

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-19-0264_改1
提出年月日	2021年10月5日

VI-2-10-1-2-3-5 ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書

2021年10月
東北電力株式会社

VI-2-10-1-2-3-5 ガスタービン発電設備 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	6
3.	計算条件	23
3.1	計算方法	23
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	24
3.3	設計条件	25
3.4	材料及び許容応力評価条件	33
3.5	設計用地震力	34
4.	解析結果及び評価	35
4.1	固有周期及び設計震度	35
4.2	評価結果	41
4.2.1	管の応力評価結果	41
4.2.2	支持構造物評価結果	42
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	43
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	44

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、ガスタービン発電設備の管、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の記載する。また、全14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

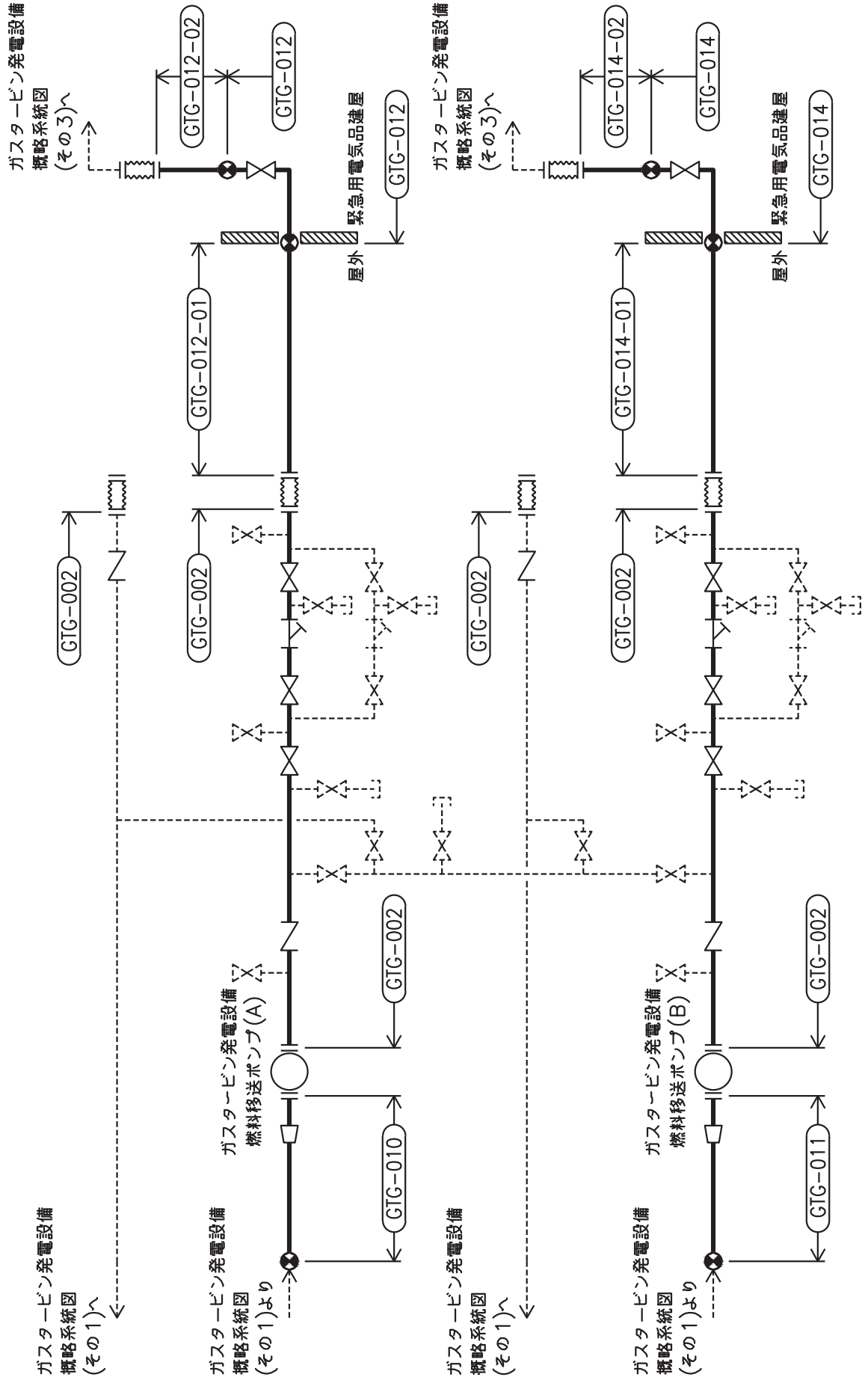
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

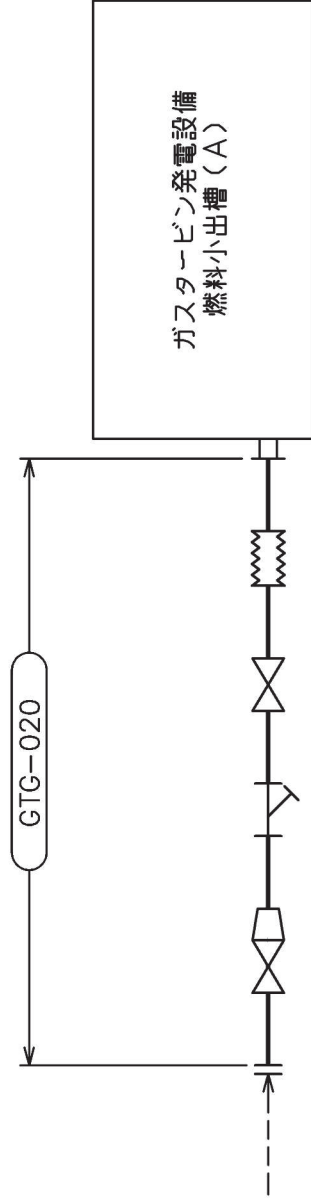
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

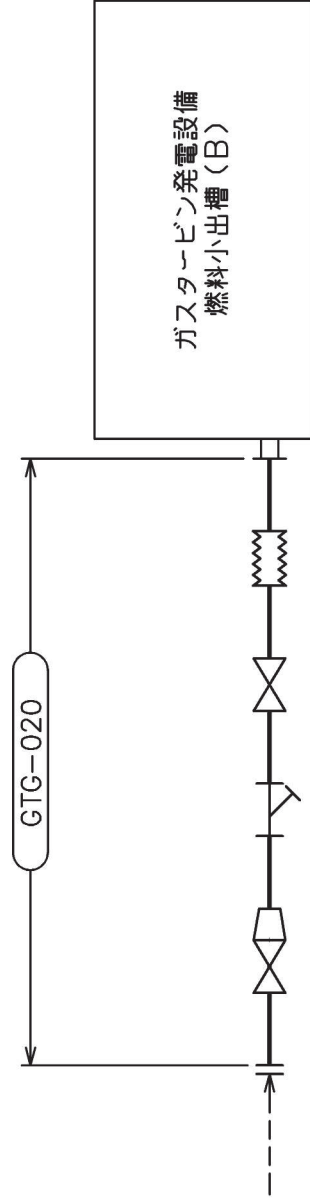
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



ガスタービン発電設備概略系統図(その2)




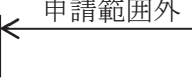


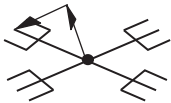
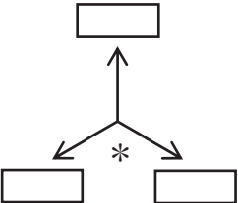
ガスタービン発電設備概略系統図
(その2)より



