

e. Uバンド

Uバンドのボルトには、せん断方向荷重及び軸方向荷重によるせん断応力並びに引張方向荷重により引張応力が発生する。また、モーメントを拘束するUバンドのボルトは、モーメントによっても、引張応力及びせん断応力が発生する。Uバンドのパイプバンドには、引張方向荷重により曲げ応力が発生する。発生応力は、次の計算式により求める。

(a) ボルト

イ. 引張応力評価

引張応力を計算し、許容値を超えないことを確認する。

ロ. せん断応力評価

せん断応力を計算し、許容値を超えないことを確認する。

ハ. 組合せ応力評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を計算し、許容値を超えないことを確認する。

(b) パイプバンド

イ. 曲げ応力評価

曲げ応力を計算し、許容値を超えないことを確認する。

なお、モーメントを拘束するUバンドにあっては補強リブを設置しており、曲げ応力は十分小さいため評価しない。

Uバンドの軸方向荷重に対する許容荷重は、ボルトの締付けトルクから決まる摩擦力に等しい。従って、Uバンドの軸方向の許容荷重は、次の計算式で表され、軸方向荷重が軸方向の許容荷重以下となるようにする。

また、回転方向を拘束するUバンドのねじりモーメントに対する許容モーメントは、ボルトの締付けトルクから決まる摩擦力に等しい。従って、Uバンドのねじりモーメントの許容モーメントは、次の計算式で表され、ねじりモーメントが許容モーメント以下となるようにする。

f. ピン

応力評価は、次の強度部材に発生する引張応力、せん断応力、支圧応力、曲げ応力及び
組合せ応力を次の計算式により算出し、許容応力以下であることを確認する。

4. 強度部材

① ピン

㊦. 各部材の計算式

(イ) ピン (①)

i. 曲げ応力評価

曲げ応力が、許容曲げ応力以下であることを確認する。

ii. せん断応力評価

せん断応力が、許容せん断応力以下であることを確認する。

iii. 組合せ応力評価

組合せ応力が、許容組合せ応力以下であることを確認する。

g. サドル

応力評価は、次の強度部材に発生する圧縮応力を次の計算式により算出し、許容応力以下であることを確認する。

1. 強度部材

①プレート

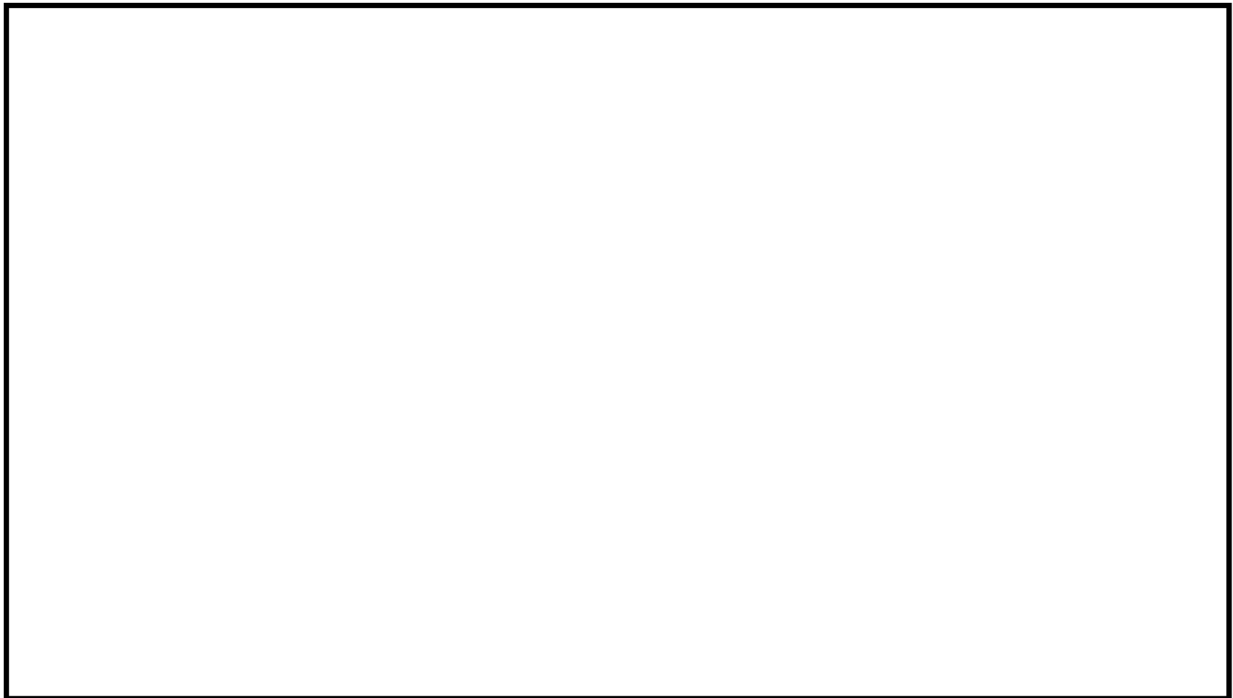


ロ. 各部材の計算式

(イ) プレート (①)

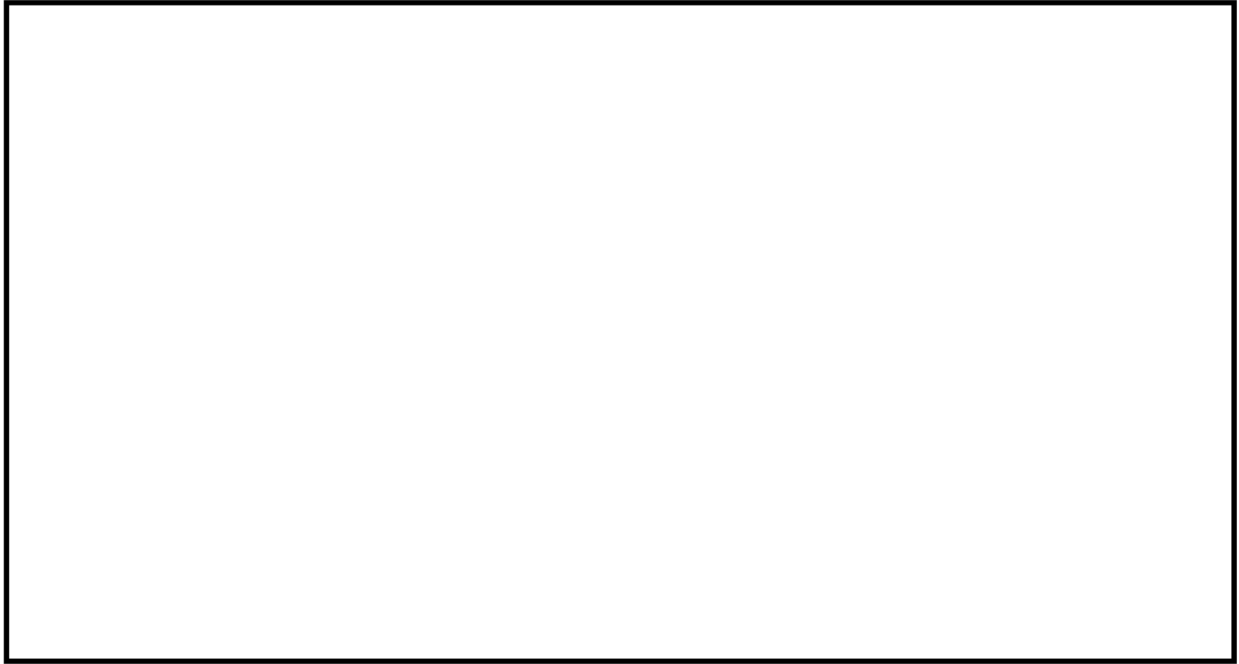
i. 圧縮応力評価

圧縮応力が、許容圧縮応力以下であることを確認する。



(ロ) 溶接部

ガイドでプレートを拘束するタイプのサドルの溶接部にあつては、せん断応力が、許容せん断応力以下であることを確認する。



資料 5 - 5 耐震計算結果

目 次

	頁
1. 概要	04-添 5-5-1
2. 配管の耐震計算結果	04-添 5-5-1
2.1 概要	04-添 5-5-1
2.2 耐震計算結果	04-添 5-5-1
3. 解析範囲における最大発生応力点の評価	04-添 5-5-23
3.1 概要	04-添 5-5-23
3.2 評価結果	04-添 5-5-23
4. 支持構造物の強度及び耐震性に関する説明	04-添 5-5-26
4.1 概要	04-添 5-5-26
4.2 基本方針	04-添 5-5-26
4.3 支持構造物の評価箇所	04-添 5-5-27
4.4 配管の支持構造物の評価	04-添 5-5-30
4.5 応力評価結果	04-添 5-5-37

1. 概要

本資料は、資料 5-4 「耐震計算方法」に従い、配管及び支持構造物の耐震計算結果についてまとめたものである。

2. 配管の耐震計算結果

2.1 概要

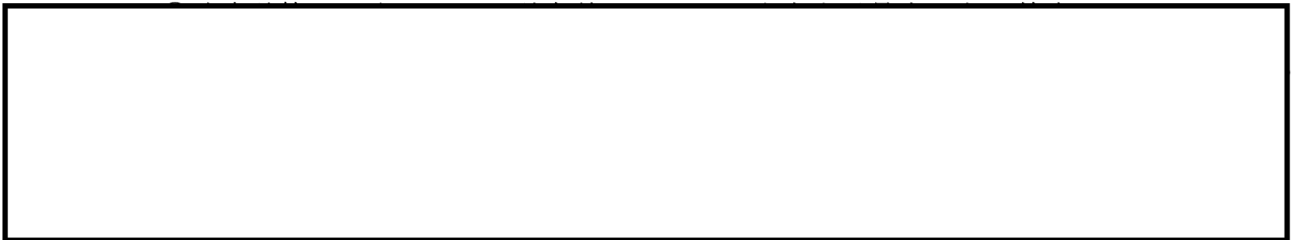
本項は、資料 5-4 「耐震計算方法」に従い、配管の耐震計算結果についてまとめたものである。

2.2 耐震計算結果

申請範囲外も含むモデルを作成し、応力計算を行った。モデルの範囲を第 2-1 図「一次冷却材の循環設備配管及び化学体積制御設備配管モデルブロック図（ブロック①）」に示す。

計算条件及び計算結果は、第 2-1 表に記載の図及び表に示す。

なお、計算結果については、申請範囲にある節点数が 15 点以下である場合はすべてを記載するが、16 点以上である場合は下記条件で選んだ 15 点を代表として記載する。

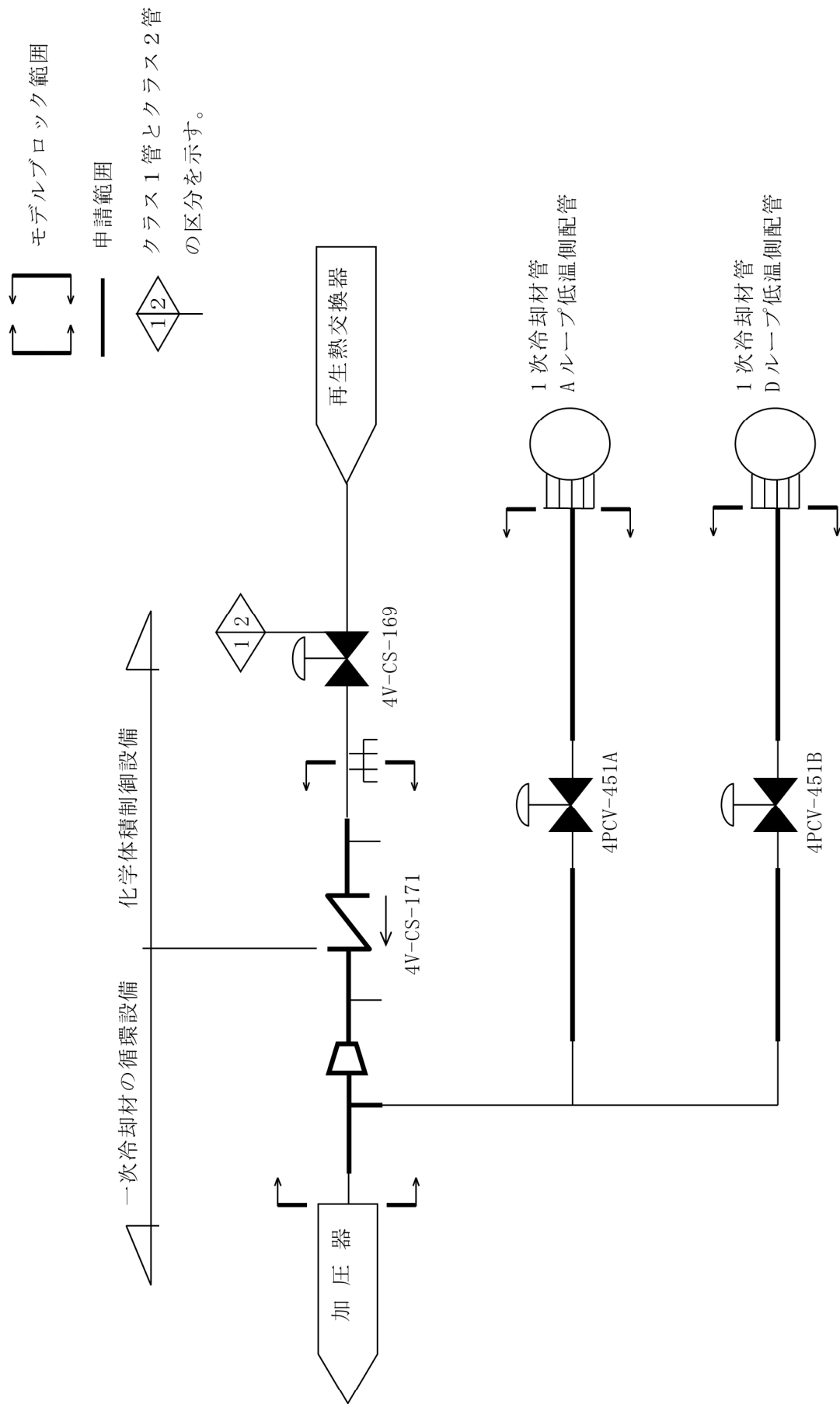


応力計算に使用した計算機コードは「MSAP 」である。

第 2-1 表 計算条件及び計算結果

		ブロック①
配管名称		一次冷却材の循環設備配管 及び化学体積制御設備配管
計算条件	配管解析モデル図	第 2-2 図
	配管仕様	第 2-2 表
	質点質量	第 2-3 表
計算結果	固有値表	第 2-4 表
	振動モード図	第 2-3 図～ 第 2-5 図
	地震時の一次応力及び一次＋二次応力 (D+P+M+Sd) (注 1)	第 2-5 表
	地震時の簡易弾塑性解析 (D+P+M+Sd) (注 1)	第 2-6 表
	地震時の疲労累積係数 (D+P+M+Sd) (注 1)	第 2-7 表
	地震時の一次応力及び一次＋二次応力 (D+P+M+Ss)	第 2-8 表
	地震時の簡易弾塑性解析 (D+P+M+Ss)	第 2-9 表
	地震時の疲労累積係数 (D+P+M+Ss)	第 2-10 表
	総合評価	第 2-11 表

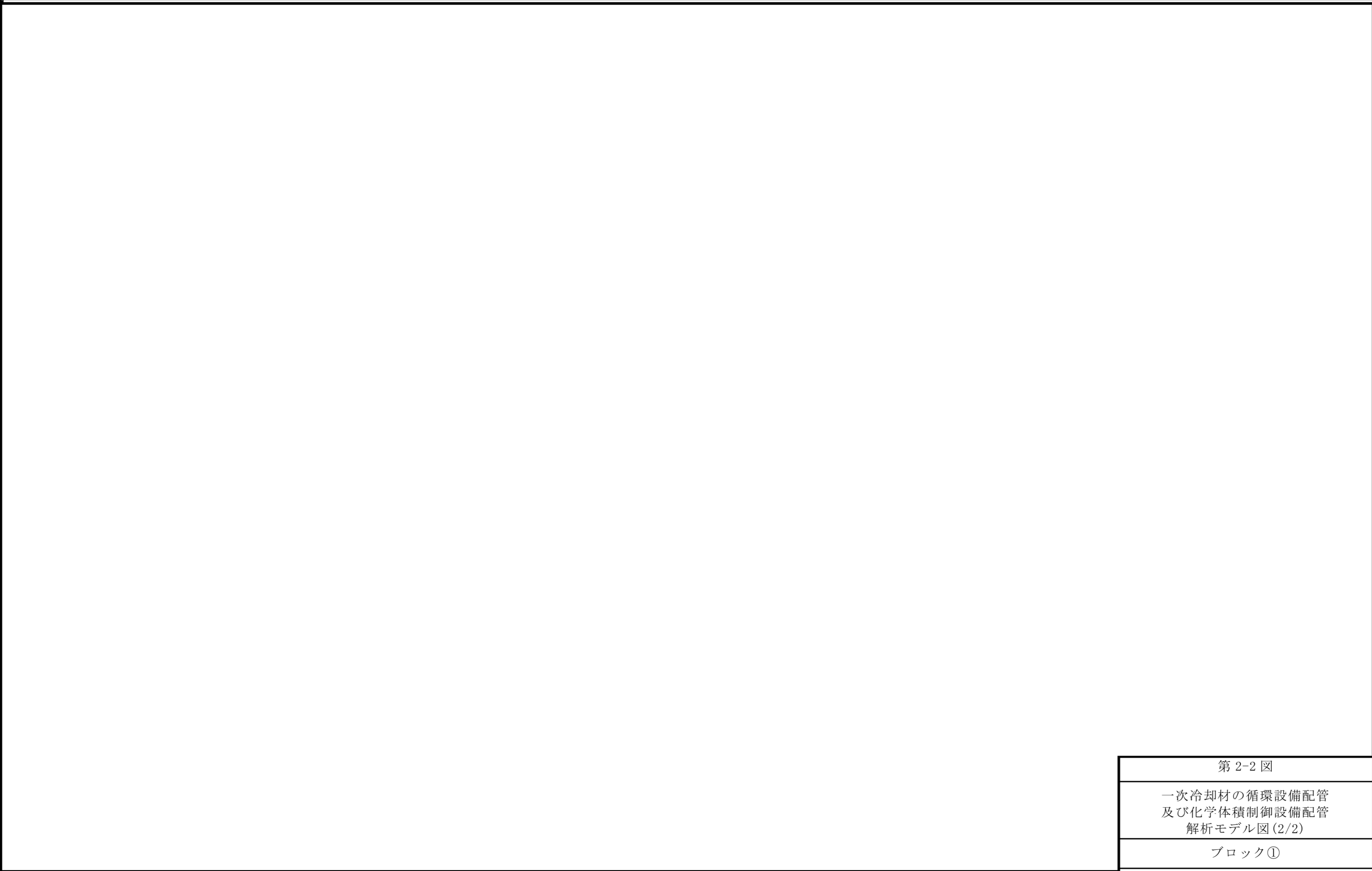
(注 1) 冷却材喪失事故後の状態における圧力荷重 P_L は、負荷の喪失時の圧力 P に比べて小さい。また、冷却材喪失事故後の状態で設備に作用する機械的荷重 M_L はない。このことから、「 $D+P_L+M_L+Sd$ 」の組合せによる評価は、許容限界が安全側である「 $D+P+M+Sd$ 」の組合せによる評価にて代表する。



第2-1 図 一次冷却材の循環設備配管及び化学体積制御設備配管モデルブロック図（ブロック①）



第 2-2 図
一次冷却材の循環設備配管 及び化学体積制御設備配管 解析モデル図(1/2)
ブロック①



第 2-2 図
一次冷却材の循環設備配管 及び化学体積制御設備配管 解析モデル図(2/2)
ブロック①

一次冷却材の循環設備配管
及び化学体積制御設備配管
(ブロック①)

第 2-2 表 ブロック① 配管仕様

名 称	単 位	節点番号 1201～169 1202～169 169～247～1203 329～247	節点番号 1204～328
外 径	mm	114.3	60.5
厚 さ	mm	13.5	8.7
材 料	—	SUS316TP	SUS316TP
縦弾性係数 ^(注1)	×10 ⁵ MPa		
最高使用圧力	MPa	17.16	17.16
最高使用温度	℃	343	343
設計応力強さ (S _m)	MPa	114	114

(注4) 節点番号328～329はレジューサである。

第2-3表 ブロック① 質点質量^(注1) (1/3)

(単位：kg)

節点番号	配管 ^(注2)	弁	保温材	その他 付加質量	合計質量

第 2-3 表 ブロック① 質点質量^(注 1) (2/3)

(単位 : kg)

節点番号	配 管 ^(注 2)	弁	保温材	その他 付加質量	合計質量

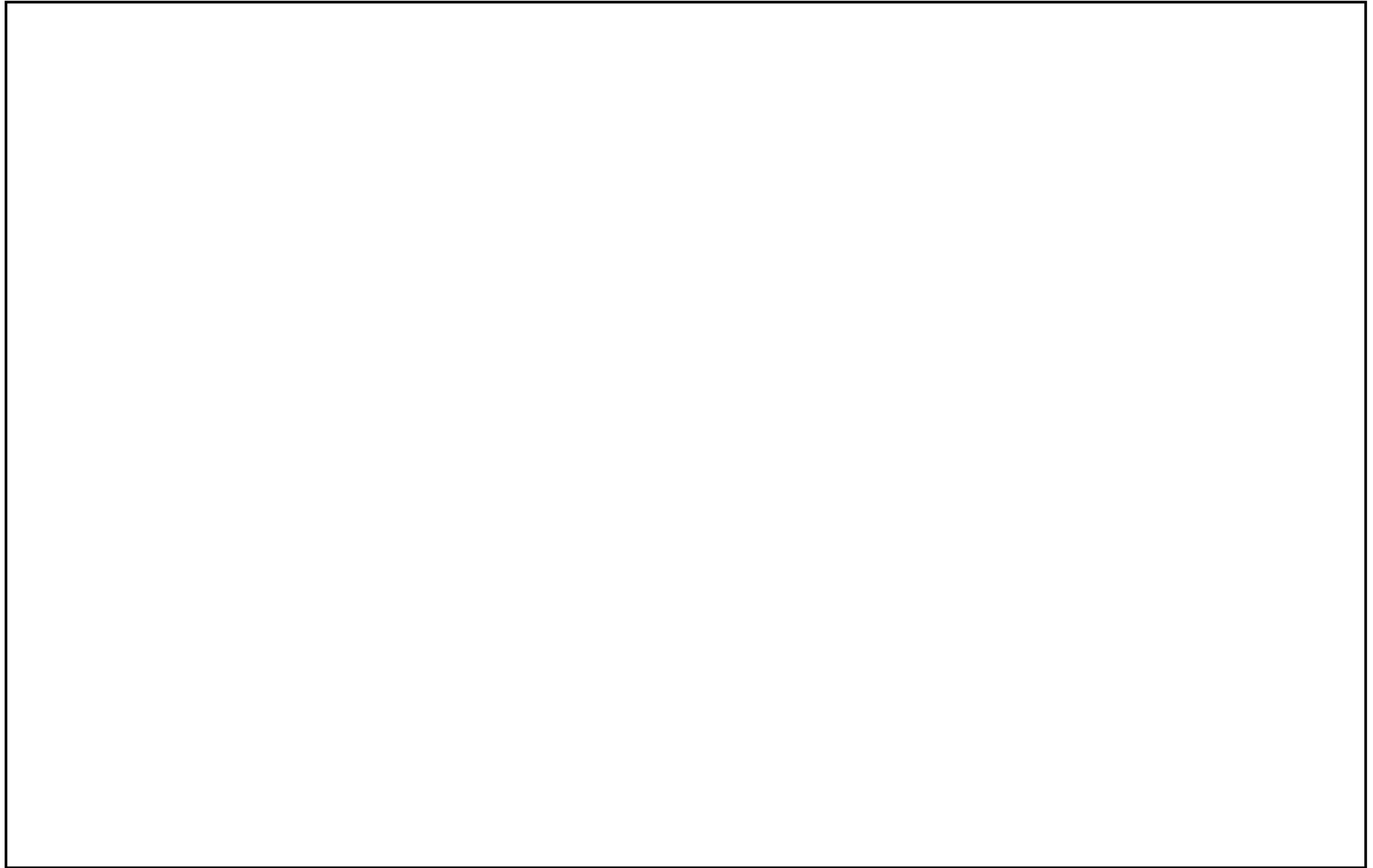
第2-3表 ブロック① 質点質量^(注1) (3/3)

(単位：kg)

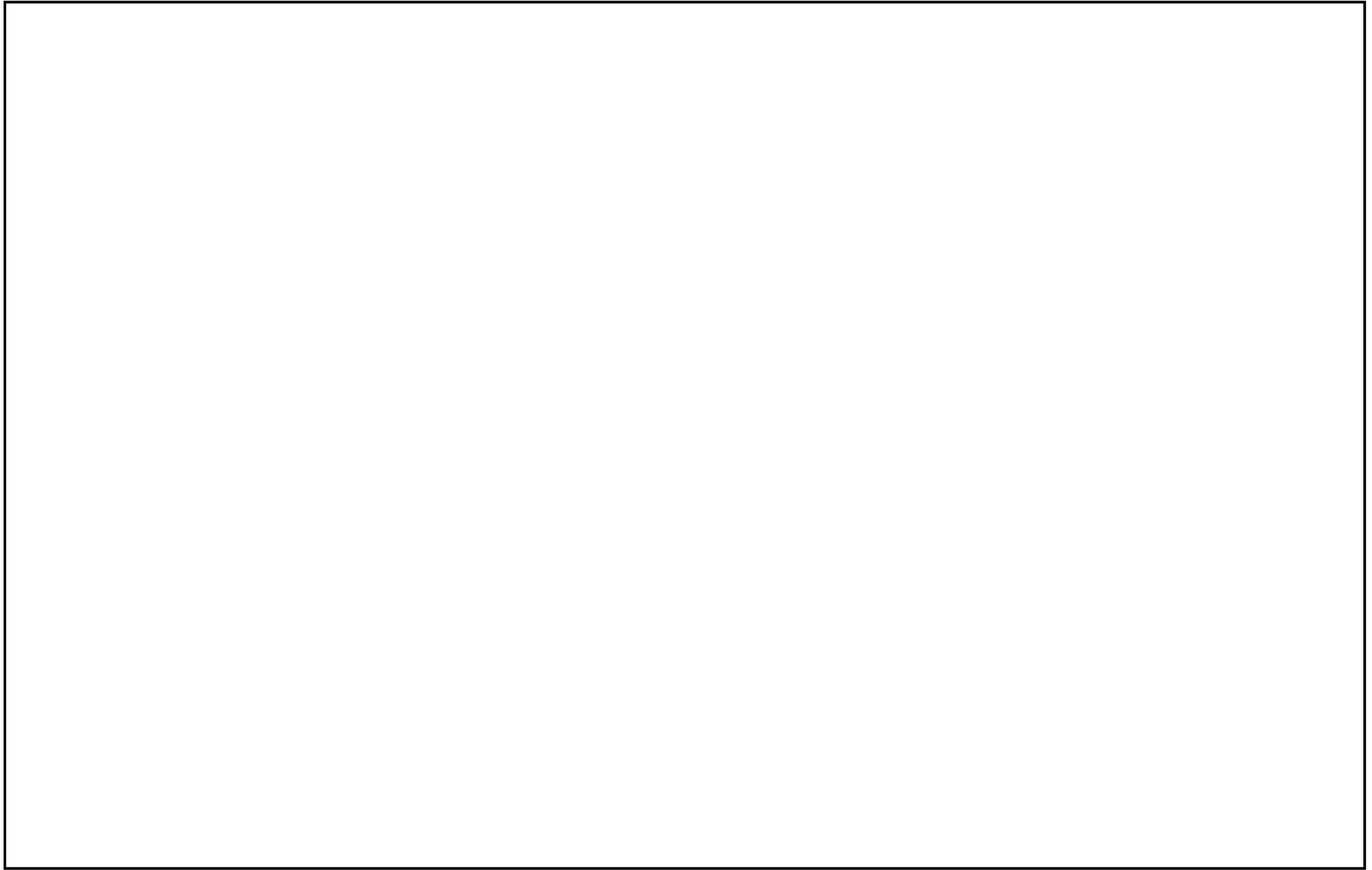
節点番号	配管 ^(注2)	弁	保温材	その他 付加質量	合計質量

第 2-4 表 ブロック① 固有値表

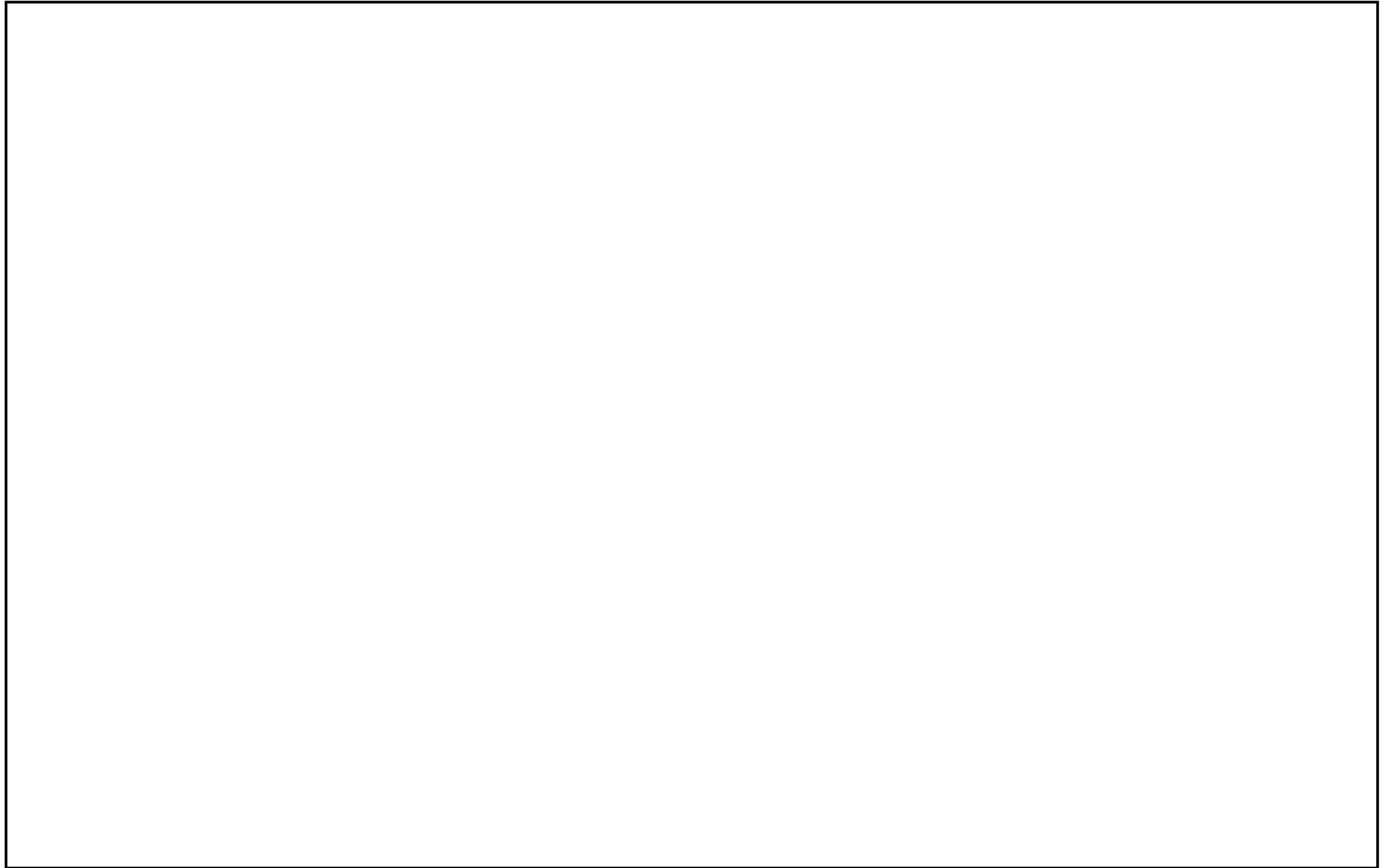
振動次数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数		
		X	Y	Z



