

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-2-036-14 改2
提出年月日	2020年7月31日

V-2-5-4-1-5 管の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-5-4-1-5 R0

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-5-4-1-5 管の耐震性についての計算書

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	10
3.1	計算方法	10
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	11
3.3	設計条件	12
3.4	材料及び許容応力	23
3.5	設計用地震力	24
4.	解析結果及び評価	25
4.1	固有周期及び設計震度	25
4.2	評価結果	37
4.2.1	管の応力評価結果	37
4.2.2	支持構造物評価結果	40
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	41
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	42

1. 概要

本計算書は、V-2-1-14 「計算書作成の方法 添付資料-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、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評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6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。




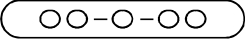

(3) 弁

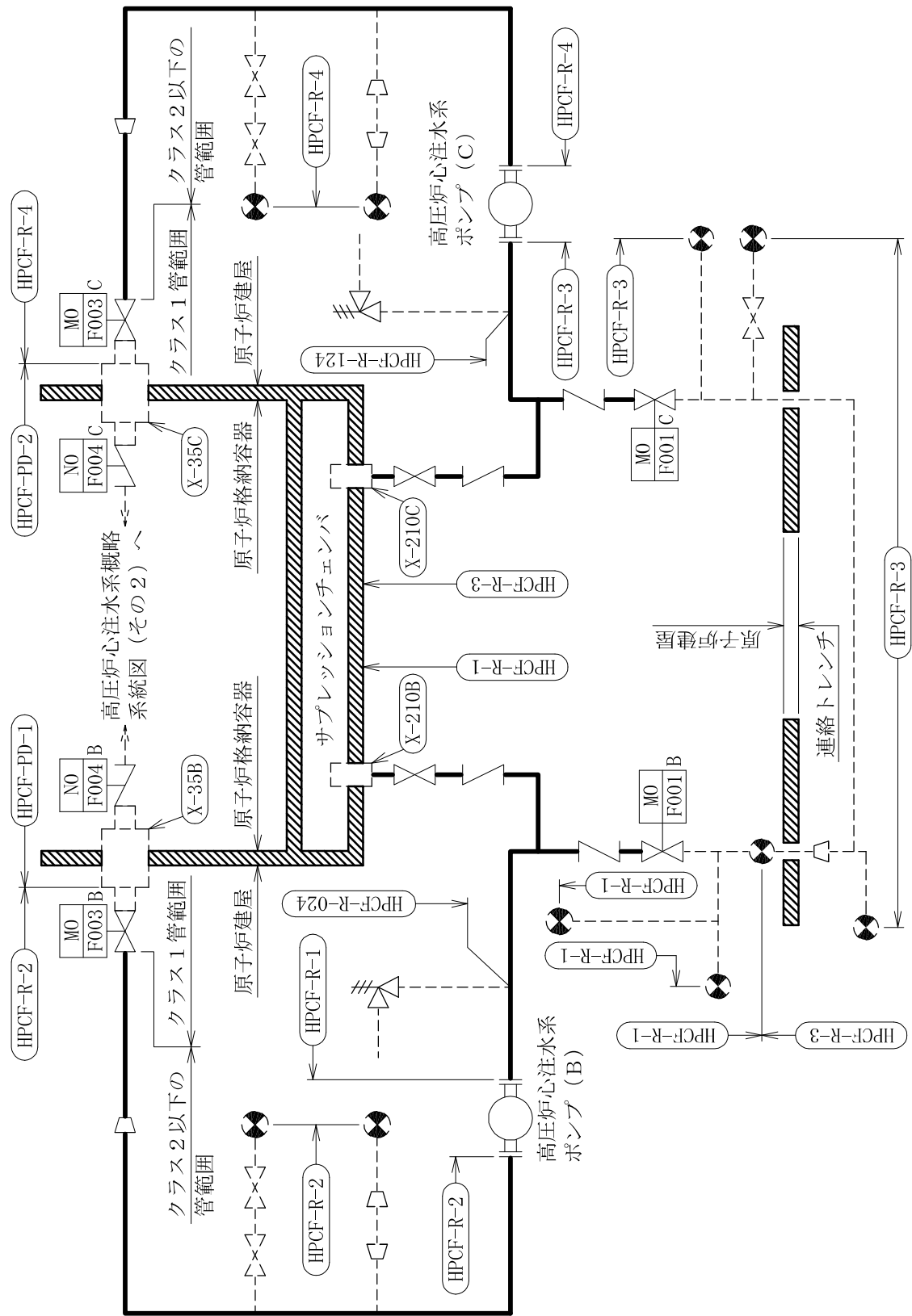
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

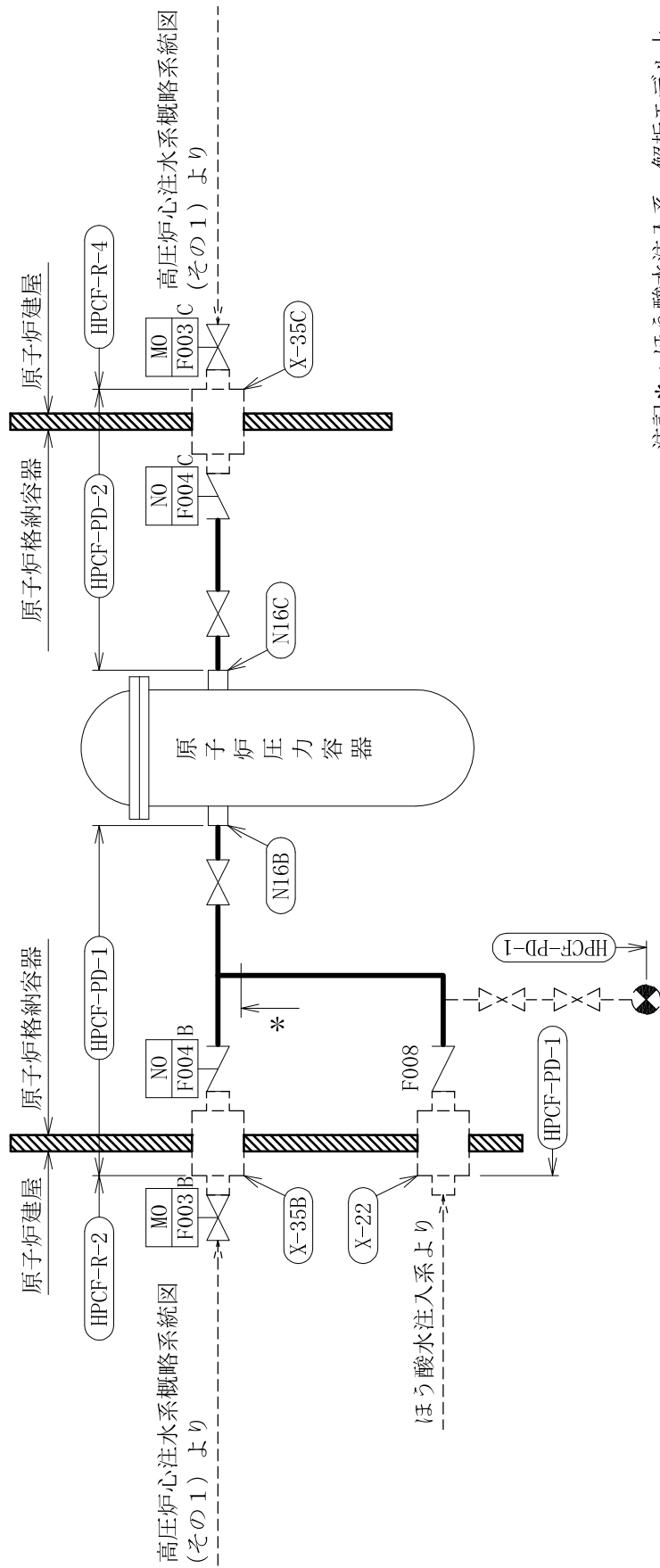
2.1 概略系統図

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





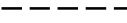


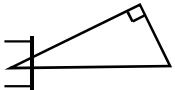
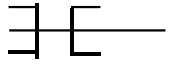

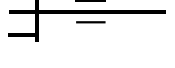
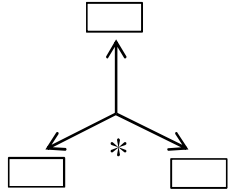
高圧炉心注水系概略系統図 (その1)



注記*：ほう酸水注入系 解析モデル上
本系統に含める。

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図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
	リジットハンガ
	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。)

注1：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

鳥瞰図

HPCF-PD-1 (1/2)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

鳥瞰図

HPCF-PD-1 (2/2)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

鳥瞰図

HPCF-R-4 (1/2)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

鳥瞰図

HPCF-R-4 (2/2)

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、「H I 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、別紙「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	高压炉心注水系	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	
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	DB	—	クラス1管	S	I _L +S _s	III _A S
							II _L +S _s	
							IV _L (L)+S _d	

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番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HPCF-PD-1

管番号	対応する評価点	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	5~8, 9~20	8.62	302	216.3	15.1	STS410	S	200400
2	20~23N	8.62	302	216.3	15.1	STS410	S	186920
3	6~320	8.62	302	48.6	7.1	SFVC2B	S	200400
4	320~32	8.62	302	48.6	7.1	SUSF316L	S	191800
5	32~51	8.62	302	48.6	5.1	SUS316LTP	S	191800

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HPCF-R-4

管番号	対応する評価点	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	1N~20S	11.77	100	267.4	25.4	STS410	S	200360
2	20S~56	11.77	100	267.4	25.4	STS410	S	201667
3	57~62	11.77	100	216.3	20.6	STS410	S	201667

配管の付加質量

鳥瞰図 HPCF-PD-1

質量	対応する評価点
	5～8, 9～901, 1101～1301, 1801～1901, 2201～23N
	901～1101, 1301～1801, 1901～2201
	30～3501, 3701～3901, 4101～4301, 4302～51
	3501～3701, 3901～4101, 4301～4302

配管の付加質量

鳥瞰図 HPCF-R-4

質量	対応する評価点
	1N～19S, 53S～56
	30S～35S
	36S～52S
	57～62

フランジ部の質量

鳥瞰図 HPCF-R-4

質量	対応する評価点
	1N
	21F
	54F

弁部の寸法

鳥瞰図 HPCF-PD-1

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
4~5				8~9			
51~52							

弁部の寸法

鳥瞰図 HPCF-R-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
62~63				63~64			
64~65				63~66			

弁部の質量

鳥瞰図 HPCF-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4～5		8～9
	51～52		

弁部の質量

鳥瞰図 HPCF-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	64		65

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HPCF-PD-1

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
7						
** 7 **						
12						
** 16 **						
37						
** 37 **						
41						
** 41 **						
48						
** 48 **						

K7 ① V-2-5-4-1-1-5 (設) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HPCF-R-4

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
1N						
8						
12						
23						
37						
42						
51						

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
STS410	302	122	—	—	—
SFVC2B	302	125	—	—	—
SUSF316L	302	94	—	—	—
SUS316LTP	302	94	—	—	—
STS410	100	—	220	405	—

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V-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V-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	建屋・構築物	標高	減衰定数(%)
HPCF-PD-1	原子炉遮蔽壁		
HPCF-R-4	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 HPCF-PD-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	[Blank Box]						
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
動的震度*2							
静的震度*3							

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：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。
 *3：3.6C_r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 HPCF-PD-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				
6次				

