

美浜発電所3号炉 劣化状況評価  
(低サイクル疲労)

補足説明資料

平成28年7月21日

関西電力株式会社

# 目次

1. はじめに	1
2. 代表機器の選定	1
3. 代表機器の技術評価	3
(1) 原子炉容器本体（3号炉）	3
1) 健全性評価	3
2) 現状保全	10
3) 総合評価	10
4) 高経年化への対応	11
4. 代表機器以外の評価	12
(1) 美浜3号炉の評価	12
5. まとめ	14
(1) 審査基準適合性	14
(2) 保守管理に関する方針として策定する事項	14
6. 参考資料	15
(1) 3号炉原子炉容器本体出口管台の評価結果	15
(2) 高浜1・2号炉との評価条件（設備・手法の相違）について	16
(3) 1回のみでの過渡事象が疲労累積係数に与える影響について	19

別紙1～7

## 【美浜3号炉】

別紙1. 原子炉容器の評価対象部位抽出の考え方について	XX
別紙2. 建設時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	XX
別紙3. 環境疲労評価部位の地震を含む疲労累積係数の一覧について	XX
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	XX
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	XX
別紙6. 過渡回数推定値の算出方針について	XX
別紙7. 3号炉の各機器の疲労累積係数等の算出根拠について	XX

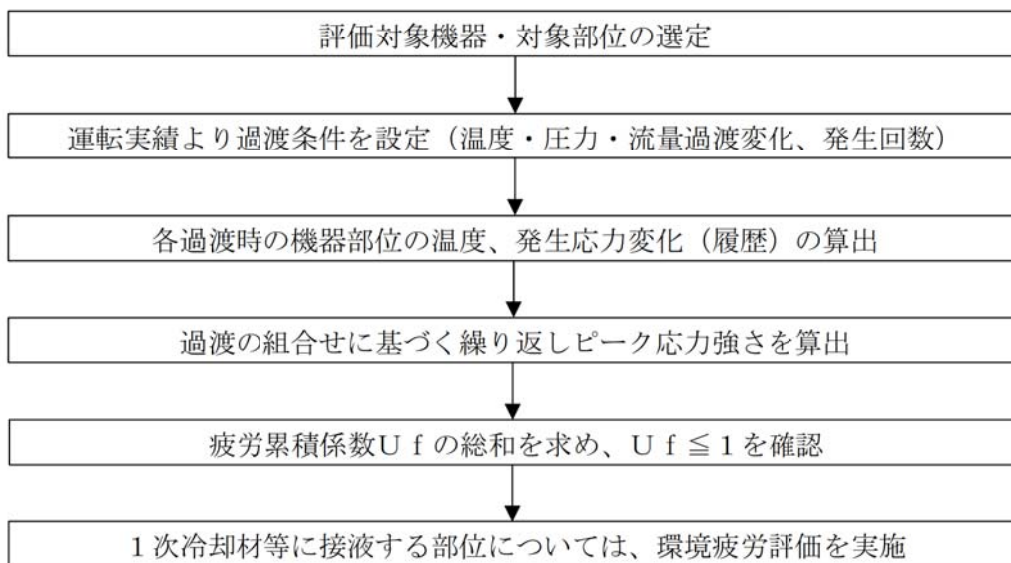


## 1. はじめに

本資料は、低サイクル疲労の劣化状況評価の補足として、3号炉の原子炉容器本体の評価例を代表機器として、代表機器以外の評価結果については一覧表として示すと共に、評価内容の補足資料をとりまとめたものである。なお、機種毎の劣化状況評価については劣化状況評価書に取りまとめている。

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・圧力および流量変化により、機器の構造不連続部等に局所的に大きな応力変動が生じ、それが供用期間中に繰り返された場合に、疲労割れ発生に至る可能性がある劣化事象である。

### 【低サイクル疲労評価の流れ】



## 2. 代表機器の選定

低サイクル疲労割れが想定される機器は、多数存在するが、劣化状況評価では、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 低サイクル疲労割れに係る評価対象設備

低サイクル疲労評価では、プラントの起動・停止時等に温度・圧力および流量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。抽出した設備は原子炉容器他、「4. 代表機器以外の技術評価」に示す機器である。

### ② 対象設備のグループ化及び代表機器の選定

劣化状況評価書では、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、圧力が厳しい) 等を考慮してグループ内代表機器を選定している。

以下の説明では、②で選ばれた低サイクル疲労割れが想定されるグループ内代表機器のうち、1 機器を例に挙げて評価の詳細を説明する。

低サイクル疲労評価においては、プラント安全上の重要性を考慮し、1 次冷却材バウンダリ機能上最も重要と考える「原子炉容器本体」を代表例として選定し、具体的な評価内容を説明する。なお、原子炉容器本体以外の評価結果は「4. 代表機器以外の技術評価」に示す。

### 3. 代表機器の技術評価

#### (1) 原子炉容器本体（3号炉）

##### 1) 健全性評価

###### a) 適用規格、評価条件

- ・(社) 日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)  
PVB-3000 (クラス1 容器の設計)
- ・(社) 日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)

###### b) 熱過渡条件の設定

評価期間は、延長しようとする期間を踏まえて60年間とし、60年供用時点の評価を実施する。

各過渡条件の繰り返し回数は「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」に基づき、運転実績に基づく過渡回数（2011.3.31まで）を用い、60年間の過渡回数を推定する。なお、2011年度以降の期間は実績より保守的<sup>※1</sup>な回数の過渡が発生すると仮定して回数を推定した。

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、スタッドボルト以外）、上蓋、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 評価条件として現在の冷却停止期間を2011年5月から2017年9月までと想定した。また、2011年度以降の過渡発生頻度は実績の1.5倍以上を想定した。

##### ①未取替機器

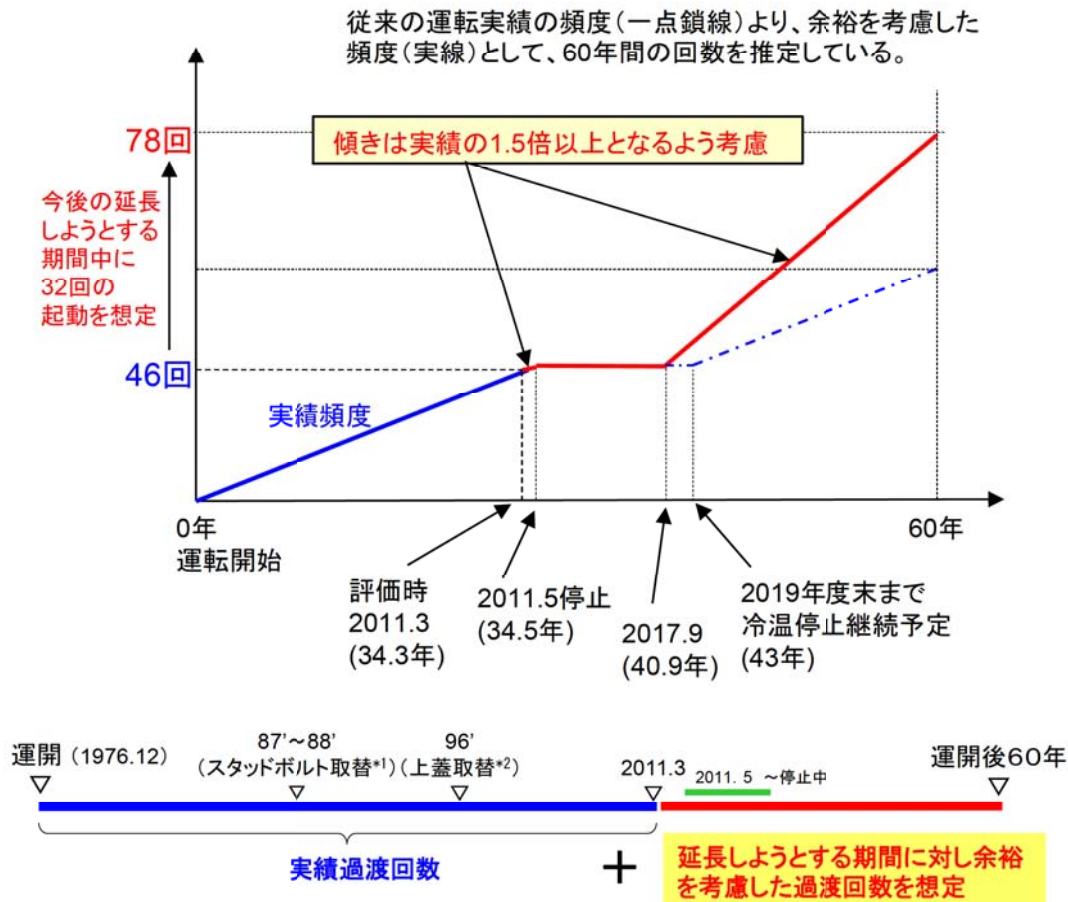
$$\begin{aligned} 60 \text{年時点過渡回数} &= \text{実績過渡回数} + \text{推定過渡回数} \\ &\geq \text{実績過渡回数} + (\text{運開後実績過渡回数} / \text{運開後実績過渡回数調査時点までの} \\ &\quad \text{年数}) \times 1.5 \times \text{残年数}^{*2} \end{aligned}$$

##### ②取替機器（原子炉容器上蓋、蓋用管台、スタッドボルト）

$$\begin{aligned} 60 \text{年時点過渡回数} &= \text{実績過渡回数} + \text{推定過渡回数} \\ &\geq \text{取替後実績過渡回数} + (\text{未取替機器の1年間当たり平均過渡回数}) \times 1.5 \times \\ &\quad \text{残年数}^{*2} \end{aligned}$$

※2 2011年4月から運転開始後60年までの期間。ただし現在の冷温停止期間を2011年5月から2017年9月と保守的に想定し、その期間は残年数から差し引く。

## 過渡回数設定のイメージ(起動の例)



\*1:スタッドボルトは取替後49年間の過渡回数を評価  
\*2:上蓋、蓋用管台は取替後40年間の過渡回数を評価

### 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	電共研「応力解析手法の高度化」のデータを使用する。
3 タービン回転試験	プラント建設時の機能試験に係わる過渡のため、今後は発生しない。
4 取替機器の実績過渡	原子炉容器上蓋は、第15回定検(1996年度)の取替後、スタッドボルトは、第9回定検(1987年度~1988年度)の取替後、2010年度末までの実績過渡で評価。
5 取替機器の平均過渡回数	平均過渡回数は未取替機器と同様とする。
6 試運転の実績過渡回数	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。



未取替機器の疲労評価に用いた過渡回数  
(原子炉容器冷却材出入口管台等)

運転状態Ⅰ

過渡項目	過渡回数特記事項	運転実績に基づく過渡回数	
		2010年度末時点	運転開始後60年時点の推定値*1
起動(温度上昇率55.6°C/h)	6	46	78
停止(温度下降率55.6°C/h)	6	44	78
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	6	368	706
負荷減少(負荷減少率5%/min)	6	353	691
90%から100%へのステップ状負荷上昇	6	2	3
100%から90%へのステップ状負荷減少	6	2	3
100%からの大きいステップ状負荷減少	6	4	7
定常負荷運転時の変動*2	1	—	—
燃料交換	—	23	52
0%から15%への負荷上昇	6	50	84
15%から0%への負荷減少	6	37	69
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	運転実績に基づく過渡回数	
		2010年度末時点	運転開始後60年時点の推定値*1
負荷の喪失	2,6	4	6
外部電源喪失	6	2	5
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	1
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	4	7
II)不注意な冷却を伴うトリップ	6	1	2
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	—	1	4
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	3	6	6
1次系漏えい試験	6	37	64

取替機器(原子炉容器上蓋、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*3	運転実績に基づく過渡回数	
		2010年度末時点*4	運転開始後60年時点の推定値*1,5
起動(温度上昇率55.6°C/h)	6	15	47
停止(温度下降率55.6°C/h)	6	14	47
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	—	128	466
負荷減少(負荷減少率5%/min)	—	126	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	—	1	4
定常負荷運転時の変動*2	1	—	—
燃料交換	—	10	39
0%から15%への負荷上昇	—	16	50
15%から0%への負荷減少	—	14	46
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*3	運転実績に基づく過渡回数	
		2010年度末時点*4	運転開始後60年時点の推定値*1,5
負荷の喪失	2	0	2
外部電源喪失	—	0	3
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	1
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	3	0	0
1次系漏えい試験	—	12	39

原子炉容器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*3	運転実績に基づく過渡回数	
		2010年度末時点*6	運転開始後60年時点の推定値*1,7
起動(温度上昇率55.6°C/h)	6	27	59
停止(温度下降率55.6°C/h)	6	25	59
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	—	204	542
負荷減少(負荷減少率5%/min)	—	200	538
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	5
定常負荷運転時の変動*2	1	—	—
燃料交換	—	15	44
0%から15%への負荷上昇	—	24	58
15%から0%への負荷減少	—	21	53
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*3	運転実績に基づく過渡回数	
		2010年度末時点*6	運転開始後60年時点の推定値*1,7
負荷の喪失	2	0	2
外部電源喪失	—	0	3
1次冷却材流量の部分喪失	2	0	1
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	—	1	4
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	3	0	0
1次系漏えい試験	—	22	51

- \*1: 評価条件として、2011年5月から2017年9月までの冷温停止状態を想定した。
- \*2: 設計評価においては、1次冷却材温度±1.7°C、1次冷却材圧力±0.34MPaの変動があるものとしているが、この過渡項目の疲労累積係数への寄与は小さく、また、実際には通常運転中のゆらぎとして、このような変動は生じていない。
- \*3: 過渡回数特記事項4, 5は記載省略
- \*4: 第15回定期検査時(1996年度)に上蓋取替を実施したため、取替後2010年度末時点までの運転実績。
- \*5: 運転開始後20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40年間の過渡回数とした。
- \*6: 第9回定期検査時(1987年度~1988年度)にスタッドボルト取替を実施したため、取替後2010年度末時点までの運転実績。
- \*7: 運転開始後11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49年間の過渡回数とした。

c) 応力解析、疲労累積係数算出

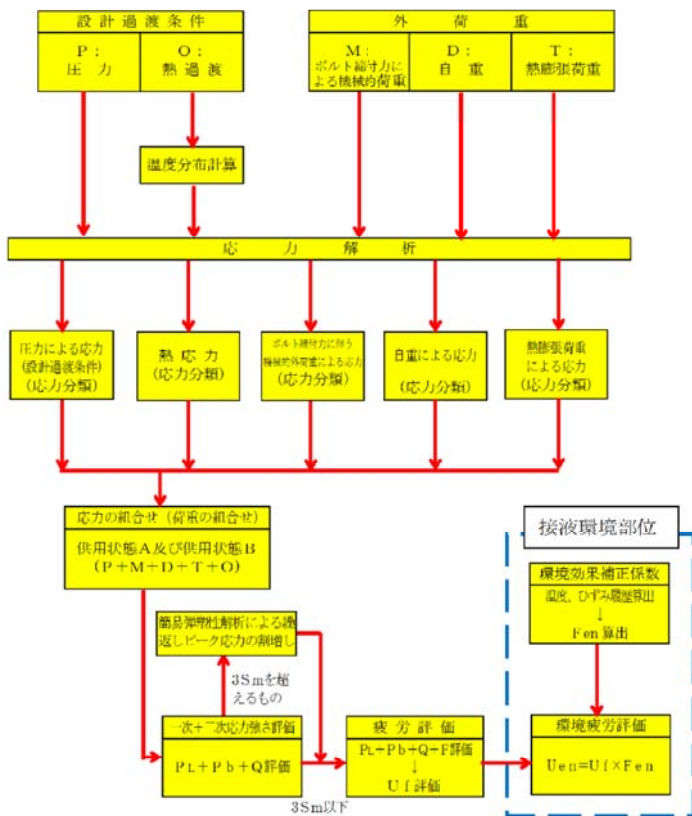
原子炉容器各部位（スタッドボルト除く）の健全性評価は、設計・建設規格（クラス1容器）の規定に従い、大気環境中の疲労評価を行う。

供用状態A、B（運転状態I、II）の過渡条件に対し、P（圧力）、O（熱過渡荷重）、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。

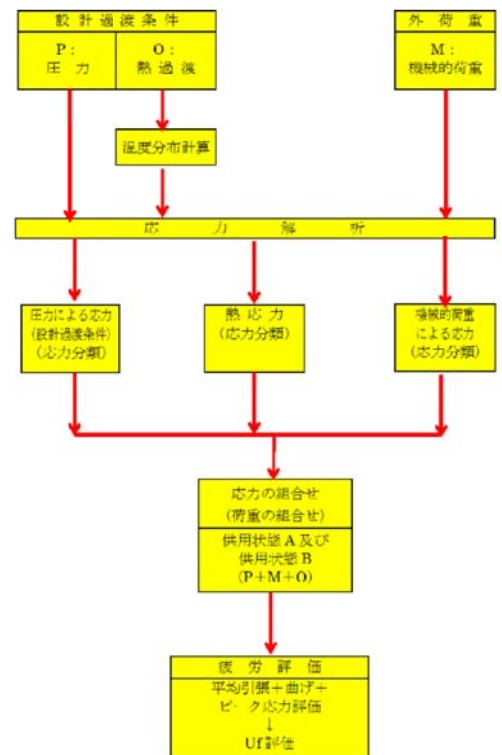
接液部に対しては、環境疲労評価手法に従い、 $F_{en}$ （環境効果補正係数）を算出し、環境効果を考慮した疲労累積係数（ $U_{en}$ ）を算出する。

スタッドボルトの健全性評価は、設計・建設規格（クラス1容器）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（熱過渡荷重）、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。



疲労評価の解析の流れ(スタッドボルト以外)

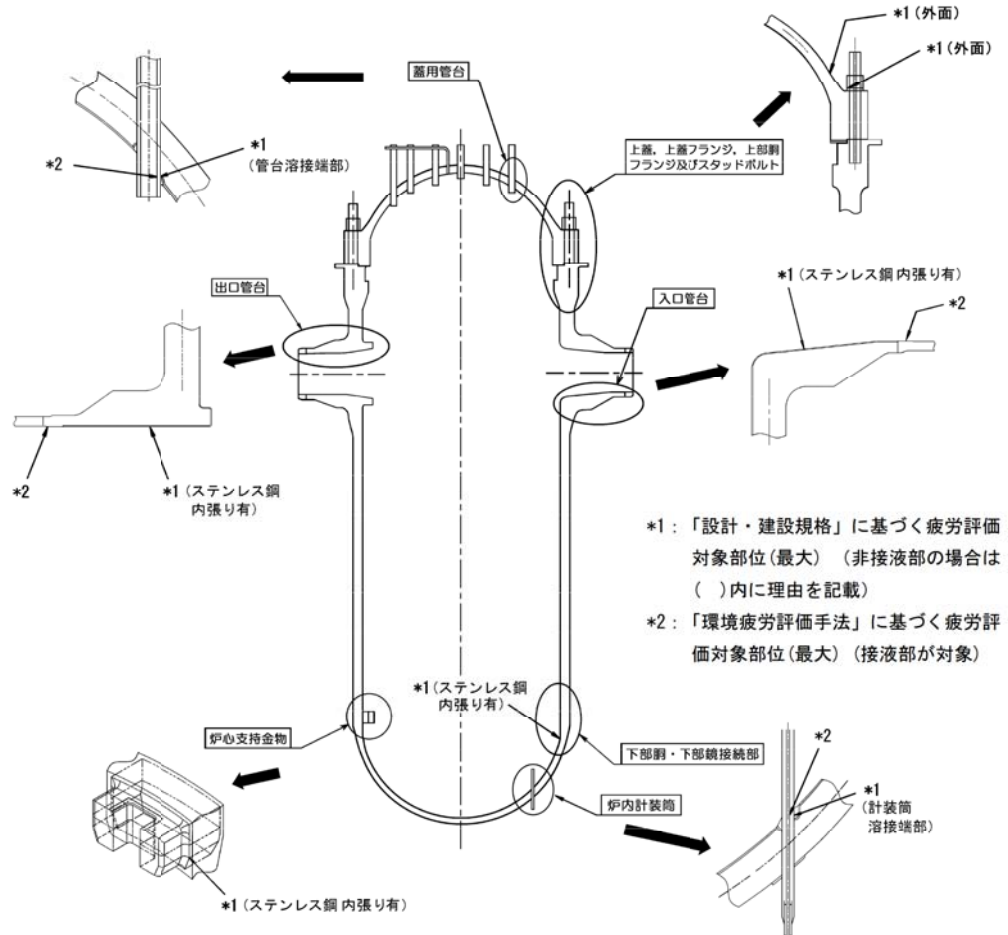


疲労評価の解析の流れ(スタッドボルト)

d) 評価結果

設計・建設規格に基づき、大気中環境での疲労評価を行った結果、疲労累積係数(Uf)が許容値以下(Uf ≤ 1)となることを確認した。

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、疲労累積係数が許容値以下(Uen ≤ 1)となることを確認した。



評価対象部位	疲労累積係数 <sup>※3</sup> (許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
冷却材入口管台	0.038	0.001 <sup>※4</sup>
冷却材出口管台	0.047	0.001 <sup>※4</sup>
蒸用管台 <sup>※1</sup>	0.113	0.002 <sup>※4</sup>
炉内計装筒	0.140	0.006 <sup>※4</sup>
上蓋 <sup>※1</sup> 、上蓋フランジ <sup>※1</sup> 及び上部胴フランジ	0.011	— <sup>※5</sup>
下部胴・下部鏡接続部	0.004	— <sup>※5</sup>
炉心支持金物	0.006	0.000 <sup>※4,6</sup>
スタッドボルト <sup>※2</sup>	0.294	— <sup>※5</sup>

※1: 原子炉容器上蓋を取替えているため、40年間の過渡回数を基に算出した。

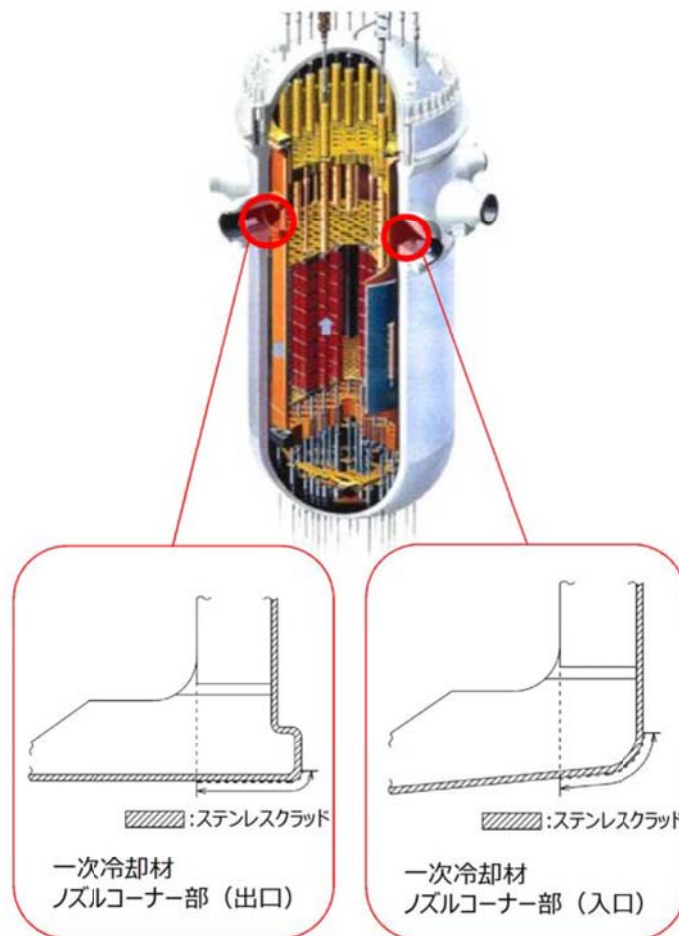
※2: 取替えを実施したため、49年間の過渡回数を基に算出した。

- ※3：設計建設規格による  $U_f$ 、環境疲労評価手法による  $U_{en}$  とともに部位毎の最大値を示す。
- ※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、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。
- ※5：非接液部
- ※6：発生応力は疲労限以下である。

e) 特別点検を踏まえた劣化状況評価

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

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





## 2) 現状保全

原子炉容器本体の評価対象部位における疲労割れに対する保全は、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格 (JSME S NA1-2008)」に従った検査プログラム、試験方法及び試験範囲で供用期間中検査として超音波探傷検査、浸透探傷検査、目視検査 (VT-1,VT-3) 及び漏えい試験 (VT-2) を実施し、健全性を確認している。

原子炉容器本体内面の内張りに対しては、定期的目視検査 (VT-3) 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。

高経年化技術評価にあわせて、実過渡回数に基づく評価を実施することとしている。

原子炉容器本体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
冷却材入口管台	内面コーナー、胴との溶接部	超音波探傷検査	100% / 7 年
	セーフエンドとの溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査	100% / 7 年
冷却材出口管台	内面コーナー、胴との溶接部	超音波探傷検査	100% / 7 年
	セーフエンドとの溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査	100% / 7 年
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	最外周の 25% / 7 年
炉内計装筒	下部鏡の貫通部	ベアメタル検査	100% / 3.5 年
上蓋、上蓋フランジ及び上部胴フランジ	溶接部	超音波探傷検査	100% / 7 年
下部胴・下部鏡接続部	下部胴溶接部 (長手方向)	超音波探傷検査	100% / 7 年
	下部胴と下部鏡接続部 (周方向)	超音波探傷検査	5% / 7 年
炉心支持金物	接近可能な表面 (溶接継手含む)	目視確認 (VT-3)	100% / 7 年
スタッドボルト	ボルト本体	超音波探傷検査	100% / 7 年
	ナット	目視確認 (VT-1)	100% / 7 年

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。  
内容は、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。

## 3) 総合評価

60 年間の供用を想定した原子炉容器本体の疲労評価結果は、疲労累積係数が許容値以下 ( $\leq 1$ ) であったことから、延長しようとする期間において疲労割れ発生が問題となる可能性はないと考える。

また、現在の停止中に行った特別点検で冷却材出入口管台のノズルコーナー部に対して、渦流探傷試験を実施した。その結果クラッド表面について疲労割れ等の損傷が認められず、適切に保護されていることを確認できたことから疲労評価結果の現時点での妥当性が確認できた。

なお、運転開始後 60 年時点の推定過渡回数では、2011 年 5 月から 2017 年 9 月まで冷温停止状態が維持されることを評価条件としており、疲労評価結果は実過渡回数に依存するため、継続的に実過渡回数を把握する必要がある。

#### 4) 高経年化への対応

疲労割れについては、実過渡回数を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。

#### 4. 代表機器以外の技術評価

##### (1) 3号炉の評価

美浜3号炉の原子炉容器本体以外の評価結果を以下に示す。

美浜3号炉 評価結果一覧

評価対象機器		健全性評価（疲労累積係数）	
		設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
余熱除去ポンプ	ケーシング	0.036	0.027 <sup>*1</sup>
1次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	0.176	0.095 <sup>*1</sup>
	ケーシング吐出ノズル	0.017	0.243
	ケーシング吸込ノズル	0.001	0.001
熱交換器	再生クーラ管板部	0.165	0.210
	余熱除去クーラ管板部	0.032	0.044
蒸気発生器	給水入口管台	0.073	0.317 <sup>*2,4</sup>
	管板廻り	0.095	0.094 <sup>*1,4</sup>
加圧器	スプレイライン用管台	0.089	0.022 <sup>*1</sup>
	サージ用管台	0.017	0.048 <sup>*1</sup>
	加圧器スカート	0.166	—
格納容器貫通部	固定式配管貫通部（抽出ライン貫通部端板）	0.524	—
	伸縮式配管貫通部(主蒸気ライン貫通部伸縮継手)	0.005	—
	伸縮式配管貫通部(主給水ライン貫通部伸縮継手)	0.010	—
ステンレス鋼配管	加圧器サージ配管	0.011	0.003 <sup>*3</sup>
	加圧器スプレ配管	0.005	0.150 <sup>*2</sup>
	余熱除去系統出口配管「1次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口弁（冷却材ループ連絡第1弁）」	0.001	0.020
	余熱除去系統出口配管「余熱除去ポンプ入口弁（冷却材ループ連絡第1弁）～原子炉格納容器貫通部」	0.002	0.013
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）	0.047	0.209 <sup>*5</sup>
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	0.009
	コールドレグ	0.001	0.003
	加圧器サージライン用管台	0.154	0.400
	安全注入系ライン用管台	0.004	0.013
	化学体積制御系ライン用管台	0.003	0.018

評価対象機器		健全性評価（疲労累積係数）	
		設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
弁	仕切弁（余熱除去ポンプ入口弁弁箱）	0.006	0.153
	玉型弁（抽出水第1しゃ断弁弁箱）	0.026	0.535
	スイング逆止弁（原子炉容器連絡逆止弁弁箱）	0.008	0.089
	リフト逆止弁（加圧器補助スプレライン逆止弁弁箱）	0.003	0.023
炉内構造物	上部炉心支持板	0.001	0.002
	上部炉心支持柱	0.001	0.001
	下部炉心支持板	0.001	0.001
	下部炉心支持柱	0.001	0.001

\*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次元モデルによる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：設計評価と環境中評価の評価点は同じであるが、環境中評価は熱成層を考慮しているため、評価モデルが異なる。

\*4：環境中評価に用いた溶存酸素濃度は5ppb、材料中の硫黄含有量は0.025%とした。

\*5：環境中評価に用いた溶存酸素濃度は5ppb、材料中の硫黄含有量は0.035%とした。



## 5. まとめ

### (1) 審査基準適合性

以上の評価結果について、原子力規制委員会「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」に規定されている延長しようとする期間における要求事項との対比をした下表に示す。

延長しようとする期間における要求事項との対比

評価対象事象 または 評価事項	要求事項	健全性評価結果
低サイクル疲労	○健全性評価の結果、評価対象部位の疲れ累積係数が1を下回ることを確認すること。	評価対象部位の運転開始後60年後時点における疲れ累積係数（設計・建設規格による疲労累積係数および環境疲労評価手法による環境疲労累積係数）が、全ての部位で1を下回ることを確認した。

### (2) 保守管理に関する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、2011年5月から2017年9月まで冷温停止状態が維持されることを評価条件としており、疲労評価結果は実過渡回数に依存するため、継続的に実過渡回数を把握する必要があることから、保守管理に関する方針を下表の通り定め、運転期間延長認可申請書の添付資料三「保守管理に関する方針書」にて記載するとともに、当該方針を長期保守管理方針として美浜発電所原子炉施設保安規定に定め、確実に実施していく。

美浜発電所3号炉 保守管理に関する方針（抜粋）

機器名	保守管理に関する方針	実施時期 <sup>※</sup>
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	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。	長期

※実施期間は以下の期限を示す。

2016年12月1日からの5年間を「短期」、同10年間を中長期、同20年を「長期」とする。

## 6. 参考資料

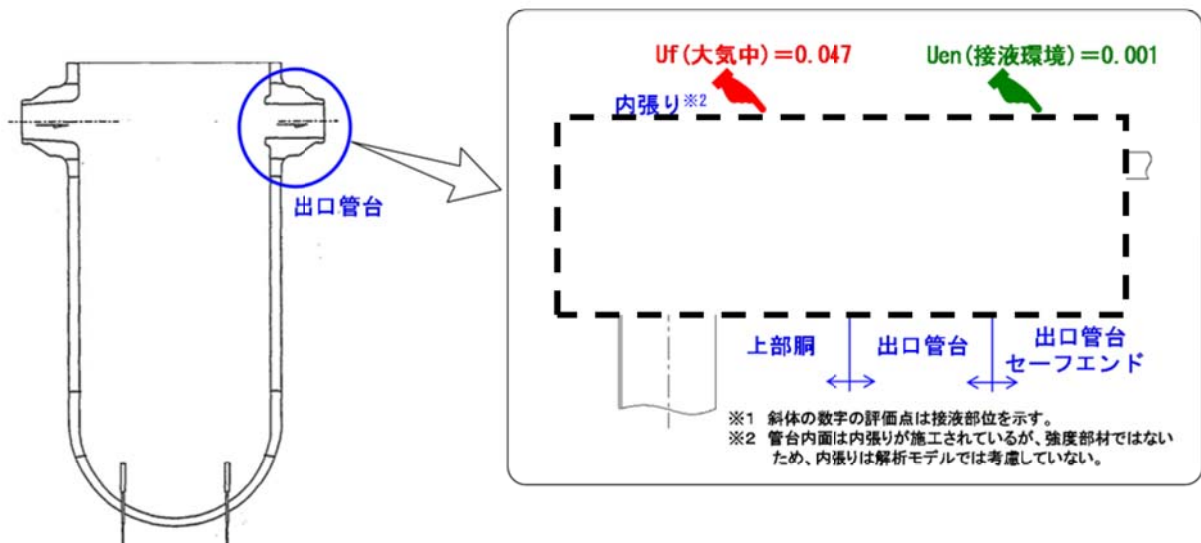
### (1) 3号炉原子炉容器本体出口管台の評価結果

原子炉容器の各評価部位のうち、大気中及び接液環境における評価が必要となる部位であって、評価点数が多く、使用温度が高い出口管台について、詳しく評価結果を説明する。

「(社)日本機械学会 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005/2007)」に基づき、評価点①～⑭について大気中環境での疲労評価を行った結果、全ての評価点において疲労累積係数( $U_f$ )が許容値以下( $U_f \leq 1$ )となることを確認した。

内面のノズルコーナ部周辺の  $U_f$  が相対的に大きく  $U_f \approx 0.04 \sim 0.05$  程度となった。(最大は評価点⑨で  $U_f = 0.047$ )

さらに、接液環境となる評価点①、③のうち、大気中環境での  $U_f$  が最大であった評価点①について「(社)日本機械学会 環境疲労評価手法 (JSME S NF1-2009)」に基づき、接液環境を考慮した疲労評価を行った結果、 $U_{en} = 0.001$  となり、許容値以下であることを確認した。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

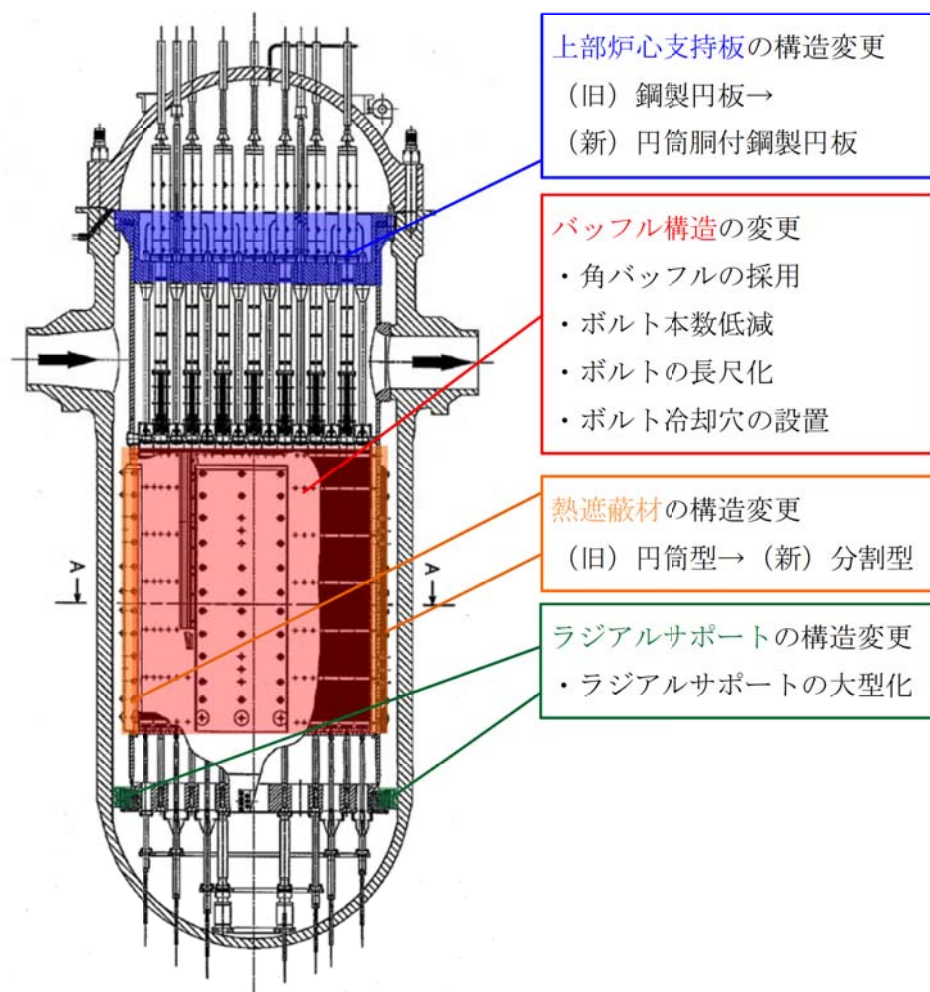
(2) 高浜1・2号炉との評価条件（設備・手法の相違）について

低サイクル疲労評価における高浜1・2号炉との設備・手法の違いについて説明する。評価条件の違いは大きく分けて炉内構造物と固定式ペネトレーションの2点挙げられる。

① 炉内構造物

美浜3号炉では今回の停止期間中に炉内構造物の取替を予定しており、取替を考慮した評価となっている。

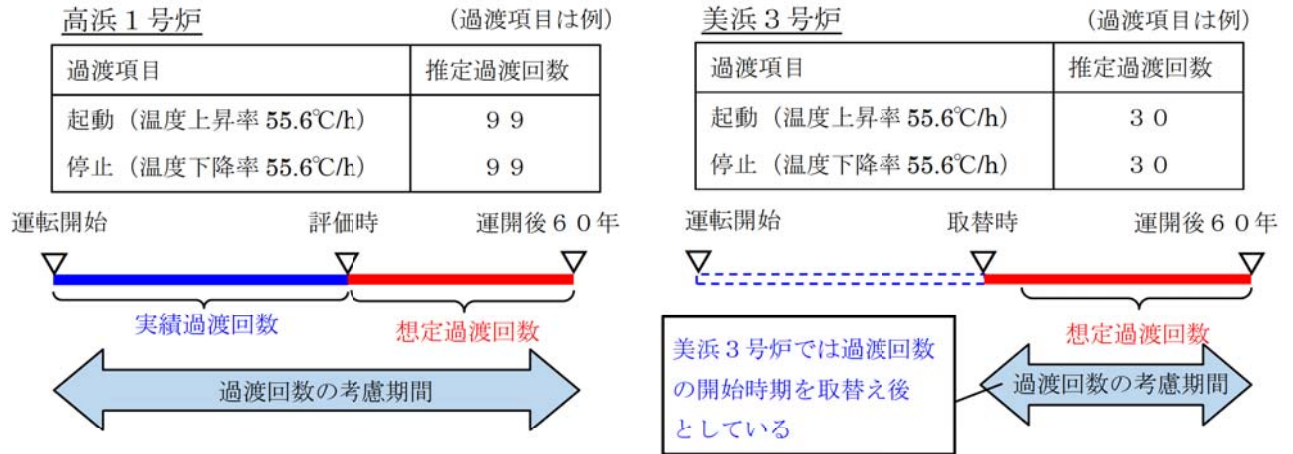
構造としては下図のとおり主に上部炉心板支持板、バッフル構造、熱遮蔽材、ラジアルサポートが異なっている。



炉内構造物 構造の相違

(美浜3号炉 取替え後の炉内構造物全体図)

評価条件は、下図のとおり高浜1・2号炉は運転開始時点から運転開始60年時点を過渡回数の想定期間としているが、炉内構造物を取替える美浜3号炉は取替え後から運転開始60年時点を想定期間としている。



評価条件の相違 (高浜1号炉、美浜3号炉の想定過渡回数的前提条件)

② 固定式ペネトレーション

余熱除去クーラ出口ライン貫通部および余熱除去ポンプ入口ライン貫通部の構造の違い (高浜1・2号炉は固定式、美浜3号炉は伸縮式) により、格納容器貫通部の固定式ペネトレーションの評価対象が以下のとおり異なっている。

<高浜1・2号炉>

余熱除去クーラ出口ライン貫通部および余熱除去ポンプ入口ライン貫通部

<美浜3号炉>

抽出ライン貫通部

高浜1・2号炉と美浜3号炉の固定式ペネトレーションの系統、使用材料および使用条件の相違を次頁に示す。



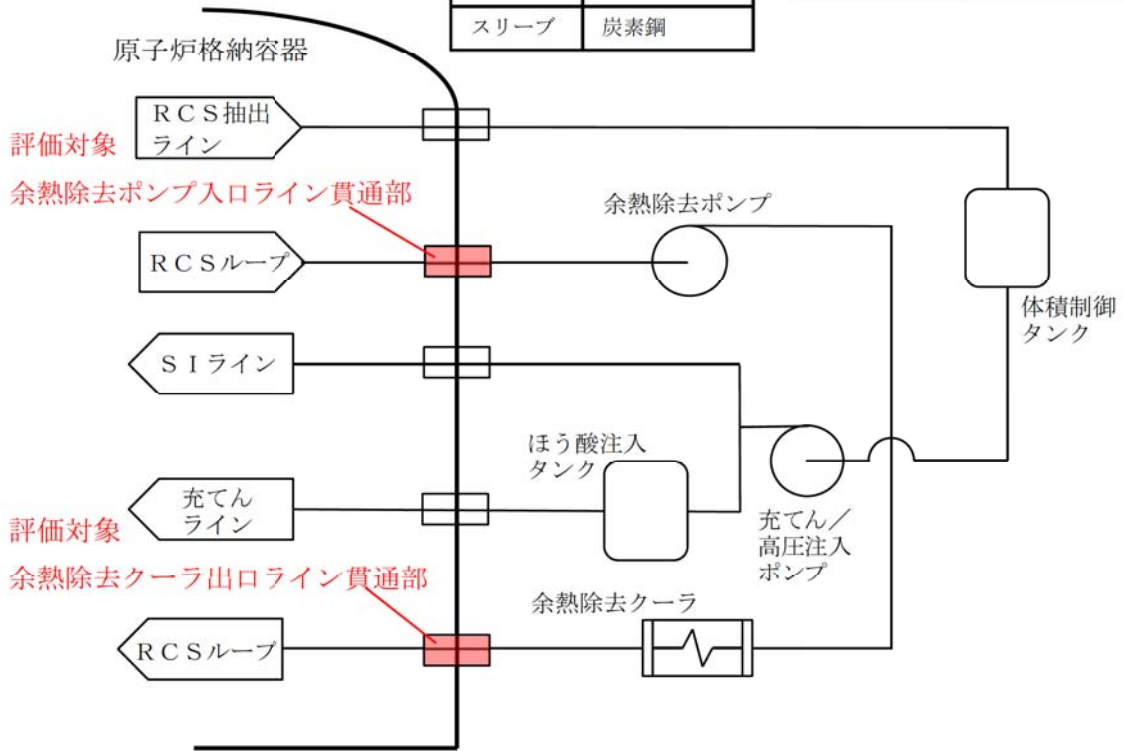
高浜1・2号炉

【評価対象の使用材料】

部位	材質
端板	ステンレス鋼
スリーブ	炭素鋼

【評価対象の使用条件】

最高使用圧力	約 17.2MPa[gage]
最高使用温度	約 200℃



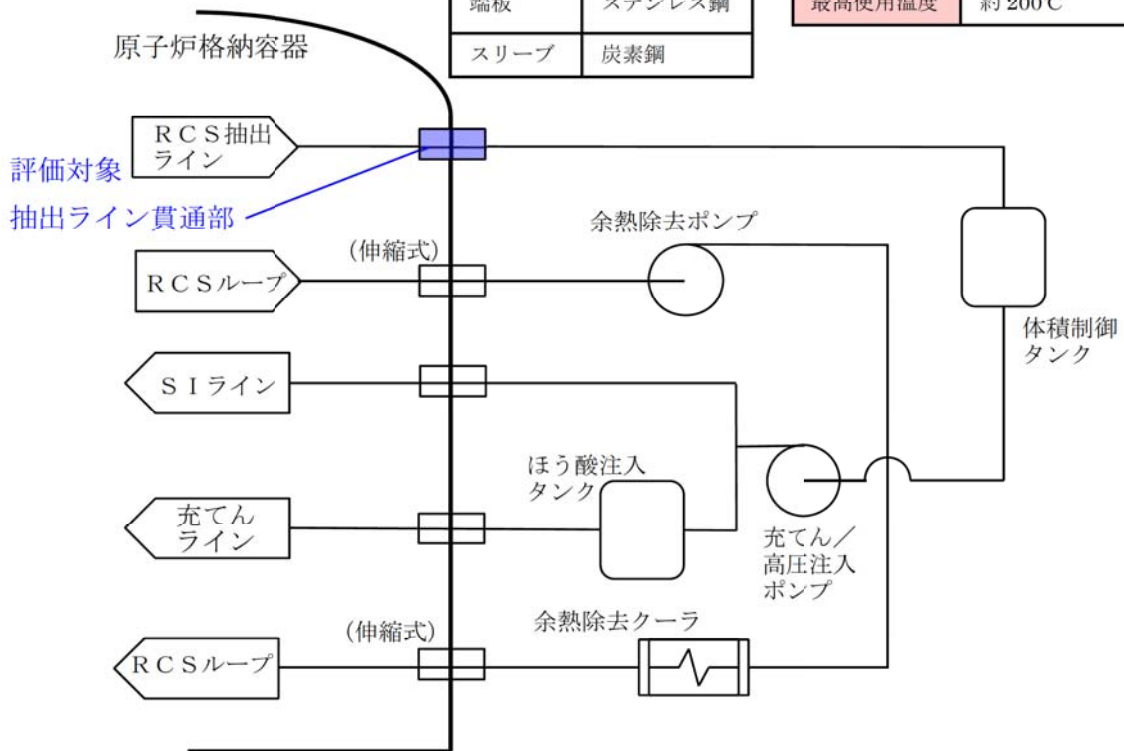
美浜3号炉

【評価対象の使用材料】

部位	材質
端板	ステンレス鋼
スリーブ	炭素鋼

【評価対象の使用条件】

最高使用圧力	約 4.12MPa[gage]
最高使用温度	約 200℃



高浜1・2号炉と美浜3号炉の固定式ペネトレーションの相違

(3) 1回のみ過渡事象が疲労累積係数に与える影響について

過渡条件のうち低頻度過渡（今後発生する過渡回数を1回と想定している過渡）について、過渡事象1回あたりの疲労累積係数に与える影響を説明する。

① 今後発生する過渡回数を1回と想定している過渡

美浜発電所3号炉の劣化状況評価において、今後の発生回数を1回のみ想定している過渡は以下のとおりである。これらの過渡事象による疲労累積係数への影響を示すこととする。

低サイクル疲労評価において今後の発生回数を1回のみ想定している過渡事象

番号	過渡事象	評価用過渡回数 <sup>※1</sup> (括弧内は今後の発生回数)
1	90%から100%へのステップ状負荷上昇	3 (1)
2	100%から90%へのステップ状負荷減少	3 (1)
3	1ループ停止/起動 I) 停止	1 (1)
4	II) 起動	1 (1)
5	1次冷却材流量の部分喪失	1 (1)
6	100%からの原子炉トリップ II) 不注意な冷却トリップ	2 (1)
7	III) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	1 (1)
8	1次冷却系の異常な減圧	1 (1)
9	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤作動	1 (1)
10	1次冷却系停止ループの誤作動	1 (1)
11	タービン回転試験 <sup>※2</sup>	6 (0)

※1 60年時点の評価に用いた過渡回数（実績回数+推定回数）。実績回数には今後発生しない運転時の回数を含む。

※2 試運転のみの過渡であるため今後の発生回数は0回であるが、1回発生した場合の影響を確認すべき過渡事象とした。

② 疲労累積係数に与える影響

表1に示す過渡事象が1回発生した場合の疲労累積係数に与える影響を確認する。既評価に対してこれらの過渡の想定回数を1回増加させた場合に、疲労評価で確認している健全性（疲労累積係数 $\leq 1$ ）に対する影響を確認するが、疲労評価に与える影響は機器・部位毎に異なるため、次の考えに従って、代表評価機器・部位を選定し数値的な影響を確認する。

<代表確認機器・部位>

劣化状況評価で表 1 の過渡を考慮した疲労評価を実施しているクラス 1 機器について 60 年時点の疲労累積係数<sup>※</sup>が最も高い部位（弁・ステンレス鋼配管は機種内で最も高い部位）を選定する。

選定した機器・部位を下表に示す。

代表確認機器・部位

機器・部位	疲労累積係数 <sup>※</sup>
1 次冷却材ポンプ（ケーシング吐出ノズル）	0.243
蒸気発生器（給水入口管台）	0.317
原子炉容器（スタッドボルト）	0.294
加圧器（スカート溶接部）	0.166
ステンレス鋼配管（加圧器スプレ配管）	0.150
1 次冷却材管（加圧器サージライン用管台）	0.400
弁（玉形弁：抽出水第 1 シャ断弁）	0.535
炉内構造物（上部炉心支持板）	0.002

※設計・建設規格による評価結果および環境疲労評価手法における評価結果のうち大きい方の値

③ 疲労累積係数に与える影響の確認結果

代表機器・部位の疲労累積係数の内訳を分析し、今後の発生回数を 1 回のみ想定している過渡事象 1 回あたりの疲労累積係数に与えている影響（U f 値）のうち最大の値を整理した。

この結果により過渡事象の想定回数を 1 回増加させた場合に疲労評価結果に与える影響は極めて軽微であり、仮にこれらの過渡事象が今後発生しても疲労割れに対する健全性には影響がないことを確認した。

過渡事象 1 回あたりの疲労累積係数に与える影響

機器・部位	過渡 1 回あたりの疲労累積係数※	疲労累積係数※
1 次冷却材ポンプ（ケーシング吐出ノズル）	0.004(7)	0.247
蒸気発生器（給水入口管台）	0.001(7)	0.236
原子炉容器（スタッドボルト）	0.001(10)	0.295
加圧器（スカート溶接部）	0.001(10)	0.167
ステンレス鋼配管（加圧器スプレ配管）	0.002(8)	0.152
1 次冷却材管（加圧器サージライン用管台）	0.001(7)	0.403
弁（玉形弁：抽出水第 1 しゃ断弁）	0.001(7)	0.536
炉内構造物（上部炉心支持板）	0.001(10)	0.003

※ 1 今後の発生回数を 1 回のみ想定している過渡事象のうち、疲労累積係数への寄与が最大のものの値。

なお、0.001 は 0.001 以下であることを示す。

括弧内の数字は表「低サイクル疲労評価において今後の発生回数を 1 回のみ想定している過渡事象」の表中番号

※ 2 代表確認機器・部位の疲労累積係数に過渡 1 回あたりの疲労累積係数を加えたもの。（参考値）

# 別紙

- 別紙 1. 原子炉容器の評価対象部位抽出の考え方について
- 別紙 2. 建設時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. 環境疲労評価部位の地震を含む疲労累積係数の一覧について
- 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. 過渡回数推定値の算出方針について
- 別紙 7. 3号炉の各機器の疲労累積係数等の算出根拠について
  - ① 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠
  - ② 余熱除去ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠
  - ③ 一次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠
  - ④ 再生クーラ、余熱除去クーラの疲労累積係数の算出根拠
  - ⑤ 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑥ 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 加圧器管台（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑧ 固定式および伸縮式配管貫通部の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑨ 加圧器配管（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑩ 主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑪ 一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑫ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑬ 玉形弁の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑭ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠
  - ⑮ 環境補正係数の算出に用いているパラメータおよびそれらの根拠



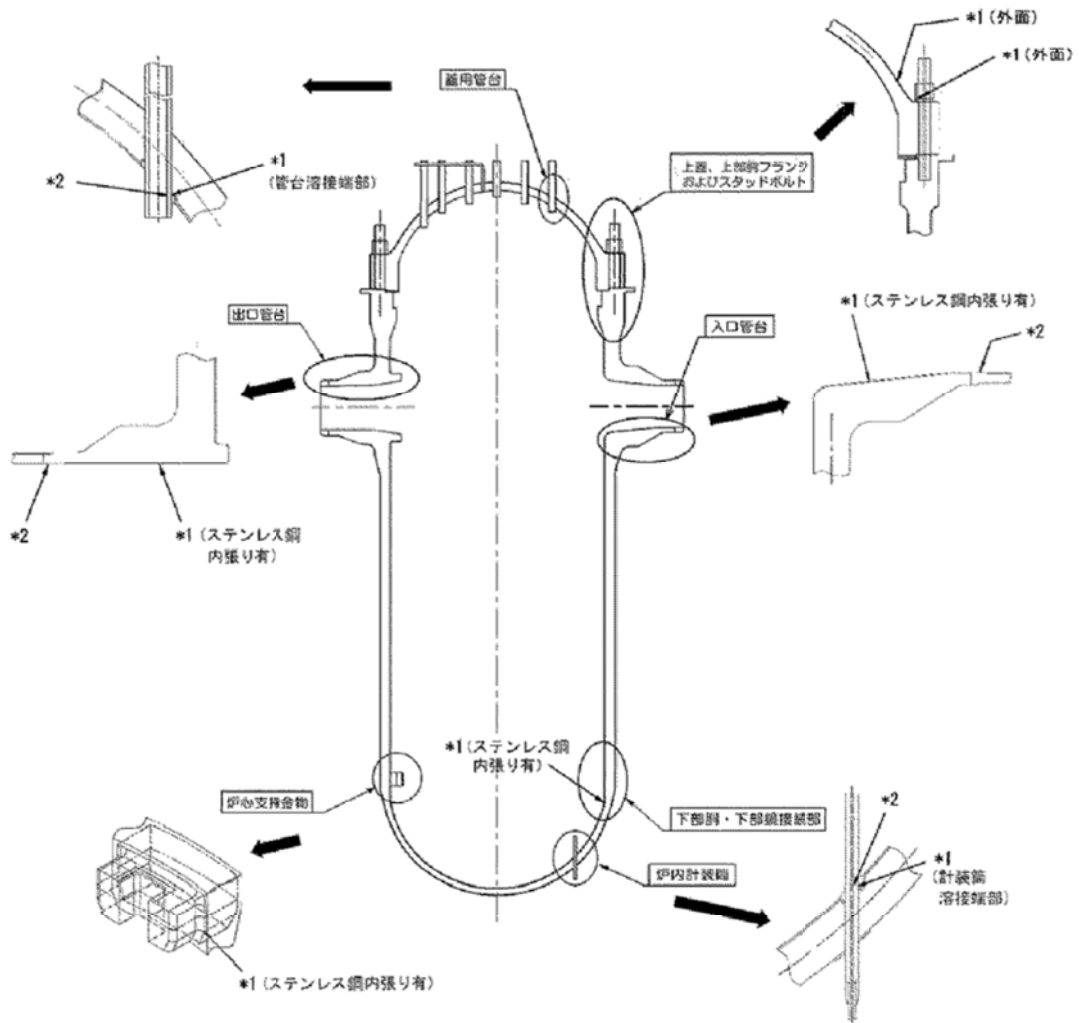
タイトル	原子炉容器の評価対象部位抽出の考え方について																		
説明	<p>疲労評価対象部位には、強度評価上厳しくなる以下の部位等を対象としており、設計時に評価されている部位となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造不連続部（支持構造物取付部を含む）</li> <li>・材料不連続部</li> </ul> <p>美浜3号炉の原子炉容器については、設計時に考慮した部位（建設時の工認で評価されている部位）に加えて、構造不連続部及び材料不連続部に着目し、その後の設計知見の拡充により他プラントの工認で評価されている箇所も考慮してPLMの評価対象部位としている。</p> <p>評価対象部位とその抽出理由を下表に示す。</p> <p style="text-align: center;">美浜3号炉 原子炉容器疲労評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="422 1048 1364 1451"> <thead> <tr> <th>PLM評価部位</th> <th>抽出理由</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>冷却材入口管台</td> <td>建設時工認評価部位</td> </tr> <tr> <td>冷却材出口管台</td> <td>建設時工認評価部位</td> </tr> <tr> <td>蓋用管台</td> <td>構造、材料不連続部</td> </tr> <tr> <td>炉内計装筒</td> <td>構造、材料不連続部</td> </tr> <tr> <td>上蓋、上蓋フランジ及び上部胴フランジ</td> <td>建設時工認評価部位</td> </tr> <tr> <td>下部胴・下部鏡接続部</td> <td>建設時工認評価部位</td> </tr> <tr> <td>炉心支持構造物</td> <td>構造、材料不連続部</td> </tr> <tr> <td>スタッドボルト</td> <td>建設時工認評価部位</td> </tr> </tbody> </table> <p>建設時工認資料及び美浜3号機高経年化技術評価書の抜粋を添付に示す。</p>	PLM評価部位	抽出理由	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	構造、材料不連続部	炉内計装筒	構造、材料不連続部	上蓋、上蓋フランジ及び上部胴フランジ	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	炉心支持構造物	構造、材料不連続部	スタッドボルト	建設時工認評価部位
PLM評価部位	抽出理由																		
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	構造、材料不連続部																		
炉内計装筒	構造、材料不連続部																		
上蓋、上蓋フランジ及び上部胴フランジ	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																		
炉心支持構造物	構造、材料不連続部																		
スタッドボルト	建設時工認評価部位																		

