

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-2-040-43 改1
提出年月日	2020年 8月28日

V-2-9-5-2 管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）

2020年7月
東京電力ホールディングス株式会社

V-2-9-5-2 管の耐震性についての計算書
(格納容器圧力逃がし装置)

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	5
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	17
3.4 材料及び許容応力	33
3.5 設計用地震力	34
4. 解析結果及び評価	35
4.1 固有周期及び設計震度	35
4.2 評価結果	47
4.2.1 管の応力評価結果	47
4.2.2 支持構造物評価結果	48
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	49
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	50

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。


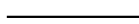

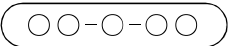

(3) 弁

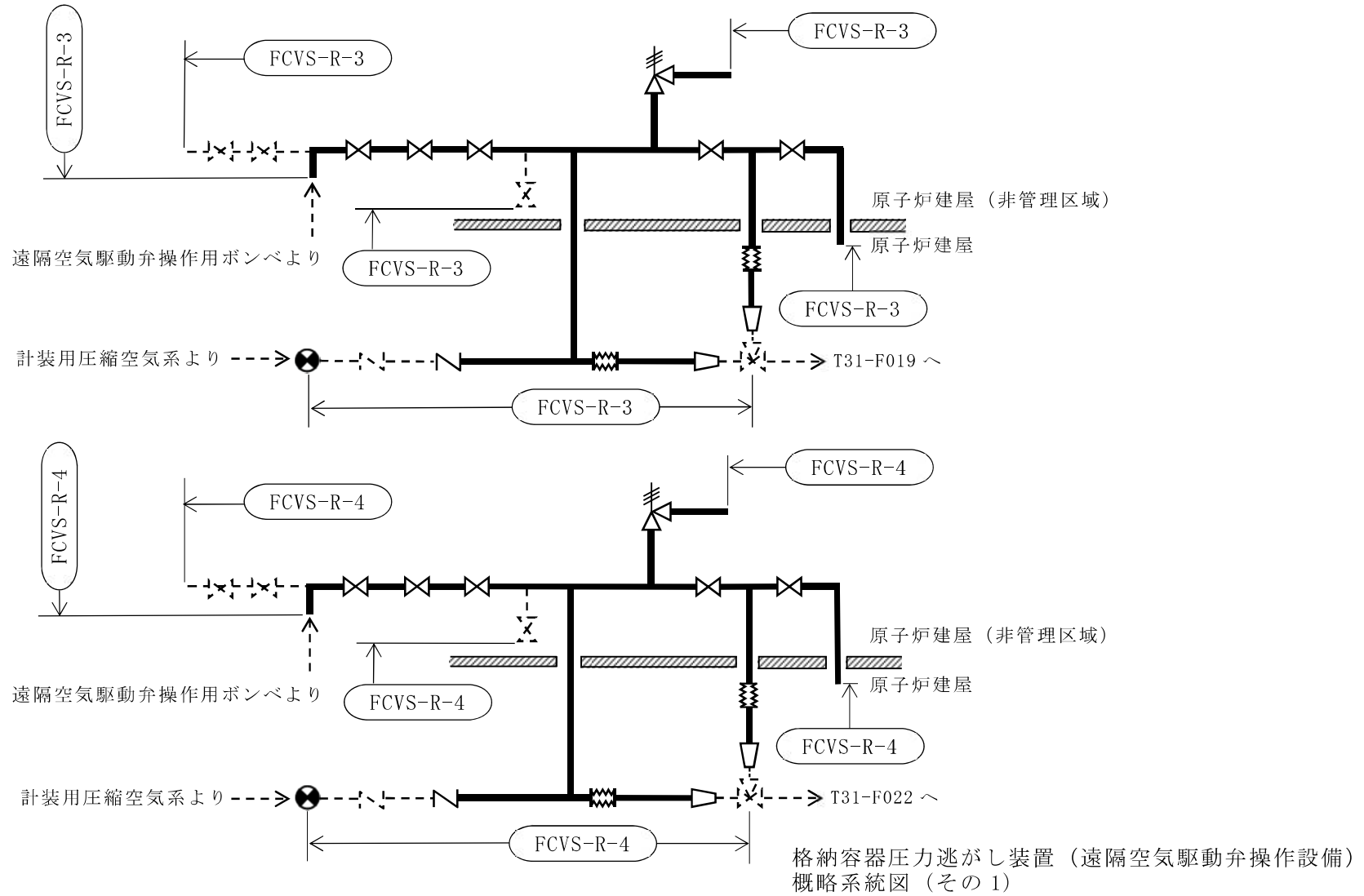
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

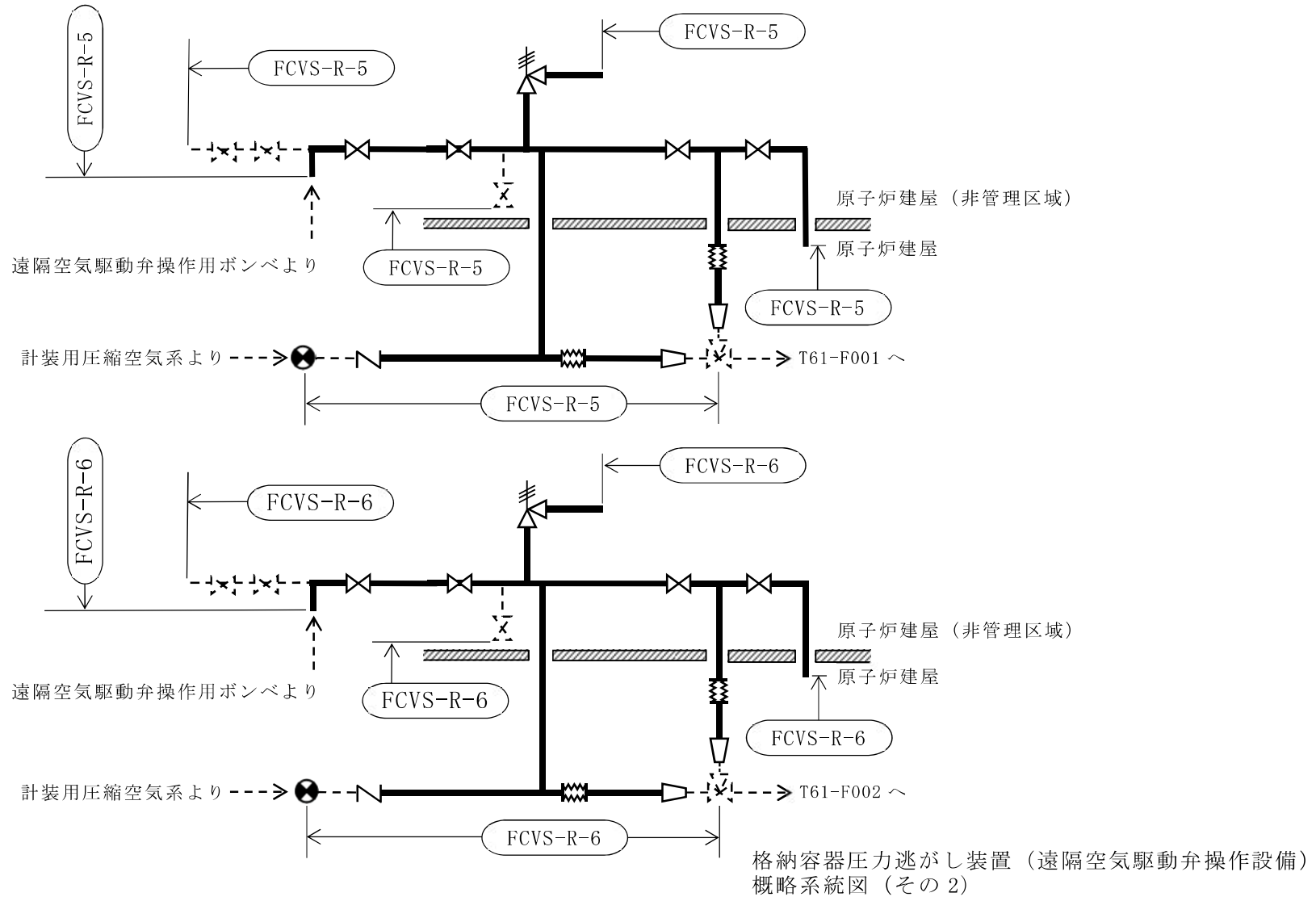
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



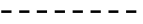


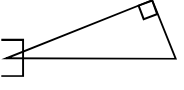
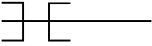

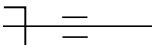
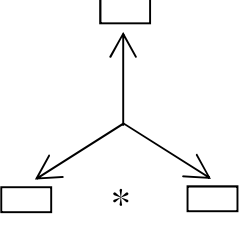

記号	内容
 (太線)	工事計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画書記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