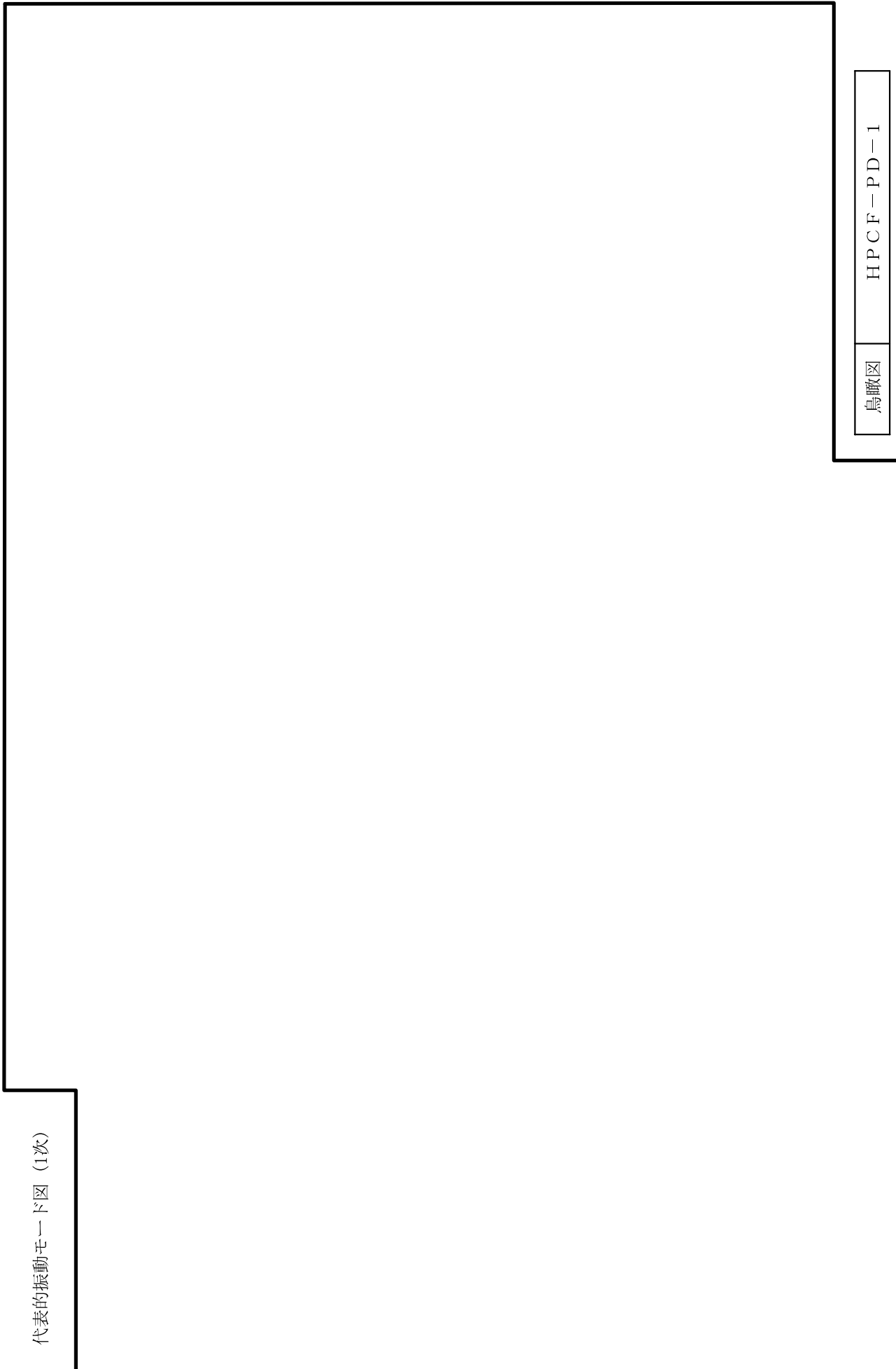
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

代表的振動モード図 (1次)

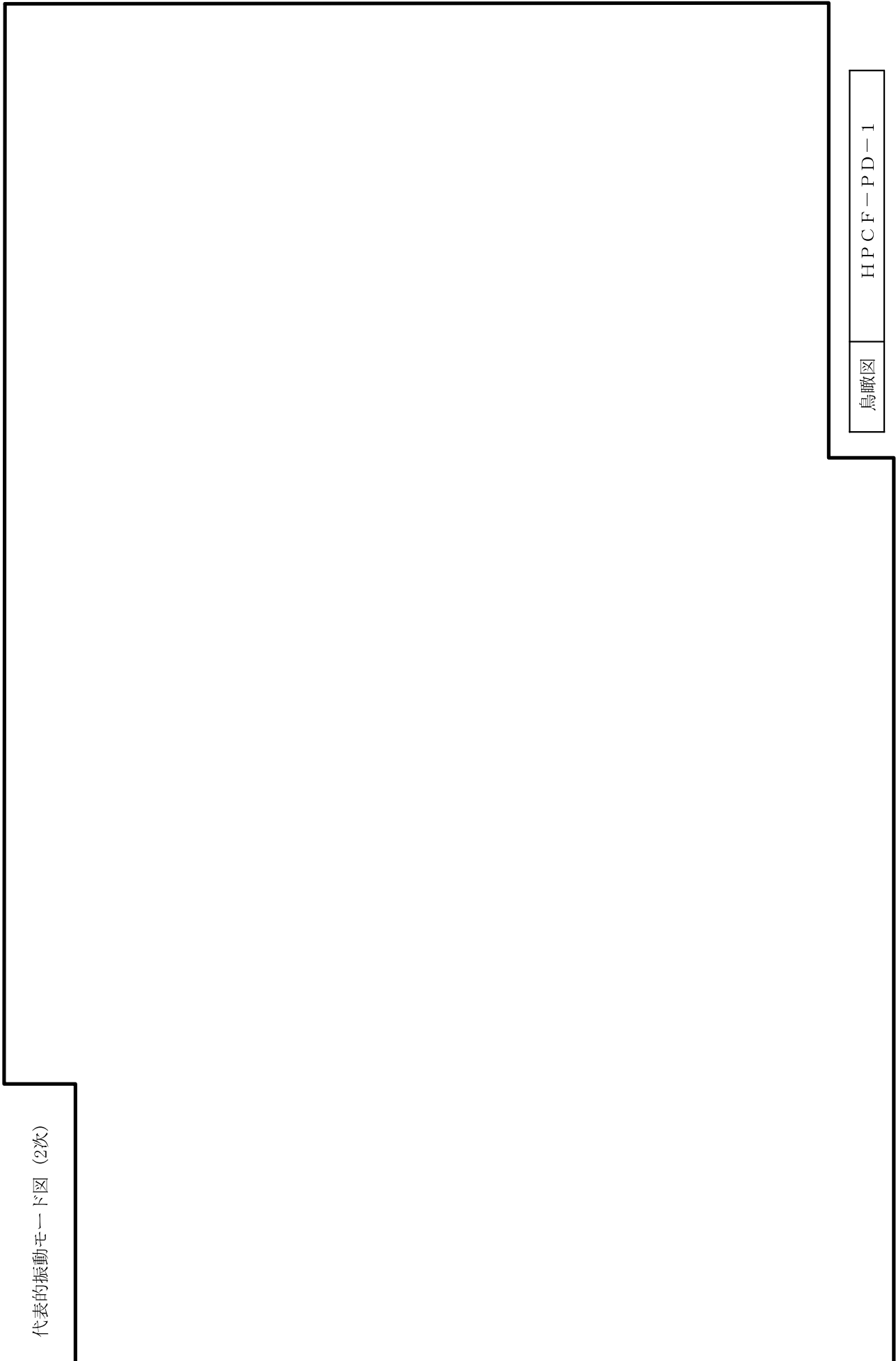


鳥瞰図

H P C F - P D - 1

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

代表的振動モード図 (2次)

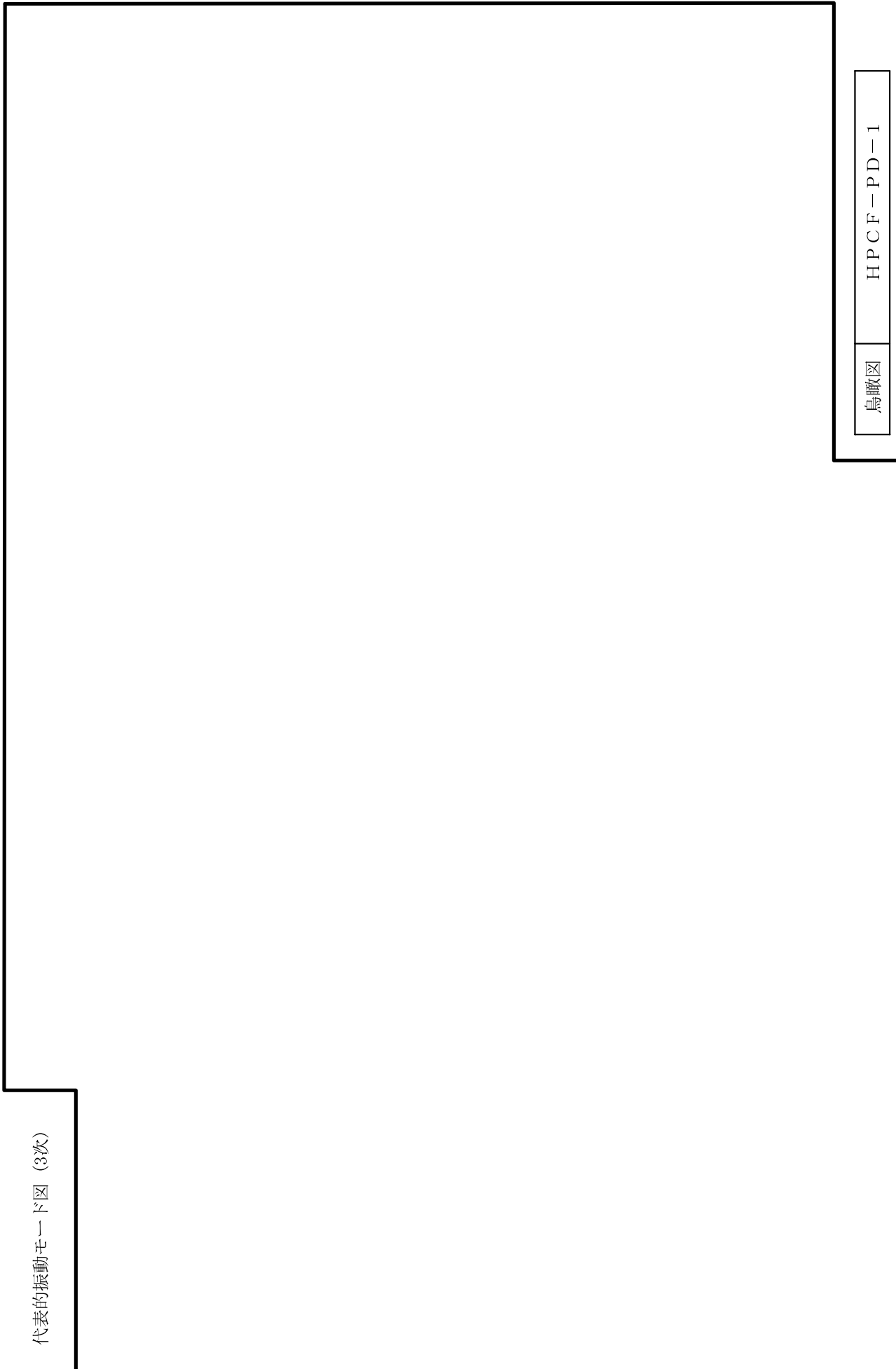


鳥瞰図

H P C F - P D - 1

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

H P C F - P D - 1

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 HPCF-R-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							
18次							
19次							
動的震度*2							
静的震度*3							

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：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*3：3.6C1及び1.2Cv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 HPCF-R-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				
18次				