## 目 次

	頁
1 原子炉容器の上部蓋フランジ，上部胴フランジ接続部及び スタッドボルトナット	1
1-1 形状及び寸法	1
2 解析モデル	2
3 最高使用圧力に対する応力評価	3
4 二次応力の判定	6
5 ピーク応力の判定	7
6 二次応力計算結果	8
7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅	28
8 疲労累積損傷係数	38
2 冷却材入口管台	44
2-1 形状及び寸法	44
2 解析モデル	45
3 冷却材入口管台に働く荷重	46
4 最高使用圧力に対する応力評価	47
5 二次応力の判定	48
6 ピーク応力の判定	49
7 二次応力計算結果	50
8 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅	68
9 疲労累積損傷係数	77
3 冷却材出口管台	82
3-1 形状及び寸法	82
2 解析モデル	83

	頁
3. 冷却材出口管台に働く荷重	84
4. 最高使用圧力に対する応力評価	85
5. 二次応力の判定	86
6. ピーク応力の判定	87
7. 二次応力計算結果	88
8. 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅	106
9. 疲労累積損傷係数	115
<b>4 原子炉容器の下部胴，下部鏡接続部</b>	<b>120</b>
4-1 形状及び寸法	120
2. 解析モデル	121
3. 最高使用圧力に対する応力評価	122
4. 二次応力判定	123
5. ピーク応力判定	124
6. 二次応力計算結果	125
7. 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅	133
8. 疲労累積損傷係数	137
5 制御棒駆動装置アダプター	139
5-1 形状及び寸法	139
2. 解析モデル	140
3. 最高使用圧力(175%G)+冷シバ×(0.004cm)による応力強さ	141
4. 二次応力の判定	143
5. ピーク応力の判定	144
6. 二次応力計算結果	145
7. 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅	165
8. 疲労累積損傷係数	175





美浜3号機高経年化技術評価書抜粋

タイトル	建設時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（型式、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合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」を参考にしている。</p> <p>さらに、前述の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PLM評価書を参考にするとともに、国内外の新たな運転経験及び最新知見についても、以下に示すとおり継続的に劣化状況評価への影響を整理し、技術評価への反映要否を判断する。</p> <p>1. 運転経験</p> <p>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、新たに劣化状況評価書に反映すべき運転経験を抽出する。</p> <p>2. 最新知見</p> <p>原子力規制委員会文書、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、劣化状況評価を実施する上で、新たに反映が必要な知見を抽出する。</p> <p>例えば、運転経験により建設時考慮されていない低サイクル疲労（熱成層）については、上述の「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」で疲労想定部位として抽出され、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。熱成層に想定される部位は、日本機械学会基準「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」において損傷事例が記載されている。</p> <p>熱成層による疲労の損傷事例としては、（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）運転操作型熱成層が考えられる。</p> <p>このうち、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。</p> <p>弁シート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によって弁のシートリークを防止する。</p> <p>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</p>

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、消滅の繰り返しを防止している。

一方で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することが困難であるため、熱成層の発生を想定し評価を行っている。

運転操作型熱成層を考慮している部位は「蒸気発生器給水管台」、「加圧器サージ配管」、「加圧器スプレ配管」、「加圧器スプレイライン用管台」の4箇所である。

タイトル	環境疲労評価を実施している機器・部位について、その評価手法及び疲労累積係数と地震による合計値について
説明	環境疲労評価を実施している機器・部位について、その評価手法（「係数倍法」、「簡易評価法」又は「詳細評価法」のいずれによるか）及び環境疲労評価による疲労累積係数と地震による疲労累積係数との合計値について添付に示す。

美浜3号炉 低サイクル疲労評価結果一覧表 (1 / 3)

評価対象機器		健全性評価 (運転開始後60年時点 <sup>1)</sup> の疲労累積係数)							
機種・機器名	部 位	設計 評価 <sup>2)</sup>	環境中 評価 <sup>3)</sup>	耐震評価		合計 <sup>4)</sup>	評価 手法	評価点 の相違	
容器	原子炉 容 器	冷却材入口管台	0.038	0.001 ※1	Sd	0.000	0.038	詳細 評価	あり
					Ss	0.000	0.038		
		冷却材出口管台	0.047	0.001 ※1	Sd	0.000	0.047	詳細 評価	あり
					Ss	0.001	0.048		
		蓋用管台	0.113	0.002 ※1	Sd	0.000	0.113	詳細 評価	あり
	Ss				0.000	0.113			
	炉内計装筒	0.140	0.006 ※1	Sd	0.001	0.141	詳細 評価	あり	
	Ss	0.002	0.142						
	炉心支持金物および 炉心支持金物取付部	0.006	0.000 ※1	Sd	0.000	0.006	詳細 評価	あり	
				Ss	0.002	0.008			
加圧器	スプレイライン用管台	0.089	0.022 ※2 ※4	Sd	0.000	0.089	詳細 評価	なし	
	Ss	0.000	0.089						
	サージ用管台	0.017	0.048 ※1	Sd	0.000	0.048	詳細 評価	あり	
				Ss	0.001	0.049			
配管	ステン レス鋼 配管	余熱除去系統配管	0.001	0.020	Sd	0.000	0.020	係数 倍法	なし
					Ss	0.001	0.021		
		加圧器サージ配管	0.011	0.003 ※2 ※4	Sd	0.000	0.011	詳細 評価	なし
	Ss				0.001	0.012			
	加圧器スプレ配管	0.005	0.150 ※3 ※4	Sd	0.000	0.150	詳細 評価	あり	
Ss	0.000	0.150							



美浜3号炉 低サイクル疲労評価結果一覧表 (2 / 3)

評価対象機器		健全性評価 (運転開始後60年時点 <sup>1)</sup> の疲労累積係数)							
機種・機器名	部 位	設計 評価 <sup>2)</sup>	環境中 評価 <sup>3)</sup>	耐震評価		合計 <sup>4)</sup>	評価 手法	評価点 の相違	
配管	炭素鋼 配 管	主給水系統配管	0.047	0.209	Sd	0.019	0.228	係数 倍法	なし
					Ss	0.725	0.934		
	一次冷 却材管	ホットレグ	0.001	0.001	Sd	0.001	0.002	詳細 評価	なし
					Ss	0.006	0.007		
		クロスオーバレグ	0.002	0.009	Sd	0.000	0.009	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.009		
		コールドレグ	0.001	0.003	Sd	0.000	0.003	詳細 評価	なし
					Ss	0.001	0.004		
		加圧器サージライン 用管台	0.154	0.400	Sd	0.001	0.401	詳細 評価	なし
					Ss	0.020	0.420		
		安全注入系ライン 用管台	0.006	0.013	Sd	0.001	0.014	詳細 評価	なし
					Ss	0.003	0.016		
		化学体積制御系ライン 用管台	0.004	0.018	Sd	0.000	0.018	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.018		
弁	仕切弁	余熱除去ポンプ入口弁	0.006	0.153	Sd	0.000	0.153	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.153		
	玉形弁	抽出水第1しゃ断弁	0.026	0.535	Sd	0.000	0.535	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.535		
	スイン グ逆止 弁	原子炉容器連絡逆止弁	0.008	0.089	Sd	0.000	0.089	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.089		
	リフト 逆止弁	加圧器補助スプレライン 逆止弁	0.003	0.023	Sd	0.000	0.023	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.023		

美浜3号炉 低サイクル疲労評価結果一覧表 (3 / 3)

評価対象機器		健全性評価 (運転開始後60年時点 <sup>1)</sup> の疲労累積係数)							
機種・機器名	部 位	設計 評価 <sup>2)</sup>	環境中 評価 <sup>3)</sup>	耐震評価		合計 <sup>4)</sup>	評価 手法	評価点 の相違	
ポンプ	余熱除去ポンプ	ケーシング	0.036	0.027 ※1	Sd	0.000	0.036	詳細 評価	あり
					Ss	0.000	0.036		
	一次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	0.176	0.095 ※1	Sd	0.000	0.176	詳細 評価	あり
					Ss	0.001	0.177		
		ケーシング吐出ノズル	0.017	0.243	Sd	0.000	0.243	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.243		
	ケーシング吸込ノズル	0.001	0.001	Sd	0.000	0.001	詳細 評価	なし	
				Ss	0.000	0.001			
熱交換器	再生クーラ	管板	0.165	0.210	Sd	0.000	0.210	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.210		
	余熱除去クーラ	管板	0.032	0.044	Sd	0.000	0.044	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.044		
	蒸気発生器	管板廻り	0.095	0.094 ※1	Sd	0.000	0.095	詳細 評価	あり
					Ss	0.000	0.095		
	給水入口管台	0.073	0.317 ※3 ※4	Sd	0.036	0.353	詳細 評価	あり	
				Ss	0.179	0.496			
炉内構造物	炉内構造物	上部炉心支持板	0.001	0.002	Sd	0.000	0.002	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.002		
		上部炉心支持柱	0.001	0.001	Sd	0.000	0.001	詳細 評価	なし
					Ss	0.001	0.002		
		下部炉心支持板	0.001	0.001	Sd	0.000	0.001	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.001		
		下部炉心支持柱	0.001	0.001	Sd	0.000	0.001	詳細 評価	なし
					Ss	0.001	0.002		

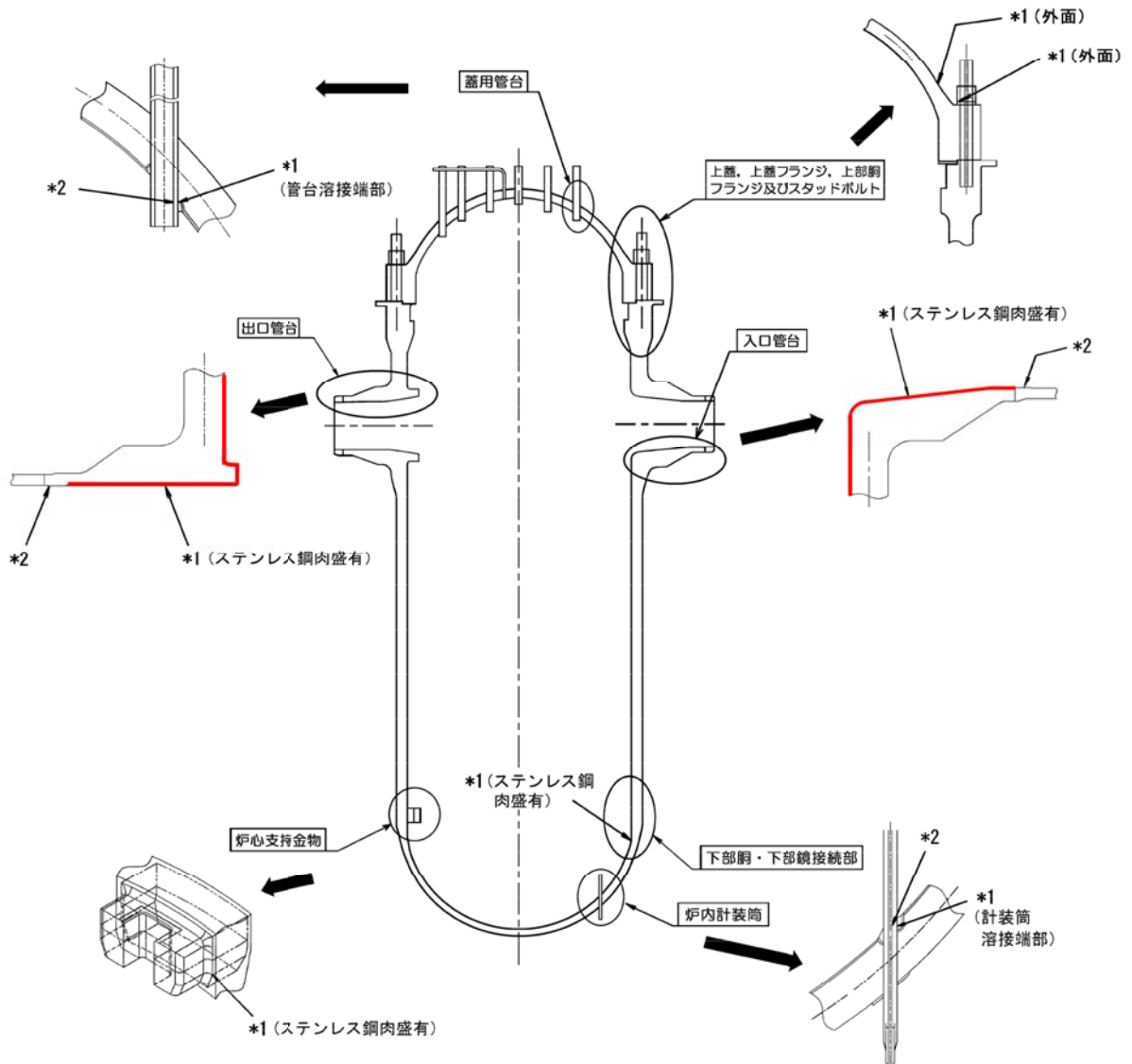
- 1) 運転開始後60年時点の各過渡条件の繰返し回数は、運転実績に基づく2011年3月末時点の過渡回数を用いて、今後も同様な運転を続けたと仮定して推定した。  
未取替機器 : 60年時点過渡回数 = 運開後実績過渡回数 + (運開後実績過渡回数/運開後実績過渡回数調査時点までの年数) × 1.5 × 残年数  
取替機器 (原子炉容器蓋用管台、スタッドボルト、蒸気発生器) : 60年時点過渡回数 = 取替後実績過渡回数 + (未取替機器の1年間当たり平均過渡回数) × 1.5 × 残年数
- 2) 社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」JSME S NC1-2005/2007 (炉内構造物を除く)、JSME S NC1-2012 (炉内構造物) に基づいて評価した。
- 3) 社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格 環境疲労評価手法」JSME S NF1-2009に基づいて評価した。  
高温水に接液している評価点を対象として、評価方法は余熱除去系統配管と主給水系統配管は係数倍法、弁では簡易評価手法、他は詳細評価手法にて評価した。
- 4) 合計の疲労累積係数は評価対象機器の設計評価、環境中評価を通じて得られた疲労累積係数のうち最大となる点に対して、地震動による疲労累積係数を加算して算出した。

- ※1 : 接液環境にあり、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、設計・建設規格の疲労評価対象箇所と異なる。
- ※2 : 設計評価と環境中評価の評価点は同じであるが、環境中評価は熱成層を考慮しているため、評価モデルが異なる。
- ※3 : 環境中評価は熱成層を考慮したモデルを用いている。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。
- ※4 : 熱成層を考慮した通常UFと熱成層を考慮した環境UFは下記の通り。

	熱成層を考慮した通常UF	熱成層を考慮した環境UF
加圧器スプレライン用管台	0.007	0.022
加圧器サージ配管	0.001	0.003
加圧器スプレ配管	0.016	0.150
蒸気発生器給水入口管台	0.136	0.317



タイトル	<p>ステンレス鋼クラッドにより接液しないことを理由に環境疲労評価を行っていない部位に対する、当該ステンレス鋼クラッドの健全性の確認の方法及び結果について</p>								
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は、原子炉容器、加圧器、蒸気発生器である。 (添付)</p> <p>これらの機器のクラッド施工部については、定期的目視確認等<sup>※1</sup>を行い、クラッドの損傷など異常がないことを確認している。</p> <table border="1" data-bbox="560 770 1222 927"> <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</td> </tr> <tr> <td>加圧器</td> <td>目視確認<sup>※2</sup></td> </tr> <tr> <td>蒸気発生器</td> <td>目視確認</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：維持規格においては、表面のき裂を検出するための目視試験（VT-1およびMVT-1）を定めているが、当該箇所が目視確認はこの条件を満たすものではない。ただし当該箇所に対して実施している目視確認にて、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管台、サージ管台の内側については、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いる。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ていると考えている。</p>		点検方法	原子炉容器	目視確認	加圧器	目視確認 <sup>※2</sup>	蒸気発生器	目視確認
	点検方法								
原子炉容器	目視確認								
加圧器	目視確認 <sup>※2</sup>								
蒸気発生器	目視確認								

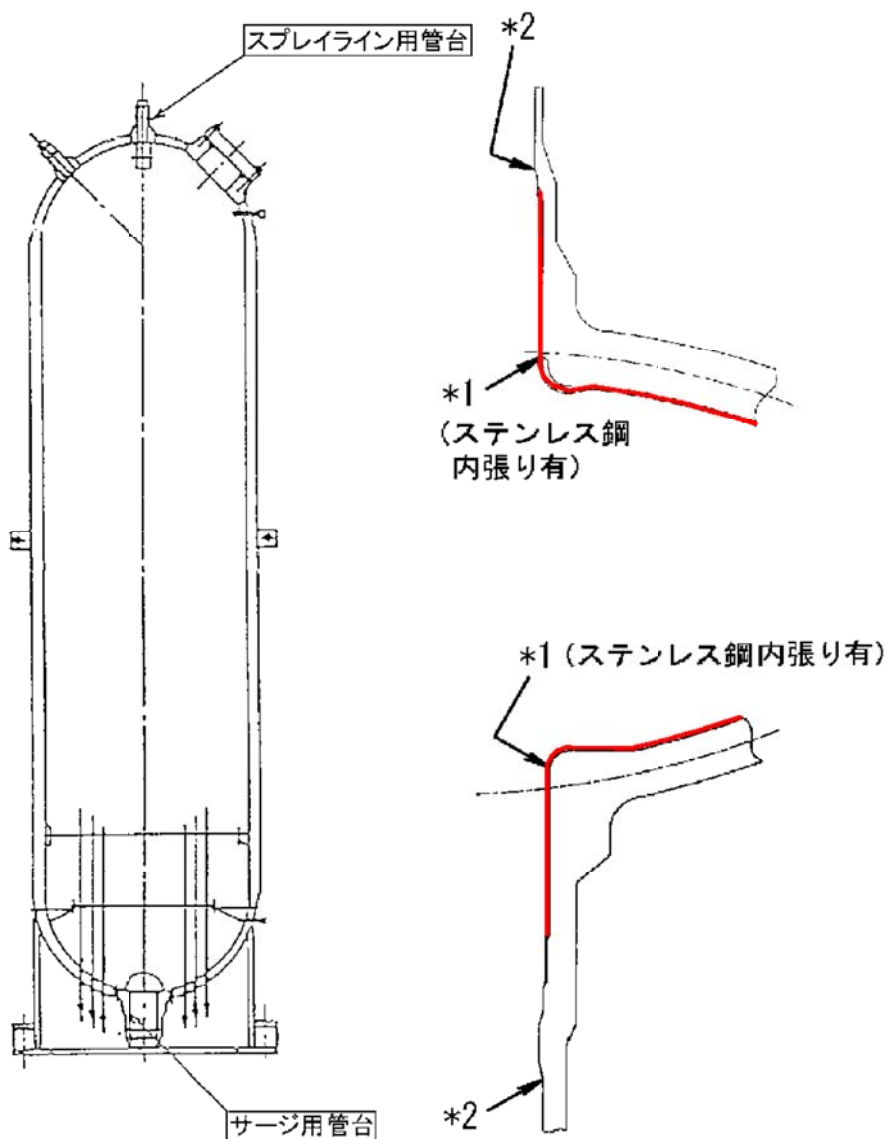


\* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)  
(非接液部の場合は ( ) 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位 (なお原子炉容器内面は全面クラッド施工されている)

原子炉容器 疲労評価対象部位と管台クラッド施工部位

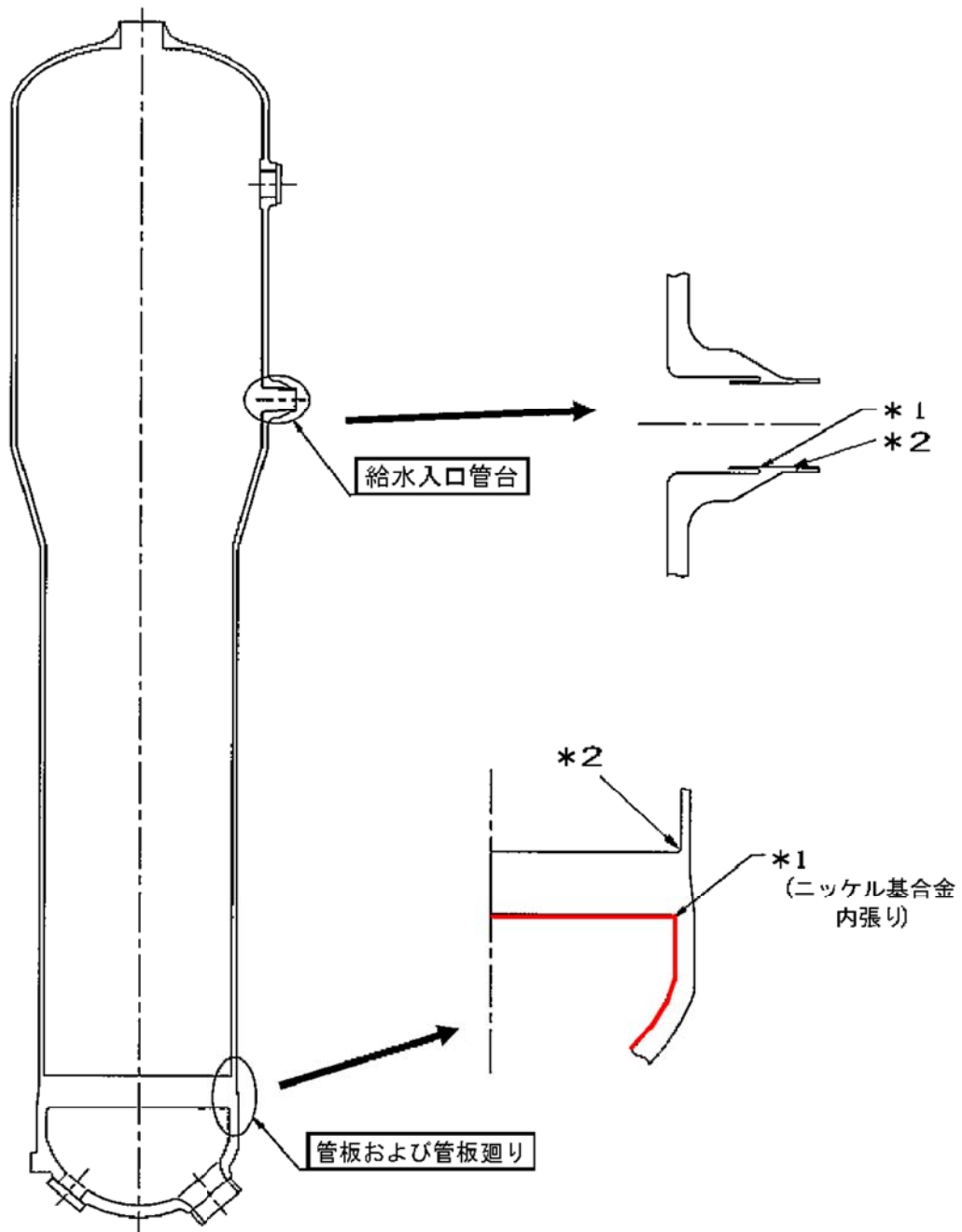


\* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)  
(非接液部の場合は ( ) 内に理由を記載)

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

— クラッド施工部位 (なお加圧器内面は全面クラッド施工されている)

加圧器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位



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

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

— クラッド施工部位

蒸気発生器 疲労評価対象部位とクラッド施工部位

タイトル	<p>環境疲労評価を実施している部位のうち、溶存酸素濃度を考慮している部位と評価に用いた溶存酸素濃度について および当該部位の溶存酸素濃度の管理値及び実績について</p>															
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、Fen（環境疲労補正係数）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>美浜3号炉の劣化状況評価書において、炭素鋼・低合金鋼の接液部位として環境疲労評価を行った部位は以下のとおり。</p> <p style="text-align: center;">炭素鋼・低合金鋼の環境疲労評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="422 884 1362 1037"> <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>管板</td> <td>低合金鋼</td> <td>主給水</td> </tr> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>低合金鋼</td> <td>主給水</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>主給水</td> </tr> </tbody> </table> <p>当該部の環境疲労評価に対しては、溶存酸素濃度を 5ppb としてFenを算出し、疲労評価を行っている。</p> <p>なお、主給水の溶存酸素濃度は 5ppb以下 を標準値として監視・管理されている。</p>	機器	部位	材質	水質	蒸気発生器	管板	低合金鋼	主給水	給水入口管台	低合金鋼	主給水	炭素鋼配管	主給水系統配管	炭素鋼	主給水
機器	部位	材質	水質													
蒸気発生器	管板	低合金鋼	主給水													
	給水入口管台	低合金鋼	主給水													
炭素鋼配管	主給水系統配管	炭素鋼	主給水													



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、2011年3月末の運転実績をベースに残りの年数を考慮して、次のとおり保守的に発生回数を想定している。</p> <p>60年時点過渡回数<math>\geq</math>実績過渡回数+ (運開後実績過渡回数/運開後実績過渡回数調査時点までの年数) <math>\times</math> 1.5<math>\times</math> 残年数<sup>※</sup></p> <p>※ 2011.4から運転開始後60年までの期間。ただし現在の冷温停止期間は2011.5～2017.9と保守的に想定し、その期間は残年数から差し引く。</p> <p>「起動」、「負荷上昇」、「負荷の喪失」の過渡事象を例に、60年時点での過渡回数の算出方法の詳細について添付1に示す。</p> <p>なお、評価に用いる過渡項目を列記しているが、いずれの過渡項目にも該当しない微小過渡が存在する。これらの微小過渡は、「起動」、「停止」、「1次系漏えい試験」のいずれかの項目に微小過渡として分類し実績に算定している。至近10年（平成11～21年度）の微小過渡の一覧を添付2に示す。</p> <p>また、美浜3号炉で未経験の過渡項目（実績過渡回数が0である項目）の年平均過渡回数については、電共研の研究結果より添付3の通り設定している。</p>

○「起動」の運転開始後60年時点の過渡回数算出

$46回^{注1)} + 1.02回/年^{注2)} \times 19.3年^{注3)} (残りの年数) \times 1.5^{注4)} \approx 76回 < 78回(評価用)$

注1) 試運転：11回（うち、微小過渡3回）

実績：34.701回→35回（うち、微小過渡3.701回→4回）

（試運転の過渡回数は下表の①、実績は②参照）

注2) 2011年3月末までの実績過渡回数÷2011年3月末までの年数

$34.701回 \div 34.3年 \approx 1.011回/年 \rightarrow 1.02回/年$

注3) 2011年4月から運転開始後60年（2036年11月）までの年数から、現在の冷温停止期間（2011.5～2017.9と想定）を差し引いた年数

注4) 将来の発生回数を保守的に想定するため1.5倍とする

（試運転時の過渡は試運転特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない）

過渡回数説明リスト (1/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状～60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
起動	7	31	46	1.02	30	76	78
SGR 後試験中の起動	1		$\left[ \begin{array}{l} 8+3+31+3.701 \\ =45.701 \\ \rightarrow 46 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 31+3.701 \\ =34.701 \\ \frac{34.701}{34.3} = 1.011 \\ \rightarrow 1.02 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 1.02 \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ =29.6 \rightarrow 30 \end{array} \right]$	(=46+30)	
微小過渡	2.026	3.701					
(実績+微小過渡)	(8+3)	(31+4)	(39+7 <sup>*1</sup> )				

\*1：総微小過渡回数

○ 「負荷上昇」の運転開始後60年時点の過渡回数算出

$$368\text{回}^{(注1)} + 10.2\text{回/年}^{(注2)} \times 19.3\text{年 (残りの年数)} \times 1.5 \div 664\text{回} < 706\text{回 (評価用)}$$

注1) 試運転：19回

実績：349回

(試運転の過渡回数は下表の③、実績は④参照)

注2) 2011年3月末までの実績過渡回数÷2011年3月末までの年数

$$349\text{回} \div 34.3\text{年} \div 10.17\text{回/年} \rightarrow 10.2\text{回/年}$$

(試運転時の過渡は試運転特有であるため、年平均過渡回数の算出には用いない)

過渡回数説明リスト (2/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状~60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
負荷上昇	19 ③	349 ④	368 (=19+349)	10.2 $\left(\frac{349}{34.3} = 10.17 \rightarrow 10.2\right)$	296 $\left(10.2 \times 19.3 \times 1.5 = 295.3 \rightarrow 296\right)$	664 (=368+296)	706

○ 「負荷の喪失」の運転開始後60年時点の過渡回数算出

$$4\text{回}^{(注1)} + 1.2\text{回/年}^{(注2)} \times 19.4\text{年 (残りの年数)} \times 1.5 \div 6\text{回} = 6\text{回 (評価用)}$$

注1) 試運転：4回

実績：0回

(試運転の過渡回数は下表の⑤、実績は⑥参照)

注2) 美浜3号機では経験はないが、電共研「応力解析手法の高度化」より1.2回/年を用いる。

過渡回数説明リスト (3/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状~60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
100%負荷からの負荷喪失	4 ⑤	0 ⑥	4	注1)	2 $\left(1.2 \times 19.3 \times 1.5 = 3.5 \rightarrow 2\right)$	6 (=4+2)	6

注1) 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値を用いる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 過渡回数説明リスト (4/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均 回数 34.3年	現状～60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
停止	6	30	44	0.98	29	73	78
SGR 後試験中の停止	1		$\left[ \begin{array}{l} 7+3+30+3.340 \\ =43.340 \\ \rightarrow 44 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 30+3.340 \\ =33.340 \\ \frac{33.34}{34.3}=0.972 \\ \rightarrow 0.98 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 0.98 \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ =28.4 \rightarrow 29 \end{array} \right]$	(=44+29)	
微小過渡	2.026	3.340					
(実績+微小過渡)	(7+3)	(30+4)	(37+7 <sup>1</sup> )				

\*1：総微小過渡回数

## 過渡回数説明リスト (5/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均 回数 34.3年	現状～60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
負荷減少	10	343	353 (=10+343)	$\left[ \begin{array}{l} 10.0 \\ \frac{343}{34.3}=10.00 \\ \rightarrow 10.0 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 290 \\ 10.0 \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ =289.5 \rightarrow 290 \end{array} \right]$	643 (=353+290)	691
90%から100%へのステップ状 負荷上昇(+10%)	2	0	2	注1)	$\left[ \begin{array}{l} 1 \\ \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ \rightarrow 1 \end{array} \right]$	3 (=2+1)	3
100%から90%へのステップ状 負荷減少(-10%)	2	0	2	注1)	$\left[ \begin{array}{l} 1 \\ \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ \rightarrow 1 \end{array} \right]$	3 (=2+1)	3
100%負荷からの大きい ステップ状負荷減少	2	2	4	$\left[ \begin{array}{l} 0.06 \\ \frac{2}{34.3}=0.058 \\ \rightarrow 0.06 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 2 \\ 0.06 \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ =1.74 \rightarrow 2 \end{array} \right]$	6 (=4+2)	7
定常運転中における冷却材の 変動	-	-	-	-	-	-	-
燃料交換	0	23	23	$\left[ \begin{array}{l} 0.68 \\ \frac{23}{34.3}=0.671 \\ \rightarrow 0.68 \end{array} \right]$	$\left[ \begin{array}{l} 20 \\ 0.68 \times 19.3 \\ \times 1.5 \\ =19.7 \rightarrow 20 \end{array} \right]$	43 (=23+20)	52

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。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 過渡回数説明リスト (6/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状~60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
0%→15%負荷上昇	10	40	50 (=10+40)	1.17 $\left( \frac{40}{34.3} = 1.166 \right)$ →1.17	34 $\left( 1.17 \times 19.3 \right)$ $\times 1.5$ =33.9→34	84 (=50+34)	84
15%→0%負荷減少	2	35	37 (=2+35)	1.03 $\left( \frac{35}{34.3} = 1.021 \right)$ →1.03	30 $\left( 1.03 \times 19.3 \right)$ $\times 1.5$ =29.9→30	67 (=37+30)	69
1 ループ起動/停止 (1 ループ停止)	0	0	0	注1)	1 $\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \right)$ $\times 1.5$ →1	1	1
(1 ループ起動)	0	0	0	注1)	1 $\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \right)$ $\times 1.5$ →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 (7/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状~60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
外部電源喪失	1	1	2 (=1+1)	0.03 $\left( \frac{1}{34.3} = 0.029 \right)$ →0.03	1 $\left( 0.03 \times 19.3 \right)$ $\times 1.5$ =0.87→1	3 (=2+1)	5
1次冷却材流量の部分喪失	0	0	0	注1)	1 $\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \right)$ $\times 1.5$ →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。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



過渡回数説明リスト (8/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状~60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
100%からの原子炉トリップ a)不注意な冷却を伴わない トリップ	1	3	4 (=1+3)	0.09 $\left( \frac{3}{34.3} = 0.087 \rightarrow 0.09 \right)$	3 $\left( 0.09 \times 19.3 \times 1.5 = 2.61 \rightarrow 3 \right)$	7 (=4+3)	7
b)不注意な冷却を伴う トリップ	1	0	1	 注1)	$\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \times 1.5 \rightarrow 1 \right)$	2 (=1+1)	2
c)不注意な冷却と SI を伴う トリップ	0	0	0	 注1)	$\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \times 1.5 \rightarrow 1 \right)$	1	1
1次冷却系の異常な減圧	0	0	0	 注1)	$\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \times 1.5 \rightarrow 1 \right)$	1	1
制御棒クラスタの落下	0	1	1	0.03 $\left( \frac{1}{34.3} = 0.029 \rightarrow 0.03 \right)$	1 $\left( 0.03 \times 19.3 \times 1.5 = 0.87 \rightarrow 1 \right)$	2 (=1+1)	4
出力運転中の非常用炉心冷却 系の誤起動	0	0	0	 注1)	$\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \times 1.5 \rightarrow 1 \right)$	1	1
1次冷却系停止ループの誤起動	0	0	0	 注1)	$\left( \frac{1}{34.3} \times 19.3 \times 1.5 \rightarrow 1 \right)$	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 (9/9)

過渡項目	試運転	実績	現状までの回数	現状平均回数 34.3年	現状~60年 までの増加分 (19.3年)	実績+60年までの 増加分	PLM 評価用回数
1次系漏洩試験	5	28	37 $\left( 5+1+28+2.7 = 36.7 \rightarrow 37 \right)$	0.90 $\left( \frac{28+2.7}{34.3} = 0.895 \rightarrow 0.90 \right)$	27 $\left( 0.90 \times 19.3 \times 1.5 = 26.1 \rightarrow 27 \right)$	64 (=37+27)	64
微小過渡	1	2.7					
(実績+微小過渡)	(5+1)	(28+3)	(33+4*)				
タービン回転試験	6	0	6	0	—	6	6
1次系水圧試験	1	0	1	0	—	1	1

\*1：総微小過渡回数

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表1 微小過渡 (起動の微小過渡)

	$\Delta T/\Delta t$ (°C/H)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (MPa)	$\Delta T/\Delta t$ 評価	$\Delta T$ 評価	$\Delta P$ 評価	$\alpha$ ※	等価回数 ( $1/\alpha$ )※
1	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
2	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
3	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
4	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
5	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
6	1.0	13.6	-				559(53)	0.002(0.019)
7	-	-	2.34				137(22)	0.008(0.046)
8	11.5	18.5	-				45(11)	0.023(0.091)
9	-	-	2.21				137(22)	0.008(0.046)
10	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
11	-	-	2.17				209(29)	0.005(0.035)
12	-	-	2.17				209(29)	0.005(0.035)
13	-	-	2.31				137(22)	0.008(0.046)
14	1.2	13.8	-				559(53)	0.002(0.019)
15	1.0	13.4	-				559(53)	0.002(0.019)
16	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
17	-	-	2.2				209(29)	0.005(0.035)
18	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
19	-	-	2.25				137(22)	0.008(0.046)
20	-	-	2.25				137(22)	0.008(0.046)
21	-	-	2.25				137(22)	0.008(0.046)
22	-	-	2.12				209(29)	0.005(0.035)
23	-	-	2.05				209(29)	0.005(0.035)
24	-	-	2.21				137(22)	0.008(0.046)
25	-	-	2.25				137(22)	0.008(0.046)
26	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)

※: ()内はスタッドボルトに適用する。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表2 微小過渡 (停止の微小過渡)

	$\Delta T/\Delta t$ (°C/H)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (MPa)	$\Delta T/\Delta t$ 評価	$\Delta T$ 評価	$\Delta P$ 評価	$\alpha$ ※	等価回数 ( $1/\alpha$ )※
1	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
2	2.1	13.6	-				559(53)	0.002(0.019)
3	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
4	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
5	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
6	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
7	1.4	19.2	-				559(53)	0.002(0.019)
8	-	-	2.29				137(22)	0.008(0.046)
9	10.8	12.7	-				83(16)	0.012(0.063)
10	12.8	17.2	-				45(11)	0.023(0.091)
11	2.0	16.7	-				559(53)	0.002(0.019)
12	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
13	-	-	2.21				137(22)	0.008(0.046)
14	-	-	2.17				209(29)	0.005(0.035)
15	-	-	2.17				209(29)	0.005(0.035)
16	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
17	-	-	2.31				137(22)	0.008(0.046)
18	3.1	14.0	-				559(53)	0.002(0.019)
19	0.4	13.0	-				559(53)	0.002(0.019)
20	1.4	13.2	-				559(53)	0.002(0.019)
21	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
22	-	-	2.21				137(22)	0.008(0.046)
23	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
24	-	-	2.25				137(22)	0.008(0.046)
25	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
26	-	-	2.12				209(29)	0.005(0.035)
27	-	-	2.05				209(29)	0.005(0.035)
28	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
29	-	-	2.21				137(22)	0.008(0.046)
30	-	-	2.26				137(22)	0.008(0.046)
31	-	-	2.25				137(22)	0.008(0.046)

※:( )内はスタッドボルトに適用する。

表3 微小過渡 (1次系漏えい試験の微小過渡)

	$\Delta T/\Delta t$ (°C/H)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta P$ (MPa)	$\Delta T/\Delta t$ 評価	$\Delta T$ 評価	$\Delta P$ 評価	$\alpha$ ※	等価回数 ( $1/\alpha$ )※
1	-	-	4.31				20(6)	0.050(0.167)
2	-	-	4.31				20(6)	0.050(0.167)
3	-	-	4.31				20(6)	0.050(0.167)
4	-	-	4.45				20(6)	0.050(0.167)
5	-	-	4.32				20(6)	0.050(0.167)
6	-	-	4.4				20(6)	0.050(0.167)
7	-	-	4.34				20(6)	0.050(0.167)

※:( )内はスタッドボルトに適用する。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 電共研「応力解析手法の高度化」にて設定した値について

美浜3号炉で未経験の過渡項目については、電共研「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ます。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ます。(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ます。(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	
1次冷却材流量の部分喪失	
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)を求めます。

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されます。(機械工学便覧参照)

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

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

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

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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

$x=0$   $p(x) = e^{-\lambda' T} \times \frac{(\lambda' T)^0}{0!}$  を代入します。

$$1 - \alpha = e^{-\lambda' T} \times \frac{(\lambda' T)^0}{0!}$$

$$\rightarrow \lambda' = -\ln(1 - \alpha) / T$$

従って、未経験過渡の年平均過渡回数は  $\lambda'$  回となります。

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	0.02
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	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



タイトル	3号炉の各機器の疲労累積係数等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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>② 余熱除去ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・XX</li> <li>③ 一次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・XX</li> <li>④ 再生クーラ、余熱除去クーラの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・XX</li> <li>⑤ 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>⑥ 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・・・・・・・・XX</li> <li>⑦ 加圧器管台（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・XX</li> <li>⑧ 固定式および伸縮式配管貫通部の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・XX</li> <li>⑨ 加圧器配管（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・XX</li> <li>⑩ 主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>⑪ 一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>⑫ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>⑬ 玉形弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>⑭ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・XX</li> <li>⑮ 環境補正係数の算出に用いているパラメータおよびそれらの根拠・・XX</li> </ul>

タイトル	原子炉容器冷却材出入口管台等の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p>原子炉容器冷却材入口管台等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="475 808 1331 1592"><tr><td>解析プログラム</td><td>ABAQUS Ver. 6.3-1</td></tr><tr><td>要素種類</td><td rowspan="4" style="border: 2px dashed black;"></td></tr><tr><td>要素次数</td></tr><tr><td>要素数</td></tr><tr><td>節点数</td></tr></table> <div data-bbox="437 1626 1362 1962" style="border: 2px dashed black; height: 150px; margin-top: 20px;"></div>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1							
要素種類								
要素次数								
要素数								
節点数								

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

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

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。

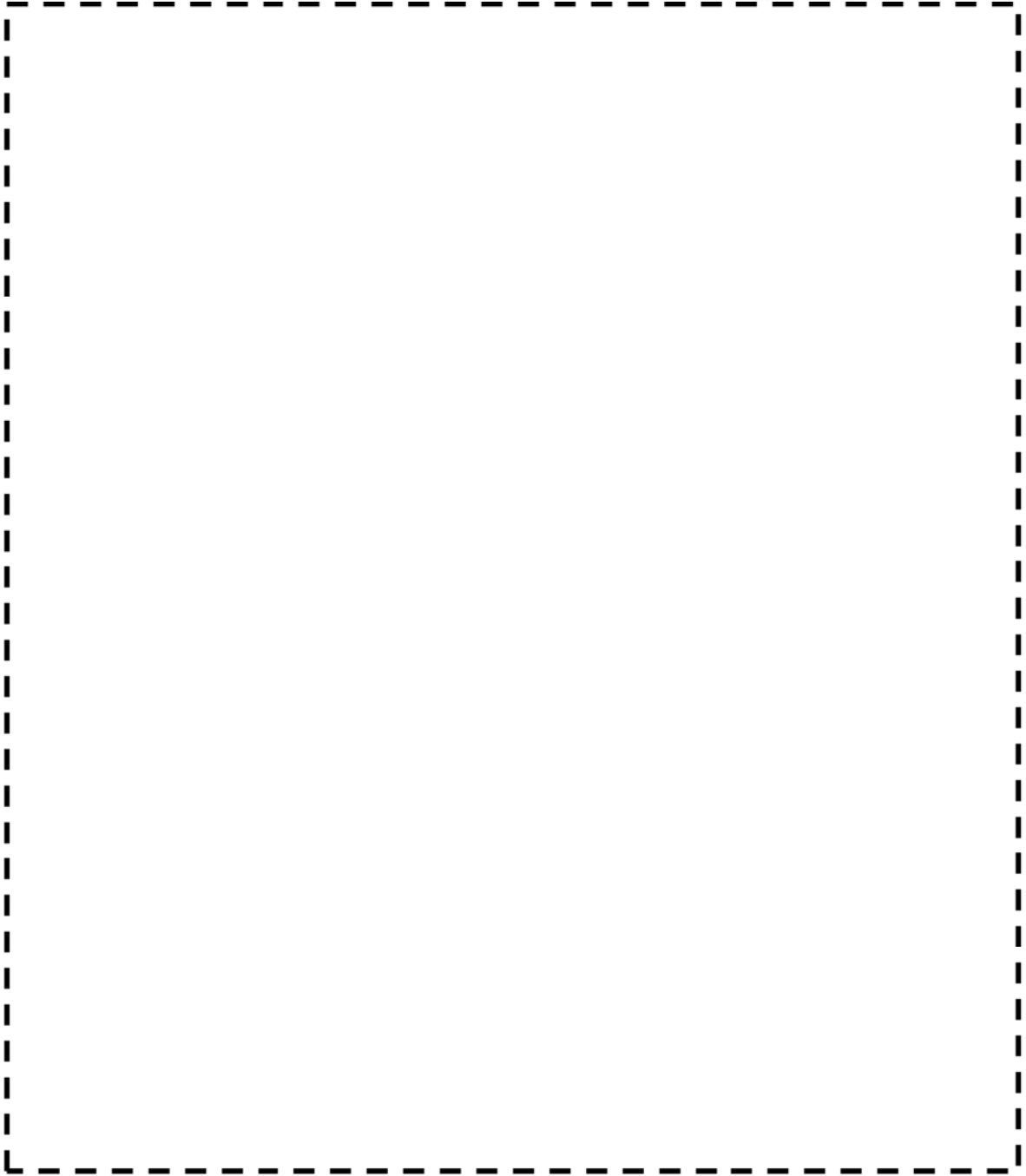
4. 応力分類

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

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

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。



原子炉容器 入口管台 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 原子炉容器 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	0.0	0.00000	0.0
4	0.00000	0.0	0.00010
5	0.00190	0.0	0.00068
6	0.00189	0.0	0.00047
7	0.0	0.00033	0.00004
8	0.0	0.0	0.00000
9L	0.02577	0.03799	0.00147
10L	0.0	0.00194	0.00061
9C	0.00126	0.00264	0.00194
10C	0.0	0.02082	0.00991
11L	0.02651	0.03547	0.00000
12L	0.0	0.00212	0.00126
11C	0.00285	0.00097	0.00104
12C	0.0	0.02126	0.01218
13L	0.03757	0.03518	0.00254
14L	0.0	0.00248	0.00264
13C	0.00046	0.00101	0.00241
14C	0.0	0.02224	0.01555

許容値  $U_f = 1.0$

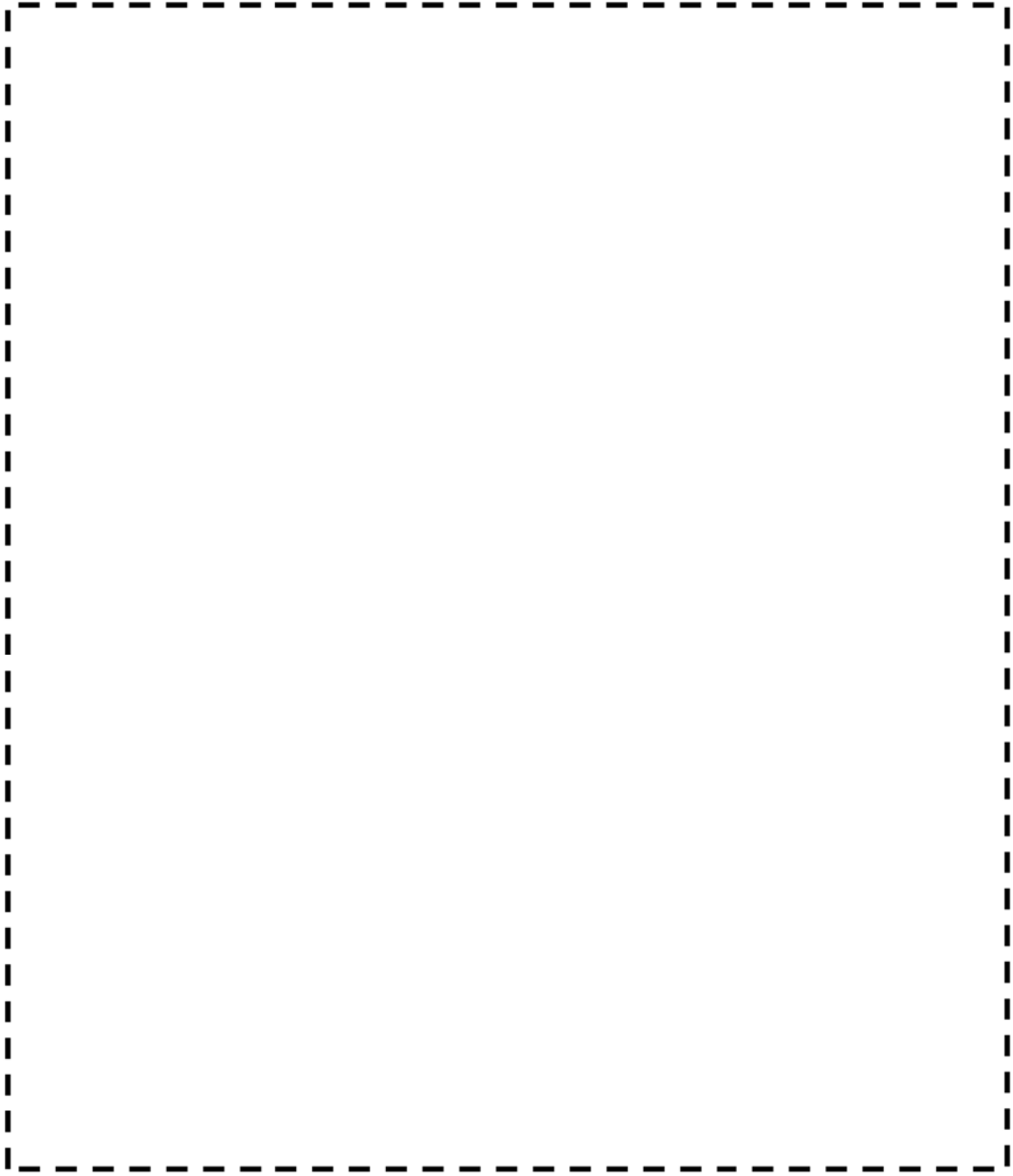


## 入口管台 疲労評価結果 (評価点: 9L)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
510.1	-53.9	1.0	282.0	331.6	1	4960	0.00020
495.8	-53.9	1.0	274.9	323.3	1	5360	0.00019
472.1	-53.9	1.0	263.0	309.3	1	6110	0.00016
470.7	-53.9	1.0	262.3	308.5	6	6150	0.00098
465.8	-53.9	1.0	259.8	305.6	55	6330	0.00869
465.8	-45.3	1.0	255.5	300.6	9	6650	0.00135
454.6	-45.3	1.0	250.0	294.0	5	7100	0.00070
446.7	-45.3	1.0	246.0	289.3	6	7450	0.00081
433.6	-45.3	1.0	239.5	281.6	7	8070	0.00087
433.5	-45.3	1.0	239.4	281.6	51	8070	0.00632
433.5	0.0	1.0	216.7	254.9	142	10900	0.01303
433.5	2.1	1.0	215.7	253.6	52	11100	0.00468
433.5	189.9	1.0	121.8	143.2	1	83300	0.00001
433.5	329.8	1.0	51.8	60.9	6		0.0
疲労累積係数 =							0.03799

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 : 0.038



原子炉容器 出口管台 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 原子炉容器 出口管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00000	0.00000
2	0.00015	0.00000	0.00070
3	0.00000	0.00000	0.0
4	0.00003	0.0	0.00012
5	0.00342	0.0	0.00190
6	0.00378	0.0	0.00263
7	0.0	0.00057	0.00206
8	0.00162	0.00000	0.00143
9L	0.03093	0.04678	0.00099
10L	0.0	0.00185	0.00128
9C	0.00177	0.00293	0.00263
10C	0.0	0.02211	0.01117
11L	0.04028	0.02340	0.0
12L	0.0	0.00278	0.00142
11C	0.00306	0.00009	0.00049
12C	0.0	0.02358	0.01269
13L	0.04508	0.02374	0.00058
14L	0.0	0.00301	0.00222
13C	0.00155	0.00065	0.00433
14C	0.0	0.02405	0.01394

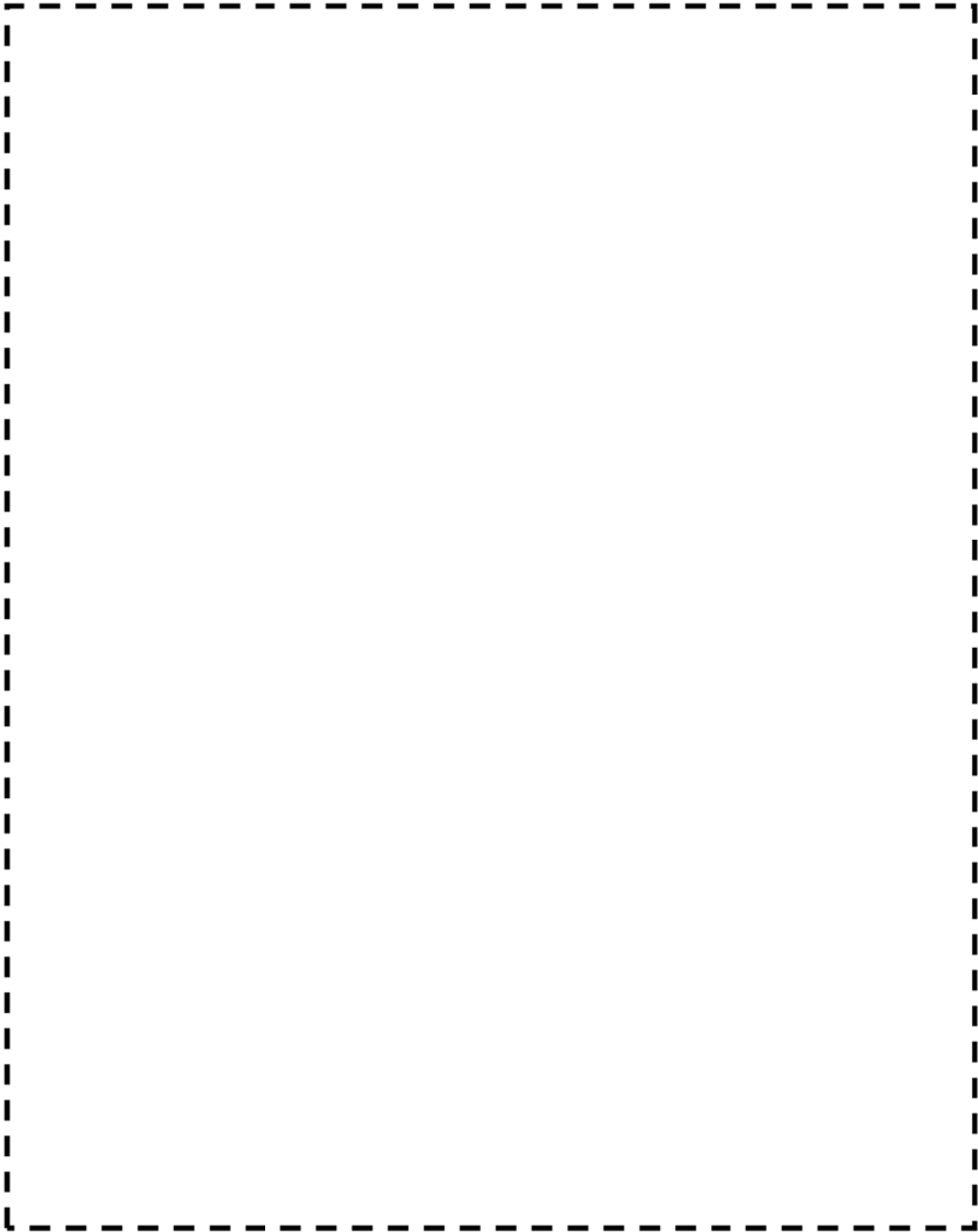
許容値  $U_f = 1.0$

## 出口管台 疲労評価結果 (評価点 : 9L)

応力強さ		( 単位 : MPa )			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
584.8	-22.3	1.0	303.6	363.2	1	3710	0.00027
564.0	-22.3	1.0	293.1	350.8	1	4150	0.00024
516.3	-22.3	1.0	269.3	322.3	1	5410	0.00018
486.1	-22.3	1.0	254.2	304.2	61	6420	0.00950
486.1	-11.9	1.0	249.0	297.9	3	6830	0.00044
482.9	-11.9	1.0	247.4	296.0	7	6960	0.00101
480.5	-11.9	1.0	246.2	294.6	68	7060	0.00963
480.5	0.0	1.0	240.3	287.5	142	7590	0.01871
480.5	22.5	1.0	229.0	274.0	52	8750	0.00594
480.5	266.1	1.0	107.2	128.3	1	130000	0.00001
480.5	325.3	1.0	77.6	92.8	428	507000	0.00084
468.4	325.3	1.0	71.5	85.6	5	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.04678

