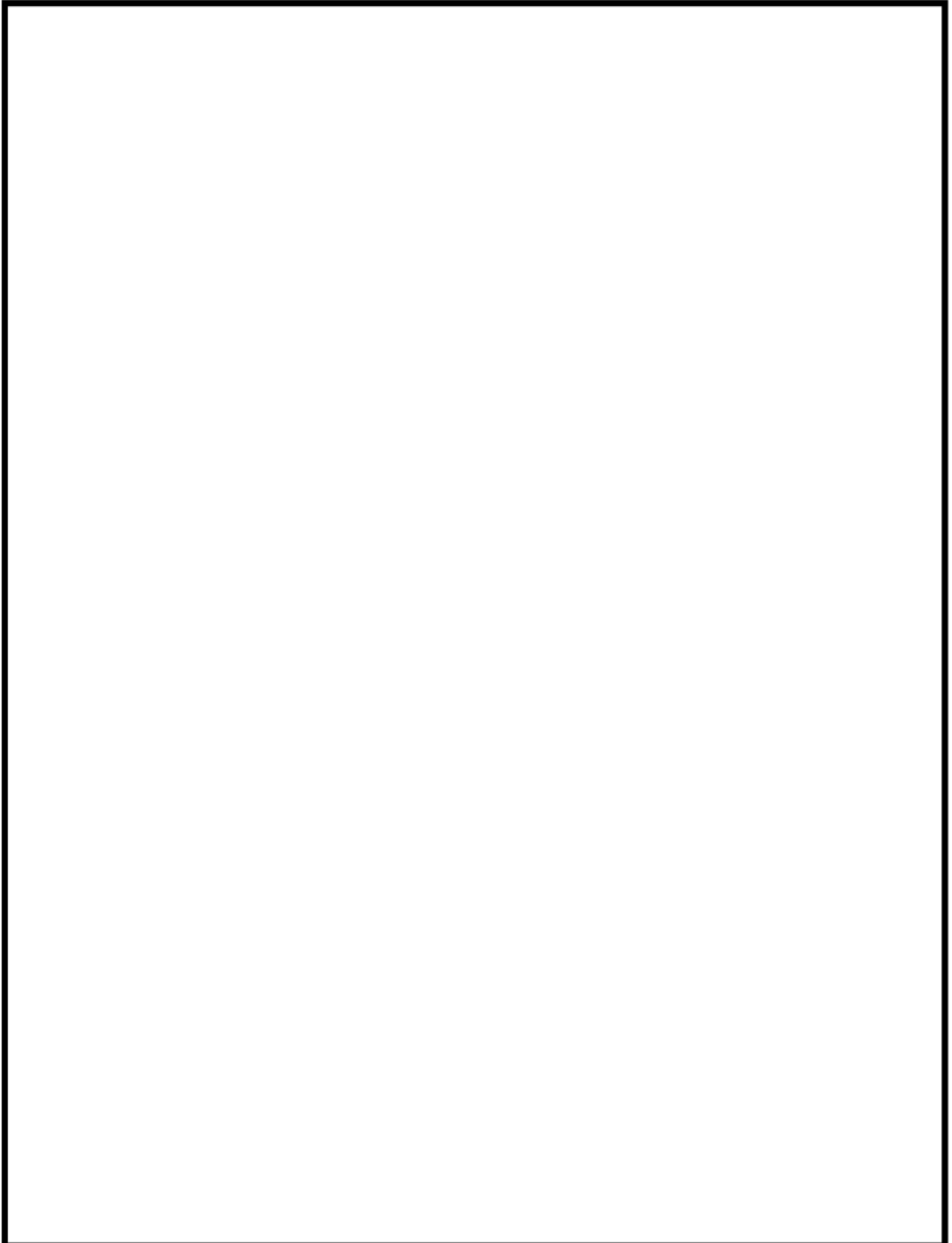
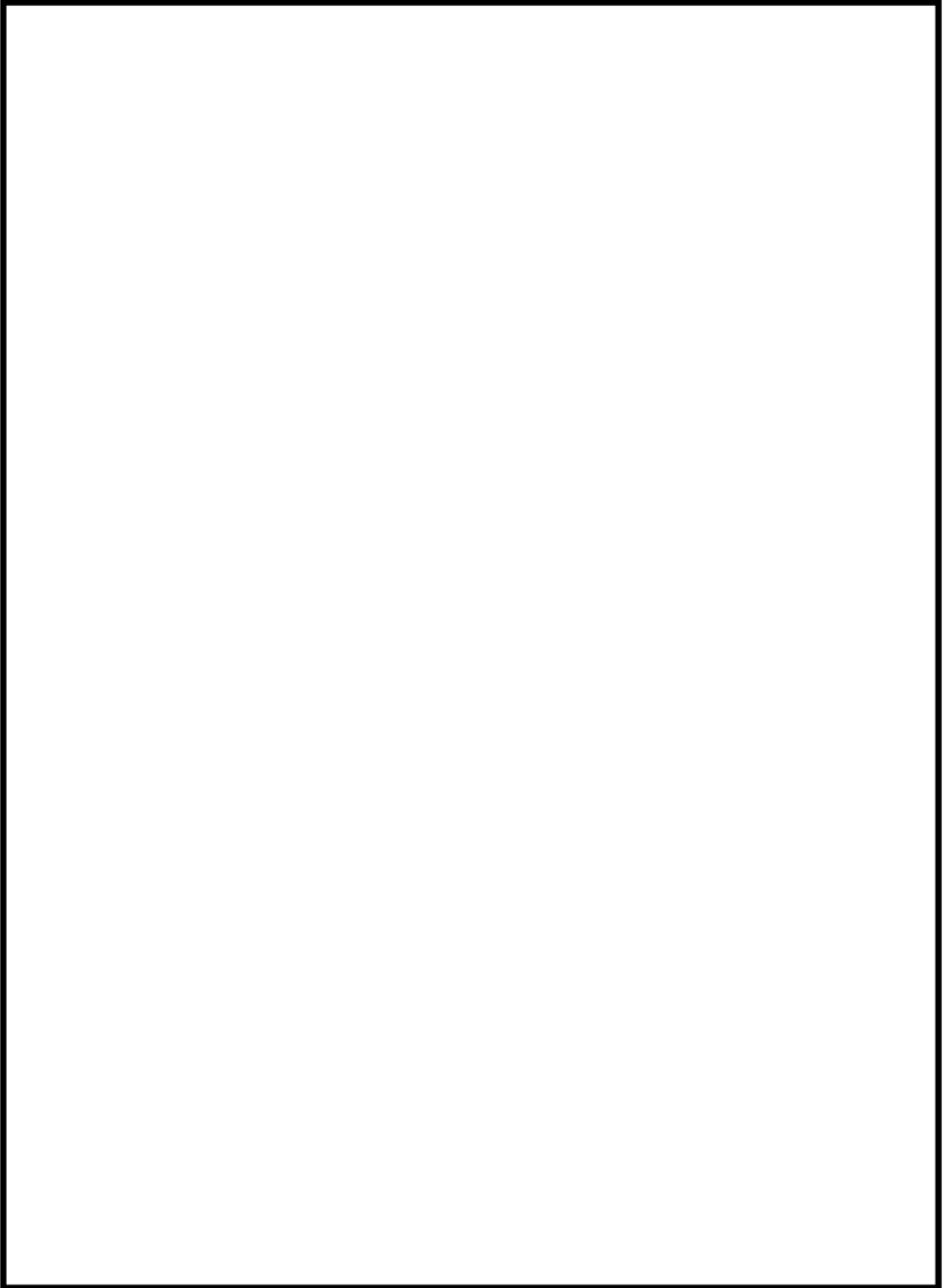


タイトル	代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>以下の各機器の評価についての算出根拠を次ページ以降に示す。 なお、次ページ以降における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。</p> <p>① 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・7-2 ② 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-21 ③ 蒸気発生器給水管台の熱成層を考慮した評価の算出根拠・・・・7-31 ④ 加圧器管台（スプレイ、サージ）の疲労累積係数の算出根拠・・・7-41 ⑤ 機械ペネトレーションの疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-52 ⑥ 加圧器スプレイ配管およびサージ配管の疲労累積係数の算出根拠・7-55 ⑦ 1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-73 ⑧ 仕切弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・7-92 ⑨ スイング逆止弁の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-96 ⑩ 炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・7-100 ⑪ 加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠・・・・7-114</p>

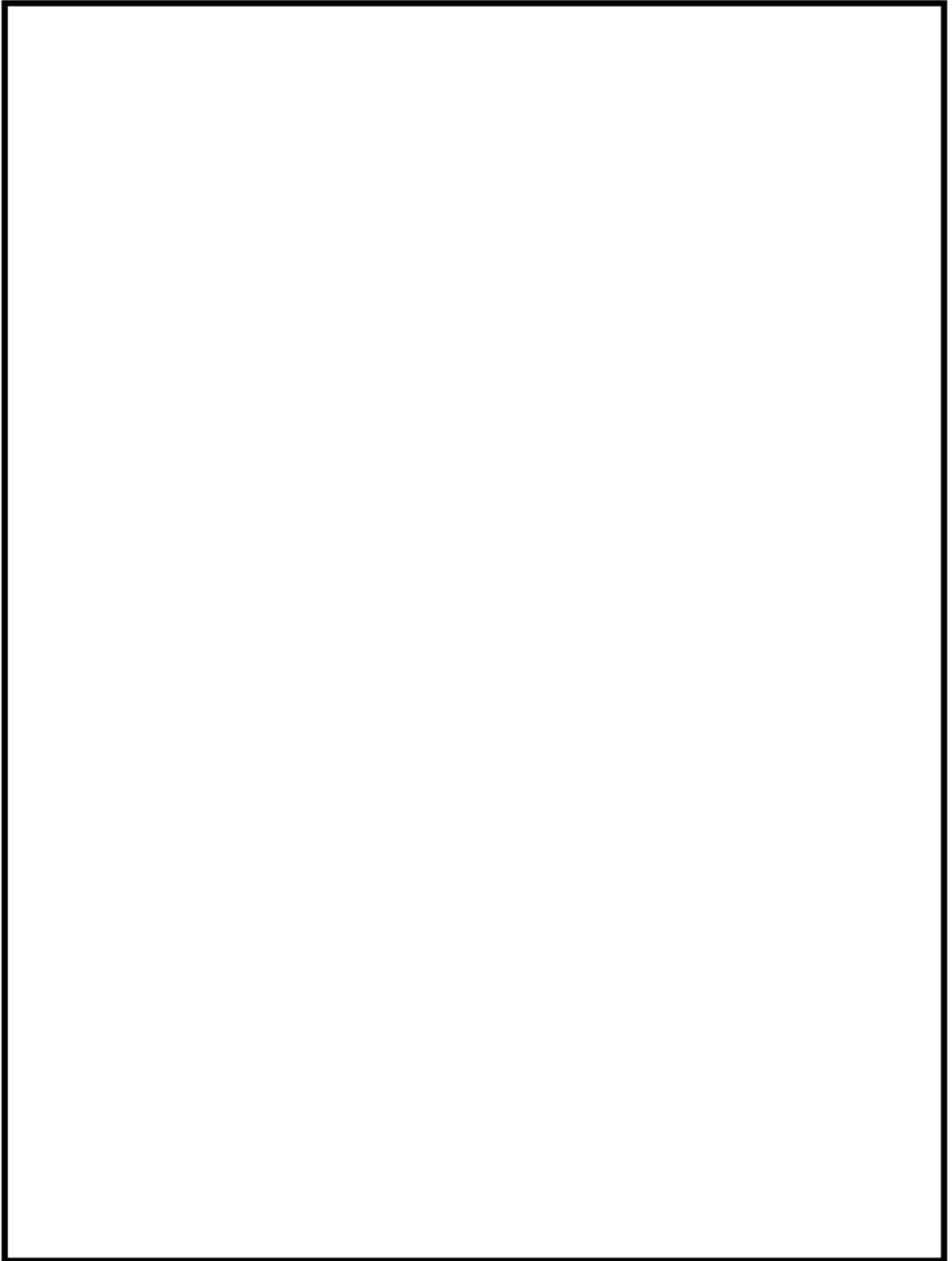
タイトル	1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 624 1310 826"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td colspan="2">ABAQUS Standard Ver. 6.8-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td colspan="2" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="462 943 1321 1149"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA351 CF8 (SCS13A相当)</td> <td>116</td> <td>289.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="422 1536 1358 1704"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いたKe 係数を添付3に示す。</p> <p>6. 環境評価パラメータ 評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Standard Ver. 6.8-1		要素種類			要素次数	要素数	節点数	材料	設計応力強さ		Sm (MPa)	温度 (°C)	SA351 CF8 (SCS13A相当)	116	289.2	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重
解析プログラム	ABAQUS Standard Ver. 6.8-1																					
要素種類																						
要素次数																						
要素数																						
節点数																						
材料	設計応力強さ																					
	Sm (MPa)	温度 (°C)																				
SA351 CF8 (SCS13A相当)	116	289.2																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重																					

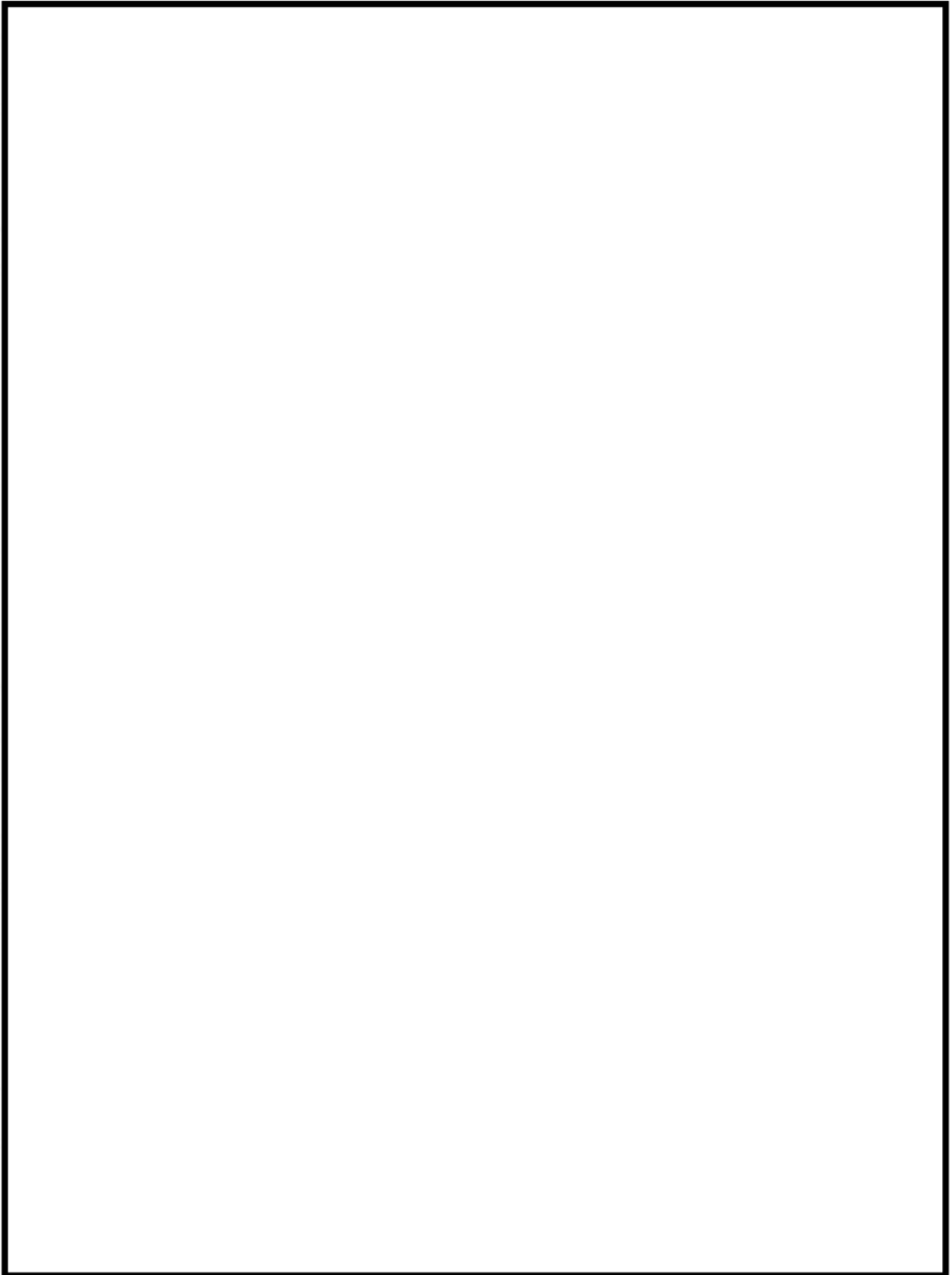


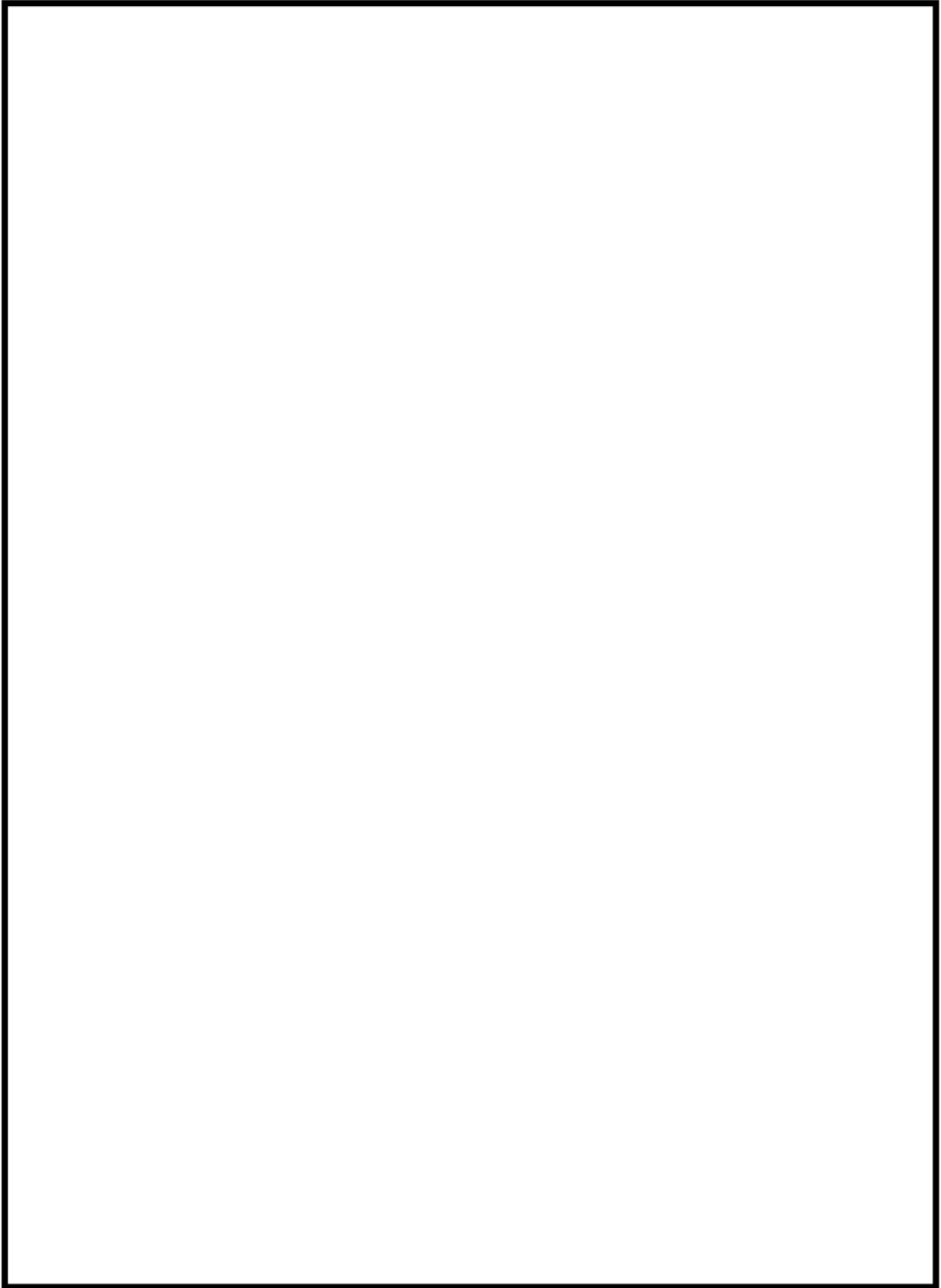
ケーシング吸込ノズル 評価点



ケージング吐出ノズル 評価点







ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

ケーシング吸込ノズル 最大疲労評価点の選定

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

※Iは接液部、Oは大気中の評価点を表す

吸込ノズル疲労評価結果 (評価点: SU12I)

応力強さ			(単位: N/mm ²)		繰返し回数		疲れ係数
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
75.0	-274.8	1.0	174.9	193.3	2	1010000	0.00000
75.0	-196.9	1.0	136.0	150.3	2	2410000	0.00000
75.0	-177.4	1.0	126.2	139.5	2	3330000	0.00000
75.0	-173.7	1.0	124.3	137.5	5	3550000	0.00000
75.0	-172.7	1.0	123.9	136.9	52	3610000	0.00001
72.6	-172.7	1.0	122.7	135.6	18	3760000	0.00000
72.6	-138.1	1.0	105.3	116.5	2	8360000	0.00000
72.6	-133.7	1.0	103.2	114.0	2	9460000	0.00000
72.6	-126.9	1.0	99.7	110.3	3	12600000	0.00000
72.6	-108.7	1.0	90.6	100.2	49	41400000	0.00000
1.4	-108.7	1.0	55.0	60.8	25		0.0
疲れ累積係数 =							0.00003

→通常UF: 0.001

ケーシング吐出ノズル 最大疲労評価点の選定

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
HA01I	0.0	0.00081	0.00112
HA01O	0.02725	0.03942	0.0
HA02I	0.0	0.00081	0.00112
HA02O	0.02889	0.03740	0.0
HA03I	0.00136	0.03544	0.00003
HA03O	0.00267	0.00056	0.0
HA04I	0.00538	0.04715	0.00000
HA04O	0.00096	0.00039	0.0
HA05I	0.00070	0.00020	0.00003
HA05O	0.0	0.00001	0.00001
HA06I	0.00085	0.00004	0.00017
HA06O	0.00001	0.00005	0.00000
HA07I	0.0	0.00009	0.00001
HA07O	0.05204	0.0	0.10735
HA08I	0.00002	0.00004	0.00029
HA08O	0.00122	0.0	0.01247
HA09I	0.00033	0.00089	0.0
HA09O	0.0	0.00000	0.0
HA10I	0.0	0.00009	0.00001
HA10O	0.04676	0.0	0.10612
HA11I	0.00001	0.00001	0.00015
HA11O	0.01329	0.0	0.04836

※Iは接液部、Oは大気中の評価点を表す

吐出ノズル疲労評価結果 (評価点: HA070)

応力強さ			(単位: N/mm ²)		繰返し回数		疲れ係数 (=N/N _s)
極大値	極小値	K _e	ALT	ALT'	N	N _s	
165.3	-639.8	1.89	762.2	842.6	74	917	0.08070
95.0	-553.7	1.63	527.5	583.1	5	3340	0.00150
95.0	-502.0	1.51	451.0	498.5	7	6100	0.00115
95.0	-497.6	1.47	434.5	480.3	51	7090	0.00719
-15.3	-472.3	1.89	432.6	478.2	74	7220	0.01025
53.6	-497.6	1.43	394.2	435.7	12	10600	0.00113
53.6	-448.9	1.43	371.0	410.1	7	14200	0.00049
53.6	-479.3	1.39	369.7	408.6	9	14500	0.00062
53.6	-480.8	1.38	368.1	406.9	42	14800	0.00284
-32.8	-480.8	1.16	260.1	287.5	37	88200	0.00042
-32.8	-474.9	1.15	254.9	281.8	2	98400	0.00002
-32.8	-474.7	1.15	254.8	281.7	24	98700	0.00024
0.0	-474.7	1.0	237.4	262.4	63	146000	0.00043
-14.9	-474.7	1.0	229.9	254.1	63	174000	0.00036
-289.8	-474.7	1.0	92.5	102.2	2	3030000	0.00000
-329.7	-474.7	1.0	72.5	80.1	2		0.0
疲れ累積係数 =							0.10735

→通常UF: 0.108

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (1/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A101I	0.00007	0.03270	0.00017
A101O	0.00002	0.00088	0.0
A102I	0.00008	0.03024	0.00013
A102O	0.00005	0.00143	0.0
A103I	0.00009	0.02702	0.00015
A103O	0.00008	0.00182	0.0
A104I	0.00007	0.02087	0.00019
A104O	0.00013	0.00157	0.0
A105I	0.00000	0.00052	0.00095
A105O	0.00030	0.00057	0.0
A106I	0.00000	0.00416	0.00020
A106O	0.0	0.0	0.0
A107I	0.00000	0.00014	0.00093
A107O	0.00011	0.00000	0.01616
A108I	0.00000	0.00052	0.00095
A108O	0.00030	0.00058	0.0
A109I	0.00007	0.02092	0.00019
A109O	0.00013	0.00157	0.0
A110I	0.00009	0.02702	0.00015
A110O	0.00008	0.00181	0.0
A111I	0.00008	0.03033	0.00013
A111O	0.00005	0.00143	0.0
A112I	0.00007	0.03270	0.00016
A112O	0.00002	0.00088	0.0
A113I	0.00000	0.00017	0.00039
A113O	0.00023	0.0	0.01946
A114I	0.00000	0.00012	0.00080
A114O	0.00005	0.00001	0.00757
A115I	0.00000	0.00012	0.00079
A115O	0.00005	0.00001	0.00757
A116I	0.00000	0.00017	0.00041
A116O	0.00023	0.0	0.01951
A117I	0.00000	0.00014	0.00093
A117O	0.00011	0.00000	0.01617
A118I	0.0	0.00132	0.00019
A118O	0.0	0.0	0.00002
A119I	0.0	0.00084	0.00108
A119O	0.00030	0.00080	0.0

※Iは接液部、Oは大気中の評価点を表す

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (2/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A201I	0.0	0.00009	0.00001
A201O	0.05479	0.0	0.11043
A202I	0.00001	0.00010	0.00000
A202O	0.00002	0.00287	0.00005
A203I	0.0	0.00048	0.00026
A203O	0.00007	0.0	0.00002
A204I	0.00535	0.04718	0.00000
A204O	0.00090	0.00042	0.0
A205I	0.00136	0.03528	0.00003
A205O	0.00261	0.00057	0.0
A206I	0.0	0.00081	0.00111
A206O	0.02735	0.03941	0.0
A207I	0.00008	0.02049	0.00019
A207O	0.00015	0.00165	0.0
A208I	0.00009	0.02167	0.00015
A208O	0.00008	0.00195	0.0
A209I	0.00008	0.02802	0.00012
A209O	0.00005	0.00158	0.0
A210I	0.00007	0.03193	0.00016
A210O	0.00003	0.00102	0.0
A211I	0.0	0.00011	0.00104
A211O	0.00031	0.00001	0.03615
A212I	0.0	0.00011	0.00077
A212O	0.00006	0.00001	0.01014
A213I	0.00006	0.01780	0.00022
A213O	0.00011	0.00153	0.0

※Iは接液部、Oは大気中の評価点を表す

※A204IおよびA209Iは同値であるため、両評価点について、環境効果を考慮した疲労累積係数を算出する。

ケーシング脚部 最大疲労評価点の選定 (3/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A301I	0.0	0.00011	0.00104
A301O	0.00032	0.00001	0.03629
A302I	0.00007	0.03180	0.00016
A302O	0.00003	0.00101	0.0
A303I	0.00008	0.02792	0.00013
A303O	0.00005	0.00158	0.0
A304I	0.00009	0.02167	0.00015
A304O	0.00008	0.00194	0.0
A305I	0.00008	0.02050	0.00019
A305O	0.00015	0.00164	0.0
A306I	0.0	0.00009	0.00001
A306O	0.04879	0.0	0.10764
A307I	0.0	0.00081	0.00111
A307O	0.02735	0.03941	0.0
A308I	0.00136	0.03528	0.00003
A308O	0.00261	0.00057	0.0
A309I	0.00535	0.04718	0.00000
A309O	0.00090	0.00042	0.0
A310I	0.00001	0.00010	0.00000
A310O	0.00002	0.00281	0.00005
A311I	0.0	0.00054	0.00086
A311O	0.00032	0.00044	0.0
A312I	0.00000	0.00001	0.00013
A312O	0.04680	0.0	0.07498

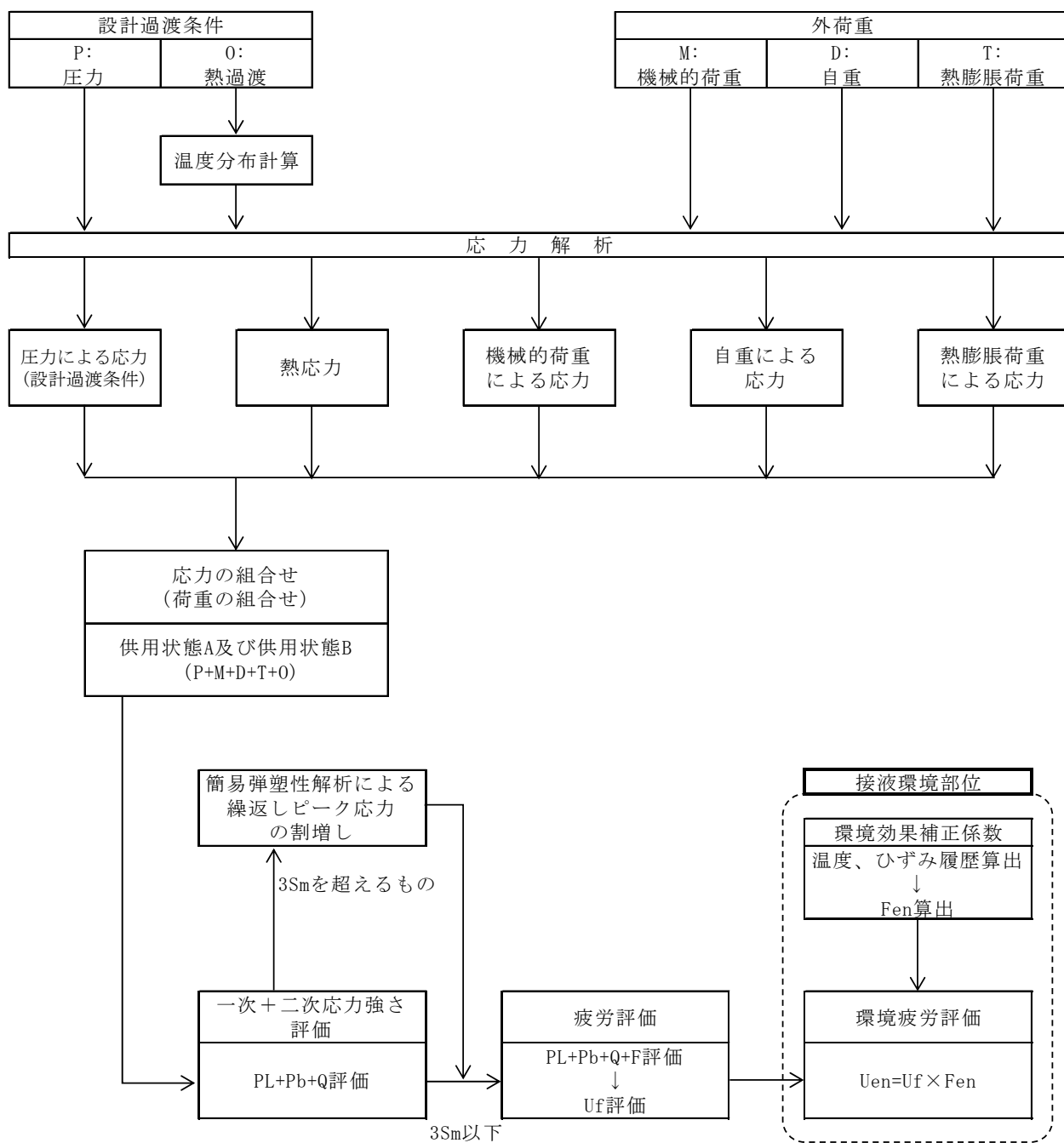
※Iは接液部、Oは大気中の評価点を表す

※A204IおよびA309Iは同値であるため、両評価点について、環境効果を考慮した疲労累積係数を算出する。

脚部 疲労評価結果 (評価点 : A2010)

