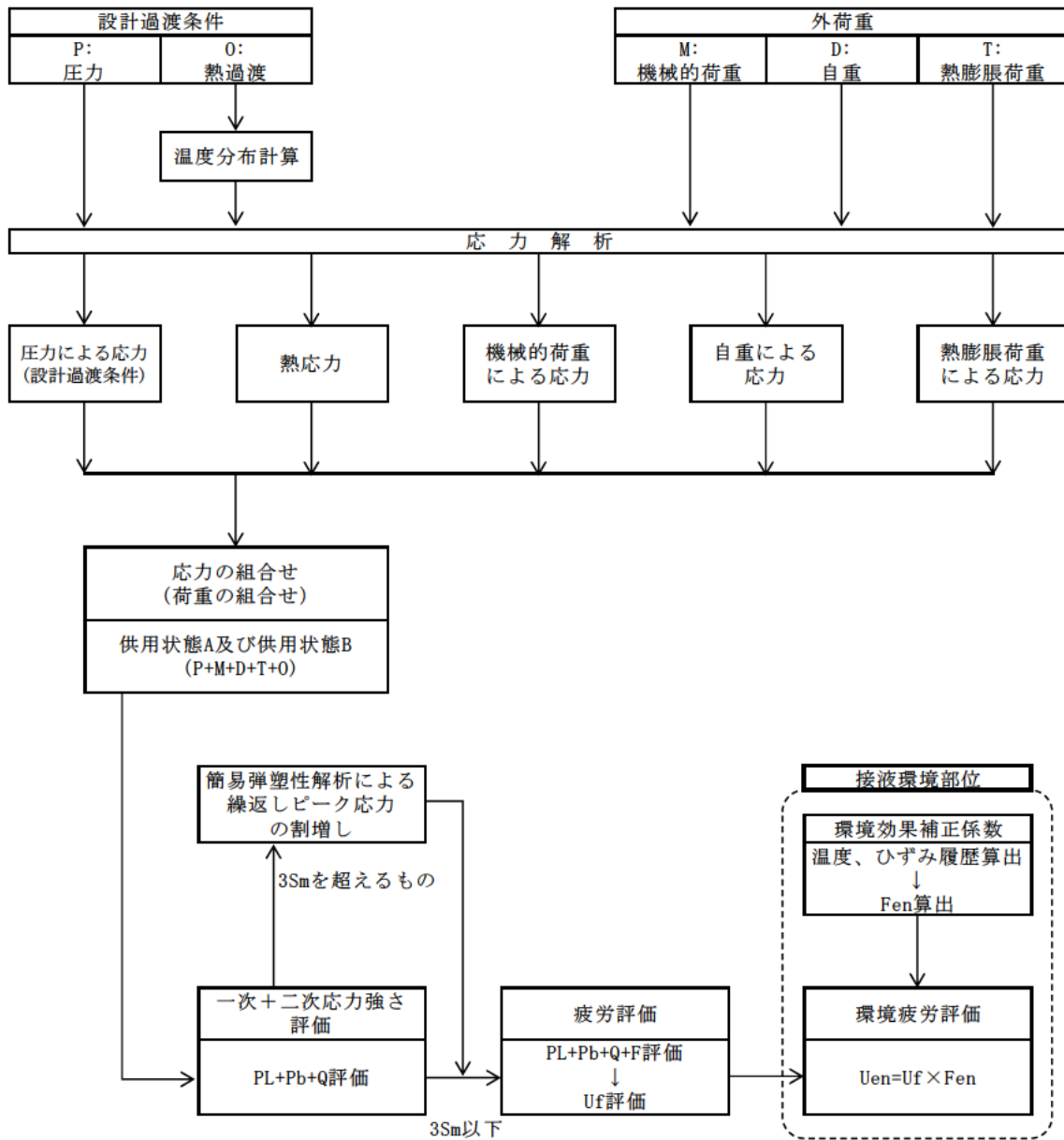


図 5(1/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルトを除く部位)

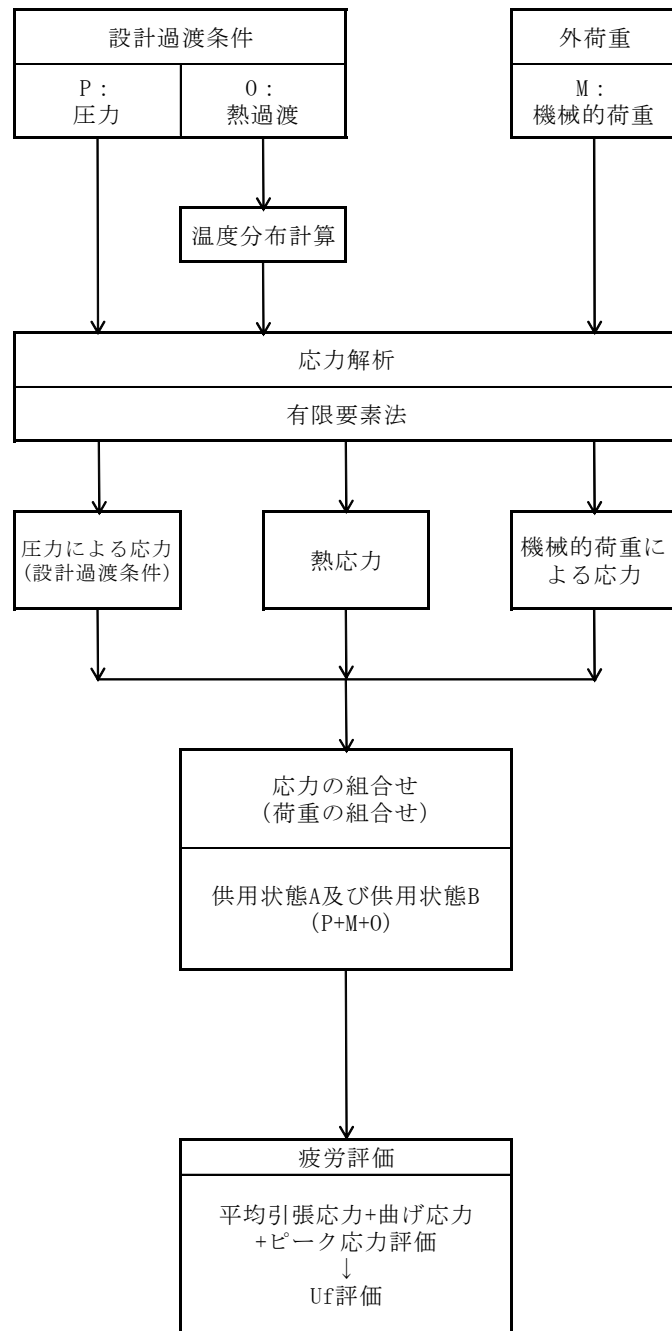


図 5(2/2) 疲労評価の解析フロー (スタッドボルト)

(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	0.054	0.001 ^{*4}
冷却材出口管台	0.065	0.001 ^{*4}
蓋用管台 ^{*1}	0.129	0.002 ^{*4}
炉内計装筒	0.188	0.013 ^{*4}
上蓋、上蓋フランジ ^{*1} および 上部胴フランジ	0.013	— ^{*5}
下部胴・下部鏡接続部	0.005	— ^{*5}
炉心支持金物	0.009	0.000 ^{*3*4}
スタッドボルト ^{*2}	0.334	— ^{*5}

*1：第16回定期検査時（1995年度～1996年度）に原子炉容器上蓋を取替えているため、38年間の過渡回数を基に算出した。

*2：第10回定期検査時（1987年度～1988年度）にスタッドボルトを取替えているため、47年間の過渡回数を基に算出した。

*3：発生応力は疲労限以下である。

*4：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。

*5：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）および「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格」に従った検査プログラム、試験方法および試験範囲で供用期間中検査として超音波探傷検査、浸透探傷検査、目視確認（VT-1、VT-2、VT-3）を実施し、健全性を確認している。

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

なお、運転期間延長認可申請に際して実施した特別点検において、原子炉容器出入口管台に対して渦流探傷検査を実施した結果、有意な欠陥は認められなかった。

また、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。

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

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

4.4 高経年化への対応

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

表 6 原子炉容器の供用期間中検査の内容

部位	検査部位	検査内容	検査範囲/頻度	至近の検査実績	検査結果
冷却材入口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査	100%/7年	①第27回定期検査 ②第25回定期検査	良
冷却材出口管台	内面コーナー、セーフエンドとの溶接部、胴との溶接部	①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査	100%/7年	①第27回定期検査 ②第27回定期検査	良
蓋用管台	制御棒駆動装置ハウジングとの溶接部	浸透探傷検査	25%/7年	第27回定期検査	良
炉内計装筒	下部鏡の貫通部	ベアメタル検査*	100%/3.5年	第26回定期検査	良
上蓋、上蓋フランジおよび上部胴フランジ	溶接部	超音波探傷検査	100%/7年	第27回定期検査	良
下部胴・下部鏡接続部	溶接部	超音波探傷検査	100%/7年	第27回定期検査	良
炉心支持金物	胴との溶接部	目視確認(VT-3)	100%/7年	第27回定期検査	良
スタッドボルト	ボルト本体	超音波探傷検査	100%/7年	第27回定期検査	良
	ナット	目視確認(VT-1)	100%/7年	第27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。

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	0.075	0.082
	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	0.022	0.337
		ケーシング脚部	0.235	0.130*1
熱交換器	再生クーラ	管板部	0.174	0.222
	余熱除去クーラ	管板部	0.049	0.069
	蒸気発生器	管板廻り	0.123	0.099*1
		給水入口管台	0.073	0.235*2
容器	加圧器	スプレライン用管台	0.190	0.019*2
		サージ用管台	0.021	0.051*1
	機械ペネトレーション	余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン貫通部端板	0.427	—*3
		主蒸気管貫通部伸縮継手	0.008	—*3
		主給水管貫通部伸縮継手	0.026	—*3
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管「1次冷却材管高温側出口管台～余熱除去系第2入口弁」	0.001	0.020

*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	余熱除去系統入口配管 「余熱除去系第2入口弁～ 原子炉格納容器貫通部」	0.010	0.063
		加圧器サージ配管	0.012	0.002*2
		加圧器スプレ配管	0.026	0.404*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」	0.009	0.040
	1次冷却材管	ホットレグ	0.001	0.001
		クロスオーバーレグ	0.002	0.011
		コールドレグ	0.001	0.005
		加圧器サージライン用管台	0.179	0.465
		安全注入系ライン用管台	0.006	0.019
		化学体積制御系ライン用 管台	0.004	0.033
弁	仕切弁	ループ余熱除去系第1入口 弁弁箱	0.004	0.114
	玉形弁	抽出水しゃ断弁弁箱	0.027	0.403
	スイング逆止弁	アキュムレータ第2逆止弁 弁箱	0.008	0.084
	リフト逆止弁	加圧器補助スプレライン逆 止弁弁箱	0.007	0.030
炉内 構造 物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	0.016	0.181
		上部炉心支持柱	0.003	0.030
		下部炉心支持板	0.002	0.017
		下部炉心支持柱	0.001	0.001
重 機 器 サ ポ ー ト	加圧器	加圧器スカート溶接部	0.216	—*3

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

*3：非接液部。

5.2 現状保全

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

5.3 総合評価

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

また、疲労割れは現状保全で有意な異常のないことを確認している。

5.4 高経年化への対応

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

表 8(1/3) 代表機器以外の現状保全

評価対象機器、部位			現状保全内容	検査範囲/頻度	至近の検査実績	検査結果
ポンプ	余熱除去ポンプ	ケーシング	ケーシング内面全体の目視確認	1回/6定検	第27回定期検査	良
	1次冷却材ポンプ	ケーシング	①ケーシング内面の目視確認(VT-3) ②漏えい検査(VT-2)	①100%/7年(1台) ②毎定検	①第27回定期検査 ②第27回定期検査	良
熱交換器	再生クーラ	管板	漏えい検査(VT-2)	100%/10年	第24回定期検査	良
	余熱除去クーラ	管板	目視確認	1回/10定検	第27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漏えい検査(VT-2)	①25%/7年 ②毎定検	①第25回定期検査 ②第27回定期検査	良
		給水入口管台	漏えい検査(VT-2)	100%/10年	第27回定期検査	
容器	加圧器	スプレライン用管台	①溶接部の超音波探傷検査 ②溶接部の浸透探傷検査 ③漏えい検査(VT-2)	①25%/7年 ②25%/7年 ③毎定検	①第27回定期検査 ②第27回定期検査 ③第27回定期検査	良
		サージ用管台			①第22回定期検査 ②第21回定期検査 ③第27回定期検査	
	機械ペネトレーション	余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン貫通部端板	①目視確認 ②原子炉格納容器漏えい率試験	①②毎定検	①第27回定期検査 ②第27回定期検査	良
		主蒸気管貫通部伸縮継手				
		主給水管貫通部伸縮継手				

表 8(2/3) 代表機器以外の現状保全

評価対象機器、部位		現状保全内容	検査範囲／頻度	至近の検査実績	検査結果	
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側出口管台～ 余熱除去系第2入口弁」	①溶接部の超音波探傷検査 ②溶接部の浸透探傷検査 ③漏えい検査(VT-2)	①25%/7年 ②25%/7年 ③毎定検	①第27回定期検査 ②第27回定期検査 ③第27回定期検査	良
		余熱除去系統入口配管 「余熱除去系第2入口弁～ 原子炉格納容器貫通部」	①溶接部の浸透探傷検査 ②漏えい検査(VT-2)	①7.5%/7年 ②100%/7年	①第24回定期検査 ②第27回定期検査	良
		加圧器サージ配管	①溶接部の超音波探傷検査 ②漏えい検査(VT-2)	①25%/7年 ②毎定検	①第25回定期検査 ②第27回定期検査	良
		加圧器スプレ配管			①第27回定期検査 ②第27回定期検査	良
	炭素鋼配管	主給水系統配管 「原子炉格納容器貫通部～蒸気発 生器給水管台」	漏えい検査(VT-2)	100%/10年	第27回定期検査	良
	1次冷却材管	ホットレグ、クロスオーバーレグ、 コールドレグ、加圧器サージライン 用管台、安全注入系ライン用管 台、化学体積制御系ライン用管台	①超音波探傷検査 ②浸透探傷検査 ③漏えい検査(VT-2)	①25%/7年 ②25%/7年 ③毎定検	①第27回定期検査 ②第27回定期検査 ③第27回定期検査	良
弁	仕切弁	ループ余熱除去系第1入口弁弁箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/10定検 ②毎定検	①第22回定期検査 ②第27回定期検査	良
	玉形弁	抽出水しゃ断弁弁箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/4定検 ②毎定検	①第27回定期検査 ②第24回定期検査	良
	スイング逆止弁	アキュムレータ第2逆止弁弁箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/10定検 ②毎定検	①第24回定期検査 ②第27回定期検査	良
	リフト逆止弁	加圧器補助スプレライン逆止弁弁 箱	①目視確認 ②漏えい確認	①1回/20定検 ②毎定検	①第21回定期検査 ②第27回定期検査	良

表 8(3/3) 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	
炉内構造物	上部炉心支持板 上部炉心支持柱	水中テレビカメラによる目視確認(VT-3)	100%/7年	第26回定期検査	良	
	下部炉心支持板			第27回定期検査	良	
重機器サポ ート	加圧器	加圧器スカート溶接部	溶接部の浸透探傷検査	7.5%/7年	第26回定期検査	良

6. まとめ

6.1 審査ガイド等に対する確認結果

「2. 基本方針」で示す審査ガイド等記載事項に対して、高経年化に関する技術評価を適切に実施し、長期施設管理方針を適切に策定していることを確認した。低サイクル疲労についての審査ガイド等記載事項との対比を表9に示す。

表9 低サイクル疲労についての審査ガイド等記載事項との対比

ガイド	記載事項	技術評価結果
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド</p>	<p>3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点</p> <p>(1) 高経年化技術評価の審査</p> <p>⑫健全性の評価 実施ガイド3. 1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の発生又は進展に係る健全性を評価していることを審査する。</p> <p>⑬現状保全の評価 健全性評価結果から現状の保全策の妥当性が評価されていることを審査する。</p> <p>⑭追加保全策の抽出 現状保全の評価結果から、現状保全に追加する必要がある新たな保全策が抽出されていることを審査する。</p> <p>(2) 長期施設管理方針の審査</p> <p>①長期施設管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。</p>	<p>4.1および5.1の「健全性評価」に示すとおり、運転開始後60年時点の推定過渡回数を用いて健全性評価を実施した。</p> <p>4.2、4.3、5.2および5.3の「現状保全」および「総合評価」に示すとおり、現状の保全策が妥当であることを確認した。</p> <p>4.4および5.4の「高経年化への対応」に示すとおり、実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認することを長期施設管理方針として策定した。</p> <p>6.2の「長期施設管理方針として策定する事項」に策定した長期施設管理方針を示す。</p>
<p>実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド</p>	<p>3.1 高経年化技術評価の実施および見直し 高経年化技術評価の実施および見直しに当たっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>⑤抽出された高経年化対策上着目すべき経年劣化事象について、以下に規定する期間の満了日までの期間について機器・構造物の健全性評価を行うとともに、必要に応じ現状の施設管理に追加すべき保全策（以下「追加保全策」という。）を抽出すること。</p> <p>ロ 実用炉規則第82条第2項又は第3項の規定に基づく高経年化技術評価プラントの運転を開始した日から40年間に同条第2項又は第3項に規定する延長する期間を加えた期間</p> <p>3.2 長期施設管理方針の策定及び変更 長期施設管理方針の策定及び変更にあたっては、以下の要求事項を満たすこと。</p> <p>①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、施設管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期施設管理方針を策定すること。</p> <p>なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期施設管理方針を策定すること。</p>	<p>4.4および5.4の「高経年化への対応」に示すとおり、疲労評価における実績過渡回数の確認を継続的に実施し、運転開始後60年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認することを長期施設管理方針として策定した。</p> <p>6.2の「長期施設管理方針として策定する事項」に策定した長期施設管理方針を示す。</p>

6.2 長期施設管理方針として策定する事項

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

表 10 高浜発電所 1 号炉 長期施設管理方針（抜粋）

機器名	長期施設管理方針	実施時期
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 11 月 14 日からの 5 年間、中長期：2024 年 11 月 14 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 年時点の推定過渡回数（評価用過渡回数）\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 年時点の推定過渡回数（評価用過渡回数）\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 年時点の推定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。微小過渡の一覧および分類内訳を添付－2 に示す。</p> <p>また、高浜 1 号炉で未経験の過渡項目の年平均過渡回数については、電力共通研究の研究結果より添付－3 のとおり設定している。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

○「起動」の運転開始後60年時点の推定過渡回数算出

$$64 \text{ 回}^{\text{注1)}} + 1.2 \text{ 回/年}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 11.4 \text{ 年 (残りの年数)} \approx 85 \text{ 回} < 99 \text{ 回 (評価用)}$$

注1) 試運転：12回

2019年11月末までの実績（試運転除く）：51.080回→52回（うち微小過渡1.080回→2回）

（試運転の過渡回数は下表の①、2019年11月末までの実績（試運転除く）は②参照）

注2) 2019年11月末までの実績（試運転および長期停止期間(2011年1月から2019年11月末)を除く) ÷ 2019年11月末までの年数（長期停止期間(2011年1月から2019年11月末)を除く）

$$42.006 \text{ 回} \div 36.1 \text{ 年} \approx 1.16 \text{ 回/年} \rightarrow 1.2 \text{ 回/年}$$

（試運転時および長期停止期間中の過渡は特有であり、またサイクリング運転および温水洗浄は今後発生しないため、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	2019年11月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状～60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状～60年までの 増加分	評価用過渡回数
1 起動	12	41	64	1.2	21	85	99
サイクリング運転		9	$\left[\begin{array}{l} 12+41+9+1.080 \\ =63.080 \\ \rightarrow 64 \end{array} \right]$	$\left[\begin{array}{l} 41+1.006 \\ =42.006 \\ \frac{42.006}{36.1}=1.16 \\ \rightarrow 1.2 \end{array} \right]$	$\left[\begin{array}{l} 1.2 \times 1.5 \times \\ 11.4 \\ =20.52 \\ \rightarrow 21 \end{array} \right]$	(=64+21)	
微小過渡		1.030 このうち長期停止期間 中の実績 0.024					
温水洗浄		0.05					
(実績+微小過渡)	(12+0)	(50+2)	(62+2 ^{*1})				

*1：総微小過渡回数

○「負荷上昇」の運転開始後 60 年時点の推定過渡回数算出

$$396 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \boxed{}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 11.4 \text{ 年 (残りの年数)} \div 619 \text{ 回} < 710 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転 : 30 回

2019 年 11 月末までの実績 (試運転除く) : 366 回

(試運転の過渡回数は下表の③、2019 年 11 月末までの実績 (試運転除く) は④参照)

注 2) 2019 年 11 月末までの実績 (試運転および長期停止期間(2011 年 1 月から 2019 年 11 月末)を除く) ÷ 2019 年 11 月末までの年数 (長期停止期間(2011 年 1 月から 2019 年 11 月末)を除く)

$$366 \text{ 回} \div 36.1 \text{ 年} \div 10.14 \text{ 回/年} \rightarrow 10.2 \text{ 回/年}$$

(試運転時の過渡は特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない)

上記より 10.2 回/年となるが、稼働率が高くなった場合のステムフリーテスト回数増加を考慮し、 $\boxed{}$ と設定する。

過渡回数説明リスト (2 / 9)

過渡項目	試運転	2019 年 11 月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1 年	現状~60 年までの増加分 (11.4 年)	現状までの回数+ 現状~60 年までの増加分	評価用過渡回数
3 負荷上昇	$\boxed{30}$ ③	$\boxed{366}$ ④	396 (=30+366)	$\boxed{}$ 注 1) $\left(\frac{366}{36.1} \div 10.14 \right)$ $\rightarrow 10.2$	223 $\left(11.4 \times \boxed{} \times 1.5 \right)$ $\rightarrow 223$	619 (=396+223)	710

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

○「負荷の喪失」の運転開始後 60 年時点の推定過渡回数算出

$$3 \text{ 回}^{\text{注1)}} + \boxed{}^{\text{注2)}} \times 1.5 \times 11.4 \text{ 年 (残りの年数)} \div 4 \text{ 回} = 4 \text{ 回 (評価用)}$$

注 1) 試運転 : 3 回

2019 年 11 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 11 月末までの実績 (試運転除く) は⑥参照)

注 2) 高浜 1 号炉では経験はないが、電共研「応力解析手法の高度化」より $\boxed{}$ を用いる。

過渡回数説明リスト (3 / 9)

過渡項目	試運転	2019 年 11 月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1 年	現状~60 年までの増加分 (11.4 年)	現状までの回数+ 現状~60 年までの増加分	評価用過渡回数
31 負荷の喪失	$\boxed{3}$ ⑤	$\boxed{0}$ ⑥	3	$\boxed{}$ 注 1)	1 $\left(11.4 \times \boxed{} \times 1.5 \right)$ $\rightarrow 1$	4 (=3+1)	4

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	2019年11月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状~60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状~60年までの 増加分	評価用過渡回数
2 停止	11	42	65	1.3	23	88	99
サイクリング運転		9	$\left[\begin{array}{l} 11+42+9+2.283 \\ =64.283 \\ \rightarrow 65 \end{array} \right]$	$\left[\begin{array}{l} 42+2.210 \\ =44.210 \\ \frac{44.210}{36.1} \approx 1.22 \\ \rightarrow 1.3 \end{array} \right]$	$\left(\begin{array}{l} 11.4 \times 1.3 \times \\ 1.5 \\ =22.23 \rightarrow 23 \end{array} \right)$	(=65+23)	
微小過渡		2.233 (このうち長期 停止期間中の 実績 0.023)					
温水洗浄		0.05					
(実績+微小過渡)	(11+0)	(51+3)	(62+3*)				

*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	2019年11月末までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状~60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状~60年までの 増加分	評価用過渡回数
4 負荷減少	15	359	374 (=15+359)	$\left[\begin{array}{l} \square \text{注2)} \\ \frac{359}{36.1} \approx 10.0 \end{array} \right]$	$\left(\begin{array}{l} 223 \\ 11.4 \times \square \times \\ 1.5 \\ \square \rightarrow 223 \end{array} \right)$	597 (=374+223)	687
5 90%から 100%へのステップ状 負荷上昇	4	0	4	$\square \text{注1)}$	$\left(\begin{array}{l} 1 \\ 11.4 \times \square \times \\ 1.5 \\ \square + 1 \end{array} \right)$	5 (=4+1)	5
6 100%から 90%へのステップ状 負荷減少	5	0	5	$\square \text{注1)}$	$\left(\begin{array}{l} 1 \\ 11.4 \times \square \times \\ 1.5 \\ \square + 1 \end{array} \right)$	6 (=5+1)	6
7 100%負荷からの大きい ステップ状負荷減少	3	0	3	$\square \text{注1)}$	$\left(\begin{array}{l} 1 \\ 11.4 \times \square \times \\ 1.5 \\ \square + 1 \end{array} \right)$	4 (=3+1)	4
8 定常負荷運転時の変動	-	-	-	-	-	-	-
9 燃料交換	1	27 (このうち長期 停止期間中の 実績 1)	28 (=1+27)	$\left[\begin{array}{l} \square \text{注3)} \\ \frac{26}{36.1} \approx 0.8 \end{array} \right]$	$\left(\begin{array}{l} 18 \\ 11.4 \times \square \times \\ 1.5 \\ \square \rightarrow 18 \end{array} \right)$	46 (=28+18)	55

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

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

注3) 現状平均は、0.8回/年であるが、 \square とする。

過渡回数説明リスト (6 / 9)

過渡項目	試運転	2019年11月未 までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状~60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状~60年までの 増加分	評価用過渡回数
10 0%から15%への負荷上昇	19	53	72 (=19+53)	1.5 $\left(\frac{53}{36.1} \approx 1.5\right)$	26 $\left(\begin{array}{l} 11.4 \times 1.5 \times \\ 1.5 \\ =25.65 \rightarrow 26 \end{array}\right)$	98 (=72+26)	112
11 15%から0%への負荷減少	6	46	52 (=6+46)	1.3 $\left(\frac{46}{36.1} \approx 1.3\right)$	23 $\left(\begin{array}{l} 11.4 \times 1.3 \times \\ 1.5 \\ =22.23 \rightarrow 23 \end{array}\right)$	75 (=52+23)	86
12 I 1 ループ起動/停止 I) 1 ループ停止	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注1)	$\left(\begin{array}{l} 1 \\ 11.4 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 1 \end{array}\right)$	1	1
II) 1 ループ起動	0	0	0	<input type="checkbox"/> 注1)	$\left(\begin{array}{l} 1 \\ 11.4 \times \text{} \times \\ 1.5 \\ \text{} \rightarrow 1 \end{array}\right)$	1	1

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	2019年11月未 までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状~60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状~60年までの 増加分	評価用過渡回数
32 外部電源喪失	1	1	2 (=1+1)	0.1 $\left(\frac{1}{36.1} \approx 0.1\right)$	2 $\left(\begin{array}{l} 11.4 \times 0.1 \times \\ 1.5 \\ =1.71 \rightarrow 2 \end{array}\right)$	4 (=2+2)	5
33 1次冷却材流量の部分喪失	0	1	1	0.1 $\left(\frac{1}{36.1} \approx 0.1\right)$	2 $\left(\begin{array}{l} 11.4 \times 0.1 \times \\ 1.5 \\ =1.71 \rightarrow 2 \end{array}\right)$	3 (=1+2)	4

過渡回数説明リスト (8/9)

過渡項目	試運転	2019年11月未 までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状～60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状～60年まで の増加分	評価用過渡回数
34 100%からの原子炉トリップ Ⅰ)不注意な冷却を伴わない トリップ	6	3	9 (=6+3)	0.1 $\left[\frac{3}{36.1} \approx 0.1 \right]$	2 $\left[\frac{11.4 \times 0.1 \times 1.5}{1.5} \right]$ =1.71→2	11 (=9+2)	12
Ⅱ)不注意な冷却を伴う トリップ	0	0	0	注1)	$\left[\frac{11.4 \times \square \times 1.5}{1.5} \right]$ +1	1	1
Ⅲ)不注意な冷却と安全注入 を伴うトリップ	0	0	0	注1)	$\left[\frac{11.4 \times \square \times 1.5}{1.5} \right]$ +1	1	1
35 1次冷却系の異常な減圧	0	0	0	注1)	$\left[\frac{11.4 \times \square \times 1.5}{1.5} \right]$ +1	1	1
36 制御棒クラスタの落下	1	2	3 (=1+2)	0.1 $\left[\frac{2}{36.1} \approx 0.1 \right]$	2 $\left[\frac{11.4 \times 0.1 \times 1.5}{1.5} \right]$ =1.71→2	5 (=3+2)	6
37 出力運転中の非常用炉心冷却 系の誤起動	0	0	0	注1)	$\left[\frac{11.4 \times \square \times 1.5}{1.5} \right]$ +1	1	1
38 1次冷却系停止ループの誤起動	0	0	0	注1)	$\left[\frac{11.4 \times \square \times 1.5}{1.5} \right]$ +1	1	1

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	2019年11月未 までの実績 (試運転除く)	現状までの回数	年平均過渡回数 回数 36.1年	現状～60年 までの増加分 (11.4年)	現状までの回数+ 現状～60年まで の増加分	評価用過渡回数
39 1次系漏えい試験	13	51 $\left[\begin{array}{l} \text{このうち長期} \\ \text{停止期間中の} \\ \text{実績} \\ 1 \end{array} \right]$	66 $\left[\begin{array}{l} 13+51 \\ +1.133 \\ =65.133 \rightarrow 66 \end{array} \right]$	1.5 $\left[\begin{array}{l} 50+1.133 \\ =51.133 \\ \frac{51.133}{36.1} \approx 1.5 \end{array} \right]$	26 $\left[\frac{11.4 \times 1.5 \times 1.5}{1.5} \right]$ =25.65→26	92 (=66+26)	105
微小過渡 (実績+微小過渡)	(13+0)	1.133 (51+2)	(64+2 ^{*1})				
40 タービン回転試験	10	0	10	0	—	10	10

*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	8.3	49.7	-		45(11)	0.023(0.091)
2	4.2	45.9	-		45(11)	0.023(0.091)
3	4.2	50.1	-		45(11)	0.023(0.091)
4	3.8	49.6	-		45(11)	0.023(0.091)
5	12.5	100	-		6(3)	0.167(0.334)
6	1.9	16.3	-		559(53)	0.002(0.019)
7	-	-	2.06		209(29)	0.005(0.035)
8	14.3	43.0	-		20(6)	0.050(0.167)
9	-	-	2.26		137(22)	0.008(0.046)
10	23.1	49.1	-		6(3)	0.167(0.334)
11	-	-	2.26		137(22)	0.008(0.046)
12	-	-	2.25		137(22)	0.008(0.046)
13	-	-	2.20		209(29)	0.005(0.035)
14	-	-	2.20		209(29)	0.005(0.035)
15	-	-	2.24		137(22)	0.008(0.046)
16	-	-	2.25		137(22)	0.008(0.046)
17	18.0	36.7	-		20(6)	0.050(0.167)
18	-	-	2.75		83(16)	0.012(0.063)
19	-	-	2.75		83(16)	0.012(0.063)
20	-	-	2.26		137(22)	0.008(0.046)
21	-	-	2.55		137(22)	0.008(0.046)
22	-	-	1.93		209(29)	0.005(0.035)
23	-	-	2.48		137(22)	0.008(0.046)
24	-	-	2.04		209(29)	0.005(0.035)

※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	13.3	159.1	12.7		1 (1)	1 (1)
2	9.6	47.8	-		45 (11)	0.023 (0.091)
3	12.1	48.3	-		45 (11)	0.023 (0.091)
4	12.3	49.1	-		45 (11)	0.023 (0.091)
5	-	128.1	-		6 (3)	0.167 (0.334)
6	14.2	85	-		6 (3)	0.167 (0.334)
7	8.1	13.1	-		137 (22)	0.008 (0.046)
8	1.0	15.9	-		559 (53)	0.002 (0.019)
9	-	-	2.45		137 (22)	0.008 (0.046)
10	8.7	27.0	-		137 (22)	0.008 (0.046)
11	-	-	2.26		137 (22)	0.008 (0.046)
12	23.8	23.8	-		6 (3)	0.167 (0.334)
13	14.6	21.6	-		20 (6)	0.050 (0.167)
14	-	-	2.35		137 (22)	0.008 (0.046)
15	-	-	2.35		137 (22)	0.008 (0.046)
16	9.6	14.8			83 (16)	0.012 (0.063)
17	-	-	2.30		137 (22)	0.008 (0.046)
18	-	-	2.45		137 (22)	0.008 (0.046)
19	8.4	12.6	-		137 (22)	0.008 (0.046)
20	-	-	2.40		137 (22)	0.008 (0.046)
21	-	-	2.45		137 (22)	0.008 (0.046)
22	6.0	18.1	-		418 (44)	0.003 (0.023)
23	-	-	2.25		137 (22)	0.008 (0.046)
24	0.9	13.3	-		559 (53)	0.002 (0.019)
25	3.0	16.5	-		559 (53)	0.002 (0.019)
26	-	-	2.25		137 (22)	0.008 (0.046)
27	17.3	39.2	-		20 (6)	0.050 (0.167)
28	-	-	2.25		137 (22)	0.008 (0.046)
29	5.4	13.4	-		559 (53)	0.002 (0.019)
30	-	-	2.75		83 (16)	0.012 (0.063)
31	-	-	2.29		137 (22)	0.008 (0.046)
32	-	-	2.08		209 (29)	0.005 (0.035)
33	-	-	2.13		209 (29)	0.005 (0.035)
34	-	-	2.23		137 (22)	0.008 (0.046)
35	-	-	2.00		209 (29)	0.005 (0.035)
36	4.4	14.6	-		559 (53)	0.002 (0.019)

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表3 微小過渡 (漏えい試験の微小過渡)

	$\Delta T / \Delta t$ (°C/H)	ΔT (°C)	ΔP (MPa)		α ※1	等価回数 ($1/\alpha$) ※1
1	-	-	4.42		6(3)	0.167(0.334)
2	-	-	4.12		6(3)	0.167(0.334)
3	-	-	4.12		6(3)	0.167(0.334)
4	-	-	6.08		6(3)	0.167(0.334)
5	17.4	68.7	-		6(3)	0.167(0.334)
6	-	-	4.31		20(6)	0.050(0.167)
7	-	-	4.22		45(11)	0.023(0.091)
8	-	-	4.20		45(11)	0.023(0.091)
9	-	-	4.17		45(11)	0.023(0.091)
10	-	-	4.13		45(11)	0.023(0.091)
11	-	-	4.13		45(11)	0.023(0.091)
12	-	-	4.17		45(11)	0.023(0.091)
13	-	-	4.17		45(11)	0.023(0.091)
14	14.6	49.4	-		20(6)	0.050(0.167)
15	-	-	4.27		45(11)	0.023(0.091)
16	-	-	4.24		45(11)	0.023(0.091)

※1 : () 内はスタッドボルトに適用する

表 4 微小過渡の内訳 (非取替機器)

過渡項目	試運転	実績
起動 微小過渡	-	1.080 内訳 1/45×4 (表 1 No. 1, 2, 3, 4) 1/6×2 (表 1 No. 5, 10) 1/559×1 (表 1 No. 6) 1/209×3 (表 1 No. 7, 13, 14) 1/20×2 (表 1 No. 8, 17) 1/137×6 (表 1 No. 9, 11, 12, 15, 16, 20) 1/83×2 (表 1 No. 18, 19) 1/137×2 (表 1 No. 21, 23) ※ ¹ 1/209×2 (表 1 No. 22, 24) ※ ¹
停止 微小過渡	-	2.283 内訳 1×1 (表 2 No. 1) 1/45×3 (表 2 No. 2, 3, 4) 1/6×3 (表 2 No. 5, 6, 12) 1/137×15 (表 2 No. 7, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 26, 28, 31) 1/559×4 (表 2 No. 8, 24, 25, 29) 1/20×2 (表 2 No. 13, 27) 1/83×2 (表 2 No. 16, 30) 1/418×1 (表 2 No. 22) 1/209×3 (表 2 No. 32, 33, 35) ※ ¹ 1/137×1 (表 2 No. 34) ※ ¹ 1/559×1 (表 2 No. 36) ※ ¹
漏えい試験 微小過渡	-	1.133 内訳 1/6×5 (表 3 No. 1, 2, 3, 4, 5) 1/20×2 (表 3 No. 6, 14) 1/45×9 (表 3 No. 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16)

※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

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

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

(1) 他プラントで経験のある過渡項目

過渡項目	年平均過渡回数 (実績回数/炉・年)
100%から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	
原子炉トリップ (不注意な冷却とSIを伴うトリップ)	

(2) 他プラントでも未経験の過渡項目

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

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

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

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

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

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

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

$x=0$ $p(x)=[]$ $T=[]$ を代入する。

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

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

したがって、未経験過渡の年平均過渡回数は [] 回となる。

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

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

●運転経験

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

●最新知見

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

以上

タイトル	原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p>原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="435 555 1329 1713"><tr><td data-bbox="435 555 659 600">解析プログラム</td><td data-bbox="659 555 1329 600">ABAQUS Ver. 6.3</td></tr><tr><td data-bbox="435 600 659 797">要素種類</td><td data-bbox="659 600 1329 1713" rowspan="4"></td></tr><tr><td data-bbox="435 797 659 842">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="435 842 659 1279">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="435 1279 659 1713">節点数</td></tr></table>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3							
要素種類								
要素次数								
要素数								
節点数								

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

(単位：MPa)

使用箇所	材料	温 度	
		288.6℃	322.8℃
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	SA182 Gr. F 316 (SUSF316 相当)	120.3	117.1
冷却材入口管台、冷却材出口管 台、上部胴、上部胴フランジ	SA508 Class 2 (SFVQ2A 相当)	184	184
炉内計装筒セーフエンド	SA182 Gr. F 304 (SUSF304 相当)	116.3	113.1
下部胴、下部鏡	SA533 Gr. B Class 1 (SQV2A 相当)	184	184
炉内計装筒、炉心支持金物	SB-166 (NCF600 相当)	164	164
上部蓋フランジ	SFVQ1A	184	184
上部蓋	SQV2A	184	184
スタッドボルト	SA540 Gr. B23 Class3 (SNB23-3 相当)	253.2	245.5
蓋用管台	GNCF690H	137	137

3. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。

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

4. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付-1に示す。

5. 割り増し係数 K_e

評価に用いた割り増し係数を添付-1に示す。

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

6. 環境評価パラメータ

JSME S NF1-2009 による詳細評価手法を適用している。

【冷却材入口管台、冷却材出口管台、炉内計装筒】

PWR プラント環境

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

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

【蓋用管台、炉内計装筒、炉心支持金物】

PWR プラント環境

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

[記号の説明]

ε^* : ひずみ速度依存パラメータ

T^* : 温度依存パラメータ

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



冷却材入口管台形状寸法、評価点および解析モデル

冷却材入口管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00000	0.00000
2	0.0	0.0	0.00000
3	0.00000	0.0	0.0
4	0.00000	0.0	0.00009
5	0.00289	0.0	0.00134
6	0.00199	0.0	0.00092
7	0.0	0.00066	0.00005
8	0.0	0.0	0.00001
9L	0.03665	0.05302	0.00202
10L	0.0	0.00262	0.00082
9C	0.00172	0.00367	0.00276
10C	0.0	0.02855	0.01357
11L	0.03772	0.04940	0.00000
12L	0.0	0.00284	0.00169
11C	0.00380	0.00134	0.00145
12C	0.0	0.02909	0.01665
13L	0.05168	0.04897	0.00350
14L	0.0	0.00331	0.00352
13C	0.00063	0.00141	0.00342
14C	0.0	0.03037	0.02112

許容値 $U_t=1.0$

0.05302 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

冷却材入口管台 疲労解析結果 (評価点: 9L)

評価点 (S23) 9L

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*	
509.8	-54.2	1.0	282.0	331.7	1	4960	0.00020
495.6	-54.2	1.0	274.9	323.3	1	5360	0.00019
472.1	-54.2	1.0	263.2	309.5	1	6100	0.00016
470.5	-54.2	1.0	262.3	308.5	4	6150	0.00065
465.5	-54.2	1.0	259.8	305.6	98	6330	0.01548
465.5	-45.6	1.0	255.6	300.6	7	6650	0.00105
454.4	-45.6	1.0	250.0	294.0	5	7100	0.00070
446.4	-45.6	1.0	246.0	289.4	10	7440	0.00134
433.4	-45.6	1.0	239.5	281.7	77	8060	0.00955
433.4	0.0	1.0	216.7	254.9	204	10900	0.01872
433.4	1.8	1.0	215.8	253.8	55	11100	0.00495
433.4	189.7	1.0	121.9	143.3	1	83000	0.00001
433.4	329.6	1.0	51.9	61.0	4		0.0

疲労累積係数 = 0.05302

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 : 0.054

1.0 : 割増し係数 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		突過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2A1	2D4	78.9	-131.4	1.00	105.1	116.5	1	8350000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2G1	78.9	-65.1	1.00	72.0	79.7	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
										合計：	0.00000

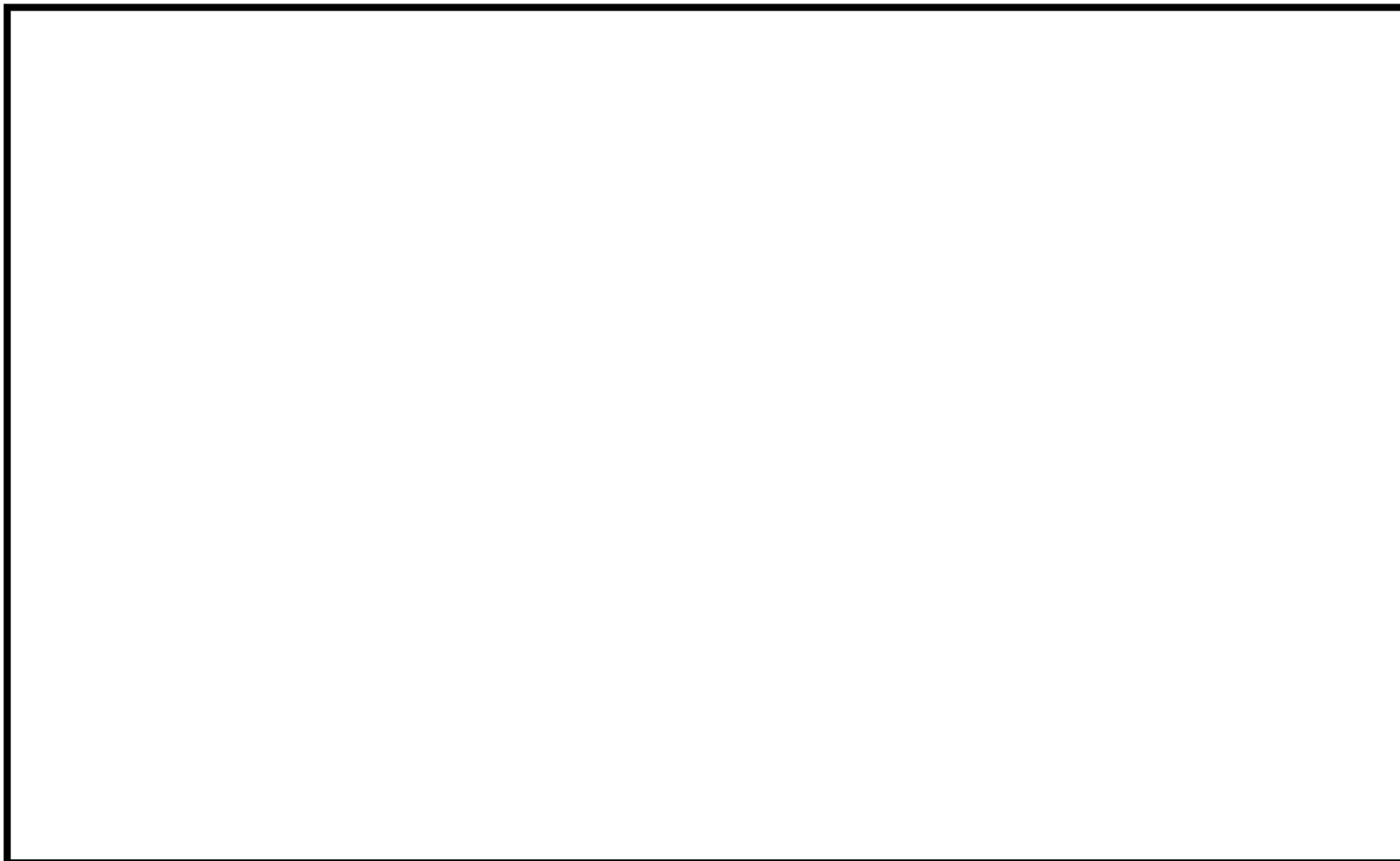
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

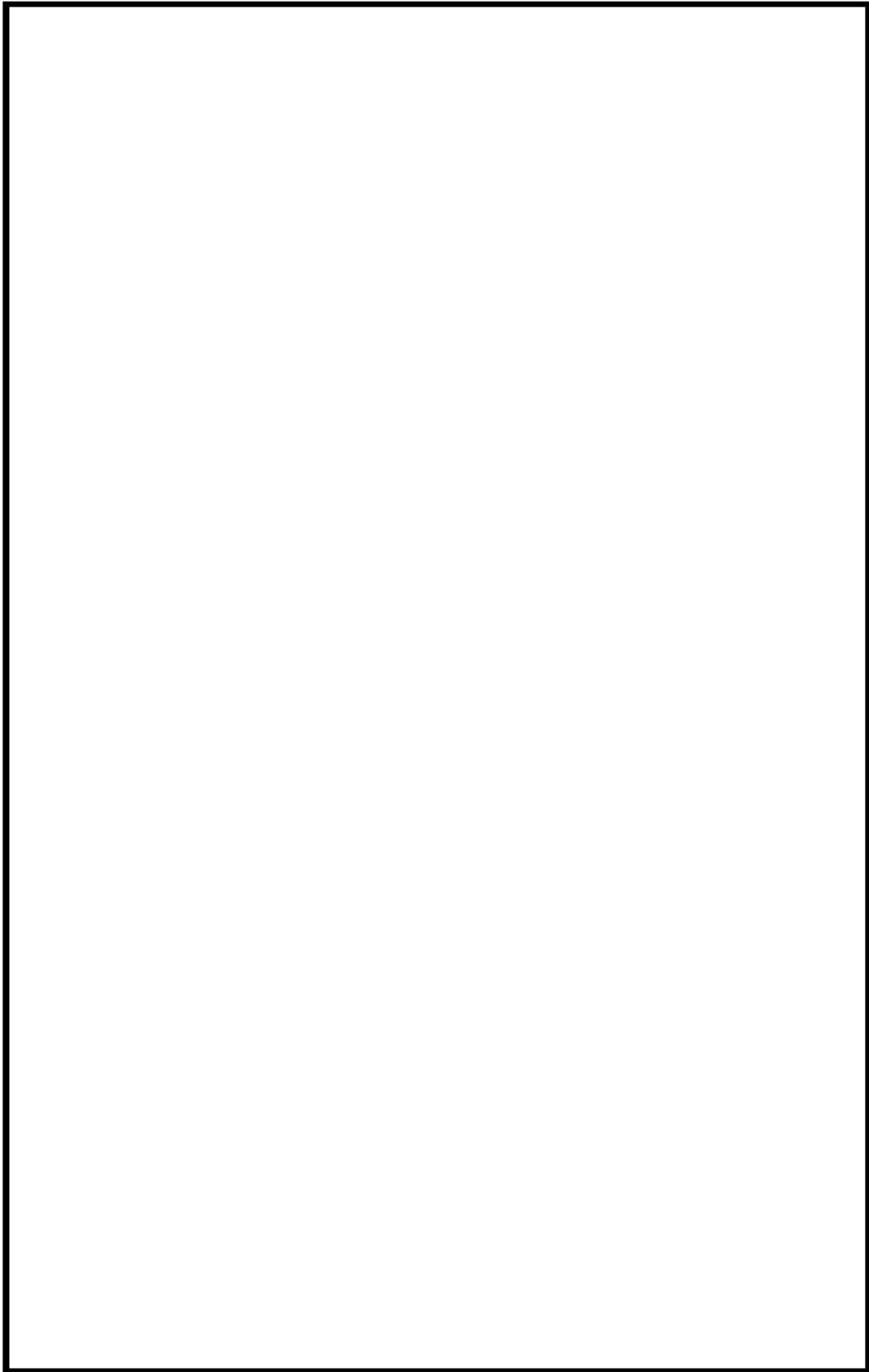
→環境 UF : 0.001

: 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。





冷却材出口管台形状寸法、評価点および解析モデル

冷却材出口管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00001	0.00000
2	0.00088	0.0	0.00264
3	0.00000	0.00000	0.0
4	0.00006	0.0	0.00024
5	0.00578	0.0	0.00357
6	0.00574	0.0	0.00404
7	0.0	0.00105	0.00290
8	0.00389	0.0	0.00227
9L	0.04202	0.06485	0.00134
10L	0.0	0.00266	0.00159
9C	0.00235	0.00363	0.00373
10C	0.0	0.03028	0.01523
11L	0.03998	0.05403	0.0
12L	0.0	0.00314	0.00210
11C	0.00402	0.00011	0.00057
12C	0.0	0.03219	0.01727
13L	0.05982	0.03224	0.00090
14L	0.0	0.00411	0.00306
13C	0.00213	0.00089	0.00606
14C	0.0	0.03283	0.01902

許容値 $U_f=1.0$

0.06485 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

冷却材出口管台 疲労解析結果 (評価点 : 9L)

評価点 : 9L
(S23)

応力強さ (単位 : MPa)		繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)			
極大値	極小値	Ke	ALT				
586.9	-20.4	1.0	303.6	363.3	1	3710	0.00027
566.1	-20.4	1.0	293.2	350.9	1	4150	0.00024
518.4	-20.4	1.0	269.4	322.3	1	5400	0.00019
488.1	-20.4	1.0	254.2	304.2	102	6420	0.01589
488.1	-10.0	1.0	249.0	297.9	3	6830	0.00044
484.9	-10.0	1.0	247.5	296.1	4	6950	0.00058
482.6	-10.0	1.0	246.3	294.7	92	7050	0.01305
482.6	0.0	1.0	241.3	288.7	204	7490	0.02724
482.6	24.4	1.0	229.1	274.1	55	8740	0.00629
482.6	268.2	1.0	107.2	128.3	1	130000	0.00001
482.6	327.3	1.0	77.6	92.9	335	506000	0.00066
470.4	327.3	1.0	71.6	85.6	5		0.0

疲労累積係数 = 0.06485

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 →通常 UF : 0.065
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

冷却材出口管台 環境疲労評価結果（評価点：1）

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		修正前 salt	修正後 salt'					
2D5	2H1	215.5	-96.7	1.00	156.1	174.9	1	1400000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1A1	197.7	-43.4	1.00	120.6	135.1	6	3820000	0.00000	1.000	0.00000
2D3	1A1	187.4	-43.4	1.00	115.4	129.3	1	4620000	0.00000	1.000	0.00000
2C2	1A1	182.9	-43.4	1.00	113.2	126.8	4	5040000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1A1	170.8	-43.4	1.00	107.1	120.0	1	6990000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1A1	170.5	-43.4	1.00	106.9	119.8	12	7050000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1A1	158.1	-43.4	1.00	100.7	112.9	1	10000000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	1A1	145.4	-43.4	1.00	94.4	105.8	1	18600000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	1A1	141.2	-43.4	1.00	92.3	103.5	1	25100000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1A1	125.9	-43.4	1.00	84.6	94.8	4	378000000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1A1	86.2	-43.4	1.00	64.8	72.6	68	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00001