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 : 0.047



原子炉容器 蓋用管台 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



## 原子炉容器 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	0.00074	0.00004	0.00000
6	0.06504	0.00002	0.11259

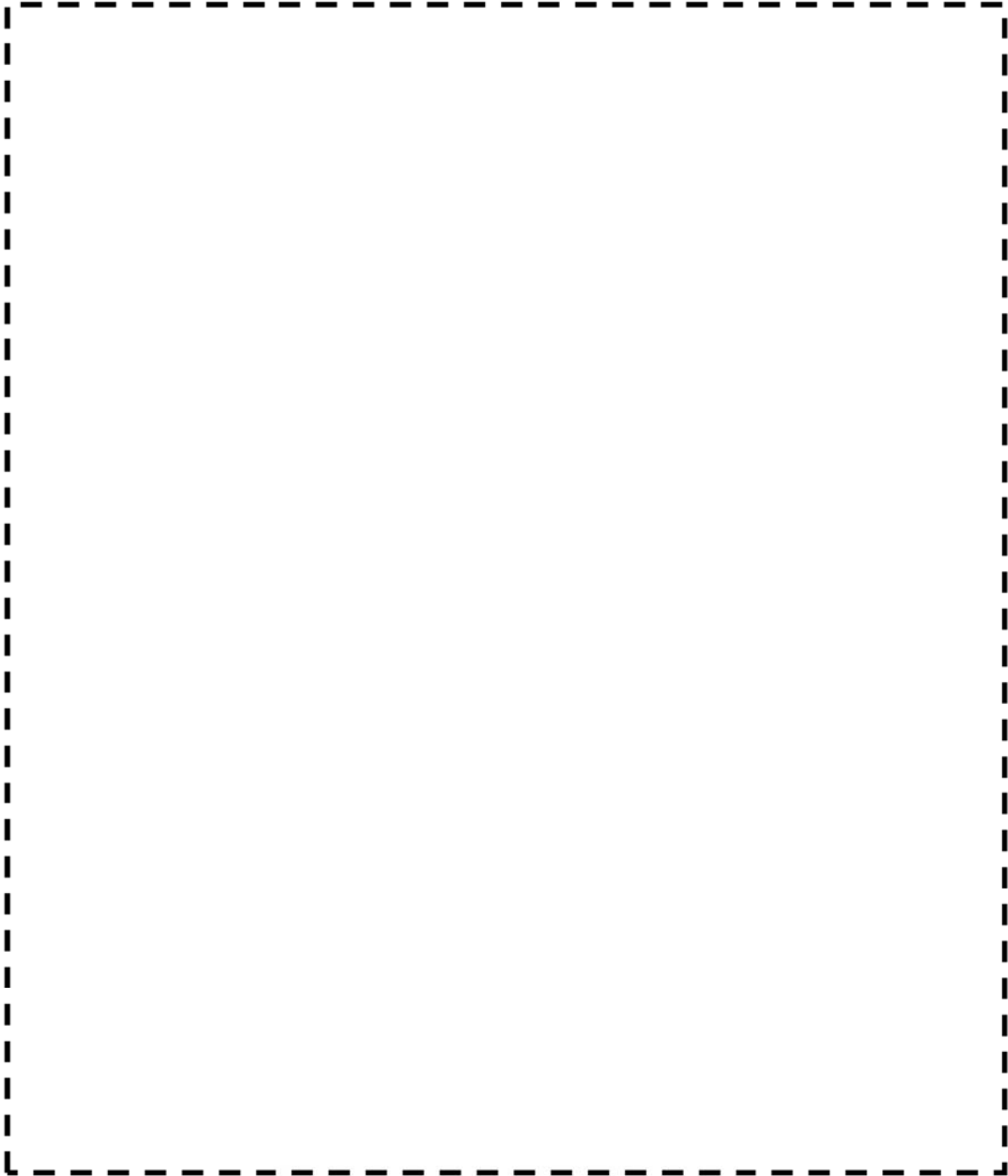
許容値  $U_f = 1.0$

## 蓋用管台 疲労評価結果 (評価点: 6)

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*	
1799.1	-239.7	1.0	1019.4	1051.8	1	456	0.00219
1685.1	-239.7	1.0	962.4	993.0	1	544	0.00184
1401.9	-239.7	1.0	820.8	846.9	1	902	0.00111
1337.9	-239.7	1.0	788.8	813.8	3	1020	0.00294
1333.9	-239.7	1.0	786.8	811.8	1	1030	0.00097
1309.4	-239.7	1.0	774.6	799.2	4	1090	0.00367
1302.0	-239.7	1.0	770.9	795.3	1	1100	0.00091
1221.9	-239.7	1.0	730.8	754.0	27	1330	0.02030
1221.9	-224.7	1.0	723.3	746.3	47	1370	0.03431
1221.9	0.0	1.0	610.9	630.3	86	2500	0.03440
1221.9	547.4	1.0	337.2	347.9	304	32300	0.00941
1195.4	547.4	1.0	324.0	334.3	4	39500	0.00010
1161.7	547.4	1.0	307.1	316.9	1	51800	0.00002
1129.7	547.4	1.0	291.2	300.4	0	69400	0.00000
1067.5	547.4	1.0	260.1	268.3	3	129000	0.00002
1063.1	547.4	1.0	257.8	266.0	2	135000	0.00001
1037.8	547.4	1.0	245.2	253.0	39	179000	0.00022
983.3	547.4	1.0	217.9	224.9	1	367000	0.00000
969.4	547.4	1.0	211.0	217.7	46	449000	0.00010
966.5	547.4	1.0	209.6	216.2	1	468000	0.00000
935.7	547.4	1.0	194.1	200.3	0	797000	0.00000
916.2	547.4	1.0	184.4	190.2	1	1060000	0.00000
913.7	547.4	1.0	183.2	189.0	1	1080000	0.00000
913.7	547.4	1.0	183.2	189.0	0	1080000	0.00000
905.0	547.4	1.0	178.8	184.5	1	1170000	0.00000
904.6	547.4	1.0	178.6	184.3	47	1180000	0.00004
904.6	547.4	1.0	178.6	184.3	15	1180000	0.00001
904.6	614.3	1.0	145.2	149.8	1	2450000	0.00000
904.6	743.5	1.0	80.6	83.1	1		0.0
疲労累積係数 =							0.11259

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

→通常UF : 0.113



原子炉容器 炉内計装筒 評価点

「 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 」

## 原子炉容器 炉内計装筒 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.00000
6	0.00000	0.0	0.00000
7	0.0	0.0	0.0
8	0.00000	0.0	0.00000
9	0.00201	0.00022	0.0
10	0.02161	0.00080	0.13906

許容値  $U_f = 1.0$

## 炉内計装筒 疲労評価結果 (評価点: 10)

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*	
1590.0	-146.7	1.0	868.3	855.2	1	875	0.00114
1474.2	-146.7	1.0	810.4	798.2	1	1090	0.00092
1213.6	-146.7	1.0	680.1	669.8	1	1990	0.00050
1191.0	-146.7	1.0	668.8	658.7	6	2110	0.00284
1188.7	-146.7	1.0	667.7	657.6	55	2130	0.02582
1188.7	-114.6	1.0	651.6	641.8	9	2330	0.00386
1182.7	-114.6	1.0	648.6	638.8	6	2370	0.00253
1179.3	-114.6	1.0	646.9	637.1	5	2400	0.00208
1119.1	-114.6	1.0	616.8	607.5	58	2870	0.02021
1119.1	-113.8	1.0	616.5	607.1	78	2870	0.02718
1119.1	-104.2	1.0	611.7	602.4	52	2960	0.01757
1119.1	0.0	1.0	559.6	551.1	142	4130	0.03438
1119.1	520.4	1.0	299.3	294.8	1	76900	0.00001
1119.1	766.0	1.0	176.6	173.9	6	1430000	0.00000
1119.1	893.4	1.0	112.9	111.2	4	11600000	0.00000
1119.1	895.7	1.0	111.7	110.0	2	12800000	0.00000
1119.1	900.3	1.0	109.4	107.7	1	15600000	0.00000
1119.1	903.9	1.0	107.6	106.0	7	18200000	0.00000
1119.1	909.4	1.0	104.9	103.3	1	25800000	0.00000
1119.1	912.4	1.0	103.4	101.8	7	32400000	0.00000
1119.1	924.9	1.0	97.1	95.6	1	152000000	0.00000
1119.1	951.5	1.0	83.8	82.5	346	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.13906

Ke : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

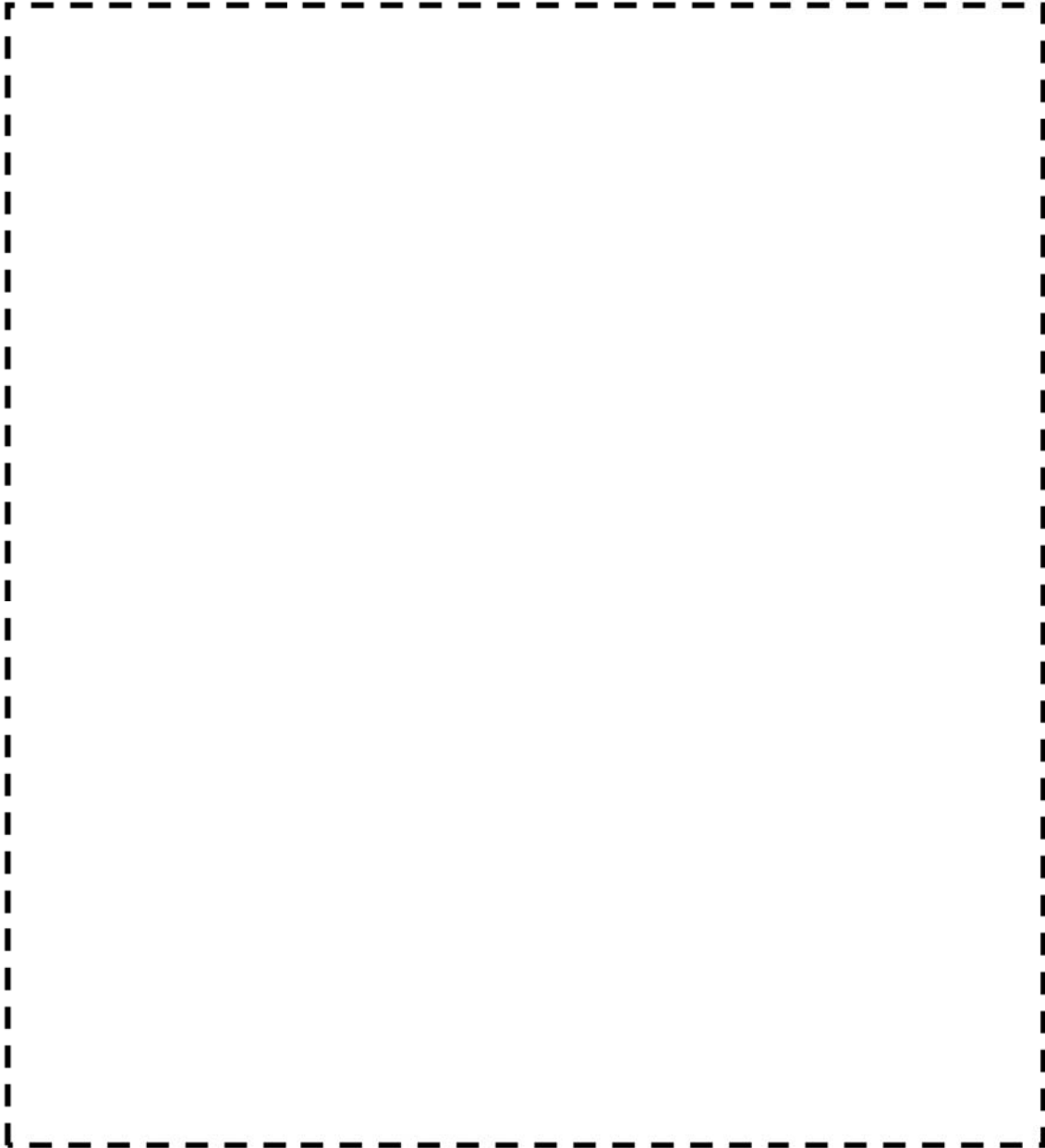
ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N\* : 許容繰返し回数

→通常UF : 0.140





原子炉容器 上蓋、上蓋フランジ、上部胴フランジ及びスタッドボルト 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

原子炉容器 上蓋、上蓋フランジ、上部胴フランジ及びスタッドボルト 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00009	0.00108	0.00040
2	0.00137	0.00054	0.01040
3	0.00033	0.00109	0.00097
4	0.00046	0.00057	0.00678
5	0.00045	0.00140	0.00014
6	0.00168	0.00257	0.00011
7	0.0	0.00338	0.00270
8	0.0	0.00103	0.00414
9	0.29372	0.0	0.29372
10	0.05596	0.0	0.05596
11	0.21622	0.0	0.21622
12	0.08464	0.0	0.08464

↑ 上蓋  
 上蓋フランジ  
 上部胴フランジ  
 .....  
 ↓ スタッドボルト

許容値  $U_f = 1.0$

## 上蓋 疲労評価結果 (評価点: 2)

応力強さ			( 単位 : MPa )		繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
0.0	-496.8	1.0	248.4	285.7	39	7730	0.00505
-56.0	-496.8	1.0	220.4	253.5	8	11100	0.00072
-56.0	-449.6	1.0	196.8	226.3	39	16400	0.00238
-91.0	-437.2	1.0	173.1	199.1	2	24900	0.00008
-91.0	-435.5	1.0	172.2	198.1	3	25300	0.00012
-91.0	-429.2	1.0	169.1	194.5	34	26800	0.00127
-153.8	-429.2	1.0	137.7	158.3	39	51000	0.00076
-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 =							0.01040

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

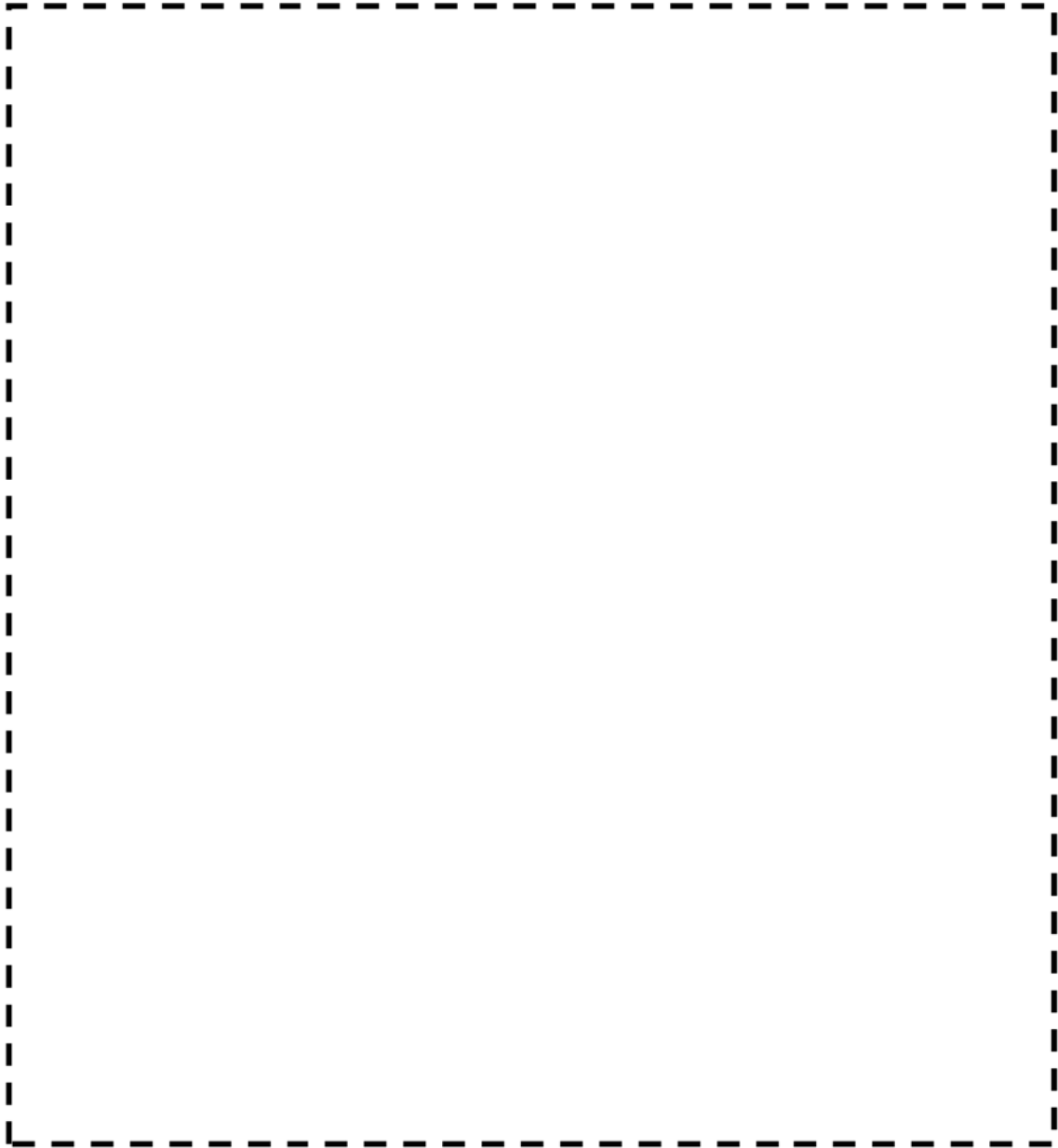
→通常UF : 0.011

スタッドボルト 疲労評価結果 (評価点: 9)

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	51	337	0.15134
2002.9	249.8	1.0	876.6	1048.9	8	441	0.01814
1770.7	249.8	1.0	760.5	909.9	51	583	0.08748
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	46	1760	0.02614
1324.1	624.0	1.0	350.1	418.8	1	2730	0.00037
1324.1	761.7	1.0	281.2	336.4	1	4240	0.00024
1324.1	903.1	1.0	210.5	251.9	11	8330	0.00132
1323.8	903.1	1.0	210.4	251.7	40	8350	0.00479
1323.8	1001.0	1.0	161.4	193.1	4	17800	0.00022
1323.8	1008.9	1.0	157.4	188.3	1	19200	0.00005
1323.8	1010.5	1.0	156.6	187.4	1	19500	0.00005
1323.8	1048.2	1.0	137.8	164.9	1	34500	0.00003
1323.8	1056.1	1.0	133.8	160.1	4	39400	0.00010
1323.8	1072.8	1.0	125.5	150.1	2	52900	0.00004
1323.8	1078.9	1.0	122.4	146.5	5	59400	0.00008
1310.7	1090.2	1.0	110.2	131.9	0	96800	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	1	546000	0.00000
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 =							0.29372

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 : 0.294



原子炉容器 下部胴、下部鏡接続部 評価点

【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】



## 原子炉容器 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	0.00081	0.00003
2	0.0	0.00019	0.0
3	0.0	0.00081	0.00313
4	0.0	0.00011	0.00022

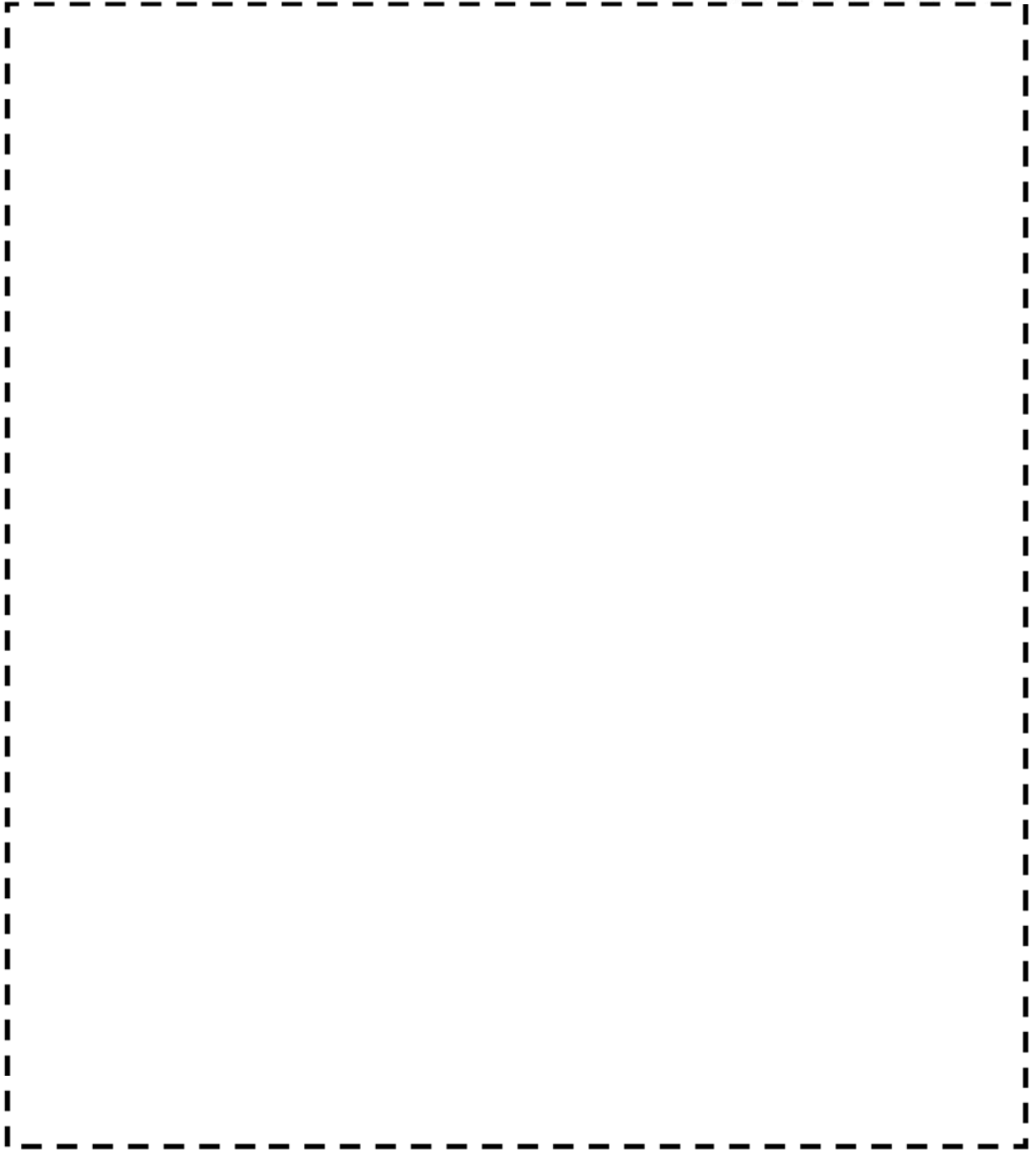
許容値  $U_f = 1.0$ 

## 下部胴、下部鏡接続部 疲労評価結果 (評価点: 3)

応力強さ (単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	
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	6   45500   0.00013
38.9	-235.0	1.0	137.0	154.1	1   58300   0.00002
38.9	-225.9	1.0	132.4	149.0	55   68700   0.00080
32.0	-225.9	1.0	129.0	145.1	9   78200   0.00012
32.0	-224.3	1.0	128.2	144.2	6   80700   0.00007
32.0	-219.9	1.0	125.9	141.7	5   87900   0.00006
32.0	-216.4	1.0	124.2	139.7	58   94000   0.00062
0.0	-216.4	1.0	108.2	121.7	142   157000   0.00090
-1.4	-216.4	1.0	107.5	121.0	52   161000   0.00032
-115.3	-216.4	1.0	50.6	56.9	1   -----   0.0
疲労累積係数 =					0.00313

→通常UF: 0.004

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



原子炉容器 炉心支持金物 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 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	0.00041	0.00040
2	0.0	0.00043	0.0
3	0.00012	0.00595	0.00013
4	0.0	0.00017	0.0
5	0.0	0.00024	0.00108
6	0.0	0.00021	0.0
7	0.00001	0.00540	0.00020
8	0.0	0.00017	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  $U_f = 1.0$

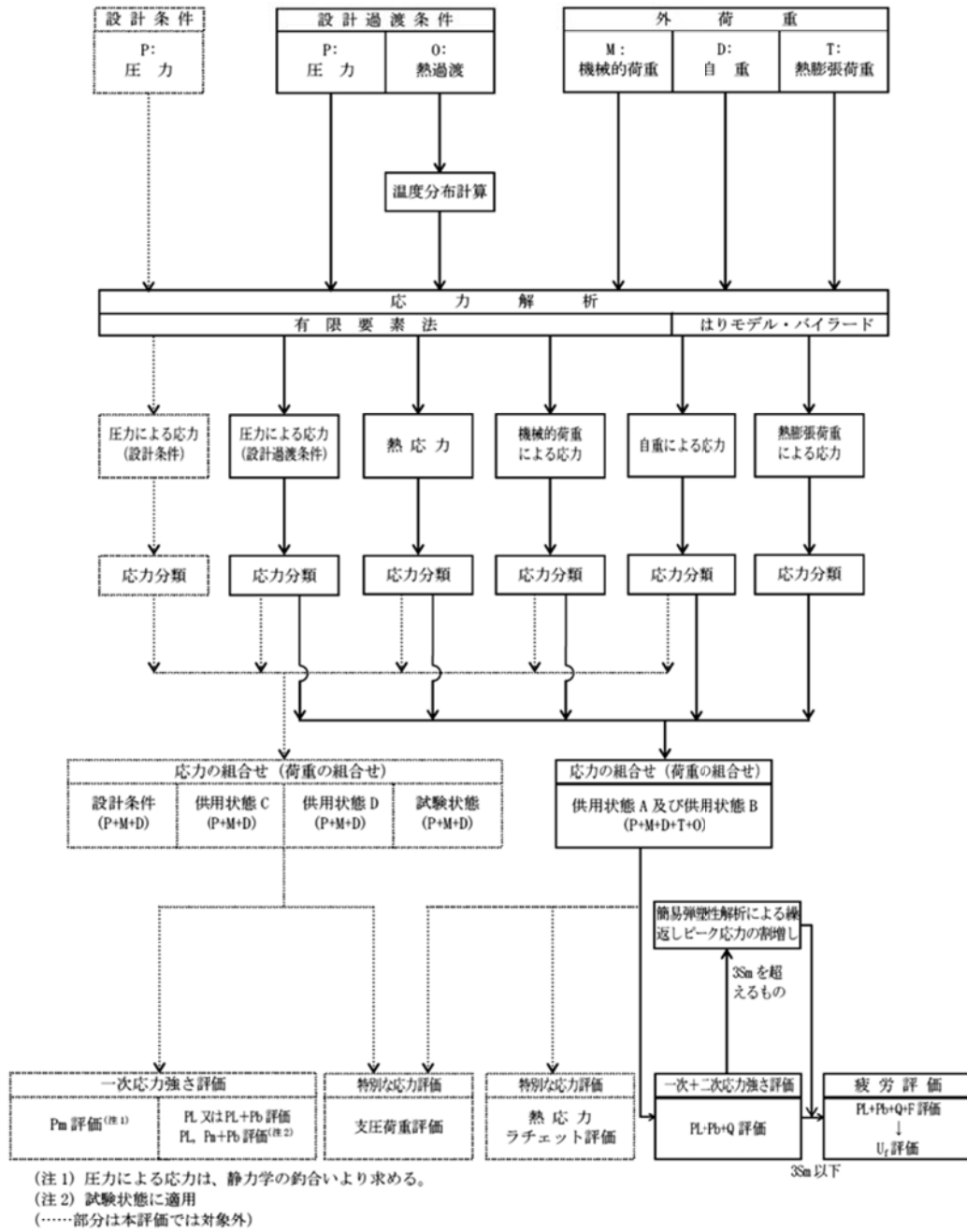
## 炉内支持金物 疲労評価結果 (評価点 : 3)

応力強さ (単位 : MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
394.3	-23.4	1.0	208.8	235.0	1	14400	0.00007
355.4	-23.4	1.0	189.4	213.1	1	20200	0.00005
303.2	-23.4	1.0	163.3	183.8	6	32000	0.00019
287.1	-23.4	1.0	155.3	174.7	1	37400	0.00003
279.0	-23.4	1.0	151.2	170.1	55	40600	0.00135
279.0	-17.0	1.0	148.0	166.5	9	43400	0.00021
278.3	-17.0	1.0	147.6	166.1	6	43700	0.00014
271.2	-17.0	1.0	144.1	162.1	5	47100	0.00011
266.1	-17.0	1.0	141.6	159.3	58	49700	0.00117
266.1	0.0	1.0	133.1	149.7	142	67100	0.00212
266.1	20.3	1.0	122.9	138.3	52	98900	0.00053
266.1	145.0	1.0	60.6	68.2	1		0.0
疲労累積係数 =							0.00595

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

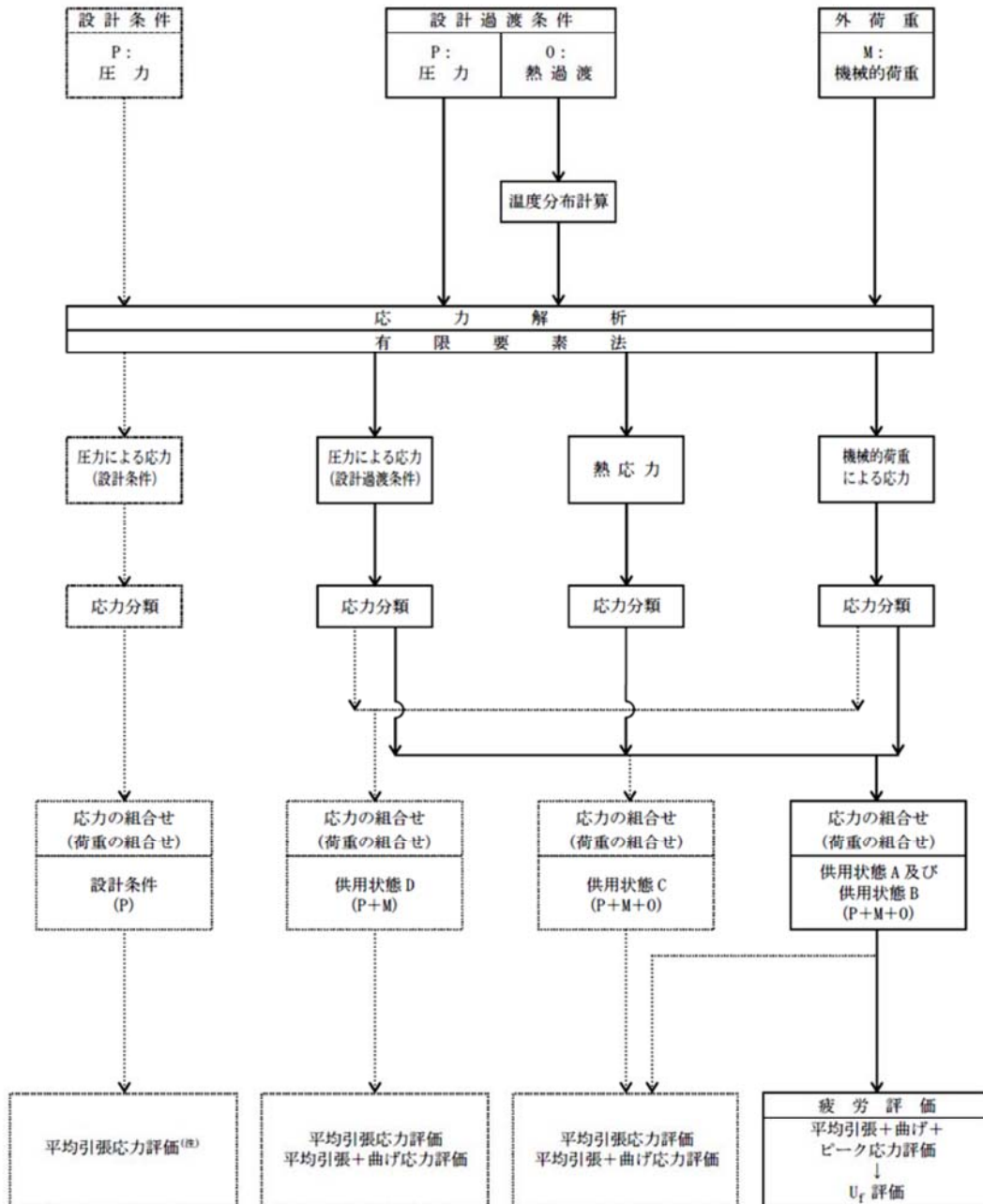
→通常UF : 0.006

応力評価フロー (ボルト以外)





応力評価フロー (ボルト)



(注) 圧力による応力は、静力学の釣合いより求める。

## K e 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【入口管台(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		補正前 salt	補正後 salt'					
2A1	2D4	73.6	-142.0	1.00	107.8	119.4	1	7200000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2G1	73.6	-73.5	1.00	73.5	81.4	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00000

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

→環境UF: 0.001

【出口管台(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		補正前 salt	補正後 salt'					
2D5	2H1	219.4	-99.1	1.00	159.3	178.5	1	1310000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	1A1	196.9	-45.4	1.00	121.1	135.8	4	3740000	0.00000	1.000	0.00000
2D3	1A1	186.7	-45.4	1.00	116.0	130.0	2	4510000	0.00000	1.000	0.00000
2C2	1A1	181.9	-45.4	1.00	113.6	127.4	1	4940000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1A1	169.9	-45.4	1.00	107.6	120.6	1	6780000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1A1	169.3	-45.4	1.00	107.4	120.3	7	6890000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1A1	157.1	-45.4	1.00	101.2	113.4	1	9770000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	1A1	144.6	-45.4	1.00	95.0	106.5	1	17500000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	1A1	139.9	-45.4	1.00	92.6	103.8	1	23900000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1A1	124.6	-45.4	1.00	85.0	95.3	6	230000000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1A1	85.8	-45.4	1.00	65.6	73.5	54	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00000

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

→環境UF: 0.001

【蓋用管台(評価点:5)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D5	65.6	-573.0	1.39	442.6	456.6	1	8690	0.00012	2.681	0.00031
2J1	2G1	65.6	-547.1	1.31	402.7	415.4	1	13400	0.00007	2.702	0.00020
2J1	1L1	65.6	-458.4	1.15	301.9	311.4	1	57000	0.00002	2.589	0.00005
2J1	2D4	65.6	-298.6	1.39	252.4	260.4	1	152000	0.00001	2.683	0.00002
2J1	2F1	65.6	-430.3	1.00	247.9	255.8	3	168000	0.00002	2.558	0.00005
2J1	2D2	65.6	-429.9	1.00	247.7	255.6	1	169000	0.00001	2.588	0.00002
2J1	2D1	65.6	-425.5	1.00	245.5	253.3	4	177000	0.00002	2.592	0.00006
2J1	2C2	65.6	-422.0	1.00	243.8	251.5	1	184000	0.00001	2.571	0.00001
2J1	2G1	65.6	-299.6	1.31	240.0	247.6	1	201000	0.00000	2.702	0.00001
2J1	1D1	65.6	-405.7	1.00	235.6	243.1	25	226000	0.00011	2.355	0.00026
1A1	1D1	58.9	-405.7	1.00	232.3	239.7	47	247000	0.00019	3.132	0.00060
NSS	1D1	0.0	-405.7	1.00	202.8	209.3	86	585000	0.00015	1.000	0.00015
1C1	1D1	-196.3	-405.7	1.00	104.7	108.0	306	15300000	0.00002	1.000	0.00002
1C1	1G1	-196.3	-395.2	1.00	99.4	102.6	4	28700000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2H2	-196.3	-379.5	1.00	91.6	94.5	1	5740000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2B2	-196.3	-362.3	1.00	83.0	85.6	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00174

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

→環境UF : 0.002

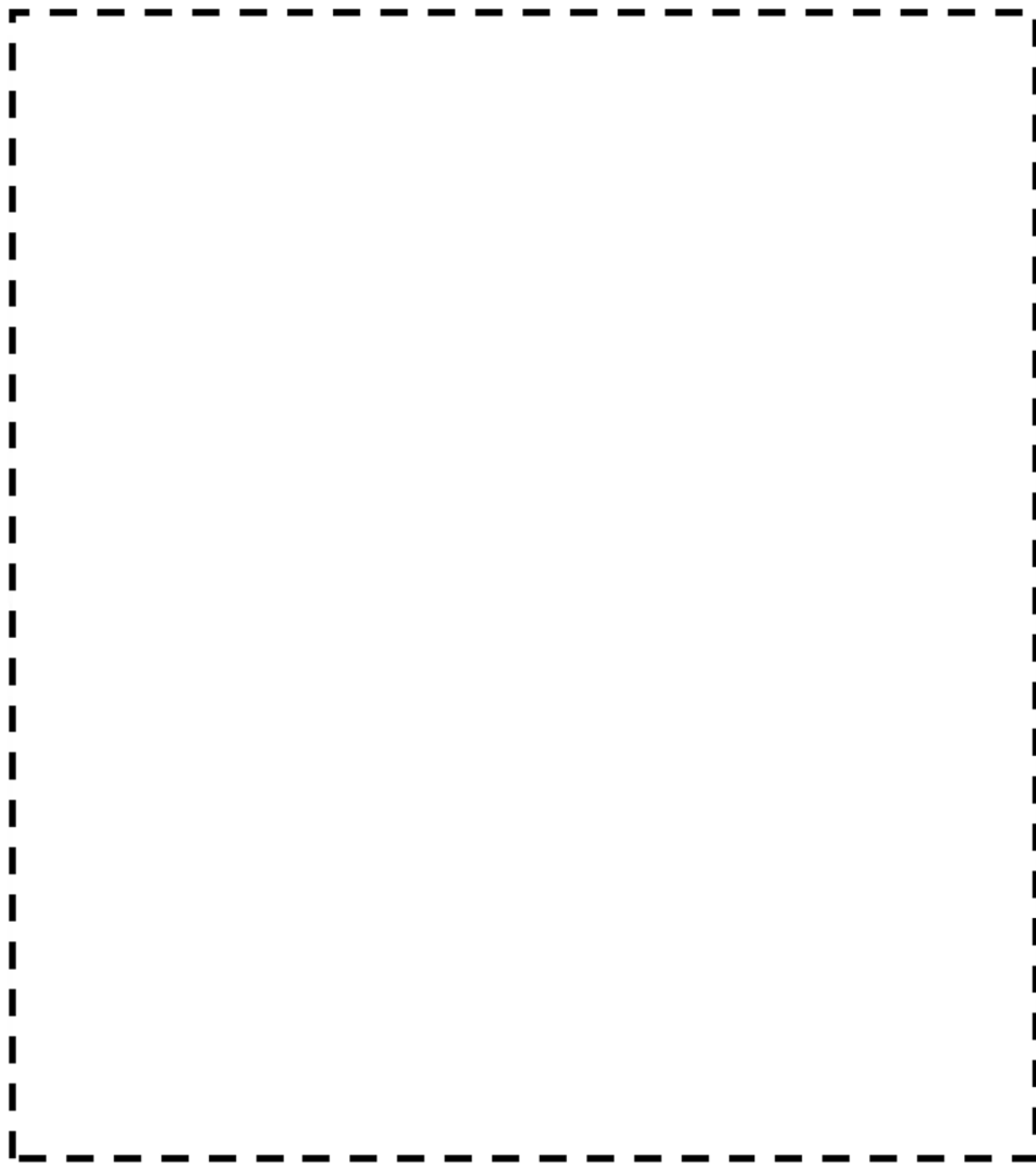
【炉内計装筒(評価点:9)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2D4	21.0	-658.8	1.00	339.9	334.7	1	39200	0.00003	2.548	0.00006
2J1	2G1	21.0	-621.4	1.00	321.2	316.3	1	52300	0.00002	2.594	0.00005
2J1	2A1	21.0	-524.2	1.00	272.6	268.5	6	128000	0.00005	2.377	0.00011
2J1	2H1	21.0	-519.8	1.00	270.4	266.3	1	134000	0.00001	2.381	0.00002
2J1	2J2	21.0	-515.8	1.00	268.4	264.3	55	140000	0.00039	2.345	0.00092
1B1	2J2	10.4	-515.8	1.00	263.1	259.1	9	156000	0.00006	1.165	0.00007
1B1	2B1	10.4	-512.3	1.00	261.3	257.4	5	162000	0.00003	1.969	0.00006
1B1	2I1	10.4	-506.8	1.00	258.6	254.7	6	172000	0.00003	1.528	0.00005
1B1	1C1	10.4	-486.0	1.00	248.2	244.4	58	218000	0.00027	1.470	0.00039
1I1	1C1	6.2	-486.0	1.00	246.1	242.4	52	230000	0.00023	3.367	0.00076
1A1	1C1	4.4	-486.0	1.00	245.2	241.5	78	236000	0.00033	2.654	0.00088
NSS	1C1	0.0	-486.0	1.00	243.0	239.3	142	249000	0.00057	3.367	0.00192
2E1	1C1	-234.0	-486.0	1.00	126.0	124.1	1	5740000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1C1	-341.9	-486.0	1.00	72.0	70.9	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00530

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

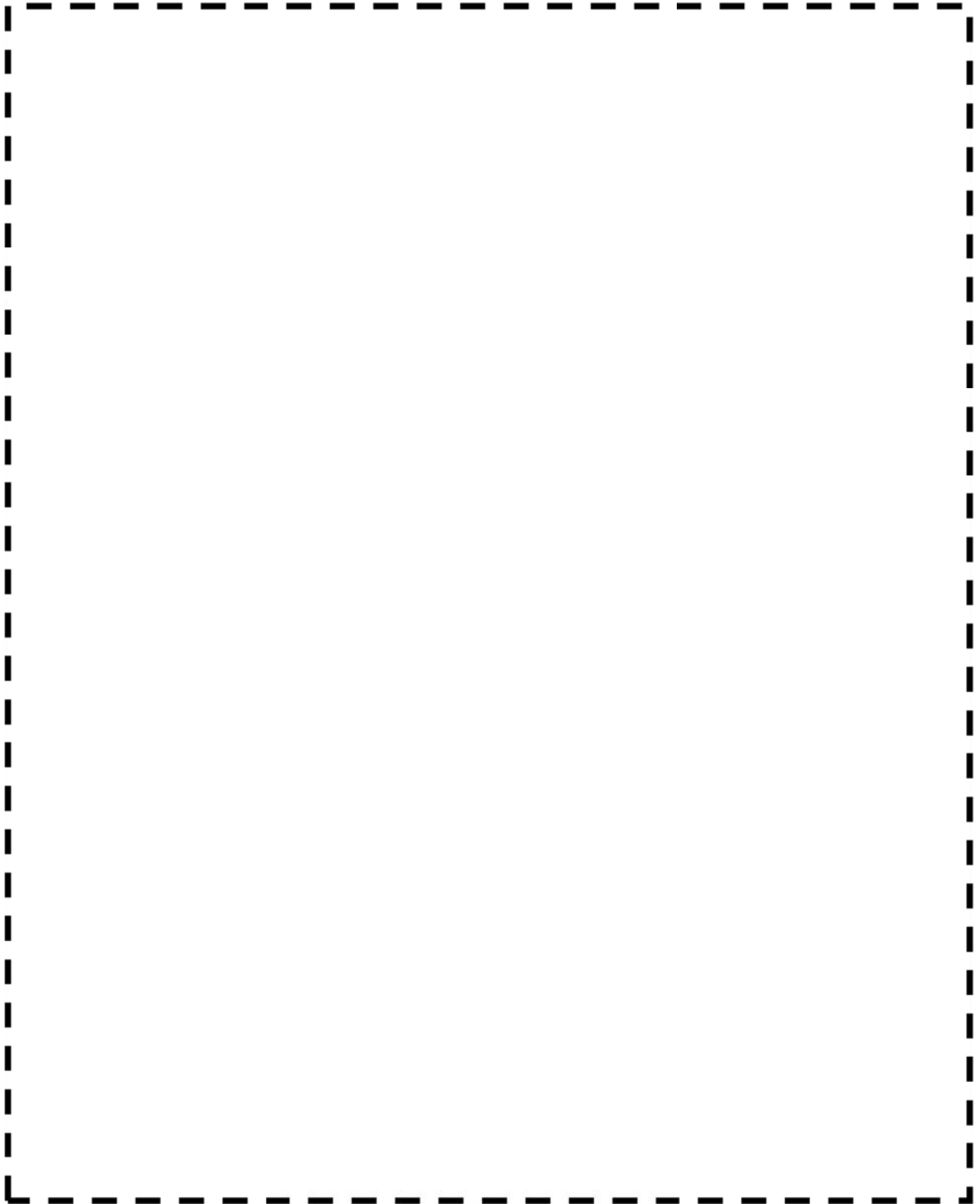
→環境UF : 0.006

タイトル	余熱除去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>余熱除去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="475 645 1310 846"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.8-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="461 965 1321 1167"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S<sub>m</sub> (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SCS13</td> <td>111</td> <td>200.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="424 1554 1359 1727"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組合せ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A、B</td> <td>圧力+熱過渡荷重+配管外力</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いたKe 係数を添付1, 3に示します。</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に示します。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.8-1	要素種類		要素次数		要素数		節点数		材料	設計応力強さ		S <sub>m</sub> (MPa)	温度 (°C)	SCS13	111	200.0	状態	荷重の組合せ	供用状態 A、B	圧力+熱過渡荷重+配管外力
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.8-1																						
要素種類																							
要素次数																							
要素数																							
節点数																							
材料	設計応力強さ																						
	S <sub>m</sub> (MPa)	温度 (°C)																					
SCS13	111	200.0																					
状態	荷重の組合せ																						
供用状態 A、B	圧力+熱過渡荷重+配管外力																						



余熱除去ポンプケーシング 評価点 (1 / 5)

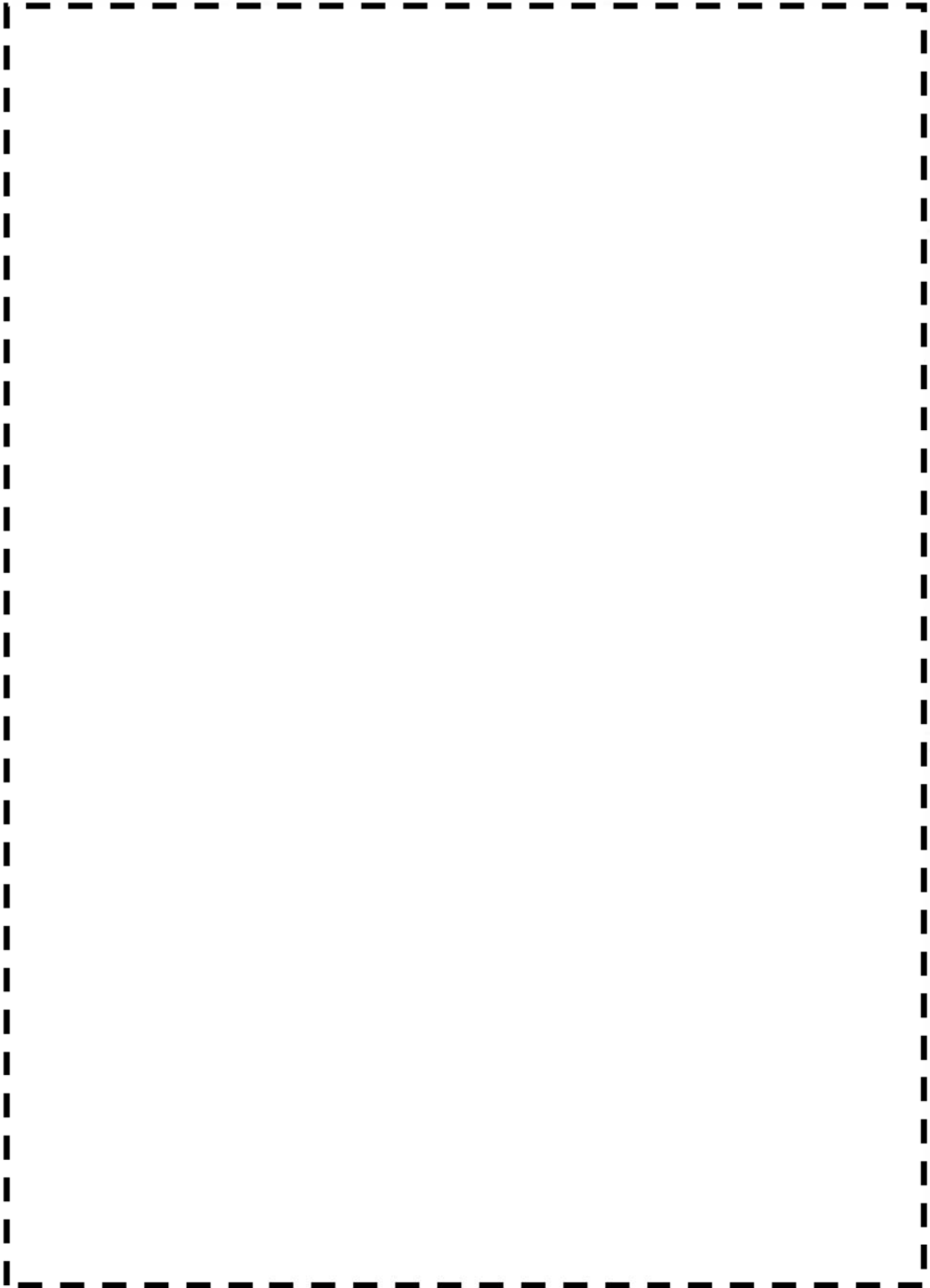
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



余熱除去ポンプケーシング 評価点 (2 / 5)

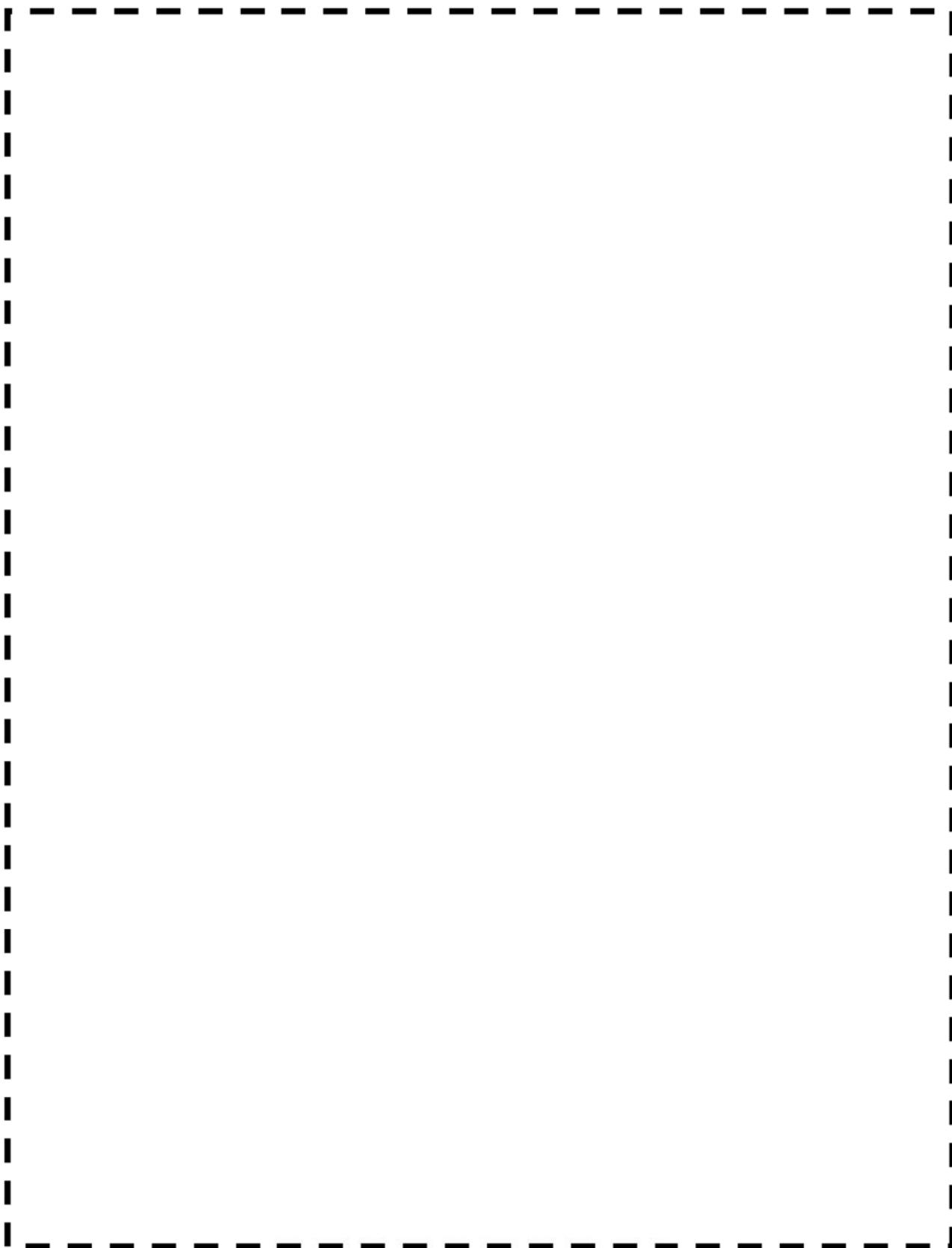
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません





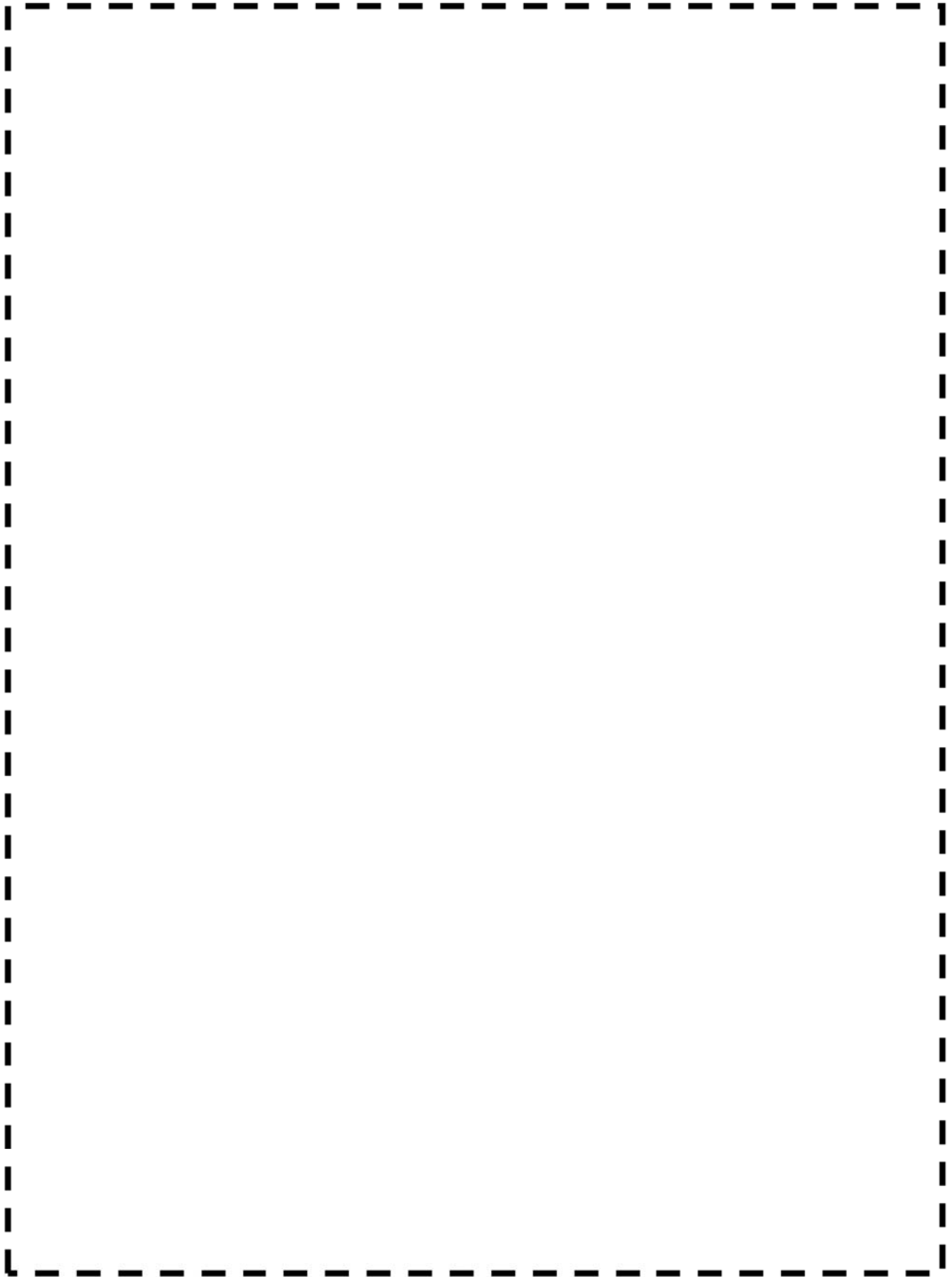
余熱除去ポンプケーシング 評価点 (3/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



