

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改 25
提出年月日	平成 30 年 7 月 17 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-13 【機電分耐震計算書の補足について】

平成 30 年 7 月

日本原子力発電株式会社

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法
3. 建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における拡張マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価について
6. 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）
7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について
8. 制御棒の挿入性評価について
9. 電気盤等の機能維持評価に適用する水平方向の評価用地震力について
10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について

下線：ご提出資料

5. 弁の動的機能維持評価について

目 次

1. はじめに.....	1
2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について.....	1
3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について.....	3
4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果.....	3

添付 1 高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

添付 2 弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

添付 3 耐震計算書における機能維持評価の代表選定方法の妥当性について

添付 4 評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、弁の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。規格基準に基づく手法として J E A G 4601 の当該記載部の抜粋を図 1 に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4601 において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（以下「ZPA」という。）を用いること、また、柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動での応答加速度値の設定は、上記の J E A G 4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

a. 剛の場合

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は、J E A G 4601 の手順と同様にスペクトルモード解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度 (1.2ZPA) による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、今回工認における弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモード解析において、剛領域の振動モードの影響を踏まえて、振動数領域を

20Hz から今回工認においては、50Hz まで考慮した地震応答解析により、弁の応答加速度値の算定を行う。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を表 1 に示す。表 1 に示すとおり、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の余裕を見込んだ値としている。

表 1 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の 固有値	J E A G 4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度 (1.0ZPA) を適用する。	最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析* ¹ から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用する。

* 1 振動数領域として 50Hz まで考慮した地震応答解析により算定する。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。

図1 J E A G 4601 (1991) の抜粋

3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価について、動的機能維持要求弁として主蒸気逃がし安全弁、主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管に対して検討を行った。本検討では、東海第二発電所における従来の弁の機能維持評価に用いる振動数領域は20Hzまでとしていたが、新たに50Hz、100Hzまで考慮したスペクトルモーダル解析を実施した。本検討の詳細は添付1に示す。

解析結果として50Hzまで振動数を考慮した場合については、20Hzに比べて応答加速度が増加したものの、100Hzまで考慮した場合には、50Hzの応答加速度に対して、弁の応答加速度値に増加がないことから、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる周波数領域については、50Hzまでを基本として評価を実施することとする。

また、本評価は代表的な弁での検討であるため、その他の動的機能要求弁についても同様の検討を行うことにより、機能維持の確認を行う。

4. 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

機能維持評価対象弁について、高振動領域を考慮した地震応答解析の結果について、表2に示す。表2には振動数領域を50Hzまでを基本として、100Hzまで考慮した場合の応答加速度も合わせて示す。また、100Hzまで考慮した応答加速度が50Hzまで考慮した場合の応答加速度に対して、10%以上の応答増加が有る場合については、そ

の影響として更なる高振動数領域まで考慮した解析により、応答増加の影響を確認した。

表 2 に示すとおり、高振動数領域まで考慮した弁の応答加速度値として、機能維持対象弁は機能確認済み加速度に収まることを確認した。

表 2(1) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (100Hz /50Hz)	備考
						評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度		
1	MS	B22-F013A	主蒸気逃がし安全弁 A	安全弁	水平	6.63	9.6	1.44	6.63	9.6	1.44	1.00	
						鉛直	2.25	6.1	2.71	2.35	6.1	2.59	
2	MS	B22-F013B	主蒸気逃がし安全弁 B	安全弁	水平	5.51	9.6	1.74	5.51	9.6	1.74	1.00	
						鉛直	2.15	6.1	2.83	2.15	6.1	2.83	
3	MS	B22-F013C	主蒸気逃がし安全弁 C	安全弁	水平	5.41	9.6	1.77	5.41	9.6	1.77	1.00	
						鉛直	1.53	6.1	3.98	1.53	6.1	3.98	
4	MS	B22-F013D	主蒸気逃がし安全弁 D	安全弁	水平	6.02	9.6	1.59	6.02	9.6	1.59	1.00	
						鉛直	1.64	6.1	3.71	1.64	6.1	3.71	
5	MS	B22-F013E	主蒸気逃がし安全弁 E	安全弁	水平	6.02	9.6	1.59	6.02	9.6	1.59	1.00	
						鉛直	2.35	6.1	2.59	2.45	6.1	2.48	
6	MS	B22-F013F	主蒸気逃がし安全弁 F	安全弁	水平	5.82	9.6	1.64	5.82	9.6	1.64	1.00	
						鉛直	1.84	6.1	3.31	1.84	6.1	3.31	
7	MS	B22-F013G	主蒸気逃がし安全弁 G	安全弁	水平	6.33	9.6	1.51	6.33	9.6	1.51	1.00	
						鉛直	1.43	6.1	4.26	1.43	6.1	4.26	
8	MS	B22-F013H	主蒸気逃がし安全弁 H	安全弁	水平	6.74	9.6	1.42	6.74	9.6	1.42	1.00	
						鉛直	1.53	6.1	3.98	1.53	6.1	3.98	
9	MS	B22-F013J	主蒸気逃がし安全弁 J	安全弁	水平	5.82	9.6	1.64	5.82	9.6	1.64	1.00	
						鉛直	2.04	6.1	2.99	2.04	6.1	2.99	
10	MS	B22-F013K	主蒸気逃がし安全弁 K	安全弁	水平	6.74	9.6	1.42	6.74	9.6	1.42	1.00	
						鉛直	1.74	6.1	3.50	1.74	6.1	3.50	
11	MS	B22-F013L	主蒸気逃がし安全弁 L	安全弁	水平	5.61	9.6	1.71	5.61	9.6	1.71	1.00	
						鉛直	1.24	6.1	4.91	1.24	6.1	4.91	
12	MS	B22-F013M	主蒸気逃がし安全弁 M	安全弁	水平	5.31	9.6	1.80	5.31	9.6	1.80	1.00	
						鉛直	1.74	6.1	3.50	1.74	6.1	3.50	
13	MS	B22-F013N	主蒸気逃がし安全弁 N	安全弁	水平	5.10	9.6	1.88	5.21	9.6	1.84	1.03	
						鉛直	1.84	6.1	3.31	1.84	6.1	3.31	
14	MS	B22-F013P	主蒸気逃がし安全弁 P	安全弁	水平	4.39	9.6	2.18	4.39	9.6	2.18	1.00	
						鉛直	1.43	6.1	4.26	1.43	6.1	4.26	
15	MS	B22-F013R	主蒸気逃がし安全弁 R	安全弁	水平	4.80	9.6	2.00	4.80	9.6	2.00	1.00	
						鉛直	2.35	6.1	2.59	2.45	6.1	2.48	
16	MS	B22-F013S	主蒸気逃がし安全弁 S	安全弁	水平	4.70	9.6	2.04	4.80	9.6	2.00	1.03	
						鉛直	1.64	6.1	3.71	1.64	6.1	3.71	
17	MS	B22-F013U	主蒸気逃がし安全弁 U	安全弁	水平	5.72	9.6	1.67	5.82	9.6	1.64	1.02	
						鉛直	1.53	6.1	3.98	1.53	6.1	3.98	
18	MS	B22-F013V	主蒸気逃がし安全弁 V	安全弁	水平	5.21	9.6	1.84	5.21	9.6	1.84	1.00	
						鉛直	1.24	6.1	4.91	1.33	6.1	4.58	
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第 1 弁 A	空気作動 グローブ弁	水平	6.33	10.0	1.57	6.33	10.0	1.57	1.00	
						鉛直	5.51	6.2	1.12	5.51	6.2	1.12	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第 1 弁 B	空気作動 グローブ弁	水平	7.35	10.0	1.36	7.35	10.0	1.36	1.00	
						鉛直	5.51	6.2	1.12	5.51	6.2	1.12	

表 2(2) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (100Hz /50Hz)	備考
						評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度		
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第1弁C	空気作動 グローブ弁	水平	7.35	10.0	1.36	7.35	10.0	1.36	1.00	
						鉛直	5.31	6.2	1.16	5.31	6.2	1.16	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第1弁D	空気作動 グローブ弁	水平	7.04	10.0	1.42	7.04	10.0	1.42	1.00	
						鉛直	5.41	6.2	1.14	5.41	6.2	1.14	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第2弁A	空気作動 グローブ弁	水平	4.70	10.0	2.12	4.70	10.0	2.12	1.00	
						鉛直	3.98	6.2	1.55	3.98	6.2	1.55	
24	MS	B22-F028B	主蒸気隔離弁第2弁B	空気作動 グローブ弁	水平	5.10	10.0	1.96	5.10	10.0	1.96	1.00	
						鉛直	3.88	6.2	1.59	3.88	6.2	1.59	
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第2弁C	空気作動 グローブ弁	水平	4.80	10.0	2.08	4.80	10.0	2.08	1.00	
						鉛直	3.78	6.2	1.64	3.78	6.2	1.64	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第2弁D	空気作動 グローブ弁	水平	4.80	10.0	2.08	4.90	10.0	2.04	1.03	
						鉛直	3.57	6.2	1.73	3.68	6.2	1.68	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.80	6.0	1.25	4.90	6.0	1.22	1.03	
						鉛直	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89	
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.59	6.0	1.30	4.59	6.0	1.30	1.00	
						鉛直	2.96	6.0	2.02	2.96	6.0	2.02	
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.88	6.0	1.54	3.88	6.0	1.54	1.00	
						鉛直	1.31	6.0	4.58	1.43	6.0	4.19	
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.68	6.0	1.63	3.78	6.0	1.58	1.03	
						鉛直	1.31	6.0	4.58	1.43	6.0	4.19	
31	RHR	E12-F008	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (外側)	電動 ゲート弁	水平	4.29	6.0	1.39	4.29	6.0	1.39	1.00	
						鉛直	1.23	6.0	4.87	1.23	6.0	4.87	
32	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (内側)	電動 ゲート弁	水平	3.37	6.0	1.78	3.37	6.0	1.78	1.00	
						鉛直	4.19	6.0	1.43	4.19	6.0	1.43	
33	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレイ隔離弁	電動 グローブ弁	水平	2.35	6.0	2.55	2.35	6.0	2.55	1.00	
						鉛直	2.15	6.0	2.79	2.15	6.0	2.79	
34	RHR	E12-F024A	残留熱除去系A系テストライン弁	電動 ゲート弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
						鉛直	1.64	6.0	3.65	1.64	6.0	3.65	
35	RHR	E12-F024B	残留熱除去系B系テストライン弁	電動 ゲート弁	水平	2.96	6.0	2.02	2.96	6.0	2.02	1.00	
						鉛直	1.33	6.0	4.51	1.33	6.0	4.51	
36	RHR	E12-F027A	残留熱除去系A系サプレッション・プールの スプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	1.64	6.0	3.65	1.64	6.0	3.65	1.00	
						鉛直	4.80	6.0	1.25	4.80	6.0	1.25	
37	RHR	E12-F027B	残留熱除去系B系サプレッション・プールの スプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89	1.00	
						鉛直	2.05	6.0	2.92	2.05	6.0	2.92	
38	RHR	E12-F041A	残留熱除去系A系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.19	6.0	1.43	4.19	6.0	1.43	1.00	
						鉛直	2.76	6.0	2.17	2.76	6.0	2.17	
39	RHR	E12-F041B	残留熱除去系B系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	5.00	6.0	1.20	5.00	6.0	1.20	1.00	
						鉛直	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89	
40	RHR	E12-F041C	残留熱除去系C系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.39	6.0	1.36	4.39	6.0	1.36	1.00	
						鉛直	2.15	6.0	2.79	2.15	6.0	2.79	

