

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

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

表 2 端板に作用する荷重

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

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

表 3 端板の疲労評価結果

格納容器貫通部	繰返し ピーク応力 強さ (MPa)	過渡による 負荷回数 (n)	許容繰返し 回数 (N)	疲労累積 係数 (Uf)
主蒸気系統配管	41	2057	10 ⁶	0.000

タイトル	加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠について													
説明	<p>加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>【通常疲労】</p> <table border="1" data-bbox="472 898 1310 1290"> <tr> <td data-bbox="472 898 699 976">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 898 1310 976">(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 976 699 1133">要素種類</td> <td data-bbox="699 976 1310 1133" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1133 699 1211">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1211 699 1290">節点数</td> </tr> </table> <p>【熱成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="472 1391 1310 1823"> <tr> <td data-bbox="472 1391 699 1469">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 1391 1310 1469">(加圧器サージ配管) ANSYS 2019 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 15.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1469 699 1626">要素種類</td> <td data-bbox="699 1469 1310 1626" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1626 699 1659">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1659 699 1738">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1738 699 1823">節点数</td> </tr> </table> <p>解析モデルを添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0	要素種類		要素数	節点数	解析プログラム	(加圧器サージ配管) ANSYS 2019 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 15.0	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	(加圧器サージ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管) Ver. PC1.0													
要素種類														
要素数														
節点数														
解析プログラム		(加圧器サージ配管) ANSYS 2019 (加圧器スプレイ配管) ANSYS Ver. 15.0												
要素種類														
要素次数														
要素数														
節点数														

2. 材料物性

材料物性を以下に示す。

使用箇所	温度 (°C)	S m (MPa)	使用材料
加圧器サージ配管	360	113	SUS316TP
加圧器スプレイ配管	343	114	SUS316TP

3. 最大評価点の選定

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

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

解析モデル上の評価結果及び最大評価点の選定結果を、添付4に示す。

4. 応力分類

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

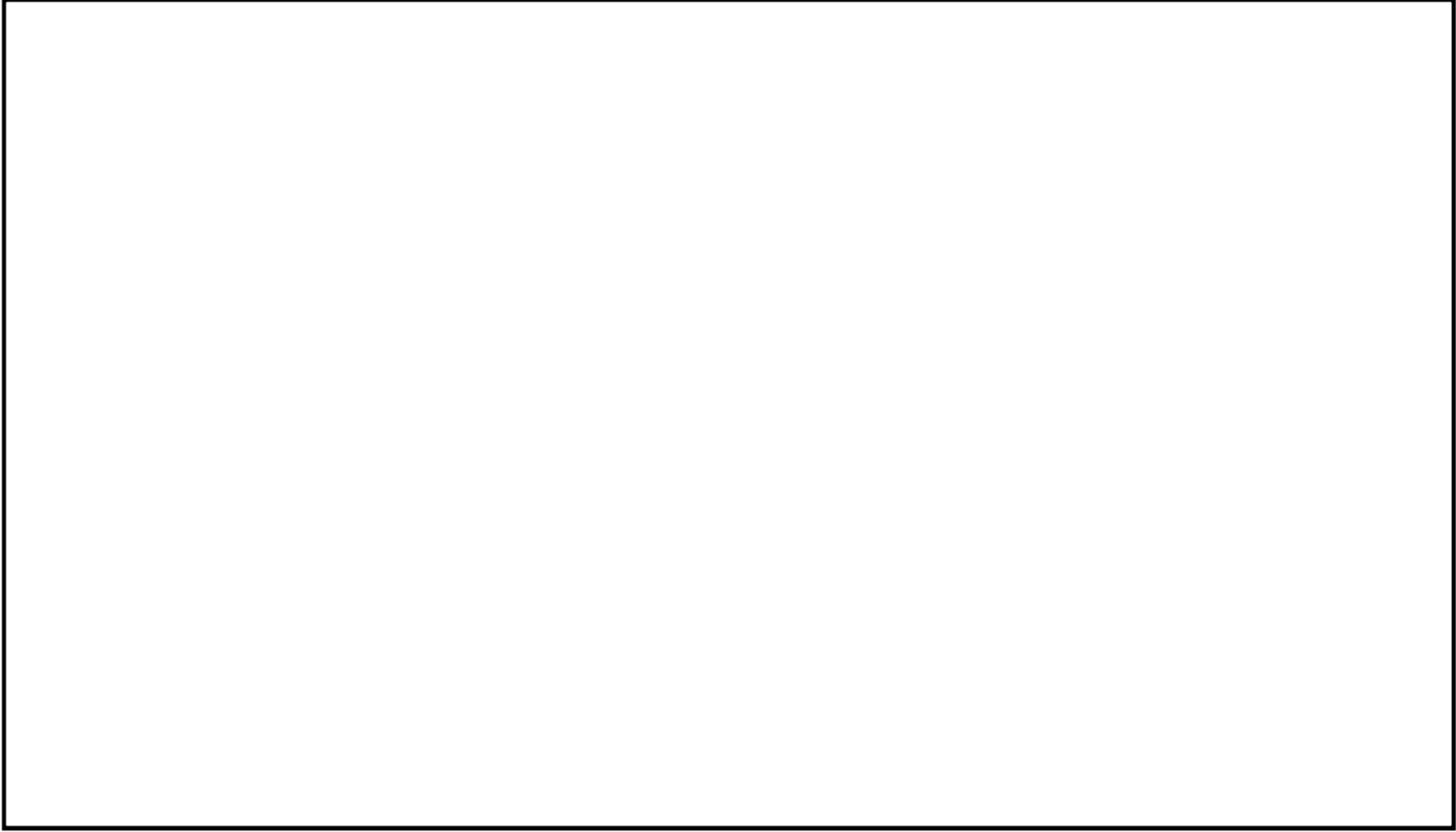
状態	荷重の組み合わせ
供用状態 A, B	【通常疲労】 圧力+熱膨張荷重+熱過渡
	【熱成層を考慮した環境疲労】 圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke 係数

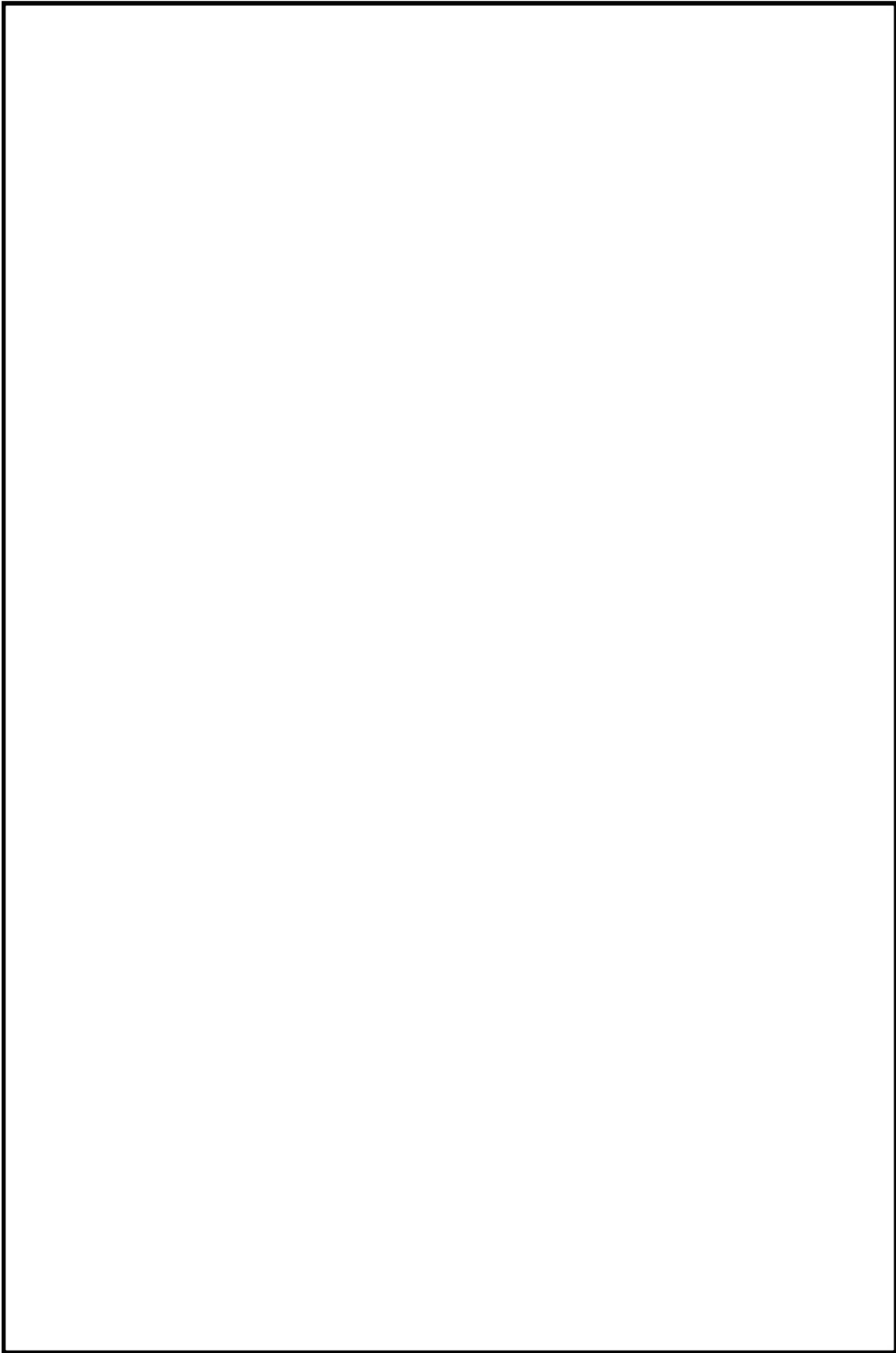
環境疲労評価において用いたKe係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

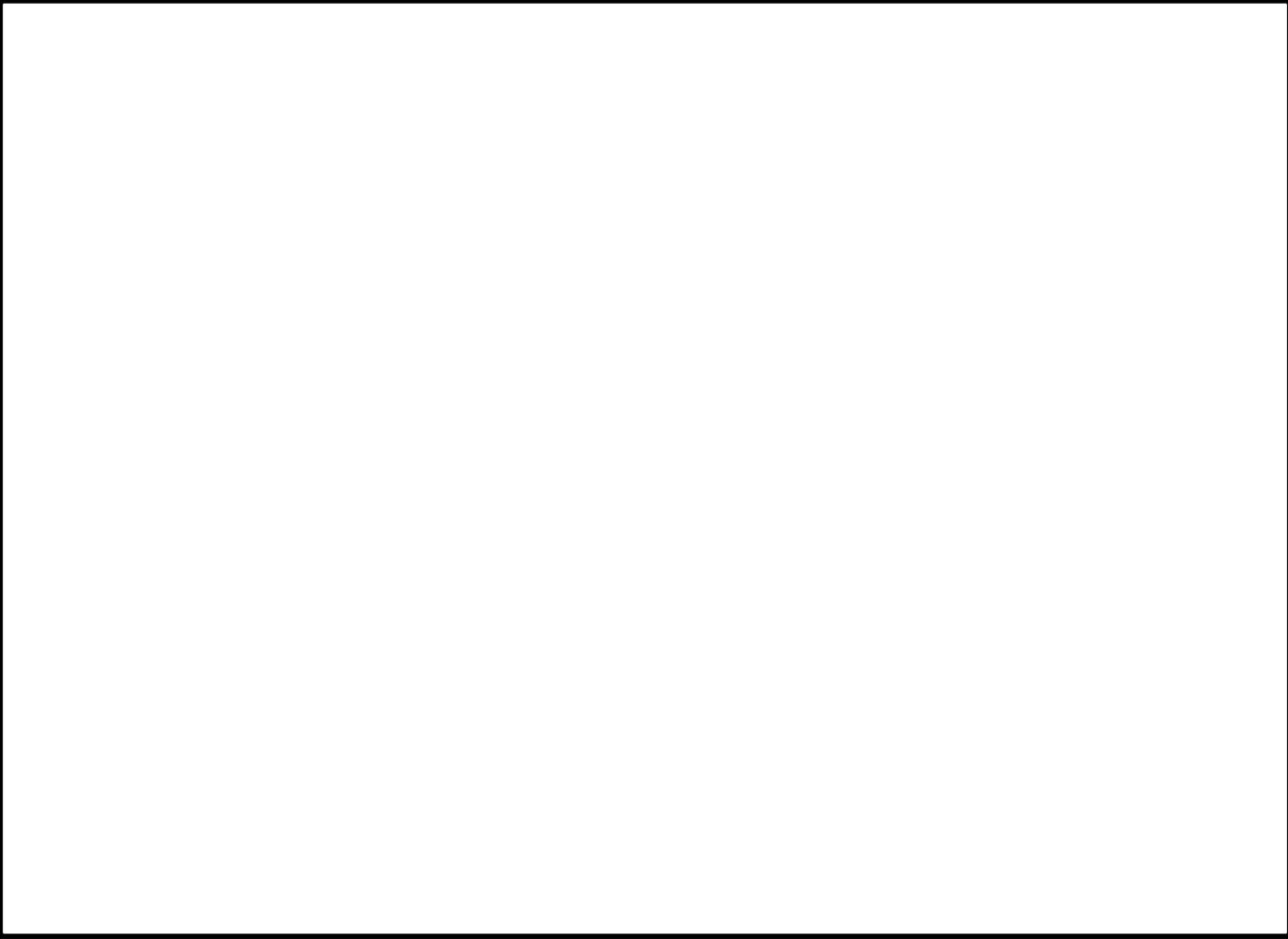
評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示す。



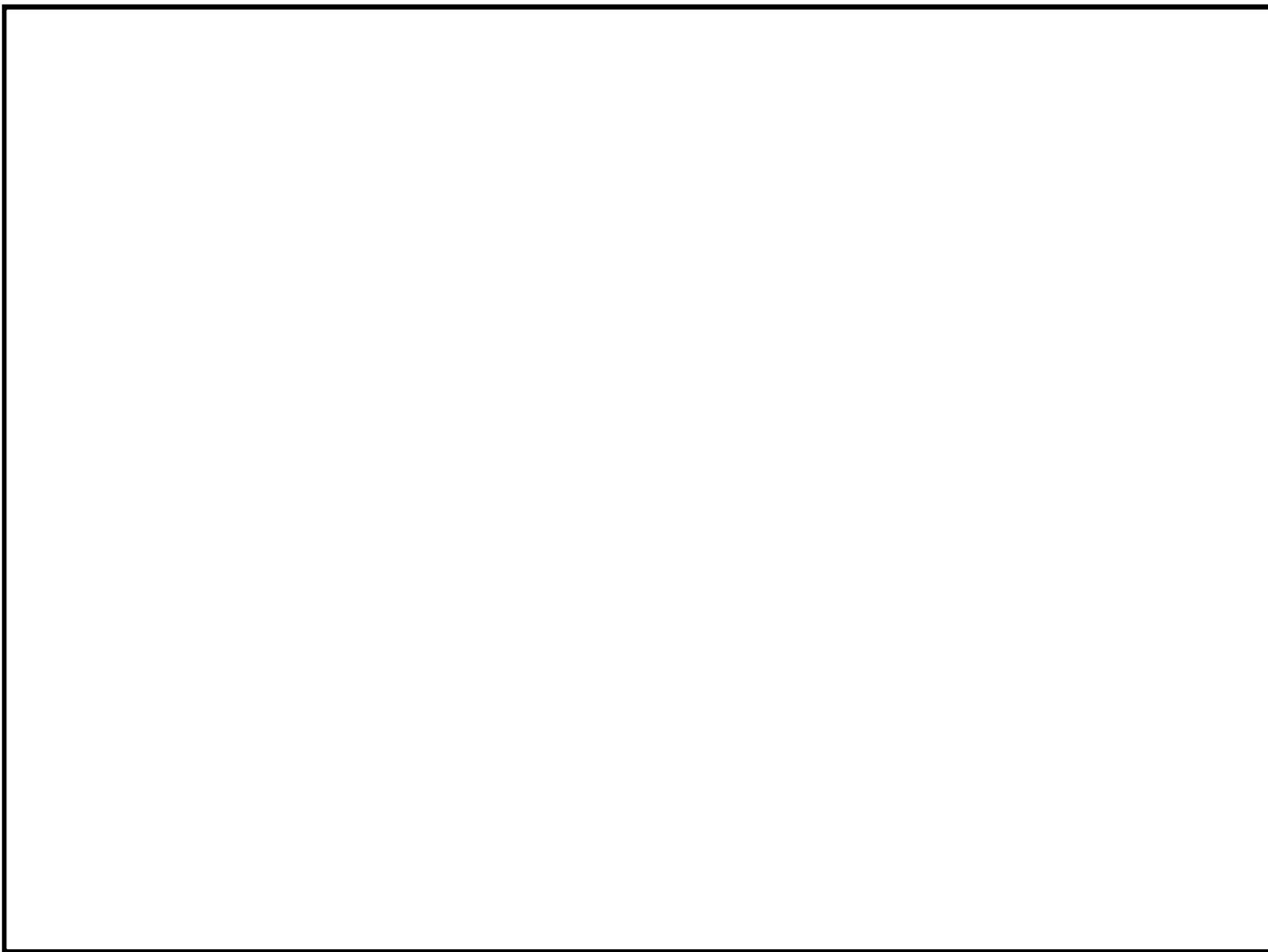
加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



