

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-26_改 12
提出年月日	2021年10月29日

補足-600-26 メカニカルスナッパの評価手法の
精緻化について

目 次

1.	はじめに	1
2.	適用範囲	2
3.	メカニカルスナップの構造及び作動原理	2
3.1	メカニカルスナップの構造	2
3.2	メカニカルスナップの作動原理	4
4.	メカニカルスナップの耐震設計	6
4.1	既工認における評価	6
4.2	メカニカルスナップの定格荷重	7
4.3	今回工認における評価	10
4.3.1	評価手順	10
4.3.2	メカニカルスナップの耐震設計に係る技術基準及び適用規格	13
4.3.3	今回工認における詳細評価適用の考え方	16
5.	今回工認における詳細評価の内容	25
5.1	構造部材の詳細評価（応力による強度評価）	26
5.2	機能確認（地震荷重と限界耐力値の比較）	41
5.3	女川2号機の今回工認における詳細評価の手順	44
6.	詳細評価結果	45
6.1	詳細評価対象メカニカルスナップ	45
6.2	構造部材の詳細評価結果	47
6.3	機能確認に対する荷重評価結果	54
7.	結論	58
別紙1 メカニカルスナップ確性試験の概要		
別紙2 メカニカルスナップの耐震設計に係る技術基準及び適用規格の内容		
別紙3 メカニカルスナップの詳細評価方法（構造部材に対する強度評価）		
別紙4 メカニカルスナップの電力共同研究の概要		
別紙5 メカニカルスナップのJNES研究の概要		
別紙6 メカニカルスナップの詳細評価におけるばらつきの考え方		
別紙7 メカニカルスナップの 詳細評価用荷重 （荷重評価する手法の場合）		

用語の定義

本資料中に用いる以下の用語の定義は以下のとおり。

No.	用語	定義	初出箇所
1	構造部材	メカニカルスナッパを構成する部品のうち、荷重伝達経路上にあり、配管から伝達される荷重（配管反力）を支持するための部材	P. 2 3.1 メカニカルスナッパの構造
2	機能部品	<ul style="list-style-type: none"> ・メカニカルスナッパを構成する部品のうち、荷重伝達経路上にあり、メカニカルスナッパの機能（用語の定義 No.7 参照）に必要な部品 ・試験結果により策定した耐力算出方法を用いて耐力値を設定する部品 	P. 2 3.1 メカニカルスナッパの構造
3	定格荷重	<ul style="list-style-type: none"> ・メカニカルスナッパ製造者による構成部材の市場調達性、製作性なども考慮して標準化された製品として、製造設計にあたって設定する荷重 ・既工認の評価では、許容応力状態Ⅲ_{AS} においては定格荷重を、許容応力状態Ⅳ_{AS} においては定格荷重×1.5 をあらかじめ設定した設計上の基準値（J E A G 4 6 0 1 における、「あらかじめ計算により求めた標準荷重」に相当）としている。 	P. 1 1. はじめに
4	（今回工認の） 一次評価	メカニカルスナッパの地震荷重に対して許容応力状態Ⅲ _{AS} においては定格荷重を、許容応力状態Ⅳ _{AS} においては定格荷重×1.5 をあらかじめ設定した設計上の基準値として行う評価（既工認の評価と同様）	P. 10 4.3 今回工認における評価
5	（今回工認の） 詳細評価	<ul style="list-style-type: none"> ・今回工認の一次評価においてメカニカルスナッパの地震荷重が定格荷重又は定格荷重×1.5 を超過した場合において実施する評価 ・構造部材の強度評価と機能確認（メカニカルスナッパ全体）の2つの評価を実施 	P. 1 1. はじめに
6	耐力	メカニカルスナッパが要求される機能を維持した状態で耐えうる荷重 限界耐力値、耐力確認荷重等、主にその他の用語の一部として用いられる。	P. 10 4.3 今回工認における評価

No.	用語	定義	初出箇所
7	スナッパの機能	支持機能と低速走行機能の 2 つの機能であり，支持機能とは支持構造物として要求される動剛性を発揮すること，低速走行機能とは熱移動に追従する機能	P. 7 4.2 メカニカルスナッパの定格荷重
8	既往知見（電共研，JNES）	メカニカルスナッパに対して今回工認の詳細評価を適用するに当たり参照した先行研究の知見 【電共研】 平成 12 年度 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究（Phase2） 【JNES】 平成 21～22 年度 耐震機能限界試験（スナバ）に関する報告書	P. 10 4.3 今回工認における評価
9	確性試験	メカニカルスナッパ製造者においてメカニカルスナッパの基本性能を確認・担保する目的で実施している試験	P. 7 4.2 メカニカルスナッパの定格荷重
10	限界耐力評価法	・電共研（「平成 12 年度 共同研究報告書 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究（Phase2）」）の知見により策定されたメカニカルスナッパの限界耐力評価手法 ・メカニカルスナッパを構成する荷重伝達経路上の構造部材の応力評価により定まる耐力と機能部品の機能が担保された荷重のうち小さいほうの値により定まる限界耐力値を用いて，地震荷重に対するメカニカルスナッパの健全性を評価	P. 16 4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方
11	動剛性	・メカニカルスナッパが地震荷重を受ける際に支持構造物として持つ剛性であり，本資料においてはばね定数と同じ意味で用いる ・JNES 研究においては，動ばね定数と記載	P. 7 4.2 メカニカルスナッパの定格荷重

