

VI-2-4-3 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1 燃料プール冷却浄化系の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却浄化系熱交換器の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
4.4 疲労解析評価	9
5. 評価結果	11
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	11

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、燃料プール冷却浄化系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

燃料プール冷却浄化系熱交換器は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、燃料プール冷却浄化系熱交換器は、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却浄化系熱交換器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を 2 個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>水室側及び胴側に、鏡板を有する横置一胴円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却浄化系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位:s)

水平	
鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却浄化系熱交換器の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却浄化系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

燃料プール冷却浄化系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却浄化系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却浄化系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵槽冷却 浄化設備	燃料プール 冷却浄化系 熱交換器	常設耐震／防止	重大事故等 ^{*2} クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要。	
V _A S (V _A S として IV _A S の 許容限界を用いる。)				

注記*1：座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張り	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容 限界を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		胴板	SGV410	最高使用温度	70	—	210
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	100	—	221	373	—
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—

4.4 疲労解析評価

胴の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2 倍を上回る、すなわち一次+二次応力 $> 2 \cdot S_y$ となる場合には、設計・建設規格 PVB-3300に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。ただし、クラス3 容器である本機器では、 S_m を $2/3 \cdot S_y$ に読替える。

なお、疲労解析評価に用いる基準地震動 S_s の等価繰返し回数 N_c は、200回とする。

(1) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_e は、次式により求める。

$$S_e = K_e \cdot S_p / 2 \quad \dots \dots \dots (4.4.1)$$

K_e : 次の計算式により計算した値

a. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

b. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合

(a) $K < B_0$ の場合

$$\begin{aligned} \text{イ. } S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1) \\ - \sqrt{ \{ (q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1) \} }] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合} \end{aligned}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{ S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K \} \quad \dots \dots \dots (4.4.2)$$

ロ. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1)$

$$- \sqrt{ \{ (q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1) \} }] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \quad \dots \dots \dots (4.4.3)$$

(b) $K \geq B_0$ の場合

$$\text{イ. } S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{ \{ A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1) \} }] / a \text{ の場合}$$

$$\begin{aligned} K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1 / K) + 1 - a \\ \dots \dots \dots (4.4.4) \end{aligned}$$

ロ. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{ \{ A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1) \} }] / a$ の場合

$$\begin{aligned} K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \\ \dots \dots \dots (4.4.5) \end{aligned}$$

ここで、

$$K = S_p / S_n \dots\dots\dots (4.4.6)$$

$$a = A_o \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_o \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A_o, B_o : 下表に掲げる材料の種類に応じ、それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A _o	B _o
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

S_n : 一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差

K_e : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S_p : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S₀ : 繰返しピーク応力強さ

(2) 運転温度における繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し、繰返しピーク応力強さ S₀ を次式により補正する。

$$S_0' = S_0 \cdot E_0 / E$$

S₀' : 補正繰返しピーク応力強さ

E₀ : 設計・建設規格の設計疲労線図に規定される縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

(3) 疲労累積係数

疲労累積係数 U_f が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \Sigma (N_c / N_a) \leq 1.0$$

N_a : 地震時の許容繰返し回数

N_c : 地震時の等価繰返し回数

なお、許容繰返し回数の算出には、設計・建設規格 図 添付 4-2-1 炭素鋼、低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図より求めた値を用いる。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却浄化系熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却浄化系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却浄化系 熱交換器	常設耐震/防止	原子炉建屋 T. M. S. L. 18. 1*			—	—	C _H =1.13	C _V =1.09	1.37	70	100

注記* : 基準床レベルを示す。

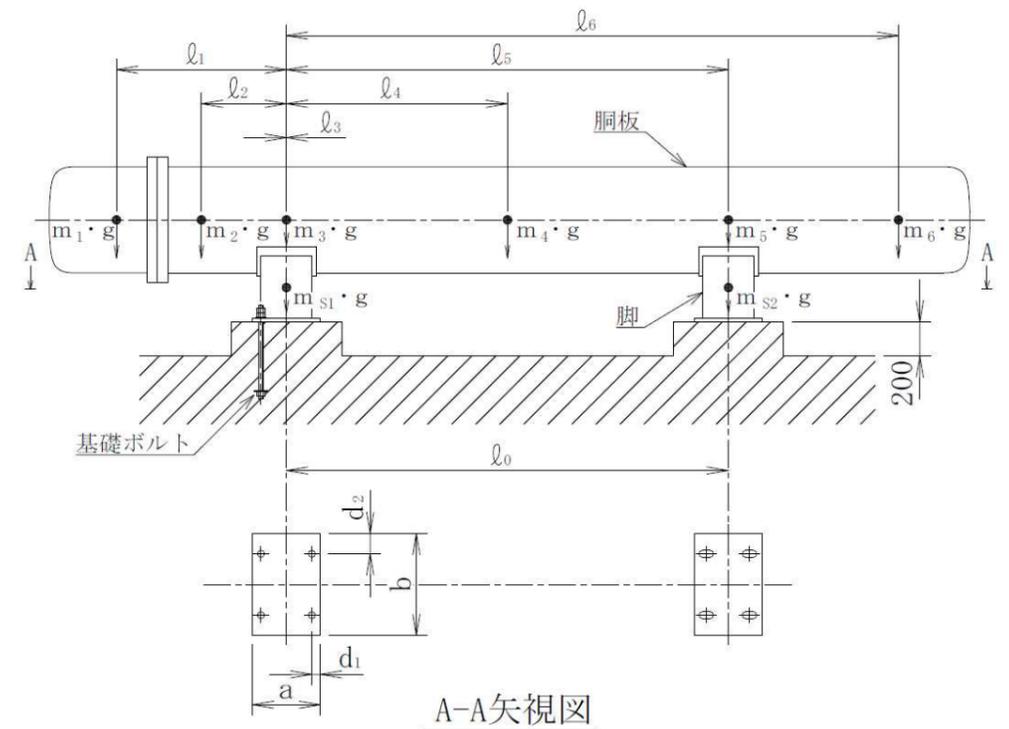
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)
						—

l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l ₅ (mm)	l ₆ (mm)	l ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1047	-457	0	1498	3000	3753	—	1.203×10 ⁷	7.680×10 ⁶	3.054×10 ⁴	2.340×10 ⁴

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	l ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
			700	12.0	12.0* ¹	3000	513	700

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)
310	150	1.418×10 ⁹	2.317×10 ⁸	4.574×10 ⁶	1.544×10 ⁶	2.113	1.380



K6 ① VI-2-4-3-1-1 R0

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
2.842×10^4	198000^{*2}	76200^{*2}	7.168×10^3	1.887×10^4	6.049×10^3	1.602×10^4

K_{11}^{*3}	K_{12}^{*3}	K_{21}^{*3}	K_{22}^{*3}	K_{l1}	K_{l2}	K_{c1}	K_{c2}	C_{l1}	C_{l2}	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	400	700	30 (M30)	706.9	50	130

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
210^{*4}	380^{*4}	—	221^{*2} (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	373^{*2}	—	261	212^{*2} ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	373^{*2}	—	254

注記*1：本計算においては当板を無効とした。

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*4：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=41$	$\sigma_{x 1}=21$	$\sigma_{\phi 1}=41$	$\sigma_{x 1}=21$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=25$	—	$\sigma_{x 2}=25$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=27$	—	$\sigma_{x 6}=27$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=3$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{o\ell}=74$		$\sigma_{oc}=72$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=41$	$\sigma_{x 1}=21$	$\sigma_{\phi 1}=41$	$\sigma_{x 1}=21$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=25$	—	$\sigma_{x 2}=25$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=27$	—	$\sigma_{x 6}=27$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$	$\sigma_{\phi 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=19$	$\sigma_{x 71}=19$	$\sigma_{\phi 71}=19$	$\sigma_{x 71}=19$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=26$	$\sigma_{x 411}=12$	$\sigma_{\phi 51}=21$	$\sigma_{x 51}=60$
		—	—			$\sigma_{\phi 412}=6$	$\sigma_{x 412}=6$		
		—	—			$\sigma_{\phi 41}=31$	$\sigma_{x 41}=19$		
せん断	—		—		$\tau_{\ell}=9$		$\tau_{c}=3$		
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\ell}=129$		$\sigma_{1c}=167$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—	
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=27$	—	$\sigma_{x6}=27$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=19$ $\sigma_{\phi 72}=75$	$\sigma_{x71}=19$ $\sigma_{x72}=43$	$\sigma_{\phi 71}=19$ $\sigma_{\phi 72}=75$	$\sigma_{x71}=19$ $\sigma_{x72}=43$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=31$	$\sigma_{x41}=19$	$\sigma_{\phi 51}=21$	$\sigma_{x51}=60$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=36$ $\sigma_{\phi 422}=21$	$\sigma_{x421}=71$ $\sigma_{x422}=12$	$\sigma_{\phi 52}=182$	$\sigma_{x52}=80$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=57$	$\sigma_{x42}=83$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=9$	—	$\tau_c=3$	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell}=390$	—	$\sigma_{2c}=591$		

15

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
		長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	$\sigma_{s1}=2$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	$\sigma_{s4}=2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	$\sigma_{s2}=11$
	せん断	—	$\tau_{s2}=11$
組合せ応力	—	—	$\sigma_{s\ell}=23$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
		長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張り	—	$\sigma_{b1}=42$
水平方向地震による 応力	せん断	—	$\tau_{b1}=23$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV410	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=74$	$S_a=228$
		一次	—	—	$\sigma_1=167$	$S_a=342$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=591^{*1}$	$S_a=420$
脚	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s=23$	$f_{ts}=261$
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=42$	$f_{ts}=190^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_b=23$	$f_{sb}=146$

注記*1：算出応力が許容応力を満足しないが，設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い，この結果より耐震性を有することを確認した。

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.3 疲労評価

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _l (MPa)	S _l ' [*] (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
胴板								

注記*：E₀=2.07×10⁵ MPa E=2.00×10⁵ MPa として補正する。

VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、燃料プール冷却浄化系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

燃料プール冷却浄化系ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、燃料プール冷却浄化系ポンプは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却浄化系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	<p>The diagram shows a side view of a pump assembly. A pump is mounted on a pump base, which is secured to a foundation by foundation bolts. The pump is connected to a motor. Key dimensions are indicated: a horizontal dimension of 860 mm for the pump and motor assembly, and a vertical dimension of 870 mm for the pump base. Labels include: 'ポンプ取付ボルト' (Pump mounting bolt), 'ポンプベース' (Pump base), 'ポンプ' (Pump), '基礎ボルト' (Foundation bolt), '原動機取付ボルト' (Motor mounting bolt), and '原動機' (Motor). The unit is specified as (mm).</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却浄化系ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。
なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却浄化系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

燃料プール冷却浄化系ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却浄化系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質 の取扱施設 及び貯蔵施 設	使用済燃料 貯蔵槽冷却 浄化設備	燃料プール冷却浄化系 ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	100			—
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度	100			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	100			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

燃料プール冷却浄化系ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

燃料プール冷却浄化系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却浄化系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却 浄化系ポンプ	常設耐震/防止	原子炉建屋 T. M. S. L. 18.1*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.13	C _V =1.09		—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							14	7
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸直角	

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=29$	$f_{ts1}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=146$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=134$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=27$	$f_{ts3}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=18$	$f_{sb3}=134$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

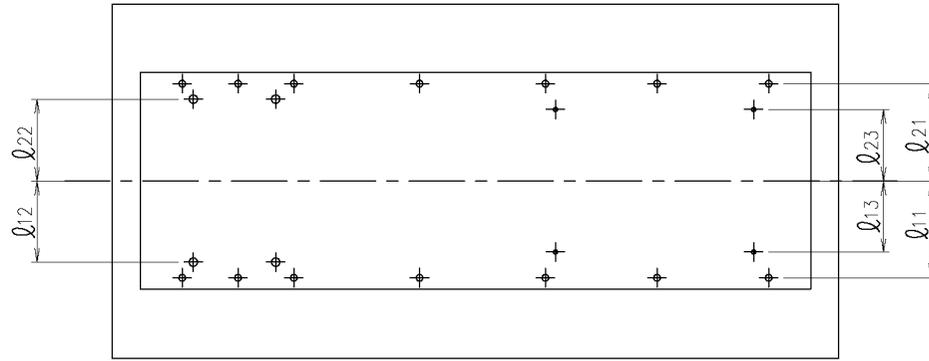
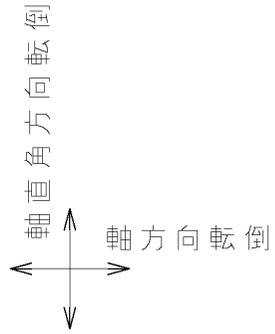
1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

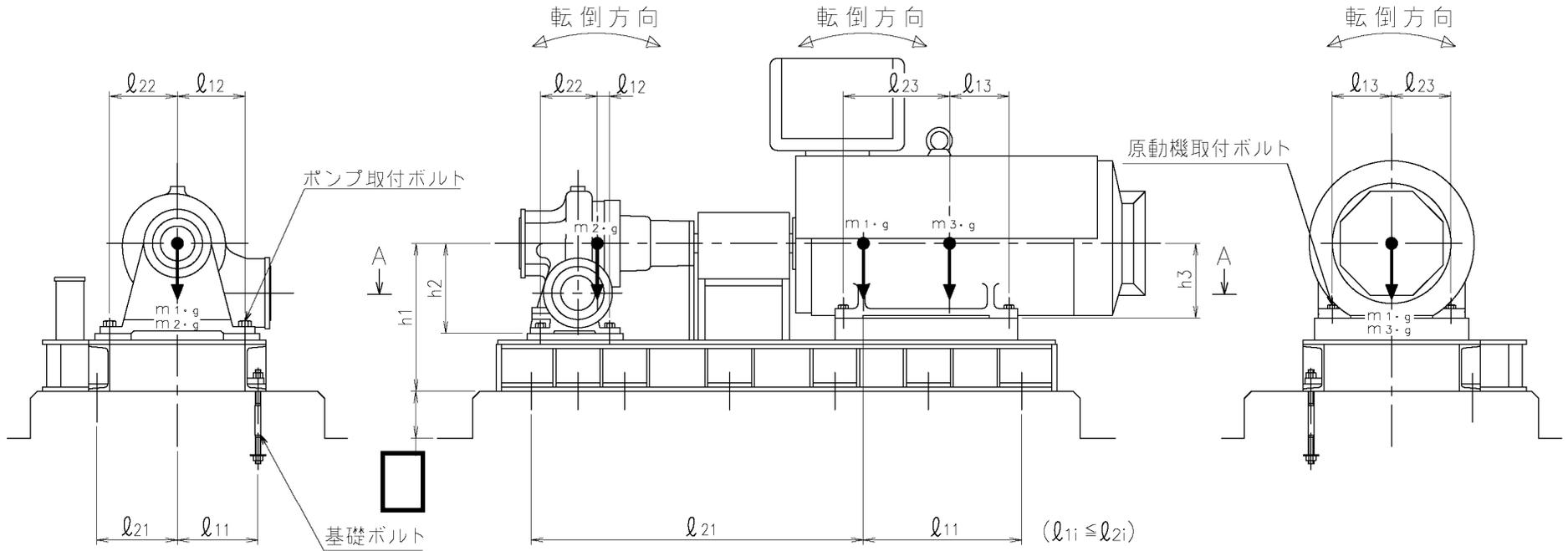
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.94	1.4
	鉛直方向	0.91	1.0
原動機	水平方向	0.94	4.7
	鉛直方向	0.91	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



