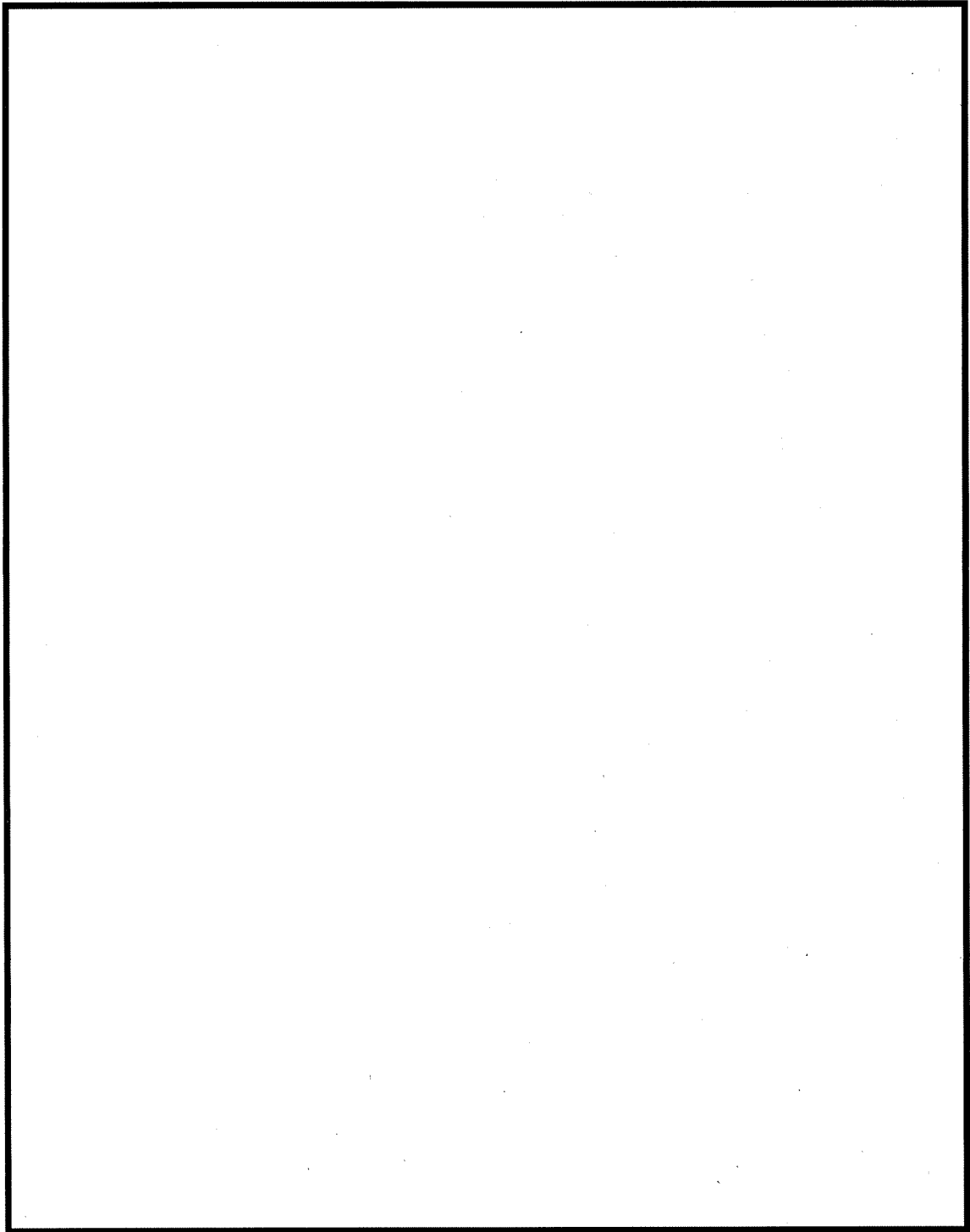
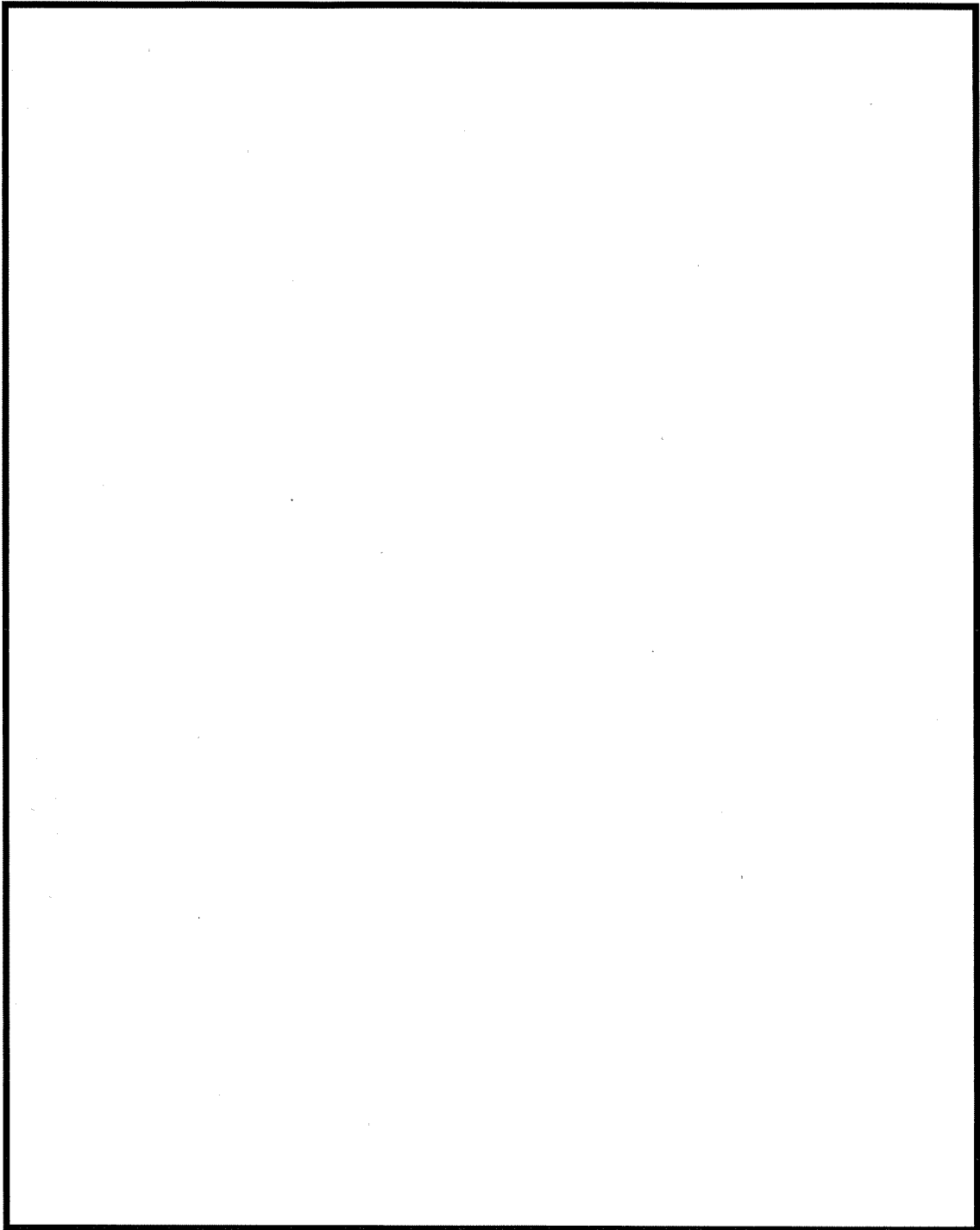


タイトル	代表機器以外の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>以下の各機器の評価についての算出根拠を次ページ以降に示す。 なお、次ページ以降における「通常疲労評価」は設計・建設規格による疲労評価を表す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠・・・7-1-1 ② 蒸気発生器の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・7-2-1 ③ 蒸気発生器給水管台の熱成層を考慮した評価の算出根拠・・・・7-3-1 ④ 加圧器管台の疲労累積係数の算出根拠・・・・・・・・・・・・7-4-1 ⑤ 機械ペネトレー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

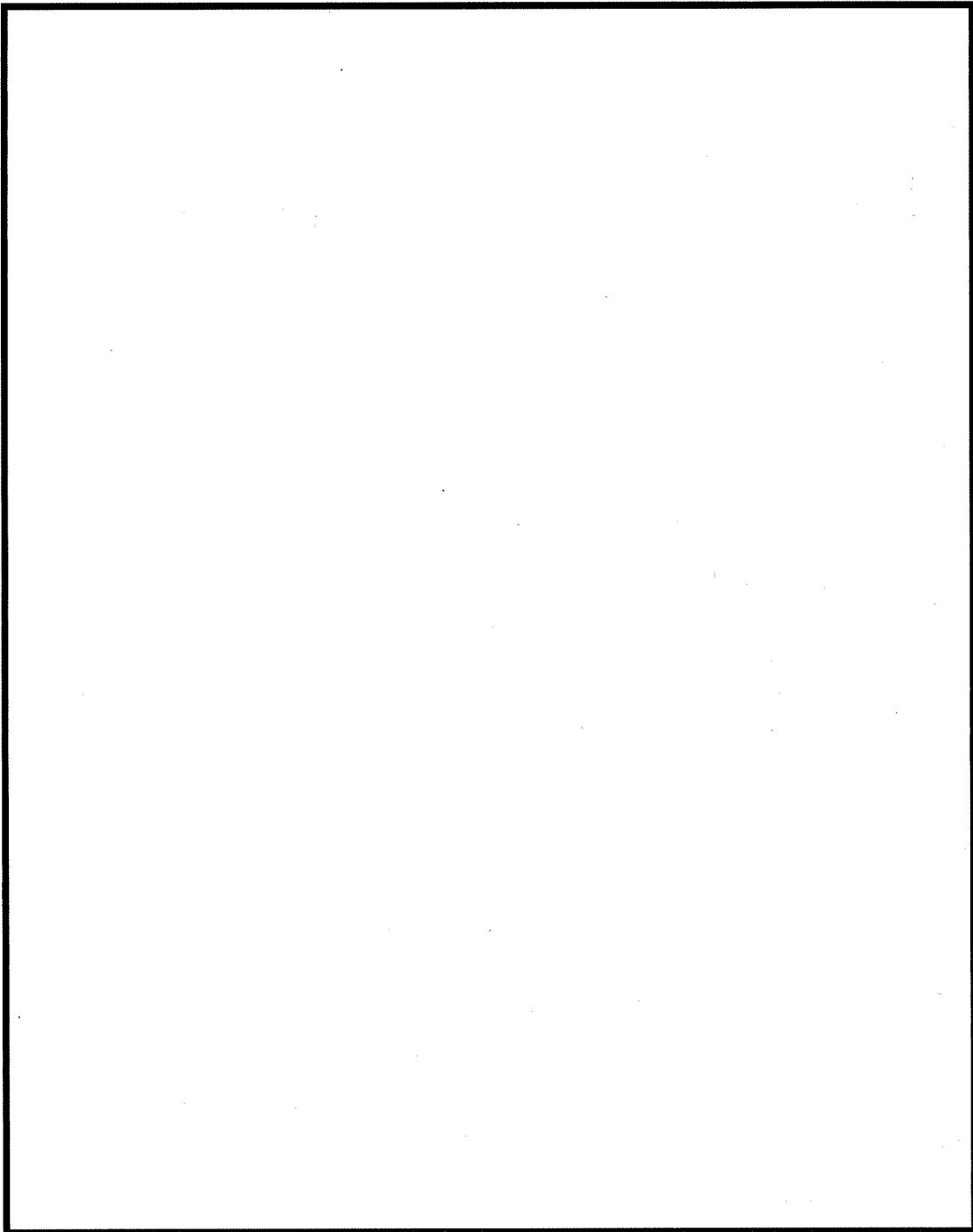
タイトル	1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠について																			
説明	<p>1次冷却材ポンプケーシングの疲労累積係数の算出根拠を以下に示す。</p> <p>1. 解析モデル 疲労累積係数の算出に用いた解析情報を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="486 548 1284 739"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Standard Ver. 6.8-1</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="4" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性 各部位の設計応力強さを以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="470 851 1292 1030"> <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>SCS13A</td> <td>117</td> <td>283.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点は、各部位において全節点より応力が大きくなる部分を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力評価のフローを添付2に示す。</p> <table border="1" data-bbox="438 1400 1332 1568"> <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係数および環境評価パラメータ 評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数 Fen）を添付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)	SCS13A	117	283.6	状態	荷重の組み合わせ	供用状態 A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重
解析プログラム	ABAQUS Standard Ver. 6.8-1																			
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)																		
SCS13A	117	283.6																		
状態	荷重の組み合わせ																			
供用状態 A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡荷重																			



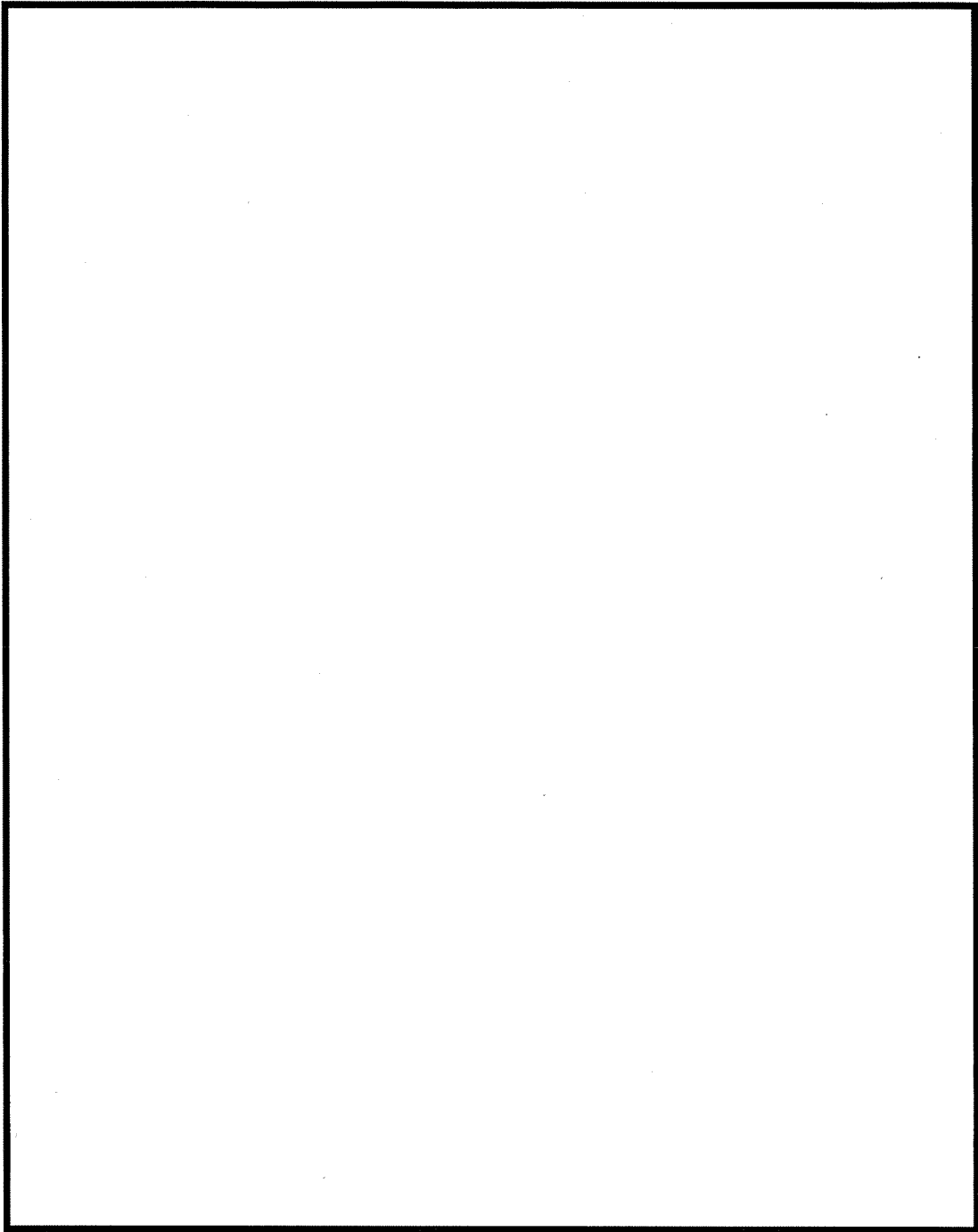
ケージング吸込ノズル 評価点



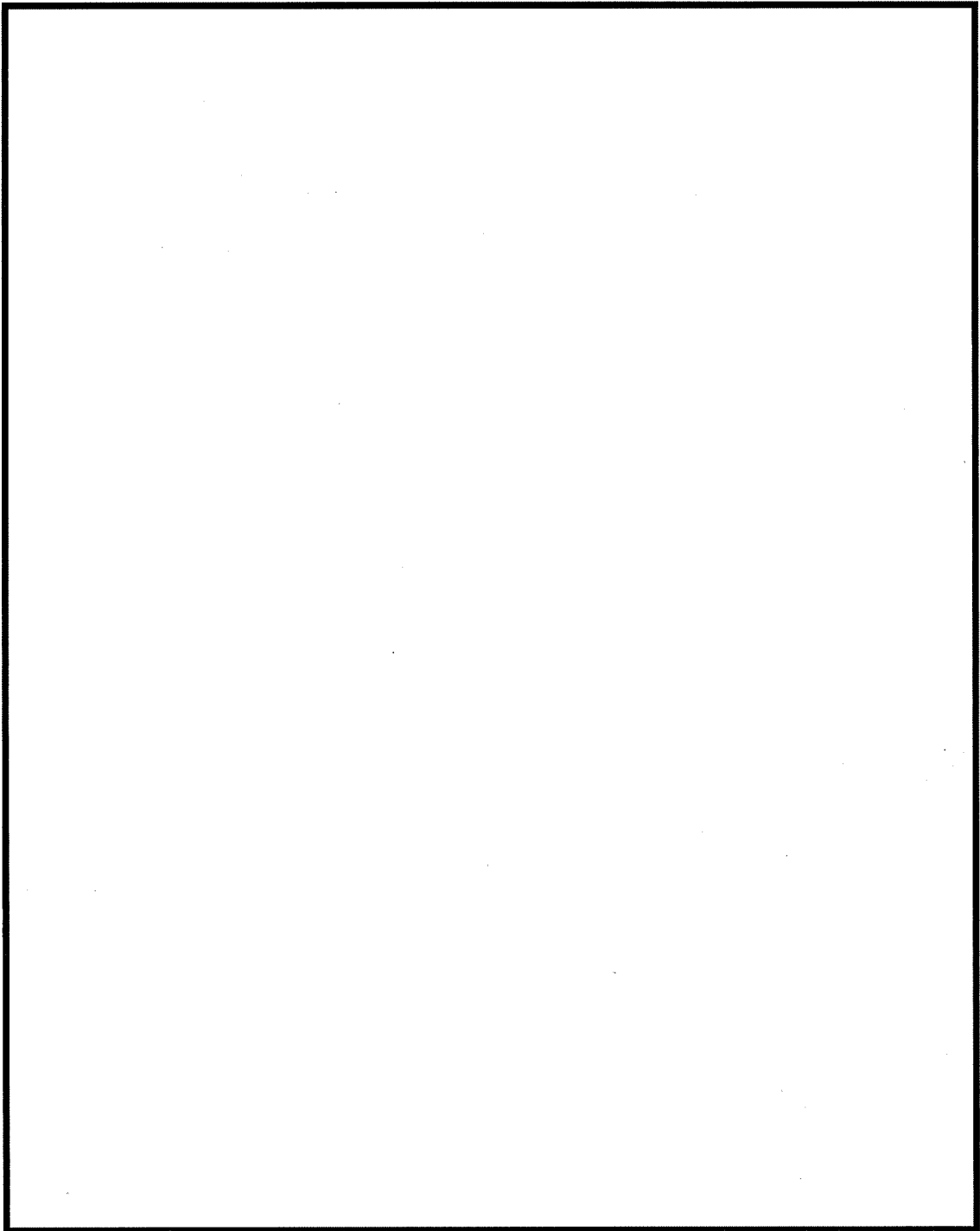
ケージング吐出ノズル 評価点



ケーシング脚部 評価点 (1/3)



ケーシング脚部 評価点 (2 / 3)



ケーシング脚部 評価点 (3 / 3)

ケーシング吸込ノズル 最大疲労評価点の選定

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
SU01I	0.0	0.00000	0.00001
SU010	0.0	0.00001	0.00001
SU02I	0.0	0.00000	0.00001
SU020	0.0	0.00000	0.00001
SU03I	0.0	0.00001	0.00002
SU030	0.0	0.0	0.0
SU04I	0.0	0.00001	0.00002
SU040	0.0	0.0	0.0
SU05I	0.00002	0.00000	0.0
SU050	0.0	0.0	0.0
SU06I	0.0	0.00000	0.00001
SU060	0.0	0.00000	0.00001
SU07I	0.0	0.00001	0.00001
SU070	0.0	0.0	0.0
SU08I	0.0	0.00001	0.00001
SU080	0.0	0.0	0.0
SU09I	0.00002	0.00000	0.0
SU090	0.0	0.0	0.0
SU10I	0.0	0.00001	0.00001
SU100	0.0	0.0	0.0
SU11I	0.0	0.00001	0.00001
SU110	0.0	0.0	0.0
SU12I	0.00002	0.00000	0.0
SU120	0.0	0.0	0.0
SU13I	0.0	0.00001	0.00001
SU130	0.0	0.0	0.0
SU14I	0.0	0.00000	0.00001
SU140	0.0	0.00000	0.00000
SU15I	0.0	0.00000	0.00001
SU150	0.0	0.00000	0.00000
SU16I	0.0	0.00001	0.00002
SU160	0.0	0.0	0.0
SU17I	0.0	0.00000	0.00001
SU170	0.0	0.00001	0.00001
SU18I	0.0	0.00001	0.00001
SU180	0.0	0.0	0.0

※Iは接液部、0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)

CYCLIC STRESSES AND CORRESPONDING USAGE FACTORS

評価点 - SU12I
(S12)

応力強さ			(単位 : N/mm ²)			繰返し回数		疲れ係数 (=√/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*		
75.1	-272.8	1.0	174.0	192.0	2	1030000	0.00000	
75.1	-188.8	1.0	132.0	145.6	2	2760000	0.00000	
75.1	-181.7	1.0	128.4	141.7	2	3110000	0.00000	
75.1	-174.1	1.0	124.6	137.5	2	3540000	0.00000	
75.1	-162.3	1.0	118.7	131.0	5	4370000	0.00000	
75.1	-145.6	1.0	110.4	121.8	48	6410000	0.00001	
72.8	-145.6	1.0	109.2	120.5	21	6830000	0.00000	
72.8	-136.9	1.0	104.8	115.7	2	8700000	0.00000	
72.8	-135.8	1.0	104.3	115.1	3	8960000	0.00000	
72.8	-108.3	1.0	90.5	99.9	43	43300000	0.00000	
2.4	-108.3	1.0	55.3	61.1	21		0.0	
疲れ累積係数 =							0.00002	

Ke : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

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

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常Uf : 0.001

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	0.00074	0.00102
HA010	0.02275	0.03334	0.0
HA02I	0.0	0.00074	0.00102
HA020	0.02412	0.03140	0.0
HA03I	0.00114	0.03059	0.00002
HA030	0.00221	0.00045	0.0
HA04I	0.00471	0.04272	0.00000
HA040	0.00078	0.00031	0.0
HA05I	0.00041	0.00003	0.00016
HA050	0.00000	0.00005	0.0
HA06I	0.00089	0.00018	0.00003
HA060	0.0	0.00000	0.00000
HA07I	0.0	0.00007	0.00000
HA070	0.04510	0.0	0.09167
HA08I	0.00002	0.00003	0.00023
HA080	0.00098	0.0	0.01052
HA09I	0.00035	0.00058	0.0
HA090	0.0	0.00000	0.0
HA10I	0.0	0.00001	0.00000
HA100	0.0	0.00001	0.0
HA11I	0.0	0.00007	0.00000
HA110	0.04263	0.0	0.09230
HA12I	0.00001	0.00000	0.00011
HA120	0.01120	0.0	0.04131
HA13I	0.00001	0.00008	0.00000
HA130	0.0	0.00022	0.00014
HA14I	0.0	0.00006	0.00010
HA140	0.00019	0.00413	0.0
HA15I	0.0	0.00006	0.00010
HA150	0.00018	0.00415	0.0
HA16I	0.00000	0.00007	0.00000
HA160	0.00001	0.00224	0.00008
HA17I	0.00000	0.00007	0.00000
HA170	0.00001	0.00172	0.00006

※Iは接液部、0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: HA110)

CYCLIC STRESSES AND CORRESPONDING USAGE FACTORS

評価点 - HA110
(S31)

応力強さ		(単位 : N/mm ²)			繰返し回数		疲れ係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
153.1	-644.3	1.87	746.7	824.0	69	984	0.07012
86.3	-552.4	1.60	509.7	562.5	5	3830	0.00131
86.3	-503.6	1.48	435.3	480.4	7	7090	0.00099
86.3	-509.0	1.46	433.1	478.0	49	7230	0.00678
-24.6	-476.6	1.87	423.2	467.1	69	7930	0.00870
30.3	-509.0	1.36	365.6	403.4	12	15400	0.00078
30.3	-455.1	1.38	334.7	369.3	7	23900	0.00029
30.3	-484.4	1.30	334.1	368.7	5	24100	0.00021
30.3	-485.5	1.28	330.6	364.9	45	25500	0.00176
0.0	-463.4	1.17	271.2	299.3	5	70800	0.00007
-43.5	-485.5	1.15	254.2	280.6	22	100000	0.00022
-43.5	-479.4	1.14	249.0	274.8	39	113000	0.00035
0.0	-479.4	1.0	239.7	264.5	56	139000	0.00040
-24.2	-479.4	1.0	227.6	251.2	61	186000	0.00033
-298.0	-479.4	1.0	90.7	100.1	2	42100000	0.00000
-340.3	-479.4	1.0	69.6	76.8	2		0.0
疲れ累積係数 =							0.09230

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

→通常Uf : 0.093

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	0.00006	0.02829	0.00015
A101O	0.00002	0.00075	0.0
A102I	0.00007	0.02535	0.00012
A102O	0.00005	0.00120	0.0
A103I	0.00008	0.02510	0.00013
A103O	0.00007	0.00157	0.0
A104I	0.00007	0.01829	0.00017
A104O	0.00009	0.00128	0.0
A105I	0.00000	0.00047	0.00087
A105O	0.00025	0.00045	0.0
A106I	0.00000	0.00399	0.00018
A106O	0.0	0.0	0.0
A107I	0.00000	0.00013	0.00079
A107O	0.00009	0.00000	0.01379
A108I	0.00000	0.00047	0.00087
A108O	0.00026	0.00046	0.0
A109I	0.00007	0.01833	0.00017
A109O	0.00009	0.00128	0.0
A110I	0.00008	0.02510	0.00013
A110O	0.00007	0.00157	0.0
A111I	0.00007	0.02541	0.00012
A111O	0.00005	0.00120	0.0
A112I	0.00006	0.02829	0.00015
A112O	0.00002	0.00075	0.0
A113I	0.00000	0.00016	0.00033
A113O	0.00021	0.00003	0.00128
A114I	0.00000	0.00011	0.00038
A114O	0.00005	0.00001	0.00620
A115I	0.00000	0.00011	0.00067
A115O	0.00005	0.00001	0.00626
A116I	0.00000	0.00016	0.00033
A116O	0.00021	0.00003	0.00128
A117I	0.0	0.00005	0.00008
A117O	0.0	0.00002	0.00002
A118I	0.00000	0.00013	0.00078
A118O	0.00010	0.00000	0.01382
A119I	0.0	0.00125	0.00017
A119O	0.0	0.0	0.00002
A120I	0.0	0.00076	0.00099
A120O	0.00025	0.00057	0.0
A121I	0.0	0.00104	0.00105
A121O	0.00037	0.00163	0.0
A122I	0.0	0.00105	0.00106
A122O	0.00037	0.00163	0.0

※1は接液部、0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
A2011	0.00001	0.00003	0.00000
A2010	0.00000	0.00003	0.00004
A2021	0.0	0.00007	0.00000
A2020	0.04690	0.0	0.09243
A2031	0.00000	0.00001	0.00011
A2030	0.03763	0.0	0.06064
A2041	0.00001	0.00008	0.00000
A2040	0.00002	0.00071	0.00007
A2051	0.0	0.00071	0.00010
A2050	0.00000	0.0	0.0
A2061	0.0	0.00108	0.00099
A2060	0.00037	0.00126	0.0
A2071	0.00468	0.04275	0.00000
A2070	0.00073	0.00033	0.0
A2081	0.00114	0.03046	0.00002
A2080	0.00215	0.00046	0.0
A2091	0.0	0.00074	0.00102
A2090	0.02283	0.03320	0.0
A2101	0.00007	0.01786	0.00017
A2100	0.00012	0.00135	0.0
A2111	0.00008	0.02352	0.00013
A2110	0.00008	0.00169	0.0
A2121	0.00007	0.02376	0.00011
A2120	0.00005	0.00132	0.0
A2131	0.00006	0.02659	0.00014
A2130	0.00002	0.00086	0.0
A2141	0.0	0.00010	0.00086
A2140	0.00028	0.00001	0.03105
A2151	0.00000	0.00007	0.00000
A2150	0.00001	0.00024	0.00011

※1は接液部、0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 (3/3)

Location	Usage Factor		
	S1-S2	S2-S3	S3-S1
A301I	0.0	0.00010	0.00086
A3010	0.00028	0.00001	0.03130
A302I	0.00006	0.02658	0.00014
A3020	0.00002	0.00086	0.0
A303I	0.00007	0.02369	0.00011
A3030	0.00005	0.00132	0.0
A304I	0.00008	0.02346	0.00013
A3040	0.00008	0.00169	0.0
A305I	0.00007	0.01786	0.00017
A3050	0.00012	0.00135	0.0
A306I	0.0	0.00071	0.00010
A3060	0.00000	0.0	0.0
A307I	0.0	0.00074	0.00102
A3070	0.02282	0.03320	0.0
A308I	0.00114	0.03046	0.00002
A3080	0.00215	0.00046	0.0
A309I	0.00468	0.04275	0.00000
A3090	0.00073	0.00033	0.0
A310I	0.00001	0.00008	0.00000
A3100	0.00001	0.00069	0.00007
A311I	0.0	0.00108	0.00099
A3110	0.00037	0.00127	0.0
A312I	0.00000	0.00007	0.00000
A3120	0.00001	0.00013	0.00012
A313I	0.00001	0.00003	0.00000
A3130	0.0	0.00003	0.00005
A314I	0.0	0.00007	0.00000
A3140	0.04279	0.0	0.09533

※Iは接液部、0は大気中の評価点を表す。

脚部 疲労評価結果 (評価点 : A3140)

CYCLIC STRESSES AND CORRESPONDING USAGE FACTORS

評価点 - A3140
(S31)

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*)
143.4	-655.3	1.88	748.9	826.4	69	975	0.07077
77.4	-563.5	1.60	514.0	567.2	5	3710	0.00135
77.4	-514.8	1.49	439.8	485.4	7	6800	0.00103
77.4	-520.0	1.47	437.6	482.9	49	6940	0.00706
-35.9	-487.8	1.88	423.7	467.6	69	7900	0.00873
30.4	-520.0	1.38	379.4	418.7	12	12900	0.00093
30.4	-466.3	1.40	348.0	384.0	7	19700	0.00036
30.4	-495.6	1.32	347.9	383.9	5	19700	0.00025
30.4	-496.7	1.31	344.4	380.1	45	20700	0.00217
0.0	-496.7	1.21	300.1	331.2	22	41400	0.00053
0.0	-490.6	1.20	294.3	324.8	39	45600	0.00086
-35.5	-490.6	1.16	264.2	291.5	61	81800	0.00075
-54.8	-490.6	1.14	249.4	275.3	61	112000	0.00054
-308.3	-490.6	1.01	91.9	101.4	2	3450000	0.00000
-351.5	-490.6	1.01	70.1	77.4	2		0.0
疲れ累積係数 =							0.09533

Ke : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

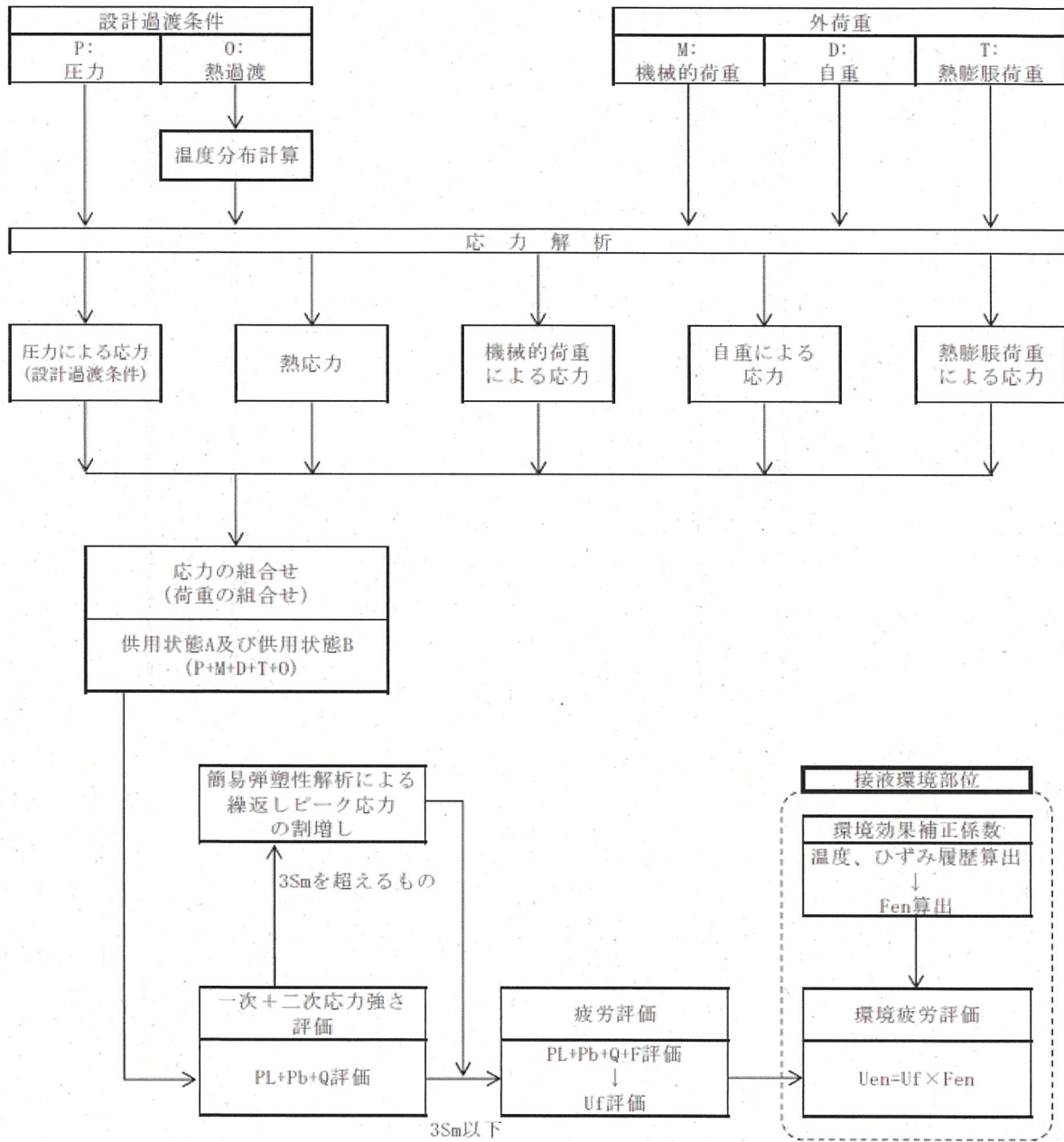
ALT' : ALTに(195000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常Uf : 0.096