第 2-3 図 ブロック① 振動モード図 (1 次 Hz)



第 2-4 図 ブロック① 振動モード図 (2 次 Hz)



第 2-5 図 ブロック① 振動モード図 (3 次 Hz)

第2-5表 ブロック① 地震時の一次応力及び一次+二次応力 (D+P+M+Sd) (注1)

(単位：MPa)

節点 番号	一次応力 (曲げ応力を含む)			一次応力 (ねじりによる応力)		一次+二次応力				
	内圧 による 応力	自重及び 地震 による 応力	合計 応力	ねじりに よる 応力	許容 応力	曲げと ねじり による 応力	許容 応力	地震 による 二次 応力	地震による 一次 +二次 応力	許容 応力
102	38.1	109.0	148	88 ^(注2)		109	206	79.2	355 ^(注3)	
104	38.1	82.3	121	44		-	-	117.1	311	
105	38.1	67.5	106	44		-	-	174.7	311	
107	38.1	73.4	112	35		-	-	109.0	279	
110	38.1	44.9	84	13		-	-	172.9	267	
113	38.1	67.7	106	3		-	-	76.4	216	
247	38.1	27.1	66	11		-	-	144.6	215	
177	38.1	106.3	145	88 ^(注2)	62	107	206	79.2	348 ^(注3)	343
179	38.1	82.1	121	48		-	-	117.1	309	
180	38.1	71.7	110	48		-	-	174.7	322	
182	38.1	73.5	112	38		-	-	109.0	277	
185	38.1	48.9	88	13		-	-	172.9	278	
188	38.1	67.3	106	3		-	-	76.4	215	
219	38.1	156.5	195	13		-	-	0.3	377 ^(注3)	
328	62.6	63.2	126	14		-	-	106.4	302	

(注1) Sd地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) ねじりによる応力が許容応力(0.55Sm)を超えているため、曲げとねじりによる応力の評価を行う。

(注3) 許容値を超えているため簡易弾塑性解析を行う。

第2-6表 ブロック① 地震時の簡易弾塑性解析 (D+P+M+Sd)

節点 番号	最小降伏点と 最小引張強さとの比	許容値	供用状態A及びBに おける温度 (°C)	許容値 (°C)	繰返し ピーク応力強さ (MPa)	許容値 ^(注1) (MPa)
102	0.4	0.8	328	430	200	4881
177	0.4	0.8	328	430	196	4881
219	0.4	0.8	328	430	213	4881

(注1) JSME 添付4-2 3.2における10回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さ

第2-7表 ブロック① 地震時の疲労累積係数 (D+P+M+Sd) (注1)

節点番号	地震による一次 +二次応力 +ピーク応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	地震による 疲労累積係数	供用状態A及びBに よる疲労累積係数	合計疲労累積係数	許容値
102 ^(注2)	355	189	0.00058	0.00013	0.00071	1.0
104	311	156	0.00021	0.00011	0.00033	
105	311	156	0.00021	0.00007	0.00029	
107	279	140	0.00015	0.00005	0.00020	
110	267	134	0.00012	0.00000	0.00013	
113	216	108	0.00005	0.00000	0.00005	
247	215	108	0.00004	0.01462	0.01466	
177 ^(注2)	348	178	0.00037	0.00013	0.00050	
179	309	155	0.00021	0.00011	0.00032	
180	322	161	0.00024	0.00007	0.00032	
182	277	139	0.00015	0.00005	0.00020	
185	278	139	0.00015	0.00000	0.00015	
188	215	108	0.00005	0.00000	0.00005	
219 ^(注2)	377	223	0.00161	0.00000	0.00162	
328	318	159	0.00023	0.00109	0.00132	

(注1) Sd 地震には静的地震力による評価を含む。

(注2) 簡易弾塑性解析を実施した節点番号

第2-8表 ブロック① 地震時の一次応力及び一次＋二次応力 (D+P+M+Ss)

(単位：MPa)

節点 番号	一次応力 (曲げ応力を含む)			一次応力 (ねじりによる応力)		一次応力 (曲げとねじり による応力)		一次＋二次応力		
	内圧 による 応力	自重及び 地震 による応力	合計 応力	ねじりに よる応力	許容 応力	曲げと ねじり による応力	許容 応力	地震 による 二次応力	地震による 一次 ＋二次応力	許容応力
102	38.1	155.0	194	123 ^(注1)		155	274	255.7	669 ^(注2)	
104	38.1	115.5	154	62		-	-	335.3	626 ^(注2)	
105	38.1	95.3	134	62		-	-	491.7	693 ^(注2)	
107	38.1	103.6	142	52		-	-	320.9	572 ^(注2)	
110	38.1	64.1	103	21		-	-	331.3	480 ^(注2)	
113	38.1	93.4	132	3		-	-	164.4	380 ^(注2)	
247	38.1	44.7	83	16		-	-	229.6	358 ^(注2)	
177	38.1	150.8	189	122 ^(注1)	83	151	274	255.7	656 ^(注2)	343
179	38.1	114.6	153	66		-	-	335.3	620 ^(注2)	
180	38.1	100.5	139	66		-	-	491.7	705 ^(注2)	
182	38.1	103.2	142	55		-	-	320.9	565 ^(注2)	
185	38.1	69.3	108	20		-	-	331.3	494 ^(注2)	
188	38.1	92.9	131	3		-	-	164.4	378 ^(注2)	
219	38.1	186.9	226	15		-	-	0.5	468 ^(注2)	
328	62.6	104.4	167	23		-	-	168.7	548 ^(注2)	

(注1) ねじりによる応力が許容応力(0.73Sm)を超えているため、曲げとねじりによる応力の評価を行う。

(注2) 許容値を超えているため簡易弾塑性解析を行う。

第2-9表 ブロック① 地震時の簡易弾塑性解析 (D+P+M+Ss)

節点 番号	最小降伏点と 最小引張強さとの比	許容値	供用状態A及びBに おける温度 (°C)	許容値 (°C)	繰返し ピーク応力強さ (MPa)	許容値 ^(注1) (MPa)
102	0.4	0.8	328	430	378	4881
104	0.4	0.8	328	430	353	4881
105	0.4	0.8	328	430	391	4881
107	0.4	0.8	328	430	322	4881
110	0.4	0.8	328	430	271	4881
113	0.4	0.8	328	430	214	4881
247	0.4	0.8	328	430	202	4881
177	0.4	0.8	328	430	370	4881
179	0.4	0.8	328	430	350	4881
180	0.4	0.8	328	430	397	4881
182	0.4	0.8	328	430	319	4881
185	0.4	0.8	328	430	279	4881
188	0.4	0.8	328	430	213	4881
219	0.4	0.8	328	430	264	4881
328	0.4	0.8	328	430	325	4881

(注1) JSME 添付4-2 3.2における10回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さ

第2-10表 ブロック① 地震時の疲労累積係数 (D+P+M+Ss)

節点番号	地震による一次 +二次応力 +ピーク応力 (MPa)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	地震による 疲労累積係数	供用状態A及びBに よる疲労累積係数	合計疲労累積係数	許容値
102(注1)	669	677	0.15625	0.00013	0.15638	1.0
104(注1)	626	609	0.10929	0.00011	0.10940	
105(注1)	693	713	0.18692	0.00007	0.18699	
107(注1)	572	525	0.06309	0.00005	0.06314	
110(注1)	480	383	0.01802	0.00000	0.01802	
113(注1)	380	227	0.00119	0.00000	0.00119	
247(注1)	358	194	0.00046	0.01462	0.01507	
177(注1)	656	656	0.14085	0.00013	0.14098	
179(注1)	620	600	0.10417	0.00011	0.10428	
180(注1)	705	731	0.20279	0.00007	0.20287	
182(注1)	565	515	0.05865	0.00005	0.05870	
185(注1)	494	405	0.02294	0.00000	0.02294	
188(注1)	378	225	0.00111	0.00000	0.00112	
219(注1)	468	365	0.01418	0.00000	0.01419	
328(注1)	576	514	0.05797	0.00109	0.05906	

(注1)簡易弾塑性解析を実施した節点番号

第 2-11 表 ブロック① 総合評価

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さと
の比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項目		最大値 ^(注4)	許容値	
クラス 1 管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	195 (節点番号 219)	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	88 ^(注5) (節点番号 102)	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	109 (節点番号 102)	206	
		一次+二次応力 ^(注2)	377 ^(注6) (節点番号 219)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4 (節点番号 219)	0.8
			供用状態 A 及び B における温度 (°C)	328 (節点番号 219)	430
			繰返しピーク応力強さ	213 (節点番号 219)	4881
		疲労累積係数 ^(注3)	0.01466 (節点番号 247)	1.0	
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	226 (節点番号 219)	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	123 ^(注5) (節点番号 102)	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	155 (節点番号 102)	274	
		一次+二次応力 ^(注2)	705 ^(注6) (節点番号 180)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4 (節点番号 180)	0.8
			供用状態 A 及び B における温度 (°C)	328 (節点番号 180)	430
繰返しピーク応力強さ			397 (節点番号 180)	4881	
	疲労累積係数 ^(注3)	0.20287 (節点番号 180)	1.0		

(注 1) Sd 地震には静的地震力による評価を含む。

(注 2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注 3) 地震による疲労累積係数と供用状態 A 及び B による疲労累積係数との和を示す。

(注 4) () 内は最大値となった節点番号である。

(注 5) 許容値を超えているため、一次応力 (曲げとねじりによる応力) 評価を行う。

(注 6) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

第2-11表「ブロック① 総合評価」に示すとおり、管に発生する応力等はすべて JEAG4601・補-1984 許容応力編 第2章「耐震Sクラス施設の許容応力」2.2.1「クラス1管の許容応力」に規定される許容値以下であるので、十分な耐震性を有している。

3. 解析範囲における最大発生応力点の評価

3.1 概要

本項は、2.2 項「耐震計算結果」の申請範囲外も含む解析範囲における最大発生応力点の評価したものである。

3.2 評価結果

2.2 項「耐震計算結果」に示すブロック①における応力値の確認結果を第 3-1 表「ブロックの耐震評価確認結果」に示す。

なお、応力計算に使用した計算機コードは「MSAP 」である。

第3-1表 ブロックの耐震評価確認結果

	ブロック①
配管名称	一次冷却材の循環設備配管 及び化学体積制御設備配管
耐震評価 確認結果	第3-2表

第 3-2 表 ブロック① 耐震評価

〔 単位 : MPa (最小降伏点と最小引張強さと
の比及び疲労累積係数を除く) 〕

機器等の区分	項目		最大値 ^(注4)	許容値	
クラス 1 管	Sd 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	195 ^(注7) (節点番号 219)	257	
		一次応力 (ねじりによる応力)	88 ^(注5、7) (節点番号 102)	62	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	118 (節点番号 213)	206	
		一次+二次応力 ^(注2)	377 ^(注6、7) (節点番号 219)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4 ^(注7) (節点番号 219)	0.8
			供用状態 A 及び B における温度 (°C)	328 ^(注7) (節点番号 219)	430
			繰返しピーク応力強さ	213 ^(注7) (節点番号 219)	4881
		疲労累積係数 ^(注3)	0.39142 (節点番号 1203)	1.0	
	Ss 地震時	一次応力 (曲げ応力を含む)	226 ^(注7) (節点番号 219)	343	
		一次応力 (ねじりによる応力)	123 ^(注5、7) (節点番号 102)	83	
		一次応力 (曲げとねじりによる応力)	155 ^(注7) (節点番号 102)	274	
		一次+二次応力 ^(注2)	705 ^(注6、7) (節点番号 180)	343	
		簡易弾塑性解析	最小降伏点と最小引張強さとの比	0.4 ^(注7) (節点番号 180)	0.8
			供用状態 A 及び B における温度 (°C)	328 ^(注7) (節点番号 180)	430
繰返しピーク応力強さ			397 ^(注7) (節点番号 180)	4881	
	疲労累積係数 ^(注3)	0.40684 (節点番号 266)	1.0		

(注 1) Sd 地震には静的地震力による評価を含む。

(注 2) 地震による一次+二次応力の変動値

(注 3) 地震による疲労累積係数と供用状態 A 及び B による疲労累積係数との和を示す。

(注 4) () 内は最大値となった節点番号である。

(注 5) 許容値を超えているため、一次応力 (曲げとねじりによる応力) 評価を行う。

(注 6) 許容値を超えているため、簡易弾塑性解析を行う。

(注 7) 申請範囲内の評価点である。

第 3-2 表「ブロック① 耐震評価」に示すとおり、管に発生する応力等はすべて JEAG4601・補-1984 許容応力編 第 2 章「耐震 S クラス施設の許容応力」2.2.1 「クラス 1 管の許容応力」に規定される許容値以下であるので、十分な耐震性を有している。

4. 支持構造物の強度及び耐震性に関する説明

4.1 概要

本資料は、資料5-3「申請設備に係る耐震設計の基本方針」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、申請範囲の配管に設置する支持構造物が十分な強度及び耐震性を有していることを説明するものである。その評価は支持構造物を含む配管の地震応答解析及び支持構造物の応力評価により行う。

また、支持構造物は、強度及び耐震評価における基本式が同一であることから、強度及び耐震計算を併せて示す。

4.2 基本方針

4.2.1 構造の説明

申請範囲及び申請範囲外も含めた解析範囲に設置される支持装置は次のとおりであり、資料5-4「耐震計算方法」に各支持装置の構造について示す。

- ・メカニカルスナバ
- ・ロッドレストレイント
- ・スプリングハンガ
- ・Uボルト
- ・Uバンド
- ・ピン
- ・サドル

4.2.2 評価方針

申請範囲の解析結果(資料6-3「強度計算結果」及び「2. 配管の耐震計算結果」による。)より得られた最大発生荷重に対し、資料5-4「耐震計算方法」に基づき評価を実施する。

荷重評価は、申請範囲及び申請範囲外も含めた解析範囲に設置される支持装置について行い、応力評価は申請範囲外も含めた解析範囲に設置される支持装置の種類及び型式ごとの最大反力点について行う。

4.3 支持構造物の評価箇所

申請範囲の支持構造物の評価は、種類及び型式ごとの最大反力点の支持装置について、資料5-4「耐震計算方法」に示す各装置の各部位に対して評価を実施する。

申請範囲に設置される支持装置を第4-1表に、申請範囲外も含めた解析範囲における種類及び型式ごとの最大反力点の支持装置を第4-2表に示す。

第4-1表 申請範囲に設置される支持装置(1/3)

ブロック 番号	支持構造物番号	節点番号 ^(注1)	支持装置種類	型式
①	4RC-2-1401R	801	ピン	—
	4RC-2-58N	802	メカニカルスナバ	SMS-3
	4RC-2-1402SN	802	メカニカルスナバ	SMS-6
	4RC-2-6R	803	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1403R	803	ピン	—
	4RC-2-1404R	804	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1405R	804	ピン	—
	4RC-2-10R	805	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1406R	805	ピン	—
	4RC-2-12R	806	サドル	—
	4RC-2-1407SN	807	メカニカルスナバ	SMS-1
	4RC-2-1408R	808	ピン	—
	4RC-2-14R	808	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-15R	809	サドル	—
	4RC-2-1415SN	813	メカニカルスナバ	SMS-06
	4RC-2-1416SN	813	メカニカルスナバ	SMS-1
	4RC-2-1417R	814	ピン	—
	4RC-2-1418R	814	ロッドレストレイント	RSAM-1
	4RC-2-1419R	815	ロッドレストレイント	RSAM-1
	4RC-2-63N	815	メカニカルスナバ	SMS-06
	4RC-2-1421SP	848	スプリングハンガ(吊型)	VSA-10
	4RC-2-1420R	816	ロッドレストレイント	RSAM-1
	4RC-2-1422R	817	ロッドレストレイント	RSA-3

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-1表 申請範囲に設置される支持装置(2/3)

ブロック 番号	支持構造物番号	節点番号 ^(注1)	支持装置種類	型式
①	4RC-2-1423R	817	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1426R	820	ピン	—
	4RC-2-1427SN	821	メカニカルスナバ	SMS-6
	4RC-2-66N	821	メカニカルスナバ	SMS-3
	4RC-2-1428R	822	ピン	—
	4RC-2-30R	822	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1429R	823	ピン	—
	4RC-2-1430R	823	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1431R	824	ピン	—
	4RC-2-34R	824	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-35R	825	サドル	—
	4RC-2-1432SN	826	メカニカルスナバ	SMS-1
	4RC-2-1433R	827	ピン	—
	4RC-2-37R	827	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-38R	828	サドル	—
	4RC-2-1439R	832	ロッドレストレイント	RSAM-1
	4RC-2-1440SN	832	メカニカルスナバ	SMS-3
	4RC-2-1441R	833	ピン	—
	4RC-2-70N	834	メカニカルスナバ	SMS-3
	4RC-2-1442R	835	ロッドレストレイント	RSAM-3
	4RC-2-1443R	836	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1444R	837	ロッドレストレイント	RSAM-3
	4RC-2-1445SN	837	メカニカルスナバ	SMS-1
	4RC-2-1446SN	890	メカニカルスナバ	SMS-10
	4RC-2-1447SN	890	メカニカルスナバ	SMS-6
	4RC-2-1448SP	891	スプリングハンガ(吊型)	VSA-11
4RC-2-1801R	839	ロッドレストレイント	RSA-3	

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-1表 申請範囲に設置される支持装置(3/3)

ブロック 番号	支持構造物番号	節点番号 ^(注1)	支持装置種類	型式
①	4RC-2-49R	850	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1455SN	846	メカニカルスナバ	SMS-3
	4RC-2-1456SN	849	メカニカルスナバ	SMS-3

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-2表 解析範囲に設置される支持装置のうち種類及び型式ごとの
最大反力点の支持装置

ブロック 番号	支持構造物番号	節点番号 ^(注1)	支持装置種類	型式
①	4RC-2-74N	844	メカニカルスナバ	SMS-03
	4RC-2-63N	815 ^(注2)	メカニカルスナバ	SMS-06
	4RC-2-1445SN	837 ^(注2)	メカニカルスナバ	SMS-1
	4RC-2-73N	838	メカニカルスナバ	SMS-3
	4RC-2-1447SN	890 ^(注2)	メカニカルスナバ	SMS-6
	4RC-2-1446SN	890 ^(注2)	メカニカルスナバ	SMS-10
	4RC-2-1419R	815 ^(注2)	ロッドレストレイント	RSAM-1
	4RC-2-1420R	816 ^(注2)	ロッドレストレイント	RSAM-1
	4RC-2-10R	805 ^(注2)	ロッドレストレイント	RSA-3
	4RC-2-1438R	831	ロッドレストレイント	RSAM-3
	4RC-2-1454SP	844	スプリングハンガ(吊型)	VSA-4
	4RC-2-1421SP	848 ^(注2)	スプリングハンガ(吊型)	VSA-10
	4RC-2-1448SP	891 ^(注2)	スプリングハンガ(吊型)	VSA-11
	4RC-2-1425SP	818	スプリングハンガ(吊型)	VSA-12
	4RC-2-1452R	842	Uボルト	—
	4RC-2-1449A	1204	Uバンド	—
	4RC-2-1426R	820 ^(注2)	ピン	—
	4RC-2-38R	828 ^(注2)	サドル	—

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) 申請範囲の評価点である。

4.4 配管の支持構造物の評価

4.4.1 基本方針

資料5-4「耐震計算方法」に示す計算方法に基づき、各支持装置に発生する応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。

4.4.2 地震応答解析

資料5-4「耐震計算方法」に示す地震応答解析によるものとする。

4.4.3 支持装置の許容応力

資料5-3「申請設備に係る耐震設計の基本方針」及び資料5-4「耐震計算方法」に示す許容応力に基づき設定する。

4.4.4 種類及び型式ごとの最大発生荷重

a. メカニカルスナバ

メカニカルスナバの最大発生荷重と定格荷重の比較を第4-3表及び第4-4表に示す。最大発生荷重は定格荷重以下であることを確認した。

第4-3表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較（申請範囲）（1/2）

ブロック 番号	支持構造物 番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-58N	802	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000
	4RC-2-1402SN	802	メカニカルスナバ	SMS-6		60,000
	4RC-2-1407SN	807	メカニカルスナバ	SMS-1		10,000
	4RC-2-1415SN	813	メカニカルスナバ	SMS-06		6,000
	4RC-2-1416SN	813	メカニカルスナバ	SMS-1		10,000
	4RC-2-63N	815	メカニカルスナバ	SMS-06		6,000
	4RC-2-1427SN	821	メカニカルスナバ	SMS-6		60,000
	4RC-2-66N	821	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000
	4RC-2-1432SN	826	メカニカルスナバ	SMS-1		10,000
	4RC-2-1440SN	832	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-3表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較（申請範囲）（2/2）

ブロック 番号	支持構造物 番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-70N	834	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000
	4RC-2-1445SN	837	メカニカルスナバ	SMS-1		10,000
	4RC-2-1446SN	890	メカニカルスナバ	SMS-10		100,000
	4RC-2-1447SN	890	メカニカルスナバ	SMS-6		60,000
	4RC-2-1455SN	846	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000
	4RC-2-1456SN	849	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-4表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較
(解析範囲の最大反力点)

ブロック 番号	支持構造物 番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-74N	844	メカニカルスナバ	SMS-03		3,000
	4RC-2-63N	815 (注2)	メカニカルスナバ	SMS-06		6,000
	4RC-2-1445SN	837 (注2)	メカニカルスナバ	SMS-1		10,000
	4RC-2-73N	838	メカニカルスナバ	SMS-3		30,000
	4RC-2-1447SN	890 (注2)	メカニカルスナバ	SMS-6		60,000
	4RC-2-1446SN	890 (注2)	メカニカルスナバ	SMS-10		100,000

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) 申請範囲の評価点である。

b. ロッドレストレイント

ロッドレストレイントの最大発生荷重と定格荷重の比較を第4-5表及び第4-6表に示す。最大発生荷重は定格荷重以下であることを確認した。

第4-5表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較（申請範囲）

ブロック 番号	支持構造物 番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-6R	803	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1404R	804	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-10R	805	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-14R	808	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1418R	814	ロッドレストレイント	RSAM-1		10,000
	4RC-2-1419R	815	ロッドレストレイント	RSAM-1		10,000
	4RC-2-1420R	816	ロッドレストレイント	RSAM-1		10,000
	4RC-2-1422R	817	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1423R	817	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-30R	822	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1430R	823	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-34R	824	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-37R	827	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1439R	832	ロッドレストレイント	RSAM-1		10,000
	4RC-2-1442R	835	ロッドレストレイント	RSAM-3		30,000
	4RC-2-1443R	836	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1444R	837	ロッドレストレイント	RSAM-3		30,000
	4RC-2-1801R	839	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-49R	850	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-6表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較

(解析範囲の最大反力点)

ブロック 番号	支持構造物番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-1419R	815 (注2)	ロッドレストレイント	RSAM-1		10,000
	4RC-2-1420R	816 (注2)	ロッドレストレイント	RSAM-1		10,000
	4RC-2-10R	805 (注2)	ロッドレストレイント	RSA-3		30,000
	4RC-2-1438R	831	ロッドレストレイント	RSAM-3		30,000

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) 申請範囲の評価点である。

c. スプリングハンガ

スプリングハンガの最大発生荷重と定格荷重の比較を第4-7表及び第4-8表に示す。最大発生荷重は定格荷重以下であることを確認した。

第4-7表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較 (申請範囲)

ブロック 番号	支持構造物 番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-1421SP	848	スプリングハンガ (吊型)	VSA-10		5,500
	4RC-2-1448SP	891	スプリングハンガ (吊型)	VSA-11		7,320

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-8表 支持装置の種類と最大発生荷重及び定格荷重の比較

(解析範囲の最大反力点)

ブロック 番号	支持構造物番号	(注1) 節点 番号	支持装置種類	型式	発生 荷重 (N)	定格 荷重 (N)
①	4RC-2-1421SP	848 (注2)	スプリングハンガ (吊型)	VSA-10		5,500
	4RC-2-1425SP	818	スプリングハンガ (吊型)	VSA-12		9,760
	4RC-2-1448SP	891 (注2)	スプリングハンガ (吊型)	VSA-11		7,320
	4RC-2-1454SP	844	スプリングハンガ (吊型)	VSA-4		979

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) 申請範囲の評価点である。

d. Uボルト

Uボルトの最大発生荷重を第4-9表に示す。

第4-9表 Uボルトの最大発生荷重 (解析範囲の最大反力点)

ブロック 番号	支持構造物 番号	節点番号 (注1)	呼び径 (B)	引張方向 発生荷重 (N)	せん断方向 発生荷重 (N)
①	4RC-2-1452R	842	2		

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

e. Uバンド

Uバンドの最大発生荷重を第4-10表に示す。

第4-10表 Uバンドの最大発生荷重 (解析範囲の最大反力点)

ブロック 番号	支持構造物 番号	節点番号 (注1)	呼び径 (B)	発生荷重					
				F (N)	Q (N)	P (N)	M _F (N・m)	M _Q (N・m)	M _P (N・m)
①	4RC-2-1449A	1204	2						

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

f. ピン

ピンの最大発生荷重を第4-11表及び第4-12表に示す。

第4-11表 ピンの最大発生荷重（申請範囲）

ブロック 番号	支持構造物 番号	節点番号 ^(注1)	発生荷重 (N)
①	4RC-2-1401R	801	
	4RC-2-1403R	803	
	4RC-2-1405R	804	
	4RC-2-1406R	805	
	4RC-2-1408R	808	
	4RC-2-1417R	814	
	4RC-2-1426R	820	
	4RC-2-1428R	822	
	4RC-2-1429R	823	
	4RC-2-1431R	824	
	4RC-2-1433R	827	
	4RC-2-1441R	833	

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-12表 ピンの最大発生荷重（解析範囲の最大反力点）

ブロック 番号	支持構造物 番号	節点番号 ^(注1)	発生荷重 (N)
①	4RC-2-1426R	820 ^(注2)	

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) 申請範囲の評価点である。

g. サドル

サドルの最大発生荷重を第4-13表及び第4-14表に示す。

第4-13表 サドルの最大発生荷重（申請範囲）

ブロック 番号	支持構造物 番号	節点番号 ^(注1)	発生荷重 (N)
①	4RC-2-12R	806	
	4RC-2-15R	809	
	4RC-2-15R	809	
	4RC-2-35R	825	
	4RC-2-38R	828	
	4RC-2-38R	828	

