

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0449_改0
提出年月日	2021年8月3日

VI-2-10-1-2-4-2 緊急時対策所ディーゼル発電設備
管の耐震性についての計算書

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	4
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力評価条件	25
3.5 設計用地震力	26
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
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	37
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	38
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	39

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 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、緊急時対策所ディーゼル発電設備の管、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。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



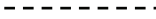
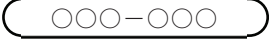

(3) 弁

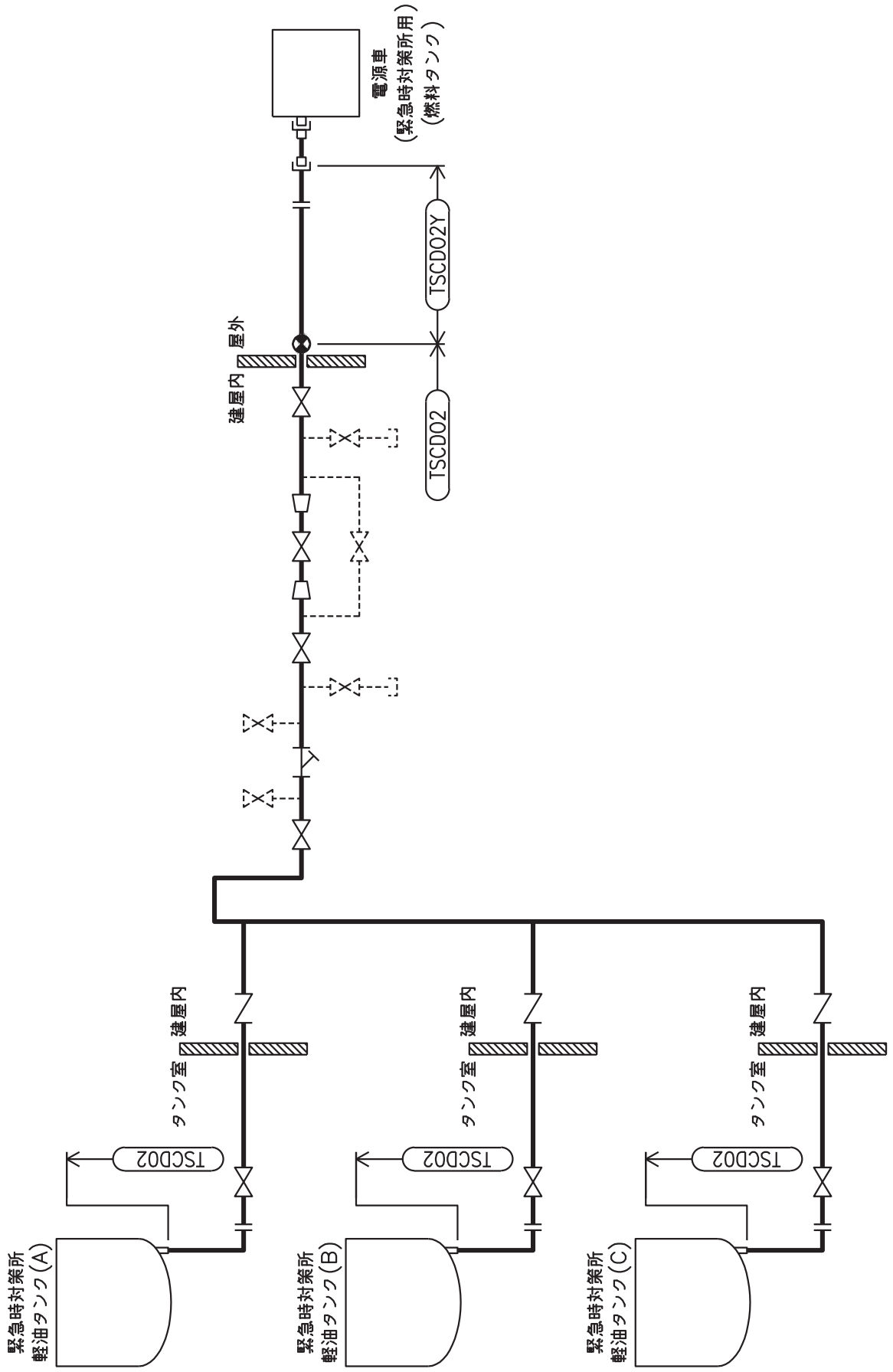
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図


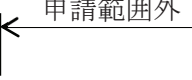


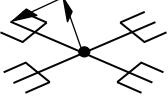
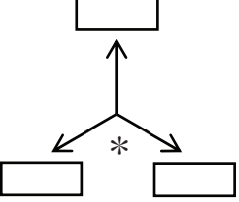
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

