

美浜3号炉－耐震－3

<p>タイトル</p>	<p>耐震Sクラスの機器を支持する主要部位（建屋、内部コンクリート等）における、基準地震動Ss-1と代表基準地震動（Ss-3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21）による地震応答の比較（最大応答加速度、加速度応答スペクトル）について</p>
<p>説明</p>	<p>内部コンクリート（I/C）、外部遮蔽建屋（O/S）、原子炉建屋基礎、および原子炉補助建屋（A/B）について、基準地震動Ss-1および代表基準地震動（Ss-3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21）による最大床応答加速度の比較を添付1に示す。</p> <p>また、耐震Sクラス機器を支持する主要部位（IC20、IC21、OS01、OS02、AE07、AB08）における床応答スペクトルの比較を添付2に示す。</p> <p>なお、比較表／図における各地震波の名称は下記の通りです。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Ss-1 : 基準地震動Ss（水平最大加速度750Gal） ・ Ss-3 : C断層を考慮した地震波 ・ Ss-4 : C断層を考慮した地震波 ・ Ss-6 : C断層を考慮した地震波 ・ Ss-7 : C断層を考慮した地震波 ・ Ss-15 : 大陸棚外縁～B～野坂断層を考慮した地震波 ・ Ss-16 : 大陸棚外縁～B～野坂断層を考慮した地震波 ・ Ss-19 : 安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層を考慮した地震波 ・ Ss-21 : 安島岬沖断層～和布一干飯崎沖断層～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関が原断層を考慮した地震波 <p><添付1></p> <p>Ss-1, 3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21の建屋の解析モデル図および最大応答加速度を示す。</p> <p>【I/C（内部コンクリート）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○水平方向：上2階層でSs-1、下1階層でSs-3が最も大きい加速度を示す。 ○鉛直方向：全ての階層でSs-16が最も大きい加速度を示す。 <p>【O/S（外部遮へい建屋）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○水平方向：一部の階層でSs-3やSs-4が上回る他は、Ss-1が上回っている。 ○鉛直方向：上3階層でSs-1、中4階層でSs-15、下2階層でSs-16が上回っている。 <p>【A/B（原子炉補助建屋）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○水平方向：一部の階層でSs-4、Ss-6、Ss-16が上回る他は、Ss-1とSs-3が上回っている。 ○鉛直方向：全ての階層でSs-1が最も大きい加速度を示す。

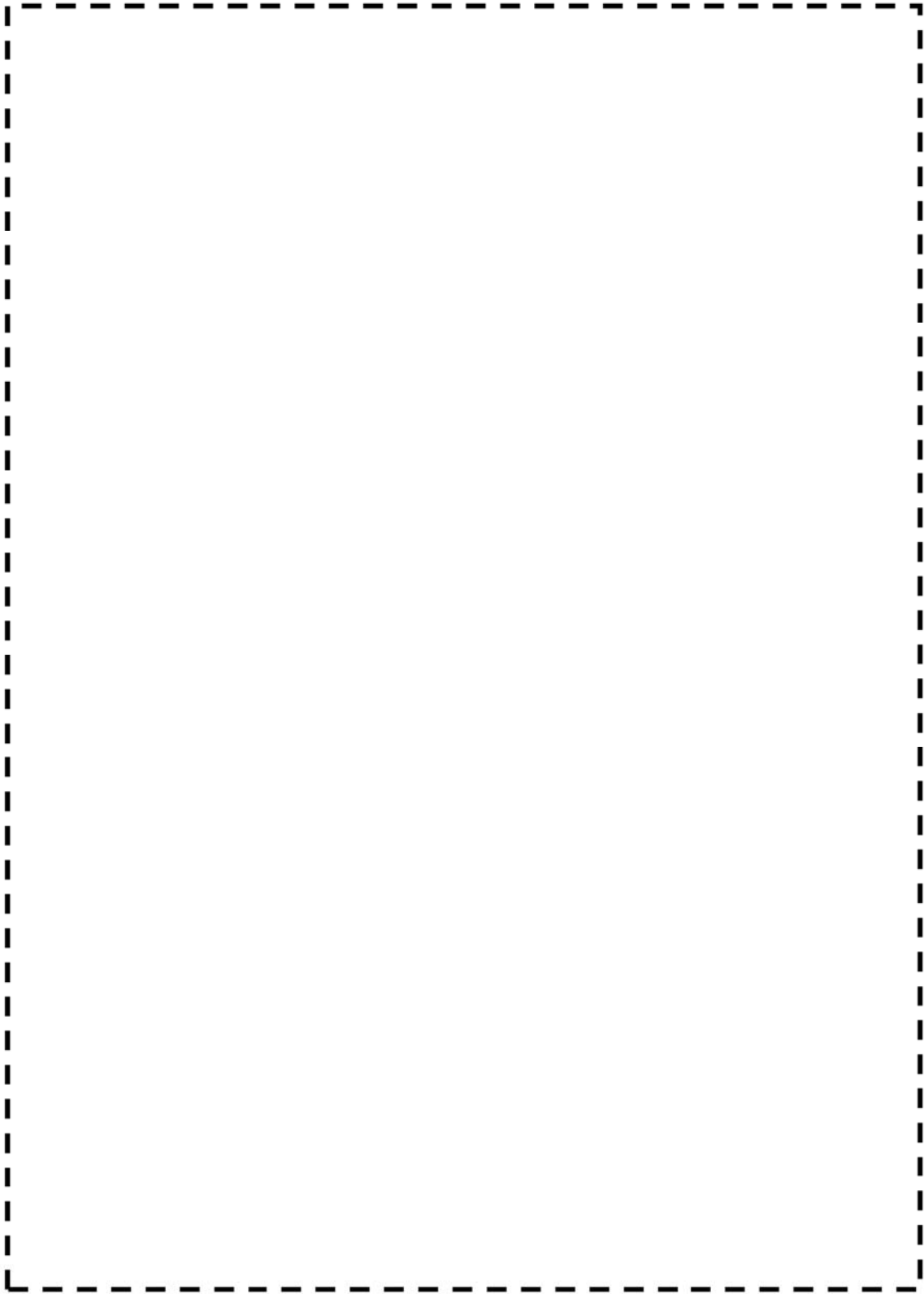
<添付2>

耐震Sクラス機器を支持する主要部位（IC20（EL+23.8m）, IC21（EL+32.1m）, OS01（EL+17.0m）, OS02（EL+24.0m）, AB07（EL+17.0m）, AB08（EL+24.0m））における各地震波の床応答スペクトル（方向：水平・鉛直、減衰定数：1.0%）の比較を示す。

<添付3>

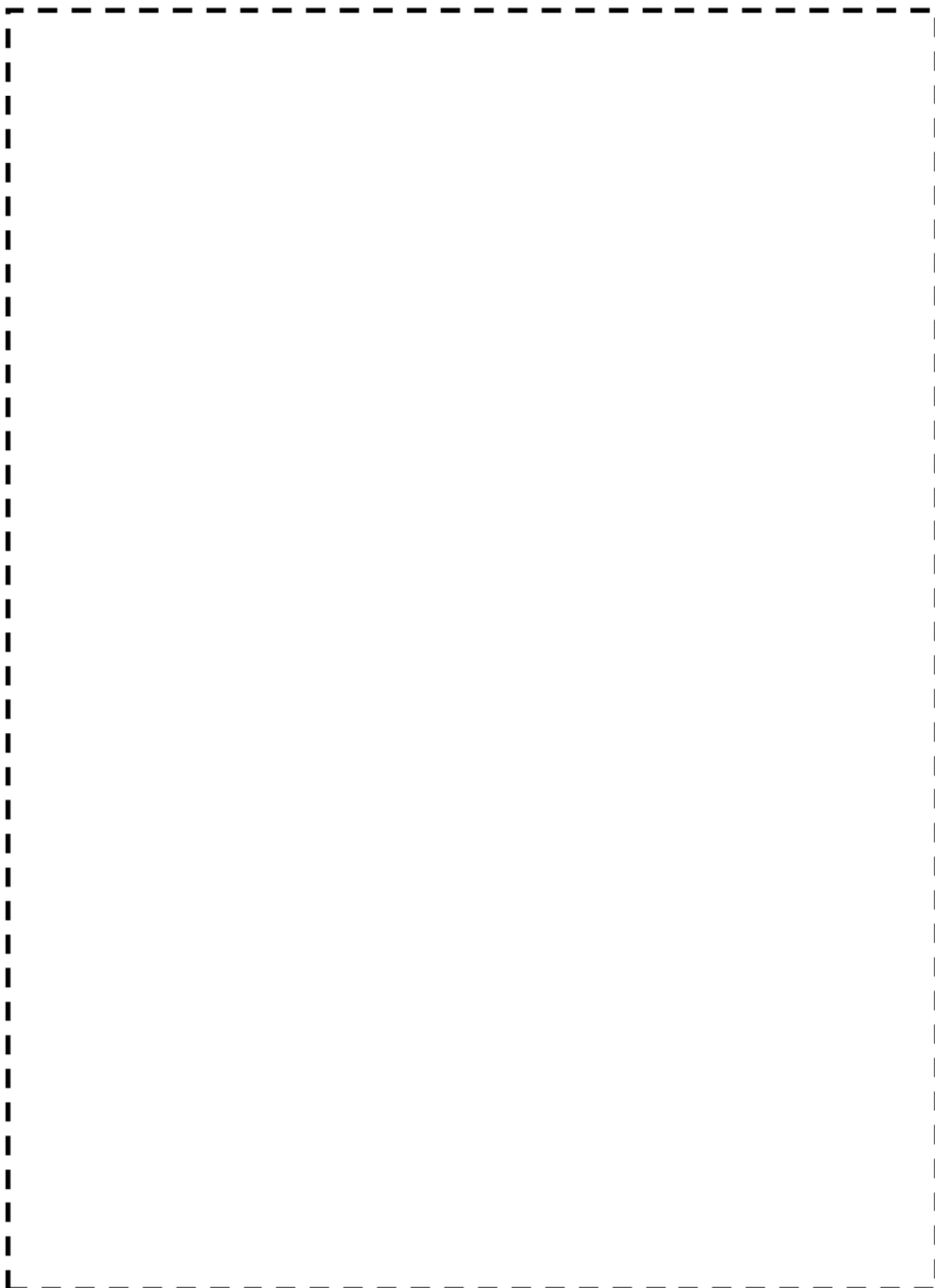
Ss-1, 3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21による最大床応答加速度をグラフ化して比較を示す。

以上



美浜3号機 原子炉建屋の解析モデル図 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



美浜3号機 原子炉建屋の解析モデル図 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

最大床芯寄加速度(G)

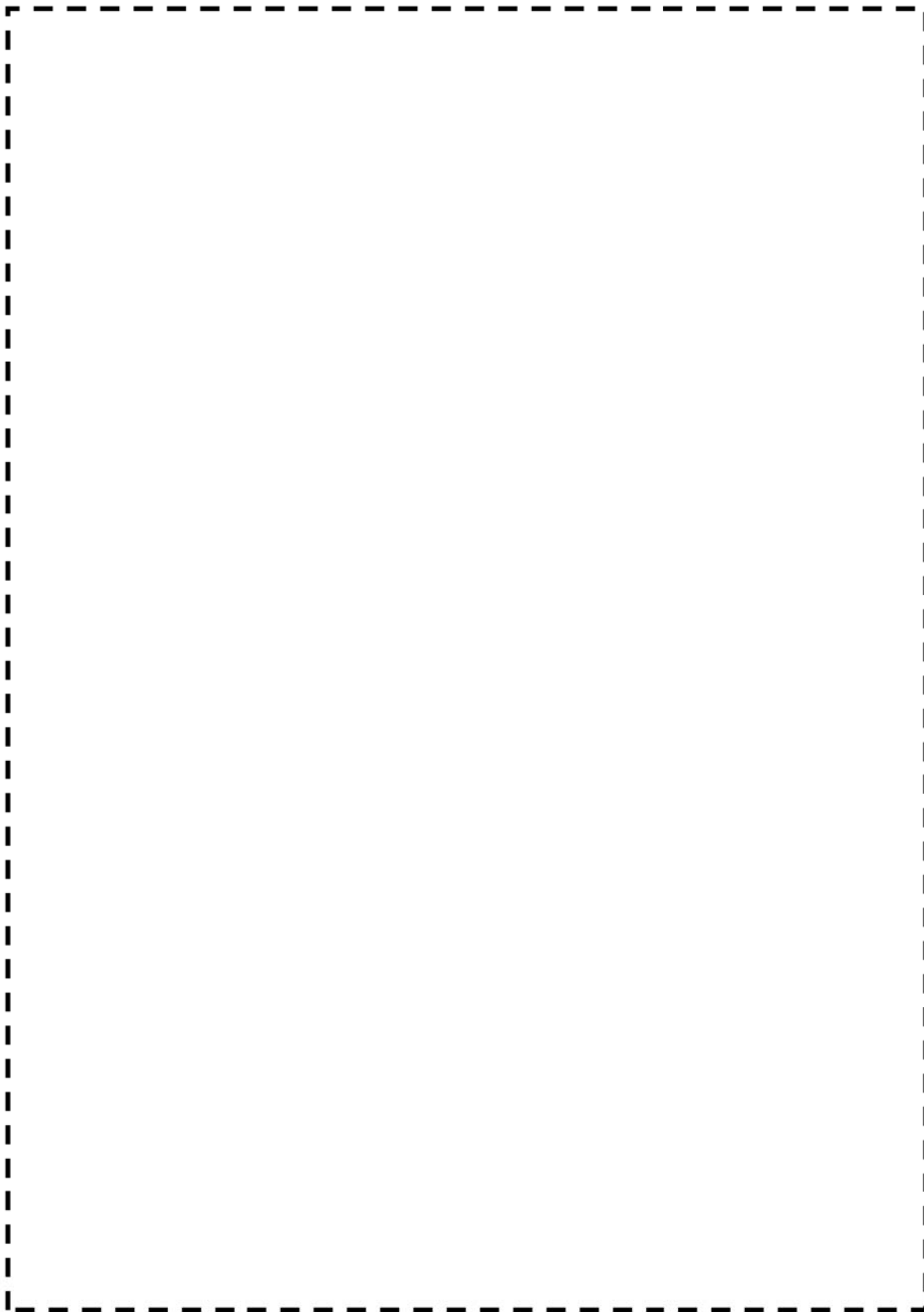
建屋	質点番号(節点)	質点高さEL(m)	Ss-1		Ss-3		Ss-4		Ss-6		Ss-7		Ss-15		Ss-16		Ss-19		Ss-21		
			NS方向 (Y方向)	EW・NS 方向包絡 (Y方向)	NS方向 (Y方向)	EW・NS 方向包絡 (Y方向)	NS方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW・NS 方向包絡 (Y方向)	NS方向 (Y方向)	EW・NS 方向包絡 (Y方向)	NS方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW・NS 方向包絡 (Y方向)	NS方向 (Y方向)
外部しゃへい健康屋	OS09	86.8																			
	OS08	76.8																			
	OS07	66.0																			
	OS06	57.6																			
	OS05	49.2																			
	OS04	40.8																			
	OS03	32.3																			
	OS02	24.0																			
	OS01	17.0																			
	原子炉格納容器	CV18	82.4																		
CV17		74.4																			
CV16		66.4																			
CV15		58.4																			
CV14		50.4																			
CV13		42.4																			
CV12		34.4																			
CV11		26.4																			
CV10		17.0																			
内部リフト		IC21	32.1																		
	IC20	23.8																			
	IC19	16.7																			
基礎	BS41	5.30																			
	SG36	34.77																			

: Ss-1, 3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21のうち最大の値
 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

建屋	質点番号 ()節点	質点 高さ EL. (m)	最大床応答加速度 (G)																	
			Ss-1	Ss-3	Ss-4	Ss-6	Ss-7	Ss-15	Ss-16	Ss-19	Ss-21									
			UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)									
外部しゃへい建屋	OS09	86.8																		
	OS08	76.8																		
	OS07	66.0																		
	OS06	57.6																		
	OS05	49.2																		
	OS04	40.8																		
	OS03	32.3																		
	OS02	24.0																		
	OS01	17.0																		
原子炉格納容器	CV18	82.4																		
	CV17	74.4																		
	CV16	66.4																		
	CV15	58.4																		
	CV14	50.4																		
	CV13	42.4																		
	CV12	34.4																		
	CV11	26.4																		
	CV10	17.0																		
内部コンク	IC21	32.1																		
	IC20	23.8																		
	IC19	16.7																		
基礎	BS41	5.30																		
器 発蒸生気	SG36	34.77																		

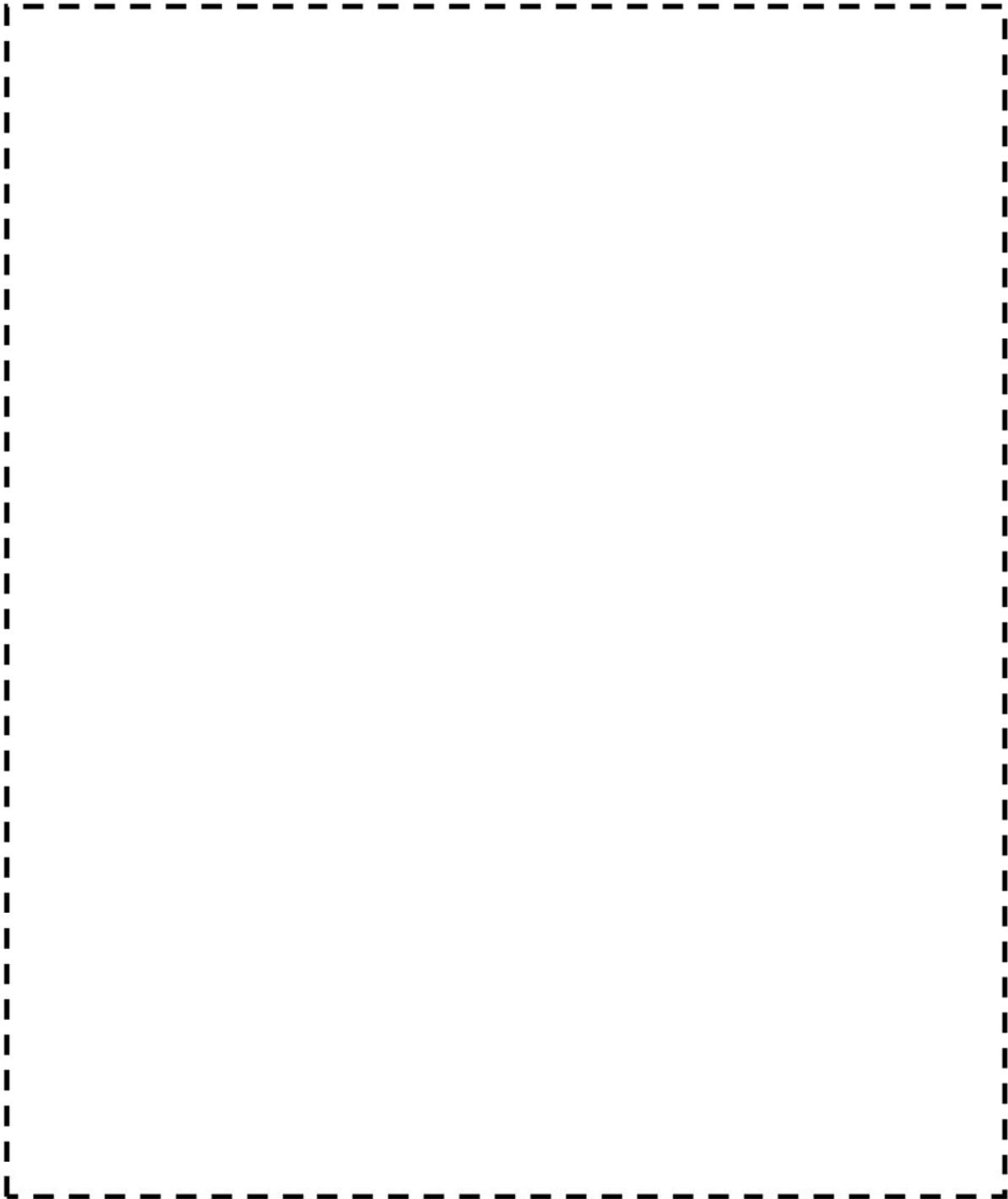
 : Ss-1, 3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21のうち最大の値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



美浜3号機 原子炉補助建屋の解析モデル図 (水平方向)


枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



美浜3号機 原子炉補助建屋の解析モデル図 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

建屋	質点番号 (節点)	質点高さ EL. (m)	最大床応答加速度 (G)																	
			Ss-1	Ss-3	Ss-4	Ss-6	Ss-7	Ss-15	Ss-16	Ss-19	Ss-21									
			UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)	UD方向 (V方向)								
燃料取扱建屋	AB14	52.88																		
	AB13	44.75																		
	AB12	40.8																		
補助建屋	AB11	40.8																		
	AB10	40.8																		
	AB09	32.3																		
	AB08	24.0																		
	AB07	17.0																		
建中屋間	AB06	32.3																		
制御建屋	AB05	24.0																		
	AB03	17.0																		
	AB01	11.0																		
デイズェル建屋	AB15	17.0																		
	AB04	17.0																		
	AB02	11.0																		

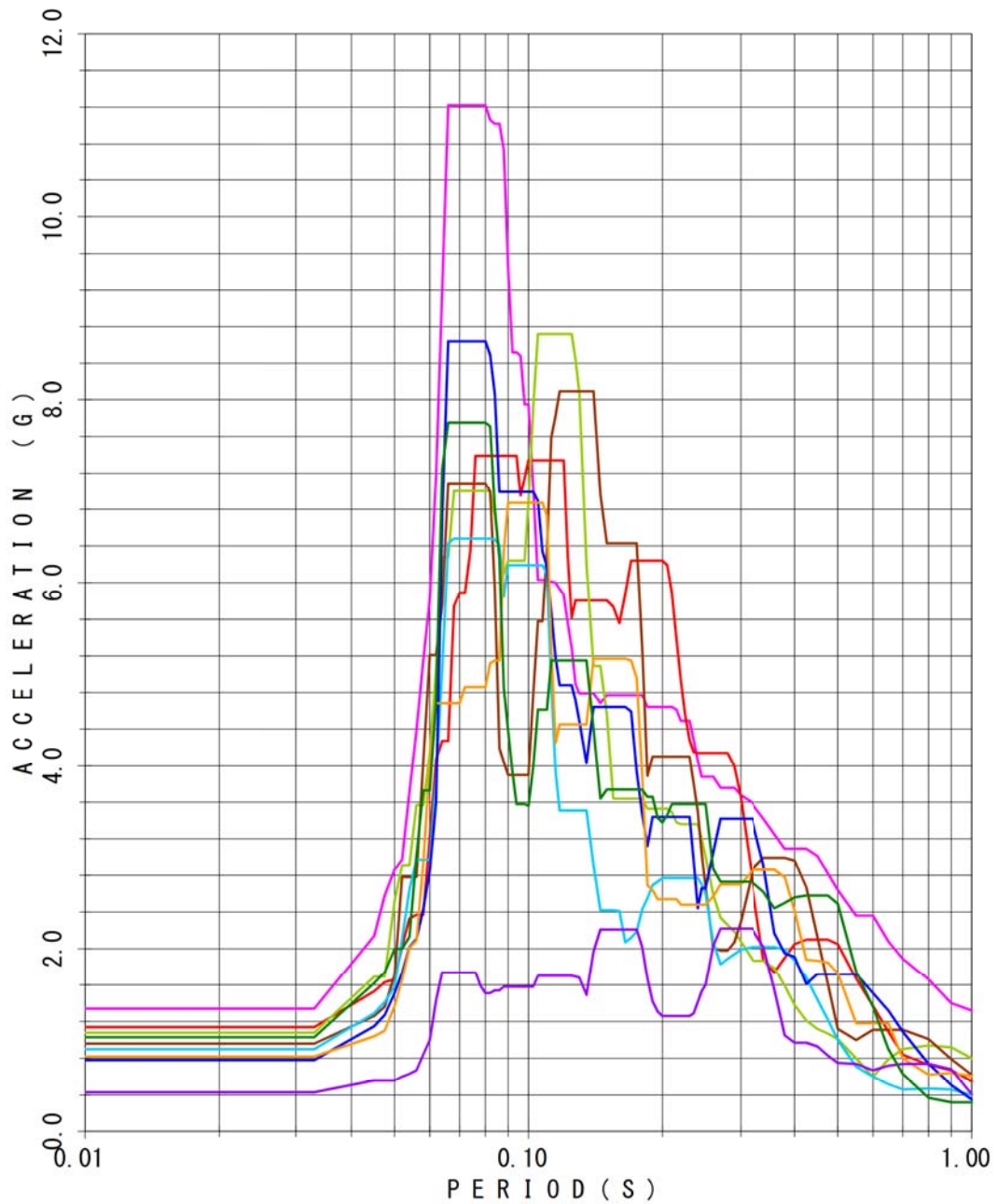
 : Ss-1, 3, 4, 6, 7, 15, 16, 19, 21のうち最大の値

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

1. 内部コンクリートの床応答スペクトル

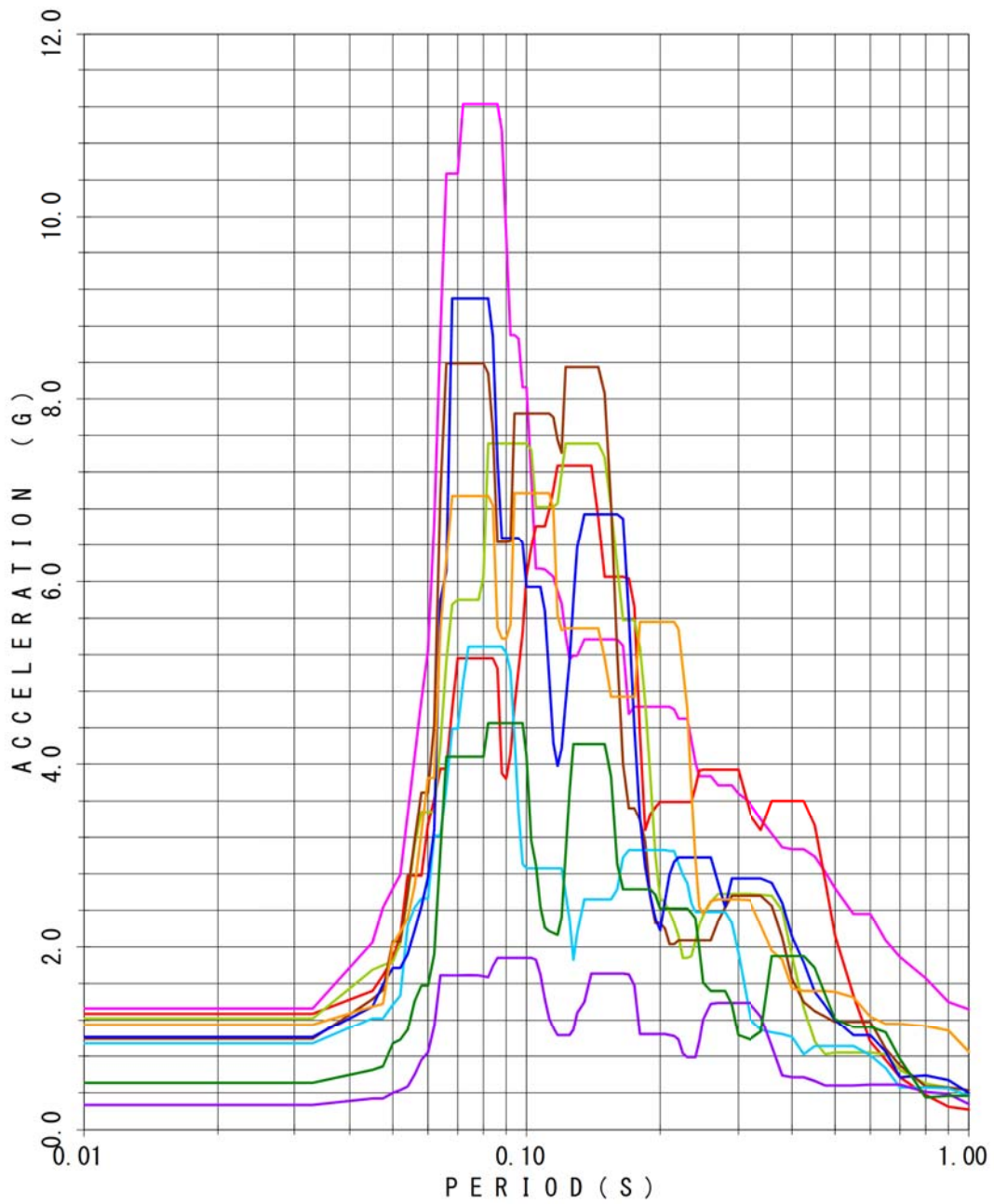
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: X	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: IC	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 23.800M #IC20	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



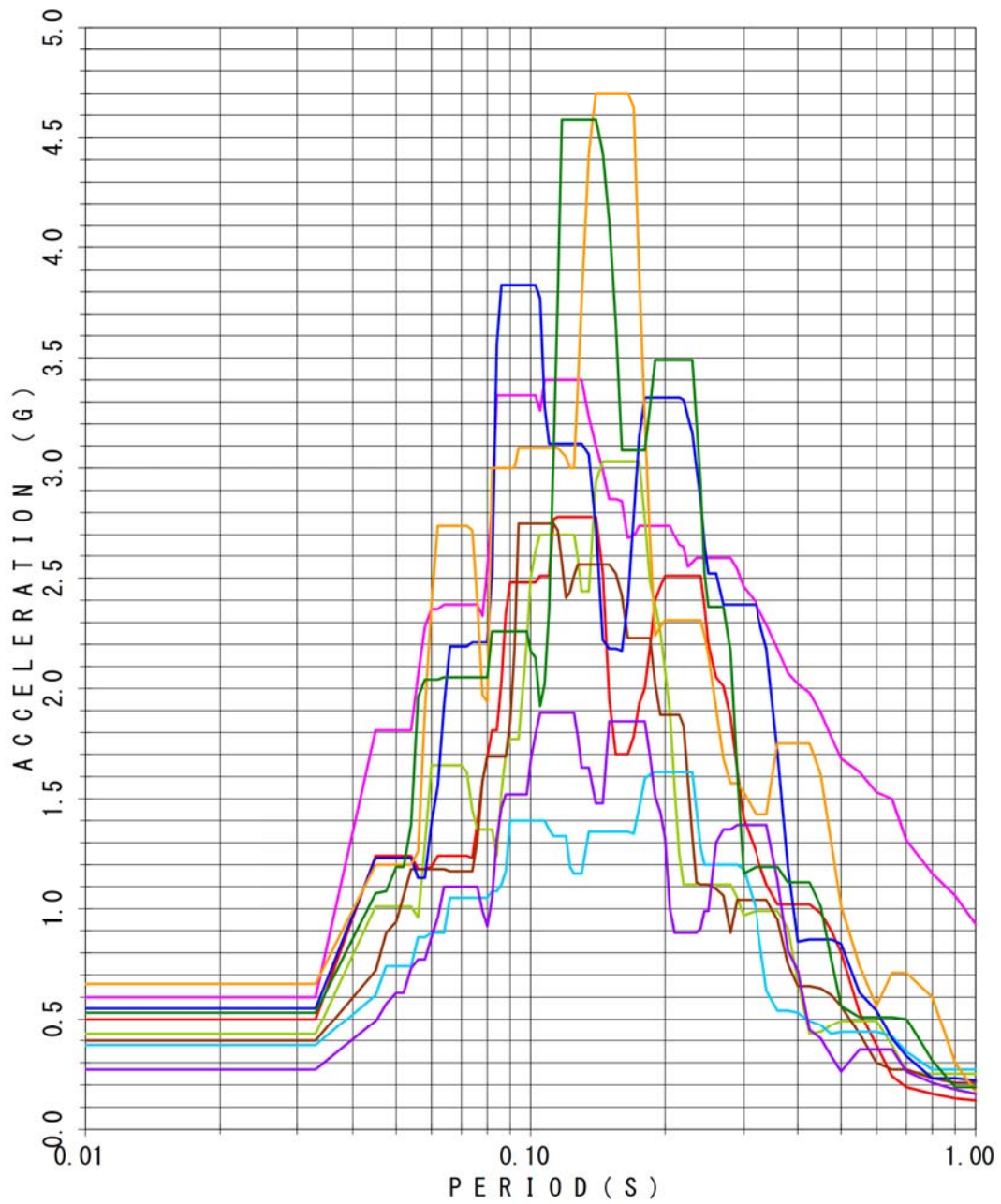
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: Y	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: IC	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 23.800M #IC20	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



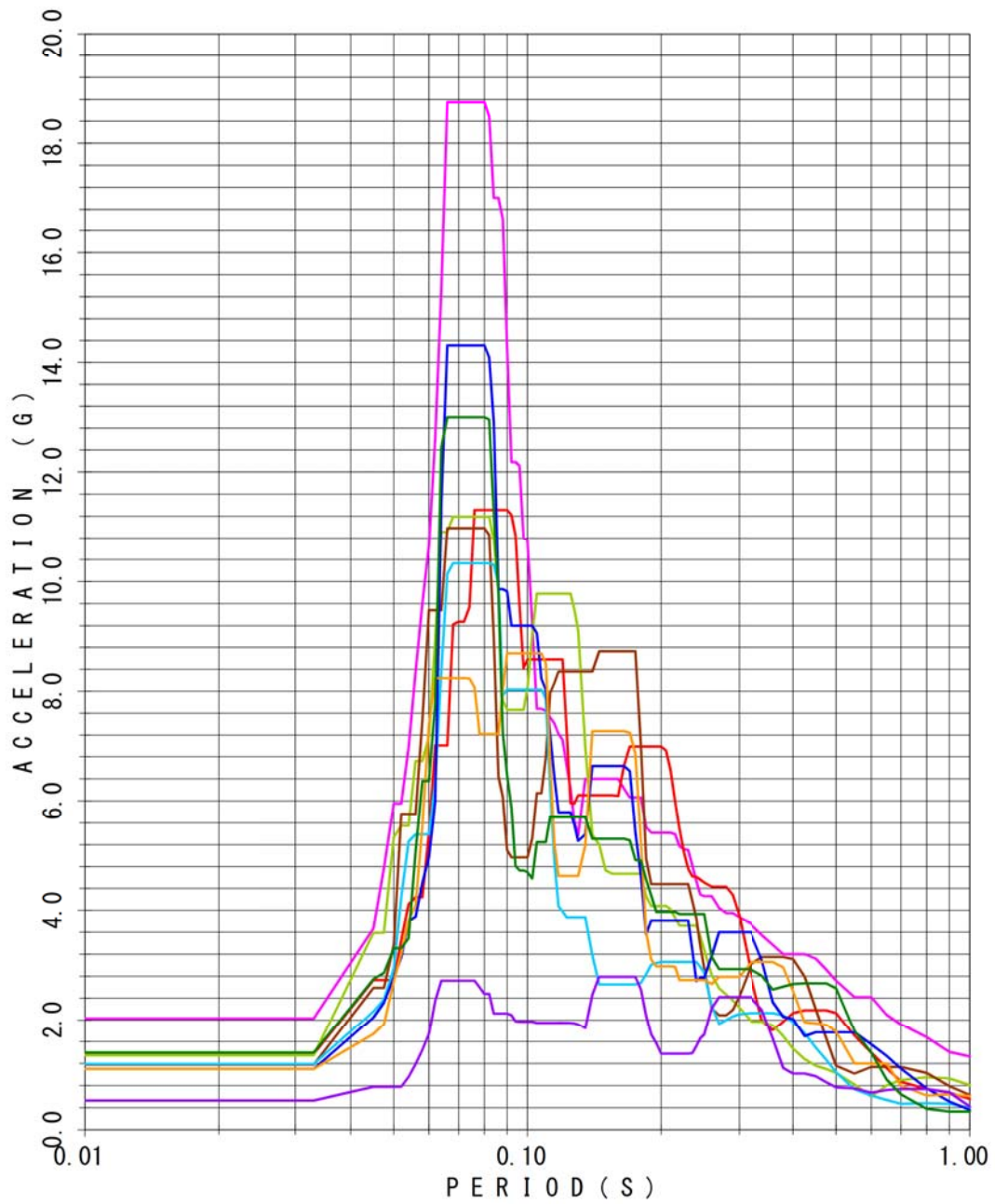
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: V	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: IC	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 23.800M #IC20	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



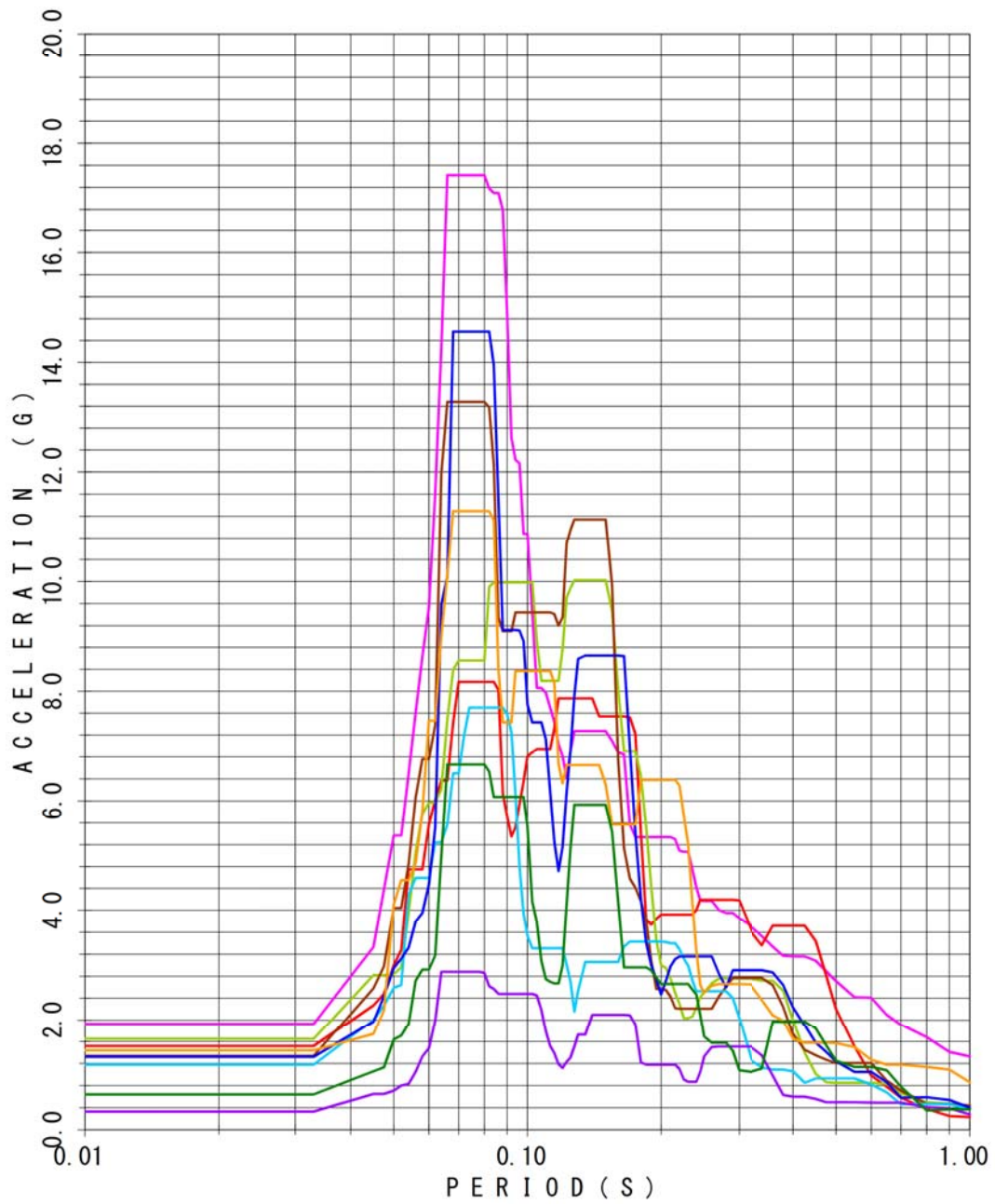
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: X	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: IC	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 32.100M #IC21	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