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-14表 サドルの最大発生荷重（解析範囲の最大反力点）

ブロック 番号	支持構造物 番号	節点番号 ^(注1)	発生荷重 (N)
①	4RC-2-38R	828 ^(注2)	

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) 申請範囲の評価点である。

4.4.5 応力評価方法

支持構造物の応力算出式については、資料5-4「耐震計算方法」に示す耐震計算の方針に基づき計算を行う。

4.5 応力評価結果

「4.4. 配管の支持構造物の評価」に示す評価方法に基づき評価した評価結果の表番リストを第4-15表に示し、支持装置の強度及び耐震計算結果を第4-16表～第4-22表に示す。

申請範囲及び解析範囲に設置される支持装置のうち種類及び型式ごとの最大反力点の支持装置の発生値は評価基準値を満足しており、十分な強度及び耐震性を有することを確認した。

第4-15表 強度及び耐震計算結果表番リスト

(定格荷重における発生応力と許容応力の比較を行う支持装置)

番号	支持装置	荷重条件	設計温度	評価結果の表番
1	メカニカルスナバ	定格荷重		第4-16表
2	ロッドレストレイント	定格荷重		第4-17表
3	スプリングハンガ	定格荷重		第4-18表

(最大発生荷重における発生応力と許容応力の比較を行う支持装置)

番号	支持装置	荷重条件	設計温度	評価結果の表番
1	Uボルト	最大発生荷重		第4-19表
2	Uバンド	最大発生荷重		第4-20表
3	ピン	最大発生荷重		第4-21表
4	サドル	最大発生荷重		第4-22表

第4-16表(1/7) メカニカルスナバ<SMSタイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：①イーヤ ()

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)			
03	3	12	194	7	112	13	264	○		
06	6	23	194	14	112	26	264	○		
1	10	20	194	14	112	25	264	○		
3	30	52	194	31	112	56	264	○		
6	60	80	194	37	112	70	264	○		
10	100	114	194	48	112	89	264	○		

強度部材：②ロードコラム ()

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		評価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	
03	3		18	278	○
06	6		35	278	○
1	10		16	194	○
3	30		48	194	○
6	60		69	194	○
10	100		82	394	○

第 4-16 表 (2/7) メカニカルスナバ<SMS タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：③ケース、ベアリング押え及び六角ボルト (1/2) ケース

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		F _t (MPa)	f _t (MPa)	F _s (MPa)	f _s (MPa)	F _p (MPa)	f _p (MPa)			
03	3	2	278	9	160	12	379	○		
06	6	2	278	14	160	24	379	○		
1	10	2	194	11	112	21	264	○		
3	30	4	194	32	112	63	264	○		
6	60	6	194	38	112	83	264	○		
10	100	9	194	36	112	118	264	○		

ベアリング押え

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		せん断応力		支圧応力		評価
		F _s (MPa)	f _s (MPa)	F _p (MPa)	f _p (MPa)			
03	3	8	160	12	379	○		
06	6	16	160	24	379	○		
1	10	10	160	21	379	○		
3	30	29	160	63	379	○		
6	60	35	160	83	379	○		
10	100	37	160	118	379	○		

第 4-16 表 (3/7) メカニカルスナバ<SMS タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：③ケース，ベアリング押え及び六角ボルト (2/2)
六角ボルト ()

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		評価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	
03	3		107	394	○
06	6		95	394	○
1	10		79	394	○
3	30		177	394	○
6	60		199	394	○
10	100		148	394	○

強度部材：④ジャンクションコラムアダプタ (1/2)
六角ボルト ()

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		評価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	
03	3		36	394	○
06	6		48	394	○
1	10		45	394	○
3	30		85	394	○
6	60		118	394	○
10	100		111	394	○

第 4-16 表 (4/7) メカニカルスナバ<SMS タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：④ジャンクシヨコラムアダプタ (2/2)

溶接部 ()

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		せん断応力		評価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	
03	3		—	—	12	26 (注1)	○
06	6		—	—	11	26 (注1)	○
1	10		—	—	16	26 (注1)	○
3	30		12	46 (注1)	—	—	○
6	60		16	46 (注1)	—	—	○
10	100		21	46 (注1)	—	—	○

(注1) クラス1 支持構造物への適用を考慮した許容応力。非破壊検査を実施していないため、
JSME S NCI SSB-3121.1(1)b を適用する。

強度部材：⑤コネクティングチューブ ()

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	圧縮応力		評価
			発生 応力 F _c (MPa)	許容 応力 f _c (MPa)	
03	3		11	45	○
06	6		15	39	○
1	10		18	32	○
3	30		32	57	○
6	60		40	57	○
10	100		37	59	○

第 4-16 表 (5/7) メカニカルスナバ<SMS タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：⑥クランプ

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	
		F_t (MPa)	f_t (MPa)	F_s (MPa)	f_s (MPa)	F_p (MPa)	f_p (MPa)	F_p (MPa)	f_p (MPa)	
03	3	7	134	7	77	21	182	21	182	○
06	6	14	134	13	77	42	182	42	182	○
1	10	12	134	12	77	38	182	38	182	○
3	30	17	134	18	77	74	182	74	182	○
6	60	24	134	24	77	75	182	75	182	○
10	100	27	128	27	73	88	174	88	174	○

強度部材：⑦コネクティングチューブイエー部

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	
		F_t (MPa)	f_t (MPa)	F_s (MPa)	f_s (MPa)	F_p (MPa)	f_p (MPa)	F_p (MPa)	f_p (MPa)	
03	3	9	149	7	86	18	203	18	203	○
06	6	18	149	14	86	36	203	36	203	○
1	10	12	149	10	86	28	203	28	203	○
3	30	25	149	20	86	64	203	64	203	○
6	60	30	149	22	86	60	203	60	203	○
10	100	33	149	24	86	66	203	66	203	○

第 4-16 表 (6/7) メカニカルスナバ<SMS タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：⑧ピン

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	せん断応力		評価
			発生応力 F _s (MPa)	許容応力 f _s (MPa)	
03	3	[Redacted]	14	160	○
06	6		27	160	○
1	10		29	160	○
3	30		67	160	○
6	60		62	160	○
10	100		71	160	○

強度部材：⑨ユニバーサルボックス ([Redacted])

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
			発生応力 F _t (MPa)	許容応力 f _t (MPa)	発生応力 F _s (MPa)	許容応力 f _s (MPa)	発生応力 F _p (MPa)	許容応力 f _p (MPa)	
03	3	[Redacted]	8	128	5	73	12	174	○
06	6		16	128	10	73	24	174	○
1	10		16	128	10	73	27	174	○
3	30		31	128	18	73	59	174	○
6	60		43	128	26	73	73	174	○
10	100		55	117	31	67	91	160	○

第 4-16 表 (7/7) メカニカルスナバ<SMS タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：⑩ユニバーサルブラケット

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)			
03	3	11	149	8	86	21	203	203	○	
06	6	21	149	16	86	42	203	203	○	
1	10	16	149	13	86	38	203	203	○	
3	30	30	149	23	86	74	203	203	○	
6	60	38	149	27	86	75	203	203	○	
10	100	29	149	22	86	67	203	203	○	

強度部材：⑪ダイレクトアタッチブラケット

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)			
03	3	9	149	7	86	18	203	203	○	
06	6	18	149	14	86	36	203	203	○	
1	10	12	149	10	86	28	203	203	○	
3	30	25	149	20	86	64	203	203	○	
6	60	30	149	22	86	60	203	203	○	
10	100	33	149	24	86	66	203	203	○	

第 4-17 表 (1/6) ロッドレストレイント<RSA タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：①ブラケット ()

型式	定格荷重 P (kN)	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)	
1	10	12	149	10	86	28	203	○
3	30	25	149	20	86	64	203	○

強度部材：②ピン ()

型式	定格荷重 P (kN)	せん断応力		評価
		発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	
1	10	29	160	○
3	30	67	160	○

強度部材：③スヘリカルアイボルト ()

穴 部

型式	定格荷重 P (kN)	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)	
1	10	49	149	23	86	25	203	○
3	30	70	149	38	86	57	203	○

第 4-17 表 (2/6) ロッドレストレイント<RSA タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：④アジャストナット溶接部

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		評価
			発生応力 F _t (MPa)	許容応力 f _t (MPa)	
1	10		18	46 (注1)	○
3	30		32	46 (注1)	○

(注1) クラス1 支持構造物への適用を考慮した許容応力。非破壊検査を実施していないため、JSME S NCI SSB-3121.1(1)b を適用する。

強度部材：⑤パイプ

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	圧縮応力		評価
			発生応力 F _c (MPa)	許容応力 f _c (MPa)	
1	10		18	37	○
3	30		32	52	○

強度部材：⑥クランプ

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
			発生応力 F _t (MPa)	許容応力 f _t (MPa)	発生応力 F _s (MPa)	許容応力 f _s (MPa)	発生応力 F _p (MPa)	許容応力 f _p (MPa)	
1	10		12	134	12	77	38	182	○
3	30		17	134	18	77	74	182	○

第 4-17 表 (3/6) ロッドレストレイント<RSAM タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：①ブラケット

型式	定格荷重 P (kN)	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)	
1	10	12	149	10	86	28	203	○
3	30	25	149	20	86	64	203	○

強度部材：②ピン

型式	定格荷重 P (kN)	せん断応力		評価
		発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	
1	10	29	160	○
3	30	67	160	○

強度部材：③スヘリカルアイボルト (1/2)

穴部

型式	定格荷重 P (kN)	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
		発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)	
1	10	49	134	23	77	25	182	○
3	30	70	134	38	77	57	182	○

第 4-17 表 (4/6) ロッドレストレイント<RSAM タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：③スヘリカルアイボルト (2/2)
ボルト溶接部

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様 	せん断応力		評価
			発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	
1	10		32	33 (注1)	○
3	30		63	73	○

(注1) クラス1 支持構造物への適用を考慮した許容応力。非破壊検査を実施していないため、JSME S NCI SSB-3121.1(1)b を適用する。

ボルト部

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様 	引張応力		評価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	
1	10		43	128	○
3	30		57	128	○

強度部材：④コネクティングパイプ溶接部

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様 	せん断応力		評価
			発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	
1	10		24	49	○
3	30		38	59	○

第 4-17 表 (5/6) ロッドレストレイント<RSAM タイプ> 強度及び耐震評価結果

強度部材：⑤パイプ

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	圧縮応力		評価
			発生応力 F _c (MPa)	許容応力 f _c (MPa)	
1	10		21	82	○
3	30		36	99	○

強度部材：⑥タンバックスル

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		評価
			発生応力 F _t (MPa)	許容応力 f _t (MPa)	
1	10		52	128	○
3	30		45	117	○

強度部材：⑦イーヤ

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	せん断応力		評価
			発生応力 F _s (MPa)	許容応力 f _s (MPa)	
1	10		27	34 (注1)	○
3	30		44	77	○

(注1) クラス1 支持構造物への適用を考慮した許容応力。非破壊検査を実施していないため、JSME S NC1 SSB-3121.1 (1)b を適用する。

第 4-17 表 (6/6) ロッドレストレイント<RSAM タイプ> 強度及び耐震評価結果

型式	定格荷重 P (kN)	強度部材仕様	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
			発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	
1	10	⑧クランプ	F_t (MPa)	f_t (MPa)	F_s (MPa)	f_s (MPa)	F_p (MPa)	f_p (MPa)	○
3	30		12	134	12	77	38	182	○
			17	134	18	77	74	182	○

第4-18表(1/6) スプリングハンガ<VSAタイプ> の自重計算結果

強度部材：①イーヤ
穴部

型式	定格荷重	強度部材仕様	引張応力		せん断応力		支圧応力		評価
			発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	発生応力	許容応力	
VSA-4	P (N) 979		F_t (MPa)	f_t (MPa)	F_s (MPa)	f_s (MPa)	F_p (MPa)	f_p (MPa)	
VSA-10	5,500		6	134	6	77	11	182	○
VSA-11	7,320		10	134	10	77	20	182	○
VSA-12	9,760		13	134	13	77	26	182	○

溶接部

型式	定格荷重	強度部材仕様	せん断応力		評価
			発生応力	許容応力	
VSA-4	P (N) 979		F_s (MPa)	f_s (MPa)	
VSA-10	5,500		4	34 (注1)	○
VSA-11	7,320		9	34 (注1)	○
VSA-12	9,760		12	34 (注1)	○

(注1) クラスI 支持構造物への適用を考慮した許容応力。非破壊検査を実施していないため、JSME S NC1 SSB-3121.1(1)b を適用する。

第 4-18 表(2/6) スプリングハンガ<VSA タイプ> の自重計算結果

強度部材：②上部カバ
本体

型 式	定格 荷重 P (N)	強度部材仕様	曲げ応力		評 価
			発生 応力 F _b (MPa)	許容 応力 f _b (MPa)	
VSA-4	979		33	154	○
VSA-10	5,500		66	154	○
VSA-11	7,320		50	154	○
VSA-12	9,760		75	154	○

強度部材：③バネ座（ピストンプレート）

型 式	定格 荷重 P (N)	強度部材仕様	曲げ応力		評 価
			発生 応力 F _b (MPa)	許容 応力 f _b (MPa)	
VSA-4	979		30	154	○
VSA-10	5,500		74	154	○
VSA-11	7,320		56	154	○
VSA-12	9,760		72	154	○

第 4-18 表(3/6) スプリングハンガ<VSA タイプ> の自重計算結果

強度部材：④ハンガロッド

型 式	定 格 荷 重	強度部 材仕様	引張応力		評 価
			発生 応力 F_t (MPa)	許容 応力 f_t (MPa)	
VSA-4	P (N) 979		12	134	○
VSA-10	5,500		24	128	○
VSA-11	7,320		32	128	○
VSA-12	9,760		29	128	○

強度部材：⑤スプリングケース

型 式	定 格 荷 重	強度部材仕様	引張応力		評 価
			発生 応力 F_t (MPa)	許容 応力 f_t (MPa)	
VSA-4	P (N) 979		1	134	○
VSA-10	5,500		3	134	○
VSA-11	7,320		4	134	○
VSA-12	9,760		4	134	○

第 4-18 表 (4/6) スプリングハンガ<VSA タイプ> の自重計算結果

強度部材：⑥ 下部カバ
本 体

型 式	定格 荷重	強度部材仕様	曲げ応力		評 価
			発生 応力	許容 応力	
	P (N)		F_b (MPa)	f_b (MPa)	
VSA-4	979		9	154	○
VSA-10	5,500		38	154	○
VSA-11	7,320		50	154	○
VSA-12	9,760		44	154	○

強度部材：⑦ ターンバックル

型 式	定格 荷重	強度部材仕様	引張応力		評 価
			発生 応力	許容 応力	
	P (N)		F_t (MPa)	f_t (MPa)	
VSA-4	979		3	128	○
VSA-10	5,500		8	128	○
VSA-11	7,320		10	128	○
VSA-12	9,760		10	128	○

第 4-18 表 (5/6) スプリングハンガ<VSA タイプ> の自重計算結果

強度部材：⑧クレビスブラケット
本 体

型 式	定格 荷重	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評 価
		発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	
	P (N)	[Redacted]								
VSA-4	979									
VSA-10, 11	7, 320									
VSA-12	9, 760									

強度部材：⑨ピン

型 式	定格 荷重	強度部材仕様		曲げ応力		せん断応力		組合せ応力		評 価
		発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	
	P (N)	[Redacted]								
VSA-4	979									
VSA-10, 11	7, 320									
VSA-12	9, 760									

強度部材：⑩アイボルト
穴 部

型 式	定格 荷重	強度部材仕様		引張応力		せん断応力		支圧応力		評 価
		発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	
	P (N)	[Redacted]								
VSA-4	979									
VSA-10, 11	7, 320									
VSA-12	9, 760									

第 4-18 表 (6/6) スプリングハンガ<VSA タイプ> の自重計算結果

強度部材：⑩アイボルト (2/2)
ボルト部

型 式	定格 荷重 P (N)	強度部材 仕様	引張応力		評 価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	
VSA-4	979		12	134	○
VSA-10, 11	7, 320		32	128	○
VSA-12	9, 760		29	128	○

強度部材：⑪クランプ

型 式	定格 荷重 P (N)	強度部材仕様	引張応力		せん断応力		支圧応力		評 価
			発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _p (MPa)	許容 応力 f _p (MPa)	
VSA-4	979		1	134	2	77	4	182	○
VSA-10, 11	7, 320		7	134	9	77	13	182	○
VSA-12	9, 760		5	134	6	77	11	182	○

第4-19表 Uボルト 強度及び耐震評価結果

支持 構造物 番号	節点番号 ^(注1)	呼び径 (B)	材質	せん断 方向 荷重 P (N)	せん断 方向 荷重 Q (N)	引張応力		せん断応力		組合せ応力		評価
						発生 応力 F _t (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _t +1.6F _s (MPa)	許容 応力 1.4f _t (MPa)	
4RC-2-1452R	842	2				36	111	30	64	83	156	○

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-20表 Uバンド 強度及び耐震評価結果

作用する最大発生荷重

支持構造物番号	節点番号 (注1)	呼び径 (B)	バンド材質	ボルト材質	各方向荷重			各方向モーメント		
					引張方向 P (N)	せん断方向 Q (N)	軸方向 F (N)	引張方向 M _p (N・m)	せん断方向 M _q (N・m)	軸方向 M _f (N・m)
4RC-2-1449A	1204	2					320	260	120	

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

応力評価結果

支持構造物番号	節点番号 (注1)	引張応力			せん断応力			組合せ応力			許容荷重 F ₀ (N)	許容ねじりモーメント (N・m)	評価
		発生応力	許容応力	F _t (MPa)	発生応力	許容応力	F _s (MPa)	発生応力	許容応力	F _t +1.6F _s (MPa)			
4RC-2-1449A	1204	32	111	64	50	111	111	156	5,500	333	○		

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-21表 ピン 強度及び耐震評価結果
強度部材：①ピン

支持構造物 番号	節点 番号 (注1)	最大 使用 荷重 (N)	強度部材仕様	曲げ応力		せん断応力		組合せ応力		評価
				発生 応力 F _b (MPa)	許容 応力 f _b (MPa)	発生 応力 F _s (MPa)	許容 応力 f _s (MPa)	発生 応力 F _m (MPa)	許容 応力 f _t (MPa)	
4RC-2-1401R	801	36,000		150	539	19	228	154	395	○
4RC-2-1403R	803	22,000		144	539	23	228	149	395	○
4RC-2-1405R	804	18,000		190	539	29	228	196	395	○
4RC-2-1406R	805	11,000		116	539	18	228	120	395	○
4RC-2-1408R	808	9,000		95	539	15	228	98	395	○
4RC-2-1417R	814	17,000		179	539	28	228	185	395	○
4RC-2-1426R	820	39,000		163	539	21	228	166	395	○
4RC-2-1428R	822	22,000		144	539	23	228	149	395	○
4RC-2-1429R	823	17,000		179	539	28	228	185	395	○
4RC-2-1431R	824	11,000		116	539	18	228	120	395	○
4RC-2-1433R	827	9,200		97	539	15	228	100	395	○
4RC-2-1441R	833	26,000		76	379	14	160	80	278	○

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-22表(1/2) サドル 強度及び耐震評価結果
 強度部材： ①プレート (材料： SS400) (1/2)
 プレート

支持構造物 番号	節点番号 (注1)	定格 荷重 P (N)	強度部材仕様	圧縮応力		評 価
				発生 応力 F _c (MPa)	許容 応力 f _c (MPa)	
4RC-2-12R	806	24,000		16	123	○
4RC-2-15R	809	7,300		9	123	○
4RC-2-15R	809	33,000		37	123	○
4RC-2-35R	825	22,000		14	123	○
4RC-2-38R	828	9,800		7	123	○
4RC-2-38R	828	57,000		36	123	○

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

第4-22表(2/2) サドル 強度及び耐震評価結果
 強度部材：①プレート (材料：SS400) (2/2)
 溶接部

支持構造物 番号	節点番号 (注1)	定格 荷重 (N)	強度部材仕様	圧縮応力		評 価
				発生 応力 F_s (MPa)	許容 応力 f_s (MPa)	
4RC-2-12R	806	24,000		17	27 (注2)	○
4RC-2-15R	809	7,300		6	27 (注2)	○
4RC-2-15R	809	33,000		26	27 (注2)	○
4RC-2-35R	825	22,000		15	27 (注2)	○
4RC-2-38R	828	9,800		5	27 (注2)	○
4RC-2-38R	828	57,000		26	27 (注2)	○

(注1) 節点番号は「2. 配管の耐震計算結果」による。

(注2) クラス I 支持構造物への適用を考慮した許容応力。非破壊検査を実施していないため、
 JSME S NC1 SSB-3121.1(1)bを適用する。

資料 5 - 6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

	頁
1. 概要	04-添5-6-1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	04-添5-6-1
3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	04-添5-6-1
3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	04-添5-6-1
3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	04-添5-6-3
3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	04-添5-6-3
3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	04-添5-6-3
3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	04-添5-6-4
3.6 まとめ	04-添5-6-4

1. 概要

本資料は、資料5-1「耐震設計の基本方針」のうち「9. 耐震計算の基本方針」及び平成29年8月25日付け原規規発第1708255号にて認可された工事計画の資料13-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により、申請設備が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

大飯発電所の基準地震動 $Ss-1$ ～ $Ss-19$ について、原則として全ての地震動を評価対象とする。ただし、各ブロックの評価を行う際には必要に応じてその包絡関係を確認し、代表できると判断できるものについては、個別に代表地震動を選定して評価を行うものとする。

3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を、第3-1表に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を以下の項目より検討し、影響の可能性がある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響有無を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理するが、申請設備について、該当するものはなかった。

- a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの
申請設備について、該当するものはない。
- b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの
申請設備について、該当するものはない。
- c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等といえるもの
申請設備について、該当するものはない。

- d. 従来評価で保守性を考慮しており、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても影響が軽微であるもの
申請設備について、該当するものはない。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じ、さらに新たな応力成分が作用する可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系の設備について、一般的な補機の場合は水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっており、評価上有意なねじれ振動等は発生しない。

ただし、水平方向に広がりのある配管系の設備の場合、各構成要素は水平各軸方向に対して均等な構造でありねじれ振動は起こりにくいが、系全体として考えた場合は、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される設備はなかった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1) (2)において影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平 2 方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares（以下「非同時性を考慮した SRSS 法」という。）により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。

- ・ 従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみを組み合わせ、地震以外の応力と組み合わせで算出する。

3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

平成29年8月25日付け原規規発第1708255号にて認可された工事計画の資料13-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の3.1.2項及び3.3.4項における建物・構築物及び屋外重要土木構造物の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

今回の工事は、建物・構築物及び屋外重要土木構造物を変更するものではないため、本検討結果への影響はない。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.1項で抽出した結果を第3-2表に示す。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

第3-2表で抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮したSRSS法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来の水平1方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平2方向及び鉛直方向の地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・ 水平各方向及び鉛直方向の地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・ 水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・ 水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・ 発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

3.4 項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認する。評価した内容を以下に示し、その影響評価結果について第3-3表に示す。

a. 配管本体（一次冷却材の循環設備及び化学体積制御設備配管）

従来設計では、水平各方向の床応答曲線をそれぞれ用いた配管の地震応答解析を考慮し発生値を算定し評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、上記の発生値をSRSS法により組み合わせることで算定し、許容値を満足することを確認した。

3.6 まとめ

申請設備において、水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、従来設計の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、従来設計の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、鉛直方向地震力による応力成分が重複されたまま水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているなど簡易的に保守側となる扱いをしている。また、従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を応答軸方向に入力している設備は上記以外にも保守側となる要因を含んでいる。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、申請設備が有する耐震性に影響がないことを確認した。

第 3-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備	部位
配管本体、サポート (多質点梁モデル解析)	配管
	サポート

第 3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(凡例) ○：影響の可能性あり
 △：影響軽微
 -：該当なし

設備及び部位	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.1 項(1)及び(2)の観点	3.1 項(3)の観点	検討結果
配管本体、サポート (多質点梁モデル解析)	○ (配管)	○ (一次冷却材の循環設備及び化学体積制御設備配管)	影響評価結果は第 3-3 表参照
	○ (サポート)	△	水平 2 方向及び鉛直方向地震力による増分は耐震性への影響が懸念されるものではない

第 3-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

評価対象設備		評価部位	重要度分類	応力分類	従来 発生値	2 方向 想定 発生値	許容値	備考
					MPa	MPa	MPa	
原子炉冷却 系統施設	一次冷却材の循 環設備及び 化学体積制御設備 配管	配管本体	S クラス	一次応力	226	320	343	
				一次＋ 二次応力	705 ^(注1)	815 ^(注1)	343	
				疲労評価	0.40684	0.62110	1.0	単位無し

(注 1) 許容値を超えているため簡易弾塑性解析を行う。

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

	頁
1. はじめに	04-別紙-1
2. 解析コードの概要	04-別紙-2
2.1 MSAP 	04-別紙-2

1. はじめに

本資料は、資料5「耐震性に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

2. 解析コードの概要

2.1 MSAP []

2.1.1 MSAP [] の概要

対象：配管

項目 \ コード名	MSAP []
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	[]
使用したバージョン	[]
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による構造解析、応力算出
コードの概要	強度及び耐震計算で使用している解析コード MSAP は、 []
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	MSAP [] は、JSME クラス 1 配管の 3次元有限要素法（はり要素）による構造解析、応力算出に使用している。 【検証(Verification)】 []

【妥当性確認 (Validation)】

資料 6 強度に関する説明書

目 次

資料 6 - 1 強度計算の基本方針

資料 6 - 2 強度計算方法

資料 6 - 3 強度計算結果

別添 1 原子炉冷却材圧力バウンダリに属する配管に対する L B B 成立性評価結果に関する説明書

別紙 計算機プログラム（解析コード）の概要

資料 6 - 1 強度計算の基本方針

目 次

	頁
1. 概要	04-添 6-1-1
2. 機器等の区分	04-添 6-1-1
3. クラス 1 弁及びクラス 1 管の強度計算の基本方針	04-添 6-1-2

1. 概要

本資料は、申請範囲の弁及び管の材料及び構造について「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第17条に規定されている設計基準対象施設に属する機器として、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 機器等の区分

申請範囲の弁及び管について、技術基準規則に基づく機器等の区分を第2-1表に示す。

第2-1表 機器等の区分

機器 区分	名称	設計基準対象施設	重大事故等対処設備
		機器クラス	重大事故等機器クラス
主要 弁	化学体積制御設備弁 (4V-CS-171)	クラス1	—
主 配 管	一次冷却材の循環設備配管 (加圧器スプレイ配管) (加圧器補助スプレイ配管) 化学体積制御設備配管 (加圧器補助スプレイ配管)	クラス1	—

3. クラス 1 弁及びクラス 1 管の強度計算の基本方針

申請範囲のクラス 1 弁及びクラス 1 管は、日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格」(JSME S NJ1-2012) (以下「材料規格」という。) に規定されている材料を使用する設計とし、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2012) (以下「JSME」という。) 及び材料規格による評価を実施する。

資料 6 - 2 強度計算方法

目 次

	頁
1. 概要	04-添 6-2-1
2. クラス 1 弁の強度計算方法	04-添 6-2-2
2.1 記号の定義	04-添 6-2-2
2.2 強度計算方法	04-添 6-2-4
3. クラス 1 管の強度計算方法	04-添 6-2-7
3.1 記号の定義	04-添 6-2-7
3.2 強度計算方法	04-添 6-2-13
3.3 応力解析の方針	04-添 6-2-19
4. 強度計算書のフォーマット	04-添 6-2-64
4.1 強度計算書のフォーマットの概要	04-添 6-2-64
4.2 記載する数値に関する注意事項	04-添 6-2-64
4.3 強度計算書のフォーマット	04-添 6-2-64

1. 概要

本資料は、資料6-1「強度計算の基本方針」に従い、クラス1弁及びクラス1管の強度計算方法について説明するものである。

2. クラス 1 弁の強度計算方法

2.1 記号の定義

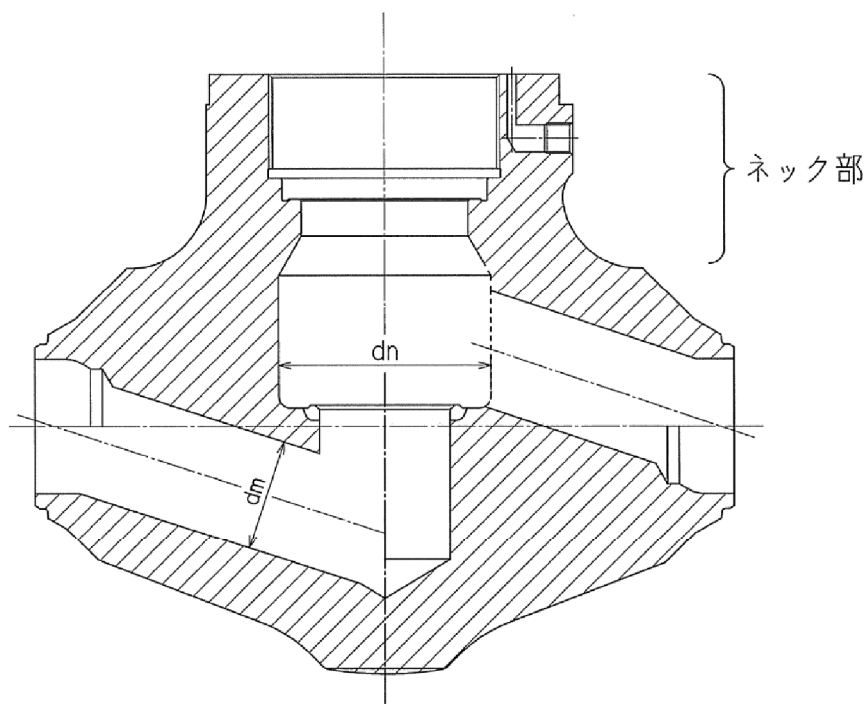
弁箱、弁ふた、管台の厚さ計算に用いる記号については次のとおりである。

2.1.1 弁箱等の厚さ計算に使用するもの

弁箱等の厚さ計算に使用する記号の定義を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 弁箱等の厚さ計算に使用するもの