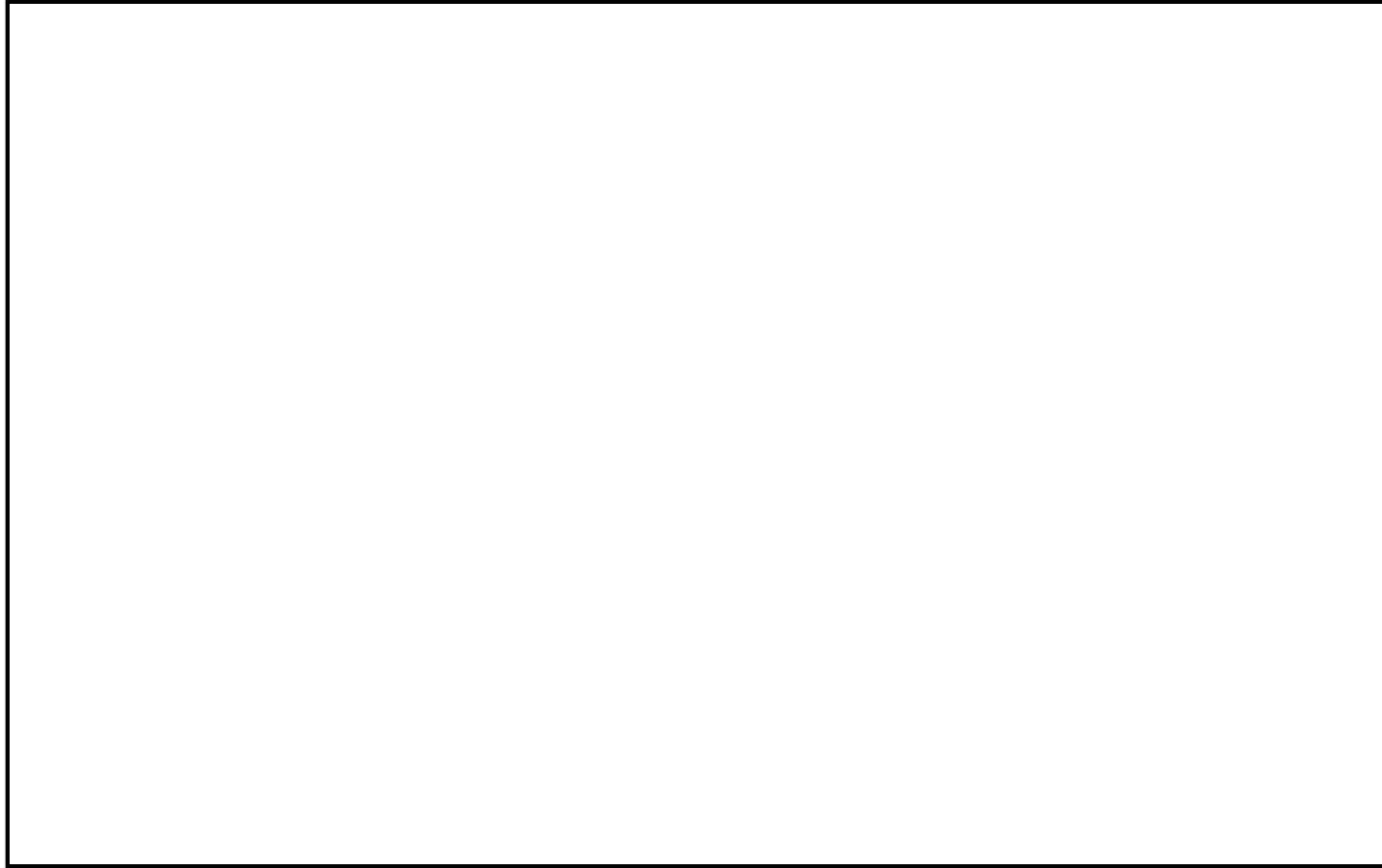




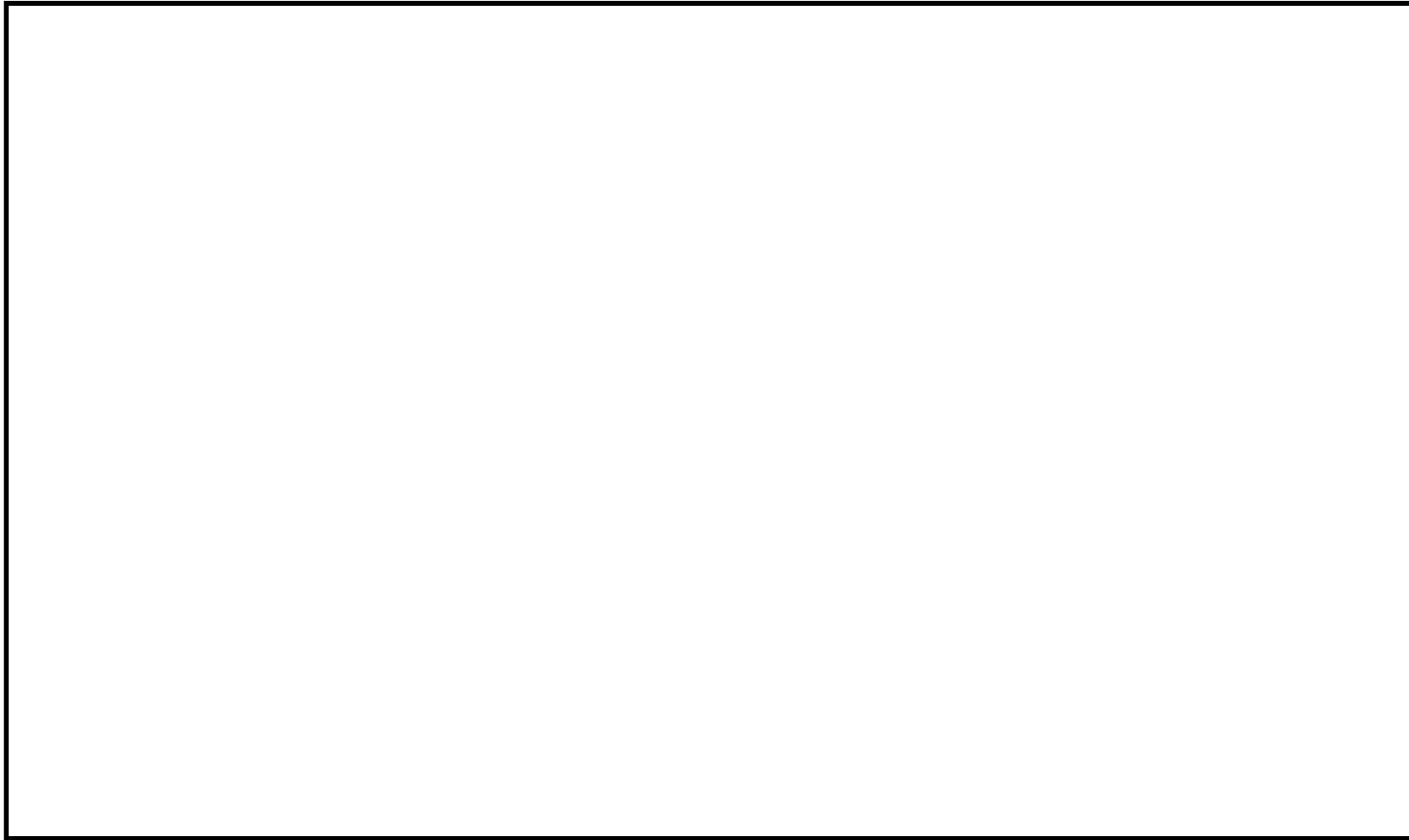
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画書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。

