

No.	高浜 1－特別点検（原子炉格納容器）－ 8 rev5
質 問	<p>(添付 2)</p> <p>非破壊試験 (VT-4) の判定基準「原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食」の判断基準又は限界見本を提示すること。</p>
回 答	<p>判断基準としては、添付 1 の通り、塗膜に割れ、欠け、剥がれ、膨れの有無、下塗りの健全性、母材の発錆の有無等を確認することで、構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食がないかを判断している。</p> <p>添付 1 に示す点検フローの考え方を以下に示す。</p> <p>①原子炉格納容器の塗膜に割れ、欠け、剥がれ、膨れの異常が認められなければ、塗膜の劣化がないと判断。</p> <p>②原子炉格納容器の塗膜は、上塗り、中塗り、下塗りの 3 層からなり、たとえ上塗り及び中塗り部分に割れ等の損傷があっても、下塗りが健全で原子炉格納容器鋼板の表面を覆っていれば、金属表面が大気にさらされないことから、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化はないと判断。</p> <p>③下塗りが健全でない、または下塗りの健全性が確認できない状況である場合、発錆が認められなければ、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある腐食ではないと判断。</p> <p>④金属母材が見えているような薄い表面錆が確認されたとしても、侵食されて母材板厚が変わるほどの影響がなければ、これも構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある腐食ではないと判断。</p> <p>本点検フローは、点検実施前の作業計画書の読み合わせの際に点検施工会社へ周知を行い調達要求事項としている。議事録を添付 2 に示す。</p> <p>なお、今回の特別点検では、添付 3 のとおり点検の結果、「問題なし」と判断したもののうち、添付 1 の点検フローの②が該当する場合は気付き事項として点検施工会社より連絡を受けており、当該部位については機器保全の観点から塗膜状態の確認を行なうとともに塗装を実施している。点検フロー②と判断される鋼板の塗膜状況の例を添付 4 に示す。</p> <p>(現状保全と特別点検の比較)</p> <p>PWR の原子炉格納容器鋼板は水に接していないことから、維持規格において定期的な検査は要求されていないが、現状の保守管理として、定期的な原子炉格納容器漏えい率試験時に目視点検を実施している。</p> <p>従来の点検 (漏えい率試験時) と今回の特別点検の点検方法の比較を表</p>

1に示す。

表1 点検方法の比較

	原子炉格納容器 漏えい率試験時の点検 (従来の点検)	特別点検 (今回の点検)
点検範囲	原子炉格納容器鋼板 (円筒部外面上部等を除く)	原子炉格納容器鋼板 (接近できる点検可能範囲の 全て)
点検方法	目視点検 ・高所は双眼鏡を用いた点検 ・点検時の照度、グレーカー ドの確認等なし	目視点検 (VT-4) ・高所は高倍率のカメラ等 を使用 ・点検時の照度、グレーカー ドの確認・検証あり

今回の特別点検では、従来の点検と比較して確認が容易でなかった円筒部外面上部等を含め、仮設足場や搭乗設備を使用して可能な限り点検不可範囲を低減させる手法を選択して点検を実施した。

点検不可範囲について、従来の点検と特別点検の比較を表2に示す。

表2 点検不可範囲の比較

従来の点検	特別点検	点検不可範囲の違い
点検不可 (×)	点検可能 (○)	・円筒部外面上部 ・高所の干渉物裏 (鋼板より距離あり) 恒設足場が設置されていない範囲については従来の点検が容易でない。特別点検では仮設足場や搭乗設備を利用して点検実施
点検可能 (○)	点検不可 (×)	・フロア付近の干渉物裏 特別点検として要求するVT-4の要求条件での点検は不可であったものの、現状保全にて目視点検は実施できる
点検不可 (×)	点検不可 (×)	・高所の干渉物裏 (鋼板より距離なし) 恒設足場が設置されていない範囲については従来の点検が容易でない。特別点検にて搭乗設備等を利用して近接した場合でも、VT-4の要求条件の確保ができず点検不可範囲となる

(点検結果を踏まえた考察)

今回の特別点検では、従来と比較して確認が容易でなかった円筒部外面上部等を含め、仮設足場や搭乗設備等も利用して接近できる点検可能な全ての範囲を対象として、視認性を実証できる条件で点検を実施した。その結果、一部の鋼板において塗膜の割れ等が確認されたが、下塗りは健全であったことから、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化は確認されなかった。

今回の点検で塗膜の割れ等が確認された範囲は半球部外面 (屋外) 及び原子炉格納容器内外のフロア・恒設足場が設置されている範囲が大半であ

った。塗膜の割れ等が比較的多く確認された範囲を添付5に示す。

半球部外面の鋼板は屋外大気に曝され、紫外線・水分（雨水）といった塗膜に対して厳しい環境であるため、これまでも従来の点検結果等により、適宜塗装を実施している。一方で、半球部内面や円筒部内外面の鋼板は屋外大気に曝されていないが、半球部外面の鋼板ほど厳しい環境にないが、点検結果等により、必要に応じて塗装を実施している。

従来の点検、今回の特別点検それぞれについて点検不可範囲は存在するものの、基本的には以下（表3）の通り現状で塗膜の健全性が担保されていることと、点検不可範囲は屋内であり腐食が促進される環境でないことから、今後も現状の保安全管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。

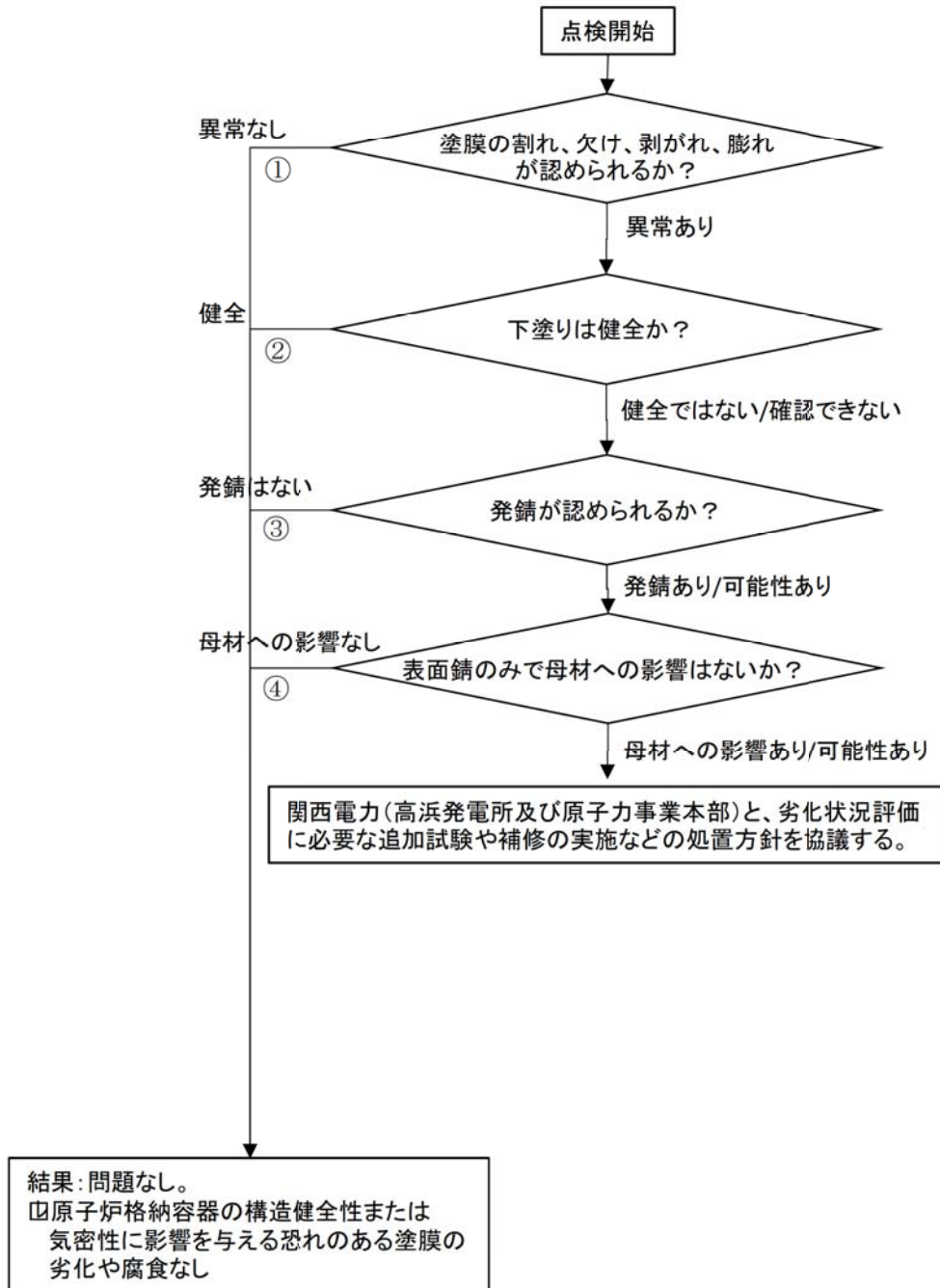
ただし、特別点検の結果を踏まえ、比較的「塗膜の割れ等」が多く確認された添付5の③のうち、リングガード下部については、従来の点検手法では確認しづらい箇所があるため、従来の点検の作業要領書に、「リングガード点検時にはポーラクレーンに搭乗設備を吊り下げ点検する」旨を記載し、確認しづらい箇所を低減するべく点検手法を改善する。（添付6参照）

表3 保全の考え方

従来の点検	特別点検	今後の保全についての考え方
点検不可 (×)	点検可能 (○)	<ul style="list-style-type: none"> ・円筒部外面上部 ・高所の干渉物裏（鋼板より距離あり） 当該範囲の点検において塗膜の劣化は少なく、確認された塗膜の劣化については必要に応じて塗裝修繕を行い塗膜の健全性を確保したことに加えて、劣化の少ない屋内環境であることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。
点検可能 (○)	点検不可 (×)	<ul style="list-style-type: none"> ・フロア付近の干渉物裏 従来の点検でVT-4の要求条件ではないものの点検が実施できており、塗膜の健全性が維持されていることを確認していることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。
点検不可 (×)	点検不可 (×)	<ul style="list-style-type: none"> ・高所の干渉物裏（鋼板より距離なし） 干渉物裏の極めて限定された範囲のみが点検不可範囲であり、周辺の鋼板は現状保全で点検可能な範囲である。環境条件は周囲の鋼板と同じであり、周辺を塗裝修繕する際は点検不可範囲についても合わせて塗装実施していることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。

以上

CV特別点検における点検フロー(判断基準について)



議 事 録 (1 / 2)

平成 26 年 11 月 28 日 作成

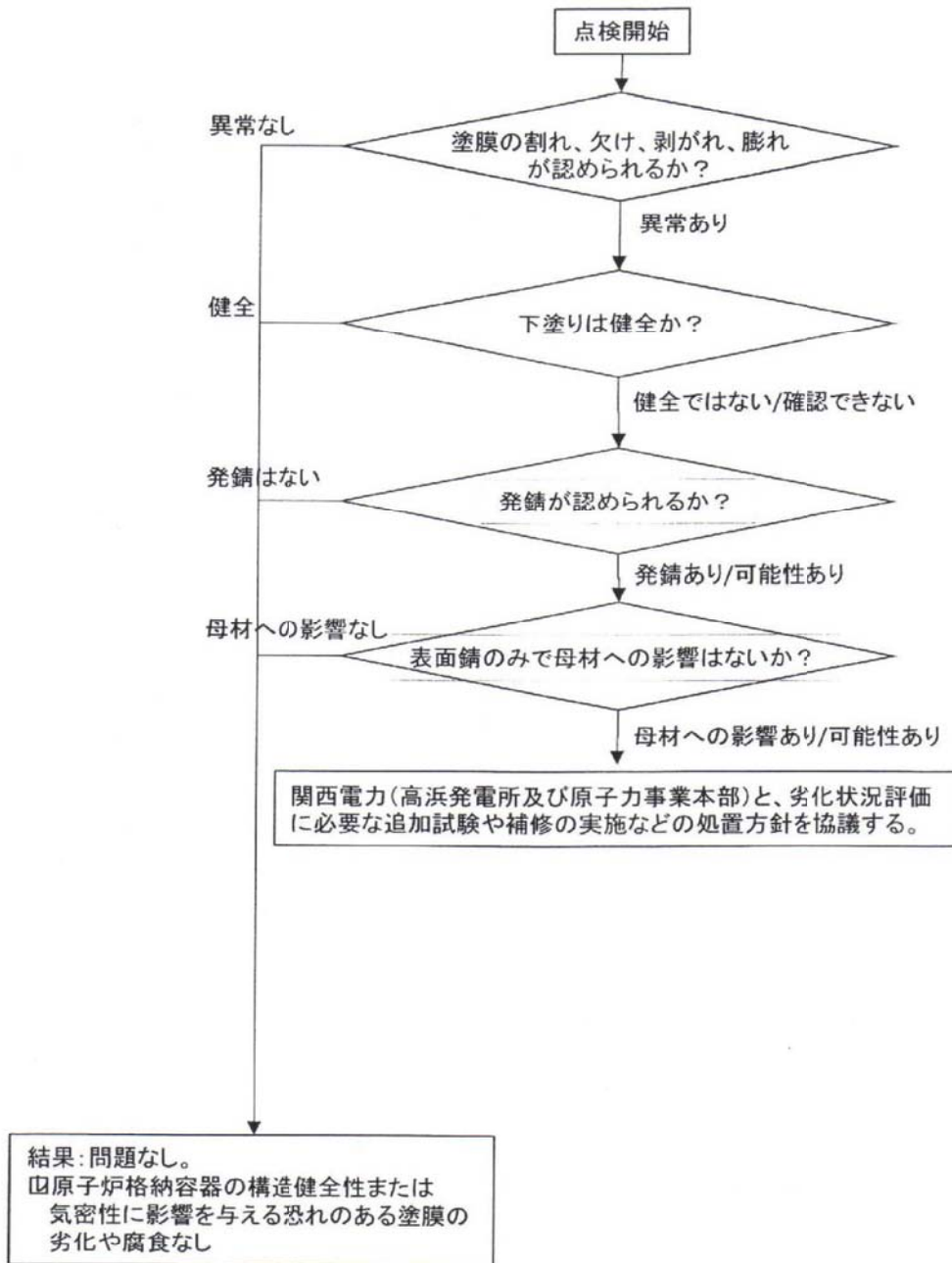
承認	作成者

議題	高浜発電所 1, 2 号機 原子炉格納容器特別点検工事 作業前読み合せ議事録			添付資料の有無 ① 有 ・ 無
日時	平成 26 年 11 月 28 日 10:00~10:30	場所	KTN 第 1 ビル 302 会議室	出席者
打ち合わせ内容				対応者
<p>「高浜発電所 1, 2 号機 原子炉格納容器特別点検工事」に関して、作業前読み合せを実施した。</p> <p>1. 計画書の流れに沿って、説明を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 体制確認 ➤ 立会い <ul style="list-style-type: none"> ・ FL 毎かつ 90° 毎 (0°、90°、180°、270° の 4 箇所) ・ [REDACTED] の都合に合わせて実施 ・ 立会いを受ける鋼板は NDI にて選定する。 ➤ 資機材搬入 <ul style="list-style-type: none"> ・ 12/1 [REDACTED] と 2 号 17m 機器ハッチより ➤ 計画書のサイン <ul style="list-style-type: none"> ・ 11/28 以降の日付で ➤ 工程 <ul style="list-style-type: none"> ・ 1, 2u 半球部外面 : 12/1~ ・ 半球部内面についてはボーラクレーン占有期間内で実施 ・ 1/12~17 2u 2 直体制 ・ 円筒部外面 <ul style="list-style-type: none"> 1u : 2/2~14 2u : 3/2~14 ・ 円筒部内面 32m 以上は、自由な工程となっている。 				処置日

議 事 録 (2 / 2)

打ち合わせ内容	対応者	処置日
<p>2. 当て板部の点検について</p> <ul style="list-style-type: none">➤ ゴンドラ使用箇所や、点検と同時に可能な箇所については本点検と並行して実施する。➤ 複雑な形状のペネや、機器ハッチ等の点検に時間のかかりそうな箇所は、本点検完了後に実施する。 <p>3. 判断フローについて</p> <p>異常箇所の判断フローについて [REDACTED] より説明有り。</p> <p>項目 4 の母材への影響なしについての判断は、関西電力殿へ連絡の上、確認して頂くことで確認を取った。</p> <p>4. 塗装の注意表示</p> <p>点検前にはがし、点検後に復旧する。</p> <p>バイオランテープも同様。</p> <p>5. 試験実施日、試験実施者</p> <p>点検実施日、点検実施者に変更。</p> <p>(工事記録・特別点検記録共に)</p> <p>6. 放射線管理専任者より</p> <ul style="list-style-type: none">➤ 1A 区域へ移動時は、物品のサーベイを必ず行うこと。➤ アニュラス立入後は、30 分程度待機してから退出すること。 <p style="text-align: right;">以上</p>		

CV特別点検における点検フロー(判断基準について)



フロー②と判断される鋼板の塗膜状況の例

一部の鋼板で塗膜の割れ等が確認されたが、劣化程度はフローの②程度であった。フロー②と判断される鋼板の塗膜状況の例（高浜 1， 2 号機の特別点検で確認されたものではない。）を以下に示す。



（例）中塗りが見えている塗膜状況（円筒部内面）

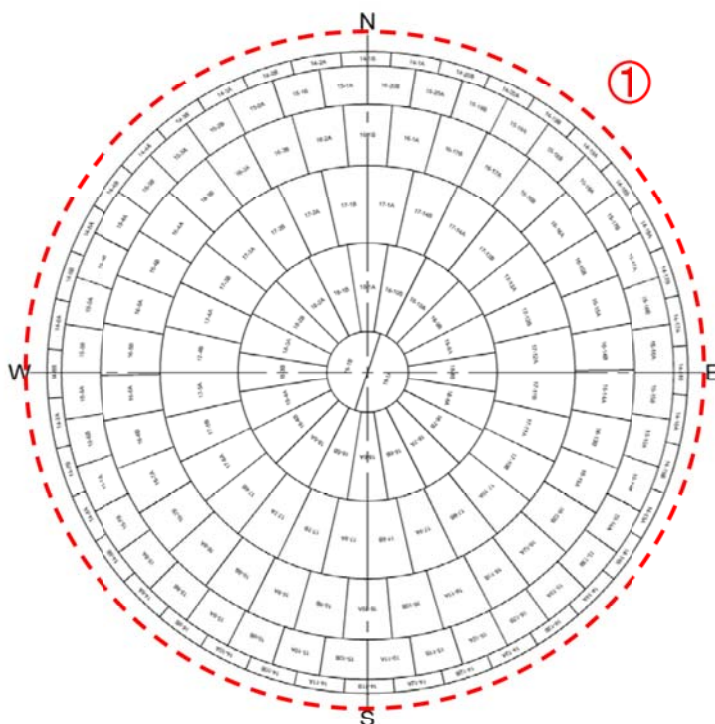


（例）下塗りが見えている塗膜状況（円筒部内面）

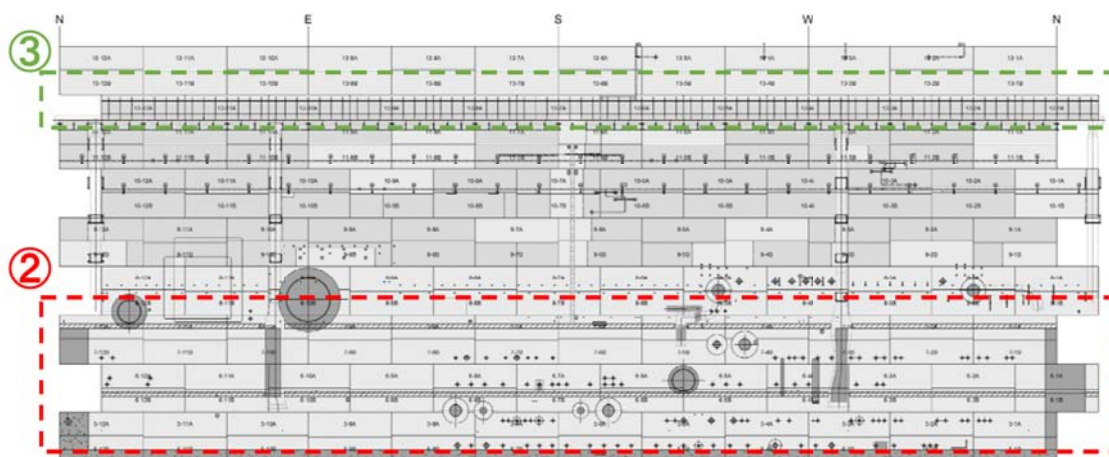
「塗膜の割れ等」が確認された範囲

○特別点検で塗膜の割れ等が確認された範囲は、「屋外」及び「屋内のうち、フロア・恒設足場が設置されている範囲」が大半であった。(下図①、②)

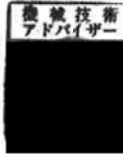
なお、円筒部内面のリングガーダ付近においては、上下の鋼板と比較して、塗膜の割れ等が比較的多い箇所が見られた。(下図③)



(例) 高浜 1 号機 半球部外面



(例) 高浜 1 号機 円筒部内面



関電	課長	係長	班長	作業長	担当者
	[Redacted]				

関西電力(株)高浜発電所1. 2. 3. 4号機

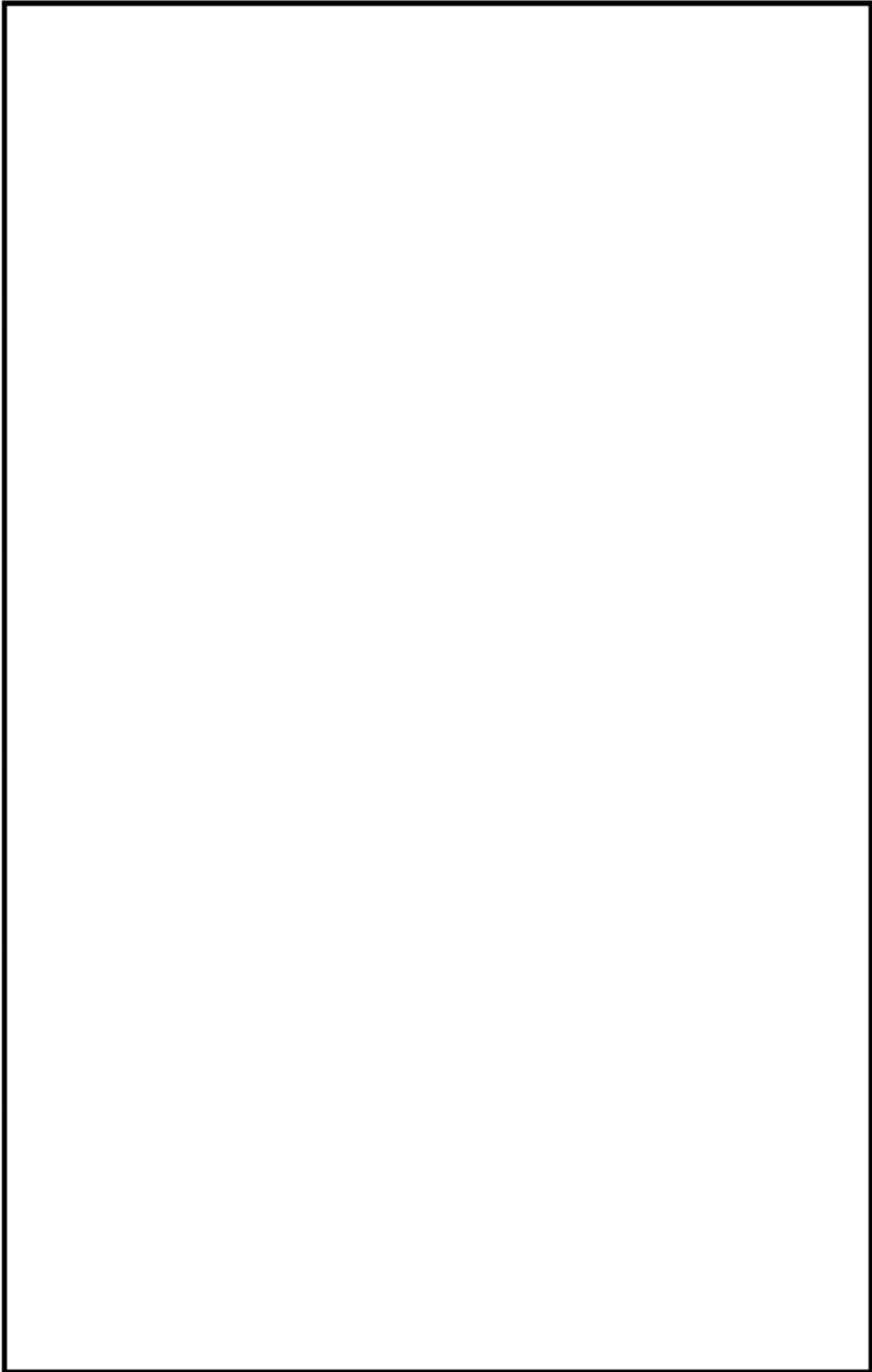
別冊作業要領書

工事件名： 原子炉格納容器定期点検工事 (A種)



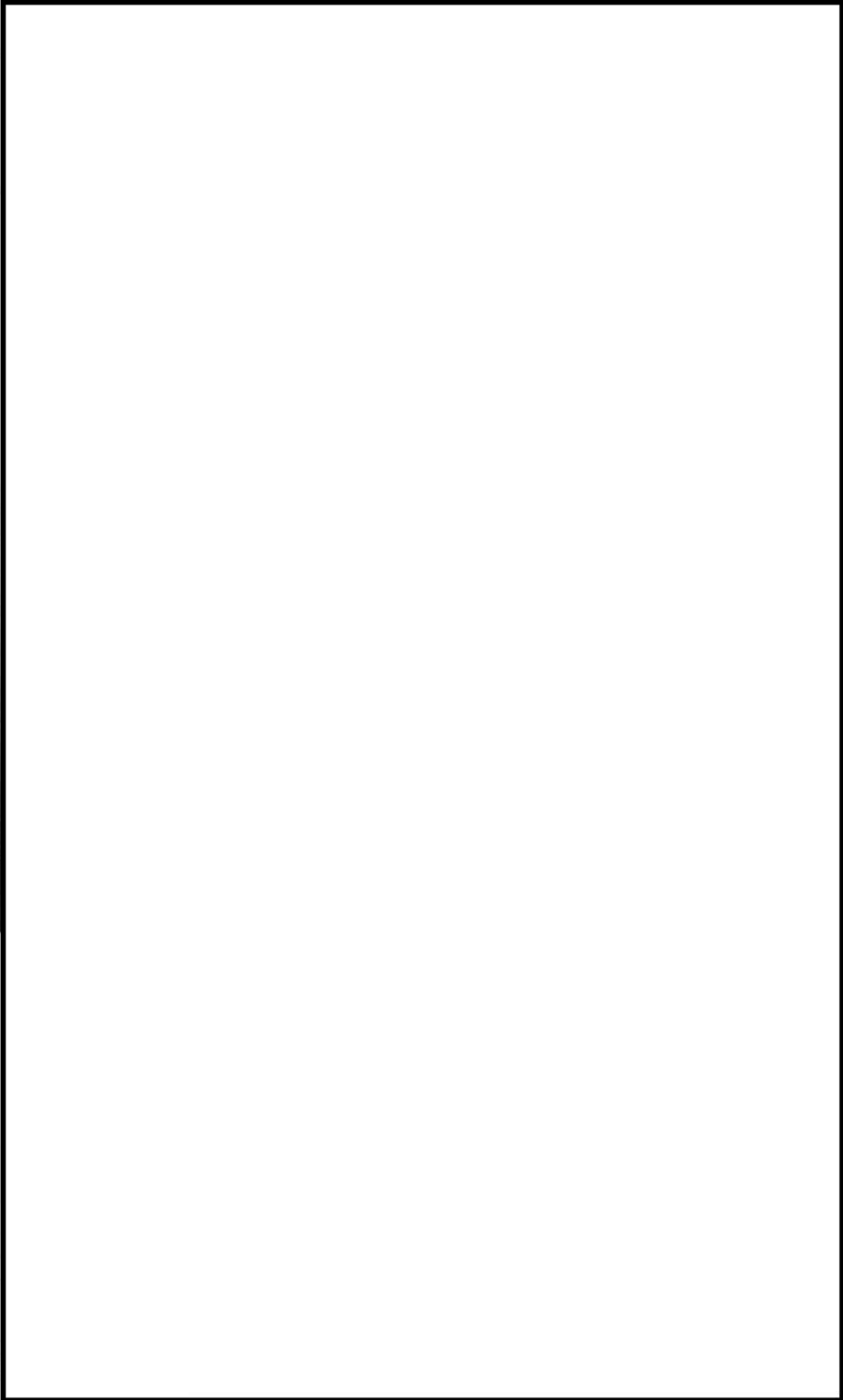
内容		備考	注文主 関電高浜 第1. 2. 3. 4号機	年月日		[Redacted]	
本文	枚			照合者		[Redacted]	
図表	枚			作成		平成27年 7月29日	
表紙共	枚	出書		平成 年 月 日			
配布先	関電			控		改訂	
1				1			