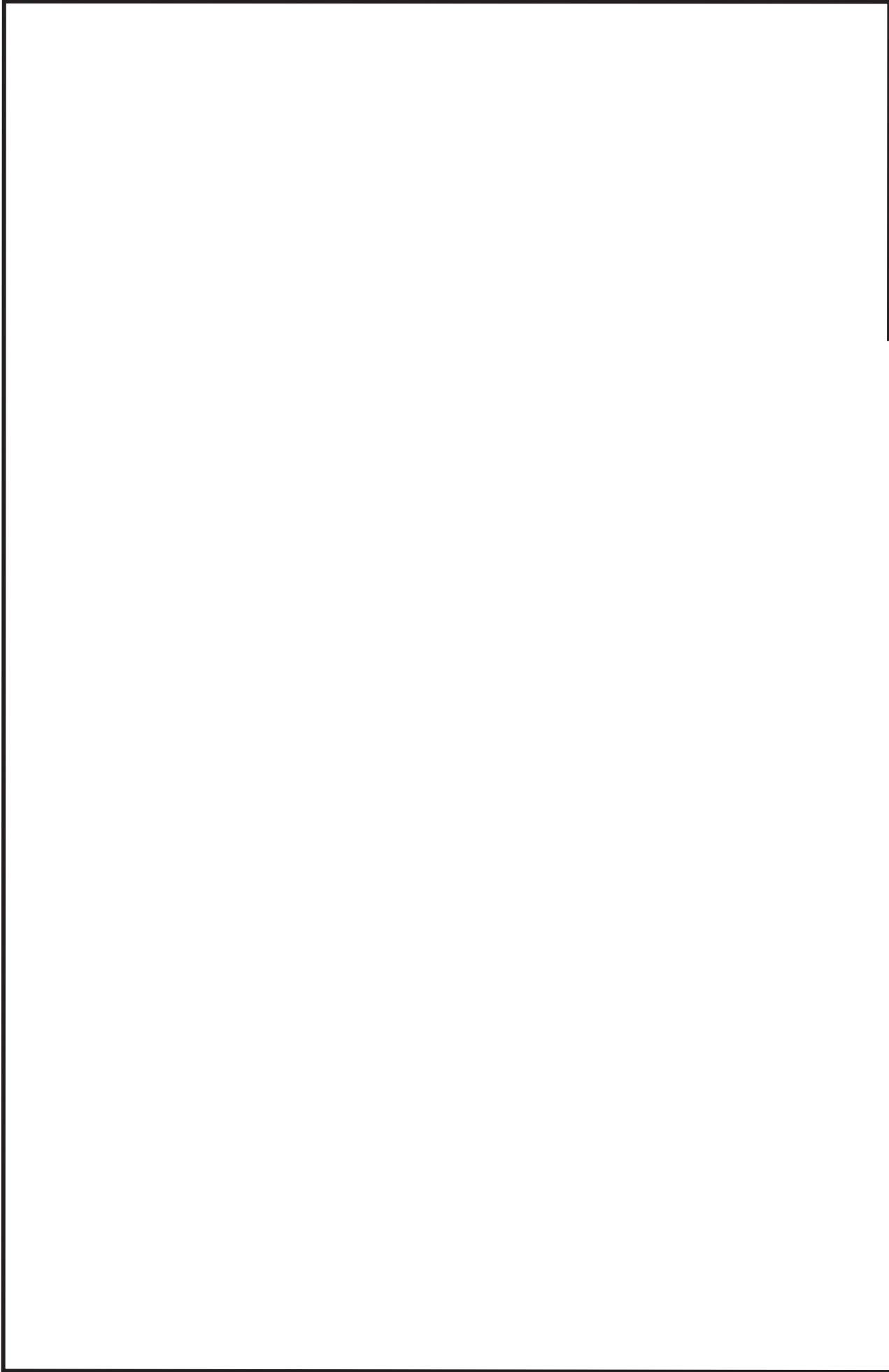
ガスタービン発電設備概略系統図
(その2)より

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-2-10-1-2-3-5 (重) R 0



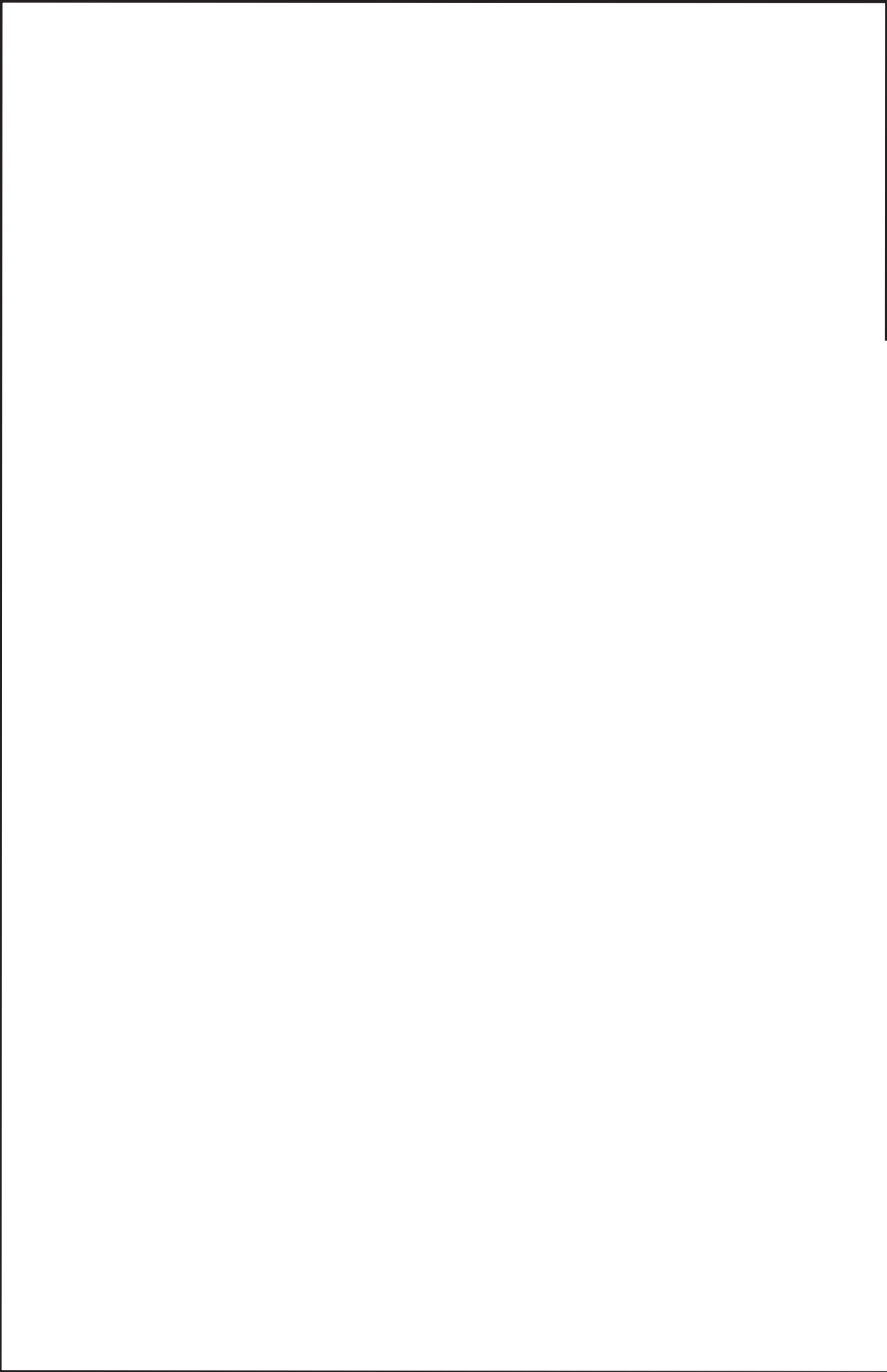
鳥瞰図 GTG-001<1/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



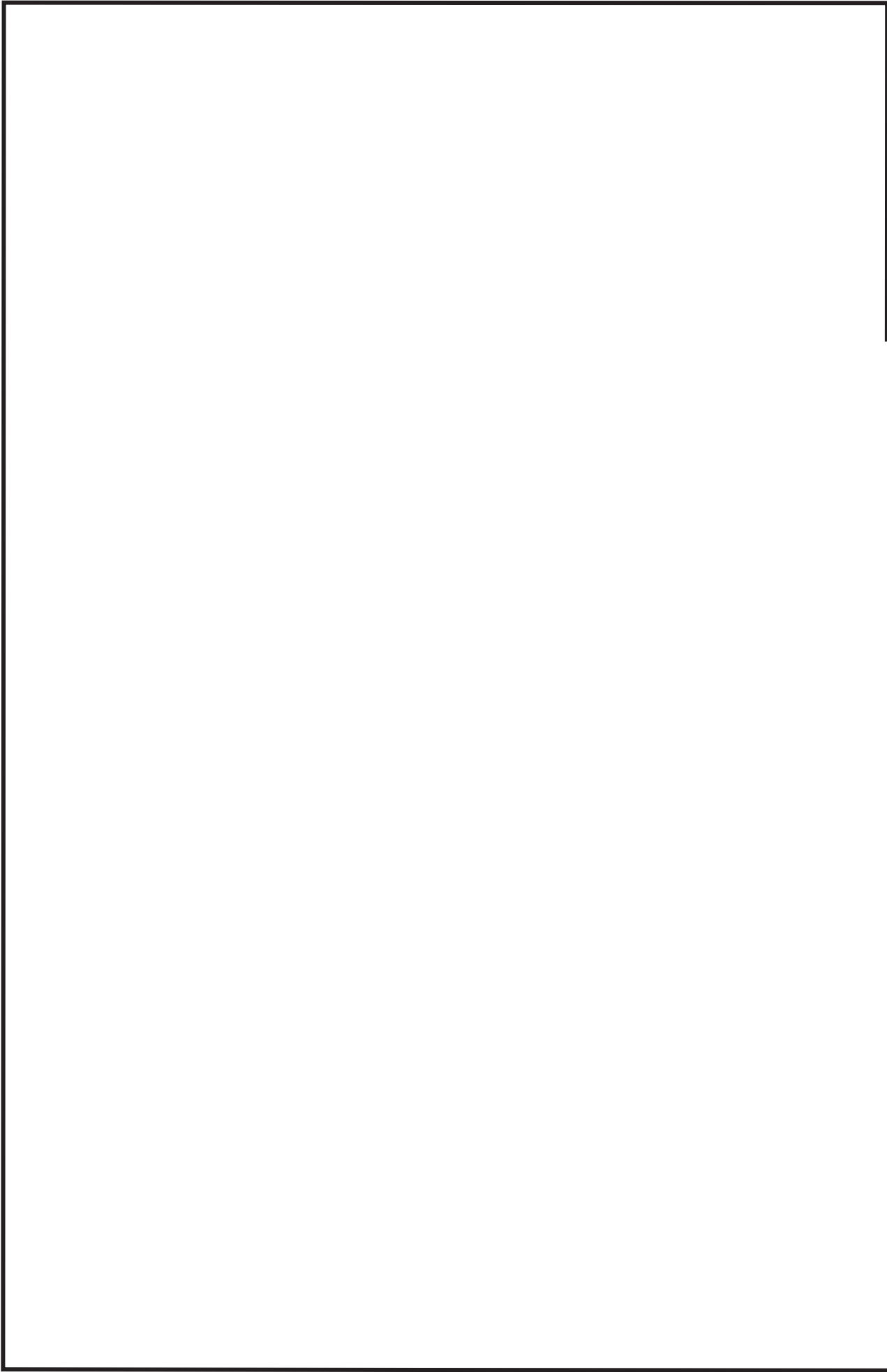
鳥瞰図 GTG-001<2/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



