

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-40-12_改1
提出年月日	2021年10月12日

補足-600-40-12 主蒸気管の弾性設計用地震動 S d での耐震評価について

本資料では、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）における耐震重要度分類の考え方及び耐震評価結果について示す。

- I．主蒸気管における耐震重要度分類及び評価用に適用する地震動の考え方について
- II．評価用地震動における評価結果

## I. 主蒸気管における耐震重要度分類及び評価用に適用する地震動の考え方について

### 1. はじめに

主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）については、耐震Bクラスに分類され、また弾性設計用地震動 $S_d$ に対して破損しないことの検討を行うこととしている。

本資料においては、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）の耐震重要度分類の考え方及び評価に適用する地震動の考え方について示す。

### 2. 耐震クラス設定の考え方

耐震重要度分類において、主蒸気管は、以下のクラス分類の規定に基づき、Bクラスに分類している。

「安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設であって、原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設」

さらに、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）については、仮に破断した場合に、一次冷却系から直接外部へ放射性気体（核分裂生成物）を放出する事象が引き起こされる可能性があることに配慮して、弾性設計用地震動 $S_d$ に対して破損しないことの検討を行うこととした。

設備の耐震上の重要度分類にあたって、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984（以下「JEAG4601・補-1984」という。）において検討した内容が整理されている。（図1参照）

この中で、「放射性物質に関連する設備の耐震重要度分類と被ばく線量」に関して、設備単体が破損したときに全身0.5レム以上の被ばくを与えるものは基準地震動 $S_1$ による機能維持の確認を行うべき、としている。これにより、基準地震動 $S_2$ による設備の同時破損を想定しても、被ばく線量を「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」の目安線量に対して十分小さくすることができることになる。

また、主蒸気管については、仮に原子炉格納容器外で破損した場合の被ばく線量は、小児甲状腺1.5レム以下となることが当時の評価方法で得られており、基準地震動 $S_1$ に対し機能維持をする必要は必ずしもない。一方で、複数基立地の発電所で主蒸気管の同時破損を想定すると、仮定の仕方により目安線量を超える場合もあり得るとして、主蒸気止め弁までの部分は、基準地震動 $S_1$ で破損しないことの確認を行っておくことが望ましいとしている。さらに、被ばく評価の基準が見直されたら、基準地震動 $S_1$ に対する検討も再度見直す必要があるとしている。

被ばく評価の基準に関しては、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成2年8月30日原子力安全委員会決定）で判断基準が示されている。主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）については、破損時に上記審査指針に定められている事故時の実効線量に関する判断基準（5mSv）を超えないという条件が満たされる必要がある。女川原子力発電所第2号機の原子炉設置変更許可申請書における主蒸気管破断時の評価結果によると、被ばく量は $5.0 \times 10^{-2}$ mSvであり、上記の判断基準（5mSv）と比較して小さい。このことから、主蒸気管は耐震Bクラスとすることは妥当である。一方で、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）が破断した場合、一次冷却系から直接外部へ放射性気体（核分裂生成物）を放出する事象が引き起こされる可能性があることに配慮することとし、念のため、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）を弾性設計用地震動S<sub>d</sub>で破損しないことの検討を行うこととしたものである。

以上のように、被ばく評価結果に基づき耐震Bクラスの妥当性を確認するとともに、放射性物質の放出の可能性に配慮して弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に対して破損しないことの検討を行うこととしたものであり、基準地震動S<sub>1</sub>を弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に読み換えたものではない。

【参考：耐震設計審査指針改訂（平成18年9月）による耐震重要度と適用する地震動との関連について】

次に耐震重要度分類と適用する地震動に関して、J E A G 4601・補・1984 発刊当時は、耐震Aクラスのうち特に重要な施設を耐震Asクラスとし、耐震Aクラス施設に対して基準地震動S<sub>1</sub>を、耐震Asクラス施設に対して基準地震動S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>を適用することとなっていた。その後、平成18年に改訂された耐震設計審査指針において、耐震重要度分類については、Asクラス及びAクラスを統合してSクラスとし、適用する地震動は基準地震動S<sub>s</sub>のみとなった。さらに、施設の安全機能の保持を高い精度で確認するため弾性設計用地震動S<sub>d</sub>を規定し、Sクラス施設に適用することとなった。