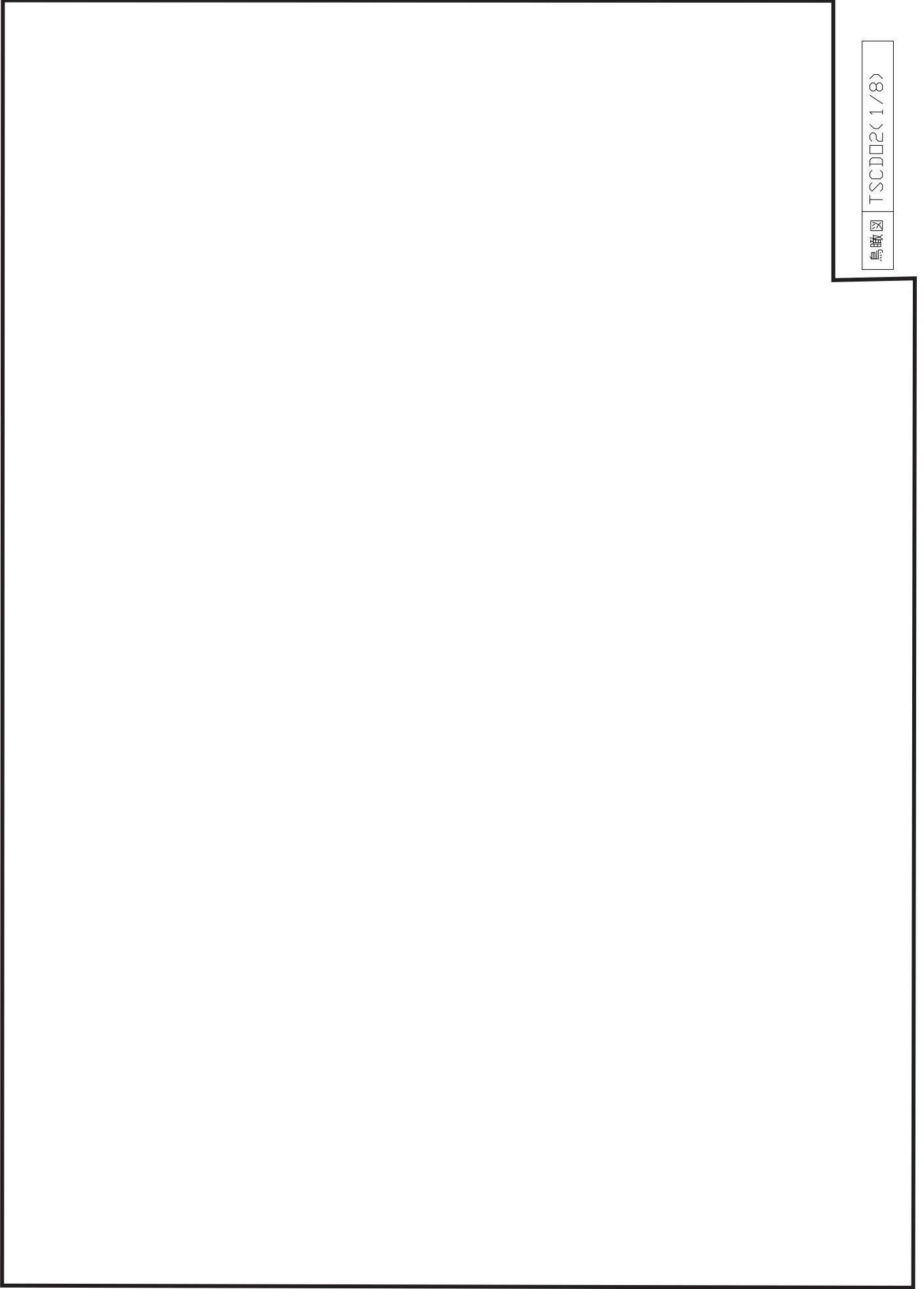


2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</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。)</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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