余熱除去ポンプケーシング 評価点 (4/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



余熱除去ポンプケーシング 評価点 (5 / 5)

【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】

## 余熱除去ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定

部 品	評 価 箇 所		疲 れ 累 積 係 数	
	評価断面	評価点	U	許容値
ケーシング	SEC.1	PNT.1	0.00003	1.0
		PNT.2	0.01385	1.0
	SEC.2	PNT.3	0.00458	1.0
		PNT.4	0.00002	1.0
	SEC.3	PNT.5	0.00550	1.0
		PNT.6	0.00002	1.0
	SEC.4	PNT.7	0.00009	1.0
		PNT.8	0.00000	1.0
	SEC.5	PNT.9	0.00000	1.0
		PNT.10	0.00006	1.0
	SEC.6	PNT.11	0.00001	1.0
		PNT.12	0.00000	1.0
	SEC.7	PNT.13	0.00000	1.0
		PNT.14	0.00080	1.0
	SEC.8	PNT.15	0.00000	1.0
		PNT.16	0.00094	1.0
	SEC.9	PNT.17	0.00006	1.0
		PNT.18	0.02715	1.0
	SEC.10	PNT.19	0.00002	1.0
		PNT.20	0.00009	1.0
	SEC.11	PNT.21	0.00014	1.0
		PNT.22	0.00000	1.0
	SEC.12	PNT.23	0.00000	1.0
		PNT.24	0.00009	1.0
	SEC.13	PNT.25	0.00004	1.0
		PNT.26	0.00000	1.0
	SEC.14	PNT.27	0.00009	1.0
		PNT.28	0.03516	1.0
	SEC.15	PNT.29	0.00001	1.0
		PNT.30	0.00615	1.0
	SEC.16	PNT.31	0.00001	1.0
		PNT.32	0.00000	1.0
カバー	SEC.17	PNT.33	0.00014	1.0
		PNT.34	0.00003	1.0
	SEC.18	PNT.35	0.00128	1.0
		PNT.36	0.00000	1.0

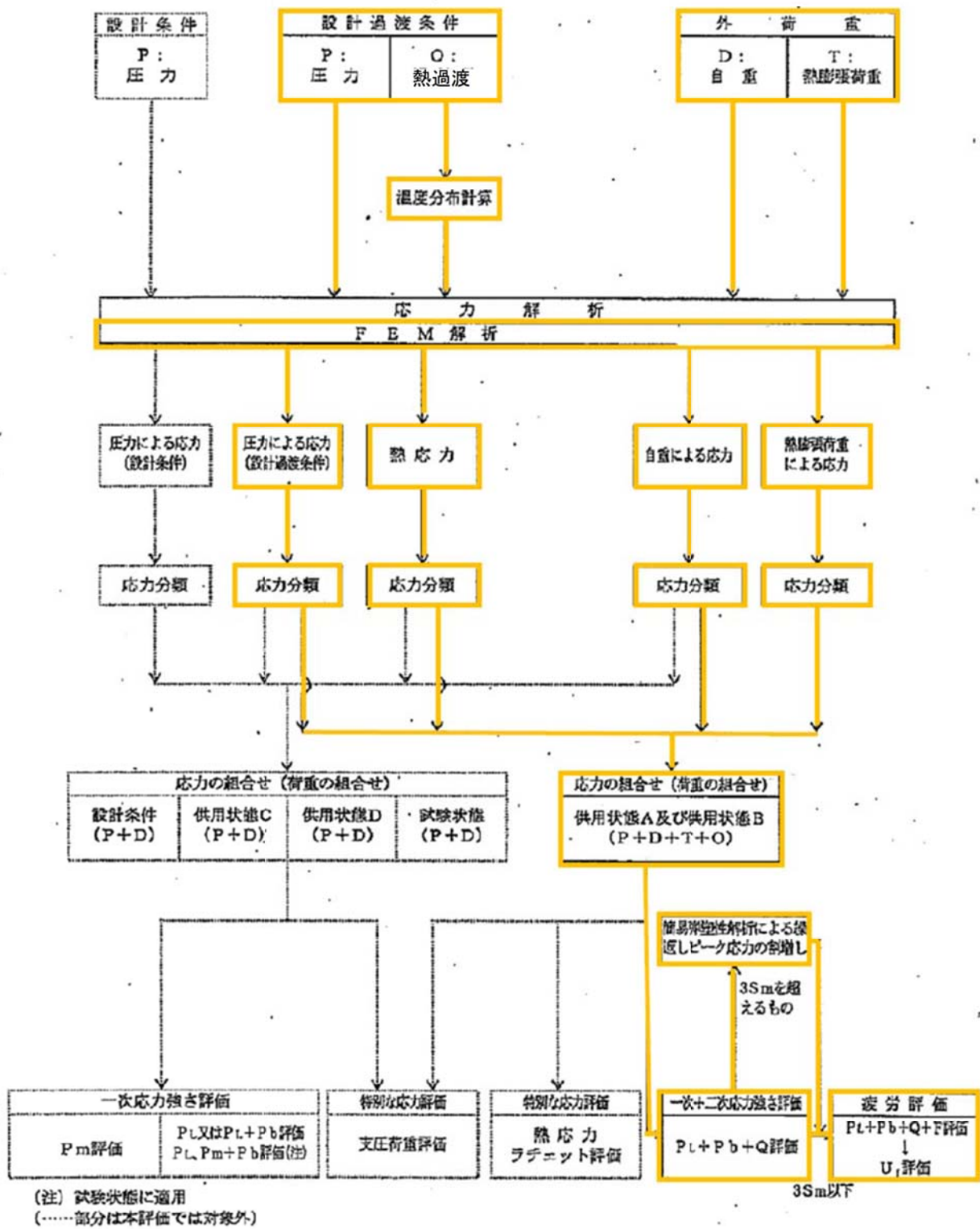
※PNT奇数部を接液部とする

## 余熱除去ポンプケーシング 疲労評価結果

部品	繰返しピーク応力強さ (N/mm <sup>2</sup> )				繰返し回数		疲れ累積係数		
	評価点	MAXIMUM	MINIMUM	KE	評価応力	N	許容値	U	許容値
ケーシング	PNT.1	185.0	-61.9	1.00	130.9	142	4.38E+06	0.00003	1.0
	PNT.2	251.8	-350.3	1.37	437.9	142	1.03E+04	0.01385	1.0
		196.5	-92.5	1.00	153.2	142	2.22E+06		
	PNT.3	396.6	-118.5	1.28	349.9	142	3.14E+04	0.00458	1.0
		199.6	-84.6	1.00	150.7	142	2.39E+06		
	PNT.4	163.8	-52.4	1.00	114.6	142	9.19E+06	0.00002	1.0
	PNT.5	429.8	-90.1	1.32	362.9	142	2.61E+04	0.00550	1.0
		228.9	-53.5	1.00	149.7	142	2.45E+06		
	PNT.6	163.1	-59.6	1.00	118.1	142	7.70E+06	0.00002	1.0
	PNT.7	229.2	-88.4	1.00	168.4	142	1.59E+06	0.00009	1.0
		185.4	0.0	1.00	98.3	142	6.36E+07		
	PNT.8	0.0	-109.5	1.00	58.1	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.9	0.0	-120.7	1.00	64.0	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.10	0.0	-284.8	1.00	151.0	142	2.36E+06	0.00006	1.0
	PNT.11	76.7	-121.0	1.00	104.8	142	2.06E+07	0.00001	1.0
	PNT.12	58.3	0.0	1.00	30.9	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.13	113.8	0.0	1.00	60.3	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.14	432.1	-40.4	1.00	250.5	142	1.89E+05	0.00080	1.0
		275.7	0.0	1.00	146.1	142	2.72E+06		
	PNT.15	162.4	0.0	1.00	86.1	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.16	456.8	-28.0	1.00	257.0	142	1.64E+05	0.00094	1.0
		297.6	0.0	1.00	157.7	142	1.96E+06		
	PNT.17	268.7	-17.0	1.00	151.4	142	2.33E+06	0.00006	1.0
	PNT.18	0.0	-622.5	1.57	518.1	142	5.23E+03	0.02715	1.0
	PNT.19	227.9	0.0	1.00	120.8	142	6.72E+06	0.00002	1.0
	PNT.20	322.6	0.0	1.00	171.0	142	1.51E+06	0.00009	1.0
	PNT.21	115.4	-244.9	1.00	191.0	142	1.05E+06	0.00014	1.0
	PNT.22	107.3	0.0	1.00	56.9	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.23	0.0	-90.7	1.00	48.1	142	∞	0.00000	1.0
	PNT.24	307.1	-7.2	1.00	166.6	142	1.64E+06	0.00009	1.0
	PNT.25	196.4	-65.0	1.00	138.6	142	3.42E+06	0.00004	1.0
	PNT.26	28.6	-46.9	1.00	40.0	142	∞	0.00000	1.0
PNT.27	276.2	-23.1	1.08	170.7	142	1.51E+06	0.00009	1.0	
PNT.28	20.1	-624.9	1.62	554.4	142	4.04E+03	0.03516	1.0	
	0.0	-211.1	1.00	111.9	142	1.09E+07			
PNT.29	189.4	-8.5	1.00	104.9	142	2.03E+07	0.00001	1.0	
PNT.30	0.0	-535.8	1.31	371.9	142	2.31E+04	0.00615	1.0	
PNT.31	175.1	-33.5	1.00	110.6	142	1.22E+07	0.00001	1.0	
PNT.32	102.1	0.0	1.00	54.1	142	∞	0.00000	1.0	
カバー	PNT.33	167.2	-199.0	1.00	194.1	142	9.94E+05	0.00014	1.0
	PNT.34	246.1	0.0	1.00	130.5	142	4.45E+06	0.00003	1.0
	PNT.35	463.7	-54.5	1.00	274.7	142	1.13E+05	0.00128	1.0
		211.9	-12.7	1.00	119.1	142	7.32E+06		
PNT.36	29.8	-102.4	1.00	70.1	142	∞	0.00000	1.0	

→通常UF : 0.036

応力評価フロー



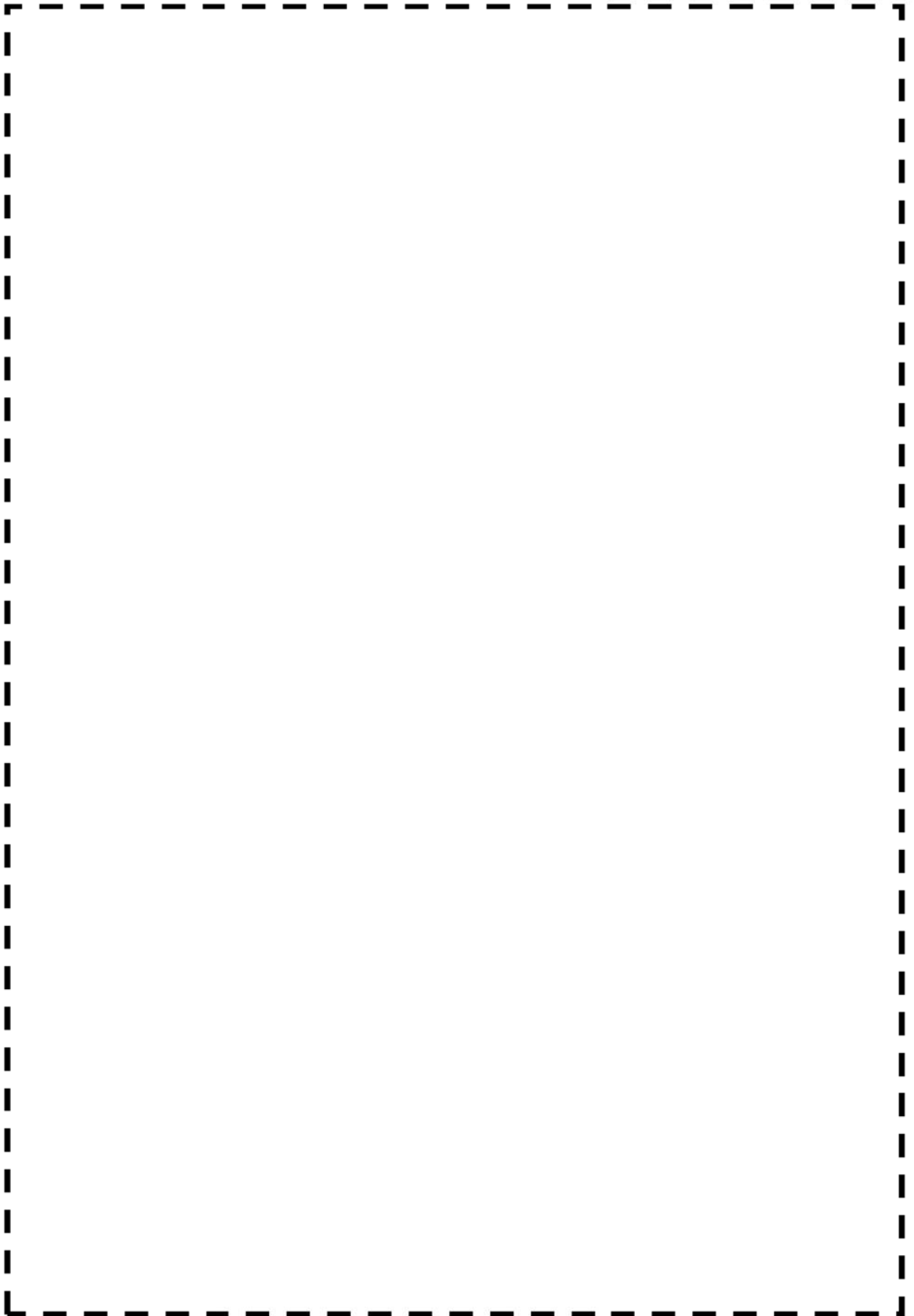


Ke 係数と環境疲労パラメータ (評価点PNT. 5) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 □□□□□□□ □□□□□□□ u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt					
1B1	429.8	-90.1	1.32	342.3	362.9	142	26100	0.00544	4.885	0.02658
1A1	228.9	-53.5	1.00	141.2	149.7	142	2450000	0.00006	1.000	0.00006
合計:										0.02664

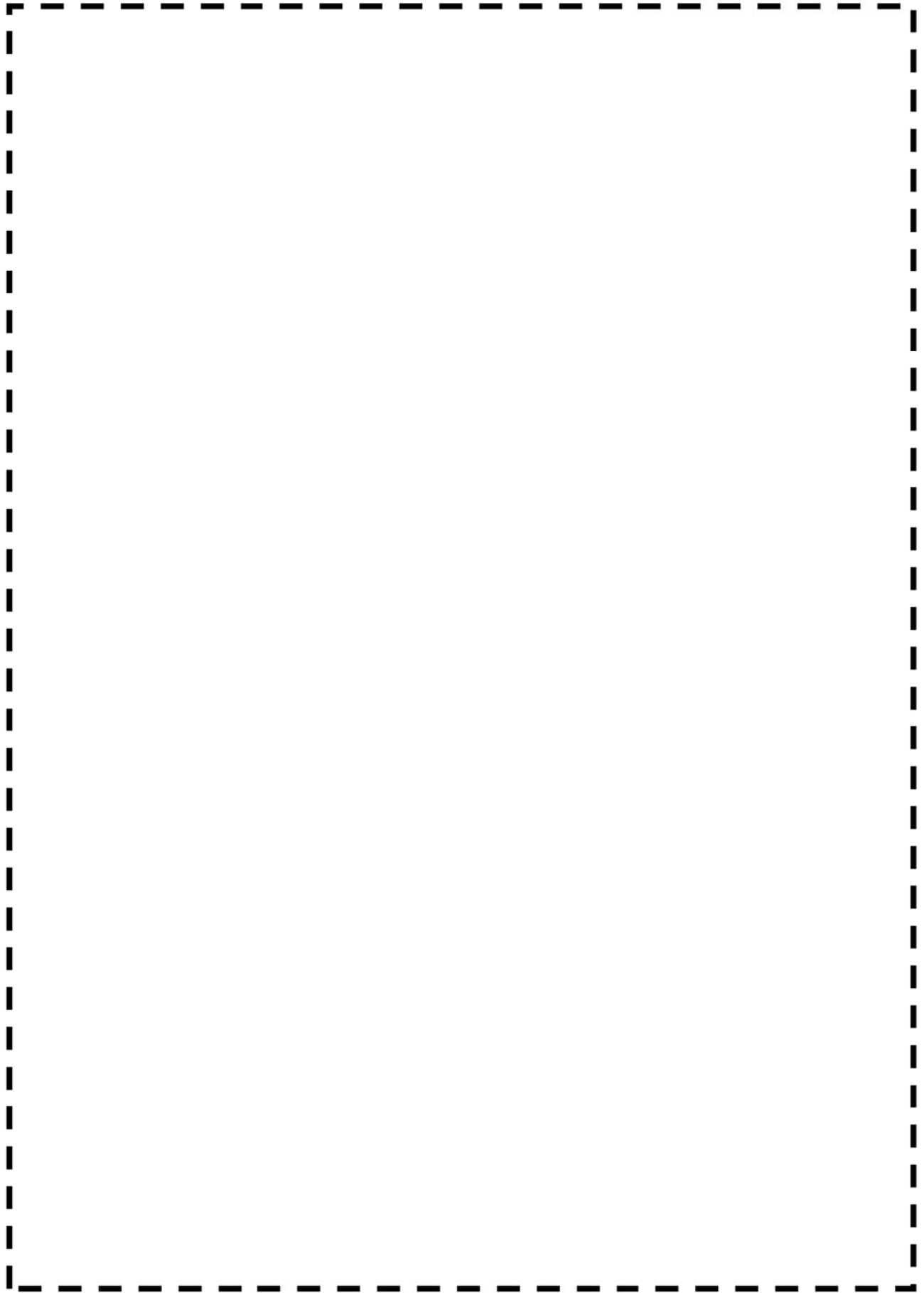
→環境UF: 0.027

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="475 645 1310 846"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Standard Ver. 6.7-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="461 965 1321 1167"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S<sub>m</sub> (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351CF8 (SCS13A)</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="424 1556 1358 1727"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組合せ</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		S <sub>m</sub> (MPa)	温度 (°C)	SA351CF8 (SCS13A)	116	288.6	状態	荷重の組合せ	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																						
	S <sub>m</sub> (MPa)	温度 (°C)																					
SA351CF8 (SCS13A)	116	288.6																					
状態	荷重の組合せ																						
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																						



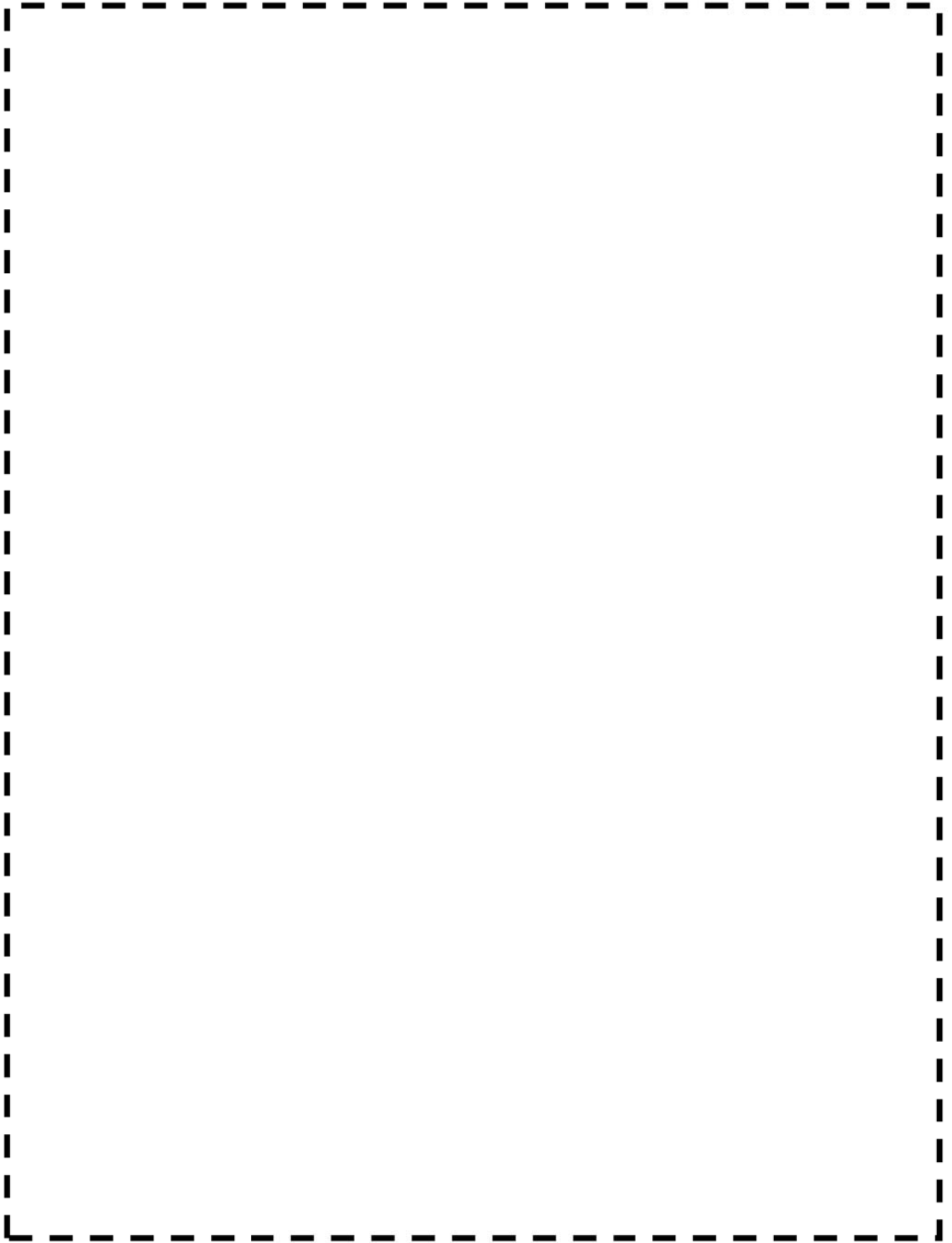
1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (1 / 5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



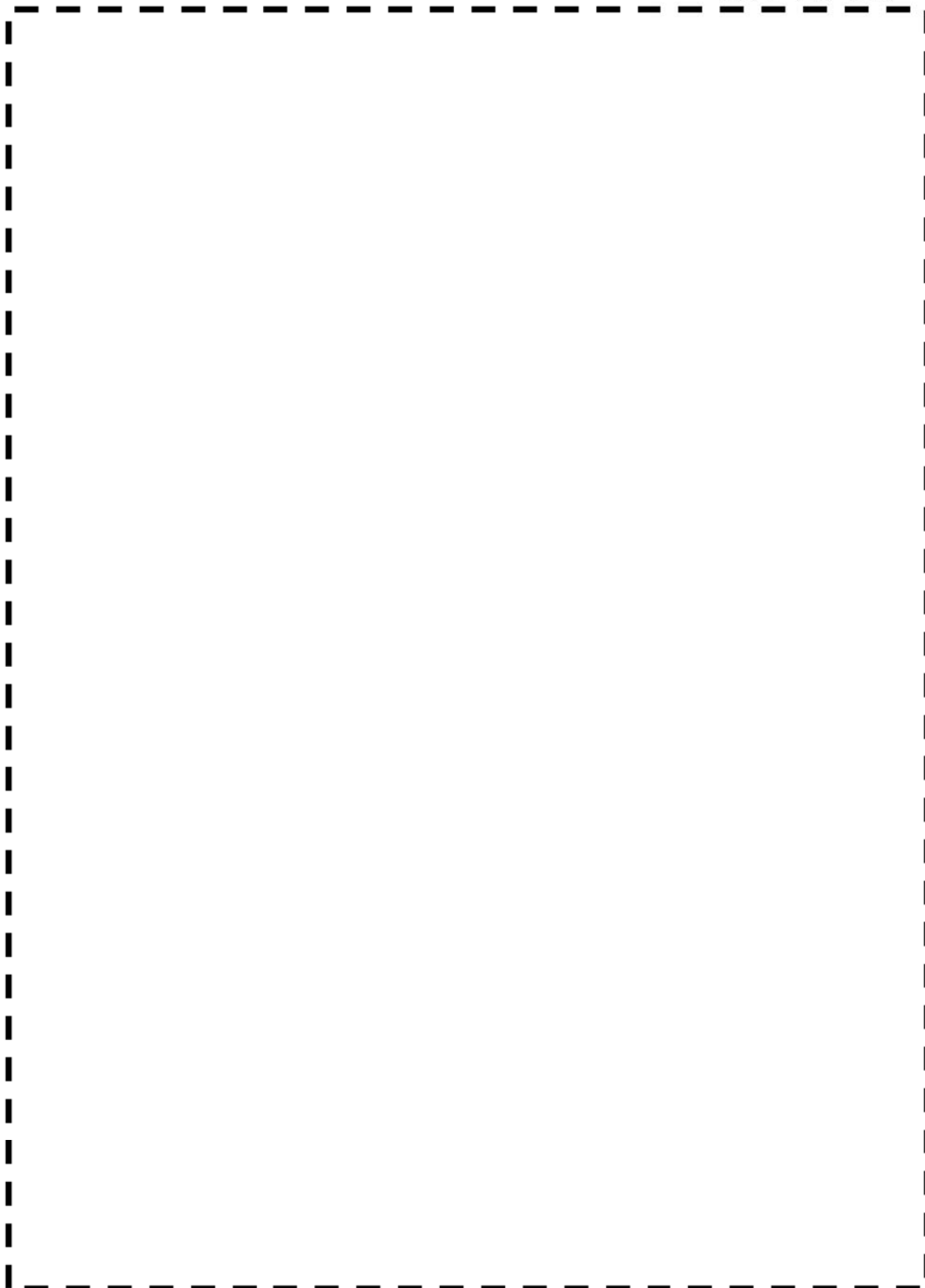
1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (2 / 5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (3 / 5)

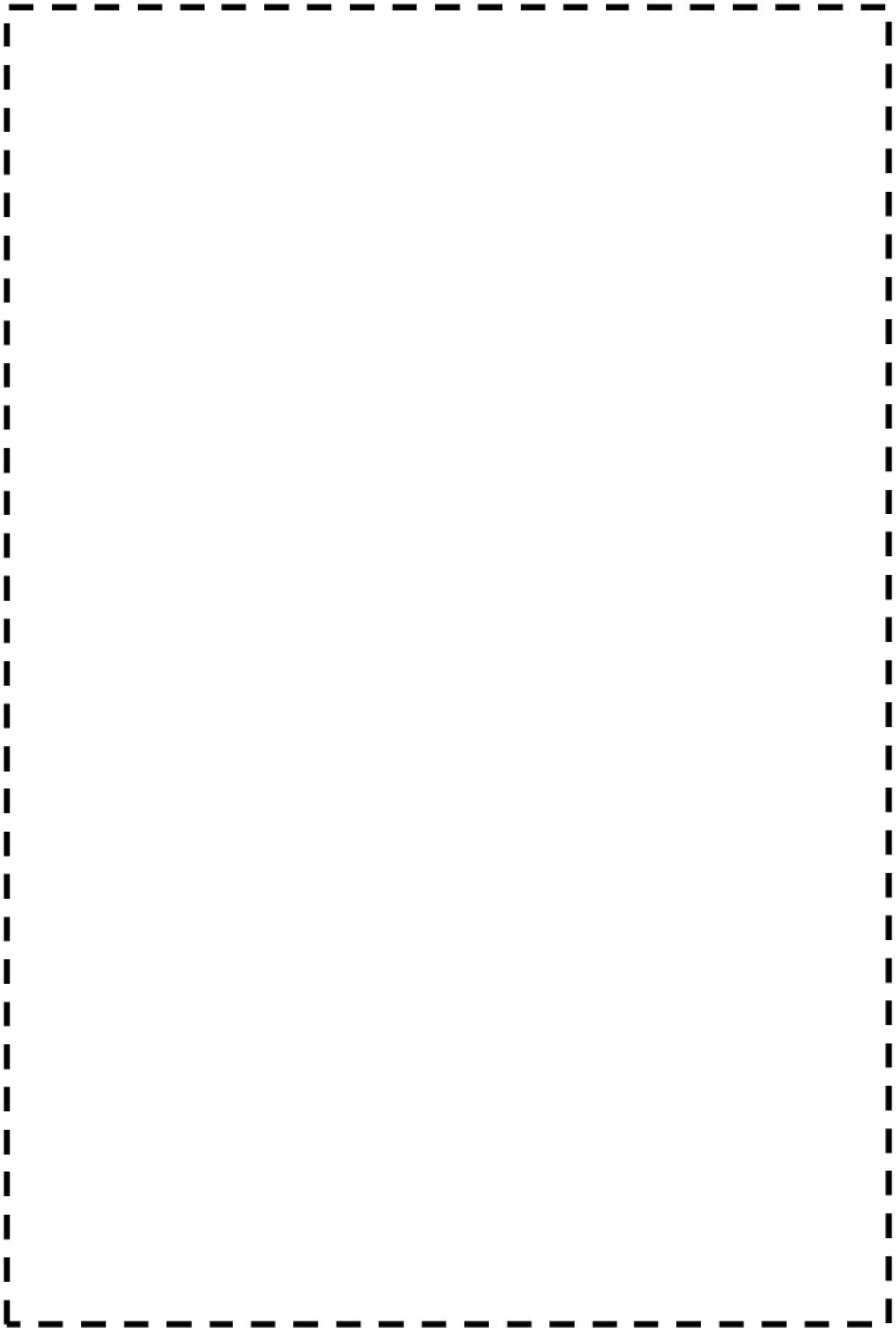
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (4 / 5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません





1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (5 / 5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

1次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (吸込ノズル)

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
44862	IN	0.00000	0.00000	0.00000
44926	OUT	0.00000	0.00000	0.00001
48704	IN	0.00000	0.00001	<b>0.00009</b>
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	0.00002	0.00002
58036	OUT	0.00000	0.00000	0.00000

※INは接液部、OUTは大気中の評価点を表す

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点：48704)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE FACTOR
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	
104.7	-465.5	1.0	285.1	1	53600	0.00002
104.7	-327.9	1.0	216.3	1	251000	0.00000
104.7	-267.2	1.0	185.9	1	667000	0.00000
104.7	-248.1	1.0	176.4	6	969000	0.00001
104.7	-220.6	1.0	162.6	2	1280000	0.00000
104.7	-200.1	1.0	152.4	4	1590000	0.00000
104.7	-175.1	1.0	139.9	49	2140000	0.00002
100.1	-175.1	1.0	137.6	3	2290000	0.00000
100.1	-174.7	1.0	137.4	1	2310000	0.00000
100.1	-163.7	1.0	131.9	74	2760000	0.00003
0.0	-163.7	1.0	81.8	4		0.0
TOTAL =						0.00009

→通常UF：0.001

## 1次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (吐出ノズル)

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
6003	IN	0.00185	<b>0.01649</b>	0.00000
6016	OUT	0.00005	0.00012	0.00000
57367	IN	0.00000	0.00008	0.00012
58927	OUT	0.00000	0.00004	0.00039
60337	IN	0.00021	0.01191	0.00001
58858	OUT	0.00000	0.00004	0.00000
60786	IN	0.00048	0.00084	0.00000
59125	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
559977	IN	0.00000	0.00006	0.00011
559150	OUT	0.00000	0.00004	0.00009

※INは接液部、OUTは大気中の評価点を表す

## 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
412.7	-221.1	1.54	488.8	1	4460	0.00022
376.7	-221.1	1.53	457.5	77	5770	0.01334
376.7	-194.9	1.46	416.3	1	8440	0.00012
349.0	-194.9	1.34	365.2	1	15400	0.00006
327.0	-194.9	1.29	336.6	62	23100	0.00268
327.0	0.0	1.0	163.5	2	1260000	0.00000
303.4	0.0	1.0	151.7	6	1610000	0.00000
252.7	0.0	1.0	126.4	1	3320000	0.00000
251.2	0.0	1.0	125.6	2	3400000	0.00000
239.0	0.0	1.0	119.5	4	4220000	0.00000
224.1	0.0	1.0	112.1	5	5810000	0.00000
221.5	0.0	1.0	110.7	69	6240000	0.00001
220.6	0.0	1.0	110.3	6	6390000	0.00000
217.2	0.0	1.0	108.6	189	7010000	0.00003
217.2	28.3	1.0	94.4	52	22000000	0.00000
217.2	116.0	1.0	50.6	5		0.0
TOTAL =						0.01649

→通常UF : 0.017

## 1次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (支持脚 (1))

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
57546	IN	0.00000	0.00011	0.00030
58075	OUT	0.00320	0.00004	0.08351
59214	IN	0.00001	0.00383	0.00022
58270	OUT	0.00001	0.00005	0.00000
59310	IN	0.00000	0.00011	0.00029
58071	OUT	0.00319	0.00004	<i>0.08368</i>
59813	IN	0.00000	0.00022	0.00010
59101	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
61124	IN	0.00003	0.00502	0.00011
58316	OUT	0.00003	0.00000	0.00007

※INは接液部、OUTは大気中の評価点を表す

## 1次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (支持脚 (2))

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
57825	IN	0.00000	0.00003	0.00017
61374	OUT	0.01054	<i>0.17335</i>	0.00003
59238	IN	0.00000	0.00003	0.00019
58921	OUT	0.00219	0.00000	0.03727
59737	IN	0.00034	0.00618	0.00000
58792	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
59889	IN	0.00000	0.00018	0.00014
58507	OUT	0.00022	0.01768	0.00002

※INは接液部、OUTは大気中の評価点を表す



## 1次冷却材ポンプケーシング 最大疲労評価点の選定 (支持脚 (3))

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
557825	IN	0.00000	0.00003	0.00017
561374	OUT	0.01097	<b>0.17588</b>	0.00003
559238	IN	0.00000	0.00003	0.00019
558921	OUT	0.00093	0.00000	0.03719
559737	IN	0.00034	0.00609	0.00000
558792	OUT	0.00000	0.00000	0.00000
559889	IN	0.00000	0.00018	0.00014
558507	OUT	0.00022	0.01775	0.00002

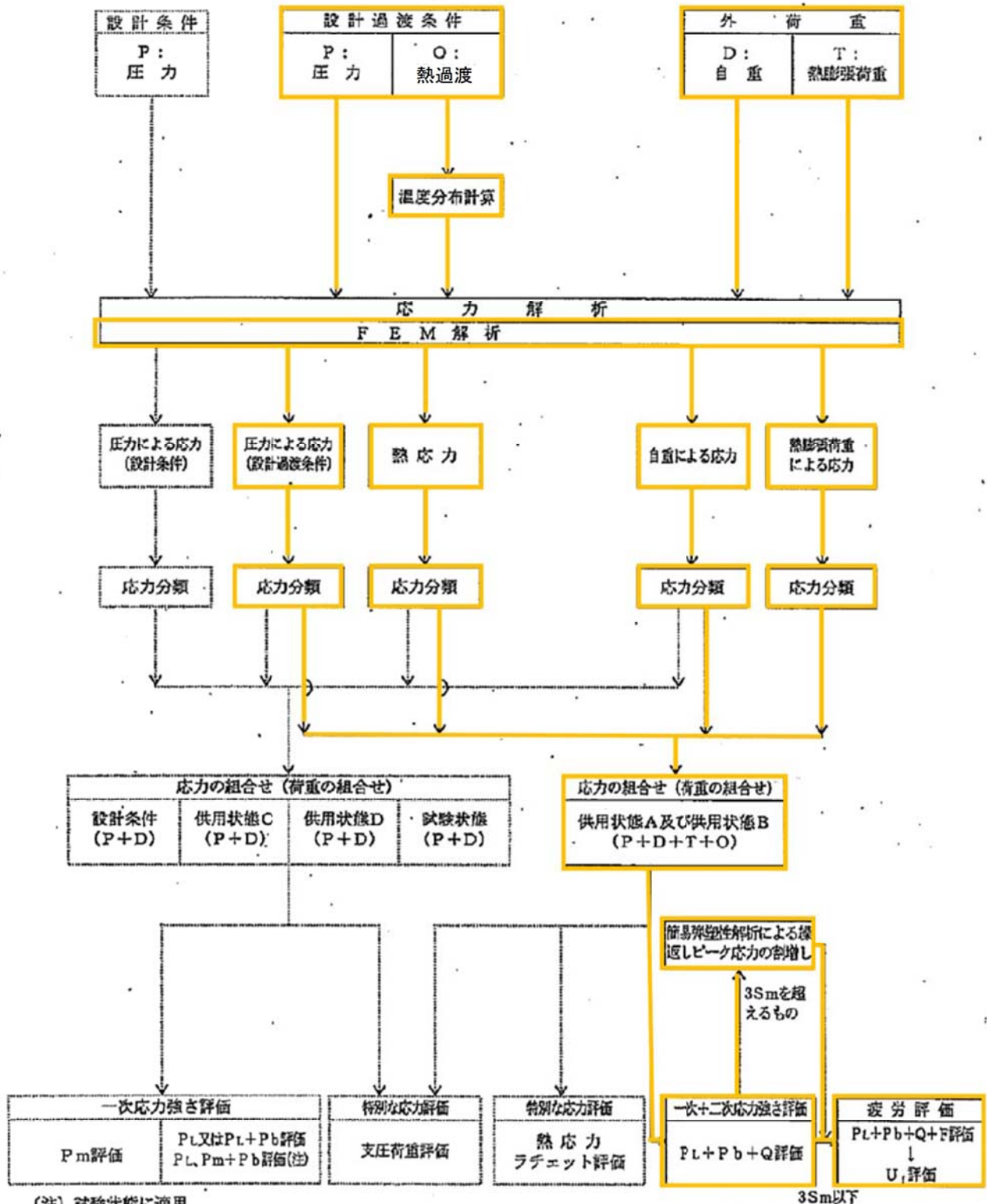
※INは接液部、OUTは大気中の評価点を表す

支持脚 (3) 疲労評価結果 (評価点 : 561374)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
848.1	-210.0	1.69	895.9	78	550	0.14182
706.0	-145.3	1.49	636.3	5	1680	0.00298
642.5	-145.3	1.43	564.6	59	2590	0.02278
642.5	0.0	1.0	321.3	5	29200	0.00017
630.1	0.0	1.0	315.0	6	32200	0.00019
610.2	0.0	1.0	305.1	84	37900	0.00222
609.9	0.0	1.0	305.0	1	38000	0.00003
606.7	0.0	1.0	303.4	7	39000	0.00018
601.8	0.0	1.0	300.9	3	40600	0.00007
601.2	0.0	1.0	300.6	178	40800	0.00436
601.2	18.4	1.0	291.4	52	47700	0.00109
594.2	341.3	1.17	148.5	1	1730000	0.00000
594.2	359.8	1.18	137.9	1	2270000	0.00000
594.2	463.4	1.17	76.4	6		0.0
TOTAL =						0.17588

→通常UF : 0.176

応力評価フロー



Ke係数と環境疲労パラメータ (吸込ノズル 評価点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		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
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2I1	104.7	-465.5	1.00	285.1	314.9	1	53600	0.00002	10.817	0.00020
2I1	104.7	-327.9	1.00	216.3	239.0	1	251000	0.00000	12.216	0.00005
2I1	104.7	-267.2	1.00	185.9	205.4	1	667000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	104.7	-248.1	1.00	176.4	194.9	6	969000	0.00001	1.000	0.00001
2I1	104.7	-220.6	1.00	162.6	179.7	2	1280000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	104.7	-200.1	1.00	152.4	168.4	4	1590000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	104.7	-175.1	1.00	139.9	154.5	49	2140000	0.00002	1.000	0.00002
1A1	100.1	-175.1	1.00	137.6	152.0	3	2290000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	100.1	-174.7	1.00	137.4	151.8	1	2310000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	100.1	-163.7	1.00	131.9	145.7	74	2760000	0.00003	1.000	0.00003
NSS	0.0	-163.7	1.00	81.8	90.4	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00031

→環境UF: 0.001

Ke係数と環境疲労パラメータ（吐出ノズル 評価点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 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
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
A B										
2D3	412.7	-221.1	1.54	488.8	540.0	1	4460	0.00022	16.947	0.00380
1B1	376.7	-221.1	1.53	457.5	505.5	77	5770	0.01334	16.103	0.21490
1B1	376.7	-194.9	1.46	416.3	459.9	1	8440	0.00012	9.580	0.00114
2G1	349.0	-194.9	1.34	365.2	403.5	1	15400	0.00006	11.668	0.00076
2I2	327.0	-194.9	1.29	336.6	371.8	62	23100	0.00258	7.987	0.02144
2I2	327.0	0.0	1.00	163.5	180.6	2	1260000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	303.4	0.0	1.00	151.7	167.6	6	1610000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	252.7	0.0	1.00	126.4	139.6	1	3320000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	251.2	0.0	1.00	125.6	138.8	2	3400000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	239.0	0.0	1.00	119.5	132.0	4	4220000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	224.1	0.0	1.00	112.1	123.8	5	5810000	0.00000	1.000	0.00000
1K1	221.5	0.0	1.00	110.7	122.3	69	6240000	0.00001	1.000	0.00001
2A1	220.6	0.0	1.00	110.3	121.9	6	6390000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	217.2	0.0	1.00	108.6	120.0	189	7010000	0.00003	1.000	0.00003
1C1	217.2	28.3	1.00	94.4	104.3	52	22000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	217.2	116.0	1.00	50.6	55.9	5	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：										0.24208

→環境UF：0.243



Ke係数と環境疲労パラメータ (支持脚 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
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt					
A B										
2D3	356.7	-200.2	1.45	404.1	446.4	1	9510	0.00011	16.963	0.00178
1B1	315.6	-200.2	1.42	367.3	405.8	77	15000	0.00513	16.522	0.08481
1B1	315.6	-178.4	1.35	333.4	368.3	1	24300	0.00004	9.617	0.00040
2G1	285.1	-178.4	1.19	276.6	305.6	1	63100	0.00002	12.037	0.00019
2I2	276.7	-178.4	1.19	271.2	299.6	62	70400	0.00088	8.031	0.00707
2I2	276.7	0.0	1.00	138.3	152.8	2	2240000	0.00000	1.000	0.00000
2J1	245.0	0.0	1.00	122.5	135.3	6	3790000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	201.9	0.0	1.00	101.0	111.5	2	11300000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	192.3	0.0	1.00	96.2	106.3	1	17800000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	190.0	0.0	1.00	95.0	105.0	4	20000000	0.00000	1.000	0.00000
1K1	165.4	0.0	1.00	82.7	91.4	69	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.09426

→環境UF: 0.095



タイトル	再生クーラおよび余熱除去クーラの疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>再生クーラおよび余熱除去クーラの管板の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p><b>【再生クーラ】</b></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="475 853 1313 1055"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.7</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="border: 1px dashed black;"></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>解析モデルおよび評価点を添付 1 に示す。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="448 1211 1337 1491"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th rowspan="2">使用部位</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S m (MP a)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SUS316TP</td> <td>胴板</td> <td rowspan="3">1 2 0</td> <td rowspan="3">2 9 0 . 0</td> </tr> <tr> <td>SUSF316</td> <td>鏡板</td> </tr> <tr> <td>SUSF316</td> <td>管板</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。 解析モデル上の最大評価点の選定結果を、添付 2 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.7	要素種類		要素次数	節点数	要素数	材料	使用部位	設計応力強さ		S m (MP a)	温度 (°C)	SUS316TP	胴板	1 2 0	2 9 0 . 0	SUSF316	鏡板	SUSF316	管板
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.7																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
材料	使用部位	設計応力強さ																				
		S m (MP a)	温度 (°C)																			
SUS316TP	胴板	1 2 0	2 9 0 . 0																			
SUSF316	鏡板																					
SUSF316	管板																					

#### 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3に示す。

状態	荷重の組合せ
供用状態 A、B	圧力+熱過渡荷重

#### 5. Ke係数および環境評価パラメータ

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4に示す。

#### 【余熱除去クーラ】

#### 6. 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。

解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.7
要素種類	
要素次数	
節点数	
要素数	

解析モデルおよび評価点を添付5に示す。

#### 7. 材料物性

材料物性値を以下に示す。

材料	使用部位	設計応力強さ	
		Sm (MPa)	温度 (°C)
SB410	胴板	130	95.0
SF490A	胴側フランジ	150	95.0
SUSF304 SUS304-HP	管板 管側鏡板 管側フランジ	129	200.0

#### 8. 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。

解析モデル上の最大評価点の選定結果を、添付6に示す。

9. 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3に示す。

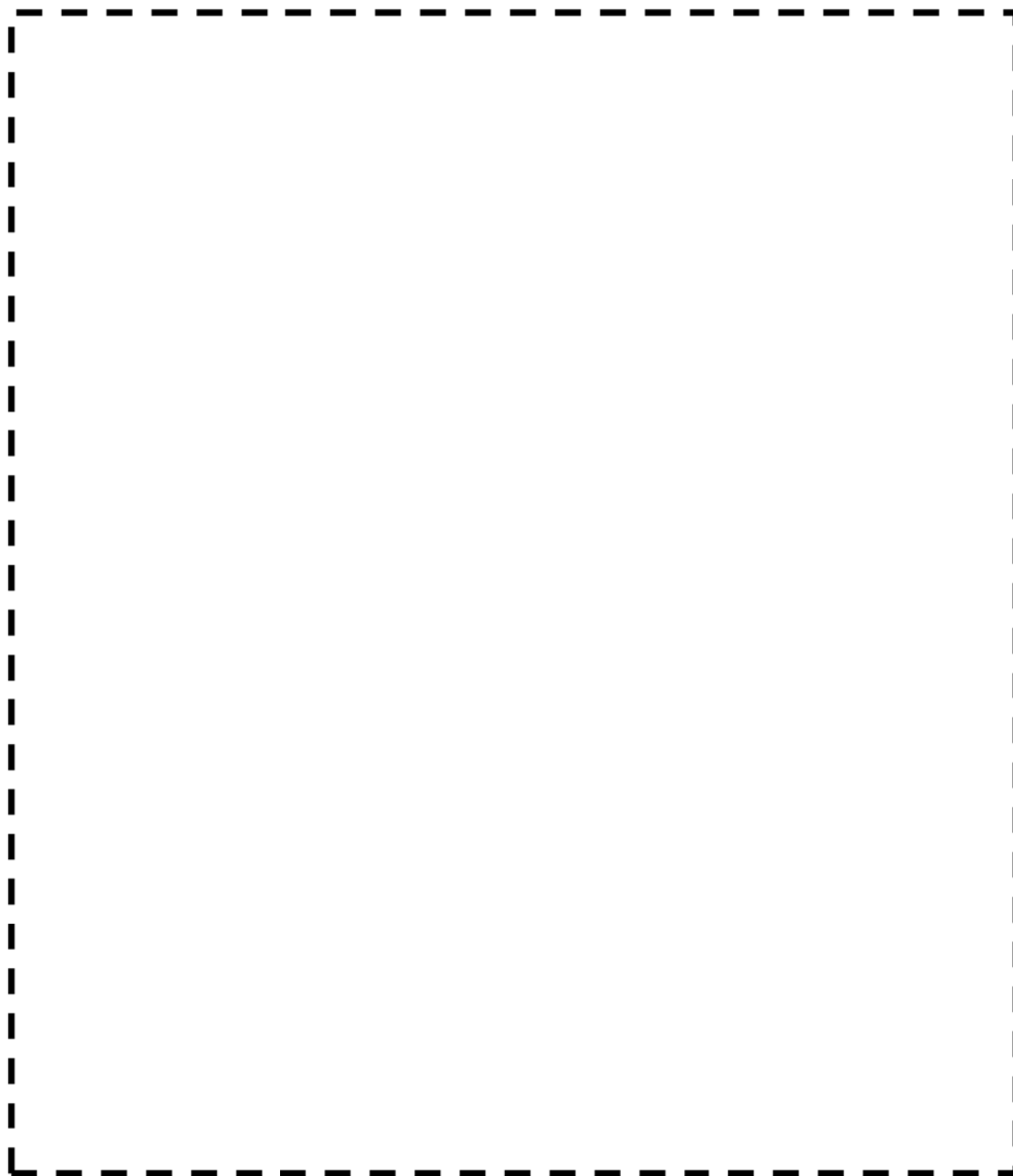
状態	荷重の組合せ
供用状態 A、B	圧力+ボルトの締付力+熱過渡荷重

10. Ke係数および環境評価パラメータ

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7に示す。

11. 伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法

伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法については添付8に示す。



再生クーラ 解析モデルおよび評価点

解析モデルは、上記のように中心軸対称として作成している。温度条件は充てん水の入口側と出口側で水室の温度条件が異なるが、入口条件、出口条件それぞれの過渡を入力して評価している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 再生クーラ 最大疲労評価点の選定

(MPa (疲れ累積係数除く))

評価点			一次+二次応力強さ		疲れ累積係数		
			$P_L + P_b + Q$	許容値	部位	U. F	許容値
管板部	1	入口	377.2*	3Sm=360	胴側	0.00194	1.0
		出口	411.3*		管側	0.00104	
	2	入口	377.6*		胴側	0.00187	
		出口	410.7*		管側	0.00103	
	3	入口	379.3*		胴側	0.00171	
		出口	414.3*		管側	0.00097	
	4	入口	380.5*		胴側	(0.00428)	
		出口	(428.9)*		管側	0.00361	
一般部	5	入口	184.8		胴側	0.00085	
		出口	270.7		管側	0.00019	
	6	入口	330.7		管側	0.05637	
		出口	419.8*		管側	0.01489	
	7	入口	871.7*		内面側	0.17487	
		出口	195.0		内面側	0.00006	
	8	入口	(649.7)*		内面側	0.11966	
		出口	391.7*		内面側	0.00161	
	9	入口	403.7*	内面側	(0.16451)		
		出口	589.6*	内面側	0.06133		
	10	入口	172.3	—	0.00000		
		出口	449.3*	内面側	0.00057		
	11	入口	159.3	—	0.00000		
		出口	406.4*	内面側	0.00044		

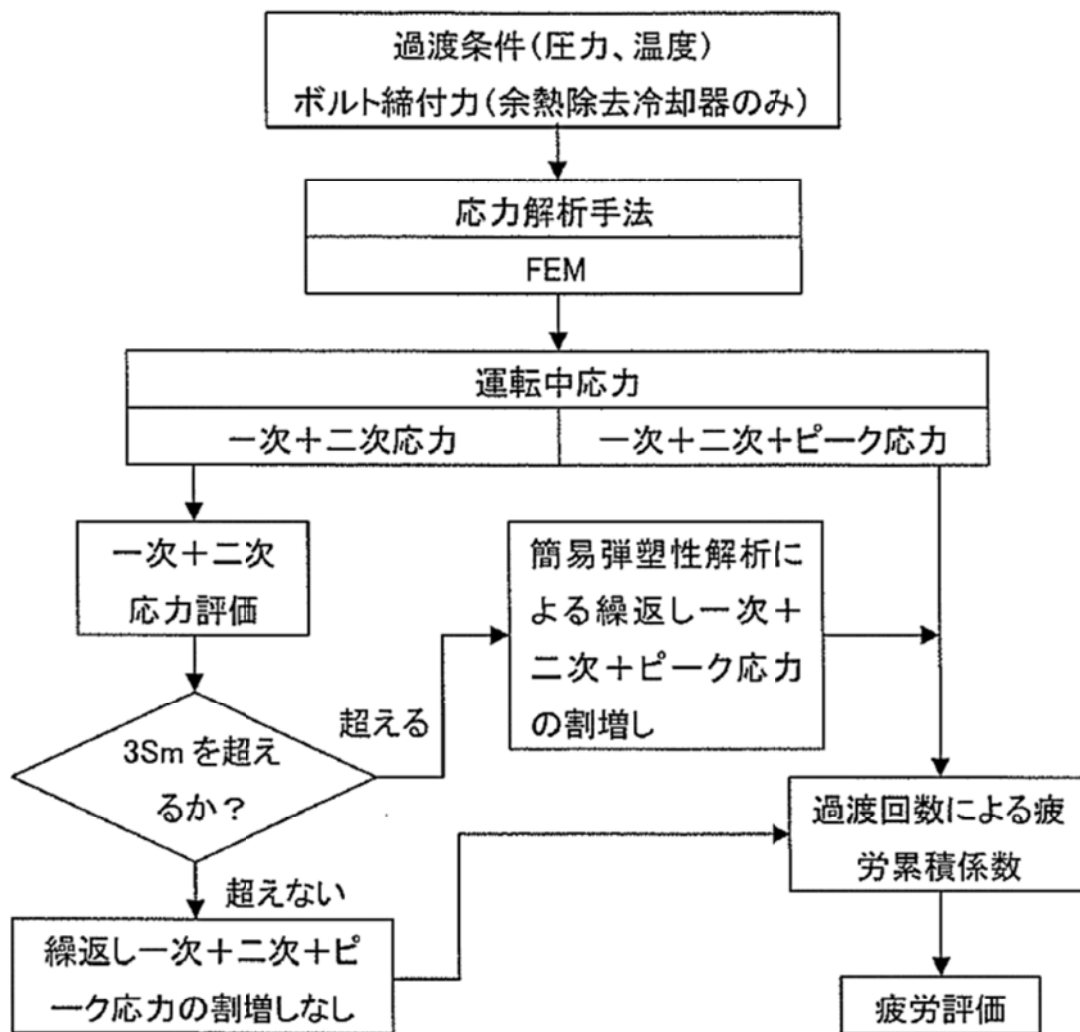
→通常UF : 0.165

注) 1. \*印は、3Smを超えているため JSME S NC1 PVB-3300 を適用する。

2. ( )はそれぞれの部位における最大値である。

3. 評価点における入口と出口とは評価に用いる過渡の入口側と出口側のことを示す。

## 応力評価フロー

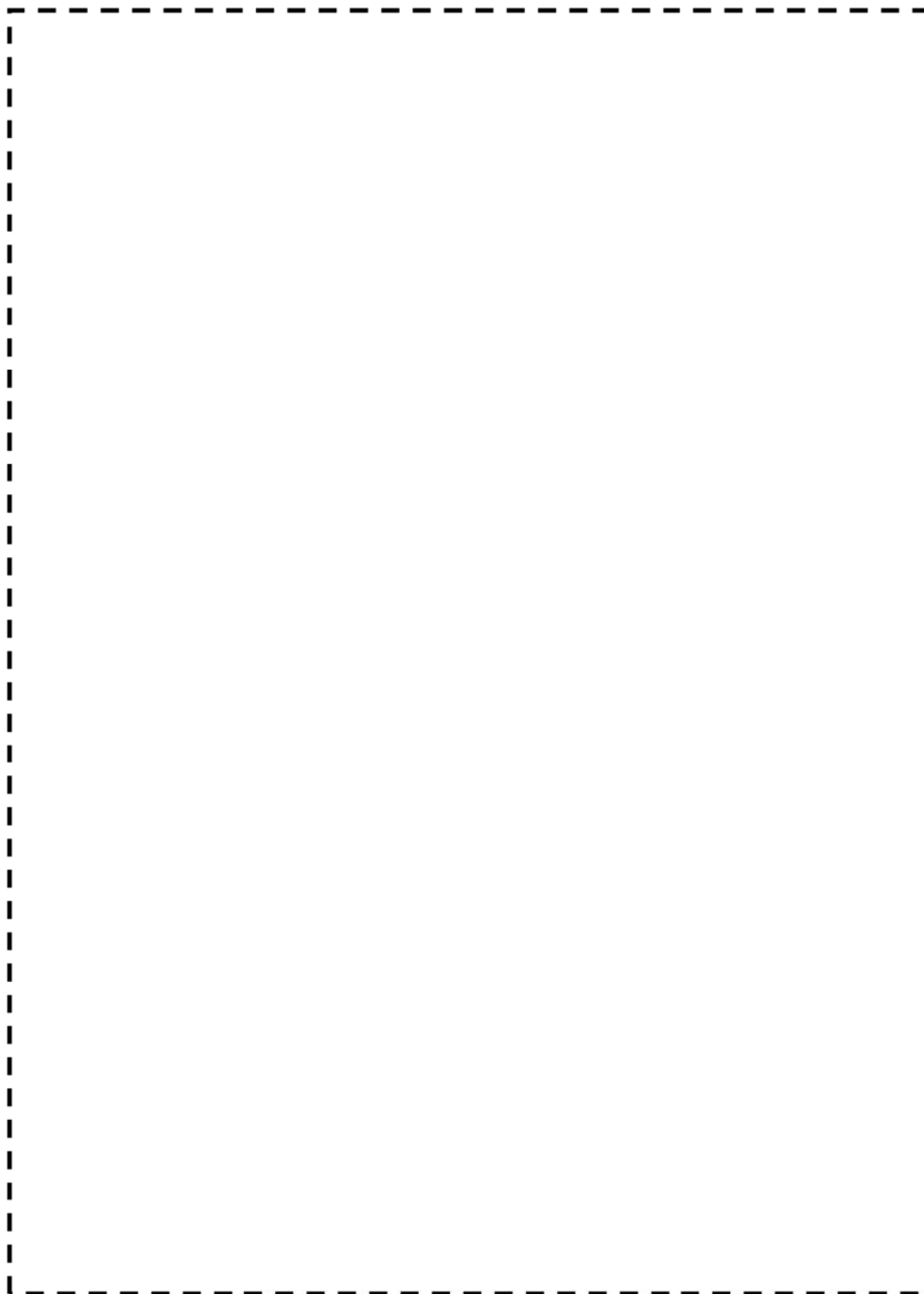




Ke 係数と環境疲労パラメータ (再生クォーラ) (詳細評価手法: 評価断面9)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		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
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1H1	100.7	-597.0	1.38	481.3	533.2	78	4680	0.01667	1.498	0.02497
1I1	47.5	-595.8	1.33	429.1	475.4	78	7390	0.01055	1.018	0.01074
NSS 1G1	0.0	-595.8	1.28	380.4	421.5	628	12400	0.05065	1.325	0.06708
NSS 1D2	0.0	-595.5	1.00	297.8	329.9	709	42200	0.01680	1.592	0.02675
NSS 1G2	0.0	-591.4	1.00	295.7	327.6	706	43700	0.01616	1.000	0.01616
NSS 1E1	0.0	-589.0	1.00	294.5	326.3	730	44600	0.01637	1.588	0.02599
NSS 1H1	0.0	-588.1	1.00	294.1	325.8	78	44900	0.00174	1.445	0.00251
NSS 1E2	0.0	-587.9	1.00	294.0	325.7	730	45000	0.01622	1.000	0.01622
NSS 1A1	0.0	-586.5	1.00	293.2	324.9	7	45600	0.00015	1.000	0.00015
NSS 1C1	0.0	-586.5	1.00	293.2	324.9	3	45600	0.00007	1.000	0.00007
NSS 1D1	0.0	-586.5	1.00	293.2	324.9	709	45600	0.01555	1.000	0.01555
NSS 1F1	0.0	-586.5	1.00	293.2	324.9	78	45600	0.00171	1.000	0.00171
NSS 1A2	0.0	-586.5	1.00	293.2	324.9	7	45600	0.00015	1.555	0.00024
NSS 1B1	0.0	-581.9	1.00	291.0	322.4	1	47400	0.00002	1.000	0.00002
NSS 1B2	0.0	-581.9	1.00	290.9	322.4	1	47400	0.00002	1.522	0.00003
NSS 1C2	0.0	-581.9	1.00	290.9	322.4	3	47400	0.00006	1.522	0.00010
NSS 1I1	0.0	-580.5	1.00	290.2	321.6	78	48000	0.00163	1.000	0.00163
NSS NSS	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	155	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計: 0.16451										
→ 通常UF: 0.165										
→ 環境UF: 0.210										