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'					
211	2D3	75.1	-272.8	1.00	174.0	192.0	2	1030000	0.00000	1.000	0.00000
211	2G1	75.1	-188.8	1.00	132.0	145.6	2	2760000	0.00000	1.000	0.00000
211	2D2	75.1	-181.7	1.00	128.4	141.7	2	3110000	0.00000	1.000	0.00000
211	2E1	75.1	-174.1	1.00	124.6	137.5	2	3540000	0.00000	1.000	0.00000
211	2J1	75.1	-162.3	1.00	118.7	131.0	5	4370000	0.00000	1.000	0.00000
211	111	75.1	-145.6	1.00	110.4	121.8	48	6410000	0.00001	1.000	0.00001
1A1	111	72.8	-145.6	1.00	109.2	120.5	21	6830000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2H1	72.8	-136.9	1.00	104.8	115.7	2	8700000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2F1	72.8	-135.8	1.00	104.3	115.1	3	8960000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	1K1	72.8	-108.3	1.00	90.5	99.9	43	43300000	0.00000	1.000	0.00000
111	1K1	2.4	-108.3	1.00	55.3	61.1	21		0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.00002

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

→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 salt	補正後 salt'					
1B1	1A1	346.6	-341.7	1.78	611.9	675.3	69	1930	0.03575	14.941	0.53415
2I2	2I1	264.3	-300.7	1.46	412.8	455.6	61	8770	0.00696	7.711	0.05364
2D3	2B1	184.4	-128.8	1.00	156.6	172.8	2	1460000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2B1	159.6	-128.8	1.00	144.2	159.1	3	1910000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	159.6	-121.8	1.00	140.7	155.3	7	2090000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2E1	159.6	-103.6	1.00	131.6	145.2	2	2800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	159.6	-66.5	1.00	113.1	124.8	5	5550000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	159.6	-63.4	1.00	111.5	123.1	2	6030000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	159.6	-62.9	1.00	111.2	122.8	2	6110000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	159.6	-62.3	1.00	110.9	122.4	2	6210000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	159.6	-60.6	1.00	110.1	121.5	2	6490000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	159.6	-59.2	1.00	109.4	120.7	8	6760000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2I2	159.6	-55.7	1.00	107.6	118.8	36	7430000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2I2	47.5	-55.7	1.59	81.8	90.3	25		0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.58780	

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

→環境UF : 0.588

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 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	1A1	342.4	-345.9	1.78	612.2	675.6	69	1930	0.03575	14.936	0.53400
2I2	2I1	260.1	-305.0	1.46	413.2	456.0	61	8740	0.00698	7.711	0.05382
2D3	2B1	180.1	-133.0	1.00	156.6	172.8	2	1460000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2B1	155.4	-133.0	1.00	144.2	159.1	3	1910000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2A1	155.4	-126.0	1.00	140.7	155.3	7	2090000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2E1	155.4	-107.8	1.00	131.6	145.2	2	2800000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	1G1	155.4	-70.7	1.00	113.0	124.8	5	5550000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2C1	155.4	-67.6	1.00	111.5	123.0	2	6030000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D3	155.4	-67.1	1.00	111.2	122.7	2	6120000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2G1	155.4	-66.5	1.00	110.9	122.4	2	6210000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D2	155.4	-64.8	1.00	110.1	121.5	2	6500000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2D1	155.4	-63.3	1.00	109.4	120.7	8	6760000	0.00000	1.000	0.00000
1I1	2I2	155.4	-59.9	1.00	107.6	118.8	36	7430000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	2I2	43.2	-59.9	1.59	81.8	90.3	25		0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.58783

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

→環境UF : 0.588

タイトル	蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠について																					
説明	<p>蒸気発生器管板および給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下のとおりである。</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="486 582 1284 851"> <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>2. 材料物性値 各部位の設計応力強さを以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="446 963 1348 1209"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>Sm (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>管板および管板まわり</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> <td>321.1</td> </tr> <tr> <td>給水入口管台</td> <td>SFVQ2A</td> <td>184</td> <td>269.3</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、強度評価上厳しくなる材料および構造上の不連続部を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 管板およ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。 また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</p>	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6. 12-3	要素種類		要素次数	要素数	節点数	使用箇所	材料	設計応力強さ		Sm (MPa)	温度 (°C)	管板および管板まわり	SFVQ1A	184	321.1	給水入口管台	SFVQ2A	184	269.3
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																						
使用箇所	材料	設計応力強さ																				
		Sm (MPa)	温度 (°C)																			
管板および管板まわり	SFVQ1A	184	321.1																			
給水入口管台	SFVQ2A	184	269.3																			

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。

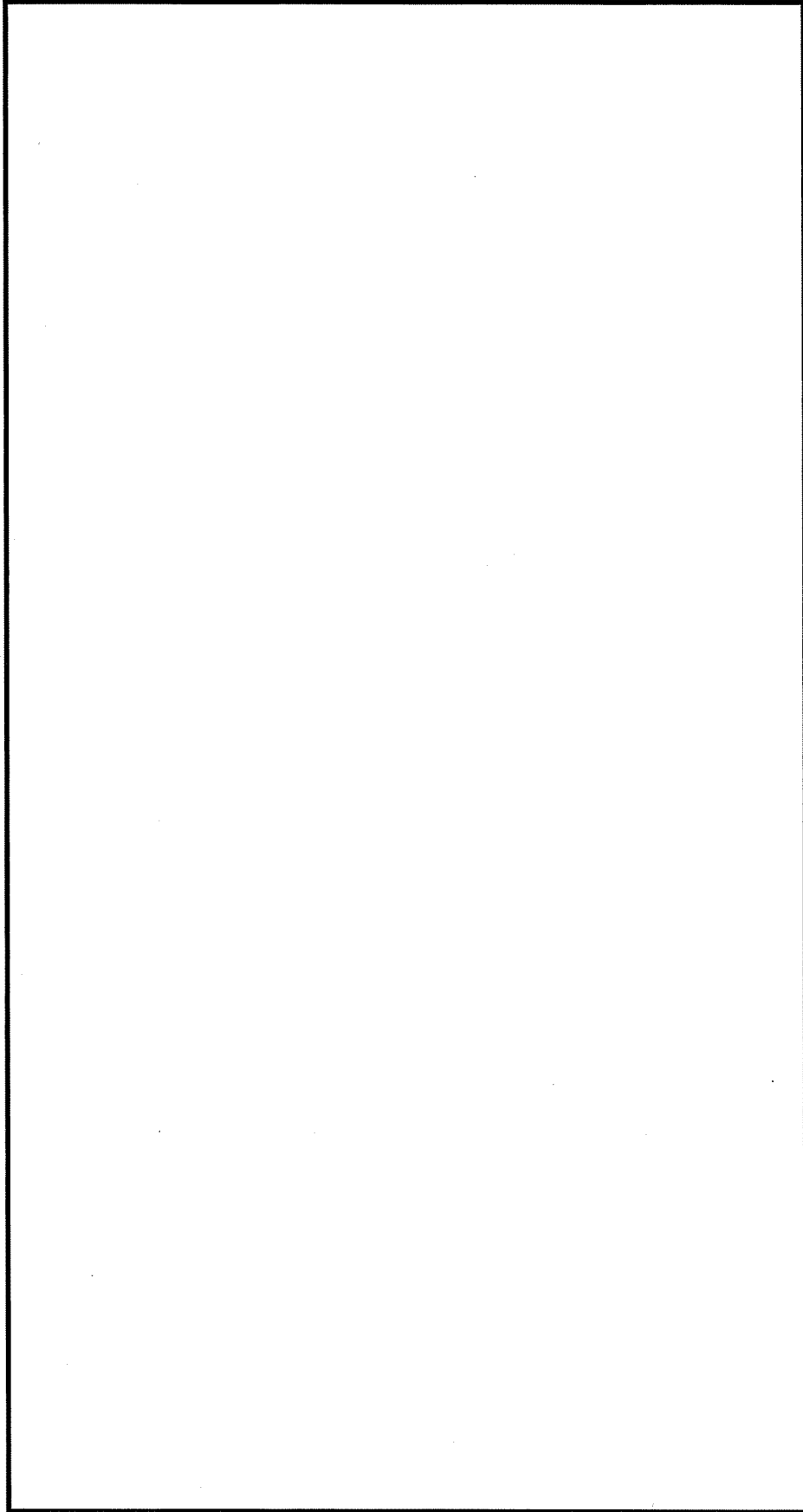
状態	荷重の組み合わせ
供用状態 A、B	圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境評価パラメータ

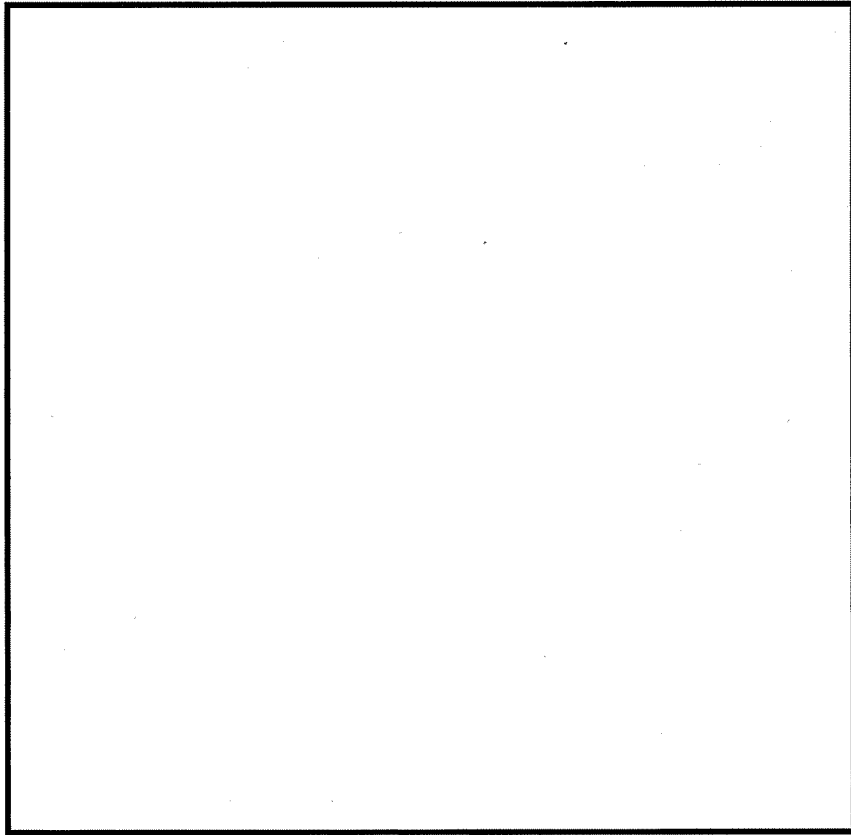
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数Fen）を添付3に示す。

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。

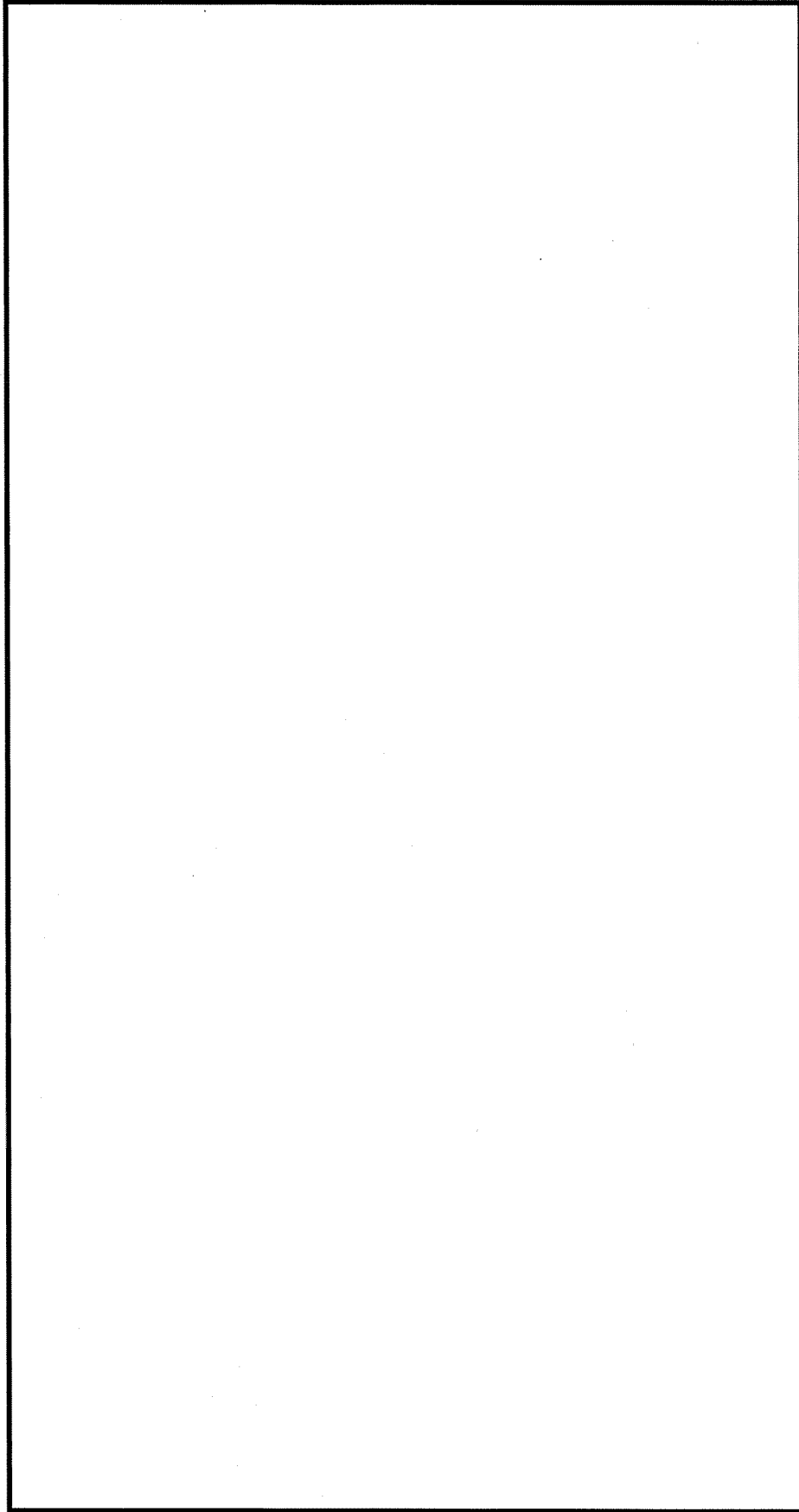
評価に用いた材料中の硫黄含有量は、材料規格における最大値である0.025%とした。



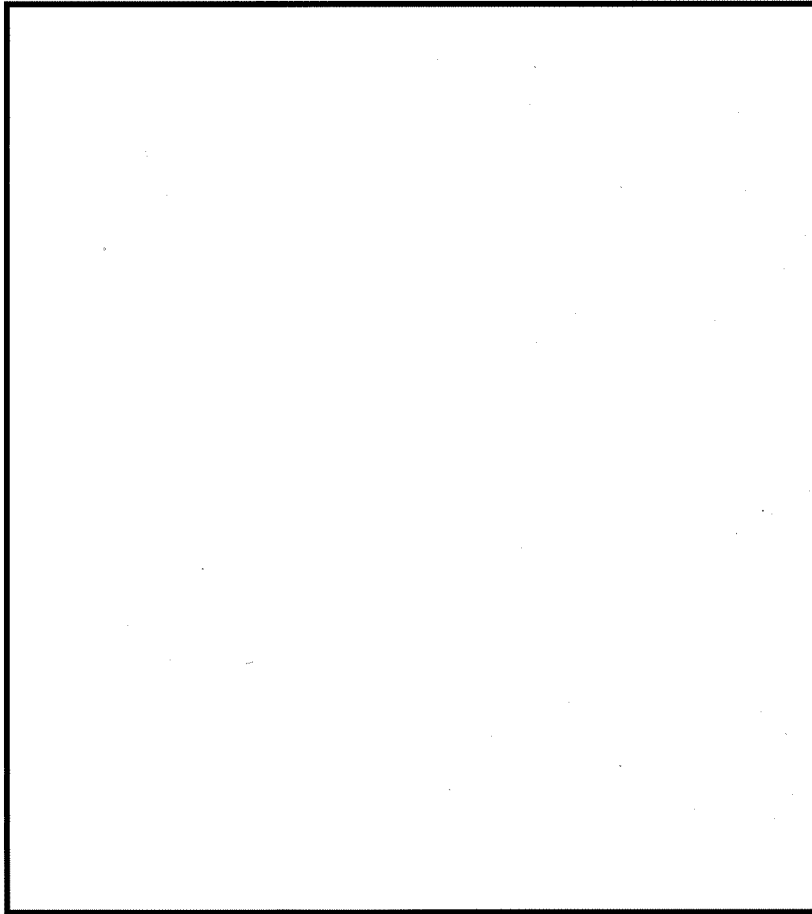
蒸気発生器 管板および管板まわり 評価点



蒸気発生器 管板および管板まわり 解析モデル



蒸気発生器 給水入口管台 評価点



蒸気発生器 給水入口管台 解析モデル

蒸気発生器 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	0.04879	0.00007	0.04866
2	0.0	0.00289	0.00092
3	0.05473	0.00029	0.12445
4	0.0	0.00011	0.00022
P1 SIDE R/R* = 0.0		0.01565	
P1 SIDE R/R* = 1.0		0.15634	
P2 SIDE R/R* = 0.0		0.04438	
P2 SIDE R/R* = 1.0		0.03812	

疲労累積係数(最大)
(ただし、非接液)

許容値 $U_f=1.0$

→通常 $U_f : 0.157$

蒸気発生器 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	0.00004	0.00377	0.01312
2	0.0	0.00020	0.00217
3	0.00119	0.00602	0.03224
4	0.00016	0.00027	0.00577
5	0.06454	0.00319	0.00801
6	0.0	0.00002	0.00003
7	0.02092	0.06814	0.00011
8	0.00282	0.0	0.00014
9L	0.07555	0.15870	0.00021
10L	0.00014	0.00317	0.00202
9C	0.00222	0.01482	0.00462
10C	0.00113	0.03101	0.01676
11L	0.15701	0.10438	0.0
12L	0.0	0.00324	0.00206
11C	0.01246	0.01152	0.00191
12C	0.0	0.03117	0.01482
13L	0.07187	0.03947	0.00001
14L	0.00001	0.00335	0.00428
13C	0.00234	0.0	0.00161
14C	0.00002	0.03256	0.01872

疲労累積係数(最大)
(接液する評価点)

許容値 $U_f=1.0$

→通常 $U_f : 0.159$

蒸気発生器 疲労評価結果 管板および管板まわり (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*	
861.1	-282.8	1.0	572.0	684.4	2	589	0.00340
821.6	-282.8	1.0	552.2	660.8	59	654	0.09021
821.6	0.0	1.0	410.8	491.5	2	1490	0.00134
816.3	0.0	1.0	408.1	488.4	2	1520	0.00132
803.9	0.0	1.0	402.0	481.0	2	1580	0.00127
778.6	0.0	1.0	389.3	465.8	2	1720	0.00116
769.6	0.0	1.0	384.8	460.4	3	1780	0.00169
728.2	0.0	1.0	364.1	435.7	2	2070	0.00097
701.6	0.0	1.0	350.8	419.7	8	2340	0.00342
690.1	0.0	1.0	345.0	412.9	2	2460	0.00081
600.3	0.0	1.0	300.1	359.1	5	3850	0.00130
570.6	0.0	1.0	285.3	341.4	163	4530	0.03598
570.6	24.9	1.0	272.9	326.5	69	5200	0.01327
570.6	177.9	1.0	196.4	235.0	2	14400	0.00014
570.6	346.2	1.0	112.2	134.3	2	110000	0.00002
570.6	361.8	1.0	104.4	124.9	7	143000	0.00005
570.6	420.9	1.0	74.8	89.6	5	698000	0.00001
570.6	431.8	1.0	69.4	83.1	588		0.0
疲労累積係数 =							0.15634

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 : 0.157

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 9L)

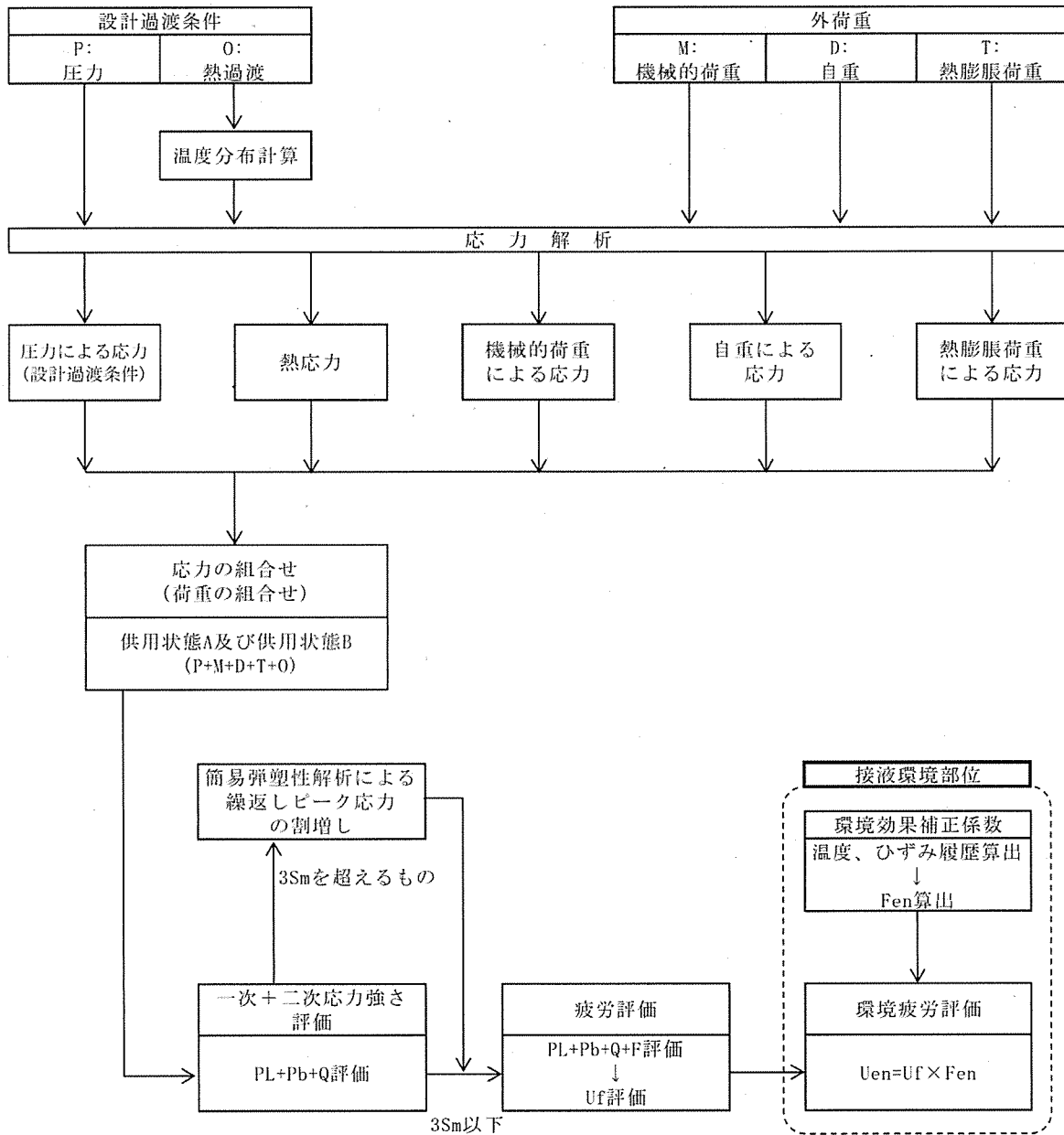
評価点 - 9L
(S23)

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*	
889.8	-26.2	1.0	458.0	535.6	5	1190	0.00420
803.0	-26.2	1.0	414.6	484.9	64	1550	0.04129
803.0	-20.3	1.0	411.7	481.5	26	1580	0.01646
773.2	-20.3	1.0	396.8	464.0	2	1740	0.00115
742.6	-20.3	1.0	381.5	446.1	2	1930	0.00104
722.4	-20.3	1.0	371.4	434.3	2	2090	0.00096
720.4	-20.3	1.0	370.4	433.1	5	2110	0.00237
717.3	-20.3	1.0	368.8	431.3	32	2140	0.01495
717.3	0.0	1.0	358.7	419.5	32	2340	0.01368
707.6	0.0	1.0	353.8	413.8	67	2450	0.02735
705.4	0.0	1.0	352.7	412.5	31	2470	0.01255
705.4	280.3	1.0	212.5	248.6	5	11900	0.00042
705.4	351.6	1.0	176.9	206.9	3	22200	0.00014
705.4	391.2	1.0	157.1	183.7	2	32000	0.00006
705.4	411.5	1.0	146.9	171.8	0	39300	0.00000
705.4	414.3	1.0	145.5	170.2	843	40500	0.02081
705.4	425.0	1.0	140.2	163.9	2	45400	0.00004
705.4	426.0	1.0	139.7	163.4	5	45900	0.00011
705.4	433.0	1.0	136.2	159.3	2	49700	0.00004
705.4	433.2	1.0	136.1	159.2	2	49800	0.00004
705.4	436.7	1.0	134.3	157.1	2	53000	0.00004
705.4	438.3	1.0	133.6	156.2	0	54500	0.00000
705.4	452.1	1.0	126.7	148.1	5	70600	0.00007
705.4	464.0	1.0	120.7	141.2	0	89400	0.00000
705.4	469.1	1.0	118.2	138.2	5	99300	0.00005
705.4	491.0	1.0	107.2	125.4	5	141000	0.00004
705.4	507.8	1.0	98.8	115.5	2	190000	0.00001
705.4	511.3	1.0	97.1	113.5	69	203000	0.00034
705.4	511.3	1.0	97.1	113.5	69	203000	0.00034
705.4	529.3	1.0	88.0	102.9	2	316000	0.00001
705.4	530.0	1.0	87.7	102.5	2	322000	0.00001
705.4	530.4	1.0	87.5	102.3	8	325000	0.00002
705.4	544.1	1.0	80.6	94.3	61	469000	0.00013
705.4	641.9	1.0	31.8	37.1	7		0.0
疲労累積係数 =							0.15870

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 : 0.159

応力評価フロー



備考：機械的荷重は作用しない。

Ke係数と環境疲労パラメータ (管板および管板まわり 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'					
2E1	2J1	353.0	-242.2	1.00	297.6	356.0	2	3960	0.00051	3.624	0.00183
2K1	2J1	321.2	-242.2	1.00	281.7	337.0	59	4710	0.01253	1.000	0.01253
2K1	1C1	321.2	-225.6	1.00	273.4	327.1	2	5170	0.00039	4.743	0.00183
2D5	1C1	250.8	-225.6	1.00	238.2	285.0	2	7790	0.00026	4.680	0.00120
2D3	1C1	230.0	-225.6	1.00	227.8	272.6	2	8890	0.00022	3.830	0.00086
2F1	1C1	218.5	-225.6	1.00	222.0	265.7	3	9590	0.00031	3.698	0.00116
2G1	1C1	169.4	-225.6	1.00	197.5	236.3	2	14100	0.00014	3.939	0.00056
2D1	1C1	167.6	-225.6	1.00	196.6	235.2	8	14400	0.00056	3.848	0.00214
2C2	1C1	155.9	-225.6	1.00	190.7	228.2	2	16000	0.00013	3.886	0.00049
2A1	1C1	153.7	-225.6	1.00	189.7	226.9	7	16300	0.00043	4.100	0.00176
1B1	1C1	149.0	-225.6	1.00	187.3	224.1	69	17000	0.00406	4.714	0.01913
1I1	1C1	143.7	-225.6	1.00	184.7	220.9	69	17900	0.00385	3.889	0.01499
1L1	1C1	129.1	-225.6	1.00	177.3	212.2	2	20500	0.00010	4.731	0.00046
1G1	1C1	127.9	-225.6	1.00	176.7	211.5	5	20700	0.00024	4.762	0.00115
2H2	1C1	126.0	-225.6	1.00	175.8	210.3	2	21000	0.00010	3.836	0.00037
2I1	1C1	103.3	-225.6	1.00	164.4	196.7	5	25900	0.00019	4.746	0.00092
1K1	1C1	102.9	-225.6	1.00	164.2	196.5	64	26000	0.00246	4.746	0.01168
1A1	1C1	96.6	-225.6	1.00	161.1	192.7	69	27600	0.00250	4.822	0.01205
1D1	1C1	96.1	-225.6	1.00	160.8	192.4	530	27700	0.01913	4.830	0.09241
1D1	1H1	96.1	-201.1	1.00	148.6	177.8	0	35400	0.00000	4.712	0.00000
1D1	2H1	96.1	-199.5	1.00	147.8	176.8	2	36000	0.00006	3.848	0.00021
1D1	1E1	96.1	-181.1	1.00	138.6	165.8	5	43900	0.00011	4.889	0.00056
1D1	2C2	96.1	-179.0	1.00	137.5	164.6	2	44900	0.00004	4.908	0.00022
1D1	1G1	96.1	-177.0	1.00	136.5	163.4	5	45900	0.00011	4.917	0.00054
1D1	1H1	96.1	-162.1	1.00	129.1	154.5	0	57500	0.00000	4.920	0.00000
1D1	1E1	96.1	-155.8	1.00	125.9	150.7	5	65000	0.00008	4.889	0.00038
1D1	1F1	96.1	-137.1	1.00	116.6	139.5	5	94700	0.00005	4.919	0.00026
1D1	1A1	96.1	-79.5	1.00	87.8	105.1	69	288000	0.00024	4.684	0.00112
1D1	NSS	96.1	0.0	1.00	48.0	57.5	191	————	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.18080

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

→環境Uf : 0.181

Ke係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点9L) (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'					
2T1	NSS	994.9	0.0	1.45	719.3	841.2	90	351	0.25641	2.857	0.73263
2B2	NSS	950.6	0.0	1.00	475.3	555.9	5	1070	0.00467	2.515	0.01175
2G1	NSS	812.7	0.0	1.00	406.4	475.2	2	1630	0.00123	2.217	0.00272
1K1	NSS	797.6	0.0	1.00	398.8	466.4	33	1720	0.01919	2.136	0.04099
1K1	2I1	797.6	331.5	1.00	233.1	272.6	5	8890	0.00056	2.136	0.00120
1K1	2F1	797.6	416.0	1.00	190.8	223.1	3	17300	0.00017	2.926	0.00051
1K1	2D4	797.6	455.7	1.00	171.0	199.9	2	24600	0.00008	2.245	0.00018
1K1	2D2	797.6	482.7	1.00	157.5	184.2	2	31700	0.00006	2.136	0.00013
1K1	2E1	797.6	489.1	1.00	154.3	180.4	2	33800	0.00006	2.258	0.00013
1K1	1E1	797.6	492.6	1.00	152.5	178.4	5	35000	0.00014	2.389	0.00034
1K1	1C1	797.6	494.3	1.00	151.7	177.4	12	35600	0.00034	2.754	0.00093
1J1	1C1	790.6	494.3	1.00	148.2	173.3	67	38300	0.00175	3.535	0.00618
2E1	1C1	783.0	494.3	1.00	144.3	168.8	2	41500	0.00005	2.268	0.00011
1G1	1C1	780.8	494.3	1.00	143.3	167.5	5	42500	0.00012	2.905	0.00034
2D3	1C1	764.9	494.3	1.00	135.3	158.3	2	51100	0.00004	2.246	0.00009
1D1	1C1	764.8	494.3	1.00	135.3	158.2	755	51200	0.01475	3.276	0.04830
1D1	2C2	764.8	500.7	1.00	132.0	154.4	2	57700	0.00003	3.167	0.00011
1D1	1E1	764.8	518.4	1.00	123.2	144.1	5	80900	0.00006	3.274	0.00020
1D1	1F1	764.8	532.8	1.00	116.0	135.7	5	106000	0.00005	3.296	0.00016
1D1	2I1	764.8	544.2	1.00	110.3	129.0	5	127000	0.00004	3.274	0.00013
1D1	1A1	764.8	564.7	1.00	100.0	117.0	64	181000	0.00035	3.791	0.00134
1N1	1A1	763.5	564.7	1.00	99.4	116.3	5	186000	0.00003	3.832	0.00010
1N1	1B1	763.5	564.7	1.00	99.4	116.3	69	186000	0.00037	3.276	0.00122
1N1	1L1	763.5	584.8	1.00	89.4	104.5	2	295000	0.00001	3.276	0.00002
1N1	2K1	763.5	586.2	1.00	88.6	103.7	61	306000	0.00020	3.276	0.00065
1N1	2C1	763.5	592.4	1.00	85.6	100.1	2	359000	0.00001	3.293	0.00002
1N1	2D1	763.5	593.2	1.00	85.2	99.6	8	367000	0.00002	3.177	0.00007
1N1	2H2	763.5	601.7	1.00	80.9	94.6	2	462000	0.00000	3.077	0.00001
1N1	2D5	763.5	691.5	1.00	36.0	42.1	2	—————	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.85058

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

→環境Uf : 0.851

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>

伊方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Uf」と記す。) は $0.851 < 1.0$ 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Ufに環境効果補正係数(Fen)を掛け合わせるにより求める。

$$\text{環境Uf} = \text{Uf} \times \text{Fen}$$

3. 給水入口管台の疲労評価条件

3.1 解析モデル化の方法

給水入口管台の環境疲労評価対象部位を図1に示す。

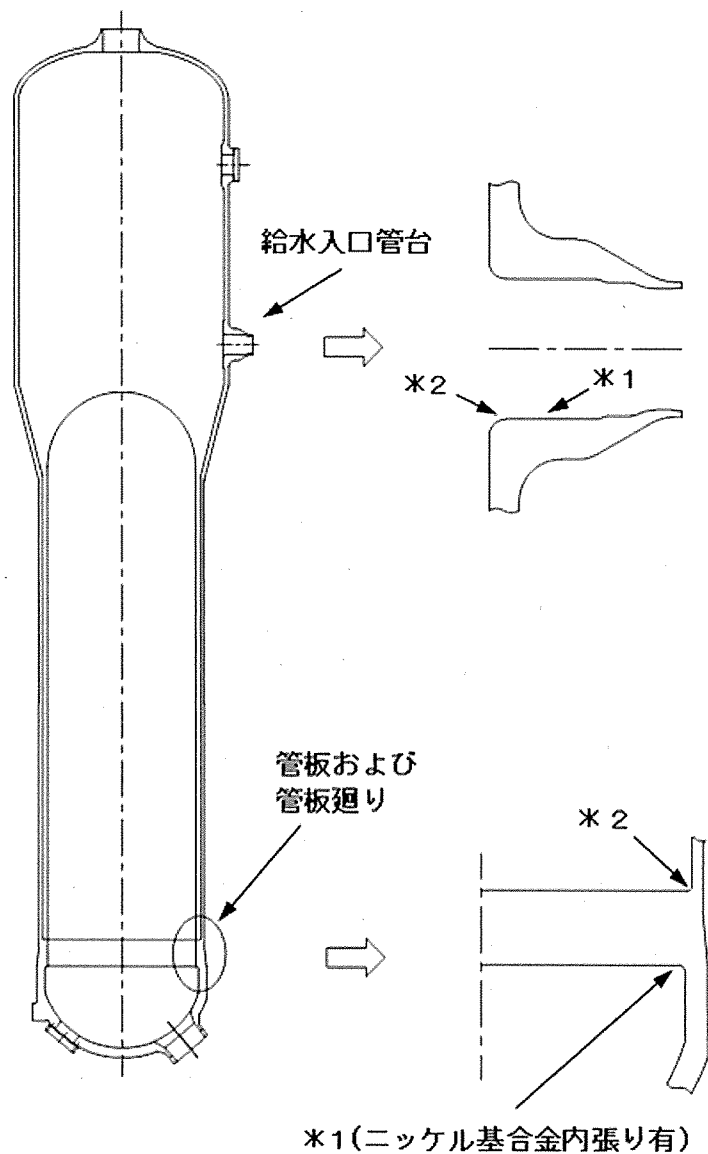
熱成層応力の解析は3次元のFEM解析により行う。

(1) 熱成層応力の解析モデル

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

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



- *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 伊方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

