

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-19-0315_改2
提出年月日	2021年10月29日

VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ系)

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	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	37
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	39
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	41

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、高圧炉心スプレイ系の管、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3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

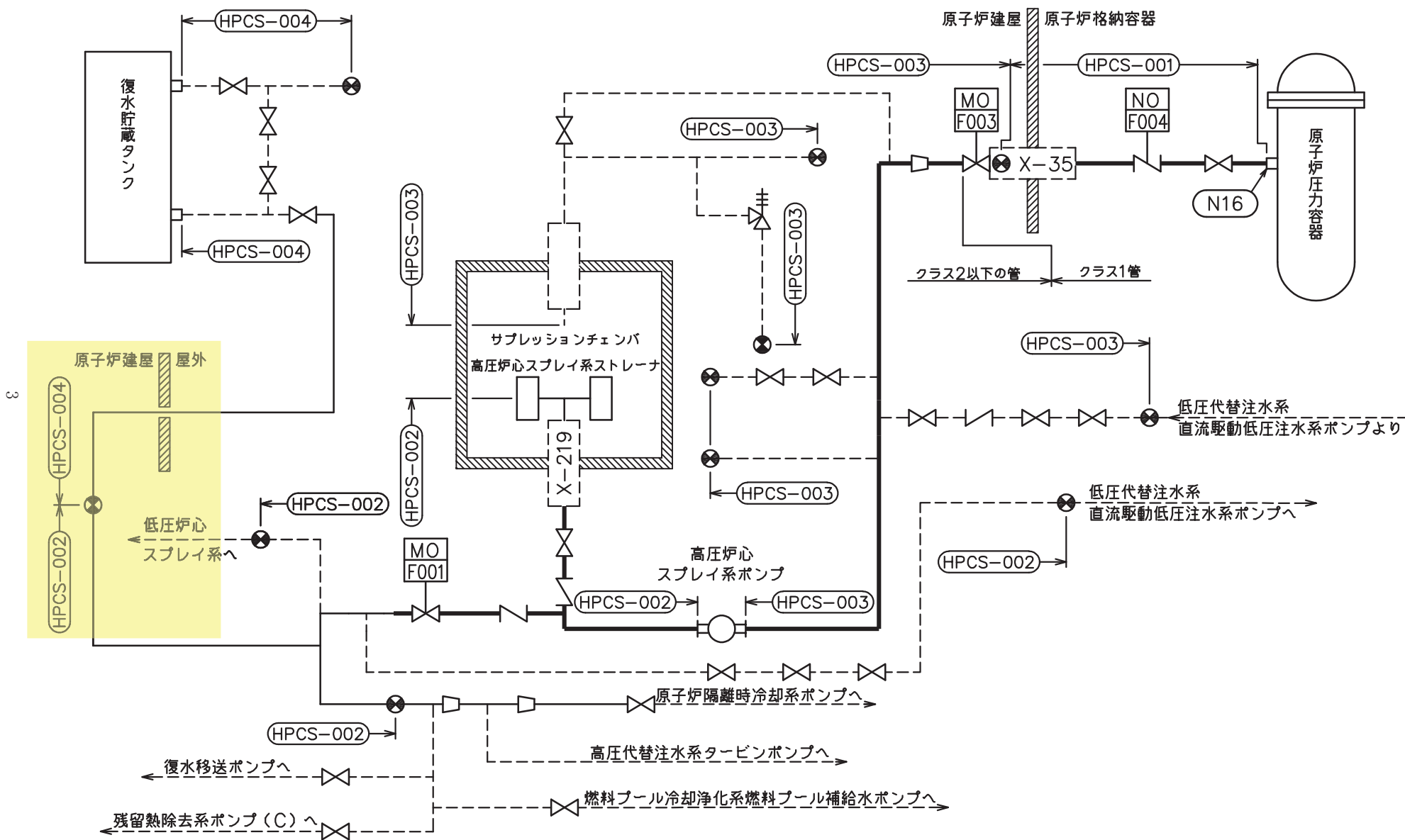
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


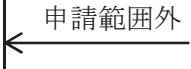



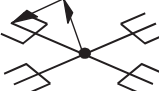
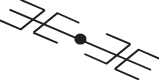

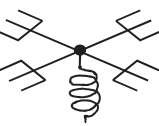
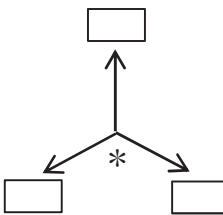
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