記号	単位	定 義
t	mm	弁箱又は弁ふたの計算上必要な厚さ
t_1 t_2	mm	それぞれ JSME 別表 3 の呼び圧力 (JSME 別表 1-1 において、 P_1 、 P_2 に対応する呼び圧力をいう) の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値
t_m	mm	弁箱のネック部の計算上必要な厚さ
d_n	mm	第 2-1 図「ネック部内径 d_n 及び弁入口流路内径 d_m 」に示すネック部内径
d_m	mm	第 2-1 図「ネック部内径 d_n 及び弁入口流路内径 d_m 」に示す弁入口流路内径
P	MPa	最高使用圧力
P_1	MPa	最高使用温度における JSME 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力
P_2	MPa	最高使用温度における JSME 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力



第 2-1 図 ネック部内径 d_n 及び弁入口流路内径 d_m

2.1.2 管台の厚さ計算に使用するもの

弁に管台は設けないので、管台の厚さ計算に使用するものの記号の記載は省略する。

2.1.3 弁箱の応力解析に使用するもの

弁に接続する管の外径は 115mm 以下であるので、弁箱の応力解析に使用するものの記号の記載は省略する。

2.1.4 弁体の応力計算に使用するもの

弁に接続する管の外径は 115mm 以下であるので、弁体の応力解析に使用するものの記号の記載は省略する。

2.1.5 弁箱及び弁ふたのフランジ、ボルトの応力計算に使用するもの

弁に接続する管の外径は 115mm 以下であるので、弁箱及び弁ふたのフランジ、ボルトの応力計算に使用するものの記号の記載は省略する。

2.1.6 弁箱の形状規定に使用するもの

弁に接続する管の外径は 115mm 以下であるので、弁箱の形状規定に使用するものの記号の記載は省略する。

2.2 強度計算方法

2.2.1 一般要求 (JSME VVB-3010)

申請対象弁は逆止め弁であり、金属ベロー弁及び金属ダイヤフラム弁ではない。

2.2.2 圧力温度基準の一般要求 (JSME VVB-3110)

申請対象弁の設計には、材料の種類及び使用する温度に従い、JSME 別表 1-1 に規定する許容圧力 (圧力温度基準) を用いている。

なお、中間温度での許容圧力は比例補間法により求めた値を使用している。また、材料は、JSME 別表 1-1 に規定する温度範囲で使用している。

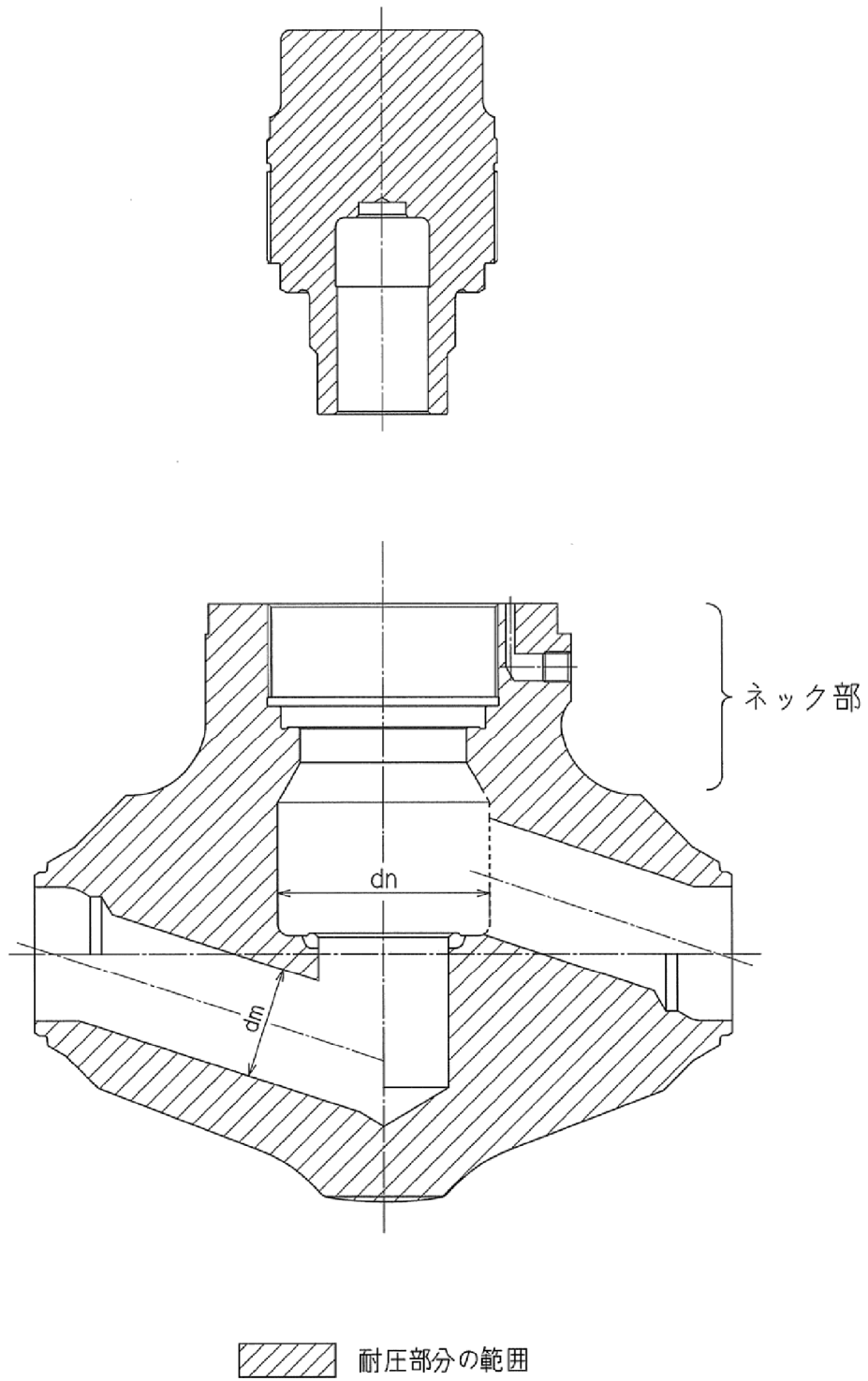
2.2.3 弁箱、弁ふた及び弁箱ネック部の厚さ計算 (JSME VVB-3210)

弁箱、弁ふた及び弁箱ネック部の耐圧部分^(注1)の厚さは、第2-2表の計算式により求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

第2-2表 弁箱、弁ふた及び弁箱ネック部の厚さ計算

区 分	適用規格番号	計 算 式
弁箱及び弁ふたの計算上必要な厚さ $\left(\frac{d_n}{d_m} \text{ が } 1.5 \text{ を超える} \right)$ ものの弁箱のネック部を除く	JSME VVB-3210 (1)	$t = t_1 + \frac{(P - P_1)(t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$
$\frac{d_n}{d_m}$ が 1.5 を超えるものの弁箱のネック部の計算上必要な厚さ	JSME VVB-3210 (2)	$\frac{d_n}{d_m} \text{ が } 1.5 \text{ を超える場合}$ $t_m = \frac{2 d_n t}{3 d_m}$

(注1) 弁箱及び弁ふたの耐圧部分の範囲を代表例として第2-2図「弁箱及び弁ふたの代表例」に示す。



第 2-2 図 弁箱及び弁ふたの代表例

2.2.4 管台の厚さ計算 (JSME VVB-3220)

弁に管台は設けないので、計算式の記載は省略する。

2.2.5 応力計算 (JSME VVB-3300)

弁に接続する管の外径は115mm以下であるので、計算式の記載は省略する。

2.2.6 弁の形状 (JSME VVB-3400)

弁に接続する管の外径は115mm以下であるので、計算式の記載は省略する。

3. クラス1管の強度計算方法

3.1 記号の定義

管の厚さ計算、補強計算及び応力計算に用いる記号については次のとおりである。

3.1.1 厚さ計算に使用するもの

厚さ計算に使用する記号の定義を第3-1表に示す。

第3-1表 厚さ計算に使用するもの

記号	単位	定義
t	mm	管の計算上必要な厚さ
D ₀	mm	管の外径
P	MPa	最高使用圧力
S _m	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第1章 表1に規定する設計応力強さ

3.1.2 補強計算に使用するもの

補強計算に使用する記号の定義を第3-2表に示す。

第3-2表 補強計算に使用するもの

記号	単位	定義
d	mm	穴の直径
R	mm	主管の平均半径
T_s	mm	主管の厚さ
p	mm	穴の中心からの距離
T_{sR}	mm	主管の計算上必要な厚さ
D_o	mm	主管の外径
T_{NR}	mm	管台の計算上必要な厚さ
d_o	mm	主管に接続される管台の外径
ℓ_a	mm	穴の中心線に平行な直線間の距離
D_1	mm	穴の径
t	mm	管台の厚さ
ℓ_b	mm	主管の面に沿う線と主管の面との距離
r_m	mm	管台の平均半径
t_n	mm	管台壁の厚さ
$G_1 \sim G_4$	mm	溶接部脚長
r_i	mm	管台の内半径
t_p	mm	接続される分岐管の厚さ
x	mm	傾斜面の食違い

記号	単位	定義
P	MPa	最高使用圧力
S_m	MPa	最高使用温度における材料規格 Part3 第1章 表1に規定する材料の設計応力強さ
S_{mn}	MPa	管台、強め材、溶接金属の設計応力強さ
S_{ms}	MPa	主管の設計応力強さ
A1～A3	mm ²	補強に有効な断面積
A_r	mm ²	補強に必要な断面積
A_T	mm ²	補強に有効な断面積の和
θ	°	分岐管の中心線と主管の中心線との交角

3.1.3 応力計算に使用するもの

応力計算に使用する記号の定義を第3-3表に示す。

第3-3表 応力計算に使用するもの

記号	単位	定 義
D_0	mm	管の外径
t	mm	管の厚さ
d_a d_b	mm	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側における管の内径
t_a t_b	mm	ℓ_a 及び ℓ_b の範囲内における管の平均厚さ $\ell_a = \sqrt{d_a t_a}$ $\ell_b = \sqrt{d_b t_b}$
P	MPa	JSME PPB-3520 最高使用圧力
		JSME PPB-3552 供用状態Cにおいて生ずる圧力
		JSME PPB-3562 供用状態Dにおいて生ずる圧力
P_0	MPa	供用状態A及びBにおいて生ずる圧力
P_0'	MPa	供用状態における最大圧力
$S_{pr m}$	MPa	一次応力
S_m	MPa	各温度における材料規格 Part3 第1章 表1に定める設計応力強さ
S_n	MPa	一次＋二次応力
$E_{a b}$	MPa	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温におけるJSME PPB-3724に規定する縦弾性係数の平均値
E	MPa	室温におけるJSME PPB-3724に規定する縦弾性係数
S_p	MPa	ピーク応力
S_ℓ	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_e	MPa	熱膨張応力
S_y	MPa	各温度における材料規格 Part3 第1章 表6に定める設計降伏点
B_1 $B_{2 b}$ $B_{2 r}$ B_2 C_1 $C_{2 b}$ $C_{2 r}$ C_3 C_2 K_1 $K_{2 b}$ $K_{2 r}$ K_3	—	JSME PPB-3810に規定する応力係数

記号	単位	定 義
K_2 C_3'	—	JSME PPB-3810に規定する応力係数
K_e	—	繰返しピーク応力強さの割増し係数
K	—	JSME PVB-3315に規定する応力係数
B_0 q A_0	—	JSME PVB-3315の表に掲げる材料の種類に応じ、それぞれ同表に掲げる値
y	—	JSME PPB-3536の表に掲げる x の区分に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる値
x	—	JSME PPB-3536により計算した値
C_4	—	JSME PPB-3536に規定する係数
U	—	疲労累積係数
Z_b	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数
Z_i	mm^3	管の断面係数
M_{bp}	$\text{N}\cdot\text{mm}$	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重により生ずるモーメント
M_{rp}	$\text{N}\cdot\text{mm}$	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重により生ずるモーメント
M_{ip}	$\text{N}\cdot\text{mm}$	管の機械的荷重により生ずるモーメント
M_{bs}	$\text{N}\cdot\text{mm}$	JSME PPB-3531及びPPB-3532 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱膨張、支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く）により生ずるモーメント
		JSME PPB-3536(3) 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の支持点の変位（熱によるものを除く）及び機械的荷重（自重を除く）により生ずるモーメントの変動範囲
		JSME PPB-3536(6) 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント

記号	単位	定 義
M_{rs}	N・mm	JSME PPB-3531及びPPB-3532 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱膨張、支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く）により生ずるモーメント
		JSME PPB-3536(3) 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の支持点の変位（熱によるものを除く）及び機械的荷重（自重を除く）により生ずるモーメントの変動範囲
		JSME PPB-3536(6) 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント
M_{is}	N・mm	JSME PPB-3531及びPPB-3532 管の熱膨張、支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く）により生ずるモーメント
		JSME PPB-3536(3) 管の支持点の変位（熱によるものを除く）及び機械的荷重（自重を除く）により生ずるモーメント
		JSME PPB-3536(6) 管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント
α_a α_b	mm/mm°C	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における室温におけるJSME PPB-3723に規定する線膨張係数
α	mm/mm°C	室温におけるJSME PPB-3723に規定する線膨張係数
T_a T_b	°C	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の計算式により計算した範囲 l_a 、 l_b 内の平均温度 $l_a = \sqrt{d_a t_a}$ $l_b = \sqrt{d_b t_b}$
ΔT_1 ΔT	°C	線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面の温度差
ΔT_2	°C	管の内面又は外面において生ずる温度とそれに対応する線形化した温度との差のうちいずれか大きい方の温度（負の場合は、0とする）

3.2 強度計算方法

3.2.1 管

- (1) クラス1管の材料及び構造の特例 (JSME PPB-1210)

申請範囲の管の材料及び構造については、PPBの条項に従うこととする。

- (2) 応力の制限 (JSME PPB-3111)

申請範囲の管の耐圧設計はPPB-3400の規定に従って行い、配管系の応力解析はPPB-3500に従って行い、応力係数はPPB-3810に与えられているものを用いる。

また、申請範囲の管にはクラッド鋼は使用しない。

- (3) クラス1容器規定による設計 (JSME PPB-3112)

申請範囲の管はクラス1容器規定による設計は行わない。

- (4) 直管の厚さ計算 (JSME PPB-3411)

申請範囲の管の厚さは、第3-4表の計算式により求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

申請範囲の管は外面に圧力は受けないので、JSME PPB-3411(2)の厚さ計算は行わない。

また、炭素鋼鋼管は申請範囲に使用しない。

第3-4表 直管の厚さ計算

区 分	適用規格番号	計 算 式
内圧を受ける管	JSME PPB-3411(1)	$t = \frac{P D_o}{2 S_m + 0.8 P}$

- (5) 曲げ管の厚さ計算 (JSME PPB-3412)

申請範囲の管の厚さは、JSME PPB-3411の規定により必要とされる厚さ以上であることを確認する。

- (6) 平板の厚さ (JSME PPB-3413)

申請範囲には管の平板は使用しない。

- (7) フランジ (JSME PPB-3414)

申請範囲にはフランジ継手は使用しない。

- (8) 管継手 (JSME PPB-3415)

申請範囲の管継手はJSME PPB-3415に適合するものを使用する。

なお、厚さは、当該継手に接続される管のJSME PPB-3411の規定により必要とされる厚さ以上であることを確認する。

(9) 穴の補強計算 (JSME PPB-3420)

a. 補強の要否の検討 (JSME PPB-3422)

管に管台等を設けるための穴は円形又はだ円形とし、穴をあけた場合、原則として補強をする必要がある。

ただし、第3-5表に示す要求事項を満足する場合は補強する必要はない。

第3-5表 補強の要否の検討

項 目	適用規格番号	計 算 式
穴 の 補 強 が 不 要 と な る 場 合	JSME PPB-3422(1)	穴の周辺部に対して、JSME PVB-3100に準じて応力解析及び疲労解析を行い、これに適合する場合
	JSME PPB-3422(2)	円形の穴で次に適合する場合 a. 穴の直径が次の式より計算した値を超えないこと $d = 0.2 \sqrt{R T_S}$ (穴は1箇所のため、b. 項以降は省略)

b. 補強計算 (JSME PPB-3424)

前項a.の補強の要否の検討において要求事項を満足しない場合は、次の手順により補強計算を行い、JSME PPB-3424に基づいて「穴の中心を含み、かつ、主管の面に垂直な任意の平面に現われる断面について、補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が補強に必要な面積より大きい」ことを確認する。

(a) 補強計算に使用する計算上必要な厚さ

補強計算に使用する計算上必要な厚さを第3-6表に示す。

第3-6表 補強計算に使用する計算上必要な厚さ

項 目	区分	適用規格番号	計 算 式
補 強 計 算 に 使 用 す る 計 算 上 必 要 な 厚 さ	主管	JSME PPB-3411(1)	$T_{SR} = \frac{P D_0}{2 S_m + 0.8 P}$
	管台	JSME PPB-3411(1)	$T_{NR} = \frac{P d_0}{2 S_m + 0.8 P}$

(b) 補強に有効な範囲、補強に有効な面積及び補強に必要な面積

補強に有効な範囲、補強に有効な面積及び補強に必要な面積を第3-7表に示す。

(第3-1図、第3-2図参照)

第3-7表 補強に有効な範囲、補強に有効な面積及び補強に必要な面積

項 目	適用規格番号	計 算 式
補強に有効な範囲	JSME PPB-3424(1)a.	<ul style="list-style-type: none"> ・ 穴の中心線から等距離にある穴の中心線に平行な2本の直線の間隔 $\ell_a = AB = CD$とし、ℓ_aは、 $\left\{ \begin{array}{l} 2D_1 \\ D_1 + 2(T_s + t) \end{array} \right\}$ 大きい方を採用 ・ 主管面に沿う直線と主管面との間隔 $\ell_b = AA' = BB' = CC' = DD'$ とし、ℓ_bは、$0.5\sqrt{r_m t_n}$
補強に有効な面積	JSME PPB-3424(1)b.	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補強に有効な面積の和 $A_T = A_1 + A_2 + A_3$ ・ 主管の余肉の断面積 $A_1 = (T_s - T_{sR})(\ell_a - D_1)$ ・ 管台の余肉の断面積^(注1) $A_2 = 2\ell_b(t - T_{NR})$ ・ 溶接部の断面積^(注1、3) $\ell_b \geq G_2, G_4$ $A_3 = \frac{1}{2}(G_1 G_2 + G_3 G_4)$ $\ell_b < G_2, G_4$ $A_3 = \frac{\ell_b}{2} \left[\left\{ \frac{G_1}{G_2}(G_2 - \ell_b) + G_1 \right\} + \left\{ \frac{G_3}{G_4}(G_4 - \ell_b) + G_3 \right\} \right]$
補強に必要な面積	JSME PPB-3424(1)c.	$A_r = D_1 T_{sR} (2 - \sin \theta)$
評 価	A_T は A_r より大きいことを確認する	

項目	適用規格番号	計算式
その他の適合条件	JSME PPB-3424(4)	補強に必要な面積の3分の2以上の補強に有効な面積は、穴の中心から次の計算式により計算した値に等しい距離内にあること。 $p = r + 0.5 \sqrt{R T_s}$ rは、穴の径 (D ₁) の2分の1
	JSME PPB-3424(5)	補強に必要な面積の2分の1以上の補強に有効な面積は、穴の中心線の両側にあること。

(注1) $S_{mn} = S_{ms}$ のため、 $S_{mn} = S_{ms}$ として計算する。

(JSME PPB-3424(6))

$S_{mn} = S_{ms}$ のため、管台、強め材、溶接金属の補強に有効な面積に $\frac{S_{mn}}{S_{ms}}$ を乗

じない。

(JSME PPB-3424(7))

(注2) 補強計算における下記要求事項は、あらかじめ満足するような構造としているので、計算書内の記載を省略するものとする。

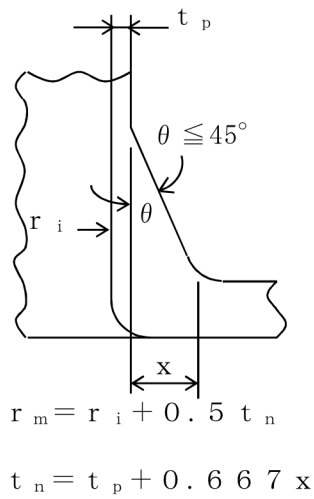
(a) 2以上の穴が、穴の補強に有効な範囲と重なり合う設計としない。

(JSME PPB-3424(2))

(b) 管台、強め材又は溶接金属の材料の線膨張係数は、主管の材料の線膨張係数の0.85倍以上、1.15倍以下の材料を選定する。

(JSME PPB-3424(3))

(注3) 今回評価を行う管台は、 $G_1 = G_3$ 及び $G_2 = G_4$ である。



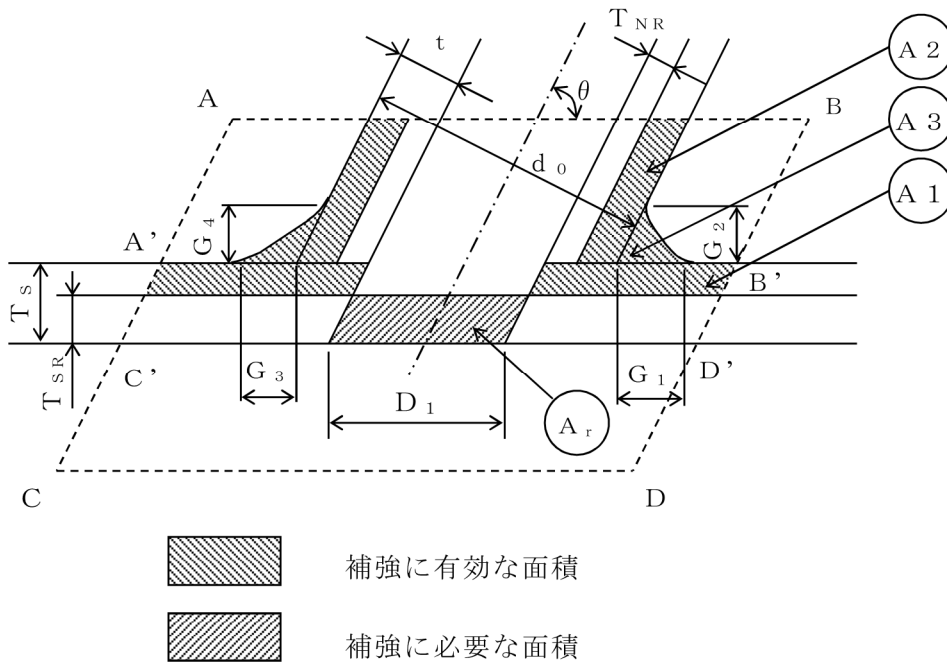
本図中の記号は次のとおり読み替えるものとする。

本図の記号	読み替える記号	
t_p	t	管台の厚さ
x	$G_1、G_3$	溶接部脚長

第3-1図 管台の形状図

(c) 補強計算説明図

補強計算説明図を第3-2図に示す。



第3-2図 補強計算説明図

(10) 管の接続 (JSME PPB-3430)

申請範囲の管の接続については、すべて管の軸に垂直な断面で溶接する。

(11) 応力計算 (JSME PPB-3500、PPB-3700及びPPB-3800)

線膨張係数は材料規格 Part3 第2章 表2、縦弾性係数は材料規格 Part3 第2章 表1の値を用いて算出し、ポアソン比を0.3として応力計算を行う。

応力計算は3.3項「応力解析の方針」に従って行い、得られた応力解析の結果が許容値を満足することを確認する。ただし、JSME PPB-3531の規定に適合する場合は、JSME PPB-3536に規定の簡易弾塑性解析は行わない。

3.3 応力解析の方針

3.3.1 概要

応力解析は、一次冷却材の循環設備配管（加圧器スプレイ配管及び加圧器補助スプレイ配管）及び化学体積制御設備配管（加圧器補助スプレイ配管）について形状、寸法及び荷重条件に基づき、応力計算及び疲労解析を行い、得られた応力解析の結果が許容値を満足することを確認する。

3.3.2 解析箇所

一次冷却材の循環設備配管（加圧器スプレイ配管及び加圧器補助スプレイ配管）及び化学体積制御設備配管（加圧器補助スプレイ配管）の申請範囲について、一次応力等の発生応力及び疲労累積係数の評価を行う。

3.3.3 荷重条件

使用する荷重条件を次に示す。

(1) 設計条件

加圧器スプレイ配管及び加圧器補助スプレイ配管における最高使用圧力、最高使用温度及び使用温度について、資料6-3「強度計算結果」の第3-4表「ブロック①配管仕様」に示す。

(2) 外荷重

外荷重として考慮するものは、次の機械的荷重及び熱膨張荷重である。

- a. 管の自重
- b. 管の熱膨張荷重
- c. 事故時荷重
- d. 機械的荷重（自重を除く）

(3) 設計過渡条件

分岐管がプラントの起動停止等で受ける繰返し荷重に対して、その健全性を評価するために設計過渡条件に示す過渡の状態と回数を考慮する。

分岐管は、運転状態及びその状態の移行に伴って、多様な圧力と温度の過渡状態が発生し、これらを受けることになる。

分岐管の健全性を評価する目的として与える過渡状態は、実際に発生する状態を十分満足するよう包絡し、分岐管の解析のために十分苛酷かつ頻繁なものとしている。

分岐管は1次冷却材管及び分岐管固有の過渡を受ける。

今回申請する管に適用する設計過渡条件を第3-8表に示す。

第3-8表 適用設計過渡条件

機 器 名 称	接 続 機 器	適用設計過渡条件
加圧器スプレイ配管 加圧器補助スプレイ配管	1次冷却材管ループ低温側	第3-10表 第3-11表

(4) 各供用状態で考慮すべき運転状態での荷重

運転状態Ⅰ～Ⅳで考慮する荷重と供用状態A～Dで考慮する荷重の対応を第3-9表に示す。

第3-9表 各供用状態で考慮すべき運転状態での荷重

	供用状態 A	供用状態 B	供用状態 C	供用状態 D
運転状態Ⅰ	○			
運転状態Ⅱ		○		
運転状態Ⅲ			○	
運転状態Ⅳ				○

第3-10表 1次冷却系统设计过渡条件 (1/2)

記号		運 転 状 態 I		備 考
過 渡 条 件	回 数	設 計 過 渡 図 番		
I-a		第3-3図		
I-b		第3-3図		
I-c		第3-4図		
I-d		第3-5図		
I-e		第3-6図		
I-f		第3-7図		
I-g		第3-8図		
I-h		-		
I-i		-		
I-j		第3-9図		
I-k		第3-10図		
I-l		第3-11図 第3-12図		