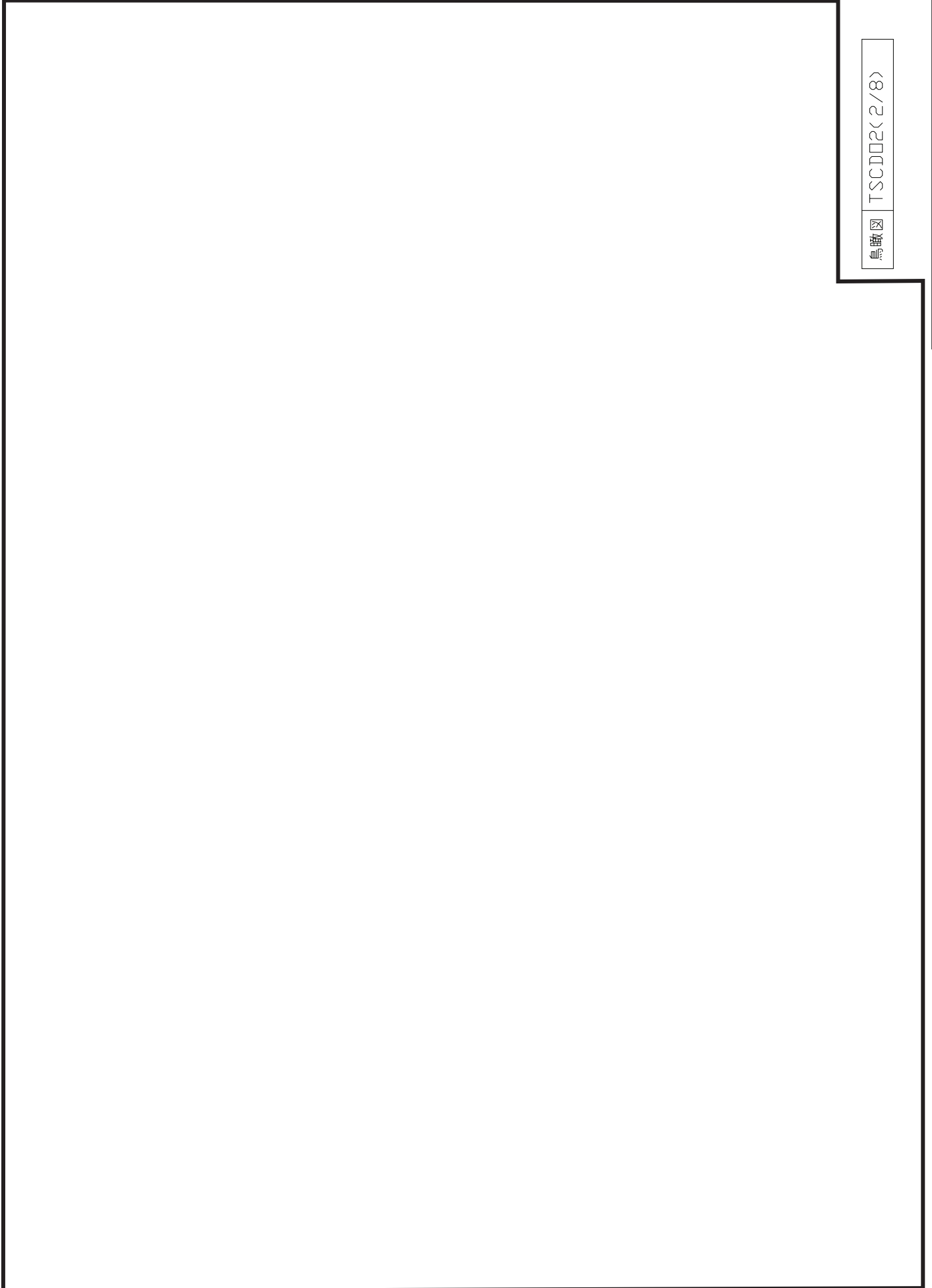
O 2 ③ VI-2-10-1-2-4-2 (重) R 0



鳥瞰図

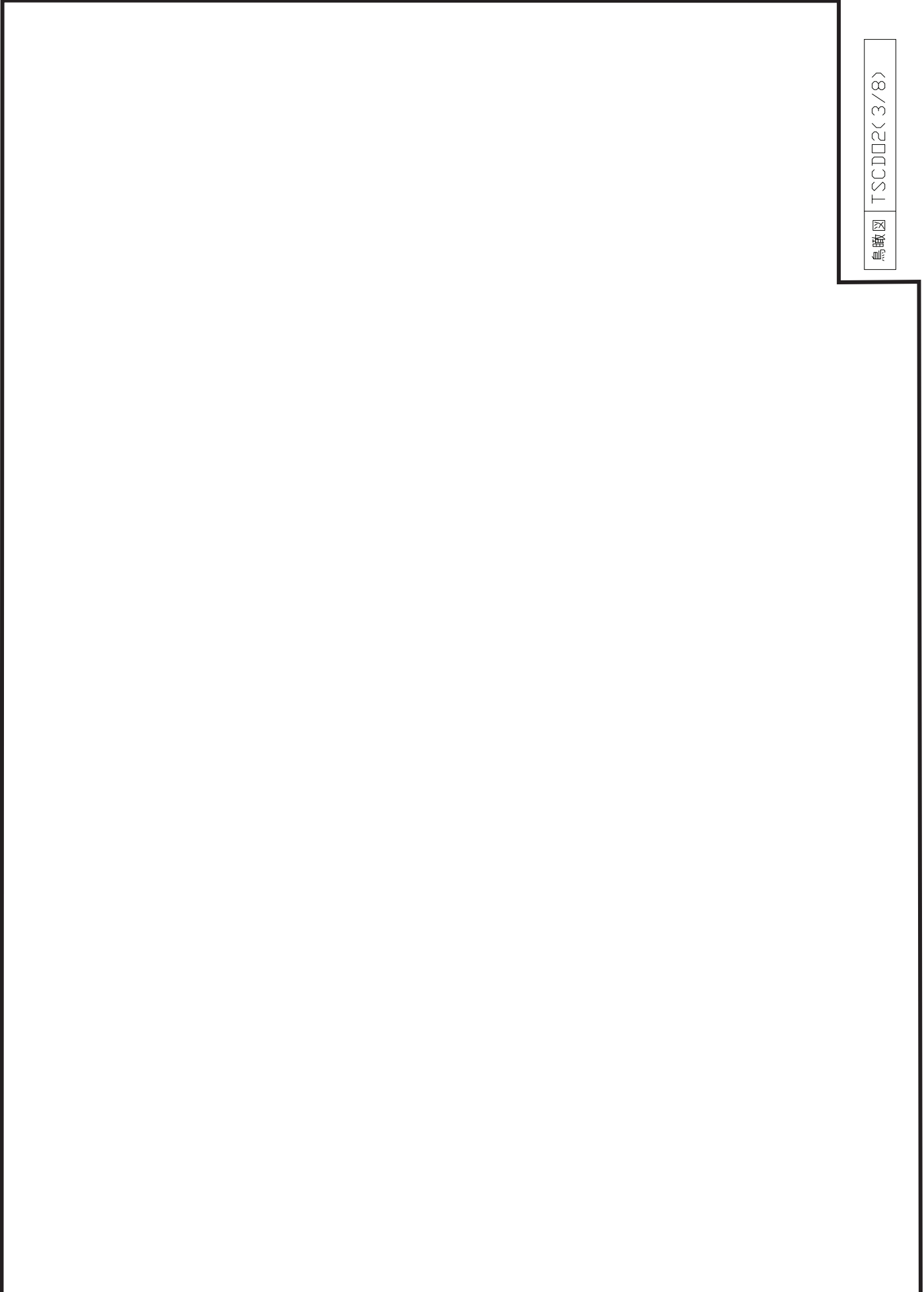
TSCD□2<1/8>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