応力強さ		(単位 : N/mm ²)			繰返し回数		疲れ係数
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	(=N/N*)
147.8	-658.3	1.89	763.6	844.1	74	912	0.08114
77.7	-572.1	1.63	530.0	585.9	5	3290	0.00152
77.7	-520.3	1.52	453.5	501.3	7	5970	0.00117
77.7	-516.0	1.47	437.1	483.2	51	6920	0.00737
-32.0	-490.7	1.89	434.5	480.3	74	7090	0.01044
38.7	-516.0	1.45	402.6	445.0	12	9640	0.00124
38.7	-467.3	1.50	378.7	418.6	7	12900	0.00054
38.7	-497.7	1.41	378.1	418.0	9	13000	0.00069
38.7	-499.2	1.40	376.6	416.3	42	13200	0.00318
0.0	-499.2	1.22	304.1	336.1	37	38400	0.00096
0.0	-493.1	1.21	298.1	329.5	26	42400	0.00061
-31.5	-493.1	1.17	271.1	299.7	63	70300	0.00090
-50.9	-493.3	1.16	256.4	283.5	2	95300	0.00002
-50.9	-493.1	1.16	256.3	283.3	61	95500	0.00064
-307.6	-493.1	1.03	95.5	105.6	2	18900000	0.00000
-348.2	-493.1	1.03	74.6	82.5	2		0.0
疲れ累積係数 =							0.11043

→通常UF : 0.111



応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ (吸込ノズル 評価点SU12I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	補正前 sall	補正後 sall'	n	n*	u	fen	uen
2I1	2D3	75.0	-274.8	1.00	174.9	193.3	2	1010000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2G1	75.0	-196.9	1.00	136.0	150.3	2	2410000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2E1	75.0	-177.4	1.00	126.2	139.5	2	3330000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2J1	75.0	-173.7	1.00	124.3	137.5	5	3550000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1I1	75.0	-172.7	1.00	123.9	136.9	52	3610000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1I1	72.6	-172.7	1.00	122.7	135.6	18	3760000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2H1	72.6	-138.1	1.00	105.3	116.5	2	8360000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2D2	72.6	-133.7	1.00	103.2	114.0	2	9460000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2F1	72.6	-126.9	1.00	99.7	110.3	3	12600000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1B1	72.6	-108.7	1.00	90.6	100.2	49	41400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1B1	1.4	-108.7	1.00	55.0	60.8	25	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00003

→環境UF : 0.001

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 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	補正後					
					salt	salt'					
1B1	1A1	348.2	-341.8	1.79	617.4	682.5	74	1860	0.03973	14.936	0.59424
2I2	2I1	263.4	-299.7	1.47	414.2	457.9	63	8590	0.00733	7.326	0.05373
1I1	2B1	197.1	-138.3	1.00	167.7	185.4	5	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	197.1	-129.3	1.00	163.2	180.4	7	1260000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	197.1	-104.9	1.00	151.0	166.9	2	1630000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	197.1	-67.2	1.00	132.1	146.1	2	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	197.1	-54.0	1.00	125.5	138.8	9	3400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1F1	197.1	-44.3	1.00	120.7	133.4	4	4040000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	197.1	-43.9	1.00	120.5	133.2	37	4060000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	182.2	-43.9	1.00	113.0	125.0	2	5500000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1B1	55.5	-38.2	1.70	79.6	88.0	63	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.64800

→環境UF : 0.649

Ke係数と環境疲労パラメータ (脚部 評価点A204I) (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
1B1	1A1	345.3	-344.8	1.79	617.6	682.8	74	1860	0.03978	14.683	0.58415
2I2	2I1	260.5	-302.7	1.47	414.6	458.3	63	8560	0.00736	7.371	0.05425
1I1	2B1	194.1	-141.2	1.00	167.7	185.3	5	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	194.1	-132.3	1.00	163.2	180.4	7	1260000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	194.1	-107.9	1.00	151.0	166.9	2	1630000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	194.1	-74.8	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	194.1	-74.8	1.00	134.5	148.6	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	194.1	-71.0	1.00	132.6	146.6	9	2690000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	194.1	-70.1	1.00	132.1	146.1	8	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	194.1	-70.1	1.00	132.1	146.1	2	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	194.1	-69.3	1.00	131.7	145.6	2	2770000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	194.1	-60.8	1.00	127.5	140.9	31	3190000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	179.2	-60.8	1.00	120.0	132.6	2	4140000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	52.6	-58.6	1.47	81.9	90.5	63	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.63843

→環境UF : 0.639

Ke係数と環境疲労パラメータ (脚部 評価点A309I) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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
1B1	1A1	344.4	-345.6	1.79	617.7	682.8	74	1860	0.03978	14.682	0.58411
2I2	2I1	259.6	-303.6	1.47	414.6	458.3	63	8560	0.00736	7.371	0.05425
1I1	2B1	193.3	-142.1	1.00	167.7	186.3	5	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	193.3	-133.1	1.00	163.2	180.4	7	1260000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	193.3	-108.7	1.00	151.0	166.9	2	1630000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	193.3	-75.7	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	193.3	-75.7	1.00	134.5	148.6	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	193.3	-71.9	1.00	132.6	146.6	9	2690000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	193.3	-71.0	1.00	132.1	146.1	8	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	193.3	-71.0	1.00	132.1	146.1	2	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	193.3	-70.2	1.00	131.7	145.6	2	2760000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	193.3	-61.6	1.00	127.5	140.9	31	3190000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	178.3	-61.6	1.00	120.0	132.6	2	4140000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	2I2	51.8	-59.5	1.47	81.9	90.6	63	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.63839

→環境UF : 0.639

タイトル	蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 815 1310 1095"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="429 1211 1378 1476"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>S F V Q 2 A</td> <td>1 8 4</td> <td>2 7 6 . 9</td> </tr> <tr> <td>管板及び管板まわり</td> <td>S F V Q 1 A</td> <td>1 8 4</td> <td>3 2 4 . 9</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。</p> <p>管板及び管板まわりについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施している。</p> <p>また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。</p> <p>解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018	要素種類		要素次数	節点数	要素数	使用箇所	材料	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台	S F V Q 2 A	1 8 4	2 7 6 . 9	管板及び管板まわり	S F V Q 1 A	1 8 4	3 2 4 . 9
解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
使用箇所	材料	設計応力強さ																				
		S _m (MPa)	温度 (°C)																			
給水入口管台	S F V Q 2 A	1 8 4	2 7 6 . 9																			
管板及び管板まわり	S F V Q 1 A	1 8 4	3 2 4 . 9																			

4. 応力分類

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

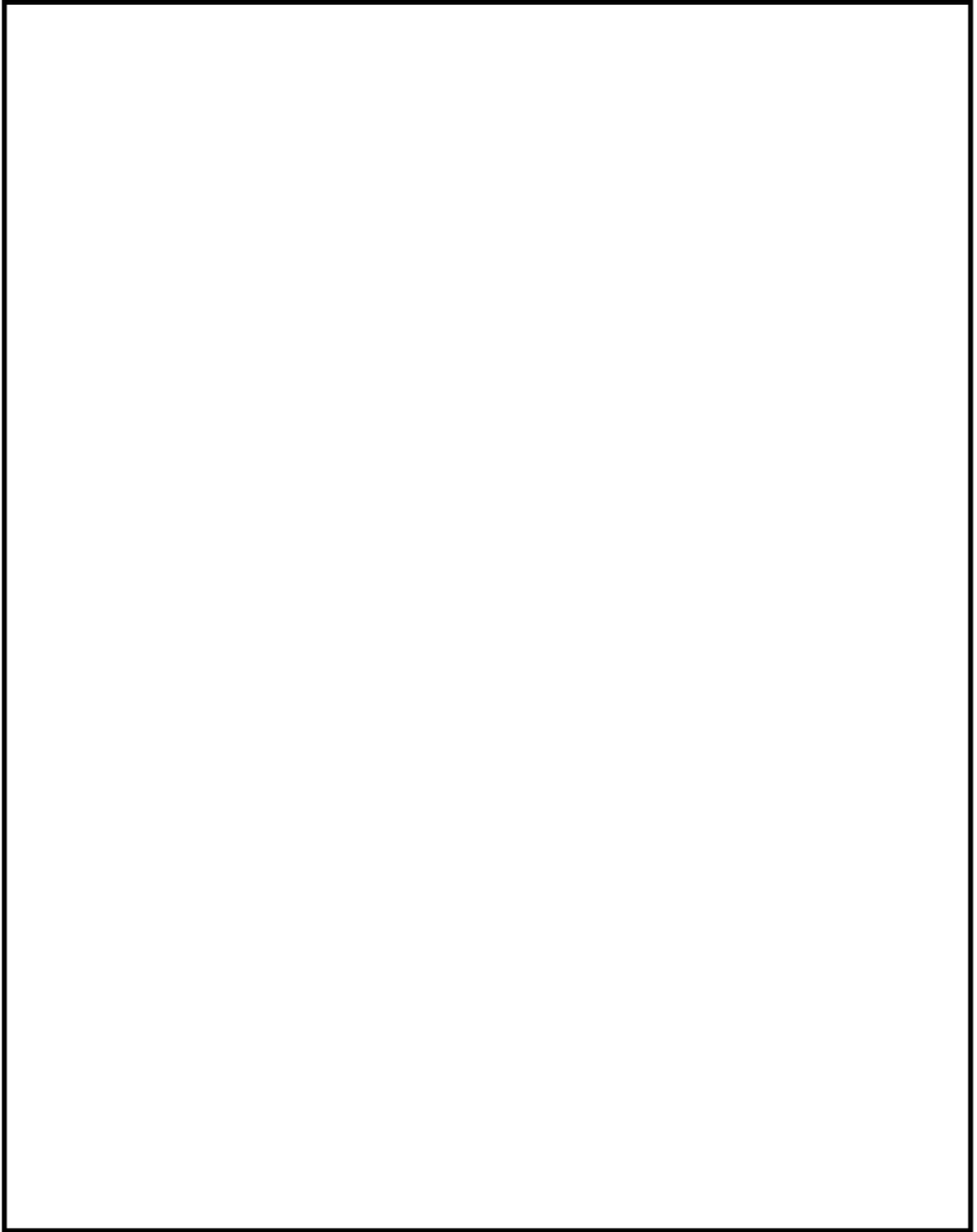
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A, B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境パラメータ

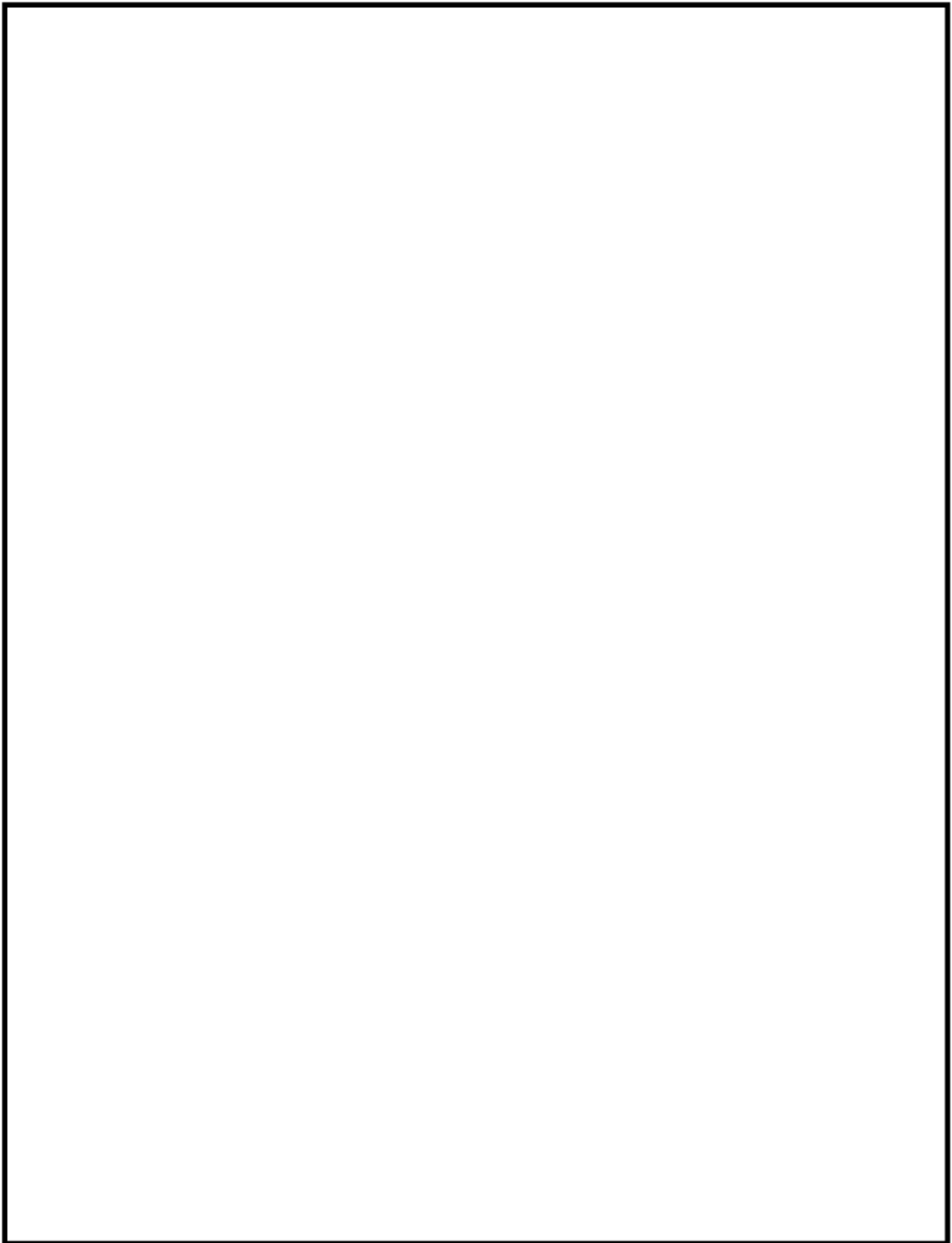
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数fen）を添付3に示す。

なお、評価に用いた溶存酸素濃度は、主給水の管理基準より0.005ppmとした。

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



蒸気発生器本体 管板及び管板まわり 評価点



蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (1/2)
管板および管板まわり

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.04562	0.00103	0.05215
2	0.0	0.00269	0.00073
3	0.05337	0.00028	0.12035
4	0.0	0.00018	0.00026
P1 SIDE R/R* = 0.0		0.01675	
P1 SIDE R/R* = 1.0		0.16463	
P2 SIDE R/R* = 0.0		0.04188	
P2 SIDE R/R* = 1.0		0.03326	

疲労累積係数(最大)
(ただし、非接液)

許容値 $U_f = 1.0$

→通常 U_f : 0.165

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2/2)
給水入口管台

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00000	0.00631	0.01361
2	0.0	0.00019	0.00074
3	0.00010	0.00646	0.03696
4	0.0	0.00027	0.00448
5	0.00394	0.07242	0.00864
6	0.0	0.00003	0.00002
7	0.02598	0.07917	0.00012
8	0.00366	0.0	0.00012
9L	0.12563	0.19412	0.00000
10L	0.0	0.00265	0.00125
9C	0.01465	0.01968	0.00226
10C	0.00014	0.04037	0.01978
11L	0.19164	0.12435	0.0
12L	0.0	0.00268	0.00127
11C	0.01715	0.01541	0.00236
12C	0.00000	0.04050	0.02007
13L	0.09324	0.04687	0.0
14L	0.00001	0.00274	0.00304
13C	0.00308	0.0	0.00174
14C	0.00003	0.04180	0.02842

疲労累積係数(最大)
(接液する評価点)

許容値 $U_f = 1.0$

→通常 U_f : 0.195

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

評価点 - P1 SIDE R/R* = 1.0

応力強さ		(単位 : MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
847.4	-313.5	1.0	580.4	694.5	2	565	0.00354
832.9	-313.5	1.0	573.2	685.9	61	586	0.10410
832.9	0.0	1.0	416.4	498.3	2	1440	0.00139
806.4	0.0	1.0	403.2	482.5	2	1570	0.00127
786.5	0.0	1.0	393.3	470.5	2	1680	0.00119
729.7	0.0	1.0	364.9	436.6	3	2060	0.00146
728.8	0.0	1.0	364.4	436.0	2	2070	0.00097
684.8	0.0	1.0	342.4	409.7	2	2530	0.00079
665.8	0.0	1.0	332.9	398.3	8	2760	0.00290
661.2	0.0	1.0	330.6	395.6	2	2830	0.00071
620.2	0.0	1.0	310.1	371.1	5	3470	0.00144
545.8	0.0	1.0	272.9	326.5	172	5200	0.03308
545.8	26.7	1.0	259.5	310.5	70	6040	0.01159
545.8	175.7	1.0	185.0	221.4	2	17700	0.00011
545.8	319.3	1.0	113.2	135.5	2	106000	0.00002
545.8	319.7	1.0	113.0	135.2	7	107000	0.00007
545.8	375.4	1.0	85.2	101.9	5	330000	0.00002
545.8	409.2	1.0	68.3	81.7	636		0.0
疲労累積係数 =							0.16463

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 : 0.165

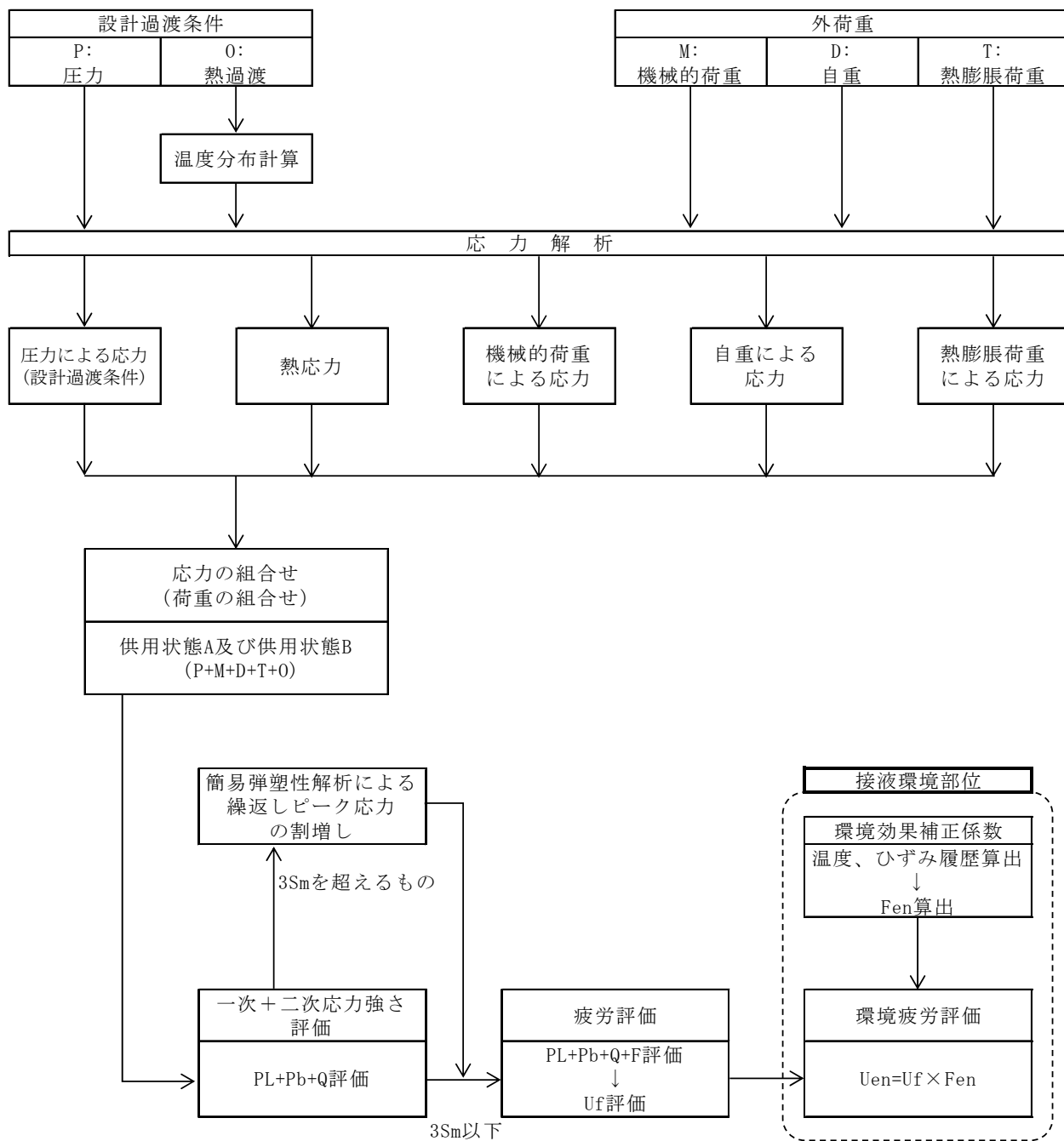
蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 9L)

評価点 - 9L
(S23)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
954.3	-12.6	1.0	483.5	565.4	5	1030	0.00485
845.2	-12.6	1.0	428.9	501.6	69	1410	0.04894
845.2	-11.5	1.0	428.3	500.9	21	1420	0.01479
810.0	-11.5	1.0	410.7	480.3	53	1590	0.03333
810.0	0.0	1.0	405.0	473.6	15	1650	0.00909
804.2	0.0	1.0	402.1	470.3	79	1680	0.04702
791.1	0.0	1.0	395.5	462.6	9	1760	0.00511
787.1	0.0	1.0	393.5	460.3	2	1780	0.00112
777.1	0.0	1.0	388.6	454.4	2	1840	0.00109
772.4	0.0	1.0	386.2	451.6	30	1870	0.01604
772.4	295.6	1.0	238.4	278.8	5	8310	0.00060
772.4	428.1	1.0	172.2	201.3	2	24100	0.00008
772.4	443.3	1.0	164.6	192.4	3	27700	0.00011
772.4	504.9	1.0	133.7	156.4	2	54100	0.00004
772.4	508.3	1.0	132.1	154.4	0	57600	0.00000
772.4	513.9	1.0	129.2	151.1	2	64100	0.00003
772.4	514.8	1.0	128.8	150.6	2	65100	0.00003
772.4	517.1	1.0	127.6	149.3	4	68100	0.00006
772.4	526.3	1.0	123.0	143.9	2	81500	0.00002
772.4	526.7	1.0	122.8	143.7	2	82100	0.00002
772.4	528.2	1.0	122.1	142.8	840	84600	0.00993
772.1	528.2	1.0	122.0	142.6	63	85000	0.00074
772.1	529.7	1.0	121.2	141.7	0	87700	0.00000
772.1	529.7	1.0	121.2	141.7	3	87700	0.00003
772.1	547.1	1.0	112.5	131.6	4	118000	0.00003
772.1	550.1	1.0	111.0	129.8	0	124000	0.00000
772.1	552.0	1.0	110.1	128.7	5	128000	0.00004
772.1	562.4	1.0	104.9	122.7	4	153000	0.00003
772.1	577.3	1.0	97.4	113.9	74	200000	0.00037
772.1	577.3	1.0	97.4	113.9	74	200000	0.00037
772.1	585.9	1.0	93.1	108.9	2	245000	0.00001
772.1	605.1	1.0	83.5	97.7	63	400000	0.00016
772.1	617.4	1.0	77.3	90.5	2	639000	0.00000
772.1	619.7	1.0	76.2	89.1	2	730000	0.00000
772.1	622.0	1.0	75.1	87.8	8	834000	0.00001
772.1	624.8	1.0	73.7	86.1	2	984000	0.00000
772.1	699.0	1.0	36.5	42.7	2	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.19412

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 : 0.195



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	2E1	216.2	-484.5	1.00	350.3	419.2	2	2350	0.00085	3.930	0.00334
2J1	2K1	216.2	-444.7	1.00	330.5	395.4	61	2830	0.02155	1.000	0.02155
1A1	2K1	84.2	-444.7	1.00	264.5	316.4	2	5710	0.00035	4.699	0.00165
1A1	2D5	84.2	-398.0	1.00	241.1	288.5	2	7510	0.00027	4.164	0.00111
1A1	2F1	84.2	-346.8	1.00	215.5	257.8	3	10500	0.00029	3.944	0.00113
1A1	2D3	84.2	-329.4	1.00	206.8	247.4	2	12000	0.00017	4.116	0.00069
1A1	2C2	84.2	-316.8	1.00	200.5	239.9	2	13400	0.00015	4.133	0.00062
1A1	2G1	84.2	-315.7	1.00	199.9	239.2	2	13500	0.00015	4.173	0.00062
1A1	2D1	84.2	-300.1	1.00	192.1	229.9	8	15600	0.00051	4.121	0.00211
1A1	2A1	84.2	-290.4	1.00	187.3	224.1	7	17000	0.00041	4.338	0.00179
1A1	1G1	84.2	-287.0	1.00	185.6	222.1	9	17500	0.00051	4.861	0.00250
1A1	1L1	84.2	-267.0	1.00	175.6	210.1	2	21100	0.00009	4.211	0.00040
1A1	2H2	84.2	-258.4	1.00	171.3	205.0	2	22800	0.00009	4.085	0.00036
1A1	2B2	84.2	-255.5	1.00	169.8	203.2	5	23400	0.00021	4.896	0.00105
1A1	1D1	84.2	-251.2	1.00	167.7	200.7	28	24300	0.00115	4.886	0.00563
2H1	1D1	32.3	-251.2	1.00	141.8	169.6	2	40900	0.00005	4.351	0.00021
1C1	1D1	19.5	-251.2	1.00	135.4	162.0	864	47200	0.01831	5.132	0.09393
1C1	1B1	19.5	-251.1	1.00	135.3	161.9	39	47200	0.00083	5.057	0.00418
NSS	1B1	0.0	-251.1	1.00	125.6	150.3	35	65900	0.00053	5.369	0.00285
NSS	1K1	0.0	-244.0	1.00	122.0	146.0	68	75900	0.00090	5.369	0.00481
NSS	2I1	0.0	-242.1	1.00	121.1	144.9	5	78800	0.00006	5.290	0.00034
NSS	1A1	0.0	-237.6	1.00	118.8	142.1	74	86500	0.00086	4.699	0.00402
NSS	1J1	0.0	-231.8	1.00	115.9	138.7	18	97500	0.00018	1.000	0.00018
1H1	1J1	-15.9	-231.8	1.00	108.0	129.2	0	127000	0.00000	4.041	0.00000
1E1	1J1	-23.7	-231.8	1.00	104.1	124.5	4	145000	0.00003	4.910	0.00014
1I1	1J1	-24.8	-231.8	1.00	103.5	123.9	57	147000	0.00039	1.814	0.00070
1I1	1I1	-24.8	-219.7	1.00	97.5	116.6	13	184000	0.00007	1.814	0.00013
2C2	1I1	-26.0	-219.7	1.00	96.9	115.9	2	188000	0.00001	2.869	0.00003
1G1	1I1	-30.1	-219.7	1.00	94.8	113.5	9	204000	0.00004	3.732	0.00016
1D1	1I1	-31.6	-219.7	1.00	94.1	112.6	46	211000	0.00022	3.659	0.00080
1D1	1L3	-31.6	-215.4	1.00	91.9	110.0	2	235000	0.00001	5.156	0.00004
1D1	1C1	-31.6	-206.7	1.00	87.6	104.8	846	292000	0.00290	5.156	0.01494
1H1	1C1	-43.7	-206.7	1.00	81.5	97.5	0	404000	0.00000	1.991	0.00000
1E1	1C1	-48.4	-206.7	1.00	79.2	94.7	4	460000	0.00001	1.000	0.00001
1F1	1C1	-62.4	-206.7	1.00	72.2	86.3	4	964000	0.00000	1.000	0.00000
2J2	1C1	-90.0	-206.7	1.00	58.4	69.8	49	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.17202

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

→環境UF : 0.173

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
1B1	2B2	21.1	-964.7	1.00	492.9	576.4	5	977	0.00512	4.035	0.02065
1B1	2T1	21.1	-892.5	1.00	456.8	534.2	69	1190	0.05798	4.161	0.24129
1A1	2T1	19.9	-892.5	1.00	456.2	533.5	21	1200	0.01750	2.928	0.05124
1A1	1K1	19.9	-820.9	1.00	420.4	491.6	53	1490	0.03557	2.152	0.07655
NSS	1K1	0.0	-820.9	1.00	410.4	480.0	15	1590	0.00943	2.340	0.02208
NSS	1J1	0.0	-815.4	1.00	407.7	476.8	79	1620	0.04877	1.000	0.04877
NSS	1G1	0.0	-796.1	1.00	398.1	465.5	9	1730	0.00520	3.044	0.01583
NSS	2D3	0.0	-795.2	1.00	397.6	465.0	2	1730	0.00116	2.504	0.00289
NSS	1L4	0.0	-788.0	1.00	394.0	460.8	2	1770	0.00113	2.396	0.00271
NSS	1C1	0.0	-783.3	1.00	391.6	458.0	30	1800	0.01667	1.000	0.01667
2I1	1C1	-301.0	-783.3	1.00	241.1	282.0	5	8040	0.00062	1.000	0.00062
2D4	1C1	-442.6	-783.3	1.00	170.3	199.2	2	24900	0.00008	2.108	0.00017
2F1	1C1	-450.4	-783.3	1.00	166.4	194.6	3	26700	0.00011	2.717	0.00031
2D2	1C1	-511.7	-783.3	1.00	135.8	158.8	2	50200	0.00004	2.291	0.00009
1H1	1C1	-519.5	-783.3	1.00	131.9	154.2	0	58000	0.00000	1.902	0.00000
2H1	1C1	-524.7	-783.3	1.00	129.3	151.2	2	63900	0.00003	3.005	0.00009
2E1	1C1	-525.4	-783.3	1.00	128.9	150.8	2	64800	0.00003	2.376	0.00007
1E1	1C1	-527.7	-783.3	1.00	127.8	149.4	4	67700	0.00006	3.760	0.00022
1L1	1C1	-537.1	-783.3	1.00	123.1	143.9	2	81400	0.00002	1.000	0.00002
2C2	1C1	-539.0	-783.3	1.00	122.1	142.8	2	84500	0.00002	2.756	0.00007
1F1	1C1	-541.0	-783.3	1.00	121.1	141.6	4	88000	0.00005	3.772	0.00017
2D1	1C1	-542.2	-783.3	1.00	120.5	141.0	8	90100	0.00009	2.934	0.00026
1E1	1C1	-560.9	-783.3	1.00	111.2	130.0	4	124000	0.00003	3.760	0.00012
1H1	1C1	-563.8	-783.3	1.00	109.7	128.3	0	130000	0.00000	1.602	0.00000
2I1	1C1	-572.0	-783.3	1.00	105.6	123.6	5	149000	0.00003	1.000	0.00003
1F1	1C1	-576.8	-783.3	1.00	103.2	120.7	4	162000	0.00002	3.610	0.00009
1L2	1C1	-598.1	-783.3	1.00	92.6	108.3	2	252000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1C1	-599.6	-783.3	1.00	91.8	107.4	74	261000	0.00028	5.284	0.00150
1B1	1C1	-599.6	-783.3	1.00	91.8	107.4	74	261000	0.00028	1.000	0.00028
2K1	1C1	-626.7	-783.3	1.00	78.3	91.5	63	575000	0.00011	1.000	0.00011
2C1	1C1	-636.4	-783.3	1.00	73.4	85.9	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.50291