A~A矢视图



VI-2-4-3-1-3 管の耐震性についての計算書

設計基準対象施設

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力	25
3.5 設計用地震力	26
4. 解析結果及び評価	27
4.1 固有周期及び設計震度	27
4.2 評価結果	39
4.2.1 管の応力評価結果	39
4.2.2 支持構造物評価結果	41
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	42
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	43

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、燃料プール冷却浄化系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全5モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

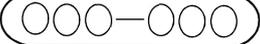
(3) 弁

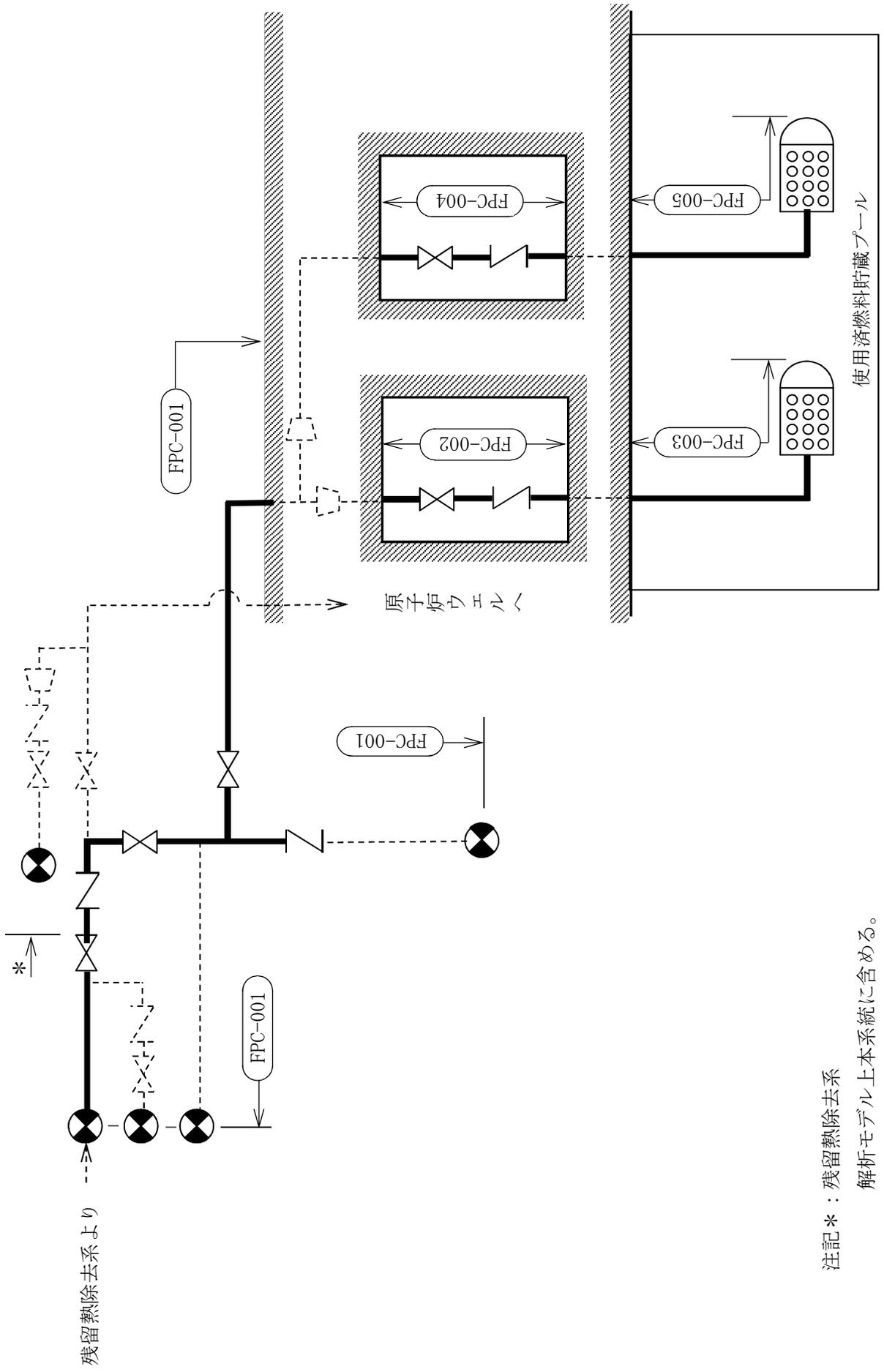
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

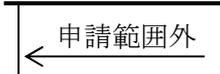
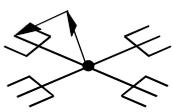
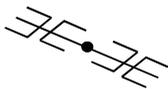
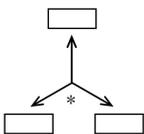


注記*：残留熱除去系
解析モデル上本系統に含める。

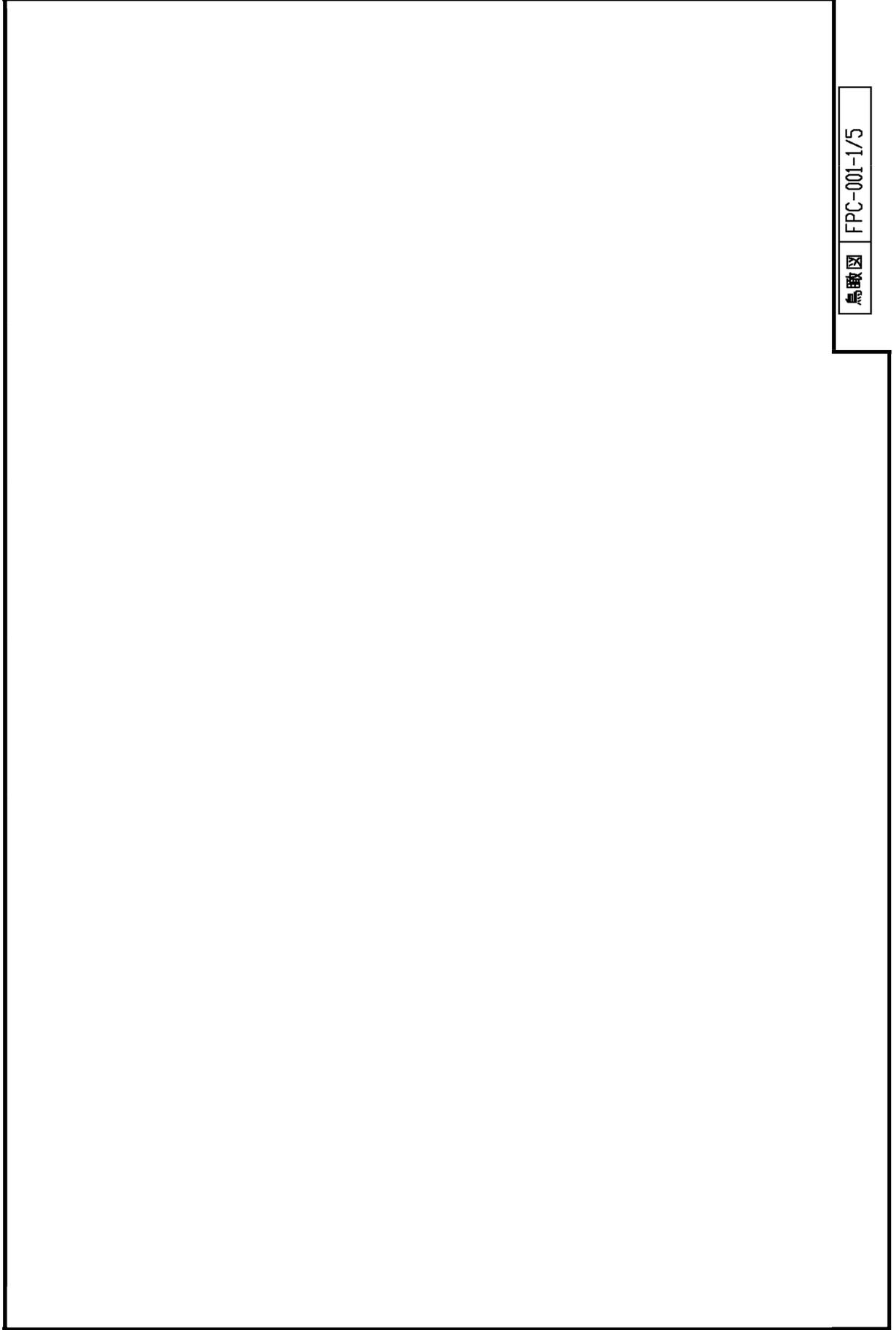
燃料プール冷却浄化系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

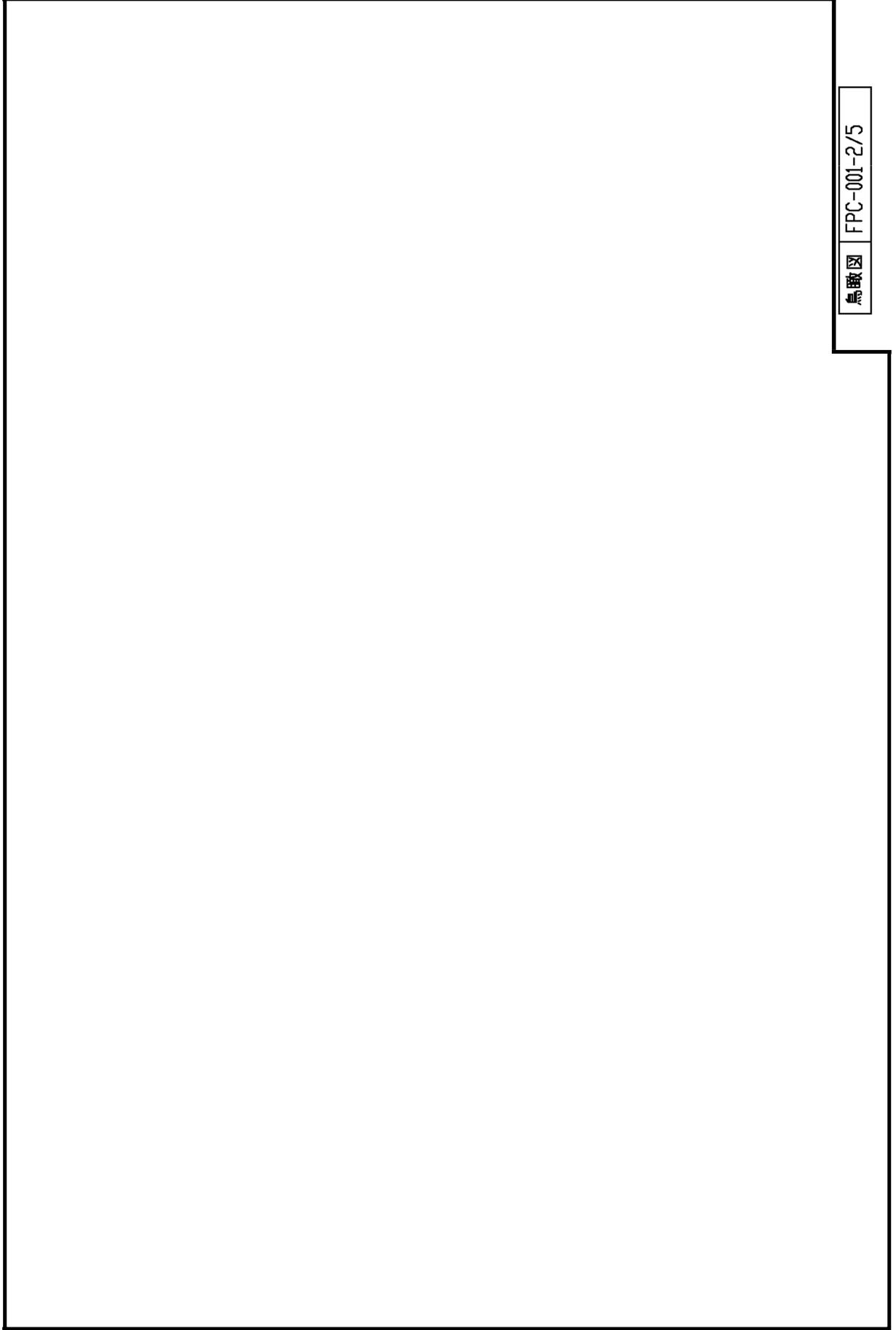
記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (設) R0



