

高浜発電所 1、2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6月16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（1号炉）	3
1) 健全性評価	3
2) 現状保全	9
3) 総合評価	9
4) 高経年化への対応	10
4. 代表機器以外の評価	11
(1) 1号炉の評価	11
(2) 2号炉の評価	13
5. 参考資料	15
(1) 1号炉原子炉容器本体出口管台の評価結果	15
(2) 高浜2号炉と高浜1号炉との主要な相違点	16

別紙1～14

【高浜1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	21
別紙2. 高サイクル熱疲労割れの予防保全対策について	25
別紙3. 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	34
別紙4. 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	36
別紙5. 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	41
別紙6. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について	49
別紙7. 1号炉の各機器の疲労累積係数等の算出根拠について	53

【高浜2号炉】

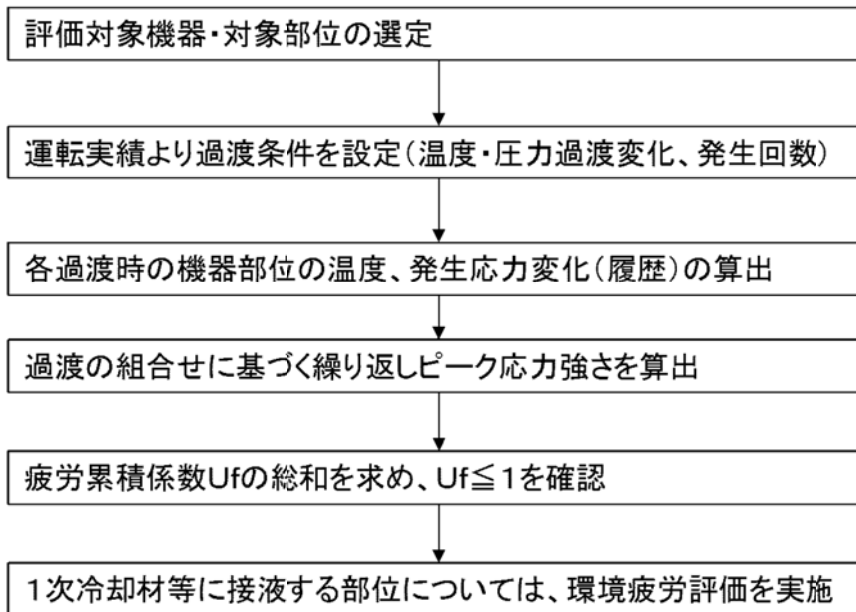
別紙8. 原子炉容器の評価対象部位抽出の考え方について	316
別紙9. 高サイクル熱疲労割れの予防保全対策について	320
別紙10. 建設時考慮されていない低サイクル応力変動の抽出プロセスについて	329
別紙11. 環境疲労評価部位の地震を含む疲労累積係数の一覧について	330
別紙12. クラッドにより環境疲労評価不要とする部位のクラッド確認について	335
別紙13. 環境疲労評価で考慮している溶存酸素濃度について	350
別紙14. 2号炉の各機器の疲労累積係数等の算出根拠について	354

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、1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。

なお、低サイクル疲労の評価内容は、高浜 1、2 号炉でほぼ同じであることから、以降の「3. 代表機器の技術評価」では、1 号炉の原子炉容器本体の評価を説明する。

3. 代表機器の技術評価

(1) 原子炉容器本体 (1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(2010.3.31まで)を用い、60年間の過渡回数を推定する。なお、2010年度以降の期間は実績より保守的^{*1}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、1号炉は2011年1月から2018年3月まで、2号炉は2011年11月から2018年3月までの冷温停止状態を想定した。また、2010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 2010.4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1号機(2011.1~2018.3)、2号機(2011.11~2018.3)と保守的に想定し、その期間は残年数から差し引く。

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				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		過渡項目	過渡回数特記事項	運転実績に基づく過渡回数	
		2009年度末時点	運転開始後60年時点の推定値*1			2009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℃/h)	4.9.10	64	99	負荷の喪失	2.9	3	4
停止(温度下降率55.6℃/h)	4.9.10	64	99	外部電源喪失	9	2	5
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	3.9.10	387	710	1次冷却材流量の部分喪失	—	1	4
負荷減少(負荷減少率5%/min)	3.9.10	364	687	100%からの原子炉トリップ			
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2.9	4	5	Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	9	9	12
100%から90%へのステップ状負荷減少	2.9	5	6	Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	1
100%からの大きいステップ状負荷減少	2.9	3	4	Ⅲ) 不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	2	0	1
定常負荷運転時の変動*2	1	—	—	1次冷却系の異常な減圧	2	0	1
燃料交換	5.9.10	27	55	制御棒クラスタの落下	9	3	6
0%から15%への負荷上昇	9.10	72	112	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	1
15%から0%への負荷減少	9.10	51	86	1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	1
1ループ停止/1ループ起動				タービン回転試験	6	10	10
Ⅰ)停止	2	0	1	1次系漏えい試験	9.10	65	105
Ⅱ)起動	2	0	1				

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				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		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	
		2009年度末時点*4	運転開始後60年時点の推定値*1.5			2009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℃/h)	4.9.10	14	48	負荷の喪失	2	0	1
停止(温度下降率55.6℃/h)	4.9.10	13	48	外部電源喪失	—	0	3
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	3.10	143	466	1次冷却材流量の部分喪失	—	0	3
負荷減少(負荷減少率5%/min)	3.10	141	464	100%からの原子炉トリップ			
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	0	1	Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	—	1	4
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	0	1	Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	1
100%からの大きいステップ状負荷減少	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
定常負荷運転時の変動*2	1	—	—	1次冷却系の異常な減圧	2	0	1
燃料交換	5.10	10	38	制御棒クラスタの落下	—	0	3
0%から15%への負荷上昇	10	14	54	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	1
15%から0%への負荷減少	10	12	47	1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	1
1ループ停止/1ループ起動				タービン回転試験	6	0	0
Ⅰ)停止	2	0	1	1次系漏えい試験	10	13	53
Ⅱ)起動	2	0	1				

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				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		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	
		2009年度末時点*6	運転開始後60年時点の推定値*1.7			2009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℃/h)	4.9.10	24	59	負荷の喪失	2	0	1
停止(温度下降率55.6℃/h)	4.9.10	23	59	外部電源喪失	—	0	3
負荷上昇(負荷上昇率5%/min)	3.10	215	538	1次冷却材流量の部分喪失	—	0	3
負荷減少(負荷減少率5%/min)	3.10	212	535	100%からの原子炉トリップ			
90%から100%へのステップ状負荷上昇	2	0	1	Ⅰ) 不注意な冷却を伴わないトリップ	—	2	5
100%から90%へのステップ状負荷減少	2	0	1	Ⅱ) 不注意な冷却を伴うトリップ	2	0	1
100%からの大きいステップ状負荷減少	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
定常負荷運転時の変動*2	1	—	—	1次冷却系の異常な減圧	2	0	1
燃料交換	5.10	17	45	制御棒クラスタの落下	—	0	3
0%から15%への負荷上昇	10	23	63	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	2	0	1
15%から0%への負荷減少	10	20	55	1次冷却系停止ループの誤起動	2	0	1
1ループ停止/1ループ起動				タービン回転試験	6	0	0
Ⅰ)停止	2	0	1	1次系漏えい試験	10	24	64
Ⅱ)起動	2	0	1				

- *1: 評価条件として、2011年1月から2018年3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℃、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7.8は記載省略
- *4: 第16回定期検査時(1995年度～1996年度)に上蓋取替を実施したため、取替後2009年度末時点までの運転実績。
- *5: 運転開始後22年時点での上蓋取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、上蓋取替からプラント運転開始後60時点までの年数である38年間の過渡回数とした。
- *6: 第10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2009年度末時点までの運転実績。
- *7: 運転開始後13年時点でのスタッドボルト取替に伴い、プラント運転開始後60年時点の過渡回数としては、スタッドボルト取替からプラント運転開始後60時点までの年数である47年間の過渡回数とした。

c) 応力解析、疲労累積係数算出

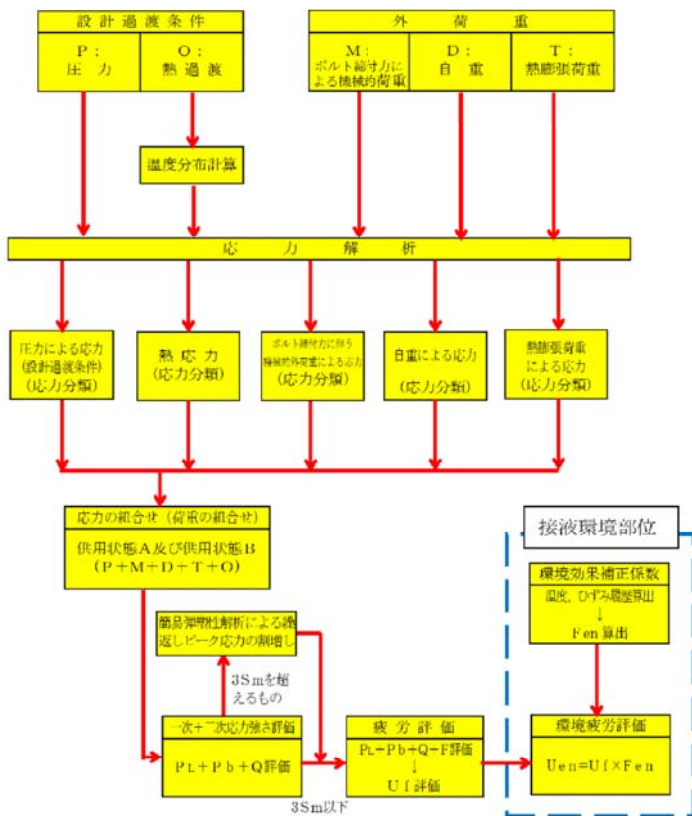
原子炉容器各部位（スタッドボルト除く）の健全性評価は、設計・建設規格（クラス1容器）の規定に従い、大気環境中の疲労評価を行う。

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。

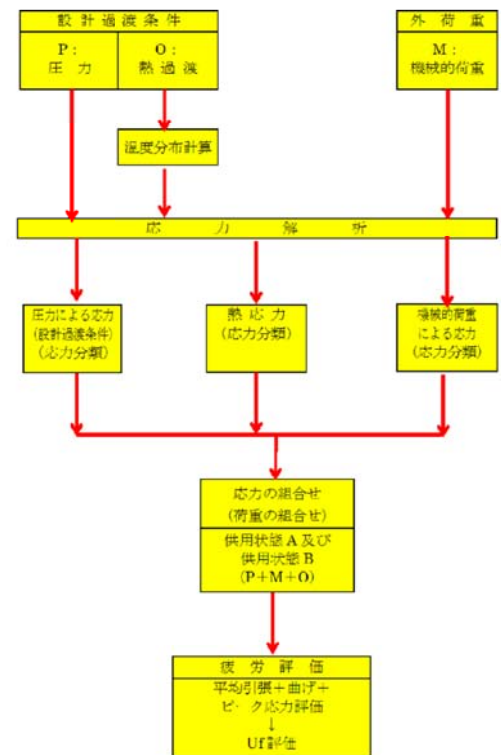
接液部に対しては、環境疲労評価手法に従い、 F_{en} （環境効果補正係数）を算出し、環境効果を考慮した疲労累積係数（ U_{en} ）を算出する。

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)

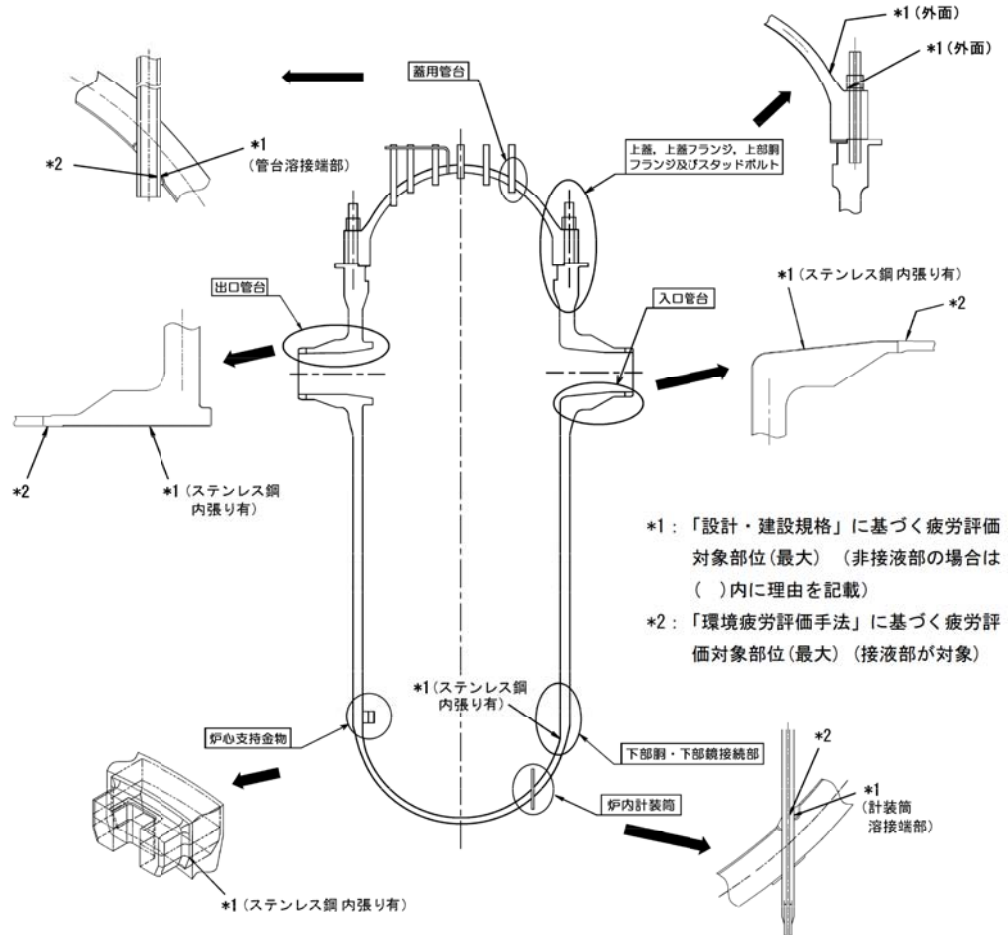


疲労評価の解析の流れ(スタッドボルト)

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 ^{※3} (許容値: 1 以下)	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
冷却材入口管台	0.054	0.001 ^{※4}
冷却材出口管台	0.065	0.001 ^{※4}
蒸用管台 ^{※1}	0.129	0.002 ^{※4}
炉内計装筒	0.188	0.013 ^{※4}
上蓋 ^{※1} 、上蓋フランジ ^{※1} 及び上部胴フランジ	0.013	— ^{※5}
下部胴・下部鏡接続部	0.005	— ^{※5}
炉心支持金物	0.009	0.000 ^{※4,6}
スタッドボルト ^{※2}	0.334	— ^{※5}

※1: 原子炉容器上蓋を取替えているため、38年間の過渡回数を基に算出した。

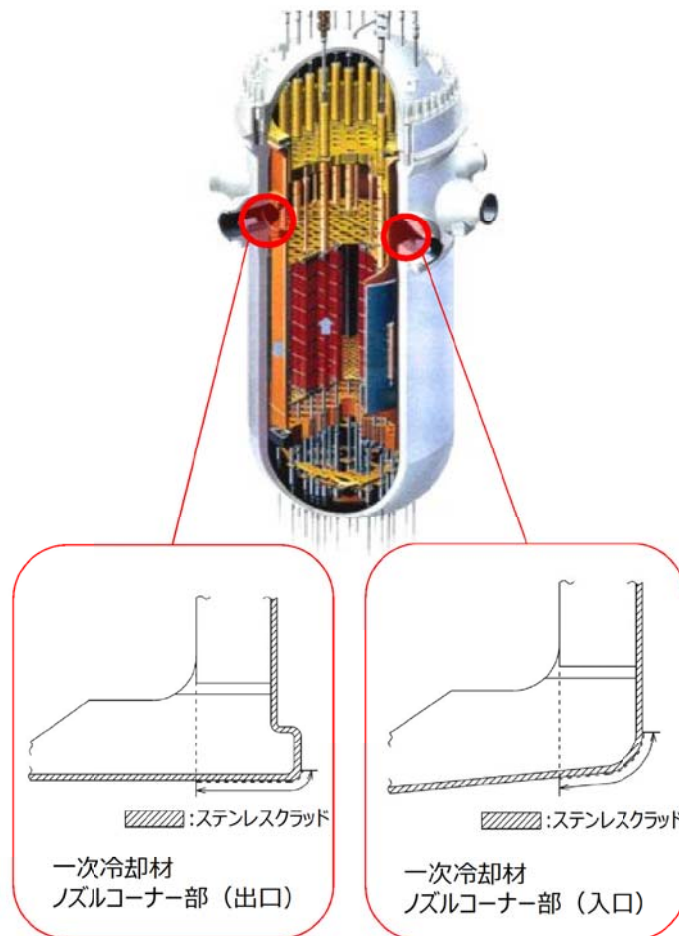
※2: 取替えを実施したため、47年間の過渡回数を基に算出した。

- ※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	—
	セーフエンドとの溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査	
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	
	セーフエンドとの溶接部	超音波探傷検査 浸透探傷検査	
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	
炉内計装筒	下部鏡の貫通部	ベアメタル検査	
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	
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	
	下部胴と下部鏡接続部(周方向)	超音波探傷検査	
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)	
スタッドボルト	ボルト本体	超音波探傷検査	
	ナット	目視確認(VT-1)	

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(≤ 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1月から2018年3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。

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。

4) 高経年化への対応

疲労割れについては、実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。

4. 代表機器以外の技術評価

(1) 1号炉の評価

高浜1号炉の原子炉容器本体以外の評価結果を以下に示す。

高浜1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	0.075	0.082* ¹
1次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	0.235	0.130* ¹
	ケーシング吐出ノズル	0.022	0.337
	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	0.174	0.222
	余熱除去クーラ管板部	0.049	0.069
蒸気発生器	給水入口管台	0.073	0.235* ^{2,4}
	管板廻り	0.123	0.099* ^{1,4}
加圧器	スプレイライン用管台	0.190	0.019* ³
	サージライン用管台	0.021	0.051* ¹
	加圧器スカート	0.216	—
格納容器貫通部	固定式配管貫通部（余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン貫通部端板）	0.427	—
	伸縮式配管貫通部（主蒸気管貫通部伸縮継手）	0.008	—
	伸縮式配管貫通部（主給水管貫通部伸縮継手）	0.033	—
ステンレス鋼配管	加圧器サージ配管	0.012	0.002* ³
	加圧器スプレ配管	0.026	0.404* ²
	余熱除去系統出口配管「1次冷却材管高温側出口管台～1次冷却材管高温側出口隔離弁」	0.001	0.020
	余熱除去系統出口配管「1次冷却材管高温側出口隔離弁～原子炉格納容器貫通部」	0.012	0.076
炭素鋼配管	主給水系統配管（原子炉格納容器貫通部～蒸気発生器給水管台）	0.009	0.040* ⁵
1次冷却材管	ホットレグ	0.001	0.001
	クロスオーバーレグ	0.002	0.011
	コールドレグ	0.001	0.005
	加圧器サージライン用管台	0.179	0.465
	安全注入系ライン用管台	0.006	0.019
	化学体積制御系ライン用管台	0.004	0.033

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（ループ余熱除去系第1入口弁弁箱）	0.004	0.114
	玉形弁（抽出水しゃ断弁弁箱）	0.027	0.403
	スイング逆止弁（アキュムレータ第2逆止弁弁箱）	0.008	0.084
	リフト逆止弁（加圧器補助スプレライン逆止弁弁箱）	0.007	0.030
炉内構造物	上部炉心支持板	0.016	0.181
	上部炉心支持柱	0.003	0.030
	下部炉心支持板	0.002	0.017
	下部炉心支持柱	0.001	0.001

*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：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。

*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。

(2) 2号炉の評価

高浜2号炉の評価結果を以下に示す。

高浜2号炉の評価結果一覧

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	0.057	0.061 ^{*1}
1次冷却材ポンプ	ケーシング脚部	0.185	0.104 ^{*1}
	ケーシング吐出ノズル	0.018	0.267
	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	0.164	0.209
	余熱除去クーラ管板部	0.038	0.052
蒸気発生器	給水入口管台	0.102	0.658 ^{*2,4}
	管板廻り	0.115	0.102 ^{*1,4}
原子炉容器	冷却材入口管台	0.044	0.001 ^{*1}
	冷却材出口管台	0.052	0.014 ^{*1}
	蓋用管台	0.153	0.002 ^{*1}
	炉内計装筒	0.157	0.006 ^{*1}
	上蓋、上蓋フランジ及び上部胴フランジ	0.009	—
	下部胴・下部鏡接続部	0.004	—
	炉心支持金物	0.007	0.000 ^{*1} (疲労限未満)
	スタッドボルト	0.331	—
加圧器	スプレイライン用管台	0.121	0.019 ^{*3}
	サージライン用管台	0.017	0.061 ^{*1}
	加圧器スカート	0.158	—
格納容器貫通部	固定式配管貫通部（余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入口ライン貫通部端板）	0.356	—
	伸縮式配管貫通部（主蒸気管貫通部伸縮継手）	0.009	—
	伸縮式配管貫通部（主給水管貫通部伸縮継手）	0.040	—
ステンレス鋼配管	加圧器サージ配管	0.004	0.002 ^{*2}
	加圧器スプレ配管	0.023	0.267 ^{*2}
	余熱除去系統出口配管「1次冷却材管高温側出口管台～1次冷却材管高温側出口隔離弁」	0.001	0.020
	余熱除去系統出口配管「1次冷却材管高温側出口隔離弁～原子炉格納容器貫通部」	0.001	0.007
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）	0.011	0.049 ^{*5}

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
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	0.016
	コールドレグ	0.001	0.004
	加圧器サージライン用管台	0.026	0.147
	安全注入系ライン用管台	0.004	0.014
	化学体積制御系ライン用管台	0.003	0.020
弁	仕切弁（ループ余熱除去系第1入口弁弁箱）	0.005	0.149
	玉形弁（抽出水しゃ断弁弁箱）	0.025	0.373
	スイング逆止弁（アキュムレータ第2逆止弁弁箱）	0.008	0.082
	リフト逆止弁（加圧器補助スプレライン逆止弁弁箱）	0.006	0.028
炉内構造物	上部炉心支持板	0.014	0.160
	上部炉心支持柱	0.003	0.023
	下部炉心支持板	0.002	0.020
	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：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。

*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. 参考資料

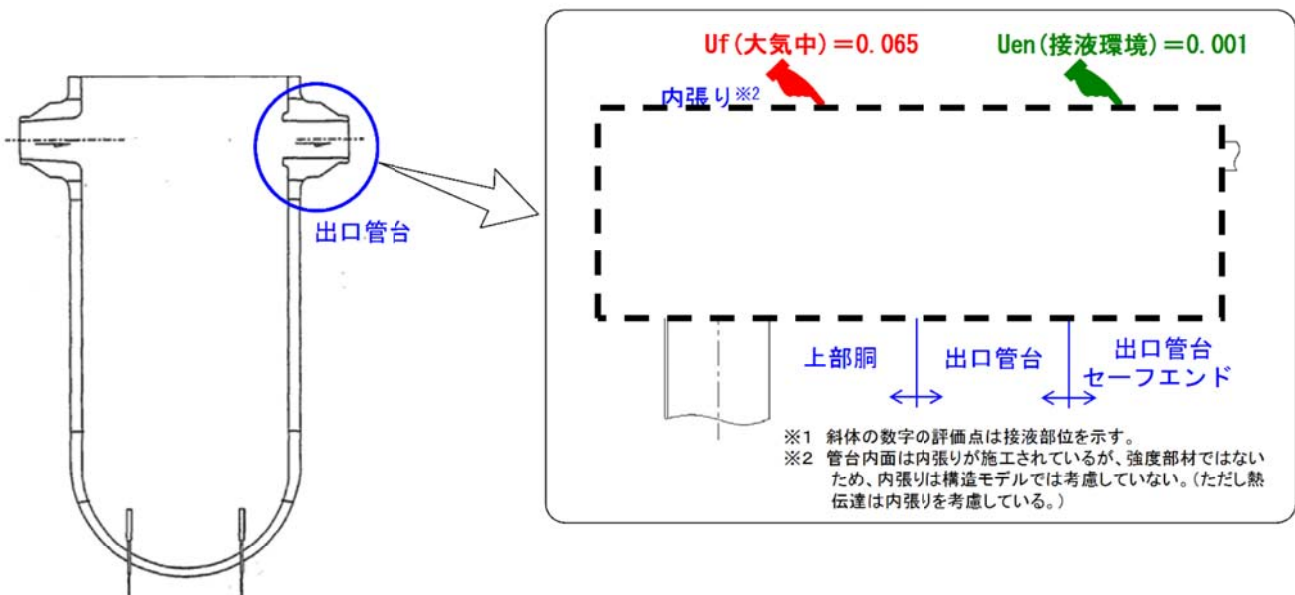
(1) 1号炉原子炉容器本体出口管台の評価結果

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 $U_f \approx$ [] 程度となった。(最大は評価点⑨で $U_f=0.065$)

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2号炉と高浜1号炉との主要な相違点

高浜発電所2号炉と1号炉は運転実績に基づく過渡回数に違いがあるが、低サイクル疲労の評価に関係する主要な構造等の相違点としては下記のもの挙げられる。

1号炉と2号炉の主要な構造の違い

評価対象機器	評価部位	1号炉と2号炉との主要な相違点
蒸気発生器	給水入口管台	給水入口管台の構造が異なる。1号炉はサーマルスリーブが溶接接合されているが、2号炉は差込構造となっており、2号炉の構造モデルにはサーマルスリーブが入っていない。(図1)
原子炉容器	原子炉出入口管台	2号炉は原子炉容器冷却材出入口管台補修工事を実施しているため、出入口管台部の構造モデルは1号炉、2号炉で異なっている。(図2)
	炉内計装筒	1号炉はNo.48管台を切削加工しているため、炉内計装筒の構造モデルは1号炉、2号炉で異なっている。(図3)
ステンレス鋼配管	加圧器サージ配管	1号炉、2号炉で配管レイアウト、サポートが異なる。(図4)
	加圧器スプレ配管	
	余熱除去系統出口配管	
炭素鋼配管	主給水系統配管	

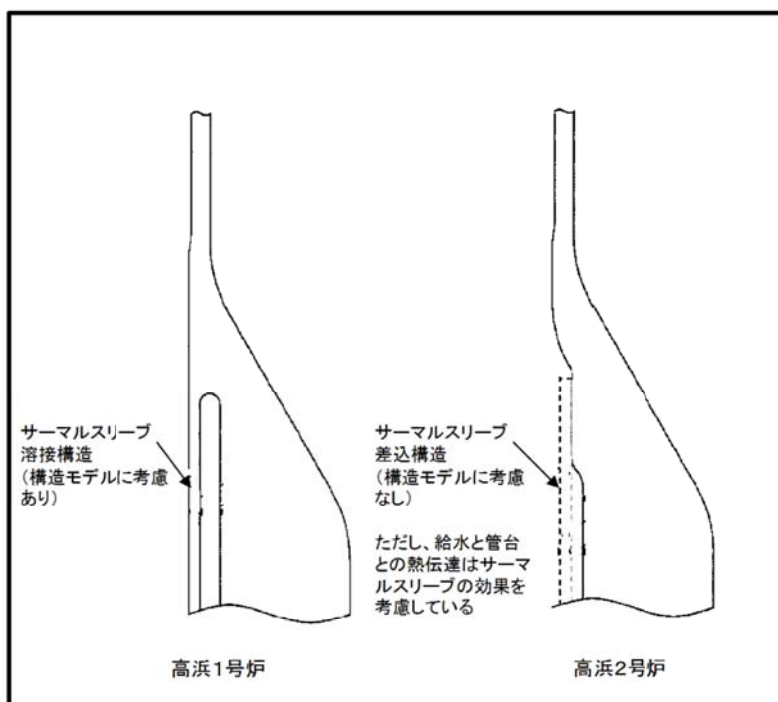


図1 蒸気発生器 (給水入口管台) の構造の違い

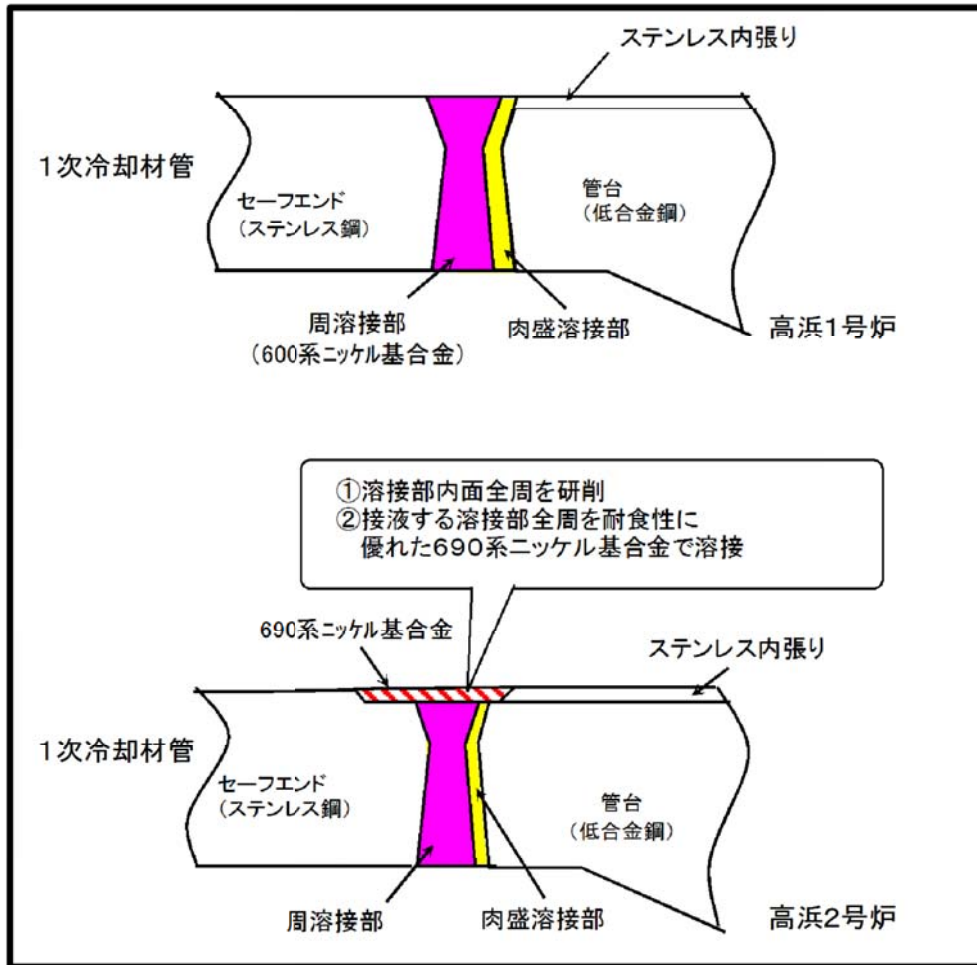


図2 原子炉容器（冷却材出入口管台）の構造の違い

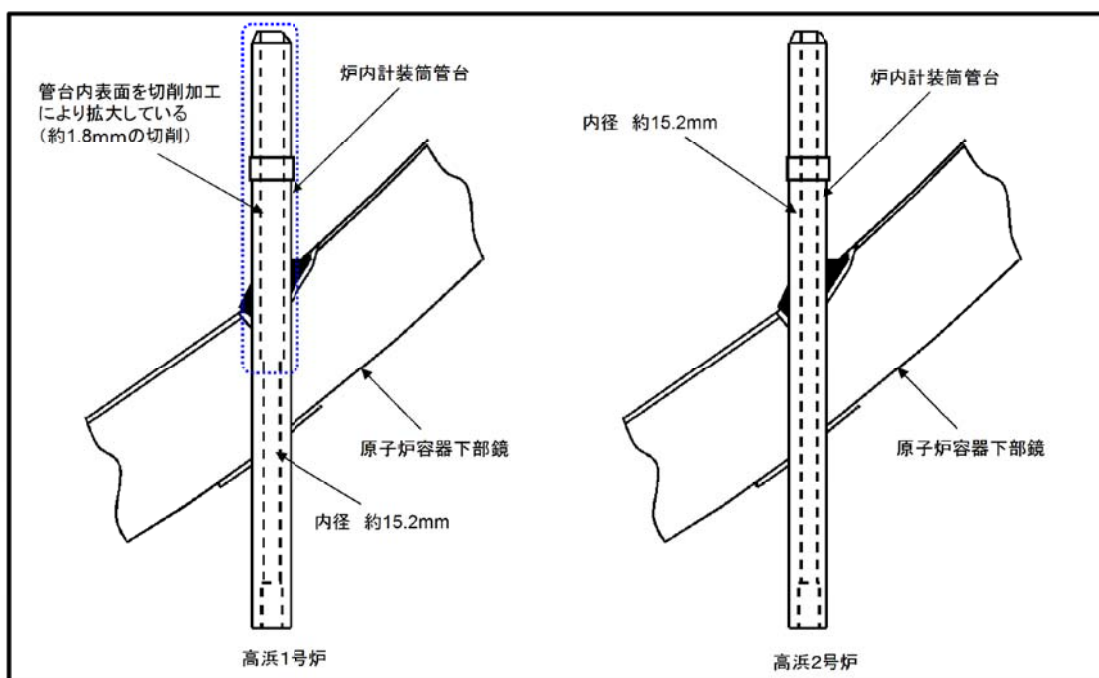


図3 炉内計装筒管台の構造の違い (No48 管台)

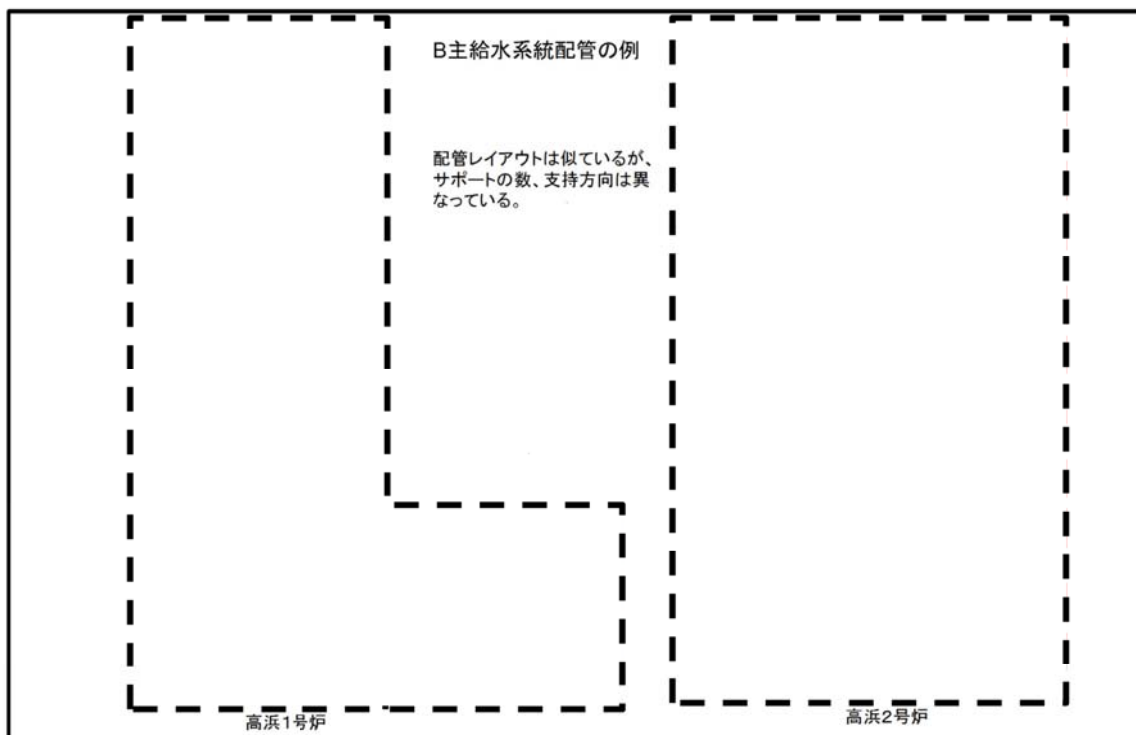


図4 配管の構造の違い

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。

別紙

【高浜 1 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
- 別紙 2. 高サイクル熱疲労割れの予防保全対策について
- 別紙 3. 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 4. 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 5. 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 6. 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 7. 1 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 加圧器配管の熱成層を考慮した評価の算出根拠
 - ⑪ 主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠
 - ⑫ 一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠
 - ⑬ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠
 - ⑭ 玉形弁の疲労累積係数の算出根拠
 - ⑮ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠
 - ⑯ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠

【高浜 2 号炉】

- 別紙 8. 原子炉容器の評価対象部位抽出の考え方について
- 別紙 9. 高サイクル熱疲労割れの予防保全対策について
- 別紙 10. 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 11. 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 12. 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 13. 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 14. 2 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 加圧器配管の熱成層を考慮した評価の算出根拠
- ⑪ 主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠
- ⑫ 一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠
- ⑬ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠
- ⑭ 玉形弁の疲労累積係数の算出根拠
- ⑮ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠
- ⑯ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠

タイトル	出入口管台等の疲労割れに係る評価対象部位の抽出の妥当性について																		
説明	<p>疲労評価対象部位は、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"> ・構造不連続部（支持構造物取付部含む） ・材料不連続部 <p>なお、高浜1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;">高浜1号炉 原子炉容器疲労評価対象部位</p> <table border="1" data-bbox="408 842 1351 1263"> <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、上蓋フランジおよび上部胴フランジ</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>炉心支持金物</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>添付資料：建設時工認資料及び高浜1号炉高経年化技術評価書（抜粋）</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、上蓋フランジおよび上部胴フランジ	建設時工認評価部位	下部胴・下部鏡接続部	建設時工認評価部位	炉心支持金物	構造、材料不連続部	スタッドボルト	建設時工認評価部位
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、上蓋フランジおよび上部胴フランジ	建設時工認評価部位																		
下部胴・下部鏡接続部	建設時工認評価部位																		
炉心支持金物	構造、材料不連続部																		
スタッドボルト	建設時工認評価部位																		

目 次

**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 形状及び寸法
- 1.2 解析モデル
- 1.3 最高使用圧力に対する応力 (175 kg/cm²)
- 1.4 二次応力の判定
- 1.5 ピーク応力の判定
- 1.6 二次応力表
- 1.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 1.8 疲労累積損傷係数

2. 冷却材入口管台

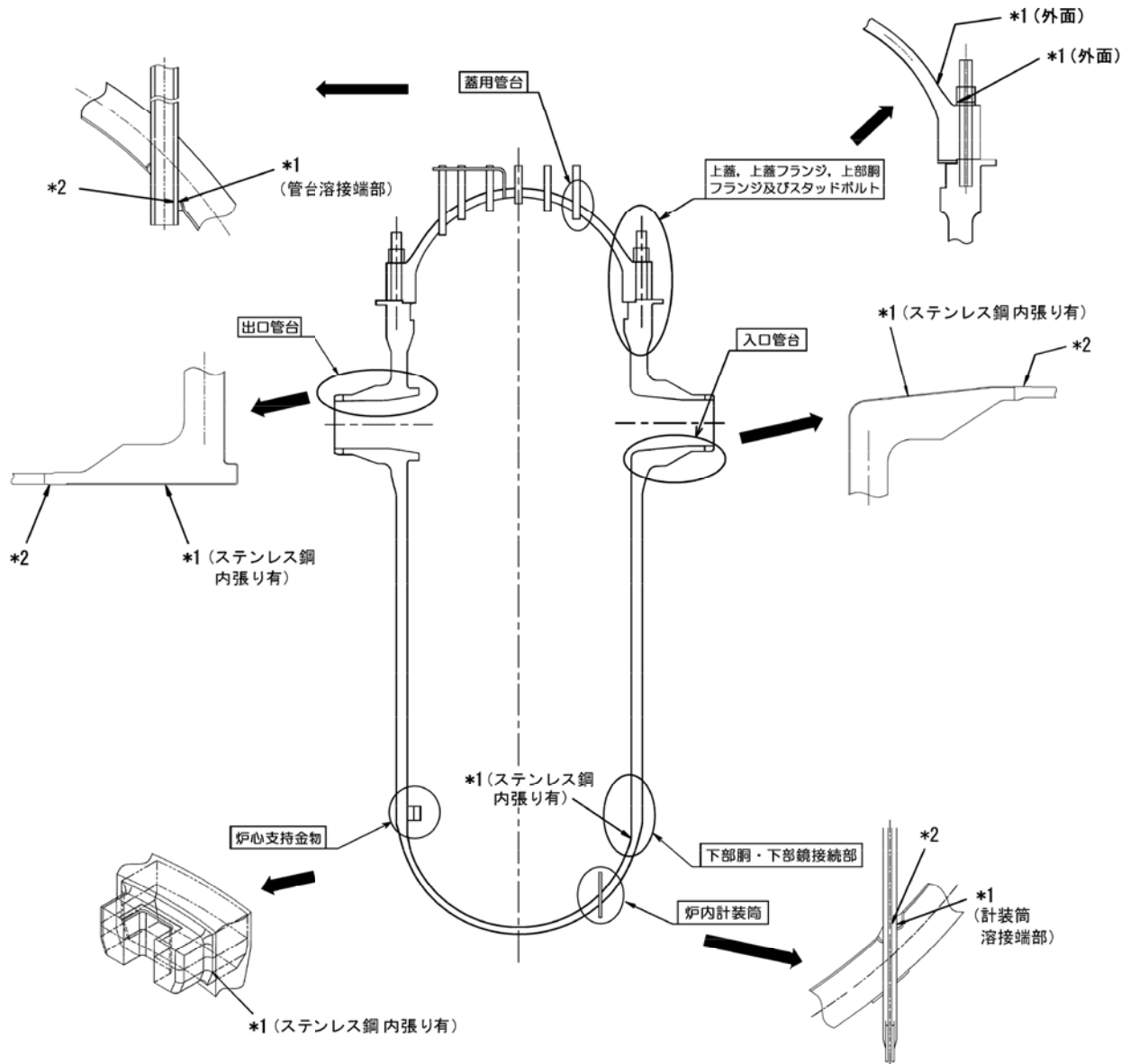
- 2.1 形状及び寸法
- 2.2 解析モデル
- 2.3 最高使用圧力に対する応力評価
- 2.4 二次応力の判定
- 2.5 ピーク応力の判定
- 2.6 二次応力表
- 2.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 2.8 疲労累積損傷係数

3. 冷却材出口管台

- 3.1 形状及び寸法
- 3.2 解析モデル
- 3.3 最高使用圧力に対する応力評価
- 3.4 二次応力の判定
- 3.5 ピーク応力の判定
- 3.6 二次応力表
- 3.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 3.8 疲労累積損傷係数

4. 原子炉容器の下部胴，下部鏡接続部

- 4.1 形状及び寸法
- 4.2 解析モデル
- 4.3 最高使用圧力に対する応力
- 4.4 二次応力の判定
- 4.5 ピーク応力の判定
- 4.6 二次応力表
- 4.7 各過渡条件におけるピーク応力の全振幅
- 4.8 疲労累積損傷係数



高経年化技術評価における評価部位

タイトル	熱疲労割れ事象の予防保全の観点から実施された余熱除去系統配管取替工事の経緯、工事内容及び効果の確認について
説明	<p>余熱除去系統配管取替工事は国内PWRプラントにおける高サイクル熱疲労による損傷事例を踏まえて予防保全として実施したものである。</p> <p>当該事例に関連して、旧原子力安全・保安院より「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について」（平成17・12・22原院第6号）が発行され、当社は高浜1号炉の高サイクル熱疲労による損傷の防止に関する評価結果を、旧原子力安全・保安院に報告している。</p> <p>余熱除去設備はプラントの起動停止時の原子炉を除熱する機能を有し、余熱除去クーラ出口では、余熱除去クーラを通過する低温水とクーラをバイパスする高温水が合流する箇所がある。この合流箇所は高浜1号炉の評価の結果、高サイクル熱疲労割れの発生が否定できない部位と判断され、当該部位の健全性を検査で確認している。</p> <p>この結果を受けて、信頼性向上を図るために、第25回定期検査時（2007年度～2008年度）に当該箇所を熱疲労評価上優位性のある合流形状、応力集中の小さい溶接形状に変更した。（添付1参照）</p> <p>変更工事による効果については、工事計画認可申請書の中で、温度揺らぎを考慮した疲労累積係数は許容値を下回っていることを確認している。（工事計画認可申請書抜粋：添付2参照）</p>



取替概要図		
	現状	取替後
合流部形状		
	<p>バイパス側の配管を小さくし、高温水と低温水の衝突型から合流型に変更することにより、温度ゆらぎの影響を少なくする。</p>	
溶接形状		
	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接裏波を取り除き、応力集中を小さくする。 ・開先形状(狭開先)を変更することにより、溶接残留応力を低減する。 	

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。

資料6 流体振動又は温度変動による損傷の防止に関する説明書

1. 概要

余熱除去設備配管の改造に伴い、流体振動又は温度変動による損傷の防止について確認する。

2. 配管内円柱状構造物の流力振動評価

申請範囲には、配管内円柱状構造物は設けないため、日本機械学会「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」(JSME S 012-1998)の適用対象外である。

3. 配管の高サイクル熱疲労に関する評価

3.1 評価方針

日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」(JSME S 017-2003、以下「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」という。)の「3. 高低温水合流部の温度揺らぎによる高サイクル熱疲労」に基づき評価し、疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認する。

3.2 評価対象

評価対象とする現象は、高低温水合流部の温度揺らぎによる高サイクル熱疲労である。

評価対象部位は、第1図に示す余熱除去クーラバイパスライン合流部である。

3.3 評価条件

3.3.1 設計条件

	余熱除去クーラ出入口配管
最高使用圧力 (MPa)	
最高使用温度 (°C)	
主管の外径 (mm)	
分岐管の外径 (mm)	

3.3.2 設計過渡条件

高サイクル熱疲労を評価するために設定した余熱除去クーラバイパス流量及び温度、余熱除去クーラ出口流量及び温度の過渡条件を、第1表及び第2図～第5図に示す。

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。

3.4 FEM解析モデル及び解析条件

応力履歴を算出するための解析モデル（境界条件を含む）を、第6図に示す。

使用する解析コードは、「MARC」（注1）である。

なお、「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」に基づき、内面熱伝達率は、合流部近傍での温度変動が非定常であることから、非定常熱伝達率を用いる。また、外面熱伝達率は、配管外面に保温材を施しており、十分小さい値（ $=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ）を用いる。

（注1） ロンドン大学とブラウン大学で研究教育機関に携わったペドロ・V・マサール博士によって開発され整備・拡張が行われてきた有限要素法による構造解析用汎用コードであり、応力解析、熱応力解析、伝熱解析、動的解析等を行うことができる。特に、非線形解析が容易に行えることがMARCの特長であり、国内外の各分野で長年使用され、十分な実績を持つものである。

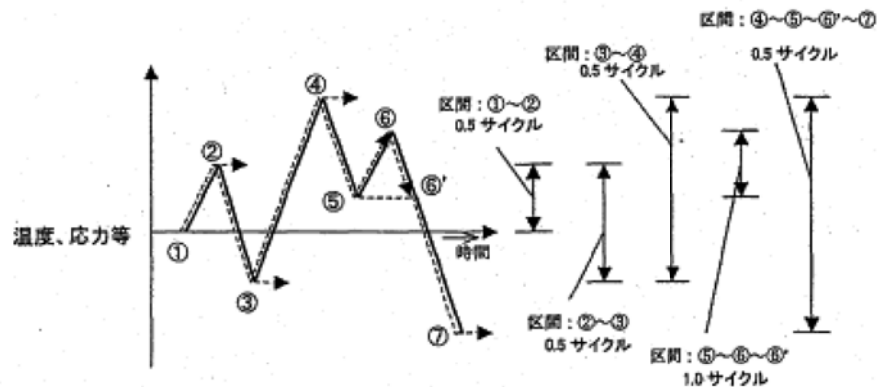
なお、現在は米国 MSC 社によって保守されている。

3.5 計算結果

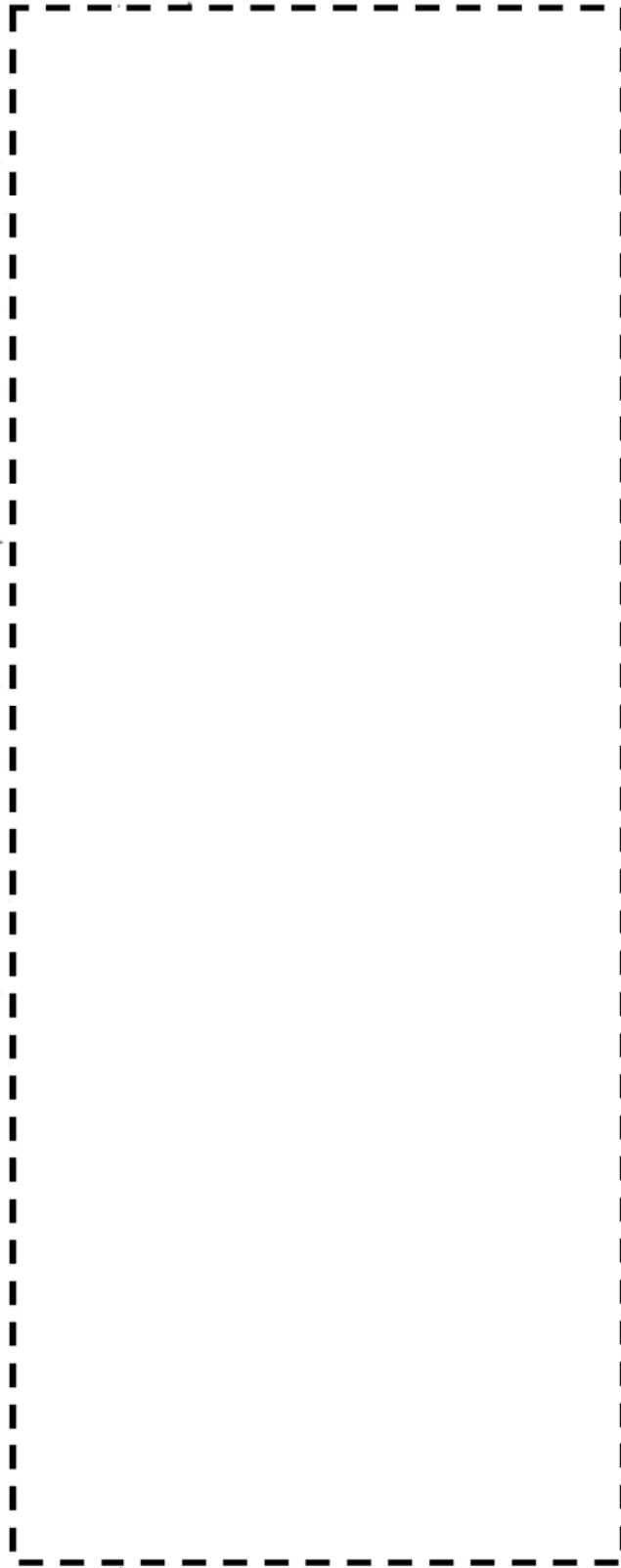
応力履歴をレインフロー法（注2）により処理し算出した疲労累積係数を、第2表に示す。

なお、合流部については、流況によって温度変動が大きくなる箇所が異なるため、第2表の疲労累積係数については、合流部を主管上流側と主管下流側に分け、温度揺らぎが厳しくなる側の結果を示している。

（注2） レインフロー法は以下の処理例に従った。



出所：「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針」B74 図 B3.2.2-(7)-1 温度（応力）の処理例



第1図 評価部位

(余剰除去設備概略系統構成)

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。

第1表 余熱除去系統設計過渡条件

運転状態 I、II				
記号	過渡条件	回数	設計過渡 図番	備考
I-a	起 動		第2図	運転実績をもとにして作成した。
I-b	停 止		第3図	運転実績をもとにして作成した。
II-a	1次系漏えい試験 i) 昇 温 ii) 冷 却		第4図 第5図	運転実績をもとにして作成した。

(注) 起動及び1次系漏えい試験の昇温については、片系列運転60%稼働として疲労累積係数を計算した。

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。

第2表 評価結果

a) 余熱除去クーラバイパスライン合流部

設計過渡	各過渡の疲労累積係数	疲労累積係数	許容値
起 動			1.0
停 止			
1次系漏えい試験			
評価：疲労累積係数は1.0以下であり、温度変動による損傷を回避できる。			

(注) 温度揺らぎが激しくなる主管上流側の評価結果を示す。

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。

タイトル	<p>運転経験により建設時考慮されていない有意な低サイクル応力変動(熱成層等)が把握された部位およびそれを抽出したプロセスについて</p>
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」を参考に抽出した。</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した。</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した。</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した。</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た。熱成層が想定される部位は、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た。</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た。</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していた。</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、</p>

	<p>熱成層の発生、消滅の繰り返しを防止している。</p> <p>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を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。</p> <p>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。</p>
--	---

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（(社)日本機械学会の「環境疲労評価手法」に規定される「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
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。

高浜1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 (60年供用仮定時 ¹⁾ の疲労累積係数)							
機種・機器名	部 位	設計 評価 ²⁾	環境中 評価 ³⁾	耐震評価		合計 ⁴⁾	評価 手法	評価点 の相違	
容器	原子炉 容 器	冷却材入口管台	0.054	0.001 ※1	Sd	0.000	0.054	詳細 評価	あり
					Ss	0.000	0.054		
		冷却材出口管台	0.065	0.001 ※1	Sd	0.000	0.065	詳細 評価	あり
					Ss	0.001	0.066		
		蓋用管台	0.129	0.002 ※1	Sd	0.000	0.129	詳細 評価	あり
	Ss				0.000	0.129			
	炉内計装筒	0.188	0.013 ※1	Sd	0.001	0.189	詳細 評価	あり	
				Ss	0.006	0.194			
	炉心支持金物	0.009	0.000 ※1	Sd	0.000	0.009	詳細 評価	あり	
				Ss	0.001	0.010			
加圧器	スプレイライン用管台	0.190	0.019 ※2 ※4	Sd	0.001	0.191	詳細 評価	なし	
				Ss	0.001	0.191			
	サージ用管台	0.021	0.051 ※1	Sd	0.000	0.051	詳細 評価	あり	
				Ss	0.001	0.052			
配管	ステンレ ス鋼配管	余熱除去系統配管	0.012	0.076	Sd	0.001	0.077	係数 倍法	なし
					Ss	0.061	0.137		
		加圧器サージ配管	0.012	0.002 ※2 ※4	Sd	0.000	0.012	詳細 評価	なし
	Ss				0.001	0.013			
	加圧器スプレイ配管	0.026	0.404 ※3 ※4	Sd	0.001	0.405	詳細 評価	あり	
Ss				0.043	0.447				

高浜1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 (60年供用仮定時 ¹⁾ の疲労累積係数)							
機種・機器名	部 位	設計 評価 ²⁾	環境中 評価 ³⁾	耐震評価		合計 ⁴⁾	評価 手法	評価点 の相違	
配管	炭素鋼 配 管	主給水系統配管	0.009	0.040	Sd	0.000	0.040	係数 倍法	なし
					Ss	0.000	0.040		
	1次冷 却材管	ホットレグ	0.001	0.001	Sd	0.000	0.001	詳細 評価	なし
					Ss	0.001	0.002		
		クロスオーバレグ	0.002	0.011	Sd	0.000	0.011	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.011		
		コールドレグ	0.001	0.005	Sd	0.000	0.005	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.005		
		加圧器サージ ライン用管台	0.179	0.465	Sd	0.001	0.466	詳細 評価	なし
					Ss	0.002	0.467		
		安全注入系ライン用管台	0.006	0.019	Sd	0.001	0.020	詳細 評価	なし
					Ss	0.007	0.026		
		化学体積制御系ライン用 管台	0.004	0.033	Sd	0.000	0.033	詳細 評価	なし
					Ss	0.000	0.033		
弁	仕切弁	ループ余熱除去系第1入 口弁	0.004	0.114	Sd	0.000	0.114	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.114		
	玉形弁	抽出水しゃ断弁	0.027	0.403	Sd	0.000	0.403	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.403		
	スイング 逆止弁	アキュムレータ第2逆止 弁	0.008	0.084	Sd	0.000	0.084	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.084		
	リフト 逆止弁	加圧器補助スプレライン 逆止弁	0.007	0.030	Sd	0.000	0.030	簡易 評価	なし
					Ss	0.000	0.030		

高浜1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 (60年供用仮定時 ¹⁾ の疲労累積係数)									
機種・機器名	部 位	設計 評価 ²⁾	環境中 評価 ³⁾	耐震評価		合計 ⁴⁾	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	0.075	0.082 ※1	Sd	0.000	0.082	詳細 評価	あり		
					Ss	0.000	0.082				
	1次冷却 材ポンプ	ケーシング脚部	0.235	0.130 ※1	Sd	0.001	0.236	詳細 評価	あり		
					Ss	0.001 0.001 ^{※5)}	0.236 0.236 ^{※5)}				
		ケーシング吐出ノ ズル	0.022	0.337	Sd	0.000	0.337	詳細 評価	なし		
					Ss	0.000	0.337				
	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	0.174	0.222	Sd	0.000	0.222	詳細 評価	なし		
					Ss	0.000	0.222				
	余熱除去 クーラ	管板	0.049	0.069	Sd	0.000	0.069	詳細 評価	なし		
					Ss	0.000	0.069				
	蒸 気 発生器	管板廻り	0.123	0.099 ※1	Sd	0.000	0.123	詳細 評価	あり		
					Ss	0.000	0.123				
	給水入口管台	0.073	0.235 ※3 ※4	Sd	0.001	0.236	詳細 評価	あり			
				Ss	0.008 0.024 ^{※5)}	0.243 0.259 ^{※5)}					
炉内 構造物	上部炉心支持板	0.016	0.181	Sd	0.000	0.181	詳細 評価	なし			
				Ss	0.000	0.181					
				上部炉心支持柱	0.003	0.030	Sd		0.000	0.030	詳細 評価
							Ss		0.001	0.031	
	下部炉心支持板	0.002	0.017	Sd	0.002	0.019	詳細 評価	なし			
				Ss	0.027	0.044					
	下部炉心支持柱	0.001	0.001	Sd	0.001	0.002	詳細 評価	なし			
				Ss	0.007 0.031 ^{※5)}	0.008 0.032 ^{※5)}					

- 1) 60年供用仮定時の各過渡条件の繰返し回数は、運転実績に基づく2009年3月末時点の過渡回数を用い、今後は以下に示すように保守的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 \geq 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) \times 1.5 \times 残年数^(注)
 取替機器（原子炉容器蓋用管台、蒸気発生器）：60年時点過渡回数 \geq 取替後実績過渡回数 + (未取替機器の1年間当たり平均過渡回数) \times 1.5 \times 残年数^(注)
 (注) 残年数とは2010.4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2011.1～2018.3と保守的に想定し、その期間は残年数から差し引く。
- 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。

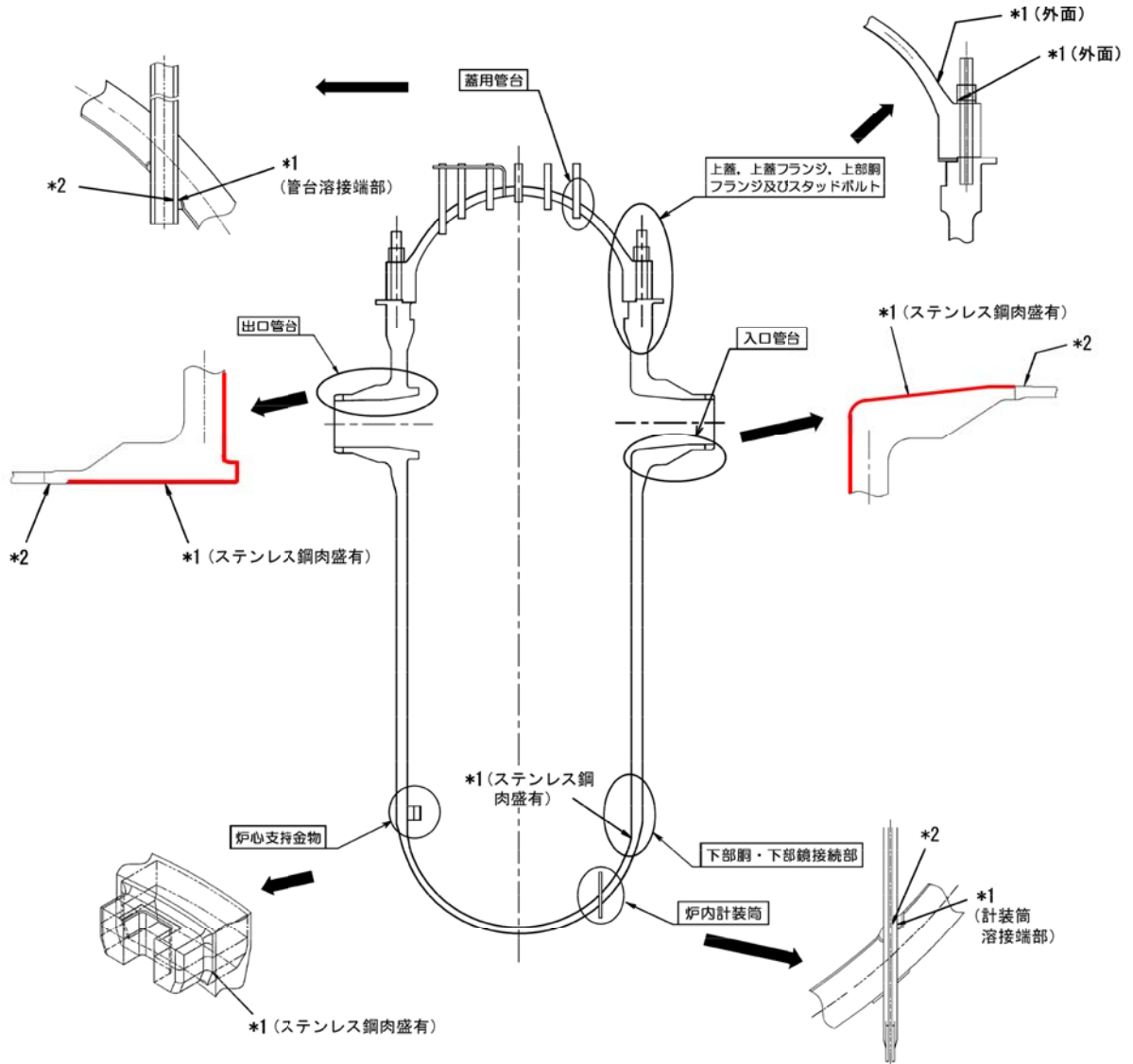
※4：熱成層を考慮した通常UFと熱成層を考慮した環境UFは下記の通り。

	熱成層を考慮した通常UF	熱成層を考慮した環境UF
加圧器スプレイライン用管台		0.019
加圧器サージ配管		0.002
加圧器スプレイ配管		0.404
蒸気発生器給水入口管台		0.235

※5：水平2方向および鉛直方向地震力の組合せによる評価結果

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。

<p>タイトル</p>	<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ついて、当該ステンレス鋼クラッドの健全性の確認の方法について</p>											
<p>説明</p>	<p>ステンレス鋼等クラッドにより接液していないとして環境疲労評価を行っていない部位がある機器としては、原子炉容器、加圧器、蒸気発生器がある。（添付1） これらの機器のクラッド施工部については、定期的に見視点検等を行い、異常がないことを確認している。</p> <table border="1" data-bbox="408 712 1345 869"> <thead> <tr> <th></th> <th>点検方法</th> <th>周期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉容器</td> <td>目視点検</td> <td>供用期間中検査</td> </tr> <tr> <td>加圧器</td> <td>目視点検※</td> <td rowspan="2">[]</td> </tr> <tr> <td>蒸気発生器</td> <td>目視点検</td> </tr> </tbody> </table> <p>※：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、目視点検による確認が困難な場所になる。しかし供用期間中検査として、定期的 [] にコーナー部や溶接継手部の超音波探傷検査を実施しており、この検査はクラッドを直接確認するための検査ではないがクラッド施工部の異常の有無や、傷があった場合経年的な進展を確認できていると考えている。</p> <p>点検結果を添付2に例として示す。</p> <p>[] 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。</p>		点検方法	周期	原子炉容器	目視点検	供用期間中検査	加圧器	目視点検※	[]	蒸気発生器	目視点検
	点検方法	周期										
原子炉容器	目視点検	供用期間中検査										
加圧器	目視点検※	[]										
蒸気発生器	目視点検											