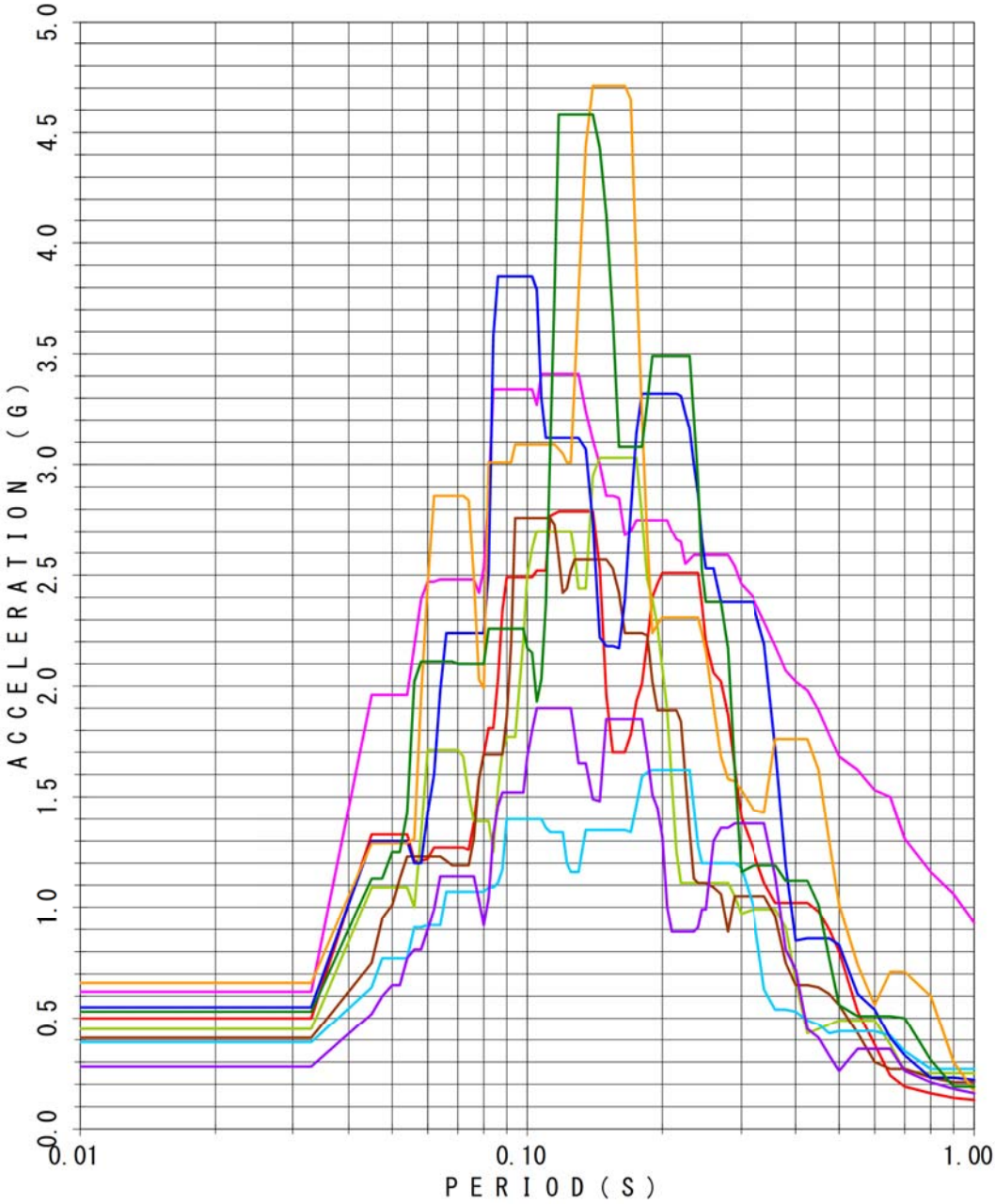
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: Y	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: IC	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 32.100M #IC21	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

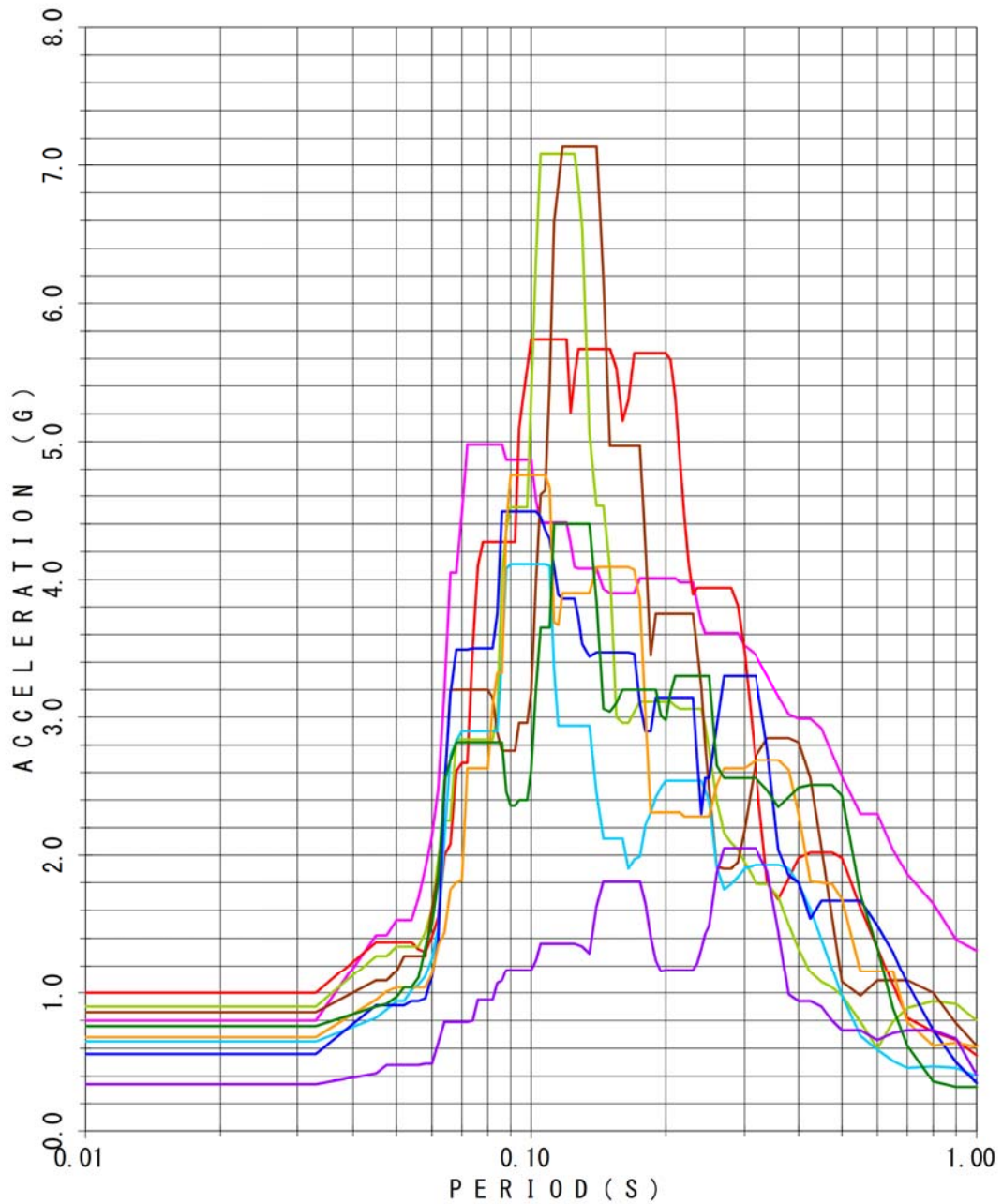
UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: V	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: IC	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 32.100M #IC21	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



2. 外部遮へい建屋の床応答スペクトル

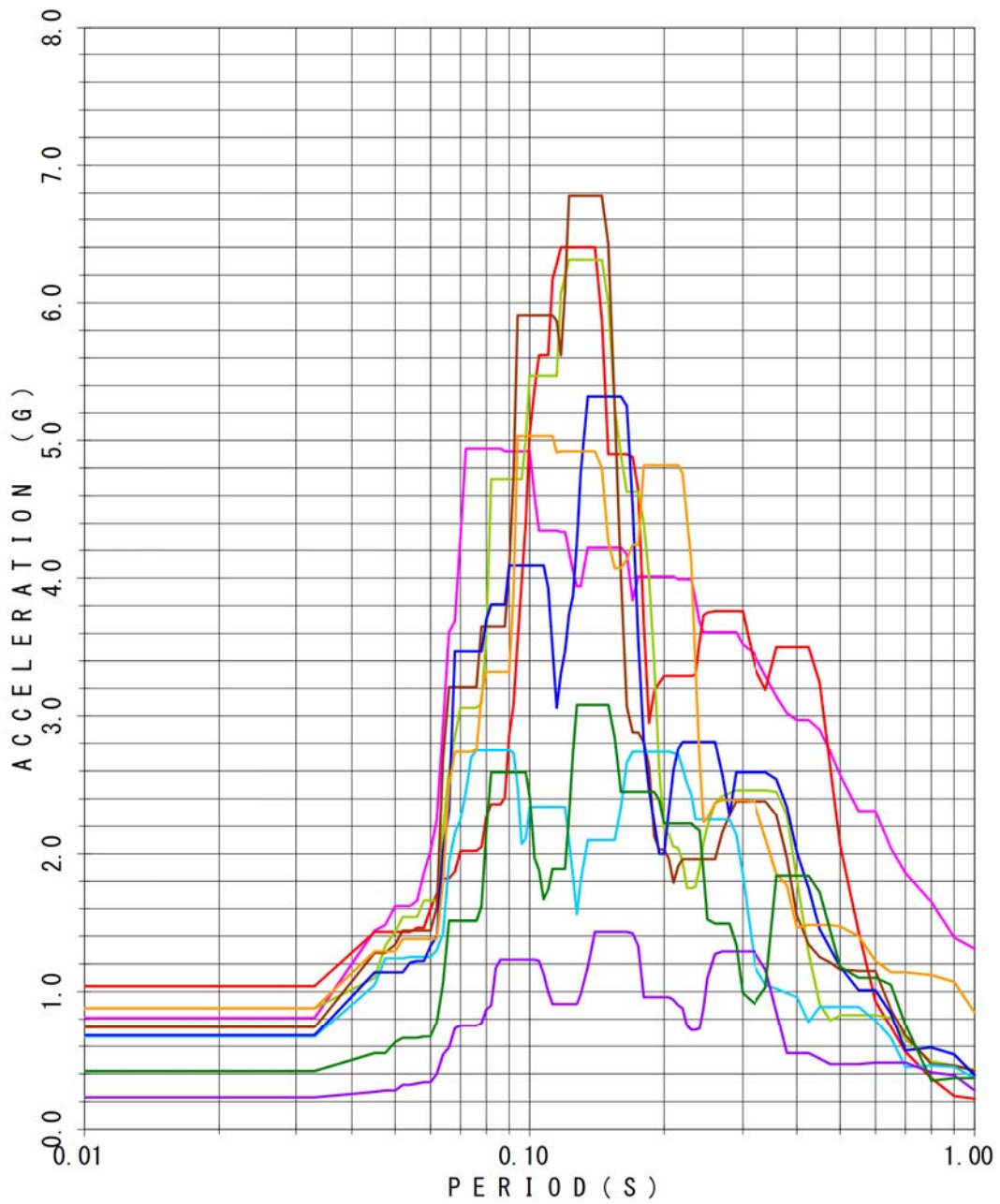
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: X	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: OS	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 17.000M #OS01	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



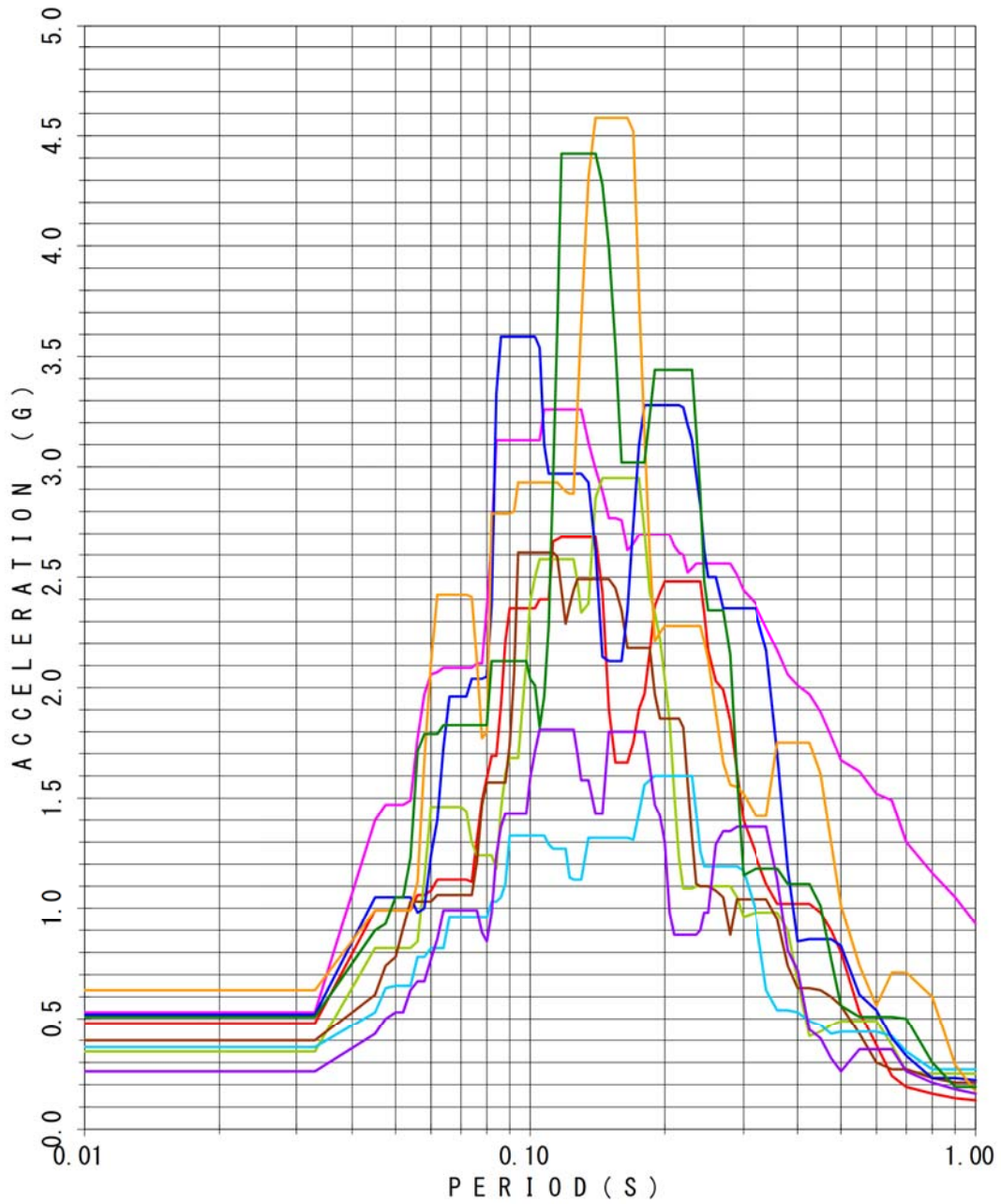
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: Y	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: OS	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 17.000M #OS01	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



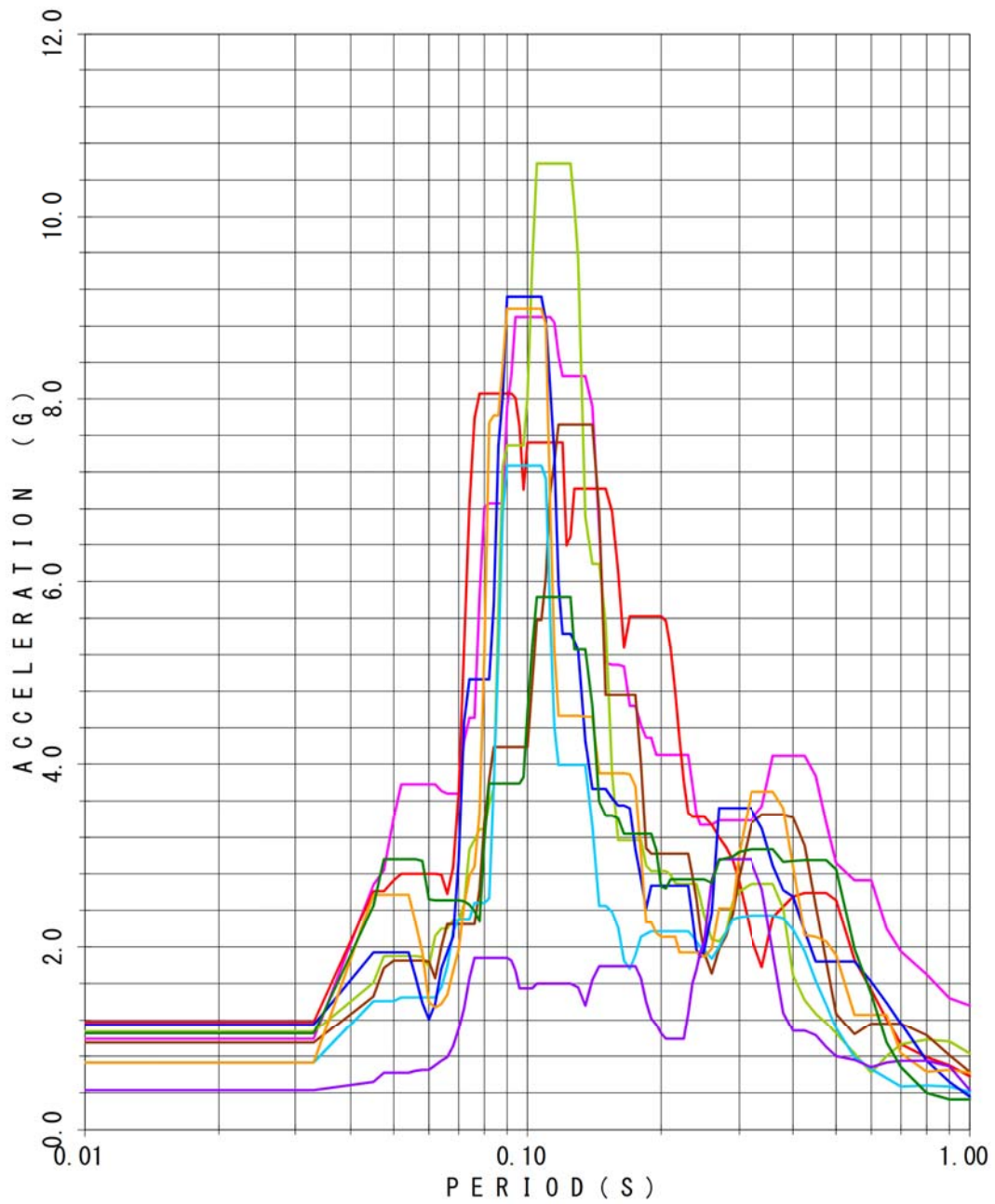
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: V	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: OS	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 17.000M #OS01	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



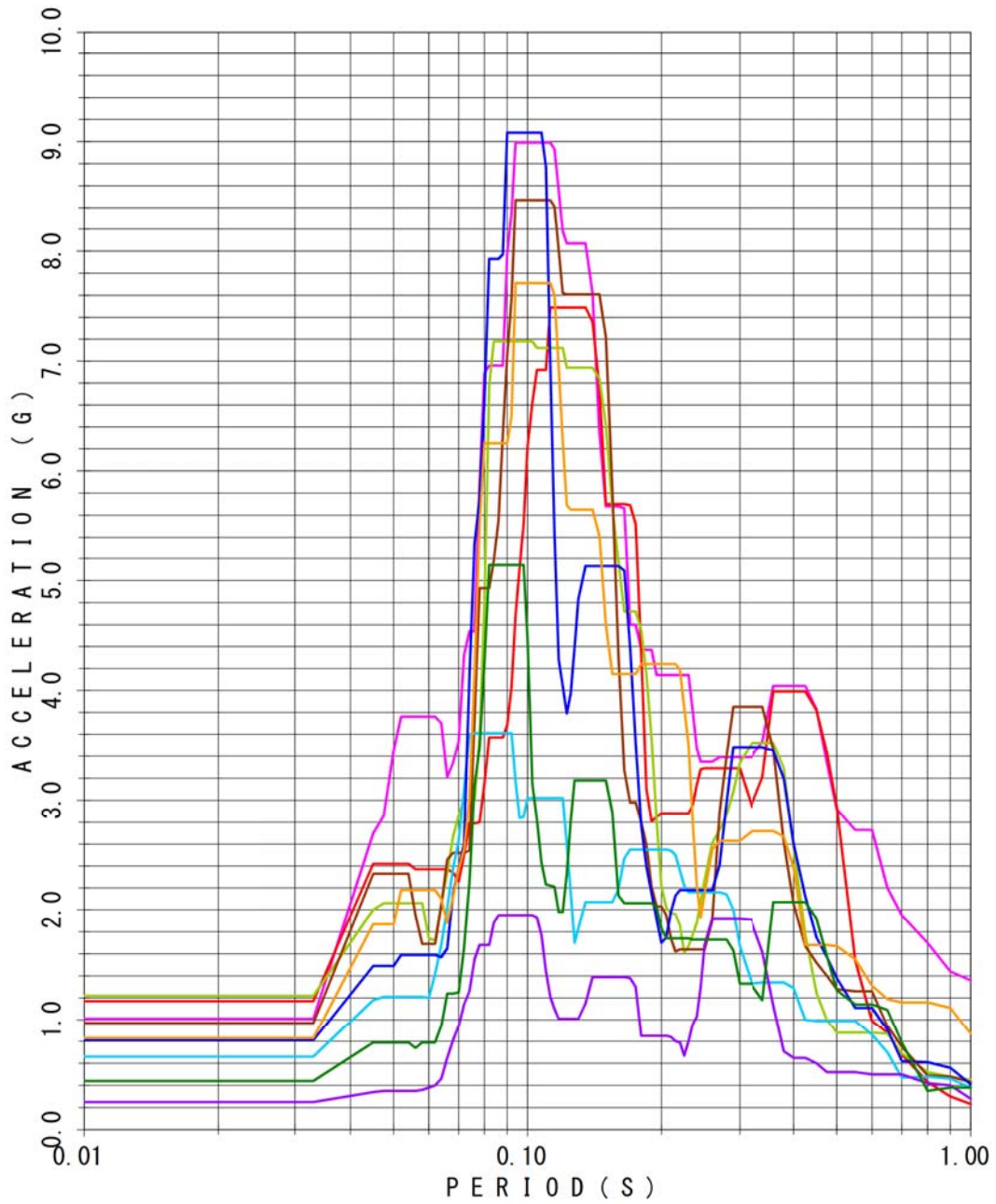
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: X	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: OS	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 24.000M #OS02	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



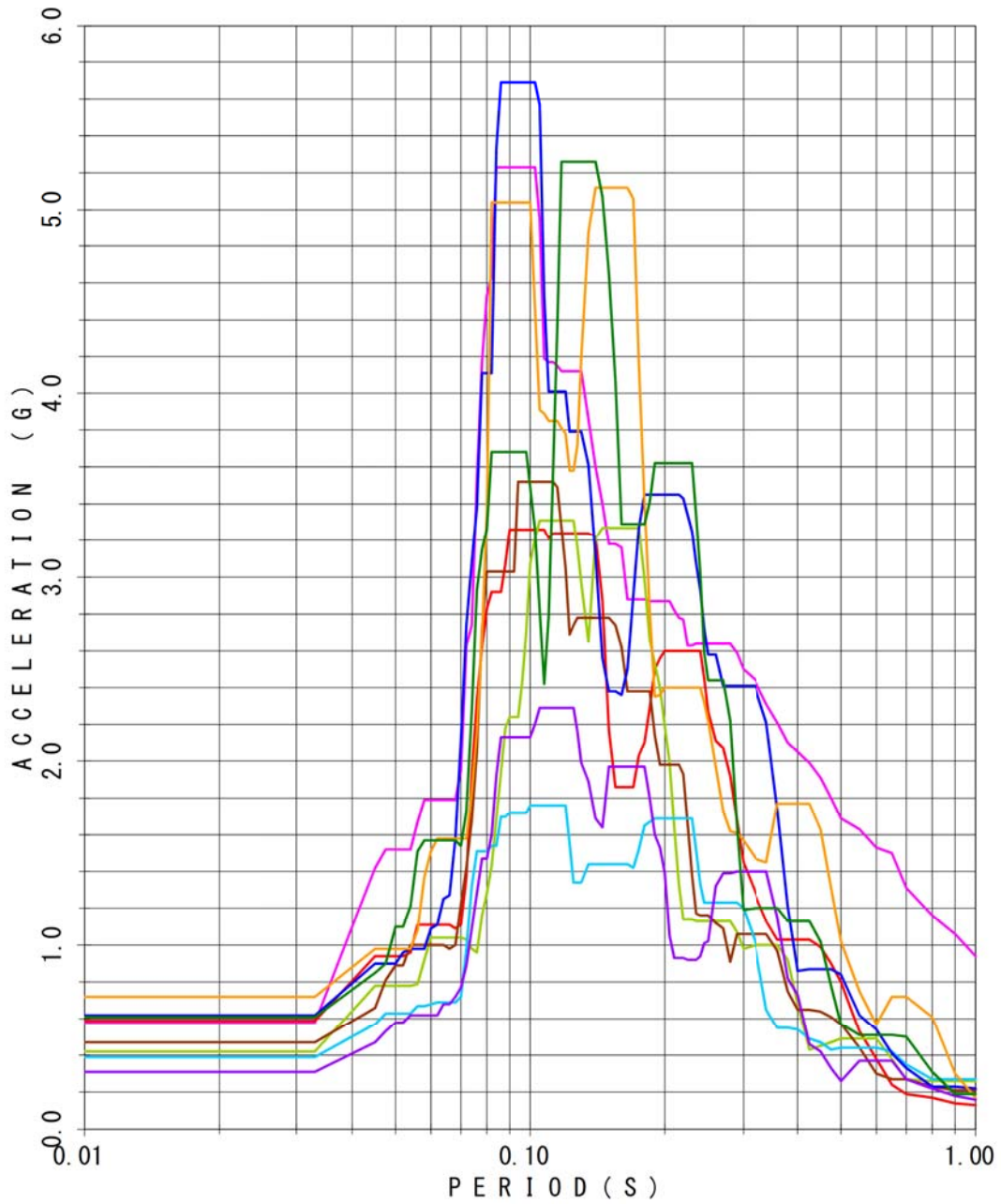
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: Y	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: OS	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 24.000M #OS02	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

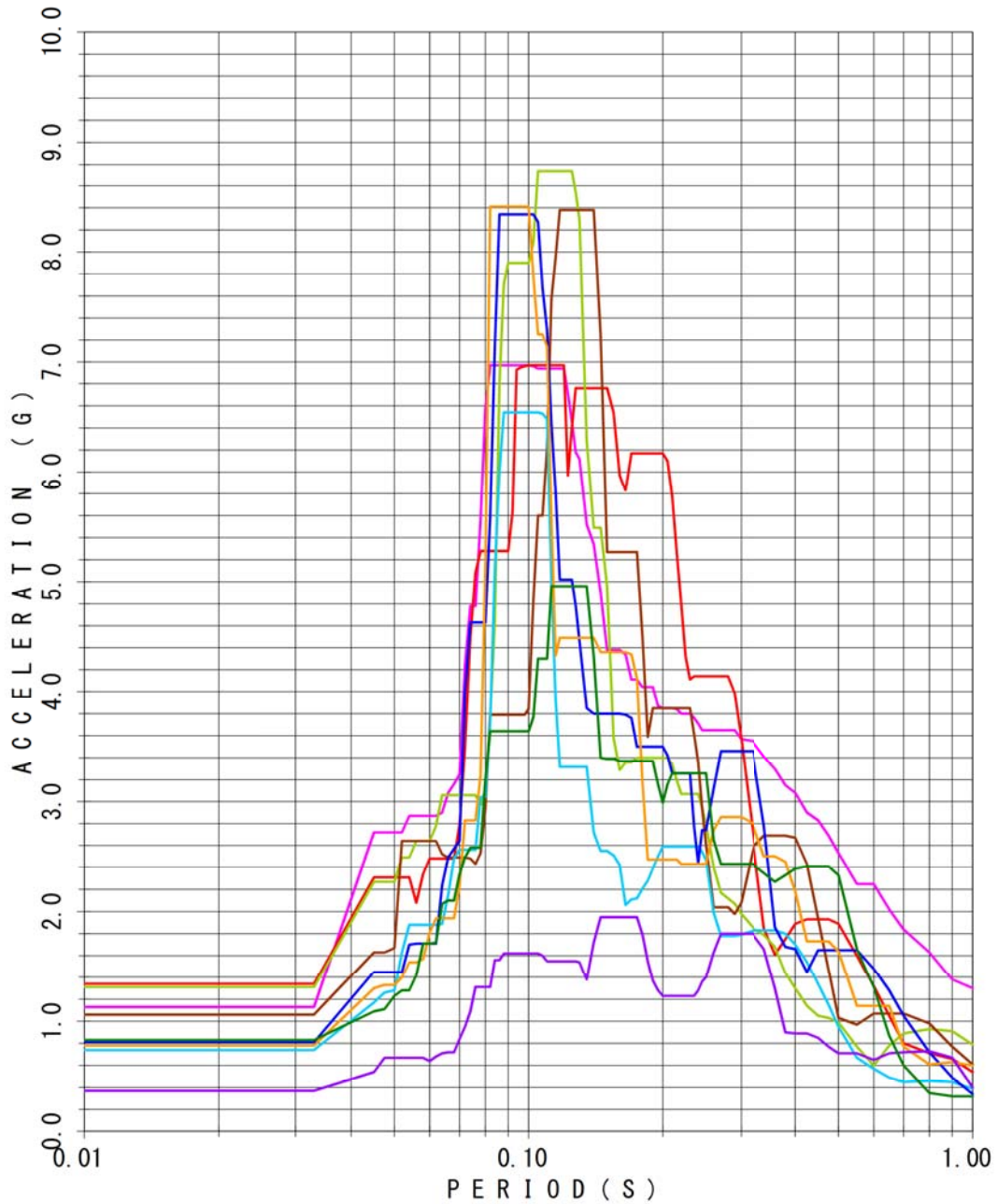
UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: V	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: OS	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 24.000M #OS02	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



3. 原子炉補助建屋の床応答スペクトル

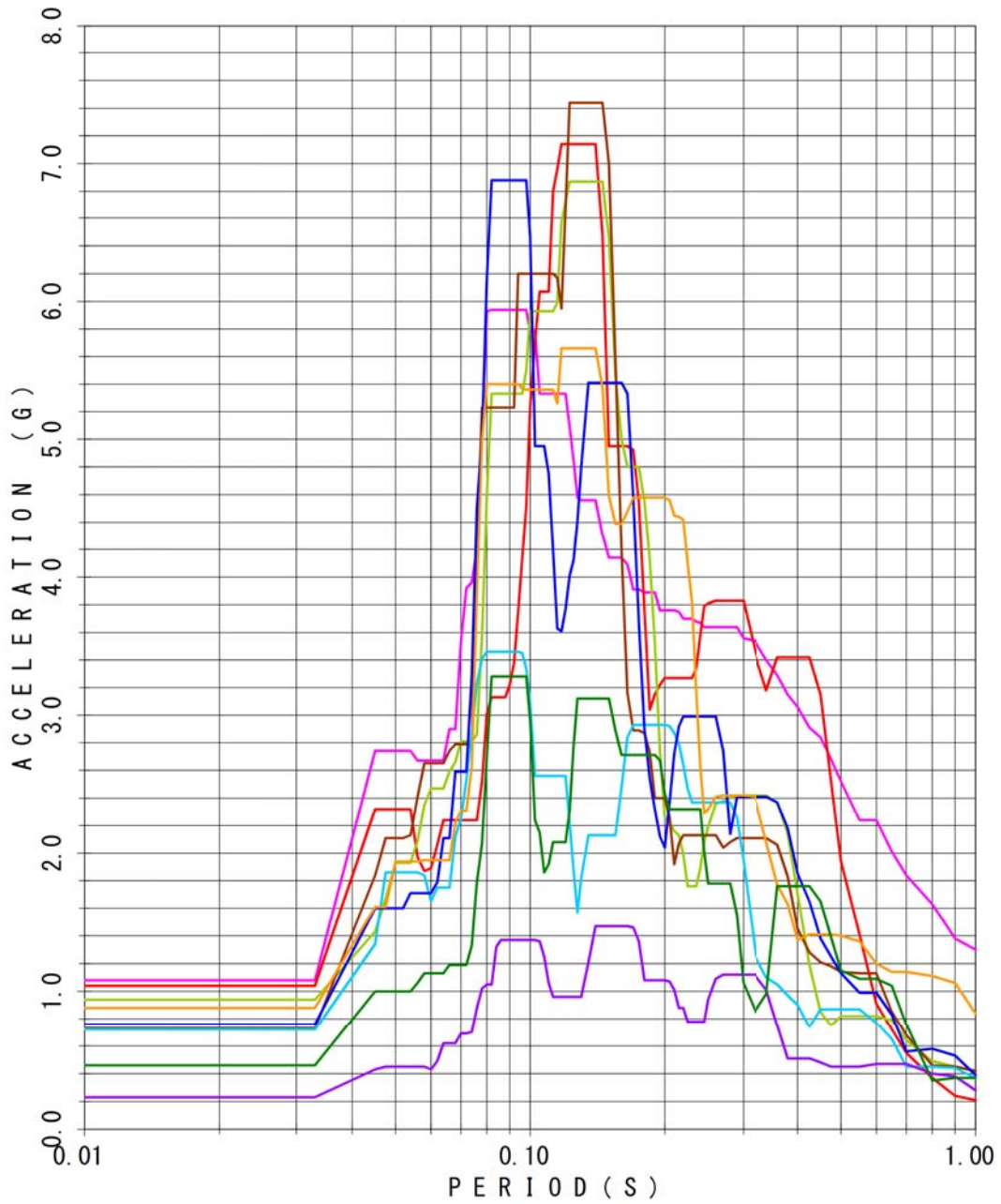
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: X	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: AB	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 17.000M #AB07	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



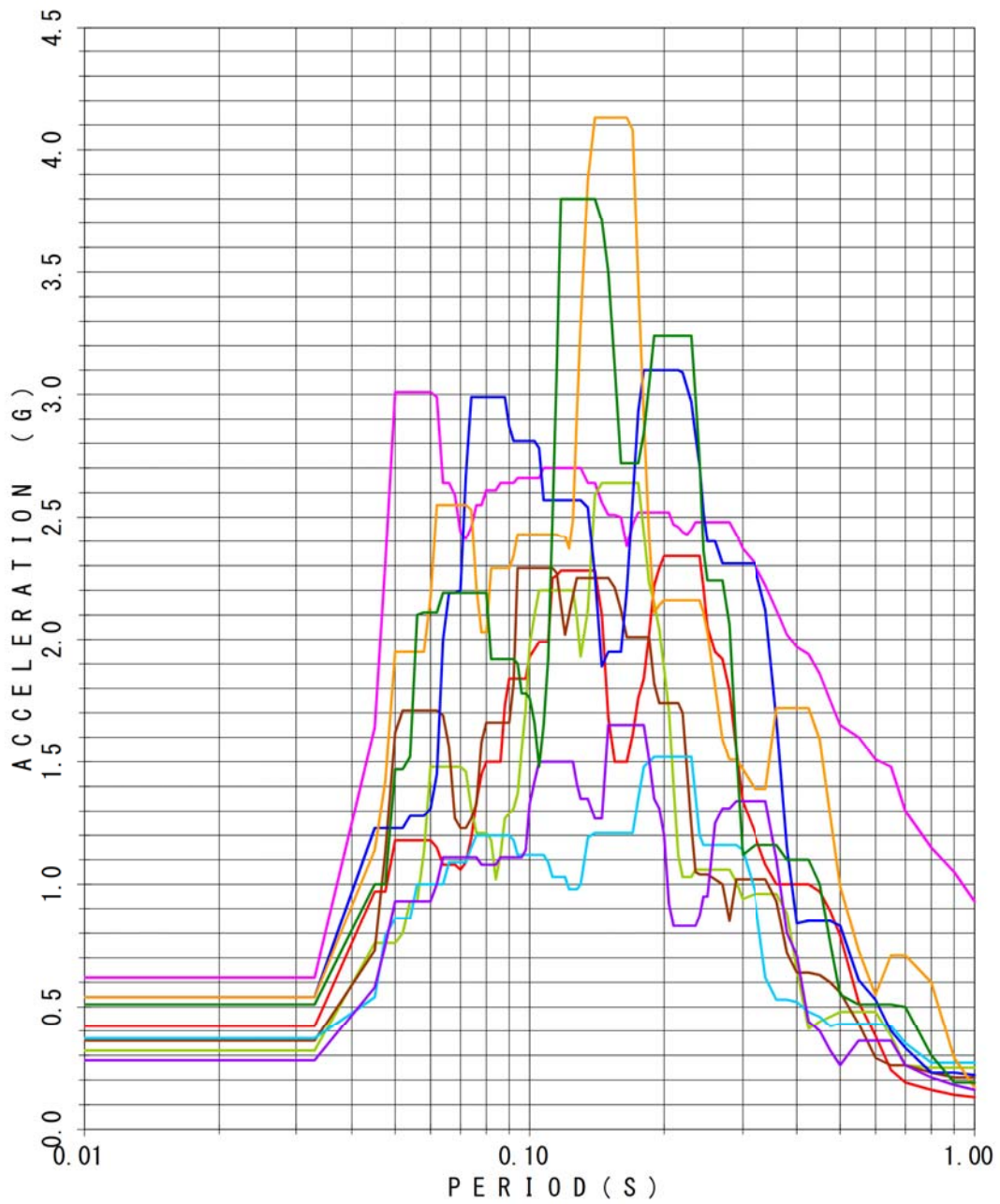
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: Y	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: AB	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 17.000M #AB07	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