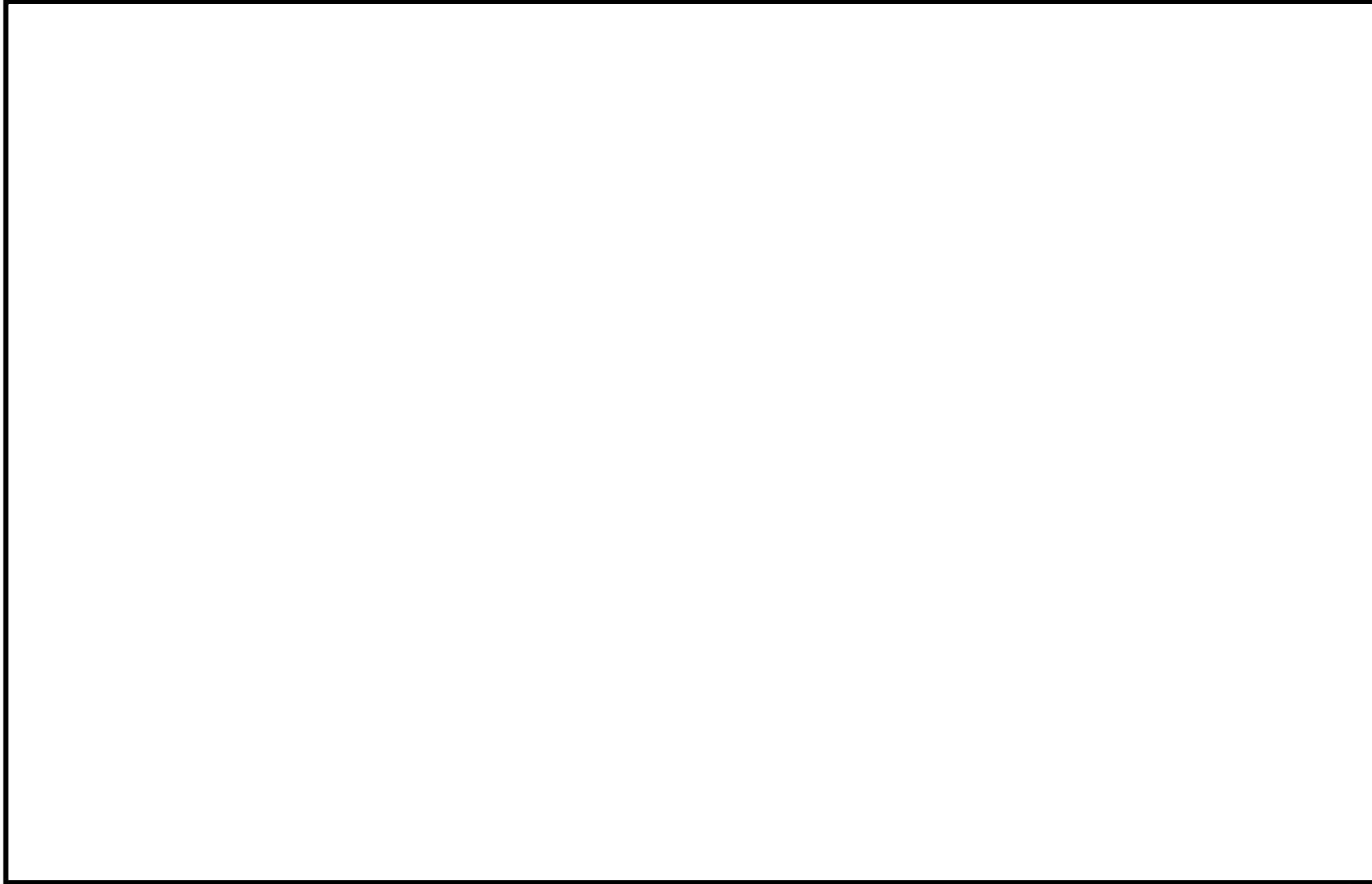


鳥瞰図	FCVS-R-3(1/5)
-----	---------------

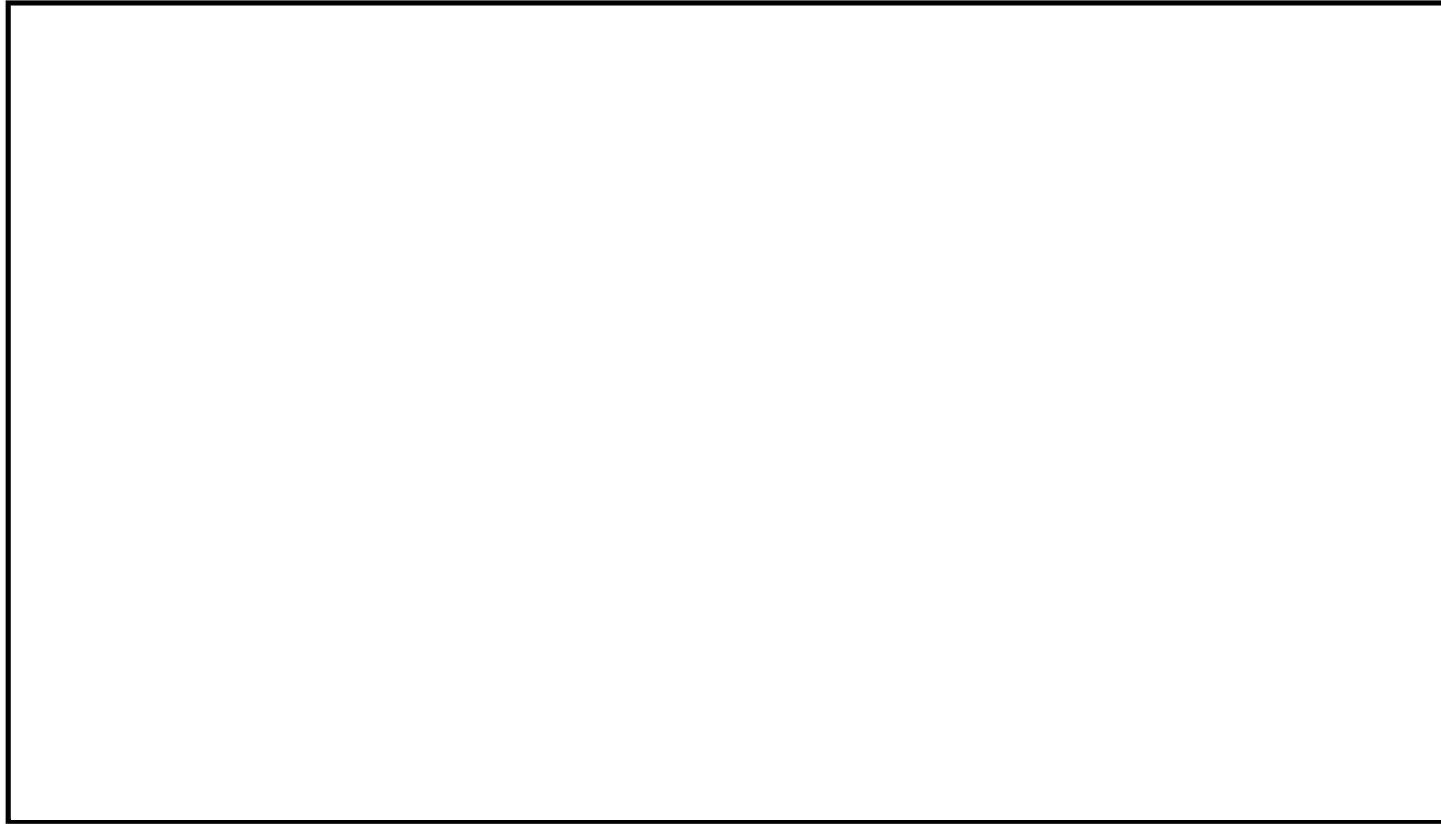


鳥瞰図	FCVS-R-3(2/5)
-----	---------------

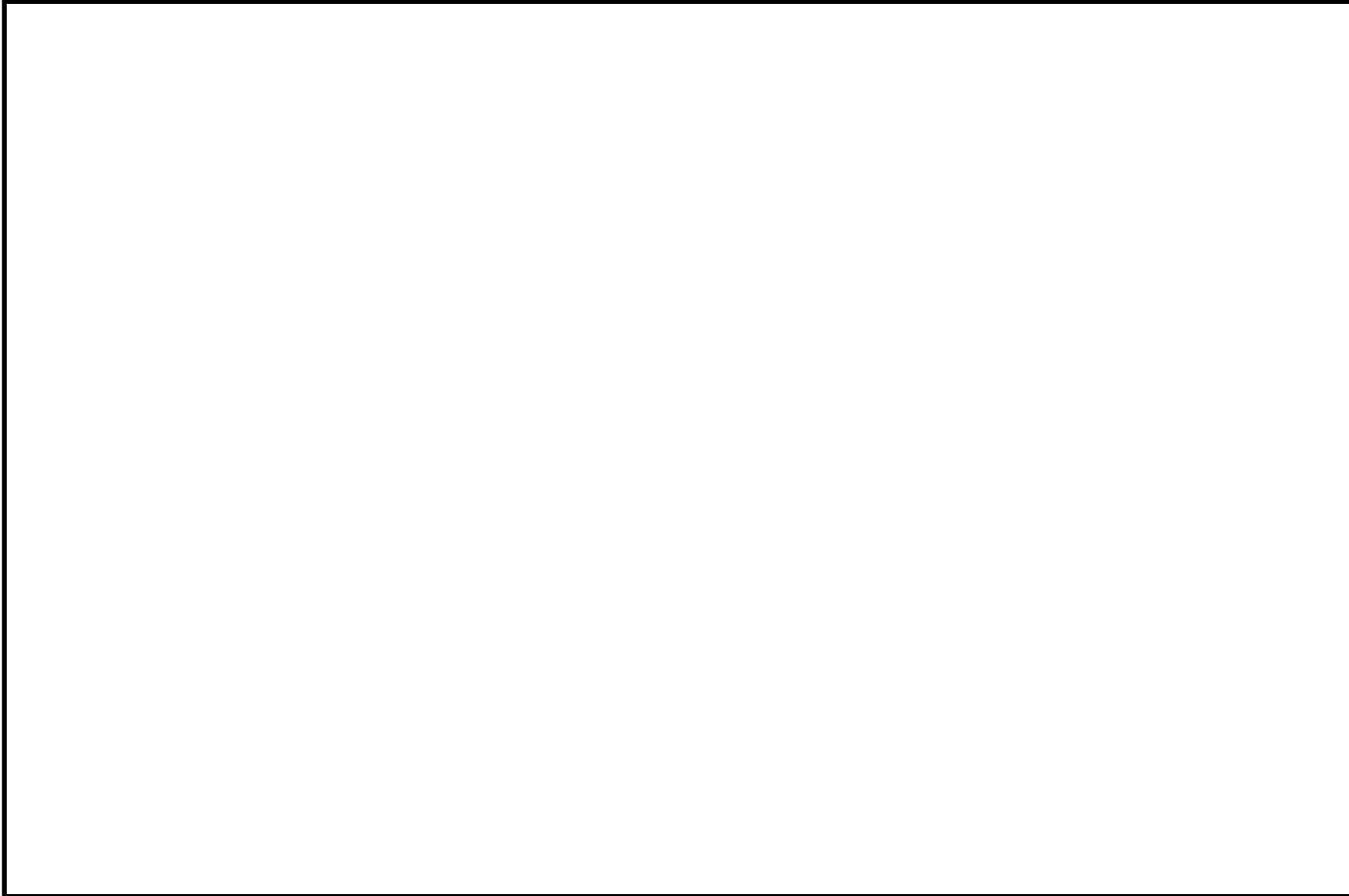
8



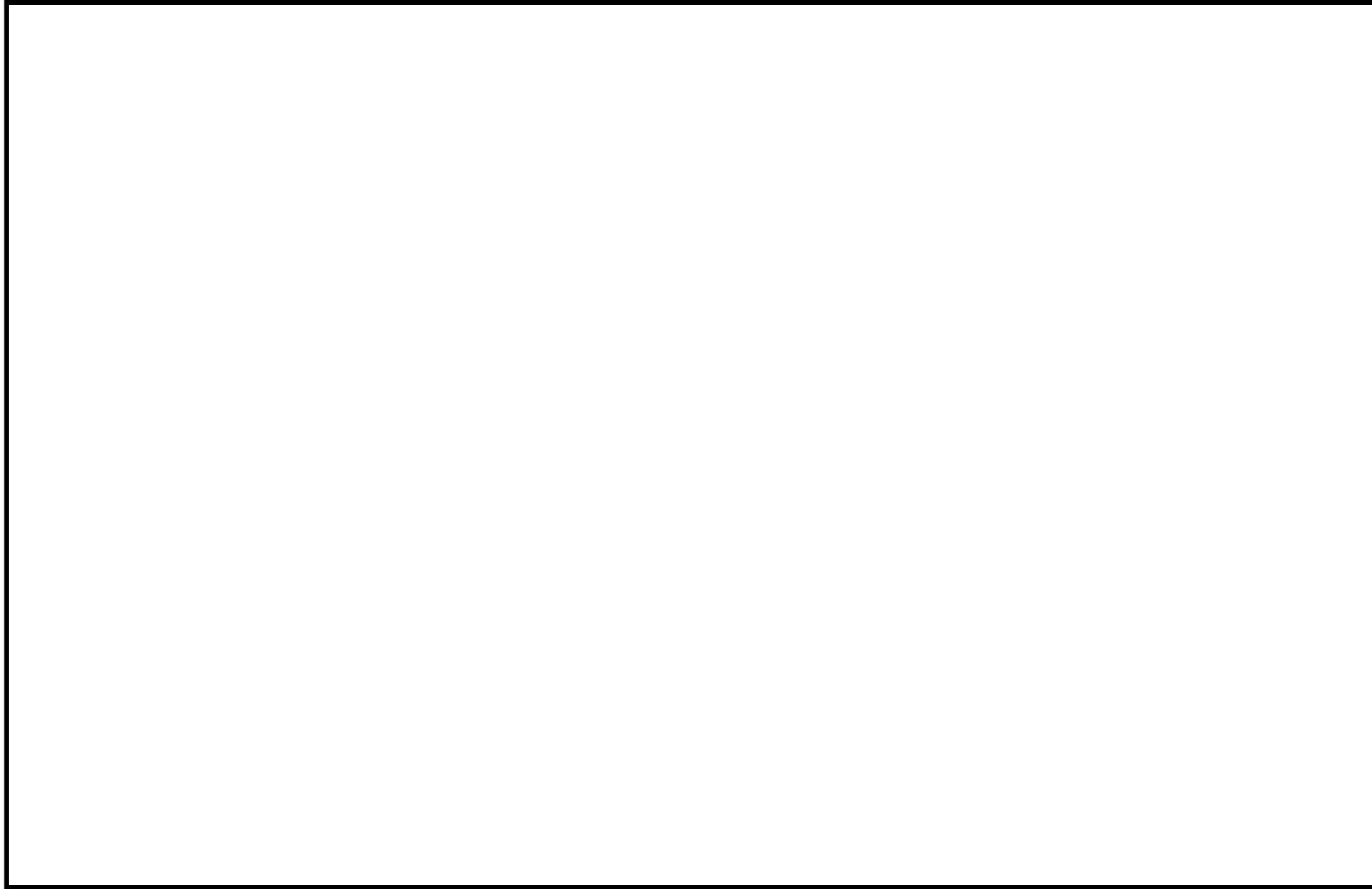
鳥瞰図	FCVS-R-3(3/5)
-----	---------------



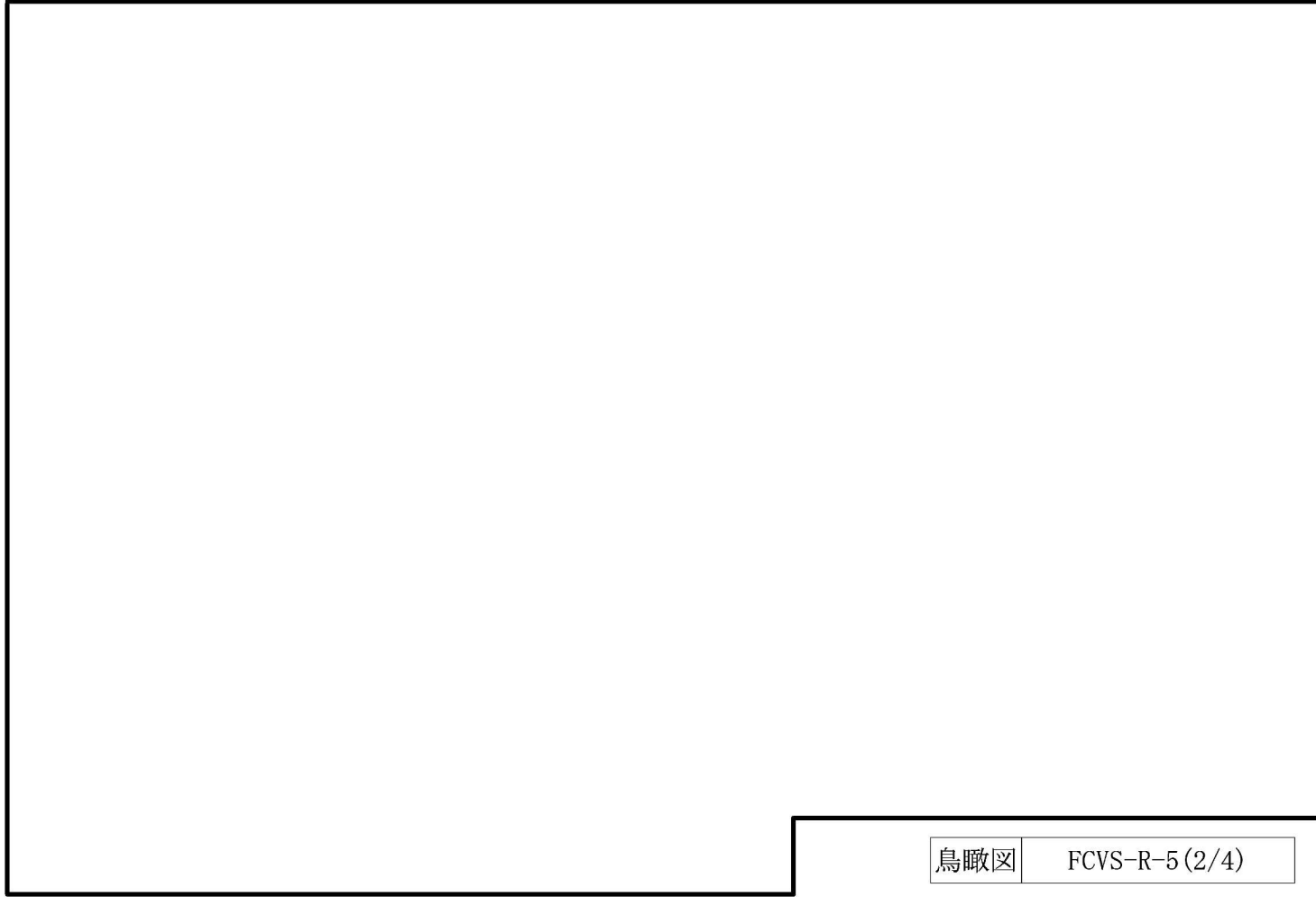
鳥瞰図	FCVS-R-3(4/5)
-----	---------------



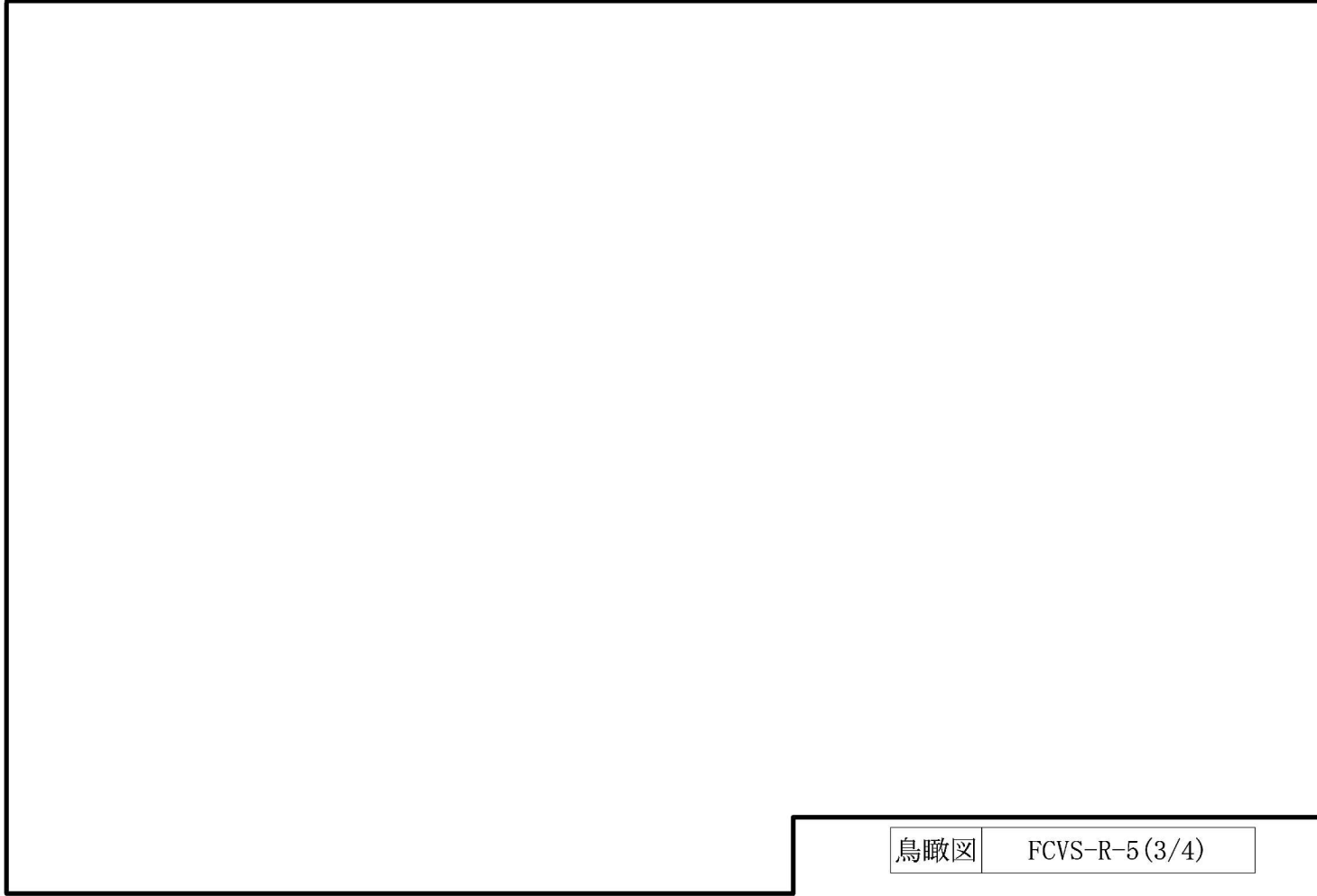
鳥瞰図	FCVS-R-3(5/5)
-----	---------------



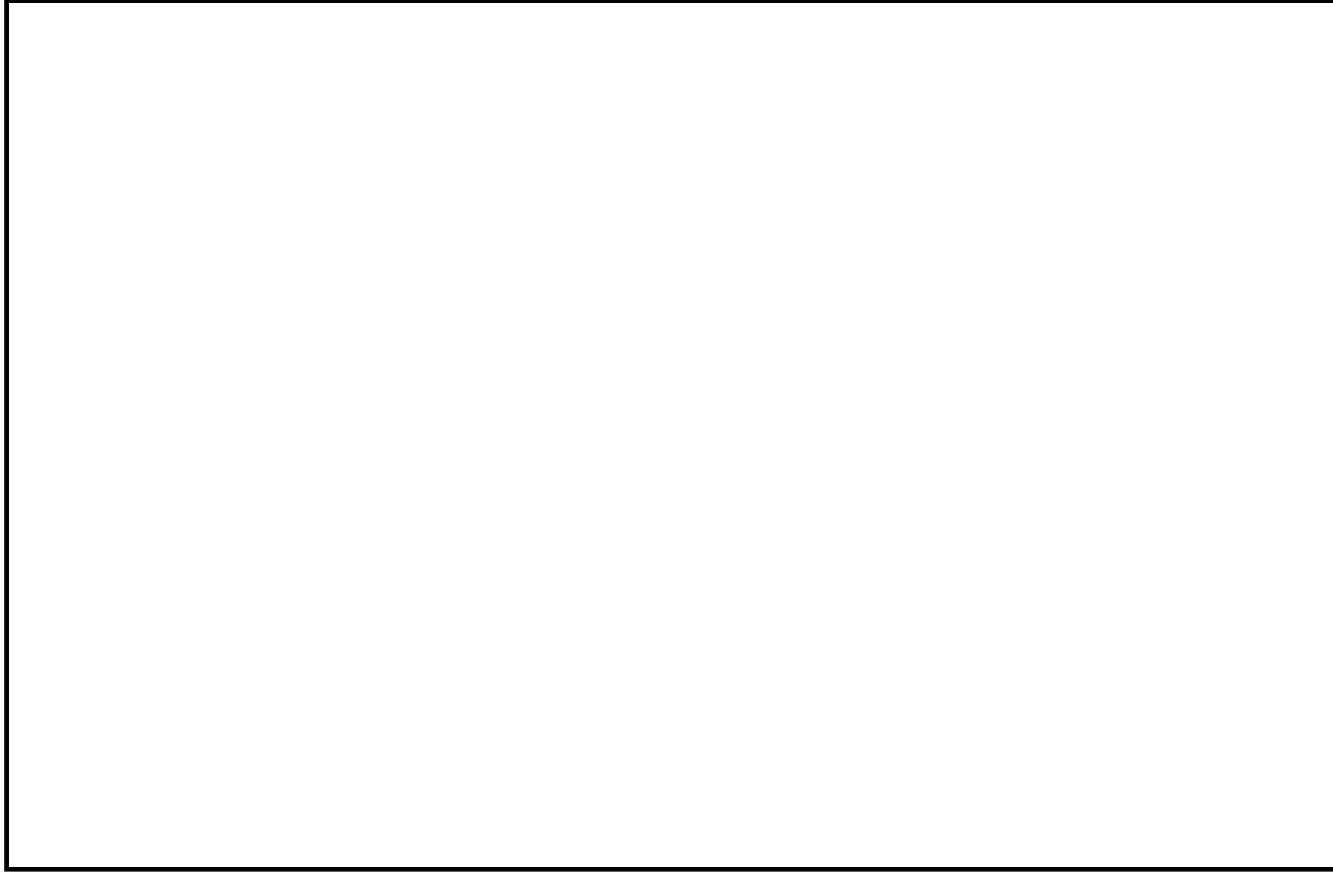
鳥瞰図	FCVS-R-5(1/4)
-----	---------------



鳥瞰図	FCVS-R-5(2/4)
-----	---------------



鳥瞰図	FCVS-R-5(3/4)
-----	---------------



鳥瞰図	FCVS-R-5(4/4)
-----	---------------

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、「N u P I A S」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「計算機コードの概要及び検証方法」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	許容応力状態*4
