

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-004-09
提出年月日	2022年1月19日

VI-2-4-3-1-3 管の耐震性についての計算書

2022年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 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	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	39
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	40
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、VI-2-1-14「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を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、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8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。






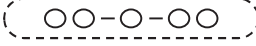

### (3) 弁

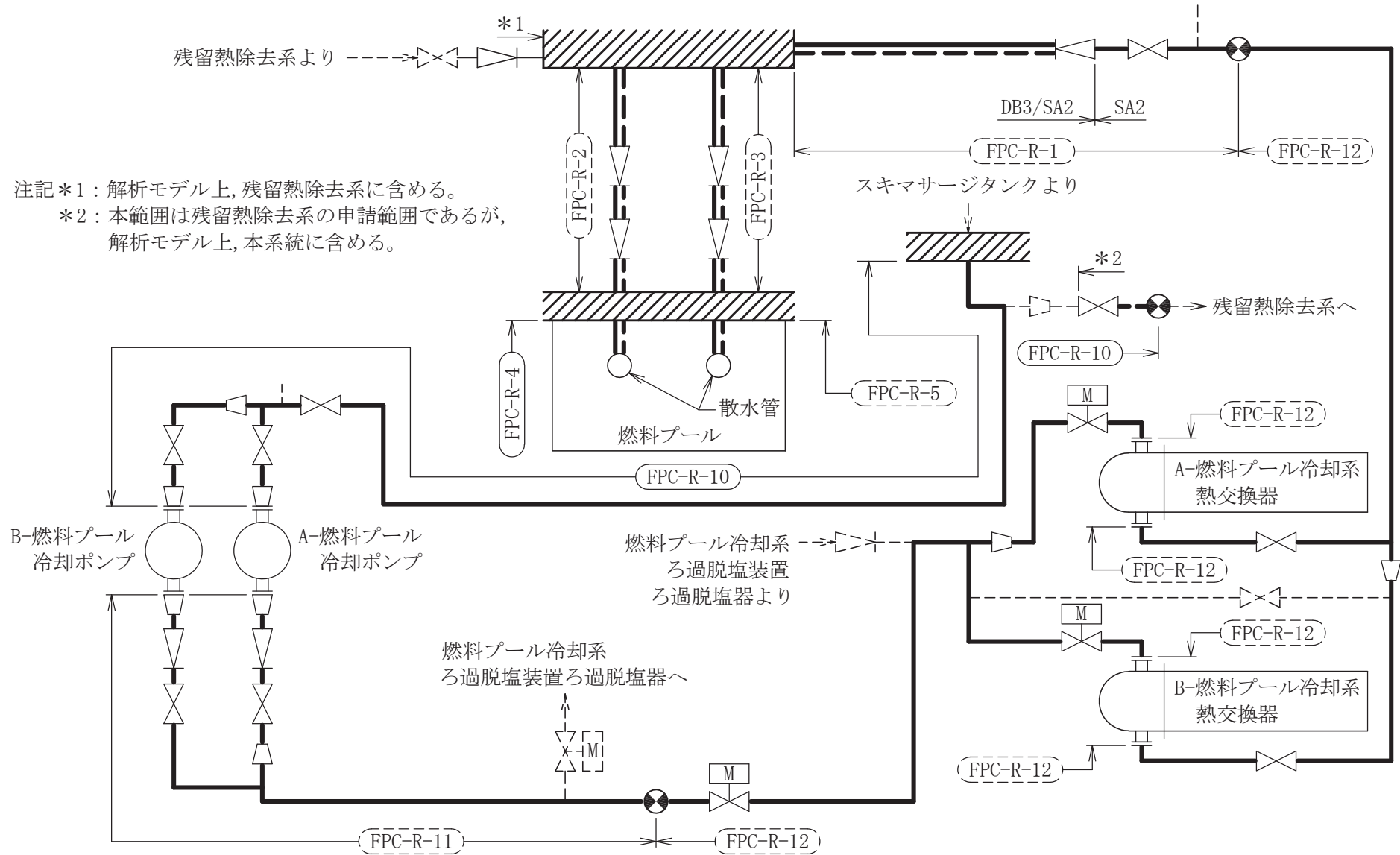
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

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 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (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 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管






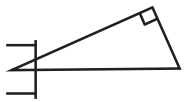


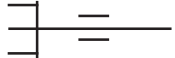
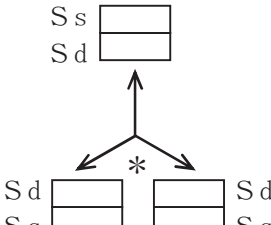