TSCD□2<2/8>



鳥瞰図

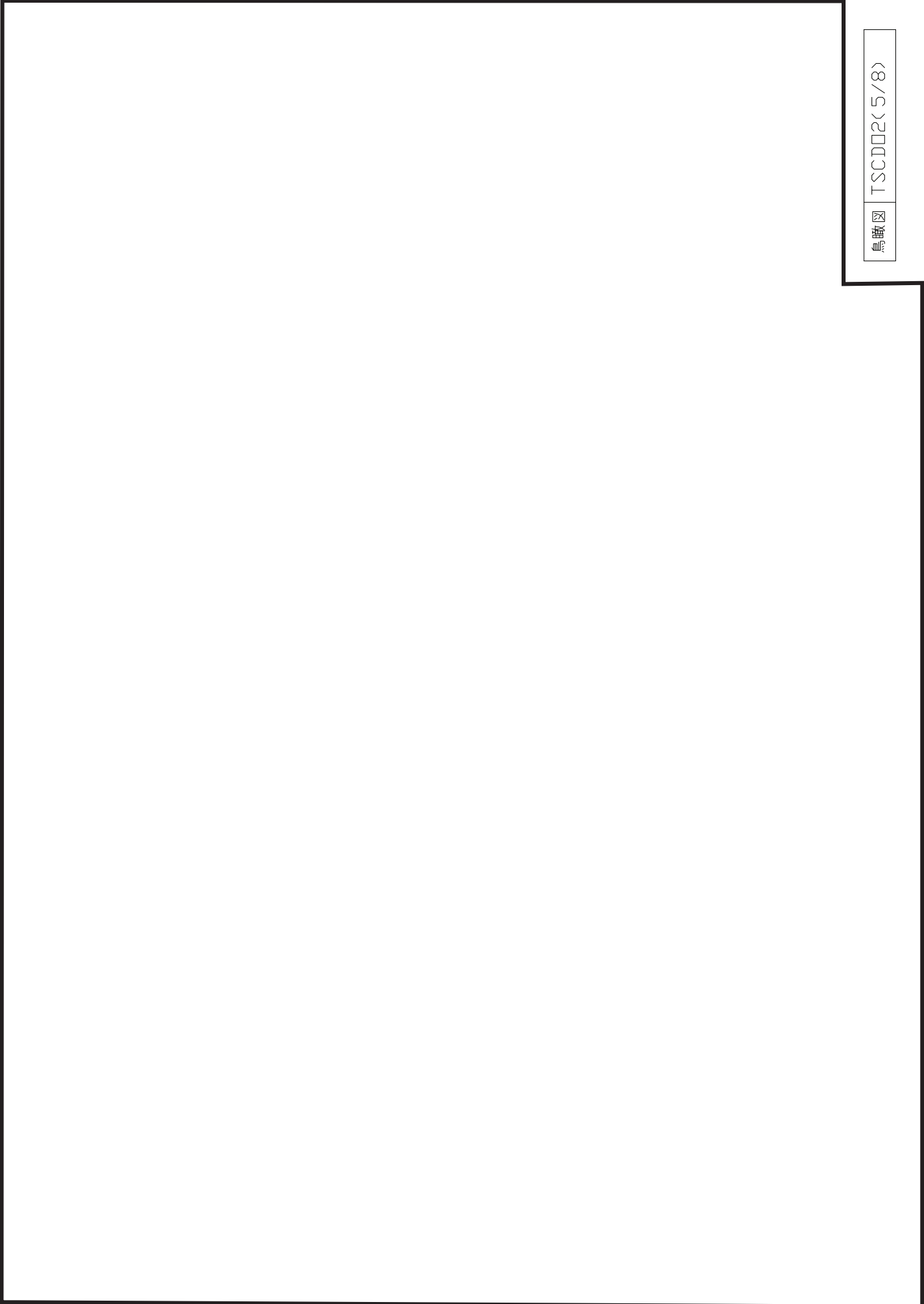
TSCD□2<3/8>



鳥瞰図

TSCD□2<4/8>

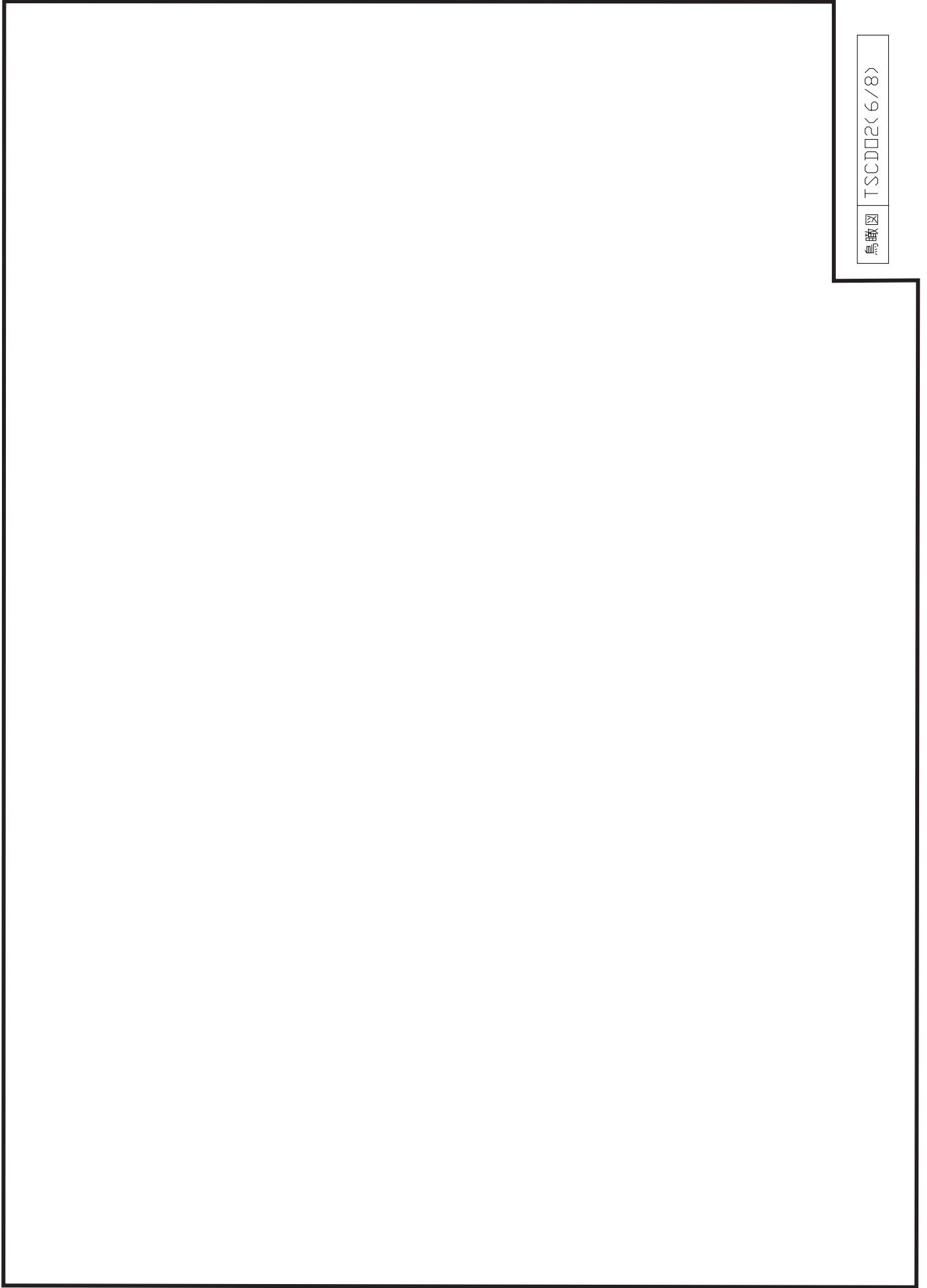
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

