

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-005-26
提出年月日	2022年 10月 25日

VI-2-5-5-3-2 管の耐震性についての計算書
(高压原子炉代替注水系)

2022年 10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	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
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	35
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	36
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 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、高圧原子炉代替注水系の管，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9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。





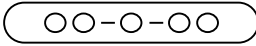
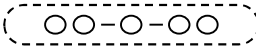

(3) 弁

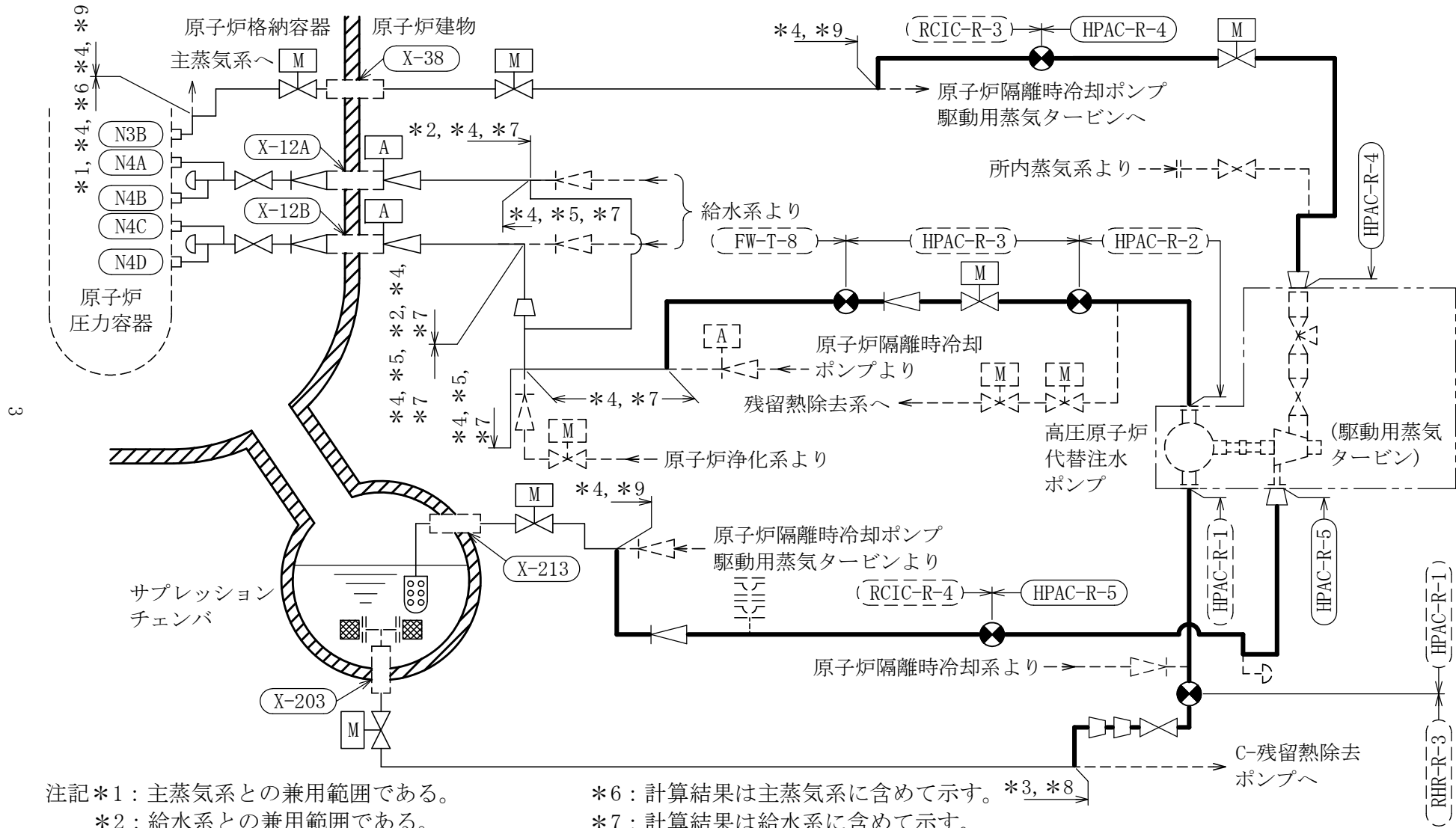
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