上記のような改訂経緯から、基準地震動S<sub>1</sub>と弾性設計用地震動S<sub>d</sub>とは直接関連するものではない。

#### 4. 放射性物質に関連する設備の耐震重要度分類と被ばく線量

##### 4.1 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る設備（特にBWR主蒸気管<sup>(1)</sup>）

これらの設備は本文では、耐震Bクラスに分類されているが、耐震上の重要度分類に当たっては、基準地震動 $S_2$ による設備破損が想定される場合にはこれによる被ばくが少なくとも「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて」（以下立地審査指針という。）の目安線量を超えないという条件が満たされる必要がある。また、基準地震動 $S_2$ より発生頻度の高い基準地震動 $S_1$ に対しては、これより小さい線量に抑えるべきと考えられるが、これに相当する線量としてその設備単体が破損した時に全身0.5レム<sup>(2)</sup>以上の被ばくを与えるものは基準地震動 $S_1$ による機能維持の確認を行うべきものとする。こうすることにより、たとえ基準地震動 $S_2$ による設備の同時破損を想定しても、その際の被ばく線量を立地審査指針の目安線量に対し十分小さくすることができる。

BWR主蒸気管がもし原子炉格納容器外で破損すれば現在の評価方法では、小児甲状腺1.5レム以下の被ばく線量となるので、基準地震動 $S_2$ に対し機能維持をする必要は必ずしもない。しかし、現在の被ばく評価法が保守的なため、一発電所に多数基が設置されている場合、基準地震動 $S_1$ による複数の主蒸気管の同時破損の仮定のしかたによっては、目安線量を超える場合もあり得る。したがって、BWR主蒸気管のうち主塞止弁までの部分は、当面基準地震動 $S_1$ で破損しないことの確認を行っておくことが望ましいと考えられる。

なお、現在の被ばく評価における線源、解析条件の設定は非常に苛酷なものであり、炉水の放射能濃度、沃素の燃料からの追加放出量等の線源の見直し、放出過程での大幅な放射能の減衰効果等の評価法の見直しが行われれば、かなりの基数があっても甲状腺被ばくを十分低く抑えることが可能と考えられるので、現在の被ばく評価の基準が見直された時点で、上記基準地震動 $S_1$ に対する検討について再度見直される必要がある。

それ以外の設備については、主蒸気管破断事故より被ばく線量が小さいので原則として耐震Bクラスとする。

注：(1) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されている配管としてはBWRの主蒸気管の他にBWRでは、①原子炉冷却材浄化系 ②給水系、PWRでは、①抽出系 ②余剰抽出系がある。BWRの逃がし安全弁排気管、PWRの加圧器逃がし弁排気管のようにその下流側が開放されており内蔵機能を持っていないものは、本分類に該当しないものとする。

(2) 目安線量として全身被ばく線量を0.5レム、小児甲状腺被ばく線量を1.5レムと考える。

図1 J E A G 4601・補-1984 重要度分類編(抜粋)

## II. 評価用地震動における評価結果

### 1. はじめに

説明資料 I 「主蒸気管における耐震重要度分類及び評価用に適用する地震動の考え方について」において、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）は、耐震 B クラス、かつ、弾性設計用地震動 S d に対して破損しないことの検討を行うこととしている。

ここでは、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）について、弾性設計用地震動 S d を作用させた場合の応力評価を示す。

### 2. 応力評価

#### (1) 評価条件

主蒸気管のうち、原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁より主蒸気止め弁までを評価対象とする。(図 1)

配管及び支持構造物の評価に用いる弾性設計用地震動 S d における設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、水平 2 方向（NS 方向、EW 方向）を包絡させたものを用いる。(表 1 及び図 2) 減衰定数は、添付書類「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。

タービン建屋および T/G ペDESTAL の設計用床応答曲線の作成には、解析コード「FACS」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