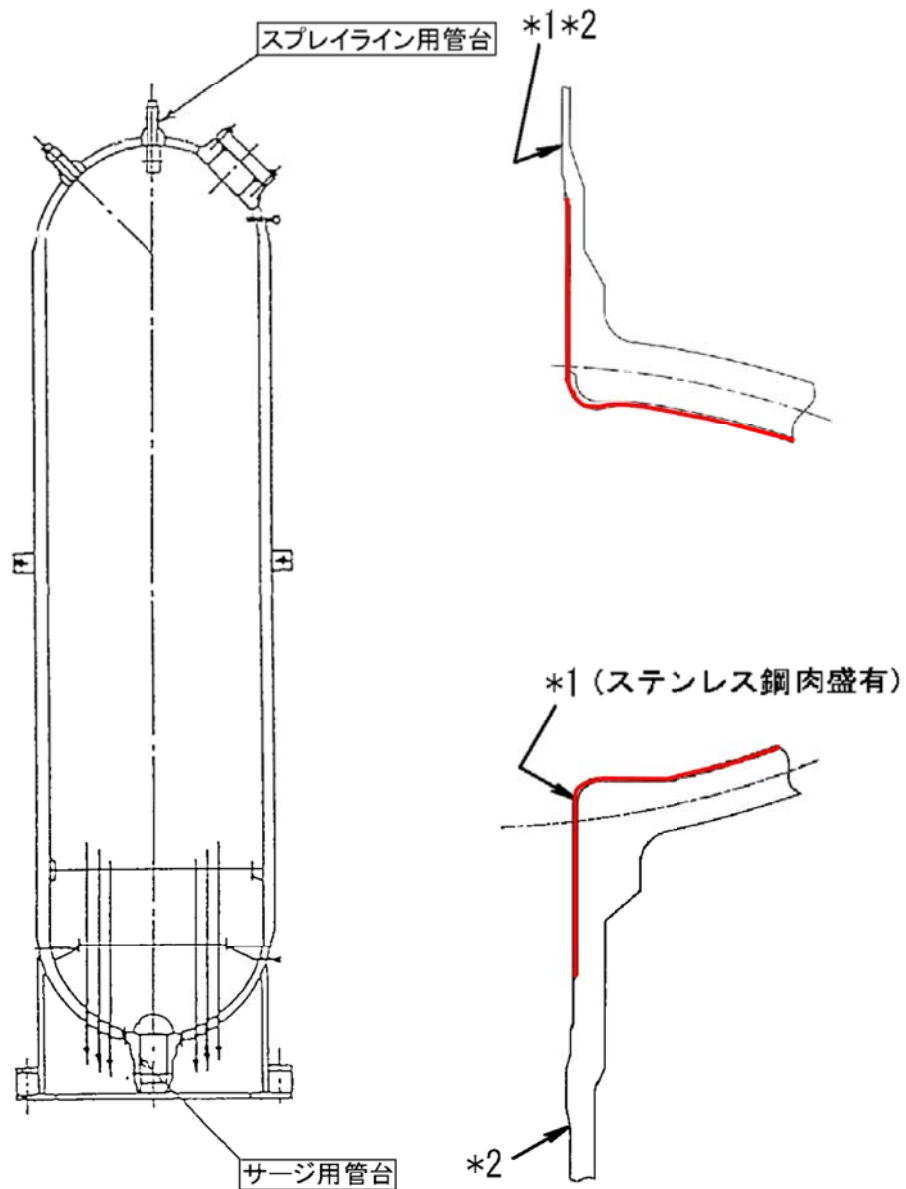
* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(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

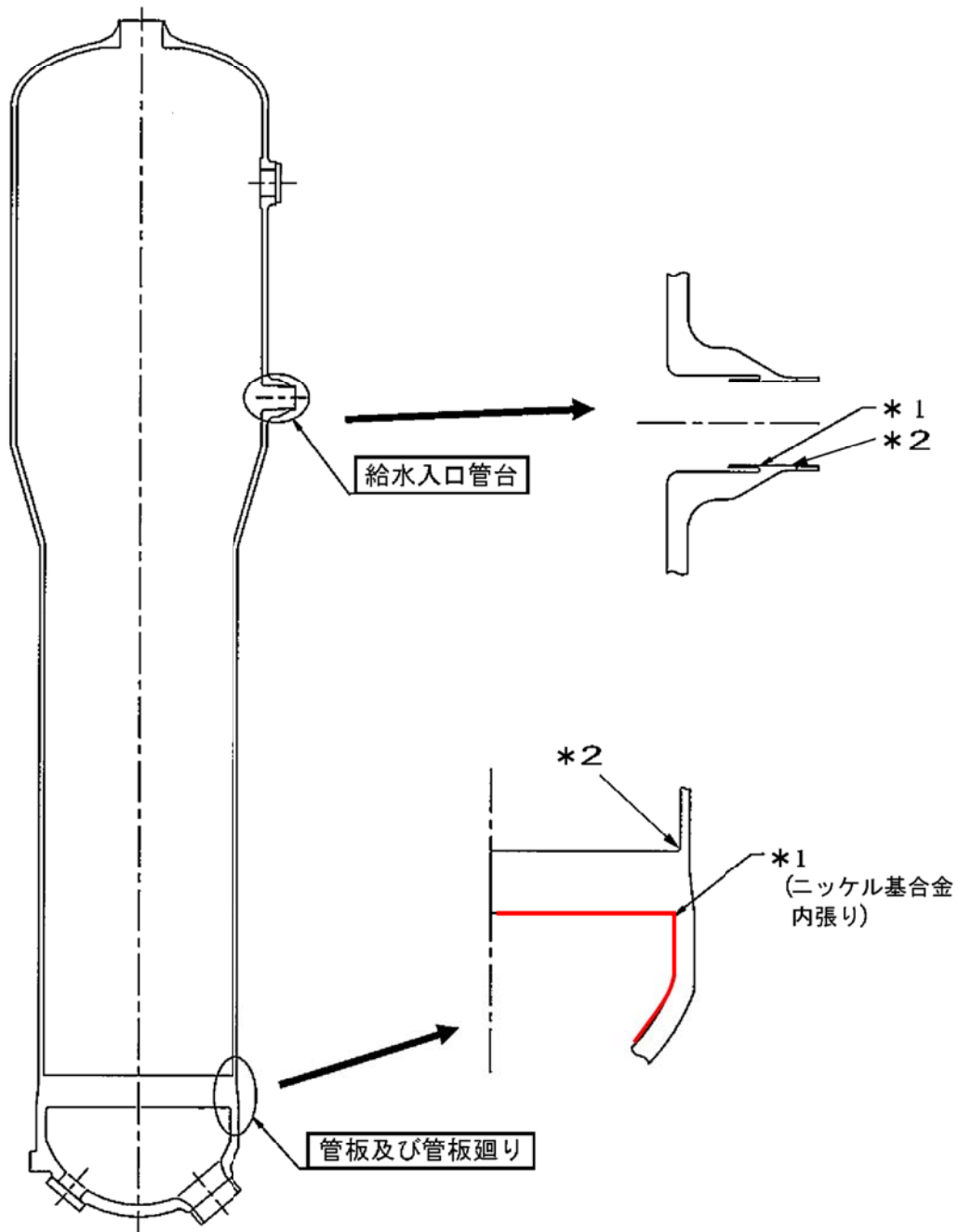


* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)
(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

* 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

非破壊検査記録 (/ /)

検査年月日 平成 27 年 9 月 25 日

検査員

項目番号	カテゴリ	機器名	検査の対象機器	検査箇所		
G1.10	G-P-1	原子炉容器	容器内部	可能範囲100%		
検査実施内容	目視検査	1. 直接目視検査(VT-) ② 遠隔目視検査 (VT-3、水中テレビカメラ)				
	表面検査	浸透探傷検査	探傷剤	温度	浸透時間	現像時間
		超音波探傷検査	探傷器	探触子	試験片	感度
	体積検査	超音波探傷検査	サジェクション		接触媒質	
			OFF			
検査実施結果	検査項目		結果	備考		
	目視検査		良			
	表面検査	浸透探傷検査				
体積検査	超音波探傷検査					
評価						

非破壊検査記録 (2/3)

検査年月日 平成14年12月17日

検査員

検査立会者

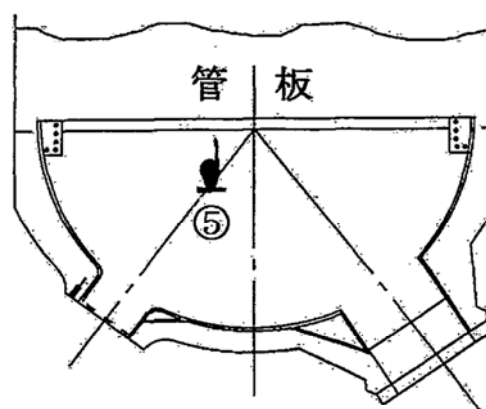
項目番号	カテゴリ	機器名	検査の対象機器		検査箇所	
B3.40	B-D	加圧器	管台内面の丸みの部分 サージ管台		1箇所 W-104-9A, 9B, 9C	
検査内容	肉眼検査	1. 直接肉眼検査 (VT-)		2. 遠隔肉眼検査 (VT-)		
	表面検査	浸透検査	探傷剤	温度	浸透時間	現像時間
	表面検査	磁粉検査	探傷器	磁粉	試験片	その他
	表面検査	超音波検査	探傷器	探触子	試験片	感度
	表面検査	超音波検査	クイントクレーマ-社 USL-32	2Z20x20A55(CW) 2Z20x20A55(CCW)	KTN-PR-SURG-NZL	CRT 90%(40+18)dB CRT 90%(40+20)dB
	表面検査	超音波検査	リジェクション	接触媒質	パルス幅	
	表面検査	放射線透過検査	線源	線源寸法	線源・フィルム間距離	増感紙
	表面検査	放射線透過検査	透過度計の型	透過度計の位置	材厚	はさみ金
	表面検査	放射線透過検査	OFF	ソニコート	1	
	表面検査	放射線透過検査				
検査結果	検査項目	結果		備考		
実施結果	肉眼検査					
実施結果	表面検査	浸透探傷検査				
実施結果	表面検査	磁粉探傷検査				
実施結果	表面検査	超音波探傷検査	良			
実施結果	表面検査	放射線透過検査				
評価						
20%DACを超える欠陥からの反射波を認めず。						
50%DACを超える形状又は金属組織からの反射波を認めず。						

記録No.1-3

KTN-1 蒸気発生器一次側内部点検記録
(一次側水室内)

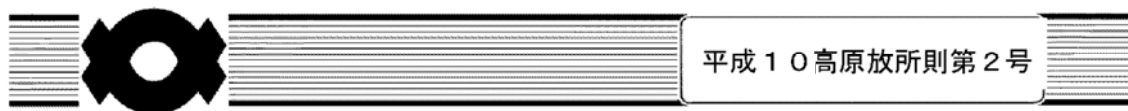
*異常なし→良 記入後サイン
*異常あり→別紙にて報告すること。

点検箇所 及び 点検項目		⑤ 伝熱管面 (管板下部伝熱管取付け溶接部に有害な欠陥が認められないことを目視にて確認する)					
		点検月日	点検者	点検結果	品 管	関 電	備 考
A-S/G	HOT	—	—	—	—	—	—
	COLD	—	—	—	—	—	—
B-S/G	HOT	H21.10.5		良			
	COLD	H21.10.5		良			
C-S/G	HOT	—	—	—	—	—	—
	COLD	—	—	—	—	—	—



タイトル	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															
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>高浜1号炉の劣化状況評価書において、炭素鋼・低合金鋼の接液部位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="424 882 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\squareppb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\squareppb以下を標準値として監視・管理されている。</p> <p>添付1に主給水の水質管理基準を示す。 添付2に運転開始頃および至近の出力運転中の実測値を示す。</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													

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。



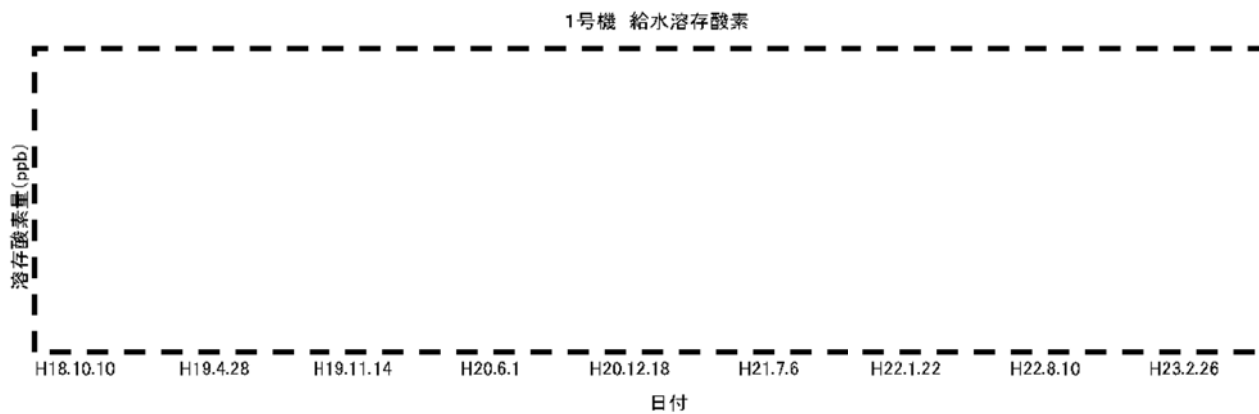
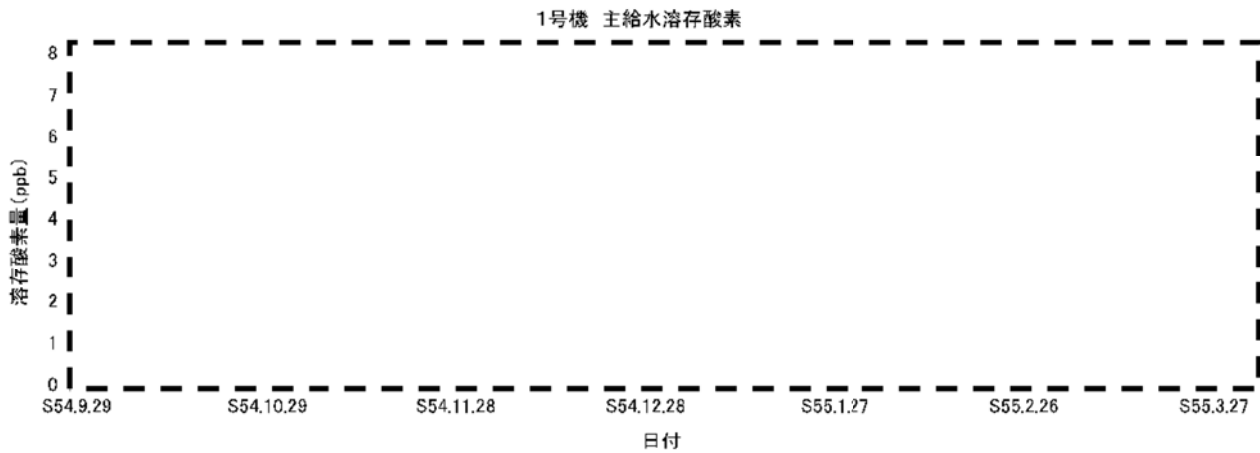
高浜発電所 化学管理業務所則

平成10年 6月 8日 制 定

平成27年 11月 4日 48次改正

関西電力株式会社

高浜 1 号炉 2 次系主給水溶存酸素濃度推移



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	1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"> ① 原子炉容器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・ 54 ② 余熱除去ポンプケーシングの疲労累積係数・・・・・・・・ 91 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・・・ 103 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・・・ 132 ⑤ 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・ 148 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・・・ 172 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・ 182 ⑧ 固定式配管貫通部の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・ 200 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・ 202 ⑩ 加圧器配管の熱成層を考慮した評価の算出根拠・・・・・・・・ 215 ⑪ 主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・ 234 ⑫ 一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・ 240 ⑬ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・・ 281 ⑭ 玉形弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・・ 285 ⑮ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・・ 289 ⑯ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・ 311

タイトル	原子炉容器冷却材出入口管台等の疲労評価に係る各評価対象部位の疲労累積係数の算出根拠（解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、 K_e 係数、環境評価パラメータを含む）について																																																	
説明	<p>原子炉容器本体冷却材入口管台等の疲労累積係数の算出根拠を添付 1 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="411 589 1355 1126"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>形状、評価点及び解析モデル</th> <th>最大評価点の選定結果</th> <th>K_e 係数</th> <th>環境評価パラメータ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>冷却材入口管台</td> <td>図 2</td> <td>表 2-1</td> <td>表 2-2</td> <td>表 2-3</td> </tr> <tr> <td>冷却材出口管台</td> <td>図 3</td> <td>表 3-1</td> <td>表 3-2</td> <td>表 3-3</td> </tr> <tr> <td>蓋用管台</td> <td>図 4</td> <td>表 4-1</td> <td>表 4-2</td> <td>表 4-3</td> </tr> <tr> <td>炉内計装筒</td> <td>図 5-1 図 5-2</td> <td>表 5-1</td> <td>表 5-2</td> <td>表 5-3</td> </tr> <tr> <td>上蓋フランジおよび上部胴フランジ</td> <td>図 6</td> <td>表 6-1</td> <td>表 6-2</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>下部胴・下部鏡接続部</td> <td>図 7</td> <td>表 7-1</td> <td>表 7-2</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>炉心支持金物</td> <td>図 8</td> <td>表 8-1</td> <td>表 8-2</td> <td>接液部は全て疲労限未満</td> </tr> <tr> <td>スタッドボルト</td> <td>図 6</td> <td>表 6-1</td> <td>表 6-3</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>なお、高浜 1 号炉の原子炉容器炉内計装筒については添付 2 に示すとおり、No. ④ 1 箇所^④の切削加工を実施しているため、図 5-1、図 5-2 の 2 つのモデルで評価を行い、厳しい評価結果を記載している。</p>					評価部位	形状、評価点及び解析モデル	最大評価点の選定結果	K_e 係数	環境評価パラメータ	冷却材入口管台	図 2	表 2-1	表 2-2	表 2-3	冷却材出口管台	図 3	表 3-1	表 3-2	表 3-3	蓋用管台	図 4	表 4-1	表 4-2	表 4-3	炉内計装筒	図 5-1 図 5-2	表 5-1	表 5-2	表 5-3	上蓋フランジおよび上部胴フランジ	図 6	表 6-1	表 6-2	—	下部胴・下部鏡接続部	図 7	表 7-1	表 7-2	—	炉心支持金物	図 8	表 8-1	表 8-2	接液部は全て疲労限未満	スタッドボルト	図 6	表 6-1	表 6-3	—
評価部位	形状、評価点及び解析モデル	最大評価点の選定結果	K_e 係数	環境評価パラメータ																																														
冷却材入口管台	図 2	表 2-1	表 2-2	表 2-3																																														
冷却材出口管台	図 3	表 3-1	表 3-2	表 3-3																																														
蓋用管台	図 4	表 4-1	表 4-2	表 4-3																																														
炉内計装筒	図 5-1 図 5-2	表 5-1	表 5-2	表 5-3																																														
上蓋フランジおよび上部胴フランジ	図 6	表 6-1	表 6-2	—																																														
下部胴・下部鏡接続部	図 7	表 7-1	表 7-2	—																																														
炉心支持金物	図 8	表 8-1	表 8-2	接液部は全て疲労限未満																																														
スタッドボルト	図 6	表 6-1	表 6-3	—																																														

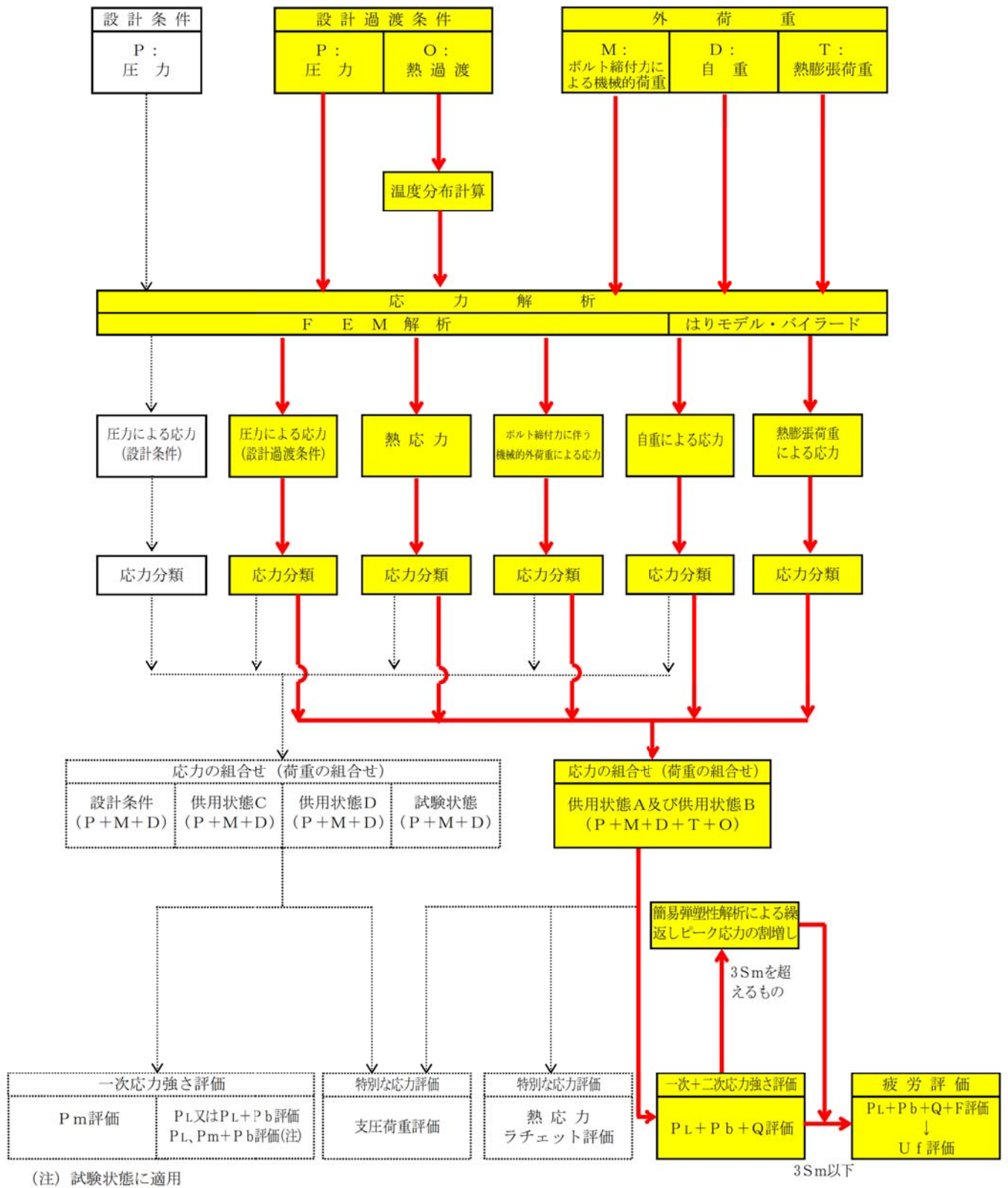
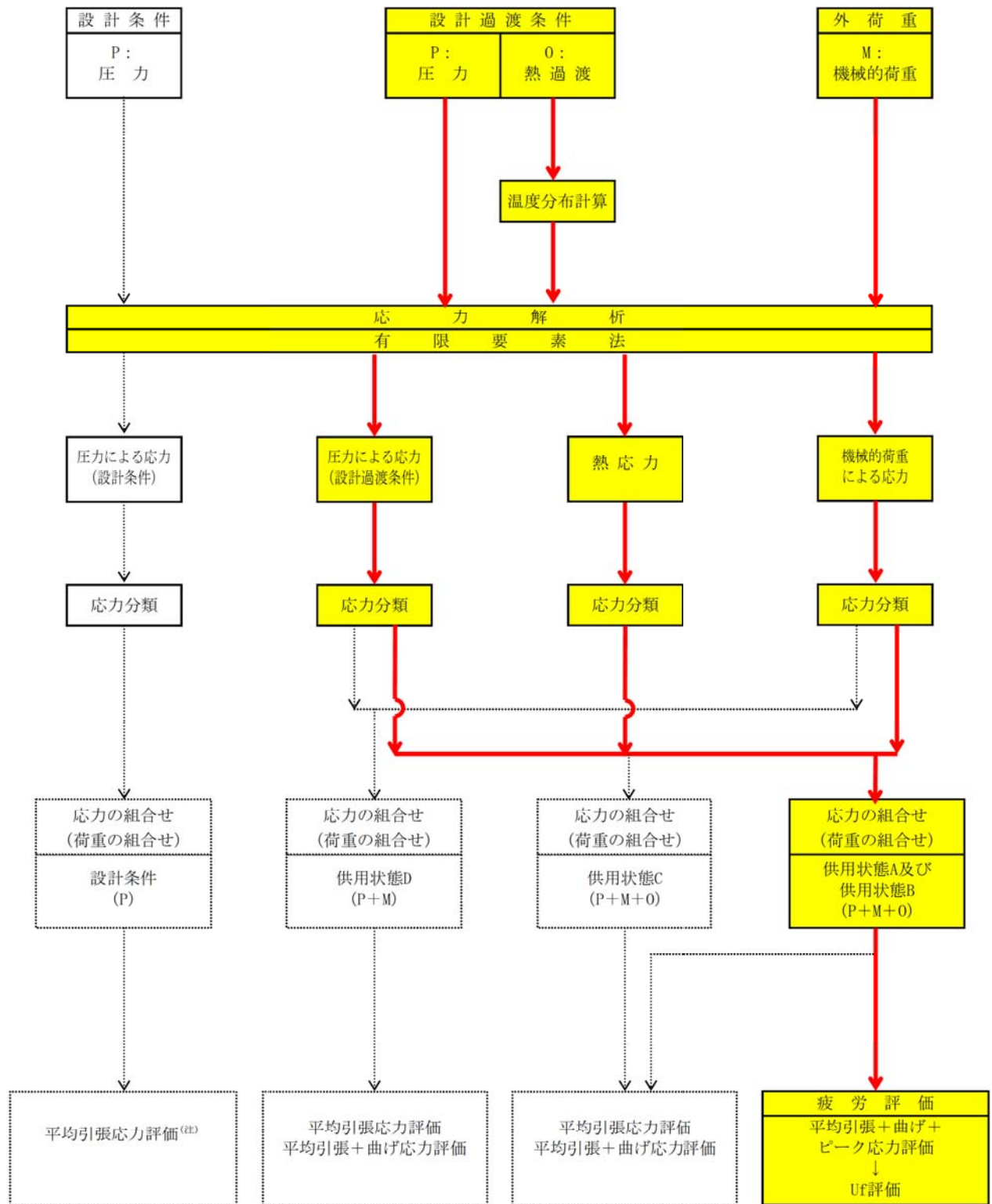


図1 (1/2) 応力評価フローチャート (ボルト以外)



(注)圧力による応力は、静力学の釣合いより求める。

図1 (2/2) 応力評価フローチャート (ボルト)

表1-1 荷重の組合せ

状 態	荷重の組合せ	
	供用状態A, B	ボルト以外
ボルト		P + O + M

(記号)

P : 圧力 O : 熱過渡 M : 機械的荷重 D : 自重 T : 熱膨張荷重

表1-2 材料物性値 (設計応力強さ)

使用箇所	材料	温 度 (°C)	
		288.6	322.8
出入口管台セーフエンド			
出入口管台、上部胴、上部胴フランジ			
炉内計装筒セーフエンド			
下部胴、下部鏡			
炉内計装筒、炉心支持金物			
上部蓋フランジ			
上蓋			
スタッドボルト			
蓋用管台			

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。

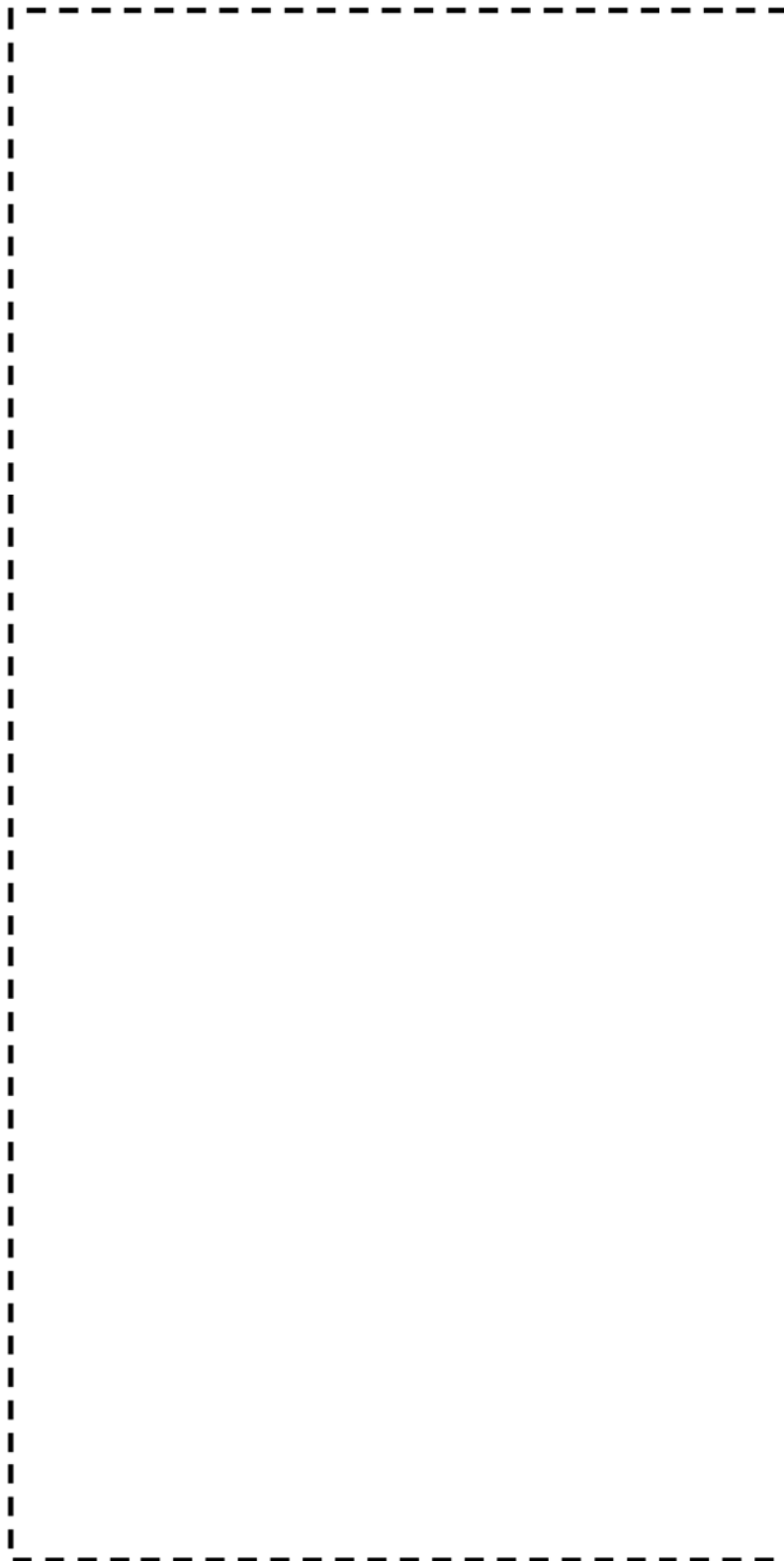


図2 入口管台形状寸法、評価点及び解析モデル

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 (入口管台)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9L			
10L			
9C			
10C			
11L			
12L			
11C			
12C			
13L			
14L			
13C			
14C			

許容値 $U_T=1.0$

評価点 9L (S23) 表2-2 疲労解析結果 (入口管台)

応力強さ (単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数
		疲労累積係数 = 0.05302

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

→0.054

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2-3 環境疲労評価結果 (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	突過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
								合計: 0.00000

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ ($sa/t' \leq 214.5$) の場合、 $fen=1.0$

→0.001

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3 出口管台形状寸法、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3-1 疲労累積係数 (出口管台)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9L			
10L			
9C			
10C			
11L			
12L			
11C			
12C			
13L			
14L			
13C			
14C			

許容値 $U_f = 1.0$

表3-2 疲労解析結果 (出口管台)

評価点 - 9L
(S23)

応力強さ (単位 : MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)	
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*		
							疲労累積係数 =	0.06485

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

→0.065

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3-3 環境疲労評価結果 (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		突過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
[Empty Table Body]											合計 : 0.00001

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

→0.001

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。

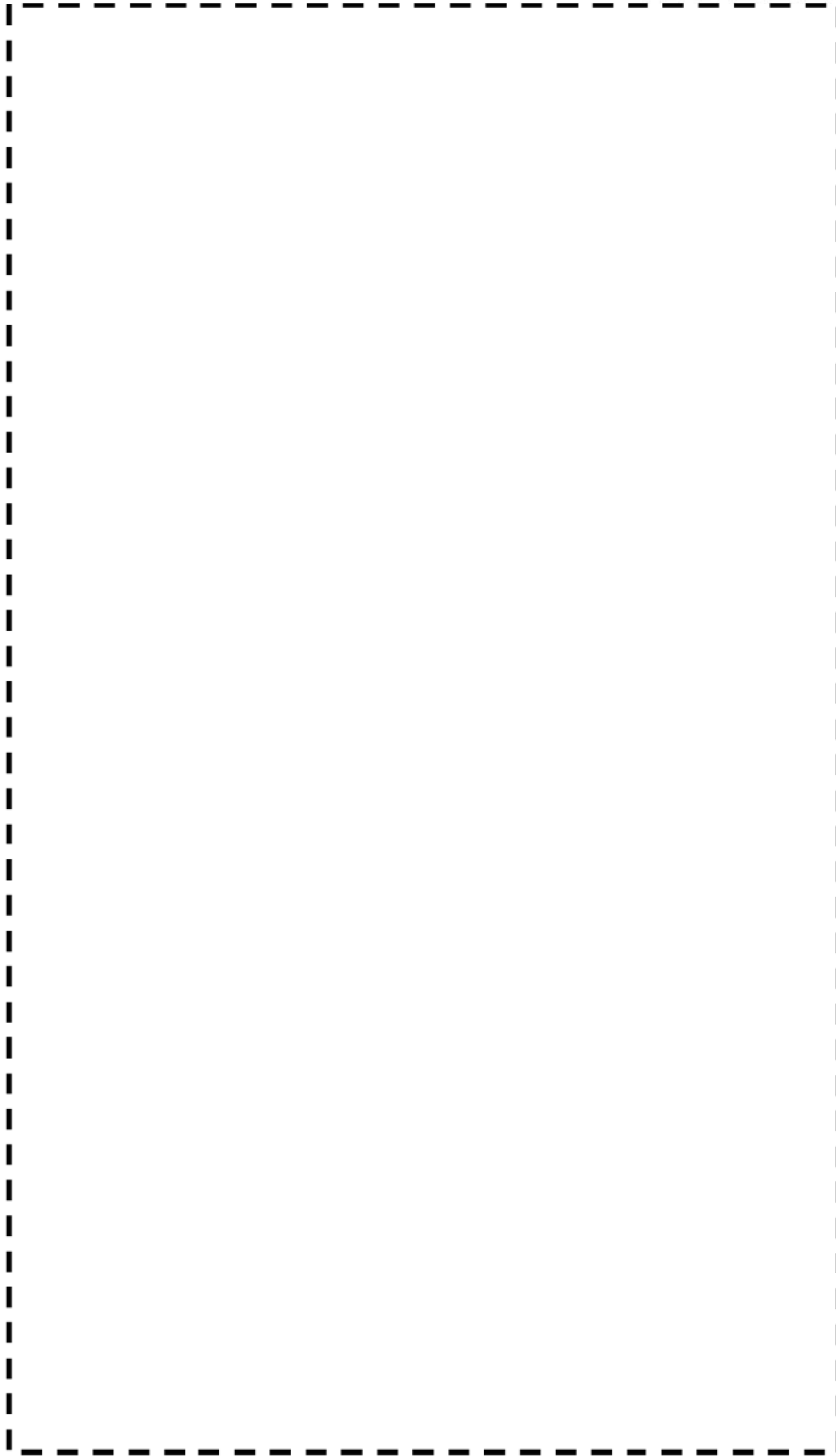


図4 蓋用管台形状寸法、評価点及び解析モデル

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4-1 疲労累積係数 (蓋用管台)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

許容値 $U_f = 1.0$

表4-2 疲労解析結果 (蓋用管台)

評価点 6 (S31)

応力強さ (単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数
疲労累積係数 = 0.12866		

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 →0.129
 N : 設計繰返し回数
 N* : 許容繰返し回数

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4-3 環境疲労評価結果 (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	繰返しピーク 応力強さ		突過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
合計 : 0.00195											

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' $\leq 2/4.5$) の場合、fen=1.0

→0.002

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 e n) の算出根拠

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

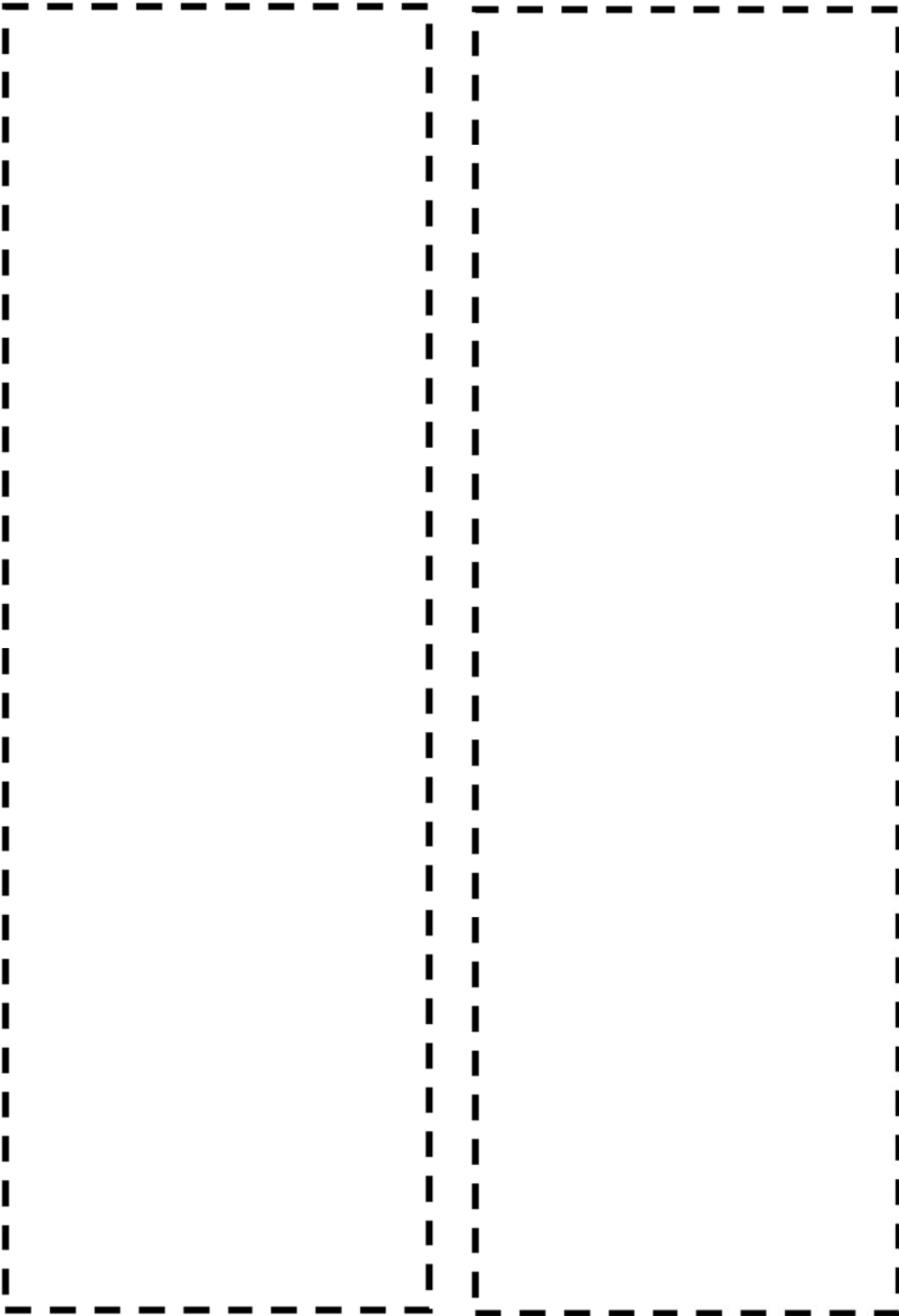
蓋用管台

a. 過渡2J1,2D5

b. 過渡2J1,2G1

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。

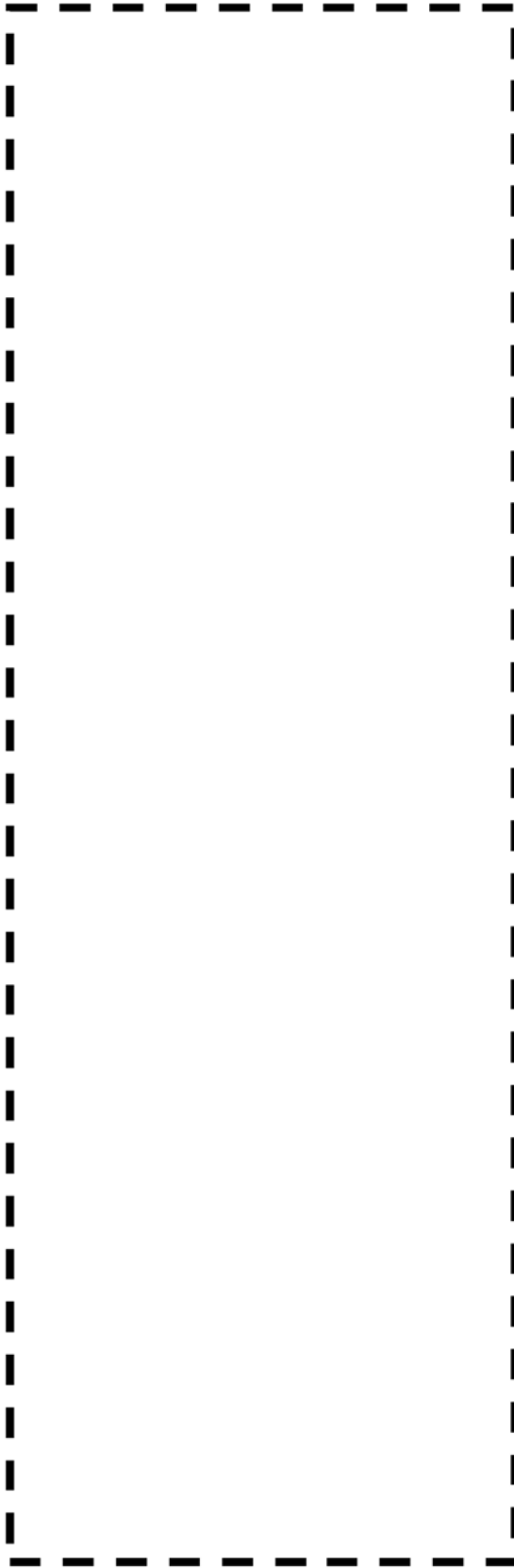
c. 過渡2J1,1L1



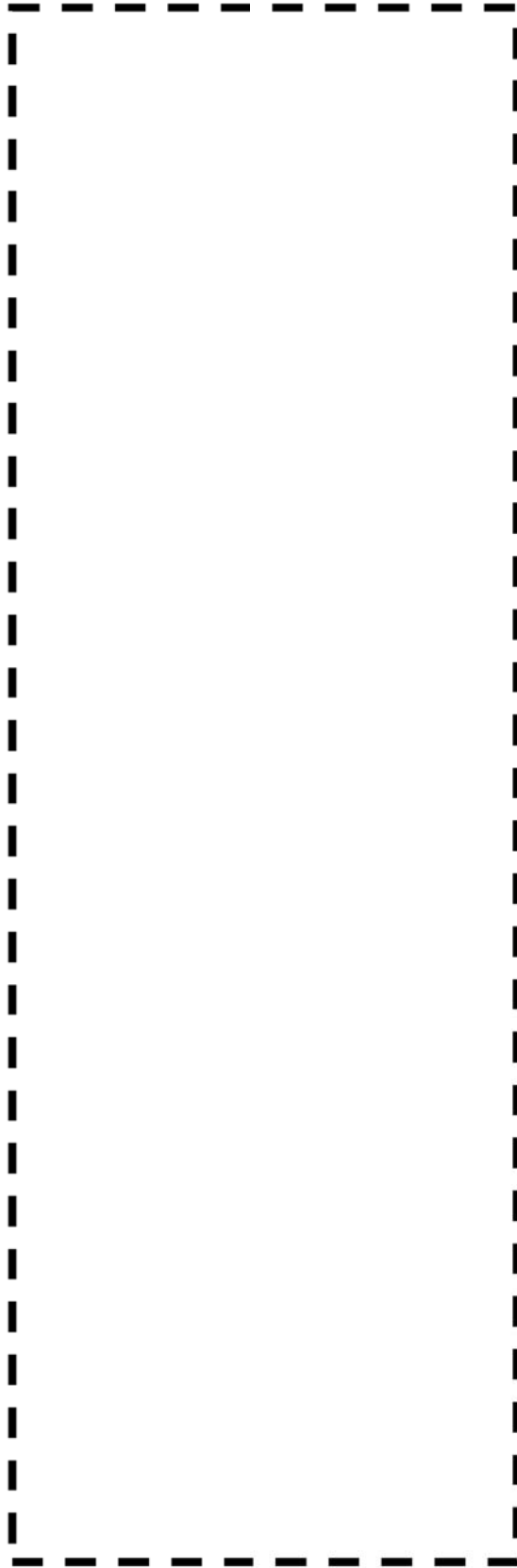
d. 過渡2J1,2D4

「 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。」

e. 過渡2J1,2F1

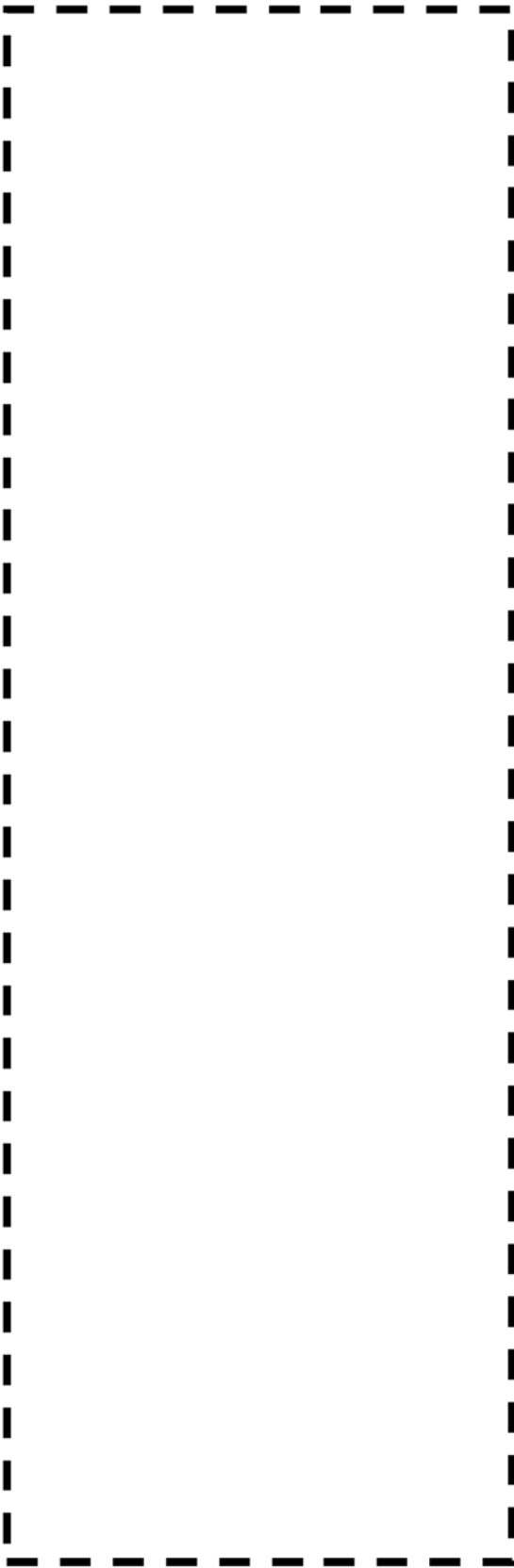


f. 過渡2J1,2D2

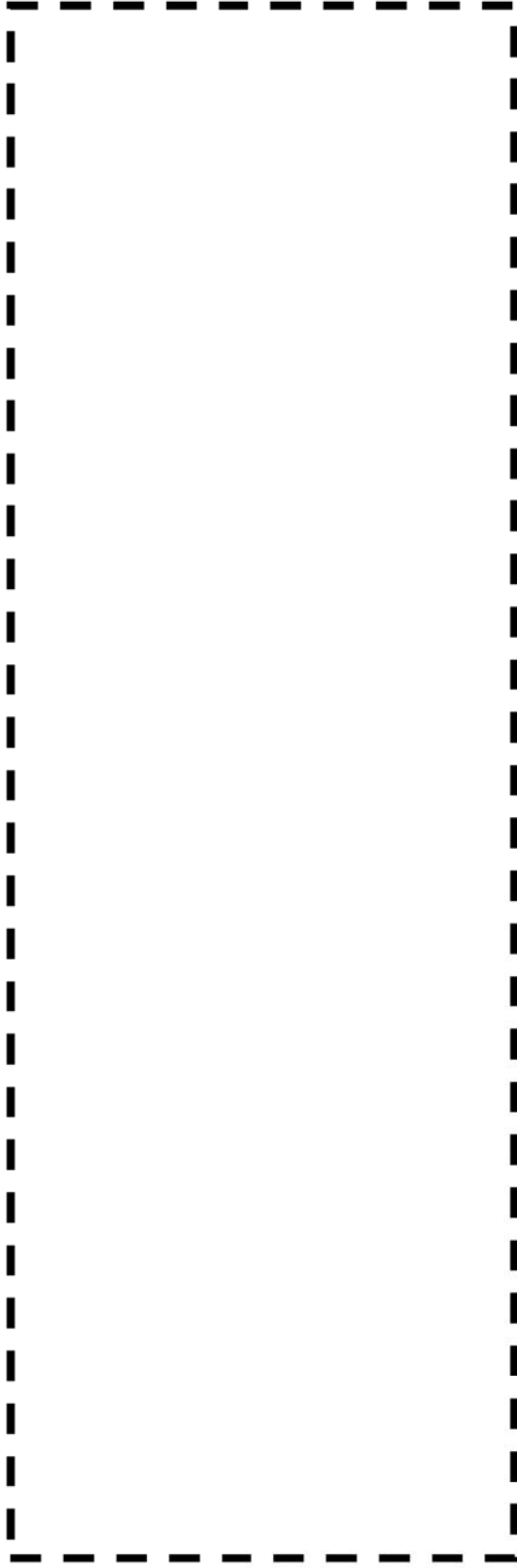


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

g. 過渡2J1,2D1



h. 過渡2J1,2C2



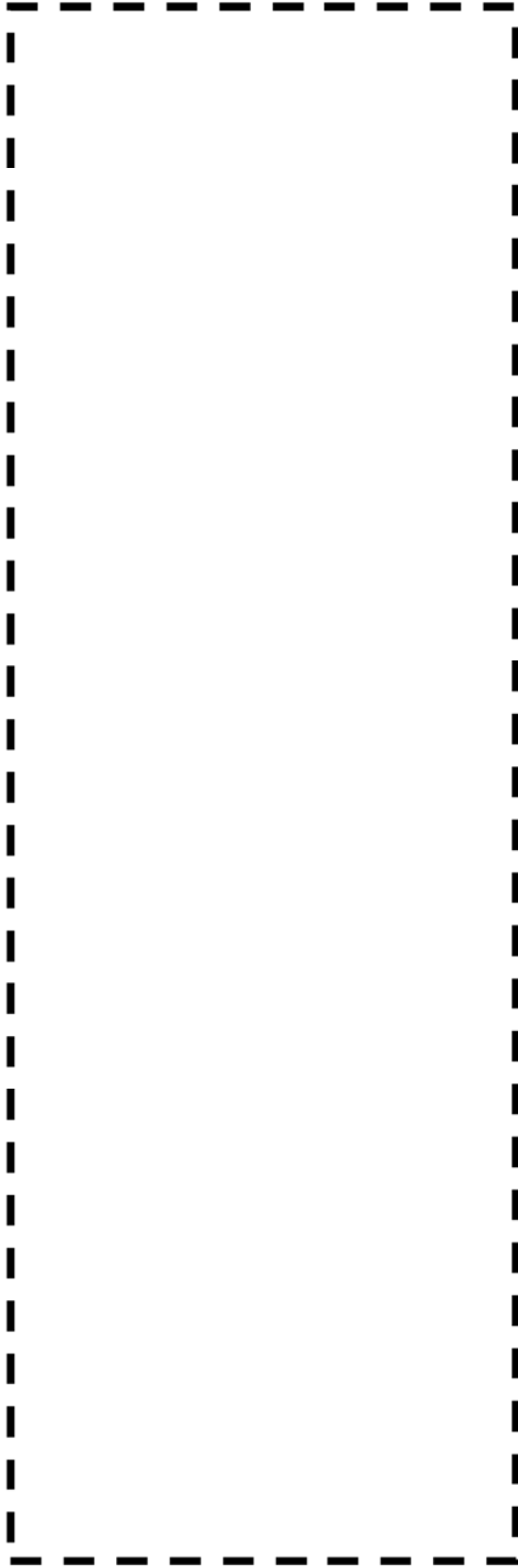
「枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。」

i. 過渡2J1,2G1

j. 過渡2J1,1D1

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。

k. 過渡1A1,1D1



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。

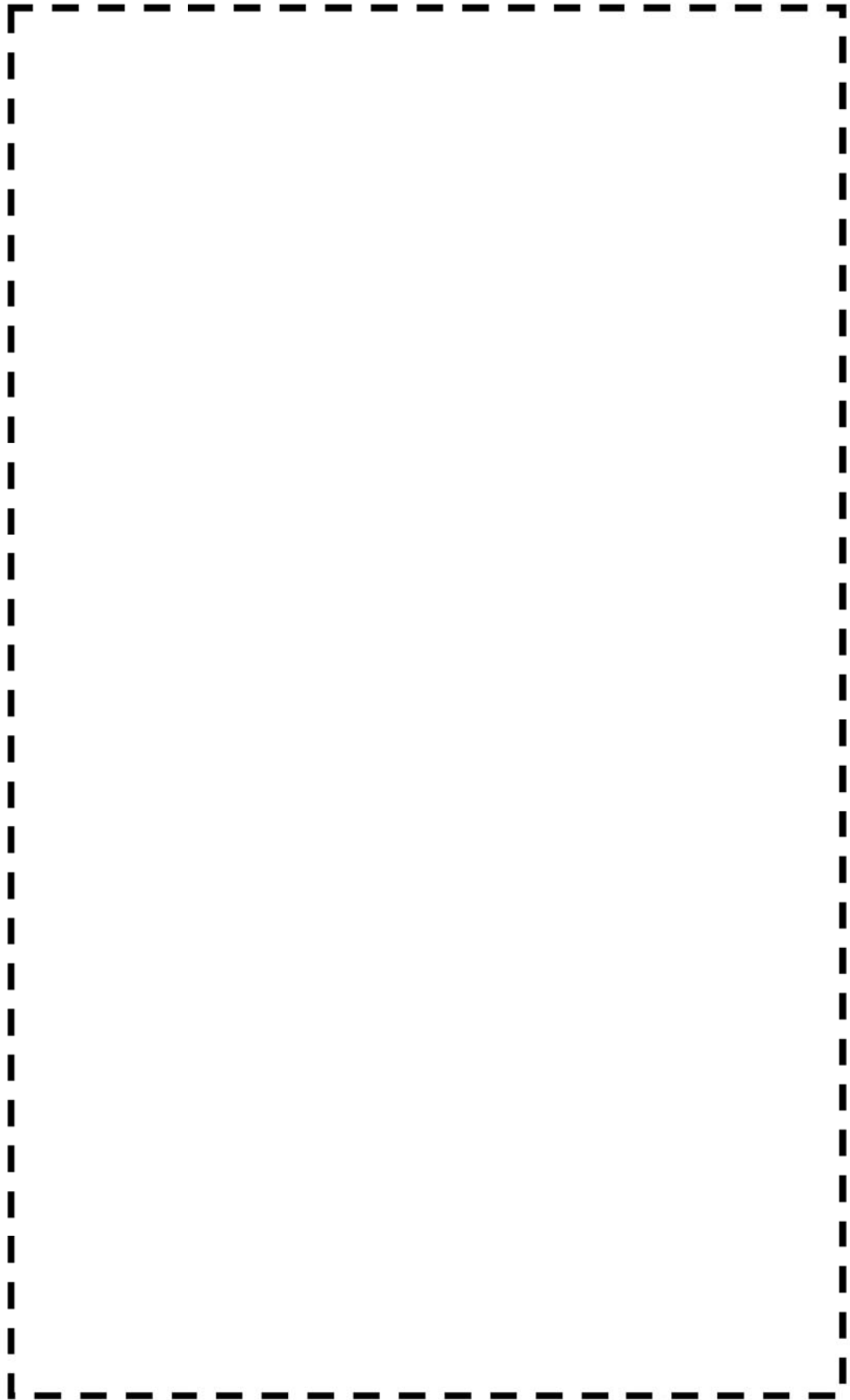


図5-1 炉内計装筒形状寸法、評価点及び解析モデル（疲労解析）

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。

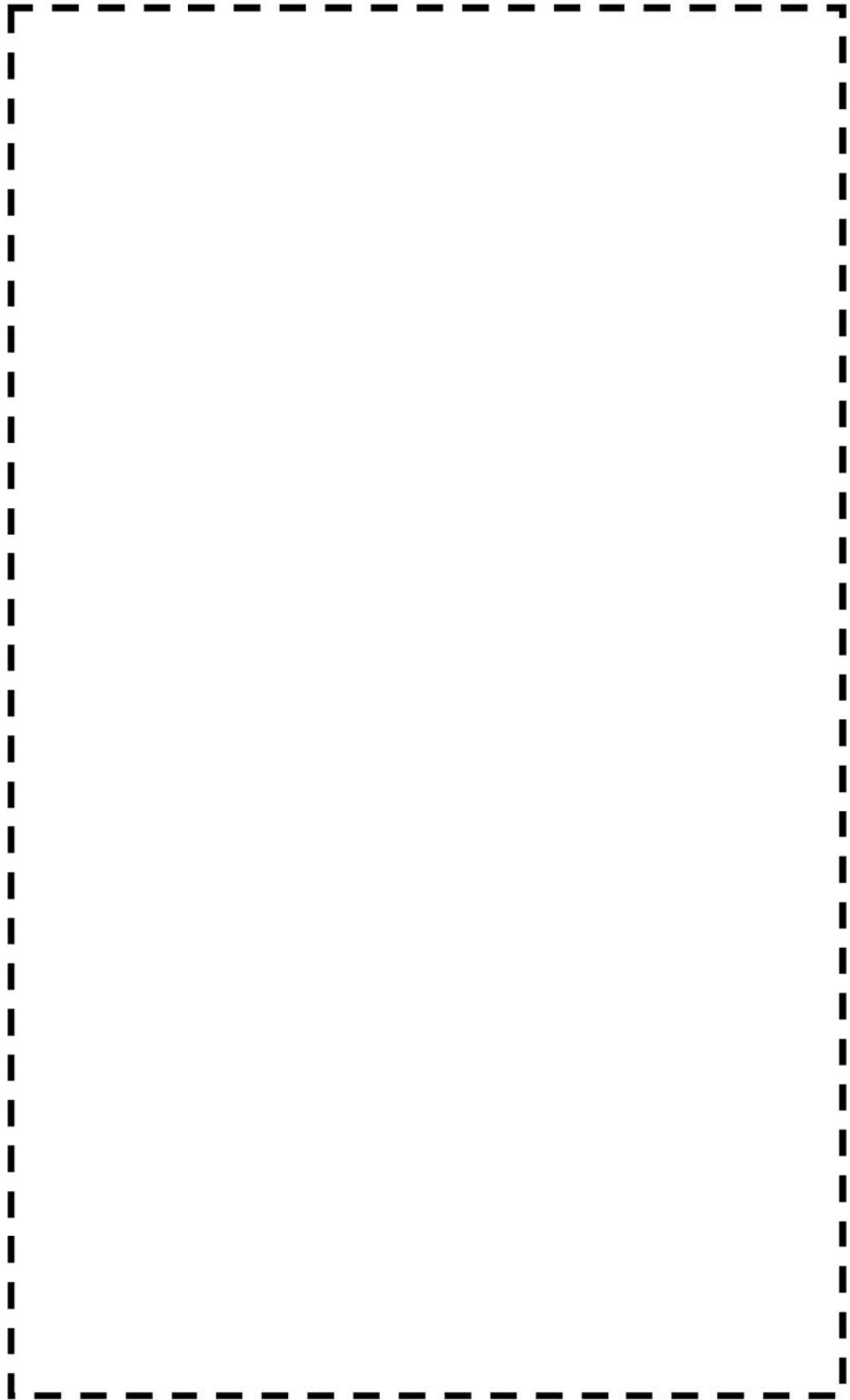


図5-2 炉内計装筒形状寸法、評価点及び解析モデル（環境疲労解析）

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5-1 疲労累積係数 (炉内計装筒)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

許容値 $U_f=1.0$

表5-2 疲労解析結果 (炉内計装筒)

評価点 10 (S31)

応力強さ (単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数
疲労累積係数 = 0.18727		
→0.188		

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

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5-3 環境疲労評価結果 (炉内計装筒 評価点⑪)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		突過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 nt	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'					
											合計 : 0.01238