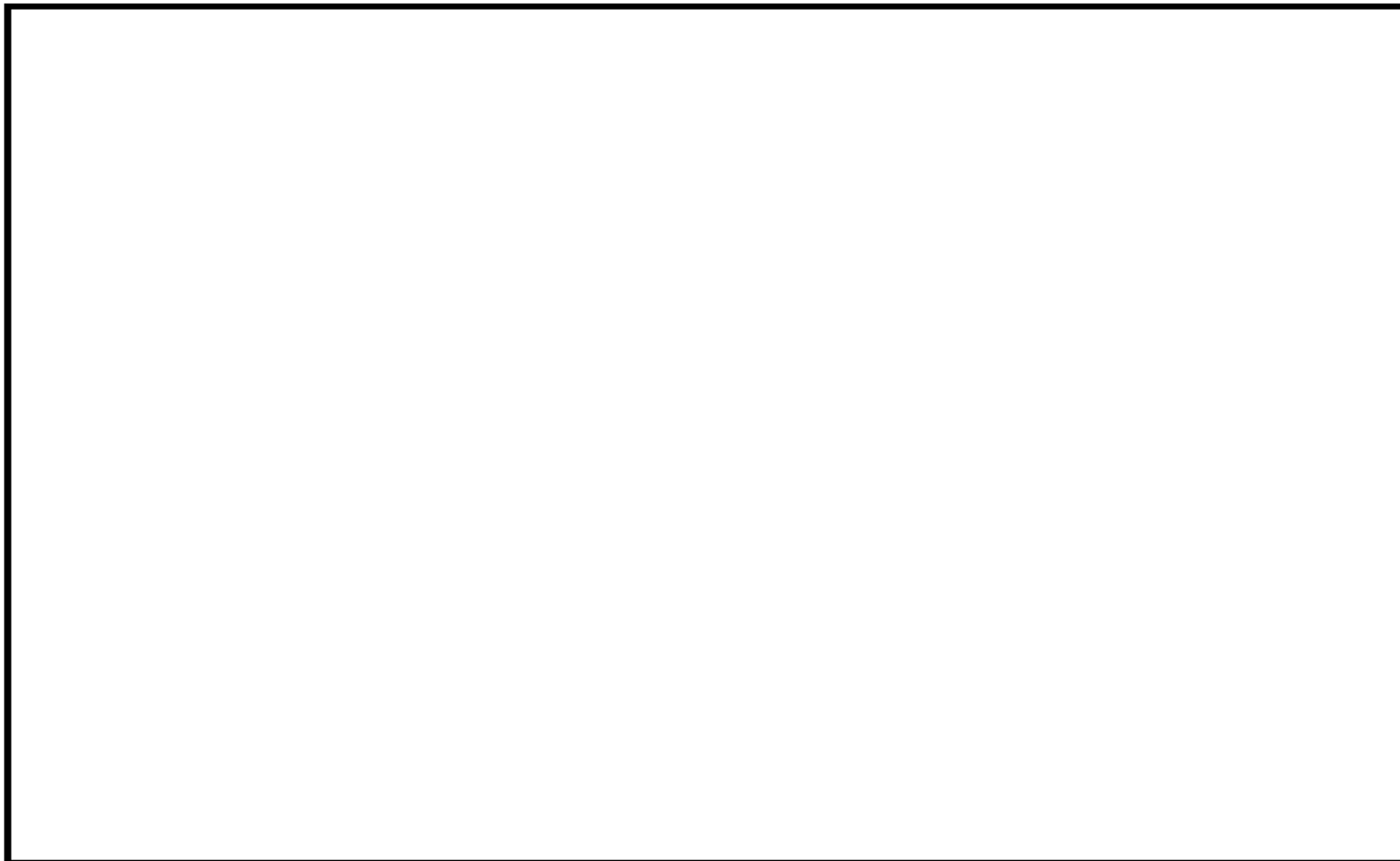
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

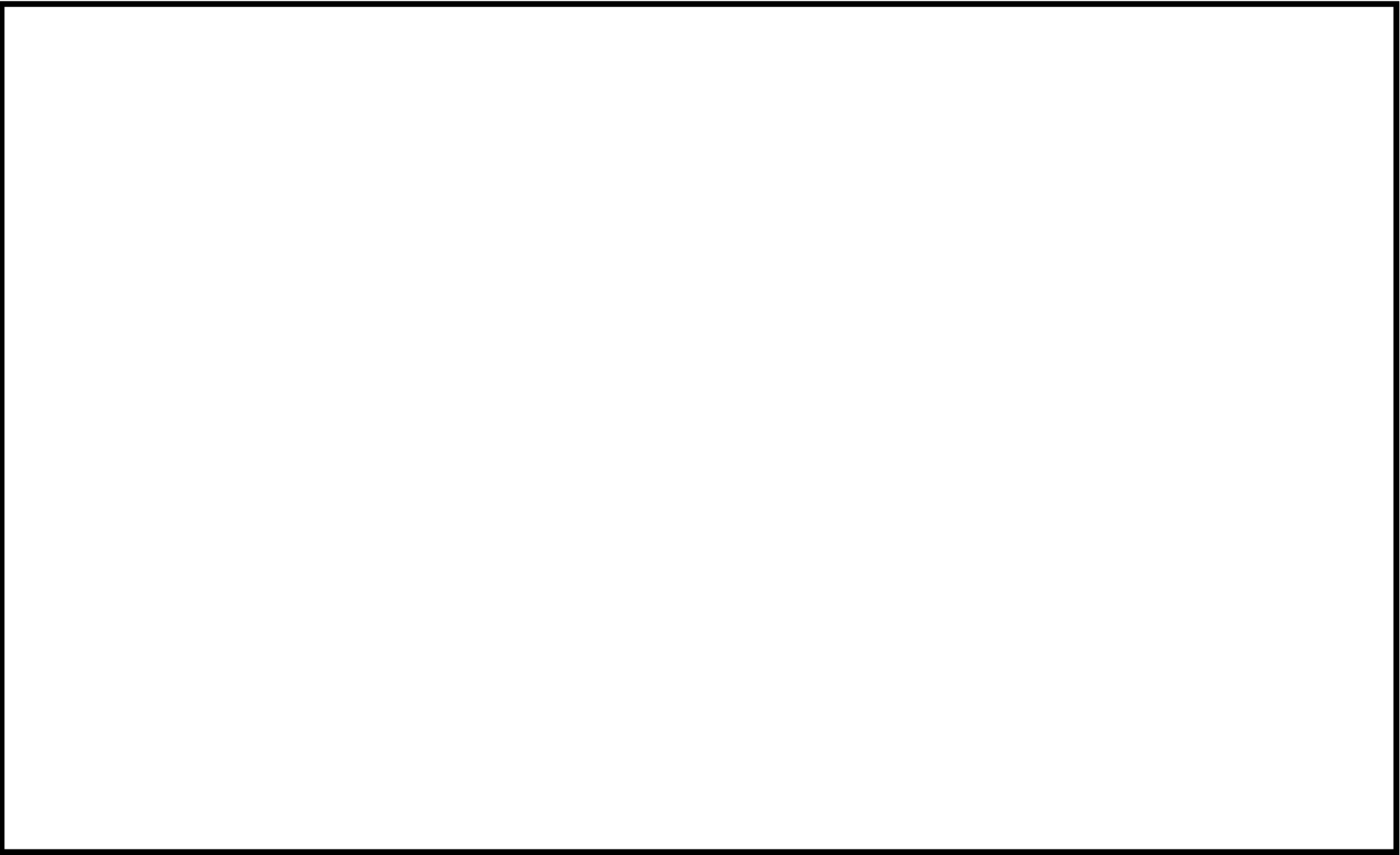
→環境 UF : 0.001

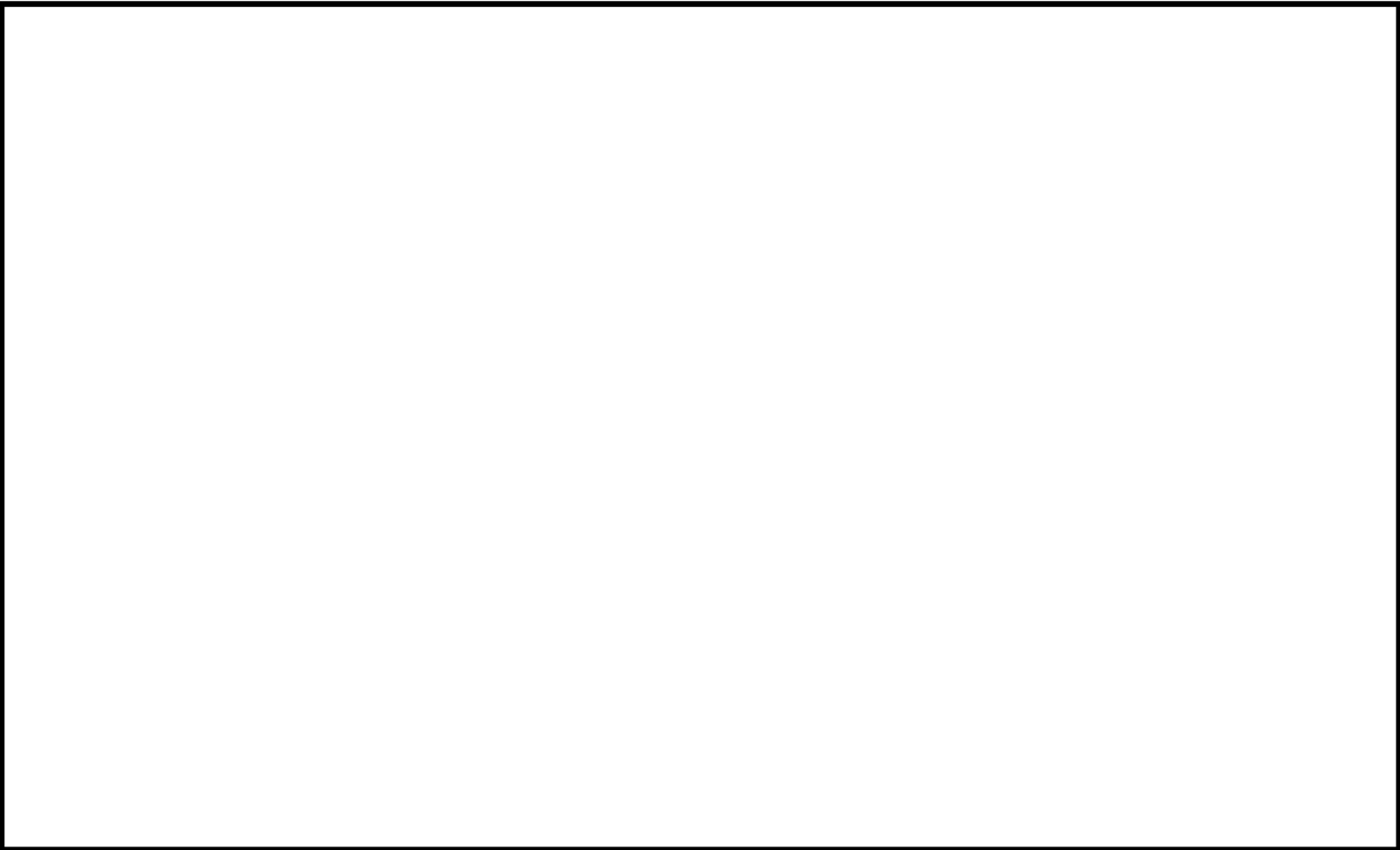
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

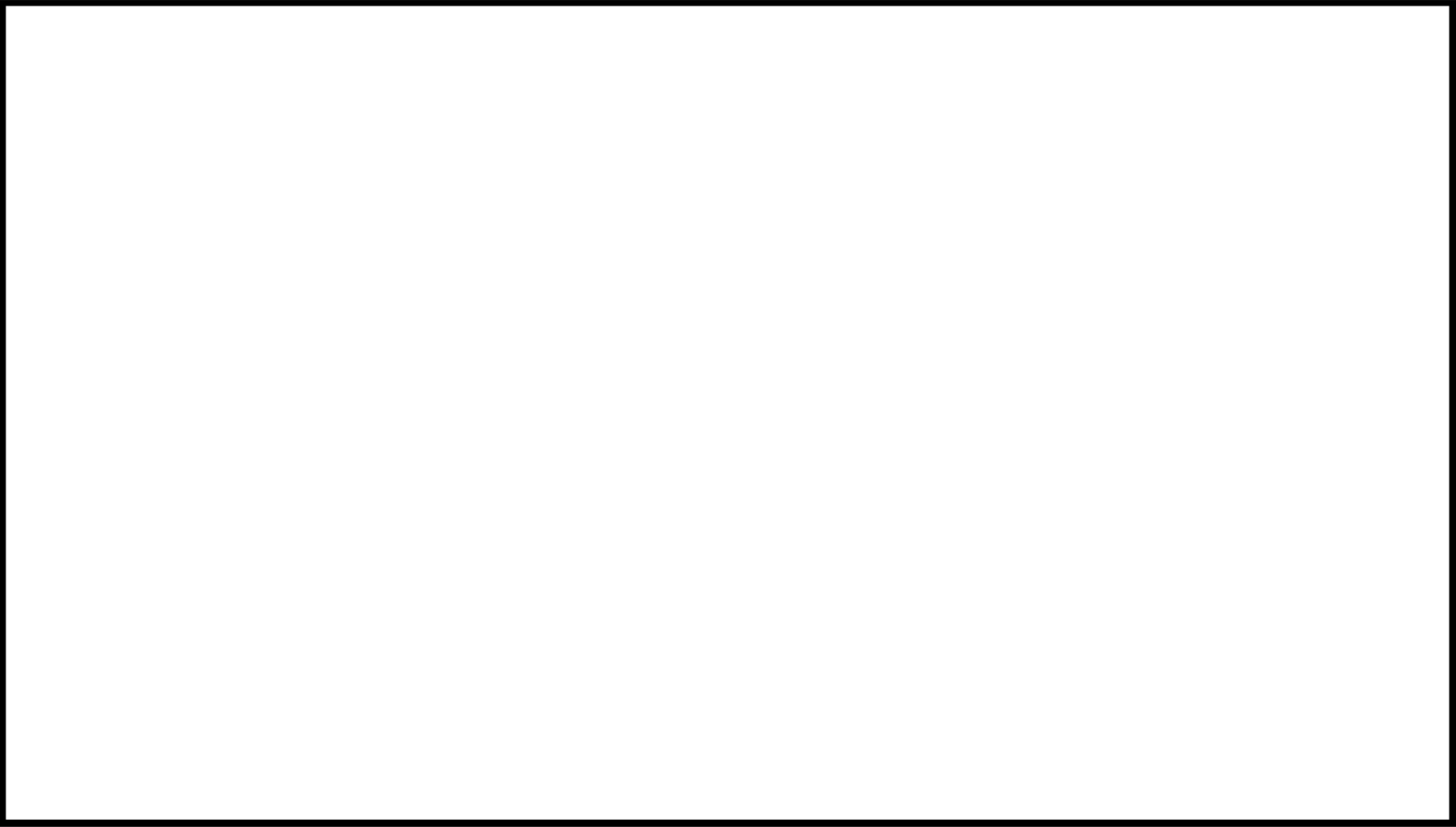
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

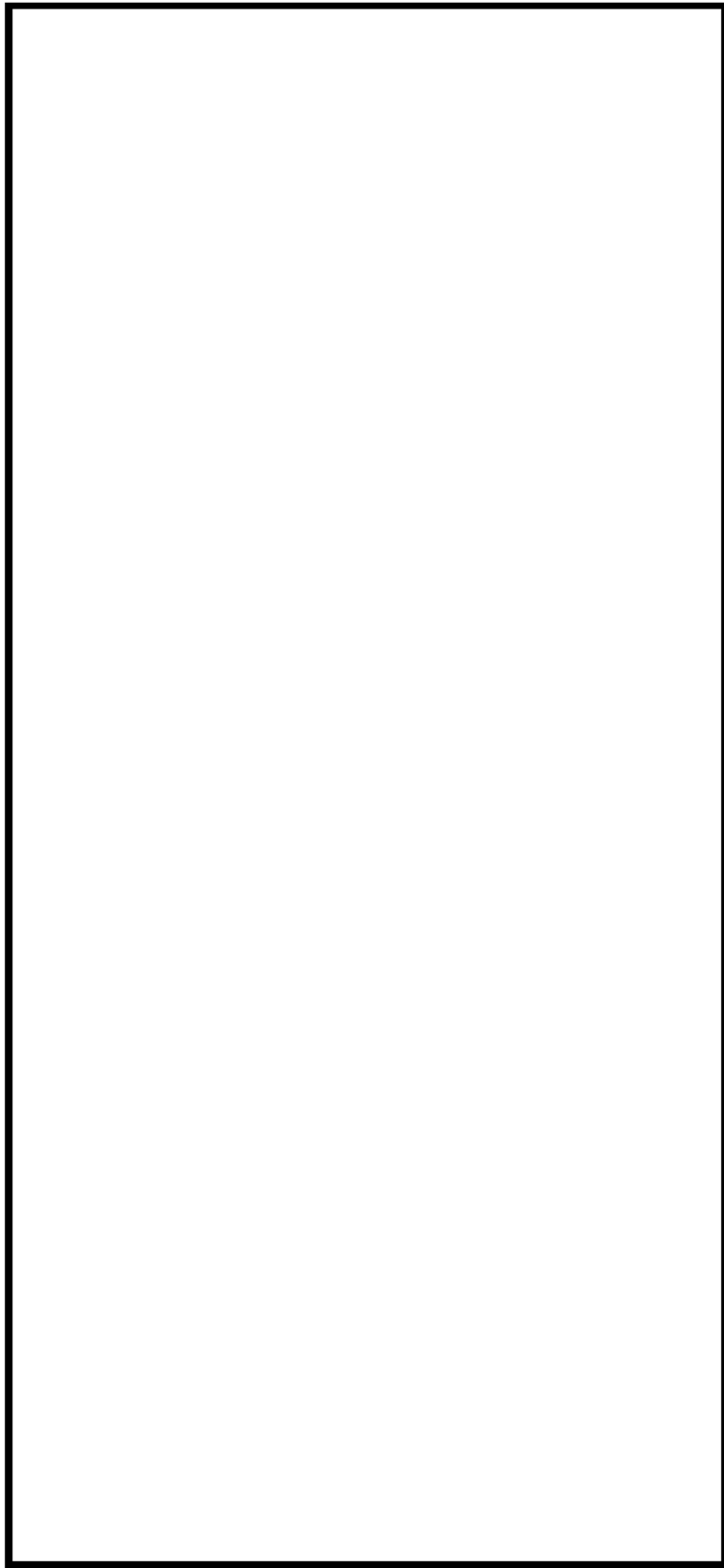
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。











蓋用管台形状寸法、評価点および解析モデル

蓋用管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.0	0.00000
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.00084	0.00005	0.00000
6	0.07707	0.00002	0.12866

許容値 $U_f=1.0$

0.12866 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

蓋用管台 疲労解析結果 (評価点 : 6)

評価点 - 6
(S31)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT'	N	N*	
1796.6	-240.1	1.0	1018.4	1060.7	1	457	0.00219
1691.8	-240.1	1.0	961.0	991.5	1	547	0.00183
1399.2	-240.1	1.0	819.7	845.7	1	906	0.00110
1336.3	-240.1	1.0	788.2	813.3	3	1020	0.00294
1332.1	-240.1	1.0	786.1	811.1	1	1030	0.00097
1307.4	-240.1	1.0	773.8	798.3	4	1090	0.00367
1300.1	-240.1	1.0	770.1	794.6	3	1110	0.00270
1218.9	-240.1	1.0	729.5	752.7	39	1330	0.02932
1218.9	-225.2	1.0	722.1	745.0	49	1380	0.03478
1218.9	0.0	1.0	609.5	628.8	101	2520	0.04008
1218.9	544.8	1.0	337.1	347.8	276	32400	0.00852
1192.5	544.8	1.0	323.9	334.2	1	39600	0.00003
1160.3	544.8	1.0	307.8	317.6	1	51200	0.00002
1127.2	544.8	1.0	291.2	300.5	0	69300	0.00000
1064.1	544.8	1.0	259.7	267.9	3	130000	0.00002
1062.1	544.8	1.0	258.7	265.9	1	133000	0.00001
1034.4	544.8	1.0	244.8	252.6	53	180000	0.00029
982.6	544.8	1.0	218.9	225.9	1	357000	0.00000
966.5	544.8	1.0	210.9	217.6	47	450000	0.00010
963.4	544.8	1.0	209.3	216.0	1	472000	0.00000
932.6	544.8	1.0	193.9	200.1	0	804000	0.00000
913.2	544.8	1.0	184.2	190.0	1	1060000	0.00000
910.7	544.8	1.0	183.0	188.8	0	1090000	0.00000
902.6	544.8	1.0	178.9	184.6	1	1170000	0.00000
901.7	544.8	1.0	178.5	184.1	48	1180000	0.00004
901.7	544.8	1.0	178.5	184.1	32	1180000	0.00003
901.7	610.4	1.0	145.6	150.2	1	2410000	0.00000
901.7	741.7	1.0	80.0	82.5	1		0.0

疲労累積係数 = 0.12866

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

→通常 $U_f : 0.129$

1.0 : 割増し係数 K_e を示す

蓋用管台 環境疲労評価結果 (評価点 : 5)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		突過波 回 数 n	許容繰返し 回 数 n ⁺	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D5	65.7	-573.8	1.39	444.0	458.1	1	8580	0.00012	2.681	0.00031
2J1	2G1	65.7	-547.9	1.32	404.0	416.8	1	13200	0.00008	2.702	0.00020
2J1	1L1	65.7	-459.0	1.15	302.5	312.1	1	56300	0.00002	2.589	0.00005
2J1	2D4	65.7	-298.9	1.39	253.1	261.2	1	150000	0.00001	2.683	0.00002
2J1	2F1	65.7	-430.9	1.00	248.3	256.2	3	167000	0.00002	2.558	0.00005
2J1	2O2	65.7	-430.4	1.00	248.1	255.9	1	167000	0.00001	2.588	0.00002
2J1	2D1	65.7	-426.0	1.00	245.9	253.7	4	176000	0.00002	2.592	0.00006
2J1	2C2	65.7	-422.5	1.00	244.1	251.9	3	183000	0.00002	2.571	0.00004
2J1	2G1	65.7	-300.0	1.32	240.7	248.4	1	198000	0.00001	2.702	0.00001
2J1	1D1	65.7	-406.2	1.00	235.9	243.4	37	224000	0.00017	2.355	0.00039
1A1	1D1	59.0	-406.2	1.00	232.6	240.0	48	245000	0.00020	3.132	0.00061
NSS	1D1	0.0	-406.2	1.00	203.1	209.5	101	580000	0.00017	1.000	0.00017
1C1	1D1	-196.6	-406.2	1.00	104.8	108.1	278	1510000	0.00002	1.000	0.00002
1C1	1G1	-196.6	-395.7	1.00	99.6	102.7	1	2810000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2H2	-196.6	-379.9	1.00	91.7	94.6	1	499000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2B2	-196.6	-362.8	1.00	83.1	85.8	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00195

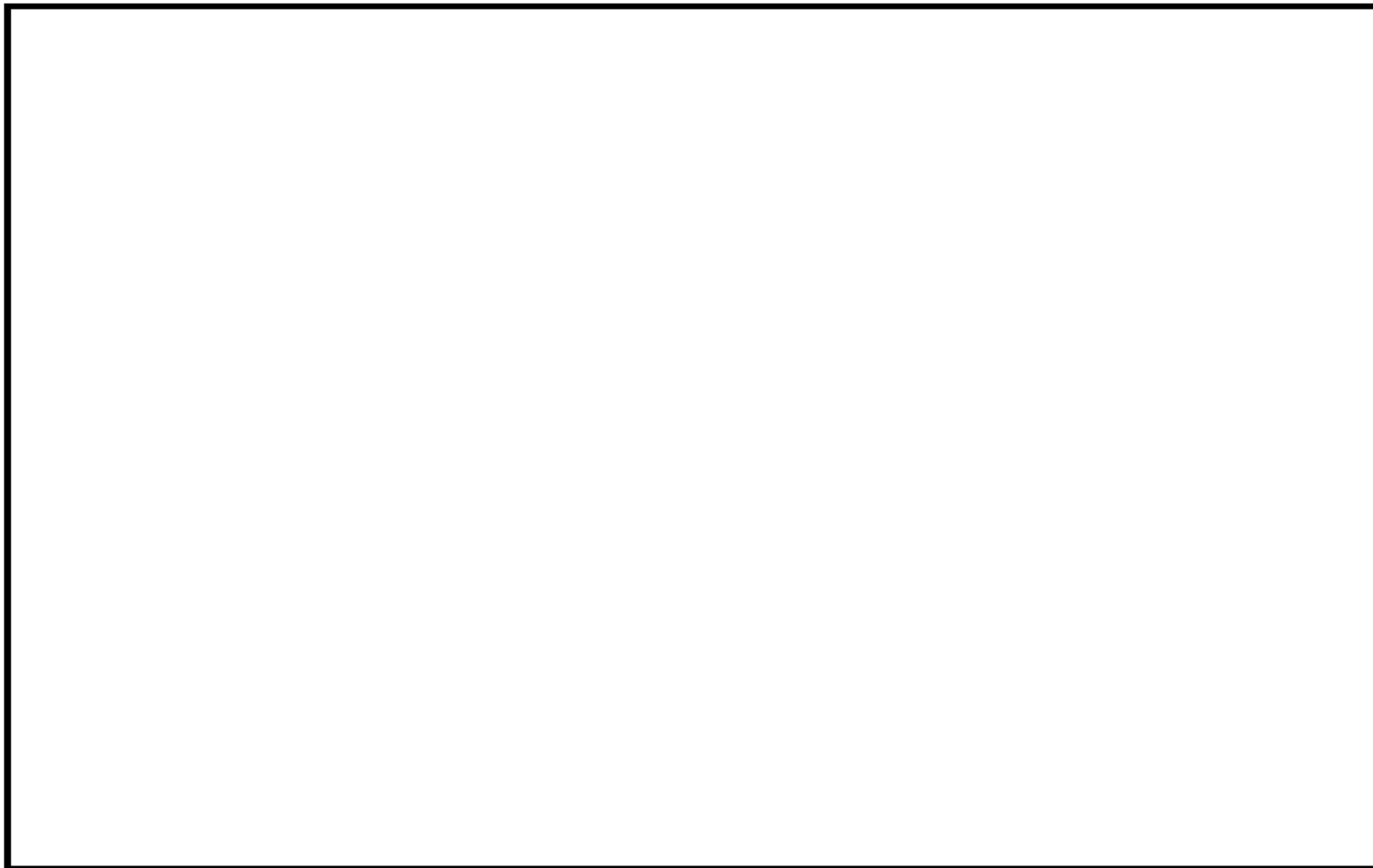
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

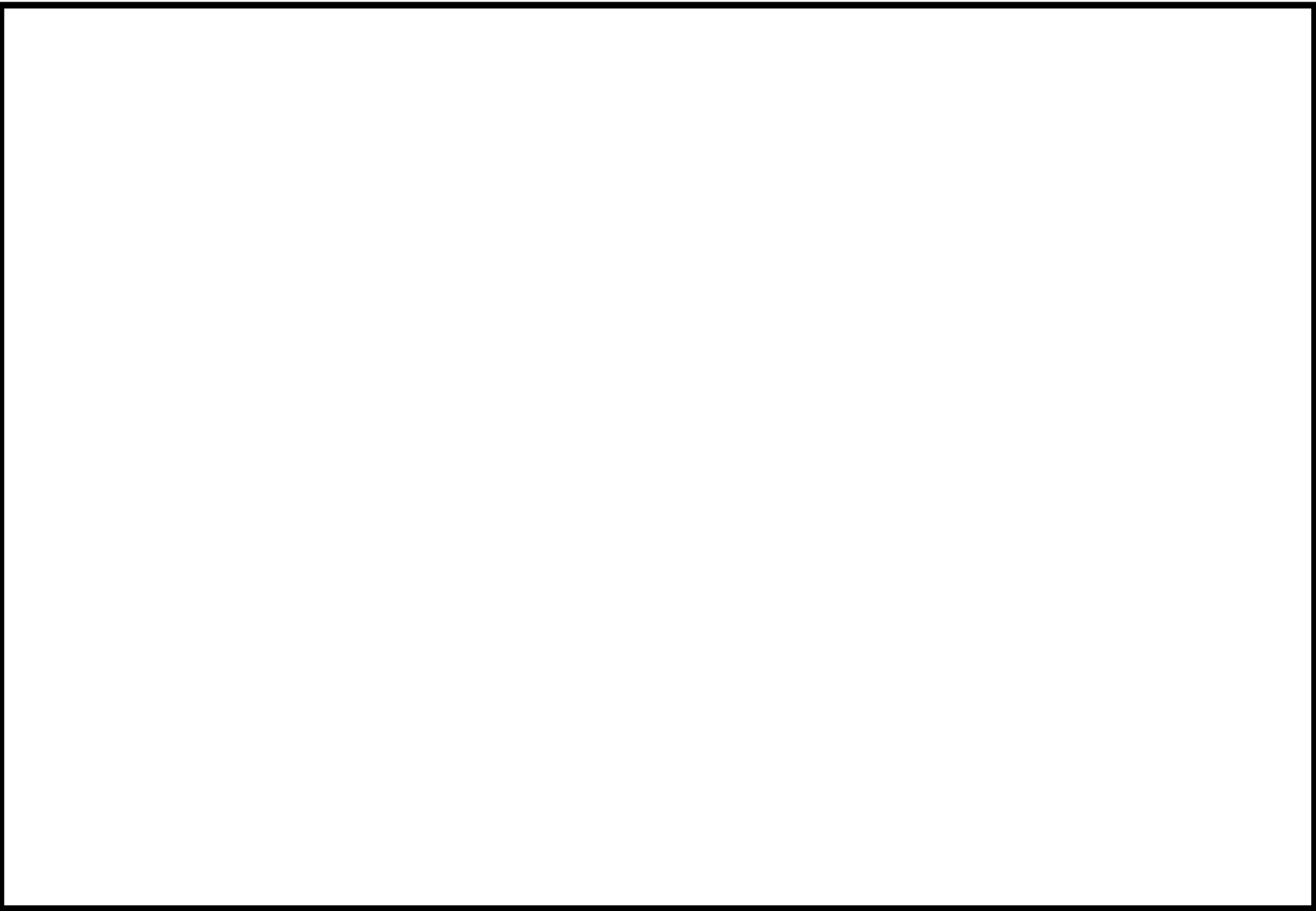
→環境 UF : 0.002

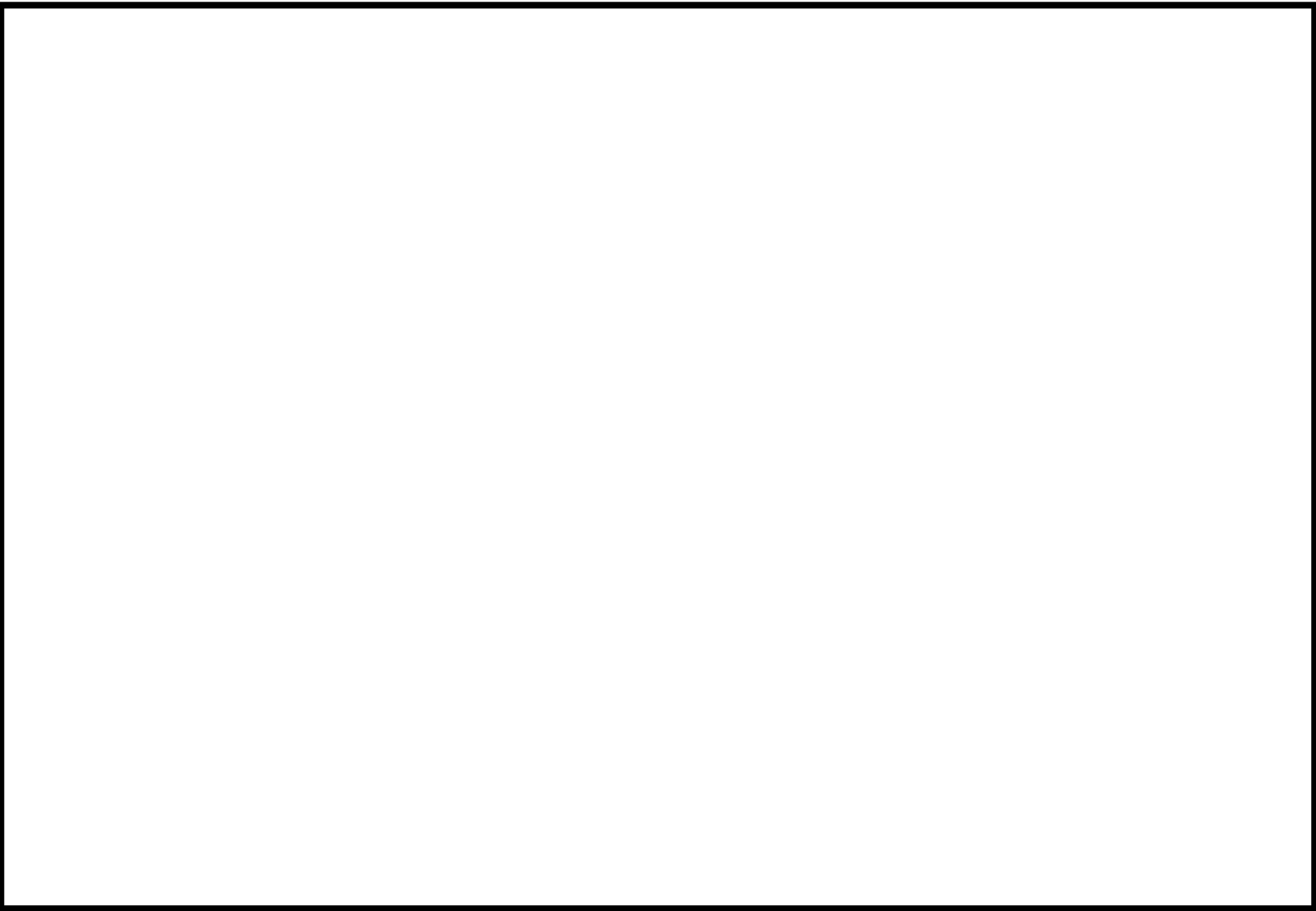
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

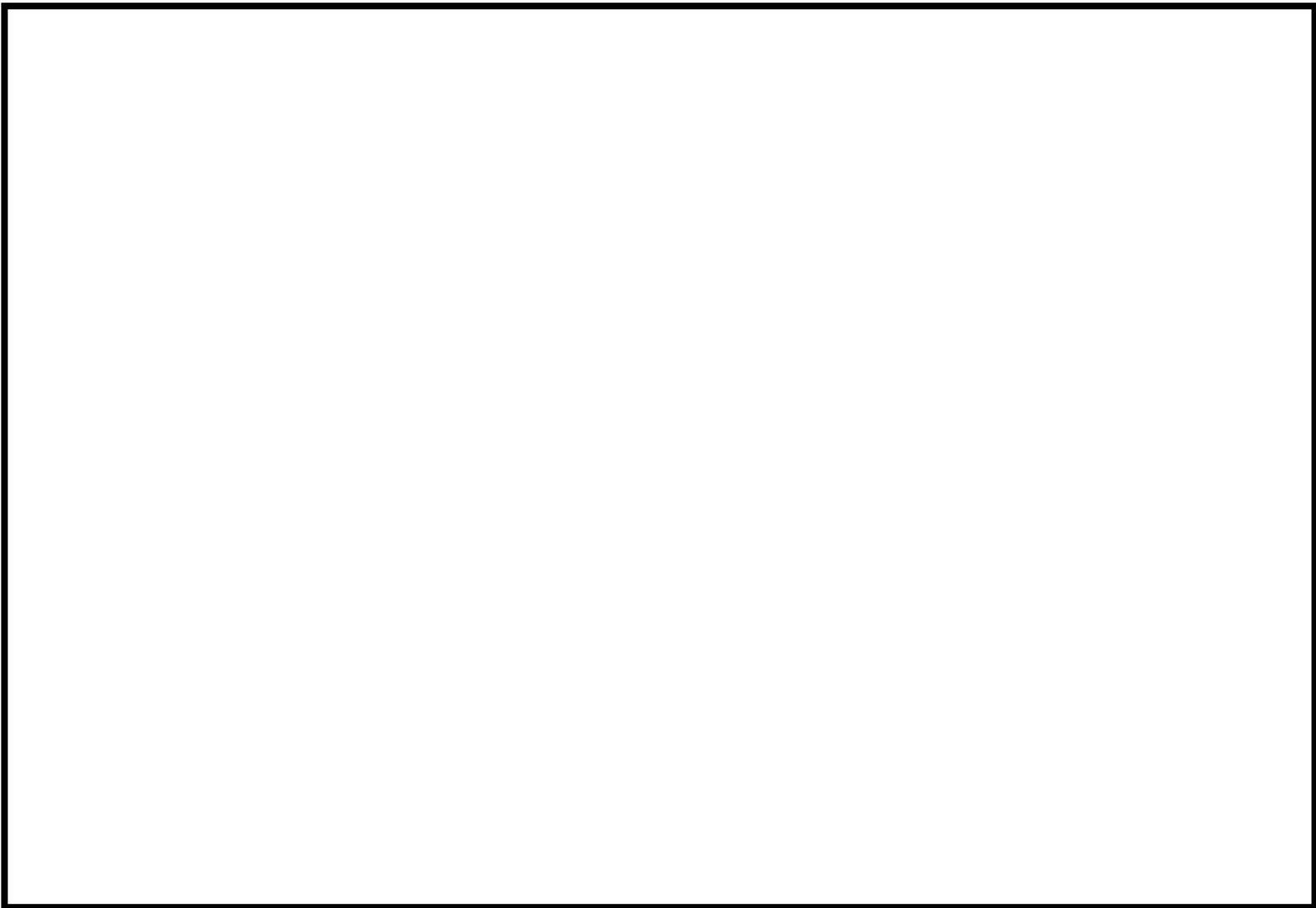
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

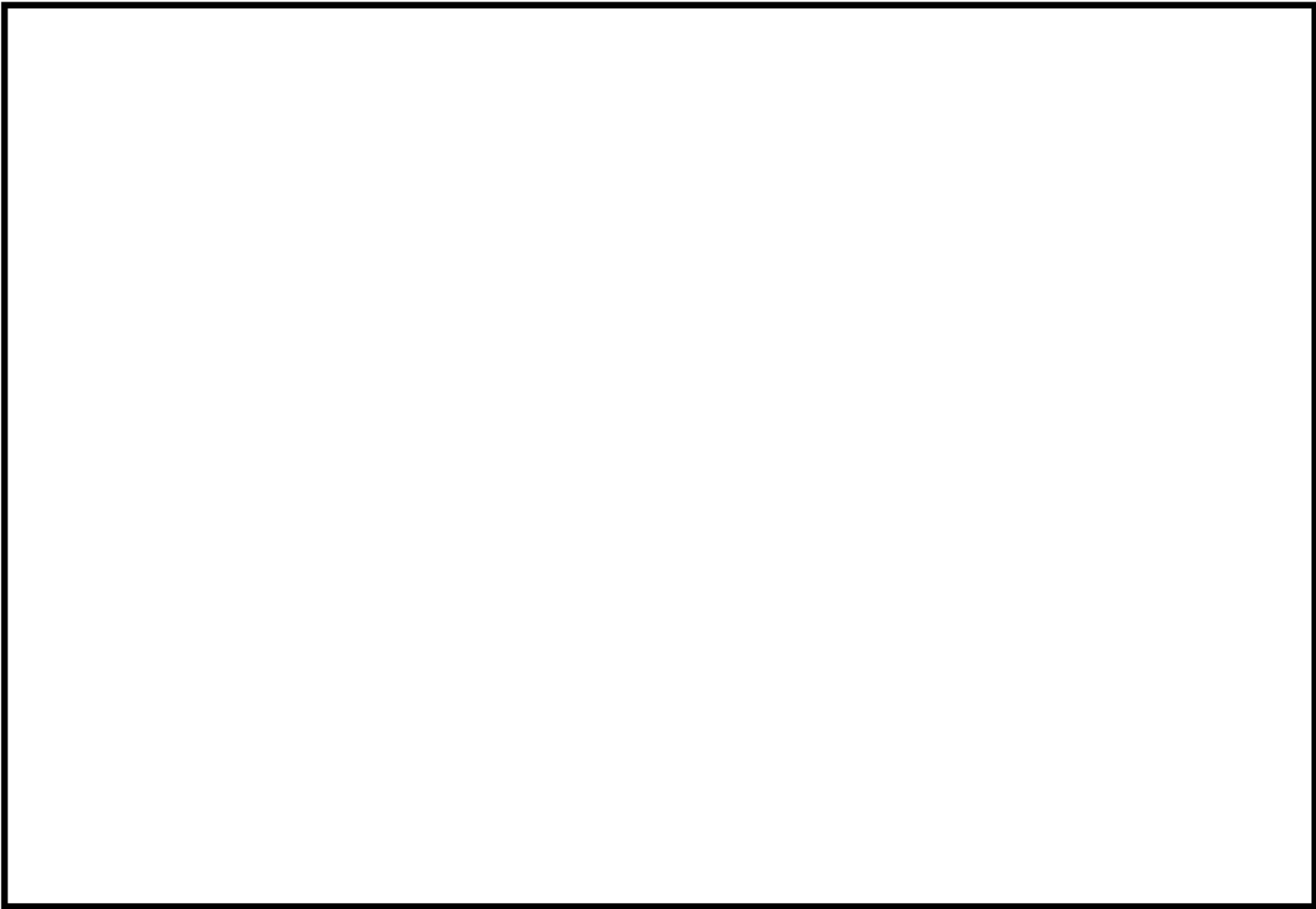
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。

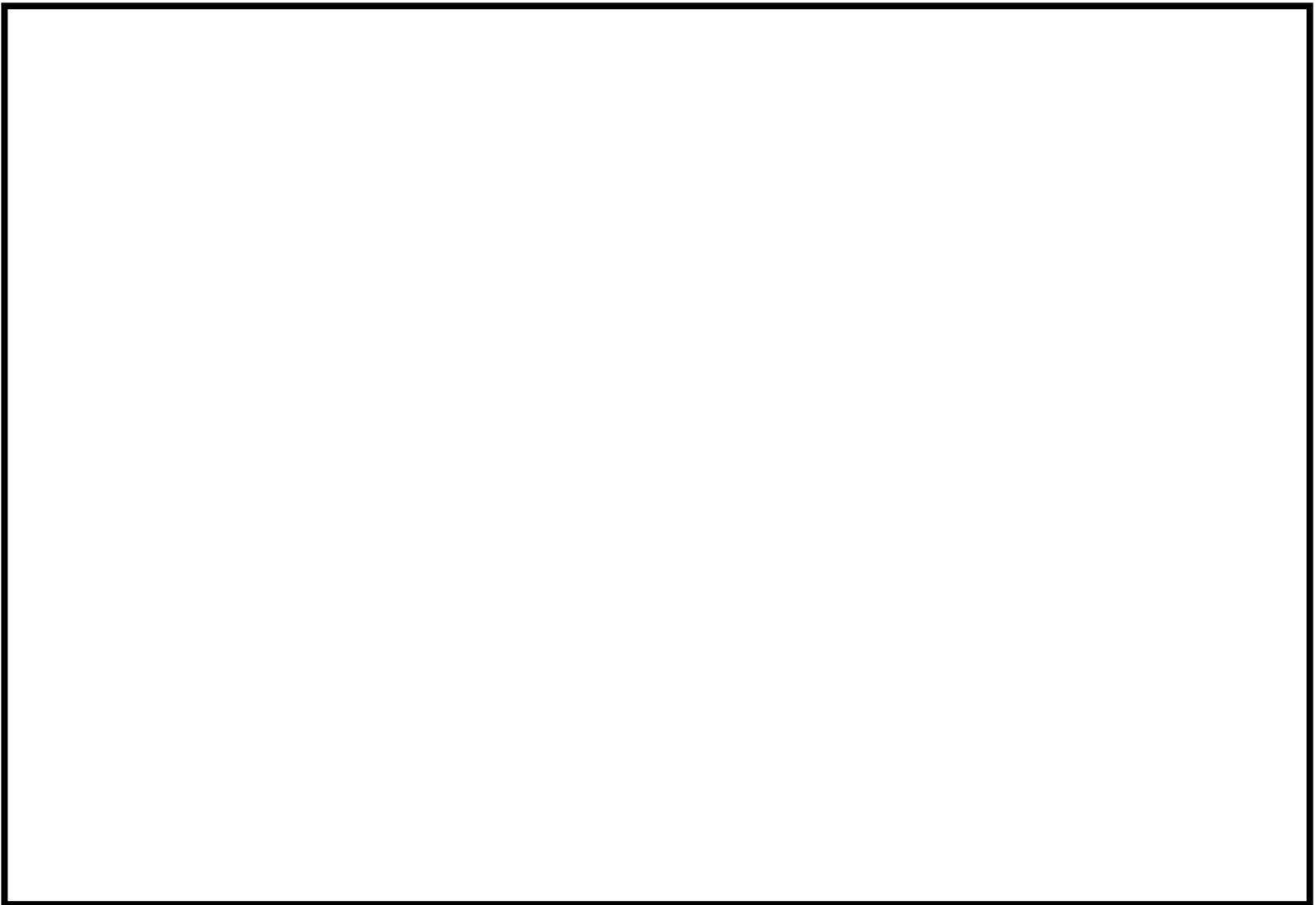


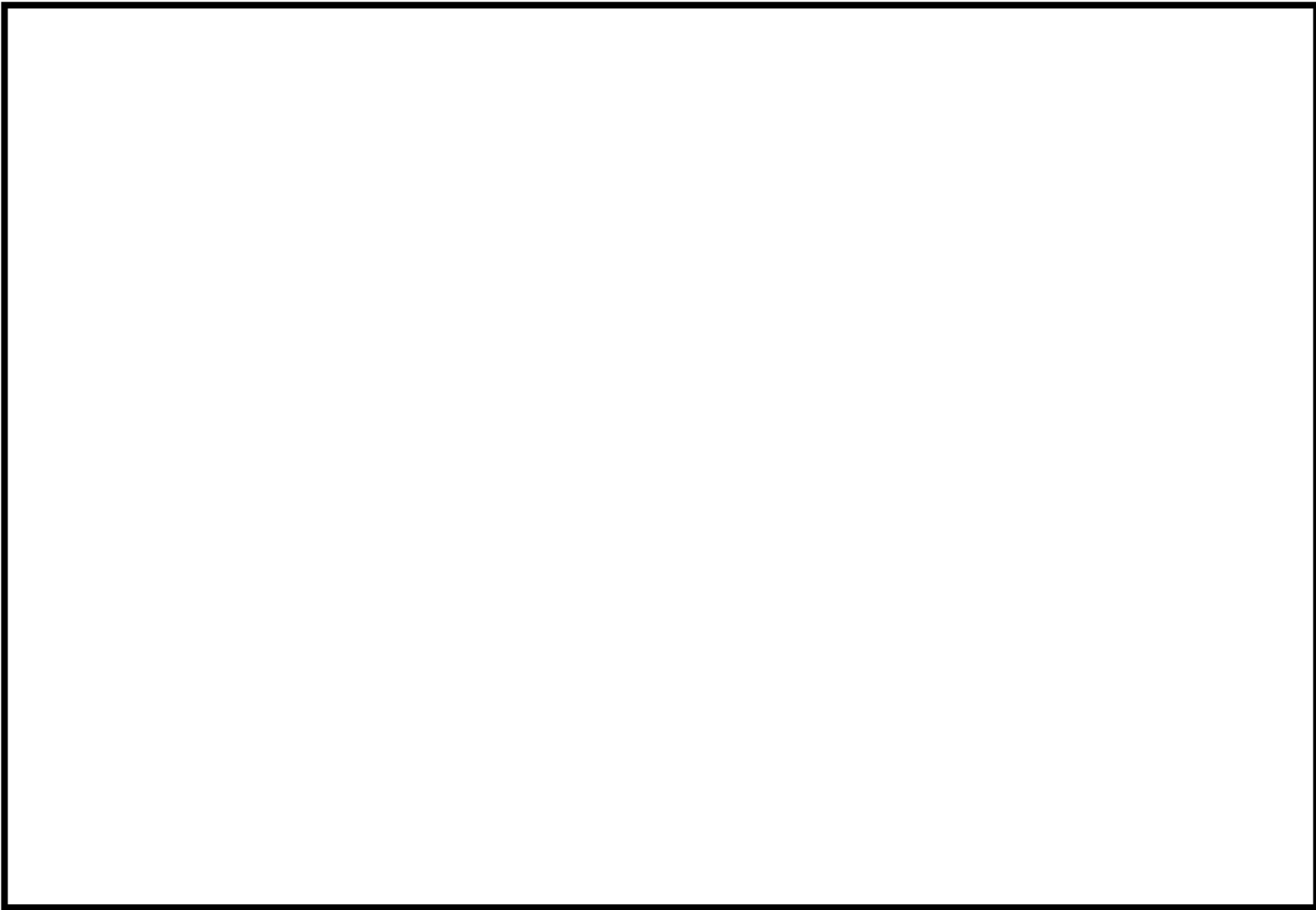


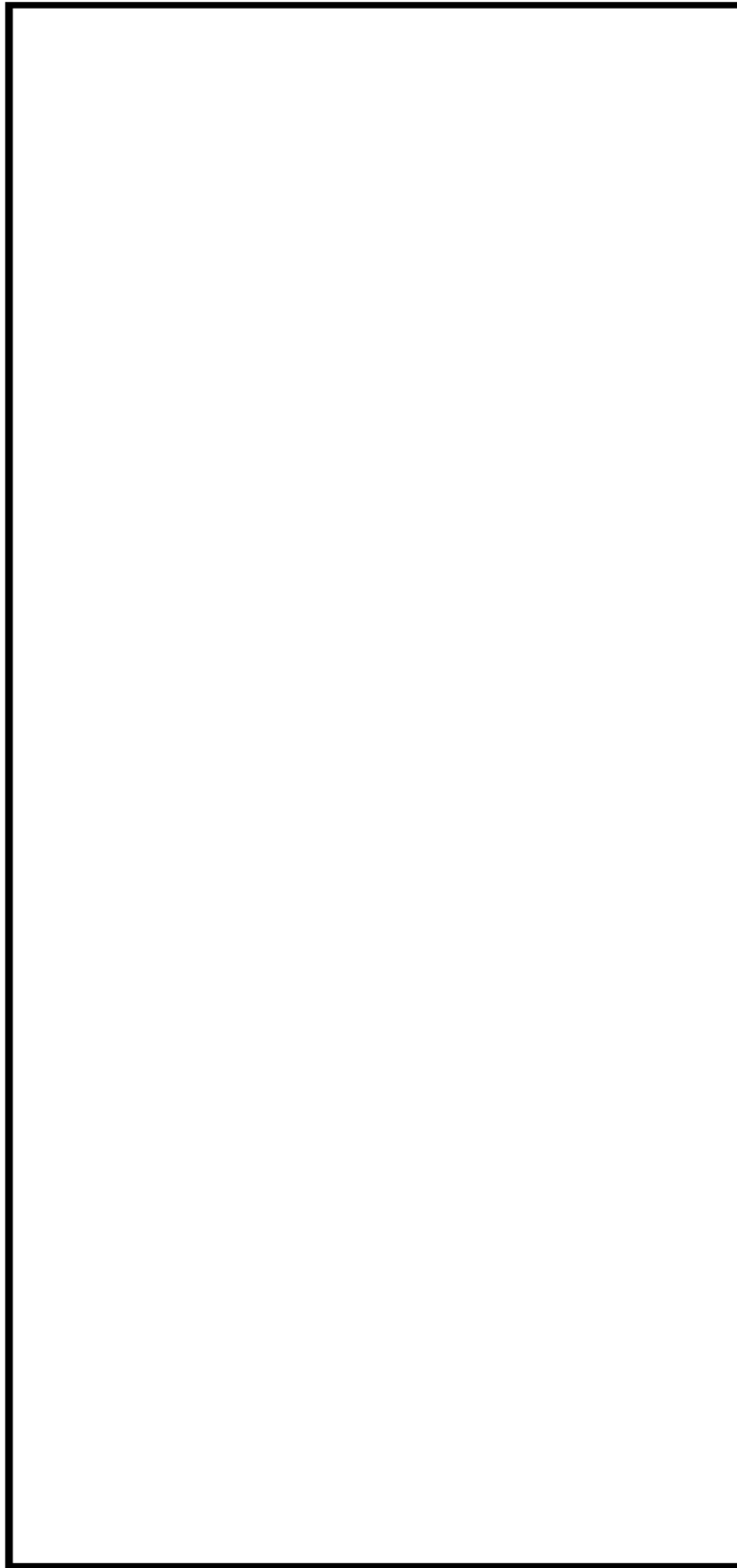




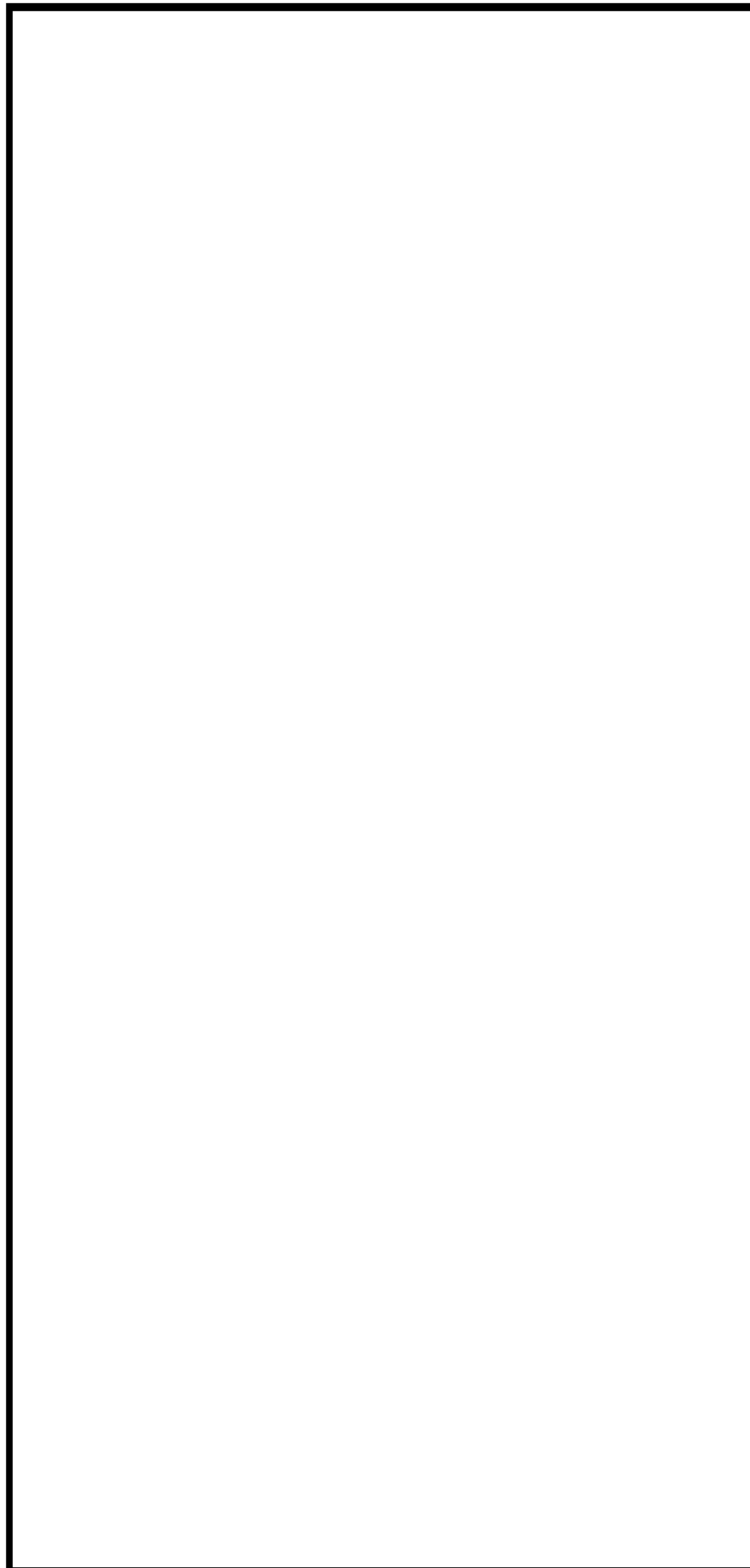








炉内計装筒寸法、評価点および解析モデル（疲労解析）



炉内計装筒寸法、評価点および解析モデル（環境疲労解析）

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	0.00001	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	0.00001
7	0.0	0.0	0.0
8	0.00000	0.0	0.00000
9	0.00268	0.00031	0.0
10	0.02828	0.00123	0.18727