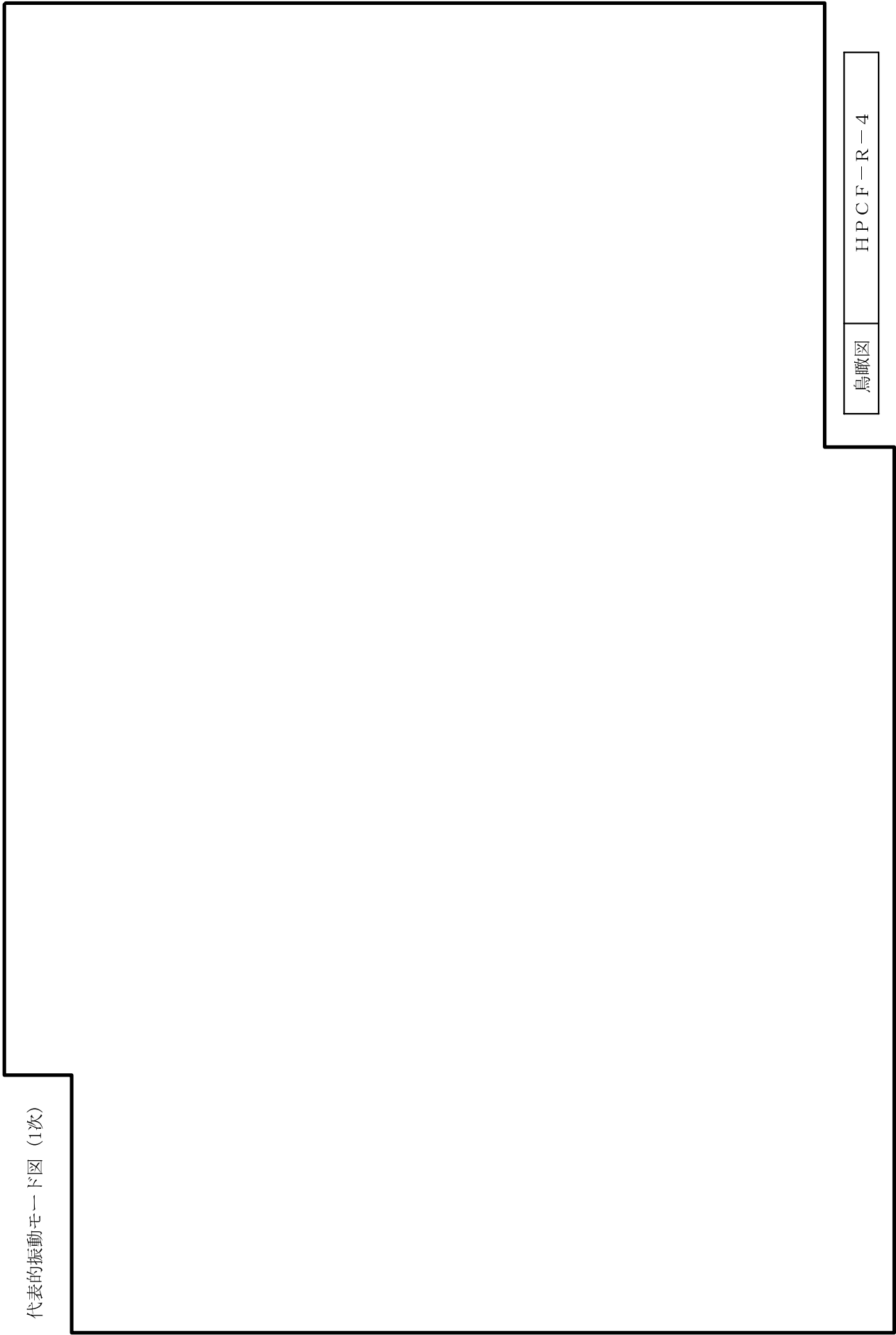
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

代表的振動モード図 (1次)

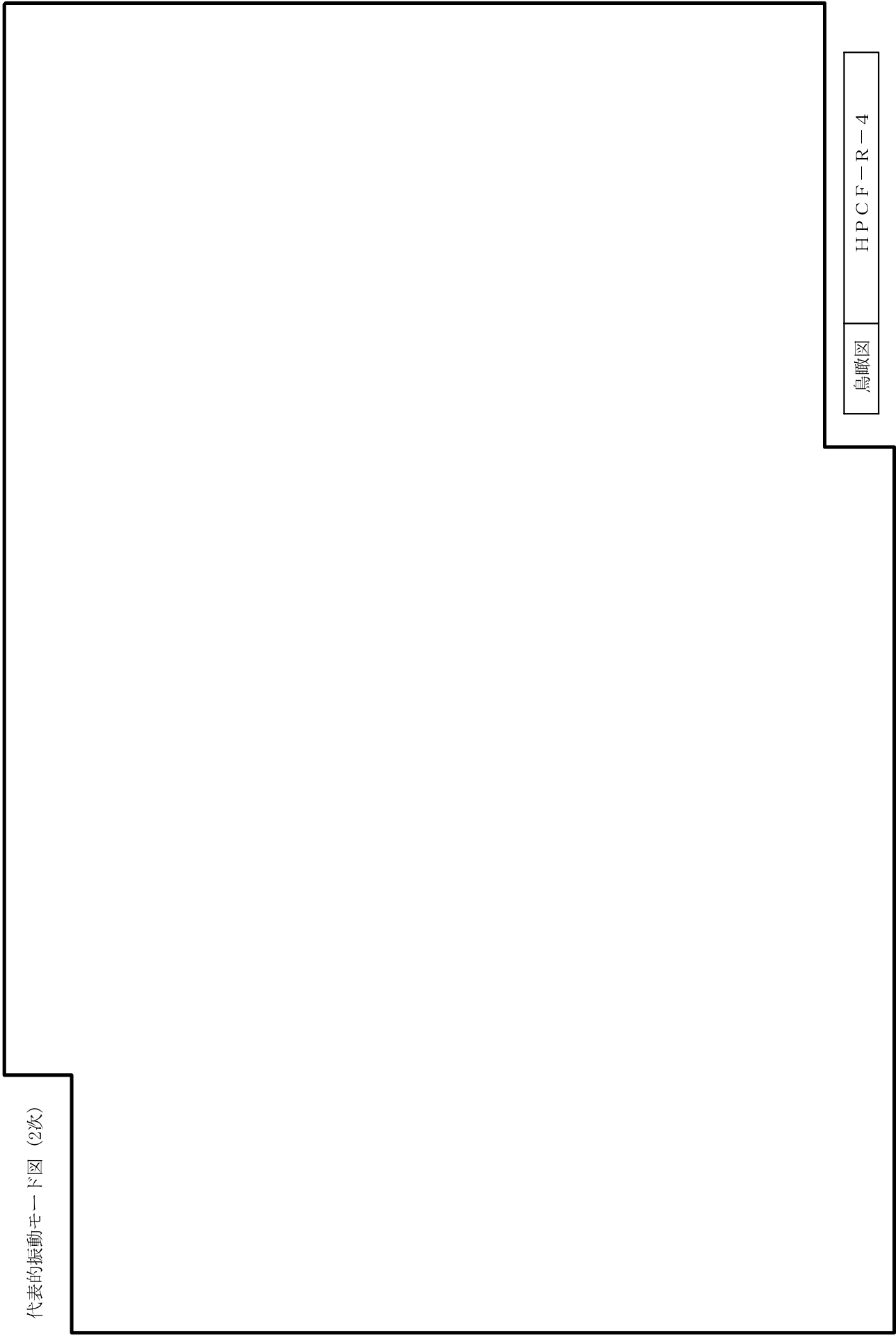


鳥瞰図

HPCF-R-4

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

代表的振動モード図 (2次)

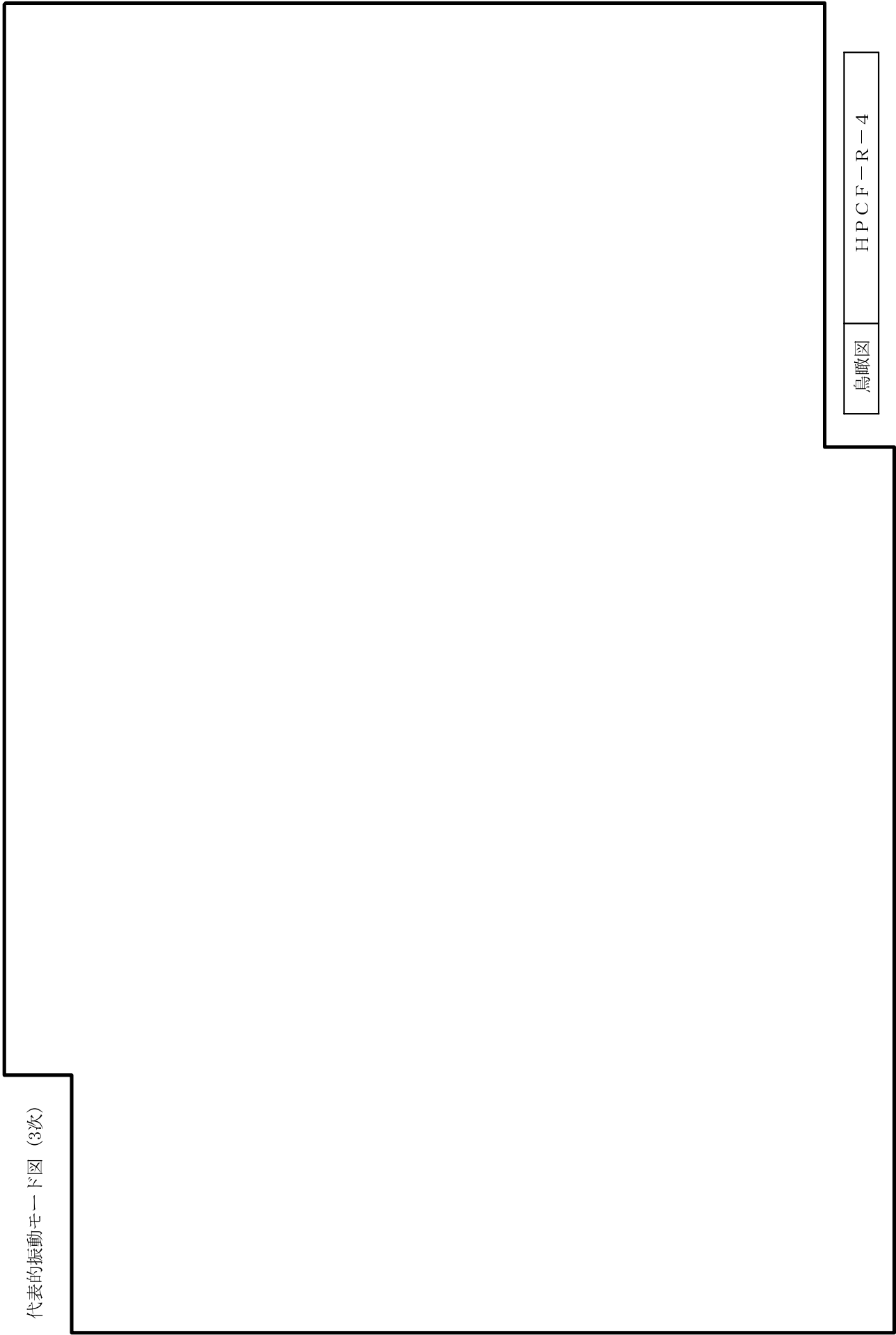


鳥瞰図

HPCF-R-4

K7 ① V-2-5-4-1-5 (設) R0

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

HPCF-R-4

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 S _{pr_m} (S _d) S _{pr_m} (S _s)	許容応力 2.25 S _m 3 S _m	ねじり* 応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容 応力 0.55 S _m 0.73 S _m	一次+二次 応力 S _n (S _s)	許容 応力 3 S _m		疲労累積 係数 U+U S _s
HPCF-PD-1	Ⅲ _A S	50	TEE	S _{pr_m} (S _d)	91	211	—	—	—	—	—	—
HPCF-PD-1	Ⅲ _A S	32	ELBOW	S _t (S _d)	—	—	56	51	—	—	—	—
HPCF-PD-1	Ⅳ _A S	50	TEE	S _{pr_m} (S _s)	132	282	—	—	—	—	—	—
HPCF-PD-1	Ⅳ _A S	32	ELBOW	S _t (S _s)	—	—	101	68	—	—	—	—
HPCF-PD-1	Ⅳ _A S	50	TEE	S _n (S _s)	—	—	—	—	502	282	0.0511	0.0511
HPCF-PD-1	Ⅳ _A S	50	TEE	U+U S _s	—	—	—	—	—	—	—	0.0511

注記*：ねじり応力が許容応力状態Ⅲ_A Sのとき0.55 S_m、又は許容応力状態Ⅳ_A Sのとき0.73 S_mを超える場合は、曲げ+ねじり応力評価を実施する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態ⅢA S のとき0.55 S_m、又は許容応力状態ⅣA S のとき0.73 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	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 S _m 0.73 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 S _m 2.4 S _m
HPCF-PD-1	32	56	51	58	169
HPCF-PD-1	32	101	68	104	225