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

→0.013

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

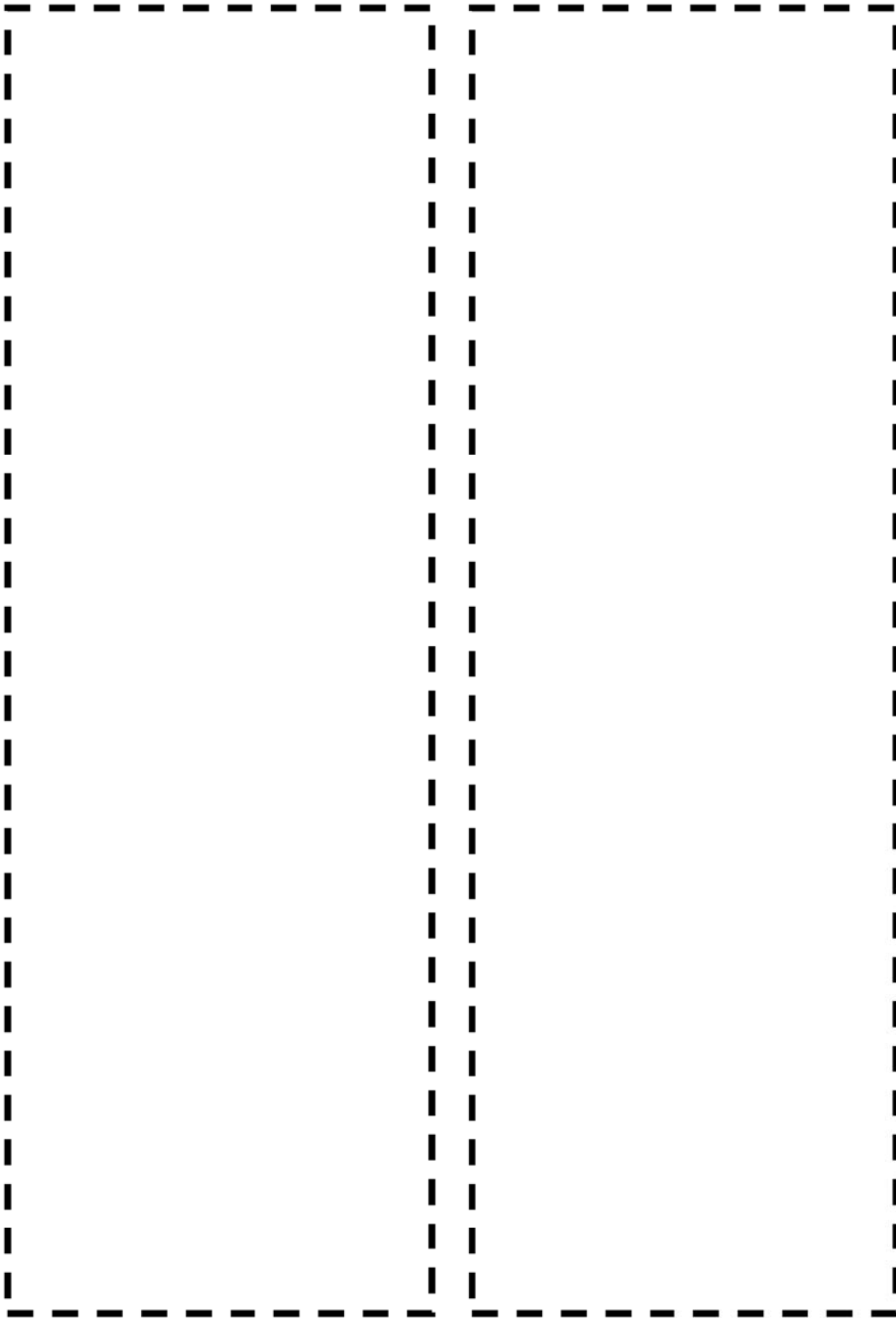
炉内計装筒

a. 過渡2J1,2D4

b. 過渡2J1,2G1

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。

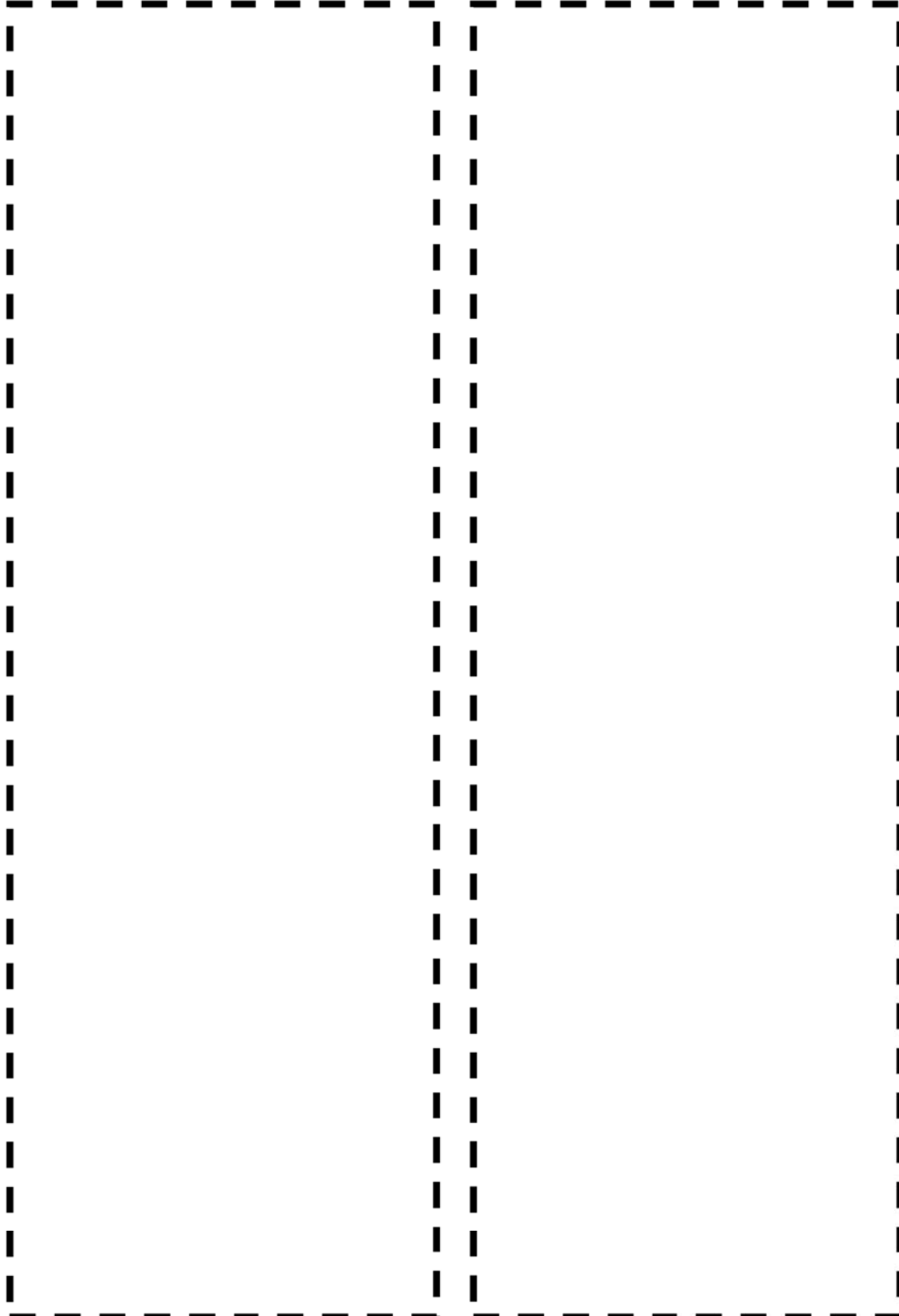
c. 過渡2J1,2A1



d. 過渡2J1,2H1

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。

e. 過渡2J1,2J2



f. 過渡1B1,2J2

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。

g. 過渡1B1,2B1

h. 過渡1B1,2I1

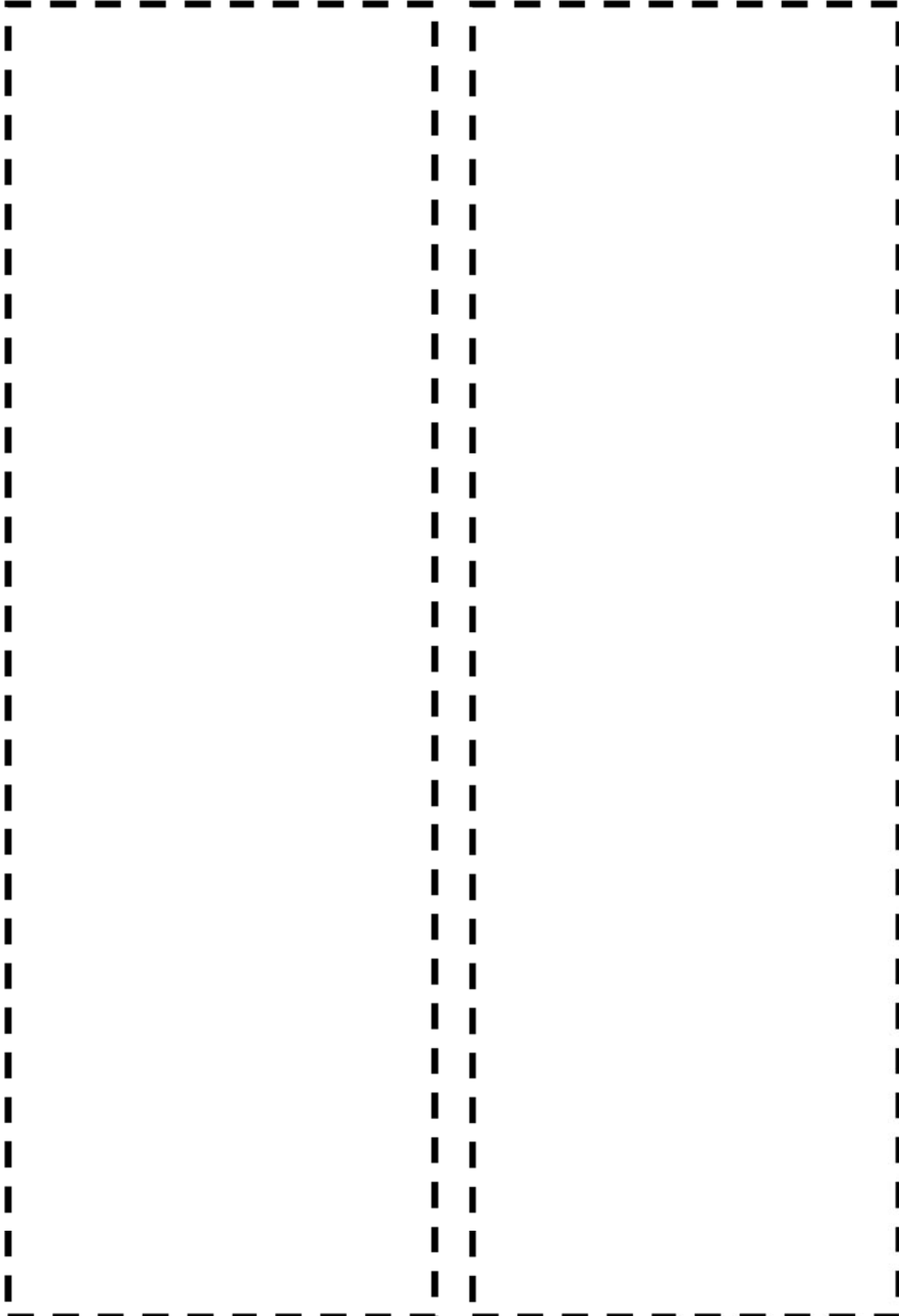
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

i. 過渡1B1,1C1

j. 過渡1I1,1C1

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。

k. 過渡IA1,1C1



l. 過渡NSS,1C1

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6 上蓋および上部胴フランジ、スタッドボルト形状寸法、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6-1 疲労累積係数 (上蓋および上部胴フランジ、スタッドボルト)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

許容値 $U_r=1.0$

表6-2 疲労解析結果 (上蓋および上部胴フランジ)

評価点 - 2
(S31)

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
疲労累積係数 =							0.01267

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

→0.013

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。

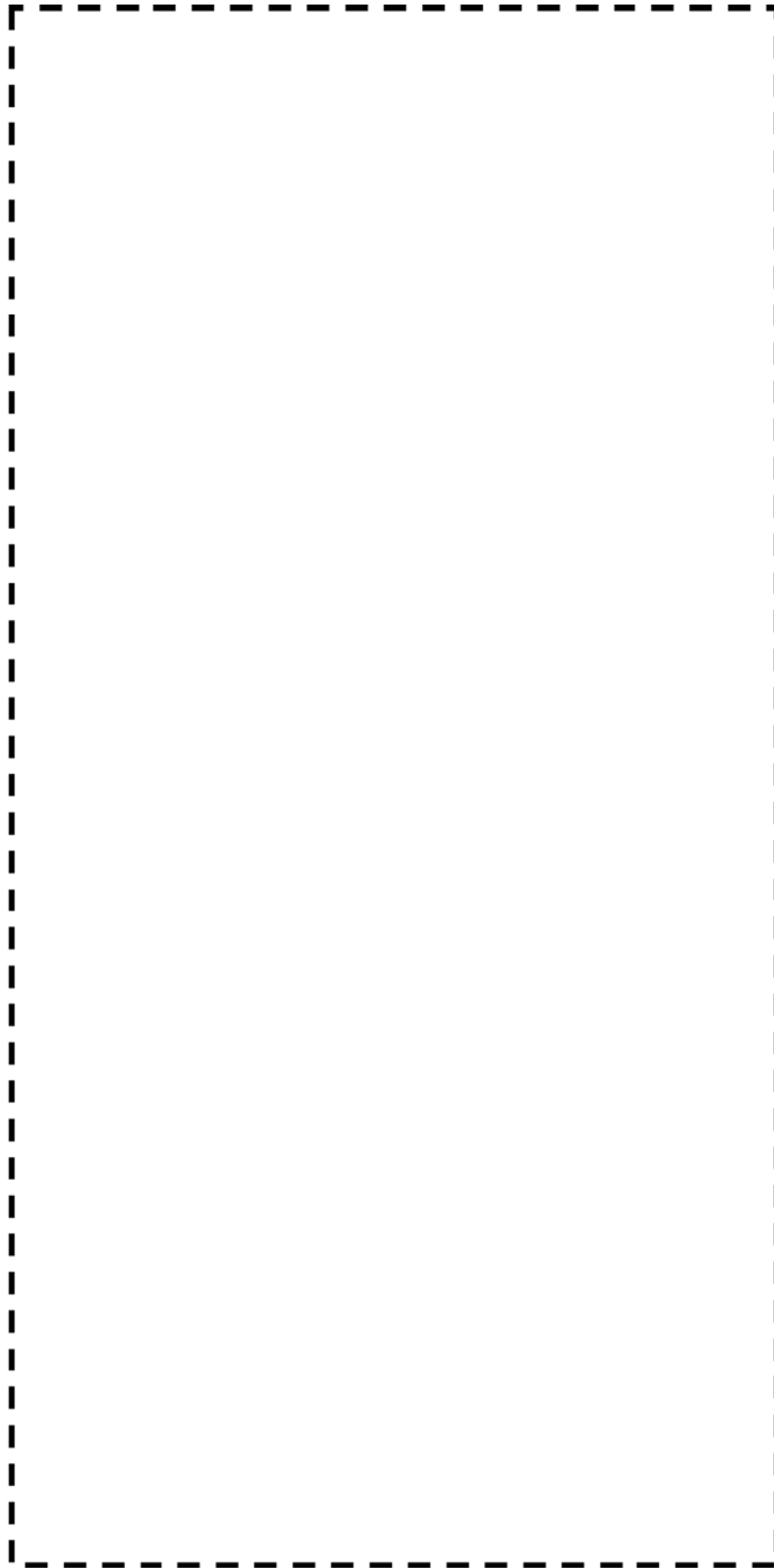


図7 下部胴・下部鏡接続部形状寸法、評価点及び解析モデル

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7-1 疲労累積係数 (下部胴・下部鏡接続部)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			

許容値 $U_f=1.0$

表7-2 疲労解析結果 (下部胴・下部鏡接続部)

評価点 3
(S31)

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
							疲労累積係数 = 0.00440

→0.005

- 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

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。

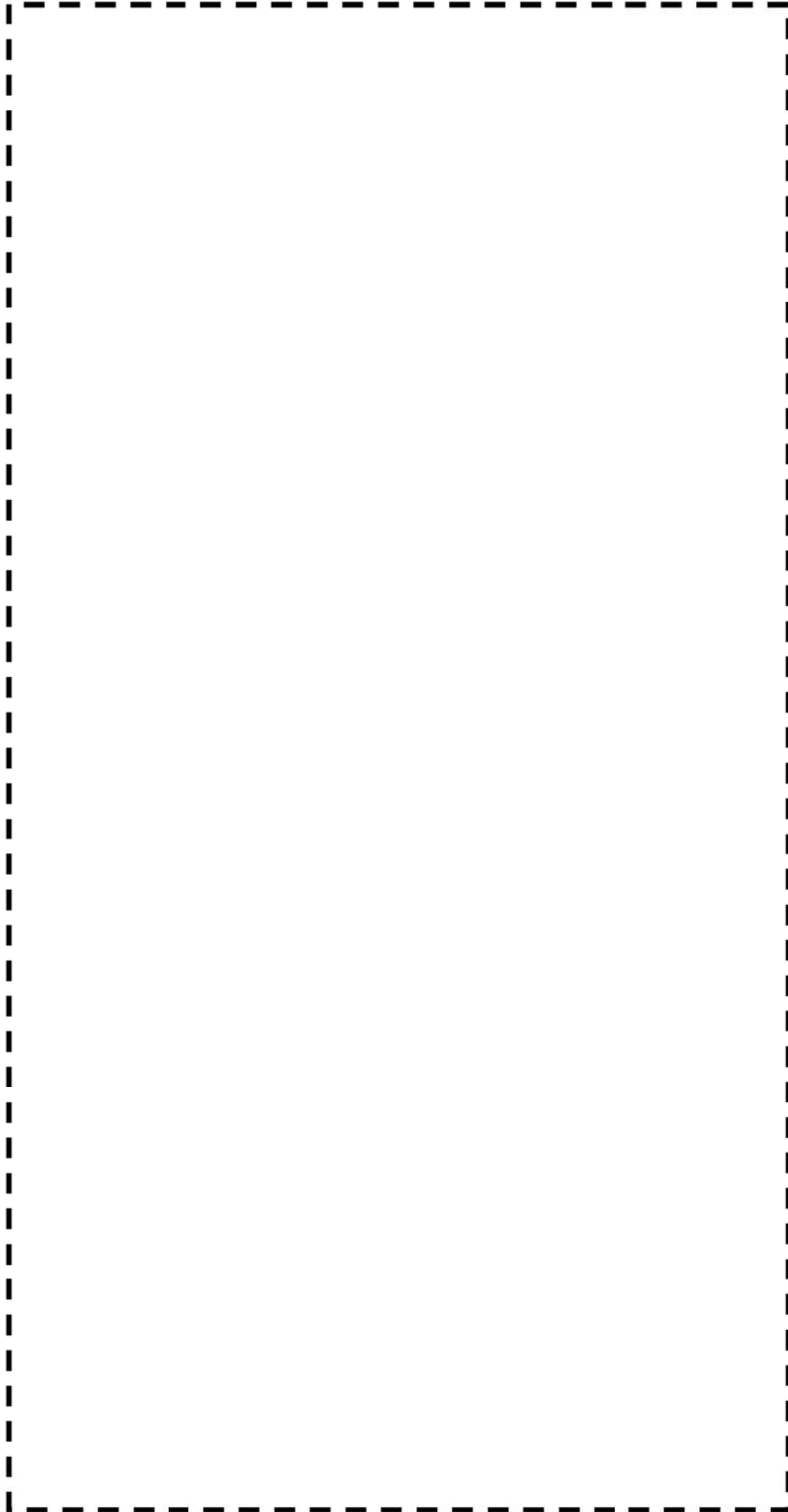


図8 炉心支持金物形状寸法、評価点及び解析モデル

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8-1 疲労累積係数 (炉心支持金物)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

許容値 $U_f=1.0$

表8-2 疲労解析結果 (炉心支持金物)

評価点 - 3
(S23)

応力強さ (単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	N	N*	
疲労累積係数 =					0.00833

→0.009

- 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

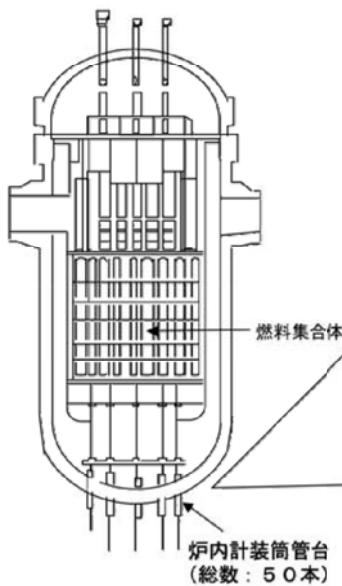
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

炉内計装筒管台予防保全対策工事(管台内表面加工手入れ)概要図

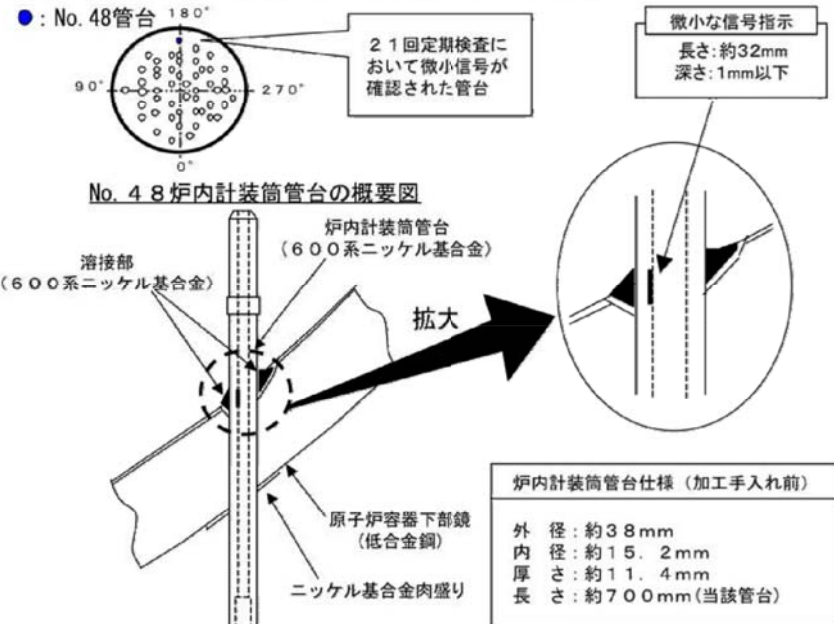
工事概要

前回の定期検査(第21回)における渦流探傷検査(ECT)にて、微小な信号指示が認められた炉内計装筒管台1本(No. 48)について、念のため管台内表面の加工手入れ(切削)を行いました。
 なお、手入れ前後にはECTを実施し、前回の定期検査で確認された指示に変化がないことおよび、手入れ後には指示のないことを確認しました。
 また、1次系水質環境下における応力腐食割れに対する予防保全対策として、金属表面の引張り残留応力を圧縮応力に変えるため、炉内計装筒管台の内表面手入れ後にウォータージェットピーニングを施工しました。

原子炉容器概略図



炉内計装筒管台 配置概略図 (原子炉容器上部から見た図)

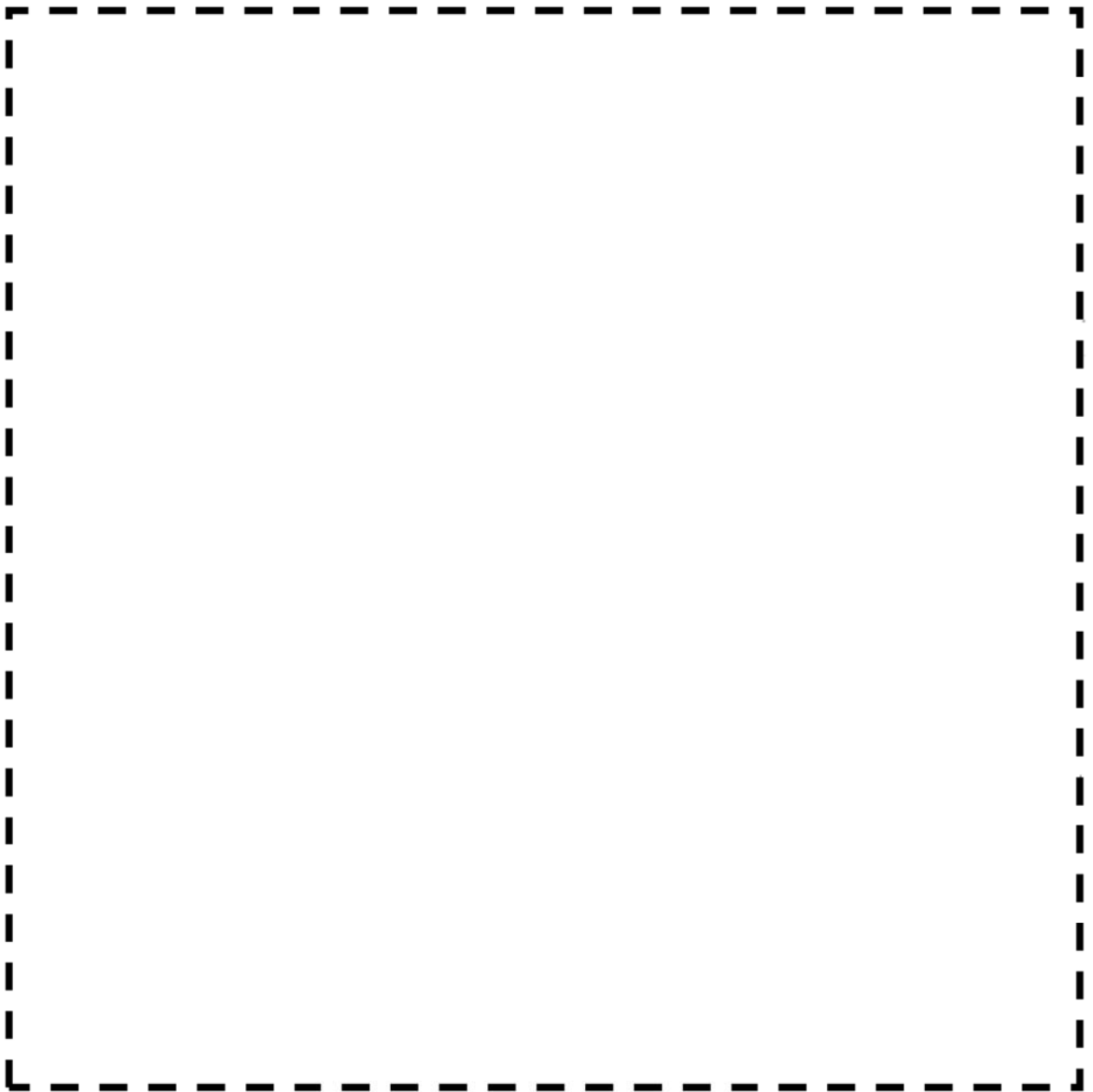


工事工程概要

①ECT	第21回定期検査からの信号指示変化がないことを確認した。
②加工手入れ	<p>・切削工程</p> <p>切削装置のドリルにて、炉内計装筒管台内表面を約1.8mmの加工手入れ(切削)を行った。</p> <p>ドリル</p> <p>切削箇所</p> <p>炉内計装筒</p>
③ECT	手入れ結果確認の為、ECTを実施し、信号のないことを確認した。
④WJP	<p>1次系水質環境下応力腐食割れに対する予防保全対策として、管台内表面へのWJPを施工し、表面残留応力を低減させた。</p> <p>炉内計装筒管台内面施工装置</p> <p>炉内計装筒管台</p> <p>原子炉容器下部鏡</p> <p>先端ノズル (回転動+上下動)</p> <p>高圧水</p> <p>炉内計装筒</p> <p>高圧ジェット水を噴霧し、金属表面の引張り残留応力を圧縮応力に変える。</p>

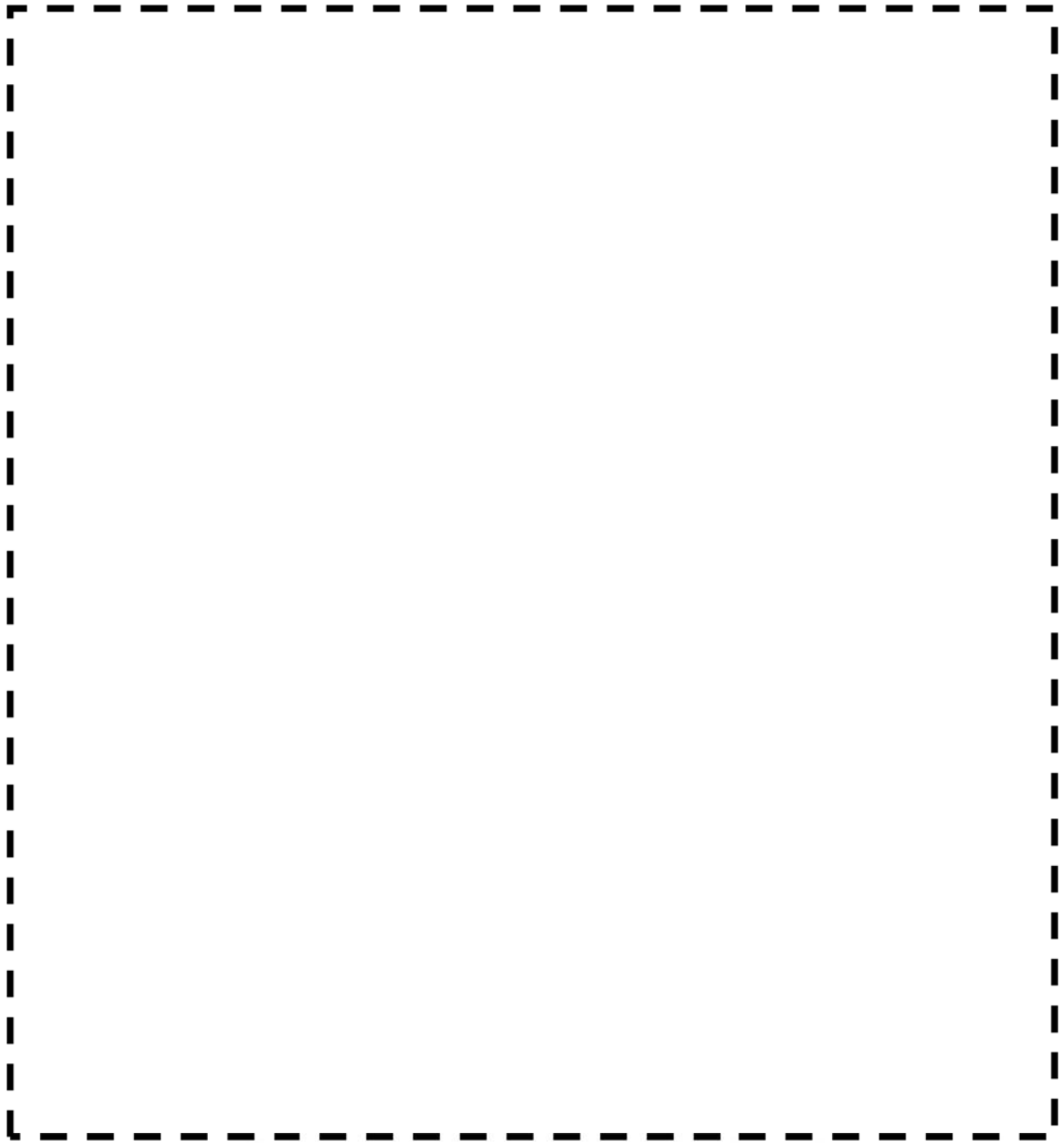
タイトル	余熱除去ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke 係数、環境評価パラメータを含む)について												
説明	<p>余熱除去ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 添付 1 に解析モデルを示す。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="459 808 1321 1014"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></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及び最大評価点の選定結果を、添付 2 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 3 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="421 1350 1358 1518"> <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>内圧+過渡熱加重+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 2, 4 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 f_{en}) を添付 4 に示す。</p>	材料	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)			200.0	状態	荷重の組合せ	供用状態 A、B	内圧+過渡熱加重+配管外力
材料	設計応力強さ												
	S _m (MPa)	温度 (°C)											
		200.0											
状態	荷重の組合せ												
供用状態 A、B	内圧+過渡熱加重+配管外力												

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。



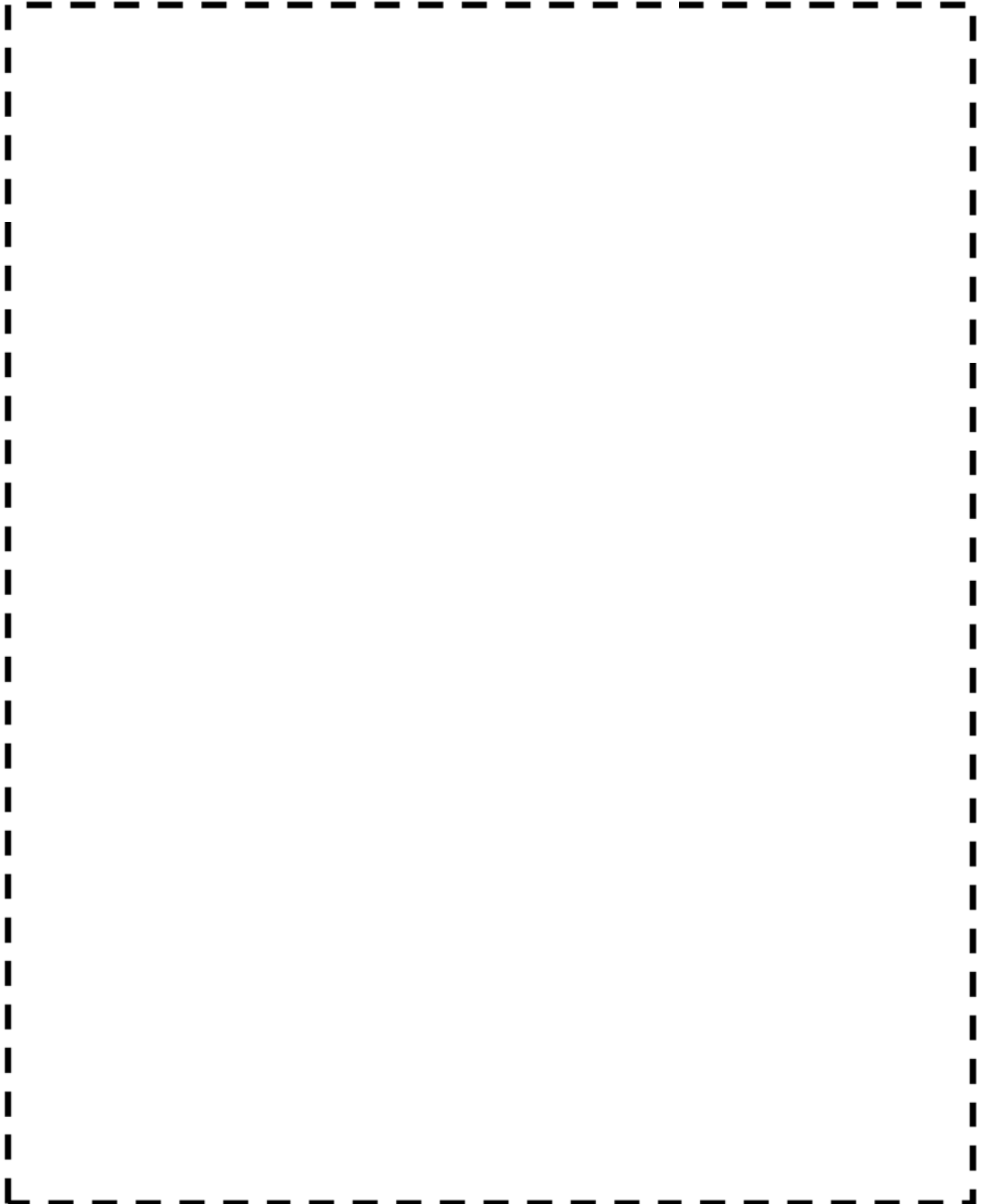
余熱除去ポンプケーシング 解析モデル

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。



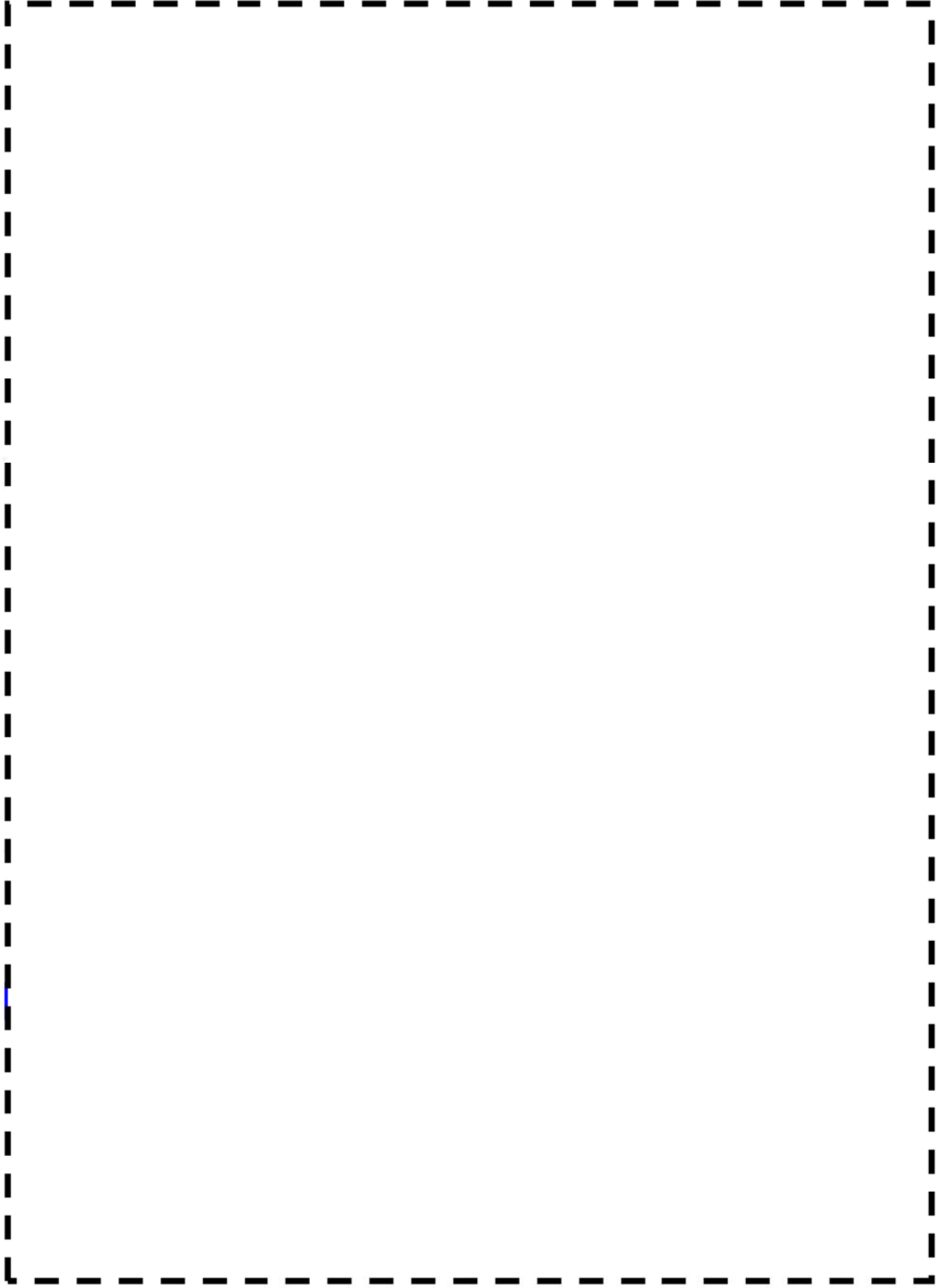
余熱除去ポンプケーシング 評価点 (1/5)

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。



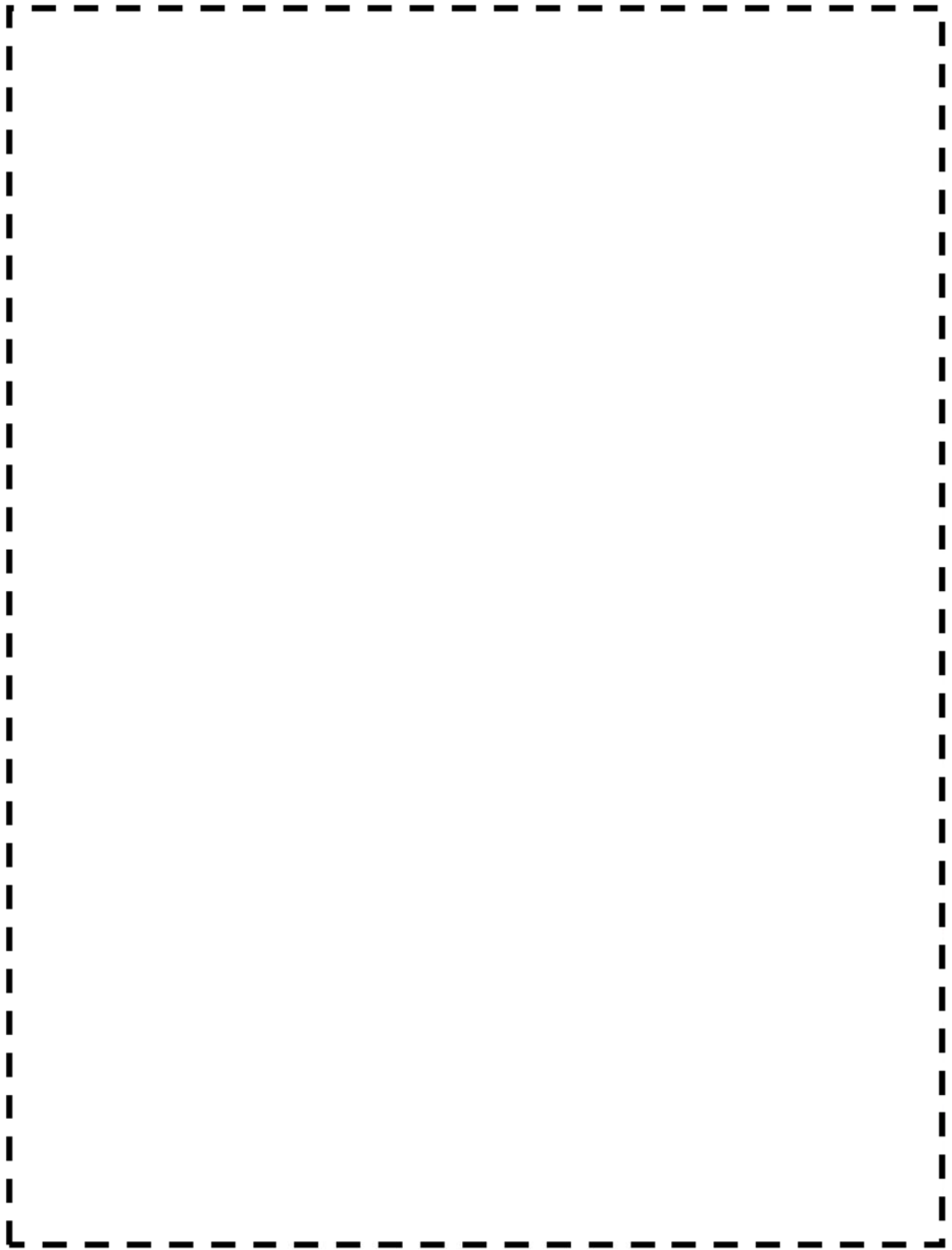
余熱除去ポンプケーシング 評価点 (2/5)

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。



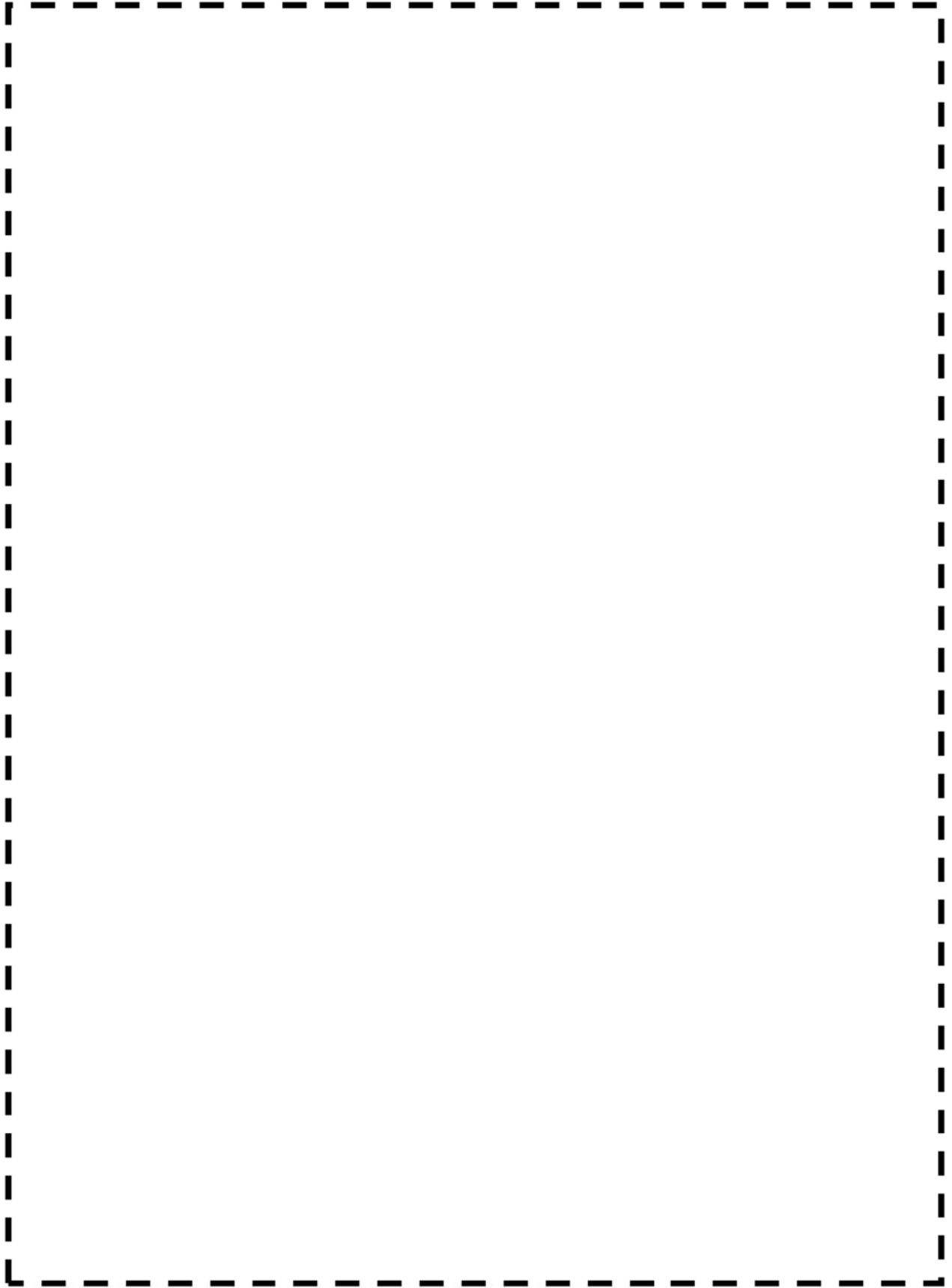
余熱除去ポンプケーシング 評価点 (3/5)

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

(N/mm²)

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				
カバー				

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。

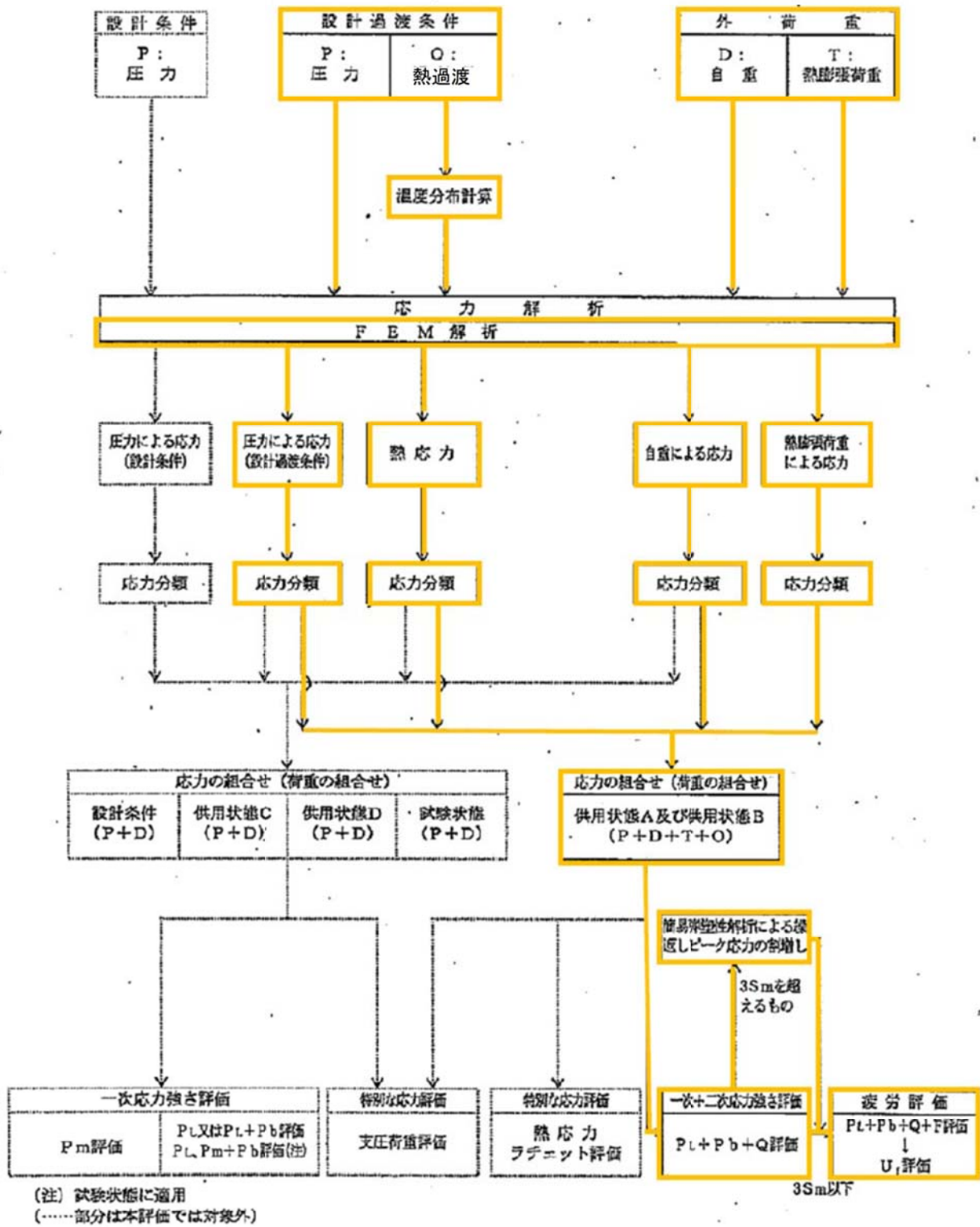
余熱除去ポンプケーシング 疲労評価結果

繰返しピーク応力強さ (N/mm ²)				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

→通常 UF : 0.075

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。

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		増し 係数 KE	繰返しどピーク 応力強さ		突過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fca	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
	Smax	Smin		補正前 sall	補正後 sall'					
A										
B										
合計: 0.08181										

→環境 UF : 0.082

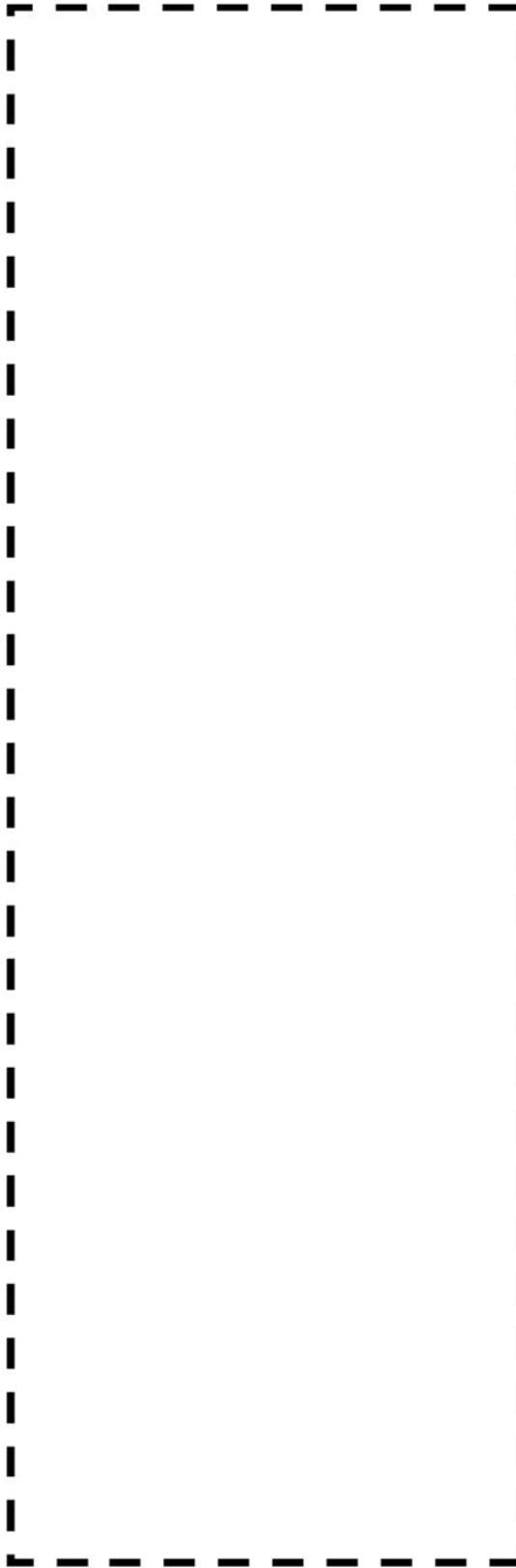
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) PNT.5

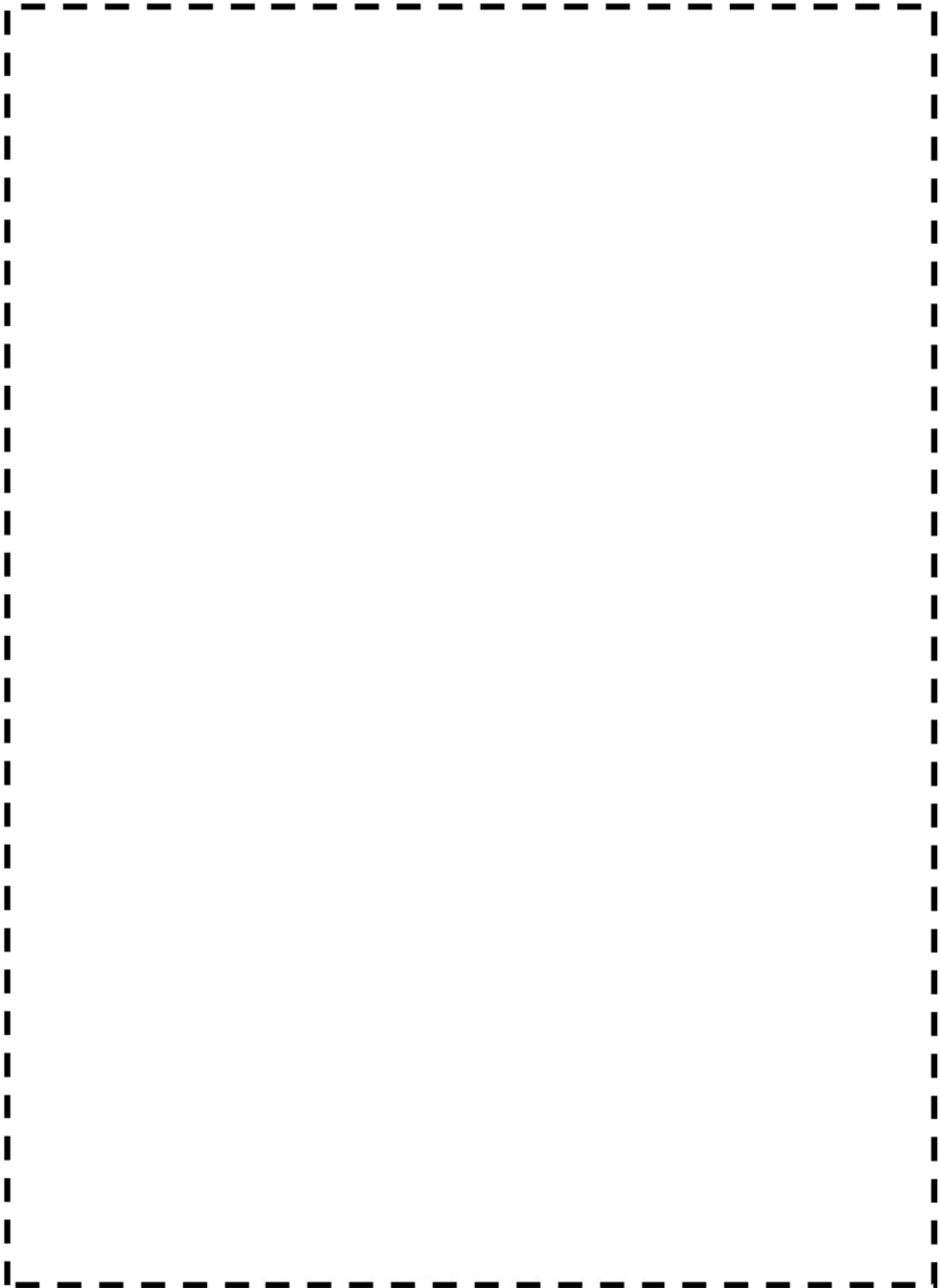
a. 過渡 1B1,1B1



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	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(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke 係数、環境評価パラメータを含む)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 添付 1 に解析モデルを示す。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="467 768 1329 987"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></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及び最大評価点の選定結果を、添付 2 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 3 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="430 1321 1366 1491"> <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+熱過度荷重</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 4 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 f_{en}) を添付 4 に示す。</p>	材料	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)			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+熱過度荷重
材料	設計応力強さ												
	S _m (MPa)	温度 (°C)											
		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+熱過度荷重												

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 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。

低サイクル疲労評価におけるFEMモデルの妥当性について

当社では、原子炉施設の許認可申請等に係る解析業務を行う際に、解析業務における品質管理を確実に行うための調達管理のルールを定めている。具体的には、調達先に対して「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」(原子力安全推進協会)に従った品質管理の実施を要求し、当社も同ガイドラインに従って、調達先が定めた解析業務計画に従って実施しているプロセスの確認をしている。

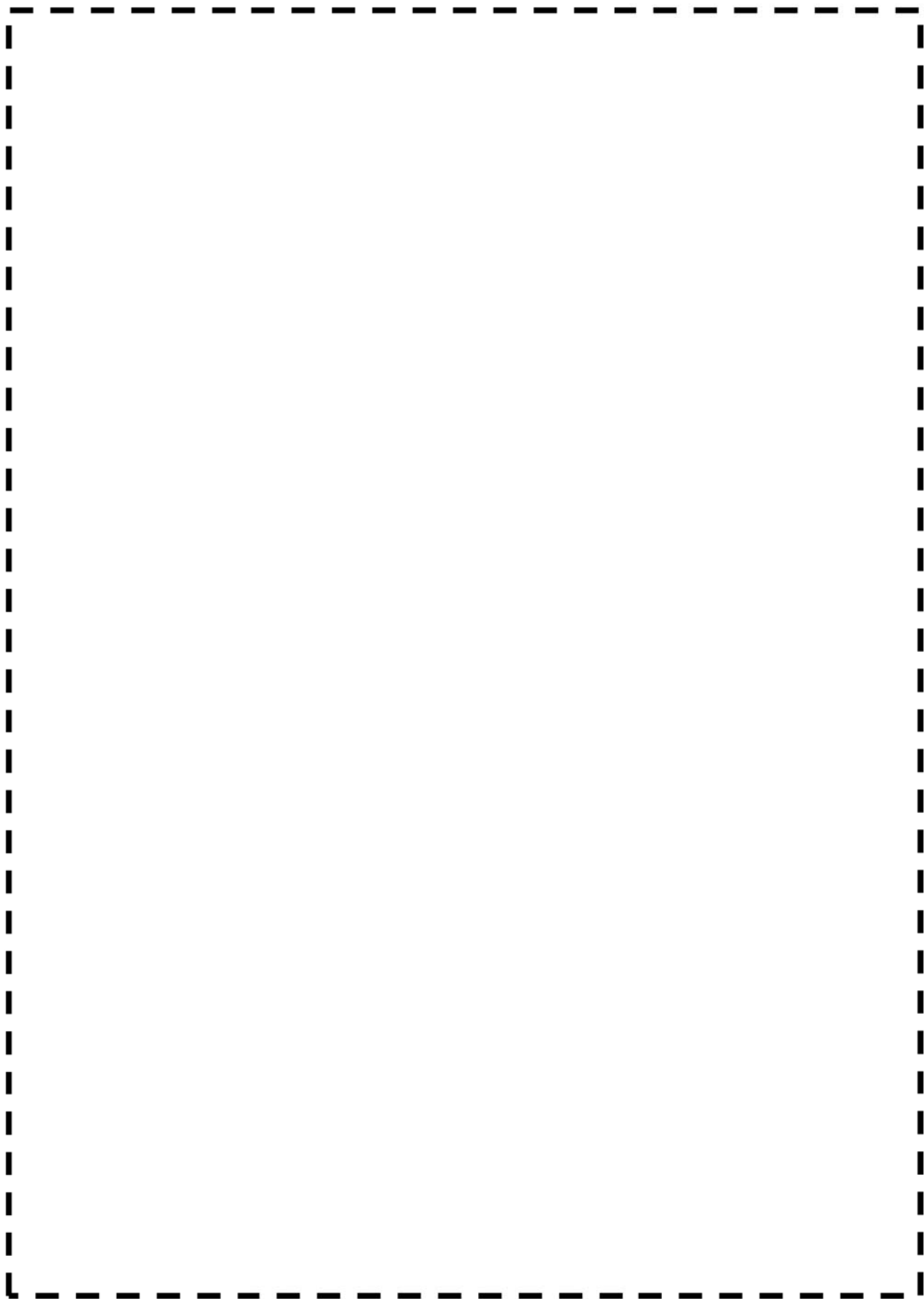
そのプロセスの中には、「入力根拠の明確化」、「解析結果の検証」が定められており「入力根拠の明確化」では解析モデル作成に関する寸法、境界条件など数値の根拠が明示されることになる。「解析結果の検証」では入力データの確認の他に他の類似解析結果等との比較検証を行うことが含まれている。これらの活動が、解析実施者だけでなく審査者を含む組織として適切に実施していることを、当社は審査で確認している。

従って当社は、解析業務の調達先が、解析業務のFEMモデル作成について、明確な根拠をもとに作成され、その結果は過去の類似解析結果などと比較して妥当な結果となっていることを確認している。

例えば、ある調達先においてはFEMモデルを作成するにあたって、構造不連続部のピーク応力が適切に計算されるように、適切なメッシュ分割になっていること、適切な評価断面を想定した分割になっていること等を「入力根拠の明確化」、「解析結果の検証」の段階で確認し、モデルの妥当性を確認している。そのようなチェックポイントは、技術文献記載の知見や過去からの解析結果のフィードバックをもとに整備された調達先社内標準のチェックシートを用いて組織的に確認している。

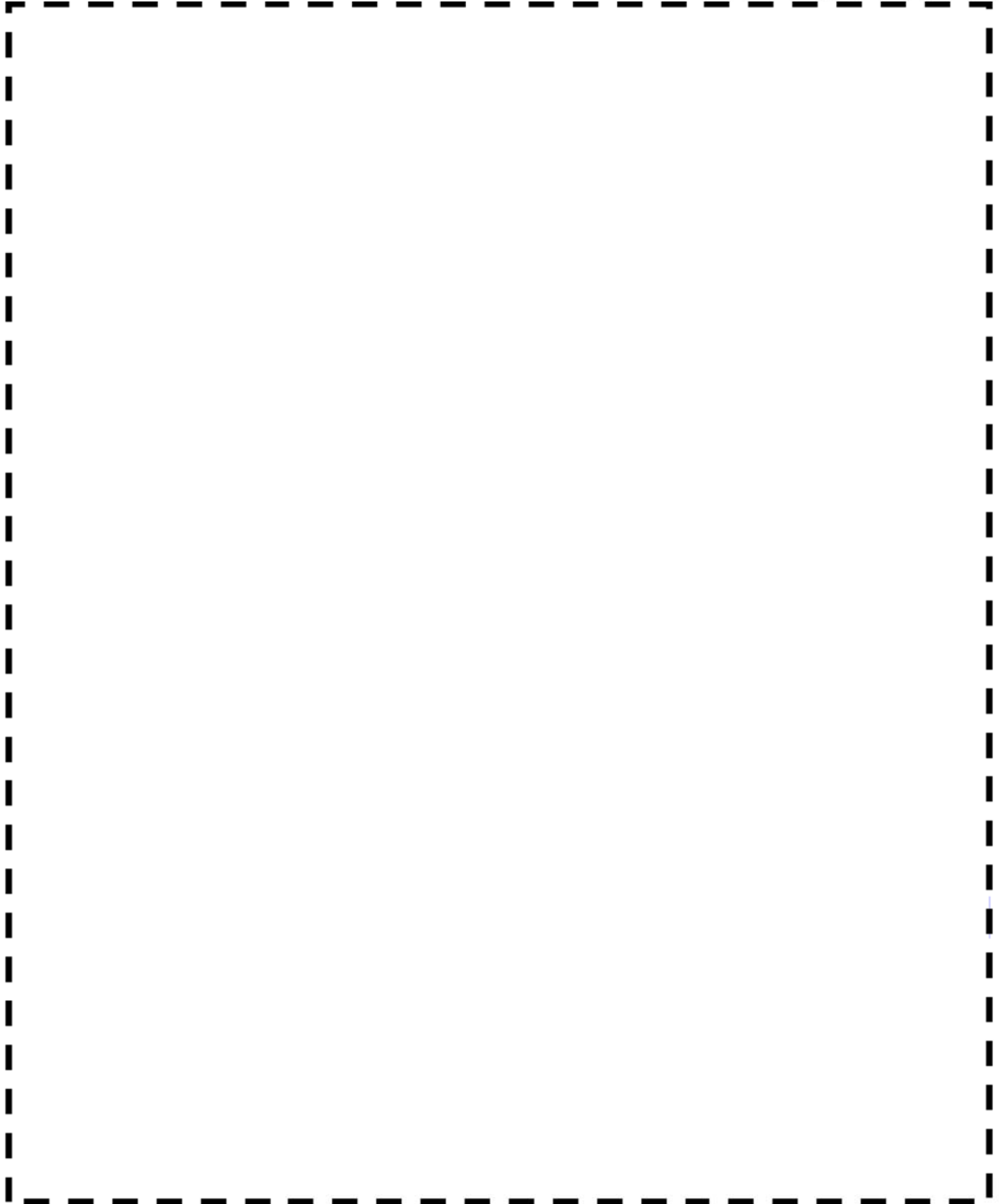
1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (1/5)