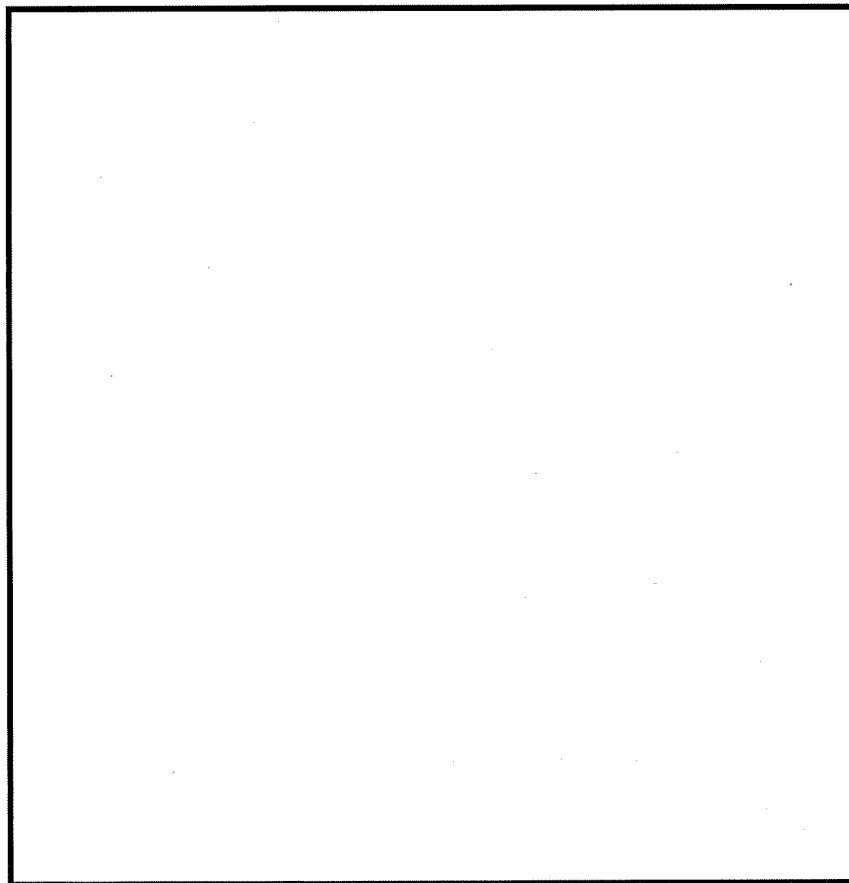


図2 解析モデル (全体図)

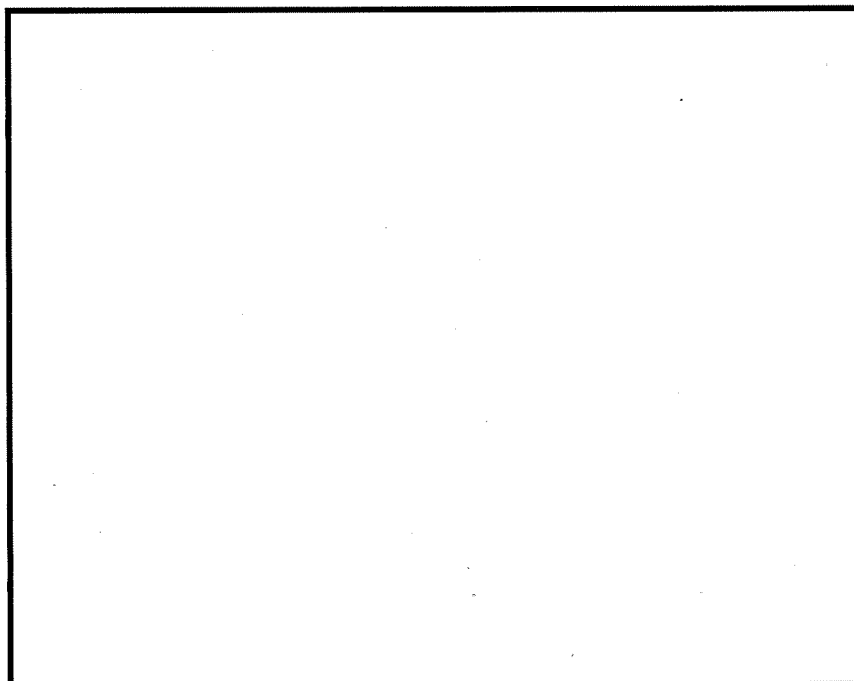
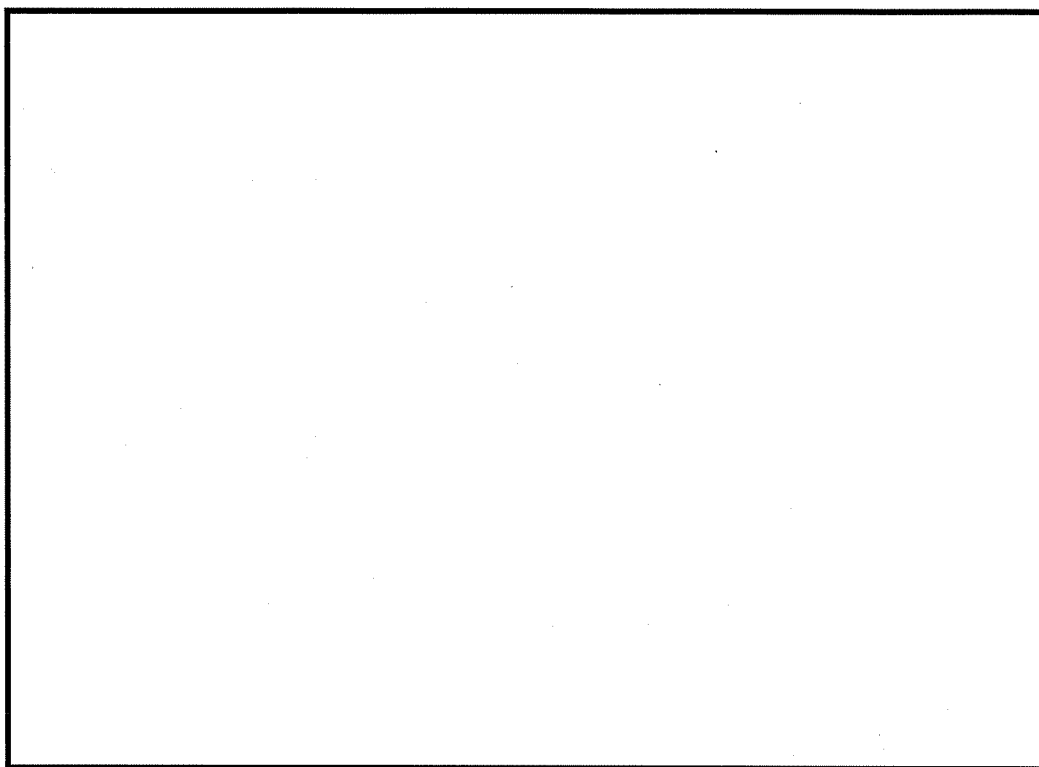


図3 解析モデル (断面図)



*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

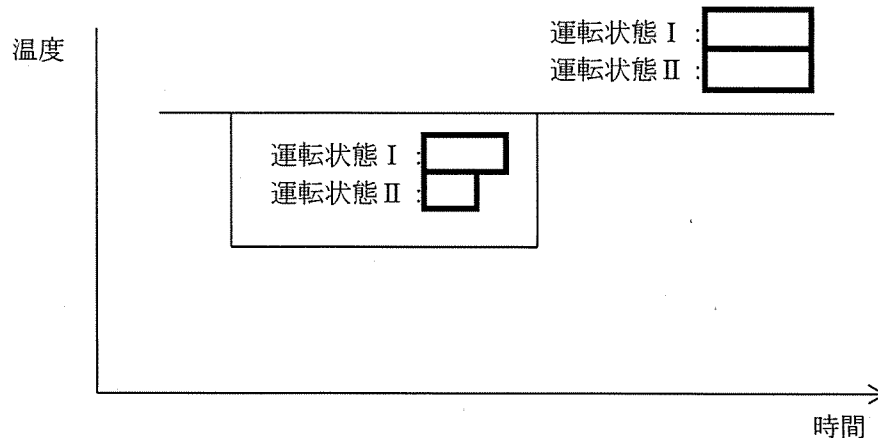
図4 解析モデル (拡大図)

(2) 解析コード

解析コードはABAQUS Ver. 6.12-3を使用する。

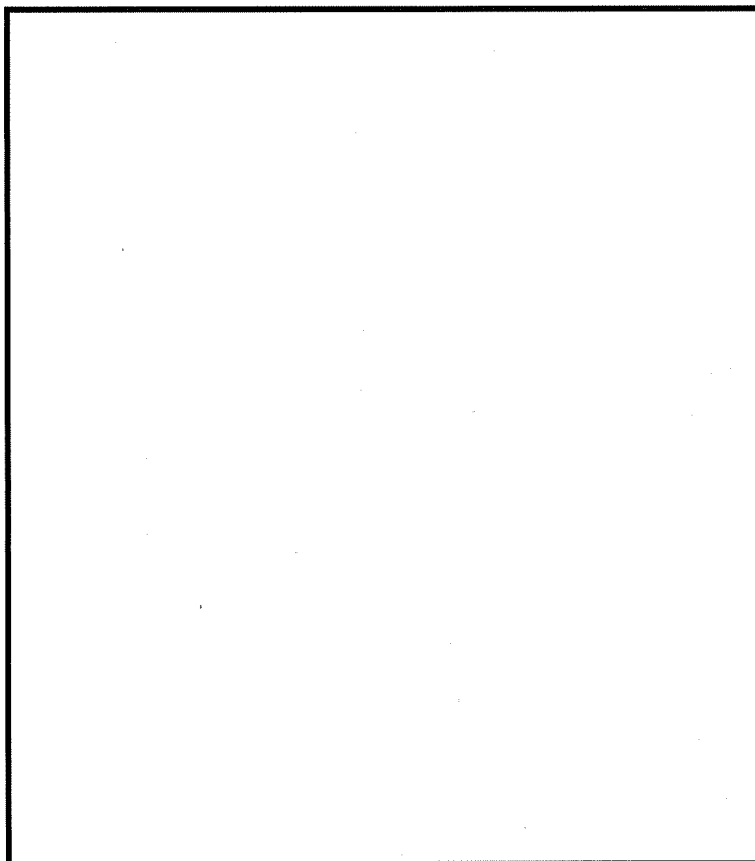
(3) 過渡条件

熱成層の発生・消滅過程を安全側に以下のように定める。



(4) 熱伝達率

熱成層による応力の解析に用いる熱伝達率は、以下に示すとおり流量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。

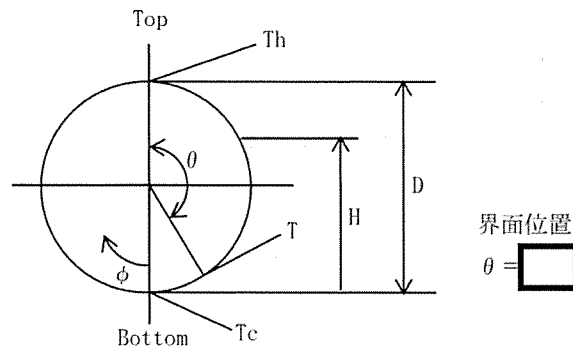
表1 材料物性値

部位	主給水管	給水入口管台	上部胴
材料	STS49	SFVQ2A	SQV1A
熱伝導率 (W/mK)	44.6	39.1	39.1
熱容量 ($\times 10^3$ kJ/m ³ K)	4.38	4.30	4.30
熱膨脹率 ($\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C)	12.77	13.11	13.90
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 (269.3 $^{\circ}$ 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号機と伊方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、過渡条件記号を表3に示す。

表2 給水入口管台環境疲労評価結果 (環境Ufが最大となる評価点)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt					
2T1	NSS	994.9	0.0	1.45	719.3	841.2	90	351	0.25641	2.857	0.73263
2B2	NSS	950.6	0.0	1.00	475.3	555.9	5	1070	0.00467	2.515	0.01175
2G1	NSS	812.7	0.0	1.00	406.4	475.2	2	1630	0.00123	2.217	0.00272
1K1	NSS	797.6	0.0	1.00	398.8	466.4	33	1720	0.01919	2.136	0.04099
1K1	2I1	797.6	331.5	1.00	233.1	272.6	5	8890	0.00056	2.136	0.00120
1K1	2F1	797.6	416.0	1.00	190.8	223.1	3	17300	0.00017	2.926	0.00051
1K1	2D4	797.6	455.7	1.00	171.0	199.9	2	24600	0.00008	2.245	0.00018
1K1	2D2	797.6	482.7	1.00	157.5	184.2	2	31700	0.00006	2.136	0.00013
1K1	2E1	797.6	489.1	1.00	154.3	180.4	2	33800	0.00006	2.258	0.00013
1K1	1E1	797.6	492.6	1.00	152.5	178.4	5	35000	0.00014	2.389	0.00034
1K1	1C1	797.6	494.3	1.00	151.7	177.4	12	35600	0.00034	2.754	0.00093
1J1	1C1	790.6	494.3	1.00	148.2	173.3	67	38300	0.00175	3.535	0.00618
2E1	1C1	783.0	494.3	1.00	144.3	168.8	2	41500	0.00005	2.268	0.00011
1G1	1C1	780.8	494.3	1.00	143.3	167.5	5	42500	0.00012	2.905	0.00034
2D3	1C1	764.9	494.3	1.00	135.3	158.3	2	51100	0.00004	2.246	0.00009
1D1	1C1	764.8	494.3	1.00	135.3	158.2	755	51200	0.01475	3.276	0.04830
1D1	2C2	764.8	500.7	1.00	132.0	154.4	2	57700	0.00003	3.167	0.00011
1D1	1E1	764.8	518.4	1.00	123.2	144.1	5	80900	0.00006	3.274	0.00020
1D1	1F1	764.8	532.8	1.00	116.0	135.7	5	106000	0.00005	3.296	0.00016
1D1	2I1	764.8	544.2	1.00	110.3	129.0	5	127000	0.00004	3.274	0.00013
1D1	1A1	764.8	564.7	1.00	100.0	117.0	64	181000	0.00035	3.791	0.00134
1N1	1A1	763.5	564.7	1.00	99.4	116.3	5	186000	0.00003	3.832	0.00010
1N1	1B1	763.5	564.7	1.00	99.4	116.3	69	186000	0.00037	3.276	0.00122
1N1	1L1	763.5	584.8	1.00	89.4	104.5	2	295000	0.00001	3.276	0.00002
1N1	2K1	763.5	586.2	1.00	88.6	103.7	61	306000	0.00020	3.276	0.00065
1N1	2C1	763.5	592.4	1.00	85.6	100.1	2	359000	0.00001	3.293	0.00002
1N1	2D1	763.5	593.2	1.00	85.2	99.6	8	367000	0.00002	3.177	0.00007
1N1	2H2	763.5	601.7	1.00	80.9	94.6	2	462000	0.00000	3.077	0.00001
1N1	2D5	763.5	691.5	1.00	36.0	42.1	2	—————	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.85058

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

→環境Uf : 0.851

表3 過渡条件記号

記号	過渡事象
NSS	無応力状態
1A1	起動
*00	無負荷運転状態
1B1	停止
1C1	負荷上昇 (15%から100%出力)
*10	100%負荷運転状態
1D1	負荷減少 (100%から15%出力)
1E1	90%から100%負荷へのステップ状負荷上昇
1F1	100%から90%負荷へのステップ状負荷減少
1G1	100%からの大きいステップ状負荷減少
1H1	定常負荷運転時の変動
1J1	0%→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)
1L3	1ループ停止/1ループ起動 (1ループ起動・起動ループ)
1L4	1ループ停止/1ループ起動 (1ループ起動・運転ループ)
1N1	運転状態Ⅰにおける低温給水
2A1	負荷の喪失
2B1	外部電源喪失 (補助給水されるループ)
2B2	外部電源喪失 (補助給水されないループ)
2C1	1次冷却材流量の部分喪失 (健全側)
2C2	1次冷却材流量の部分喪失 (故障側)
2D1	100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却を伴わない)
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SⅠを伴う・冷却ループ)
2D5	100%からの原子炉トリップ (不注意な冷却とSⅠを伴う・正常ループ)
2E1	1次冷却系の異常な減圧
2F1	制御棒クラスタの落下
2G1	出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動
2H1	1次冷却系停止ループの誤起動 (起動ループ)
2H2	1次冷却系停止ループの誤起動 (運転ループ)
2I1	タービン回転試験
2K1	2次系漏洩試験
2T1	運転状態Ⅱにおける低温給水

タイトル	加圧器管台（スプレイ、サージ）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="466 669 1289 938"> <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>【熟成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="466 1010 1289 1205"> <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>2. 材料物性値 各部位の設計応力強さを以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="435 1317 1331 1621"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> <tr> <th>345℃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>スプレイライン用管台セーフエンド、 サージ用管台セーフエンド</td> <td>SUSF316</td> <td>114</td> </tr> <tr> <td>スプレイライン用管台、サージ用管台</td> <td>SFVQ1A</td> <td>184</td> </tr> <tr> <td>下部胴板、下部鏡板</td> <td>SQV1A</td> <td>184</td> </tr> </tbody> </table>	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	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	評価部位	材料	設計応力 (MPa)	345℃	スプレイライン用管台セーフエンド、 サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114	スプレイライン用管台、サージ用管台	SFVQ1A	184	下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184
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																												
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																												
評価部位	材料	設計応力 (MPa)																										
		345℃																										
スプレイライン用管台セーフエンド、 サージ用管台セーフエンド	SUSF316	114																										
スプレイライン用管台、サージ用管台	SFVQ1A	184																										
下部胴板、下部鏡板	SQV1A	184																										

3. 最大評価点の選定

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

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。

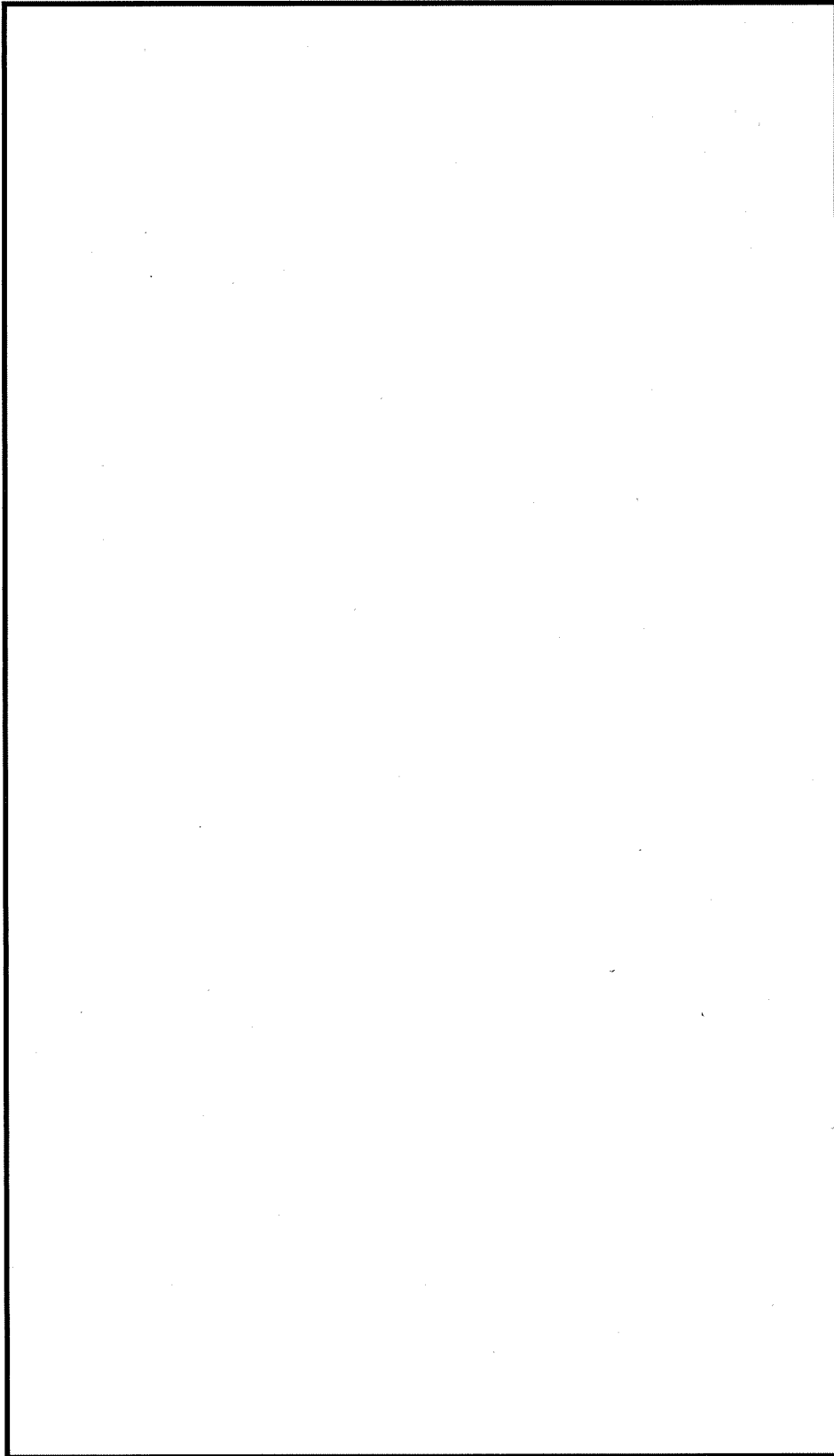
4. 応力分類

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係数および環境評価パラメータ

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



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	0.00435	0.00573
2	0.0	0.00001	0.00002
3	0.00000	0.00544	0.01802
4	0.00006	0.00021	0.00495
5	0.00009	0.01772	0.00176
6	0.0	0.00000	0.0
7	0.0	0.00950	0.00668
8	0.0	0.00000	0.00000
9	0.00000	0.00002	0.00136
10	0.0	0.00000	0.00000
11	0.0	0.0	0.00001
12	0.00002	0.0	0.00034
13	0.0	0.00419	0.00495
14	0.00225	0.0	0.00107
15	0.0	0.00067	0.00034
16	0.0	0.0	0.0
17	0.00570	0.01489	0.0
18	0.0	0.0	0.0
19	0.04403	0.03693	0.0
20	0.0	0.00001	0.00000
21	0.0	0.00303	0.00060
22	0.0	0.00039	0.00345

許容値 $U_f=1.0$

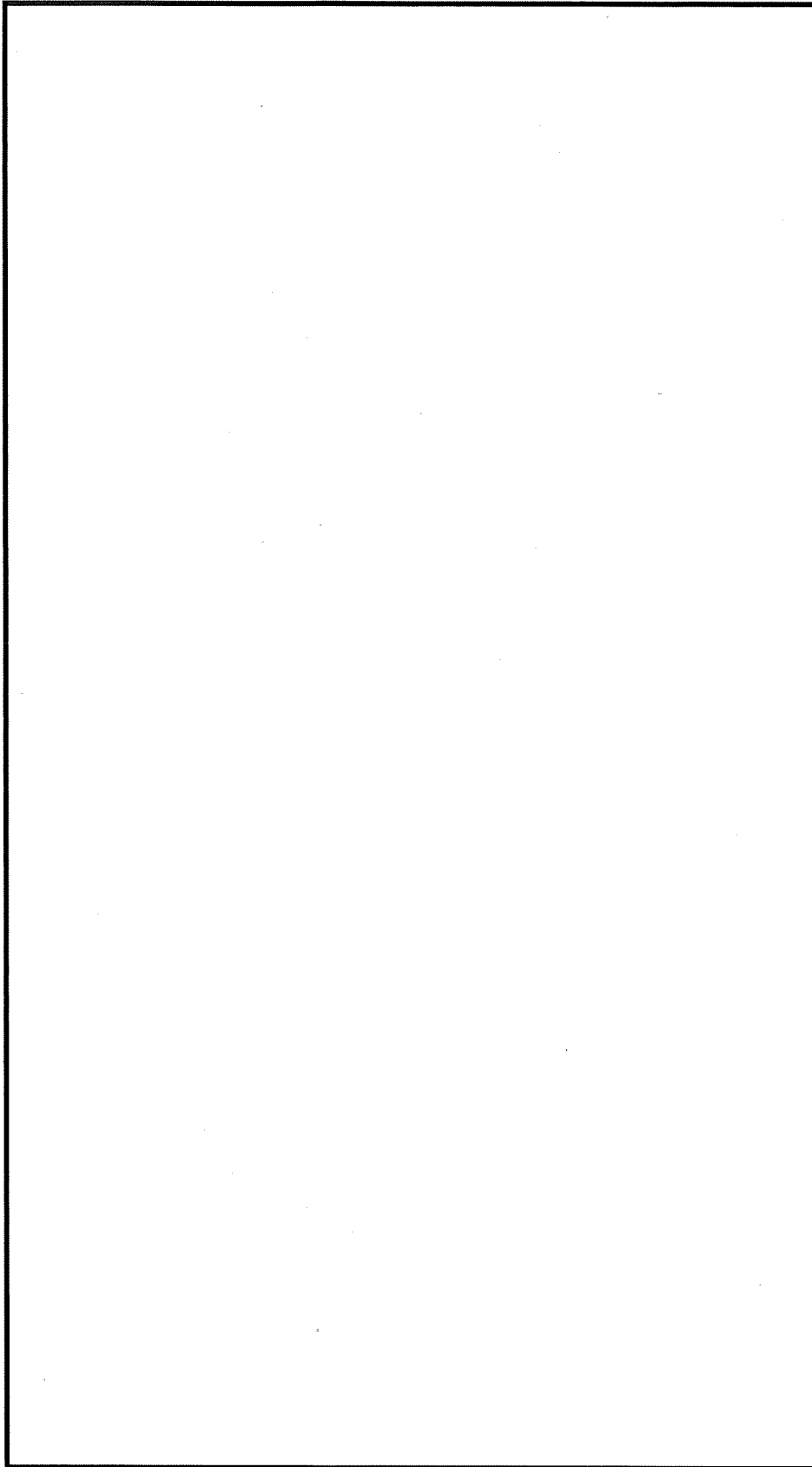
スプレイライン用管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

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*
1.1	-427.3	1.0	214.2	257.8	69	10500	0.00657
0.0	-427.3	1.0	213.7	257.2	130	10600	0.01226
-73.2	-427.3	1.0	177.1	213.1	69	20200	0.00342
-76.4	-427.3	1.0	175.5	211.2	69	20800	0.00332
-80.9	-427.3	1.0	173.2	208.5	69	21600	0.00319
-82.6	-427.3	1.0	172.4	207.5	69	22000	0.00314
-89.9	-427.3	1.0	168.7	203.1	69	23500	0.00294
-98.2	-427.3	1.0	164.6	198.0	69	25400	0.00272
-150.6	-427.3	1.0	138.3	166.5	69	43300	0.00159
-150.7	-427.3	1.0	138.3	166.4	69	43400	0.00159
-151.0	-427.3	1.0	138.2	166.3	2	43500	0.00005
-160.5	-427.3	1.0	133.4	160.6	69	48400	0.00143
-196.9	-427.3	1.0	115.2	138.7	69	97700	0.00071
-201.9	-427.3	1.0	112.7	135.7	69	106000	0.00065
-250.1	-427.3	1.0	88.6	106.7	69	269000	0.00026
-261.0	-427.3	1.0	83.2	100.1	3	358000	0.00001
-261.7	-427.3	1.0	82.8	99.7	69	365000	0.00019
-265.0	-427.3	1.0	81.2	97.7	2	400000	0.00000
-274.5	-427.3	1.0	76.4	92.0	2	551000	0.00000
-295.2	-427.3	1.0	66.1	79.5	8		0.0
疲労累積係数 =							0.04403

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 : 0.045



サージ用管台 評価点

サージ用管台 最大評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.00003	0.00149	0.00675
2	0.0	0.00036	0.00022
3	0.0	0.00266	0.02001
4	0.00017	0.00037	0.00676
5	0.00003	0.00772	0.00089
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00001	0.00376	0.00751
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00010	0.00037	0.00336
10	0.0	0.0	0.00001
11	0.0	0.00016	0.00073
12	0.00006	0.0	0.00095
13	0.00345	0.0	0.00294
14	0.00435	0.0	0.00380
15	0.0	0.00051	0.00246
16	0.00359	0.0	0.00410
17	0.00342	0.00903	0.00105
18	0.00088	0.00000	0.00207
19	0.01997	0.01650	0.00023
20	0.0	0.00248	0.00446
21	0.0	0.00228	0.00283
22	0.0	0.00524	0.01265

許容値 $U_f=1.0$

サージ用管台 疲労評価結果 (評価点 : 19)

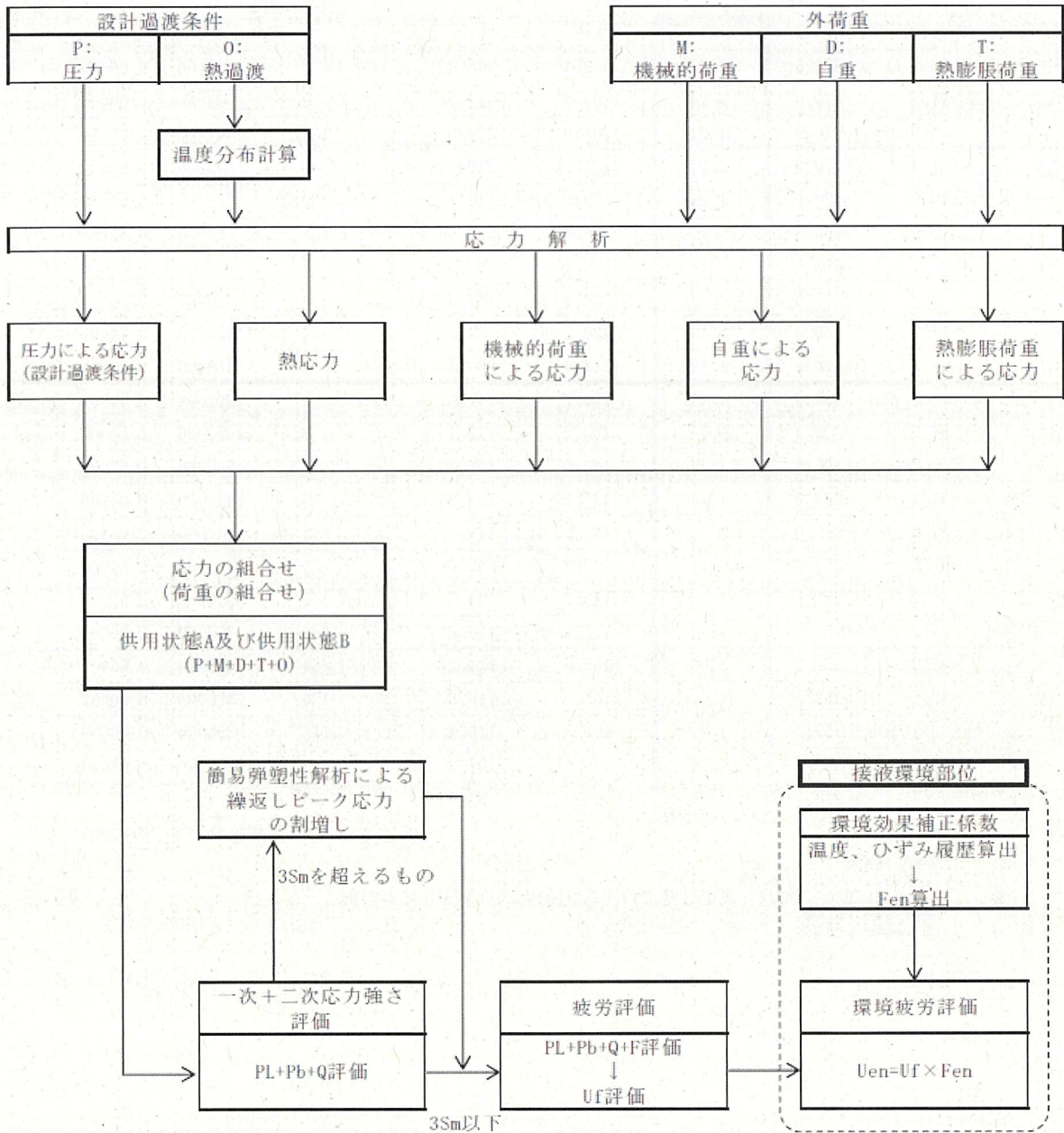
評価点 - 3
(S31)

応力強さ		(単位 : MPa)			繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)
極大値	極小値	Ke	ALT	ALT'	N	N*	
26.2	-470.9	1.24	309.1	348.4	2	32100	0.00006
21.3	-470.9	1.24	304.7	343.4	2	34500	0.00006
0.0	-470.9	1.21	285.9	322.3	130	47400	0.00274
-3.4	-470.9	1.21	283.9	320.0	2	49200	0.00004
-10.0	-470.9	1.21	279.8	315.4	692	53100	0.01303
-10.0	-453.0	1.17	259.4	292.4	151	80500	0.00188
-16.0	-453.0	1.16	254.1	286.5	5	90000	0.00006
-42.2	-453.0	1.14	234.5	264.4	258	140000	0.00184
-57.2	-460.4	1.14	230.2	259.5	2	155000	0.00001
-42.2	-440.8	1.12	222.4	250.7	2	188000	0.00001
-42.2	-438.4	1.11	219.7	247.6	2	201000	0.00001
-57.2	-325.4	1.14	153.2	172.7	2	1460000	0.00000
-57.2	-303.4	1.14	140.6	158.4	5	1940000	0.00000
-57.2	-297.9	1.14	137.5	154.9	5	2110000	0.00000
-57.2	-290.0	1.14	132.9	149.8	7	2440000	0.00000
-57.2	-288.7	1.14	132.2	149.0	2	2500000	0.00000
-57.2	-282.4	1.14	128.6	144.9	2	2820000	0.00000
-57.2	-257.2	1.14	114.2	128.8	389	4710000	0.00008
-42.2	-257.2	1.0	107.5	121.2	454	6600000	0.00007
-42.2	-252.5	1.0	105.2	118.6	120	7520000	0.00002
-82.4	-252.5	1.21	103.3	116.4	716	8370000	0.00009
-82.4	-239.1	1.21	95.1	107.2	5	16300000	0.00000
-82.4	-213.1	1.21	79.3	89.4	5		0.0
疲労累積係数 =							0.02001

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

→通常Uf : 0.021

応力評価フロー



備考：機械的荷重は作用しない。

Ke係数と環境疲労パラメータ (スプレイライン用管台 評価点:3) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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					
2E2	2E2	290.4	-555.8	2.22	939.3	1058.7	2	447	0.00447	7.594	0.03398
1B7	1B8	92.6	-419.8	1.40	359.6	405.4	69	15100	0.00457	1.720	0.00786
1B6	1A6	90.6	-296.5	1.11	214.7	242.0	69	233000	0.00030	6.021	0.00178
1B5	1B5	89.9	-294.5	1.08	207.6	234.0	69	287000	0.00024	4.236	0.00102
1A6	1B7	75.2	-279.8	1.12	198.8	224.1	69	375000	0.00018	8.489	0.00156
1B4	1B9	74.7	-307.2	1.00	191.0	215.3	69	481000	0.00014	4.908	0.00070
1M1	1B3	71.0	-291.0	1.04	188.2	212.1	69	532000	0.00013	1.000	0.00013
1B3	1B6	66.5	-280.6	1.08	188.1	212.0	69	533000	0.00013	1.000	0.00013
1M1	1B4	71.0	-288.4	1.03	185.8	209.5	69	581000	0.00012	1.000	0.00012
1M1	1B2	71.0	-278.8	1.00	174.9	197.2	69	892000	0.00008	1.000	0.00008
1M1	1A5	71.0	-276.4	1.00	173.7	195.8	69	936000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1A7	71.0	-275.8	1.00	173.4	195.5	69	948000	0.00007	1.000	0.00007
1M1	1BA	71.0	-246.1	1.00	158.6	178.7	69	1300000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	1A4	71.0	-243.1	1.00	157.1	177.0	69	1340000	0.00005	1.000	0.00005
1M1	2A1	71.0	-240.7	1.00	155.9	175.7	7	1380000	0.00001	1.000	0.00001
1M1	1L1	71.0	-238.1	1.00	154.6	174.2	2	1420000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1D1	71.0	-237.5	1.00	154.3	173.9	836	1430000	0.00058	1.000	0.00058
1M1	2H1	71.0	-237.4	1.00	154.2	173.8	2	1430000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1C1	71.0	-236.3	1.00	153.7	173.2	843	1440000	0.00059	1.000	0.00059
1M1	1G1	71.0	-236.2	1.00	153.6	173.2	5	1450000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1F1	71.0	-236.1	1.00	153.6	173.1	5	1450000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1L2	71.0	-236.1	1.00	153.5	173.1	2	1450000	0.00000	1.000	0.00000
1M1	1M1	71.0	-235.9	1.00	153.5	173.0	715	1450000	0.00049	1.000	0.00049
1C1	1M1	70.1	-235.9	1.00	153.0	172.5	843	1460000	0.00058	1.000	0.00058
1A7	1M1	63.8	-235.9	1.00	149.9	168.9	69	1570000	0.00004	1.000	0.00004
1A5	1M1	61.5	-235.9	1.00	148.7	167.6	69	1610000	0.00004	1.000	0.00004
1B2	1M1	59.6	-235.9	1.00	147.7	166.5	69	1640000	0.00004	1.000	0.00004
1E1	1M1	58.1	-235.9	1.00	147.0	165.7	5	1670000	0.00000	1.000	0.00000
1A3	1M1	52.6	-235.9	1.00	144.2	162.6	69	1780000	0.00004	1.000	0.00004
1D1	1M1	51.4	-235.9	1.00	143.7	161.9	836	1800000	0.00046	1.000	0.00046
1A4	1M1	48.7	-235.9	1.00	142.3	160.4	69	1860000	0.00004	1.000	0.00004
1L2	1M1	47.9	-235.9	1.00	141.9	160.0	2	1880000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	1M1	30.2	-235.9	1.00	133.1	150.0	5	2430000	0.00000	1.000	0.00000
1F1	1M1	26.6	-235.9	1.00	131.3	147.9	5	2580000	0.00000	1.000	0.00000
1L1	1M1	14.0	-235.9	1.00	124.9	140.8	2	3190000	0.00000	1.000	0.00000
2H1	1M1	13.1	-235.9	1.00	124.5	140.4	2	3240000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	1M1	3.5	-235.9	1.00	119.7	134.9	7	3850000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	1M1	0.0	-235.9	1.00	118.0	133.0	130	4100000	0.00003	1.000	0.00003
2I1	1M1	-85.5	-235.9	1.00	75.2	84.7	3		0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.05058