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：主蒸気系との兼用範囲である。

*2：給水系との兼用範囲である。

*3：残留熱除去系との兼用範囲である。

*4：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。

*5：原子炉浄化系との兼用範囲である。

*6：計算結果は主蒸気系に含めて示す。*3, *8

*7：計算結果は給水系に含めて示す。


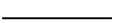
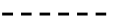


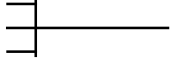
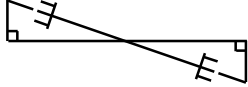

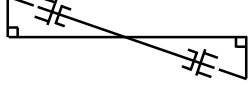

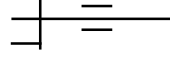
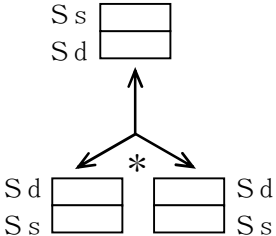

*8：計算結果は残留熱除去系に含めて示す。

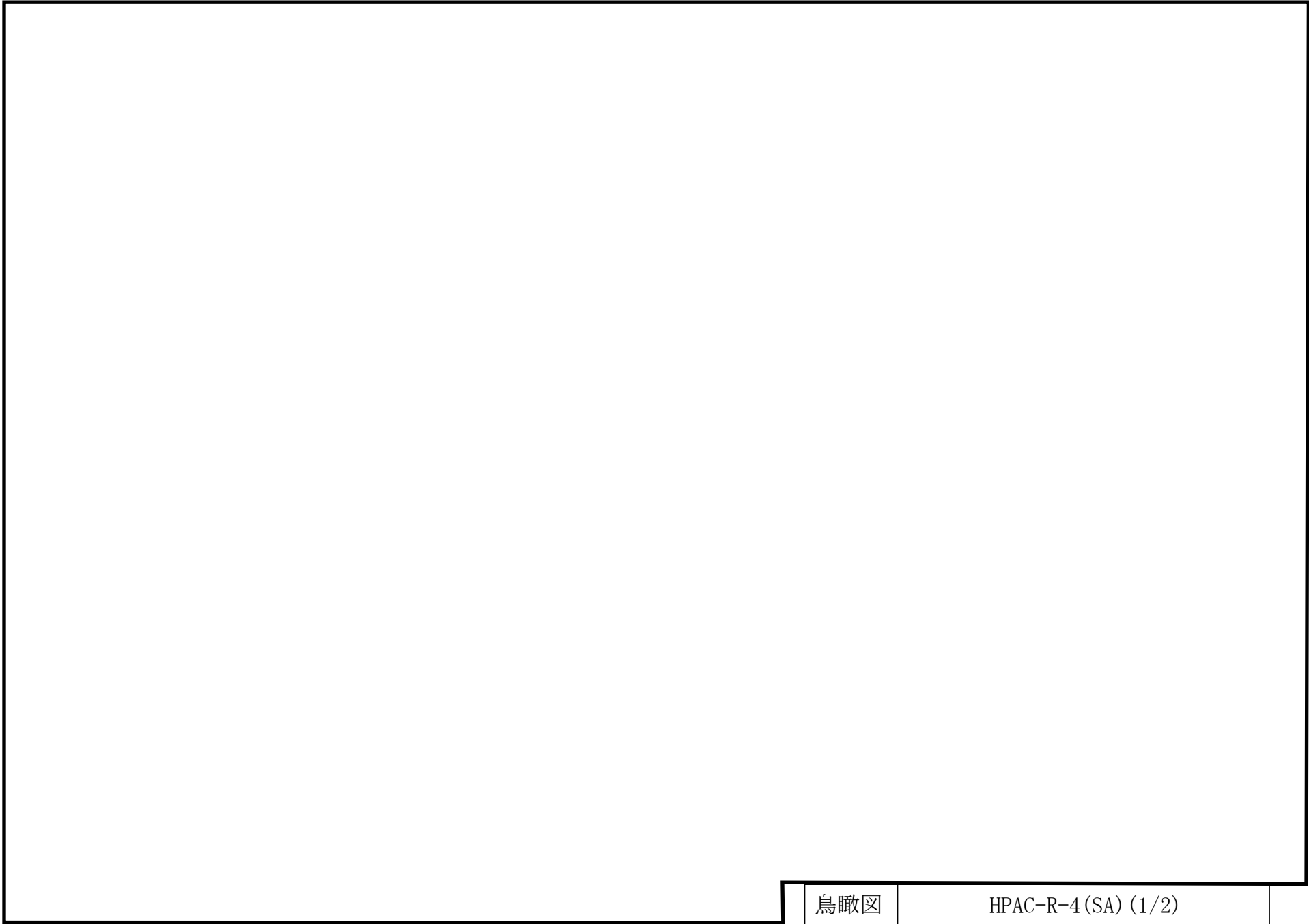
*9：計算結果は原子炉隔離時冷却系に含めて示す。 [注] 太線範囲の管クラス:SA2