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 疲労累積係数
				計算応力 $S_{prm} (S d)$ $S_{prm} (S s)$	許容応力 S_y^* $0.9 S_u$	計算応力 $S_n (S s)$	許容応力 $2 S_y$	
HPCF-R-4	III A S	25	$S_{prm} (S d)$	143	220	—	—	—
HPCF-R-4	IV A S	25	$S_{prm} (S s)$	227	364	—	—	—
HPCF-R-4	IV A S	25	$S_n (S s)$	—	—	346	440	—

注記*： 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 $1.2 S_h$ のうち大きい方の値とする。

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)
SNM-HPCF-P003	メカニカルスナッパ	SMS-10B-100	V-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算に ついて」参照		14	150

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				
RE-HPCF-R002	レストレイント	ラグ	SGV410	100	0	87	80	—	—	—	—	曲げ	74	115

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以下又は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* ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		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	計算応力	許容応力
E22-F001B	止め弁	β (Ss)	2.3	1.0	6.0	6.0	—	—
E22-F004C	逆止め弁	β (Ss)	2.9	3.1	6.0	6.0	—	—

注記*：機能維持評価用加速度は、打ち切り振動数を30Hzとして計算した結果を示す。

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、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計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	疲労積係数
1	HPCF-PD-1	50	91	211	2.31	○	50	132	282	2.13	○	50	502	282	0.56	○	50	0.0511
2	HPCF-PD-2	22N	88	274	3.11	—	20	121	366	3.02	—	22N	250	366	1.46	—	20	0.0134

注記* : III A S の一次+二次応力の許容値はIV A Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV A S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	疲労係数
1	HPCF-R-1	13	95	220	2.31	—	13	154	364	2.36	—	13	243	440	1.81	—	—	—
2	HPCF-R-2	23	89	220	2.47	—	23	137	364	2.65	—	23	188	440	2.34	—	—	—
3	HPCF-R-3	147	70	220	3.14	—	147	83	364	4.38	—	147	58	440	7.58	—	—	—
4	HPCF-R-4	25	143	220	1.53	○	25	227	364	1.60	○	25	346	440	1.27	○	—	—
5	HPCF-R-024	15	26	220	8.46	—	15	35	364	10.40	—	93N	382	440	1.15	—	—	—
6	HPCF-R-124	70	35	220	6.28	—	70	46	364	7.91	—	90N	212	438	2.06	—	—	—

注記*：III A S の一次+二次応力の許容値はIV A S と同様であることから、地震荷重が大きいいIV A S 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	6
3.	計算条件	14
3.1	計算方法	14
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3	設計条件	17
3.4	材料及び許容応力	36
3.5	設計用地震力	37
4.	解析結果及び評価	38
4.1	固有周期及び設計震度	38
4.2	評価結果	56
4.2.1	管の応力評価結果	56
4.2.2	支持構造物評価結果	59
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	60
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	61

1. 概要

本計算書は、V-2-1-14 「計算書作成の方法 添付資料-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、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評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全7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。




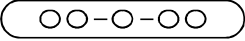

(3) 弁

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。

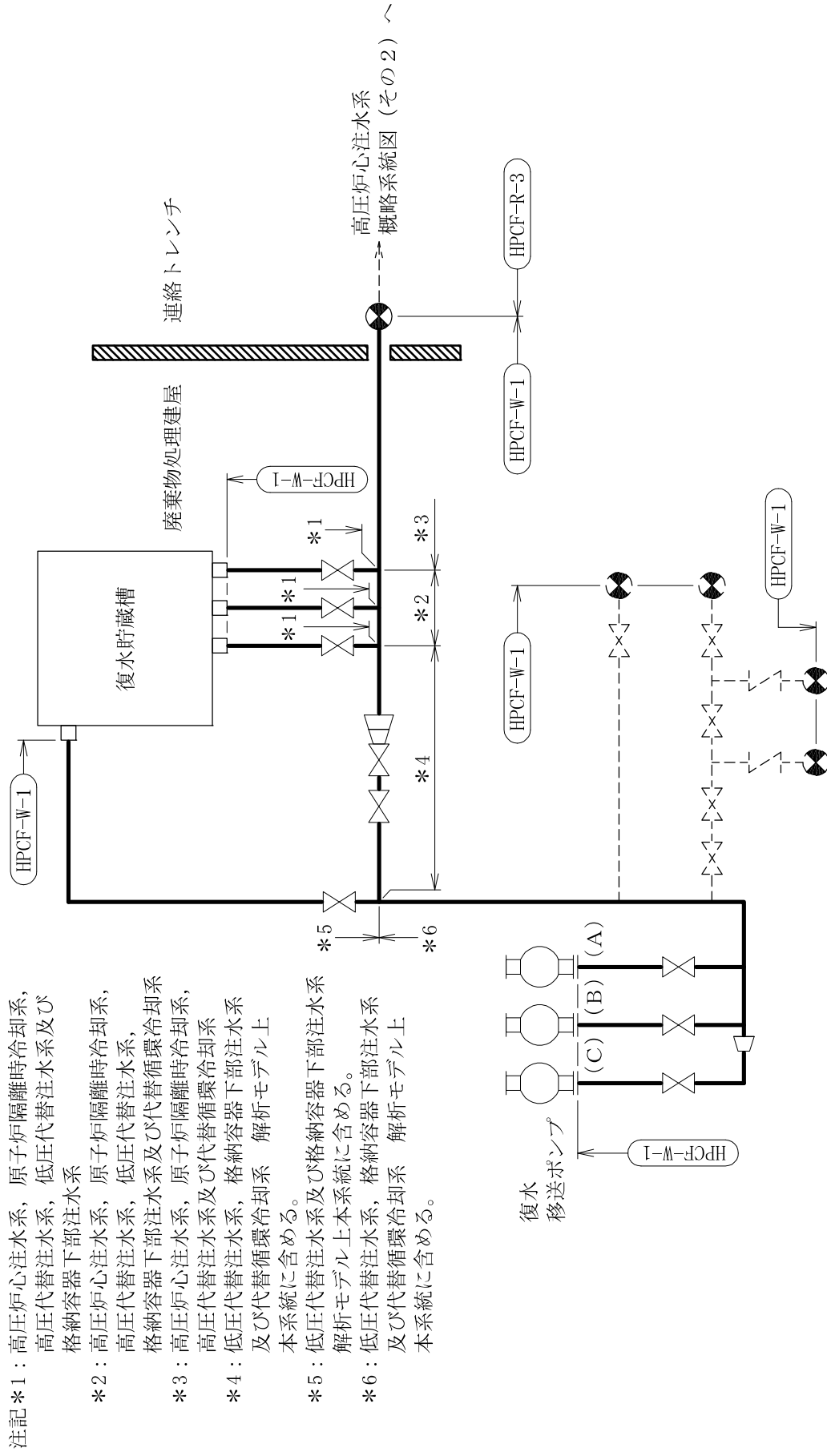
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