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



余熱除去クーラ 解析モデルおよび評価点

解析モデルは、上記のように中心軸対称として作成している。温度条件は1次冷却水の入口側と出口側で水室の温度条件が異なるが、入口条件、出口条件それぞれの過渡を入力して評価している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 余熱除去クーラ 最大疲労評価点の選定

(MPa (疲れ評価を除く))

評価点			一次+二次応力強さ		疲れ累積係数		
			$P_L + P_b + Q$	許容値	部位	U.F	許容値
管板部	1	入口	245.1	3Sm=387	胴側	0.00029	1.0
		出口	162.5		—	0.00000	
	2	入口	245.4		胴側	0.00029	
		出口	162.8		—	0.00000	
	3	入口	245.9		胴側	0.00028	
		出口	163.3		—	0.00000	
	4	入口	246.5		胴側	0.00052	
		出口	164.3		—	0.00000	
	5	入口	(296.2)		胴側	(0.03121)	
		出口	217.6		胴側	0.00408	
一般部	6	入口	266.3	胴側	0.00035		
		出口	284.2	管側, 胴側	0.00010		
	7	入口	(398.6)*	胴側	0.00069		
		出口	309.0	管側	0.00013		
	8	入口	29.8	—	0.00000		
		出口	30.5	—	0.00000		
	9	入口	360.8	3Sm=390	内面側	(0.00463)	
		出口	317.4	内面側	0.00312		
	10	入口	175.5	3Sm=450	内面側	0.00082	
		出口	152.2	内面側	0.00045		
	11	入口	316.8	3Sm=387	内外面側	0.00009	
		出口	240.3		内面側	0.00005	
	12	入口	276.1		外面側	0.00008	
		出口	330.8		外面側	0.00012	
13	入口	159.4	—		0.00000		
	出口	194.4	内面側		0.00001		
14	入口	89.0	—		0.00000		
	出口	163.5	—		0.00000		

注) 1. \*印は、3Sm を超えているため JSME S NC1 PVB-3300 を適用する。 →通常UF : 0.032

2. ( ) はそれぞれの部位における最大値である。

3. 評価点における入口と出口とは評価に用いる過渡の入口側と出口側のことを示す。

Ke係数と環境疲労パラメータ (余熱除去クローラ) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt					
A 1B1 NSS	1008.4	0.0	1.00	504.2	537.3	142	4550	0.03121	1.387	0.04328
合計 : 0.03121										
→通常UF : 0.032										
→環境UF : 0.044										

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

伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法

管板は穴明き部を簡易的に評価するため、ASME「ARTICLE A-8000 STRESSES IN PERFORATED FLAT PLATES」に基づき等価中実円板にモデル化して評価している。

ここで、管板を等価中実円板としてモデル化するために縦弾性係数及びポアソン比は図1のグラフ (A-8131-1) に基づき補正している。等価縦弾性係数と縦弾性係数の比、及び等価ポアソン比を表 1 に示す。

また、応力集中については図2に示す応力指数のグラフ (A-8142-2) からYmaxを読み取り、式 (1) の通り発生応力に応力指数を掛け合わせている。なお、読み取りに必要なβは等価中実円板の半径方向応力と周方向応力の比となるので、Ymaxの値は解析モデルの要素ごとに変わる値となる。

$$S = Y_{max} (p/h) \sigma_1 + P \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

S : 応力強さ、Ymax : 応力指数、p : 管穴ピッチ、h : リガメント幅、σ1 : 主応力、P : 圧力

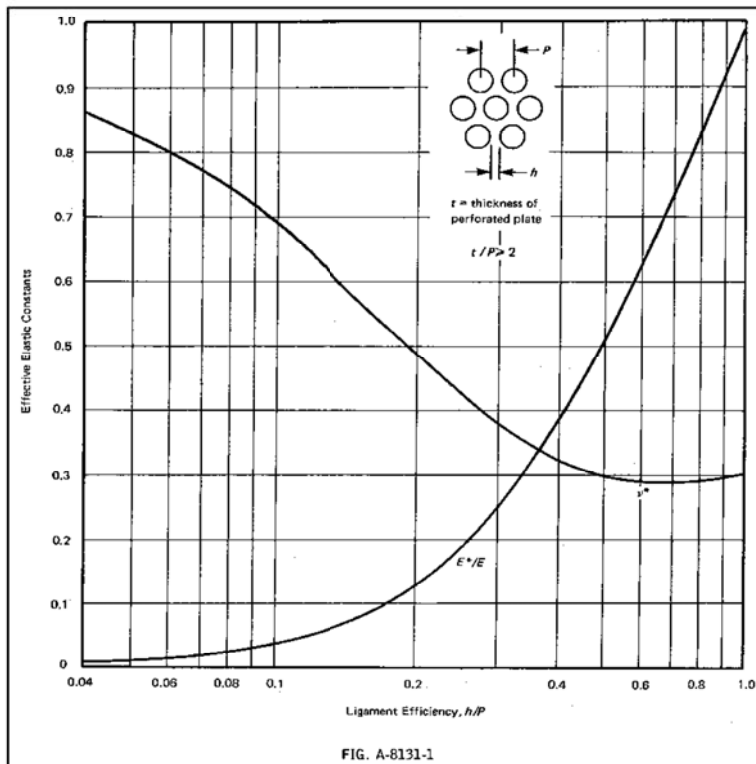


図1 等価縦弾性係数と等価ポアソン比

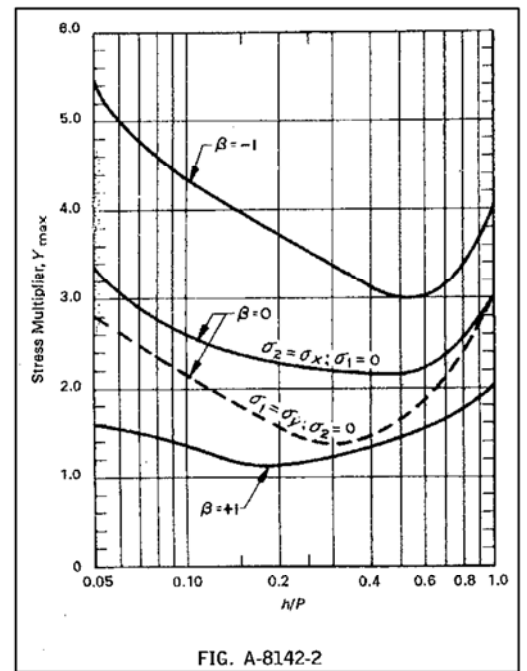


図2 応力指数

表 1 等価縦弾性係数E\*と縦弾性係数Eの比、及び等価ポアソン比ν\*

		h [mm]	p [mm]	η = h/p	E*/E	ν*
美浜 3 号機	再生クーラ					
	余熱除去クーラ					

η : リガメント効率、E\* : 等価縦弾性係数、E : 縦弾性係数、ν\* : 等価ポアソン比

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



## 管板周りの疲労評価における解析モデルの妥当性について

### ○仕切板の影響について

余熱除去クーラ及び再生クーラ水室の入口側と出口側の仕切板は、管板と溶接等で接合されてはいないため、管板に対する仕切板の熱伸び等による有意な影響はないと考えられる。そのため、水室の仕切板はモデルに考慮していない。

### ○管側水室の温度条件について

管側水室の温度条件は1次冷却材の入口と出口側で異なるが、入口条件、出口条件それぞれの過渡を入力して評価している。理由を以下に示す。

余熱除去クーラ及び再生クーラの管板周りにおいては、胴側と水室側の温度差により管板が曲がろうとするため、管板と胴の境界周辺の構造不連続部に大きな応力が発生する。

図1に、胴側が低温流体、水室側が高温流体の場合のイメージ図を示す。仕切板を考慮した場合は図1(a)のように、胴側との温度差が大きくなる水室入口側は管板の半分の領域に接するため、管板の熱曲げによる応力は主にこの領域で発生する。

一方、疲労評価では図1(b)のように仕切板を考慮せず、管板全体が最大温度差を受けるモデルとすることで、管板の変形が大きくなり、管板の熱曲げによる応力が大きく評価される。

したがって、図1(b)の方が熱過渡による疲労評価として厳しい評価となる。

ここで、水室側において入口側と出口側が隣り合う部分（管板と仕切板の交差部周辺）では、入口側と出口側の温度差により熱応力は生じるが、温度差は胴側一水室入口側より小さいこと、及び曲げの生じる方向が管板全体の曲げとは異なることから、管板全体への影響は小さいと考える。

以上から管側水室の入口側と出口側の温度差による影響は、より温度差の大きい胴側と管側入口側の温度差を考慮した評価により確認されていると判断し、解析モデルに考慮していない。

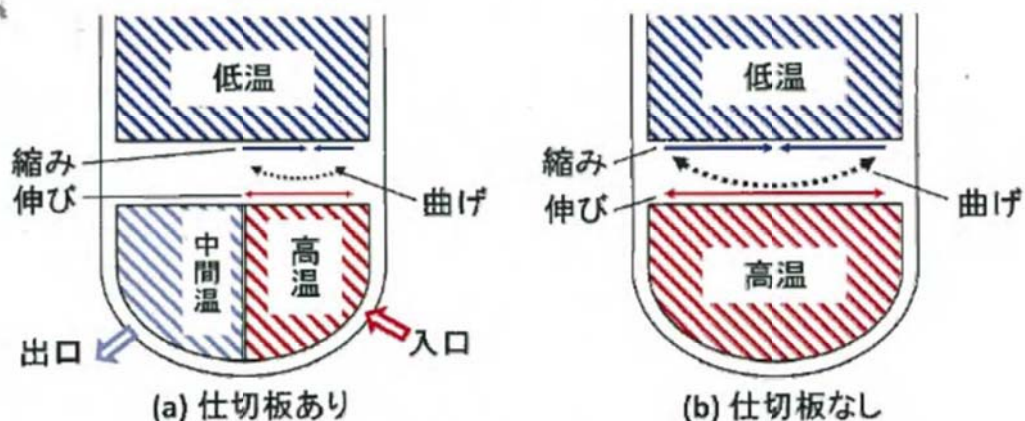


図1: 管板周りのイメージ図



タイトル	蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について																								
説明	<p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="459 815 1297 1099"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3-1</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 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 1211 1366 1478"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S<sub>m</sub> (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>S F V Q 2 A</td> <td>1 8 4</td> <td>2 7 6 . 9</td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> <td>S F V Q 1 A</td> <td>1 8 4</td> <td>3 2 2 . 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。</p> <p>管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施している。</p> <p>また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。</p> <p>解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1	要素種類		要素次数		節点数		要素数		使用箇所	材料	設計応力強さ		S <sub>m</sub> (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台	S F V Q 2 A	1 8 4	2 7 6 . 9	管板及び管板廻り	S F V Q 1 A	1 8 4	3 2 2 . 8
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1																								
要素種類																									
要素次数																									
節点数																									
要素数																									
使用箇所	材料	設計応力強さ																							
		S <sub>m</sub> (MPa)	温度 (°C)																						
給水入口管台	S F V Q 2 A	1 8 4	2 7 6 . 9																						
管板及び管板廻り	S F V Q 1 A	1 8 4	3 2 2 . 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。

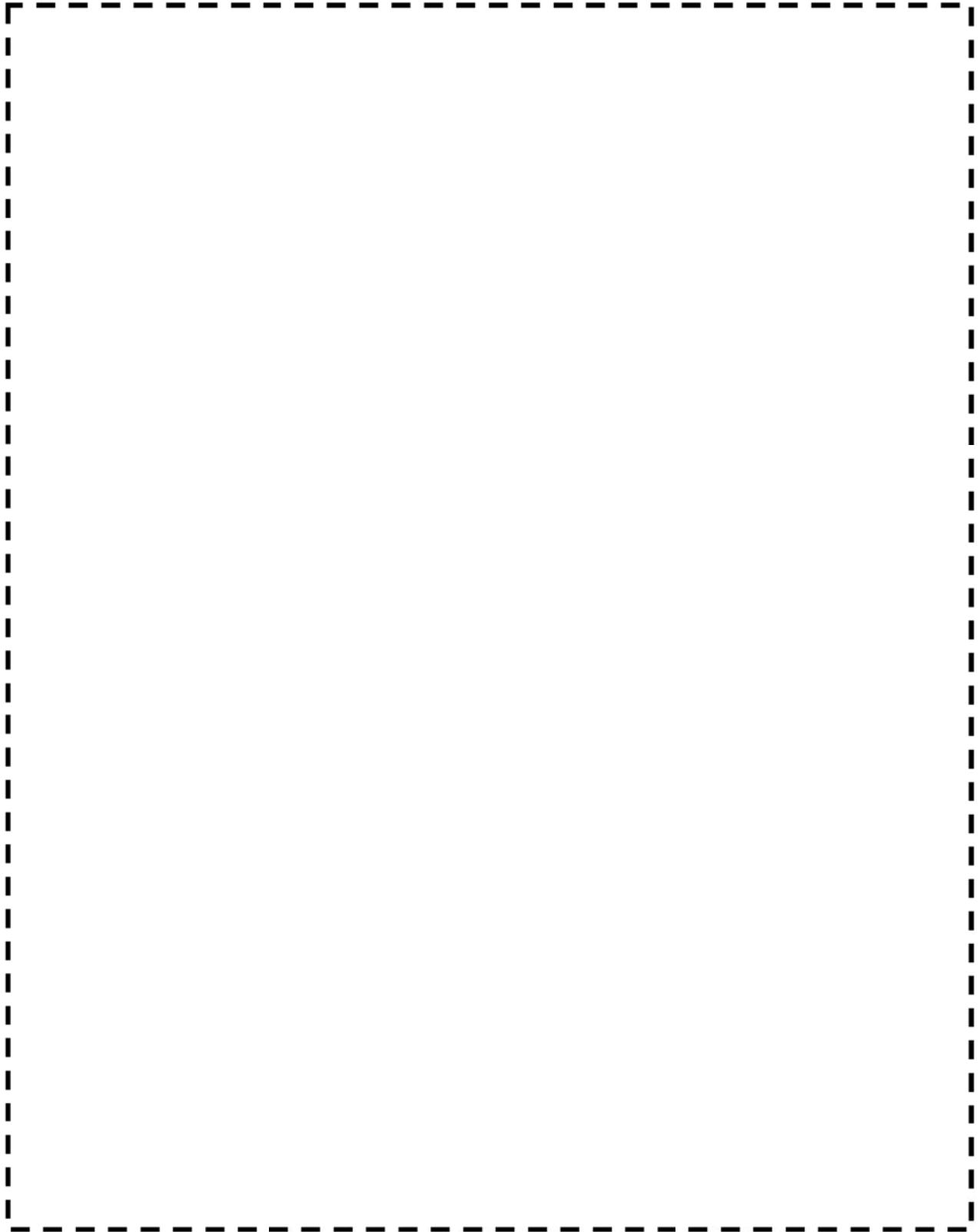
状態	荷重の組合せ
供用状態A, B	圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡

#### 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1、3に示す。

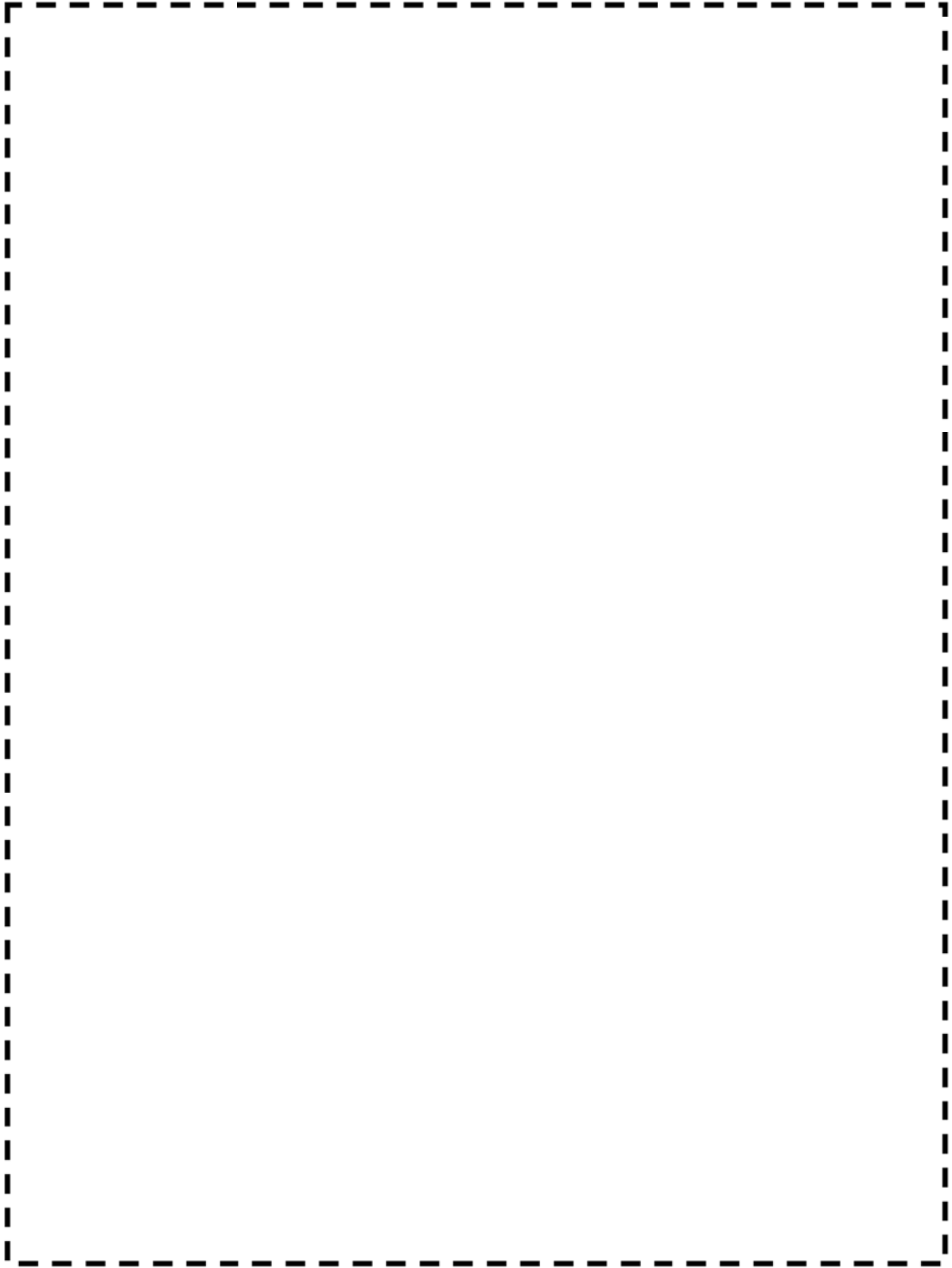
なお、評価に用いた溶存酸素濃度は、主給水の管理基準より5ppbとした。

評価に用いた材料中の硫黄含有量は、原子炉压力容器部品に用いる場合の規格値より0.025%とした。



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (1 / 2)  
管板および管板廻り

評価点	材 質	接液	Uf
1	SFVQ1A	○	0.02571
2	SFVQ1A		0.00133
3	SFVQ1A		0.07687
4	SFVQ1A		0.00016
1次側 R/R*=0.0	SFVQ1A		0.00872
1次側 R/R*=1.0	SFVQ1A		0.09479
2次側 R/R*=0.0	SFVQ1A	○	0.02357
2次側 R/R*=1.0	SFVQ1A	○	0.01899

疲労累積係数(最大)  
(ただし、非接液)

→通常Uf : 0.095

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2 / 2)  
給水入口管台

評価点	材 質	接液	Uf
1	SFVQ2A	○	0.00398
2	SFVQ2A		0.00176
3	SFVQ2A	○	0.01231
4	SFVQ2A		0.00169
5	SFVQ2A	○	0.01922
6	SFVQ2A		0.00002
7	SFVQ2A	○	0.07266
8	SFVQ2A	○	0.03643
9L	SFVQ2A	○	0.04367
10L	SFVQ2A		0.00342
9C	SFVQ2A	○	0.00147
10C	SFVQ2A		0.01797
11L	SFVQ2A	○	0.04732
12L	SFVQ2A		0.00298
11C	SFVQ2A	○	0.00103
12C	SFVQ2A		0.01768
13L	SFVQ2A	○	0.04547
14L	SFVQ2A		0.00285
13C	SFVQ2A	○	0.00113
14C	SFVQ2A		0.01715

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 管板及び管板廻り (評価点: 1次側 R/R\*=1.0)

評価点 - P1 SIDE R/R\* = 1.0

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
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	37	658	0.05623
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	1	2390	0.00042
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	112	5080	0.02205
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	2	311000	0.00001
550.3	397.3	1.0	76.5	91.6	309	573000	0.00054
543.3	397.3	1.0	73.0	87.4	4	867000	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 =							0.09479

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:0.095



蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 7)

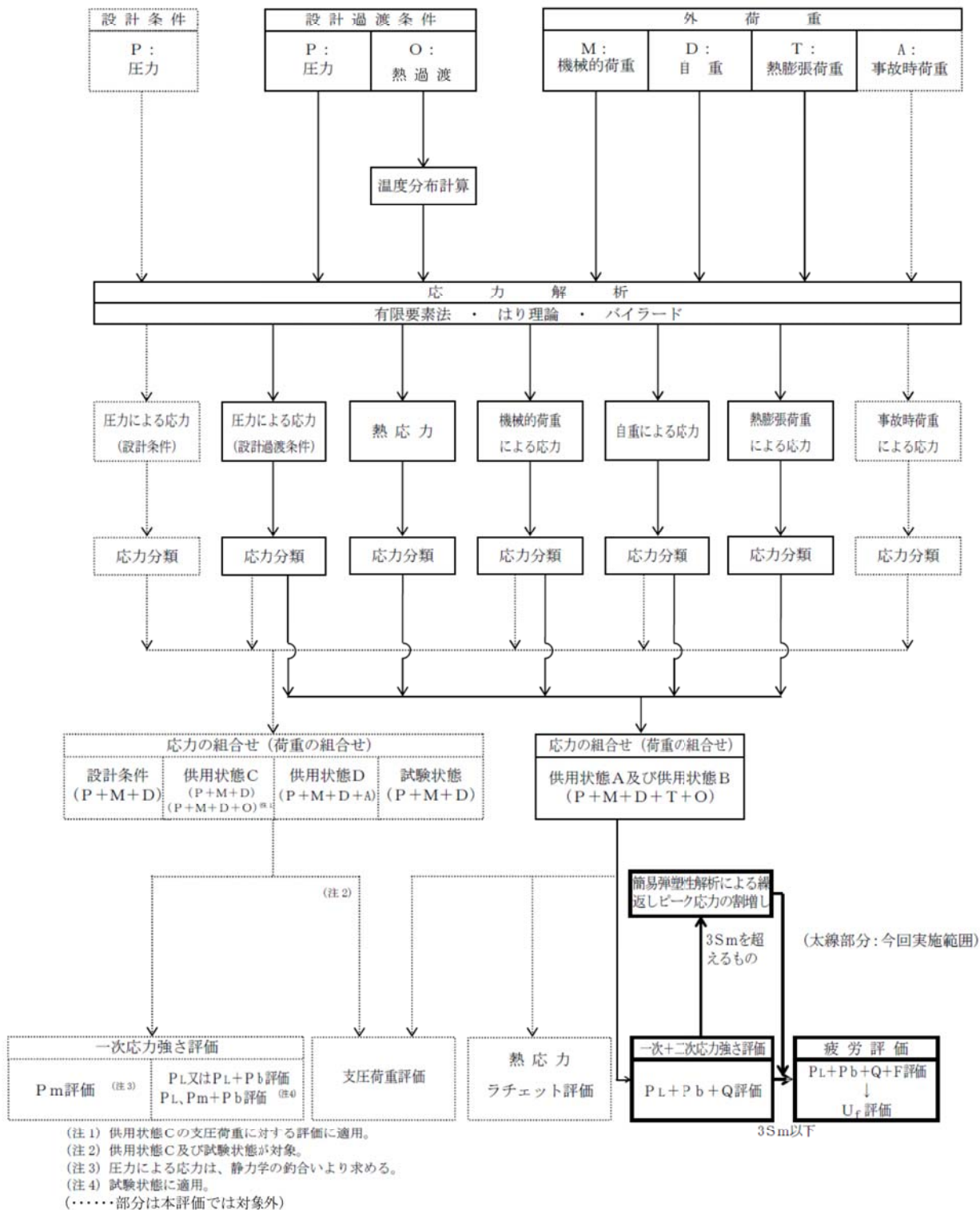
評価点 - 7  
(S12)

応力強さ		( 単位 : MPa )			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
153.2	-655.5	1.70	688.6	805.3	1	389	0.00257
153.2	-653.9	1.69	682.5	798.2	1	397	0.00252
153.2	-653.3	1.69	681.8	797.3	1	398	0.00251
153.2	-636.4	1.67	660.3	772.2	1	429	0.00233
153.2	-452.2	1.25	379.8	444.1	3	1960	0.00153
-33.8	-314.8	1.69	237.7	278.0	1	8380	0.00012
-35.0	-314.8	1.69	236.6	276.7	1	8500	0.00012
-33.0	-314.8	1.67	235.7	275.7	1	8590	0.00012
153.2	-314.8	1.0	234.0	273.7	44	8780	0.00501
131.7	-314.8	1.0	223.3	261.1	4	10100	0.00040
131.7	-283.8	1.0	207.8	243.0	4	12800	0.00031
131.7	-236.0	1.0	183.9	215.0	1	19600	0.00005
131.7	-228.3	1.0	180.0	210.5	464	21000	0.02210
131.7	-219.7	1.0	175.7	205.5	50	22600	0.00221
131.7	-219.4	1.0	175.6	205.3	46	22700	0.00203
131.7	-215.6	1.0	173.6	203.1	526	23500	0.02238
115.5	-215.6	1.0	165.5	193.6	47	27200	0.00173
75.7	-215.6	1.0	145.6	170.3	47	40400	0.00116
49.0	-215.6	1.0	132.3	154.7	39	57200	0.00068
-29.2	-215.6	1.18	109.6	128.1	3	130000	0.00002
0.0	-215.6	1.0	107.8	126.0	86	138000	0.00062
-25.6	-215.6	1.0	95.0	111.1	347	224000	0.00155
-25.6	-213.1	1.0	93.8	109.6	119	238000	0.00050
-27.5	-213.1	1.0	92.8	108.5	2	249000	0.00001
-32.3	-213.1	1.0	90.4	105.7	4	280000	0.00001
-33.1	-213.1	1.0	90.0	105.3	4	286000	0.00001
-33.3	-213.1	1.0	89.9	105.1	1	288000	0.00000
-33.9	-213.1	1.0	89.6	104.8	3	292000	0.00001
-33.9	-213.1	1.0	89.6	104.8	1	292000	0.00000
-34.6	-213.1	1.0	89.3	104.4	1	297000	0.00000
-35.2	-213.1	1.0	88.9	104.0	1	302000	0.00000
-35.4	-213.1	1.0	88.8	103.9	4	303000	0.00001
-38.8	-213.1	1.0	87.1	101.9	3	331000	0.00001
-47.9	-213.1	1.0	82.6	96.6	1	421000	0.00000
-48.6	-213.1	1.0	82.3	96.2	1	429000	0.00000
-74.4	-213.1	1.0	69.3	81.1	1	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.07266

→通常UF:0.073

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

応力評価フロー



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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2E1	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	38	3460	0.01098	1.000	0.01098
1A1	2K1	84.1	-406.3	1.00	245.2	293.4	1	7140	0.00014	4.901	0.00069
1A1	2D5	84.1	-391.0	1.00	237.6	284.3	1	7850	0.00013	4.637	0.00059
1A1	2D3	84.1	-328.6	1.00	206.4	246.9	1	12100	0.00008	4.406	0.00036
1A1	2F1	84.1	-323.2	1.00	203.7	243.7	3	12700	0.00024	4.319	0.00102
1A1	2C1	84.1	-305.9	1.00	195.0	233.4	1	14800	0.00007	4.433	0.00030
1A1	2D1	84.1	-297.0	1.00	190.6	228.0	4	16000	0.00025	4.485	0.00112
1A1	2G1	84.1	-287.9	1.00	186.0	222.6	1	17400	0.00006	4.489	0.00026
1A1	2A1	84.1	-279.6	1.00	181.9	217.6	2	18800	0.00011	4.695	0.00050
1A1	1L1	84.1	-264.2	1.00	174.1	208.4	1	21700	0.00005	4.644	0.00021
1A1	1G1	84.1	-260.6	1.00	172.4	206.2	4	22400	0.00018	5.281	0.00094
1A1	1D1	84.1	-251.3	1.00	167.7	200.7	28	24300	0.00115	5.360	0.00618
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	435	41500	0.01048	5.939	0.06225
1C1	2H2	30.9	-228.0	1.00	129.4	154.8	1	56900	0.00002	4.132	0.00007
1C1	2B1	30.9	-217.8	1.00	124.3	148.8	3	69200	0.00004	6.204	0.00027
1C1	1K1	30.9	-214.0	1.00	122.4	146.5	27	74700	0.00036	5.784	0.00209
NSS	1K1	0.0	-214.0	1.00	107.0	128.0	19	131000	0.00015	6.068	0.00088
NSS	1B1	0.0	-205.3	1.00	102.6	122.8	47	152000	0.00031	1.000	0.00031
NSS	1A1	0.0	-205.3	1.00	102.6	122.8	47	152000	0.00031	4.901	0.00152
NSS	1J1	0.0	-194.2	1.00	97.1	116.2	12	186000	0.00006	6.068	0.00039
1I1	1J1	-19.3	-194.2	1.00	87.4	104.6	38	294000	0.00013	2.135	0.00028
1I1	1L4	-19.3	-185.6	1.00	83.1	99.5	1	369000	0.00000	2.719	0.00001
1E1	1C1	-24.0	-178.5	1.00	77.2	92.4	1	528000	0.00000	5.693	0.00001
1G1	1C1	-27.9	-178.5	1.00	75.3	90.1	4	662000	0.00001	6.036	0.00004
2C1	1C1	-32.8	-178.5	1.00	72.8	87.1	1	890000	0.00000	3.945	0.00000
1F1	1C1	-36.9	-178.5	1.00	70.8	84.7	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.09313

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

→環境UF : 0.094



## Ke 係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点③) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2T1	307.5	-378.1	1.31	449.2	525.4	47	1250	0.03760	2.190	0.08234
1B1	2T1	301.3	-378.1	1.29	438.4	512.7	4	1330	0.00301	1.887	0.00567
2T1	2D5	281.5	-218.3	1.18	295.9	346.1	1	4330	0.00023	1.466	0.00034
2T1	2G1	281.5	-220.8	1.17	293.7	343.5	1	4440	0.00023	1.476	0.00033
2T1	1N1	281.5	-132.9	1.25	259.7	303.7	49	6450	0.00760	2.356	0.01790
1B1	1N1	301.3	-132.9	1.00	217.1	253.9	43	11100	0.00387	2.291	0.00888
1N1	1N1	287.2	-132.9	1.00	210.0	245.6	1003	12400	0.08089	2.325	0.18803
1N1	2D3	287.2	-132.5	1.00	209.8	245.4	1	12400	0.00008	1.752	0.00014
1N1	2E1	287.2	-125.2	1.00	206.2	241.1	1	13200	0.00008	1.940	0.00015
1N1	2B2	287.2	-63.4	1.00	175.3	205.0	3	22800	0.00013	1.566	0.00021
1N1	NSS	287.2	0.0	1.00	143.6	167.9	86	42200	0.00204	6.064	0.01236
1N1	1G1	287.2	209.7	1.00	38.7	45.3	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.31635

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

→環境UF : 0.317

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

美浜3号炉 蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価(熱成層考慮)

## 1. 概要

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

その結果、環境疲労累積係数(以降 環境U. F. と記す)は $0.317 < 1.0$ 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次元の有限要素法解析により行う。

## (1) 熱成層応力の解析モデル

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

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

解析に使用したモデルを図2, 3, 4に示す。

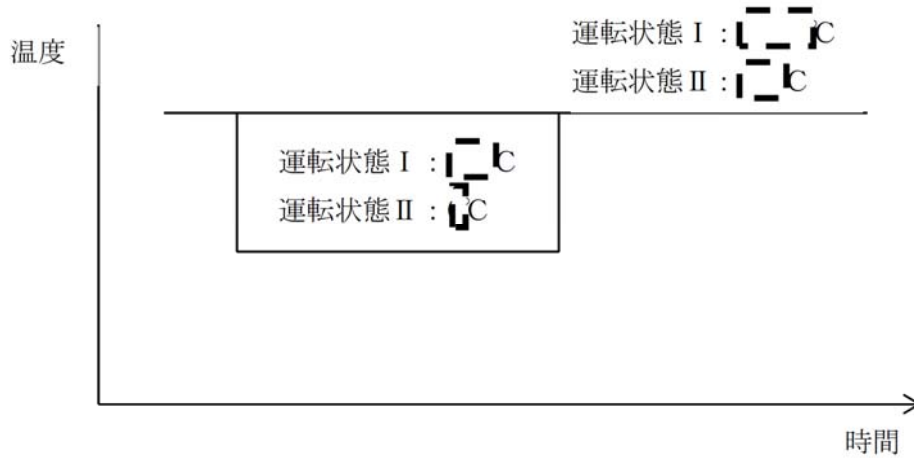
## (2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 6.3を使用する。



(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程は、安全側にステップ状に発生・消滅するものとする。



(4) 熱伝達率

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

単位：W/(m<sup>2</sup>・K)

領域 (注)			I	II	III
運転状態 I	熱成層なし	上部	[Diagram]		
		下部			
	熱成層あり	上部			
		下部			
運転状態 II	熱成層なし	上部			
		下部			
	熱成層あり	上部			
		下部			

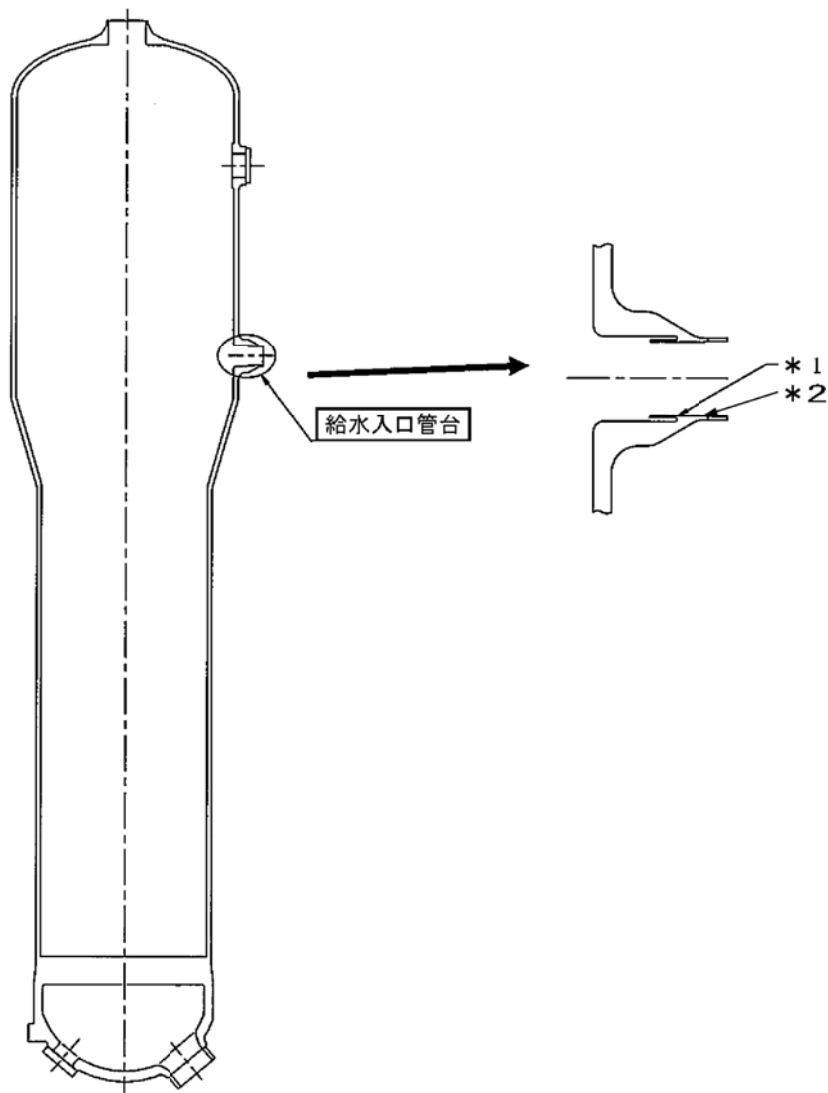
(注) 熱伝達率の領域分けは下図のとおりである。



(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。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



\* 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 美浜3号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位



図2 解析モデル (全体図)



図3 解析モデル (断面図)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



\* 1 : 接液部のうち熱成層による熱応力の影響が大きいと判断される箇所

図4 解析モデル (拡大図)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

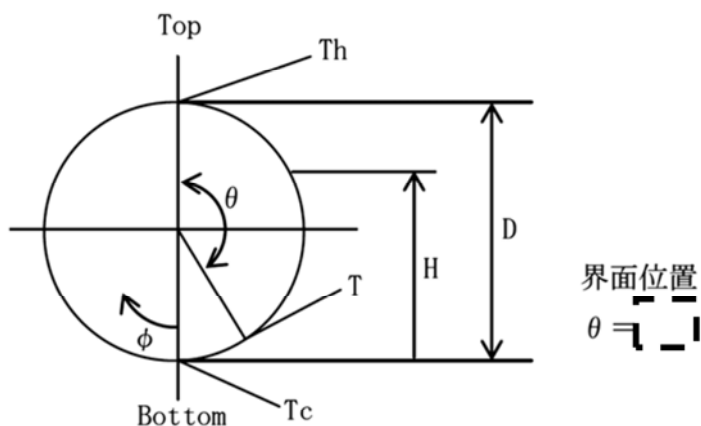
表 1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴	サーマルスリーブ <sup>®</sup>
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 <sup>3</sup> K)	4.39	4.32	4.32	4.13
熱膨脹率 ( $\times 10^{-6}$ mm/mm <sup>3</sup> 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℃) 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  $\theta$  [ ] の場合に最大応力が確認されている。大飯 1 号機と美浜 3 号機では給水管台の形状 (口径) が同等であることから、大飯 1 号機にて最大応力が確認された水平配管頂部からの角度  $\theta$  [ ] を界面位置に設定している。



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

### 3.2 過渡条件

#### (1) 過渡回数

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

#### (2) 温度条件

低温水の微小給水・給水停止の繰返しによる熱成層の発生・消滅を評価する。

### 4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価結果を表2に、過渡記号を表3に示す。

以上



表2 給水入口管台環境疲労評価結果(環境U. F. が最大となる評価点)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1A1	2T1	307.5	-378.1	1.31	449.2	525.4	47	1250	0.03760	2.190	0.08234
1B1	2T1	301.3	-378.1	1.29	438.4	512.7	4	1330	0.00301	1.887	0.00567
	2D5	281.5	-218.3	1.18	295.9	346.1	1	4330	0.00023	1.466	0.00034
	2G1	281.5	-220.8	1.17	293.7	343.5	1	4440	0.00023	1.476	0.00033
	1N1	281.5	-132.9	1.25	259.7	303.7	49	6450	0.00760	2.356	0.01790
	1B1	301.3	-132.9	1.00	217.1	253.9	43	11100	0.00387	2.291	0.00888
	1N1	287.2	-132.9	1.00	210.0	245.6	1003	12400	0.08089	2.325	0.18803
	1N1	287.2	-132.5	1.00	209.8	245.4	1	12400	0.00008	1.752	0.00014
	1N1	287.2	-125.2	1.00	206.2	241.1	1	13200	0.00008	1.940	0.00015
	1N1	287.2	-63.4	1.00	175.3	205.0	3	22800	0.00013	1.566	0.00021
	NSS	287.2	0.0	1.00	143.6	167.9	86	42200	0.00204	6.064	0.01236
	1G1	287.2	209.7	1.00	38.7	45.3	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.31635

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

→環境UF : 0.317

表3 過渡記号

\* : 熱成層の発生を考慮している過渡

記号	過渡事象
1A1	起動(温度上昇率55.6°C/h)
1B1	停止(温度下降率55.6°C/h)
1G1	100%からの大きいステップ状負荷減少
1N1*	運転状態 I における低温注水
2B1	外部電源喪失
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
2D5	100%からの原子炉トリップ 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ
2E1	1次冷却系の異常な減圧
2G1	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動
2T1*	運転状態 II における低温注水
NSS	起動前、停止後等の0応力状態

タイトル	加圧器本体スプレイライン用管台等の疲労累積係数の算出根拠について																							
説明	<p>加圧器本体スプレイライン用管台及びサージ用管台の疲労累積係数以下に示す。</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="459 801 1294 1084"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="432 1198 1362 1565"> <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>3 4 5℃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スプレイライン用管台、サージ用管台</td> <td>ASME SA508 Class2 (SFVQ2A相当)</td> <td>1 8 4</td> </tr> <tr> <td>スプレイライン用管台セーフエンド</td> <td>ASME SA182 Gr. F 316 (SUSF316相当)</td> <td>1 1 4 . 6</td> </tr> <tr> <td>サージ用管台セーフエンド</td> <td>SUSF316</td> <td>1 1 4 . 6</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1	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)	3 4 5℃	スプレイライン用管台、サージ用管台	ASME SA508 Class2 (SFVQ2A相当)	1 8 4	スプレイライン用管台セーフエンド	ASME SA182 Gr. F 316 (SUSF316相当)	1 1 4 . 6	サージ用管台セーフエンド	SUSF316	1 1 4 . 6
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1																							
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)																						
		3 4 5℃																						
スプレイライン用管台、サージ用管台	ASME SA508 Class2 (SFVQ2A相当)	1 8 4																						
スプレイライン用管台セーフエンド	ASME SA182 Gr. F 316 (SUSF316相当)	1 1 4 . 6																						
サージ用管台セーフエンド	SUSF316	1 1 4 . 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。

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

サージ用管台については、管台に作用する外荷重を配管解析で求めており、サージ配管で熱成層が発生した場合の応力を考慮せずに評価しているが、評価に用いる外荷重条件は熱成層を考慮した条件より厳しい評価条件となる。熱成層を考慮した荷重の比較を添付1に示す。

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2に示す。

### 4. 応力分類

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

状態	荷重の組合せ
供用状態 A, B	圧力+熱過渡+自重+熱膨張荷重

### 5. Ke係数および環境評価パラメータ

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4に示す。

サージライン用管台 熱成層を考慮した荷重の比較について

サージライン用管台における熱応力については、管台に作用する外荷重としてサージ配管の熱膨張による応力を配管解析で求めて評価している。サージ配管に発生する各過渡に対して最高温度となり最大応力となる状態を評価条件としており、サージ配管に熱成層が発生した状態は考慮していない。以下にその妥当性を示す。

サージ配管の熱膨張によりサージライン用管台に作用する曲げモーメントと、サージ配管の熱成層を考慮した場合のサージライン用管台に作用する曲げモーメントの概要図を下図に示す。サージ配管の熱膨張による曲げモーメントは配管水平部の膨張方向に作用するが、サージ配管の熱成層により発生するモーメントは高温側と低温側の熱伸び差による曲げモーメントが熱膨張による曲げモーメントを打ち消しあう向きに作用する。

これにより、サージ配管の熱膨張の荷重に熱成層による荷重を考慮すると荷重が小さくなるため、評価に用いる外荷重算出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。



熱膨張による曲げモーメントと熱成層による曲げモーメントの  
作用メカニズムとその作用方向

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

熱膨張による荷重と熱成層を考慮した荷重を比較すると、熱成層を考慮した荷重は熱成層による曲げモーメントが熱膨張と反対側に作用するため、熱膨張のみを考慮した荷重よりも小さくなっている。

また熱成層によりサージ用管台に作用する曲げモーメントの変動は下図②に示すとおり、熱膨張の最大荷重より小さいことから、熱成層の発生・消滅によるサージ用管台の疲労に及ぼす影響は微小であると考えられる。

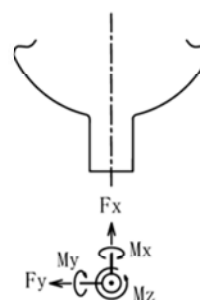
熱膨張による荷重と熱成層を考慮した荷重の比較

①	曲げモーメント (N-m)		
	Mx	My	Mz
各過渡中の最高温度における熱膨張の最大荷重			
熱成層を考慮した荷重			

②	曲げモーメント (N-m)		
	Mx	My	Mz
熱成層発生により作用する曲げモーメント変化分			

(注) z 軸は手前方向である。

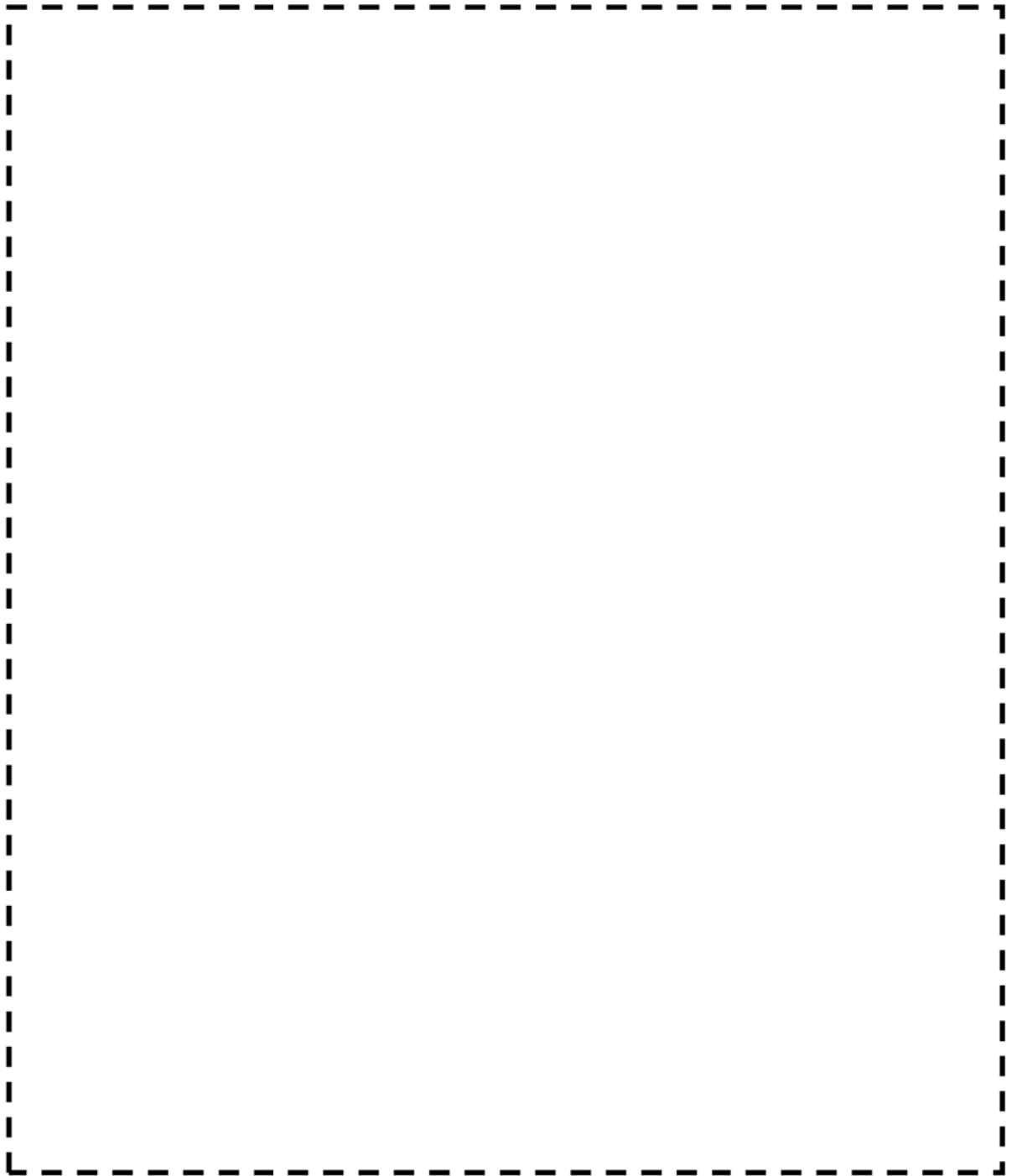


サージライン用管台の疲労評価時の過渡条件とサージ配管の過渡条件を比較すると、熱成層を考慮したサージ配管は起動時の冷水注入、停止時の冷水注入および負荷減少で2倍（インサージとアウトサージ分）となっているが、上記のとおり疲労に対する影響は微小であり、インサージ・アウトサージとも作用する曲げモーメントの向きは同一であるため、熱成層が繰り返し発生した場合においても影響は少ないと考えられる。

サージライン用管台の評価回数とサージ配管の熱成層発生回数

	評価回数	熱成層発生回数
起動時の冷水注入	468	
停止時の冷水注入	936	
負荷減少(負荷減少率5%/min)	691	
100%からの原子炉トリップ		
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	1	
出力運転中の非常用炉心冷却ループの誤起動	1	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



加圧器 スプレイライン用管台 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



## スプレイライン用管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00000	0.00560	0.01052
2	0.00000	0.00010	0.00131
3	0.00013	0.00937	0.00092
4	0.0	0.00000	0.0
5	0.0	0.0	0.00002
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00000	0.0	0.00019
8	0.00001	0.0	0.00008
9	0.00425	0.0	0.00153
10	0.00226	0.0	0.00233
11	0.0	0.00010	0.00129
12	0.0	0.0	0.00029
13	0.00290	0.01814	0.0
14	0.0	0.0	0.0
15	0.07649	0.08808	0.0
16	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.00168	0.00000
18	0.0	0.00012	0.00344