高圧炉心スプレー系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図	HPCS-001
-----	----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 HPCS-002-1/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 HPCS-002-2/5

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 HPCS-002-3/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 HPCS-002-4/5

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 HPCS-002-5/5

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」及び「S A P-V」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
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高压炉心スプレイ 系	DB	—	クラス 1 管 クラス 2 管	S	I _L + S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S d	
							Ⅳ _L (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，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*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 H P C S - 0 0 1

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	8.62	302	267.4	18.2	STS410	S	184760

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 H P C S - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	839	901			

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)	評価点	質量(kg)
5		13		21		34		42	
6		14		22		35		43	
7		15		25		36		44	
8		16		26		37		45	
9		17		27		38		839	
10		18		31		39		901	
11		19		32		40			
12		20		33		41			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1 弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
23		28	
50		29	
24		30	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	50			
弁2	29			

O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

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
6						
12						
** 12 **						
** 15 **						
17						
19						
** 22 **						
** 27 **						
** 35 **						
** 37 **						
39						
42						
** 901 **						



O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(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。

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 H P C S - 0 0 2

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	1.37	66	406.4	9.5	SUS304	S	191720
2	1.37	66	406.4	9.5	SGV410	S	200360
3	1.37	100	406.4	9.5	SGV410	S	198000
4	427kPa (0.427MPa)	104	508.0	9.5	SGV410	S	197680
5	1.37	100	508.0	9.5	SGV410	S	198000

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 H P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	32	33													
2	33	34													
3	36	37	38	39	40	42	43	431	901						
4	59	60	61	62	63	64	65	66	85	86	812	813	814	855	954
	956														
5	43	68	69	70	72	73	74	75	84	432	801				

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)	評価点	質量(kg)
32		59		65		85		813	
33		60		69		86		814	
37		61		73		431		855	
38		62		74		432		901	
39		63		75		801		954	
43		64		84		812		956	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		40		66		70	
35		41		67		71	
36		42		68		72	
76				78			
77				79			

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	35			
弁2	41			
弁3	67			
弁4	71			

O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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
** 32 **						
39						
** 57 **						
62						
** 62 **						
69						
75						
** 77 **						
** 79 **						
84						
** 86 **						
** 901 **						
** 954 **						
956						



O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(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)
STS410	302	122	182	—	—
SGV410	66	—	212	384	—
	100	—	201	373	—
	104	—	200	372	—
SUS304	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算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162回(S s)及び278回(S d)で実施する。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 1	原子炉しゃへい壁		

設計用地震力

本計算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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 2	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

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 (s)	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
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 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0.050 s 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 H P C S - 0 0 1

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				
4 次				
5 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、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 HPCS-001

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 HPCS-001

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 HPCS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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 (s)	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	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
13 次								
15 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0.050 s 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： $3.6C_1$ 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 H P C S - 0 0 2

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				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
14 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、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 HPCS-002

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 HPCS-002

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 HPCS-002

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1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	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
					一次応力	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	疲労累積係数
					$S_{pr m}(S_d)$	$2.25 \cdot S_m$	$S_t(S_d)$	$0.55 \cdot S_m$	$S_n(S_d)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_d$
$S_{pr m}(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$S_t(S_s)$	$0.73 \cdot S_m$	$S_n(S_s)$	$3 \cdot S_m$	$U+U S_s$					
HPCS-001	Ⅲ _A S	21	ELBOW	$S_{pr m}(S_d)$	142	274	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	7	ELBOW	$S_t(S_d)$	—	—	62	67	—	—	—
	Ⅲ _A S	21	ELBOW	$S_n(S_d)$	—	—	—	—	329	366	—
	Ⅲ _A S	42	NOZZLE	$U+U S_d$	—	—	—	—	—	—	0.0177
	Ⅳ _A S	21	ELBOW	$S_{pr m}(S_s)$	223	366	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	7	ELBOW	$S_t(S_s)$	—	—	93*	89	—	—	—
	Ⅳ _A S	21	ELBOW	$S_n(S_s)$	—	—	—	—	600**	366	0.1558
	Ⅳ _A S	21	ELBOW	$U+U S_s$	—	—	—	—	—	—	0.1558

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超過していることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

**印は一次+二次応力が許容応力を超過していることを示し、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。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 1