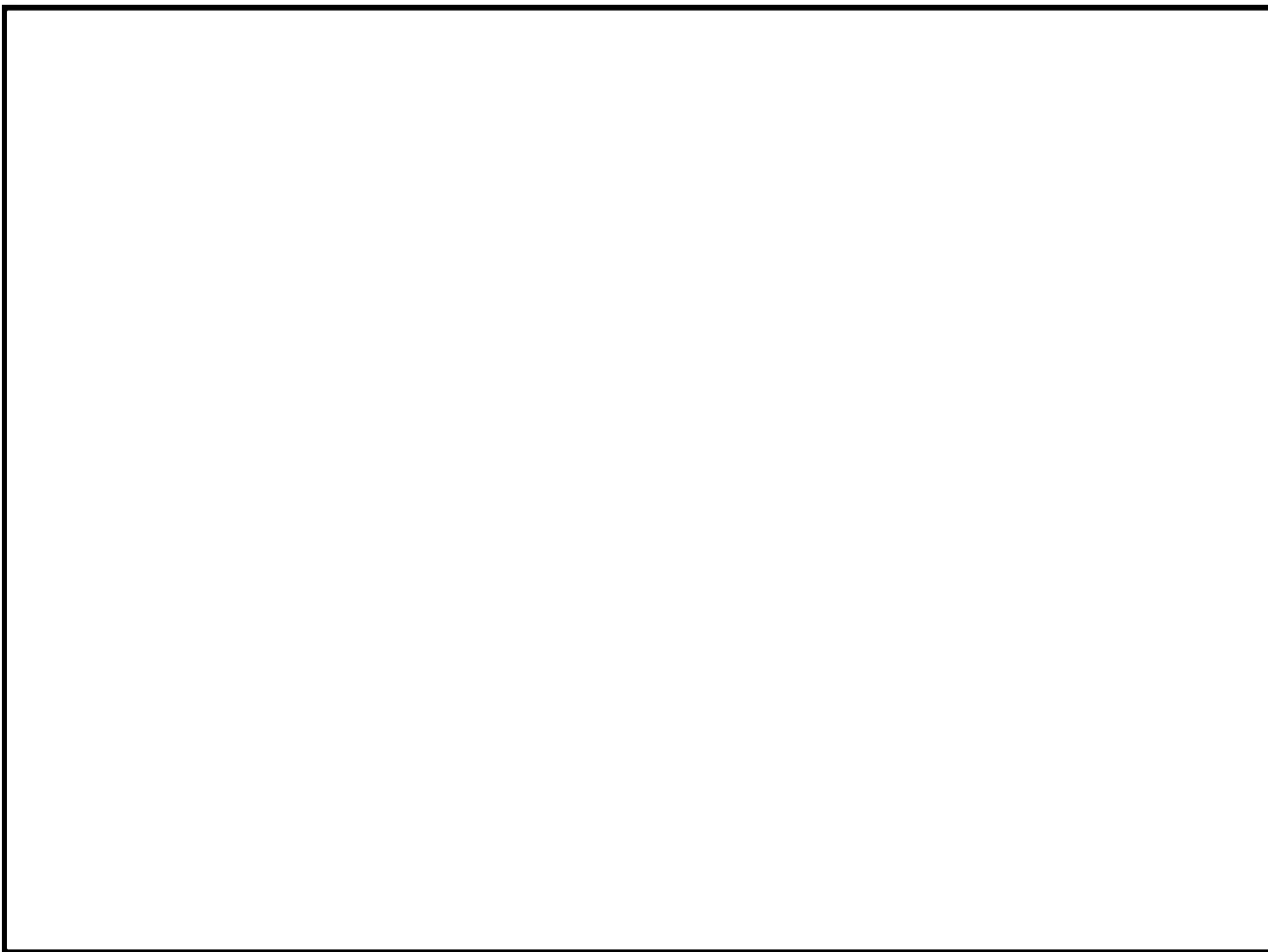
加圧器サージ配管 解析モデル (2 / 2)



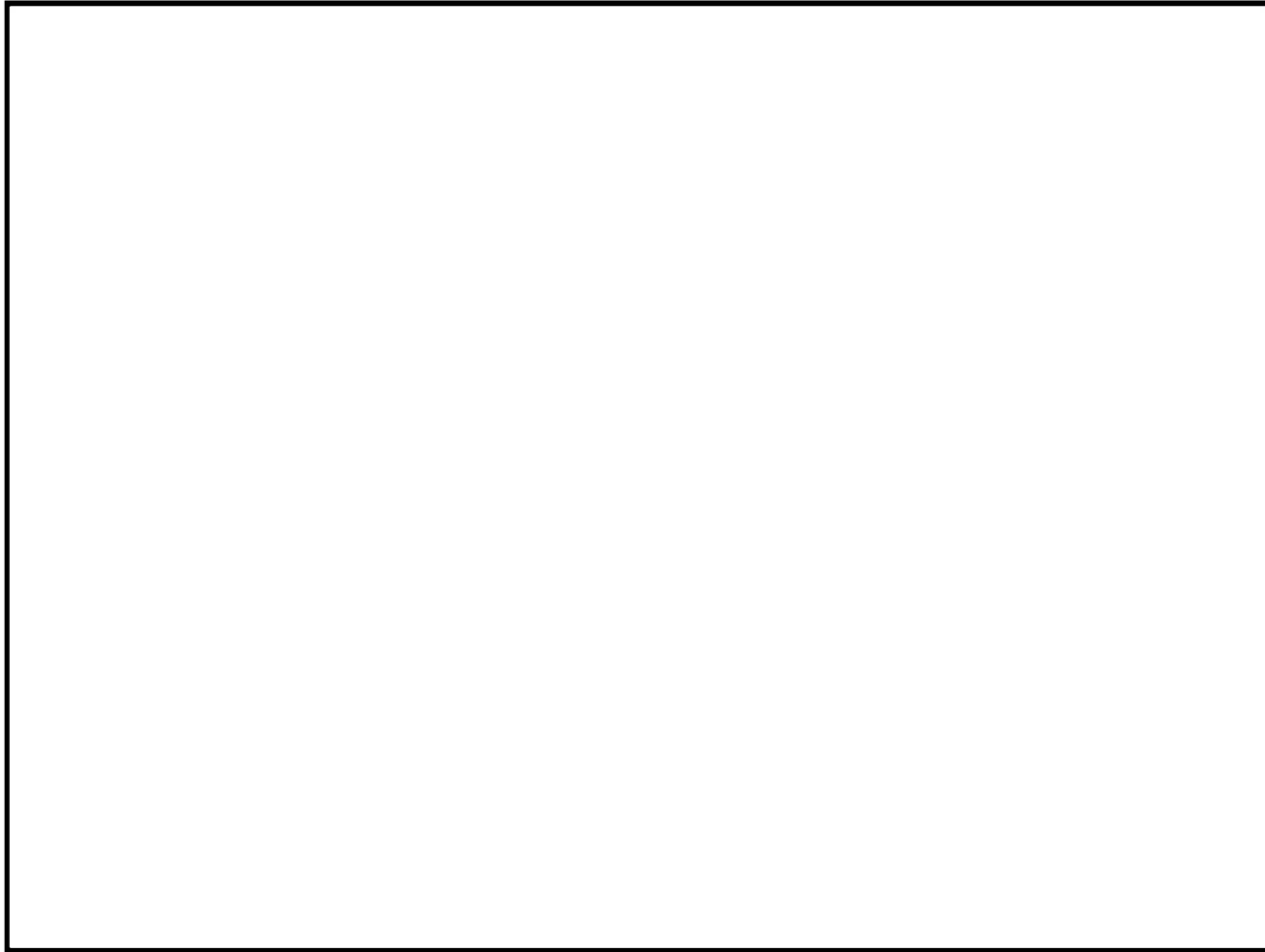
加圧器スプレィ配管 解析モデル (1 / 7)



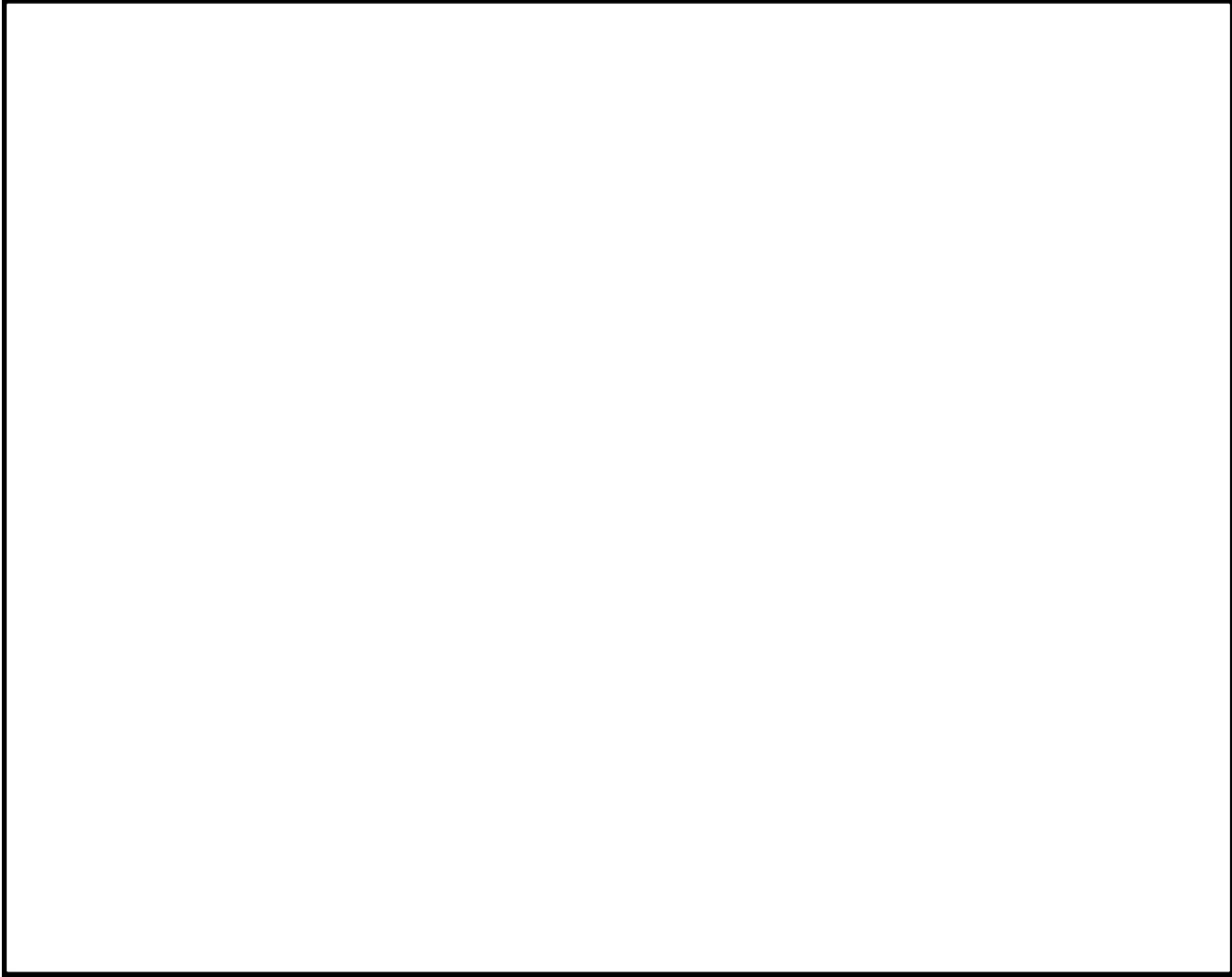
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 7)



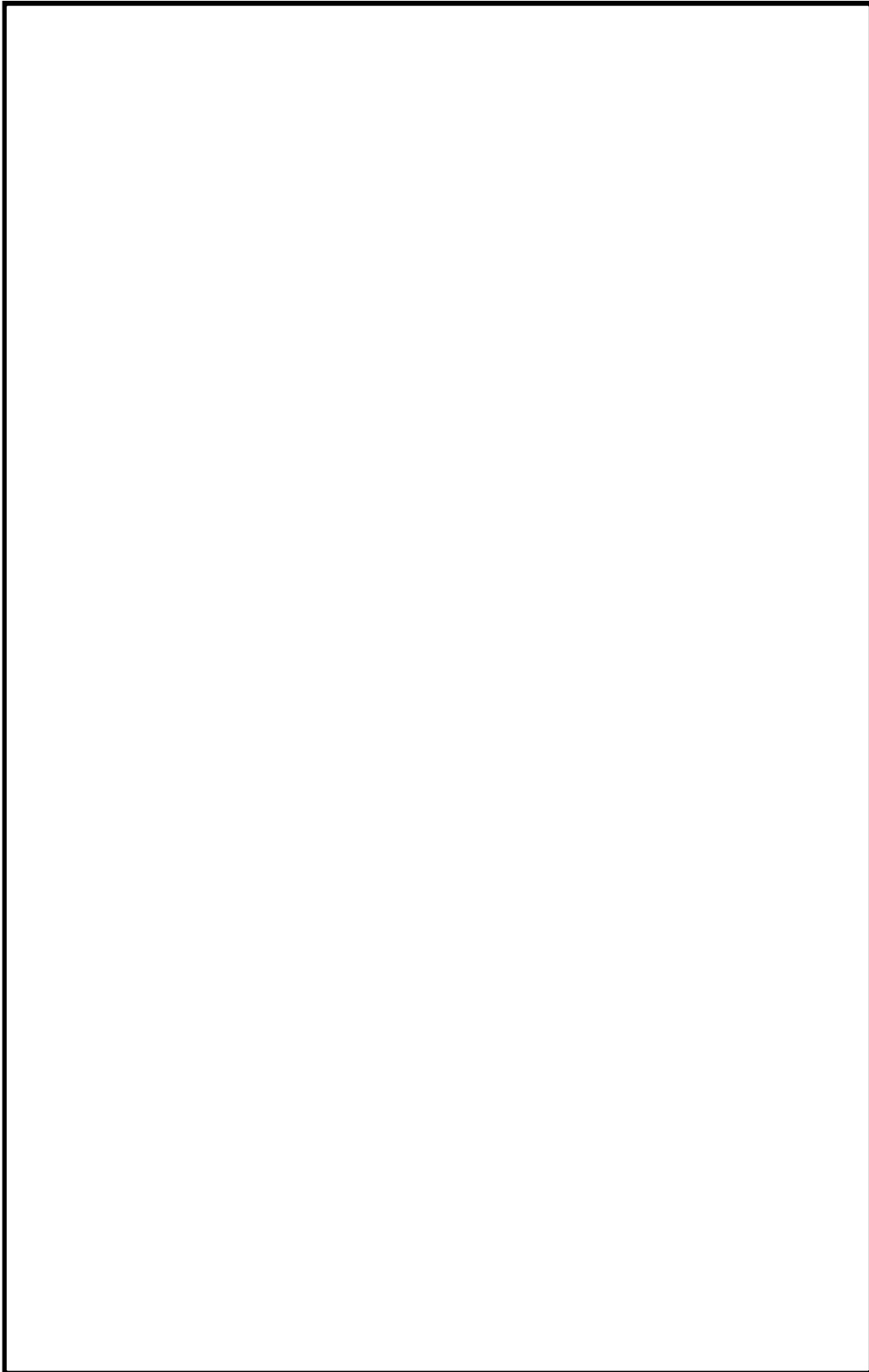
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 7)



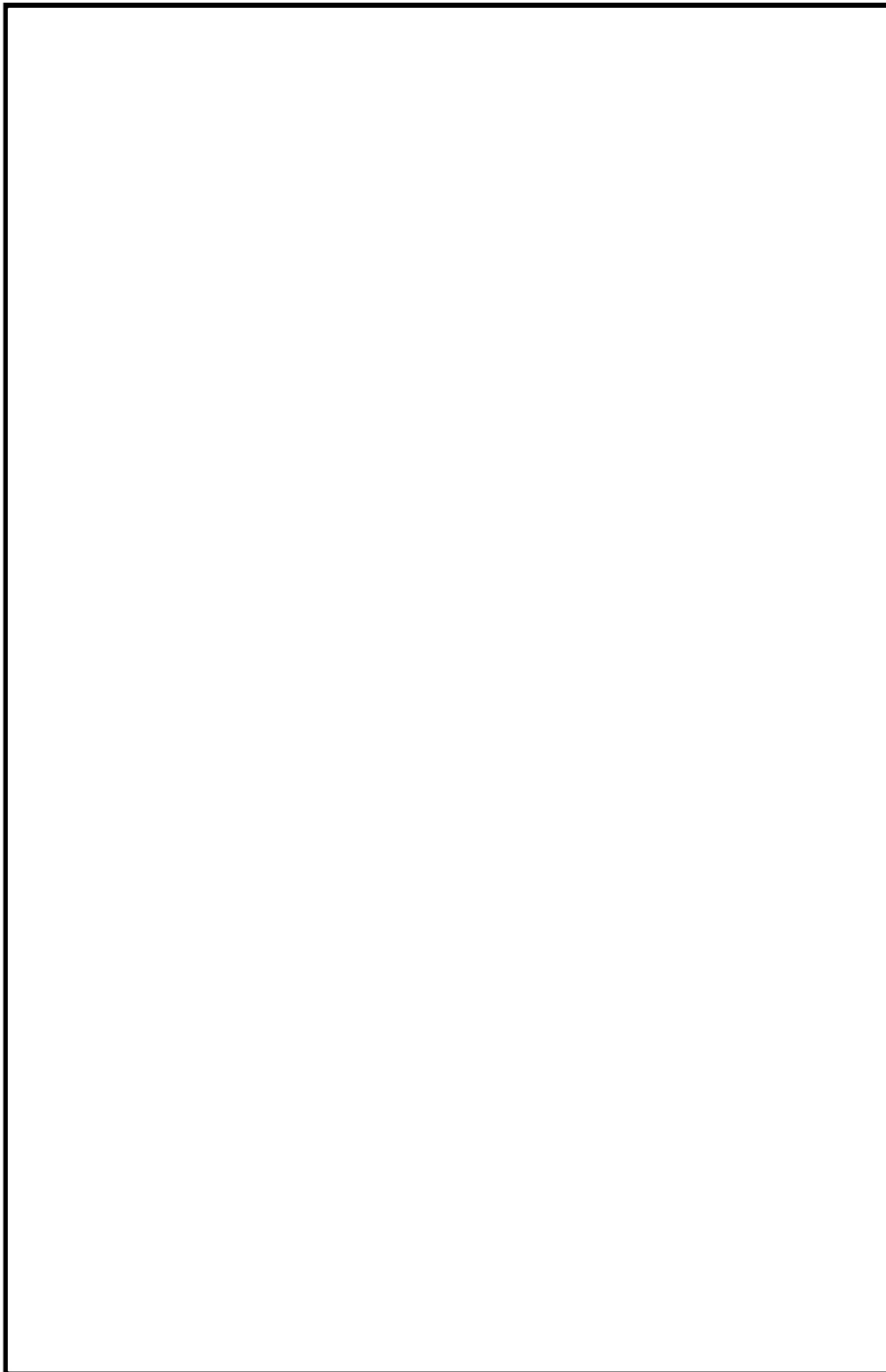
加圧器スプレイ配管 解析モデル (4 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (5 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (6 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (7 / 7)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
1101	22.5	33.8	242.8	0.0	210.4	510	288	0.00174	1.0
102	23.2	44.5	220.7	0.0	210.4	499	282	0.00182	
600	23.2	39.7	220.7	0.0	210.4	494	279	0.00160	
104	23.2	37.3	220.7	0.0	210.4	492	278	0.00151	
105	23.2	32.3	220.7	0.0	210.4	487	275	0.00134	
108	23.2	61.2	220.7	0.0	210.4	516	291	0.00272	
603	23.2	68.0	220.7	0.0	210.4	523	295	0.00321	
110	23.2	65.0	220.7	0.0	210.4	520	293	0.00295	
803	20.5	33.2	220.7	0.0	210.4	485	274	0.00120	
804	20.5	25.2	220.7	0.0	210.4	477	269	0.00090	
608	22.2	35.3	220.7	0.0	210.4	489	276	0.00133	
116	23.2	41.5	220.7	0.0	210.4	495	279	0.00148	
117	22.2	44.7	220.7	0.0	210.4	498	281	0.00158	
119	22.2	56.0	220.7	0.0	210.4	510	288	0.00203	
1102	22.5	42.9	242.8	0.0	210.4	519	293	0.00196	