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。

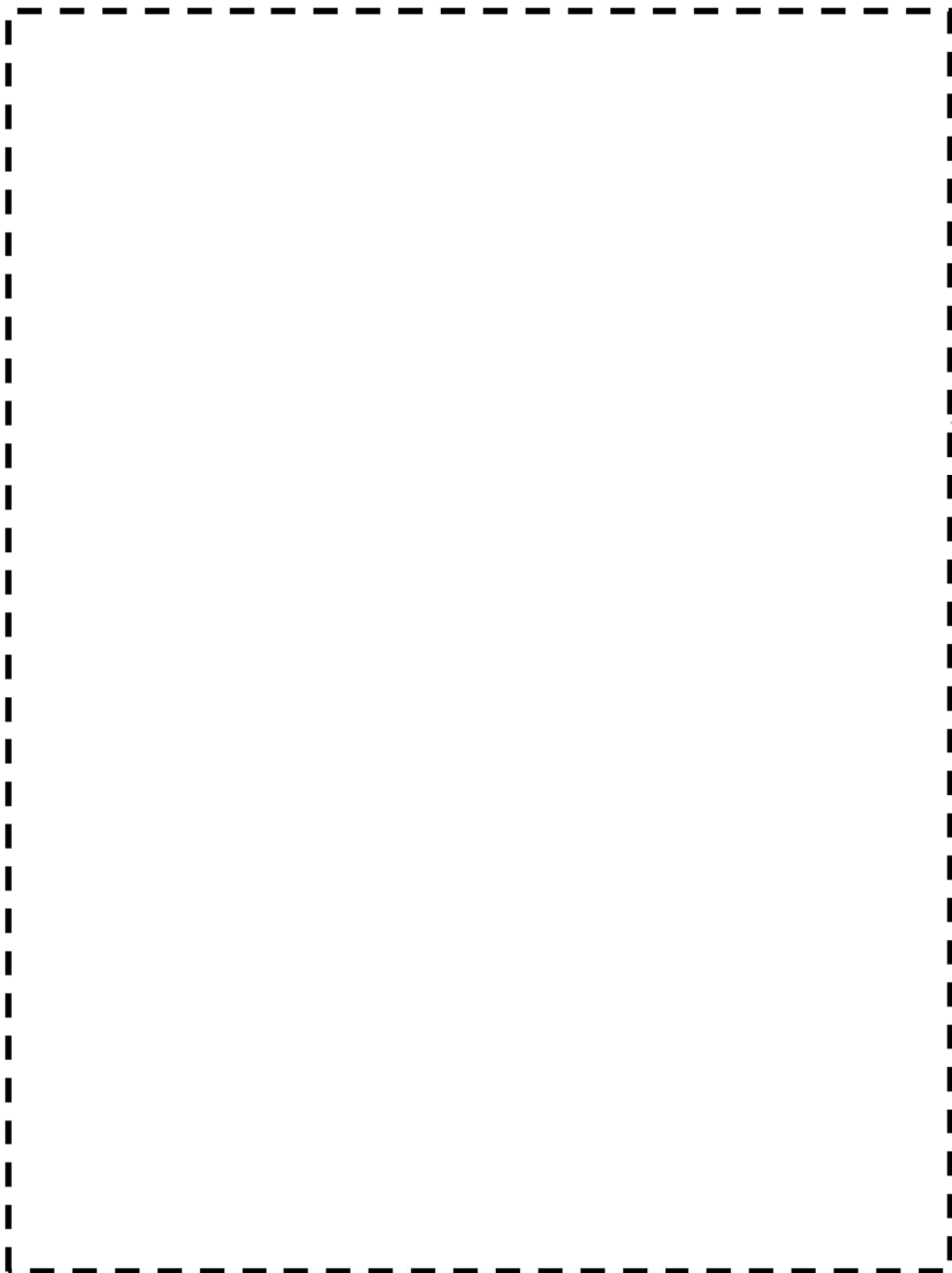


1次冷却材ポンプケーシング 評価点 (3 / 5)

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
45882	IN			
45946	OUT			
48704	IN			
48728	OUT			
60234	IN			
62173	OUT			
61057	IN			
58036	OUT			

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点 : 48704)

STRESS INTENSITY		NUMBER OF CYCLES		USAGE FACTOR
MAXIMUM	MINIMUM	N	N*	
	KE	ALT		
				TOTAL = 0.00012

→通常 UF : 0.001

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 (吐出ノズル)

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
6003	IN			
6016	OUT			
57367	IN			
58927	OUT			
59977	IN			
59150	OUT			
60337	IN			
58858	OUT			
60786	IN			
59125	OUT			

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。

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
						TOTAL = 0.02198
						→通常 UF : 0.022

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 (支持脚 (1))

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
57546	IN			
58075	OUT			
59214	IN			
58270	OUT			
59813	IN			
59101	OUT			
61124	IN			
58316	OUT			
557546	IN			
558075	OUT			
559310	IN			
558071	OUT			

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 (支持脚 (2))

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
57825	IN			
61374	OUT			
59238	IN			
58921	OUT			
59737	IN			
58792	OUT			
59889	IN			
58507	OUT			

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 (支持脚 (3))

Location		Usage Factor		
		S1-S2	S2-S3	S3-S1
557825	IN			
561374	OUT			
559238	IN			
558921	OUT			
559737	IN			
558792	OUT			
559889	IN			
558507	OUT			

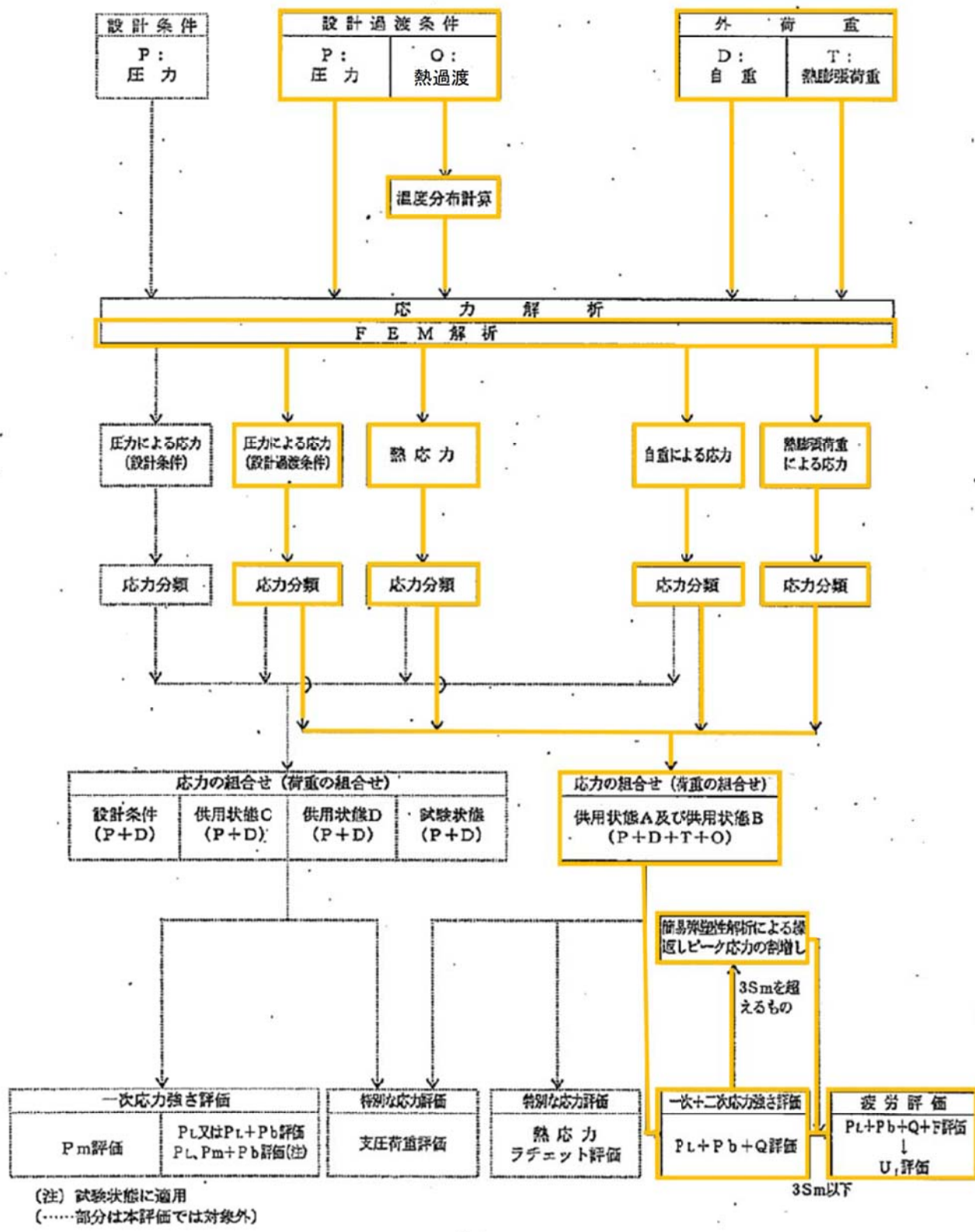
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

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
						TOTAL = 0.23487
						→通常 UF : 0.235

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。

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	一次十二次+ ピーク応力強さ		慣り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		変遷渡 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		修正前 salt	修正後 salt'					
	smax	smin	KE			n	r*	u	fen	uen
合計: 0.00035										

→環境 UF : 0.001

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。

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+ ビーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しビーク 応力強さ		受過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	疲労効果 補正係数	疲労効果を考慮した 疲労累積係数
	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
A						n	n*	u	fen	uen
合計: 0.33620										

→環境UF: 0.337

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。

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	繰返しピーク 応力強さ	繰返し 回数	来週渡 回数	評定繰返し 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	smax	MC	補正前 salt	v	n*	u	fen	uon	
B	smin		補正後 salt'						
合計: 0.12994									

→環境UF: 0.130

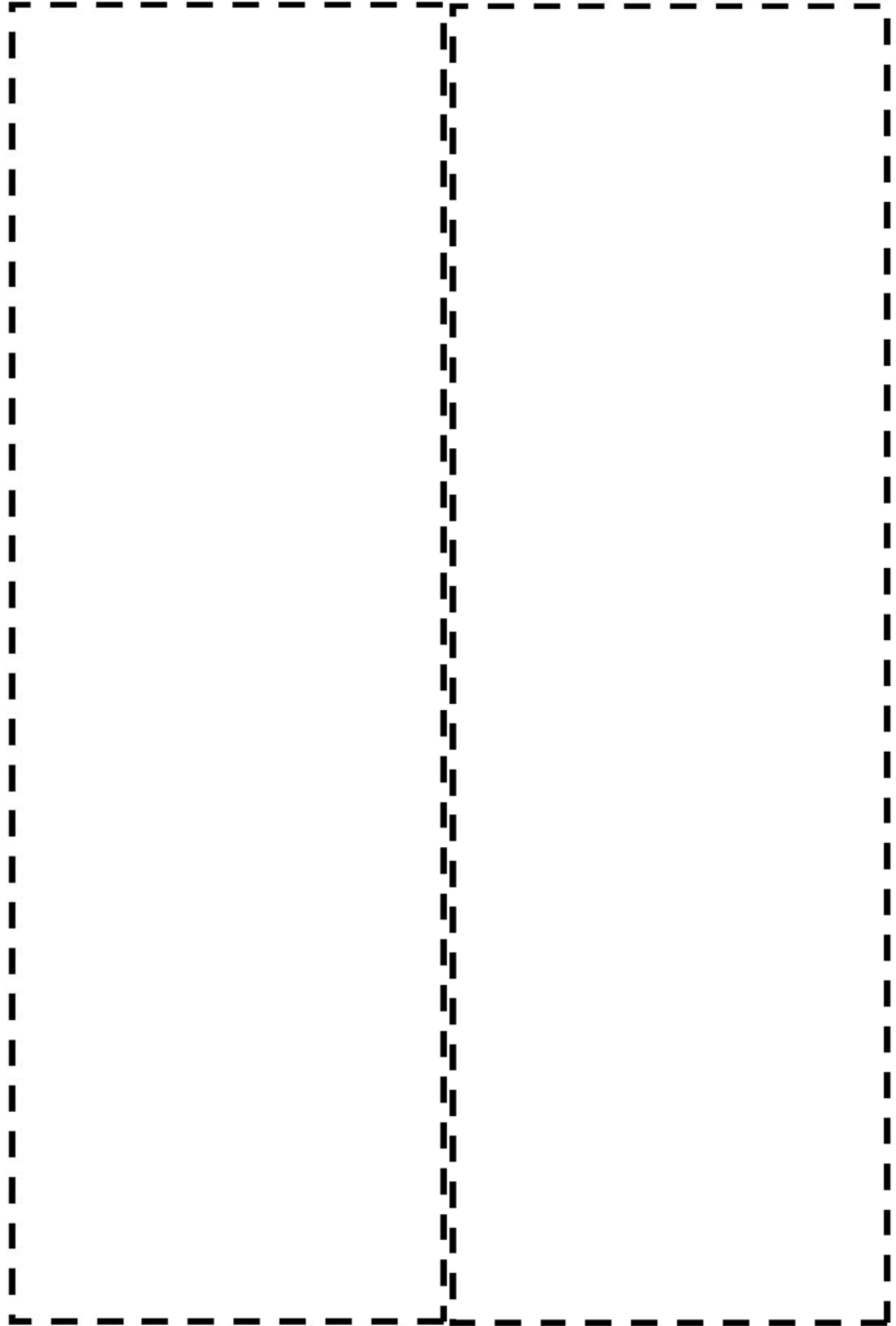
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) 吸込ノズル

a. 過渡 2I1,2D3

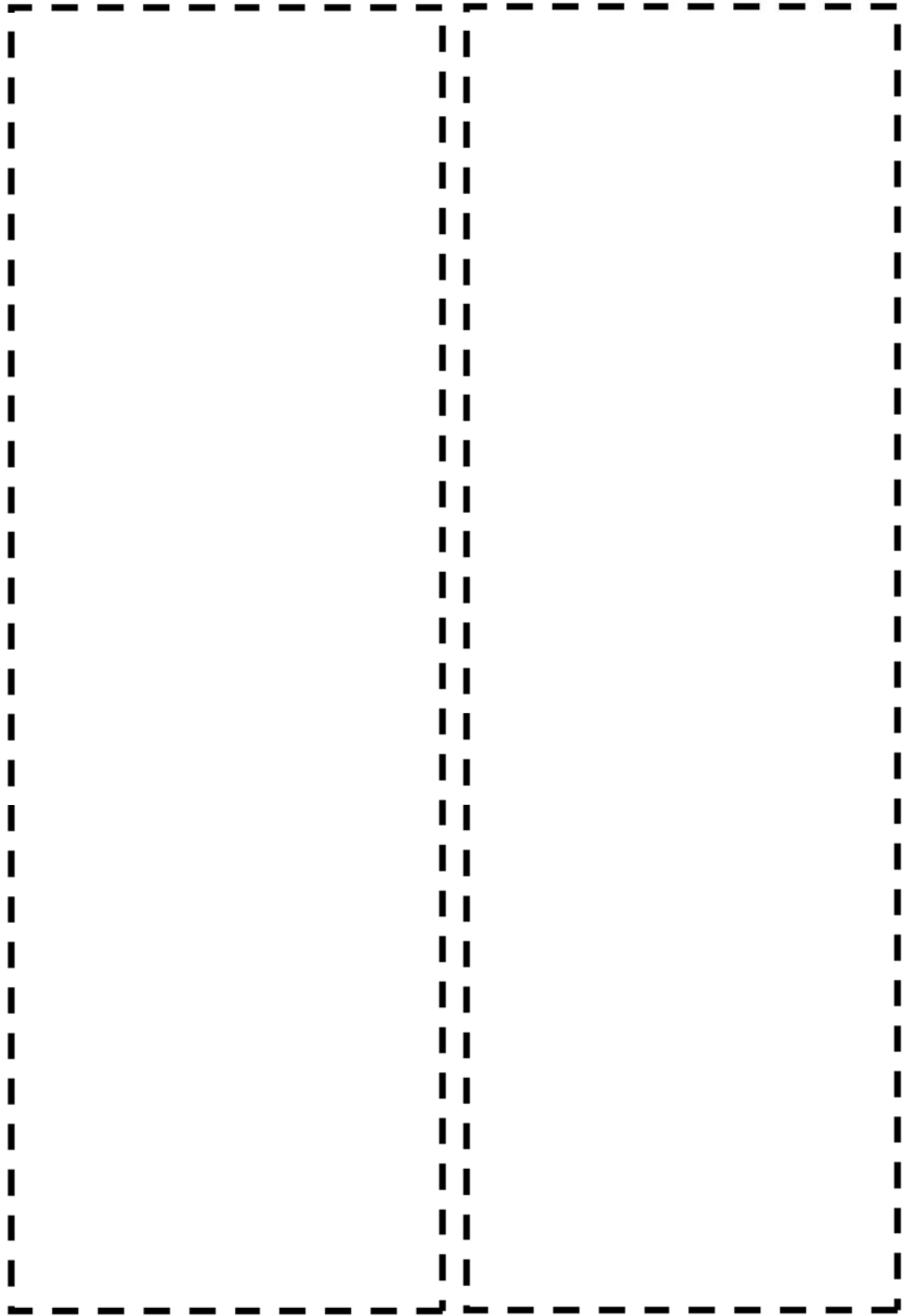


b. 過渡 2I1,2G1

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。

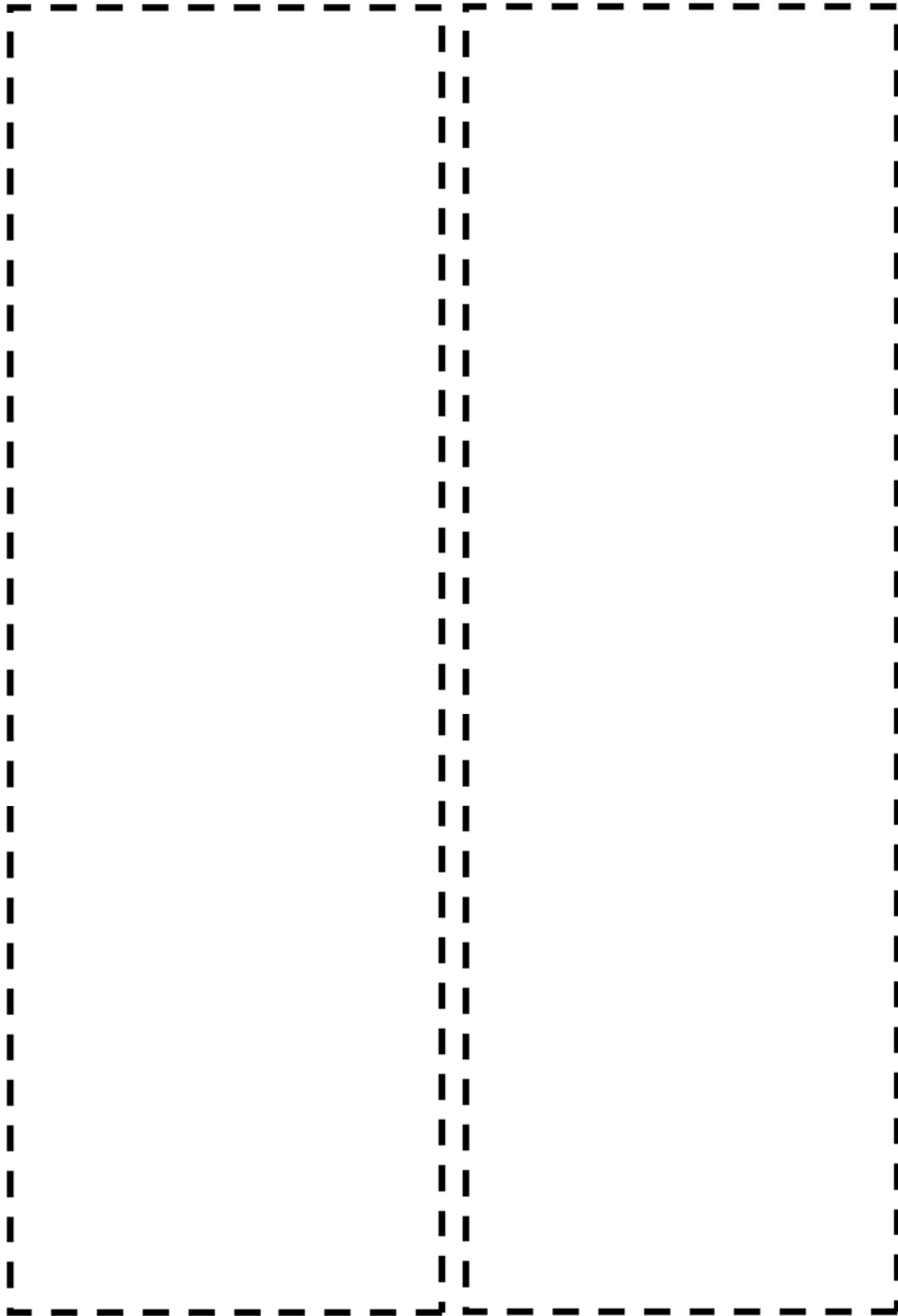
(2) 吐出ノズル

a. 過渡 2D3,1A1



b. 過渡 1B1,1A1

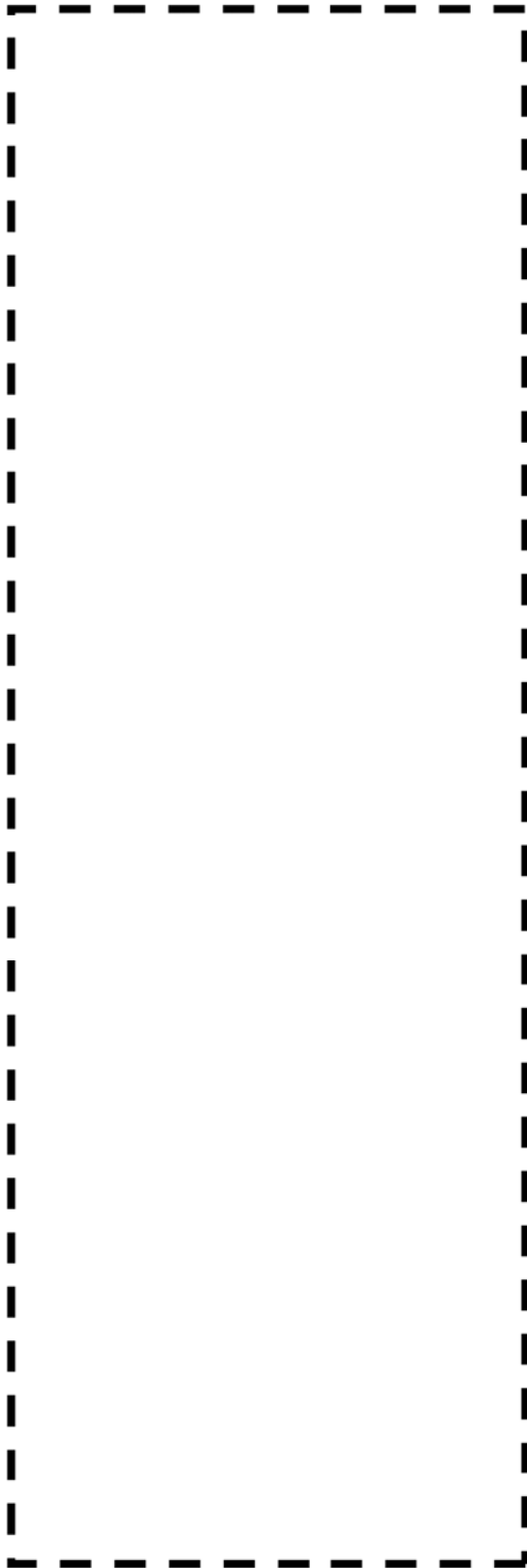
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



c. 過渡 1B1,2I1

d. 過渡 2G1,2I1

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。

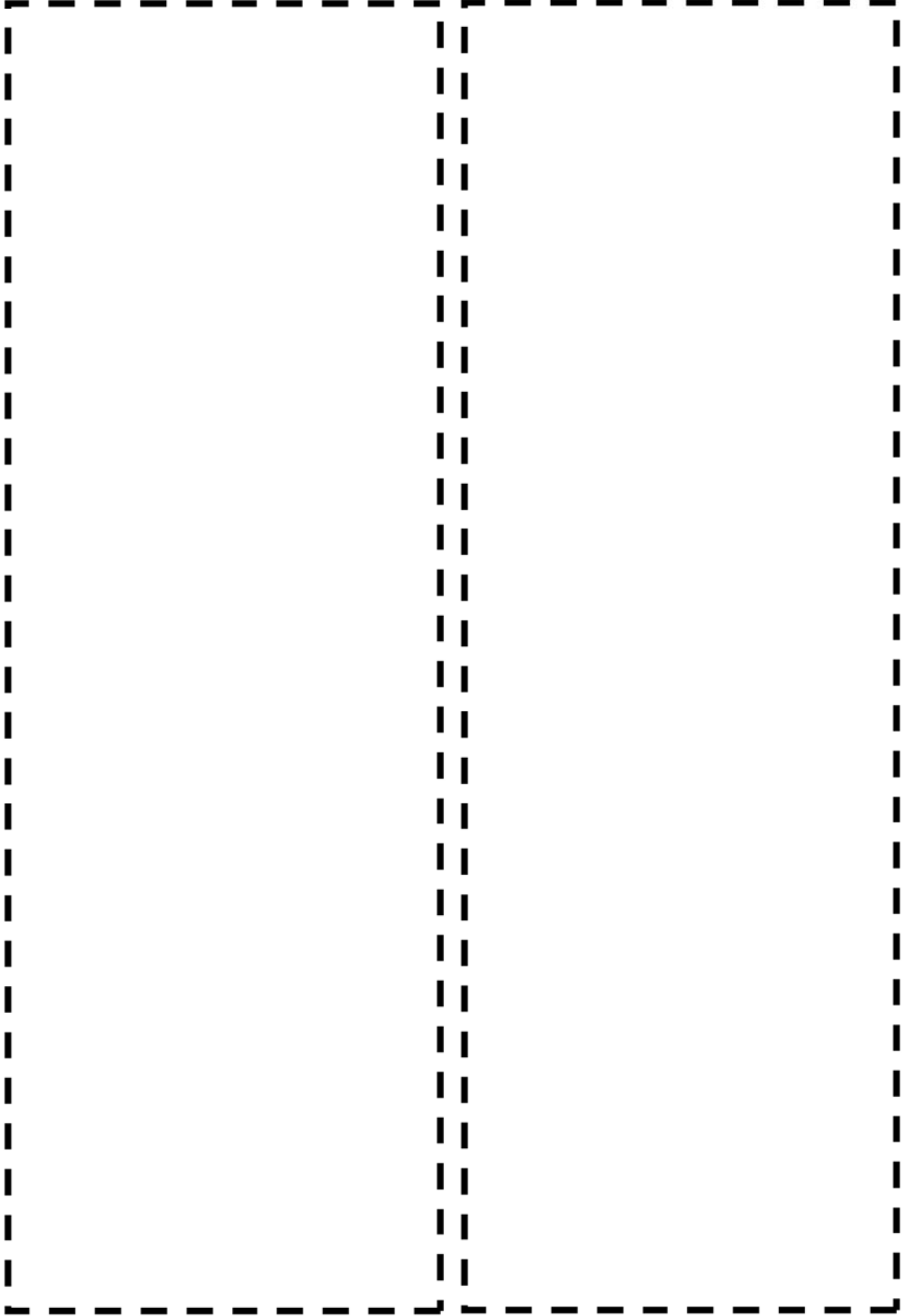


e. 過渡 2I2,2I1

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。

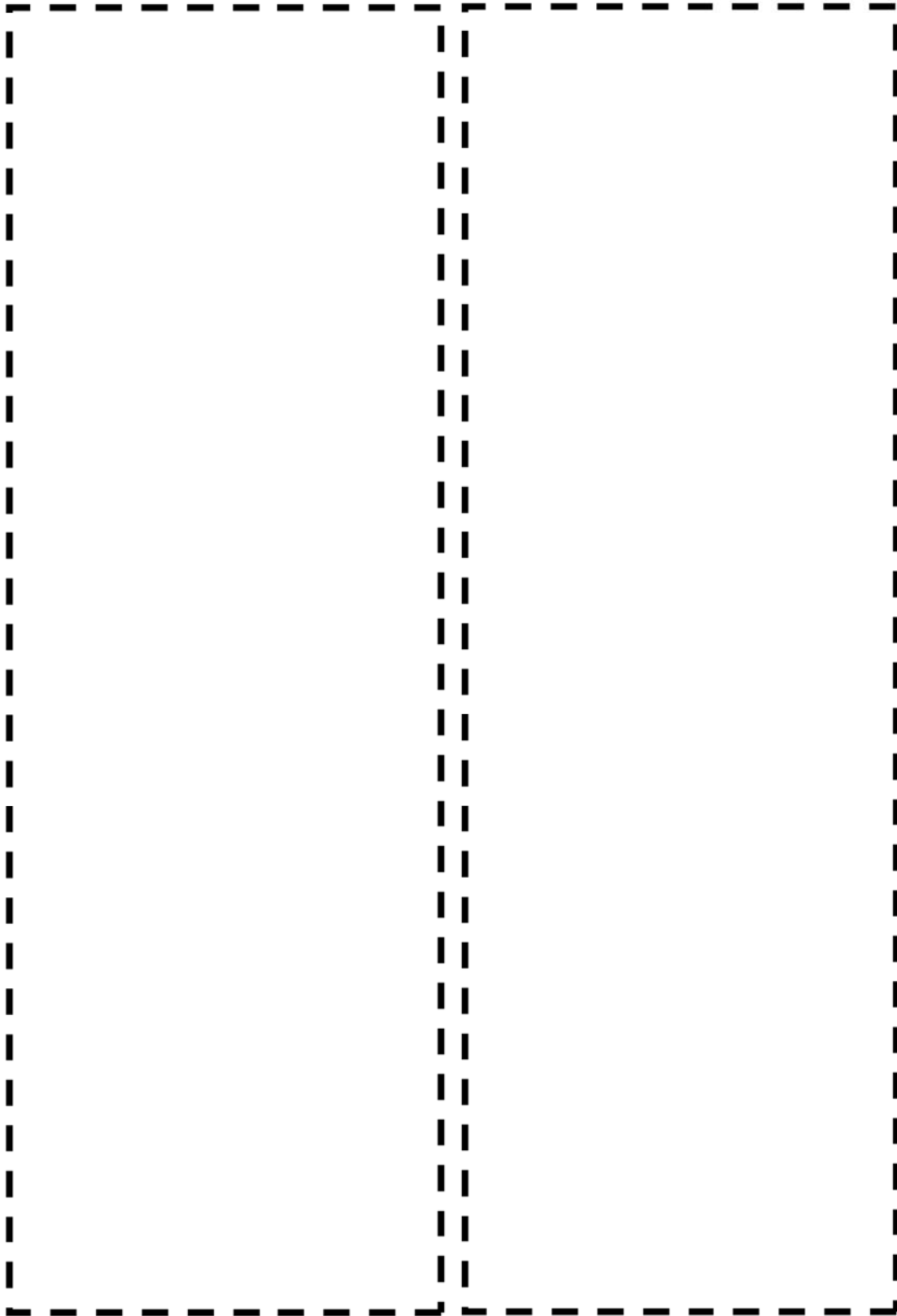
(3) 支持脚

a. 過渡 2D3,1A1



b. 過渡 1B1,1A1

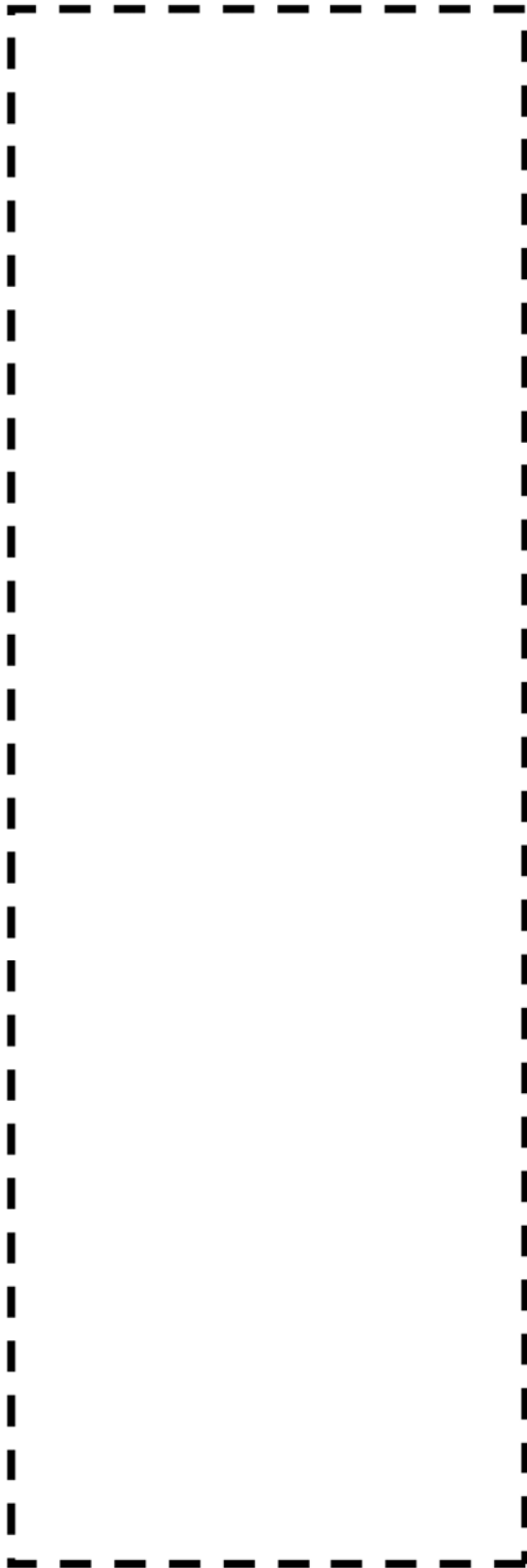




c. 過渡 1B1,2I1

d. 過渡 2G1,2I1

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。



e. 過渡 2I2,2I1

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。

高浜1～4号炉 一次冷却材ポンプケーシング疲労評価結果の比較

下表に高浜1～4号炉の一次冷却材ポンプケーシングの疲労評価結果を示す。環境疲労評価手法による解析結果を比較すると、高浜1・2号炉のケーシング脚部、ケーシング吐出ノズルの環境UFが3・4号機の環境UFに比べて小さくなっている。これは支持脚取付位置の相違等により、1・2号機の一次冷却材ポンプ吐出ノズルにかかる熱膨張による外荷重が、3・4号機に比べて小さいためであると考えている。高浜1号と高浜3号を例にして説明する。

高浜1～4号炉 一次冷却材ポンプケーシング疲労評価結果の比較

高浜1号炉 評価対象部位	疲労累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
ケーシング脚部	0.235	0.130
ケーシング吐出ノズル	0.022	0.337
ケーシング吸込ノズル	0.001	0.001

高浜2号炉 評価対象部位	疲労累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
ケーシング脚部	0.185	0.104
ケーシング吐出ノズル	0.018	0.267
ケーシング吸込ノズル	0.001	0.001

高浜3号炉 評価対象部位	疲労累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
ケーシング脚部	0.099	0.753
ケーシング吐出ノズル	0.098	0.752
ケーシング吸込ノズル	0.001	0.001

高浜4号炉 評価対象部位	疲労累積係数（許容値：1以下）	
	設計・建設規格による解析	環境疲労評価手法による解析
ケーシング脚部	0.097	0.731
ケーシング吐出ノズル	0.095	0.731
ケーシング吸込ノズル	0.001	0.001

高浜1号炉、3号炉の環境疲労累積係数の比較

1号炉 吐出ノズル

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	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'					
合計:0.33620											
→環境UF :0.337											

3号炉 吐出ノズル

Ke係数と環境疲労パラメータ (吐出ノズル 評価点 HA04I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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'					
合計:0.75195											
→環境UF :0.752											

1号炉、3号炉ともに最大環境UFに対して支配的になる過渡の組合せは、1B1-1A1 (停止&起動) であり、ピーク応力強さの差が環境UFの差となって現れていると考えられる。

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号炉 支持脚 (吐出ノズル付近)

K e 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
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
合計:0.12994											
→環境UF : 0.130											

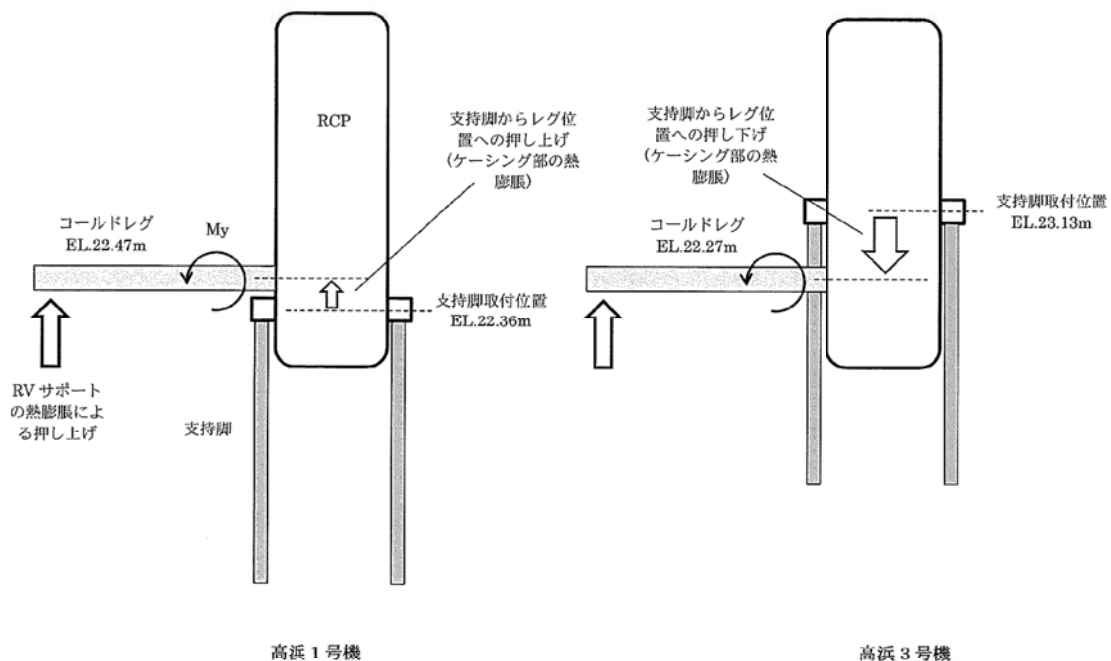
3号炉 支持脚 (吐出ノズル付近)

K e 係数と環境疲労パラメータ (支持脚 評価点 A202I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 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'					
合計:0.75208											
→環境UF : 0.753											

支持脚においても、吐出ノズルの傾向と同様である。

これは、下に示すイメージ図のとおり、支持脚取付位置の相違により RCP ケーシングの熱膨張による荷重がノズル部に作用する方向に違いがあることが要因と考えられる。



1号炉と3号炉の構造の違い (イメージ)

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	再生クーラ及び余熱除去クーラの管板の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ、伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法を含む)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>【再生クーラ】</p> <p>1. 解析モデル 添付1に解析モデルおよび評価点を示す。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="443 837 1337 1122"> <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 (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="border: 1px dashed black;"></td> <td></td> <td>290.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付2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3に示す。</p> <table border="1" data-bbox="424 1550 1361 1722"> <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>内圧+熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>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 f_{en})を添付4に示す。</p>	材料	使用部位	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)				290.0	状態	荷重の組合せ	供用状態 A、B	内圧+熱過渡
材料	使用部位			設計応力強さ											
		S _m (MPa)	温度 (°C)												
			290.0												
状態	荷重の組合せ														
供用状態 A、B	内圧+熱過渡														

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】

6. 解析モデル

添付5に解析モデルおよび評価点を示す。

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	
		S _m (MPa)	温度 (°C)
			95.0
			95.0
			200.0

8. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を、添付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	内圧+ボルトの締付力+熱過渡

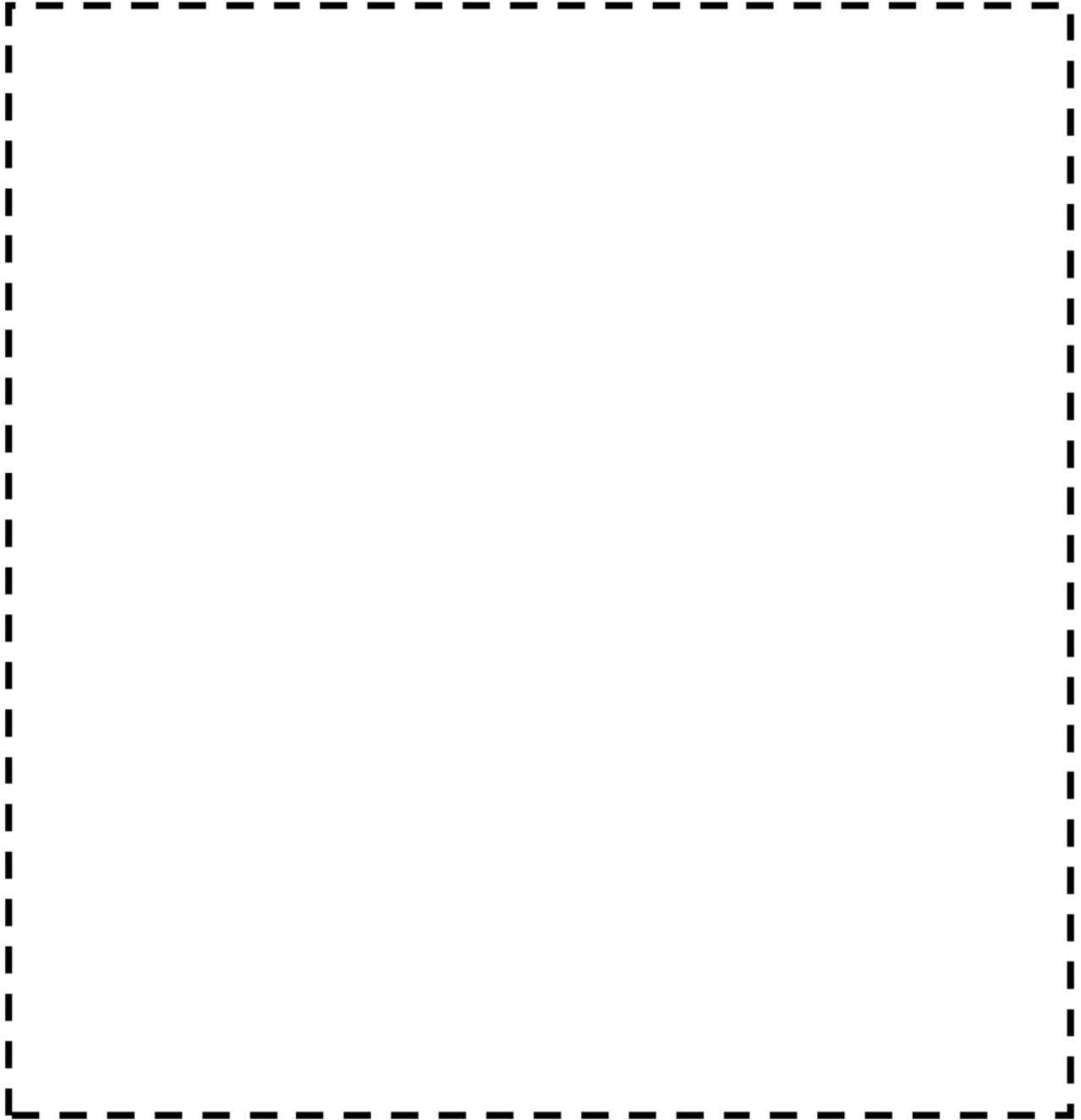
10. K_e係数および環境評価パラメータ

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

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。

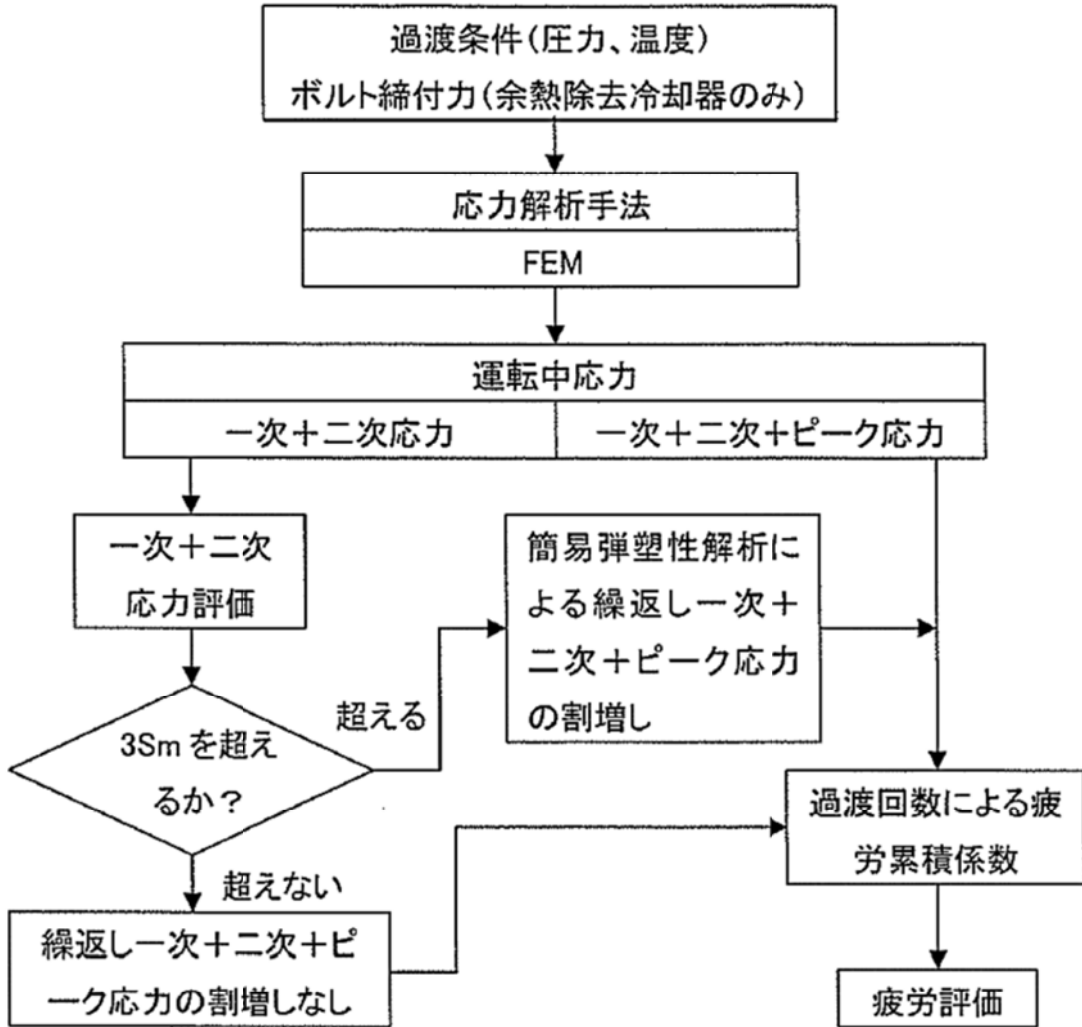


再生クーラ 解析モデルおよび評価点

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。管側水室の温度条件は充てん水の入口側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。また、管側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（抽出水）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。水室の仕切板、伝熱管はモデルに考慮していないが、仕切版は管板と溶接されていないことから、管板の変形に有意な影響はないと考えている。伝熱管は考慮しない方が管板の剛性が低くなり、保守的な評価になると考えている。

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。

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)

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		歪み 回数 n	許容繰返し 回数 n2	疲労累積係数 u	環境劣化 補正係数 fan	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
	soax	soin		修正前 sall	修正後 sall'					
A										
B										
合計: 0.22156										
→環境UF: 0.222										
合計: 0.17367										
→通常UF: 0.174										

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 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が 1 を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) 再生クォーラ

a. 過渡1H1,1F2

b. 過渡1I1,1G1

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。

c. 過渡NSS,1G1

d. 過渡NSS,1D2

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。

e. 過渡NSS,1E1

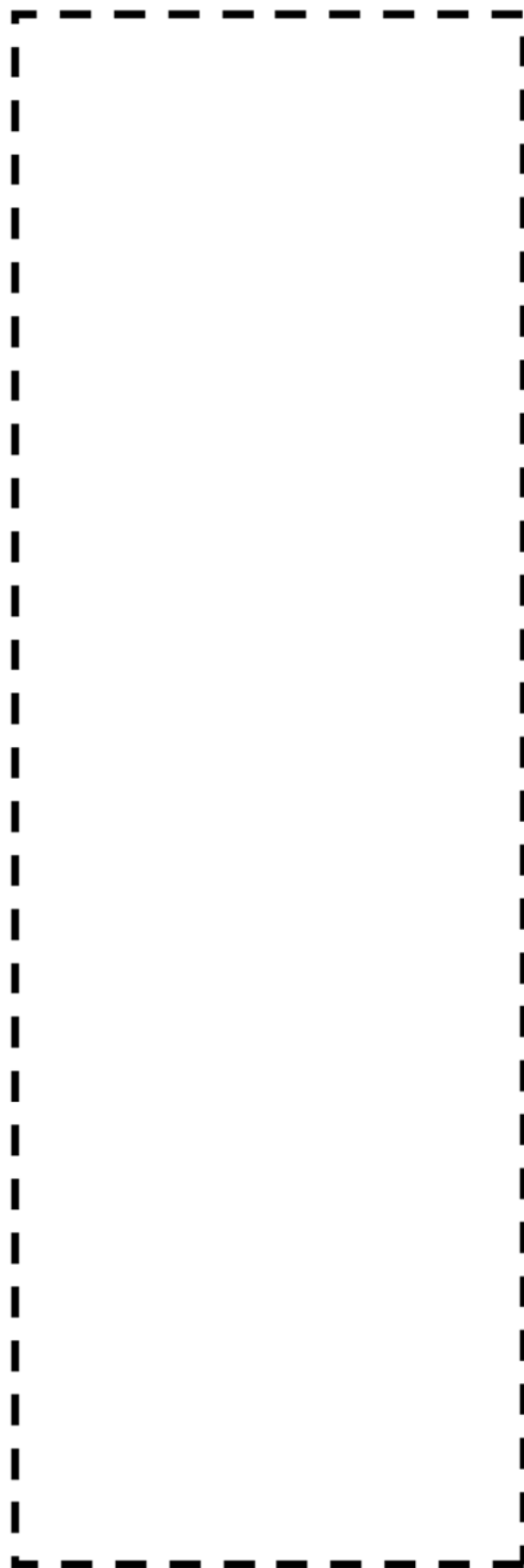
f. 過渡NSS,1H1

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。

g. 過渡NSS,1A2

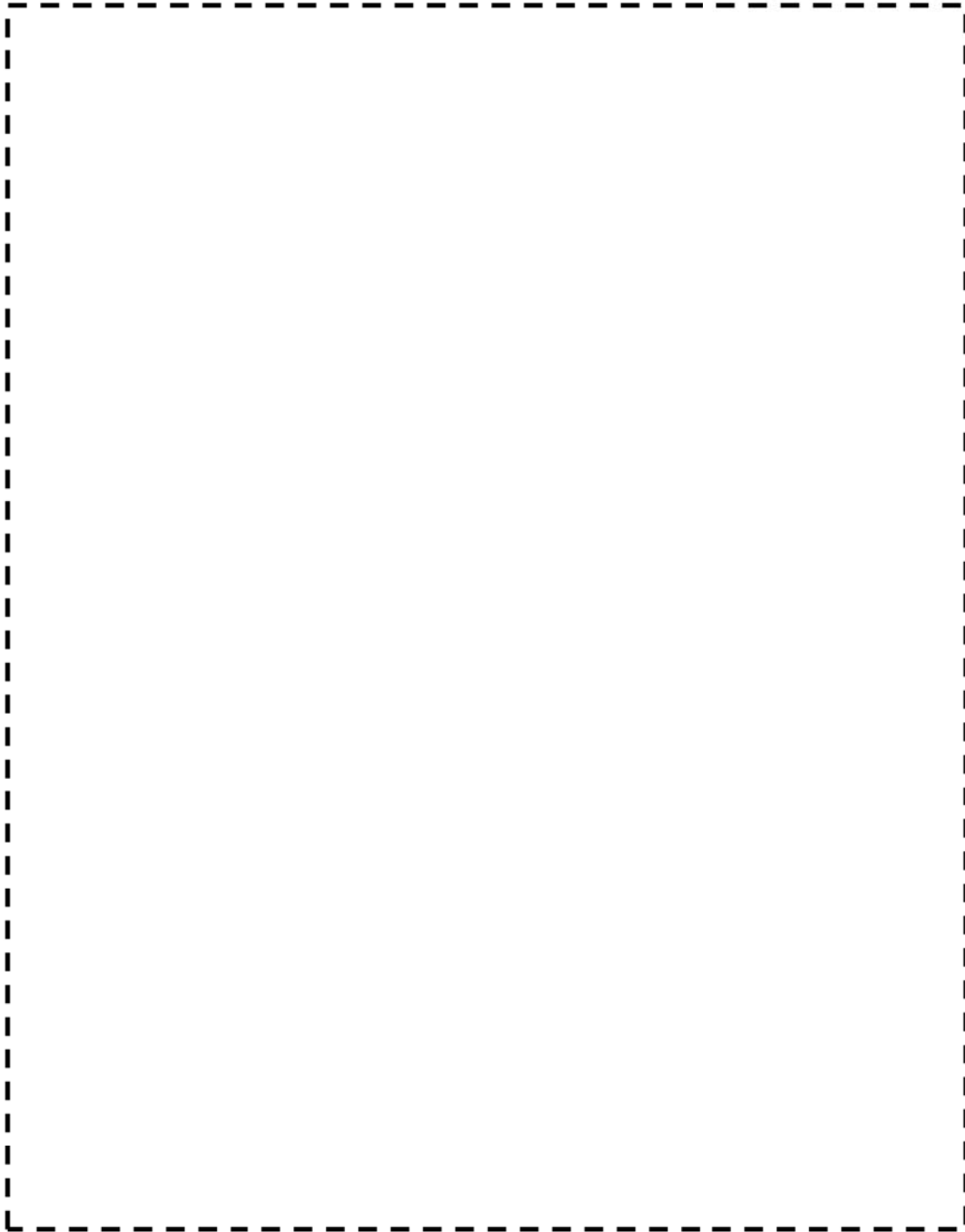
h. 過渡NSS,1B2

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。



i. 過渡NSS,1C2

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 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。管側水室の温度条件は1次冷却水の入口側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。また、管側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（原子炉補機冷却水）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。水室の仕切板、伝熱管はモデルに考慮していないが、仕切板は管板と溶接されていないことから、管板の変形に有意な影響はないと考えている。伝熱管は考慮しない方が管板の剛性が低くなり、保守的な評価になると考えている。

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
管板部	1	入口	
		出口	
	2	入口	
		出口	
	3	入口	
		出口	
	4	入口	
		出口	
	5	入口	
		出口	
一般部	6	入口	
		出口	
	7	入口	
		出口	
	8	入口	
		出口	
	9	入口	
		出口	
	10	入口	
		出口	
	11	入口	
		出口	
	12	入口	
		出口	
13	入口		
	出口		
14	入口		
	出口		

注) 1. ()はそれぞれの部位での最大値を示す。

→通常UF : 0.049

2. 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。

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。

Ke係数と環境疲労パラメータ (余熱除去クロー) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ブロック応力強さ		割増し 係数 KE	繰返しブロック 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
	saax	saib		補正前 sall	補正後 sall					
A										
B										
合計: 0.06801										

合計: 0.04896

→環境UF: 0.069

→通常UF: 0.049

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 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

余熱除去クローラ

a. 過渡1C1,NSS

b. 過渡1A1,NSS

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。

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。

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

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

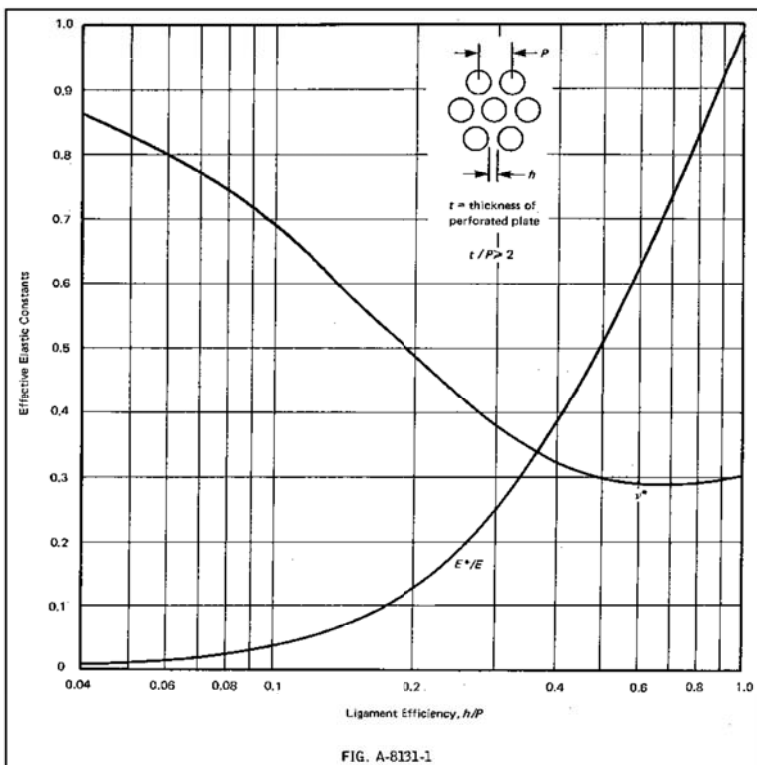


図1 等価縦弾性係数と等価ポアソン比

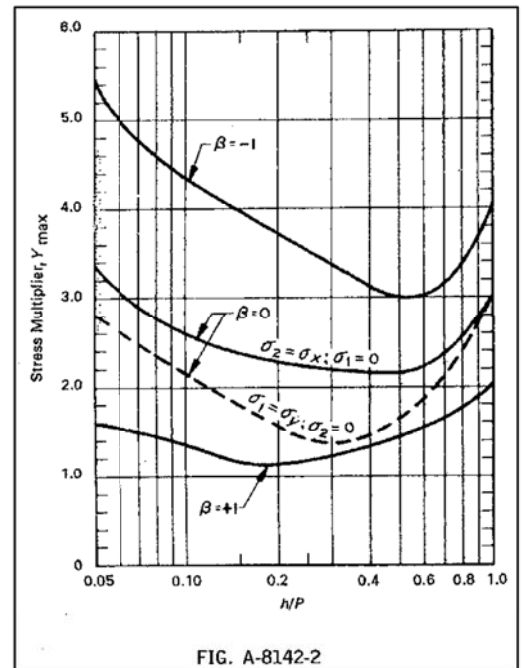


図2 応力指数

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*
高浜1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。

タイトル	<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(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ、伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法を含む)について</p> <p>疲労累積係数について、設計・建設規格による解析結果と環境疲労評価手法による解析結果が各々最大となる評価点の位置とその値について</p>																		
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。</p> <p>1. 解析モデル 解析モデルを添付 1 に示す。</p> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="368 837 1417 1106"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び設計・建設規格による最大評価点の選定結果を、添付 2 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 3 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 1487 1369 1644"> <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</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 2、添付 4 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 f_{en}）を、添付 4 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 \square ppb とした。 評価に用いた材料中の硫黄含有量は、原子炉圧力容器用部品に用いる場合の規格値より 0.025% とした。</p>	使用箇所	材料	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台				管板及び管板廻り				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
使用箇所	材料			設計応力強さ															
		S _m (MPa)	温度 (°C)																
給水入口管台																			
管板及び管板廻り																			
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																		

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。

7. 評価点の位置と数値

設計・建設規格による解析結果と環境疲労評価手法による解析結果が各々最大となる評価点の位置とその値を以下に示す。

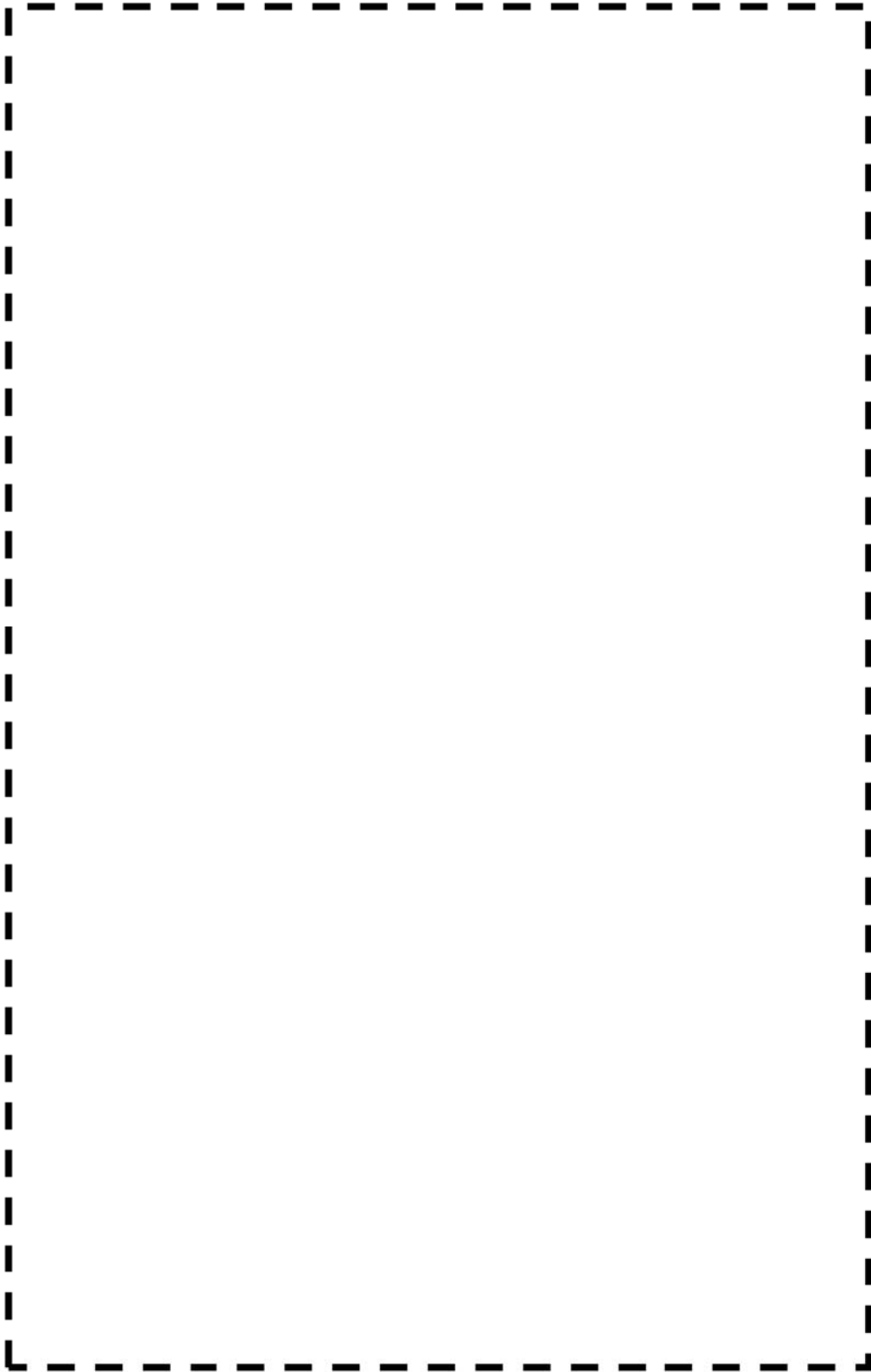
管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施している。

また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。

評価点の位置については、添付2を参照下さい。

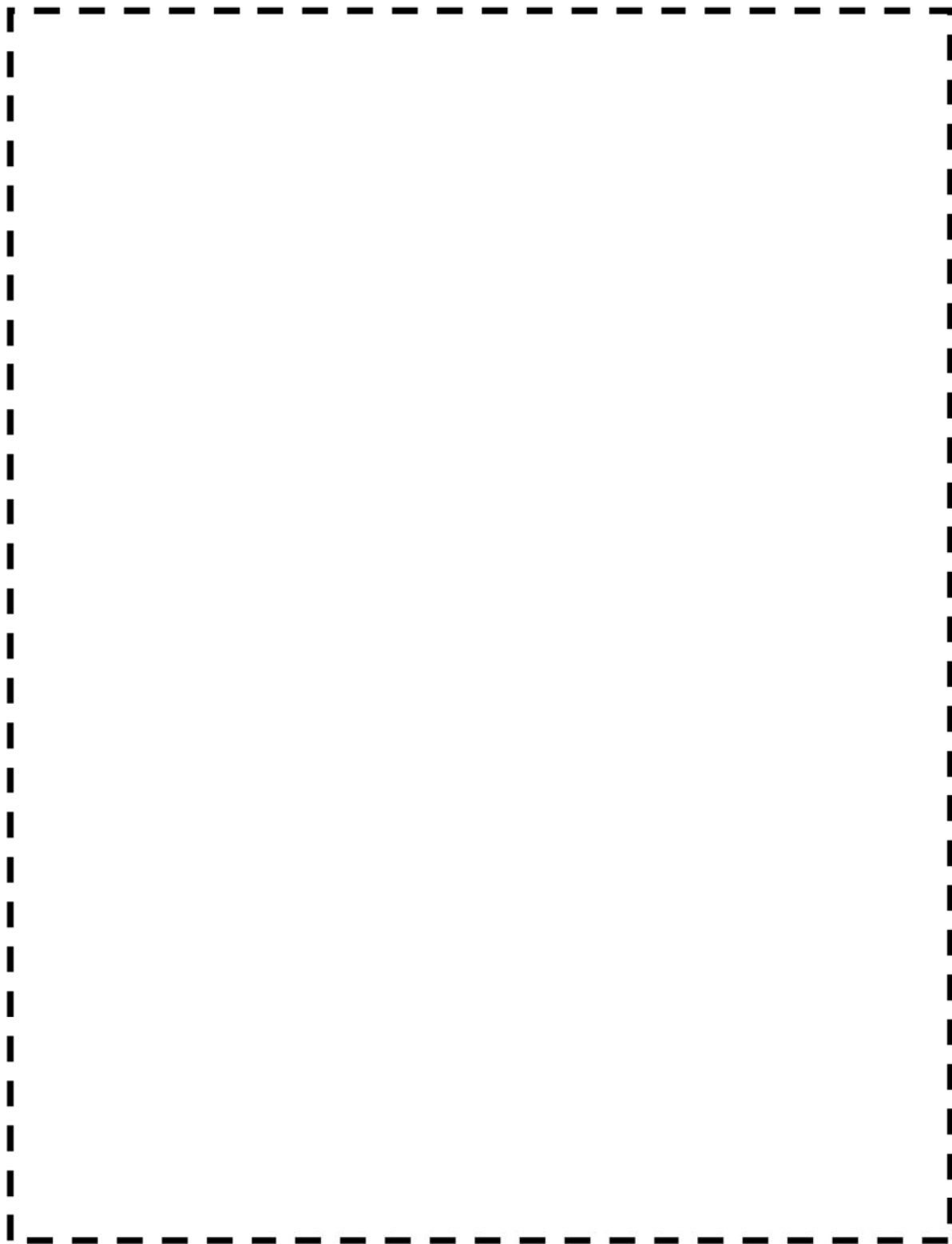
評価部位	設計・建設規格による 解析結果		環境疲労評価手法に よる解析結果		評価点参照
	U f	評価点	U f e n	評価点	
管板及び管板廻り	0. 1 2 3	1次側 R/R*=1.0	0. 0 9 9	1	添付2 (1/6)
給水入口管台	0. 0 7 3	7	0. 2 3 5	1	添付2 (2/6)