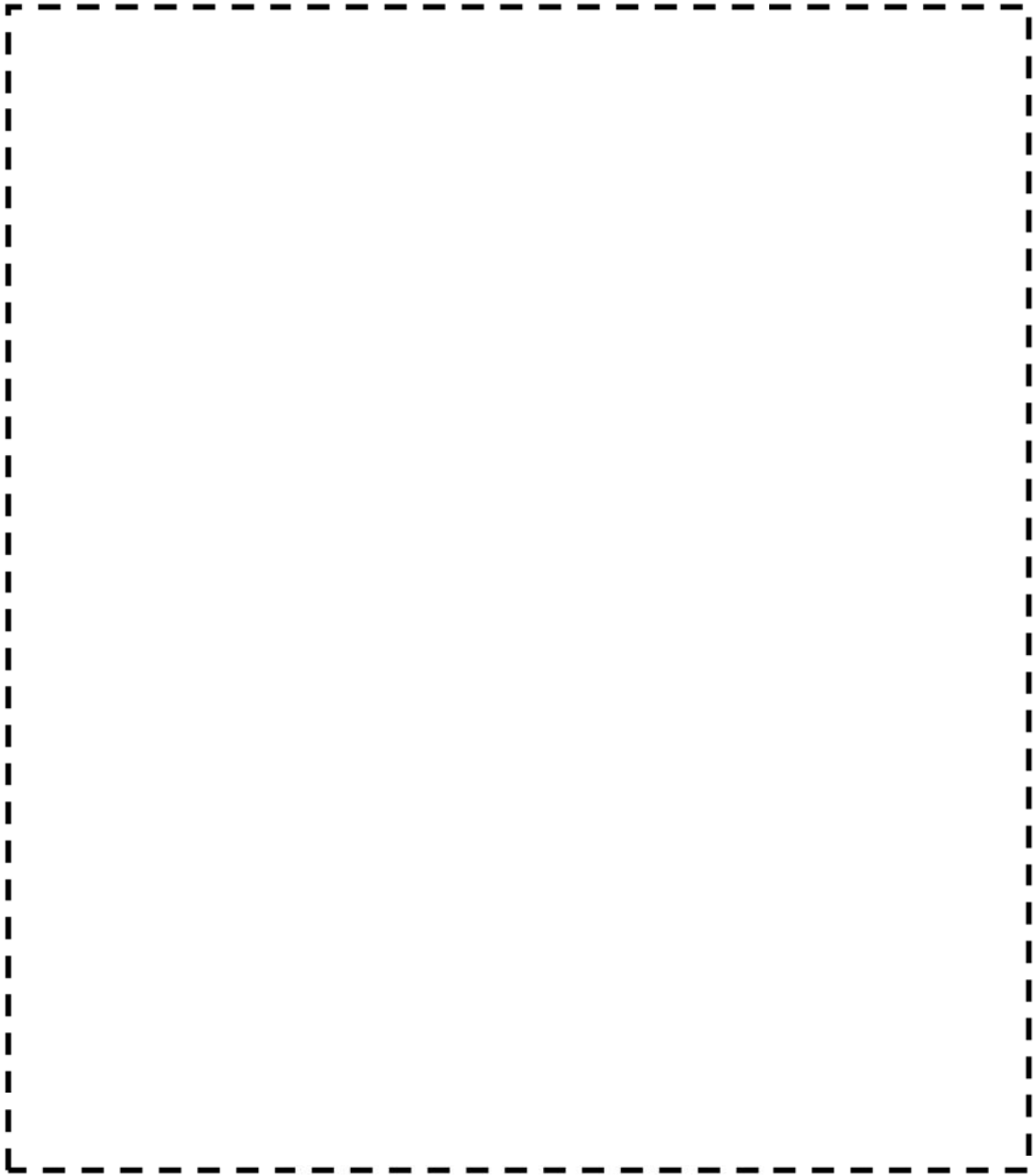
許容値  $U_f=1.0$

## スプレイライン管台 疲労評価結果 (評価点: 15)

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*	
492.0	-6.7	1.0	249.3	300.1	1	6680	0.00015
449.9	-6.7	1.0	228.3	274.8	77	8680	0.00887
449.9	-3.9	1.0	226.9	273.1	1	8840	0.00011
448.8	-3.9	1.0	226.3	272.4	63	8910	0.00707
448.8	0.0	1.0	224.4	270.0	142	9140	0.01554
448.8	49.5	1.0	199.6	240.3	78	13300	0.00586
448.8	52.1	1.0	198.3	238.7	78	13600	0.00574
448.8	56.1	1.0	196.3	236.3	78	14100	0.00553
448.8	61.0	1.0	193.9	233.3	78	14800	0.00527
448.8	61.1	1.0	193.8	233.3	78	14800	0.00527
448.8	66.4	1.0	191.2	230.1	78	15500	0.00503
448.8	84.4	1.0	182.2	219.3	1	18300	0.00005
448.8	100.3	1.0	174.2	209.7	78	21200	0.00368
448.8	101.0	1.0	173.9	209.3	78	21400	0.00364
448.8	110.1	1.0	169.3	203.8	78	23200	0.00336
448.8	149.0	1.0	149.9	180.4	78	33800	0.00231
448.8	183.3	1.0	132.7	159.7	78	49300	0.00158
448.8	194.3	1.0	127.2	153.1	78	60100	0.00130
448.8	216.3	1.0	116.2	139.9	1	93600	0.00001
448.8	225.2	1.0	111.8	134.5	4	109000	0.00004
448.8	225.5	1.0	111.6	134.4	2	110000	0.00002
448.8	240.0	1.0	104.4	125.6	78	140000	0.00056
448.8	241.2	1.0	103.8	124.9	1	143000	0.00001
448.8	242.8	1.0	103.0	123.9	7	147000	0.00005
448.8	244.9	1.0	101.9	122.7	6	153000	0.00004
448.8	246.1	1.0	101.3	121.9	78	156000	0.00050
448.8	249.1	1.0	99.8	120.2	1	165000	0.00001
448.8	251.7	1.0	98.5	118.5	6	173000	0.00003
448.8	257.8	1.0	95.5	114.9	7	194000	0.00004
448.8	264.9	1.0	91.9	110.7	1	228000	0.00000
448.8	266.4	1.0	91.2	109.7	691	237000	0.00292
448.8	267.0	1.0	90.9	109.4	5	241000	0.00002
448.8	269.5	1.0	89.6	107.9	706	256000	0.00276
448.8	272.6	1.0	88.1	106.0	1	277000	0.00000
448.8	276.7	1.0	86.0	103.5	78	308000	0.00025
448.8	276.7	1.0	86.0	103.5	3	308000	0.00001
448.8	280.8	1.0	84.0	101.1	3	343000	0.00001
448.8	280.8	1.0	84.0	101.0	0	344000	0.00000
448.8	280.8	1.0	84.0	101.0	78	344000	0.00023
448.8	281.6	1.0	83.6	100.6	1	351000	0.00000
446.8	281.6	1.0	82.6	99.4	77	370000	0.00021
446.8	302.8	1.0	72.0	86.7	1	932000	0.00000
442.1	302.8	1.0	69.7	83.9	3	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.08808

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 : 0.089



加圧器サージ管台 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

## 加圧器サージ管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00001	0.00231	0.00758
2	0.00000	0.00036	0.00056
3	0.0	0.00398	0.00370
4	0.0	0.00031	0.00050
5	0.00002	0.00516	0.00070
6	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.00309	0.00345
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00005	0.00034	0.00141
10	0.0	0.0	0.00000
11	0.0	0.00016	0.00056
12	0.00005	0.0	0.00080
13	0.00390	0.0	0.00211
14	0.00391	0.0	0.00232
15	0.0	0.00067	0.00240
16	0.00833	0.0	0.00908
17	0.00309	0.00918	0.0
18	0.0	0.00060	0.00025
19	0.01635	0.01284	0.0
20	0.0	0.00111	0.00198
21	0.0	0.00205	0.00003
22	0.0	0.00221	0.00592

許容値  $U_f=1.0$

## 加圧器サージ管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

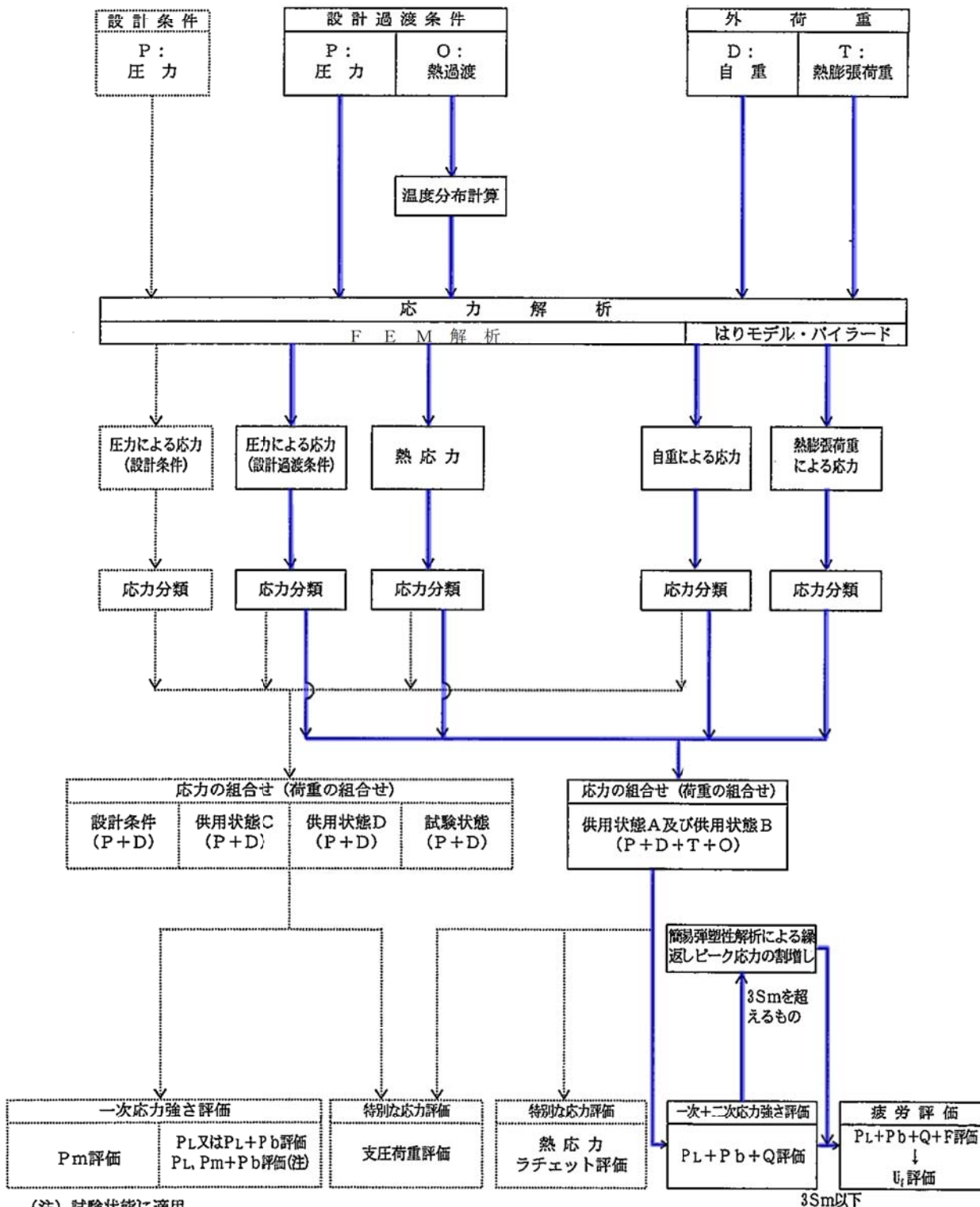
応力強さ		( 単位 : MPa )			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
54.5	-307.7	1.0	181.1	218.0	1	18700	0.00005
54.5	-292.1	1.0	173.3	208.6	5	21600	0.00023
54.5	-266.9	1.0	160.7	193.4	72	27300	0.00264
51.6	-266.9	1.0	159.3	191.7	64	28000	0.00229
20.6	-266.9	1.0	143.8	173.0	78	38500	0.00203
0.0	-266.9	1.0	133.5	160.6	142	48400	0.00293
-57.2	-266.9	1.0	104.8	126.2	350	138000	0.00254
-57.2	-264.4	1.0	103.6	124.7	1	144000	0.00001
-57.2	-262.2	1.0	102.5	123.3	1	150000	0.00001
-57.2	-262.2	1.0	102.5	123.3	1	150000	0.00001
-57.2	-259.8	1.0	101.3	121.9	6	156000	0.00004
-57.2	-257.1	1.0	99.9	120.3	1	164000	0.00001
-57.2	-255.6	1.0	99.2	119.4	7	169000	0.00004
-57.2	-255.2	1.0	99.0	119.1	569	170000	0.00335
-104.7	-255.2	1.0	75.2	90.5	122	634000	0.00019
-104.7	-247.3	1.0	71.3	85.8	3		0.0
疲労累積係数 =							0.01635

→通常UF : 0.017

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



応力評価フロー





Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【スプレイライン管台 (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'					
2E2	2E2	520.0	-332.8	2.07	883.5	995.9	1	539	0.00186	7.868	0.01460
1B8	1B7	378.0	-100.7	1.00	239.4	269.8	78	125000	0.00062	2.842	0.00177
1A6	1B6	295.6	-98.2	1.00	196.9	221.9	78	399000	0.00020	6.772	0.00132
1B3	1B5	284.3	-95.2	1.00	189.7	213.9	78	502000	0.00016	1.000	0.00016
1B2	1B4	280.3	-79.5	1.00	179.9	202.8	78	731000	0.00011	1.000	0.00011
1A7	1M1	277.0	-73.7	1.00	175.4	197.7	78	876000	0.00009	1.000	0.00009
1A5	1M1	274.9	-73.7	1.00	174.3	196.5	78	914000	0.00009	1.000	0.00009
1B4	1M1	272.8	-73.7	1.00	173.2	195.3	78	954000	0.00008	1.000	0.00008
1B5	1M1	269.6	-73.7	1.00	171.7	193.5	78	1000000	0.00008	1.000	0.00008
2A1	1M1	260.6	-73.7	1.00	167.2	188.4	6	1100000	0.00001	1.000	0.00001
1B9	1M1	259.6	-73.7	1.00	166.7	187.8	78	1110000	0.00007	1.000	0.00007
2H1	1M1	251.5	-73.7	1.00	162.6	183.3	1	1200000	0.00000	1.000	0.00000
1B6	1M1	250.9	-73.7	1.00	162.3	183.0	78	1210000	0.00006	1.000	0.00006
1G1	1M1	249.9	-73.7	1.00	161.8	182.4	7	1220000	0.00001	1.000	0.00001
1L1	1M1	249.3	-73.7	1.00	161.5	182.1	1	1230000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1M1	248.8	-73.7	1.00	161.3	181.8	706	1230000	0.00057	1.000	0.00057
1F1	1M1	248.2	-73.7	1.00	161.0	181.5	3	1240000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1M1	248.1	-73.7	1.00	160.9	181.4	78	1240000	0.00006	1.000	0.00006
2C1	1M1	247.5	-73.7	1.00	160.6	181.1	1	1250000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1M1	246.6	-73.7	1.00	160.2	180.5	3	1260000	0.00000	1.000	0.00000
1L2	1M1	246.6	-73.7	1.00	160.2	180.5	1	1260000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1M1	245.2	-73.7	1.00	159.5	179.8	1625	1280000	0.00127	1.000	0.00127
1M1	1A6	245.2	-73.6	1.00	159.4	179.7	78	1280000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	1B3	245.2	-68.1	1.00	156.7	176.6	78	1360000	0.00006	1.000	0.00006
1M1	1E1	245.2	-66.3	1.00	155.8	175.6	3	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1A5	245.2	-60.8	1.00	153.0	172.4	78	1470000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1L2	245.2	-60.3	1.00	152.7	172.2	1	1470000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1A7	245.2	-59.9	1.00	152.6	172.0	78	1480000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1A3	245.2	-58.8	1.00	152.0	171.3	78	1500000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1B2	245.2	-55.3	1.00	150.3	169.4	78	1560000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1A4	245.2	-54.7	1.00	150.0	169.0	78	1570000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1D1	245.2	-35.1	1.00	140.2	158.0	691	1950000	0.00035	1.000	0.00035
1M1	1C1	245.2	-34.1	1.00	139.7	157.4	34	1980000	0.00002	1.000	0.00002
1D1	1C1	245.1	-34.1	1.00	139.6	157.4	672	1980000	0.00034	1.000	0.00034
1D1	1G1	245.1	-33.9	1.00	139.5	157.3	7	1980000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1F1	245.1	-33.5	1.00	139.3	157.0	3	1990000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1L1	245.1	-32.3	1.00	138.7	156.4	1	2030000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1A2	245.1	-27.2	1.00	136.2	153.5	8	2200000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1A2	232.4	-27.2	1.00	129.8	146.3	70	2710000	0.00003	1.000	0.00003
1A4	2A1	232.4	-0.9	1.00	116.6	131.5	6	4300000	0.00000	1.000	0.00000
1A4	1B1	232.4	-0.1	1.00	116.2	131.0	2	4370000	0.00000	1.000	0.00000
1B4	1B1	196.9	-0.1	1.00	98.5	111.0	76	11800000	0.00001	1.000	0.00001
1B4	NSS	196.9	0.0	1.00	98.4	111.0	2	11800000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	NSS	195.0	0.0	1.00	97.5	109.9	78	13000000	0.00001	1.000	0.00001
1B8	NSS	165.8	0.0	1.00	82.9	93.4	62	-----	0.00000	1.000	0.00000

合計: 0.02149

→環境UF: 0.022

## 【サージライン管台 (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 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'					
2G1	2H1	43.2	-527.4	1.00	285.3	321.6	1	48000	0.00002	13.639	0.00028
NSS	1B2	0.0	-499.5	1.00	249.8	281.5	142	99000	0.00143	2.764	0.00396
2D3	1B2	-17.0	-499.5	1.00	241.3	272.0	1	119000	0.00001	5.225	0.00004
1C1	1B2	-46.0	-499.5	1.00	226.7	255.6	706	169000	0.00418	8.449	0.03530
2B1	1B2	-64.5	-499.5	1.00	217.5	245.2	5	214000	0.00002	8.475	0.00020
1A2	1B2	-79.4	-499.5	1.00	210.1	236.8	82	266000	0.00031	3.366	0.00104
1A2	1A2	-79.4	-485.7	1.00	203.2	229.0	386	328000	0.00118	4.069	0.00479
1L1	1A2	-81.9	-485.7	1.00	201.9	227.6	1	341000	0.00000	5.209	0.00002
1D1	1A2	-93.8	-485.7	1.00	196.0	220.9	81	410000	0.00020	6.693	0.00132
1D1	2D3	-93.8	-468.0	1.00	187.1	210.9	1	554000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2G1	-93.8	-460.6	1.00	183.4	206.7	1	638000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2E1	-93.8	-458.4	1.00	182.3	205.5	1	666000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1G1	-93.8	-401.3	1.00	153.7	173.3	7	1440000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1L1	-93.8	-371.9	1.00	139.1	156.7	1	2010000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1L2	-93.8	-363.6	1.00	134.9	152.1	1	2290000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2B1	-93.8	-352.6	1.00	129.4	145.9	5	2740000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	2A1	-93.8	-343.5	1.00	124.9	140.7	6	3200000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1H1	-93.8	-319.7	1.00	113.0	127.3	0	4940000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1D1	-93.8	-312.9	1.00	109.6	123.5	587	5900000	0.00010	1.000	0.00010
1B2	1D1	-97.6	-312.9	1.00	107.7	121.4	104	6540000	0.00002	1.000	0.00002
1B2	1C1	-97.6	-309.9	1.00	106.2	119.7	706	7120000	0.00010	1.000	0.00010
1B2	1F1	-97.6	-292.7	1.00	97.6	110.0	3	12900000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1E1	-97.6	-273.1	1.00	87.8	98.9	3	51200000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	2C1	-97.6	-240.9	1.00	71.7	80.8	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.04718

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

→環境UF: 0.048

タイトル	抽出ライン貫通部、主蒸気・主給水ライン貫通部の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>抽出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>抽出ライン貫通部の仕様と、疲労評価結果を添付1に示す。</p> <p>主蒸気・主給水ライン貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位の発生変位を算出し、「Kellogg」の計算式とPVE-3810の疲労評価にかかわる規定を用いて算出している。</p> <p>主蒸気・主給水ライン貫通部の仕様と、疲労評価結果を添付2に示す。</p>

抽出ライン配管貫通部の基本寸法箇所と仕様（形状、材料）を図1、表1に示す。

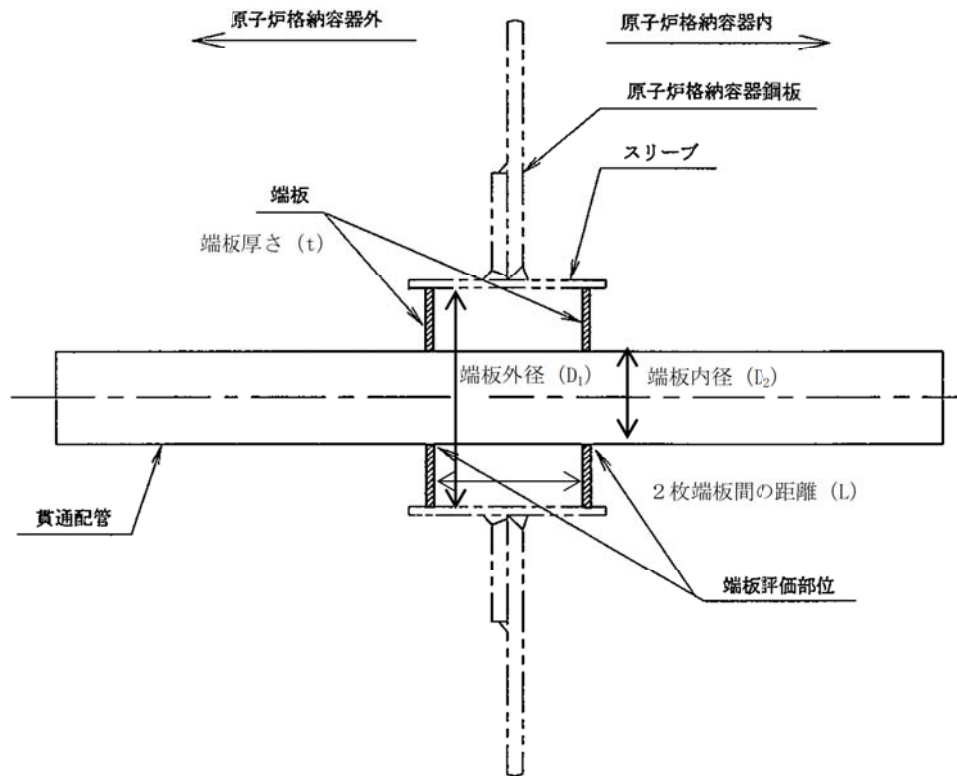


図1 抽出ライン貫通部の基本寸法箇所

表1 抽出ライン貫通部の仕様

格納容器 最高使用 圧力 (MPa)	最高使 用 温度 (°C)	端板 外径 (mm) D <sub>1</sub>	端板 内径 (mm) D <sub>2</sub>	端板 板厚 (mm) t	2枚端板 間の距離 (mm) L	端板材料	材料の最高使用 温度における 縦弾性係数 (MPa)
0.261	200	283.7	60.3	8	120	SUS27HP (SUS304HP)	179000

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。

表2 端板に作用する荷重

位置	軸力[N]			モーメント[N・m]		
	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
C V内	1100	400	-1100	-200	-1000	-300
C V外	-800	100	100	100	100	100

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

その応力に対応する許容回数を疲労線図(JSME S NC1-2005/2007)から算出し、以下の式により疲労累積係数(Uf)が算出される。

なお、評価部位は端板と配管との境界部分であり、応力集中係数は4を考慮している。

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

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

表3 抽出ライン貫通部の評価結果

	ピーク応力 強さ (MPa)	過渡による 負荷回数 (n)	許容回数 (N)	Uf
固定式端板	537	2390	4566	0.524



主蒸気・主給水ライン配管貫通部の基本寸法箇所と仕様（形状、材料）を図 2、表 3 に示す。

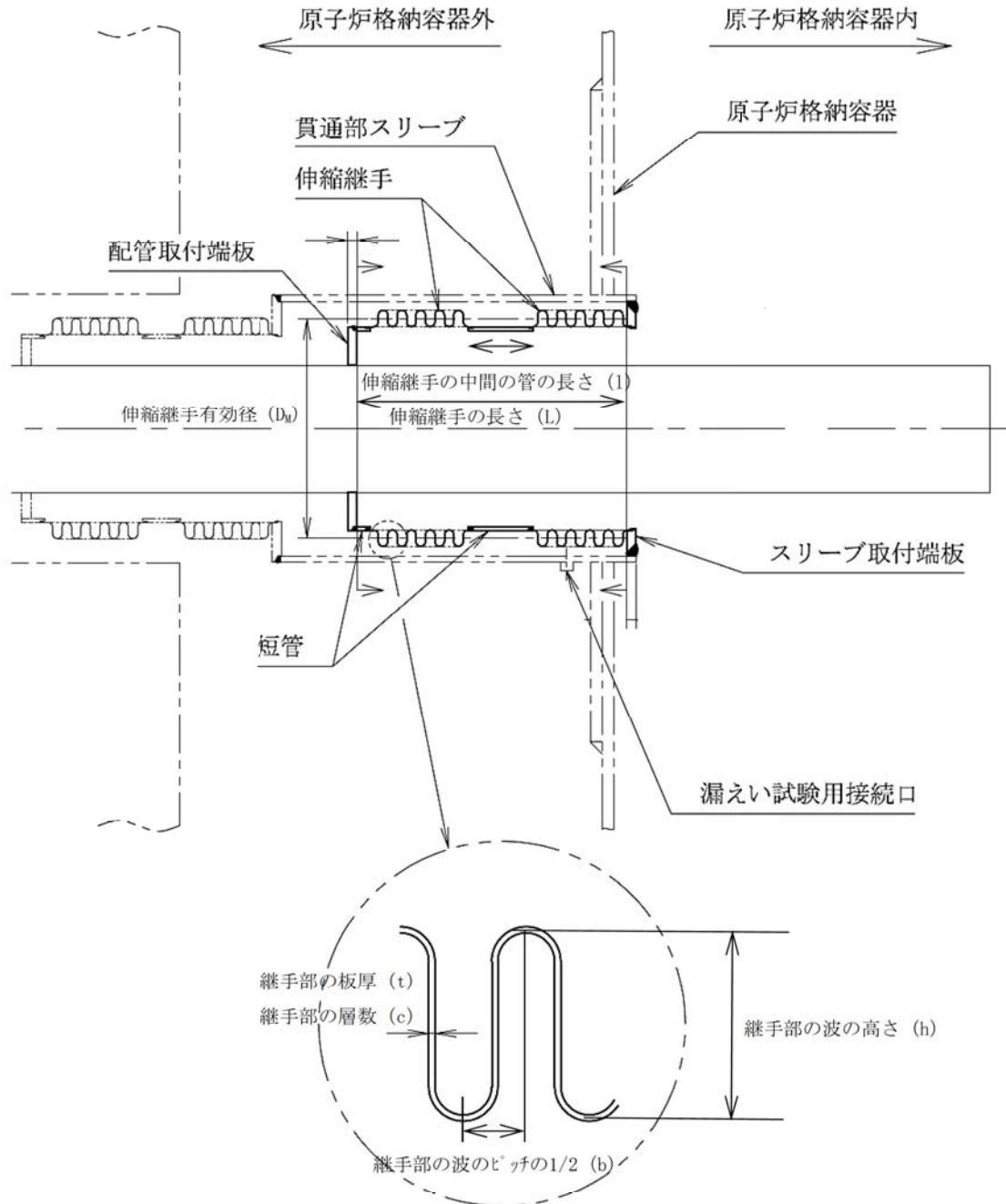


図 2 主蒸気・主給水ライン貫通部の基本寸法箇所



表4 主蒸気・主給水ライン(伸縮継手)の仕様\*

配管名称	主蒸気配管	主給水配管
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) $t$		
継手部の全山数 $n$		
継手部の層数 $c$		
継手部材料	SUS304	SUS304
材料の最高使用温度に おける縦弾性係数 (MPa) $E$	176000	180000
伸縮継手の中間の管の長さ (mm) $l$	70	100
伸縮継手の長さ(mm) $L$	470	500

\* : 伸縮継手の疲労評価結果が最も厳しくなったC主蒸気系統、C主給水系統の仕様

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								
主給水								

\* : 伸縮継手の疲労評価結果が最も厳しくなったC主蒸気系統、C主給水系統の変位量  
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-3810で示す以下の式により許容繰返し回数を求める。

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

ここで、 $\sigma$  = 全伸縮量による応力 + 最高使用圧力による応力

許容繰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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表4 主蒸気・主給水貫通部の評価結果

		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 配管	起動停止	406	78	105377	0.001	0.005
	起動停止以外	274	1664	416908	0.004	
主給水 配管	起動停止	411	78	100631	0.001	0.010
	起動停止以外	336	1664	203493	0.009	

タイトル	1次冷却系統配管の疲労累積係数の算出根拠について																		
説明	<p>一次系冷却系統配管の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p><b>【通常疲労】</b></p> <table border="1" data-bbox="475 860 1310 1256"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(加圧器サージ配管) MSAP(配管)PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管)PC1.0</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> </table> <p><b>【熱成層を考慮した環境疲労】</b></p> <table border="1" data-bbox="475 1335 1310 1767"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(加圧器サージ配管) ANSYS Ver. 12.0 (加圧器スプレ配管) ANSYS Ver. 15.0</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></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)PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管)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. 15.0	要素種類		要素次数		要素数		節点数	
解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管)PC1.0 (加圧器スプレ配管) MSAP(配管)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. 15.0																		
要素種類																			
要素次数																			
要素数																			
節点数																			

2. 材料物性  
材料物性を以下に示す。

使用箇所	温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	使用材料
加圧器サージ配管	360	113	SUS316TP/SUS32TP
加圧器スプレ配管	343	114	SUS316TP/SUS32TP

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に示します。

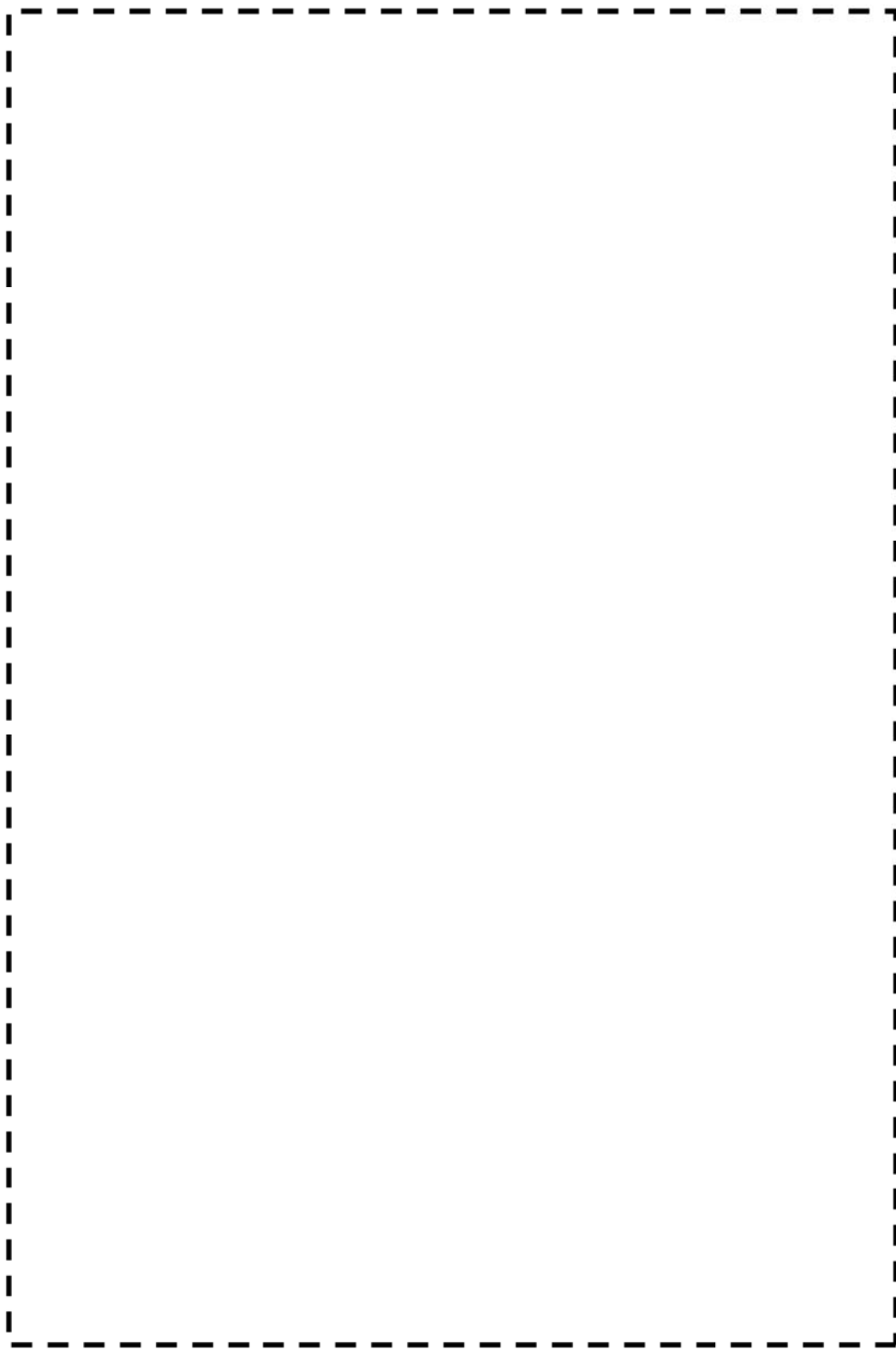
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. K<sub>e</sub>係数

環境疲労評価において用いたK<sub>e</sub>係数を添付4に示す。

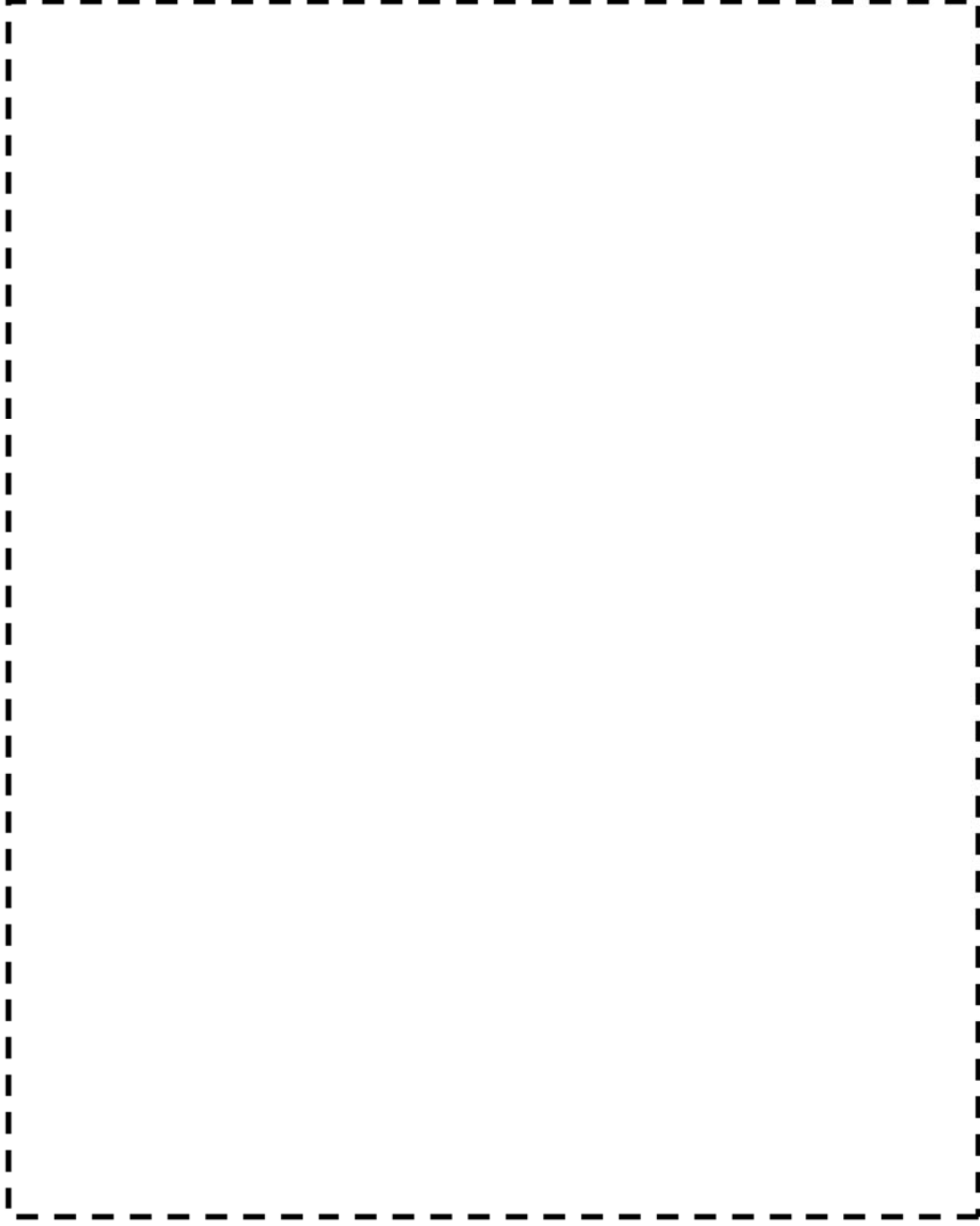
6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数f<sub>en</sub>）を、添付4に示す。



加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)

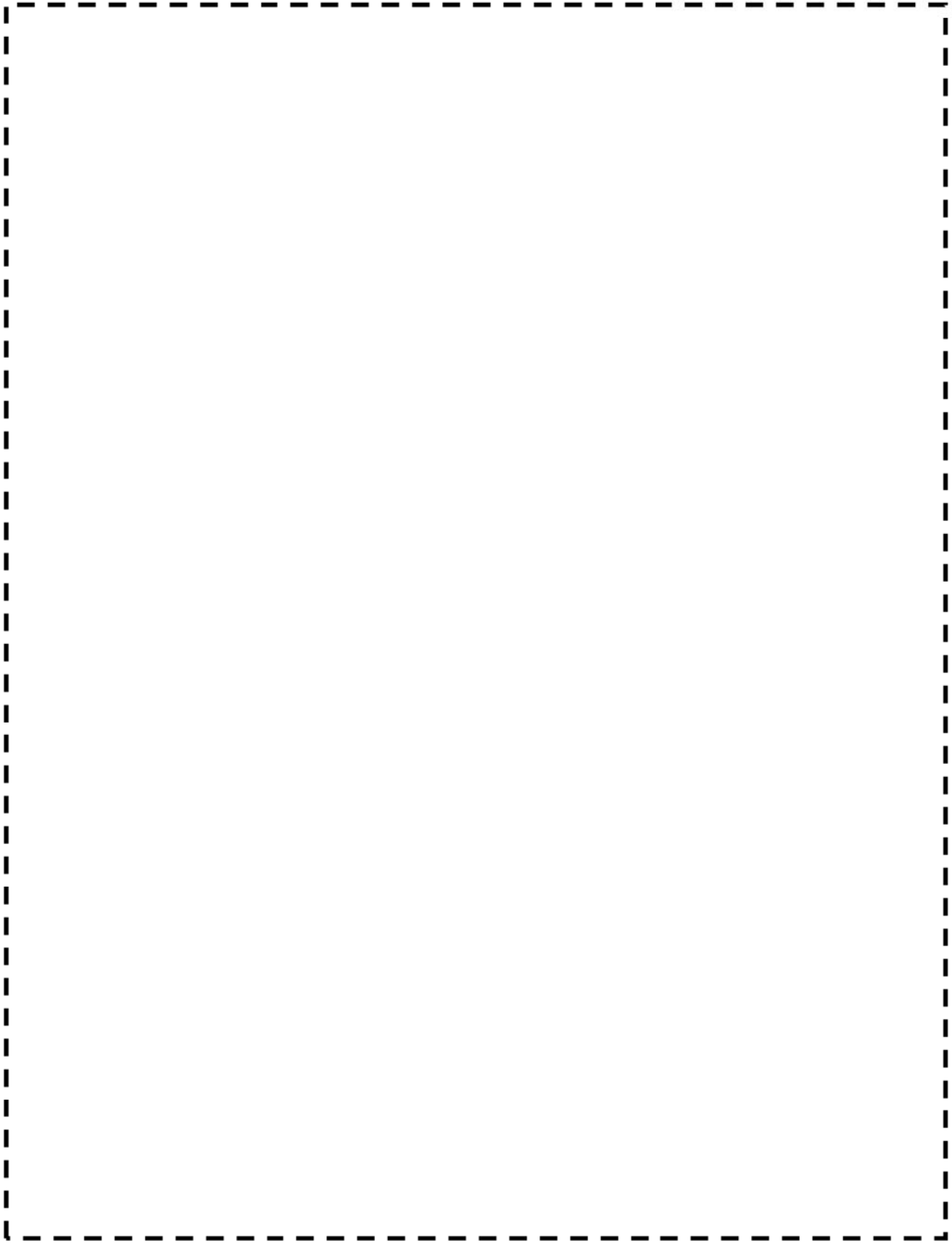
【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】



加圧器サージ配管 解析モデル (2 / 2)

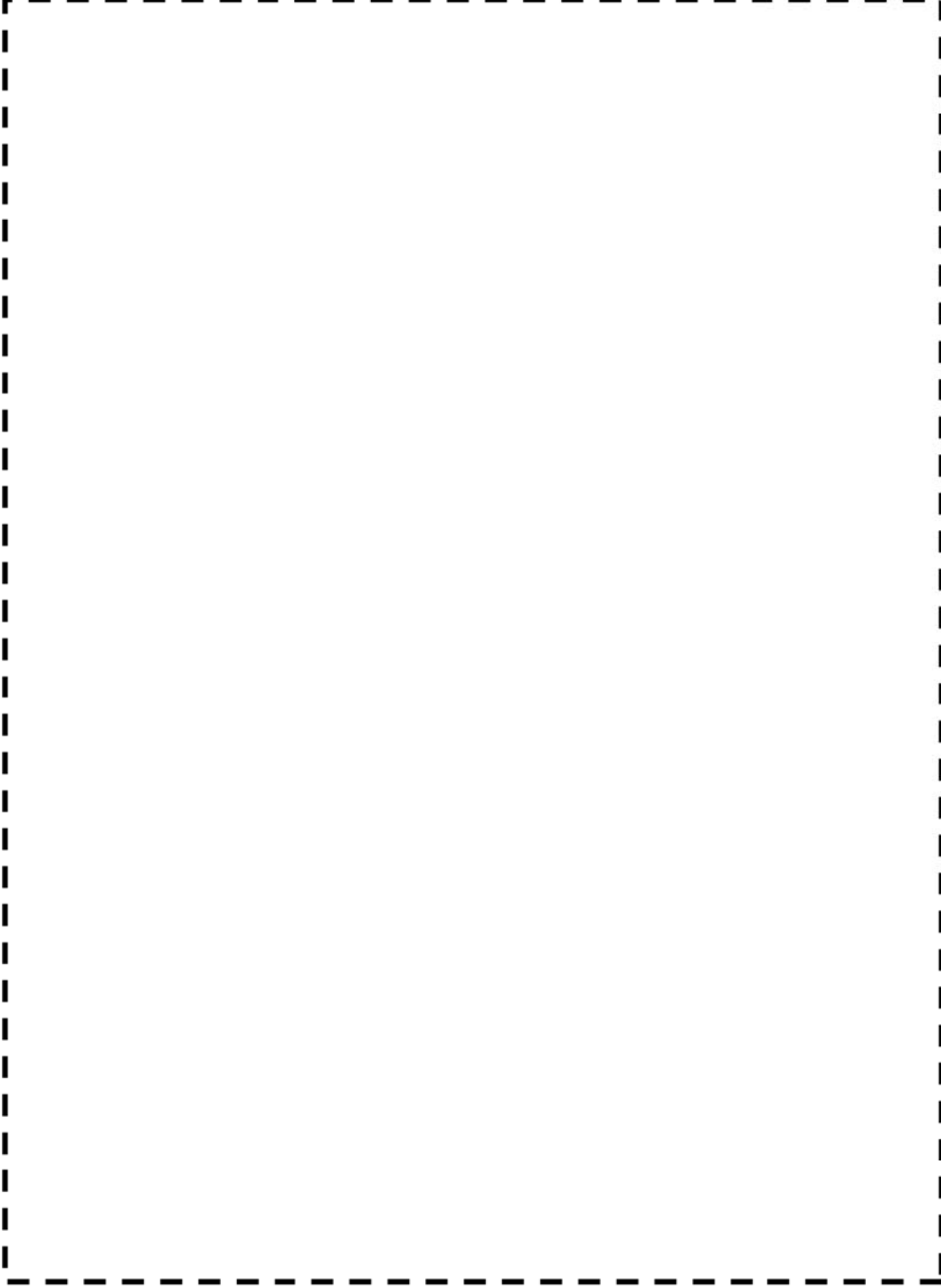
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません





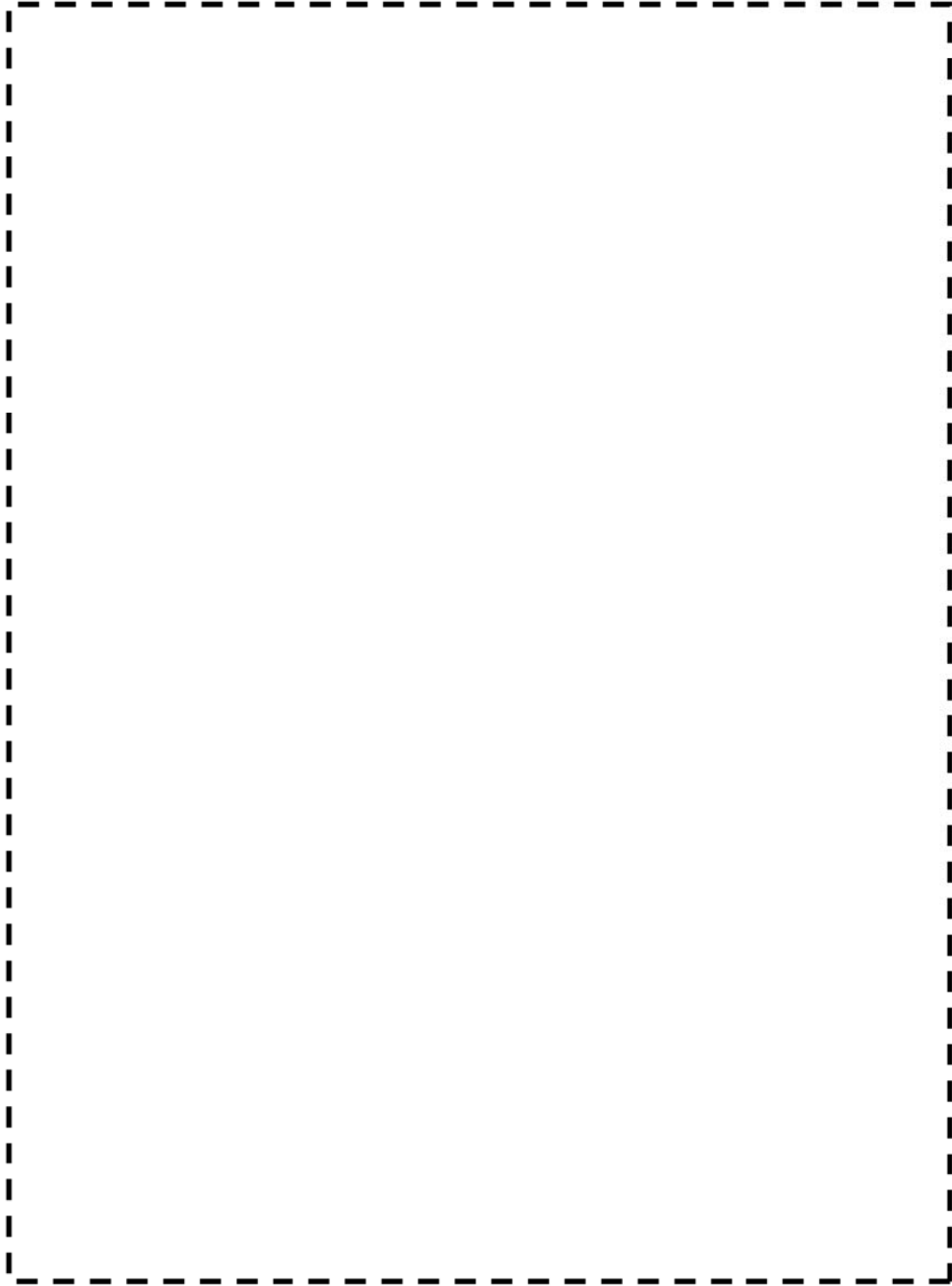
加圧器スプレ配管 解析モデル (1 / 5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



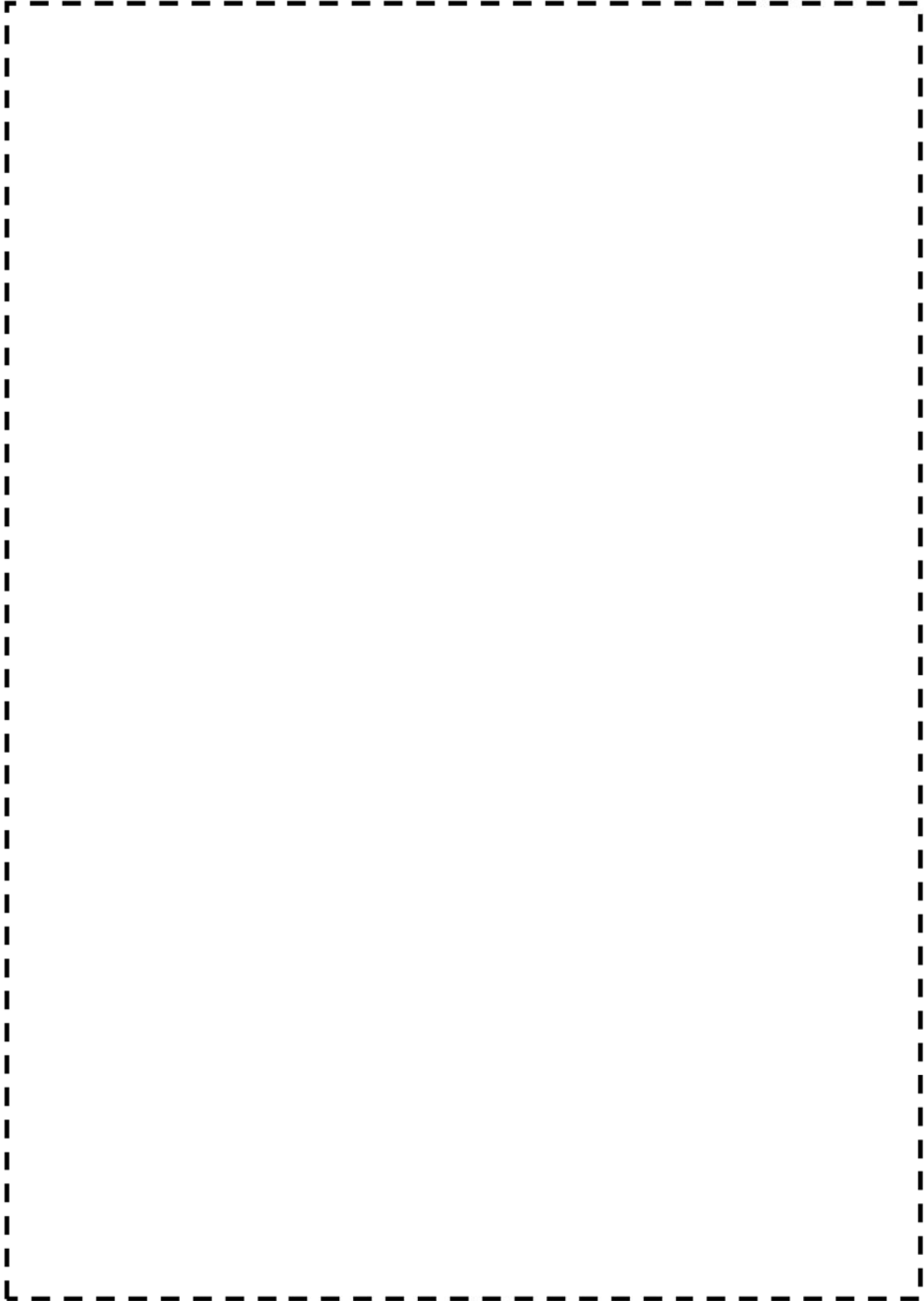
加圧器スプレ配管 解析モデル (2/5)

【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】



加圧器スプレ配管 解析モデル (3 / 5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



加圧器スプレ配管 解析モデル (4 / 5)

【 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません 】



加圧器スプレ配管 解析モデル (5/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
501	29.5	78.5	316.3	0.0	189.6	614	346	0.00840	1.0
101	22.3	58.2	287.5	0.0	189.6	558	315	0.00346	
600	22.3	43.0	287.5	0.0	189.6	543	306	0.00250	
103	22.3	29.0	287.5	0.0	189.6	529	298	0.00183	
812	21.2	36.5	287.5	0.0	189.6	535	302	0.00206	
105	22.3	56.0	287.5	0.0	189.6	556	314	0.00332	
604	22.3	63.4	287.5	0.0	189.6	563	318	0.00385	
805	22.3	64.3	287.5	0.0	189.6	564	318	0.00392	
605	22.3	62.9	287.5	0.0	189.6	563	317	0.00380	
806	22.3	60.5	287.5	0.0	189.6	560	316	0.00363	
107	22.3	47.3	287.5	0.0	189.6	547	309	0.00276	
807	22.3	47.5	287.5	0.0	189.6	547	309	0.00281	
608	22.3	61.0	287.5	0.0	189.6	561	316	0.00369	
111	22.3	63.8	287.5	0.0	189.6	564	318	0.00390	
502	29.5	89.1	316.3	0.0	189.6	625	352	0.01031	

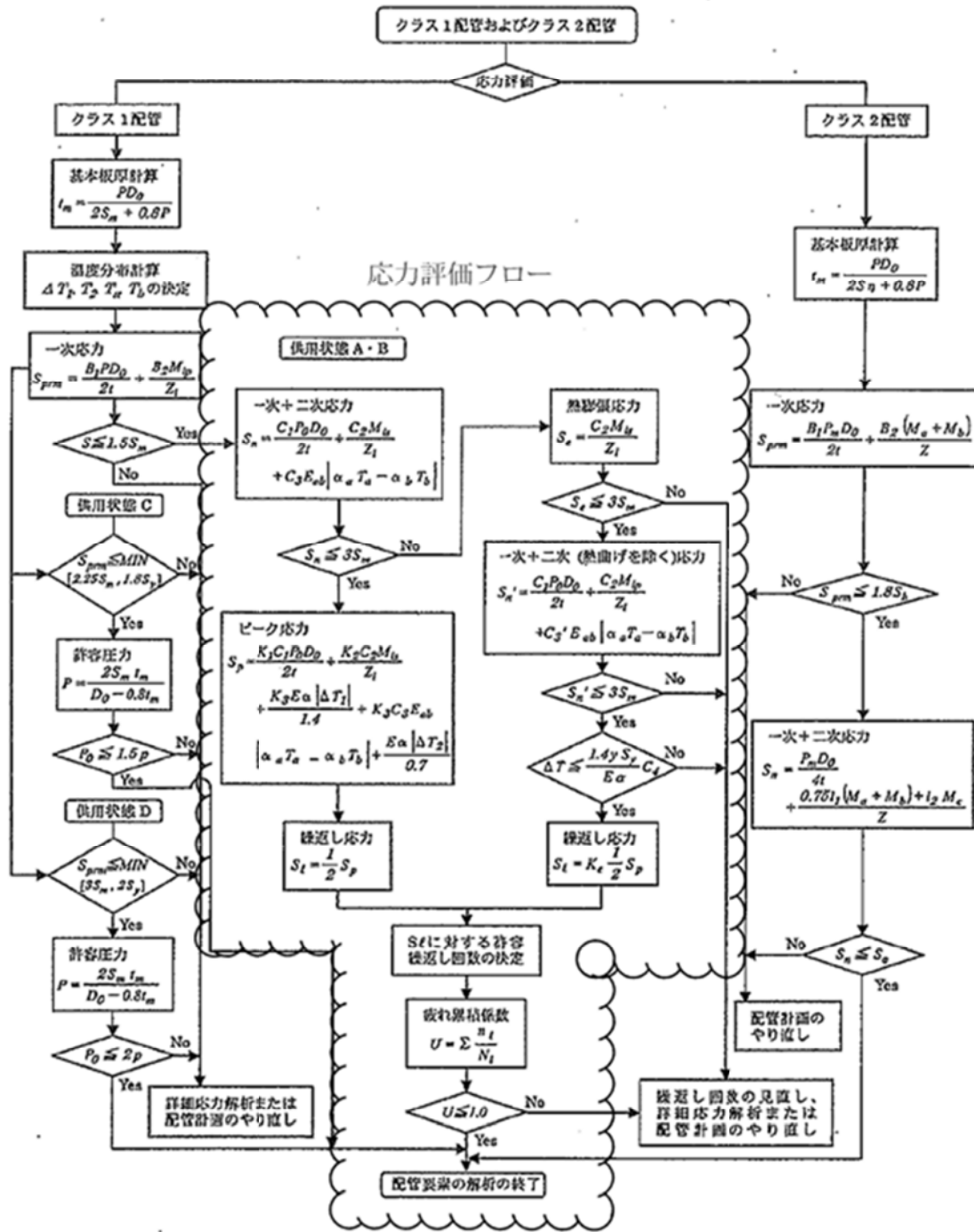
→通常UF : 0.011



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)	外力による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
111	135.0	128.6	1.8	0.0	0.6	266	150	0.00005	1.0
113	148.5	110.6	1.9	0.0	0.6	262	147	0.00005	
501	334.6	76.2	275.8	0.0	117.4	804	409	0.00477	
173	44.4	12.2	368.8	0.0	156.9	583	331	0.00245	
627	23.6	3.7	382.8	0.0	162.0	573	323	0.00179	
174	70.0	133.3	364.6	0.0	155.3	724	362	0.00395	
176	70.0	152.1	364.6	0.0	155.3	743	372	0.00446	
1000	77.9	114.0	401.1	0.0	155.3	749	375	0.00433	
204	123.1	131.9	1.9	0.0	0.6	258	145	0.00005	
231	111.9	164.2	1.8	0.0	0.6	279	157	0.00007	
502	334.6	45.8	275.8	0.0	117.4	774	393	0.00340	
736	20.8	25.4	454.1	158.5	226.5	886	491	0.00015	
329	17.5	15.9	454.1	0.0	226.5	714	396	0.00006	
331	17.5	16.2	454.1	0.0	226.5	715	396	0.00006	
550	63.0	152.8	390.2	0.0	217.5	824	412	0.00011	