5-(4) 作業要領(手順)



内は商業機密に属しますので公開できません

作業要領 (手順)



内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1-低サイクル疲労-6 rev1	事象：疲労																
質 問	<p>(別冊-2熱交換器-2蒸気発生器-22頁)</p> <p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ、伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法を含む)を提示すること。</p> <p>また、疲労累積係数について、設計・建設規格による解析結果と環境疲労評価手法による解析結果が各々最大となる評価点の位置とその値を提示すること。</p>																	
回 答	<p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りです。</p> <p>1. 解析モデル 解析モデルを添付1に示します。</p> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="368 987 1417 1256"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td colspan="3" rowspan="2" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"> 内は商業機密に属しますので公開できません </p> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び設計・建設規格による最大評価点の選定結果を、添付2に示します。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付3に示します。</p> <table border="1" data-bbox="416 1686 1369 1843"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組合せ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke係数 評価に用いたKe係数を添付2、添付4に示します。</p>			使用箇所	材料	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台				管板及び管板廻り	状態	荷重の組合せ	供用状態 A, B	圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡
使用箇所	材料	設計応力強さ																
		S _m (MPa)	温度 (°C)															
給水入口管台																		
管板及び管板廻り																		
状態	荷重の組合せ																	
供用状態 A, B	圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡																	

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示します。

7. 評価点の位置と数値

設計・建設規格による解析結果と環境疲労評価手法による解析結果が各々最大となる評価点の位置とその値を以下に示します。

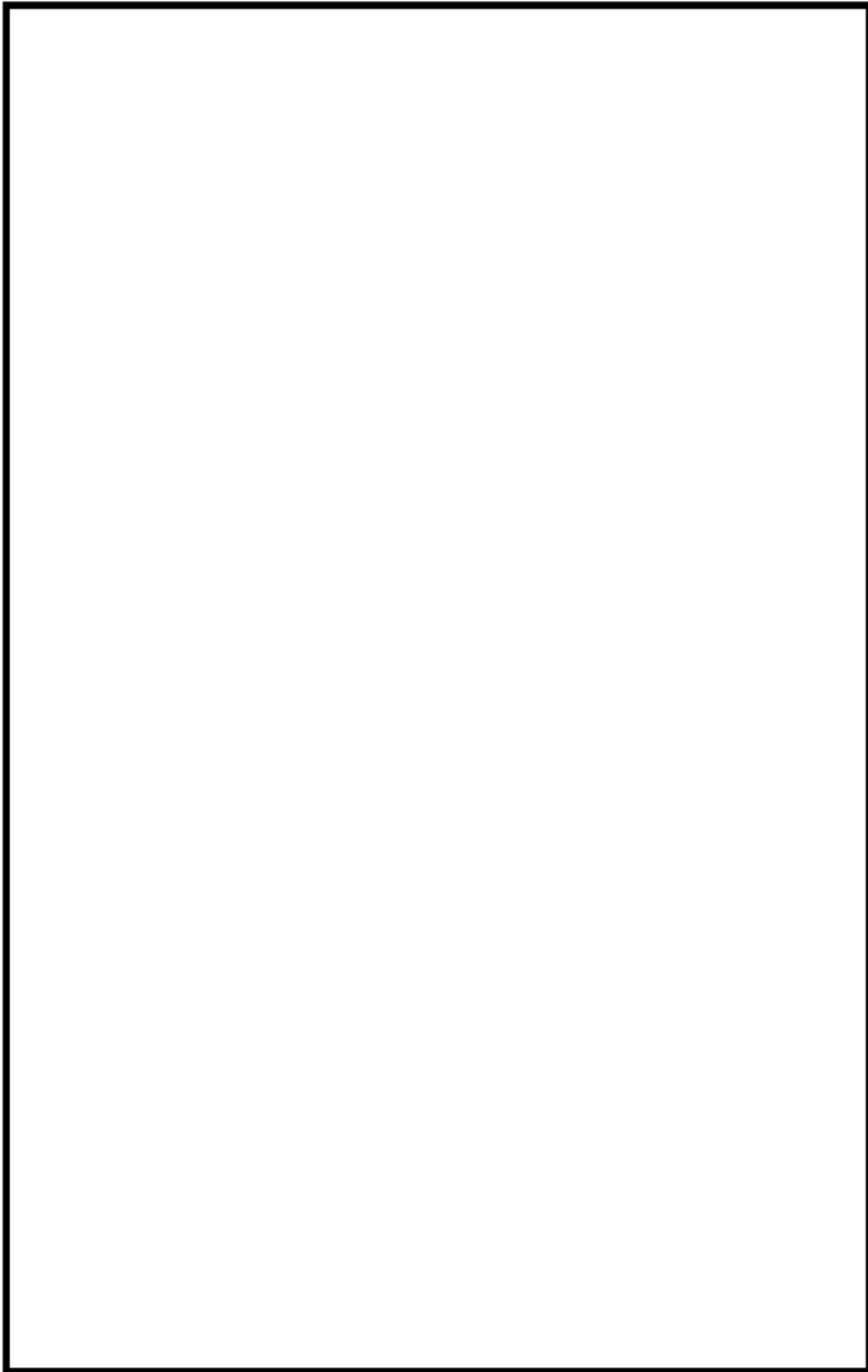
管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施しています。

また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示しています。

評価点の位置については、添付2を参照下さい。

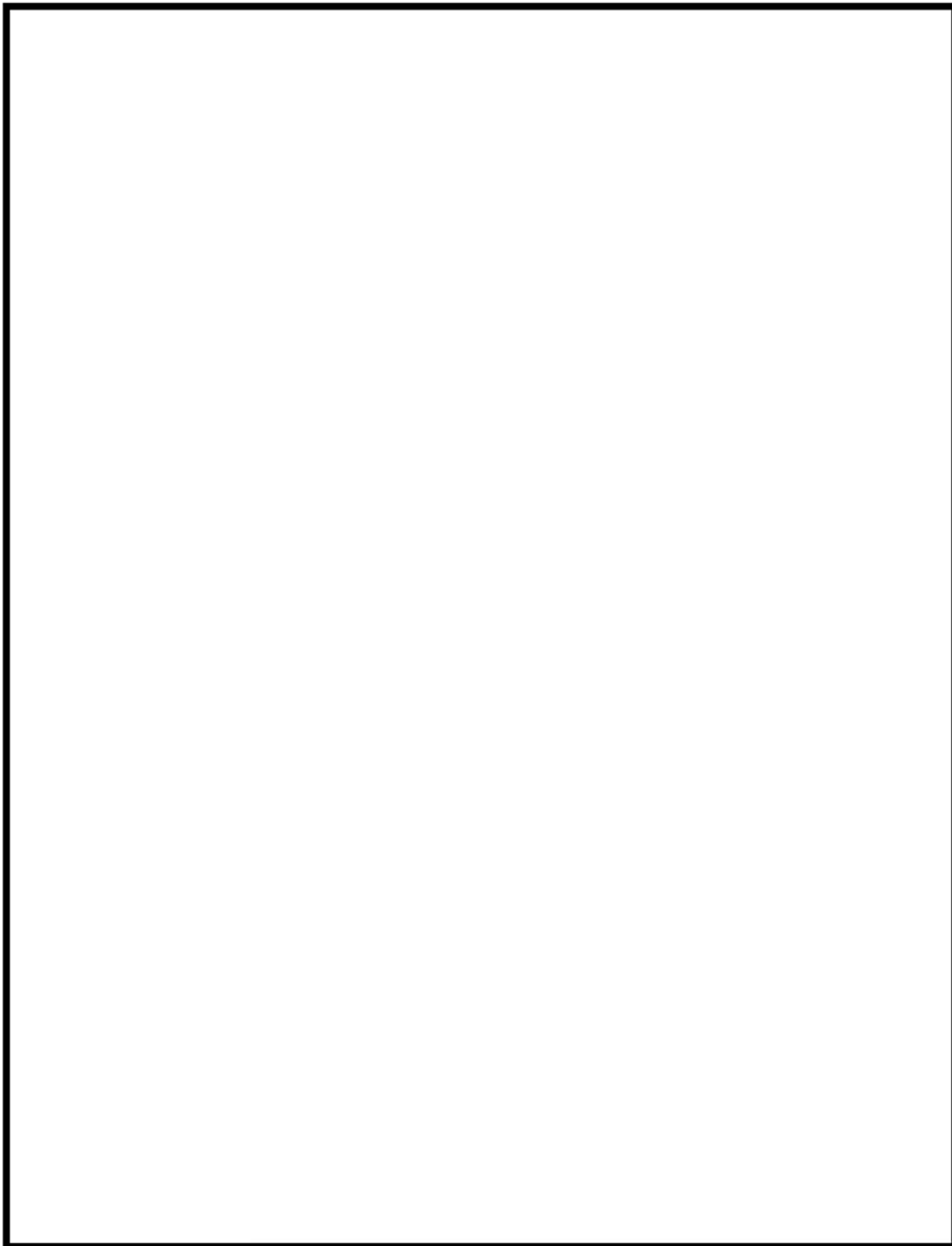
評価部位	設計・建設規格による 解析結果		環境疲労評価手法に よる解析結果		評価点参照
	U f	評価点	U f e n	評価点	
管板及び管板廻り	0. 1 2 3	1次側 R/R*=1.0	0. 0 9 9	1	添付2（1／6）
給水入口管台	0. 0 7 3	7	0. 2 3 5	1	添付2（2／6）

以上



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません



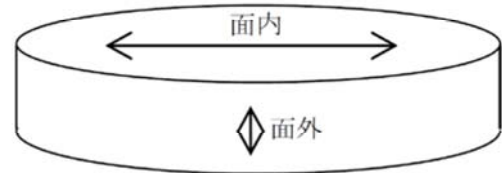
蒸気発生器本体 給水入口管台 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません

管板部の伝熱管穴周りの応力算出

管板部の伝熱管穴周りの応力算出 (高浜 1/2 号炉 共通)

管板のモデル化は、管板の穴明き部を簡易的に評価するため、等価中実円板に置き換えてモデル化を行っている。



等価中実円板とは、寸法が多孔板と同一で変位が等しくなるように、縦弾性係数及びポアソン比を修正した中実円板です。管板 (多孔板部) は次のとおり等価剛性を考慮します。

- 1) 面内方向の E^*/E 及び ν^* は、文献「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」Table2 及び Table3 より

E^* : 等価縦弾性係数
 E : 縦弾性係数
 ν^* : 等価ポアソン比

	η	0.3	0.4
管穴ピッチ方向	E^*/E	0.420	0.525
	ν^*	0.173	0.216
管穴対角方向	E^*/E	0.239	0.380
	ν^*	0.529	0.433

リガメント効率 : $\eta = h / p =$ []

管穴ピッチ : $p =$ []

最小リガメント : $h =$ []

から、管穴ピッチ方向と管穴対角方向を平均し、 $E^*/E =$ [] $\nu^* =$ [] となる。

- 2) 面外方向の E^*/E は、面積比より $E^*/E = 1 - [(\pi \cdot r'^2) / p^2] =$ [] となる。

等価伝熱管内半径 : $r' =$ []

管穴ピッチ : $p =$ []

面外方向 ν^* は、中実と変わりなく、 $\nu^* = 0.3$ となる。

管板部の伝熱管周りの応力算出 (補足説明)

管穴の配列について

多孔板の等価剛性を求める手法として ASME 「ARTICLE A-8000 STRESSES IN PERFORATED FLAT PLATES」 が存在するが、適用条件として管穴配列が正三角形であることが必要である。しかしながら、高浜 1 号炉及び 2 号炉の蒸気発生器の管板の管穴配列は図 1 に示すとおり、正四角形であることから ASME は適用できない。

そこで、適用条件として管穴配列が正四角形の場合も記載されている文献「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」* (適用条件となる管穴配列は図 2 参照) を適用しています。

* T. Slot, W. J. O' Donnell : Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns, Journal of Engineering for Industry, 1971

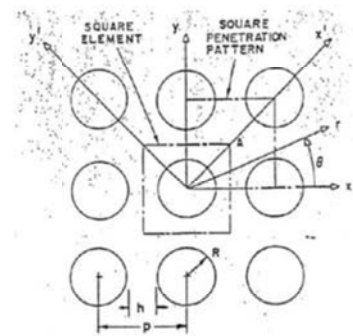
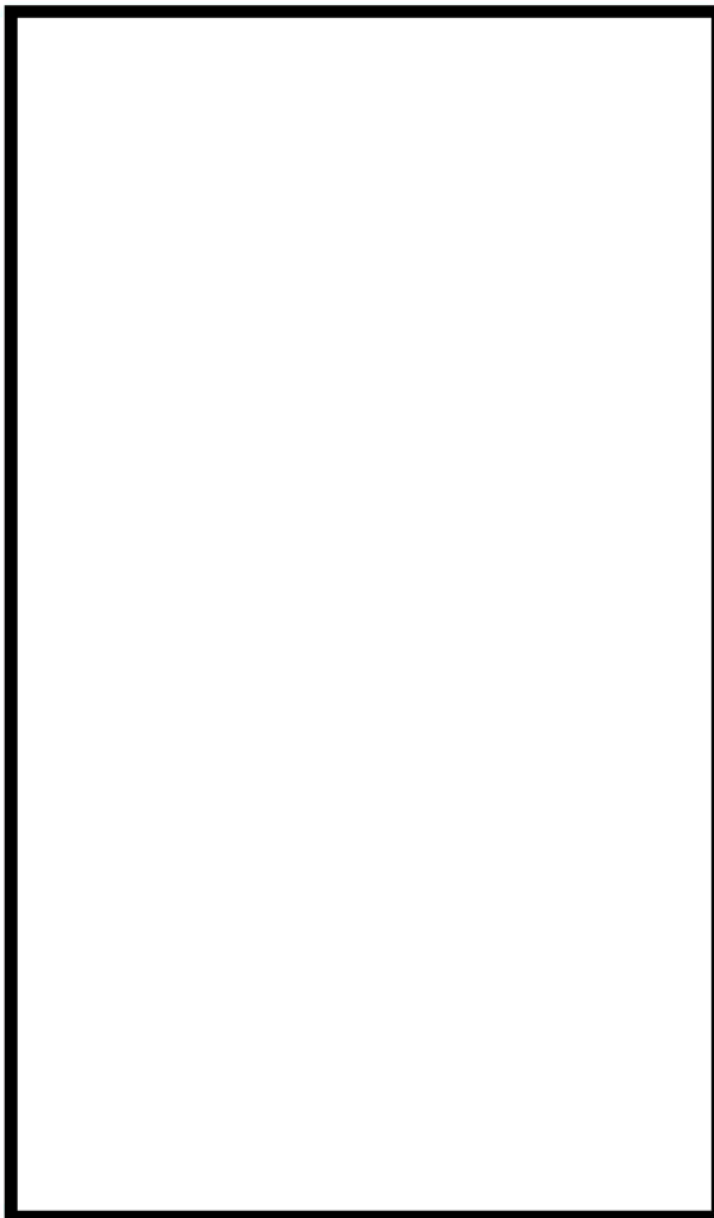


図 2 適用条件となる管穴配列 (正四角形の場合)



図 1 評価対象機器の管穴配列

(上段 : 高浜 1 号炉 蒸気発生器
下段 : 高浜 2 号炉 蒸気発生器)

管板周りの疲労評価における解析モデルの妥当性について

○仕切板の影響について

蒸気発生器水室の入口側と出口側の仕切板は、管板と溶接等で接合されていないため、管板に対する仕切板の熱伸び等による有意な影響はないと考えられます。そのため、水室の仕切板はモデルに考慮していません。

○管側水室の温度条件について

管側水室の温度条件は1次冷却材の入口と出口側で異なりますが、入口条件、出口条件それぞれの過渡を入力して評価しています。理由を以下に示します。

蒸気発生器の管板周りにおいては、胴側と水室側の温度差により管板が曲ろうとするため、管板と胴の境界周辺の構造不連続部に大きな応力が発生します。

図1に、胴側が低温流体、水室側が高温流体の場合のイメージ図を示します。仕切板を考慮した場合は図1(a)のように、胴側との温度差が大きくなる水室入口側は管板の半分の領域に接するため、管板の熱曲げによる応力は主にこの領域で発生します。

一方、疲労評価では図1(b)のように仕切板を考慮せず、管板全体が最大温度差を受けるモデルとすることで、管板の変形が大きくなり、管板の熱曲げによる応力が大きく評価されます。

したがって、図1(b)の方が熱過渡による疲労評価として厳しい評価となります。

ここで、水室側において入口側と出口側が隣り合う部分（管板と仕切板の交差部周辺）では、入口側と出口側の温度差により熱応力は生じますが、温度差は胴側—水室入口側より小さいこと、及び曲げの生じる方向が管板全体の曲げとは異なることから、管板全体への影響は小さいと考えます。

以上から管側水室の入口側と出口側の温度差による影響は、より温度差の大きい胴側と管側入口側の温度差を考慮した評価により確認されていると判断し、解析モデルに考慮していません。

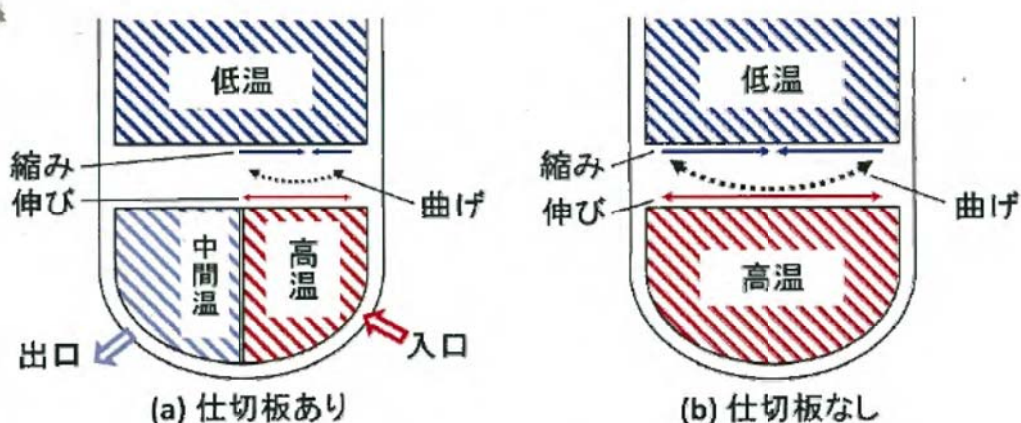
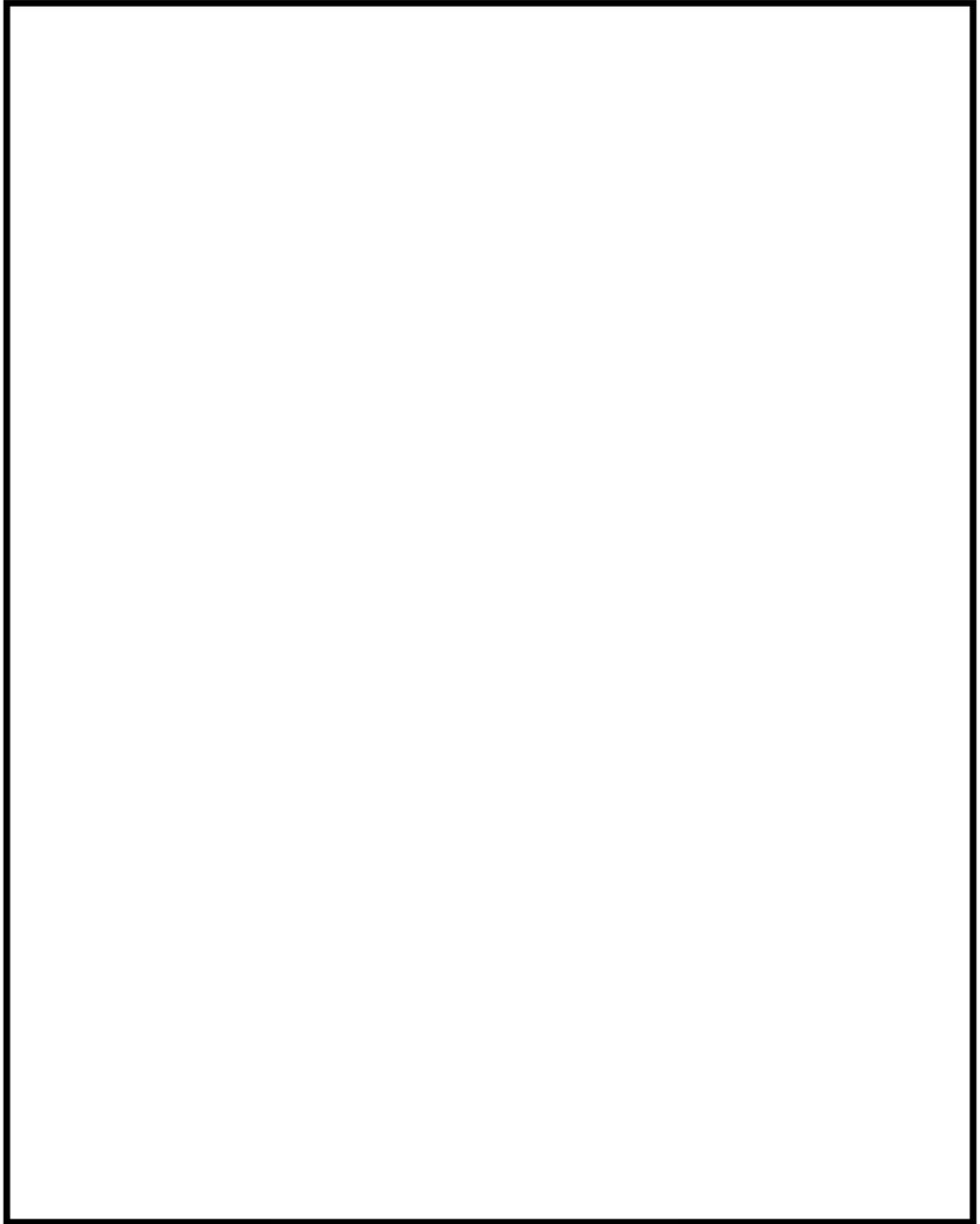
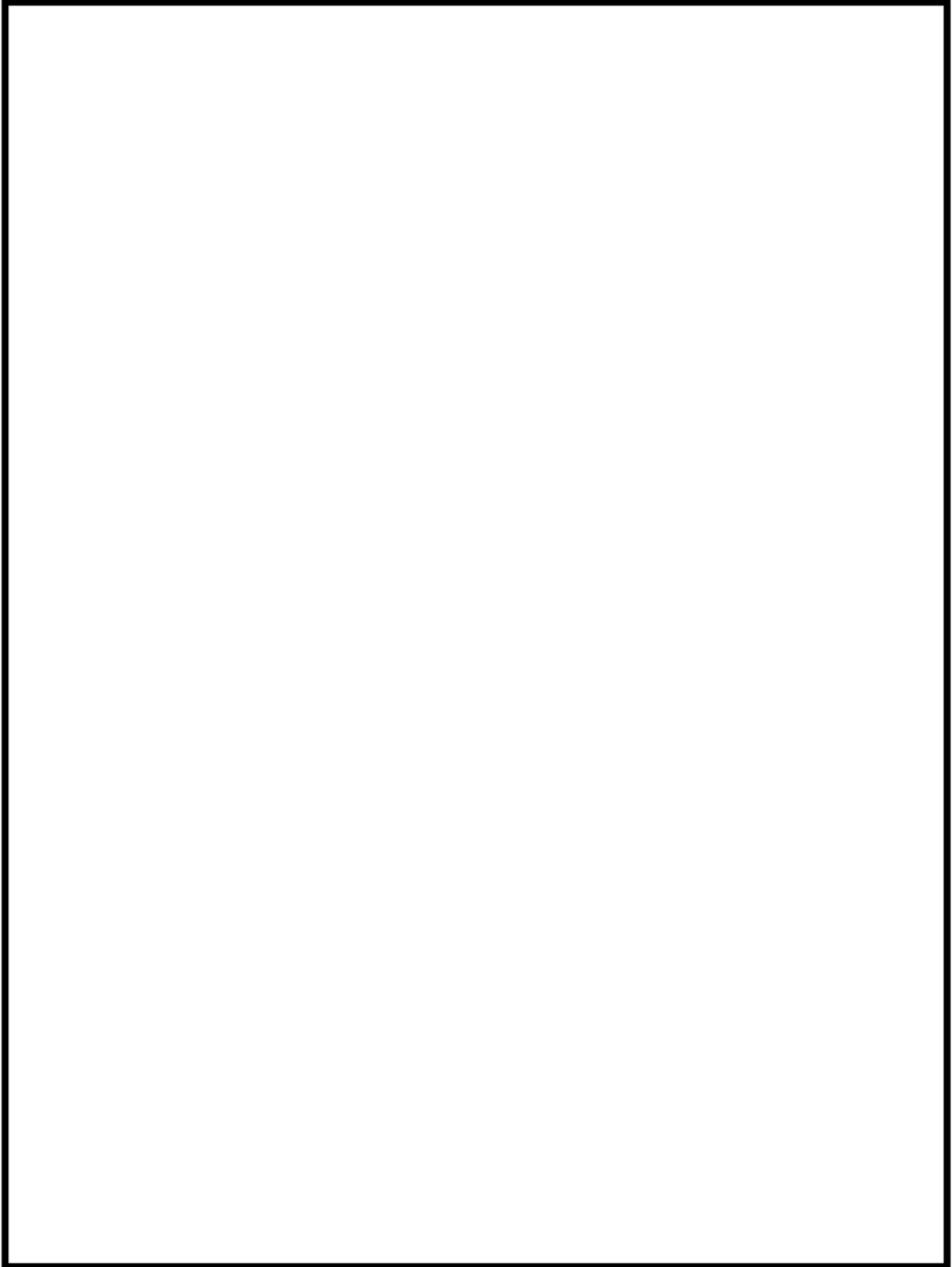