以上



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 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。



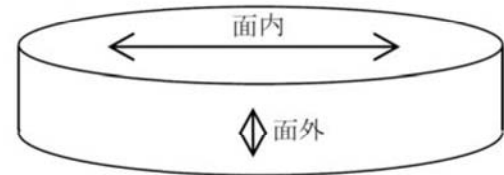
蒸気発生器本体 給水入口管台 解析モデル

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。

管板部の伝熱管穴周りの応力算出

管板部の伝熱管穴周りの応力算出 (高浜 1/2 号炉 共通)

管板のモデル化は、管板の穴明き部を簡易的に評価するため、等価中実円板に置き換えてモデル化を行っている。



等価中実円板とは、寸法が多孔板と同一で変位が等しくなるように、縦弾性係数及びポアソン比を修正した中実円板です。管板（多孔板部）は次のとおり等価剛性を考慮します。

- 1) 面内方向の E^*/E 及び ν^* は、文献「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」Table2 及び Table3 より

E^* : 等価縦弾性係数

E : 縦弾性係数

ν^* : 等価ポアソン比

	η	0.3	0.4
管穴ピッチ方向	E^*/E	0.420	0.525
	ν^*	0.173	0.216
管穴対角方向	E^*/E	0.239	0.380
	ν^*	0.529	0.433

リガメント効率 : $\eta = h/p =$ []

管穴ピッチ : $p =$ [] mm

最小リガメント : $h =$ [] mm

から、管穴ピッチ方向と管穴対角方向を平均し、 $E^*/E =$ [] $\nu^* =$ [] となる。

- 2) 面外方向の E^*/E は、面積比より $E^*/E = 1 - [(\pi \cdot r'^2)/p^2] =$ [] となる。

等価伝熱管内半径 : $r' =$ [] mm

管穴ピッチ : $p =$ [] mm

面外方向 ν^* は、中実と変わりなく、 $\nu^* = 0.3$ となる。

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。

管板部の伝熱管周りの応力算出 (補足説明)

管穴の配列について

多孔板の等価剛性を求める手法として ASME 「ARTICLE A-8000 STRESSES IN PERFORATED FLAT PLATES」 が存在するが、適用条件として管穴配列が正三角形であることが必要である。しかしながら、高浜 1 号炉及び 2 号炉の蒸気発生器の管板の管穴配列は図 1 に示すとおり、正四角形であることから ASME は適用できない。

そこで、適用条件として管穴配列が正四角形の場合も記載されている文献「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」* (適用条件となる管穴配列は図 2 参照) を適用しています。

* T. Slot, W. J. O' Donnell : Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns, Journal of Engineering for Industry, 1971

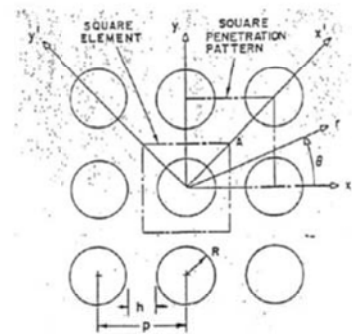


図 2 適用条件となる管穴配列 (正四角形の場合)

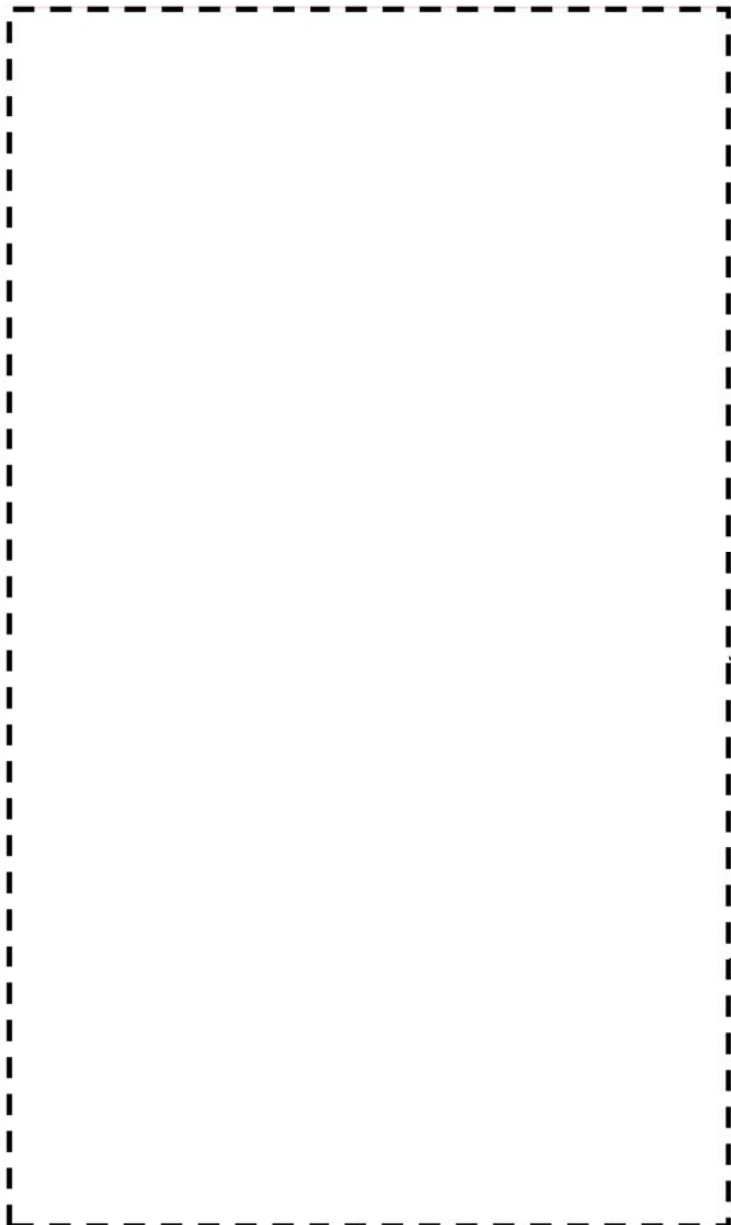


図 1 評価対象機器の管穴配列

上段：高浜 1 号炉 蒸気発生器
下段：高浜 2 号炉 蒸気発生器

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

蒸気発生器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次冷却材の入口側高温条件を管板全面に入力している。理由を以下に示す。

蒸気発生器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。

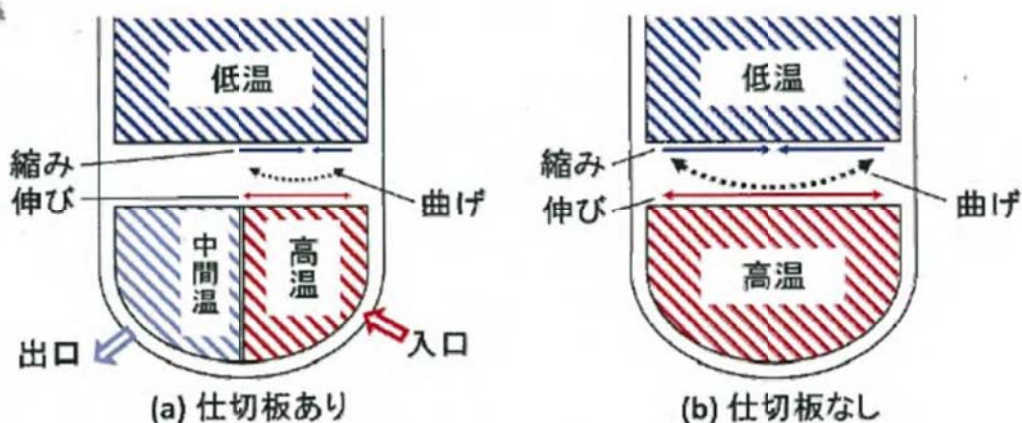
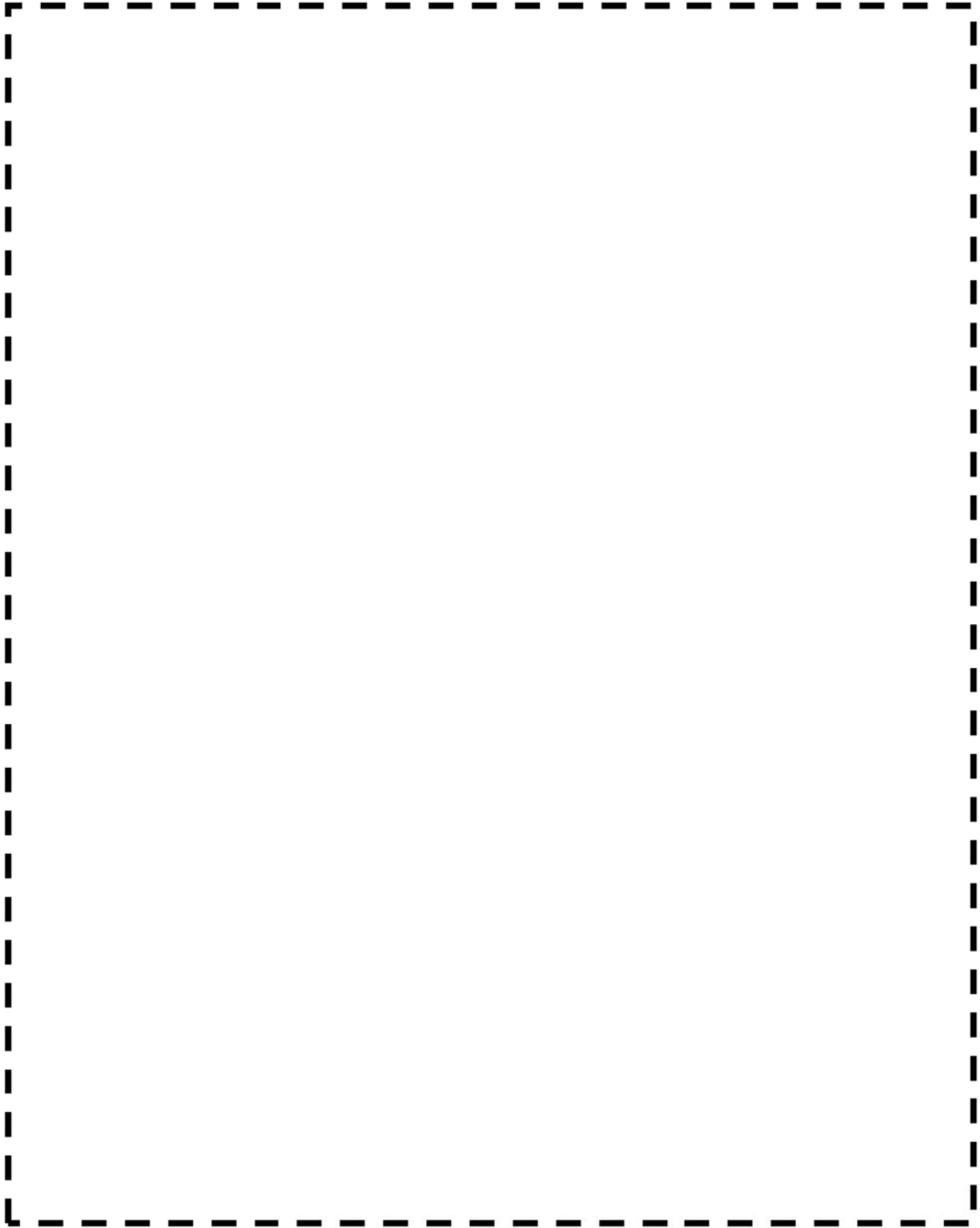
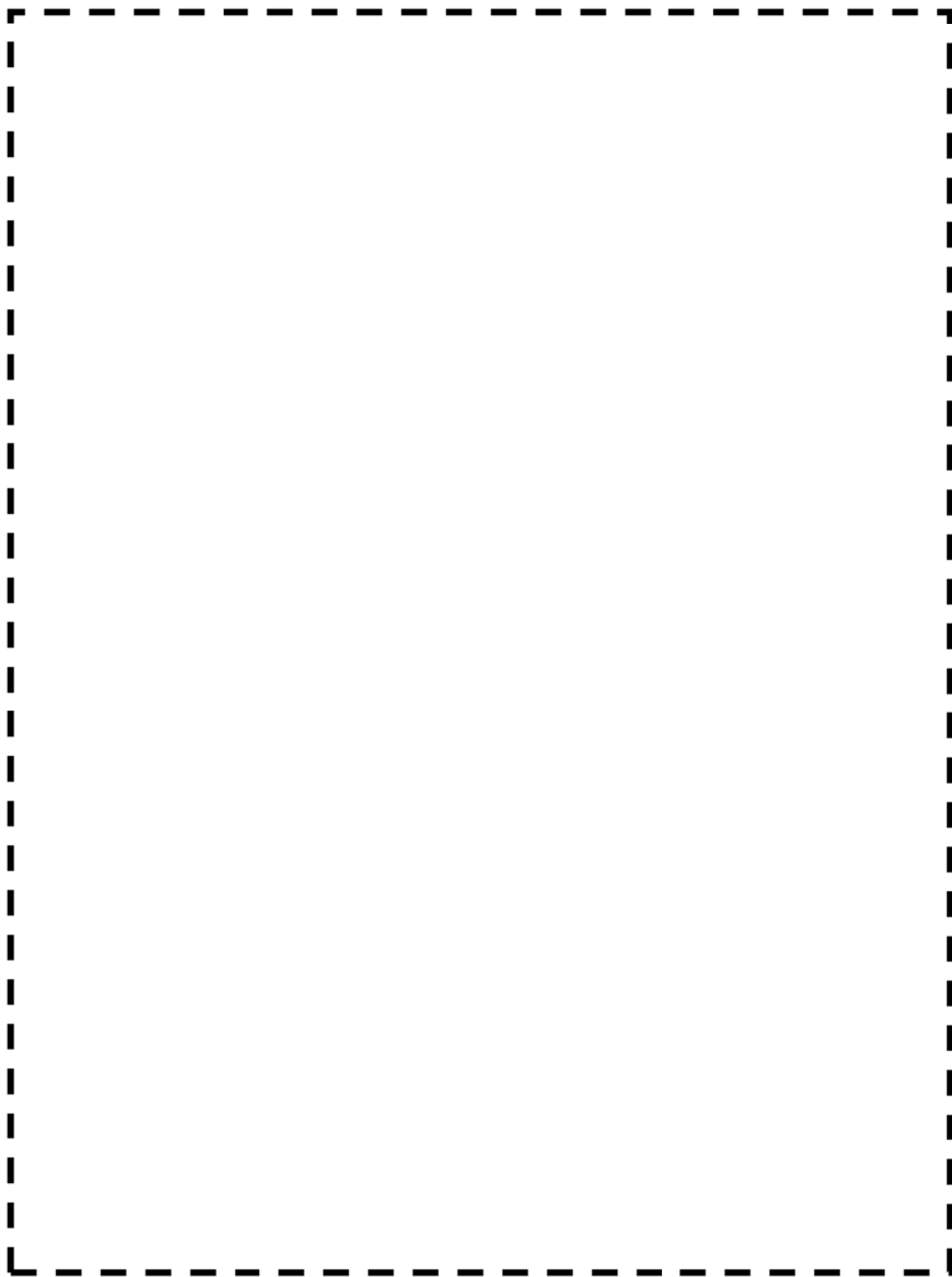


図1: 管板周りのイメージ図



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 評価点

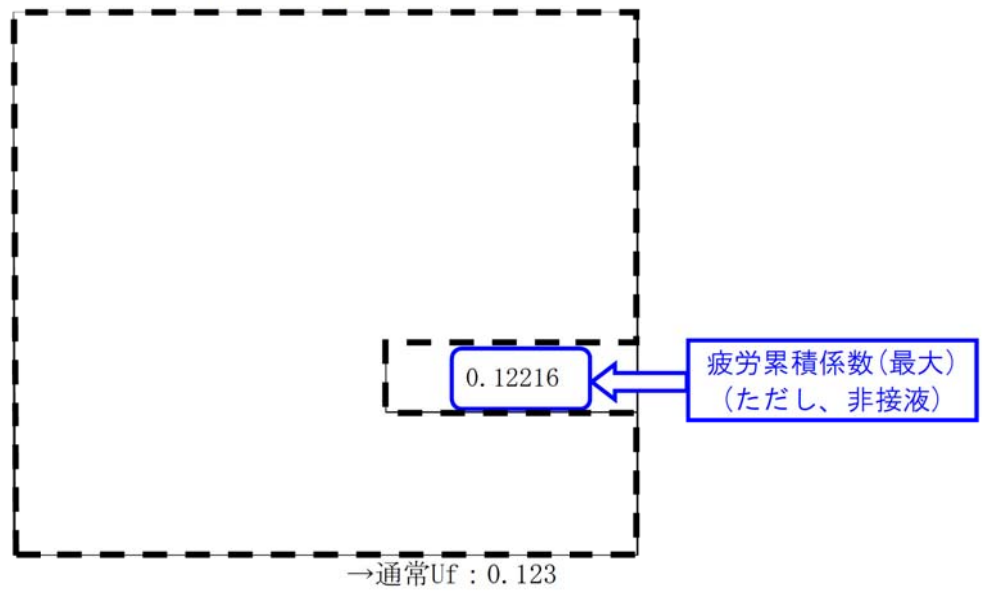
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



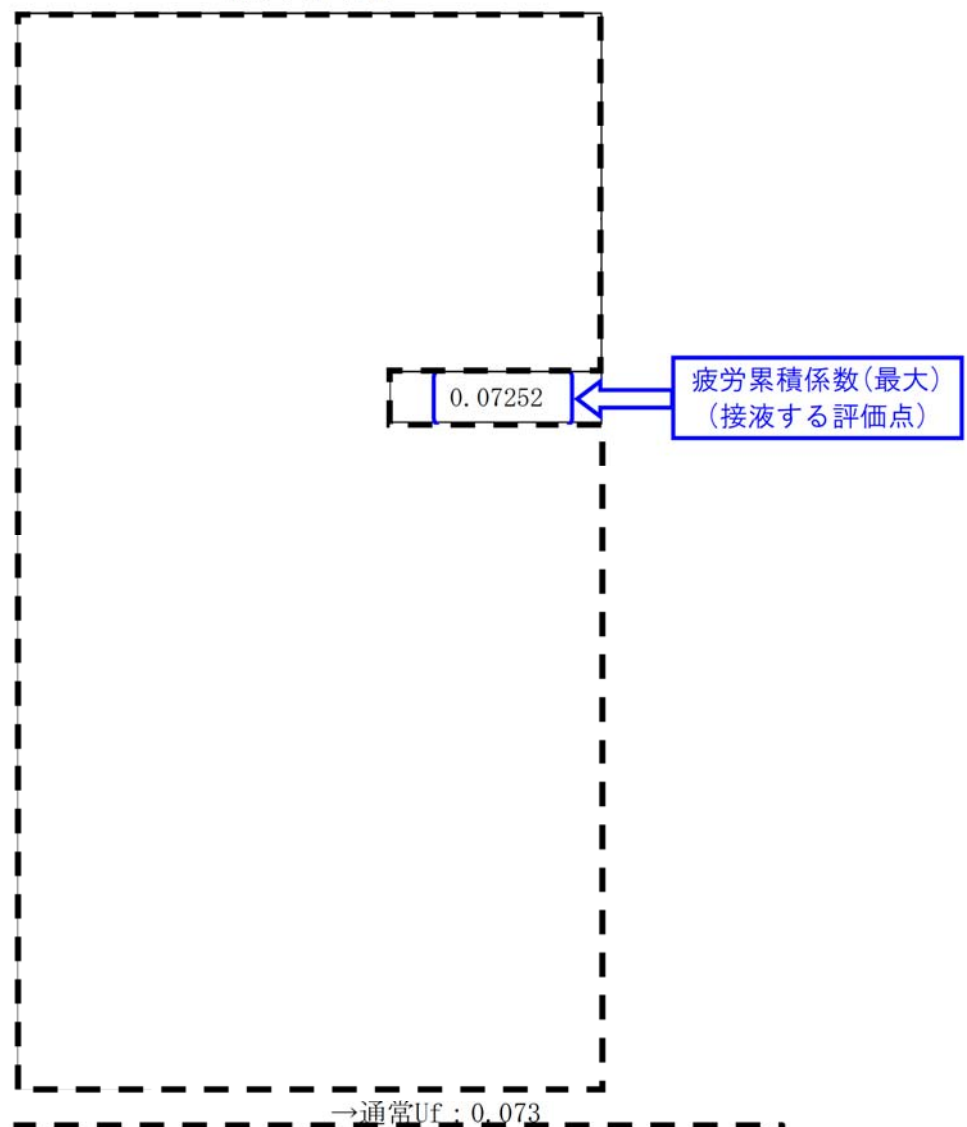
蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

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



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



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 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
疲労累積係数 = 0.12216			

K_s : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常UF:0.123

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 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点:7) (1/2)

評価点 : 7
(S12)

応力強さ	(単位 : MPa)	繰返し回数	疲労係数
------	--------------	-------	------

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。

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点:7) (2 / 2)

評価点 : 7
(S12)

応力強さ (単位: Ma)					繰返し回数		疲労係数
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT	N	N^*	(=N N^*)
							疲労累積係数 = 0.07252

 K_e : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT : ALT(207000) / (材料の使用温度における縦弾性係数) を乗じて得た値

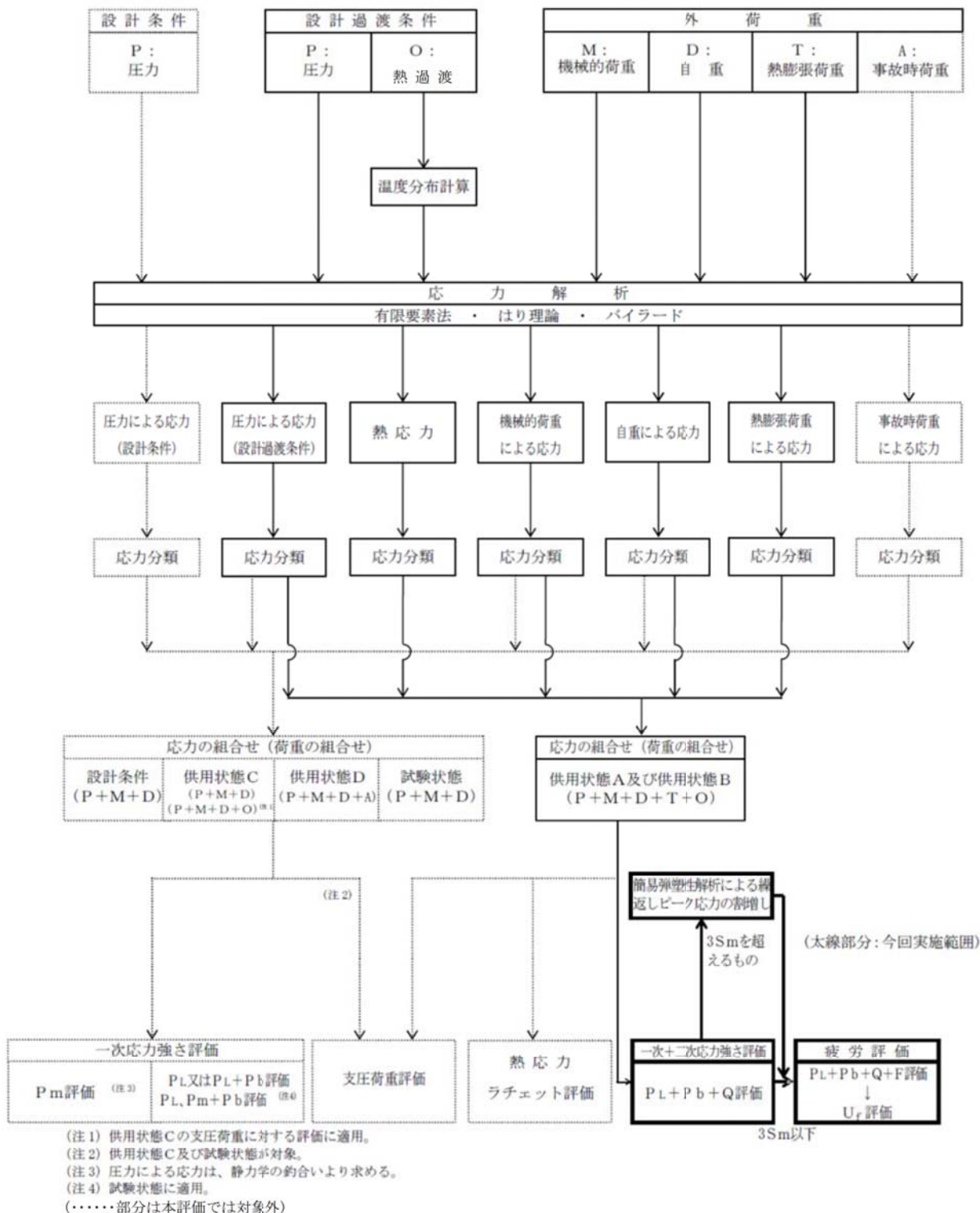
→通常UF:0.073

N : 設計繰返し回数

 N^* : 許容繰返し回数

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。

応力評価フロー



Ke 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'					
										合計 :	0.09818

→ 環境Uf : 0.099

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 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える、U f が大きい過渡の温度、ひずみ履歴を6例示す。

a. 過渡2J1, 2E1

b. 過渡2J1, 2K1

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。

c. 過渡1A1, 1D1

d. 過渡1C1, 1D1

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。

e. 過渡IC1, 1K1

f. 過渡NSS, 1A1

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。

Ke係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点①) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
合計 : 0.23438											

→ 環境Uf : 0.235

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 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

a. 過渡1BI, 2TI

b. 過渡1AI, 2TI

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。

c. 過渡2T1, 2D5

d. 過渡2T1, 2G1

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。

e. 過渡2T1, 1N1

f. 過渡1A1, 1N1

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。

g. 過渡INI, INI

h. 過渡INI, 2D3

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。

i . 過渡1N1, 2E1

j . 過渡1N1, 2B1

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	給水入口管台に対する、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に示す。</p>

高浜 1 号炉 蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価（熱成層考慮）

1. 概要

本資料は、蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価の結果についてまとめたものである。
その結果、環境疲労累積係数（以降 環境U.F. と記す）は $0.235 < 1.0$ であり、問題ないことを確認した。

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

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

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

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

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

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図1に示す。

熱成層応力の解析は3次元の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。

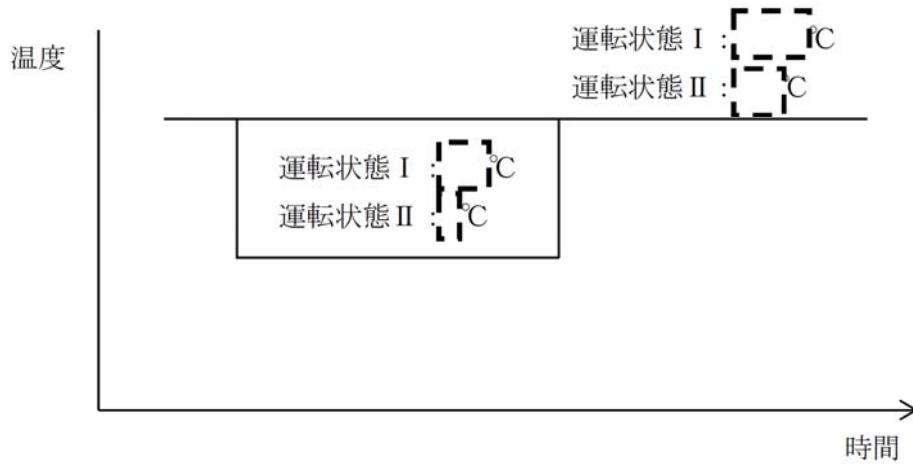
解析に使用したモデルを図2, 3, 4に示す。

(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 : $W/(m^2 \cdot K)$

領域 (注)		I	II	III
運転状態 I	熱成層なし	上部	-	-
		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		

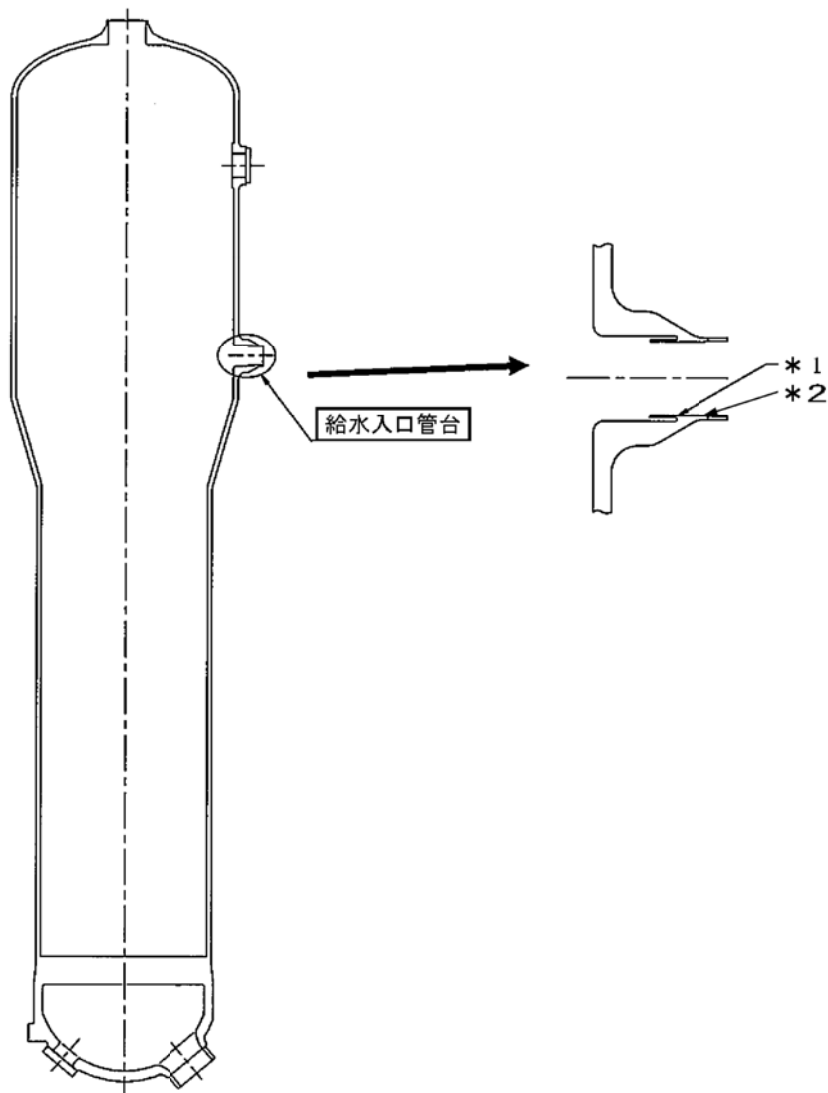
(注) 熱伝達率の領域分けは下図のとおりである。



(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 高浜1号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位

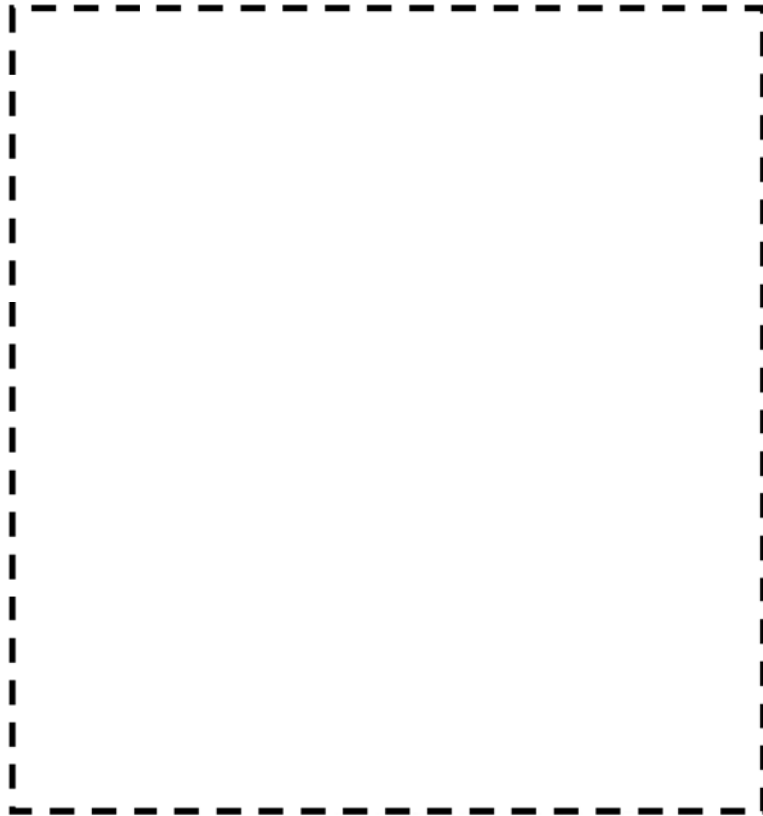


図2 解析モデル (全体図)



図3 解析モデル (断面図)

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。」

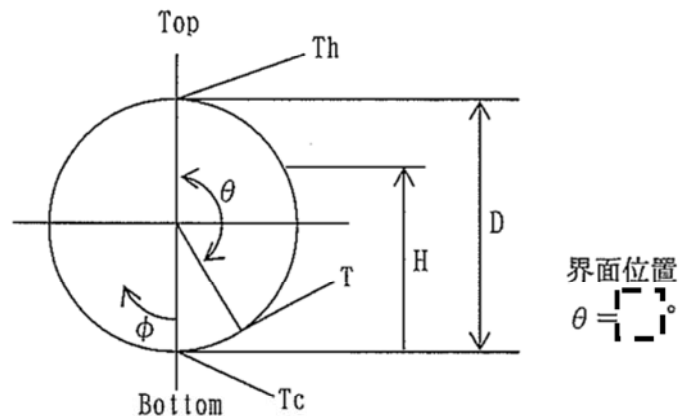
表1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴	サーマルスリーブ ^o
材料				
熱伝導率 (W/mK)				
熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K)				
熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C)				
縦弾性係数 (MPa)				
ポアソン比 (-)				

(注) 上記物性値は蒸気発生器2次側の定格出力運転時の温度 (276.9 $^{\circ}$ C) における値であり、解析上は温度依存性を考慮してそれぞれの時刻の温度に基づく値を使用している。

(6) 温度プロファイル

過去に他実機プラントである大飯1号機での給水管内熱成層発生時の応力を計測しており、熱成層界面位置が水平頂部からの角度 $\theta = \boxed{\quad}$ ° の場合に最大応力が確認されている。大飯1号機と高浜1号機では給水管台の形状(口径)が同等であることから、大飯1号機にて最大応力が確認された水平配管頂部からの角度 $\theta = \boxed{\quad}$ ° 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	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
合計： 0.23438											

→環境UF0.235

表3 過渡記号

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における冷水注入
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における冷水注入

* : 熱成層の発生を考慮している過渡

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の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ、熱成層の考慮に係る内容を含む)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の算出根拠を添付に示す。</p> <table border="1" data-bbox="336 595 1431 1032"> <thead> <tr> <th data-bbox="336 595 474 741"></th> <th data-bbox="474 595 609 741">応力フロー チャート</th> <th data-bbox="609 595 746 741">荷重の組合 せ</th> <th data-bbox="746 595 884 741">材料物性値</th> <th data-bbox="884 595 1021 741">形状、評価 点及び解析 モデル</th> <th data-bbox="1021 595 1158 741">最大評価点 の選定結果</th> <th data-bbox="1158 595 1295 741">Ke係数</th> <th data-bbox="1295 595 1431 741">環境評価パ ラメータ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="336 741 474 887">スプレイ ライン用 管台</td> <td data-bbox="474 741 609 1032" rowspan="2">図1</td> <td data-bbox="609 741 746 1032" rowspan="2">表1-1</td> <td data-bbox="746 741 884 1032" rowspan="2">表1-2</td> <td data-bbox="884 741 1021 887">図2</td> <td data-bbox="1021 741 1158 887">表2-1</td> <td data-bbox="1158 741 1295 887">表2-2 表2-3</td> <td data-bbox="1295 741 1431 887">表2-3 (詳細評価)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="336 887 474 1032">サージ用 管台</td> <td data-bbox="884 887 1021 1032">図3</td> <td data-bbox="1021 887 1158 1032">表3-1</td> <td data-bbox="1158 887 1295 1032">表3-2 表3-3</td> <td data-bbox="1295 887 1431 1032">表3-3 (詳細評価)</td> </tr> </tbody> </table>								応力フロー チャート	荷重の組合 せ	材料物性値	形状、評価 点及び解析 モデル	最大評価点 の選定結果	Ke係数	環境評価パ ラメータ	スプレイ ライン用 管台	図1	表1-1	表1-2	図2	表2-1	表2-2 表2-3	表2-3 (詳細評価)	サージ用 管台	図3	表3-1	表3-2 表3-3	表3-3 (詳細評価)
	応力フロー チャート	荷重の組合 せ	材料物性値	形状、評価 点及び解析 モデル	最大評価点 の選定結果	Ke係数	環境評価パ ラメータ																					
スプレイ ライン用 管台	図1	表1-1	表1-2	図2	表2-1	表2-2 表2-3	表2-3 (詳細評価)																					
サージ用 管台				図3	表3-1	表3-2 表3-3	表3-3 (詳細評価)																					

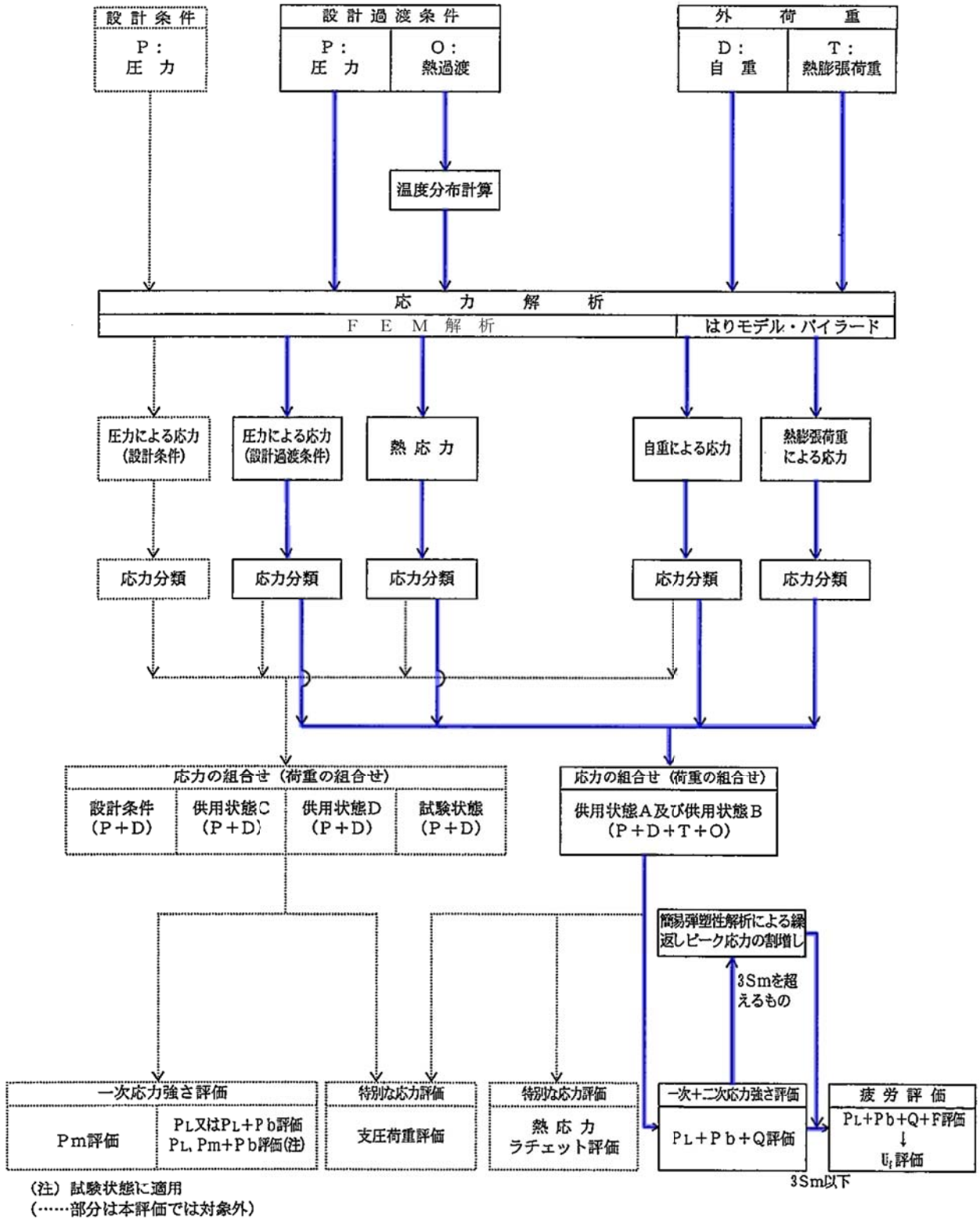


図1 応力評価フローチャート

表1-1 荷重の組合せ

状 態	荷重の組合せ
供用状態A, B	P + O + D + T

(記号)

P : 圧力 O : 熱過渡 D : 自重 T : 熱膨張荷重

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
スプレイライン用管台、 サージ用管台		
スプレイライン用管台セーフエンド		
サージ用管台セーフエンド		

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。

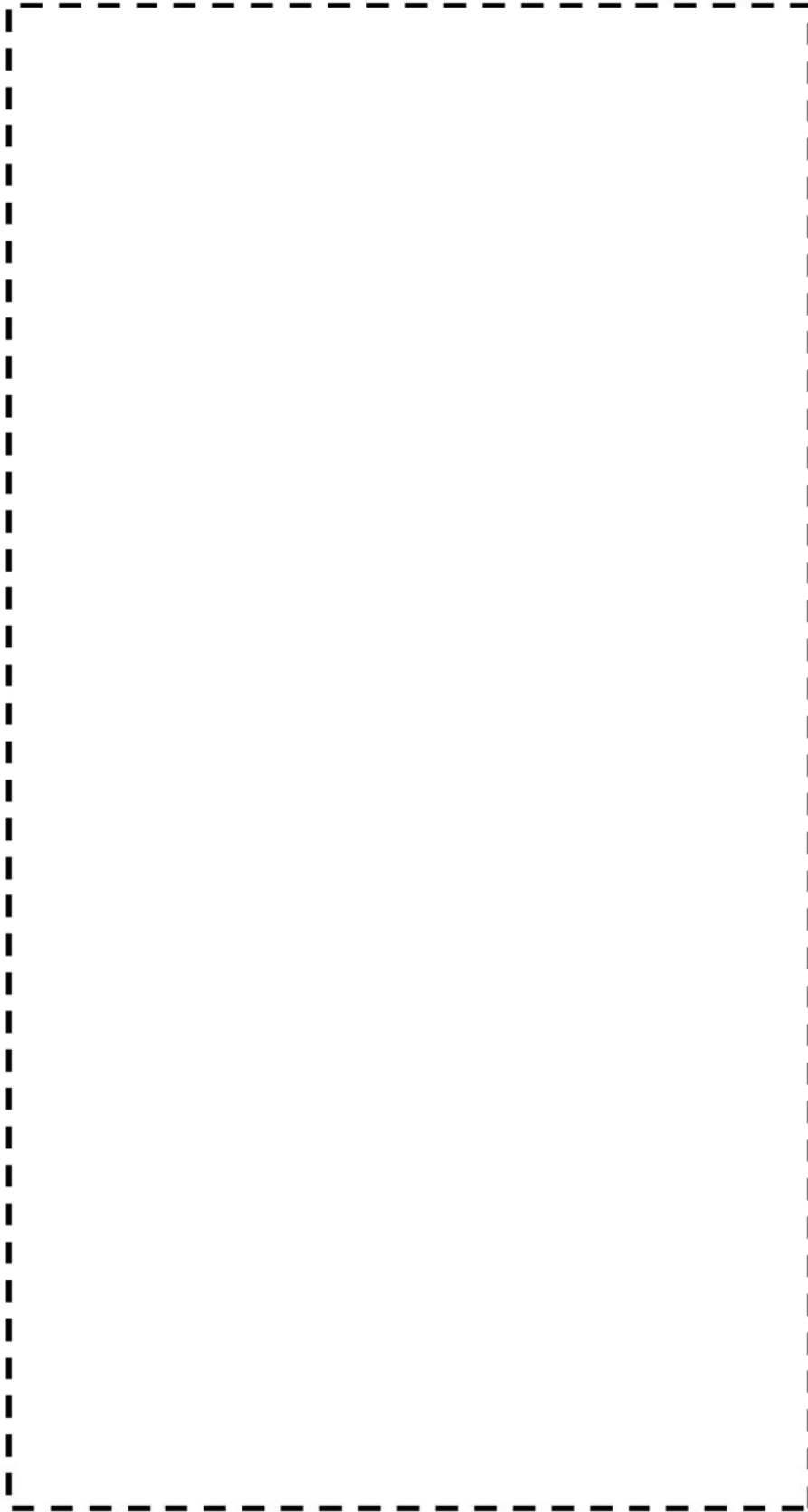


図2 スプレイライン用管台形状寸法、評価点及び解析モデル

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 (スプレイライン用管台)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

許容値 $U_i=1.0$

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2-2 疲労解析結果 (スプレイライン用管台) (1 / 2)

評価点 1
(S31)

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
[Redacted Content]							

Ke : 割増し係数
 ALT : 繰返しヒック応力強さ
 ALT' : ALTに(19500)/(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

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2-2 疲労解析結果 (スプレイライン用管台) (2 / 2)

評価点 1
(S31)

応力強さ (単位: MPa)					繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
疲労累積係数 =							0.18902

→通常UF:0.190

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

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2-3 環境疲労評価結果 (スプレイライン用管台 評価点① 熱成層考慮)

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'					

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'						
											合計 :	0.01862

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

→環境UF:0.019

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。

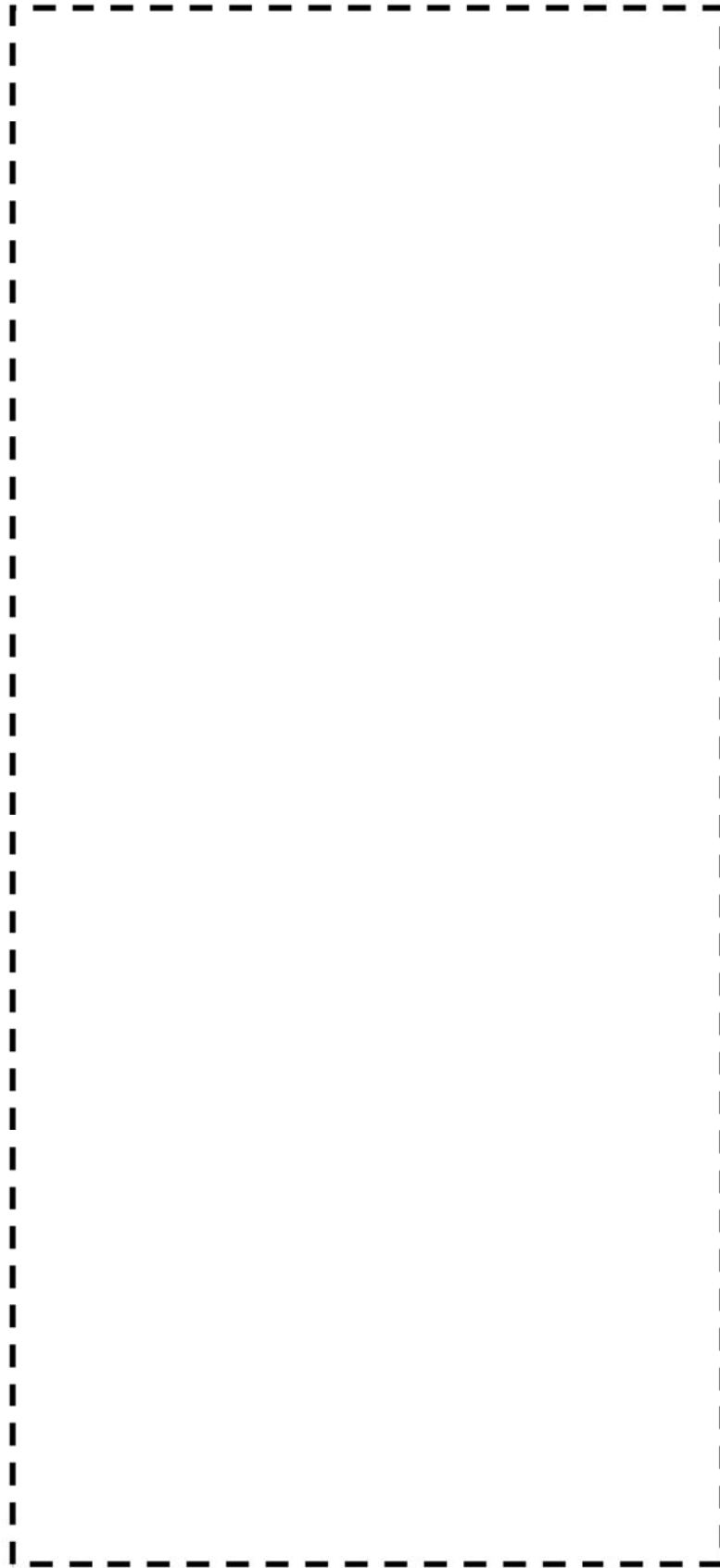


図3 サージ用管台形状寸法、評価点及び解析モデル

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3-1 疲労累積係数 (サージ用管台)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

許容値 $U_f=1.0$

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3-2 疲労解析結果 (サージ用管台)

評価点 - 19
(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*	
(The body of the table is empty in the image)							
疲労累積係数 =							0.02083

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

→通常UF:0.021

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3-3 環境疲労評価結果 (サージ用管台 評価点①)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	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'					
<div style="border: 1px dashed black; height: 400px; width: 100%;"></div>											
										合計:	0.05070

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

→環境UF:0.051

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 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が 1 を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) スプレイン管用管台

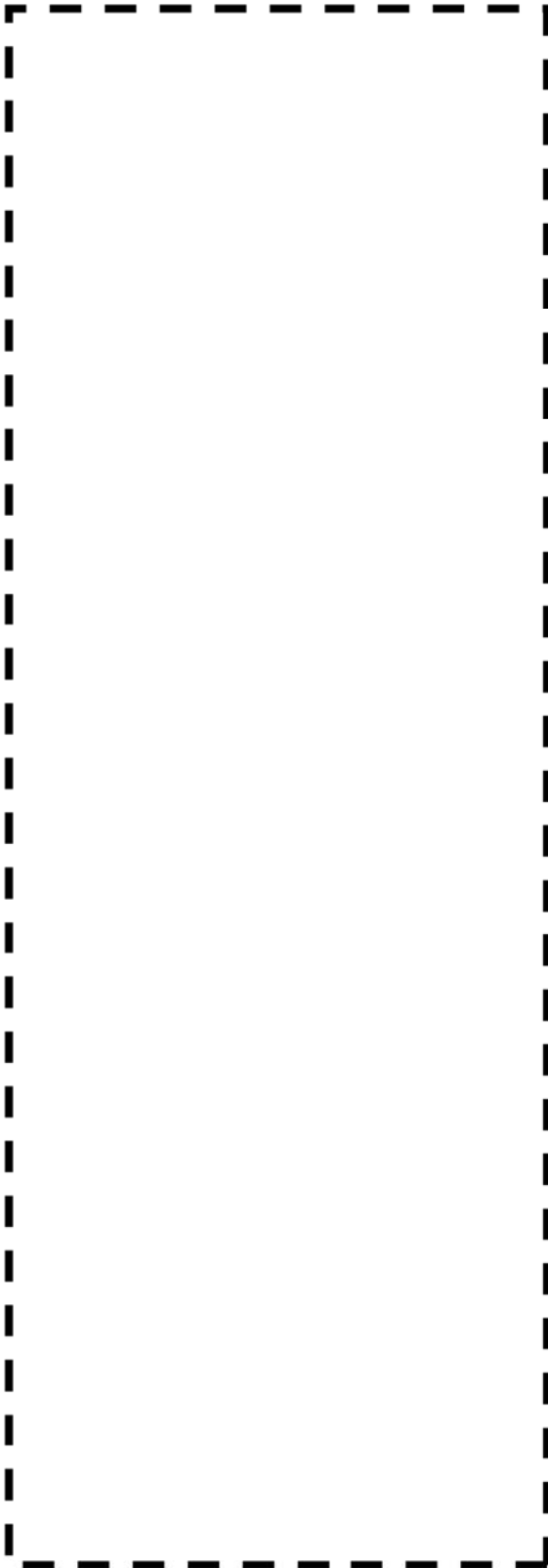
a. 過渡2E2, 2E2

b. 過渡1A6, 1B8

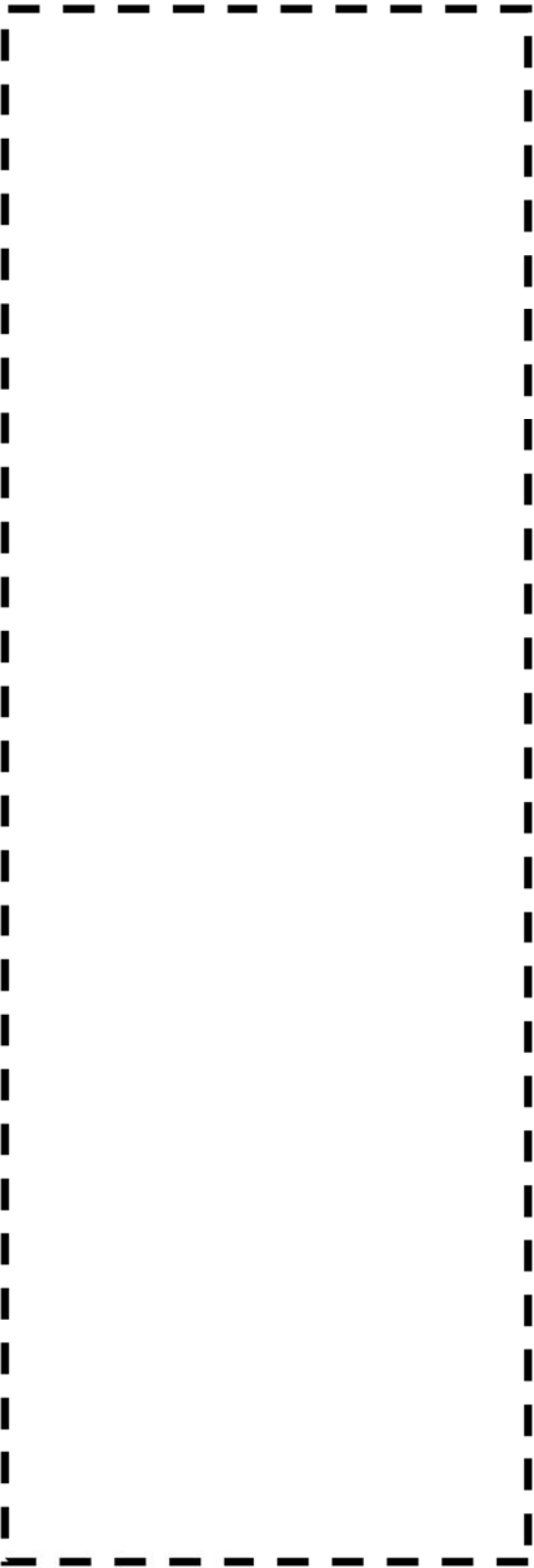
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(2) サーージ用管台

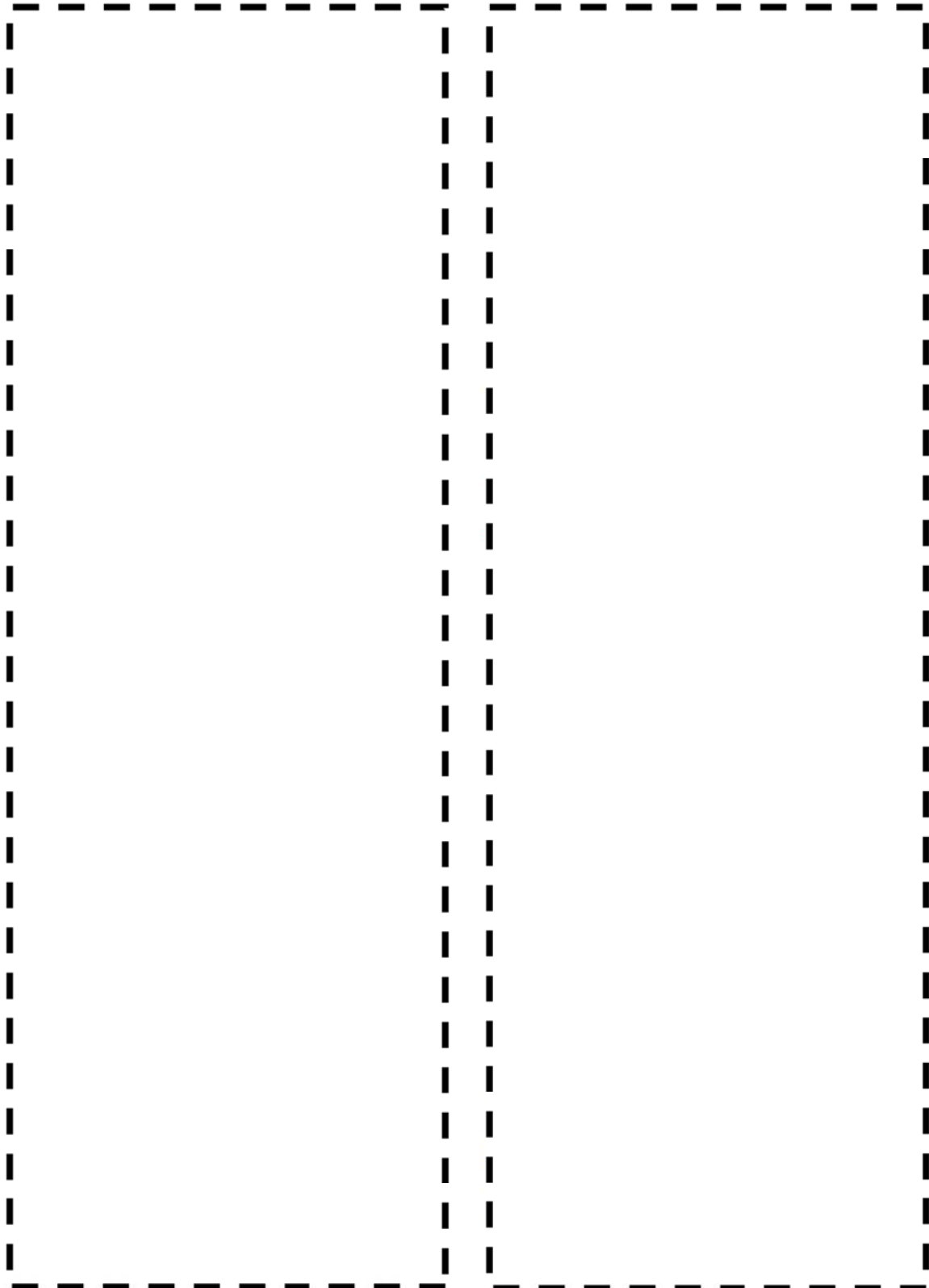
a. 過渡2G1, 2H1



b. 過渡NSS, 1B2



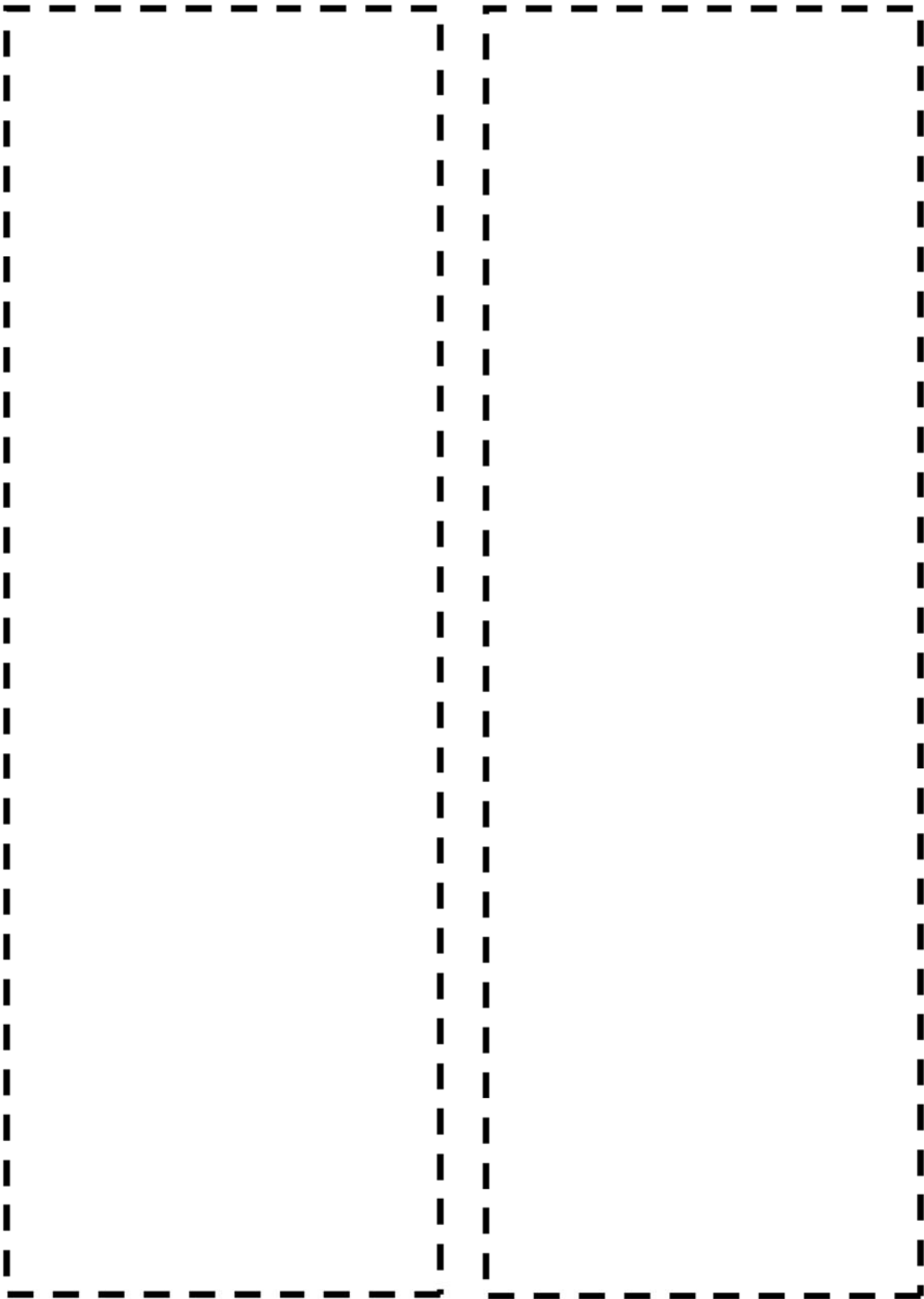
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



c. 過渡2D3, 1B2

d. 過渡1C1, 1B2

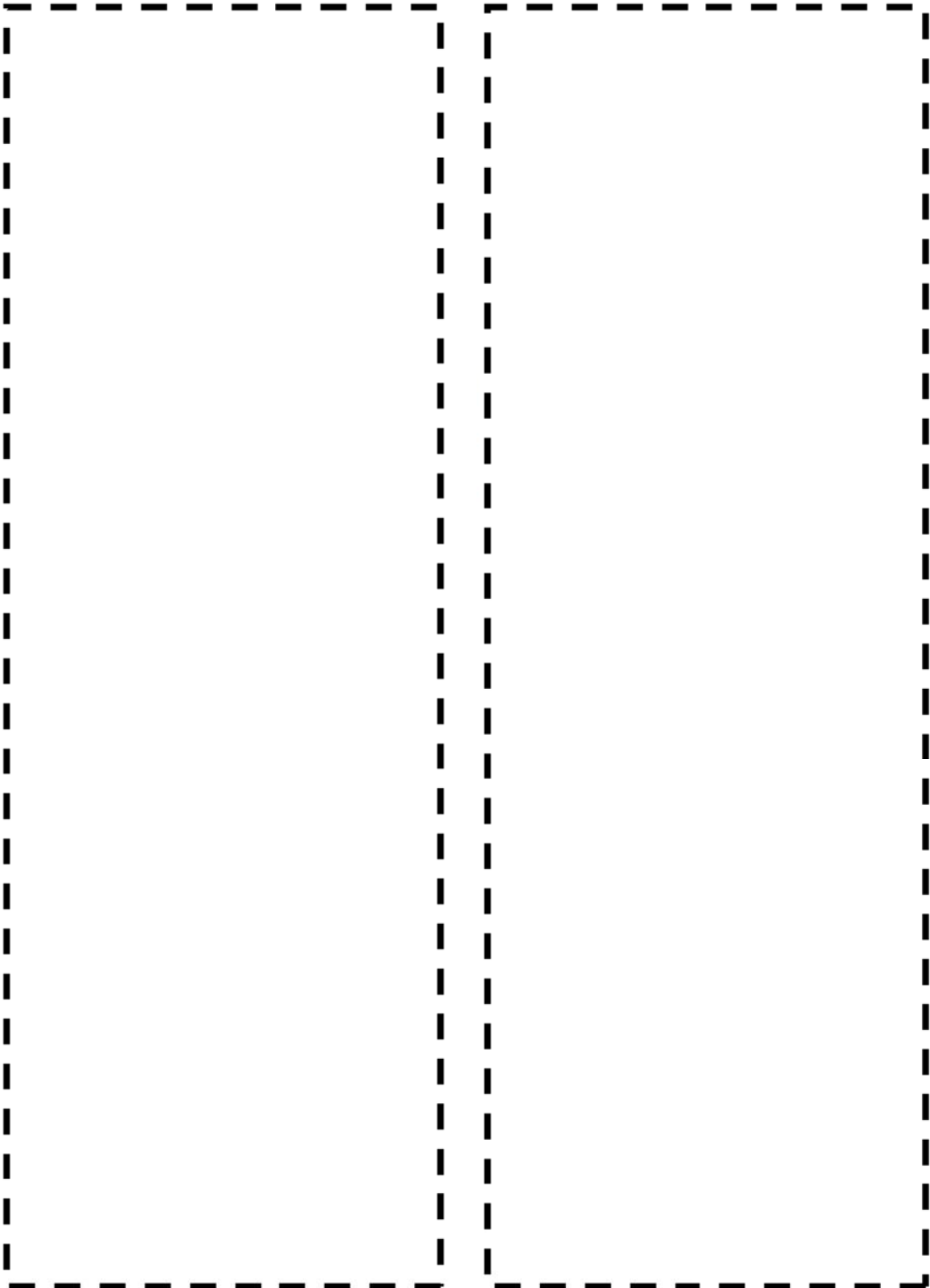
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



e. 過渡2B1, 1B2

f. 過渡1A2, 1B2

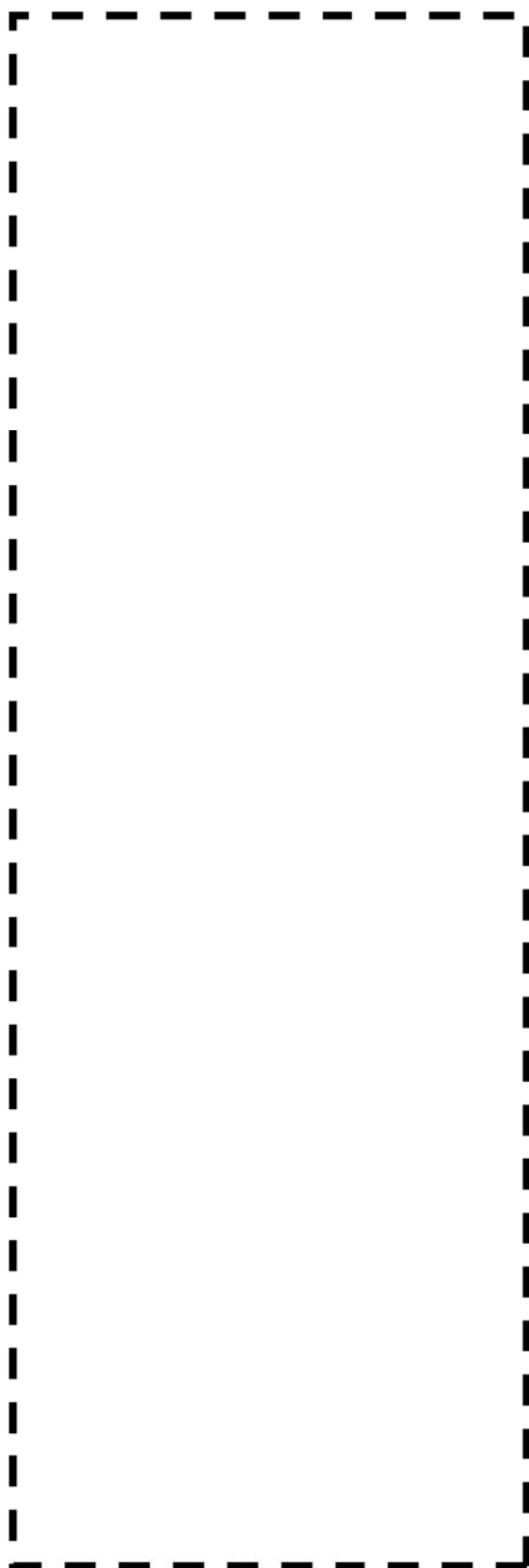
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



g. 過渡1A2, 1A2

h. 過渡1L1, 1A2

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。



i . 過渡1B2, 1A2

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	余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロ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>余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロライン貫通部</p> <p>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PVB-3130の応力集中係数にかかわる規定を用いて疲労評価を行っている。疲労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。</p>