また、配管及び支持構造物の評価においては、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せを適切に考慮する。

表 1 設計用床応答曲線

系統名称	耐震設計上の重要度分類	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
主蒸気系 (MS-005)	B	原子炉建屋		
		タービン建屋		
		T/G ペDESTAL		

注：上記設計用床応答曲線を包絡している

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(2)固有周期及び刺激係数

主蒸気系（MS-005）の固有周期及び刺激係数を下表に示す。また、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・方向を赤線で図示し、図3に示す。

表2 各モードに対応する刺激係数

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				
55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。

(3)配管評価結果

主蒸気系（MS-005）の最大応力点の応力評価結果を下表に示す。以下の結果から、計算値が許容値以下であり、主蒸気管（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで）が弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に対して破損しないことを確認した。また、最大応力点を図4に示す。

表3 弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に対する評価結果

応力の種類		計算応力	許容応力
一次応力 (MPa)		148	187
一次+二次応力 (MPa)		222	375
疲労評価	疲労累積係数	—	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 支持構造物評価結果

下表に示す通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。

表 4 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)
SNO-MS301-57A, B	オイルスナッパ	ODP-125-400	SS400	55	521	600
SNM-MS301-29	メカニカルスナッパ	NMB-250-125	SS400	55	346	375
RST-MSV-1	ロッドレストレイント	-	SNCM630	55	1051	2500

表 5 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(1次+2次)						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-MS301-48	レストレイント	-	STS480	302	387	31	0	-	-	-	組合せ	59	108