原子炉格納施設	圧力逃し装置	格納容器圧力逃がし装置	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	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	格納容器圧力逃がし装置	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	残留熱除去設備	格納容器圧力逃がし装置	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	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	耐圧強化ベント系	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	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	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

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番号で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図 FCVS-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	1～ 8, 10～ 16, 18～ 24	15.00	40	27.2	5.5	SUS304TP	—	193667
2	26～ 34, 32～273, 33～ 43, 45～ 55, 51～162, 265～274, 517～519, 524～526	0.87	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	193667
3	36～ 42	大気圧	100	48.6	3.7	SUS304TP	—	193667
4	57～ 64	大気圧	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	193667

鳥瞰図 FCVS-R-5

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～ 6, 8～ 13	15.00	40	27.2	5.5	SUS304TP	—	193667
2	15～ 29, 20～225, 27～109, 31～ 42, 35～215, 221～223, 108～129, 133～134	0.87	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	193667
3	44～ 51	大気圧	100	27.2	2.9	SUS304TP	—	193667
4	228～232	大気圧	100	34.0	3.4	SUS304TP	—	193667

配管の付加質量

鳥瞰図 FCVS-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	162, 273, 517, 524

配管の付加質量

鳥瞰図 FCVS-R-5

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	129, 133, 215, 221

フランジ部の質量

鳥瞰図 FCVS-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	34, 162, 273, 517, 524
<input type="checkbox"/>	36

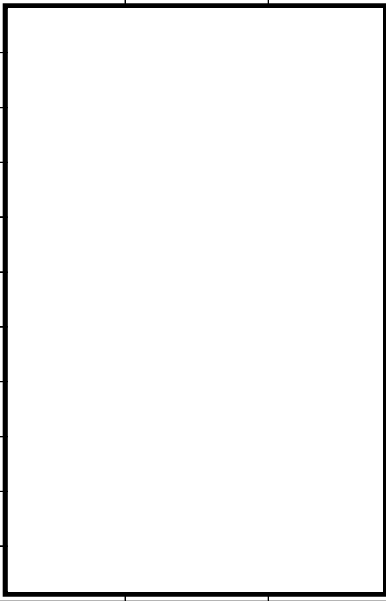
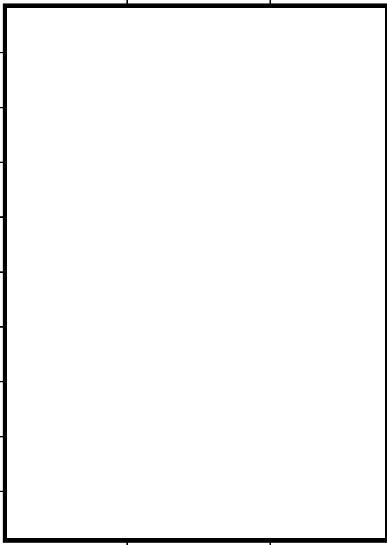
フランジ部の質量