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。

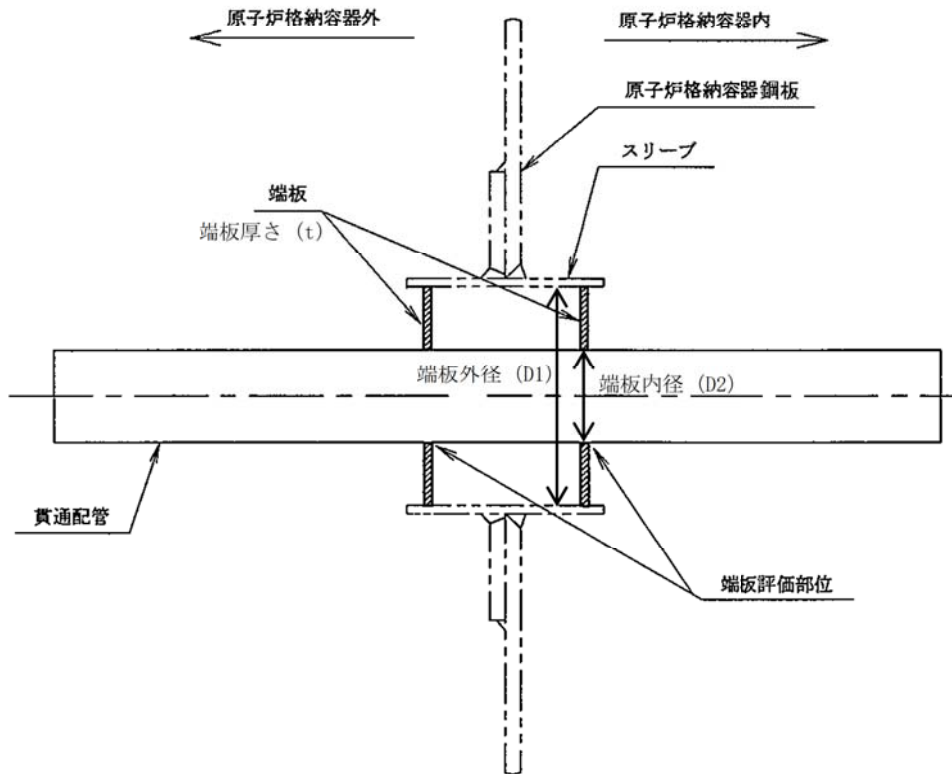


図1 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロライン貫通部の基本寸法箇所

表1 余熱除去クーラ出口・余熱除去ポンプ入ロ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 ₁	端板内径 (mm) D ₂	端板板厚 (mm) t	端板材料	材料の最高使用 温度における 縦弾性係数 (MPa)

配管解析からの負荷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。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 (U_f) が算出される。

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

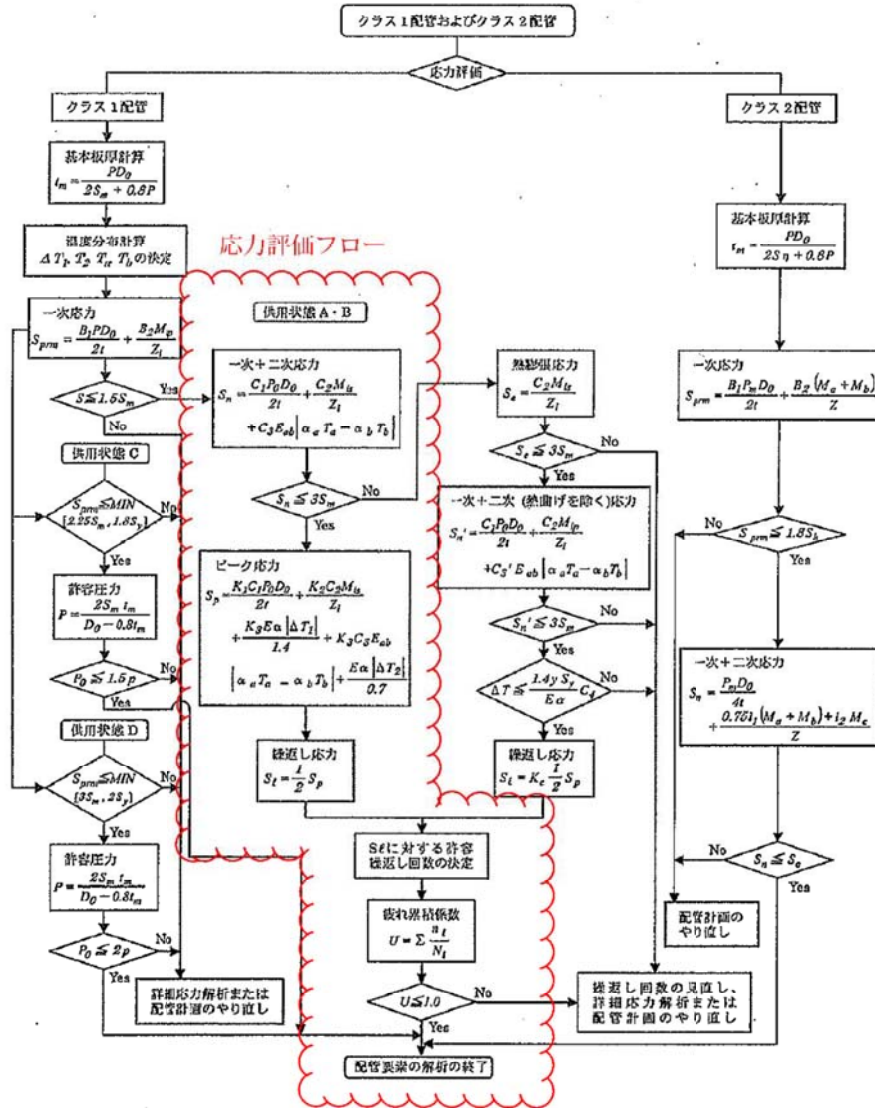
ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

	ピーク応力 強さ (MPa)	過渡による 負荷回数 (n)	許容回数 (N)	U _f
固定式端板				0.427

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	加圧器サージ配管および加圧器スプレ配管の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ)について
説明	<p>加圧器サージ配管および加圧器スプレ配管は設計・建設規格による疲労評価と環境疲労評価手法による疲労評価を実施している。設計・建設規格による疲労評価では、熱成層現象を考慮していないが、環境疲労評価手法による疲労評価は熱成層現象を考慮しており、評価モデル等は2者で異なる。</p> <p>加圧器サージ配管および加圧器スプレ配管の熱成層を考慮した評価については「別紙7-⑩」で説明することとし、ここでは設計・建設規格による疲労評価について説明する。</p> <p>【加圧器サージ配管】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 応力分類 応力評価フローチャート(添付1参照) 荷重の組合せ: 内圧、自重、熱、機械的荷重(設計・建設規格による) 2. 材料物性値 ヤング率: 1.72×10^5 (MPa) 熱膨張係数: 1.751×10^{-5} (mm/mm・℃) 3. 解析モデルおよび測定点(添付2参照) 配管各部位に考慮する応力係数は設計・建設規格のPPB-3000 クラス1配管に定める応力係数に従って設定している。 4. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を添付3に示す。 5. Ke係数 評価に用いたKe係数を添付4に示す。 <p>【加圧器スプレ配管】</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. 応力分類 応力評価フローチャート(添付1参照) 荷重の組合せ: 内圧、自重、熱、機械的荷重(設計・建設規格による) 7. 材料物性値 ヤング率: 1.73×10^5 (MPa) 熱膨張係数: 1.743×10^{-5} (mm/mm・℃)

	<p>8. 解析モデルおよび測定点（添付5参照） 配管各部位に考慮する応力係数は設計・建設規格のPPB-3000 クラス 1配管に定める応力係数に従って設定している。</p> <p>9. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を添付6に示す。</p> <p>10. Ke係数 評価に用いたKe係数を添付7に示す。</p>
--	--



(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

応力評価フローチャート

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	ピーク 応力強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
				1.0

→通常UF:0.012

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

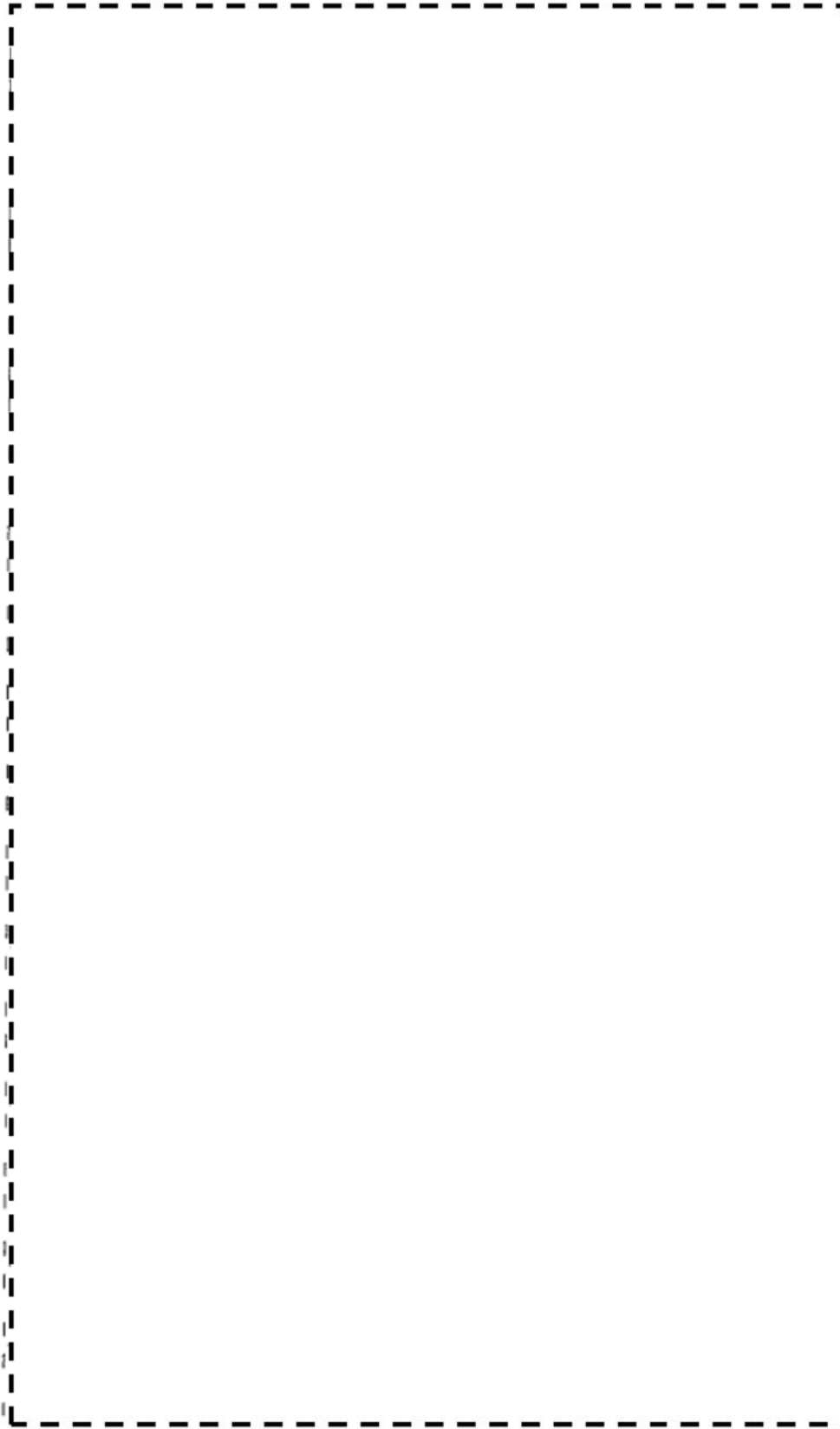
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器サージ配管 疲労評価結果 (測定点: 502) (1/4)

LOAD SET				NUMBER OF CYCLES		ELIM						
I	J	SP	SN	KE	ALT	NI	NI	N	NATED	N*	I	U
[Redacted Content]												

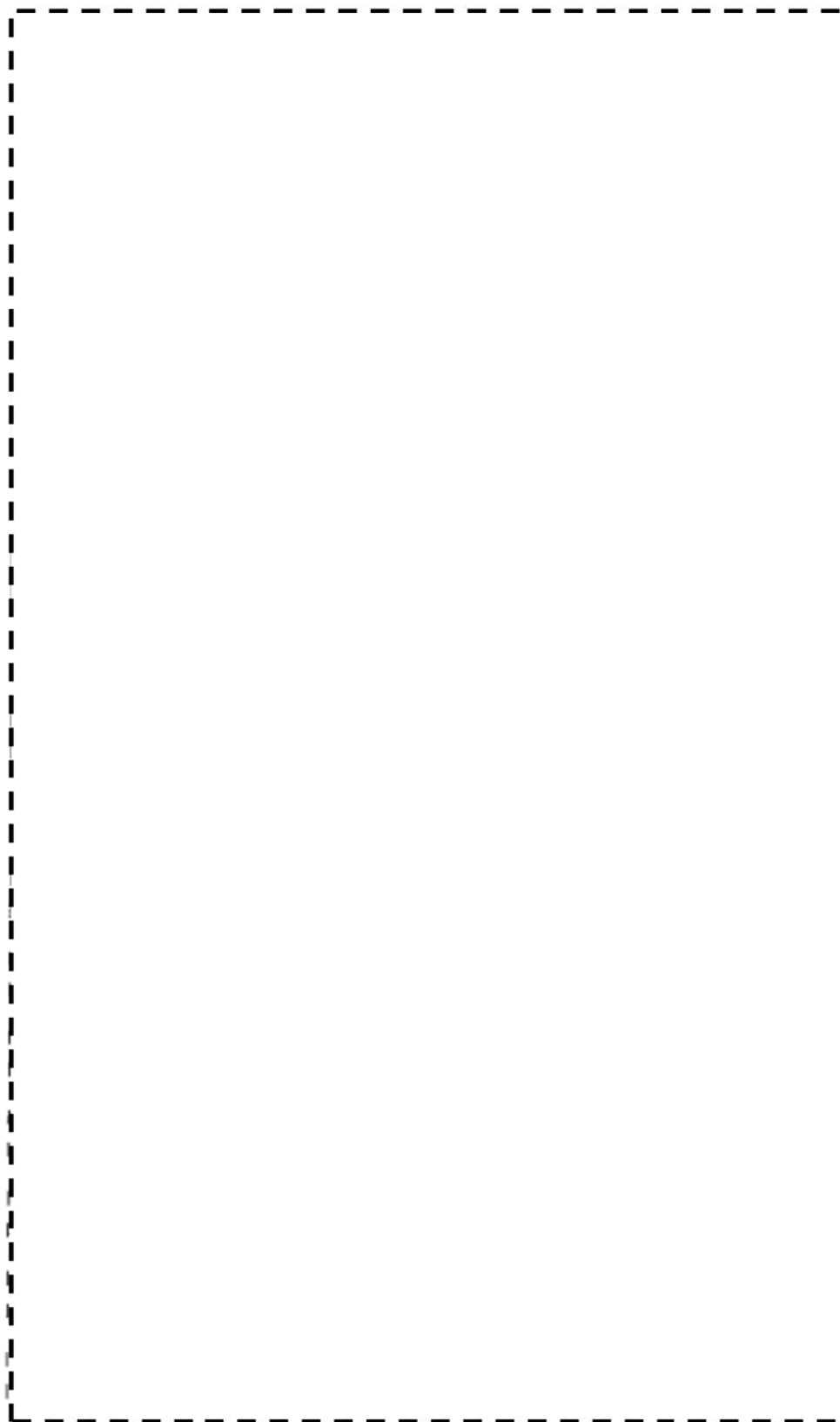
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器サージ配管 疲労評価結果 (測定点 : 502) (2 / 4)



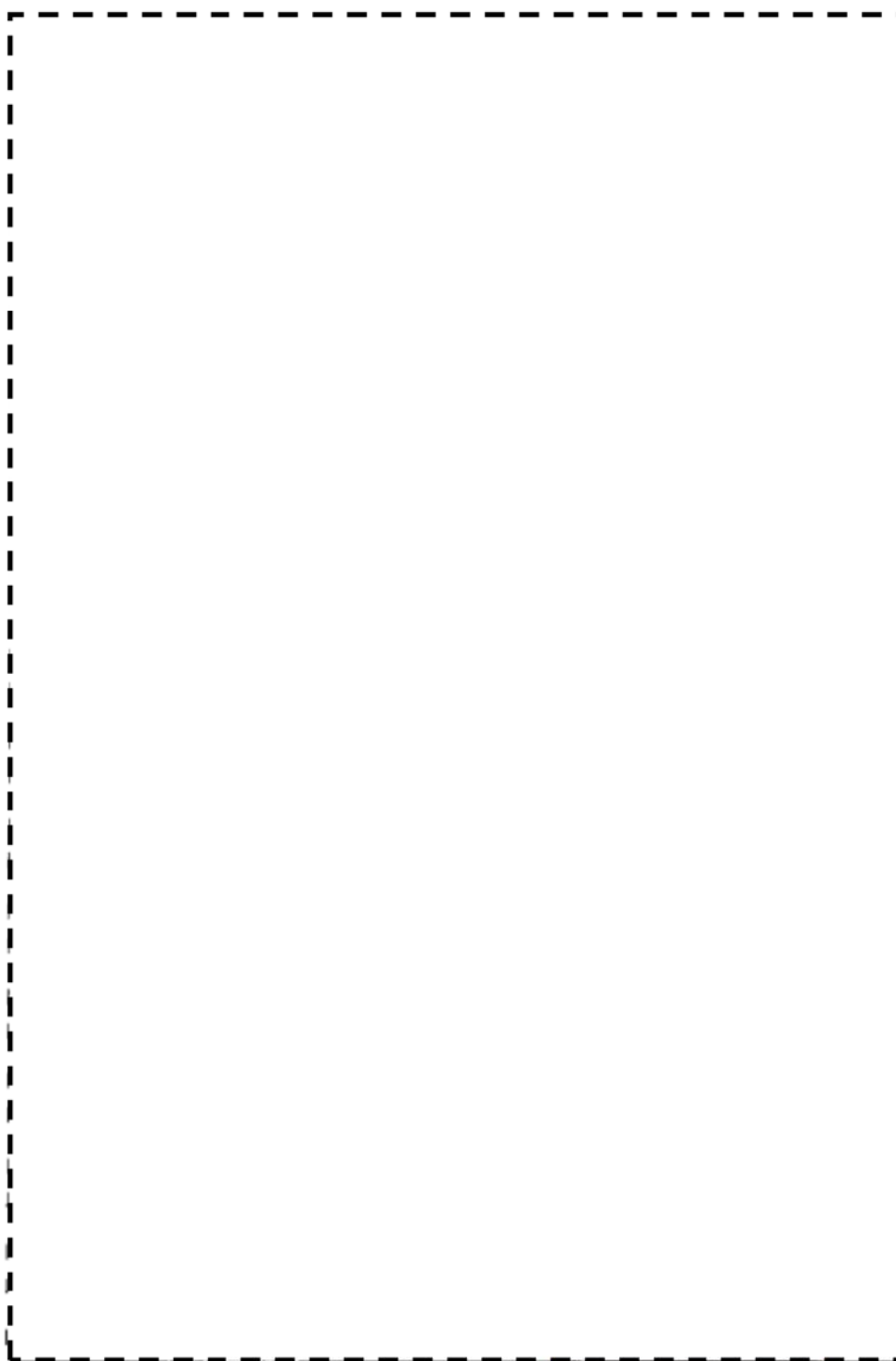
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

加圧器サージ配管 疲労評価結果 (測定点 : 502) (3 / 4)



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。

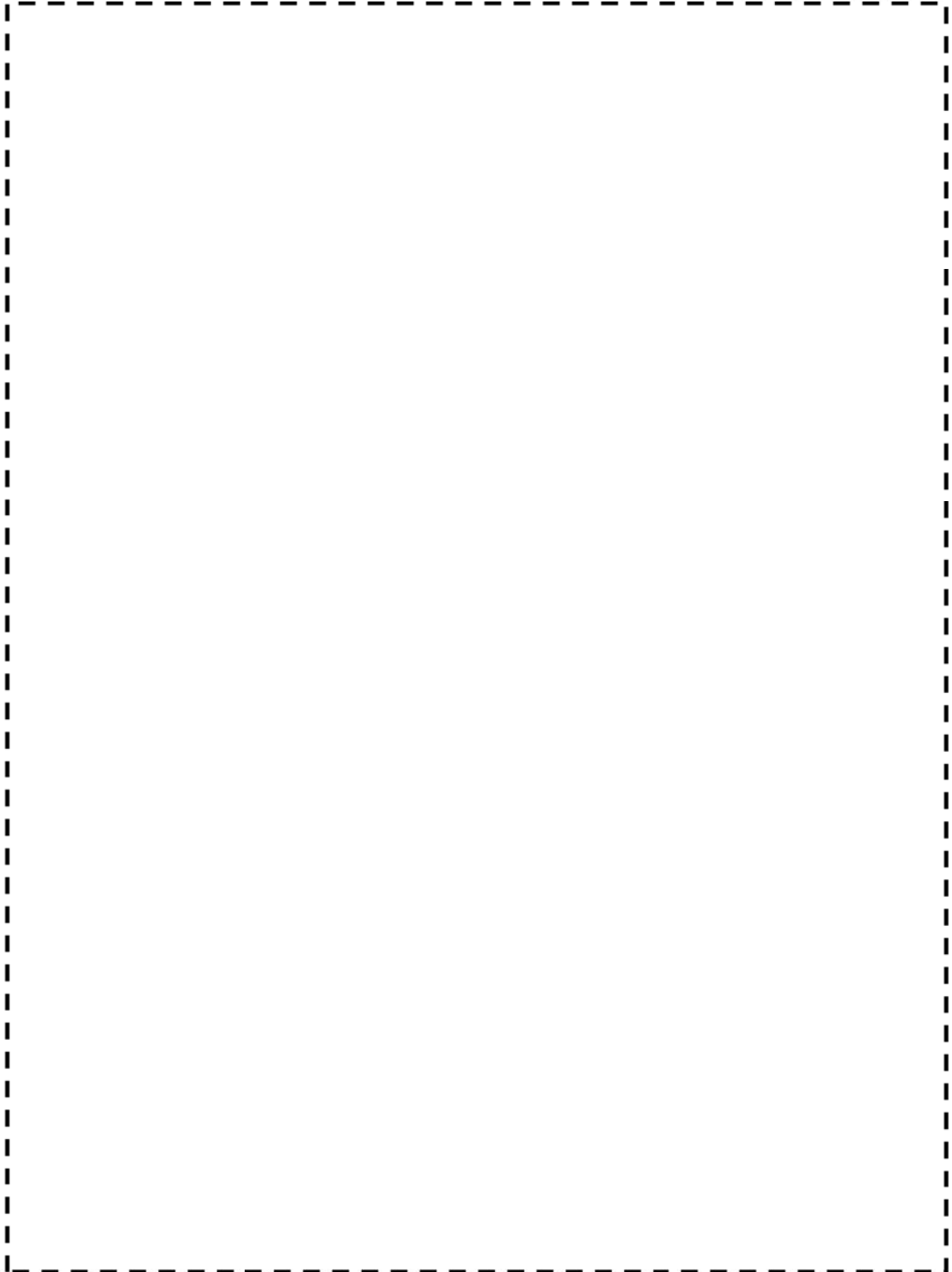
加圧器サージ配管 疲労評価結果 (測定点 : 502) (4 / 4)



CUMULATIVE USAGE FACTOR = 0.01182

→通常UF:0.012

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 解析モデルおよび測定点

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。

加圧器スプレ配管 最大疲労評価点の選定

節点番号	ピーク 応力強さ (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値

→通常UF:0.026

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

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 疲労評価結果 (測定点 : 146) (1 / 2)

LOAD SET				NUMBER OF CYCLES				[BLWT]			
I	J	SP	SN	KE	ALT	NI	NJ	N	[NATED]	N*	U
[Redacted Content]											

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 疲労評価結果 (測定点: 146) (2/2)



CUMULATIVE USAGE FACTOR = 0.02512

→通常UF:0.026

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	加圧器サージ配管および加圧器スプレ配管に対する、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について
説明	添付 1 に加圧器サージ配管の評価結果を、添付 2 に加圧器スプレ配管の評価結果をそれぞれ示す。

高浜 1 号炉 加圧器サージ配管の環境疲労評価(熱成層考慮)

1. 概要

本資料は、熱成層を考慮した加圧器サージ配管の環境疲労評価(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)に基づく)の結果についてまとめたものである。

なお、本配管は熱成層の発生が想定されることから、熱成層の発生・消滅を評価上考慮するため、FEMモデルを用いて環境疲労評価を実施した。

その結果、環境疲労累積係数(以降 環境U.F. と記す)は $0.002 < 1.0$ 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。

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

(2) 使用コード

温度分布、応力計算に使用する解析コードは、ANSYSである。

3. 加圧器サージ配管の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

解析モデルの範囲は、1次冷却材管管台（溶接位置）から加圧器管台（溶接位置）までとする。

解析に使用した解析モデル及び熱成層を考慮した環境疲労評価点を図1に示す。
また、解析に用いる配管等の物性値を表1に示す。

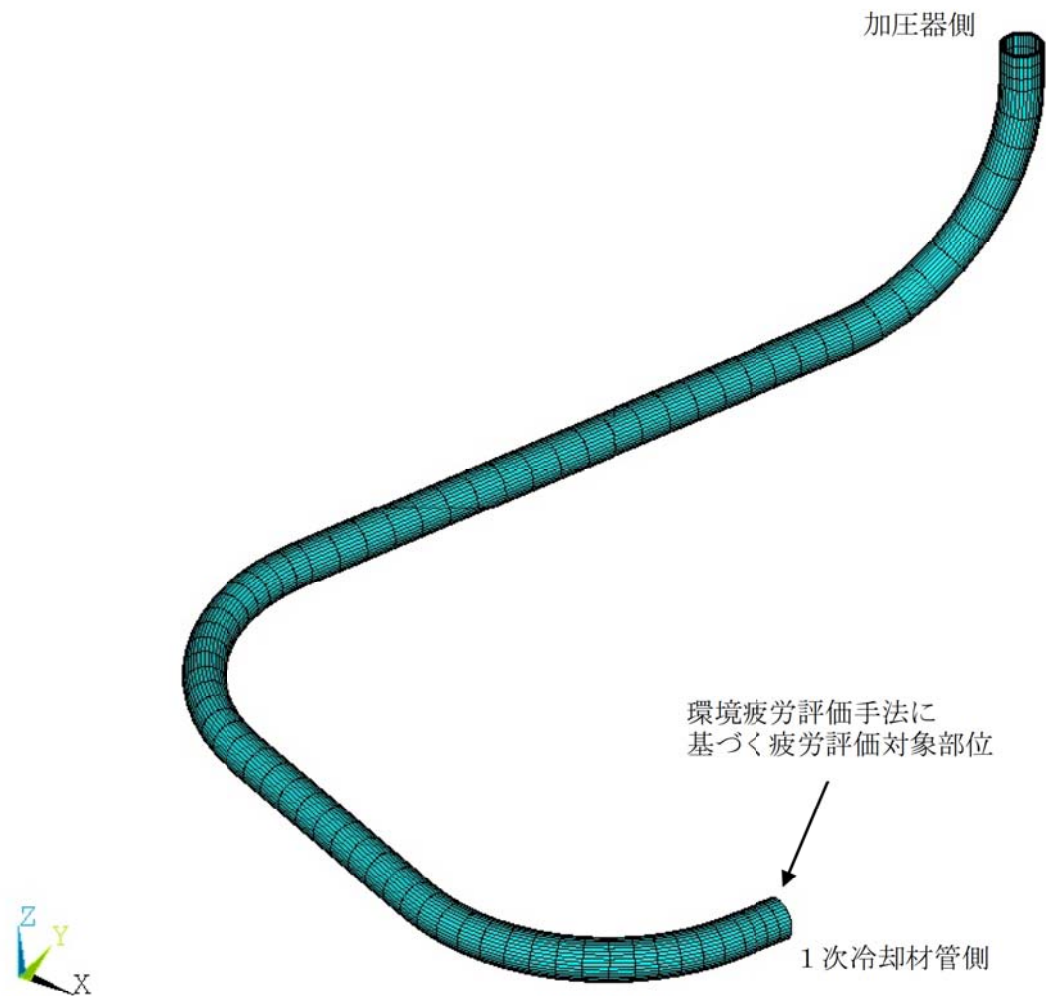


図1 解析モデル及び熱成層を考慮した環境疲労評価点

表1 加圧器サージ配管及び水の物性値

項目	加圧器サージ配管	水
呼径、sch (口径×肉厚)		
材料		
縦弾性係数 ^{注)} (MPa)		
ポアソン比		
比熱 ^{注)} (kJ/kg・°C)		
熱膨張係数 ^{注)} ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)		
密度 ^{注)} (kg/m ³)		
熱伝導率 ^{注)} (W/m・°C)		
動粘性係数 ^{注)} (mm ² /s)		
プラントル数 ^{注)}		

注) 上記物性値は、345°Cにおける値であり、解析上は温度依存型の値を使用している。

*1 設計・建設規格

*2 伝熱工学資料 改訂 第4版 (日本機械学会)

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) 過渡条件

サージ流量の変動により熱成層が発生すると考えられることから、図2に示す4つの状態を想定し、時刻毎に内部流体及び温度プロファイル(管壁面温度)を変化させることで解析を実施した。

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。

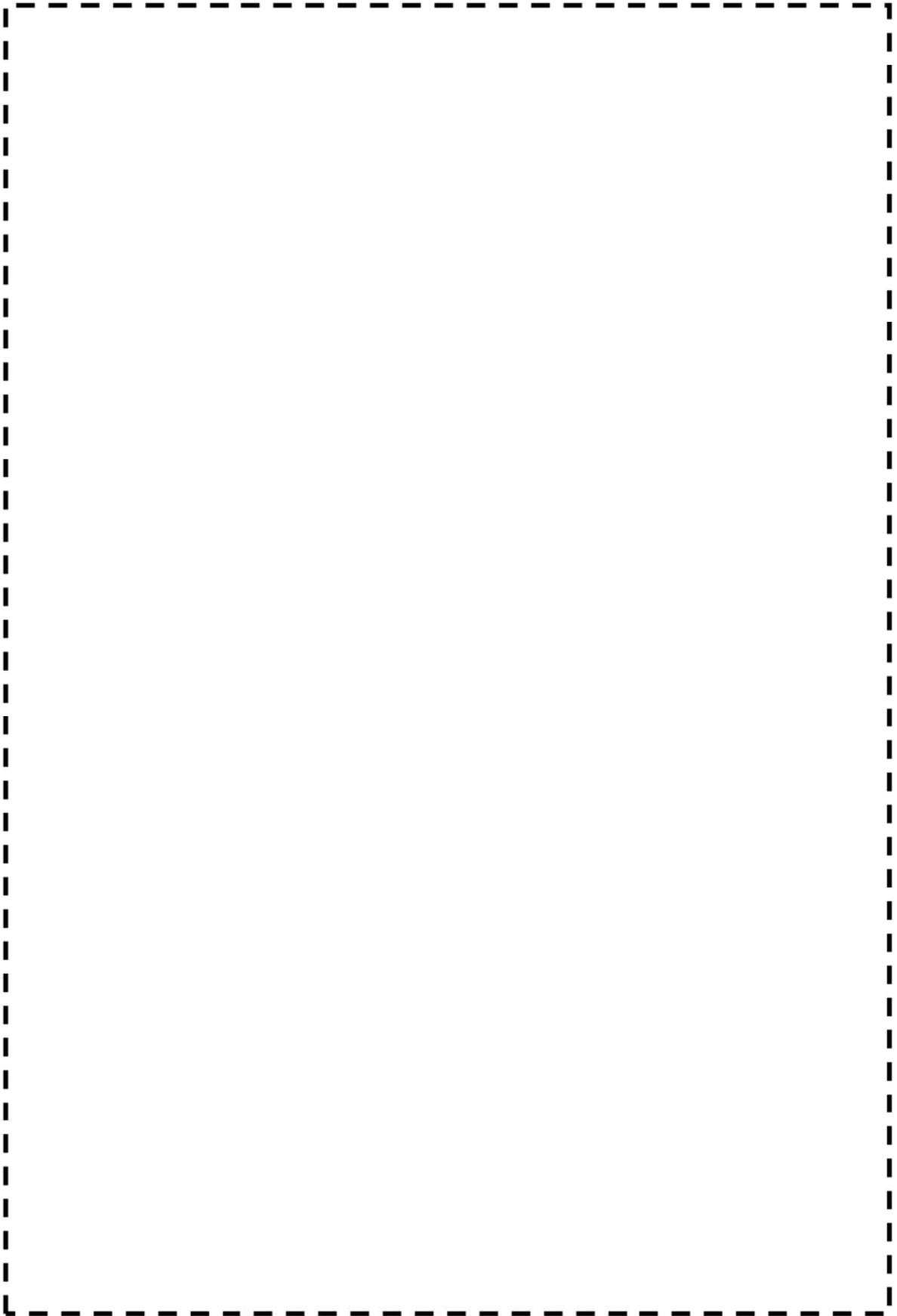


図2 熱成層条件

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。

4. 評価結果

評価結果を表2に示す。

表2 加圧器サージ配管環境疲労評価結果

過渡 記号 A	過渡 記号 B	応力強さ 強さ (MPa)		割増 係数 ke	ピーク応力 強さ (MPa) salt	ひずみ 振幅 salt'	実過渡 回数 n	許容繰 返し回数 n*	疲労損 傷係数 u	環境効 果係数 fen	環境中疲労 損傷係数 uen	
		smax	smin									
										total	0.00086	0.00158
											→環境UF0.002	

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。

(過渡記号の説明)

- 1A1 起動
- 1B1 停止
- 1C1 負荷上昇 (負荷上昇率5%/min)
- 1D1 負荷減少 (負荷減少率5%/min)
- 1G1 100%からの大きいステップ状負荷減少
- 1J1 1ループ停止
- 1U3 起動時の冷却注入-3
- 1U5 起動時の冷却注入-5
- 1V1 起動時の冷却注入-1
- 1V3 起動時の冷却注入-3
- 1V5 起動時の冷却注入-5
- 1W1 停止時の冷却注入-1 (2.66MPa迄)
- 1W3 停止時の冷却注入-3 (2.66MPa迄)
- 1W5 停止時の冷却注入-5 (2.66MPa迄)
- 1W6 停止時の冷却注入-6 (2.66MPa迄)
- 1X1 停止時の冷却注入-1 (2.66MPa迄)
- 1X2 停止時の冷却注入-2 (2.66MPa迄)
- 1X3 停止時の冷却注入-3 (2.66MPa迄)
- 1X4 停止時の冷却注入-4 (2.66MPa迄)
- 1X6 停止時の冷却注入-6 (2.66MPa迄)
- 1X6 停止時の冷却注入-6 (2.66MPa迄)
- 1Y1 停止時の冷却注入-1 (2.66MPa以下)
- 1Y3 停止時の冷却注入-3 (2.66MPa以下)
- 1Y5 停止時の冷却注入-5 (2.66MPa以下)
- 1Z1 停止時の冷却注入-1 (2.66MPa以下)
- 1Z3 停止時の冷却注入-3 (2.66MPa以下)
- 2A1 負荷の喪失
- 2B1 外部電源喪失
- 2C1 1次冷却材流量の部分喪失
- 2D1 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴わないトリップ)
- 2D2 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴うトリップ)
- 2D3 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却とS Iを伴うトリップ)
- 2E1 1次冷却材の異常な減圧 (一般)
- 2F1 制御棒クラスタの落下
- 2G1 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動
- 2H1 1次冷却系停止ループの誤起動
- 2I1 1次系漏えい試験

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

a. 過渡2D3, 2D3

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。

高浜1号炉 加圧器スプレ配管の環境疲労評価(熱成層考慮)

1. 概要

本資料は、熱成層を考慮した加圧器スプレ配管の環境疲労評価(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)に基づく)の結果についてまとめたものである。

なお、本配管は熱成層の発生が想定されることから、熱成層の発生・消滅を評価上考慮するため、FEMモデルを用いて環境疲労評価を実施した。

その結果、環境疲労累積係数(以降 環境U.F. と記す)は $0.404 < 1.0$ 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。

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

(2) 使用コード

温度分布、応力計算に使用する解析コードは、ANSYSである。

3. 加圧器スプレ配管の疲労評価条件

3.1 解析モデル

解析モデル化の範囲は、加圧器スプレ配管（加圧器スプレ管台～1次冷却材管のスプレ管台）と加圧器補助スプレ配管とする。

熱成層が発生すると考えられる範囲（頂部水平配管部）及び補助スプレ配管合流部についてはソリッド要素を、また熱成層は生じないと判断される範囲については、はり要素を用いてモデル化する。

解析に使用したソリッド要素を含む解析モデルを図1に示す。

解析に用いた配管仕様を表1に、内部流体の物性値を表2に示す。

表1 配管仕様

項目	単位	加圧器スプレ配管	加圧器補助スプレ配管 (補助スプレ弁まで)	加圧器補助スプレ配管 (補助スプレ弁以降)
呼径・Sch	—			
材質	—			
外径×厚さ	mm			
最高使用圧力	MPa			
縦弾性係数	MPa			
ポアソン比	—			
熱膨張係数	mm/mm°C			
密度	kg/m ³			
熱伝導率	W/m・°C			
比熱	kJ/kg・°C			
設計応力強さ (Sm)	MPa			

注) 上記材料特性は345°Cの物性値であり、解析上は温度依存型の物性値を使用している。

上記材料特性はJSME S NC1-2005/2007及び伝熱工学資料改訂第5版参照。

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 内部流体の物性値

項目	水	蒸気
密度 (kg/m ³)		
熱伝導率 (mW/m・°C)		
動粘性係数 (mm ² /s)		
プラントル数		

注) 上記材料特性は345°Cの物性値であり、解析上は温度依存型の物性値を使用している。
上記材料特性は伝熱工学資料改訂第5版参照。

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) 過渡条件

常時はスプレ弁バイパスラインからのバイパス流 (2gpm) と加圧器側からの蒸気の逆流により熱成層が発生しているものとして、加圧器から水平配管部の領域を気相部と液相に分けて評価を行う。(図2参照)

スプレ水が注入されると熱成層が消滅するものとする。

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。

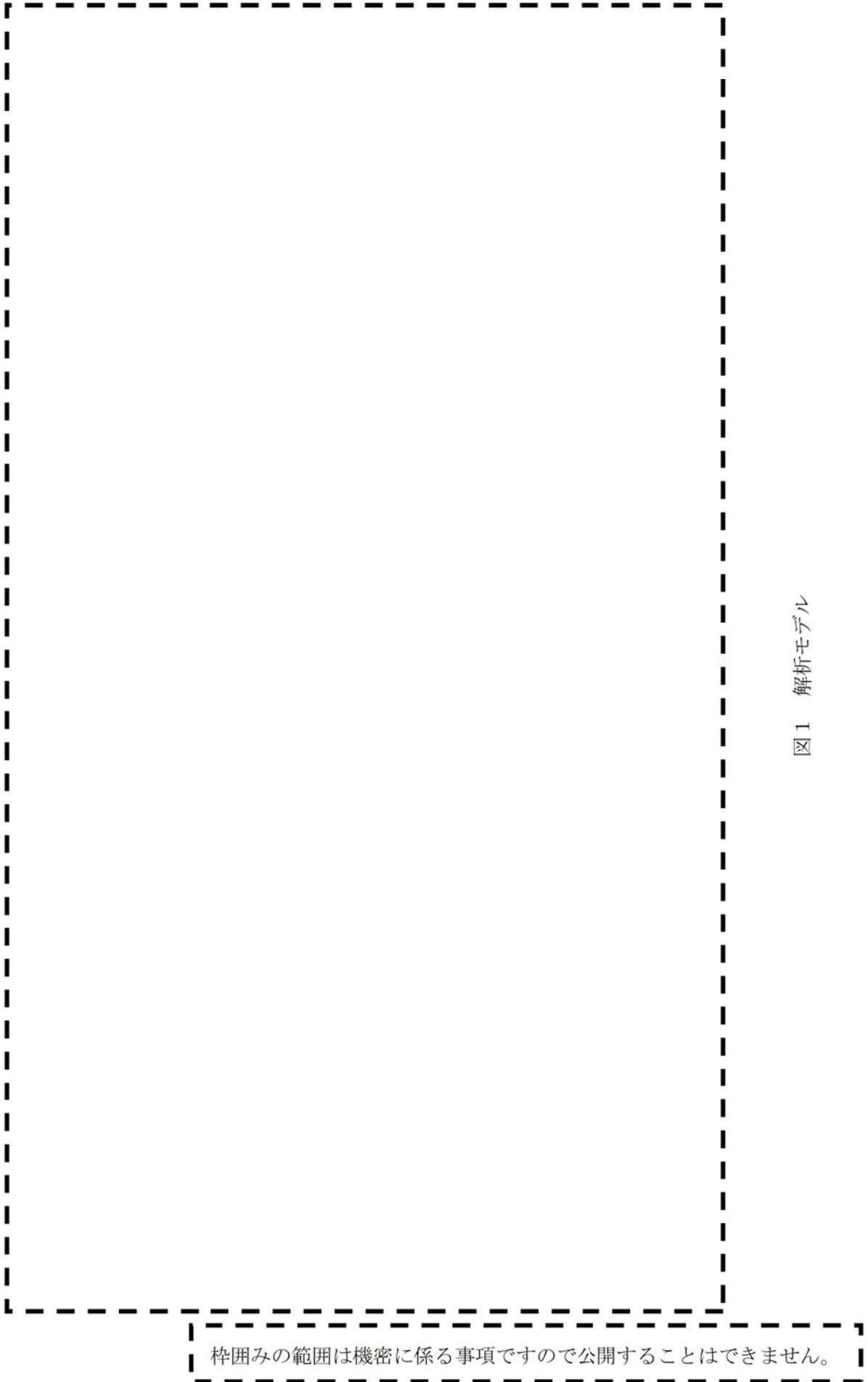


図1 解析モデル

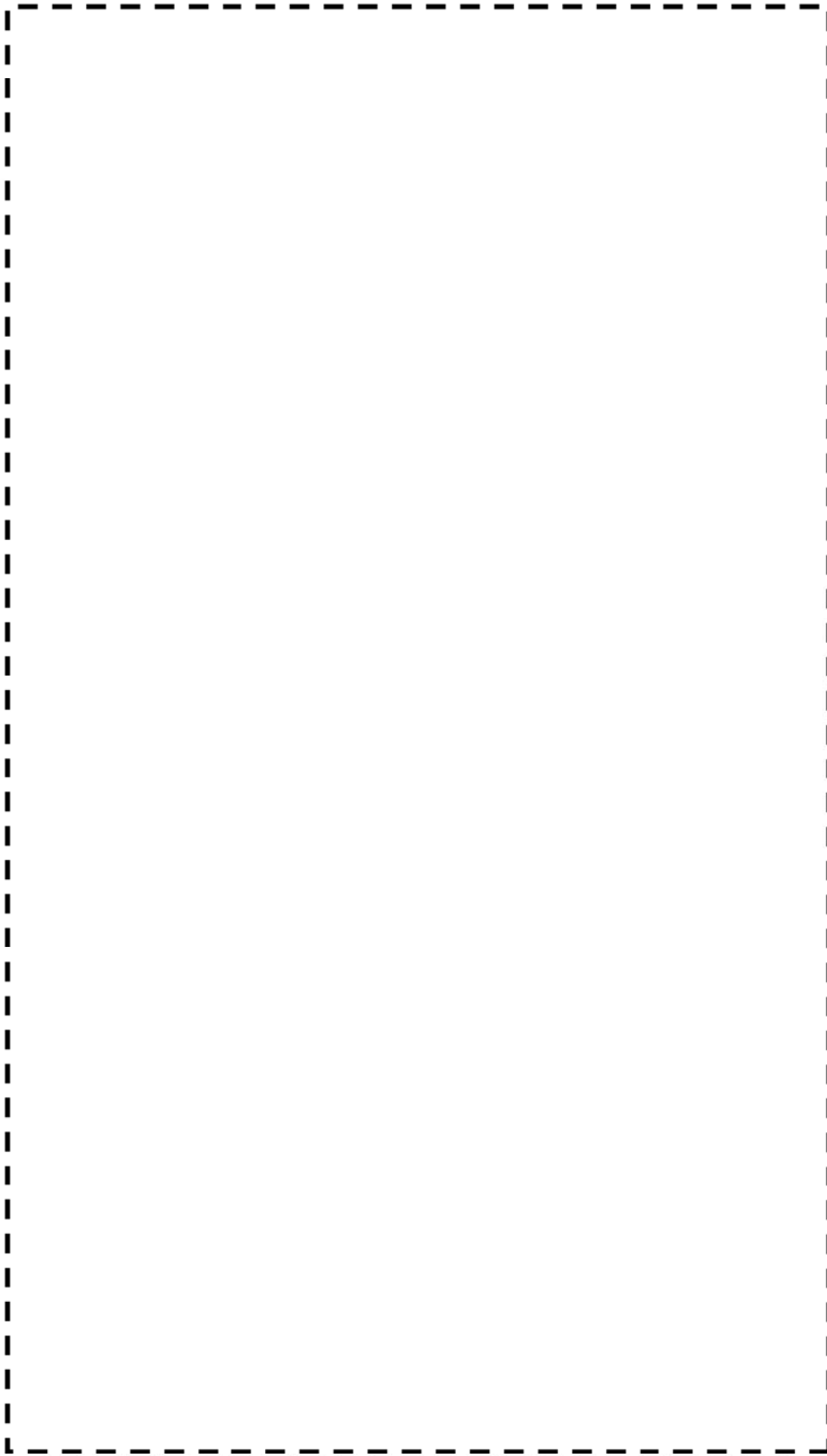


図2 加圧器スプレ配管水位

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。

4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価点を図3に示す。また、評価結果を表3に示す。



図3 加圧器スプレ配管の環境疲労評価

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3 加圧器スプレ配管環境疲労評価結果(1/2)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	salt'	n	n*	u	fen	uen
1A3	2E2									
1A3	1A7									
2E2	1A7									
1A1	1B2									
2I1	1A1									
1J2	2A1									
2I1	2H1									
2I1	1G1									
2I1	1F1									
2I1	1E1									
2I1	1D1									
1B2	1D1									
1A7	1D1									
1C1	1D1									
1C1	1I1									
1J1	1I1									
1F1	1I1									
1D1	1I1									
1G1	1I1									
1E1	1I1									
1I1	1I1									
1I1	1J1									
1I1	2C1									
1I1	1C1									
1I1	1J2									
1I1	2B1									
1I1	2D1									
1I1	2D2									
1I1	2D3									
1I1	2E1									
1I1	2F1									
1I1	2G1									
1I1	2B1									
1I1	2G1									

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3 加圧器スプレ配管環境疲労評価結果(2/2)

1I1	2D1
1I1	2D2
1I1	2F1
1I1	2D3
1I1	1A3
1I1	2E1
1I1	2I1
2A1	2I1
2H1	2I1
2C1	2I1
合計： 0.40331	
→環境UF0.404	

- 1A1 起動 1B1 停止 (温度上昇率, 下降率 5.6 °C/h)
 1A3 起動時の冷水注入2
 1A7 起動時の冷水注入6
 1B2 停止時の冷水注入1 (2.66 MPa迄)
 1C1 負荷上昇 (負荷上昇率 5%/min)
 1D1 負荷減少 (負荷減少率 5%/min)
 1E1 90%から100%へのステップ状負荷上昇
 1F1 100%から90%へのステップ状負荷減少
 1G1 100%からの大きいステップ状負荷減少
 1I1 ほう素濃度の均一化
 1J1 1ループ停止
 1J2 1ループ起動
 2A1 負荷の喪失
 2B1 外部電源喪失
 2C1 1次冷却材流量の部分喪失
 2D1 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴わないトリップ)
 2D2 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴うトリップ)
 2D3 100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却とSIを伴うトリップ)
 2E1 1次冷却材系の異常な減圧 (一般)
 2E2 1次冷却材系の異常な減圧 (加圧器補助スプレイの誤操作)
 2F1 制御棒クラスタの落下
 2G1 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動
 2H1 1次冷却系停止ループの誤起動
 2I1 1次系漏洩試験

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。

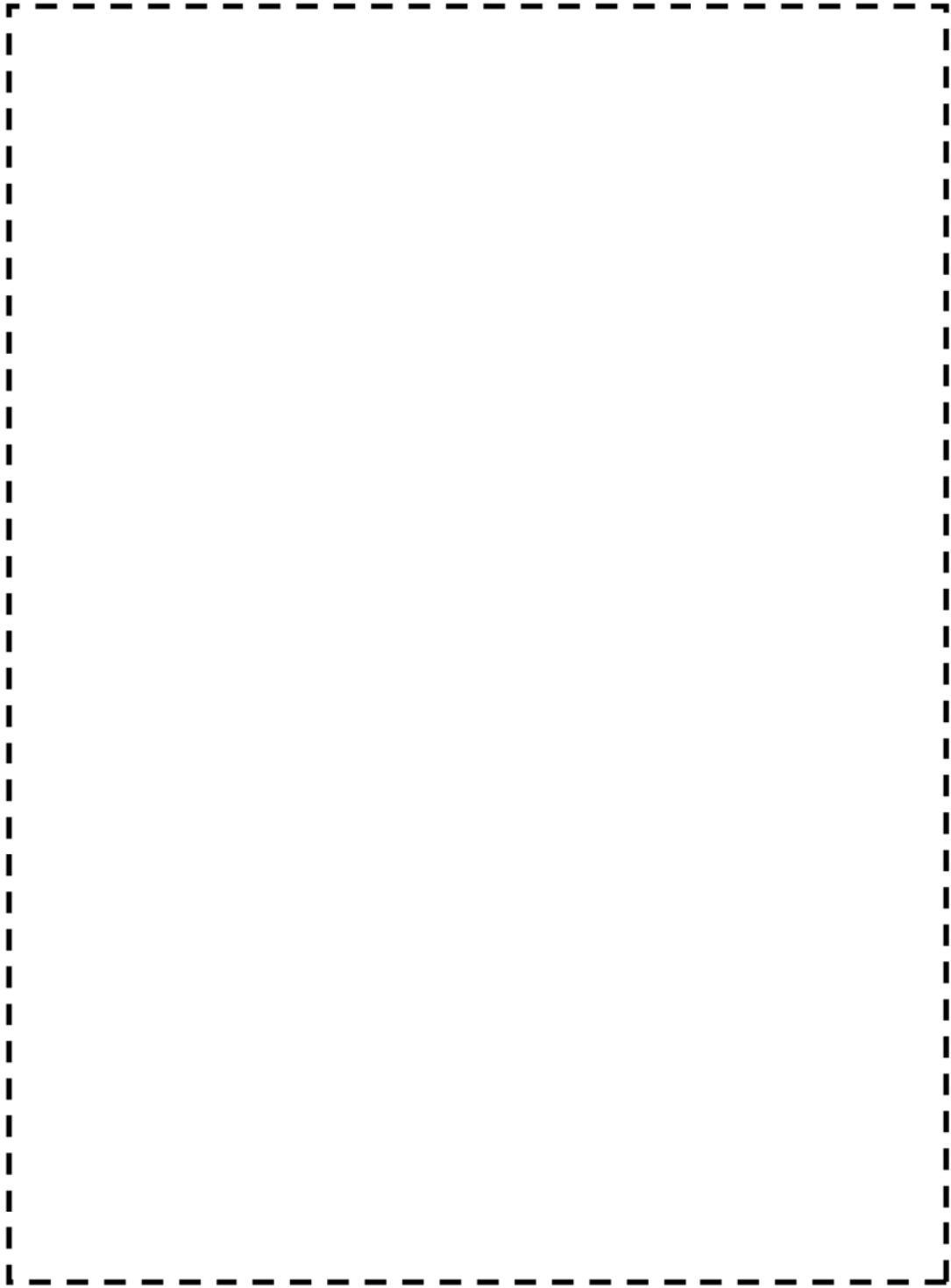
環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える、U f が大きい過渡の温度、ひずみ履歴を6例示す。

a. 過渡1A3, 2E2

b. 過渡1A3, 1A7

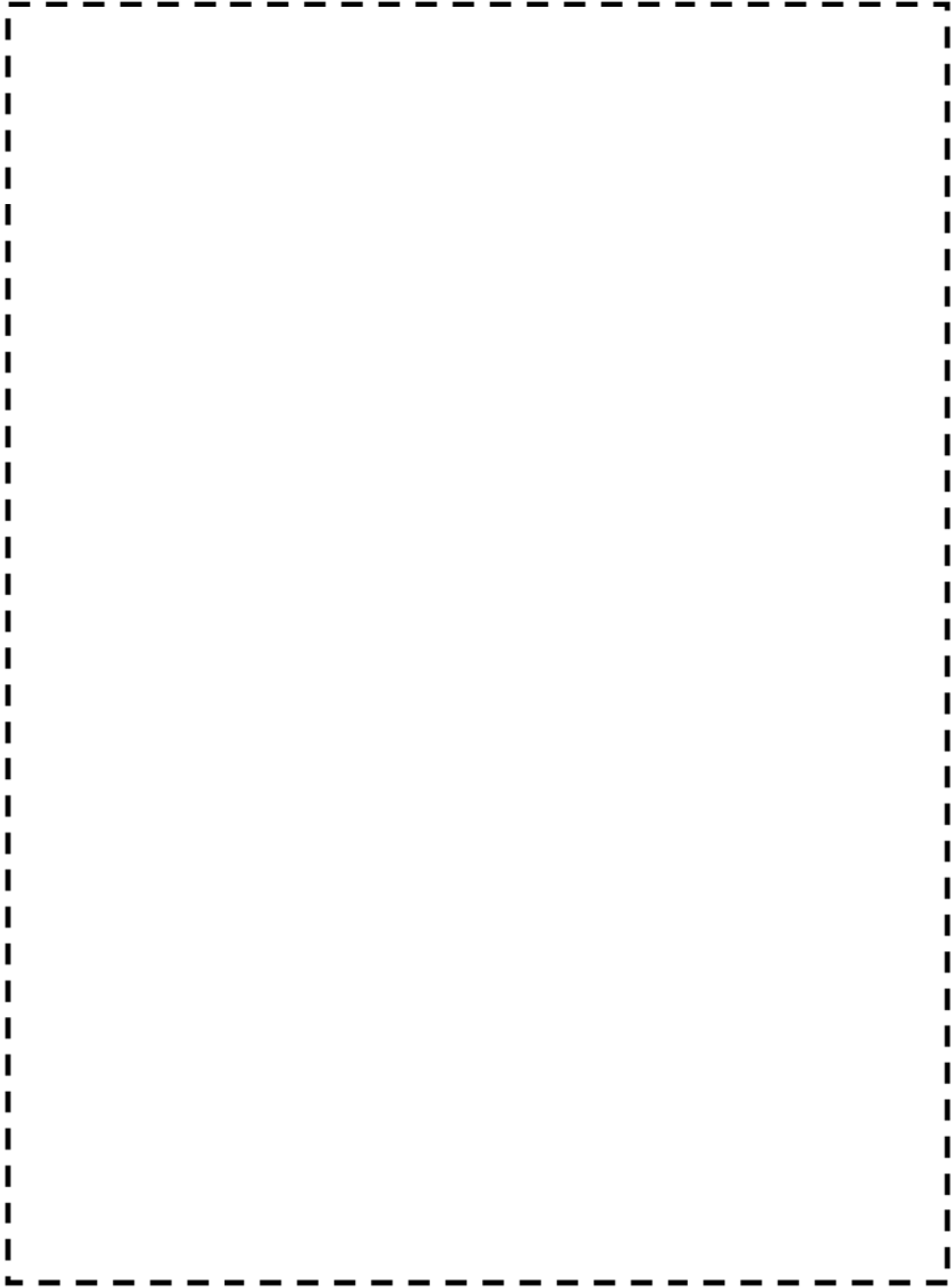
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



c. 過渡2E2, 1A7

d. 過渡1A1, 1B2

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。



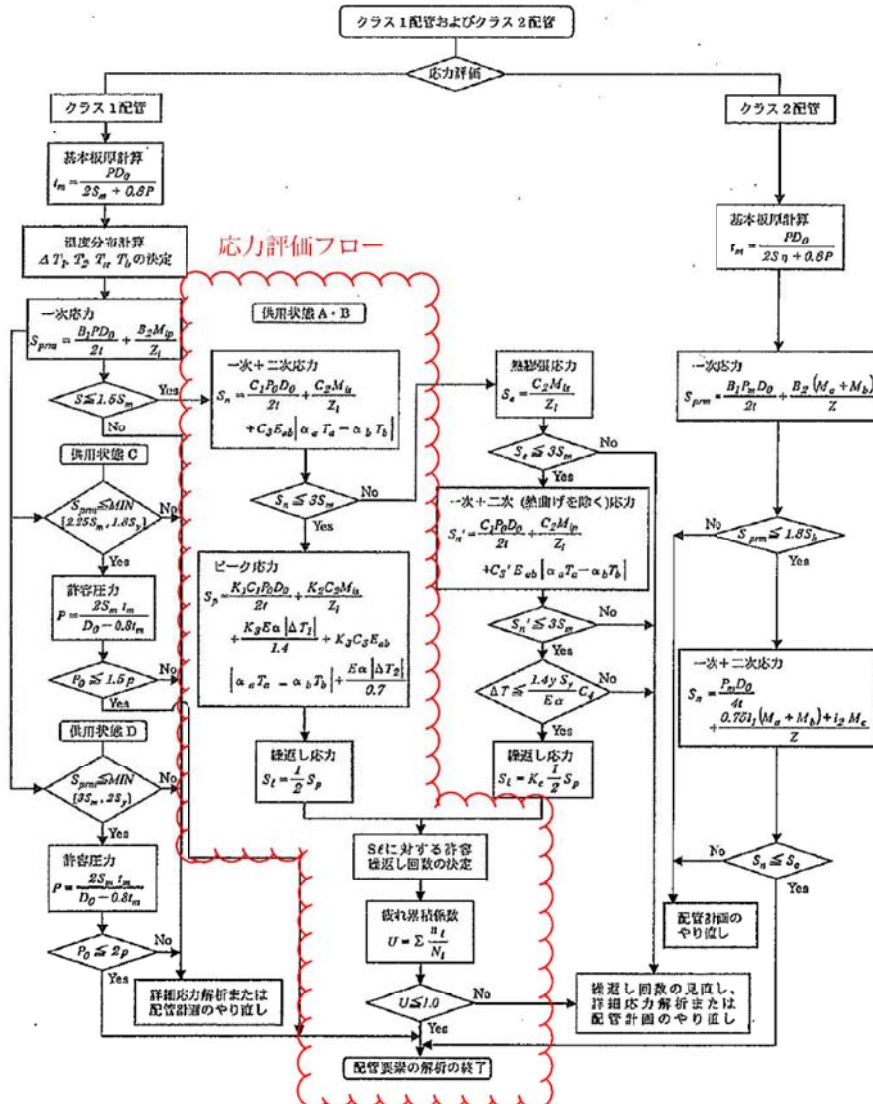
e. 過渡2I1, 1A1

f. 過渡1J2, 2A1

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	主給水系統配管の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータを含む)について
説明	<p>(1)応力分類 図1応力評価フローチャート(添付1参照) 荷重の組合せ:内圧、自重、熱、機械的荷重(設計・建設規格による)</p> <p>(2)材料物性値 ヤング率: 1.90×10^5 (MPa) 熱膨張係数: 1.238×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> <p>(3)解析モデル(添付2参照) 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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。 ・温度は最高使用温度(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 []ppb PWR 2次系環境の式に適用し、$F_{en}=4.435$ を評価に用いている。</p>