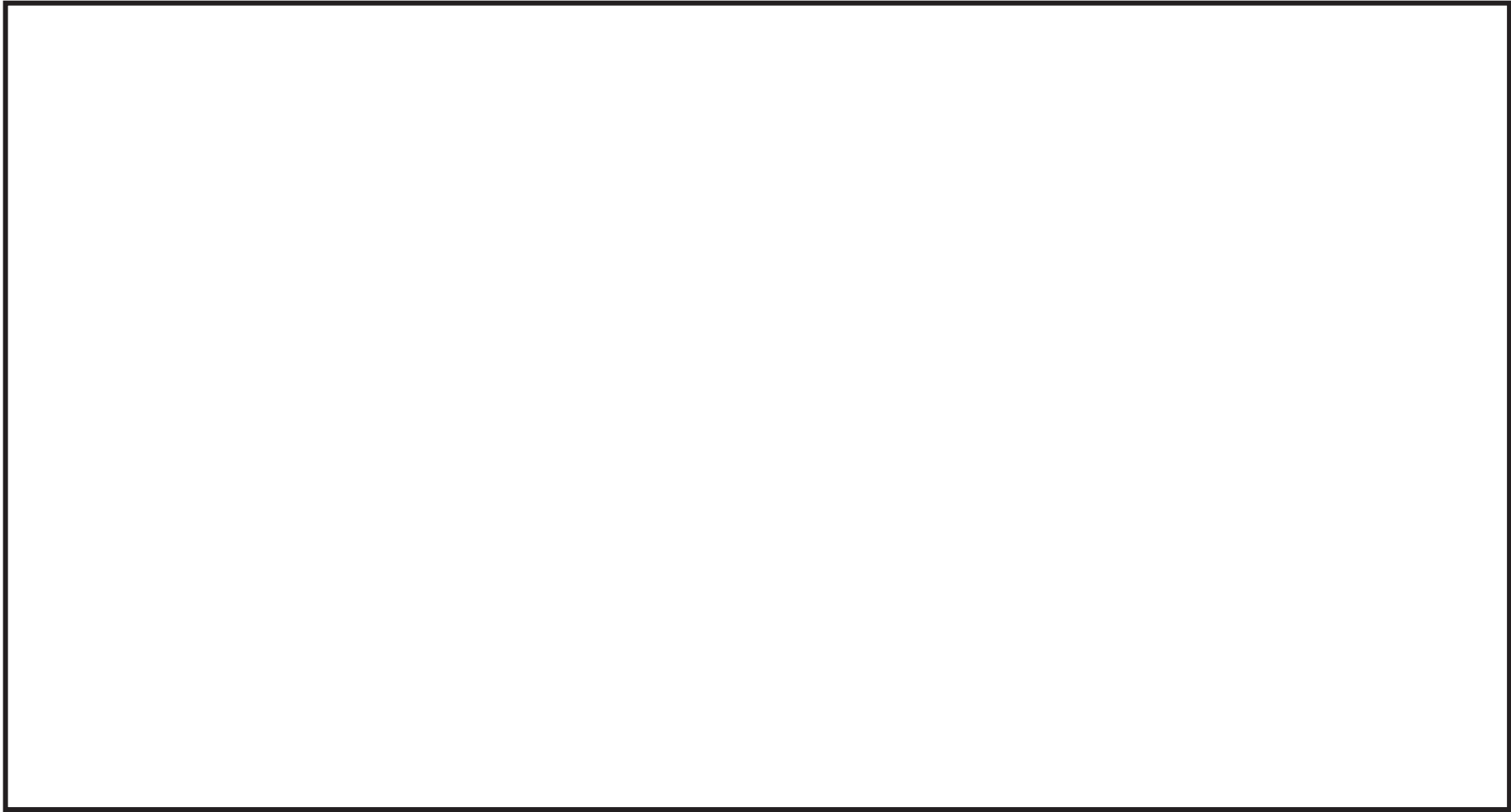


図1 主蒸気配管モデル

鳥瞰図	MS-005
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

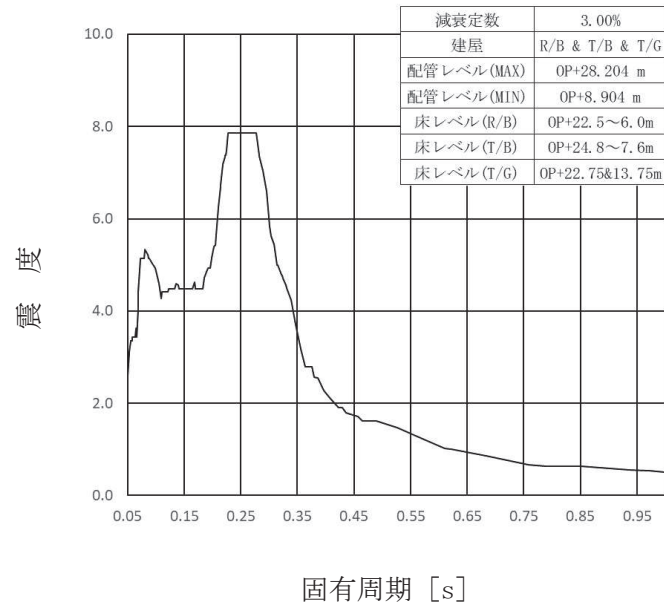


図 2-1 床応答スペクトル (水平方向)

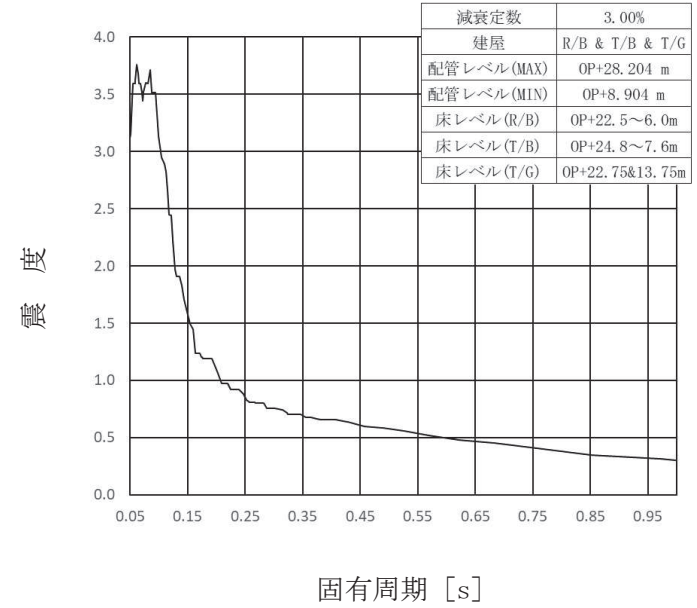


図 2-2 床応答スペクトル (鉛直方向)