→通常UF : 0.005



(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

## 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 (節点番号502)】

過渡 記号 A	過渡 記号 B	応力強さ 強さ (MPa)		割増 係数 ke	ビ→応力 強さ (MPa)	実過渡 回数 n	許容繰 返し回数 n*	疲労損 傷係数 u	環境効 果係数 fen	環境中疲労 損傷係数 uen
		smax	smin		salt'					
2D3	2D3	276.6	-376.1	1.30	492.6	1	6400	0.00016	11.772	0.00184
2G1	2G1	243.3	-261.9	1.00	284.7	1	93100	0.00001	10.105	0.00011
2H1	2H1	166.9	-240.7	1.00	229.7	1	322000	0.00000	11.214	0.00003
1Y2	1D1	102.3	-240.4	1.00	193.2	78	1010000	0.00008	1.000	0.00008
2F1	1D1	77.7	-240.4	1.00	179.3	4	1290000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	1D1	76.0	-240.4	1.00	178.4	7	1310000	0.00001	1.000	0.00001
2C1	1D1	73.7	-240.4	1.00	177.1	1	1340000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	1D1	71.2	-240.4	1.00	175.6	2	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1Y4	1D1	65.1	-240.4	1.00	172.2	78	1470000	0.00005	1.000	0.00005
1G1	1D1	56.6	-240.4	1.00	167.4	7	1620000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	1D1	47.6	-240.4	1.00	162.4	1	1790000	0.00000	1.000	0.00000
1Y6	1D1	43.1	-240.4	1.00	159.8	78	1880000	0.00004	1.000	0.00004
1X4	1D1	41.1	-240.4	1.00	158.7	78	1930000	0.00004	1.000	0.00004
1X2	1D1	35.5	-240.4	1.00	155.5	78	2080000	0.00004	1.000	0.00004
1X6	1D1	29.5	-240.4	1.00	152.1	78	2290000	0.00003	1.000	0.00003
1Z2	1D1	28.3	-240.4	1.00	151.4	78	2330000	0.00003	1.000	0.00003
1J1	1D1	19.2	-240.4	1.00	146.3	2	2710000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1D1	17.3	-240.4	1.00	145.2	6	2800000	0.00000	1.000	0.00000
1Z4	1D1	14.5	-240.4	1.00	143.7	78	2930000	0.00003	1.000	0.00003
1D1	1D1	14.3	-240.4	1.00	143.6	728	2940000	0.00025	1.000	0.00025
1D1	1G1	14.3	-219.4	1.00	131.7	7	4270000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1C1	14.3	-209.6	1.00	126.2	647	5190000	0.00012	1.000	0.00012
1W6	1C1	8.0	-209.6	1.00	122.6	59	6160000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2E1	7.0	-196.0	1.00	114.4	1	9290000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2D2	7.0	-194.6	1.00	113.7	2	9640000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1X1	7.0	-193.5	1.00	113.0	78	10000000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2D1	7.0	-192.7	1.00	112.6	7	10300000	0.00000	1.000	0.00000
1W6	2C1	8.0	-190.8	1.00	112.1	1	10700000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1X3	7.0	-190.2	1.00	111.2	78	11600000	0.00001	1.000	0.00001
1W6	1J2	8.0	-188.9	1.00	111.0	2	11800000	0.00000	1.000	0.00000
1W6	1J1	8.0	-186.2	1.00	109.4	2	13500000	0.00000	1.000	0.00000
1W6	2B1	8.0	-185.9	1.00	109.3	10	13600000	0.00000	1.000	0.00000
1W6	2A1	8.0	-184.5	1.00	108.5	4	14600000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1X5	7.0	-185.2	1.00	108.4	78	14800000	0.00001	1.000	0.00001
1C1	2A1	7.0	-184.5	1.00	108.0	2	15300000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1W5	7.0	-183.5	1.00	107.4	78	16100000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2F1	7.0	-183.1	1.00	107.1	4	16500000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1V3	7.0	-183.0	1.00	107.1	78	16500000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1F1	7.0	-179.1	1.00	104.9	6	20200000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1I1	7.0	-178.1	1.00	104.3	294	22100000	0.00001	1.000	0.00001
1Z6	1I1	6.9	-178.1	1.00	104.3	78	22100000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1I1	1.1	-178.1	1.00	101.0	78	36600000	0.00000	1.000	0.00000
1B1	1I1	1.1	-178.1	1.00	101.0	78	36600000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1I1	-2.2	-178.1	1.00	99.1	64	49200000	0.00000	1.000	0.00000
1V4	1I1	-3.1	-178.1	1.00	98.6	78	57300000	0.00000	1.000	0.00000
1V2	1I1	-9.5	-178.1	1.00	95.0	78	314000000	0.00000	1.000	0.00000
1W4	1I1	-10.2	-178.1	1.00	94.6	78	498000000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	1I1	-18.3	-178.1	1.00	90.0	10		0.00000	1.000	0.00000
total								0.00097		0.00278

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

→環境UF : 0.003



## 【加圧器スプレ配管 (評価点A)】

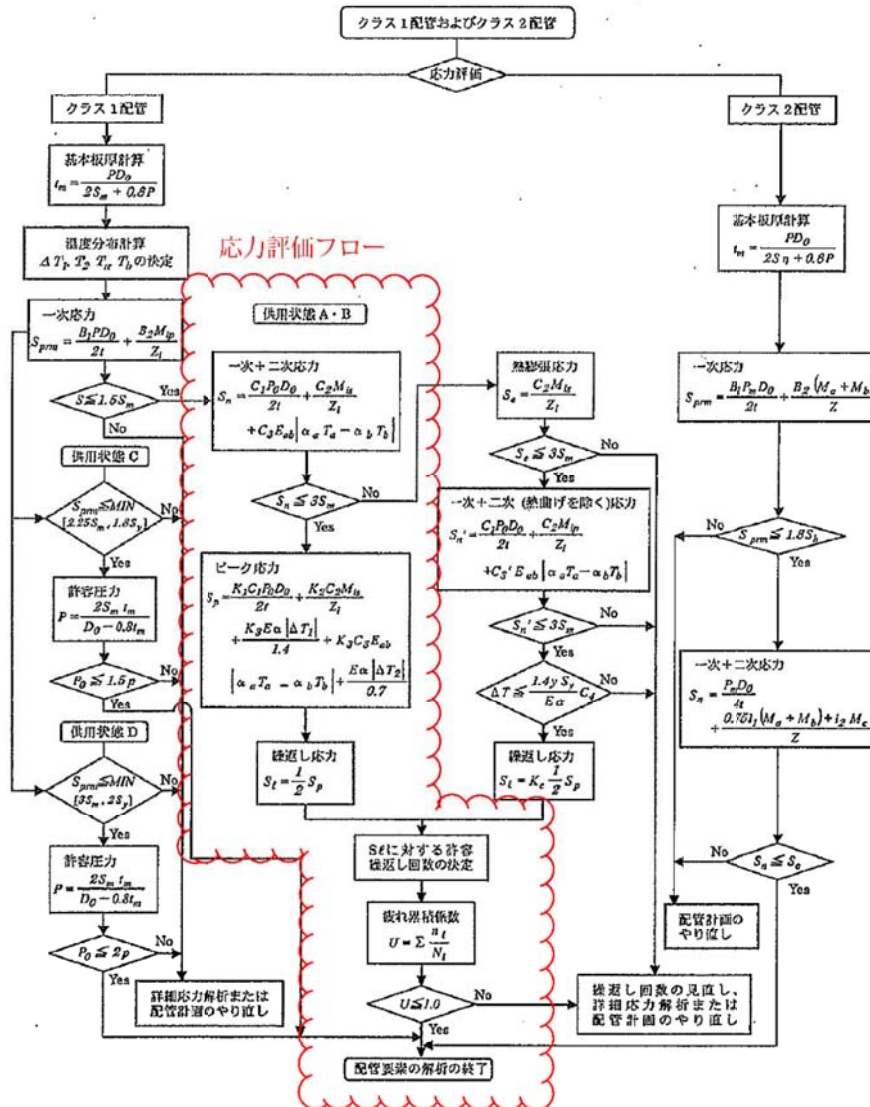
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fca	環境効果を考慮した 疲労累積係数 ucn
A	B	smax	smin		補正前 sall	補正後 sall'					
1A3	2E2	67.3	-546.5	1.60	545.5	545.5	1	4300	0.0023	4.738	0.00110
1A3	1A7	67.3	-477.1	1.40	420.7	420.7	77	12600	0.00611	5.308	0.03244
2E2	1A7	43.4	-477.1	1.30	374.1	374.1	1	22500	0.00004	12.452	0.00055
1B2	1B2	40.9	-434.3	1.20	321.2	321.2	78	48300	0.00161	11.684	0.01887
111	2C1	31.3	-410.4	1.00	248.9	248.9	1	196000	0.00001	11.650	0.00006
111	2H1	31.3	-398.8	1.00	242.4	242.4	1	230000	0.00000	11.892	0.00005
111	2A1	31.3	-384.6	1.00	234.4	234.4	6	283000	0.00002	12.114	0.00026
111	1A1	31.3	-351.5	1.10	232.4	232.4	78	299000	0.00026	12.190	0.00318
111	1G1	31.3	-376.4	1.00	229.8	229.8	7	321000	0.00002	12.309	0.00027
111	1F1	31.3	-374.2	1.00	228.6	228.6	3	331000	0.00001	12.367	0.00011
111	1E1	31.3	-374.1	1.00	228.5	228.5	3	332000	0.00001	12.392	0.00011
111	1J1	31.3	-374.0	1.00	228.4	228.4	1	333000	0.00000	12.368	0.00004
111	1D1	31.3	-373.8	1.00	228.3	228.3	691	334000	0.00207	12.376	0.02561
111	1C1	31.3	-373.7	1.00	228.3	228.3	459	334000	0.00137	12.394	0.01703
1E1	1C1	31.2	-373.7	1.00	228.2	228.2	3	335000	0.00001	12.406	0.00011
1J2	1C1	31.2	-373.7	1.00	228.2	228.2	1	335000	0.00000	12.448	0.00004
1D1	1C1	28.5	-373.7	1.00	226.6	226.6	243	350000	0.00059	12.284	0.00853
1D1	1J2	28.5	-373.4	1.00	226.5	226.5	1	351000	0.00000	12.261	0.00003
1D1	111	28.5	-367.8	1.00	223.3	223.3	447	383000	0.00117	12.644	0.01476
1G1	111	28.5	-367.8	1.00	223.3	223.3	7	383000	0.00002	12.844	0.00023
1F1	111	28.4	-367.8	1.00	223.3	223.3	3	383000	0.00001	12.741	0.00010
1J1	111	28.4	-367.8	1.00	223.3	223.3	1	383000	0.00000	12.791	0.00003
1C1	111	28.3	-367.8	1.00	223.2	223.2	706	384000	0.00184	12.694	0.02334
1A7	111	24.3	-367.8	1.00	221.0	221.0	78	409000	0.00019	11.851	0.00226
1A1	111	10.2	-367.8	1.00	213.0	213.0	8	516000	0.00002	1.000	0.00002
1A1	2J1	10.2	-323.2	1.00	187.9	187.9	6	1110000	0.00000	1.000	0.00001
1A1	2J1	10.2	-314.1	1.00	182.8	182.8	6	1210000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2B1	10.2	-278.6	1.00	162.7	162.7	5	1770000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2G1	10.2	-268.8	1.00	157.2	157.2	1	1990000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2E1	10.2	-268.8	1.00	157.2	157.2	1	1990000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2D3	10.2	-268.8	1.00	157.2	157.2	1	1990000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2D2	10.2	-268.8	1.00	157.2	157.2	2	1990000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2D1	10.2	-268.8	1.00	157.2	157.2	7	1990000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2F1	10.2	-268.8	1.00	157.2	157.2	4	1990000	0.00000	1.000	0.00000

IA1	2B1	10.2	-264.4	1.00	154.7	154.7	5	2130000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2G1	10.2	-257.8	1.00	151.0	151.0	1	2360000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2D1	10.2	-255.6	1.00	149.8	149.8	7	2440000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2D2	10.2	-249.3	1.00	146.2	146.2	2	2720000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2F1	10.2	-248.6	1.00	145.8	145.8	4	2750000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2D3	10.2	-246.7	1.00	144.8	144.8	1	2830000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2E1	10.2	-207.2	1.00	122.5	122.5	1	6190000	0.00000	1.000	0.00000
IA1	2I1	10.2	-203.0	1.00	120.2	120.2	16	6930000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I1	4.4	-203.0	1.00	111.1	111.1	48	11700000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	IA3	4.4	-192.3	1.00	106.5	106.5	16	17400000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	IA3	-24.7	-192.3	1.00	94.5	94.5	6	5590000000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	IA3	-56.1	-192.3	1.00	76.8	76.8	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
										合計 :	0.14917

→環境UF : 0.150

タイトル	主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 応力分類        応力評価フローチャートを添付1に示す。        荷重の組合せ：圧力＋自重＋熱＋機械的荷重(設計・建設規格による)</li> <li>2. 材料物性値(最高使用温度時<sup>※</sup>)        ヤング率：<math>1.90 \times 10^5</math> (MPa)        熱膨張係数：<math>1.238 \times 10^{-5}</math> (mm/mm・°C)   <sup>※</sup>主給水配管の場合、熱膨張荷重において、ヤング率及び熱膨張係数は過渡条件に応じた変動値を使用している。</li> <li>3. 解析モデル        解析モデルを添付2に示す。        なお、配管各部位に考慮する応力係数は設計・建設規格のPPB-3812に定める応力係数に従って設定している。</li> <li>4. 最大評価点の選定        評価範囲を全て計算してもっとも厳しいものを記載している。        最大評価点の過渡の組合せ毎の疲労累積係数の内訳を添付3に示す。</li> <li>5. Ke係数        評価に用いたKe係数を添付3に示す。        なお、一次＋二次＋ピーク応力が許容値を超えた評価点7500以外は簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</li> <li>6. 環境評価パラメータ        JSME S NF1-2009による係数倍法を適用している。        ・最高使用温度：230°C        ・硫黄含有量：規格で許容される最大含有量(0.035wt%)        ・溶存酸素濃度：主給水の管理基準(5ppb)        PWR 2次系環境の式に適用し、<math>F_{en}=4.435</math> を評価に用いている。</li> </ol>



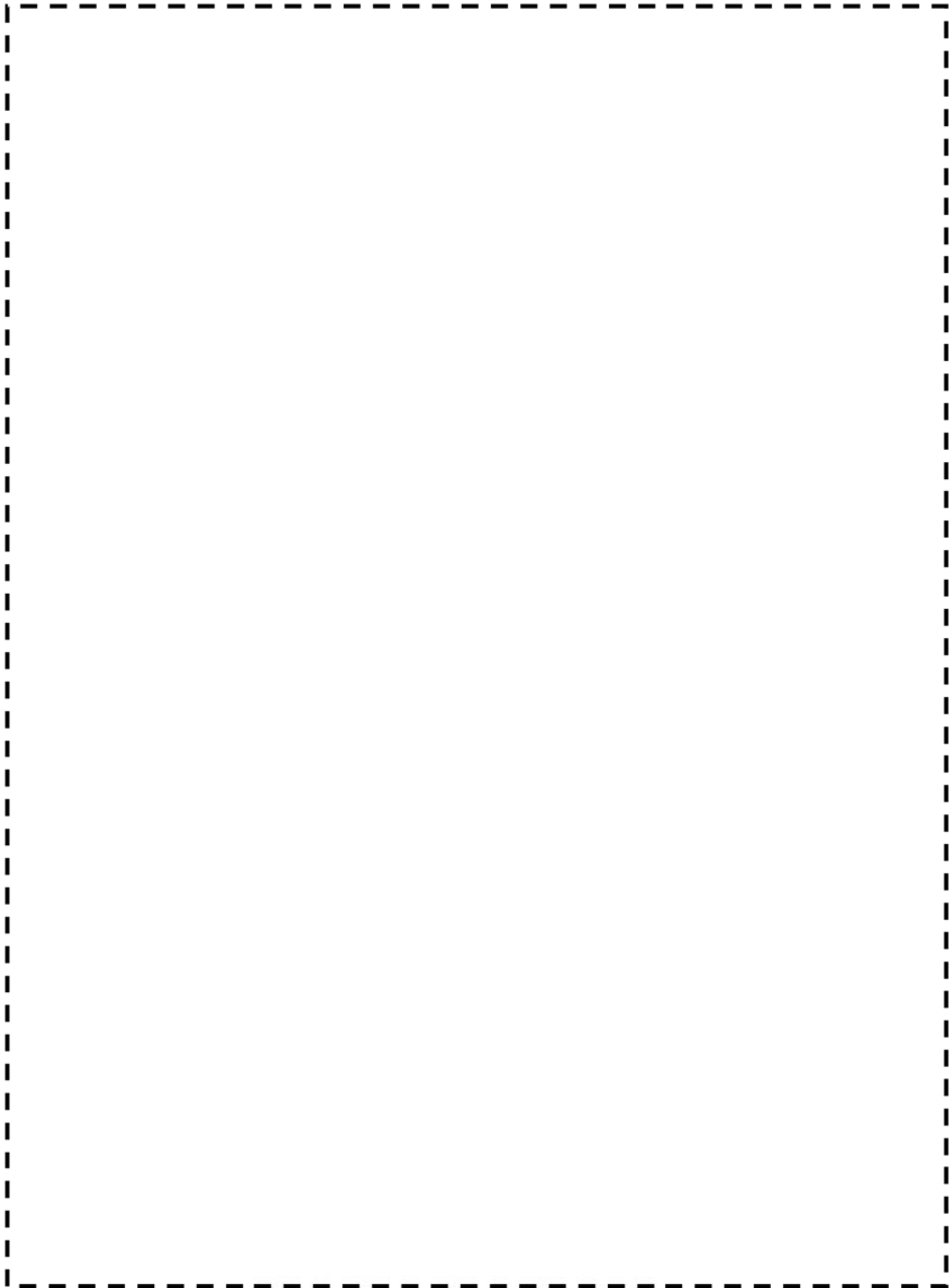


(備考) クラス 2 配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント  $M_b$  を含む場合の式のみを記載した

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

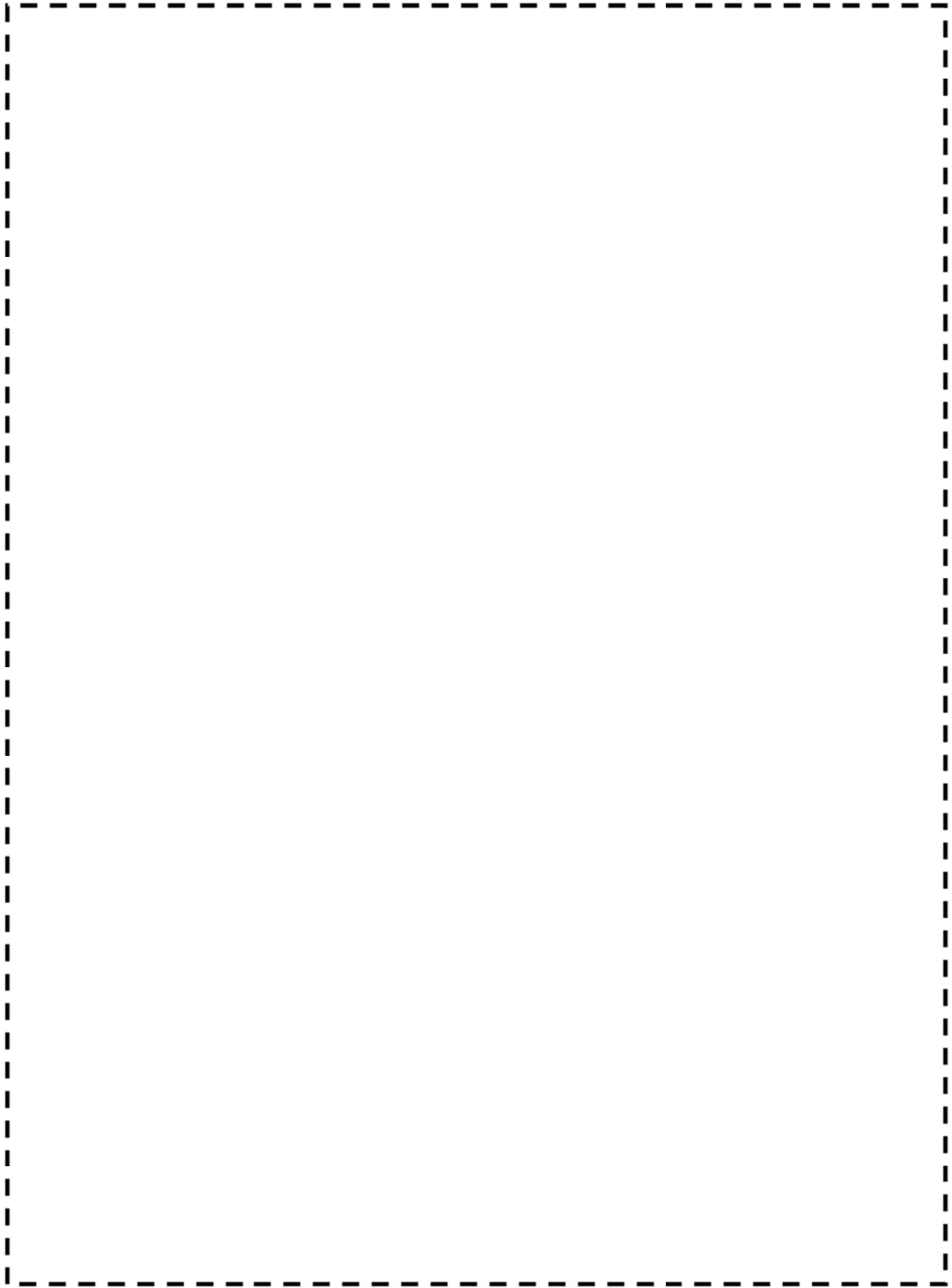
I-解説 5-8

図1 応力評価フローチャート



美浜3号炉 A-主給水配管 (CV内)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



美浜3号炉 B-主給水配管 (CV内)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



美浜3号炉 C-主給水配管 (CV内)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 1 疲労評価結果 (C-主給水配管 評価点7500)

Spi	Ke	ALT'	N	N*	Uf
480.6	1.089	292.9	12	7180	0.0016713
474.3	1.080	286.6	60	7650	0.0078431
509.3	1.000	259.7	55	10200	0.0053922
319.4	1.000	173.1	676	38400	0.0176042
245.6	1.000	136.6	458	103000	0.0044466

上記の疲労累積係数は全ての組み合わせのうち、Ufが大きいものを代表して記載  
 Spi : ピーク応力強さ  
 ALT' : ヤング率補正後の繰り返しピーク応力強さ  
 N : 繰り返し回数 N\* : 許容繰り返し回数 Uf : 疲労累積係数

...

合計 0.04666

→通常UF : 0.047

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>一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p><b>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</b></p> <p>1. 解析モデル</p> <p>疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>&lt;配管荷重の算出&gt;</p> <table border="1" data-bbox="475 857 1311 936"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p>&lt;温度分布の算出※&gt;</p> <table border="1" data-bbox="475 976 1311 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></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></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一次冷却材ポンプの取合部やエルボの外面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="418 1682 1366 1973"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>温度 (°C)</th> <th>Sm (MPa)</th> <th>使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">ASME 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 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所	ASME 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 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所																							
ASME 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 (配管) PC1.0
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
ASME SA182 Gr. F316 (SCSF316相当)	322.8	117.1	加圧器サージライン用管台
	288.6	120.3	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

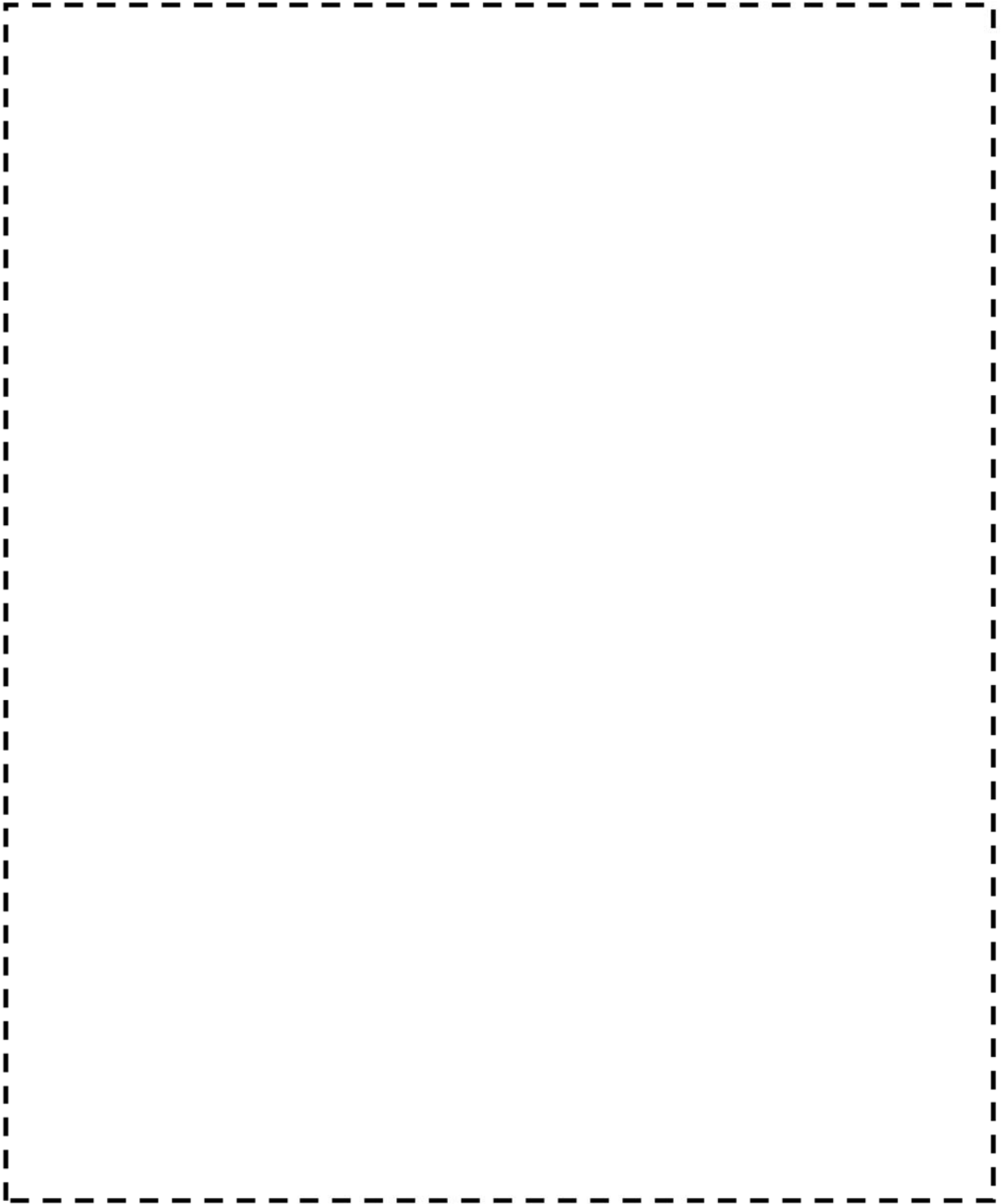
## 5. Ke係数

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。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



一次冷却材管 形状及び評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

一次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

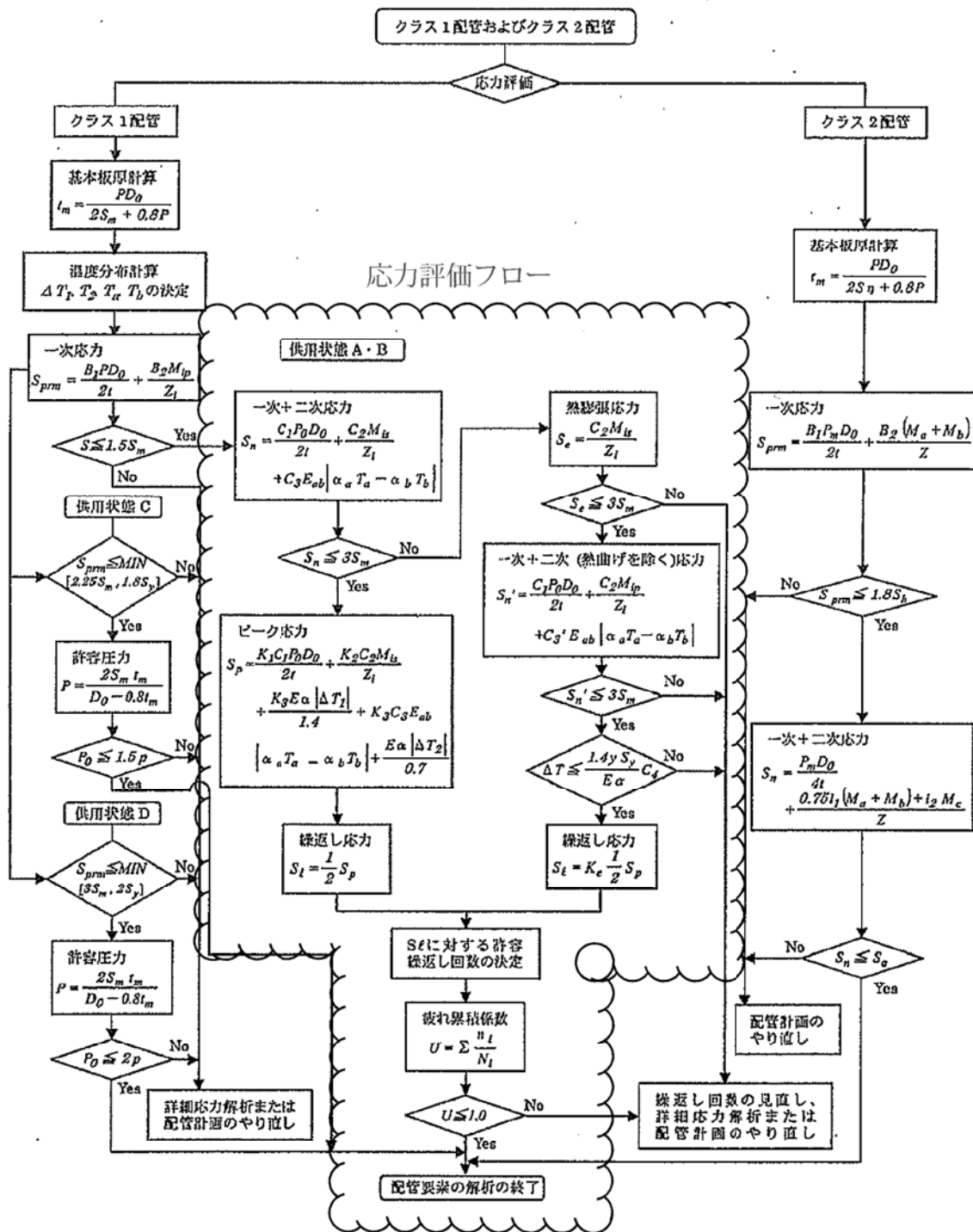
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	113.6	68.9	110.5	0.0	105.1	398.1	199.0	223.1	0.00009	1.0
	109	82.0	4.3	156.5	0.0	105.1	347.9	173.9	194.9	0.00002	
	111	130.3	89.4	101.9	7.6	105.2	434.4	217.2	243.4	0.00016	
	113	119.8	90.2	100.7	0.0	106.9	417.5	208.8	233.9	0.00014	
	114	133.1	121.6	100.9	6.7	105.1	467.3	233.7	261.9	0.00025	
	117	133.1	123.4	99.7	0.0	104.9	461.1	230.6	258.4	0.00022	
	141	117.9	24.5	76.2	0.0	34.2	252.8	126.4	140.0	0.00002	
	142	138.2	69.0	70.4	6.1	34.2	317.9	159.0	176.1	0.00008	
	143	126.5	53.7	70.9	0.0	36.0	287.1	143.5	159.0	0.00005	
	145	138.2	63.2	70.4	6.1	34.2	312.1	156.1	172.9	0.00008	
クロスオーバーレグ	147	117.9	22.2	76.2	0.0	34.2	250.5	125.2	138.8	0.00002	
	149	107.2	20.2	69.2	0.0	34.2	230.8	115.4	127.9	0.00001	
	151	131.9	57.6	70.4	6.1	34.2	300.3	150.1	166.4	0.00006	
	153	120.6	42.8	70.9	0.0	36.0	270.3	135.1	149.7	0.00004	
	157	131.9	35.5	70.4	6.1	34.2	278.2	139.1	154.1	0.00004	

→ ホットレグ通常UF:0.001

一次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
クロスオーバーレグ	159	107.2	10.4	69.2	0.0	34.2	221.1	110.5	122.5	0.00000	1.0
	160	117.9	10.2	76.2	0.0	34.2	238.5	119.3	132.1	0.00001	
	161	133.9	26.9	70.4	6.1	34.2	271.6	135.8	150.4	0.00004	
	163	122.5	19.4	70.9	0.0	36.0	248.8	124.4	137.8	0.00002	
	165	133.9	21.1	70.4	6.1	34.2	265.8	132.9	147.2	0.00003	
	167	149.4	8.8	103.5	214.2	12.8	488.7	244.4	270.7	0.00107	
	181	150.0	29.3	73.1	144.1	8.3	404.8	202.4	224.3	0.00040	
コールドレグ	183	107.6	12.2	68.1	0.0	32.7	220.5	110.3	122.2	0.00000	
	185	130.8	35.8	69.7	7.2	32.7	276.3	138.1	153.0	0.00003	
	189	117.6	30.9	70.8	0.0	34.7	254.0	127.0	140.7	0.00002	
	194	130.8	40.6	69.7	7.2	32.7	281.0	140.5	155.7	0.00004	

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



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート



## K e 係数と環境評価パラメータ (ホットレグ) (詳細評価手法: 評価点114)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
43 (2H1)	16 (1I1)	467.3	1.0	233.7	261.9	1	147000	0.00001	23.114	0.00016
39 (2F1)	16 (1I1)	395.3	1.0	197.7	221.5	4	403000	0.00001	23.114	0.00023
25 (2A1)	16 (1I1)	380.2	1.0	190.1	213.0	6	516000	0.00001	1.000	0.00001
29 (2C1)	16 (1I1)	379.2	1.0	189.6	212.5	1	525000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	16 (1I1)	374.5	1.0	187.2	209.8	2	574000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	372.5	1.0	186.3	208.7	1	595000	0.00000	1.000	0.00000
21 (1L1)	16 (1I1)	371.5	1.0	185.7	208.2	1	608000	0.00000	1.000	0.00000
31 (2D1)	16 (1I1)	370.7	1.0	185.3	207.7	7	617000	0.00001	1.000	0.00001
35 (2D4)	16 (1I1)	368.6	1.0	184.3	206.6	1	642000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	367.9	1.0	184.0	206.2	1	650000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	16 (1I1)	357.2	1.0	178.6	200.2	27	801000	0.00003	1.000	0.00003
3 (1C1)	2 (1B1)	344.5	1.0	172.3	193.1	78	1010000	0.00008	1.000	0.00008
15 (1I1)	36 (2D5)	339.7	1.0	169.9	190.4	1	1060000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	48 (2J2)	337.2	1.0	168.6	189.0	64	1080000	0.00006	1.000	0.00006
42 (2G1)	15 (1I1)	314.1	1.0	157.1	176.0	1	1370000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	38 (2E1)	312.7	1.0	156.4	175.2	1	1390000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	301.7	1.0	150.8	169.1	2	1560000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	301.4	1.0	150.7	168.9	4	1570000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	301.3	1.0	150.7	168.8	1	1570000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	15 (1I1)	296.5	1.0	148.3	166.1	1	1660000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	296.2	1.0	148.1	166.0	7	1660000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	284.2	1.0	142.1	159.2	35	1900000	0.00002	1.000	0.00002
47 (2J1)	26 (2A1)	173.7	1.0	86.9	97.4	6	8820000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	159.5	1.0	79.7	89.4	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00052

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$  (salt' $\leq 214.5$ ) 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)

通過条件番号		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 (2J1)	2 (1B1)	488.7	1.0	244.4	270.7	64	122000	0.00052	9.740	0.00511
1 (1A1)	2 (1B1)	480.0	1.0	240.0	265.9	14	135000	0.00010	10.252	0.00106
1 (1A1)	48 (2J2)	468.3	1.0	234.2	259.4	64	155000	0.00041	5.715	0.00236
27 (2B1)	36 (2D5)	376.5	1.0	188.2	208.6	1	599000	0.00000	1.000	0.00000
27 (2B1)	16 (1I1)	362.3	1.0	181.2	200.7	4	786000	0.00001	1.000	0.00001
25 (2A1)	16 (1I1)	329.9	1.0	164.9	182.7	6	1210000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	294.8	1.0	147.4	163.3	1	1750000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	294.5	1.0	147.3	163.2	1	1760000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	16 (1I1)	293.0	1.0	146.5	162.3	2	1790000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	289.4	1.0	144.7	160.3	7	1860000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	284.5	1.0	142.2	157.6	4	1970000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	280.1	1.0	140.1	155.2	1	2100000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	273.6	1.0	136.8	151.5	1	2320000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	16 (1I1)	270.2	1.0	135.1	149.7	25	2450000	0.00001	1.000	0.00001
15 (1I1)	42 (2G1)	263.8	1.0	131.9	146.1	1	2720000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	38 (2E1)	257.4	1.0	128.7	142.6	1	3030000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	238.7	1.0	119.4	132.2	6	4190000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	177.1	1.0	88.6	98.1	45	67800000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	40 (2F1)	102.5	1.0	51.2	56.8	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00857

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

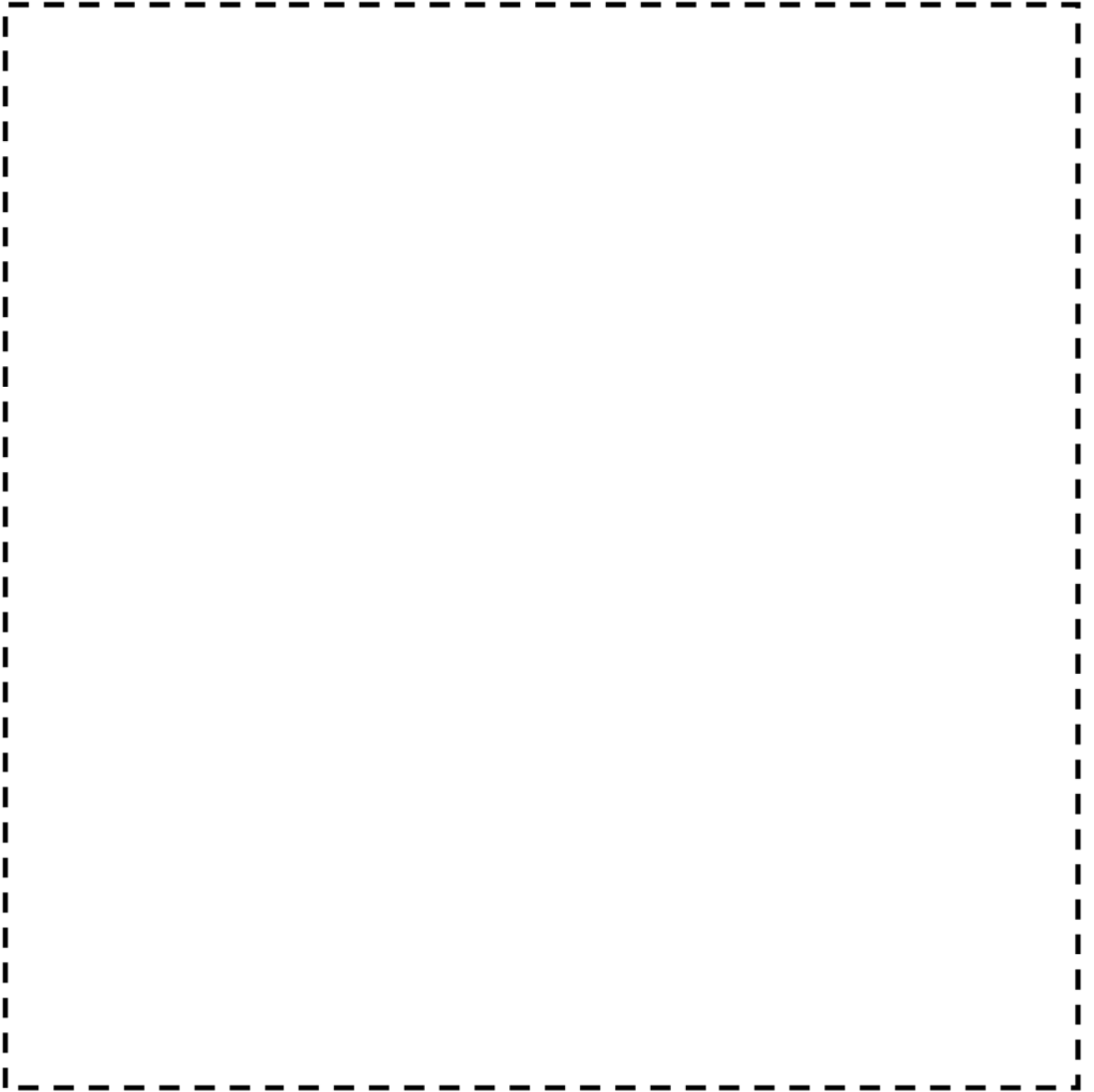
→環境UF : 0.009

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

過渡条件番号		一次+二次+ピーク応力 sp	削り増し係数 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 (2J1)	2 (1B1)	404.8	1.0	202.4	224.3	64	373000	0.00017	10.068	0.00173
1 (1A1)	2 (1B1)	402.4	1.0	201.2	222.9	14	387000	0.00004	10.459	0.00038
1 (1A1)	48 (2J2)	394.6	1.0	197.3	218.6	64	437000	0.00015	5.565	0.00082
27 (2B1)	16 (1I1)	373.2	1.0	186.6	206.7	5	698000	0.00001	1.000	0.00001
25 (2A1)	16 (1I1)	353.5	1.0	176.8	195.8	6	935000	0.00001	1.000	0.00001
15 (1I1)	36 (2D5)	340.6	1.0	170.3	188.7	1	1090000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	316.1	1.0	158.0	175.1	1	1390000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	16 (1I1)	311.9	1.0	155.9	172.8	2	1460000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	311.5	1.0	155.8	172.6	7	1460000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	307.1	1.0	153.5	170.1	1	1530000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	303.5	1.0	151.8	168.2	4	1590000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	296.5	1.0	148.2	164.2	1	1720000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	16 (1I1)	291.0	1.0	145.5	161.2	25	1830000	0.00001	1.000	0.00001
42 (2G1)	15 (1I1)	271.4	1.0	135.7	150.4	1	2400000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	38 (2E1)	254.8	1.0	127.4	141.1	1	3160000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	241.7	1.0	120.8	133.9	6	3970000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	201.1	1.0	100.6	111.4	44	11400000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	40 (2F1)	105.2	1.0	52.6	58.3	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00297

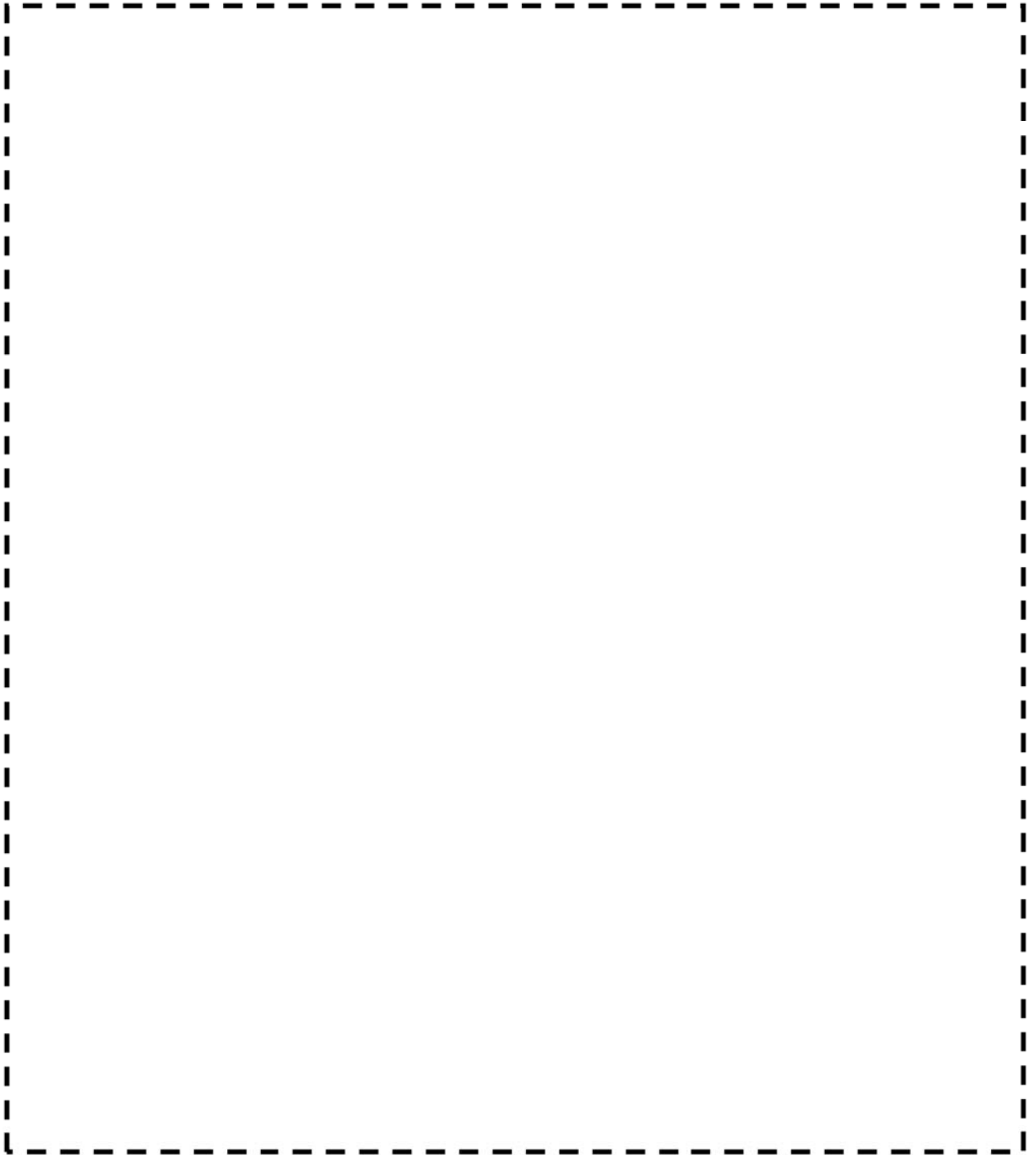
(注) ひずみ振幅 ≤ 0.110% (salt' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF: 0.003



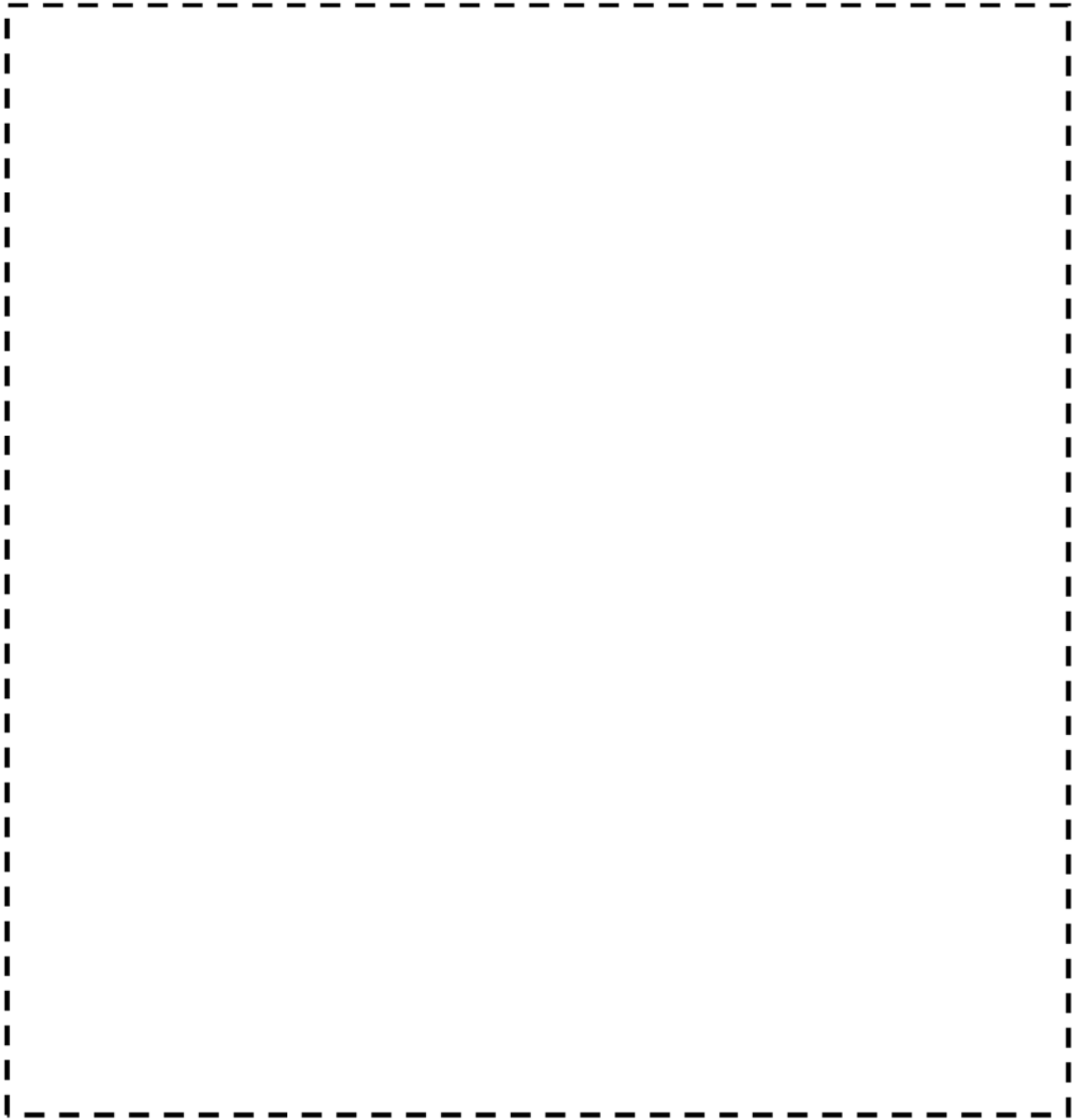
(1) 一次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



(2) 一次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



(3) 一次冷却材管（化学体積制御系ライン用管台）評価点

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



(1) 一次冷却材管 (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	0.00000	0.02594	0.01643
2	0.00001	0.00000	0.00129
3	0.00724	0.00616	0.15332
4	0.00001	0.00000	0.00128
5	0.0	0.00150	0.00072
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00129	0.02548	0.00067
8L	0.0	0.00008	0.00011
7C	0.00000	0.00106	0.00177
8C	0.0	0.00025	0.00005
9L	0.00222	0.00222	0.0
10L	0.0	0.00008	0.00009
9C	0.00001	0.00000	0.0
10C	0.0	0.00024	0.00004
11L	0.00105	0.00094	0.00001
12L	0.0	0.00009	0.00012
11C	0.00000	0.00000	0.00001
12C	0.0	0.00027	0.00014

許容値  $U_f = 1.0$ →通常 $U_f$  : 0.154

## (2) 一次冷却材管 (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	0.00193	0.00328
2	0.0	0.00013	0.00015
3	0.00008	0.00086	0.00358
4	0.0	0.00013	0.00017
5	0.0	0.00026	0.00015
6	0.00000	0.00000	0.0
7L	0.00019	0.00214	0.00034
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00236	0.00013
8C	0.0	0.00016	0.00006
9L	0.00025	0.00015	0.0
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00000	0.00000	0.0
10C	0.0	0.00015	0.00006
11L	0.00019	0.00023	0.00000
12L	0.0	0.00000	0.00000
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.0	0.00015	0.00007

許容値  $U_f = 1.0$ 

→通常UF : 0.004

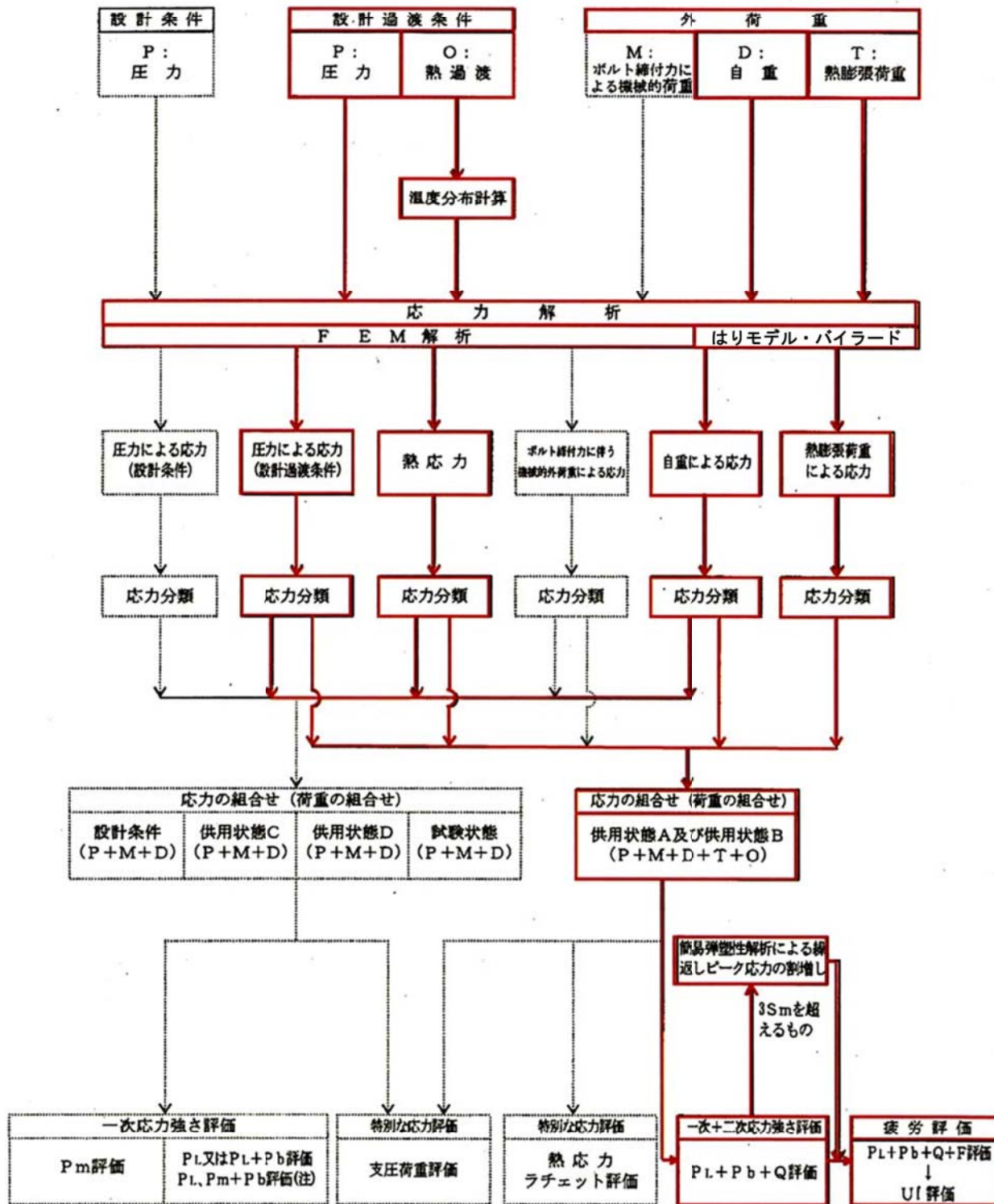
## (3) 一次冷却材管 (化学体積制御系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00035	0.00045
2	0.0	0.00001	0.00001
3	0.00000	0.00067	0.00019
4	0.0	0.00000	0.00001
5	0.0	0.00001	0.00000
6	0.00000	0.0	0.0
7L	0.00066	0.00243	0.00002
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00002	0.00003
8C	0.00000	0.00009	0.00003
9L	0.00082	0.00025	0.0
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00001	0.00000	0.0
10C	0.0	0.00010	0.00007
11L	0.00023	0.00014	0.00000
12L	0.00000	0.00000	0.00001
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00010	0.00015