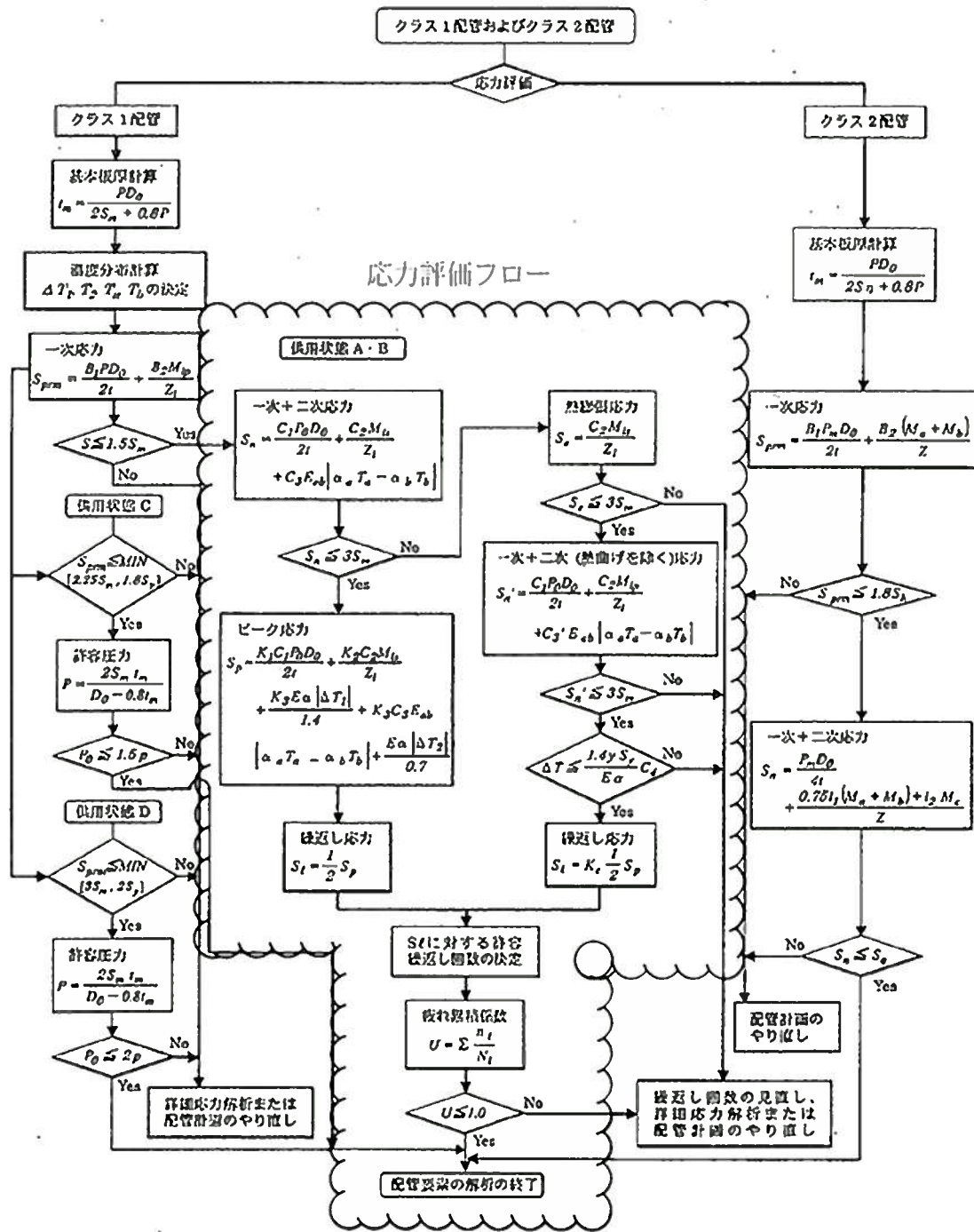
(注)本表に示す繰返しピーク応力強さは、疲労解析による繰返しピーク応力強さに
 (1.95×10⁵/材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値である。 →通常UF:0.004

加圧器スプレイ配管 最大評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
123	91.3	258.2	7.5	0.0	2.9	360	202	0.00015	1.0
125	91.3	275.9	7.5	0.0	2.9	378	233	0.00019	
126	109.3	317.0	7.5	0.0	2.9	437	337	0.00071	
128	109.3	310.1	7.5	0.0	2.9	430	325	0.00058	
143	91.3	263.2	7.5	0.0	2.9	365	211	0.00016	
254	55.6	90.3	356.4	0.0	155.7	658	331	0.01002	
1203	18.1	8.5	416.1	0.0	164.0	607	342	0.01007	
260	44.6	12.2	274.1	0.0	119.6	451	252	0.00008	
261	32.7	77.0	360.6	0.0	187.6	658	369	0.00057	
267	239.4	72.0	253.7	285.9	48.0	900	450	0.02506	
269	239.4	58.1	253.7	285.9	48.0	886	443	0.02308	
191	91.3	273.0	7.5	0.0	2.9	375	228	0.00018	
192	109.3	314.6	7.5	0.0	2.9	435	333	0.00066	
194	109.3	308.1	7.5	0.0	2.9	428	321	0.00054	
207	91.3	267.8	7.5	0.0	2.9	370	219	0.00017	

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

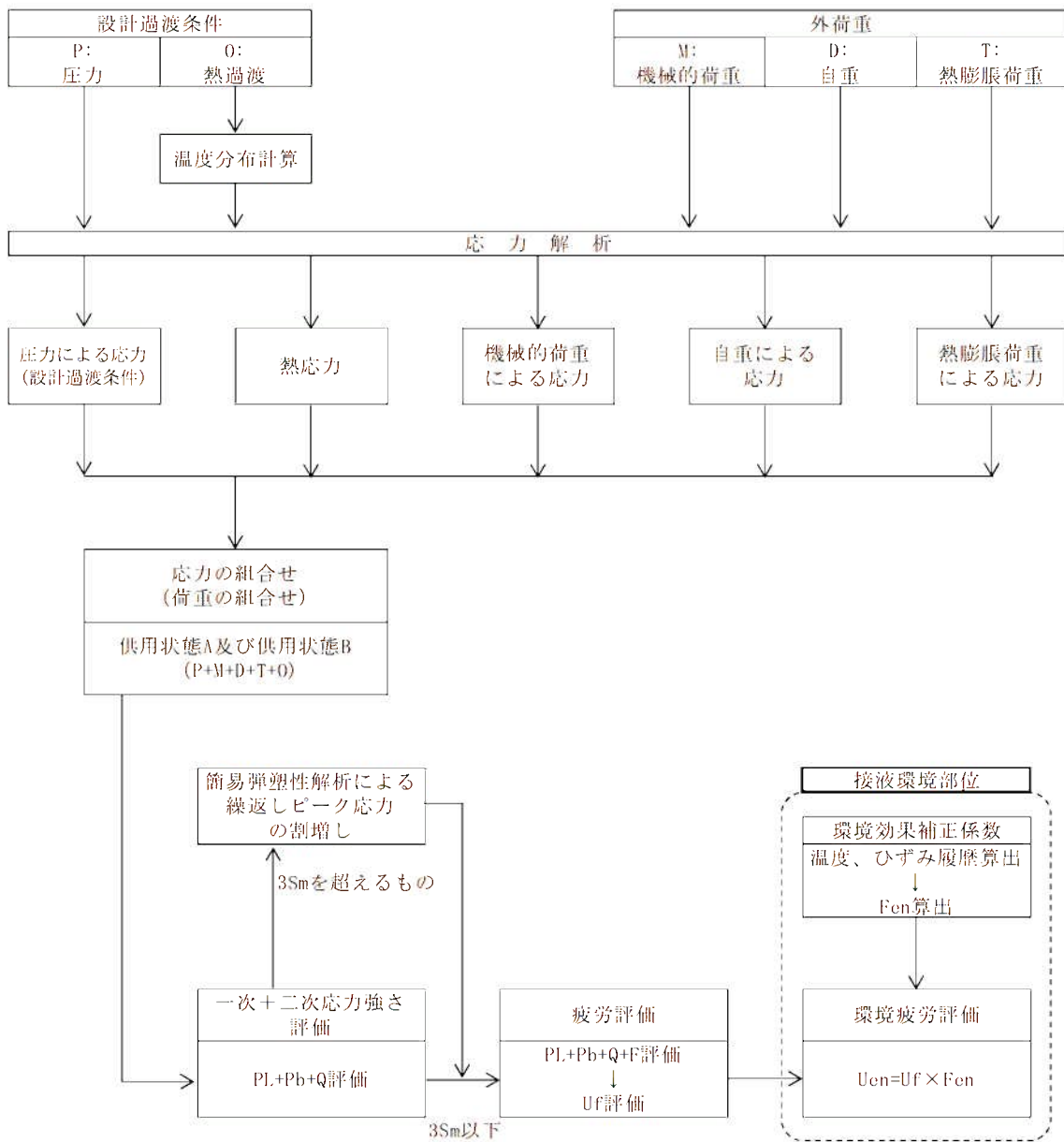
→通常UF : 0.011



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート (通常疲労)



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー（熱成層を考慮した環境疲労）

Kc係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【加圧器サージ配管】

過渡 記号 A	過渡 記号 B	応力強さ 強さ(MPa)		割増 係数 ke	K _c -応力 強さ(MPa) sslt*	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 uet
		σmax	σmin							
2e1	2h1	108.8	-481.5	1.30	408.1	2	14400	0.00014	6.882	0.00088
2e1	1j1	108.8	-482.1	1.00	398.1	2	72400	0.00003	7.235	0.00020
2g3	1g1	57.6	-327.0	1.00	305.5	2	285000	0.00000	1.000	0.00000
2g1	1g1	55.2	-327.0	1.00	304.2	2	283000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	1g1	16.1	-327.0	1.00	193.4	4	1010000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2e1	16.1	-312.1	1.00	185.0	2	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2g3	16.1	-311.1	1.00	183.2	2	1200000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2h1	16.1	-385.8	1.00	170.2	15	1530000	0.00001	1.000	0.00001
1y1	2e1	16.1	-388.4	1.00	169.7	4	1550000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	1j3	16.1	-278.1	1.00	165.8	4	1270000	0.00000	1.000	0.00000
1y1	2e1	16.1	-275.5	1.00	164.5	7	1710000	0.00000	1.000	0.00000
1e1	1x1	9.2	-273.4	1.00	159.2	60	1300000	0.00003	1.000	0.00003
1e1	1x3	9.2	-270.8	1.00	157.8	60	1360000	0.00003	1.000	0.00003
1e1	1x5	9.2	-260.7	1.00	152.1	60	2290000	0.00003	1.000	0.00003
1y1	1x5	16.1	-243.8	1.00	144.0	22	2300000	0.00001	1.000	0.00001
1e1	1x5	9.2	-243.8	1.00	142.2	38	2030000	0.00001	1.000	0.00001
1e1	1x3	9.2	-232.2	1.00	140.1	60	2270000	0.00002	1.000	0.00002
1e1	1e1	9.2	-231.6	1.00	135.7	600	3750000	0.00013	1.000	0.00013
1y3	1e1	6.9	-231.6	1.00	134.4	60	3310000	0.00002	1.000	0.00002
1y5	1e1	1.1	-231.6	1.00	131.2	60	4240000	0.00001	1.000	0.00001
2i1	1e1	0.8	-231.6	1.00	131.0	53	4370000	0.00001	1.000	0.00001
1a1	1e1	0.5	-231.6	1.00	130.7	60	4410000	0.00001	1.000	0.00001
1b1	1e1	0.5	-231.6	1.00	130.7	39	4410000	0.00001	1.000	0.00001
1b1	1x3	0.5	-228.2	1.00	128.8	21	4700000	0.00000	1.000	0.00000
1z1	1x3	-2.5	-228.2	1.00	126.5	33	5110000	0.00001	1.000	0.00001
1z1	1y1	-2.5	-227.2	1.00	125.2	21	5410000	0.00000	1.000	0.00000
1z3	1y1	-6.1	-227.2	1.00	123.2	33	5330000	0.00001	1.000	0.00001
1z3	2g1	-6.1	-221.0	1.00	121.1	2	6630000	0.00000	1.000	0.00000
1z3	1d1	-6.1	-220.8	1.00	121.0	12	6660000	0.00000	1.000	0.00000
1z5	1d1	-7.8	-220.8	1.00	120.0	60	6890000	0.00001	1.000	0.00001
1z4	1d1	-12.8	-220.8	1.00	118.7	60	8250000	0.00001	1.000	0.00001
1z2	1d1	-13.8	-220.8	1.00	118.7	60	8250000	0.00001	1.000	0.00001
1z0	1d1	-13.8	-220.8	1.00	118.0	60	8200000	0.00001	1.000	0.00001
1z0	1d1	-14.1	-220.8	1.00	118.5	60	8340000	0.00001	1.000	0.00001
1z0	1d1	-14.1	-220.8	1.00	118.5	60	8340000	0.00001	1.000	0.00001
1z4	1d1	-14.2	-220.8	1.00	118.5	60	8340000	0.00001	1.000	0.00001
1z2	1d1	-14.7	-220.8	1.00	118.2	60	8470000	0.00001	1.000	0.00001
1y4	1d1	-14.8	-220.8	1.00	118.1	60	8510000	0.00001	1.000	0.00001
1y2	1d1	-16.3	-220.8	1.00	115.2	60	8870000	0.00001	1.000	0.00001
1y6	1d1	-16.5	-220.8	1.00	115.2	60	8910000	0.00001	1.000	0.00001
1y4	1d1	-21.3	-220.8	1.00	112.5	60	1040000	0.00001	1.000	0.00001
2b1	1d1	-20.3	-220.8	1.00	107.4	15	13100000	0.00000	1.000	0.00000
1y2	1d1	-31.7	-220.8	1.00	103.2	60	1730000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1d1	-31.9	-220.8	1.00	103.5	358	1740000	0.00005	1.000	0.00005
1d1	1f1	-31.9	-214.7	1.00	103.1	8	2350000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1x5	-31.9	-211.7	1.00	101.2	60	2430000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1w1	-31.9	-211.7	1.00	101.2	60	2430000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1y5	-31.9	-205.7	1.00	98.0	60	7050000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1x3	-31.9	-194.9	1.00	91.2	60	-----	0.00000	1.000	0.00000
								total	0.00073	0.00169

(注) 応力変動幅 $\leq 0.110\%$ (sslt* ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境UF : 0.002

【加圧器スプレイ配管 (評価点B)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		利り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	実働 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	max	min	SE	alt ²	n	n*	u	fen	uen
9E3	9E3	290.0	-609.8	2.00	1008.0	3	513	0.00863	7.334	0.00316
1E8	1E8	314.0	-611.0	1.40	545.8	60	4290	0.01399	3.745	0.06234
1E9	1E9	153.0	-419.0	1.30	415.2	60	13200	0.04431	3.591	0.01303
1E3	1E6	118.4	-390.3	1.00	284.3	60	69900	0.00064	3.203	0.00205
1E6	1E9	89.6	-362.2	1.00	225.2	60	165000	0.00044	3.172	0.00141
1E0	1E9	69.5	-338.5	1.00	249.6	60	294000	0.00023	1.946	0.00052
1E9	3E1	58.4	-348.9	1.00	329.8	7	323000	0.00002	3.207	0.00007
1E0	1E6	66.4	-351.1	1.00	333.4	53	334000	0.00013	2.833	0.00042
1E7	1E9	51.1	-351.1	1.00	303.8	7	568000	0.00001	1.000	0.00001
1E7	3E1	51.1	-346.8	1.00	307.2	3	628000	0.00000	1.000	0.00000
1E7	3E1	51.1	-343.1	1.00	305.3	3	670000	0.00000	1.000	0.00000
1E7	1E1	51.1	-340.8	1.00	303.8	4	709000	0.00001	1.000	0.00001
1E7	1E1	51.1	-339.1	1.00	303.0	2	735000	0.00000	1.000	0.00000
1E7	1E1	51.1	-338.3	1.00	303.3	4	730000	0.00001	1.000	0.00001
1E7	1E1	51.1	-338.0	1.00	303.7	4	735000	0.00001	1.000	0.00001
1E7	1E1	51.1	-338.8	1.00	303.7	35	739000	0.00005	1.000	0.00005
1E9	1E1	30.6	-338.0	1.00	202.4	60	741000	0.00003	1.000	0.00003
1E3	1E1	15.0	-338.8	1.00	199.3	60	929000	0.00007	1.000	0.00007
1E5	1E1	11.1	-338.8	1.00	187.0	60	897000	0.00007	1.000	0.00007
1E1	1E1	3.0	-338.8	1.00	191.9	60	1090000	0.00003	1.000	0.00003
2E1	1E1	0.8	-338.8	1.00	181.3	53	1040000	0.00006	1.000	0.00006
1E3	1E1	-1.5	-338.0	1.00	190.6	60	1070000	0.00003	1.000	0.00003
1E4	1E1	-5.9	-338.8	1.00	187.5	60	1110000	0.00005	1.000	0.00005
1E4	1E1	-6.8	-338.0	1.00	187.0	60	1130000	0.00005	1.000	0.00005
1E4	1E1	-23.7	-338.8	1.00	173.0	60	1320000	0.00005	1.000	0.00005
1E5	1E1	-22.8	-338.0	1.00	177.2	60	1390000	0.00005	1.000	0.00005
1E1	1E1	-24.5	-338.8	1.00	175.2	250	1370000	0.00013	1.000	0.00013
1E1	1E1	-28.5	-338.5	1.00	173.3	878	1330000	0.00023	1.000	0.00023
1E1	1E2	-24.5	-338.4	1.00	175.3	3	1380000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1E1	-32.5	-338.3	1.00	173.7	1772	1330000	0.00123	1.000	0.00123
1E1	1E1	-34.5	-338.3	1.00	173.6	4	1330000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1E1	-37.0	-338.3	1.00	173.5	884	1330000	0.00064	1.000	0.00064
1E1	1E1	-31.0	-338.3	1.00	173.2	540	1440000	0.00017	1.000	0.00017