表 2(3) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (100Hz /50Hz)	備考
						評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度		
41	RHR	E12-F042A	残留熟除去系A系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.25	6.0	2.66	2.25	6.0	2.66	1.00	
					鉛直	4.90	6.0	1.22	4.90	6.0	1.22		
42	RHR	E12-F042B	残留熟除去系B系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.05	6.0	2.92	2.05	6.0	2.92	1.00	
					鉛直	4.19	6.0	1.43	4.19	6.0	1.43		
43	RHR	E12-F042C	残留熟除去系C系注入弁	電動 ゲート弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	4.70	6.0	1.27	4.70	6.0	1.27		
44	RHR	E12-F048A	残留熟除去系熱交換器Aバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	2.56	6.0	2.34	2.56	6.0	2.34	1.00	
					鉛直	1.64	6.0	3.65	1.64	6.0	3.65		
45	RHR	E12-F048B	残留熟除去系熱交換器Bバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	3.07	6.0	1.95	3.07	6.0	1.95	1.00	
					鉛直	0.96	6.0	6.25	0.96	6.0	6.25		
46	RHR	E12-F050A	残留熟除去系A系停止時冷却ラインテスト 逆止弁	逆止弁	水平	5.82	6.0	1.03	5.82	6.0	1.03	1.00	
					鉛直	2.15	6.0	2.79	2.15	6.0	2.79		
47	RHR	E12-F050B	残留熟除去系B系停止時冷却ラインテスト 逆止弁	逆止弁	水平	3.57	6.0	1.68	3.57	6.0	1.68	1.00	
					鉛直	2.04	6.0	2.94	2.04	6.0	2.94		
48	RHR	E12-F053A	残留熟除去系A系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	1.34	6.0	4.47	1.34	6.0	4.47	1.00	
					鉛直	1.01	6.0	5.94	1.01	6.0	5.94		
49	RHR	E12-F053B	残留熟除去系B系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	5.62	6.0	1.06	5.62	6.0	1.06	1.00	
					鉛直	1.43	6.0	4.19	1.43	6.0	4.19		
50	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.45	6.0	2.44	2.45	6.0	2.44	1.00	
					鉛直	0.99	6.0	6.06	1.03	6.0	5.82		
51	HPCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系テストダブル逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	2.76	6.0	2.17	2.86	6.0	2.09	1.04	
					鉛直	1.34	6.0	4.47	1.34	6.0	4.47		
52	LPCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	1.13	6.0	5.30	1.13	6.0	5.30	1.00	
					鉛直	1.84	6.0	3.26	1.84	6.0	3.26		
53	LPCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系テスト逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	3.68	6.0	1.63	3.68	6.0	1.63	1.00	
					鉛直	2.25	6.0	2.66	2.25	6.0	2.66		
54	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.70	6.0	1.27	4.70	6.0	1.27	1.00	
					鉛直	3.98	6.0	1.50	3.98	6.0	1.50		
55	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	1.55	6.0	3.87	1.55	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89		
56	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側テスト逆止弁	逆止弁	水平	1.55	6.0	3.87	1.55	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	1.17	6.0	5.12	1.17	6.0	5.12		
57	RCIC	E51-F066	原子炉隔離時冷却系内側テスト逆止弁	逆止弁	水平	1.85	4.90	2.64	1.85	6.0	3.24	1.00	
					鉛直	4.90	6.0	1.22	4.90	6.0	1.22		
58	CIW	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.80	6.0	1.25	4.80	6.0	1.25	1.00	
					鉛直	1.43	6.0	4.19	1.43	6.0	4.19		
59	CIW	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔離弁	電動 ゲート弁	水平	2.76	6.0	2.17	2.76	6.0	2.17	1.00	
					鉛直	1.01	6.0	5.94	1.01	6.0	5.94		
60	HCU	C12-126	HC Uスクラム弁 (加圧・流入側)	空気作動グロ ーブ弁	水平	1.29	6.0	4.65	1.29	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98	6.0	6.12	0.98	6.0	6.12		

表 2(4) 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (100Hz /50Hz)	備 考
			評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度		
HCUスクラム弁 (排出側)	空気作動グローブ 弁	水平	1.29	6.0	4.65	1.29	6.0	4.65	1.00	
		鉛直	0.98	6.0	6.12	0.98	6.0	6.12	1.00	
FRVS・SGTS系入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	3.47	6.0	1.72	3.47	6.0	1.72	1.00	
		鉛直	3.78	6.0	1.58	3.78	6.0	1.58	1.00	
FRVS・SGTS系入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	5.11	6.0	1.17	5.11	6.0	1.17	1.00	
		鉛直	3.47	6.0	1.72	3.47	6.0	1.72	1.00	
非常用ガス再循環系トレインA入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	5.52	6.0	1.08	5.52	6.0	1.08	1.00	
		鉛直	5.62	6.0	1.06	5.62	6.0	1.06	1.00	
非常用ガス再循環系トレインB入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.94	6.0	3.09	2.04	6.0	2.94	1.06	
		鉛直	5.92	6.0	1.01	5.92	6.0	1.01	1.00	
非常用ガス再循環系トレインA出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
		鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
非常用ガス再循環系トレインB出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
		鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
非常用ガス再循環系循環ダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	2.55	6.0	2.35	2.55	6.0	2.35	1.00	
		鉛直	4.39	6.0	1.36	4.39	6.0	1.36	1.00	
非常用ガス再循環系循環ダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	4.29	6.0	1.39	4.29	6.0	1.39	1.00	
		鉛直	4.59	6.0	1.30	4.59	6.0	1.30	1.00	
非常用ガス処理系トレインB入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
		鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
非常用ガス処理系トレインA入ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
		鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
非常用ガス処理系トレインB出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
		鉛直	1.44	6.0	4.16	1.44	6.0	4.16	1.00	
非常用ガス処理系トレインA出ロダンバ	空気作動バタフ ライ弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
		鉛直	1.44	6.0	4.16	1.44	6.0	4.16	1.00	

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

1. はじめに

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価として、主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管について、スペクトルモーダル解析にて考慮する範囲として 20Hz、50Hz 及び 100Hz までとし、各々評価結果として、弁駆動部の応答加速度を算定した。

2. 解析モデル

弁の機能維持評価に用いる主蒸気系配管の解析モデルを図 2 に示す。評価に用いる解析モデルは、原子炉圧力容器ノズルから主蒸気隔離弁の下流側をアンカ点としたモデルであり、また主蒸気逃がし安全弁の排気管についてもモデル化している。

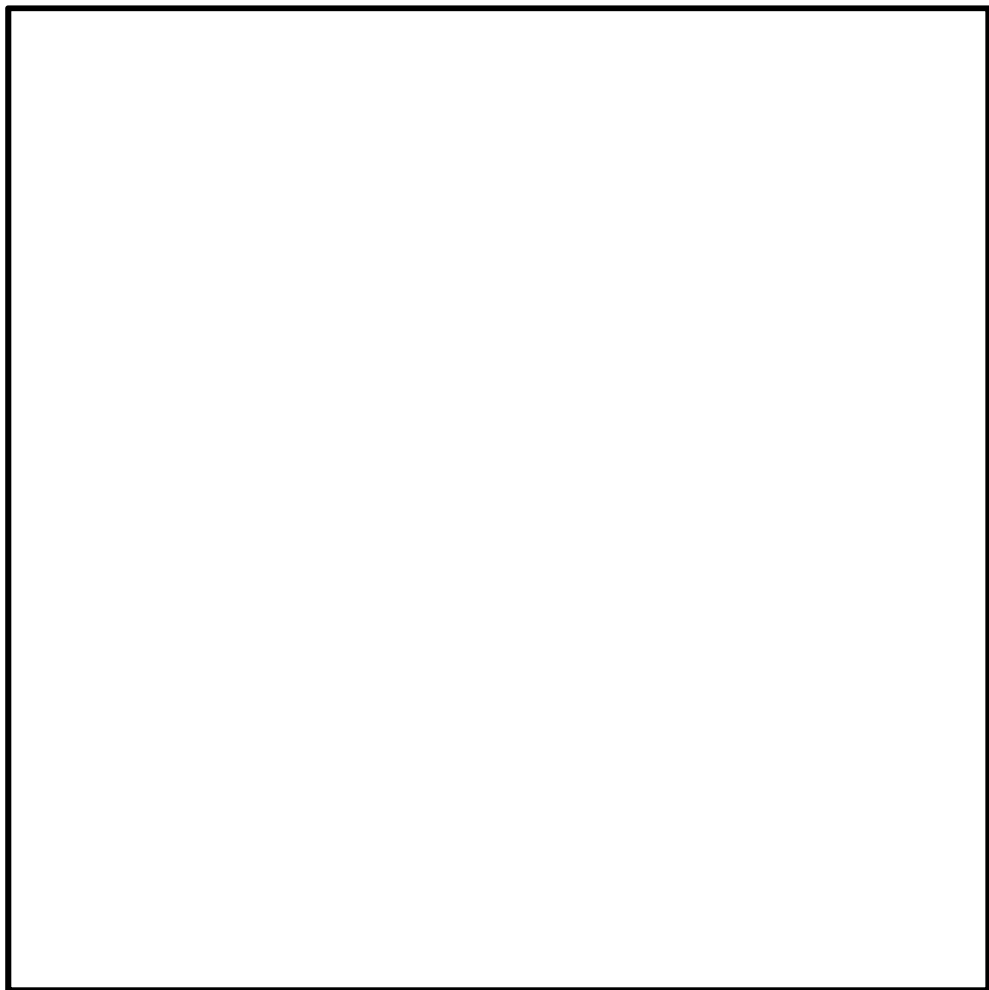


図 2 主蒸気系配管の解析モデル図

3. 入力条件

当該解析モデルは柔構造であることから、スペクトルモーダル解析から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用して機能維持評価を行う。