No.	用語	定義	初出箇所
12	振動応答試験	確性試験において、メカニカルスナップバを定格荷重が発生する変位で加振し、地震荷重に対して想定される動剛性を示すことを確認する試験	P. 9 4.2 メカニカルスナップバの定格荷重
13	過負荷振動試験	確性試験において、メカニカルスナップバを定格荷重×1.5が発生する変位で加振し、地震荷重に対して想定される動剛性を示すことを確認する試験	P. 9 4.2 メカニカルスナップバの定格荷重
14	低速走行試験	メカニカルスナップバを熱膨張による変位時に想定される速度で加振し、配管の熱変位に対して追従できることを確認する試験	P. 9 4.2 メカニカルスナップバの定格荷重
15	予想耐力	メカニカルスナップバの限界耐力評価法を策定するために実施した電共研の破壊試験において、各構造部材に対して J E A G 4 6 0 1 により定まる許容応力と各構造部材の構造に基づいて選定した耐力評価式を用いて、試験前に机上計算により算出した各部位の耐力値、あるいはそれら各構造部材の予想耐力のうちメカニカルスナップバ全体での最小値	別紙 4-2 3. メカニカルスナップバ限界耐力評価法の策定方針
16	最大負荷荷重	メカニカルスナップバの限界耐力評価法を策定するために実施した電共研の破壊試験において、メカニカルスナップバの破損又は機能喪失が確認された試験条件（機能喪失した条件）の荷重記録のうち、メカニカルスナップバの機能が維持された状態における最大荷重	P. 41 5.2 機能確認 （地震荷重と限界耐力値の比較）
17	耐力確認荷重	メカニカルスナップバの限界耐力評価法を策定するために実施した電共研の破壊試験において、メカニカルスナップバの破損又は機能喪失が確認される前の試験条件（機能が維持されている状態）における最大荷重	P. 17 4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方

No.	用語	定義	初出箇所
18	限界耐力値	<ul style="list-style-type: none"> ・メカニカルスナップの破壊試験の結果を踏まえて必要に応じて補正した耐力評価式を用いて算出した机上計算による構造部材及び機能部品の耐力値 ・機能部品の限界耐力値については、試験結果に基づいて策定した耐力算出方法により算出する。 ・各型式におけるメカニカルスナップ全体の限界耐力値を示す場合は、構造部材及び機能部品の限界耐力値のうち最小値 ・JNES 研究においては耐力値と記載 	<p>P. 10</p> <p>4.3 今回工認における評価</p>
19	耐力評価式	メカニカルスナップの構成部品に対する限界耐力値算出に用いる評価式であり、構造強度部材においては応力算出式と許容応力から各部材の限界耐力値を算出する評価式、機能部品においては試験の結果を踏まえて策定した評価式	<p>P. 18</p> <p>4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方</p>
20	ストローク	メカニカルスナップが支持対象設備の移動に追従できる移動範囲（移動可能長さ）	<p>P. 19</p> <p>4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方</p>
21	実力の耐力値	メカニカルスナップが実際の破損又は機能喪失に至る直前の耐力値	<p>P. 17</p> <p>4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方</p>
22	評価耐力	電共研において、公称応力により部位ごとに計算した予想耐力	<p>別紙 4-24</p> <p>4.5 破壊試験結果の考察</p>
23	実耐力	応力算出式に含まれる裕度を取り除くとともに、使用材料のミルシート強度や構造を考慮して部位ごとに計算した実力ベースの耐力	<p>別紙 4-24</p> <p>4.5 破壊試験結果の考察</p>
24	耐力評価手法	JNES の研究において策定しているメカニカルスナップの評価手法であり、電共研の知見における限界耐力評価法に相当	<p>P. 17</p> <p>4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方</p>

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機の機器・配管系の支持構造物の設計に当たっては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補 - 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（(社)日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」）に従い、地震荷重に対して十分な強度を持たせた耐震設計としている。機器・配管系の支持構造物のうちメカニカルスナッパは、J E A G 4 6 0 1 の「その他の支持構造物」に該当するため、構造強度評価によって支持機能を評価する。

既工認におけるメカニカルスナッパの耐震設計では、J E A G 4 6 0 1 を踏まえ、あらかじめ計算により定格荷重^{*1} 及び定格荷重×1.5 に対するメカニカルスナッパの構成部品の応力を求めて許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS の許容限界を満足することを確認し、定格荷重及び定格荷重×1.5 を設計上の基準値として設定した上で、メカニカルスナッパに負荷される地震荷重と比較することによって耐震性を確認している。

今回工認のメカニカルスナッパの耐震設計においても、既工認同様、許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重、許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重×1.5 をあらかじめ設定した設計上の基準値として適用することを基本とする。ただし、基準地震動 S_s が増大したことによりメカニカルスナッパに負荷される地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超えた場合には、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること等を考慮し、改めて J E A G 4 6 0 1 を踏まえた詳細評価^{*2} として、メカニカルスナッパに負荷される地震荷重に対する応力を算出し、許容応力状態Ⅲ_AS 又は許容応力状態Ⅳ_AS の許容限界を満足することを確認する。

本資料は、今回工認で女川原子力発電所第2号機に適用するメカニカルスナッパの詳細評価の考え方についてまとめたものである。

なお本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」

注記*1：用語の定義 No. 3 参照

*2：用語の定義 No. 5 参照

2. 適用範囲

女川原子力発電所第2号機の機器・配管系に設置する型式（SMS型，NMB型）のメカニカルスナッパとし，地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_{AS}に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_{AS}に対して定格荷重×1.5）を超えた場合に詳細評価を適用する。

3. メカニカルスナッパの構造及び作動原理

3.1 メカニカルスナッパの構造

メカニカルスナッパは，プラント運転時に熱膨張が発生する高温配管の耐震用の支持装置として，地震時に発生する配管反力（地震荷重）のような急速な配管移動は拘束するが，配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は拘束しない機能を持った製品である。図3-1にメカニカルスナッパの構造概要を示す。