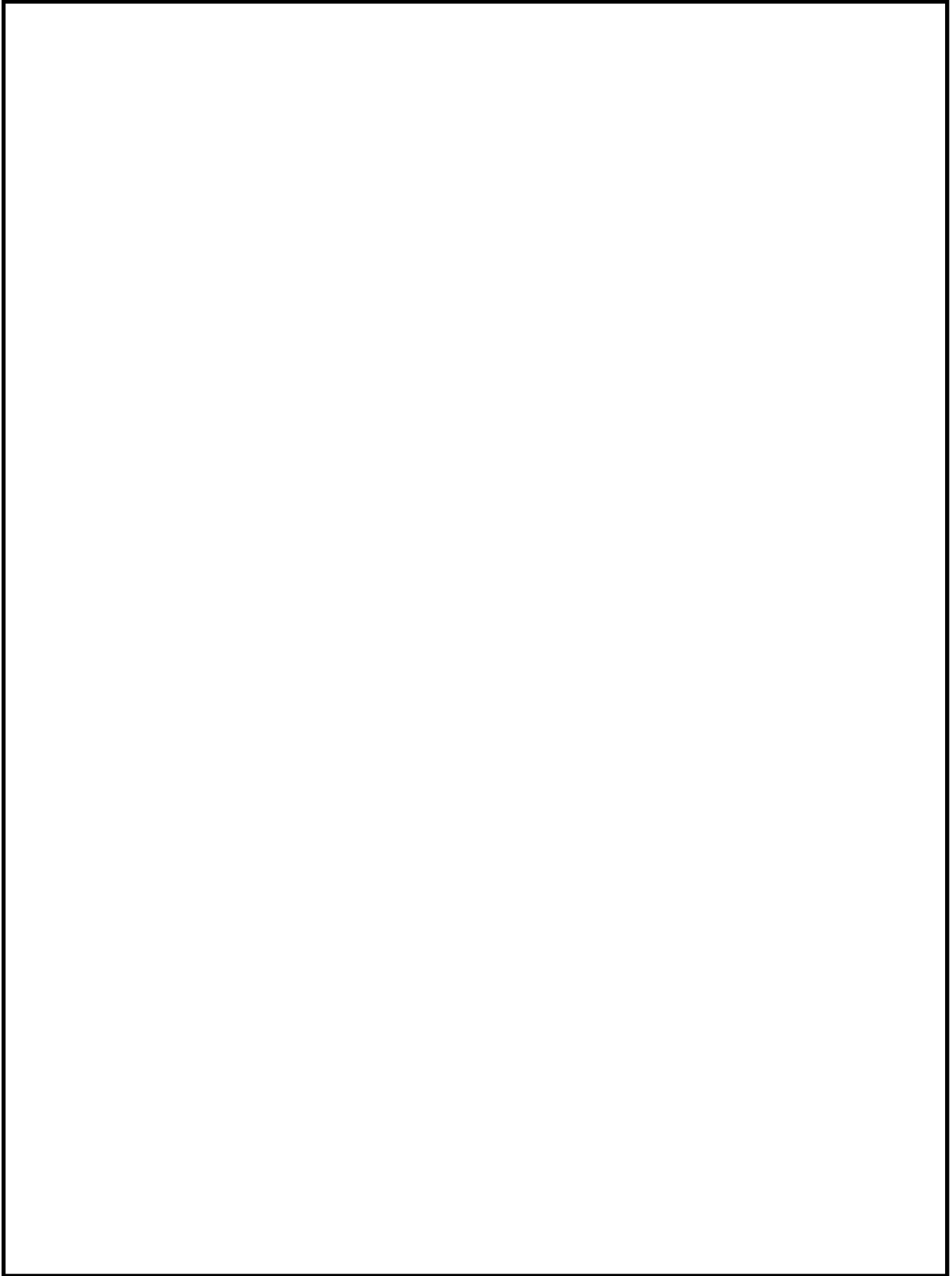
第3-10表 1次冷却系統設計過渡條件 (2/2)

記号	運 転 状 態 II			備 考
	過 渡 条 件	回 数	設 計 過 渡 図 番	
II-a			第3-13図	
II-b			第3-14図	
II-c			第3-15図	
II-d			第3-16図 第3-17図 第3-18図	
			第3-19図	
			第3-20図	
II-g			第3-21図	
II-h			第3-22図	
II-i			第3-23図	
II-j			第3-24図	

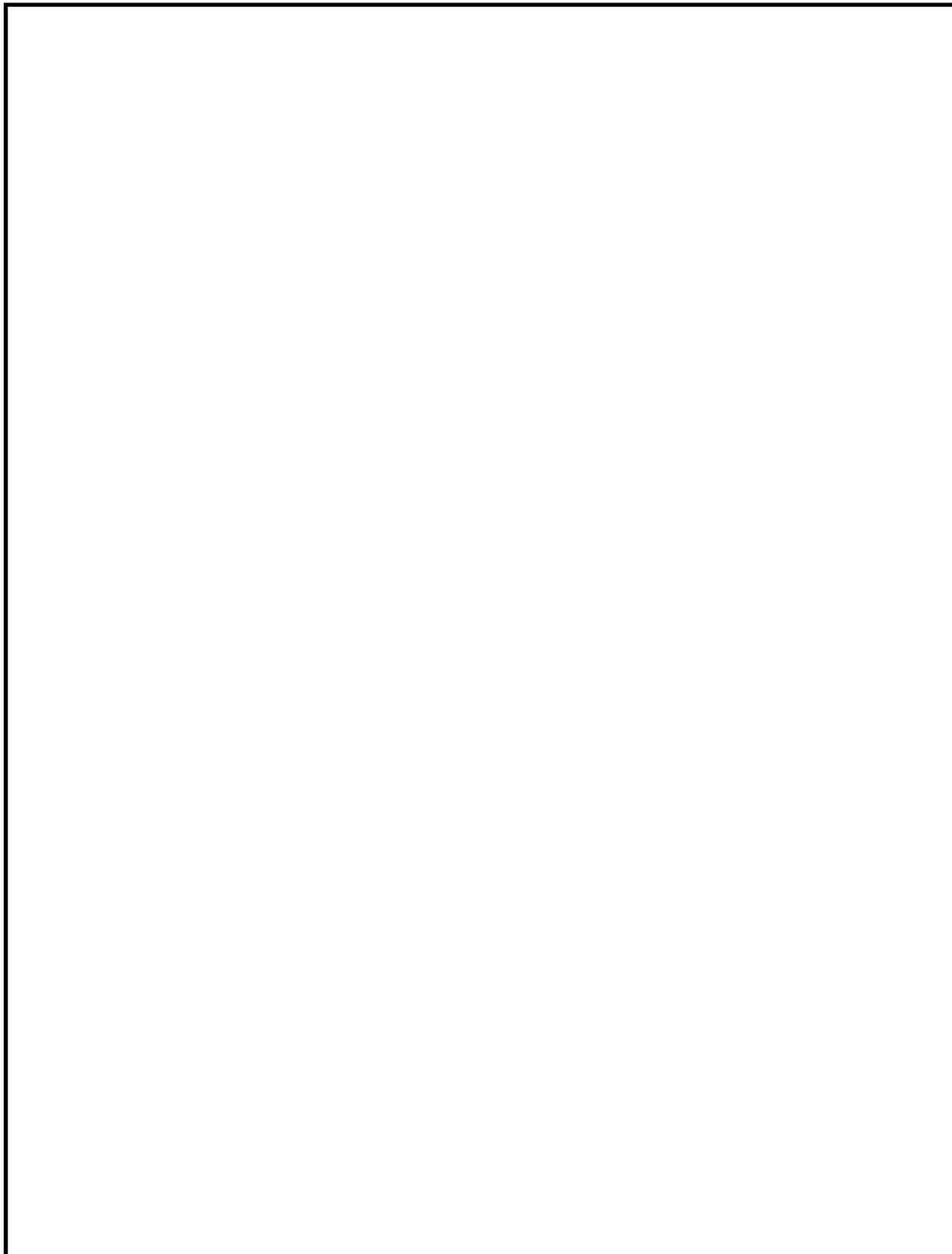
第3-11表 加圧器スプレイ分岐管固有の過渡条件

分岐管の名称	記号	過渡条件	回数	流体温度変動℃	備考
加圧器スプレイ配管 加圧器補助スプレイ配管	I - b				補助スプレイ
	II - e				補助スプレイ