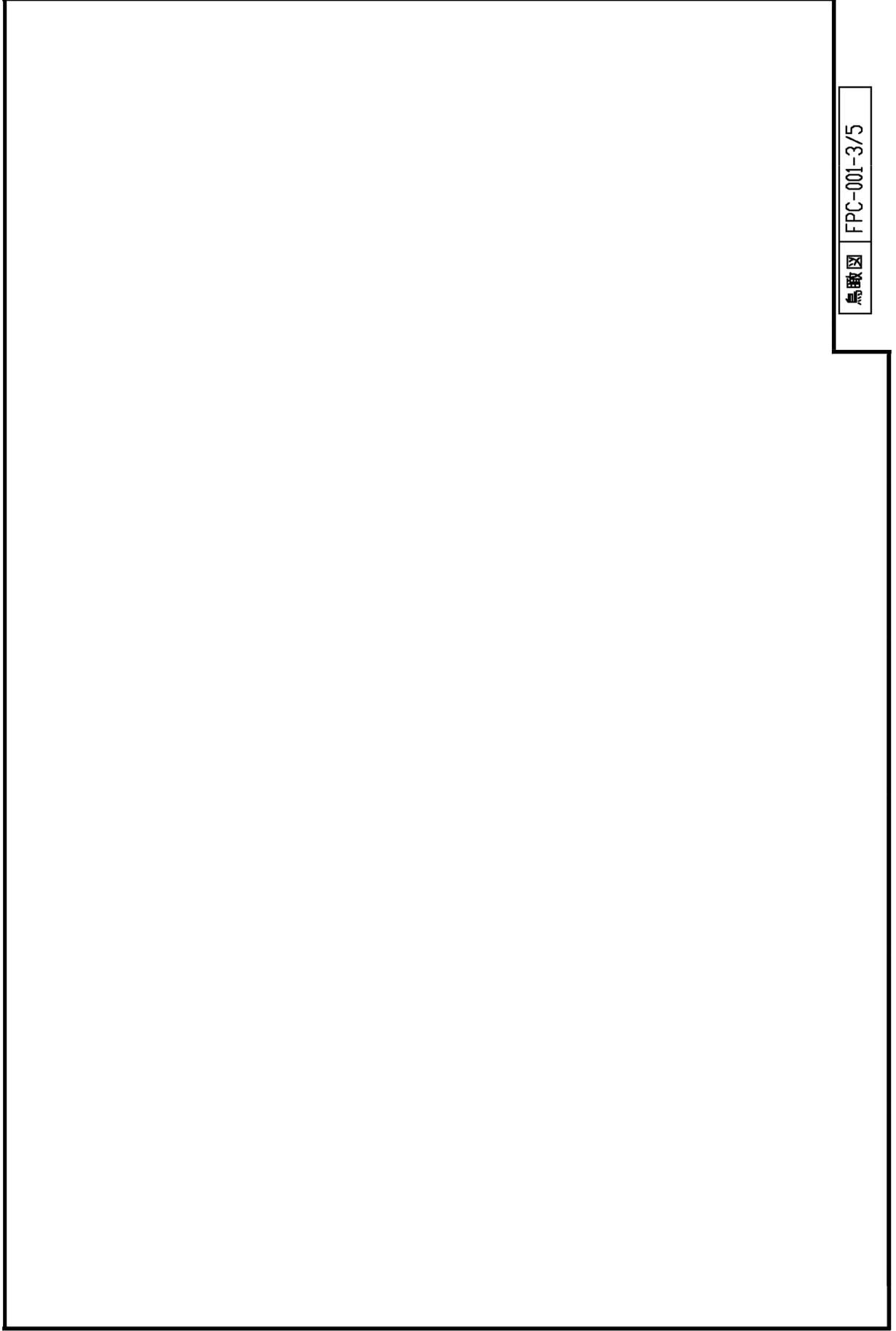
鳥瞰図 FPC-001-1/5

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (設) R0



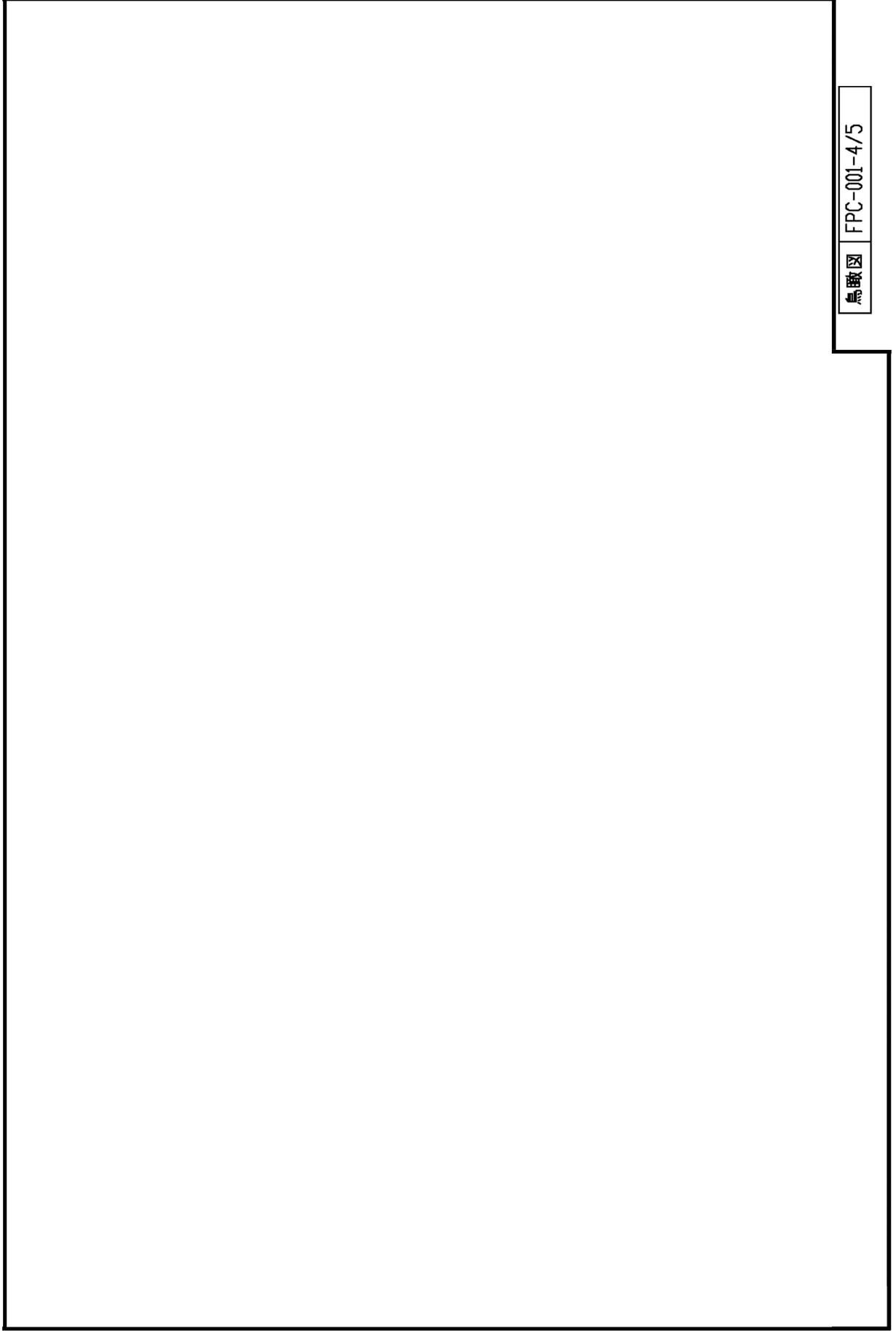
鳥瞰図 FPC-001-2/5

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (設) R0



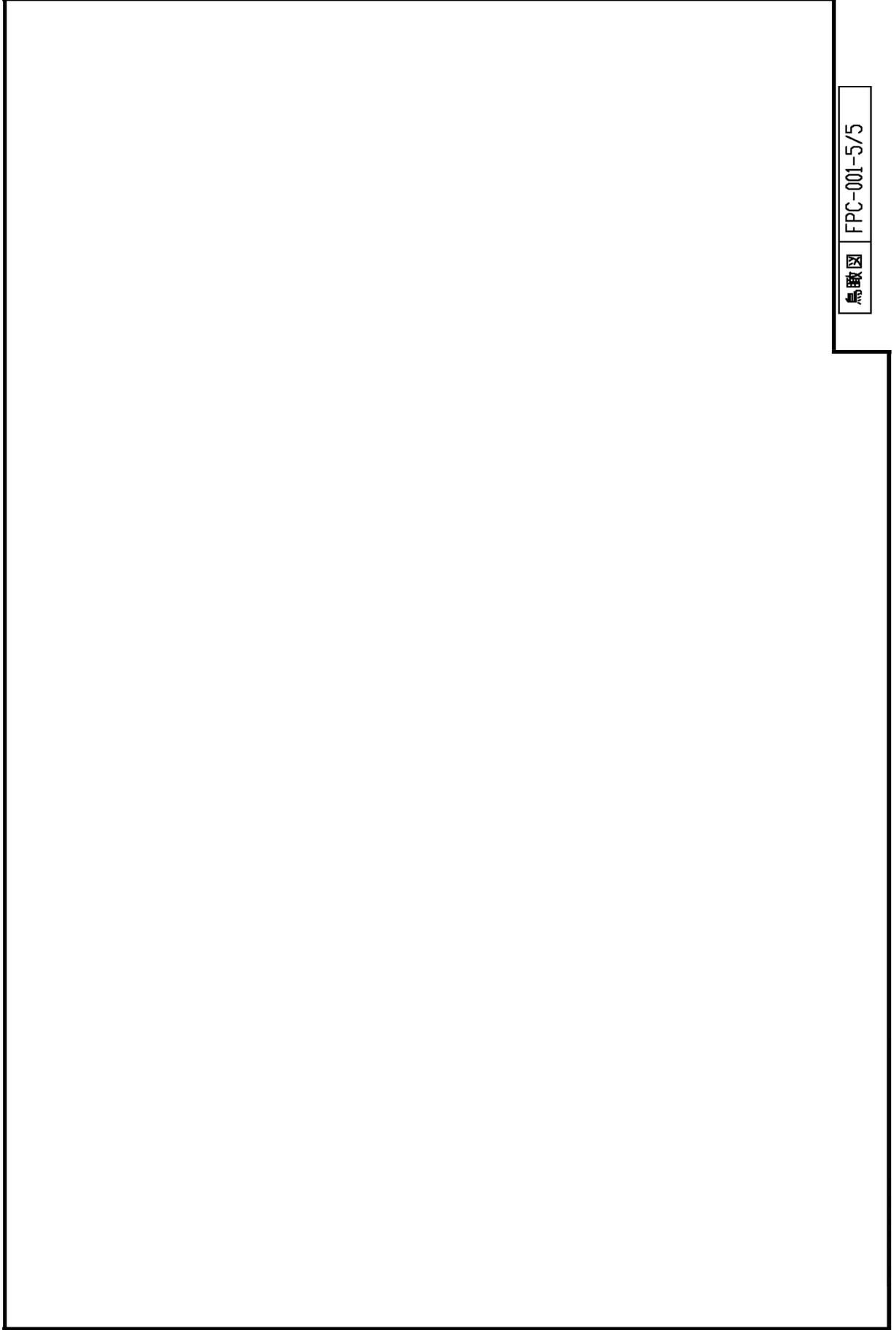
鳥瞰図 FPC-001-3/5

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (設) R0



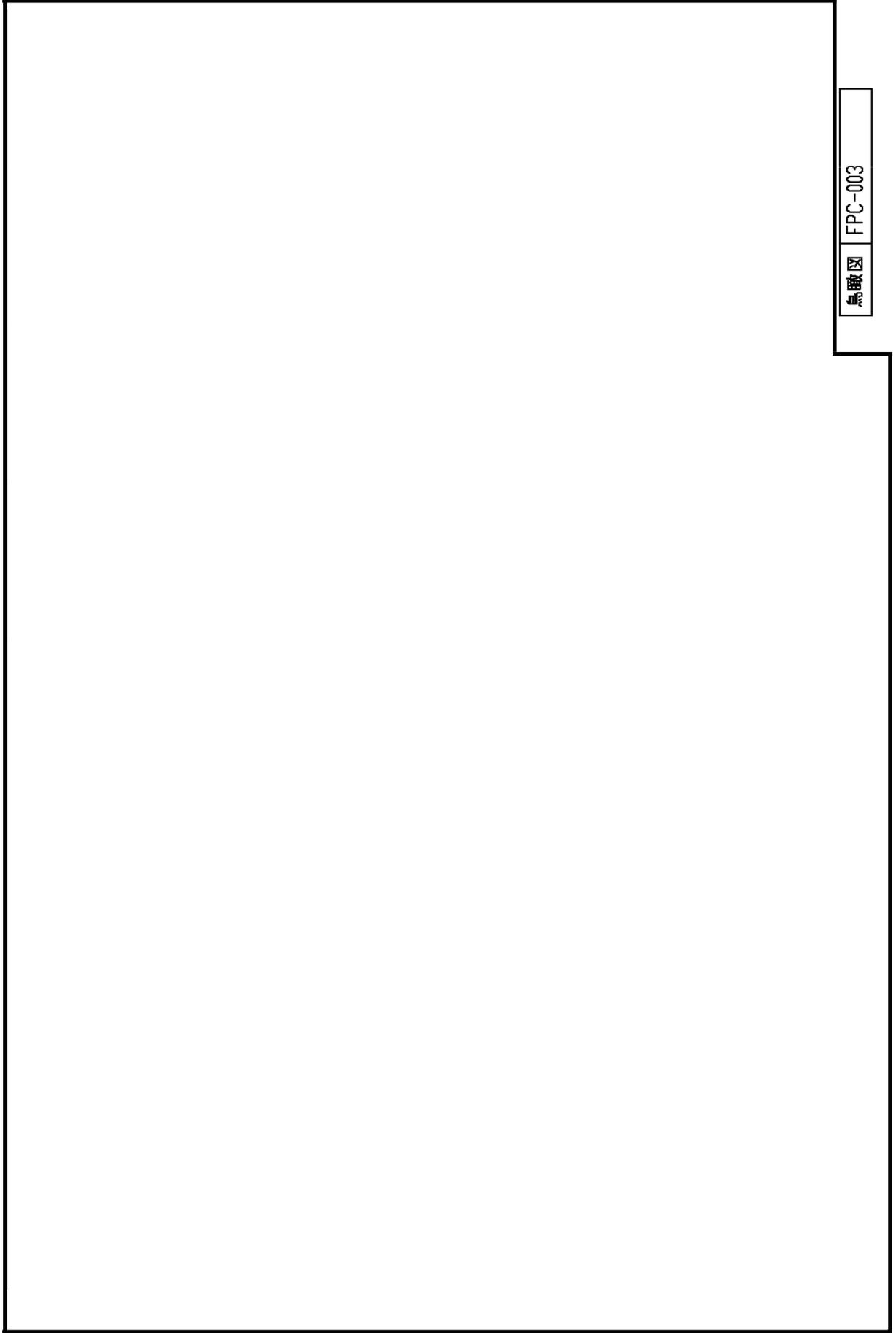
鳥瞰図 FPC-001-4/5

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (設) R0



鳥瞰図 FPC-001-5/5

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (設) R0



鳥瞰図 FPC-003

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「MS A P (配管)」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備 分類	機器等 の区分	耐震 重要度 分類	荷重の組合せ*2,3	許容応力 状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽 冷却浄化設備	燃料プール冷却 浄化系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重が作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3.43	66	406.4	12.7	SGV410	S	200000
2	1.57	66	406.4	9.5	SM400C	S	200000
3	1.57	66	406.4	9.5	SUS304	S	192000
4	1.57	66	267.4	9.3	SUS304	S	192000
5	1.57	66	267.4	9.3	SUS304TP	S	192000