許容値 $U_f=1.0$

0.18727 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

炉内計装筒 疲労解析結果 (評価点 : 10)

評価点 - 10 (S31)

応力強さ (単位: MPa)		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*	
1536.0	-213.9	1.0	874.9	861.7	1	854	0.00117
1420.7	-213.9	1.0	817.3	804.9	1	1060	0.00094
1160.9	-213.9	1.0	687.4	677.0	1	1920	0.00052
1138.6	-213.9	1.0	676.3	666.0	4	2030	0.00197
1136.2	-213.9	1.0	675.1	664.8	98	2040	0.04804
1136.2	-182.1	1.0	659.2	649.2	7	2230	0.00314
1130.0	-182.1	1.0	656.0	646.1	10	2270	0.00441
1126.9	-182.1	1.0	654.6	644.6	5	2290	0.00218
1066.8	-182.1	1.0	624.4	615.0	77	2740	0.02810
1066.8	-181.3	1.0	624.0	614.6	99	2740	0.03613
1066.8	-171.6	1.0	619.2	609.8	66	2830	0.01943
1066.8	0.0	1.0	533.4	525.3	204	4950	0.04121
1066.8	472.1	1.0	297.4	292.8	1	79700	0.00001
1066.8	716.4	1.0	175.7	173.0	4	1450000	0.00000
1066.8	841.9	1.0	112.5	110.8	6	12900000	0.00000
1066.8	844.2	1.0	111.3	109.6	1	13300000	0.00000
1066.8	848.9	1.0	109.0	107.3	4	16200000	0.00000
1066.8	852.3	1.0	107.2	105.6	12	18900000	0.00000
1066.8	857.7	1.0	104.6	103.0	1	27100000	0.00000
1066.8	860.9	1.0	102.9	101.4	4	34500000	0.00000
1066.8	873.2	1.0	96.8	95.3	1	212000000	0.00000
1066.8	899.9	1.0	83.6	82.2	241		0.0

疲労累積係数 = 0.18727

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線弾性係数)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 : 0.188

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

炉内計装筒 環境疲労解析結果 (評価点 : 1 1)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D4	36.7	-732.0	1.00	384.3	378.5	1	21200	0.00005	2.837	0.00013
2J1	2G1	36.7	-687.9	1.00	362.3	356.8	1	28500	0.00004	3.021	0.00011
2J1	2A1	36.7	-574.8	1.00	305.7	301.1	4	68500	0.00006	2.294	0.00013
2J1	2H1	36.7	-572.6	1.00	304.7	300.0	1	69800	0.00001	2.327	0.00003
2J1	2J2	36.7	-566.6	1.00	301.6	297.1	98	73700	0.00133	1.596	0.00212
1B1	2J2	23.9	-566.6	1.00	295.2	290.8	7	82900	0.00008	1.164	0.00010
1B1	2B1	23.9	-562.7	1.00	293.3	288.8	5	86000	0.00006	1.971	0.00011
1B1	211	23.9	-567.9	1.00	290.9	286.5	10	89500	0.00011	1.533	0.00017
1B1	1C1	23.9	-533.4	1.00	278.6	274.4	77	114000	0.00068	1.478	0.00099
111	1C1	18.8	-533.4	1.00	276.1	271.9	55	119000	0.00046	3.367	0.00156
1A1	1C1	18.1	-533.4	1.00	275.8	271.6	99	120000	0.00082	2.650	0.00219
NSS	1C1	0.0	-533.4	1.00	266.7	262.7	204	145000	0.00141	3.367	0.00474
2E1	1C1	-252.8	-533.4	1.00	140.3	138.2	1	3470000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1C1	-370.0	-533.4	1.00	81.7	80.5	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.01238

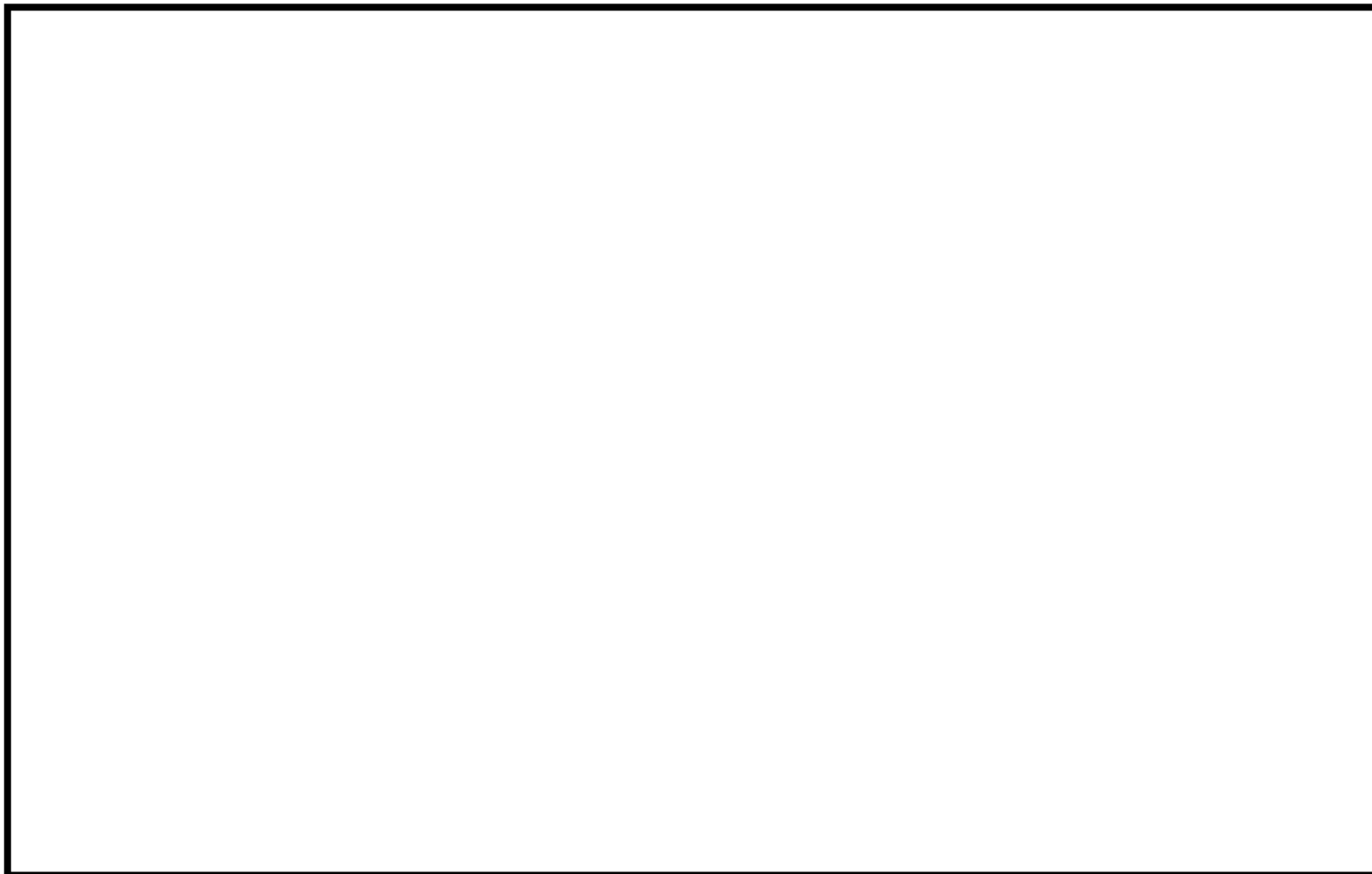
(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

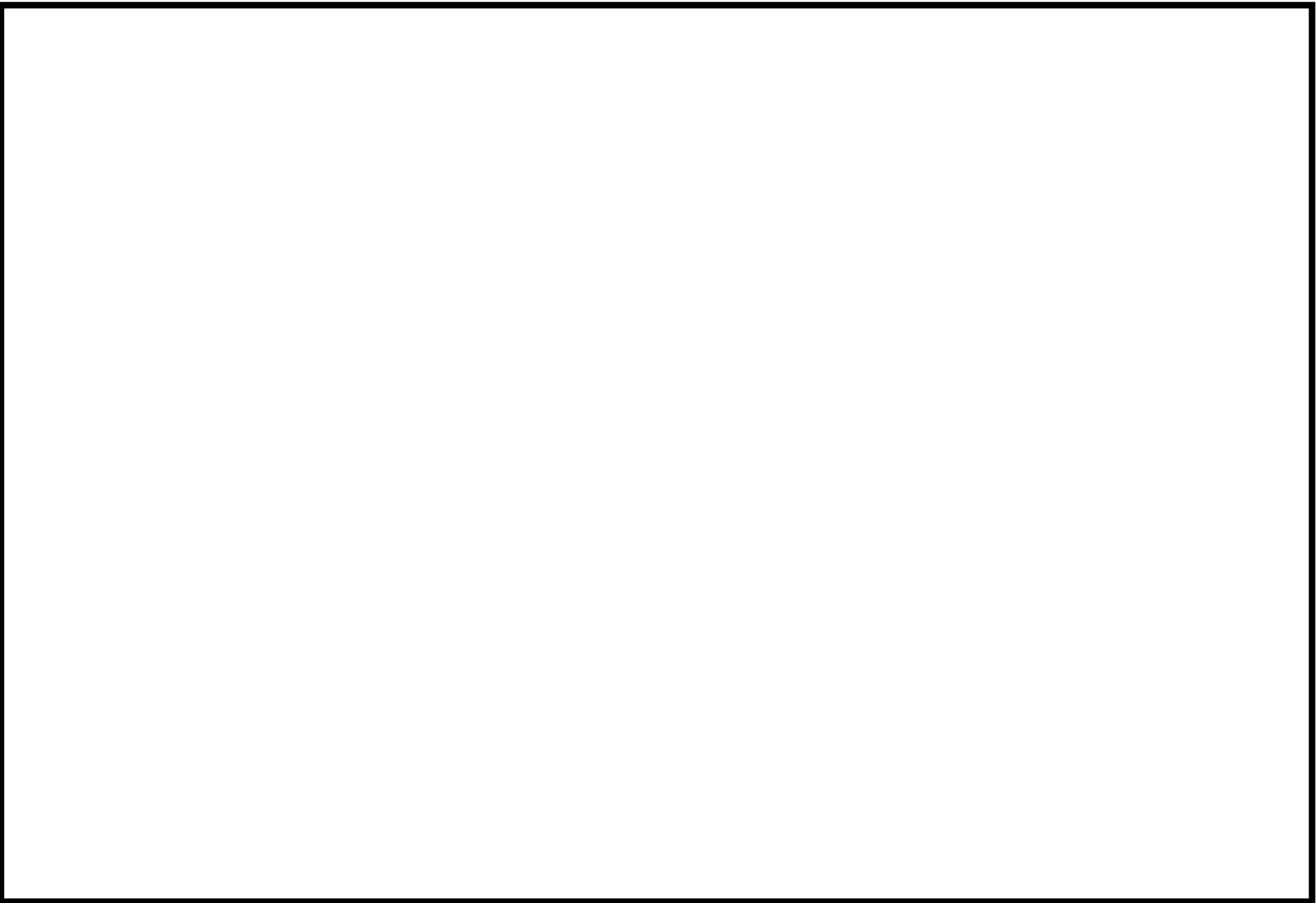
: 割り増し係数 Ke, 環境効果補正係数 fen を示す

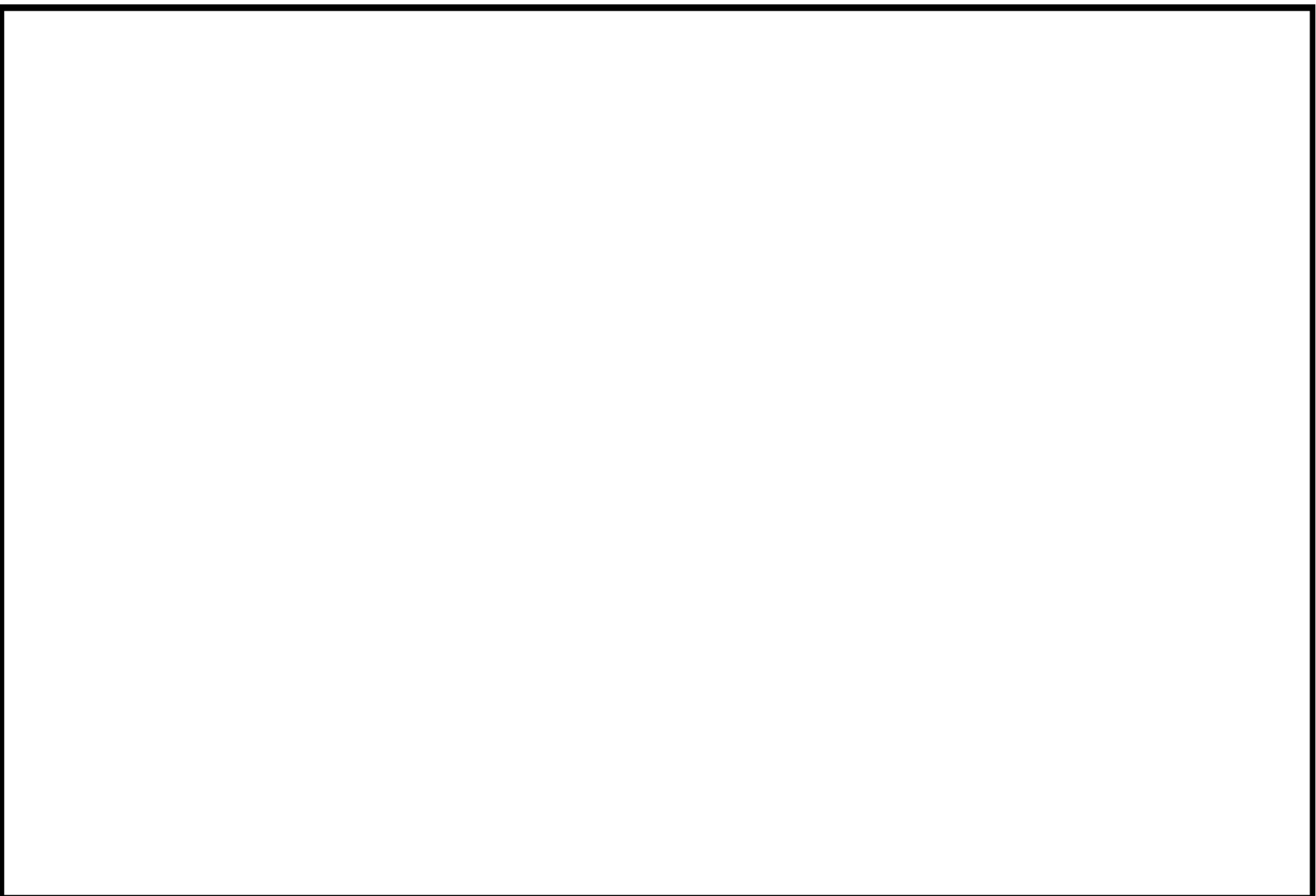
→環境 UF : 0.013

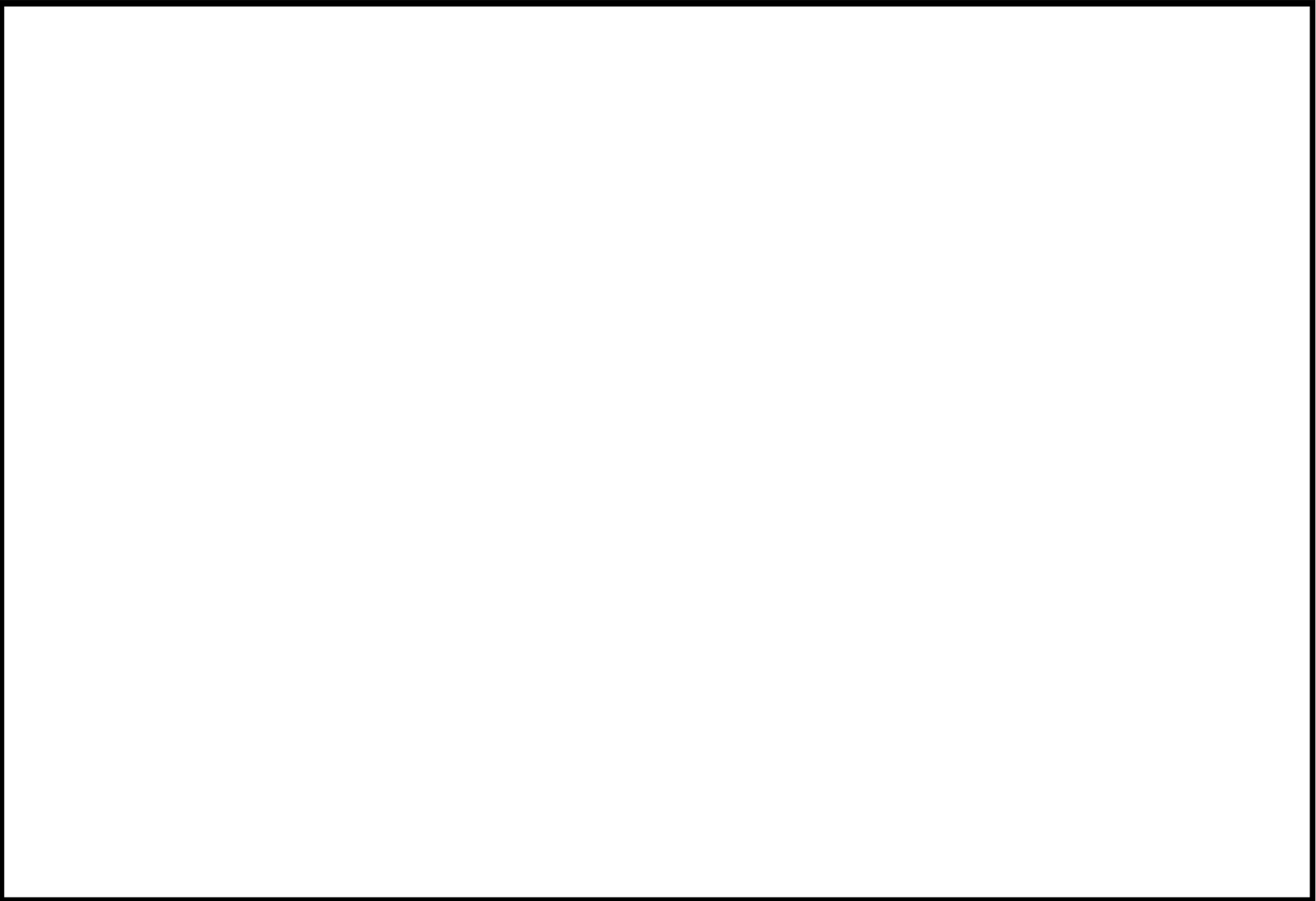
環境効果補正係数 (Fen) の算出根拠

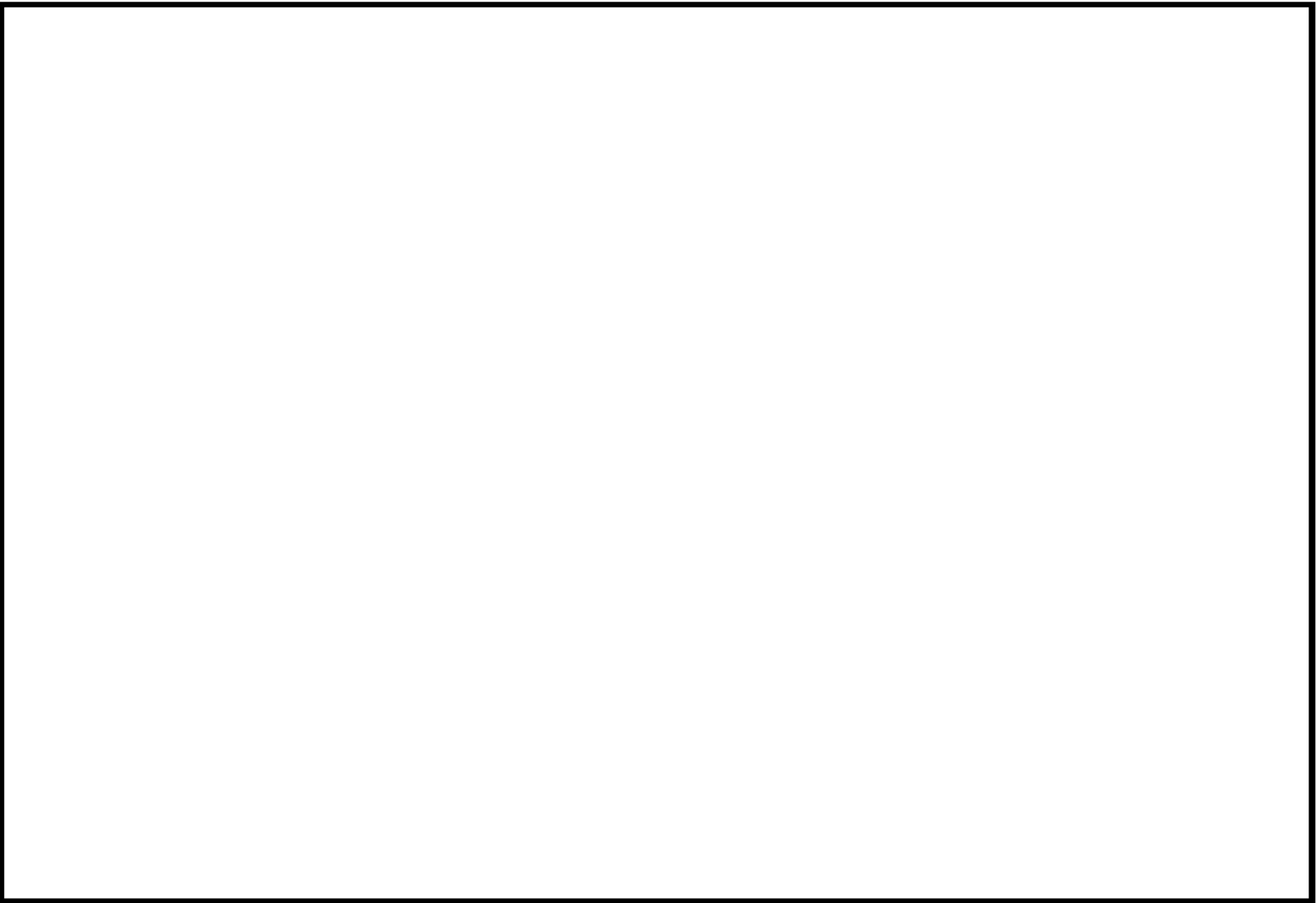
各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。



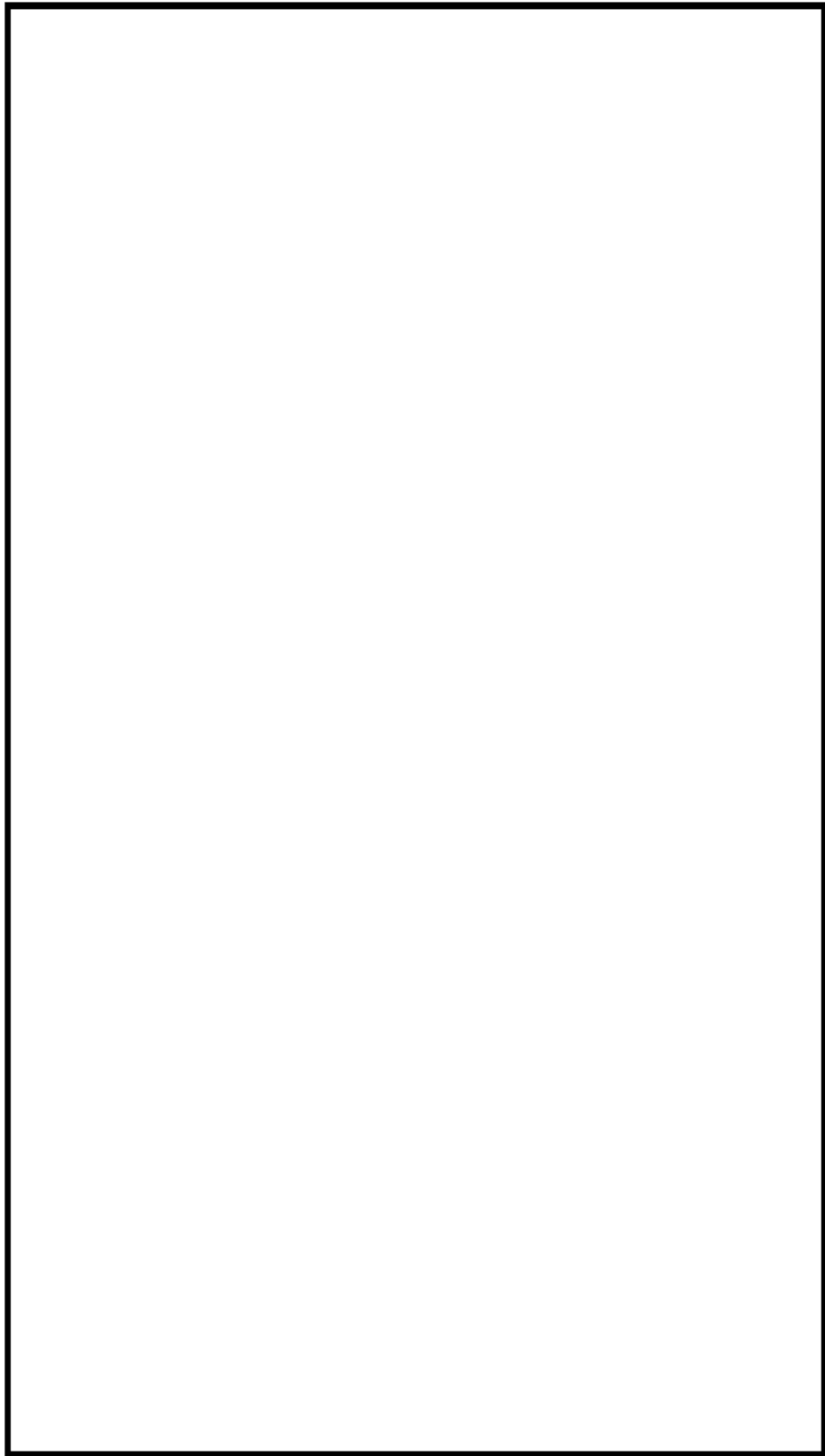












上部蓋、上部胴フランジおよびスタッドボルト寸法、評価点および解析モデル

上部蓋、上部胴フランジおよびスタッドボルト 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00012	0.00120	0.00044
2	0.00154	0.00069	0.01267
3	0.00044	0.00124	0.00112
4	0.00050	0.00073	0.00823
5	0.00049	0.00154	0.00016
6	0.00185	0.00281	0.00015
7	0.0	0.00471	0.00371
8	0.0	0.00138	0.00567
9	0.33333	0.0	0.33333
10	0.06754	0.0	0.06754
11	0.25957	0.0	0.25957
12	0.09262	0.0	0.09262

許容値 $U_t=1.0$

0.01267 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

上部蓋、上部胴フランジ 疲労解析結果 (評価点 : 2)

評価点 - 2
(S31)

応力強さ (単位 : MPa)		Ke	繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)		
極大値	極小値		N	N*			
0.0	-496.8	1.0	248.4	285.7	48	7730	0.00621
0.0	-449.6	1.0	224.8	258.5	5	10400	0.00048
-56.0	-449.6	1.0	196.8	226.3	48	16400	0.00293
-91.0	-437.2	1.0	173.1	199.1	1	24900	0.00004
-91.0	-435.5	1.0	172.2	198.1	3	25300	0.00012
-91.0	-429.2	1.0	169.1	194.5	49	26800	0.00183
-153.8	-429.2	1.0	137.7	158.3	53	51000	0.00104
-157.8	-429.2	1.0	135.7	156.1	1	54700	0.00002
-222.5	-429.2	1.0	103.3	118.8	1	171000	0.00001
-307.4	-429.2	1.0	60.9	70.0	1		0.0
疲労累積係数 =							0.01267

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 : 0.013

1.0 : 割増し係数 Ke を示す

スタッドボルト 通常疲労評価結果 (評価点 : 9)

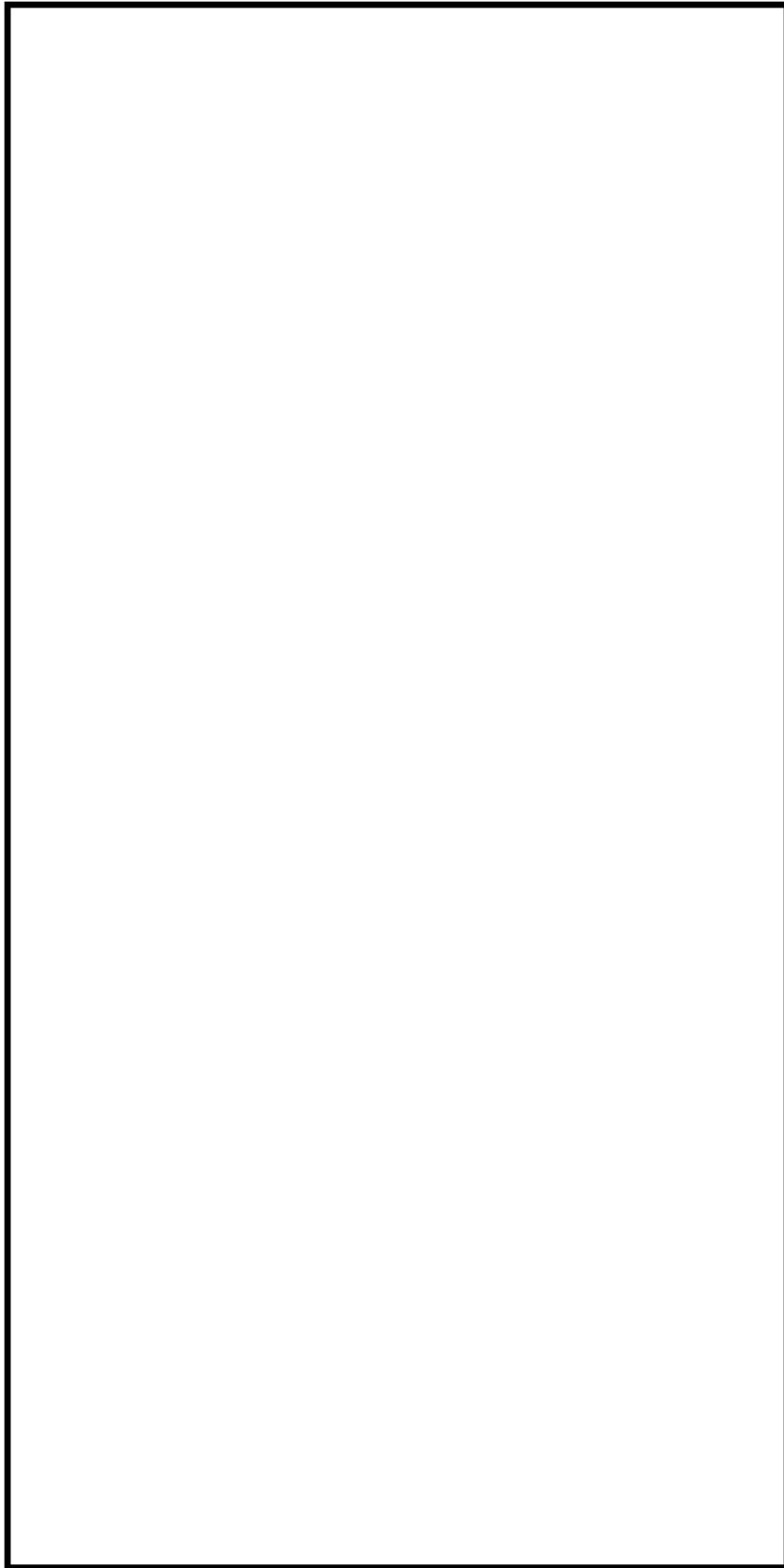
評価点 : 9
(S12)

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*	
2002.9	0.0	1.0	1001.5	1198.3	59	337	0.17507
1770.7	0.0	1.0	885.4	1059.4	5	432	0.01157
1770.7	249.8	1.0	760.5	909.9	59	583	0.10120
1437.2	453.7	1.0	491.7	588.4	1	1370	0.00073
1397.7	453.7	1.0	472.0	564.8	3	1490	0.00201
1338.2	453.7	1.0	442.2	529.2	1	1710	0.00058
1324.1	453.7	1.0	435.2	520.7	59	1760	0.03352
1323.8	624.0	1.0	349.9	418.7	1	2740	0.00036
1323.8	761.7	1.0	281.0	336.2	1	4240	0.00024
1323.8	903.1	1.0	210.4	251.7	61	8350	0.00731
1310.7	903.1	1.0	203.8	243.9	0	9030	0.00000
1304.2	903.1	1.0	200.6	240.0	3	9390	0.00032
1304.2	1001.0	1.0	151.6	181.4	3	22400	0.00013
1304.2	1008.9	1.0	147.6	176.7	1	25200	0.00004
1304.2	1010.5	1.0	146.9	175.7	1	25800	0.00004
1304.2	1048.2	1.0	128.0	153.2	3	48200	0.00006
1304.2	1056.1	1.0	124.1	148.4	5	55800	0.00009
1304.2	1072.8	1.0	115.7	138.4	1	77200	0.00001
1304.2	1078.9	1.0	112.6	134.8	1	87500	0.00001
1304.2	1090.2	1.0	107.0	128.0	0	115000	0.00000
1304.2	1117.9	1.0	93.1	111.4	1	283000	0.00000
1304.2	1119.0	1.0	92.6	110.8	0	295000	0.00000
1304.2	1122.1	1.0	91.1	109.0	1	333000	0.00000
1304.2	1131.7	1.0	86.3	103.2	0	491000	0.00000
1304.2	1134.3	1.0	85.0	101.7	3	546000	0.00001
1304.2	1144.1	1.0	80.1	95.8	1	817000	0.00000
1304.2	1146.0	1.0	79.1	94.6	0	887000	0.00000
1304.2	1152.1	1.0	76.1	91.0	1		0.0
疲労累積係数 =						0.33333	

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 : 0.334

: 割り増し係数 Ke



下部胴・下部鏡接続部寸法、評価点および解析モデル

下部胴・下部鏡接続部 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00114	0.00004
2	0.0	0.00023	0.0
3	0.0	0.00114	0.00440
4	0.0	0.00013	0.00027

許容値 $U_f=1.0$

0.00440 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

下部胴・下部鏡接続部 疲労解析結果 (評価点 : 3)

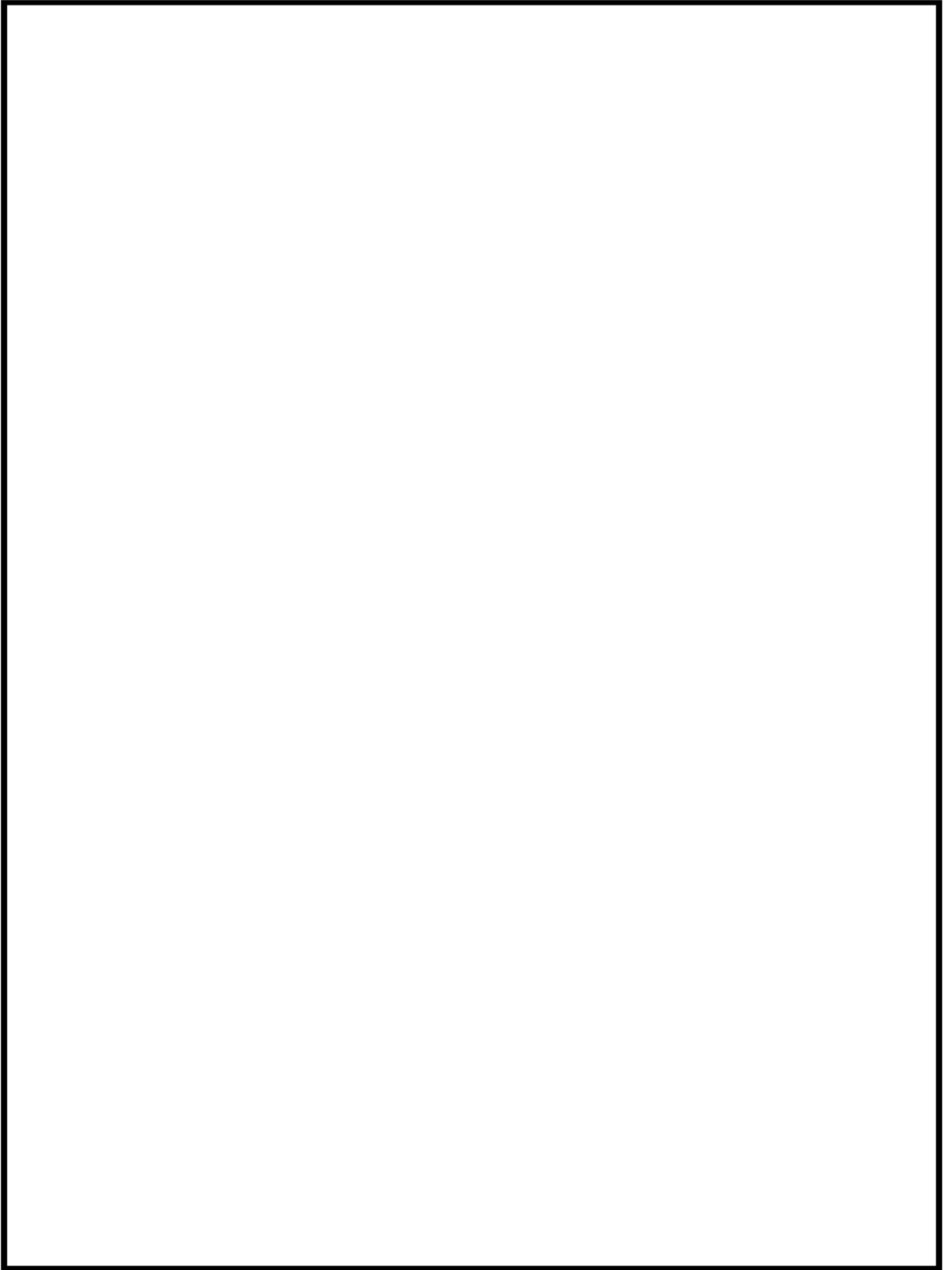
評価点 - 3
(S31)

応力強さ (単位 : MPa)		Ke	(単位 : MPa)		繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値		ALT	ALT'	N	N*	
38.9	-347.8	1.0	193.4	217.5	1	18800	0.00005
38.9	-303.9	1.0	171.4	192.8	1	27500	0.00004
38.9	-252.3	1.0	145.6	163.8	10	45500	0.00022
38.9	-235.0	1.0	137.0	154.1	1	58300	0.00002
38.9	-225.9	1.0	132.4	149.0	92	68700	0.00134
32.0	-225.9	1.0	129.0	145.1	13	78200	0.00017
32.0	-224.3	1.0	128.2	144.2	4	80700	0.00005
32.0	-219.9	1.0	125.9	141.7	5	87900	0.00006
32.0	-216.4	1.0	124.2	139.7	77	94000	0.00082
0.0	-216.4	1.0	108.2	121.7	204	157000	0.00130
-1.4	-216.4	1.0	107.5	121.0	55	161000	0.00034
-115.3	-216.4	1.0	50.6	56.9	1		0.0
疲労累積係数 =							0.00440

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しヒック応力強さ
 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 $U_f=0.005$

1.0 : 割り増し係数 K_e を示す



炉心支持金物形状寸法、評価点および解析モデル

炉心支持金物 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00058	0.00058
2	0.0	0.00058	0.0
3	0.00018	0.00833	0.00020
4	0.0	0.00021	0.0
5	0.0	0.00035	0.00151
6	0.0	0.00025	0.0
7	0.00001	0.00740	0.00029
8	0.0	0.00021	0.0
9	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0

許容値 $U_f=1.0$

0.00833 : 疲労累積係数が最大となる評価点および最大値を示す

炉心支持金物 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*	
393.9	-23.8	1.0	208.8	234.9	1	14400	0.00007
355.0	-23.8	1.0	189.4	213.0	1	20200	0.00005
302.8	-23.8	1.0	163.3	183.7	10	32000	0.00031
286.6	-23.8	1.0	155.2	174.6	1	37400	0.00003
278.4	-23.8	1.0	151.1	170.0	92	40600	0.00227
278.4	-17.3	1.0	147.9	166.4	13	43400	0.00030
277.8	-17.3	1.0	147.5	166.0	4	43700	0.00009
270.7	-17.3	1.0	144.0	162.0	5	47200	0.00011
265.6	-17.3	1.0	141.5	159.2	77	49800	0.00155
265.6	0.0	1.0	132.8	149.4	204	67700	0.00301
265.6	20.0	1.0	122.8	138.2	55	99300	0.00055
265.6	144.6	1.0	60.5	68.1	1		0.0

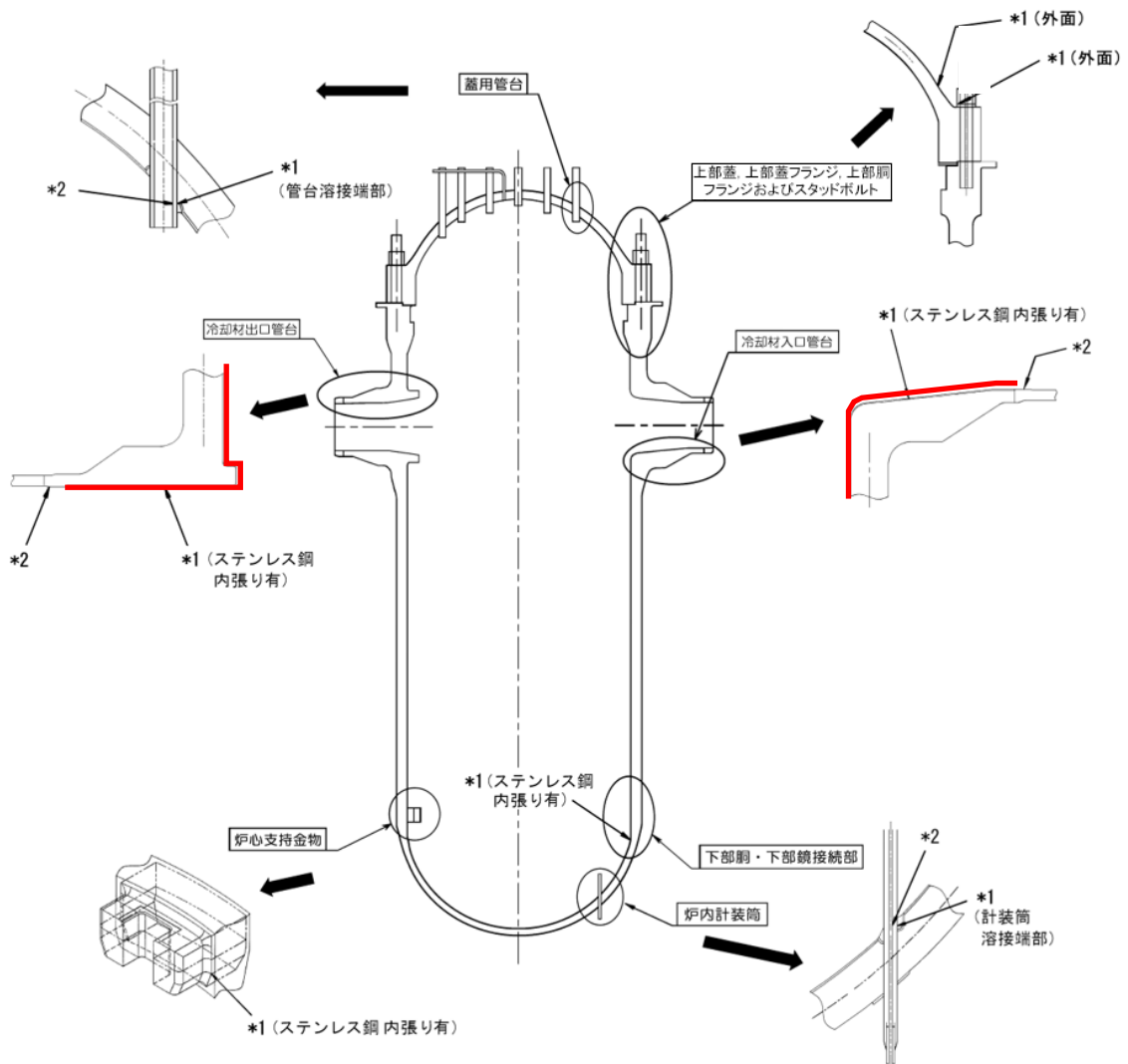
疲労累積係数 = 0.00833

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 : 0.009

1.0 : 割り増し係数 Ke を示す

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、当該箇所が目視確認はこの条件を満たすものではない。ただし、供用期間中検査で実施している検査範囲に含まれるクラッド施工範囲については、変形、剥がれ、発錆などクラッド損傷に伴う異常がないことは確認できている。</p> <p>※2：加圧器のクラッド施工部のうち疲労の蓄積が考えられるスプレイライン用管台、サージ用管台の内面については、目視確認による確認が困難な場所である。しかし、供用期間中検査としてコーナー部や溶接継手部の超音波探傷検査を実施しており、この検査はクラッドを直接確認するための検査ではないがクラッド施工部に異常がないことを確認できると考えている。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>		点検方法	原子炉容器	目視確認 ^{※1}	加圧器	目視確認 ^{※2}	蒸気発生器	目視確認
	点検方法								
原子炉容器	目視確認 ^{※1}								
加圧器	目視確認 ^{※2}								
蒸気発生器	目視確認								