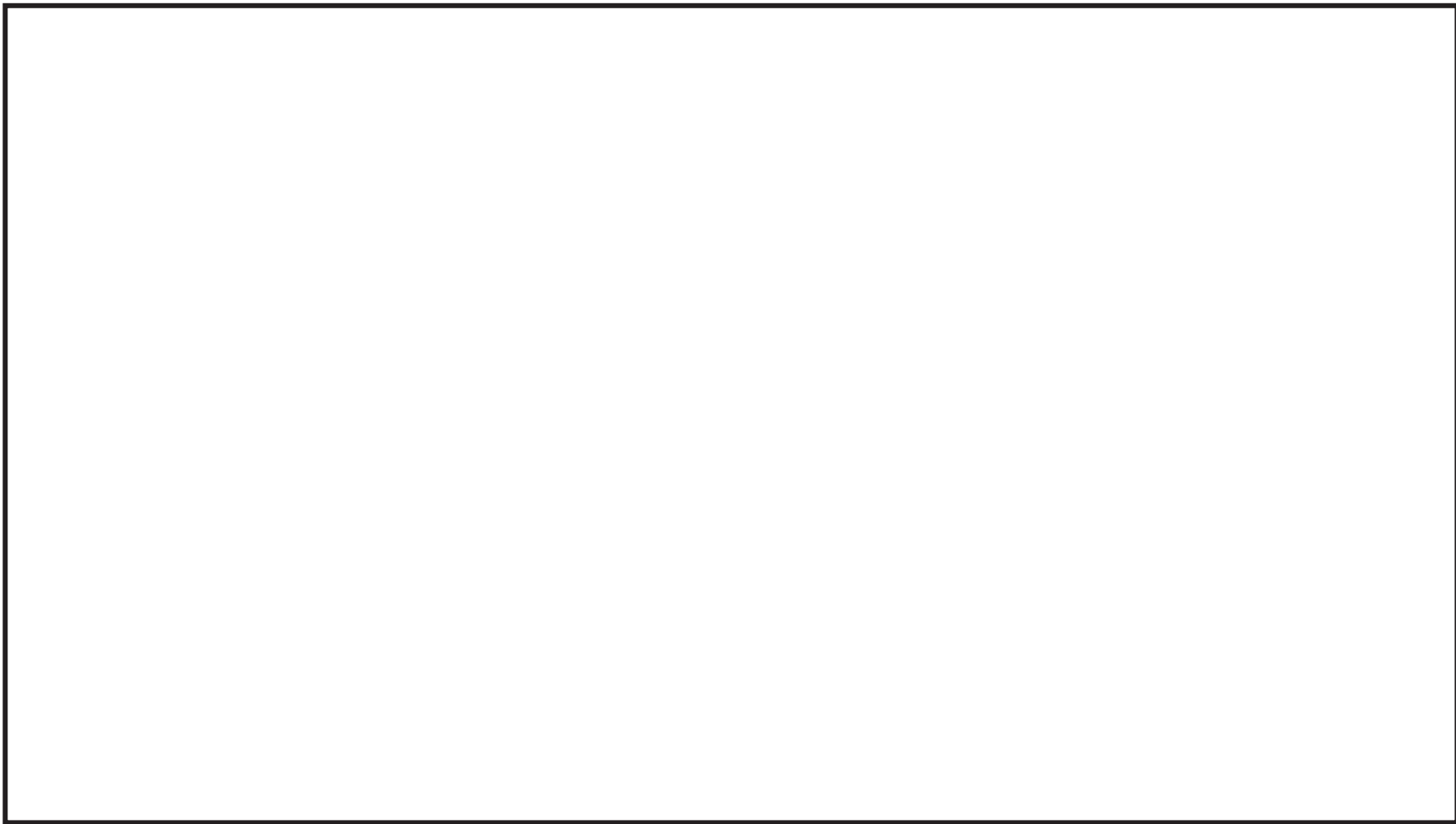


図 3-1 代表的振動モード図(1次)