鳥瞰図 FCVS-R-5

質量	対応する評価点
□	228
□	129, 133, 215, 221, 225

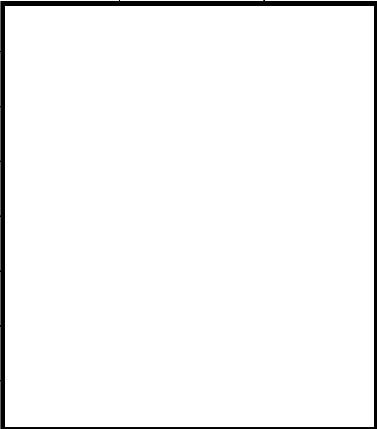
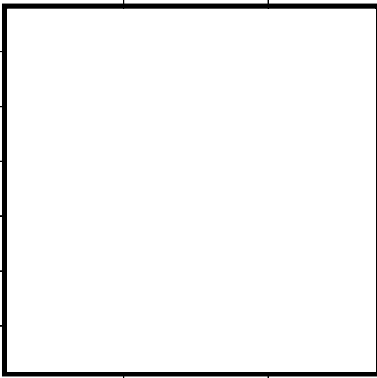
弁部の寸法

鳥瞰図 FCVS-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)
8～ 9				9～ 10			
16～ 17				17～ 564			
564～ 513				17～ 18			
24～ 25				25～ 487			
487～ 286				286～ 287			
287～ 288				25～ 26			
34～ 35				35～ 486			
35～ 36				43～ 44			
44～ 45				55～ 56			
56～ 57				274～ 275			
275～ 276							

弁部の寸法

鳥瞰図 FCVS-R-5

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
6～ 7				7～ 8			
13～ 14				14～ 428			
428～ 236				14～ 15			
29～ 30				30～ 31			
42～ 43				43～ 44			
109～ 110				110～ 111			
225～ 226				226～ 227			
226～ 228							

K7 ① V-2-9-5-2 (重) R0

弁部の質量

鳥瞰図 FCVS-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	9		24, 26
	25		35
	44, 56		275
	286		288
	564		

弁部の質量

鳥瞰図 FCVS-R-5

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	7, 226, 227		30, 43
	110		428

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 FCVS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸廻り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
3						
7						
12						
15						
19						
23						
27						
29						
31						
37						
40						
47						
50						
54						
62						
65						
67						
70						
74						
78						
82						
86						
90						
93						
95						
98						
102						
106						
111						

K7 ① V-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図 FCVS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸廻り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
113						
117						
121						
125						
130						
132						
139						
143						
145						
147						
150						
154						
158						
165						
167						
169						
172						
176						
180						
184						
188						
191						
193						
197						
200						
204						
210						
212						
216						

K7 ① V-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図 FCVS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸廻り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
220						
224						
229						
231						
239						
241						
243						
245						
248						
252						
256						
258						
262						
268						
270						
287						
513						
539						
557						

K7 ① V-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図 FCVS-R-5

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
3						
5						
12						
16						
21						
24						
26						
28						
34						
37						
39						
41						
50						
54						
64						
67						
70						
75						
77						
81						
84						
88						
91						
94						
96						
98						

K7 ① V-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図 FCVS-R-5

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
101						
107						
118						
121						
124						
126						
128						
137						
147						
150						
154						
158						
160						
162						
168						
173						
176						
180						
183						
184						
187						
191						
194						
197						
201						
204						

K7 ① V-2-9-5-2 (重) R0

鳥瞰図 FCVS-R-5

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
207						
211						
214						
230						
236						
396						
397						
398						
411						
424						

K7 ① V-2-9-5-2 (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
SUS304TP	40	—	205	520	—
SUS304TP	100	—	171	441	—

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(%)
FCVS-R-3	原子炉建屋		
FCVS-R-5	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 FCVS-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		応答鉛直震度*1				
		X方向	Z方向	Y方向				
1次	[Redacted]	[Redacted]						
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
41次								
42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 FCVS-R-3

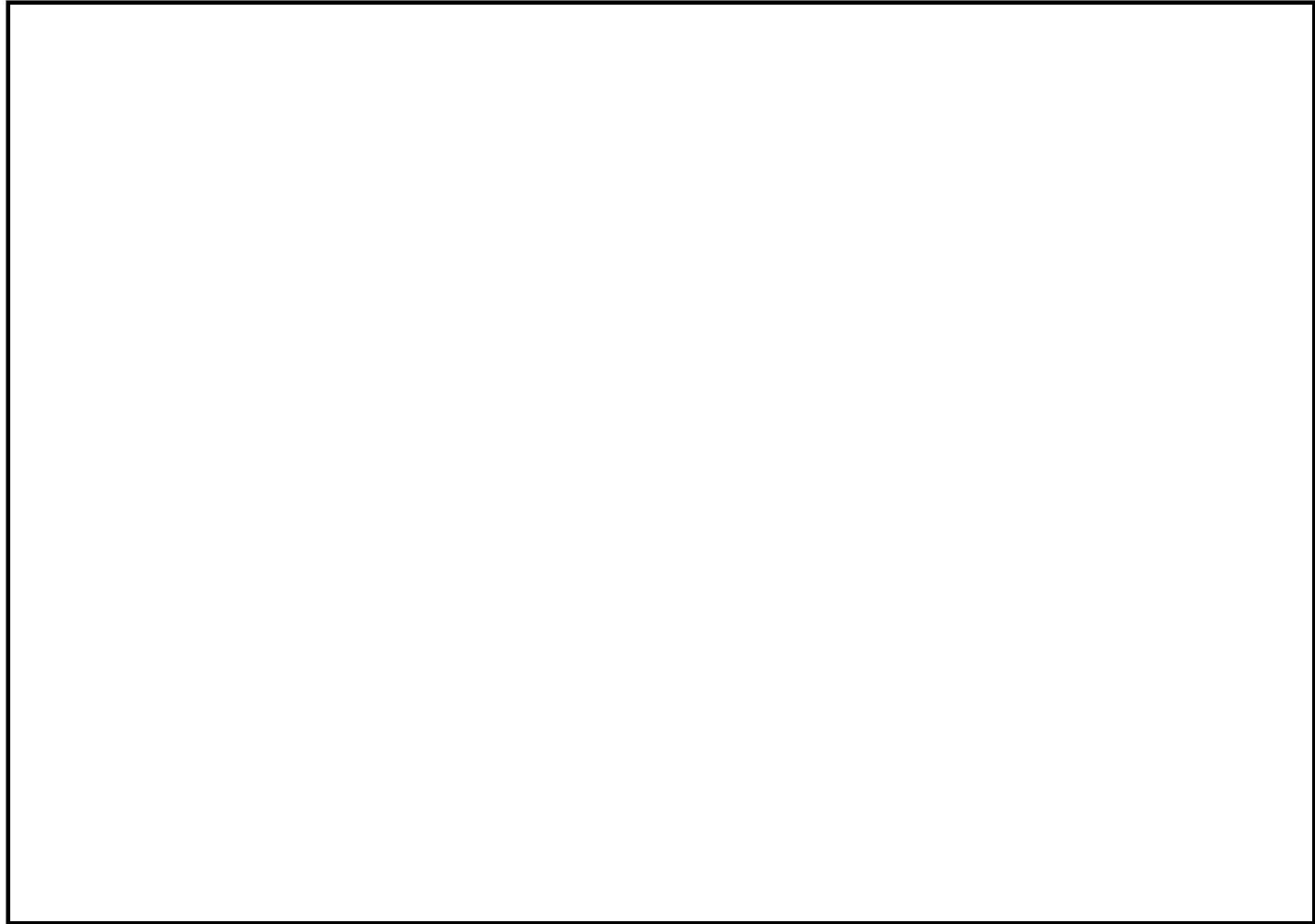
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	[Redacted]			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
41次				