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
7	62 93 *	67 89	73 109	219 292

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 2 以下の管

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 S p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 0. 9 ・ S u	計算応力 S n (S s)	許容応力 2 ・ S y	疲労累積係数 U S s
H P C S - 0 0 2	Ⅲ _A S	75	S p r m (S d)	106	201	—	—	—
	Ⅳ _A S	75	S p r m (S s)	173	335	—	—	—
	Ⅳ _A S	75	S n (S s)	—	—	338	402	—

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 ・ 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)
HPCS-001-019H	スプリングハンガ	VS60-14	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		27	15×2
HPCS-002-086S	メカニカルスナッパ	SMS-10-100			185*	150
HPCS-003-906B	ロッドレストレイント	RST-2			39	67

注記*：当該メカニカルスナッパの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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			
HPCS-002-062R	レストレイント	架構	STKR400	40	95	55	95	—	—	—	組合せ	48	280

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
HPCS-002-086S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	347	404	185	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 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
E22-F003	ゲート弁	β (S s)	7.3*	1.4	6.0	6.0
E22-F004	テストブル チェック弁	β (S s)	6.7*	7.1*	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* ¹	応力分類	計算応力	許容応力
E22-F003	ゲート弁	β (S s)	7.3	1.4	20.0	20.0	ボンネット	曲げ	193	280
E22-F004	テストブル チェック弁	β (S s)	6.7	7.1	6.0* ²	6.0* ²	ボルト	引張	55	259

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：逆止弁のため開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。

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1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	HPCS-001	21	142	274	1.92	○	21	223	366	1.64	○	21	600	366	0.61	○	21	0.1558	○

41 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。

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	HPCS-002	75	106	201	1.89	○	75	173	335	1.93	○	75	338	402	1.18	○	—	—	—
2	HPCS-003	19	85	220	2.58	—	19	108	364	3.37	—	16	186	440	2.36	—	—	—	—

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。

重大事故等対処設備

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	4
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力評価条件	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	43
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

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、高圧炉心スプレイ系の管、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

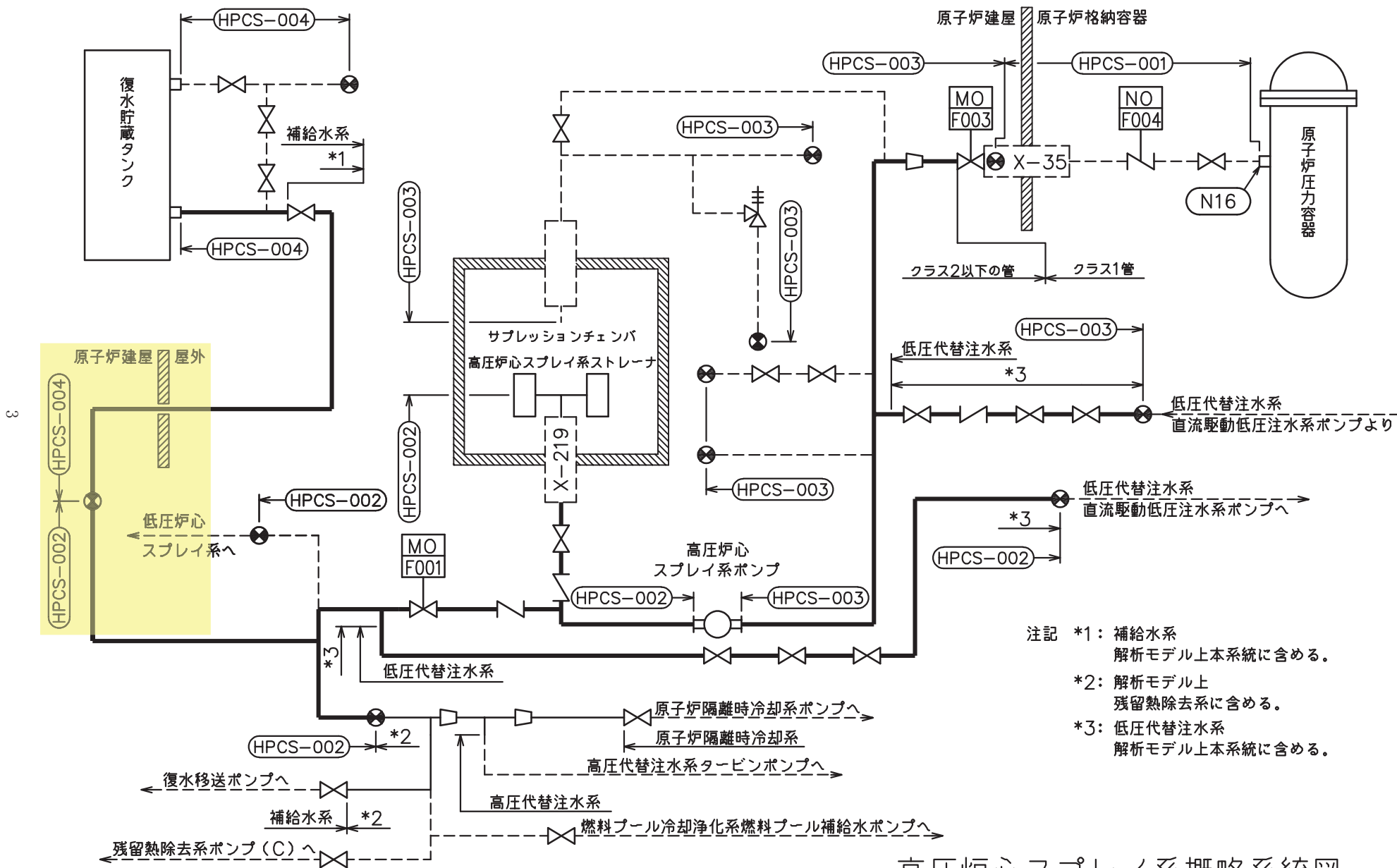
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