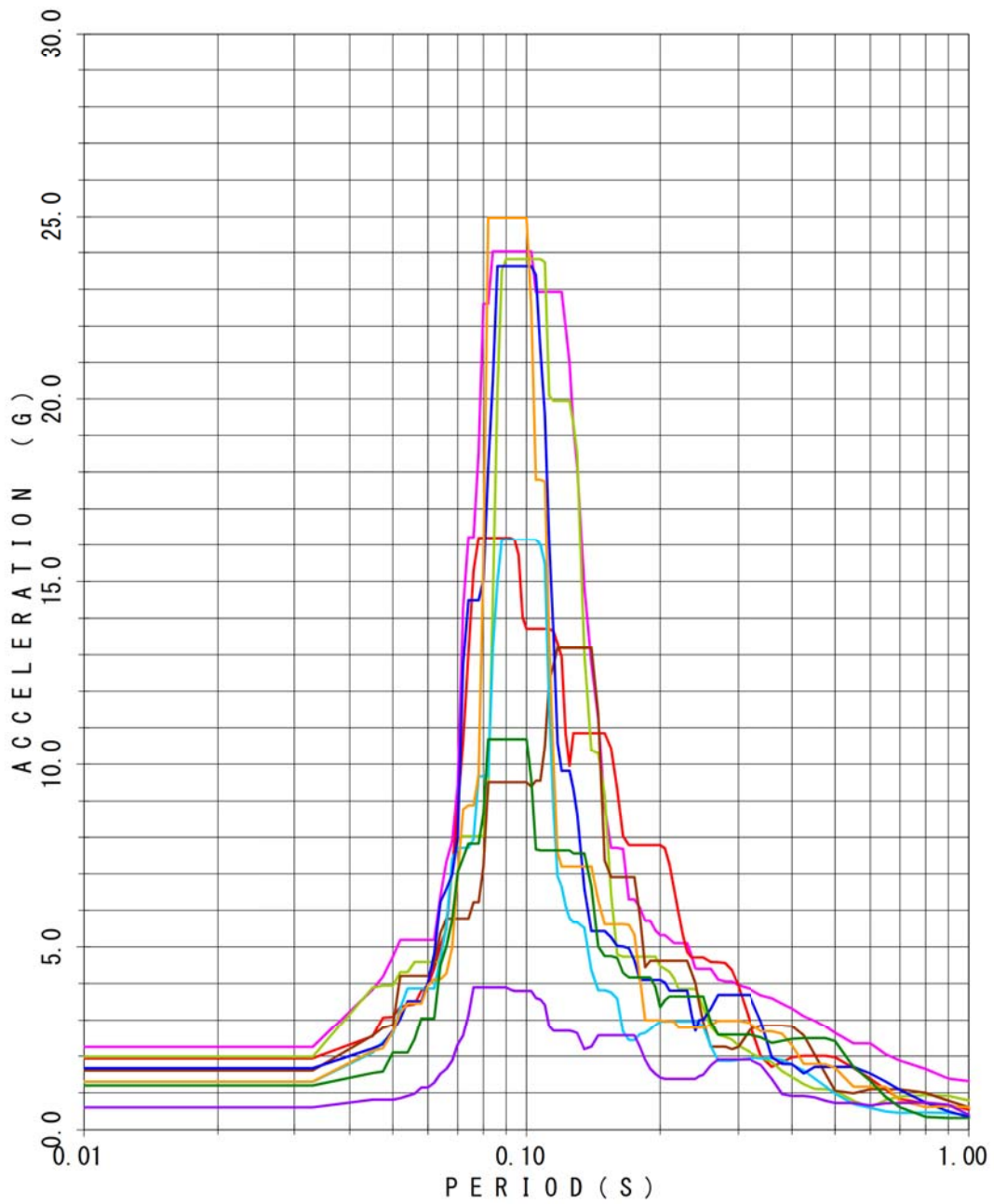
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: V	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: AB	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 17.000M #AB07	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



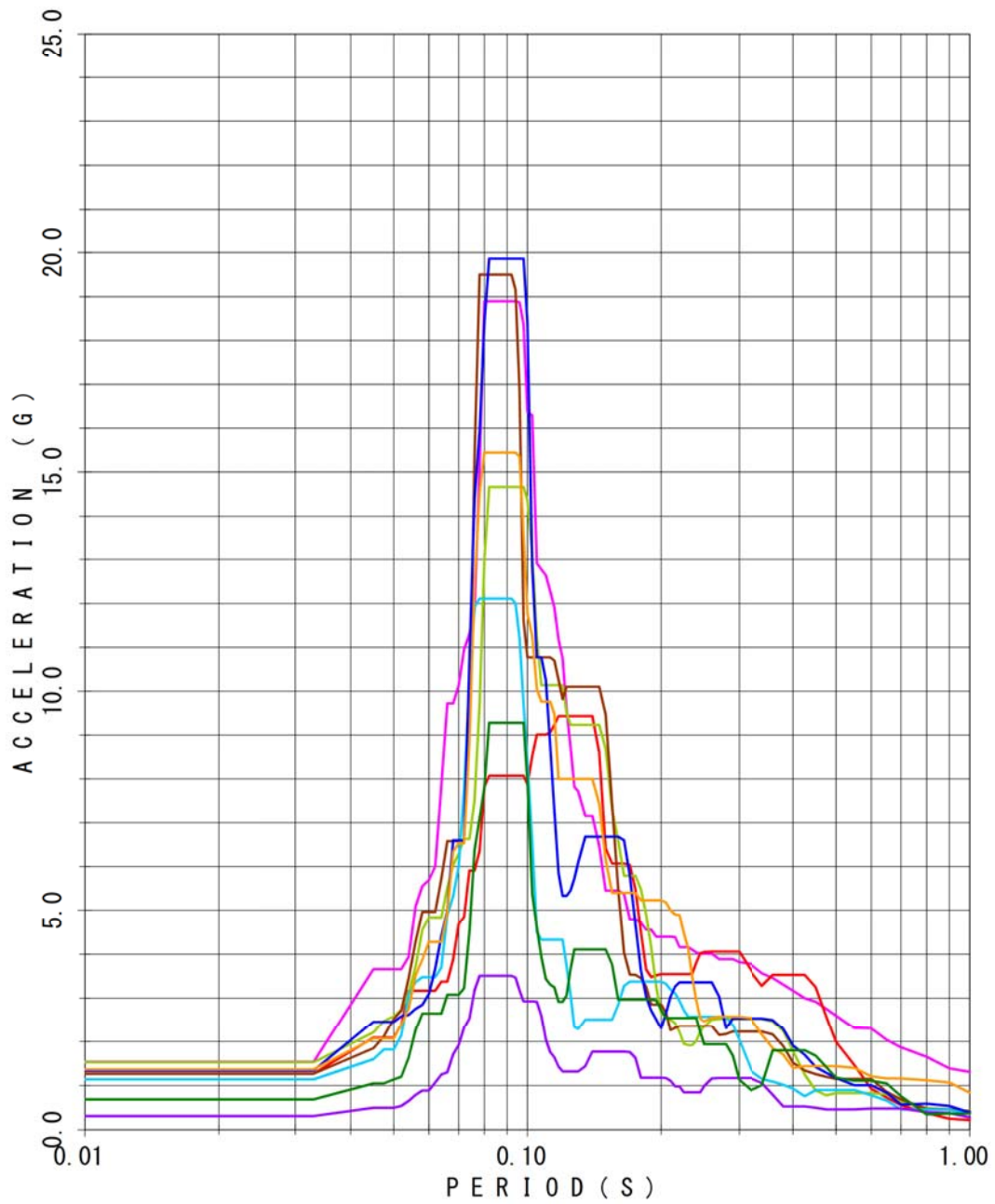
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: X	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: AB	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 24.000M #AB08	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



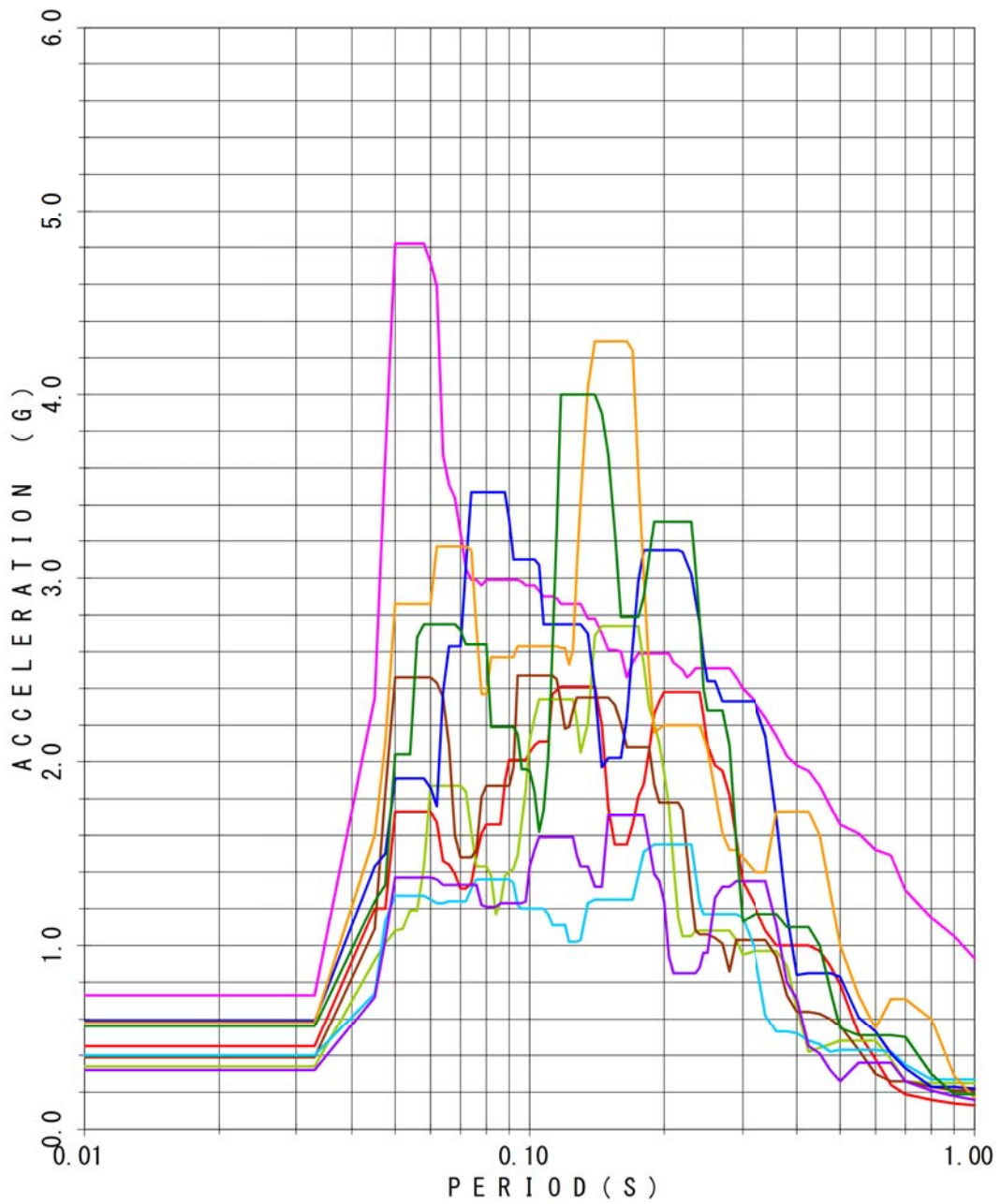
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: Y	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: AB	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 24.000M #AB08	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

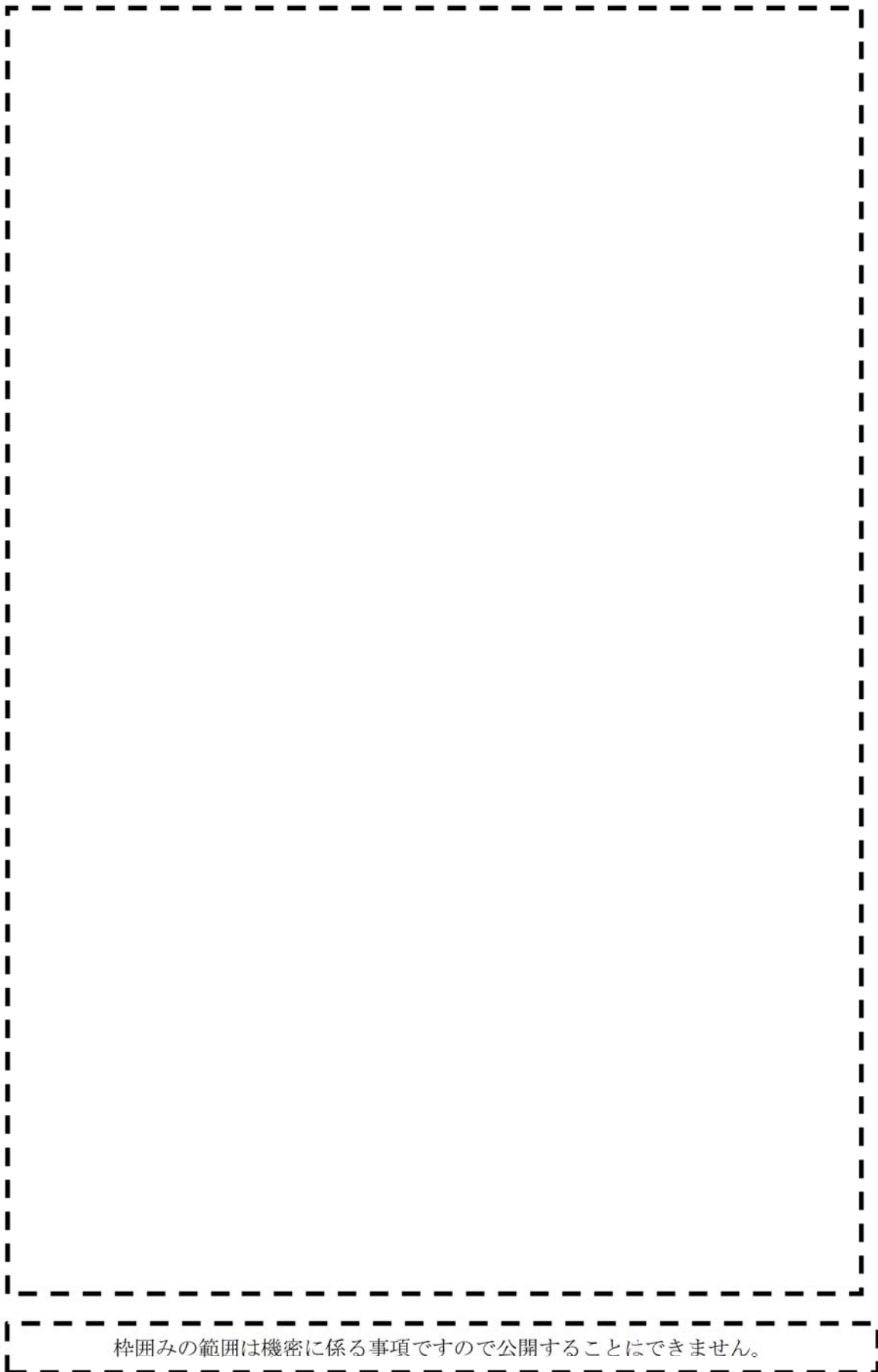
UNIT NAME	: KMN-3	Ss-1	Ss-3
WAVE DIRECTION	: V	Ss-4	Ss-6
BUILDING NAME	: AB	Ss-7	Ss-15
ELEVATION	: EL 24.000M #AB08	Ss-16	Ss-19
DAMPING	: 1.0%	Ss-21	



1. 内部コンクリート

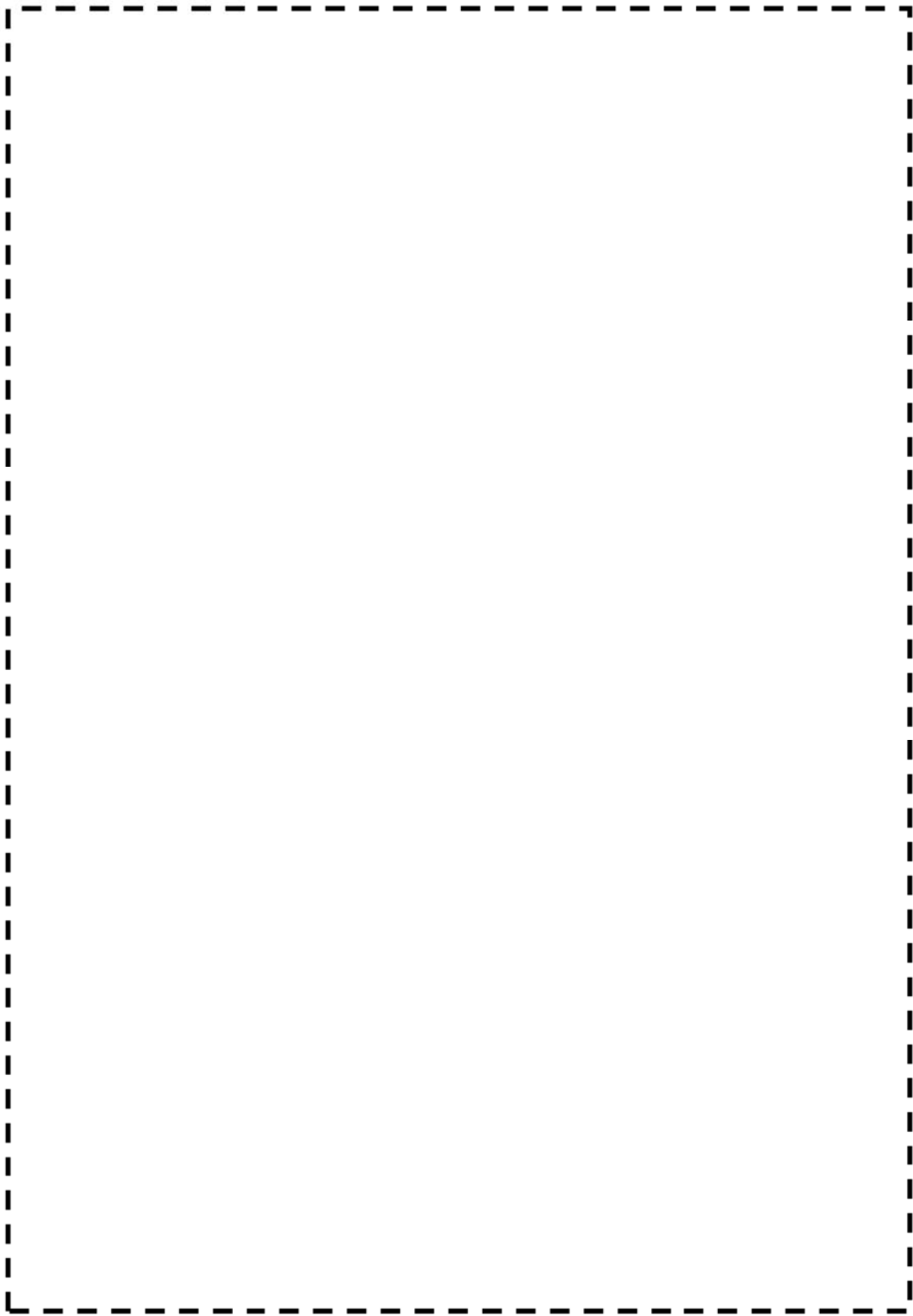
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 外部遮へい建屋



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 原子炉補助建屋



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉－耐震－4

<p>タイトル</p>	<p>建設後の耐震補強の実績がある場合の、下記種別（イ、ロ、ハ、ニ）ごとの実施時期と工事概要（サポートの撤去、移動、追設、容量変更の要点を含む）について。 イ）耐震バックチェックに関連した耐震補強ケース ロ）新規制基準適合申請に関連した耐震補強ケース ハ）経年劣化事象の評価に関連する耐震補強ケース ニ）イ）、ロ）、ハ）以外の耐震補強ケース</p>
<p>説明</p>	<p>建設後の耐震補強の実績について、次のとおり纏めた。</p> <p>イ）耐震バックチェックに関連し耐震裕度向上を目的として、以下工事を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○原子炉格納容器内にある配管の支持構造物について、支持部材の追加等を実施した。 第22回定検（平成19年度）（工事概要：添付1（1／4）） ○原子炉冷却系統などの配管、格納容器排気系統などのダクト、電気計装盤類などの支持構造物を強化した。 第23回定検（平成20年度）（工事概要：添付1（2／4）） ○余熱除去系統や化学体積制御系統などの配管、アニュラス循環系統や補助建屋よう素除去排気系統のダクト、蒸気発生器や加圧器などの機器類の支持構造物を強化した。 第24回定検（平成21年度）（工事概要：添付1（3／4）） ○余熱除去系統や内部スプレイ系統などの配管、アニュラス循環系統のダクト、蒸気発生器などの機器の支持構造物を強化した。 第25回定検（平成23年度～）（工事概要：添付1（4／4）） <p>ロ）新規制基準適合申請に関連した耐震補強ケースは、添付2のとおり。</p> <p>ハ）経年劣化事象の評価に関連する耐震補強ケースは、添付2のとおり。</p> <p>ニ）建設以降の工事計画認可申請書及び工事計画届出書において、今回提出した「美浜3号機 耐震安全性評価書」で評価対象とした機器の部位に対し、耐震計算を実施している工事を抽出した結果は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○低圧タービンロータ他取替工事 （LP-3）第14回定検（平成6～7年度） （LP-1, 2）第15回定検（平成8年度） [工事概要] 低圧タービンロータ及び関連部位の取替えを行った。なお、特別な耐震補強は実施していない。 ○原子炉容器上蓋取替工事 第15回定検（平成8年度） [工事概要] 国内外における600系ニッケル基合金使用部位に応力腐食割れが確認されていることに鑑み、上部蓋管台部に耐応力腐食割れに優れた

690系ニッケル基合金を使用した原子炉容器上部蓋に取替えるとともに、制御棒駆動装置等を一体で取替えた。なお、特別な耐震補強は実施していない。

○蒸気発生器取替工事 第15回定検（平成8年度）

〔工事概要〕

美浜2号機蒸気発生器細管破断事故に鑑み、蒸気発生器の取替を行った。なお、特別な耐震補強は実施していない。

○燃料取替用水タンク取替工事 第19回定検（平成13年度）

〔工事概要〕

海塩粒子による塩素型応力腐食割れに対する長期保全の観点から、燃料取替用水タンクを取替えた。なお、特別な耐震補強は実施していない。

○格納容器再循環サンプスクリーン取替工事 第24回定検

（平成21年度）

〔工事概要〕

平成20年2月に「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20年2月27日平成20・02・12原院第5号）及び「格納容器再循環サンプスクリーン閉塞事象に関する対応について」（平成20年2月29日平成20・02・28原院第3号）が発出され、上記内規の制定により、具体的な格納容器再循環サンプスクリーンの性能評価手法が明確になったことを受け、既設のスクリーンを撤去し、上記内規に適合する性能の向上（面積の拡大）を図った新たなスクリーンを設置した。

以上

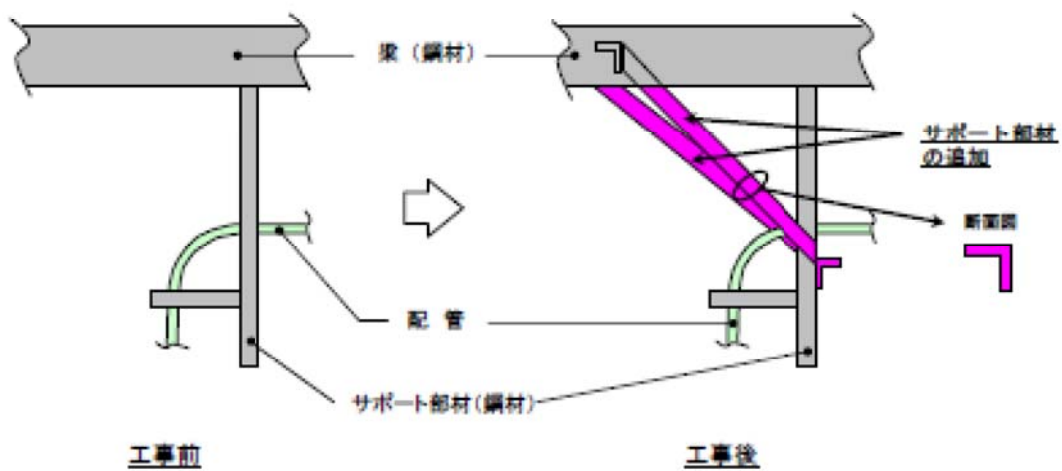
美浜3号機 第22回定検 耐震裕度向上工事 概要

工事概要

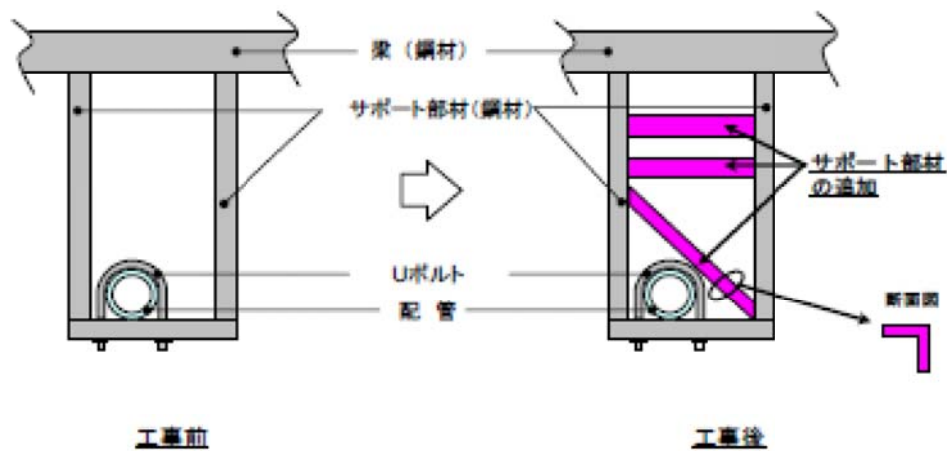
既設設備の耐震性を一層向上させるため、原子炉格納容器内にある配管の支持構造物10箇所について、支持部材の追加等を実施した。

工事の例

【配管支持構造物の補強例1： 原子炉格納容器内E.L約17m】



【配管支持構造物の補強例2： 原子炉格納容器内E.L約17m】

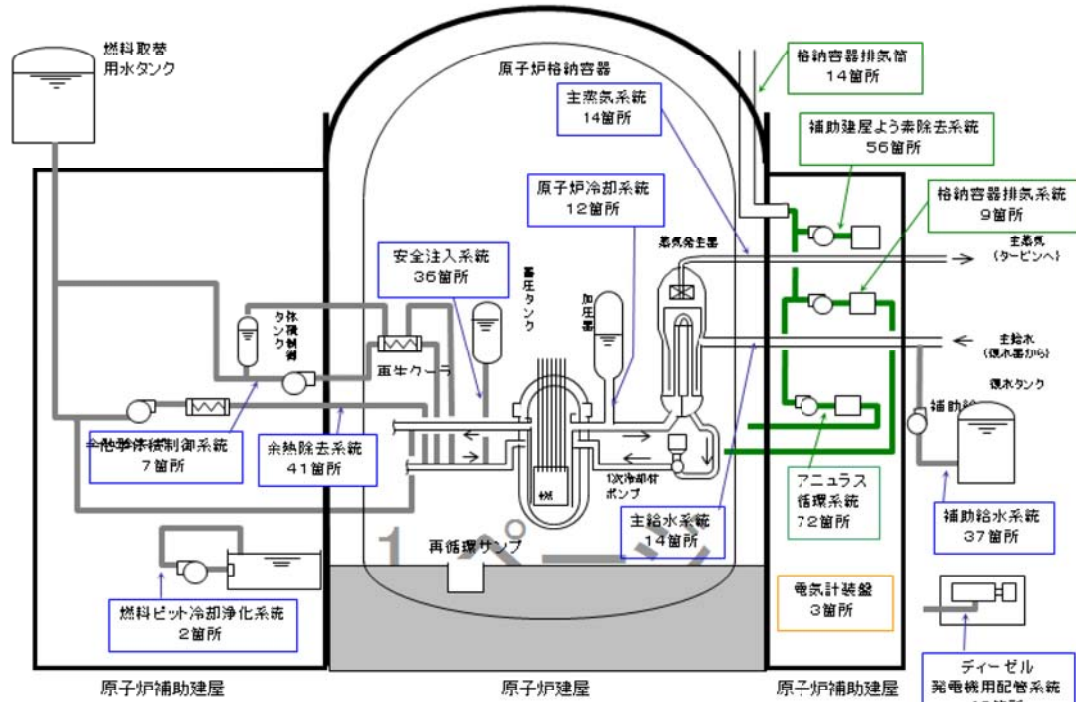


美浜3号機 第23回定検 耐震裕度向上工事 概要

工事概要

既設設備の耐震性を一層向上させるため、原子炉冷却系統などの配管、格納容器排気系統などのダクト、電気計装盤類などの支持構造物を強化した。

支持構造物を補強した系統の概要図



工実施箇所数

配管支持構造物	213箇所
ダクト支持構造物	151箇所
機器他支持構造物	24箇所
合計	388箇所

伝送器架台
(原子炉建屋・原子炉補助建屋他)
15台

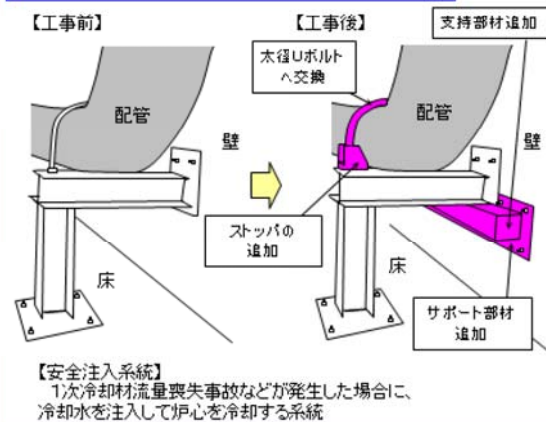
変圧器
2台

蓄電池
2系列

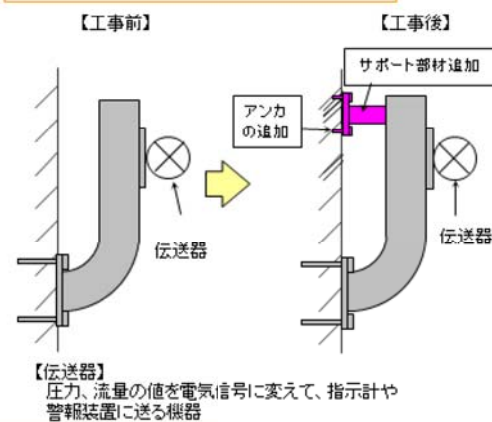
制御建屋
循環ファン
2基

海水系統
2箇所

安全注入系統配管支持部の強化例



伝送器架台の強化例

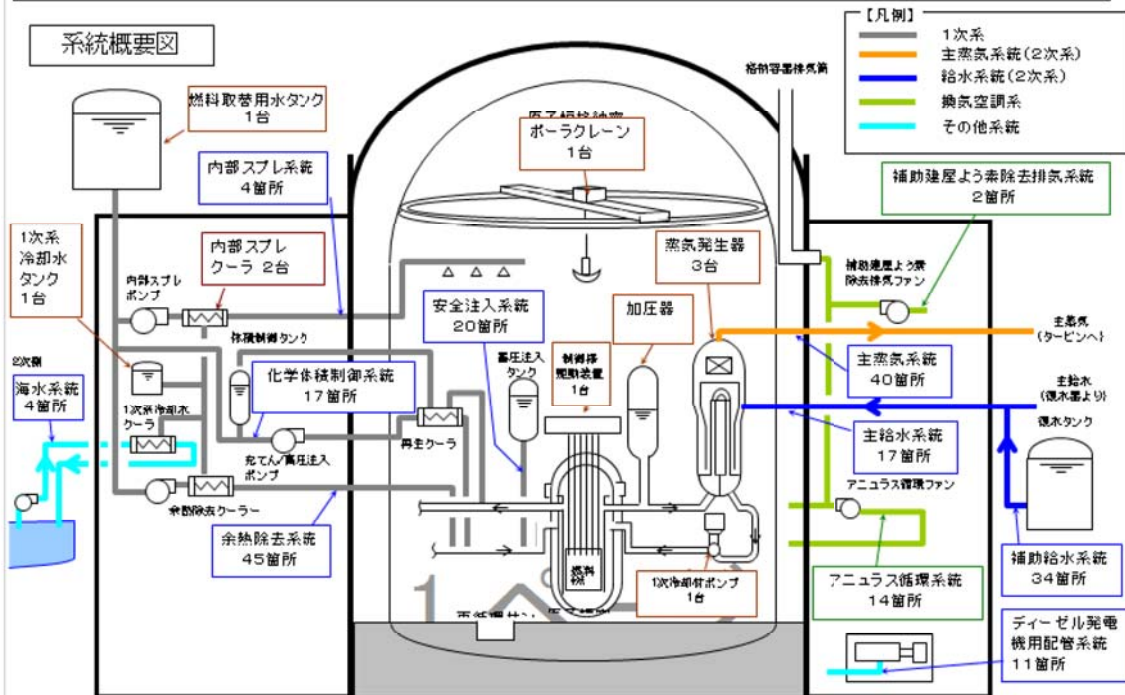


美浜3号機 第24回定検 耐震裕度向上工事 概要

工事概要

設備の耐震性を一層向上させるため、余熱除去系統や化学体積制御系統などの配管、アンユラス循環系統や補助建屋よう素除去排気系統のダクト、蒸気発生器や加圧器などの機器類の支持構造物を強化した。

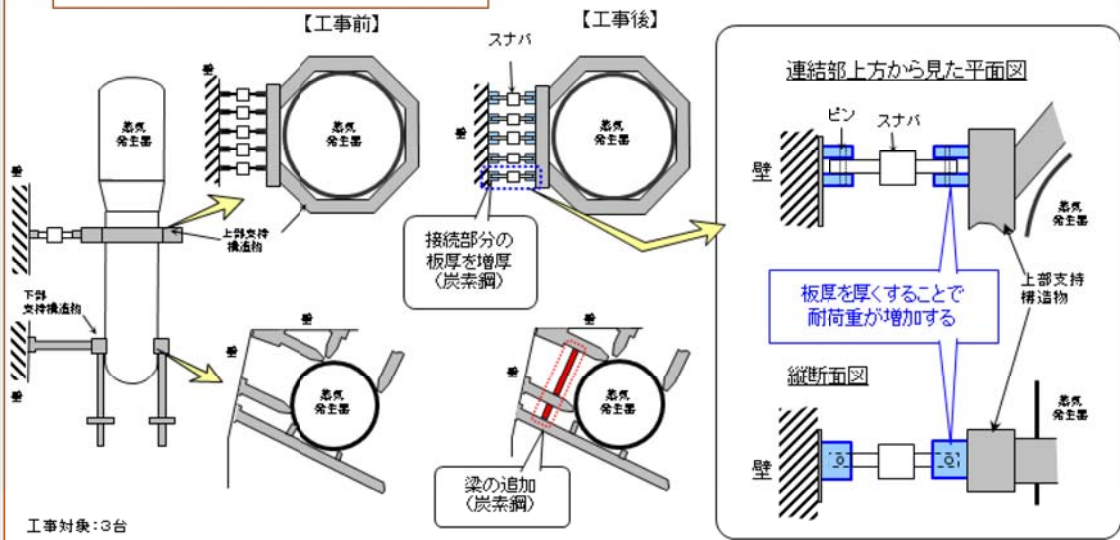
系統概要図



- 【凡例】
- 1次系
 - 主蒸気系統(2次系)
 - 給水系統(2次系)
 - 換気空調系
 - その他系統

原子炉補助建屋等	原子炉建屋	原子炉補助建屋等	工事実施箇所数
所内開閉装置 (原子炉補助建屋等) 2箇所	蓄電池 (原子炉補助建屋等) 2台		<支持構造物>
			配管 192箇所
			ダクト 16箇所
			機器 15台
			合計 223箇所

蒸気発生器支持部の強化例(イメージ)



工事対象:3台

美浜3号機 耐震補強工事 (配管以外)

機器名	補強内容	実施時期	ケース
燃料取替用水タンク			ロ
復水タンク			
抽出水再生クーラ			
制御棒駆動装置			
伸縮継手			ロ ハ
炉内構造物取替	<p>【炉内構造物取替】</p> <p><工事概要></p> <p>海外で発生しているバッフルフォーマボルトの損傷事例への対応や耐震性向上を図るため、これらへの対策を施した炉内構造物（上部炉心構造物、下部炉心構造物）の取替えを行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○最新設計の採用 上部炉心構造物の形状等を最新設計に変更する。 ○高経年化対策 Bfbの長尺化等による発生応力の低減と、ボルト冷却穴の設置による使用環境の改善を行い、応力腐食割れに対する耐性の向上を図る。 ○新規制基準（耐震）対策 ラジアルサポートの構造変更を行い、耐震性向上を図る。 <p style="text-align: right;">(添付2(5/5)参照)</p>	未定	ロ ハ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 燃料取替用水タンク取替概要