注記\*1：解析モデル上, 残留熱除去系に含める。  
\*2：本範囲は残留熱除去系の申請範囲であるが, 解析モデル上, 本系統に含める。

燃料プール冷却系概略系統図

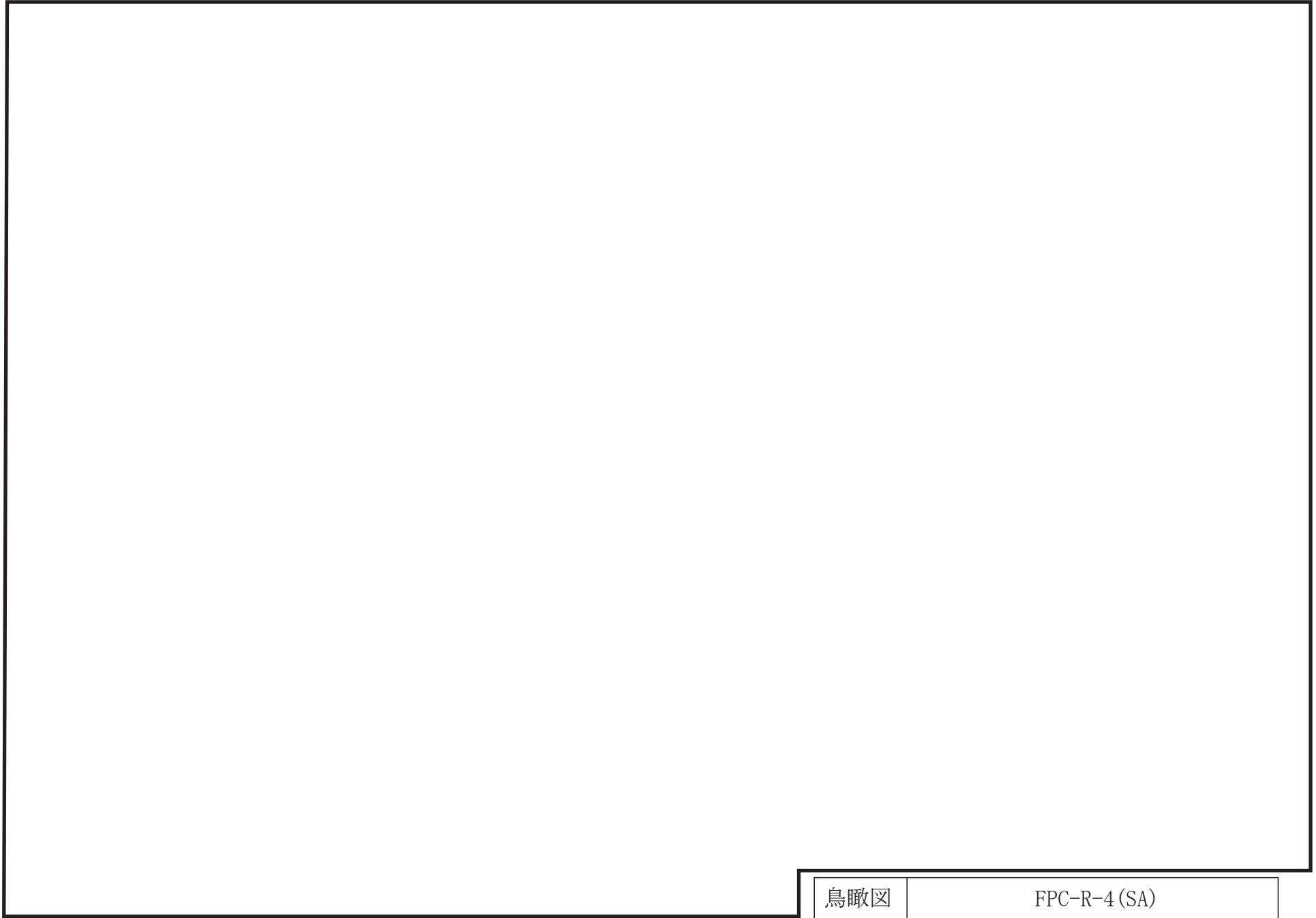
## 2.2 鳥瞰図

### 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 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (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, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図

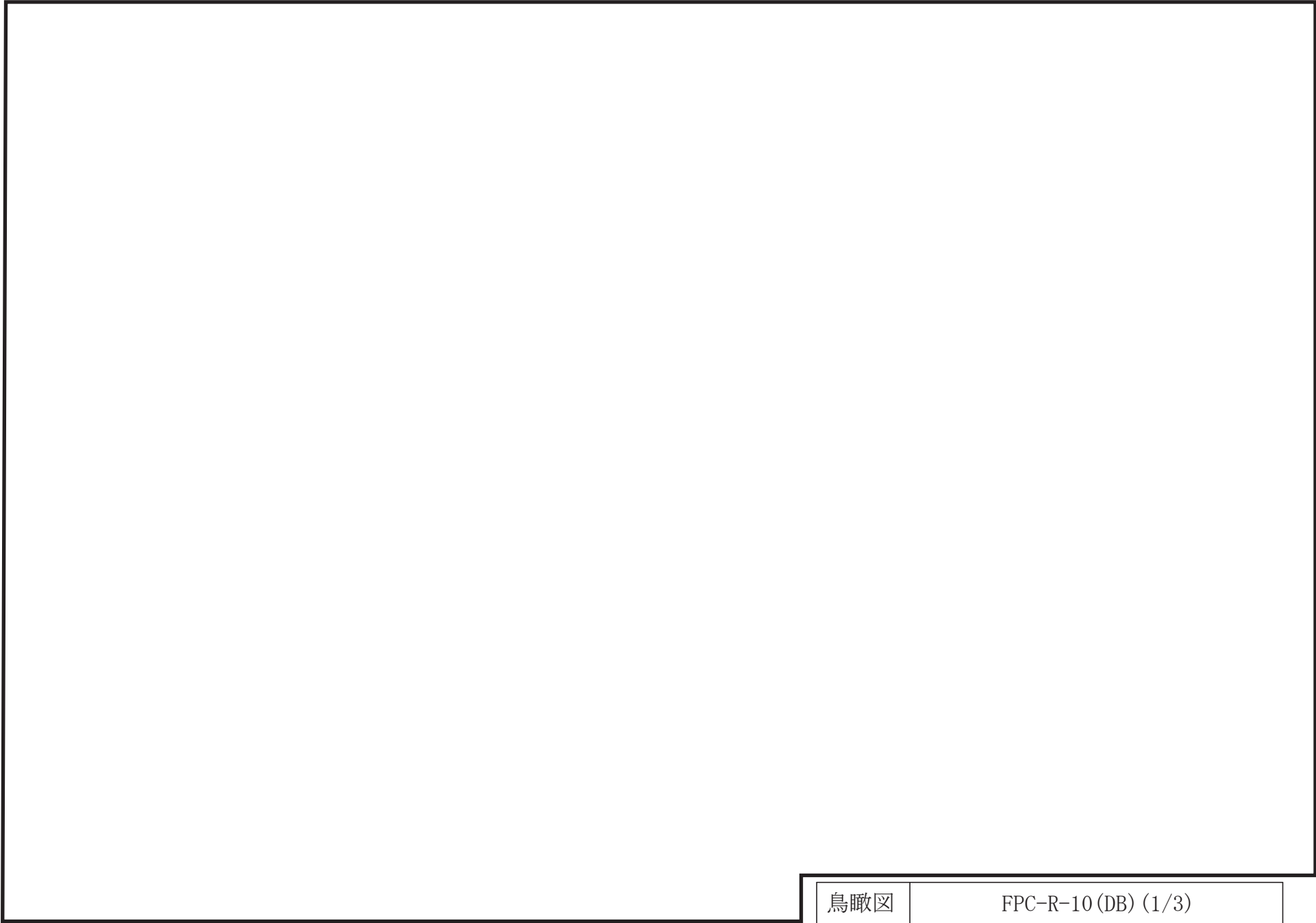
FPC-R-4 (DB)



鳥瞰図

FPC-R-4(SA)