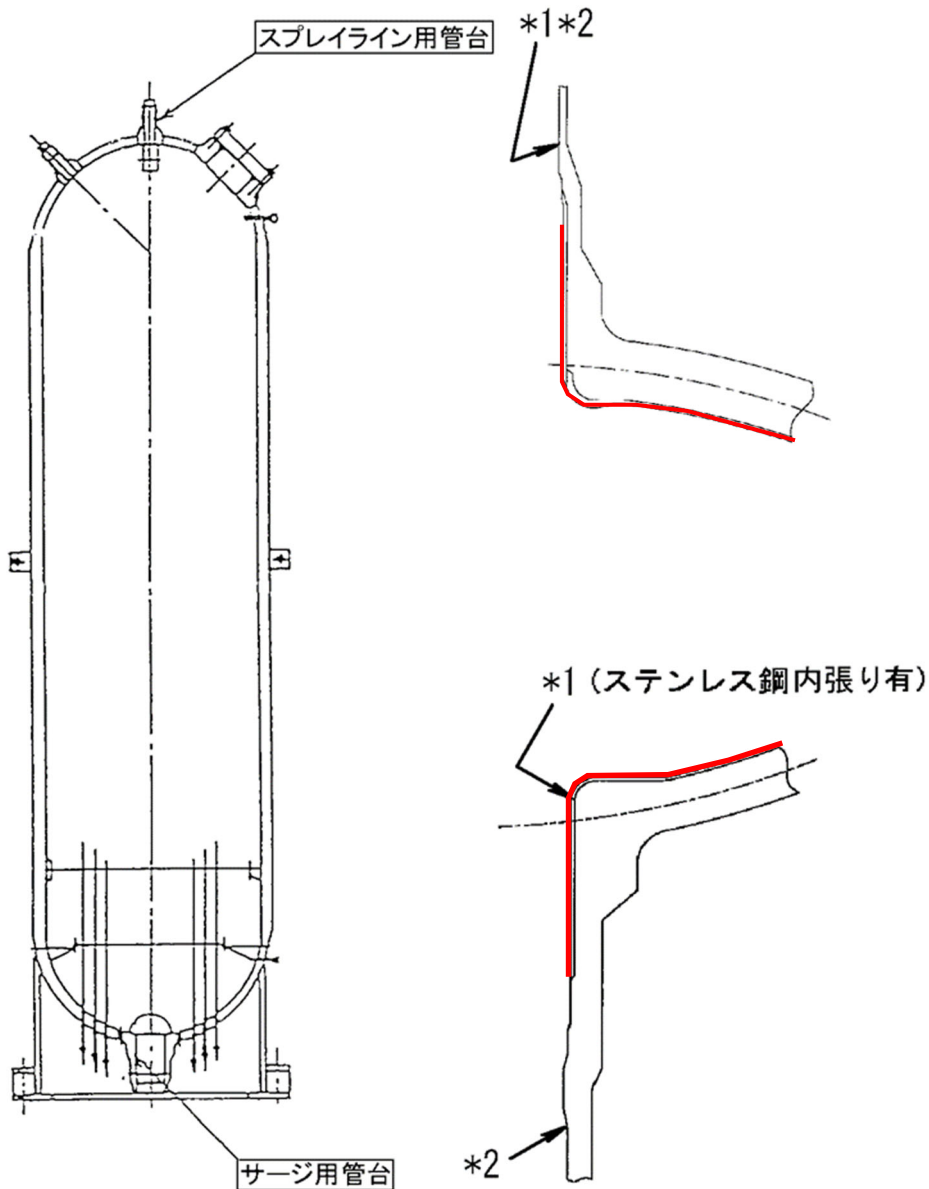


* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位 (なお原子炉容器内面は全面クラッド施工されている)

原子炉容器 疲労評価対象部位と管台クラッド施工部位

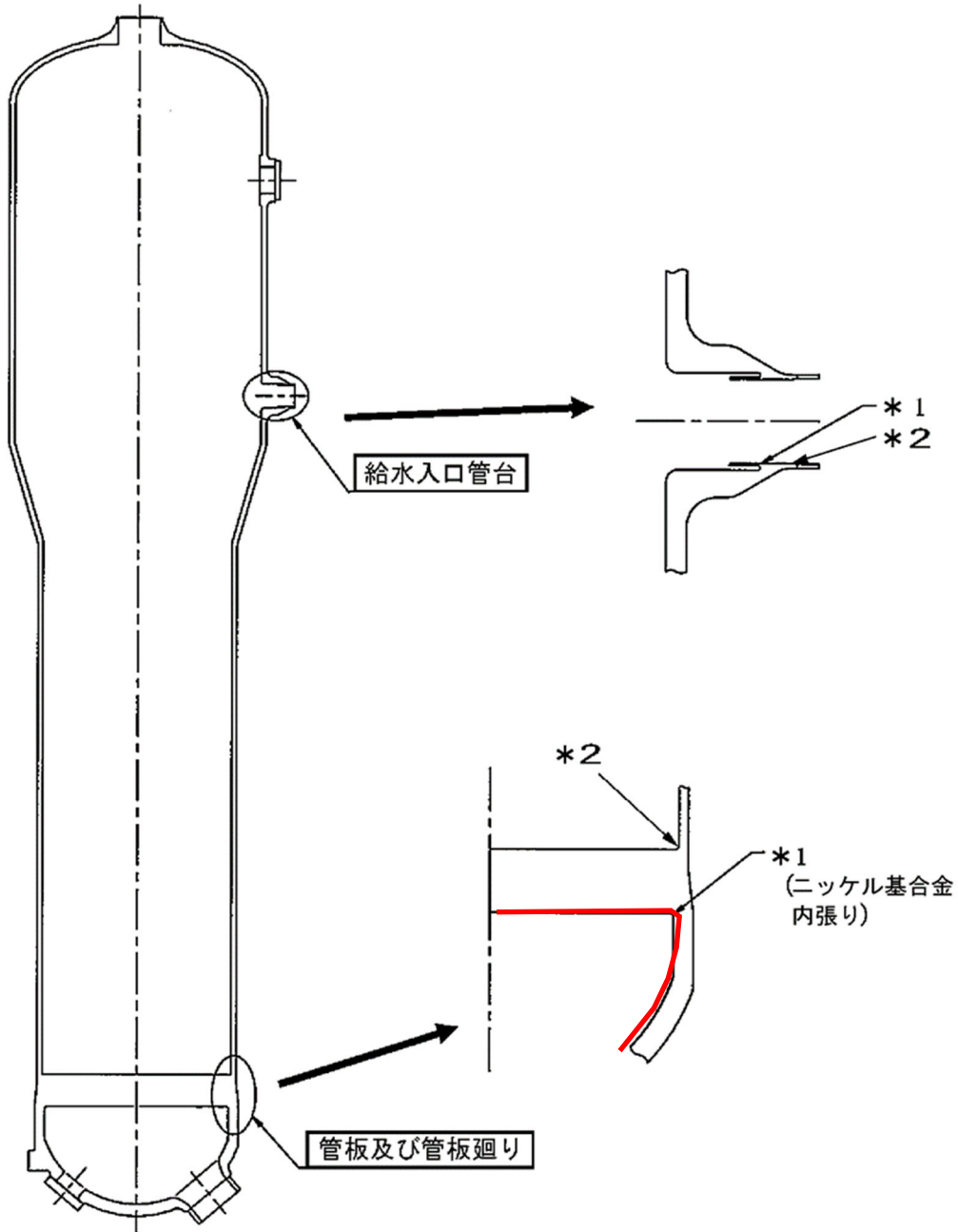


* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位 (なお加圧器内面は全面クラッド施工されている)

加圧器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位



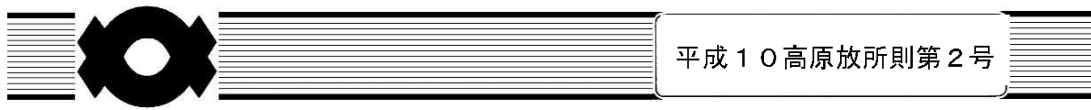
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
 (非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位

蒸気発生器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位

タイトル	環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について															
説明	<p>環境疲労評価は、「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法（2009年版）」（以下環境疲労評価手法）に基づいて実施している。</p> <p>環境疲労評価手法では、環境疲労補正係数（Fen）に溶存酸素が影響する場合として炭素鋼・低合金鋼を定めている。</p> <p>高浜1号炉の高経年化技術評価書において、炭素鋼・低合金鋼の接液部位のうち溶存酸素を考慮して環境疲労評価を行った部位は以下に示す。</p> <p style="text-align: center;">溶存酸素が影響する炭素鋼・低合金鋼の評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="421 846 1361 1003"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>部位</th> <th>材質</th> <th>水質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">蒸気発生器</td> <td>給水入口管台</td> <td>低合金鋼</td> <td>給水</td> </tr> <tr> <td>管板廻り</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 を標準値として監視・管理されていることから、当該部の環境疲労評価に対しては、溶存酸素濃度（DO）を 0.005ppm として溶存酸素濃度依存パラメータ（0*）を算出し、環境疲労補正係数の算出を行なった。</p> <p>[0*の算出式]</p> $0* = \ln(3.28) \quad (DO < 0.02\text{ppm})$ <p>なお、主給水系統配管の環境疲労評価は係数倍法を使用しており、Fen の計算に際して溶存酸素濃度を直接的には使用していないが、環境疲労評価手法の解説 EF-3121 において、PWR2 次系環境における炭素鋼・低合金鋼の Fen, sc は溶存酸素濃度を 0.005ppm とした場合の計算式であることが示されている。</p> <p>添付-1 に給水の水質管理基準を示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	機器	部位	材質	水質	蒸気発生器	給水入口管台	低合金鋼	給水	管板廻り	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													



高浜発電所 化学管理業務所則

平成10年 6月 8日 制 定

2021年 1月26日 57次改正

関西電力株式会社

高浜発電所 管理値一覧（2次系）

別表-13

項目	試料	補給水			復水						給水		凝気発生器			スチームコンバーター補助ボイラ		2次系凝結冷却水・凝結冷却水		DG		海水					
		二休出口	濃床出口		凝気塔出口	AP出口	二次蒸餾水タンク		復水タンク	復水ポンプ出口		ろ過器出口	復水脱塩装置出口①②		高圧ヒータ出口		二次粗器内水			スチームコンバーター補助ボイラ		2次系凝結冷却水・凝結冷却水		射料弁冷却水	取水口	海水	
		目値値	目値値	標準値	基準値	目値値	目値値	標準値	基準値	目値値	目値値	標準値	基準値	目値値	標準値	基準値	目値値	標準値	基準値	目値値	標準値	目値値	標準値	目値値	標準値	目値値	
pH	a25°C																										
電気伝導率	μS/cm a25°C																										
カチオン電気伝導率	μS/cm a25°C																										
ナトリウムイオン	ppb																										
塩素イオン	ppb																										
硫酸イオン	ppb																										
モル比	Na/Cl+SO4																										
クロビスpH	—																										
シリカ	ppm																										
ヒドラジン	ppb																										
溶存酸素	ppb																										
銅	ppm																										
全鉄	ppb																										
全鉛	ppb																										
亜硫酸イオン	ppm																										
残留塩素	ppm																										
全有機炭素	ppm																										
ETA	ppm																										
アンモニア	ppm																										
全放射能	Bq/cm ³																										
有機物合計 (矽酸+亜硫酸イオン)	ppm																										

高浜発電所 化学管理業務課

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	再生クーラ	管板部	詳細評価
	余熱除去クーラ	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
		蓋用管台	詳細評価
		炉内計装筒	詳細評価
		上蓋、上蓋フランジおよび上部胴フランジ	—
		下部胴・下部鏡接続部	—
		炉心支持金物	詳細評価
		スタッドボルト	—
	加圧器	スプレライン用管台	詳細評価
		サージ用管台	詳細評価
	機械ペネトレーション	余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン貫通部端板	—
		主蒸気管貫通部伸縮継手	—
		主給水管貫通部伸縮継手	—

表1 環境効果補正係数の算出方法 (2/3)

評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
配管	ステンレス鋼配管	余熱除去系統入口配管 「1次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口第2隔離弁」	係数倍法
		余熱除去系統入口配管 「余熱除去ポンプ入口第2隔離弁～原子炉格納容器貫通部」	係数倍法
		加圧器サージ配管	詳細評価
		加圧器スプレ配管	詳細評価
	炭素鋼配管	主給水系統配管 「原子炉格納容器貫通部～蒸気発生器給水管台」	係数倍法 ^{※2}
	1次冷却材管	ホットレグ	詳細評価
		クロスオーバーレグ	詳細評価
		コールドレグ	詳細評価
		加圧器サージライン用管台	詳細評価
		安全注入系ライン用管台	詳細評価
		化学体積制御系ライン用管台	詳細評価
	弁	仕切弁	ループ余熱除去系第1入口弁弁箱
玉形弁		抽出水しゃ断弁弁箱	簡易評価
スイング逆止弁		アキュムレータ第2逆止弁弁箱	簡易評価
リフト逆止弁		加圧器補助スプレライン逆止弁弁箱	簡易評価

表1 環境効果補正係数の算出方法 (3/3)

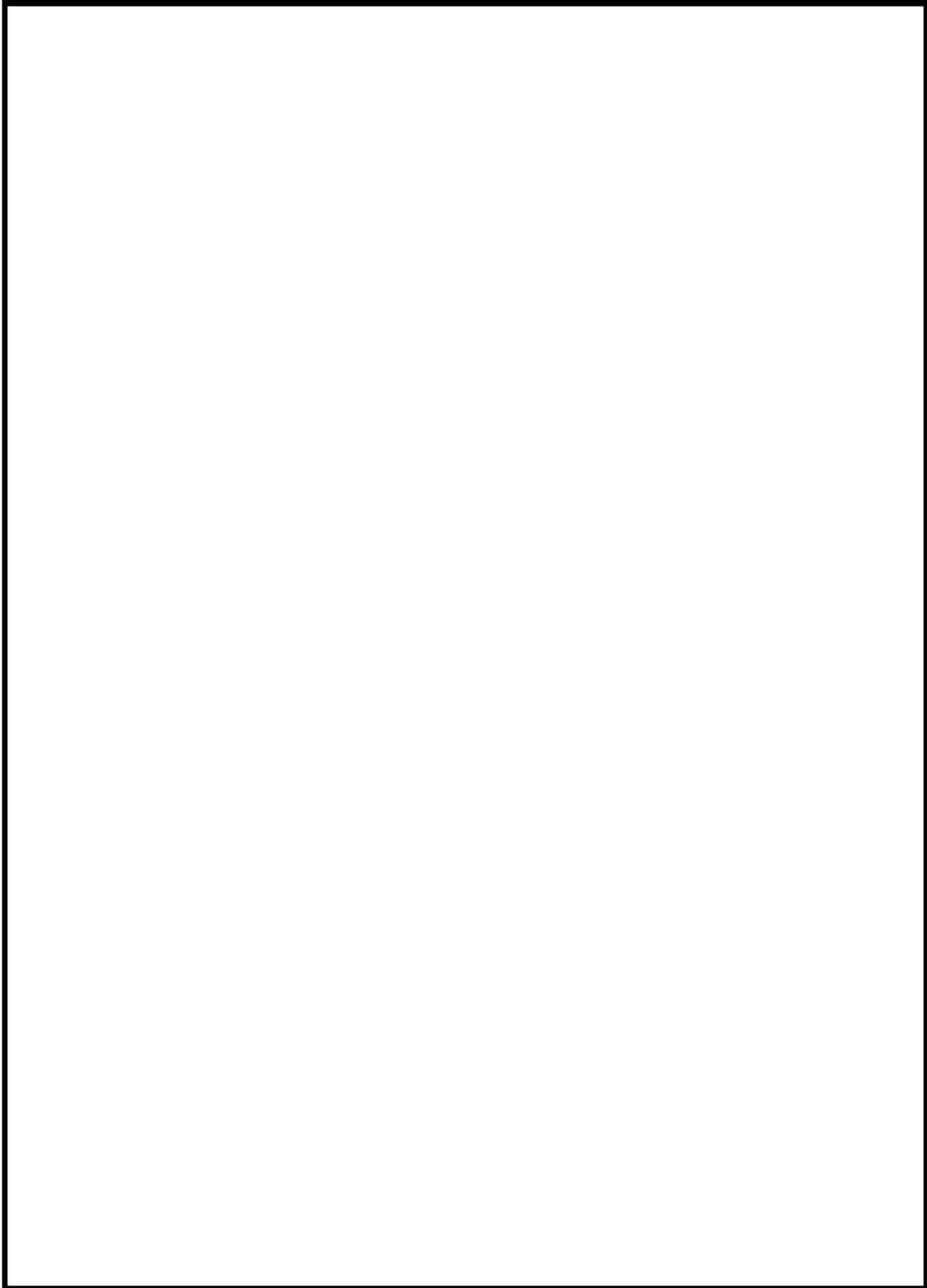
評価対象機器、部位		環境効果補正係数の算出方法	
機種・機器名	部位		
炉内構造物	炉心支持構造物	上部炉心支持板	詳細評価
		上部炉心支持柱	詳細評価
		下部炉心支持板	詳細評価
		下部炉心支持柱	詳細評価
重機器サポート		加圧器スカート溶接部	—

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

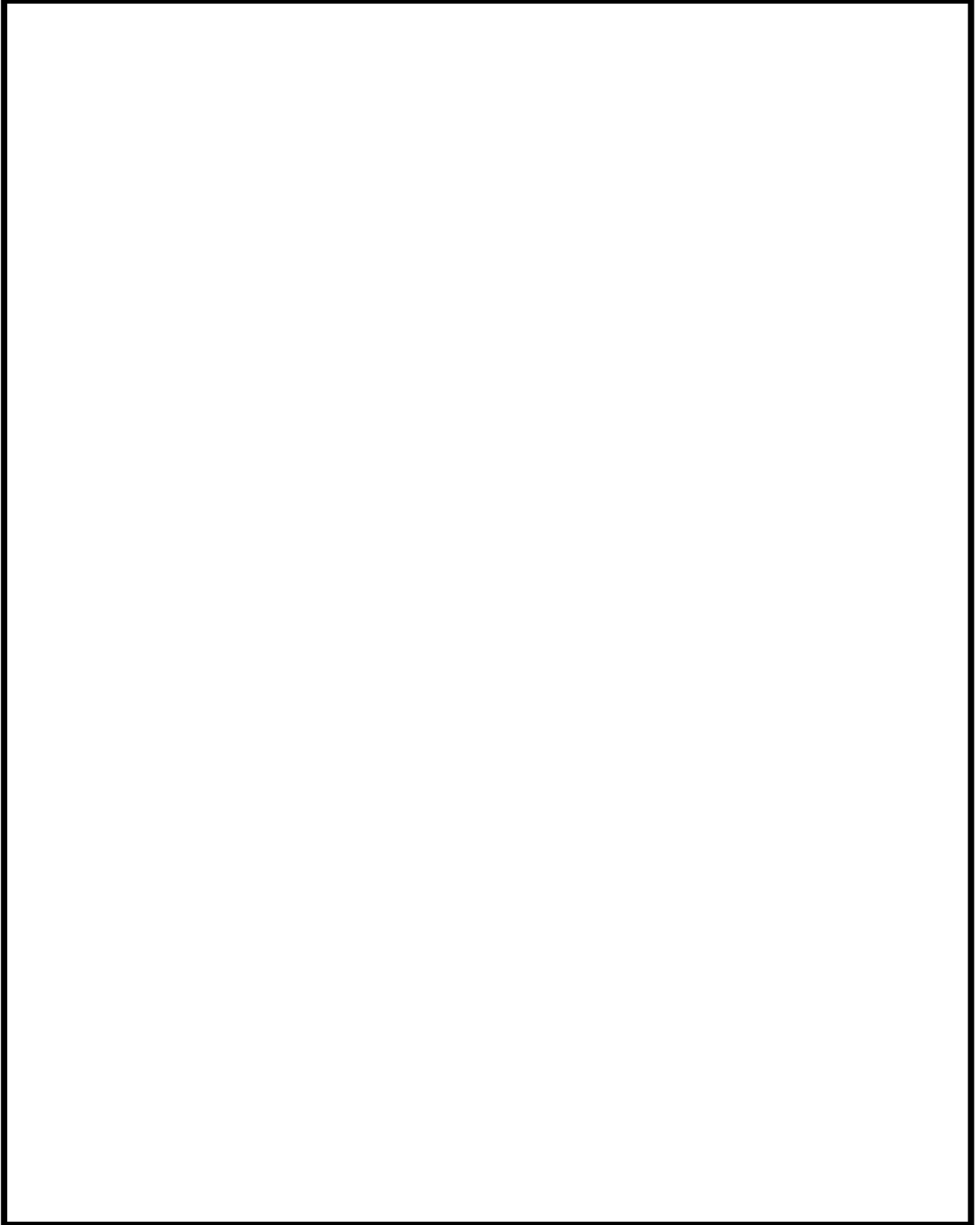
※2：環境中評価に用いた溶存酸素量は運転管理値である 0.005ppm、材料中の硫黄含有量は材料規格における最大値である 0.035%とした。

タイトル	代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>以下の各機器の評価についての算出根拠を次ページ以降に示す。 なお、次ページ以降における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。</p> <ul style="list-style-type: none">① 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・7-1-1② 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・7-2-1③ 蒸気発生器給水管台の熱成層を考慮した評価の算出根拠・・・・7-3-1④ 加圧器管台（スプレ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠・・・7-4-1⑤ 機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-5-1⑥ 加圧器スプレ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠・7-6-1⑦ 1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・7-7-1⑧ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・・・7-8-1⑨ 玉形弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・・・7-9-1⑩ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・7-10-1⑪ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・7-11-1

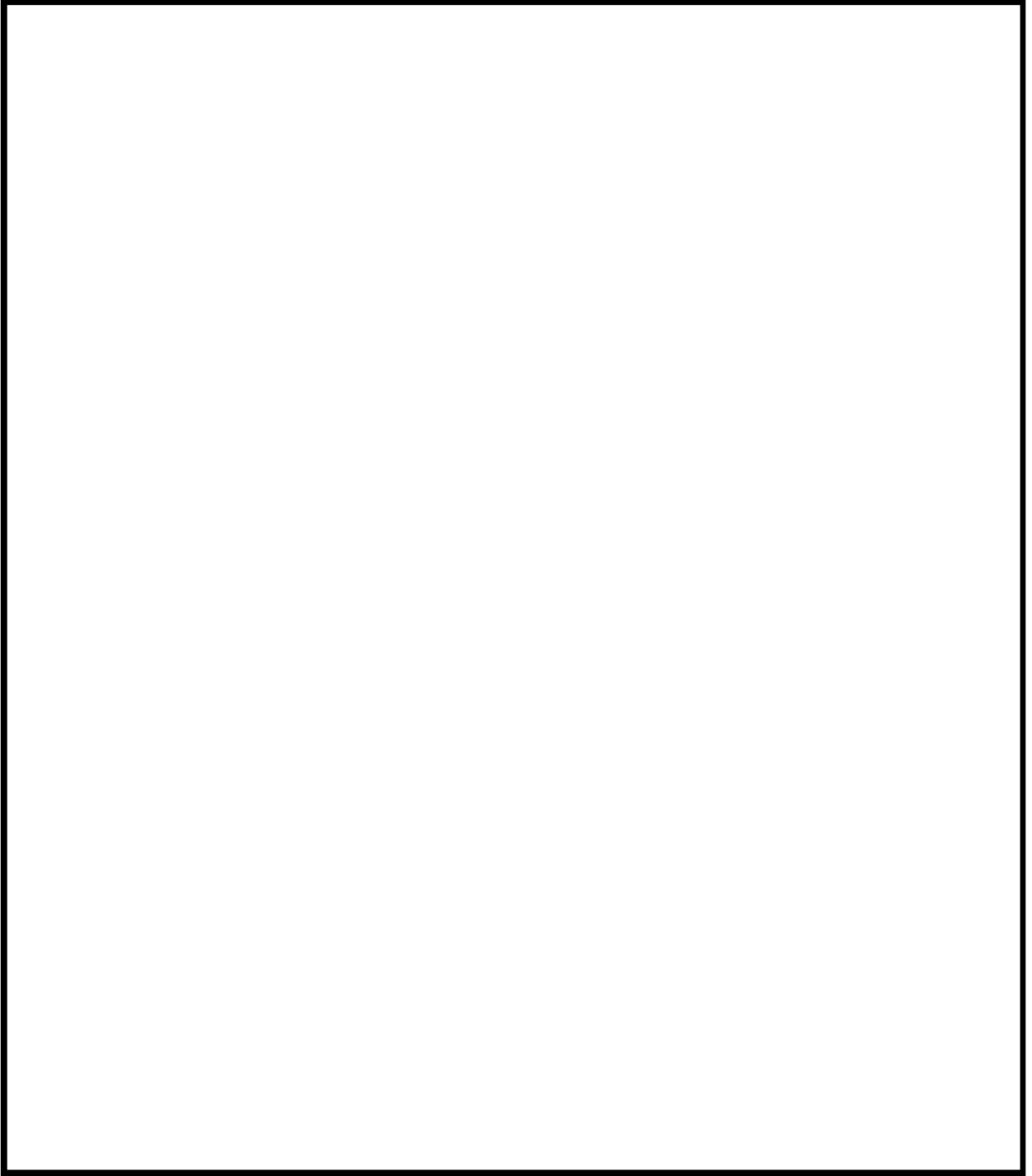
タイトル	1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 622 1310 824"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td colspan="2">ABAQUS Standard Ver. 6.7-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td colspan="2" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="462 943 1321 1144"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351 CF8 (SCS13A相当)</td> <td>116</td> <td>288.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="422 1534 1358 1704"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いたKe 係数を添付3に示す。</p> <p>6. 環境評価パラメータ 評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Standard Ver. 6.7-1		要素種類			要素次数	要素数	節点数	材料	設計応力強さ		Sm (MPa)	温度 (°C)	SA351 CF8 (SCS13A相当)	116	288.6	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重
解析プログラム	ABAQUS Standard Ver. 6.7-1																					
要素種類																						
要素次数																						
要素数																						
節点数																						
材料	設計応力強さ																					
	Sm (MPa)	温度 (°C)																				
SA351 CF8 (SCS13A相当)	116	288.6																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重																					



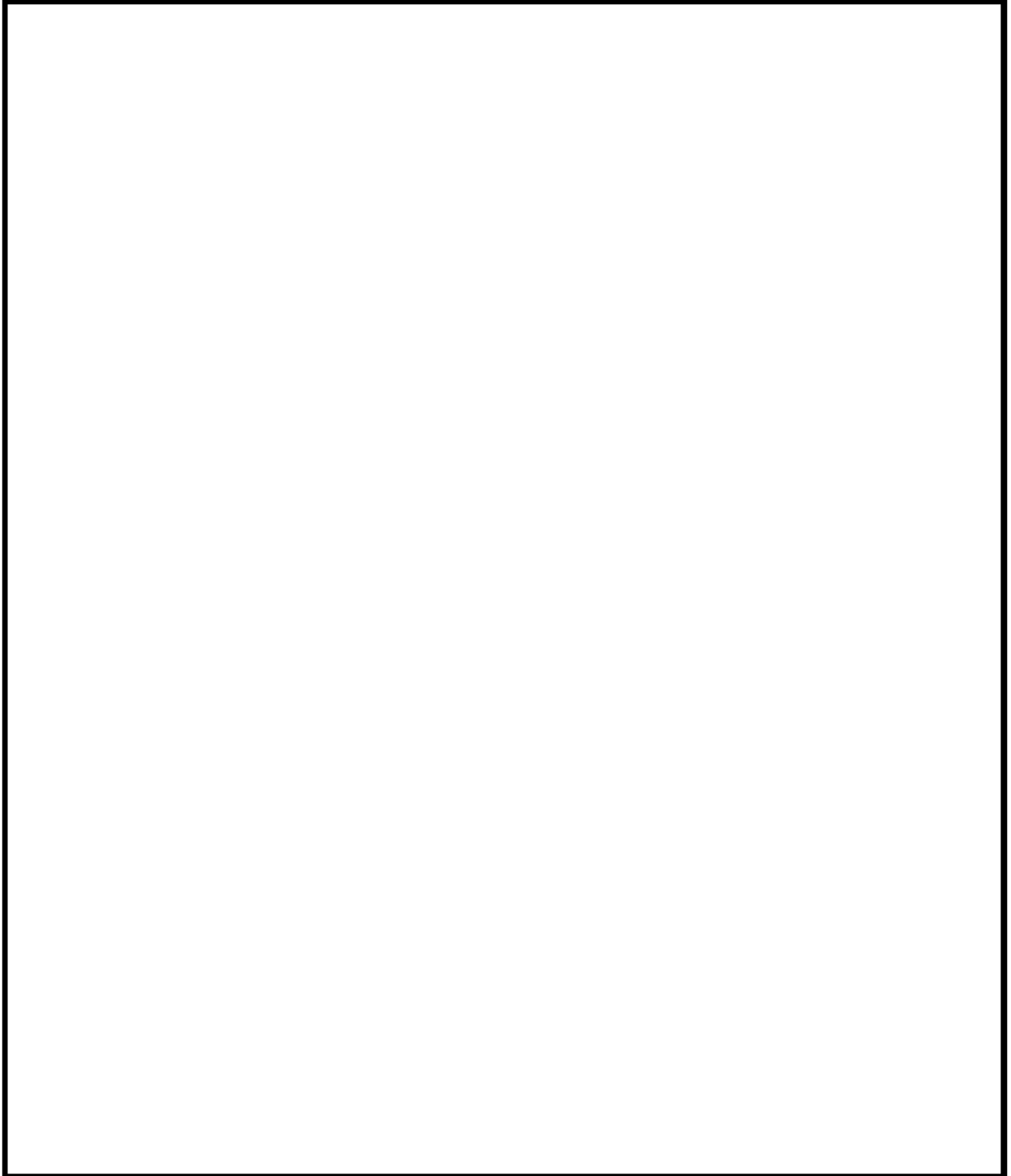
ケーシング吸込ノズル 評価点



ケージング吐出ノズル 評価点

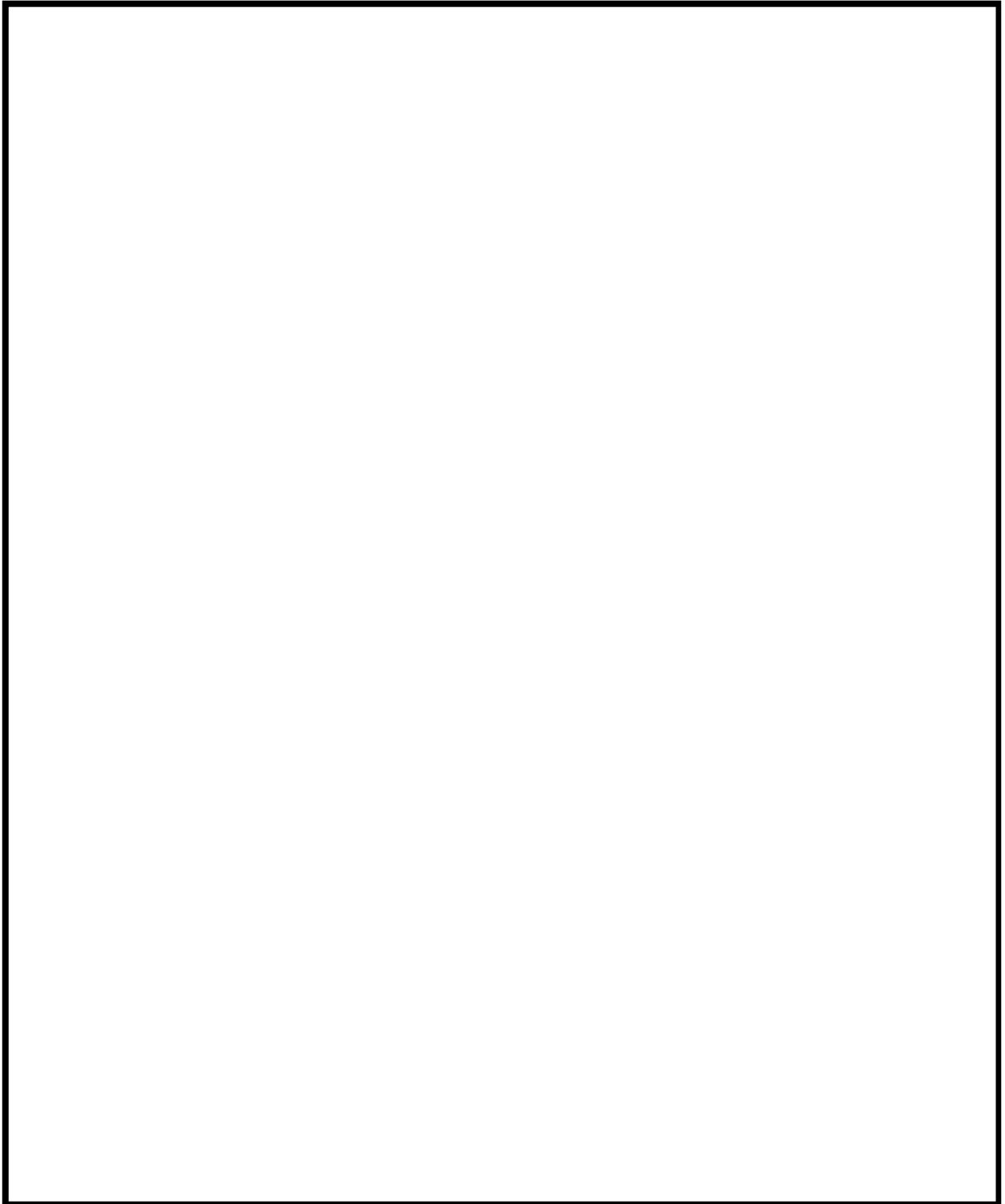


ケーシング脚部 評価点 (1 / 3)



※各評価断面に相当する位置を一般部の断面図に重ね描いた図である。

ケーシング脚部 評価点 (2 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

ケーシング吸込ノズル 最大疲労評価点の選定

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
45882	IN	0.00000	0.00000	0.00000
45946	OUT	0.00000	0.00000	0.00001
48704	IN	0.00000	0.00001	0.00012
48728	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
60234	IN	0.00002	0.00000	0.00000
62173	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
61057	IN	0.00000	0.00003	0.00003
58036	OUT	0.00000	0.00000	0.00000

ケーシング吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : 48704)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
105.0	-464.9	1.0	285.0	1	53700	0.00002
105.0	-326.7	1.0	215.9	1	255000	0.00000
105.0	-267.0	1.0	186.0	1	665000	0.00000
105.0	-246.6	1.0	175.8	10	991000	0.00001
105.0	-218.8	1.0	161.9	1	1300000	0.00000
105.0	-197.9	1.0	151.5	6	1620000	0.00000
105.0	-175.4	1.0	140.2	55	2110000	0.00003
105.0	-171.2	1.0	138.1	1	2260000	0.00000
105.0	-169.9	1.0	137.5	29	2300000	0.00001
100.3	-169.9	1.0	135.1	70	2480000	0.00003
100.3	-155.0	1.0	127.7	29	3170000	0.00001
0.0	-155.0	1.0	77.5	57		0.0
TOTAL =						0.00012

→通常UF : 0.001

ケーシング吐出ノズル 最大疲労評価点の選定

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
6003	IN	0.00244	0.02198	0.00000
6016	OUT	0.00007	0.00016	0.00000
57367	IN	0.00000	0.00011	0.00016
58927	OUT	0.00000	0.00005	0.00051
59977	IN	0.00000	0.00009	0.00016
59150	OUT	0.00000	0.00005	0.00012
60337	IN	0.00029	0.01579	0.00001
58858	OUT	0.00000	0.00005	0.00000
60786	IN	0.00067	0.00117	0.00000
59125	OUT	0.00000	0.00000	0.00000

ケーシング吐出ノズル疲労評価結果 (評価点 : 6003)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
416.2	-217.6	1.54	488.6	1	4470	0.00022
380.5	-217.6	1.53	457.9	98	5750	0.01704
380.5	-191.3	1.46	416.7	1	8410	0.00012
352.4	-191.3	1.34	365.1	1	15500	0.00006
330.5	-191.3	1.29	336.6	103	23100	0.00446
330.5	0.0	1.0	165.2	2	1220000	0.00000
306.9	0.0	1.0	153.4	10	1550000	0.00001
256.3	0.0	1.0	128.1	1	3120000	0.00000
254.7	0.0	1.0	127.3	1	3210000	0.00000
242.5	0.0	1.0	121.3	6	3960000	0.00000
227.7	0.0	1.0	113.8	5	5290000	0.00000
225.0	0.0	1.0	112.5	86	5680000	0.00002
223.9	0.0	1.0	112.0	4	5840000	0.00000
220.7	0.0	1.0	110.3	293	6370000	0.00005
220.7	31.8	1.0	94.4	55	22000000	0.00000
220.7	119.4	1.0	50.7	5		0.0
TOTAL =						0.02198

→通常 UF : 0.022

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定(1/3)

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
57546	IN	0.00000	0.00016	0.00040
58075	OUT	0.00406	0.00005	0.10880
59214	IN	0.00001	0.00501	0.00028
58270	OUT	0.00001	0.00006	0.00000
59813	IN	0.00000	0.00029	0.00014
59101	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
61124	IN	0.00004	0.00652	0.00015
58316	OUT	0.00005	0.00000	0.00010
557546	IN	0.00000	0.00016	0.00040
558075	OUT	0.00414	0.00005	0.10960
559310	IN	0.00000	0.00015	0.00039
558071	OUT	0.00416	0.00005	0.10991

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (2/3)

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
57825	IN	0.00000	0.00004	0.00023
61374	OUT	0.01380	0.22814	0.00004
59238	IN	0.00000	0.00004	0.00026
58921	OUT	0.00284	0.00001	0.04826
59737	IN	0.00047	0.00822	0.00000
58792	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
59889	IN	0.00000	0.00026	0.00020
58507	OUT	0.00032	0.02354	0.00002

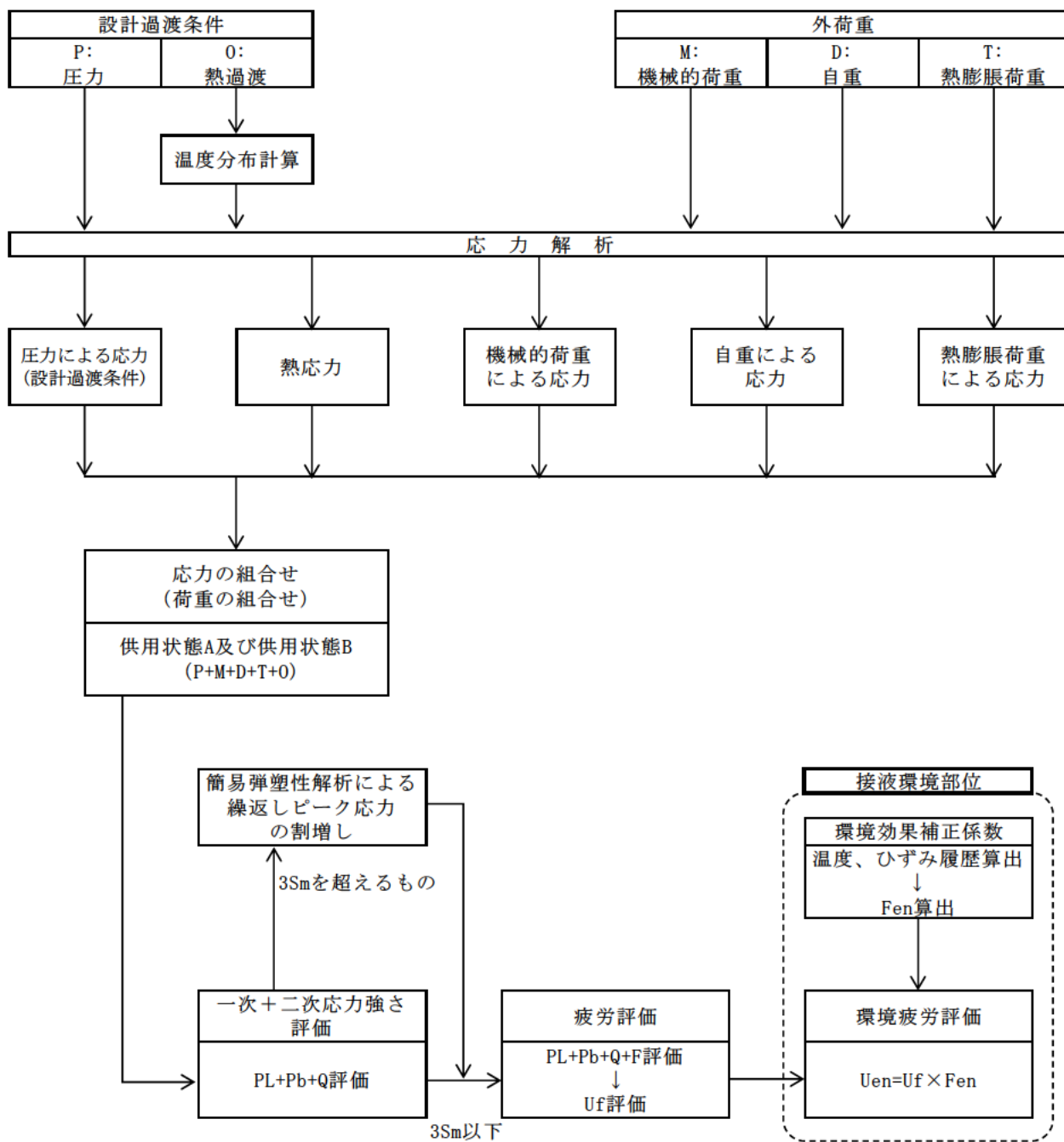
ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定(3/3)

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
557825	IN	0.00000	0.00004	0.00023
561374	OUT	0.01484	0.23487	0.00004
559238	IN	0.00000	0.00004	0.00026
558921	OUT	0.00123	0.00001	0.04822
559737	IN	0.00046	0.00814	0.00000
558792	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
559889	IN	0.00000	0.00026	0.00020
558507	OUT	0.00030	0.02276	0.00002

脚部 疲労評価結果 (評価点 : 561374)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
855.9	-202.7	1.70	897.2	99	547	0.18099
713.7	-137.7	1.50	637.0	5	1680	0.00298
650.3	-137.7	1.43	565.3	100	2580	0.03876
650.3	0.0	1.0	325.2	5	27500	0.00018
637.8	0.0	1.0	318.9	4	30300	0.00013
618.0	0.0	1.0	309.0	112	35500	0.00315
617.7	0.0	1.0	308.9	1	35600	0.00003
614.6	0.0	1.0	307.3	4	36500	0.00011
609.5	0.0	1.0	304.8	6	38100	0.00016
609.0	0.0	1.0	304.5	276	38300	0.00721
609.0	24.1	1.0	292.5	55	46800	0.00118
602.1	348.9	1.18	149.5	1	1690000	0.00000
602.1	367.5	1.18	138.8	1	2210000	0.00000
602.1	471.2	1.17	76.9	10		0.0
TOTAL =						0.23487

→通常UF : 0.235



応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ
 (ケーシング吸込ノズル 評価点48704) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		突過派 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2I1	2D3	105.0	-464.9	1.00	285.0	314.8	1	53700	0.00002	11.126	0.00021
2I1	2G1	105.0	-326.7	1.00	215.9	238.5	1	255000	0.00000	12.346	0.00005
2I1	2E1	105.0	-267.0	1.00	186.0	205.5	1	665000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2J1	105.0	-246.6	1.00	175.8	194.2	10	991000	0.00001	1.000	0.00001
2I1	2D2	105.0	-218.8	1.00	161.9	178.9	1	1300000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2F1	105.0	-197.9	1.00	151.5	167.4	6	1620000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1I1	105.0	-175.4	1.00	140.2	154.9	55	2110000	0.00003	1.000	0.00003
2I1	2H1	105.0	-171.2	1.00	138.1	152.6	1	2260000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1B1	105.0	-169.9	1.00	137.5	151.9	29	2300000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1D1	100.3	-169.9	1.00	135.1	149.3	70	2480000	0.00003	1.000	0.00003
1A1	1K1	100.3	-155.0	1.00	127.7	141.0	29	3170000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	1K1	0.0	-155.0	1.00	77.6	85.6	57	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00035

→環境UF : 0.001

Ke係数と環境疲労パラメータ
(ケーシング吐出ノズル 評価点6003) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
2D3	1A1	416.2	-217.6	1.54	488.6	539.8	1	4470	0.00022	17.867	0.00400
1B1	1A1	380.5	-217.6	1.53	457.9	505.9	98	5750	0.01704	17.252	0.29403
1B1	2I1	380.5	-191.3	1.46	416.7	460.4	1	8410	0.00012	9.560	0.00114
2G1	2I1	352.4	-191.3	1.34	365.1	403.4	1	15500	0.00006	11.696	0.00075
2I2	2I1	330.5	-191.3	1.29	336.6	371.9	103	23100	0.00446	8.121	0.03621
2I2	NSS	330.5	0.0	1.00	165.2	182.6	2	1220000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	NSS	306.9	0.0	1.00	153.4	169.5	10	1550000	0.00001	1.000	0.00001
2H1	NSS	256.3	0.0	1.00	128.1	141.6	1	3120000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	NSS	254.7	0.0	1.00	127.3	140.7	1	3210000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	NSS	242.5	0.0	1.00	121.3	134.0	6	3960000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	NSS	227.7	0.0	1.00	113.8	125.8	5	5290000	0.00000	1.000	0.00000
1K1	NSS	225.0	0.0	1.00	112.5	124.3	86	5680000	0.00002	1.000	0.00002
2A1	NSS	223.9	0.0	1.00	112.0	123.7	4	5840000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	NSS	220.7	0.0	1.00	110.3	121.9	293	6370000	0.00005	1.000	0.00005
1C1	1I1	220.7	31.8	1.00	94.4	104.3	55	22000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2B1	220.7	119.4	1.00	50.7	56.0	5	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.33620

→環境UF : 0.337

Ke係数と環境疲労パラメータ
(ケーシング脚部 評価点59737) (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	繰返しピーク 応力強さ		突過渡 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					
2D3	1A1	358.4	-198.6	1.45	404.2	446.6	1	9500	0.00011	17.714	0.00186
1B1	1A1	317.5	-198.6	1.43	367.8	406.4	98	14900	0.00658	17.557	0.11548
1B1	2I1	317.5	-176.8	1.35	334.0	369.0	1	24100	0.00004	9.585	0.00040
2G1	2I1	286.7	-176.8	1.19	276.9	305.9	1	62900	0.00002	12.054	0.00019
2I2	2I1	278.4	-176.8	1.19	271.5	299.9	103	70000	0.00147	8.158	0.01200
2I2	NSS	278.4	0.0	1.00	139.2	153.8	2	2180000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	NSS	246.7	0.0	1.00	123.3	136.3	10	3680000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	NSS	203.6	0.0	1.00	101.8	112.5	1	10400000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	NSS	194.0	0.0	1.00	97.0	107.2	1	16400000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	NSS	191.7	0.0	1.00	95.9	105.9	6	18400000	0.00000	1.000	0.00000
1K1	NSS	167.1	0.0	1.00	83.5	92.3	86	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.12994

→環境UF : 0.130

タイトル	蒸気発生器本体管板および給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>蒸気発生器本体管板および給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 815 1310 1095"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="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>管板廻り</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> <td>322.8</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。 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。 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。 解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数	節点数	要素数	使用箇所	材料	設計応力強さ		Sm (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台	SFVQ2A	184	276.9	管板廻り	SFVQ1A	184	322.8
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
使用箇所	材料	設計応力強さ																				
		Sm (MPa)	温度 (°C)																			
給水入口管台	SFVQ2A	184	276.9																			
管板廻り	SFVQ1A	184	322.8																			

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。

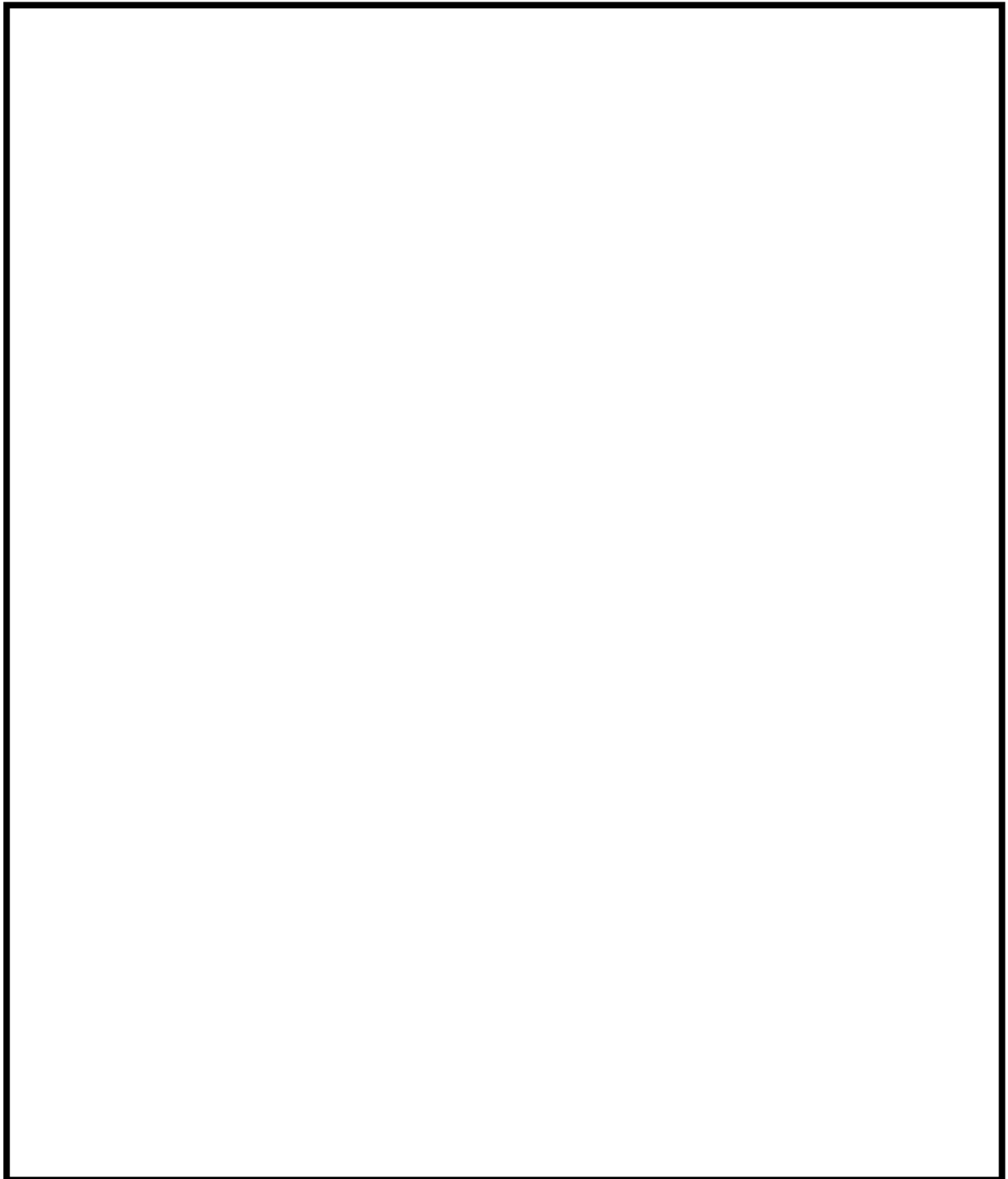
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境パラメータ