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 CRDM中間耐震サポート追設工事概要

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 主蒸気・主給水管ベローズの改造概要

【工事目的】

基準地震動を踏まえ設備の耐震裕度を向上させるため、伸縮継手の機能を強化する。

【工事概要】

機械ペネトレーションのうち、主蒸気系統及び主給水系統配管貫通部伸縮継手について、耐震補強として取替を実施する。

【補強例】



表 主な改造諸元

	原子炉格納容器最高使用圧力 (MPa) P	最高使用温度 (°C)	伸縮継手有効径 (mm) d	継手部の波の高さ (mm) h	継手部の波のピッチの2分の1 (mm) b	継手部の板の厚さ (mm) t	伸縮継手1個の山数 W _n	継手部の層数 c	材料	ヤング率 (MPa) E	複式伸縮継手の長さ (mm)		
											中心間距離 Δ ₁	中間の管の長さ l	伸縮継手の長さ L
主蒸気配管格納容器貫通部	0.261	291							SUS304	176000			
主給水配管格納容器貫通部	0.261	230							SUS304	180000			

枠囲みの範囲はメーカー技術情報に係る事項ですので公開することはできません

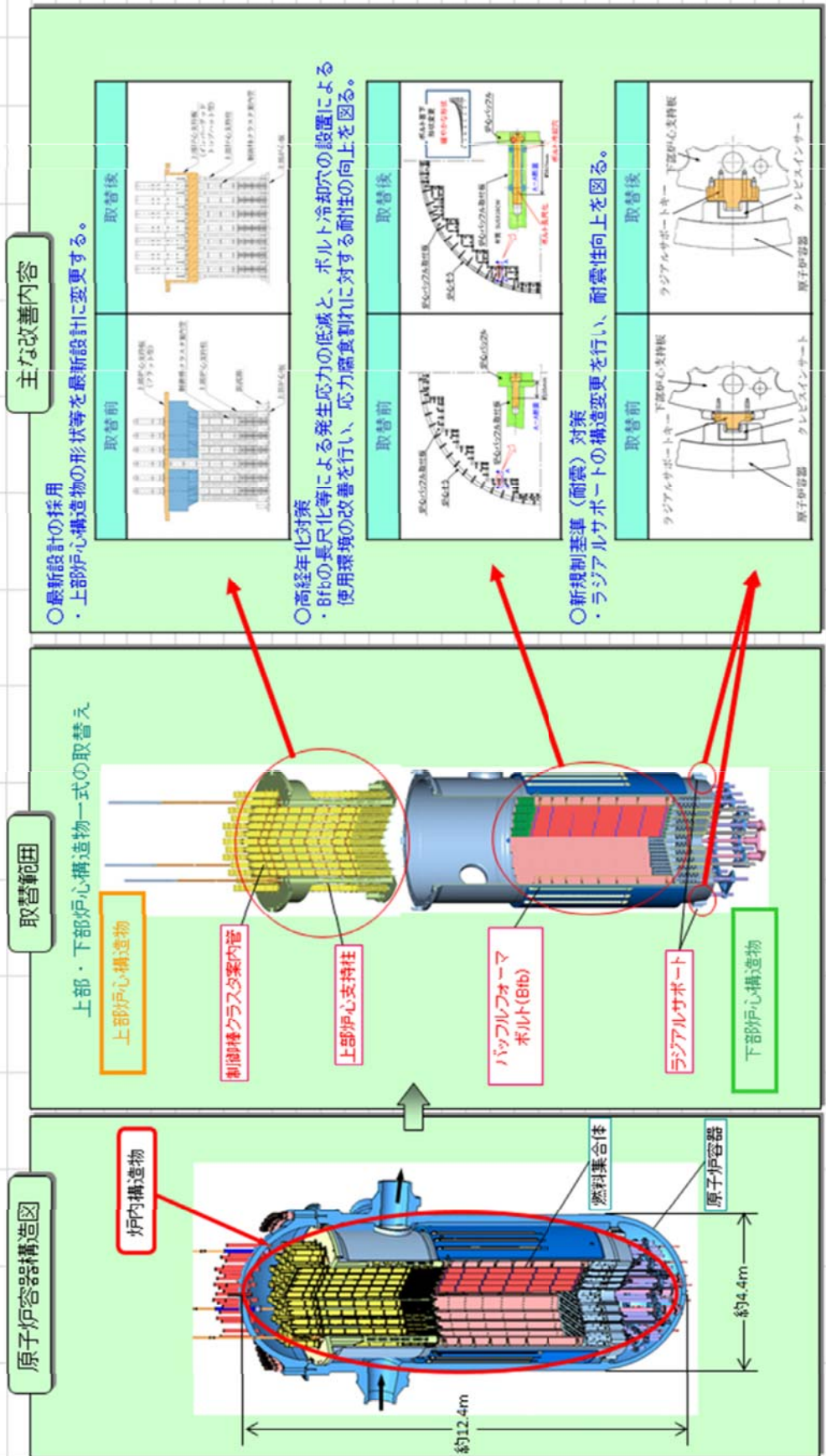
美浜3号炉 炉内構造物取替えについて

【工事目的】

炉内構造物を取り替え、高経年化対策及び耐震性向上を図る。

【工事概要】

海外で発生しているバップルフォームボルトの損傷事例への対応や耐震性向上を図るため、これらへの対策を施した炉内構造物(上部炉心構造物、下部炉心構造物)の取替えを行う。*



*：高浜1・2号炉、美浜3号炉については、新規制基準前からの炉内構造物の取替えを計画していたが、美浜発電所の震源地震動は高浜発電所よりも大きいことから、美浜3号炉については今回取替えを前編に
 許認可申請を行うこととしたもの。高浜1・2号炉については今回、炉内構造物取替えを前編とした許認可申請は行わないが、炉内構造物取替えについては検討していく。

美浜3号機 耐震補強工事 (配管関係)

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容	補強時期	ケース
1次冷却系 統配管					ロ
余熱除去系 統配管					ロ
					ロ
					ロ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容	補強時期	ケース
余熱除去系 統配管					□
					□
					□
安全注入系 統配管					□

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容	補強時期	ケース
主蒸気系統 配管					□
					□
					□

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

機器名	補強箇所	サポート種別	補強内容	補強時期	ケース
主給水系統配管					ロ
SGブローダウン系統配管					ロ
化学体積制御系統配管					ハ
					—

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

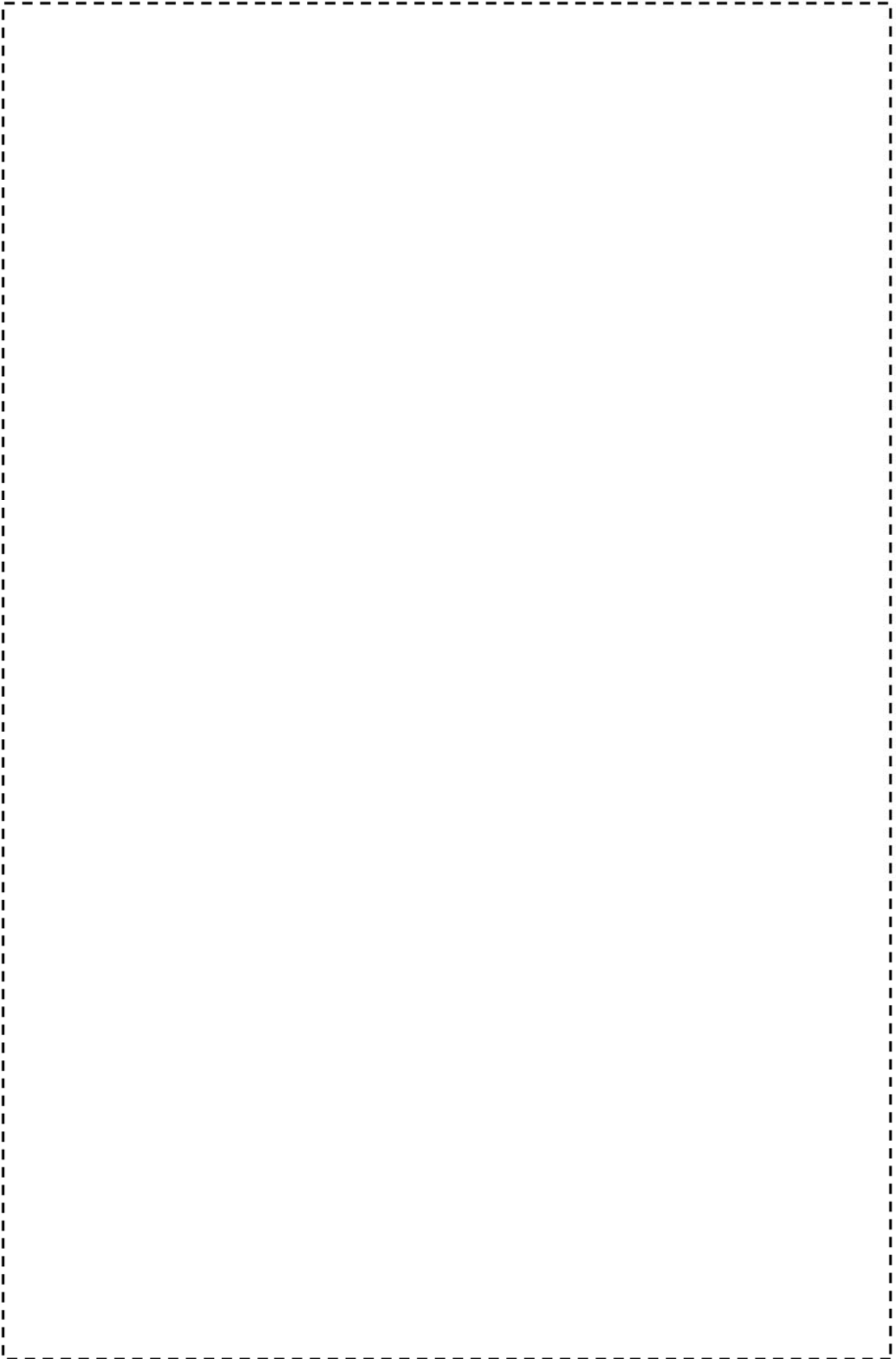


図1 1次冷却系統配管（加圧サーージ配管（ブロック No. RC01））

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

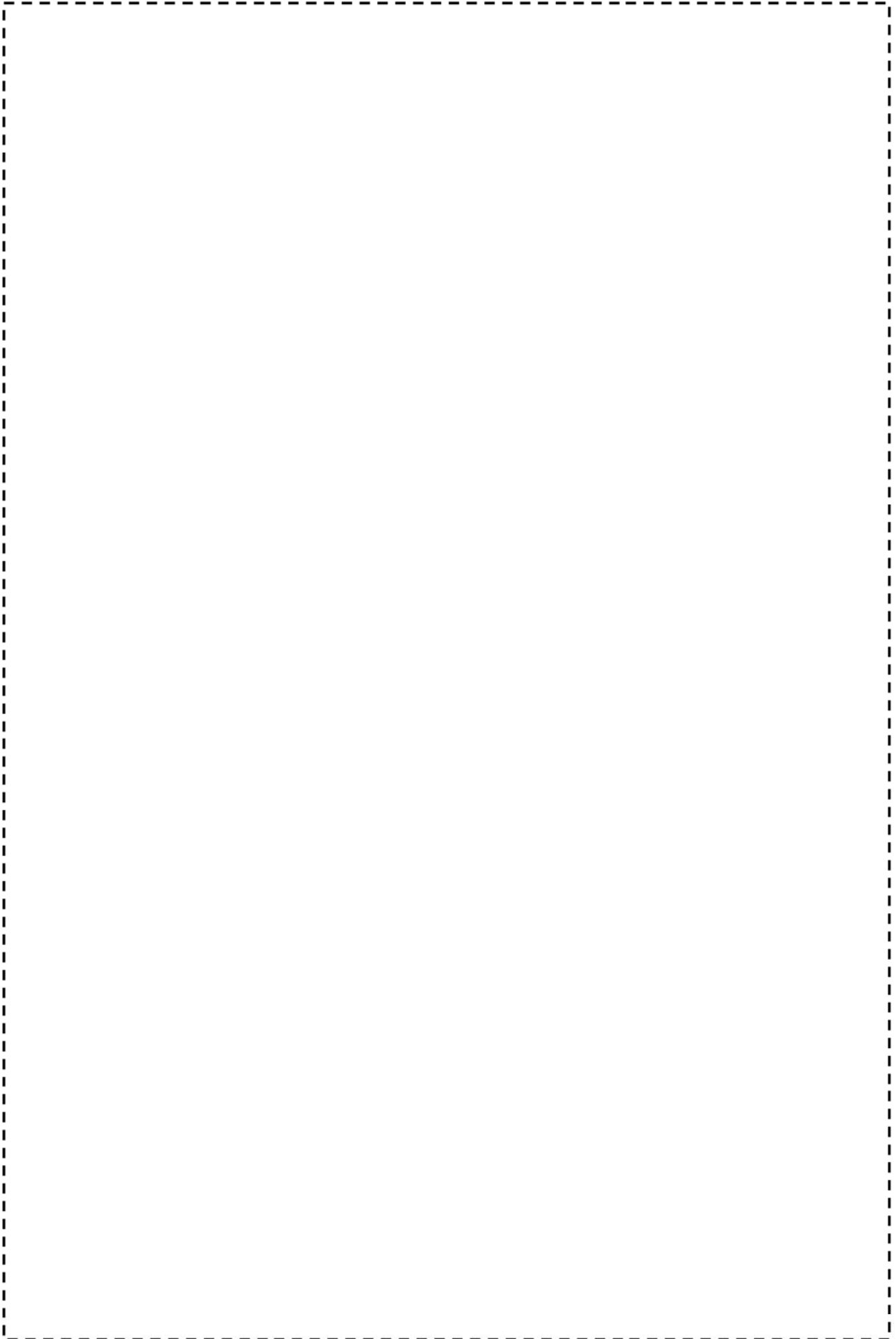


図2 (1/3) 1次冷却系統配管 (加圧器スプレイ+補助スプレイ配管 (ブロック No. RC02))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

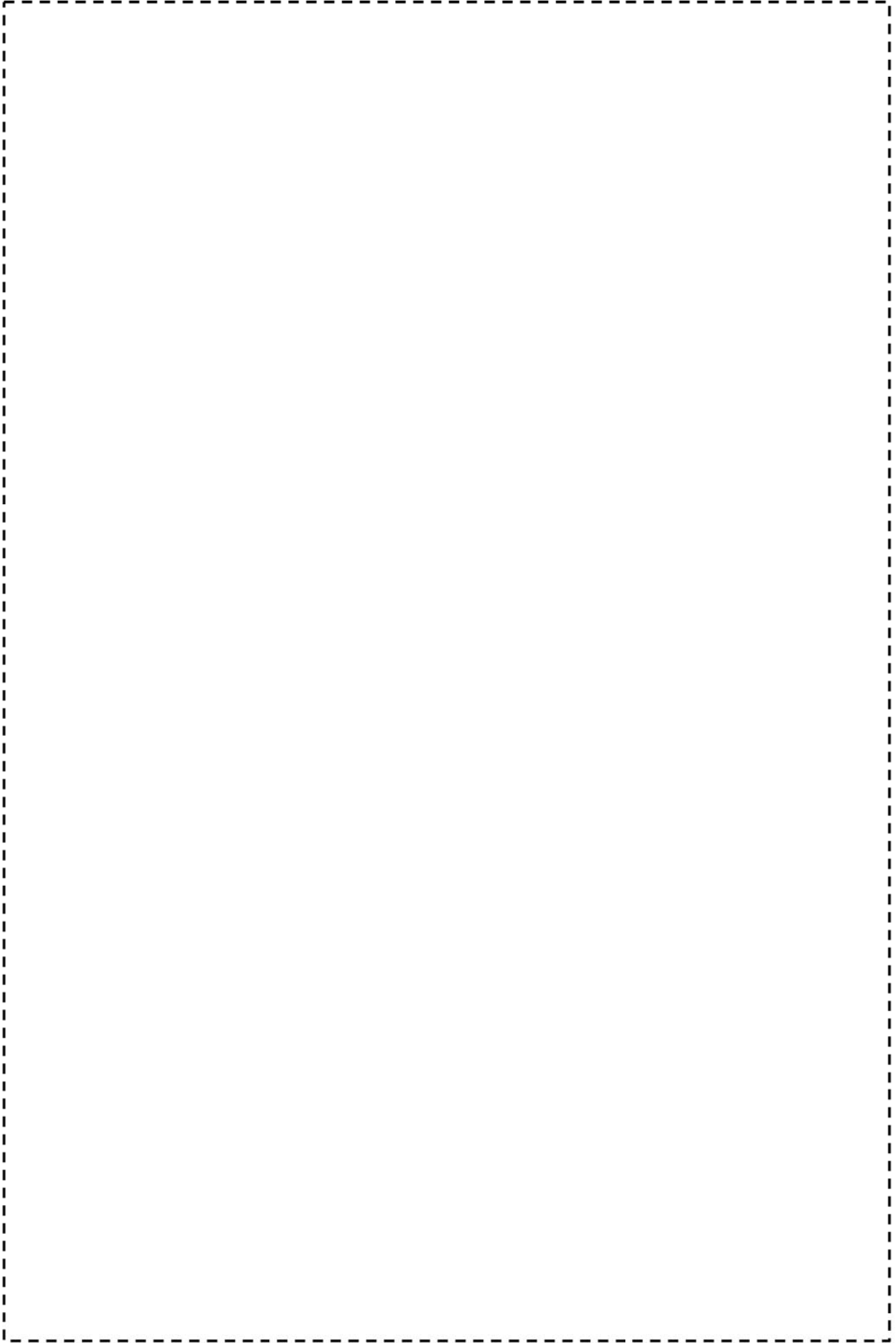


図2 (2/3) 1次冷却系統配管 (加圧器スプレイ+補助スプレイ配管 (ブロック No. RC02))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

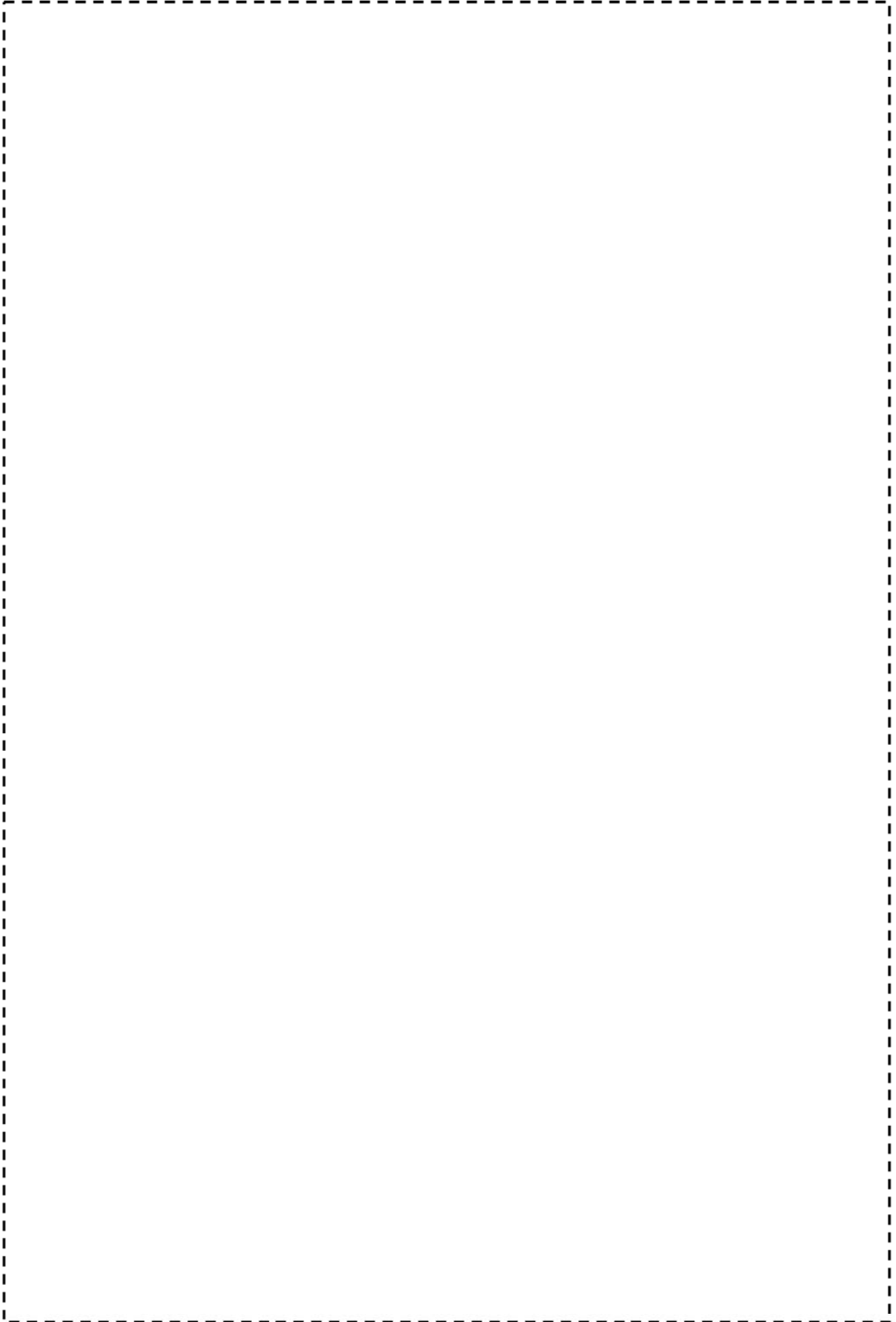


図2 (3/3) 1次冷却系統配管 (加圧器スプレイ+補助スプレイ配管 (ブロック No. RC02))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

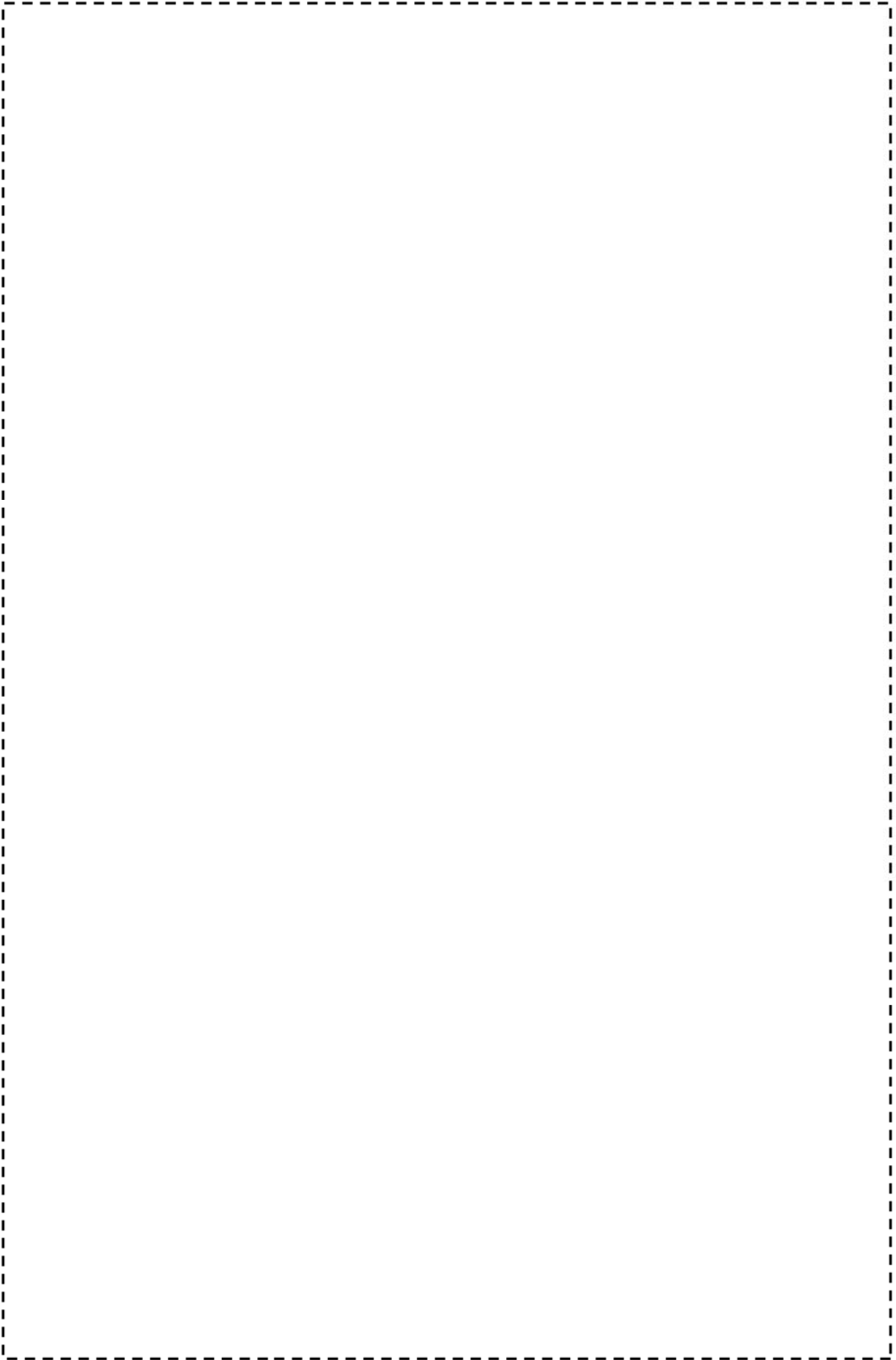


図3 余熱除去系統配管 (A-余熱除去取水配管 (ブロック No. RH01))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図4 余熱除去系統配管 (B-余熱除去取水配管) (ブロック No. RH07)

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

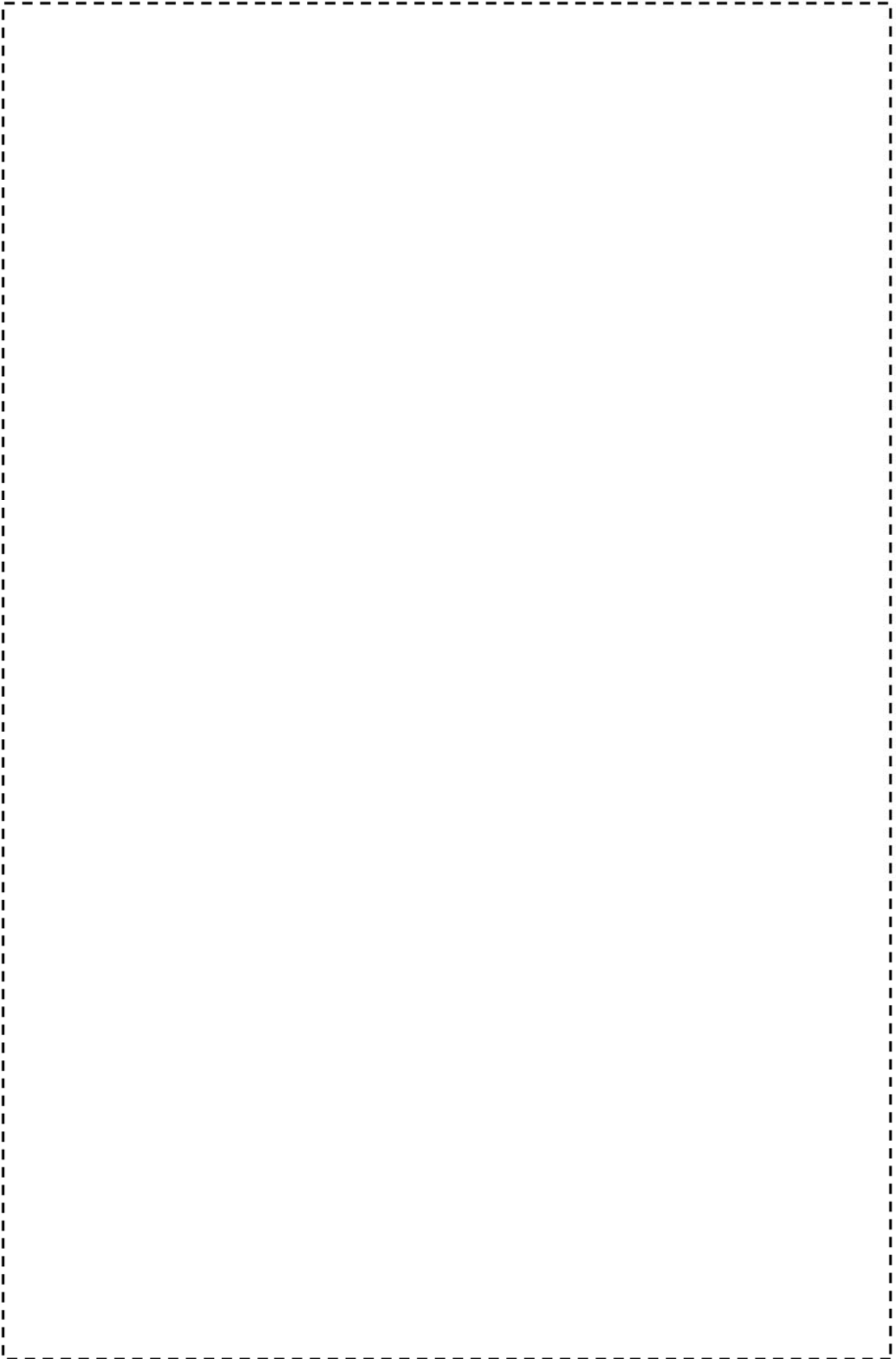


図5 余熱除去系統配管 (A-余熱除去ポンプ出口配管 (ブロック No. RH03))

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

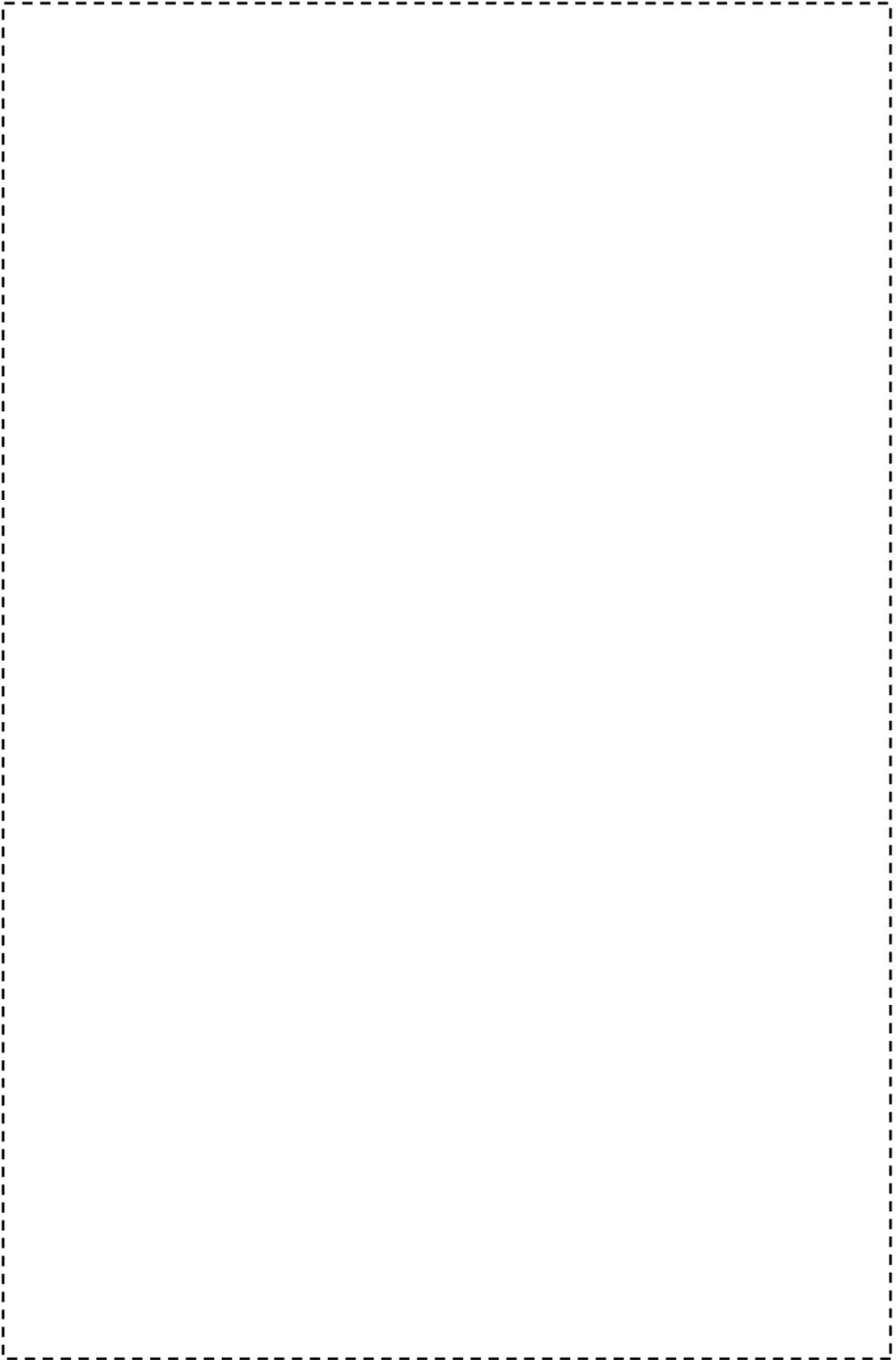


図 6(1/2) 余熱除去系統配管 (A-余熱除去クーラー出口配管 (クーラー側) (ブロック No. RH04, 16))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

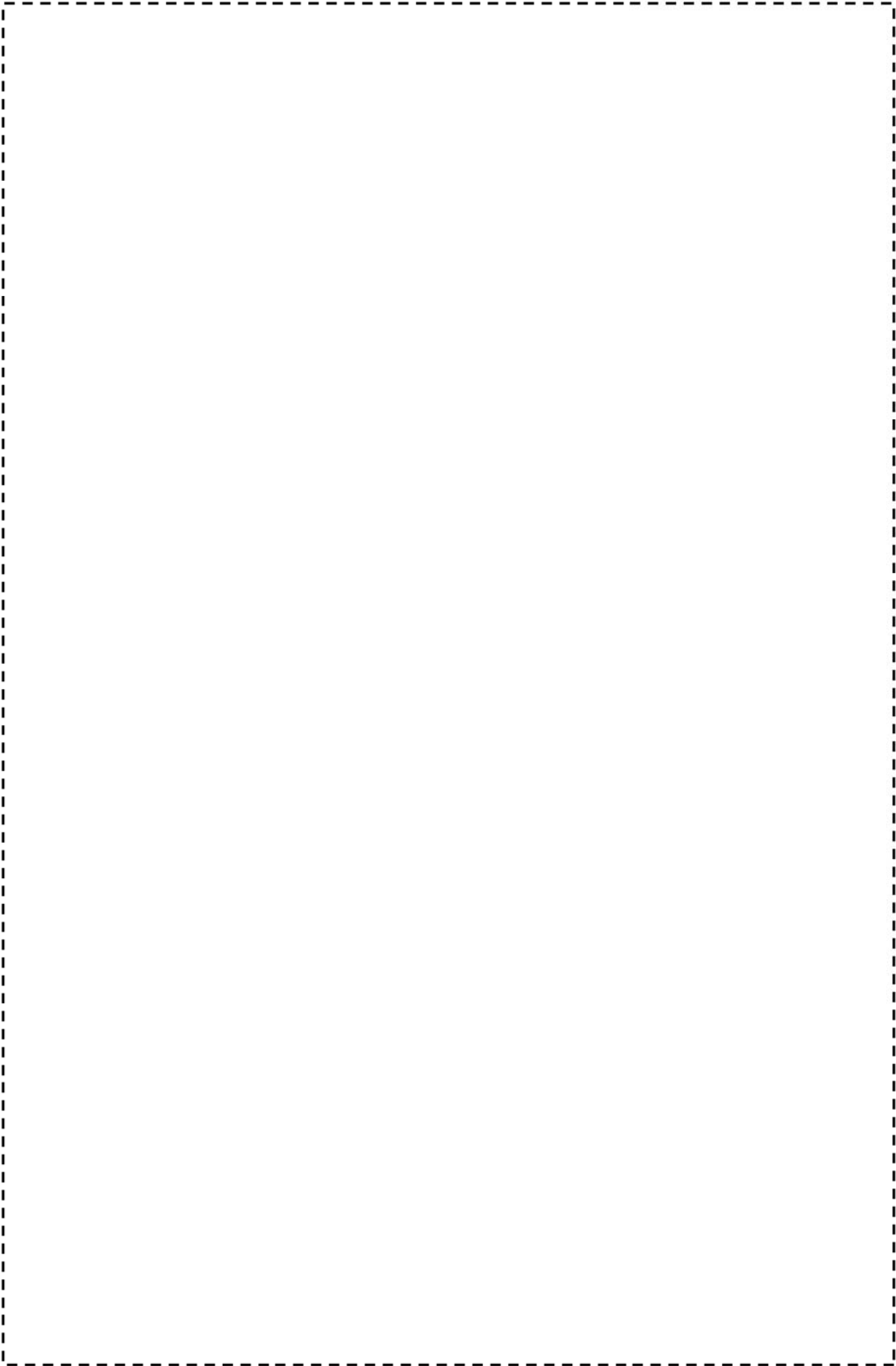


図 6(2/2) 余熱除去系統配管 (A-余熱除去クーラー) 出口配管 (クーラー側) (ブロック No. RH04, 16)