メカニカルスナッパは，ボールねじ，ボールナット等にて配管移動を等価質量の回転運動に変換し，入力加速度が小さい（緩やかな配管移動）場合は小さな抵抗力で自由に移動するが，入力加速度が大きい（急速な配管移動）場合は大きな抵抗力が発生して配管を拘束する機構を有しており，配管から伝達される荷重（配管反力）を支持するための構造部材^{*1}及び配管移動に追従するための機能部品^{*2}としての役割を持った部品等で構成されている。

注記*1：用語の定義 No. 1 参照

*2：用語の定義 No. 2 参照

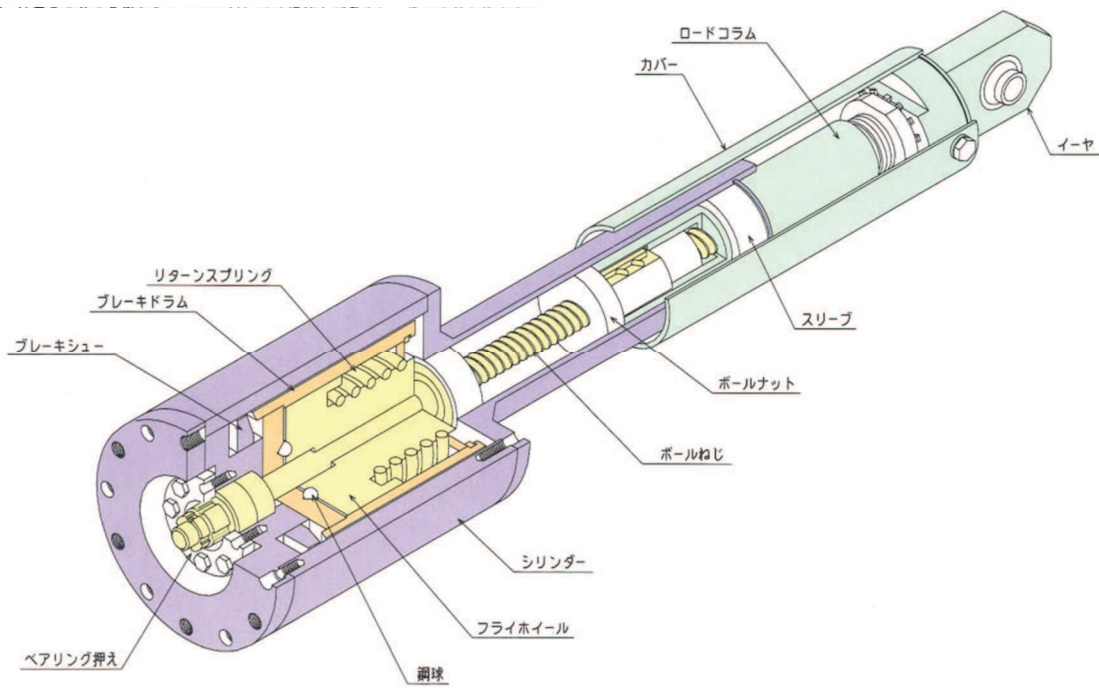


図 3-1 メカニカルスナッチの構造概要

3.2 メカニカルスナップの作動原理

メカニカルスナップの作動原理の概要を図 3-2 に示す。また、ボールねじにおけるボールナット部の概要図を図 3-3 に示す。メカニカルスナップの作動原理は、ボールナットの往復運動に対して、ボールナット内部でボールねじのねじ溝に沿ってボールが循環することで、ボールねじを介してフライホイールの回転運動に変換することが基本原理である。ボールナットに往復運動（振動）が加わると、ボールねじは回転を開始しようとするが、フライホイールの慣性によって回転が阻止されるため、ボールナットは往復動ができずに外力に抵抗する荷重が発生する。

