

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0428_改1
提出年月日	2021年10月12日

VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書
(可燃性ガス濃度制御系)

02 ⑤ VI-2-9-4-4-2-1 R0

2021年10月

東北電力株式会社

設計基準対象施設

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力評価条件	13
3.5 設計用地震力	14
4. 解析結果及び評価	15
4.1 固有周期及び設計震度	15
4.2 評価結果	21
4.2.1 管の応力評価結果	21
4.2.2 支持構造物評価結果	22
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	23
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	25

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、可燃性ガス濃度制御系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






(3) 弁

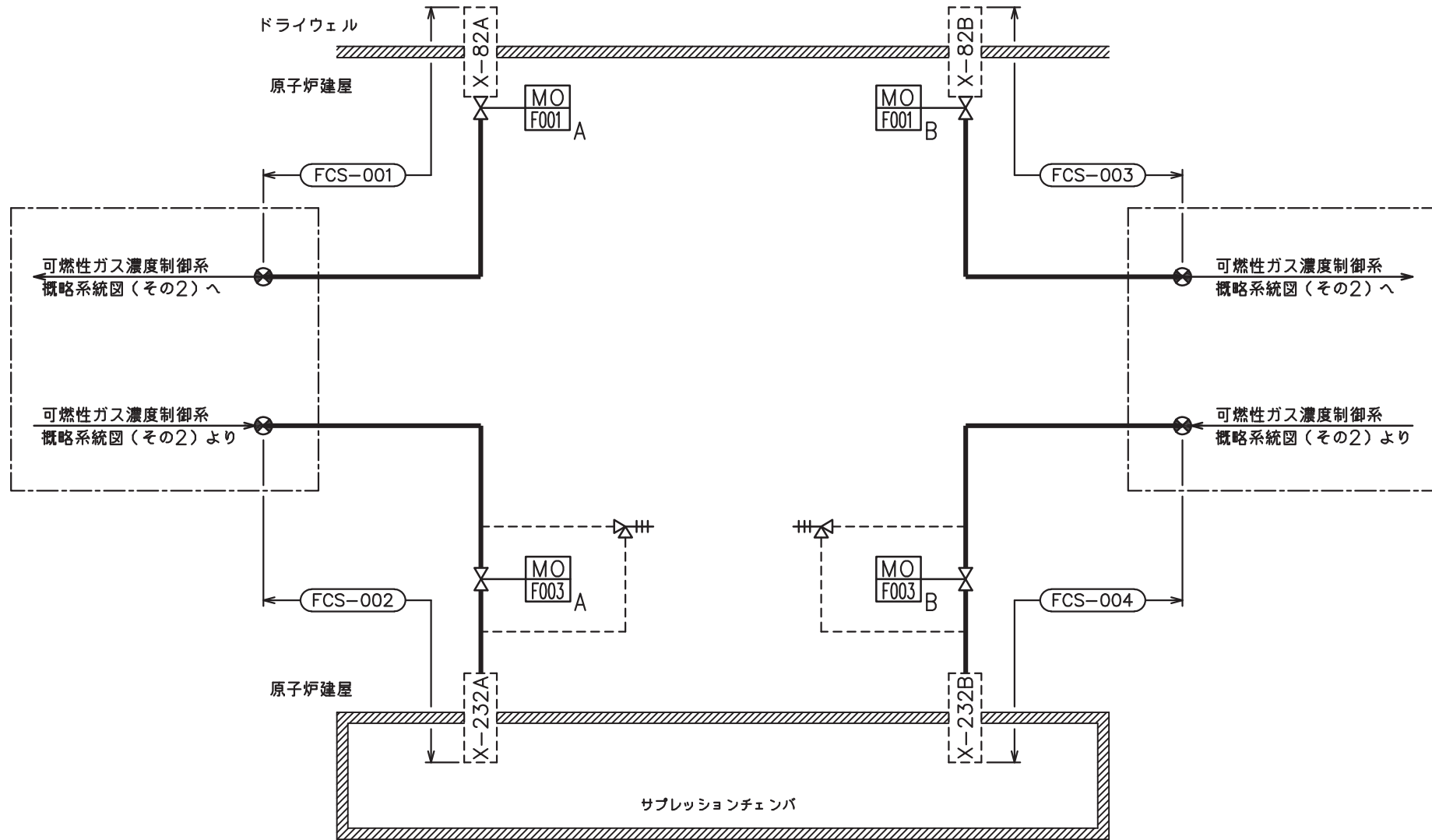
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