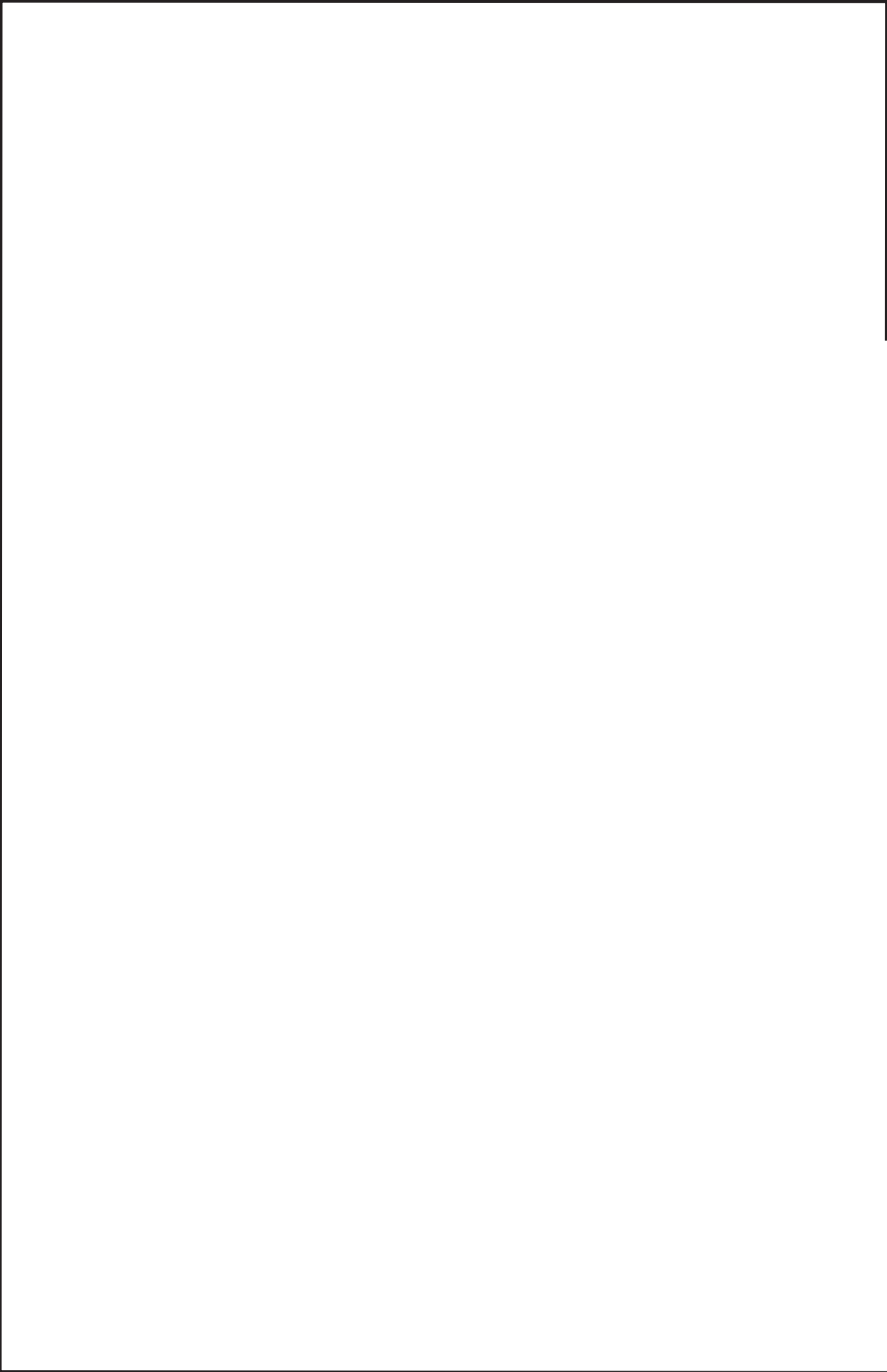
鳥瞰図 GTG-001<3/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



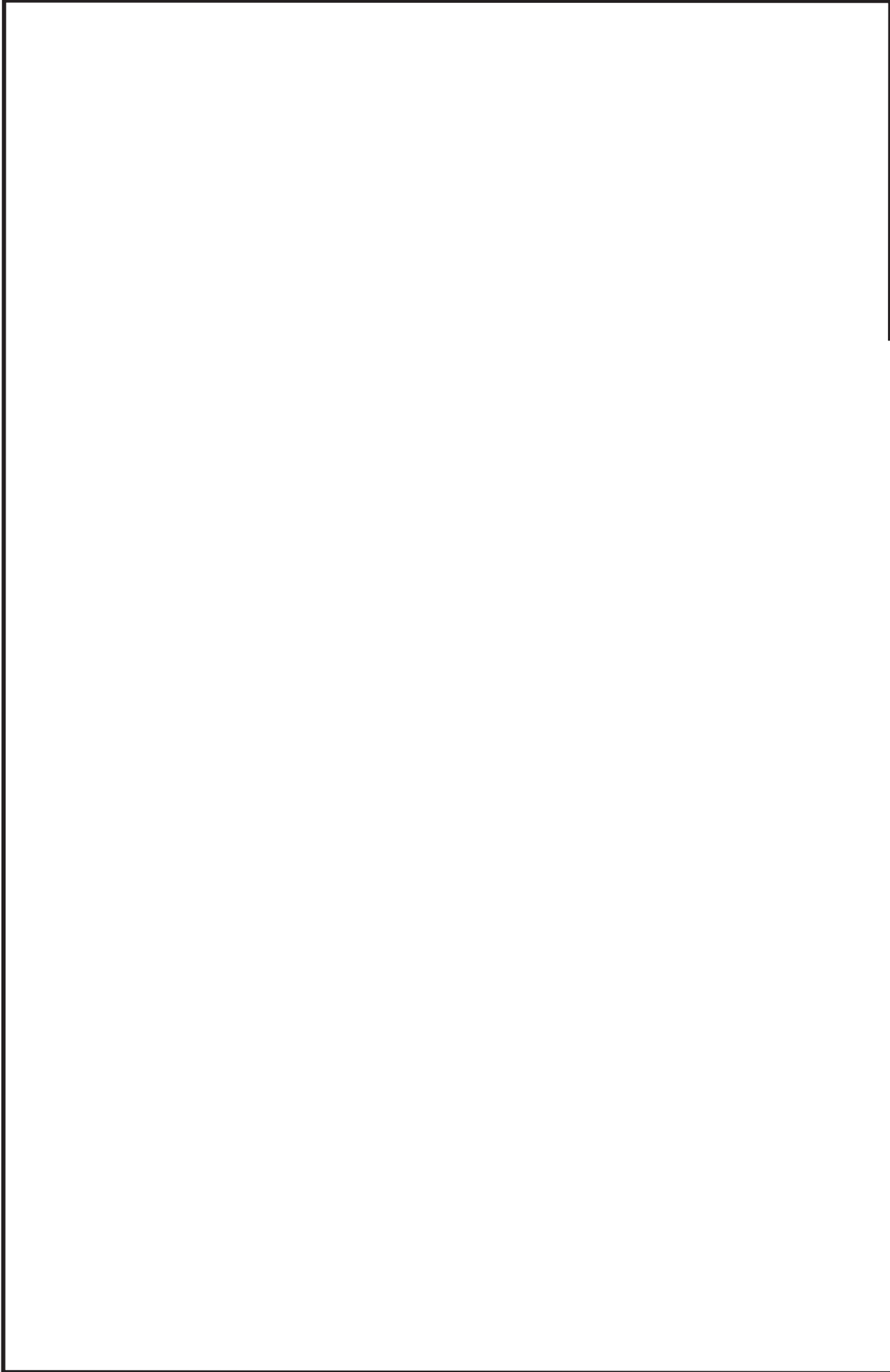
鳥瞰図 GTG-001<4/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