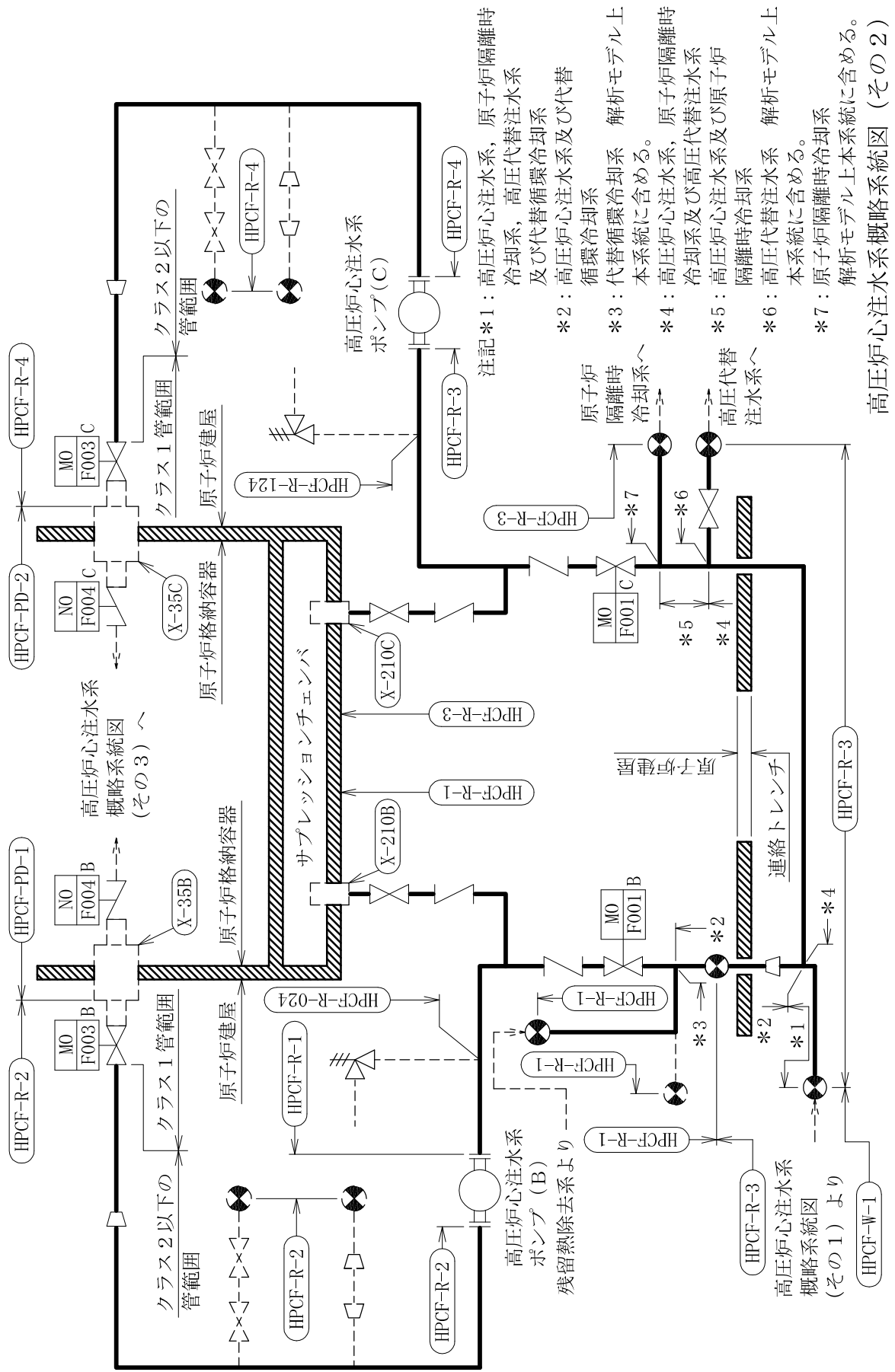
概略系統図記号凡例

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

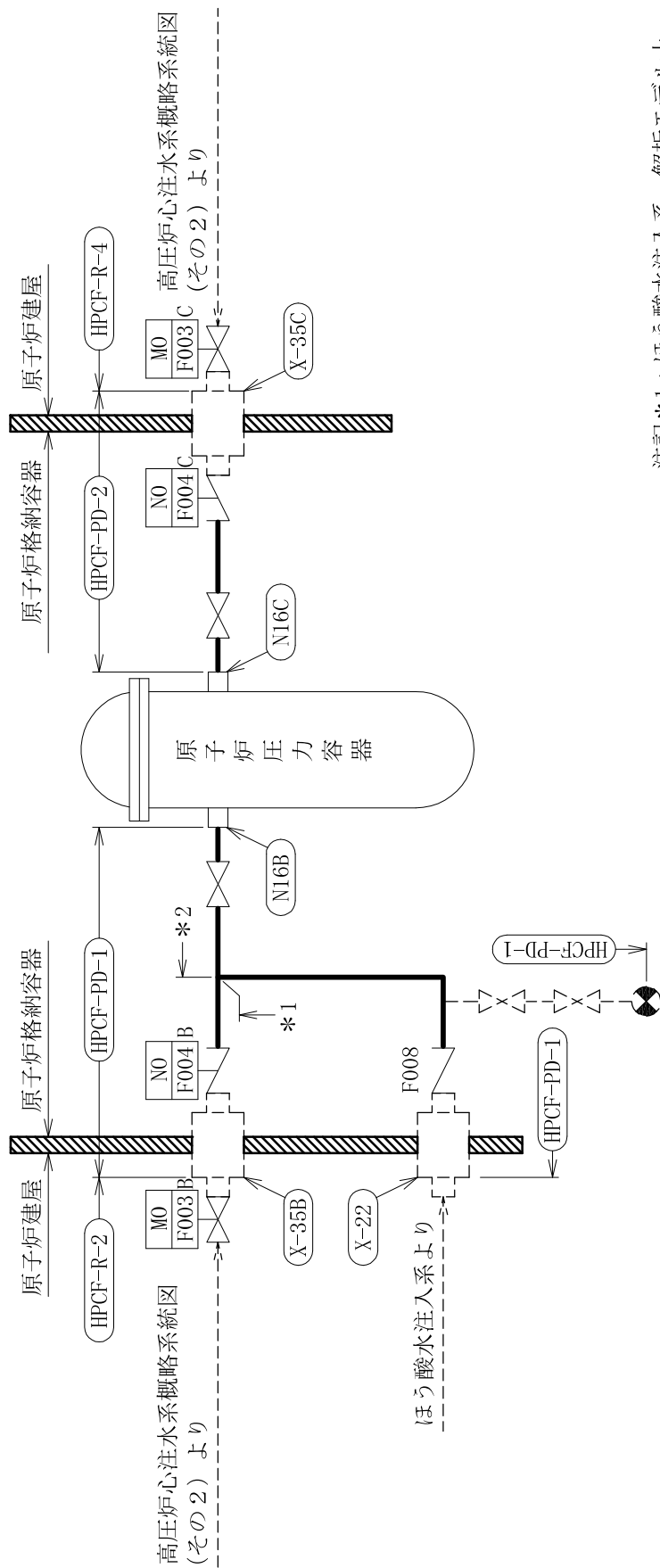
K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0



注記*1：高圧炉心注水系，原子炉隔離時冷却系，
 高圧代替注水系，低圧代替注水系及び
 格納容器下部注水系
 *2：高圧炉心注水系，原子炉隔離時冷却系，
 高圧代替注水系，低圧代替注水系，
 格納容器下部注水系及び代替循環冷却系
 *3：高圧炉心注水系，原子炉隔離時冷却系，
 高圧代替注水系及び代替循環冷却系
 *4：低圧代替注水系，格納容器下部注水系
 及び代替循環冷却系 解析モデル上
 本系統に含める。
 *5：低圧代替注水系及び格納容器下部注水系
 解析モデル上本系統に含める。
 *6：低圧代替注水系，格納容器下部注水系
 及び代替循環冷却系 解析モデル上
 本系統に含める。



高圧炉心注水系概略系統図（その2）






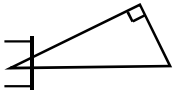
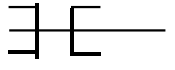

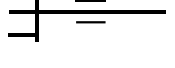
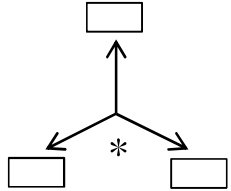


注記*1：ほう酸水注入系 解析モデル上
本系統に含める。
*2：高圧炉心注水系及びほう酸水
注入系

高圧炉心注水系概略系統図 (その3)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図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。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	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, <input type="text"/> 内に 変位量を記載する。)

注1：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

K7 ① V-2-5-4-1-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-PD-1 (1/2)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-PD-1 (2/2)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-R-3 (1/3)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-R-3 (2/3)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-R-3 (3/3)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-R-4 (1/2)

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

鳥瞰図

HPCF-R-4 (2/2)

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、「H I 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、別紙「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}
原子炉冷却システム施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高压炉心注水系	SA	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + Sd$	VAS
							$V_L(LL) + Ss$	
							$V_L + Ss$	
原子炉冷却システム施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	SA	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + Sd$	VAS
							$V_L(LL) + Ss$	
							$V_L + Ss$	
計測制御システム施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	SA	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + Sd$	VAS
							$V_L(LL) + Ss$	
							$V_L + Ss$	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ほう酸水注入系	SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + Sd$	VAS
							$V_L(LL) + Ss$	
							$V_L + Ss$	
原子炉冷却システム施設	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	—	$V_L + Ss$	VAS
原子炉冷却システム施設	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	重大事故等クラス2管	—	$V_L + Ss$	VAS

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	S A	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 設備その他の原子炉 注水設備	低圧代替注水系	S A	常設耐震／防止	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	低圧代替注水系	S A	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	格納容器 下部注水系	S A	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	代替循環冷却系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _L + S s	V A S

注記*1：D Bは設計基準対象施設，S A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／防止（D B拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），

「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*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，（L L）は（L）より更に長期間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 A Sは許容応力状態IV A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV A S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番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HPCF-PD-1

管番号	対応する評価点	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	5~8, 9~20	8.62	302	216.3	15.1	STS410	—	200400
2	20~23N	8.62	302	216.3	15.1	STS410	—	186920
3	6~320	8.62	302	48.6	7.1	SFVC2B	—	200400
4	320~32	8.62	302	48.6	7.1	SUSF316L	—	191800
5	32~51	8.62	302	48.6	5.1	SUS316LTP	—	191800

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HPCF-R-3

管番号	対応する評価点	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	1A~4	1.37	85	508.0	9.5	SUS304TP	—	193667
2	5~51A, 3~101	1.37	85	406.4	9.5	SUS304TP	—	193667
3	101~130S	1.37	66	406.4	9.5	SUS304TP	—	193667
4	130S~140	1.37	66	406.4	9.5	SUS304TP	—	191720
5	144~146, 147~149	1.37	100	406.4	9.5	STPT410	—	200360
6	149~162N, 150~184 185~187	1.37	120	406.4	9.5	STPT410	—	200360
7	126~172S, 1112~2061	1.37	66	216.3	8.2	SUS304TP	—	193667

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HPCF-R-3

管番号	対応する評価点	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)
8	172S~174A	1.37	66	216.3	8.2	SUS304TP	—	191720
9	190~191	0.31	120	406.4	9.5	STPT410	—	200360
10	2061~207	1.37	66	216.3	8.2	STPT410	—	201667
11	208~211A	1.37	77	216.3	8.2	STPT410	—	201667

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 HPCF-R-4

管番号	対応する評価点	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	1N~20S	11.77	120	267.4	25.4	STS410	—	200360
2	20S~56	11.77	120	267.4	25.4	STS410	—	201667
3	57~62	11.77	120	216.3	20.6	STS410	—	201667

配管の付加質量

鳥瞰図 HPCF-PD-1

質量	対応する評価点
	5～8, 9～901, 1101～1301, 1801～1901, 2201～23N
	901～1101, 1301～1801, 1901～2201
	30～3501, 3701～3901, 4101～4301, 4302～51
	3501～3701, 3901～4101, 4301～4302

配管の付加質量

鳥瞰図 HPCF-R-3

質量	対応する評価点
	131S~140, 144~146, 147~162N, 150~184, 185~187 190~191
	173S~174A

配管の付加質量

鳥瞰図 HPCF-R-4

質量	対応する評価点
□	1N～19S, 53S～56
□	30S～35S
□	36S～52S
□	57～62


フランジ部の質量

鳥瞰図 HPCF-R-3

質量	対応する評価点
	158F
	162N

フランジ部の質量

鳥瞰図 HPCF-R-4

質量	対応する評価点
	1N
	21F
	54F

弁部の寸法

鳥瞰図 HPCF-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4~5				8~9			
51~52							

弁部の寸法

鳥瞰図 HPCF-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
140～141				141～142			
142～143				141～144			
146～147				184～185			
187～188				188～189			
189～1891				188～190			
207～208							

弁部の寸法

鳥瞰図 HPCF-R-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
62~63				63~64			
64~65				63~66			

弁部の質量

鳥瞰図 HPCF-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4～5		8～9
	51～52		

弁部の質量

鳥瞰図 HPCF-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	142		143
	146～147		184～185
	189		1891
	207～208		

弁部の質量

鳥瞰図 HPCF-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	64		65

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HPCF-PD-1

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
7						
** 7 **						
12						
** 16 **						
37						
** 37 **						
41						
** 41 **						
48						
** 48 **						

K7 ① V-2-5-4-1-1-5(重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HPCF-R-3

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
1A						
11						
15						
19						
23						
27						
31						
35						
3900						
43						
47						
51A						
1011						
** 1011 **						
107						
112						
116						
120						
** 1211 **						
** 1221 **						
124						
132						
** 1331 **						
** 1332 **						

K7 ① V-2-5-4-1-5(重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HPCF-R-3

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
1333						
136						
145						
154						
162N						
174A						
1830						
** 1830 **						
211A						

--

K7 ① V-2-5-4-1-1-5 (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 HPCF-R-4

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
1N						
8						
12						
23						
37						
42						
51						

K7 ① V-2-5-4-1-5(重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
STS410	302	122	—	—	—
SFVC2B	302	125	—	—	—
SUSF316L	302	94	—	—	—
SUS316LTP	302	94	—	—	—
SUS304TP	85	—	178	456	—
SUS304TP	66	—	188	479	—
STPT410	100	—	220	405	—
STPT410	120	—	217	404	—
STPT410	66	—	231	407	—
STPT410	77	—	226	406	—
STS410	120	—	217	404	—

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V-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V-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	建屋・構築物	標高	減衰定数(%)
HPCF-PD-1	原子炉遮蔽壁		
HPCF-R-3	原子炉建屋		
HPCF-R-4	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 HPCF-PD-1

適用する地震動等		S s	
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1	
		X方向	Z方向
1次	[Blank Box]	[Blank Box]	Y方向
2次			
3次			
4次			
5次			
6次			
7次			
動的震度*2			

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：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度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 HPCF-PD-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				
6次				

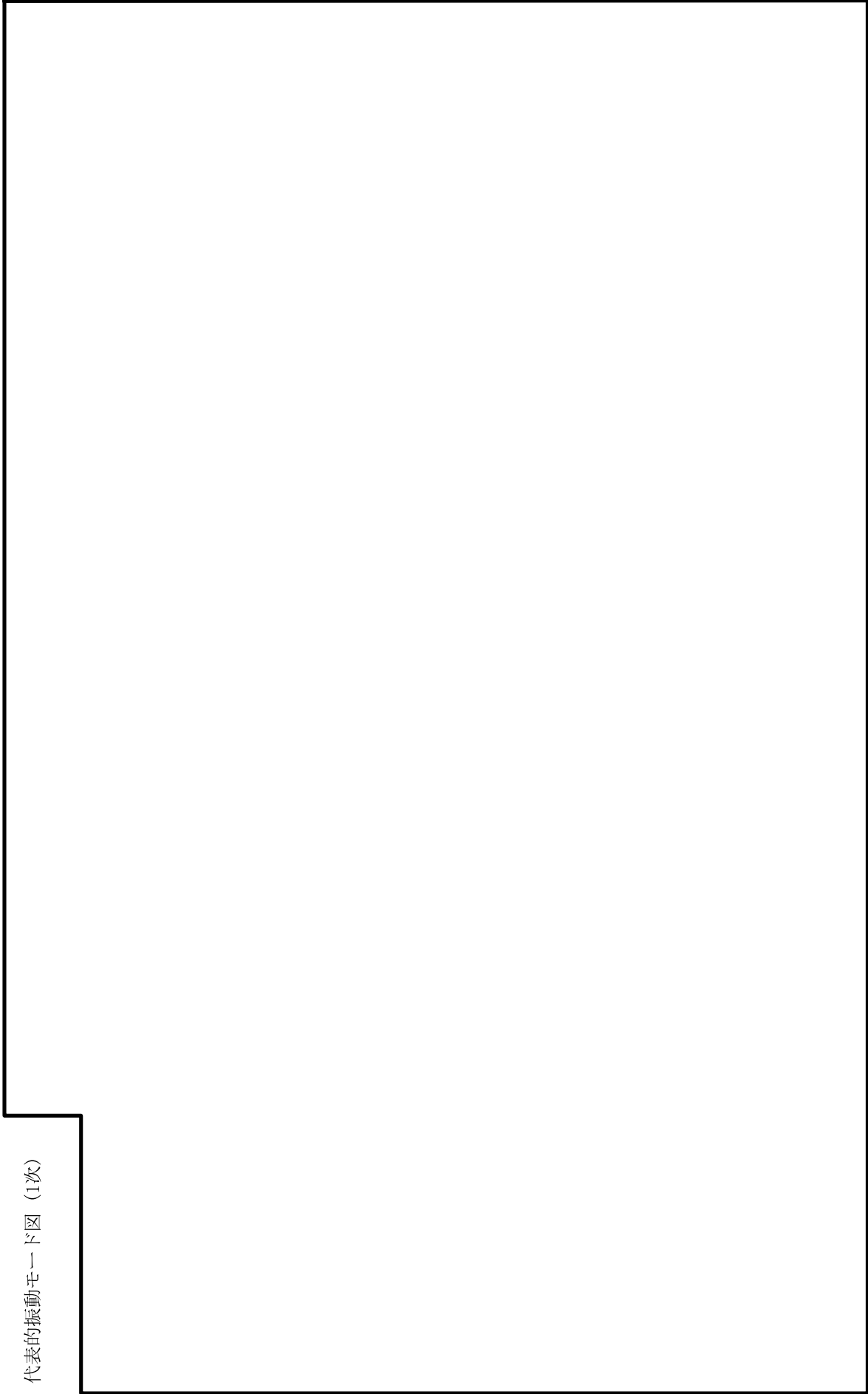
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (1次)