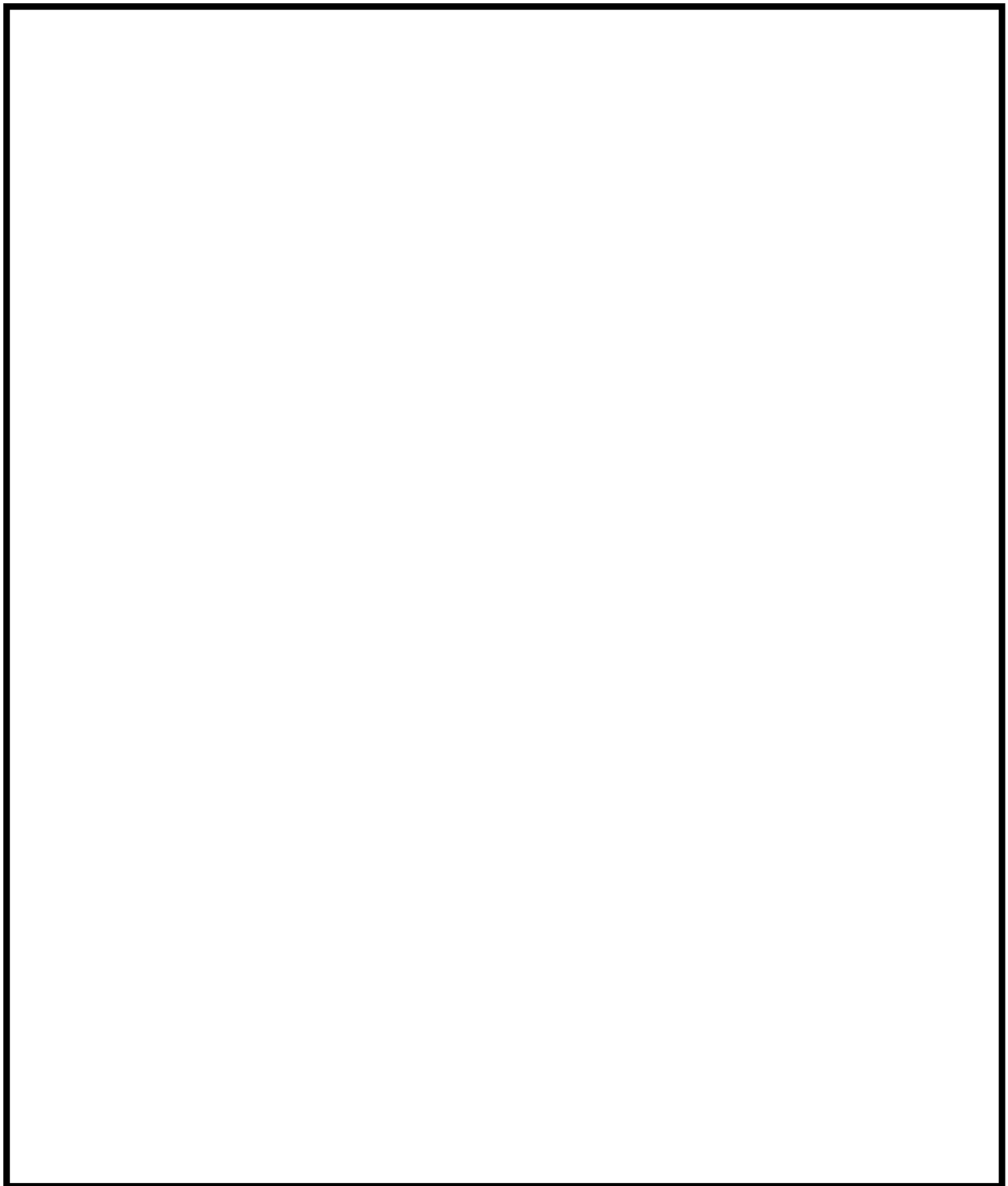
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。

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
管板廻り

評価点	Uf
1	0.02992
2	0.00156
3	0.09212
4	0.00022
1次側 R/R*=0.0	0.01130
1次側 R/R*=1.0	0.12216
2次側 R/R*=0.0	0.02916
2次側 R/R*=1.0	0.02347

疲労累積係数(最大)
(ただし、非接液)

→通常UF : 0.123

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	Uf
1	0.00172
2	0.00038
3	0.00391
4	0.00034
5	0.01205
6	0.00001
7	0.07252
8	0.04101
9L	0.04894
10L	0.00222
9C	0.00154
10C	0.01984
11L	0.05293
12L	0.00216
11C	0.00114
12C	0.01953
13L	0.05096
14L	0.00206
13C	0.00125
14C	0.01903

疲労累積係数(最大)
(接液する評価点)

→通常UF : 0.073

蒸気発生器本体 疲労評価結果 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
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT	N	N^*	(=N N^*)
828.1	-281.6	1.0	554.8	663.9	1	645	0.00155
821.1	-281.6	1.0	551.3	659.7	1	657	0.00152
820.7	-281.6	1.0	551.1	659.4	51	658	0.07751
820.7	0.0	1.0	410.3	491.0	2	1500	0.00133
741.2	0.0	1.0	370.6	443.4	1	1970	0.00051
724.2	0.0	1.0	362.1	433.3	3	2110	0.00142
720.3	0.0	1.0	360.2	431.0	1	2150	0.00047
697.1	0.0	1.0	348.5	417.0	3	2390	0.00126
670.6	0.0	1.0	335.3	401.2	4	2700	0.00148
654.8	0.0	1.0	327.4	391.8	1	2910	0.00034
599.5	0.0	1.0	299.7	358.6	0	3870	0.00000
550.3	0.0	1.0	275.2	329.2	139	5080	0.02736
550.3	20.7	1.0	264.8	316.9	39	5690	0.00685
550.3	232.8	1.0	158.7	189.9	1	28800	0.00003
550.3	270.9	1.0	139.7	167.2	1	42800	0.00002
550.3	377.6	1.0	86.4	103.3	1	311000	0.00000
550.3	397.3	1.0	76.5	91.6	283	573000	0.00049
543.3	397.3	1.0	73.0	87.4	1	897000	0.00000
542.0	397.3	1.0	72.4	86.6	1	941000	0.00000
533.5	397.3	1.0	68.1	81.5	3	0.0
疲労累積係数 =							0.12216

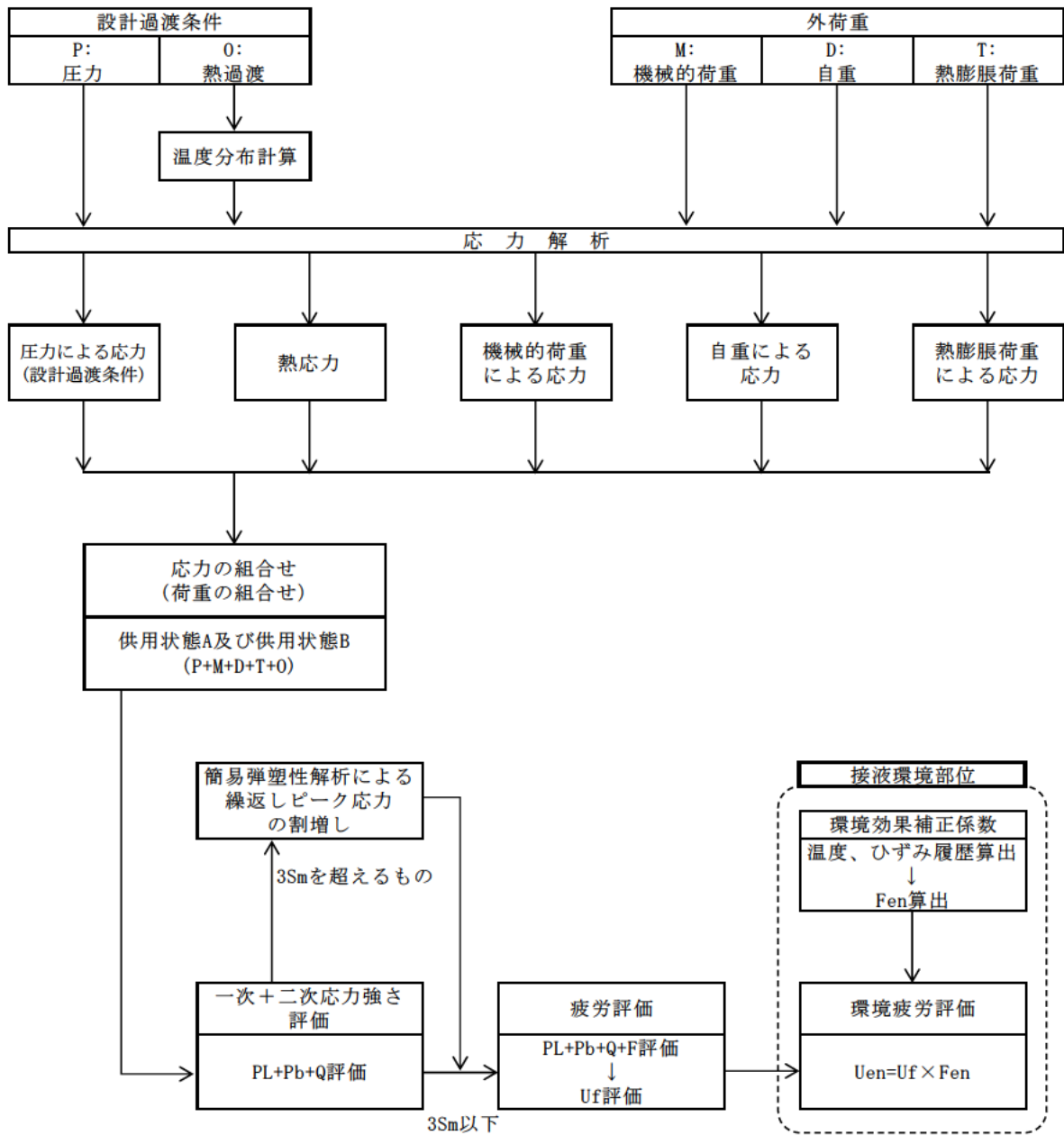
K_e : 割増し係数
 ALT : 繰返しピーク応力強さ
 ALT : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値
 N : 設計繰返し回数
 N^* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.123

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 7)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N ^{1/3})
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N'	
140.2	-669.1	1.71	689.9	806.8	1	387	0.00258
140.2	-667.5	1.69	683.8	799.7	1	395	0.00253
140.2	-666.9	1.69	683.1	798.9	1	396	0.00253
140.2	-650.2	1.68	662.1	774.3	1	426	0.00235
140.2	-464.5	1.25	379.2	443.5	3	1970	0.00152
-50.0	-326.0	1.69	233.7	273.3	1	8820	0.00011
140.2	-326.0	1.0	233.1	272.6	45	8890	0.00506
-51.4	-326.0	1.69	232.4	271.8	1	8960	0.00011
-49.1	-326.0	1.68	231.9	271.3	1	9020	0.00011
118.3	-326.0	1.0	222.1	259.8	4	10200	0.00039
118.3	-295.1	1.0	206.7	241.7	1	13100	0.00008
118.3	-246.5	1.0	182.4	213.3	1	20200	0.00005
118.3	-238.6	1.0	178.4	208.7	464	21600	0.02148
118.3	-229.8	1.0	174.0	203.5	54	23300	0.00232
118.3	-229.5	1.0	173.9	203.3	47	23400	0.00201
118.3	-226.2	1.0	172.2	201.4	541	24100	0.02245
101.9	-226.2	1.0	164.0	191.8	48	28000	0.00171
61.6	-226.2	1.0	143.9	168.3	48	41900	0.00115
34.3	-226.2	1.0	130.2	152.3	53	61700	0.00086
0.0	-226.2	1.0	113.1	132.3	101	116000	0.00087
-3.0	-226.2	1.0	111.6	130.5	48	122000	0.00039
-44.7	-226.2	1.17	106.5	124.6	3	144000	0.00002
-41.8	-226.2	1.0	92.2	107.8	270	256000	0.00105
-41.8	-223.1	1.0	90.7	106.1	196	276000	0.00071
-42.8	-223.1	1.0	90.2	105.4	1	284000	0.00000
-48.2	-223.1	1.0	87.5	102.3	1	325000	0.00000
-49.2	-223.1	1.0	87.0	101.7	4	334000	0.00001
-49.5	-223.1	1.0	86.8	101.6	3	336000	0.00001
-50.1	-223.1	1.0	86.5	101.2	1	342000	0.00000
-50.4	-223.1	1.0	86.4	101.0	3	344000	0.00001
-51.0	-223.1	1.0	86.1	100.7	1	350000	0.00000
-51.5	-223.1	1.0	85.8	100.3	3	355000	0.00001
-51.6	-223.1	1.0	85.8	100.3	4	355000	0.00001
-55.6	-223.1	1.0	83.8	97.9	3	395000	0.00001
-64.4	-223.1	1.0	79.3	92.8	1	510000	0.00000
-65.1	-223.1	1.0	79.0	92.4	1	530000	0.00000
-89.9	-223.1	1.0	66.6	77.9	1		0.0
疲労累積係数 =							0.07252

→通常UF: 0.073



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 (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	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
2J1	2E1	214.5	-463.0	1.00	338.8	405.4	1	2610	0.00038	4.516	0.00173
2J1	2K1	214.5	-406.3	1.00	310.4	371.4	52	3460	0.01503	1.000	0.01503
1A1	2K1	84.1	-406.3	1.00	245.2	293.4	1	7140	0.00014	4.860	0.00068
1A1	2D5	84.1	-391.0	1.00	237.6	284.3	1	7840	0.00013	4.619	0.00059
1A1	2D3	84.1	-328.6	1.00	206.4	247.0	1	12100	0.00008	4.386	0.00036
1A1	2F1	84.1	-323.2	1.00	203.7	243.7	3	12700	0.00024	4.298	0.00102
1A1	2C1	84.1	-305.9	1.00	195.0	233.3	3	14800	0.00020	4.412	0.00089
1A1	2D1	84.1	-297.0	1.00	190.6	228.1	4	16000	0.00025	4.463	0.00112
1A1	2G1	84.1	-287.9	1.00	186.0	222.6	1	17400	0.00006	4.467	0.00026
1A1	2A1	84.1	-279.6	1.00	181.9	217.6	1	18800	0.00005	4.673	0.00025
1A1	1L1	84.1	-264.2	1.00	174.1	208.3	1	21700	0.00005	4.619	0.00021
1A1	1G1	84.1	-260.6	1.00	172.4	206.3	1	22300	0.00004	5.258	0.00024
1A1	1D1	84.1	-251.3	1.00	167.7	200.7	31	24300	0.00128	5.337	0.00681
2H1	1D1	36.7	-251.3	1.00	144.0	172.3	1	39000	0.00003	5.150	0.00013
1C1	1D1	30.9	-251.3	1.00	141.1	168.8	432	41500	0.01041	5.953	0.06197
1C1	2H2	30.9	-228.0	1.00	129.4	154.8	1	56900	0.00002	3.990	0.00007
1C1	2B1	30.9	-217.8	1.00	124.3	148.7	3	69300	0.00004	6.295	0.00027
1C1	1K1	30.9	-214.0	1.00	122.4	146.5	30	74700	0.00040	5.795	0.00233
NSS	1K1	0.0	-214.0	1.00	107.0	128.0	17	131000	0.00013	6.068	0.00079
NSS	1A1	0.0	-205.3	1.00	102.6	122.8	48	152000	0.00032	4.860	0.00153
NSS	1B1	0.0	-205.3	1.00	102.6	122.8	48	152000	0.00032	1.000	0.00032
NSS	1J1	0.0	-194.2	1.00	97.1	116.2	41	186000	0.00022	6.068	0.00134
1I1	1J1	-19.3	-194.2	1.00	87.4	104.6	13	294000	0.00004	2.135	0.00009
1I1	1L4	-19.3	-185.6	1.00	83.1	99.4	1	370000	0.00000	2.749	0.00001
1I1	1C1	-19.3	-178.5	1.00	79.6	95.2	25	449000	0.00006	2.137	0.00012
1E1	1C1	-24.0	-178.5	1.00	77.2	92.4	1	530000	0.00000	5.697	0.00001
1G1	1C1	-27.9	-178.5	1.00	75.3	90.1	1	662000	0.00000	6.037	0.00001
2C1	1C1	-32.8	-178.5	1.00	72.8	87.1	3	892000	0.00000	3.945	0.00001
1F1	1C1	-36.9	-178.5	1.00	70.8	84.7	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.09818

→環境UF : 0.099

K e 係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 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	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	2T1	87.4	-553.3	1.27	408.5	477.7	48	1610	0.02981	1.744	0.05200
1A1	2T1	80.4	-553.3	1.26	398.9	466.6	4	1720	0.00233	2.143	0.00498
2T1	2D5	51.0	-390.7	1.15	253.7	296.8	1	6910	0.00014	1.478	0.00021
2T1	2G1	51.0	-393.3	1.11	247.4	289.4	1	7440	0.00013	1.489	0.00020
2T1	1N1	51.0	-339.8	1.19	232.0	271.3	50	9010	0.00555	2.297	0.01275
1A1	1N1	80.4	-339.8	1.00	210.1	245.7	44	12300	0.00358	2.655	0.00950
1N1	1N1	57.1	-339.8	1.00	198.5	232.1	1018	15000	0.06787	2.275	0.15441
1N1	2D3	57.1	-298.3	1.00	177.7	207.9	1	21800	0.00005	1.760	0.00008
1N1	2E1	57.1	-285.1	1.00	171.1	200.1	1	24500	0.00004	2.007	0.00008
1N1	2B1	57.1	-266.9	1.00	162.0	189.5	3	29100	0.00010	1.576	0.00016
1N1	1G1	57.1	-9.8	1.00	33.5	39.1	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.23438

→環境UF : 0.235

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

高浜1号炉 蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価 (熱成層考慮)

1. 概要

本資料は、蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価の結果についてまとめたものである。

その結果、環境疲労累積係数（以降 環境U. F. と記す）は $0.235 < 1.0$ であり、問題ないことを確認した。

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

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

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

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

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

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図1に示す。

熱成層応力の解析は3次元のFEM解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

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

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

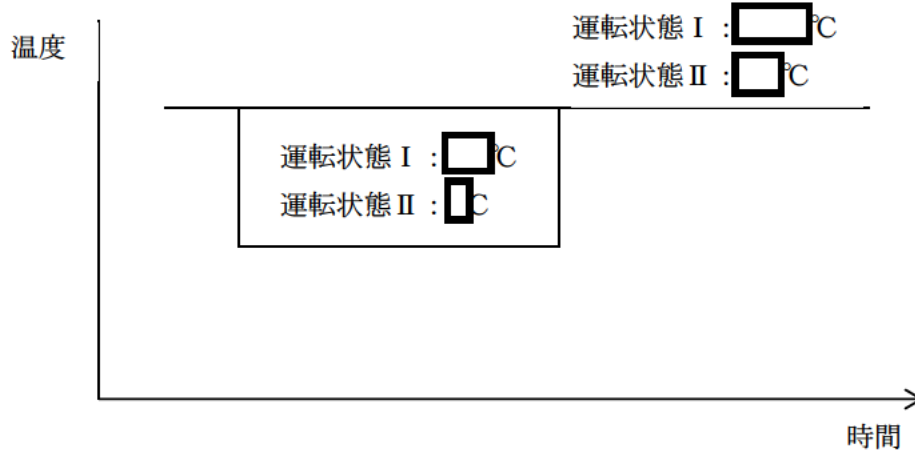
解析に使用したモデルを図2、3、4に示す。

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 6.3を使用する。

(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



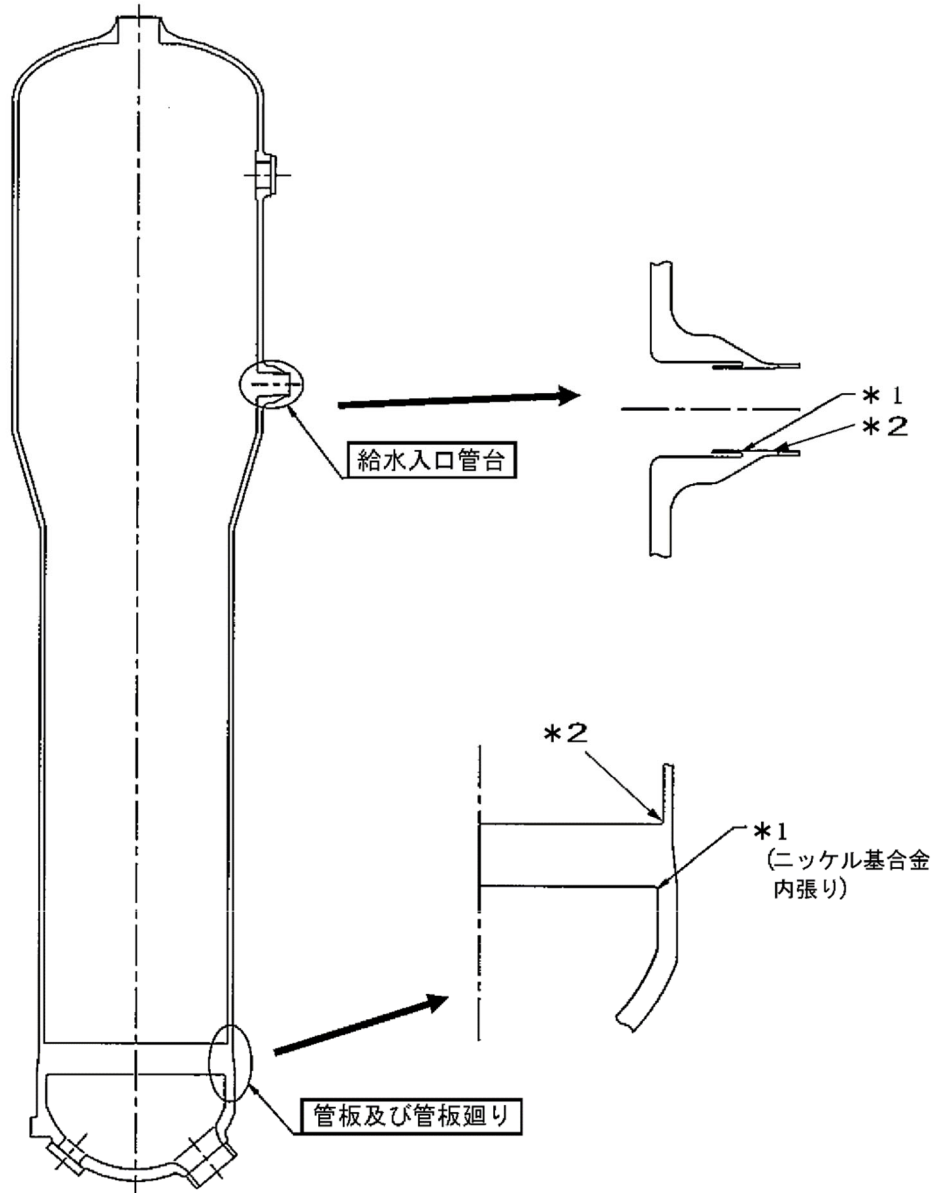
(4) 熱伝達率

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



(5) 物性値

熱成層による応力の解析に用いる材料の物性値は表1に示すとおりである。



* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

図1 高浜1号炉 蒸気発生器管板およ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)

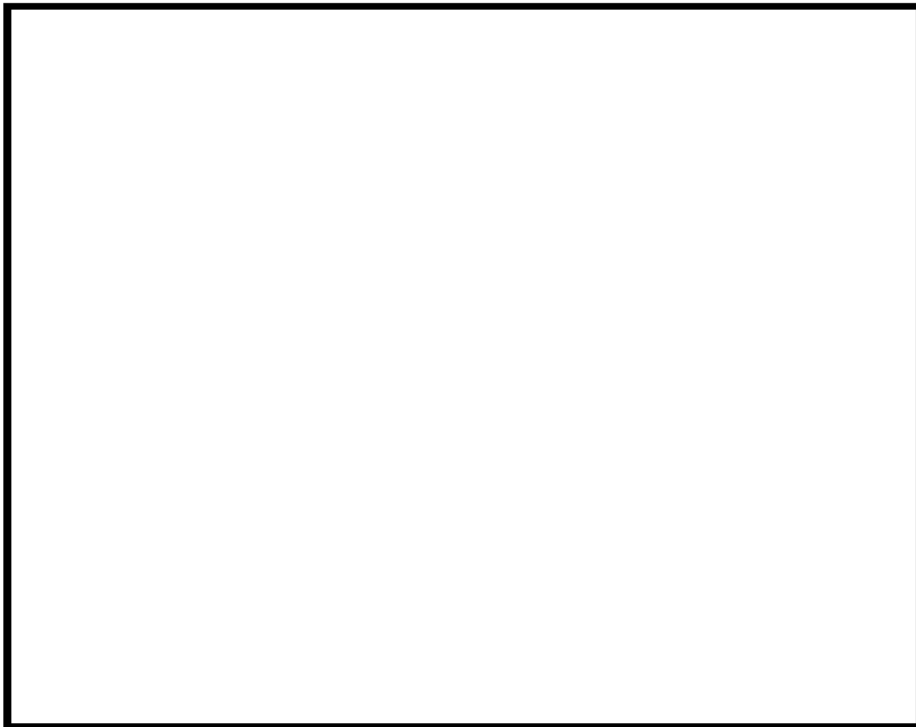


図3 解析モデル (断面図)

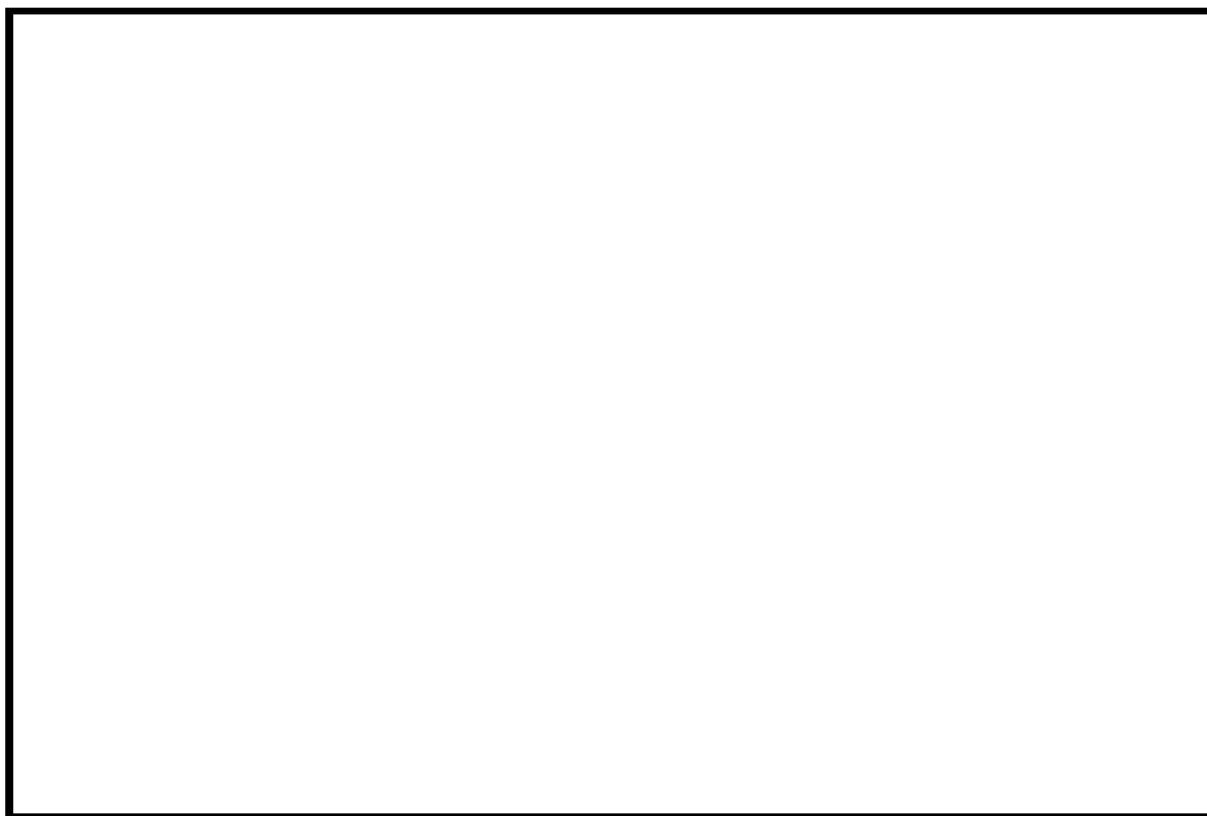


図4 解析モデル (断面拡大図)

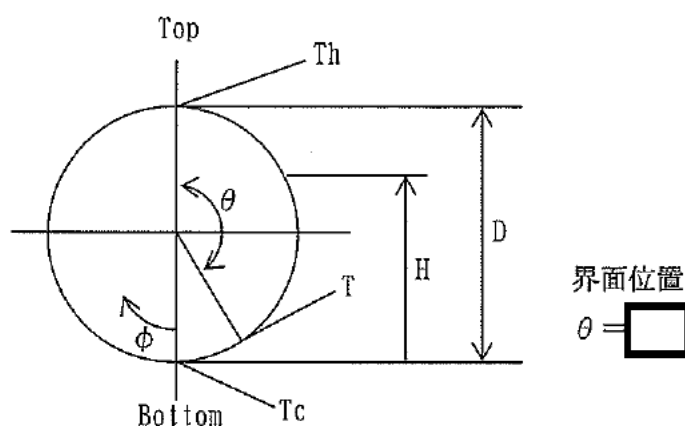
表1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴	サーマルスリーブ
材料	STPT480	SFVQ2A	SQV2B	GNCF690H
熱伝導率 (W/mK)	44.4	39.0	39.0	16.6
熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K)	4.39	4.32	4.32	4.13
熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C)	12.83	13.15	13.94	14.43
縦弾性係数 (MPa)	185,000	177,000	185,000	192,000
ポアソン比 (-)	0.3	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号機と高浜1号機では給水管台の形状(口径)が同等であることから、大飯1号機にて最大応力が確認された水平配管頂部からの角度 $\theta =$ を界面位置に設定している。



3.2 過渡条件

(1) 過渡回数

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

(2) 温度条件

低温水の微小給水・給水停止の繰返しによる熱成層の発生・消滅を評価する。

4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価結果を表2に、過渡記号を表3に示す。

以上

表2 給水入口管台環境疲労評価結果(環境U. F. が最大となる評価点)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt					
1B1	2T1	87.4	-553.3	1.27	408.5	477.7	48	1610	0.02981	1.744	0.05200
1A1	2T1	80.4	-553.3	1.26	398.9	466.6	4	1720	0.00233	2.143	0.00498
2T1	2D5	51.0	-390.7	1.15	253.7	296.8	1	6910	0.00014	1.478	0.00021
2T1	2G1	51.0	-393.3	1.11	247.4	289.4	1	7440	0.00013	1.489	0.00020
2T1	1N1	51.0	-339.8	1.19	232.0	271.3	50	9010	0.00555	2.297	0.01275
1A1	1N1	80.4	-339.8	1.00	210.1	245.7	44	12300	0.00358	2.655	0.00950
1N1	1N1	57.1	-339.8	1.00	198.5	232.1	1018	15000	0.06787	2.275	0.15441
1N1	2D3	57.1	-298.3	1.00	177.7	207.9	1	21800	0.00005	1.760	0.00008
1N1	2E1	57.1	-285.1	1.00	171.1	200.1	1	24500	0.00004	2.007	0.00008
1N1	2B1	57.1	-266.9	1.00	162.0	189.5	3	29100	0.00010	1.576	0.00016
1N1	1G1	57.1	-9.8	1.00	33.5	39.1	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.23438

→環境UF : 0.235

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%から15%への負荷上昇
1K1	15%から0%への負荷減少
1L1	1 ループ停止 / 1 ループ起動 (停止「停止ループ」)
1L2	1 ループ停止 / 1 ループ起動 (停止「運転ループ」)
1L3	1 ループ停止 / 1 ループ起動 (起動「起動ループ」)
1L4	1 ループ停止 / 1 ループ起動 (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トリップ
2D2	100%からの原子炉トリップ 不注意な冷却を伴うトリップ・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トリップ・正常ループ
2D4	100%からの原子炉トリップ 不注意な冷却とSⅠを伴うトリップ・冷却ループ
2D5	100%からの原子炉トリップ 不注意な冷却とSⅠを伴うトリップ・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次系漏えい試験
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 1160"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>【熱成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="456 1236 1355 1438"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレライン用管台) 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="402 1556 1390 1924"> <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>スプレライン用管台セーフエンド</td> <td>SA182 Gr. F 316 (SUSF316相当)</td> <td>114.6</td> </tr> <tr> <td>サージ用管台セーフエンド</td> <td>SUSF316</td> <td>114.6</td> </tr> <tr> <td>スプレライン用管台、サージ用管台</td> <td>SA508 Class2 (SFVQ2A相当)</td> <td>184</td> </tr> <tr> <td>上部鏡板、下部胴板、下部鏡板</td> <td>SA533 Gr. B Class1 (SQV2A相当)</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数	要素数	節点数	解析プログラム	(スプレライン用管台) 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℃	スプレライン用管台セーフエンド	SA182 Gr. F 316 (SUSF316相当)	114.6	サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114.6	スプレライン用管台、サージ用管台	SA508 Class2 (SFVQ2A相当)	184	上部鏡板、下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. B Class1 (SQV2A相当)	184
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3																														
要素種類																															
要素次数																															
要素数																															
節点数																															
解析プログラム		(スプレライン用管台) 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℃																														
スプレライン用管台セーフエンド	SA182 Gr. F 316 (SUSF316相当)	114.6																													
サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114.6																													
スプレライン用管台、サージ用管台	SA508 Class2 (SFVQ2A相当)	184																													
上部鏡板、下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. B Class1 (SQV2A相当)	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。

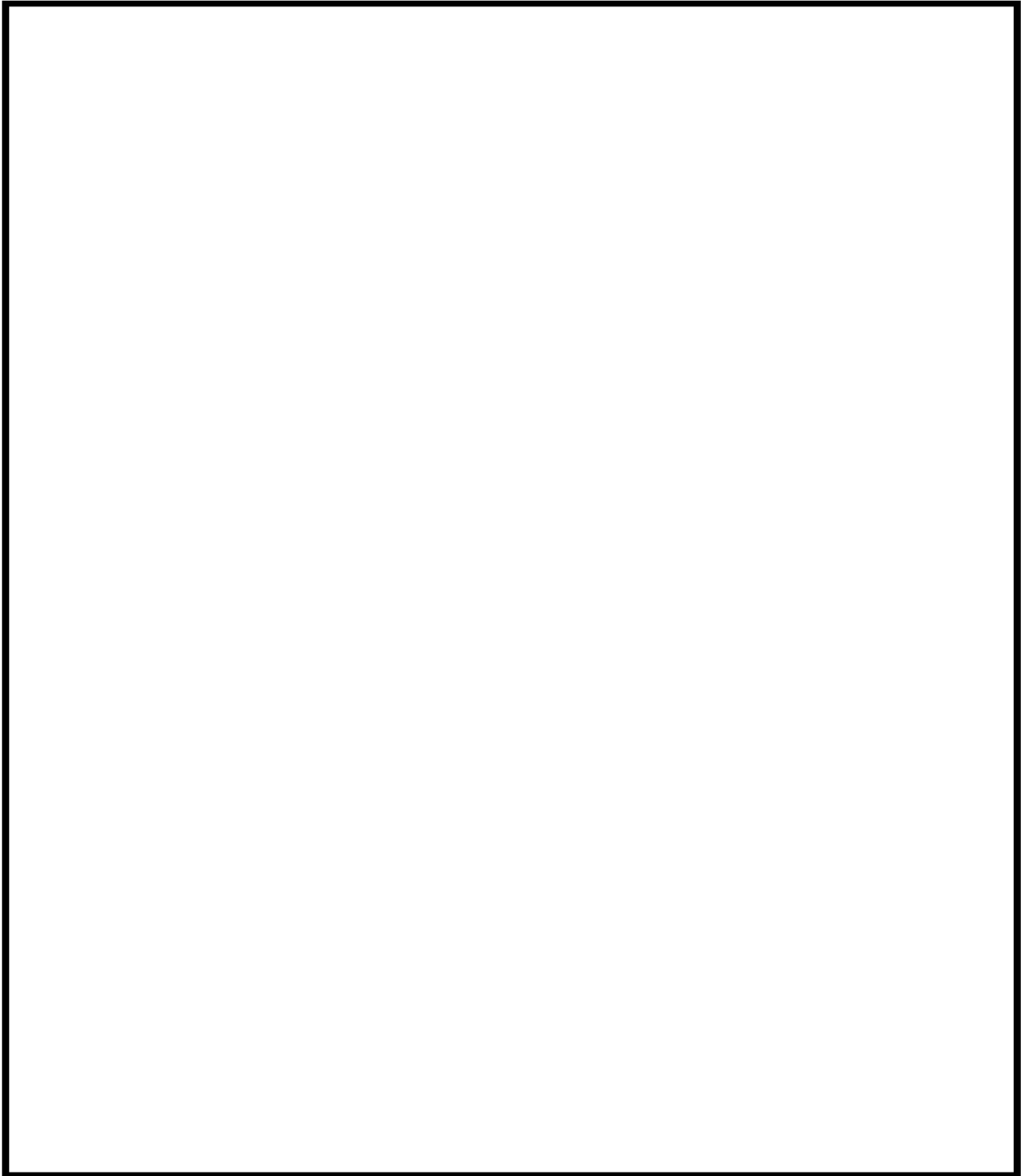
4. 応力分類

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 スプレライン用管台 評価点

スプレライン用管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00004	0.01006	0.18902
2	0.00039	0.00087	0.06317
3	0.00065	0.07883	0.00192
4	0.0	0.00000	0.0
5	0.00003	0.00000	0.00024
6	0.00000	0.0	0.0
7	0.00002	0.0	0.00024
8	0.00006	0.0	0.00013
9	0.00555	0.00000	0.00333
10	0.00385	0.0	0.00370
11	0.0	0.00036	0.00225
12	0.00067	0.0	0.00104
13	0.00377	0.02344	0.00012
14	0.0	0.0	0.0
15	0.09709	0.11182	0.0
16	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.00227	0.00000
18	0.0	0.00017	0.00464

許容値 $U_i=1.0$

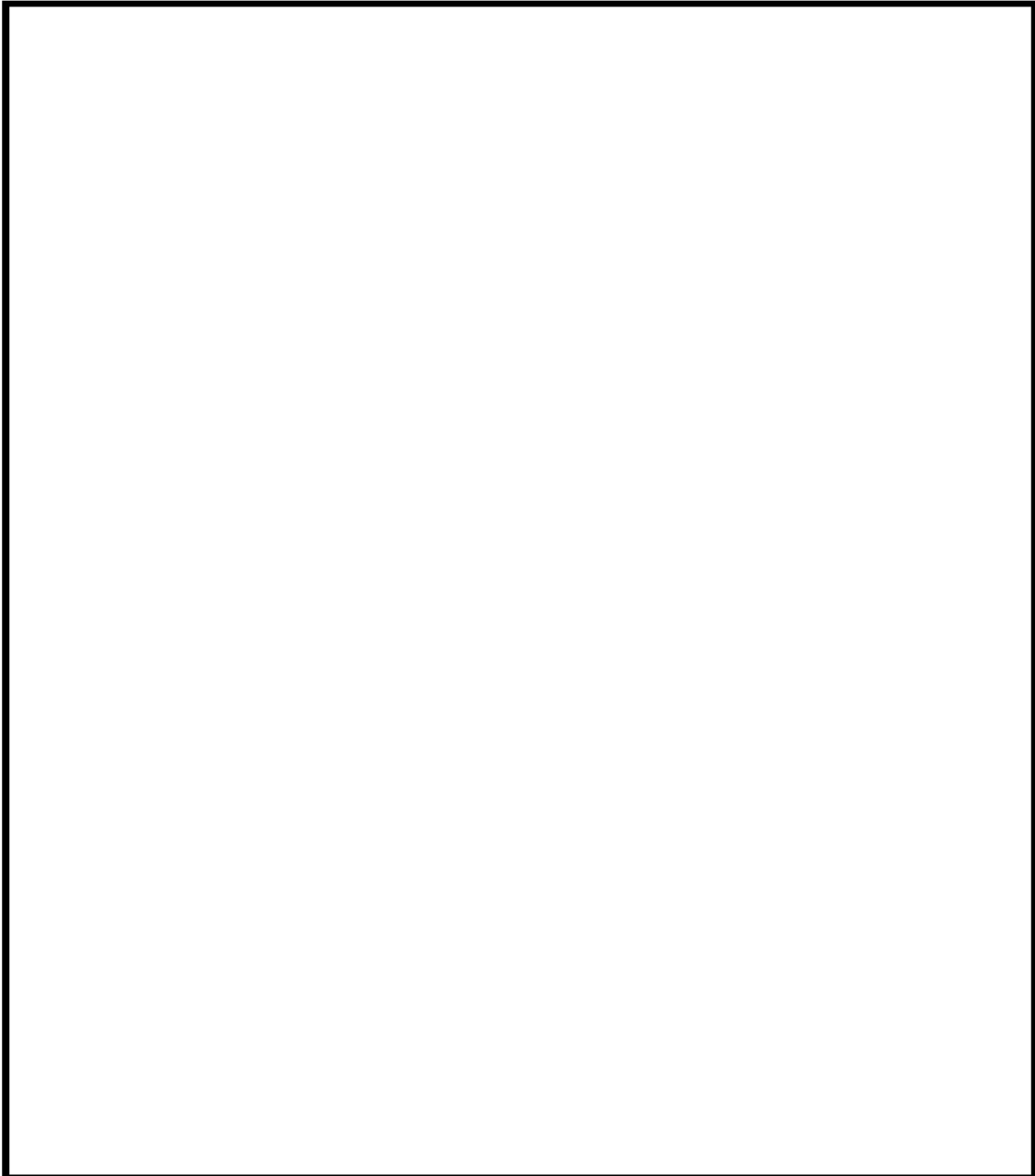
スプレライン用管台 疲労評価結果 (評価点: 1)

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'			
0.0	-739.0	1.96	723.6	815.7	1	1010	0.00099
0.0	-676.6	1.78	602.5	679.1	99	1900	0.05211
-66.5	-644.2	1.96	565.7	637.6	1	2390	0.00042
0.0	-644.2	1.72	553.6	624.0	98	2590	0.03784
0.0	-639.6	1.70	545.1	614.5	6	2750	0.00218
-102.3	-639.6	1.78	478.4	539.3	93	4480	0.02076
-102.3	-613.1	1.78	454.8	512.6	6	5460	0.00110
-105.7	-613.1	1.72	436.0	491.5	93	6460	0.01440
-105.7	-611.2	1.72	434.4	489.7	6	6560	0.00091
-104.2	-611.2	1.70	432.1	487.1	93	6700	0.01388
-104.2	-580.0	1.70	405.6	457.2	6	8650	0.00069
-101.7	-580.0	1.64	391.8	441.6	93	9940	0.00936
-106.2	-568.0	1.64	378.2	426.3	99	11800	0.00839
-110.6	-562.1	1.64	371.2	418.4	99	12900	0.00767
-114.9	-516.1	1.64	329.2	371.0	99	23400	0.00423
-118.7	-500.7	1.52	291.0	328.0	99	43400	0.00228
-123.3	-473.1	1.53	268.5	302.6	99	66700	0.00148
-101.7	-473.1	1.33	246.5	277.9	6	106000	0.00006
-104.6	-473.1	1.33	244.6	275.7	390	111000	0.00351
-104.6	-442.6	1.33	224.4	252.9	4	179000	0.00002
-104.6	-442.4	1.33	224.2	252.7	4	180000	0.00002
-104.6	-442.0	1.33	223.9	252.4	4	181000	0.00002
-104.6	-439.6	1.33	222.4	250.7	1	188000	0.00001
-104.6	-435.7	1.33	219.8	247.8	92	201000	0.00046
-126.0	-435.7	1.40	217.2	244.8	99	216000	0.00046
-126.5	-435.7	1.35	209.3	236.0	99	272000	0.00036
-114.4	-435.5	1.14	183.0	206.3	1	647000	0.00000
-114.4	-434.6	1.14	182.0	205.1	5	674000	0.00001
-114.4	-435.7	1.13	180.8	203.8	1	705000	0.00000
-114.4	-435.7	1.12	180.8	203.7	2610	707000	0.00369
-114.4	-435.6	1.12	180.7	203.7	283	709000	0.00040
-119.6	-435.6	1.14	179.6	202.4	5	741000	0.00001
-123.1	-435.6	1.14	178.1	200.7	1	785000	0.00000
-122.5	-435.6	1.12	176.0	198.4	1	854000	0.00000
-135.7	-435.6	1.17	175.0	197.3	4	888000	0.00000
-131.2	-435.6	1.14	174.0	196.2	4	924000	0.00000
-136.1	-435.6	1.16	173.9	196.0	4	930000	0.00000
-130.5	-435.6	1.12	171.5	193.3	99	1010000	0.00010
-132.1	-435.6	1.13	170.8	192.5	1	1020000	0.00000
-132.3	-435.6	1.12	170.5	192.2	99	1030000	0.00010
-136.9	-435.6	1.14	170.3	192.0	1	1030000	0.00000
-132.7	-435.6	1.12	170.3	191.9	6	1030000	0.00001
-132.8	-435.6	1.12	170.2	191.9	179	1030000	0.00017
-132.8	-435.5	1.12	170.2	191.8	6	1030000	0.00001
-132.8	-435.3	1.12	170.1	191.7	99	1030000	0.00010
-132.8	-435.2	1.12	170.0	191.7	403	1040000	0.00039
-133.1	-435.2	1.12	169.6	191.2	307	1040000	0.00030
-133.1	-420.1	1.12	161.1	181.6	99	1240000	0.00008
-133.1	-367.9	1.12	131.8	148.6	99	2530000	0.00004

疲労累積係数 = 0.18902

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返し回数の極大値
 ALT' : ALTに(1/95000) / (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 : 0.190



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	0.00001	0.00254	0.00837
2	0.0	0.00036	0.00049
3	0.0	0.00452	0.00530
4	0.00005	0.00022	0.00067
5	0.00002	0.00624	0.00103
6	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.00316	0.00425
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00006	0.00042	0.00170
10	0.0	0.0	0.00000
11	0.0	0.00016	0.00061
12	0.00007	0.0	0.00080
13	0.00415	0.0	0.00645
14	0.00634	0.0	0.00460
15	0.0	0.00117	0.00354
16	0.01675	0.0	0.01675
17	0.00409	0.01170	0.0
18	0.0	0.00083	0.00029
19	0.02083	0.01622	0.0
20	0.0	0.00154	0.00266
21	0.0	0.00293	0.00003
22	0.0	0.00314	0.00901

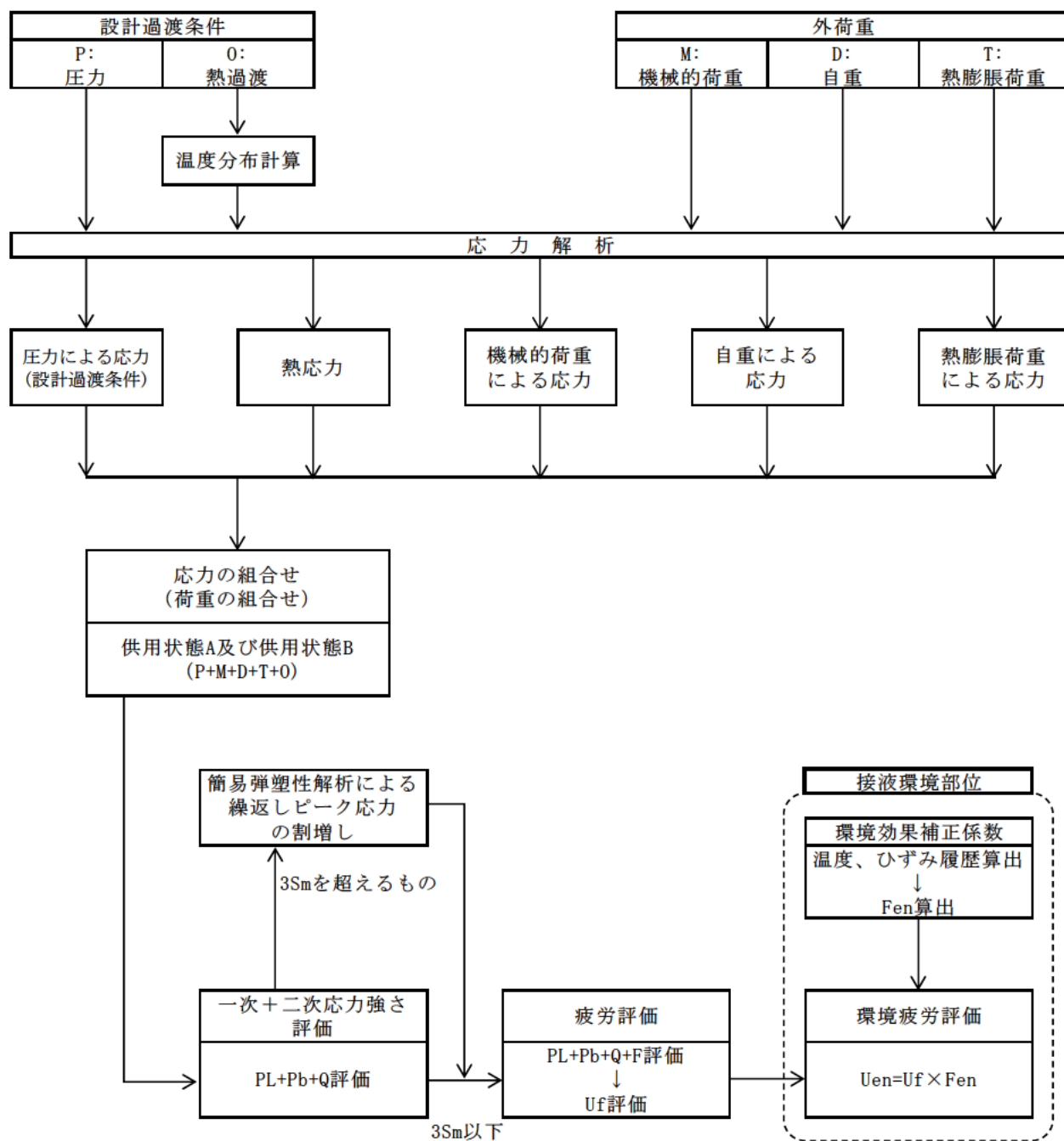
許容値 $U_i=1.0$

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*	
53.2	-310.3	1.0	181.8	218.7	1	18500	0.00005
53.2	-294.0	1.0	173.6	209.0	5	21500	0.00023
53.2	-268.8	1.0	161.0	193.8	93	27100	0.00343
50.3	-268.8	1.0	159.6	192.0	105	27900	0.00376
20.1	-268.8	1.0	144.5	173.9	99	37900	0.00261
0.0	-268.8	1.0	134.4	161.8	204	47400	0.00430
-58.2	-268.8	1.0	105.3	126.7	209	136000	0.00154
-58.2	-264.0	1.0	102.9	123.9	1	148000	0.00001
-58.2	-263.5	1.0	102.6	123.5	1	149000	0.00001
-58.2	-261.0	1.0	101.4	122.0	4	156000	0.00003
-58.2	-258.8	1.0	100.3	120.7	1	162000	0.00001
-58.2	-257.2	1.0	99.5	119.7	4	167000	0.00002
-58.2	-256.9	1.0	99.4	119.6	687	168000	0.00409
-58.2	-248.8	1.0	95.3	114.7	5	195000	0.00003
-58.2	-247.3	1.0	94.6	113.8	1	201000	0.00000
-58.2	-245.8	1.0	93.8	112.8	6	209000	0.00003
-58.2	-237.0	1.0	89.4	107.6	0	259000	0.00000
-58.2	-227.5	1.0	84.7	101.9	105	331000	0.00032
-58.2	-215.9	1.0	78.8	94.9	4	456000	0.00001
-58.2	-215.8	1.0	78.8	94.8	160	458000	0.00035
-105.9	-215.8	1.0	55.0	66.1	594	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.02083

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 : 0.021



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 (詳細評価手法)