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

→環境UF : 0.503

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

大飯3号炉 蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価 (熱成層考慮)

1. 概要

本資料は、蒸気発生器給水入口管台の環境疲労評価の結果についてまとめたものである。
その結果、環境疲労累積係数（以降 環境U. F. と記す）は $0.503 < 1.0$ であり、問題ないことを確認した。

2. 評価方針

2.1 適用規格・基準

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

2.2 評価手法

(1) 環境疲労評価手法

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

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

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図1に示す。

熱成層応力の解析は3次元のFEM解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

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

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

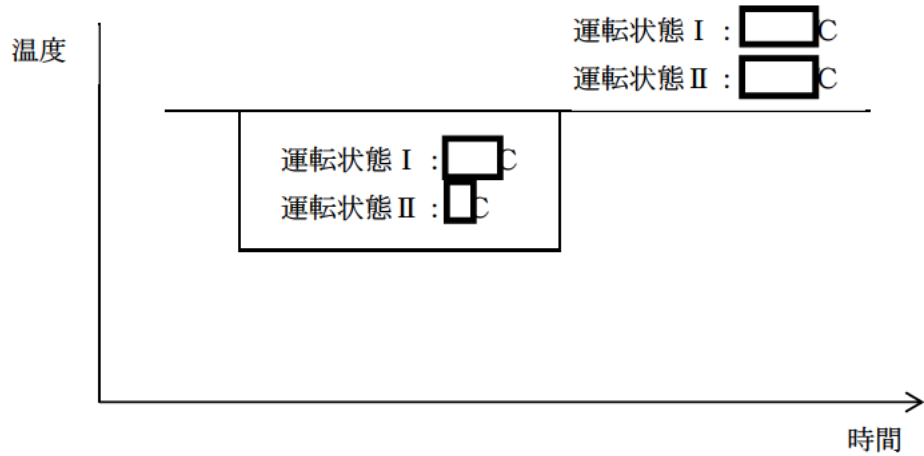
解析に使用したモデルを図2, 3, 4に示す。

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 2018を使用する。

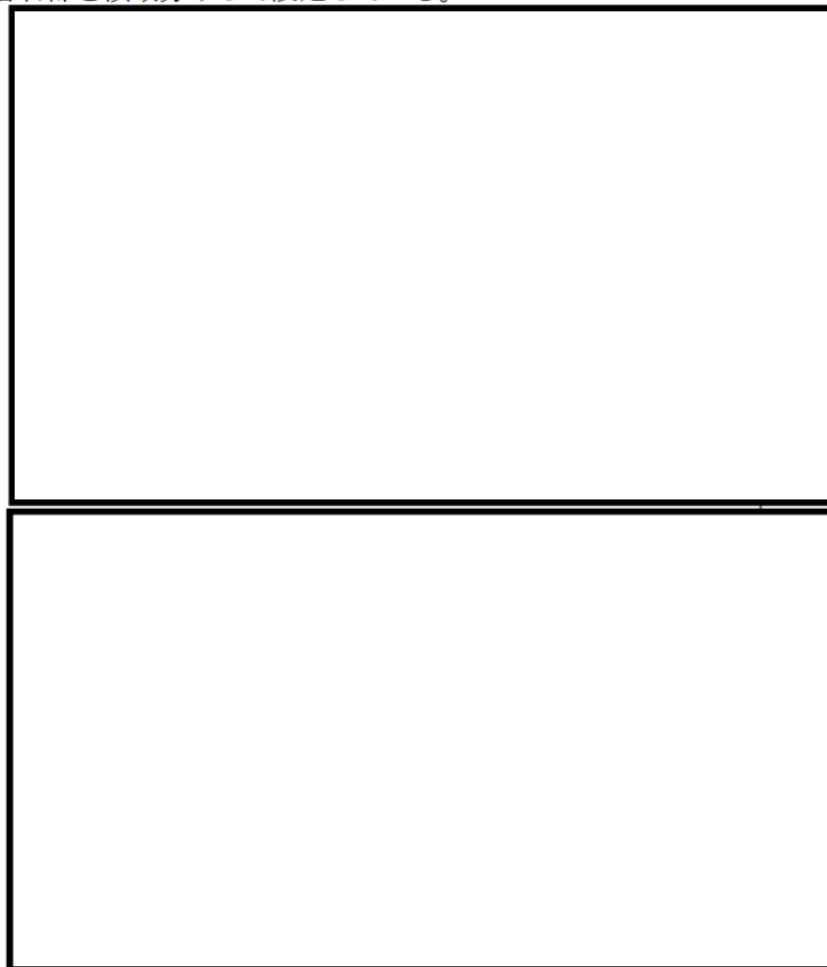
(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



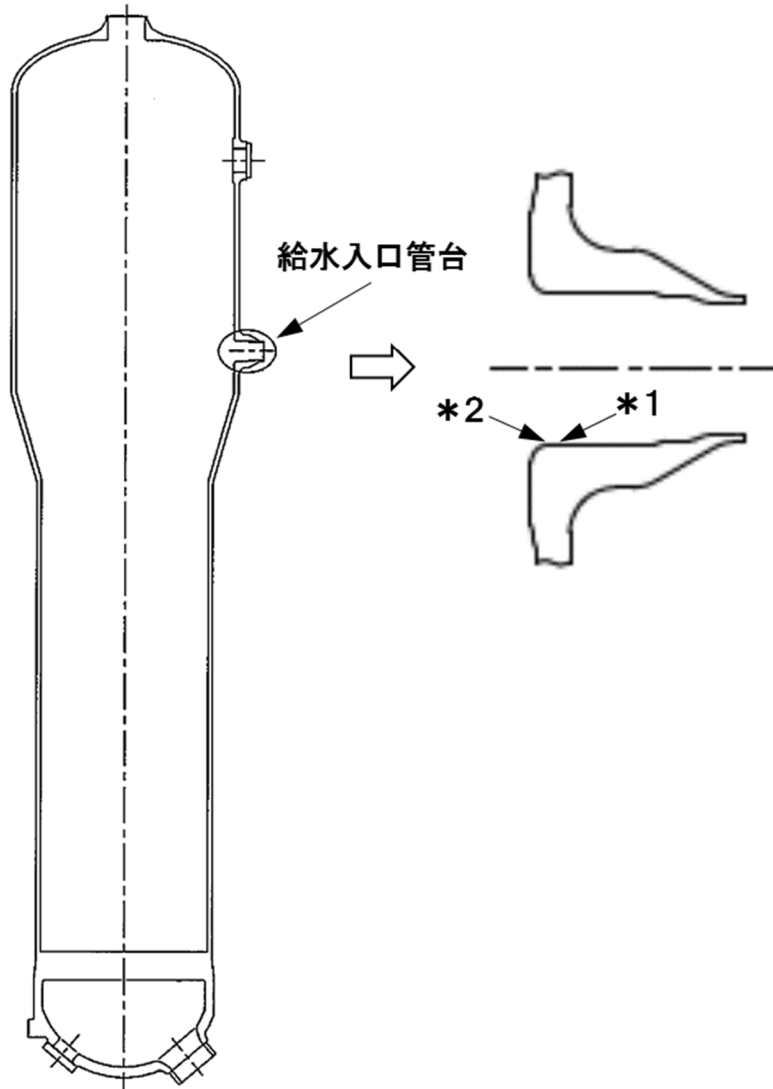
(4) 熱伝達率

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



(5) 物性値

熱成層による応力の解析に用いる材料の物性値は表1に示すとおりである。



* 1 : 「設計・建設規格」に基づく疲労評価対象部位(最大)

(非接液部の場合は () 内に理由を記載)

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

図1 大飯3号炉 蒸気発生器給水入口管台の疲労割れ評価対象部位

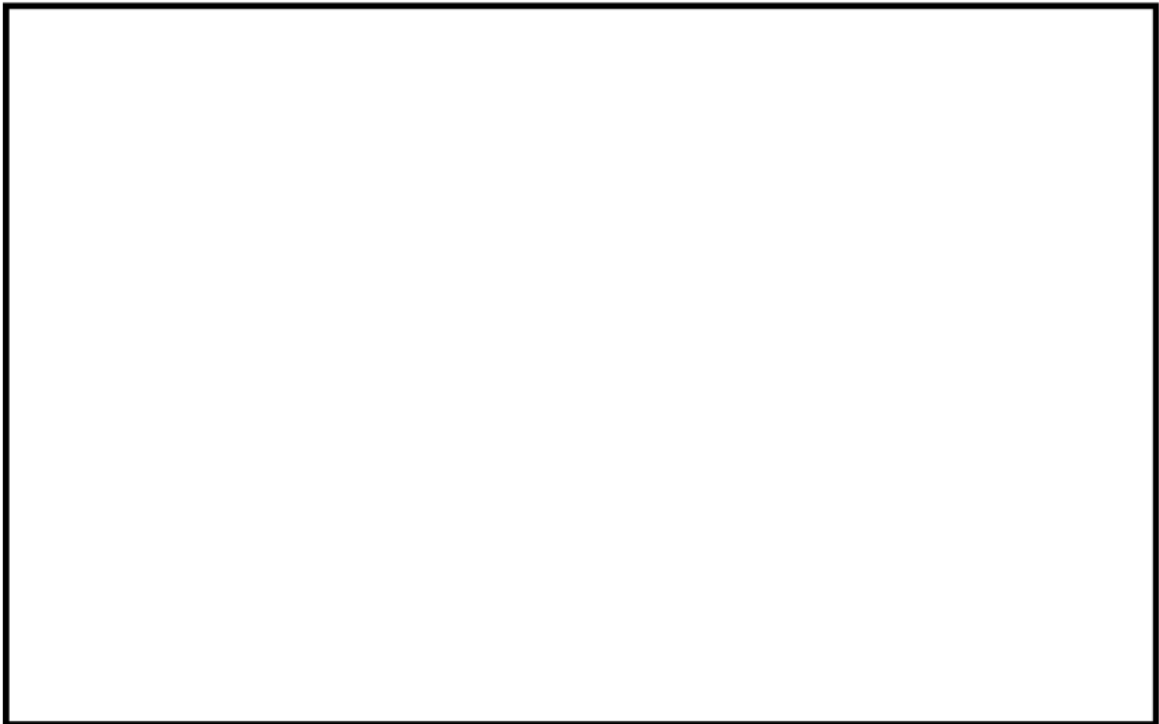


図2 解析モデル (全体図)

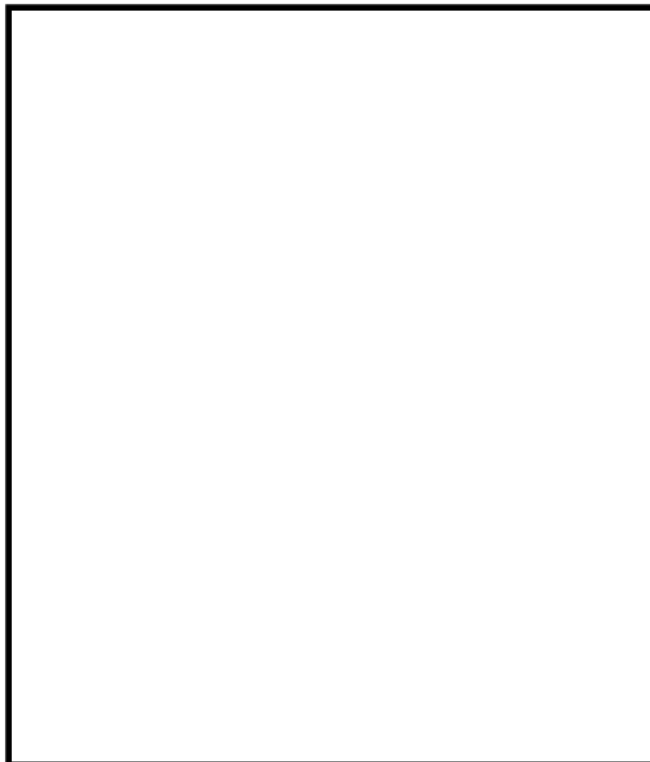
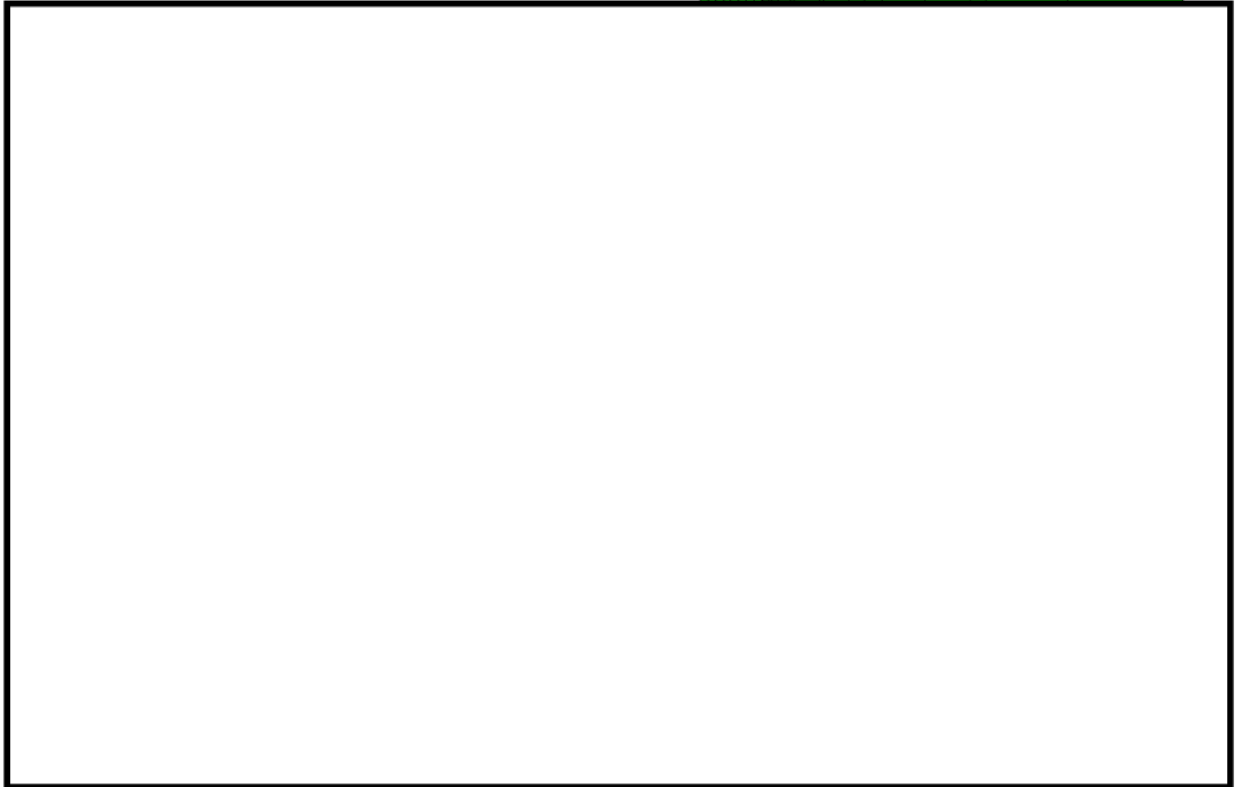


図3 解析モデル (断面図)



* 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)

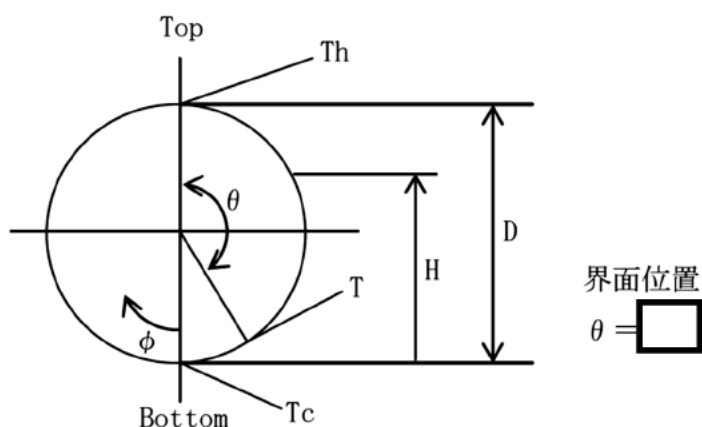
表1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴
材料	STS49	SFVQ2A	SQV2B
熱伝導率 (W/mK)	44.4	39.0	39.0
熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K)	4.39	4.32	4.32
熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C)	12.83	13.15	13.94
縦弾性係数 (MPa)	187,000	177,000	185,000
ポアソン比 (-)	0.3	0.3	0.3

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

(6) 温度プロファイル

過去に他実機プラントである大飯1号機での給水管内熱成層発生時の応力を計測しており、熱成層界面位置が水平頂部からの角度 $\theta = \square$ の場合に最大応力が確認されている。大飯1号機と大飯3号機では給水管台の形状 (口径) が同等であることから、大飯1号機にて最大応力が確認された水平配管頂部からの角度 $\theta = \square$ を界面位置に設定している。



3.2 過渡条件

(1) 過渡回数

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

(2) 温度条件

低温水の微小給水・給水停止の繰返しによる熱成層の発生・消滅を評価する。

4. 評価結果

熱成層を考慮した環境疲労評価結果を表2に、過渡記号を表3に示す。

以上

表2 給水入口管台環境疲労評価結果(環境U. F. が最大となる評価点)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		KE	補正前 salt					
1B1	2B2	21.1	-964.7	1.00	492.9	576.4	5	977	0.00512	4.035	0.02065
1B1	2T1	21.1	-892.5	1.00	456.8	534.2	69	1190	0.05798	4.161	0.24129
1A1	2T1	19.9	-892.5	1.00	456.2	533.5	21	1200	0.01750	2.928	0.05124
1A1	1K1	19.9	-820.9	1.00	420.4	491.6	53	1490	0.03557	2.152	0.07655
NSS	1K1	0.0	-820.9	1.00	410.4	480.0	15	1590	0.00943	2.340	0.02208
NSS	1J1	0.0	-815.4	1.00	407.7	476.8	79	1620	0.04877	1.000	0.04877
NSS	1G1	0.0	-796.1	1.00	398.1	465.5	9	1730	0.00520	3.044	0.01583
NSS	2D3	0.0	-795.2	1.00	397.6	465.0	2	1730	0.00116	2.504	0.00289
NSS	1L4	0.0	-788.0	1.00	394.0	460.8	2	1770	0.00113	2.396	0.00271
NSS	1C1	0.0	-783.3	1.00	391.6	458.0	30	1800	0.01667	1.000	0.01667
2I1	1C1	-301.0	-783.3	1.00	241.1	282.0	5	8040	0.00062	1.000	0.00062
2D4	1C1	-442.6	-783.3	1.00	170.3	199.2	2	24900	0.00008	2.108	0.00017
2F1	1C1	-450.4	-783.3	1.00	166.4	194.6	3	26700	0.00011	2.717	0.00031
2D2	1C1	-511.7	-783.3	1.00	135.8	158.8	2	50200	0.00004	2.291	0.00009
1H1	1C1	-519.5	-783.3	1.00	131.9	154.2	0	58000	0.00000	1.902	0.00000
2H1	1C1	-524.7	-783.3	1.00	129.3	151.2	2	63900	0.00003	3.005	0.00009
2E1	1C1	-525.4	-783.3	1.00	128.9	150.8	2	64800	0.00003	2.376	0.00007
1E1	1C1	-527.7	-783.3	1.00	127.8	149.4	4	67700	0.00006	3.760	0.00022
1L1	1C1	-537.1	-783.3	1.00	123.1	143.9	2	81400	0.00002	1.000	0.00002
2G2	1C1	-539.0	-783.3	1.00	122.1	142.8	2	84500	0.00002	2.756	0.00007
1F1	1C1	-541.0	-783.3	1.00	121.1	141.6	4	88000	0.00005	3.772	0.00017
2D1	1C1	-542.2	-783.3	1.00	120.5	141.0	8	90100	0.00009	2.934	0.00026
1E1	1C1	-560.9	-783.3	1.00	111.2	130.0	4	124000	0.00003	3.760	0.00012
1H1	1C1	-563.8	-783.3	1.00	109.7	128.3	0	130000	0.00000	1.602	0.00000
2I1	1C1	-572.0	-783.3	1.00	105.6	123.6	5	149000	0.00003	1.000	0.00003
1F1	1C1	-576.8	-783.3	1.00	103.2	120.7	4	162000	0.00002	3.610	0.00009
1L2	1C1	-598.1	-783.3	1.00	92.6	108.3	2	252000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	1C1	-599.6	-783.3	1.00	91.8	107.4	74	261000	0.00028	5.284	0.00150
1B1	1C1	-599.6	-783.3	1.00	91.8	107.4	74	261000	0.00028	1.000	0.00028
2K1	1C1	-626.7	-783.3	1.00	78.3	91.5	63	575000	0.00011	1.000	0.00011
2C1	1C1	-636.4	-783.3	1.00	73.4	85.9	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.50291

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

→環境UF : 0.503

表 3 過渡記号

記号	過渡事象
1A1	起動
1B1	停止
1C1	負荷上昇(15%から100%出力)
1E1	90%から100%負荷へのステップ状負荷上昇
1F1	100%から90%負荷へのステップ状負荷減少
1G1	100%からの大きいステップ状負荷減少
1H1	定常負荷運転時の変動
1J1	0%→15%への負荷上昇
1K1	15%→0%への負荷減少
1L1	1ループ停止／1ループ起動(1ループ停止・停止ループ)
1L2	1ループ停止／1ループ起動(1ループ停止・運転ループ)
1L4	1ループ停止／1ループ起動(1ループ起動・運転ループ)
2B2	外部電源喪失(補助給水されないループ)
2C1	1次冷却材流量の部分喪失(健全側)
2C2	1次冷却材流量の部分喪失(故障側)
2D1	100%からの原子炉トリップ(不注意な冷却を伴わない)
2D2	100%からの原子炉トリップ(不注意な冷却を伴う・冷却ループ)
2D3	100%からの原子炉トリップ(不注意な冷却を伴う・正常ループ)
2D4	100%からの原子炉トリップ(不注意な冷却と S I を伴う・冷却ループ)°
2E1	1次冷却系の異常な減圧
2F1	制御棒クラスタの落下
2H1	1次冷却系停止ループの誤起動(起動ループ)
2I1	タービン回転試験
2K1	2次系漏洩試験
2T1	運転状態Ⅱにおける低温給水
NSS	無応力状態

<p>タイトル</p>	<p>加圧器スプレイライン用管台等の疲労累積係数の算出根拠について</p>														
<p>説明</p>	<p>加圧器スプレイライン用管台およびサージ用管台の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p>【通常疲労】</p> <table border="1" data-bbox="456 882 1310 1200"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.12-3 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>【熟成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="456 1279 1310 1480"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.12-3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table>	解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.12-3 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 2018	要素種類		要素次数	要素数	節点数	解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.12-3	要素種類		要素次数	要素数	節点数
解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.12-3 (サージ用管台) ABAQUS Ver. 2018														
要素種類															
要素次数															
要素数															
節点数															
解析プログラム	(スプレイライン用管台) ABAQUS Ver. 6.12-3														
要素種類															
要素次数															
要素数															
節点数															

2. 材料物性値

材料物性値を以下に示す。

評価部位	材料	設計応力 (MPa)
		345℃
スプレイライン用管台	SFVQ1A	184
上部鏡板	SQV1A	184
スプレイライン用管台 セーフエンド	SUSF316	114
サージ用管台	SFVQ1A	184
下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184
サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114

3. 最大評価点の選定

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

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

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

解析モデル上の評価結果および最大評価点の選定結果を添付1に示す。

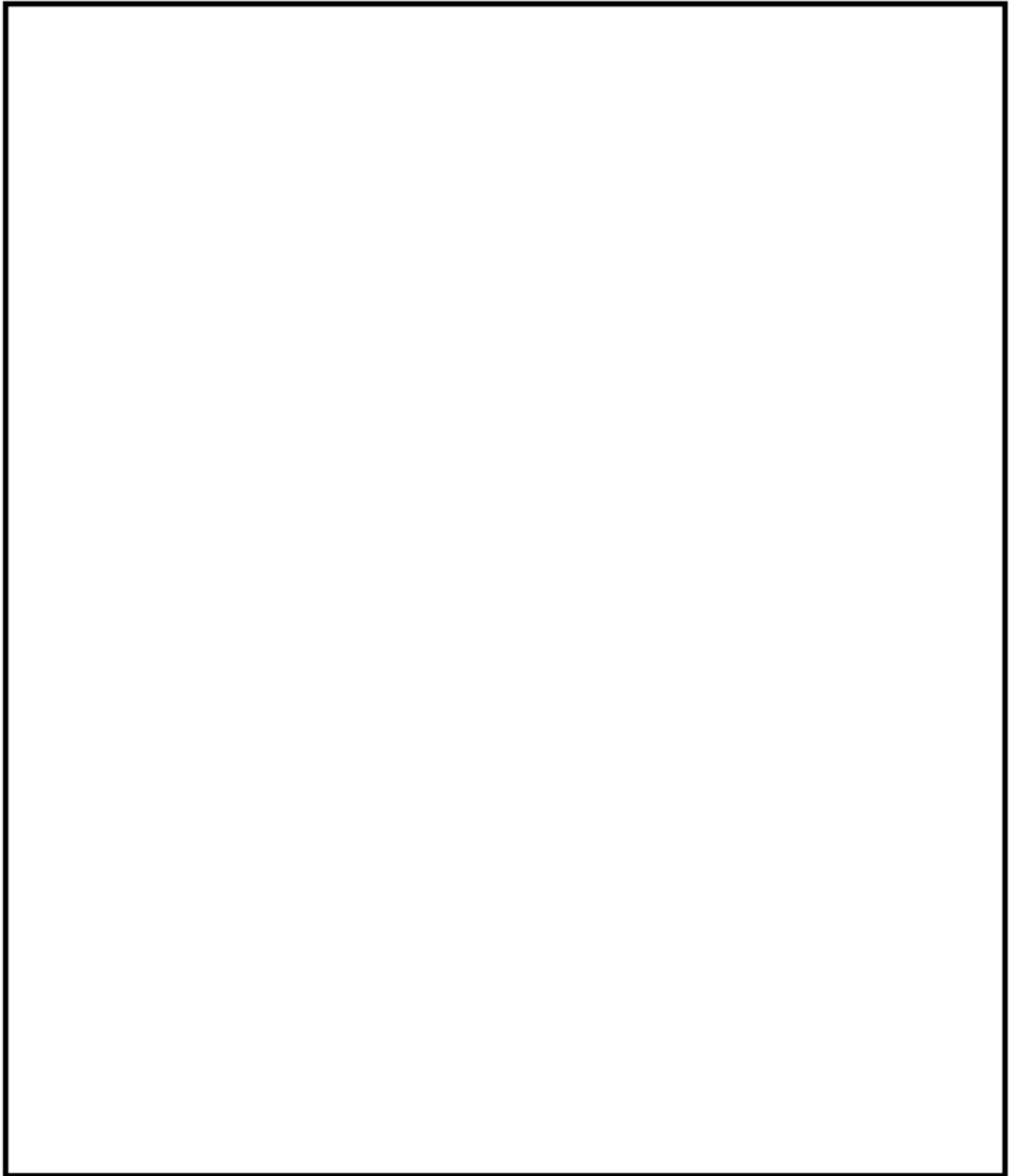
4. 応力分類

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

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

5. K e 係数および環境評価パラメータ

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



加圧器 スプレイライン用管台 評価点

スプレイライン用管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00578	0.00706
2	0.0	0.00001	0.00002
3	0.0	0.00644	0.01162
4	0.00000	0.00005	0.00046
5	0.00001	0.01254	0.00225
6	0.0	0.00000	0.00000
7	0.0	0.00772	0.00549
8	0.0	0.00000	0.0
9	0.00001	0.00003	0.00291
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0
12	0.00002	0.0	0.00096
13	0.0	0.00515	0.00948
14	0.00351	0.0	0.00085
15	0.0	0.00090	0.00064
16	0.00016	0.00025	0.00452
17	0.00727	0.01692	0.0
18	0.0	0.0	0.0
19	0.05071	0.04757	0.0
20	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.00315	0.00048
22	0.0	0.00027	0.00412

許容値 $U_F=1.0$

スプレイライン管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

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*	
3.1	-428.9	1.0	216.0	260.0	2	10200	0.00020
3.1	-423.7	1.0	213.4	256.8	72	10600	0.00679
0.0	-423.7	1.0	211.8	254.9	137	10900	0.01257
-68.2	-423.7	1.0	177.7	213.9	74	20000	0.00370
-71.7	-423.7	1.0	176.0	211.8	74	20600	0.00359
-77.9	-423.7	1.0	172.9	208.0	74	21800	0.00339
-78.6	-423.7	1.0	172.6	207.7	74	21900	0.00338
-87.0	-423.7	1.0	168.3	202.6	74	23600	0.00314
-95.0	-423.7	1.0	164.3	197.8	74	25500	0.00290
-106.2	-423.7	1.0	158.7	191.0	74	28300	0.00261
-106.4	-423.7	1.0	158.7	190.9	74	28400	0.00261
-112.9	-423.7	1.0	155.4	187.0	74	30300	0.00244
-147.6	-423.7	1.0	138.0	166.1	2	43600	0.00005
-154.4	-423.7	1.0	134.6	162.0	74	47100	0.00157
-188.3	-423.7	1.0	117.7	141.6	74	88000	0.00084
-213.4	-423.7	1.0	105.1	126.5	74	137000	0.00054
-249.8	-423.7	1.0	86.9	104.6	74	294000	0.00025
-258.1	-423.7	1.0	82.8	99.6	3	367000	0.00001
-265.6	-423.7	1.0	79.0	95.1	2	452000	0.00000
-272.2	-423.7	1.0	75.8	91.2	74	596000	0.00012
-278.6	-423.7	1.0	72.6	87.3	2	874000	0.00000
-291.4	-423.7	1.0	66.1	79.6	5	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.05071

→通常UF : 0.051

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



加圧器サージ管台 評価点

加圧器サージ管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00104	0.00320
2	0.0	0.00021	0.00031
3	0.0	0.00108	0.00157
4	0.0	0.00024	0.00056
5	0.00000	0.00208	0.00039
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00000	0.00138	0.00182
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00001	0.00012	0.00085
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.00004	0.00036
12	0.00003	0.0	0.00024
13	0.00374	0.0	0.00308
14	0.00327	0.0	0.00156
15	0.0	0.00066	0.00125
16	0.00060	0.0	0.00056
17	0.00565	0.01123	0.0
18	0.0	0.00032	0.0
19	0.01823	0.01532	0.0
20	0.0	0.00069	0.00087
21	0.0	0.00198	0.00002
22	0.0	0.00268	0.00576