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点													
1	801	600	601	602	603	802	1	3	401	411	311	901		
2	901	312	321	902										
3	902	322	803	421	432	431								
4	431	434	361	906	462	461	371	907	372	22	464	32	381	908
5	906	362	451	807	462	22	808	464	29	31	810	607	608	811
	32	908	382											

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
801		411		432		461		810	
600		311		431		371		607	
601		901		434		907		608	
602		312		361		372		811	
603		321		906		22		32	
802		902		362		808		381	
1		322		451		464		908	
3		803		807		29		382	
401		421		462		31			

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)								
311		902		906		907		908	
901									
312									
501									
502									

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁 1	901			
弁 2	902			
弁 3	906			
弁 4	907			
弁 5	908			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
807						
808						
810						
811						
814						

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し,管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.57	66	216.3	8.2	SUS304TP	S	192000
2	1.57	66	216.3	8.2	SUS304	S	192000

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点													
1	501	801	600	601	1	3	802	602	603	604	605	803	606	607
	608	609	4	6	804									
2	1	3	4	6										

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
501		1		603		606		4	
801		3		604		607		6	
600		802		605		608		804	
601		602		803		609			

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

弁部の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)
—	—

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
—	—	—	—	—

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SGV410	66	—	212	384	—
SM400C	66	—	234	385	—
SUS304	66	—	188	479	126
SUS304TP	66	—	188	479	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高(m)	減衰定数(%)
FPC-001	原子炉建屋		
FPC-003	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度* ²							
静的震度* ³							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S_d 又は S_s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*3：3.6C_I 及び 1.2C_V より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 1

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				

注記*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

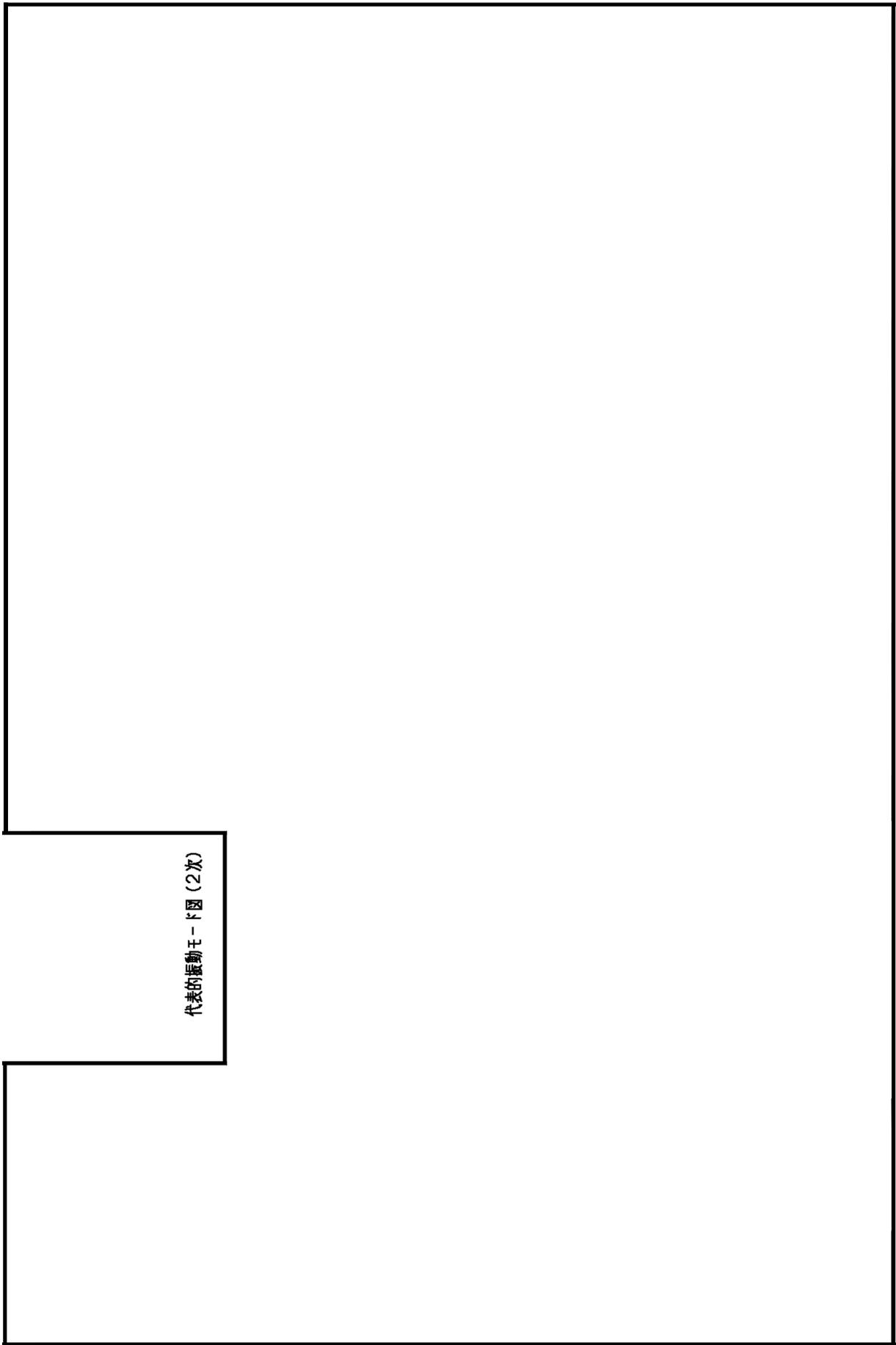
代表的振動モード図

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

代表的振動モード図 (1次)

鳥瞰図 FPC-001

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図 FPC-001

代表的振動モード図 (3次)

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度* ²							
静的震度* ³							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S_d 又は S_s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*3： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F P C - 0 0 3

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				

注記*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

代表的振動モード図

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

代表的振動モード図 (1次)

鳥瞰図 FPC-003

代表的振動モード図(2次)

鳥瞰図 FPC-003

代表的振動モード図 (3次)

鳥瞰図 FPC-003

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_d)$ $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 S_y^* $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
				F P C - 0 0 1	Ⅲ _A S	901	$S_{pr m}(S_d)$	45
	Ⅳ _A S	901	$S_{pr m}(S_s)$	54	345	—	—	—
	Ⅳ _A S	431	$S_n(S_s)$	—	—	47	376	—

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S_h$ のうち大きい方の値とする。

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S d)$ $S_{pr m}(S s)$	許容応力 S_y^* $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S s$
F P C - 0 0 3	Ⅲ _A S	804	$S_{pr m}(S d)$	35	188	—	—	—
	Ⅳ _A S	6	$S_{pr m}(S s)$	47	431	—	—	—
	Ⅳ _A S	6	$S_n(S s)$	—	—	53	376	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S_h$ のうち大きい方の値とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
FPC-001-245B	ロッドレストレイント	RTS-1	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		12	18

支持構造物評価結果(応力評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
FPC-001-015A	アンカ	ラグ	SGV410	66	117	94	72	27	124	169	組合せ	212	424
FPC-001-023R	レストレイント	ラグ	SUS304	66	24	0	0	—	—	—	組合せ	70	117

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス2以下の管)

No	配管 モデル	許容応力状態 III A S					許容応力状態 IV A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FPC-001	901	45	212	4.71	○	901	54	345	6.38	○	431	47	376	8.00	—	—	—	—
2	FPC-002	802	20	188	9.40	—	802	25	431	17.24	—	802	21	376	17.90	—	—	—	—
3	FPC-003	804	35	188	5.37	—	6	47	431	9.17	—	6	53	376	7.09	○	—	—	—
4	FPC-004	802	20	188	9.40	—	802	25	431	17.24	—	802	21	376	17.90	—	—	—	—
5	FPC-005	804	35	188	5.37	—	6	47	431	9.17	—	6	53	376	7.09	—	—	—	—

注記* : III A S の一次+二次応力の許容値はIV A S と同様であることから、地震荷重が大きいIV A S の一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	18
3.1 計算方法	18
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	19
3.3 設計条件	20
3.4 材料及び許容応力	27
3.5 設計用地震力	28
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、燃料プール冷却浄化系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全9モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

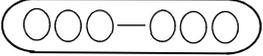
(3) 弁

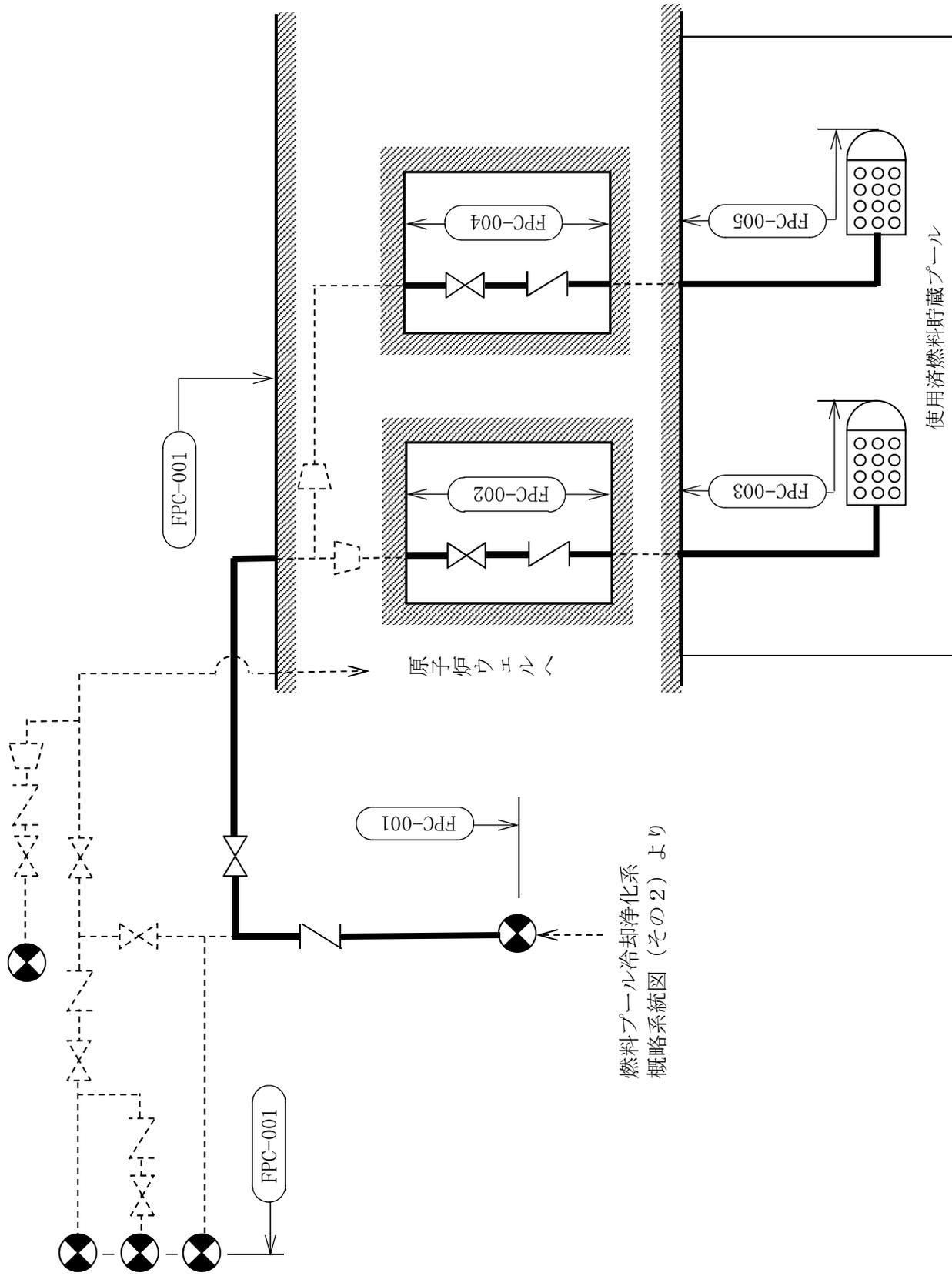
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

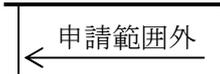
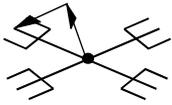
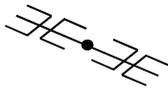
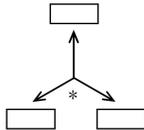