特開みの範囲は機密に係る事項ですので公開することではできません。

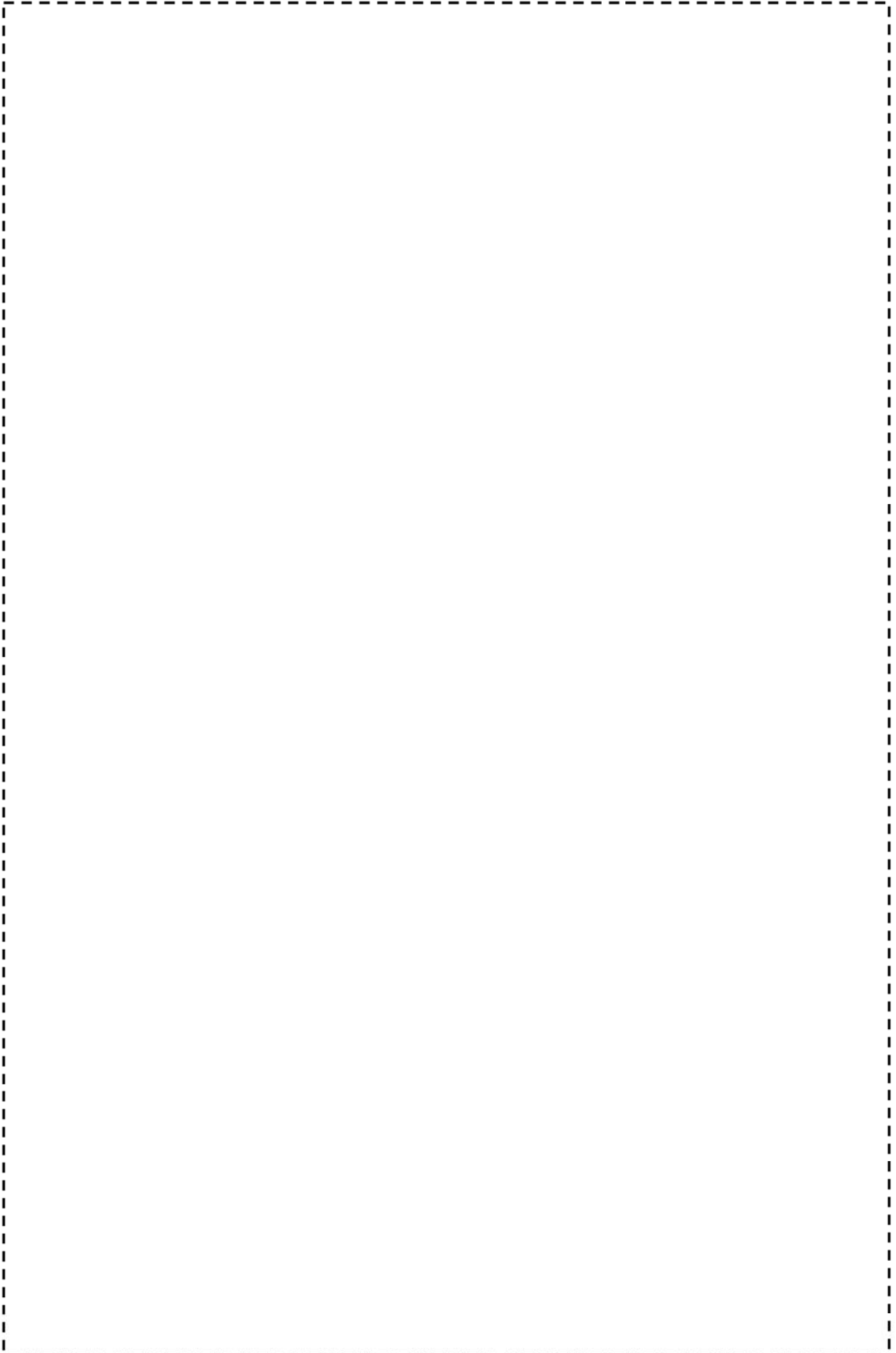


図7 余熱除去系統配管 (B-余熱除去クーラ出口配管 (クーラ側) (ブロック No. RH11, 12))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

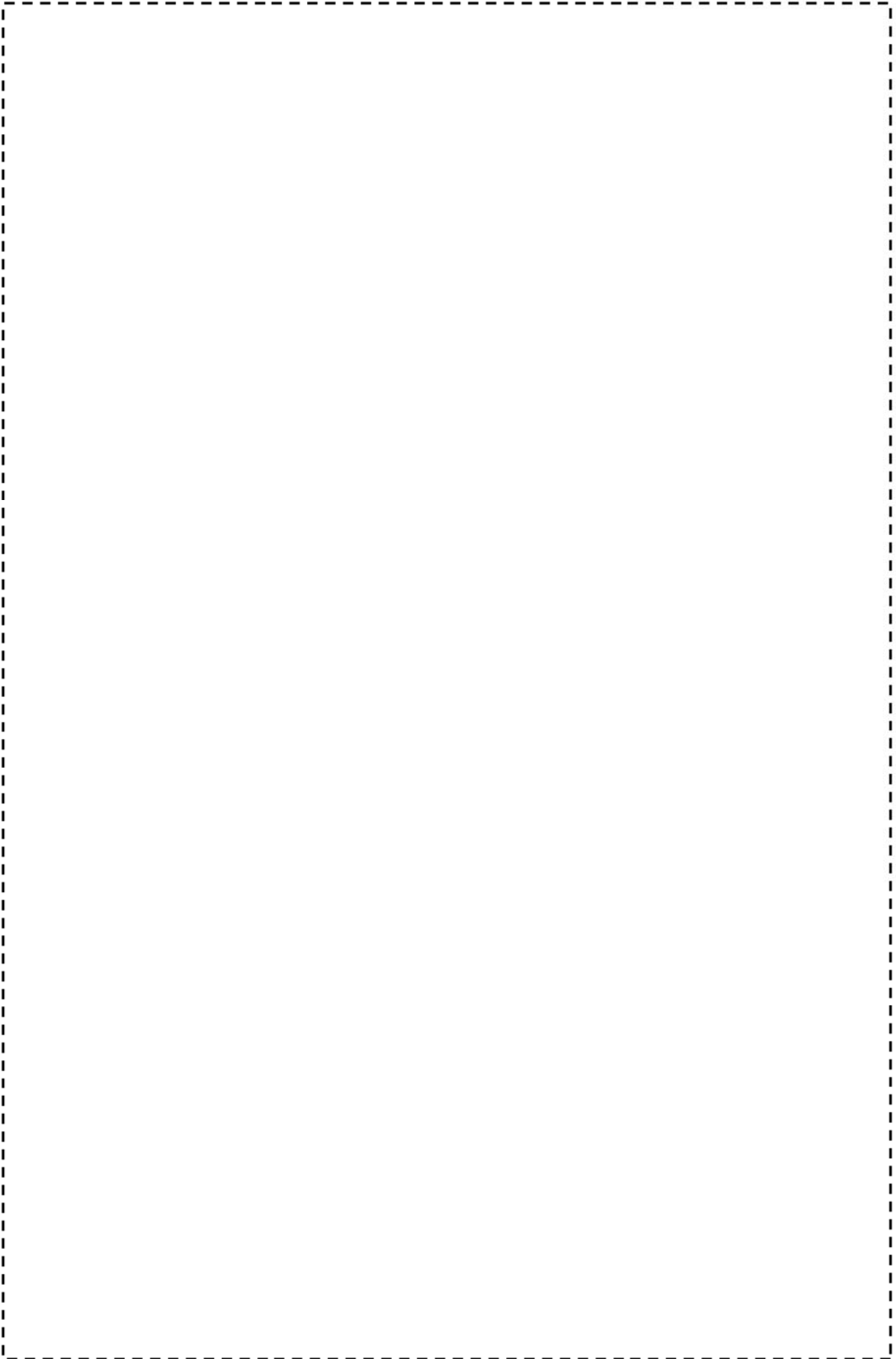


図8 安全注入系統配管 (B-蓄圧注入配管 (ブロック No. SI01b))

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

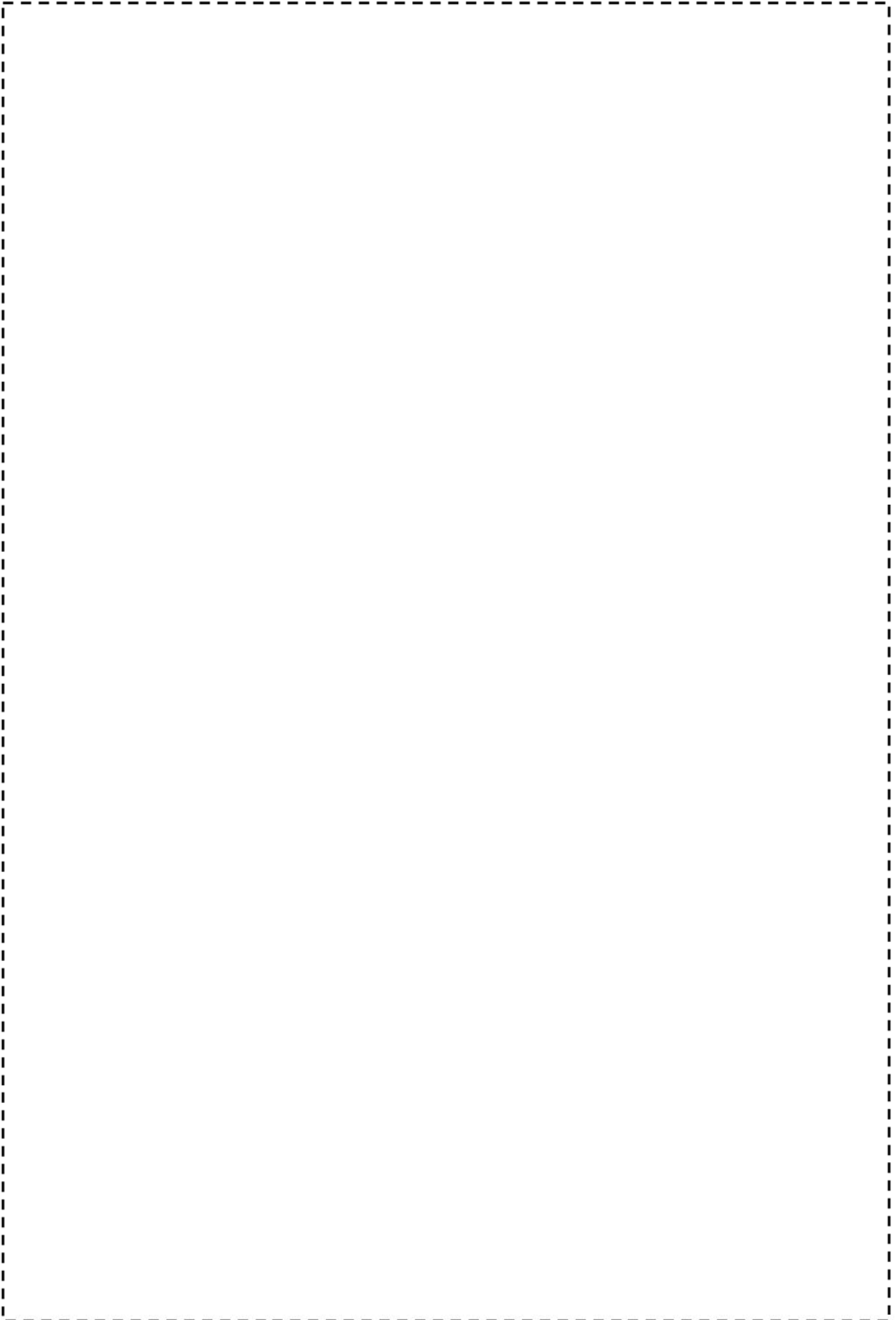


図9 主蒸気系統配管 (A-主蒸気配管 (CV内) (ブロック No. MS01a))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図 11 主蒸気系統配管 (C-主蒸気配管 (CV内) (ブロック No. MS01c))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

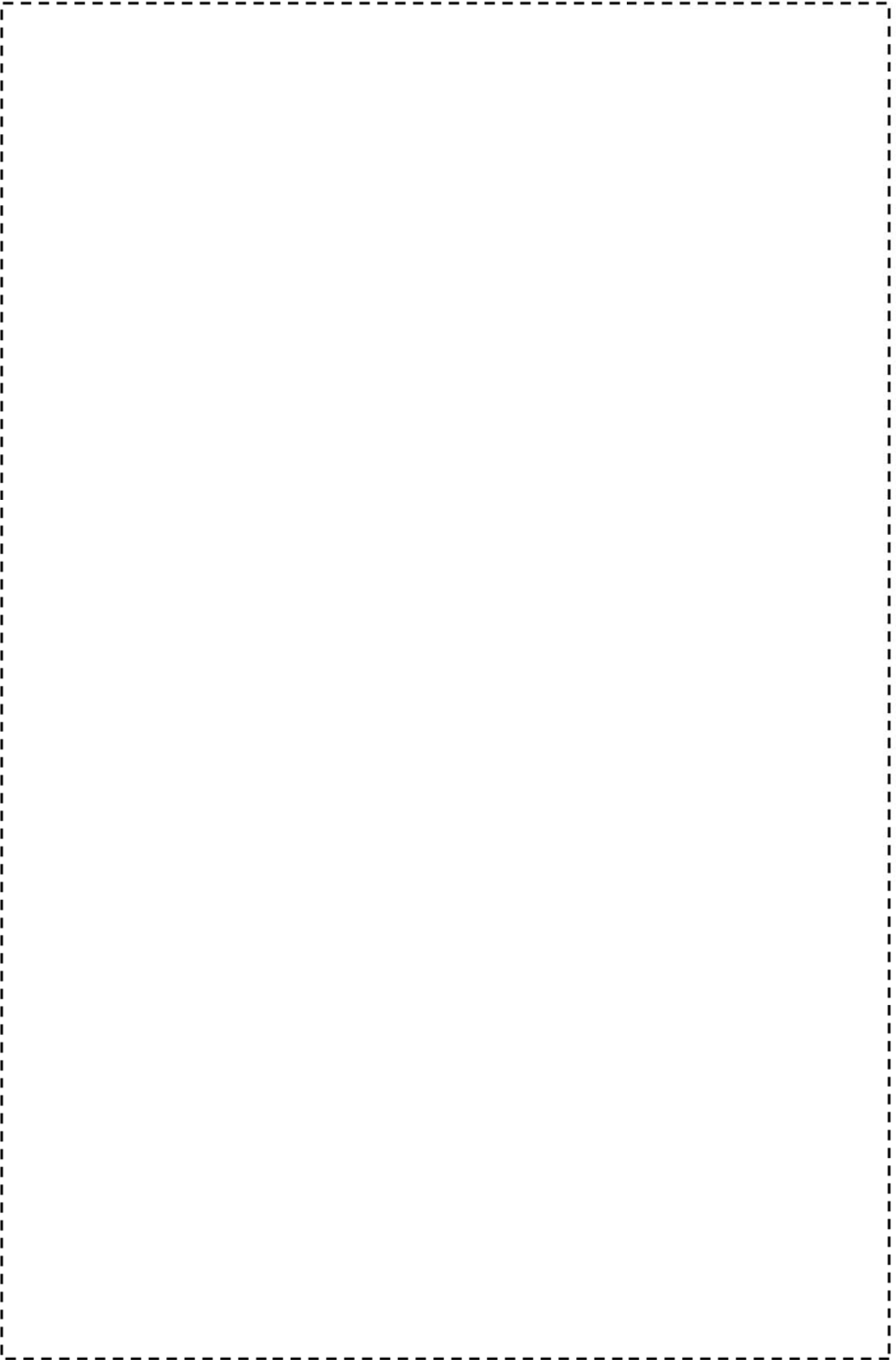


図13 主蒸気系統配管 (B-主蒸気配管 (CV外) (ブロック No. MS02b))

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

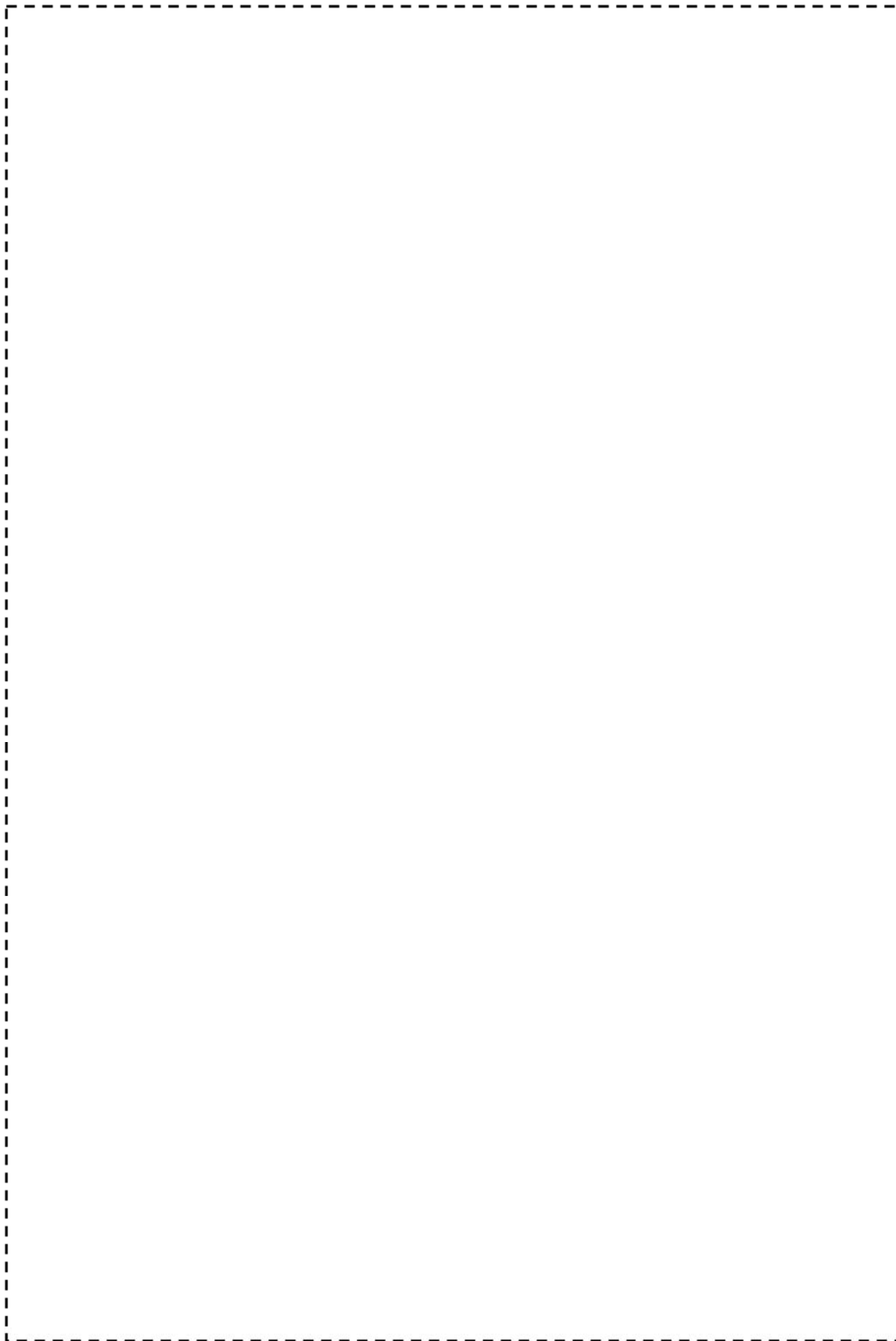


図 17 主給水系統配管 (C-主給水配管 (CV内) (ブロック No. FW01c))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

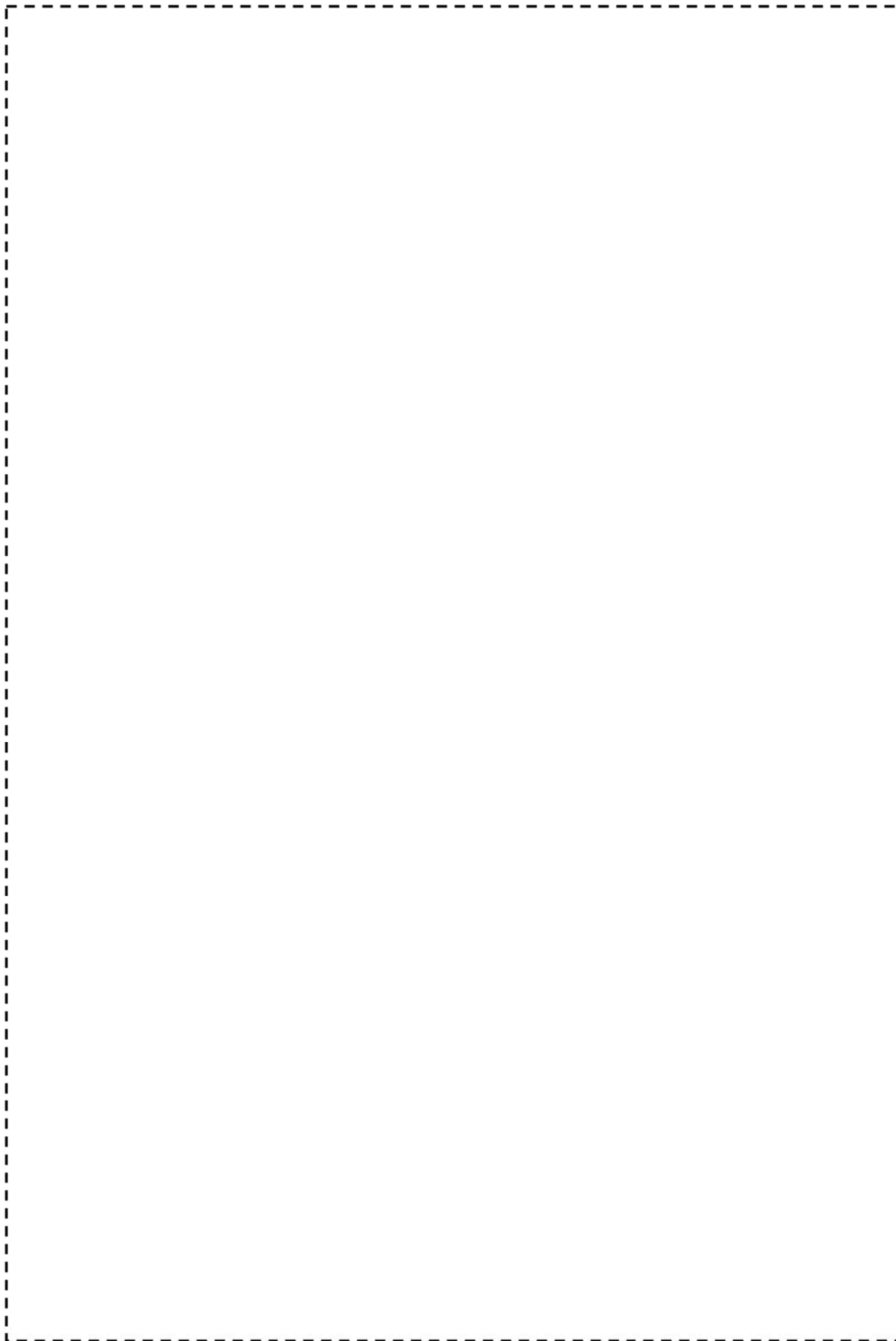


図 19 主給水系統配管 (B-主給水配管 (CV 外) (ブロック No. FW02b))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

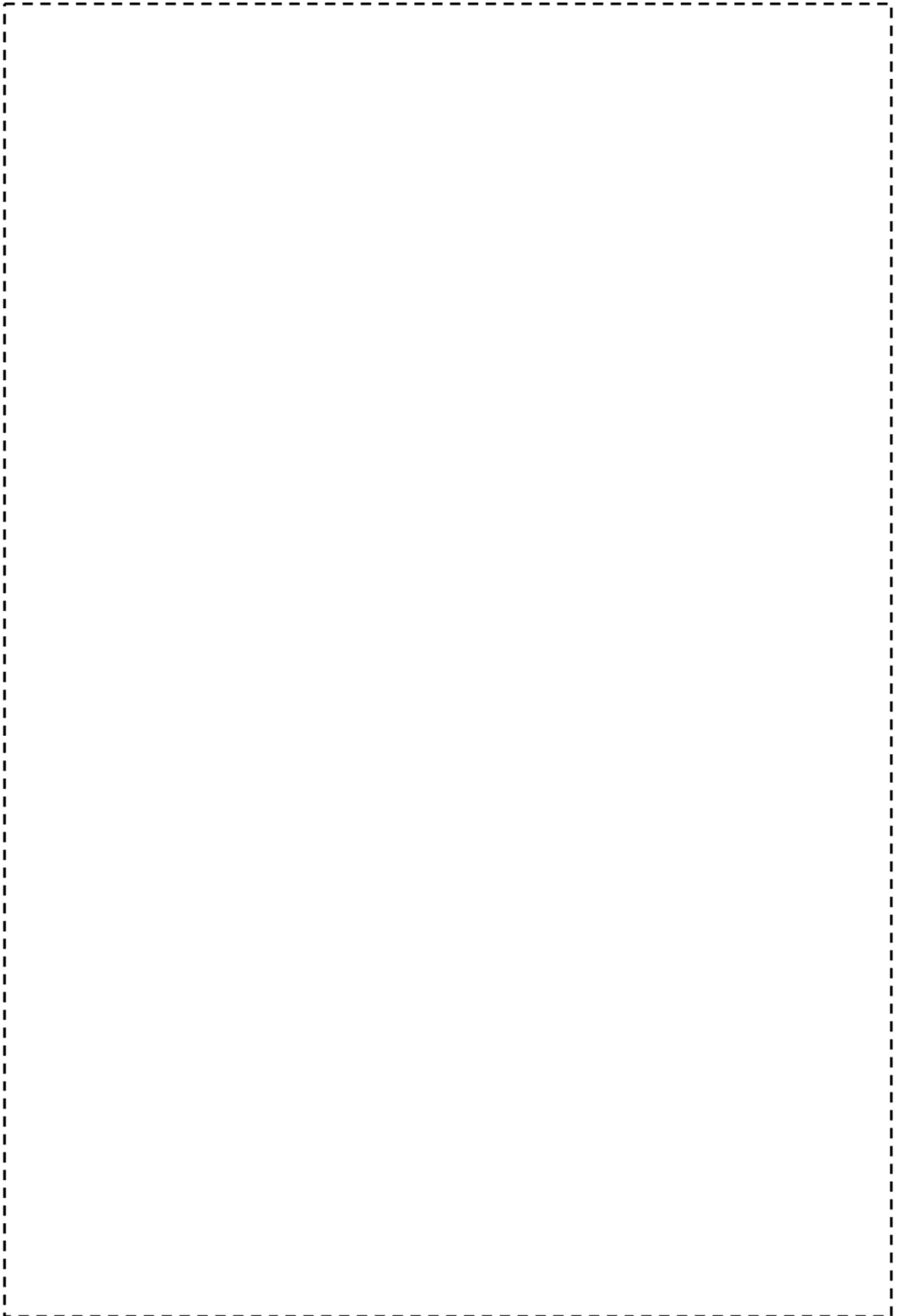


図 22 B-SGBD 配管 (PEN#233、CV 外) (ブロック No. BD233o)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図 24 (1/2) 化学体積制御系統配管 (抽出配管 (ブロック No. CS05))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

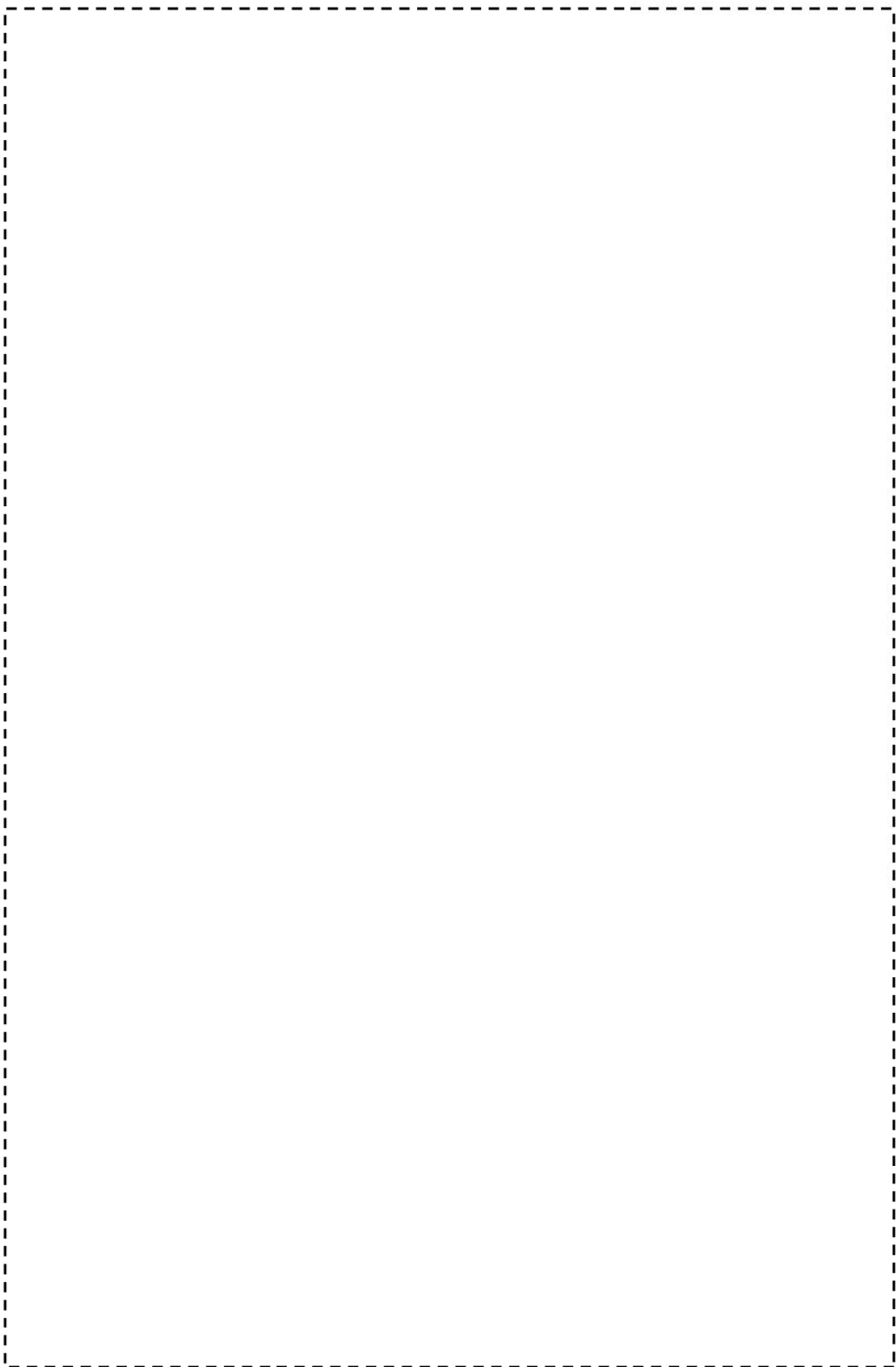


図 24 (2/2) 化学体積制御系統配管 (抽出配管 (ブロック No. CS05))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

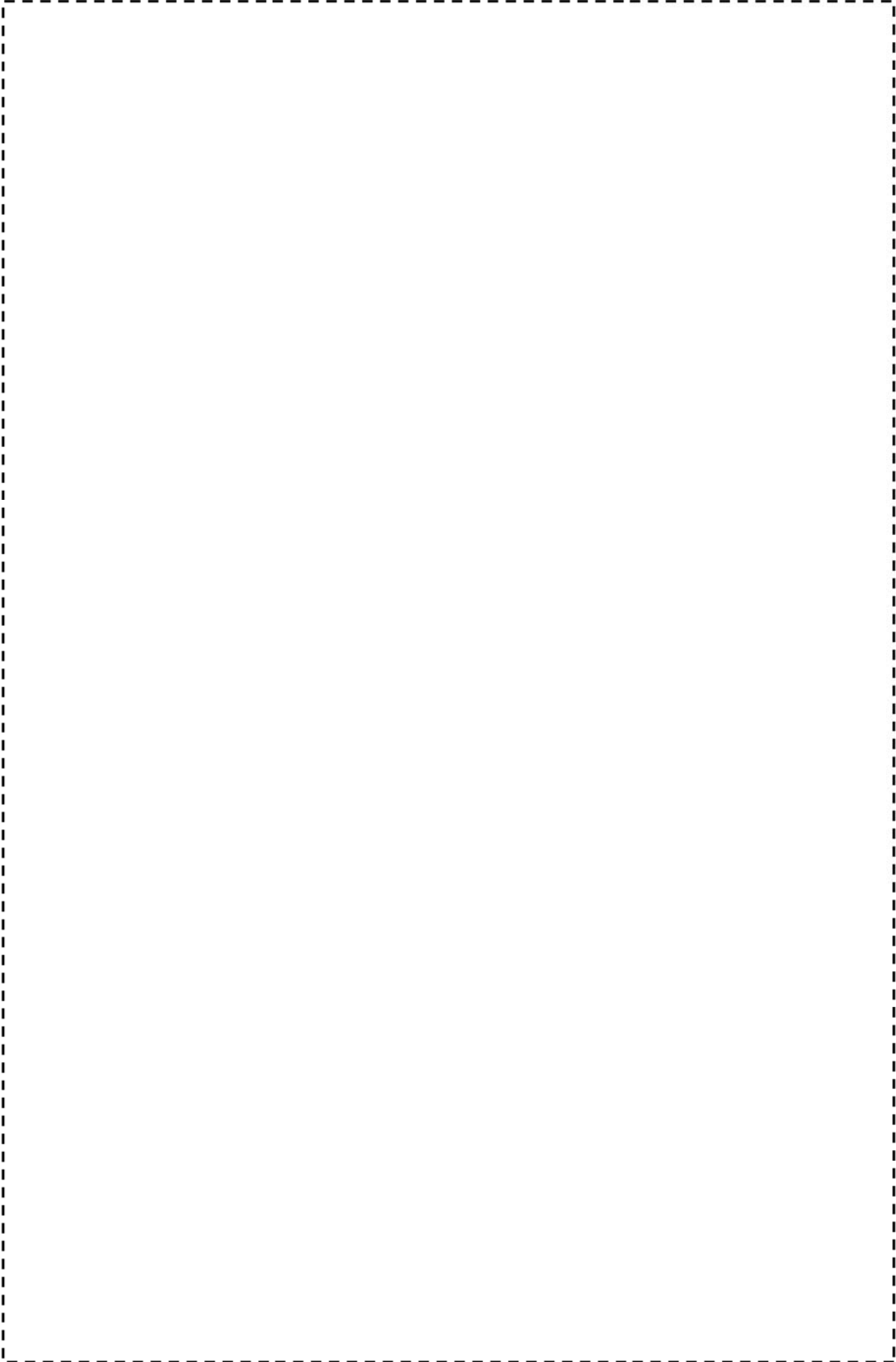


図 25 化学体積制御系統配管 (抽出配管 (CV 内) (ブロック No. CS07))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

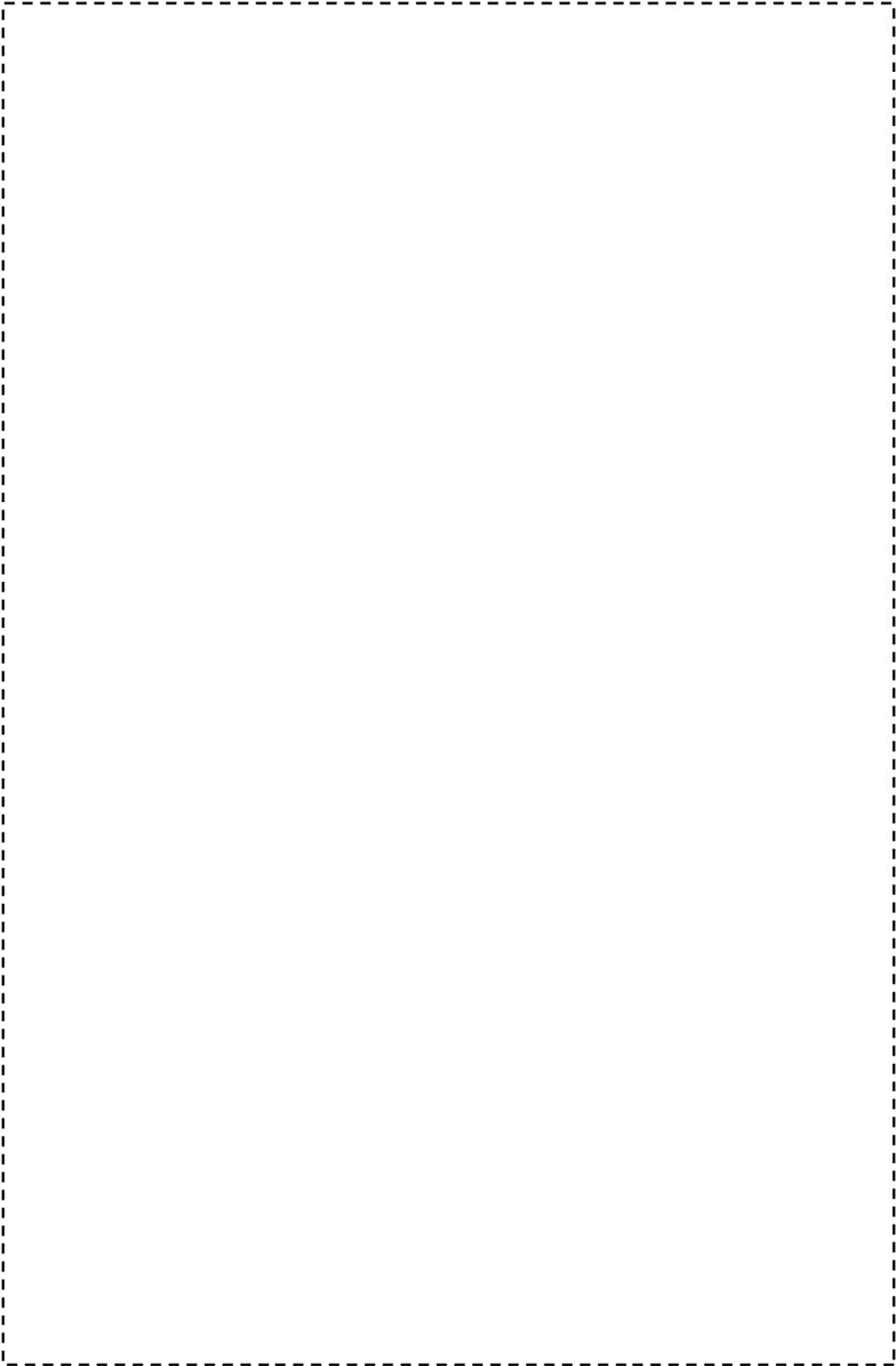


図 26 化学体積制御系統配管 (抽出配管 (CV 外) (ブロック No. CS08))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉－耐震－5

タイトル	耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に係る、比率で示された評価結果（疲れ累積係数を除く）に対する、各々の分子と分母の値（単位含む）について。
説明	耐震評価結果を比率で示したもののうち、耐震Sクラス、耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器・配管に対し、添付1の緑色セル内に、元となる「許容値」及び「発生値」を示す。 <p style="text-align: right;">以上</p>

機種	草	機器名称	部位 非代表設備	経年劣化事象	評価部位	耐震 重要度	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	疲労累積係数		
										通常 運転時	地震時	合計
熱交換器	多管円筒形 熱交換器	1次系冷却水クーラ	伝熱管	内面腐食 (流れ加速型腐食)		S			0.58			
		湿分離加熱器	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	銅板	C			0.25			
		第1低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	銅板	C			0.09			
		第2低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	銅板	C			0.34			
蒸気発生器	蒸気発生器	第3低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	銅板	C			0.28			
		第4低圧給水ヒータ	胴側耐圧構成品等	腐食(流れ加速型腐食)	銅板	C			0.29			
		冷却材出入口管台	セーフエンド	応力腐食割れ		S	Ss			0.93		
		余熱除去系統配管	母管	高サイクル熱疲労割れ (高低温水合流部)		S	Ss			0.44		
配管	ステンレス鋼配管	主蒸気系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	一次	S			0.95以下			
					一次+二次	S			0.70以下			
					一次	Ss			0.61			
		主給水系統配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	一次+二次	Ss				1.23		0.134
					一次	C			0.86			
					一次+二次	Sd			0.86			
		炭素鋼配管	母管	腐食(流れ加速型腐食)	一次	S				0.58		
					一次+二次	Ss			0.80			
					一次	C			1.30			
					一次+二次	C			0.59			
					一次	C			0.25			
					一次+二次	C			0.03			
配管サポート	アンカー	ラグとプレート の溶接部等のサ ポート取付部	ラグとプレートの溶接部等のサ ポート取付部	疲労割れ	一次	S			0.97以下			
					一次+二次	S			0.75			
					一次	Ss			1.35			
					一次+二次	S			0.14			
					一次	Ss			0.13			
					一次+二次	S			0.05			
					一次	Ss			0.05			
					一次+二次	S			0.04			
					一次	Ss			0.04			
					一次+二次	S			0.04			
					一次	Ss			0.04			
					一次+二次	S			0.04			