スペクトルモーダル解析における入力条件としては、設計用床応答曲線に 1.5 倍の余裕を見込んだ加速度値を用いることとする。なお設計用床応答曲線の作成を 20Hz としていることから、20Hz を超えた範囲については、最大応答加速度を入力とする。入力条件となる動的機能維持評価用床応答スペクトルを図 3 に示す。動的機能維持評価用床応答スペクトルの適用性を添付 2 に示す。

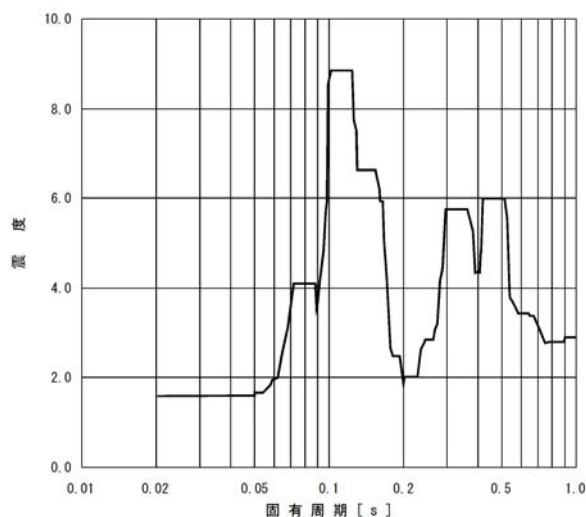


図 3(1) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 2.0%)

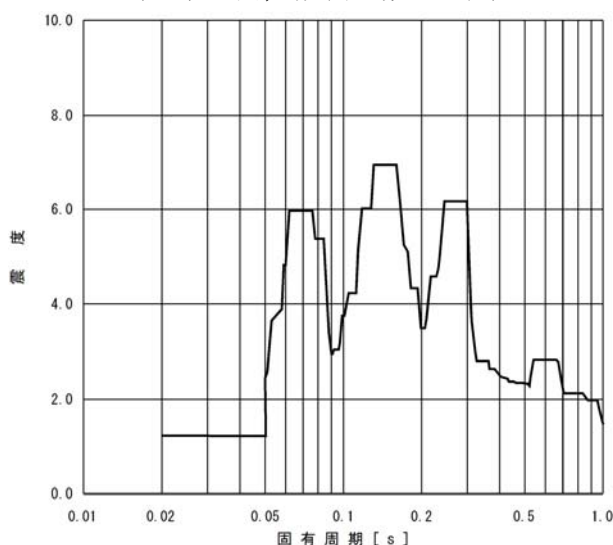


図 3(2) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

4. 固有値解析結果

主蒸気系配管の固有値解析結果として、固有周期、刺激係数及び設計震度を表 2 に、振動モード図を図 4 に示す。

表 2 主蒸気系配管の固有周期、刺激係数及び設計震度

モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 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								
138 次								