【スプレライン用管台 (評価点: 1)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	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 sall					
2E2	2E2	228.6	-530.2	2.11	799.0	900.6	1	742	0.00135	8.919	0.01202
1A6	1B9	53.7	-338.9	1.09	213.7	240.9	99	239000	0.00041	10.462	0.00433
1A7	1B5	49.2	-296.2	1.00	172.7	194.6	99	977000	0.00010	1.000	0.00010
1B3	1B5	48.9	-288.9	1.00	168.9	190.4	99	1060000	0.00009	1.000	0.00009
1B2	1B4	46.8	-284.9	1.00	165.8	186.9	99	1120000	0.00009	1.000	0.00009
1A5	1B7	41.5	-283.1	1.00	162.3	183.0	99	1210000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1A6	40.3	-281.6	1.00	161.0	181.4	99	1240000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1B3	40.3	-276.3	1.00	158.3	178.4	99	1310000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1B9	40.3	-273.6	1.00	157.0	176.9	99	1350000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1A5	40.3	-271.8	1.00	156.0	175.9	99	1370000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1B2	40.3	-263.6	1.00	152.0	171.3	99	1500000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1A7	40.3	-261.5	1.00	150.9	170.1	99	1530000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	1A4	40.3	-248.7	1.00	144.5	162.9	99	1770000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	1B4	40.3	-235.2	1.00	137.8	155.3	99	2090000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	2A1	40.3	-226.6	1.00	133.4	150.4	4	2400000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1A3	40.3	-226.3	1.00	133.3	150.2	99	2420000	0.00004	1.000	0.00004
1M1	2C1	40.3	-226.1	1.00	133.2	150.1	4	2420000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1Q1	40.3	-224.6	1.00	132.5	149.3	4	2480000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2H1	40.3	-223.6	1.00	131.9	148.7	1	2520000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1L2	40.3	-222.7	1.00	131.5	148.2	1	2580000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1E1	40.3	-221.8	1.00	131.0	147.7	5	2600000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1C1	40.3	-220.4	1.00	130.3	146.9	710	2660000	0.00027	1.000	0.00027
1M1	1L1	40.3	-220.3	1.00	130.3	146.9	1	2660000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1M1	40.3	-220.2	1.00	130.2	146.8	1279	2670000	0.00048	1.000	0.00048
1E1	1M1	37.0	-220.2	1.00	128.6	144.9	5	2820000	0.00000	1.000	0.00000
1B4	1M1	35.4	-220.2	1.00	127.8	144.0	99	2900000	0.00003	1.000	0.00003
1L2	1M1	33.7	-220.2	1.00	126.9	143.1	1	2980000	0.00000	1.000	0.00000
1B5	1M1	33.3	-220.2	1.00	126.8	142.9	99	3000000	0.00003	1.000	0.00003
1B6	1M1	26.7	-220.2	1.00	123.5	139.2	99	3360000	0.00003	1.000	0.00003
1B7	1M1	23.9	-220.2	1.00	122.0	137.6	99	3530000	0.00003	1.000	0.00003
1D1	1M1	20.9	-220.2	1.00	120.6	135.9	687	3730000	0.00018	1.000	0.00018
1C1	1M1	20.7	-220.2	1.00	120.5	135.8	532	3740000	0.00014	1.000	0.00014
1C1	1D1	20.7	-220.1	1.00	120.4	135.8	178	3740000	0.00005	1.000	0.00005
NSS	1D1	0.0	-220.1	1.00	110.1	124.1	204	5740000	0.00004	1.000	0.00004
1A4	1D1	-2.0	-220.1	1.00	109.0	122.9	99	6070000	0.00002	1.000	0.00002
2A1	1D1	-3.6	-220.1	1.00	108.2	122.0	4	6340000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1D1	-4.7	-220.1	1.00	107.7	121.4	99	6530000	0.00002	1.000	0.00002
2H1	1D1	-4.9	-220.1	1.00	107.6	121.3	1	6570000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	1D1	-5.4	-220.1	1.00	107.4	121.0	4	6660000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1D1	-5.7	-220.1	1.00	107.2	120.8	4	6710000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1D1	-6.0	-220.1	1.00	107.1	120.7	1	6760000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1D1	-6.1	-220.1	1.00	107.0	120.6	6	6780000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1D1	-129.5	-220.1	1.00	45.3	51.1	87	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.01862

→環境UF: 0.019

【サージ用管台 (評価点: 1)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		突過渡 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'					
2G1	2H1	42.7	-526.1	1.00	284.4	320.6	1	48700	0.00002	13.926	0.00029
NSS	1B2	0.0	-491.6	1.00	245.8	277.1	204	108000	0.00189	3.579	0.00676
2D3	1B2	-35.5	-491.6	1.00	228.1	257.1	1	163000	0.00001	7.386	0.00005
1C1	1B2	-47.7	-491.6	1.00	222.0	250.2	710	190000	0.00374	8.917	0.03332
2B1	1B2	-66.3	-491.6	1.00	212.7	239.7	5	247000	0.00002	8.907	0.00018
1A2	1B2	-77.8	-491.6	1.00	206.9	233.2	268	292000	0.00092	4.113	0.00377
1A2	1A2	-77.8	-480.3	1.00	201.3	226.9	326	347000	0.00094	4.009	0.00377
1L1	1A2	-81.9	-480.3	1.00	199.2	224.5	1	370000	0.00000	5.284	0.00001
1B2	1A2	-93.5	-480.3	1.00	193.4	218.0	267	445000	0.00060	3.863	0.00232
1B2	2G1	-93.5	-457.3	1.00	181.9	205.0	1	676000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	2E1	-93.5	-455.4	1.00	181.0	204.0	1	701000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	2D3	-93.5	-405.0	1.00	155.7	175.5	1	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1G1	-93.5	-401.2	1.00	153.8	173.4	4	1440000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1L1	-93.5	-371.8	1.00	139.1	156.8	1	2000000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1L2	-93.5	-362.0	1.00	134.2	151.3	1	2340000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	2B1	-93.5	-352.4	1.00	129.4	145.9	5	2740000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	2A1	-93.5	-343.9	1.00	125.2	141.1	4	3170000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1H1	-93.5	-319.7	1.00	113.1	127.5	0	4920000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1D1	-93.5	-312.2	1.00	109.3	123.3	687	5970000	0.00012	1.000	0.00012
1B2	1C1	-93.5	-309.2	1.00	107.8	121.5	216	6480000	0.00003	1.000	0.00003
1D1	1C1	-93.7	-309.2	1.00	107.7	121.4	494	6520000	0.00008	1.000	0.00008
1D1	1F1	-93.7	-292.5	1.00	99.4	112.0	6	10800000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1E1	-93.7	-272.7	1.00	89.5	100.8	5	37500000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2C1	-93.7	-241.7	1.00	74.0	83.4	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.05070

→環境UF: 0.051

タイトル	機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口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>余熱除去出口配管貫通部の仕様、荷重および疲労評価結果を添付 1 に示す。</p> <p>主蒸気・主給水管貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位の発生変位を算出し、「Kellogg」の計算式とPVE-3800の疲労評価にかかわる規定を用いて算出している。</p> <p>主蒸気・主給水管貫通部の仕様および疲労評価結果を添付 2 に示す。</p>

余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口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。

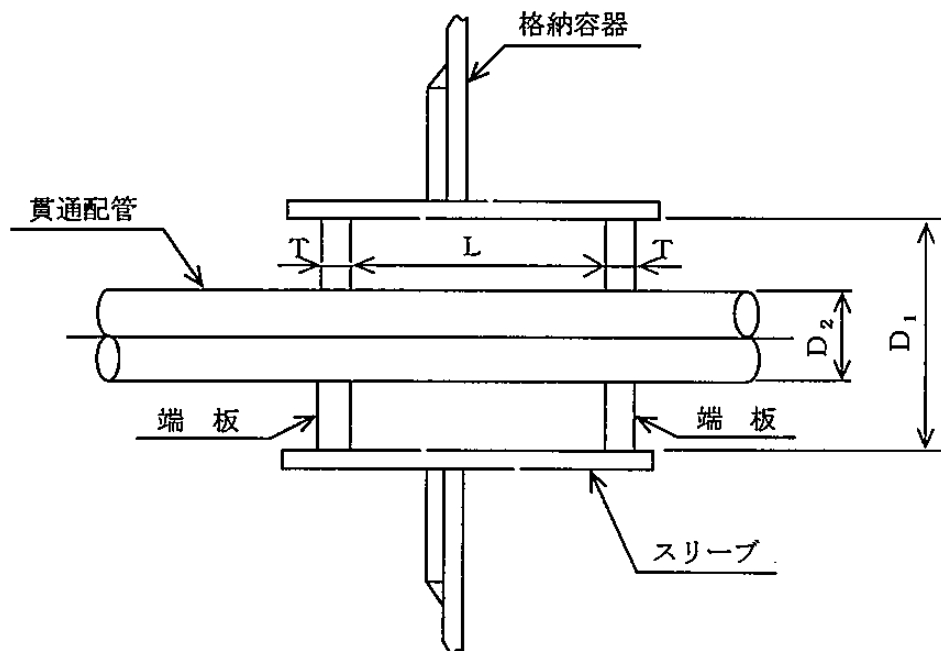


図1 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン貫通部の基本寸法箇所

表1 余熱除去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)
余熱除去クーラ出 口・余熱除去ポン プ入口ライン	0.261	200				SUS32	183,000

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

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

表2 端板に作用する荷重

格納容器貫通部	軸力[kN]			モーメント[kN・m]		
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン	11	4	-11	22	8	12

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

表3 端板の疲労評価結果

格納容器貫通部	繰返しピーク応力強さ(MPa)	過渡による負荷回数(n)	許容繰返し回数(N)	疲労累積係数(Uf)
余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン	832	957	408	0.427

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

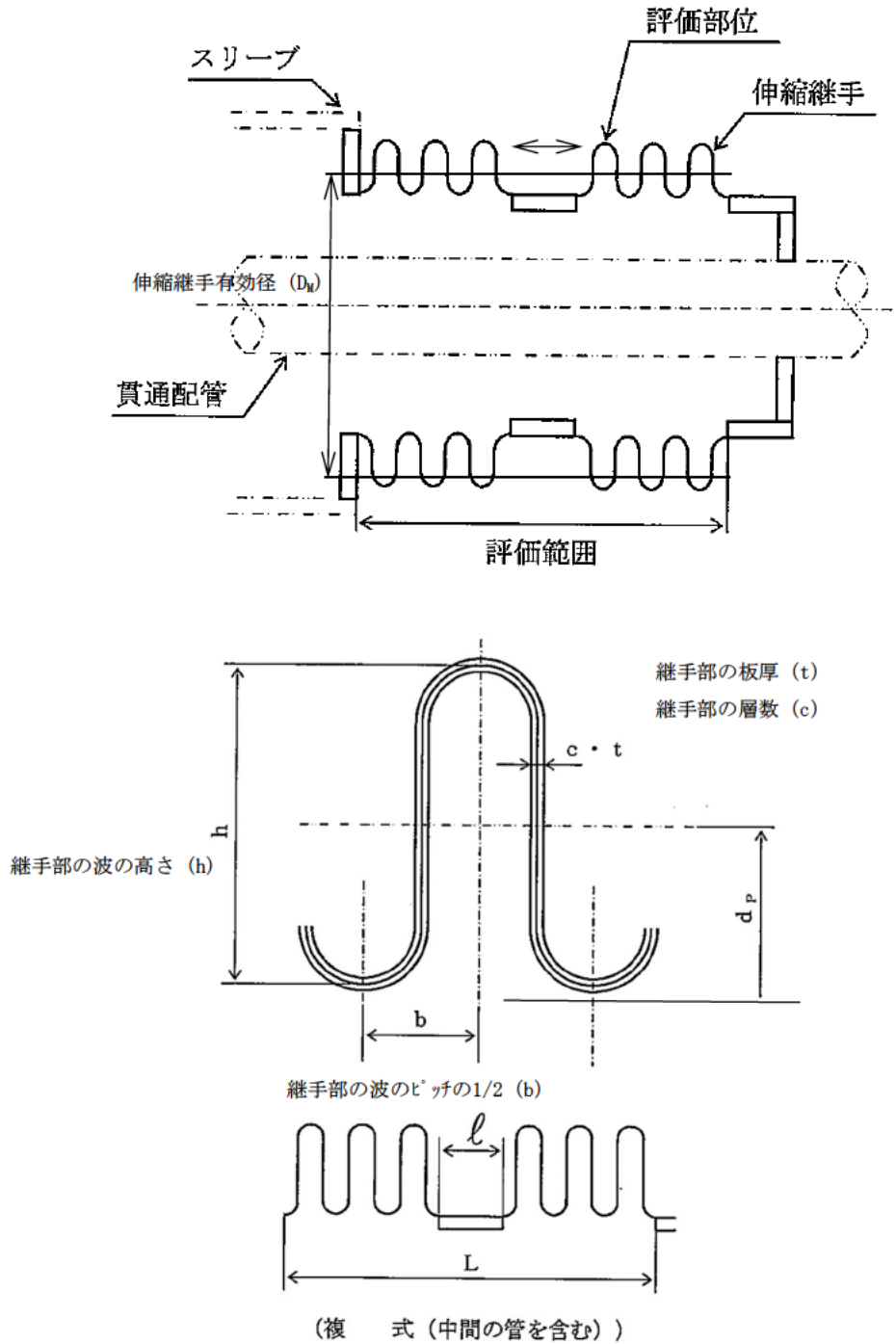


図2 主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所

表 4 主蒸気・主給水管貫通部の仕様

配管名称	主蒸気管	主給水管
格納容器最高 使用圧力 (MPa)	0.261	0.261
伸縮継手有効径 (mm) D_M		
継手部の波の高さ (mm) h		
継手部の波のピッチの 1/2 (mm) b		
継手部の板厚 (mm) t		
伸縮継手 1 個の山数 W_N		
継手部の層数 c		
継手部材料	SUS27	SUS304
材料の評価温度 (21°C) に おける縦弾性係数 (MPa) E	195,000	195,000
伸縮継手の中間の管の長さ (mm) l	50	50
伸縮継手の長さ (mm) L	450	650

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

表 5 伸縮継手に作用する変位量

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

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

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

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

ここで、 σ = 全伸縮量による応力 + 最高使用圧力による応力

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

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

ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

伸縮継手の疲労評価結果を表 6 に示す。

表 6 伸縮継手の疲労評価結果

格納容器 貫通部	過渡	繰返し ピーク応力 強さ (MPa)	過渡による 負荷回数 (n)	許容回数 (N)	Uf	全体 Uf
主蒸気管	起動・停止	462	99	66,809	0.002	0.008
	起動・停止以外	293	1,763	330,318	0.006	
主給水管	起動・停止	496	99	51,994	0.002	0.026
	起動・停止以外	447	1,763	75,025	0.024	

タイトル	加圧器スプレ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>加圧器スプレ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>【通常疲労】</p> <table border="1" data-bbox="472 898 1310 1292"> <tr> <td data-bbox="472 898 699 976">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 898 1310 976">(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 976 699 1133">要素種類</td> <td data-bbox="699 976 1310 1133" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1133 699 1211">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1211 699 1292">節点数</td> </tr> </table> <p>【熱成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="472 1391 1310 1823"> <tr> <td data-bbox="472 1391 699 1469">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 1391 1310 1469">(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 12.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1469 699 1626">要素種類</td> <td data-bbox="699 1469 1310 1626" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1626 699 1659">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1659 699 1738">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1738 699 1823">節点数</td> </tr> </table> <p>解析モデルを添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0	要素種類		要素数	節点数	解析プログラム	(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 12.0	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0													
要素種類														
要素数														
節点数														
解析プログラム		(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 12.0												
要素種類														
要素次数														
要素数														
節点数														

2. 材料物性
材料物性を以下に示す。

使用箇所	温度 (°C)	S m (MPa)	使用材料
加圧器サージ配管	360	113	SUS316TP、 SA351 Gr. CF8M (SCS14A相当)
加圧器スプレ配管	343	114	SUS32TP、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。

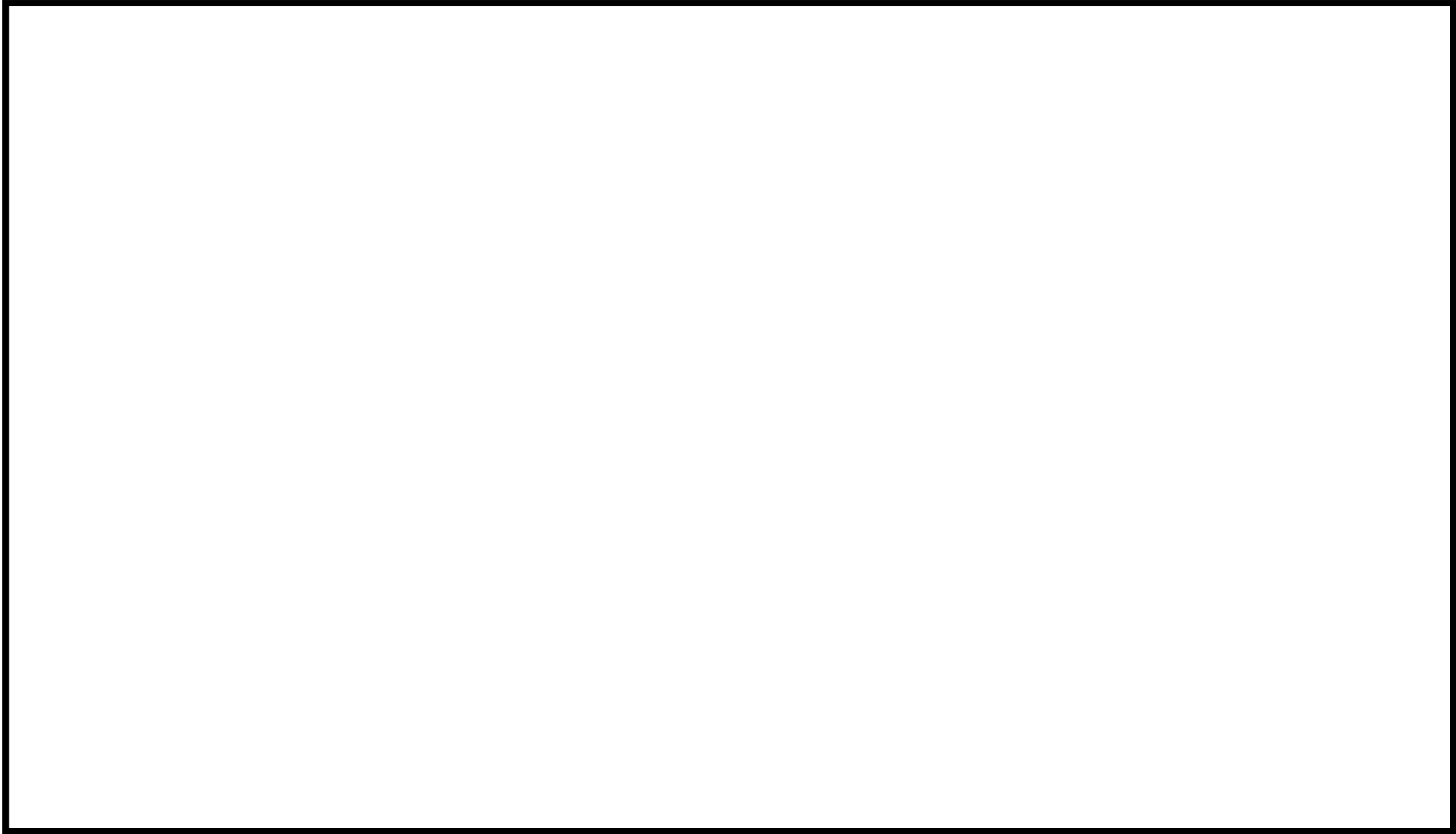
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	【通常疲労】 圧力+熱膨張荷重+熱過渡 【熱成層を考慮した環境疲労】 圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

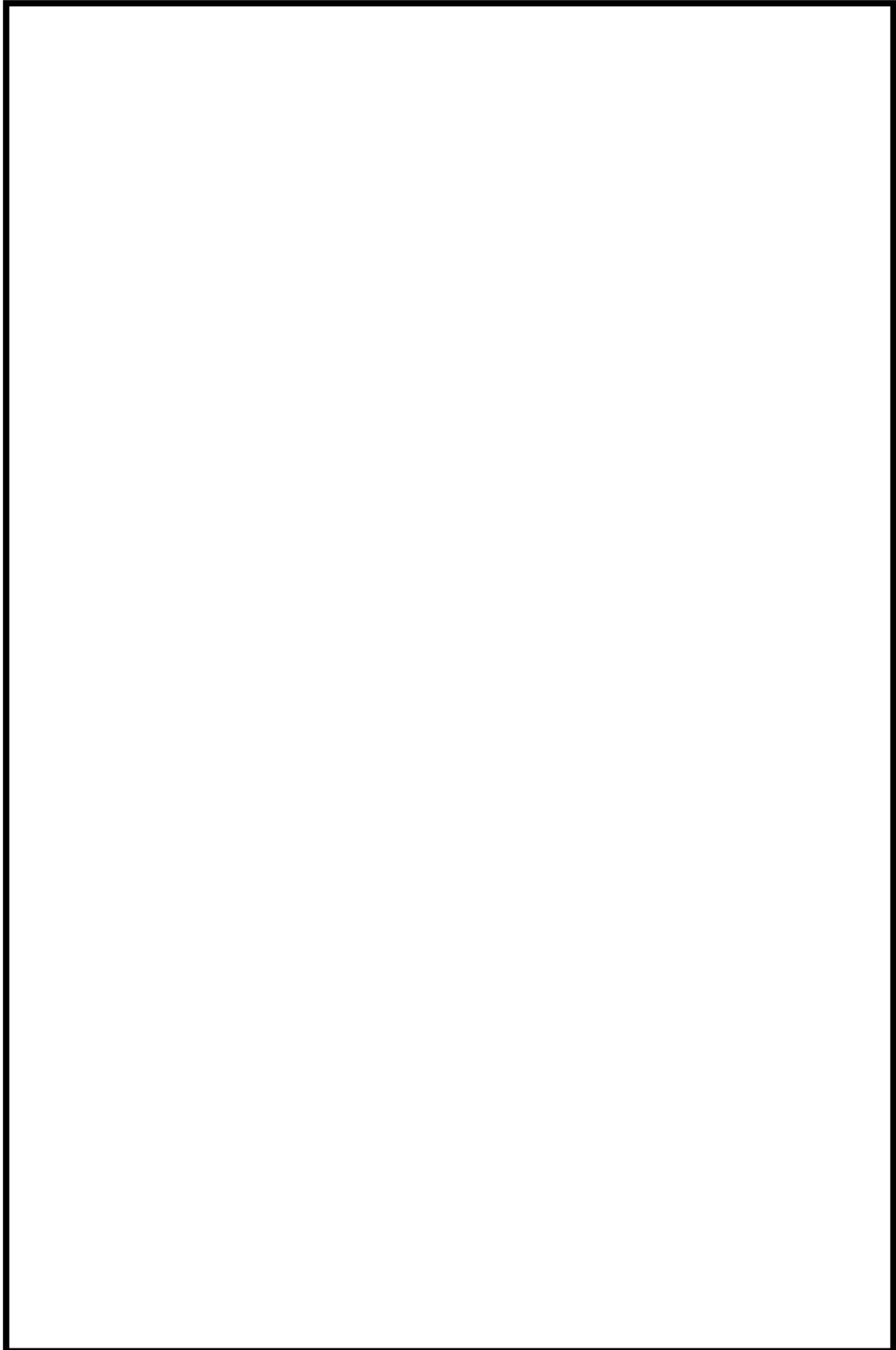
環境疲労評価において用いたKe係数を添付4に示す。

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fen）を、添付4に示す。

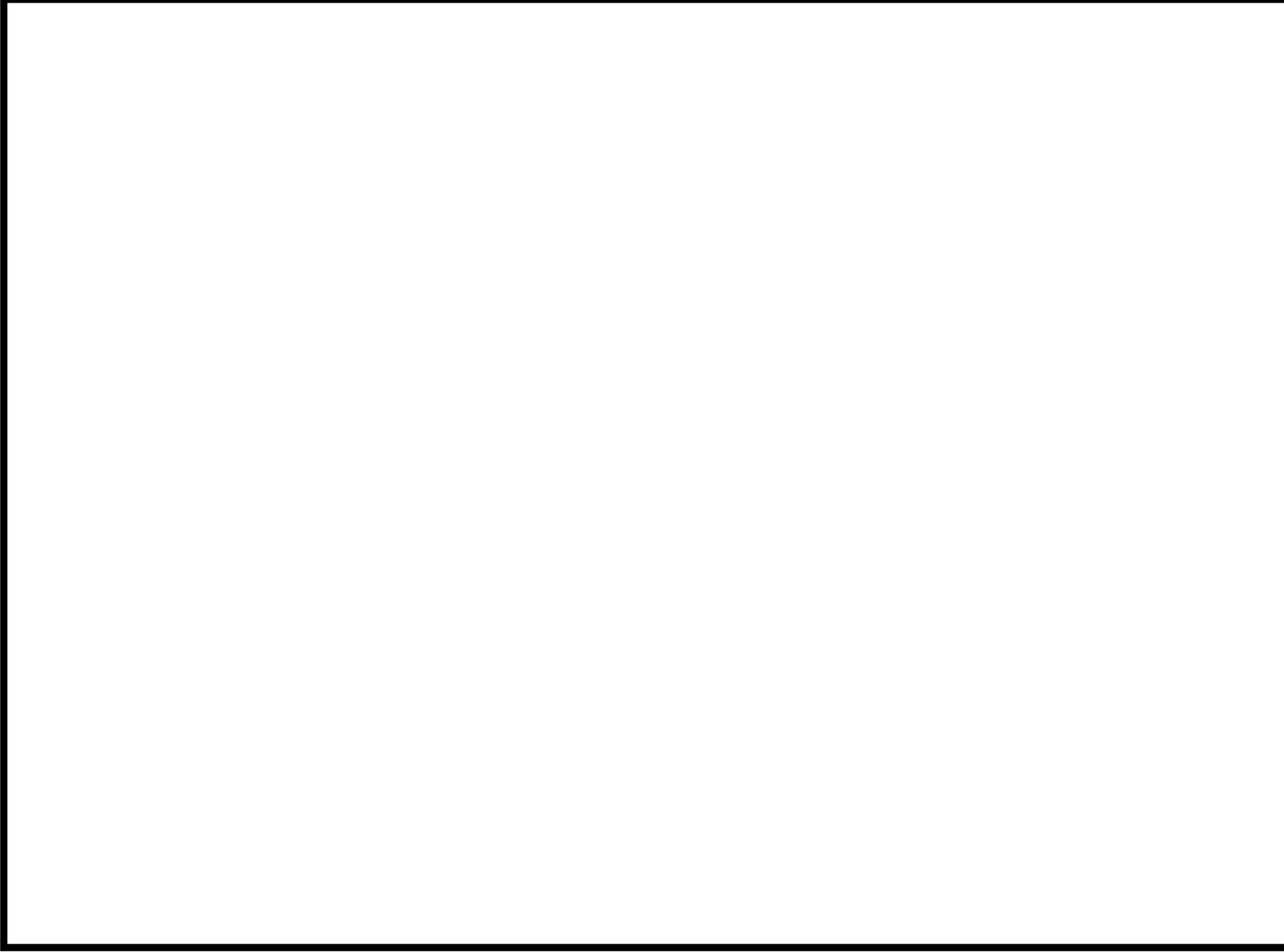


加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



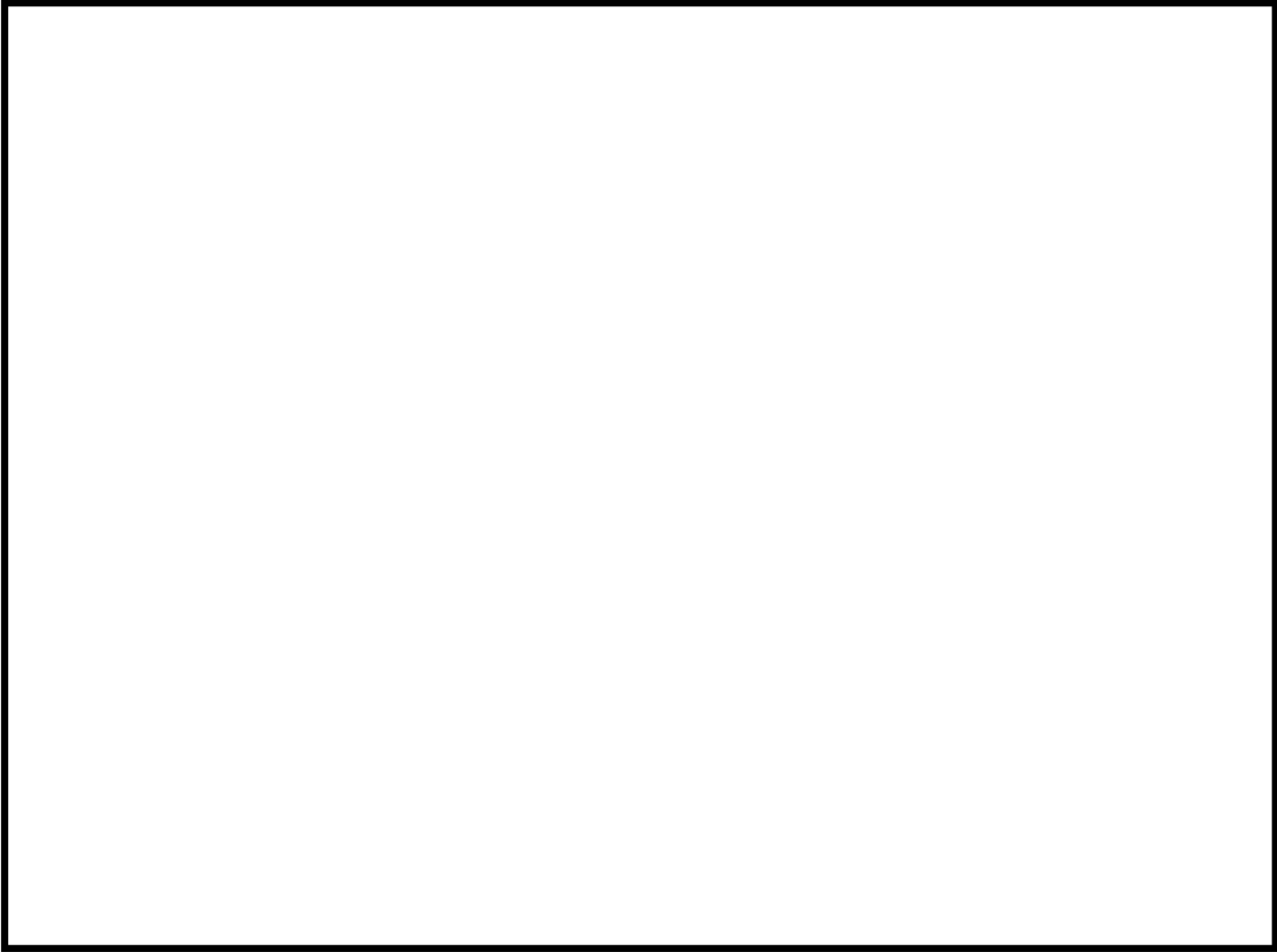
加圧器サージ配管 解析モデル (2/2)

-7-6-5-



加圧器スプレ配管 解析モデル (1 / 6)

-7-6-6-

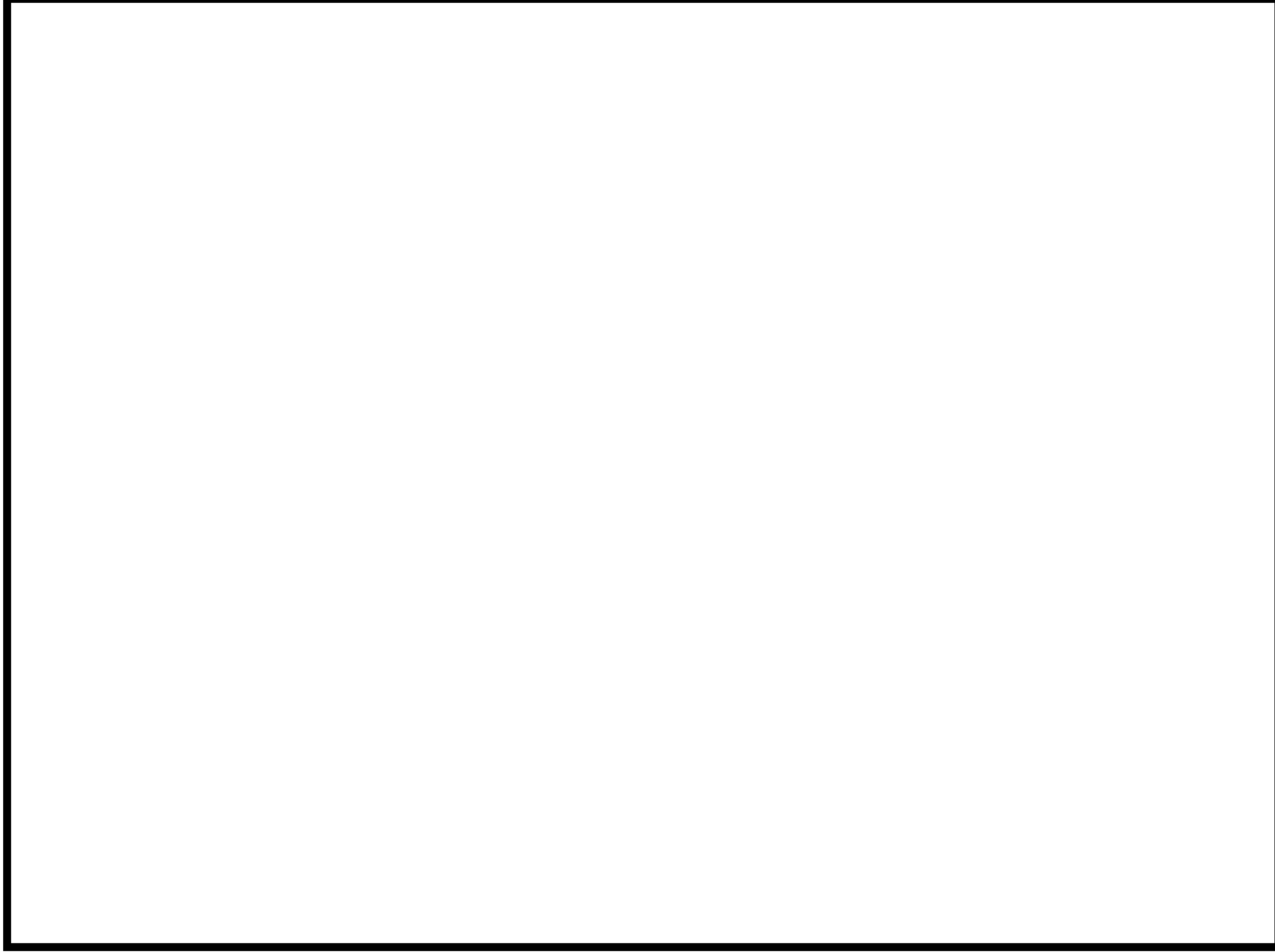


加圧器スプレ配管 解析モデル (2 / 6)

-7-6-7-

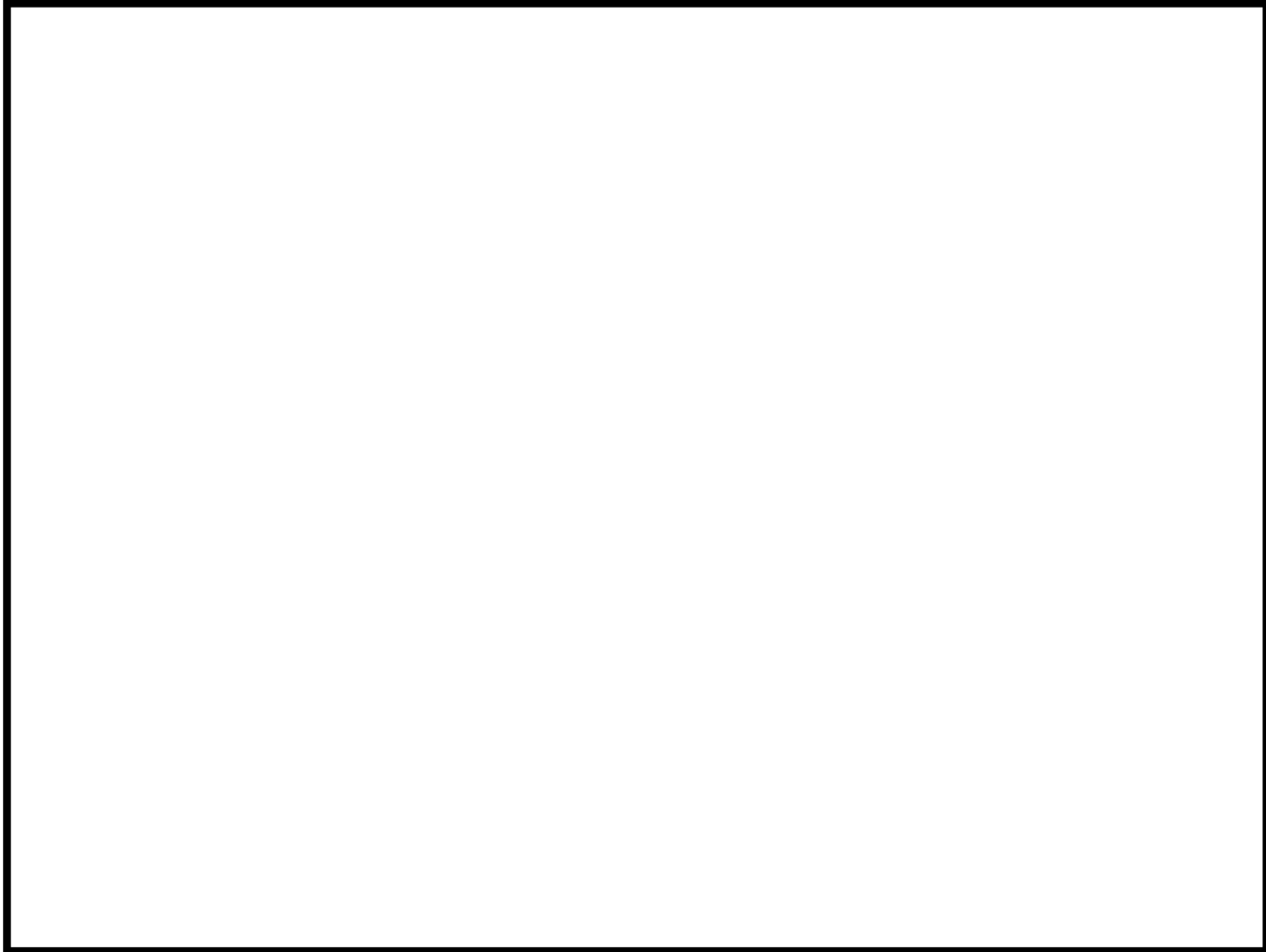


加圧器スプレ配管 解析モデル (3 / 6)

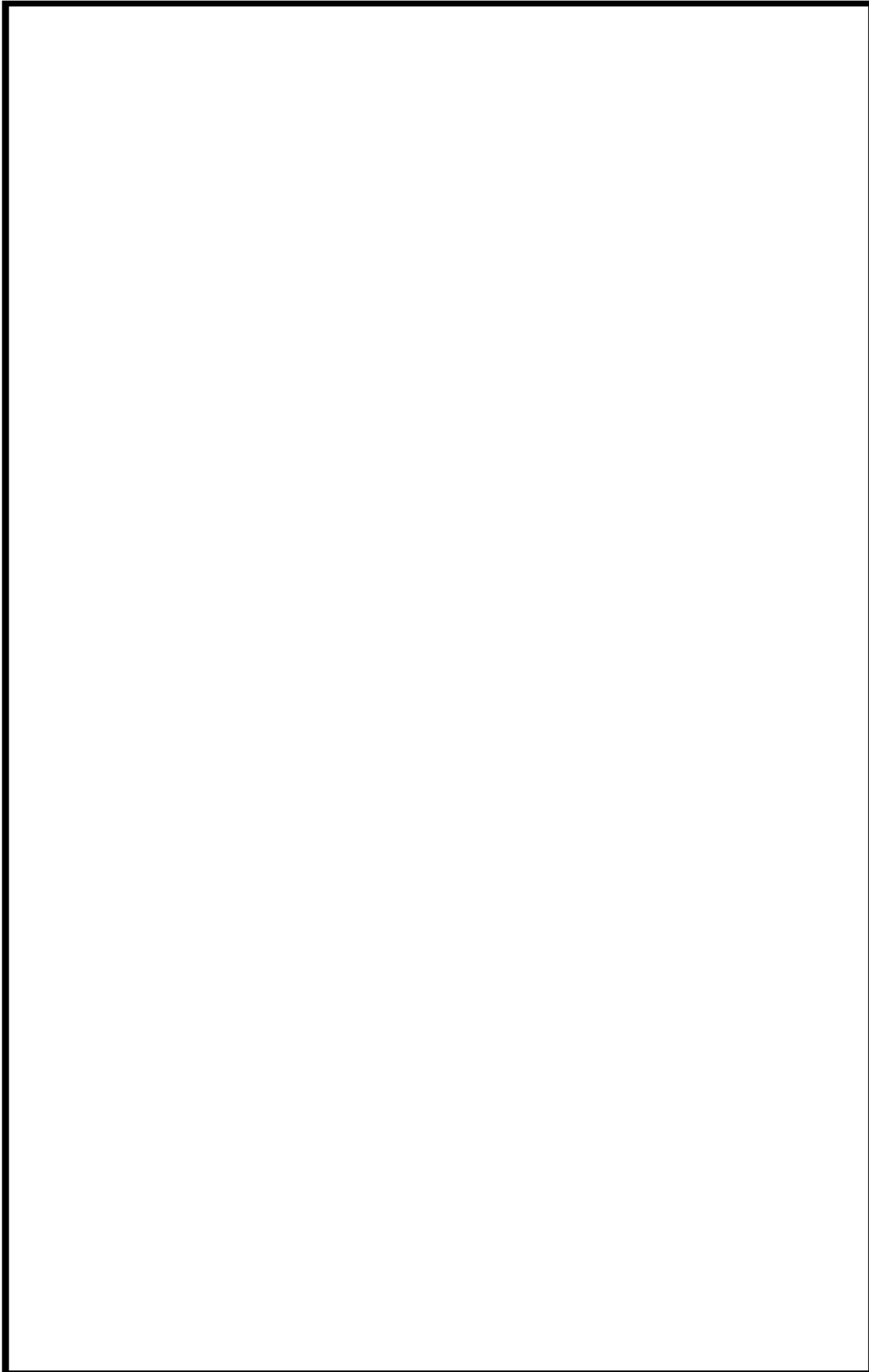


加圧器スプレ配管 解析モデル (4 / 6)

-7-6-9-



加圧器スプレ配管 解析モデル (5 / 6)



加圧器スプレ配管 解析モデル (6 / 6)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
501	29.5	77.0	315.3	0.0	187.7	610	344	0.00948	1.0
102	22.3	57.5	286.6	0.0	187.7	555	313	0.00400	
600	22.3	42.1	286.6	0.0	187.7	539	304	0.00288	
104	22.3	28.0	286.6	0.0	187.7	525	296	0.00209	
105	22.3	54.2	286.6	0.0	187.7	551	311	0.00376	
805	22.3	62.6	286.6	0.0	187.7	560	316	0.00443	
604	22.3	62.9	286.6	0.0	187.7	560	316	0.00446	
806	22.3	58.9	286.6	0.0	187.7	556	314	0.00412	
605	22.3	51.3	286.6	0.0	187.7	548	309	0.00353	
107	22.3	46.3	286.6	0.0	187.7	543	306	0.00316	
808	21.2	27.3	286.6	0.0	187.7	523	295	0.00195	
807	22.3	46.7	286.6	0.0	187.7	544	307	0.00322	
606	22.3	59.6	286.6	0.0	187.7	557	314	0.00421	
110	22.3	62.6	286.6	0.0	187.7	560	316	0.00446	
502	29.5	86.9	315.3	0.0	187.7	620	350	0.01152	

(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。

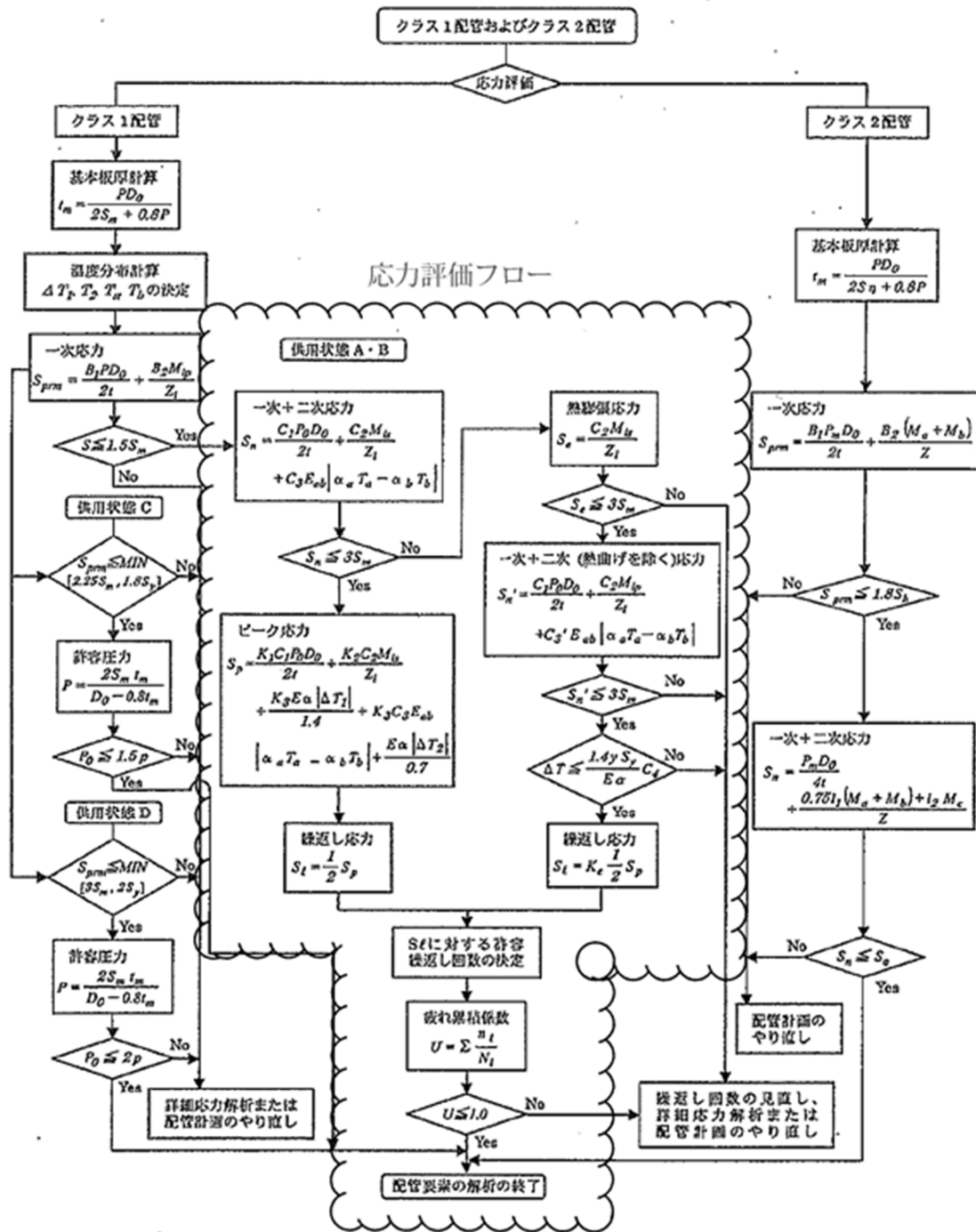
→通常UF : 0.012

加圧器スプレ配管 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 応力強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
101	123.1	186.8	1.9	0.0	0.6	313	176	0.00013	1.0
116	123.1	267.9	1.9	0.0	0.6	394	237	0.00031	
301	334.6	43.8	274.9	0.0	117.1	771	386	0.01510	
146	334.6	47.3	274.9	0.0	117.1	774	387	0.02512	
739	44.4	91.3	368.6	0.0	156.8	662	375	0.01391	
828	42.1	12.0	377.2	0.0	159.8	592	321	0.00598	
628	42.1	10.2	377.2	0.0	159.8	590	320	0.00550	
829	42.1	11.2	377.2	0.0	159.8	591	320	0.00535	
734	29.6	76.6	370.6	0.0	157.5	635	358	0.01004	
736	70.0	54.4	364.4	0.0	155.2	645	323	0.01184	
629	55.8	23.9	364.4	0.0	155.2	600	300	0.00675	
1002	38.9	58.7	405.5	0.0	156.8	660	375	0.01159	
303	61.3	262.8	389.5	0.0	216.4	930	465	0.00102	
223	225.9	58.0	389.5	0.0	216.4	890	445	0.00558	
404	20.8	31.1	453.2	317.5	225.5	1049	581	0.00070	