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

機種	章	機器名称	部位 非代表設備	経年劣化事象	評価部位	耐震 重要度	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	疲労累積係数	
										通常 運転時	地震時
炉内構造物	炉内構造物	炉内構造物	炉心そう	中性子照射による脆性低下		S			0.16		
			炉内計装用シンプルチューブ	照射誘起型応力腐食割れ		S				0.40	
タービン	高圧タービン	高圧タービン	炉内計装用シンプルチューブ	摩耗		S			0.03		
			主蒸気入口管	腐食(流れ加速型腐食)		C				0.51	
空調設備	冷凍機	チラーユニット	凝縮器伝熱管	内面腐食(流れ加速型腐食)		C			0.21		
			配管	腐食(全面腐食)		C				0.22	
機械設備	重機器サポート	原子炉容器サポート	冷水サージタンク	腐食(全面腐食)		C			0.16		
			サポートブラケット	中性子および照射射影		S				0.32	
重機器サポート	重機器サポート	蒸気発生器サポート(支脚)	ヒンジ摺動部	摩耗	一次	S			0.21		
			ヒンジ摺動部	摩耗	一次 一次+二次	S				0.33	
空気圧縮装置	空気圧縮装置	格納容器外制御用空気圧縮装置	1次冷却材ポンプサポート(支脚)	摩耗	一次 一次+二次	S			0.77		
			格納容器外制御用空気ため	腐食(全面腐食)		S				[0.37]	
非核燃料炉心構成品	濃縮減容設備	制御棒クラスタ	格納容器外制御用空気ため	腐食(全面腐食)		S			[0.91]		
			濃縮減容装置	格納容器外制御用空気乾燥器		S				0.25	
基礎ボルト	基礎ボルト	容器	燃料取替用水タンク	腐食	引張荷重	S			0.14		
			復水タンク	腐食	せん断荷重	S				[0.81]	
電源設備	非常用ディーゼル機関付属設備(熱交換器)	清水クーラ	燃料弁冷却水クーラ	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	引張荷重	S			0.36		
			空気冷却器	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	せん断荷重	S				[0.51]	
電源設備	非常用ディーゼル機関付属設備(熱交換器)	主蒸気系統配管	配管用基礎ボルト	腐食(全面腐食)	引張荷重	S			0.60		
			伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	せん断荷重	S				0.29	
電源設備	非常用ディーゼル機関付属設備(熱交換器)	燃料弁冷却水クーラ	伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	引張荷重	S			0.23以下		
			伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	せん断荷重	S				0.23	
電源設備	非常用ディーゼル機関付属設備(熱交換器)	空気冷却器	伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	引張荷重	S			0.05以下		
			伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	せん断荷重	S				0.05	
電源設備	非常用ディーゼル機関付属設備(熱交換器)	空気冷却器	伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	引張荷重	S			0.22以下		
			伝熱管	内面からの腐食(流れ加速型腐食)	せん断荷重	S				0.22	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

[] 内は水平2方向および鉛直地震力の組合わせによる影響評価結果

美浜3号炉－耐震－8 Rev1

タイトル	高経年化対策上着目すべきでない経年劣化事象において、ステンレス配管母管の内面からの応力腐食割れを、耐震安全上考慮する必要が無い経年劣化事象として抽出する根拠について。
説明	<p>ステンレス鋼配管母管の内面については、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。</p> <p>しかしながら、高温かつ溶存酸素濃度が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、SUS304系から耐応力腐食割れ性に優れているSUS316系に取替を完了しており、応力腐食割れの可能性は小さい。</p> <p>さらに、供用期間中検査時に超音波探傷試験を実施して有意な欠陥がないことを確認するとともに、漏えい検査により機器の健全性を維持している。</p> <p>したがって、今後も現状保全で管理される程度の範囲の進行では固有振動数の変化および断面減少による応力増加への影響は軽微であることから、耐震安全性に影響を与えるものではないとしている。</p> <p>PLM30での高経年化技術評価内容は以下のとおり。</p> <p><PLM30での評価></p> <p>〔余熱除去系統配管〕</p> <p>通常運転時に使用されず閉塞滞留部となり溶存酸素濃度が高くなる可能性があり、かつ、1次冷却材の流れの影響により高温となる可能性のある部位については、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。</p> <p>ただし、当該部位については、SUS304系より耐応力腐食割れ性が優れているSUS316系を使用している。</p> <p>健全性評価結果から判断して、母管の内面からの応力腐食割れ発生の可能性は、小さいと考えるが否定できないため、高温で溶存酸素濃度が高くなる可能性がある部分について、溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施していく。</p> <p>〔化学体積制御系統配管、安全注入系統配管〕</p> <p>高経年化に当たっては、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。したがって、高温で溶存酸素濃度が高くなる可能性がある部分について、代表部位の溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施していく。</p>

《参考》美浜3号機 O₂ SCC対象配管の取替え実績

対象ライン	系 統	実施時期	対 策
加圧器スプレライン	RCS	①、⑤	I
加圧器補助スプレライン	RCS	⑤	I、II-1
加圧器スプレハイパスライン	RCS	②	I
加圧器下部水位計ライン	RCS	①	I
RCS冷却材ドレンライン	RCS	②、④	I
SIS蓄圧注入ライン	SIS	④	I
SIS安全注入ライン	SIS	⑤	I、II-1
抽出ライン	CVCS	③、④	I
充てんライン	CVCS	③、④	I
充てん待機ライン	CVCS	⑤	II-2

〈系 統〉

RCS：1次冷却系統 (Reactor Coolant System)

CVCS：化学体積制御系統 (Chemical and Volume Control System)

SIS：安全注入系統 (Safety Injection System)

〈実施時期〉

①第17回：平成11年4月～6月

②第18回：平成12年7月～10月

③第19回：平成14年1月～3月

④第21回：平成16年8月～平成19年2月

⑤第25回：平成23年5月～

※⑤はPLM30後の対策 (黄色ハッチング)

〈対策〉

I : SUS304SW (ソケット溶接) →SUS316BW (突合せ溶接) への取替

II-1 : SUS304BW (突合せ溶接) →SUS316BW (突合せ溶接) への取替

II-2 : SUS304BW (突合せ溶接) 配管の撤去

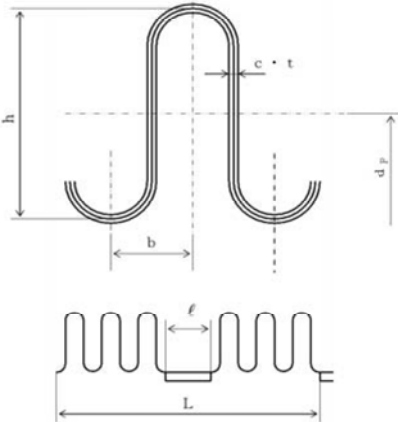
〈美浜3号機データ〉

・ 運開30年 平成18年11月30日

・ PLM30認可 平成18年7月27日

以上

美浜3号炉—耐震—12

<p>タイトル</p>	<p>主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。</p>																																																																								
<p>回答</p>	<p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="406 571 1311 1317"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの2分の1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_p</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径（平均径）</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度におけるJISME S NCI-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の1山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>ℓ</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手部の全山数</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>—</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W_N</td> <td>—</td> <td>1個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量（表3における$\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図1に示す。</p>  <p style="text-align: center;">(複式(中間の管を含む))</p> <p style="text-align: center;">図1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定義	b	mm	継手部の波のピッチの2分の1	c	—	継手部の層数	d_p	mm	継手部の有効径（平均径）	E	MPa	最高使用温度におけるJISME S NCI-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の1山当たりの総変位量	e_x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量	e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	L	mm	継手部の有効長さ	ℓ	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数	n	—	継手部の全山数	P	MPa	最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	U	—	疲れ係数	UF	—	疲れ累積係数	W_N	—	1個の継手部の山数	X	mm	軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））	Y	mm	軸直角方向変位量（表3における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の2倍（両振幅））	δ	mm	全伸縮量	σ	MPa	合計応力	σ_D	MPa	全伸縮量による応力	σ_P	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定義																																																																							
b	mm	継手部の波のピッチの2分の1																																																																							
c	—	継手部の層数																																																																							
d_p	mm	継手部の有効径（平均径）																																																																							
E	MPa	最高使用温度におけるJISME S NCI-2005/2007付録図表Part6表1に規定する材料の縦弾性係数																																																																							
e	mm	継手部の1山当たりの総変位量																																																																							
e_x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
h	mm	継手部の波の高さ																																																																							
L	mm	継手部の有効長さ																																																																							
ℓ	mm	中間の管の長さ																																																																							
N	—	許容繰返し回数																																																																							
n	—	継手部の全山数																																																																							
P	MPa	最高使用圧力																																																																							
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																							
U	—	疲れ係数																																																																							
UF	—	疲れ累積係数																																																																							
W_N	—	1個の継手部の山数																																																																							
X	mm	軸方向変位量（表3におけるXの2倍（両振幅））																																																																							
Y	mm	軸直角方向変位量（表3における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の2倍（両振幅））																																																																							
δ	mm	全伸縮量																																																																							
σ	MPa	合計応力																																																																							
σ_D	MPa	全伸縮量による応力																																																																							
σ_P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																							

2. 評価部位

評価する伸縮継手は、技術評価で厳しい系統とし、主蒸気配管はCループ（改造なし）、主給水配管はCループ（改造なし）とする。図2にC－主蒸気配管、C－主給水配管の伸縮継手の模式図を示す。

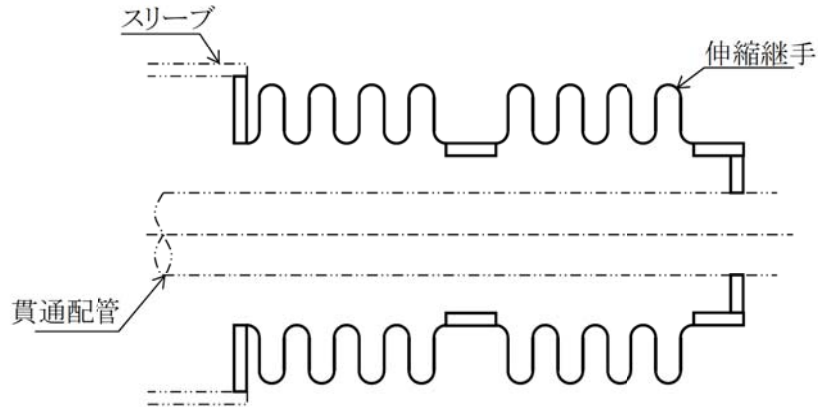


図2 C－主蒸気配管(改造なし)、C－主給水配管(改造なし)

評価部位は、図3に示す伸縮継手の頂部とします。

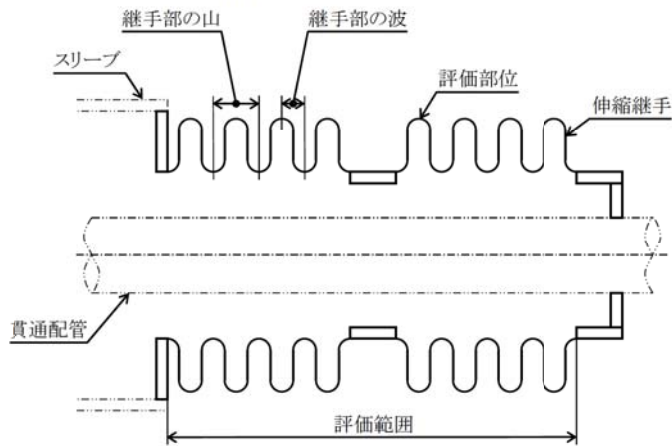


図3 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表2に示します。

表2 格納容器貫通部の仕様

配管	原子炉格納 容器最高 使用圧力 (MPa)	最高使 用温度 (°C)	伸縮継手 有効径 (mm)	継手部の 波の高さ (mm)	継手部の 波のピッチの 2分の1 (mm)	継手部の 板の厚さ (mm)	伸縮継手 1個の 山数	継手 部の 層数	材料	ヤング率 (MPa)	型式伸縮継手の長さ (mm)		
											中心間 距離 A	中間の管 の長さ E	伸縮継手 の長さ L
主蒸気配管 格納容器 貫通部	0.261	291							SUS304	176000			
主給水配管 格納容器 貫通部	0.261	230							SUS304	180000			

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表3に示す。

表3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器 貫通部	20.0	14.7	2.7	15.0
主給水配管格納容器 貫通部	26.3	13.3	3.4	13.8

表3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{Y^2 + Z^2}$
主蒸気配管格納容器 貫通部	11.9	7.2	1.5	7.4
主給水配管格納容器 貫通部	13.9	7.3	1.8	7.6

注：表3に示す座標系は、格納容器半径方向をx方向、鉛直方向をz方向とする右手直行座標系であり、表1に示すX、Yとは異なるものである。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価用繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出す (日本機械学会 設計・建設規格 「PVE-3800 伸縮継手」 参照)。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

(b) 軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量

$$e_y = \frac{3 d_p Y}{2W_N \left\{ L + \ell \left(\frac{\ell}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の1山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a)伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5E t \delta}{n \sqrt{b h^3}}$$

注：ヤング率Eについては、表2における高温時の値ではなく、常温（21℃）におけるヤング率195,000(MPa)を用いる。

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{P h^2}{2 t^2 c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

(b)許容繰返し回数

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

(c)疲れ累積係数

$$U F = \Sigma \frac{\text{評価用繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1)地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示す。

表4 Ss地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部	2081	343	200	0.584
主給水ライン貫通部	1585	890	200	0.225

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示す。

表5 Sd地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部	1113	3069	300	0.098
主給水ライン貫通部	908	6272	300	0.048

(2) 通常運転時U F との組合せによる評価結果
通常運転時のU F を加えた結果を表 6 及び表 7 に示す。

表 6 Ss地震時の通常運転時U F との組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Ss地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.005	0.584	0.589
主給水ライン貫通部	0.010	0.225	0.235

表 7 Sd地震時の通常運転時U F との組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Sd地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.005	0.098	0.103
主給水ライン貫通部	0.010	0.048	0.058

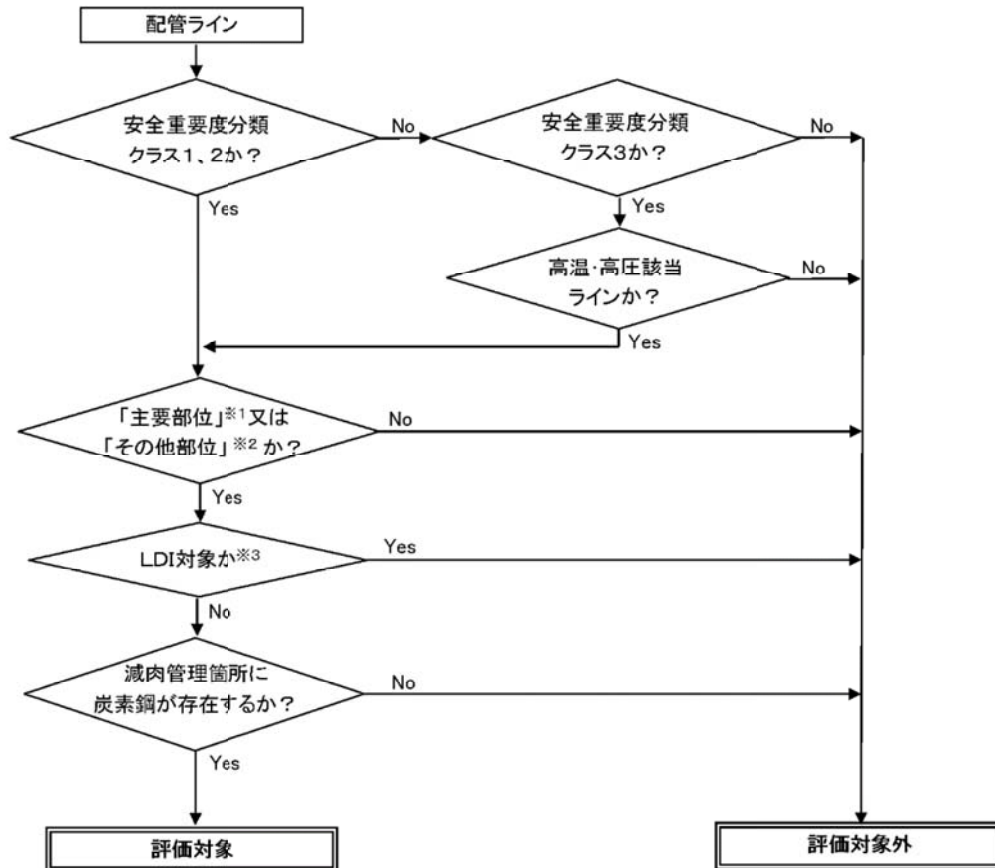
以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

以上

美浜3号炉－耐震－16

タイトル	母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価について
説明	<p>1. 評価対象ラインの抽出について 美浜3号炉の劣化状況評価における「母管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）」に対する耐震安全性評価は、発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（以下「技術規格」という。）等を踏まえて策定した当社の管理指針「2次系配管肉厚の管理指針」に規定する検査対象系統を基に、評価対象ラインを選定し、耐震安全性評価を実施している。選定フローを添付1に示す。</p> <p>2. 評価対象ライン数 その結果、評価対象として抽出され評価を行ったライン数は、系統分類毎にそれぞれ以下の通り。 主蒸気系統配管：7ライン 低温再熱蒸気系統配管：1ライン 第2抽気系統配管：1ライン 第3抽気系統配管：1ライン 第4抽気系統配管：3ライン 主給水系統配管：11ライン 復水系統配管：7ライン ドレン系統配管：26ライン 補助蒸気系統配管：2ライン グランド蒸気系統配管：1ライン 蒸気発生器ブローダウン系統配管：3ライン</p> <p>3. 評価結果 各評価仕様〔各評価用地震、想定減肉（必要最小肉厚or実測データ）、解析手法（梁モデル解析orFEM解析）〕とともに、各ラインの評価結果を添付2に示す。</p> <p>4. 評価モデル 評価対象ラインのうち、劣化状況評価書に厳しいラインとして代表で記載した応力比の、対象箇所を含む解析モデル図を添付3に示す。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>

配管内面からの腐食（流れ加速型腐食）評価対象ラインの抽出フロー



※1：当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」において、減肉が発生する可能性があるとし点検対象として選定している部位（「発電用原子力設備規格加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格」の流れ加速型腐食（FAC）による試験対象系統、液滴衝撃エロージョン（LDI）による試験対象系統の試験対象箇所にあたる部位


※2：当社社内指針「2次系配管肉厚の管理指針」において、2次系冷却水が常時流れる系統のうち主要部位に該当しない偏流発生部位

※3：液滴衝撃エロージョン（LDI）については、減肉が発生したとしても局所的であり、応答特性・強度に影響がないことから対象外とし、流れ加速型腐食（FAC）のみを耐震評価対象としているもの

以 上

美浜3号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所tsrモデル					
				梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
主蒸気系統	C	湿水分離加熱器加熱蒸気管	C		1.08	×		0.86	○
	S	A-主蒸気配管 (CV内)	Sd	1次	0.81	○		-	
				1次+2次	0.45	○		-	
			Ss	1次	0.61	○		-	
				1次+2次	0.99	○		-	
	S	B-主蒸気配管 (CV内)	Sd	1次	0.77	○		-	
				1次+2次	0.41	○		-	
			Ss	1次	0.57	○		-	
				1次+2次	0.82	○		-	
	S	C-主蒸気配管 (CV内)	Sd	1次	0.79	○		-	
				1次+2次	0.41	○		-	
			Ss	1次	0.58	○		-	
				1次+2次	0.84	○		-	
	S	A-主蒸気配管 (CV外)	Sd	1次	0.95以下	○		-	
				1次+2次	0.70以下	○		-	
			Ss	1次	0.48	○		-	
				1次+2次	0.70	○		-	
	S	B-主蒸気配管 (CV外)	Sd	1次	0.85	○		-	
				1次+2次	0.57	○		-	
			Ss	1次	0.54	○		-	
				1次+2次	1.23	×		-	
	S	C-主蒸気配管 (CV外)	Sd	1次	0.79	○		-	
				1次+2次	0.48	○		-	
			Ss	1次	0.52	○		-	
1次+2次				1.03	×		-		
				UF:0.012	○				

 評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所terモデル					
				梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
低温再熱蒸気系統	C	低温再熱蒸気配管(高圧排気管)	C		0.25	○		-	
第2抽気系統	C	第2抽気管	C		0.03	○		-	
第3抽気系統	C	第3抽気管	C		0.55	○		-	
第4抽気系統	C	第4抽気管(A)	C		0.33	○		-	
	C	第4抽気管(B)	C		0.37	○		-	
	C	第4抽気管(C)	C		0.64	○		-	
主給水系統	C	給水ブースタポンプ吸込管(A)	C		1.08	×		0.59	○
	C	給水ブースタポンプ吸込管(B)	C		0.99	○		-	
	C	給水ブースタポンプ吸込管(C)	C		0.78	○		-	
	C	主給水ポンプ～第6高圧給水加熱器	C		0.31	○		-	
	C	第6高圧給水加熱器～神船取合い	C		0.44	○		-	
	S	A-主給水配管 (CV内)	Sd	1次	0.57	○		-	
				1次+2次	0.34	○		-	
			Ss	1次	0.58	○		-	
				1次+2次	0.75	○		-	
	S	B-主給水配管 (CV内)	Sd	1次	0.71	○		-	
				1次+2次	0.49	○		-	
			Ss	1次	0.72	○		-	
				1次+2次	0.96	○		-	
	S	C-主給水配管 (CV内)	Sd	1次	0.69	○		-	
				1次+2次	0.47	○		-	
			Ss	1次	0.74	○		-	
				1次+2次	1.01	×		-	
					UF:0.575	○			
	S	A-主給水配管 (CV外)	Sd	1次	0.72	○		-	
				1次+2次	0.45	○		-	
Ss			1次	0.62	○		-		
			1次+2次	0.85	○		-		
S	B-主給水配管 (CV外)	Sd	1次	0.61	○		-		
			1次+2次	0.58	○		-		
		Ss	1次	0.50	○		-		
			1次+2次	1.30	×		-		
				UF:0.463	○				
S	C-主給水配管 (CV外)	Sd	1次	0.86	○		-		
			1次+2次	0.49	○		-		
		Ss	1次	0.80	○		-		
			1次+2次	0.98	○		-		

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所tsrモデル					
				梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/許容応力	応力比	評価	応力値/許容応力	応力比	評価
復水系統	C	復水ポンプ～グラコン～復水ブースタポンプ～第1低圧給水加熱器	C		0.53	○		-	
	C	第1低圧給水加熱器～第2低圧給水加熱器(A)	C		0.28	○		-	
	C	第1低圧給水加熱器～第2低圧給水加熱器(B)	C		0.28	○		-	
	C	第1低圧給水加熱器～第2低圧給水加熱器(C)	C		0.28	○		-	
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(A)	C		0.42	○		-	
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(B)	C		0.75	○		-	
	C	第2低圧給水加熱器～第3低圧給水加熱器(C)	C		0.87	○		-	
ドレン系統	C	第6高圧給水加熱器ドレン管(A)(常用)	C		1.08	×		0.76	○
	C	第6高圧給水加熱器ドレン管(B)(常用)	C		0.81	○		-	
	C	第4低圧給水加熱器ドレン管(A)	C		0.44	○		-	
	C	第4低圧給水加熱器ドレン管(B)	C		0.50	○		-	
	C	第4低圧給水加熱器ドレン管(C)	C		0.44	○		-	
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(A)(常用)	C		0.66	○		-	
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(B)(常用)	C		0.69	○		-	
	C	第3低圧給水加熱器ドレン管(C)(常用)	C		0.97	○		-	
	C	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(A)	C		0.53	○		-	
	C	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(B)	C		0.51	○		-	

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

系統分類	耐震 クラス	配管名称	評価用 地震	全箇所 _{tsr} モデル					
				梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
ドレン系統	C	低圧給水加熱器ドレンポンプ吐出管(C)	C		0.39	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレン管(1A)	C		0.40	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレン管(2A)	C		0.39	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレン管(3A)	C		0.54	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレン管(1B)	C		0.38	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレン管(2B)	C		0.41	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレン管(3B)	C		0.46	○		-	
	C	湿分離加熱器ドレンタンクドレン管(A, B) (常用)	C		0.91	○		-	
	C	湿分離器ドレン管(1A)	C		0.26	○		-	
	C	湿分離器ドレン管(2A)	C		0.23	○		-	
	C	湿分離器ドレン管(3A)	C		0.28	○		-	
	C	湿分離器ドレン管(1B)	C		0.38	○		-	
	C	湿分離器ドレン管(2B)	C		0.69	○		-	
	C	湿分離器ドレン管(3B)	C		0.53	○		-	
	C	湿分離器ドレンポンプ吸入管(常用)	C		0.99	○		-	
	C	湿分離器ドレンポンプ吐出管	C		1.22	×		0.49	○

評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号機 PLM40耐震評価 流れ加速型腐食に対する配管評価結果一覧

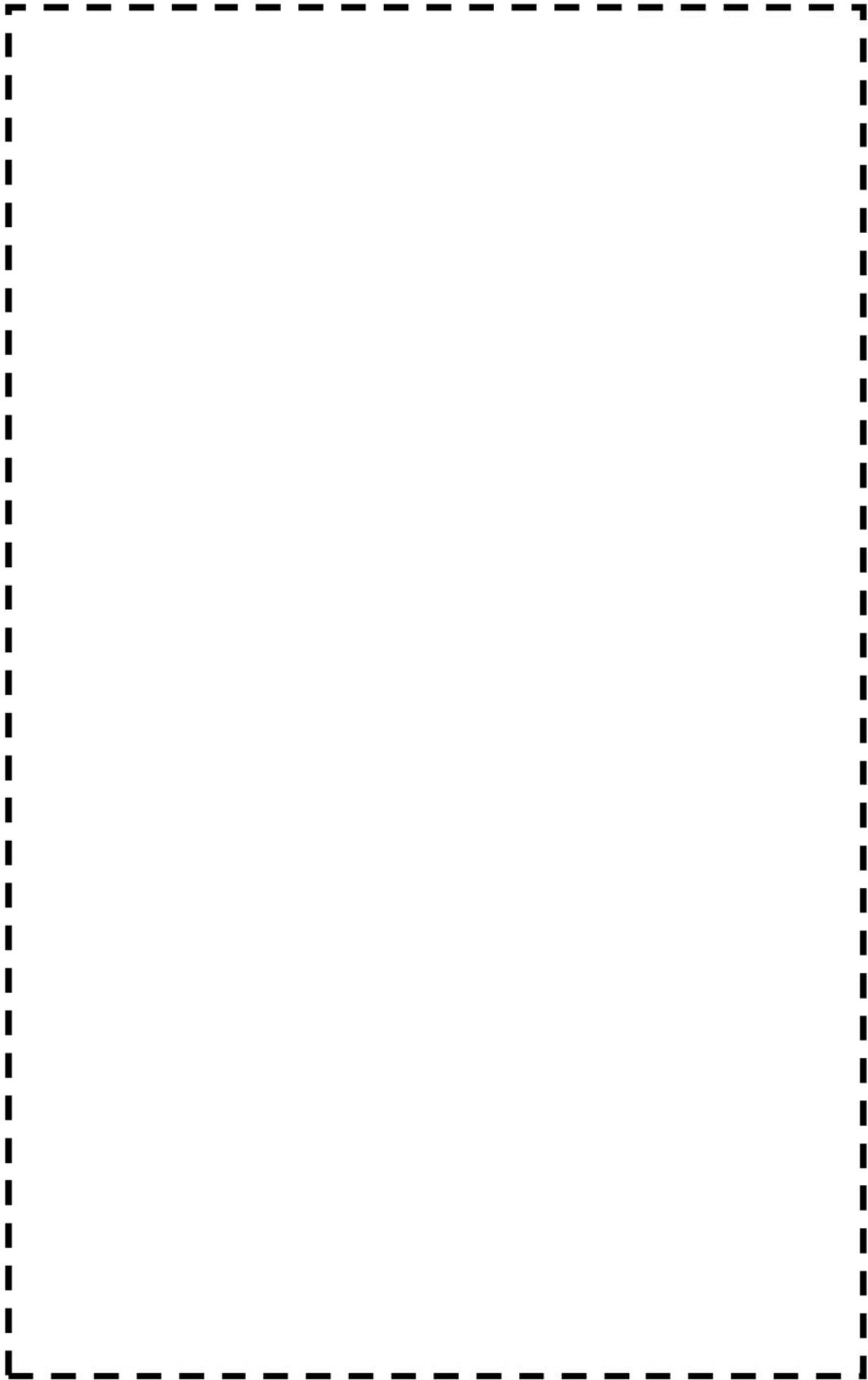
系統分類	耐震クラス	配管名称	評価用地震	全箇所tsrモデル					
				梁モデル評価			FEM評価		
				応力値/ 許容応力	応力比	評価	応力値/ 許容応力	応力比	評価
グラント蒸気系統	C	グラント蒸気管	C		0.86	○		-	
補助蒸気系統	C	スチームコンバータ加熱蒸気管 第6抽気ライン(第6抽気管～ス チームコンバータ)	C		0.77	○		-	
	C	スチームコンバータドレン管	C		0.43	○		-	
蒸気発生器 ブローダウン系統	S	AループSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD内	Sd	1次	0.48以下	○		-	
				1次+2次	0.97以下	○			
			Ss	1次	0.24	○		-	
				1次+2次	0.97	○			
	S	AループSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD外	Sd	1次	0.67以下	○		-	
				1次+2次	0.27以下	○			
			Ss	1次	0.35	○		-	
				1次+2次	0.27	○			
	S	BループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD内	Sd	1次	0.43	○		-	
				1次+2次	0.43	○			
			Ss	1次	0.26	○		-	
				1次+2次	0.89	○			
	S	BループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD外	Sd	1次	0.74	○		-	
				1次+2次	0.61	○			
			Ss	1次	0.75	○		-	
				1次+2次	1.35	×			
				UF:0.090	○				
S	CループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD内	Sd	1次	0.49以下	○		-		
			1次+2次	0.87以下	○				
		Ss	1次	0.25	○		-		
			1次+2次	0.87	○				
S	CループSGBD配管 PEN#230CV外 CVBD外	Sd	1次	0.60以下	○		-		
			1次+2次	0.34以下	○				
		Ss	1次	0.3	○		-		
			1次+2次	0.34	○				

 評価書に記載した系統毎の代表設備及びその評価結
 ※1:断続運転評価では、各系統について、CVBD内(Sクラス)
 およびCVBD外(Cクラス)の評価を行っている。
 ※2:Cクラス範囲については、保守的にSクラスと同等の評価を行っている。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管 (湿分離器加熱蒸気管)

■ 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



主蒸気系統配管(A-主蒸気配管 (CV内)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主蒸気系統配管(A-主蒸気配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

低温再熱蒸気系統配管(低温再熱蒸気配管(高圧排気管))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第2抽気系統配管 (第2抽気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第3 抽気系統配管 (第3 抽気管)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

第4抽気系統配管 (第4抽気管 (C))

■ 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管（給水ブースタポンプ吸込管（A））

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(C-主給水配管(CV内)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(B-主給水配管 (CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(B—主給水配管 (CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(C-主給水配管(CV外)) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

主給水系統配管(C-主給水配管(CV外)) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

復水系統配管（第2低圧給水加熟器～第3低圧給水加熟器（C））

■ 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ドレン系統配管 (第6 高圧給水加熱器ドレン管 (A) (常用))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

グラウンド蒸気系統配管 (グラウンド蒸気管)

■ 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

補助蒸気系統配管 (スチームコンバータ加熱蒸気管
第6抽気ライン (第6抽気管～スチームコンバータ))

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器ブローダーダウンシステム配管 (A/レープSGBD配管 PEN#279CV外 CVBD内) 【Sd地震】

■ 枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器ブローダウン系統配管(BループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD外) 【Sd地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

蒸気発生器ブローダウン系統配管 (BループSGBD配管 PEN#233CV外 CVBD外) 【Ss地震】

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉一耐震-19

<p>タイトル</p>	<p>原子炉容器サポートの補強材及びボルトの中性子およびγ線照射脆化に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。</p>												
<p>回答</p>	<p>原子炉容器サポートの補強材及びボルトの中性子及びγ線照射脆化に対する、耐震安全性評価の詳細は以下のとおり。</p> <p>1. 評価条件</p> <p>①原子炉容器サポートの耐震クラスに応じたSクラス地震荷重を適用する。 ②ボルトの欠陥寸法は、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」に規定されている超音波探傷検査を行う装置の適合基準における最小欠陥検出寸法を基に4.2mmとする。補強材の欠陥寸法は、JEAC4206に準拠して板厚の1/4とし、き裂のアスペクト比はASME Sec. III Appendix Gに準拠して1/6とする。 ③脆化度はNUREG-1509の評価手法に基づき、プラント運転開始後60年時点の予測値を適用する。 ④補強材及びボルトの破壊靱性値とS_s（S_{s1}～24）地震力を受けた場合の応力拡大係数の比較を行うことによる破壊力学評価を実施する。</p> <p>2. 評価モデル及び緒元</p> <p>原子炉容器サポートの補強材及びボルトの評価に用いた緒元を表1に、評価モデルを図1、2に示す。</p> <p>表1 原子炉容器サポートの補強材及びボルトの評価に用いた緒元</p> <table border="1" data-bbox="491 1496 1273 1839"> <thead> <tr> <th></th> <th>補強材</th> <th>ボルト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>炉年（年）</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>材質</td> <td colspan="2" rowspan="4" style="border: 1px dashed black;"></td> </tr> <tr> <td>初期T_{NDT}（℃）</td> </tr> <tr> <td>照射量（dpa）※</td> </tr> <tr> <td>板厚（mm）</td> </tr> </tbody> </table>		補強材	ボルト	炉年（年）	60	60	材質			初期T _{NDT} （℃）	照射量（dpa）※	板厚（mm）
	補強材	ボルト											
炉年（年）	60	60											
材質													
初期T _{NDT} （℃）													
照射量（dpa）※													
板厚（mm）													

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

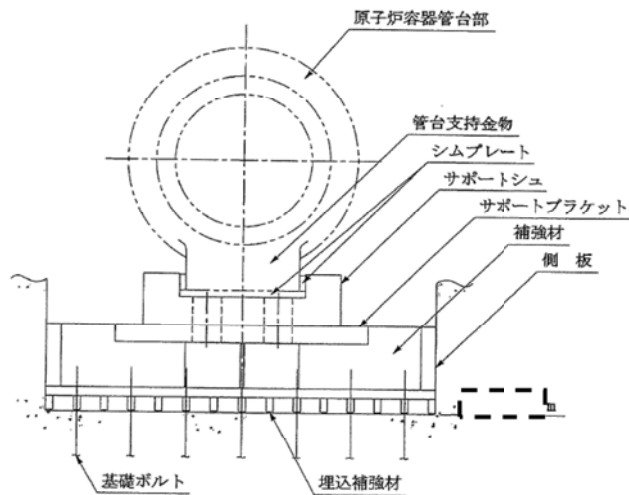


図1 解析モデル（補強材概略図）

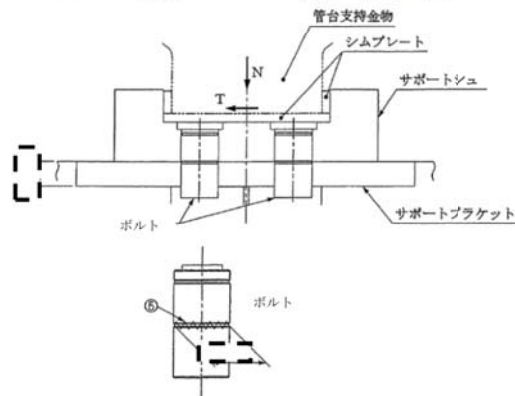


図2 解析モデル（ボルト概略図）

3. 入力条件

入力条件を以下に示す。

(1) 補強材

①脆化量推定値 ΔT_{NDT}

NUREG-1509に記載の上限脆化予測線図より算出した。

$$\begin{aligned} \Delta T_{NDT} &= 35.423 \times [\log(\text{dpa})]^2 + 286.336 \times [\log(\text{dpa})] + 585.1 \\ &= 35.423 \times [\log\{\text{---}\}]^2 + 286.336 \times [\log\{\text{---}\}] + 585.1 \\ &= \text{---}^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{---}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

②照射後 T_{NDT} 推定値

$$T_{NDT} = (\text{初期}T_{NDT}) + \Delta T_{NDT} = \text{---}^{\circ}\text{C}$$

③最低使用温度 $T = \text{---}^{\circ}\text{C}$

④発生応力 $\sigma = \text{---} \text{MPa}$ (添付-1参照)

⑤想定き裂深さ

$$a = t/4 = \text{---} \text{mm}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

⑥平板の幅の半長 $b = \text{---} \text{mm}$ とする

⑦表面長さの半長 $c = 3 \times a = 3 \times \text{---} \text{mm}$

⑧き裂前縁の位置を表す角度 $\phi = \text{---}$

$$\begin{aligned} \textcircled{9} Q &= 1 + 1.464 \times (a/c)^{1.65} \\ &= 1 + 1.464 \times (\text{---})^{1.65} = \text{---} \rightarrow \text{---} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{10} M_1 &= 1.13 - 0.09 \times (a/c) \\ &= 1.13 - 0.09 \times (\text{---}) = \text{---} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{11} M_2 &= -0.54 + \{0.89 / (0.2 + a/c)\} \\ &= -0.54 + \{0.89 / (0.2 + \text{---})\} = \text{---} \rightarrow \text{---} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{12} M_3 &= 0.5 - \{1 / (0.65 + a/c)\} + 14 \times (1 - a/c)^{24} \\ &= 0.5 - \{1 / (0.65 + \text{---})\} + 14 \times (1 - \text{---})^{24} \\ &= \text{---} \rightarrow \text{---} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{13} f_\phi &= \{ (a/c)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \}^{1/4} \\ &= \{ (\text{---})^2 \cos^2 \text{---} + \sin^2 \text{---} \}^{1/4} = \text{---} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{14} g &= 1 + (0.1 + 0.35 \times (a/t)^2) \times (1 - \sin \phi)^2 \\ &= 1 + (0.1 + 0.35 \times (\text{---})^2) \times (1 - \sin \text{---})^2 = \text{---} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{15} fw &= [\sec \{ \pi c \sqrt{(a/t)/2b} \}]^{1/2} \\ &= [\sec \{ \pi \times \text{---} / 2 \times \text{---} \}]^{1/2} = \text{---} \end{aligned}$$