許容値 $U_f=1.0$

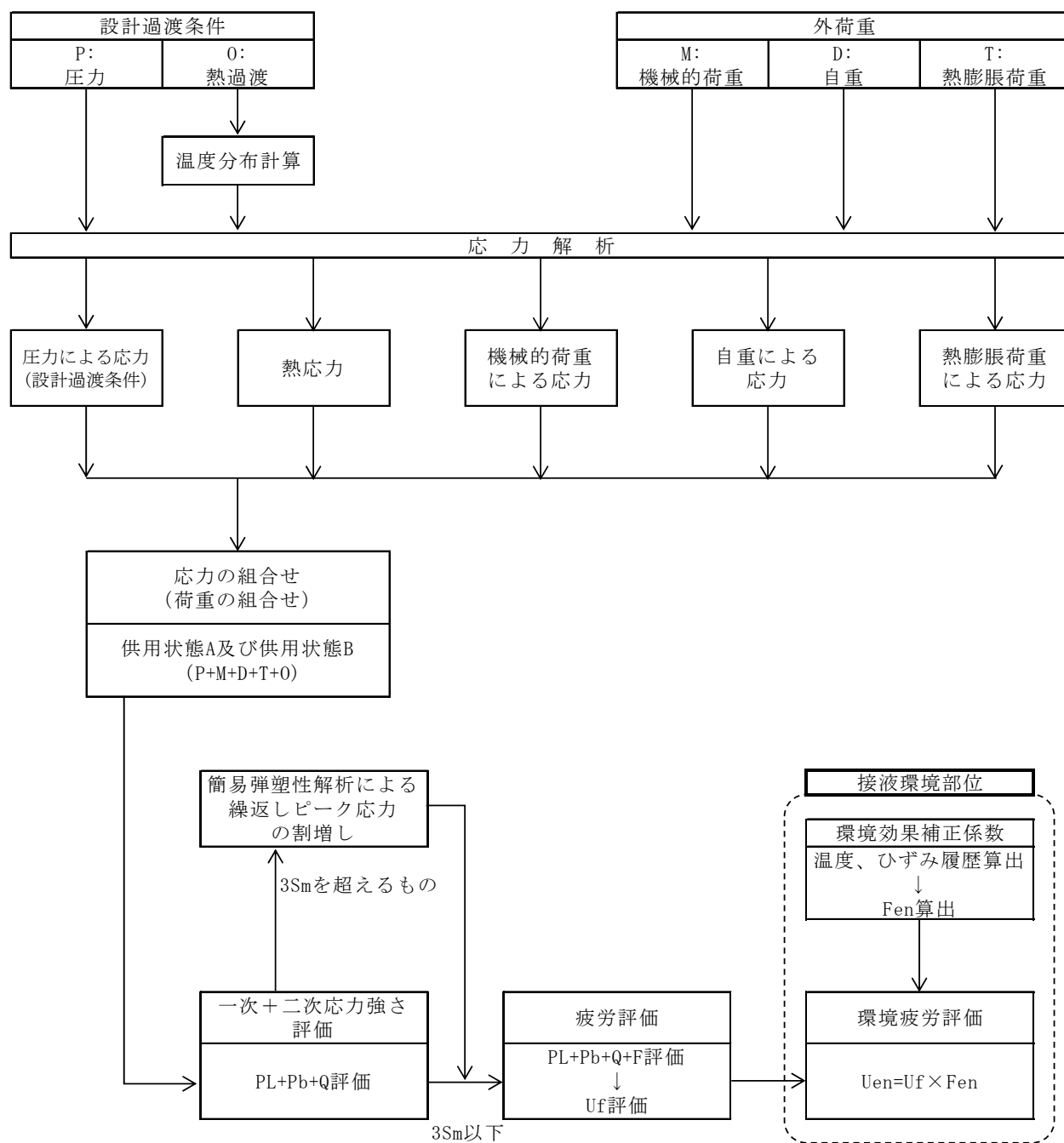
加圧器サージ管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

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*	
22.0	-319.7	1.0	170.8	205.6	5	22600	0.00022
22.0	-290.3	1.0	156.1	187.9	69	29800	0.00232
19.1	-290.3	1.0	154.7	186.2	63	30700	0.00205
0.0	-290.3	1.0	145.2	174.7	137	37400	0.00366
-58.5	-290.3	1.0	115.9	139.5	634	94900	0.00668
-58.5	-289.8	1.0	115.6	139.2	2	95900	0.00002
-58.5	-289.3	1.0	115.4	138.9	7	96900	0.00007
-58.5	-283.5	1.0	112.5	135.4	245	107000	0.00229
-102.2	-283.5	1.0	90.6	109.1	2	243000	0.00001
-128.2	-283.5	1.0	77.6	93.4	444	489000	0.00091
-165.6	-283.5	1.0	58.9	70.9	3	—————	0.0
疲労累積係数 =							0.01823

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 : 0.019



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【スプレイライン管台 (評価点: 5)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2E2	2E2	477.5	-354.5	2.05	857.8	966.8	2	592	0.00338	8.187	0.02766
1B8	1B7	366.2	-136.9	1.23	308.7	347.9	74	32300	0.00229	3.510	0.00804
1A6	1B6	310.5	-135.3	1.18	262.0	295.4	74	76100	0.00097	6.878	0.00669
1B3	1B5	293.9	-131.2	1.14	242.3	273.1	74	117000	0.00063	7.029	0.00445
1B5	1A6	275.8	-103.0	1.13	213.4	240.6	74	241000	0.00031	12.311	0.00378
1B2	1B4	292.6	-112.3	1.00	202.5	228.2	74	335000	0.00022	9.548	0.00211
1A7	1B3	290.2	-99.2	1.00	194.7	219.5	74	427000	0.00017	7.710	0.00134
1A5	1A5	287.2	-87.9	1.00	187.5	211.4	74	545000	0.00014	1.000	0.00014
1B4	1A7	279.9	-87.6	1.00	183.8	207.1	74	629000	0.00012	1.000	0.00012
2A1	1M1	278.1	-83.8	1.00	181.0	204.0	7	701000	0.00001	1.000	0.00001
1B6	1B2	262.0	-83.6	1.07	180.1	203.0	74	725000	0.00010	1.000	0.00010
2H1	1M1	273.9	-83.8	1.00	178.9	201.6	2	761000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1M1	270.9	-83.8	1.00	177.3	199.9	2	809000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1M1	267.6	-83.8	1.00	175.7	198.1	4	862000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1M1	267.6	-83.8	1.00	175.7	198.1	9	863000	0.00001	1.000	0.00001
2C1	1M1	267.2	-83.8	1.00	175.5	197.9	2	870000	0.00000	1.000	0.00000
1L2	1M1	266.6	-83.8	1.00	175.2	197.5	2	881000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1M1	265.9	-83.8	1.00	174.9	197.1	894	893000	0.00100	1.000	0.00100
1C1	1M1	265.7	-83.8	1.00	174.8	197.0	903	897000	0.00101	1.000	0.00101
1M1	1M1	263.9	-83.8	1.00	173.9	196.0	1075	929000	0.00116	1.000	0.00116
1M1	1C1	263.9	-83.8	1.00	173.9	196.0	903	931000	0.00097	1.000	0.00097
1M1	1A4	263.9	-80.3	1.00	172.1	194.0	74	1000000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1A3	263.9	-80.1	1.00	172.0	193.9	74	1000000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1E1	263.9	-78.6	1.00	171.2	193.0	4	1010000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1D1	263.9	-55.8	1.00	159.9	180.2	770	1270000	0.00061	1.000	0.00061
1E1	1D1	263.2	-55.8	1.00	159.5	179.8	4	1280000	0.00000	1.000	0.00000
1B9	1D1	257.0	-55.8	1.00	156.4	176.3	74	1360000	0.00005	1.000	0.00005
1B7	1D1	249.0	-55.8	1.00	152.4	171.8	46	1480000	0.00003	1.000	0.00003
1B7	1G1	249.0	-48.2	1.00	148.6	167.5	9	1610000	0.00001	1.000	0.00001
1B7	1F1	249.0	-37.7	1.00	143.4	161.6	4	1810000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1L2	249.0	-36.2	1.00	142.6	160.7	2	1850000	0.00000	1.000	0.00000
1B7	1A2	249.0	-35.5	1.00	142.3	160.3	13	1860000	0.00001	1.000	0.00001
1A4	1A2	240.6	-35.5	1.00	138.1	155.6	61	2070000	0.00003	1.000	0.00003
1A4	1B8	240.6	-26.4	1.00	133.5	150.5	13	2400000	0.00001	1.000	0.00001
1A3	1B8	202.4	-26.4	1.00	114.4	128.9	61	4680000	0.00001	1.000	0.00001
1A3	2A1	202.4	-5.9	1.00	104.1	117.4	7	7980000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1L1	202.4	-5.0	1.00	103.7	116.9	2	8180000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1B9	202.4	-2.0	1.00	102.2	115.2	4	8920000	0.00000	1.000	0.00000
1BA	1B9	194.4	-2.0	1.00	98.2	110.7	70	12100000	0.00001	1.000	0.00001
1BA	1B1	194.4	0.0	1.00	97.2	109.6	4	13300000	0.00000	1.000	0.00000
1BB	1B1	163.2	0.0	1.00	81.6	92.0	74	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.05950

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

→環境UF : 0.060

【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 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'					
2E1	2H1	15.9	-490.9	1.00	253.4	285.7	2	91400	0.00002	6.052	0.00013
NSS	2E1	0.0	-439.1	1.00	219.6	247.5	2	202000	0.00001	4.829	0.00005
NSS	1B2	0.0	-414.0	1.00	207.0	233.3	135	292000	0.00046	3.484	0.00161
2G1	1B2	-10.9	-414.0	1.00	201.6	227.2	2	344000	0.00001	6.679	0.00004
1C1	1B2	-22.8	-414.0	1.00	195.6	220.5	751	415000	0.00181	8.373	0.01515
1C1	1A2	-22.8	-406.2	1.00	191.7	216.1	152	470000	0.00032	8.379	0.00271
2D3	1A2	-33.4	-406.2	1.00	186.4	210.1	2	569000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	1A2	-37.1	-406.2	1.00	184.5	208.0	5	611000	0.00001	1.000	0.00001
1A2	1A2	-54.7	-406.2	1.00	175.7	198.1	285	863000	0.00033	1.000	0.00033
1A2	2D3	-54.7	-344.8	1.00	145.0	163.5	2	1750000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L1	-54.7	-340.2	1.00	142.7	160.9	2	1840000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L2	-54.7	-332.1	1.00	138.7	156.3	2	2030000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1G1	-54.7	-321.4	1.00	133.3	150.3	9	2410000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	-54.7	-314.0	1.00	129.6	146.1	5	2720000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2A1	-54.7	-308.0	1.00	126.7	142.8	7	3010000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2G1	-54.7	-278.2	1.00	111.7	125.9	2	5250000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1C1	-54.7	-275.5	1.00	110.4	124.4	130	5640000	0.00002	1.000	0.00002
1D1	1C1	-67.1	-275.5	1.00	104.2	117.4	773	7950000	0.00010	1.000	0.00010
1D1	1D1	-67.1	-271.4	1.00	102.1	115.1	121	8940000	0.00001	1.000	0.00001
1B2	1D1	-69.6	-271.4	1.00	100.9	113.7	773	9620000	0.00008	1.000	0.00008
1B2	1F1	-69.6	-254.1	1.00	92.3	104.0	4	23200000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1H1	-69.6	-242.8	1.00	86.6	97.6	0	80100000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1E1	-69.6	-228.2	1.00	79.3	89.4	4	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02026

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

→環境UF : 0.021

タイトル	機械ペネトレーション（余熱除去冷却器出口配管貫通部）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去冷却器出口配管貫通部の疲労累積係数は、配管解析から当該部位に加わる負荷を算出し、材料力学公式（参考文献：Formulas for Stress and Strain, Raymond J. Roark他著）と、PVE-3100に準じてPVB-3130の応力集中係数にかかわる規定を用いた疲労評価により算出している。</p> <p>余熱除去冷却器出口配管貫通部の仕様、荷重および疲労評価結果を添付1に示す。</p>

余熱除去冷却器出口配管貫通部の基本寸法箇所を図1に示す。また、仕様（形状、材料）を表1に示す。

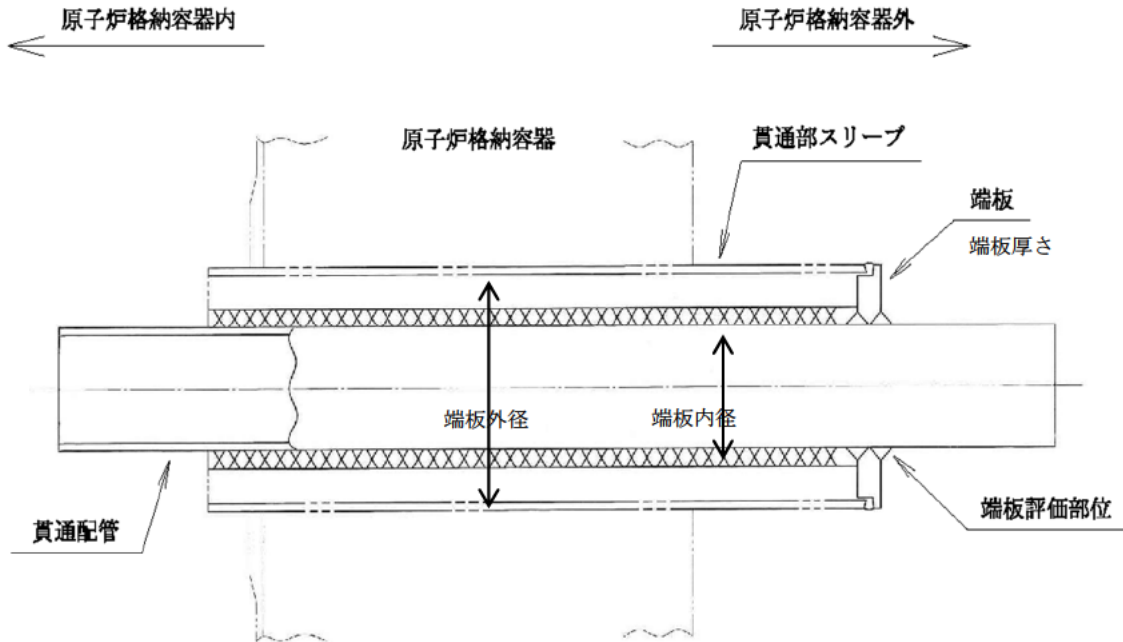


図1 余熱除去冷却器出口配管貫通部の基本寸法箇所

表1 余熱除去冷却器出口配管貫通部の仕様

格納容器貫通部	格納容器 最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	端板 外径 (mm) 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)
B余熱除去冷却器 出口配管	0.392	200				SUS304HP	183,000

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

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

表2 端板に作用する荷重

格納容器貫通部	軸力[kN]			モーメント[kN・m]		
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
B余熱除去冷却器 出口配管	33	-1	42	24	-38	-25

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)
B余熱除去冷却器 出口配管	117	274	8,328,690	0.001

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="472 898 735 976">解析プログラム</td> <td data-bbox="735 898 1310 976">(加圧器サージ配管) MSAP(配管)PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管)PC1.0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 976 735 1133">要素種類</td> <td data-bbox="735 976 1310 1290" rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1133 735 1211">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1211 735 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 1368 1310 1805"> <tr> <td data-bbox="472 1368 735 1447">解析プログラム</td> <td data-bbox="735 1368 1310 1447">(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 1447 735 1603">要素種類</td> <td data-bbox="735 1447 1310 1805" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1603 735 1648">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1648 735 1727">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="472 1727 735 1805">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)PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管)PC1.0	要素種類		要素数	節点数	解析プログラム	(加圧器サージ配管) ANSYS 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)PC1.0 (加圧器スプレイ配管) MSAP(配管)PC1.0													
要素種類														
要素数														
節点数														
解析プログラム	(加圧器サージ配管) ANSYS 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に示します。

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. K_e係数

環境疲労評価において用いたK_e係数を添付4に示す。

6. 環境評価パラメータ

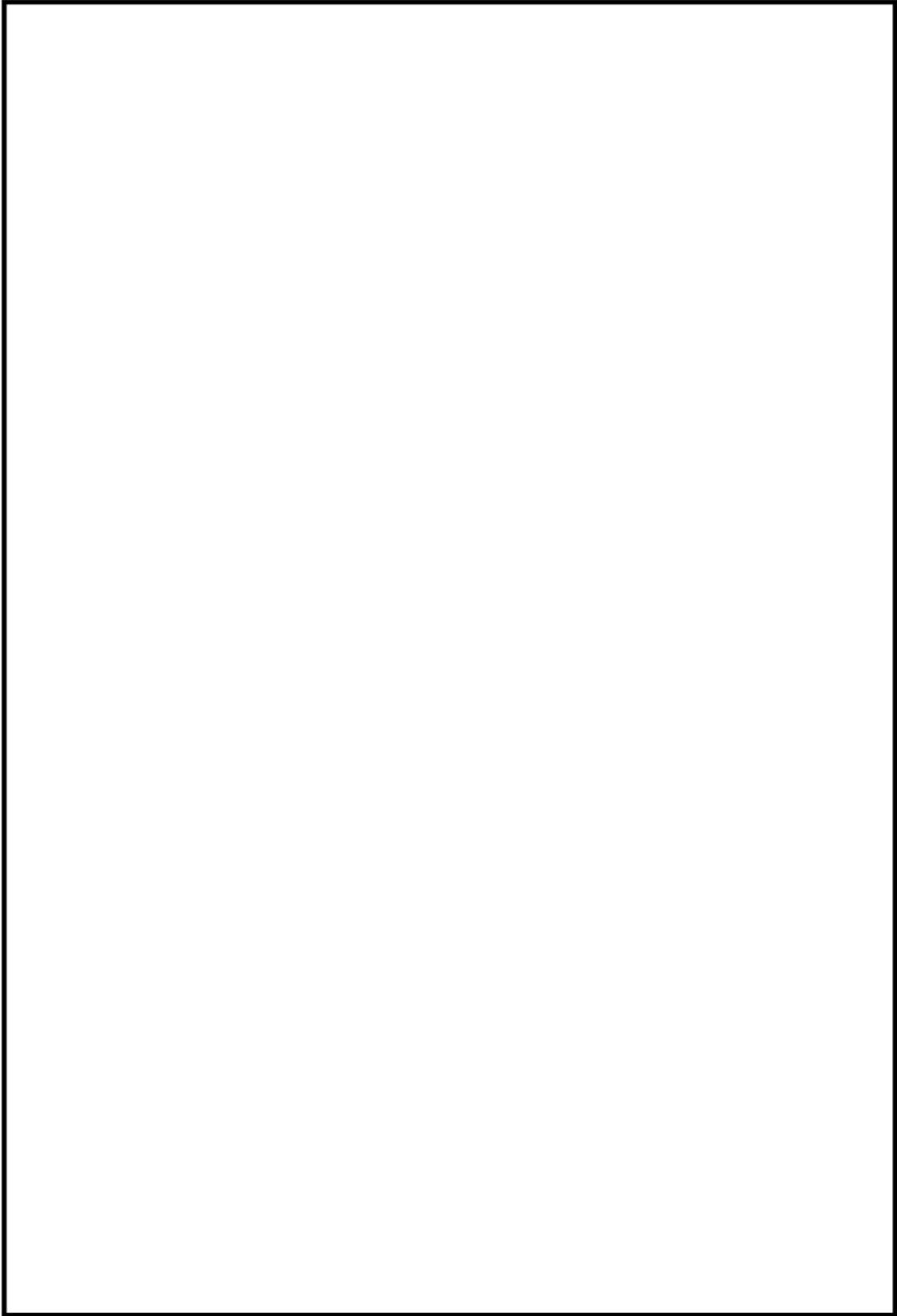
評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数f_{en}）を、添付4に示す。



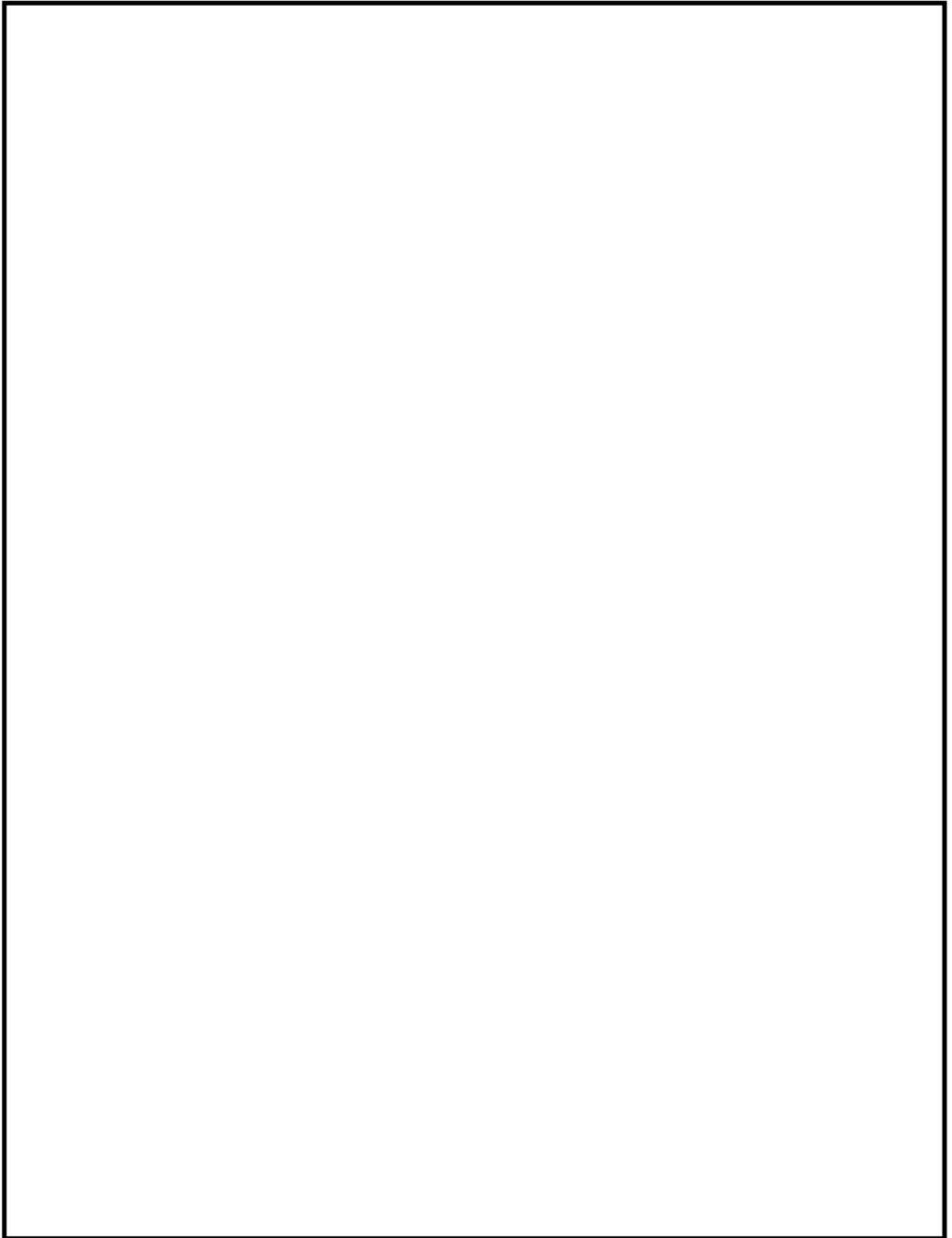
加圧器サージ配管 解析モデル (1 / 2)



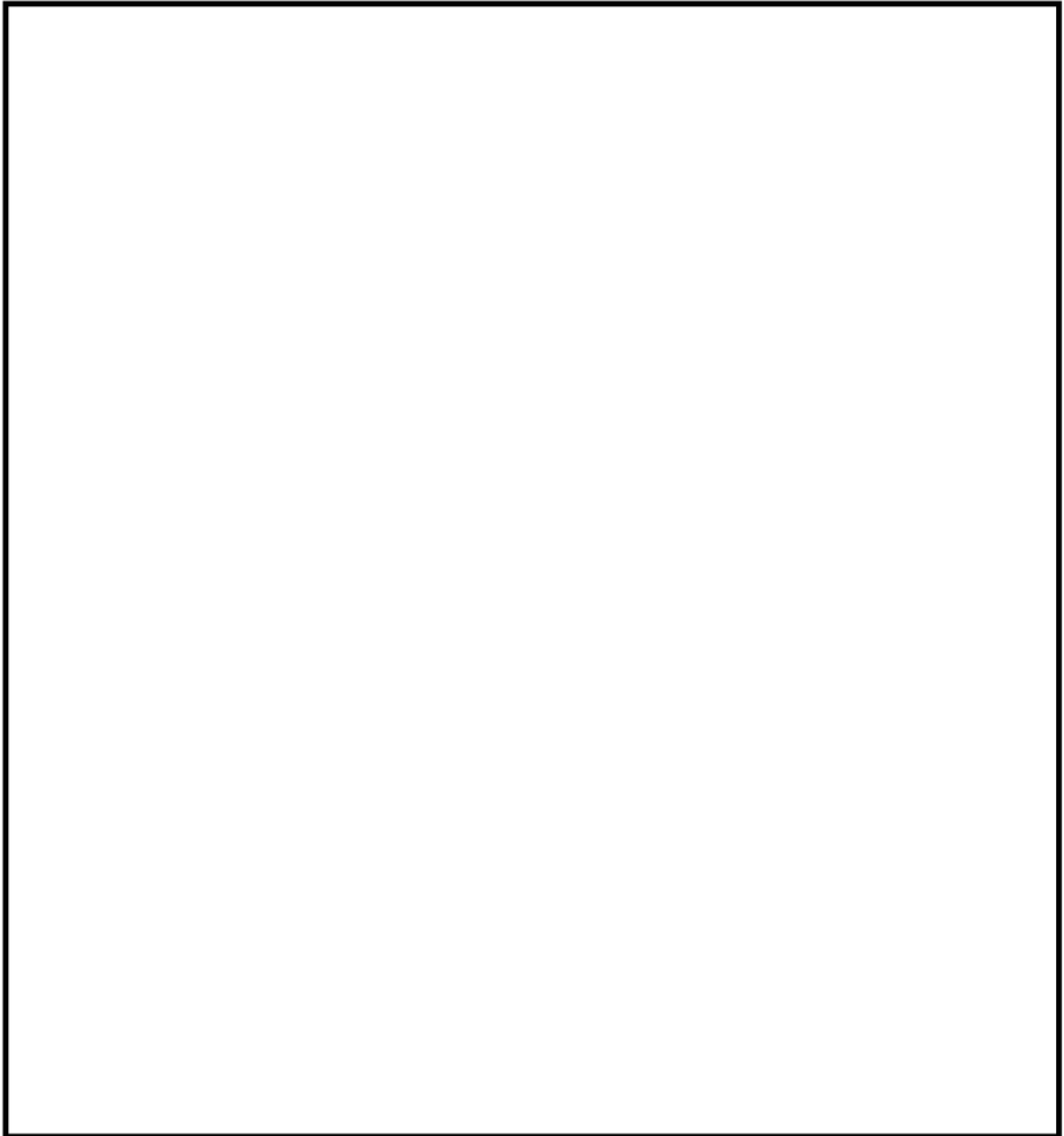
加圧器サージ配管 解析モデル (2/2)



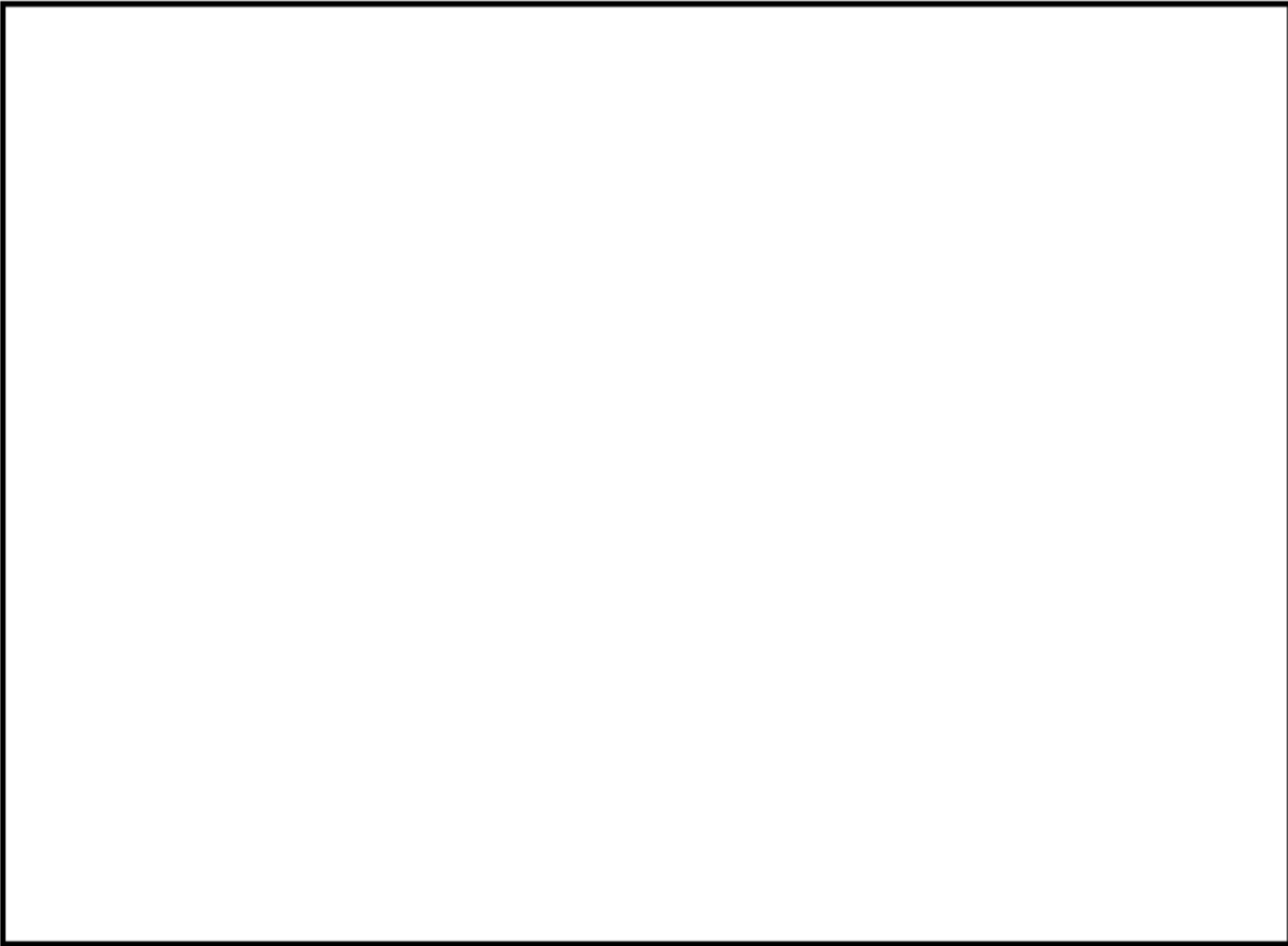
加圧器スプレイ配管 解析モデル (1 / 7)