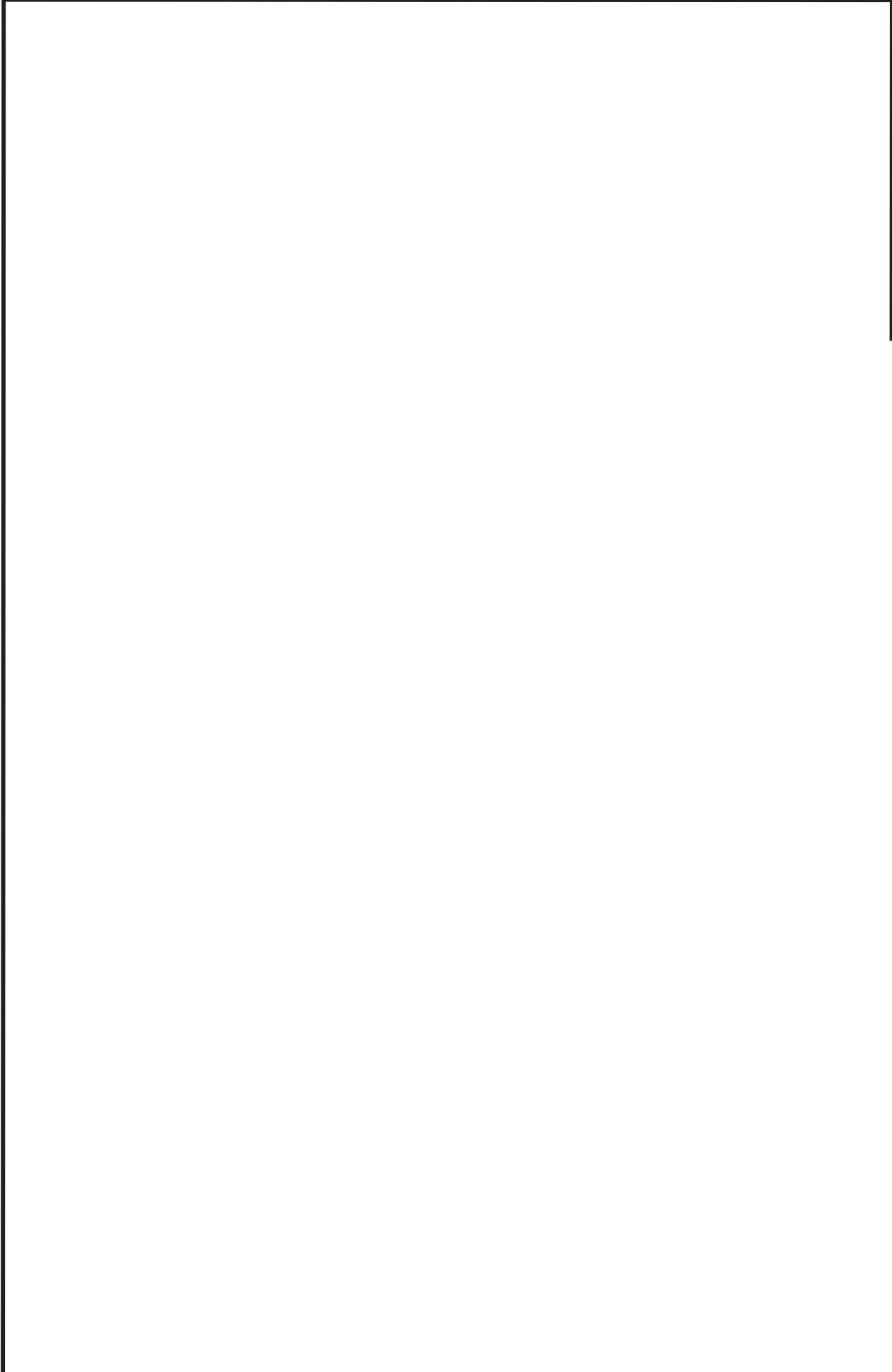
鳥瞰図 GTG-001<5/16>

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 GTG-001<6/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



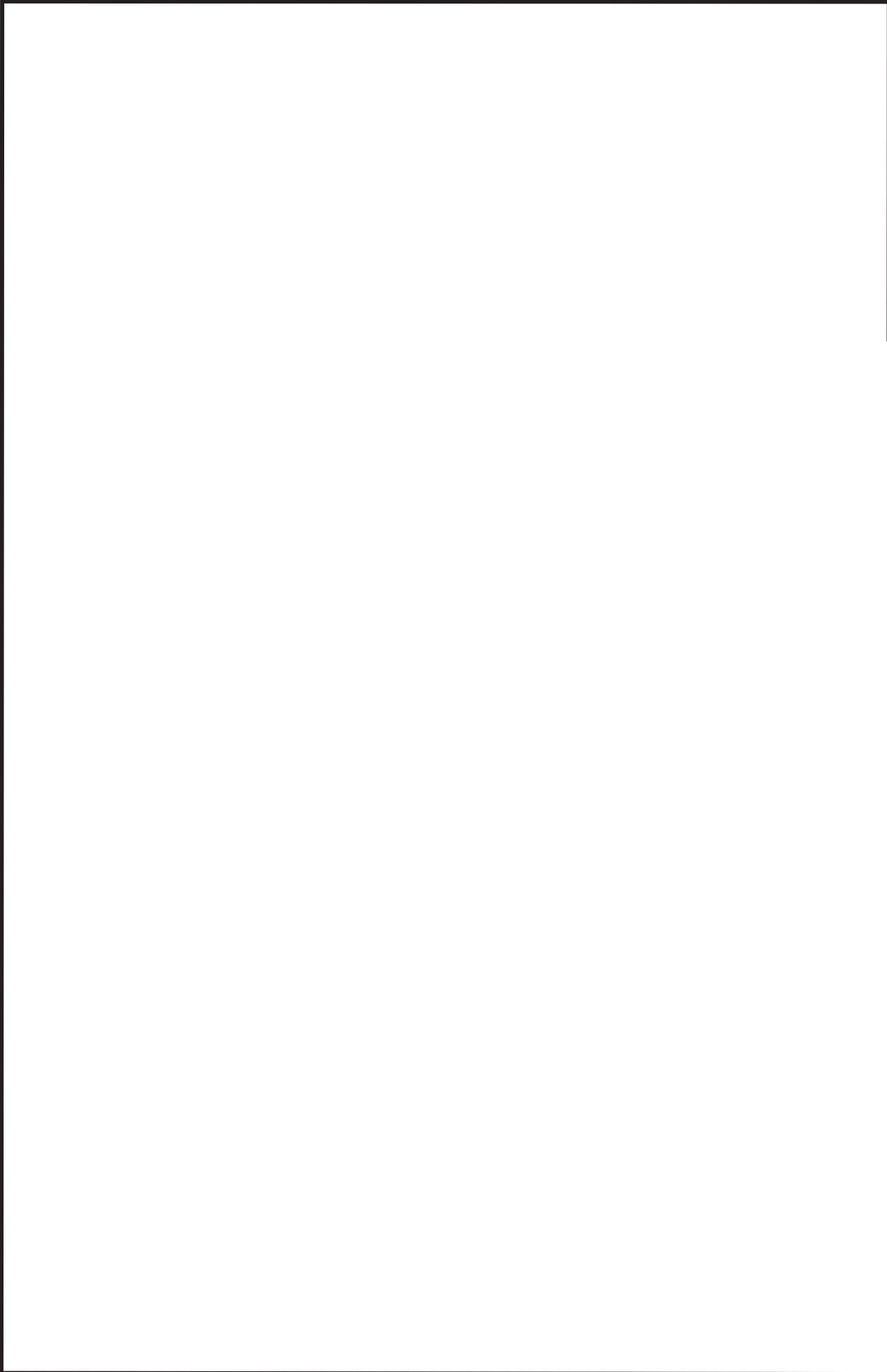
鳥瞰図 GTG-001<7/16>

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 GTG-001<8/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