外力に抵抗する荷重（抵抗力）は以下の式で表される。

$$F = M \times \alpha$$

ここで、

F：抵抗力

M：フライホイール質量

α ：加速度

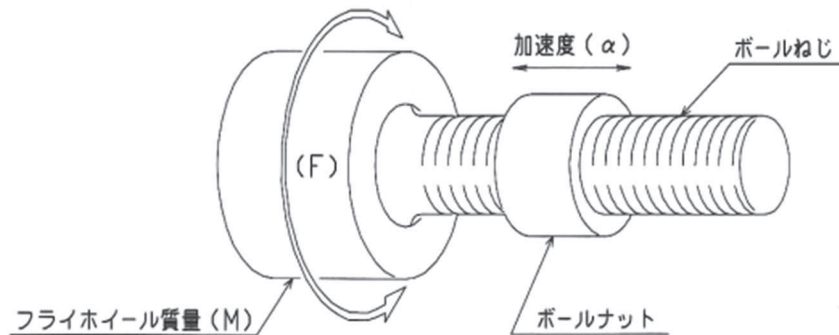


図 3-2 メカニカルスナップの作動原理

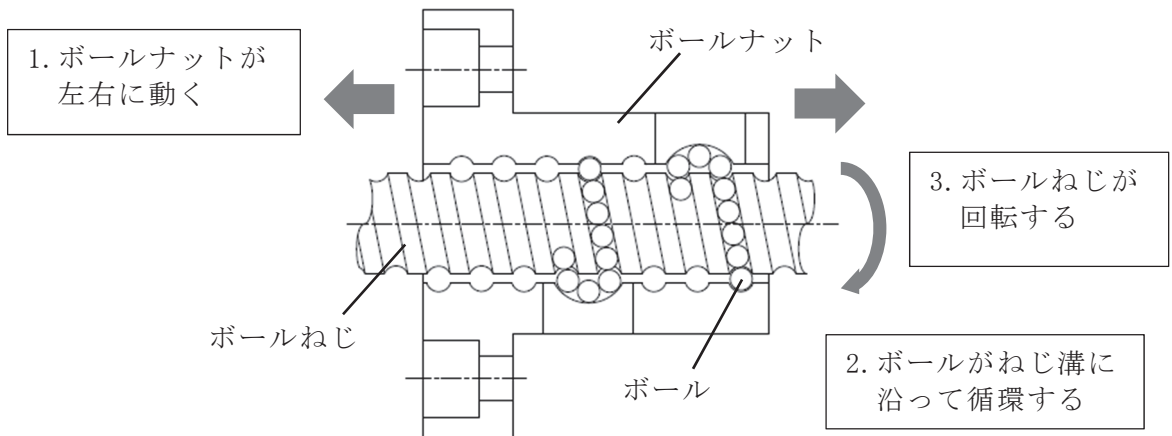


図 3-3 ボールねじのボールナット部の概要図

また、メカニカルスナッパへの入力加速度が小さい（緩やかな配管移動）場合における動作の様子を図 3-4 に示す。図のとおり、メカニカルスナッパの軸方向にかかった力は、ボールねじによってシリンダ内のフライホイールの回転運動に変換されるとともに、メカニカルスナッパ全体が伸縮する。

入力加速度が大きくなった（急速な配管移動）場合は、フライホイールの回転慣性が抵抗となって支持機能が発揮され、メカニカルスナッパ全体の伸縮も拘束される。



図 3-4 メカニカルスナッパの低速走行時動作の様子

4. メカニカルスナッパの耐震設計

4.1 既工認における評価

既工認におけるメカニカルスナッパの評価手順を図 4-1 に示す。

既工認におけるメカニカルスナッパの耐震評価では、メカニカルスナッパに対する荷重による評価として、地震応答解析から算出されたメカニカルスナッパに負荷される配管反力（地震荷重）が、あらかじめ設定した設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_{AS}に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_{AS}に対して定格荷重×1.5）を満足していることを確認している。

ここで、あらかじめ設定した設計上の基準値とは、J E A G 4 6 0 1における、あらかじめ計算により求めた標準荷重に相当し、定格荷重及び定格荷重×1.5 に対するメカニカルスナッパの強度評価として、各構造部材の応力がその他の支持構造物に要求される許容応力状態Ⅲ_{AS}及び許容応力状態Ⅳ_{AS}の許容応力を満足することが確認されたものである。J E A G 4 6 0 1におけるあらかじめ計算により求めた標準荷重については、4.3.2に詳細を記載している。

なお、メカニカルスナッパに対して J E A G 4 6 0 1 のその他の支持構造物の許容応力に基づく強度評価を行う場合、構造部材ごとに評価を実施する必要があるが、評価作業の合理化を目的として、既工認の評価においてはあらかじめ設定した設計上の基準値を用いた評価を実施している。

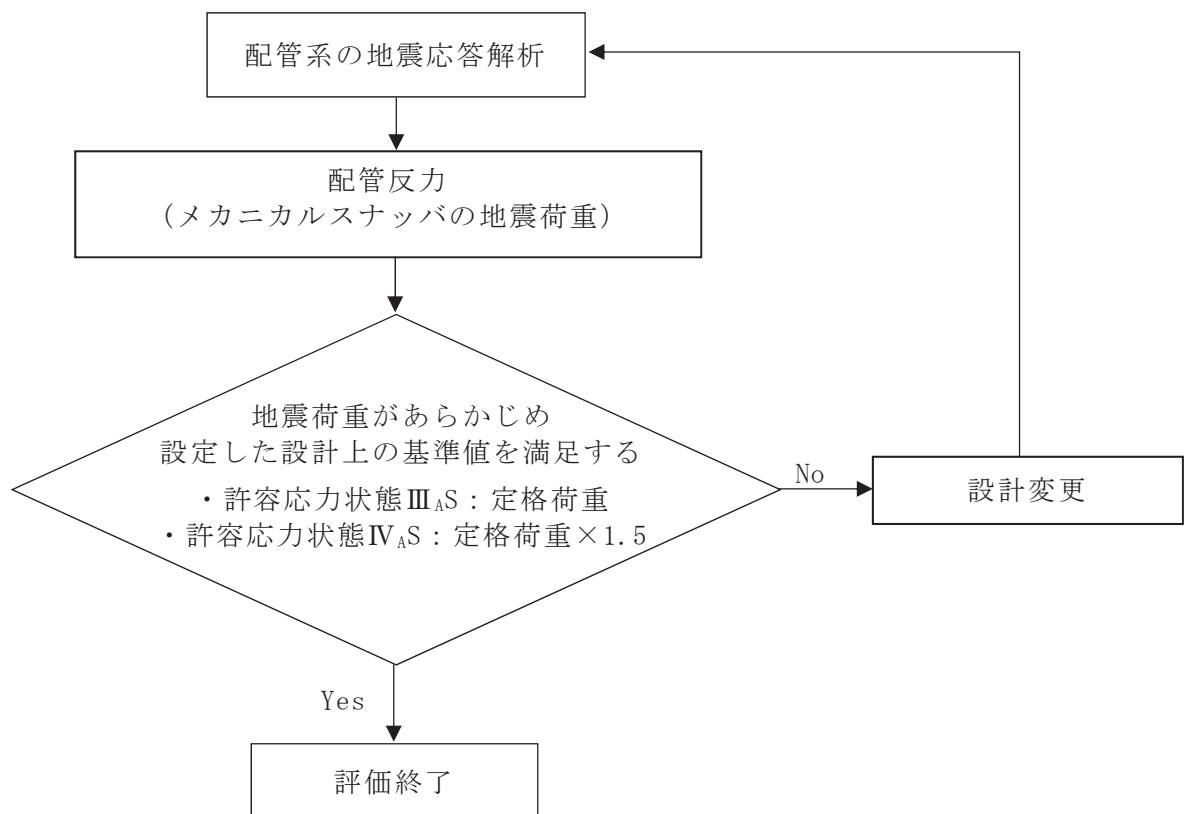


図 4-1 既工認におけるメカニカルスナッパの評価手順

4.2 メカニカルスナッパの定格荷重

メカニカルスナッパは、メカニカルスナッパ製造者による構成部材の市場調達性、製作性なども考慮して標準化された製品であり、製造設計にあたって設定する定格荷重及び定格荷重×1.5に対して十分に余裕のある設計となっている。