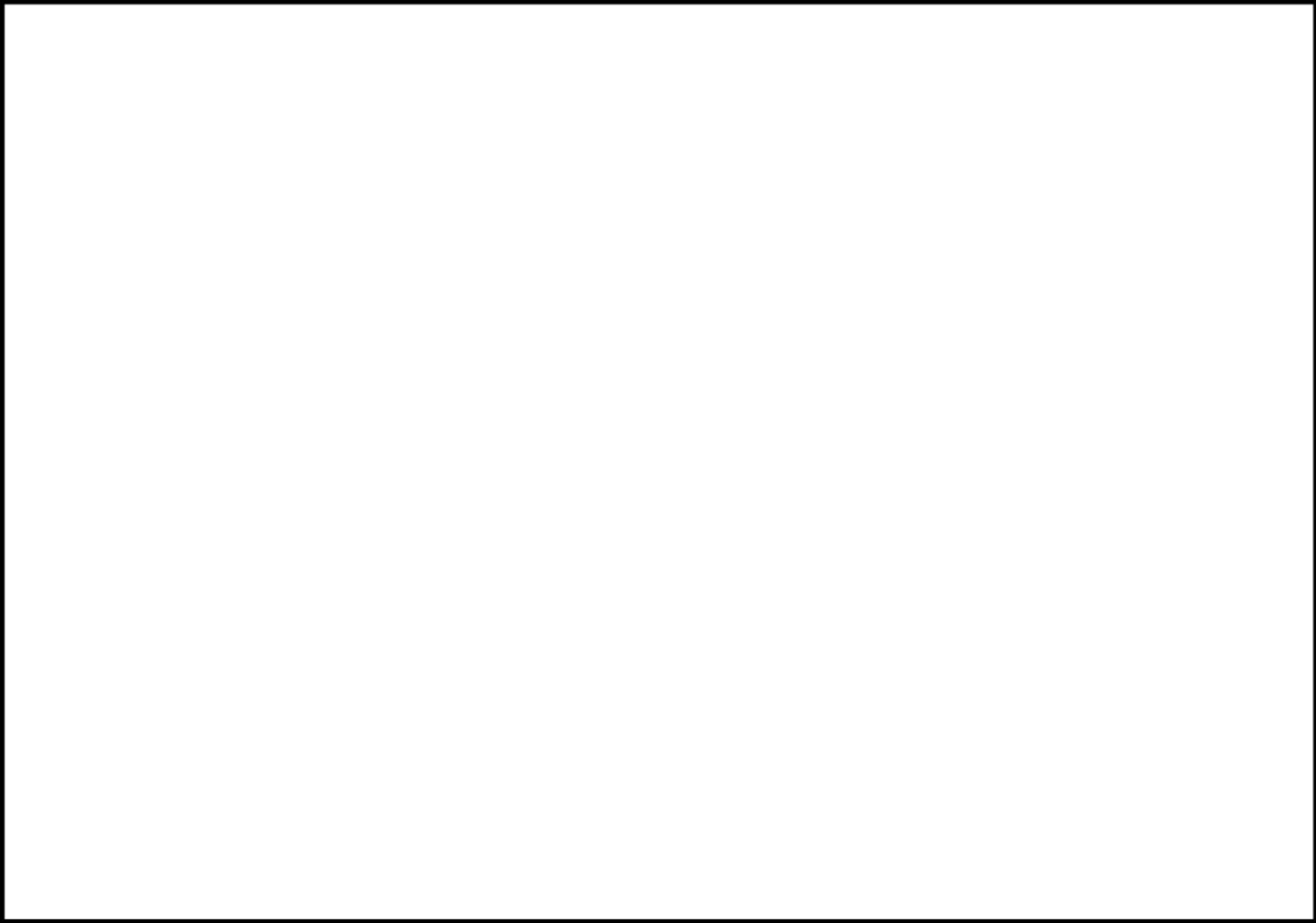
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2 / 7)



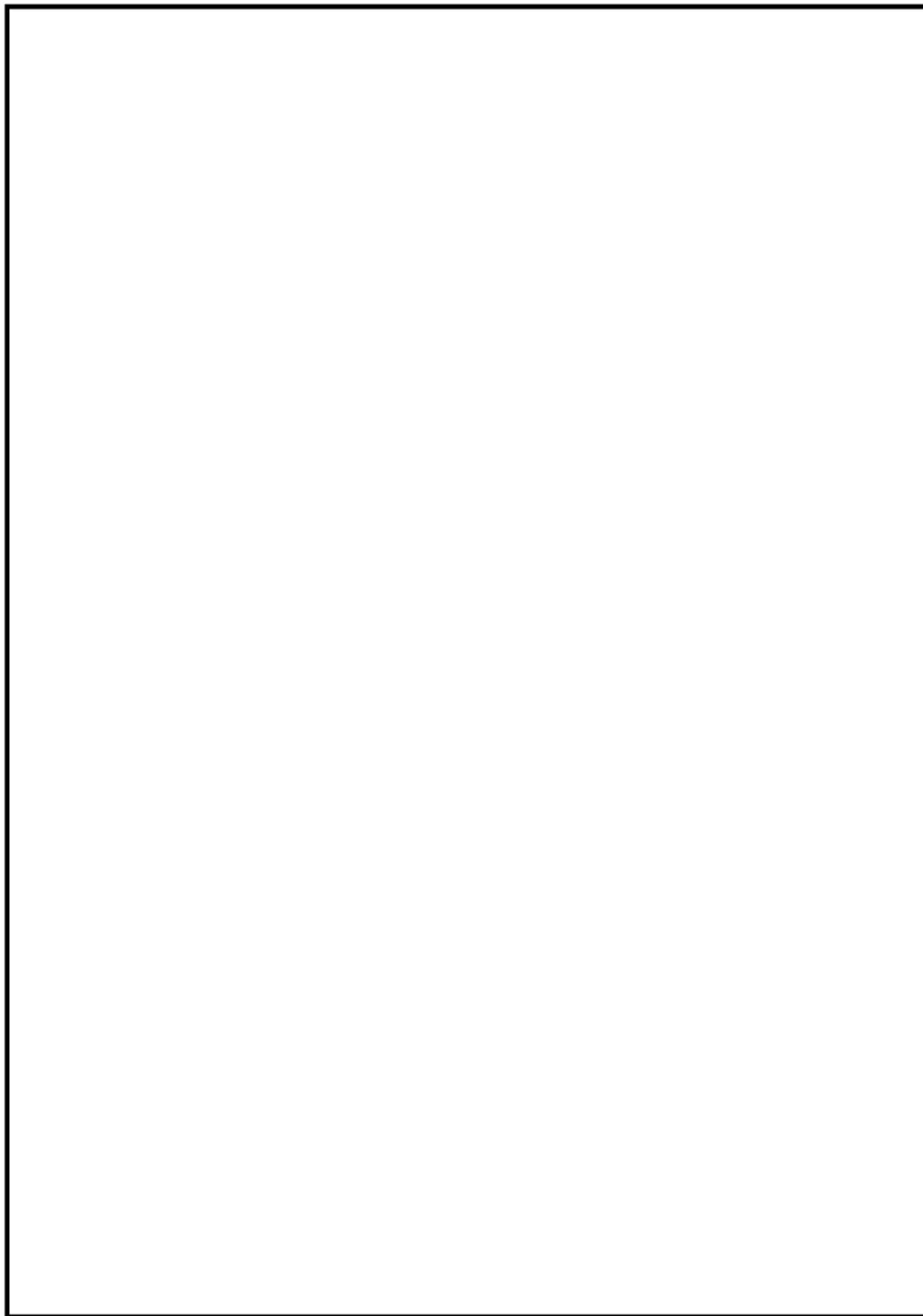
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 7)



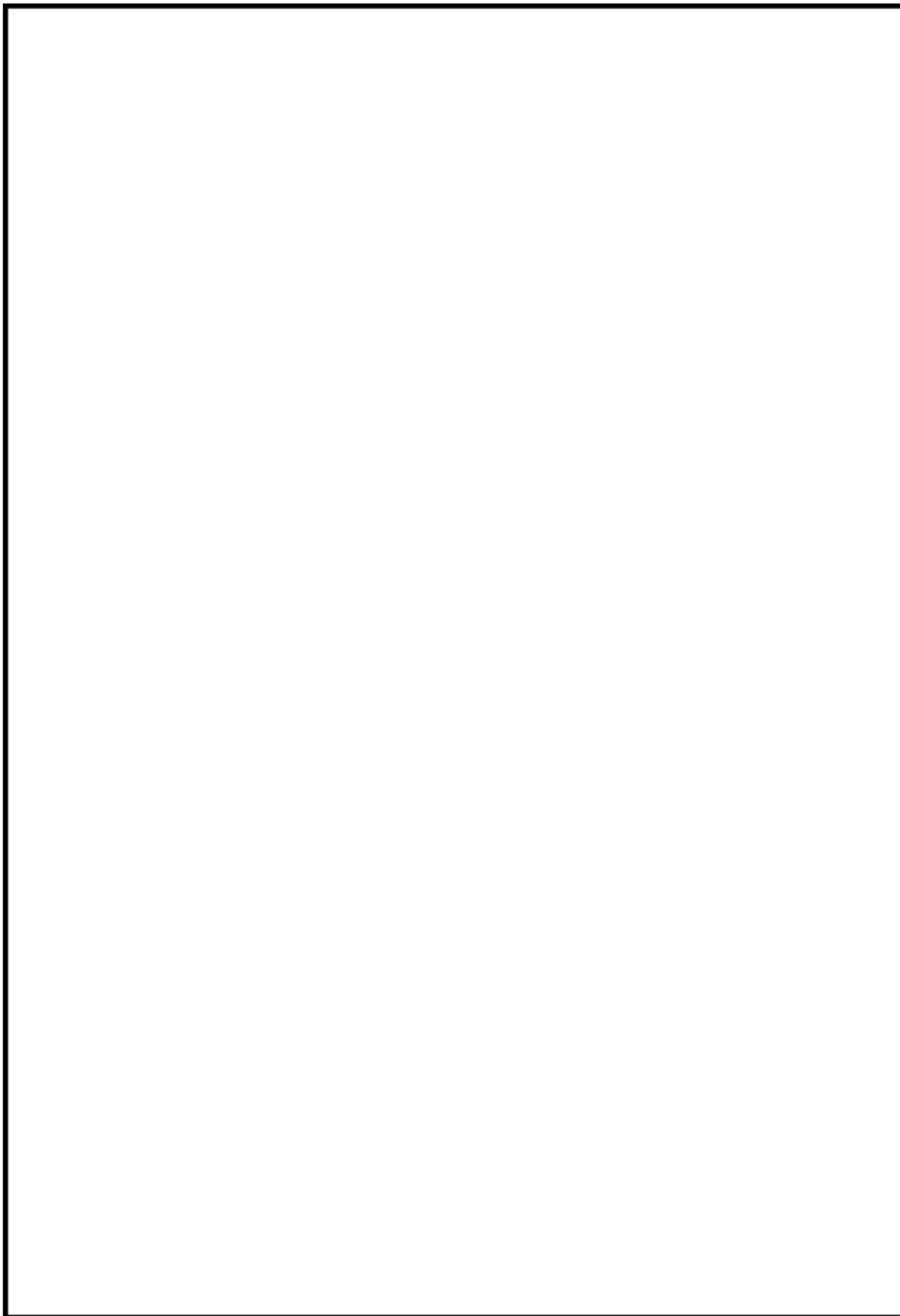
加圧器スプレイ配管 解析モデル (4 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (5 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (6 / 7)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (7 / 7)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

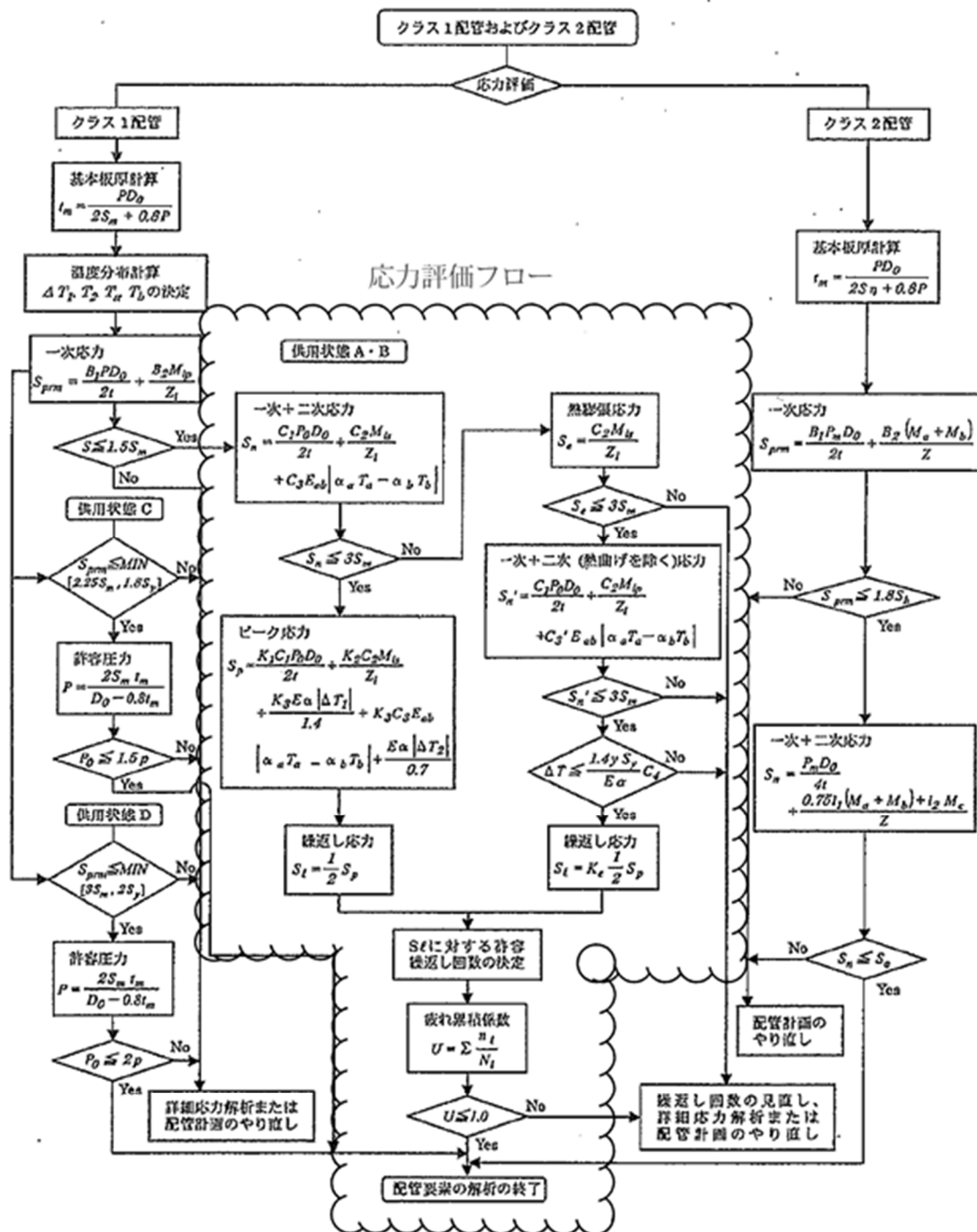
節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
1101	22.5	33.5	242.8	0.0	210.4	510	287	0.00201	1.0
102	23.2	44.0	220.7	0.0	210.4	499	281	0.00209	
600	23.2	39.0	220.7	0.0	210.4	494	279	0.00184	
104	23.2	36.6	220.7	0.0	210.4	491	277	0.00173	
105	23.2	31.5	220.7	0.0	210.4	486	274	0.00152	
108	23.2	60.9	220.7	0.0	210.4	516	291	0.00314	
603	23.2	67.5	220.7	0.0	210.4	522	295	0.00365	
110	23.2	64.3	220.7	0.0	210.4	519	293	0.00334	
803	20.5	32.9	220.7	0.0	210.4	485	274	0.00137	
804	20.5	24.7	220.7	0.0	210.4	477	269	0.00112	
608	22.2	34.4	220.7	0.0	210.4	488	275	0.00152	
119	22.2	39.7	220.7	0.0	210.4	493	278	0.00166	
120	22.2	42.5	220.7	0.0	210.4	496	280	0.00176	
122	22.2	52.8	220.7	0.0	210.4	507	286	0.00221	
1102	22.5	40.4	242.8	0.0	210.4	517	291	0.00216	

→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
169	457.2	40.5	10.2	0.0	4.0	512	286	0.00131	1.0
247	292.6	69.1	269.3	0.0	117.6	749	381	0.00566	
260	41.0	17.5	369.8	0.0	160.8	589	320	0.00846	
617	16.5	3.2	378.3	0.0	164.0	562	317	0.00773	
264	60.8	150.9	355.3	0.0	155.3	723	362	0.01448	
266	60.8	169.9	355.3	0.0	155.3	742	371	0.01604	
1203	41.3	26.6	406.8	0.0	160.8	636	345	0.01191	
1202	91.3	208.5	7.5	0.0	2.9	311	174	0.00009	
350	320.0	19.0	77.1	0.0	45.0	462	231	0.00110	
325	16.2	32.2	420.1	106.9	196.1	772	428	0.00037	
354	14.9	22.7	420.1	0.0	196.1	654	363	0.00019	
355	240.3	48.3	359.8	0.0	187.3	836	425	0.00468	
356	14.9	23.2	420.1	0.0	196.1	655	363	0.00020	
328	32.7	69.8	360.6	0.0	187.6	651	365	0.00042	
329	44.6	11.5	274.1	0.0	119.6	450	251	0.00009	

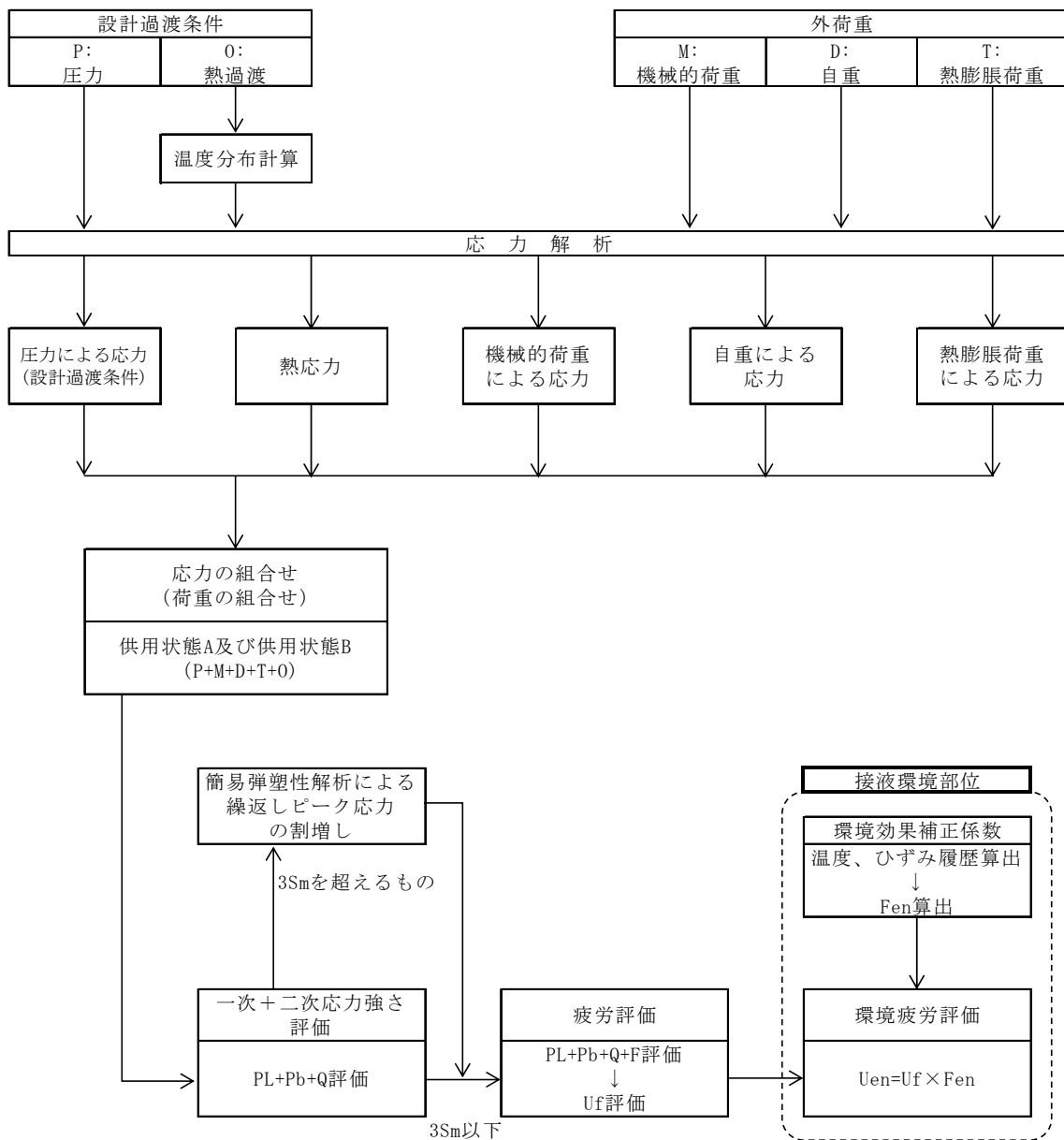
→通常UF : 0.017



(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 (通常疲労)



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー（熱成層を考慮した環境疲労）

K e 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

【加圧器サージ配管】

過渡 記号 A	過渡 記号 B	応力強さ 強さ (MPa)		割増 係数 ke	ピーク応力 強さ (MPa) salt'	実過渡 回数 n	許容繰 返し回数 n*	疲労損 傷係数 u	環境効 果係数 fen	環境中疲労 損傷係数 uen
		smax	smin							
2d3	2d3	274.7	-345.2	1.30	459.3	2	8490	0.00024	12.736	0.00300
2g1	2g1	243.7	-306.3	1.00	310.0	2	58400	0.00003	11.660	0.00040
1x1	2h1	210.6	-238.3	1.00	253.0	2	179000	0.00001	9.936	0.00011
1x1	2e1	210.6	-206.7	1.00	232.5	4	298000	0.00001	8.389	0.00011
1x1	2e1	210.6	-190.4	1.00	226.0	2	356000	0.00001	10.793	0.00006
1x1	2d2	210.6	-182.4	1.00	220.2	2	418000	0.00000	11.316	0.00005
1x1	1j1	210.6	-171.2	1.00	215.2	2	482000	0.00000	10.745	0.00004
1x1	2d1	210.6	-155.2	1.00	205.0	8	677000	0.00001	1.000	0.00001
1x1	2F1	210.6	-149.0	1.00	200.3	3	797000	0.00000	1.000	0.00000
1x1	1g1	210.6	-135.6	1.00	195.2	9	957000	0.00001	1.000	0.00001
1x1	2j1	210.6	-129.4	1.00	190.5	5	1060000	0.00000	1.000	0.00000
2h1	1y2	201.7	-134.5	1.00	189.5	2	1070000	0.00000	1.000	0.00000
2j1	1y2	203.2	-134.5	1.00	189.2	5	1080000	0.00000	1.000	0.00000
1x1	1y2	210.6	-134.5	1.00	189.1	37	1080000	0.00003	1.000	0.00003
1x2	1y2	210.6	-134.5	1.00	189.1	30	1080000	0.00003	1.000	0.00003
1x2	1d1	210.6	-85.3	1.00	166.8	44	1640000	0.00003	1.000	0.00003
1x3	1d1	208.2	-85.3	1.00	165.4	74	1680000	0.00004	1.000	0.00004
1x4	1d1	208.2	-85.3	1.00	165.4	74	1680000	0.00004	1.000	0.00004
1j1	1y4	192.0	-93.3	1.00	160.8	2	1840000	0.00000	1.000	0.00000
1x5	1d1	198.2	-85.3	1.00	159.7	74	1890000	0.00004	1.000	0.00004
1x6	1d1	198.2	-85.3	1.00	159.7	74	1890000	0.00004	1.000	0.00004
1w5	1y4	178.7	-93.3	1.00	150.6	72	2390000	0.00003	1.000	0.00003
1w5	1d1	178.7	-85.3	1.00	148.7	2	2520000	0.00000	1.000	0.00000
1w6	1d1	178.7	-85.3	1.00	148.7	74	2520000	0.00003	1.000	0.00003
1j2	1d1	171.0	-85.3	1.00	144.4	4	2870000	0.00000	1.000	0.00000
2e1	1d1	170.7	-85.3	1.00	144.2	4	2880000	0.00000	1.000	0.00000
1v3	1d1	168.6	-85.3	1.00	143.1	74	2980000	0.00002	1.000	0.00002
1v4	1d1	168.6	-85.3	1.00	143.1	74	2980000	0.00002	1.000	0.00002
1y1	1d1	164.2	-85.3	1.00	140.6	74	3220000	0.00002	1.000	0.00002
1y2	1d1	164.2	-85.3	1.00	140.6	74	3220000	0.00002	1.000	0.00002
2d2	1d1	160.8	-85.3	1.00	138.7	2	3410000	0.00000	1.000	0.00000
2e1	1d1	160.5	-85.3	1.00	138.5	2	3430000	0.00000	1.000	0.00000
1w3	1d1	157.6	-85.3	1.00	136.9	74	3610000	0.00002	1.000	0.00002
1w4	1d1	157.6	-85.3	1.00	136.9	74	3610000	0.00002	1.000	0.00002
1v1	1d1	157.5	-85.3	1.00	136.8	74	3620000	0.00002	1.000	0.00002
1v2	1d1	157.5	-85.3	1.00	136.8	74	3620000	0.00002	1.000	0.00002
2f1	1d1	140.6	-85.3	1.00	127.3	3	4940000	0.00000	1.000	0.00000
1g1	1d1	140.6	-85.3	1.00	127.3	9	4940000	0.00000	1.000	0.00000
2d1	1d1	140.5	-85.3	1.00	127.2	8	4960000	0.00000	1.000	0.00000
1c1	1d1	140.0	-85.3	1.00	126.9	748	5020000	0.00015	1.000	0.00015
1c1	1x2	140.0	-78.8	1.00	123.3	74	5950000	0.00001	1.000	0.00001
1c1	2a1	140.0	-75.2	1.00	121.3	7	6560000	0.00000	1.000	0.00000
1c1	1x4	140.0	-74.7	1.00	121.0	74	6660000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1v4	139.9	-74.4	1.00	120.8	74	6720000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	2b1	139.9	-72.6	1.00	119.7	20	7100000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1y6	139.9	-68.3	1.00	117.3	74	8010000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1w6	139.9	-67.1	1.00	116.7	74	8250000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1x6	139.9	-67.0	1.00	116.6	74	8300000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1w4	139.9	-63.1	1.00	114.4	74	9290000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1v6	139.9	-62.1	1.00	113.8	74	9580000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1w2	139.9	-62.1	1.00	113.8	74	9580000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1c1	139.9	-61.6	1.00	113.6	903	9690000	0.00009	1.000	0.00009
1d1	1v2	139.9	-60.5	1.00	112.9	74	10000000	0.00001	1.000	0.00001
1d1	1z2	139.9	-50.4	1.00	107.3	74	16300000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1e1	139.9	-40.3	1.00	101.6	4	33300000	0.00000	1.000	0.00000
1d1	1i1	139.9	-39.6	1.00	101.1	195	36000000	0.00001	1.000	0.00001
1u6	1i1	139.8	-39.6	1.00	101.1	74	36000000	0.00000	1.000	0.00000
1u5	1i1	139.8	-39.6	1.00	101.1	74	36000000	0.00000	1.000	0.00000
1v5	1i1	137.2	-39.6	1.00	99.6	74	45500000	0.00000	1.000	0.00000
1v6	1i1	137.2	-39.6	1.00	99.6	74	45500000	0.00000	1.000	0.00000
1w1	1i1	137.2	-39.6	1.00	99.6	74	45500000	0.00000	1.000	0.00000
1w2	1i1	137.2	-39.6	1.00	99.6	74	45500000	0.00000	1.000	0.00000
1u3	1i1	130.4	-39.6	1.00	95.8	74	125000000	0.00000	1.000	0.00000
1u4	1i1	130.4	-39.6	1.00	95.8	74	125000000	0.00000	1.000	0.00000
1y3	1i1	113.9	-39.6	1.00	86.5	74	—————	0.00000	1.000	0.00000
total								0.00121		0.00468

→環境UF : 0.005

【加圧器スプレイ配管 (評価点A)】

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	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							
2E2	2E2	424.7	-610.8	2.20	1263.2	2	263	0.00760	7.777	0.05914
1B8	1B8	238.4	-543.1	1.50	629.6	74	2510	0.02948	3.920	0.11556
1B9	1A7	172.8	-426.4	1.30	448.8	74	9310	0.00795	3.550	0.02822
1BA	1A6	133.1	-396.1	1.00	296.5	74	74500	0.00099	3.164	0.00314
1BB	1B2	103.7	-383.8	1.00	274.8	74	113000	0.00065	3.088	0.00202
1BC	1B9	82.2	-408.6	1.00	260.1	74	153000	0.00048	2.000	0.00097
1BD	1B3	70.1	-353.9	1.00	237.6	74	261000	0.00028	2.758	0.00078
1B6	2A1	52.2	-345.9	1.00	224.3	7	373000	0.00002	4.153	0.00008
1B6	2C1	52.2	-345.6	1.00	224.2	2	374000	0.00001	3.973	0.00002
1B6	2H1	52.2	-340.2	1.00	221.1	2	408000	0.00000	4.187	0.00002
1B6	1G1	52.2	-337.6	1.00	219.7	9	424000	0.00002	4.200	0.00009
1B6	1J1	52.2	-336.0	1.00	218.8	2	435000	0.00000	4.211	0.00002
1B6	1F1	52.2	-335.8	1.00	218.6	4	438000	0.00001	4.214	0.00004
1B6	1D1	52.2	-335.5	1.00	218.5	48	439000	0.00011	4.215	0.00046
1B7	1D1	52.0	-335.5	1.00	218.4	74	440000	0.00017	4.126	0.00069
1B5	1D1	45.5	-335.5	1.00	214.7	74	489000	0.00015	4.821	0.00073
1A3	1D1	43.3	-335.5	1.00	213.5	74	508000	0.00015	1.000	0.00015
1B4	1D1	31.5	-335.5	1.00	206.8	74	636000	0.00012	1.000	0.00012
1A4	1D1	27.1	-335.5	1.00	204.4	74	691000	0.00011	1.000	0.00011
1I1	1D1	25.4	-335.5	1.00	203.4	476	715000	0.00067	1.000	0.00067
1I1	1E1	25.4	-335.5	1.00	203.4	4	715000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	1I1	25.4	-335.4	1.00	203.3	2420	718000	0.00337	1.000	0.00337
1C1	1I1	25.1	-335.4	1.00	203.1	480	723000	0.00066	1.000	0.00066
1C1	1C1	25.1	-335.3	1.00	203.1	423	723000	0.00059	1.000	0.00059
1E1	1C1	25.0	-335.3	1.00	203.1	4	723000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1C1	18.8	-335.3	1.00	199.6	476	817000	0.00058	1.000	0.00058
1D1	1A5	18.8	-335.2	1.00	199.5	74	820000	0.00009	1.000	0.00009
1D1	1J2	18.8	-335.2	1.00	199.5	2	820000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1BA	18.8	-325.4	1.00	194.0	74	1000000	0.00007	1.000	0.00007
1D1	1B4	18.8	-313.4	1.00	187.2	74	1120000	0.00007	1.000	0.00007
1D1	1B5	18.8	-270.5	1.00	163.1	74	1760000	0.00004	1.000	0.00004
1D1	1BB	18.8	-265.7	1.00	160.3	74	1860000	0.00004	1.000	0.00004
1D1	1A4	18.8	-221.5	1.00	135.4	46	3790000	0.00001	1.000	0.00001
1B3	1A4	18.3	-221.5	1.00	134.4	28	3910000	0.00001	1.000	0.00001