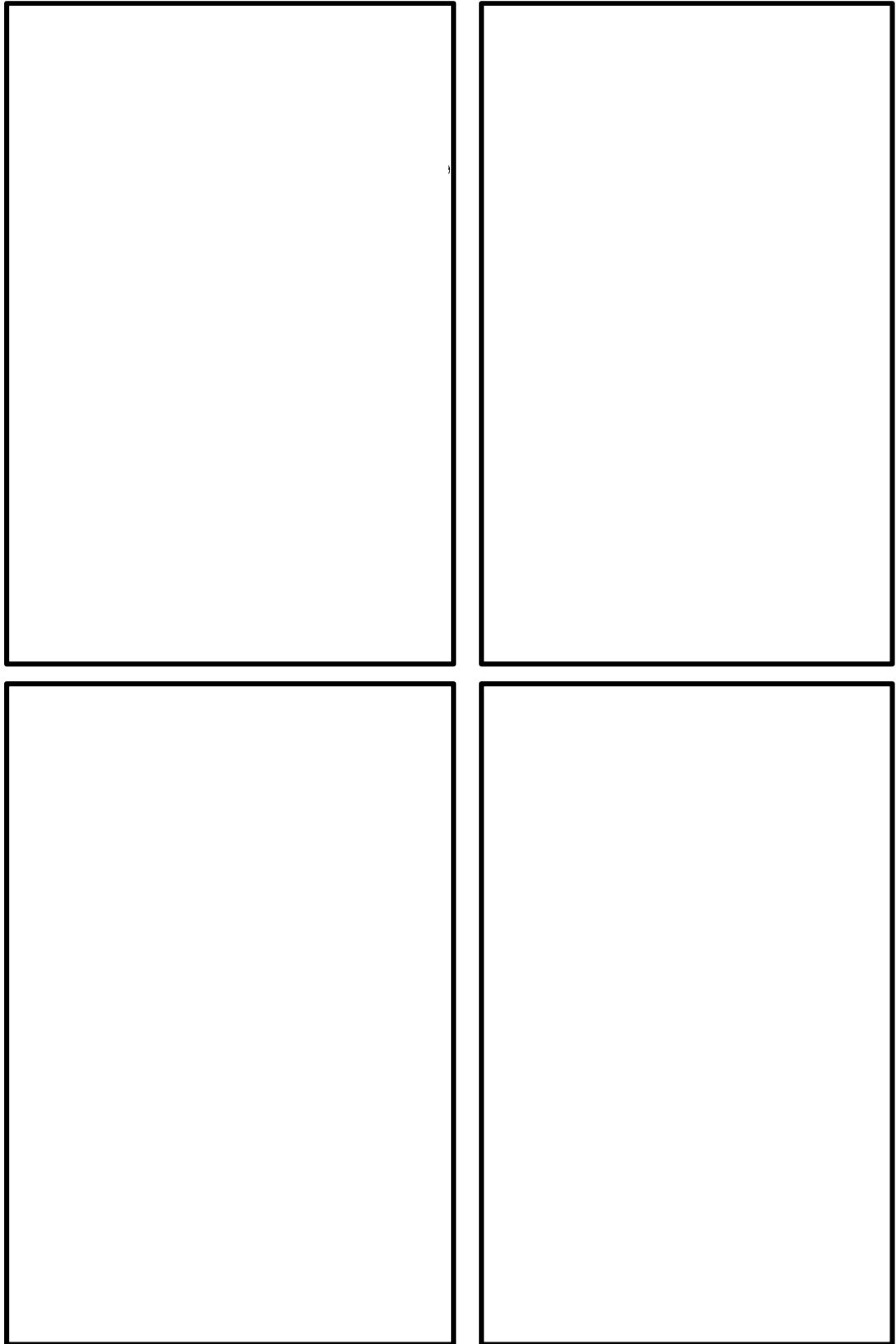


図 4(1) 主蒸気系配管の振動モード図

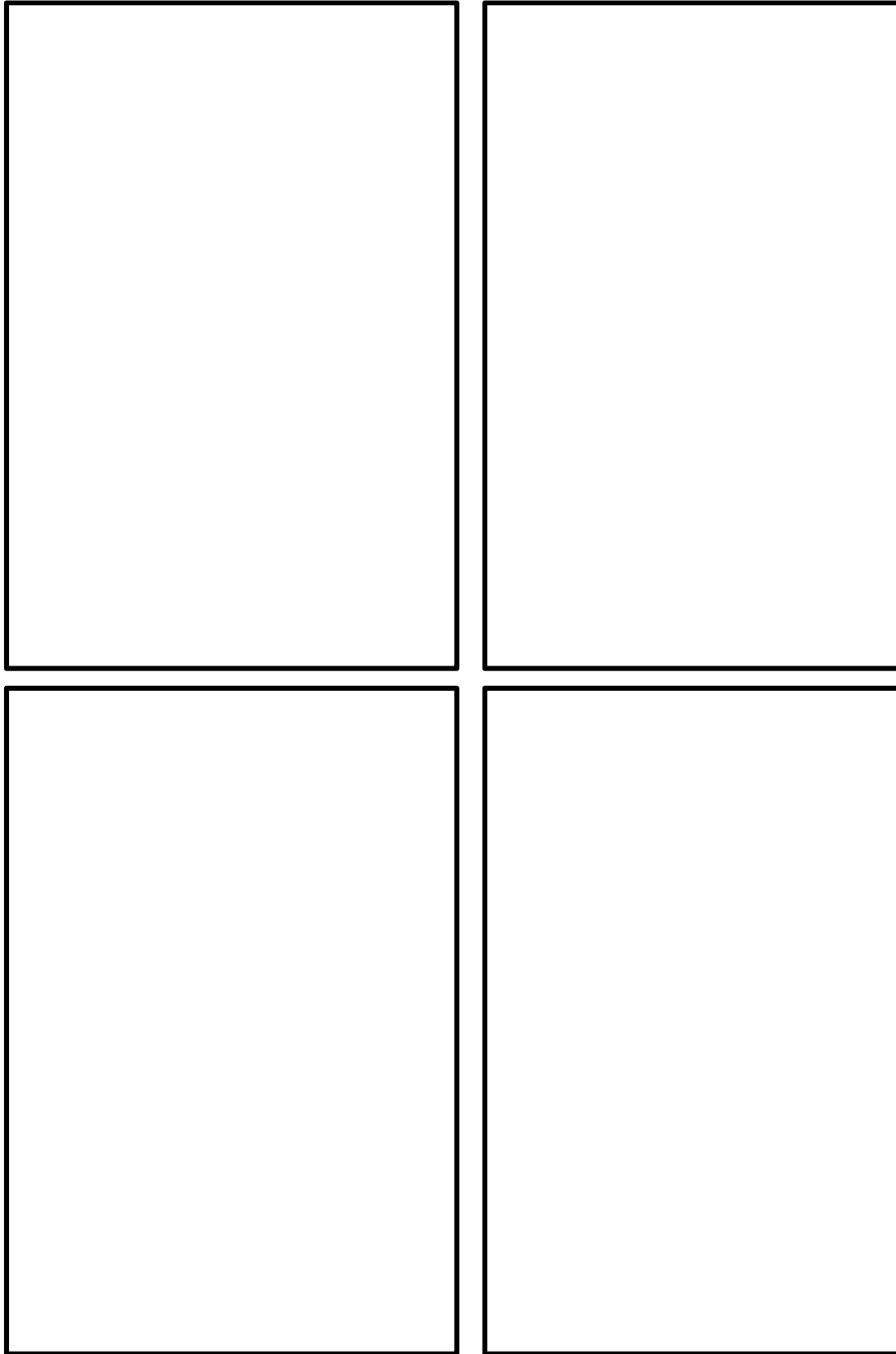


図 4(2) 主蒸気系配管の振動モード図

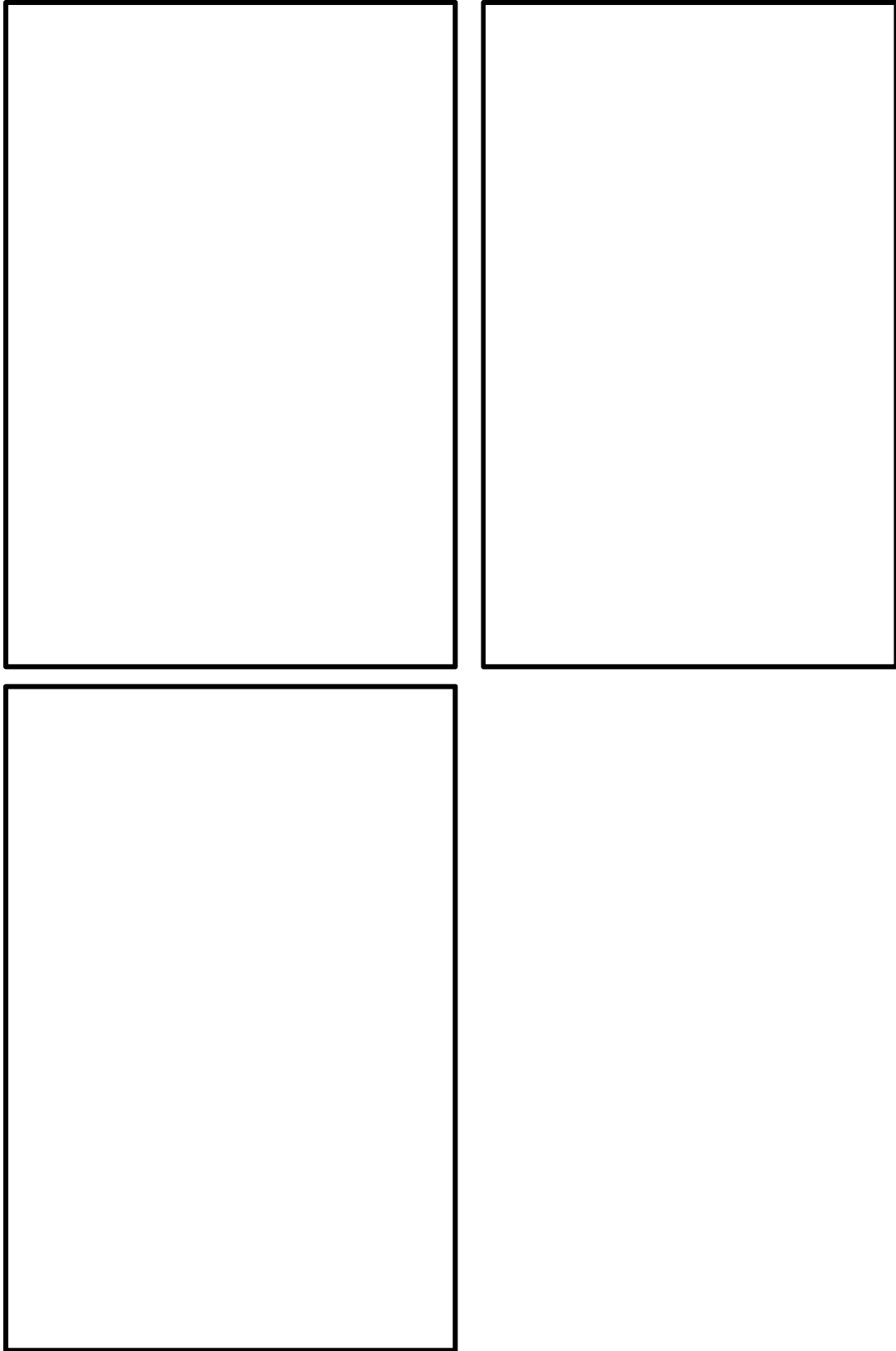


図 4(3) 主蒸気系配管の振動モード図

5. 解析結果

解析モデルを用いた地震応答解析による弁駆動部位置における応答加速度の算定結果を表1に示す。表3に示すとおり20Hzの応答加速度に対して、50Hzまで考慮した応答加速度は増加しているものの、100Hzまで考慮した応答加速度は、50Hzに対して増加は認められなかった。

表3 弁駆動部位置における応答加速度

弁名称	方向	スペクトルモーダル 解析(G)			最大加速度 (1.2ZPA) (G)
		20Hz	50Hz	100Hz	
主蒸気逃がし安全弁	水平	5.41	5.52	5.52	1.54
	鉛直	1.84	2.05	2.05	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器内側)	水平	7.35	7.35	7.35	1.54
	鉛直	5.41	5.41	5.41	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器外側)	水平	4.90	5.00	5.00	1.54
	鉛直	3.88	3.88	3.88	1.24

弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

1. はじめに

工事計画に係る補足説明資料【補足-340-13 機電分耐震計算書の補足について】の「2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法」にて、機器・配管系の耐震設計における剛柔判断の固有振動数を 20Hz とすることの妥当性を確認している。前述の資料では、20Hz 近傍にて卓越する応答を示す原子炉格納容器の設計用床応答曲線を用いる配管系について、従来の応力評価手法の妥当性の確認を実施している。

本資料では上記図書と同様に、当該配管に設置された動的機能維持要求弁の加速度応答の算出に用いる床応答スペクトル（図 5 参照）として、20Hz まで作成した設計用床応答曲線に 20Hz より剛側を最大加速度とすることが妥当であることを確認する。

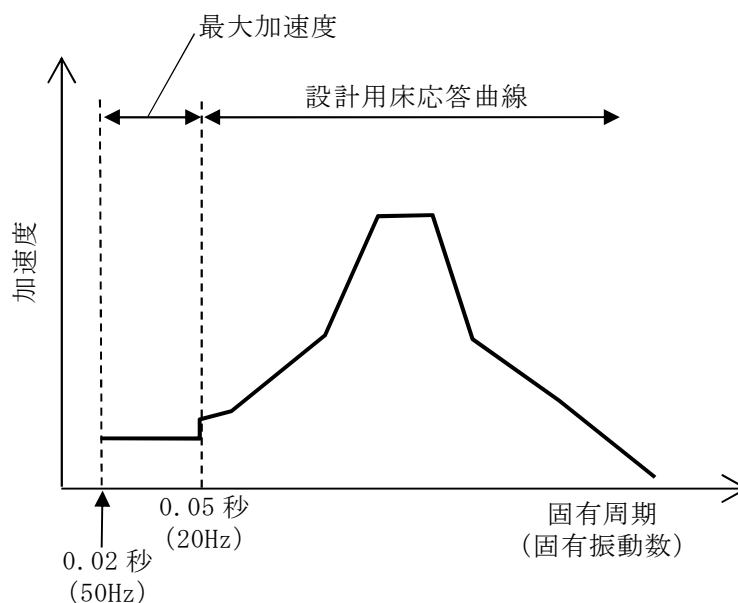


図 5 動的機能維持要求弁に用いる床応答スペクトル（イメージ図）

2. 配管系の地震応答解析

原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し、スペクトルモーダル解析を実施する解析モデルは、原子炉隔離時冷却系配管の 1 モデルのみである。当該解析モデルを図 6 に示すとおり、原子炉压力容器ノズル付近に逆止弁を有し、当該弁が動的機能維持の確認が必要となる。

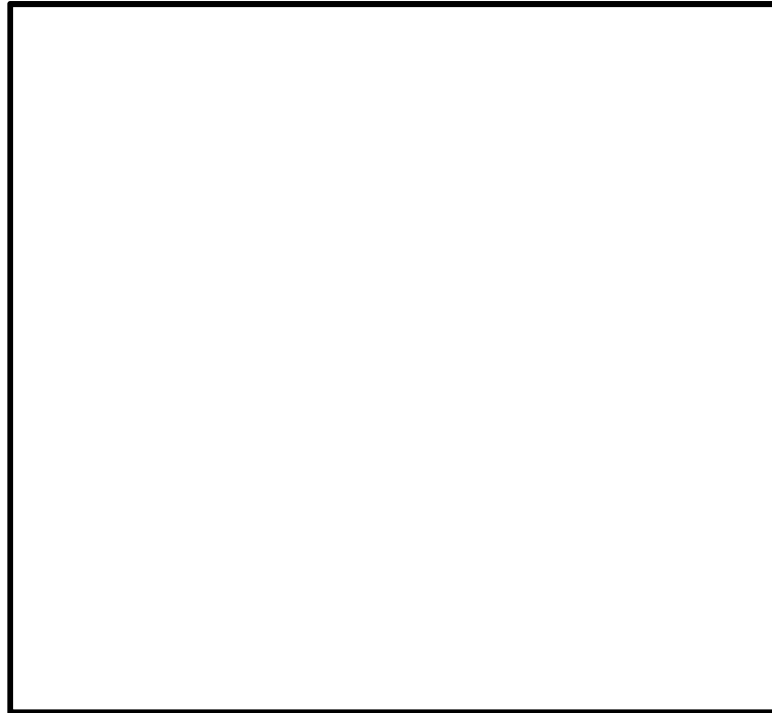


図 6 原子炉隔離時冷却系配管解析モデル図

3. 確認内容

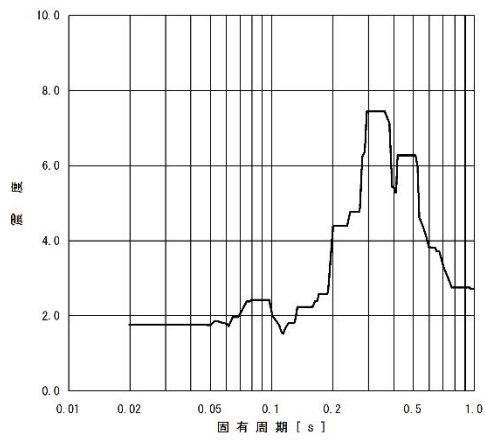
動的機能維持対象弁の応答加速度値の算出に用いる床応答スペクトルとして、以下 2 種類作成し、スペクトルモーダル解析により弁位置の応答加速度を算出することにより行う。