鳥瞰図	MS-005
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

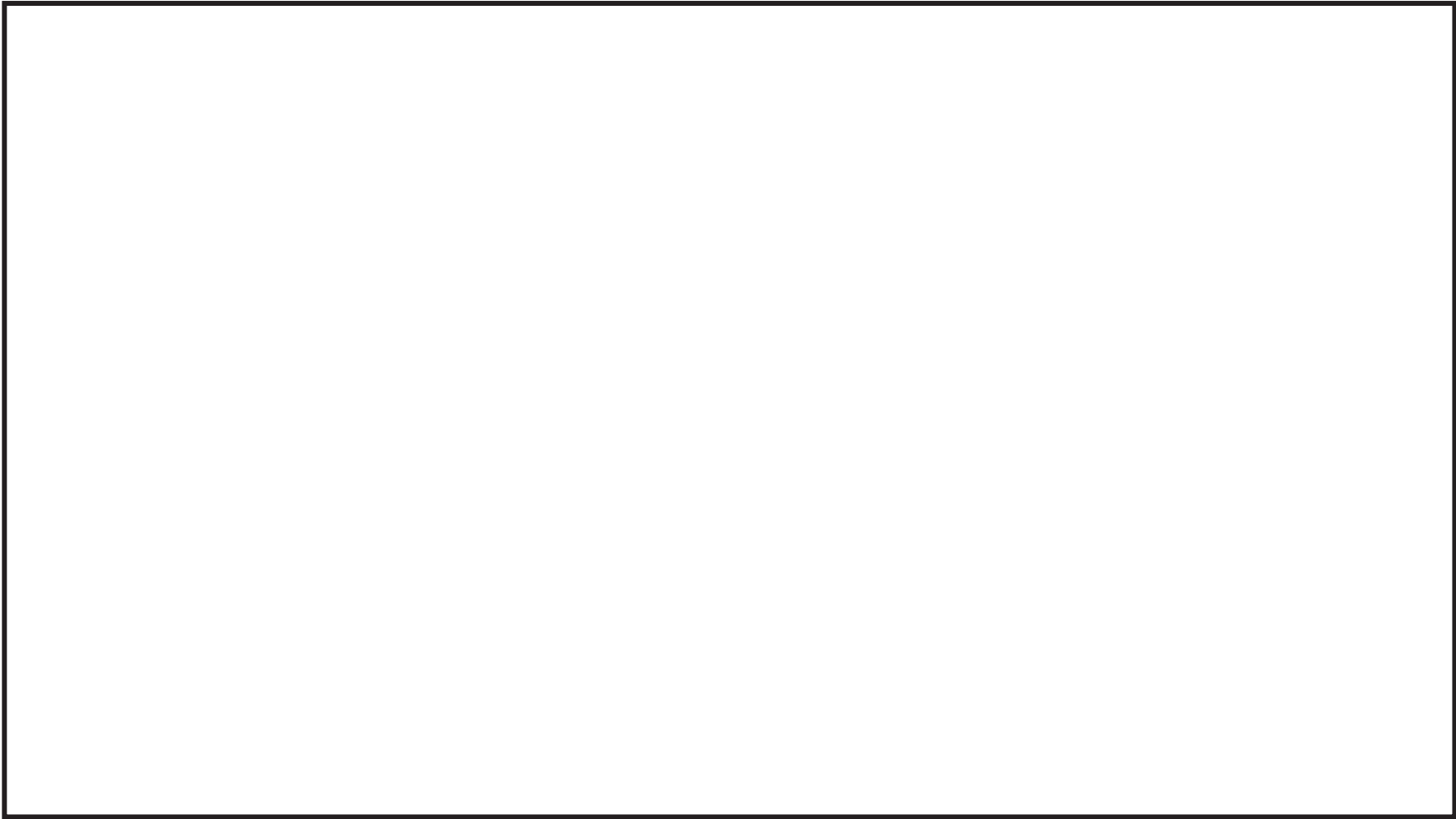


図 3-2 代表的振動モード図(2次)