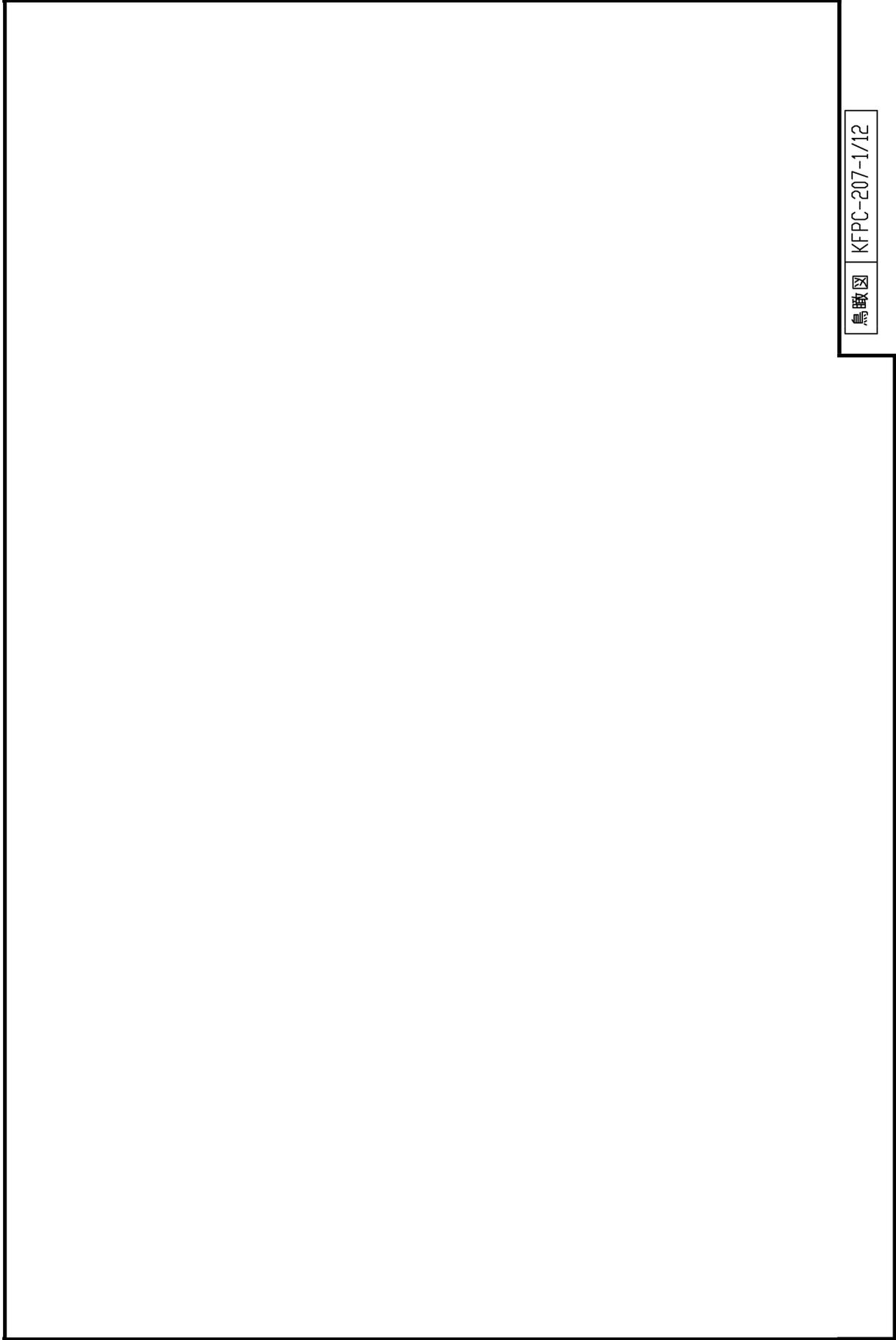
燃料プール冷却浄化系
概略系統図 (その2) より

燃料プール冷却浄化系概略系統図 (その1)

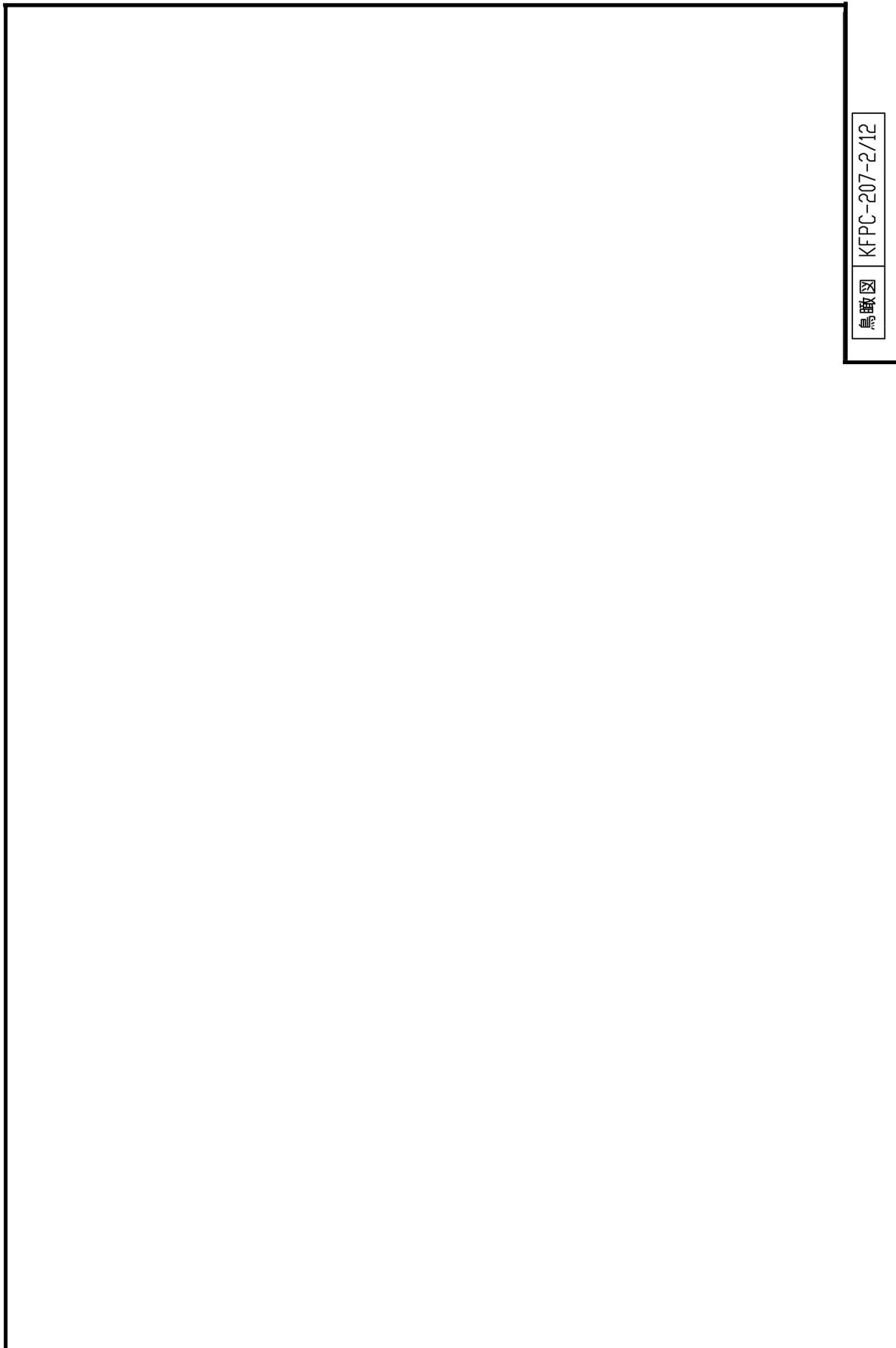
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

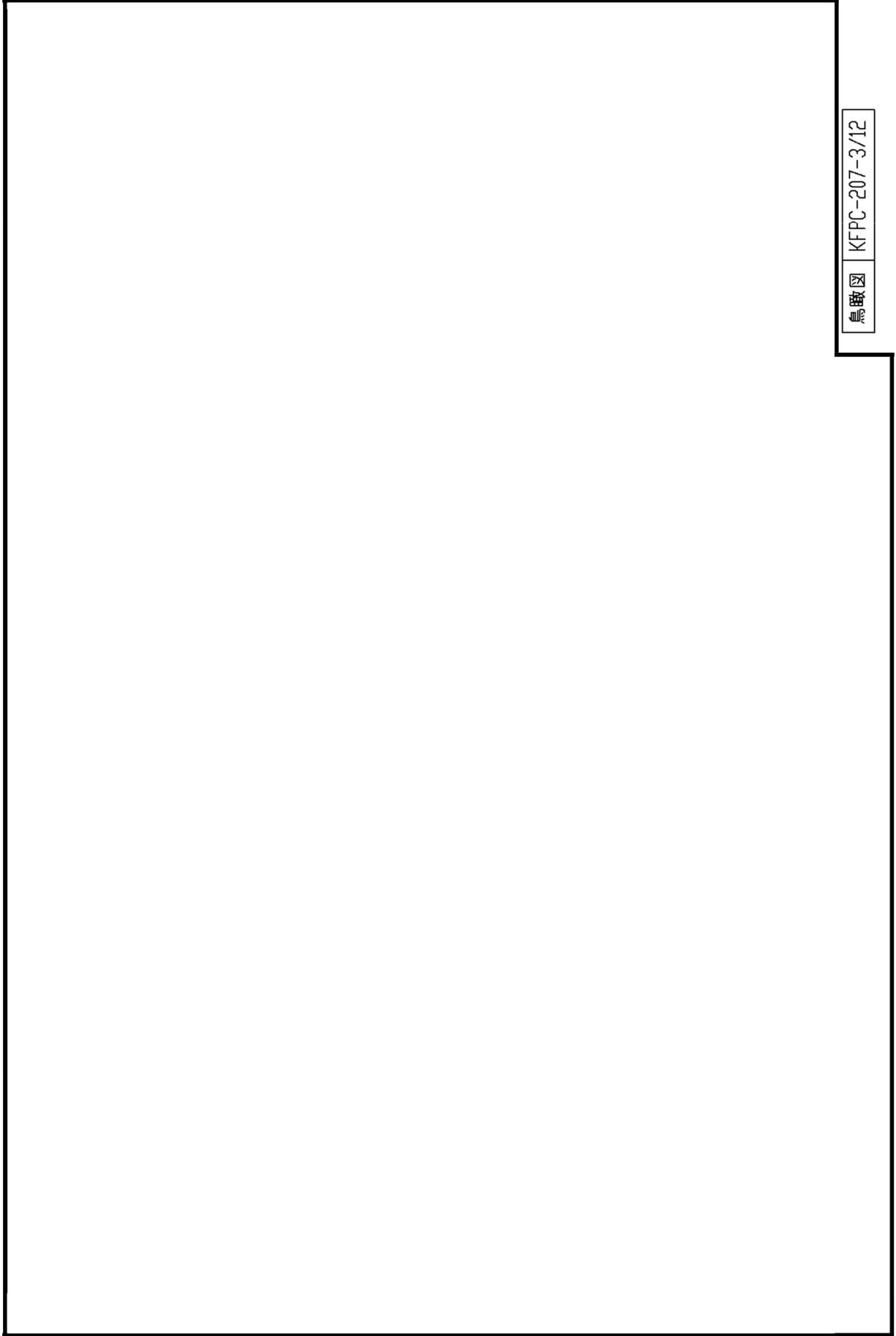
記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)</p>
	<p>スナッパ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>