高圧原子炉代替注水系概略系統図

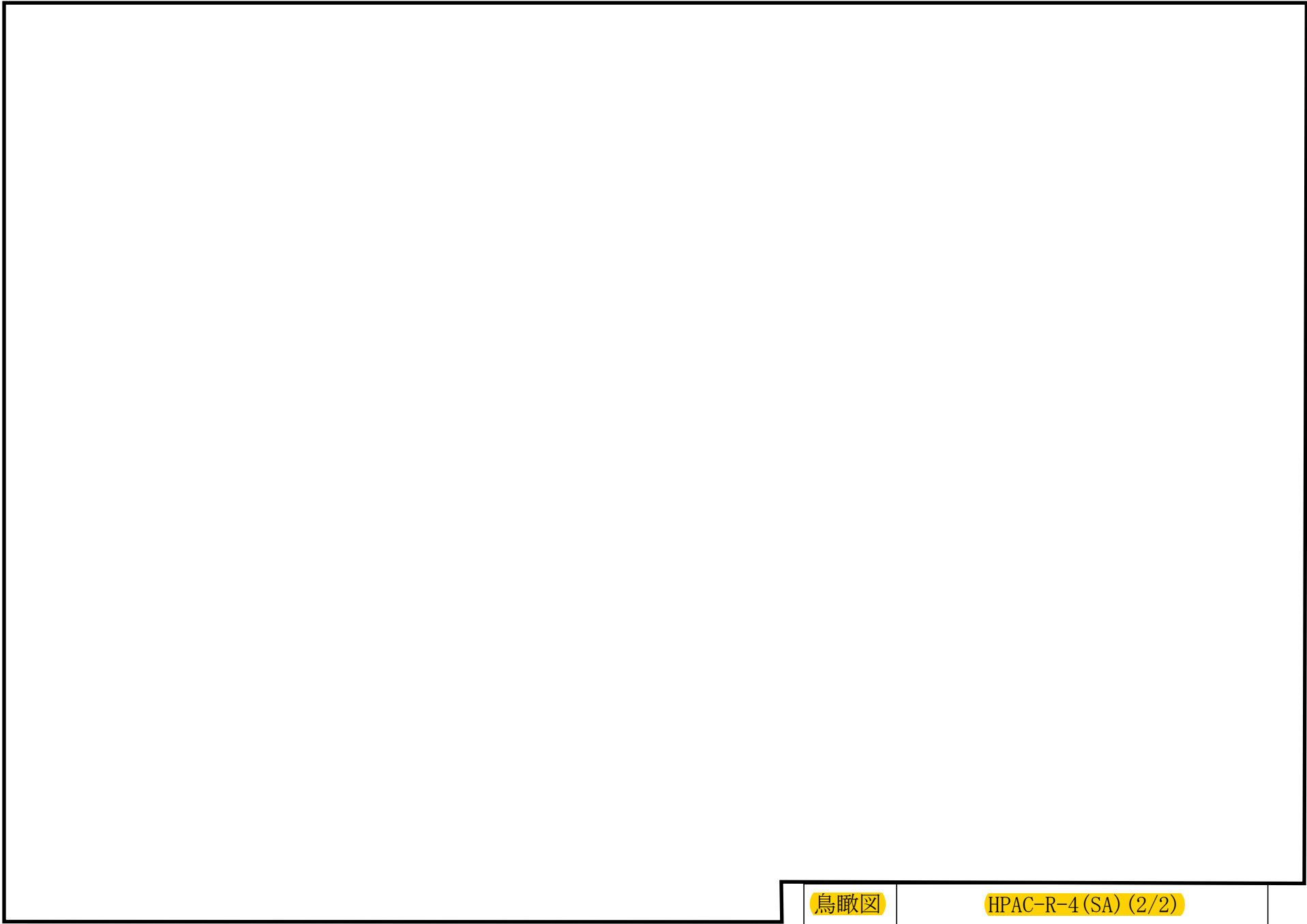
2.2 鳥瞰図

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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
 <p>The diagram shows a central vertical arrow pointing upwards, labeled with S_s above and S_d below. This arrow points to a rectangular box divided into two horizontal sections. Below this box, there are two arrows