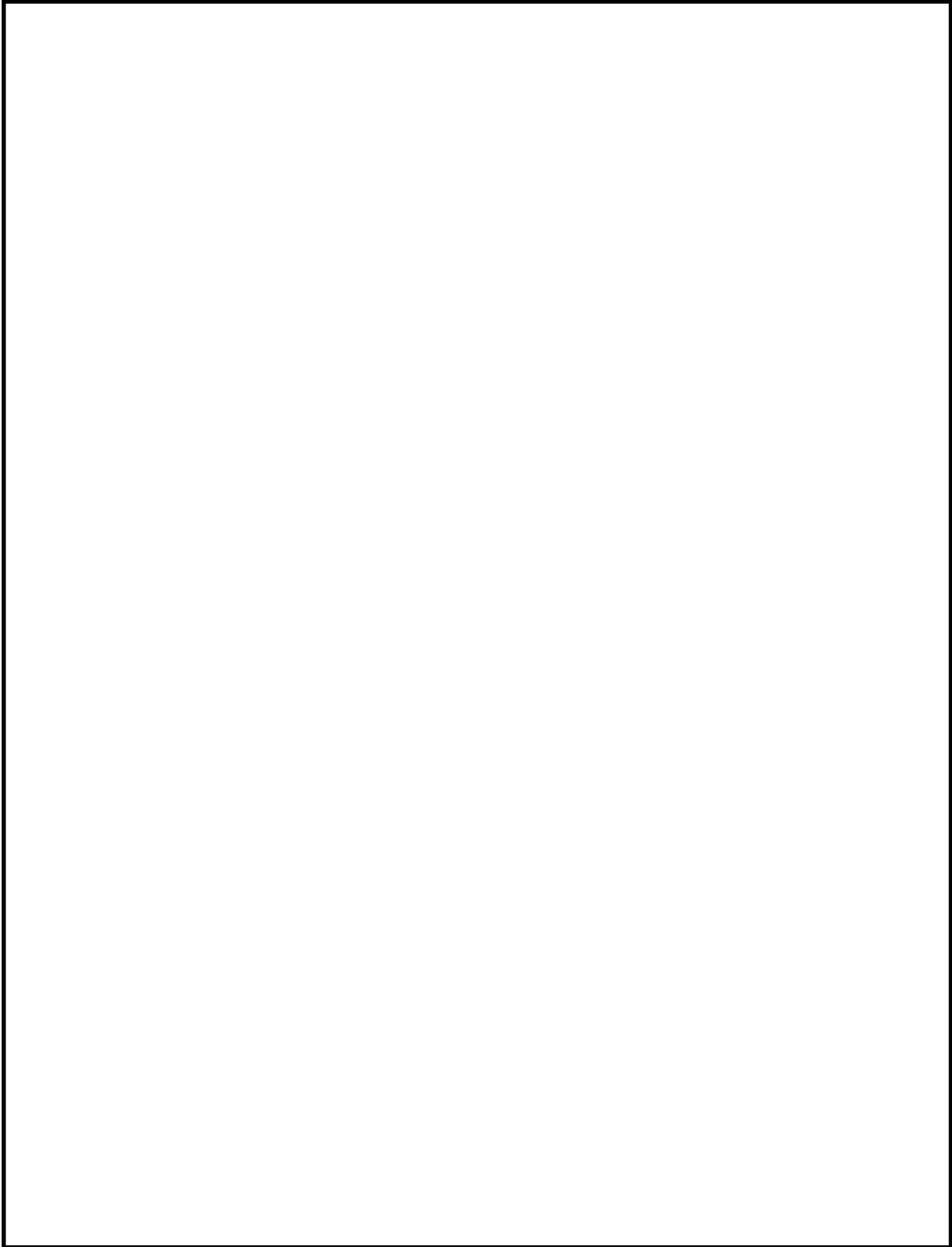
(注1) 1回の停止の間に6回生じるものとして、回数を720回とする。



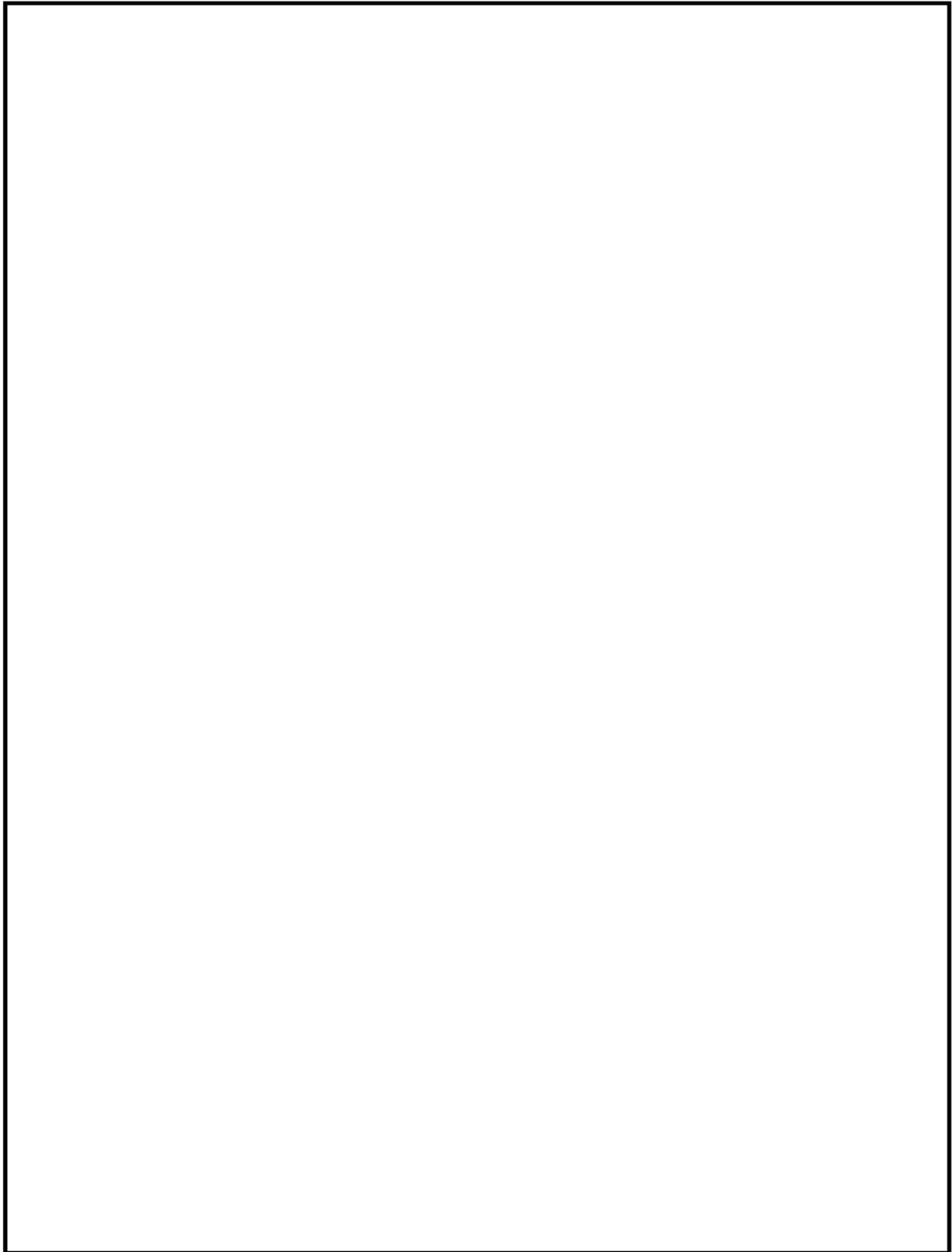
第3-3図 起動及び停止



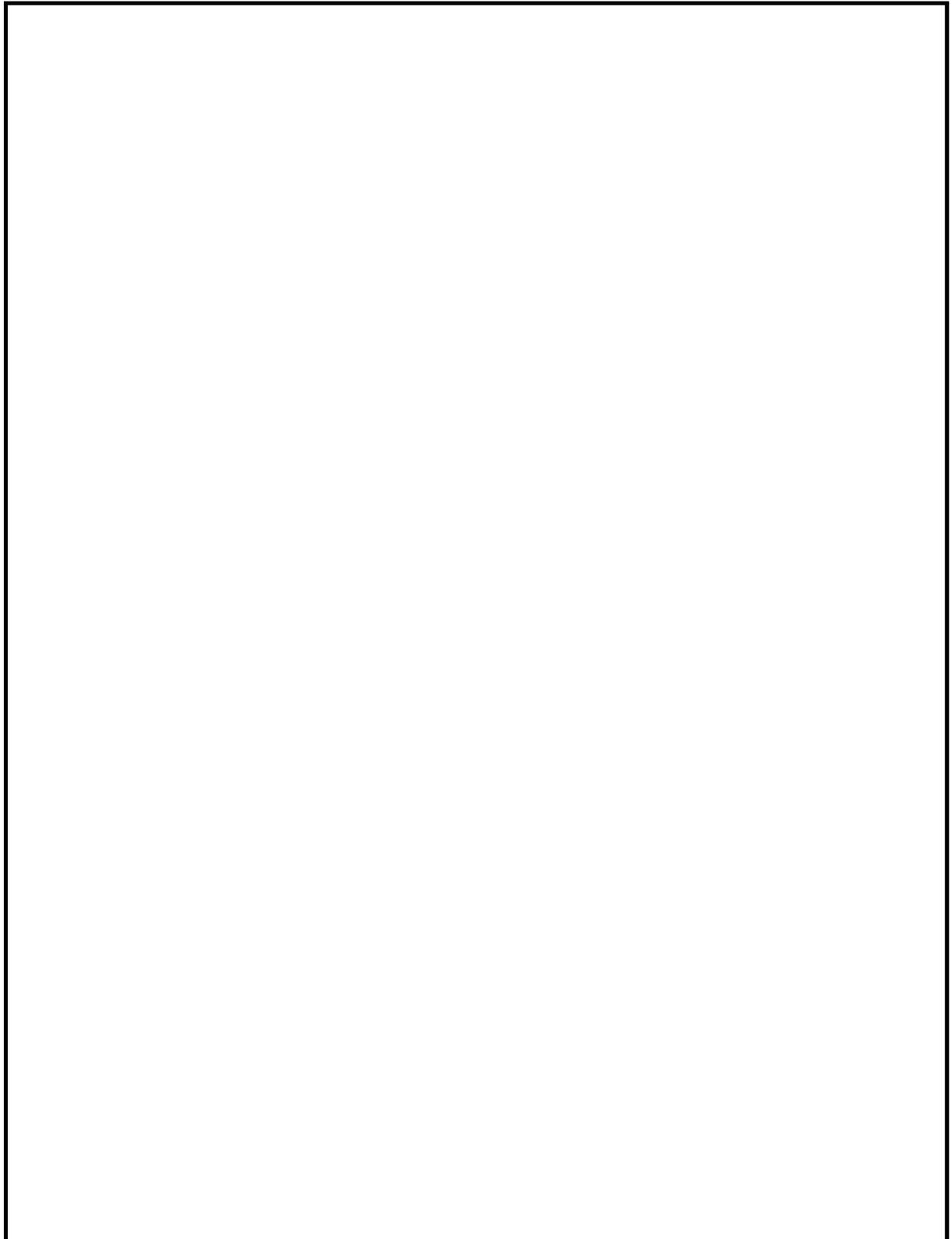
第3-4図 負荷上昇（15%から100%出力）



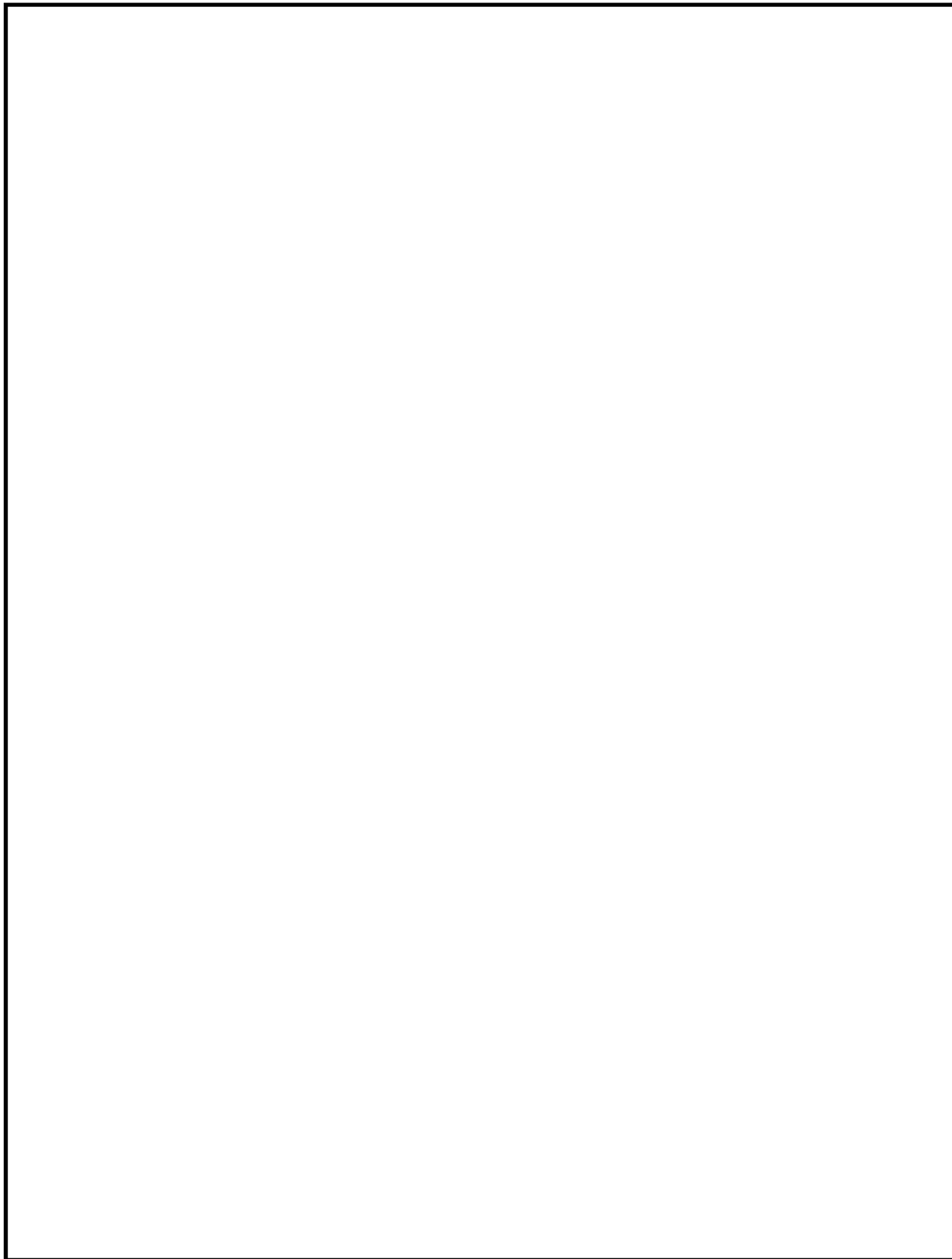
第3-5図 負荷減少（100%から15%出力）



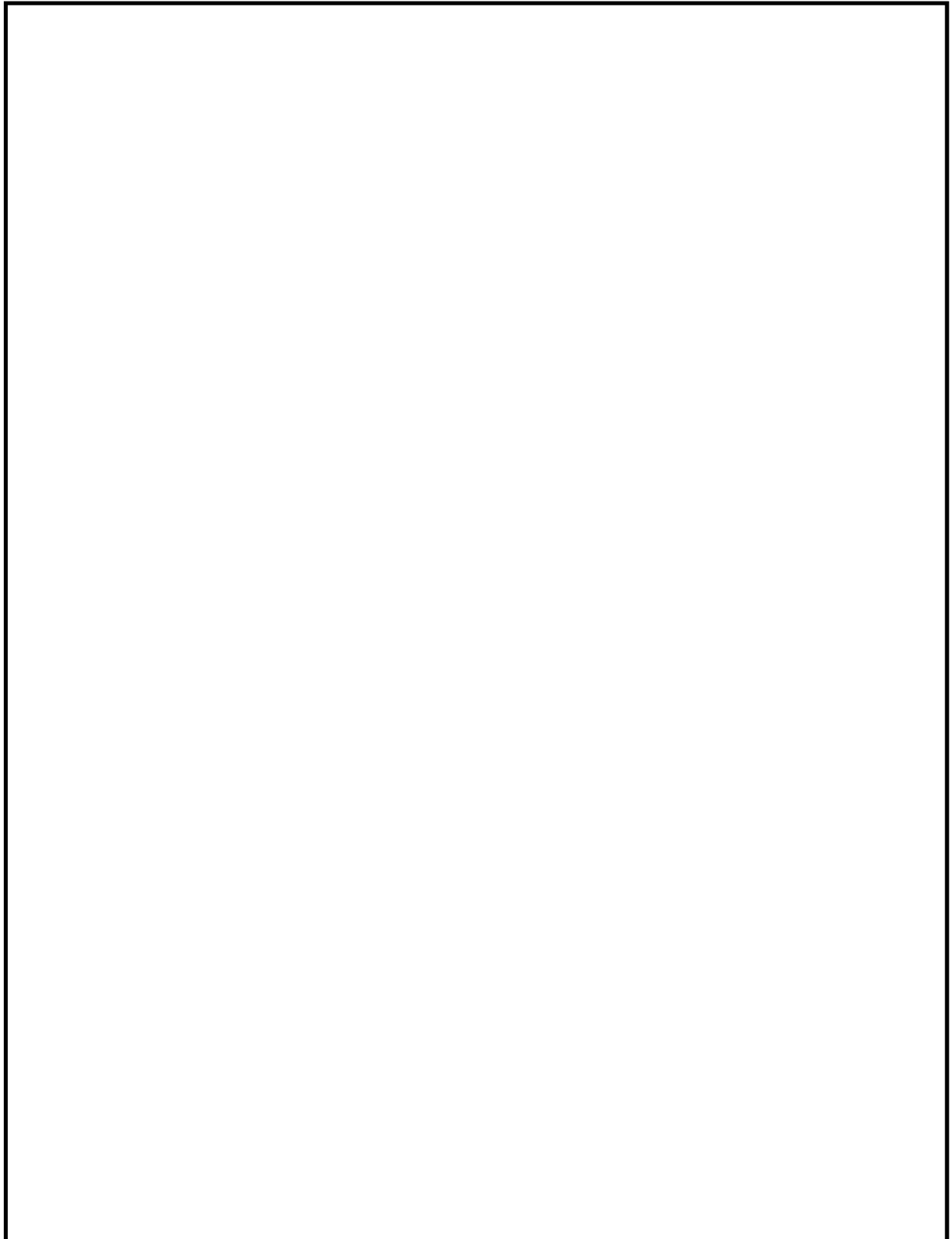
第3-6図 90%から100%へのステップ状負荷上昇



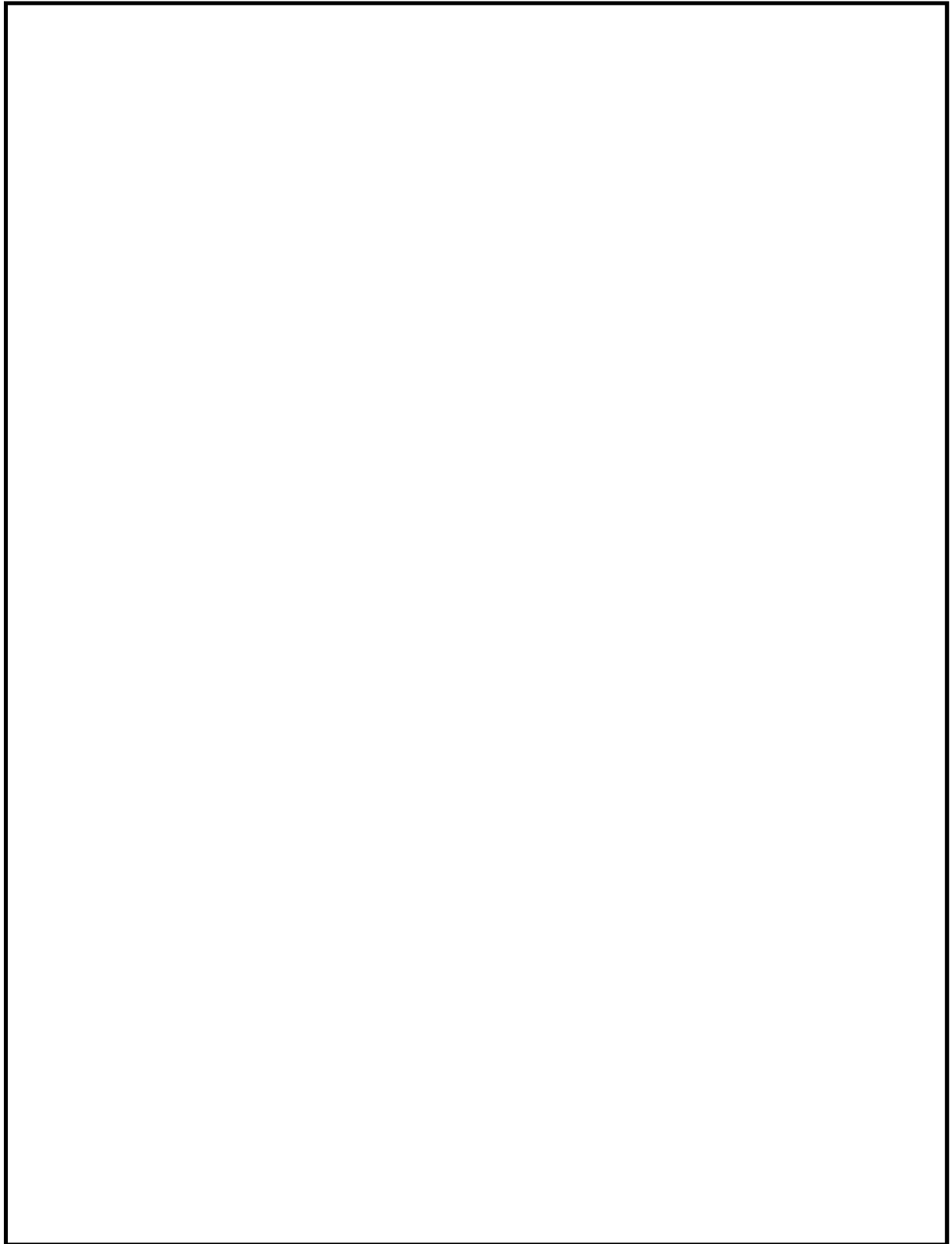
第3-7図 100%から90%へのステップ状負荷減少



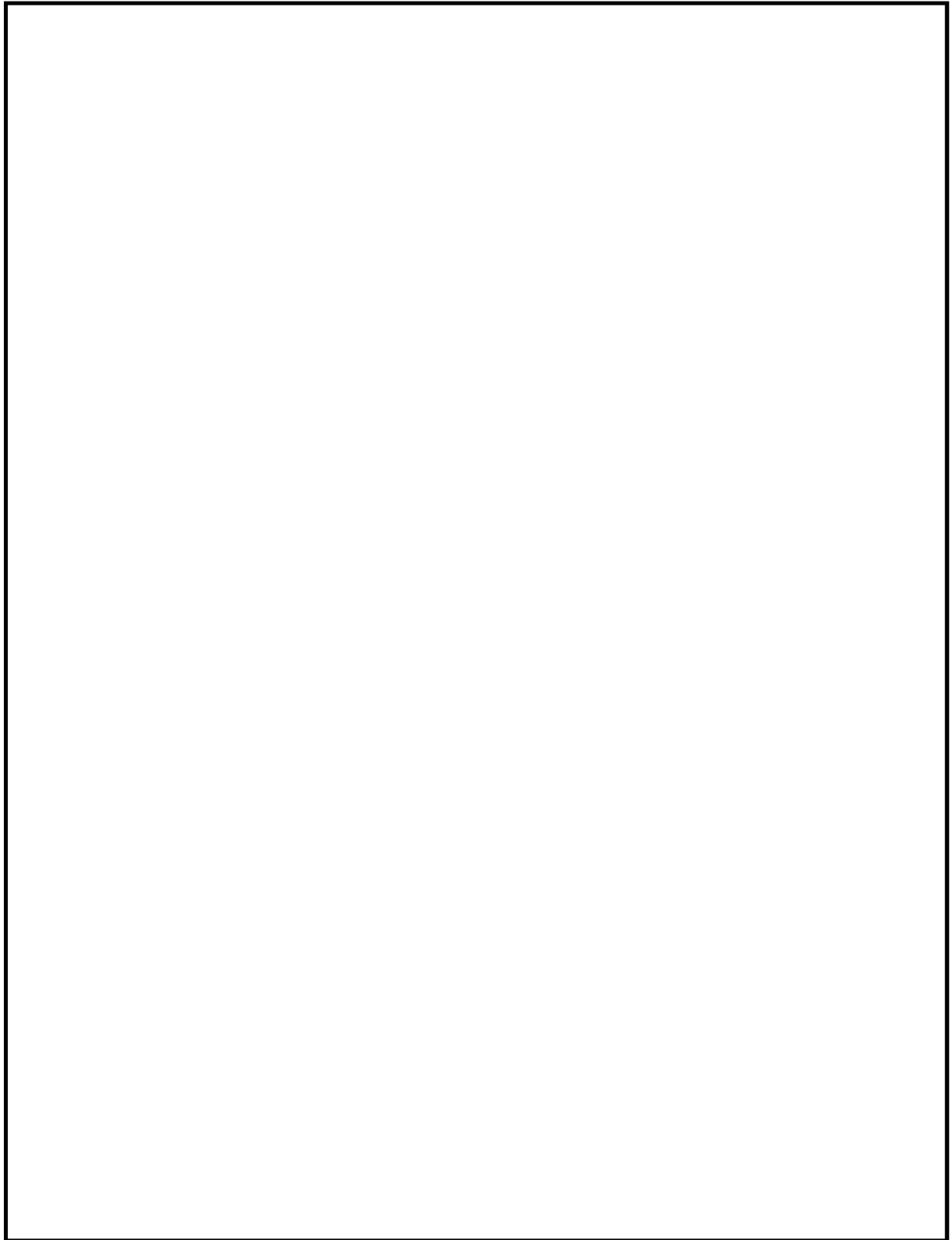
第3-8図 100%からの大きいステップ状負荷減少



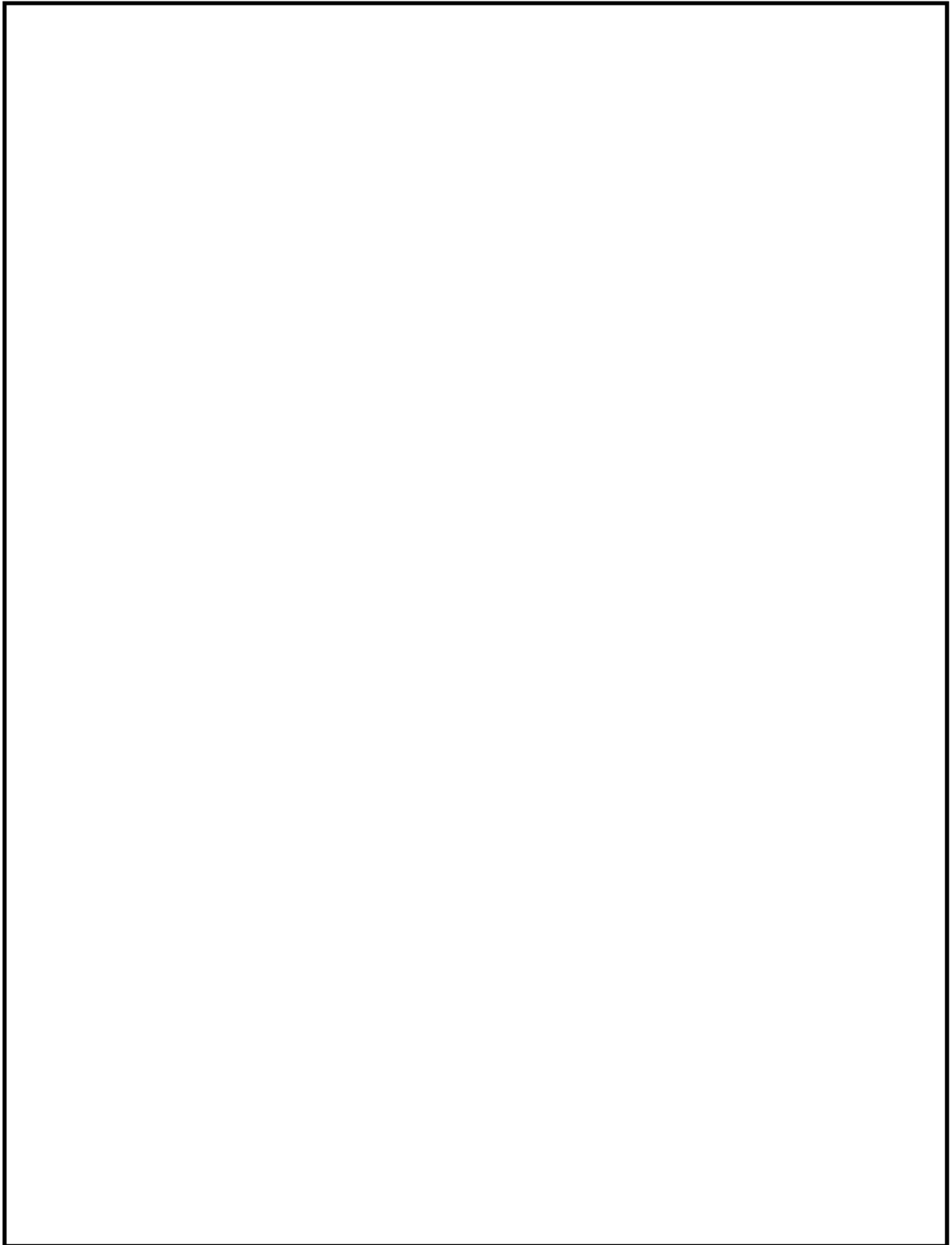
第3-10図 15%から0%への負荷減少



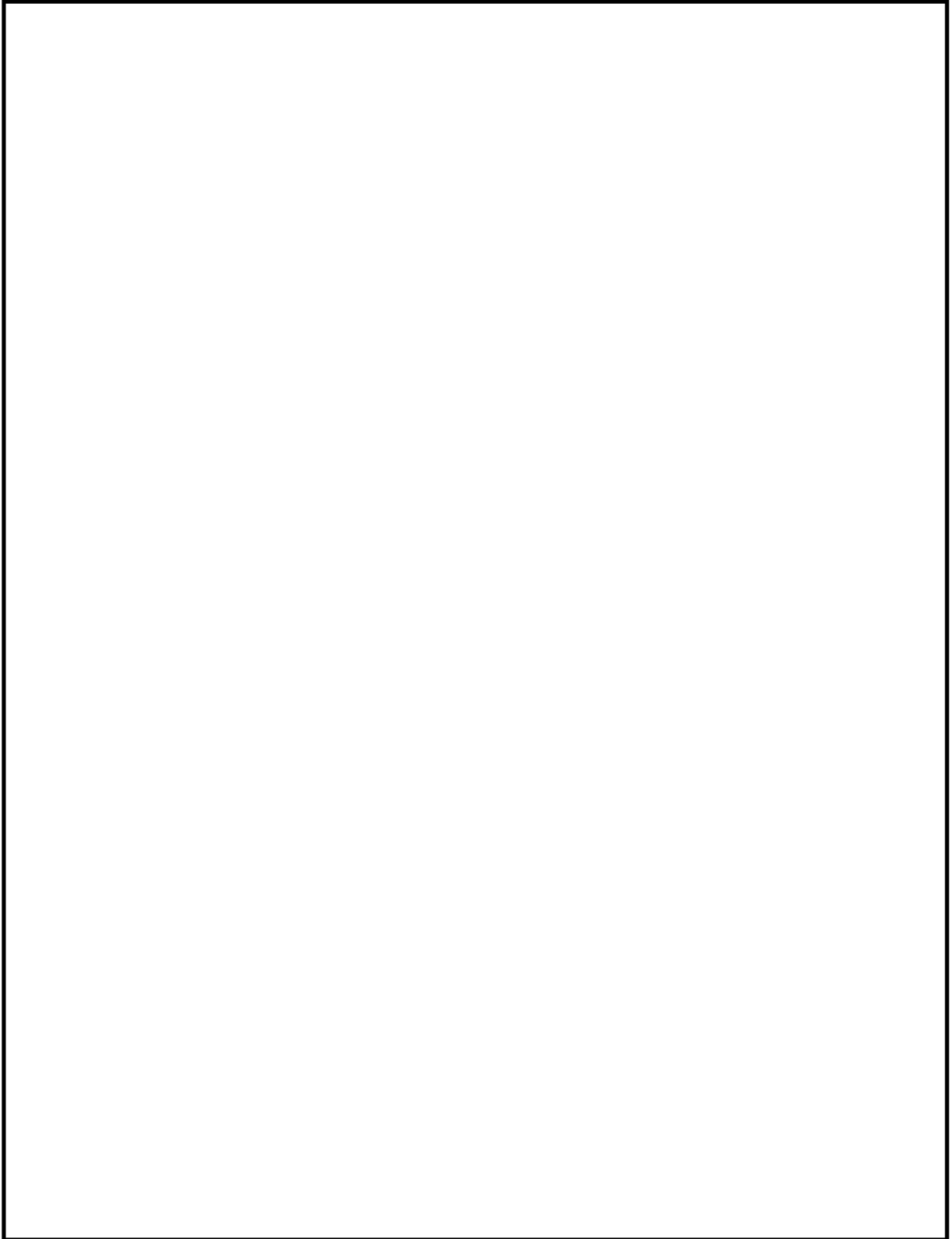
第3-11図 1ループ停止／1ループ起動 i) 1ループ停止 (1/2)



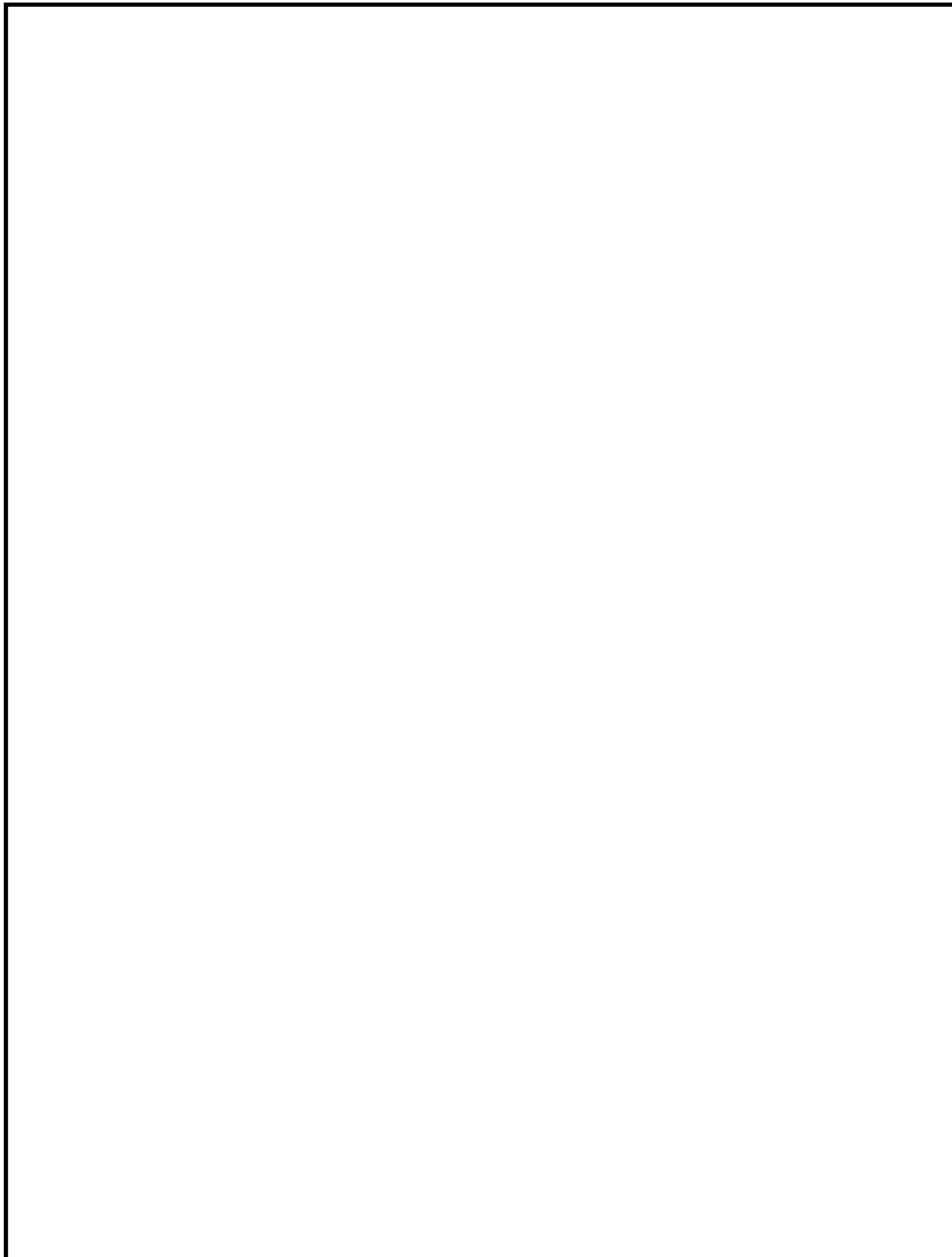
第3-11図 1ループ停止／1ループ起動 i) 1ループ停止 (2/2)



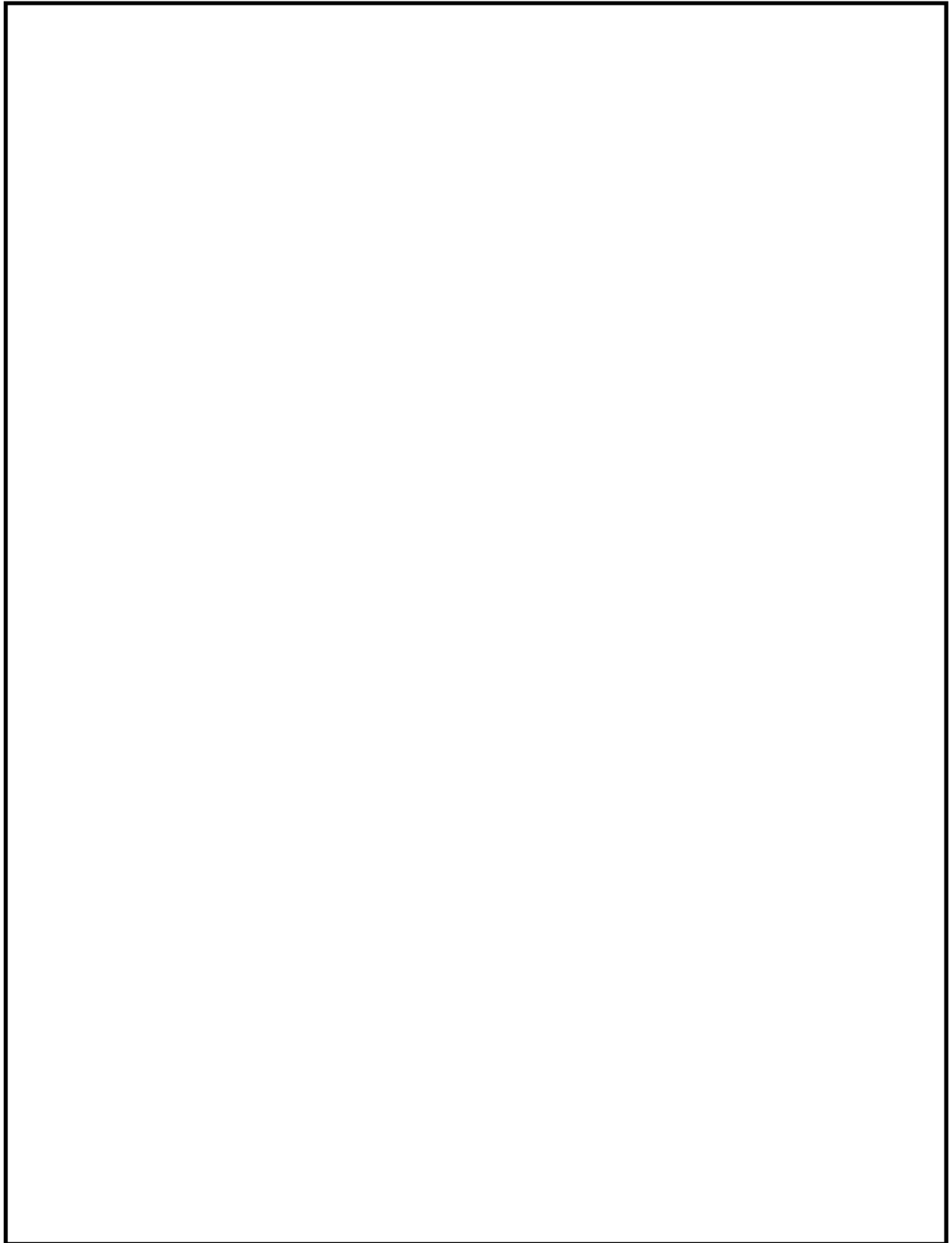
第3-12図 1ループ停止／1ループ起動 ii) 1ループ起動(1/2)



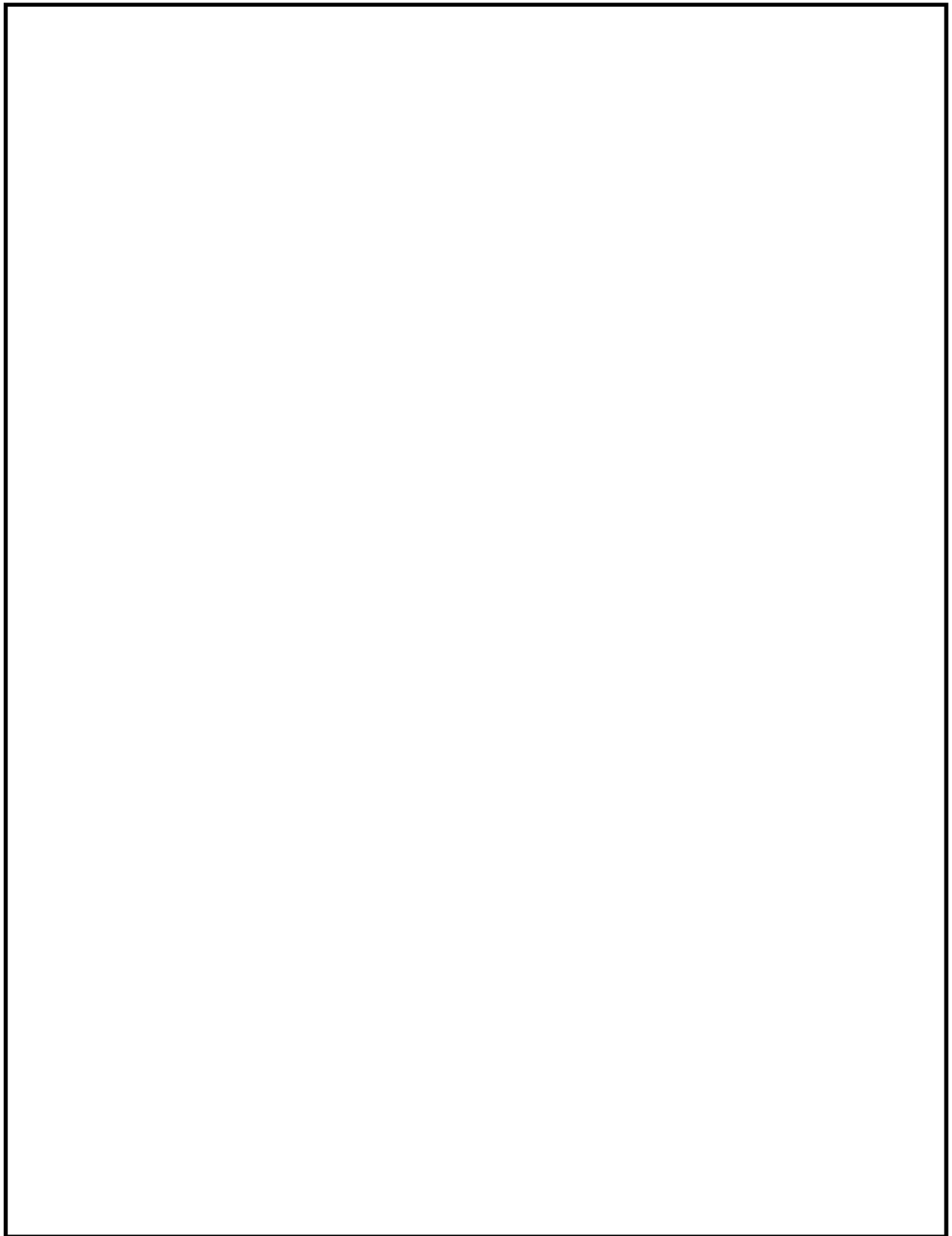
第3-12図 1ループ停止／1ループ起動 ii) 1ループ起動(2/2)



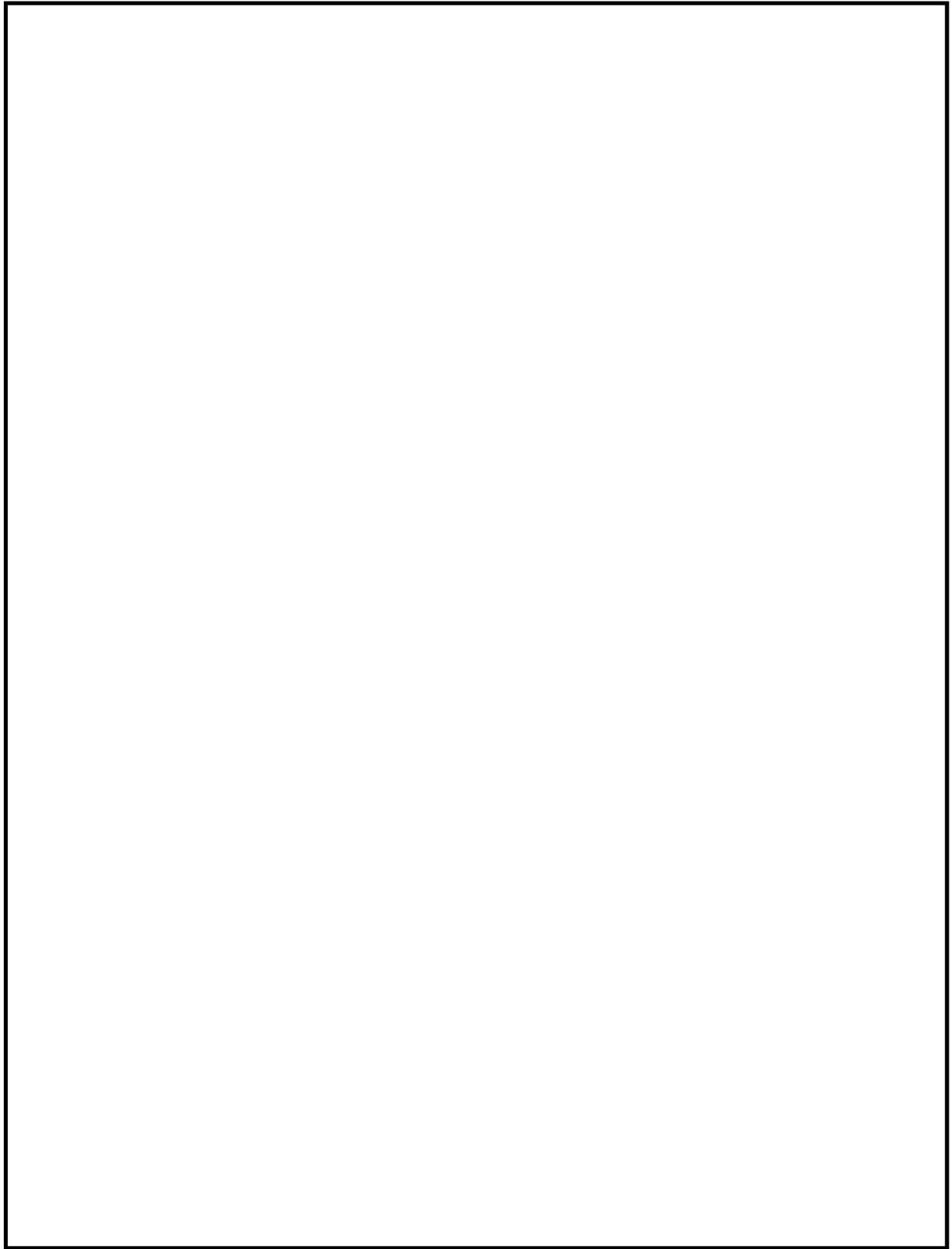
第3-13図 負荷の喪失



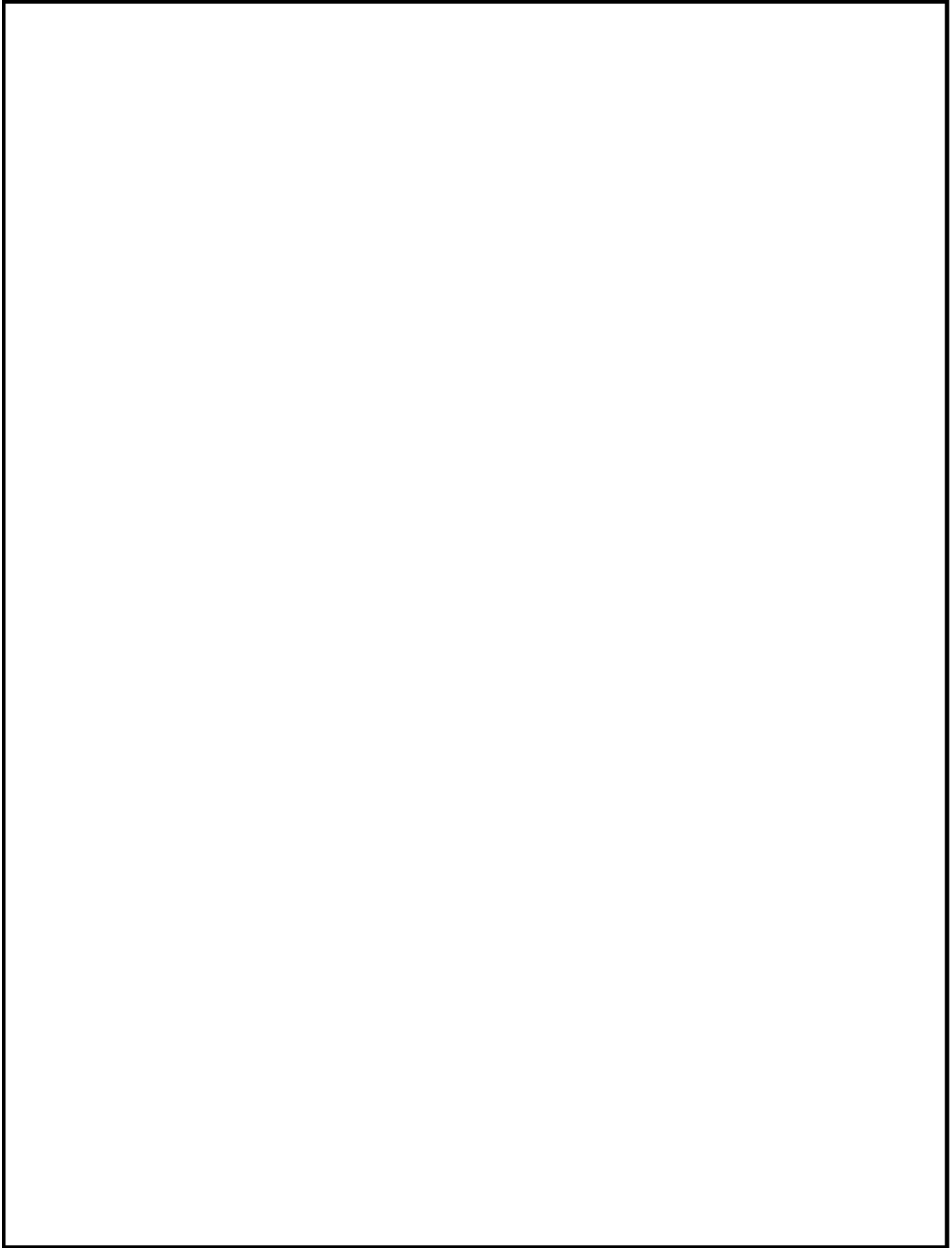
第3-14図 外部電源喪失(1/2)