図1: 管板周りのイメージ図



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 評価点

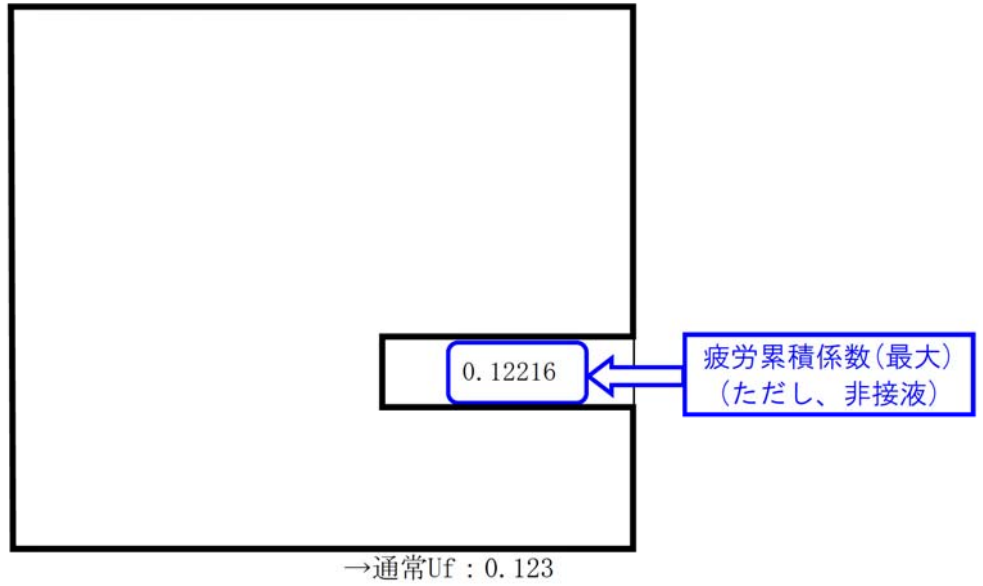
内は商業機密に属しますので公開できません



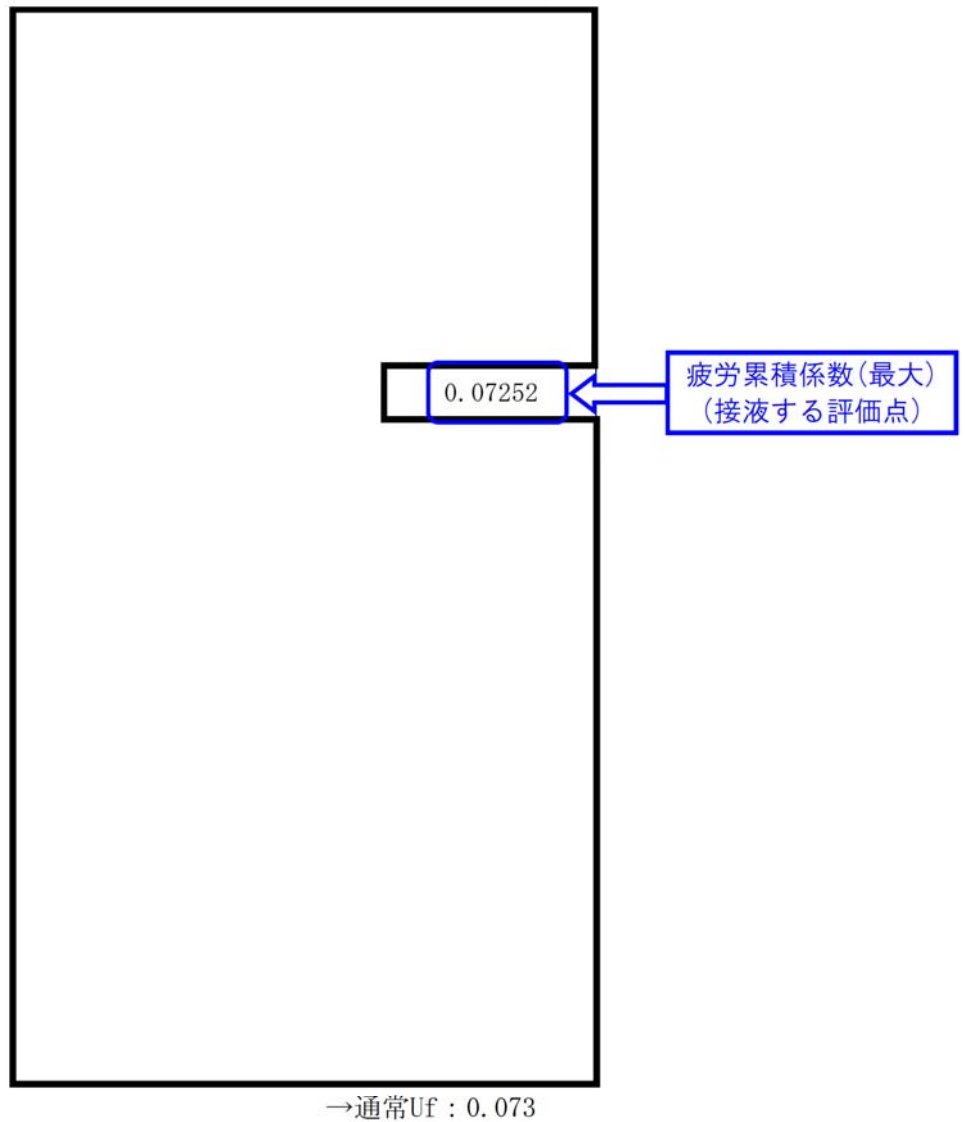
蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (1/2)
管板および管板廻り



蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2/2)
給水入口管台



蒸気発生器本体 疲労評価結果 管板及び管板廻り (評価点: 1次側 R/R*=1.0)

評価点 - P1 SIDE R/R* = 1.0

応力強さ	(単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数
<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
			疲労累積係数 = 0.12216

K_s : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT* : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常UF:0.123

内は商業機密に属しますので公開できません

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点: 7) (1/2)

評価点 - 7
(S12)

応力強さ (単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数

内は商業機密に属しますので公開できません

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点:7) (2/2)

評価点 : 7
(S12)

応力強さ (単位: Ma)					繰返し回数		疲労係数
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT	N	N^*	(=N N^*)
[Redacted]							

疲労累積係数 = 0.07252

 K_e : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT : ALT(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

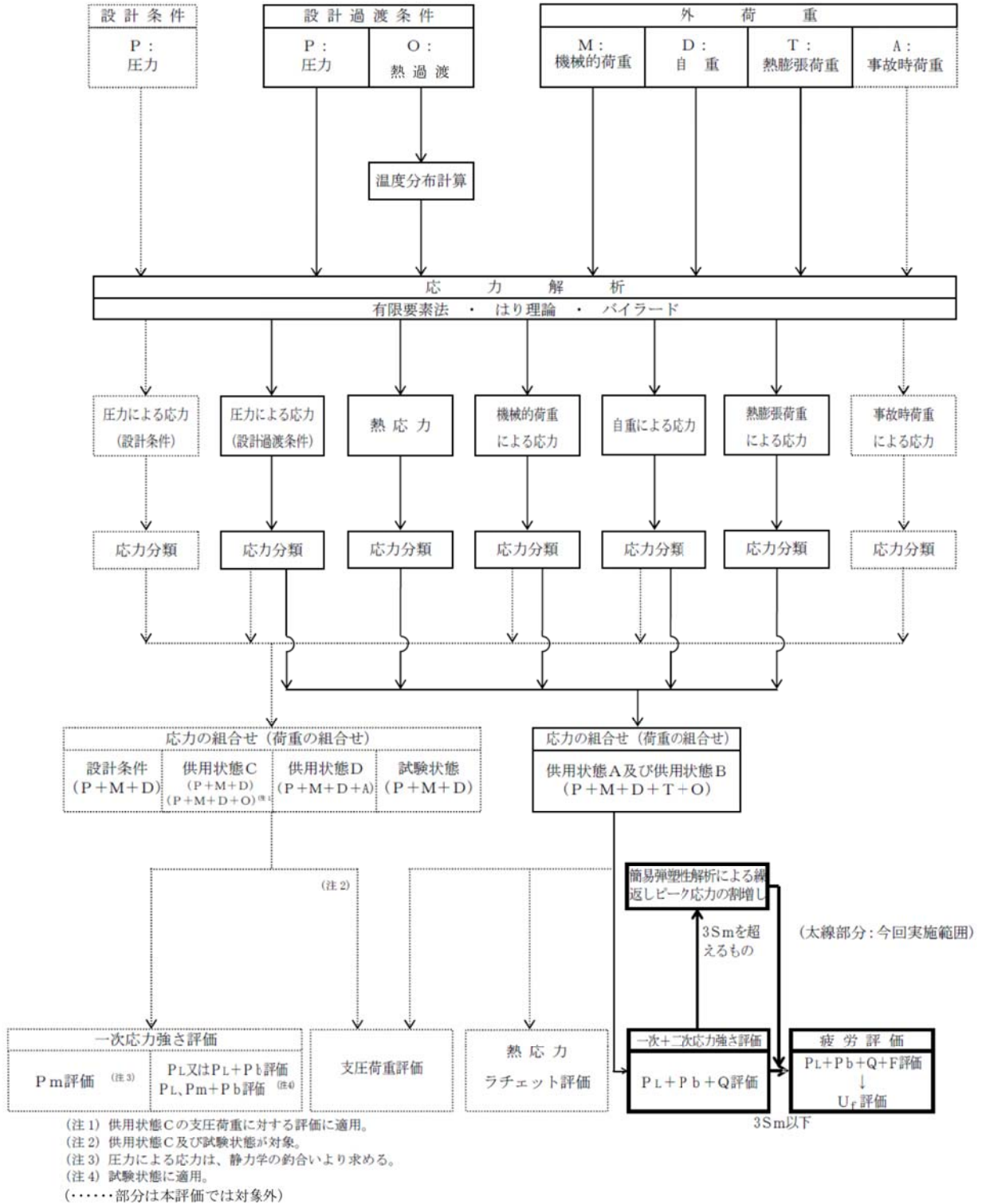
→通常UF:0.073

N : 設計繰返し回数

 N^* : 許容繰返し回数

[Redacted]内は商業機密に属しますので公開できません

応力評価フロー



K e 係数と環境疲労パラメータ (管板及び管板回り 評価点①) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					

<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

合計 : 0.09818

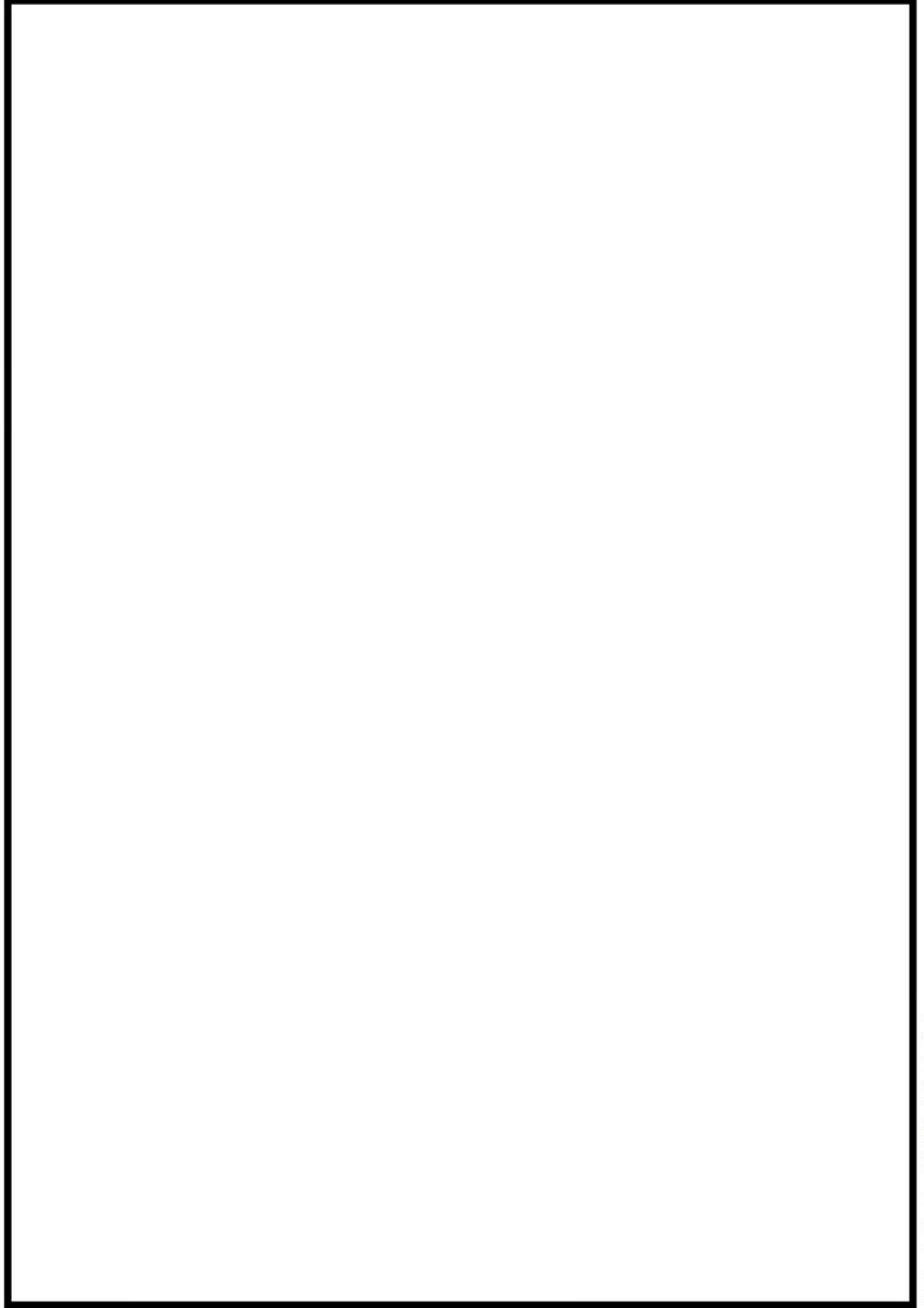
内は商業機密に属しますので公開できません

→ 環境Uf : 0.099

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

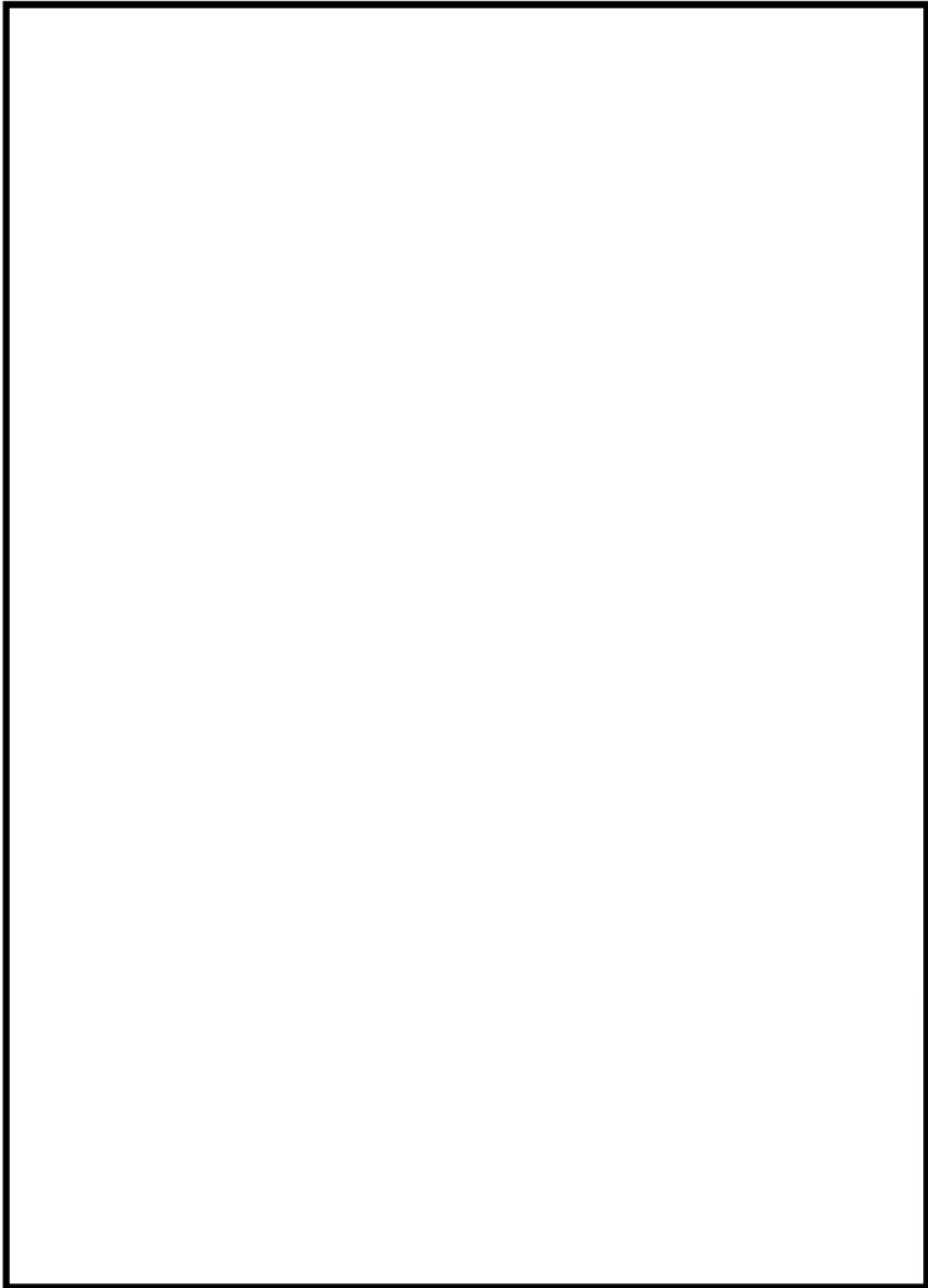
環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える、U f が大きい過渡の温度、ひずみ履歴を6例示す。

a. 過渡2J1, 2E1



b. 過渡2J1, 2K1

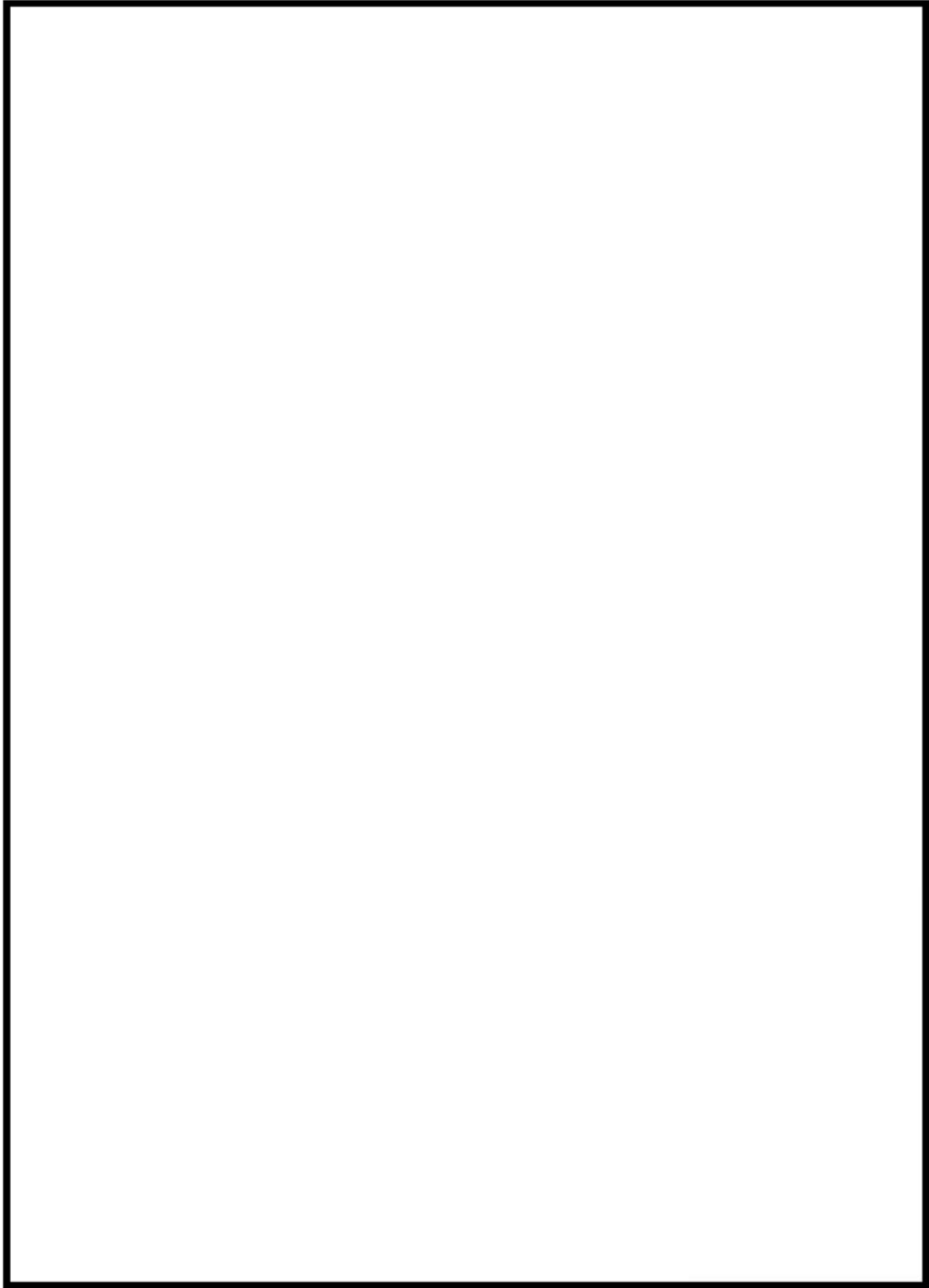
内は商業機密に属しますので公開できません



c. 過渡1A1, ID1

d. 過渡1C1, ID1

内は商業機密に属しますので公開できません



e. 過渡IC1, IK1

f. 過渡NSS, IAI



内は商業機密に属しますので公開できません

Ke 係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点①) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>											
										合計 :	0.23438

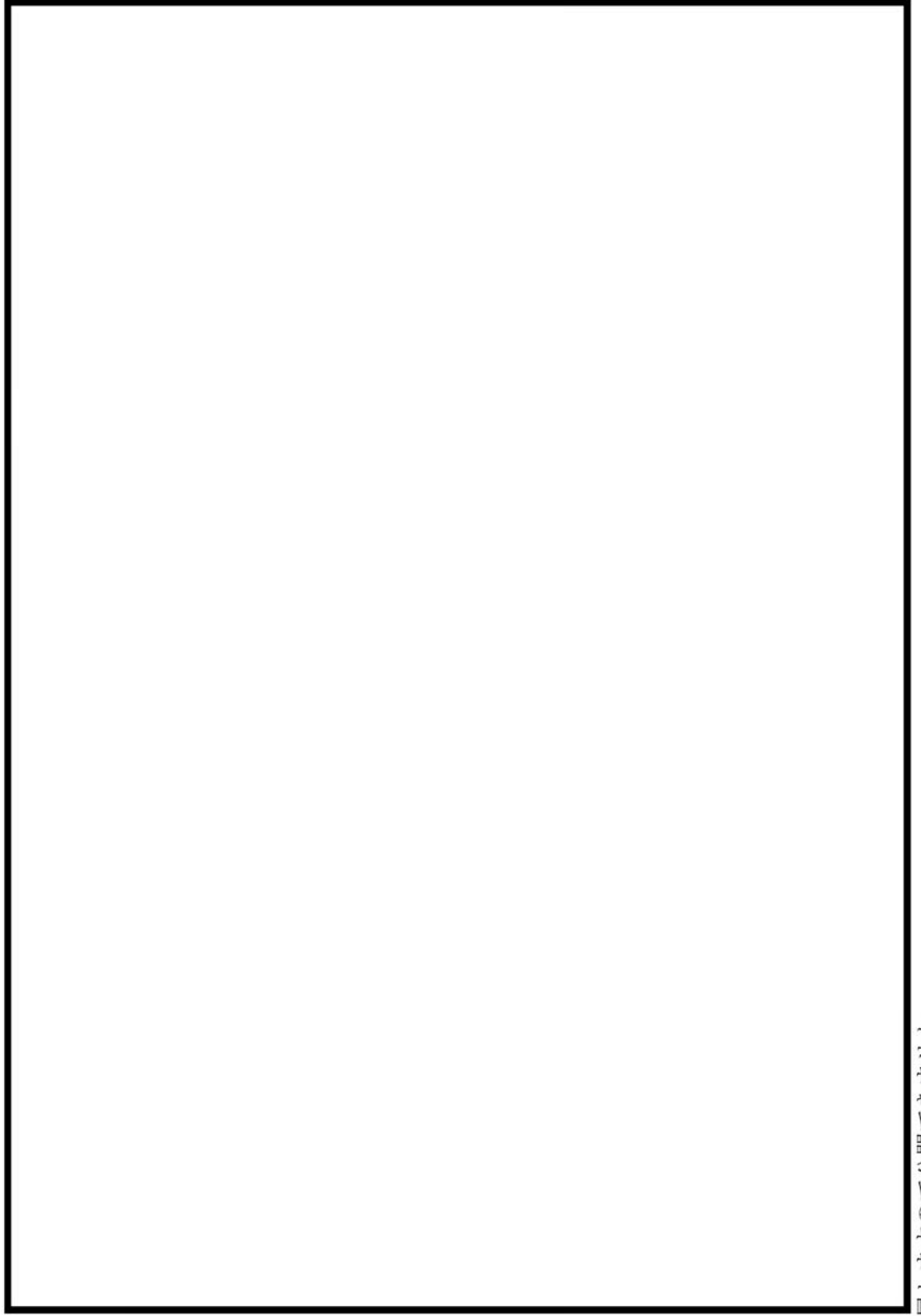
→ 環境Uf : 0.235

内は商業機密に属しますので公開できません

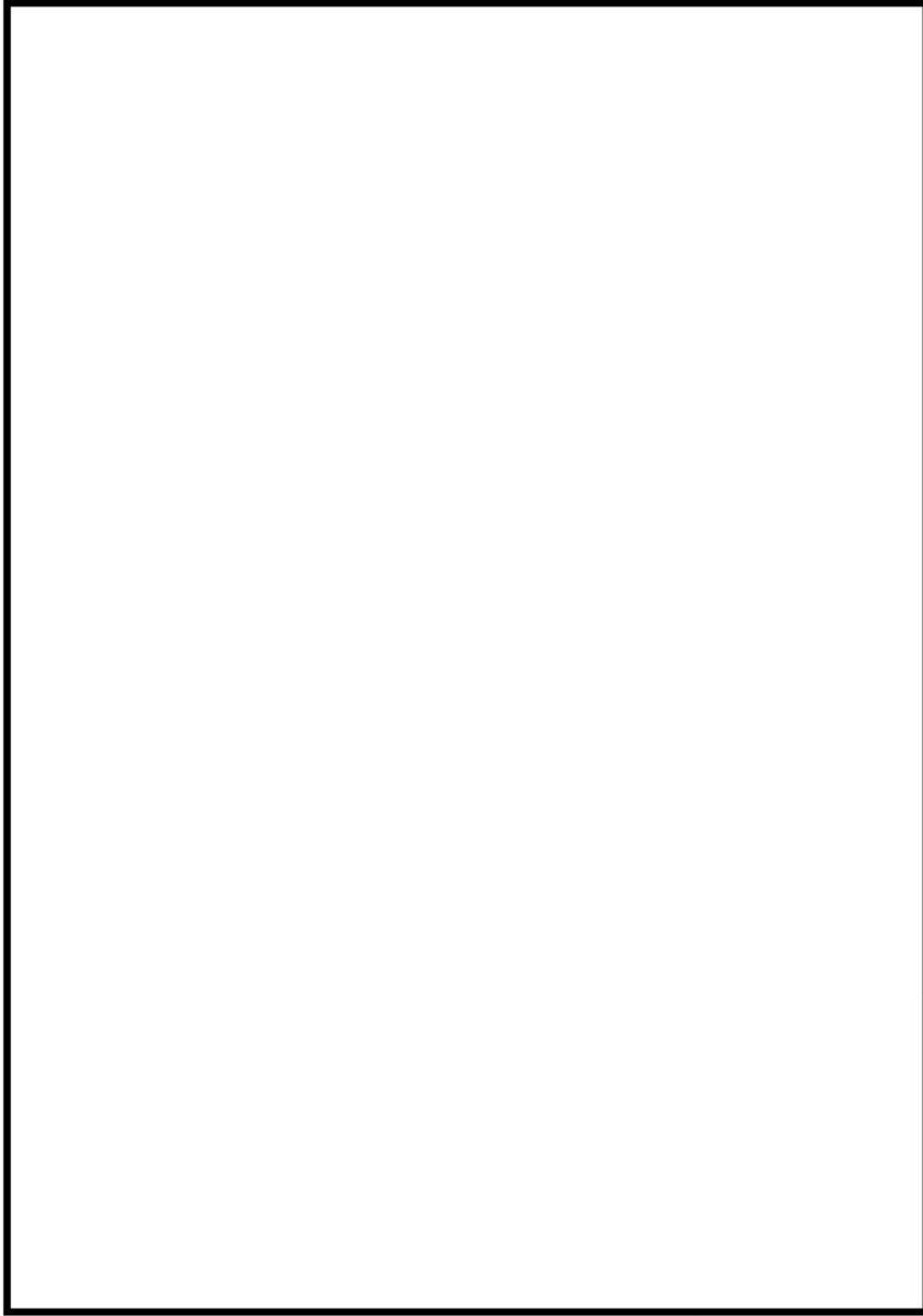
環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