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。

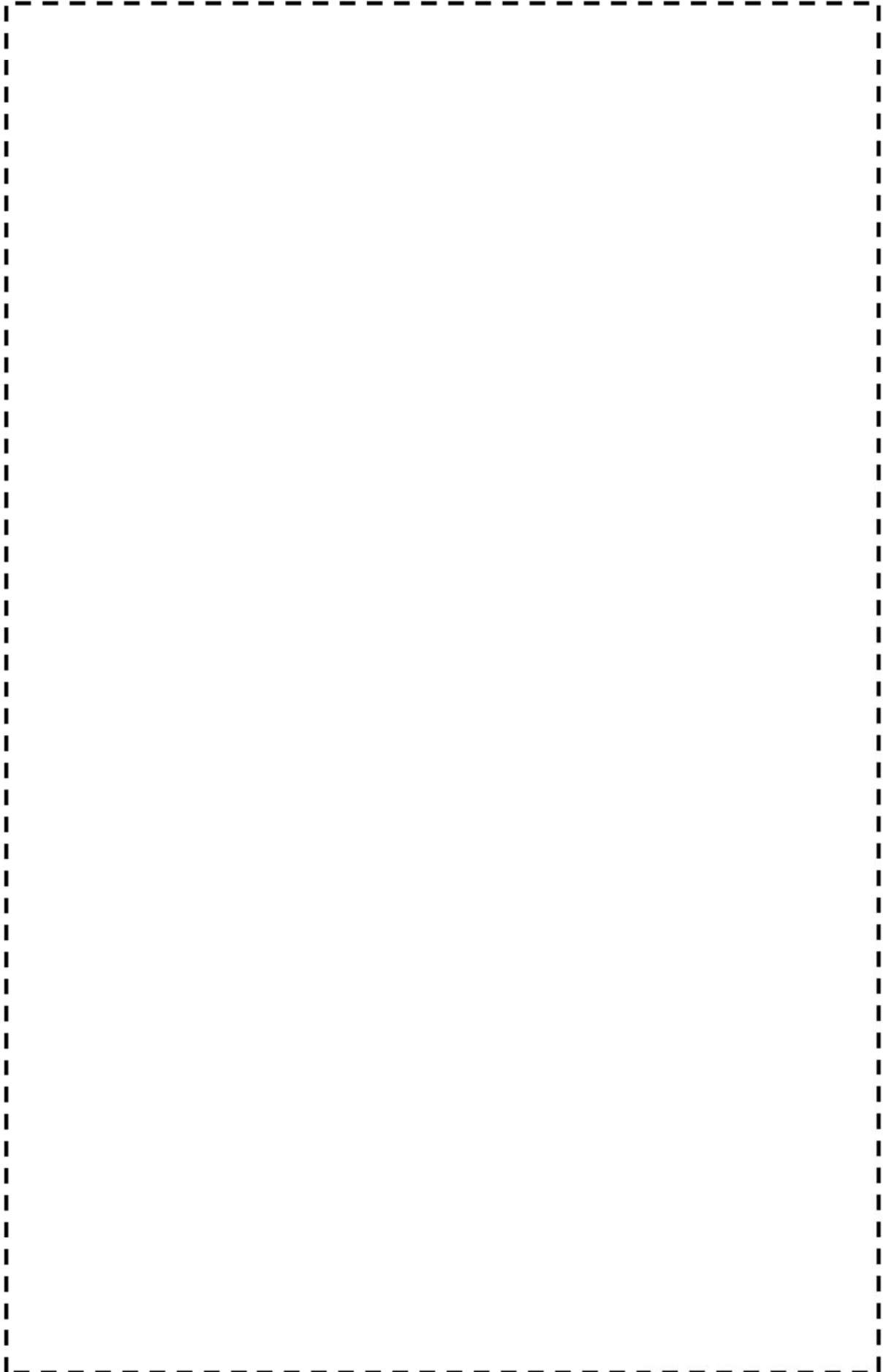


(備考) クラス 2 配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント M_b を含む場合の式のみを記載した

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

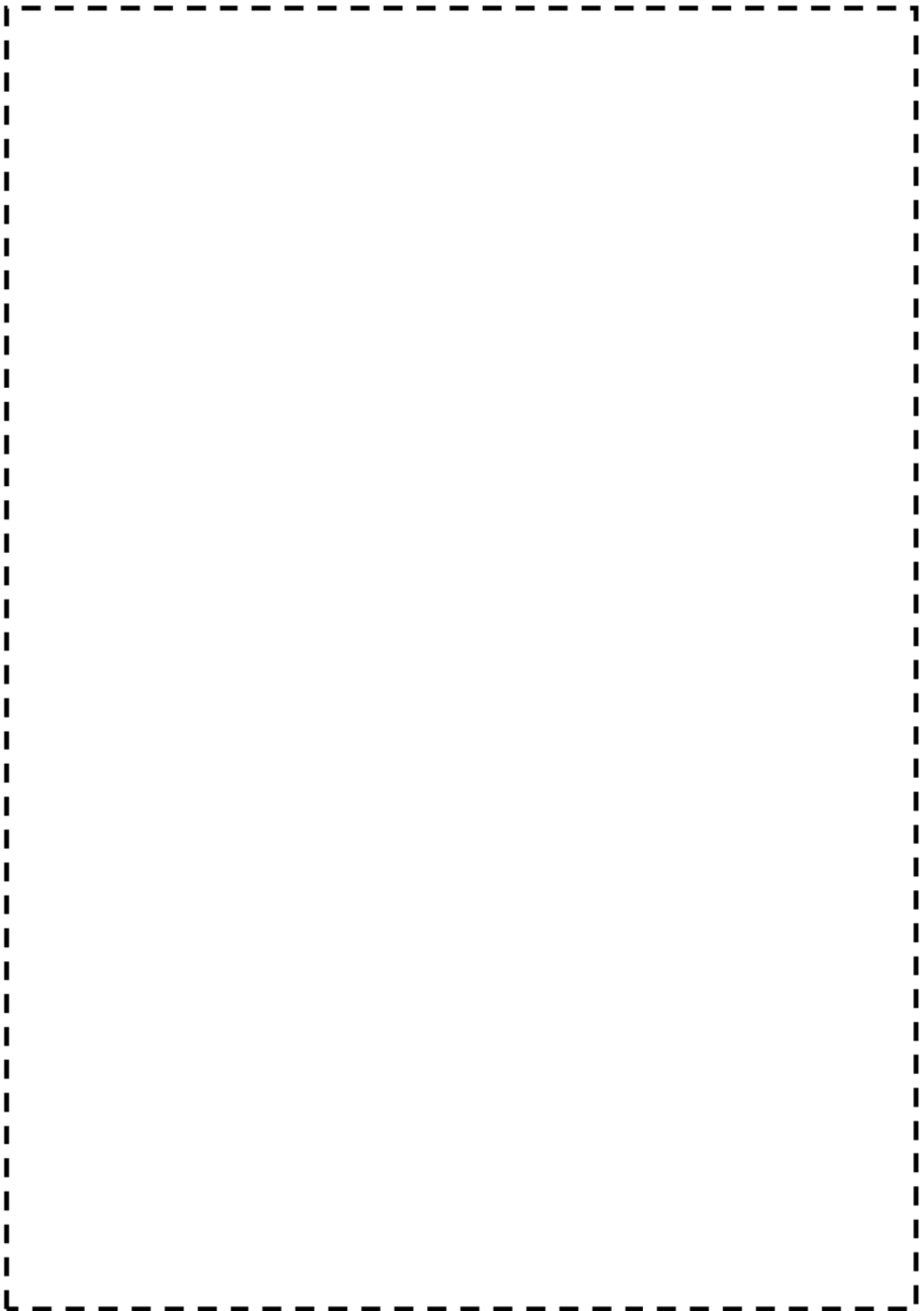
I-解説 5-8

図1 応力評価フローチャート



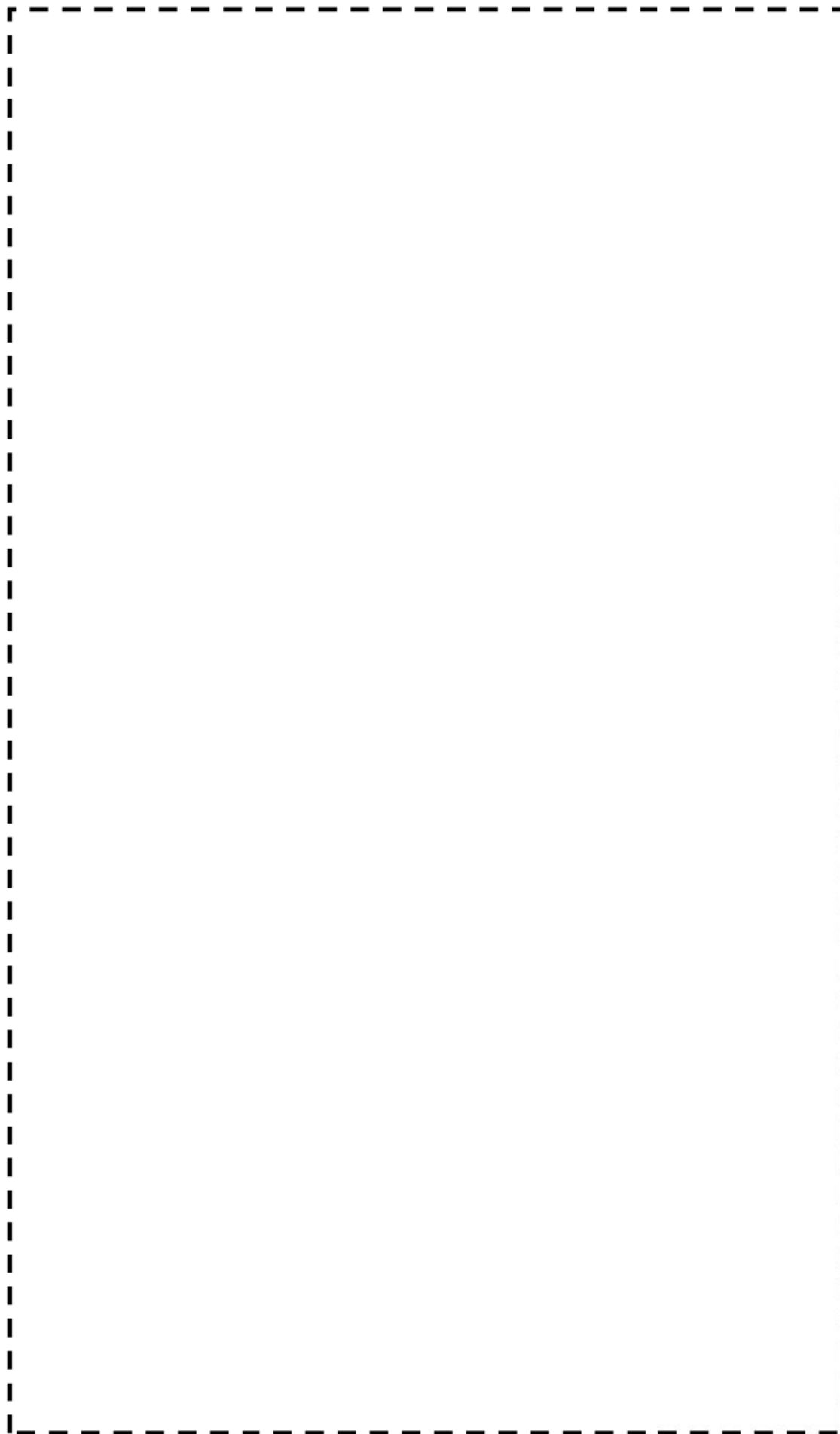
高浜1号炉 A-主給水配管 (CV内)

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。



高浜1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。



高浜1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 (B-主給水配管 評価点4504)

Spi	Ke	ALT	ALT'	N	N*	Uf
...						

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 : 繰り返しピーク応力強さ

ALT' : ヤング率補正後のALT

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 0.00807

→通常UF : 0.009

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	一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータを含む)について														
説明	<p>1 次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>【1 次冷却材管】</p> <p>1. 解析モデル 解析モデルを添付 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="416 790 1358 1099"> <thead> <tr> <th data-bbox="416 790 740 887">材 料</th> <th data-bbox="740 790 868 887">温度 (°C)</th> <th data-bbox="868 790 1002 887">Sm (MPa)</th> <th data-bbox="1002 790 1358 887">使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" data-bbox="416 887 1002 965" rowspan="3" style="border: 2px dashed black;"></td> <td data-bbox="1002 887 1358 965">ホットレグ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1002 965 1358 1043">クロスオーバレグ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1002 1043 1358 1099">コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 (添付 2 参照) 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。</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 3 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="424 1485 1350 1655"> <thead> <tr> <th data-bbox="424 1485 684 1570">状態</th> <th data-bbox="684 1485 1350 1570">荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="424 1570 684 1655">供用状態 A、B</td> <td data-bbox="684 1570 1350 1655">圧力+機械的荷重+配管の熱膨張荷重+熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 4 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 f_{en}) を、添付 4 に示す。</p>	材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所				ホットレグ	クロスオーバレグ	コールドレグ	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
材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所												
			ホットレグ												
			クロスオーバレグ												
			コールドレグ												
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														

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。

【管台】

1. 解析モデル
解析モデルを添付5に示す。

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
			加圧器サージライン用 管台
			安全注入系ライン用管 台
			充てん管台

3. 最大評価点の選定
解析モデル上の評価点及び評価点の最大評価点の選定結果を、添付6に示す。

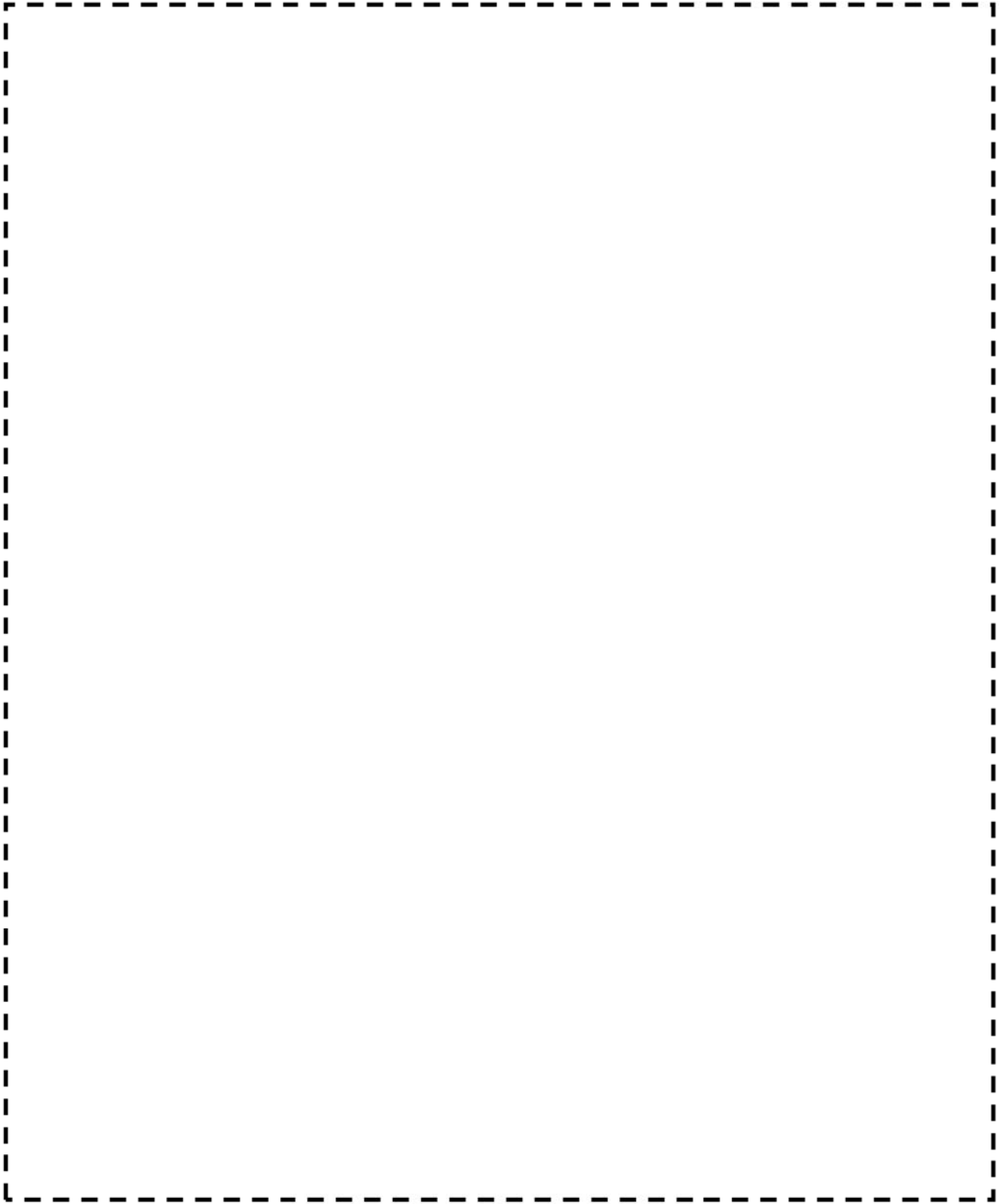
4. 応力分類
評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付7に示す。

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8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8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。



1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。



1次冷却材管 ループ解析モデル

1次冷却材管は上記のようにループ連成の多質点梁モデルで解析を行っている。多質点モデルによる解析の妥当性については、手計算との比較や、PWR 1次冷却材管の耐震実証試験^{※1}にて地震応力による各部位の応力実測値と解析結果とを比較している。その結果、例えばクロスオーバーバレグについても解析結果が応力実測値を上回っており、大きい応力が発生する位置では応力実測値の1.5倍以上となり、実測値を上回る保守的な解析結果となっていることから、解析が妥当であることを確認している。耐震実証試験では地震加速度による配管が変形する応力を検証しており、地震によって各部位の様々な方向の変形が再現できていることから、配管の変形を生じる応力について包括的に検証できていると判断している。

※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。

第5-2表 疲労累積係数 (1/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 S _p (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107									1.0	
	109										
	111										
	112										
	113										
	115										
	117										
	141										
	142										
	146										
クロスオーバーレグ	143									1.0	
	148										
	145										
	147										
	149										
	151										
	152										
153											

→通常UF:0.001

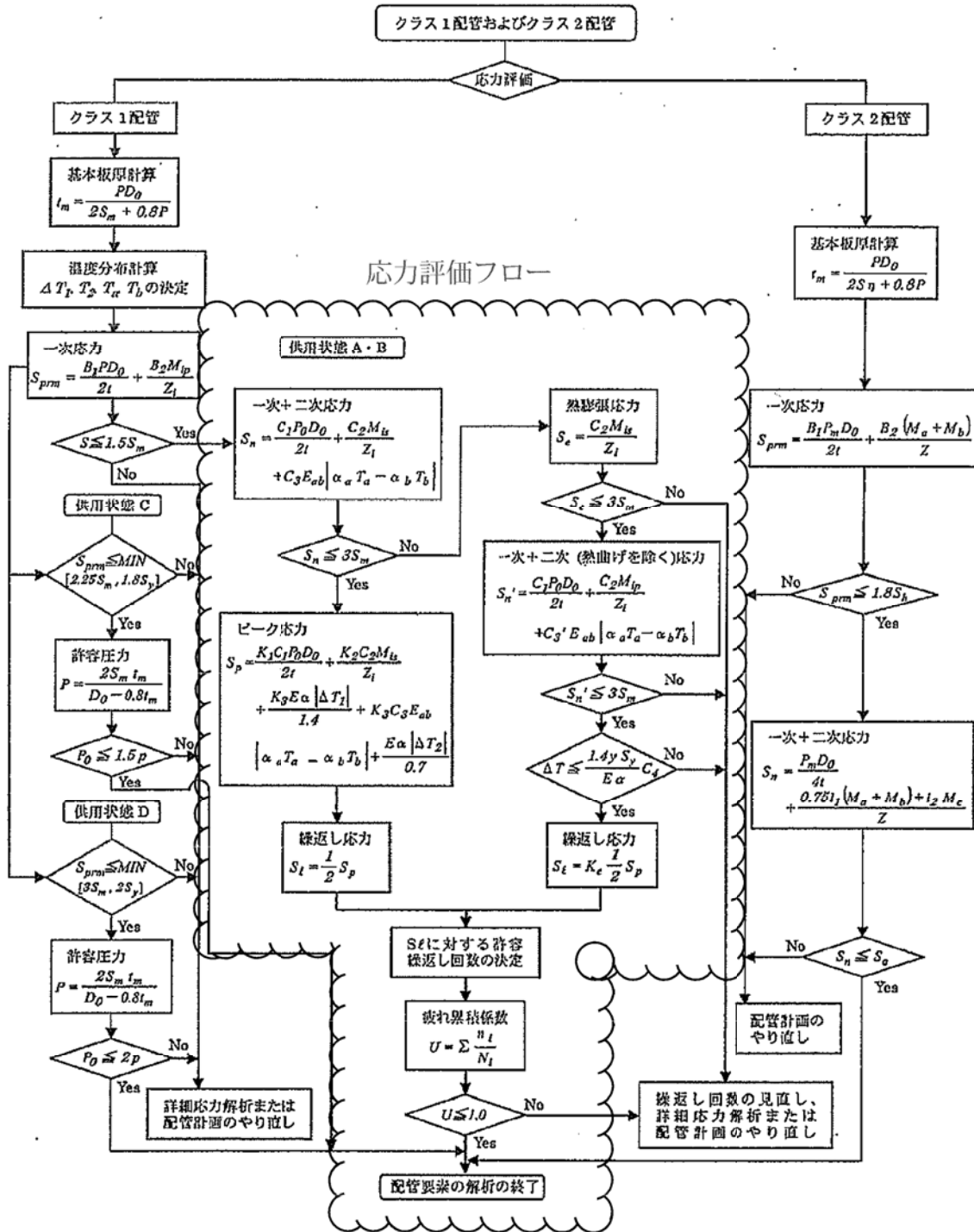
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第6-2表 疲労累積係数 (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)	板厚方向温度差による応力 (MPa)	構造上の不連続による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形温度差による応力 (MPa)	ピーク応力 S P (MPa)	繰返しピーク応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値		
クロスオーバーレグ	155										1.0			
	157													
	159													
	160													
	161													
	163													
	165													
	167													
	181													
	183													
	185													
	186													
	189													
	191													
	194													
			コールドレグ											

→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

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。



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

Ke係数と環境評価パラメータ (ホットレグ) (詳細評価手法)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 sall	補正後 sall'					
										合計: 0.00068

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

→環境 UF : 0.001

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。

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)

通観条件番号		一次+二次+ ピーク応力	割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	待望繰返し 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			補正前 salt	補正後 salt'					
<div style="border: 1px dashed black; width: 100%; height: 100%;"></div>										
										合計: 0.01075

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

→環境 UF : 0.011

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。

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)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力	割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B			補正前 sall	補正後 sall'					
		sp	KE			n	nt	U	fem	uen
合計 : 0.00435										

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

→環境 UF : 0.005

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 (fen) の算出根拠

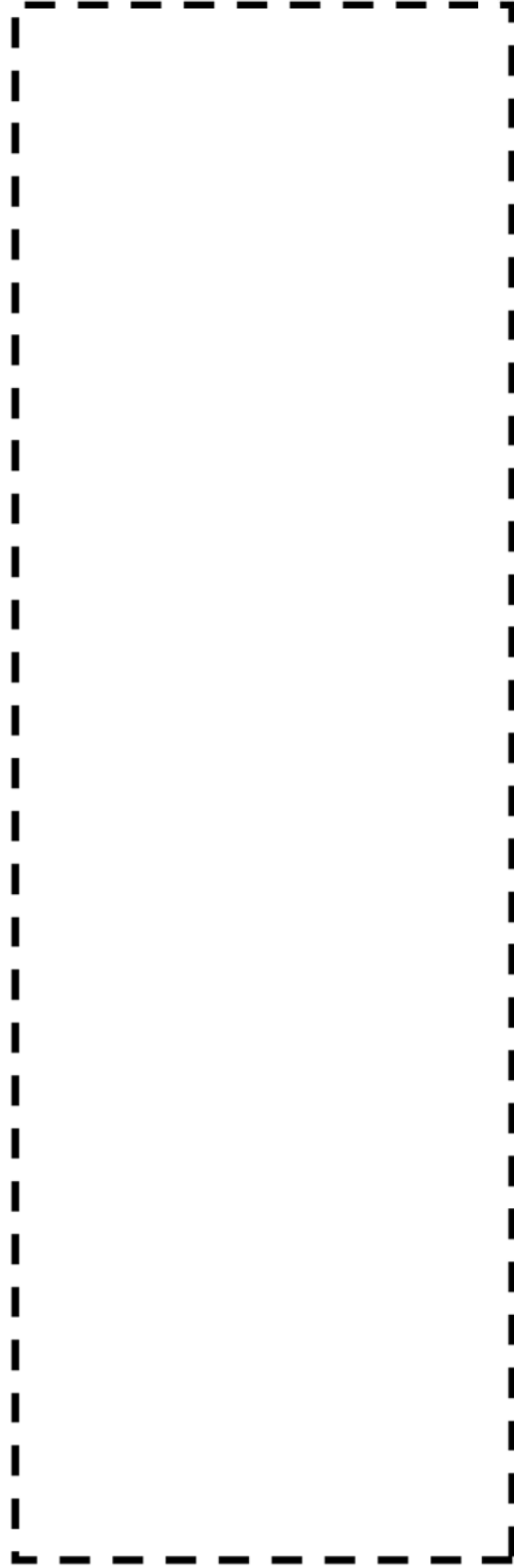
環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) ホットレグ

a. 過渡 2H1,1I1~2F1,1I1

環境疲労評価手法 (JSME S NFI) の EF-20 における ΔT 項が支配的ではないため、EF-3222 により「起動」時の上昇過程に線形としたひずみ速度で評価。

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) クロスオーバーバレーダ

a. 過渡 2J1, 1B1

b. 過渡 2J1, 2J2

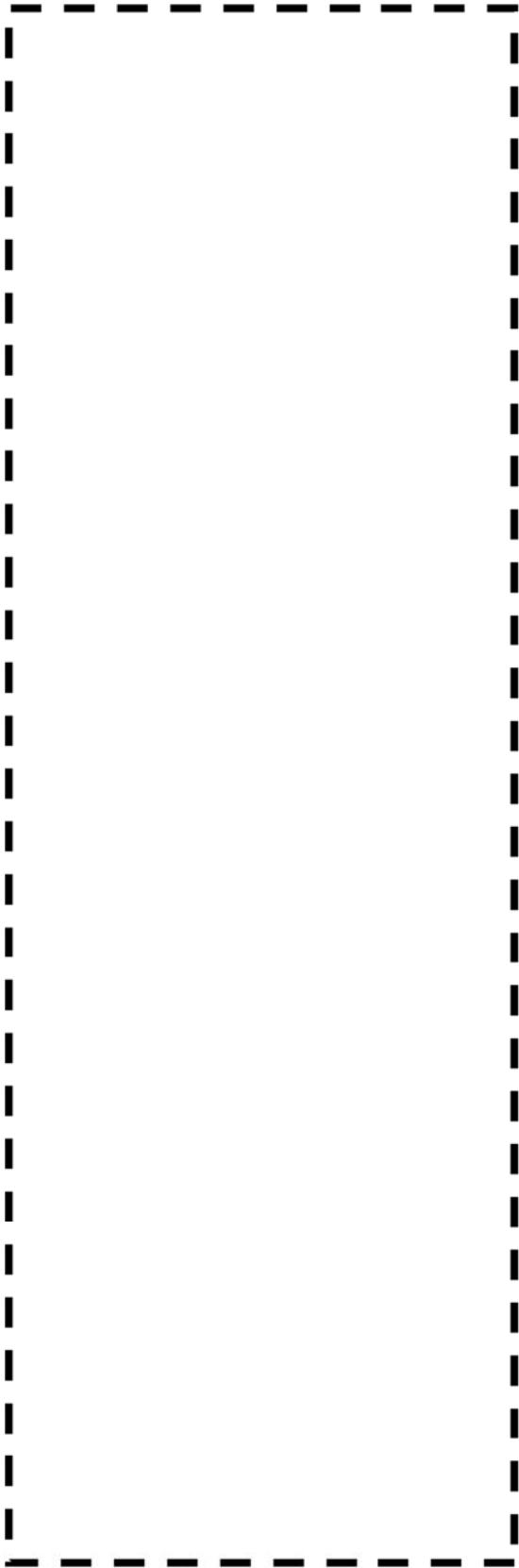
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

c. 過渡 1A1,2J2

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。

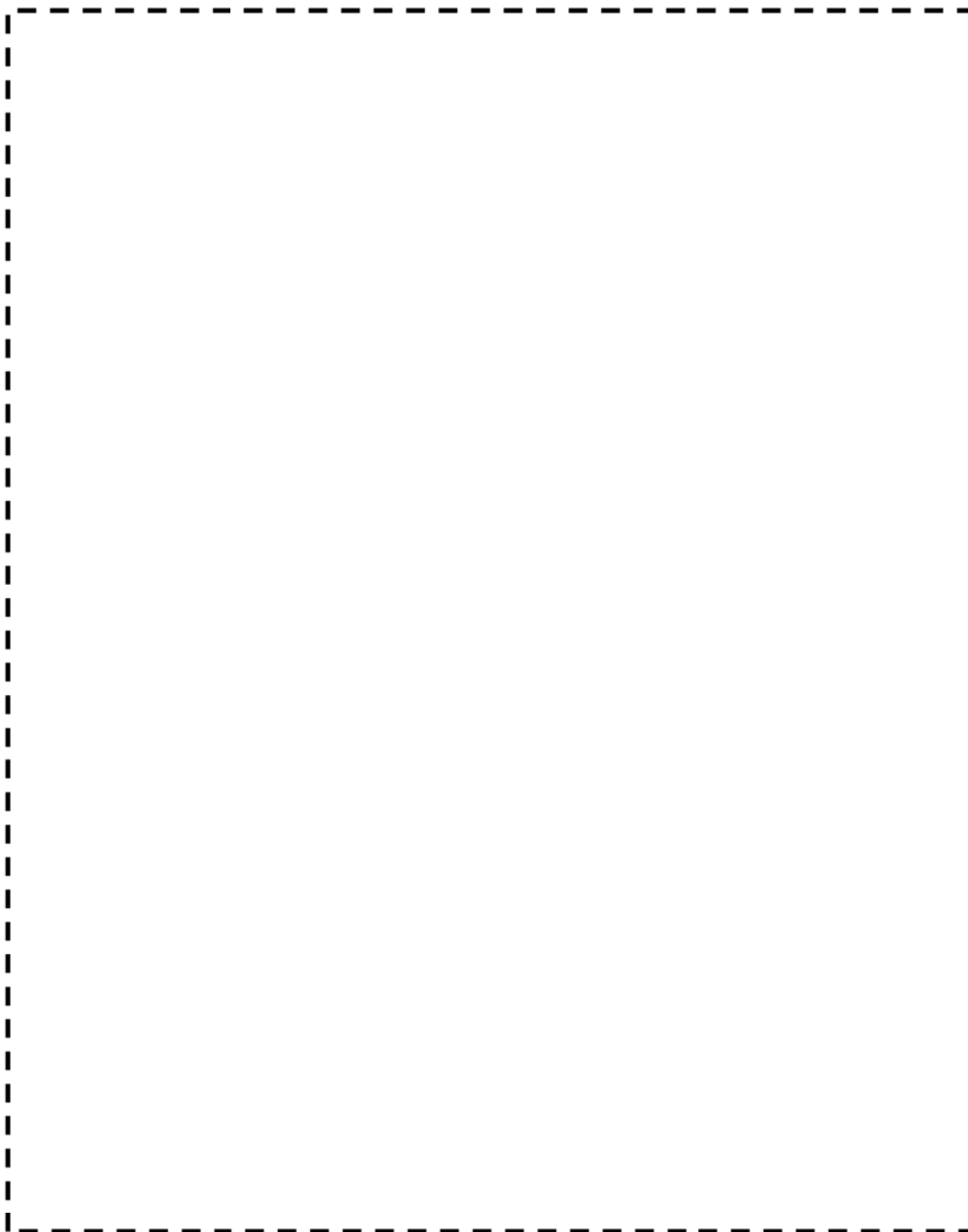
(3) コールドレダ
a. 過渡 2J1,1B1

b. 過渡 2J1,2J2



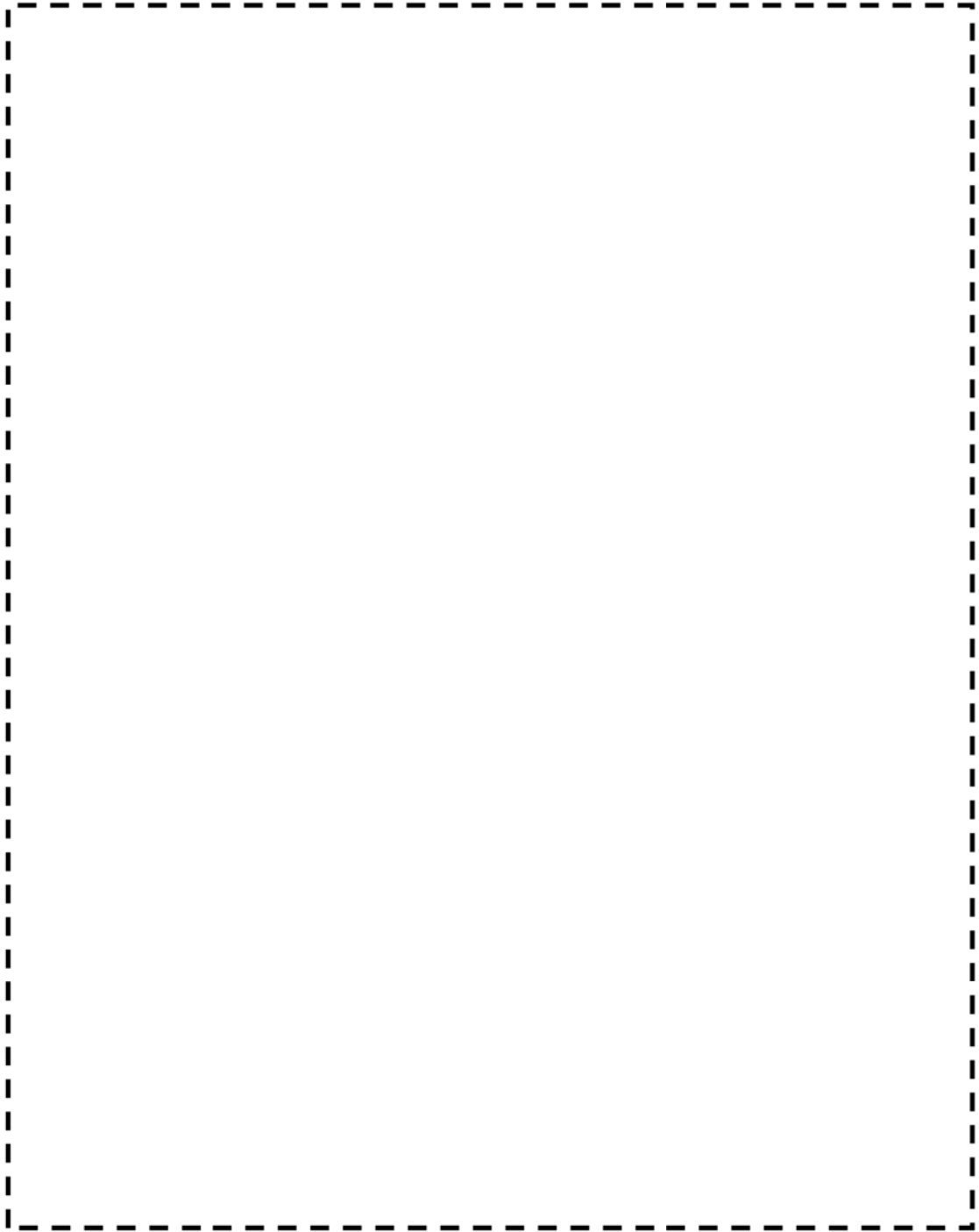
c. 過渡 1A1,2J2

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。



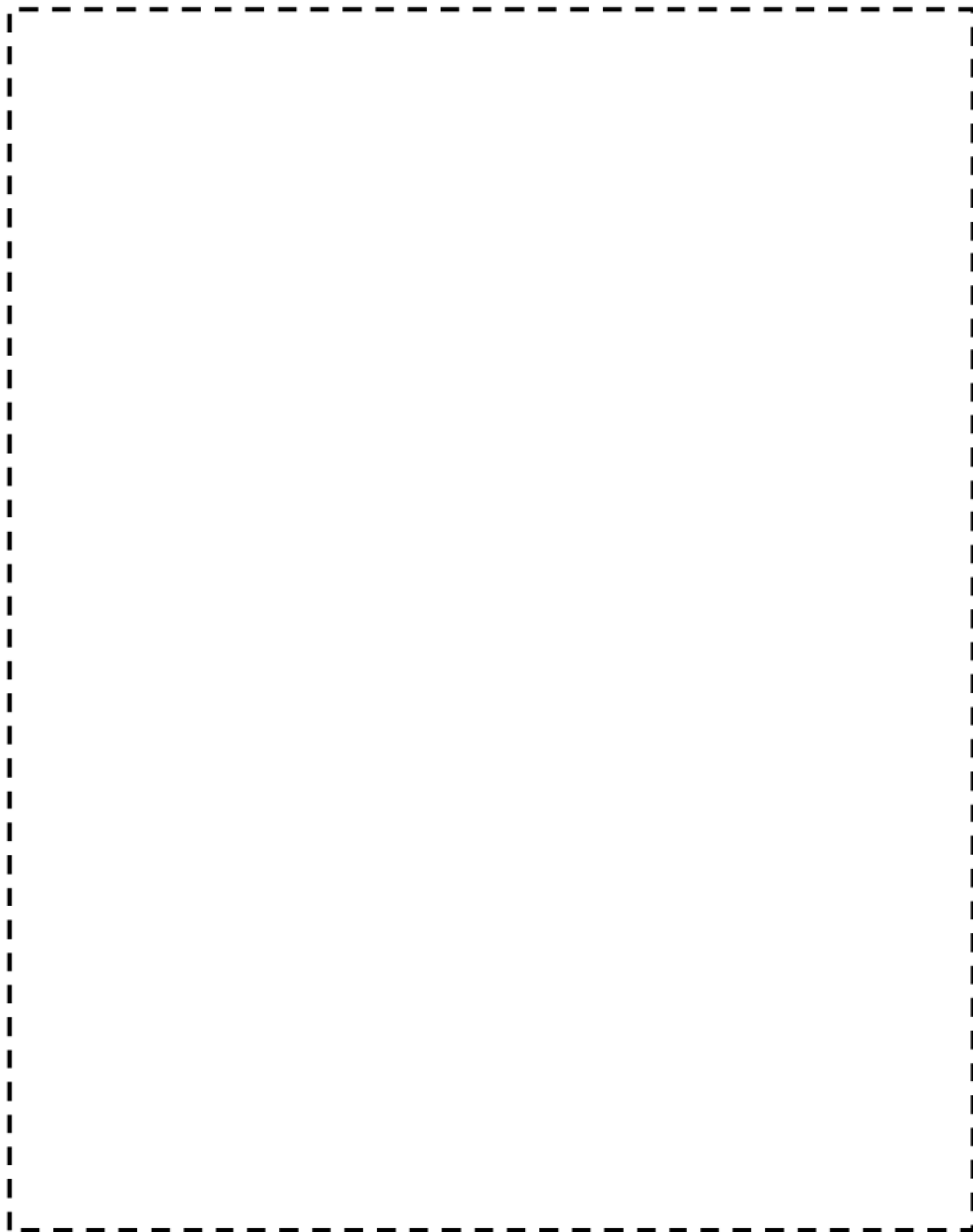
(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 解析モデル

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。



(2) 1次冷却材管（安全注入系ライン用管台） 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。



(3) 1次冷却材管（充てん管台） 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。



(1) 1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) 1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) 1次冷却材管（充てん管台） 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) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
[Redacted Content]			

→通常 UF : 0.179

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) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)

→通常 UF : 0.006

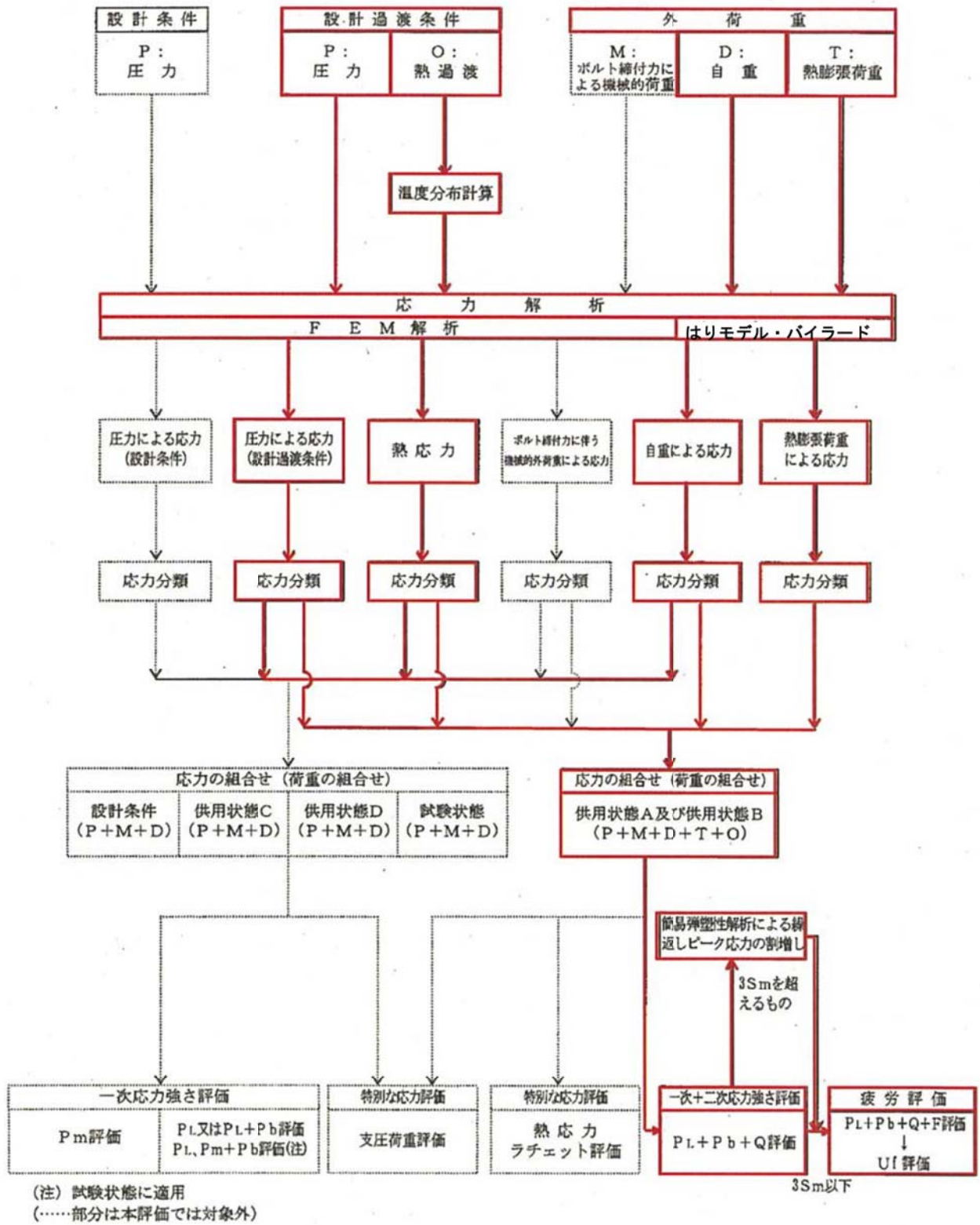
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(3) 1次冷却材管（充てん管台） 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
→通常 UF : 0.004			

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。

応力評価フロー



(1) Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器サージライン用管台) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		突過波 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果と考慮した 疲労累積係数
	SDMX	SMIB		補正前 SALL	補正後 SALL'					
A	B		KE			0	0	U	fen	uen
合計: 0.46403										

→環境 UF : 0.465

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) 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)

過渡条件 記号	一次+二次キ ビーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しビーク 応力強さ		突過値 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 修正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
	smax	smin		修正前 sall	修正後 sall'					
A			KE			0	11	0.0	1.0	0.0
B			KE			0	11	0.0	1.0	0.0
合計: 0.01865										

→環境UF: 0.019

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。

(4) Ke係数と環境疲労パラメータ (充てん管台) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ	割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 修正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
(This area is intentionally left blank for data entry)								
合計: 0.03224								

→環境 UF : 0.033

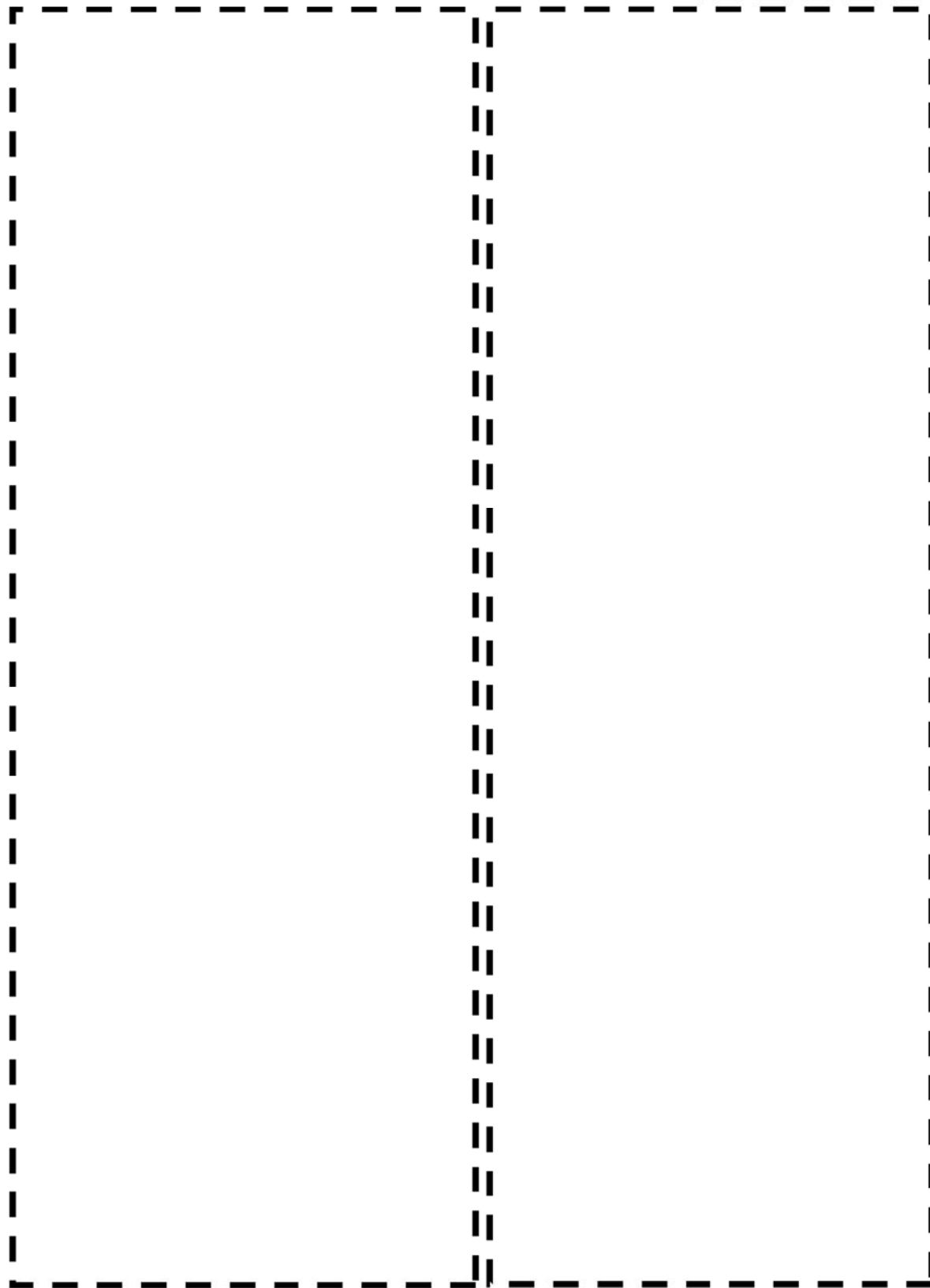
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) 加圧サージライン用管台

a. 過渡 1A2,NSS

b. 過渡 1A2,2D5



c. 過渡 A2,1L1

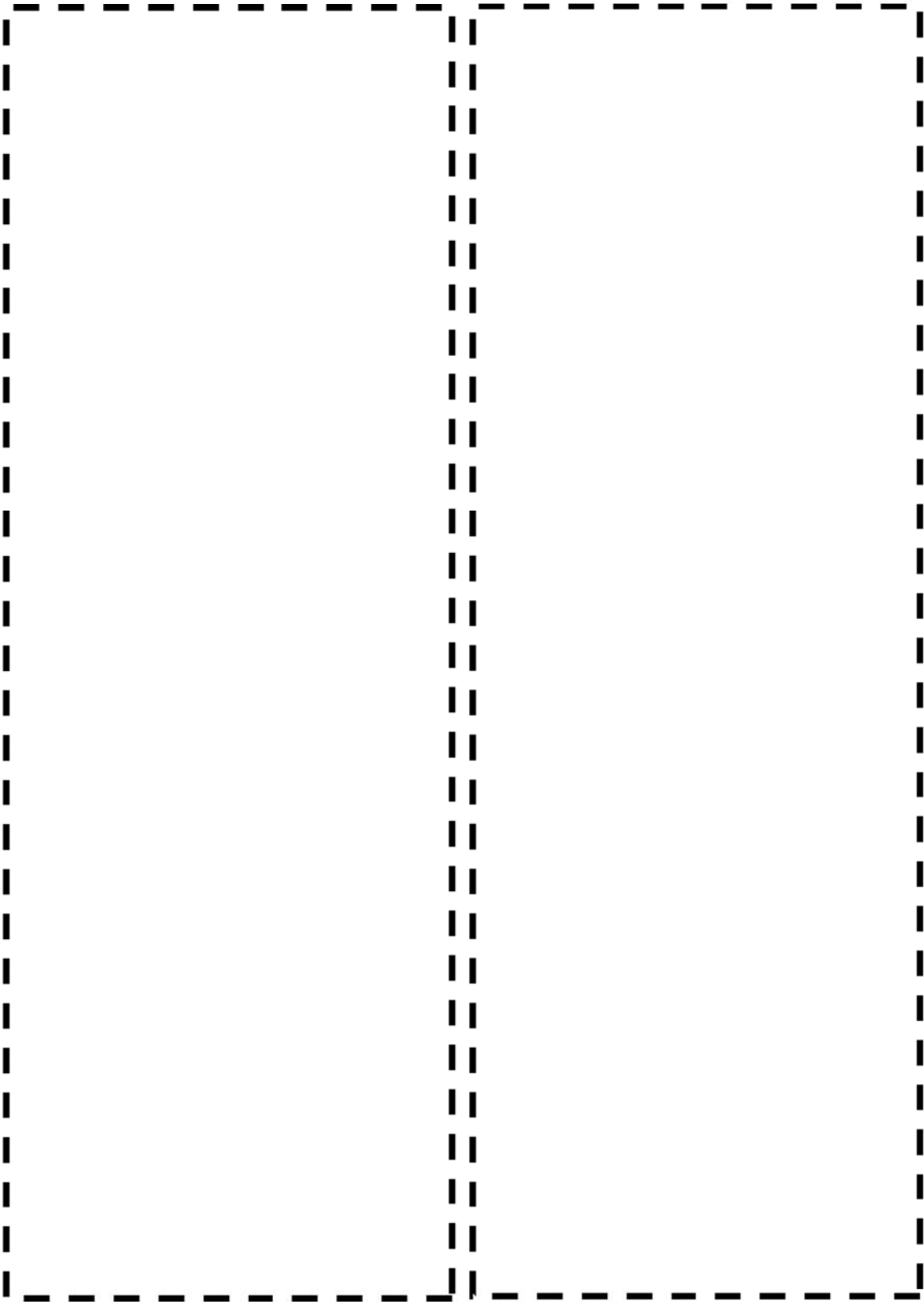
d. 過渡 1A2,1G1

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。

e. 過渡 1A2,1D1

f. 過渡 1B2,1D1

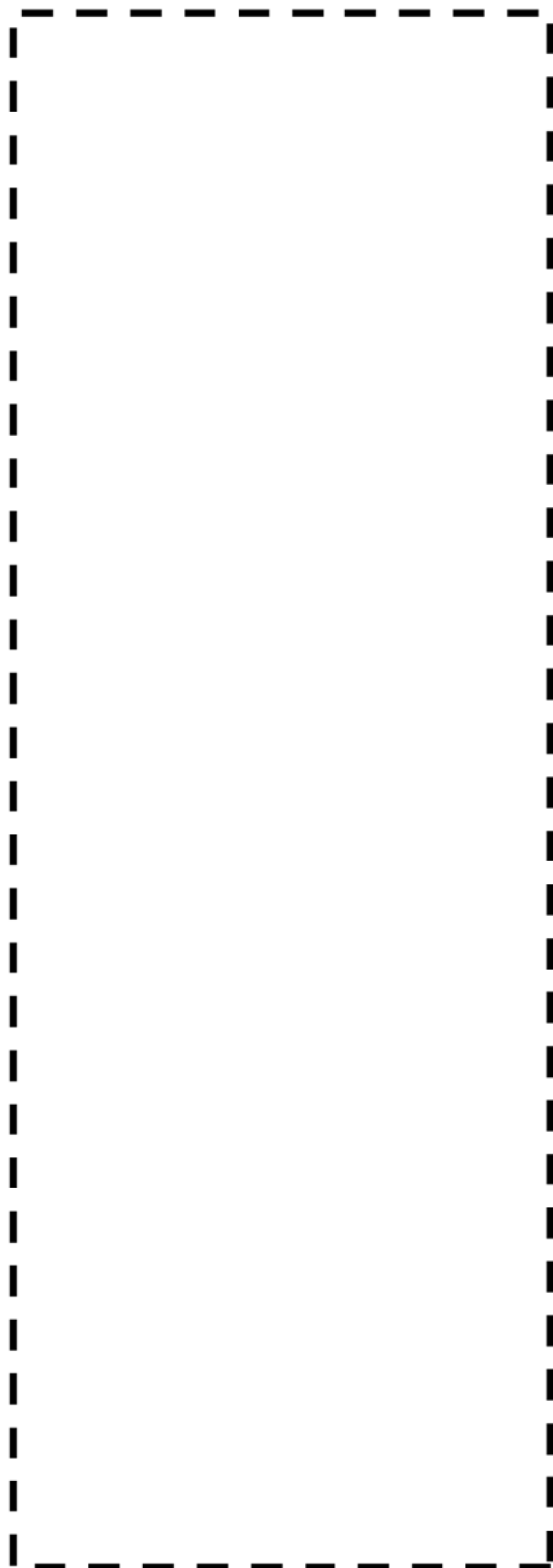
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



g. 過渡 1B2,2G1

h. 過渡 1B2,2E1

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。



i. 過渡 1B2,1M1

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) 安全注入系ライン用管台

a. 過渡 2L1, 2E1

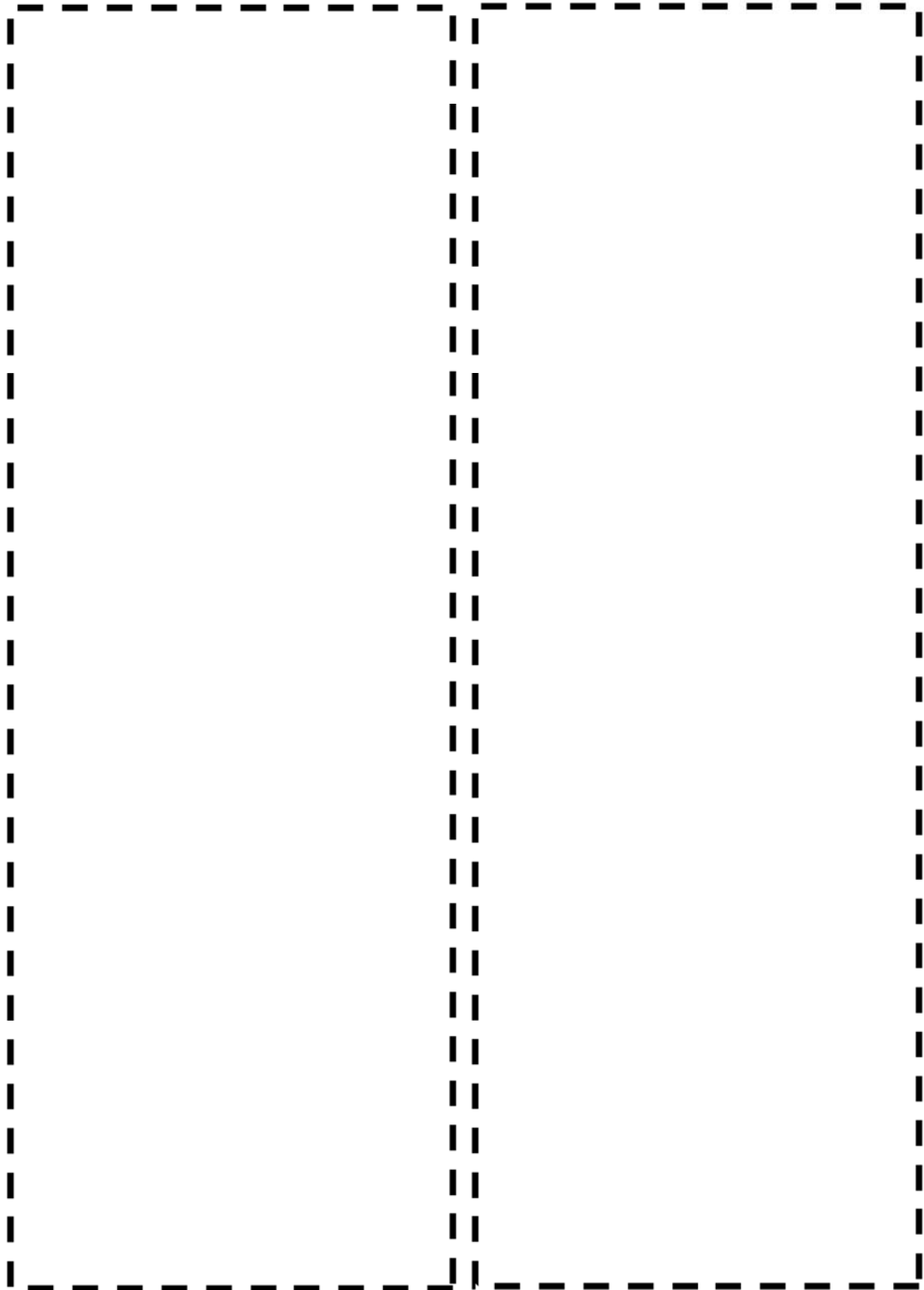
b. 過渡 2E1, 2L1

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) 充てん管台
a. 過渡 201,2J2

b. 過渡 205,2J2

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。



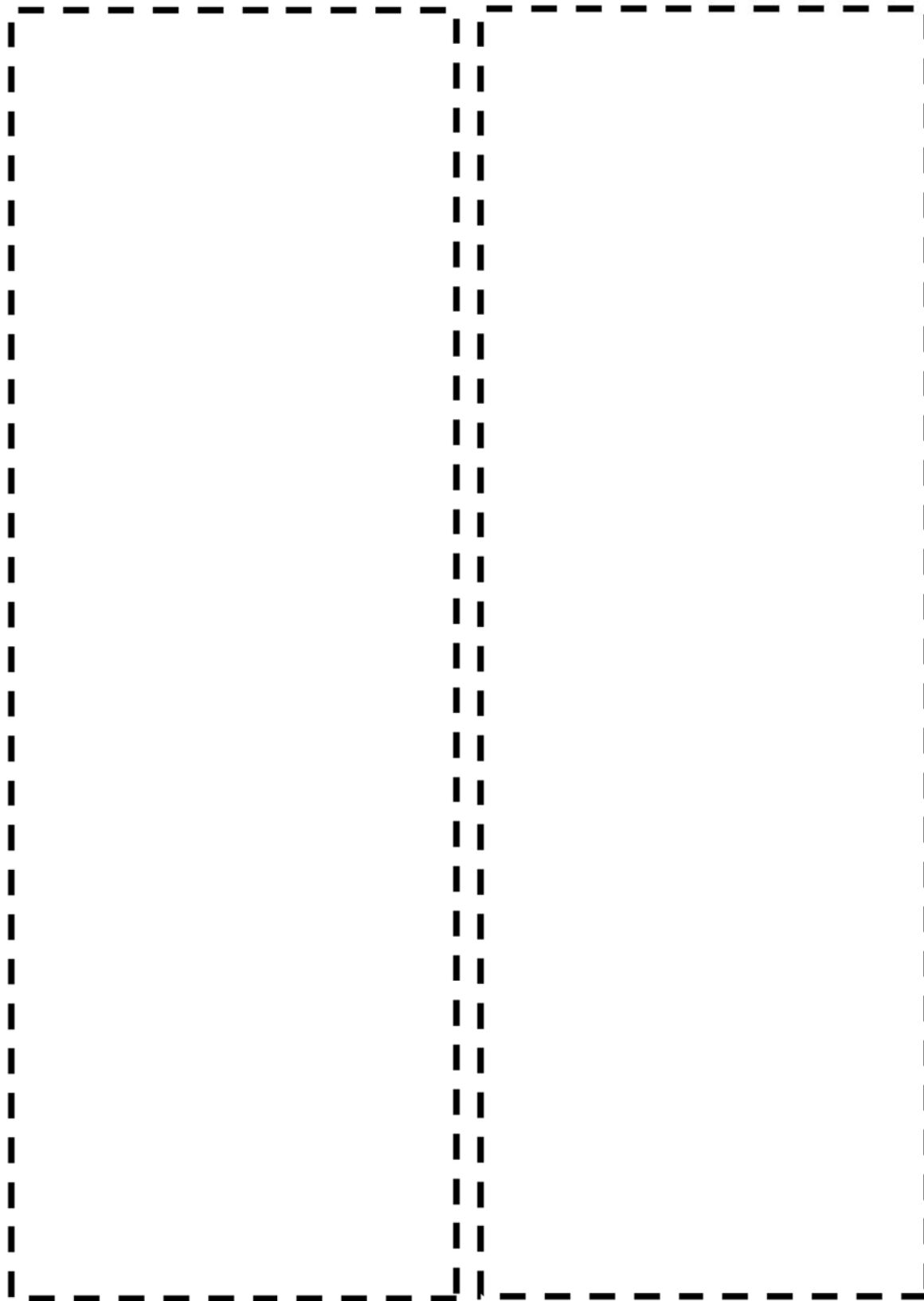
c. 過渡 203,2J2

d. 過渡 2N2,2J2

e. 過渡 2N5,2J2

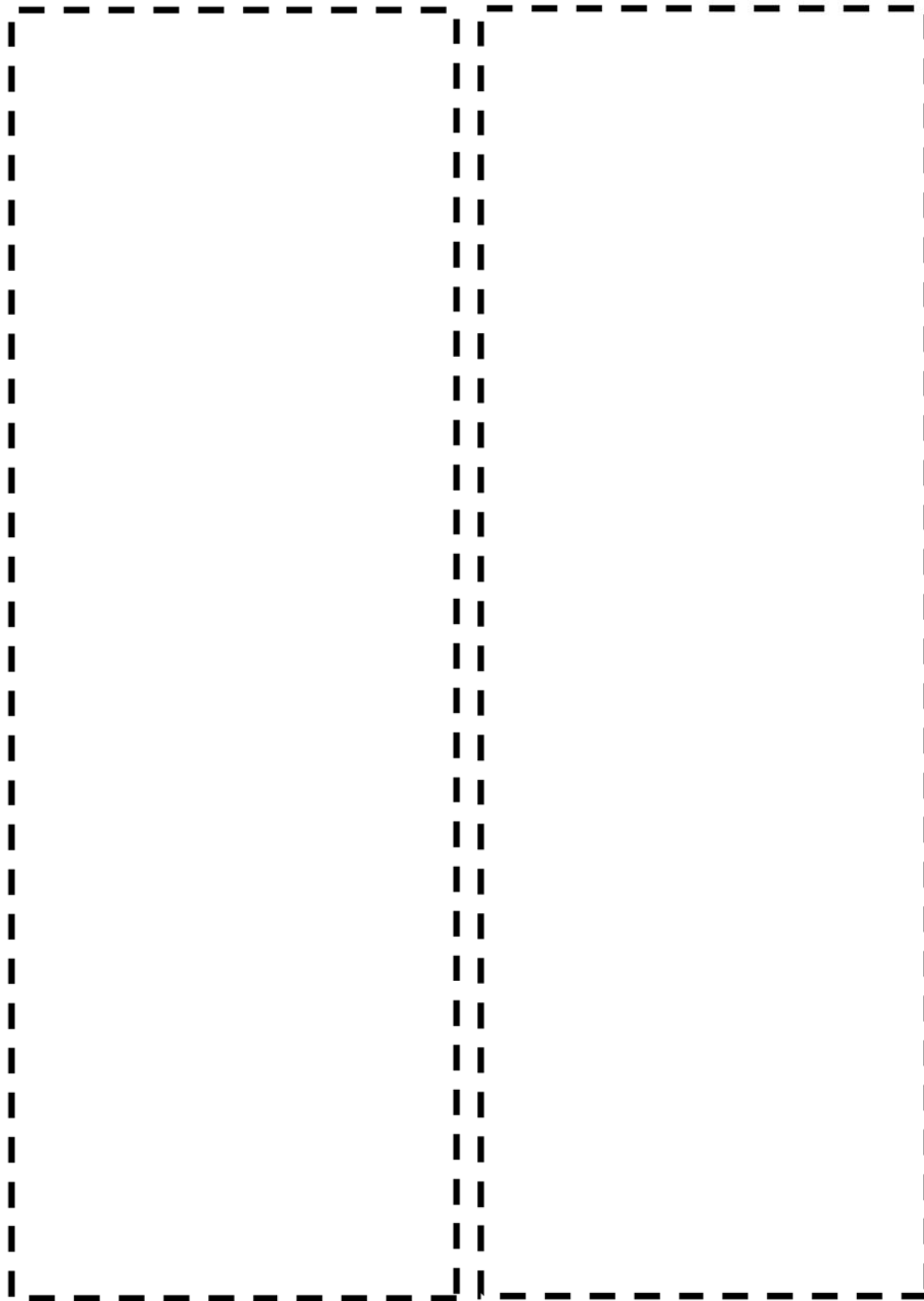
f. 過渡 2O4,2J2

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。



g. 過渡 2S1,2J2

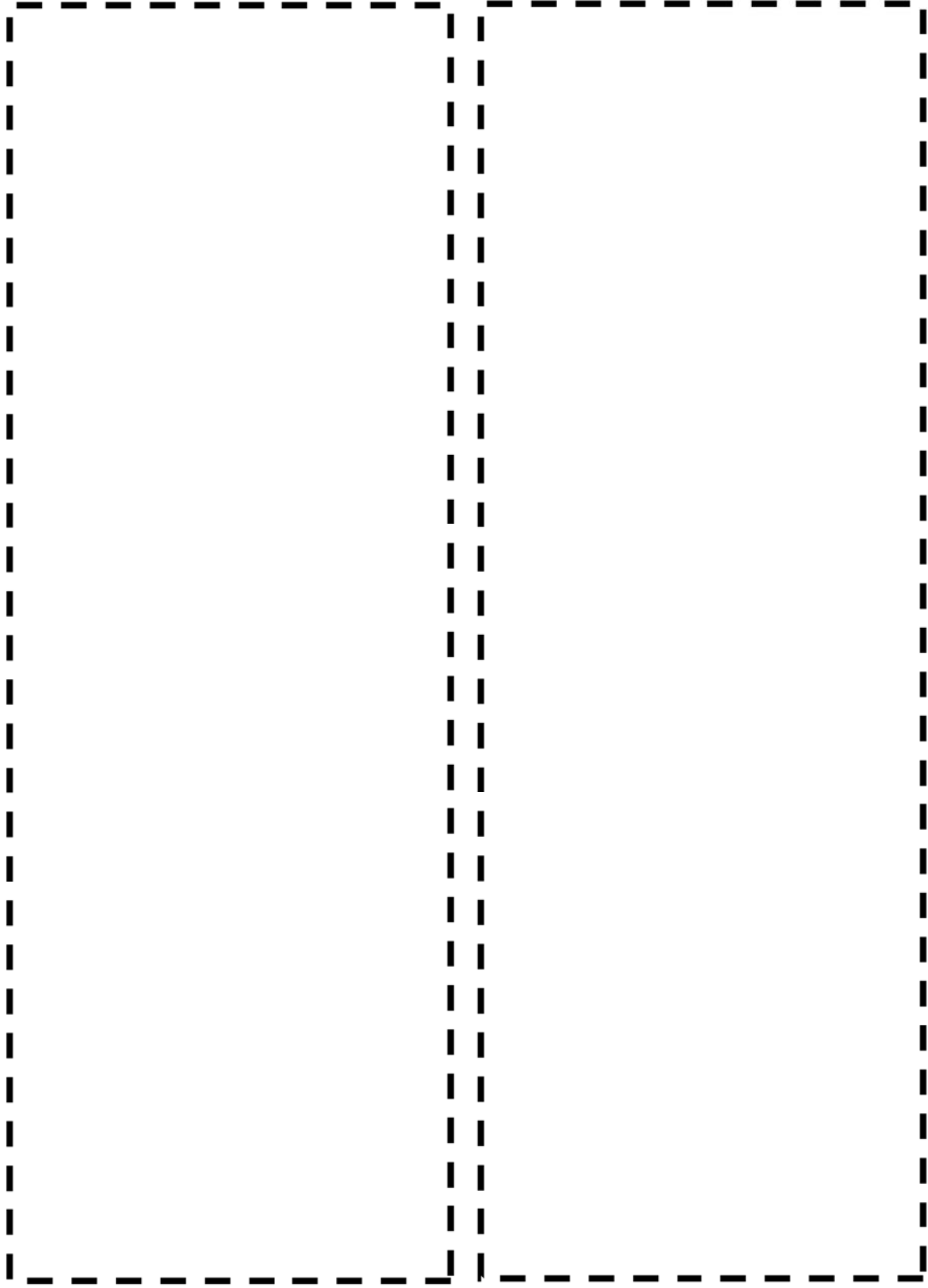
h. 過渡 2S1,1B1



i. 過渡 2S1,1I1

ii. 過渡 2S1,NSS

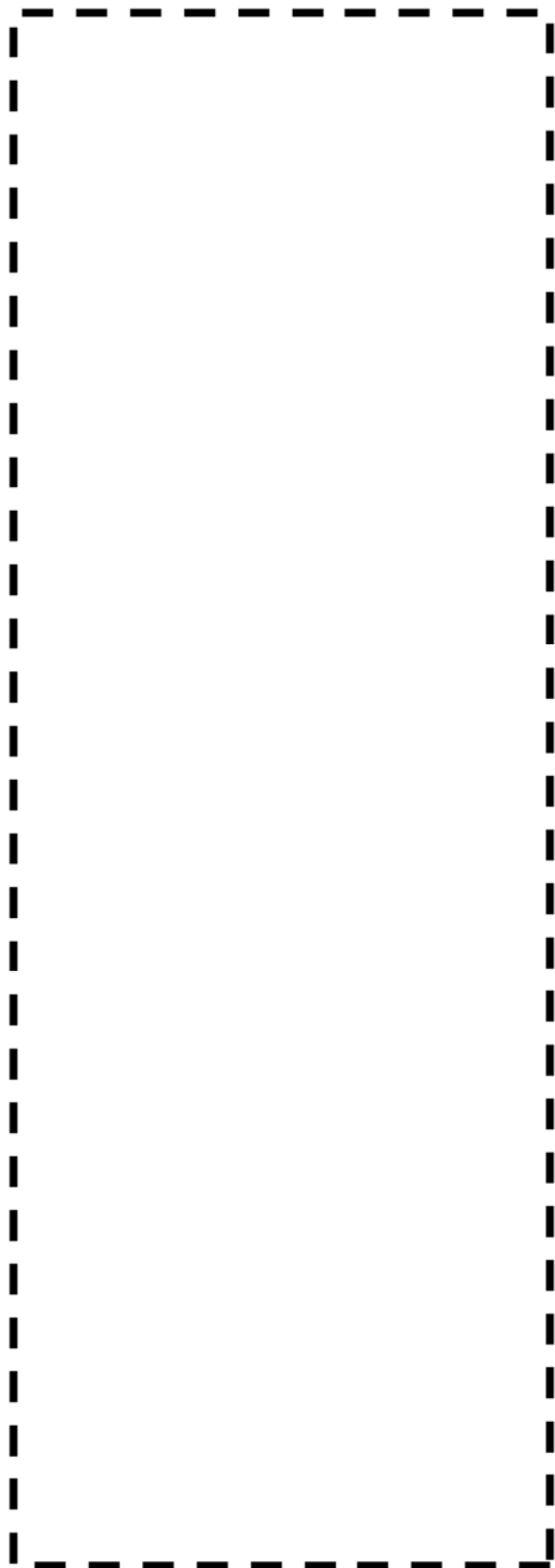
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



k. 過渡 2S1,2O4

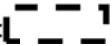
l. 過渡 2S1,2QE

枠囲みの範囲は機密に係る事項で、279ので公開することはできません。



m. 過渡 2S1, 2E1

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	ループ余熱除去系第1入口弁の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータを含む)について
説明	<p>・解析モデル/材料物性/最大評価点の選定/応力分類/Ke係数 JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300による評価を実施している。</p> <p>解析モデル 規格計算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</p> <p>材料物性 材質  ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> <p>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。</p> <p>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)</p> <p>Ke係数 簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> <p>環境評価パラメータ 添付参照</p>