(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。

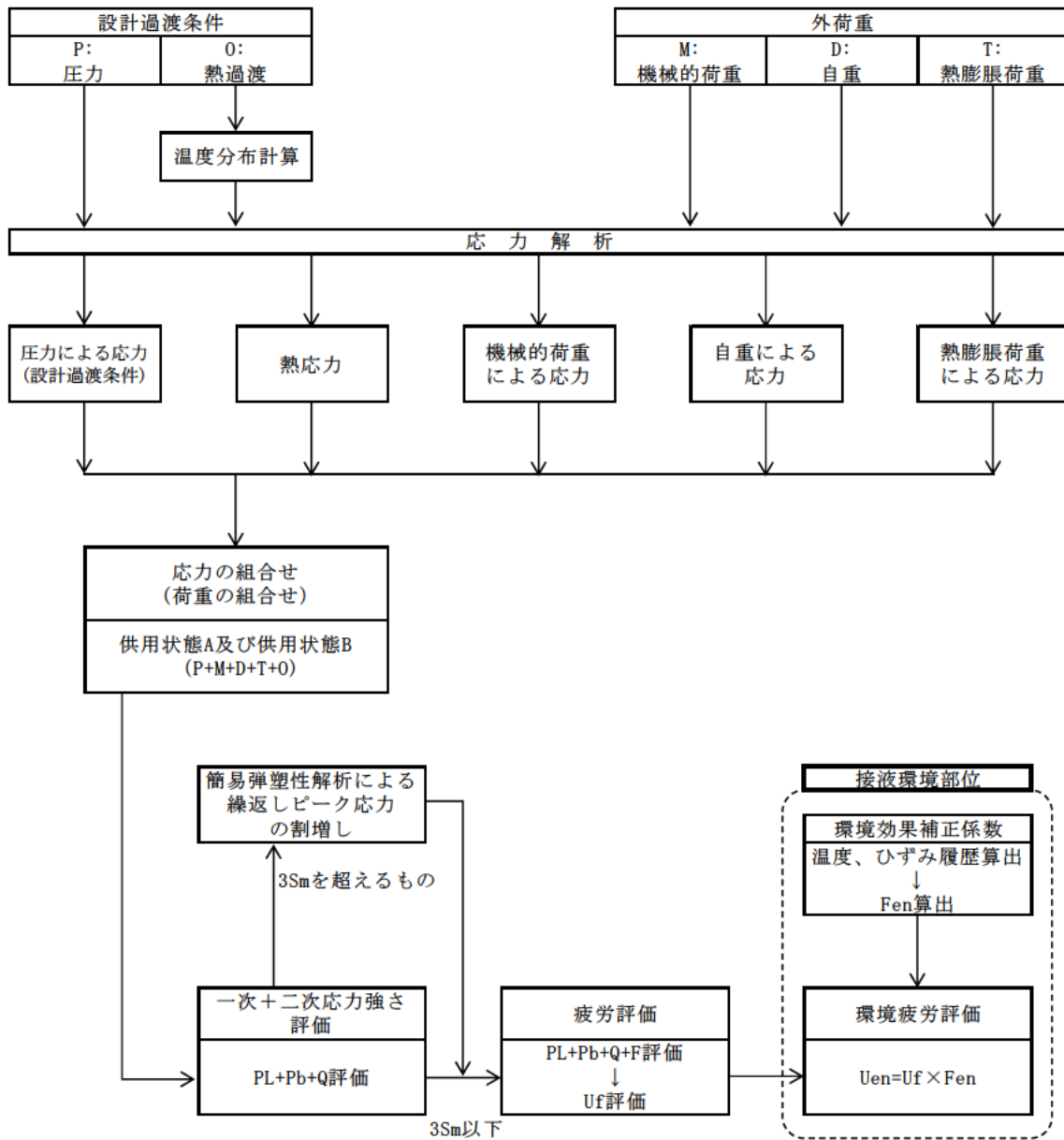
→通常UF : 0.026



(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 強さ (MPa) salt	ひずみ 振幅 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	smi								
2D3	2D3	311.0	-167.9	1.50	353.3	398.2	1	16500	0.00006	12.785	0.00077
2G1	2E1	280.1	-72.8	1.00	176.4	198.8	1	840000	0.00000	1.000	0.00000
1X1	2H1	277.6	-63.8	1.00	170.7	192.4	1	1020000	0.00000	1.000	0.00000
1X1	2G1	277.6	-63.3	1.00	165.4	186.4	1	1130000	0.00000	1.000	0.00000
1X1	1D1	277.6	-50.1	1.00	163.9	184.7	97	1170000	0.00008	1.000	0.00008
1X3	1D1	276.8	-50.1	1.00	163.5	184.3	99	1180000	0.00008	1.000	0.00008
1X5	1D1	264.4	-50.1	1.00	157.3	177.3	99	1340000	0.00007	1.000	0.00007
2H1	1D1	248.0	-50.1	1.00	149.1	168.1	1	1600000	0.00000	1.000	0.00000
1W5	1D1	242.7	-50.1	1.00	146.4	165.0	99	1690000	0.00006	1.000	0.00006
1V3	1D1	229.9	-50.1	1.00	140.1	157.9	99	1960000	0.00005	1.000	0.00005
1Y1	1D1	224.7	-50.1	1.00	137.4	154.9	99	2120000	0.00005	1.000	0.00005
1W3	1D1	216.7	-50.1	1.00	133.4	150.4	99	2410000	0.00004	1.000	0.00004
1Y1	1D1	216.6	-50.1	1.00	133.4	150.4	99	2410000	0.00004	1.000	0.00004
1V5	1D1	195.0	-50.1	1.00	122.6	138.2	99	3470000	0.00003	1.000	0.00003
1W1	1D1	195.0	-50.1	1.00	122.6	138.2	99	3470000	0.00003	1.000	0.00003
1D1	1D1	195.0	-50.1	1.00	122.6	138.2	385	3470000	0.00011	1.000	0.00011
1D1	1G1	195.0	-23.9	1.00	109.4	123.3	4	5950000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1Y1	195.0	-22.1	1.00	108.5	122.3	99	6250000	0.00002	1.000	0.00002
1D1	2B1	195.0	-14.4	1.00	104.7	118.0	10	7720000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1C1	195.0	-14.1	1.00	104.6	117.9	710	7770000	0.00009	1.000	0.00009
1D1	1J1	195.0	-12.0	1.00	103.5	116.7	2	8270000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2A1	195.0	-11.8	1.00	103.4	116.5	4	8320000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1Y3	195.0	-11.3	1.00	103.2	116.3	99	8410000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1Y5	195.0	-5.6	1.00	100.3	113.1	61	9970000	0.00001	1.000	0.00001
1U5	1Y5	193.4	-5.6	1.00	99.5	112.2	38	10700000	0.00000	1.000	0.00000
1U5	1Z1	193.4	-1.7	1.00	97.5	109.9	61	13000000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1Z1	190.3	-1.7	1.00	96.0	108.2	4	15000000	0.00000	1.000	0.00000
1X4	1Z1	189.3	-1.7	1.00	95.5	107.6	34	15800000	0.00000	1.000	0.00000
1X4	2I1	189.3	-0.4	1.00	94.8	106.9	65	16900000	0.00000	1.000	0.00000
1X2	2I1	189.1	-0.4	1.00	94.7	106.7	40	17100000	0.00000	1.000	0.00000
1X2	1A1	189.1	0.0	1.00	94.5	106.5	59	17400000	0.00000	1.000	0.00000
1J1	1A1	182.9	0.0	1.00	91.5	103.1	2	26400000	0.00000	1.000	0.00000
1X6	1A1	181.5	0.0	1.00	90.7	102.2	38	30300000	0.00000	1.000	0.00000
1X6	1B1	181.5	0.0	1.00	90.7	102.2	61	30300000	0.00000	1.000	0.00000
1U3	1B1	179.9	0.0	1.00	90.0	101.4	38	34100000	0.00000	1.000	0.00000
1U3	1Z3	179.9	1.8	1.00	89.0	100.3	61	40600000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	1Z3	173.5	1.8	1.00	85.8	96.7	1	194000000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	1Z3	173.3	1.8	1.00	85.7	96.6	4	251000000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1Z3	172.7	1.8	1.00	85.4	96.3	12	548000000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1Z3	172.4	1.8	1.00	85.3	96.1	6	711000000	0.00000	1.000	0.00000
1W6	1Z3	165.0	1.8	1.00	81.6	92.0	15		0.00000	1.000	0.00000
total									0.00086		0.00158

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

→環境UF : 0.002

【加圧器スプレ配管 (評価点A)】

過渡条件 記号		一次二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	突過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	salt'	n	n*	u	fen	uen
1A3	2E2	107.2	-668.0	1.80	806.0	1	1060	0.00094	5.310	0.00501
1A3	1A7	107.2	-604.8	1.70	672.0	41	1960	0.02092	5.379	0.11251
2E2	1A7	7.9	-604.8	1.50	535.0	1	4620	0.00022	4.827	0.00104
1A1	1B2	0.0	-604.1	1.50	513.8	42	5410	0.00776	7.218	0.05804
2I1	1A1	-12.5	-497.9	1.50	412.1	42	13900	0.00302	6.777	0.02048
1J2	2A1	-7.4	-535.9	1.30	377.7	1	21400	0.00005	5.642	0.00026
2I1	2H1	-12.5	-529.1	1.30	368.2	1	24300	0.00004	4.558	0.00019
2I1	1G1	-12.5	-527.8	1.30	366.6	1	24900	0.00004	4.577	0.00018
2I1	1F1	-12.5	-525.6	1.30	364.0	1	25800	0.00004	4.592	0.00018
2I1	1E1	-12.5	-525.3	1.30	363.7	1	25900	0.00004	4.642	0.00018
2I1	1D1	-12.5	-525.2	1.30	363.6	2	25900	0.00006	4.598	0.00036
1B2	1D1	-16.4	-525.2	1.20	356.4	42	28800	0.00147	4.864	0.00714
1A7	1D1	-16.5	-525.2	1.20	356.3	42	28700	0.00146	4.863	0.00712
1C1	1D1	-25.8	-525.2	1.20	346.7	308	32900	0.00936	4.552	0.04262
1C1	1I1	-25.8	-525.2	1.20	346.7	87	32900	0.00264	4.517	0.01194
1J1	1I1	-26.2	-525.2	1.20	346.3	1	33100	0.00003	4.518	0.00014
1F1	1I1	-26.4	-525.2	1.20	345.9	1	33300	0.00003	4.520	0.00014
1D1	1I1	-26.5	-525.2	1.20	345.9	394	33300	0.01183	4.517	0.05345
1G1	1I1	-26.5	-525.2	1.20	345.9	1	33300	0.00003	4.523	0.00014
1E1	1I1	-26.6	-525.2	1.20	345.9	1	33300	0.00003	4.527	0.00014
1I1	1I1	-26.7	-525.2	1.20	345.7	215	33400	0.00644	4.527	0.02914
1I1	1J1	-26.7	-524.9	1.20	345.4	1	33500	0.00003	4.543	0.00014
1I1	2C1	-26.7	-524.7	1.20	345.2	3	33800	0.00006	4.473	0.00040
1I1	1C1	-26.7	-523.8	1.20	344.1	395	34200	0.01159	4.681	0.05407
1I1	1J2	-26.7	-523.0	1.20	343.2	1	34600	0.00003	4.523	0.00013
1I1	2B1	-26.7	-402.6	1.10	224.6	3	370000	0.0000	17.149	0.00014
1I1	2D1	-26.7	-393.0	1.00	205.4	3	645000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2D2	-26.7	-393.0	1.00	205.4	1	645000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2D3	-26.7	-393.0	1.00	205.4	1	645000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2E1	-26.7	-393.0	1.00	205.4	1	645000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2F1	-26.7	-393.0	1.00	205.4	3	645000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2G1	-26.7	-393.0	1.00	205.4	1	645000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2B1	-26.7	-388.6	1.00	204.0	3	701000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2G1	-26.7	-382.2	1.00	200.3	1	797000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2D1	-26.7	-380.0	1.00	199.1	3	832000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2D2	-26.7	-373.8	1.00	195.6	1	943000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2F1	-26.7	-373.2	1.00	195.3	3	953000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2D3	-26.7	-371.3	1.00	194.2	1	992000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	1A3	-26.7	-360.2	1.00	188.0	42	1580000	0.0000	1.000	0.00003
1I1	2E1	-26.7	-332.4	1.00	172.3	1	1170000	0.0000	1.000	0.00000
1I1	2I1	-26.7	-326.6	1.00	169.0	17	3150000	0.0000	1.000	0.00000
2A1	2I1	-89.4	-326.6	1.00	133.7	1	-----	0.0000	1.000	0.00000
2H1	2I1	-124.7	-326.6	1.00	113.8	1	-----	0.0000	1.000	0.00000
2C1	2I1	-177.9	-326.6	1.00	83.8	3	-----	0.0000	1.000	0.00000
合計 :										0.40331

(注) ひずみ振幅≦0.110% (salt' ≦214.5) の場合、fen=1.0
salt' : 室温での繰返しピーク応力強さ

→環境UF : 0.404

タイトル	1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠について																						
説明	<p>1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</p> <p>1. 解析モデル</p> <p>疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p><配管荷重の算出></p> <table border="1" data-bbox="475 857 1310 938"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p><温度分布の算出※></p> <table border="1" data-bbox="475 978 1310 1335"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>Abaqus Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>※ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグの評価点には1次冷却材ポンプの取合部やエルボの外側テーパ部等の構造不連続部が多数あるため、2次元FEM解析にて温度分布を計算している。算出した温度分布は、ピーク応力のうち、板厚内の温度分布による応力のパラメータに用いられる。なお、梁モデルは外荷重による応力算出に用いられる。</p> <p>2. 材料物性</p> <p>材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 1682 1362 1973"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>温度(℃)</th> <th>Sm(MPa)</th> <th>使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当)</td> <td>322.8</td> <td>117.2</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td>288.6</td> <td>121.8</td> <td>クロスオーバレグ コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	MSAP	要素種類		解析プログラム	Abaqus Ver. 6.3	要素種類		要素次数	要素数	節点数	材料	温度(℃)	Sm(MPa)	使用箇所	SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当)	322.8	117.2	ホットレグ	288.6	121.8	クロスオーバレグ コールドレグ
解析プログラム	MSAP																						
要素種類																							
解析プログラム	Abaqus Ver. 6.3																						
要素種類																							
要素次数																							
要素数																							
節点数																							
材料	温度(℃)	Sm(MPa)	使用箇所																				
SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当)	322.8	117.2	ホットレグ																				
	288.6	121.8	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. 6.3
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
SA-351 Gr. CF8M (SCS14A相当)	322.8	117.2	加圧器サージライン用管台
	288.6	121.8	安全注入系ライン用管台 化学体積制御系ライン用管台

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付4に示す。

4. 応力分類

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

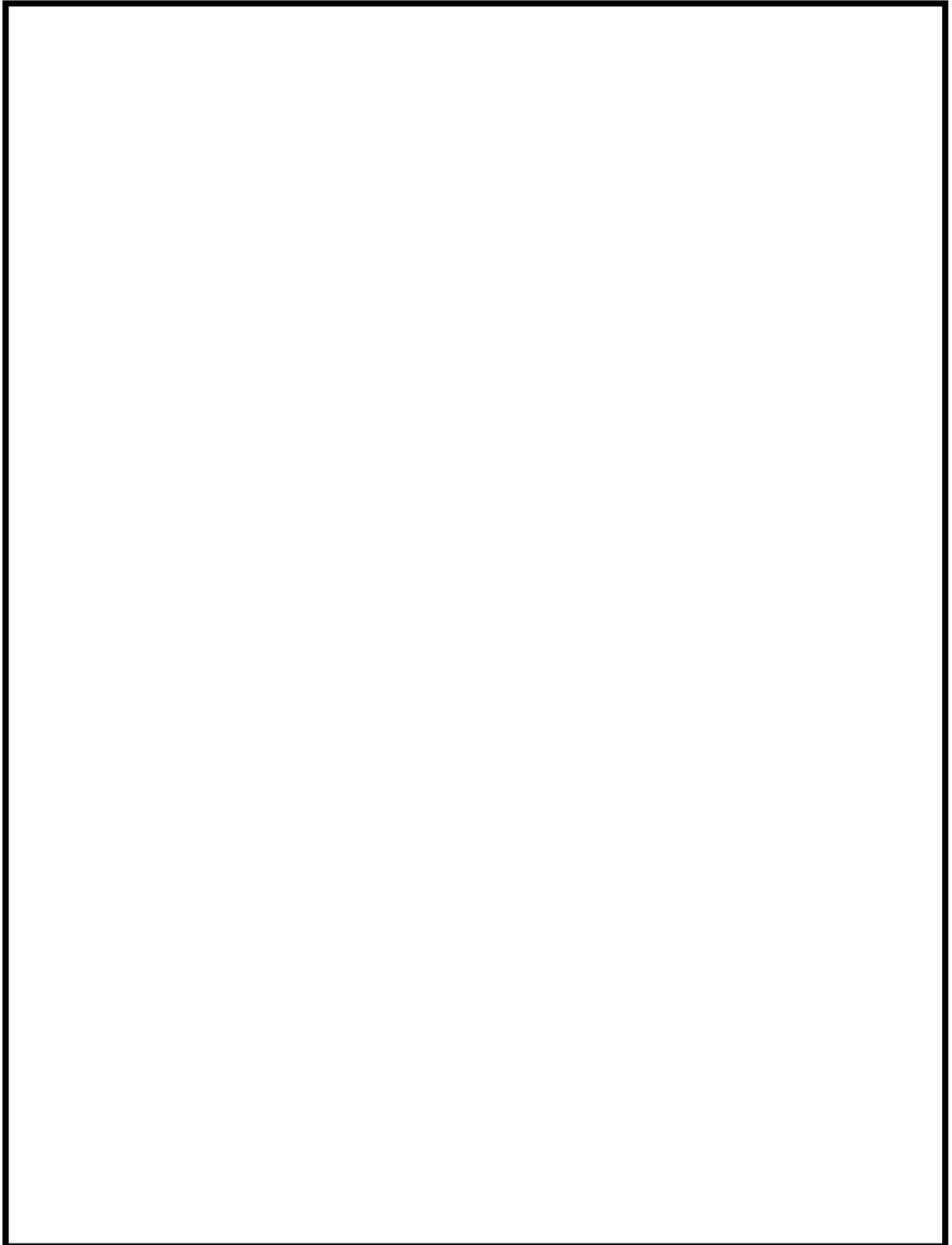
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付6に示す。

6. 環境評価パラメータ

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



1次冷却材管 形状および評価点

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

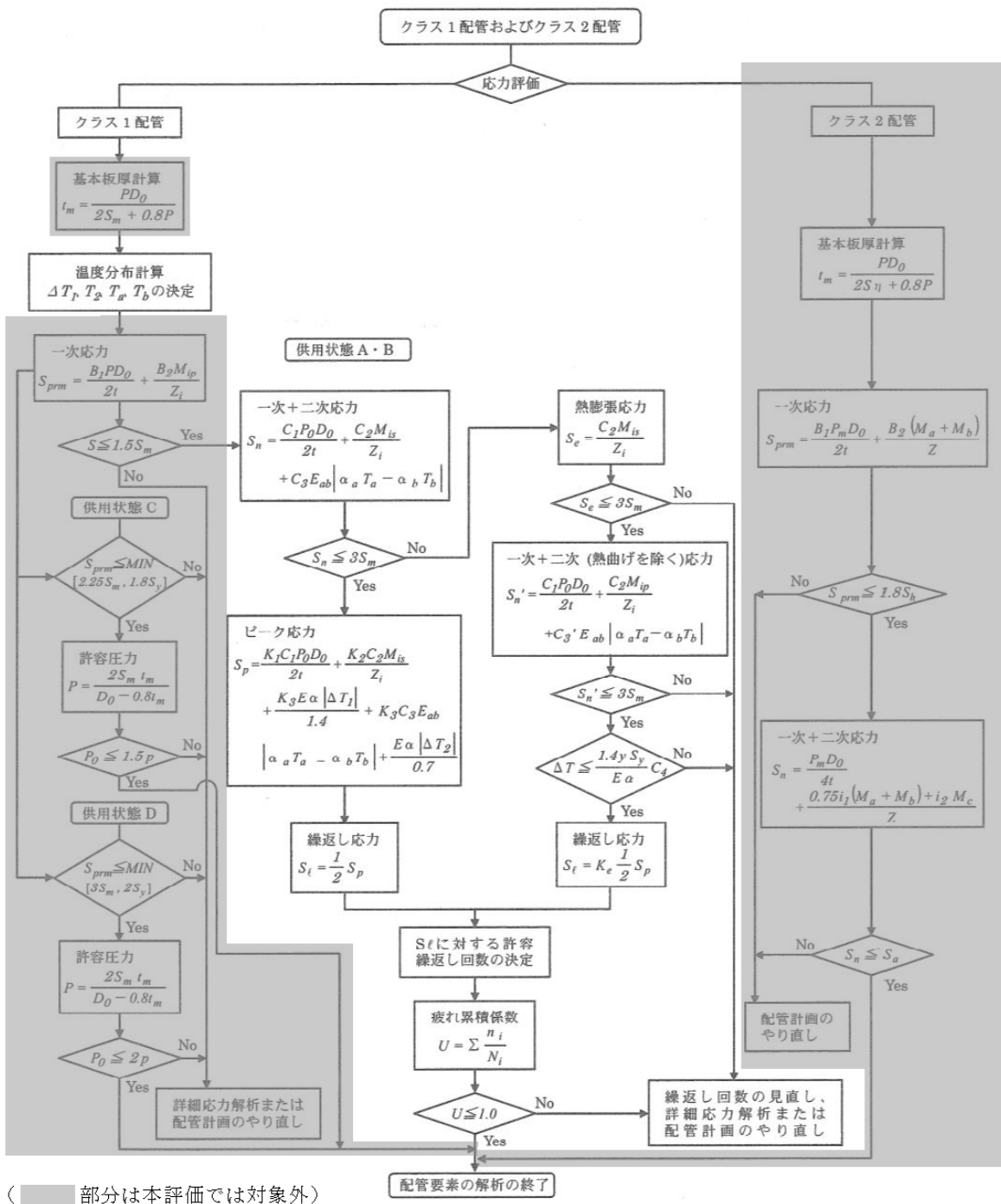
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 S _p (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	114.6	74.6	110.4	0.0	104.9	404.4	202.2	226.6	0.00012	1.0
	109	82.6	5.2	155.9	0.0	104.9	348.6	174.3	195.3	0.00002	
	111	90.9	7.8	171.5	0.0	104.9	375.1	187.5	210.2	0.00005	
	112	122.5	78.8	101.1	4.1	106.0	412.5	206.2	231.1	0.00016	
	113	116.8	89.8	101.0	0.0	107.0	414.7	207.3	232.4	0.00018	
	115	125.4	117.0	100.6	4.1	105.9	453.0	226.5	253.8	0.00027	
	117	86.3	11.3	182.0	0.0	105.8	385.4	192.7	215.9	0.00008	
クロスオーバーレグ	141	113.0	21.5	77.3	0.0	34.9	246.8	123.4	136.7	0.00002	
	142	132.7	59.2	70.3	0.0	34.9	297.1	148.6	164.6	0.00007	
	146	132.7	58.3	71.2	4.1	34.9	301.2	150.6	166.9	0.00008	
	143	125.1	48.9	71.3	0.0	36.1	281.5	140.7	155.9	0.00006	
	148	132.7	54.1	71.2	4.1	34.9	297.0	148.5	164.5	0.00008	
	145	132.7	54.1	70.3	0.0	34.9	292.1	146.0	161.8	0.00006	
	147	119.6	20.3	76.2	0.0	34.0	250.2	125.1	138.6	0.00002	
	149	108.7	18.5	69.3	0.0	34.0	230.5	115.3	127.7	0.00001	
	151	119.6	20.5	76.2	0.0	34.0	250.3	125.1	138.7	0.00002	
	152	128.1	50.6	70.6	3.8	34.9	288.1	144.1	159.6	0.00007	
	153	120.8	39.9	71.3	0.0	36.1	268.0	134.0	148.5	0.00005	

→ ホットレグ 通常UF : 0.001

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 S _p (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	128.1	31.2	70.6	3.8	34.9	268.7	134.3	148.9	0.00005	1.0
	157	119.6	12.2	76.2	0.0	34.0	242.1	121.0	134.1	0.00002	
	159	108.7	9.7	69.3	0.0	34.0	221.7	110.9	122.8	0.00000	
	160	119.6	9.6	76.2	0.0	34.0	239.5	119.7	132.6	0.00001	
	161	128.1	23.4	70.6	3.8	34.9	260.9	130.5	144.5	0.00004	
	163	120.8	19.0	71.3	0.0	36.1	247.2	123.6	137.0	0.00003	
	165	128.1	20.0	70.6	3.8	34.9	257.5	128.7	142.6	0.00004	
	167	142.1	8.6	110.6	206.0	13.9	481.1	240.6	266.5	0.00139	
コールドレグ	181	150.7	33.2	72.8	144.1	8.2	409.1	204.5	226.6	0.00060	
	183	108.0	12.5	68.2	0.0	32.7	221.4	110.7	122.6	0.00000	
	185	118.8	16.4	75.0	0.0	32.7	242.9	121.5	134.6	0.00001	
	186	133.7	45.3	69.8	3.7	33.3	285.9	142.9	158.4	0.00005	
	189	126.1	43.1	70.9	0.0	34.5	274.6	137.3	152.1	0.00004	
	191	133.7	51.3	69.8	3.7	33.3	291.8	145.9	161.7	0.00006	
	194	112.9	18.4	76.3	0.0	33.3	241.0	120.5	133.5	0.00001	

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



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

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

過酷条件番号		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		突過深回数 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 sall	補正後 sall'					
43 (2H1)	16 (111)	453.0	1.0	226.5	253.8	1	175000	0.00001	23.114	0.00013
39 (2F1)	16 (111)	384.3	1.0	192.1	215.3	6	480000	0.00001	23.114	0.00029
29 (2C1)	16 (111)	368.3	1.0	184.1	205.4	4	646000	0.00001	1.000	0.00001
25 (2A1)	16 (111)	366.9	1.0	183.5	205.6	4	663000	0.00001	1.000	0.00001
33 (2D2)	16 (111)	363.3	1.0	181.7	203.6	1	711000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (111)	361.1	1.0	180.6	202.4	1	742000	0.00000	1.000	0.00000
31 (2D1)	16 (111)	359.4	1.0	179.7	201.4	12	768000	0.00002	1.000	0.00002
21 (1L1)	16 (111)	359.0	1.0	179.5	201.2	1	773000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (111)	357.3	1.0	178.7	200.2	1	799000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2C1)	16 (111)	356.7	1.0	178.3	199.9	1	810000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	16 (111)	343.7	1.0	171.8	192.6	23	1020000	0.00002	1.000	0.00002
3 (1C1)	2 (1B1)	331.0	1.0	165.5	185.5	99	1160000	0.00009	1.000	0.00009
15 (111)	36 (2D5)	328.4	1.0	164.2	184.0	1	1180000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	48 (2J2)	324.0	1.0	162.0	181.5	105	1240000	0.00008	1.000	0.00008
42 (2G1)	16 (111)	303.1	1.0	151.6	169.8	1	1540000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	38 (2E1)	301.7	1.0	150.9	169.1	1	1560000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	16 (111)	291.6	1.0	145.8	163.3	6	1750000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	16 (111)	291.2	1.0	145.6	163.2	1	1760000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	16 (111)	290.2	1.0	145.1	162.6	1	1780000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	16 (111)	286.6	1.0	143.2	160.5	4	1850000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	16 (111)	285.1	1.0	142.6	160.3	12	1860000	0.00001	1.000	0.00001
3 (1C1)	16 (111)	271.9	1.0	135.9	152.3	29	2270000	0.00001	1.000	0.00001
47 (2I1)	26 (2A1)	168.5	1.0	84.3	94.4	4	6060000256	0.00000	1.000	0.00000
47 (2I1)	44 (2H2)	155.0	1.0	77.5	86.9	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00058

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

→環境UF: 0.001

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

過渡条件番号		一次+二次+ピーク応力 sp	割り増し係数 KE	繰返しピーク応力強さ		実過渡回数 n	許容繰返し回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果補正係数 fen	環境効果を考慮した疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
47 (2I1)	2 (1B1)	481.1	1.0	240.5	266.5	99	134000	0.00074	9.696	0.00716
47 (2I1)	48 (2I2)	469.3	1.0	234.7	260.0	6	153000	0.00004	5.030	0.00020
1 (1A1)	48 (2I2)	461.4	1.0	230.7	255.6	99	163000	0.00059	5.727	0.00335
27 (2B1)	36 (2D5)	367.6	1.0	183.8	203.6	1	710000	0.00000	1.000	0.00000
27 (2B1)	16 (1I1)	352.2	1.0	176.1	195.1	4	960000	0.00000	1.000	0.00000
25 (2A1)	16 (1I1)	320.1	1.0	160.1	177.3	4	1340000	0.00000	1.000	0.00000
85 (2D4)	16 (1I1)	288.3	1.0	144.2	159.7	1	1890000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2E1)	16 (1I1)	285.8	1.0	142.9	158.3	1	1940000	0.00000	1.000	0.00000
83 (2D2)	16 (1I1)	285.2	1.0	142.6	158.0	1	1950000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	280.2	1.0	140.1	155.2	4	2090000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	276.5	1.0	138.3	153.2	6	2220000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	273.0	1.0	136.5	151.2	1	2350000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	266.2	1.0	133.1	147.5	1	2620000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	16 (1I1)	261.4	1.0	130.7	144.8	32	2830000	0.00001	1.000	0.00001
15 (1I1)	42 (2G1)	256.2	1.0	128.1	142.0	1	3090000	0.00000	1.000	0.00000
8 (1C1)	38 (2E1)	248.5	1.0	124.2	137.6	1	3530000	0.00000	1.000	0.00000
45 (2I1)	15 (1I1)	232.6	1.0	116.3	128.3	10	4690000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	170.8	1.0	85.4	94.6	44	5020000256	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	40 (2F1)	99.1	1.0	49.6	54.9	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:									0.01075	

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

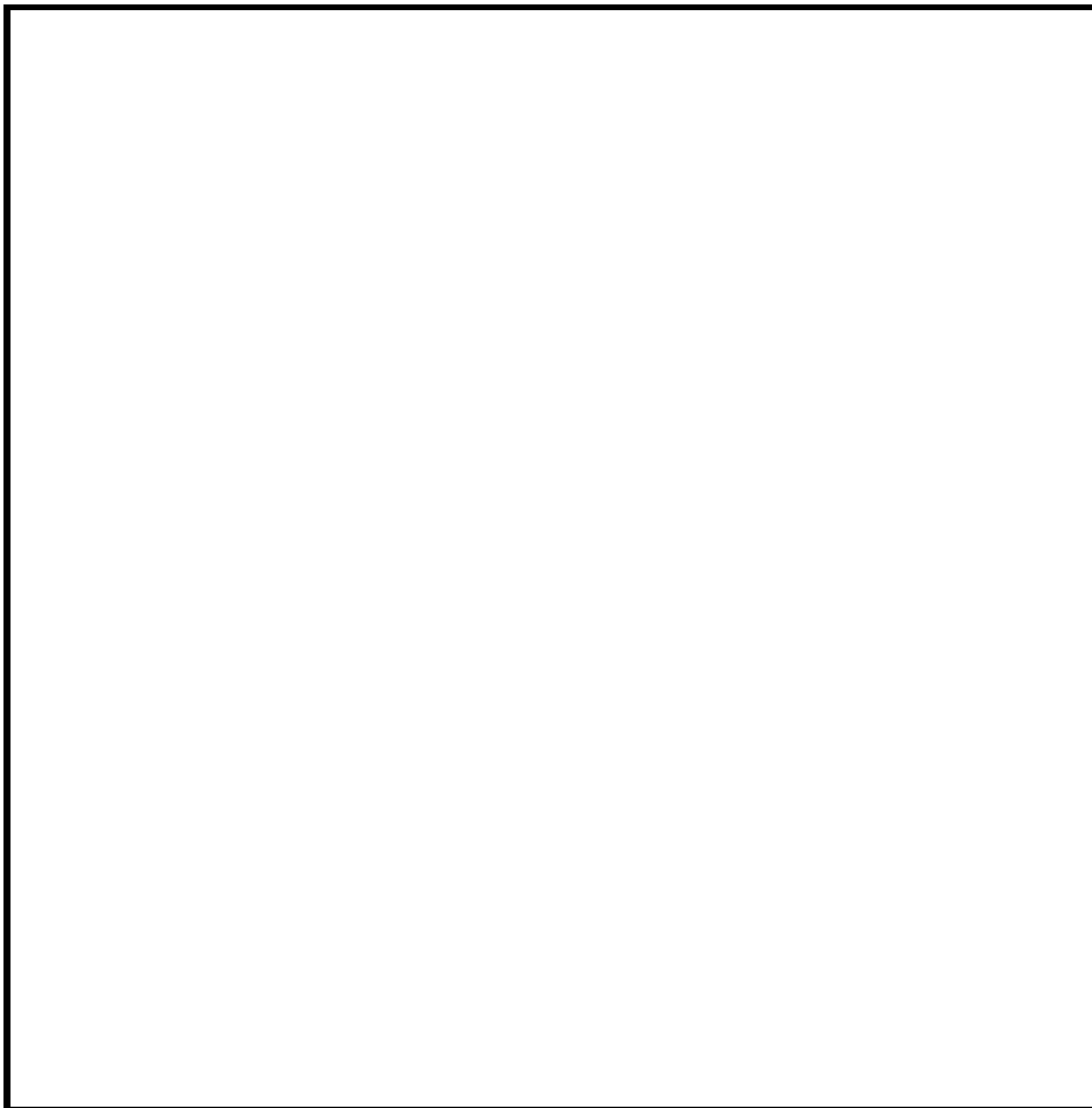
→環境UF: 0.011

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)

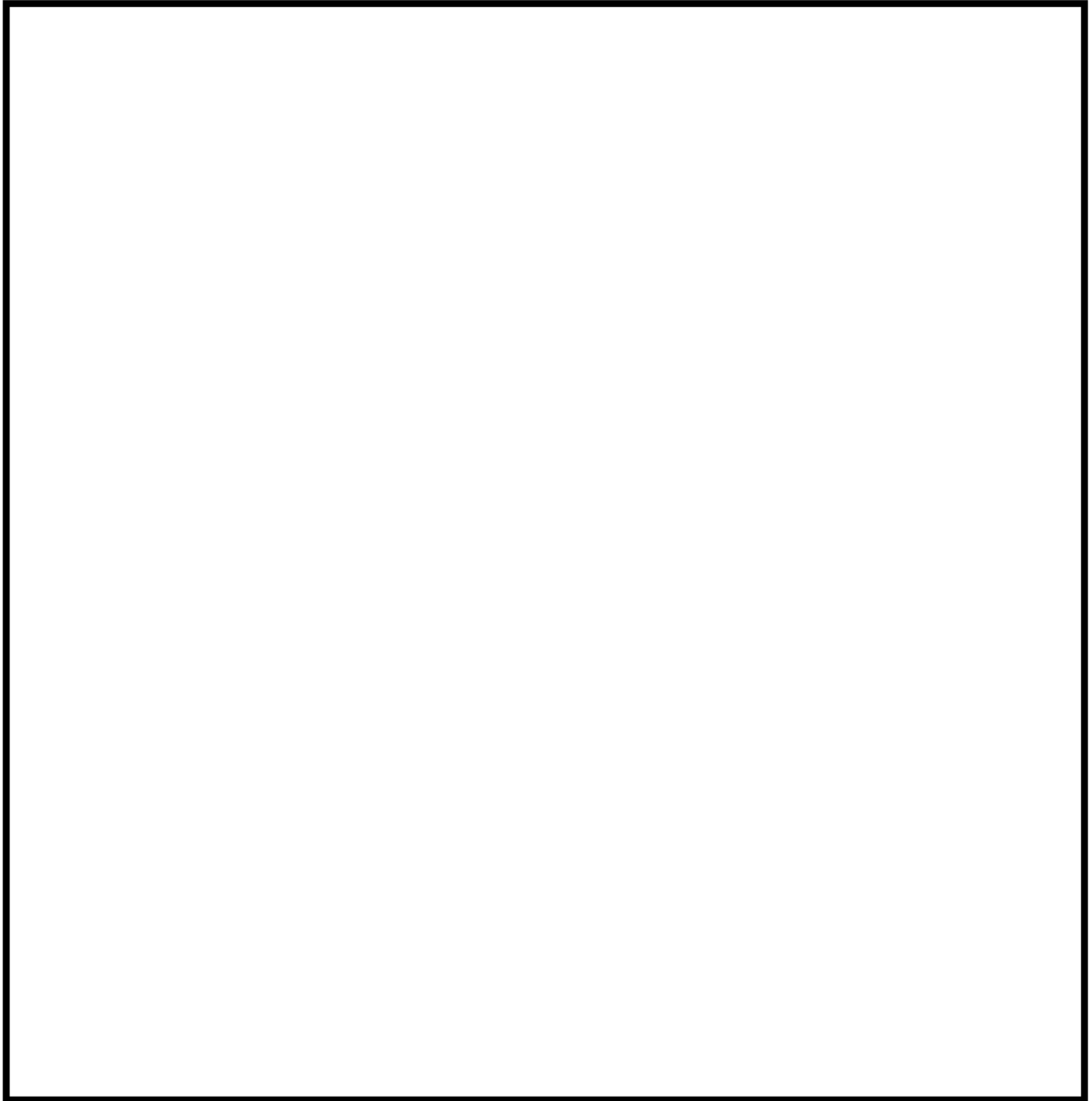
選渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 sall	補正後 sall'					
47 (2J1)	2 (1B1)	409.1	1.0	204.5	225.6	99	350000	0.00023	10.072	0.00285
47 (2J1)	48 (2J2)	400.3	1.0	200.5	222.1	6	396000	0.00002	5.078	0.00008
1 (1A1)	48 (2J2)	400.2	1.0	200.1	221.7	99	401000	0.00025	5.564	0.00137
27 (2B1)	16 (1I1)	380.5	1.0	190.2	210.8	5	556000	0.00001	1.000	0.00001
25 (2A1)	16 (1I1)	360.5	1.0	180.3	199.7	4	814000	0.00000	1.000	0.00000
16 (1I1)	36 (2D5)	344.5	1.0	172.3	190.9	1	1050000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	322.7	1.0	161.3	178.8	1	1300000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	16 (1I1)	318.5	1.0	159.2	176.4	1	1360000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	318.3	1.0	159.1	176.3	4	1360000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	313.6	1.0	156.8	173.7	1	1430000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	310.0	1.0	155.0	171.8	6	1490000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	303.1	1.0	151.5	167.9	1	1600000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	16 (1I1)	297.6	1.0	148.8	164.9	32	1700000	0.00002	1.000	0.00002
42 (2G1)	15 (1I1)	276.1	1.0	138.1	153.0	1	2230000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	38 (2E1)	256.3	1.0	128.2	142.0	1	3080000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	246.2	1.0	123.1	136.4	10	3670000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	206.8	1.0	103.4	114.5	43	9220000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	40 (2F1)	165.8	1.0	82.9	88.6	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00435

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.116\%$ (sall' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

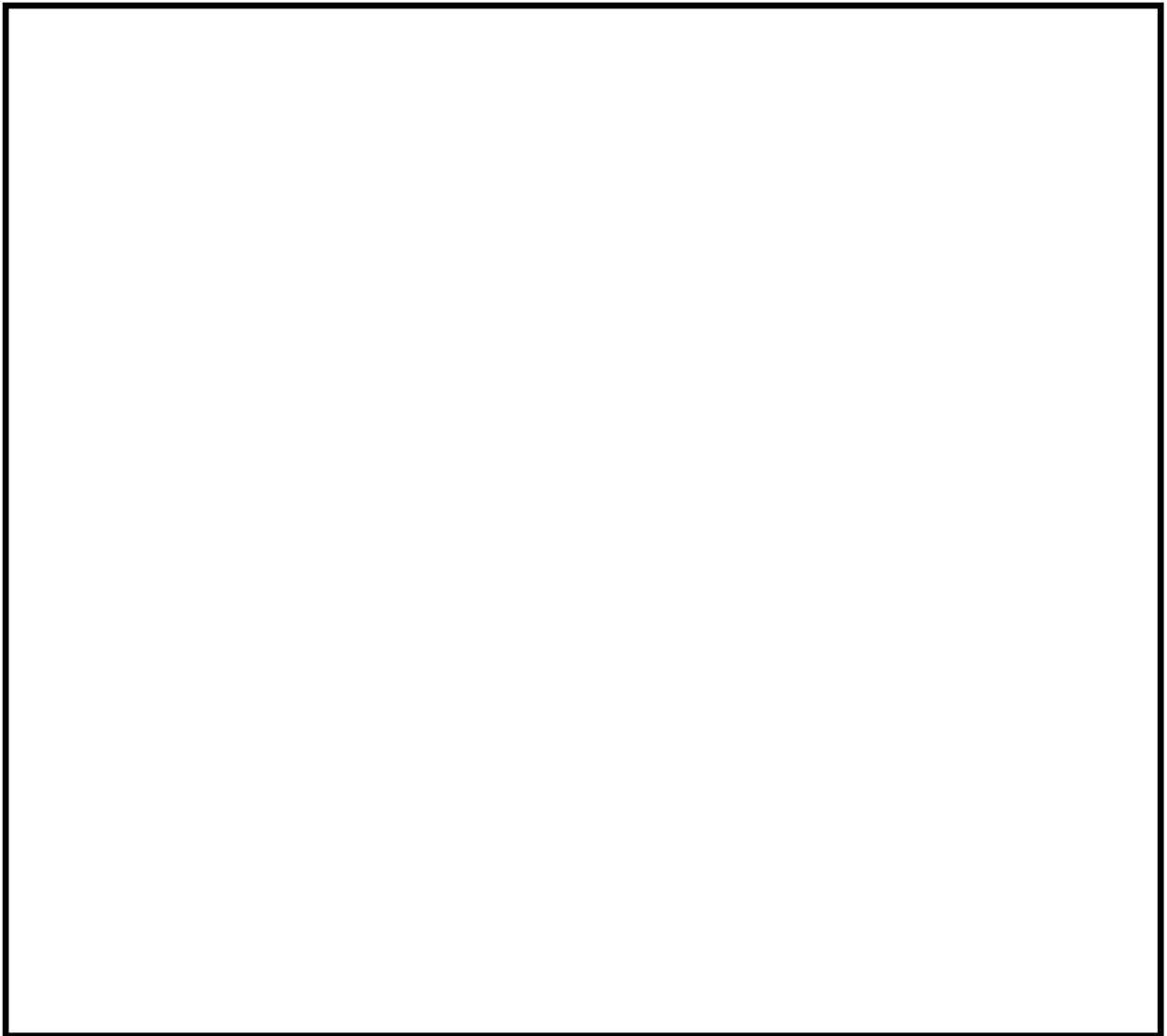
→環境UF: 0.005



(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン管台） 評価点



(2) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 評価点



(3) 1次冷却材管（化学体積制御系ライン用管台）評価点

(1) 1次冷却材管 (加圧器サージライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.02932	0.01478
2	0.00001	0.00000	0.00150
3	0.00767	0.00811	0.17836
4	0.00002	0.00000	0.00155
5	0.0	0.00141	0.00077
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00167	0.03093	0.00090
8L	0.0	0.00013	0.00018
7C	0.00000	0.00125	0.00229
8C	0.0	0.00037	0.00009
9L	0.00284	0.00261	0.0
10L	0.0	0.00013	0.00015
9C	0.00001	0.00000	0.0
10C	0.0	0.00033	0.00006
11L	0.00146	0.00117	0.00001
12L	0.0	0.00014	0.00018
11C	0.00000	0.00001	0.00002
12C	0.0	0.00034	0.00015

許容値 $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.179

(2) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00000	0.00105	0.00235
2	0.0	0.00014	0.00016
3	0.00000	0.00088	0.00550
4	0.00000	0.00017	0.00102
5	0.0	0.00024	0.00015
6	0.00000	0.00000	0.0
7L	0.00021	0.00205	0.00026
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00168	0.00029
8C	0.0	0.00014	0.00005
9L	0.00023	0.00032	0.00000
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00002	0.00001	0.00000
10C	0.0	0.00012	0.00004
11L	0.00022	0.00032	0.00000
12L	0.0	0.00000	0.00000
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00012	0.00005

許容値 $U_f=1.0$

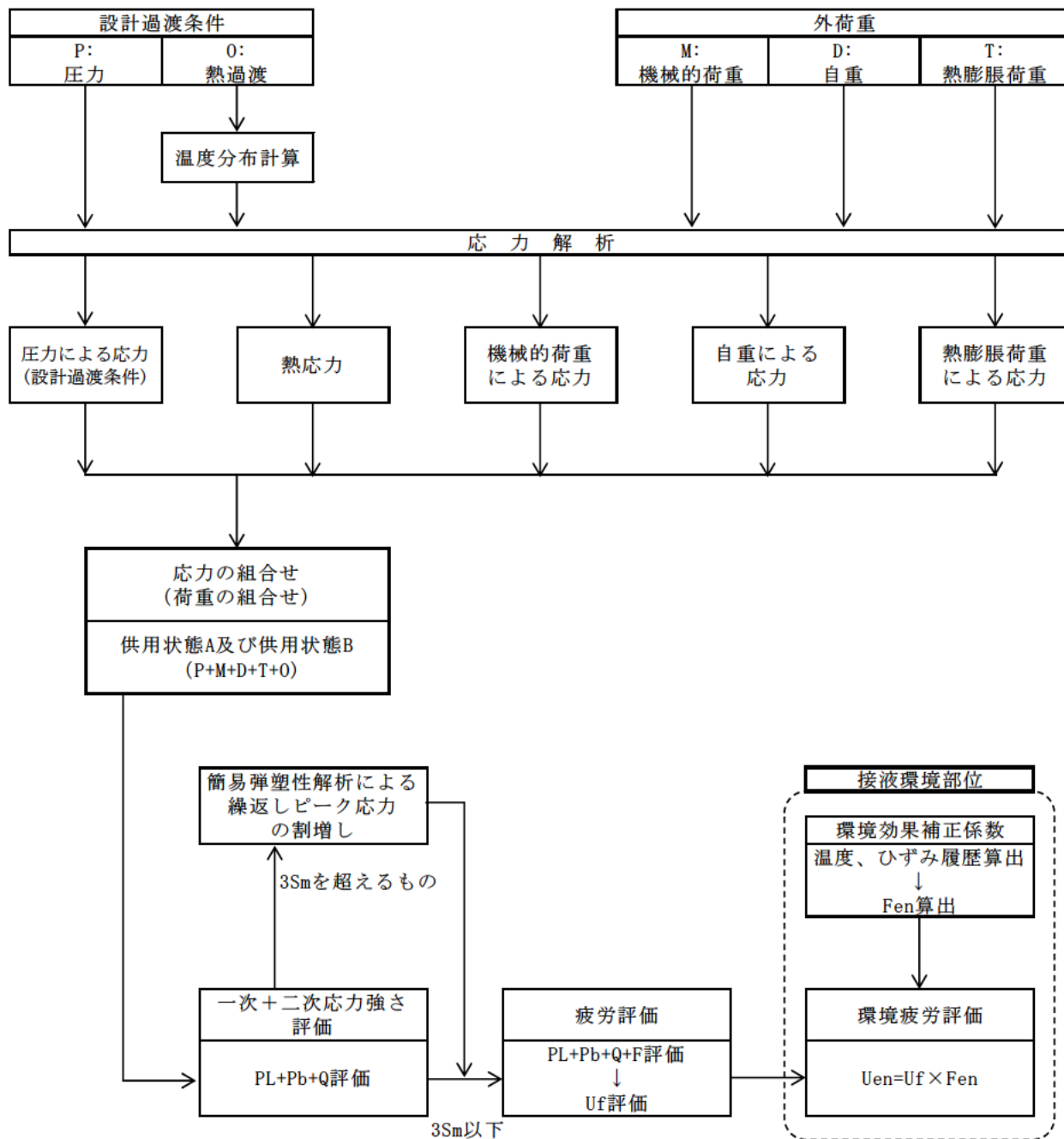
→通常UF : 0.006

(3) 1次冷却材管 (化学体積制御系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00061	0.00067
2	0.00000	0.00000	0.00001
3	0.0	0.00020	0.00009
4	0.00007	0.00000	0.00014
5	0.00000	0.00001	0.00000
6	0.00000	0.0	0.0
7L	0.00092	0.00375	0.00002
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00007	0.00007
8C	0.0	0.00013	0.00004
9L	0.00092	0.00027	0.0
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00001	0.00000	0.0
10C	0.0	0.00015	0.00009
11L	0.00032	0.00019	0.00000
12L	0.00000	0.00000	0.00001
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00015	0.00020

許容値 $U_f=1.0$

→通常UF : 0.004



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

(1) Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器サージライン用管台)
(詳細評価手法: 評価点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'					
1A2	NSS	935.1	0.0	1.44	672.6	753.7	204	1330	0.15338	2.172	0.33322
1A2	2D5	935.1	358.5	1.31	377.9	423.5	1	12100	0.00008	6.368	0.00053
1A2	1L1	935.1	439.6	1.20	298.5	334.5	1	39400	0.00003	5.900	0.00015
1A2	1G1	935.1	440.5	1.20	297.8	333.7	4	39800	0.00010	7.033	0.00071
1A2	1D1	935.1	443.3	1.20	295.4	331.0	384	41500	0.00925	4.591	0.04248
1B2	1D1	935.1	443.3	1.20	295.4	331.0	303	41500	0.00730	4.591	0.03352
1B2	2G1	935.1	450.0	1.19	289.7	324.7	1	45700	0.00002	5.154	0.00011
1B2	2E1	935.1	465.7	1.18	276.3	309.6	1	58800	0.00002	4.850	0.00008
1B2	1M1	935.1	499.8	1.14	247.2	277.1	883	108000	0.00818	6.511	0.05323
2H1	1M1	768.7	499.8	1.00	134.4	150.6	1	2390000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1M1	724.8	499.8	1.00	112.5	126.0	1	5230000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	1M1	702.0	499.8	1.00	101.1	113.3	1	9850000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1M1	660.3	499.8	1.00	80.2	89.9	710	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.46403

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

→環境UF : 0.465

(2) Ke係数と環境疲労パラメータ (安全注入系ライン用管台)
(詳細評価手法: 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		突過渡 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	168.9	-918.8	2.05	1114.9	1235.2	1	282	0.00355	3.381	0.01199
2E1	2L1	29.7	-862.1	2.05	914.1	1012.8	1	511	0.00196	3.402	0.00666
NSS	2D4	0.0	-245.2	1.00	122.6	135.8	1	3740000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2G1	0.0	-206.7	1.00	103.3	114.5	1	9250000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2D2	0.0	-183.6	1.00	91.7	101.6	1	33100000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2F1	0.0	-179.7	1.00	89.8	99.5	6	45800000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2I1	0.0	-176.7	1.00	88.4	97.9	10	73300000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2H1	0.0	-170.3	1.00	85.2	94.4	1	6600000000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	2C1	0.0	-162.8	1.00	81.4	90.2	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.01866

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

→環境UF: 0.019

(3) Ke係数と環境疲労パラメータ (化学体積制御系ライン用管台)
(詳細評価手法: 評価点7L)

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 sall	補正後 sall'					
201	2J2	708.8	-4.1	1.00	356.4	394.9	1	17200	0.00006	6.305	0.00037
205	2J2	657.6	-4.1	1.00	330.8	366.5	1	24900	0.00004	5.343	0.00021
203	2J2	601.1	-4.1	1.00	302.6	335.3	1	38900	0.00003	5.331	0.00014
2N2	2J2	545.7	-4.1	1.00	274.9	304.6	1	64300	0.00002	7.867	0.00012
2N5	2J2	541.2	-4.1	1.00	272.7	302.1	6	67300	0.00009	7.718	0.00069
204	2J2	502.8	-4.1	1.00	253.5	280.8	1	100000	0.00001	5.395	0.00006
2S1	2J2	481.4	-4.1	1.00	242.8	269.0	94	127000	0.00074	8.890	0.00658
2S1	1B1	481.4	-1.8	1.00	241.6	267.7	99	130000	0.00076	8.600	0.00655
2S1	1I1	481.4	-1.5	1.00	241.5	267.6	55	131000	0.00042	8.890	0.00373
2S1	NSS	481.4	0.0	1.00	240.7	266.7	204	133000	0.00153	8.890	0.01364
2S1	204	481.4	34.3	1.00	223.6	247.7	1	201000	0.00000	9.542	0.00005
2S1	2QE	481.4	39.9	1.00	220.8	244.6	1	217000	0.00000	9.121	0.00004
2S1	2E1	481.4	74.6	1.00	203.4	225.4	1	362000	0.00000	8.890	0.00002
2S1	2N3	481.4	112.9	1.00	184.2	204.1	1	697000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	202	481.4	133.9	1.00	178.8	192.5	1	1020000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QD	481.4	150.4	1.00	165.5	183.4	1	1200000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2N6	481.4	208.0	1.00	136.7	151.5	6	2330000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2N1	481.4	212.8	1.00	134.3	148.8	1	2510000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2F1	481.4	223.7	1.00	128.9	142.8	6	3010000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2D2	481.4	224.6	1.00	128.4	142.3	1	3060000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	201	481.4	225.5	1.00	128.0	141.8	1	3100000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2D4	481.4	226.5	1.00	127.4	141.2	1	3160000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QF	481.4	232.9	1.00	124.3	137.7	6	3520000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QB	481.4	237.1	1.00	122.2	135.4	1	3790000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2A1	481.4	238.0	1.00	121.7	134.9	4	3850000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2C2	481.4	238.6	1.00	121.4	134.5	4	3900000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	205	481.4	239.4	1.00	121.0	134.1	1	3950000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2D1	481.4	242.6	1.00	119.4	132.3	12	4180000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2G1	481.4	251.4	1.00	115.0	127.4	1	4920000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	1G1	481.4	254.5	1.00	113.5	125.7	4	5310000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2I1	481.4	255.1	1.00	113.2	125.4	10	5390000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2H1	481.4	260.5	1.00	110.5	122.4	1	6220000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QG	481.4	260.9	1.00	110.3	122.2	1	6290000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2Q8	481.4	262.6	1.00	109.4	121.2	4	6580000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	1D1	481.4	271.0	1.00	105.2	116.6	187	8310000	0.00002	1.000	0.00002
2N4	1D1	479.4	271.0	1.00	104.2	115.4	1	8820000	0.00000	1.000	0.00000
2Q6	1D1	462.5	271.0	1.00	95.7	106.1	5	18200000	0.00000	1.000	0.00000
2R1	1D1	433.6	271.0	1.00	81.3	90.1	99	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03224