a. 過渡1B1, 2T1



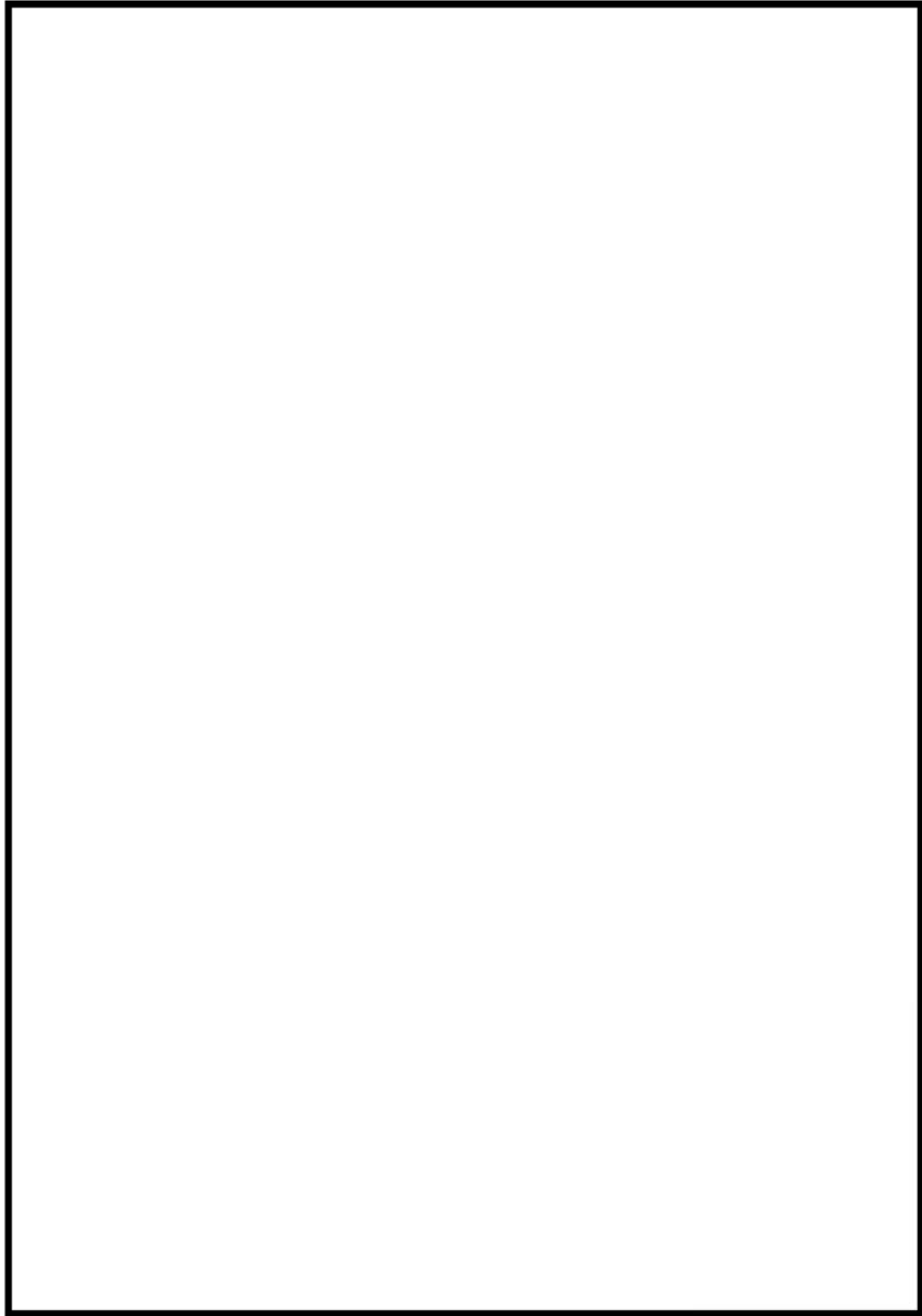
b. 過渡1A1, 2T1



c. 過渡2T1, 2D5

d. 過渡2T1, 2G1

内は商業機密に属しますので公開できません

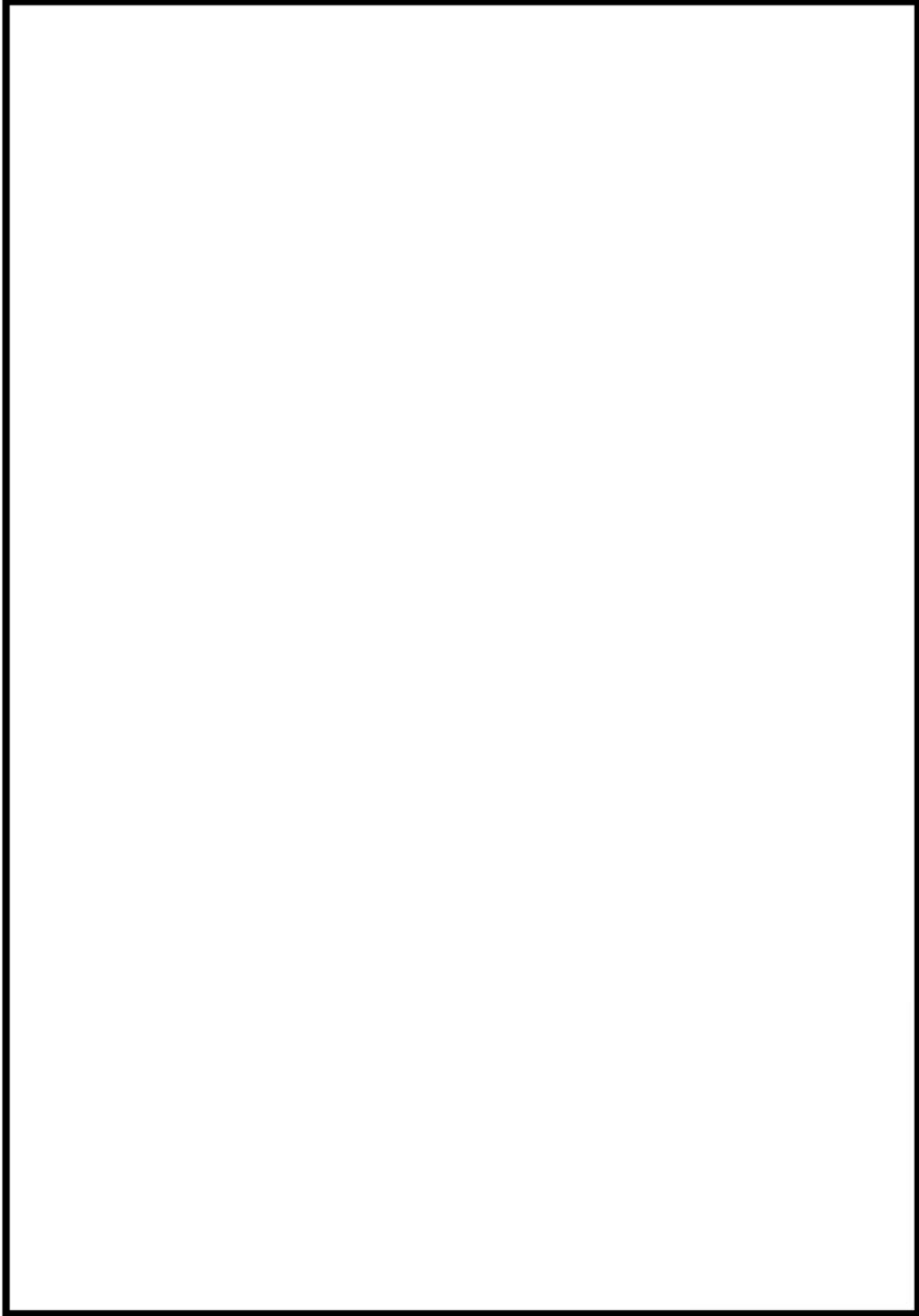


e. 過渡2T1, 1N1

f. 過渡1A1, 1N1

□内は商業機密に属しますので公開できません

g. 過渡1N1, 1N1

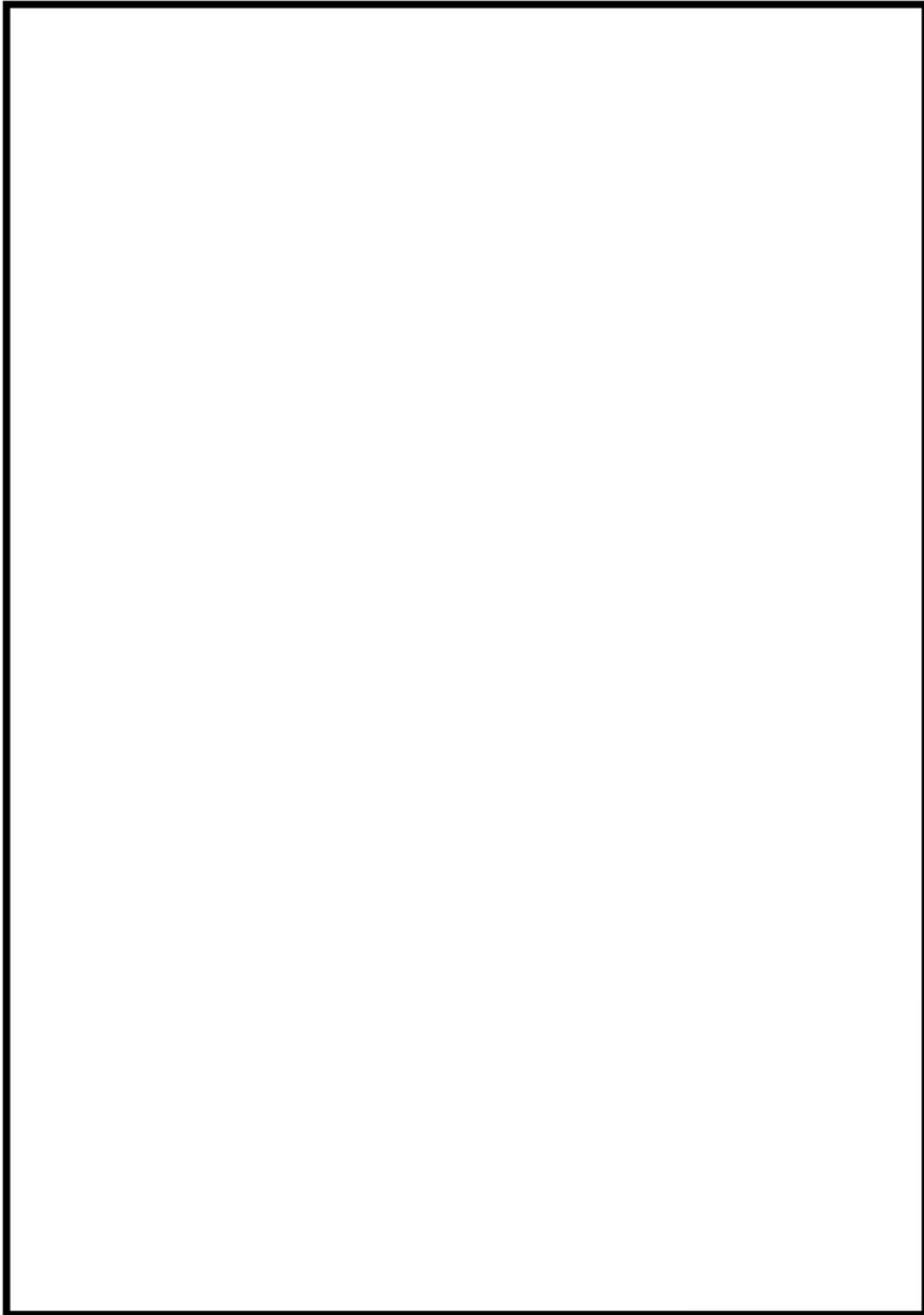


h. 過渡1N1, 2D3

内は商業機密に属しますので公開できません



i. 過渡1N1, 2E1



j. 過渡1N1, 2B1

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1-低サイクル疲労-14 rev2			事象：疲労														
質 問	<p>(別冊-5 配管-4 一次冷却材管-10 頁) 一次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータを含む)を提示すること。</p>																	
回 答	<p>1 次冷却材管の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りです。</p> <p>【1 次冷却材管】</p> <p>1. 解析モデル 解析モデルを添付1に示します。</p> <p>2. 材料物性 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="416 1025 1358 1339"> <thead> <tr> <th data-bbox="416 1025 738 1122">材 料</th> <th data-bbox="738 1025 863 1122">温度 (°C)</th> <th data-bbox="863 1025 1007 1122">Sm (MPa)</th> <th data-bbox="1007 1025 1358 1122">使用箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" data-bbox="416 1122 1007 1200" rowspan="3">[Redacted]</td> <td data-bbox="1007 1122 1358 1200">ホットレグ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1007 1200 1358 1267">クロスオーバレグ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1007 1267 1358 1339">コールドレグ</td> </tr> </tbody> </table> <p>[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません</p> <p>3. 最大評価点の選定 (添付2参照) 評価範囲を全て計算してもっとも厳しいものを記載しています。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付3に示します。</p> <table border="1" data-bbox="424 1720 1350 1890"> <thead> <tr> <th data-bbox="424 1720 684 1805">状態</th> <th data-bbox="684 1720 1350 1805">荷重の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="424 1805 684 1890">供用状態A、B</td> <td data-bbox="684 1805 1350 1890">圧力+機械的荷重+配管の熱膨張荷重+熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke 係数 評価に用いたKe係数を添付4に示します。</p>				材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所	[Redacted]			ホットレグ	クロスオーバレグ	コールドレグ	状態	荷重の組み合わせ	供用状態A、B	圧力+機械的荷重+配管の熱膨張荷重+熱過渡
材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所															
[Redacted]			ホットレグ															
			クロスオーバレグ															
			コールドレグ															
状態	荷重の組み合わせ																	
供用状態A、B	圧力+機械的荷重+配管の熱膨張荷重+熱過渡																	

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示します。

【管台】

1. 解析モデル

解析モデルを添付5に示します。

2. 材料物性

材料物性値を以下に示します。

材 料	温度 (°C)	Sm (MPa)	使用箇所
			加圧器サージライン用 管台
			安全注入系ライン用管 台
			充てん管台

内は商業機密に属しますので公開できません

3. 最大評価点の選定

解析モデル上の評価点及び評価点の最大評価点の選定結果を、添付6に示します。

4. 応力分類

評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付7に示します。

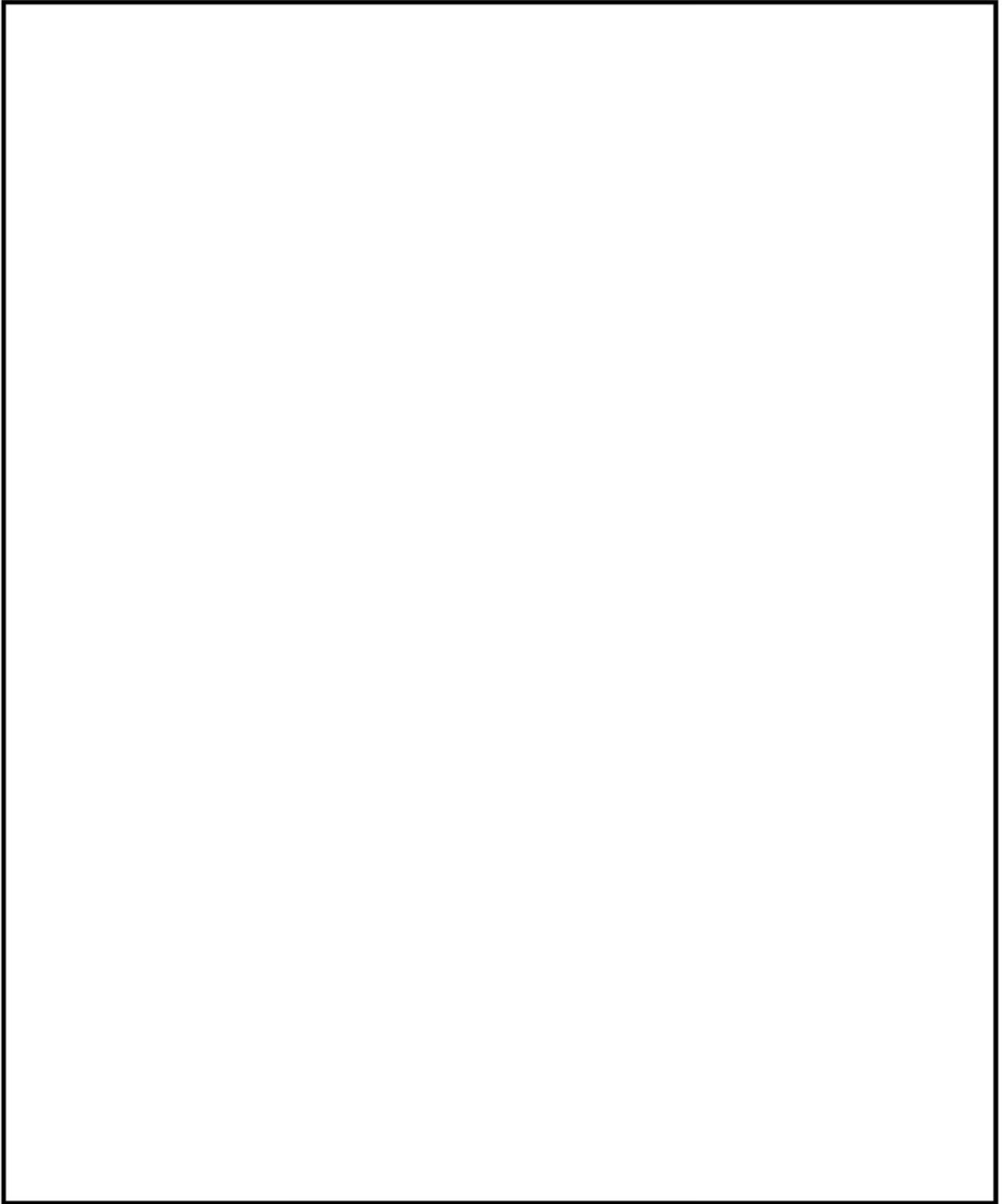
状態	荷重の組み合わせ
供用状態A、B	圧力+機械的荷重+自重+熱膨張荷重+熱過渡

5. K_e 係数

評価に用いた K_e 係数を添付8に示します。

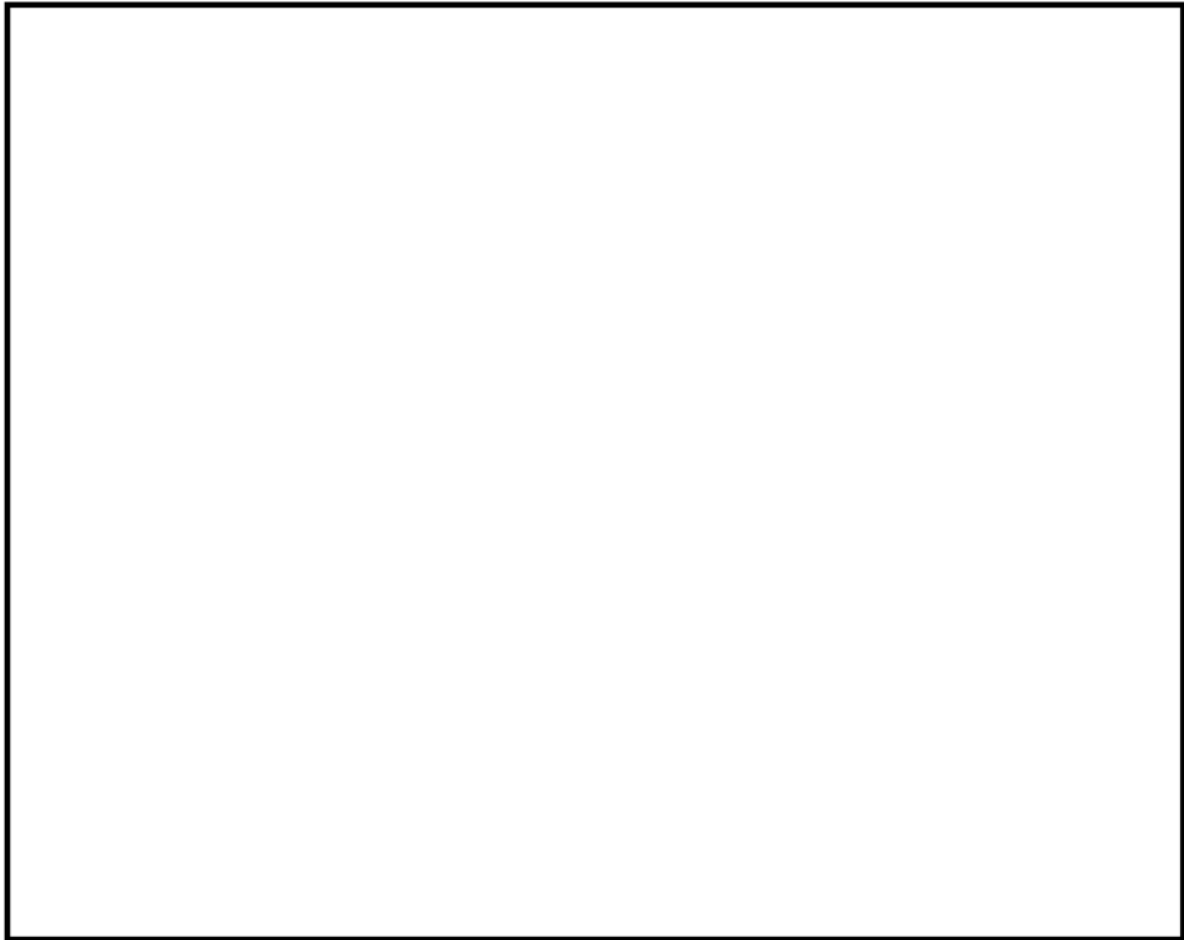
6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付8に示します。



1 次冷却材管 形状及び評価点

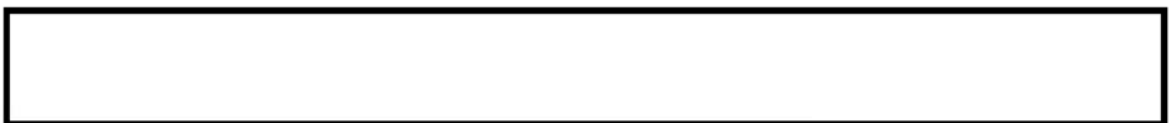
内は商業機密に属しますので公開できません



1次冷却材管 ループ解析モデル

1次冷却材管は上記のようにループ連成の多質点梁モデルで解析を行っております。多質点モデルによる解析の妥当性については、手計算との比較や、PWR 1次冷却材管の耐震実証試験^{※1}にて地震応力による各部位の応力実測値と解析結果とを比較しています。その結果、例えばクロスオーバーレグについても解析結果が応力実測値を上回っており、大きい応力が発生する位置では応力実測値の \square 倍以上となり、実測値を上回る保守的な解析結果となっていることから、解析が妥当であることを確認しています。耐震実証試験では地震加速度による配管が変形する応力を検証しており、地震によって各部位の様々な方向の変形が再現できていることから、配管の変形を生じる応力について包括的に検証できていると判断しております。

※1



\square 内は商業機密に属しますので公開できません

第5-2表 疲労累積係数 (1/2)

評価部位	節点番号	圧力による 応力 (MPa)	外荷重による 応力 (MPa)	板厚方向線形 温度差による 応力 (MPa)	構造上の 不連続による 熱応力 (MPa)	板厚方向 非線形温度差 による応力 (MPa)	ピーク応力 S _p (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク 応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
ホットレグ	107									0.00027	1.0
	109										
	111										
	112										
	113										
	115										
	117										
	141										
	142										
	146										
	143										
	148										
	145										
	147										
	149										
	151										
	152										
153											
クロスオーバーレグ	107									0.00027	1.0
	109										
	111										
	112										
	113										
	115										
	117										
	141										
	142										
	146										
	143										
	148										
	145										
	147										
	149										
	151										
	152										
153											

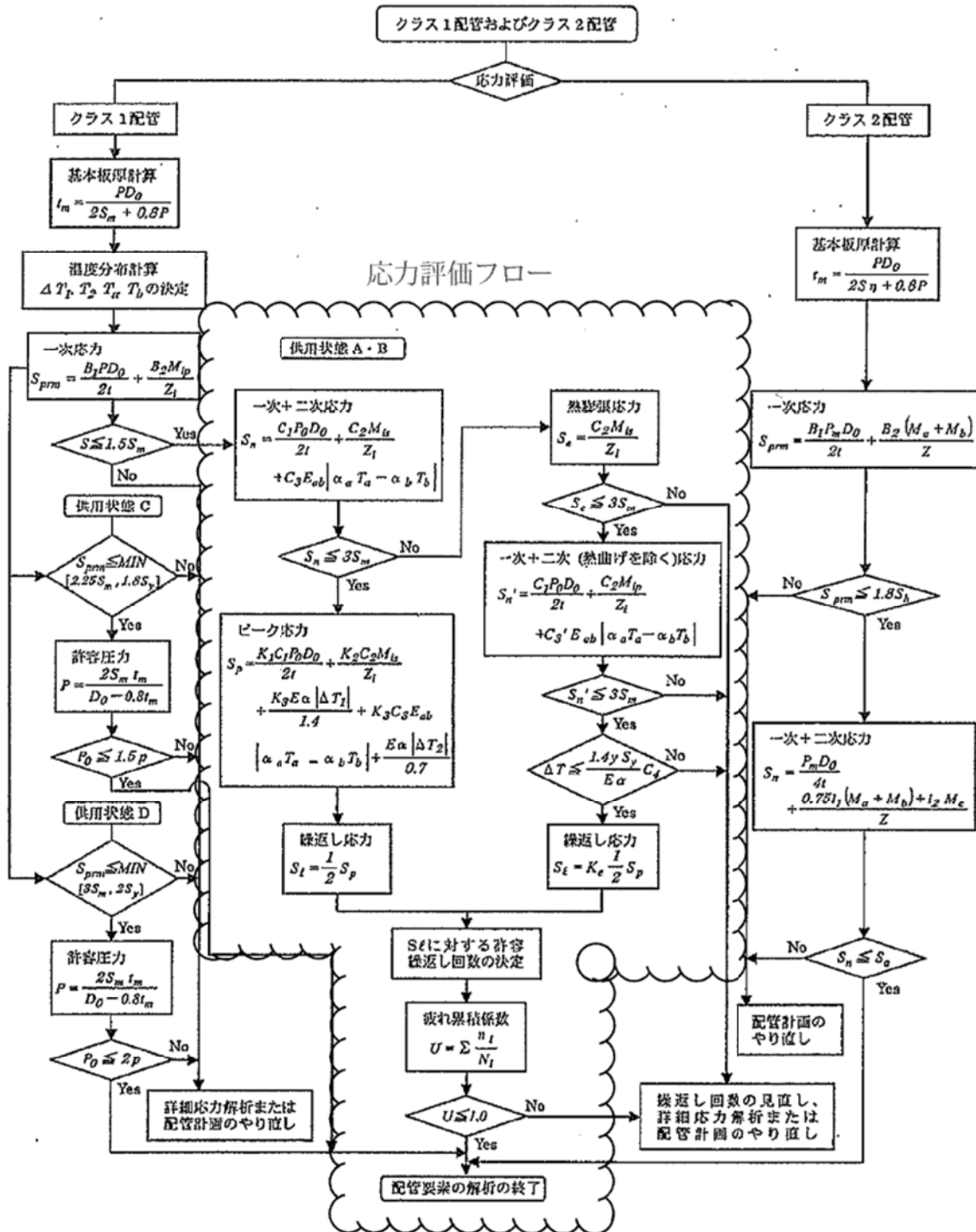
→通常 UF : 0.001

第6-2表 疲労累積係数 (2/2)

評価部位	節点番号	圧力による応力 (MPa)	外荷重による応力 (MPa)	板厚方向線形温度差による応力 (MPa)	構造上の不連続による熱応力 (MPa)	板厚方向非線形温度差による応力 (MPa)	ピーク応力 S P (MPa)	繰返しピーク応力強さ ALT (MPa)	繰返しピーク応力強さ ALT (MPa)	疲労累積係数	許容値
クロスオーバーレグ	155									0.00139 0.00060	1.0
	157										
	159										
	160										
	161										
	163										
	165										
	167										
	181										
	183										
	185										
	186										
	189										
	191										
194											
コールドレグ											

→クロスオーバーレグ 通常 UF : 0.002
コールドレグ 通常 UF : 0.001

内は商業機密に属しますので公開できません



(備考) クラス 2 配管の解析手順には管の機械的荷重により生じるモーメント M_b を含む場合の式のみを記載した

解説図 PPB-3511-1 配管要素の解析手順

応力評価フローチャート

Ke係数と環境評価パラメータ (ホットレグ) (詳細評価手法)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 nF	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fen	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 sall	補正後 sall'					

合計: 0.00058

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (sall' ≤ 214.5) の場合、fen=1.0

→環境 UF : 0.001

内は商業機密に属しますので公開できません

Ke係数と環境評価パラメータ (クロスオーバーレグ) (詳細評価手法)

試験条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割増し 係数 KE	繰返しピーク 応力値		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 nF	疲労累積係数 q	環境効果 補正係数 fca	環境効果を考慮した 疲労累積係数 ucb
A	B			補正前 salt	補正後 salt'					

合計: 0.01075

(注) ひずみ振幅 $\leq 0.110\%$ (salt' ≤ 214.5) の場合、fca=1.0

→環境 UF : 0.011

内は商業機密に属しますので公開できません

Ke係数と環境評価パラメータ (コールドレグ) (詳細評価手法)