鳥瞰図	MS-005
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

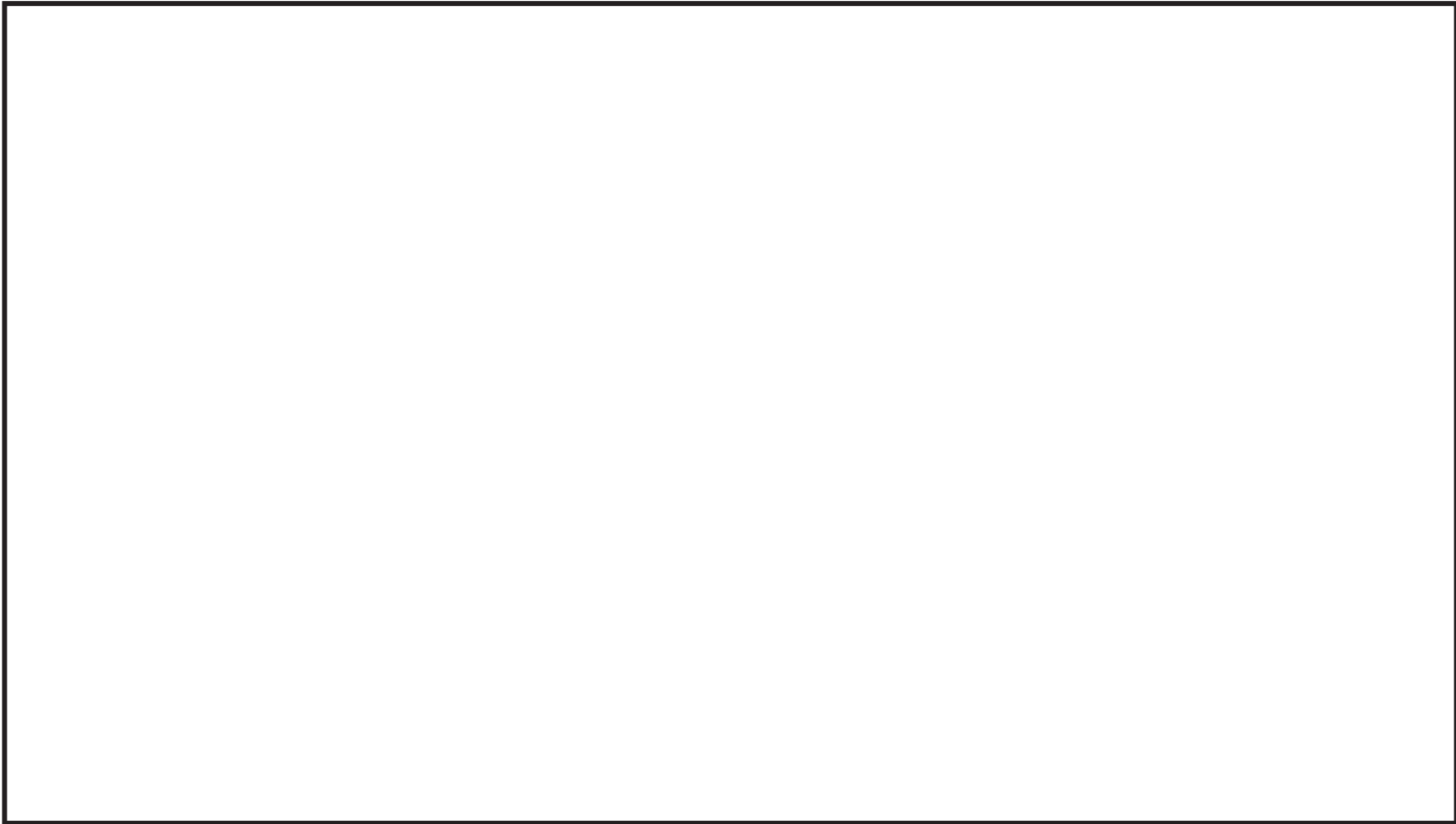


図 3-3 代表的振動モード図(3次)