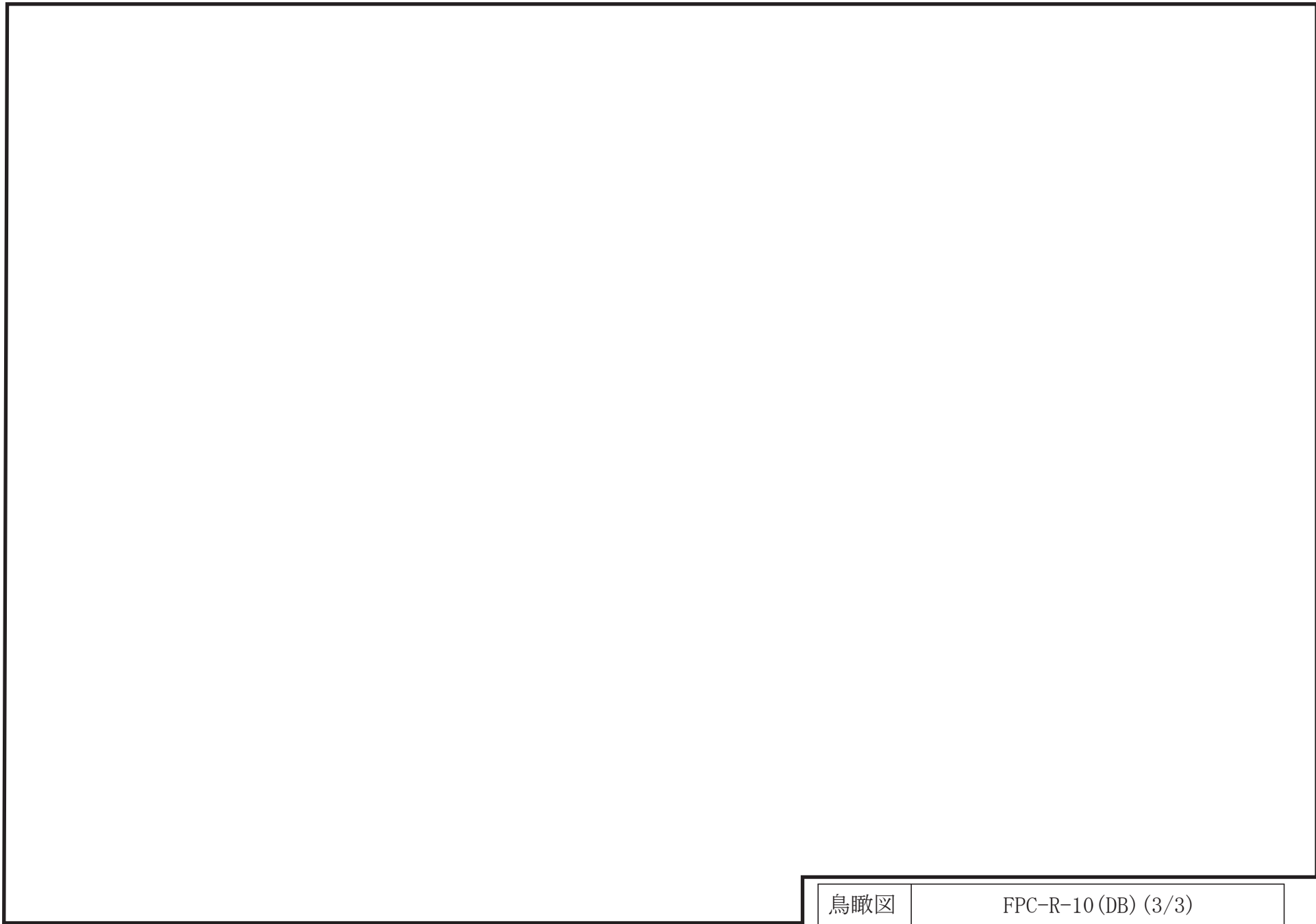




∞

鳥瞰図

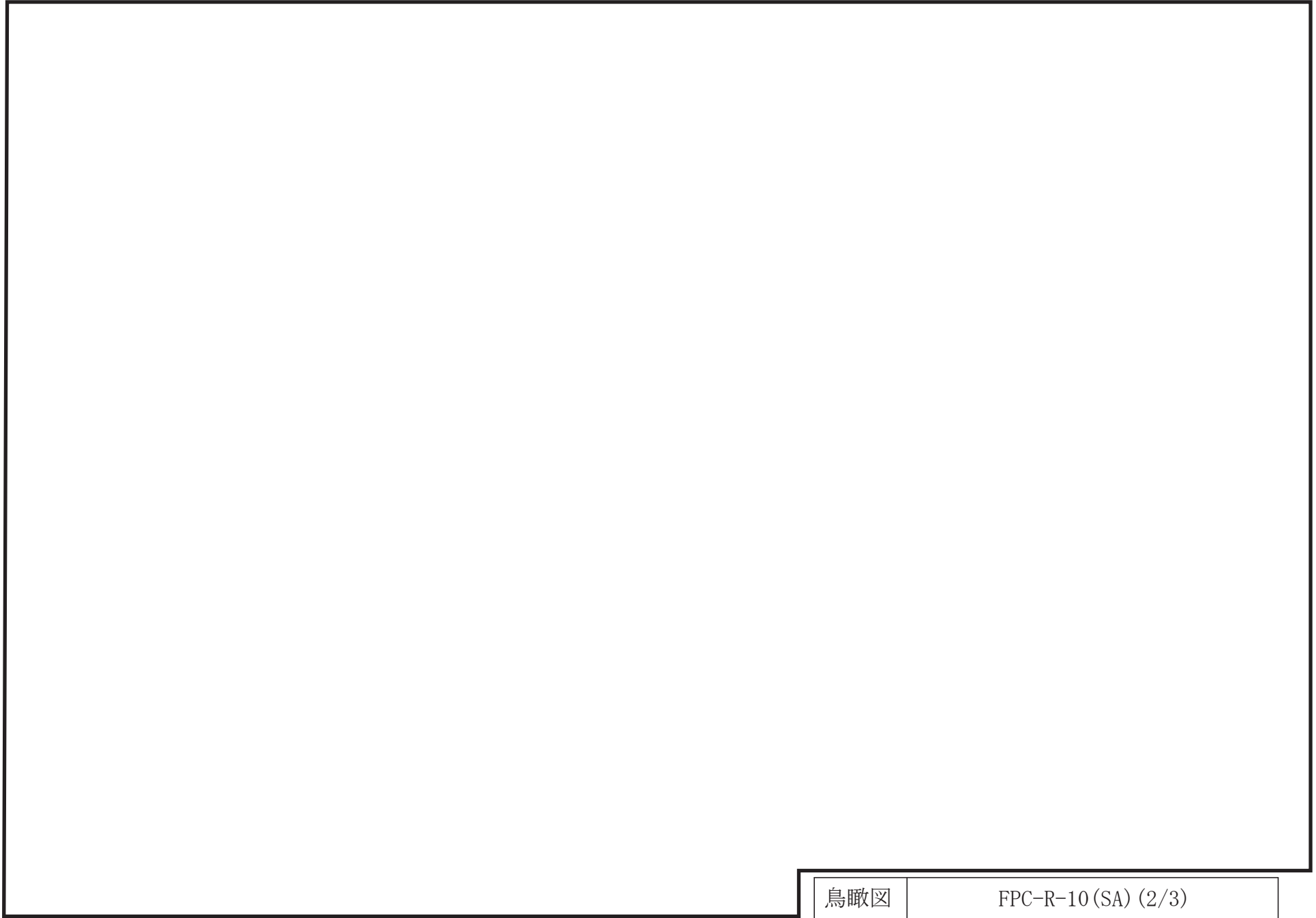
FPC-R-10 (DB) (2/3)