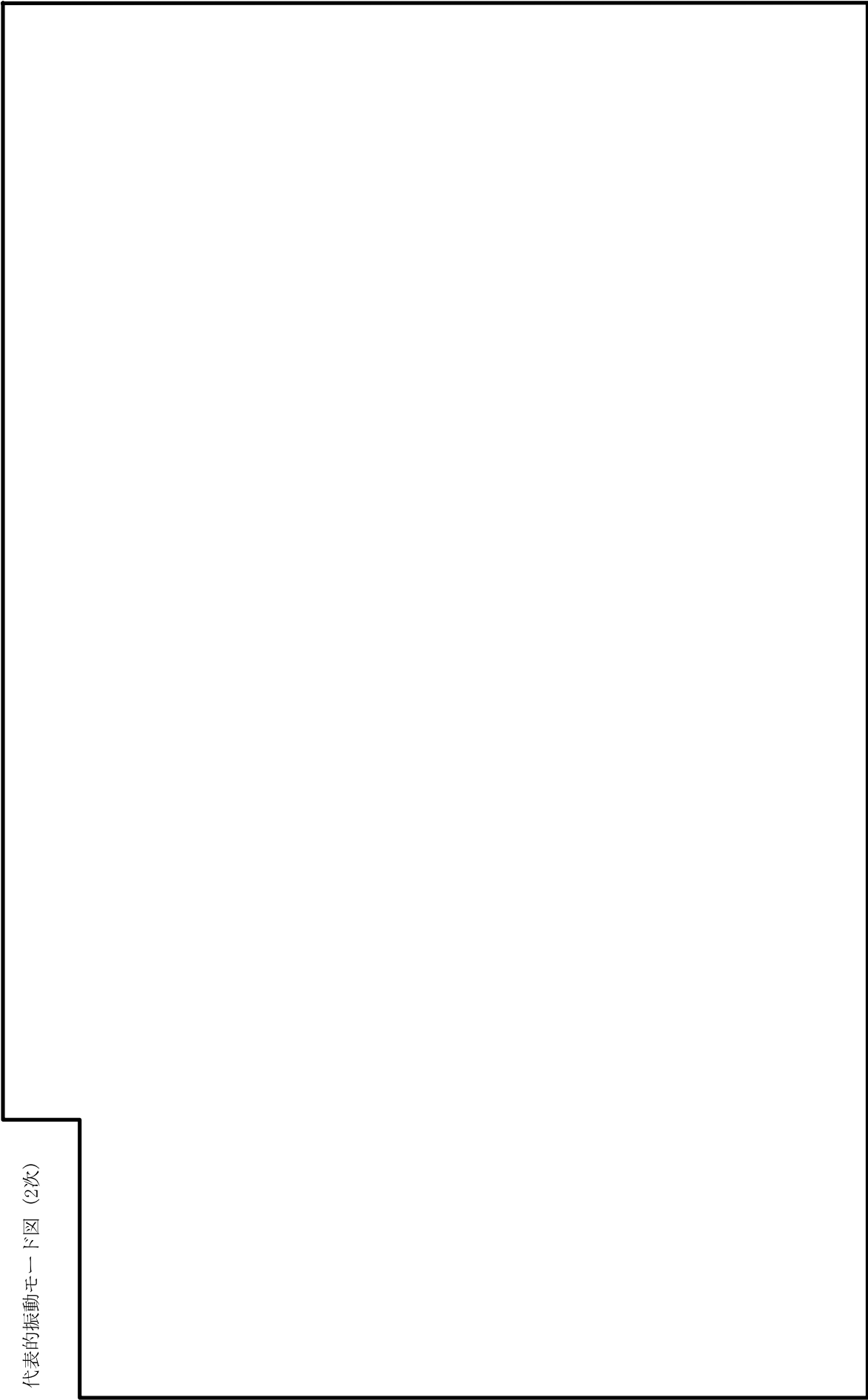


鳥瞰図

H P C F - P D - 1

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (2次)

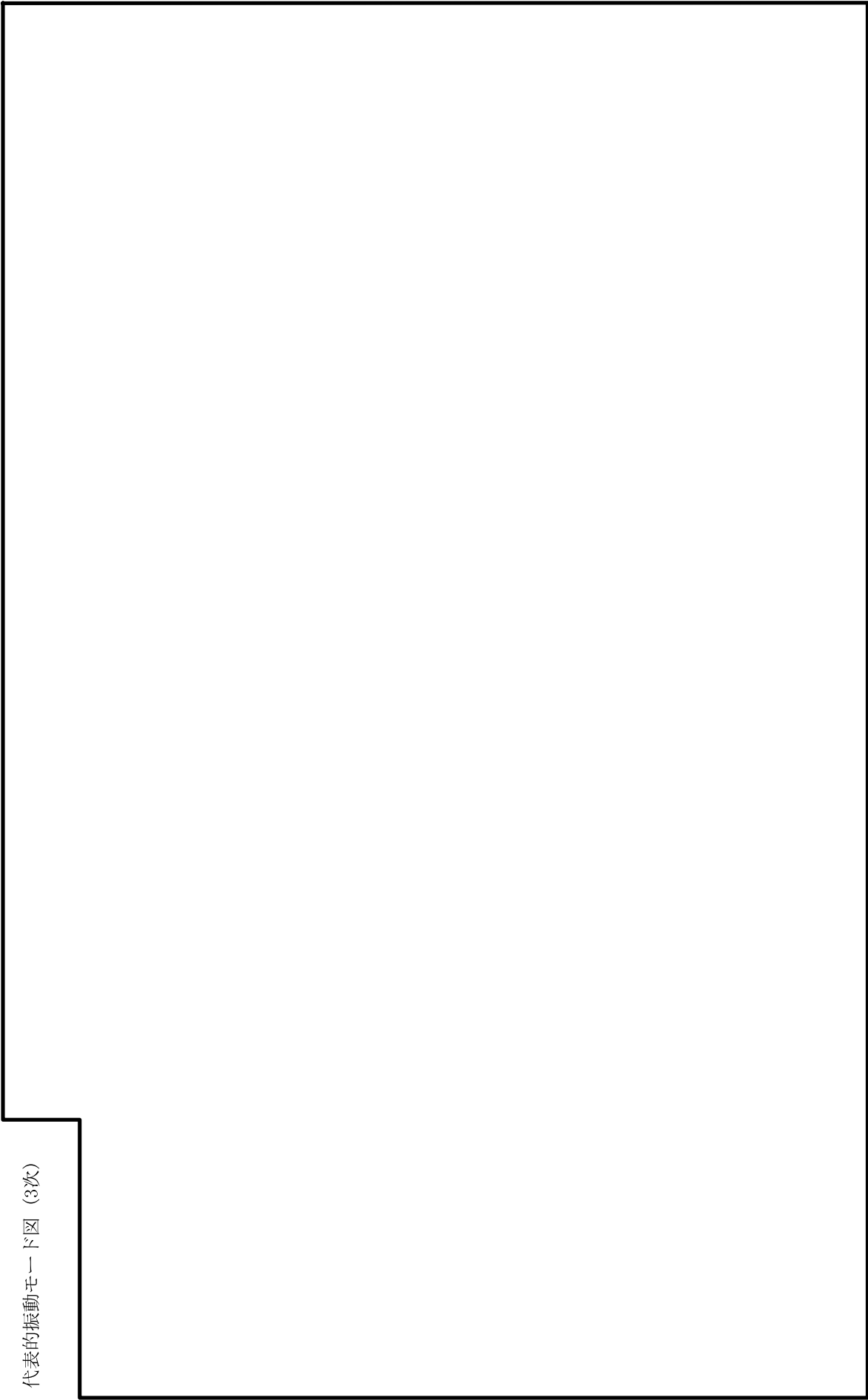


鳥瞰図

H P C F - P D - 1

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

H P C F - P D - 1

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 HPCF-R-3

適用する地震動等		S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1			
		X方向	Y方向		
1次	[Blank Box]	[Blank Box]	応答鉛直震度*1		
2次			Z方向		
3次			Y方向		
4次					
5次					
6次					
7次					
8次					
23次					
24次					
動的震度*2					

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：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度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 HPCF-R-3

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				
23次				

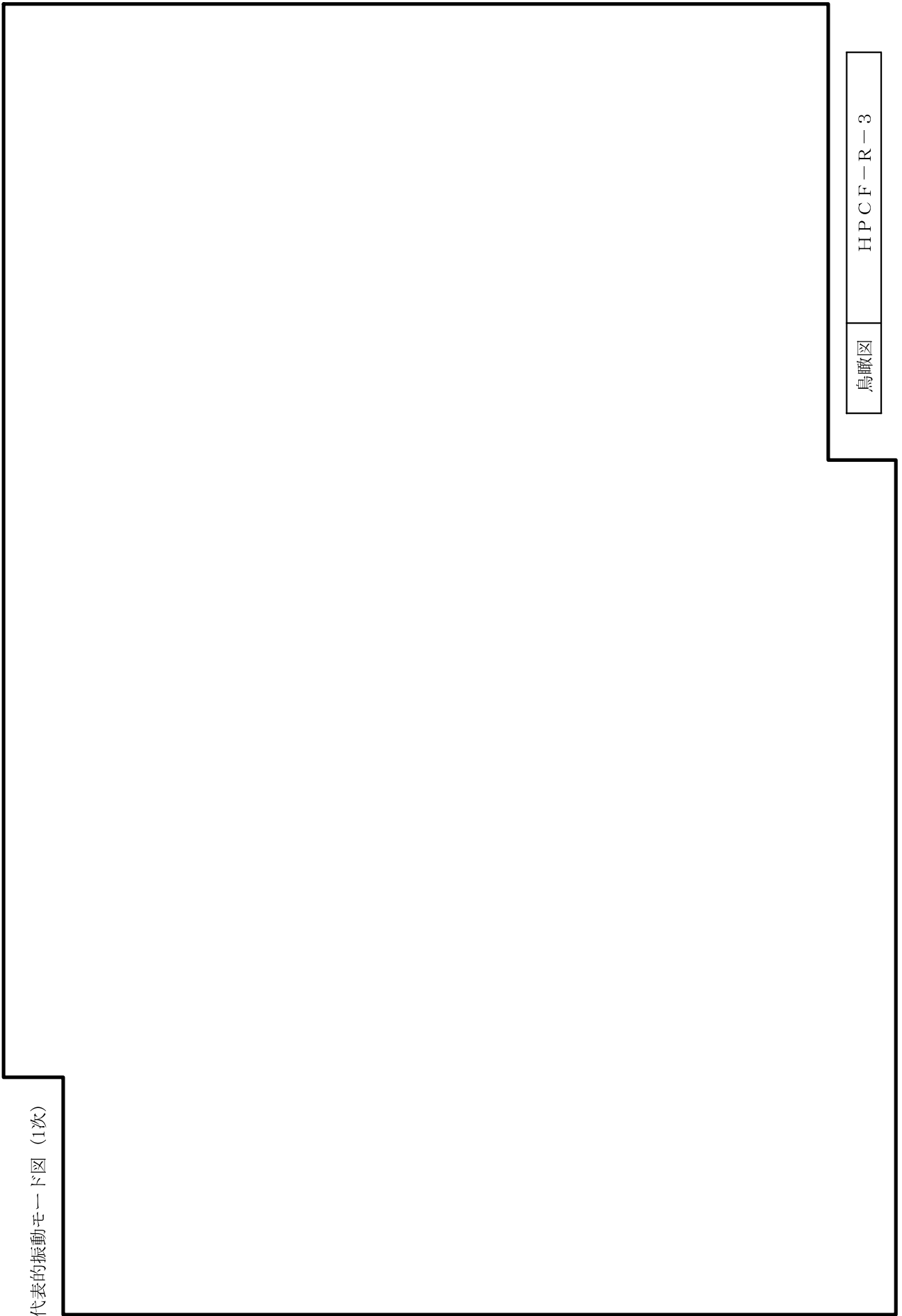
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (1次)