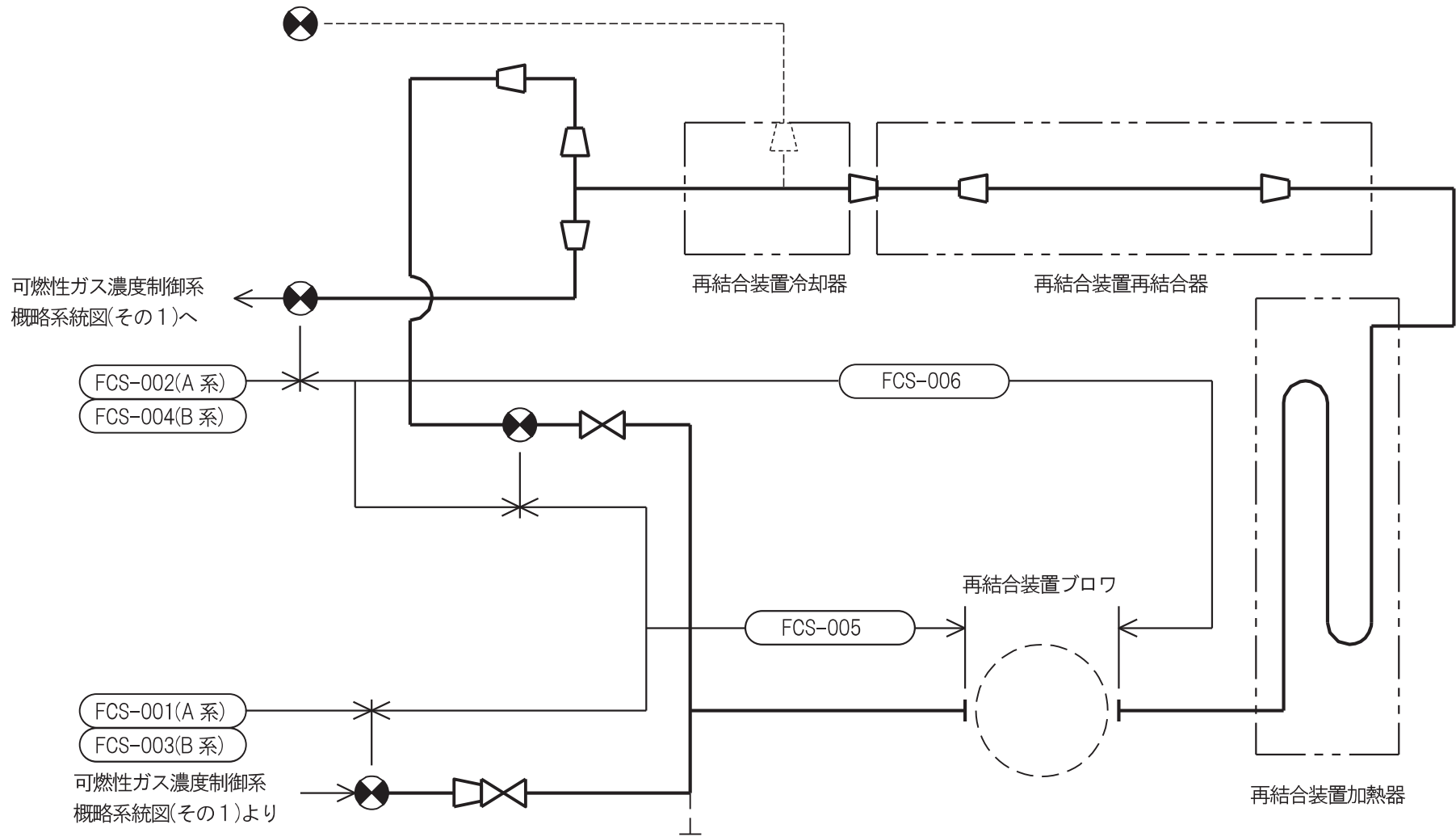
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



可燃性ガス濃度制御系概略系統図(その1)


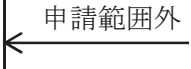




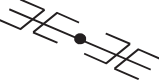

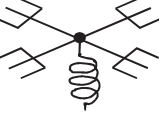
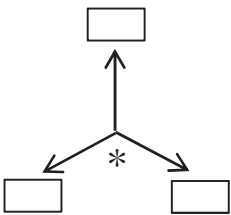