10

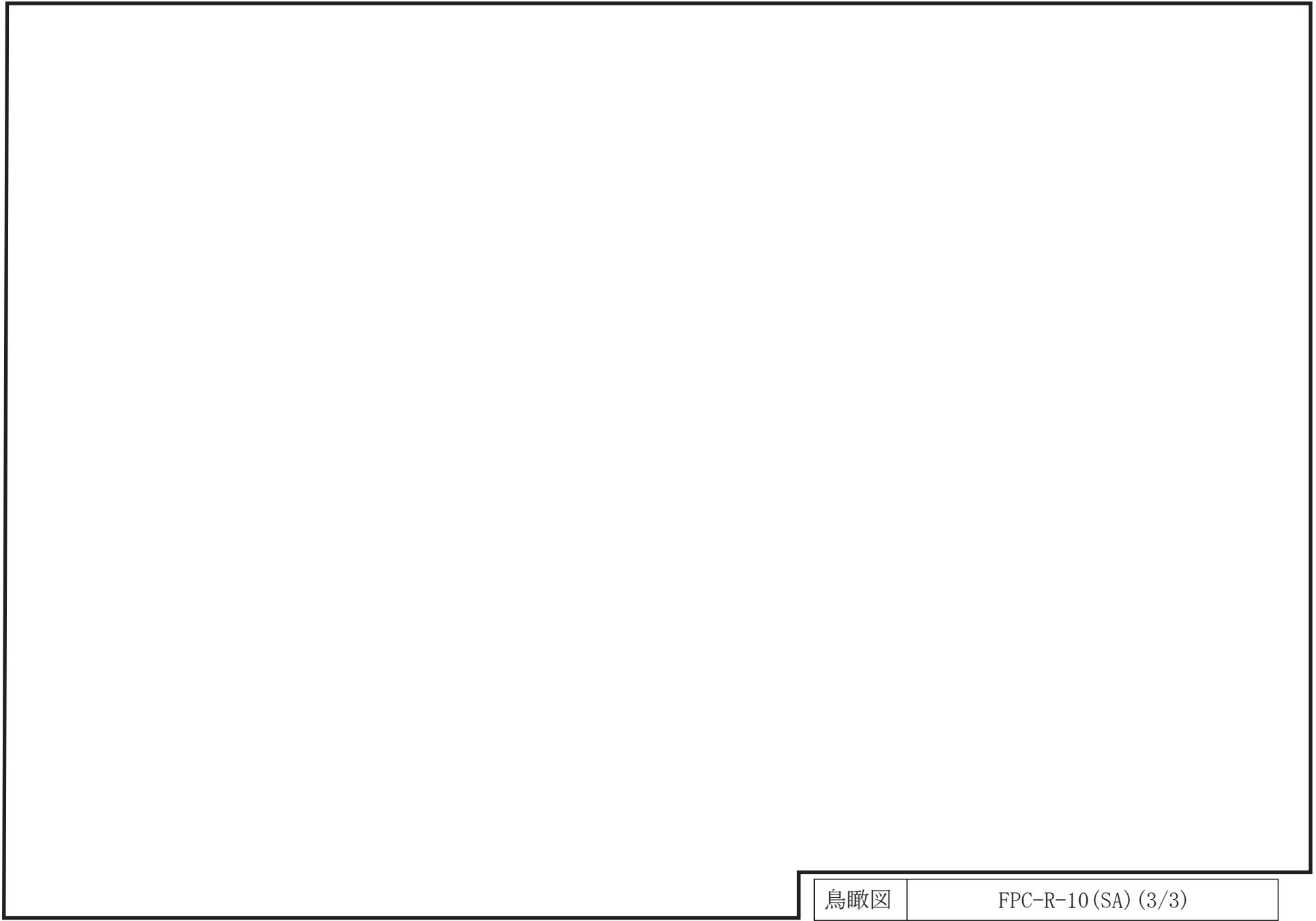
鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (1/3)



鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (2/3)



鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (3/3)

### 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、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 <sup>*1</sup>	設備分類 <sup>*2</sup>	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*3, *4</sup>	許容応力状態 <sup>*5</sup>
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	DB	—	クラス3管	S	I <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	
							I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	
			SA	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	
V <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> <sup>*6</sup>	V <sub>A</sub> S							



## 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 <sup>*1</sup>	設備分類 <sup>*2</sup>	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*3, *4</sup>	許容応力状態 <sup>*5</sup>
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス3管	S	I <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	
							I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	

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を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*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<sub>A</sub>Sは許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。

\*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS<sub>s</sub>地震力の組合せを考慮する。

### 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 FPC-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	1A~12	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	S	193400

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FPC-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
1A						
5						
9						

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 FPC-R-10

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~2	1.37	66	216.3	8.2	STPT410	S	200920
2	37~38, 37~62	静水頭	66	318.5	10.3	STPT42	—	200920
3	38~39	静水頭	66	318.5	10.3	SUS304TP	—	192840
4	63~76	1.37	66	318.5	10.3	STPT42	—	200920
5	77~80, 81~89 75~92, 93~101	1.37	66	267.4	9.3	STPT42	—	200920
6	90~91N, 102~103N	1.37	66	216.3	8.2	STPT42	—	200920

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FPC-R-10

質量	対応する評価点
	85F, 86F, 97F, 98F
	91N, 103N

弁部の質量

鳥 瞰 図 FPC-R-10

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2~3		62~63
	80~81, 92~93		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FPC-R-10

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				62~63			
80~81				92~93			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FPC-R-10

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						
39						
49						
** 49 **						
55						
64						
78						
78						
82						
** 82 **						
91N						
94						
** 94 **						
103N						

S2 補 VI-2-4-3-1-3 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
SUS304TP	66	—	188	479	126
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	66	—	231	407	—

### 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スペクトルを下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」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	減衰定数 (%)
FPC-R-4	原子炉建物		
FPC-R-10	原子炉建物		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記\*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