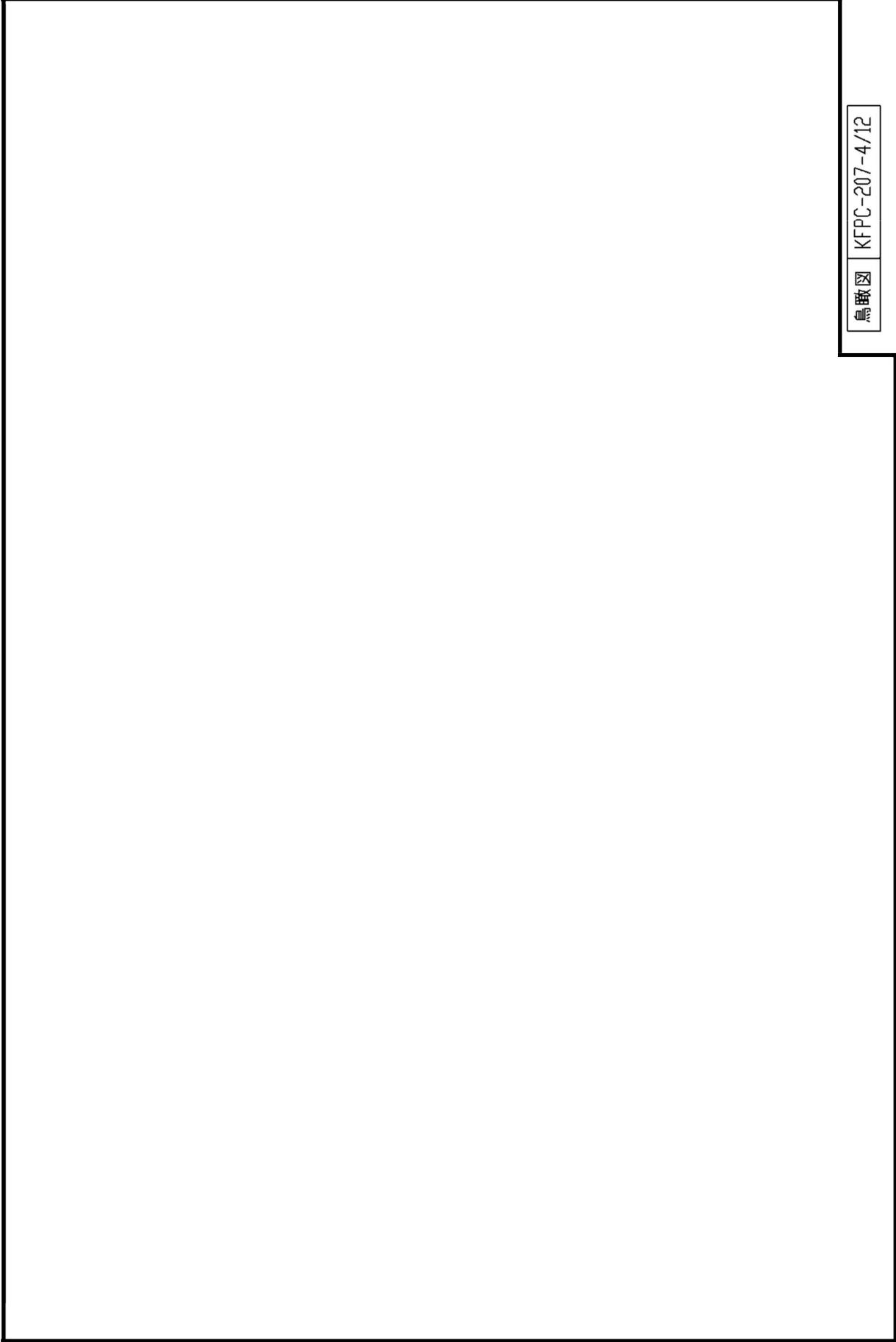
鳥瞰図 KFPC-207-1/12



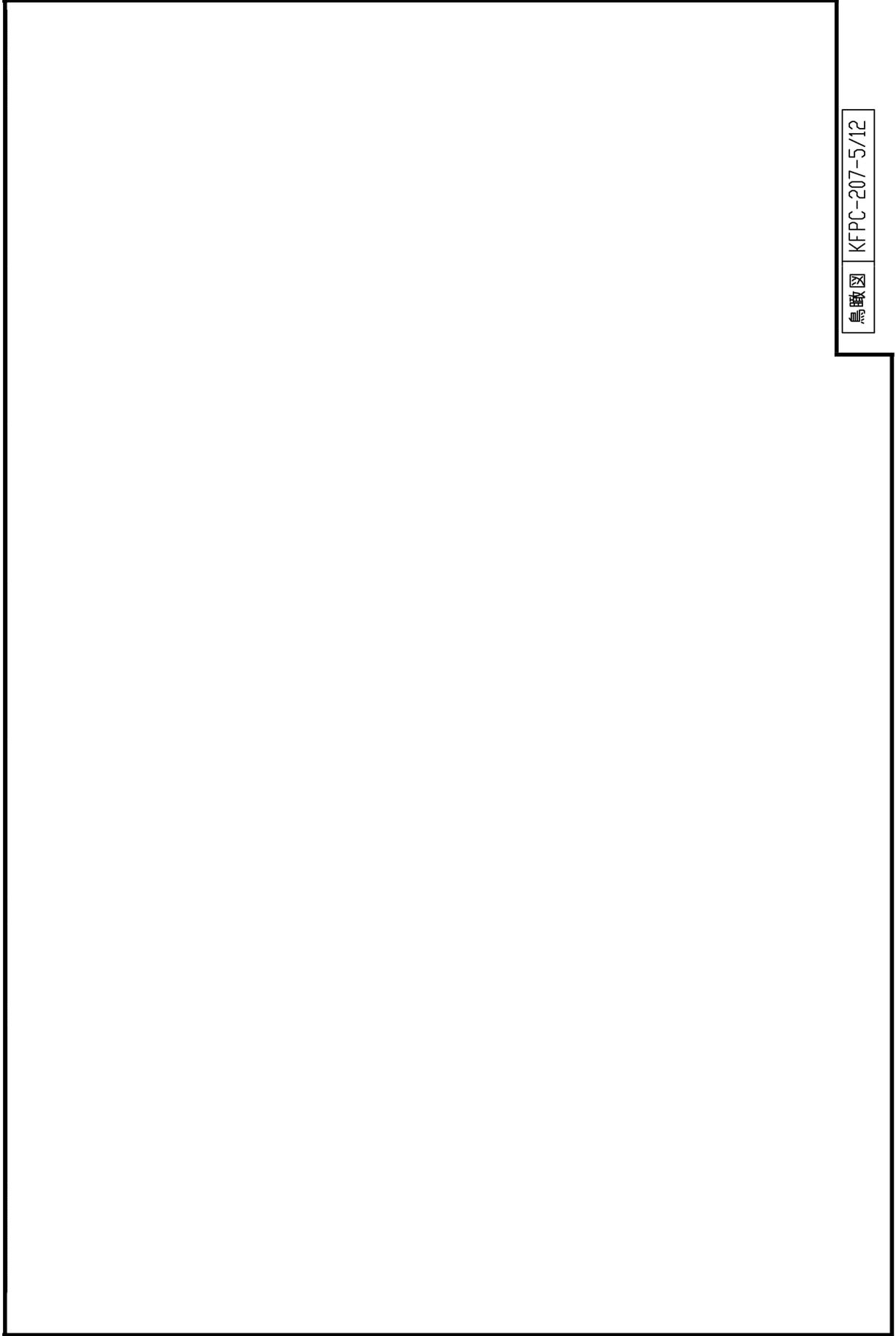
鳥瞰図 KFPC-207-2/12



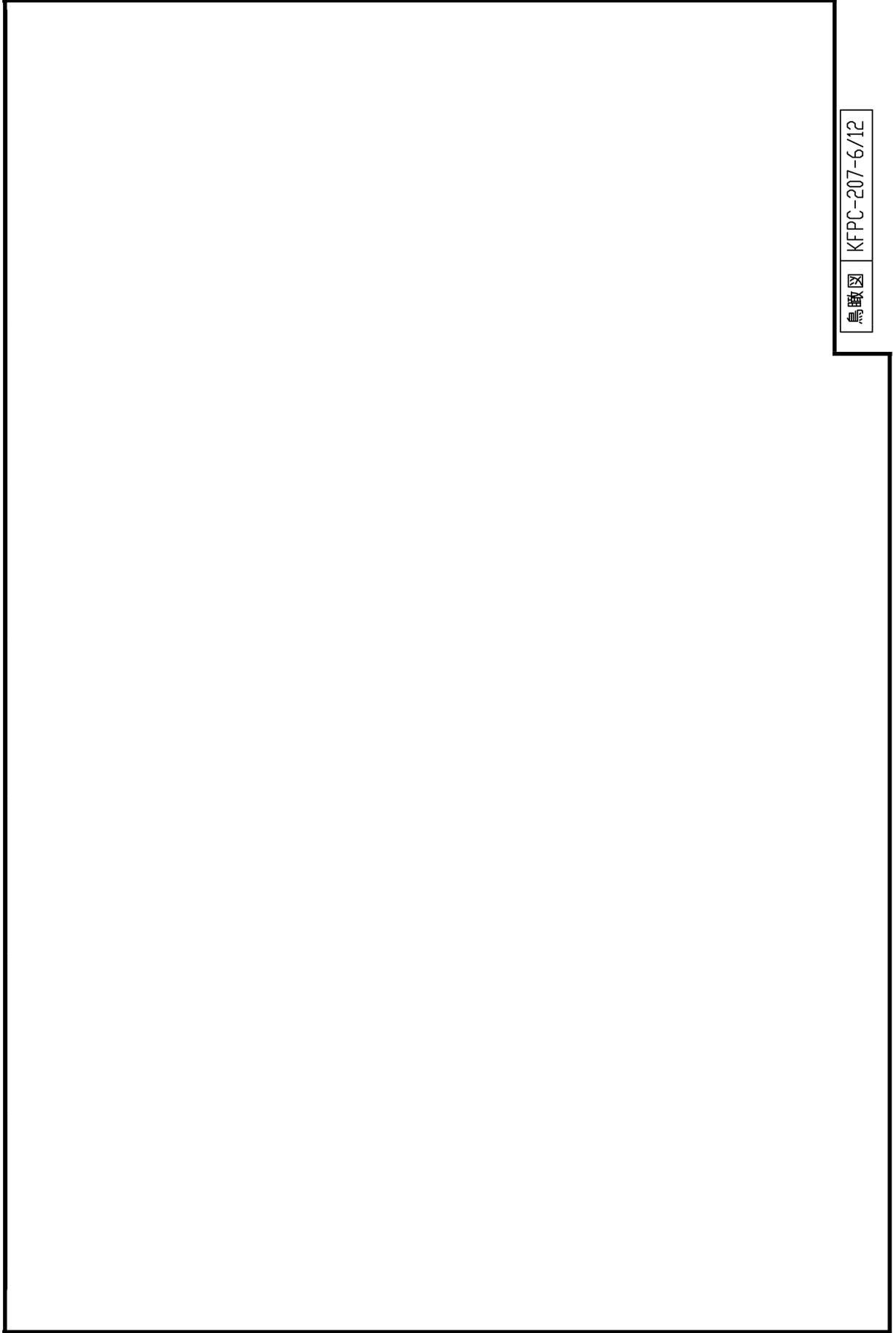
鳥瞰図 KFPC-207-3/12



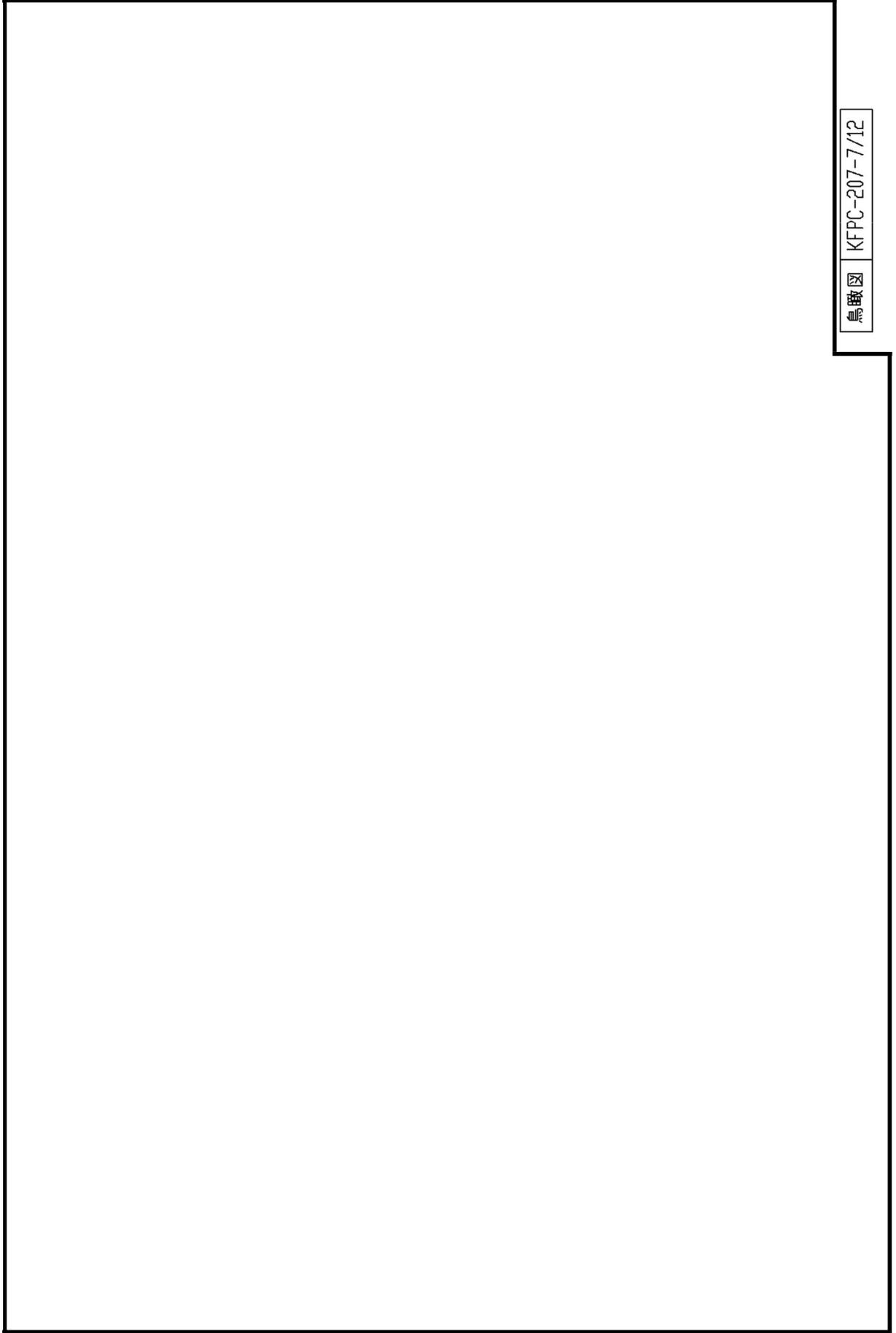
鳥瞰図 KFPC-207-4/12



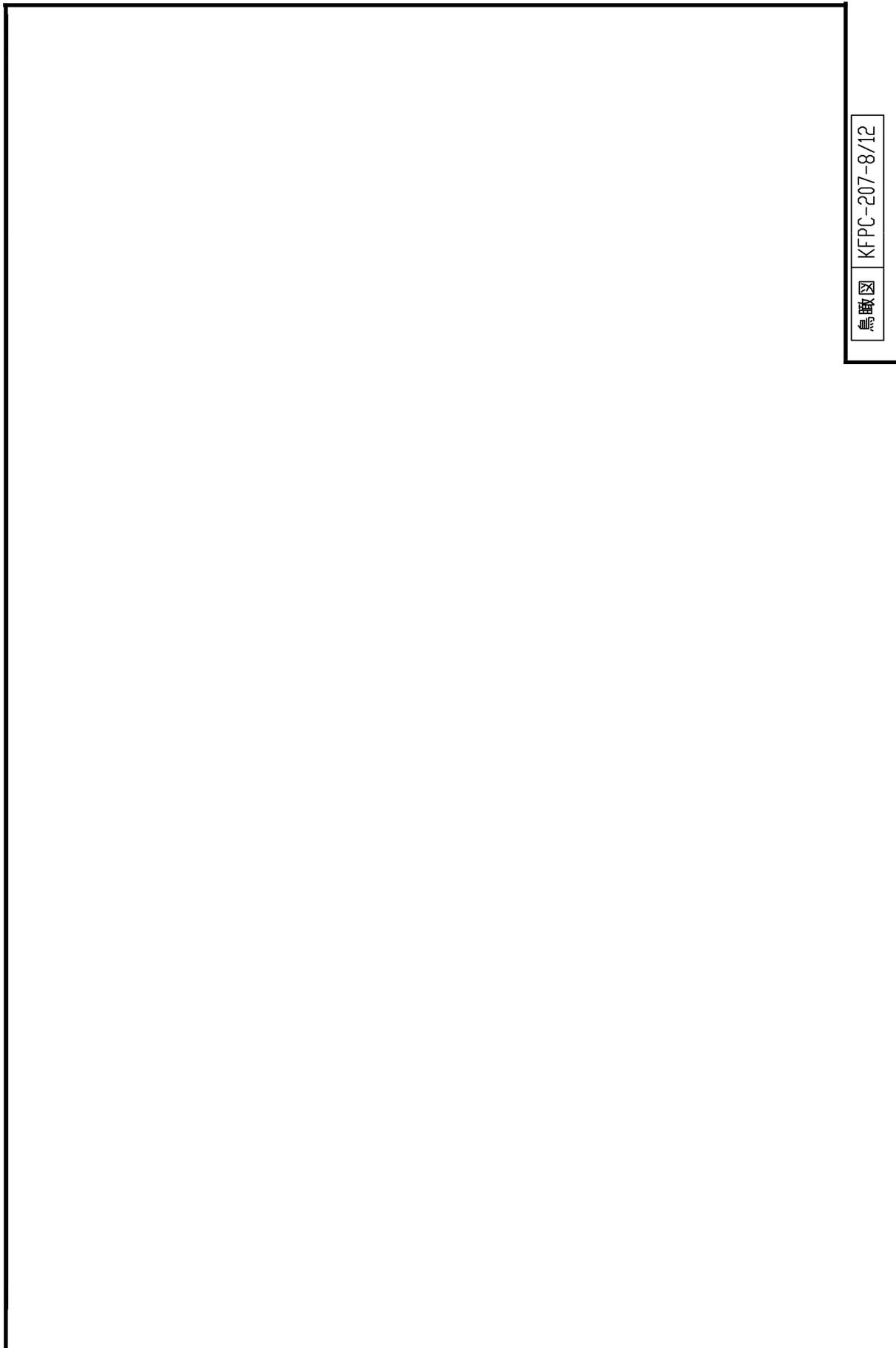
鳥瞰図 KFPC-207-5/12



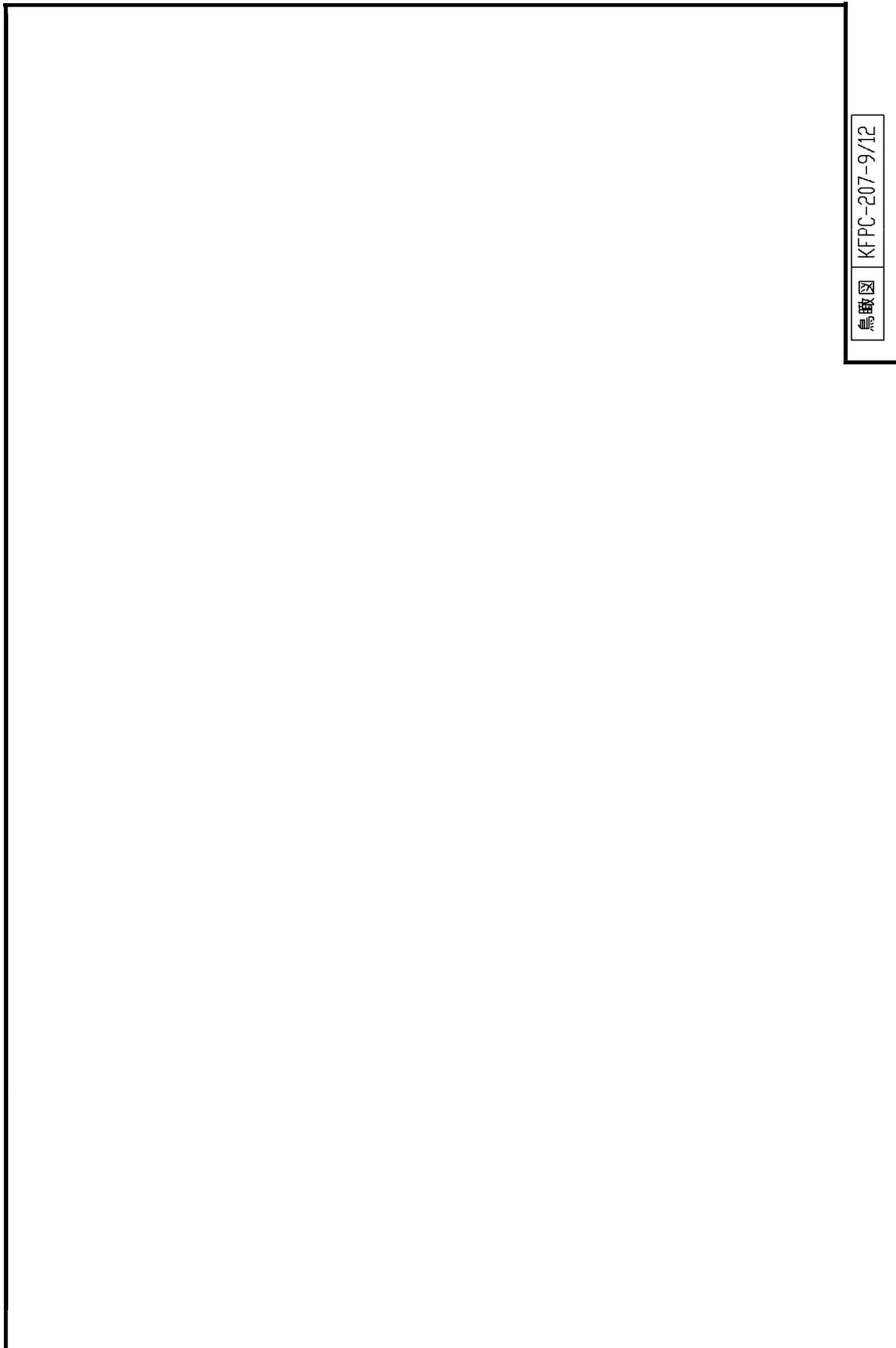
鳥瞰図 KFPC-207-6/12



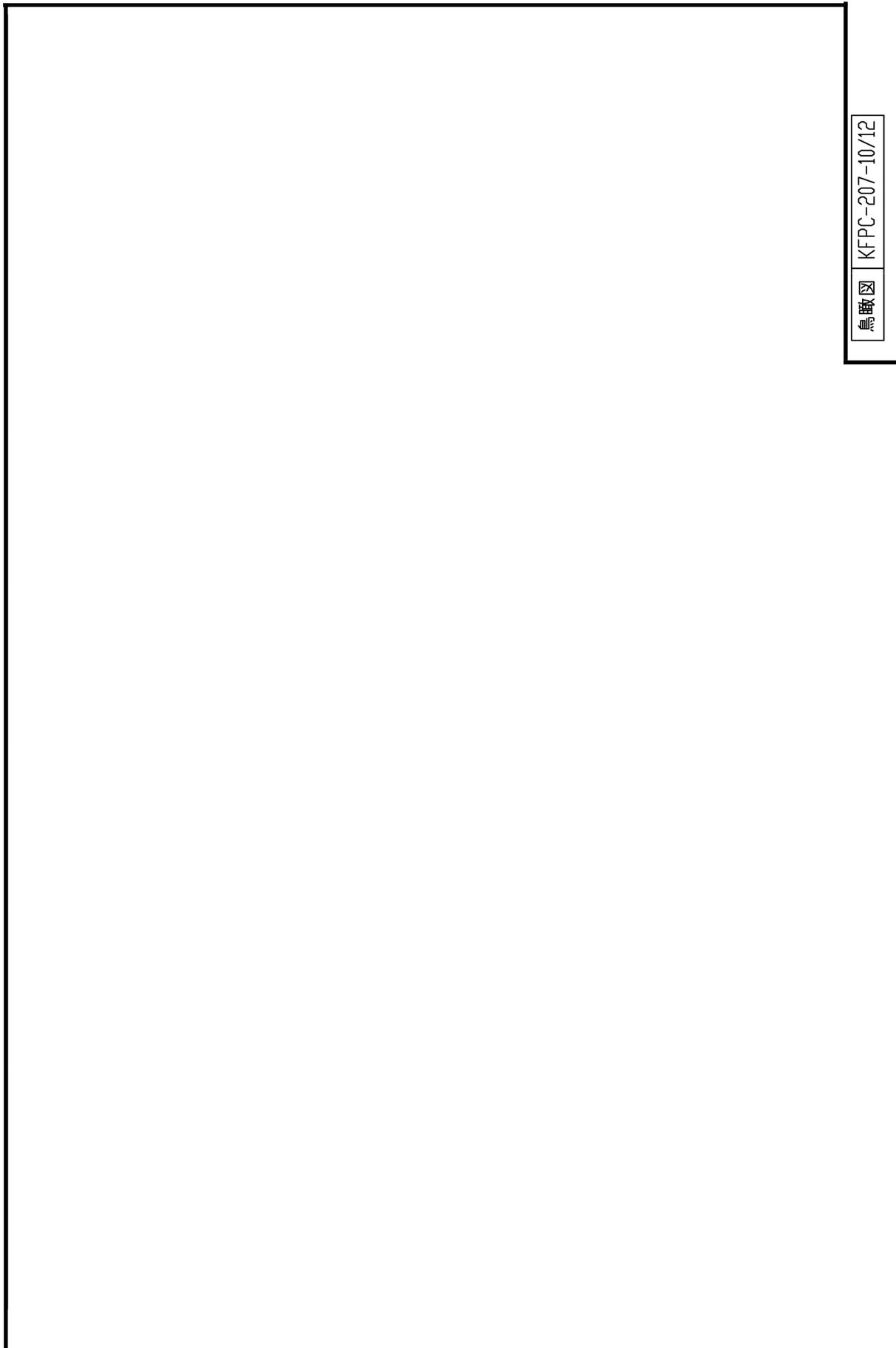
鳥瞰図 KFPC-207-7/12



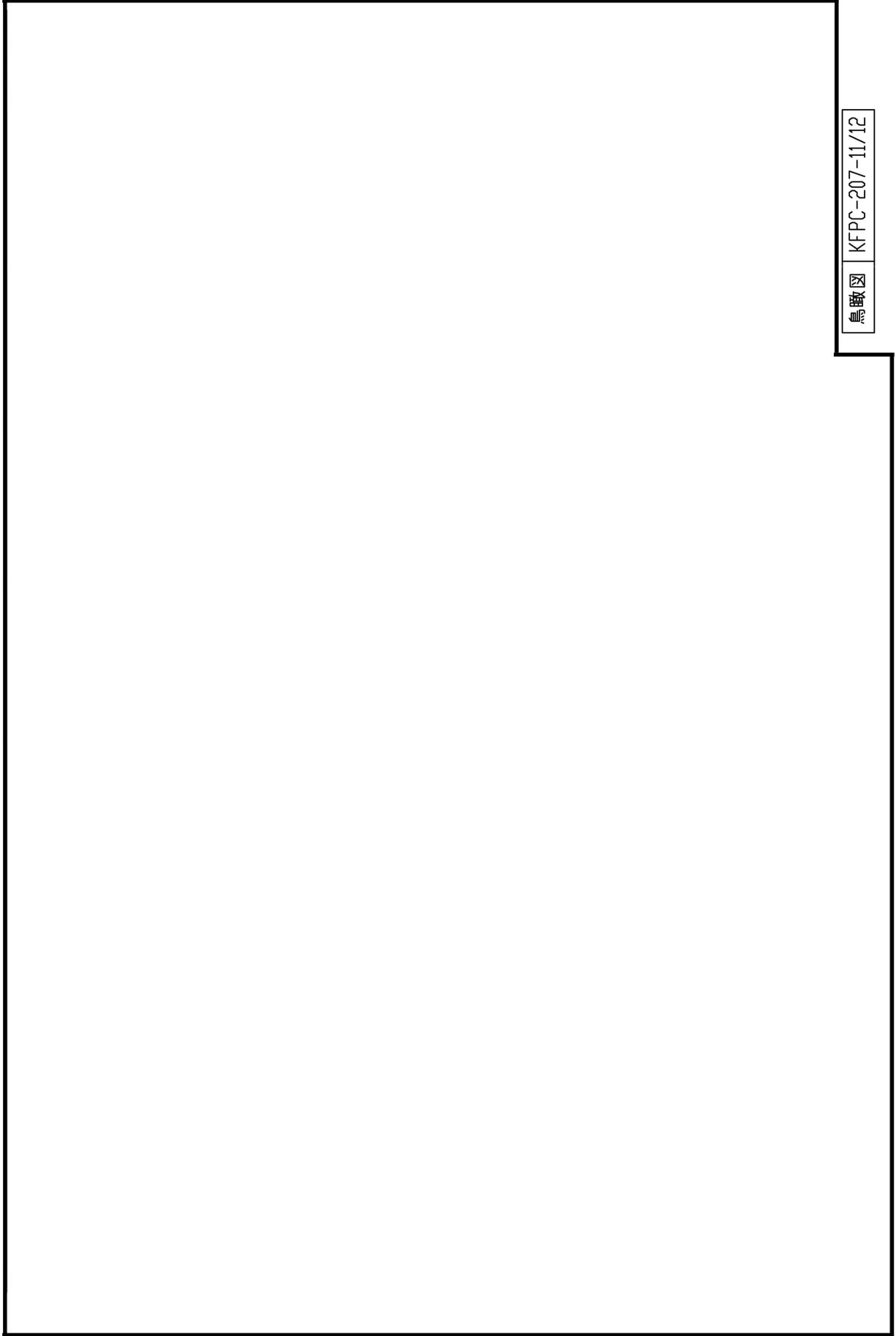
鳥瞰図 KFPC-207-8/12