1B3	1B6	18.3	-219.5	1.00	133.2	46	4060000	0.00001	1.000	0.00001
1G1	1B6	15.6	-219.5	1.00	132.5	9	4160000	0.00000	1.000	0.00000
1A5	1B6	16.6	-219.5	1.00	131.5	19	4300000	0.00000	1.000	0.00000
1A5	1A1	16.6	-216.1	1.00	131.2	55	4340000	0.00001	1.000	0.00001
1A2	1A1	15.0	-216.1	1.00	130.2	19	4490000	0.00000	1.000	0.00000
1A6	1B6	12.5	-217.2	1.00	128.7	74	4720000	0.00002	1.000	0.00002
1A7	1B7	11.0	-203.5	1.00	120.9	74	6690000	0.00001	1.000	0.00001
1A2	2J1	15.0	-195.7	1.00	118.7	5	7460000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2J1	15.0	-194.4	1.00	118.0	5	7730000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1B6	8.1	-195.8	1.00	114.9	74	9050000	0.00001	1.000	0.00001
1A2	2B1	15.0	-178.6	1.00	109.1	5	13900000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2G1	15.0	-170.3	1.00	104.4	2	21800000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2D3	15.0	-170.3	1.00	104.4	2	21800000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2F1	15.0	-170.3	1.00	104.4	3	21800000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2D1	15.0	-170.3	1.00	104.4	8	21800000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2D2	15.0	-170.3	1.00	104.4	2	21800000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2E1	15.0	-170.3	1.00	104.4	2	21800000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	15.0	-165.1	1.00	101.5	5	33900000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2G1	15.0	-161.3	1.00	99.3	2	47600000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2D1	15.0	-160.3	1.00	98.8	8	53500000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2D2	15.0	-154.9	1.00	95.7	2	140000000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2D3	15.0	-152.3	1.00	94.2	2	792000000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2F1	15.0	-149.7	1.00	92.8	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.21865

→環境UF : 0.219

タイトル	1次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠について																						
説明	<p>一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りである。</p> <p>【ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ】</p> <p>1. 解析モデル</p> <p>疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <p><配管荷重の算出></p> <table border="1" data-bbox="475 855 1310 936"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> </table> <p><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. 6.12-3</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>※ホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグの評価点には一次冷却材ポンプの取合部やエルボの外側テーパ部等の構造不連続部が多数あるため、2次元FEM解析にて温度分布を計算している。算出した温度分布は、ピーク応力のうち、板厚内の温度分布による応力のパラメータに用いられる。なお、梁モデルは外荷重による応力算出に用いられる。</p> <p>2. 材料物性</p> <p>材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="418 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>117</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td>289.2</td> <td>121</td> <td>クロスオーバレグ コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	MSAP	要素種類		解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.12-3	要素種類		要素次数	要素数	節点数	材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所	SCS14A	324.9	117	ホットレグ	289.2	121	クロスオーバレグ コールドレグ
解析プログラム	MSAP																						
要素種類																							
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.12-3																						
要素種類																							
要素次数																							
要素数																							
節点数																							
材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所																				
SCS14A	324.9	117	ホットレグ																				
	289.2	121	クロスオーバレグ コールドレグ																				

3. 最大評価点の選定

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

4. 応力分類

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

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

5. Ke 係数

評価に用いた Ke 係数を添付 3 に示す。

6. 環境評価パラメータ

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

【管台】

1. 解析モデル

疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。

<配管荷重の算出>

解析プログラム	MSAP（配管）PC1.0
要素種類	

<応力の算出>

解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018
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 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。

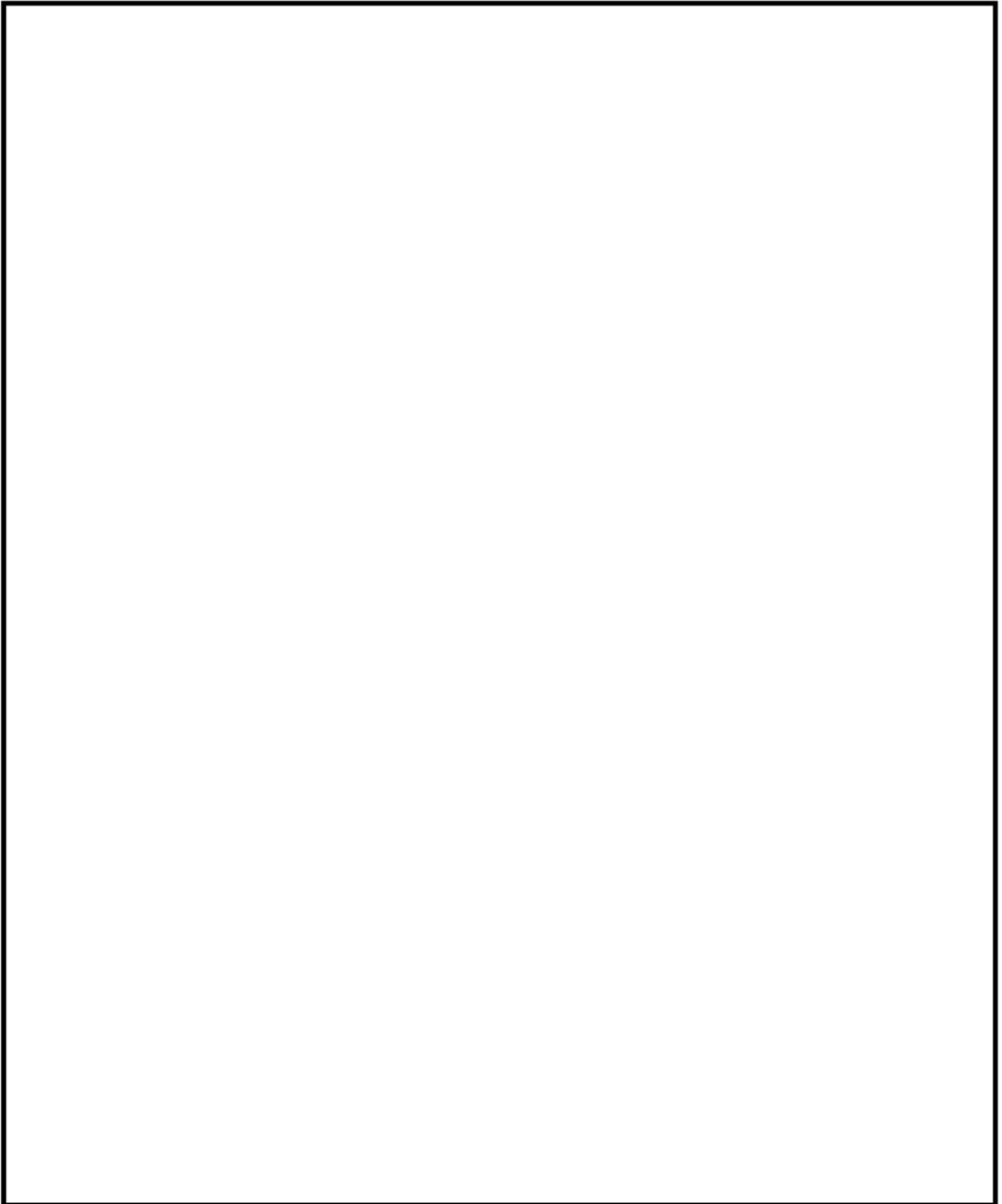
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数

評価に用いたKe係数を添付6に示す。

6. 環境評価パラメータ

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



一次冷却材管 形状及び評価点

一次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (1 / 2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107	111.3	95.4	134.0	0.0	128.6	469.4	234.7	263.0	0.00016	1.0
	109	76.7	8.1	169.6	0.0	128.6	382.9	191.5	214.6	0.00004	
	111	84.3	8.2	186.5	0.0	128.6	407.6	203.8	228.4	0.00006	
	112	126.6	96.0	123.9	31.9	130.6	509.1	254.5	285.2	0.00031	
	113	120.0	101.7	124.5	0.0	142.5	488.6	244.3	273.8	0.00029	
	115	129.3	143.5	124.1	30.3	132.7	559.8	279.9	313.7	0.00067	
	117	111.2	54.1	134.5	0.0	129.1	428.9	214.5	240.3	0.00010	
クロスオーバーレグ	141	120.0	17.6	105.5	0.0	44.2	287.2	143.6	159.1	0.00003	
	142	141.4	48.4	98.8	29.5	45.3	363.4	181.7	201.3	0.00013	
	143	133.6	35.5	104.6	0.0	51.6	325.3	162.7	180.2	0.00010	
	145	141.4	39.6	98.8	29.5	45.3	354.6	177.3	196.4	0.00012	
	147	120.0	13.3	105.5	0.0	44.2	282.9	141.5	156.7	0.00002	
	149	109.1	11.4	95.9	0.0	44.2	260.6	130.3	144.4	0.00001	
	151	120.0	14.4	105.5	0.0	44.2	284.0	142.0	157.4	0.00002	
	152	136.3	40.3	98.8	29.5	45.3	350.1	175.0	193.9	0.00011	
153	128.4	36.3	104.6	0.0	51.6	320.9	160.4	177.8	0.00009		

→ ホットレグ通常UF : 0.001

一次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT' (MPa)	疲労累積係数	許容値
クロスオーバーバレッジ	155	136.3	36.9	98.8	29.5	45.3	346.7	173.4	192.1	0.00011	1.0
	157	120.0	13.0	105.5	0.0	44.2	282.6	141.3	156.6	0.00002	
	159	109.1	10.1	95.9	0.0	44.2	259.3	129.6	143.6	0.00001	
	160	120.0	10.7	105.5	0.0	44.2	280.3	140.2	155.3	0.00002	
	161	136.3	29.3	98.8	29.5	45.3	339.1	169.6	187.9	0.00010	
	163	128.4	26.9	104.6	0.0	51.6	311.6	155.8	172.6	0.00008	
	165	136.3	33.5	98.8	29.5	45.3	343.3	171.6	190.2	0.00010	
	167	149.4	12.6	102.3	208.8	12.6	485.7	242.9	269.1	0.00114	
コールドレグ	181	151.2	93.9	110.8	104.6	18.0	478.5	239.3	265.1	0.00087	1.0
	183	109.4	9.8	96.7	0.0	41.9	257.9	128.9	142.9	0.00001	
	185	120.4	34.2	106.4	0.0	41.9	302.9	151.5	167.8	0.00003	
	186	134.6	95.5	99.6	32.0	43.3	404.9	202.5	224.3	0.00018	
	189	124.6	83.1	106.4	0.0	49.7	363.8	181.9	201.5	0.00012	
	191	124.5	97.9	101.8	23.2	44.9	392.4	196.2	217.4	0.00016	
	194	111.1	42.4	109.4	0.0	44.3	307.2	153.6	170.2	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

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

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
43 (2H1)	16 (1I1)	559.8	1.0	279.9	313.7	2	54800	0.00004	24.579	0.00090
39 (2F1)	16 (1I1)	480.1	1.0	240.0	269.0	3	127000	0.00002	24.579	0.00058
29 (2C1)	16 (1I1)	463.5	1.0	231.7	259.7	2	154000	0.00001	24.579	0.00032
21 (1L1)	16 (1I1)	461.8	1.0	230.9	258.8	2	158000	0.00001	24.579	0.00031
37 (2E1)	16 (1I1)	457.7	1.0	228.9	256.5	2	165000	0.00001	24.579	0.00030
25 (2A1)	16 (1I1)	456.8	1.0	228.4	256.0	7	167000	0.00004	24.579	0.00103
35 (2D4)	16 (1I1)	454.2	1.0	227.1	254.5	2	173000	0.00001	24.579	0.00028
31 (2D1)	16 (1I1)	453.7	1.0	226.9	254.2	8	174000	0.00005	24.579	0.00113
33 (2D2)	16 (1I1)	453.6	1.0	226.8	254.2	2	174000	0.00001	24.579	0.00028
41 (2G1)	16 (1I1)	450.7	1.0	225.3	252.5	2	180000	0.00001	24.579	0.00027
3 (1C1)	16 (1I1)	428.6	1.0	214.3	240.1	38	244000	0.00016	24.579	0.00383
15 (1I1)	36 (2D5)	396.3	1.0	198.2	222.1	2	397000	0.00001	11.729	0.00006
3 (1C1)	2 (1B1)	377.0	1.0	188.5	211.3	74	547000	0.00014	1.000	0.00014
3 (1C1)	48 (2J2)	368.1	1.0	184.1	206.3	63	648000	0.00010	1.000	0.00010
42 (2G1)	15 (1I1)	364.6	1.0	182.3	204.3	2	694000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	38 (2E1)	363.4	1.0	181.7	203.6	2	709000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	338.7	1.0	169.3	189.8	2	1070000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	328.5	1.0	164.2	184.1	2	1180000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	326.5	1.0	163.2	182.9	3	1210000	0.00000	1.000	0.00000
30 (2C2)	15 (1I1)	318.1	1.0	159.0	178.2	2	1320000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	318.0	1.0	159.0	178.2	8	1320000	0.00001	1.000	0.00001
3 (1C1)	15 (1I1)	308.6	1.0	154.3	172.9	49	1450000	0.00003	1.000	0.00003
47 (2J1)	26 (2A1)	195.8	1.0	97.9	109.7	7	13200000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	190.8	1.0	95.4	106.9	2	16800000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	46 (2I1)	179.8	1.0	89.9	100.7	5	38100000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	12 (1G1)	178.2	1.0	89.1	99.9	9	43700000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	6 (1D1)	171.3	1.0	85.7	96.0	45	101000000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	6 (1D1)	127.5	1.0	63.8	71.4	672	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00958

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

→環境UF: 0.010

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

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
47 (2J1)	2 (1B1)	485.7	1.0	242.9	269.1	63	127000	0.00050	10.843	0.00538
1 (1A1)	2 (1B1)	485.4	1.0	242.7	268.9	11	127000	0.00009	10.787	0.00093
1 (1A1)	16 (1I1)	478.8	1.0	239.4	265.2	63	137000	0.00046	3.607	0.00166
27 (2B1)	16 (1I1)	435.7	1.0	217.9	241.4	5	236000	0.00002	5.944	0.00013
25 (2A1)	16 (1I1)	412.9	1.0	206.5	228.7	2	330000	0.00001	4.564	0.00003
25 (2A1)	48 (2J2)	401.7	1.0	200.8	222.5	5	392000	0.00001	7.899	0.00010
15 (1I1)	36 (2D5)	354.0	1.0	177.0	196.1	2	926000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	48 (2J2)	352.3	1.0	176.2	195.2	2	958000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	48 (2J2)	350.2	1.0	175.1	194.0	2	999000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	48 (2J2)	343.1	1.0	171.5	190.1	9	1060000	0.00001	1.000	0.00001
33 (2D2)	48 (2J2)	342.6	1.0	171.3	189.8	2	1070000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	48 (2J2)	342.3	1.0	171.1	189.6	3	1070000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	338.8	1.0	169.4	187.7	2	1110000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	48 (2J2)	329.4	1.0	164.7	182.5	2	1220000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	48 (2J2)	322.9	1.0	161.5	178.9	0	1300000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	48 (2J2)	319.7	1.0	159.9	177.1	2	1340000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	48 (2J2)	318.8	1.0	159.4	176.6	34	1360000	0.00002	1.000	0.00002
15 (1I1)	42 (2G1)	280.5	1.0	140.2	155.4	2	2090000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	268.2	1.0	134.1	148.6	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	46 (2I1)	267.5	1.0	133.7	148.2	5	2560000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	192.8	1.0	96.4	106.8	61	17000000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	40 (2F1)	103.7	1.0	51.9	57.4	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :										0.00828

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

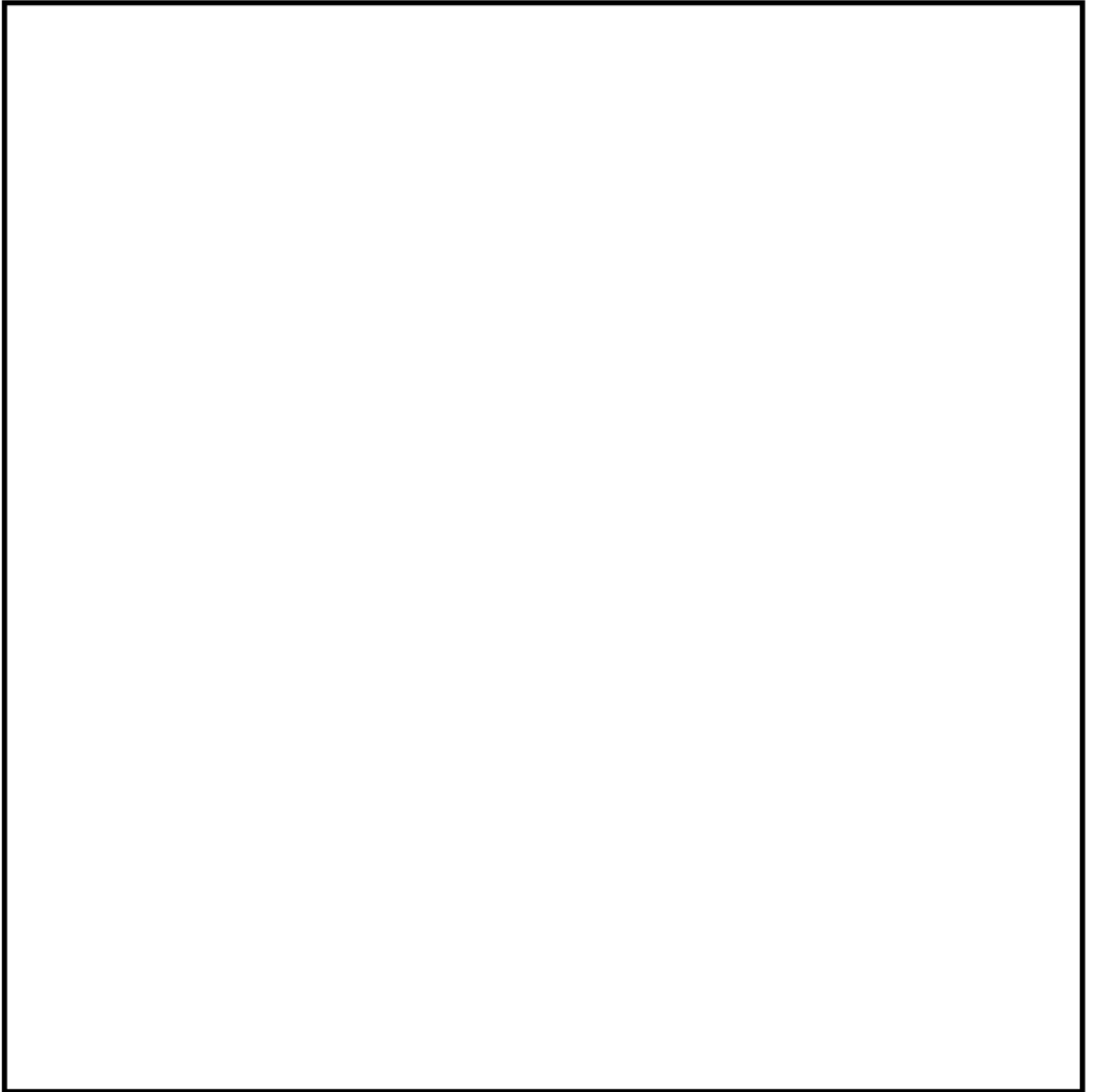
→環境UF : 0.009

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

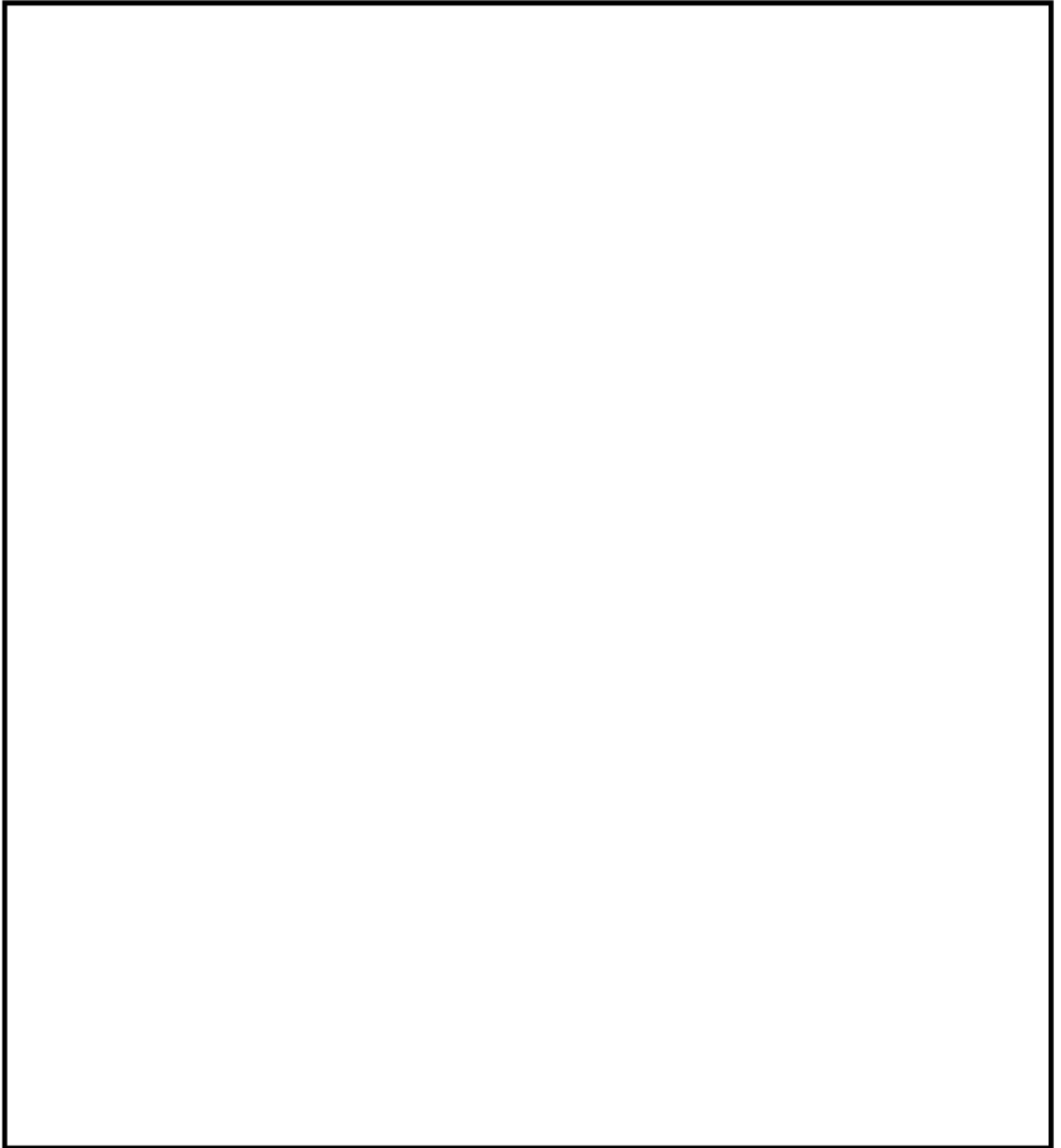
過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
27 (2B1)	16 (1I1)	478.5	1.0	239.3	265.1	5	138000	0.00004	5.669	0.00021
1 (1A1)	16 (1I1)	477.9	1.0	239.0	264.8	65	139000	0.00047	2.865	0.00134
1 (1A1)	2 (1B1)	437.1	1.0	218.6	242.2	9	231000	0.00004	10.933	0.00043
25 (2A1)	2 (1B1)	430.2	1.0	215.1	238.3	7	256000	0.00003	24.579	0.00067
47 (2J1)	2 (1B1)	424.1	1.0	212.0	234.9	58	279000	0.00021	11.198	0.00233
47 (2J1)	48 (2J2)	411.1	1.0	205.6	227.7	5	339000	0.00001	5.780	0.00009
15 (1I1)	36 (2D5)	365.8	1.0	182.9	202.6	2	735000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	48 (2J2)	362.5	1.0	181.3	200.8	2	783000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	48 (2J2)	354.3	1.0	177.2	196.3	9	920000	0.00001	1.000	0.00001
35 (2D4)	48 (2J2)	352.0	1.0	176.0	195.0	2	963000	0.00000	1.000	0.00000
33 (2D2)	48 (2J2)	351.0	1.0	175.5	194.5	2	983000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	48 (2J2)	350.2	1.0	175.1	194.0	3	999000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	341.4	1.0	170.7	189.1	2	1080000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	48 (2J2)	334.7	1.0	167.3	185.4	2	1160000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	48 (2J2)	334.6	1.0	167.3	185.3	0	1160000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	48 (2J2)	331.3	1.0	165.6	183.5	2	1190000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	48 (2J2)	328.8	1.0	164.4	182.1	34	1220000	0.00003	1.000	0.00003
42 (2G1)	15 (1I1)	308.4	1.0	154.2	170.9	2	1510000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	287.4	1.0	143.7	159.2	5	1900000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	270.9	1.0	135.4	150.0	2	2430000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	15 (1I1)	238.3	1.0	119.2	132.0	61	4220000	0.00001	1.000	0.00001
5 (1D1)	40 (2F1)	108.3	1.0	54.1	60.0	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00513

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

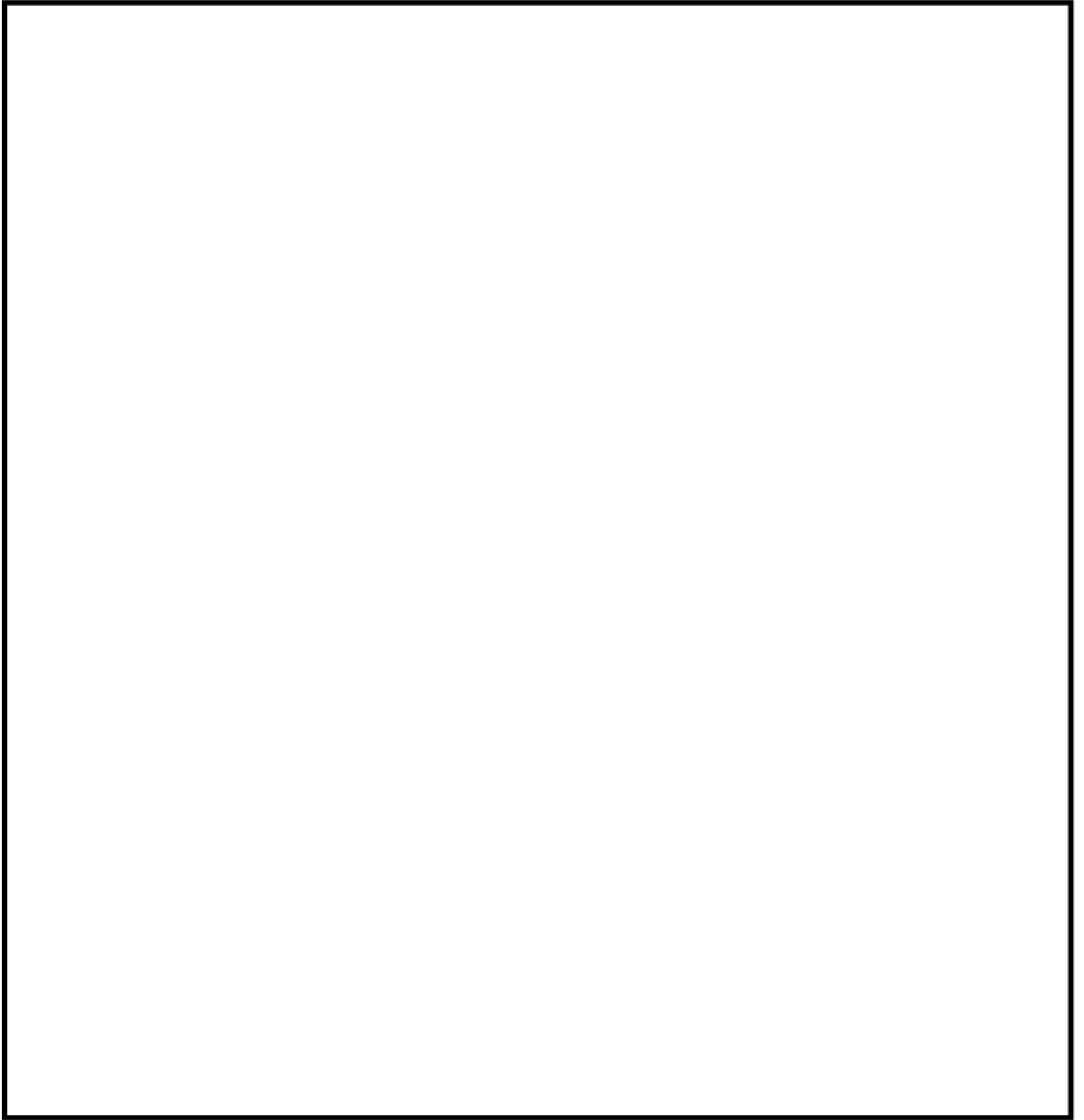
→環境UF: 0.006



(1) 一次冷却材管 (加圧器サージ管台) 評価点



(2) 一次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 評価点



(3) 一次冷却材管 (充てん管台) 評価点

(1) 一次冷却材管 (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	0.00778	0.00282
2	0.0	0.00000	0.00004
3	0.0	0.00072	0.00205
4	0.0	0.0	0.00002
5	0.0	0.00201	0.00066
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00007	0.00683	0.00057
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00333	0.01072	0.0
10	0.0	0.0	0.00000
11	0.0	0.00010	0.00001
12	0.0	0.0	0.00007

許容値 $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.011

(2) 一次冷却材管 (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	0.00879	0.00445
2	0.0	0.00014	0.00016
3	0.0	0.00009	0.00026
4	0.0	0.00001	0.00000
5	0.0	0.00000	0.00001
6	0.0	0.00000	0.00000
7	0.00013	0.0	0.00006
8	0.0	0.00000	0.0
9	0.00144	0.00186	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.00002	0.00006	0.00000
12	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.00000	0.00001
14	0.0	0.00000	0.00009