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。

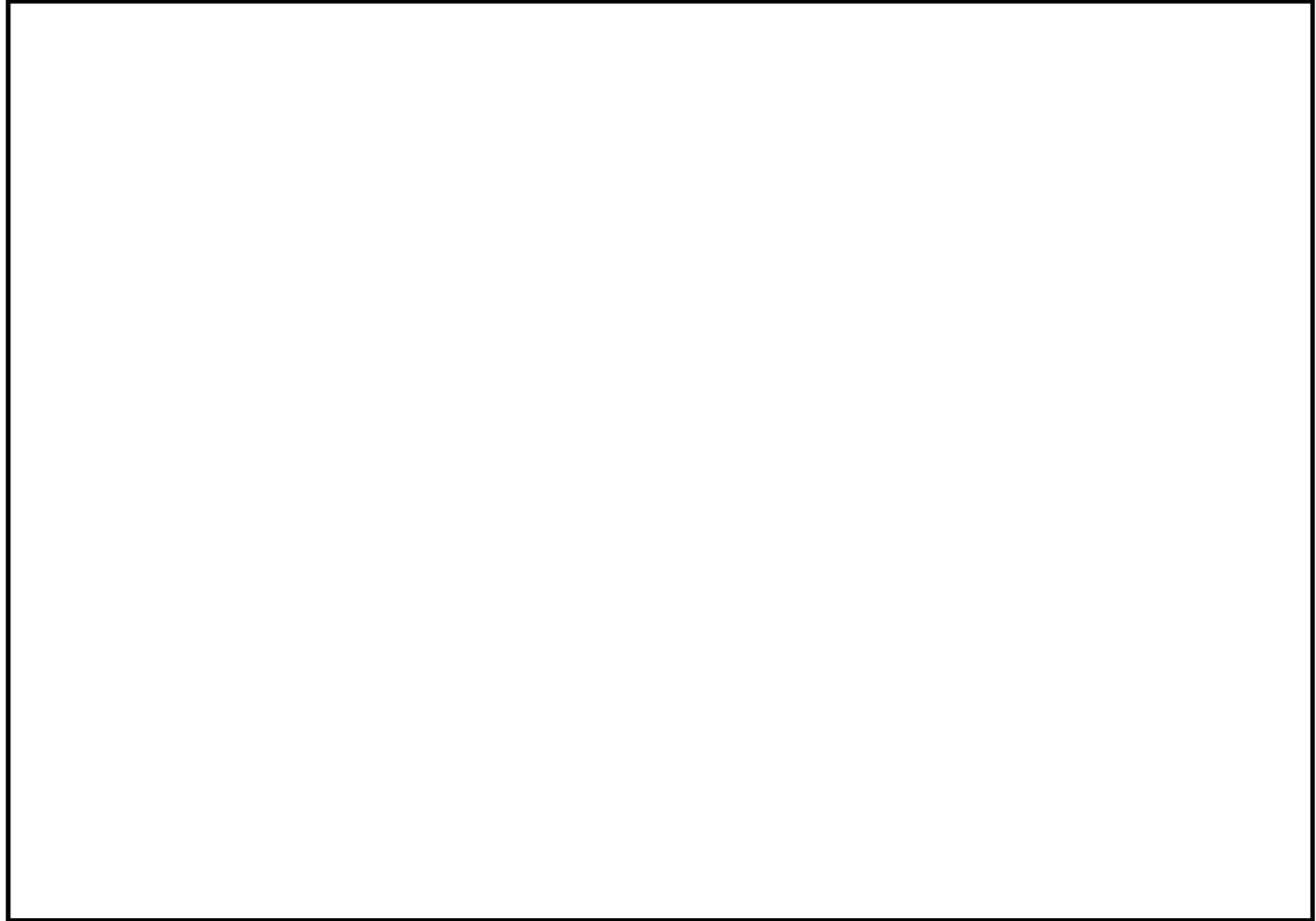
代表的振動モード図

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。

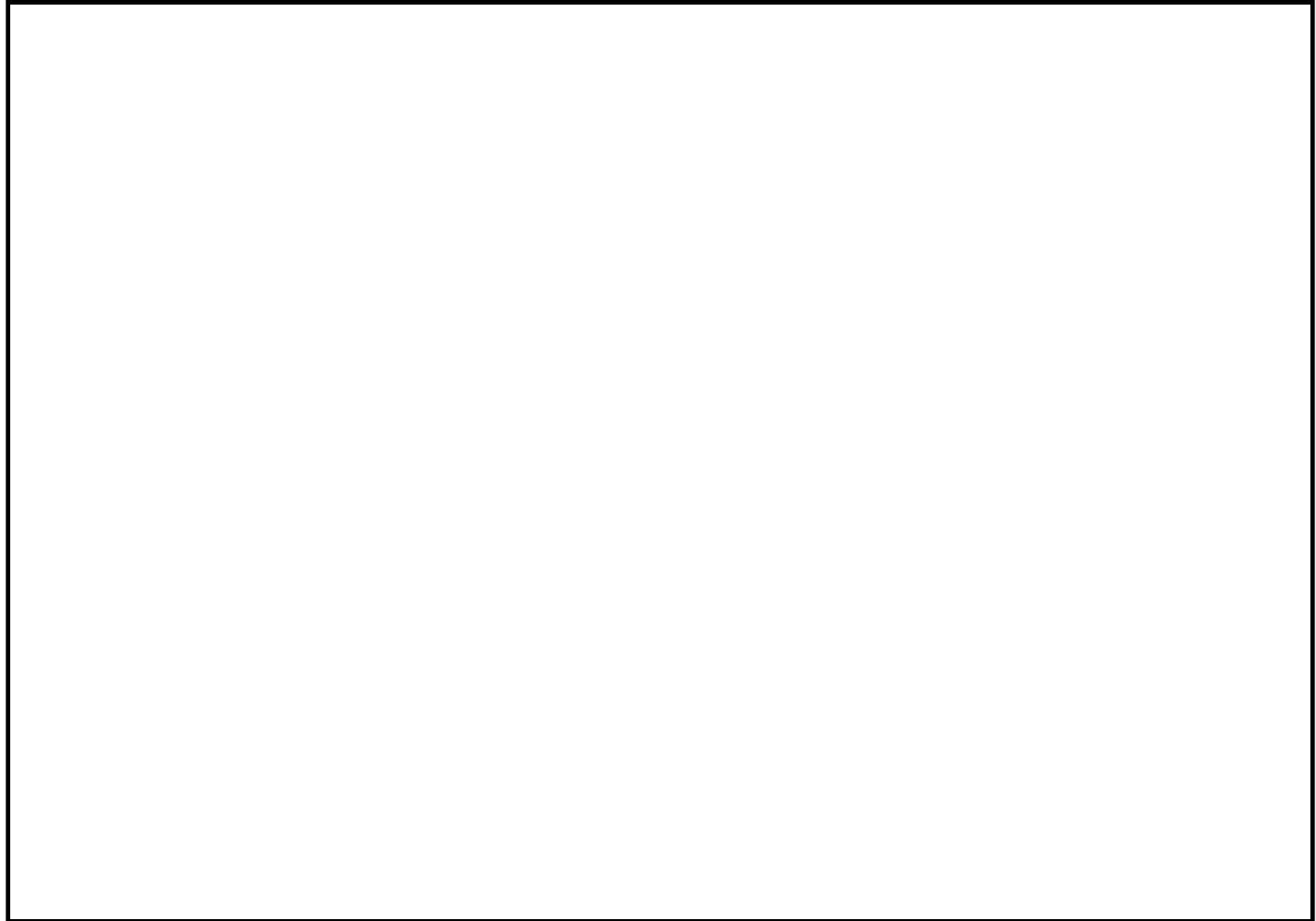
代表的振動モード図(1次)



代表的振動モード図(2次)



代表的振動モード図(3次)



鳥瞰図	FCVS-R-3
-----	----------

解析結果及び評価
固有周期及び設計震度

鳥瞰図 FCVS-R-5

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		応答鉛直震度* ¹				
		X方向	Z方向	Y方向				
1次	[Redacted]	[Redacted]						
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
27次								
28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 FCVS-R-5

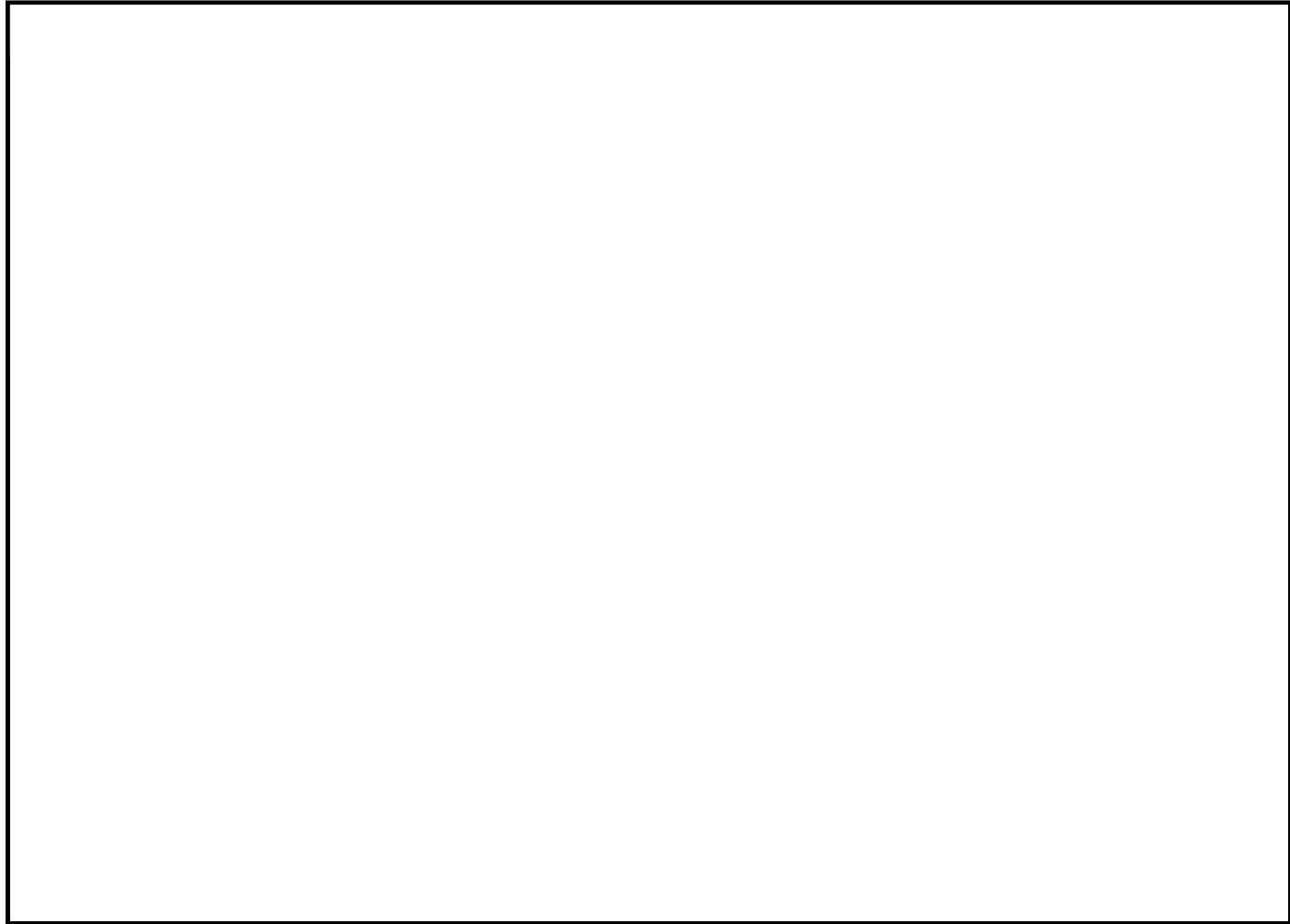
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
27次				