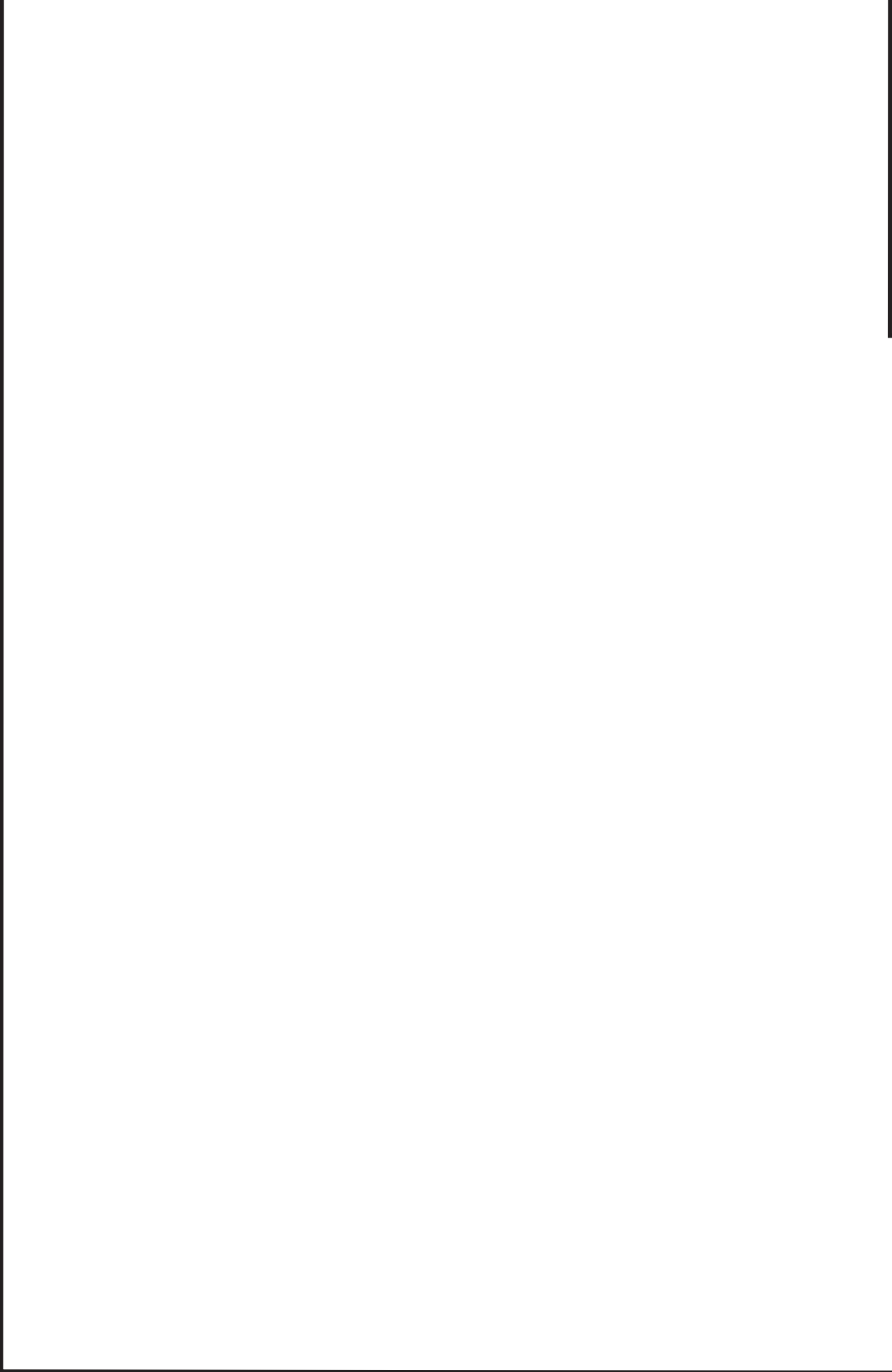
鳥瞰図 GTG-001<9/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



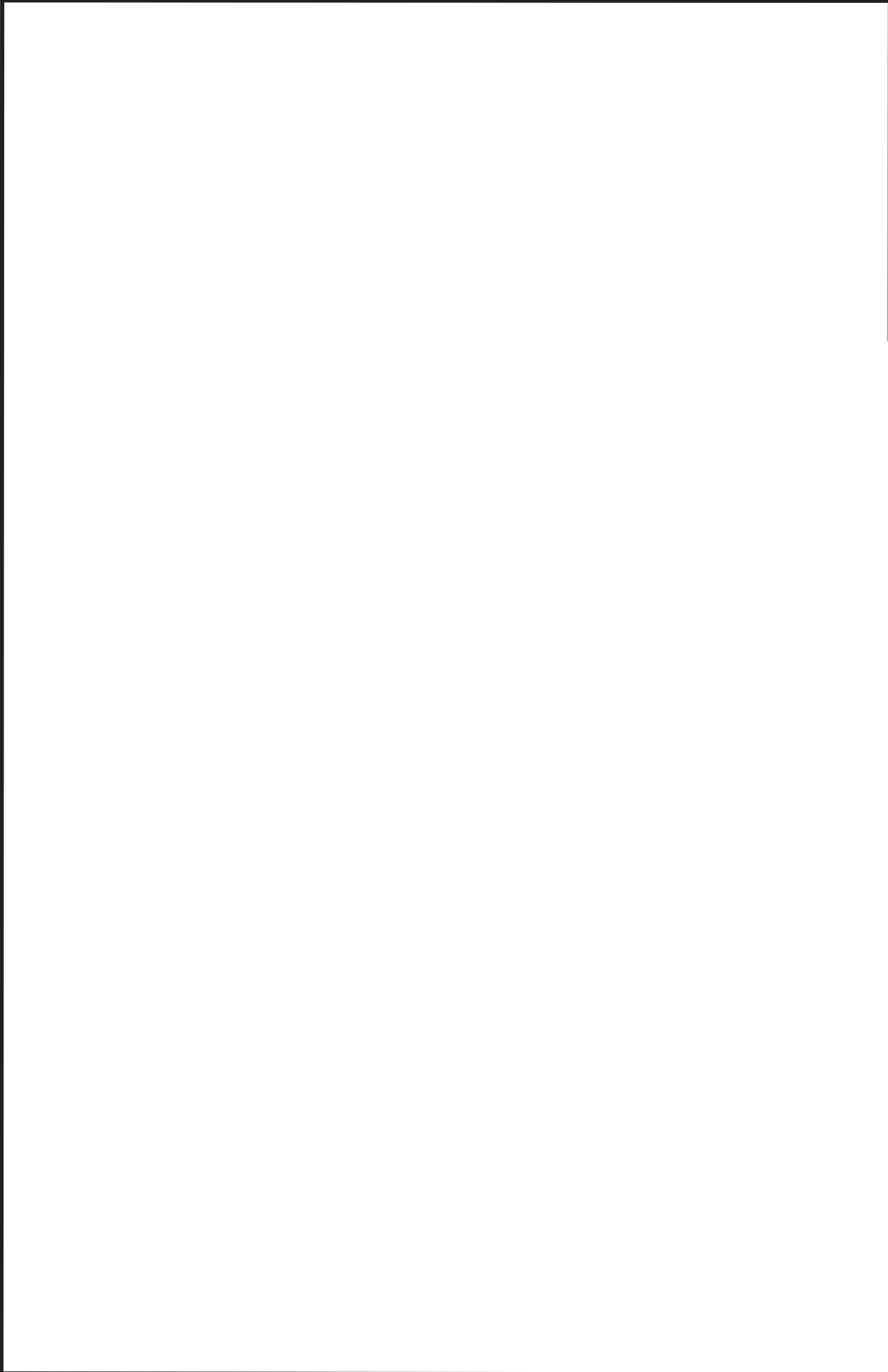
鳥瞰図 GTG-001<10/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