pointing outwards to the left and right, each labeled with S_d above and S_s below. A star symbol (*) is placed between these two arrows.</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。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。

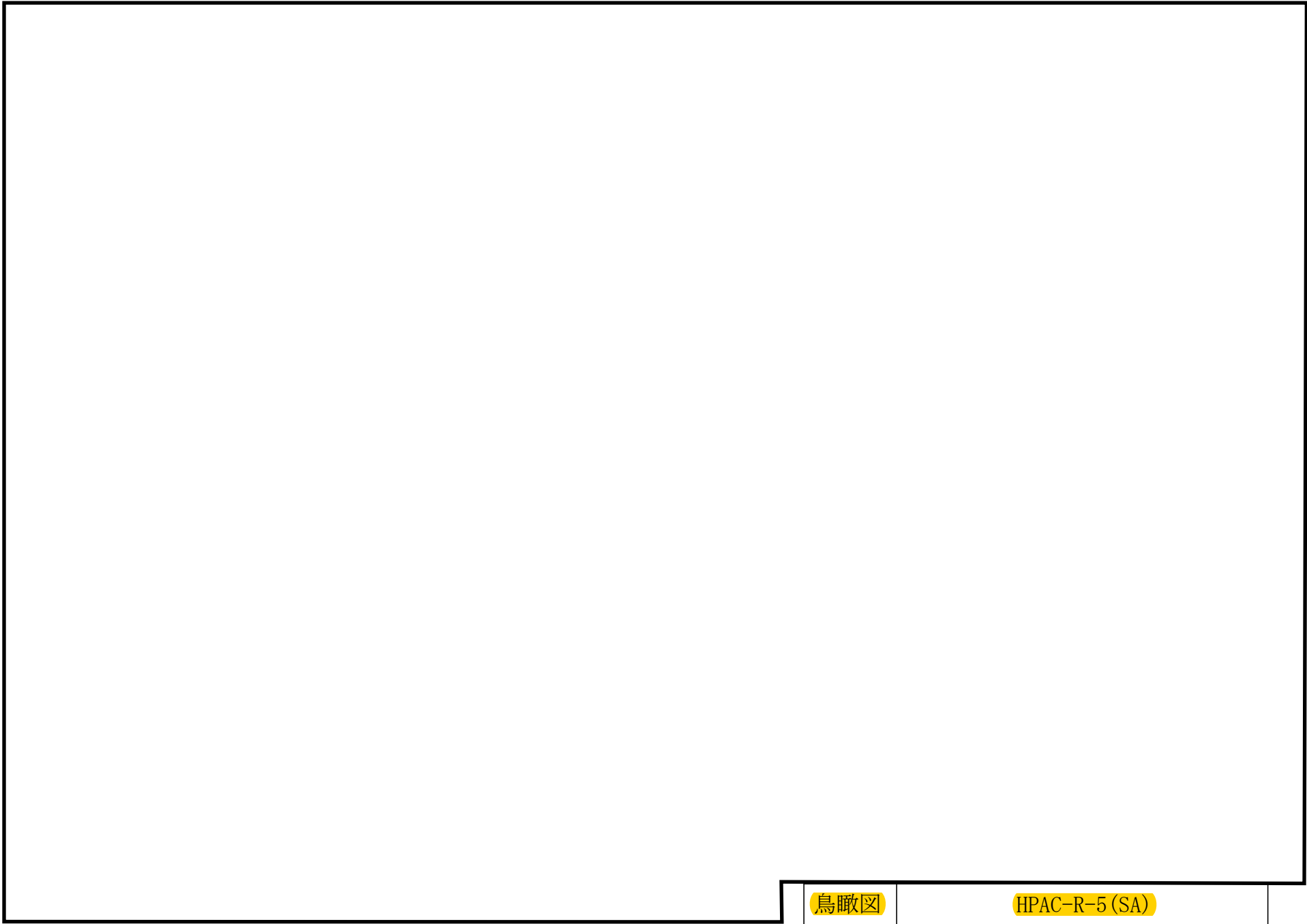


鳥瞰図	HPAC-R-4(SA) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図

HPAC-R-4(SA) (2/2)