\*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

\*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

\*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

\*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FPC-R-4

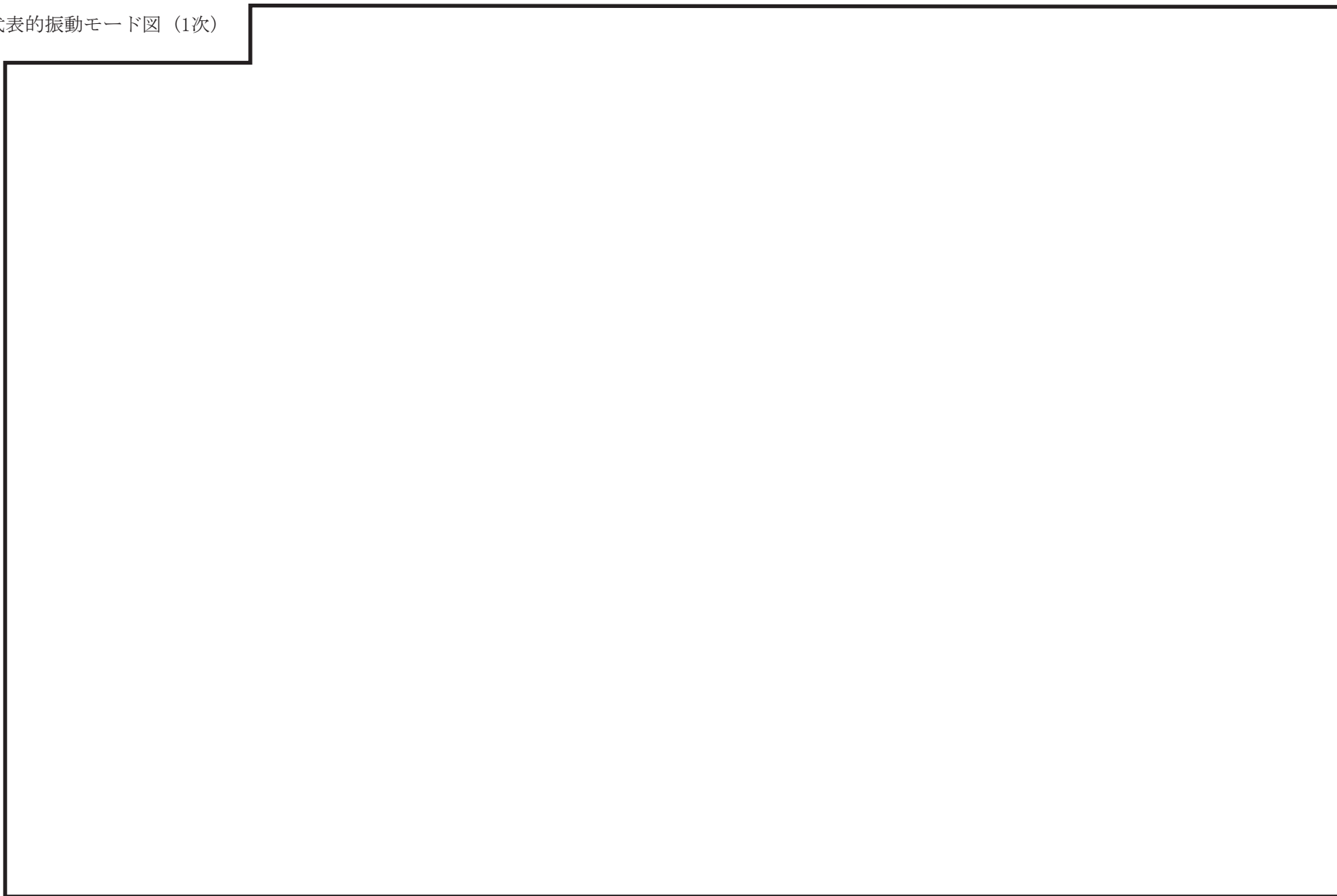
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

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

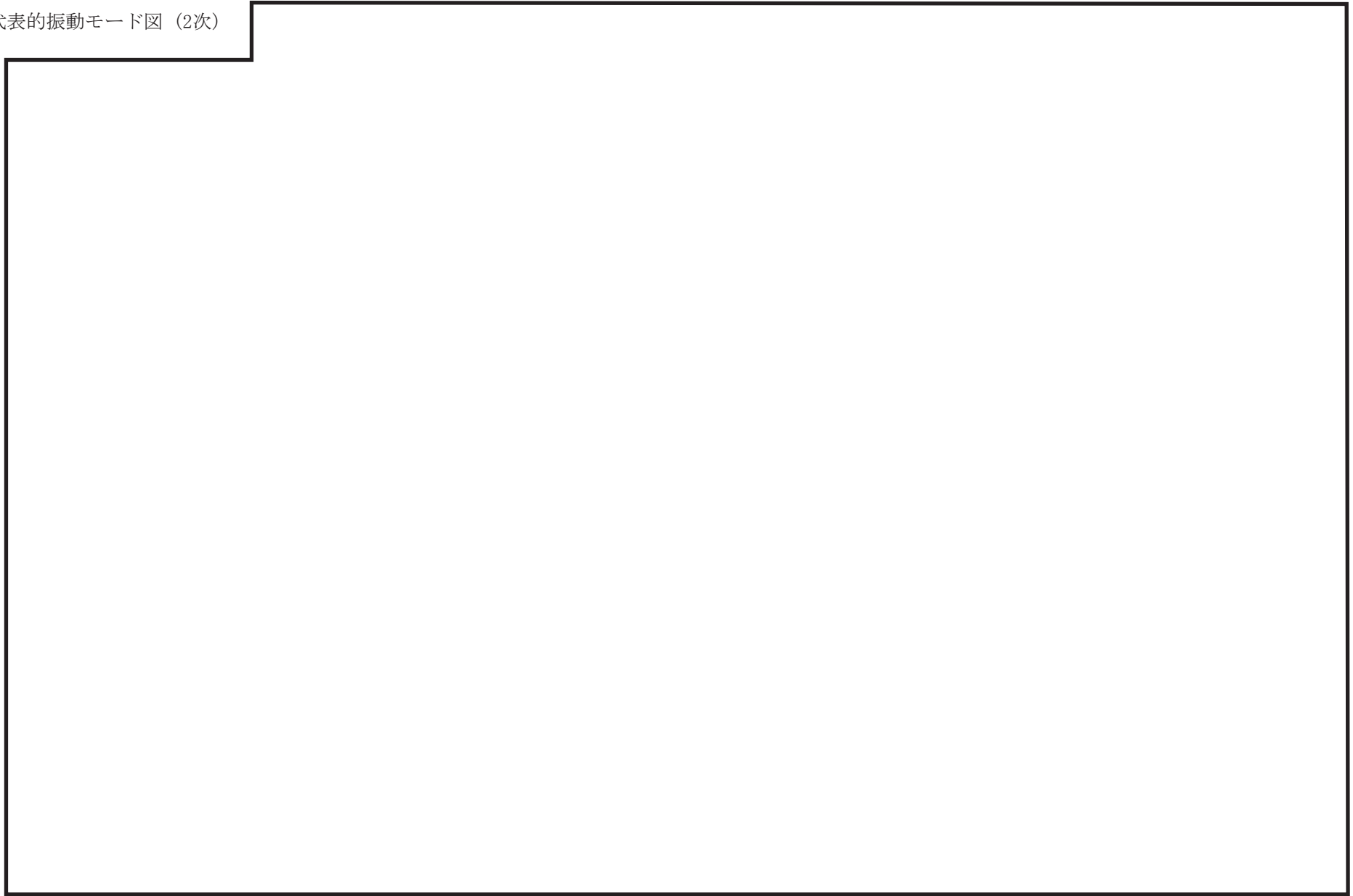
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