メカニカルスナッパの製造設計では、地震荷重として定格荷重及び定格荷重×1.5が負荷された構造部材に対する応力がJ E A G 4 6 0 1に規定される「その他の支持構造物」の許容限界（定格荷重に対して許容応力状態Ⅲ_AS，定格荷重×1.5に対して許容応力状態Ⅳ_AS）を十分に満足し、余裕のある設計であることを確認している。

従って、荷重による評価として、メカニカルスナッパの地震荷重が定格荷重及び定格荷重×1.5を満足する場合、構造部材ごとに評価を実施しなくても各評価対象部位の応力がJ E A G 4 6 0 1に規定される許容限界を満足することになる。SMS型メカニカルスナッパのCONNECTINGチューブにおける型式ごとの定格荷重×1.5の荷重評価例を表4-1-1に示す。なお、表4-1-1はCONNECTINGチューブを例として定格荷重×1.5と許容限界Ⅳ_ASの許容応力に相当する荷重の比較をした結果であり、CONNECTINGチューブが全ての型式における最小裕度部位ではないため、表4-1-1はメカニカルスナッパ全体での最小裕度部位における裕度を示したものではない。

また、メカニカルスナッパの機能*1確認試験として、表4-1-2に示す確性試験*2によって地震荷重に対して想定される動剛性*3を発揮できること、配管の熱変位に対して追従できること、使用環境で機能を発揮できること等を確認している。なお、メカニカルスナッパに対する確性試験の詳細については、別紙1に示す。

注記*1：用語の定義 No. 7 参照

*2：用語の定義 No. 9 参照

*3：用語の定義 No. 11 参照

表 4-1-1 定格荷重×1.5 での荷重評価例
 (SMS 型メカニカルスナップのコネクティングチューブ)

型式	定格荷重×1.5 [kN] (A)	許容限界IV _A S の許 容応力に相当する 荷重 [kN] (B)	裕度 (B/A)
SMS-01	1.5	20.4	13.6
SMS-03	4.5	20.4	4.53
SMS-06	9	25.6	2.84
SMS-1	15	29.7	1.98
SMS-3	45	89.9	1.99
SMS-6	90	142.1	1.57
SMS-7.5	112.5	142.1	1.26
SMS-10	150	252.4	1.68
SMS-16	240	449.2	1.87
SMS-25	375	811.0	2.16
SMS-40	600	1144.5	1.90

表 4-1-2 確性試験の概要

要求機能	試験項目	試験内容
耐震性	振動応答試験* ¹ (定格荷重)	定格荷重, 定格荷重×1.5 が発生する変位で加振し, 地震荷重に対して想定される動剛性を発揮できることを確認する。
	過負荷振動試験* ² (定格荷重×1.5)	
	低速走行試験* ³	熱膨張による変位時に想定される速度で加振し, 配管の熱変位に対して追従できることを確認する。
	レリーズ試験* ⁴	熱移動を想定した速度での移動時に, 地震荷重を与え, ブレーキ機構が作動した後も, スティックせずに熱移動に追従することを確認する。
耐震性 以外	その他環境試験* ⁵	高温, 高湿度雰囲気, 放射線を照射時などの状態で性能が維持されることを確認する。

注記*1: 用語の定義 No. 12 参照

*2: 用語の定義 No. 13 参照

*3: 用語の定義 No. 14 参照

*4: レリーズ試験は, 熱変位を想定したゆっくりとした変位を与えているところに, 地震を想定した素早い変位を与えることで, 地震によりブレーキ機構が作動した後の熱移動への追従を確認するものである。

*5: 各環境試験後に振動試験及び低速走行試験を実施する。

4.3 今回工認における評価

4.3.1 評価手順

今回工認におけるメカニカルスナッパの評価手順を図 4-2 に示す。

今回工認におけるメカニカルスナッパの耐震評価では、一次評価^{*1}として既工認と同様、地震応答解析から算出された配管反力（メカニカルスナッパの地震荷重）があらかじめ設定した型式ごとに一律の設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重×1.5）以下であり，J E A G 4 6 0 1 に規定される許容限界を満足することを確認する。

メカニカルスナッパの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超えた場合には、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること等を考慮し、メカニカルスナッパの構成部材に対する詳細評価を実施する。

今回工認における詳細評価では、メカニカルスナッパの地震荷重に対して各構造部材の強度評価（応力評価）を行い、その他の支持構造物の許容応力以下であることを確認する。なお、メカニカルスナッパの各構造部材の強度評価にあたっては、既往知見を踏まえた検討を行い、強度評価に係る評価部位及び評価項目を追加する。

また、詳細評価における地震荷重がメカニカルスナッパの確性試験における試験条件（定格荷重及び定格荷重×1.5）を超えることを踏まえ、メカニカルスナッパの機能確認に対する荷重評価（限界耐力値^{*2}による評価）として、メカニカルスナッパの地震荷重が既往知見^{*3}等を考慮して整理した限界耐力値以下であることを確認する。