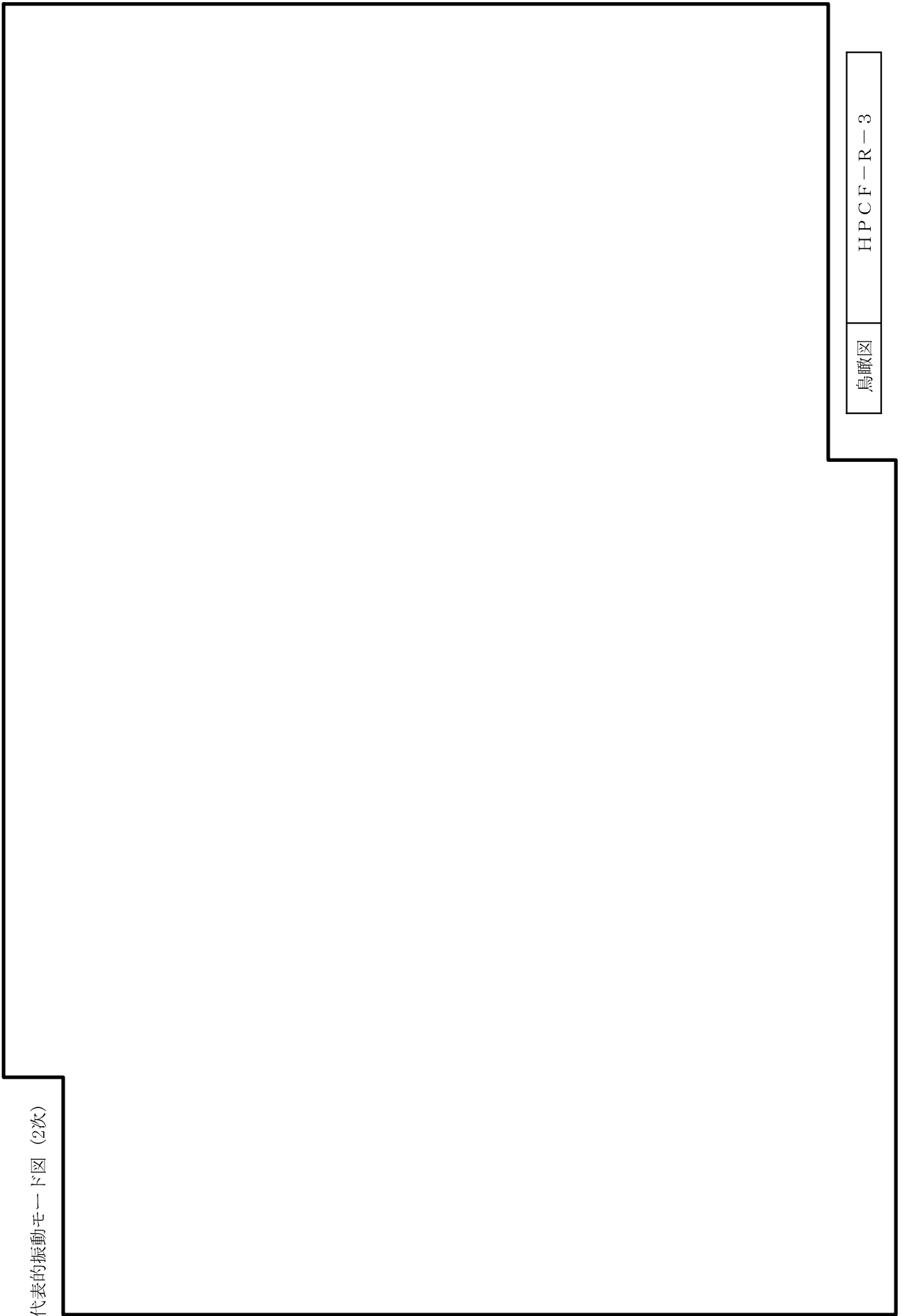


鳥瞰図

HPCF-R-3

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (2次)

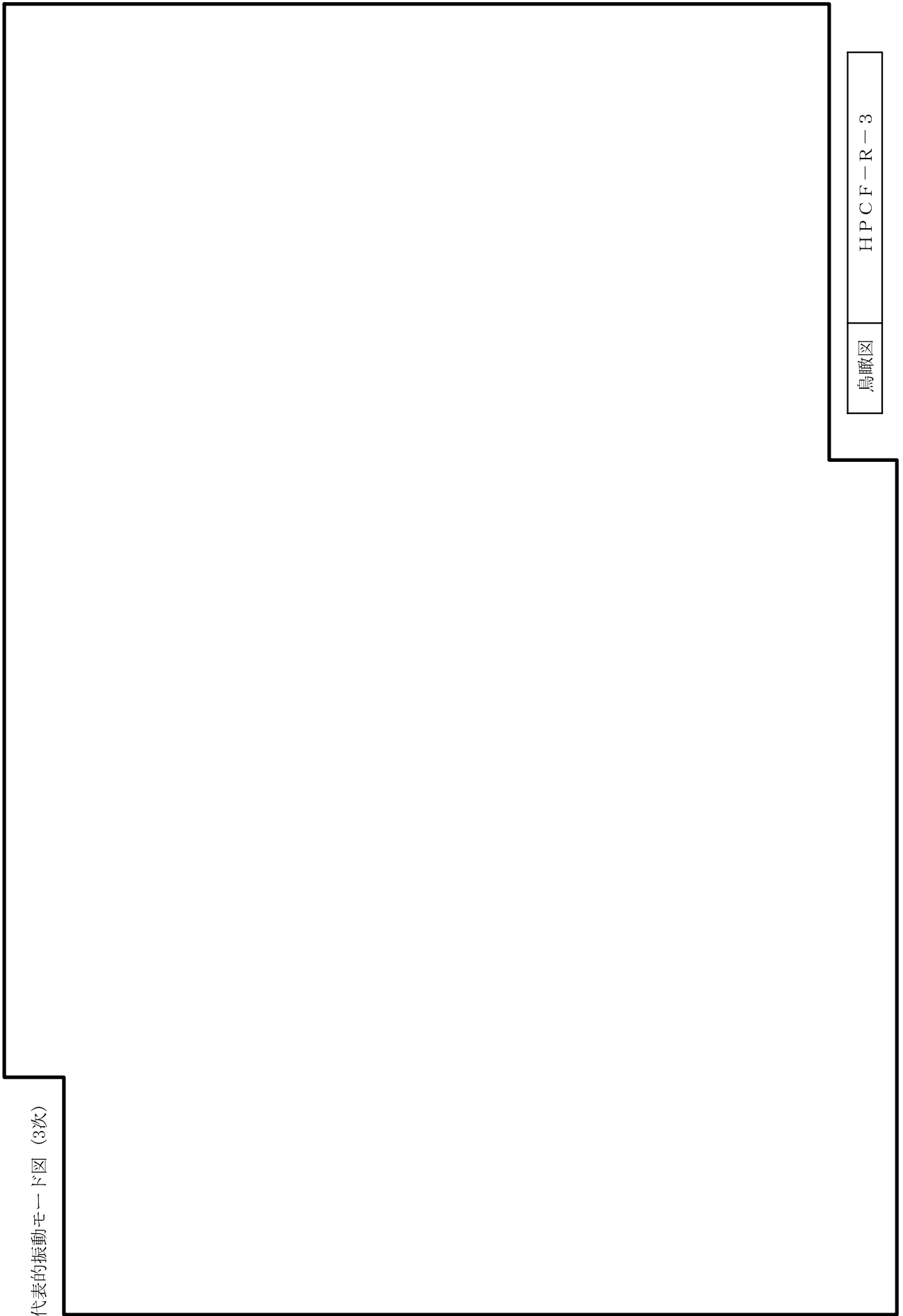


鳥瞰図

HPCF-R-3

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

HPCF-R-3

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 HPCF-R-4

適用する地震動等		S s				
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1				
		X方向	Z方向			
1次	[Blank Box]	[Blank Box]				
2次						
3次						
4次						
5次						
6次						
7次						
8次						
18次						
19次						
動的震度*2				応答鉛直震度*1		
					X方向	Y方向

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：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度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 HPCF-R-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				
18次				

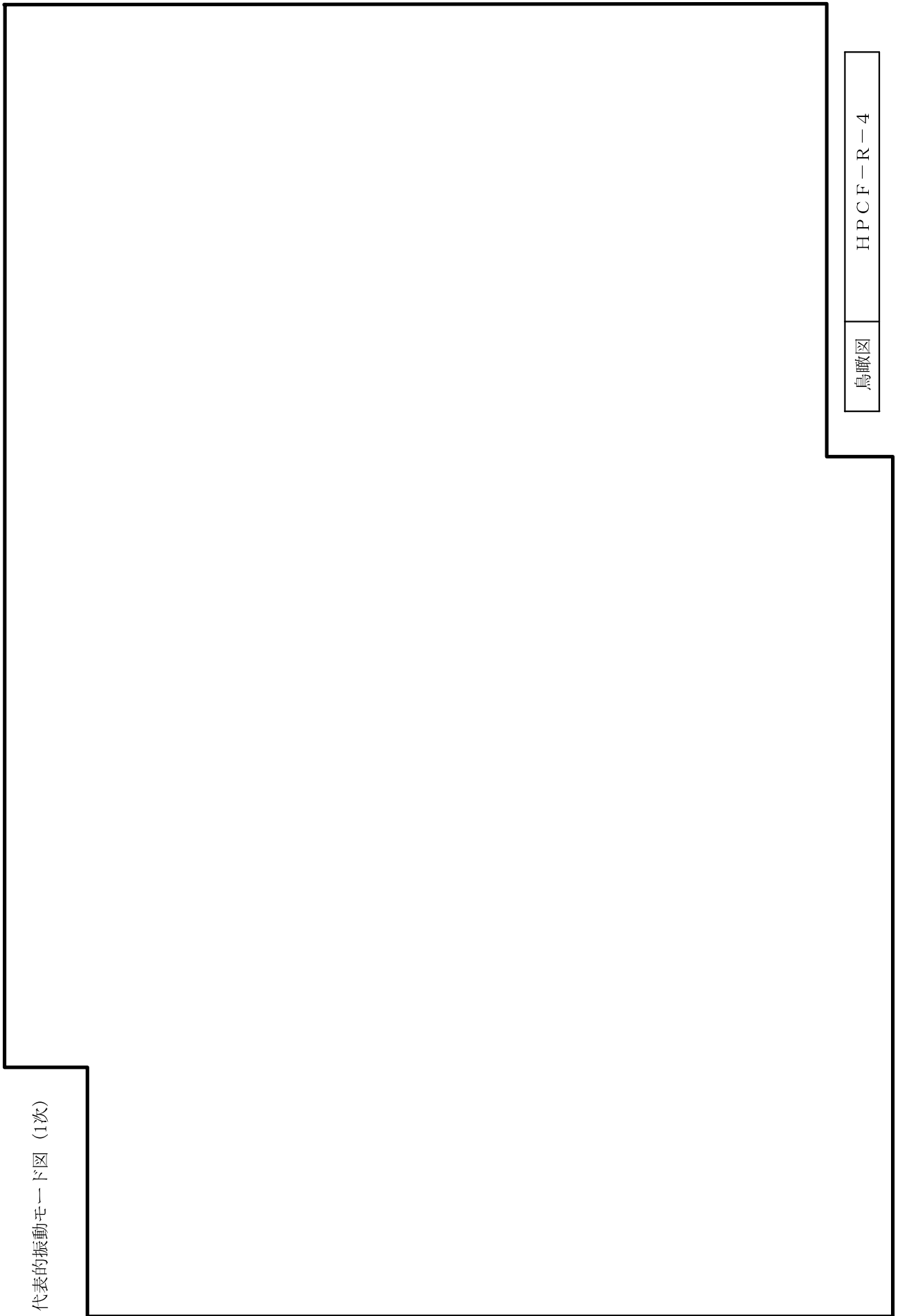
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (1次)