過渡条件番号		一次+二次+ ピーク応力 sp	割り増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数 n	許容繰返し 回数 n*	疲労累積係数 u	環境効果 補正係数 fea	環境効果を考慮した 疲労累積係数 uen
A	B			補正前 sall	補正後 sall'					
合計:										0.00435

(注) ひずみ振幅≦0.110% (sall' ≦214.5) の場合、fea=1.0

→環境 UF : 0.005

内は商業機密に属しますので公開できません

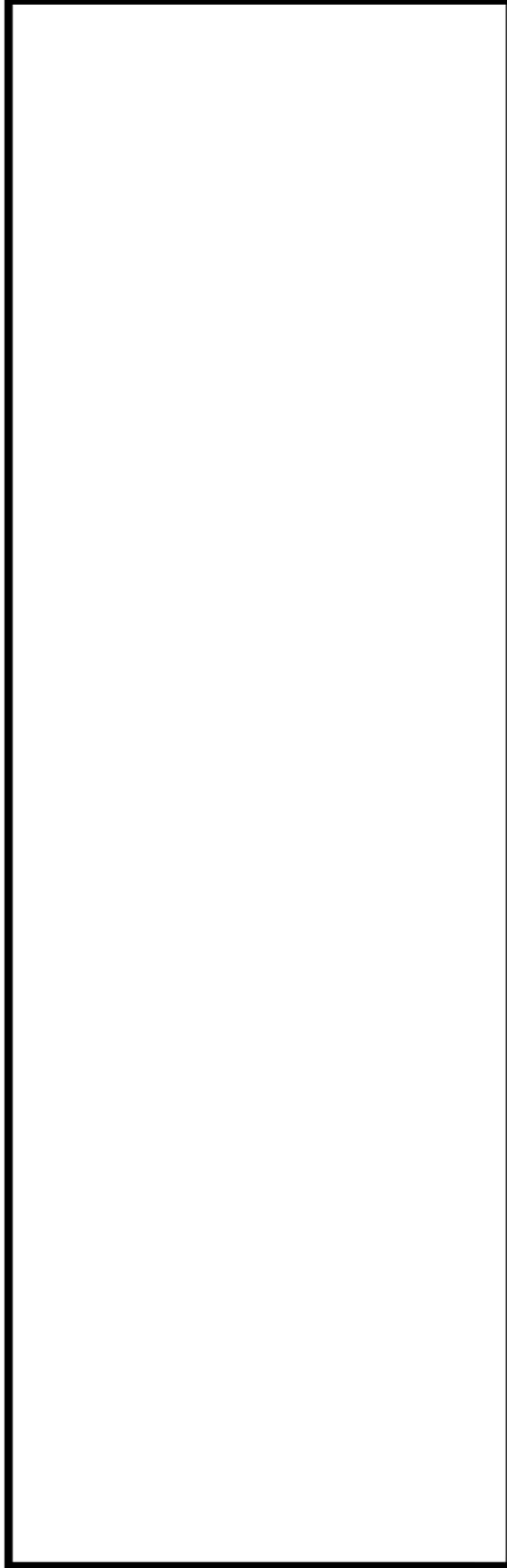
環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

(1) ホットレグ

a. 過渡 2H1,1I1~2F1,1I1

環境疲労評価手法 (JSME S NFI) の EF-20 における ΔT 項が支配的ではないため、EF-3222 により「起動」時の上昇過程に線形としたひずみ速度で評価。

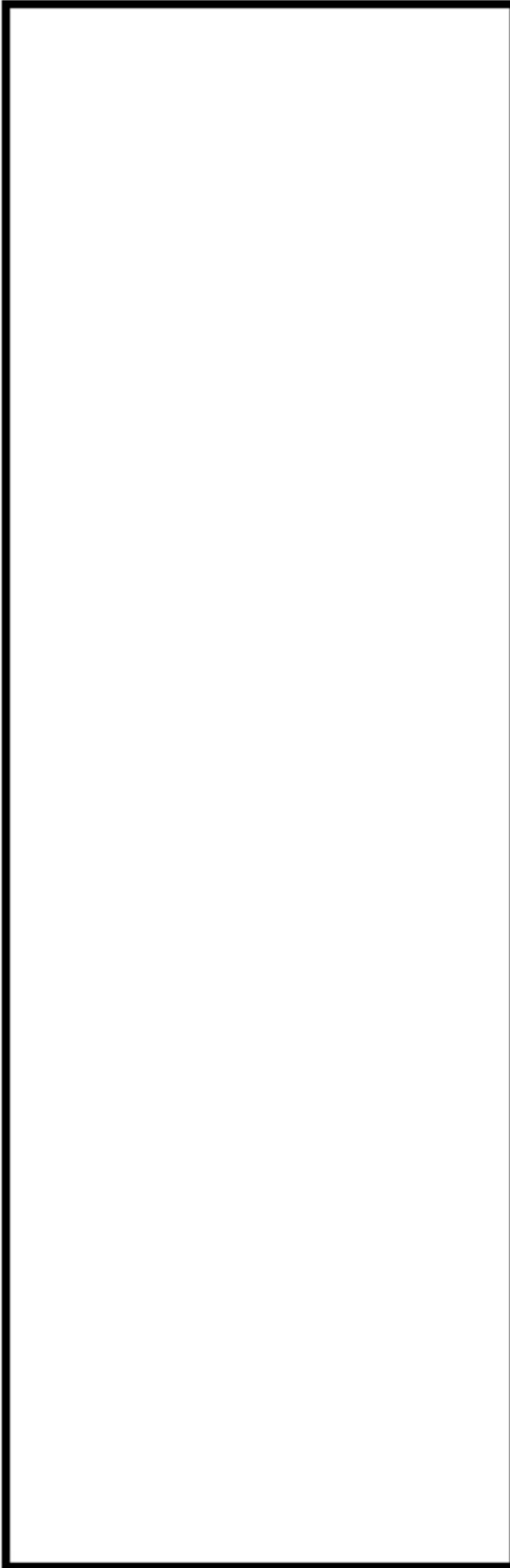


内は商業機密に属しますので公開できません

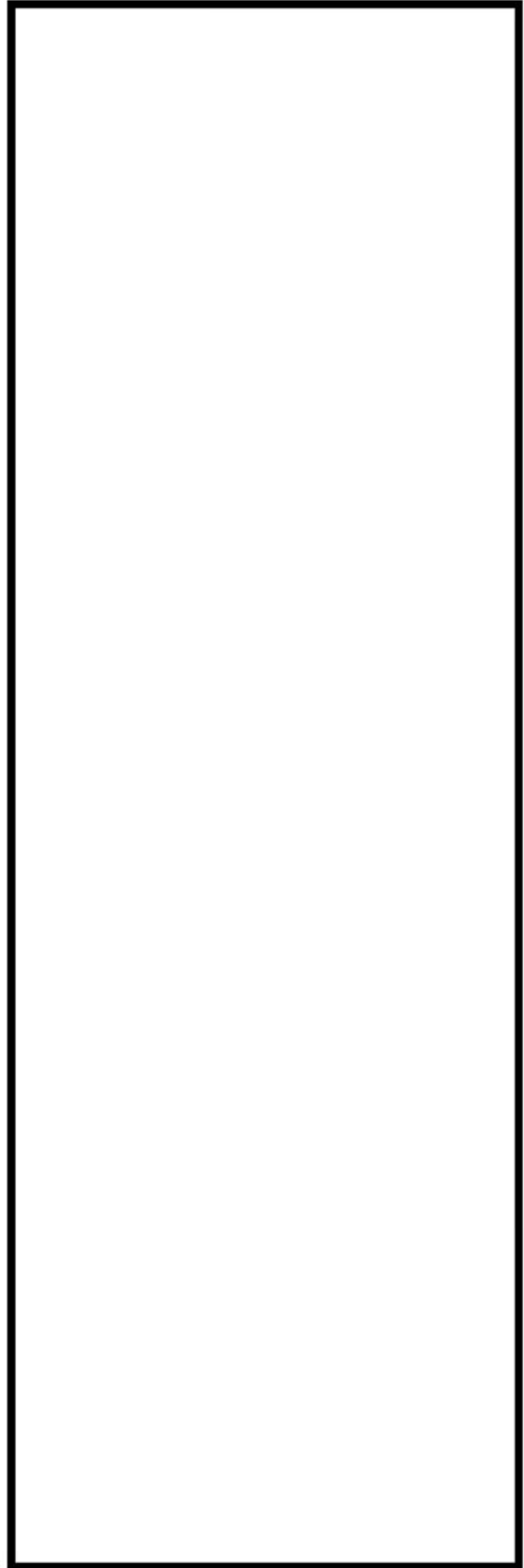


(2) クロスオーバーレダ

a . 過渡 2J1,1B1



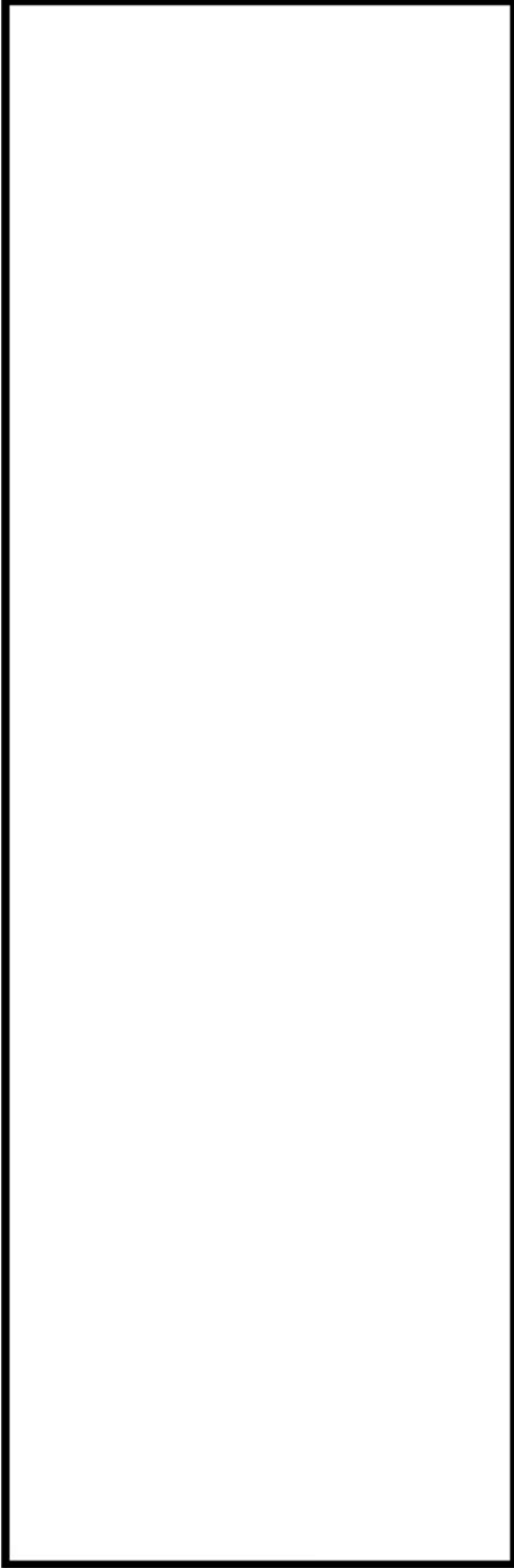
b . 過渡 2J1,2J2



内は商業機密に属しますので公開できません



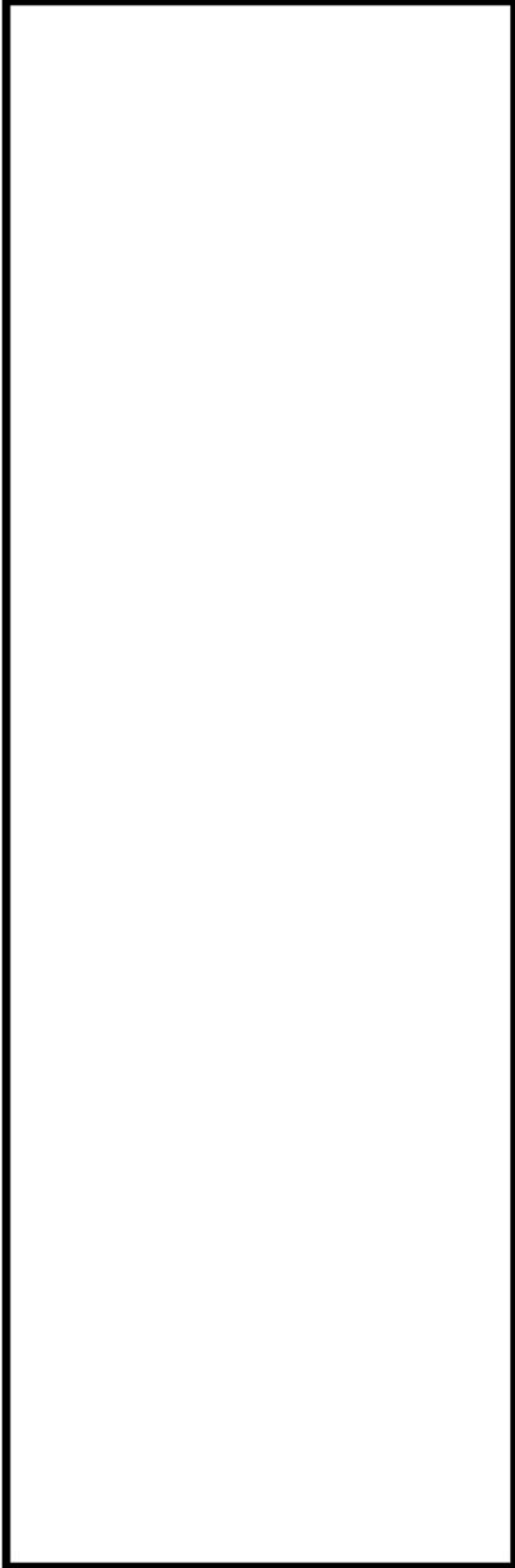
c. 過渡 1A1,2J2



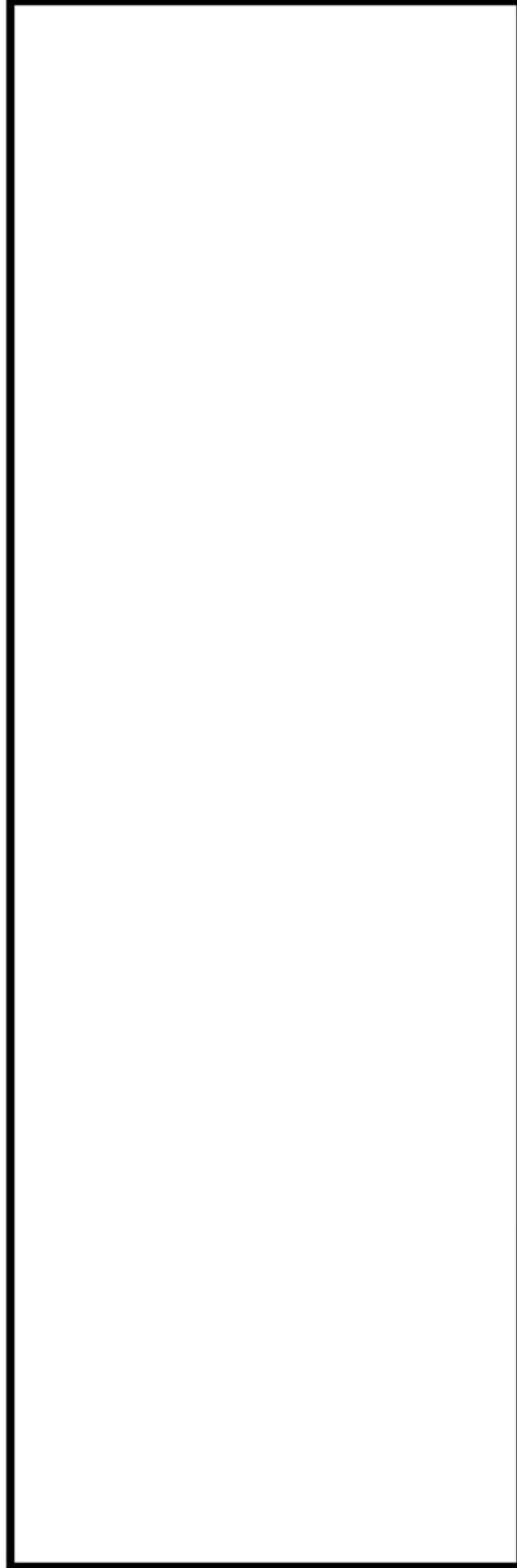
内は商業機密に属しますので公開できません



(3) コールドレグ
a . 過渡 2J1,1B1



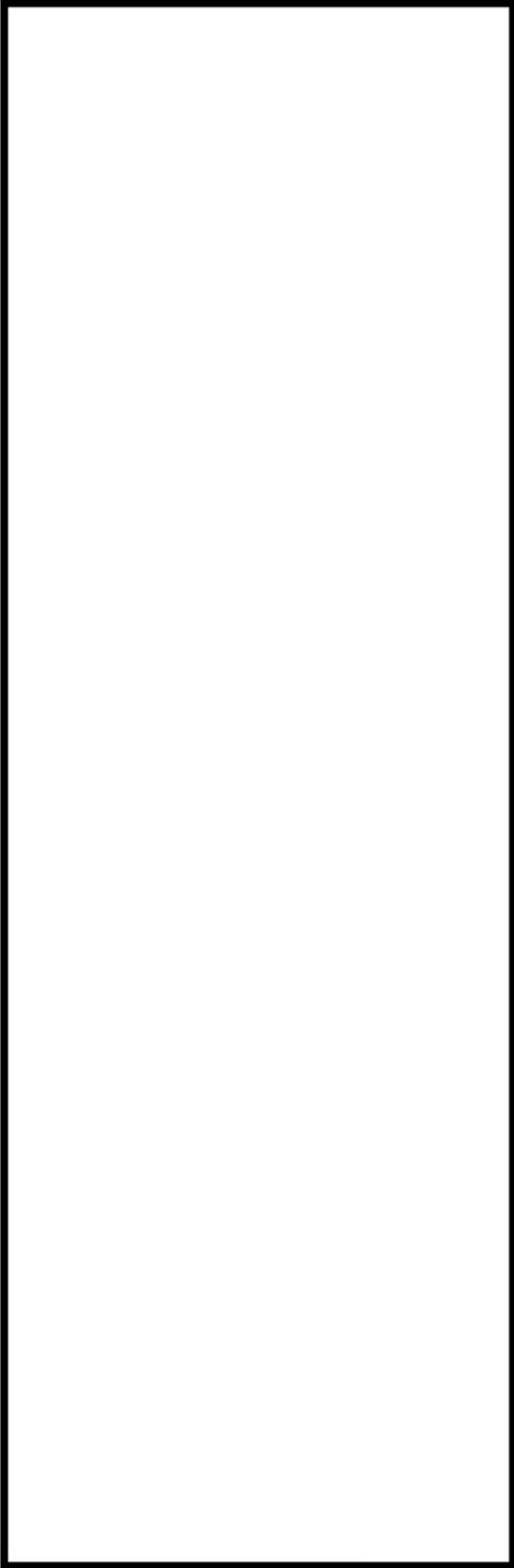
b . 過渡 2J1,2J2



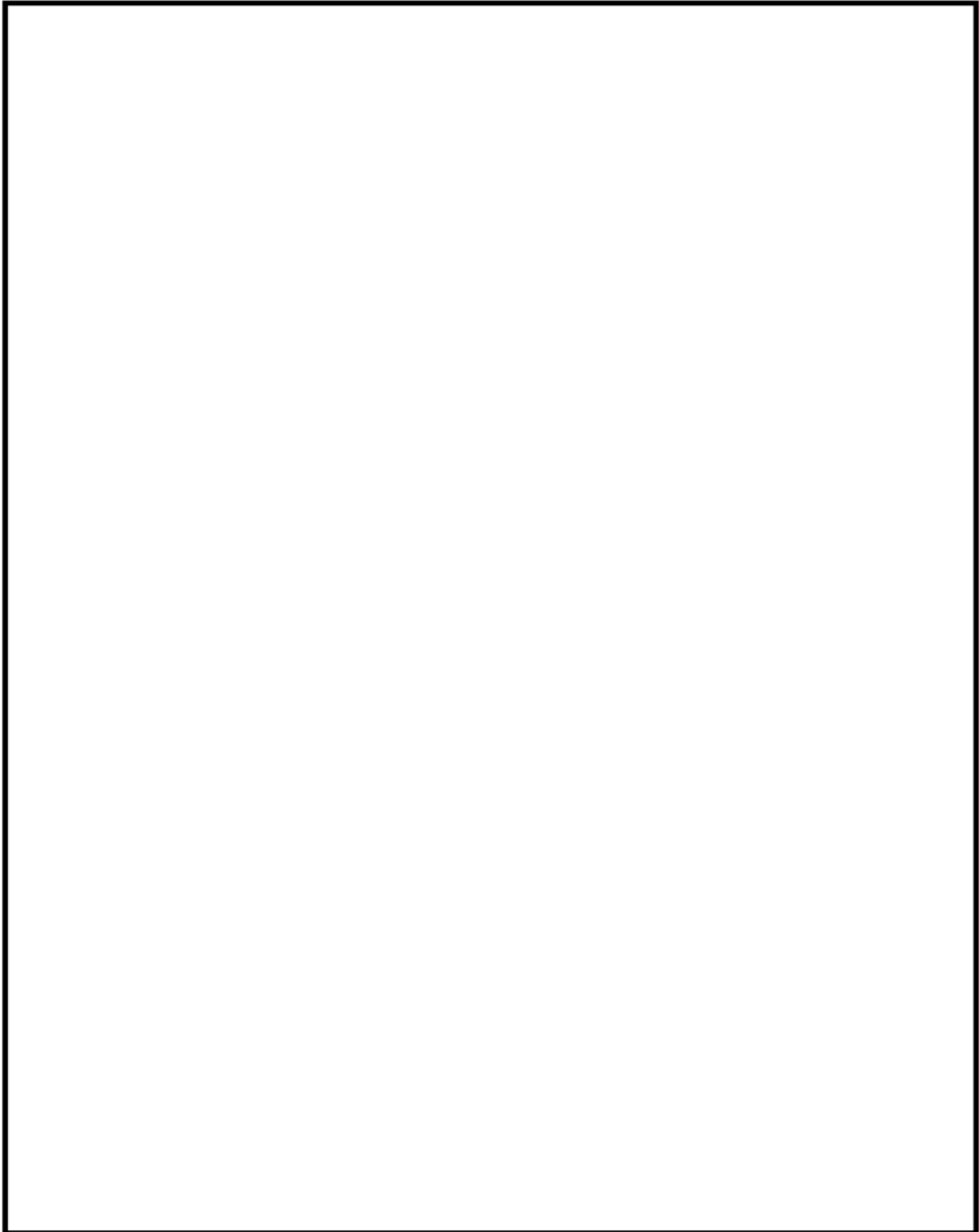
内は商業機密に属しますので公開できません



c. 過渡 1A1,2J2

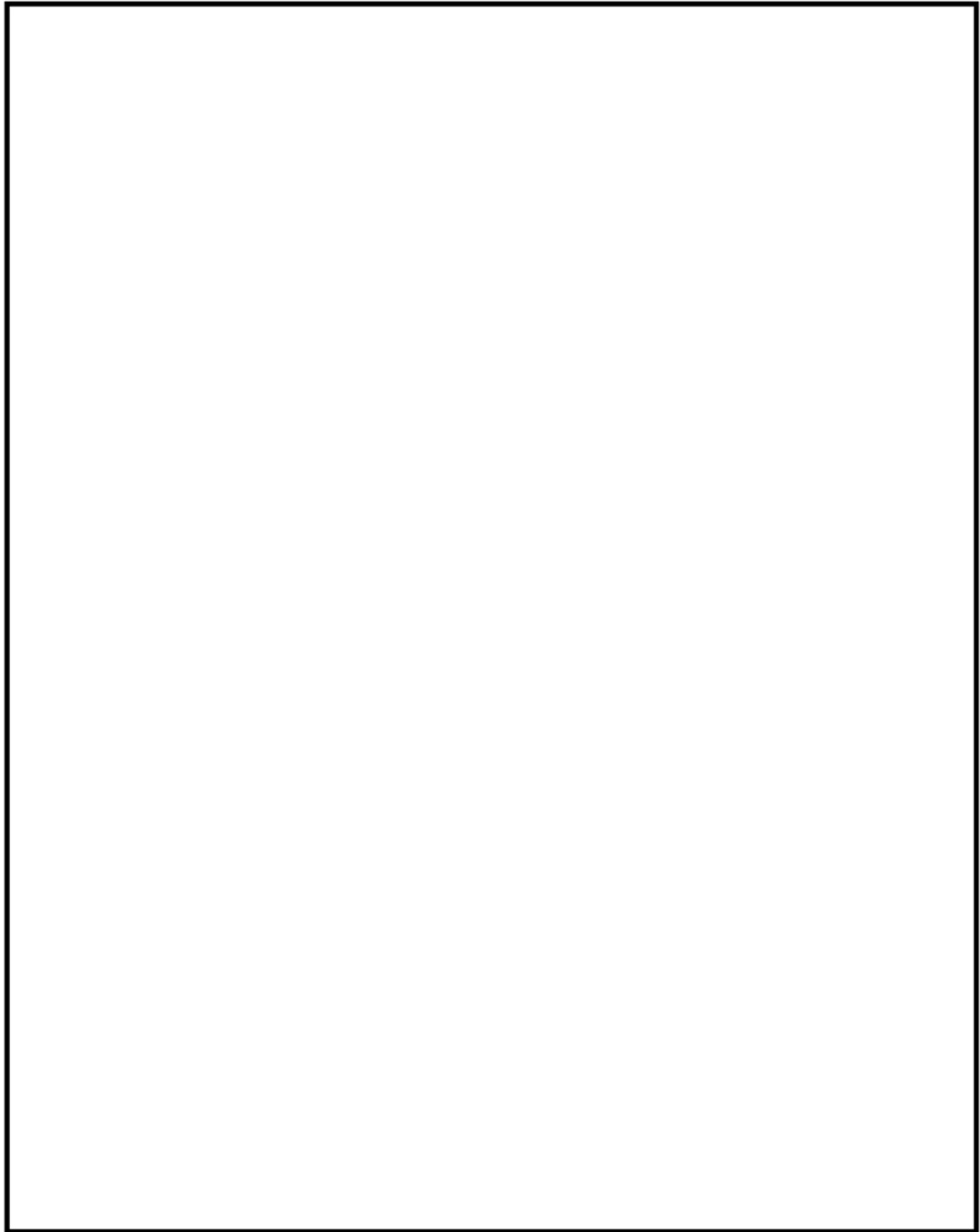


□ 内は商業機密に属しますので公開できません



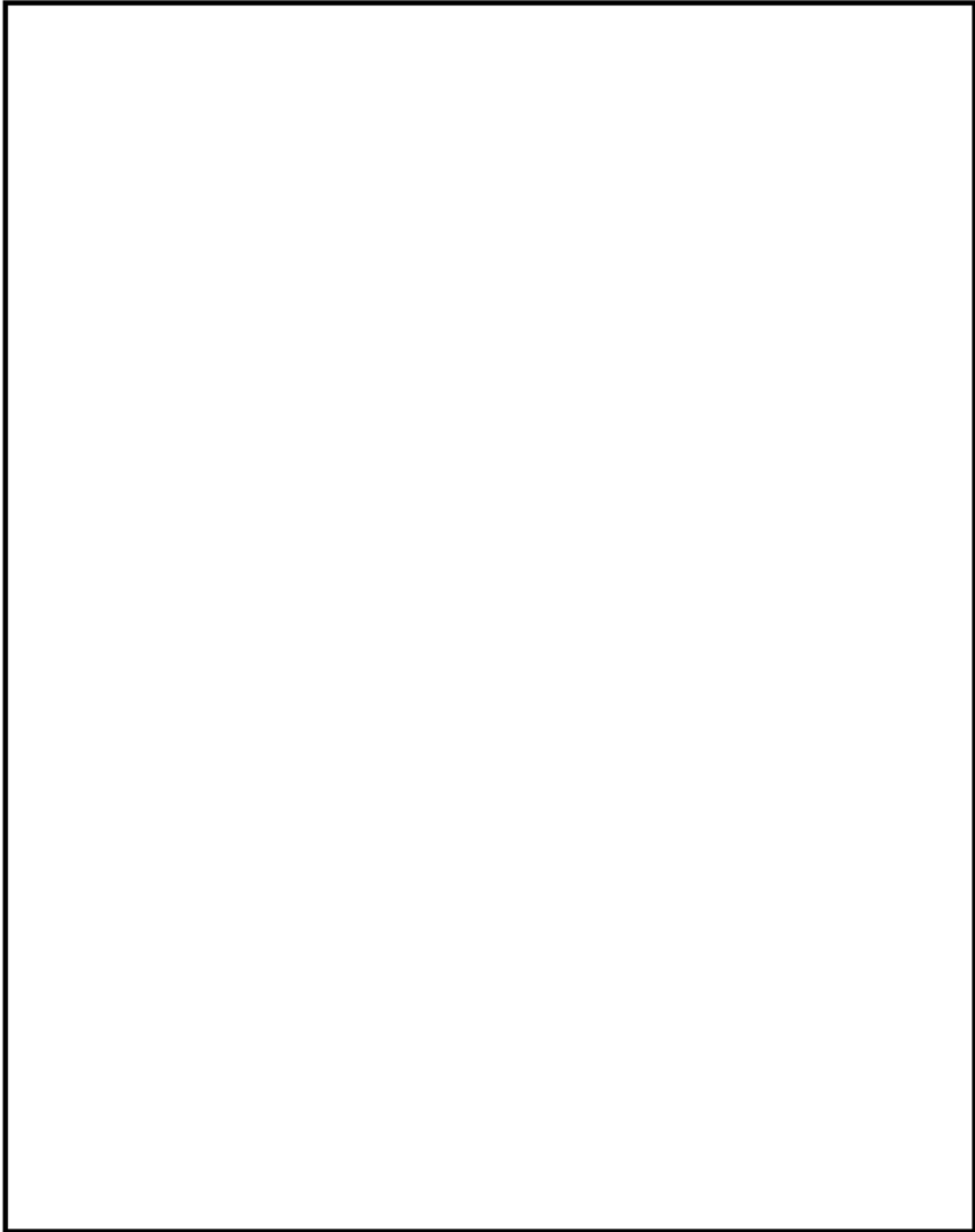
(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません



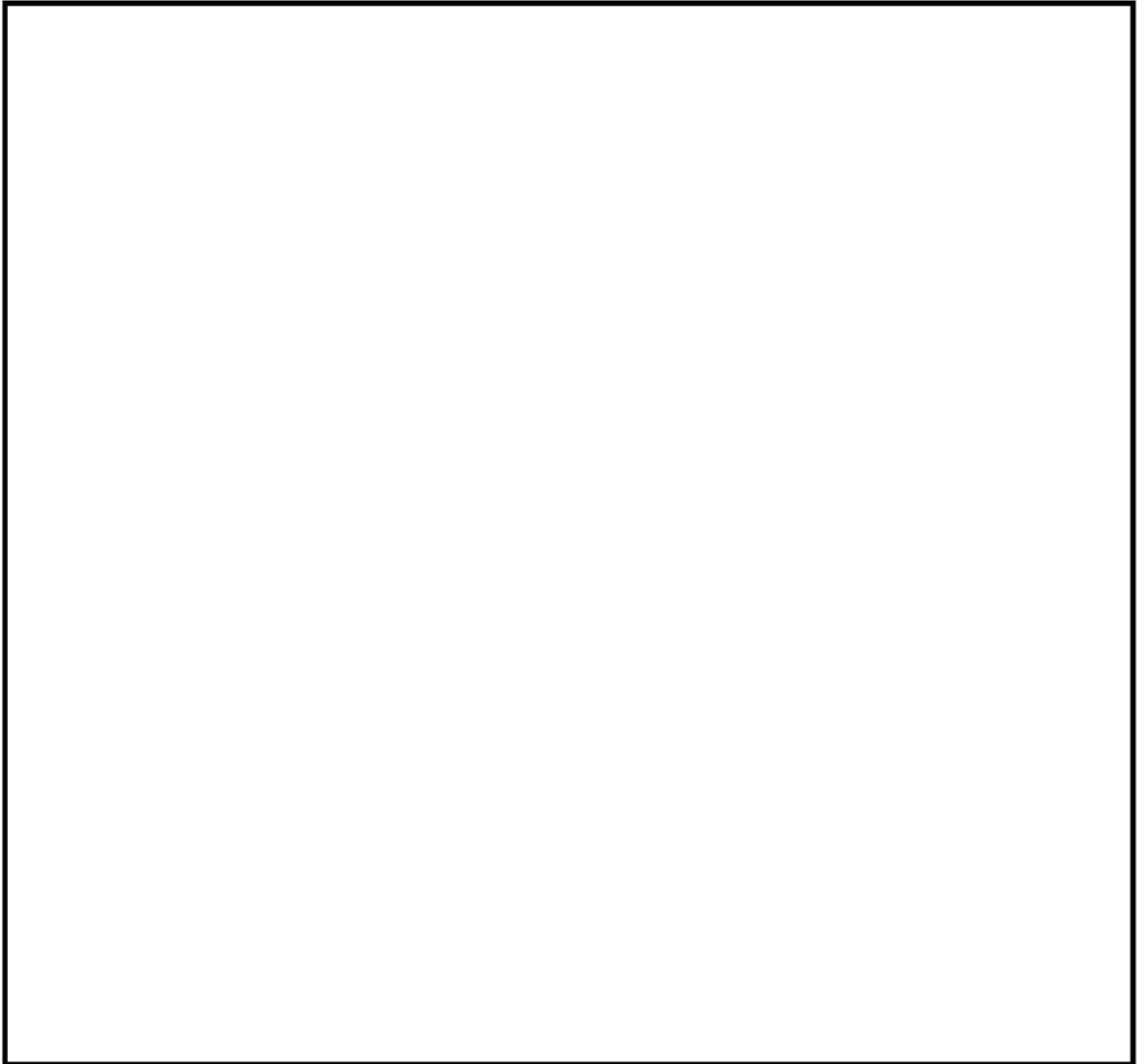
(2) 1次冷却材管（安全注入系ライン用管台） 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません



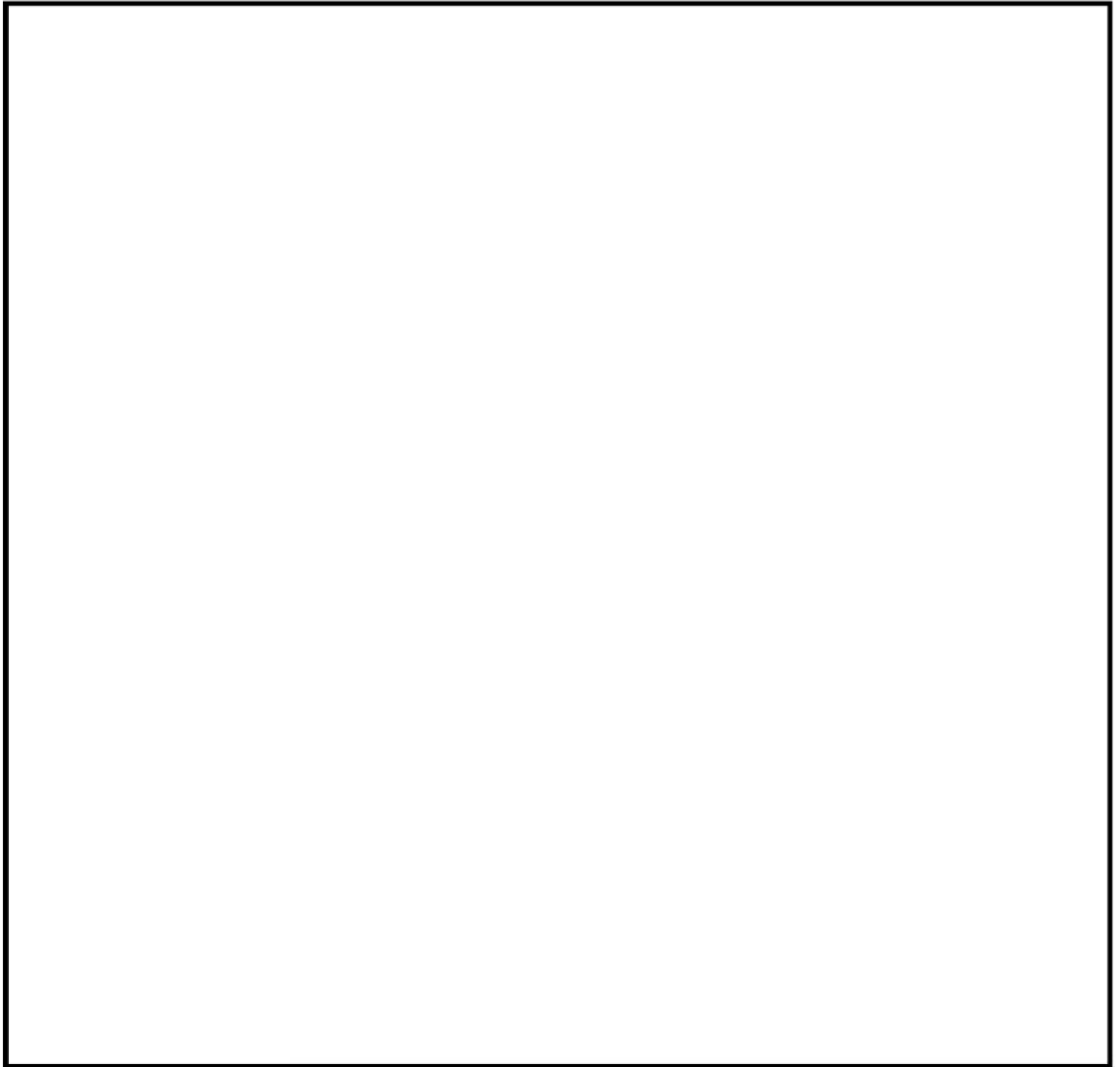
(3) 1次冷却材管（充てん管台） 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません



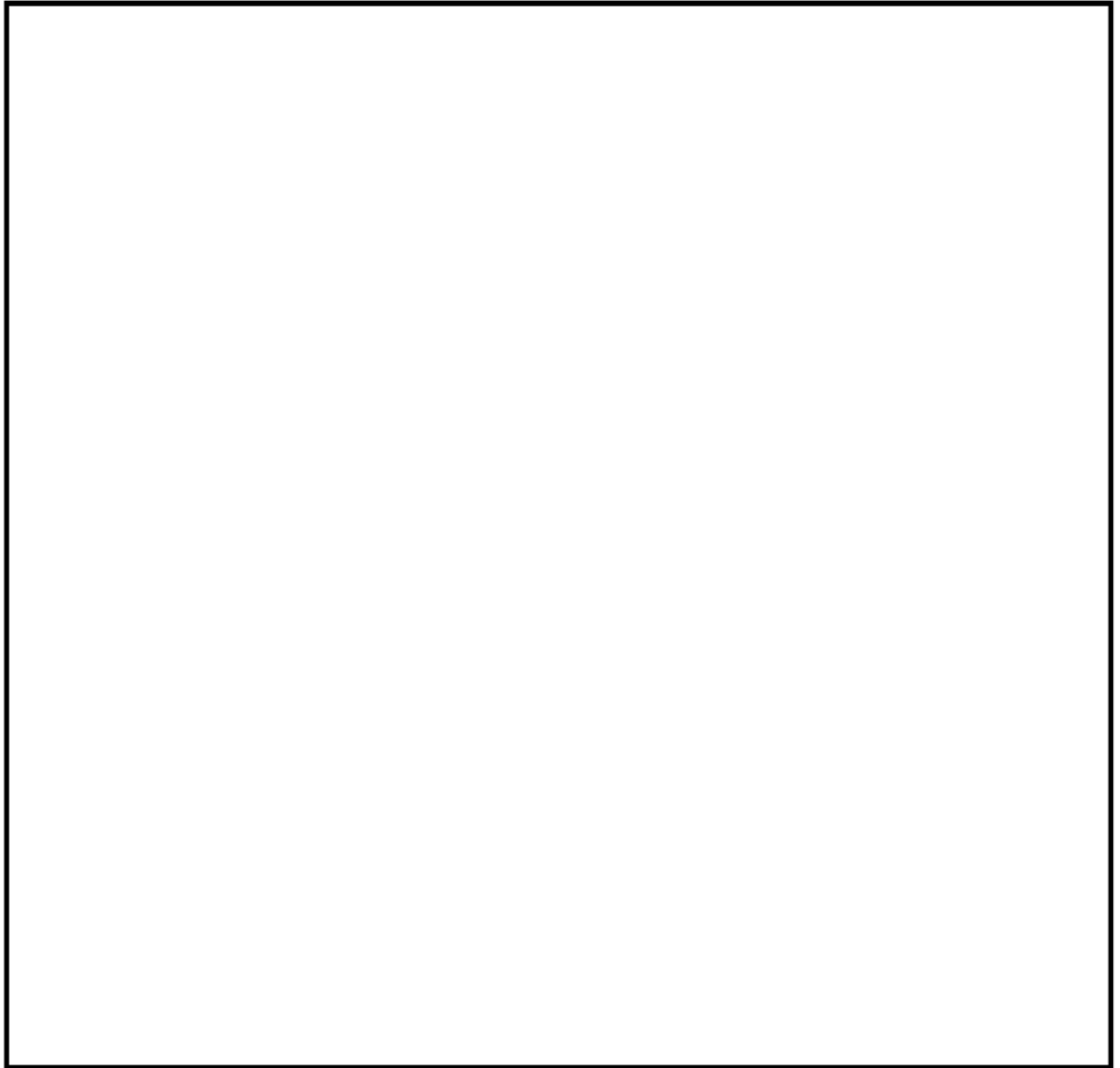
(1) 1次冷却材管（加圧器サージライン用管台） 評価点

内は商業機密に属しますので公開できません



(2) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 評価点

内は商業機密に属しますので公開できません



(3) 1次冷却材管（充てん管台） 評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

(1) 1次冷却材管 (加圧器サージライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
			0.17836

→通常 UF : 0.179

内は商業機密に属しますので公開できません

(2) 1次冷却材管 (安全注入系ライン用管台) 最大疲労評価点の選定

評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)
			0.00550

→通常 UF : 0.006

内は商業機密に属しますので公開できません

(3) 1次冷却材管(充てん管台) 最大疲労評価点の選定

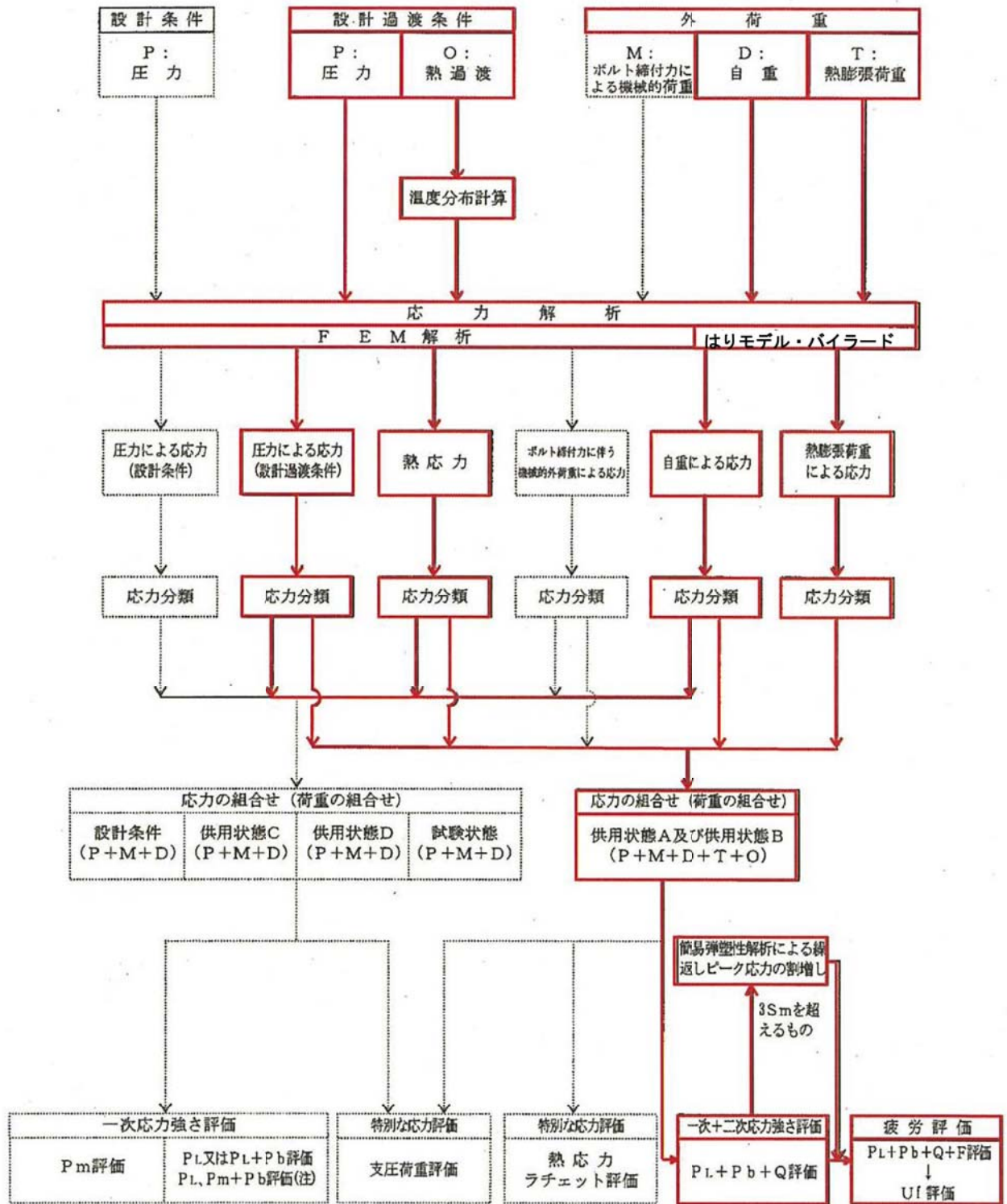
評価点	U(S12)	U(S23)	U(S31)

0.00375

→通常 UF : 0.004

内は商業機密に属しますので公開できません

応力評価フロー



(注) 試験状態に適用
(.....部分は本評価では対象外)

(1) Ke係数と環境疲労パラメータ (加圧器サージライン用管台) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		変位 回数	圧密繰返し 回数	疲労累積係数	環境疲労を考慮した 疲労累積係数	
	index	smib		補正前 sall	補正後 sall'					
A	B		KE			n	n1	U	fen	uen
									合計:	0.46403

→環境 UF : 0.465

内は商業機密に属しますので公開できません

(2) Ke係数と環境疲労パラメータ (安全注入系ライン用管台) (詳細評価手法)

過渡条件 番号	一次+二次+ ピーク応力強さ		割増し 係数 KE	繰返しピーク 応力強さ		突過確 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
	Smax	Smin		修正前 S _{all}	修正後 S _{all'}				
A	B		KE			0	10	0.3	0.01865
合計 : 0.01865									

→環境UF : 0.019

内は商業機密に属しますので公開できません

(4) Ke係数と環境疲労パラメータ (充てん管台) (詳細評価手法)

過渡条件 記号	一次+二次+ ピーク応力強さ	割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ	異過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
								合計 : 0.03224

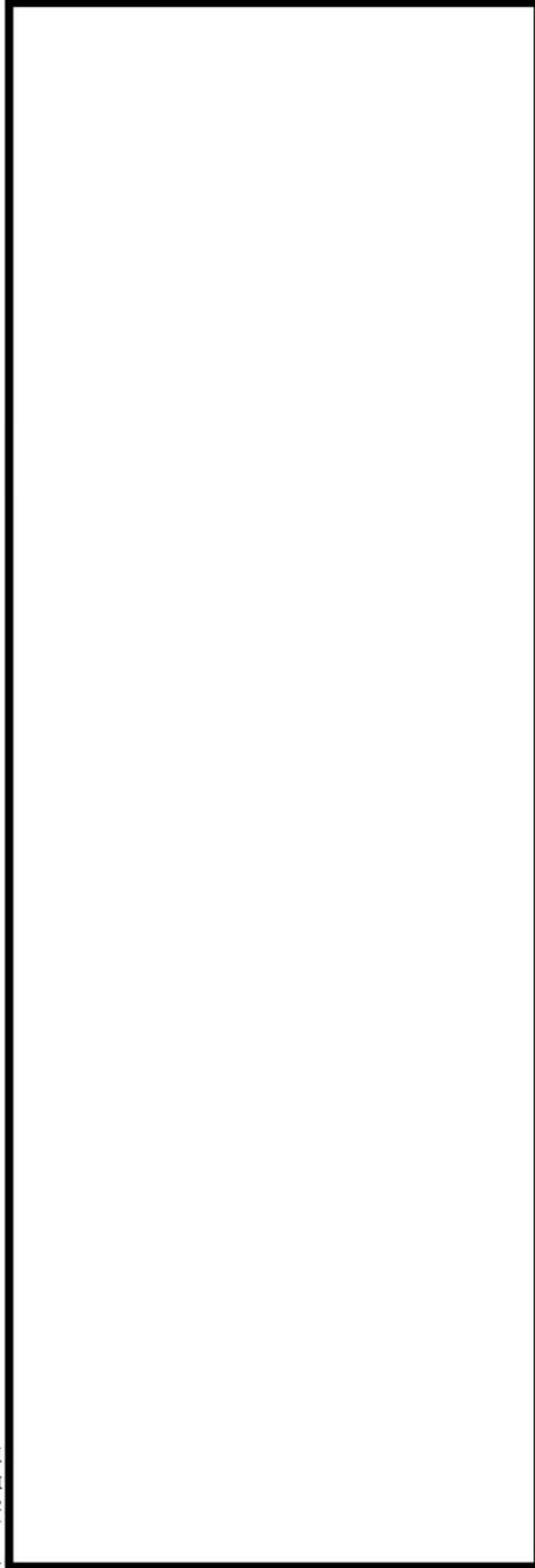
内は商業機密に属しますので公開できません

→環境 UF : 0.033

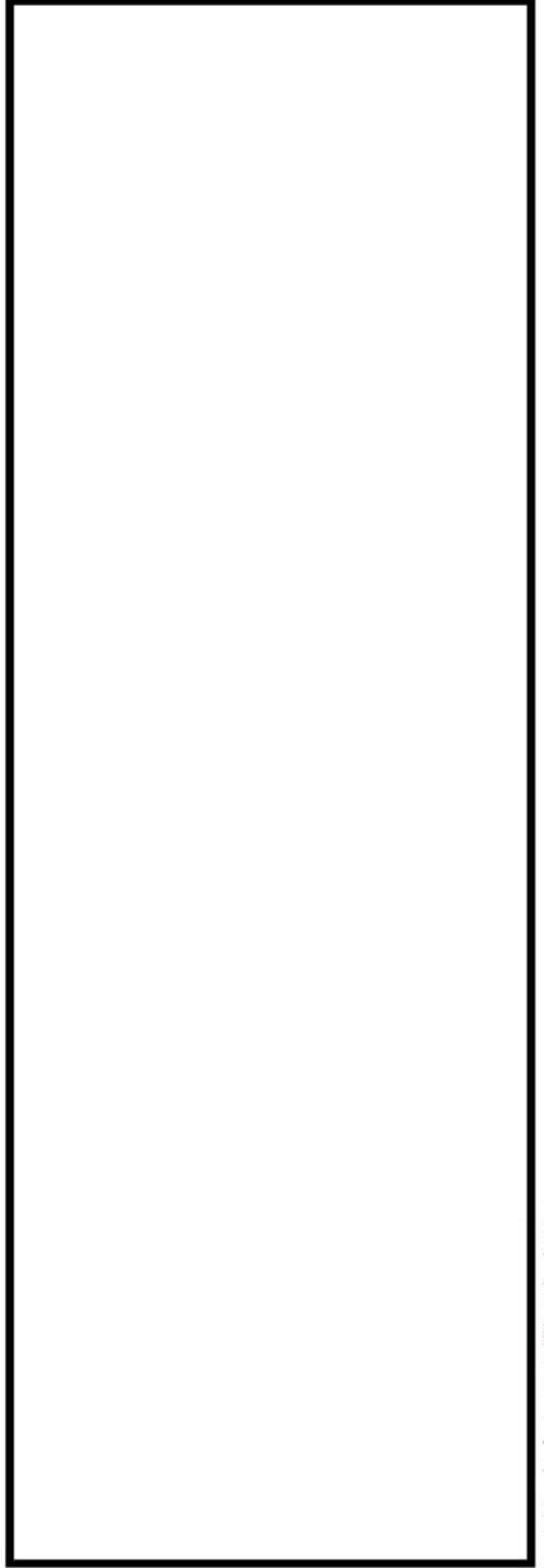
環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