鳥瞰図

HPAC-R-5 (SA)

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 ^{*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	高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：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／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。

*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_s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 HPAC-R-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2201	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.98	304
2	2206~52	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	53~54N	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

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 HPAC-R-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2201	114.3	11.1	STPT410	—	186040
2	2206~52	114.3	11.1	STPT410	—	201667
3	53~54N	89.1	11.1	STPT410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～2201, 2206～52
<input type="checkbox"/>	53～54N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	50F
<input type="checkbox"/>	54N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	2201, 2206	<input type="checkbox"/>	2202
<input type="checkbox"/>	2203	<input type="checkbox"/>	2205

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPAC-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)
2201~2202				2202~2203			
2203~2204				2204~2205			
2202~2206							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-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						
12						
21						
2204						
2207						
26						
31						
36						
43						
54N						

S2 補 VI-2-5-5-3-2 R0

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 HPAC-R-5

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184
2	3~36A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184

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 HPAC-R-5

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	216.3	8.2	STPT410	—	201667
2	3~36A	267.4	9.3	STPT410	—	201667


配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N~2
<input type="checkbox"/>	3~36A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

質量	対応する評価点
	1N
	6F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-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
1N						
8						
15						
22						
25						
29						
36A						

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
STPT410	302	—	182	404	—
STPT410	304	—	182	404	—
STPT410	184	—	209	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スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

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。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。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPAC-R-4	原子炉建物				
HPAC-R-5	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 HPAC-R-4

適用する地震動等		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
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
動的震度*3, *4				

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(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-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*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

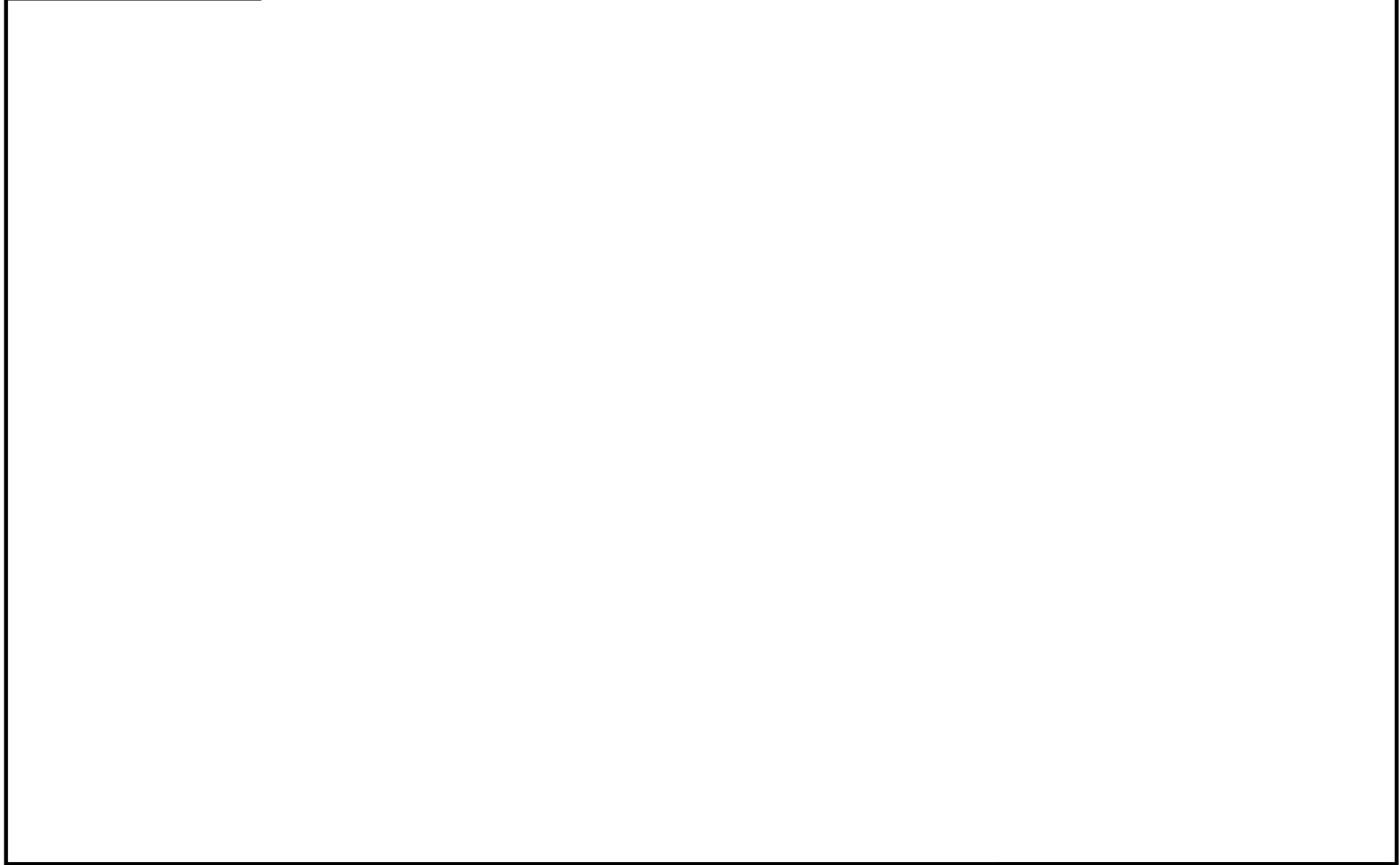
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)