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

→環境UF: 0.033

タイトル	仕切弁（ループ余熱除去系第1入口弁）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>ループ余熱除去系第1入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 1-MOV-8702A/B	呼び径 12	弁箱の材料 SCS14A	接続管の材料 SUS32P	計算書番号	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)	260 °Cにおける 換算圧力 P _s (MPa)	260 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の260 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	260 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa)	260 °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 ₀ (mm)	交さ部壁面とその 二等分線とに接す る円の直径 T _{e1} (mm)	交さ部壁面に接する 円の直径 T _{e2} (mm)
17.16	343	18.5	125	137	178000	18.44			
AA断面における 平均半径 r (mm)	AA断面における 内半径 r _i (mm)	流体部面積 A _f (mm ²)	金属部面積 A _m (mm ²)	接続管の断面積の 2分の1 A ₁ (mm ²)	AA断面における 金属部の断面積 A ₂ (mm ²)	接続管の断面係数 Z ₁ (mm ³)	AA断面における 断面係数 Z ₂ (mm ³)	AA断面における 楔断面係数 Z _p (mm ³)	厚さ方向の温度勾配 による最大熱応力 Q T (MPa)
圧力の段階的な変 化の最大値と最小 値との差 ΔP _{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 C _b C ₂ C ₃ C ₄ C ₅			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)	材料の種類に応じた値 q A ₀ B ₀	
(2) 弁箱の応力									
項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S _n (注2)			
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)		
P _d			P _b	P _t					
計算応力 (MPa)	62	142	33	67	67	198	137		
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。								

(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。

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 312.0 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{}(\%/s)$$

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

タイトル	玉形弁（抽出水しゃ断弁弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>抽出水しゃ断弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1- 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。</p> <p>設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付 1 に示す。</p> <p>また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付 2 に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A</p> <p>ヤング率：1.78×10^5 (MPa)</p> <p>熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S 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 1-LCY-459/460(入口側)	呼び径 3	弁箱の材料 A351 CF8M	接続管の材料 SUS316TP	計算書番号 クラスI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)	260 °Cにおける 換算圧力 P _s (MPa)	260 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の260 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	260 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa)	260 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ /mm・°C)	AA断面における 金属部の厚さ t _g (mm)	交差部壁面とその 二等分線とに接す る円の直径 T _{g1} (mm)	交差部壁面に接する 円の直径 T _{g2} (mm)	
17.16	343	18.5	125	137	178000	18.44				
AA断面における 平均半径 r (mm)	AA断面における 内半径 r _i (mm)	流体部面積 A _f (mm ²)	金属部面積 A _m (mm ²)	接続管の断面積の 2分の1 A ₁ (mm ²)	AA断面における 金属部の断面積 A ₂ (mm ²)	接続管の断面係数 Z ₁ (mm ³)	AA断面における 断面係数 Z ₂ (mm ³)	AA断面における 断面係数 Z ₃ (mm ³)	厚さ方向の温度勾配 による最大熱応力 σ _T (MPa)	
圧力の段階的な変 化の最大値と最小 値との差 ΔP _{fm} (MPa)	厚板部分と薄板部 分の平均温度の差 の最大値 ΔT (°C)	流体温度の段階的 な温度変化の最大 値と最小値との差 ΔT _{fm} (°C)	応力係数					ネック部の角 度による係数 K	繰返しピーク 応力強さの割 増し係数 K _a (注1)	材料の種類に応じた値 q A ₀ B ₀
			C _b	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅			
(2) 弁箱の応力										
項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S _e (注2)				
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)			
			P _d	P _b	P _t					
計算応力 (MPa)	91	149	37	63	63	211	228			
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。									

(注1) K_a適用判定のS_nはVVB-3370による。
(注2) S_nはVVB-3340による。

疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡の組合せ		S _{p1} (MPa)	S11 (MPa)	S12 (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	時間:1 以外:2	ε* (-)	T1 (℃)	T2 (℃)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Pen×N/N*		
	加熱過程	冷却過程																					
起動時及び停止時	1	1	278.6	139.3	157.0	99	2000452	0.00008				178000		1								0.00116	
1次系漏えい試験(注1)	27	28	278.6	139.3	157.0	105	2000452	0.00008				178000		1								0.00047	
	29	33	2001.1	1000.6	1127.8	1	370	0.00270				178000		1								0.04008	
	30	33	2001.1	1000.6	1127.8	2	370	0.00541				178000		1								0.08277	
	30	30	1902.5	961.2	1072.2	1	430	0.00233				178000		1								0.03499	
	28	30	1812.3	906.2	1021.4	7	497	0.01408				178000		1								0.20645	
	28	31	1803.8	901.9	1016.6	1	505	0.00198				178000		1								0.02906	
	14	21	557.4	278.7	314.2	1	54355	0.00002				178000		1								0.00068	
	14	23	465.6	232.8	262.4	1	146231	0.00001				178000		1								0.00034	
	14	25	444.8	222.4	250.7	1	188322	0.00001				178000		1								0.00034	
	14	29	435.0	217.5	245.1	2	214926	0.00001				178000		1								0.00034	
	12	29	381.9	191.0	215.2	4	482415	0.00001				178000		1								0.00022	
	25	29	376.1	188.1	212.0	1	534694	0.00000				178000		1								0.00000	
	6	29	356.7	178.4	201.0	3	777123	0.00000				178000		1								0.00000	
	6	7	332.9	166.5	187.6	1	1115569	0.00000				178000		1								0.00000	
	起動時及び停止時以外	2	7	329.9	164.9	185.9	54	1149843	0.00008				178000		1								0.00107
		2	32	316.3	158.1	178.2	1	1319969	0.00000				178000		1								0.00000
		2	19	297.9	148.9	167.9	1	1605786	0.00000				178000		1								0.00000
		2	24	272.7	136.4	153.7	6	2192505	0.00000				178000		1								0.00000
		2	6	260.1	130.1	146.6	4	2689121	0.00000				178000		1								0.00000
		2	16	258.4	129.2	145.6	4	2766436	0.00000				178000		1								0.00000
		2	13	258.1	129.0	145.5	4	2782226	0.00000				178000		1								0.00000
		2	26	257.4	128.7	145.1	1	2814140	0.00000				178000		1								0.00000
		2	18	253.9	125.7	142.8	12	3015390	0.00000				178000		1								0.00000
		2	15	245.6	122.7	138.4	5	3453148	0.00000				178000		1								0.00000
		2	3	243.8	121.9	137.4	618	3598456	0.00017				178000		1								0.00416
		22	3	238.7	119.3	134.5	1	3899004	0.00000				178000		1								0.00000
		4	3	237.3	118.7	133.6	5	3996516	0.00000				178000		1								0.00000
		18	3	237.0	118.5	133.6	1	4021362	0.00000				178000		1								0.00000
								ΣN/N* (注3)	0.02688													ΣFen×N/N*	0.40213

→通常UF:0.027

→環境UF:0.403

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 278.6 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{} (\%/s)$$

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

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 1366 1312"><tr><td data-bbox="475 775 699 891">解析プログラム</td><td data-bbox="699 775 1366 1312" rowspan="5"></td></tr><tr><td data-bbox="475 891 699 1008">要素種類</td></tr><tr><td data-bbox="475 1008 699 1124">要素次数</td></tr><tr><td data-bbox="475 1124 699 1218">要素数</td></tr><tr><td data-bbox="475 1218 699 1312">節点数</td></tr></table> <table border="1" data-bbox="435 1339 1366 1447"><tr><td data-bbox="435 1339 1366 1447"></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	ASTM A240 TYPE304 (SUS27相当)	113	322.8
上部炉心支持柱	ASTM A213 TYPE304 (SUS27TB相当)	113	322.8
下部炉心支持柱	ASTM A351 GR CF8 (SCS13相当)	116	288.6
下部炉心支持板	ASTM A182 Gr. F304 (SUS27相当)	116	288.6

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を、添付1に示す。

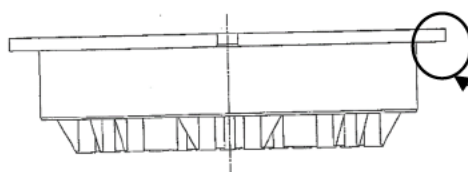
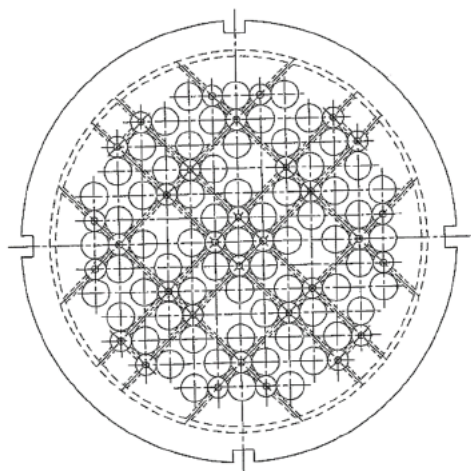
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

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

5. Ke係数および環境パラメータ

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



評価部位 (周縁部下面)



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: 周縁部下面)

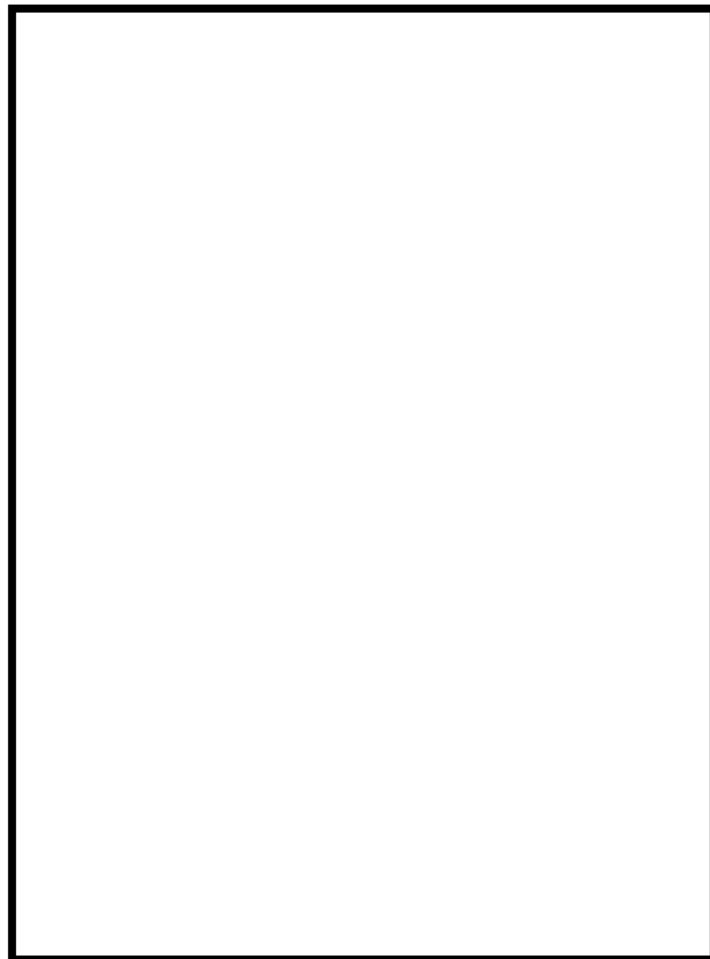
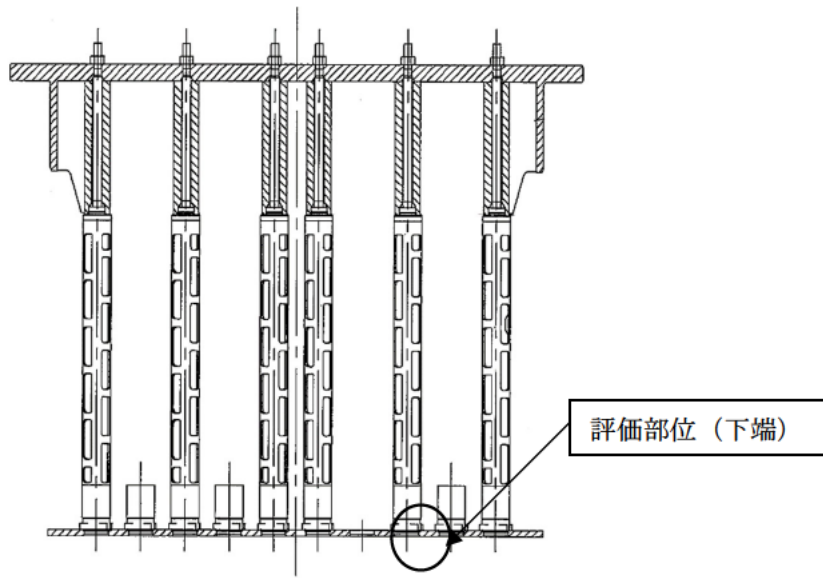
周縁部下面 ($\sigma_1 - \sigma_2$)

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	K_e	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
761.3	-337.3	1.0	549.3 (615.6)	3	2730	0.00110
411.6	-337.3	1.0	374.5 (419.7)	24	12700	0.00189
319.4	-337.3	1.0	328.4 (368.0)	65	24400	0.00266
291.8	-337.3	1.0	314.5 (352.5)	112	30300	0.00370
291.8	-254.7	1.0	273.3 (306.2)	92	62500	0.00147
206.5	-254.7	1.0	230.6 (258.4)	13	159000	0.00008
206.3	-254.7	1.0	230.5 (258.4)	722	159000	0.00454
206.3	-105.6	1.0	156.0 (174.8)	2	1400000	0.00000
206.3	-40.0	1.0	123.2 (138.0)	13	3480000	0.00000
206.3	-10.0	1.0	108.1 (121.2)	42	6590000	0.00001
0.0	-10.0	1.0	5.0 (5.6)	162	—	0.0

疲労累積係数= 0.01546

(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 : 0.016



上部炉心支持柱 評価点

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 下端)

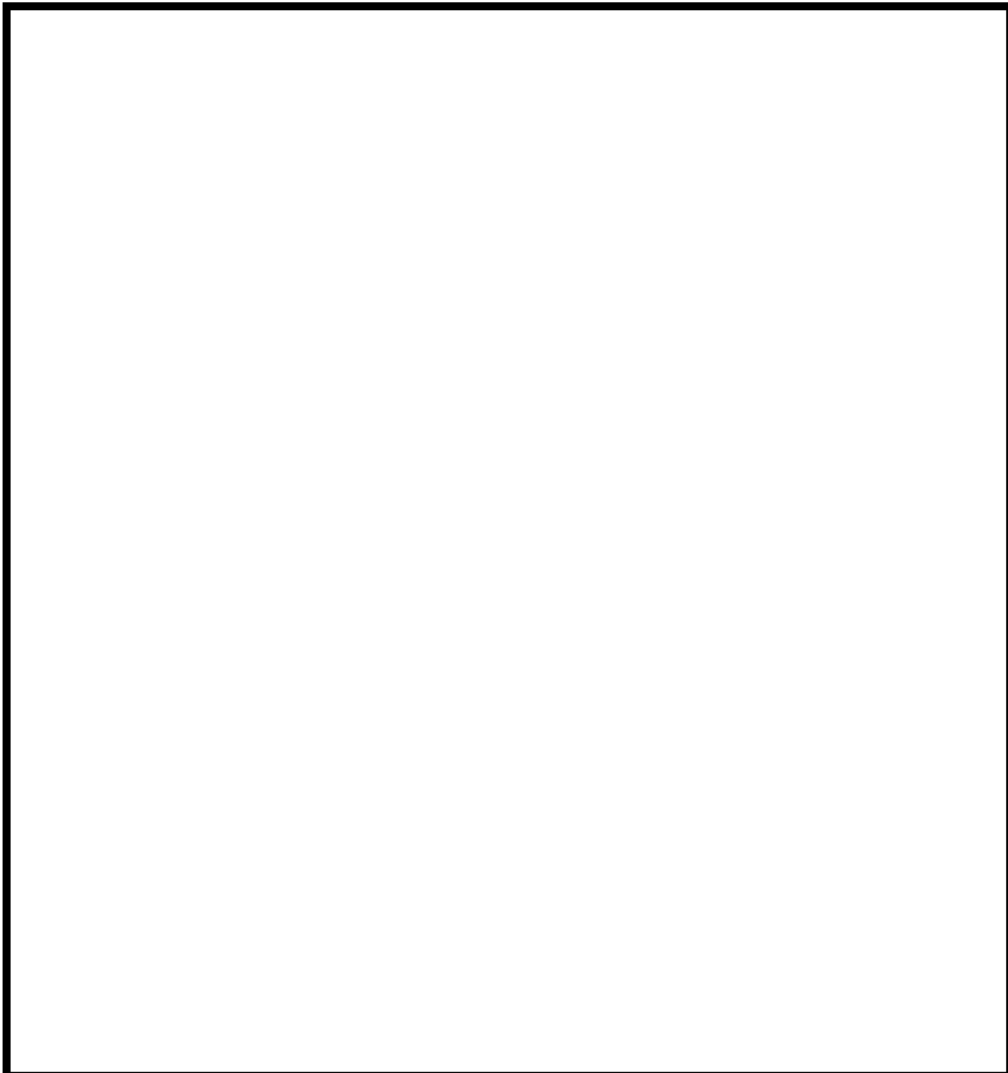
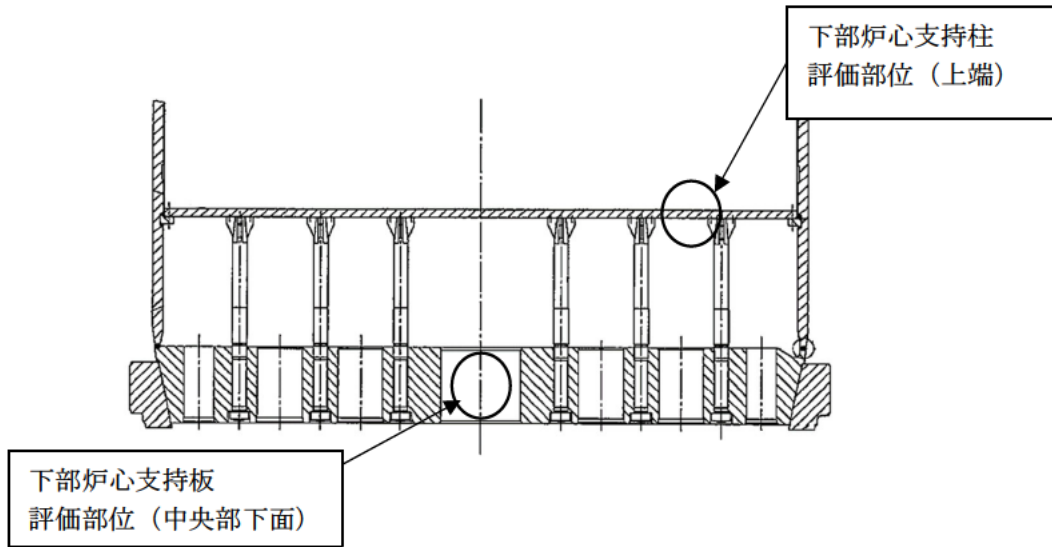
下端

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	K_e	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
0.0	-670.8	1.0	335.4 (375.9)	2	21900	0.00009
0.0	-562.7	1.0	281.3 (315.3)	3	53200	0.00006
0.0	-534.6	1.0	267.3 (299.5)	24	70500	0.00034
0.0	-524.8	1.0	262.4 (294.1)	65	77900	0.00083
0.0	-518.1	1.0	259.1 (290.3)	13	83600	0.00016
0.0	-514.0	1.0	257.0 (288.0)	97	87400	0.00111
-378.0	-514.0	1.0	68.0 (76.2)	24	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00259

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^6}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.003



下部炉心構造物組立体 評価点

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

中央部下面

最大値	最小値	応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$)
		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*	
492.0	-322.5	1.0	407.2 (451.2)	3	9120	0.00033
442.8	-322.5	1.0	382.6 (424.0)	10	12100	0.00083
442.8	0.0	1.0	221.4 (245.3)	14	214000	0.00007
355.6	0.0	1.0	177.8 (197.0)	65	897000	0.00007
322.9	0.0	1.0	161.5 (178.9)	2	1300000	0.00000
284.8	0.0	1.0	142.4 (157.8)	123	1960000	0.00006
284.8	206.8	1.0	39.0 (43.2)	656	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00136

(注) 括弧内の数字は、 $\frac{1.95 \times 10^6}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$ を乗じて得た値である。

→通常UF : 0.002

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点 : 上端)

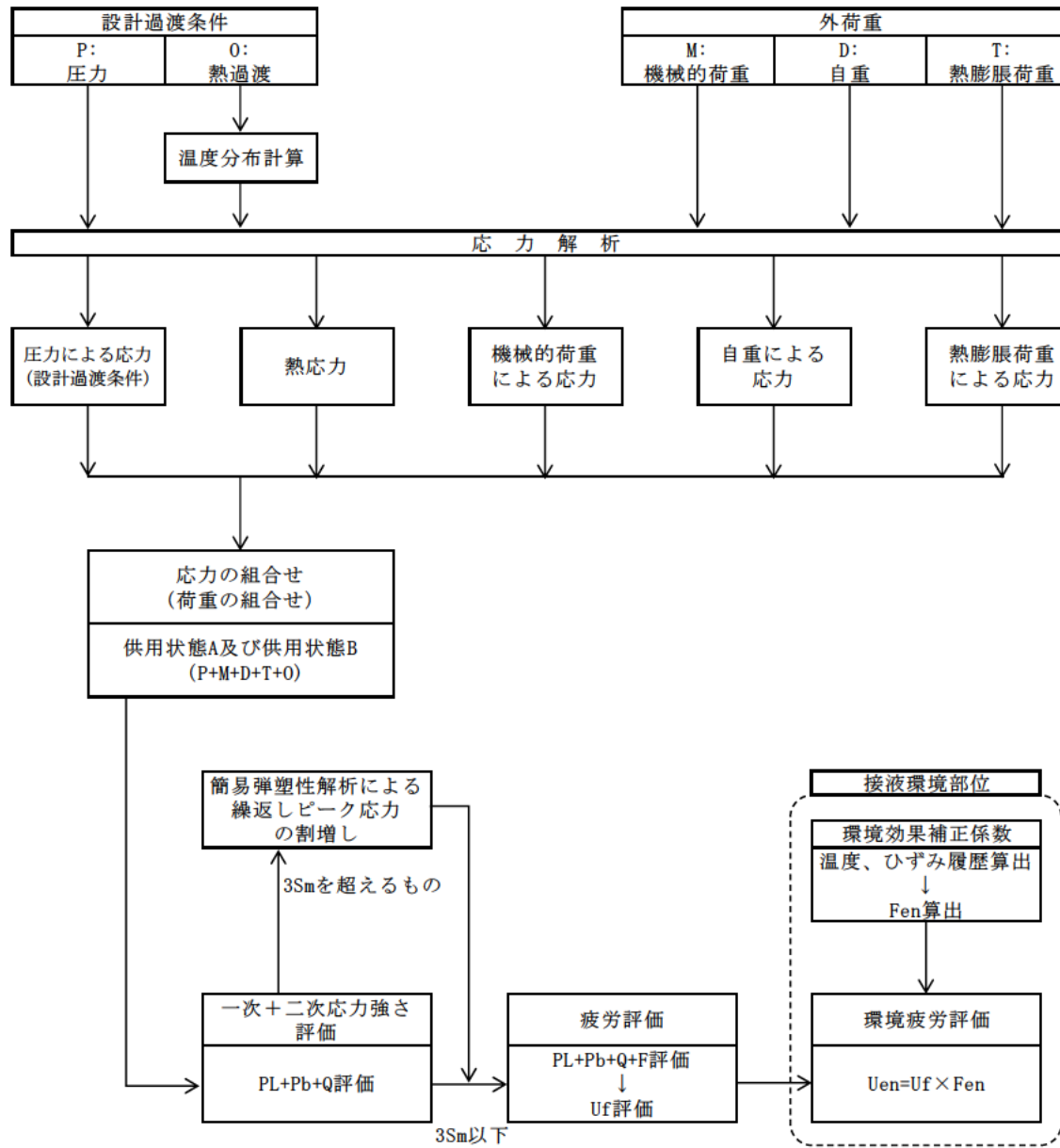
上端

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	-342.3	1.0	171.2 (189.7)	13	1070000	0.00001
0.0	-225.9	1.0	112.9 (125.1)	191	5460000	0.00003
-64.9	-225.9	1.0	80.5 (89.2)	3	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00005

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

→通常UF : 0.001



備考：熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

K e 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 周縁部下面)

過渡条件 記号 (注1)		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 (注2) K _E	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 (注5) f _{en}	環境効果を考慮した 疲労累積係数 (注6) u _{en}
A	B	s _{max}	s _{min}		s _{alt'} (注3)	s _{alt'} (注4)					
F	IAI	761.3	-337.3	1.00	549.3	615.6	3	2730	0.00110	9.800	0.01077
E	IAI	411.6	-337.3	1.00	374.5	419.7	24	12700	0.00189	11.096	0.02097
C	IAI	319.4	-337.3	1.00	328.4	368.0	65	24400	0.00266	12.814	0.03414
A-2	IAI	291.8	-337.3	1.00	314.5	352.5	112	30300	0.00370	7.924	0.02929
A-2	B-1	291.8	-254.7	1.00	273.3	306.2	92	62500	0.00147	5.156	0.00759
D-2	B-1	206.5	-254.7	1.00	230.6	258.4	13	159000	0.00008	14.056	0.00115
B-2	B-1	206.3	-254.7	1.00	230.5	258.4	722	159000	0.00454	16.911	0.07679
B-2	D-1	206.3	-105.6	1.00	156.0	174.8	2	1400000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	D-2	206.3	-40.0	1.00	123.2	138.0	13	3480000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	206.3	-10.0	1.00	108.1	121.2	42	6590000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	A-2	0.0	-10.0	1.00	5.0	5.6	162	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.18070

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ ($s_{alt'} \leq 214.5$) の場合、 $f_{en}=1.0$
 : 割り増し係数 K_E , 環境効果補正係数 f_{en} を示す

→環境UF : 0.181

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	-670.8	1.00	335.4	375.9	2	21900	0.00009	7.199	0.00066
NSS	F	0.0	-562.7	1.00	281.3	315.3	3	53200	0.00006	6.787	0.00038
NSS	E	0.0	-534.6	1.00	267.3	299.5	24	70500	0.00034	10.937	0.00372
NSS	C	0.0	-524.8	1.00	262.4	294.1	65	77900	0.00083	8.727	0.00728
NSS	D-2	0.0	-518.1	1.00	259.1	290.3	13	83600	0.00016	14.025	0.00218
NSS	B-2	0.0	-514.0	1.00	257.0	288.0	97	87400	0.00111	14.025	0.01557
E	B-2	-378.0	-514.0	1.00	68.0	76.2	24	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02979

(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: 0.030

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n#	疲労累積係数 a	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	492.0	-322.5	1.00	407.2	451.2	3	9120	0.00033	14.184	0.00467
E	D-2	442.8	-322.5	1.00	382.6	424.0	10	12100	0.00083	13.701	0.01132
E	NSS	442.8	0.0	1.00	221.4	245.3	14	214000	0.00007	7.017	0.00046
C	NSS	355.6	0.0	1.00	177.8	197.0	65	897000	0.00007	1.000	0.00007
D-1	NSS	322.9	0.0	1.00	161.5	178.9	2	1300000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	NSS	284.8	0.0	1.00	142.4	157.8	123	1960000	0.00006	1.000	0.00006
B-2	B-1	284.8	206.8	1.00	39.0	43.2	656	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.01658

(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 : 0.017

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

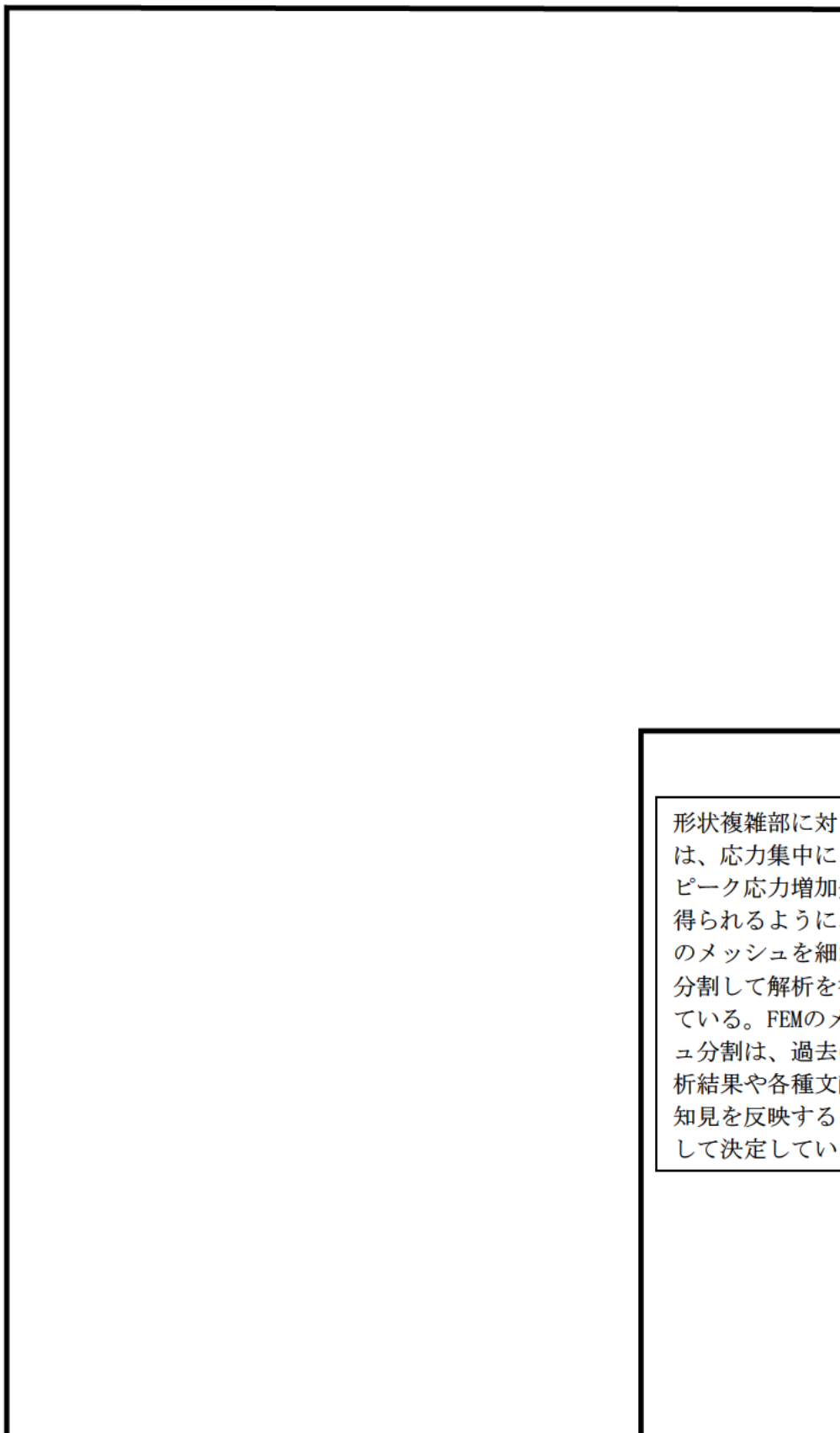
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	D-2	0.0	-342.3	1.00	171.2	189.7	13	1070000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	B-1	0.0	-225.9	1.00	112.9	125.1	191	5460000	0.00003	1.000	0.00003
F	B-1	-64.9	-225.9	1.00	80.5	89.2	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00005

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.001

タイトル	加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 779 1310 981"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値（設計応力強さ）を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 1099 1318 1261"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345℃</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SA533 Gr. B Class1 (SQV2A相当)</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点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、応力フローチャートを添付 2 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="486 1653 1305 1767"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3	要素種類		要素次数		節点数		要素数		評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. B Class1 (SQV2A相当)	184	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
評価部位	材料	設計応力 (MPa)																				
		345℃																				
下部胴板、下部鏡板	SA533 Gr. B Class1 (SQV2A相当)	184																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡																					



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

加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点および解析モデル

疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

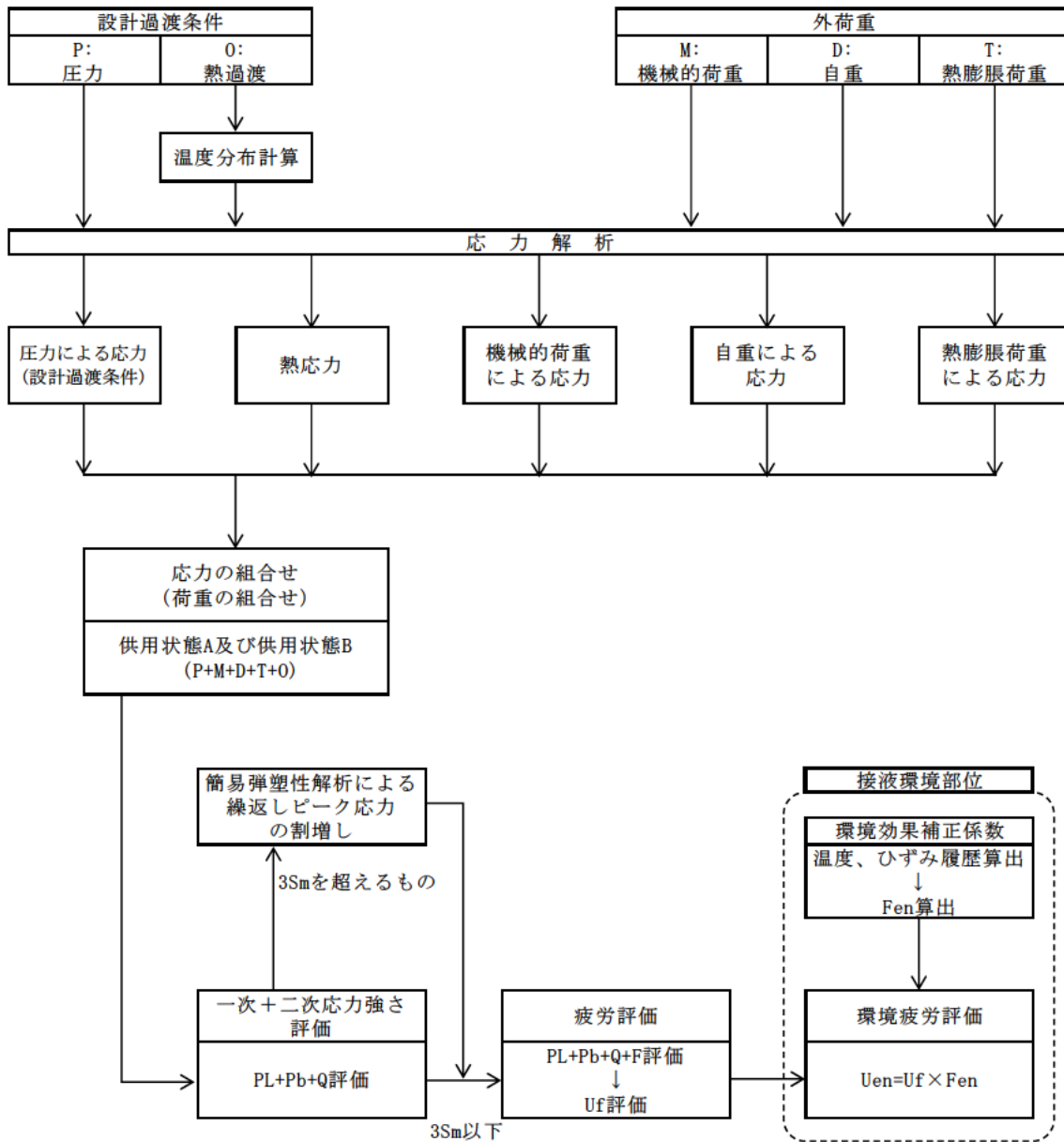
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00012	0.00000
2	0.0	0.00000	0.0
3	0.0	0.00000	0.00026
4	0.00000	0.00000	0.00308
5	0.00142	0.00000	0.00695
6	0.00185	0.0	0.00282
7	0.20749	0.00000	0.21516
8	0.00277	0.00638	0.05098

許容値 $U_r=1.0$

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*	
794.5	-126.7	1.0	460.6	535.7	99	1190	0.08319
742.9	-39.4	1.0	391.1	454.9	5	1840	0.00272
719.2	-39.4	1.0	379.3	441.1	4	1990	0.00201
713.1	-39.4	1.0	376.2	437.5	1	2050	0.00049
707.2	-39.4	1.0	373.3	434.1	4	2100	0.00190
705.3	-39.4	1.0	372.4	433.0	91	2120	0.04292
705.3	0.0	1.0	352.7	410.1	204	2520	0.08095
705.3	306.4	1.0	199.4	231.9	1	15100	0.00007
705.3	477.9	1.0	113.7	132.2	105	116000	0.00091
705.3	597.2	1.0	54.1	62.9	1		0.0
疲労累積係数 =							0.21516

→通常UF : 0.216



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：SCS13A）の値を用いて説明を行う。

2. 適用規格

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

3. 評価手順

(1) 評価手法

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

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

(2) 環境効果補正係数 (F_{en})

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

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

ここで、

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

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

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

C : 環境効果補正係数の算出のための定数

$\dot{\epsilon}$: ひずみ上昇過程でのひずみ速度

ϵ^* : ひずみ速度依存パラメータ

T : 温度

T^* : 温度依存パラメータ

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

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

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

応力サイクルの $F_{en, det}$ は次式で求める。

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

疲労累積係数は次式で求める。

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

ある区間 k におけるひずみ速度

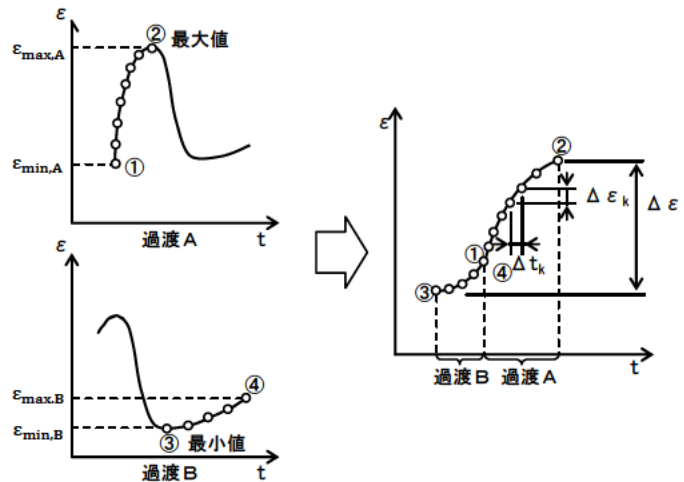
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

過渡 A の環境効果補正係数

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

過渡 B の環境効果補正係数

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



(4) 1次冷却材ポンプの算出例

① ひずみと温度履歴

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

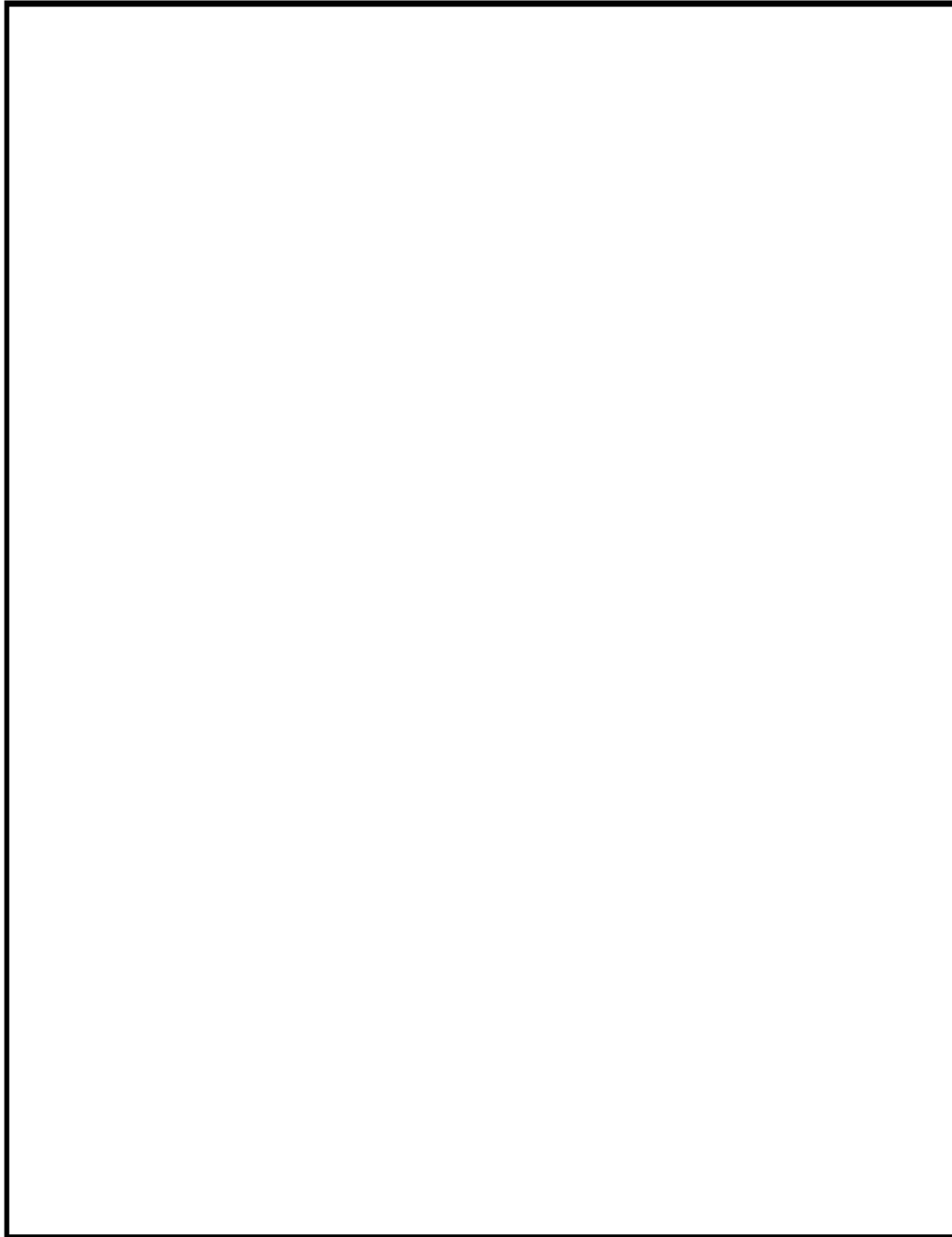


図1 ひずみと温度履歴

② 微小区間 k

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

表1 ひずみ及び温度履歴のデジタル値

詳細評価手法による評価

過渡 A		1 A	2D3	SI	Temp	E	ϵ	Time
		244		190.3		176328.		
		245		195.4		176516.		
		245		195.4		176516.		
		246		206.7		176732.		
		246		206.7		176732.		
		247		287.5		178152.		
		247		287.5		178152.		
		248		387.4		180036.		
		248		387.4		180036.		
		249		412.0		180744.		
		249		412.0		180744.		
		250		414.4		180816.		
		250		414.4		180816.		
		251		416.2		180852.		

1 B	1A1	SI	Temp	E	ϵ	Time
	4	-217.6		183944.		
	5	-100.7		177128.		
	5	-100.7		177128.		
	6	-81.7		176584.		
	6	-81.7		176584.		
	7	-47.6		176576.		
	7	-47.6		176576.		
	8	-17.0		176572.		
	8	-17.0		176572.		
	9	9.4		176572.		
	9	9.4		176572.		
	10	32.2		176568.		
	10	32.2		176568.		
	11	52.0		176568.		
	11	52.0		176568.		
	12	69.2		176568.		

③ 環境効果補正係数(Fen)

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

$$C = 3.910$$

$$\dot{\epsilon}_1 = 0.624 \times 10^{-4}$$

$$\dot{\epsilon}_1^* = -9.681945283$$

$$T_1 = \boxed{}$$

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

$$F_{en,1} = e^{(C-\dot{\epsilon}^*) \times T^*} = e^{(3.910 - (-9.681945283)) \times \boxed{}} = 22.233$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta \epsilon_1 = \boxed{} - \boxed{} = 0.00279$$

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

$$F_{en,det,A,1} = F_{en,1} \frac{\Delta \epsilon_1}{(\epsilon_{max,A} - \epsilon_{min,A})} = 22.233 \times \frac{0.00279}{\boxed{} - \boxed{}} = 0.509$$

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	2D3	SI	Temp	E	ε	Time	ε ·	Temp	Fen, k	△Fen
244	190.3			176328.			0.624E-04		22.233	0.509
245	195.4			176516.						
245	195.4			176516.			0.139E-03		17.668	0.898
246	206.7			176732.						
246	206.7			176732.			0.166E-03		16.107	5.858
247	287.5			178152.						
247	287.5			178152.			0.290E-03		10.371	4.567
248	387.4			180036.						
248	387.4			180036.			0.275E-03		8.398	0.876
249	412.0			180744.						
249	412.0			180744.			0.246E-03		8.093	0.081
250	414.4			180816.						
250	414.4			180816.			0.196E-04		10.969	0.087
251	416.2			180852.						
									total	12.876

1 B	1A1	SI	Temp	E	ε	Time	ε ·	Temp	Fen, k	△Fen
4	-217.6			183944.			0.994E-05		19.756	7.706
5	-100.7			177128.						
5	-100.7			177128.			0.120E-04		22.937	1.539
6	-81.7			176584.						
6	-81.7			176584.			0.260E-04		22.987	2.824
7	-47.6			176576.						
7	-47.6			176576.			0.234E-04		23.012	2.526
8	-17.0			176572.						
8	-17.0			176572.			0.203E-04		23.012	2.184
9	9.4			176572.						
9	9.4			176572.			0.176E-04		23.038	1.895
10	32.2			176568.						
10	32.2			176568.			0.152E-04		23.038	1.641
11	52.0			176568.						
11	52.0			176568.			0.132E-04		23.038	1.424
12	69.2			176568.						
									total	21.739

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

$$\begin{aligned}
 F_{\text{en,det}} &= \frac{F_{\text{en,det,A}} \times (\varepsilon_{\text{max,A}} - \varepsilon_{\text{min,A}}) + F_{\text{en,det,B}} \times (\varepsilon_{\text{max,B}} - \varepsilon_{\text{min,B}})}{(\varepsilon_{\text{max,A}} - \varepsilon_{\text{min,A}}) + (\varepsilon_{\text{max,B}} - \varepsilon_{\text{min,B}})} \\
 &= \frac{12.876 \times (\text{ } - \text{ }) + 21.739 \times (\text{ } - \text{ })}{\text{ } - \text{ } + \text{ } - \text{ }} \\
 &= 17.867
 \end{aligned}$$

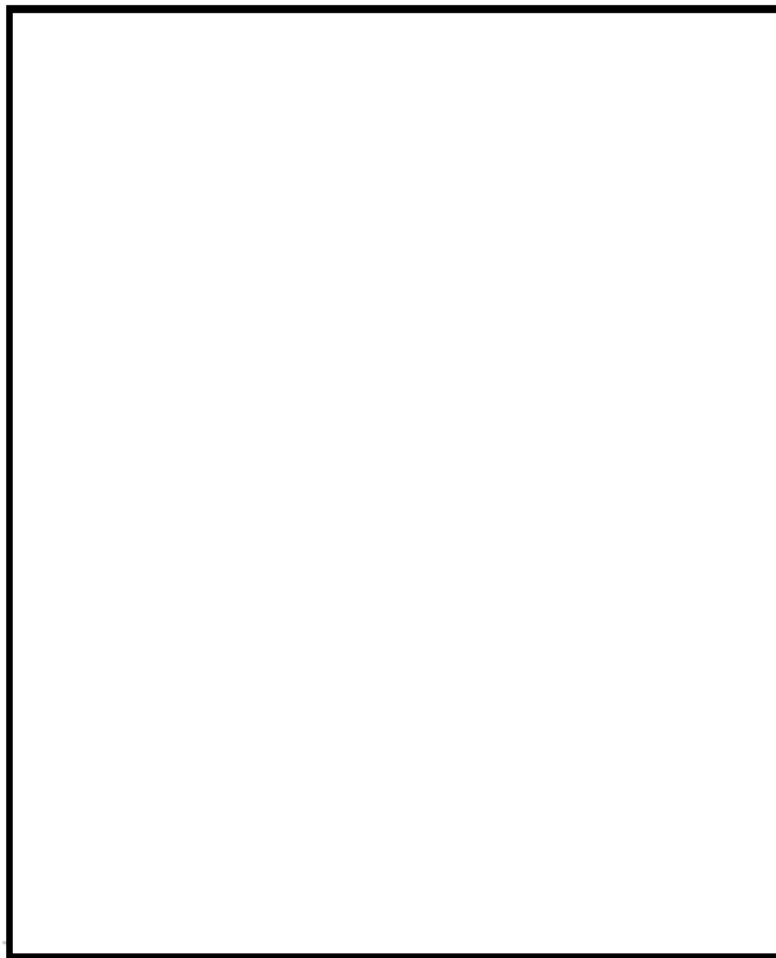
過渡条件の組み合わせにより環境 U.F.= $U \times Fen$ を算出し、足し合わせる。結果を表2に示す。

表2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 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'					
2D3	1A1	416.2	-217.6	1.54	488.6	539.8	1	4470	0.00022	17.867	0.00400
1B1	1A1	380.5	-217.6	1.53	457.9	505.9	98	5750	0.01704	17.252	0.29403
1B1	2I1	380.5	-191.3	1.46	416.7	460.4	1	8410	0.00012	9.560	0.00114
2G1	2I1	352.4	-191.3	1.34	365.1	403.4	1	15500	0.00006	11.696	0.00075
2I2	2I1	330.5	-191.3	1.29	336.6	371.9	103	23100	0.00446	8.121	0.03621
2I2	NSS	330.5	0.0	1.00	165.2	182.6	2	1220000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	NSS	306.9	0.0	1.00	153.4	169.5	10	1550000	0.00001	1.000	0.00001
2H1	NSS	256.3	0.0	1.00	128.1	141.6	1	3120000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	NSS	254.7	0.0	1.00	127.3	140.7	1	3210000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	NSS	242.5	0.0	1.00	121.3	134.0	6	3960000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	NSS	227.7	0.0	1.00	113.8	125.8	5	5290000	0.00000	1.000	0.00000
1K1	NSS	225.0	0.0	1.00	112.5	124.3	86	5680000	0.00002	1.000	0.00002
2A1	NSS	223.9	0.0	1.00	112.0	123.7	4	5840000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	NSS	220.7	0.0	1.00	110.3	121.9	293	6370000	0.00005	1.000	0.00005
1C1	1I1	220.7	31.8	1.00	94.4	104.3	55	22000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2B1	220.7	119.4	1.00	50.7	56.0	5	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.33620

→環境 UF: 0.337

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

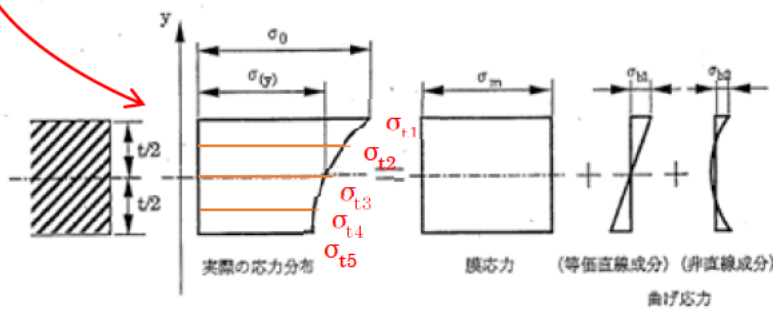
- $\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
- σ_{r1} 板厚方向応力
- σ_{t1} 軸方向応力
- $\sigma_{\theta 2}$
- σ_{r2}
- σ_{t2}
- ⋮
- ⋮
- $\sigma_{\theta 5}$
- σ_{r5}
- σ_{t5}



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1編 解説 第1章 GNR



解説図 GNR-2130-1 膜応力と曲げ応力の考え方

図1 加圧器スプレイ配管の3次元解析の応力分類概略図