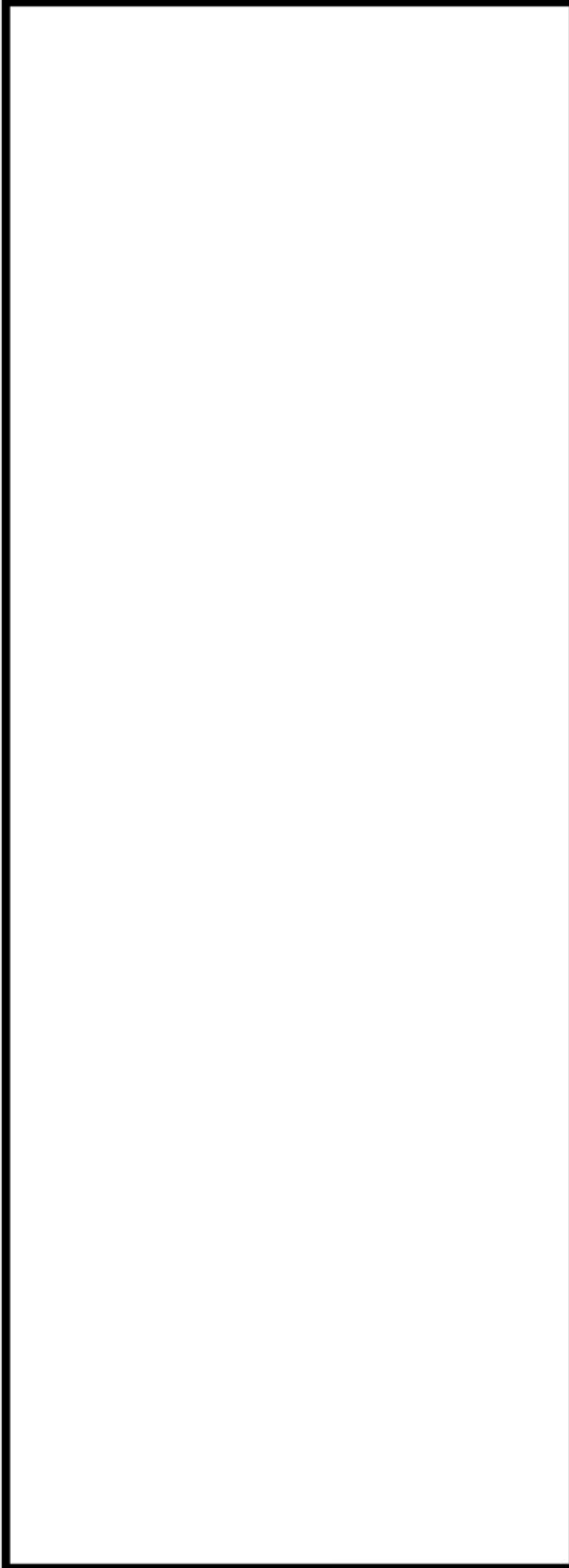
(1) 加圧サージライン用管台

a. 過渡 1A2,NSS

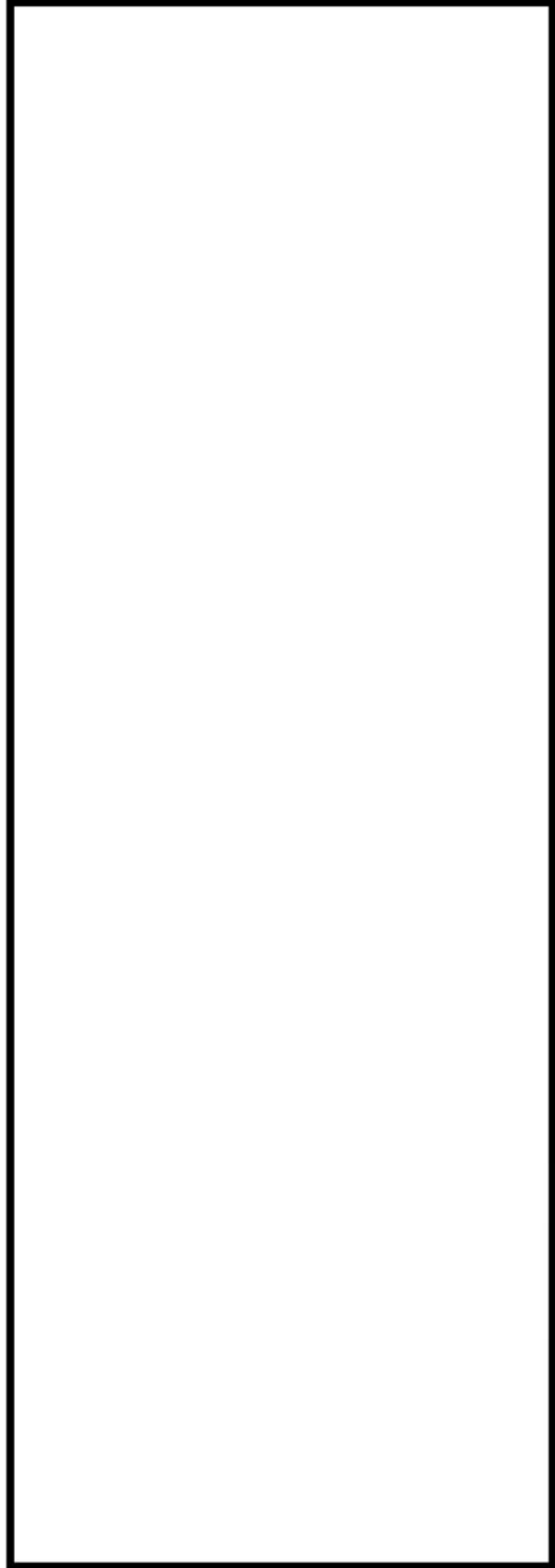


b. 過渡 1A2,2D5





c. 過渡 A2,1L1

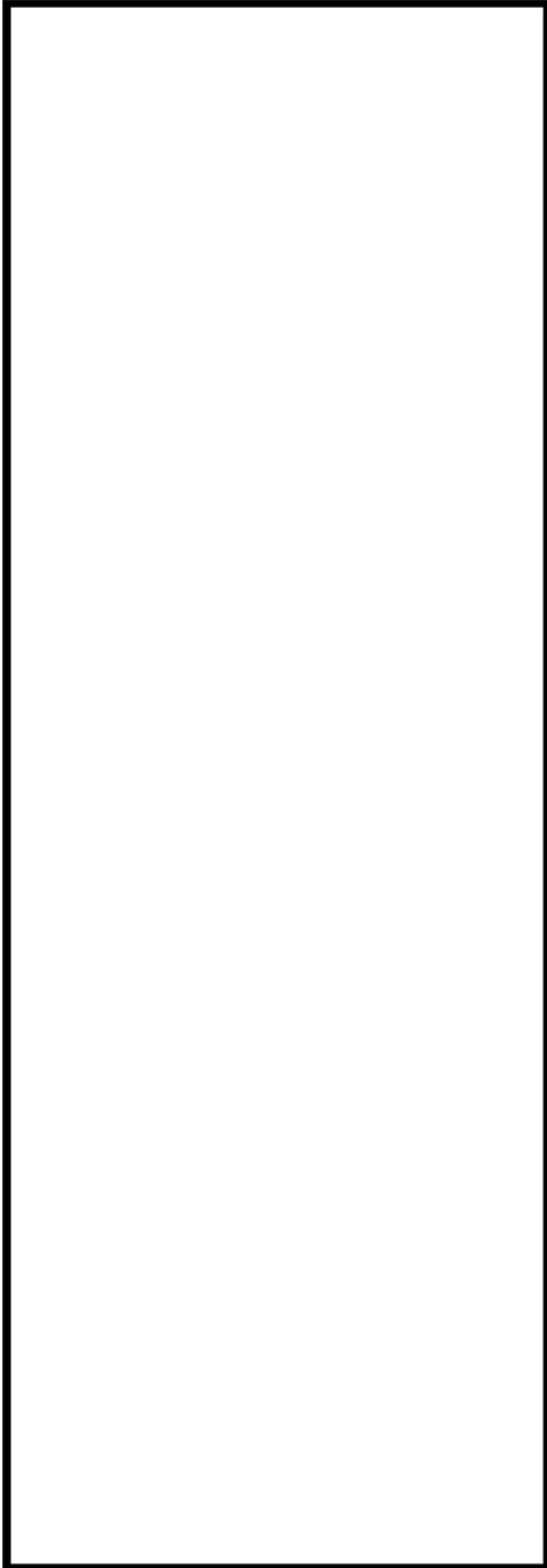


d. 過渡 1A2,1G1

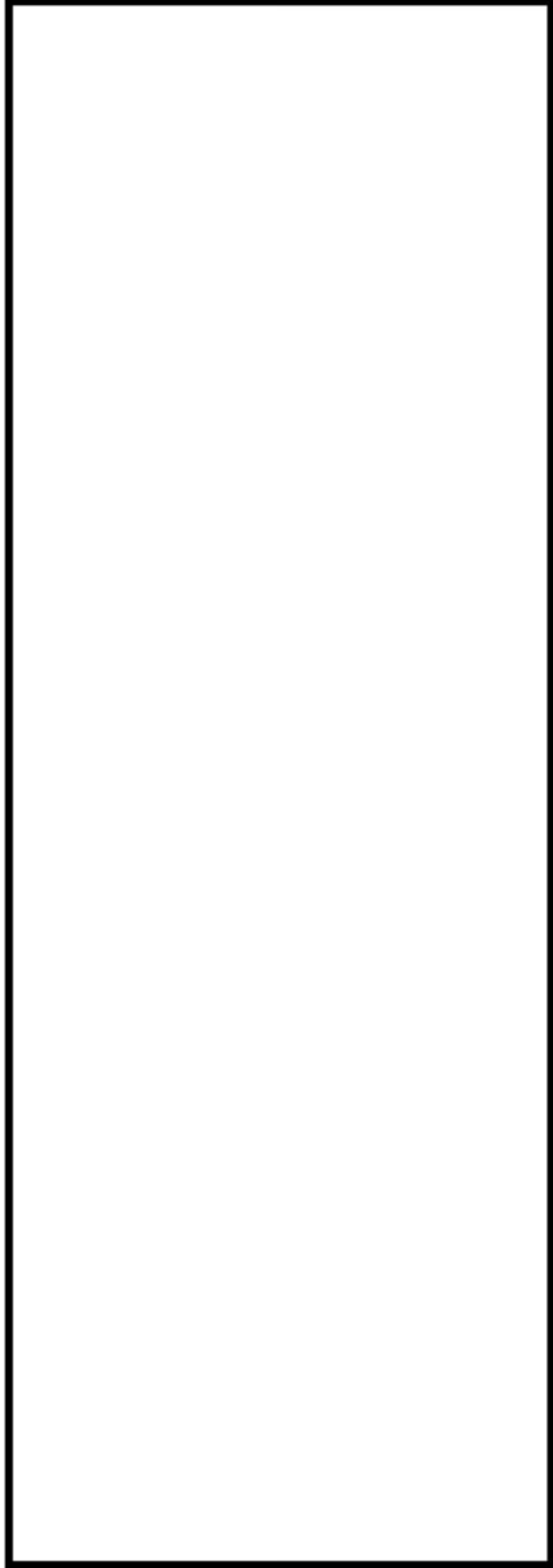
内は商業機密に属しますので公開できません



e. 過渡 1A2,1D1

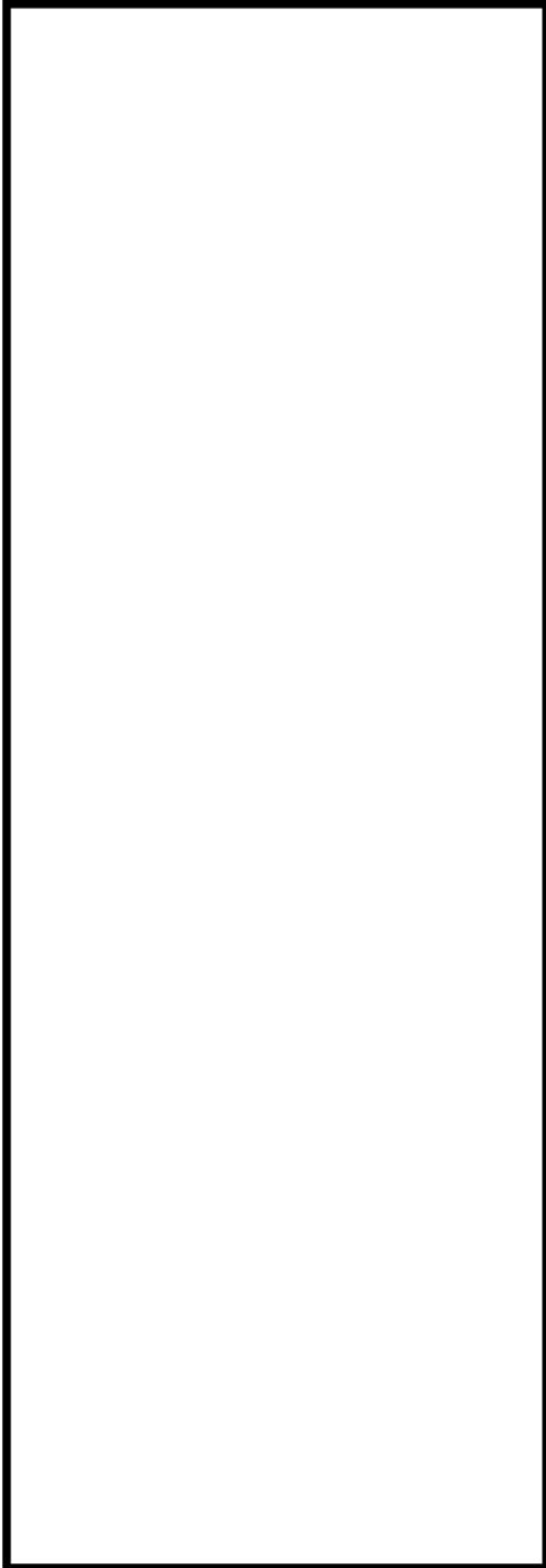


f. 過渡 1B2,1D1

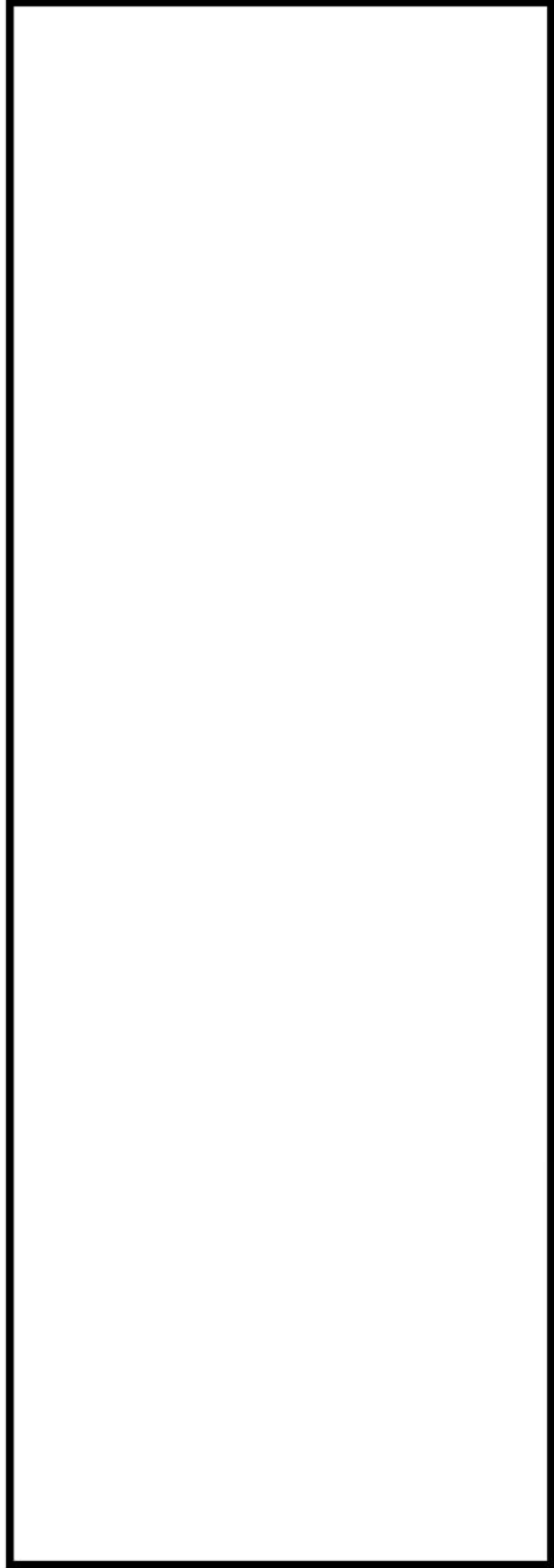


内は商業機密に属しますので公開できません

g. 過渡 1B2,2G1

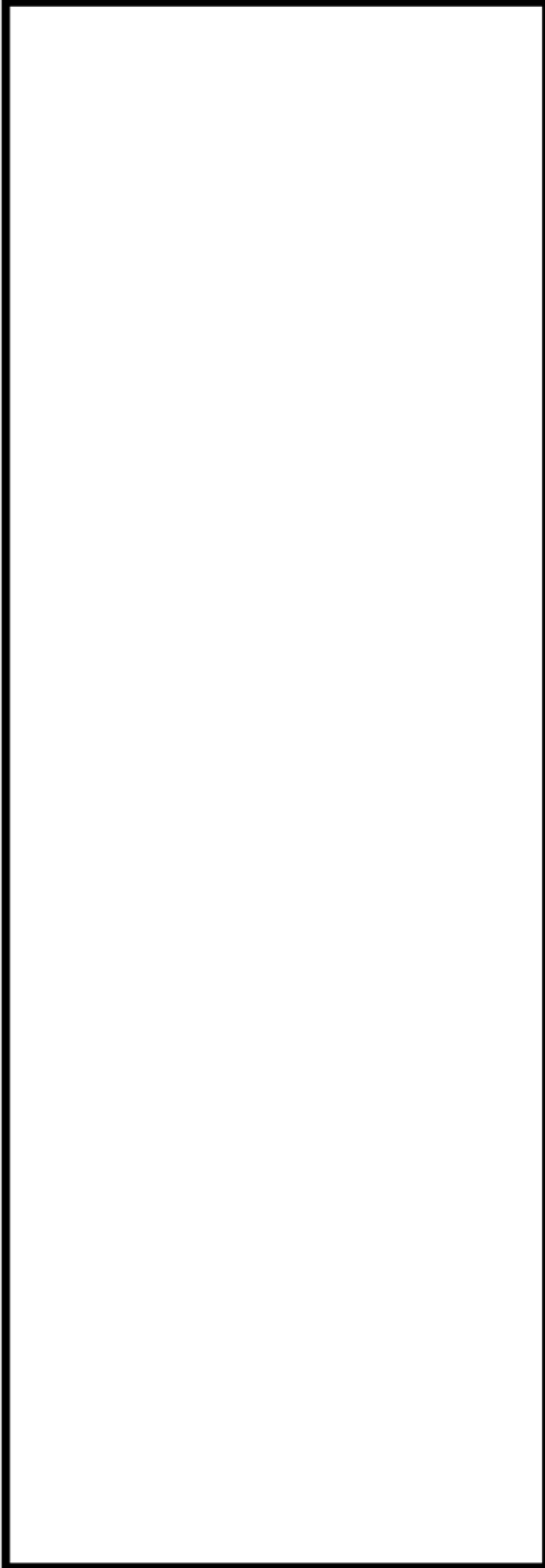


h. 過渡 1B2,2E1



内は商業機密に属しますので公開できません

i. 過渡 1B2,1M1

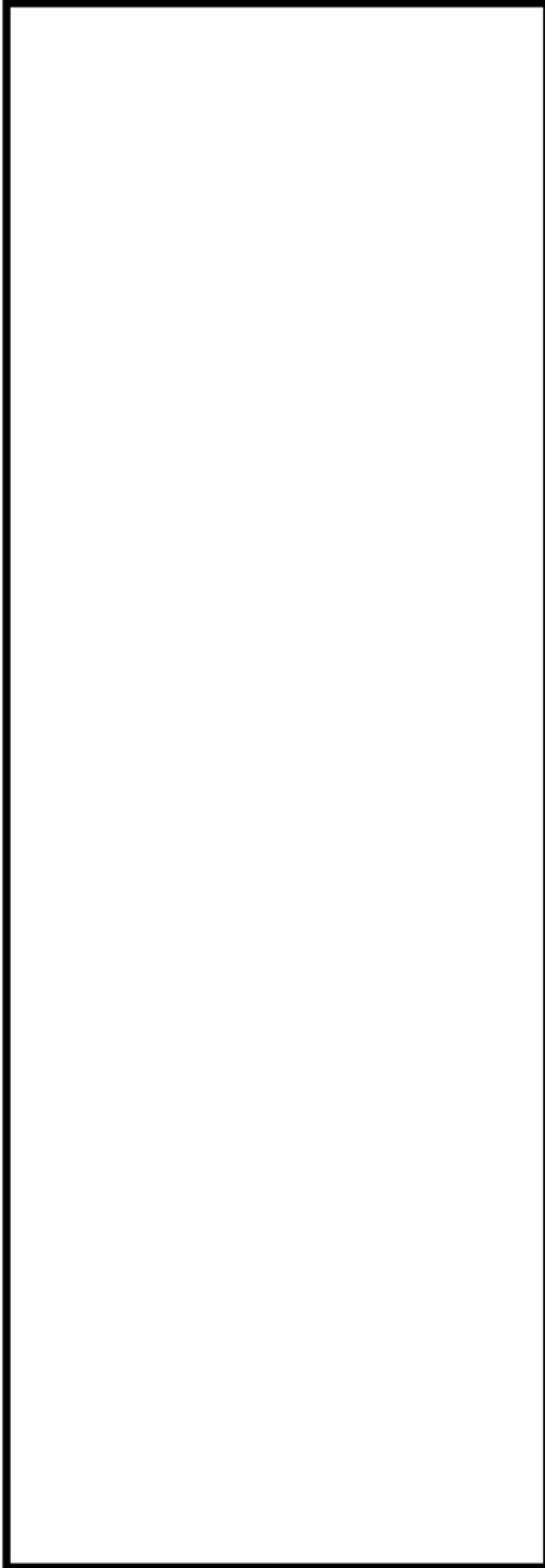


内は商業機密に属しますので公開できません

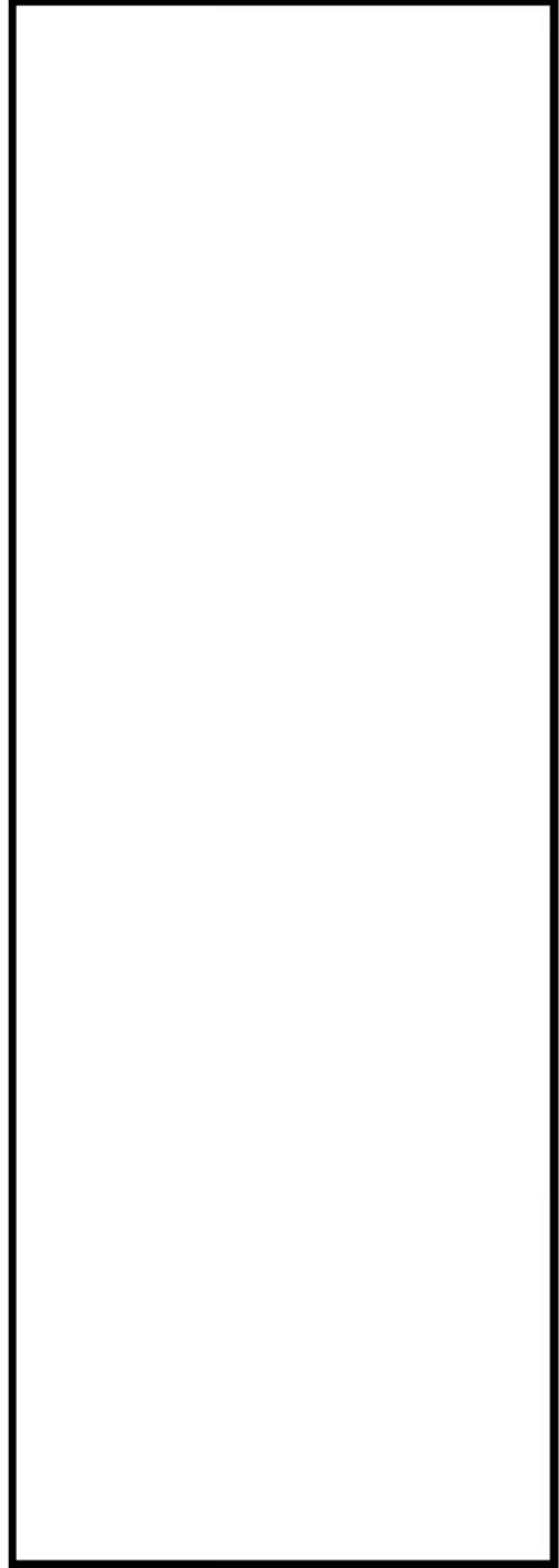


(2) 安全注入系ライン用管台

a. 過渡 2L1,2E1



b. 過渡 2E1,2L1

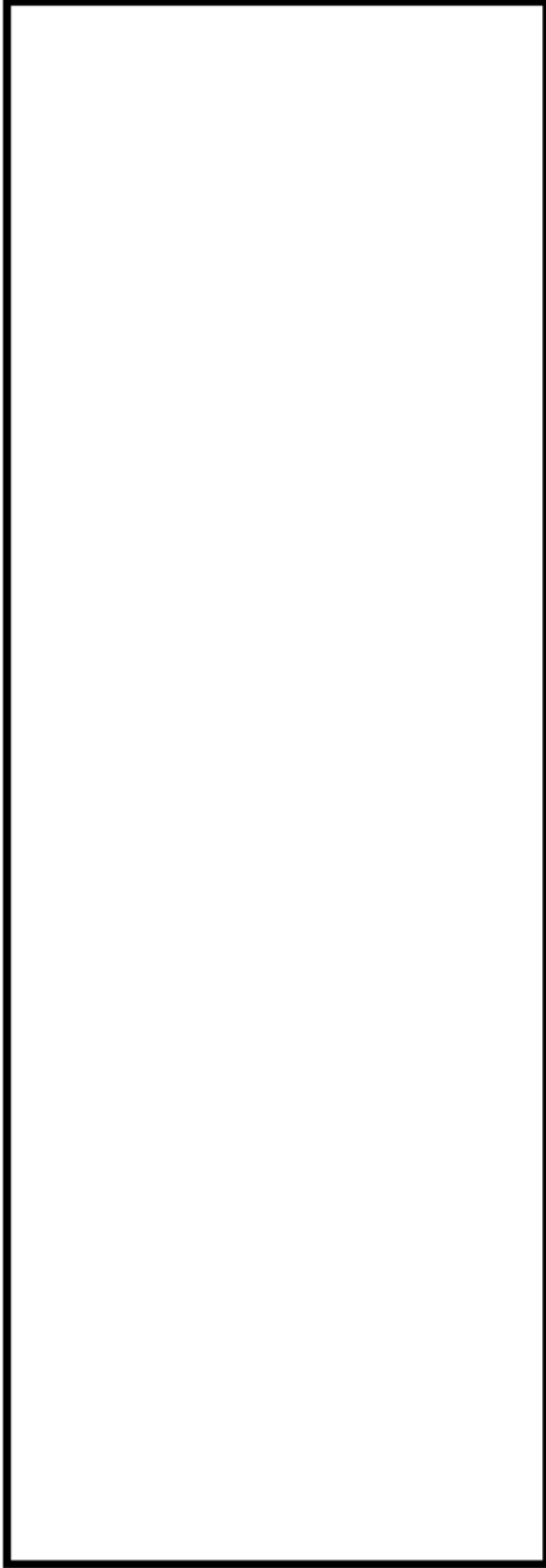


内は商業機密に属しますので公開できません

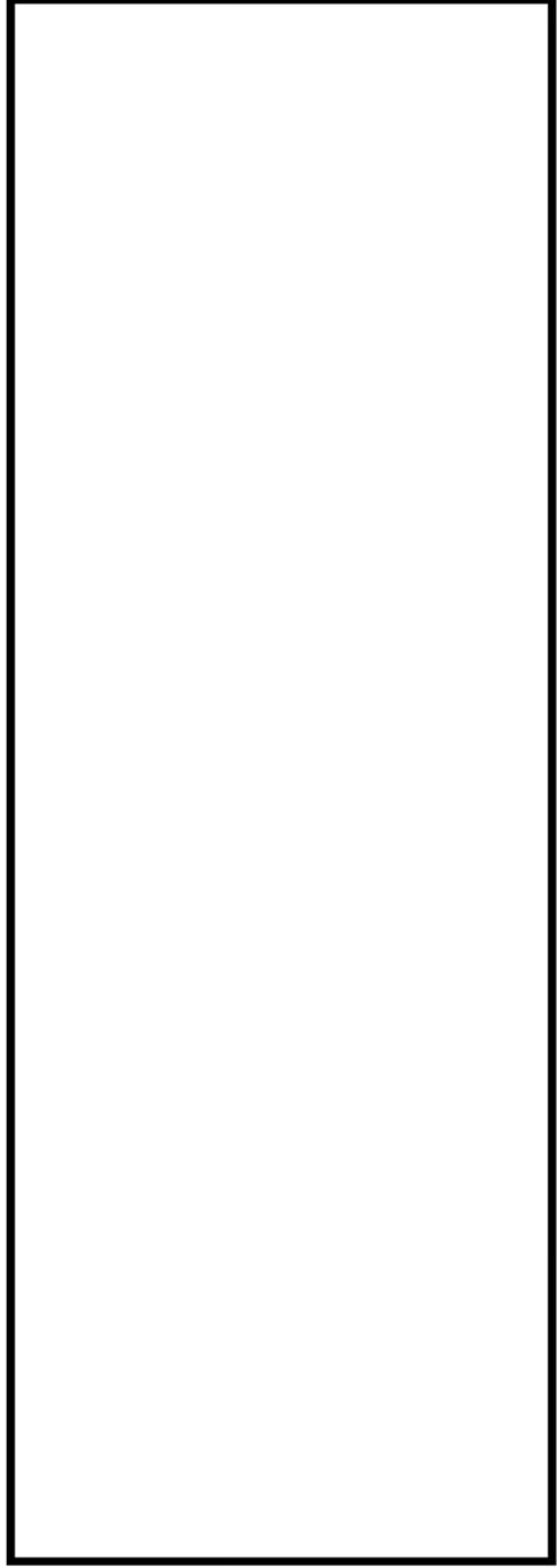


(3) 充てん管台

a. 過渡 201,2J2