TSCD□2<5/8>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



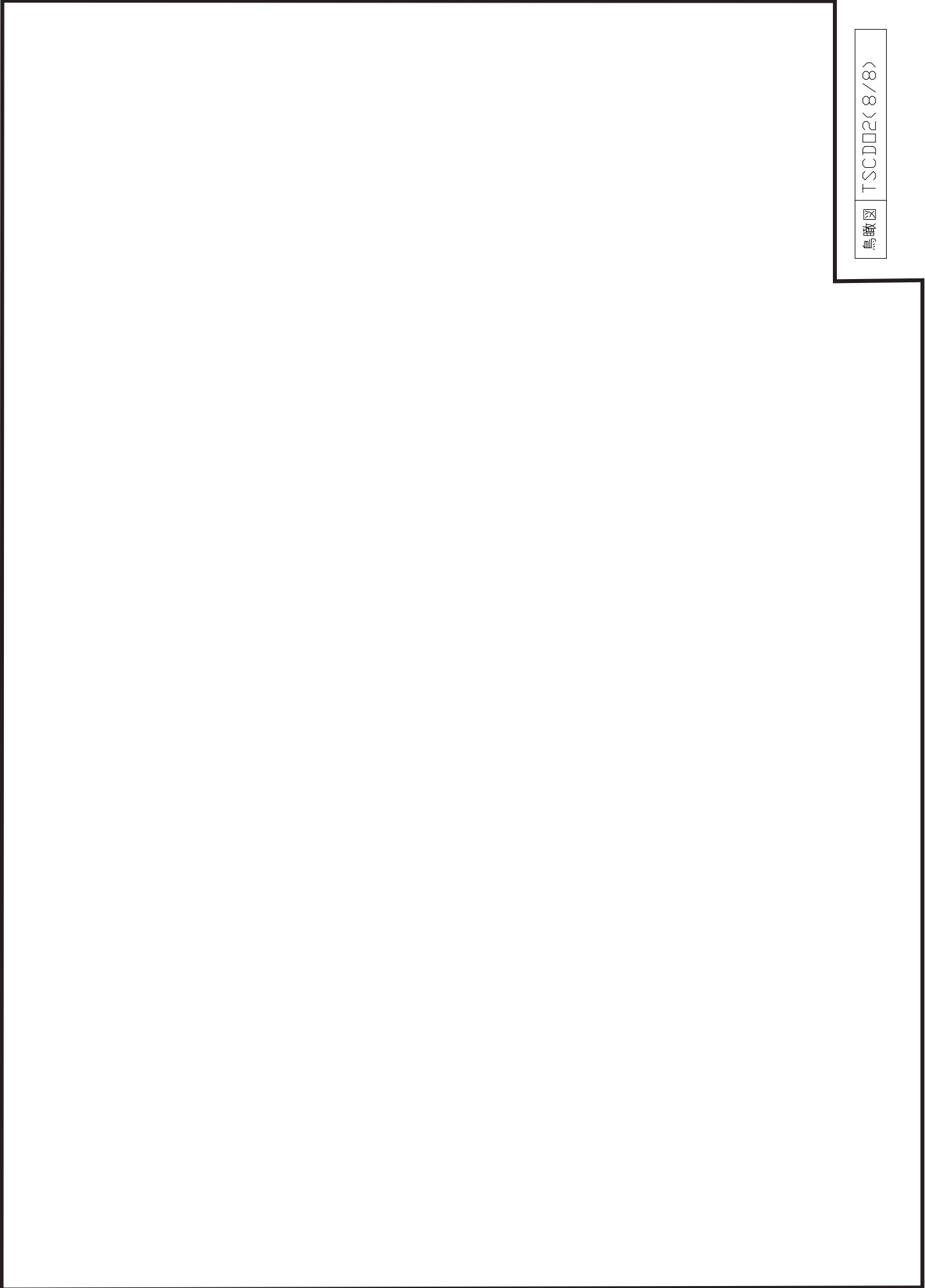
鳥瞰図

TSCD□2<6/8>



鳥瞰図

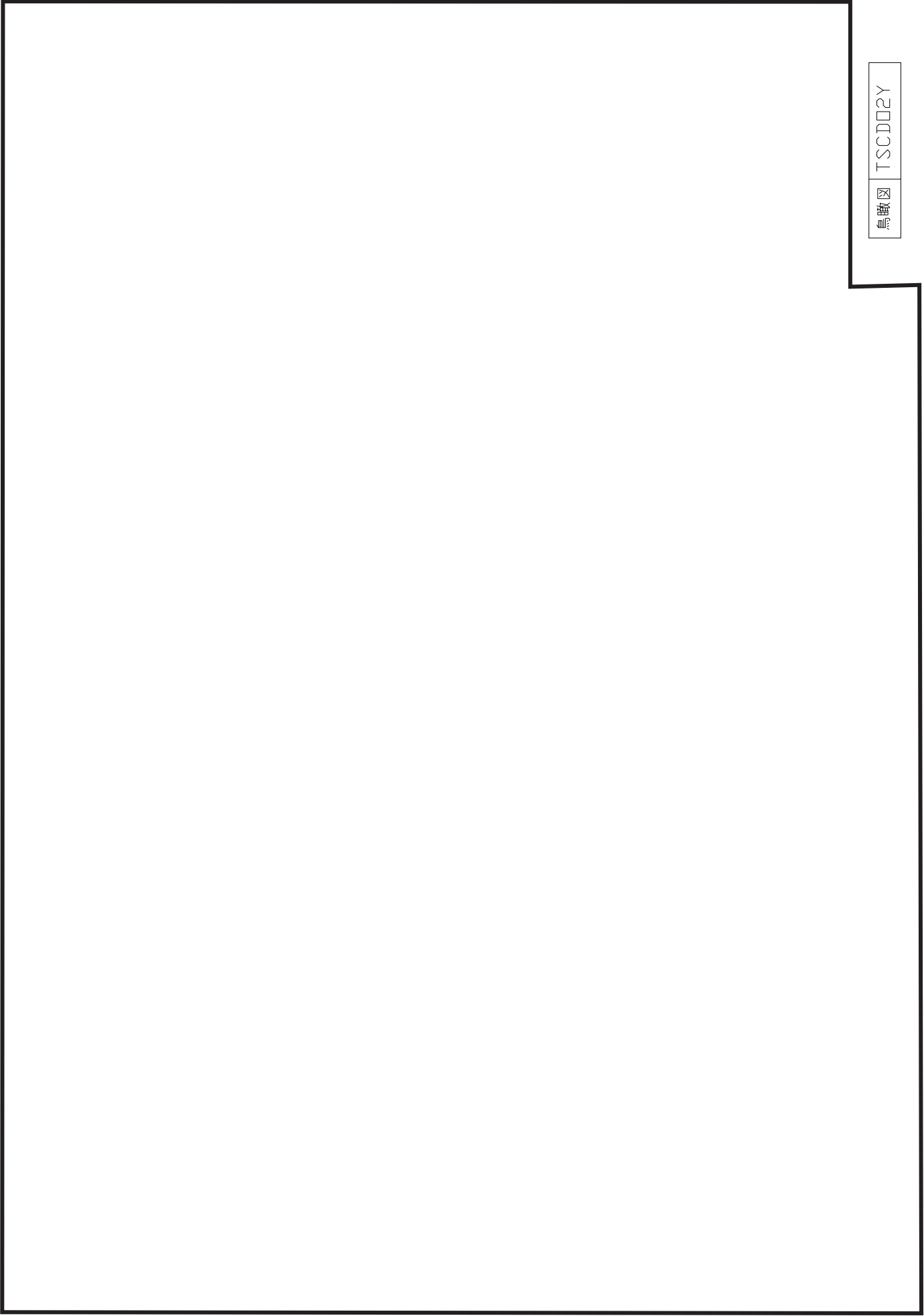
TSCD□2<7/8>



鳥瞰図

TSCD□2<8/8>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 TSCD02Y

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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、「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

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*4,*5	許容応力状態*6
非常用電源設備	非常用発電装置	緊急時対策所 ディーゼル 発電設備	SA	常設耐震／防止 常設／緩和	—*3	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

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：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：重大事故等クラス2管の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*4：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*5：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。

*6：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 T S C D O 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.05	50	60.5	5.5	STS410	—	201000
2	0.05	50	34.0	4.5	STS410	—	201000
3	0.05	50	60.5	5.5	STS410	—	201000

設計条件

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 T S C D O 2

管名称	対応する評価点												
1	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55
	56	57	58	59	61	62	63	64	65	66	67	68	69
	71	72	73	74	75	76	77	83	84	85	86	87	88
	89	90	91	92	93	94	95	96	98	99	103	104	105
	106	108	109	110	111	124	125	126	127	129	130	131	132
2	77	78	79	81	82	83							
3	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14
	15	99	100	101	102	111	112	113	114	115	116	117	119
	120	121	122	123	132	133	134	135	136	137	138	140	141
	142	143	144	182	183	184	185	186	187				

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 T S C D O 2

評価点の質量を下表に示す。

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)
1		31		58		88		121	
2		32		59		89		122	
3		33		60		90		123	
4		34		61		91		124	
5		35		62		92		125	
6		36		63		93		126	
7		37		64		94		130	
11		38		65		95		131	
12		39		66		99		132	
13		40		67		100		133	
14		41		68		101		134	
15		42		72		102		135	
16		43		73		103		136	
17		44		74		104		137	
18		45		75		105		141	
22		46		76		109		142	
23		47		77		110		143	
24		48		78		111		144	
25		49		82		112		182	