1E1	1A5	-31.0	-333.4	1.00	170.4	60	1530000	0.00004	1.000	0.00004
1E1	1B4	-31.0	-311.8	1.00	158.3	60	1440000	0.00003	1.000	0.00003
1E1	1E4	-31.0	-310.0	1.00	157.3	60	1350000	0.00003	1.000	0.00003
1E1	1E5	-31.0	-303.4	1.00	152.7	60	4130000	0.00004	1.000	0.00004
1E1	1E6	-31.0	-366.3	1.00	126.9	60	6920000	0.00001	1.000	0.00001
1E1	1A4	-31.0	-335.4	1.00	169.7	60	13700000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1E3	-31.0	-317.4	1.00	165.1	60	18800000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1E0	-31.0	-311.5	1.00	161.8	60	32300000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1E7	-31.0	-303.8	1.00	38.3	60	158000000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1E0	-31.0	-190.7	1.00	90.1	60	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.10481

①注) ①: 振幅幅0.1105 (Salt)②: 314.5) の場合、 $f_{env}=1.0$

→環境UF : 0.105

タイトル	1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠について																							
説明	<p>1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</p> <p>1. 解析モデル</p> <p>疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p><配管荷重の算出></p> <table border="1" data-bbox="475 857 1310 943"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p><温度分布の算出*></p> <table border="1" data-bbox="475 976 1310 1335"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>Abaqus Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table> <p>※ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグの評価点には1次冷却材ポンプの取合部やエルボの外面テーパ部等の構造不連続部が多数あるため、2次元FEM解析にて温度分布を計算している。算出した温度分布は、ピーク応力のうち、板厚内の温度分布による応力のパラメータに用いられる。なお、梁モデルは外荷重による応力算出に用いられる。</p> <p>2. 材料物性</p> <p>材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="416 1682 1362 1973"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>温度(°C)</th> <th>Sm (MPa)</th> <th>使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">SCS14A</td> <td>324.9</td> <td>116</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td>289.2</td> <td>120</td> <td>クロスオーバレグ コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	MSAP	要素種類		解析プログラム	Abaqus Ver. 2018	要素種類		要素次数	要素数	節点数		材料	温度(°C)	Sm (MPa)	使用箇所	SCS14A	324.9	116	ホットレグ	289.2	120	クロスオーバレグ コールドレグ
解析プログラム	MSAP																							
要素種類																								
解析プログラム	Abaqus Ver. 2018																							
要素種類																								
要素次数																								
要素数																								
節点数																								
材料	温度(°C)	Sm (MPa)	使用箇所																					
SCS14A	324.9	116	ホットレグ																					
	289.2	120	クロスオーバレグ コールドレグ																					

3. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点は構造不連続部等において応力が大きくなる点を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。
解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。

4. 応力分類

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

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

5. K e 係数

評価に用いた K e 係数を添付 3 に示す。

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付 3 に示す。

【管台】

1. 解析モデル

疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。

<配管荷重の算出>

解析プログラム	MSAP
要素種類	

<応力の算出>

解析プログラム	Abaqus Ver. 6.12-3
要素種類	
要素次数	
要素数	
節点数	

2. 材料物性

材料物性値を以下に示す。

材料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所
SUSF316	324.9	117	加圧器サージ管台
	289.2	120	蓄圧タンク注入管台
SCS14A	289.2	121	充てん管台

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付4に示す。

4. 応力分類

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

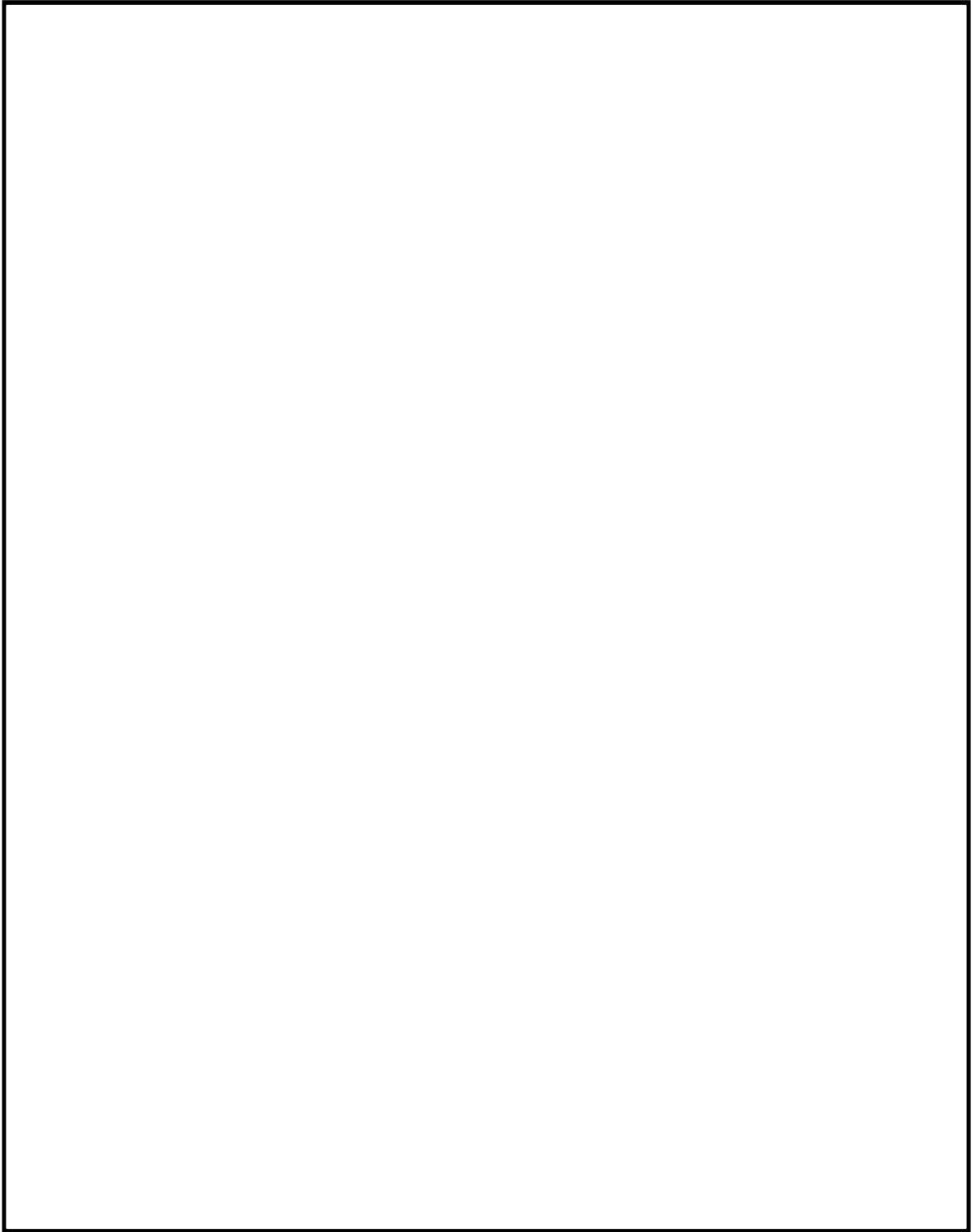
状態	荷重の組み合わせ
供用状態 A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. K_e係数

評価に用いたK_e係数を添付6に示す。

6. 環境評価パラメータ

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



1 次冷却材管 形状及び評価点

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1/2)

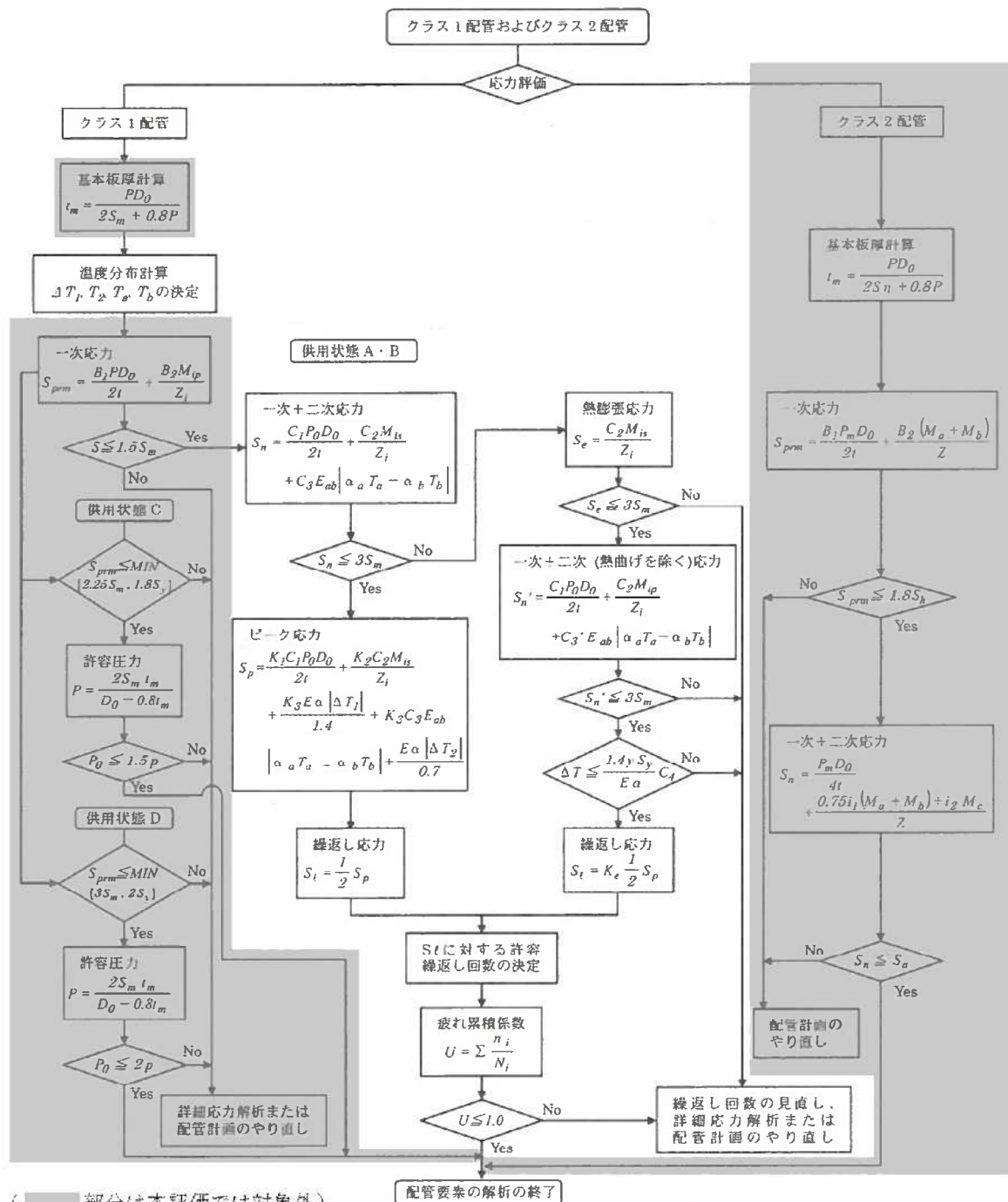
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	111.3	95.3	135.4	0.0	130.0	471.9	236.0	264.4	0.00015	1.0
	109	76.7	8.1	171.4	0.0	130.0	386.1	193.1	216.4	0.00004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

→ ホットレグ通常UF : 0.001

1次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
クロスオーバーバレッジ	155	136.3	38.9	99.7	31.0	45.8	351.7	175.9	193.7	0.00010	1.0
	157	120.0	13.8	106.5	0.0	44.6	284.9	142.4	156.9	0.00002	
	159	109.1	10.9	96.8	0.0	44.6	261.5	130.7	144.0	0.00001	
	160	120.0	10.5	106.5	0.0	44.6	281.6	140.8	155.1	0.00002	
	161	136.3	28.6	99.7	31.0	45.8	341.4	170.7	188.1	0.00009	
	163	128.4	26.3	105.6	0.0	52.1	312.4	156.2	172.1	0.00007	
	165	136.3	32.6	99.7	31.0	45.8	345.5	172.7	190.3	0.00009	
	167	149.4	12.3	104.5	215.8	12.9	494.9	247.5	272.6	0.00105	
コールドレグ	181	151.2	94.1	111.9	108.4	18.2	483.8	241.9	266.5	0.00081	
	183	109.4	10.0	97.7	0.0	42.4	259.5	129.8	143.0	0.00001	
	185	120.4	34.1	107.4	0.0	42.4	304.3	152.2	167.6	0.00003	
	186	134.6	95.2	100.6	32.4	43.7	406.5	203.3	223.9	0.00016	
	189	124.6	82.9	107.4	0.0	50.2	365.1	182.5	201.1	0.00011	
	191	124.5	97.7	102.8	23.7	45.4	394.1	197.0	217.1	0.00014	
	194	111.1	42.3	110.4	0.0	44.8	308.6	154.3	170.0	0.00003	

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



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

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

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

標準条件番号		一次+二次+ ピーク電力 α	割り増し 係数 EE	繰返しピーク 電力強さ		実績繰 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 α	環境効果 補正係数 fea	環境効果未考慮した 疲労累積係数 uea
A	B			繰返し 実	繰返し 許					
40 (2B1)	18 (111)	404.8	1.0	232.3	316.4	3	52500	0.00004	24.579	0.00034
59 (3F1)	18 (111)	454.2	1.0	242.1	371.3	3	121000	0.00002	24.579	0.00061
26 (3C1)	18 (111)	467.4	1.0	233.7	331.3	3	147000	0.00001	24.579	0.00023
31 (1L1)	18 (111)	468.7	1.0	232.3	330.2	3	150000	0.00001	24.579	0.00023
57 (3E1)	18 (111)	491.2	1.0	250.0	353.2	3	153000	0.00001	24.579	0.00021
25 (2A1)	18 (111)	496.4	1.0	236.2	258.0	7	160000	0.00004	24.579	0.00103
35 (3D4)	18 (111)	458.0	1.0	232.0	256.6	3	165000	0.00001	24.579	0.00020
31 (3D1)	18 (111)	467.5	1.0	233.3	256.4	3	169000	0.00005	24.579	0.00113
33 (3D3)	18 (111)	467.4	1.0	233.7	356.3	3	168000	0.00001	24.579	0.00020
41 (3B1)	18 (111)	454.5	1.0	237.2	354.7	3	173000	0.00001	24.579	0.00023
3 (1B1)	18 (111)	422.0	1.0	213.0	242.1	25	232000	0.00013	24.579	0.00331
15 (111)	38 (3D5)	388.2	1.0	182.2	223.7	2	378000	0.00001	11.377	0.00003
8 (1B1)	2 (1B1)	578.0	1.0	182.2	212.3	30	532000	0.00011	1.000	0.00011
8 (1B1)	43 (2J2)	370.3	1.0	185.3	207.0	53	613000	0.00019	1.000	0.00019
43 (3G1)	18 (111)	367.2	1.0	182.3	205.7	2	660000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1B1)	38 (3E1)	366.5	1.0	183.1	205.3	2	872000	0.00000	1.000	0.00000
32 (1L2)	15 (111)	340.3	1.0	179.3	180.3	3	1950000	0.00000	1.000	0.00000
34 (3B3)	15 (111)	330.4	1.0	165.2	135.2	3	1160000	0.00000	1.000	0.00000
46 (3F1)	15 (111)	328.5	1.0	164.3	134.1	3	1130000	0.00000	1.000	0.00000
30 (3C2)	15 (111)	313.3	1.0	153.3	173.3	2	1230000	0.00000	1.000	0.00000
32 (3B1)	15 (111)	313.5	1.0	153.3	173.3	3	1230000	0.00001	1.000	0.00001
3 (1B1)	15 (111)	310.0	1.0	152.0	172.7	47	1430000	0.00002	1.000	0.00002
47 (3J1)	38 (3A1)	126.7	1.0	82.3	111.3	7	11500000	0.00000	1.000	0.00000
47 (3J1)	44 (2E2)	162.3	1.0	93.3	103.0	2	14500000	0.00000	1.000	0.00000
47 (3J1)	43 (311)	142.3	1.0	81.2	102.2	3	20200000	0.00000	1.000	0.00000
47 (3J1)	12 (1B1)	161.1	1.0	86.2	101.5	4	22300000	0.00000	1.000	0.00000
47 (3J1)	3 (1B1)	173.3	1.0	92.7	97.1	49	23300000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1B1)	3 (1B1)	127.3	1.0	63.3	71.3	650	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00330