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

→環境Uf : 0.051

Ke係数と環境疲労パラメータ (サージ用管台 評価点: 3) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
2D3	1B2	26.2	-470.9	1.24	309.1	348.4	2	32100	0.00006	7.199	0.00045
2G1	1B2	21.3	-470.9	1.24	304.7	343.4	2	34500	0.00006	7.764	0.00045
NSS	1B2	0.0	-470.9	1.21	285.9	322.3	130	47400	0.00274	2.880	0.00790
2E1	1B2	-3.4	-470.9	1.21	283.9	320.0	2	49200	0.00004	4.638	0.00019
1C1	1B2	-10.0	-470.9	1.21	279.8	315.4	692	53100	0.01303	7.744	0.10092
1C1	1A2	-10.0	-453.0	1.17	259.4	292.4	151	80500	0.00188	7.784	0.01460
2B1	1A2	-16.0	-453.0	1.16	254.1	286.5	5	90000	0.00006	7.950	0.00044
1D1	1A2	-42.2	-453.0	1.14	234.5	264.4	258	140000	0.00184	4.962	0.00914
1A2	2H1	-57.2	-460.4	1.14	230.2	259.5	2	155000	0.00001	5.411	0.00007
1D1	2D3	-42.2	-440.8	1.12	222.4	250.7	2	188000	0.00001	7.809	0.00008
1D1	2E1	-42.2	-438.4	1.11	219.7	247.6	2	201000	0.00001	6.452	0.00006
1A2	1L1	-57.2	-325.4	1.14	153.2	172.7	2	1460000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1G1	-57.2	-303.4	1.14	140.6	158.4	5	1940000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2B1	-57.2	-297.9	1.14	137.5	154.9	5	2110000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2A1	-57.2	-290.0	1.14	132.9	149.8	7	2440000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	2G1	-57.2	-288.7	1.14	132.2	149.0	2	2500000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1L2	-57.2	-282.4	1.14	128.6	144.9	2	2820000	0.00000	1.000	0.00000
1A2	1C1	-57.2	-257.2	1.14	114.2	128.8	389	4710000	0.00008	1.000	0.00008
1D1	1C1	-42.2	-257.2	1.00	107.5	121.2	454	6600000	0.00007	1.000	0.00007
1D1	1D1	-42.2	-252.5	1.00	105.2	118.6	120	7520000	0.00002	1.000	0.00002
1B2	1D1	-82.4	-252.5	1.21	103.3	116.4	716	8370000	0.00009	1.000	0.00009
1B2	1F1	-82.4	-239.1	1.21	95.1	107.2	5	16300000	0.00000	1.000	0.00000
1B2	1E1	-82.4	-213.1	1.21	79.3	89.4	5	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計 :											0.13457

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

→環境Uf : 0.135

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

余熱除去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。

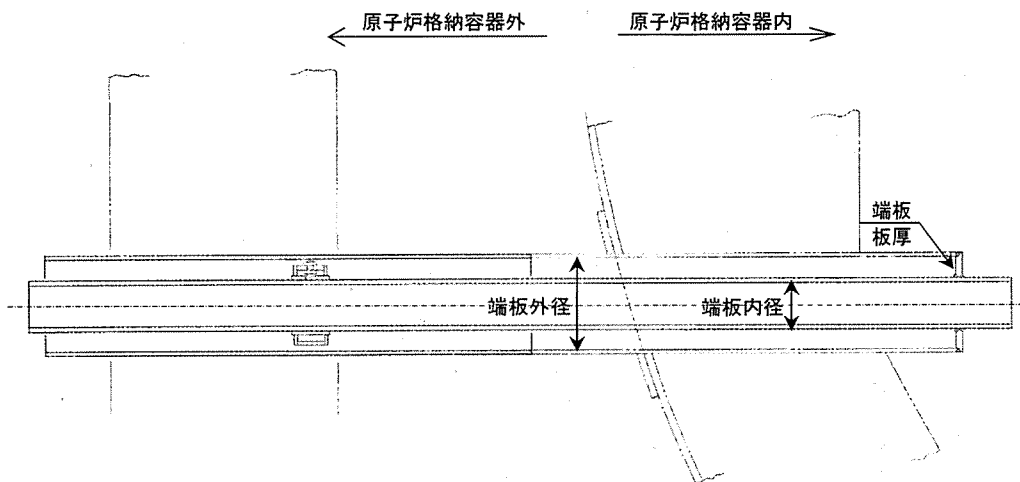


図1 余熱除去出口配管貫通部の基本寸法箇所

表1 余熱除去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)
A余熱除去出口配管	0.283	200			40	SUS304-HP	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
A余熱除去出口配管	1	17	24	6	9	-12

x : 管軸方向 y : 管軸直 (水平) z : 管軸直 (鉛直)

表3 端板の疲労評価結果

格納容器貫通部	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	過渡による 負荷回数 (n)	許容 繰返し回数 (N)	疲労累積係数 (Uf)
A余熱除去出口配管	45	260	10 ¹¹	0.000

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

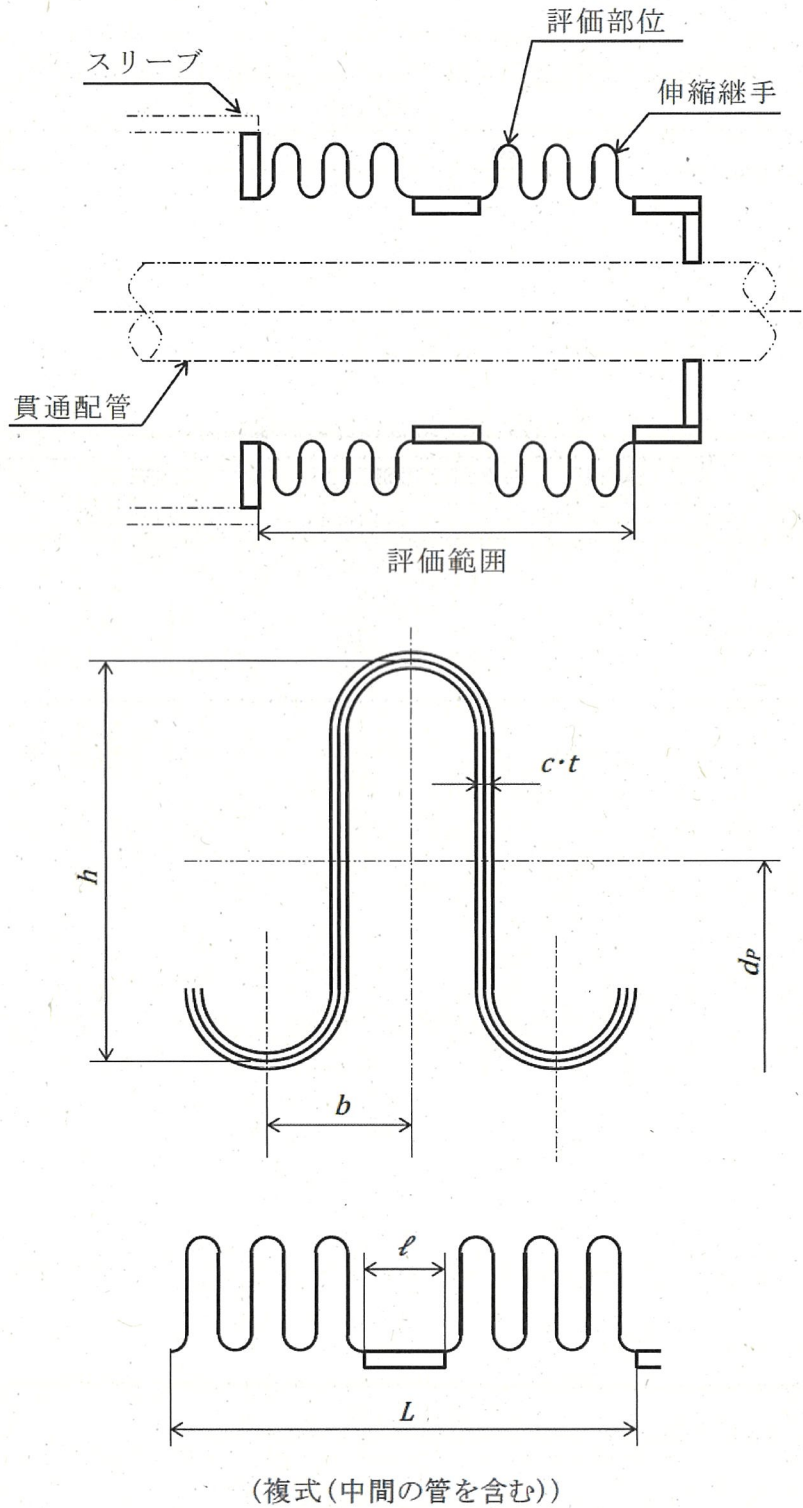


図2 主蒸気・主給水管貫通部の基本寸法箇所

表4 主蒸気・主給水管貫通部の仕様

格納容器貫通部	主蒸気管	主給水管
格納容器最高使用圧力 (MPa)	0.283	0.283
伸縮継手有効径 (mm) d_p		
継手部の波の高さ (mm) h		
継手部の波のピッチの1/2 (mm) b		
継手部の板厚 (mm) t		
伸縮継手1個の山数		
継手部の層数 c		
継手部材料	SUS304	SUS304
材料の評価温度(21°C)における 縦弾性係数 (MPa)	195000	195000
伸縮継手の中間の管の長さ (mm) ℓ	150	150
伸縮継手の長さ (mm) L	750	750

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

表5 伸縮継手に作用する変位量

格納容器 貫通部	起動・停止				起動・停止以外			
	熱膨張変位量 (mm)				熱膨張変位量 (mm)			
	x	y	z	$\sqrt{y^2+z^2}$	x	y	z	$\sqrt{y^2+z^2}$
主蒸気管								
主給水管								

x : 管軸方向、y : 管軸直 (水平) 方向、z : 管軸直 (鉛直) 方向

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

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

ここで、 σ = 全伸縮量による応力 + 最高使用圧力による応力

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

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

ここで、n=過渡による負荷回数、N=発生応力で許容される回数

伸縮継手の疲労評価結果を表6に示す。

表6 伸縮継手の疲労評価結果

格納容器 貫通部	過渡	発生応力 (MPa)	過渡に よる 負荷回数 (n)	許容 繰返し 回数 (N)	Uf	全体Uf
主蒸気管	起動・停止	519	69	44392	0.002	0.017
	起動・停止 以外	382	1930	130088	0.015	
主給水管	起動・停止	826	69	8738	0.008	0.146
	起動・停止 以外	721	1930	14053	0.138	

タイトル	加圧器サージ配管およびスプレイ配管の疲労累積係数の算出根拠について																									
説明	<p>加圧器サージ配管およびスプレイ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="483 663 1283 1003"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>MSAP(配管) Ver. PC1.0</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>【熱成層を考慮した環境疲労】</p> <table border="1" data-bbox="483 1077 1283 1458"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ANSYS Ver2019R3</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>2. 材料物性 各部位の設計応力強さを以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="496 1568 1272 1778"> <thead> <tr> <th>使用箇所</th> <th>材料</th> <th>温度 (°C)</th> <th>Sm (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>加圧器サージ配管</td> <td>SUS316TP</td> <td>360</td> <td>113</td> </tr> <tr> <td>加圧器スプレイ配管</td> <td>SUS316TP</td> <td>343</td> <td>114</td> </tr> </tbody> </table>	解析プログラム	MSAP(配管) Ver. PC1.0	要素種類		要素数	節点数	解析プログラム	ANSYS Ver2019R3	要素種類		要素次数	要素数	節点数	使用箇所	材料	温度 (°C)	Sm (MPa)	加圧器サージ配管	SUS316TP	360	113	加圧器スプレイ配管	SUS316TP	343	114
解析プログラム	MSAP(配管) Ver. PC1.0																									
要素種類																										
要素数																										
節点数																										
解析プログラム	ANSYS Ver2019R3																									
要素種類																										
要素次数																										
要素数																										
節点数																										
使用箇所	材料	温度 (°C)	Sm (MPa)																							
加圧器サージ配管	SUS316TP	360	113																							
加圧器スプレイ配管	SUS316TP	343	114																							

3. 最大評価点の選定

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

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。

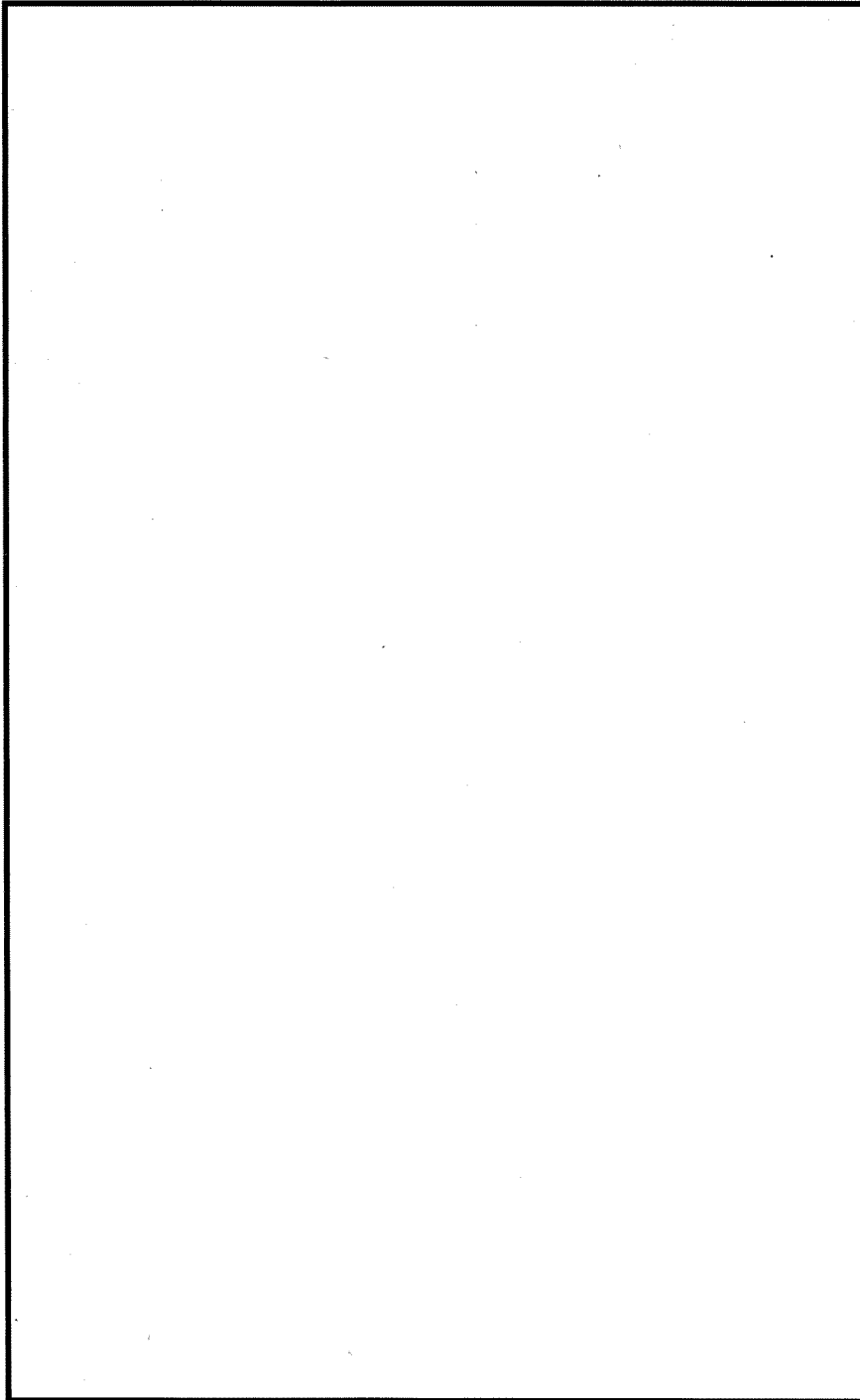
4. 応力分類

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。

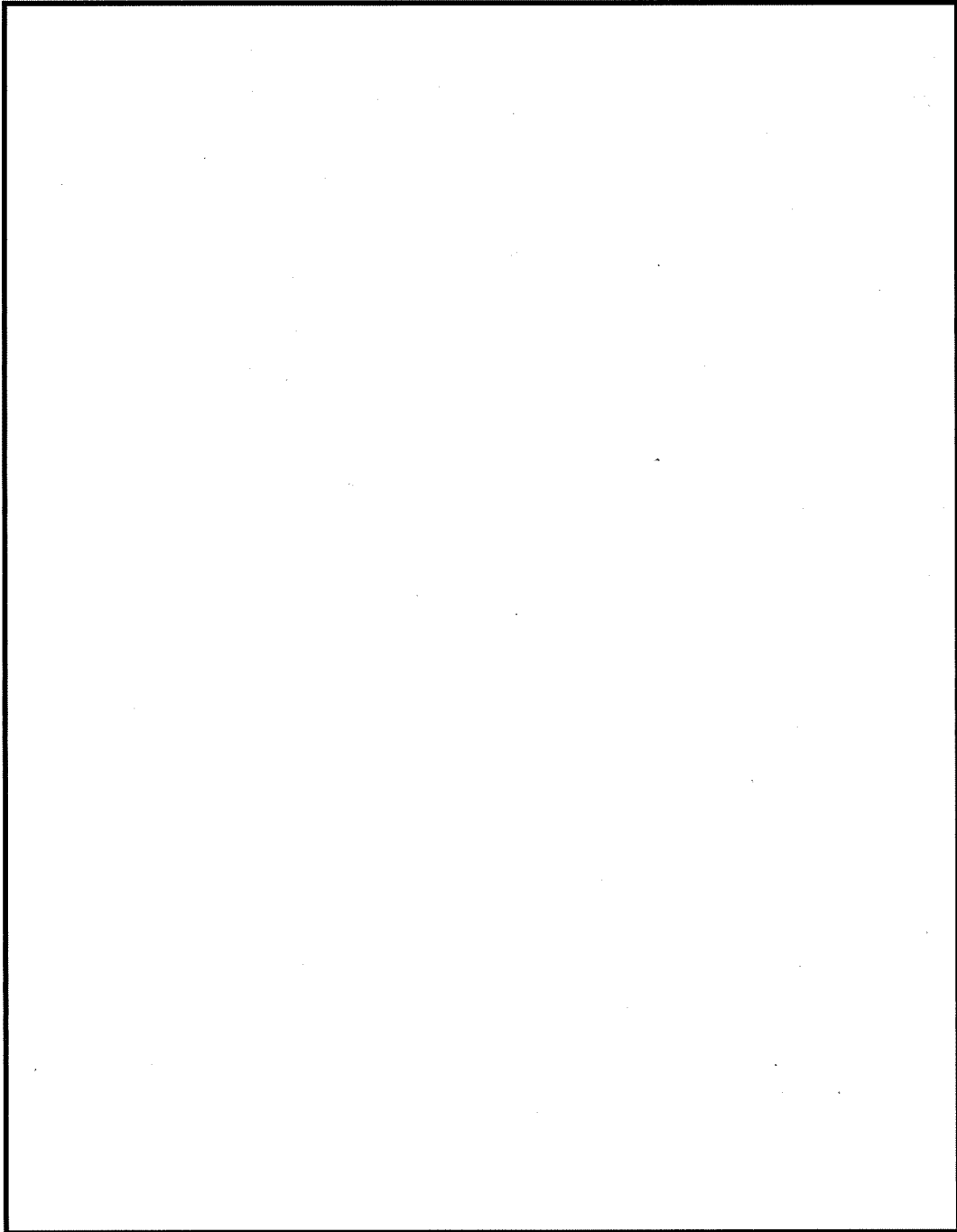
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	【通常疲労】 圧力+熱膨張荷重+熱過渡 【熱成層を考慮した環境疲労】 圧力+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. Ke係数および環境評価パラメータ

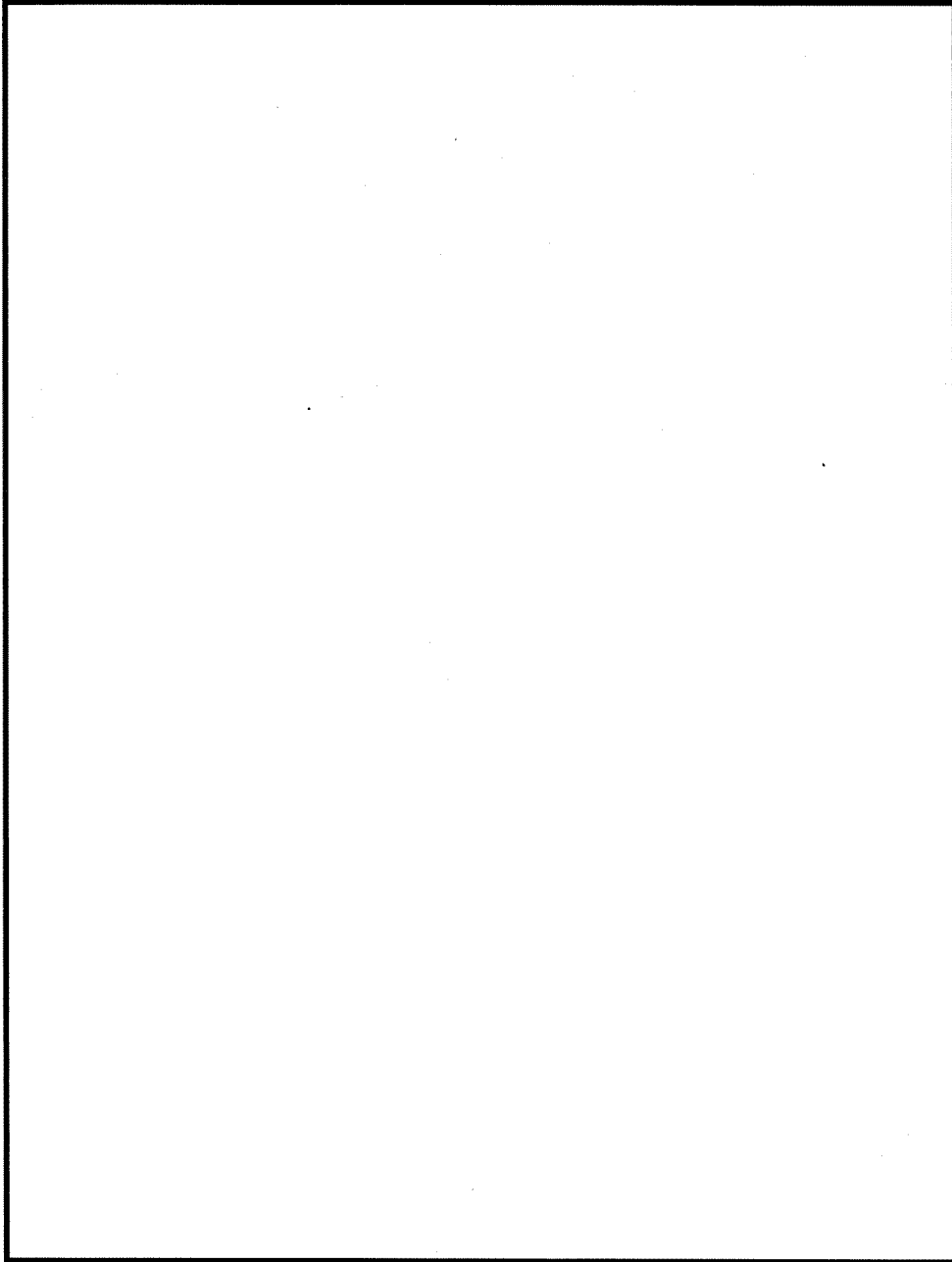
評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数Fen）を添付3に示す。



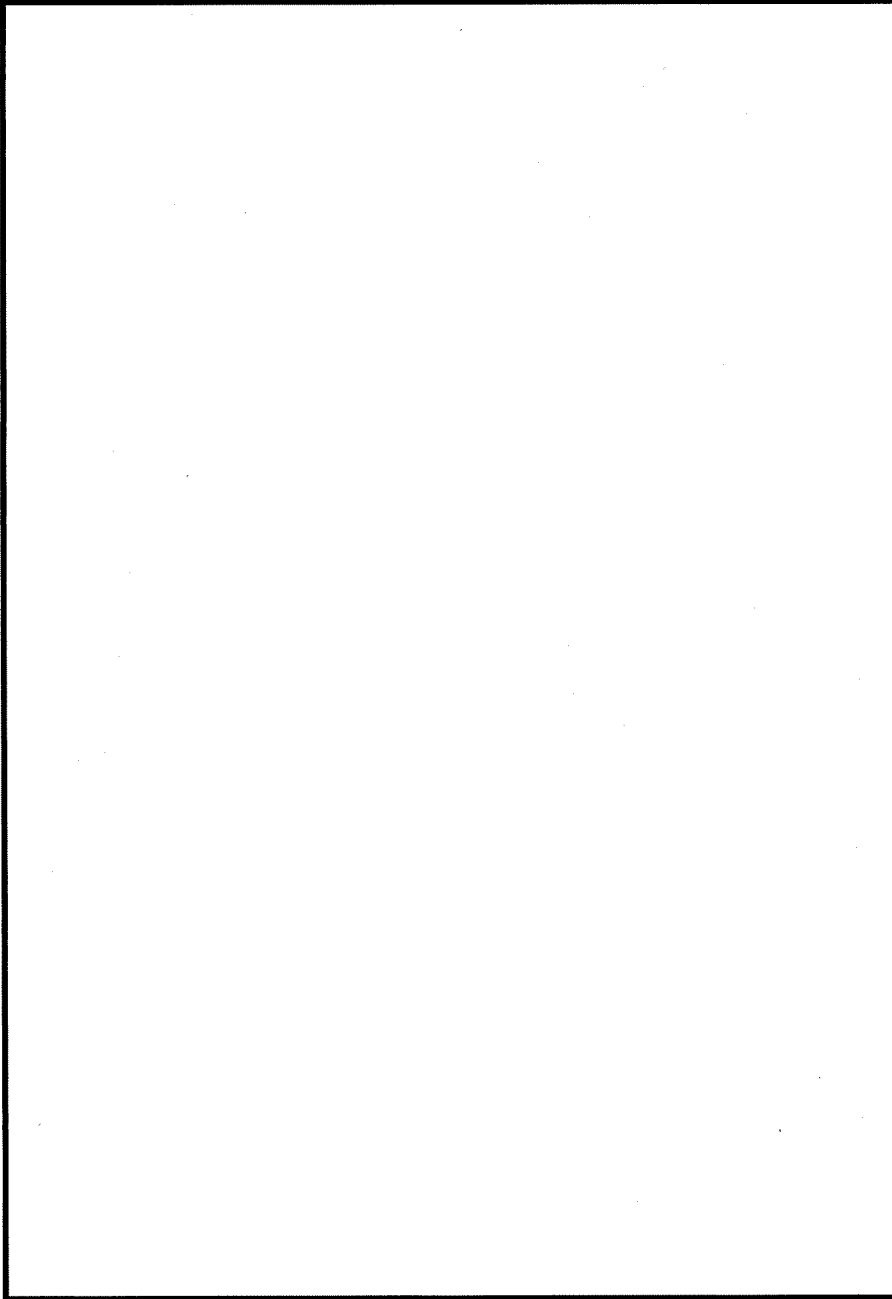
加圧器サージ配管 解析モデル (1/2)



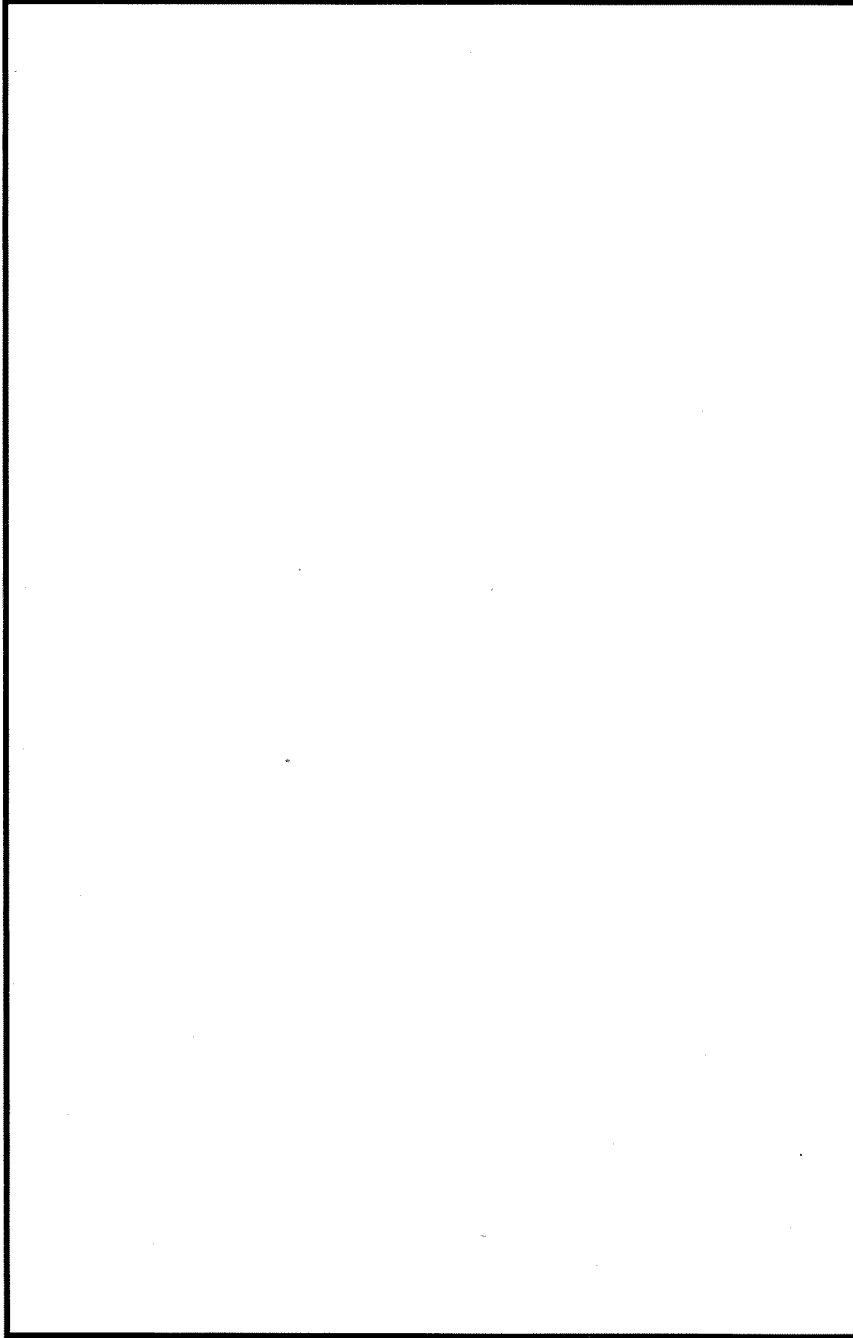
加圧器サージ配管 解析モデル (2 / 2)



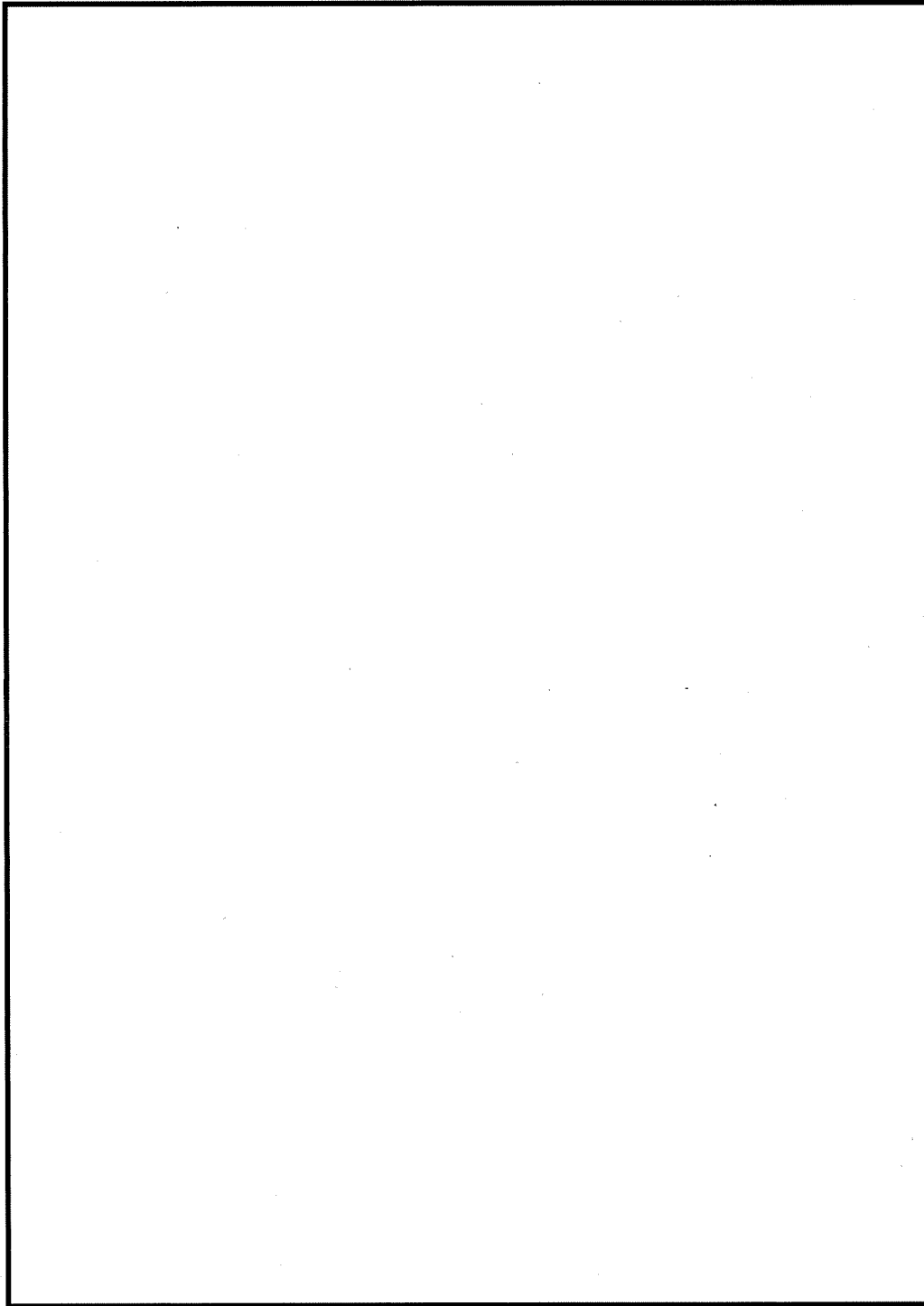
加圧器スプレイ配管 解析モデル (1 / 6)