今回工認におけるメカニカルスナッパの耐震評価は、こうした一次評価および詳細評価によりメカニカルスナッパの耐震性を担保する。

注記*1：用語の定義 No. 4 参照

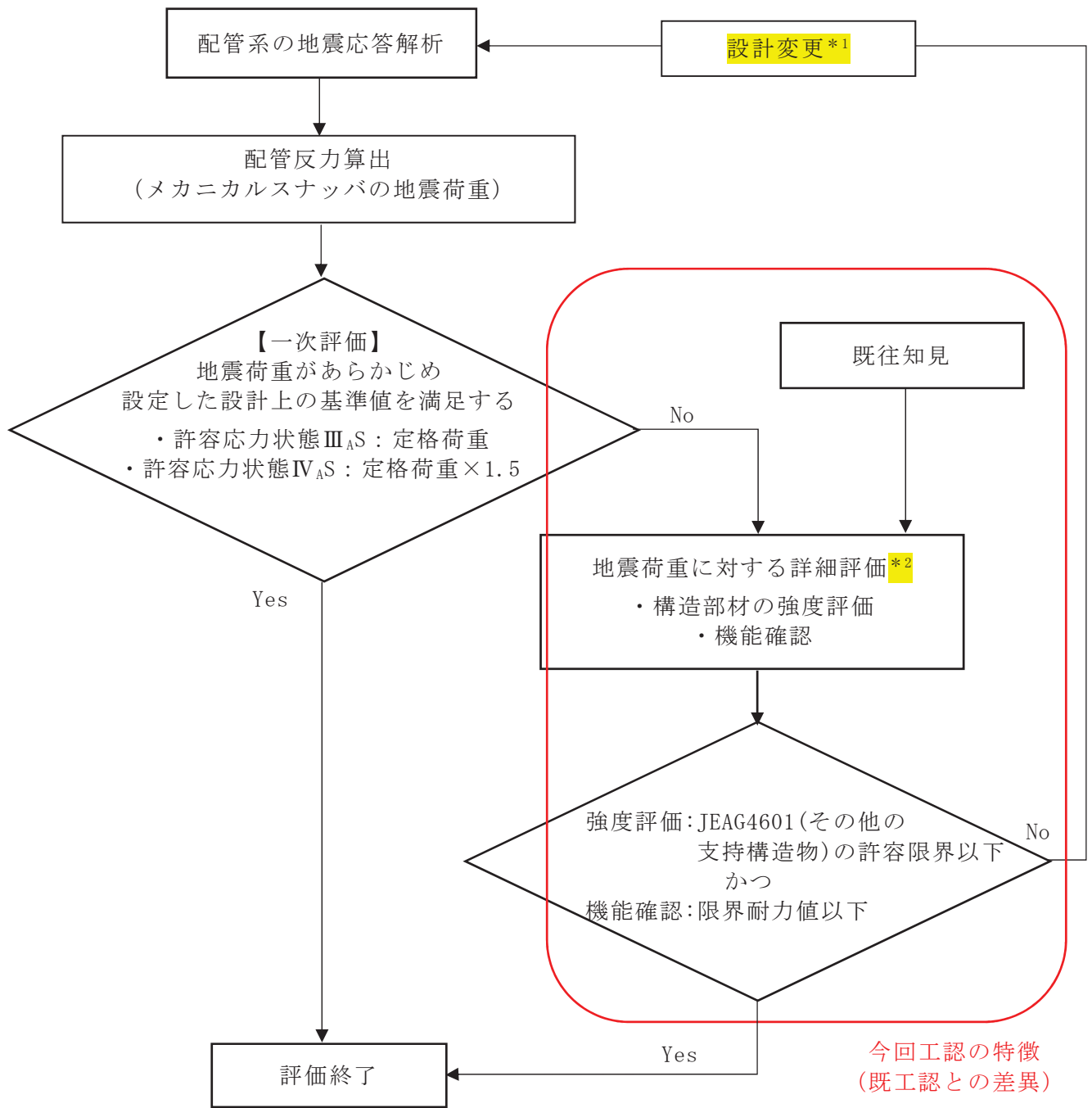
*2：用語の定義 No. 18 参照

*3：用語の定義 No. 8 参照

なお、メカニカルスナッパに発生する地震荷重は一方向（軸方向）のみに入力され、メカニカルスナッパの構造部材に発生する応力は地震荷重の大きさに比例して線形に増加すること、メカニカルスナッパの各型式における最小裕度部品は地震荷重の大小によらず同じになることから、今回工認の詳細評価においても許容荷重を新たに設定して、荷重評価する手法の採用も可能である（別紙7参照）。

今回工認では、以下の理由により個別の部品に対する構造部材の強度評価（応力評価）と機能確認（荷重評価）による評価を採用する。

- ・ 機器配管系の耐震設計においては、J E A G 4 6 0 1・補-1984「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編」に示された許容応力状態、応力分類及び許容限界を踏まえて、地震荷重による評価対象設備（容器、管、ポンプ等）の構造部材の発生応力が許容限界内であることを確認する評価を基本としている。
- ・ 既工認のメカニカルスナッパの耐震設計では、メカニカルスナッパが標準化された製品であり評価対象数も多いことから、評価作業の合理化のため、あらかじめ設定した設計上の基準値（定格荷重等）による荷重評価としていたが、今回工認では一部のメカニカルスナッパの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を上回ることから詳細評価が必要となっている。
- ・ 今回工認で詳細評価対象となったメカニカルスナッパの台数が、メカニカルスナッパ全体（約500台）の一割程度（49台）であり、各構造部材の強度評価（応力評価）と機能確認（荷重評価）による評価を実施しても評価作業が膨大とならない。