26		50		83		113		183	
27		51		84		114		184	
28		55		85		115		185	
29		56		86		116		186	
30		57		87		120		187	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
79	□
80	
81	
179	
180	
181	

弁 2

弁 3

弁 4

弁 5

弁 6

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)
8	□	19	□	106	□	117	□	127	□
9		20		107		118		128	
10		21		108		119		129	

弁 7

弁 8

弁 9

弁 1 0

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
138	□	52	□	96	□	69	□
139		53		97		70	
140		54		98		71	

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	80	□	□	□
弁 2	9			
弁 3	20			
弁 4	107			
弁 5	118			
弁 6	128			
弁 7	139			
弁 8	53			
弁 9	97			
弁 1 0	70			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 T S C D O 2

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
3						
5						
7						
13						
17						
22						
26						
30						
35						
40						
42						
45						
49						
55						
65						
85						
90						
95						
102						
104						
109						
113						
116						
121						
125						
130						
134						
137						
142						

O 2 ③ VI-2-10-1-2-4-2 (重) R 0

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 T S C D O 2 Y

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	0.05	50	60.5	5.5	STS410	—	201000
2	0.05	50	27.2	3.9	SUS304TP	—	193000

設計条件

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 T S C D O 2 Y

管名称	対応する評価点	
1	1	2
2	2	3

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 T S C D O 2 Y

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>

02 ③ VI-2-10-1-2-4-2 (重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 T S C D O 2 Y

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
1						

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	50	—	239	409	—
SUS304TP	50	—	198	504	—

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

鳥瞰図	建物・構築物	標高(O. P. (m))	減衰定数(%)
T S C D O 2	緊急時対策建屋		

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

鳥瞰図	建物・構築物	標高(O. P. (m))	減衰定数(%)
T S C D O 2 Y	緊急時対策建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 T S C D O 2

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							
4 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

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：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