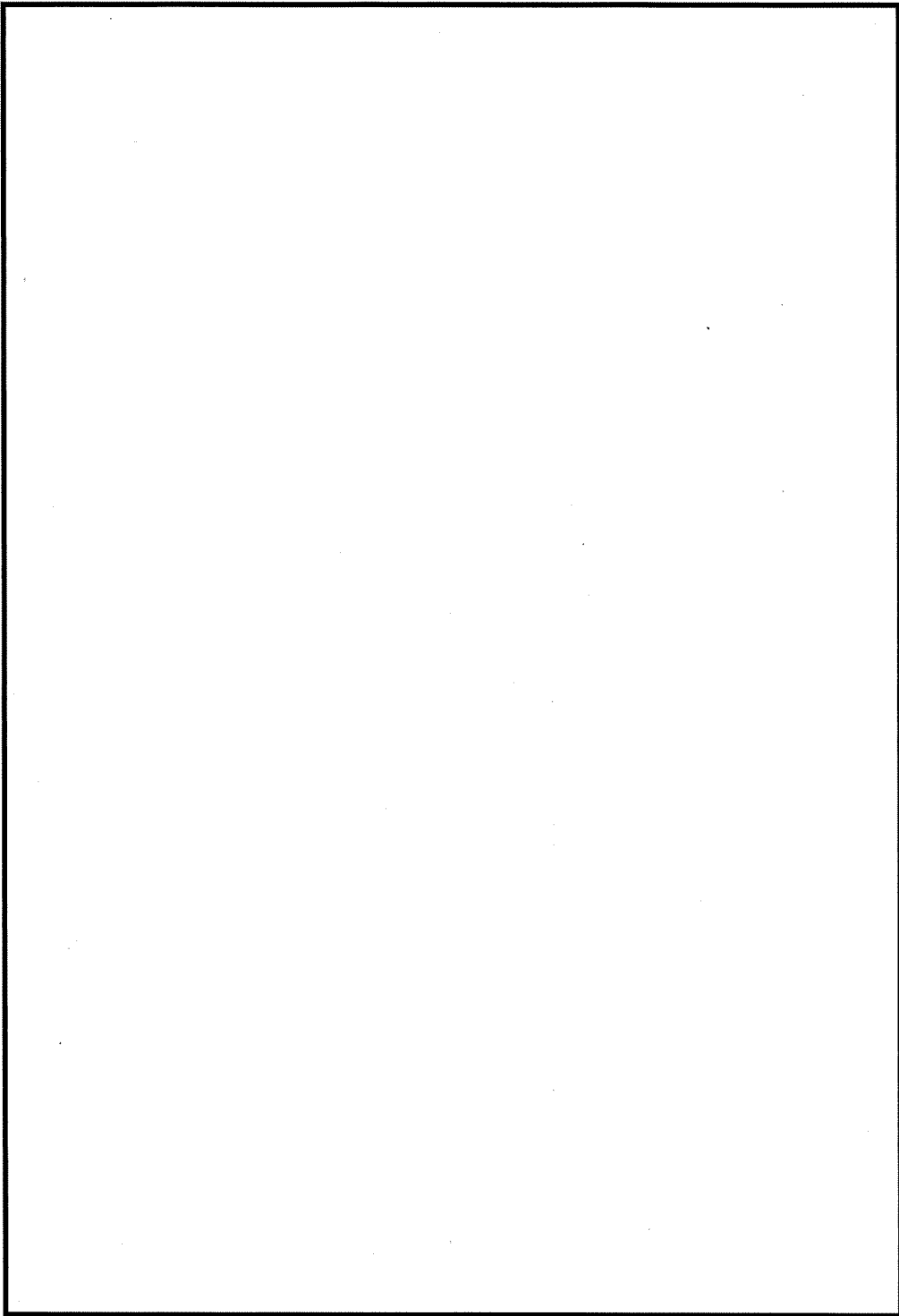
加圧器スプレイ配管 解析モデル (2/6)



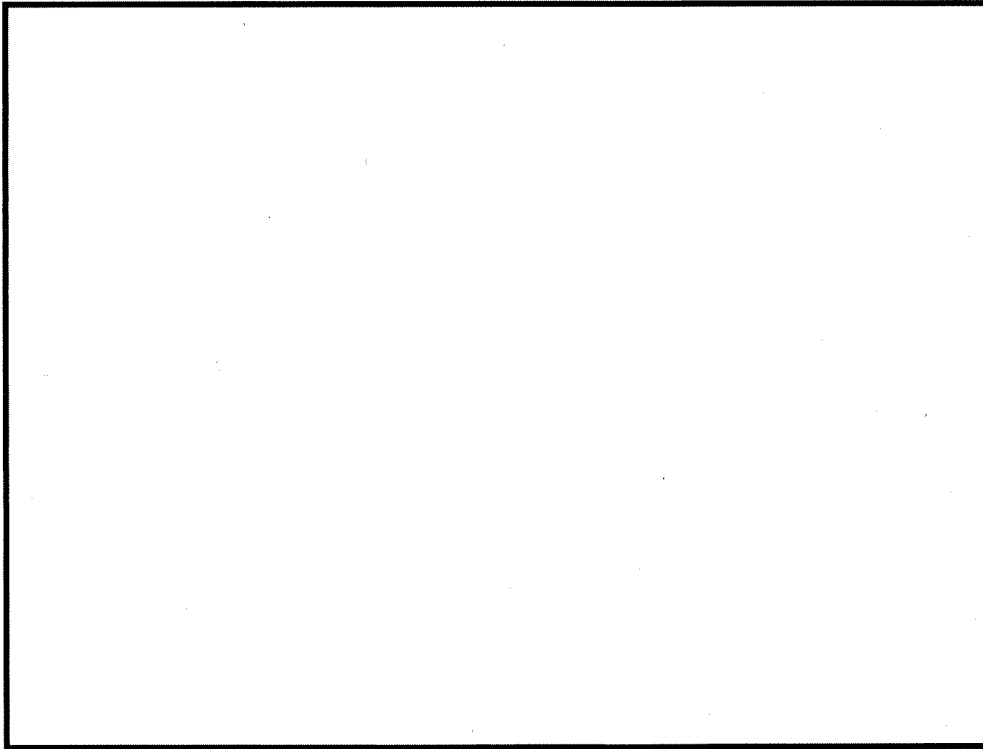
加圧器スプレイ配管 解析モデル (3 / 6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (4 / 6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (5/6)



加圧器スプレイ配管 解析モデル (6 / 6)

加圧器サージ配管 最大疲労評価点の選定

節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形温 度差による応力 (MPa)	構造上の不連続 による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形 温度差による応力 (MPa)	ピーク 応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa) (注)	疲労累積 係 数	許容値
1001	21.6	49.3	311.3	0.0	194.6	577	326	0.00255	1.0
102	21.3	37.2	283.0	0.0	194.6	537	303	0.00153	
105	22.3	40.8	283.0	0.0	194.6	541	305	0.00173	
107	22.3	79.4	283.0	0.0	194.6	580	327	0.00403	
801	19.6	43.4	283.0	0.0	194.6	541	305	0.00159	
108	22.3	91.8	283.0	0.0	194.6	592	334	0.00521	
601	22.3	92.8	283.0	0.0	194.6	593	335	0.00530	
110	22.3	74.3	283.0	0.0	194.6	575	324	0.00359	
114	21.3	66.2	283.0	0.0	194.6	566	319	0.00288	
604	21.3	74.6	283.0	0.0	194.6	574	324	0.00346	
116	21.3	65.7	283.0	0.0	194.6	565	319	0.00284	
805	19.6	42.3	283.0	0.0	194.6	540	305	0.00155	
605	19.6	39.6	283.0	0.0	194.6	537	303	0.00147	
806	19.6	37.0	283.0	0.0	194.6	535	302	0.00139	
1002	21.6	13.7	311.3	0.0	194.6	542	306	0.00119	

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

→環境Uf : 0.006

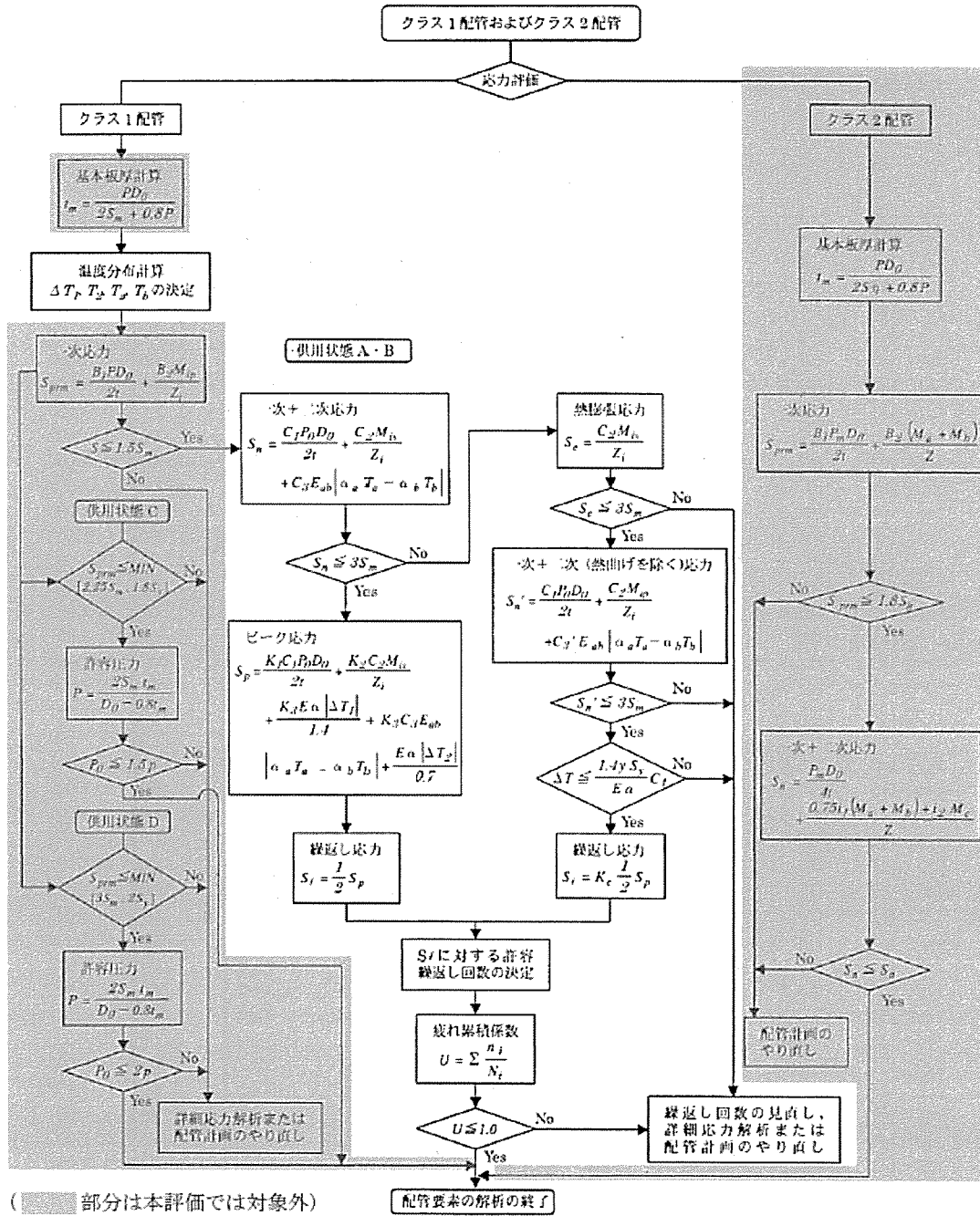
加圧器スプレイ配管 最大評価点の選定

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
1021	20.1	6.1	478.9	0.0	199.0	705	397	0.00891	1.0
101	19.9	7.5	435.3	0.0	199.0	662	373	0.00777	
103	19.9	4.8	435.3	0.0	199.0	660	372	0.00729	
105	19.9	3.9	435.3	0.0	199.0	659	371	0.00669	
113	281.9	36.4	312.6	0.0	144.1	776	394	0.00840	
115	439.4	25.6	5.7	0.0	2.2	473	265	0.00091	
253	91.3	262.3	5.7	0.0	2.2	362	207	0.00017	
1023	91.3	270.9	5.7	0.0	2.2	371	221	0.00019	
261	29.7	4.5	330.1	0.0	150.7	515	283	0.00012	
327	19.6	16.2	457.2	288.1	229.4	1011	554	0.00082	
330	370.7	37.4	77.1	0.0	45.0	531	266	0.00233	
333	289.3	12.9	253.7	590.6	48.0	1195	598	0.07052	
334	370.7	7.6	77.1	0.0	45.0	501	251	0.00161	
335	289.3	17.2	253.7	590.6	48.0	1199	600	0.07182	
337	289.3	14.2	253.7	495.3	48.0	1101	551	0.05401	

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

→環境Uf : 0.009

応力評価フロー



Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器サージ配管) (詳細評価手法)

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							
1a1	2h1	1.1	-591.5	1.40	463.3	2	8200	0.00024	7.241	0.00177
1a1	1j1	1.1	-562.1	1.30	419.4	2	12800	0.00016	7.647	0.00119
1a1	2d3	1.1	-486.1	1.20	337.9	2	37400	0.00005	9.644	0.00052
1a1	1g1	1.1	-485.3	1.20	336.9	5	38000	0.00013	8.578	0.00113
1a1	2a1	1.1	-451.8	1.20	302.3	7	67000	0.00010	8.296	0.00087
1a1	2b1	1.1	-440.1	1.20	290.1	15	84000	0.00018	8.691	0.00155
1a1	2e1	1.1	-440.2	1.00	248.7	4	196000	0.00002	9.377	0.00019
1a1	1x1	1.1	-421.2	1.00	238.0	32	258000	0.00012	8.282	0.00103
1b1	1x1	1.1	-421.2	1.00	238.0	37	258000	0.00014	5.125	0.00073
1b1	1x3	1.1	-411.9	1.00	232.7	32	297000	0.00011	4.332	0.00047
2i1	1v3	-12.3	-402.5	1.00	218.7	61	436000	0.00014	7.102	0.00099
2d3	1x3	-47.7	-411.9	1.00	204.1	2	698000	0.00000	1.000	0.00000
2e1	1x3	-70.3	-411.9	1.00	190.3	4	1060000	0.00000	1.000	0.00000
2g1	1x3	-105.0	-411.9	1.00	173.0	2	1450000	0.00000	1.000	0.00000
1z5	1x3	-107.3	-411.9	1.00	165.9	29	1660000	0.00002	1.000	0.00002
1z5	1v3	-107.3	-402.5	1.00	165.4	8	1680000	0.00000	1.000	0.00000
1z5	2c1	-107.3	-399.8	1.00	164.8	2	1700000	0.00000	1.000	0.00000
1z5	1w5	-107.3	-397.4	1.00	160.7	30	1850000	0.00002	1.000	0.00002
1z3	1w5	-108.3	-397.4	1.00	160.2	39	1870000	0.00002	1.000	0.00002
1z3	1j2	-108.3	-391.5	1.00	159.6	6	1890000	0.00000	1.000	0.00000
1z3	1x5	-108.3	-400.3	1.00	158.2	24	1950000	0.00001	1.000	0.00001
1z1	1x5	-110.0	-400.3	1.00	157.2	45	1990000	0.00002	1.000	0.00002
1z1	1w3	-110.0	-387.9	1.00	155.7	24	2070000	0.00001	1.000	0.00001
1z6	1w3	-112.3	-387.9	1.00	154.4	45	2140000	0.00002	1.000	0.00002
1z6	2g1	-112.3	-382.0	1.00	152.0	2	2300000	0.00000	1.000	0.00000
1z6	1v1	-112.3	-384.6	1.00	151.7	22	2310000	0.00001	1.000	0.00001
1y5	1v1	-113.0	-384.6	1.00	151.3	47	2340000	0.00002	1.000	0.00002
1y5	1v5	-113.0	-375.4	1.00	147.9	22	2580000	0.00001	1.000	0.00001
1z4	1v5	-114.4	-375.4	1.00	147.1	47	2650000	0.00002	1.000	0.00002
1z4	1w1	-114.4	-375.4	1.00	147.1	22	2650000	0.00001	1.000	0.00001
1y3	1w1	-116.0	-375.4	1.00	146.2	47	2720000	0.00002	1.000	0.00002
1y3	1c1	-116.0	-370.5	1.00	143.5	22	2940000	0.00001	1.000	0.00001
1z6	1c1	-116.8	-370.5	1.00	143.0	69	2990000	0.00002	1.000	0.00002
1z2	1c1	-118.2	-370.5	1.00	142.2	69	3060000	0.00002	1.000	0.00002
1z4	1c1	-119.8	-370.5	1.00	141.3	69	3150000	0.00002	1.000	0.00002
1y1	1c1	-120.1	-370.5	1.00	141.1	69	3170000	0.00002	1.000	0.00002
1y6	1c1	-123.2	-370.5	1.00	139.4	69	3340000	0.00002	1.000	0.00002
1z2	1c1	-125.5	-370.5	1.00	138.1	69	3480000	0.00002	1.000	0.00002
1y4	1c1	-129.4	-370.5	1.00	135.9	69	3730000	0.00002	1.000	0.00002
1y6	1c1	-132.6	-370.5	1.00	134.1	69	3950000	0.00002	1.000	0.00002
1y2	1c1	-138.5	-370.5	1.00	130.8	69	4400000	0.00002	1.000	0.00002
1y4	1c1	-142.1	-370.5	1.00	128.8	69	4700000	0.00001	1.000	0.00001
1y2	1c1	-156.4	-370.5	1.00	120.7	69	6760000	0.00001	1.000	0.00001
1z5	1c1	-159.2	-370.5	1.00	119.1	62	7310000	0.00001	1.000	0.00001
1z5	1f1	-159.2	-363.6	1.00	115.2	7	8910000	0.00000	1.000	0.00000
1c1	1f1	-169.5	-363.6	1.00	109.3	3	13600000	0.00000	1.000	0.00000
1c1	1d1	-169.5	-362.3	1.00	108.6	840	14500000	0.00006	1.000	0.00006
1z3	1d1	-171.5	-362.3	1.00	107.5	69	16000000	0.00000	1.000	0.00000
1x3	1d1	-191.6	-362.3	1.00	96.2	69	629000000	0.00000	1.000	0.00000
1x5	1d1	-191.9	-362.3	1.00	96.0	69	1000000000	0.00000	1.000	0.00000
1z1	1d1	-196.8	-362.3	1.00	93.3	69	—————	0.00000	1.000	0.00000
total								0.00191	0.01095	

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

→環境Uf : 0.011

Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器スプレイ配管) (詳細評価手法) (1/2)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin	KE	salt'	n	n*	u	fen	uen
2E2	2E2	218.3	-742.8	2.00	1099.0	2	400	0.00500	6.555	0.03278
1B7	1B8	211.5	-520.8	1.40	548.8	69	4200	0.01643	4.074	0.06694
1B6	1A6	198.4	-380.1	1.30	422.1	69	12400	0.00556	5.380	0.02993
1B8	1A7	189.2	-363.6	1.30	401.7	69	15800	0.00437	4.746	0.02073
1B5	1B9	156.3	-396.8	1.00	303.0	69	66200	0.00104	4.316	0.00450
1B9	2C1	134.3	-367.2	1.00	282.7	2	96700	0.00002	3.498	0.00007
1B9	1B2	134.3	-363.2	1.00	280.4	67	101000	0.00066	4.006	0.00266
1A3	1B2	130.0	-363.2	1.00	277.9	2	106000	0.00002	5.447	0.00010
1A3	1B3	130.0	-343.1	1.00	265.1	67	138000	0.00049	5.181	0.00252
1A4	1B3	126.6	-343.1	1.00	263.2	2	143000	0.00001	6.187	0.00009
1A4	2A1	126.6	-336.8	1.00	261.2	7	149000	0.00005	6.541	0.00031
1A4	2H1	126.6	-331.9	1.00	258.4	2	159000	0.00001	6.588	0.00008
1A4	1A5	126.6	-334.6	1.00	256.9	58	164000	0.00035	6.293	0.00223
1BA	1A5	100.6	-334.6	1.00	242.5	11	229000	0.00005	3.469	0.00017
1BA	1G1	100.6	-329.0	1.00	242.2	5	231000	0.00002	3.899	0.00008
1BA	1J1	100.6	-327.9	1.00	241.5	2	235000	0.00001	3.905	0.00003
1BA	1F1	100.6	-327.0	1.00	241.0	5	238000	0.00002	3.909	0.00008
1BA	1D1	100.6	-326.8	1.00	240.9	46	239000	0.00019	7.455	0.00143
1B4	1D1	81.7	-326.8	1.00	230.3	69	316000	0.00022	9.297	0.00203
1BB	1D1	74.9	-326.8	1.00	226.4	69	352000	0.00020	7.746	0.00152
1A5	1D1	61.9	-326.8	1.00	219.1	69	431000	0.00016	10.235	0.00164
1BC	1D1	57.4	-326.8	1.00	216.6	69	463000	0.00015	8.141	0.00121
1BD	1D1	37.3	-326.8	1.00	205.3	69	670000	0.00010	1.000	0.00010
1A2	1D1	34.0	-326.8	1.00	203.4	69	715000	0.00010	1.000	0.00010
1B3	1D1	18.1	-326.8	1.00	194.4	69	985000	0.00007	1.000	0.00007
1A6	1D1	6.2	-326.8	1.00	187.7	69	1110000	0.00006	1.000	0.00006
1A1	1D1	0.0	-326.8	1.00	184.2	69	1180000	0.00006	1.000	0.00006
2I1	1D1	-3.9	-326.8	1.00	182.0	61	1230000	0.00005	1.000	0.00005
1B2	1D1	-44.2	-326.8	1.00	159.3	69	1900000	0.00004	1.000	0.00004
1A7	1D1	-44.4	-326.8	1.00	159.2	39	1910000	0.00002	1.000	0.00002
1A7	1E1	-44.4	-326.8	1.00	159.2	5	1910000	0.00000	1.000	0.00000
1A7	1C1	-44.4	-326.7	1.00	159.1	25	1910000	0.00001	1.000	0.00001
1I1	1C1	-63.7	-326.7	1.00	148.2	818	2560000	0.00032	1.000	0.00032
1I1	1I1	-63.7	-326.7	1.00	148.2	2082	2560000	0.00081	1.000	0.00081

Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器スプレイ配管) (詳細評価手法) (2/2)

1C1	1I1	-64.0	-326.7	1.00	148.1	818	2570000	0.00032	1.000	0.00032
1C1	1J2	-64.0	-326.6	1.00	148.0	2	2580000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1BA	-64.0	-319.0	1.00	143.8	23	2920000	0.00001	1.000	0.00001
1J2	1BA	-64.0	-319.0	1.00	143.7	2	2930000	0.00000	1.000	0.00000
1E1	1BA	-64.1	-319.0	1.00	143.7	5	2930000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1BA	-64.5	-319.0	1.00	143.5	39	2940000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1B4	-64.5	-303.3	1.00	134.6	69	3880000	0.00002	1.000	0.00002
1D1	1B5	-64.5	-268.2	1.00	114.8	69	9100000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1BB	-64.5	-263.4	1.00	112.1	69	10700000	0.00001	1.000	0.00001
1D1	1A4	-64.5	-242.6	1.00	100.4	69	40100000	0.00000	1.000	0.00000
1D1	1B6	-64.5	-222.2	1.00	88.9	69	—————	0.00000	1.000	0.00000
合計:									0.17315	

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

→環境Uf : 0.174

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を以下に示す。</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 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="478 616 1284 705"> <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="478 728 1284 1086"> <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周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 材料物性値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="430 1411 1332 1646"> <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>321.1</td> <td>117</td> <td>ホットレグ</td> </tr> <tr> <td>283.6</td> <td>122</td> <td>クロスオーバレグ コールドレグ</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、強度評価上厳しくなる材料および構造上の不連続部を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付1に示す。</p>	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	321.1	117	ホットレグ	283.6	122	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	321.1	117	ホットレグ																				
	283.6	122	クロスオーバレグ コールドレグ																				

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係数および環境評価パラメータ

評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数 Fen）を添付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) Ver. PC1.0
要素種類	

<応力の算出>

解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.12-3 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	321.1	117	加圧器サージ管台
	283.6	120	蓄圧タンク注入管台 余熱除去系戻り管台 充てん管台 安全注入管台

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付4に示す。

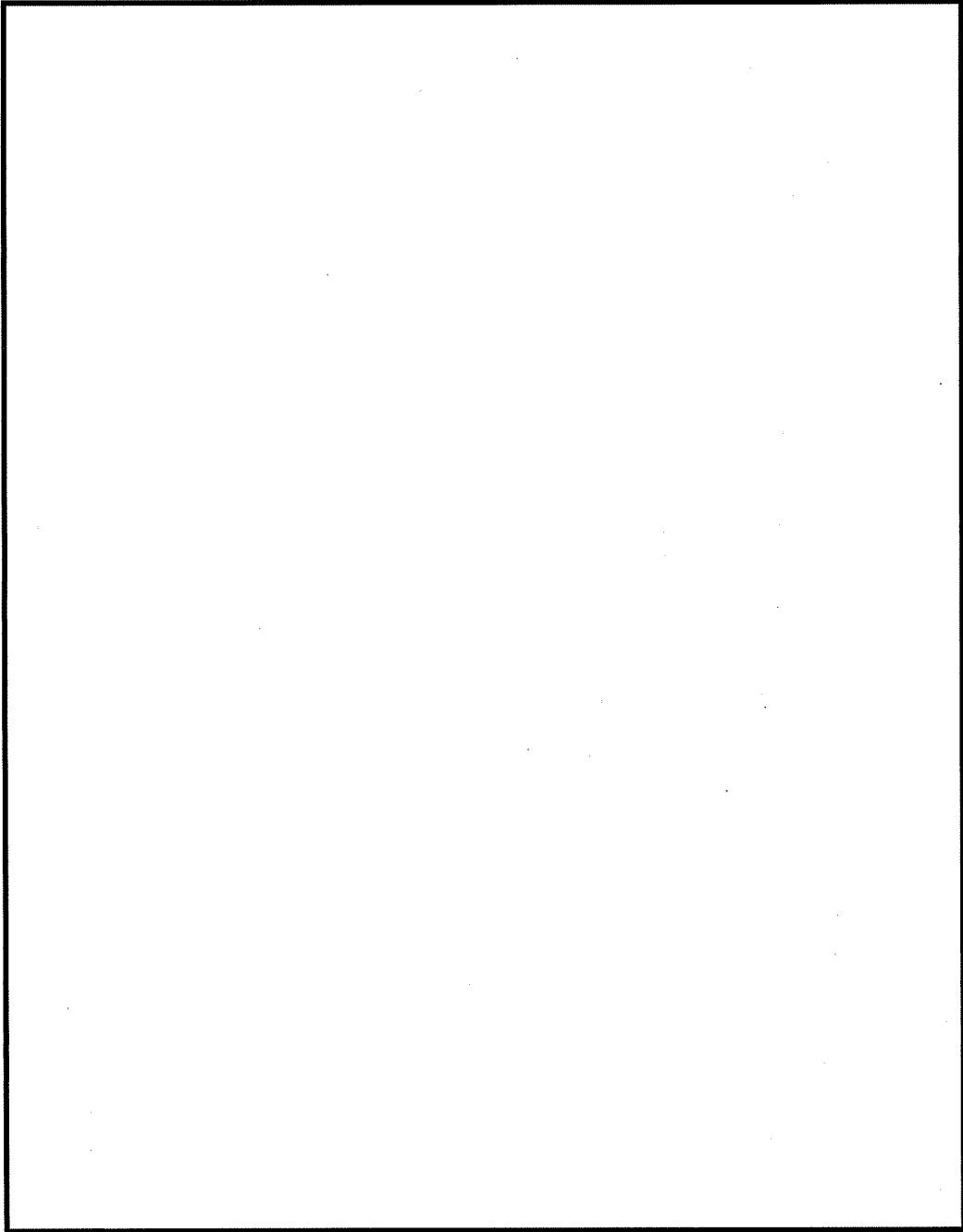
4. 応力分類

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係数および環境評価パラメータ

評価に用いたKe係数および環境評価パラメータ（環境効果補正係数Fen）を添付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	111.6	85.4	125.3	0.0	132.2	454.4	227.2	254.6	0.00013	1.0
	109	76.2	6.7	173.4	0.0	132.2	388.5	194.2	217.7	0.00003	
	111	83.9	9.4	190.7	0.0	132.2	416.1	208.1	233.2	0.00006	
	112	127.0	103.3	115.5	27.8	134.2	507.8	253.9	284.5	0.00031	
	113	120.3	102.1	113.2	0.0	145.9	481.5	240.7	269.8	0.00027	
	115	129.6	138.0	114.9	27.0	136.2	545.7	272.8	305.8	0.00060	
	117	83.8	14.3	196.8	0.0	132.5	427.4	213.7	239.5	0.00009	
	141	118.5	16.9	91.1	0.0	46.2	272.7	136.3	150.2	0.00002	
	142	139.6	45.9	85.2	25.9	47.4	344.0	172.0	189.5	0.00011	
	143	131.9	32.9	89.4	0.0	53.6	307.9	153.9	169.6	0.00008	
クロスオーバーレグ	145	139.6	36.2	85.2	25.9	47.4	334.3	167.2	184.2	0.00010	
	147	118.5	12.1	91.1	0.0	46.2	267.9	134.0	147.6	0.00002	
	149	107.7	10.6	82.8	0.0	46.2	247.3	123.7	136.2	0.00001	
	151	118.5	13.2	91.1	0.0	46.2	269.0	134.5	148.2	0.00002	
	152	134.5	36.5	85.2	25.9	47.4	329.5	164.8	181.5	0.00009	
	153	126.8	34.0	89.4	0.0	53.6	303.8	151.9	167.4	0.00008	

→ホットレグ 通常UF: 0.001

一次冷却材管 最大疲労評価点の選定 (2/2)

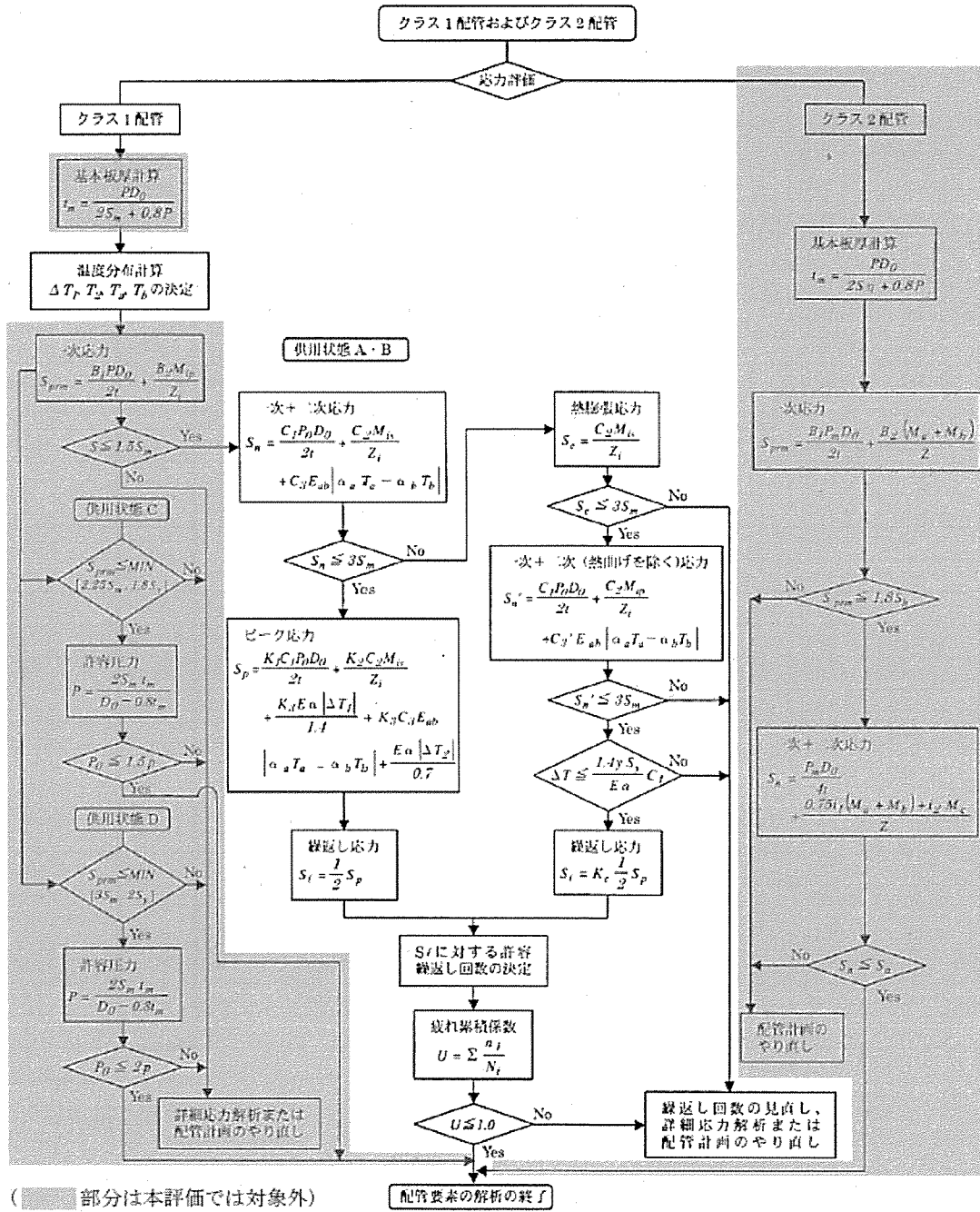
評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 Sp (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
クロスオーバーレグ	155	134.5	43.5	85.2	25.9	47.4	336.6	168.3	185.4	0.00010	
	157	118.5	16.5	91.1	0.0	46.2	272.3	136.2	150.0	0.00002	
	159	107.7	15.5	82.8	0.0	46.2	252.2	126.1	138.9	0.00001	
	160	118.5	17.7	91.1	0.0	46.2	273.5	136.8	150.7	0.00002	
	161	134.5	48.7	85.2	25.9	47.4	341.7	170.8	188.2	0.00011	
	163	126.8	44.8	89.4	0.0	53.6	314.7	157.3	173.3	0.00009	
	165	134.5	54.7	85.2	25.9	47.4	347.7	173.8	191.5	0.00011	
	167	149.4	21.5	103.3	213.1	12.8	500.1	250.1	275.5	0.00117	1.0
	181	151.2	96.3	97.4	95.2	18.5	458.5	229.3	252.6	0.00074	
	183	108.0	14.5	83.8	0.0	43.6	249.8	124.9	137.6	0.00001	
コールドレグ	185	118.8	30.0	92.2	0.0	43.6	284.6	142.3	156.8	0.00002	
	186	131.4	80.7	86.1	27.0	44.9	370.2	185.1	203.9	0.00012	
	189	121.5	72.5	91.2	0.0	52.0	337.2	168.6	185.7	0.00009	
	191	121.6	86.8	87.8	19.7	46.9	362.8	181.4	199.9	0.00012	
	194	109.7	38.2	94.4	0.0	46.3	288.5	144.2	158.9	0.00003	