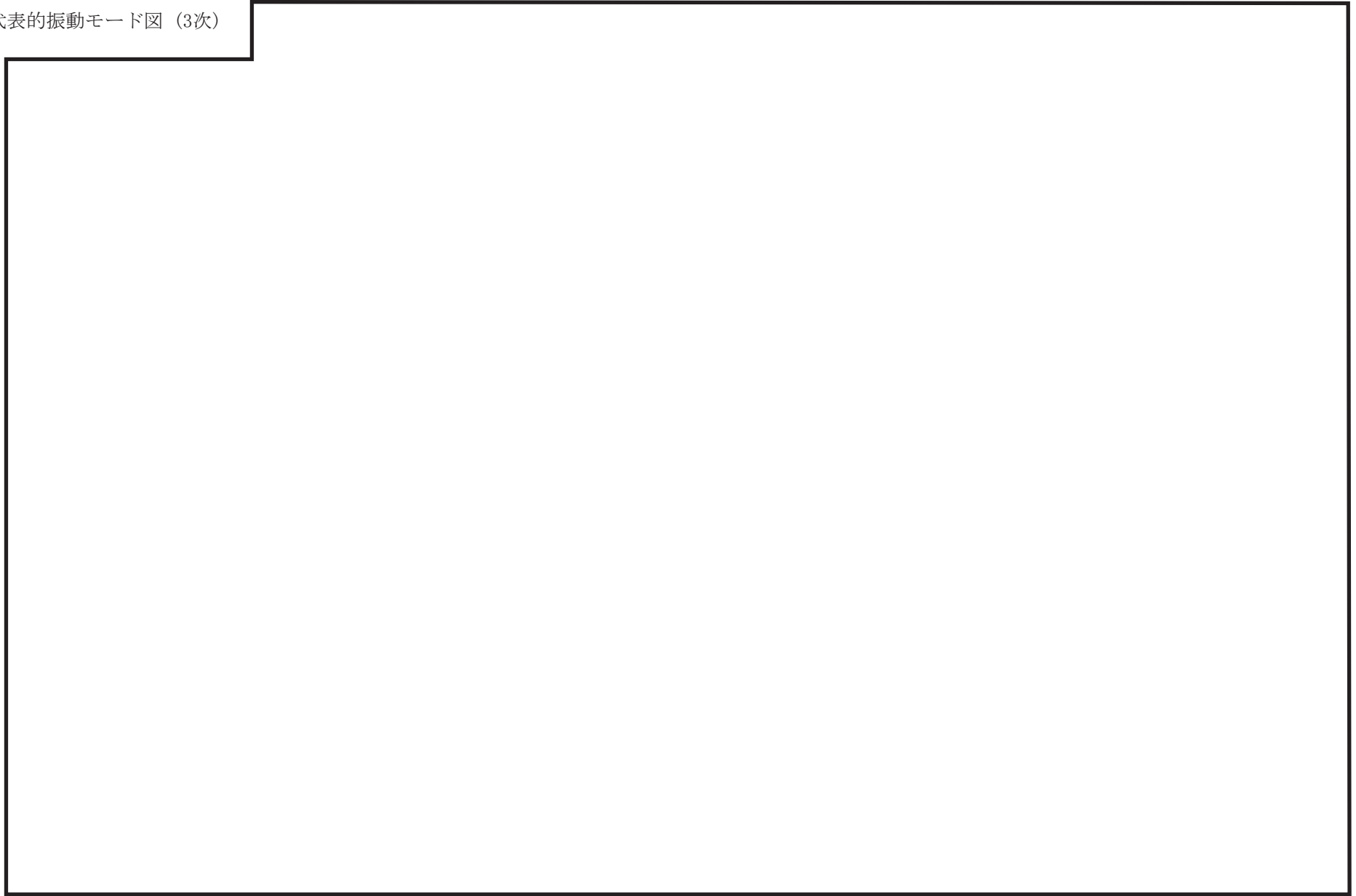
28

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

30





固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-10

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 及び静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	
		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								
動的震度*4								
静的震度*5								

注記\*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

\*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

\*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S<sub>s</sub>)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

\*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>)又はこれを上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S<sub>s</sub>)又はこれを上回る設計震度