注記*1：メカニカルスナップを含む配管支持構造物の追設及び容量変更，位置変更等
*2：詳細評価の手順については図 5-7 参照

図 4-2 今回工認におけるメカニカルスナップの評価手順

4.3.2 メカニカルスナッパの耐震設計に係る技術基準及び適用規格

メカニカルスナッパの耐震設計に係る技術基準及び適用規格の概要を図 4-3 に示すとともに、該当部の抜粋を別紙 2 に示す。

機器・配管系の支持構造物であるメカニカルスナッパは、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の第 5 条及び第 50 条（地震による損傷の防止）に基づき、「施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること」が要求される。

メカニカルスナッパの耐震設計では、J E A G 4 6 0 1 のその他の支持構造物に該当し、メカニカルスナッパの構造部材の強度評価が求められるため、配管から伝達される荷重（配管反力）に対するメカニカルスナッパの発生応力がその他の支持構造物に要求される許容限界を満足することを確認する。

J E A G 4 6 0 1 では、機器・配管系の耐震安全性評価は解析による設計を基本として、機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計も可能であること、耐震安全性評価における許容限界内にあることの確認では、荷重による評価として、あらかじめ計算により求めた標準荷重等や試験で確認した許容荷重を用いる場合があると記載されている。

なお、添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」における支持構造物の種別に対する評価方法の一覧を表 4-2 に示す。

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

- ・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及びその解釈
第5条, 第50条(地震による損傷の防止)
「施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること」

J E A G 4 6 0 1

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984

- ・メカニカルスナッパは「その他の支持構造物」に該当する
- ・構造部材に対する強度評価が求められる。

J E A G 4 6 0 1 -1987

- ・機器・配管系の耐震評価(応力が許容限界内であること)は解析による設計を基本とする。
- ・機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計もできる。
- ・許容限界内にあることの確認はあらかじめ計算により求めた標準荷重(定格荷重等に相当)を用いる場合等がある。

メカニカルスナッパの耐震評価

【既工認及び今回工認における一次評価】

- ・あらかじめ計算により求めた標準荷重による評価を適用し, 地震荷重が定格荷重及び定格荷重 $\times 1.5$ (設計上の基準値)を満足すること

【今回工認における詳細評価】

- ・地震荷重に対する構造部材の強度評価(応力による評価)
- ・機能維持に対する荷重評価(試験)

図4-3 メカニカルスナッパの耐震設計に係る技術基準及び適用規格の概要

表 4-2 今回工認の詳細評価における支持構造物の評価方法一覧

No.	種 別	評価方法	評価方法の理由
1	メカニカルスナッパ	定格荷重評価及び Ⅲ _{AS} /Ⅳ _{AS} 評価	定格荷重等を標準荷重とした製造設計であるため、耐震設計では、あらかじめ設定した設計上の基準値に基づく評価を基本とし、あらかじめ設定した設計上の基準値を満足できない場合は詳細評価を行う。
2	ロッド レストレイント	定格荷重評価	定格荷重等を標準荷重とした製造設計であるため、耐震設計では、あらかじめ設定した設計上の基準値に基づく評価を基本とする。 (既工認と同様)
3	オイルスナッパ	定格荷重評価	
4	スプリングハンガ	定格荷重評価	
5	コンスタントハンガ	定格荷重評価	
6	レスト レイント	ラグ	
7		Uボルト	
8		支持架構	
9		埋込金物	

4.3.3 今回工認における詳細評価適用の考え方

(1) 既工認と今回工認の差異

メカニカルスナッパに対する既工認の評価及び今回工認における評価は、図 4-1 及び図 4-2 のとおり、荷重による評価として、メカニカルスナッパの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値(許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重、許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重×1.5) を満足できなかった場合の扱いが異なる。

既工認では、即座に設計変更へ移行することに対して、今回工認においては、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること及び既往知見を踏まえて、詳細評価を適用し、メカニカルスナッパの耐震性を確認することである。なお、詳細評価が満足しない場合は、設計変更を行う。

詳細評価の適用にあたっては、メカニカルスナッパの地震荷重が定格荷重及び定格荷重×1.5 を超える場合の限界耐力評価法*等に係る既往知見を踏まえて、メカニカルスナッパの構造部材の強度評価及び機能確認に係る内容を検討した。

既工認の評価及び今回工認における詳細評価適用に係る考え方を図 4-4 に示す。

なお、既工認ではメカニカルスナッパについて、定格荷重に対する構造部材の強度評価(応力評価)を実施している。これは、メカニカルスナッパに対して定格荷重を負荷した際の発生応力が、J E A G 4 6 0 1 に規定される許容応力に対して十分に小さく、定格荷重による評価が妥当であることを示すために実施しているものである。この際、荷重伝達経路を踏まえて評価が必要と考えられる代表的な評価部位、評価項目を選定し評価を実施している。

注記*：用語の定義 No. 10 参照

(2) 既往知見を踏まえた検討

- a. 「平成 12 年度 共同研究報告書 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究(Phase2)」(以下、「電共研の知見」という。)(別紙 4)

電共研の知見では、メカニカルスナッパの振動試験として「スナバ機能維持評価法のための破壊試験」を実施しており、その試験結果を使用して構造強度及び機能維持の観点から限界耐力評価法を策定している。

今回工認におけるメカニカルスナッパの詳細評価については、構造部材の応力評価として電共研の知見で検討された限界耐力評価法等を踏まえて評価部位及び評価項目を追加することにした(表 4-5, 表 4-6)。

また、メカニカルスナッパの機能確認として電共研の知見における振動試験及び低速走行試験の結果を用いて策定した限界耐力値を適用することにした。

なお、メカニカルスナッパの機能確認については、耐震性の観点から振動試験及び低速走行試験にて行うこととしているが、これらの試験項目は確性試験項目と比較した上で詳細評価への適用が必要と判断した。検討結果を表 4-7 に示す。