→クロスオーバーレグ
コールドレグ

通常Uf : 0.002

通常Uf : 0.001

応力評価フロー



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)	545.7	1.0	272.8	305.8	2	63000	0.00003	23.114	0.00073
39 (2F1)	16 (1I1)	467.8	1.0	233.9	262.1	3	147000	0.00002	23.114	0.00047
33 (2D2)	16 (1I1)	443.4	1.0	221.7	248.5	2	197000	0.00001	23.114	0.00023
21 (1L1)	16 (1I1)	441.4	1.0	220.7	247.3	2	203000	0.00001	23.114	0.00023
31 (2D1)	16 (1I1)	436.6	1.0	218.3	244.7	8	217000	0.00004	23.114	0.00085
25 (2A1)	16 (1I1)	436.0	1.0	218.0	244.3	7	219000	0.00003	23.114	0.00074
37 (2E1)	16 (1I1)	434.9	1.0	217.4	243.7	2	223000	0.00001	23.114	0.00021
29 (2C1)	16 (1I1)	432.9	1.0	216.4	242.6	2	229000	0.00001	23.114	0.00020
35 (2D4)	16 (1I1)	431.9	1.0	215.9	242.0	2	232000	0.00001	23.114	0.00020
41 (2G1)	16 (1I1)	431.2	1.0	215.6	241.6	2	235000	0.00001	23.114	0.00020
3 (1C1)	16 (1I1)	412.8	1.0	206.4	231.3	37	308000	0.00012	23.114	0.00278
15 (1I1)	36 (2D5)	393.7	1.0	196.9	220.6	2	413000	0.00000	11.677	0.00006
3 (1C1)	2 (1B1)	381.7	1.0	190.9	213.9	69	501000	0.00014	1.000	0.00014
3 (1C1)	48 (2J2)	373.5	1.0	186.7	209.3	61	585000	0.00010	1.000	0.00010
3 (1C1)	38 (2E1)	371.0	1.0	185.5	207.9	2	613000	0.00000	1.000	0.00000
42 (2G1)	15 (1I1)	357.0	1.0	178.5	200.0	2	805000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	338.7	1.0	169.3	189.8	2	1070000	0.00000	1.000	0.00000
22 (1L2)	15 (1I1)	331.8	1.0	165.9	185.9	2	1140000	0.00000	1.000	0.00000
40 (2F1)	15 (1I1)	328.6	1.0	164.3	184.1	3	1180000	0.00000	1.000	0.00000
32 (2D1)	15 (1I1)	318.7	1.0	159.3	178.6	8	1310000	0.00001	1.000	0.00001
30 (2C2)	15 (1I1)	316.6	1.0	158.3	177.4	2	1340000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	15 (1I1)	306.1	1.0	153.1	171.5	48	1490000	0.00003	1.000	0.00003
47 (2J1)	26 (2A1)	198.4	1.0	99.2	111.2	7	11600000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	44 (2H2)	193.2	1.0	96.6	108.2	2	15000000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	12 (1G1)	180.8	1.0	90.4	101.3	5	34800000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	46 (2I1)	175.3	1.0	87.7	98.2	5	65000000	0.00000	1.000	0.00000
47 (2J1)	6 (1D1)	171.6	1.0	85.8	96.1	47	728000000	0.00000	1.000	0.00000
3 (1C1)	6 (1D1)	133.3	1.0	66.6	74.7	621	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00719

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

→環境Uf : 0.008

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)	500.1	1.0	250.1	275.5	61	111000	0.00055	9.984	0.00549
1 (1A1)	2 (1B1)	497.1	1.0	248.6	273.8	8	115000	0.00007	10.484	0.00073
1 (1A1)	48 (2J2)	484.9	1.0	242.5	267.1	61	132000	0.00046	5.714	0.00264
27 (2B1)	16 (1I1)	425.1	1.0	212.5	234.2	5	285000	0.00002	6.600	0.00012
25 (2A1)	16 (1I1)	400.8	1.0	200.4	220.8	7	411000	0.00002	4.689	0.00008
33 (2D2)	16 (1I1)	365.4	1.0	182.7	201.3	2	770000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	36 (2D5)	354.8	1.0	177.4	195.5	2	948000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	16 (1I1)	353.1	1.0	176.6	194.5	2	991000	0.00000	1.000	0.00000
35 (2D4)	16 (1I1)	349.5	1.0	174.7	192.5	2	1020000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	16 (1I1)	346.8	1.0	173.4	191.0	3	1050000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	16 (1I1)	342.9	1.0	171.5	188.9	5	1090000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	16 (1I1)	337.7	1.0	168.9	186.0	2	1140000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	16 (1I1)	328.8	1.0	164.4	181.1	2	1250000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	16 (1I1)	323.6	1.0	161.8	178.3	0	1310000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	16 (1I1)	320.6	1.0	160.3	176.6	2	1360000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	16 (1I1)	319.1	1.0	159.6	175.8	37	1380000	0.00003	1.000	0.00003
42 (2G1)	15 (1I1)	277.7	1.0	138.9	153.0	2	2230000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	270.3	1.0	135.2	148.9	2	2510000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	257.9	1.0	128.9	142.0	5	3080000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	214.9	1.0	107.4	118.4	2	7580000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	200.7	1.0	100.4	110.6	58	12200000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	40 (2F1)	113.8	1.0	56.9	62.7	3	—————	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00911

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

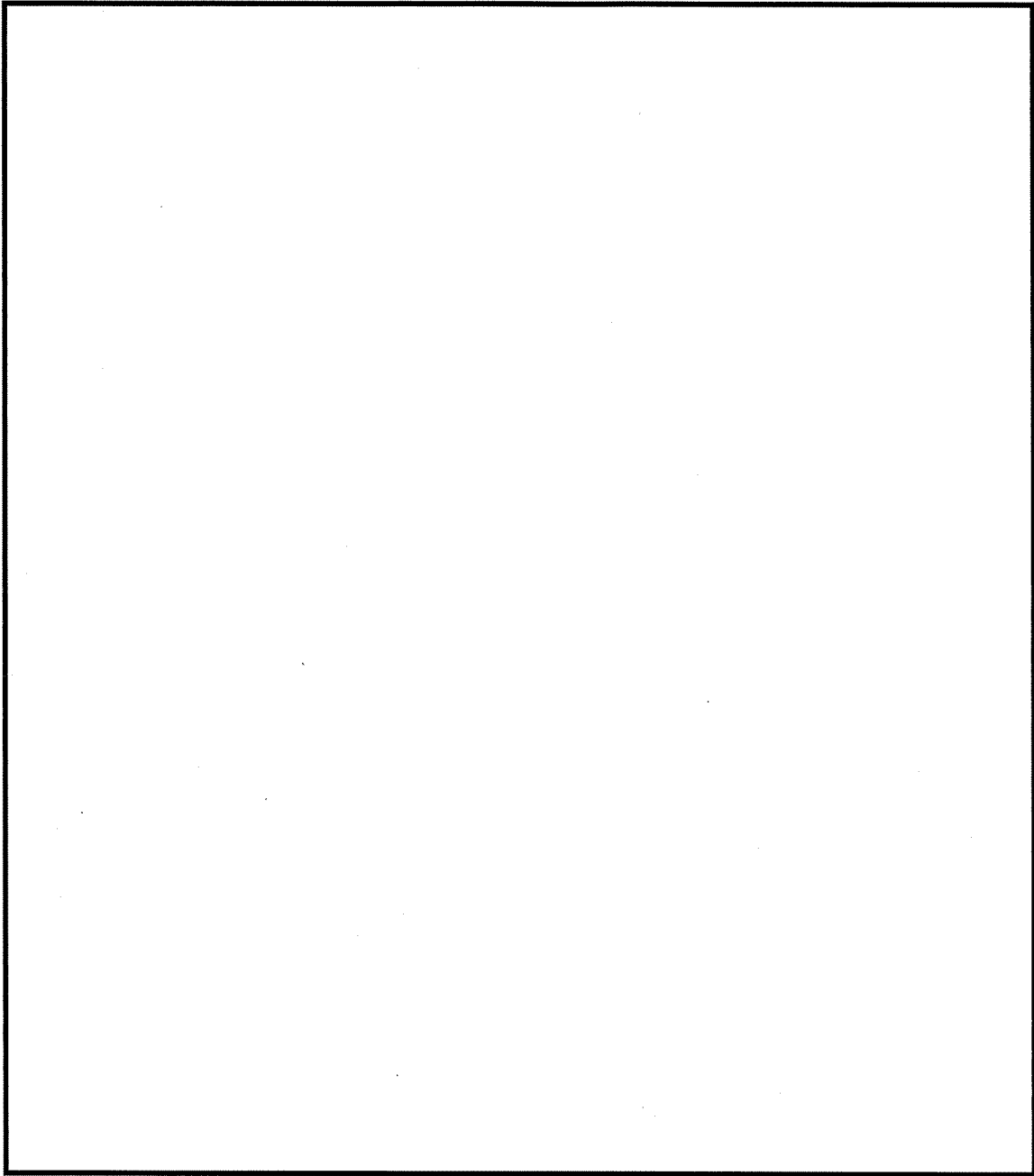
→環境Uf: 0.010

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

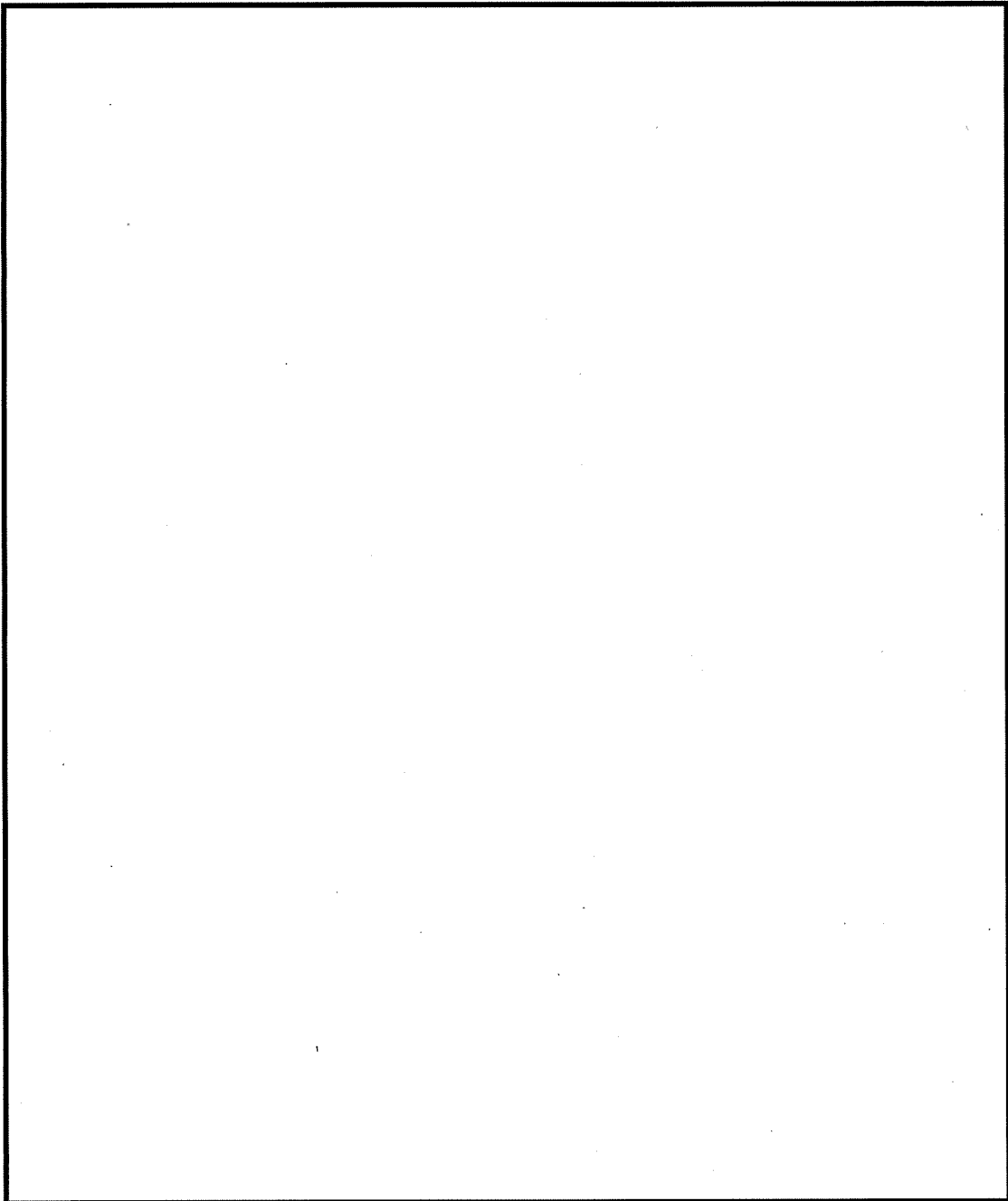
過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					
27 (2B1)	16 (1I1)	458.5	1.0	229.3	252.6	5	180000	0.00003	6.035	0.00017
1 (1A1)	16 (1I1)	457.7	1.0	228.8	252.1	64	182000	0.00035	3.129	0.00110
1 (1A1)	2 (1B1)	441.5	1.0	220.8	243.2	5	225000	0.00002	10.668	0.00024
25 (2A1)	2 (1B1)	433.0	1.0	216.5	238.5	7	254000	0.00003	23.114	0.00064
47 (2J1)	2 (1B1)	431.6	1.0	215.8	237.7	57	260000	0.00022	10.286	0.00225
47 (2J1)	48 (2J2)	421.6	1.0	210.8	232.2	4	300000	0.00001	5.082	0.00007
33 (2D2)	48 (2J2)	378.1	1.0	189.0	208.3	2	605000	0.00000	1.000	0.00000
43 (2H1)	48 (2J2)	370.9	1.0	185.5	204.3	2	693000	0.00000	1.000	0.00000
15 (1I1)	36 (2D5)	364.3	1.0	182.1	200.7	2	788000	0.00000	1.000	0.00000
39 (2F1)	48 (2J2)	362.2	1.0	181.1	199.5	3	819000	0.00000	1.000	0.00000
11 (1G1)	48 (2J2)	361.5	1.0	180.8	199.2	5	830000	0.00001	1.000	0.00001
35 (2D4)	48 (2J2)	359.4	1.0	179.7	198.0	2	867000	0.00000	1.000	0.00000
37 (2E1)	48 (2J2)	348.9	1.0	174.4	192.2	2	1030000	0.00000	1.000	0.00000
13 (1H1)	48 (2J2)	343.7	1.0	171.9	189.3	0	1080000	0.00000	1.000	0.00000
41 (2G1)	48 (2J2)	342.9	1.0	171.5	188.9	2	1090000	0.00000	1.000	0.00000
29 (2C1)	48 (2J2)	339.9	1.0	169.9	187.2	2	1120000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	48 (2J2)	336.8	1.0	168.4	185.5	37	1150000	0.00003	1.000	0.00003
42 (2G1)	15 (1I1)	301.6	1.0	150.8	166.1	2	1660000	0.00000	1.000	0.00000
46 (2I1)	15 (1I1)	276.0	1.0	138.0	152.0	5	2290000	0.00000	1.000	0.00000
5 (1D1)	38 (2E1)	272.4	1.0	136.2	150.0	2	2430000	0.00000	1.000	0.00000
34 (2D3)	15 (1I1)	252.9	1.0	126.4	139.3	2	3350000	0.00000	1.000	0.00000
4 (1C1)	15 (1I1)	239.4	1.0	119.7	131.9	58	4250000	0.00001	1.000	0.00001
5 (1D1)	40 (2F1)	118.9	1.0	59.4	65.5	3	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:										0.00454

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

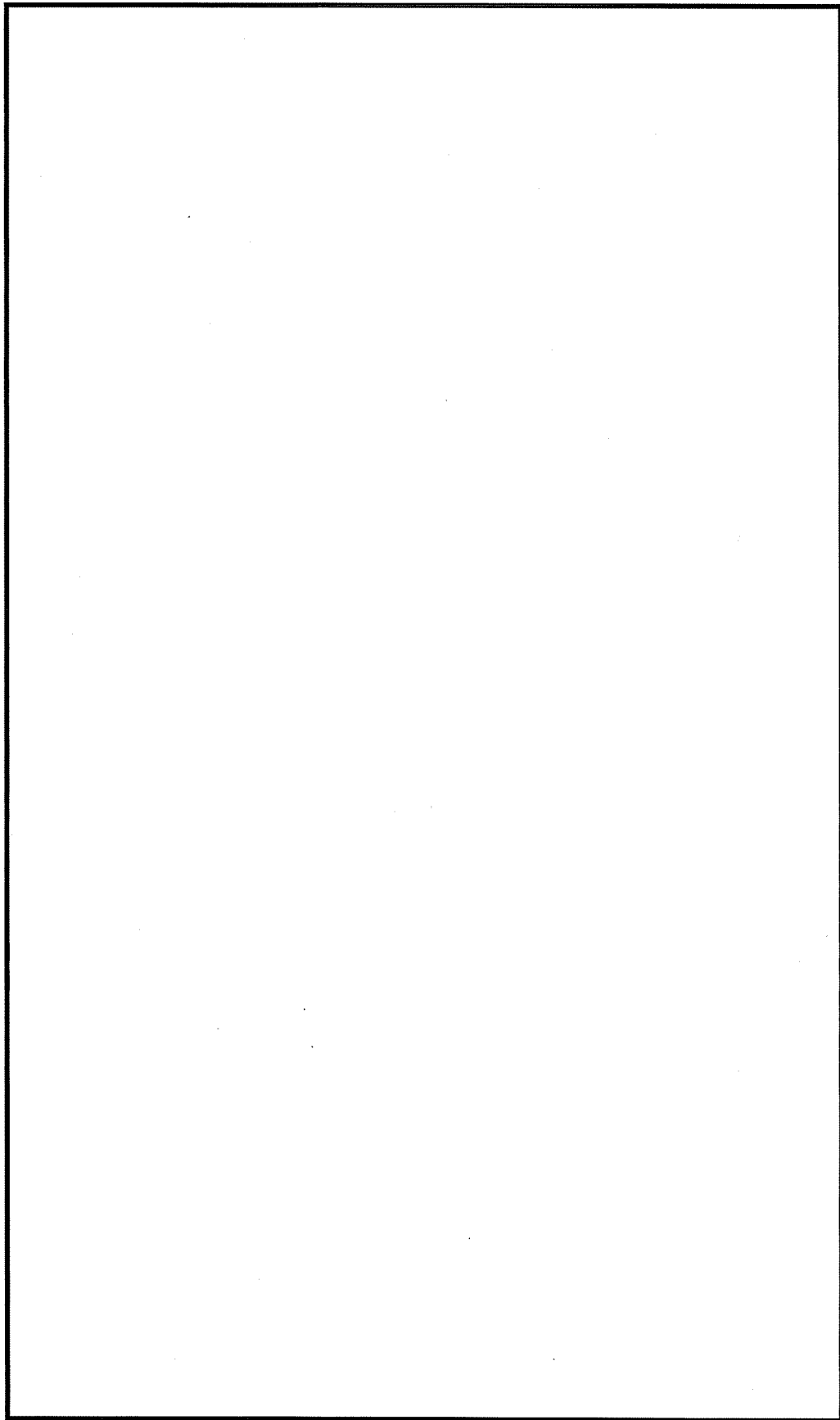
→環境Uf : 0.005



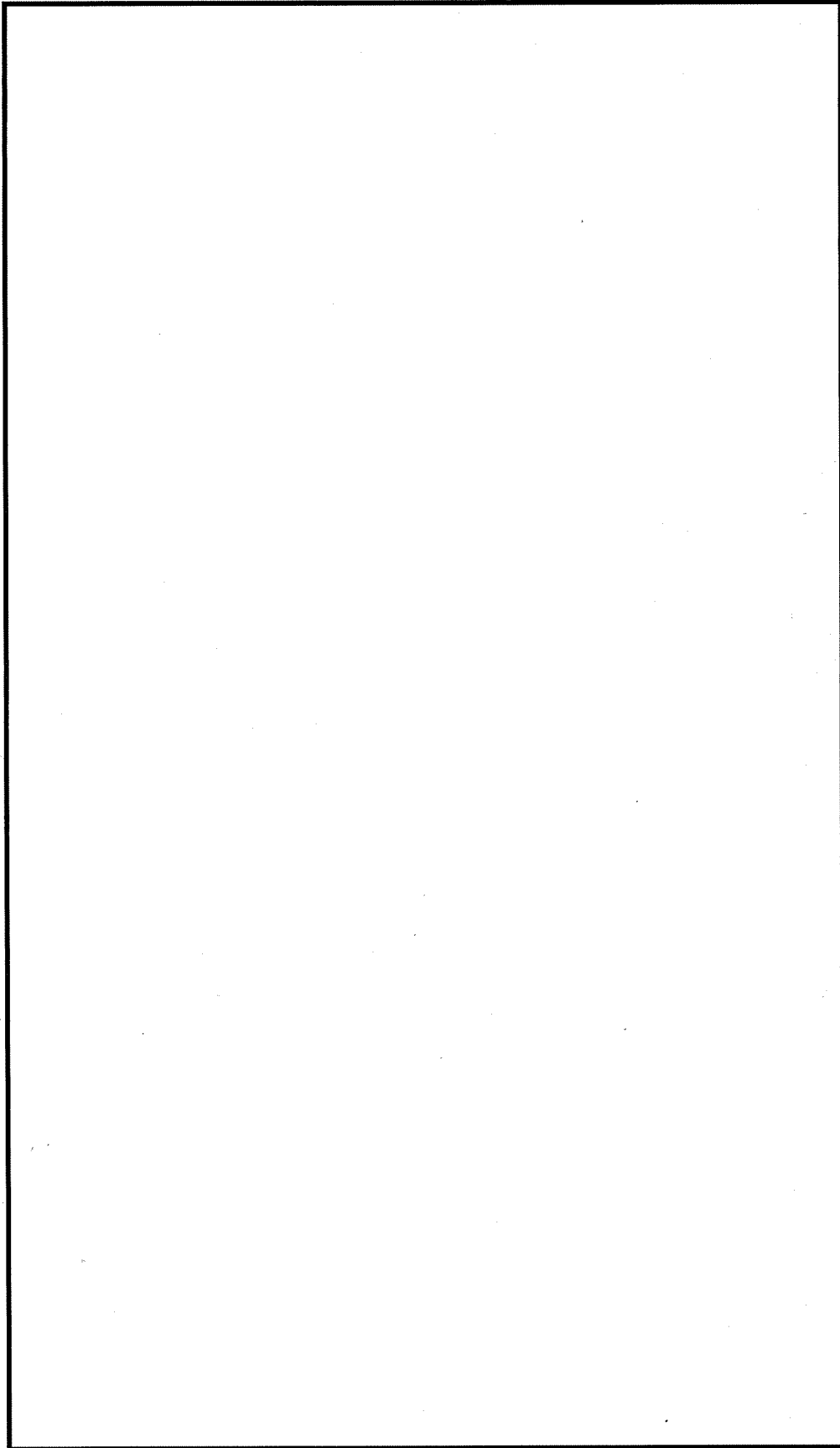
(1) 一次冷却材管 (加圧器サージ管台) 評価点



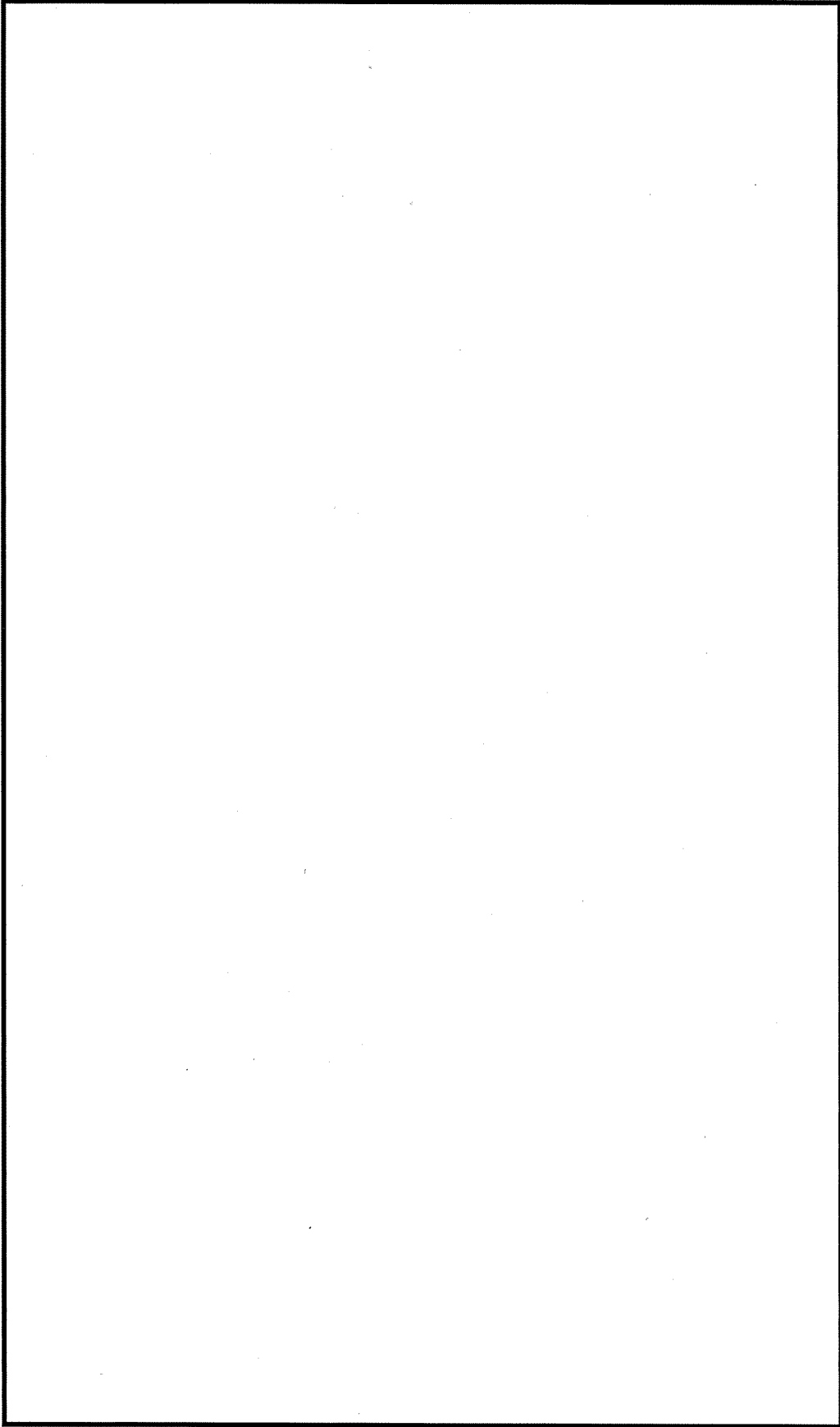
(2) 一次冷却材管 (蓄圧タンク注入管台) 評価点



(3) 一次冷却材管 (余熱除去系戻り管台) 評価点



(4) 一次冷却材管 (充てん管台) 評価点



(5) 一次冷却材管 (安全注入管台) 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	0.03058	0.00606
2	0.0	0.00000	0.00004
3	0.0	0.00088	0.00355
4	0.0	0.00000	0.00000
5	0.0	0.00331	0.00086
6	0.0	0.0	0.0
7	0.00009	0.00967	0.00077
8	0.0	0.0	0.0
9	0.00428	0.01397	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.00012	0.00001
12	0.0	0.0	0.00004

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.031$

(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	0.00781	0.00472
2	0.0	0.00006	0.00012
3	0.0	0.00014	0.00031
4	0.0	0.00000	0.00000
5	0.0	0.00000	0.00001
6	0.0	0.00000	0.00000
7	0.00000	0.00021	0.00001
8	0.0	0.00000	0.0
9	0.00123	0.00139	0.0
10	0.0	0.00000	0.0
11	0.00000	0.00004	0.00000
12	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.00000	0.00000
14	0.0	0.00000	0.00006

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.008$

(3) 一次冷却材管 (余熱除去系戻り管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.00031	0.00033
2	0.0	0.00000	0.00002
3	0.0	0.00001	0.00004
4	0.0	0.0	0.00000
5	0.0	0.00002	0.0
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00025	0.00023	0.00000
8L	0.0	0.0	0.0
7C	0.00001	0.00003	0.00001
8C	0.0	0.00013	0.00005
9L	0.00030	0.00028	0.0
10L	0.0	0.0	0.0
9C	0.00001	0.00000	0.0
10C	0.0	0.00013	0.00005
11L	0.00027	0.00026	0.00000
12L	0.0	0.0	0.0
11C	0.0	0.00000	0.00000
12C	0.0	0.00013	0.00006

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.001$

(4) 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	0.00126	0.00063
2	0.00000	0.00000	0.00001
3	0.0	0.00000	0.00001
4	0.0	0.00000	0.0
5	0.0	0.00001	0.00000
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00035	0.00071	0.00001
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.00000	0.00002	0.00001
8C	0.00000	0.00009	0.00003
9L	0.00254	0.00105	0.00000
10L	0.0	0.00000	0.0
9C	0.00011	0.00009	0.0
10C	0.0	0.00010	0.00004
11L	0.00022	0.00015	0.00000
12L	0.00000	0.00000	0.00000
11C	0.00000	0.00000	0.00000
12C	0.00000	0.00010	0.00010

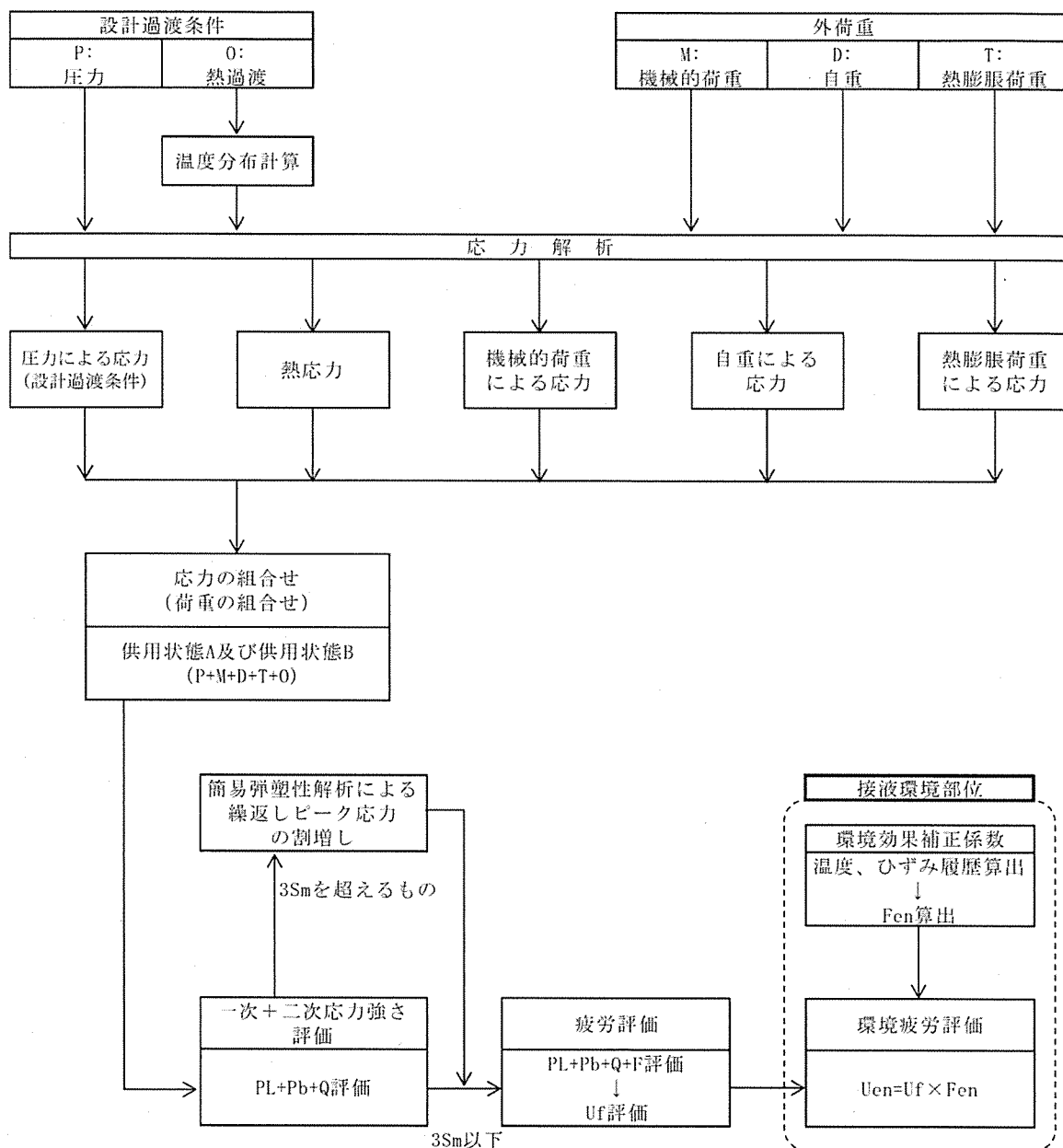
許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.003$

(5) 一次冷却材管 (安全注入管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
1	0.0	0.01272	0.00829
2	0.00000	0.00004	0.00014
3	0.0	0.00000	0.00001
4	0.0	0.00000	0.0
5	0.0	0.00000	0.00000
6	0.0	0.0	0.0
7L	0.00022	0.00025	0.00000
8L	0.0	0.00000	0.00000
7C	0.0	0.00000	0.00000
8C	0.0	0.00010	0.00003
9L	0.00030	0.00017	0.0
10L	0.0	0.00000	0.0
9C	0.00001	0.00000	0.00000
10C	0.0	0.00010	0.00004
11L	0.00014	0.00022	0.00000
12L	0.0	0.00000	0.00000
11C	0.0	0.00000	0.00000
12C	0.0	0.00011	0.00004

許容値 $U_f = 1.0$ →通常 $U_f : 0.013$

応力評価フロー



備考：機械的荷重は作用しない。

(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'					
2D4	1A2	246.6	-318.6	1.30	366.2	410.4	2	14200	0.00014	6.133	0.00086
1G1	1A2	199.4	-318.6	1.24	320.2	358.8	5	27700	0.00018	6.318	0.00114
1D1	1A2	193.8	-318.6	1.23	314.7	352.7	407	30200	0.01348	5.324	0.07175
1D1	1B2	193.8	-318.6	1.23	314.7	352.7	429	30200	0.01421	5.324	0.07562
2G1	1B2	172.2	-318.6	1.00	245.4	275.0	2	112000	0.00002	5.111	0.00009
1L4	1B2	169.8	-318.6	1.00	244.2	273.7	2	115000	0.00002	6.462	0.00011
1C1	1B2	144.0	-318.6	1.00	231.3	259.2	395	156000	0.00253	5.288	0.01339
1C1	2D4	144.0	-226.7	1.00	185.4	207.7	2	616000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2H1	144.0	-189.3	1.00	166.7	186.8	2	1130000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	1L3	144.0	-28.6	1.00	86.3	96.8	2	17700000	0.00000	1.000	0.00000
1C1	2E1	144.0	-14.9	1.00	79.5	89.0	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.16297

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

→環境Uf : 0.163

(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 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	2E1	742.7	-298.6	1.98	1032.9	1137.9	2	360	0.00556	4.136	0.02298
2L1	2L1	648.1	-242.5	1.74	772.6	851.2	2	888	0.00225	3.333	0.00751
2D2	2J1	126.6	-2.8	1.00	64.7	71.3	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.03049

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

→環境Uf : 0.031

(3) Ke係数と環境疲労パラメータ (余熱除去系戻り管台) (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 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'					
1B2	1B2	16.2	-426.9	1.00	221.5	244.1	69	220000	0.00031	2.768	0.00087
NSS	1I1	0.0	-223.6	1.00	111.8	123.2	69	5990000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	2H1	0.0	-151.7	1.00	75.9	83.6	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.00088