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

*4：3.6C₁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

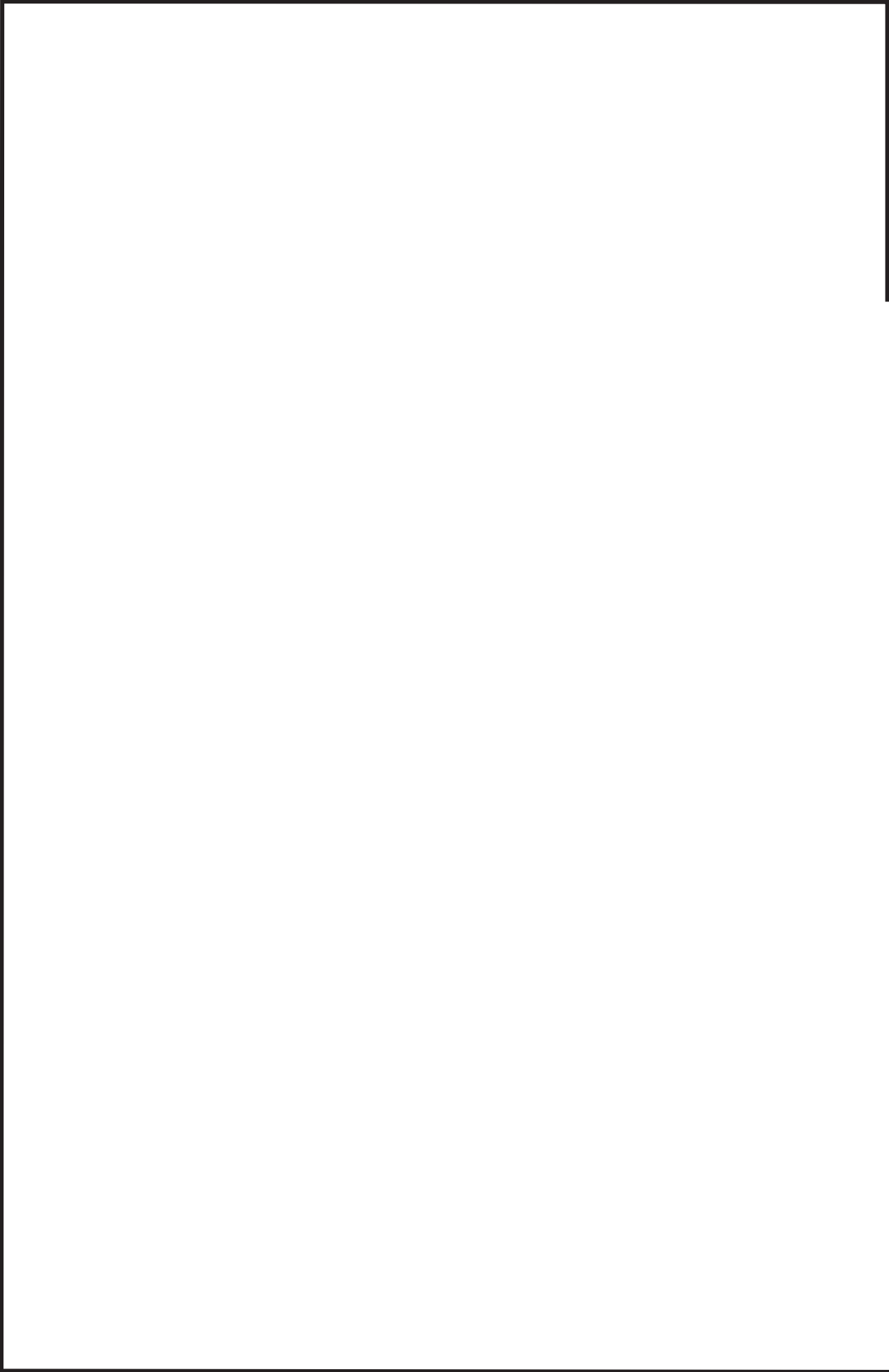
鳥瞰図 TSCDO2

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				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