許容値 $U_f = 1.0$

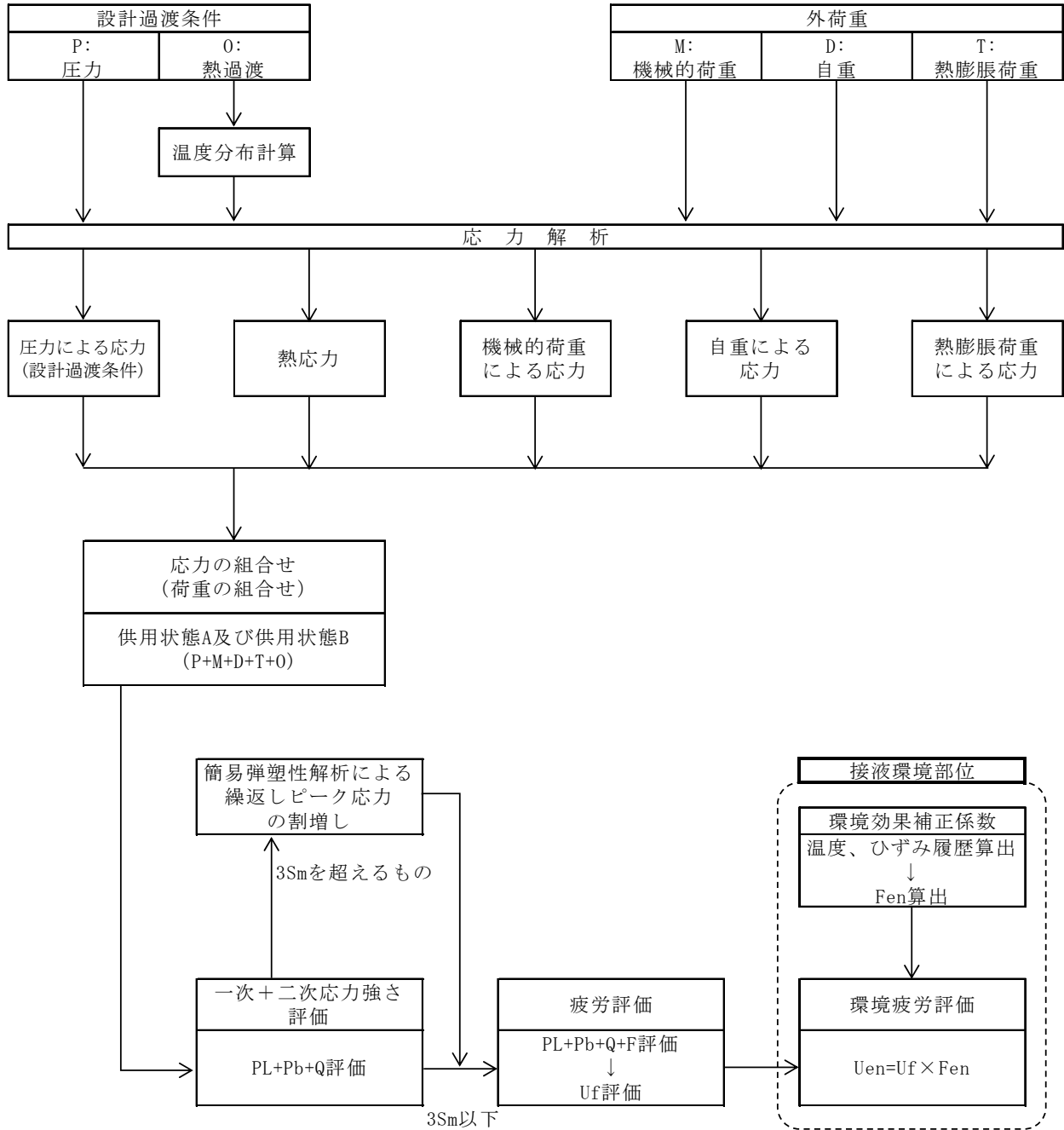
→通常UF : 0.009

(3) 一次冷却材管 (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	0.00096	0.00088
2	0.0	0.00001	0.00001
3	0.0	0.00000	0.00000
4	0.0	0.00000	0.0
5	0.0	0.00000	0.00000
6	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.00001	0.00000
8	0.0	0.0	0.0
9L	0.00042	0.00142	0.00001
10L	0.0	0.00000	0.00000
9C	0.00000	0.00002	0.00001
10C	0.0	0.00011	0.00004
11L	0.00296	0.00168	0.00000
12L	0.0	0.00000	0.0
11C	0.00007	0.00004	0.00000
12C	0.0	0.00012	0.00006
13L	0.00025	0.00025	0.00000
14L	0.00000	0.00000	0.00001
13C	0.0	0.00000	0.00000
14C	0.00000	0.00013	0.00012

許容値 $U_f = 1.0$

→通常UF : 0.003



備考：機械的荷重は作用しない。

応力評価フロー

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D4	1B2	384.2	-173.4	1.00	278.8	312.5	2	55900	0.00004	5.835	0.00021
2G1	1B2	366.8	-173.4	1.00	270.1	302.7	2	66500	0.00003	6.505	0.00020
1D1	1B2	316.0	-173.4	1.00	244.7	274.3	884	114000	0.00775	5.410	0.04195
1D1	1A2	316.0	-173.4	1.00	244.7	274.3	10	114000	0.00009	5.410	0.00047
2A1	1A2	311.2	-173.4	1.00	242.3	271.6	7	120000	0.00006	3.778	0.00022
2B1	1A2	305.3	-173.4	1.00	239.4	268.2	5	129000	0.00004	4.605	0.00018
1G1	1A2	304.5	-173.4	1.00	238.9	267.8	9	130000	0.00007	5.483	0.00038
2J2	1A2	298.8	-173.4	1.00	236.1	264.6	63	139000	0.00045	1.903	0.00086
2H2	1A2	287.3	-173.4	1.00	230.4	258.2	2	160000	0.00001	3.020	0.00004
2I1	1A2	282.3	-173.4	1.00	227.9	255.4	5	169000	0.00003	2.466	0.00007
1M1	1A2	279.8	-173.4	1.00	226.6	254.0	343	175000	0.00196	4.867	0.00954
1M1	2E1	279.8	-44.7	1.00	162.3	181.8	2	1230000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2J1	279.8	-13.5	1.00	146.7	164.4	63	1720000	0.00004	1.000	0.00004
1M1	1I1	279.8	-8.8	1.00	144.3	161.7	70	1810000	0.00004	1.000	0.00004
1M1	1B1	279.8	-8.6	1.00	144.2	161.6	74	1810000	0.00004	1.000	0.00004
1M1	NSS	279.8	0.0	1.00	139.9	156.8	137	2010000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	2D4	279.8	75.5	1.00	102.2	114.5	2	9240000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2H1	279.8	82.6	1.00	98.6	110.5	2	12300000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	2G1	279.8	133.3	1.00	73.3	82.1	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.05431

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

→環境UF: 0.055

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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'					
2L1	2E1	657.4	-287.5	1.88	889.0	985.0	2	558	0.00358	3.427	0.01228
2E1	2L1	531.8	-244.0	1.88	729.9	808.7	2	1040	0.00192	4.367	0.00840
2G1	2G1	553.3	-258.3	1.70	691.7	766.4	2	1250	0.00160	5.168	0.00827
2D4	1B2	541.5	-189.6	1.65	601.5	666.4	2	2020	0.00099	3.963	0.00392
1B2	2D5	285.2	-195.0	1.65	395.1	437.8	2	10300	0.00019	4.254	0.00083
1B2	1B2	285.2	-189.6	1.00	237.4	263.0	72	144000	0.00050	3.092	0.00155
1I1	2J1	146.2	-2.4	1.00	74.3	82.3	63	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03525

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

→環境UF: 0.036

(3) 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11L)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2J1	201	6.3	-675.8	1.42	484.1	536.3	2	4580	0.00044	8.052	0.00352
2J1	205	6.3	-633.3	1.33	425.4	471.3	2	7650	0.00026	5.626	0.00147
2J1	2N2	6.3	-591.3	1.30	389.4	431.4	2	11100	0.00018	8.060	0.00145
2J1	2N5	6.3	-559.2	1.26	357.0	395.5	3	17000	0.00018	7.922	0.00140
2J1	202	6.3	-608.6	1.00	307.5	340.7	2	35900	0.00006	5.473	0.00030
2J1	2N4	6.3	-605.4	1.00	305.8	338.8	2	36900	0.00005	7.917	0.00043
2J1	204	6.3	-505.4	1.00	255.8	283.4	2	95300	0.00002	5.650	0.00012
2J1	2Q6	6.3	-504.3	1.00	255.3	282.9	5	96400	0.00005	14.052	0.00073
2J1	2Q2	6.3	-451.1	1.00	228.7	253.4	4	177000	0.00002	12.069	0.00027
2J1	2R1	6.3	-450.3	1.00	228.3	252.9	39	179000	0.00022	13.953	0.00304
1B1	2R1	6.3	-450.3	1.00	228.3	252.9	35	179000	0.00020	7.616	0.00149
1B1	2S1	6.3	-450.3	1.00	228.3	252.9	39	179000	0.00022	7.689	0.00168
NSS	2S1	0.0	-450.3	1.00	225.1	249.4	137	193000	0.00071	13.829	0.00982
111	2S1	-5.6	-450.3	1.00	222.3	246.3	70	208000	0.00034	7.457	0.00251
204	2S1	-54.0	-450.3	1.00	198.1	219.5	2	426000	0.00000	13.829	0.00006
2QE	2S1	-57.6	-450.3	1.00	196.3	217.5	2	451000	0.00000	13.829	0.00006
2E1	2S1	-139.4	-450.3	1.00	155.4	172.2	2	1470000	0.00000	1.000	0.00000
202	2S1	-167.9	-450.3	1.00	141.2	156.4	2	2030000	0.00000	1.000	0.00000
2N3	2S1	-174.5	-450.3	1.00	137.9	152.8	2	2250000	0.00000	1.000	0.00000
2QC	2S1	-176.2	-450.3	1.00	137.1	151.8	2	2310000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2S1	-225.8	-450.3	1.00	112.2	124.3	7	5670000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2S1	-244.6	-450.3	1.06	109.1	120.9	3	6710000	0.00000	1.000	0.00000
201	2S1	-294.3	-450.3	1.40	108.8	120.6	2	6800000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2S1	-237.3	-450.3	1.00	106.5	118.0	3	7730000	0.00000	1.000	0.00000
205	2S1	-269.0	-450.3	1.14	103.6	114.8	2	9120000	0.00000	1.000	0.00000
2D3	2S1	-244.3	-450.3	1.00	103.0	114.1	2	9440000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2S1	-245.4	-450.3	1.00	102.4	113.5	3	9740000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2S1	-245.5	-450.3	1.00	102.4	113.5	2	9760000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2S1	-279.0	-450.3	1.17	100.0	110.8	2	12000000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	2S1	-251.3	-450.3	1.00	99.5	110.2	2	12600000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2S1	-254.6	-450.3	1.00	97.8	108.4	8	14800000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2S1	258.7	450.3	1.00	95.8	106.1	2	18100000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	2S1	-262.1	-450.3	1.00	94.1	104.2	2	22400000	0.00000	1.000	0.00000
2QG	2S1	-269.2	-450.3	1.00	90.5	100.3	2	40700000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2S1	-269.4	-450.3	1.00	90.4	100.2	9	41400000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	2S1	-273.1	-450.3	1.00	88.6	98.1	5	67300000	0.00000	1.000	0.00000
2QA	2S1	-279.6	-450.3	1.00	85.3	94.5	2	541000000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2S1	-283.2	-450.3	1.00	83.5	92.5	587	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.02836

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

→環境UF : 0.029

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

応力解析結果

弁番号 PCV-420/430							呼び径 12B		弁箱の材料 SCS14A		接続管の材料 SUS316TP		計算書番号 クラス1弁	
弁箱の応力解析 (1/2)														
(1) 設計条件及び諸元														
最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	260 °Cにおける 換算圧力 P _s (MPa)	260 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の260 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	260 °Cにおける 縦弾性係数 E (MPa)	260 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ mm/mm・°C)	AA断面における 金属部の厚さ t ₀ (mm)	交さ部壁面とその 二等分線とに接す る円の直径 T _{0.1} (mm)	交さ部壁面に接する 円の直径 T _{0.2} (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 _r (mm ³)	厚さ方向の温度勾配 による最大熱応力 QT (MPa)					
圧力の段階的な変 化の最大値と最小 値との差 ΔP _{fm} (MPa)	厚板部分と薄板部 分の平均温度の差 の最大値 ΔT (°C)	流体温度の段階的 な温度変化の最大 値と最小値との差 ΔT _{fm} (°C)	応力係数 C _b C ₂ C ₃ C ₄ C ₅					ネック部の角 度による係数 K	繰返しピーク 応力強さの割 増し係数 K ₀ ^(B1)	材料の種類に応じた値 q A ₀ B ₀				
									-	-	-	-	(注1) K ₀ 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 ^(B2)								
	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 _s	P _t										
計算応力 (MPa)	63	149	36	70	70	206	146							
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 _{p1} (MPa)	S ₁₁ (MPa)	S ₁₂ (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	鋼種:1 以外:2	ε̇* (-)	T1 (°C)	T2 (°C)	T (°C)	T* (°C)	Fen (-)	Fen×N/N*	
	加熱過程	冷却過程																				
起動時及び停止時	H1	C1	318.6	159.3	179.6	74	1288218	0.000				178000		1							24.579	0.001
1次系漏えい試験(注1)	H24	C28	318.6	159.3	179.6	63	1288218	0.000				178000		1							9.105	0.000
起動時及び停止時 以外	H22	C21	790.2	395.1	445.3	2	9613	0.000				178000		1							19.669	0.004
	H2	C23	645.8	322.9	364.0	2	25820	0.000				178000		1							26.226	0.002
	H2	C25	593.2	296.6	334.3	2	39518	0.000				178000		1							27.272	0.001
	H2	C7	529.3	264.7	298.3	70	72123	0.001				178000		1							27.071	0.026
	H2	C24	502.6	251.3	283.3	3	95696	0.000				178000		1							26.290	0.001
	H2	C19	483.2	241.6	272.3	2	118994	0.000				178000		1							26.855	0.000
	H2	C29	471.1	235.5	265.5	5	137028	0.000				178000		1							30.456	0.001
	H2	C9	467.0	233.5	263.2	2	143743	0.000				178000		1							27.946	0.000
	H2	C16	465.0	232.5	262.1	2	147246	0.000				178000		1							26.499	0.000
	H2	C13	442.4	221.2	249.3	7	194256	0.000				178000		1							26.837	0.001
	H2	C18	440.7	220.4	248.4	8	198246	0.000				178000		1							27.182	0.001
	H2	C27	440.7	220.4	248.4	2	198246	0.000				178000		1							26.863	0.000
	H2	C6	430.6	215.3	242.7	9	228762	0.000				178000		1							31.827	0.001
	H2	C3	407.6	203.8	229.7	789	322019	0.002				178000		1							32.273	0.079
	H12	C3	333.6	166.8	188.0	7	1108655	0.000				178000		1							28.831	0.000
	H9	C3	318.6	159.3	179.6	2	1288539	0.000				178000		1							30.796	0.000
	H10	C3	315.8	157.9	178.0	2	1326772	0.000				178000		1							30.866	0.000
	H7	C3	308.9	154.4	174.1	79	1425991	0.000				178000		1							35.350	0.002
	H13	C3	307.3	153.6	173.2	5	1450733	0.000				178000		1							35.350	0.000
	H4	C3	306.5	153.2	172.7	4	1463314	0.000				178000		1							30.793	0.000
H6	C3	305.2	152.6	172.0	6	1482455	0.000				178000		1							34.734	0.000	
							ΣN/N* (注3)	0.005													ΣFen×N/N*	0.125

→通常UF : 0.005

→環境UF : 0.125

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

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

タイトル	スイング逆止弁（蓄圧タンク注入ライン第1逆止弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>蓄圧タンク注入ライン第1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 NC-1 2005/2007 VVB-3300による評価を実施しており、解析モデルに該当するものはない。 設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った応力解析結果を添付1に示す。 また、設計・建設規格のVVB-3300（弁の応力評価）に従った疲労累積係数と、環境疲労評価手法による環境疲労累積係数の算出結果を添付2に示す。</p> 2. 材料物性 <p>材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・℃)</p> 3. 最大評価点の選定 <p>JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> 4. 応力分類 <p>荷重の組合せ：圧力, 配管反力, 熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> 5. Ke係数 <p>簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> 6. 環境評価パラメータ <p>環境補正係数 (Fen) の算出根拠を添付3に示す。</p>

応力解析結果

釜番号 Y-SJ-136A~D 釜種のばね解析 (1/2)	呼び径 J2R	釜筒の材料 SCS14A	接続管の材料 SUS316TP	計算書番号 クラスII釜						
(1) 設計条件及び諸元										
最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	260 °Cにおける 換算圧力 P _e (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)	交さ部壁面とその 二等分線とに接す る円の直径 T _{e1} (mm)	交さ部壁面に接する 円の直径 T _{e2} (mm)	
17.16	348	18.5	125	187	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 Q/T (MPa)	
圧力の段階的な変 化の最大値と最小 値との差 ΔP _{f_m} (MPa)	厚板部分と薄板部 分の平均温度の差 の最大値 ΔT (°C)	流体温度の段階的 な温度変化の最大 値と最小値との差 ΔT _{f_m} (°C)	応力係数					ネック部の角 度による係数 K	繰返しピーク 応力強さの割 増し係数 K _e ^(注1)	材料の種類に応じた値
			C _b	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		K _e ^(注2)	q A ₀ B ₀
									-	-
(2) 釜筒の応力										
項 目	一次応力 S					一次+二次応力 S _e ^(注2)				
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管反力による応力			起動時及び停止時 (式VB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式VB-10.2)			
			P _a	P _b	P _t					
計算応力 (MPa)	93	188	99	78	78	239	289			
許容応力 (MPa)	S _m = 125	2.25S _m = 283	1.5S _m = 188			3S _m = 377				
評 価	釜筒に生ずる応力はすべて許容応力以下であるので、強度は十分である。									

(注1) K_e 適用判定のS_mはVB-3370による。
 (注2) S_mはVB-3340による。

疲労累積係数・環境疲労評価結果

運転状態	過渡の組合せ		S _{pi} (MPa)	N (回)	N*	N/N*	Δt (sec)	E (MPa)	ε̇ (%/sec)	ε̇*	T (℃)	T*	Fen (-)	Fen×N/N*	
	加熱過程	冷却過程													
起動時及び停止時	H1	C1	364.0	74	821581	0.000		178000						24.679	0.002
1次系漏えい試験(注1)	H26	C28	364.0	63	821581	0.000		178000						9.427	0.001
起動時及び停止時 以外	H31	C31	2423.3	2	208	0.010		178000						11.065	0.106
	H28	C33	2369.7	2	223	0.009		178000						11.006	0.099
	H30	C34	2310.8	2	240	0.008		178000						11.344	0.095
	H27	C30	2046.9	2	346	0.006		178000						9.470	0.055
	H32	C35	1444.9	74	1024	0.072		178000						4.555	0.329
	H14	C36	708.5	5	16300	0.000		178000						35.350	0.011
	H12	C36	630.5	7	29113	0.000		178000						29.621	0.007
	H24	C36	612.0	2	33814	0.000		178000						23.704	0.001
	H6	C36	583.5	9	42925	0.000		178000						26.137	0.005
	H18	C36	582.3	2	43384	0.000		178000						24.741	0.001
	H20	C36	572.4	2	47276	0.000		178000						24.823	0.001
	H2	C36	569.9	47	48313	0.001		178000						24.498	0.024
	H2	C21	529.5	2	71988	0.000		178000						20.167	0.001
	H2	C7	466.8	70	144093	0.000		178000						19.843	0.010
	H2	C37	466.8	70	144093	0.000		178000						19.843	0.010
	H2	C23	434.3	2	217153	0.000		178000						20.515	0.000
	H2	C29	407.5	5	322621	0.000		178000						22.223	0.000
	H2	C25	388.1	2	436724	0.000		178000						21.381	0.000
	H2	C19	304.0	2	1603095	0.000		178000						21.479	0.000
	H2	C24	291.2	3	1730228	0.000		178000						21.270	0.000
H2	C26	275.1	2	2111691	0.000		178000						21.320	0.000	
H2	C13	261.5	7	2629205	0.000		178000						25.682	0.000	
				ΣN/N* (注3)		0.109								ΣFen×N/N*	0.758

→0.109

→0.758

注) Spi: ピーク応力強さの変動幅(MPa)、

N: 繰り返し回数(回)、

N*: 許容繰り返し回数(回)、

N/N*: 疲労累積係数、

Δt: 過渡継続時間(s)、

E: 縦弾性係数(MPa)、

ε̇: ひずみ速度(%/s)、

ε̇*: ひずみ速度依存パラメータ、

T: 温度(℃)、

T*: 温度依存パラメータ、

Fen: 環境効果補正係数、

Fen×N/N*: 環境疲労累積係数

を示す。

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

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

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

であるので、 $T^* = \boxed{}$

したがって、

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

タイトル	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="475 779 1364 1429"> <tr> <td data-bbox="475 779 703 898">解析プログラム</td> <td data-bbox="703 779 1364 898">(上部炉心支持板) ABAQUS Ver. 2018 (上部及び下部炉心支持柱、下部炉心支持板) NASTRAN Ver. 2011. 1. 0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 898 703 1016">要素種類</td> <td data-bbox="703 898 1364 1429" rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1016 703 1135">要素次数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1135 703 1254">要素数</td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1254 703 1429">節点数</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="435 1451 1364 1597"> <tr> <td data-bbox="435 1451 1364 1597"></td> </tr> </table>	解析プログラム	(上部炉心支持板) ABAQUS Ver. 2018 (上部及び下部炉心支持柱、下部炉心支持板) NASTRAN Ver. 2011. 1. 0	要素種類		要素次数	要素数	節点数	
解析プログラム	(上部炉心支持板) ABAQUS Ver. 2018 (上部及び下部炉心支持柱、下部炉心支持板) NASTRAN Ver. 2011. 1. 0								
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
下部炉心支持板	SUSF304	116	289.2
下部炉心支持柱	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。

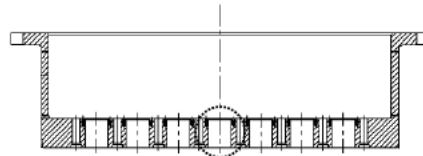
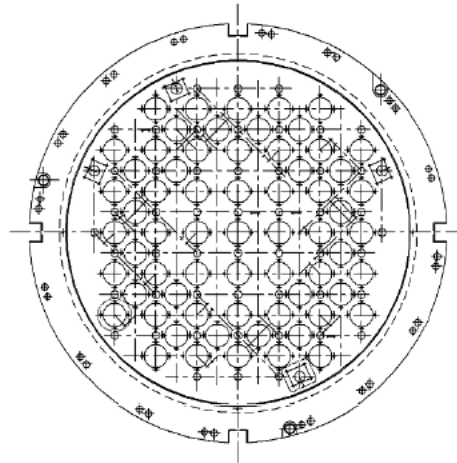
4. 応力分類

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+熱過渡荷重

5. Ke係数および環境パラメータ

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



評価部位 (中央部下面)



上部炉心支持板 評価点

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

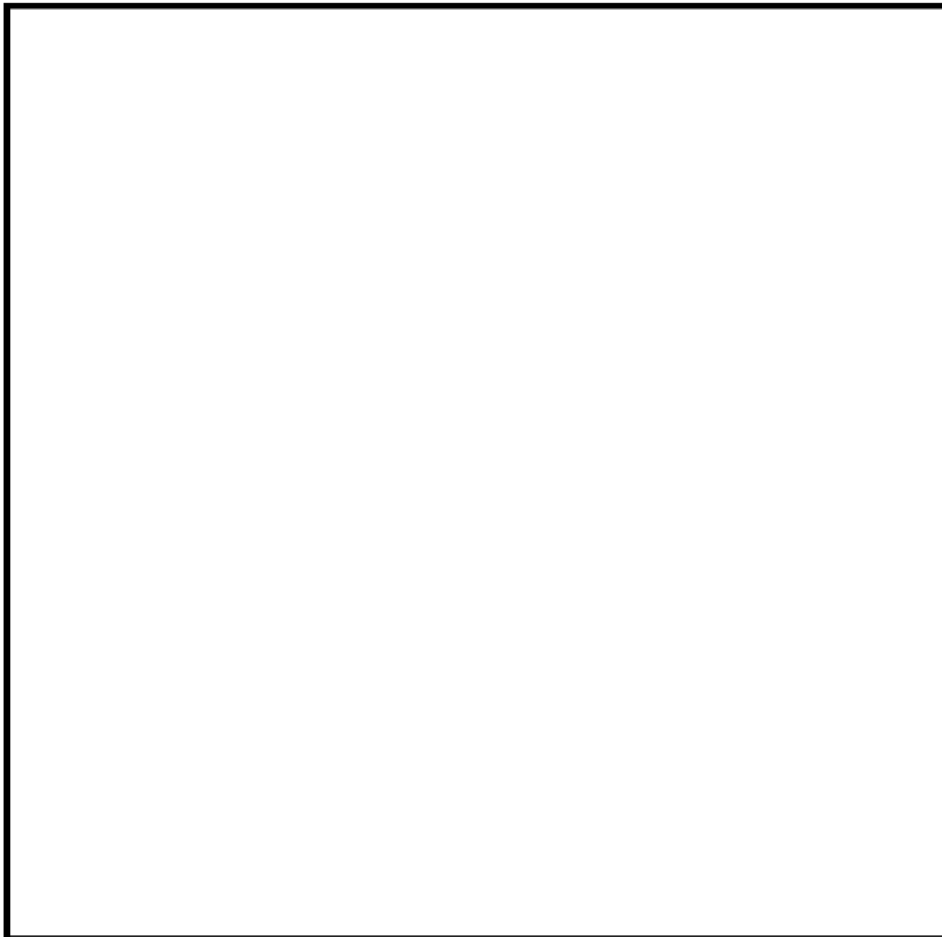
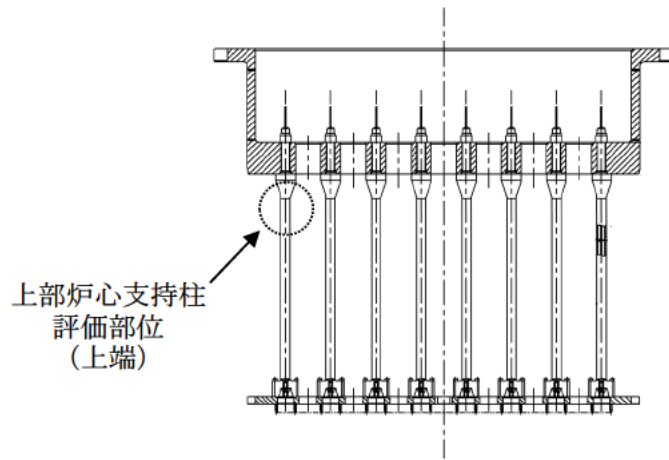
中央部下面

応力強さ (単位：MPa)				繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
536.4	-278.1	1.0	407.3 (456.4)	6	8710	0.00069
273.3	-278.1	1.0	275.7 (309.0)	75	59500	0.00126
257.3	-278.1	1.0	267.7 (300.0)	17	69900	0.00024
178.2	-278.1	1.0	228.2 (255.7)	39	168000	0.00023
178.2	-243.3	1.0	210.7 (236.2)	4	270000	0.00001
178.2	-203.0	1.0	190.6 (213.6)	94	506000	0.00019
131.0	-203.0	1.0	167.0 (187.2)	21	1120000	0.00002
106.5	-203.0	1.0	154.8 (173.4)	871	1440000	0.00060
106.5	-98.8	1.0	102.7 (115.1)	21	8980000	0.00000
106.5	-48.7	1.0	77.6 (87.0)	74	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00325

(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 評価点

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点：上端)

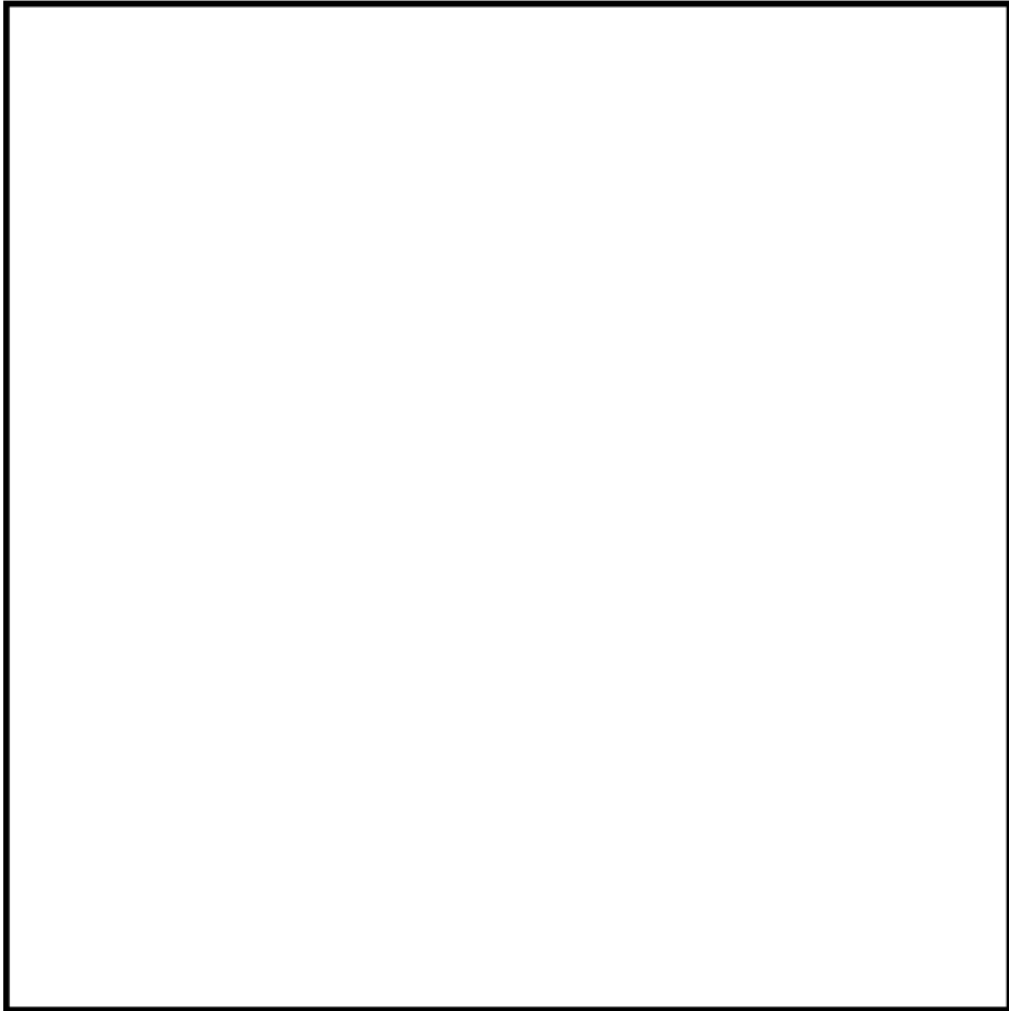
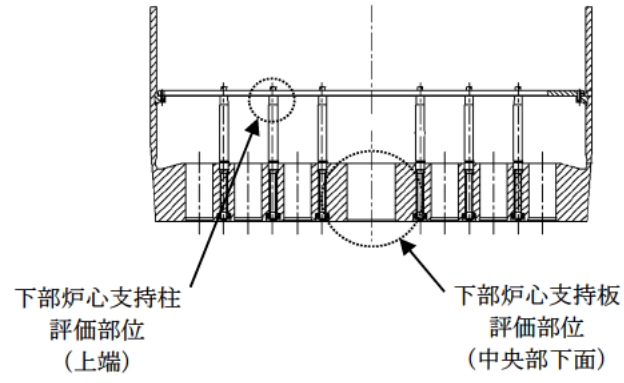
上端

		応力強さ (単位：MPa)		繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N*})$
最大値	最小値	K _e	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
0.0	-496.0	1.0	248.0 (277.9)	4	106000	0.00004
0.0	-366.3	1.0	183.2 (205.3)	133	670000	0.00020
-38.9	-366.3	1.0	163.7 (183.5)	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)	75	8950000	0.00001
-205.6	-359.3	1.0	76.8 (86.1)	21	—————	0.0