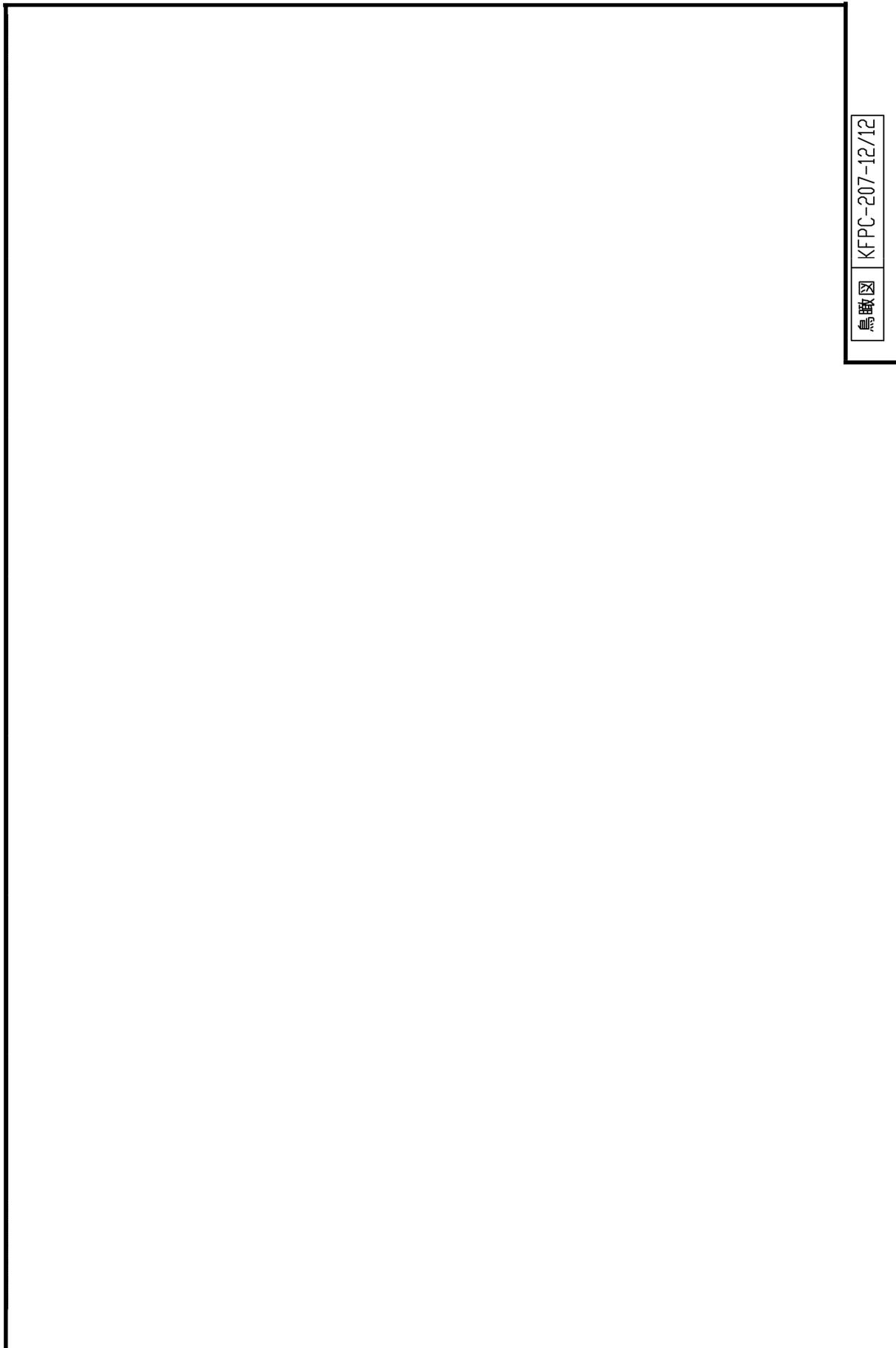
鳥瞰図 KFPC-207-9/12



鳥瞰図	KFPC-207-10/12
-----	----------------



鳥瞰図 KFPC-207-11/12



鳥瞰図	KFPC-207-12/12
-----	----------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「MSAP（配管）」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備 分類*2	機器等 の区分	耐震 重要度 分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力 状態*5
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽 冷却浄化設備	燃料プール冷却 浄化系	S A	常設耐震/ 防止	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_S$	V_{AS}