a. 動的機能維持評価用床応答スペクトル

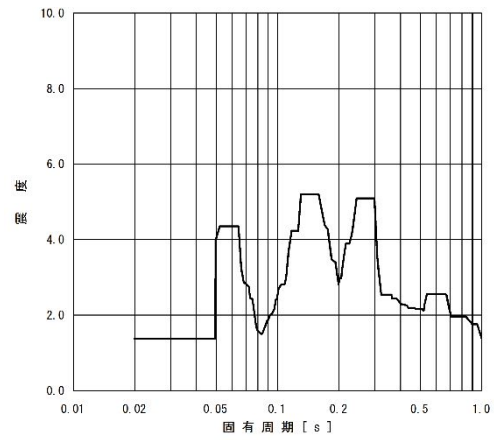
東海第二発電所動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルで有り、床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成する (図 7)。

b. 検討用床応答スペクトル

動的機能維持確認用床応答スペクトルでの応答比較のために用いる床応答スペクトルとし、床応答スペクトルの作成範囲を 50Hz とする (図 8)。

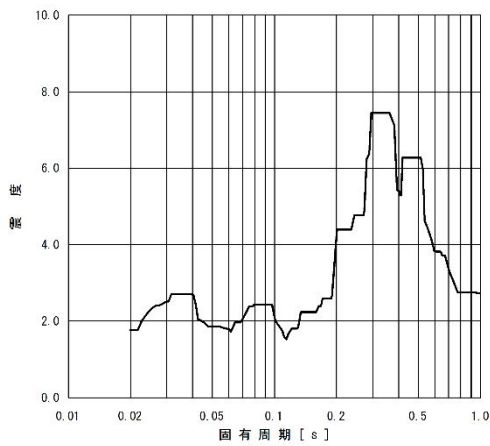


水平方向

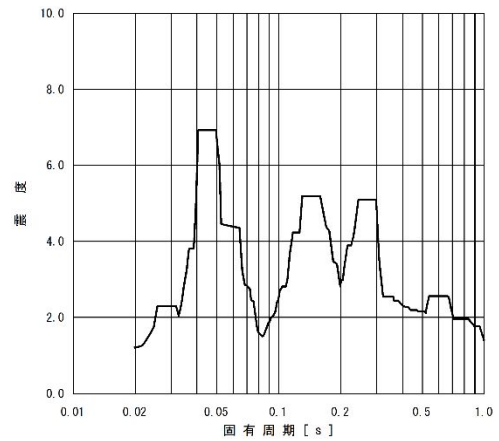


鉛直方向

図7 動的機能維持評価用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)



水平方向



鉛直方向

図8 検討用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)

4. 解析結果及び考察

(1) 解析結果

固有値解析結果として、固有振動数及び刺激係数を表 5 に、主要次数のモード図を図 9 に示す。

各床応答スペクトルを用いた地震応答解析による弁位置の応答加速度の算定結果を表 4 に示す。表 4 に示すとおり今回評価に適用する 20Hz まで作成した床応答スペクトル及び最大加速度 1.2ZPA の弁位置の応答加速度よりも 50Hz まで作成した応答スペクトルのほうが大きく値となったものの、その差は僅かであり、また確認済加速度より小さいことが確認できた。

表 4 弁設置位置における応答加速度

		弁位置の応答加速度 (G)		確認済加速度 (G)
		水平方向	鉛直方向	
動的機能 維持 評価用	動的機能維持確認用床応答スペクトル* ¹ による結果	1.53	4.90	6.0
	最大加速度 1.2ZPA	1.85	1.39	
	包絡値	1.85	4.90	
検討用	検討用床応答スペクトル* ² による結果	1.94	5.10	6.0

* 1 : 床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成 (図 7)

* 2 : 床応答スペクトルの範囲を 50Hz として作成 (図 8)

(2) 解析結果を踏まえた対応

本検討に用いた床応答スペクトルは、20Hz に応答が卓越する構築物に設置される配管系を用いて検討を実施した。20Hz に卓越する応答を有する厳しい条件においても弁位置の応答増加は、1.85G から 1.94G の増加でその割合は 5% 程度で有った。

本解析結果を踏まえて、20Hz に卓越する応答を示す構築物として原子炉格納容器の床応答スペクトルを用いる配管系において、10%の裕度が確保できない弁については、3.項に示す「検討用床応答スペクトル」を用いた地震応答解析結果から算定される弁位置の応答加速度に対しても、弁の機能維持が確保できることを確認する。具体的には、弁位置の応答加速度が確認済加速度に収まることを確認する。応答加速度が確認済加速度を超える場合には、J E A G 4601-1991 による詳細解析により弁の機能維持が確保できることを確認する。

弁の動的機能維持評価の結果、裕度 10%を確保できない弁について原子炉格納容器の床応答スペクトルを用いたものはなかった。

表 5 原子炉隔離時冷却系配管の固有振動数及び刺激係数

モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 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								
11 次								
12 次								