(注) 応力変動幅α=0.110% (αa1'≦314.5) の場合、fea=1.0

→環境UF : 0.010

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

選渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 σ _p	割増し 係数 ZE	繰返しピーク 応力強さ		実繰返 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 α	環境効果 補正係数 f _{en}	環境効果 を考慮した 疲労累積係数 α _{en}
A	B			繰返し σ _{alt}	繰返し σ _{alt} '					
47 (2J1)	3 (1F1)	484.9	1.0	247.5	279.8	59	113000	0.00050	10.362	0.00513
1 (1A1)	3 (1B1)	488.0	1.0	244.0	283.3	1	137000	0.00001	10.333	0.00001
1 (1A1)	18 (1H1)	494.7	1.0	243.4	287.0	59	132000	0.00045	3.590	0.00160
27 (2F1)	18 (1H1)	440.3	1.0	220.4	242.8	5	233000	0.00002	5.312	0.00013
35 (2A1)	18 (1H1)	417.3	1.0	208.9	230.2	4	213000	0.00001	4.564	0.00003
35 (2A1)	48 (2J2)	409.4	1.0	204.7	225.5	3	320000	0.00001	7.208	0.00005
43 (2B1)	48 (2J2)	359.7	1.0	179.9	193.2	3	330000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2B4)	48 (2J2)	357.7	1.0	178.9	187.1	3	335000	0.00000	1.000	0.00000
18 (1H1)	36 (2B5)	356.3	1.0	178.1	186.3	3	233000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	42 (2J2)	350.4	1.0	175.2	189.0	4	1010000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2P2)	48 (2J2)	350.0	1.0	175.0	182.3	3	1020000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	48 (2J2)	349.7	1.0	174.9	182.3	3	1020000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	348.1	1.0	174.1	180.2	3	1050000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	42 (2J2)	338.5	1.0	169.3	185.4	3	1130000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	48 (2J2)	330.1	1.0	165.0	181.2	9	1230000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	48 (2J2)	329.3	1.0	164.7	180.1	3	1270000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1B1)	48 (2J2)	325.3	1.0	162.6	178.3	37	1330000	0.00002	1.000	0.00002
15 (1H1)	42 (2G1)	321.5	1.0	160.9	156.3	3	2040000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1B1)	36 (2E1)	289.3	1.0	144.9	143.3	3	2250000	0.00000	1.000	0.00000
18 (1H1)	48 (2H1)	288.8	1.0	144.3	143.0	3	2230000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1G1)	18 (1H1)	192.0	1.0	96.0	106.3	53	17700000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1B1)	40 (2F1)	104.3	1.0	52.2	57.1	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00717

(注) 応力変動幅0.110% (σ_{alt}'≧214.5) の場合、f_{en}=1.0

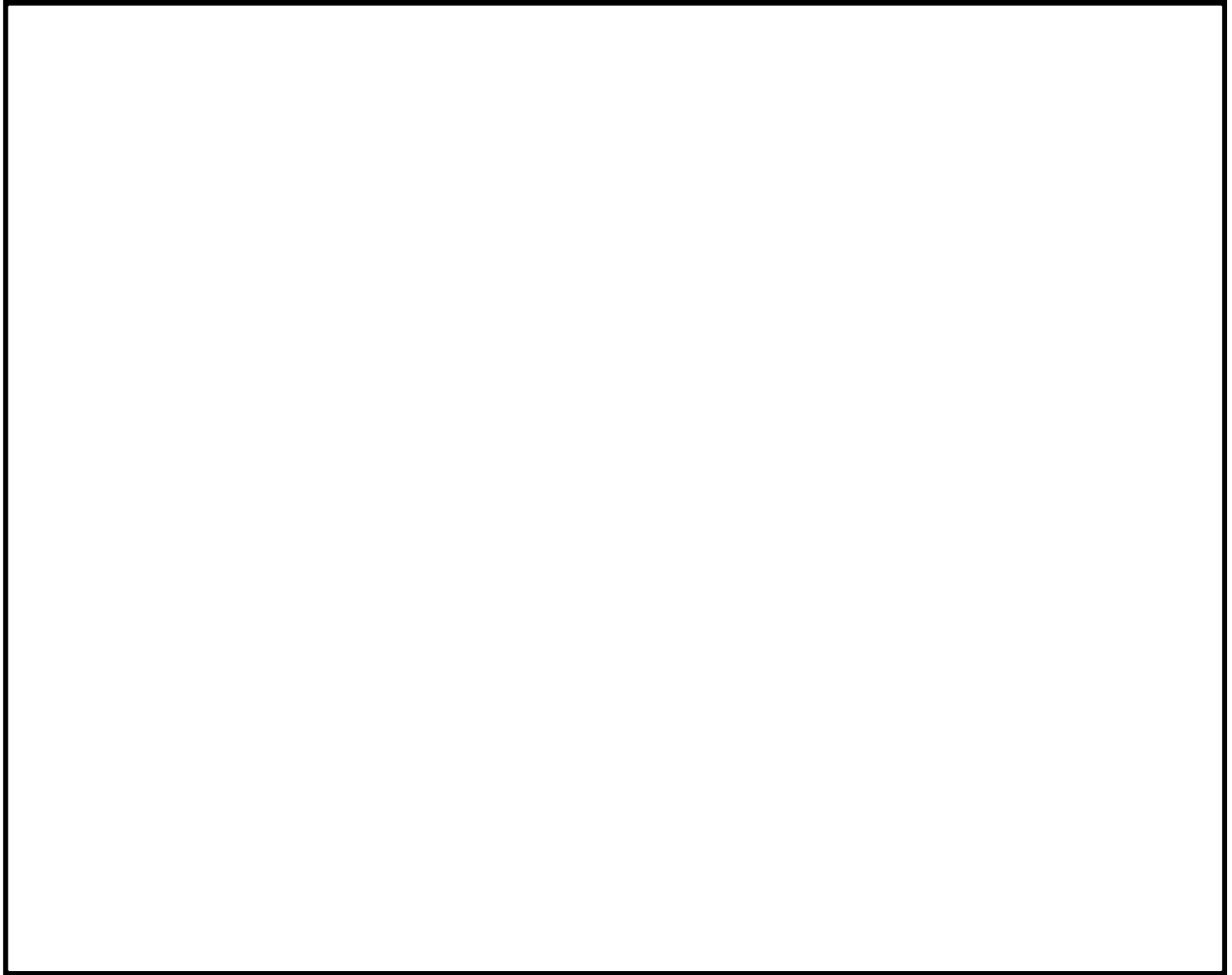
→環境UF : 0.008

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

過渡条件番号		一次+二次+ 三次電力	割り増し 係数	繰返しビーク 電力強さ		実繰返 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	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'					
27 (2B1)	16 (111)	483.5	1.0	241.8	201.5	5	154000	0.00004	5.338	0.00051
1 (1A1)	16 (111)	483.7	1.0	241.8	200.4	60	154000	0.00045	2.339	0.00134
25 (2A1)	16 (111)	478.8	1.0	238.1	202.8	8	148000	0.00002	4.764	0.00010
35 (2A1)	2 (1B1)	483.1	1.0	218.1	238.0	4	280000	0.00002	34.578	0.00033
47 (2J1)	2 (1B1)	480.0	1.0	215.0	236.8	60	282000	0.00051	10.760	0.00225
47 (2J1)	48 (2J2)	480.1	1.0	210.1	231.4	8	307000	0.00001	8.037	0.00005
15 (111)	36 (2D5)	388.1	1.0	184.0	208.7	2	782000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	48 (2J2)	387.3	1.0	183.8	208.8	2	744000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1A1)	48 (2J2)	383.0	1.0	178.5	187.7	4	879000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	48 (2J2)	380.7	1.0	178.4	186.5	2	815000	0.00000	1.000	0.00000
38 (2D3)	48 (2J2)	385.7	1.0	177.8	186.8	2	862000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	48 (2J2)	384.2	1.0	177.5	186.5	2	847000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	345.8	1.0	173.0	180.8	2	1090000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	48 (2J2)	389.1	1.0	189.8	188.8	2	1150000	0.00000	1.000	0.00000
12 (1B1)	48 (2J2)	389.0	1.0	189.5	188.8	0	1150000	0.00000	1.000	0.00000
28 (2C1)	48 (2J2)	385.7	1.0	187.8	184.0	2	1160000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	48 (2J2)	383.2	1.0	188.8	188.5	27	1180000	0.00002	1.000	0.00002
43 (2G1)	15 (111)	310.1	1.0	155.0	170.8	2	1510000	0.00000	1.000	0.00000
48 (2H1)	15 (111)	338.3	1.0	144.4	158.1	0	1310000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	28 (2E1)	272.3	1.0	136.1	150.0	2	2450000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	15 (111)	233.0	1.0	116.5	131.8	60	4280000	0.00001	1.000	0.00001
5 (1D1)	40 (2F1)	108.2	1.0	54.1	66.0	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
									合計:	0.00441

(注) 欠すの極値は0.1100 (salt'は214.5) の場合、f_{env}=1.0

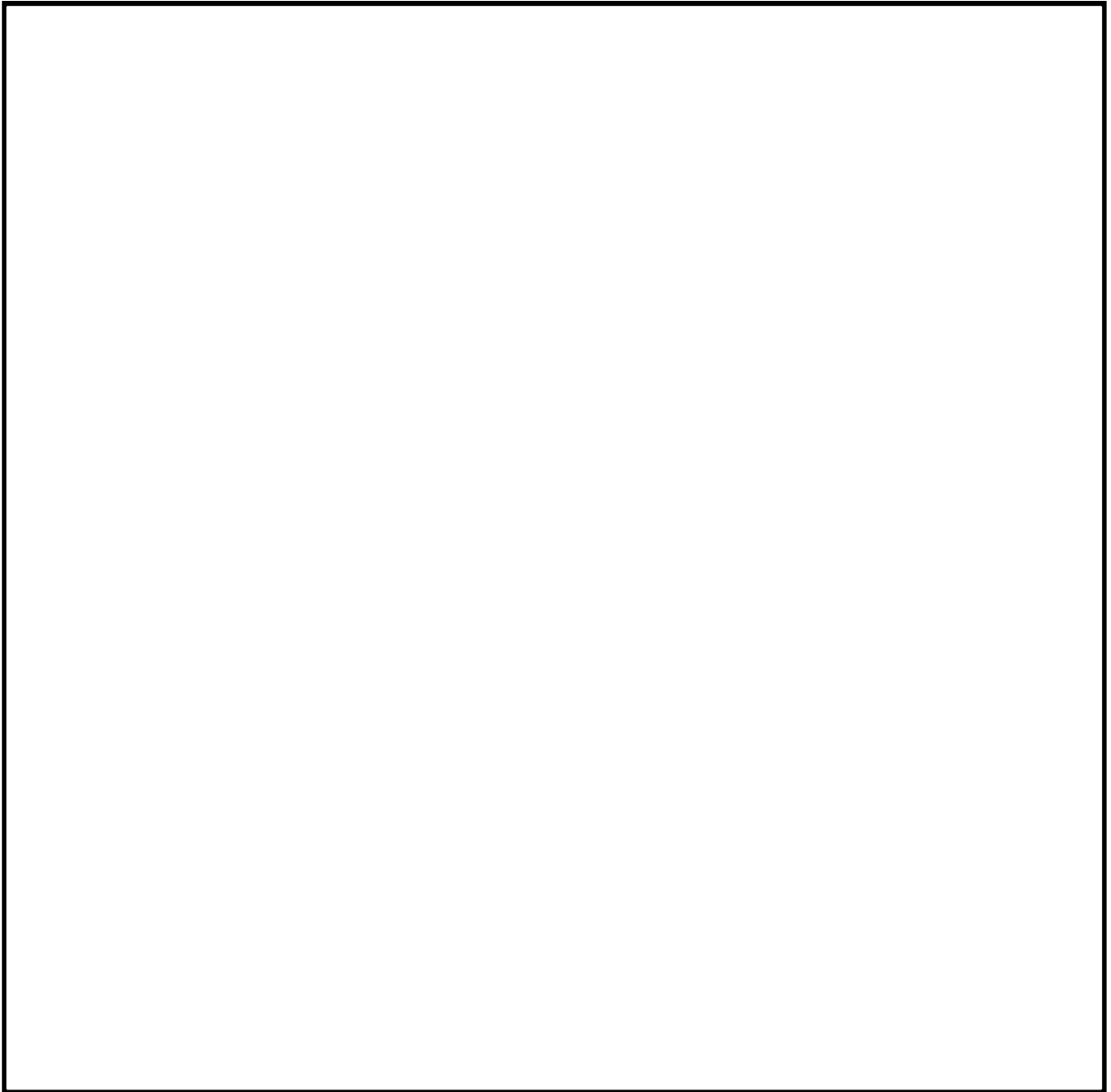
→環境UF : 0.005



(1) 1次冷却材管（加圧器サージ管台） 評価点



(2) 1次冷却材管（充てん管台） 評価点



(3) 1次冷却材管（蓄圧タンク注入管台）評価点

(1) 1次冷却材管(加圧器サージ管台) 最大疲労評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.010$

(2) 1次冷却材管 (充てん管台) 最大疲労評価点の選定

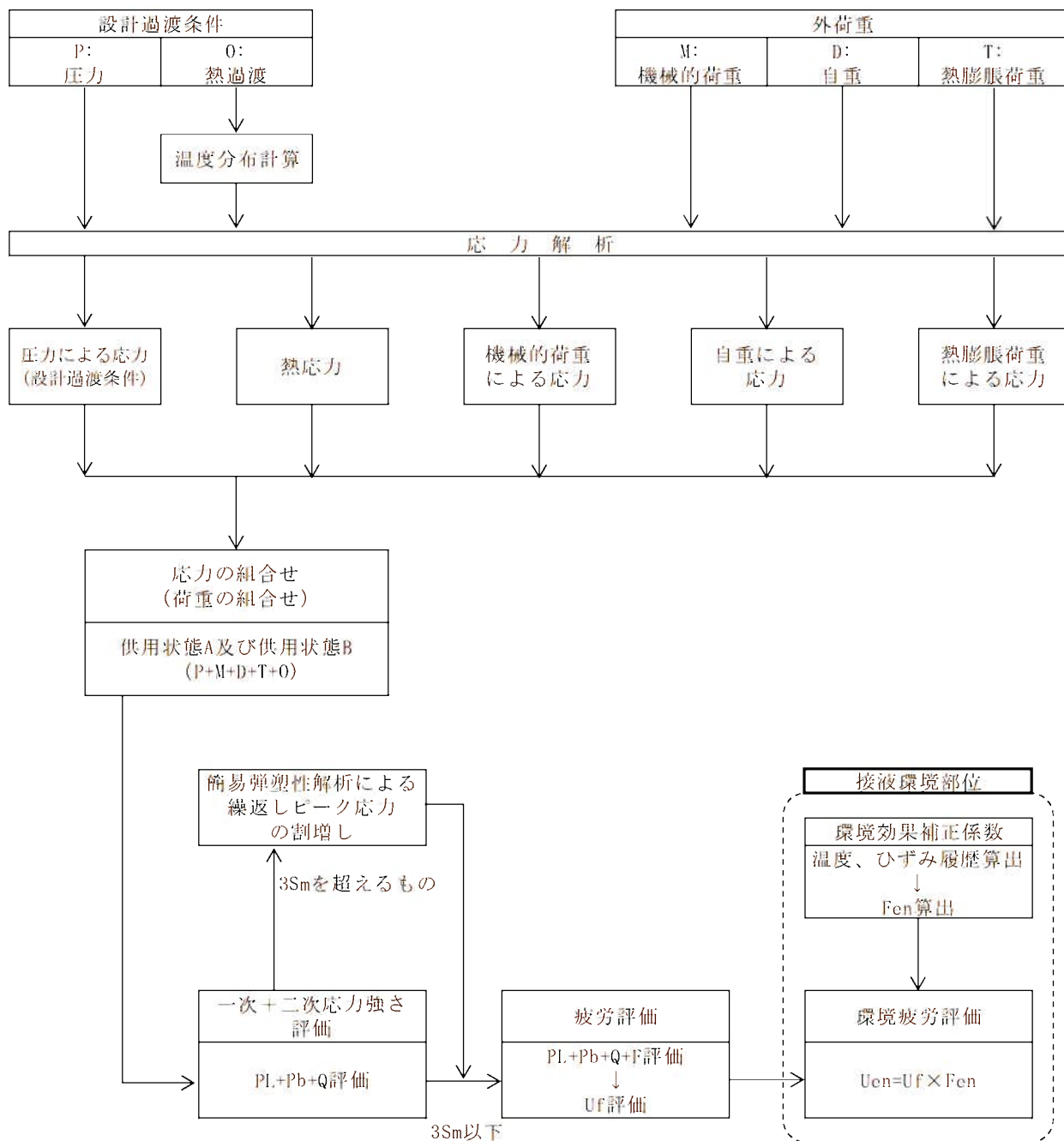
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00130	0.00064
2	0.00000	0.00000	0.00001
3	0.0	0.00000	0.00001
4	0.0	0.00000	0.00000
5	0.0	0.00001	0.00000
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00039	0.00139	0.00001
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00002	0.00002
8C	0.0	0.00010	0.00003
9L	0.00248	0.00109	0.00000
10L	0.0	0.00000	0.0
9C	0.00007	0.00004	0.00000
10C	0.0	0.00011	0.00005
11L	0.00021	0.00014	0.00000
12L	0.00000	0.00000	0.00001
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00011	0.00013

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 U_f : 0.003

(3) 1次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 最大疲労評価点の選定

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

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.009$



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

繰返条件 記号		一次+二次+ 三次応力強さ		割り増し 係数 Kf	繰返しピーク 応力強さ		実繰返 回数 n	許容繰返し 回数 n*	使用累積係数 u	繰返効果 補正係数 fen	繰返効果を考慮した 疲労累積係数 usen
A	B	σmax	σmin		補正前 σalt	補正後 σalt'					
2D4	1B2	406.3	-161.5	1.00	378.9	312.6	2	35000	0.00004	5.833	0.00021
2G1	1B2	383.8	-161.5	1.00	370.2	302.8	2	66400	0.00002	6.905	0.00020
1D1	1B2	337.9	-161.5	1.00	344.5	274.6	716	114000	0.00028	5.418	0.05400
1D1	1A2	337.9	-161.5	1.00	244.5	274.6	160	114000	0.00140	5.413	0.00750
2A1	1A2	332.2	-161.5	1.00	242.4	271.7	7	120000	0.00006	3.733	0.00022
2B1	1A2	327.5	-161.5	1.00	238.4	266.5	5	120000	0.00004	4.610	0.00013
1G1	1A2	326.9	-161.5	1.00	235.0	267.5	4	130000	0.00003	5.439	0.00017
2J2	1A2	323.8	-161.5	1.00	235.2	264.7	60	130000	0.00042	1.928	0.00051
2H2	1A2	309.4	-161.5	1.00	230.4	256.3	2	150000	0.00001	3.038	0.00004
2I1	1A2	304.4	-161.5	1.00	228.0	258.6	6	130000	0.00004	2.432	0.00009
1M1	1A2	301.9	-161.5	1.00	225.7	254.1	117	174000	0.00067	4.874	0.00253
1M1	2E1	301.9	-17.3	1.00	168.5	178.6	2	1300000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	N33	301.9	0.0	1.00	180.9	189.2	119	1500000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1I1	301.9	19.6	1.00	141.1	168.2	68	1050000	0.00003	1.000	0.00003
1M1	2D4	301.9	97.1	1.00	106.4	114.6	2	9100000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2H1	301.9	104.7	1.00	98.6	116.6	2	12300000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2G1	301.9	164.3	1.00	72.6	82.4	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.04039