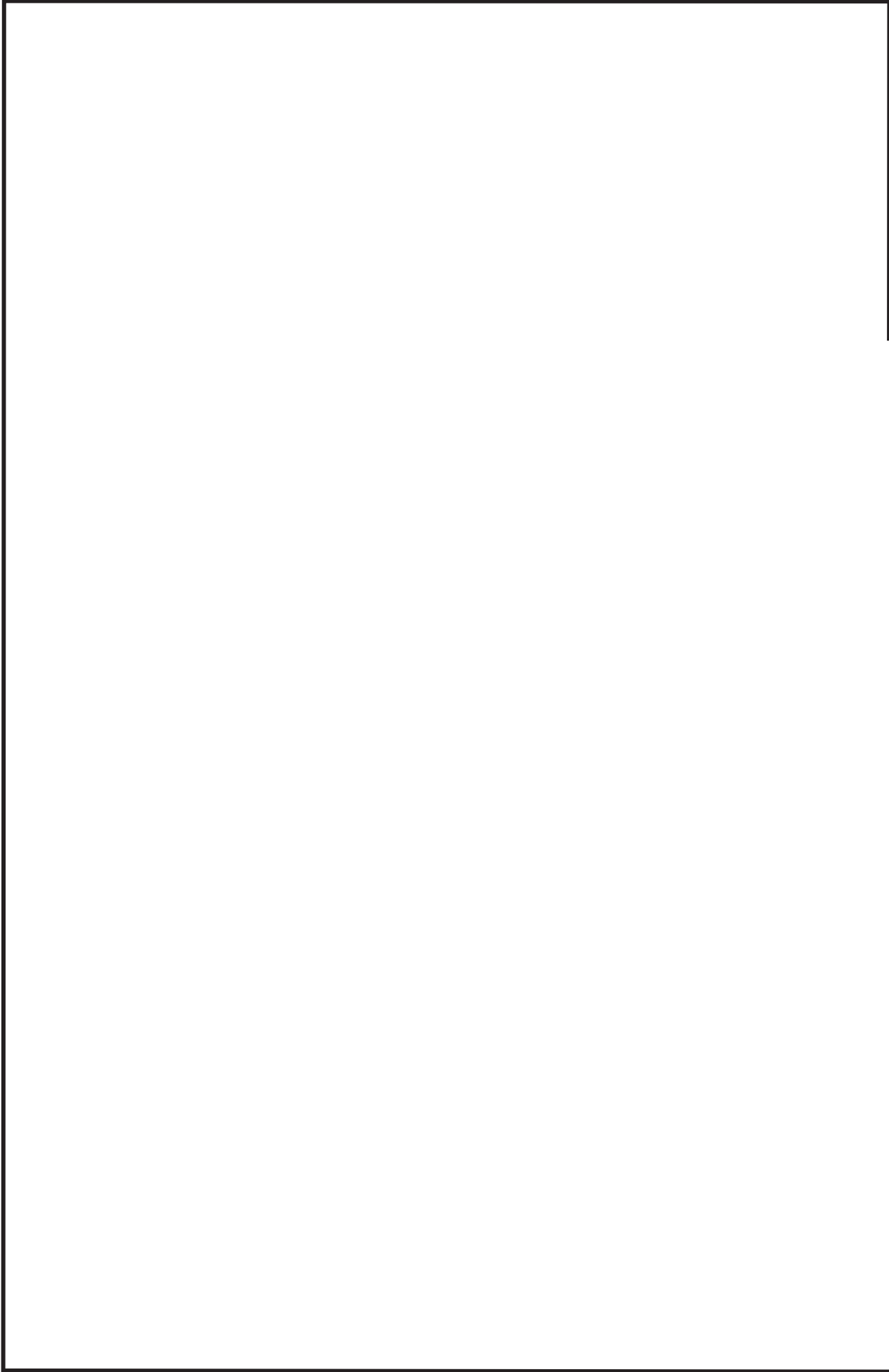
鳥瞰図 GTG-001<11/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



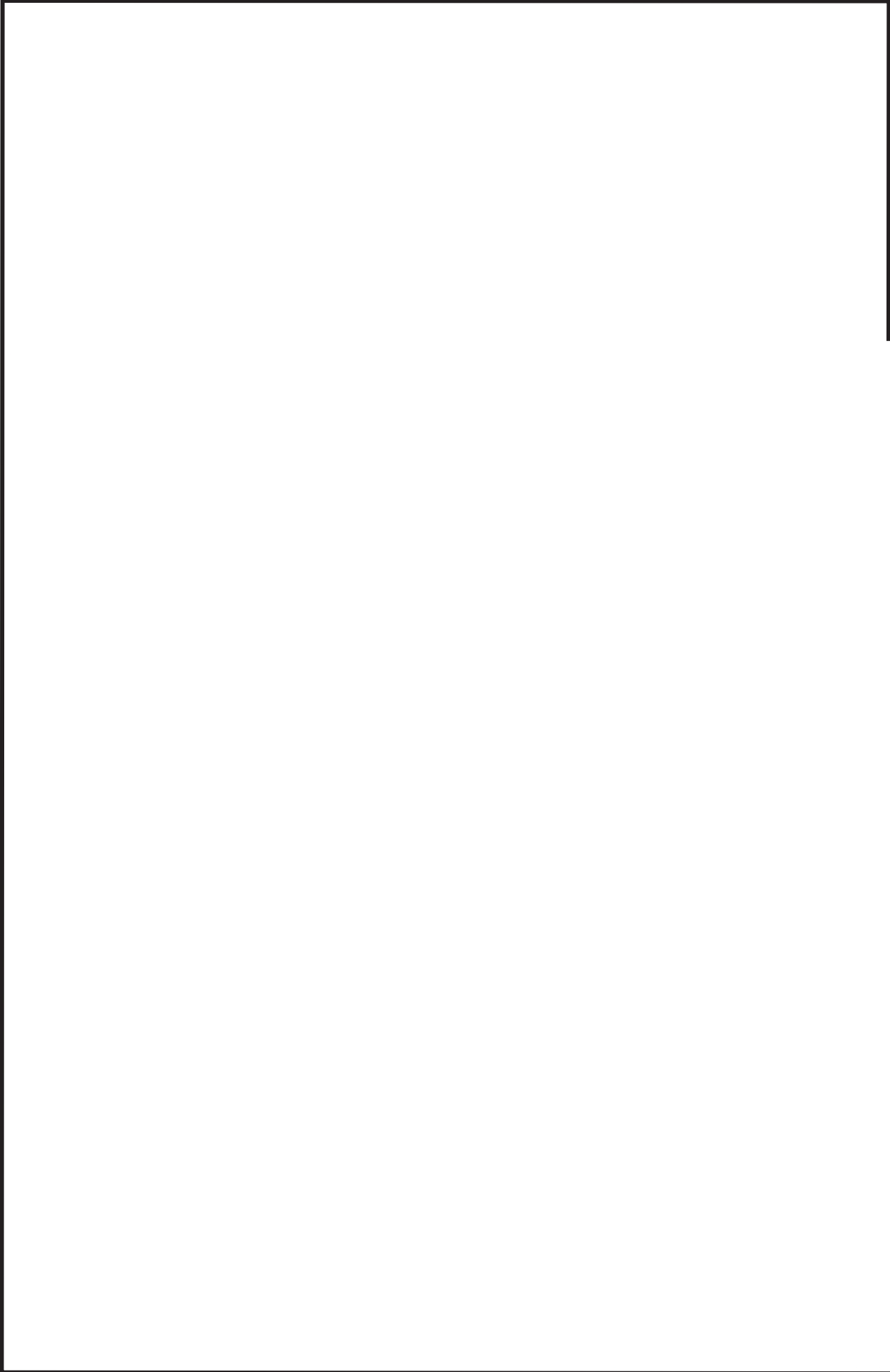
鳥瞰図 GTG-001<12/16>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



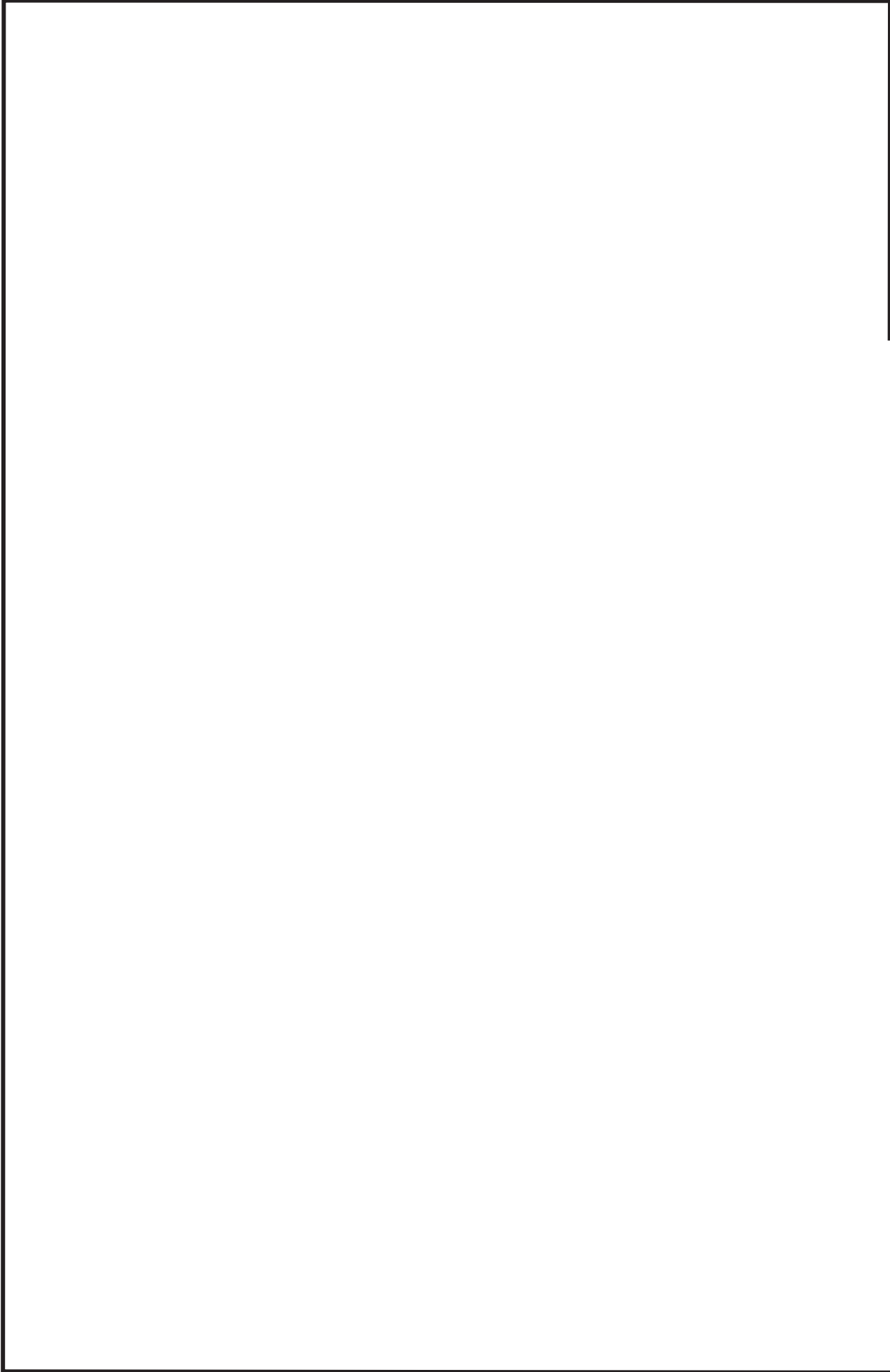
鳥瞰図 GTG-001<13/16>

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 GTG-001<14/16>

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 GTG-001<15/16>

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 GTG-001<16/16>

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、「I S A P」, 「S A P-V」, 「S O L V E R」及び「N X N A S T R A N」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	ガスタービン発電設備	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 G T G - 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	0.95	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 G T G - 0 0 1