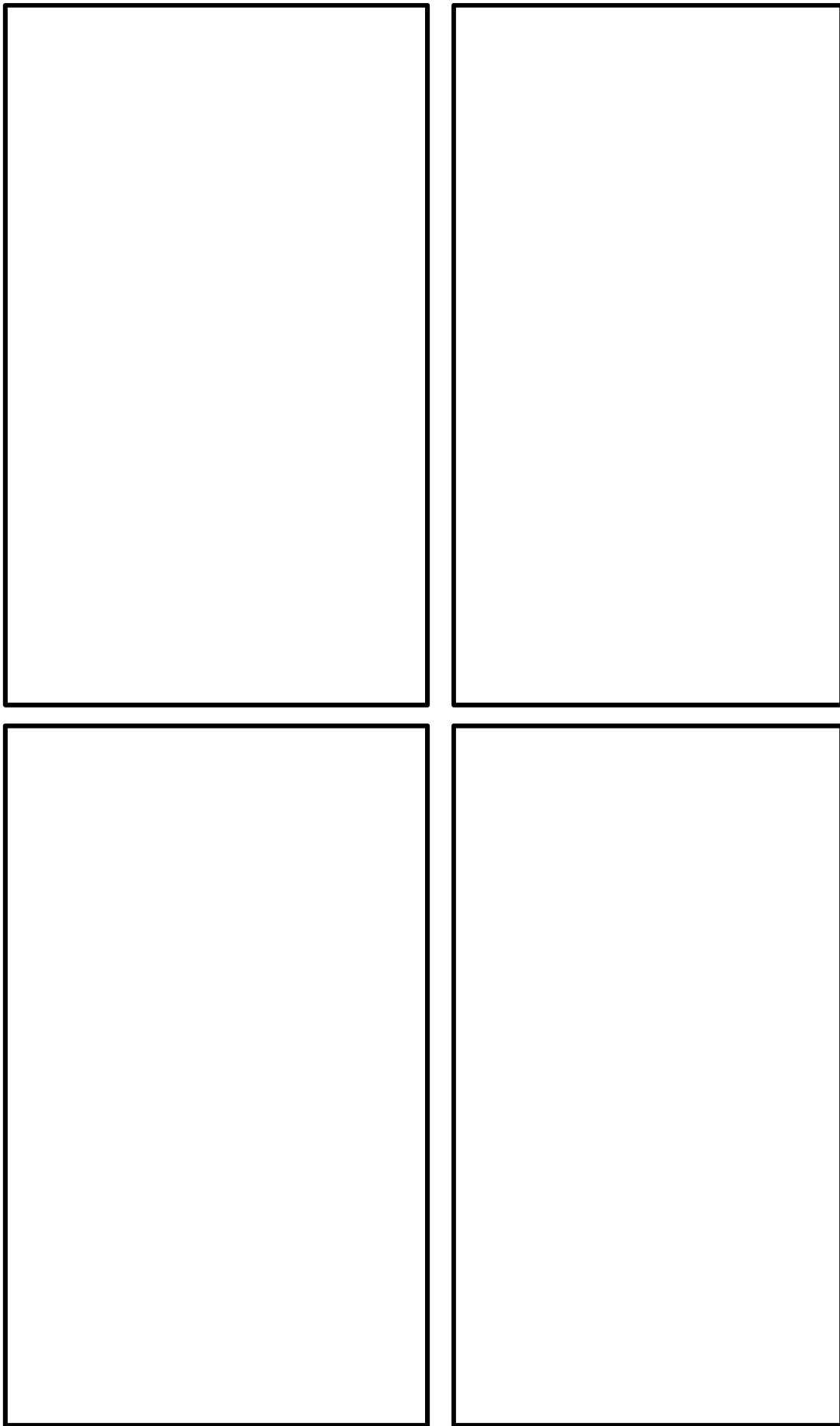


図 9(1) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

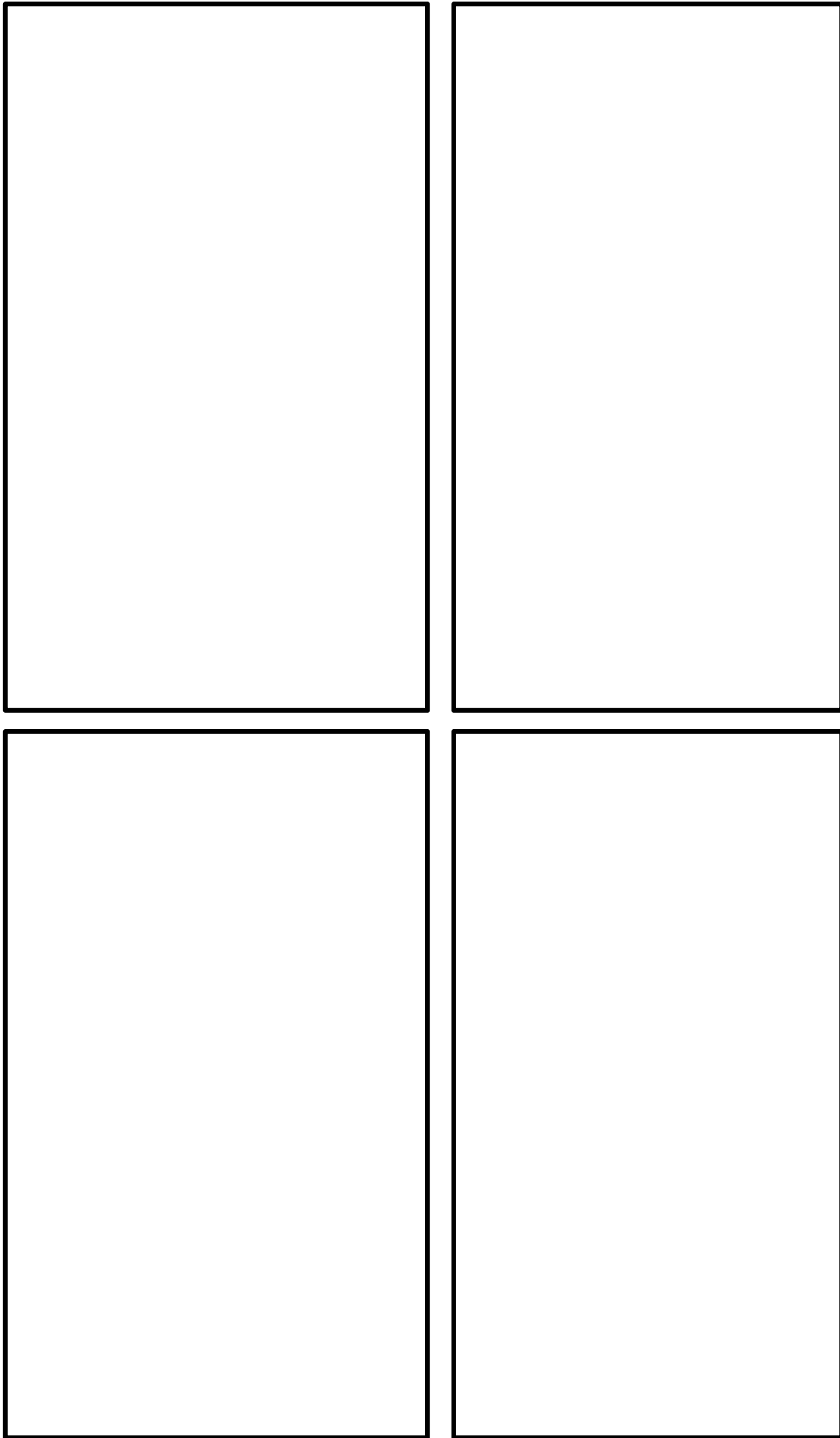


図 9(2) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

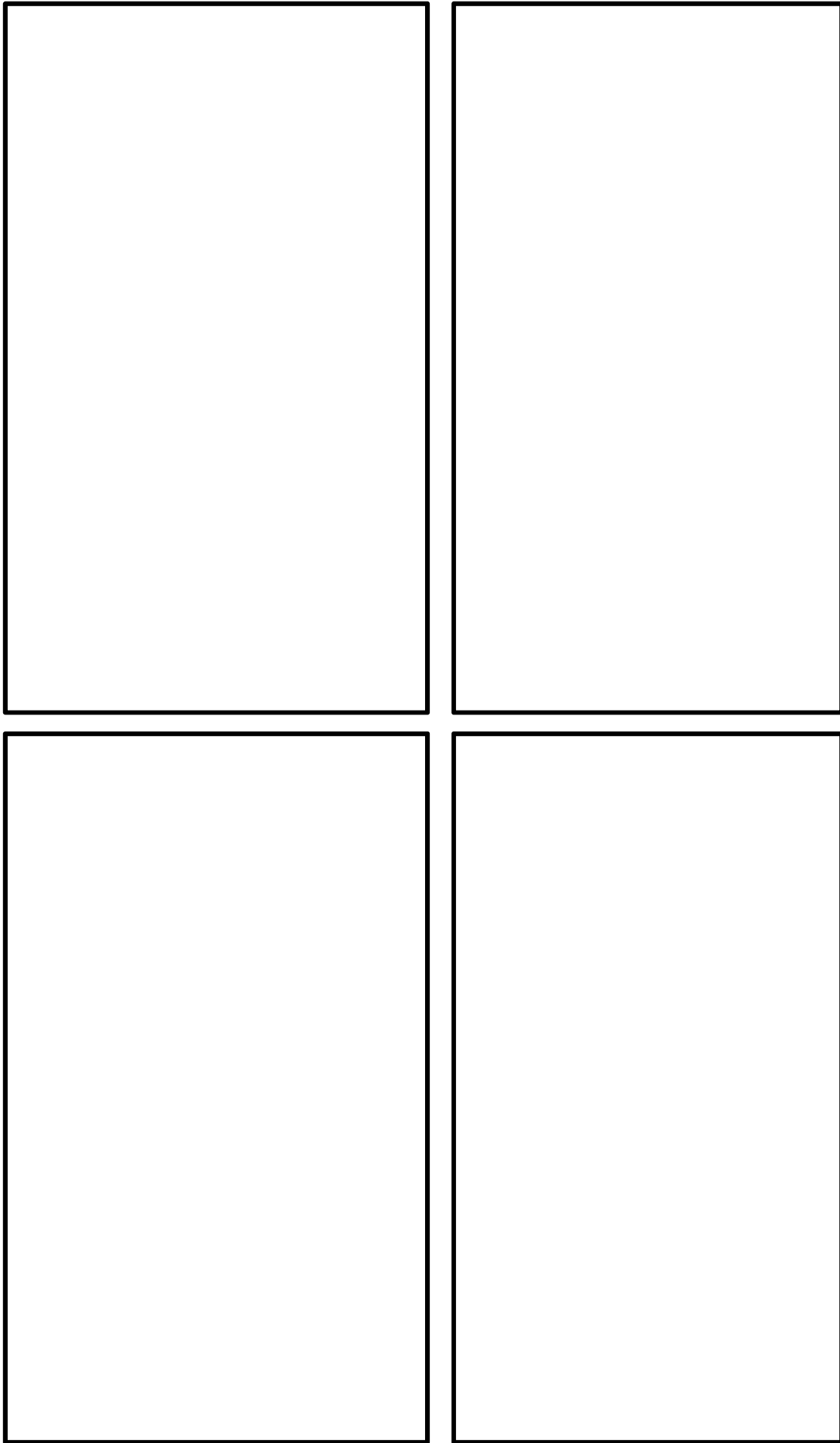


図 9(3) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1. はじめに

弁の動的機能維持評価対象弁 73 台のうち 14 台に振動数領域を 50Hz まで考慮した場合の加速度に対して 100Hz まで考慮した場合の加速度に増加が確認されたことから、本増加要因に対する検討を以下に実施する。また、検討対象弁は、応答増加が大きかった 6%以上のうち、水平方向及び鉛直方向で応答増加率が最も大きい弁を選定する。

表 1 応答増加が大きい機能維持対象弁及び検討対象弁の選定

弁名称	弁名称	方向	評価用加速度* ¹		機能確認 済み 加速度	応答 増加率 (②/①)	検討 対象弁
			最大値(①) (50Hz) (1.2ZPA)	最大値(②) (100Hz) (1.2ZPA)			
B22-F013V	主蒸気逃がし 安全弁 V	鉛直	1.24 (1.24) (1.23)	1.33 (1.33) (1.23)	6.1	1.08	—
B22-F032A	原子炉給水 逆止弁	鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	1.10	鉛直の代表 として選定
B22-F032B	原子炉給水 逆止弁	鉛直	1.31 (0.21) (1.31)	1.43 (1.43) (1.31)	6.0	1.10	—
SB2-5B	非常用ガス再循環系 トレイン B 入口 ダンパ	水平	1.94 (1.94) (1.74)	2.04 (2.04) (1.74)	6.0	1.06	水平の代表 として選定

* 1 : 上段が動的解析結果 (50Hz 又は 100Hz) と静的解析結果 (1.2ZPA) における最大値, 中段が動的解析結果 (50Hz 又は 100Hz) による値, 下段が静的解析結果 (1.2ZPA) による値

2. 評価加速度の増加率の検討

(1) B22-F032A (原子炉給水逆止弁)

当該弁の評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 1 に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 2 に示す。

図1に示すとおり、当該弁が設置された配管の支持構造として、弁上流にはアンカ点を有し、下流側には鉛直方向を支持するレストレイントが設置されている。これより、鉛直方向に対して高い剛性を有していることから、50Hz以上の高次のモードで励起することにより、100Hzまで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

また、当該弁が設置された配管系の振動モードとして、33次のモードにおいて、鉛直方向の刺激係数が大きく、同振動モード図でも当該弁位置で卓越するモードを有しており、特に当該モードが加速度増加に影響を与えたものと考えられる（図2参照）。

(2) SB2-5B（非常用ガス再循環系トレインB入口ダンパ）

当該弁の評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図3に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表3に示す。

図3に示すとおり、当該弁が設置された配管の支持構造として、弁上流には水平方向を支持するスナップ、下流側にも水平方向を支持するレストレイントが設置されている。これより、水平方向に対して高い剛性を有していることから、50Hz以上の高次のモードで励起することにより、100Hzまで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