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

→環境UF : 0.047

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	σmax	σmin		LL	補正前 σalt					
1B1	201	1.7	-375.4	1.40	474.5	535.7	2	4940	0.00040	5.555	0.00568
1B1	205	1.7	-378.4	1.30	415.5	454.5	2	3850	0.00023	4.915	0.00111
1B1	2N3	1.7	-530.5	1.50	335.5	435.5	2	11900	0.00017	5.532	0.00112
1B1	2N5	1.7	-558.7	1.35	351.7	389.5	2	18300	0.00015	5.285	0.00103
1B1	202	1.7	-608.2	1.60	295.5	237.5	2	27400	0.00006	4.832	0.00025
1B1	2N4	1.7	-504.3	1.60	302.2	335.0	2	23000	0.00005	5.555	0.00024
1B1	206	1.7	-513.1	1.60	257.4	235.5	5	92300	0.00006	7.975	0.00043
1B1	204	1.7	-504.3	1.60	252.2	230.7	2	150000	0.00002	4.835	0.00010
1B1	202	1.7	-460.1	1.60	256.2	235.5	4	168000	0.00002	5.995	0.00017
1B1	2Q1	1.7	-458.5	1.60	235.1	255.0	35	171000	0.00001	5.155	0.00120
111	2Q1	0.9	-458.5	1.60	222.5	254.5	68	173000	0.00001	12.420	0.00438
N33	2Q1	0.9	-458.5	1.60	222.5	254.0	110	174000	0.00001	12.420	0.00540
204	2Q1	-53.1	-458.5	1.60	202.5	224.7	2	500000	0.00001	12.420	0.00007
20E	2Q1	-55.5	-458.5	1.60	201.5	222.5	2	501000	0.00001	12.420	0.00006
2E1	2Q1	-121.2	-458.5	1.60	155.7	180.5	2	1120000	0.00000	1.000	0.00000
202	2Q1	-162.2	-458.5	1.60	145.2	161.4	2	1520000	0.00000	1.000	0.00000
2N3	2Q1	-174.5	-458.5	1.60	142.5	157.7	2	1570000	0.00000	1.000	0.00000
2Q7	2Q1	-178.5	-458.5	1.60	141.5	156.5	2	2010000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2Q1	-211.7	-458.5	1.60	123.5	136.5	2	2220000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2Q1	-216.5	-458.5	1.60	121.5	134.1	7	2250000	0.00000	1.000	0.00000
201	2Q1	-221.7	-458.5	1.20	115.4	128.5	2	4550000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2Q1	-244.1	-458.5	1.65	112.5	125.2	3	6250000	0.00000	1.000	0.00000
2D3	2Q1	-255.5	-458.5	1.60	111.5	123.2	2	5550000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2Q1	-240.1	-458.5	1.60	102.2	121.0	2	6280000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2Q1	-244.2	-458.5	1.60	102.2	118.4	2	2570000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2Q1	-278.4	-458.5	1.17	105.9	116.5	2	8410000	0.00000	1.000	0.00000
201	2Q1	-250.5	-458.5	1.60	104.2	115.4	2	8520000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2Q1	-254.1	-458.5	1.60	102.2	113.5	8	9550000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2Q1	-238.2	-458.5	1.60	105.2	111.0	2	11700000	0.00000	1.000	0.00000
205	2Q1	-255.5	-458.5	1.03	92.2	109.2	2	13550000	0.00000	1.000	0.00000
2HE	2Q1	-281.5	-458.5	1.60	95.5	109.2	2	13550000	0.00000	1.000	0.00000
2Q6	2Q1	-268.2	-458.5	1.60	92.1	105.2	2	19100000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2Q1	-268.5	-458.5	1.60	94.2	105.1	4	19700000	0.00000	1.000	0.00000
2S1	2Q1	-273.4	-458.5	1.60	92.1	103.2	5	26250000	0.00000	1.000	0.00000
20A	2Q1	-279.1	-458.5	1.60	82.2	99.4	2	45500000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2Q1	-222.5	-458.5	1.60	32.1	97.2	583	32550000	0.00001	1.000	0.00001
1G1	2R1	-222.2	-449.5	1.60	32.7	92.7	60	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00264

(注) ひずみ振幅≦0.11% (σalt' ≦314.5) の場合、Fen=1.0

→環境UF : 0.023

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

過渡応答 記号		一次+二次+ 三次応答強さ		割り増し 係数	繰返しビーク 応答強さ		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	E	smax	smin		補正前 s _{alt}	補正後 s _{alt'}					
2L1	2E1	659.4	-285.4	1.85	828.8	996.3	5	549	0.60554	3.432	0.01247
2E1	2L1	684.0	-345.0	1.85	784.7	814.0	5	1620	0.60195	4.567	0.03355
2G1	2G1	555.3	-255.7	1.61	654.8	725.5	5	1510	0.60135	5.667	0.09671
2D4	1B3	544.6	-193.2	1.65	607.7	675.3	3	1250	0.60195	3.205	0.03431
1B3	2D5	586.6	-195.3	1.65	329.5	445.9	5	9550	0.60030	4.516	0.02555
1B3	152	586.6	-195.2	1.05	238.7	264.3	55	139000	0.60645	3.142	0.02131
1I1	1I1	184.1	-1.4	1.05	22.8	102.3	65	27950000	0.60690	1.000	0.02000
2H1	1B1	126.3	-1.2	1.05	33.8	75.7	2	-----	0.60690	1.000	0.02000
合計:											0.05222

(注) 0.5未満は0.11% (s_{alt'}≧214.5) の場合, fen=1.0

→環境UF: 0.034

タイトル	仕切弁（余熱除去ラインループ高温側出口弁弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去ラインループ高温側出口弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。</p> <p>設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。</p> <p>また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A</p> <p>ヤング率：1.78×10^5 (MPa)</p> <p>熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC1-2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. K_e係数 <p>簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (F_{en}) の算出根拠を添付3に示す。</p>

応力解析結果

弁番号： 3PCV-420/430 呼び径： 12B 弁箱の材質： SCS14A 接続管の材質： SUS316TP クラス1弁

弁箱の応力解析 (1/2)

(1) 設計条件及び寸法

最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	260 °Cにおける 接算圧力 P _s (MPa)	260 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の260 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	260 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa)	260 °Cにおける 熱膨張係数 α (× 10 ⁻⁶ mm/mm・°C)	AA断面における 金属部の厚さ t _a (mm)	交差部壁面とその二等 分線とに接する円の直 径 T _{a1} (mm)	交差部壁面に接する円の 直径 T _{a2} (mm)
17.16	343	18.5	125	137	178000	18.44			

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

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

(注1) K_e適用判定のS_nはVVB-3370による。

(注2) S_nはVVB-3340による。

(2) 弁箱の応力

項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S _n ^(注2)	
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VVB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VVB-10.2)
			P _d	P _b	P _t		
計算応力 (MPa)	59	136	31	60	60	198	150
許容応力 (MPa)	S _m = 125	2.25 S _m = 283	1.5 S _m = 188			3 S _m = 377	
評 価	弁箱に生ずる応力はすべて許容応力以下であるので、強度は十分である。						

疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡の組合せ		S _{0.1} (MPa)	S ₁₁ (MPa)	S ₁₂ (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt ₁ (sec)	Δt ₂ (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	鋼種:1 以外:2	ε* (-)	T1 (℃)	T2 (℃)	T (℃)	T* (℃)	Fen (-)	Fen×N/N*	
	加熱過程	冷却過程																				
起動時及び停止時 1次系漏えい試験	H1	C1	324.8	162.4	183.0	60	1209809	0.00				17800		1								0.001
	H26	C29	324.8	162.4	183.0	59	1209809	0.00				17800		1								0.000
起動時及び停止時 以外	H24	C21	799.9	400.0	450.8	2	9152	0.00				17800		1								0.004
	H2	C23	652.6	326.3	367.8	2	24498	0.00				17800		1								0.002
	H2	C25	599.0	299.5	337.8	2	37649	0.00				17800		1								0.001
	H2	C7	533.8	266.9	300.8	68	68876	0.00				17800		1								0.027
	H2	C24	506.6	253.3	285.5	3	91894	0.00				17800		1								0.001
	H2	C19	486.8	243.4	274.3	2	114252	0.00				17800		1								0.000
	H2	C29	474.4	237.2	267.4	6	131805	0.00				17800		1								0.001
	H2	C9	470.3	235.1	265.0	2	138350	0.00				17800		1								0.000
	H2	C16	498.2	234.1	263.9	2	141767	0.00				17800		1								0.000
	H2	C13	445.1	222.5	250.8	7	187728	0.00				17800		1								0.001
	H2	C18	443.4	221.7	249.9	8	191635	0.00				17800		1								0.001
	H2	C27	443.4	221.7	249.9	2	191635	0.00				17800		1								0.000
	H2	C6	433.1	216.6	244.1	4	220682	0.00				17800		1								0.001
	H2	C3	409.6	204.8	230.8	776	312199	0.00				17800		1								0.080
	H12	C3	334.1	167.1	188.3	7	1102883	0.00				17800		1								0.000
	H9	C3	318.8	159.4	179.7	2	1285232	0.00				17800		1								0.000
	H10	C3	316.0	158.0	178.1	2	1324118	0.00				17800		1								0.000
	H7	C3	308.9	154.5	174.1	64	1425158	0.00				17800		1								0.002
	H13	C3	307.3	153.6	173.2	5	1450381	0.00				17800		1								0.000
	H4	C3	306.5	153.2	172.7	4	1463213	0.00				17800		1								0.000
	H6	C3	305.2	152.6	172.0	4	1482739	0.00				17800		1								0.000
	H19	C3	299.9	149.9	169.0	2	1571398	0.00				17800		1								0.000
	H15	C3	297.8	148.9	167.8	2	1607334	0.00				17800		1								0.000
H18	C3	297.8	148.9	167.8	2	1607334	0.00				17800		1								0.000	
H21	C3	293.7	146.8	165.5	2	1682493	0.00				17800		1								0.000	
H5	C3	293.3	146.6	165.3	4	1690259	0.00				17800		1								0.000	
							ΣN/N*	0.005													ΣFen×N/N*	0.126

→通常UF : 0.005

→環境UF : 0.126

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

例として起動時及び停止時の過渡の組み合わせ $F_{en}=24.579$ の導出の過程を説明する。

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

$$\dot{\varepsilon}' = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 318.6 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{}(\%/s)$$

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

タイトル	スイング逆止弁（蓄圧タンク出口第二逆止弁弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>蓄圧タンク出口第二逆止弁の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 解析モデル <p>JSME S NC1- 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke係数 <p>簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (Fen) の算出根拠を添付3に示す。</p>

応力解析結果

検査号: 27-31-130(2)検査(出自動) 検査種: 130 検査対象物: 30004 検査管の材質: 202252 位置: 31段

検査管の寸法: 170

(1) 設計条件及び単位

最高使用圧力	最高使用温度	320℃における 設計圧力	320℃における 設計応力係数	撓み管の320℃に おける設計降伏点	500℃における 設計圧力係数	320℃における 熱膨張係数	A-A断面における 金属部の厚さ	撓み管端面とその二等 分線とに接する厚の直 径	支え部壁面に接する内 径の直径
P (MPa)	T (°C)	P_d (MPa)	S_{T1} (MPa)	S_{T2} (MPa)	E (MPa)	α ($\times 10^{-6}$ / (mm \cdot °C))	t (mm)	T_{11} (mm)	T_{12} (mm)
17.19	343	18.5	115	117	179000	18.44			

A-A断面における 平均半径	A-A断面における 内半径	撓み管端面積	金属部端面積	撓み管の断面積の 百分率1	A-A断面における 金属部の端面積	撓み管の断面積	A-A断面における 端面積	A-A断面における 撓み管端面積	厚さ方向の温度勾配に よる最大熱応力
r (mm)	r_i (mm)	A_f (mm 2)	A_m (mm 2)	A_f (mm 2)	A_m (mm 2)	Z_1 (mm)	Z_2 (mm 2)	Z_3 (mm 2)	σ_T (MPa)

応力の経時的変化の 最大値と最小値との差	厚板部分と薄板部分の 平均温度の差の最大値	最高温度の瞬間的応力 係数の最大値と最小 値との差	応力係数					撓み管の撓み による係数	撓み管の撓み による係数	材質の種類に応じた値		
			C_1	C_2	C_3	C_4	C_5			σ	A_0	E_0
ΔP_{max} (MPa)	ΔT (°C)	ΔT_{max} (°C)						K	K_1 (MPa)	-	-	-

(注)1) C_1 の適用判定は JIS B 8200 による。
 (注)2) K_1 は JIS B 8200 による。

(2) 各種の応力

項 目	一次応力 S_1					一次+二次応力 S_2 (MPa)	
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			超対時及び停止時 (式77B-10.1)	超対時及び停止時以外 (式77B-10.2)
			P_d	P_b	P_r		
計算応力 (MPa)	99	168	99	76	70	280	371
許容応力 (MPa)	$S_{m1} = 115$	$0.25 S_{m1} = 28.8$	$1.5 S_{m1} = 168$			$0.8 S_{m1} = 97$	
評 価	各種に生じる応力は、その許容応力以下であるため、満足は十分である。						

疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡時間		S _{pi} (MPa)	S ₁₁ (MPa)	S ₁₂ (MPa)	N (回)	N* (回)	K _{環境}	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	繰返し 回数	ε* (-)	T1 (℃)	T2 (℃)	T (℃)	T* (℃)	F _{環境} (-)	F _{環境} ×K _{環境}	
	加熱過程	冷却過程																				
起動時及び停止時 1次試験開始(注1)	H1	C1	354.3	177.4	200.0	60	100000	0.000				17000		1								0.000
	H27	C23	354.3	177.4	200.0	50	100000	0.000				17000		1								0.001
起動時及び停止時 見直し	H31	C31	3430.3	1314.1	1333.3	3	307	0.010				17000		1								0.100
	H32	C32	3374.0	1187.0	1333.3	3	323	0.003				17000		1								0.100
	H30	C33	3315.3	1157.7	1305.0	3	323	0.000				17000		1								0.035
	H26	C30	2051.0	1025.5	1155.3	3	344	0.006				17000		1								0.055
	H33	C34	1447.7	723.8	315.3	60	1017	0.053				17000		1								0.263
	H14	C35	700.3	350.0	333.3	5	1017	0.000				17000		1								0.011
	H13	C35	631.3	315.7	355.3	7	3333	0.000				17000		1								0.007
	H15	C35	615.3	308.4	345.4	3	3353	0.000				17000		1								0.001
	H1	C35	534.4	268.2	353.3	4	4311	0.000				17000		1								0.002
	H11	C35	533.1	268.3	353.3	3	4307	0.000				17000		1								0.001
	H20	C35	523.3	261.8	353.1	3	4333	0.000				17000		1								0.001
	H3	C35	520.7	260.4	351.7	33	4733	0.001				17000		1								0.013
	H3	C31	520.3	260.1	348.3	3	7144	0.000				17000		1								0.001
	H3	C7	467.4	233.7	333.4	63	14307	0.000				17000		1								0.002
	H3	C33	467.4	233.7	333.4	63	14307	0.000				17000		1								0.003
	H3	C33	434.3	217.4	345.0	3	31534	0.000				17000		1								0.000
	H3	C33	407.3	204.0	353.3	3	33034	0.000				17000		1								0.000
	H3	C35	393.3	196.7	313.3	3	4337	0.000				17000		1								0.000
	H3	C19	394.3	197.1	171.3	3	14333	0.000				17000		1								0.000
	H3	C34	331.4	165.7	184.3	3	17333	0.000				17000		1								0.000
H3	C33	325.3	162.7	155.1	3	310117	0.000				17000		1								0.000	
H3	C13	301.3	150.7	147.4	7	333310	0.000				17000		1								0.000	
							ΣN/N* (注2)	0.035													ΣF _{環境} ×K _{環境}	0.633

→通常UF:0.095

→環境UF:0.693

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

例として起動時及び停止時の過渡の組み合わせ $F_{en}=24.579$ の導出の過程を説明する。

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

$$\dot{\varepsilon}' = 100 \times S_{pi} / (E \times \Delta t) = 100 \times 354.8 / (178000 \times \boxed{}) = \boxed{} (\%/s)$$

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

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

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

$$\text{であるので、} T^* = \boxed{}$$

したがって、

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

タイトル	炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠について							
説明	<p>炉心支持構造物の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 772 1370 1646"> <tr> <td data-bbox="475 772 699 967">解析プログラム</td> <td data-bbox="699 772 1370 1646" rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 967 699 1200">要素種類</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1200 699 1395">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1395 699 1514">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1514 699 1646">節点数</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="435 1671 1370 1778"> <tr> <td data-bbox="435 1671 1370 1778"></td> </tr> </table>	解析プログラム		要素種類	要素次数	要素数	節点数	
解析プログラム								
要素種類								
要素次数								
要素数								
節点数								

2. 材料物性値

各部位の設計応力強さを以下に示す。

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

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を、添付1に示す。

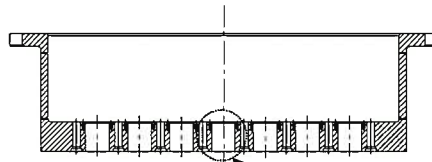
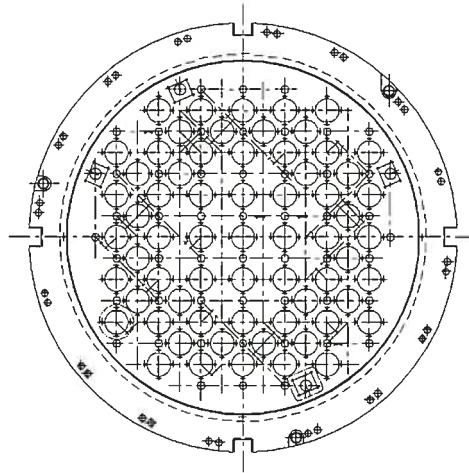
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