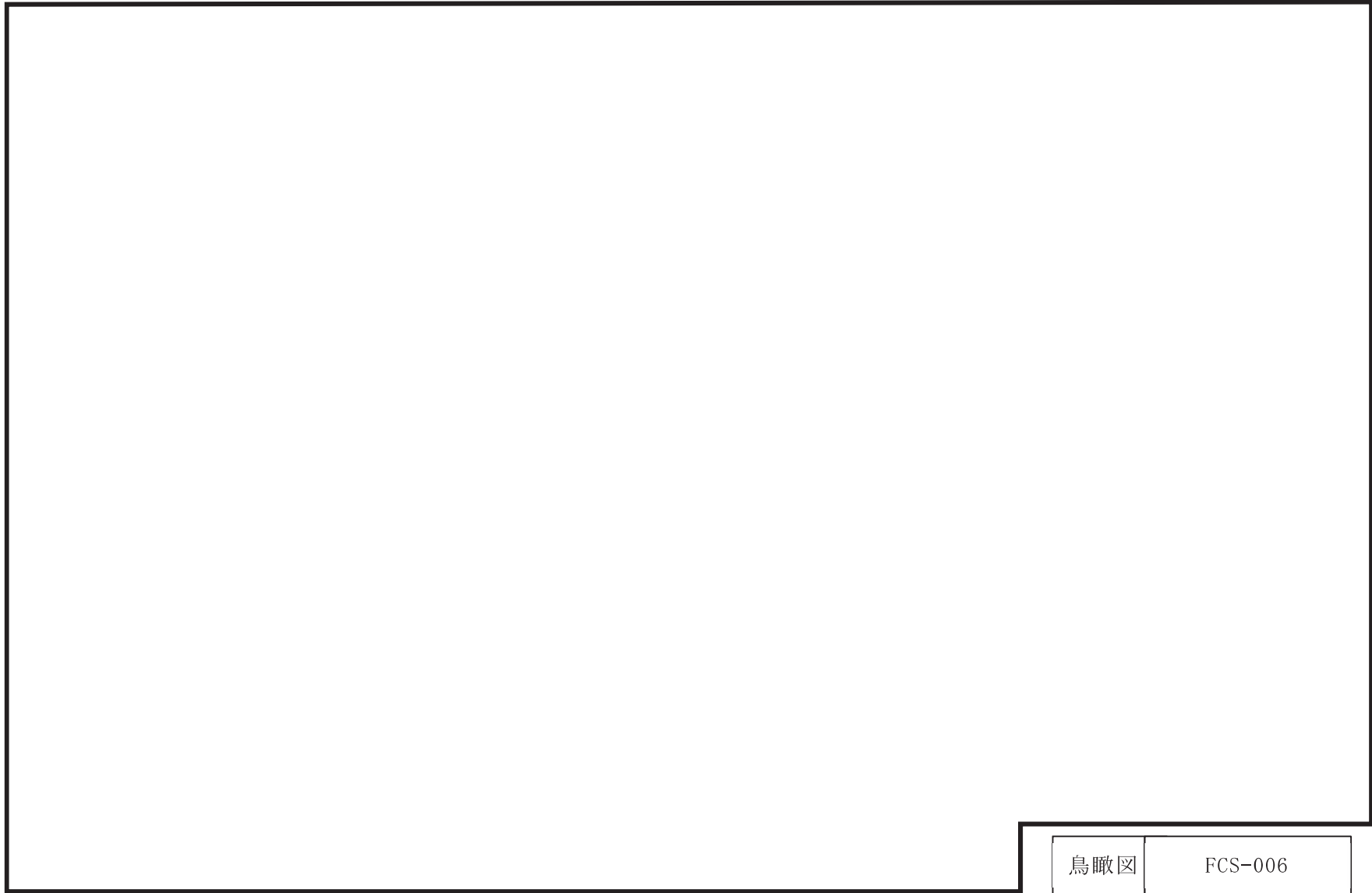
4

可燃性ガス濃度制御系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また， 内に変位量を記載する。)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」, 「S A P - V」及び「K S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	可燃性ガス濃度 制御系	DB	—	クラス3管	S	I _L + S d	III _A S
							II _L + S d	
							I _L + S s	IV _A S
							II _L + S s	