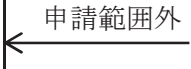




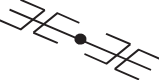

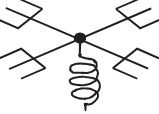
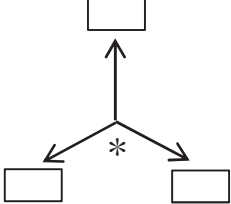


- 注記 *1: 補給水系
解析モデル上本系統に含める。
- *2: 解析モデル上
残留熱除去系に含める。
- *3: 低圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

高圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>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</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>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。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>

5

鳥瞰図 HPCS-002-1/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 HPCS-002-2/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図 HPCS-002-3/5

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 HPCS-002-4/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 HPCS-002-5/5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

10

鳥瞰図 HPCS-004-1/3

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 HPCS-004-2/3

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 HPCS-004-3/3

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」及び「S A P-V」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*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高压炉心 スプレイ系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L(L) + S_d$	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の 安全設備	原子炉格納容器 下部注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備分類*2	機器等 の区分	耐震重要度 分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力 状態*5
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他の 安全設備	原子炉格納容器 代替スプレイ系	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他の 安全設備	高圧代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}
原子炉格納 施設	圧力低減設備その他の 安全設備	低圧代替注水系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

15

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：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字 L は荷重，(L) は荷重が長期間作用している状態，(LL) は(L) より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4：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。

*5：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

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 H P C S - 0 0 2

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	1.37	66	406.4	9.5	SUS304	—	191720
2	1.37	66	406.4	9.5	SGV410	—	200360
3	1.37	100	406.4	9.5	SGV410	—	198000
4	854kPa (0.854MPa)	200	508.0	9.5	SGV410	—	191000
5	1.37	100	508.0	9.5	SGV410	—	198000
6	1.37	66	165.2	7.1	SUS304	—	191720
7	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720
8	1.37	66	165.2	7.1	STS410	—	200360

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 H P C S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	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
	32	33	44	45	46	221	222	281	282	501	502	503	802	811	903
	904	905													
2	33	34													
3	36	37	38	39	40	42	43	431	901						
4	59	60	61	62	63	64	65	66	85	86	812	813	814	855	954
	956														
5	43	68	69	70	72	73	74	75	84	432	801				
6	502	504													
7	504	505													
8	505	506	507	509	510	511	512	513	515	516	517	519	520	521	522
	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537
	538														

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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)	評価点	質量(kg)
1		22		62		505		535	
2		23		63		506		536	
3		24		64		510		537	
4		25		65		511		538	
5		26		69		512		801	
6		27		73		516		802	
7		28		74		520		811	
8		29		75		521		812	
9		30		84		522		813	
10		32		85		523		814	
11		33		86		524		855	
12		37		221		525		901	
13		38		222		526		903	
14		39		281		527		904	
15		43		282		528		905	
16		44		431		529		954	
17		45		432		530		956	
18		46		501		531			
19		59		502		532			
20		60		503		533			
21		61		504		534			