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。

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

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。

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


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

$$T = [] (^{\circ}C)$$

であるので、 $T^* = []$
 したがって、

$$F_{en} = []$$

[]
 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	抽出水しゃ断弁の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータを含む)について
説明	<p>・ 解析モデル/材料物性/最大評価点の選定/応力分類/Ke係数 JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300による評価を実施している。</p> <p>解析モデル 規格計算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</p> <p>材料物性 材質： ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> <p>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。</p> <p>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ます)</p> <p>Ke係数 簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> <p>環境評価パラメータ 添付参照</p>

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。

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

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。

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 [] 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、

$$\left[\frac{\dot{\epsilon}}{0.00004} \right] (\%/s)$$

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

$$T = \left[\frac{T^*}{0.000782} \right] (^{\circ}C)$$

であるので、 $T^* = \left[\frac{T^*}{0.000782} \right]$

したがって、

$$F_{en} = \left[\frac{\dot{\epsilon}}{0.00004} \right]$$

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	炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータを含む)について																				
説明	<p>炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠を添付に示す。</p> <table border="1" data-bbox="357 495 1430 640"> <thead> <tr> <th data-bbox="357 495 509 589">応力フロー チャート</th> <th data-bbox="509 495 668 589">荷重の組合せ</th> <th data-bbox="668 495 820 589">材料物性値</th> <th data-bbox="820 495 971 589">解析モデル</th> <th data-bbox="971 495 1123 589">最大評価点 の選定結果</th> <th data-bbox="1123 495 1275 589">Ke係数</th> <th data-bbox="1275 495 1430 589">環境評価 パラメータ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="357 589 509 640">図-1</td> <td data-bbox="509 589 668 640">表-1</td> <td data-bbox="668 589 820 640">表-2</td> <td data-bbox="820 589 971 640">図-2</td> <td data-bbox="971 589 1123 640">図-3</td> <td data-bbox="1123 589 1275 640">表-3</td> <td data-bbox="1275 589 1430 640">表-4</td> </tr> </tbody> </table>							応力フロー チャート	荷重の組合せ	材料物性値	解析モデル	最大評価点 の選定結果	Ke係数	環境評価 パラメータ	図-1	表-1	表-2	図-2	図-3	表-3	表-4
応力フロー チャート	荷重の組合せ	材料物性値	解析モデル	最大評価点 の選定結果	Ke係数	環境評価 パラメータ															
図-1	表-1	表-2	図-2	図-3	表-3	表-4															

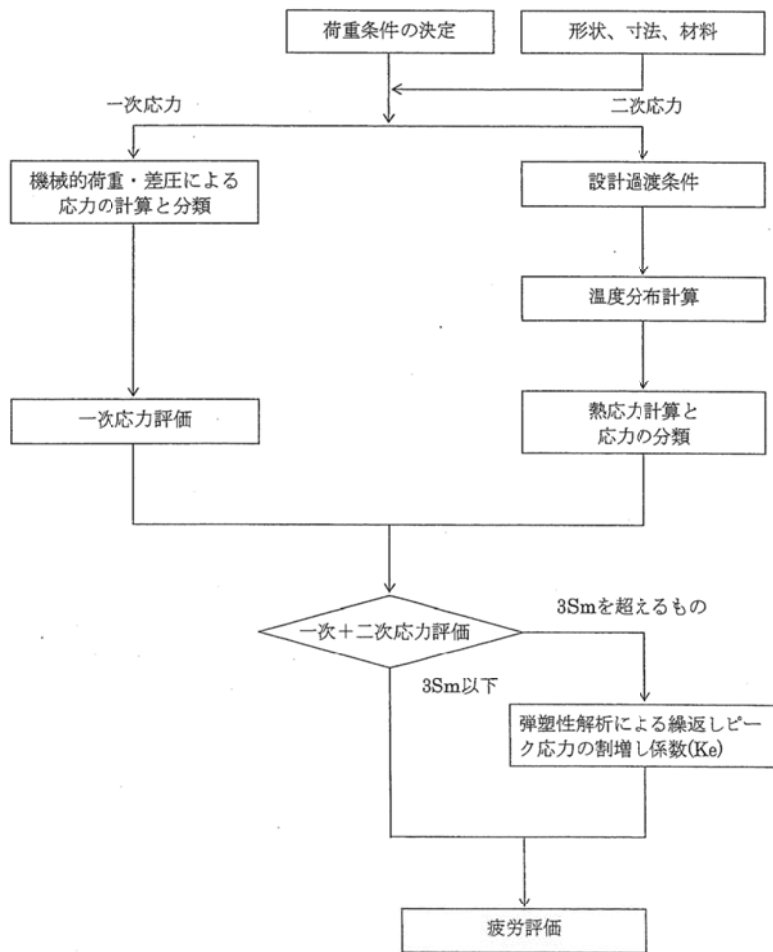


図-1 応力評価フローチャート

表-1 荷重の組合せ

状態		荷重の組合せ
設計条件		D + M + P
供用状態	A、B	D + M + P + T

- 記号 D : 炉内構造物重量
 M : 流体荷重、燃料集合体荷重、スクラム荷重等の機械的荷重
 P : 最高使用圧力 (炉心そう : 最大差圧)
 T : 過渡変化時の熱荷重

表-2 (1 / 3) 材料物性値  比熱・密度・熱伝導率)

温度		比熱C	密度 ρ	熱伝導率 λ
K	$^{\circ}\text{C}$			
		$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	kg/m^3	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

(※) 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第5版を参照

表-2 (2 / 3) 材料物性値  最高使用温度における縦弾性係数)

材質	最高使用温度
	343 $^{\circ}\text{C}$
オーステナイト系ステンレス鋼	173000MPa

(※) JSME S NC1-2005/2007参照

表-2 (3 / 3) 材料物性値  定格温度における縦弾性係数)

材質	設計疲労線図 (JSME S NC1 2005 /2007年版 第1編 第4章添付4-2)	設計疲労線図に与え られた縦弾性係数	定格温度	
			288.6 $^{\circ}\text{C}$ (Tcold)	322.8 $^{\circ}\text{C}$ (Thot)
オーステナイト系 ステンレス鋼	図添付4-2-2 (1)	195000MPa	176000MPa	174000MPa

(※) JSME S NC1-2005/2007参照

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－2（1／2） 解析モデル（上部炉心支持構造物組立体の解析モデル（1／8分割モデル））

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。

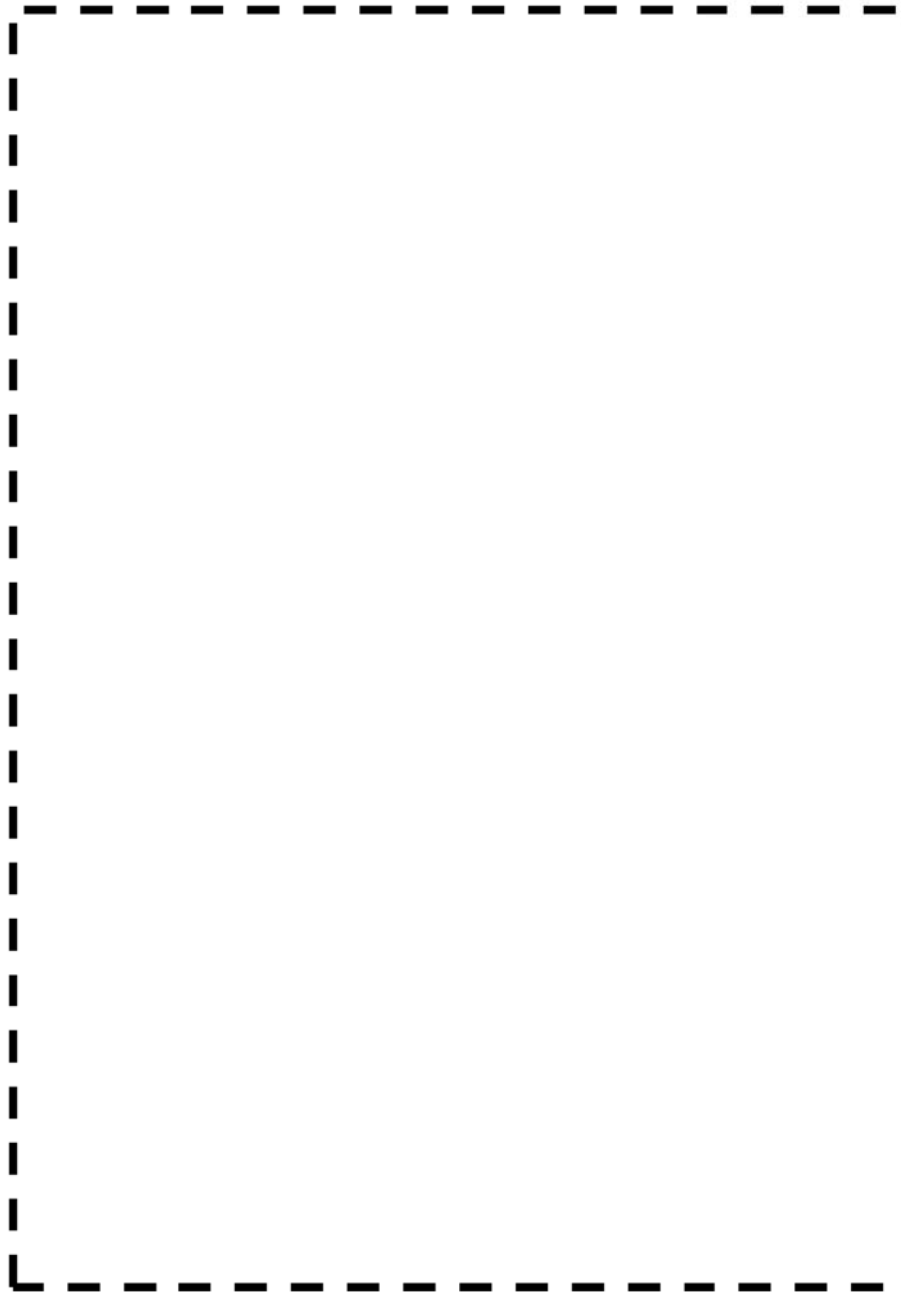


図-2（2／2） 解析モデル（下部炉心支持構造物組立体の解析モデル（1／8分割モデル））

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。

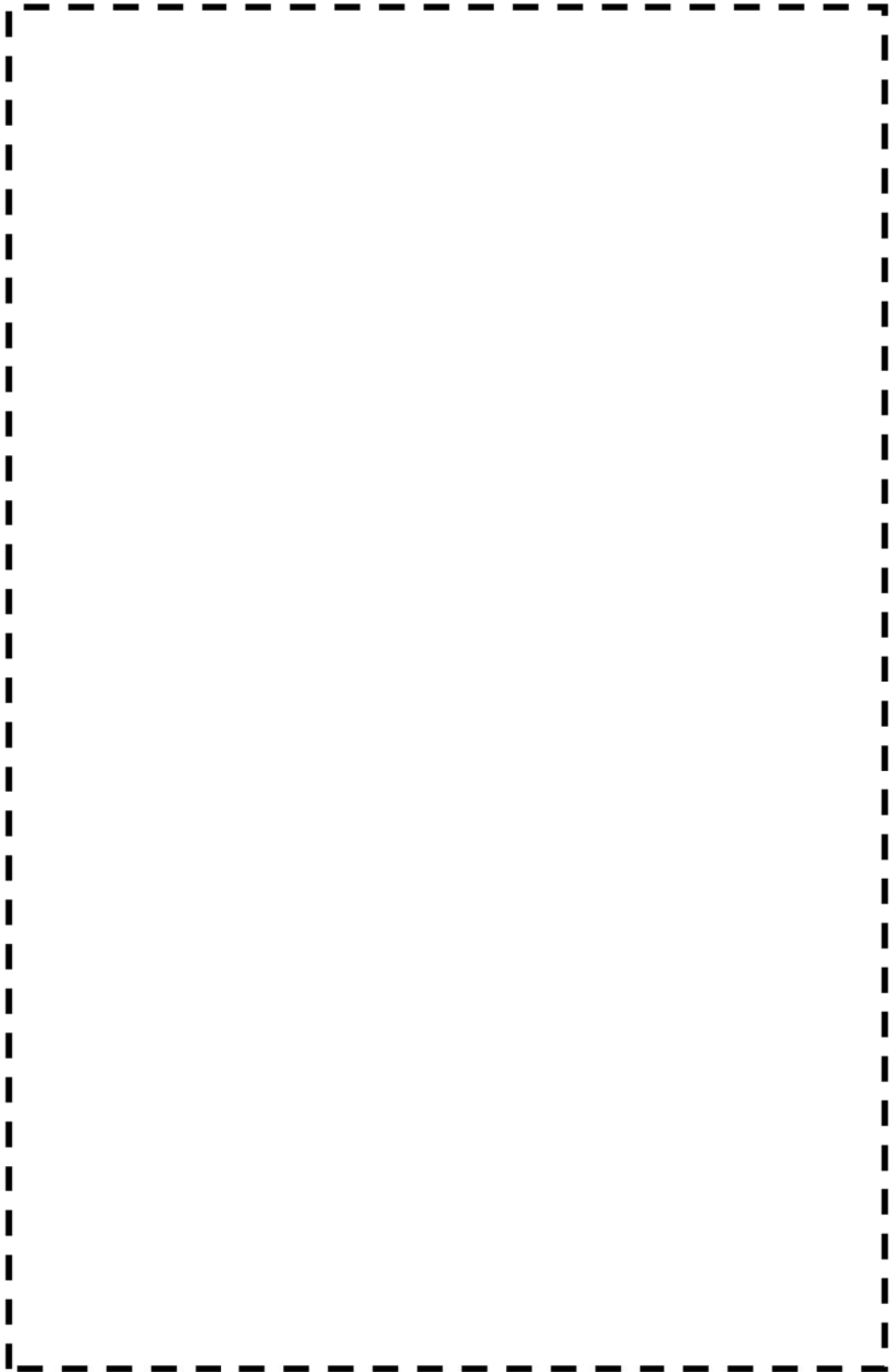


図-3（1 / 4） 最大評価点の選定結果（上部炉心支持板）

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。

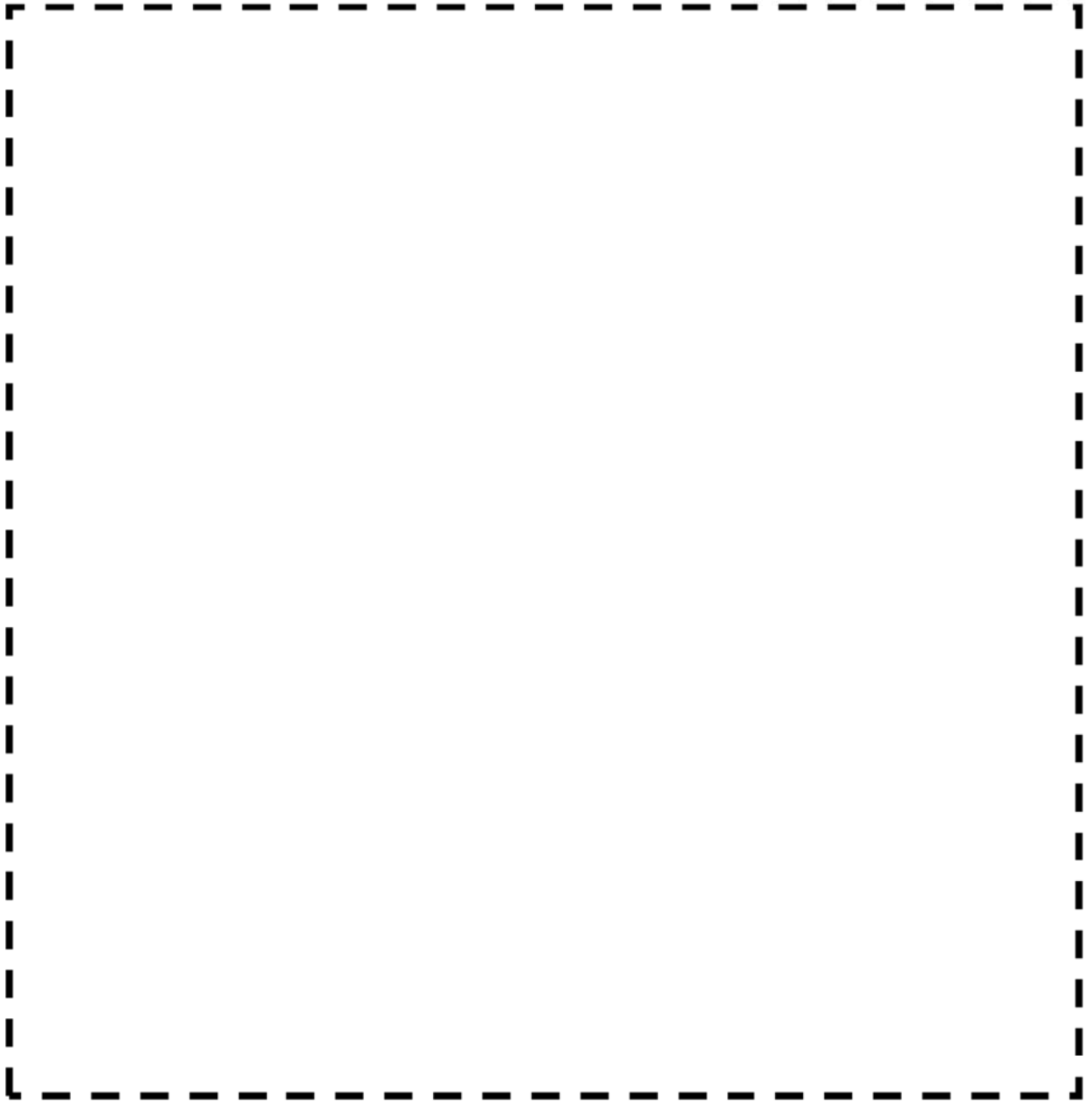


図-3（2 / 4） 最大評価点の選定結果（上部炉心支持柱）

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－3（3／4） 最大評価点の選定結果（下部炉心支持柱）

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。

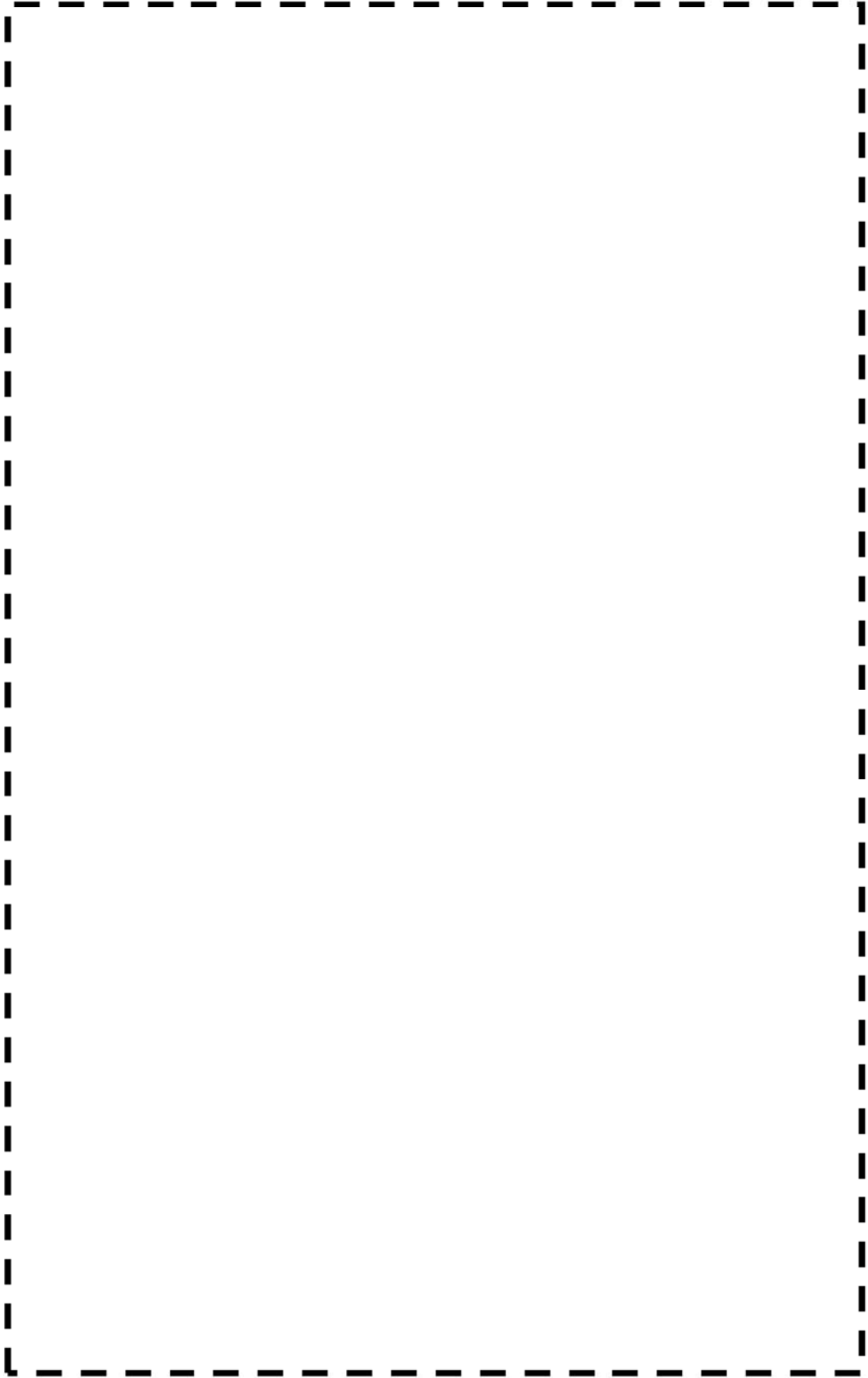


図-3（4／4） 最大評価点の選定結果（下部炉心支持板）

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-3 (1 / 4) 疲労評価結果 (上部炉心支持板)

周縁部下面

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	

疲労累積係数 = 0.01546

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

→通常UF : 0.016

表-3 (2 / 4) 疲労評価結果 (上部炉心支持柱)

下端

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	

疲労累積係数 = 0.00259

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

→通常UF : 0.003

表-3 (3 / 4) 疲労評価結果 (下部炉心支持柱)

上端

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	

疲労累積係数 = 0.00005

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

→通常UF : 0.001

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-3 (4 / 4) 疲労評価結果 (下部炉心支持板)

中央部下面

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	

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

疲労累積係数 = 0.00136
→ 通常UF : 0.002

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 (1 / 4) 環境疲労評価結果詳細 (上部炉心支持板) (詳細評価手法)

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	許容繰返し回数	疲労累積係数	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)
											合計 :	0.18070

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

→ 環境UF : 0.181

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。

(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 $\frac{1.95 \times 10^5}{\text{材料の使用温度における縦弾係数}}$ を乗じた値

(注5) fen : ひずみ振幅 ≤ 0.110% (Salt' ≤ 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

表-4 (2 / 4) 環境疲労評価結果詳細 (上部炉心支持柱) (詳細評価手法)

過渡条件記号		一次+二次+ピーク応力強さ		割り増し係数	繰返しピーク応力強さ		実過渡回数	許容繰返し回数	疲労累積係数	環境効果補正係数	環境効果を考慮した疲労累積係数	
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt						補正後 salt'
											合計 :	0.02979

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

→ 環境UF : 0.030

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 (3 / 4) 環境疲労評価結果詳細 (下部炉心支持柱) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						n
											合計 :	0.00005

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

→環境UF : 0.001

表-4 (4 / 4) 環境疲労評価結果詳細 (下部炉心支持板) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						n
											合計 :	0.01658

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

→環境UF : 0.017

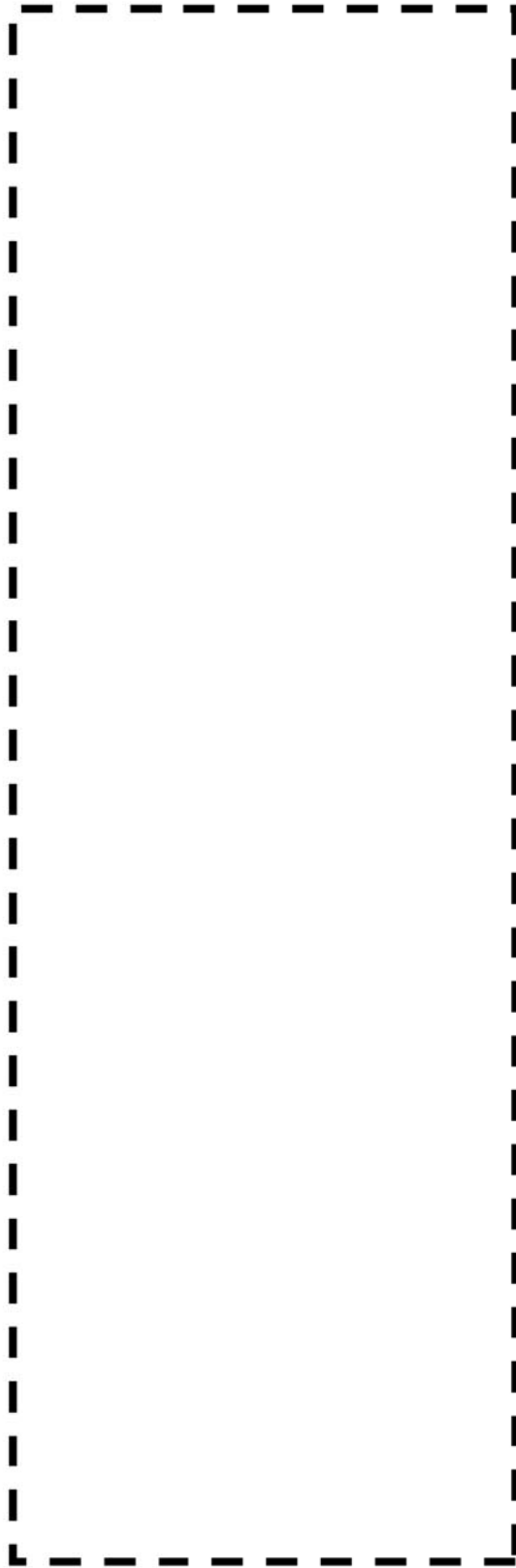
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

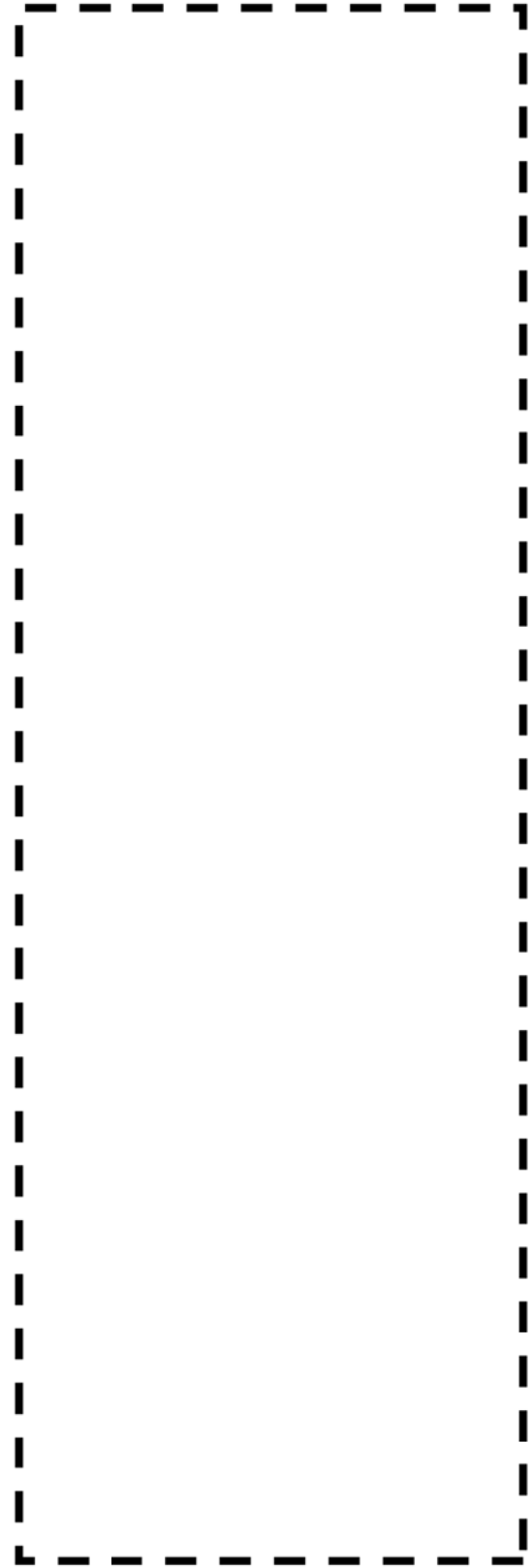
環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。なお、下部炉心支持柱については、環境補正係数が1を超えるのはなかった。

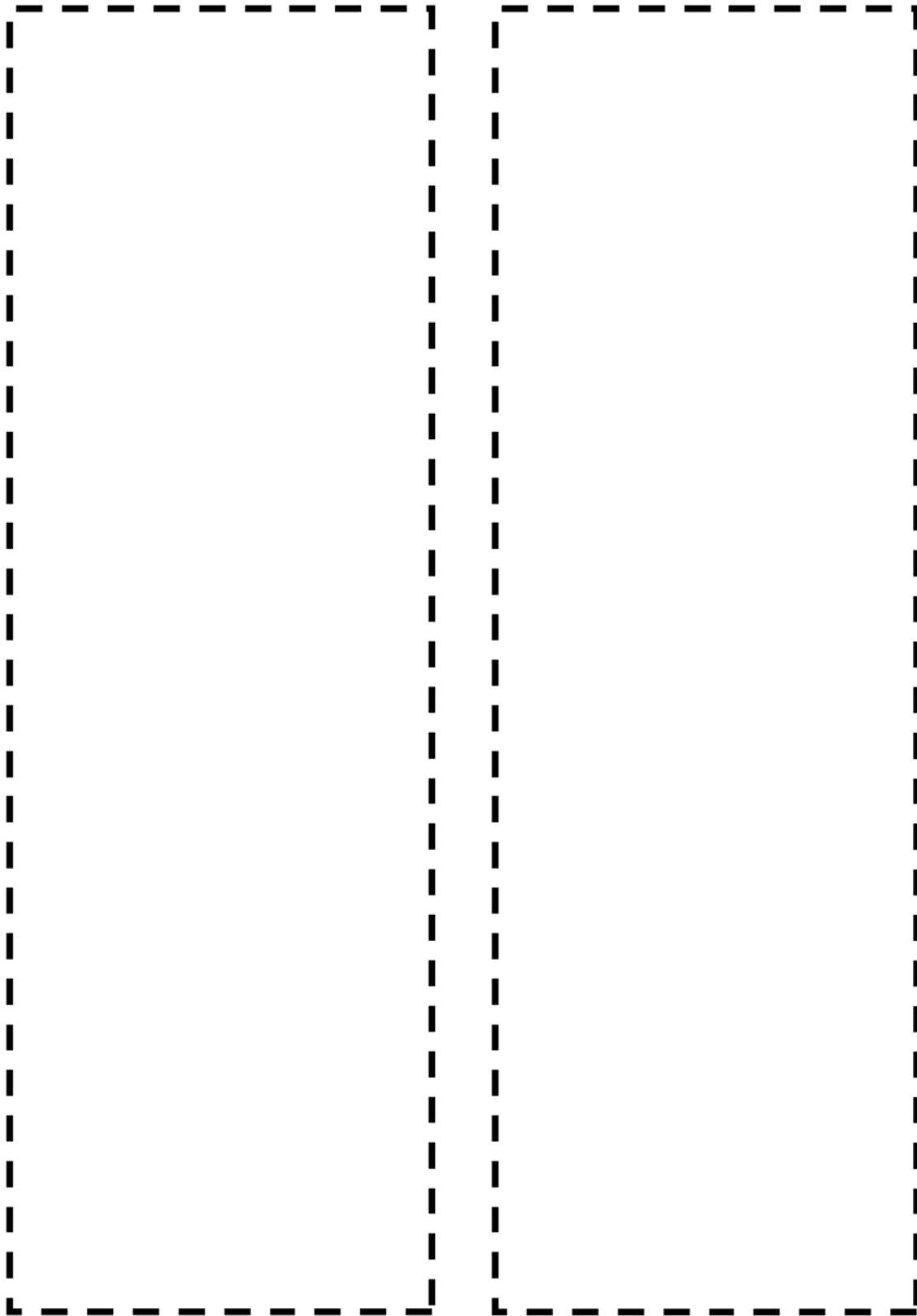
(1) 上部炉心支持板

a. 過渡F, 1A1



b. 過渡E, 1A1





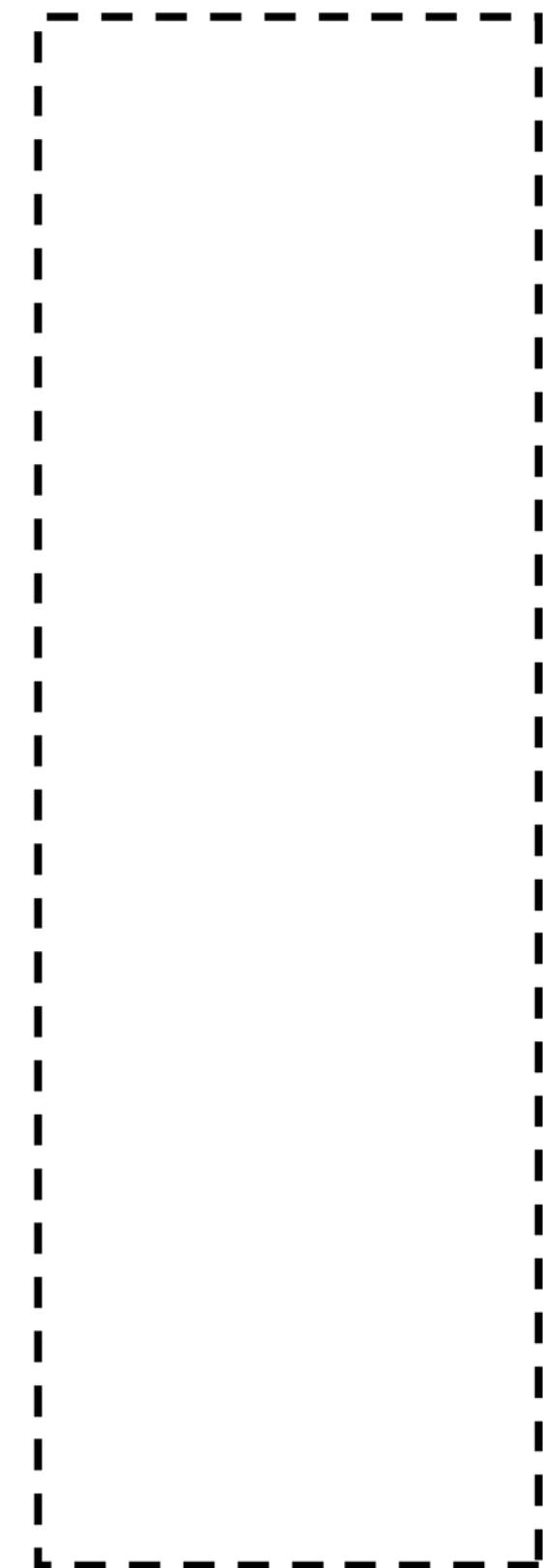
c. 過渡C, 1A1

d. 過渡A-2, 1A1

303
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。

e. 過渡A-2, B-1

f. 過渡D-2, B-1

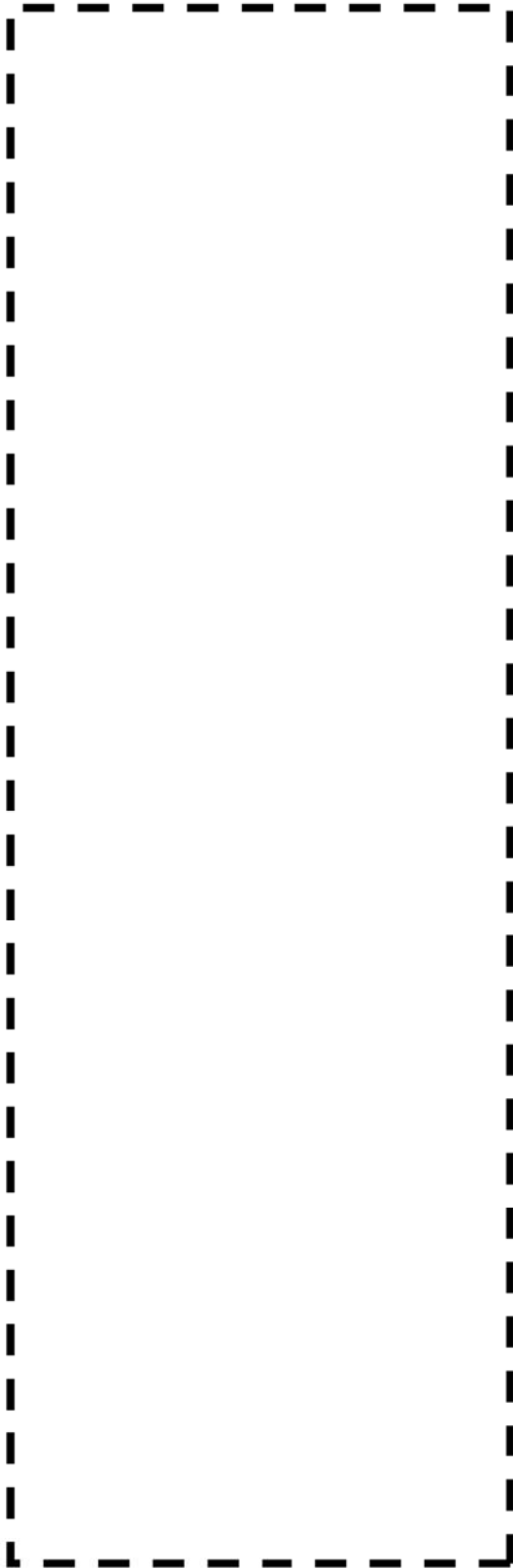


g. 過渡B-2, B-1

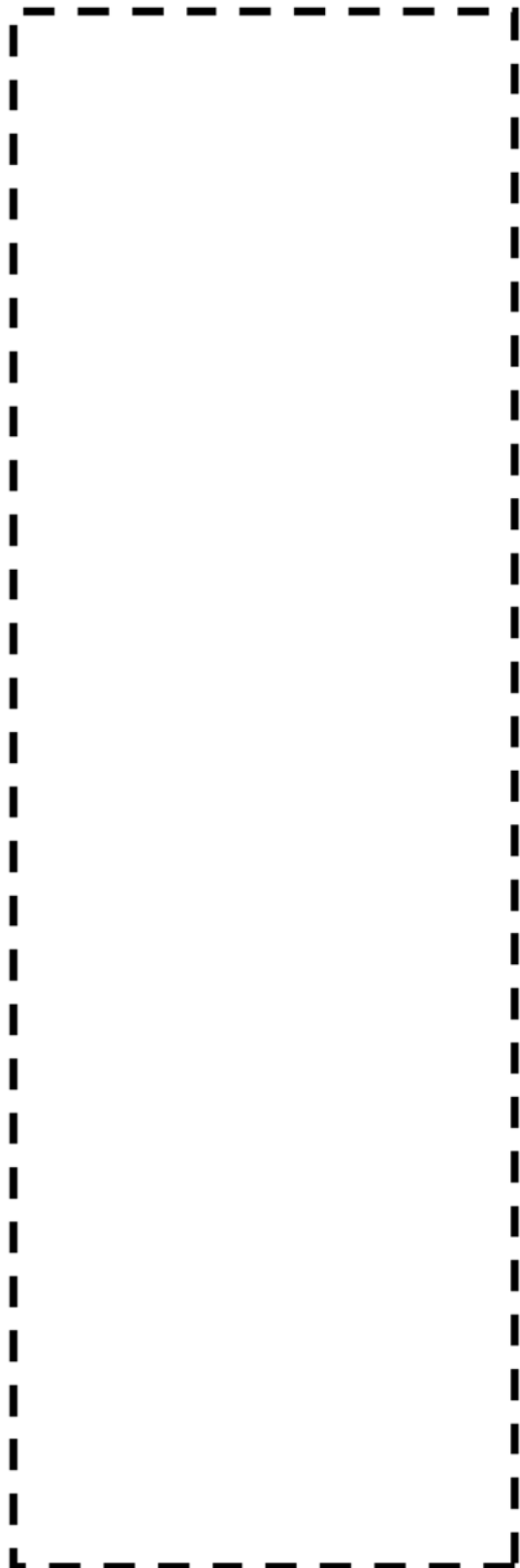
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

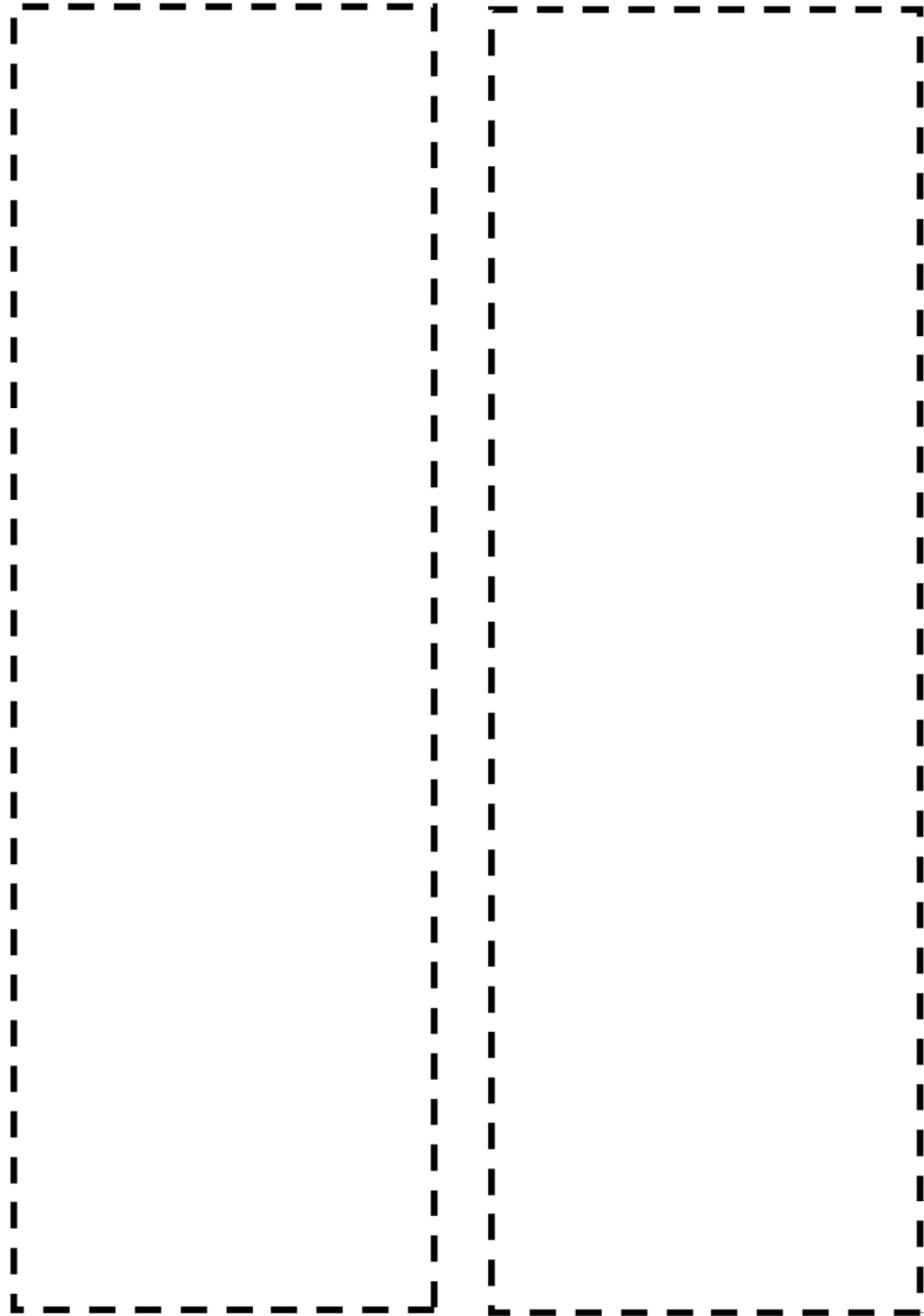
(2) 上部炉心支持柱

a . 過渡NSS, D-1



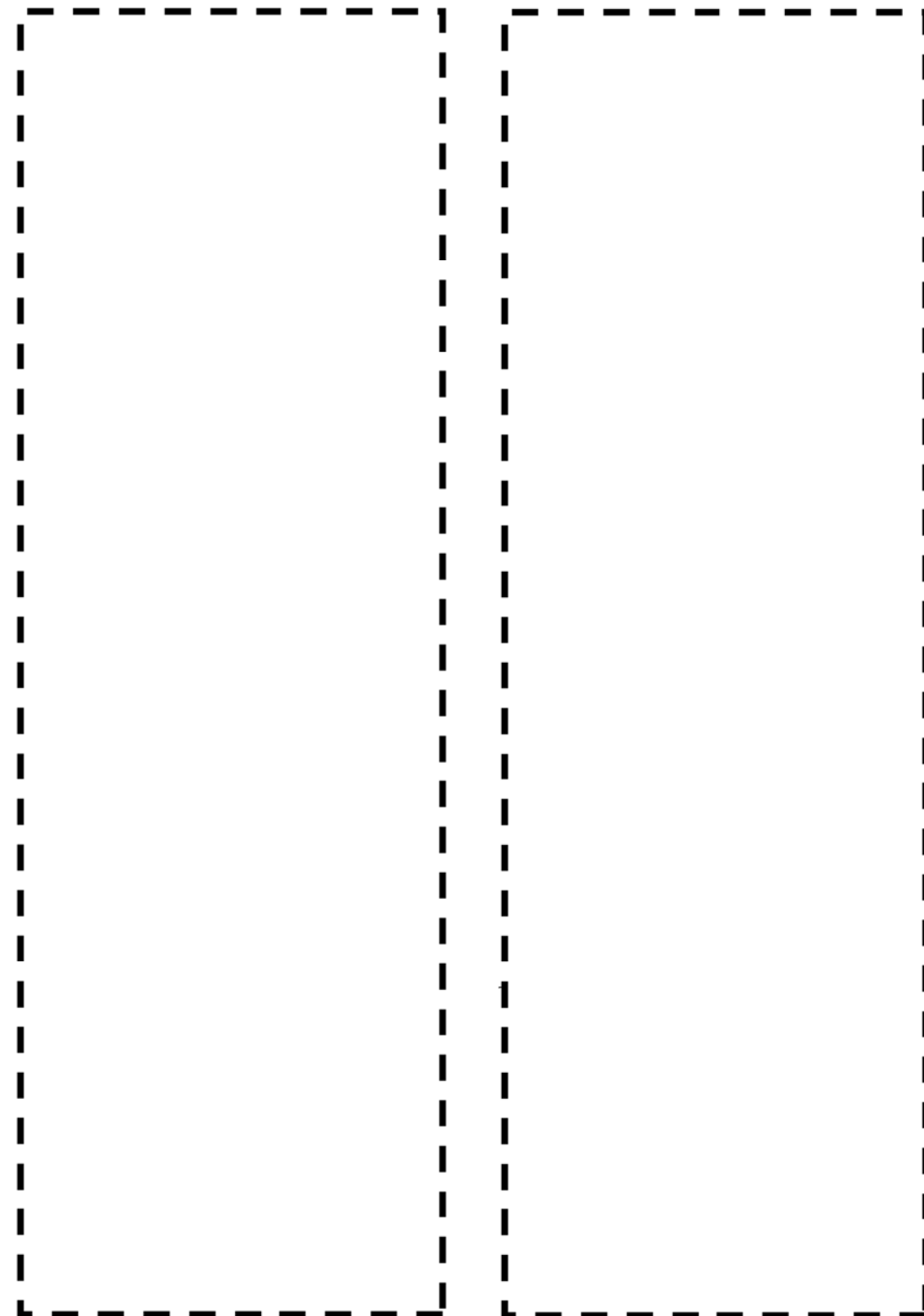
b . 過渡NSS, F





c. 過渡NSS, E

d. 過渡NSS, C

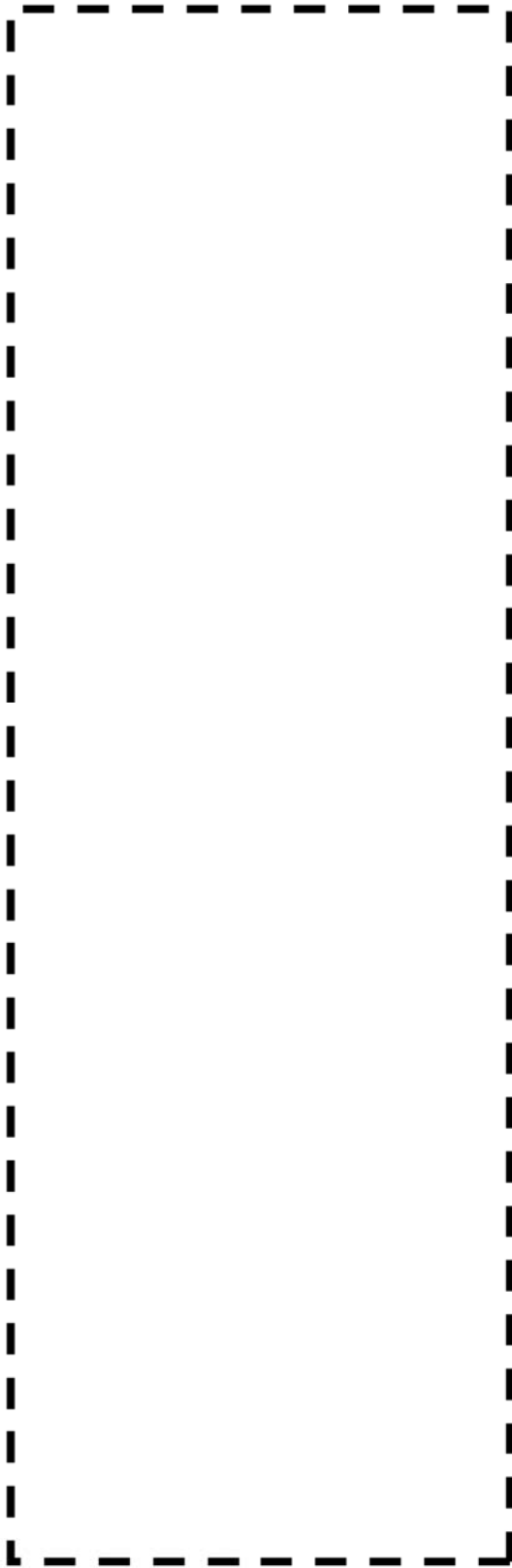


e. 過渡NSS, D-2

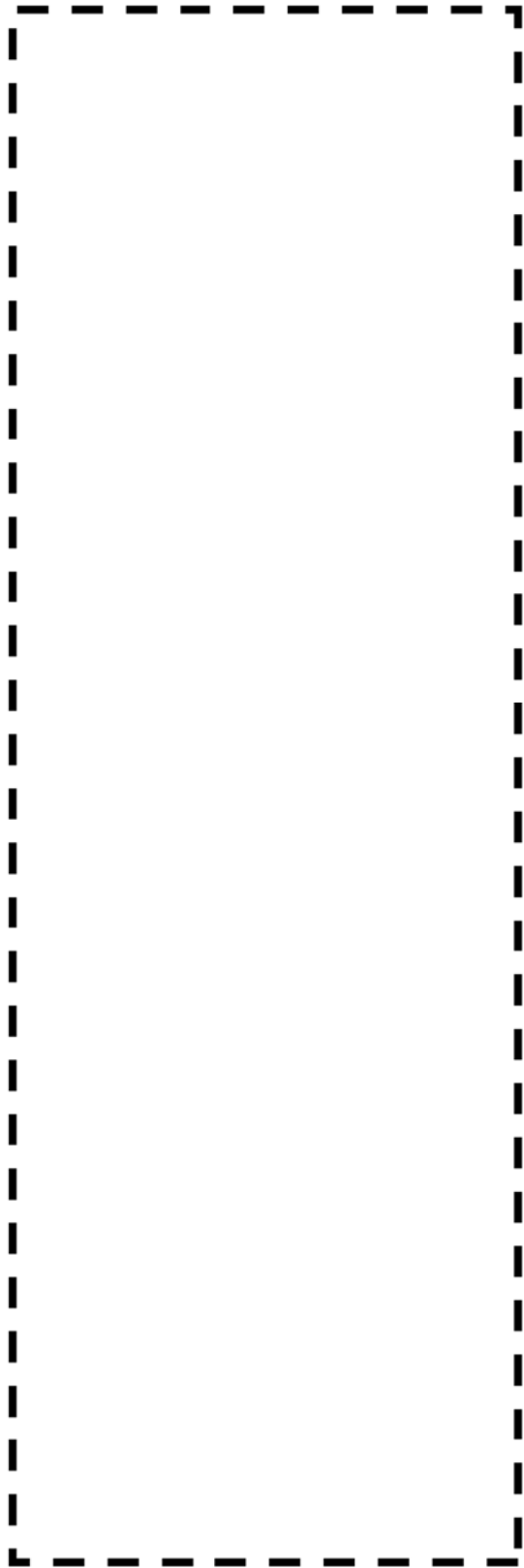
f. 過渡NSS, B-2

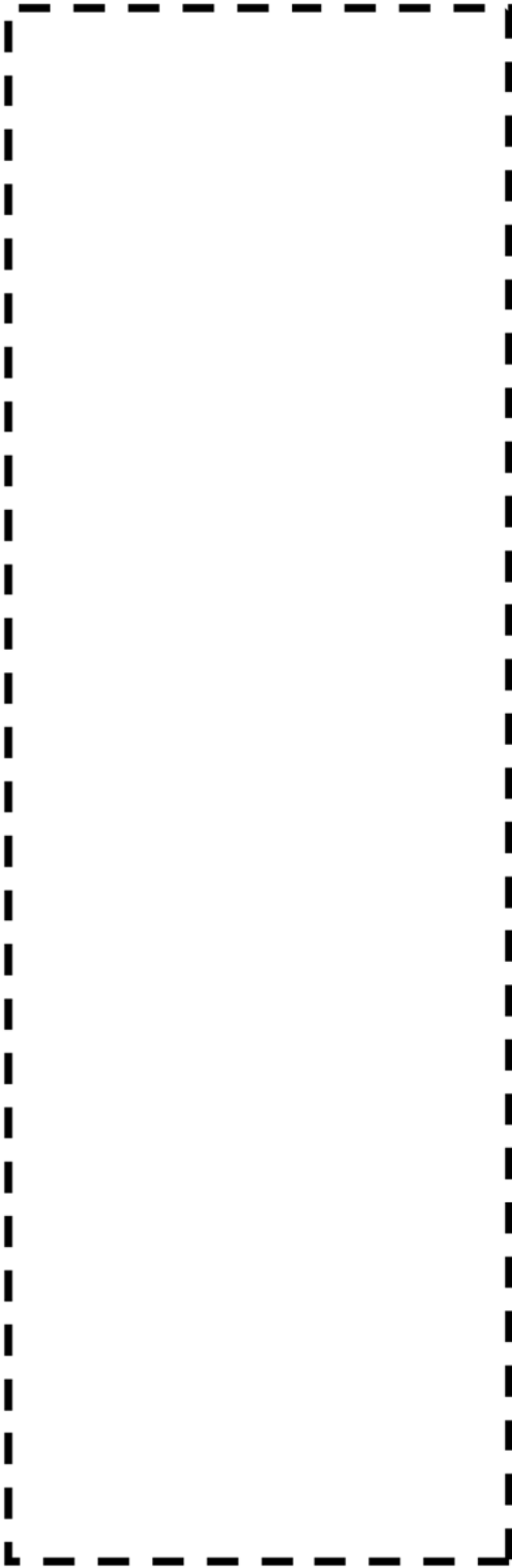
(3) 下部炉心支持板

a. 過渡F, D-2



b. 過渡E, D-2





c. 過渡E, NSS

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。