\*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FPC-R-10

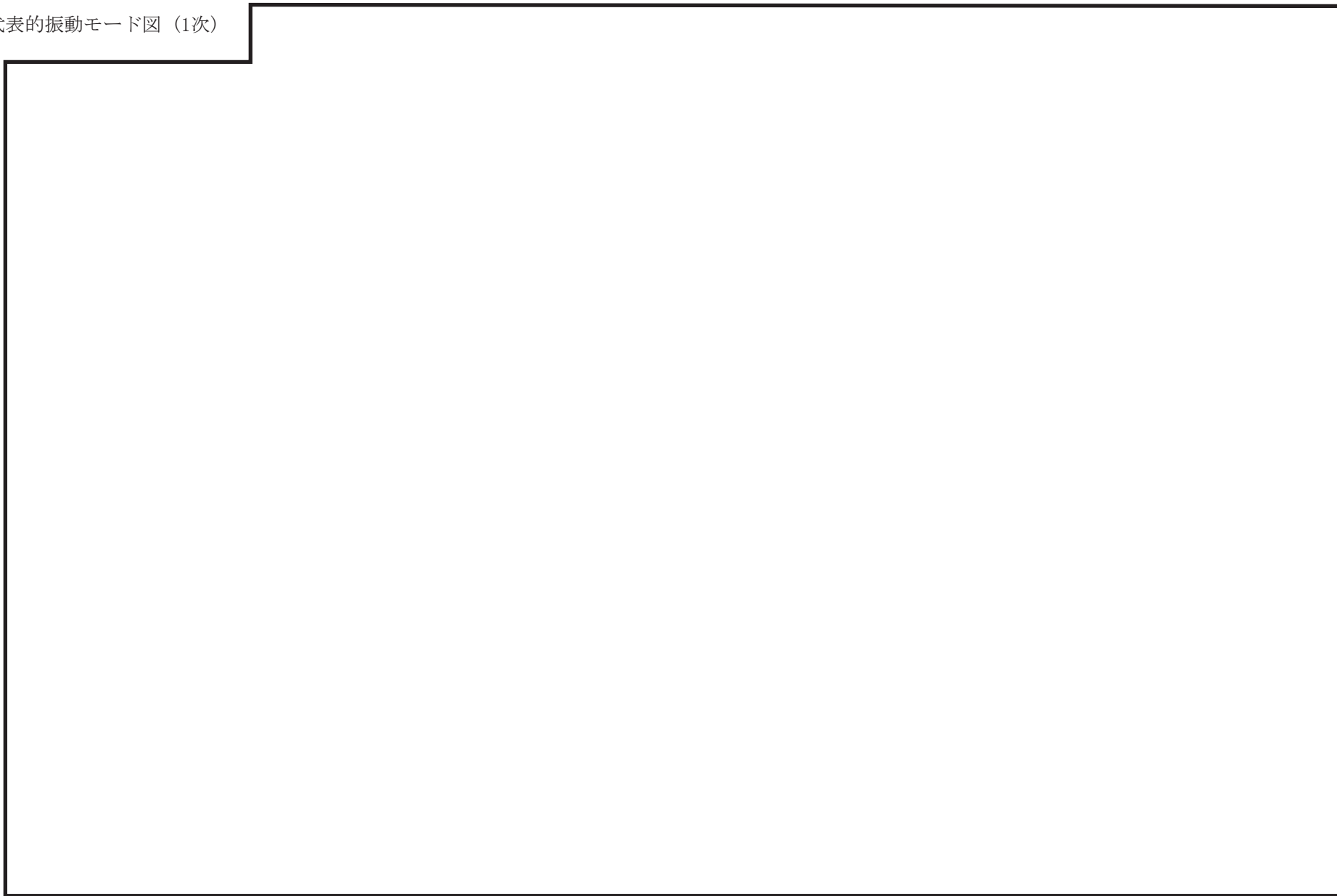
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				

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。

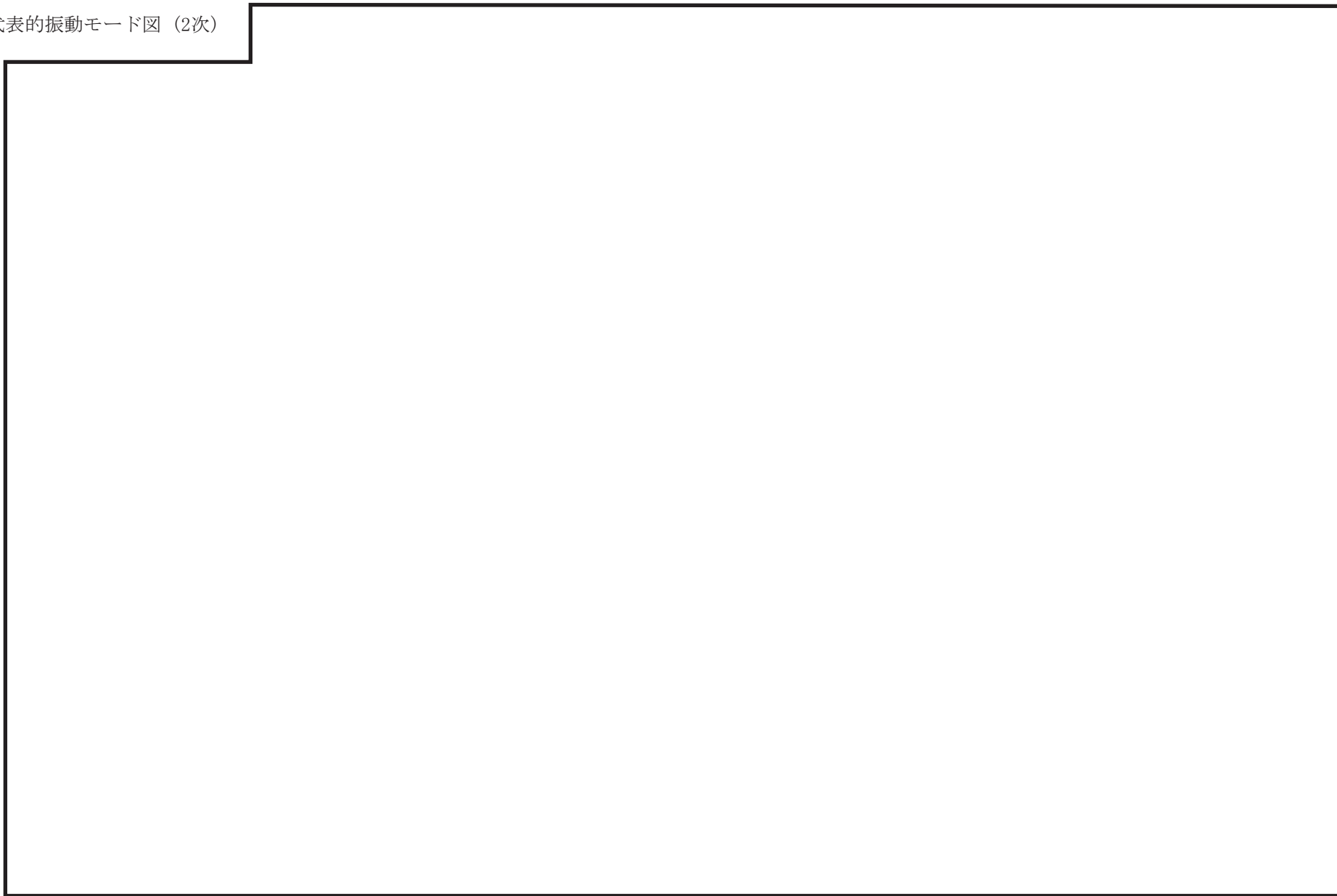
## 代表的振動モード図

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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