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

5. Ke 係数および環境パラメータ

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



評価部位 (中央部下面)



上部炉心支持板 評価点

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

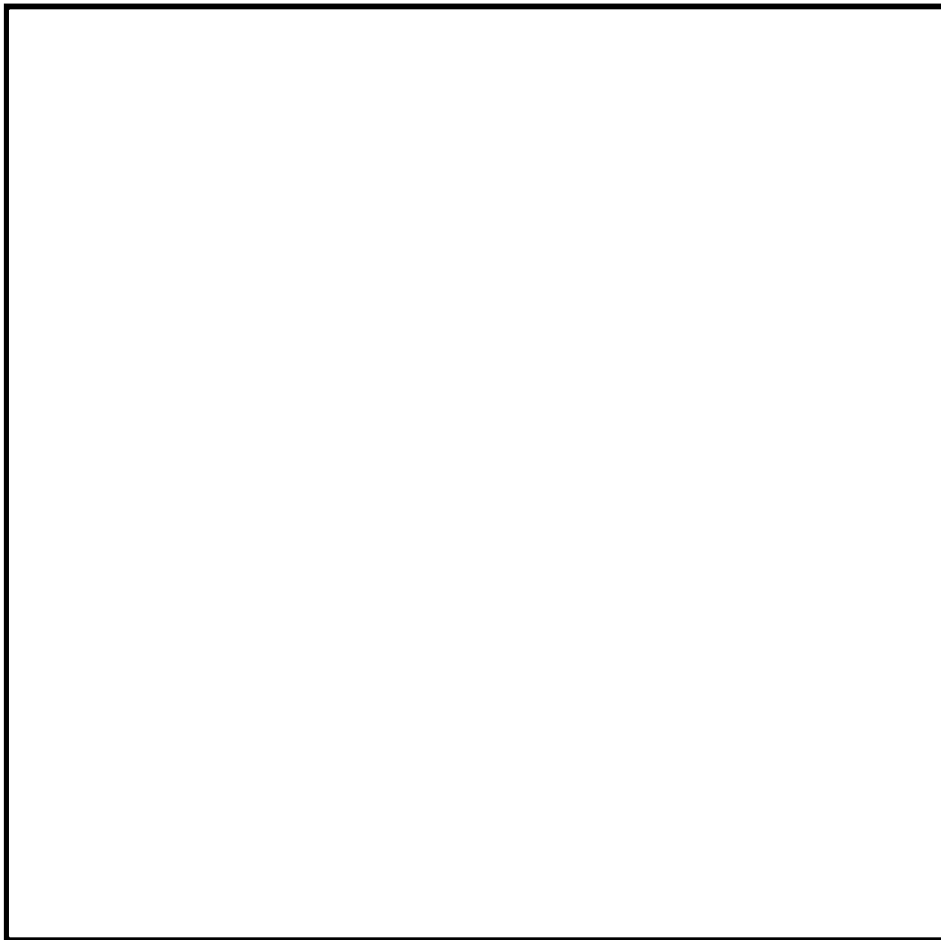
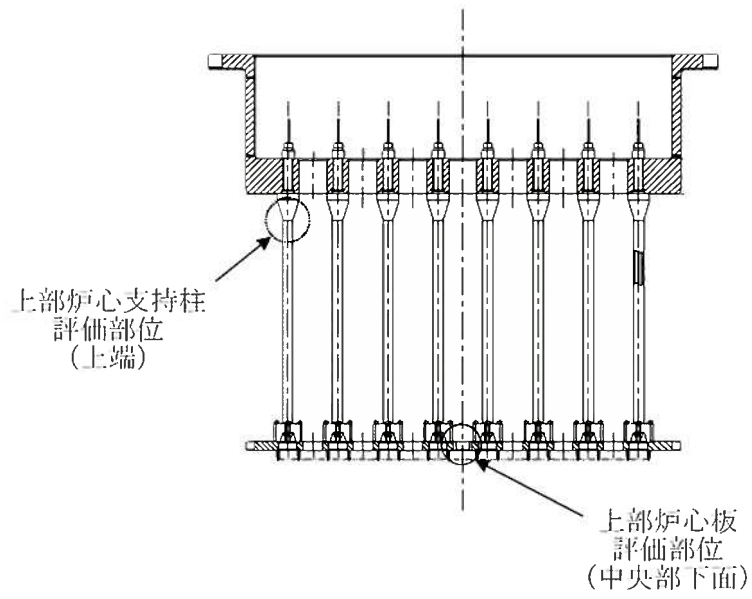
中央部下面

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

疲労累積係数 = 0.00310

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

→通常UF : 0.004



上部炉心支持柱及び上部炉心板 評価点

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点：上端)

上端

応力強さ (単位：MPa)		K _c	繰返しピーク応力強さ ^(注)	繰返し回数		疲労係数 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$
最大値	最小値			実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
0.0	-196.0	1.0	248.0 (277.9)	4	106000	0.00004
0.0	-366.2	1.0	183.1 (205.2)	115	672000	0.00017
-38.9	-366.2	1.0	163.7 (183.4)	4	1200000	0.00000
-38.9	-359.3	1.0	160.2 (179.6)	2	1280000	0.00000
-92.1	-359.3	1.0	133.6 (149.7)	17	2450000	0.00001
-153.9	-359.3	1.0	102.7 (115.1)	74	8950000	0.00001
-205.6	-359.3	1.0	76.8 (86.1)	16	—————	0.0

疲労累積係数= 0.00023

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

→通常UF : 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

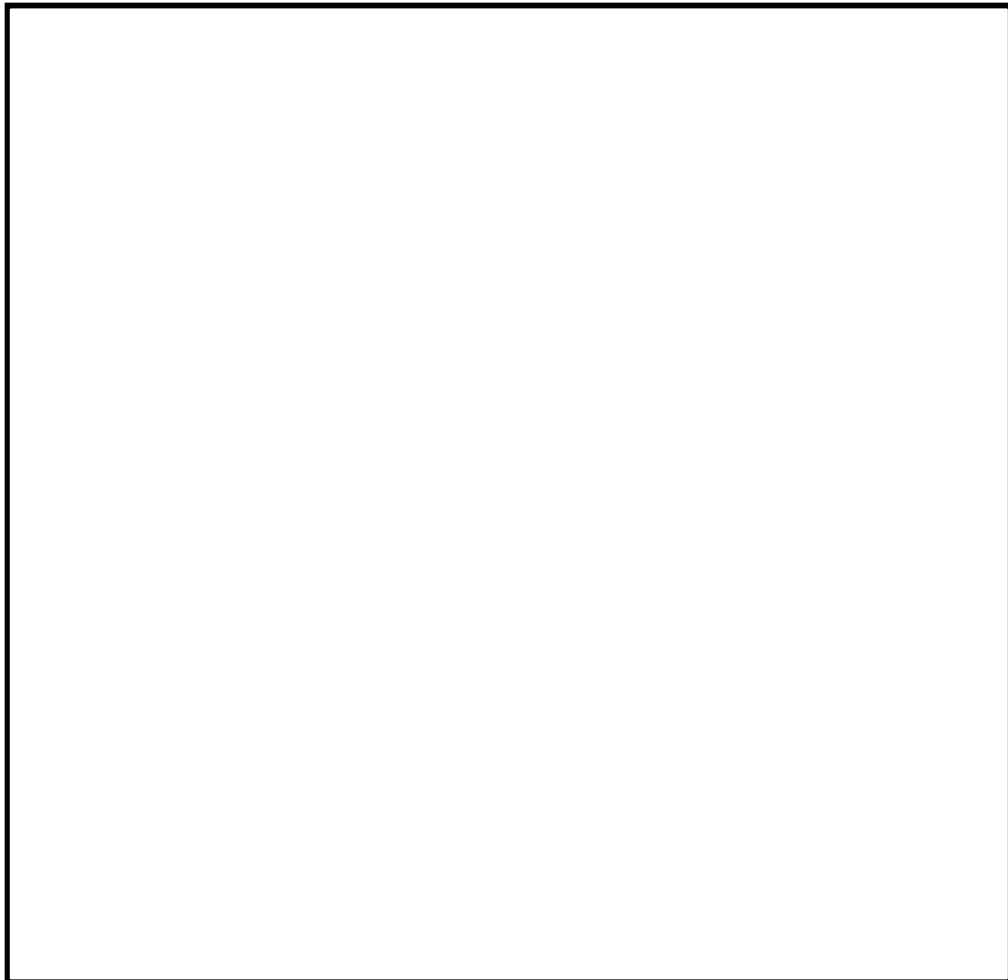
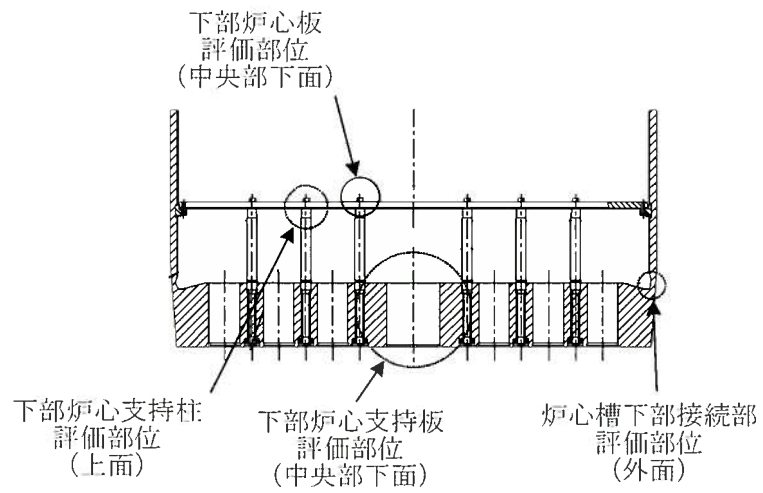
中央部下面 ($\sigma_1 - \sigma_2$)

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$)
最大値	最小値	K _e	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
292.5	-283.3	1.0	287.9 (322.7)	6	17200	0.00013
284.7	-283.3	1.0	284.0 (318.3)	11	50600	0.00022
284.7	-253.3	1.0	269.0 (301.5)	6	68100	0.00009
102.0	-176.6	1.0	139.3 (156.1)	4	2040000	0.00000
0.0	-176.6	1.0	88.3 (99.0)	12	50700000	0.00000
0.0	-154.0	1.0	77.0 (86.3)	74	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00043

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

→通常UF : 0.001



下部炉心構造物組立体 評価点

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点 : 中央部下面)

中央部下面

応力強さ (単位 : MPa)				繰返し回数		疲労係数 (= $\frac{N}{N^*}$)
最大値	最小値	K _c	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
281.0	-153.2	1.0	217.1 (240.5)	4	242000	0.0002
271.9	-153.2	1.0	212.5 (235.5)	12	275000	0.0004
271.9	-116.6	1.0	194.2 (215.2)	5	482000	0.0001
250.3	-116.6	1.0	183.4 (203.2)	6	720000	0.0001
205.5	-116.6	1.0	161.0 (178.4)	108	1310000	0.0008
205.5	-107.1	1.0	156.3 (173.2)	119	1450000	0.0008
205.5	-107.1	1.0	156.3 (173.2)	725	1450000	0.0050
0.0	-107.1	1.0	53.5 (59.3)	119	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00074

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

→通常UF : 0.001

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

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

疲労累積係数= 0.00205

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

→通常UF : 0.003

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

中央部下面

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

疲労累積係数 = 0.00075

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

→通常UF : 0.001

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

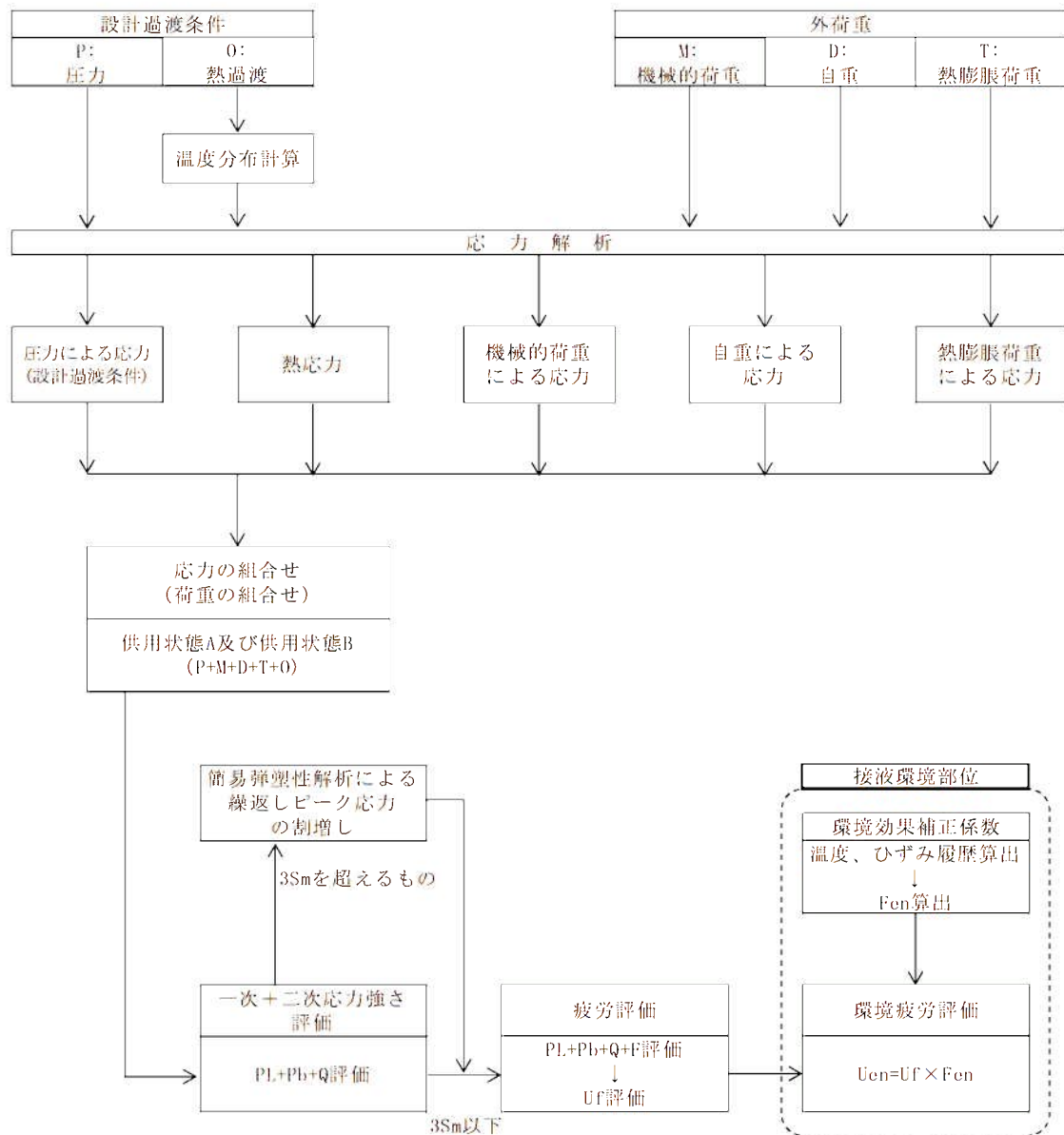
外面 ($\sigma_2 - \sigma_3$)

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

疲労累積係数 = 0.00000

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

→通常UF : 0.001



備考：熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

Kc係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
F	1A1	536.4	-277.7	1.00	407.1	456.2	6	8720	0.00069	10.827	0.00745
C	1A1	273.3	-277.7	1.00	275.5	308.8	74	59700	0.00124	12.783	0.01585
E	1A1	257.3	-277.7	1.00	267.5	299.8	17	70200	0.00024	10.367	0.00251
A-2	1A1	177.8	-277.7	1.00	227.8	255.2	22	170000	0.00013	13.214	0.00171
A-2	D-1	177.8	-243.3	1.00	210.6	236.0	4	272000	0.00001	10.810	0.00016
A-2	B-1	177.8	-203.0	1.00	190.4	213.4	93	510000	0.00018	1.000	0.00018
D-2	B-1	131.0	-203.0	1.00	167.0	187.2	16	1120000	0.00001	1.000	0.00001
B-2	B-1	106.5	-203.0	1.00	154.8	173.4	843	1440000	0.00059	1.000	0.00059
B-2	D-2	106.5	-98.8	1.00	102.7	115.1	16	8980000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	106.5	-48.7	1.00	77.6	87.0	73	—————	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.02846

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.029

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

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

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.001

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

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

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.003

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

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

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.002

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt					
NSS	D-2	0.0	-618.6	1.00	309.3	342.7	16	34900	0.00046	12.127	0.00556
NSS	B-1	0.0	-542.9	1.00	271.5	300.8	103	68900	0.00149	14.496	0.02167
F	B-1	-120.3	-542.9	1.00	211.3	234.1	6	286000	0.00002	9.485	0.00020
C	B-1	-202.0	-542.9	1.00	170.5	188.9	74	1090000	0.00007	1.000	0.00007
E	B-1	-314.4	-542.9	1.00	114.2	126.6	17	5100000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	B-1	-381.4	-542.9	1.00	80.8	89.5	752	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02750

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

1.00 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.028

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
F	D-2	501.3	-197.5	1.00	349.4	387.1	6	18900	0.00032	8.102	0.00257
C	D-2	401.3	-197.5	1.00	299.4	331.7	10	41100	0.00024	8.712	0.00212
C	NSS	401.3	0.0	1.00	200.6	222.3	64	394000	0.00016	12.308	0.00200
E	NSS	311.9	0.0	1.00	155.9	172.8	17	1460000	0.00001	1.000	0.00001
D-1	NSS	269.0	0.0	1.00	134.5	149.0	4	2500000	0.00000	1.000	0.00000
A-2	NSS	247.6	0.0	1.00	123.8	137.1	34	3580000	0.00001	1.000	0.00001
A-2	B-2	247.6	163.1	1.00	42.2	46.8	85	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00671

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

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.007

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点：外面)