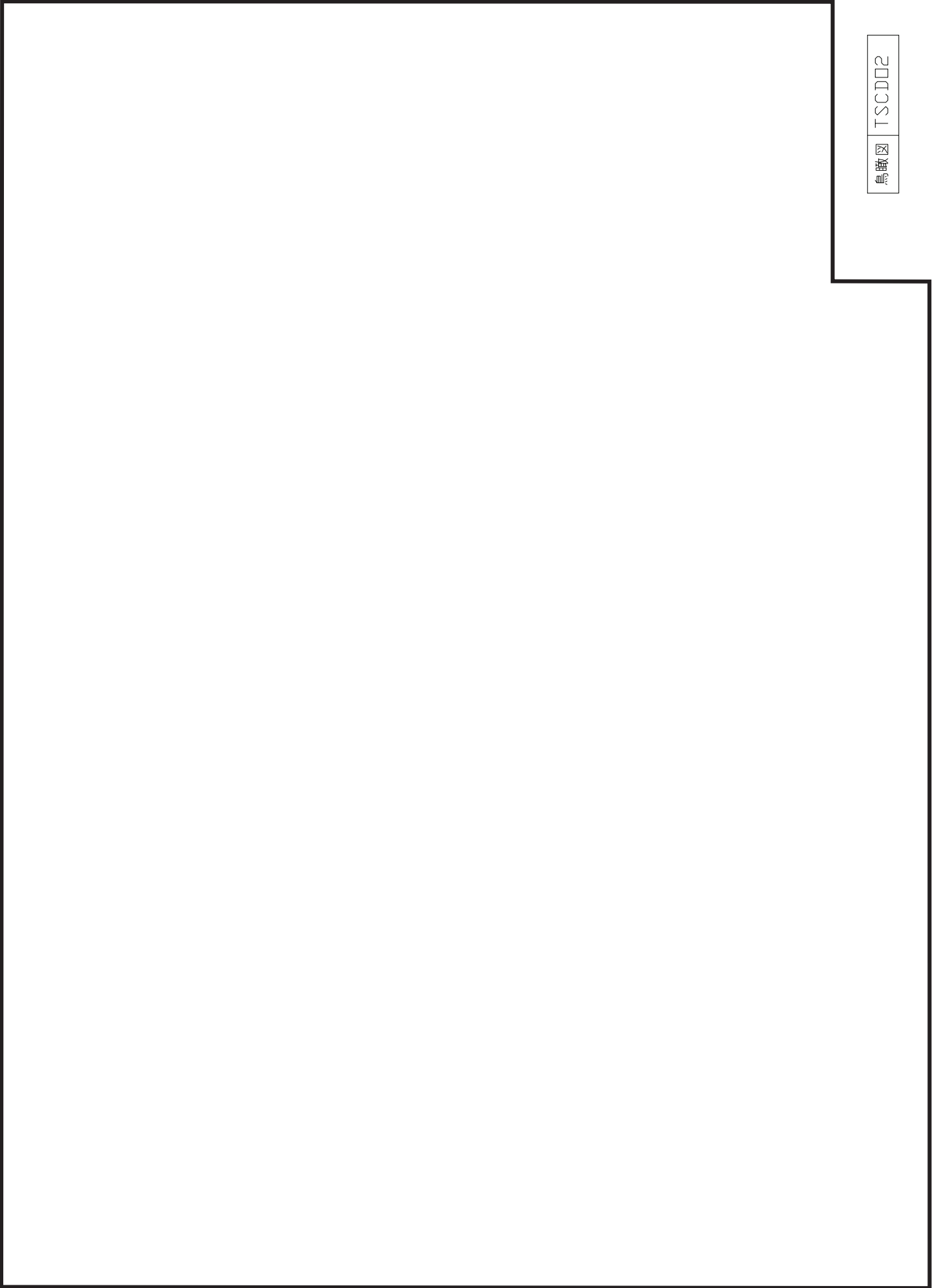
代表的振動モード図

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。



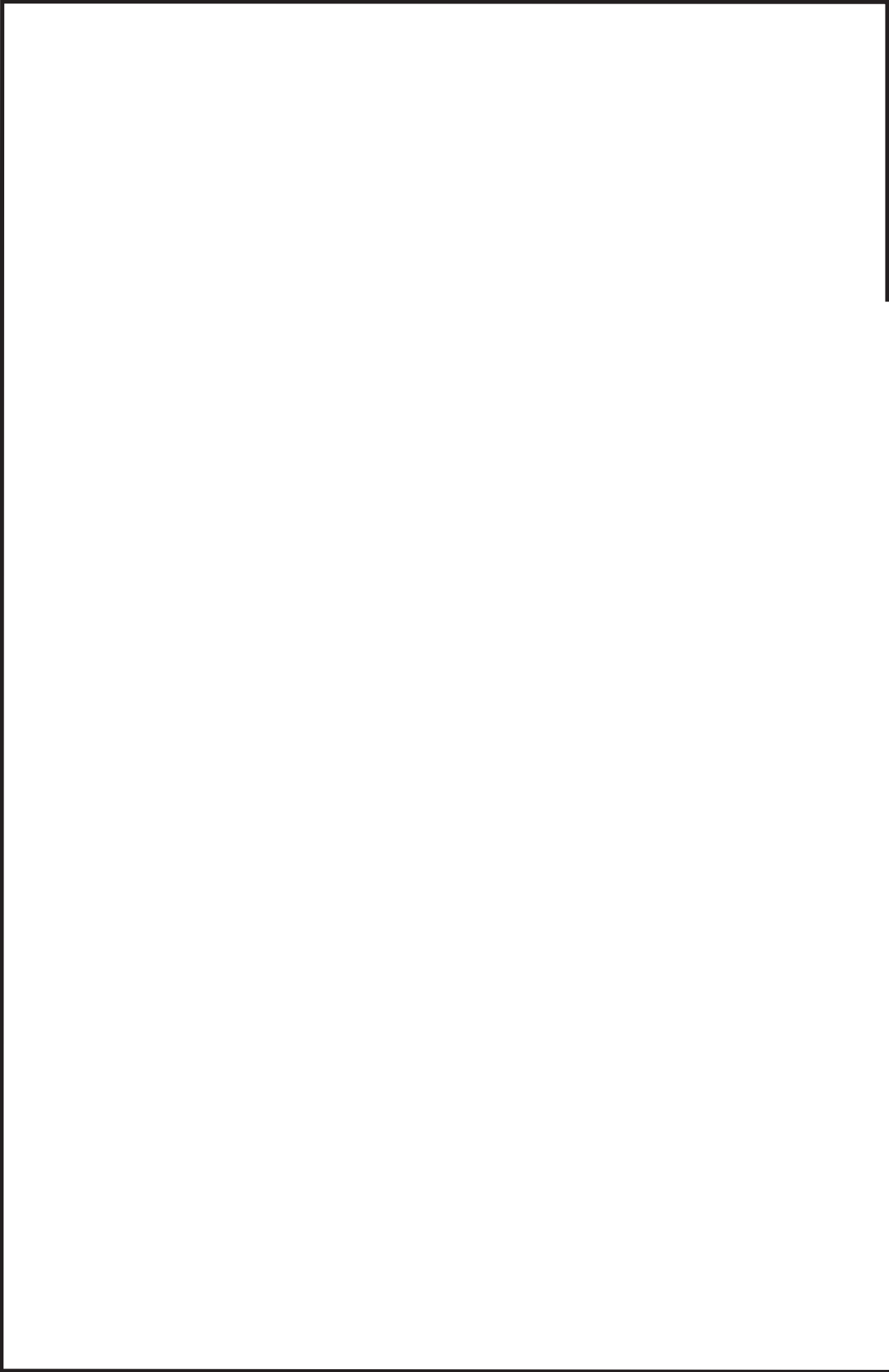
鳥瞰図 TSCD02

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 TSCD02

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 TSCD02

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価
固有周期及び設計震度

鳥瞰図 TSCDO2Y

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							
動的震度*3							
静的震度*4							

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：固有周期が0.050 s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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 疲労累積係数 U S s
				計算応力 S p r m (S s)	許容応力 0.9 S u	計算応力 S n (S s)	許容応力 2 S y	
T S C D O 2	V _A S V _A S	79 43	S p r m (S s) S n (S s)	84 —	368 —	— 154	— 478	— —

評価結果

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 疲労累積係数 U S s
				計算応力 S p r m (S s)	許容応力 0.9 S u	計算応力 S n (S s)	許容応力 2 S y	
T S C D O 2 Y	V ^A S V ^A S	2 2	S p r m (S s) S n (S s)	95 —	453 —	— 140	— 396	— —

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)
—	—	—	—	—	—	—

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	許容 応力 (MPa)	
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			計算 応力 (MPa)
K11003-727	レストレイント	Uボルト	SS400	50	8	1	—	—	—	—	せん断	92	139
K11003-735	アンカ	ラグ	SM400B	50	2	1	11	1	1	0	組合せ	52	133

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	型式	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が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

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	疲労係数	代表		
1	TSCD02	79	84	368	4.38	○	43	154	478	3.10	—	—	—	—		
2	TSCD02Y	2	95	453	4.76	—	2	140	396	2.82	○	—	—	—		