注記*1：D Bは設計基準対象設備，S Aは重大事故等対象設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3：運転状態の添付Lは荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.57	77	165.2	7.1	STS410	—	200000
2	1.57	77	216.3	8.2	STS410	—	200000
3	1.57	77	318.5	10.3	STS410	—	200000
4	1.57	77	267.4	9.3	STS410	—	200000
5	1.57	77	267.4	9.3	SUS304TP	—	191000
6	1.57	77	267.4	9.3	SUS304	—	191000
7	1.57	77	216.3	8.2	SUS304TP	—	191000
8	1.57	77	216.3	8.2	SUS304	—	191000
9	静水頭	77	318.5	10.3	SUS304TP	—	191000
10	静水頭	77	318.5	10.3	SUS304	—	191000

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1001	501	504	1002											
2	202	3	401	502	4	6	801	411	7	9	311	901	312	802	
	10	12	211	222	803	13	15	321	902	322	431	433	18	441	
	804	19	21	503	451	22	231	3141	914	3142	157	159	842	608	
	519	609	681	682	843	4261	4264	187	189	190	192	193	195	849	
	610	520	611	690	691	850									
3	212	421	221	424	805	612	613	614	615	806	25	27	616	28	
	30	31	33	807	461	34	36	471	4301	331	903				
4	913	3132	4222	4221	4223	840	151	153	841	4232	4231	4233	154	261	
	4234	3161	916	3162	4262	4261	4263	683	844	3171	917				
5	4213	680	3131	913	917	3172	4272	4273	684	160	162	685	845	686	
	163	165	4281	846	687	166	168	4294	4214	848	4274				
6	4211	4213	4272	4271	4273	160	162	163	165	166	168	4294	4291	271	
	281	4214	4274												
7	272	169	171	172	174	688	3181	918	282	847	178	180	181	183	
	689	3191	919												
8	169	171	172	174	918	3182	512	1003	178	180	181	183	919	3192	
	513	1004													
9	903	332	808	617	482	483	809								
10	482	481	483												

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

(1 / 2)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
1001		441		332		519		168	
501		804		808		609		4294	
202		19		617		681		4291	
3		21		482		682		271	
401		503		481		843		272	
502		451		483		4234		169	
4		22		809		3161		171	
6		231		4211		916		172	
801		504		4213		3162		174	
411		1002		680		4262		688	
7		424		3131		4261		3181	
9		805		913		4263		918	
311		612		3132		683		3182	
901		613		4222		844		512	
312		614		4221		3171		1003	
802		615		4223		917		281	
10		806		840		3172		282	
12		25		151		4272		847	
211		27		153		4271		178	
212		616		841		4273		180	
421		28		4232		684		181	
221		30		4231		160		183	
222		31		4233		162		689	
803		33		154		685		3191	
13		807		261		845		919	
15		461		3141		686		3192	
321		34		914		163		513	
902		36		3142		165		1004	
322		471		157		4281		4214	
431		4301		159		846		848	
433		331		842		687		4274	
18		903		608		166		4264	

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)								
187		192		849		611		850	
189		193		610		690			
190		195		520		691			

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
901		902		903		3131		914	
						913			
						3132			
						508			
						509			
弁 6		弁 7		弁 8		弁 9			
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)		
916		3171		918		919			
		917							
		3172							
		510							
		511							

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	901			
弁 2	902			
弁 3	903			
弁 4	913			
弁 5	914			
弁 6	916			
弁 7	917			
弁 8	918			
弁 9	919			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1001						
801						
802						
803						
804						
1002						
805						
806						
807						
808						
809						
840						
841						
842						
843						
844						
845						
846						
1003						
847						
1004						
848						
849						
850						

K6 ① VI-2-4-3-1-3 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS410	77	—	226	406	—
SUS304TP	77	—	182	464	—
SUS304	77	—	182	464	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高(m)	減衰定数(%)
KFPC-207	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 K F P C - 2 0 7

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
19次				
20次				
動的震度* ²				
静的震度* ³				

注記*1: 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2: S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*3: $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号 K F P C - 2 0 7

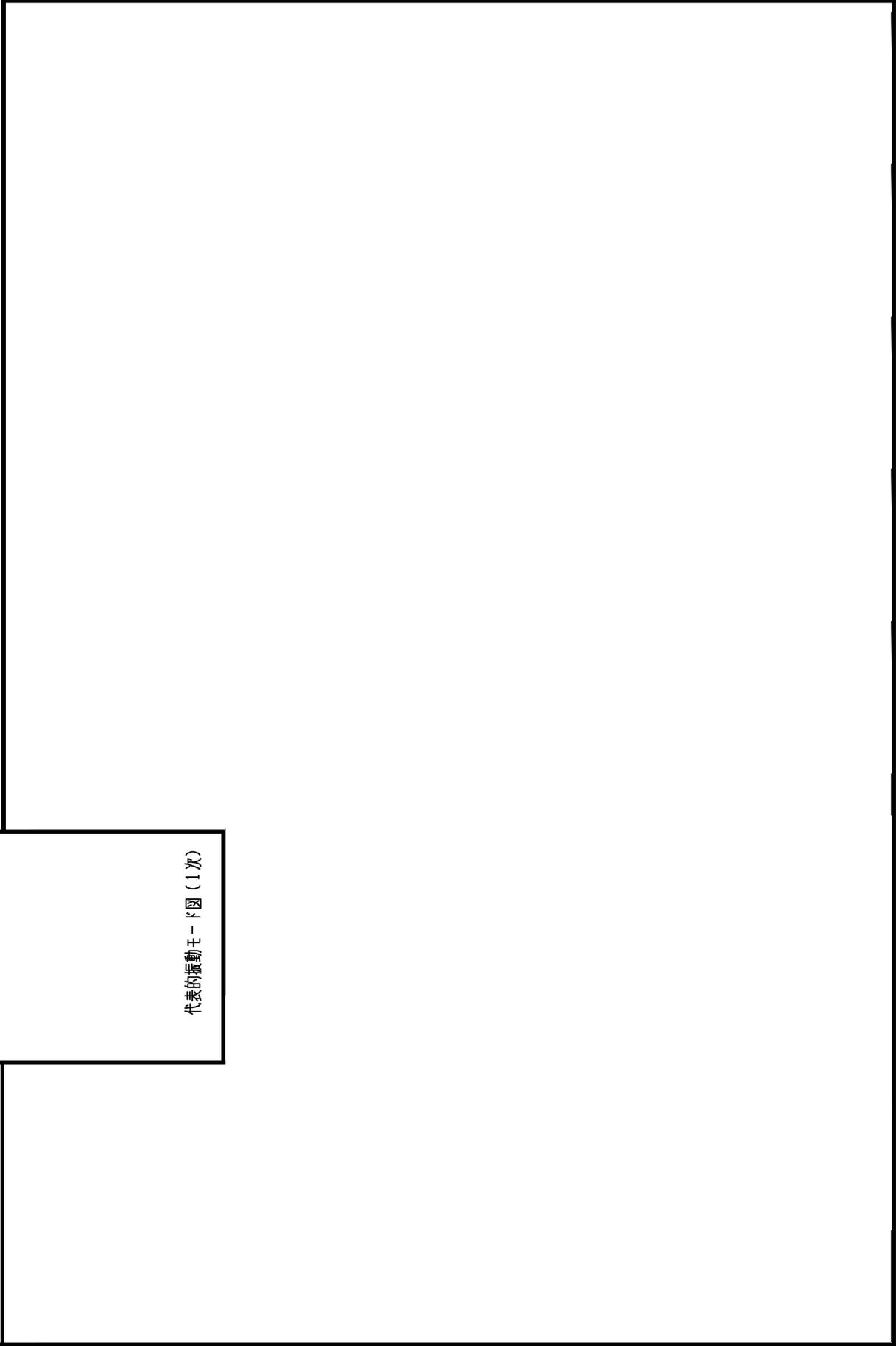
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
19次				

注記*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

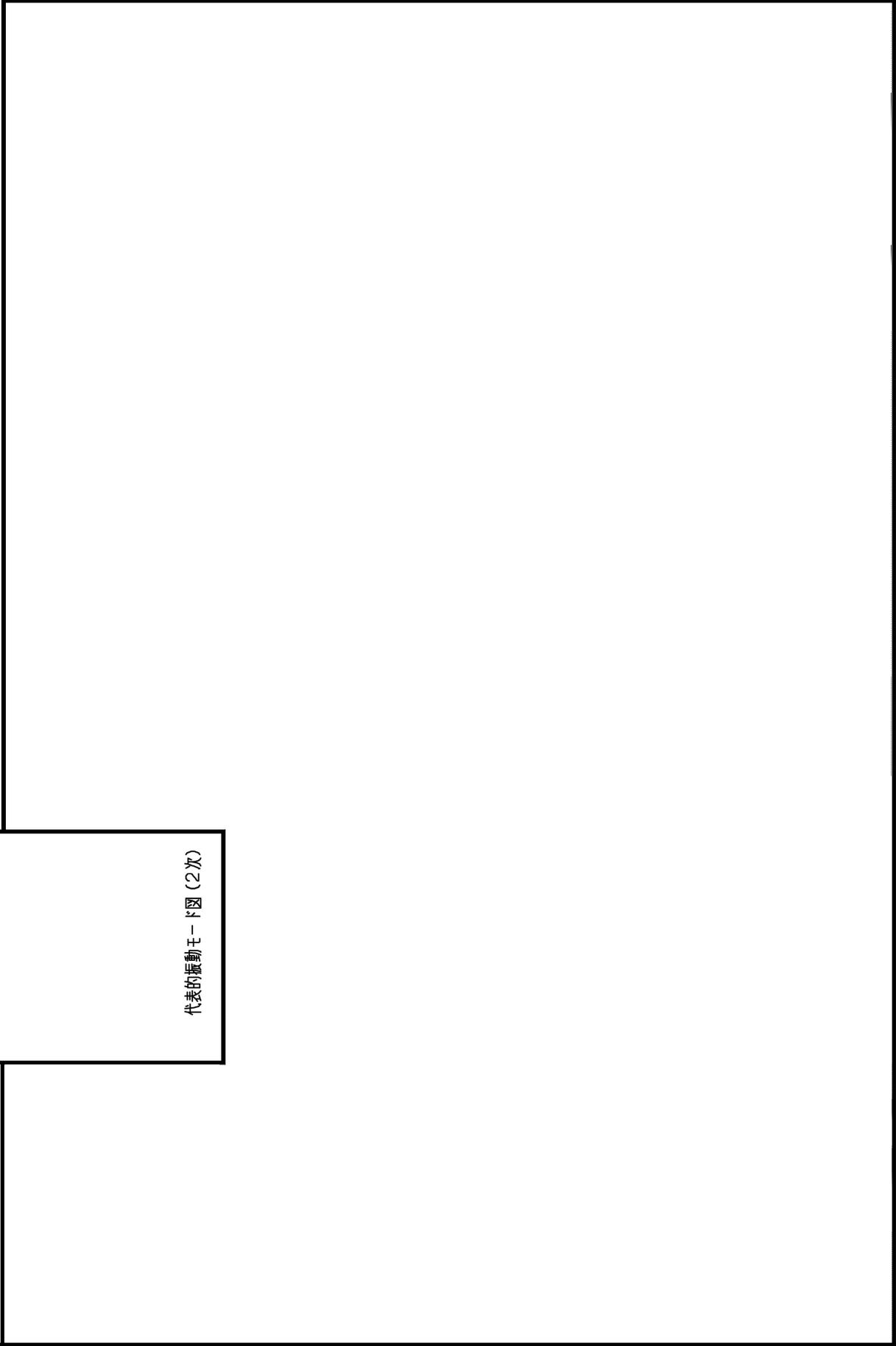
代表的振動モード図

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

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図 KFC-207

代表的振動モード図 (3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
KFPC-207	VAS	4211	$S_{pr m}(S_s)$	70	417	—	—	—
	VAS	4211	$S_n(S_s)$	—	—	104	364	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

36

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
FPC-001-101A	アンカ	ラグ	SUS304	100	8.9	18.9	5.2	1.02	3.11	11.6	組合せ	23	52
KFPC-207-223R	レストレイント	Uボルト	SUS304	100	34	44	0	—	—	—	組合せ	124	240

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	FPC-001	808	43	417	9.69	—	808	41	364	8.87	—	—	—	—
2	FPC-002	802	25	417	16.68	—	802	21	364	17.33	—	—	—	—
3	FPC-003	6	47	417	8.87	—	6	53	364	6.86	—	—	—	—
4	FPC-004	802	25	417	16.68	—	802	21	364	17.33	—	—	—	—
5	FPC-005	6	47	417	8.87	—	6	53	364	6.86	—	—	—	—
6	KFPC-207	4211	70	417	5.95	○	4211	104	364	3.50	○	—	—	—
7	KFPC-251	502	35	417	11.91	—	502	39	364	9.33	—	—	—	—
8	KFPC-252	19	42	365	8.69	—	19	53	452	8.52	—	—	—	—
9	KFPC-253	18	41	365	8.90	—	13	57	452	7.92	—	—	—	—