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

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

1.000 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

→環境UF : 0.001

タイトル	加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠について																		
説明	<p>加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 779 1310 976"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="background-color: black; color: black;">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値（設計応力強さ）を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 1099 1318 1227"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345℃</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SQV1A</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。 また、応力フローチャートを添付 2 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="488 1621 1305 1733"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. K_e 係数 評価に用いた K_e 係数を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018	要素種類	[Redacted]	要素次数	節点数	要素数	評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡
解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018																		
要素種類	[Redacted]																		
要素次数																			
節点数																			
要素数																			
評価部位	材料	設計応力 (MPa)																	
		345℃																	
下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184																	
状態	荷重の組み合わせ																		
供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡																		



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

加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点および解析モデル

疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

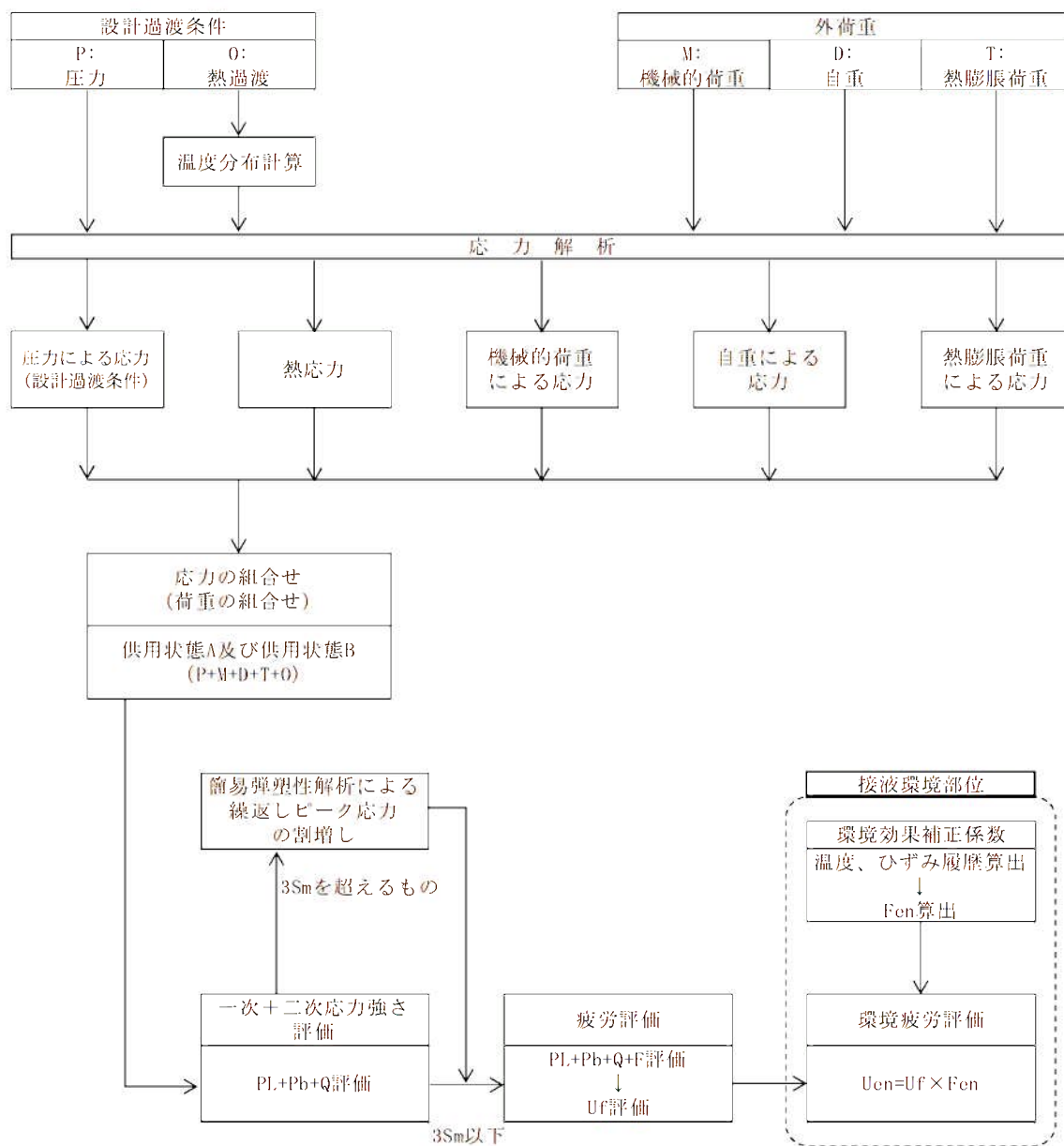
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00008	0.00000
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.00001	0.00016
4	0.00013	0.00000	0.00281
5	0.00254	0.00000	0.00600
6	0.00091	0.0	0.00251
7	0.19399	0.00009	0.16708
8	0.00065	0.00281	0.01607

許容値 $U_T = 1.0$

疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
191.1	-751.6	1.41	666.9	775.5	69	425	0.14118
73.5	-654.1	1.0	363.9	423.1	5	2280	0.00219
73.5	-632.8	1.0	353.2	410.7	7	2519	0.00279
73.5	-629.1	1.0	346.8	403.3	2	2659	0.00075
73.5	-615.8	1.0	344.7	400.8	4	2710	0.00148
73.5	-613.9	1.0	343.7	399.7	41	2730	0.01502
0.0	-613.9	1.0	307.9	357.9	119	3920	0.03036
-210.1	-613.9	1.0	201.9	234.8	2	14500	0.00014
-459.1	-613.9	1.0	77.4	90.0	59	667000	0.00009
-593.6	-613.9	1.0	55.2	64.2	2		0.0
疲労累積係数 =							0.19399

→通常UF : 0.194



備考：機械的荷重は作用しない。また、接液環境部位はない。

応力評価フローチャート

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

詳細評価法による環境効果補正係数 F_{en} の算出手順について

1. はじめに

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

2. 適用規格

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

3. 評価手順

(1) 評価手法

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

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

(2) 環境効果補正係数 (F_{en})

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

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

ここで、

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

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

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

C : 環境効果補正係数の算出のための定数

$\dot{\epsilon}$: ひずみ上昇過程でのひずみ速度

$\dot{\epsilon}^*$: ひずみ速度依存パラメータ

T : 温度

T^* : 温度依存パラメータ

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

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

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

応力サイクルの F_{en, det} は次式で求める。

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

疲労累積係数は次式で求める。

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

ある区間 k におけるひずみ速度

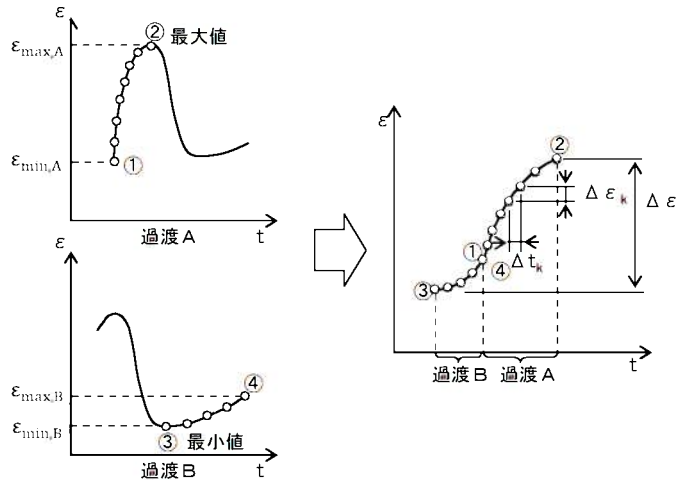
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

過渡 A の環境効果補正係数

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

過渡 B の環境効果補正係数

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



(4) 1次系冷却材ポンプの算出例

① ひずみと温度履歴

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

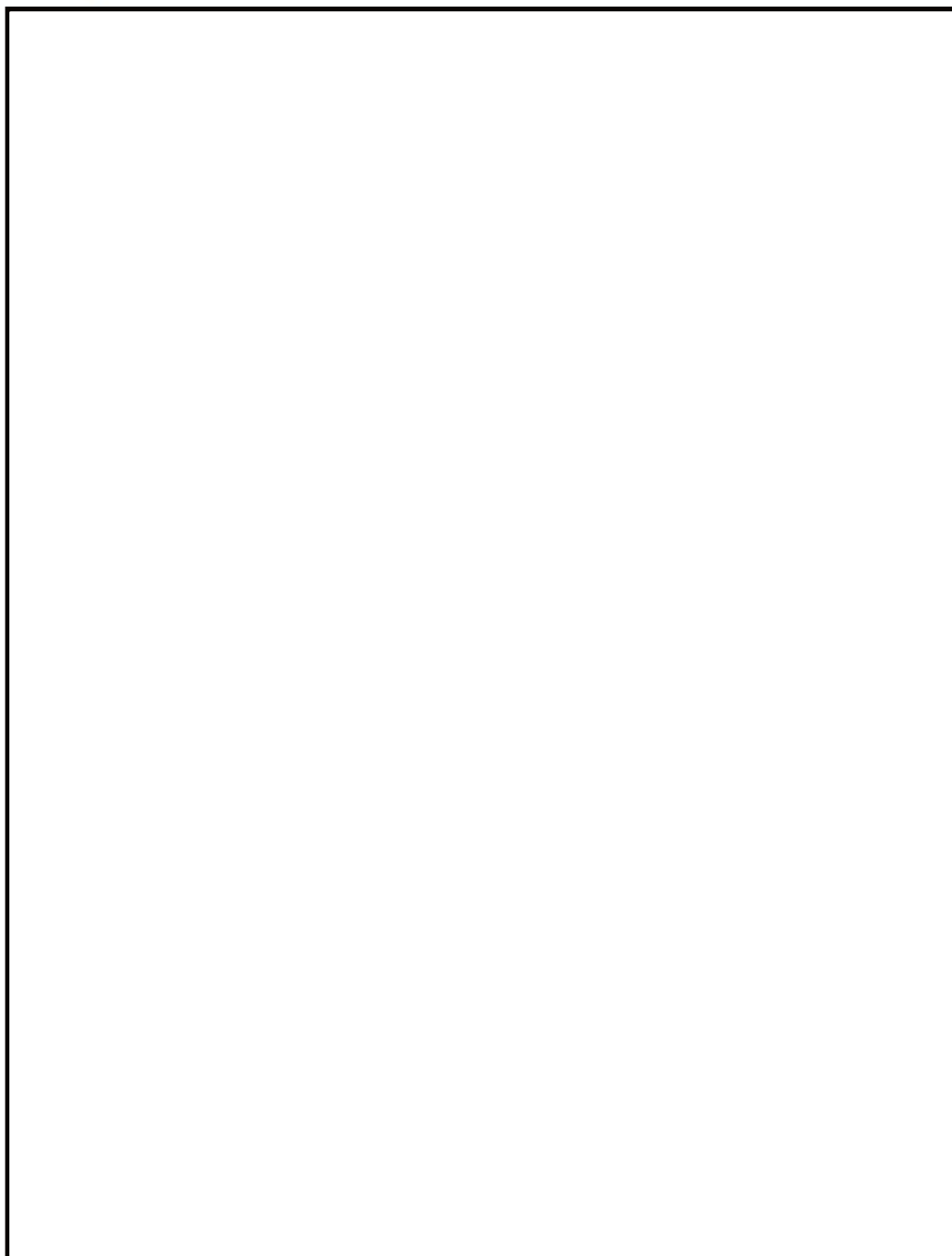


図1 ひずみと温度履歴

② 微小区間 k

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

表 1 ひずみ及び温度履歴のデジタル値

詳細評価手法による評価

過渡 A

i	A	1B1	SI	Temp	E	ϵ	Time
22			-30.4		179296.		
23			-29.0		179616.		
23			-20.0		179616.		
24			-8.5		179984.		
24			-8.5		179984.		
25			10.7		180912.		
25			10.7		180912.		
26			35.1		182208.		
26			35.1		182208.		
27			98.2		183356.		
27			68.2		183356.		
28			114.0		184568.		
28			114.0		184568.		
29			169.4		187040.		
29			169.4		187040.		
30			244.5		190376.		
30			244.5		190376.		
31			248.5		194933.		

区間 1

i	B	1A1	SI	Temp	E	ϵ	Time
6			-342.1		176332.		
7			-332.8		176332.		
7			-332.8		176332.		
8			-317.1		176332.		
8			-317.1		176332.		
9			-293.0		176332.		
9			-293.0		176332.		
10			-267.2		176332.		
10			-267.2		176332.		
11			-234.7		176332.		
11			-234.7		176332.		
12			-205.1		176332.		
12			-205.1		176332.		
13			-176.0		176332.		
13			-176.0		176332.		
14			-144.3		176332.		
14			-144.3		176332.		
15			-114.1		176332.		
15			-114.1		176332.		
16			-87.5		176332.		
16			-87.5		176332.		
17			-69.9		176332.		
17			-69.9		176332.		
18			-59.3		176332.		

③ 環境効果補正係数(Fen)

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

$$C = 3.910$$

$$\dot{\varepsilon}_1 = 0.22734375 \times 10^{-4}$$

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

$$T_1 = \boxed{}$$

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

$$F_{en,1} = e^{(C-\dot{\varepsilon}_1^*) \times T_1^*} = e^{(3.910 - (-10.1266311)) \times \boxed{}} = 13.018$$

区間 1 のひずみ変化量は、

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

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

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

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

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

詳細評価手法による評価

1 A	IB1	SI	Temp	E	Time	ε ·	Temp	Fen,k	ΔFen
	22	-39.4		179296.		0.228E-04		13.018	0.387
	23	-20.0		179616.					
	23	-20.0		179616.		0.213E-04		12.459	0.408
	24	-8.5		179984.					
	24	-8.5		179984.		0.213E-04		11.845	0.645
	25	10.7		180912.					
	25	10.7		180912.		0.191E-04		10.873	0.743
	26	35.1		182208.					
	26	35.1		182208.		0.179E-04		9.658	0.885
	27	68.2		183356.					
	27	68.2		183356.		0.163E-04		8.147	1.020
	28	114.0		184568.					
	28	114.0		184568.		0.144E-04		6.315	0.930
	29	169.4		187040.					
	29	169.4		187040.		0.126E-04		4.499	0.870
	30	244.5		190376.					
	30	244.5		190376.		0.112E-04		2.703	0.695
	31	348.5		194933.					
								total	6.584

1 B	1A1	SI	Temp	E	Time	ε ·	Temp	Fen,k	ΔFen
	6	-342.1		176332.		0.208E-04		24.579	0.812
	7	-332.8		176332.					
	7	-332.8		176332.		0.198E-04		24.579	1.363
	8	-317.1		176332.					
	8	-317.1		176332.		0.171E-04		24.579	2.096
	9	-293.0		176332.					
	9	-293.0		176332.		0.146E-04		24.579	2.239
	10	-267.2		176332.					
	10	-267.2		176332.		0.115E-04		24.579	2.821
	11	-234.7		176332.					
	11	-234.7		176332.		0.886E-05		24.579	2.579
	12	-205.1		176332.					
	12	-205.1		176332.		0.653E-05		24.579	2.522
	13	-176.0		176332.					
	13	-176.0		176332.		0.449E-05		24.579	2.756
	14	-144.3		176332.					
	14	-144.3		176332.		0.286E-05		24.579	2.628
	15	-114.1		176332.					
	15	-114.1		176332.		0.168E-05		24.579	2.311
	16	-87.5		176332.					
	16	-87.5		176332.		0.996E-06		24.579	1.527
	17	-69.9		176332.					
	17	-69.9		176332.		0.617E-06		24.579	0.926
	18	-59.3		176332.					
								total	24.579

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

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

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

表2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力係数		繰り返し 係数	繰返しピーク 応力係数		実速度 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		修正前 salt	修正後 salt'					
1B1	1A1	348.5	-342.1	1.79	618.1	653.3	60	1850	0.03225	14.687	0.47379
212	211	263.4	-299.7	1.47	413.9	457.5	59	3620	0.00684	6.912	0.04731
111	2B1	197.1	-138.2	1.00	197.0	155.3	5	119000	0.00000	1.000	0.00000
111	2A1	197.1	-129.3	1.00	193.2	150.4	7	123000	0.00001	1.000	0.00001
111	2E1	197.1	-104.9	1.00	151.0	108.9	2	163000	0.00000	1.000	0.00000
111	2C1	197.1	-72.9	1.00	135.0	149.3	2	245000	0.00000	1.000	0.00000
111	2D2	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	253000	0.00000	1.000	0.00000
111	2D3	197.1	-71.8	1.00	134.5	148.7	2	253000	0.00000	1.000	0.00000
111	1G1	197.1	-68.1	1.00	132.0	146.0	4	269000	0.00000	1.000	0.00000
111	2B1	197.1	-67.2	1.00	132.1	146.1	5	273000	0.00000	1.000	0.00000
111	2G1	197.1	-66.3	1.00	131.7	145.6	2	279000	0.00000	1.000	0.00000
111	1J1	197.1	-57.9	1.00	127.5	140.9	34	319000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	182.2	-57.9	1.00	120.0	132.7	2	413000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	212	47.2	-55.6	1.00	81.9	90.5	56	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.52113

→環境 UF: 0.522

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



FEM 解析値

$\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
 σ_{r1} 板厚方向応力
 σ_{t1} 軸方向応力

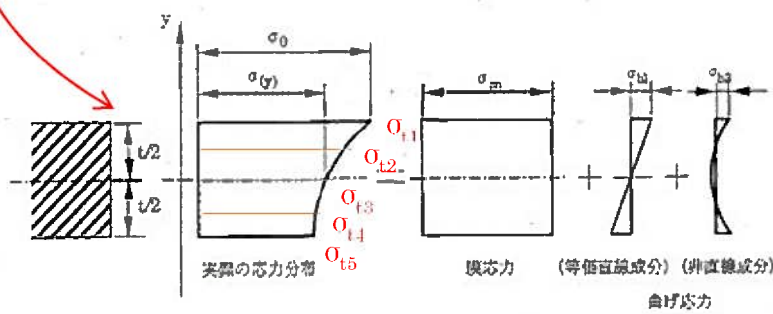
軸方向応力の抽出例

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



$\sigma_{\theta 2}$
 σ_{r2}
 σ_{t2}
 .
 .
 .
 $\sigma_{\theta 5}$
 σ_{r5}
 σ_{t5}

2005 設計・建設規格 第1編 解説 第1章 GNR



解説図 GNR-2130-1 膜応力と曲げ応力の考え方

図1 加圧器スプレイ配管の3次元解析の応力分類概略図