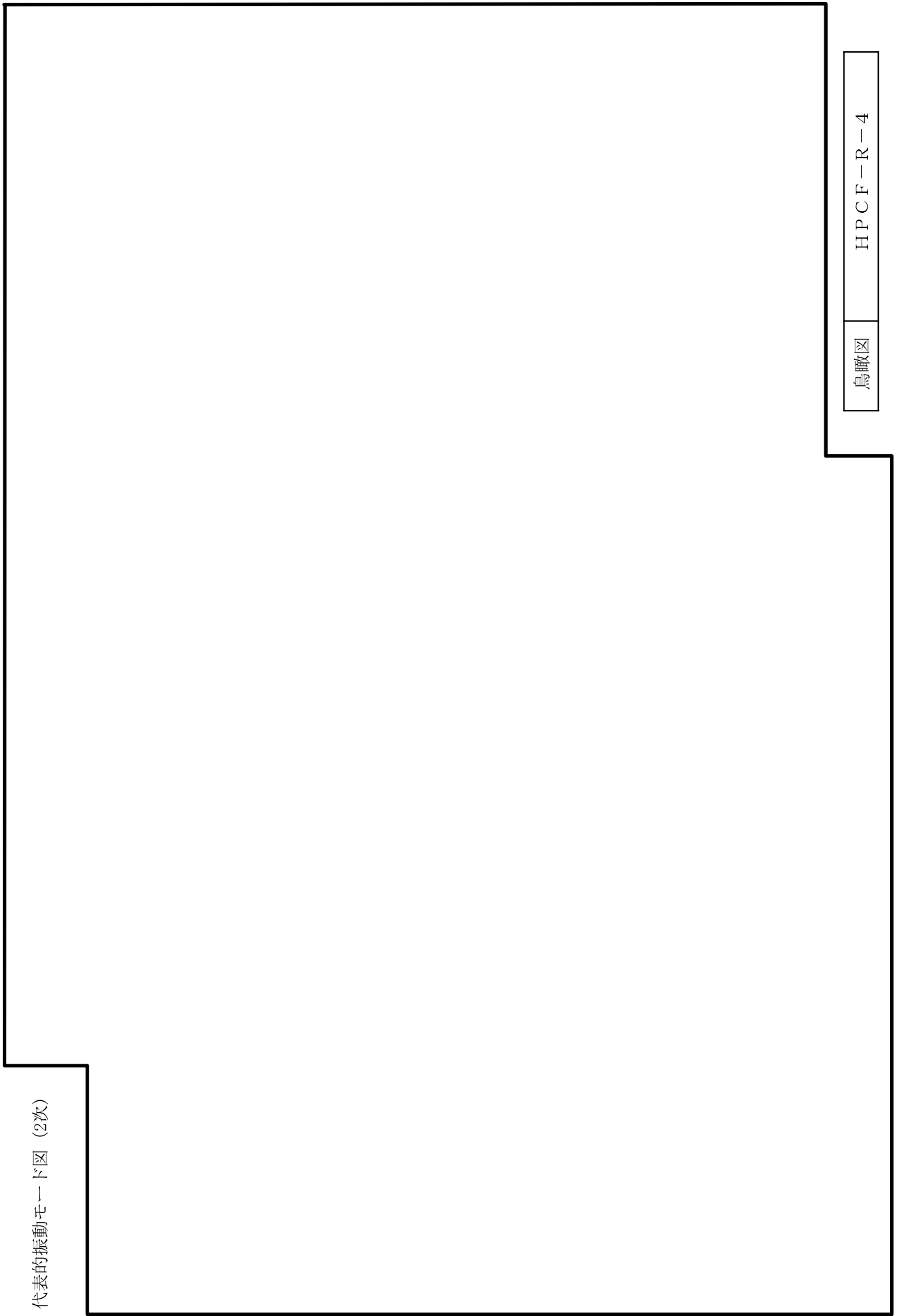


鳥瞰図

HPCF-R-4

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (2次)

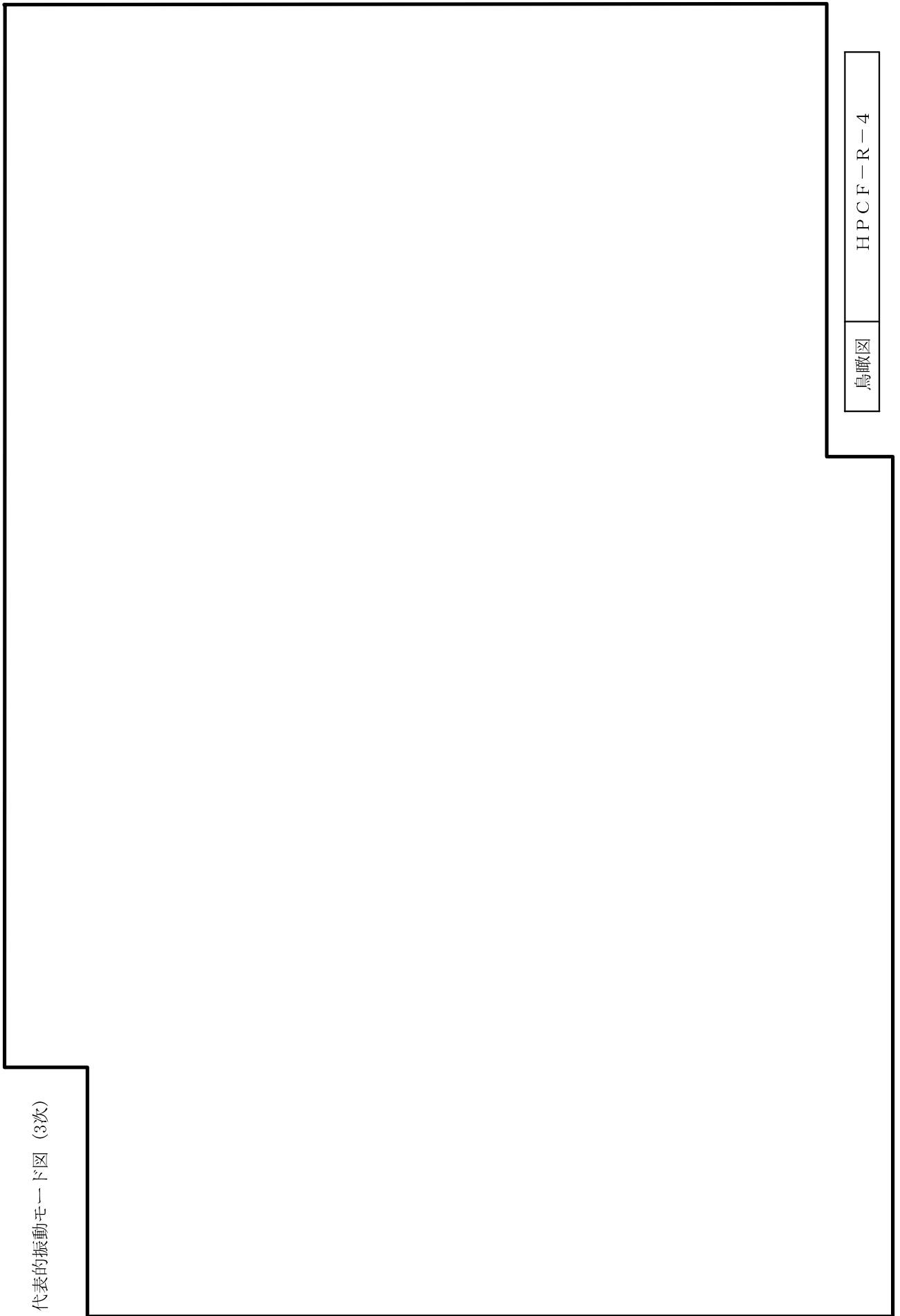


鳥瞰図

HPCF-R-4

K7 ① V-2-5-4-1-5 (重) R0

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

HPCF-R-4

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 疲労累積 係数 U+U S s
					一次応力 S _{prim} (S s)	許容応力 3 S _m	ねじり* 応力 S _t (S s)	許容 応力 0.73 S _m	一次+二次 応力 S _n (S s)	許容 応力 3 S _m	
HPCF-PD-1	V A S	50	TEE	S _{prim} (S s)	132	282	—	—	—	—	—
HPCF-PD-1	V A S	32	ELBOW	S _t (S s)	—	—	101	68	—	—	—
HPCF-PD-1	V A S	50	TEE	S _n (S s)	—	—	—	—	502	282	0.0511
HPCF-PD-1	V A S	50	TEE	U+U S s	—	—	—	—	—	—	0.0511

注記*：ねじり応力が許容応力状態V A Sのとき0.73 S_mを超える場合は、曲げ+ねじり応力評価を実施する。

K7 ① V-2-5-4-1-5(重) R0

下表に示すごとくねじりによる応力が許容応力状態 V_{AS} のとき $0.73S_m$ 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	評価点	一次応力評価 (MPa)			
		ねじり応力 $S_t (S_s)$	許容応力 $0.73S_m$	曲げとねじり応力 $S_t + S_b (S_s)$	許容応力 $2.4S_m$
IPCF-PD-1	32	101	68	104	225

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 疲労累積係数
				計算応力 $S_{prn} (S s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n (S s)$	許容応力 $2 S_y$	
HPCF-R-4	V A S	25	$S_{prn} (S s)$	227	363	—	—	—
HPCF-R-3	V A S	1011	$S_n (S s)$	—	—	377	376	0.0003

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)
SNM-HPCF-R027T	メカニカルスナツバ	SMS-25B-100	V-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算に ついて」参照		84	375
R0-HPCF-T002	ロッドレストレイント	RTS-16			28	288

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				
AN-HPCF-R508	アンカ	ラグ	SUS304	100	230	169	164	54	179	159	せん断	52	117	
RE-HPCF-W003T	レストレイント	架構	STKR400	66	0	0	239	—	—	—	せん断	29	124	

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以下又は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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		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	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

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、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計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1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	HPCF-PD-1	50	132	282	2.13	○	50	502	282	0.56	○	50	0.0511	○
2	HPCF-PD-2	20	121	366	3.02	—	22N	250	366	1.46	—	20	0.0134	—

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 V A S												
		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	HPCF-R-1	13	154	363	2.35	—	13	243	434	1.78	—	—	—	—
2	HPCF-R-2	23	137	363	2.64	—	23	188	434	2.30	—	—	—	—
3	HPCF-R-3	126	128	431	3.36	—	1011	377	376	0.99	○	1011	0.0003	○
4	HPCF-R-4	25	227	363	1.59	○	25	346	434	1.25	—	—	—	—
5	HPCF-R-024	15	36	363	10.08	—	93N	382	434	1.13	—	—	—	—
6	HPCF-R-124	70	47	363	7.72	—	90N	212	422	1.99	—	—	—	—
7	HPCF-W-1	40	134	410	3.05	—	5	334	356	1.06	—	—	—	—