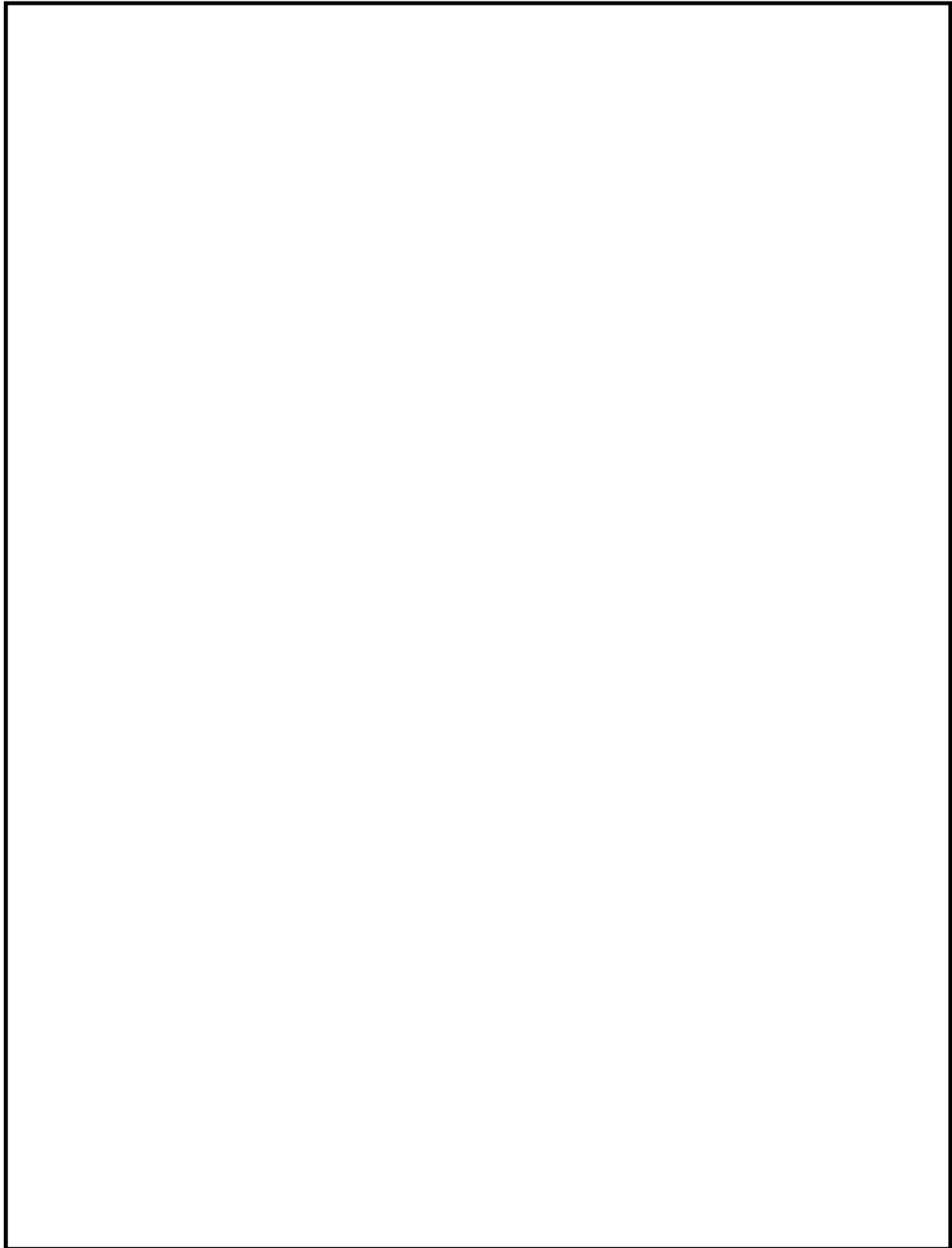
第3-14図 外部電源喪失(2/2)



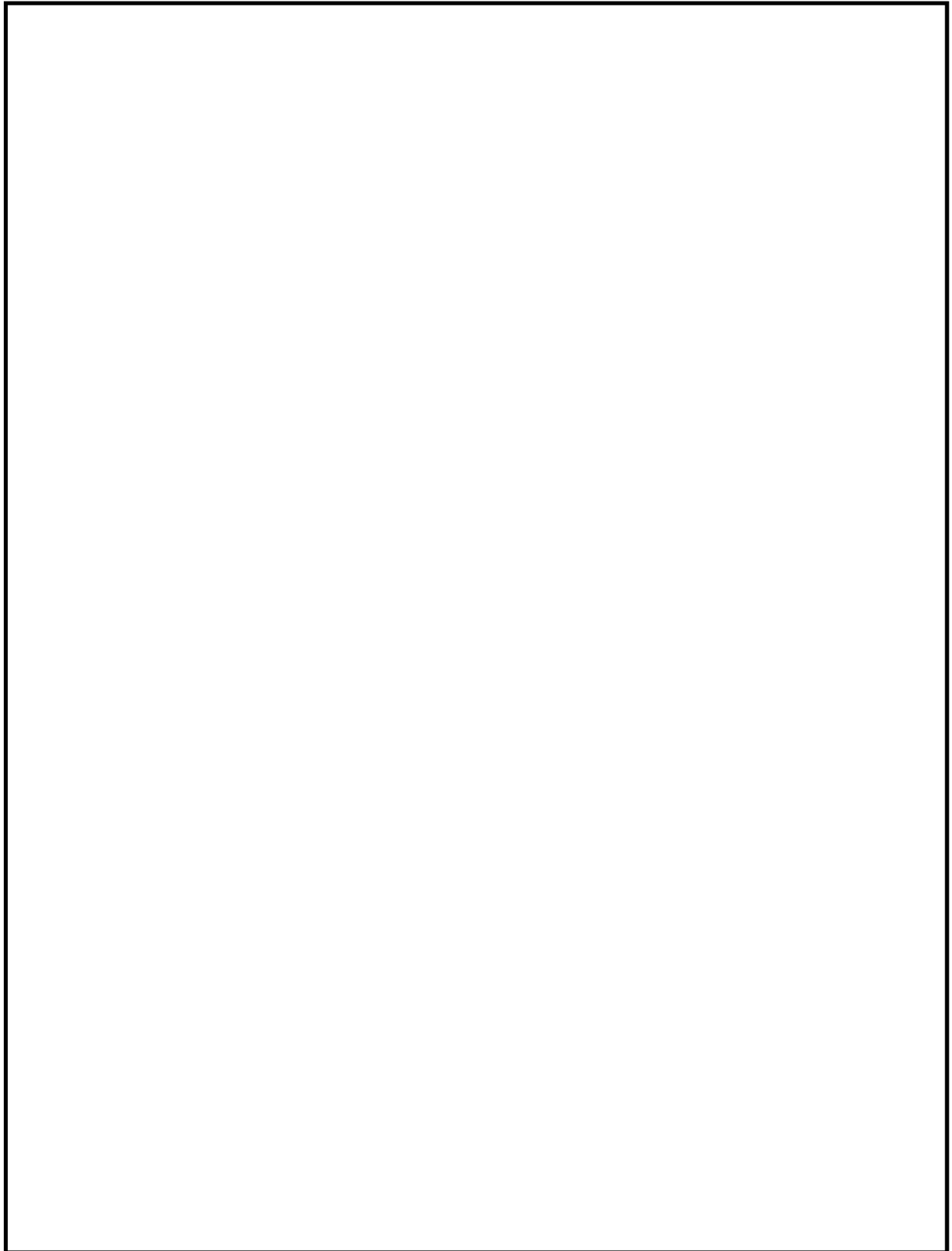
第3-15図 1次冷却材流量の部分喪失(1/2)



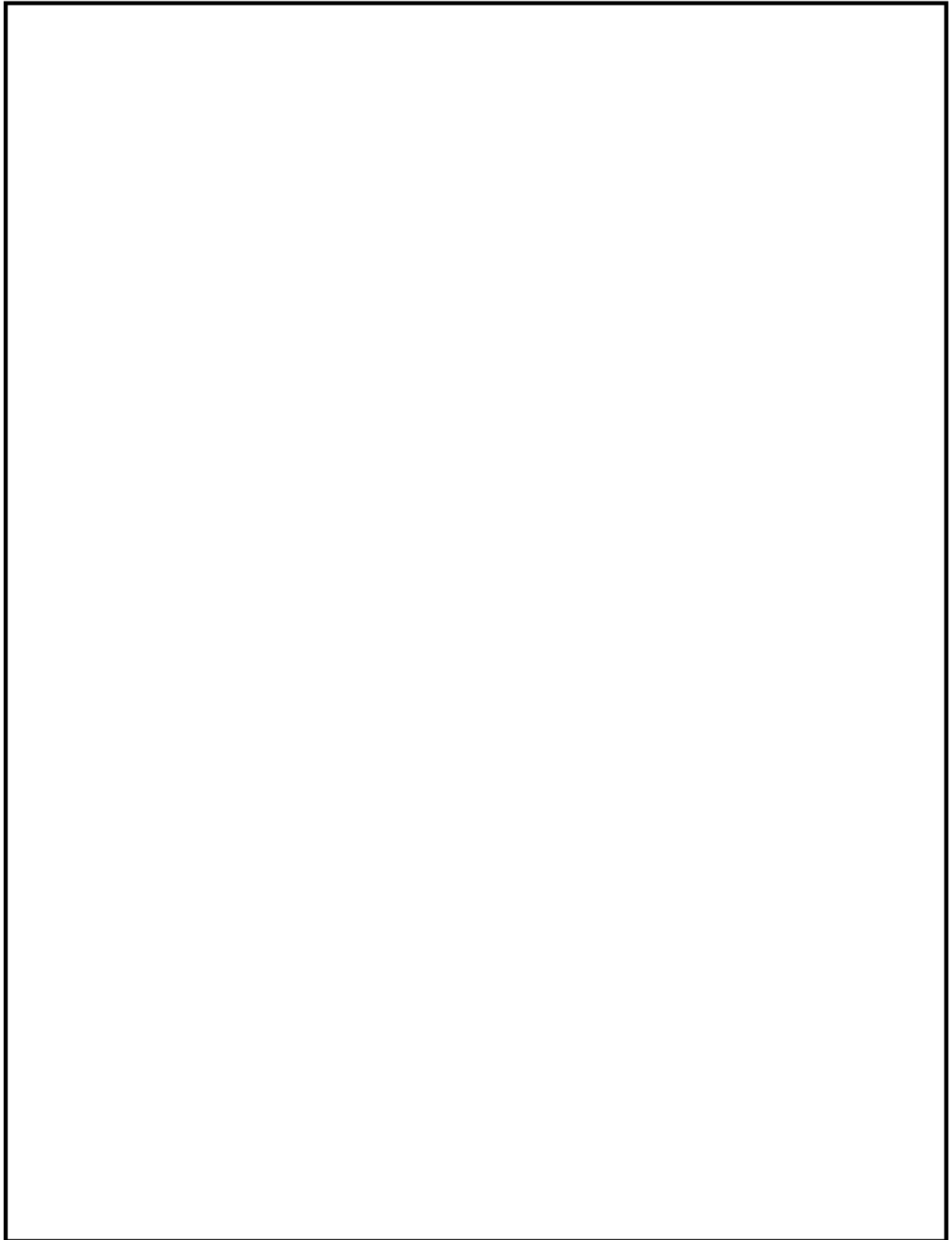
第3-15図 1次冷却材流量の部分喪失(2/2)



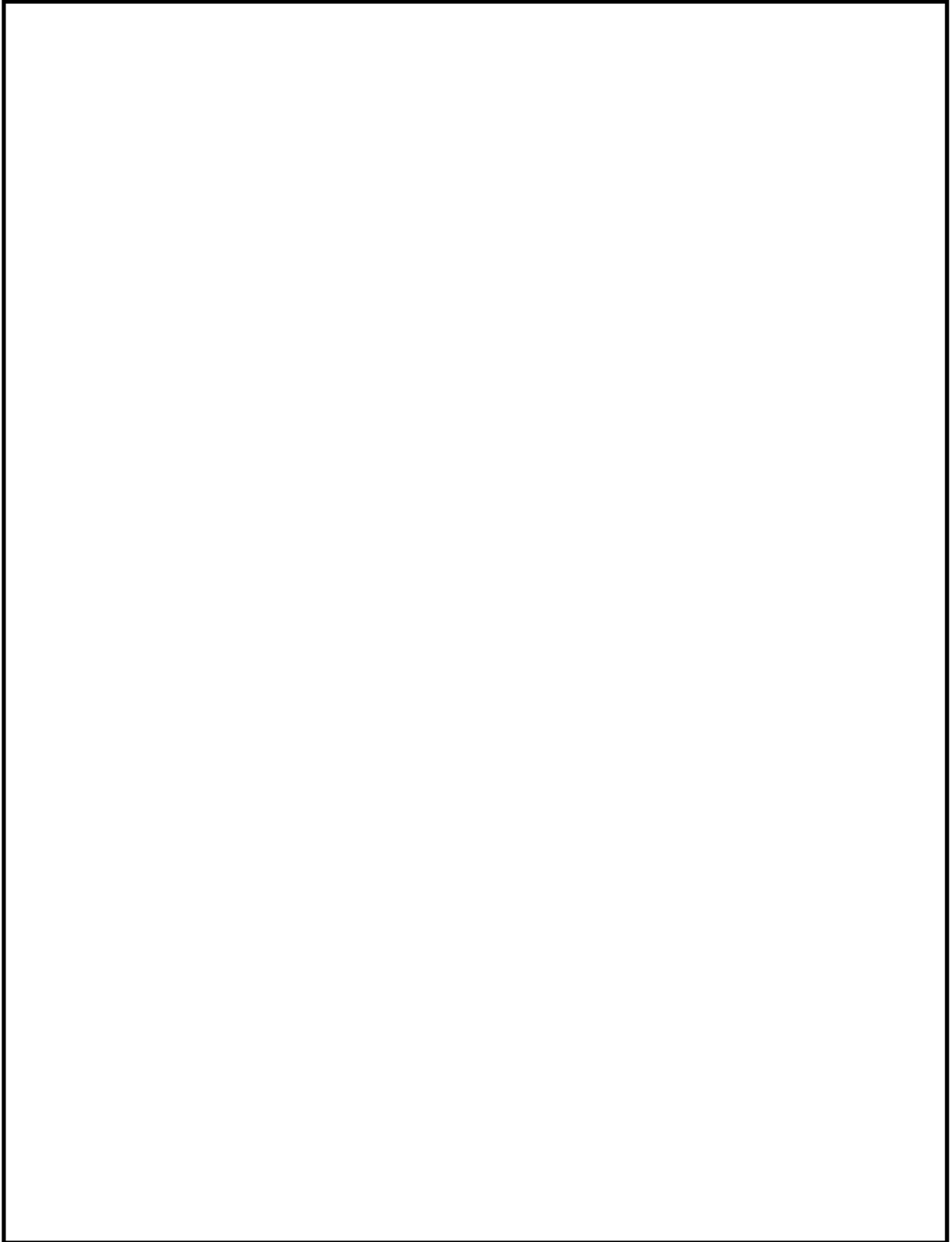
第3-16図 100%からの原子炉トリップ i)不注意な冷却を伴わないトリップ



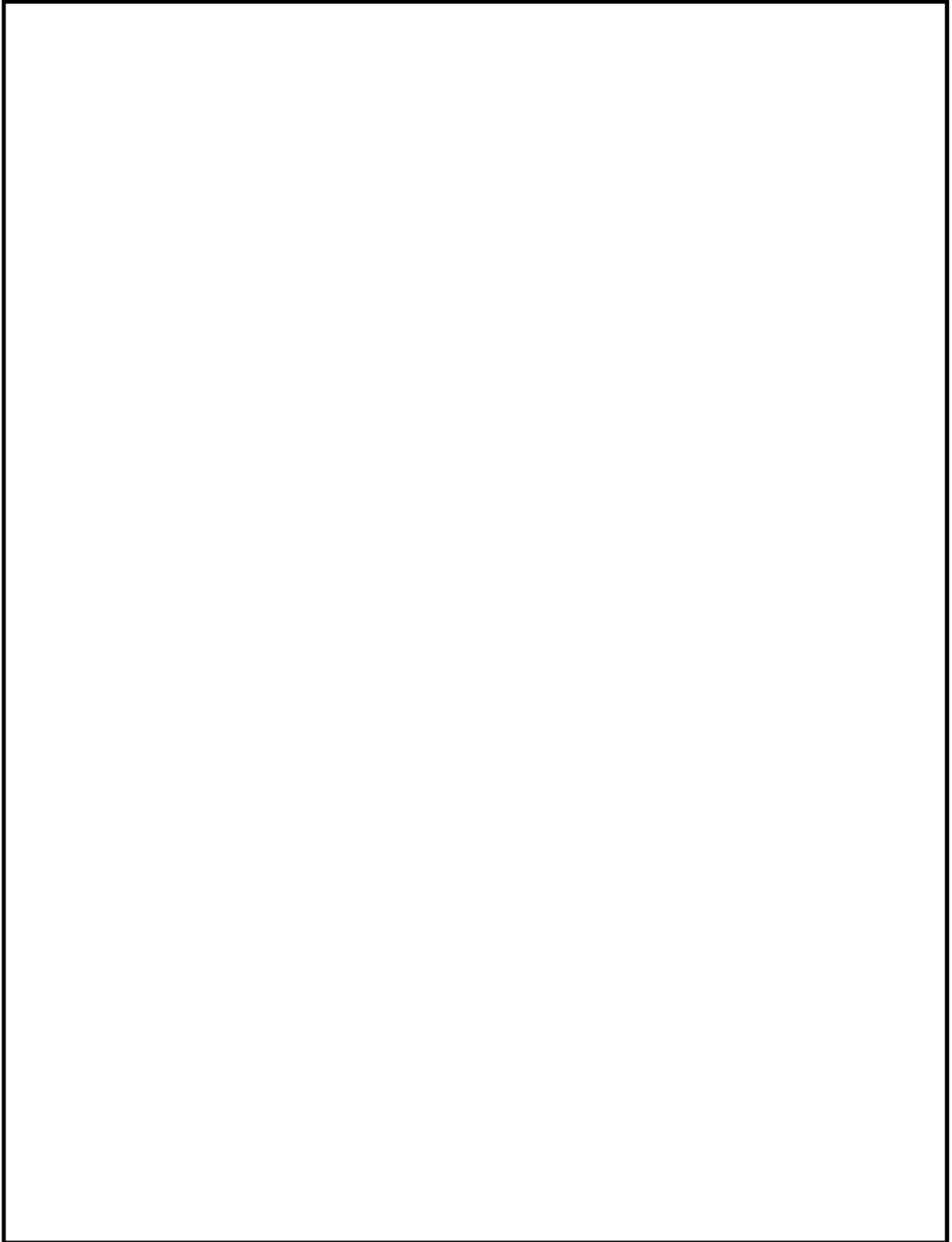
第3-17図 100%からの原子炉トリップ ii)不注意な冷却を伴うトリップ(1/2)



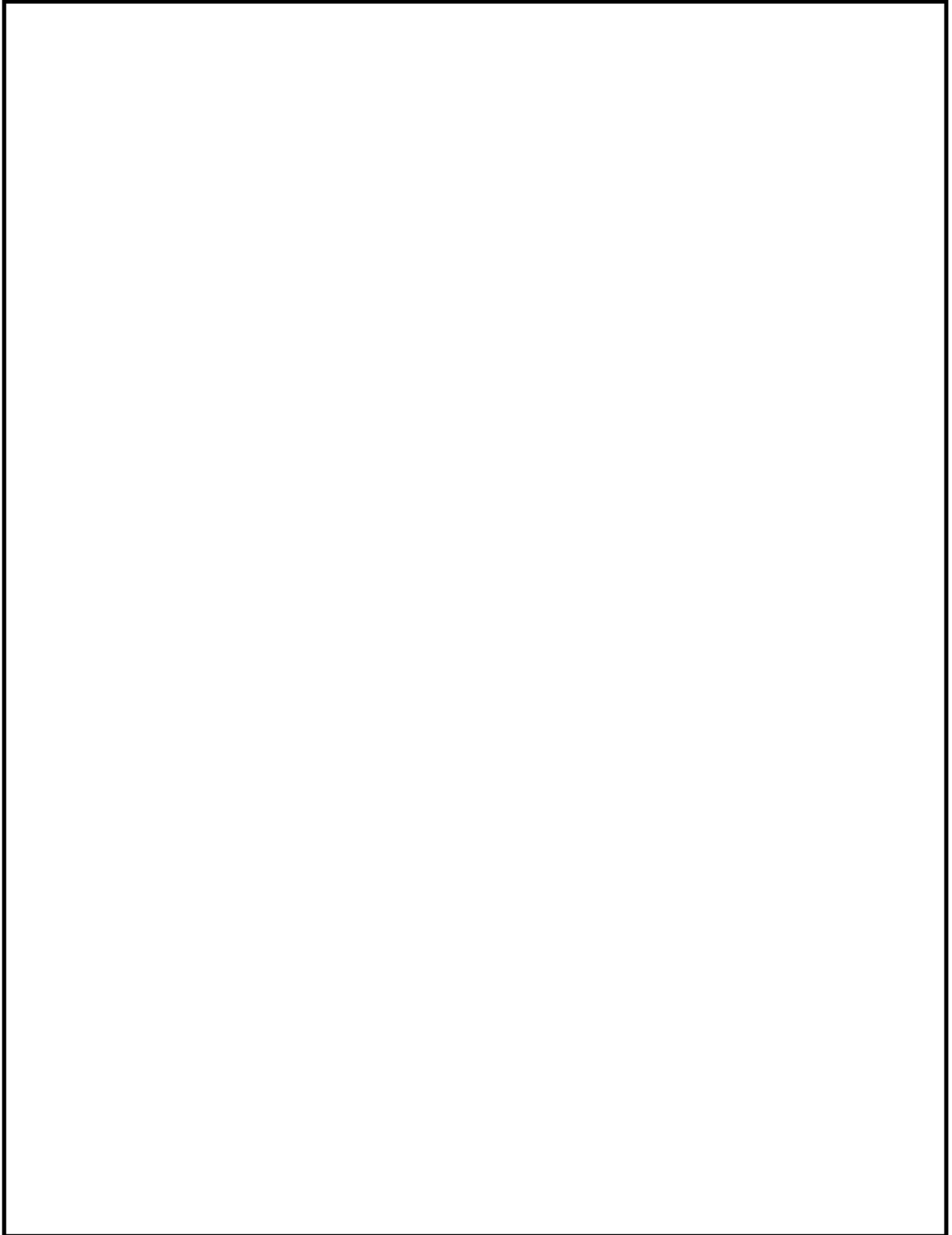
第3-17図 100%からの原子炉トリップ ii)不注意な冷却を伴うトリップ(2/2)



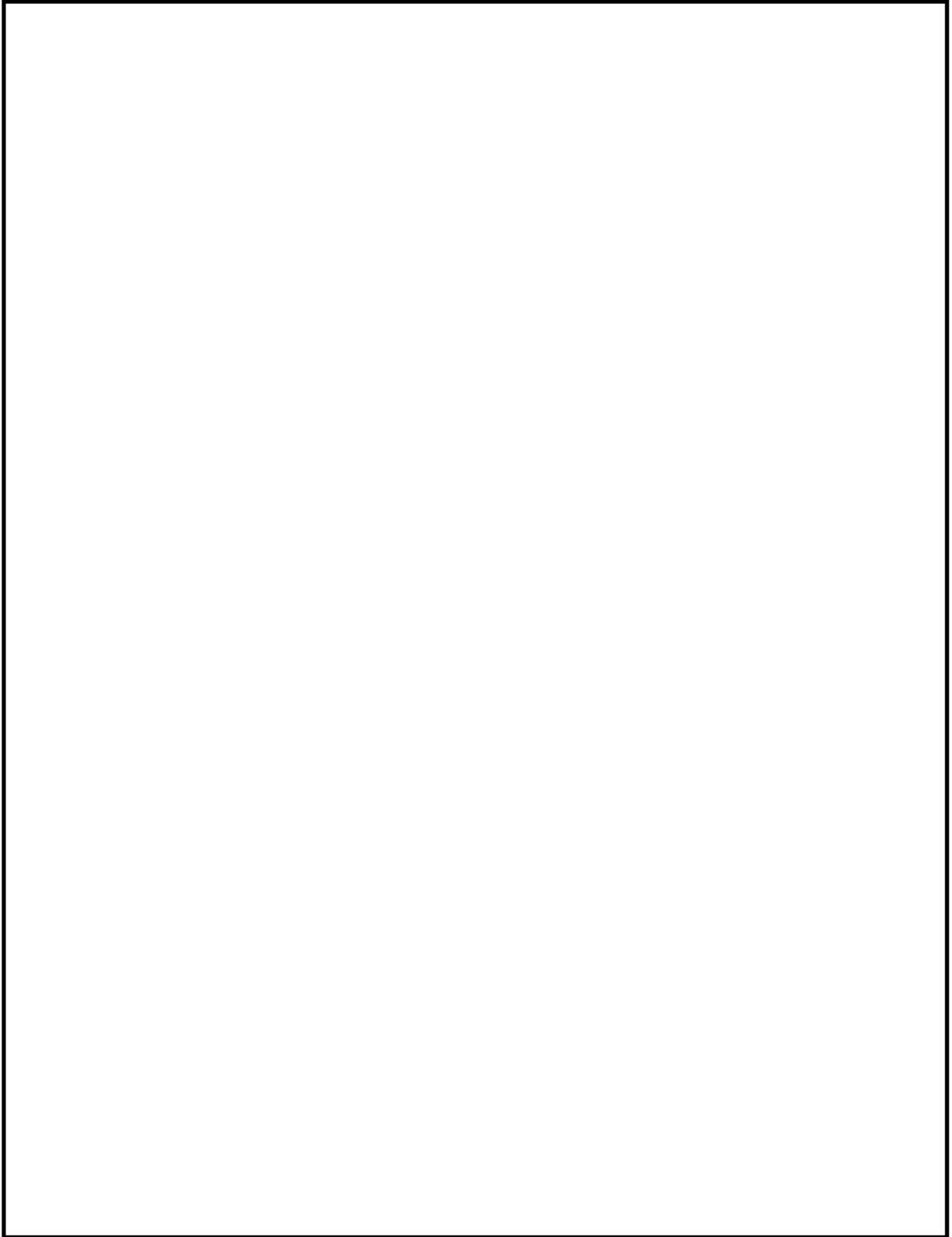
第3-18図 100%からの原子炉トリップ iii)不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ(1/2)