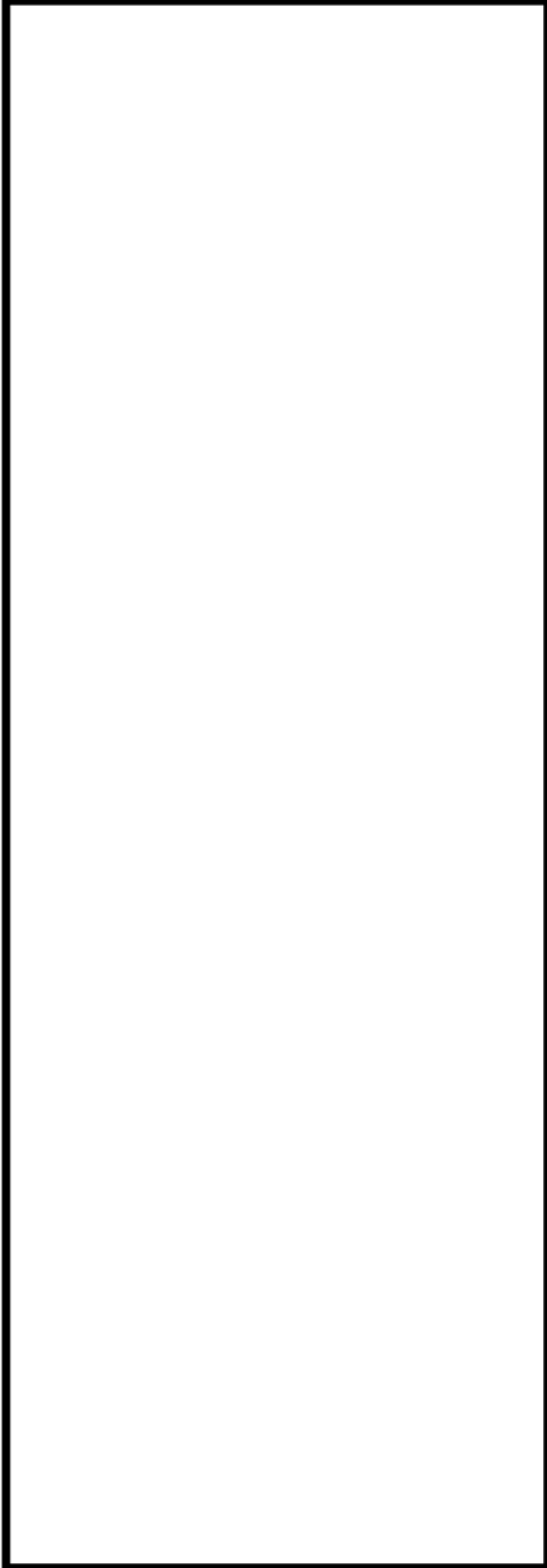
b. 過渡 205,2J2



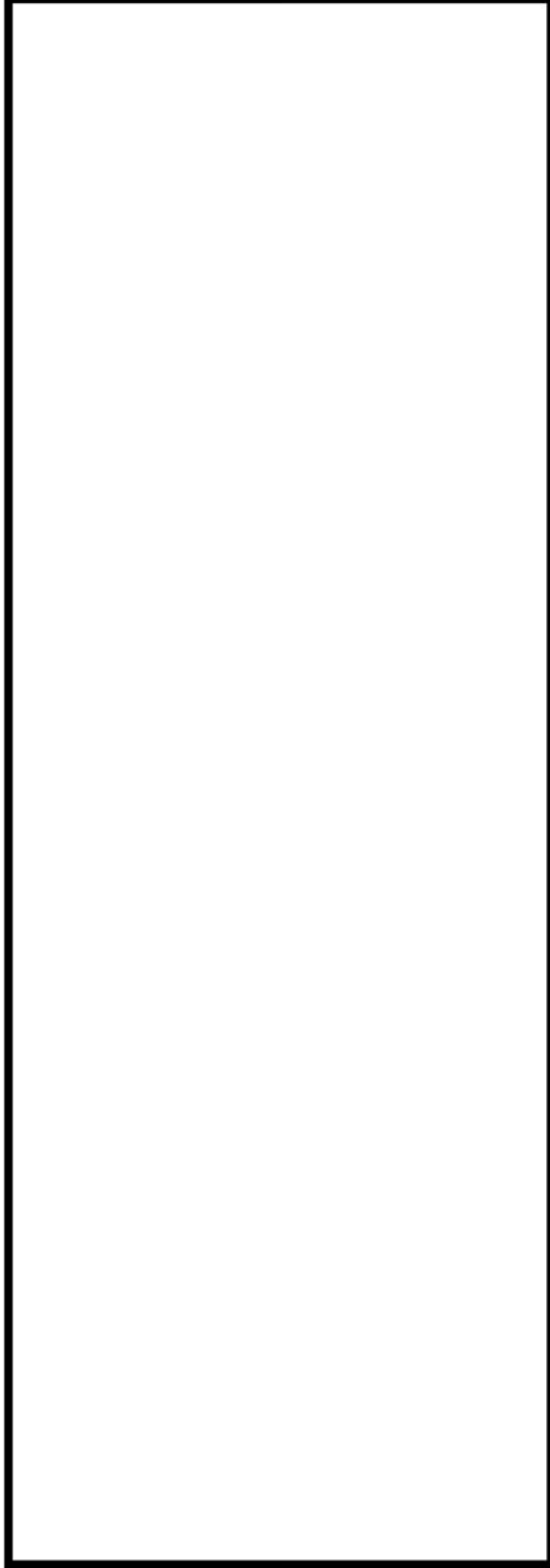
内は商業機密に属しますので公開できません



c. 過渡 2O3,2J2



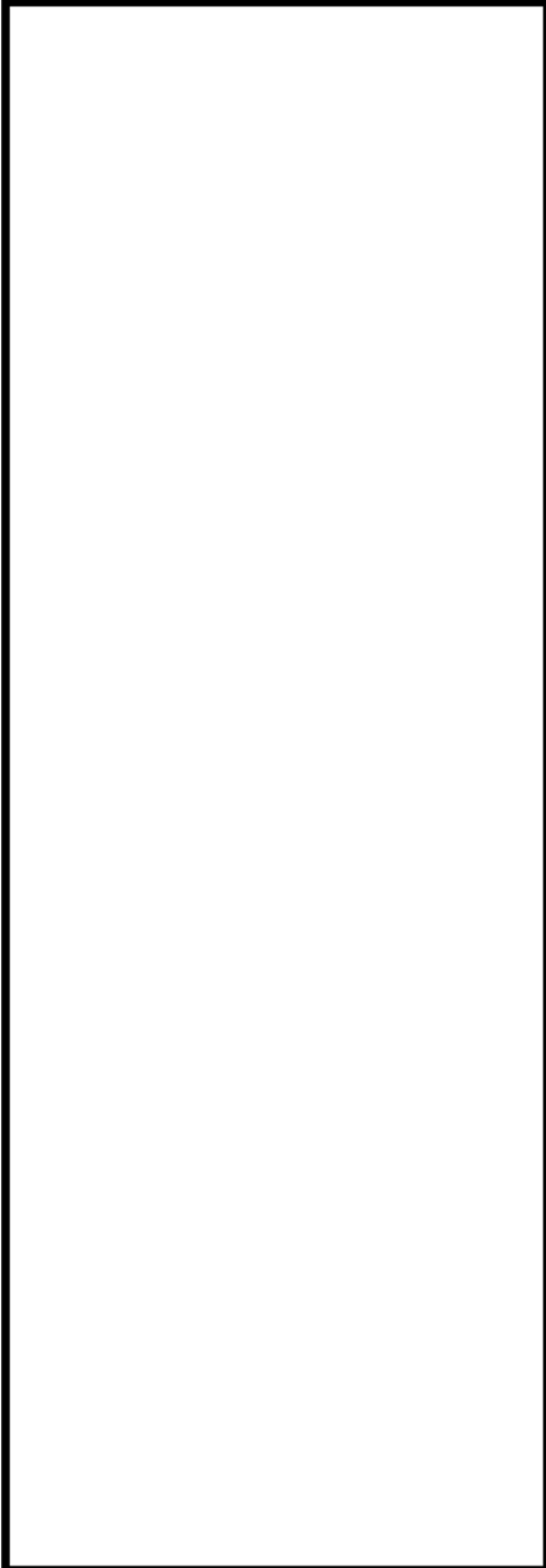
d. 過渡 2N2,2J2



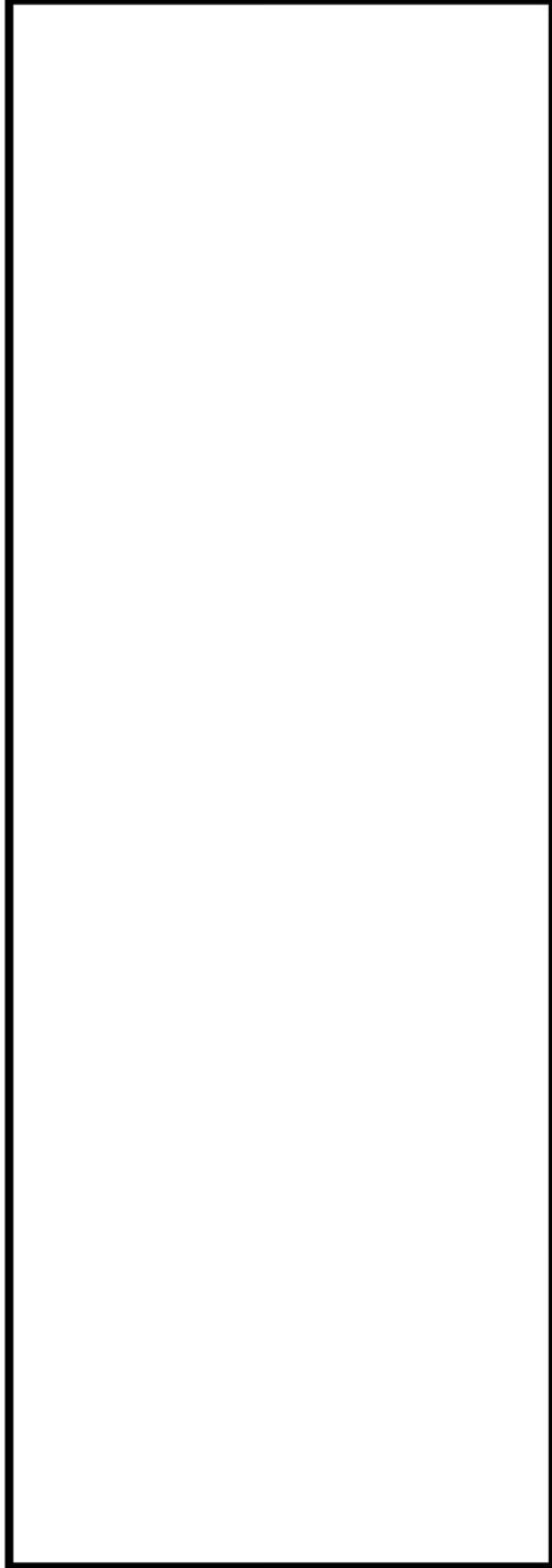
内は商業機密に属しますので公開できません



e. 過渡 2N5,2J2



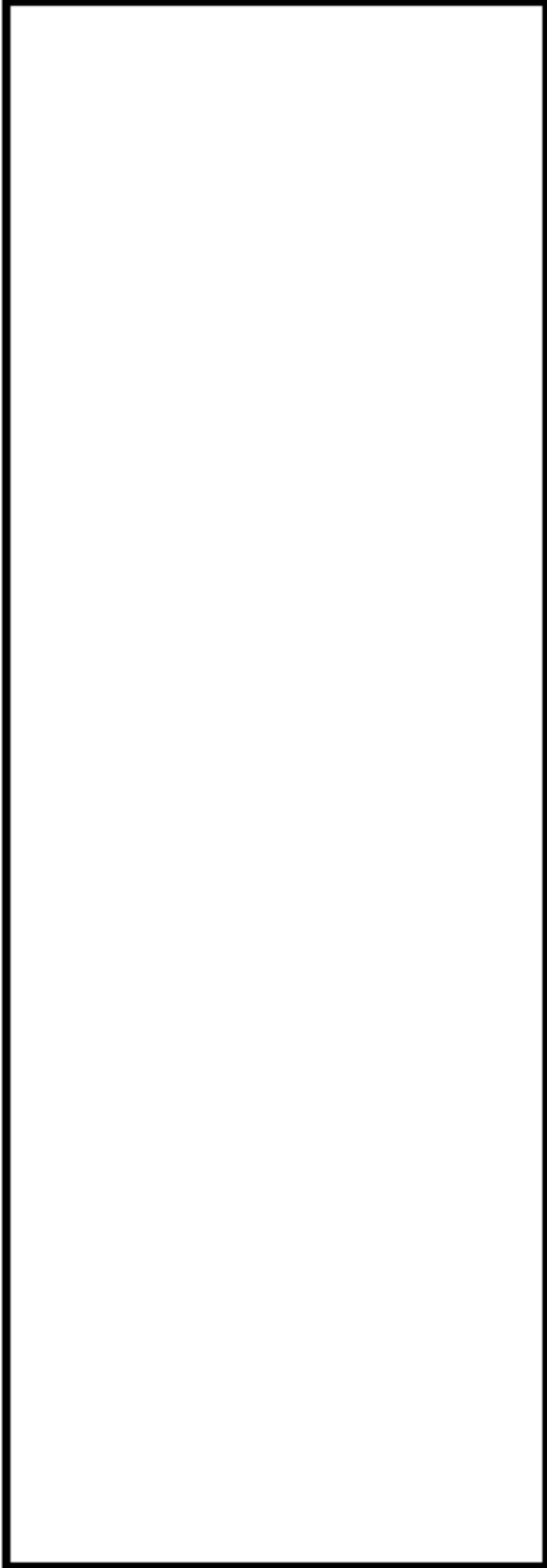
f. 過渡 2O4,2J2



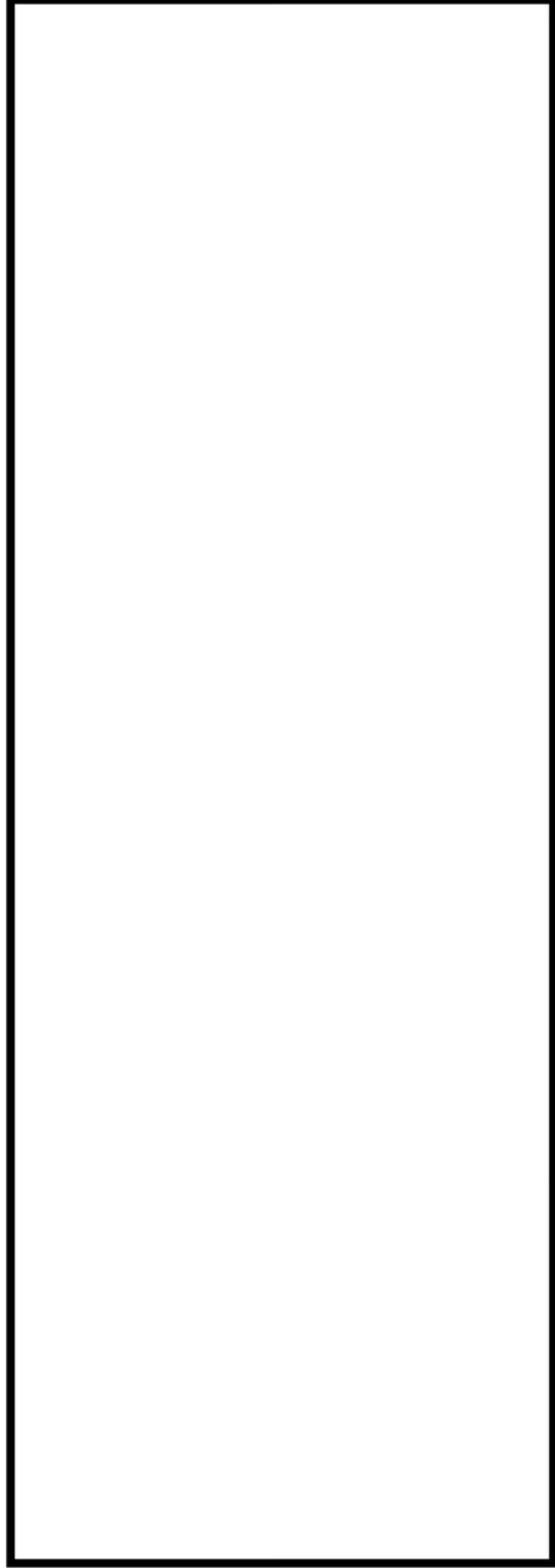
内は商業機密に属しますので公開できません



g. 過渡 2S1,2J2



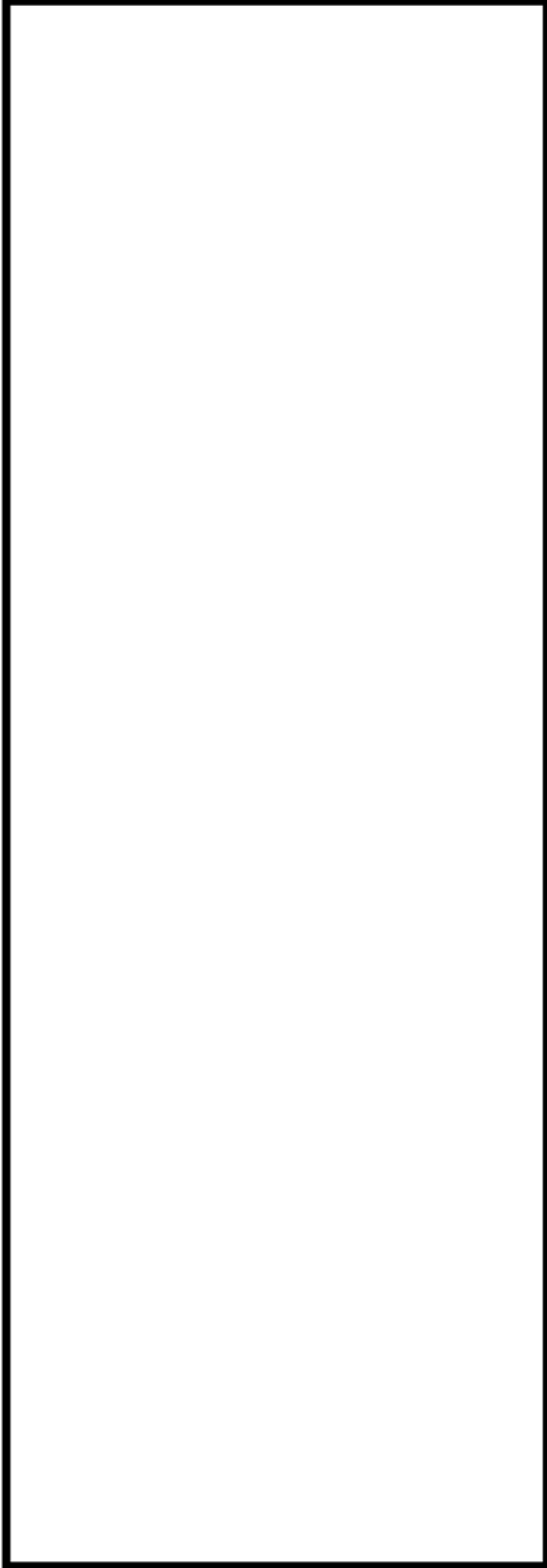
h. 過渡 2S1,1B1



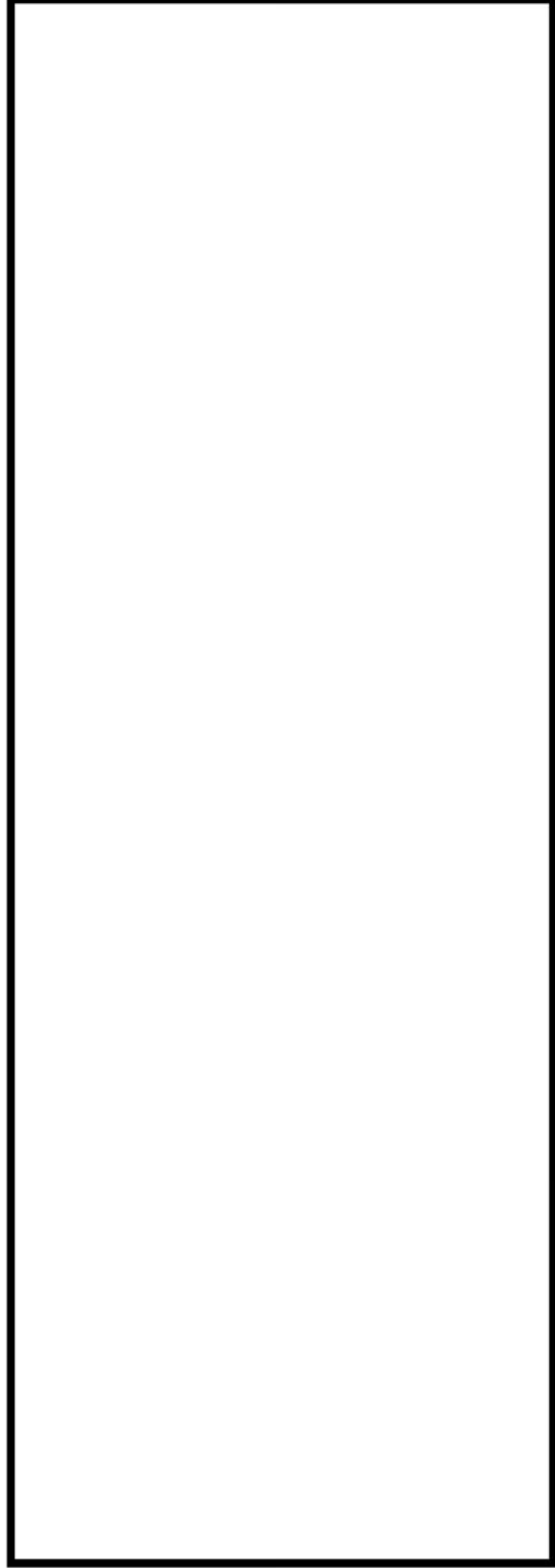
内は商業機密に属しますので公開できません



i. 過渡 2S1,1I1



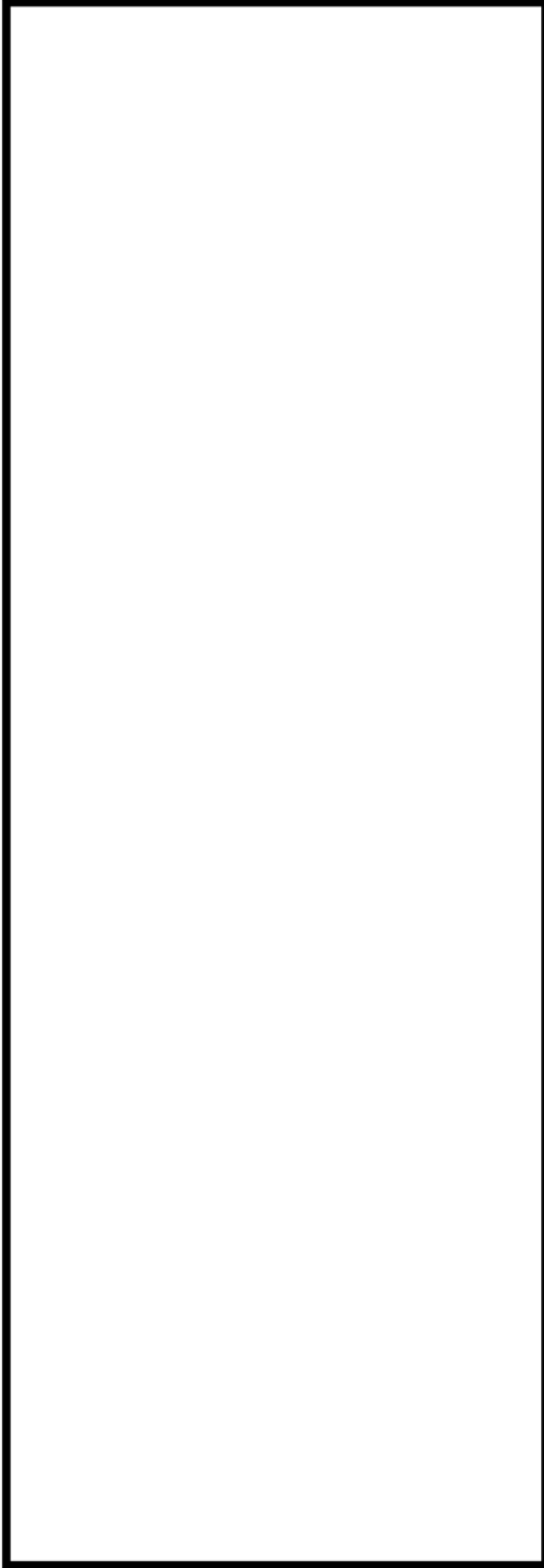
j. 過渡 2S1,NSS



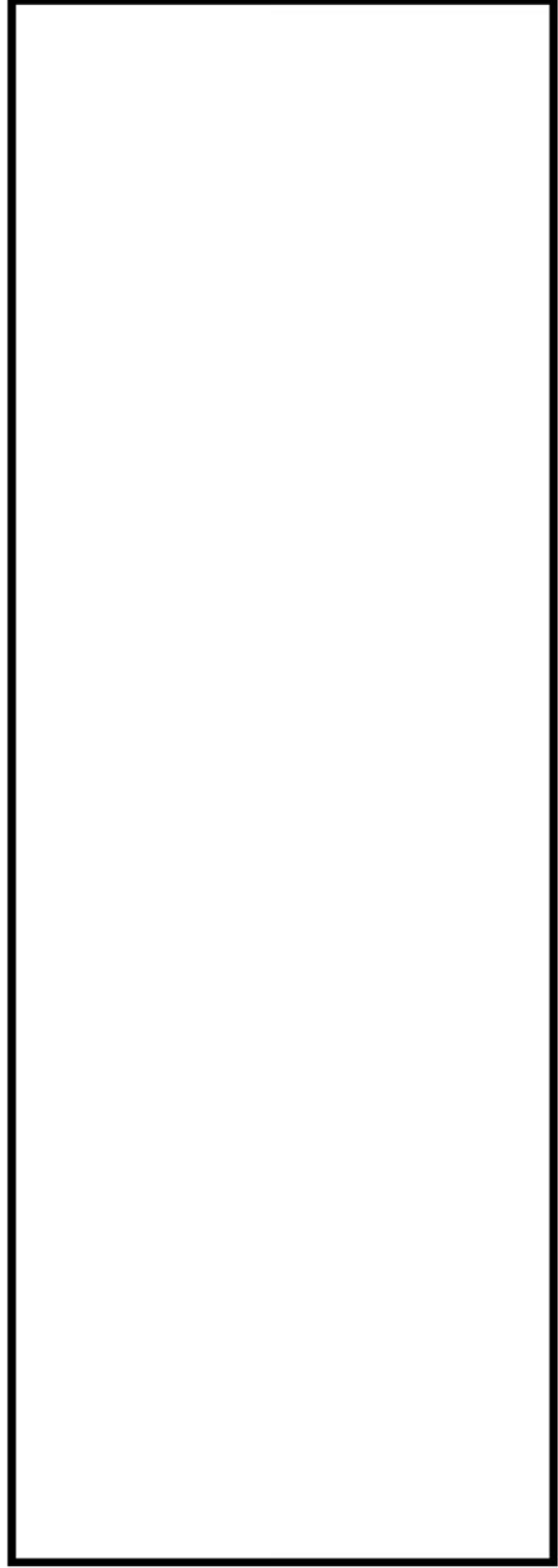
内は商業機密に属しますので公開できません



k. 過渡 2S1,2O4



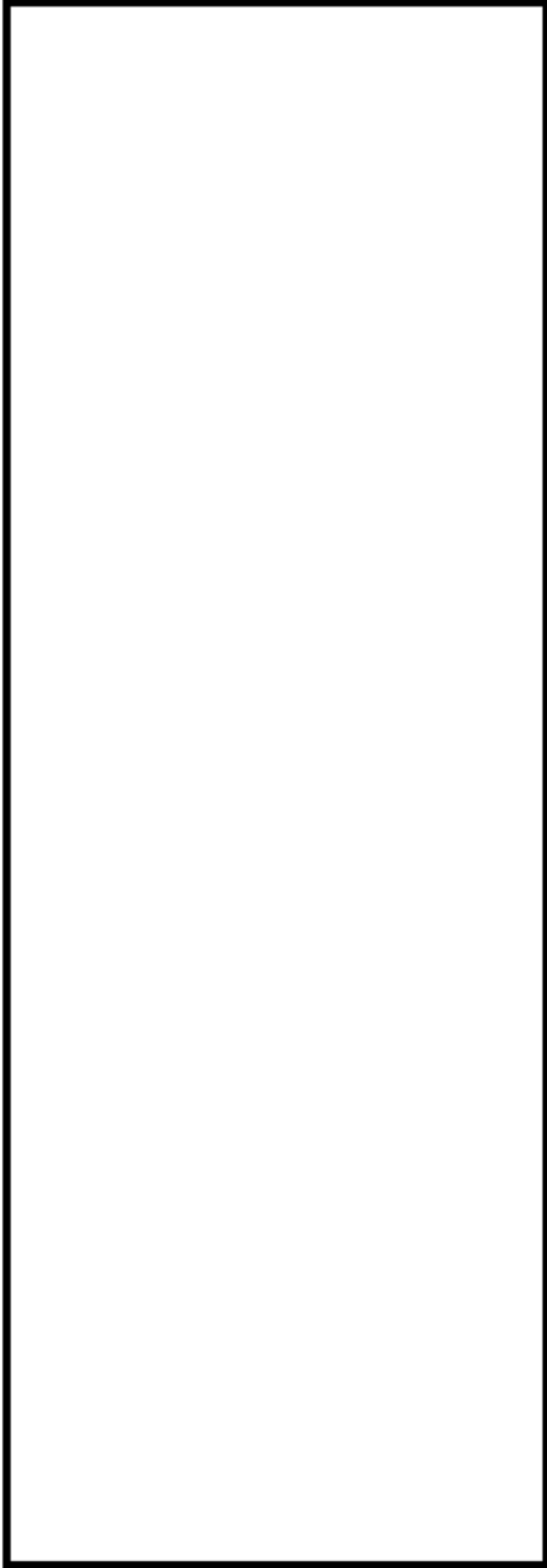
l. 過渡 2S1,2QE



内は商業機密に属しますので公開できません



m. 過渡 2S1, 2E1



内は商業機密に属しますので公開できません