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

→環境Uf : 0.001

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

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 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	0.4	-701.4	1.44	503.9	555.1	2	4020	0.00050	7.919	0.00394
2J1	205	0.4	-625.5	1.31	408.7	450.3	2	9190	0.00022	5.451	0.00119
2J1	2N5	0.4	-570.8	1.26	360.0	396.6	3	16800	0.00018	7.509	0.00134
2J1	2N2	0.4	-566.5	1.25	355.7	391.9	2	17800	0.00011	7.920	0.00089
2J1	2N4	0.4	-623.7	1.00	312.0	343.8	2	34300	0.00006	7.659	0.00045
2J1	203	0.4	-604.1	1.00	302.2	333.0	2	40300	0.00005	5.385	0.00027
2J1	204	0.4	-488.7	1.00	244.5	269.4	2	126000	0.00002	5.561	0.00009
2J1	2Q6	0.4	-484.3	1.00	242.3	267.0	5	132000	0.00004	14.670	0.00056
2J1	2R1	0.4	-440.5	1.00	220.4	242.8	41	228000	0.00018	13.745	0.00247
1B1	2R1	0.2	-440.5	1.00	220.3	242.7	28	228000	0.00012	7.333	0.00090
1B1	2S1	0.2	-440.4	1.00	220.3	242.7	41	228000	0.00018	7.338	0.00132
NSS	2S1	0.0	-440.4	1.00	220.2	242.6	130	229000	0.00057	13.666	0.00776
111	2S1	-0.8	-440.4	1.00	219.8	242.2	69	231000	0.00030	7.200	0.00215
204	2S1	-25.3	-440.4	1.00	207.6	228.7	2	330000	0.00001	13.666	0.00008
2QE	2S1	-28.5	-440.4	1.00	205.9	226.9	2	347000	0.00001	13.666	0.00008
2N3	2S1	-140.5	-440.4	1.00	150.0	165.2	2	1690000	0.00000	1.000	0.00000
202	2S1	-142.9	-440.4	1.00	148.8	163.9	2	1730000	0.00000	1.000	0.00000
2E1	2S1	-145.7	-440.4	1.00	147.4	162.4	2	1790000	0.00000	1.000	0.00000
2QC	2S1	-148.1	-440.4	1.00	146.2	161.0	2	1840000	0.00000	1.000	0.00000
2N1	2S1	-207.0	-440.4	1.05	123.0	135.5	2	3770000	0.00000	1.000	0.00000
2N5	2S1	-213.5	-440.4	1.07	121.6	134.0	3	3960000	0.00000	1.000	0.00000
2QA	2S1	-207.4	-440.4	1.00	116.5	128.4	2	4770000	0.00000	1.000	0.00000
2QF	2S1	-213.6	-440.4	1.00	113.4	125.0	3	5500000	0.00000	1.000	0.00000
205	2S1	-245.5	-440.4	1.10	107.6	118.6	2	7520000	0.00000	1.000	0.00000
2A1	2S1	-232.2	-440.4	1.00	104.1	114.7	7	9150000	0.00000	1.000	0.00000
2F1	2S1	-240.0	-440.4	1.00	100.2	110.4	3	12400000	0.00000	1.000	0.00000
2D2	2S1	-241.8	-440.4	1.00	99.3	109.4	2	13500000	0.00000	1.000	0.00000
2QG	2S1	-246.5	-440.4	1.00	97.0	106.8	2	16900000	0.00000	1.000	0.00000
2D5	2S1	-252.4	-440.4	1.00	94.0	103.6	2	24600000	0.00000	1.000	0.00000
2D1	2S1	-255.4	-440.4	1.00	92.5	101.9	8	31700000	0.00000	1.000	0.00000
2C1	2S1	-257.3	-440.4	1.00	91.6	100.9	2	37300000	0.00000	1.000	0.00000
2G1	2S1	-259.8	-440.4	1.00	90.3	99.5	2	46100000	0.00000	1.000	0.00000
2H2	2S1	-264.2	-440.4	1.00	88.1	97.1	2	96900000	0.00000	1.000	0.00000
1G1	2S1	-265.5	-440.4	1.00	87.5	96.4	5	407000000	0.00000	1.000	0.00000
2B1	2S1	-282.6	-440.4	1.00	78.9	86.9	5	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.02349

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

→環境Uf : 0.024

(5) Ke係数と環境疲労パラメータ (安全注入管台) (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 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'					
2D4	2E1	890.3	-134.2	1.94	994.7	1095.8	2	403	0.00496	3.447	0.01711
2E1	2D5	866.0	-94.6	1.94	932.6	1027.5	2	489	0.00409	3.601	0.01473
2G1	2G1	880.8	-85.5	1.86	900.6	992.2	2	545	0.00367	3.586	0.01316
2H1	NSS	109.4	0.0	1.00	54.6	60.1	2	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計:											0.04499

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

→環境Uf : 0.045

タイトル	仕切弁（余熱除去系第1入口弁 弁箱）の疲労累積係数の算出根拠について
説明	<p>余熱除去系第1入口弁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 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> <p>2. 材料物性 材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> <p>3. 最大評価点の選定 JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> <p>4. 応力分類 荷重の組合せ：圧力、配管反力、熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> <p>5. Ke係数 簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> <p>6. 環境評価パラメータ 評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数F_{en}）を添付3に示す。</p>

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)	S ₁₁ (MPa)	S ₁₂ (MPa)	N (回)	N/N*	Δt ₁ (sec)	Δt ₂ (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	試験-1 以外-2	T* (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T (°C)	T* (°C)	Fen (-)	Fen×N/N*
	加熱過程	冷却過程																		
運転時及び停止時 1次系漏えい試験(注1)	H1	C1	309.4	154.7	174.4	69	1418371	0.000			178000		1						23.114	0.001
	H25	C28	309.4	154.7	174.4	61	1418371	0.000			178000		1						9.427	0.000
	H23	C21	763.6	391.8	441.6	2	9941	0.000			178000		1						19.053	0.004
	H2	C23	643.3	321.7	362.6	2	26326	0.000			178000		1						25.495	0.002
	H2	C25	585.2	292.6	329.8	2	42292	0.000			178000		1						26.557	0.001
	H2	C19	534.0	267.0	301.0	2	68707	0.000			178000		1						25.428	0.001
	H2	C24	515.1	257.5	290.3	3	83706	0.000			178000		1						25.374	0.001
	H2	C7	485.2	242.6	273.5	69	116244	0.001			178000		1						26.865	0.016
	H2	C17	471.9	236.0	266.0	2	135635	0.000			178000		1						25.819	0.000
	H2	C10	466.3	233.1	262.8	2	145000	0.000			178000		1						27.135	0.000
	H2	C18	449.4	224.7	253.3	8	178038	0.000			178000		1						26.261	0.001
	H2	C29	444.9	222.5	250.8	5	188112	0.000			178000		1						29.967	0.001
	H2	C27	443.7	221.9	250.1	2	190975	0.000			178000		1						26.038	0.000
	H2	C13	437.3	218.6	246.4	7	208017	0.000			178000		1						26.916	0.001
	H2	C6	434.8	217.4	245.1	5	215314	0.000			178000		1						31.748	0.001
	H2	C3	407.0	203.5	229.4	734	324724	0.002			178000		1						31.297	0.071
	H8	C3	324.8	162.4	183.0	2	1209665	0.000			178000		1						25.596	0.000
	H12	C3	318.7	159.4	179.6	7	1286813	0.000			178000		1						29.168	0.000
	H10	C3	317.5	158.8	178.9	2	1302941	0.000			178000		1						29.766	0.000
	H7	C3	304.6	152.3	171.7	67	1492597	0.000			178000		1						34.090	0.002
	H6	C3	300.6	150.3	169.4	5	1559190	0.000			178000		1						34.869	0.000
	H13	C3	299.8	149.9	168.9	5	1572972	0.000			178000		1						35.350	0.000
	H4	C3	299.4	149.7	168.7	5	1579922	0.000			178000		1						29.944	0.000
	H16	C3	294.1	147.1	165.8	2	1674038	0.000			178000		1						29.090	0.000
	H18	C3	292.5	146.3	164.9	2	1704463	0.000			178000		1						29.464	0.000
H19	C3	287.3	143.6	161.9	2	1808470	0.000			178000		1						31.641	0.000	
H22	C3	286.5	143.2	161.4	3	1825200	0.000			178000		1						29.288	0.000	
H5	C14	218.3	109.2	123.0	5	6034005	0.000			178000		1						35.350	0.000	
																			ΣFen×N/N*	0.104

→通常Uf: 0.004

→環境Uf: 0.104

注) S_{pi}: ピーク応力強さの変動幅(MPa)、 N: 繰り返し回数(回)、 N*: 許容繰り返し回数(回)、

N/N*: 疲労累積係数、 Δt: 過渡継続時間(s)、 E: 縦弾性係数(MPa)、

ε: ひずみ速度(%/s)、 ε*: ひずみ速度依存パラメータ、 T: 温度(°C)、

T*: 温度依存パラメータ、 Fen: 環境効果補正係数、

Fen×N/N*: 環境疲労累積係数を示す。

タイトル	スイング逆止弁（蓄圧タンク出口注入ライン第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>蓄圧タンク出口注入ライン第1逆止弁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 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> <p>2. 材料物性 材質：SCS14A ヤング率：1.78×10^5 (MPa) 熱膨張係数：1.844×10^{-5} (mm/mm・°C)</p> <p>3. 最大評価点の選定 JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300の規格計算をしているため該当するものはない。</p> <p>4. 応力分類 荷重の組合せ：圧力, 配管反力, 熱による応力 (JSME S NC-1 2005/2007 VVB-3300によって規定されている)</p> <p>5. Ke係数 簡易弾塑性解析を実施していないため該当なし。</p> <p>6. 環境評価パラメータ 評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数F_{en}）を添付3に示す。</p>

応力解析結果

クラスI並

接続管の材質: SUS316TP

弁箱の材質: SUS304

呼び径: 12B

弁番号: 3V-S1-186A/B/C(出口側)

弁箱の応力解析 (L/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)	250 °Cにおける 換算圧力 P _s (MPa)	250 °Cにおける 設計応力強さ S _m (MPa)	接続管の250 °Cに おける設計降伏点 S _y (MPa)	250 °Cにおける 線弾性係数 E (MPa)	250 °Cにおける 熱膨張係数 α (×10 ⁻⁶ /mm/°C)	AA断面における 金属部の厚さ t _a (mm)	交さ部壁面とその二 等分線とに接する円 の直径 T _{s.1} (mm)	交さ部壁面に接する円 の直径 T _{s.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)	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 (MPa)	厚板部分と薄板部分 の平均温度の差の最 大値 ΔT (°C)	液体温度の段階的な 温度変化の最大値と 最小値との差 ΔT _{lm} (°C)	応力係数						繰返しビーク 応力強さの割 増し係数 K _s (注1)	材質の種類に応じた値 A ₀ B ₀
			C _b	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆		

(注1) K_sは適用判定のS_nはYWB-3370による。

(注2) S_nはYWB-3340による。

(2) 弁箱の応力

項 目	一次応力 S				一次+二次応力 S _n (注2)	
	内圧による一次応力	一次局部応力	配管応力による応力		起動時及び停止時 (式YWB-10.1)	起動時及び停止時以外 (式YWB-10.2)
計算応力 (MPa)	93	159	34	68	231	257
許容応力 (MPa)	S _m = 125	2.25 S _m = 281	1.5 S _m = 187		3 S _m = 375	
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		Spi (MPa)	S11 (MPa)	S12 (MPa)	N (回)	N* (回)	N/N*	Δt1 (sec)	Δt2 (sec)	Δt (sec)	E (MPa)	ε (%/sec)	繰廻:1 以外:2	ε* (-)	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 1次系補えい試験(注1)	H1	C1	346.2	173.1	195.2	69	958845	0.000				178000		1						23.114	0.002
	H27	C28	346.2	173.1	195.2	61	958845	0.000				178000		1						9.427	0.001
	H29	C31	2233.6	1116.8	1258.8	2	266	0.008				178000		1						10.905	0.082
	H28	C30	2044.3	1022.2	1152.1	2	347	0.006				178000		1						9.473	0.055
	H14	C21	649.4	324.7	366.0	2	25110	0.000				178000		1						33.576	0.003
	H14	C23	566.9	283.5	319.5	2	49592	0.000				178000		1						33.576	0.001
	H14	C7	563.8	276.9	312.1	1	56361	0.000				178000		1						16.278	0.001
	H12	C7	484.5	242.2	273.0	7	117273	0.000				178000		1						13.445	0.000
	H25	C7	466.3	233.2	262.8	2	144934	0.000				178000		1						14.921	0.000
	H18	C7	443.7	221.8	250.0	2	191116	0.000				178000		1						20.242	0.000
	H6	C7	437.5	218.7	246.6	5	207405	0.000				178000		1						19.133	0.004
	H2	C7	423.0	211.5	236.4	52	255475	0.000				178000		1						20.535	0.000
	H2	C25	383.5	191.7	216.1	2	470410	0.000				178000		1						21.246	0.000
H2	C29	381.8	190.9	215.2	3	483180	0.000				178000		1						19.369	0.000	
H2	C19	354.2	177.1	199.6	2	817537	0.000				178000		1						19.931	0.000	
H2	C24	296.1	149.1	168.0	3	1601880	0.000				178000		1						21.084	0.000	
H2	C32	298.1	149.1	168.0	2	1601880	0.000				178000		1						20.099	0.000	
H2	C26	274.6	137.3	154.8	2	2127996	0.000				178000		1						24.452	0.000	
H2	C13	261.4	130.7	147.3	7	2632550	0.000				178000		1								0.150
						ΣN/N*	(注3)	0.014													ΣFen×N/N*
																					→環境Uf : 0.150
																					→通常Uf : 0.014

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:純弾性係数(MPa)、
 ε:ひずみ速度(%/s)、 ε*:ひずみ速度依存パラメータ、 T:温度(°C)、
 T*:温度依存パラメータ、 Fen:環境効果補正係数、 Fen×N/N*:環境疲労累積係数
 を示す。

環境効果補正係数 (F_{en}) の算出根拠

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

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

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

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

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

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、

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

<p>タイトル</p>	<p>炉内構造物の疲労累積係数の算出根拠について</p>							
<p>説明</p>	<p>炉内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="486 546 1345 1225"> <tr> <td data-bbox="486 546 703 696"> <p>解析プログラム</p> </td> <td data-bbox="703 546 1345 1225" rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="486 696 703 846"> <p>要素種類</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="486 846 703 922"> <p>要素次数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="486 922 703 1072"> <p>要素数</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="486 1072 703 1225"> <p>節点数</p> </td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="448 1249 1337 1348"> <tr> <td data-bbox="448 1249 1337 1348"></td> </tr> </table>	<p>解析プログラム</p>		<p>要素種類</p>	<p>要素次数</p>	<p>要素数</p>	<p>節点数</p>	
<p>解析プログラム</p>								
<p>要素種類</p>								
<p>要素次数</p>								
<p>要素数</p>								
<p>節点数</p>								

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)
炉心槽	SUSF304 SUS304	113	321.1
上部炉心板	SUS304	113	321.1
上部炉心支持板	SUSF304 SUS304	113	321.1
上部炉心支持柱	SUS304TKA SUS304	113	321.1
下部炉心板	SUS304	116	283.6
下部炉心支持板	SUSF304	116	283.6
下部炉心支持柱	SUS304	116	283.6

3. 最大評価点の選定

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

解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を、添付1に示す。

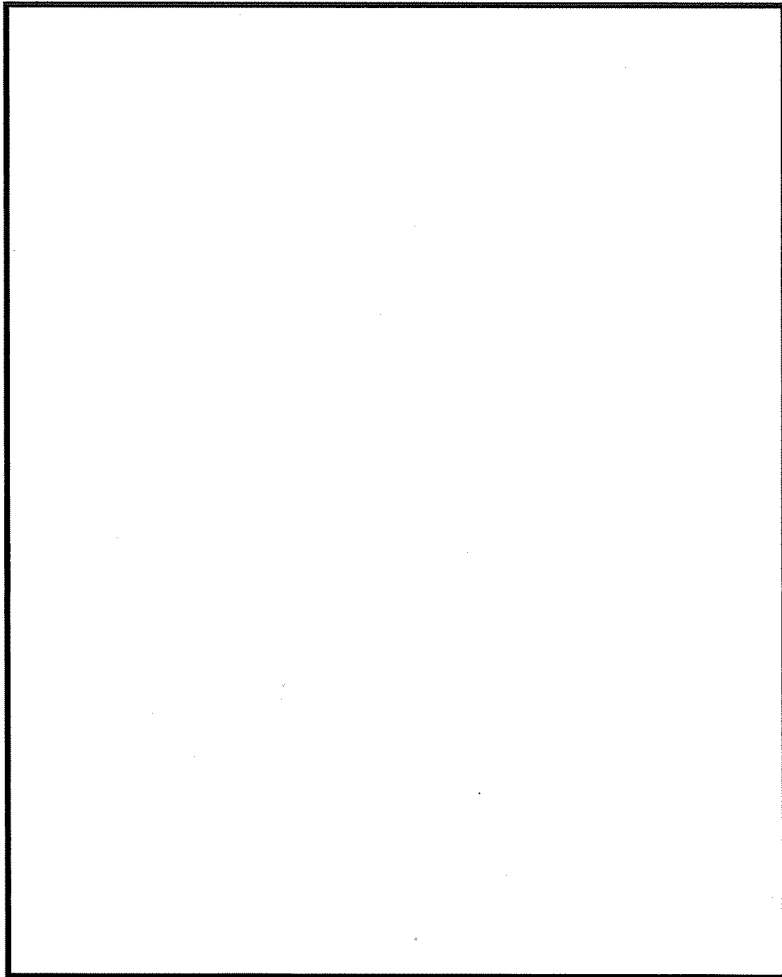
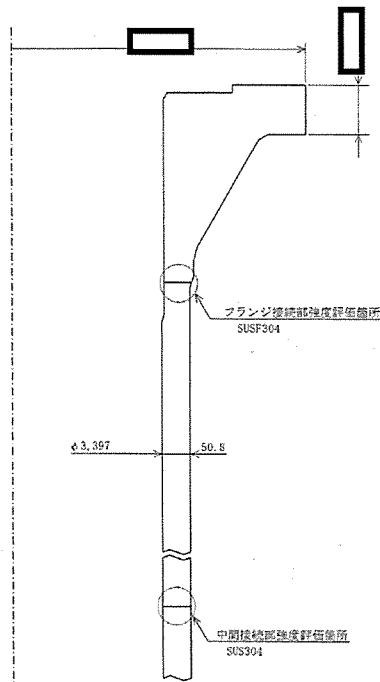
4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示す。また、応力フローを添付2に示す。

状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	自重+機械的荷重+圧力+熱過渡荷重

5. Ke係数および環境評価パラメータ

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



炉心槽 評価点

炉心槽フランジ接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

外面 ($\sigma_3 - \sigma_1$)

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	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N			
0.0	-283.4	1.0	141.7 (158.8)	17	1920000	0.00001
0.0	-212.5	1.0	106.2 (119.0)	6	7330000	0.00000
0.0	-178.4	1.0	89.2 (100.0)	107	43000000	0.00000
-15.6	-178.4	1.0	81.4 (91.2)	6	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00001

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

→通常Uf : 0.001

炉心槽中間接続部 疲労評価結果 (評価点: 内面)

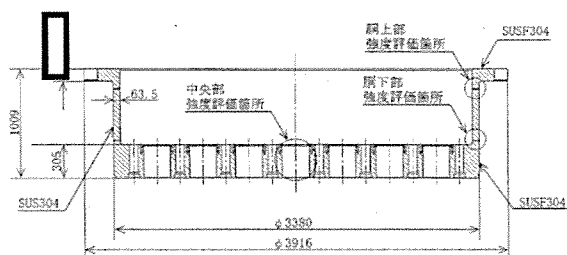
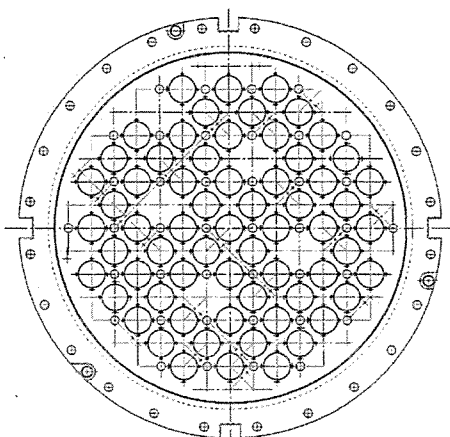
内面 ($\sigma_3 - \sigma_1$)

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	繰返しピーク応力強さ ^(注)	実際の繰返し回数N			
133.9	-118.3	1.0	126.1 (141.3)	4	3150000	0.00000
103.7	-118.3	1.0	111.0 (124.4)	13	5660000	0.00000
103.7	-85.1	1.0	94.4 (105.8)	4	18600000	0.00000
92.4	-85.1	1.0	88.7 (99.5)	13	46500000	0.00000
92.4	-58.5	1.0	75.4 (84.5)	6	—	0.0

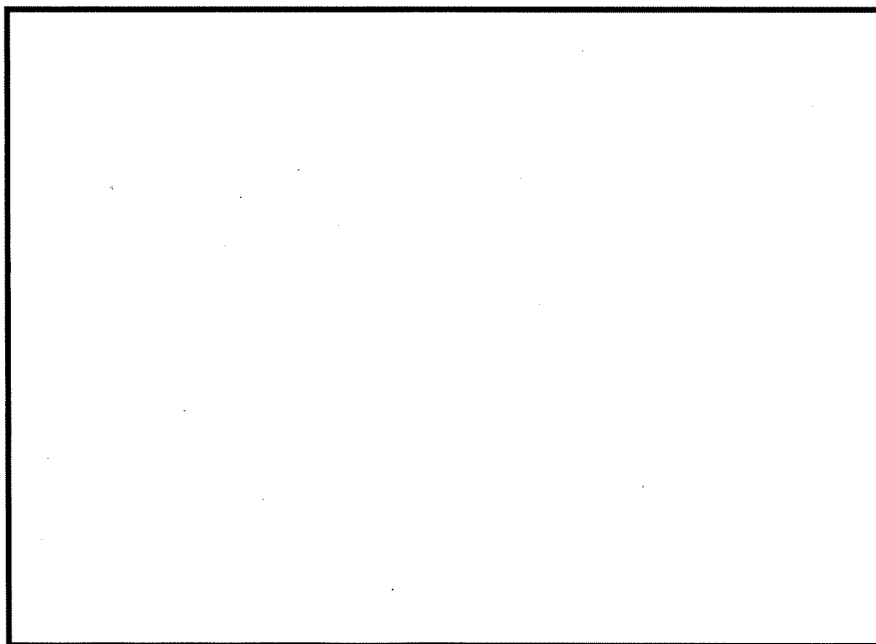
疲労累積係数 = 0.00000

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

→通常Uf : 0.001



(単位: mm)



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)

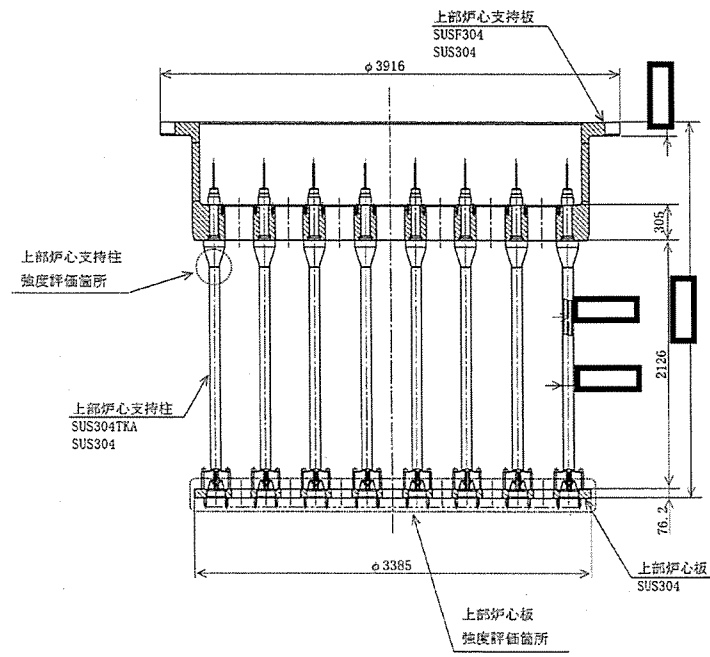
中央部下面

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	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*	
535.6	-266.9	1.0	401.2 (449.6)	6	9240	0.00065
314.2	-266.9	1.0	290.5 (325.6)	17	45100	0.00038
221.1	-266.9	1.0	244.0 (273.4)	74	116000	0.00064
175.3	-266.9	1.0	221.1 (247.8)	33	200000	0.00017
175.3	-250.3	1.0	212.8 (238.5)	4	254000	0.00002
175.3	-197.9	1.0	186.6 (209.1)	93	588000	0.00016
146.2	-197.9	1.0	172.0 (192.8)	17	1020000	0.00002
107.7	-197.9	1.0	152.8 (171.2)	805	1500000	0.00054
107.7	-88.9	1.0	98.3 (110.1)	17	12700000	0.00000
107.7	-44.4	1.0	76.0 (85.2)	83	—	0.0

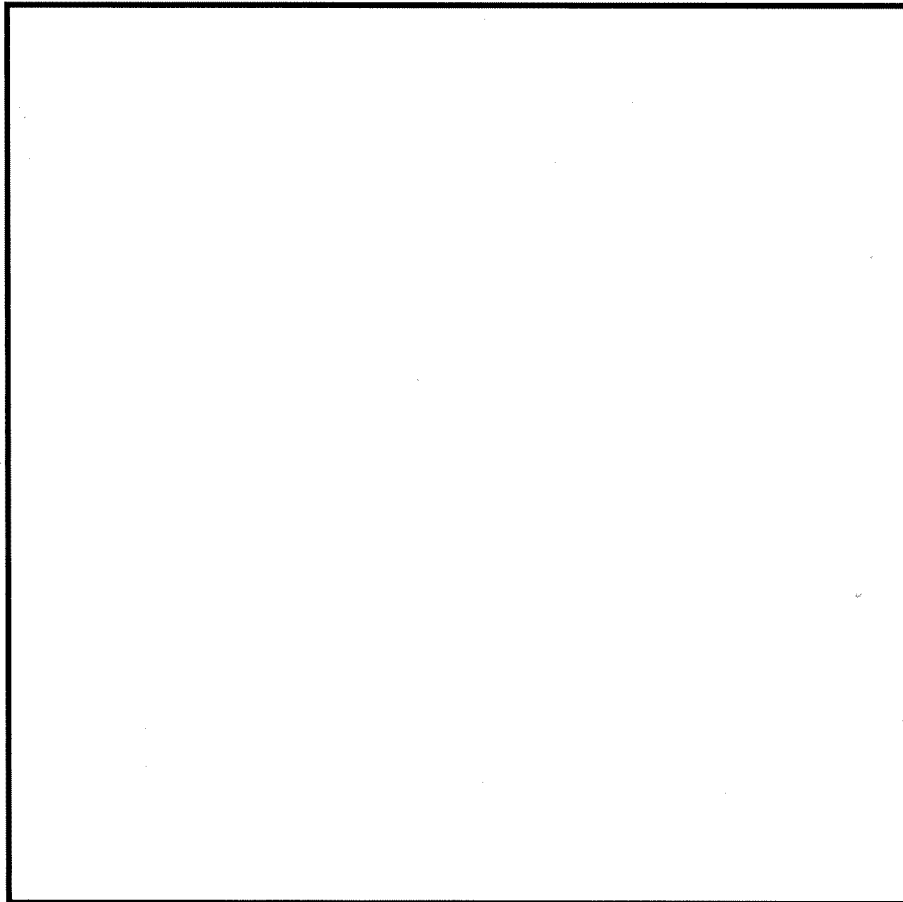
疲労累積係数 = 0.00256

(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



(単位：mm)



上部炉心支持構造物組立体 評価点

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点 : 中央部下面)

中央部下面 ($\sigma_3 - \sigma_1$)

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*	
282.4	-396.7	1.0	339.5 (380.5)	4	20600	0.00019
52.2	-396.7	1.0	224.4 (251.5)	13	185000	0.00007
52.2	-305.9	1.0	179.0 (200.6)	4	788000	0.00001
42.8	-305.9	1.0	174.4 (195.4)	2	950000	0.00000
42.8	-220.4	1.0	131.6 (147.5)	17	2610000	0.00001
42.8	-131.4	1.0	87.1 (97.6)	74	8120000	0.00000
42.8	-59.7	1.0	51.3 (57.5)	822	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00028

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

→通常Uf : 0.001

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点 : 上端)

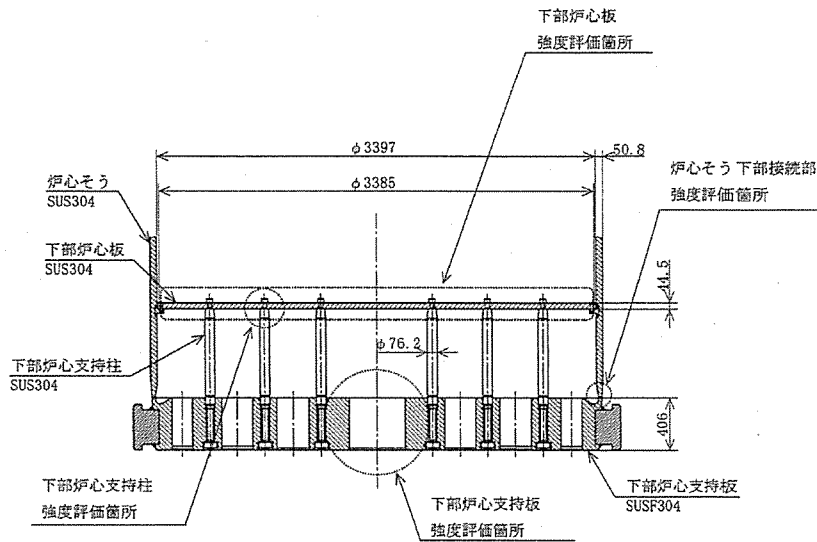
上端

応力強さ (単位: MPa)				繰返し回数		疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$)
最大値	最小値	Ke	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N	許容繰返し回数N*	
0.0	-518.5	1.0	259.3 (290.6)	4	83200	0.00005
0.0	-383.4	1.0	191.7 (214.9)	126	487000	0.00026
-94.2	-383.4	1.0	144.6 (162.1)	4	1800000	0.00000
-94.2	-380.4	1.0	143.1 (160.4)	2	1860000	0.00000
-102.9	-380.4	1.0	138.7 (155.5)	17	2080000	0.00001
-218.5	-380.4	1.0	81.0 (90.8)	74	—	0.0

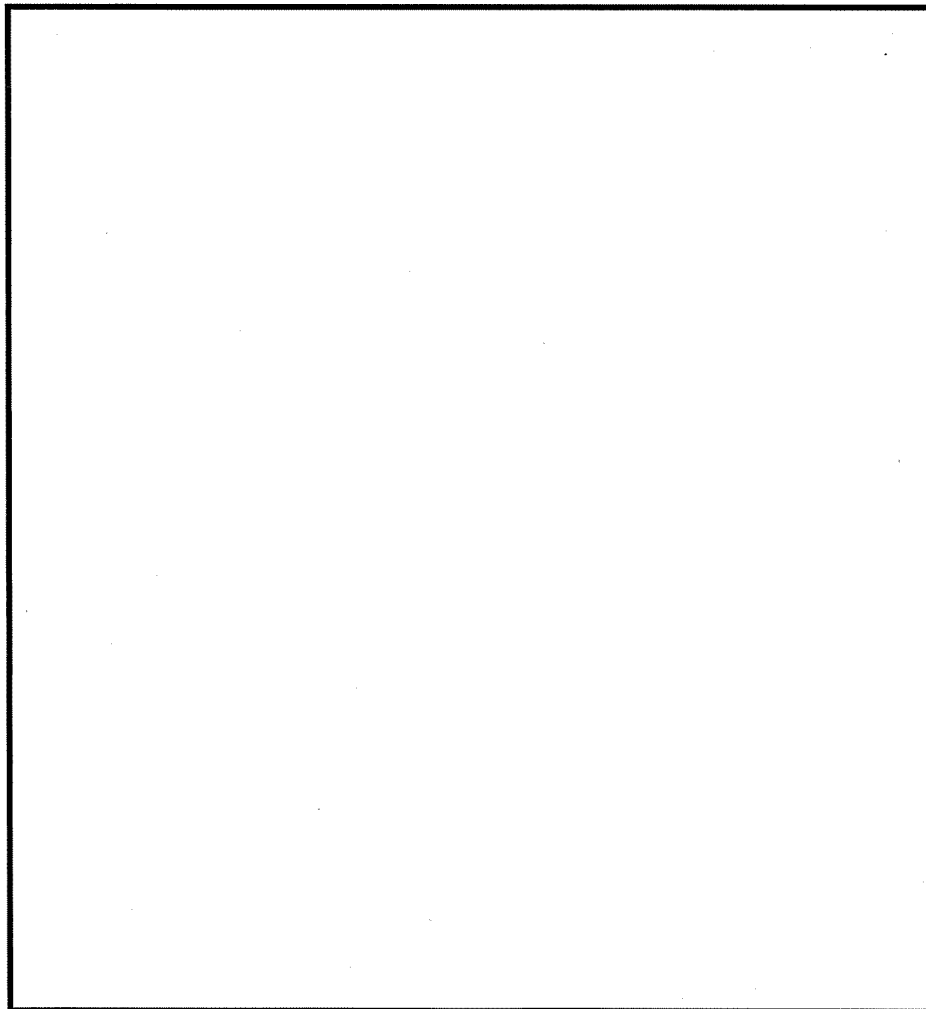
疲労累積係数 = 0.00032

(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



(単位: mm)



下部炉心構造物組立体 評価点

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$		
最大値	最小値	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*	
337.5	-206.3	1.0	271.9 (299.5)	17	70500	0.00024
309.3	-157.1	1.0	233.2 (256.9)	4	164000	0.00002
272.7	-157.1	1.0	214.9 (236.8)	6	266000	0.00002
235.7	-157.1	1.0	196.4 (216.4)	120	466000	0.00026
235.7	-148.3	1.0	192.0 (211.5)	130	542000	0.00024
235.7	-148.3	1.0	192.0 (211.5)	665	542000	0.00123
143.6	-148.3	1.0	146.0 (160.8)	130	1840000	0.00007
0.0	-148.3	1.0	74.2 (81.7)	120	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00208

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

→通常Uf : 0.003

下部炉心支持板 疲労評価結果 (評価点: 中央部下面)

中央部下面

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	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*	
490.3	-237.3	1.0	363.8 (400.8)	6	15900	0.00038
446.0	-237.3	1.0	341.6 (376.4)	11	21800	0.00050
446.0	0.0	1.0	223.0 (245.7)	6	212000	0.00003
388.1	0.0	1.0	194.0 (213.8)	74	504000	0.00015
341.1	0.0	1.0	170.5 (187.9)	4	1110000	0.00000
297.0	0.0	1.0	148.5 (163.6)	46	1740000	0.00003
297.0	236.4	1.0	30.3 (33.4)	84	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00109

(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 : 0.002

下部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点: 上端)

上端

応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 $(=\frac{N}{N^*})$		
最大値	最小値	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	-596.9	1.0	298.4 (328.8)	17	42900	0.00040
0.0	-529.3	1.0	264.7 (291.6)	113	81700	0.00138
-283.3	-529.3	1.0	123.0 (135.5)	6	3770000	0.00000
-343.7	-529.3	1.0	92.8 (102.2)	17	30200000	0.00000
-345.6	-529.3	1.0	91.9 (101.2)	74	35400000	0.00000
-420.3	-529.3	1.0	54.5 (60.1)	695	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00178

(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 : 0.002

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点 : 外面)

外面 ($\sigma_2 - \sigma_3$)