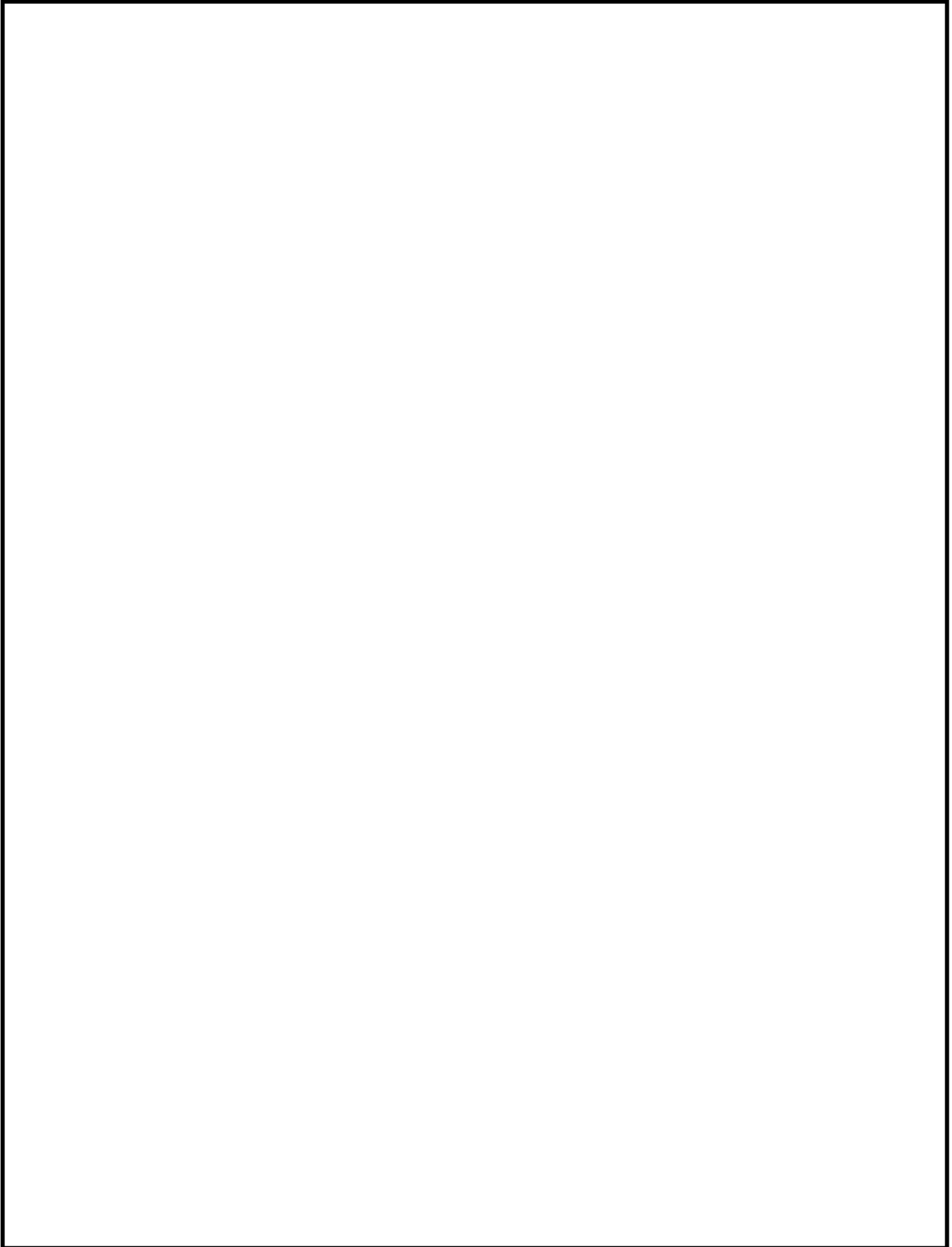
第3-18図 100%からの原子炉トリップ iii)不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ(2/2)



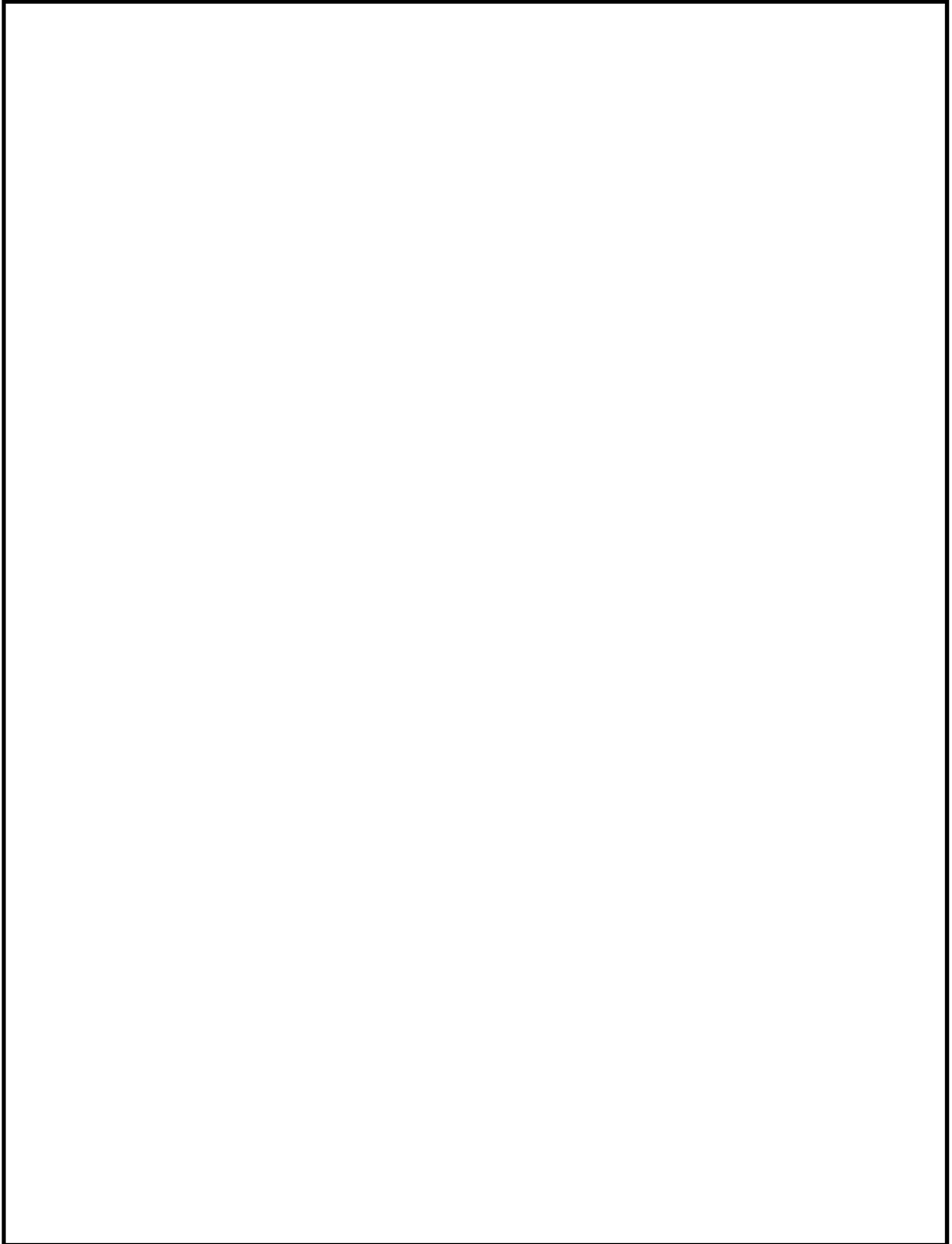
第3-19図 1次冷却系の異常な減圧



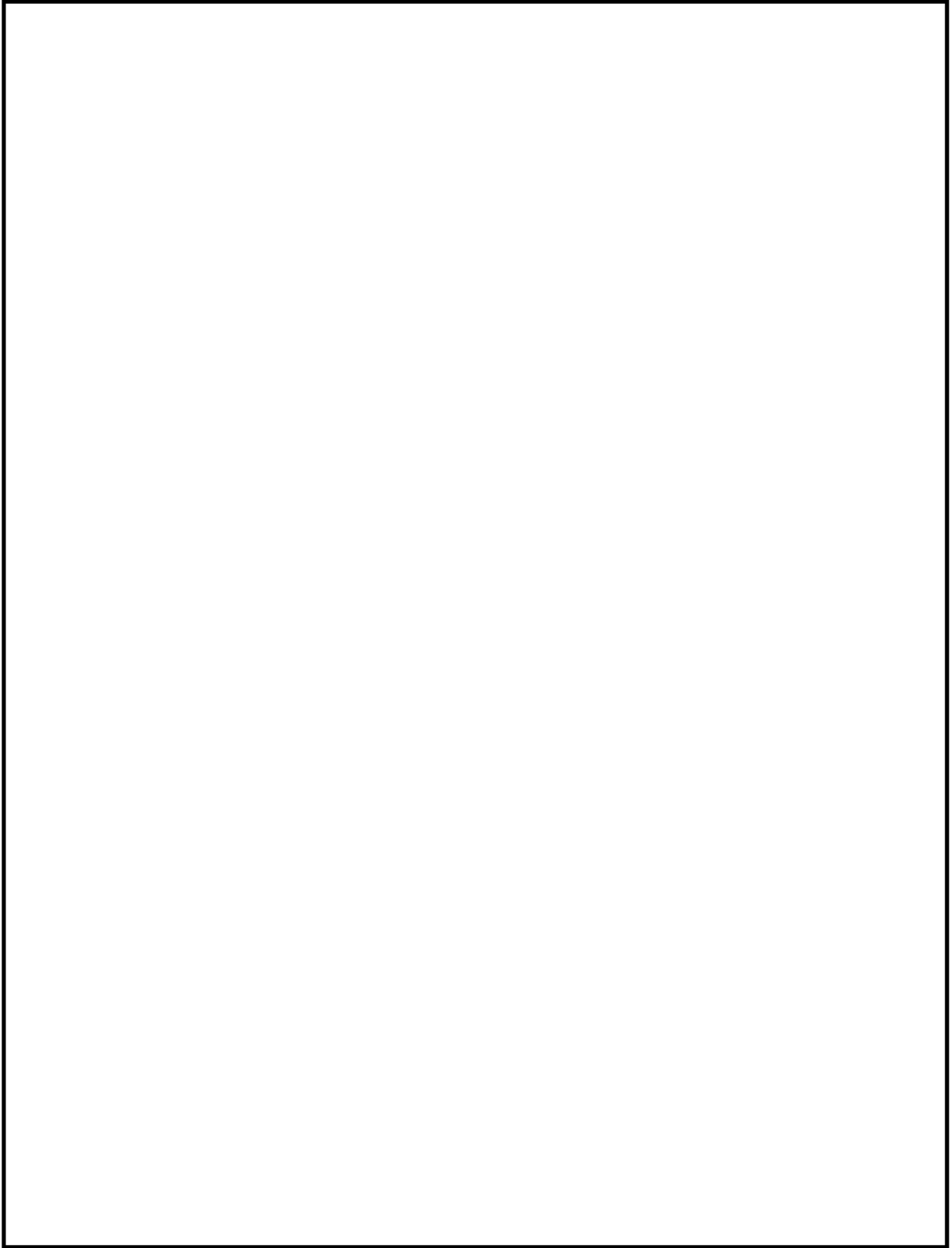
第3-20図 制御棒クラスタの落下



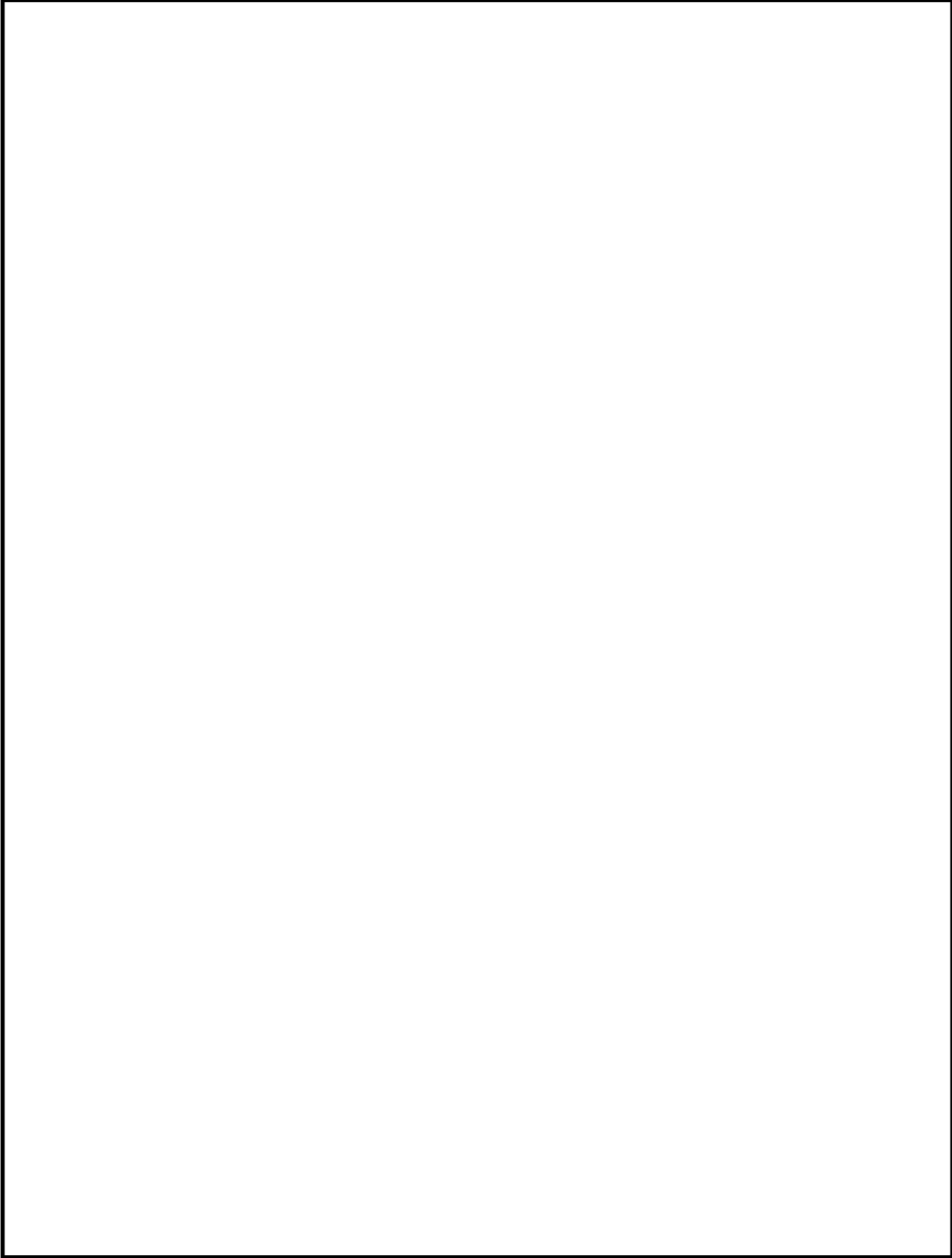
第3-21図 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動



第3-22図 1次冷却系停止ループの誤起動(1/2)



第3-22図 1次冷却系停止ループの誤起動(2/2)



第3-23図 1次系漏えい試験



第3-24図 タービン回転試験

3.3.4 荷重の適用

(1) 設計条件

最高使用圧力、機械的荷重^(注1)及び管の自重を荷重として考慮し、一次応力評価を行う。

(2) 供用状態 A 及び B

供用状態 A 及び B において生ずる圧力、機械的荷重^(注1)及び管の熱膨張荷重を荷重として考慮し、一次＋二次応力評価を行う。

(3) 供用状態 C 及び D

運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの事象において発生する荷重の概要と強度評価上の取扱いは、第3-12表のとおりである。ここで、「Ⅳ-a 1次冷却材喪失事故」の事象については、「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 JEAG4613-1998」（日本電気協会）（以下「JEAG4613」という。）に基づき、破断前漏えい（以下「L B B」という。）概念を適用する。^(注2)

第3-12表の事故時荷重のうち、運転状態Ⅲの事故時荷重が小さいことから、供用状態 C の荷重は、供用状態 C の事象のピーク圧力及び事故時荷重を上回る圧力（最高使用圧力を1.1倍した圧力。（以下「包絡圧力」という。））に機械的荷重及び自重を加えた荷重を用いる。^(注1)

供用状態 D については、運転状態Ⅳの事象のピーク圧力及び事故時荷重を上回る荷重として、包絡圧力又は事故発生時の圧力に事故時荷重を加えた荷重のいずれか大きい方に機械的荷重及び自重を加えた荷重を用いる。^(注1)

ピーク圧力の算出は、強度評価の観点で厳しい温度及び圧力変化が得られるように、公開資料「第1種機器の設計過渡説明書」（MAPI-1051 改2 三菱原子力工業株式会社 平成6年）に基づき設定した条件を「三菱PWRの事故解析計算コードの概要」（MAPI-1017 改2 三菱原子力工業株式会社 昭和52年）及び「PWR非常用炉心冷却系安全評価解析コード」（MAPI-1035 改2 三菱原子力工業株式会社 昭和53年）に示される解析コードに入力して得られたものである。

L B B 概念を適用するに当たっては、運転管理面において、原子炉冷却材圧力バウンダリ配管からの漏えいに対し、0.23m³/h（1gpm）を1時間以内に検知できる監視装置（凝縮液量測定装置及び格納容器サンプ水位上昇率測定装置）を設置し、原子炉運転中、同設備により原子炉冷却材圧力バウンダリからの漏えいを監視し、0.23m³/h（1gpm）を超える漏えいを検知した場合は、速やかに通常の原子炉停止操作を行うこととしている。

(注1) 今回の申請を行う管には、安全弁等が設置されておらず、評価上有意な機械的荷重（自重を除く。）は作用しない。

(注2) 別添 1 「原子炉冷却材圧力バウンダリに属する配管に対する L B B 成立性評価結果に関する説明書」による。

第3-12表 運転状態Ⅲ及びⅣの事象に対する荷重の概要と強度評価上の取扱い

	(注1) 事象	(注1) 事象の概略説明	(注1,2) 事故時荷重	(注1) ピーク圧力 (MPa)	(注1) 強度評価上の取扱い
運転状態Ⅲ	Ⅲ-a 1次冷却系 細管破断事故	口径1B以下の配管の破断又は口径1Bを超える配管からの漏えい ^(注3) を原子炉冷却材圧力バウンダリ内に想定	1次系内に急激な圧力変動はなく、ジェット反力も微小 []	[]	包絡圧力に機械的荷重及び自重を加えた荷重を用いる。 包絡圧力： []
	Ⅲ-b 主蒸気管 小破断事故	口径6B以下の配管の破断を主蒸気管に想定	1次系内に急激な圧力変動はなく、ジェット反力も小さい []		
	Ⅲ-c 1次冷却材 流量喪失事故	4個の1次冷却材ポンプのコストダウンを想定	1次系内に急激な圧力変動はなく、事故時荷重は生じない		
運転状態Ⅳ	Ⅳ-a 1次冷却材 喪失事故	口径1Bを超え3B以下の配管の破断又は口径3Bを超える配管からの漏えい ^(注4) を原子炉冷却材圧力バウンダリ内に想定	1次系内の急激な圧力変動は小さく、ジェット反力も微小 []		包絡圧力、又は、事故発生時の圧力に事故時荷重 ^(注5) を加えた荷重のいずれか大きい方に機械的荷重及び自重を加えた荷重を用いる。 包絡圧力： []
	Ⅳ-b 主蒸気管 破断事故	口径6Bを超える配管の破断を主蒸気管に想定	1次系内に急激な圧力変動はないが、ジェット反力が大きい []		
	Ⅳ-c 1次冷却材 ポンプ 軸固着事故	1個の1次冷却材ポンプの軸が瞬時に固着することを想定	短期的には1次冷却材ポンプ回りに水撃が起こるが、1次系内の急激な圧力変動は小さく、事故時荷重は比較的小さい		
	Ⅳ-d 制御棒クラスタ 飛出し事故	最も反応度が高い単一制御棒の炉心からの瞬時放出を想定	1次系内に急激な圧力変動はなく、ジェット反力も微小 []		
	Ⅳ-e 主給水管 破断事故	主給水管に破断を想定	1次系内に急激な圧力変動はなく、ジェット反力も比較的小さい []		
	Ⅳ-f 蒸気発生器 伝熱管破断事故	1本の伝熱管の破断を想定	1次系内に急激な圧力変動はなく、ジェット反力も微小 []		

(注1) 大飯発電所第4号機原子炉容器上部ふた取替工事の既工事計画書添付資料2-2「強度計算方法」(平成17・11・08原第8号、平成17年12月22日認可)による。

(注2) 事故時荷重は、事故時に発生する機械的荷重である。F_jは、破断点ジェット反力を示す。

(注3) 漏えい部の開口面積は、口径1B以下の配管の断面積相当とする。

(注4) 配管の破断又は漏えいの判定及び破損開口面積の算定は、JEAG4613に基づき行った。なお、漏えい部の開口面積は、口径1Bを超え3B以下の配管の断面積相当とする。

(注5) 主蒸気管破断事故、1次冷却材ポンプ軸固着事故及び主給水管破断事故時の荷重を考慮する。なお、事故時荷重の影響が有意ではない箇所については、

運転状態Ⅲと同様に包絡圧力に基づく荷重を用いて強度評価を行う。

3.3.5 荷重の組合せ

第3-13表に強度計算を行う場合の荷重の組合せを示す。

第3-13表 荷重の組合せ

状 態	荷重の組合せ
設計条件	P + M + D
供用状態A及びB	P + M + T + O
供用状態C	P + M + D
供用状態D	P + M + D + A

記号 P : 圧力
M : 機械的荷重 (自重を除く)
D : 管の自重
T : 管の熱膨張荷重 (支持点の熱膨張変位を含む)
O : 過渡熱応力
A : 事故時荷重

3.3.6 応力解析

(1) 応力の計算式

管に発生する応力を、JSME PPB-3500に基づく次の計算式により求め、材料の許容応力を超えないことを確認する。

a. 一次応力 ($S_{pr m}$)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

$$S_{pr m} = \frac{B_1 P D_0}{2 t} + \frac{B_{2b} M_{bp}}{Z_b} + \frac{B_{2r} M_{rp}}{Z_r}$$

(b) 管台及び突合せ溶接式テ ィー以外の管

$$S_{pr m} = \frac{B_1 P D_0}{2 t} + \frac{B_2 M_{ip}}{Z_i}$$

b. 一次+二次応力 (S_n)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

$$S_n = \frac{C_1 P_0 D_0}{2 t} + \frac{C_{2b} M_{bs}}{Z_b} + \frac{C_{2r} M_{rs}}{Z_r} + C_3 E_{ab} | \alpha_a T_a - \alpha_b T_b |$$

(b) 管台及び突合せ溶接式テ ィー以外の管

$$S_n = \frac{C_1 P_0 D_0}{2 t} + \frac{C_2 M_{is}}{Z_i} + C_3 E_{ab} | \alpha_a T_a - \alpha_b T_b |$$

c. ピーク応力 (S_p)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

$$S_p = \frac{K_1 C_1 P_0 D_0}{2 t} + \frac{K_2 C_2 M_{b s}}{Z_b} + \frac{K_2 C_2 M_{r s}}{Z_r} + \frac{K_3 E \alpha | \Delta T_1 |}{1.4} \\ + K_3 C_3 E_{a b} | \alpha_a T_a - \alpha_b T_b | + \frac{E \alpha | \Delta T_2 |}{0.7}$$

(b) 管台及び突合せ溶接式テ ィー以外の管

$$S_p = \frac{K_1 C_1 P_0 D_0}{2 t} + \frac{K_2 C_2 M_{i s}}{Z_i} + \frac{K_3 E \alpha | \Delta T_1 |}{1.4} \\ + K_3 C_3 E_{a b} | \alpha_a T_a - \alpha_b T_b | + \frac{E \alpha | \Delta T_2 |}{0.7}$$

d. 繰返しピーク応力強さ (S_ℓ)

$$S_\ell = \frac{S_p}{2}$$

e. 簡易弾塑性解析

一次＋二次応力 (S_n) が $3 S_m$ を超える場合は、次の簡易弾塑性解析を行う。

(a) 熱膨張応力を除いた一次＋二次応力 (S_n)

イ. 管台及び突合せ溶接式テ ィー

$$S_n = \frac{C_1 P_0 D_0}{2 t} + \frac{C_2 M_{b s}}{Z_b} + \frac{C_2 M_{r s}}{Z_r} + C_3' E_{a b} | \alpha_a T_a - \alpha_b T_b |$$

ロ. 管台及び突合せ溶接式テ ィー以外の管

$$S_n = \frac{C_1 P_0 D_0}{2 t} + \frac{C_2 M_{i s}}{Z_i} + C_3' E_{a b} | \alpha_a T_a - \alpha_b T_b |$$

(b) 繰返しピーク応力強さ (S_ℓ)

イ. $S_n < 3 S_m$ のとき

$$S_\ell = \frac{S_p}{2}$$

ただし、 S_p は 3.3.6(1)c. 項「ピーク応力 (S_p)」による。

ロ. $3 S_m \leq S_n$ のとき

$$S_e = \frac{K_e S_p}{2}$$

ただし、 K_e は次の計算式より計算した値

(イ) $K < B_0$

$$(i) \quad \frac{S_n}{3 S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 A_0 (q - 1)}}{2 A_0}$$

$$K_e = K_{e^*} = 1 + A_0 \left(\frac{S_n}{3 S_m} - \frac{1}{K} \right)$$

$$(ii) \quad \frac{S_n}{3 S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 A_0 (q - 1)}}{2 A_0}$$

$$K_e = K_{e'} = 1 + (q - 1) \left(1 - \frac{3 S_m}{S_n} \right)$$

(ロ) $K \geq B_0$

$$(i) \quad \frac{S_n}{3 S_m} < \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \left(1 - \frac{1}{K}\right) (q - 1)}}{a}$$

$$K_e = K_{e^{**}} = a \frac{S_n}{3 S_m} + A_0 \left(1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a$$

$$(ii) \quad \frac{S_n}{3 S_m} \geq \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \left(1 - \frac{1}{K}\right) (q - 1)}}{a}$$

$$K_e = K_{e'} = 1 + (q - 1) \left(1 - \frac{3 S_m}{S_n} \right)$$

ただし、 a は次の計算式により計算した値

$$a = A_0 \left(1 - \frac{1}{K} \right) + (q - 1) - 2 \sqrt{A_0 \left(1 - \frac{1}{K} \right) (q - 1)}$$

(c) 熱膨張応力 (S_e)

イ. 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_e = \frac{C_{2b} M_{bs}}{Z_b} + \frac{C_{2r} M_{rs}}{Z_r}$$

ロ. 管台及び突合せ溶接式テーパー以外の管

$$S_e = \frac{C_2 M_{is}}{Z_i}$$

(d) 線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面の温度差は次の計算式により計算した値を超えないこと。

$$\Delta T \leq \frac{1.4 y S_y}{E \alpha} C_4$$

ただし、 y は次の計算式により求まる x の区分に応じて JSME PPB-3536 に規定された値を用いる。

$$x = \frac{P_0 D_0}{2 t} \cdot \frac{1}{S_y}$$

f. 応力係数

応力計算式中の応力係数は、JSME PPB-3810 に規定された値を用いる。

(2) 許容応力

クラス 1 管の許容応力を第3-14表「クラス 1 管の許容応力」に示す。また、簡易弾塑性解析を行う場合の制限条件を第3-15表「クラス 1 管の簡易弾塑性解析の制限条件」に示す。

第3-14表 クラス1管の許容応力

状態	応力分類	一次応力	一次+二次応力	一次+二次応力+ピーク応力
		$S_{pr m}$	S_n	S_p
設計条件		$1.5 S_m$	—	—
供用状態A及びB		—	$3 S_m$ (注1)	$U \leq 1.0$ (注2)
供用状態C		$\min (2.25 S_m, 1.8 S_y)$	—	—
供用状態D		$\min (3 S_m, 2 S_y)$	—	—

(注1) 応力の全振幅に対する許容値であり、これを超える場合は簡易弾塑性解析を行う。

(注2) 設計過渡条件に示す回数が2種類以上あるので、疲労評価を行い、疲労累積係数(U)が1.0以下であること。

第3-15表 クラス1管の簡易弾塑性解析の制限条件

項目	許容値
材料の最小降伏点と最小引張強さとの比	0.8
供用状態A及びBにおける最高温度（オーステナイト系ステンレス鋼）	430℃
供用状態A及びBにおける熱膨張応力を除いた一次+二次応力	$3 S_m$
供用状態A及びBにおける一次+二次応力+ピーク応力強さの最大値	許容繰返し回数10回に対応する許容繰返しピーク応力強さ
供用状態A及びBにおける熱膨張応力	$3 S_m$
線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面の温度差の変動範囲	$\frac{1.4y S_y}{E \alpha} C_4$

3.3.7 強度評価

(1) 応力評価

発生応力がJSME PPB-3500に定められた構造の規格に適合していることを確認する。

a. 一次応力評価

圧力、管の自重及び機械的荷重により生ずる一次応力は、設計条件、供用状態C及びDにおいて評価する。

b. 一次＋二次応力評価

圧力、過渡熱応力、管の熱膨張荷重（支持点の熱膨張変位を含む）及び機械的荷重により生ずる一次＋二次応力は、変動が最大となる供用状態A及びBの組合せにおいて評価する。

なお、一次＋二次応力が許容応力を満足しない場合は、簡易弾塑性解析を行う。

(2) 疲労評価

a. 一般

疲労解析は破壊モードのひとつとして疲労破壊を考慮し、それに対するクラス1管の健全性を保証するために行う。

疲労解析は供用状態A及びBの繰返し荷重に対する評価を行う。

一次＋二次応力が $3 S_m$ を超える部分については、簡易弾塑性解析により疲労解析を行う。

b. 疲労解析

疲労解析の手順は、次のとおりである。

(a) 使用材料による設計疲労線図の選定

使用材料はすべてオーステナイト系ステンレス鋼であるので、JSME 図 添付4-2-2(1)を使用する。

(b) 繰返しピーク応力強さの算出

供用状態A及びBにおいて作用するすべての荷重によって生ずる一次応力と二次応力及びピーク応力を加えて求めた応力強さのサイクルを求め、その極大値と極小値の差の1/2の値（繰返しピーク応力強さ）を求める。