疲労累積係数 = 0.00026

(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

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

中央部下面

最大値	最小値	応力強さ (単位：MPa)		繰返し回数		疲労係数 $(\frac{N}{N^*})$
		Ke	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
501.3	-197.5	1.0	349.4 (387.1)	6	18900	0.00032
401.3	-197.5	1.0	299.4 (331.7)	15	41100	0.00036
401.3	0.0	1.0	200.6 (222.3)	60	394000	0.00015
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
247.5	0.0	1.0	123.8 (137.1)	56	3580000	0.00002
247.5	163.1	1.0	42.2 (46.8)	81	—	0.0

疲労累積係数 - 0.00086

(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)

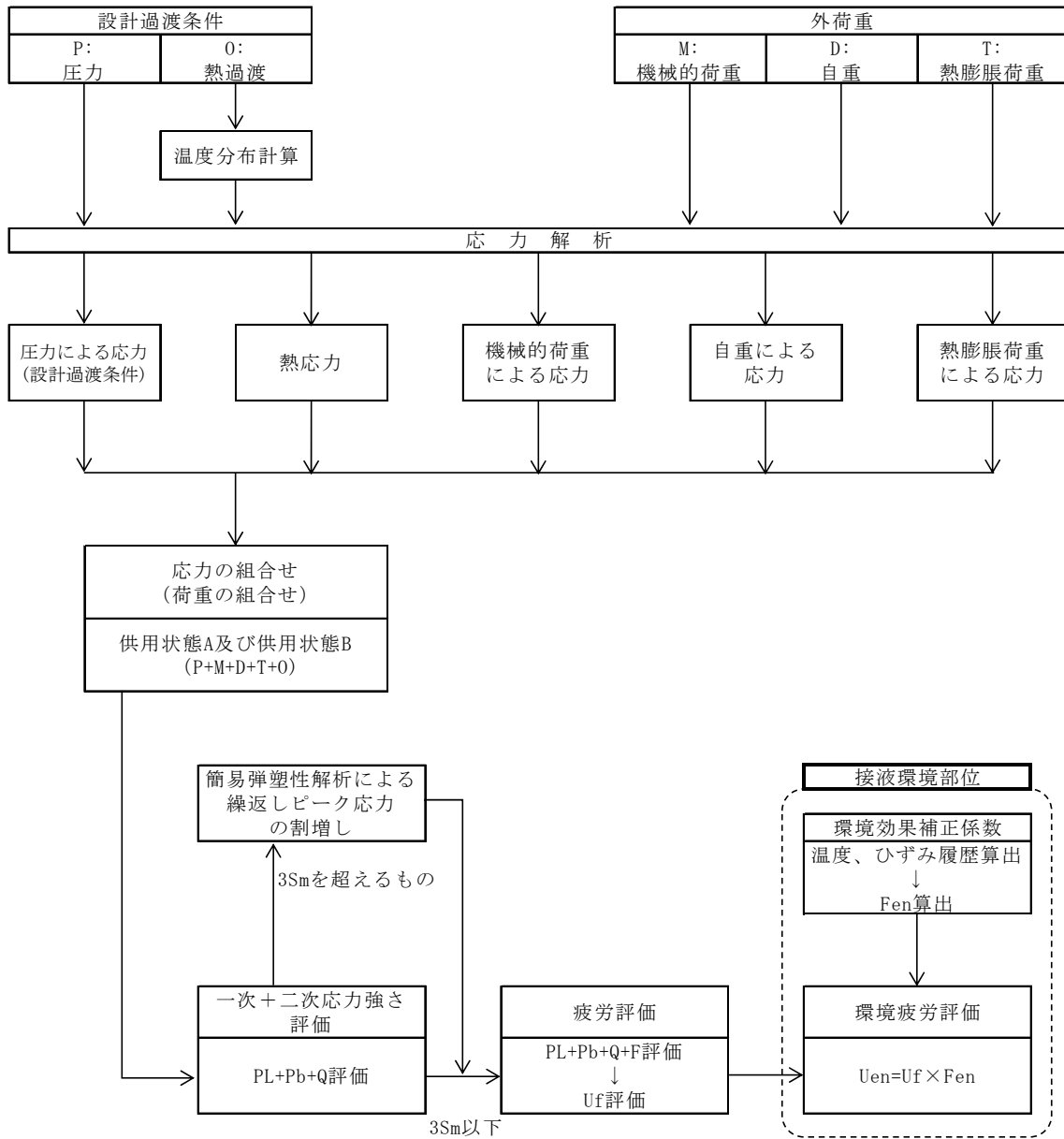
上端

応力強さ (単位：MPa)				繰返し回数		疲労係数 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$
最大値	最小値	K_e	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
0.0	-618.6	1.0	309.3 (342.7)	21	34900	0.00060
0.0	-542.9	1.0	271.5 (300.8)	116	68900	0.00168
-120.3	-542.9	1.0	211.3 (234.1)	6	286000	0.00002
-202.0	-542.9	1.0	170.5 (188.9)	75	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)	772	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00238

(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



備考：圧力、熱膨張荷重は作用しない。

応力評価フロー

Ke 係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

上部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 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	538.4	-278.1	1.00	407.3	458.4	0	8710	0.00089	10.833	0.00748
C	1A1	273.3	-278.1	1.00	275.7	308.0	75	58500	0.00126	12.788	0.01812
E	1A1	257.3	-278.1	1.00	287.7	300.0	17	88800	0.00024	10.377	0.00252
A-2	1A1	178.2	-278.1	1.00	228.2	255.7	39	188000	0.00023	13.218	0.00307
A-2	D-1	178.2	-243.3	1.00	210.7	238.2	4	270000	0.00001	10.811	0.00018
A-2	B-1	178.2	-203.0	1.00	180.6	213.8	84	506000	0.00018	1.000	0.00018
D-2	B-1	131.0	-203.0	1.00	187.0	187.2	21	1120000	0.00002	1.000	0.00002
B-2	B-1	108.5	-203.0	1.00	154.8	173.4	871	1440000	0.00080	1.000	0.00080
B-2	D-2	108.5	-88.8	1.00	102.7	115.1	21	8880000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	108.5	-48.7	1.00	77.8	87.0	74	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03015

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

→環境UF : 0.031

上部炉心支持柱 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 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		修正前 salt	修正後 salt'					
NSS	D-1	0.0	-486.0	1.00	248.0	277.9	4	106000	0.00004	7.356	0.00028
NSS	1A1	0.0	-366.3	1.00	183.2	205.3	133	670000	0.00020	1.000	0.00020
F	1A1	-38.9	-366.3	1.00	183.7	183.5	4	1200000	0.00000	1.000	0.00000
F	B-1	-38.9	-366.3	1.00	180.2	178.6	2	1280000	0.00000	1.000	0.00000
E	B-1	-92.1	-366.3	1.00	183.8	149.7	17	2450000	0.00001	1.000	0.00001
C	B-1	-153.9	-366.3	1.00	102.7	116.1	75	8950000	0.00001	1.000	0.00001
D-2	B-1	-205.8	-366.3	1.00	78.8	88.1	21	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00050

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

→環境UF : 0.001

: 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

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		修正前 salt	修正後 salt'					
F	D-2	501.3	-197.5	1.00	349.4	387.1	8	18900	0.00032	8.102	0.00257
C	D-2	401.3	-197.6	1.00	299.4	331.7	15	41100	0.00036	8.712	0.00318
C	NSS	401.3	0.0	1.00	200.6	222.3	60	394000	0.00015	12.308	0.00187
E	NSS	311.9	0.0	1.00	155.9	172.8	17	1480000	0.00001	1.000	0.00001
D-1	NSS	299.0	0.0	1.00	134.5	149.0	4	2500000	0.00000	1.000	0.00000
A-2	NSS	247.5	0.0	1.00	123.8	137.1	58	3580000	0.00002	1.000	0.00002
A-2	B-2	247.5	183.1	1.00	42.2	46.8	81	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00785

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

→環境UF : 0.008

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

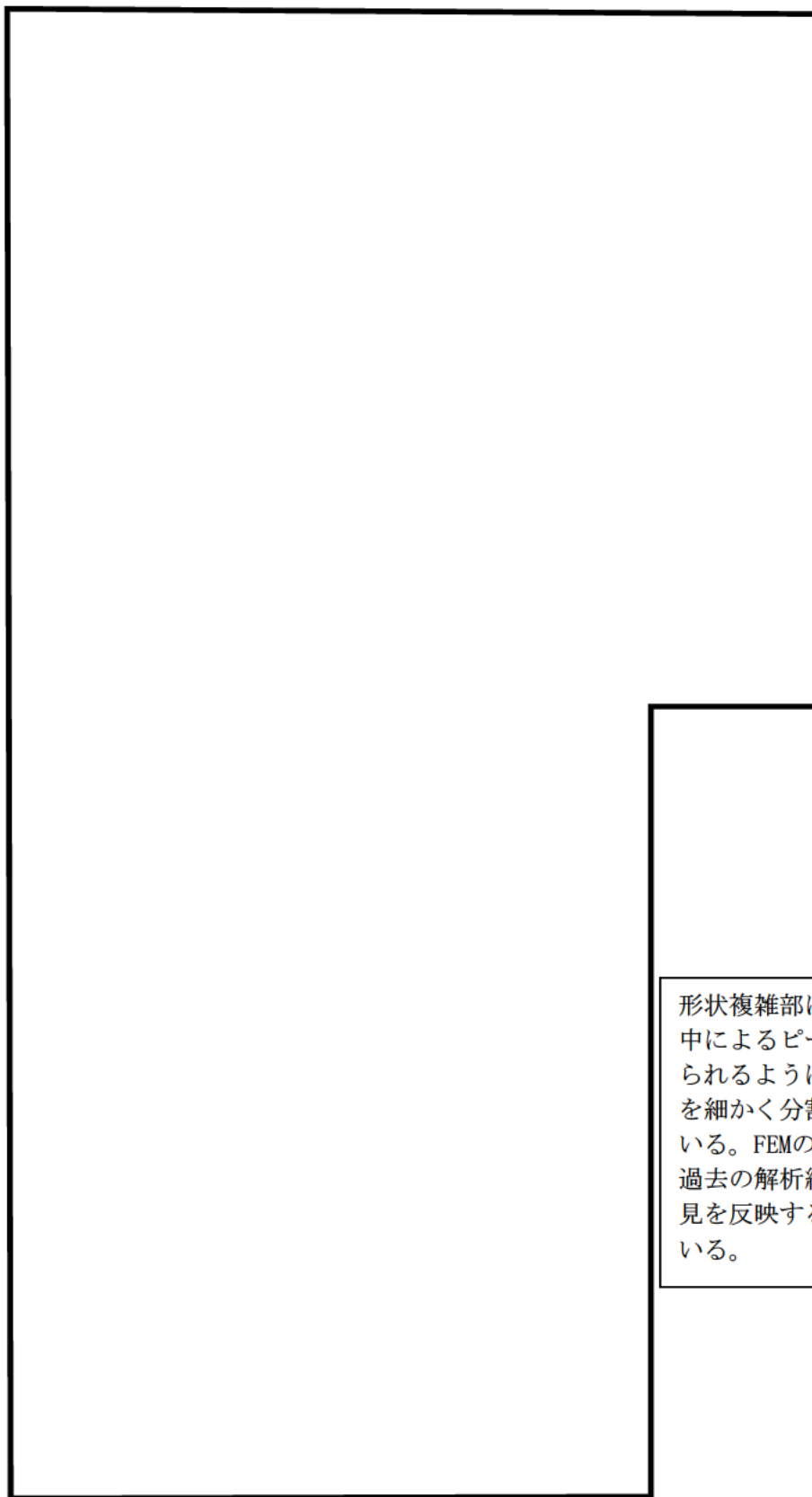
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数 n	許容繰返し 回 数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果も考慮した 疲労累積係数 ueo
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
NSS	D-2	0.0	-818.8	1.00	308.3	342.7	21	34800	0.00080	12.127	0.00730
NSS	B-1	0.0	-542.9	1.00	271.5	300.8	118	88800	0.00188	14.488	0.02441
F	B-1	-120.3	-542.9	1.00	211.3	234.1	8	286000	0.00002	8.484	0.00020
C	B-1	-202.0	-542.9	1.00	170.5	188.8	75	1080000	0.00007	1.000	0.00007
E	B-1	-314.4	-542.9	1.00	114.2	128.8	17	5100000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	B-1	-381.4	-542.9	1.00	80.8	89.5	772	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03187

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

→環境UF : 0.032

 : 割り増し係数Ke, 環境効果補正係数fenを示す

タイトル	加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>加圧器スカート溶接部の疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 779 1310 981"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>節点数</td> <td></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> <td></td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 材料物性値（設計応力強さ）を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="475 1099 1321 1227"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>345℃</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SQV1A</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、構造不連続部等において応力が大きくなる評価断面を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点及び最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。 また、応力フローチャートを添付 2 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="486 1621 1305 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. Ke 係数 評価に用いた Ke 係数を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018	要素種類		要素次数		節点数		要素数		評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡
解析プログラム	ABAQUS Ver. 2018																					
要素種類																						
要素次数																						
節点数																						
要素数																						
評価部位	材料	設計応力 (MPa)																				
		345℃																				
下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184																				
状態	荷重の組み合わせ																					
供用状態 A, B	圧力 + 自重 + 熱膨張荷重 + 熱過渡																					



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

加圧器スカート溶接部形状寸法、評価点および解析モデル

疲労累積係数 (加圧器スカート溶接部)

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00008	0.00000
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.00001	0.00015
4	0.00017	0.00000	0.00328
5	0.00293	0.00000	0.00665
6	0.00115	0.0	0.00307
7	0.20019	0.00000	0.15940
8	0.00054	0.00329	0.01793

許容値 $U_f=1.0$

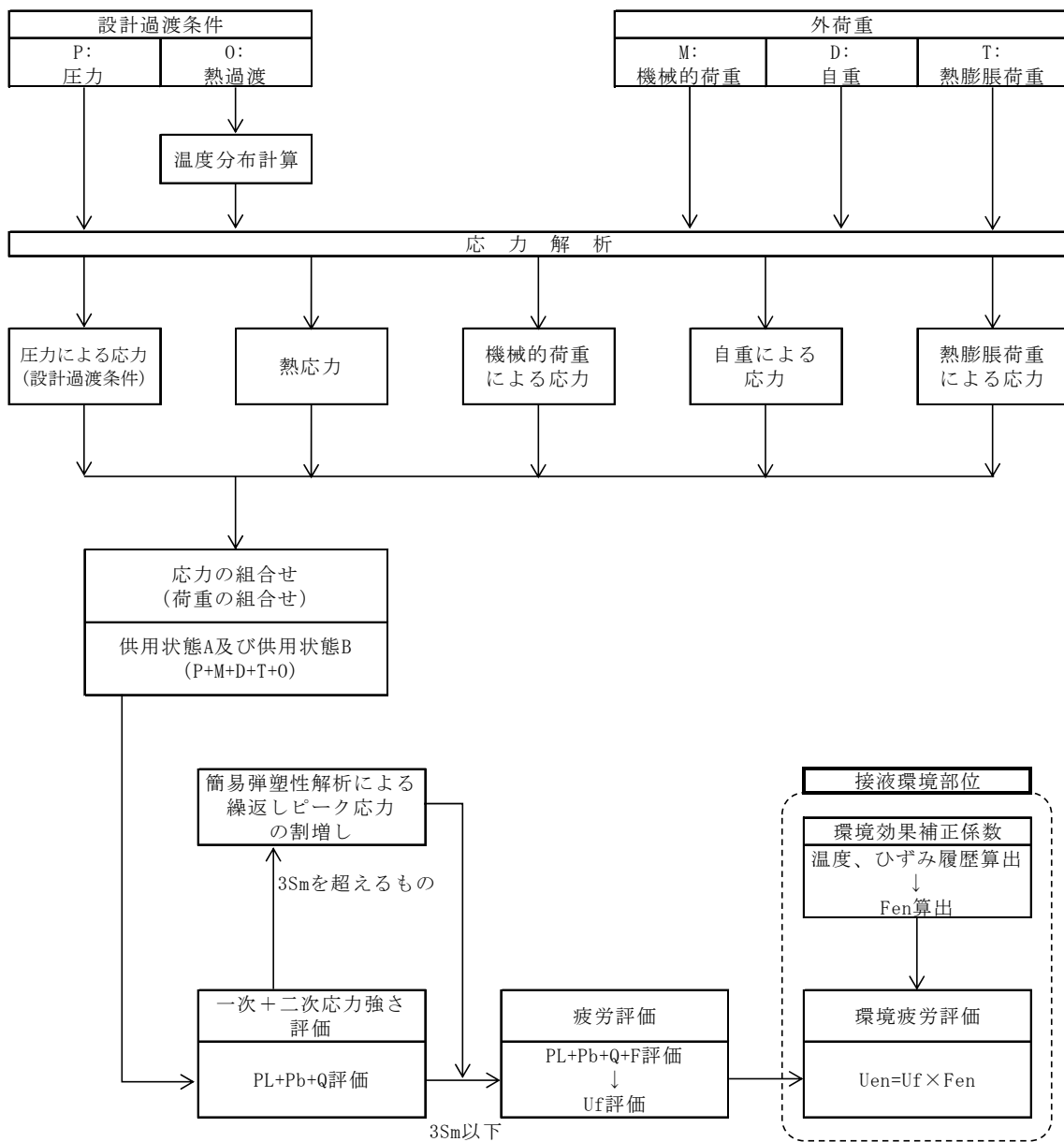
疲労解析結果 (加圧器スカート溶接部)

評価点 - 7
(S12)

応力強さ		(単位: MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT'	N	N*	
199.7	-708.9	1.39	632.8	735.9	74	481	0.15385
82.5	-602.8	1.0	342.7	398.5	5	2760	0.00181
82.5	-582.4	1.0	332.5	386.6	7	3040	0.00230
82.5	-570.3	1.0	326.4	379.5	2	3220	0.00062
82.5	-566.1	1.0	324.3	377.1	9	3290	0.00274
82.5	-564.3	1.0	323.4	376.1	40	3320	0.01205
0.0	-564.3	1.0	282.1	328.1	137	5130	0.02671
-176.5	-564.3	1.0	193.9	225.5	2	16600	0.00012
-435.8	-564.3	1.0	64.2	74.7	63	-----	0.0
疲労累積係数 =							0.20019

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

→通常UF : 0.201



備考：機械的荷重は作用しない。また、接液環境部位はない。

応力評価フローチャート

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

詳細評価法による環境効果補正係数 F_{en} の算出手順について

1. はじめに

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

2. 適用規格

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

3. 評価手順

(1) 評価手法

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

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

(2) 環境効果補正係数 (F_{en})

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

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

ここで、

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

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

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

C : 環境効果補正係数の算出のための定数

$\dot{\epsilon}$: ひずみ上昇過程でのひずみ速度

ϵ^* : ひずみ速度依存パラメータ

T : 温度

T^* : 温度依存パラメータ

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

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

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

応力サイクルの $F_{en, det}$ は次式で求める。

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

疲労累積係数は次式で求める。

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

ある区間 k におけるひずみ速度

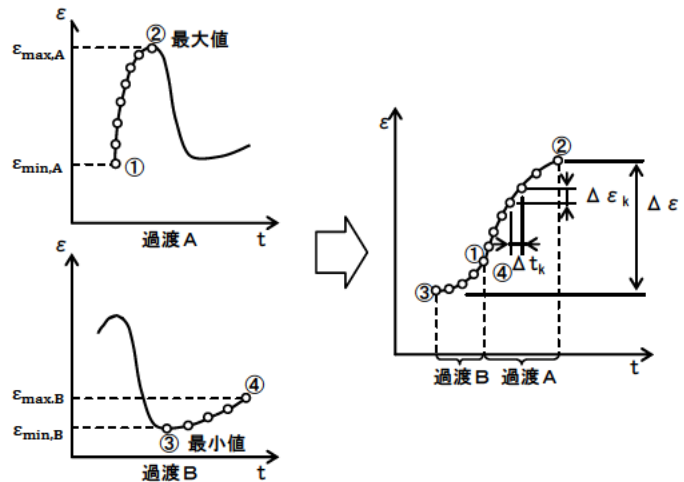
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

過渡 A の環境効果補正係数

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

過渡 B の環境効果補正係数

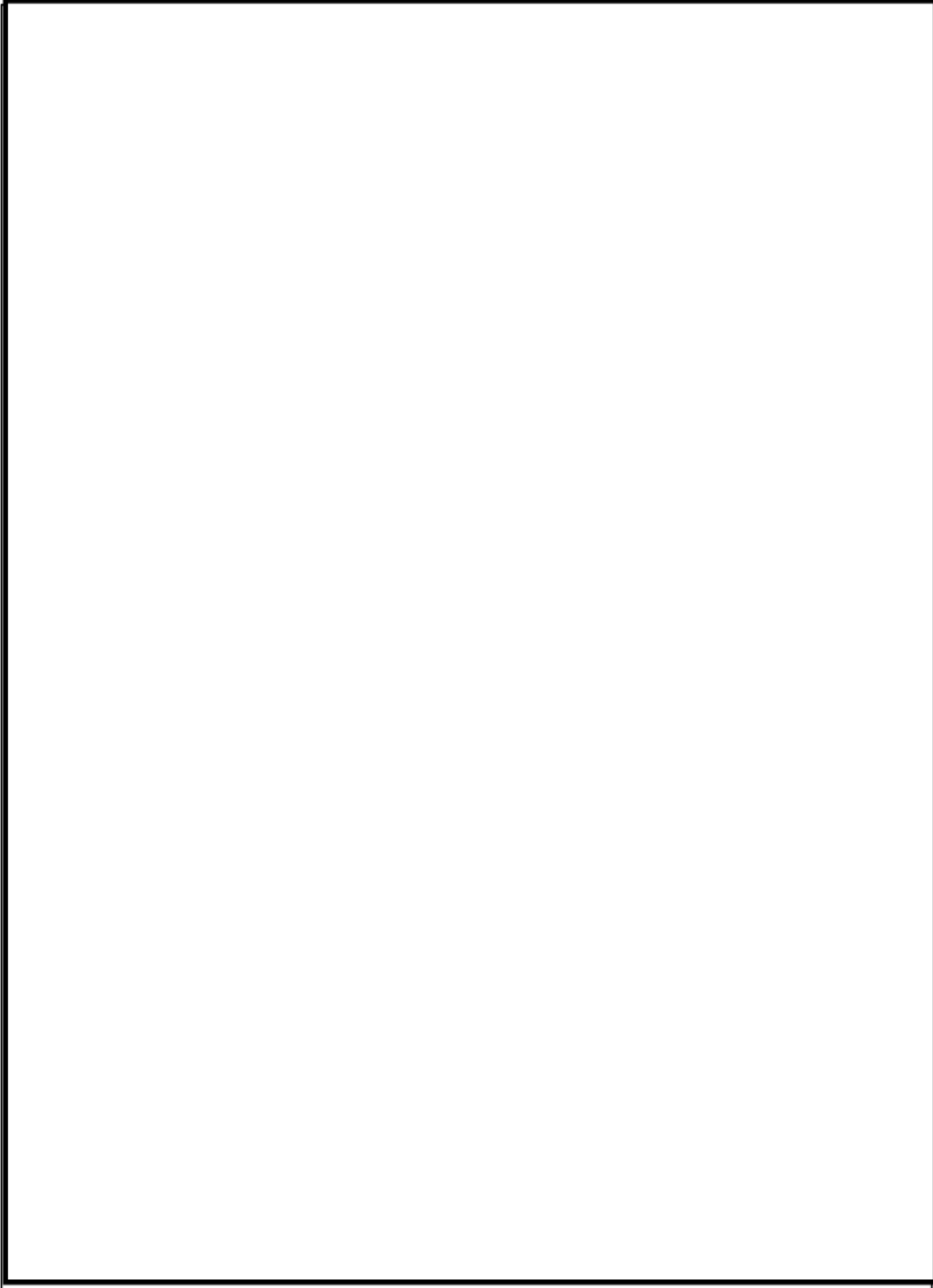
$$F_{en, det, B} = \sum_{k=1}^m F_{en, k} \frac{\Delta \varepsilon_k}{(\varepsilon_{max, B} - \varepsilon_{min, B})}$$



(4) 1次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。



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	IB1	SI	Temp	E	ϵ	Time
22		-30.8		179288.		
23		3.7		179608.		
23		3.7		179608.		
24		5.8		179976.		
24		5.8		179976.		
25		10.1		180888.		
25		10.1		180888.		
26		34.5		182184.		
26		34.5		182184.		
27		67.6		183348.		
27		67.6		183348.		
28		113.4		184552.		
28		113.4		184552.		
29		168.6		187016.		
29		168.6		187016.		
30		243.9		190364.		
30		243.9		190364.		
31		348.2		194933.		

区間 1

I B	IA1	SI	Temp	E	ϵ	Time
6		-341.8		176332.		
7		-333.6		176332.		
7		-333.6		176332.		
8		-317.9		176332.		
8		-317.9		176332.		
9		-293.7		176332.		
9		-293.7		176332.		
10		-267.8		176332.		
10		-267.8		176332.		
11		-235.3		176332.		
11		-235.3		176332.		
12		-205.5		176332.		
12		-205.5		176332.		
13		-176.3		176332.		
13		-176.3		176332.		
14		-144.5		176332.		
14		-144.5		176332.		
15		-114.2		176332.		
15		-114.2		176332.		
16		-87.6		176332.		
16		-87.6		176332.		
17		-70.0		176332.		
17		-70.0		176332.		
18		-40.3		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。

$$C = 3.910$$

$$\epsilon_1 = 0.752344 \times 10^{-4}$$

$$\dot{\epsilon}_1^* = -9.494902317$$

$$T_1 = \boxed{}$$

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

$$F_{en,1} = e^{(C-\dot{\epsilon}^*) \times T^*} = e^{(3.910 - (-9.494902317)) \times \boxed{}} = 11.610$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta \epsilon_1 = \boxed{} - \boxed{} = 0.01926$$

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

$$F_{en,det,A,1} = F_{en,1} \frac{\Delta \epsilon_1}{(\epsilon_{max,A} - \epsilon_{min,A})} = 11.610 \times \frac{0.01926}{\boxed{} - \boxed{}} = 1.142$$

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

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

詳細評価手法による評価

1 A	1B1	SI	Temp	E	ε	Time	ε *	Temp	Fen, k	∫Fen
	22	-30.8		179288.			0.753E-04		11.610	1.142
	23	3.7		179608.						
	23	3.7		179608.			0.388E-05		12.473	0.074
	24	5.8		179976.						
	24	5.8		179976.			0.471E-05		11.858	0.143
	25	10.1		180888.						
	25	10.1		180888.			0.190E-04		10.897	0.741
	26	34.5		182184.						
	26	34.5		182184.			0.180E-04		9.679	0.888
	27	67.6		183348.						
	27	67.6		183348.			0.164E-04		8.165	1.024
	28	113.4		184552.						
	28	113.4		184552.			0.144E-04		6.329	0.928
	29	168.6		187016.						
	29	168.6		187016.			0.127E-04		4.514	0.875
	30	243.9		190364.						
	30	243.9		190364.			0.112E-04		2.712	0.700
	31	348.2		194933.						
									total	6.515

1 B	1A1	SI	Temp	E	ε	Time	ε *	Temp	Fen, k	∫Fen
	6	-341.8		176332.			0.208E-04		24.579	0.867
	7	-333.6		176332.						
	7	-333.6		176332.			0.198E-04		24.579	1.283
	8	-317.9		176332.						
	8	-317.9		176332.			0.172E-04		24.579	1.973
	9	-293.7		176332.						
	9	-293.7		176332.			0.147E-04		24.579	2.108
	10	-267.8		176332.						
	10	-267.8		176332.			0.115E-04		24.579	2.656
	11	-235.3		176332.						
	11	-235.3		176332.			0.889E-05		24.579	2.428
	12	-205.5		176332.						
	12	-205.5		176332.			0.661E-05		24.579	2.375
	13	-176.3		176332.						
	13	-176.3		176332.			0.451E-05		24.579	2.591
	14	-144.5		176332.						
	14	-144.5		176332.			0.286E-05		24.579	2.470
	15	-114.2		176332.						
	15	-114.2		176332.			0.168E-05		24.579	2.171
	16	-87.6		176332.						
	16	-87.6		176332.			0.998E-06		24.579	1.434
	17	-70.0		176332.						
	17	-70.0		176332.			0.172E-05		24.579	2.423
	18	-40.3		176332.						
									total	24.579

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

$$\begin{aligned}
 F_{en, det} &= \frac{F_{en, det, A} \times (\epsilon_{max, A} - \epsilon_{min, A}) + F_{en, det, B} \times (\epsilon_{max, B} - \epsilon_{min, B})}{(\epsilon_{max, A} - \epsilon_{min, A}) + (\epsilon_{max, B} - \epsilon_{min, B})} \\
 &= \frac{6.515 \times (\quad - \quad) + 24.579 \times ((\quad) - (\quad))}{\quad - (\quad) + ((\quad) - \quad)} \\
 &= 14.936
 \end{aligned}$$

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

表2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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	smn	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
1B1	1A1	348.2	-341.8	1.79	617.4	682.5	74	1860	0.03978	14.936	0.59424
2I2	2I1	263.4	-299.7	1.47	414.2	457.9	63	8590	0.00733	7.326	0.05373
1I1	2B1	197.1	-138.3	1.00	167.7	185.4	5	1160000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	197.1	-129.3	1.00	163.2	180.4	7	1260000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	2E1	197.1	-104.9	1.00	151.0	166.9	2	1630000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	197.1	-71.9	1.00	134.5	148.7	2	2530000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	197.1	-67.2	1.00	132.1	146.1	2	2730000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	197.1	-54.0	1.00	125.5	138.8	9	3400000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1F1	197.1	-44.3	1.00	120.7	133.4	4	4040000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1J1	197.1	-43.9	1.00	120.5	133.2	37	4060000	0.00001	1.000	0.00001
2D3	1J1	182.2	-43.9	1.00	113.0	125.0	2	5500000	0.00000	1.000	0.00000
2I1	1B1	55.5	-38.2	1.70	79.6	88.0	63	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.64800

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

→環境 UF: 0.649

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



FEM 解析値

$\sigma_{\theta 1}$ 周方向応力
 $\sigma_{r 1}$ 板厚方向応力
 $\sigma_{t 1}$ 軸方向応力



軸方向応力の抽出例

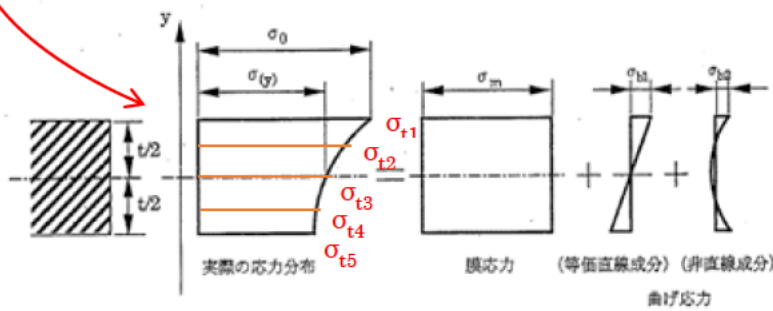
- $\sigma_{t 1}$
- $\sigma_{t 2}$
- $\sigma_{t 3}$
- $\sigma_{t 4}$
- $\sigma_{t 5}$

$\sigma_{\theta 2}$
 $\sigma_{r 2}$
 $\sigma_{t 2}$

⋮

$\sigma_{\theta 5}$
 $\sigma_{r 5}$
 $\sigma_{t 5}$

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