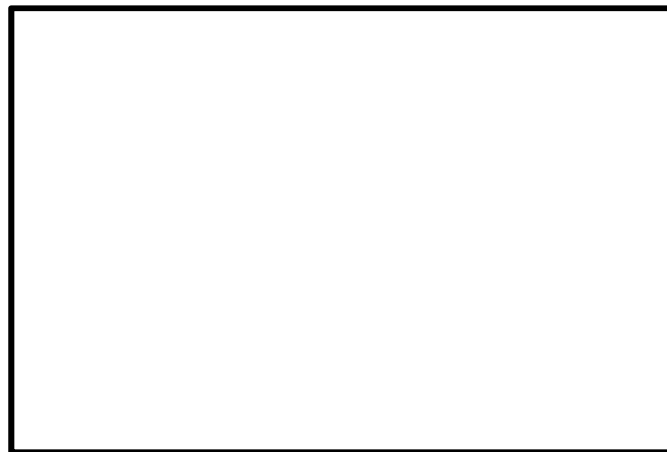
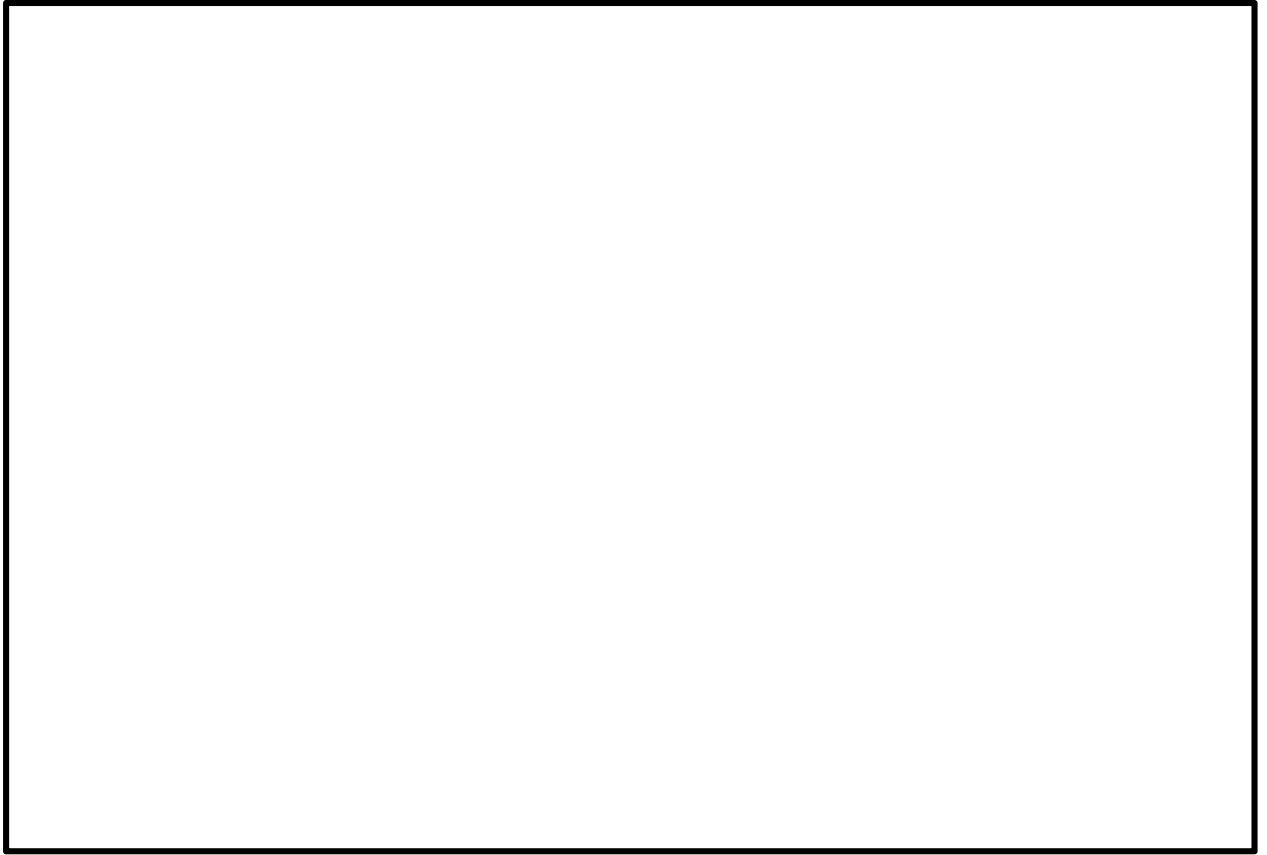
また、当該弁が設置された配管系の振動モードを確認した結果、弁駆動位置に影響を与えているモードとして、9次及び11次のモードがある。当該モードにおいて水平方向の刺激係数は高い数値となっており、50Hz以上である当該モードの影響により加速度増加に影響を与えたものと考えられる（図4参照）。

3. まとめ

動的機能維持評価において、100Hzまで考慮した場合の加速度に増加が確認された弁について、その増加に至った要因を検討した。対象とした2弁ともに、対象弁近傍に加速度増加に至った方向と同方向に支持構造物を有してことが確認された。このため、対象弁近傍では高い剛性を有していることにより、50Hz以上による高次モードによる影響で加速度増加に至ったものと考えられる。

また、増加率1.06倍以上となったB22-F013V（主蒸気逃がし安全弁V）の解析モデル図を図5に示すが、弁近傍に加速度増加に至った方向と同方向に支持構造物を有している。また、他の主蒸気逃がし安全弁と比べて、弁近傍の主蒸気管に鉛直方向にス

ナツバが設置されており、B22-F013V（主蒸気逃がし安全弁 V）近傍の配管系は、他の主蒸気逃がし安全弁近傍の配管系よりも高い剛性を有している。以上のことから、上記 2 弁と同様の理由で加速度増幅に至ったものと考えられる



A部拡大

図1 給水系配管の解析モデル図 (モデル No. FDW-1, 2, 3, 4, 9)

表 2 給水系配管の刺激係数等 (モデル No. FDW-1, 2, 3, 4, 9)

モード	固有周期 (s)	S _s			刺激係数		
		水平震度		鉛直震度	X方向	Y方向	Z方向
		X方向	Z方向	Y方向			

↑ 50Hzまでの振動数領域

↑ 100Hzまでの振動数領域

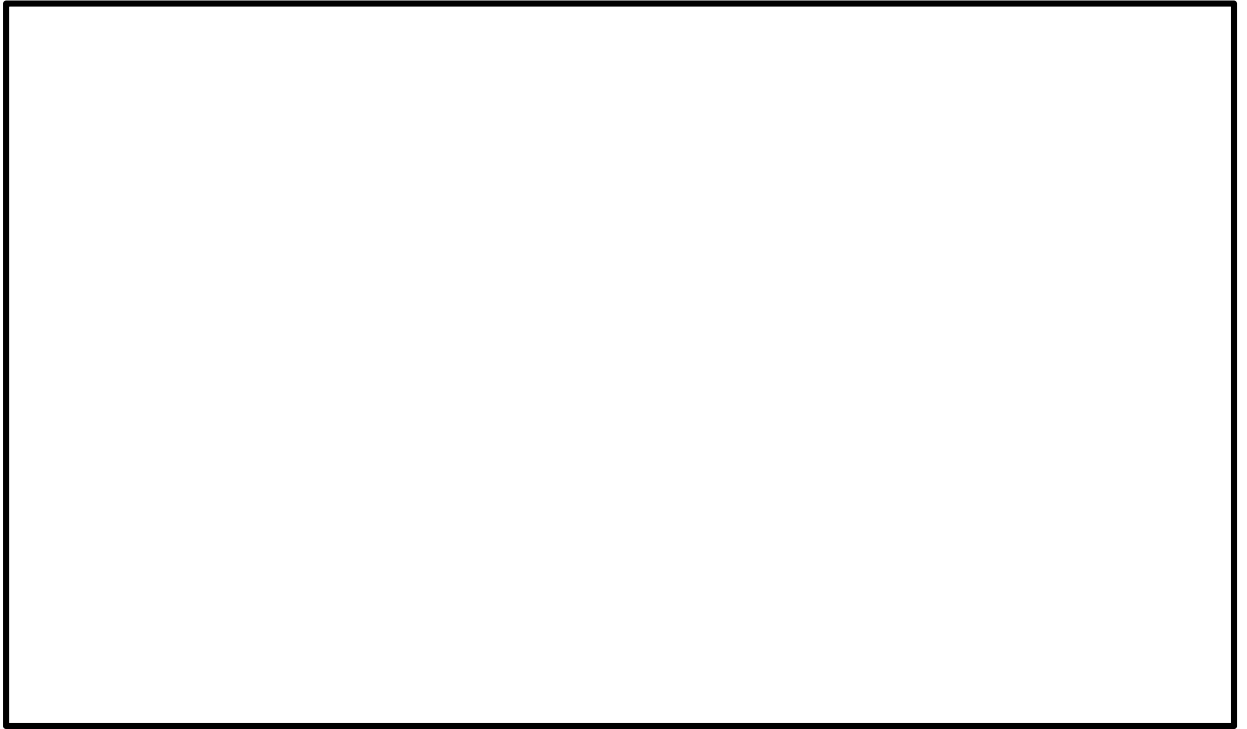
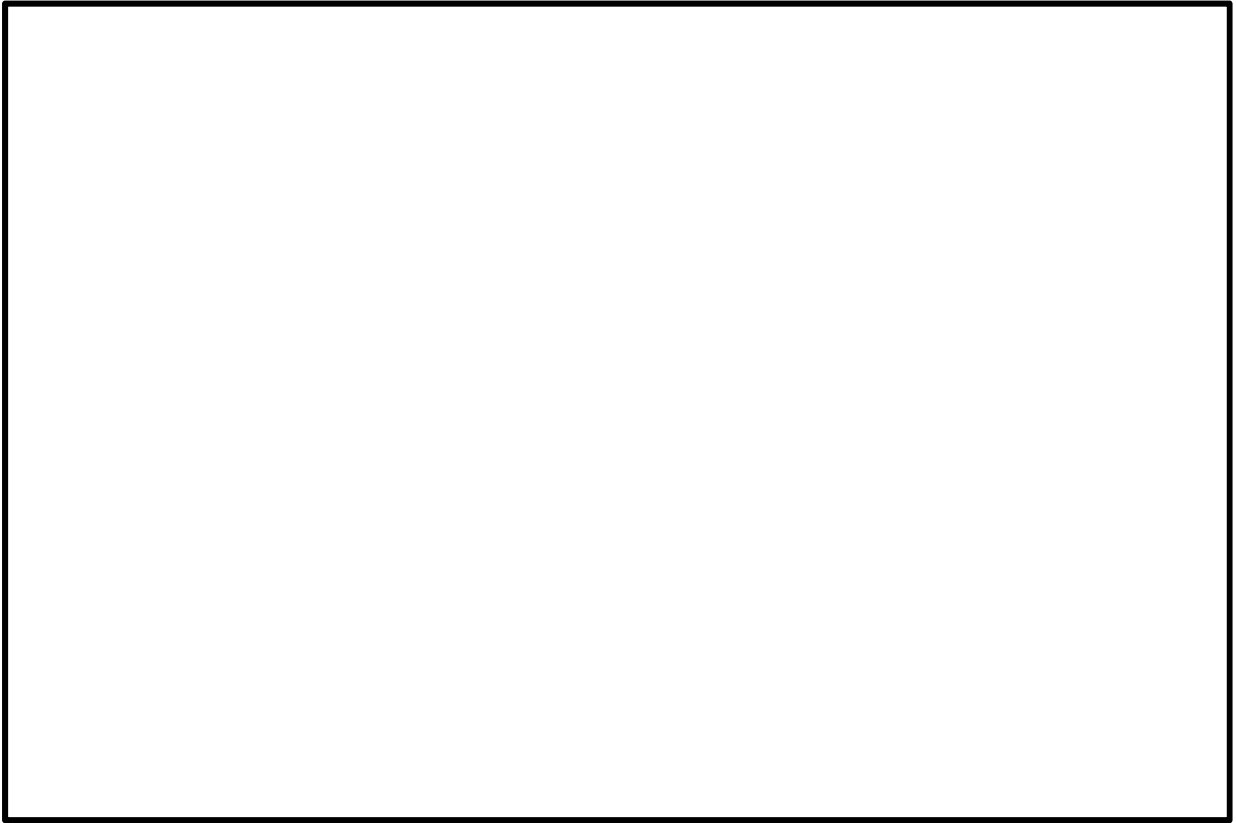


図2 給水系配管の代表的な振動モード図（モデル No. FDW-1, 2, 3, 4, 9）



A部拡大

図3 非常用ガス再循環系配管の解析モデル図（モデル No. FRVS-6）

表3 非常用ガス再循環系配管の刺激係数等 (モデル No. FRVS-6)