(2) ボルト

①脆化量推定値 ΔT_{NDT}

NUREG-1509に記載の上限脆化予測線図より算出した。

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{NDT}} &= 35.423 \times [\log(\text{dpa})]^2 + 286.336 \times [\log(\text{dpa})] + 585.1 \\ &= 35.423 \times [\log(\text{---})]^2 + 286.336 \times [\log(\text{---})] + 585.1 \\ &= \text{---} \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{---} \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

②照射後 T_{NDT} 推定値

$$T_{\text{NDT}} = (\text{初期}T_{\text{NDT}}) + \Delta T_{\text{NDT}} = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$$

③最低使用温度 $T = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$

④ボルト半径 $R = \text{---} \text{mm}$ (ボルト外径 $D = \text{---} \text{mm}$)

⑤発生応力 $\sigma = \text{---} \text{MPa}$ (添付-1参照)

⑥想定き裂深さ $a = \text{---} \text{mm}$

4. 評価方法

(1) 補強材

・応力拡大係数 K_I

補強材については、平板要素として、Raju-Numanの式を使用した。
 なお、NUREG-1509「Radiation Effects on Reactor Pressure Vessel Support」の評価手法に従い、応力拡大係数Kに安全率 $\sqrt{2}$ を乗じた値を評価に用いる。

$$K_I = F \sigma \sqrt{\pi a / Q}$$

ここで、

$$F = \{M_1 + M_2 \times (a/t)^2 + M_3 \times (a/t)^4\} \times g \times f_\phi \times f_w$$

よって

$$\sqrt{2}K_I = \sqrt{2} \times \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right] \rightarrow \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right] \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$$

・破壊靱性値 K_{IR}

ASME Section III Appendix Gに記載されている下式により算出します。

$$K_{IR} = 29.43 + 1.344 \exp(0.0261 \times (T - T_{NDT} + 88.9))$$

$$= 29.43 + 1.344 \exp(0.0261 \times [T - T_{NDT} + 88.9])$$

$$\rightarrow \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right] \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$$

・応力比 (=応力拡大係数/破壊靱性値)

$$\sqrt{2}K_I / K_{IR} = \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right] \rightarrow 0.32$$

(2) ボルト

・応力拡大係数 K_I

ボルトは、丸棒に置き換え、軸方向に垂直な表面き裂を想定し、
 A. LevanとJ. Royerの文献に記載されている式を使用した。(引用文献：
 Part-circular surface cracks in round bars under tension, bending
 and twisting (A. Levan and J. Royer))。なお、NUREG-1509「Radiation
 Effects on Reactor Pressure Vessel Support」の評価手法に従い、
 応力拡大係数Kに安全率 $\sqrt{2}$ を乗じた値を評価に用いた。

$$K_I = F(a/R) \times \sigma \times \sqrt{\pi a}$$

ここで、

$$F(a/R) = 1.1261 - 0.04796 \times (a/R) - 0.1979 \times (a/R)^2$$

$$+ 2.5140 \times (a/R)^3$$

$$= 1.1261 - 0.04796 \times \left[\frac{a}{R} \right] - 0.1979 \times \left[\frac{a}{R} \right]^2$$

$$+ 2.5140 \times \left[\frac{a}{R} \right]^3$$

$$\rightarrow \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right]$$

よって

$$\sqrt{2}K_I = \sqrt{2} \times \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right] \times \sqrt{\pi \times \left[\frac{a}{R} \right]}$$

$$\rightarrow \left[\frac{F \sigma \sqrt{\pi a}}{K_{IR}} \right] \text{ (MPa}\sqrt{\text{m}})$$

原子炉容器支持構造物（補強材）、ボルトに発生するせん断応力値 σ の算出について

原子炉容器支持構造物に作用する荷重方向図を図1に、荷重を表1に示す。

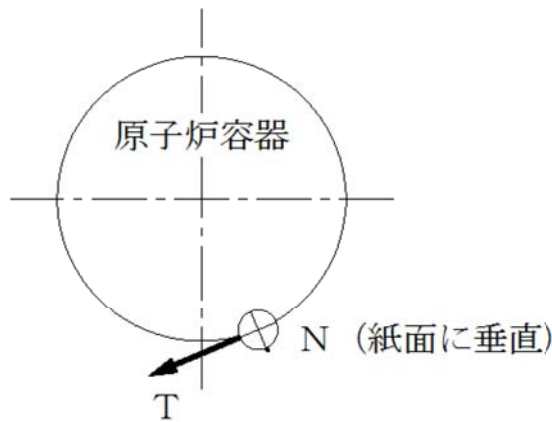


図1 原子炉容器支持構造物に作用する荷重方向

表1-1 原子炉容器支持構造物に作用する一次応力評価用荷重
(単位: kN)

	接線方向荷重 T	鉛直方向荷重 N
自重		
地震荷重		
最大荷重		

(注1) 鉛直方向荷重において負符号(-)は、鉛直下向きを示す。

(注2) Nの最大荷重は、自重と地震荷重を加算したものである。

表1-2 原子炉容器支持構造物に作用する一次+二次応力評価用荷重
(単位: kN)

	接線方向荷重 T	鉛直方向荷重 N
自重		
熱膨張荷重		
地震荷重		
最大荷重		

(注1) 鉛直方向荷重において負符号(-)は、鉛直下向きを示す。

(注2) Nの最大荷重は、自重と熱膨張荷重と地震荷重を加算したものである。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 応力の算出

2.1 原子炉容器支持構造物の応力計算

原子炉容器支持構造物の構造及び評価箇所を図2に示す。評価対象とする補強材の①及び②部、ボルトの⑤部におけるせん断応力を算出する。

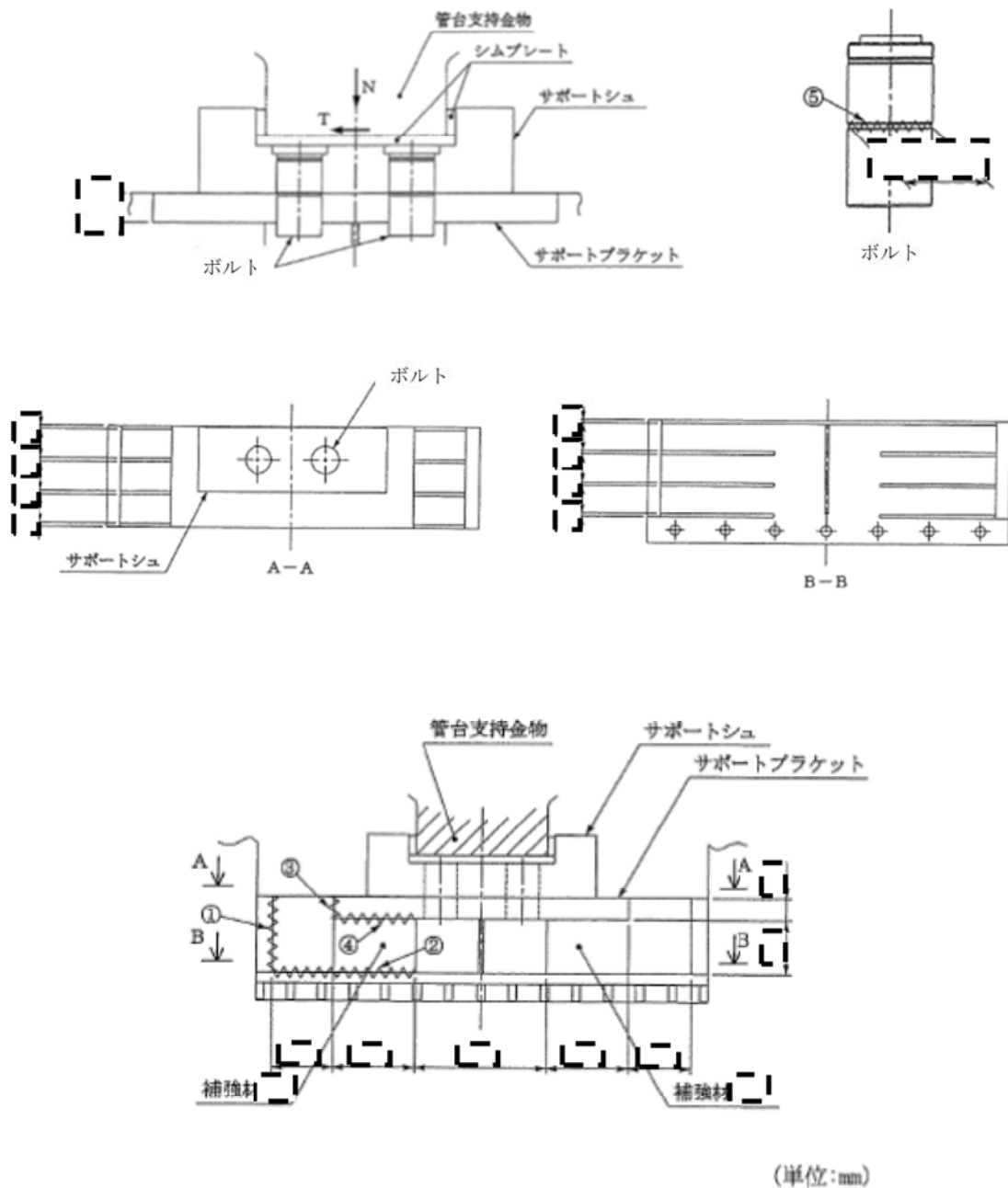


図2 原子炉容器支持構造物の構造及び評価箇所

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(1) サポートシュに作用する荷重

サポートシュには図3に示すとおり荷重が作用する。

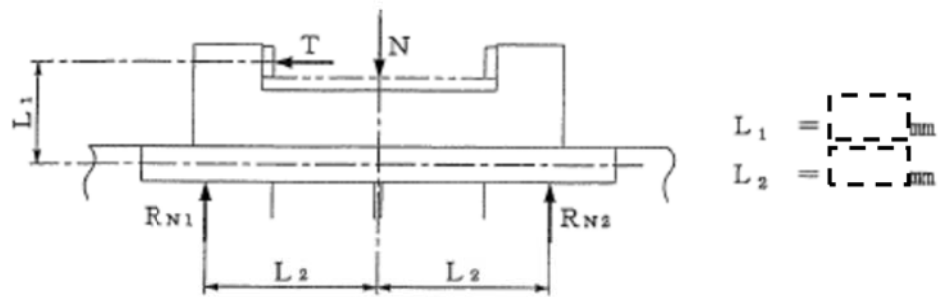


図3 サポートシュに作用する荷重

図3より補強材からの反力 R_{N1} 、 R_{N2} を次式よりもとめる。



なお、 N 、 T については表1に、 L_1 、 L_2 については図3に示す。

(2) 補強材に作用する荷重

原子炉容器支持構造物を図4のようにモデル化し、補強材に作用する荷重を求めらる。

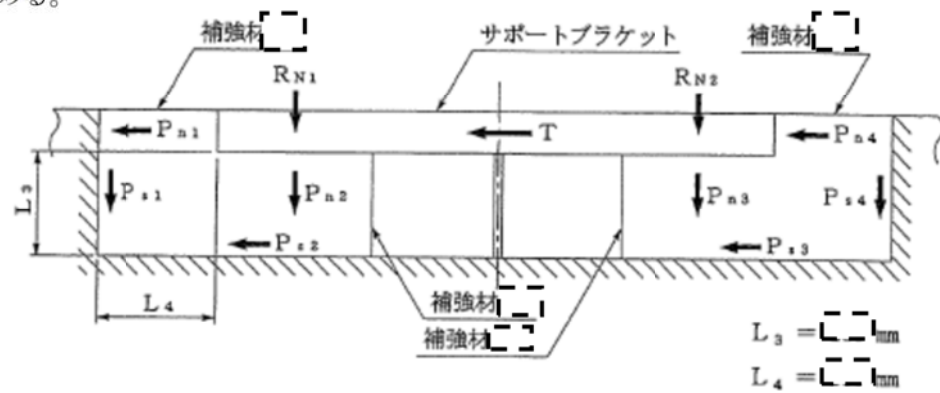
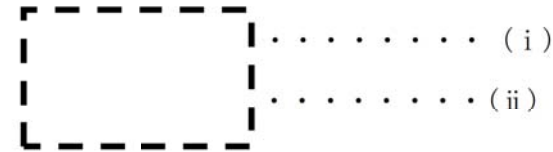


図4 補強材に作用する荷重

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

P_{n1} 、 P_{n2} 、 P_{n3} 、 P_{n4} 、 P_{s1} 、 P_{s2} 、 P_{s3} 、 P_{s4} はサポートブラケットより受ける荷重である。

ここでは、条件の厳しい \square の補強材について評価するが、サポートブラケットは剛体であり、補強材とは溶接による一体構造であることから、次式が成立する。



補強材 (①部) のせん断による変位



補強材 (②部) のせん断による変位



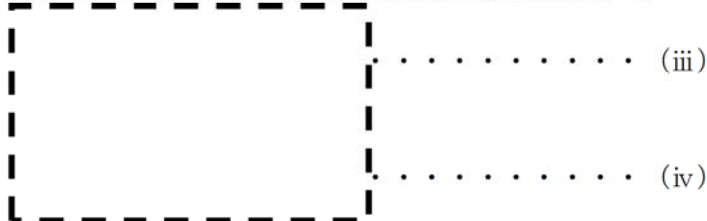
補強材 (③部) の圧縮による変位



補強材 (④部) の圧縮による変位



圧縮による変位とせん断による変位の連続条件から



枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(i)、(ii)、(iii)及び(iv)式より P_{s1} 及び P_{s2} は次式より求まる。



ここで、

P_{s1} : 補強材 (①部) に作用するせん断荷重 (kN)

P_{s2} : 補強材 (②部) に作用するせん断荷重 (kN)

P_{n1} : 補強材 (③部) に作用する圧縮荷重 (kN)

P_{n2} : 補強材 (④部) に作用する圧縮荷重 (kN)

A_{s1} : 荷重 P_{s1} を受ける補強材 (①部) のせん断に対する断面積 (mm^2)

A_{s2} : 荷重 P_{s2} を受ける補強材 (②部) のせん断に対する断面積 (mm^2)

A_{c3} : 荷重 P_{n1} を受ける補強材 (③部) の圧縮に対する断面積 (mm^2)

A_{c4} : 荷重 P_{n2} を受ける補強材 (④部) の圧縮に対する断面積 (mm^2)

なお、Tについては表1に、E、G、 L_3 、 L_4 、 A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{c3} 、 A_{c4} については表2に示す。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2.2 原子炉容器支持構造物各部の応力計算方法

2.1項で求めた荷重より、補強材及びボルトに発生する応力を算出する。

(1) 補強材

a せん断応力 (①部)

$$\tau_1 = \frac{P_{s1}}{A_{s1}}$$

b せん断応力 (②部)

$$\tau_2 = \frac{P_{s2}}{A_{s2}}$$

(2) ボルト

せん断応力 (⑤部)

$$\tau_5 = \frac{T}{2 \times A_{s5}}$$

なお、 A_{s1} 、 A_{s2} 、 A_{s5} については表2に示す。

3. 応力の計算結果

3.1 計算条件

原子炉容器支持構造物の応力計算条件を表2に示す。

表2 原子炉容器支持構造物の応力計算条件

名 称	記 号	単 位	数 値
荷重作用点までの距離	L_1	mm	
荷重作用点までの距離	L_2	mm	
部材の長さ	L_3	mm	
部材の長さ	L_4	mm	
補強材 (①部) のせん断に対する断面積	A_{s1}	mm ²	
補強材 (②部) のせん断に対する断面積	A_{s2}	mm ²	
補強材 (③部) の圧縮に対する断面積	A_{c3}	mm ²	
補強材 (④部) の圧縮に対する断面積	A_{c4}	mm ²	
ボルト (⑤部) のせん断に対する断面積	A_{s5}	mm ²	
補強材の縦弾性係数 (注1)	E	MPa	
補強材の横弾性係数 (注2)	G	MPa	

(注1) 補強材の最高使用温度におけるJSME S NC1付録材料図表Part6に規定する縦弾性係数。

(注2) 補強材の最高使用温度におけるJSME S NC1付録材料図表Part6に規定する縦弾性係数から求めた横弾性係数。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3.2 計算結果

2章で示した計算方法により求めた原子炉容器支持構造物の応力計算結果を、表3、4に示す。

表3 原子炉容器支持構造物の応力計算結果（一次応力評価）

(単位：MPa)

部 材 名	記 号	地 震 時
		せん断
補強材 (①部)	τ_1	
補強材 (②部)	τ_2	
ボルト (⑤部)	τ_5	

表4 原子炉容器支持構造物の応力計算結果（一次+二次応力評価）

(単位：MPa)

部 材 名	記 号	地 震 時
		せん断
補強材 (①部)	τ_1	

以 上

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

美浜3号炉－耐震－2 Rev1

タイトル	燃料取替用水タンク、復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について
説明	燃料取替用水タンク及び復水タンクの機器基礎ボルトの腐食に対する評価の具体的内容について添付に示す。 (1) 燃料取替用水タンク : 添付1 (2) 復水タンク : 添付2

(1) 燃料取替用水タンク
 <評価仕様>

表1-1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	95	
容器の満水時重量	m_0	kg	[Redacted]	
容器の空質量	m_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		[Redacted]
評価用加速度(水平)：図2参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度：図2参照	C''_{DH}	G	[Redacted]	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点計応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を実施した。

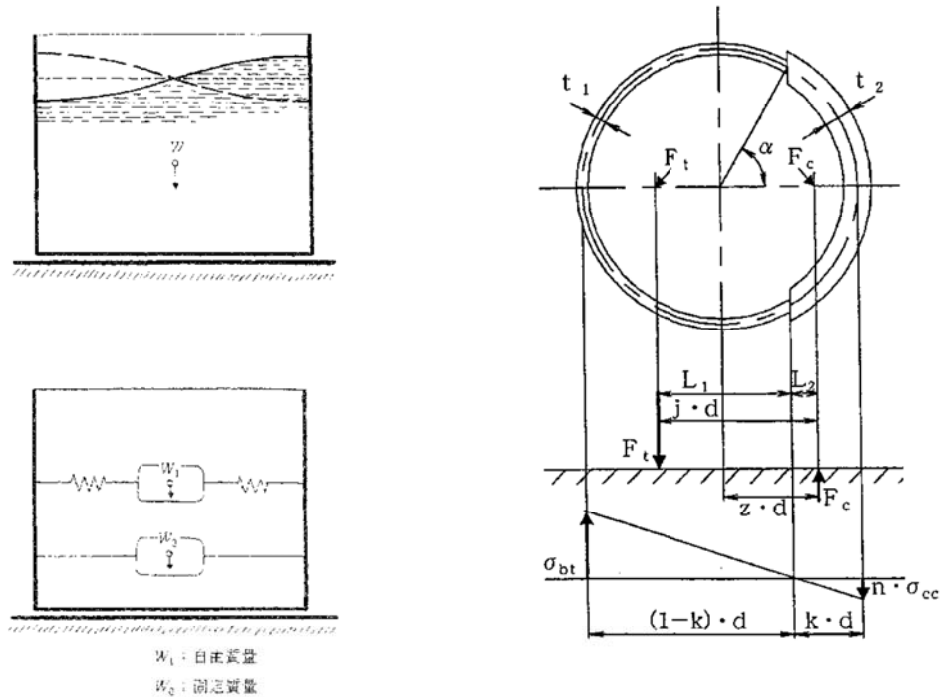


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

燃料取替用水タンク床応答曲線※（水平方向）より加速度を算出した。（図2参照）
 加速度は、固有周期 [] (s)での値 [] Gを用いる。（1G=9.80665m/s²）

$$\frac{[]}{[]} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

【鉛直方向】

燃料取替用水タンク床応答曲線※（鉛直方向）より加速度を算出した。（図3参照）
 鉛直方向は剛領域であることから、地震力として床加速度（ZPA）の1.2倍を用いる。

$$\frac{[]}{[]} \text{ (G)} \quad (1G=9.80665\text{m/s}^2)$$

$$\frac{[]}{[]} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

※全波包絡FRSにより応答加速度を算出している。

[枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。]

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価している。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} =$$

$$h' = 1.5R =$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m - m_e - W_s =$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} =$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_0' は、

$$W_0' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' =$$

$$h'' = h - h' =$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} =$$

全等価重量 W_0 は、

$$W_0 = W_0' + W'' + m_e + W_s =$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_0 = C_H \cdot g \cdot W_0 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

- a. 振動力を加味した
- W_w
- の等価重量
- W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

- b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega}$$

- c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は、(s)は、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要がある。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \quad \text{となる。ここで、} \omega = 2\pi/T \quad (T: \text{固有周期})$$

図4の床応答曲線より、固有周期1(s)の時の応答加速度 C''_{DH} は、 G であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH}$$

スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとしたうえ、安全側にスロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g$$

- d. 最大変位
- A_1
- 及び自由振動角度
- θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2}$$

$$\theta_h = 1.534 \frac{A_1}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)$$

- e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h$$

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0 =$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right]$$

$$h_0 = \frac{W_0' (h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$

3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1 =$$

ここで、

$$h_1 = h \cdot \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 3 応力の計算 (記号の定義は、JEG4601-1987によります。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)}}{e \cdot D_c} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}$$

= []

ここで、 $M = M_0 + M_1 =$ []
 $a_v = C_v \cdot g =$ []

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}} =$$
 []

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k) =$$
 []

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_3}{X_4} \right\} =$$
 []

$$X_1 =$$
 []

$$X_2 =$$
 []

$$X_3 =$$
 []

$$X_4 =$$
 []

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2}\alpha - \frac{3}{2}\sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{X_5}{X_6} \right\}$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha)\cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot (z - e) \cdot D_c)} - (1 - \frac{z}{e}) \cdot m_0 \cdot g}{e \cdot D_c}$$

e. σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t}$$

小数第1位以下を切り上げ)

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{b0} - D_{bi}) - t_1 = \frac{1}{2} \times \{ \dots \}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^2 = \frac{\pi}{4} \times \{ \dots \}$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

(小数第1位以下を切り上げ)

$$F_H = a_H \cdot m_0 - F_\mu$$

$$= C_H \cdot g \cdot m_0 - F_\mu$$

ここで、 $F_\mu = \dots$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表2の通りであり、耐震安全性評価上問題ない。

表2 評価結果 (燃料取替用水タンク)

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.64			0.65
せん断			0.36			0.36

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

減肉前の発生応力 \times $\frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \{ \dots \}^2}{\frac{\pi}{4} \times \{ \dots - 0.3 \times 2 \}^2}$$

なお、燃料取替用水タンクの基礎ボルトについては、工事計画において水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価の評価部位となっていることから、腐食(全面腐食)に対する耐震安全性評価においても水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行った。結果は、以下のとおり。

表3 水平2方向および鉛直方向地震力の組み合わせを考慮した評価結果

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.78			0.81
せん断			0.50			0.51

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min} \text{[]} \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \text{[]} / 2 = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \text{[]} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \text{[]} / 1.5\sqrt{3} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5 f_s^* = 1.5 \times \text{[]} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{によるせん断応力 } \tau = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau = 1.4 \times \text{[]} - 1.6 \times \text{[]} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6 \tau) = \text{Min} \text{[]} = \text{[]} \text{ (MPa)}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図2 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

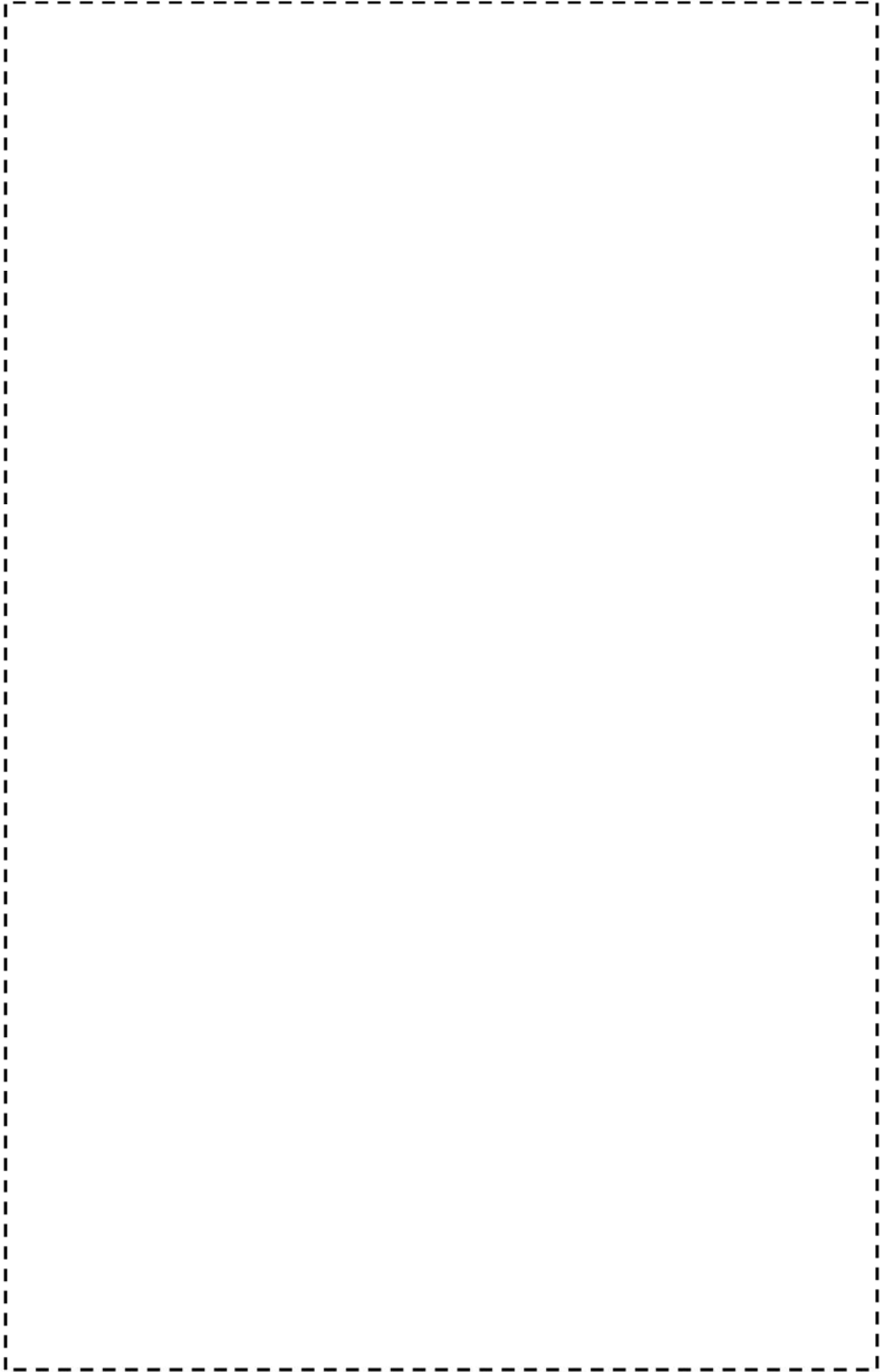


図3 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

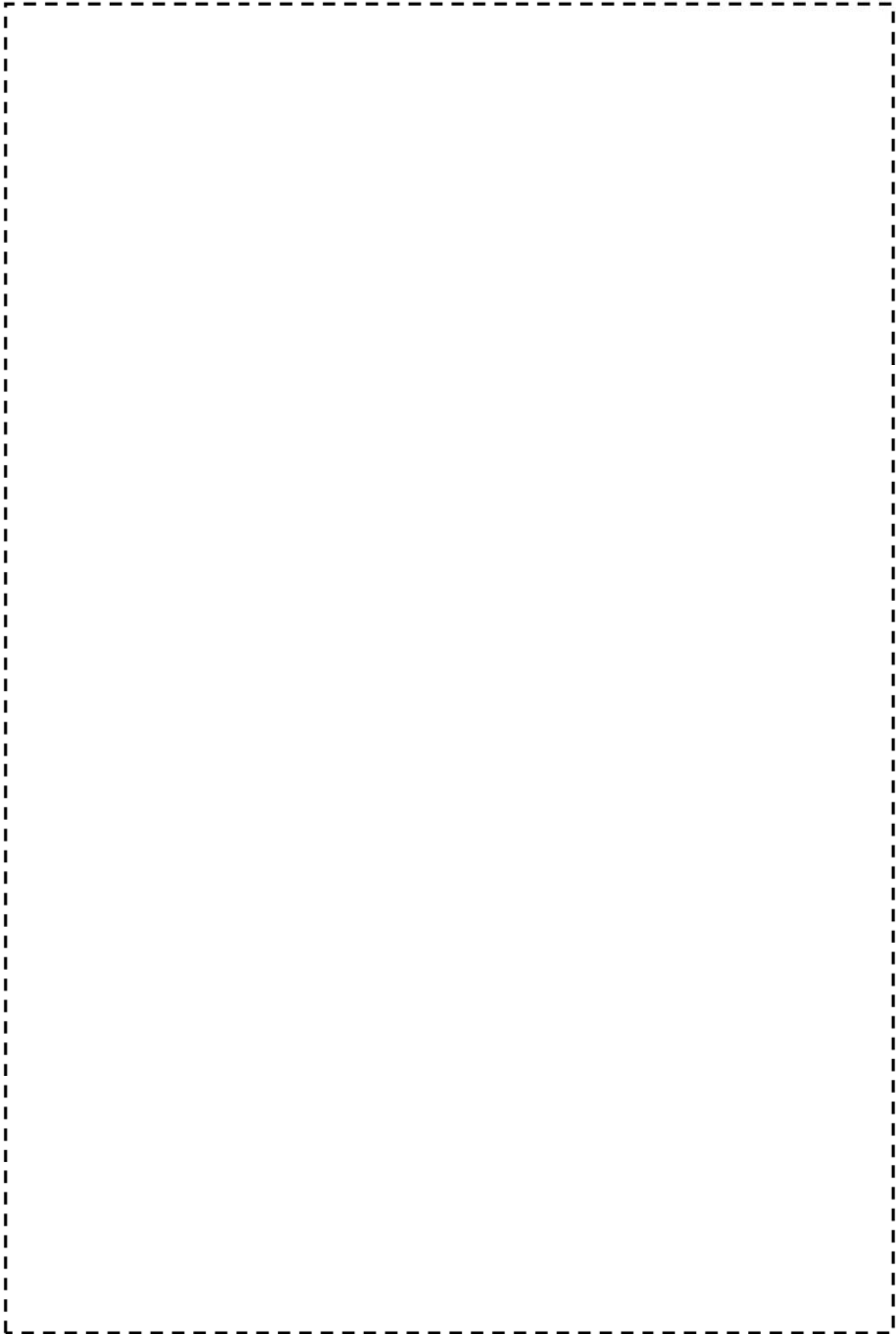
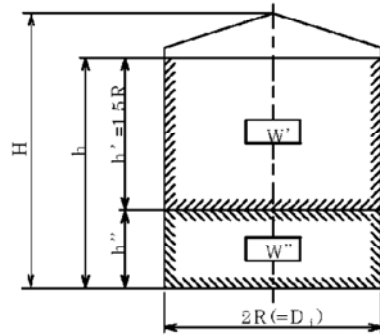


図4 燃料取替用水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

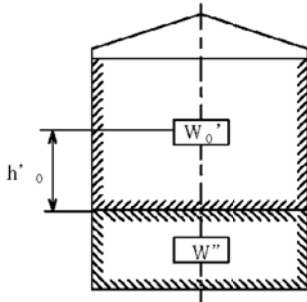
別図

燃料取替用水タンクの基礎ボルト評価に使う 質量・高さ・径の説明図



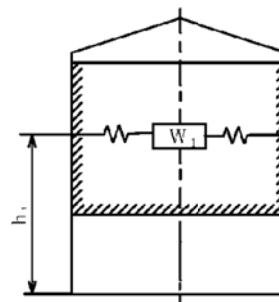
- W' : 運動流体の質量
- W'' : 拘束流体の質量
- R : タンク胴の内半径
- D_i : タンク胴の内径
- H : タンク全高
- h : 自由液面高さ
- h' : 運動流体の深さ
- h'' : 拘束流体の深さ

衝撃力を加味した計算

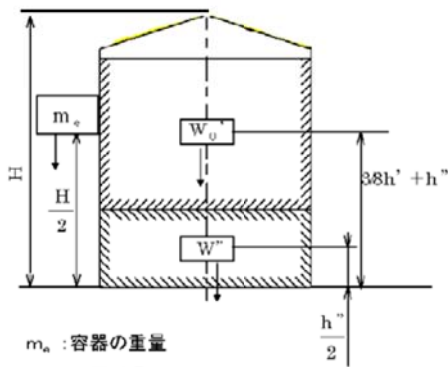


- W_0' : 衝撃力を考慮した W' の等価質量
- h'_0 : W_0' の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



- W_1 : 揺動力を考慮した W' の等価質量
- h_1 : W_1 の等価着力点の高さ



- m_s : 容器の重量
- W_s : 積雪重量
- W_0 : 衝撃力を考慮した全等価質量
- $(W_0 = W_0' + W'' + m_s + W_s)$

(2) 復水タンク
 <評価仕様>

表1 評価に必要な諸元

名称	記号	単位	値	
最高使用圧力	—	—	大気圧	
最高使用温度	—	℃	80	
容器の満水時重量	M_0	kg		
容器の空質量	M_e	kg		
タンク全高	H	mm		
タンク内径	D_i	mm		
自由液面高さ	h	mm		
縦弾性係数比	s	—		
基礎ボルト本数	n	—		
基礎ボルトのピッチ円直径	D_c	mm		
ベースプレート外径	D_{b_o}	mm		
ベースプレート内径	D_{b_i}	mm		
基礎ボルト呼び径	d	—		
基礎ボルト 腐食量	—	mm		0.3 (直径0.6)
基礎ボルト材質	—	—		
評価用加速度(水平) : 図2 参照	C_H	G		
評価用加速度(鉛直)	C_V	G		
スロッシング評価用加速度	C''_{DH}	G		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<解析モデル>

JEAG4601-1987の平底たて置円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価を実施した。

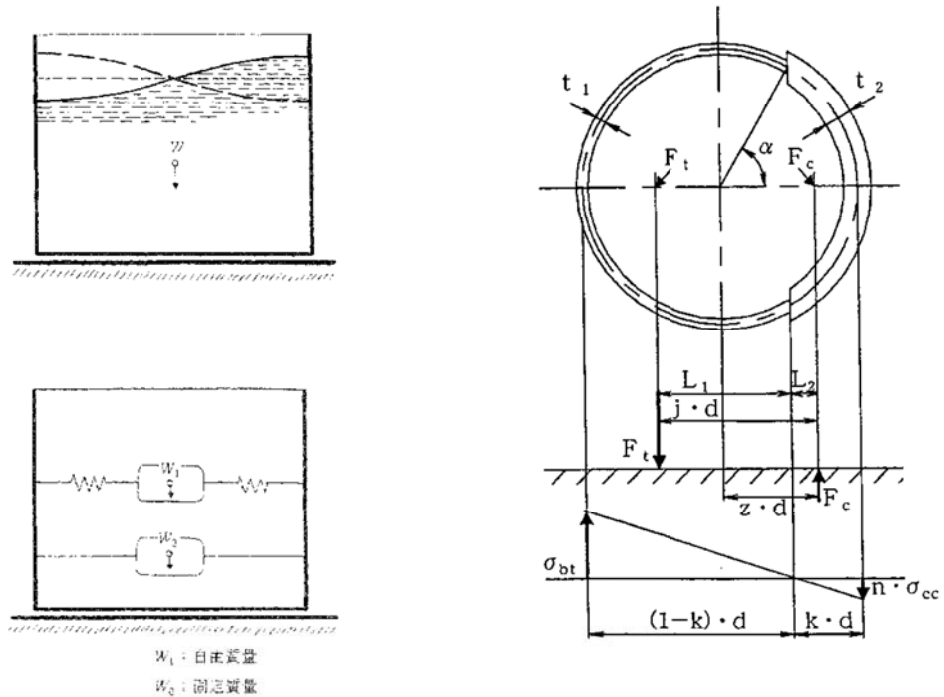


図1 解析モデル

<入力（荷重）条件>

【水平方向】

復水タンク床応答曲線※（水平方向）より加速度を算出した。（図2参照）
 加速度は、固有周期 T (s)での値 G を用いる。（ $1G=9.80665\text{m/s}^2$ ）
 $\frac{1}{T^2}$ (m/s²)

【鉛直方向】

復水タンク床応答曲線※（鉛直方向）より加速度を算出した。（図3参照）
 鉛直方向は剛領域であることから、地震力として床加速度（ZPA）の1.2倍を用いる。
 $1.2G$ (G) （ $1G=9.80665\text{m/s}^2$ ）
 $\frac{1.2}{T^2}$ (m/s²)

※全波包絡FRSにより応答加速度を算出している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<評価結果>

JEAG4601-1987の平底たて置き円筒形容器の1質点系応答解析結果にハウスナー理論で求めたスロッシング荷重を加算して評価している。

1. 地震荷重の計算

a. 全等価重量

$$R = \frac{D_i}{2} =$$

$$h' = 1.5R =$$

容器の内容水重量は、

$$W_w = m_0 - m_e - W_s =$$

衝撃力を加味した内容水重量は、

$$W' = W_w \times \frac{h'}{h} =$$

衝撃力を加味した W' の等価重量 W_o' は、

$$W_o' = \frac{\tanh\left[\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right]}{\sqrt{3} \frac{R}{h'}} \times W' =$$

$$h'' = h - h' =$$

$$W'' = W_w \times \frac{h''}{h} =$$

全等価重量 W_o は、

$$W_o = W_o' + W'' + m_e + W_s =$$

b. 地震荷重

$$F_{H0} = a_H \cdot W_o = C_H \cdot g \cdot W_o =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

2. 振動力を加味した荷重の計算

- a. 振動力を加味した
- W_w
- の等価重量
- W_1

$$W_1 = \left(0.318 \frac{R}{h} \right) \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) \cdot W_w$$

- b. スロッシングの固有周期

スロッシングによる円固有振動数 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{1.84 \times 9806.65}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right)}$$