許容値  $U_f = 1.0$ 

→通常UF : 0.003

応力評価フロー



(注) 試験状態に適用  
(.....部分は本評価では対象外)

## (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	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					
1A2	NSS	970.4	0.0	1.45	705.4	790.6	142	1130	0.12566	2.167	0.27225
1A2	2D5	970.4	379.6	1.33	391.5	438.8	1	10200	0.00010	5.673	0.00056
1A2	1L1	970.4	459.4	1.22	312.6	350.3	1	31200	0.00003	5.508	0.00018
1A2	1G1	970.4	462.8	1.22	309.7	347.1	7	32700	0.00021	5.682	0.00122
1A2	1D1	970.4	465.0	1.22	307.8	344.9	317	33800	0.00938	4.453	0.04176
1B2	1D1	970.4	465.0	1.22	307.8	344.9	374	33800	0.01107	4.453	0.04927
1B2	2G1	970.4	469.8	1.21	303.7	340.3	1	36100	0.00003	4.952	0.00014
1B2	2E1	970.4	487.3	1.20	288.7	323.6	1	46500	0.00002	4.724	0.00010
1B2	1M1	970.4	520.9	1.16	259.9	291.3	560	82100	0.00682	4.938	0.03368
2H1	1M1	794.9	520.9	1.00	137.0	153.6	1	2200000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	1M1	747.0	520.9	1.00	113.1	126.7	1	5070000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	1M1	730.7	520.9	1.00	104.9	117.5	1	7910000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1M1	686.3	520.9	1.00	82.7	92.7	706	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.39916

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

→環境UF: 0.400

## (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	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					
2L1	2E1	526.7	-492.3	1.88	959.0	1062.5	1	442	0.00226	3.446	0.00780
2E1	2L1	408.4	-440.4	1.88	798.8	885.0	1	784	0.00128	3.511	0.00448
2J1	NSS	255.9	0.0	1.00	127.9	141.7	64	3110000	0.00002	1.000	0.00002
1A1	NSS	254.0	0.0	1.00	127.0	140.7	78	3210000	0.00002	1.000	0.00002
1B1	2D4	243.1	127.5	1.00	57.8	64.0	1	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.01232

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

→環境UF: 0.013



(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		補正値 salt	補正値 salt'					
201	1B1	675.4	-5.8	1.00	340.6	377.4	1	21600	0.00005	6.761	0.00027
206	1B1	624.2	-5.8	1.00	315.0	349.0	1	31800	0.00003	6.290	0.00017
203	1B1	573.5	-5.8	1.00	289.7	320.9	1	48500	0.00002	5.299	0.00011
2N1	1B1	522.6	-5.8	1.00	264.2	292.7	2	79900	0.00003	7.243	0.00018
2N5	1B1	518.3	-5.8	1.00	262.0	290.3	4	83600	0.00006	7.259	0.00035
204	1B1	479.6	-5.8	1.00	242.7	268.9	1	127000	0.00001	5.335	0.00004
2S1	1B1	469.8	-5.8	1.00	237.8	263.5	68	142000	0.00048	7.251	0.00347
2S1	2J2	469.8	-5.4	1.00	237.6	263.2	64	143000	0.00045	7.665	0.00343
2S1	1I1	469.8	-1.2	1.00	236.5	260.9	52	150000	0.00035	7.638	0.00265
2S1	NSS	469.8	0.0	1.00	234.9	260.2	142	153000	0.00093	7.665	0.00711
2S1	204	469.8	31.7	1.00	219.0	242.7	1	228000	0.00000	8.033	0.00004
2S1	2QE	469.8	40.6	1.00	214.6	237.8	1	259000	0.00000	7.817	0.00003
2S1	2E1	469.8	70.0	1.00	199.9	221.4	1	404000	0.00000	7.665	0.00002
2S1	2N3	469.8	130.0	1.00	169.9	188.2	1	1100000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	202	469.8	142.9	1.00	163.5	181.1	1	1250000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QC	469.8	153.4	1.00	158.2	175.3	1	1390000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2N6	469.8	217.0	1.00	126.4	140.0	4	3270000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2F1	469.8	219.7	1.00	125.0	138.5	4	3430000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2D4	469.8	221.3	1.00	124.2	137.6	1	3530000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2N1	469.8	221.6	1.00	124.1	137.5	2	3540000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2D2	469.8	221.7	1.00	124.0	137.4	2	3560000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QF	469.8	231.5	1.00	119.1	132.0	4	4230000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QB	469.8	235.2	1.00	117.3	129.9	2	4530000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2C2	469.8	235.4	1.00	117.2	129.8	1	4540000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2A1	469.8	239.9	1.00	114.9	127.3	6	4940000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2D1	469.8	240.7	1.00	114.5	126.9	7	5020000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	205	469.8	242.0	1.00	113.9	126.2	1	5200000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	201	469.8	248.2	1.00	110.8	122.8	1	6110000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2G1	469.8	250.9	1.00	109.4	121.2	1	6580000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2I1	469.8	252.8	1.00	108.5	120.2	6	6930000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	1G1	469.8	253.6	1.00	108.1	119.7	7	7090000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2Q8	469.8	259.0	1.00	105.4	116.8	1	8230000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2H1	469.8	259.9	1.00	104.9	116.3	1	8440000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2QG	469.8	261.4	1.00	104.2	115.4	1	8800000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	1D1	469.8	270.0	1.00	99.9	110.7	322	12100000	0.00003	1.000	0.00003
2Q6	1D1	461.7	270.0	1.00	95.9	106.2	5	17900000	0.00000	1.000	0.00000
2N4	1D1	452.3	270.0	1.00	91.1	101.0	1	36700000	0.00000	1.000	0.00000
2R1	1D1	429.3	270.0	1.00	79.6	88.2	78	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.01790

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

→環境UF: 0.018



タイトル	余熱除去ポンプ入口弁の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去ポンプ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"><li>1. 解析モデル JSME S NC-1 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。 評価パラメータを添付に示す。</li><li>2. 材料物性 材質：A351 CF8M ヤング率：<math>1.78 \times 10^5</math> (MPa) 熱膨張係数：<math>1.844 \times 10^{-5}</math> (mm/mm・°C)</li><li>3. 最大評価点の選定 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。</li><li>4. 応力分類 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)</li><li>5. Ke係数 簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</li><li>6. 環境評価パラメータ 添付参照のこと。</li></ol>

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表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表2に示す。

表1 応力解析結果

弁番号 MW-87028										呼び径 120		弁箱の材料 A351 CF8M(SCS14A相当)		接続管の材料 SUS32TP		計算書番号				
弁箱の応力解析 (1/2)																クラス1並				
(1) 設計条件及び諸元																				
最高使用圧力	最高使用温度	260℃における換算圧力	260℃における設計応力強さ	接続管の260℃における設計降伏点	260℃における縦弾性係数	260℃における熱膨張係数	AA断面における金属部の厚さ	交差部壁面とその二等分線とに接する円の直径	交差部壁面に接する円の直径	P (MPa)	T (°C)	P <sub>e</sub> (MPa)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	E (MPa)	α (×10 <sup>-6</sup> /mm/°C)	t <sub>1</sub> (mm)	T <sub>1</sub> (mm)	T <sub>2</sub> (mm)	
17.16	343	18.5	125	137	178000	18.44														
AA断面における平均半径	AA断面における内半径	液体部面積	金属部面積	接続管の断面積の2分の1	AA断面における金属部の断面積	接続管の断面係数	AA断面における断面係数	AA断面における断面係数	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力	r (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	A <sub>L</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>M</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>3</sub> (mm <sup>3</sup> )	Q T (MPa)	
圧力の段階的な変化の最大値と最小値との差	厚板部分と薄板部分の平均温度の差の最大値	流体温度の段階的な温度変化の最大値と最小値との差	応力係数					ネック部の角度による係数	繰返しピーク応力強さの割増し係数	材料の種類に応じた値			(注1) Ke 通用判定のSnはVVB-3370による。 (注2) SnはVVB-3340による。							
ΔP <sub>step</sub> (MPa)	ΔT (°C)	ΔT <sub>av</sub> (°C)	C <sub>b</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	K	K <sub>g</sub> (III)	q	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>								
(2) 弁箱の応力																				
項目	一次応力 S					一次+二次応力 S <sub>max</sub>														
	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)													
計算応力 (MPa)	65	171	P <sub>d</sub>	P <sub>b</sub>	P <sub>t</sub>	233	164													
許容応力 (MPa)	S <sub>m</sub> = 125	2.25 S <sub>m</sub> = 283	1.5 S <sub>m</sub> = 188			3 S <sub>m</sub> = 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。																			

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

表2 疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡の組合せ		Spi (MPa)	S11 (MPa)	S12 (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	換算:1 以外:2	ε*	T1 (°C)	T2 (°C)	T (°C)	T*	Fen (-)	Fen×N/N*		
	H1	C1																					
起動時及び停止時 1次系調えい試験(注1)	H1	C1	343.8	171.9	193.7	78	1004446	0.00008				178000		1							23.114	0.00185	
	H23	C28	343.8	171.9	193.7	64	1004446	0.00008				178000		1							9.427	0.00057	
	H2	C21	789.9	395.0	445.2	1	9626	0.00016				178000		1							19.295	0.00193	
	H2	C23	642.4	321.2	362.1	1	26511	0.00007				178000		1							26.312	0.00105	
	H2	C25	623.6	311.8	351.5	1	30765	0.00003				178000		1							26.980	0.00081	
	H2	C24	530.0	265.0	298.7	4	71586	0.00006				178000		1							25.988	0.00156	
	H2	C19	521.5	260.7	293.9	2	78265	0.00003				178000		1							26.391	0.00079	
	H2	C17	508.2	254.6	287.0	1	89131	0.00001				178000		1							26.253	0.00026	
	H2	C10	493.7	246.8	278.2	1	105655	0.00001				178000		1							27.608	0.00028	
	H2	C18	489.2	244.6	275.7	7	111155	0.00004				178000		1							26.522	0.00159	
	H2	C29	484.3	242.1	272.9	6	117546	0.00005				178000		1							30.304	0.00152	
	H2	C6	483.5	241.7	272.5	7	118652	0.00004				178000		1							30.904	0.00185	
	H2	C13	481.0	240.5	271.1	6	122047	0.00005				178000		1							26.272	0.00131	
	起動時及び停止時 以外	H2	C27	472.4	236.2	266.3	1	134856	0.00001				178000		1							26.444	0.00026
H2		C3	460.6	230.3	259.6	669	155281	0.0043				178000		1							31.350	0.13512	
H12		C3	360.1	180.0	202.9	6	727885	0.00001				178000		1							28.277	0.00028	
H8		C3	356.0	178.0	200.6	1	789007	0.00004				178000		1							29.471	0.00000	
H10		C3	349.4	174.7	196.9	1	899405	0.00004				178000		1							29.611	0.00000	
H4		C3	346.2	173.1	195.1	3	961153	0.00006				178000		1							29.758	0.00000	
H7		C3	343.7	171.9	193.7	11	1004923	0.00001				178000		1							34.536	0.00035	
H7		C7	338.8	169.4	190.9	52	1053353	0.00006				178000		1							22.586	0.00113	
H7		C14	248.5	124.2	140.1	5	3276517	0.00004				178000		1							34.580	0.00000	
ΣN/N* (注3)																					ΣFen×N/N*		
																					0.15251		

→通常UF : 0.006

→環境UF : 0.153

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(°C)、  
 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。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

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。

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 343.8 / (178000 \times \text{---}) = \text{---} (\%/s)$$

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

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

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

$$\text{であるので、} T^* = \text{---}$$

したがって、

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

タイトル	抽出水第 1 シャ断弁の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>抽出水第 1 シャ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"><li>1. 解析モデル JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しているため解析モデルに該当するものはない。 評価パラメータは添付参照</li><li>2. 材料物性 材質：A351 CF8M ヤング率：<math>1.78 \times 10^5</math> (MPa) 熱膨張係数：<math>1.844 \times 10^{-5}</math> (mm/mm・℃)</li><li>3. 最大評価点の選定 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。</li><li>4. 応力分類 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)</li><li>5. Ke係数 簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</li><li>6. 環境評価パラメータ 添付参照</li></ol>

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表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表2に示す。

表1 応力解析結果

弁番号 1CV-159/160 (入口側) 呼び径 3B 弁箱の材料 A351 CF8M (SCS14A相当) 接続管の材料 SUS27TP/A182 F304 (SUSF304相当)										計算書番号	
弁箱の応力解析 (1/2)										クラス1弁	
(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 <sub>1</sub> (MPa)	260 °Cにおける 設計応力強さ S <sub>m</sub> (MPa)	接続管の260 °Cに おける設計降伏点 S <sub>y</sub> (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 <sup>-6</sup> mm/mm/°C)	A-A断面における 金属部の厚さ t <sub>e</sub> (mm)	交さ部壁面とその 二等分線とに接する 円の直径 T <sub>e1</sub> (mm)	交さ部壁面に接する 円の直径 T <sub>e2</sub> (mm)		
17.16	343	18.5	125	133	178000	18.44					
A-A断面における 平均半径 r (mm)	A-A断面における 内半径 r <sub>i</sub> (mm)	流体部面積 A <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	金属部面積 A <sub>m</sub> (mm <sup>2</sup> )	接続管の断面積の 2分の1 A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A-A断面における 金属部の断面積 A <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	接続管の断面係数 Z <sub>1</sub> (mm <sup>3</sup> )	A-A断面における 断面係数 Z <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )	A-A断面における 断面係数 Z <sub>3</sub> (mm <sup>3</sup> )	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 <sub>1m</sub> (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 <sub>1m</sub> (°C)	応力係数 C <sub>b</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> C <sub>4</sub> C <sub>5</sub>					ネック部の角度 による係数 K	推定しピーク 応力強さの割 増し係数 K <sub>1</sub> (mm)	材料の種類に応じた値 q A <sub>0</sub> B <sub>0</sub>	
										(注1) K <sub>0</sub> 適用判定の S <sub>n</sub> は VVB-3376 による。 (注2) S <sub>n</sub> は VVB-3340 による。	
(2) 弁箱の応力											
項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S <sub>m</sub> <sup>(注3)</sup>					
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)				
計算応力 (MPa)	117	143	P <sub>a</sub>	P <sub>b</sub>	P <sub>c</sub>	211	238				
許容応力 (MPa)	S <sub>m</sub> = 125	2.25 S <sub>m</sub> = 283	1.5 S <sub>m</sub> = 188			3 S <sub>m</sub> = 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。										

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



表2 疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡の組合せ		S <sub>pi</sub> (MPa)	N (回)	N*	N/N*	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	ε̇*	T (℃)	T*	Fen (-)	Fen×N/N*		
	加熱過程	冷却過程														
起動時及び停止時	H1	C1	281.2	78	1940627	0.00004		178000						23.114	0.00092	
1次系漏えい試験(注1)	H27	C28	281.2	64	1940627	0.00003		178000						9.427	0.00028	
起動時及び停止時以外	H29	C33	2013.3	1	363	0.00276		178000						23.757	0.06533	
	H30	C33	2013.3	2	363	0.00551		178000						23.757	0.13090	
	H30	C30	1914.6	1	422	0.00237		178000						19.003	0.04504	
	H28	C30	1824.3	6	488	0.01230		178000						19.212	0.23630	
	H28	C31	1815.8	1	495	0.00202		178000						23.757	0.04799	
	H14	C21	568.3	1	49007	0.00002		178000						33.866	0.00068	
	H14	C23	476.4	1	128907	0.00001		178000						33.866	0.00034	
	H14	C25	455.6	1	164954	0.00001		178000						33.866	0.00034	
	H14	C29	445.7	2	186278	0.00001		178000						33.866	0.00034	
	H12	C29	392.6	4	406356	0.00001		178000						21.785	0.00022	
	H12	C7	368.8	2	614798	0.00000		178000						17.696	0.00000	
	H25	C7	363.0	1	687498	0.00000		178000						14.949	0.00000	
	H6	C7	343.6	7	1006279	0.00001		178000						22.780	0.00023	
	H2	C7	340.5	42	1036247	0.00004		178000						21.255	0.00085	
	H2	C32	326.9	1	1184490	0.00000		178000						24.418	0.00000	
	H2	C19	308.5	2	1431805	0.00000		178000						21.452	0.00000	
	H2	C24	283.3	4	1892725	0.00000		178000						21.336	0.00000	
	H2	C6	270.7	7	2263632	0.00000		178000						26.310	0.00000	
	H2	C16	269.0	1	2326187	0.00000		178000						22.003	0.00000	
	H2	C13	268.7	6	2338952	0.00000		178000						24.809	0.00000	
	H2	C26	268.0	1	2364742	0.00000		178000						21.380	0.00000	
	H2	C18	263.9	7	2527059	0.00000		178000						22.030	0.00000	
	H2	C15	256.1	5	2878365	0.00000		178000						33.866	0.00000	
	H2	C3	254.4	630	2962536	0.00021		178000						24.498	0.00514	
	H22	C3	249.3	1	3233897	0.00000		178000						23.945	0.00000	
	H4	C3	247.9	3	3311371	0.00000		178000						22.717	0.00000	
H18	C3	247.6	2	3331096	0.00000		178000						22.558	0.00000		
														環境UF	0.02534	
															環境UF	0.53490

→0.026

→0.535

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

環境効果補正係数 (F<sub>en</sub>) 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<sub>en</sub>=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。

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

$$\dot{\epsilon} = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 281.2 / (178000 \times \boxed{\quad}) (\%/s)$$

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{\quad}$

したがって、

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

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ピーク応力強さ変動幅Spiの考え方

抽出水第1しゃ断弁のピーク応力強さの変動幅(Spi)は設計・建設規格(JSME S NC-1 2005/2007)のVVB-3300(弁の応力評価)に従って算出している。

例として各過渡の中で最も  $F_{en} \times N/N^*$  が大きい H28[抽出ラインの隔離及び復帰] - C30[抽出ラインの隔離及び復帰]の過渡組み合わせ Spi= 1824.3 の導出の過程を説明する。

供用状態A及び供用状態Bにおける弁箱の疲労評価について、ピーク応力強さの変動幅は、以下のとおり式VVB-17を用いて算出する。

$$S_{pi} = 4\Delta P_{fm} \left( \frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha E \Delta T_f (C_3 C_4 + C_5) \quad (\text{VVB-17})$$

$\Delta P_{fm}$ : 圧力の段階的な変化の最大値と最小値との差 = [ ] MPa

$r_i$ : 図VVB-3330-1に示すAA断面における内半径 = [ ] mm

$t_e$ : 図VVB-3330-1に示すAA断面における金属部の厚さ = [ ] mm

$\alpha$ : 材料の線膨張係数 =  $18.44 \times 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$

$E$ : 材料の縦弾性係数 = 178000 MPa

$C_3$ : 表VVB-3360-1により求めた応力係数 = [ ]

$C_4$ : 表VVB-3360-2により求めた応力係数 = [ ]

$C_5$ : 表VVB-3370-1により求めた応力係数 = [ ]

$\Delta T_f$ : 液体温度変動の振幅(全範囲) =  $T_H$ (加熱過程の温度差) +  $T_C$ (冷却過程の温度差)

当該弁に温水が流入すると、内面の膨張を外面が拘束する事で内面は圧縮状態、温水が一定の時間継続し、無い外面一定温度後に冷水の注入があると、内面の縮小を外面が拘束する為、引張状態となる。弁の評価では $T_H$ と $T_C$ を用いて簡便に算出し、この応力変動ピーク応力とみなしている。ここで、加熱過程であるH28[抽出ラインの隔離及び復帰]の温度差が238.6 $^\circ\text{C}$ 、冷却過程であるC30[抽出ラインの隔離及び復帰]の温度差が238.6 $^\circ\text{C}$ であるため、

$$\Delta T_f = T_H + T_C = 238.6 + 238.6 = 477.2^\circ\text{C}$$

したがって、

$$S_{pi} = 4\Delta P_{fm} \left( \frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha E \Delta T_f (C_3 C_4 + C_5)$$

$$= 4 \times [ ] \times \left( \frac{[ ]}{[ ]} + 0.5 \right) + 18.44 \times 10^{-6} \times 178000 \times 477.2 \times [ ] \times [ ] + [ ]$$

$$= 1824.339 \text{MPa}$$

Spiについて、各過渡の組み合わせ毎の応力の大小は温度変動量で決まっており、他の過渡に比べ、温度変動量大きい抽出ラインや充てんラインの隔離及び復帰の過渡組み合わせにおけるSpiが高くなっている。なお、SpiにおいてはVVB-3370に従い起動停止以外の過渡をステップ状の過渡とみなして保守的に算出しており、実際のピーク応力は内部流体の流速や温度変化率等のパラメータにより上記式で計算しているSpiより小さくなる。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 応力分類 評価における応力フローチャートを図 1 に示す。また、荷重の組み合わせを表 1-1 に示す。</li> <li>2. 材料物性値 材料物性値（設計応力強さ）を表 1-2 に示す。</li> <li>3. 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。 <table border="1" data-bbox="475 1048 1311 1249"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.3-1</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>解析モデル図は図 2 に示す。</p> </li> <li>4. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を表 2-1 に示す。</li> <li>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を表 2-2 に示す。</li> </ol>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1	要素種類		要素次数		節点数		要素数	
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.3-1										
要素種類											
要素次数											
節点数											
要素数											

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



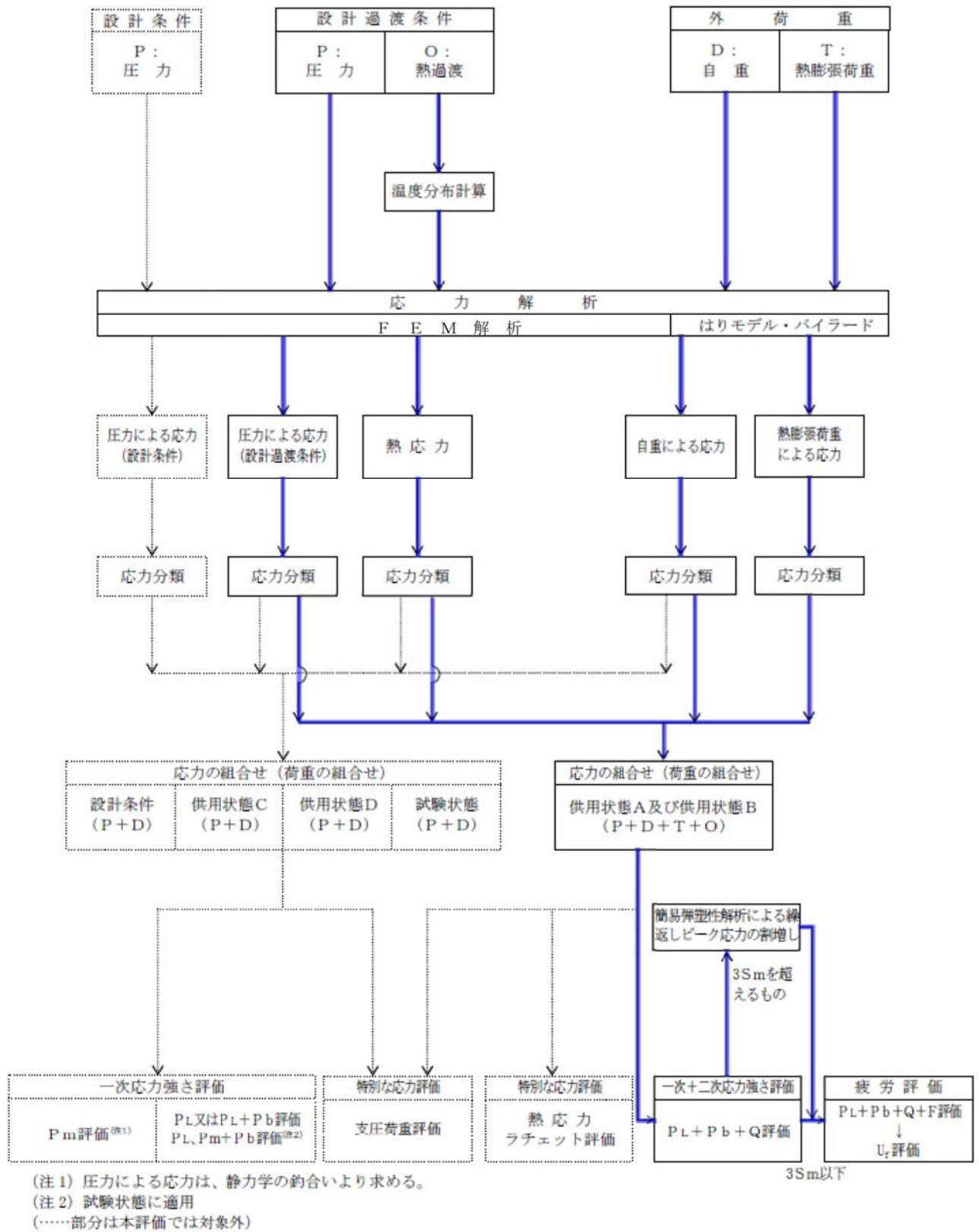


図1 応力評価フローチャート

表 1 - 1 荷重の組合せ

状 態	荷重の組合せ
供用状態 A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

表 1 - 2 材料物性値 (設計応力強さ)

評価部位	材料	設計応力 (MPa)
		345°C
下部胴板、下部鏡板	ASME SA533 Gr. A CLASS 1 (SQV1A 相当)	184



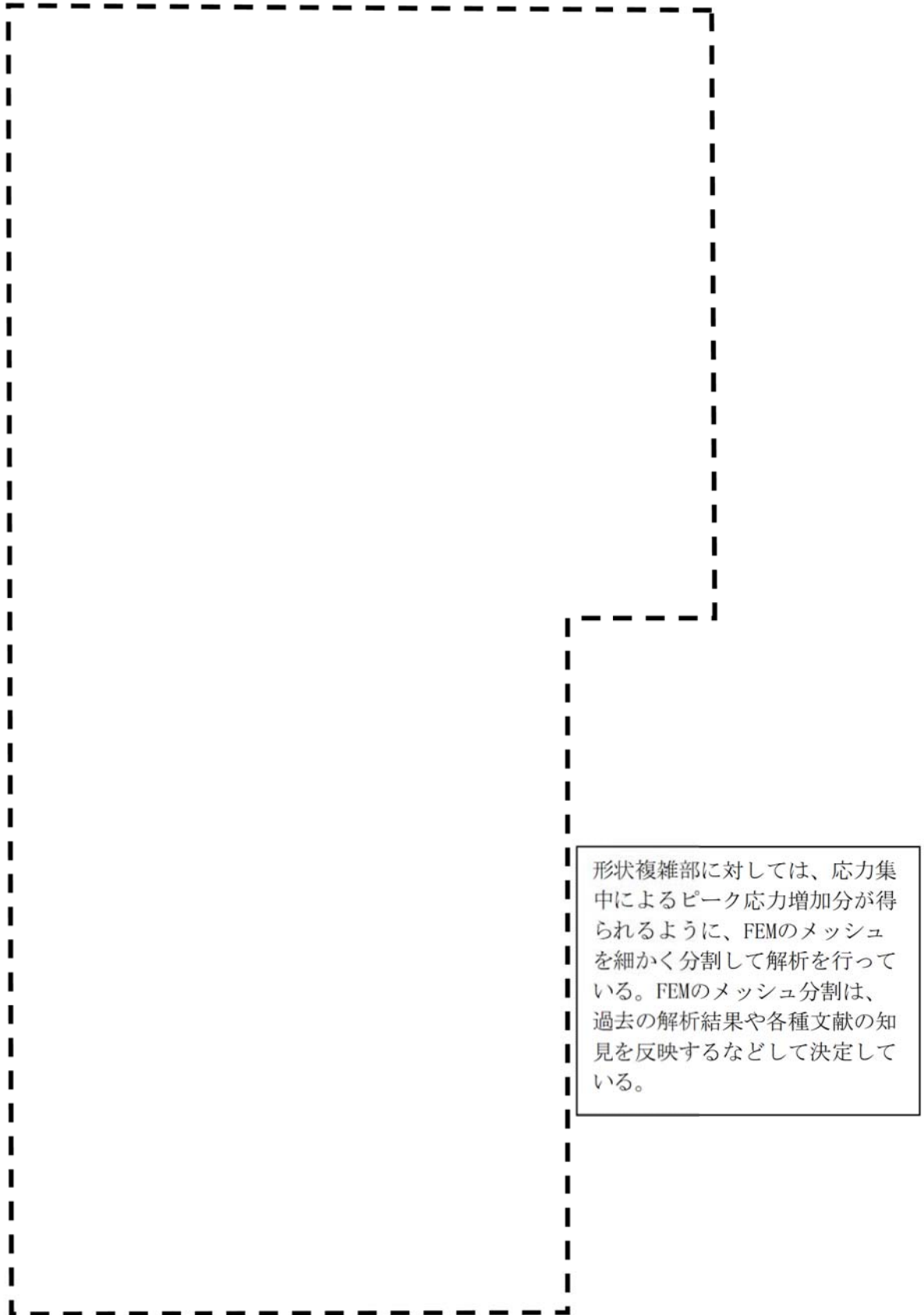


図2 加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点及び解析モデル

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 2-1 疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00007	0.00000
2	0.0	0.00000	0.0
3	0.0	0.00000	0.00016
4	0.00000	0.00000	0.00234
5	0.00116	0.00000	0.00535
6	0.00161	0.0	0.00246
7	0.16307	0.00000	0.16557
8	0.00216	0.00503	0.04041

許容値  $U_f = 1.0$ 

表 2-2 疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

評価点 - 7  
(S31)

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
815.1	-111.9	1.0	463.5	539.0	78	1170	0.06667
773.0	-31.3	1.0	402.2	467.7	5	1700	0.00294
749.3	-31.3	1.0	390.3	453.9	6	1850	0.00324
743.2	-31.3	1.0	387.3	450.4	1	1890	0.00053
737.3	-31.3	1.0	384.3	446.9	7	1920	0.00365
735.4	-31.3	1.0	383.4	445.8	45	1940	0.02320
735.4	0.0	1.0	367.7	427.6	142	2200	0.06455
735.4	336.4	1.0	199.5	232.0	1	15100	0.00007
735.4	491.4	1.0	122.0	141.9	64	87300	0.00073
735.4	627.2	1.0	54.1	62.9	1	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.16557

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 : 0.166

タイトル	環境補正係数の算出に用いているパラメータおよびそれらの根拠																																			
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、<math>F_{en}</math>（環境疲労補正係数）算出式が「炭素鋼・低合金鋼」、「オーステナイト系ステンレス鋼」、「ニッケルクロム鉄合金」の3つの区分で決められており、それぞれの式（PWR炉に適用する式）および、その関係パラメータは以下のとおりである。</p> <p>(1) 炭素鋼・低合金鋼  <math display="block">\ln(F_{en}) = 0.00822(0.772 - \dot{\epsilon}^*) \times S^* \times T^* \times O^*</math></p> <p>(2) オーステナイト系ステンレス鋼  <math display="block">\ln(F_{en}) = (3.910 - \dot{\epsilon}^*) \times T^*</math></p> <p>(3) ニッケルクロム鉄合金  <math display="block">\ln(F_{en}) = (2.94 - \dot{\epsilon}^*) \times T^*</math></p> <p><math>\dot{\epsilon}^*</math> : ひずみ速度依存パラメータ  <math>S^*</math> : 硫黄含有量依存パラメータ  <math>T^*</math> : 温度依存パラメータ  <math>O^*</math> : 溶存酸素依存パラメータ</p> <p>各依存パラメータの決定式は、環境疲労評価手法のEF-2300参照</p> <p>このように、環境疲労評価に用いる関係パラメータは材質によって異なっている。美浜3号炉の劣化状況評価書において、接液環境中であり、環境疲労評価を行った機器・部位とその材質は以下のとおりである。</p> <p style="text-align: center;">環境疲労評価対象機器・部位とその材質</p> <table border="1" data-bbox="422 1473 1331 2020"> <thead> <tr> <th>機器</th> <th>部位</th> <th>材質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>余熱除去ポンプ</td> <td>ケーシング</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">一次冷却材ポンプ</td> <td>ケーシング脚部</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>ケーシング吐出ノズル</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>ケーシング吸込ノズル</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>再生クーラ</td> <td>管板</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>余熱除去クーラ</td> <td>管板</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">蒸気発生器</td> <td>管板廻り</td> <td>低合金鋼</td> </tr> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>低合金鋼</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">原子炉容器</td> <td>冷却材入口管台</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>冷却材出口管台</td> <td>ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>蓋用管台</td> <td>690系ニッケル基合金</td> </tr> <tr> <td>炉内計装筒</td> <td>600系ニッケル基合金</td> </tr> <tr> <td>炉心支持金物</td> <td>600系ニッケル基合金</td> </tr> </tbody> </table>	機器	部位	材質	余熱除去ポンプ	ケーシング	ステンレス鋼	一次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	ステンレス鋼	ケーシング吐出ノズル	ステンレス鋼	ケーシング吸込ノズル	ステンレス鋼	再生クーラ	管板	ステンレス鋼	余熱除去クーラ	管板	ステンレス鋼	蒸気発生器	管板廻り	低合金鋼	給水入口管台	低合金鋼	原子炉容器	冷却材入口管台	ステンレス鋼	冷却材出口管台	ステンレス鋼	蓋用管台	690系ニッケル基合金	炉内計装筒	600系ニッケル基合金	炉心支持金物	600系ニッケル基合金
機器	部位	材質																																		
余熱除去ポンプ	ケーシング	ステンレス鋼																																		
一次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	ステンレス鋼																																		
	ケーシング吐出ノズル	ステンレス鋼																																		
	ケーシング吸込ノズル	ステンレス鋼																																		
再生クーラ	管板	ステンレス鋼																																		
余熱除去クーラ	管板	ステンレス鋼																																		
蒸気発生器	管板廻り	低合金鋼																																		
	給水入口管台	低合金鋼																																		
原子炉容器	冷却材入口管台	ステンレス鋼																																		
	冷却材出口管台	ステンレス鋼																																		
	蓋用管台	690系ニッケル基合金																																		
	炉内計装筒	600系ニッケル基合金																																		
	炉心支持金物	600系ニッケル基合金																																		

機器	部位	材質
加圧器	スプレイライン用管台	ステンレス鋼
	サージ用管台	ステンレス鋼
ステンレス鋼配管	余熱除去系配管	ステンレス鋼
	加圧器サージ配管	ステンレス鋼
	加圧器スプレイ配管	ステンレス鋼
炭素鋼配管	主給水系統配管	炭素鋼
一次冷却材管	ホットレグ	ステンレス鋼鋳鋼
	クロスオーバレグ	ステンレス鋼鋳鋼
	コールドレグ	ステンレス鋼鋳鋼
	一次冷却系加圧器サージライン用管台	ステンレス鋼
	安全注入系ライン用管台	ステンレス鋼
	化学体積制御系ライン用管台	ステンレス鋼
仕切弁	余熱除去ポンプ入口弁	ステンレス鋼鋳鋼
玉形弁	抽出水第1シャ断弁	ステンレス鋼鋳鋼
スイング逆止弁	原子炉容器連絡逆止弁	ステンレス鋼鋳鋼
リフト逆止弁	加圧器補助スプレイライン逆止弁	ステンレス鋼
炉内構造物	上部炉心支持板	ステンレス鋼
	上部炉心支持柱	ステンレス鋼
	下部炉心支持板	ステンレス鋼
	下部炉心支持柱	ステンレス鋼

各々の部位の環境疲労評価に用いたパラメータについては下記を参照

余熱除去ポンプ：別紙7-②

一次冷却材ポンプ：別紙7-③

再生クーラ：別紙7-④

余熱除去クーラ：別紙7-④

蒸気発生器：別紙5、別紙7-⑤

原子炉容器：別紙7-①

加圧器本体：別紙7-⑦

ステンレス鋼配管（余熱除去系統配管）：添付1

ステンレス鋼配管（加圧器サージ、スプレイ配管）：別紙7-⑨

炭素鋼配管：別紙5、別紙7-⑩

一次冷却材管：別紙7-⑪

仕切弁：別紙7-⑫

玉形弁：別紙7-⑬

スイング逆止弁：添付2

リフト逆止弁：添付3

炉内構造物：添付4

ステンレス鋼配管（余熱除去系統配管）の環境効果補正係数算出パラメータ

ステンレス鋼配管（余熱除去系統配管）の環境疲労評価にあたっては、環境疲労評価手法による係数倍法（EF-3121）を適用している。

EF-3121 に定めるオーステナイトステンレス鋼（PWR、鋳鋼以外）の式を用いた。

評価に用いたパラメータ（温度）及び、算出した  $F_{en}$ （環境効果補正係数）を以下に示す。

部位	一次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口弁（冷却材ループ連絡第1弁）	余熱除去ポンプ入口弁（冷却材ループ連絡第1弁）～原子炉格納容器貫通部
温度	343℃	200℃
$F_{en}$	19.696	6.266

これらの結果より、環境疲労評価における疲労累積係数（ $U_{en}$ ）は以下の数値となる。

一次冷却材管高温側出口管台～余熱除去ポンプ入口弁（冷却材ループ連絡第1弁）

$$U_{en}=0.001（大気中の疲労累積係数）\times 19.696\approx 0.020$$

余熱除去ポンプ入口弁（冷却材ループ連絡第1弁）～原子炉格納容器貫通部

$$U_{en}=0.002（大気中の疲労累積係数）\times 6.266\approx 0.013$$



スイング逆止弁（原子炉容器連絡逆止弁）の環境効果補正係数算出パラメータ

運転状態	過渡の組合せ		S <sub>p1</sub> (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	鋳鋼:1 以外:2	ε* (-)	T (°C)	T* (°C)	Fen (-)	Fen×N/N*
	加熱過程	冷却過程													
起動時及び停止時 1次系漏えい試験(注1)	H1	C1	363.2	78	685669	0.00011	178000	1	1	1	23.114	0.00254	23.114	0.00254	
	H27	C28	363.2	64	685669	0.00009	178000	1	1	1	9.427	0.00085	9.427	0.00085	
	H29	C31	2266.1	1	255	0.00392	178000	1	1	1	11.337	0.04444	11.337	0.04444	
	H28	C30	2081.9	1	329	0.00304	178000	1	1	1	9.870	0.03000	9.870	0.03000	
	H14	C21	646.8	1	25630	0.00004	178000	1	1	1	33.787	0.00135	33.787	0.00135	
	H14	C23	532.7	1	69666	0.00001	178000	1	1	1	33.866	0.00034	33.866	0.00034	
	H14	C25	506.9	1	91352	0.00001	178000	1	1	1	33.866	0.00034	33.866	0.00034	
	H14	C29	494.7	2	104490	0.00002	178000	1	1	1	33.866	0.00068	33.866	0.00068	
	H12	C29	428.8	4	235042	0.00002	178000	1	1	1	21.331	0.00043	21.331	0.00043	
	H12	C7	399.2	2	366461	0.00001	178000	1	1	1	17.364	0.00017	17.364	0.00017	
	H25	C7	392.0	1	410230	0.00000	178000	1	1	1	14.694	0.00000	14.694	0.00000	
	H6	C7	367.9	7	624863	0.00001	178000	1	1	1	22.420	0.00022	22.420	0.00022	
	H2	C7	364.1	42	672447	0.00006	178000	1	1	1	20.933	0.00126	20.933	0.00126	
	H2	C19	324.4	2	1214448	0.00000	178000	1	1	1	21.207	0.00000	21.207	0.00000	
	H2	C24	293.1	4	1692546	0.00000	178000	1	1	1	21.172	0.00000	21.172	0.00000	
起動時及び停止時 以外	H2	C6	277.5	7	2033494	0.00000	178000	1	1	1	26.310	0.00000	26.310	0.00000	
	H2	C16	275.4	1	2101756	0.00000	178000	1	1	1	21.885	0.00000	21.885	0.00000	
	H2	C13	275.0	6	2115745	0.00000	178000	1	1	1	24.673	0.00000	24.673	0.00000	
	H2	C26	274.1	1	2144069	0.00000	178000	1	1	1	21.271	0.00000	21.271	0.00000	
	H2	C18	269.1	7	2324180	0.00000	178000	1	1	1	21.932	0.00000	21.932	0.00000	
	H2	C15	259.3	5	2724566	0.00000	178000	1	1	1	33.866	0.00000	33.866	0.00000	
	H2	C3	257.2	631	2922573	0.0022	178000	1	1	1	24.498	0.00539	24.498	0.00539	
	H22	C3	250.9	1	3143815	0.00000	178000	1	1	1	23.909	0.00000	23.909	0.00000	
	H4	C3	249.2	3	3236979	0.00000	178000	1	1	1	22.690	0.00000	22.690	0.00000	
	H18	C3	248.8	2	3260799	0.00000	178000	1	1	1	22.533	0.00000	22.533	0.00000	
													Σ Fen×N/N*	0.08801	
													Σ N/N*	0.00756	

UF→0.008

Uen→0.089

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません



リフト逆止弁（加圧器補助スプレライン逆止弁）の環境効果補正係数算出パラメータ

運転状態	過渡の組合せ		S <sub>pl</sub> (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	鋼鋼-1 以外-2	ε* (-)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Fen×N/N*	
	加熱過程	冷却過程														
起動時及び停止時 1次系漏えい試験(注1)	H1	C1	149.4	78	1.0E+11以上	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	
	H27	C28	149.4	64	1.0E+11以上	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	
	H28	C30	1943.0	1	404	0.002	178000	-	-	-	2	8.653	-	8.653	0.021	
	H14	C21	490.6	1	10943	0.000	178000	-	-	-	2	19.003	-	19.003	0.000	
	H14	C23	395.3	1	389428	0.000	178000	-	-	-	2	19.003	-	19.003	0.000	
	H14	C25	373.8	1	558887	0.000	178000	-	-	-	2	19.003	-	19.003	0.000	
	H14	C29	363.5	2	679946	0.000	178000	-	-	-	2	19.003	-	19.003	0.000	
	H12	C29	308.5	4	1431667	0.000	178000	-	-	-	2	16.468	-	16.468	0.000	
	H12	C7	283.8	2	1881626	0.000	178000	-	-	-	2	16.468	-	16.468	0.000	
	H25	C7	277.8	1	2023755	0.000	178000	-	-	-	2	13.923	-	13.923	0.000	
	H6	C7	257.7	7	2800006	0.000	178000	-	-	-	2	15.387	-	15.387	0.000	
	H2	C7	254.5	42	2954090	0.000	178000	-	-	-	2	14.456	-	14.456	0.000	
	H2	C19	221.4	2	5557305	0.000	178000	-	-	-	2	14.456	-	14.456	0.000	
	H2	C24	195.3	4	12842064	0.000	178000	-	-	-	2	15.387	-	15.387	0.000	
起動時及び停止時 以外	H2	C6	182.2	7	28287365	0.000	178000	-	-	-	2	14.697	-	14.697	0.000	
	H2	C16	180.4	1	32914440	0.000	178000	-	-	-	2	16.468	-	16.468	0.000	
	H2	C13	180.1	6	33933013	0.000	178000	-	-	-	2	14.456	-	14.456	0.000	
	H2	C26	179.4	1	36072173	0.000	178000	-	-	-	2	14.456	-	14.456	0.000	
	H2	C18	175.1	7	55207838	0.000	178000	-	-	-	2	14.657	-	14.657	0.000	
	H2	C15	167.0	5	72464567961	0.000	178000	-	-	-	2	19.003	-	19.003	0.000	
	H2	C3	165.3	63	1.0E+11以上	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	
	H22	C3	160.0	1	1.0E+11以上	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	
	H4	C3	158.6	3	1.0E+11以上	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	
	H18	C3	158.2	2	1.0E+11以上	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	
					ΣN/N*	(注3)	0.003								ΣFen×N/N*	0.023

Uf→0.003

Uen→0.023

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

炉内構造物の環境効果補正係数算出パラメータ

環境疲労評価結果詳細 (上部炉心支持板)

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)	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)	環境効果を考慮した 疲労累積係数 (注6)	
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt (注3)						補正後 salt' (注4)
D-1	F	193.9	-438.0	1.00	315.9	354.0	2	29600	0.00307	9.332	0.00063	
B-1	F	135.8	-438.0	1.00	286.9	321.5	1	48000	0.00302	11.558	0.00024	
B-1	E	135.8	-249.5	1.00	192.6	215.9	7	473000	0.00301	11.014	0.00016	
B-1	D-2	135.8	-169.4	1.00	152.6	171.0	5	1510000	0.00300	1.000	0.00000	
B-1	C	135.8	-134.6	1.00	135.2	151.5	22	2330000	0.00301	1.000	0.00001	
B-1	B-2	135.8	-112.1	1.00	123.9	138.9	254	3390000	0.00307	1.000	0.00007	
IA1	B-2	114.0	-112.1	1.00	113.0	126.7	33	5070000	0.00301	1.000	0.00001	
IA1	A-2	114.0	-97.8	1.00	105.9	118.7	11	7470000	0.00300	1.000	0.00000	
D-2	A-2	51.4	-97.8	1.00	74.6	83.6	5	-----	0.00300	1.000	0.00000	
Uf=0.00020											合計:	0.00113

上表は繰返しピーク応力強さが疲労限以上で、大きな過渡の組合せから順に記載している。 Uen=0.00113

(注1) A: 応力強さの最大値の時の過渡条件, B: 応力強さの最小値の時の過渡条件

(注2) KE: 簡易弾塑性解析を行う際に繰返しピーク応力強さに乗じる値

なお、弾性解析では KE=1 とする

(注3) Salt: 応力強さの変動幅に 0.5 を乗じた値

(注4) Salt': Salt に  $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}}$  を乗じた値

(注5) fen: ひずみ振幅  $\leq 0.110\%$  (Salt  $\leq 214.5$ ) の場合、fen=1.0

(注6) uen: 疲労累積係数に環境効果補正係数を乗じた値

環境疲労評価結果詳細 (上部炉心支持柱)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 (注2)	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)	環境効果を考慮した 疲労累積係数 (注6)	
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt (注3)						補正後 salt' (注4)
D-1	E	84.7	-267.5	1.00	176.1	197.3	2	887000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	E	0.0	-267.5	1.00	133.7	149.9	5	2440000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	F	0.0	-232.8	1.00	116.4	130.4	3	4450000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	D-2	0.0	-184.0	1.00	92.0	103.1	5	26500000	0.00000	1.000	0.00000	
NSS	D-1	0.0	-115.8	1.00	57.9	64.9	2	-----	0.00000	1.000	0.00000	
Uf=0.00001											合計:	0.00001

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

Uen=0.00001

環境疲労評価結果詳細 (下部炉心支持板)

過渡条件記号		一次+二次+ピーク応力強さ		割り増し係数 KE	繰返しピーク応力強さ		実過渡回数 n	許容繰返し回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果補正係数 fen	環境効果を考慮した疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
F	D-2	312.4	-116.9	1.00	214.6	236.5	3	268000	0.00001	10.295	0.00012	
E	D-2	109.3	-116.9	1.00	113.1	124.6	2	5600000	0.00000	1.000	0.00000	
E	IAI	109.3	-80.7	1.00	95.0	104.7	5	21000000	0.00000	1.000	0.00000	
C	IAI	104.8	-80.7	1.00	92.8	102.2	22	30500000	0.00000	1.000	0.00000	
A-2	IAI	37.0	-80.7	1.00	58.8	64.8	17	-----	0.00000	1.000	0.00000	
Uf=0.00001											合計:	0.00012

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

Uen=0.00012

環境疲労評価結果詳細 (下部炉心支持柱)

過渡条件記号		一次+二次+ピーク応力強さ		割り増し係数 KE	繰返しピーク応力強さ		実過渡回数 n	許容繰返し回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果補正係数 fen	環境効果を考慮した疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
F	F	182.8	-203.4	1.00	193.1	212.7	3	521000	0.00001	1.000	0.00001	
NSS	E	0.0	-82.7	1.00	41.3	45.5	7	-----	0.00000	1.000	0.00000	
Uf=0.00001											合計:	0.00001

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

Uen=0.00001

以上の炉内構造物の疲労評価に用いた過渡回数は、表1に示すように運転実績に基づく60年時点の推定回数と異なっている。このため、図1のフローに基づいて疲労評価の見直しを行った。

炉内構造物の評価では各過渡をグループ分けして、最大温度変化幅、最大温度変化率を包絡した安全側の評価となる条件(包絡条件)を用いている。表2に包絡条件の過渡回数を示す。

表1 炉内構造物の評価用過渡回数 (1/2) 運転状態 I

過 渡 項 目	過渡グループ	評価に用いた過渡回数	60年時点の推定過渡回数
起動 (温度上昇率 5.5 °C/h)	A-1	24	30
停止 (温度下降率 5.5 °C/h)	A-2	24	30
負荷上昇 (負荷上昇率 5%/min)	B-1	262	296
負荷減少 (負荷減少率 5%/min)	B-2	262	290
90%から100%へのステップ状負荷上昇	B-1	1	1
100%から90%へのステップ状負荷減少	B-2	1	1
100%からの大きいステップ状負荷減少	D-2	2	2
定常負荷運転時の変動*1	-	-	-
燃料交換	C	22	22
0%から15%への負荷上昇	B-1	26	34
15%から0%への負荷減少	B-2	24	30
1ループ停止/1ループ起動			
I) 停 止	E	1	1
II) 起 動	D-1	1	1

表1 炉内構造物の評価用過渡回数 (2/2) 運転状態Ⅱ

過 渡 項 目	過渡グループ	評価に用いた過渡回数	60年時点の推定過渡回数
負荷の喪失	D-2	1	2
外部電源喪失	D-2	2	2
1次冷却材流量の部分喪失	E	1	1
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	E	2	3
Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	E	1	1
Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	F	1	1
1次冷却系の異常な減圧	F	1	1
制御棒クラスタの落下	E	2	2
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	F	1	1
1次冷却系停止ループの誤起動	D-1	1	1
1次系漏えい試験	A-1, A-2	20	27

表2 炉内構造物の評価用過渡回数 包絡条件

過渡グループ	グループ名称	評価に用いた過渡回数	60年時点の推定過渡回数	$\alpha$ ※
A-1	起動	44	57	1.30
A-2	停止	44	57	1.30
B-1	負荷上昇	289	331	1.15
B-2	負荷減少	287	321	1.12
C	燃料交換	22	22	1.00
D-1	1次冷却系停止ループの誤起動	2	2	1.00
D-2	負荷の喪失	5	6	1.20
E	不注意な冷却を伴う原子炉トリップ	7	8	1.15
F	不注意な冷却と安全注入を伴う原子炉トリップ	3	3	1.00

※：(60年時点の推定過渡回数) / (評価に用いた過渡回数)

60年時点の推定過渡回数に対する疲労累積係数は、「環境疲労評価結果詳細」に示す疲労累積係数 ( $U_f, U_{en}$ )  $\times$  「60年時点の推定過渡回数」 / 「評価に用いた過渡回数」として保守的に求めることができる。

「60年時点の推定過渡回数」 / 「評価に用いた過渡回数」の最大値  $= 57/44 \approx 1.3$  であることから、60年時点の推定過渡回数に対する疲労累積係数 ( $U_f, U_{en}$ ) は、表3に示す結果となる。



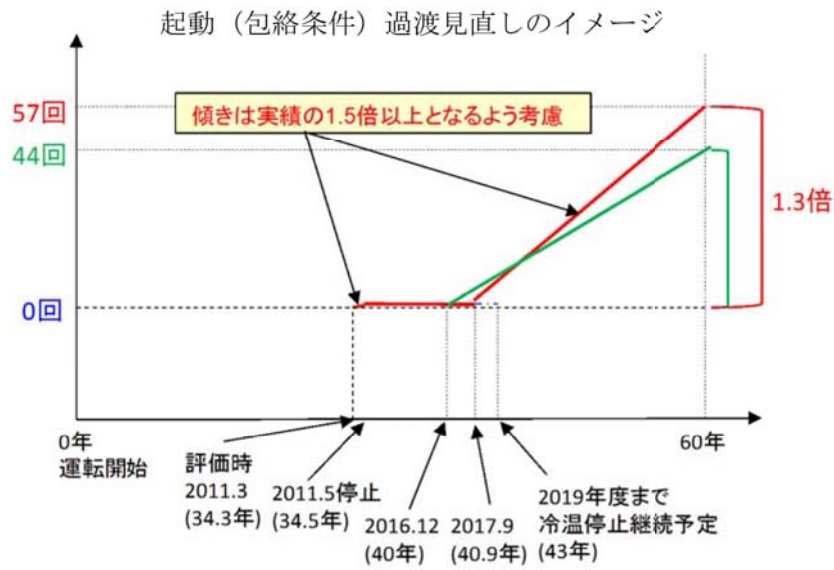
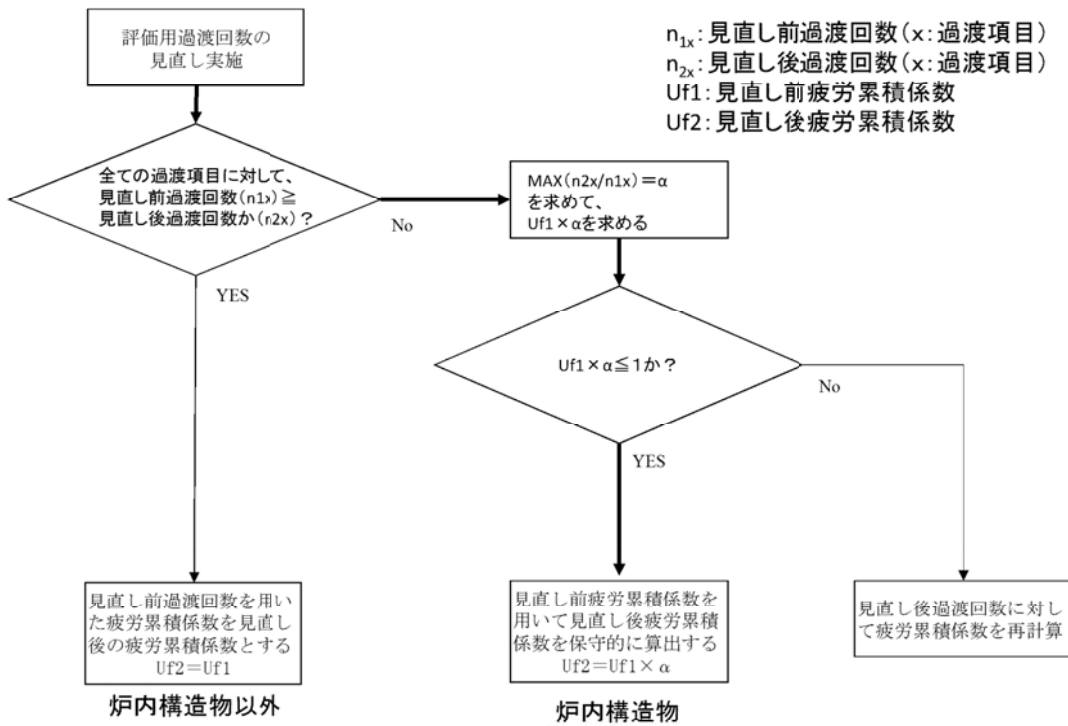


図1 美浜3号炉 炉内構造物疲労評価見直しの考え方

表3 炉心支持構造物の60年時点の推定過渡回数に対する疲労評価結果

	設計・建設規格 による解析	環境疲労評価手法 による解析
上部炉心支持板 (ステンレス鋼)	$0.0002 \times 1.3 = 0.00026$ 0.001	$0.00113 \times 1.3 = 0.00147$ 0.002
上部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	$0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001	$0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001
下部炉心支持板 (ステンレス鋼)	$0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001	$0.00012 \times 1.3 = 0.00016$ 0.001
下部炉心支持柱 (ステンレス鋼)	$0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001	$0.00001 \times 1.3 = 0.00002$ 0.001