管名称	対応する評価点																																																																																																																																																																																																																																																	
1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	49	50	51	52	53	54	55	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	76	77	78	79	80	81	82	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	165	166	167	168	169	170	171	172	173	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	207	208	209	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	249	250	251	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	302	303	304

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 G T G - 0 0 1

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		41		81		121		158	
2		42		82		122		159	
3		43		83		123		160	
7		44		84		124		161	
8		45		85		125		162	
9		46		86		126		166	
10		50		87		127		167	
11		51		88		128		168	
12		52		89		129		169	
13		53		90		130		170	
14		54		91		131		171	
15		55		92		132		172	
16		56		96		133		173	
17		57		97		134		191	
18		58		98		138		192	
19		59		99		139		193	
20		60		100		140		194	
21		61		101		141		195	
22		62		102		142		196	
23		63		103		143		197	
24		64		104		144		198	
25		65		105		145		199	
26		66		106		146		200	
27		67		107		147		201	
28		68		108		148		202	
32		69		109		149		203	
33		70		110		150		204	
34		71		111		151		208	
35		72		112		152		209	
36		73		113		153		226	
37		77		114		154		227	
38		78		115		155		228	
39		79		116		156		229	
40		80		117		157		230	

O 2 ③ VI-2-10-1-2-3-5 (重) R 0

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 G T G - 0 0 1

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)
231		242		272		283		294	
232		243		273		284		295	
233		244		274		285		296	
234		245		275		286		297	
235		246		276		287		298	
236		250		277		288		299	
237		251		278		289		303	
238		268		279		290		304	
239		269		280		291			
240		270		281		292			
241		271		282		293			

O 2 ③ VI-2-10-1-2-3-5 (重) R 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)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4		29		47		118		93	
5		30		48		119		94	
6		31		49		120		95	

弁 6		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)	評価点	質量(kg)
74		163		135		205		247	
75		164		136		206		248	
76		165		137		207		249	

弁 1 1

評価点	質量(kg)
300	
301	
302	

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	5			
弁 2	30			
弁 3	48			
弁 4	119			
弁 5	94			
弁 6	75			
弁 7	164			
弁 8	136			
弁 9	206			
弁 1 0	248			
弁 1 1	301			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 G T G - 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
7						
15						
20						
25						
33						
35						
37						
39						
42						
54						
62						
64						
72						
81						
89						
96						
104						
109						
114						
122						
124						
126						
128						
130						
138						
146						
151						
156						
161						
166						

O 2 ③ VI-2-10-1-2-3-5 (重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 G T G - 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
168						
170						
172						
194						
196						
199						
201						
203						
208						
228						
231						
233						
235						
237						
240						
242						
245						
250						
270						
272						
275						
277						
279						
281						
283						
286						
288						
290						
293						
295						

O 2 ③ VI-2-10-1-2-3-5 (重) R 1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 G T G - 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
298						
303						

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	—

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(%)
GTG-001	ガスタービン発電設備 軽油タンク室		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 GTG-001