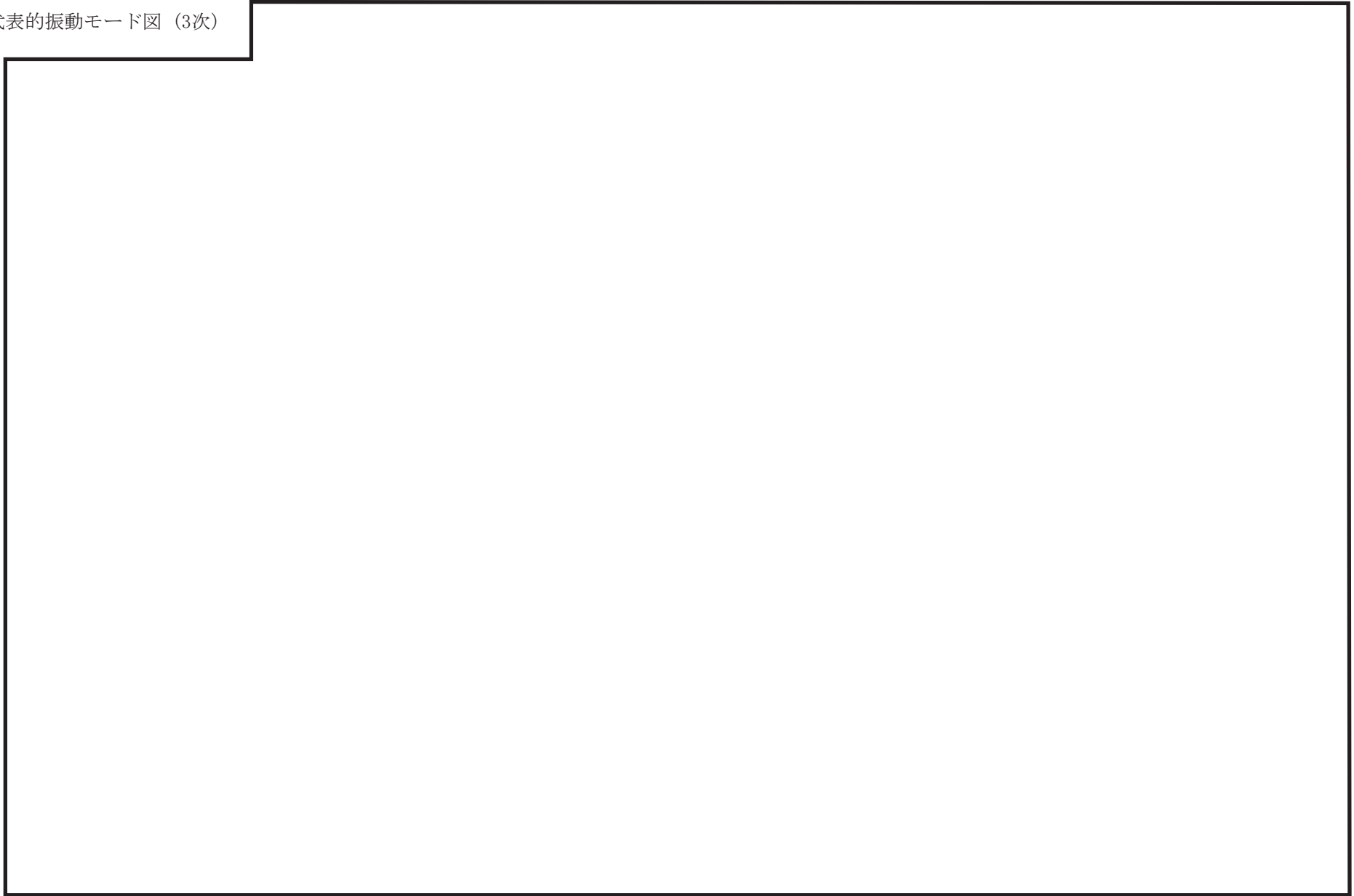


代表的振動モード図 (2次)



35

代表的振動モード図 (3次)



## 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2以下の管又は重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力( $S_y^{*2}$ )	FPC-R-4	9	103	188	—
	一次+二次応力( $2 \cdot S_y$ )	FPC-R-4	9	186	376	—
Ⅳ <sub>A</sub> S Ⅴ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	一次応力( $0.9 \cdot S_u$ )	FPC-R-10	1A	192	366	—
	一次+二次応力( $2 \cdot S_y$ )	FPC-R-10	1A	326	462	—

注記\*1：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は，許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sと許容応力状態Ⅴ<sub>A</sub>Sを包絡した結果を記載する。

\*2：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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

## 評価結果

## 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

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
V <sub>A</sub> S	一次応力(0.9・S <sub>u</sub> )	FPC-R-10	90	203	366	—
	一次+二次応力(2・S <sub>y</sub> )	FPC-R-10	90	377	462	—

注：許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの評価が許容応力状態V<sub>A</sub>Sの評価に包絡されるため、許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの評価記載を省略する。



## 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)
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照		—	—
SNO-FPC-361	オイルスナップ	SN-3			13	45
RE-FPC-387	ロッドレストレイント	RSA-3			20	54
—	スプリングハンガ	—			—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

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 <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RE-FPC-269	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	97	0	—	—	—	組合せ	65	235
AN-FPC-201	アンカ	ラグ	SUS304	100	13	16	27	3	13	10	組合せ	22	59

## 4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 <sup>*1</sup>	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 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		動作機能確認済加速度 <sup>*2</sup> ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 <sup>*2</sup> (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記\*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- $\alpha$  (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- $\alpha$  (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- $\beta$  (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- $\beta$  (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

\*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

## 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。

クラス2以下の管又は重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積係数	代表
1	FPC-R-1	19	27	188	6.96	—	19	31	376	12.12	—	—
2	FPC-R-2	1A	16	188	11.75	—	1A	9	376	41.77	—	—
3	FPC-R-3	1A	16	188	11.75	—	1A	9	376	41.77	—	—
4	FPC-R-4	9	103	188	1.82	○	9	186	376	2.02	—	○
5	FPC-R-5	9	103	188	1.82	—	9	186	376	2.02	—	—
6	FPC-R-10	1A	113	231	2.04	—	1A	169	462	2.73	—	—

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。

クラス2以下の管又は重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV <sub>A</sub> S及びV <sub>A</sub> S*										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	FPC-R-1	19	31	431	13.90	—	19	38	376	9.89	—	—
2	FPC-R-2	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
3	FPC-R-3	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
4	FPC-R-4	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
5	FPC-R-5	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
6	FPC-R-10	1A	192	366	1.90	○	1A	326	462	1.41	—	○

注記\*：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は、許容応力状態IV<sub>A</sub>Sと許容応力状態V<sub>A</sub>Sを包絡した結果を記載する。

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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態V <sub>A</sub> S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		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	疲労累積 係数	代表
1	FPC-R-1	8	30	431	14.36	—	8	35	376	10.74	—	—
2	FPC-R-10	90	203	366	1.80	○	90	377	462	1.22	—	○
3	FPC-R-11	39	80	366	4.57	—	39	133	462	3.47	—	—
4	FPC-R-12	106	74	431	5.82	—	106	113	376	3.32	—	—

注：許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの評価が許容応力状態V<sub>A</sub>Sの評価に包絡されるため、許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの評価記載を省略する。