モード	固有周期 (s)	S s			刺激係数		
		水平震度		鉛直震度	X方向	Y方向	Z方向
		X方向	Z方向	Y方向			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							

↑

50Hzまでの
振動数領域

↑

100Hzまでの
振動数領域

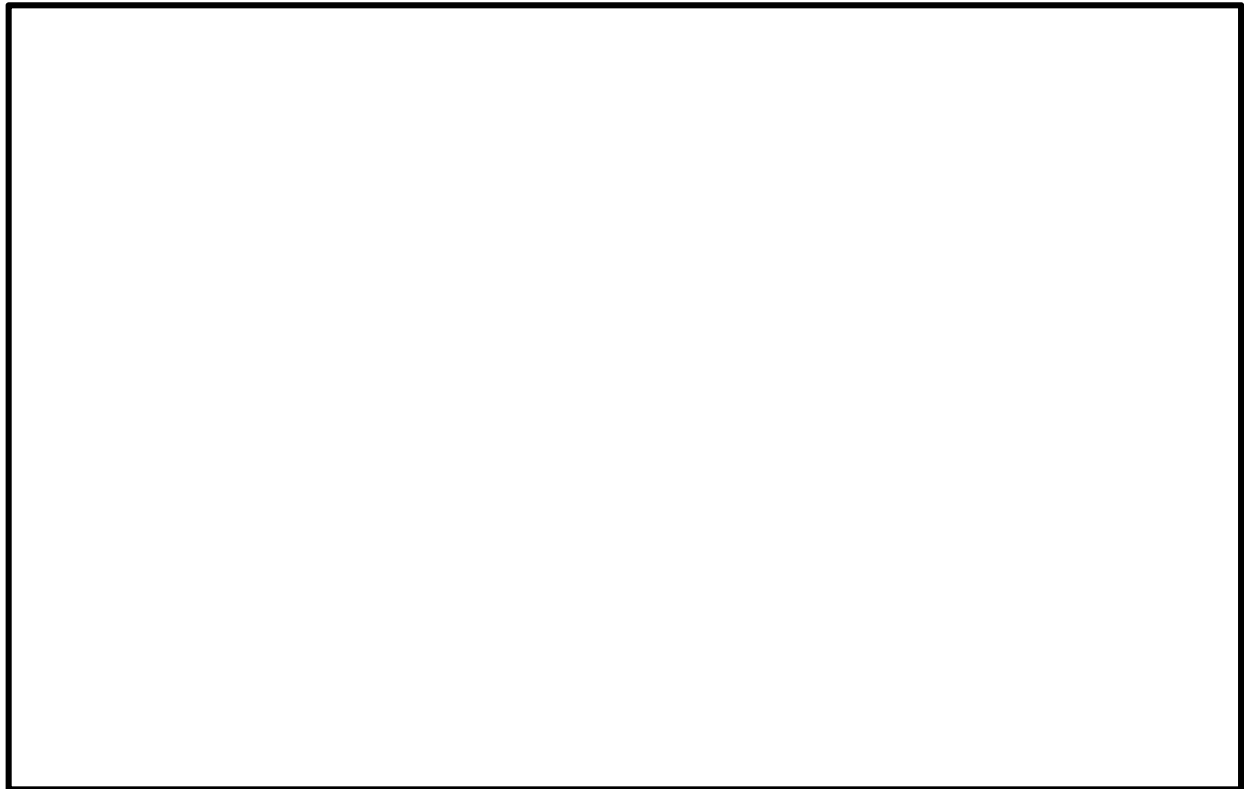
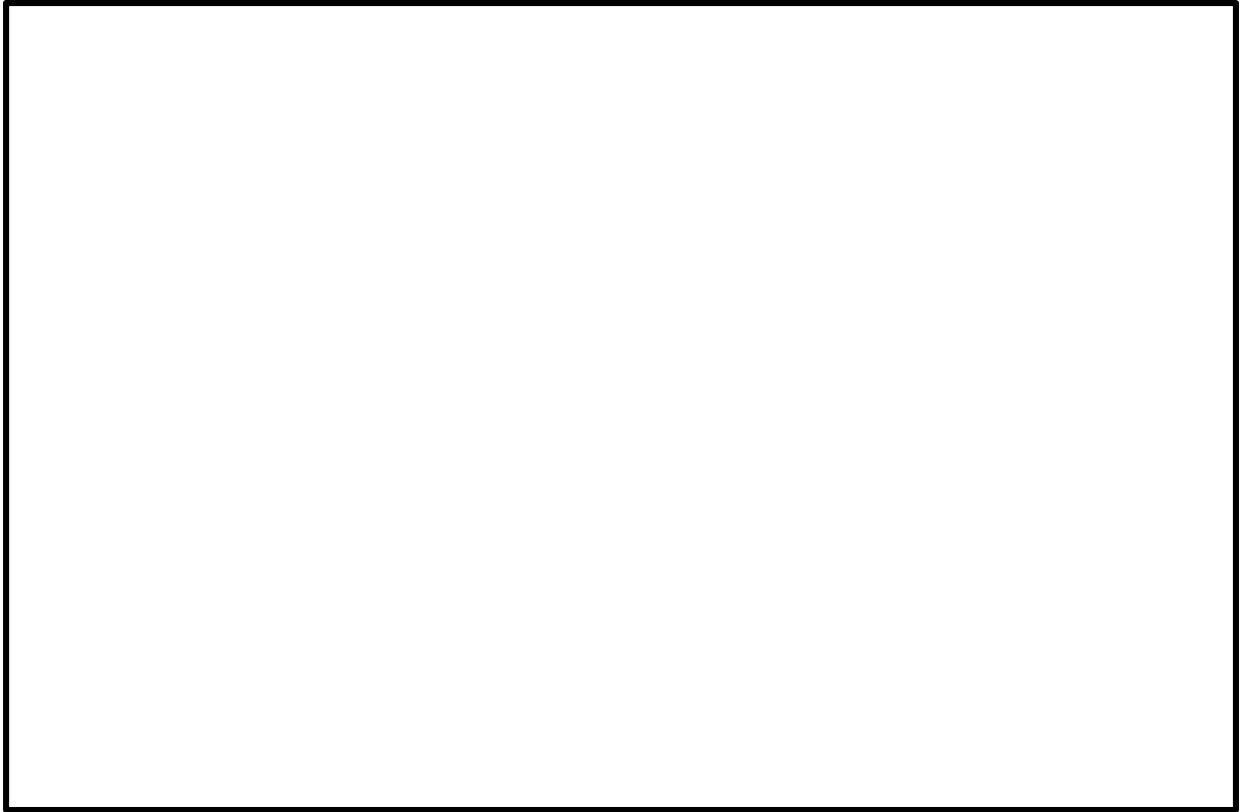


図 4 非常用ガス再循環系配管の代表的な振動モード図 (モデル No. FRVS-6)

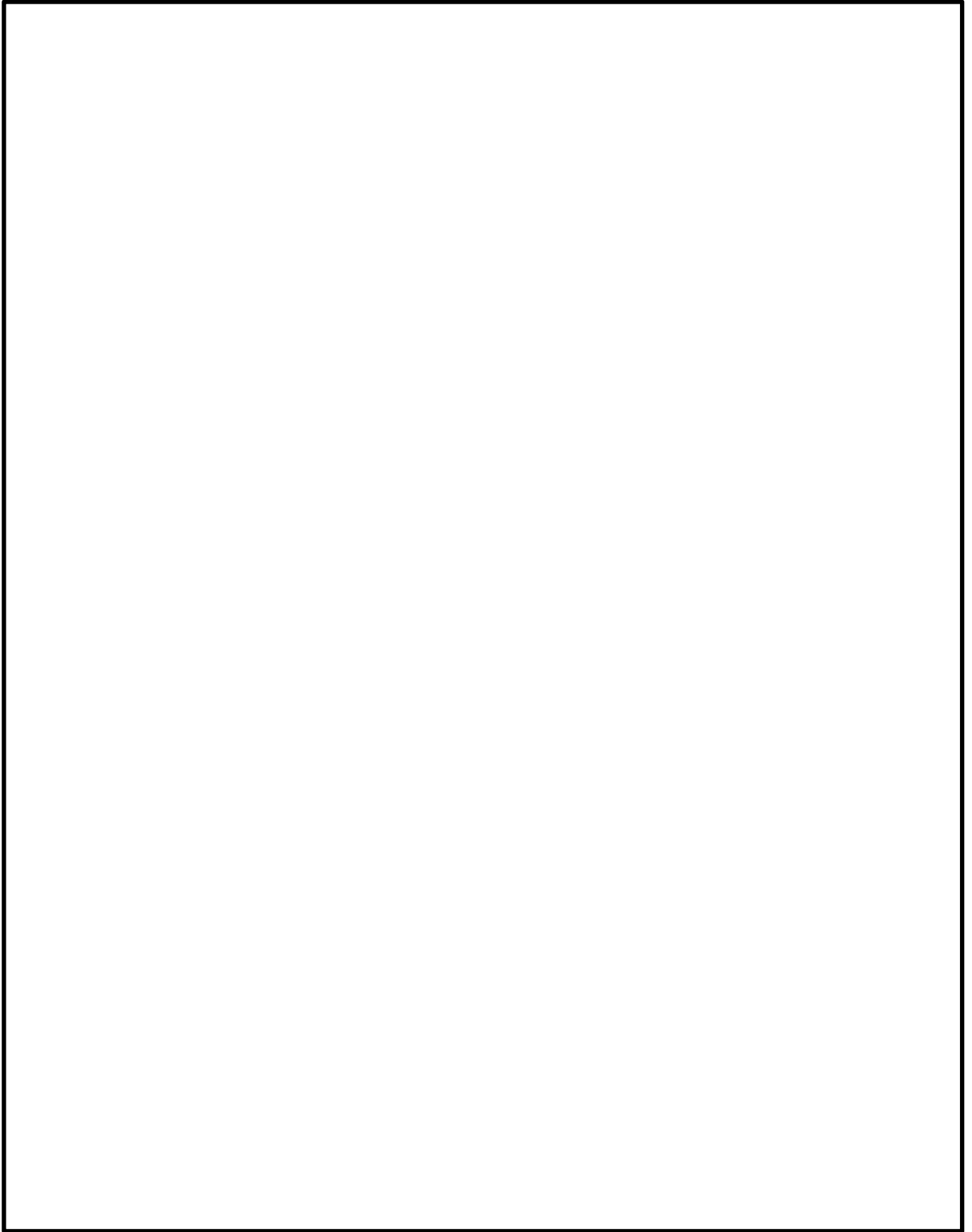


図 5 主蒸気系配管の解析モデル図 (モデル No. MS-D)