代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

適用する地震動等		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
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
動的震度*3, *4				

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(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-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				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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)



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

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 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPAC-R-4	17	132	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPAC-R-5	35	222	418	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPAC-R-4	17	133	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPAC-R-5	35	222	418	—

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)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	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-HPAC-69	オイルスナッパ	SN-3EA		14	45	—	
RE-RCIC-276	ロッドレストレイント	RTS-10		47	180	—	
SH-HPAC-49	スプリングハンガ	VSA1B-9		4	4		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

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			
RE-HPAC-43	レストレイント	パイプバンド	STKR400	184	0	9	22	—	—	—	圧縮	9	119
AN-HPAC-45	アンカ	ラグ	SGV410	184	27	7	14	4	41	14	組合せ	54	132

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 ^{*1}	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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2}					
			水平	鉛直	水平	鉛直	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	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。

α (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

α (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

β (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

β (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。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A 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	HPAC-R-1	54	62	363	5.85	—	54	90	434	4.82	—	—
2	HPAC-R-2	1N	131	363	2.77	—	1N	183	434	2.37	—	—
3	HPAC-R-3	37	117	363	3.10	—	37	158	434	2.74	—	—
4	HPAC-R-4	17	132	363	2.75	○	17	181	364	2.01	—	—
5	HPAC-R-5	35	120	363	3.02	—	35	222	418	1.88	—	○
6	RCIC-R-3	156A	86	363	4.22	—	156A	102	364	3.56	—	—
7	RCIC-R-4	102	28	363	12.96	—	111	105	418	3.98	—	—
8	RHR-R-3	44	71	363	5.11	—	44	95	434	4.56	—	—
9	FW-T-8	506	57	363	6.36	—	506	52	364	7.00	—	—

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 A 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	HPAC-R-1	54	62	363	5.85	—	54	90	434	4.82	—	—
2	HPAC-R-2	1N	131	363	2.77	—	1N	183	434	2.37	—	—
3	HPAC-R-3	37	117	363	3.10	—	37	158	434	2.74	—	—
4	HPAC-R-4	17	133	363	2.72	○	17	181	364	2.01	—	—
5	HPAC-R-5	35	120	363	3.02	—	35	222	418	1.88	—	○
6	RCIC-R-3	156A	87	363	4.17	—	156A	102	364	3.56	—	—
7	RCIC-R-4	102	28	363	12.96	—	111	105	418	3.98	—	—
8	RHR-R-3	44	71	363	5.11	—	44	95	434	4.56	—	—
9	FW-T-8	506	57	363	6.36	—	506	52	364	7.00	—	—