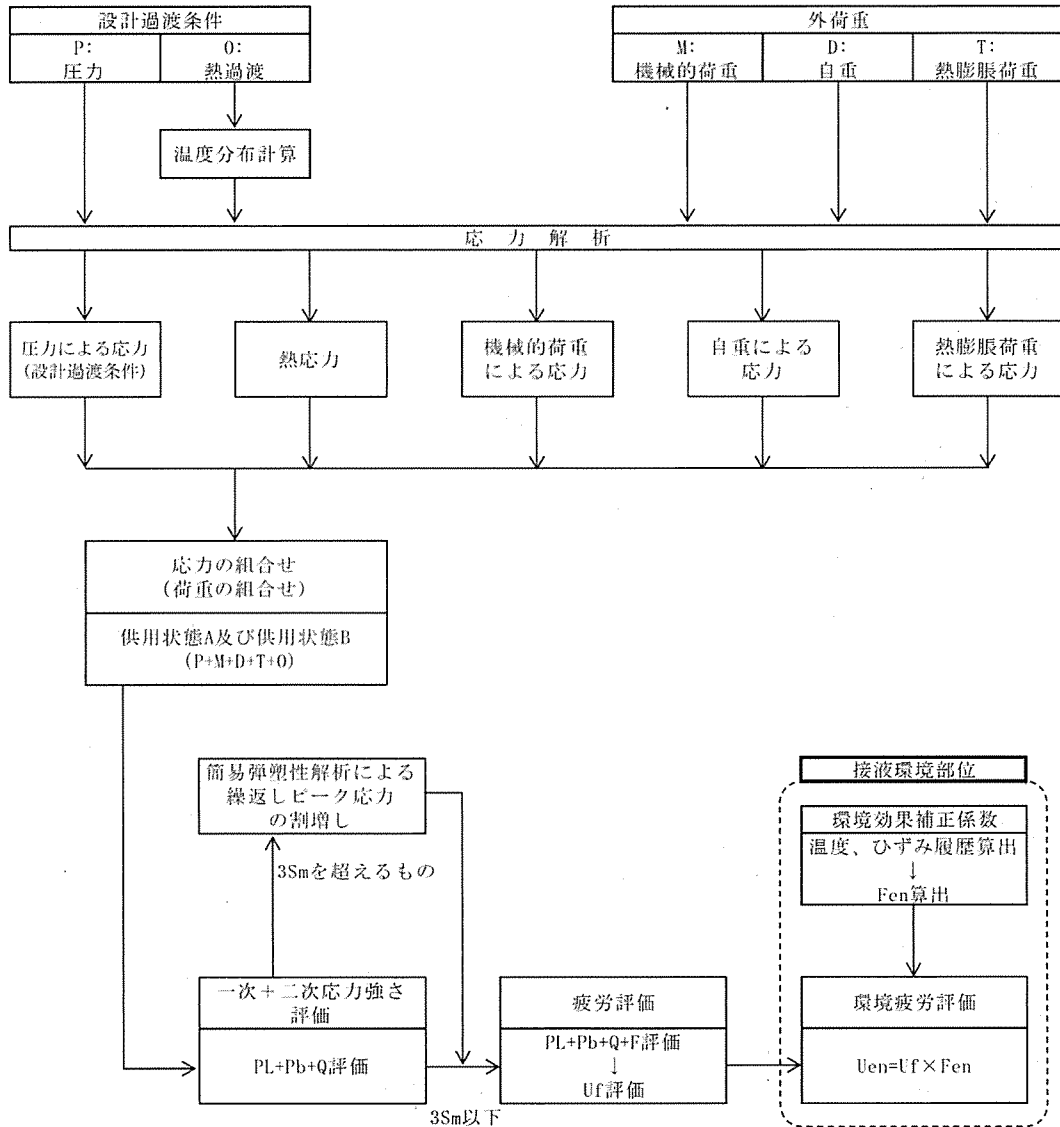
応力強さ (単位: MPa)		繰返し回数		疲労係数 ($= \frac{N}{N^*}$)		
最大値	最小値	繰返しピーク応力強さ(注)	実際の繰返し回数N		許容繰返し回数N*	
104.1	-88.7	1.0	96.4 (106.2)	6	17900000	0.00000
99.3	-88.7	1.0	94.0 (103.6)	11	24700000	0.00000
99.3	-33.5	1.0	66.4 (73.2)	4	—	0.0

疲労累積係数 = 0.00000

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

→通常Uf : 0.001

応力評価フロー



備考：熱膨張荷重は作用しない。

Ke係数と環境疲労パラメータ (詳細評価手法)

炉心槽フランジ接続部 疲労評価結果 (評価点：外面)

過渡条件 記号 (注1)		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 (注2) 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 (注5) fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 (注6) uen
A	B	smax	smin		補正前 salt (注3)	補正後 salt' (注4)					
NSS	E	0.0	-283.4	1.00	141.7	158.8	17	1920000	0.00001	1.000	0.00001
NSS	F	0.0	-212.5	1.00	106.2	119.0	6	7330000	0.00000	1.000	0.00000
NSS	B-1	0.0	-178.4	1.00	89.2	100.0	107	43000000	0.00000	1.000	0.00000
F	B-1	-15.6	-178.4	1.00	81.4	91.2	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00001

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

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

(注2) KE：簡易弾塑性解析を行う際に繰返しピーク応力強さに乗じる値

なお、弾性解析ではKE=1とする

(注3) Salt：応力強さの変動幅に0.5を乗じた値

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

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

(注6) uen：疲労累積係数に環境効果補正係数を乗じた値

→環境Uf：0.001

 ：割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

炉心槽中間接続部 疲労評価結果 (評価点：内面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
D-1	E	133.9	-118.3	1.00	126.1	141.3	4	3150000	0.00000	1.000	0.00000
D-2	E	103.7	-118.3	1.00	111.0	124.4	13	5660000	0.00000	1.000	0.00000
D-2	D-2	103.7	-85.1	1.00	94.4	105.8	4	18600000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	D-2	92.4	-85.1	1.00	88.7	99.5	13	46500000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	F	92.4	-58.5	1.00	75.4	84.5	6	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00000

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

→環境Uf：0.001

 ：割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

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	535.6	-266.9	1.00	401.2	449.6	6	9240	0.00065	10.467	0.00680
E	1A1	314.2	-266.9	1.00	290.5	325.6	17	45100	0.00038	9.506	0.00358
C	1A1	221.1	-266.9	1.00	244.0	273.4	74	116000	0.00064	12.478	0.00796
A-2	1A1	175.3	-266.9	1.00	221.1	247.8	33	200000	0.00017	12.597	0.00208
A-2	D-1	175.3	-250.3	1.00	212.8	238.5	4	254000	0.00002	10.285	0.00016
A-2	B-1	175.3	-197.9	1.00	186.6	209.1	93	588000	0.00016	1.000	0.00016
D-2	B-1	146.2	-197.9	1.00	172.0	192.8	17	1020000	0.00002	1.000	0.00002
B-2	B-1	107.7	-197.9	1.00	152.8	171.2	805	1500000	0.00054	1.000	0.00054
B-2	D-2	107.7	-88.9	1.00	98.3	110.1	17	12700000	0.00000	1.000	0.00000
B-2	A-2	107.7	-44.4	1.00	76.0	85.2	83	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.02129

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

→環境Uf : 0.022

: 割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

上部炉心板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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 u	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'					
D-1	E	282.4	-396.7	1.00	339.5	380.5	4	20600	0.00019	6.660	0.00129
D-2	E	52.2	-396.7	1.00	224.4	251.5	13	185000	0.00007	6.728	0.00047
D-2	F	52.2	-305.9	1.00	179.0	200.6	4	788000	0.00001	1.000	0.00001
B-1	F	42.8	-305.9	1.00	174.4	195.4	2	950000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	D-2	42.8	-220.4	1.00	131.6	147.5	17	2610000	0.00001	1.000	0.00001
B-1	C	42.8	-131.4	1.00	87.1	97.6	74	81300000	0.00000	1.000	0.00000
B-1	B-2	42.8	-59.7	1.00	51.3	57.5	822	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00178

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

→環境Uf : 0.002

: 割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

上部炉心支持柱 疲労評価結果 (評価点：上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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 u	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'					
NSS	D-1	0.0	-518.5	1.00	259.3	290.6	4	83200	0.00005	7.352	0.00035
NSS	1A1	0.0	-383.4	1.00	191.7	214.9	126	487000	0.00026	13.808	0.00357
F	1A1	-94.2	-383.4	1.00	144.6	162.1	4	1800000	0.00000	1.000	0.00000
F	B-1	-94.2	-380.4	1.00	143.1	160.4	2	1860000	0.00000	1.000	0.00000
E	B-1	-102.9	-380.4	1.00	138.7	155.5	17	2080000	0.00001	1.000	0.00001
C	B-1	-218.5	-380.4	1.00	81.0	90.8	74	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00394

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

→環境Uf : 0.004

: 割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

下部炉心板 疲労評価結果 (評価点：中央部下面)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	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					
E	D-2	337.5	-206.3	1.00	271.9	299.5	17	70500	0.00024	6.044	0.00146
D-1	1A1	309.3	-157.1	1.00	233.2	256.9	4	164000	0.00002	5.506	0.00013
F	1A1	272.7	-157.1	1.00	214.9	236.8	6	266000	0.00002	9.200	0.00021
B-1	1A1	235.7	-157.1	1.00	196.4	216.4	120	466000	0.00026	17.958	0.00462
B-1	A-2	235.7	-148.3	1.00	192.0	211.5	130	542000	0.00024	1.000	0.00024
B-1	B-1	235.7	-148.3	1.00	192.0	211.5	665	542000	0.00123	1.000	0.00123
A-2	B-1	143.6	-148.3	1.00	146.0	160.8	130	1840000	0.00007	1.000	0.00007
NSS	B-1	0.0	-148.3	1.00	74.2	81.7	120	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00796

(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	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					
F	D-2	490.3	-237.3	1.00	363.8	400.8	6	15900	0.00038	6.742	0.00254
E	D-2	446.0	-237.3	1.00	341.6	376.4	11	21800	0.00050	5.883	0.00297
E	NSS	446.0	0.0	1.00	223.0	245.7	6	212000	0.00003	7.167	0.00020
C	NSS	388.1	0.0	1.00	194.0	213.8	74	504000	0.00015	1.000	0.00015
D-1	NSS	341.1	0.0	1.00	170.5	187.9	4	1110000	0.00000	1.000	0.00000
A-2	NSS	297.0	0.0	1.00	148.5	163.6	46	1740000	0.00003	1.000	0.00003
A-2	B-2	297.0	236.4	1.00	30.3	33.4	84	-----	0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.00589

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

→環境Uf : 0.006

 : 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: 上端)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
NSS	D-2	0.0	-596.9	1.00	298.4	328.8	17	42900	0.00040	11.751	0.00466	
NSS	B-2	0.0	-529.3	1.00	264.7	291.6	113	81700	0.00138	13.991	0.01935	
F	B-2	-283.3	-529.3	1.00	123.0	135.5	6	3770000	0.00000	1.000	0.00000	
E	B-2	-343.7	-529.3	1.00	92.8	102.2	17	30200000	0.00000	1.000	0.00000	
C	B-2	-345.6	-529.3	1.00	91.9	101.2	74	35400000	0.00000	1.000	0.00000	
B-1	B-2	-420.3	-529.3	1.00	54.5	60.1	695	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計:	0.02401

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

→環境Uf : 0.025

: 割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

炉心槽下部接続部 疲労評価結果 (評価点: 外面)

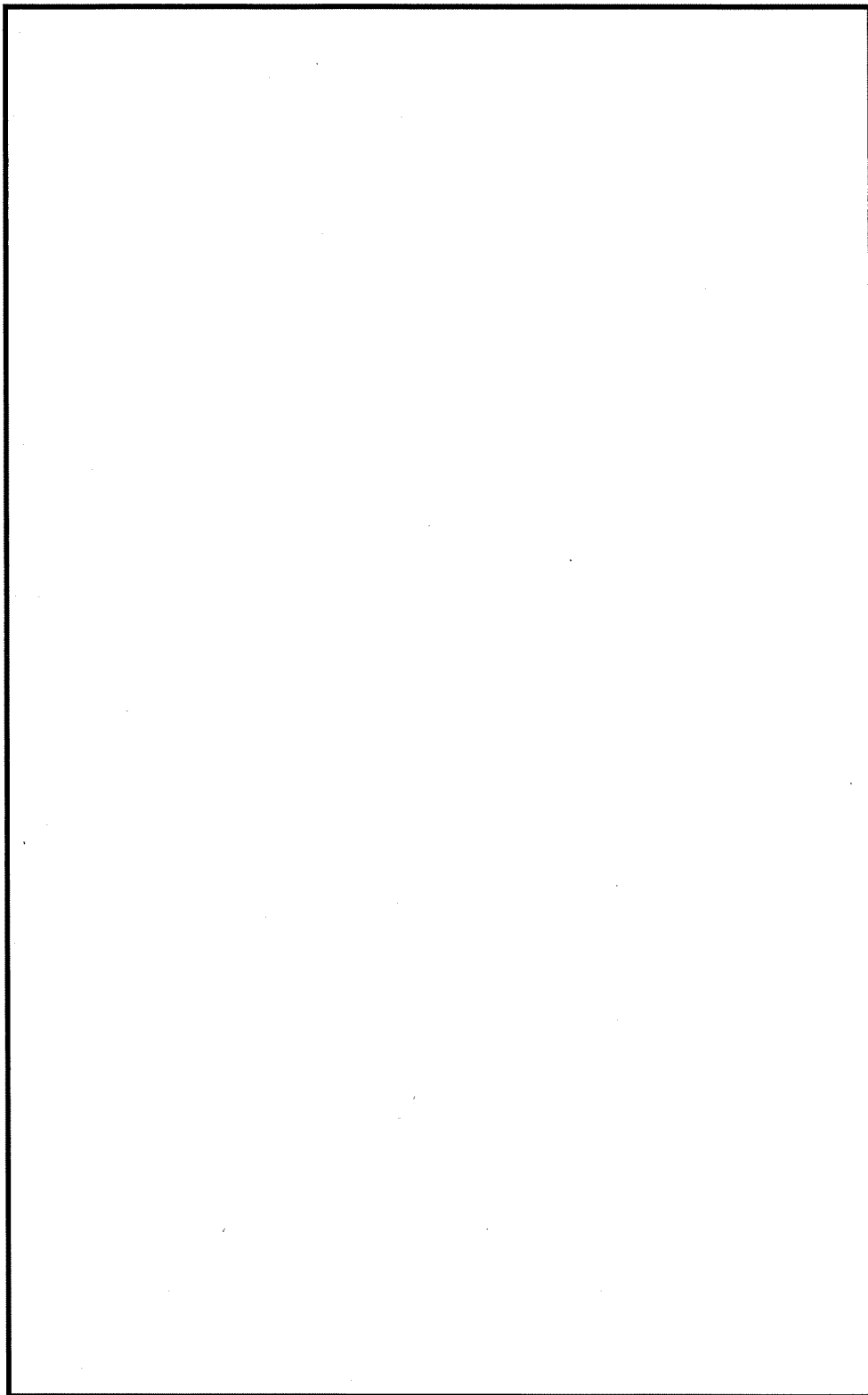
過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen	
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'						
F	D-2	104.1	-88.7	1.00	96.4	106.2	6	17900000	0.00000	1.000	0.00000	
E	D-2	99.3	-88.7	1.00	94.0	103.6	11	24700000	0.00000	1.000	0.00000	
E	D-1	99.3	-33.5	1.00	66.4	73.2	4	-----	0.00000	1.000	0.00000	
											合計:	0.00000

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

→環境Uf : 0.001

: 割り増し係数Ke、環境効果補正係数Fenを示す

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="488 562 1289 752"> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 2018</td> </tr> <tr> <td>要素種類</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td>要素次数</td> </tr> <tr> <td>要素数</td> </tr> <tr> <td>節点数</td> </tr> </table> <p>2. 材料物性値 各部位の設計応力強さを以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="488 869 1299 994"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th rowspan="2">材料</th> <th>設計応力 (MPa)</th> </tr> <tr> <th>345℃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>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、強度評価上厳しくなる材料および構造上の不連続部を抽出しており、その中から疲労累積係数が最大となる点を選定している。 解析モデル上の評価点および最大評価点の選定結果を添付 1 に示す。</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、応力評価フローを添付 2 に示す。</p> <table border="1" data-bbox="501 1368 1289 1480"> <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	要素数	節点数	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																			
要素数																			
節点数																			
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

加圧器スカート溶接部 最大評価点の選定

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	0.00018
4	0.0	0.00000	0.00180
5	0.00081	0.00000	0.00358
6	0.00028	0.0	0.00048
7	0.26096	0.00012	0.20856
8	0.00089	0.00402	0.02859

許容値 $U_t=1.0$

加圧器スカート溶接部 疲労評価結果 (評価点 : 7)

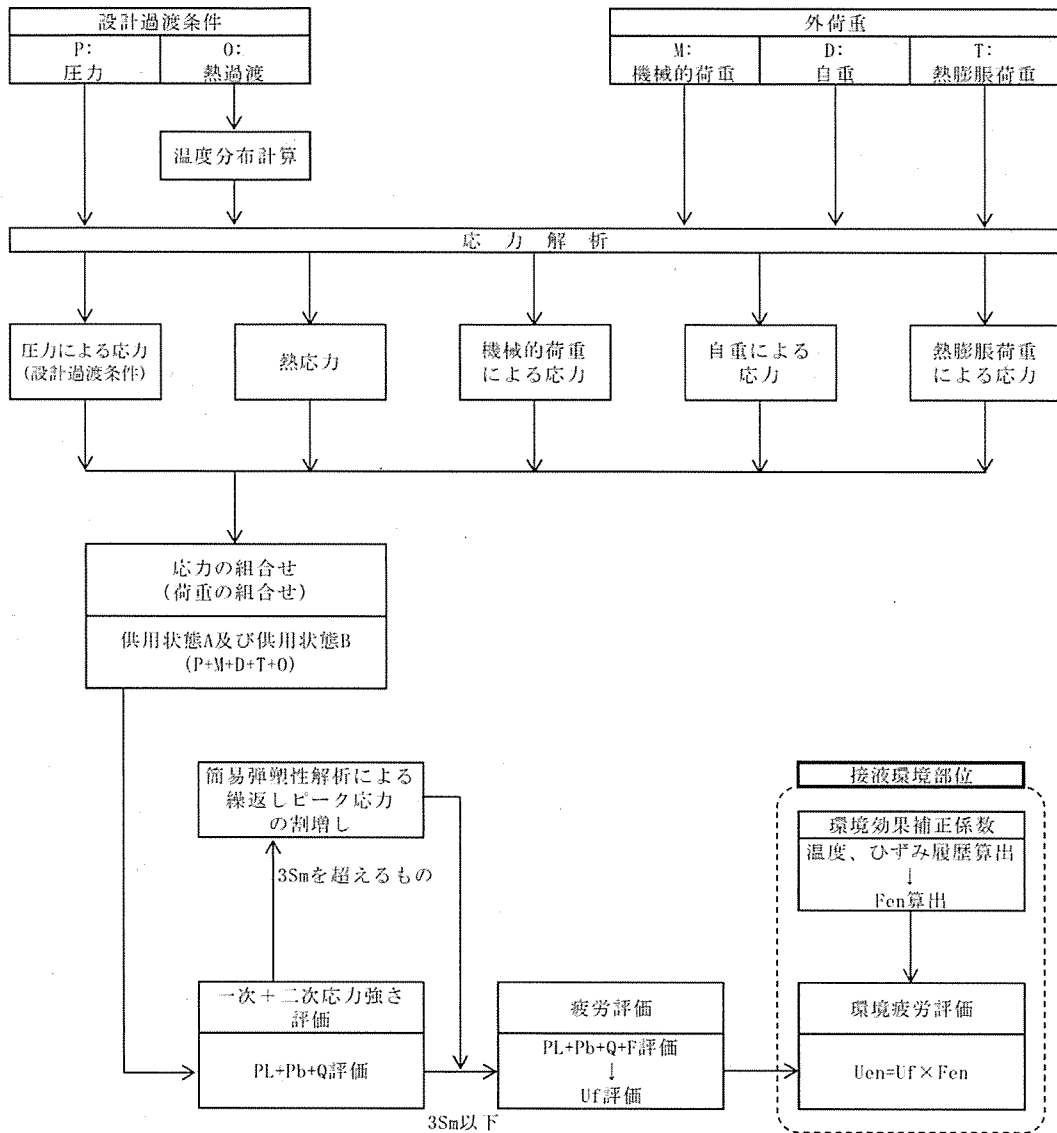
評価点 - 7
(S12)

応力強さ (単位 : MPa)		繰返し回数		疲労係数 (=N/N*)			
極大値	極小値	Ke	ALT		ALT'	N	N*
219.1	-781.6	1.46	729.8	848.7	69	344	0.20058
62.8	-676.0	1.0	369.4	429.6	5	2170	0.00230
62.8	-649.5	1.0	356.2	414.2	7	2440	0.00287
62.8	-638.7	1.0	350.7	407.9	2	2560	0.00078
62.8	-634.0	1.0	348.4	405.2	5	2620	0.00191
62.8	-631.7	1.0	347.2	403.8	42	2640	0.01591
0.0	-631.7	1.0	315.8	367.3	130	3580	0.03631
-193.7	-631.7	1.0	219.0	254.7	2	10900	0.00018
-473.7	-631.7	1.0	79.0	91.9	61	558000	0.00011
-504.1	-631.7	1.0	63.8	74.2	2		0.0
疲労累積係数 =							0.26096

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 : 0.261

応力評価フロー



備考：機械的荷重は作用しない。また、接液環境部位はない。

別紙 8

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(JSME S NC1-2005/2007)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})を掛け合わせることにより求める。

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

(2) 環境効果補正係数 (F_{en})

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

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

ここで、

$$C = 3.910$$

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

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

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

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

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

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

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

C：環境効果補正係数の算出のための定数

$\dot{\epsilon}$ ：ひずみ上昇過程でのひずみ速度

$\dot{\epsilon}^*$ ：ひずみ速度依存パラメータ

T：温度

T^* ：温度依存パラメータ

(3) 環境効果補正係数 (F_{en}) の算出方法 (詳細評価手法)

ひずみの時刻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

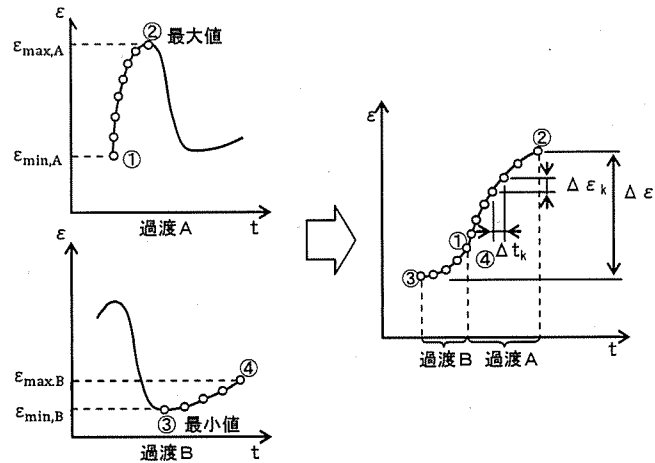
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon_k}{\Delta t_k}$$

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。

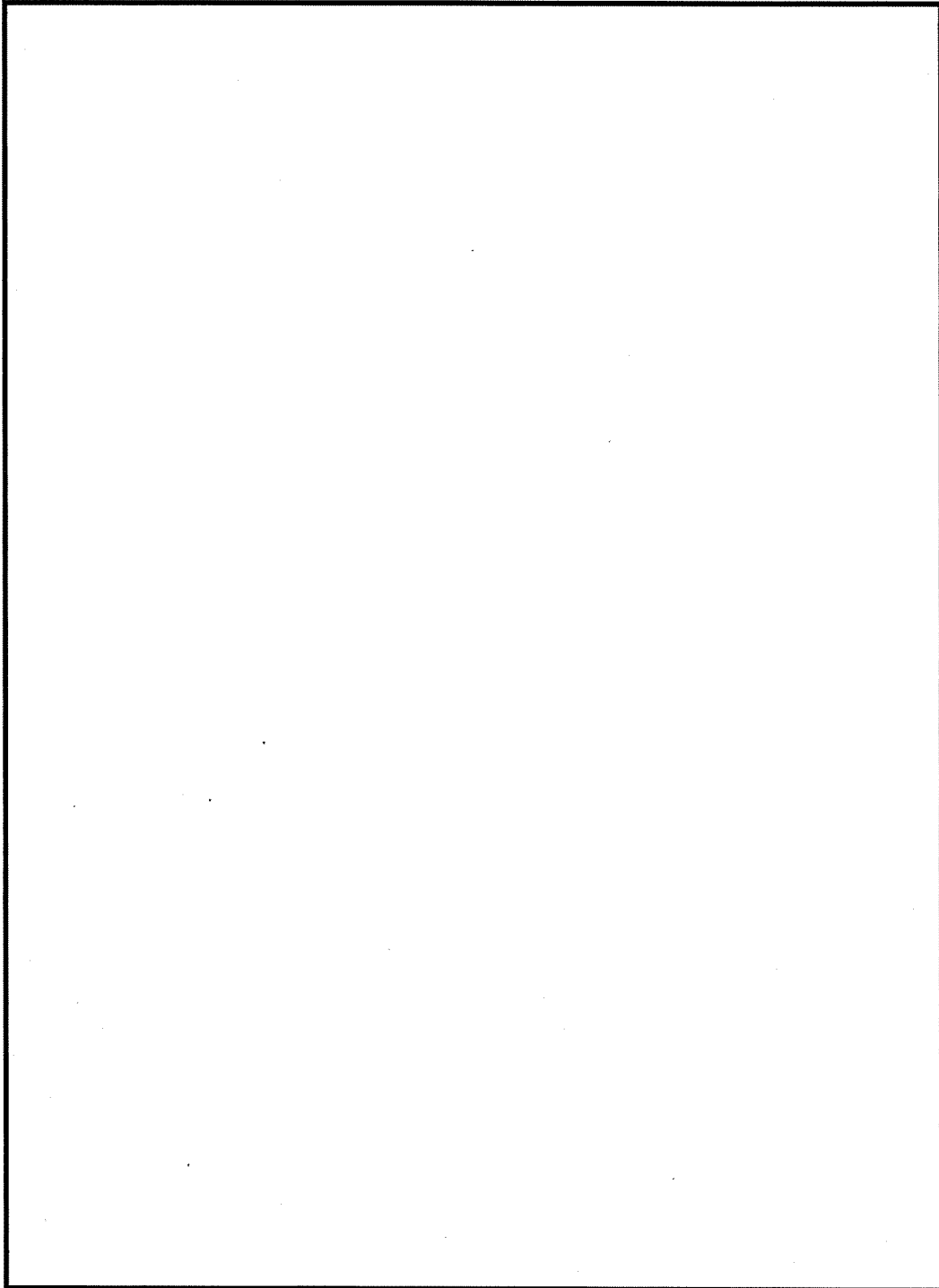


図1 ひずみと温度履歴

② 微小区間 k

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

表1 ひずみおよ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	f	Time
	23	-35.0		176556.		区間1
	24	9.4		179560.		
	24	9.4		179560.		
	25	10.9		181344.		
	25	10.9		181344.		
	26	83.8		183780.		
	26	83.8		183780.		
	27	186.2		188008.		
	27	186.2		188008.		
	28	266.3		191016.		
	28	266.3		191016.		
	29	346.6		194933.		

I B	IA1	SI	Temp	E	f	Time
	6	-341.7		179416.		
	7	-335.5		176556.		
	7	-335.5		176556.		
	8	-331.3		176556.		
	8	-331.3		176556.		
	9	-318.3		176556.		
	9	-318.3		176556.		
	10	-306.1		176556.		
	10	-306.1		176556.		
	11	-275.6		176556.		
	11	-275.6		176556.		
	12	-249.9		176556.		
	12	-249.9		176556.		
	13	-222.2		176556.		
	13	-222.2		176556.		
	14	-195.2		176556.		
	14	-195.2		176556.		
	15	-173.6		176556.		
	15	-173.6		176556.		
	16	-143.4		176556.		
	16	-143.4		176556.		
	17	-121.4		176556.		
	17	-121.4		176556.		
	18	-104.7		176556.		
	18	-104.7		176556.		
	19	-83.2		176556.		
	19	-83.2		176556.		
	20	-68.7		176556.		
	20	-68.7		176556.		
	21	-58.8		176556.		
	21	-58.8		176556.		
	22	-51.9		176556.		

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。

$$C = 3.910$$

$$\varepsilon_1 = 0.697222 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon_1^* = -10.1266311$$

$$T_1 = \boxed{}$$

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

$$F_{en,1} = e^{(C-\varepsilon_1^*) \times T_1^*} = e^{(3.910 - (-10.1266311)) \times \boxed{}} = 23.114$$

区間 1 のひずみ変化量は、

$$\Delta\varepsilon_1 = \boxed{} - \boxed{} = 0.02510$$

区間 1 での Fen,det,A,1 について求めると、

$$F_{en,det,A,1} = F_{en,1} \frac{\Delta\varepsilon_1}{(\varepsilon_{max,A} - \varepsilon_{min,A})} = 23.114 \times \frac{0.02510}{\boxed{} - \boxed{}} = 2.935$$

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

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

詳細評価手法による評価

1 A	IB1	SI	Temp	E	ϵ	Time	$\epsilon \cdot$	Temp	Fen, k	Δ Fen
	23	-35.0		176556.			0.697E-05		23.114	2.935
	24	9.4		179560.						
	24	9.4		179560.			0.717E-06		12.555	0.049
	25	10.9		181344.						
	25	10.9		181344.			0.183E-04		10.452	2.092
	26	83.8		183780.						
	26	83.8		183780.			0.148E-04		7.252	1.960
	27	186.2		188008.						
	27	186.2		188008.			0.125E-04		3.939	0.805
	28	266.3		191016.						
	28	266.3		191016.			0.110E-04		2.273	0.441
	29	346.6		194933.						
									total	8.283

1 B	IA1	SI	Temp	E	ϵ	Time	$\epsilon \cdot$	Temp	Fen, k	Δ Fen
	6	-341.7		179416.			0.119E-06		23.114	0.059
	7	-335.5		176556.						
	7	-335.5		176556.			0.206E-04		23.114	0.341
	8	-331.3		176556.						
	8	-331.3		176556.			0.204E-04		23.114	1.057
	9	-318.3		176556.						
	9	-318.3		176556.			0.191E-04		23.114	0.988
	10	-306.1		176556.						
	10	-306.1		176556.			0.160E-04		23.114	2.480
	11	-275.6		176556.						
	11	-275.6		176556.			0.135E-04		23.114	2.093
	12	-249.9		176556.						
	12	-249.9		176556.			0.109E-04		23.114	2.249
	13	-222.2		176556.						
	13	-222.2		176556.			0.850E-05		23.114	2.197
	14	-195.2		176556.						
	14	-195.2		176556.			0.679E-05		23.114	1.754
	15	-173.6		176556.						
	15	-173.6		176556.			0.475E-05		23.114	2.456
	16	-143.4		176556.						
	16	-143.4		176556.			0.347E-05		23.114	1.794
	17	-121.4		176556.						
	17	-121.4		176556.			0.262E-05		23.114	1.356
	18	-104.7		176556.						
	18	-104.7		176556.			0.169E-05		23.114	1.749
	19	-83.2		176556.						
	19	-83.2		176556.			0.114E-05		23.114	1.173
	20	-68.7		176556.						
	20	-68.7		176556.			0.780E-06		23.114	0.806
	21	-58.8		176556.						
	21	-58.8		176556.			0.543E-06		23.114	0.561
	22	-51.9		176556.						
									total	23.114

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

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

$$= \frac{8.283 \times (\quad - \quad) + 23.114 \times ((\quad) - (\quad))}{(\quad - \quad) + ((\quad) - (\quad))}$$

$$= 14.941$$

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。

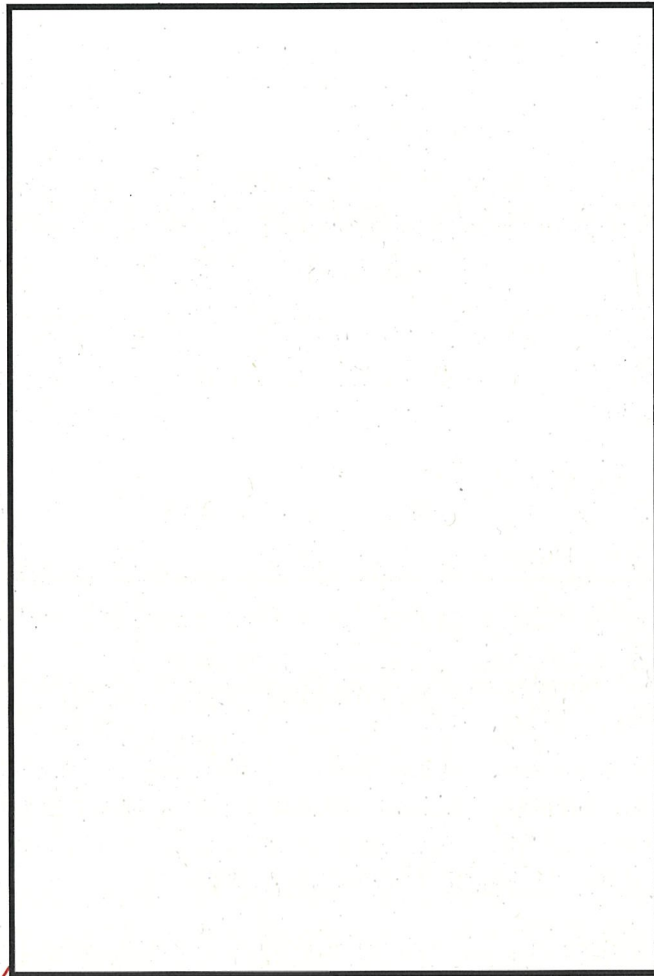
表 2 環境効果を考慮した疲労累積係数算出結果

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	smin	KE	補正前 salt	補正後 salt'	n	n*	u	fen	uen
1B1	1A1	346.6	-341.7	1.78	611.9	675.3	69	1930	0.03575	14.941	0.53415
212	211	264.3	-300.7	1.46	412.8	455.6	61	8770	0.00696	7.711	0.05364
2D3	2B1	184.4	-128.8	1.00	156.6	172.8	2	1460000	0.00000	1.000	0.00000
111	2B1	159.6	-128.8	1.00	144.2	159.1	3	1910000	0.00000	1.000	0.00000
111	2A1	159.6	-121.8	1.00	140.7	155.3	7	2090000	0.00000	1.000	0.00000
111	2E1	159.6	-103.6	1.00	131.6	145.2	2	2800000	0.00000	1.000	0.00000
111	1G1	159.6	-66.5	1.00	113.1	124.8	5	5550000	0.00000	1.000	0.00000
111	2C1	159.6	-63.4	1.00	111.5	123.1	2	6030000	0.00000	1.000	0.00000
111	2D3	159.6	-62.9	1.00	111.2	122.8	2	6110000	0.00000	1.000	0.00000
111	2G1	159.6	-62.3	1.00	110.9	122.4	2	6210000	0.00000	1.000	0.00000
111	2D2	159.6	-60.6	1.00	110.1	121.5	2	6490000	0.00000	1.000	0.00000
111	2D1	159.6	-59.2	1.00	109.4	120.7	8	6760000	0.00000	1.000	0.00000
111	212	159.6	-55.7	1.00	107.6	118.8	36	7430000	0.00000	1.000	0.00000
1A1	212	47.5	-55.7	1.59	81.8	90.3	25		0.00000	1.000	0.00000
合計：											0.58780

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

→環境 Uf:0.588

タイトル	有限要素法解析における応力分類について
説明	<p>1. 応力分類の方法 評価断面において、FEM 解析値を JSME GNR-2130 の考え方に基づき、膜応力、曲げ応力、ピーク応力に分類する。 図 1 に加圧器スプレイ配管の 3 次元解析の例を示す。</p> <p>2. 評価断面の設定方法 評価候補断面（曲げ部、構造不連続部等）の中で、全節点の全時刻における最大ピーク応力強さを特定し、その最大ピーク応力強さを含む断面を、評価断面としている。</p> <p>3. ピーク応力強さの設定方法 ピーク応力強さは、各過渡事象の過渡条件に基づき、外荷重を考慮して応力履歴を算出し、時刻歴での最大応力をその過渡でのピーク応力強さとしている。</p> <p>4. 3 次元解析モデルにおけるメッシュの管理方法 当社では、原子炉施設の許認可申請等に係る解析業務を行う際に、解析業務における品質管理を確実にを行うための調達管理のルールを定めている。具体的には、調達先に対して「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」（原子力安全推進協会）に従った品質管理の実施を要求し、当社も同ガイドラインに従って、調達先が定めた解析業務計画に従って実施しているプロセスの確認をしている。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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>



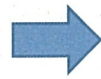
FEM 解析値

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

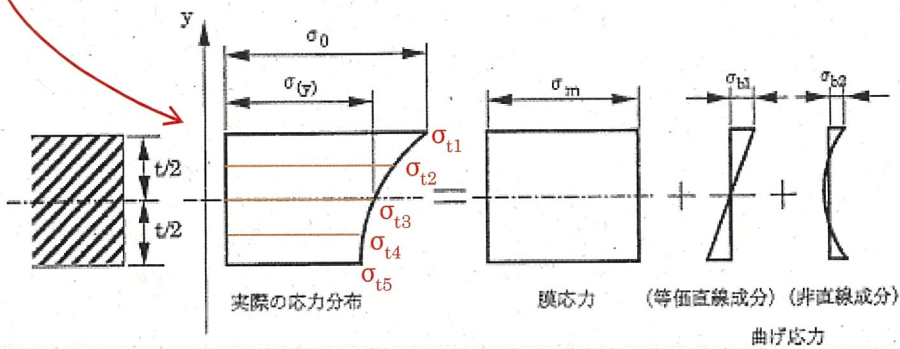
軸方向応力を抽出

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

- $\sigma_{\theta 2}$
- $\sigma_{r 2}$
- $\sigma_{t 2}$
- ...
- $\sigma_{\theta 5}$
- $\sigma_{r 5}$
- $\sigma_{t 5}$



2005 設計・建設規格 第I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