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-006

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.427	171	89.1	5.5	SUSF304	S	184320
2	0.427	777	89.1	5.5	SUS304TP	S	130680
3	0.427	777	89.1	6.5	SUS304TP	S	130680
4	0.427	777	406.4	8.0	SUSF304	S	130680
5	0.427	777	114.3	6.0	SUS304TP	S	130680
6	0.427	777	165.2	7.1	SUS304TP	S	130680
7	0.427	171	165.2	7.1	SUSF304	S	184320
8	0.427	171	165.2	7.1	SUS304TP	S	184320
9	0.427	171	267.4	9.3	SUS304TP	S	184320
10	0.427	171	114.3	6.0	SUS304TP	S	184320
11	0.427	171	89.1	5.5	SUS304TP	S	184320

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 FCS-006

管名称	対応する評価点													
1	1	2												
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	41	42												
3	42	43	44											
4	46	47	48	49	50									
5	52	53	54											
6	56	57	75	76	77									
7	77	78	79											
8	79	80	93	94	95	96								
9	80	81	92											
10	82	83												
11	84	85	86	87	88	89	90	91						

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		23		46		87	
2		24		47		88	
3		25		48		89	
4		26		49		90	
5		27		50		91	
6		28		52		92	
7		29		53		93	
8		30		54		94	
9		31		56		95	
10		32		57		96	
11		33		75			
12		34		76			
13		35		77			
14		36		78			
15		37		79			
16		38		80			
17		39		81			
18		40		82			
19		41		83			
20		42		84			
21		43		85			
22		44		86			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-006

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
12, 16, 20						
24, 28, 32						
13, 17, 21						
25, 29, 33						
14, 18, 22						
26, 30, 34						
15, 19, 23						
27, 31, 35						
43						
53						
77						
91						
93						
96						

--

O 2 ⑤ VI-2-9-4-4-2-1 (設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
SUS304TP	171	—	150	413	—
SUSF304	777	—	75	182	—

3.5 設計用地震力

本計画書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

本計算書の疲労評価は、設備ごとに個別に設定した等価繰返し回数 174 回(S s)で実施する。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
FCS-006	原子炉建屋	22.50	

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 FCS-006

適用する地震動等		S d 及び静的震度		S s	
モード	固有周期	応答水平震度*1	応答鉛直震度*1	応答水平震度*1	応答鉛直震度*1
1 次					
2 次					
3 次					
4 次*2					
動的震度*3					
静的震度*4					

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FCS-006

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：刺激係数は、モード質量で正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

鳥瞰図 FCS-006

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FCS 006

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

20

鳥瞰図 FCS-006

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 3 管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	最大 応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m}(S d)$	S_y^{*1}	$S_n(S d)$	$2 \cdot S_y$	$U S d$
				$S_{p r m}(S s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S s)$	$2 \cdot S_y$	$U S s$
FCS-006	III _A S	11	$S_{p r m}(S d)$	52	75	—	—	—
	III _A S	11	$S_n(S d)$	—	—	96	150	—
	IV _A S	11	$S_{p r m}(S s)$	104	163	—	—	—
	IV _A S	11	$S_n(S s)$	—	—	200 **	150	0.5717

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

注記*1：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S_h$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
FCS-002-902S	メカニカルスナップ	SMS-1-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	40	5	
FCS-003-026B	ロッドレストレイント	RST-S1			7	

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
FCS-002-022R	レストレイント	架構		40	4	18	0	—	—	—	組合せ	130	
FCS-002-073R	レストレイント	Uプレート		40	5	0	34	—	—	—	せん断	43	
FCS-006-S-7	アンカ	—		171	9	9	9	5	7	4	組合せ	57	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
T49-F001B	ゲート弁	β (S d)	4.8	6.1*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*	応力分類	計算応力	許容応力
T49-F001B	ゲート弁	β (S d)	4.8	6.1	20.0	20.0	ヨーク	曲げ	196	354

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FCS-001	18	73	211	2.89	—	18	102	363	3.55	—	18	184	422	2.29	—	—	—	—
2	FCS-002	801	44	211	4.79	—	801	75	363	4.84	—	23	148	422	2.85	—	—	—	—
3	FCS-003	7	77	211	2.74	—	7	123	363	2.95	—	7	252	422	1.67	—	—	—	—
4	FCS-004	28	34	211	6.20	—	28	52	363	6.98	—	67	101	300	2.97	—	—	—	—
5	FCS-005	61	46	150	3.26	—	61	69	371	5.38	—	61	110	300	2.73	—	—	—	—
6	FCS-006	11	52	75	1.44	○	11	104	163	1.57	○	11	200	150	0.75	○	11	0.5717	○

注記* : III_AS の一次+二次応力の許容値はIV_AS と同様であることから、地震荷重が大きいIV_AS の一次+二次応力裕度最小を代表とする。