鳥瞰図	MS-005
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

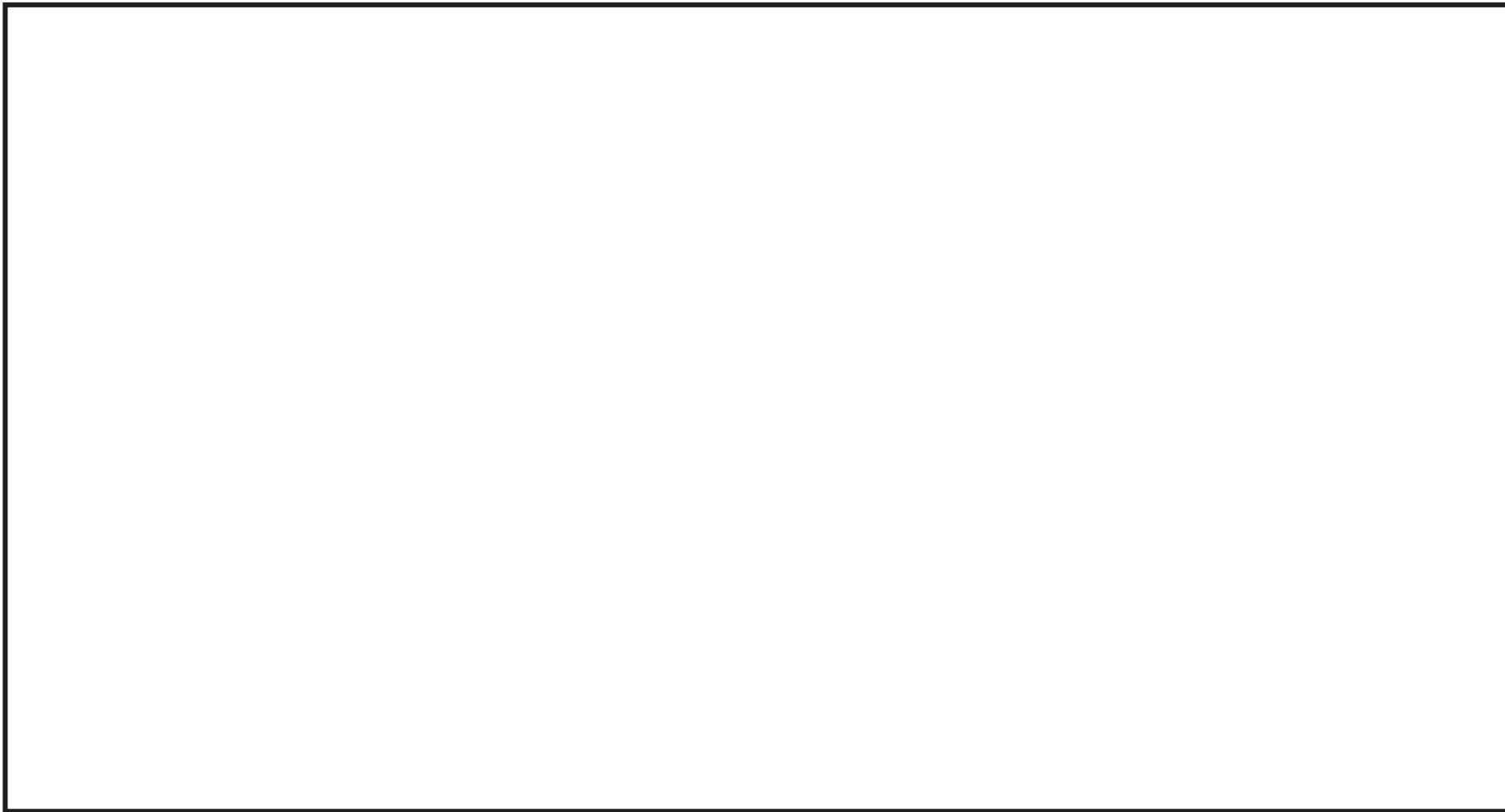


図 4 主蒸気配管モデル（最大応力点）

鳥瞰図	MS-005
-----	--------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。