O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(重) 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。

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		40		66		70		507	
35		41		67		71		508	
36		42		68		72		509	
76			78						
77			79						

弁 6		弁 7	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
513		517	
514		518	
515		519	
539			
540			

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁1	35			
弁2	41			
弁3	67			
弁4	71			
弁5	508			
弁6	514			
弁7	518			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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						
4						
11						
14						
18						
23						
26						
** 26 **						
** 32 **						
39						
46						
** 57 **						
62						
** 62 **						
69						
75						
** 77 **						
** 79 **						
84						
** 86 **						
506						
** 506 **						



O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(重) 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。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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
511						
516						
524						
530						
538						
** 540 **						
** 901 **						
** 903 **						
904						
905						
** 954 **						
956						

O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(重) 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。

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 H P C S - 0 0 4

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	静水頭	66	406.4	9.5	SUS304	—	191720
2	1.37	66	406.4	9.5	SUS304	—	191720

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 H P C S - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	801					
2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	60	61	62	802	803	804
	902	903	904	905											

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)	評価点	質量(kg)
1		13		22		32		803	
2		14		23		33		804	
3		15		24		34		902	
4		16		26		35		903	
5		17		27		60		904	
6		18		28		61		905	
7		19		29		62			
8		20		30		801			
12		21		31		802			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
9	
10	
11	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	10			

O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3(重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

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						
7						
14						
16						
22						
28						
30						
32						
35						
60						
902						
903						
** 904 **						
905						

--

O 2 ⑤ VI-2-5-5-1-3 (重) 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)
SGV410	66	—	212	384	—
	100	—	201	373	—
	200	—	189	362	—
STS410	66	—	231	407	—
SUS304	66	—	188	479	—
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 2	原子炉建屋		

設計用地震力

本計算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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
H P C S - 0 0 4	原子炉建屋		
	復水貯蔵タンク連絡トレンチ		
	復水貯蔵タンクバルブ室		
	復水貯蔵タンク		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 2

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 (s)	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	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
14 次								
15 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0.050 s 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： $3.6C_1$ 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 H P C S - 0 0 2

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				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
14 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、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 HPCS-002

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 HPCS-002

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 HPCS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P C S - 0 0 4

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 (s)	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	
		X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 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0.050 s 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： $3.6C_1$ 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 H P C S - 0 0 4

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				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
9 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、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 HPCS-004

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 HPCS-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

40

鳥瞰図 HPCS-004

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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

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
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
HPCS-002	$V_A S$	538	$S_{pr m}(S_s)$	185	366	—	—	—
	$V_A S$	538	$S_n(S_s)$	—	—	366	462	—

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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

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
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S_s)$	$2 \cdot S_y$	$U S_s$
HPCS-004	$V_A S$	1	$S_{pr m}(S_s)$	140	431	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n(S_s)$	—	—	307	376	—

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)
HPCS-002-084H	スプリングハンガ	VS30-17	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		3	39
HPCS-002-086S	メカニカルスナップ	SMS-10-100			196*	150
HPCS-003-906B	ロッドレストレイント	RST-2			39	67

注記*：当該メカニカルスナップの計算荷重が許容荷重を超えるため、詳細評価を実施する。

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			
HPCS-002-004R	レストレイント	架構	STKR400	40	176	48	0	-	-	-	組合せ	143	280
HPCS-002-001A	アンカ	ラグ	SUS304	66	37	31	199	31	38	5	組合せ	173	205

メカニカルスナップの詳細評価結果

支持構造物 番号	型式	評価結果					
		強度評価				機能確認	
		評価部位*	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
HPCS-002-086S	SMS-10-100	ベアリング押え	曲げ	367	404	196	219

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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
—	—	—	—	—	—	—

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(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS												
		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	疲労 累積 係数	代表
1	HPCS-002	538	185	366	1.97	○	538	366	462	1.26	—	—	—	—
2	HPCS-003	302	158	366	2.31	—	302	315	462	1.46	—	—	—	—
3	HPCS-004	1	140	431	3.07	—	1	307	376	1.22	○	—	—	—