スロッシングの固有周期 T' は、

$$T' = \frac{2\pi}{\omega}$$

- c. 水平方向震度

スロッシングの固有周期 T' は [] (s) は、床応答曲線の記載範囲外（長周期側）であるため、スロッシングの固有周期に相当する応答加速度を設定する必要がある。

実用上、応答加速度（ a ）と応答速度（ v ）の関係は、固有円振動数（ ω ）を用いて、

$$a = \omega v = (2\pi/T) v \quad \text{となる。ここで、} \omega = 2\pi/T \quad (T: \text{固有周期})$$

図2の床応答曲線より、固有周期1(s)の時の応答加速度 C''_{DH} は [] g であり、これに対応する応答速度 v は、

$$v = \frac{1}{2\pi} C''_{DH}$$

安全側に、スロッシングの固有周期 T' まで、応答速度 v が一定であるとし、スロッシングの固有周期 T' に相当する加速度 C'_{DH} を求めると、

$$C'_{DH} = \frac{2\pi}{T'} \times v =$$

$$a'_{DH} = C'_{DH} \times g =$$

- d. 最大変位
- A_1
- 及び自由振動角度
- θ_h

$$A_1 = \frac{a'_{DH} \times 10^3}{\omega^2} =$$

$$\theta_h = 1.534 \frac{A_1}{R} \cdot \tanh \left(1.84 \frac{h}{R} \right) =$$

- e. 振動力を加味した地震荷重

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h \cdot \sin \omega t$$

ここで F_{H1} の最大値は、 $\sin \omega t = 1$ のときであるので、

$$F_{H1} = 1.2W_1 \cdot g \cdot \theta_h =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 基礎ボルトの応力計算

3. 1 衝撃力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_0 = F_{H0} \cdot h_0 =$$

ここで、

$$h_0' = \frac{h'}{8} \left[\frac{4\sqrt{3} \frac{R}{h'}}{\tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{h'}\right)} - 1 \right]$$

$$h_0 = \frac{W_0' (h_0' + h'') + W'' \cdot \frac{h''}{2} + m_e \cdot \frac{H}{2} + W_s \cdot H}{W_0}$$

$$=$$

3. 2 振動力を加味した地震荷重

転倒モーメント

$$M_1 = F_{H1} \cdot h_1 =$$

ここで、

$$h_1 = h \left[\frac{\cosh\left(1.84 \frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84 \frac{h}{R} \cdot \sinh\left(1.84 \frac{h}{R}\right)} \right] \cdot h$$

$$=$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 3 応力の計算 (記号の定義は、JG4601-1987によります。)

(1) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π と等しくなったときであり、 α を π に近づけた場合の値 $e=0.75$ 及び $z=0.25$ を F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}}{e \cdot D_c}$$

ここで、 $M=M_0+M_1$
 $a_v=C_v \cdot g$

ここで、 $M=M_0+M_1$

$$a_v = C_v \cdot g$$

$F_t > 0$ より、引張力が作用しているので、次の計算を行う。

転倒モーメント M が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}}$$

b. α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k) = \cos^{-1}(1 - 2 \times \dots)$$

c. 各定数 e 、 z 、 C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2}(\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_3}{X_4} \right\}$$

$$X_1 =$$

$$X_2 =$$

$$X_3 =$$

$$X_4 =$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2}\alpha - \frac{3}{2}\sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \cos \left[\frac{X_5}{X_6} \right] \right\}$$

$$X_5 =$$

$$X_6 =$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha)\cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

$$F_t = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot z \cdot D_c)} - \frac{z \cdot m_0 \cdot g}{e}}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M^2 + (a_v \cdot m_0 \cdot (z - e) \cdot D_c)} - (1 - \frac{z}{e}) \cdot m_0 \cdot g}{e \cdot D_c}$$

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t}$$

(小数第1位以下を切り上げ)

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{b0} - D_{bi}) - t_1$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{F_H}{A_b \cdot n}$$

(小数第1位以下を切り上げ)

$$F_H = a_H \cdot m_0 - F_\mu$$

$$= C_H \cdot g \cdot m_0 - F_\mu$$

ここで、 $F_\mu =$

4. 評価結果

以上の結果をまとめると以下の表2の通りであり、耐震安全性評価上問題ない。

表2 評価結果 (復水タンク)

応力	減肉前			減肉後		
	発生応力 (MPa)	許容値 (MPa)	応力比	発生応力* (MPa)	許容値 (MPa)	応力比
引張			0.59			0.60
せん断			0.29			0.29

*減肉後の発生応力については、次式より求める。

減肉前の発生応力 \times $\frac{\text{基礎ボルトの減肉前の断面積}}{\text{基礎ボルトの減肉後の断面積}}$

$$= \text{減肉前の発生応力} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times \{\quad\}^2}{\frac{\pi}{4} \times \{\quad - 0.3 \times 2\}^2}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

○許容応力の算出

材料の各温度における設計降伏点 (Sy)、設計引張強さ (Su) のデータより、

$$1.2S_y = 1.2 \times \boxed{} \text{ (MPa)}$$

$$0.7S_u = 0.7 \times \boxed{} \text{ (MPa)}$$

$$F = \text{Min}(1.2S_y, 0.7S_u) = \text{Min} \left[\boxed{}, \boxed{} \right] \text{ (MPa)}$$

ここで、F：材料の許容応力を決定する場合の基準値

・引張応力の算出

$$f_t^* = F/2 = \boxed{}/2 = \boxed{} \text{ (MPa)}$$

よって、引張許容応力は、

$$1.5f_t^* = 1.5 \times \boxed{} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力の算出

$$f_s^* = F/1.5\sqrt{3} = \boxed{}/1.5\sqrt{3} = \boxed{} \text{ (MPa)}$$

よって、せん断許容応力は、

$$1.5f_s^* = 1.5 \times \boxed{} \text{ (MPa)}$$

・せん断応力と引張応力の組合せ許容応力

引張許容応力について、せん断応力を組み合わせた場合の許容値を算出した。

$$S_s \text{ によるせん断応力 } \tau = \boxed{} \text{ (MPa)}$$

$$1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau = 1.4 \times \boxed{} - 1.6 \times \boxed{} \text{ (MPa)}$$

よって、組合せを考慮した引張許容応力は、

$$\text{Min}(1.5f_t^*, 1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau) = \text{Min} \left[\boxed{}, \boxed{} \right] \text{ (MPa)}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図2 復水タンク 床応答曲線 (水平方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

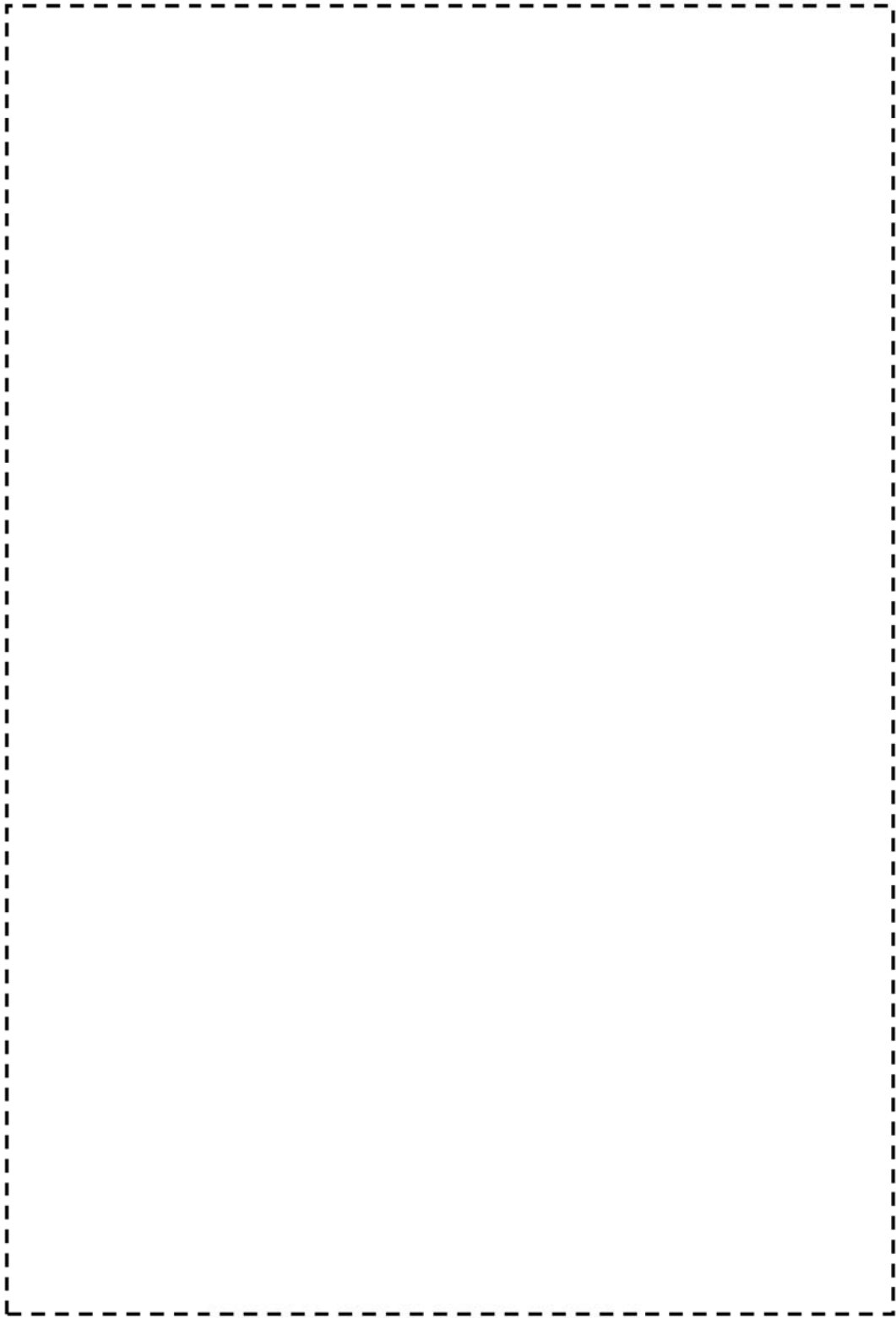


図3 復水タンク 床応答曲線 (鉛直方向)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

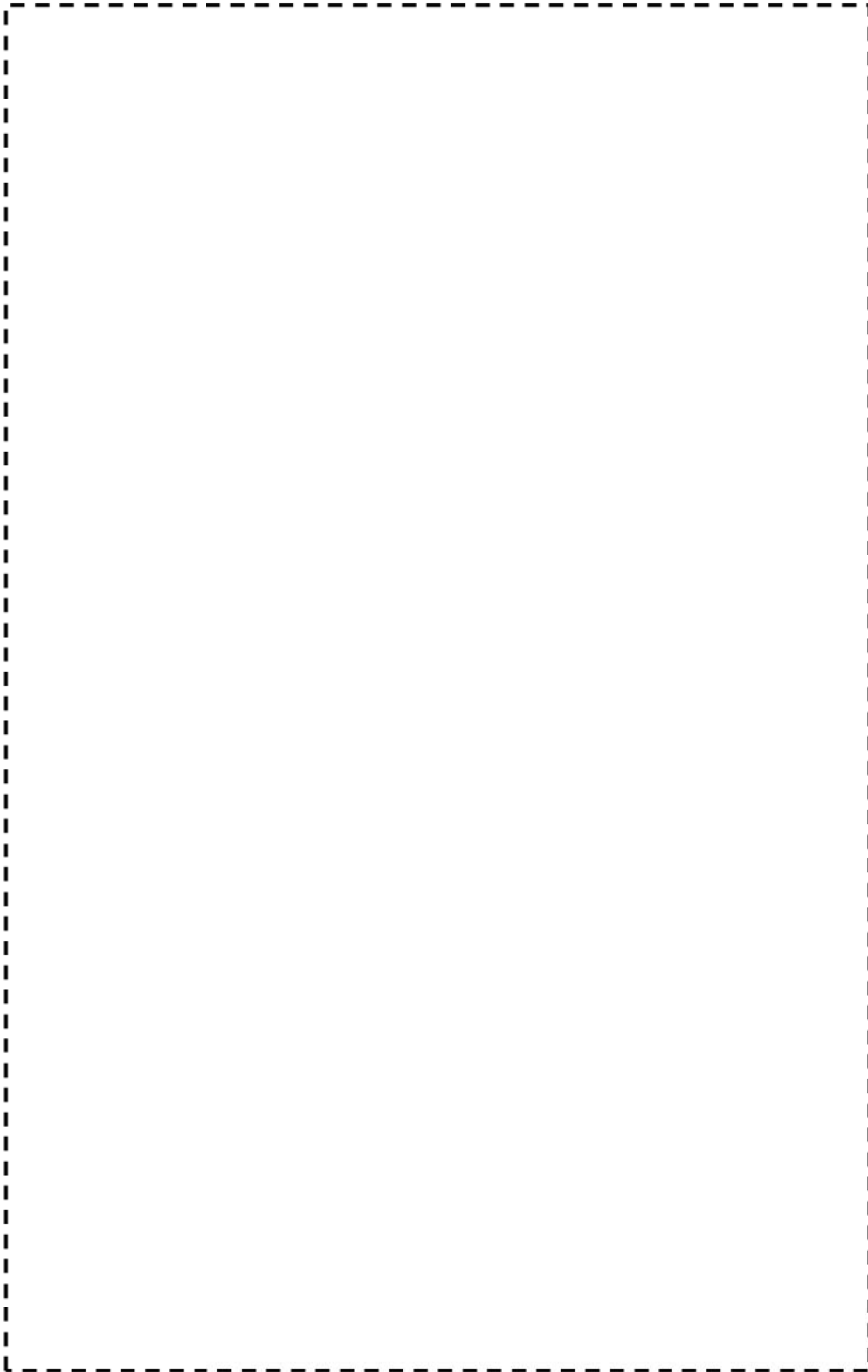
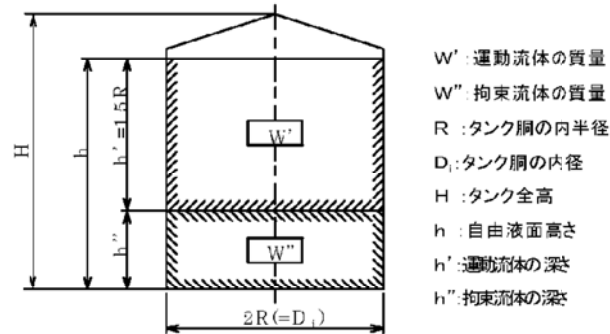


図3 復水タンク 床応答曲線 (水平方向 減衰0.5%)

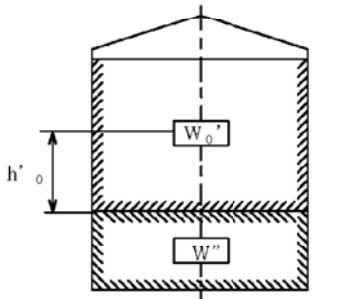
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

別図

復水タンクの基礎ボルト評価に用いる 質量・高さ・径の説明図

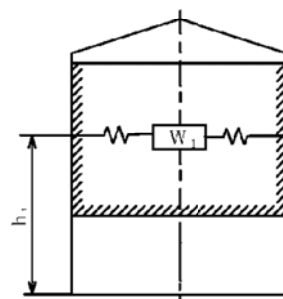


衝撃力を加味した計算

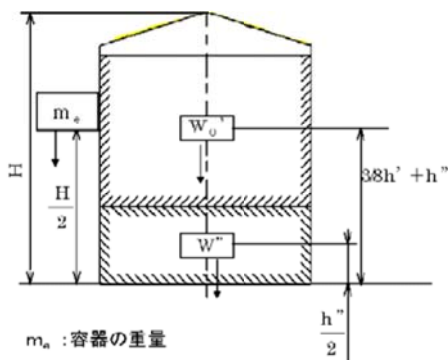


W_0' : 衝撃力を考慮した W' の等価質量
 $h'0$: W_0' の等価着力点の高さ

揺動力を加味した計算



W_1 : 揺動力を考慮した W' の等価質量
 h_1 : W_1 の等価着力点の高さ



m_s : 容器の重量
 W_s : 積雪重量
 W_0 : 衝撃力を考慮した全等価質量
 $(W_0 = W_0' + W'' + m_s + W_s)$

美浜3号炉一耐震-23

<p>タイトル</p>	<p>後打ちアンカの評価における、減肉後の応力比の算定根拠（プラント設計時の耐震条件含む）について。</p>													
<p>回答</p>	<p>後打ちアンカについては、メーカーの後打ちアンカ使用基準に基づき最大許容荷重が定められており、この値以上の荷重がボルトに作用しないよう施工されている。</p> <p>後打ちアンカの評価にあたっては、ボルトに技術評価により想定される運転開始後60年時点での減肉量(半径方向に0.3mm)を考慮した上で、保守的に最大許容荷重が作用した場合であっても応力比が1以下になることを確認している。</p> <p>減肉後の応力比の算定条件及び算定結果を添付資料1に示す。</p> <p>新たな基準地震動S_sに対する耐震安全性については、新規制基準工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備において、表1の対象機器に対し、減肉による影響を考慮した耐震評価を実施し、応力比が1以下となることから健全性を確認して（補足参照）。</p> <p>表1 新規制基準の工事計画認可申請における後打ちアンカ評価設備</p> <table border="1" data-bbox="480 1285 1278 1693"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱交換器</td> <td>蒸気発生器ブローダウン サンプルクーラ</td> </tr> <tr> <td>電気設備</td> <td>代替所内電気設備用変圧器</td> </tr> <tr> <td>計測制御設備</td> <td>給水流量</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">機械設備</td> <td>1次冷却材ポンプサポート</td> </tr> <tr> <td>加圧器サポート</td> </tr> <tr> <td>電源設備</td> <td>蓄電池</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">以上</p>	分類	設備	熱交換器	蒸気発生器ブローダウン サンプルクーラ	電気設備	代替所内電気設備用変圧器	計測制御設備	給水流量	機械設備	1次冷却材ポンプサポート	加圧器サポート	電源設備	蓄電池
分類	設備													
熱交換器	蒸気発生器ブローダウン サンプルクーラ													
電気設備	代替所内電気設備用変圧器													
計測制御設備	給水流量													
機械設備	1次冷却材ポンプサポート													
	加圧器サポート													
電源設備	蓄電池													

<補足>

新規制基準の工事計画認可申請における後打ちアンカのうち、PLM評価対象となる設備について、新たな基準地震動Ss（Ss-1～Ss-24）に対する評価例を以下に示す。

分類	設備		型式	ボルト呼び径	ボルト本数(本)	減肉前応力比	減肉後応力比	備考
熱交換器	サンプルクーラ	蒸気発生器ブローダウンサンプルクーラ		メカニカルアンカ				引張
								せん断
電気設備	配電設備	代替所内電気設備用変圧器		ケミカルアンカ				引張
								せん断
計測制御設備	プロセス計測制御設備	流量	給水流量	メカニカルアンカ				引張
								せん断
		引張						
		せん断						
機械設備	重機器サポート	1次冷却材ポンプサポート		ケミカルアンカ				引張
		せん断						
		加圧器サポート		ケミカルアンカ				引張
		せん断						
電源設備	直流電源設備	蓄電池		ケミカルアンカ				引張
								せん断

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (引張)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重 (N)	短期最大許容荷重*1 (N)	断面積		減肉後発生応力*2 (N/mm ²)	許容応力*3 (N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前 (mm ²)	減肉後 (mm ²)			
メカニカルアンカ	M6	1.5×10 ³	2.25×10 ³	28.3	22.9			0.47
	M8	2.3×10 ³	3.45×10 ³	50.2	43.0			0.39
	M10	2.7×10 ³	4.05×10 ³	78.5	69.3			0.28
	M12	4.7×10 ³	7.05×10 ³	113.0	102.0			0.33
	M16	6.9×10 ³	10.35×10 ³	200.9	186.1			0.27
	M20	10.8×10 ³	16.2×10 ³	314.0	295.4			0.26
	M24	13.84×10 ³	20.76×10 ³	452.2	429.8			0.23
ケミカルアンカ	M10	7.4×10 ³	11.1×10 ³	78.5	69.3			0.77
	M12	10.9×10 ³	16.35×10 ³	113.0	102.0			0.77
	M16	20.0×10 ³	30.0×10 ³	200.9	186.1			0.77
	M20	37.8×10 ³	56.7×10 ³	314.0	295.4			0.91
	M22	45.8×10 ³	68.7×10 ³	379.9	359.5			0.91
	M24	53.6×10 ³	80.4×10 ³	452.2	429.8			0.90
	M30	88.0×10 ³	132.0×10 ³	706.5	678.5			0.93
	M33	92.6×10 ³	138.9×10 ³	854.9	824.1			0.80

※M33は新たに使用されるため、追加する。

*4：減肉後発生応力／許容応力

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (せん断)

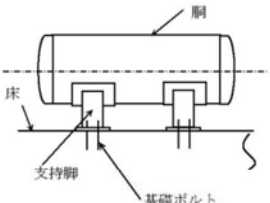
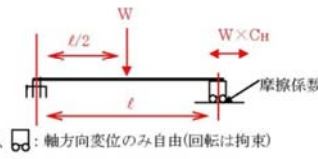
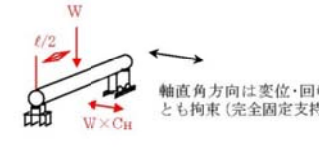
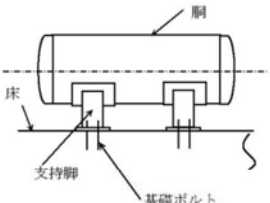
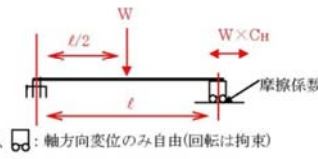
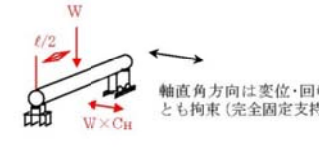
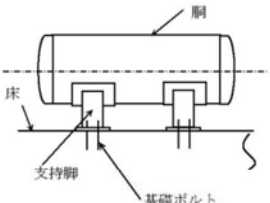
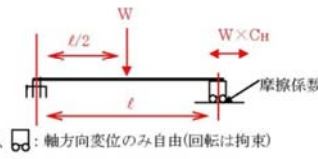
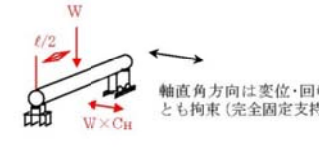
型式	ボルト 呼び径	長期最大 許容荷重 (N)	短期最大 許容荷重*1 (N)	断面積		減肉後 発生応力*2 (N/mm ²)	許容応力*3 (N/mm ²)	減肉後の 応力比*4
				減肉前 (mm ²)	減肉後 (mm ²)			
メカニ カルア ンカ	M6	1.5×10^3	2.25×10^3	28.3	22.9			0.62
	M8	2.5×10^3	3.75×10^3	50.2	43.0			0.55
	M10	4.7×10^3	7.05×10^3	78.5	69.3			0.64
	M12	7.1×10^3	10.65×10^3	113.0	102.0			0.66
	M16	12.5×10^3	18.75×10^3	200.9	186.1			0.63
	M20	19.8×10^3	29.7×10^3	314.0	295.4			0.63
	M24	26.38×10^3	39.57×10^3	452.2	429.8			0.58
ケミカ ルア ンカ	M10	5.1×10^3	7.65×10^3	78.5	69.3			0.69
	M12	7.5×10^3	11.25×10^3	113.0	102.0			0.69
	M16	13.7×10^3	20.55×10^3	200.9	186.1			0.69
	M20	21.3×10^3	31.95×10^3	314.0	295.4			0.68
	M22	27.2×10^3	40.8×10^3	379.9	359.5			0.71
	M24	31.8×10^3	47.7×10^3	452.2	429.8			0.69
	M30	61.5×10^3	92.25×10^3	706.5	678.5			0.85
	M33	76.1×10^3	114.2×10^3	854.9	824.1			0.87

※M33は新たに使用されるため、追加する。

*4：減肉後発生応力／許容応力

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません

美浜3号炉－耐震－2 5 Rev1

<p>タイトル</p>	<p>廃液蒸発装置蒸発器胴板の応力腐食割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）について。</p>										
<p>説明</p>	<p>廃液蒸発装置蒸発器胴板の地震時発生応力が最も大きくなる箇所に、半周の貫通き裂を想定し、地震時の発生応力が安定限界応力を上回らないことを確認する。</p> <p>1. 評価手順</p> <p>(1) 地震力</p> <p>廃液蒸発装置は、耐震クラスBであるため、設置エリアに対応する水平静的震度$\left[\quad \right]$と、$1/2S_d$の水平動的震度$\left[\quad \right]$ (S_d床応答曲線のピーク値の$1/2$：添付1参照)の大きい方を用いる。</p> <p>(2) 発生応力の算出</p> <p>下記のとおり、地震時の発生応力（地震、内圧、自重）を算出する。</p> <table border="1" data-bbox="469 1093 1305 1971"> <thead> <tr> <th colspan="2">荷重の方向</th> </tr> <tr> <th>軸方向地震時</th> <th>軸直角方向地震時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">  </td> </tr> <tr> <td>  <p>$\left[\text{固定} \right]$: 固定、$\left[\text{自由} \right]$: 軸方向変位のみ自由(回転は拘束)</p> </td> <td>  <p>軸直角方向は変位・回転とも拘束(完全固定支持)</p> </td> </tr> <tr> <td> <p>内圧による応力</p> $\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}$ <p>自重による最大曲げモーメントによる応力 (両端固定支持条件)</p> $\sigma_{自重} = \frac{Ma}{Z} = \frac{\frac{1}{8} W l}{Z}$ <p>水平地震荷重による全断面への引張応力</p> $\sigma_{地震} = \frac{\frac{1}{2} W \times C_H}{\frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)} \quad (\text{但し、} C_H < C \text{ の場合)}$ <p>発生応力：$\sigma_{内圧} + \sigma_{自重} + \sigma_{地震}$</p> </td> <td> <p>内圧による応力</p> $\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}$ <p>自重による最大曲げモーメント</p> $Ma = \frac{1}{8} W l \quad (\text{両端固定支持条件})$ <p>地震荷重による最大曲げモーメント</p> $Mb = \frac{1}{8} W l C_H \quad (\text{両端固定支持条件})$ <p>自重と地震荷重による応力</p> $\sigma_{自重+地震} = \frac{(Ma + Mb)}{Z}$ <p>発生応力：$\sigma_{内圧} + \sigma_{自重+地震}$</p> </td> </tr> </tbody> </table>	荷重の方向		軸方向地震時	軸直角方向地震時			 <p>$\left[\text{固定} \right]$: 固定、$\left[\text{自由} \right]$: 軸方向変位のみ自由(回転は拘束)</p>	 <p>軸直角方向は変位・回転とも拘束(完全固定支持)</p>	<p>内圧による応力</p> $\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}$ <p>自重による最大曲げモーメントによる応力 (両端固定支持条件)</p> $\sigma_{自重} = \frac{Ma}{Z} = \frac{\frac{1}{8} W l}{Z}$ <p>水平地震荷重による全断面への引張応力</p> $\sigma_{地震} = \frac{\frac{1}{2} W \times C_H}{\frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)} \quad (\text{但し、} C_H < C \text{ の場合)}$ <p>発生応力：$\sigma_{内圧} + \sigma_{自重} + \sigma_{地震}$</p>	<p>内圧による応力</p> $\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}$ <p>自重による最大曲げモーメント</p> $Ma = \frac{1}{8} W l \quad (\text{両端固定支持条件})$ <p>地震荷重による最大曲げモーメント</p> $Mb = \frac{1}{8} W l C_H \quad (\text{両端固定支持条件})$ <p>自重と地震荷重による応力</p> $\sigma_{自重+地震} = \frac{(Ma + Mb)}{Z}$ <p>発生応力：$\sigma_{内圧} + \sigma_{自重+地震}$</p>
荷重の方向											
軸方向地震時	軸直角方向地震時										
											
 <p>$\left[\text{固定} \right]$: 固定、$\left[\text{自由} \right]$: 軸方向変位のみ自由(回転は拘束)</p>	 <p>軸直角方向は変位・回転とも拘束(完全固定支持)</p>										
<p>内圧による応力</p> $\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}$ <p>自重による最大曲げモーメントによる応力 (両端固定支持条件)</p> $\sigma_{自重} = \frac{Ma}{Z} = \frac{\frac{1}{8} W l}{Z}$ <p>水平地震荷重による全断面への引張応力</p> $\sigma_{地震} = \frac{\frac{1}{2} W \times C_H}{\frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)} \quad (\text{但し、} C_H < C \text{ の場合)}$ <p>発生応力：$\sigma_{内圧} + \sigma_{自重} + \sigma_{地震}$</p>	<p>内圧による応力</p> $\sigma_{内圧} = \frac{p \times (d_i + 1.2t)}{4 \times t}$ <p>自重による最大曲げモーメント</p> $Ma = \frac{1}{8} W l \quad (\text{両端固定支持条件})$ <p>地震荷重による最大曲げモーメント</p> $Mb = \frac{1}{8} W l C_H \quad (\text{両端固定支持条件})$ <p>自重と地震荷重による応力</p> $\sigma_{自重+地震} = \frac{(Ma + Mb)}{Z}$ <p>発生応力：$\sigma_{内圧} + \sigma_{自重+地震}$</p>										

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

(3)耐震安全性評価

「正味応力概念」に基づき、半周の貫通き裂を考慮した場合のき裂安定限界応力を算出[※]し、(2)で算出した発生応力がこれを上回らないことを確認する。なお、添付2に示すとおり蒸発器胴板の溶接線と、き裂想定部位は異なることから、Z係数を乗じた弾塑性破壊力学評価は実施していない。

※：原子力発電所配管破損防護設計技術指針（JEAG 4613-1998）に基づく評価方法を用いた。

2. 評価結果

評価結果は表1のとおりであり、応力腐食割れに対する耐震安全性に問題はない。

表1 応力腐食割れに対する耐震安全性評価結果

	想定き裂	耐震安全性評価		
	き裂角度 (°)	地震時応力 (MPa)	き裂安定 限界応力 (MPa)	応力比
軸方向地震	180			0.15
軸直角方向地震				0.17

【評価に用いたデータ一覧】

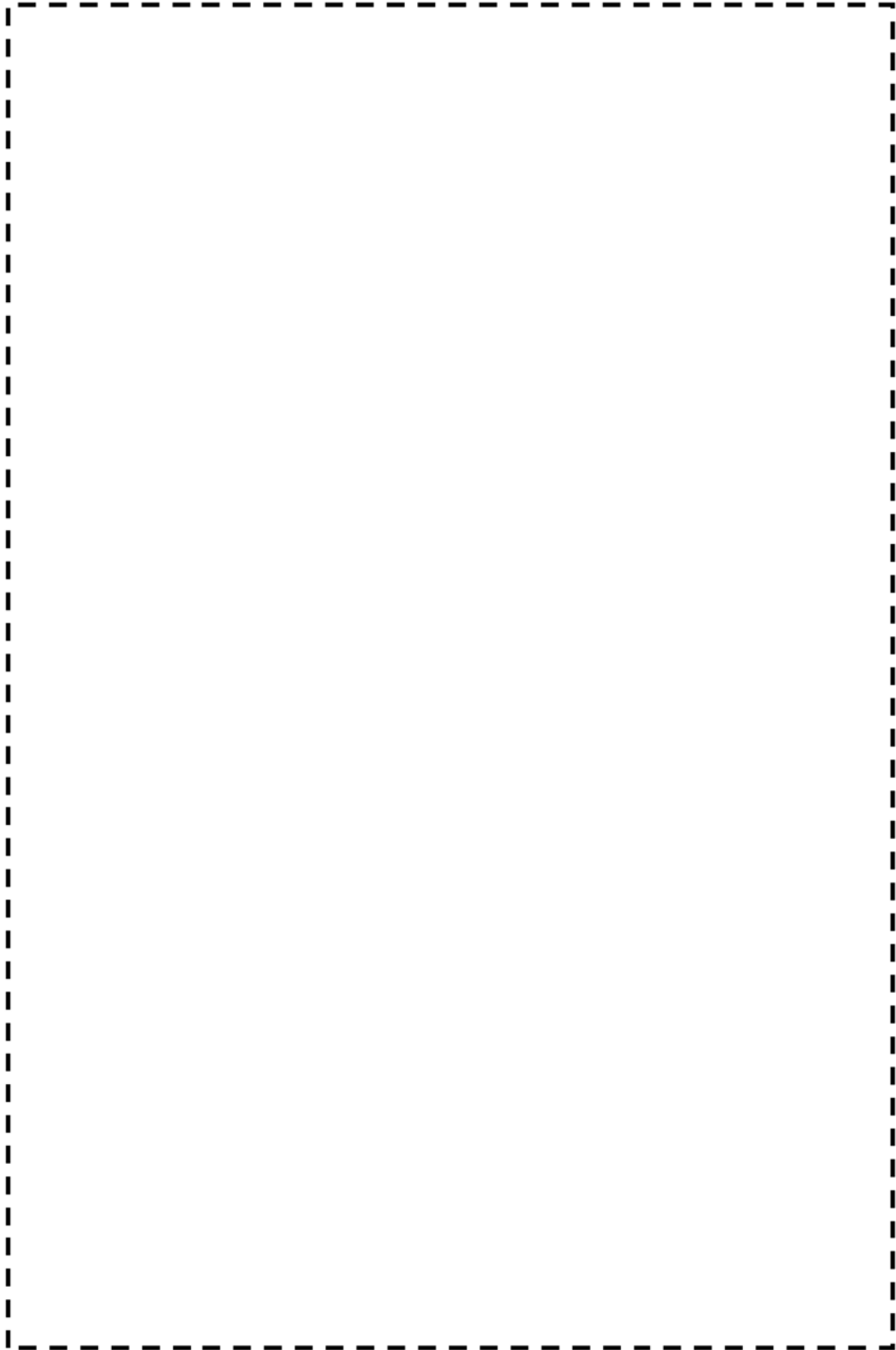
項目	単位	記号	数式	インポートデータ または結果
設計条件				
板厚	mm	t	蒸発器組立図より	
き裂角度	°	2θ		
胴外径	mm	D _o	D _o +t×2	
胴内径	mm	D _i	蒸発器組立図より	
内圧	MPa	P	蒸発器組立図より(最高使用圧力:1kg/cm ²)	
蒸発器重量	kg	W ₀	蒸発器既工認より (蒸発器+#1精留塔+#2精留塔, 満水時重量)	
設計降伏点	MPa	S _y	SUS316L, 150°C JSME Part5 表8より	
設計引張強さ	MPa	S _u	SUS316L, 150°C JSME Part5 表9より	
設計地震力	-	C _H	PLM耐震条件(動的地震力)より: 原子炉補助建屋 FRS(質点番号:7)のピーク 1/2の値	
外半径	mm	R _o	D _o /2	
内半径	mm	R _i	D _i /2	
平均半径	mm	R _m	(外半径+内半径)/2	
支持脚中心間距離	mm	L	蒸発器組立図より	
許容応力				
流動応力(許容応力)	MPa	S _f	(S _y +S _u)/2	
膜応力	MPa	P _m	P×D _o /(4×t)	
き裂半角度	°	β		
-	rad	α	β/180×π	
-	rad	β	((π-α)-(P _m /S _f)×π)/2	
破壊時曲げ応力	MPa	P _b '	2×S _y ×(2sinβ-sinα)/π	
安定限界応力	MPa	P _f	P _m +P _b '	
軸方向地震時				
内圧による応力	MPa	σ _{内圧}	P×(D _i +1.2t)/(4×t)	
自重による曲げモーメントによる応力	MPa	σ _{自重}	(W ₀ ×9.80665×L/8)/Z	
水平地震力による応力	MPa	σ _{地震}	(W ₀ ×9.80665×C _H /2)/(π/4×(D _o ² -D _i ²))	
発生応力	MPa	σ _軸	σ _{内圧} +σ _{自重} +σ _{地震}	
軸直角方向地震時				
内圧による応力	MPa	σ _{内圧}	P×(D _i +1.2t)/(4×t)	
自重による曲げモーメント	N·mm	M _{自重}	W ₀ ×9.80665×L/8	
地震による曲げモーメント	N·mm	M _{地震}	(W ₀ ×9.80665×L/8)×C _H	
自重と地震による応力	MPa	σ _{自重+地震}	(M _{自重} +M _{地震})/Z	
発生応力	MPa	σ _{軸直角}	σ _{内圧} +σ _{自重+地震}	

※以下の計算により真円筒での断面係数(Z)を算出した。

断面係数	Z	mm ³	π(D _o ³ -D _i ³)/32D _o
------	---	-----------------	---

以上

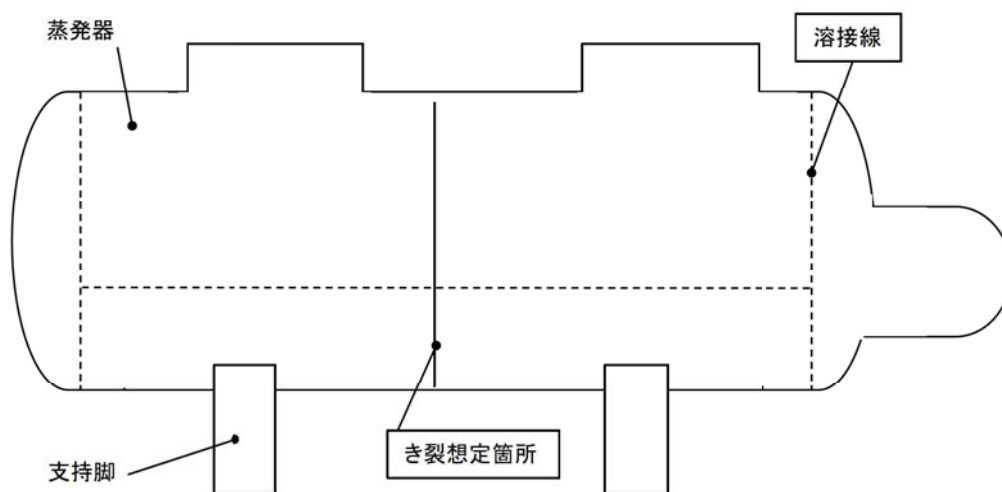
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



美浜3号機 AB EL.17 水平AB07 (sd波)
水平方向 減衰1.0%

図 1 美浜 3 号機 原子炉補助建屋 床応答曲線 (全波包絡 F R S)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



※き裂の想定箇所は2本の支持脚の中間の位置と想定した。

廃液蒸発装置蒸発器胴板の溶接線とき裂想定部位との関係図