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

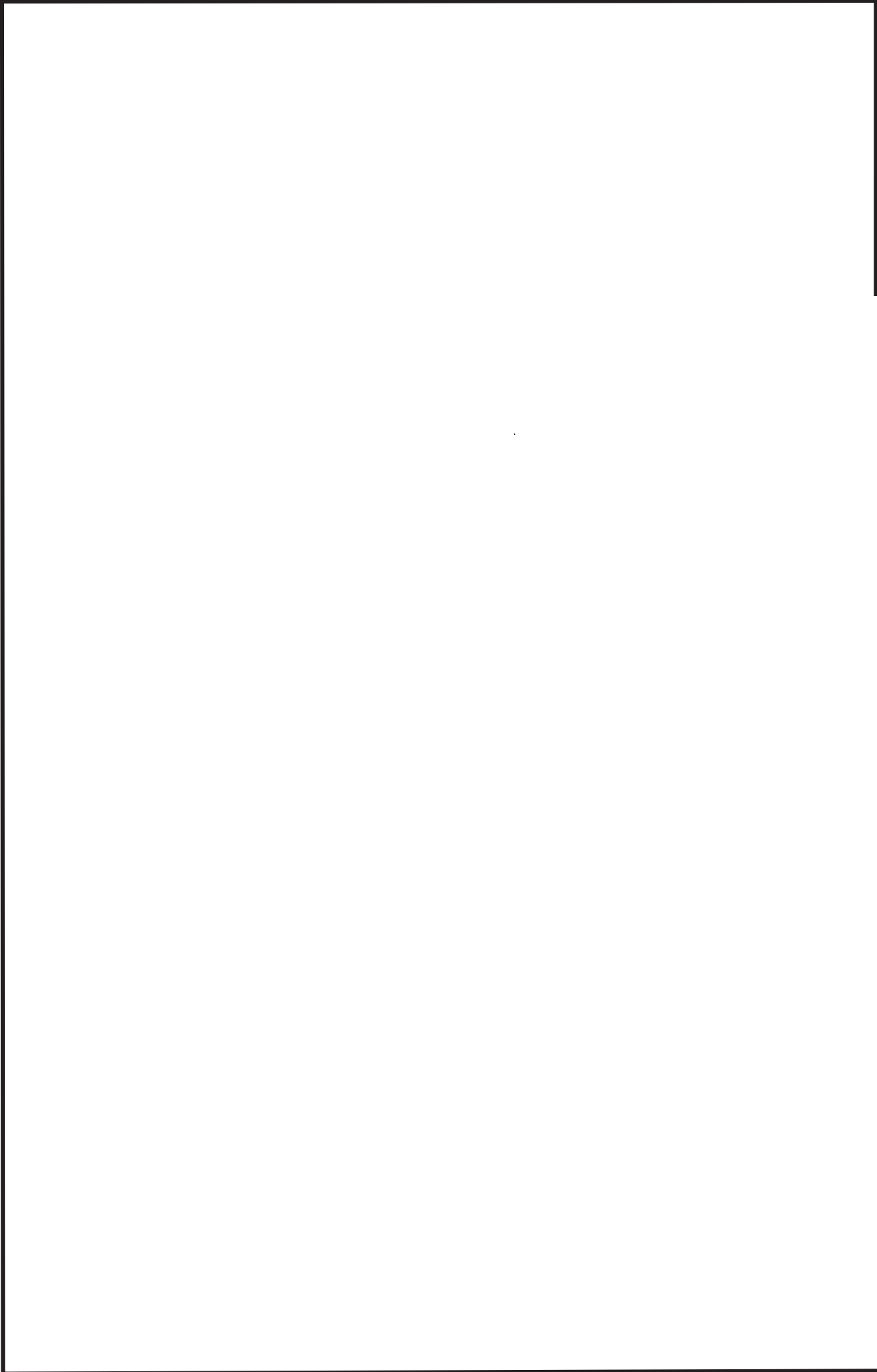
鳥瞰図 GTG-001

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				

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。

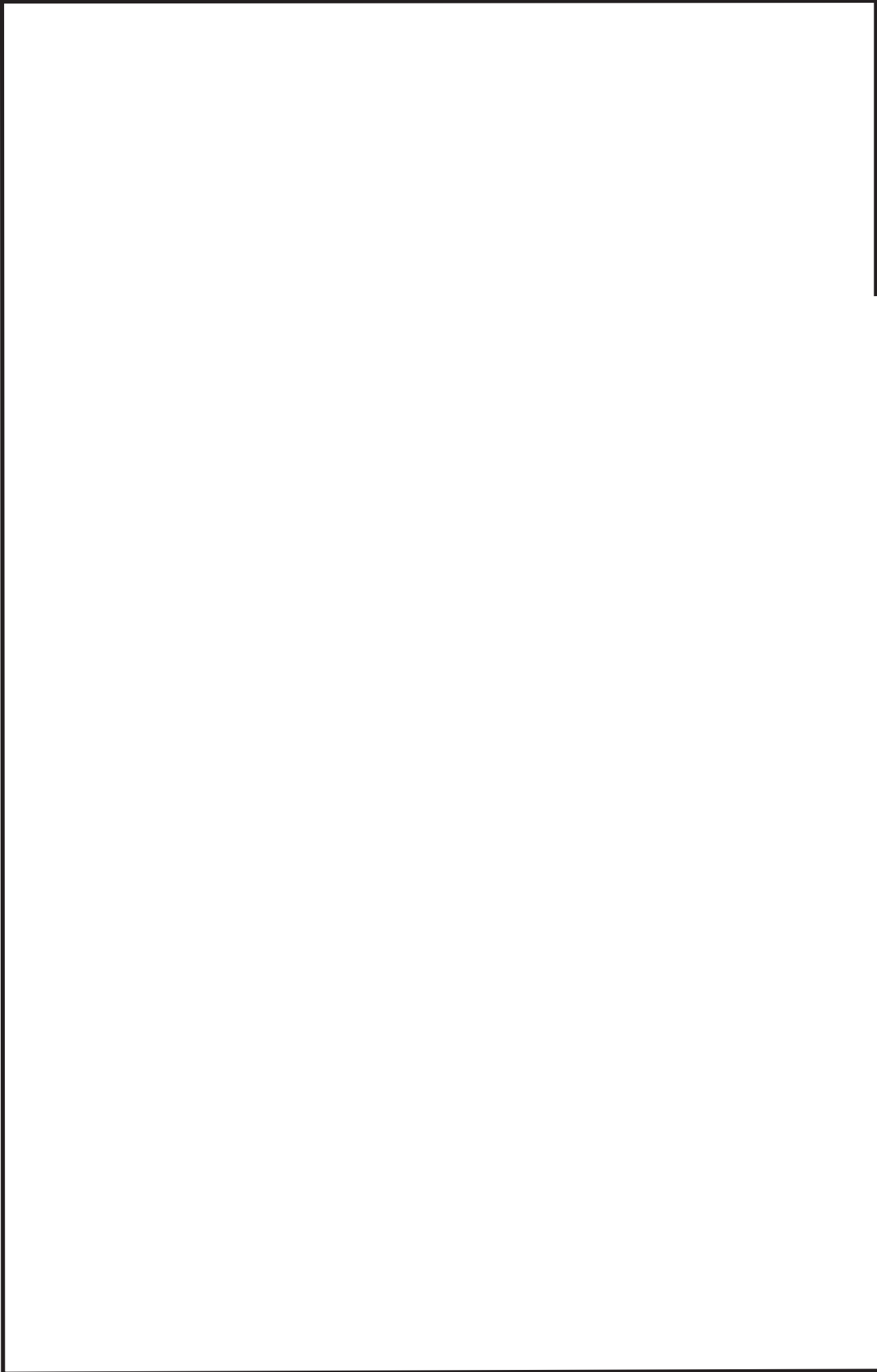
代表的振動モード図

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。



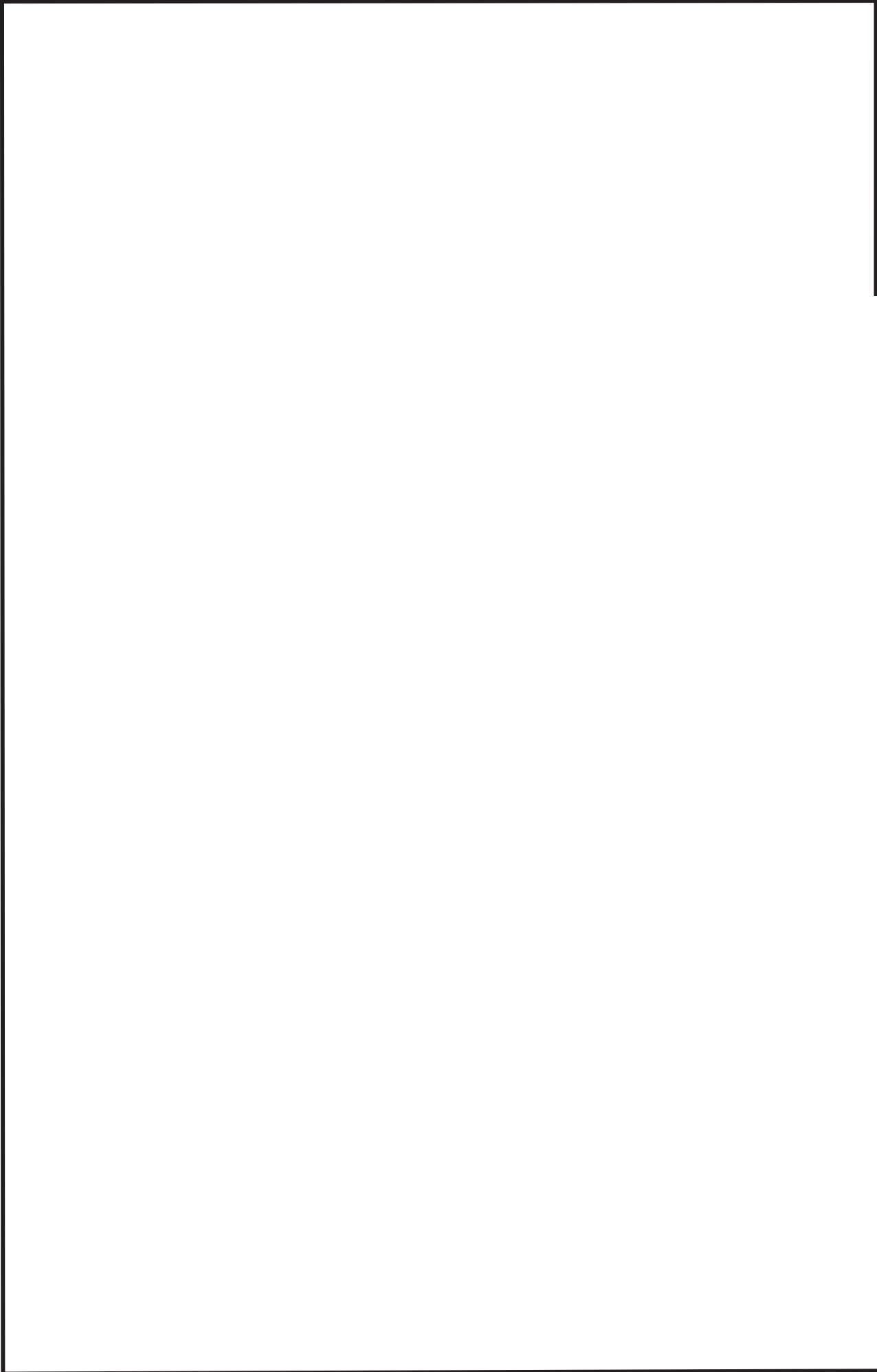
鳥瞰図 GTG-001

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 GTG-001

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 GTG-001

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	
G T G - 0 0 1	V \wedge S V \wedge S	159 159	S p r m (S s) S n (S s)	133 —	368 —	— 259	— 478	— —

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	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
GTG-015-03	レストレイント	Uボルト	SS400	50	-	3	8	-	-	-	せん断	96	139
GTG-601-03	アソカ	ラダ	SM400B	50	6	1	2	0	1	1	組合せ	35	133

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果



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

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	疲労累積係数	代表	
1	GTG-001	159	133	368	2.76	○	159	259	478	1.84	○	—	—	—	
2	GTG-002	37	118	368	3.11	—	37	226	478	2.11	—	—	—	—	
3	GTG-003	19	46	368	8.00	—	19	79	478	6.05	—	—	—	—	
4	GTG-004	14	35	368	10.51	—	24	52	478	9.19	—	—	—	—	
5	GTG-005	21	74	368	4.97	—	21	136	478	3.51	—	—	—	—	
6	GTG-010	12	14	368	26.28	—	12	12	478	39.83	—	—	—	—	
7	GTG-011	12	14	368	26.28	—	12	12	478	39.83	—	—	—	—	
8	GTG-012	28	60	368	6.13	—	27	147	478	3.25	—	—	—	—	

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V _A S													
		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	
9	GTG-012-01	7	56	368	6.57	—	7	82	478	5.82	—	—	—	—	
10	GTG-012-02	1	19	368	19.36	—	1	24	478	19.91	—	—	—	—	
11	GTG-014	8	41	368	8.97	—	8	77	478	6.20	—	—	—	—	
12	GTG-014-01	7	56	368	6.57	—	7	82	478	5.82	—	—	—	—	
13	GTG-014-02	1	14	368	26.28	—	1	16	478	29.87	—	—	—	—	
14	GTG-020	7	72	453	6.29	—	7	118	396	3.35	—	—	—	—	