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。

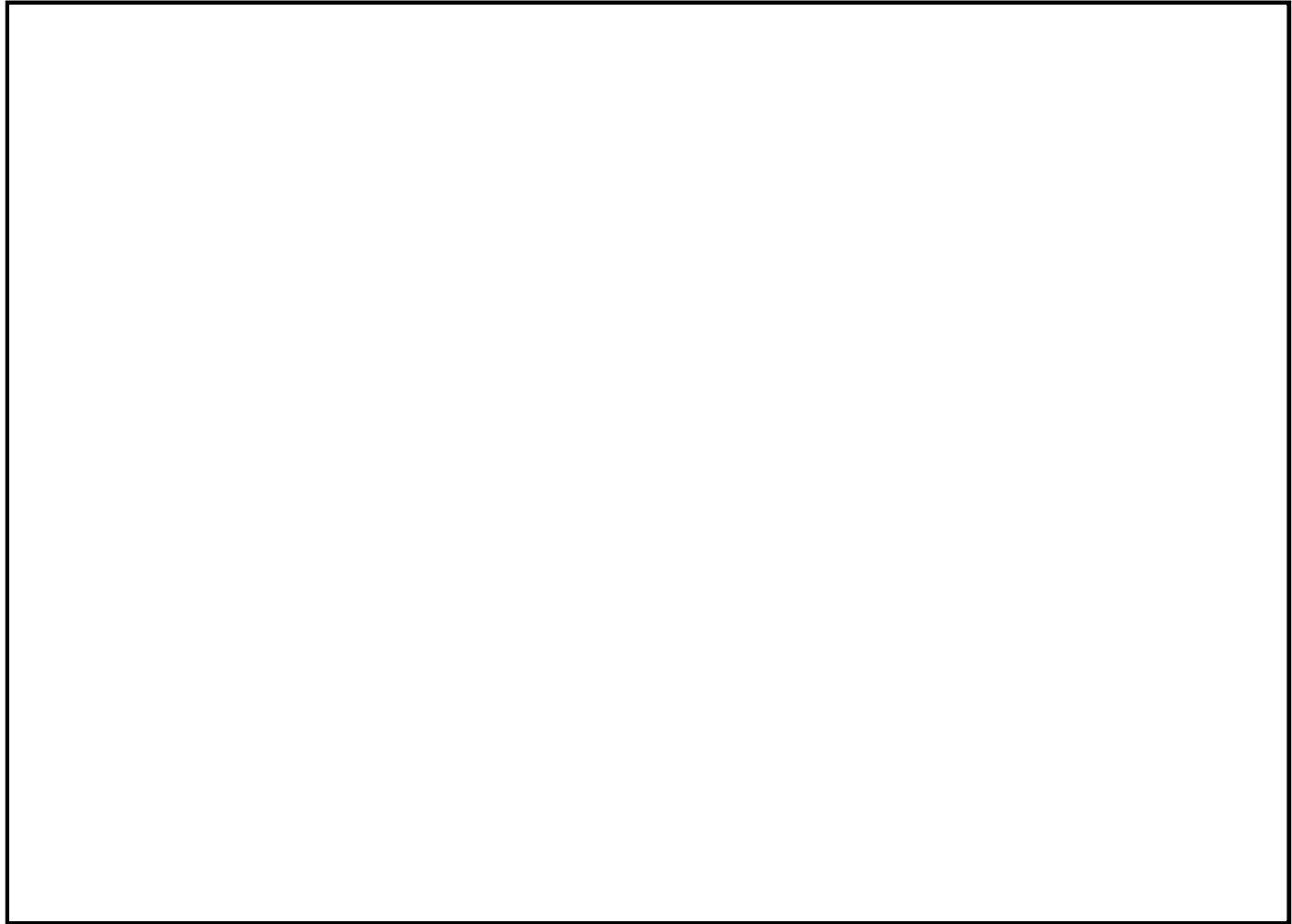
代表的振動モード図

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。

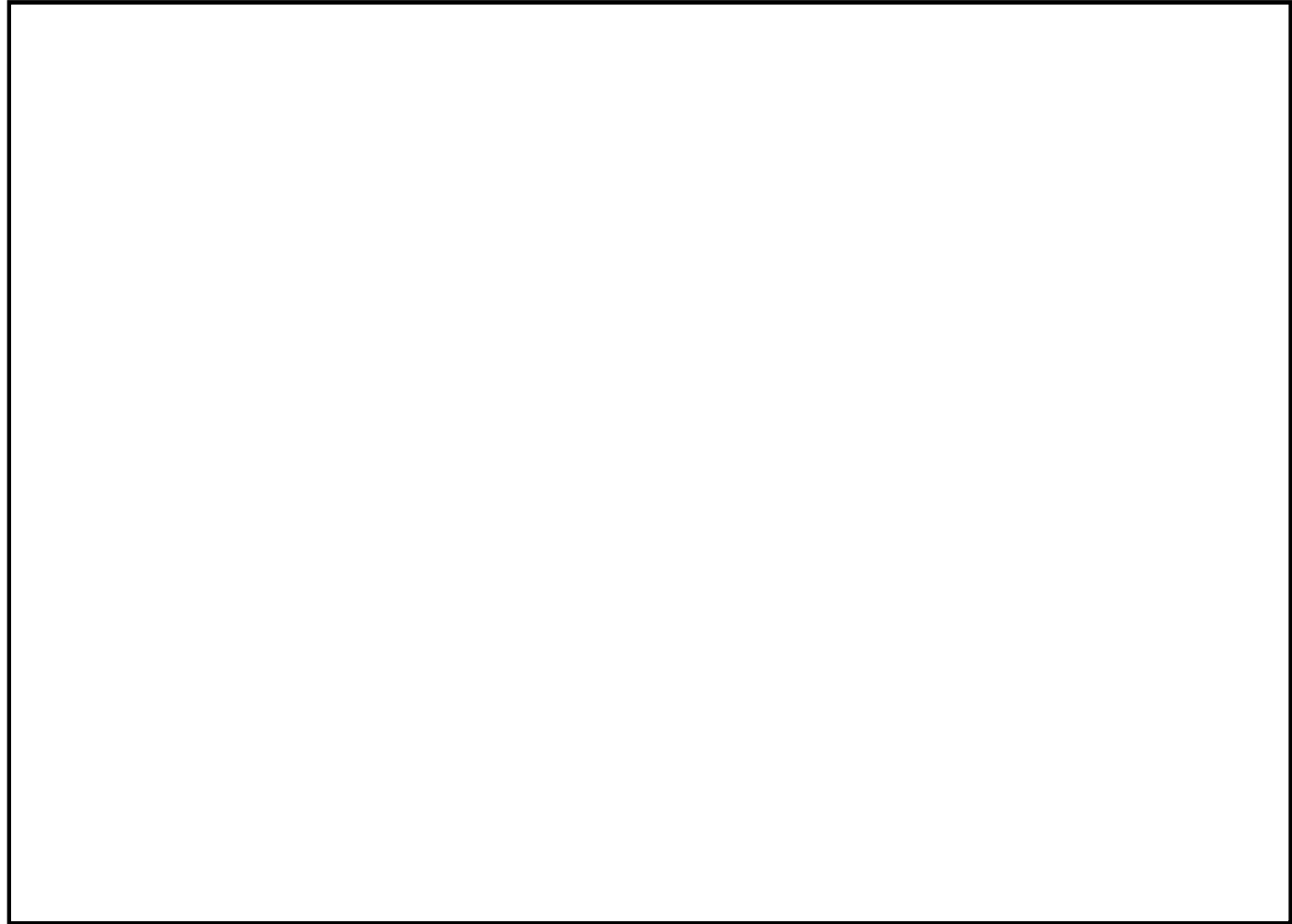
代表的振動モード図(1次)



代表的振動モード図(2次)



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。

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 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
FCVS-R-3	$V_A S$	26	$S_{prm}(S_s)$	152	396	—	—	—
FCVS-R-5	$V_A S$	18	$S_n(S_s)$	—	—	244	342	—

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)
—	—	—	V-2-1-12「配管及び 支持構造物の耐震計 算について」参照		—	—

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			
IAOP-01A	アンカ	架構	SS400	100	1	1	1	1	1	1	組合せ	32	150
ACOP-01-10R	レストレイント	架構	SS400	50	2	0	2	—	—	—	組合せ	36	159

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	垂直	水平	垂直	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	FCVS-R-3	26	152	396	2.60	○	26	168	342	2.03	—	—	—	—
2	FCVS-R-4	48	99	396	4.00	—	194	137	342	2.49	—	—	—	—
3	FCVS-R-5	18	136	396	2.91	—	18	244	342	1.40	○	—	—	—
4	FCVS-R-6	14	128	396	3.09	—	97	218	342	1.56	—	—	—	—