なお、電共研の知見はメカニカルスナッパの実際の限界耐力(実力の耐力値^{*1})を確認することを目的とした結果であるが、今回工認の詳細評価においては、構造部材については J E A G 4 6 0 1 に基づく許容限界（許容応力状態Ⅲ_AS 及び許容応力状態Ⅳ_AS）までとし、機能部品については電共研の知見にて確認した限界耐力値までとする。

b. 「JNES 平成 21～22 年度耐震機能限界試験（スナバ）に係る報告書」（以下、「JNES 研究」という。）（別紙 5）

JNES 研究では、メカニカルスナッパの耐力評価手法^{*2}を構築することを目的として、地震に対する強度・機能の限界値を試験で確認しており、振動応答試験及び低速走行試験にて耐力確認荷重^{*3}が得られている。

JNES 研究は、上記電共研の限界耐力値を含めたメカニカルスナッパの限界耐力評価法に係る検討の妥当性確認のため、第三者機関による検討事例として電共研との比較対象とした。

注記*1：用語の定義 No. 21 参照

*2：用語の定義 No. 24 参照

*3：用語の定義 No. 17 参照

c. 今回工認の詳細評価に対する電共研知見適用の妥当性

女川 2 号機の今回工認のメカニカルスナッパの詳細評価に対して、電共研の知見を適用することの妥当性について、以下の通り確認した。

(1) 電共研の試験条件の妥当性

電共研の知見については、限界耐力値の策定に関連する振動試験及び低速走行紙試験の試験条件が、メカニカルスナッパの確性試験と同様であるとともに、女川 2 号機的设计仕様と整合するため、今回工認の詳細評価に適用することは妥当であることを確認した。試験条件と女川 2 号機的设计仕様の比較結果を表 4-3 に示す。また表 4-3 の記載内容の詳細については別紙 4 に示す。

(2) 電共研の知見と JNES 研究の成果の比較

電共研の知見にて策定された限界耐力値が妥当であることの検証として、JNES 研究における一連の検討プロセスが電共研の知見と同様であること、試験条件及び試験結果として得られた限界耐力値が同等であることを確認した。電共研の知見と JNES 研究における限界耐力値（JNES 研究では耐力値と記載）の比較を表 4-4 に示す。また、試験条件も含めた詳細な比較については別紙 5 に示す。

(3) 限界耐力値の設定方法

電共研の知見にて策定された限界耐力値は、適切な試験条件にて実施された試験結果より得られた耐力確認荷重に対して、耐力評価式*を用いて保守的に設定されていることから、限界耐力値の設定方法は妥当である。

注記*：用語の定義 No. 19 参照

以上より、女川 2 号機の今回工認のメカニカルスナッパの詳細評価に対して、電共研の知見を適用することは妥当である。

表 4-3 電共研の知見における試験条件と女川 2 号機の設計仕様の比較

項目	電共研試験条件	女川 2 号機 設計仕様	比較結果												
加振波	正弦波	ランダム波	ランダム波では最大振幅の負荷は限定的だが、正弦波では最大振幅が繰返し負荷されるため、試験側が保守的な設定である。												
加振振動数	9Hz	10Hz 前後	同様												
加振時間	10 秒程度	数十秒から 数百秒	継続時間は試験側が短い、正弦波入力により試験側の負荷が保守的な設定である。												
振動試験の判定基準	動剛性	動剛性	相違なし（具体的には以下基準を満足すること） <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>定格容量</th> <th>3kN</th> <th>10kN</th> <th>30kN</th> <th>60kN</th> <th>100kN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>動ばね定数</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">[]</td> </tr> </tbody> </table>	定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN	動ばね定数	[]				
定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN										
動ばね定数	[]														
加振開始位置	ストローク* 1/2 (中央)	ストローク* 1/2 (中央)	相違なし。加振はストローク*1/2 の位置で開始する。												
低速走行試験の試験速度	2.1(+0, -0.5) mm/sec	10 ⁻³ から 10 ⁻² mm/sec 程度	試験側の速度が大きく、保守的な設定である。												
低速走行試験の判定基準	抵抗値	抵抗値	相違なし（具体的には以下条件を満足すること） <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>定格容量</th> <th>3kN</th> <th>10kN</th> <th>30kN</th> <th>60kN</th> <th>100kN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>抵抗力</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">[]</td> </tr> </tbody> </table>	定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN	抵抗力	[]				
定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN										
抵抗力	[]														

注記* : 用語の定義 No. 20 参照

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-4 電共研の知見と JNES 研究における限界耐力値の比較 (SMS 型の例)

型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES 研究				JNES 耐力 確認荷重/ 電共研限界 耐力値	JNES 耐力値 /電共研限 界耐力値
		耐力 確認 荷重 [kN]	限界 耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度 部品の分 類	耐力 確認荷重 [kN]	耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度 部品の分類		
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材						
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	構造部材						
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押え	構造部材						
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティング チューブ	構造部材						
SMS-3	30	94.2	75.3*2	アンギュラー 玉軸受	機能部品						
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押え	構造部材						
SMS-7.5	75	—	—	—	—						
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押え	構造部材						
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押え	構造部材						
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押え	構造部材						
SMS-40	400	—	941.4	コネクティング チューブ	構造部材						

既工認／今回工認の一次評価

今回工認における詳細評価

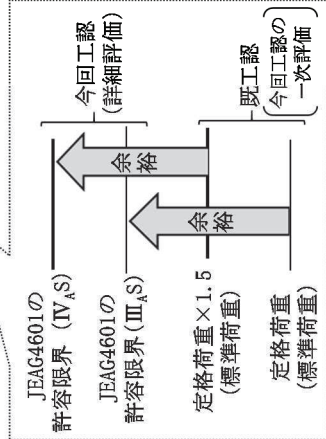
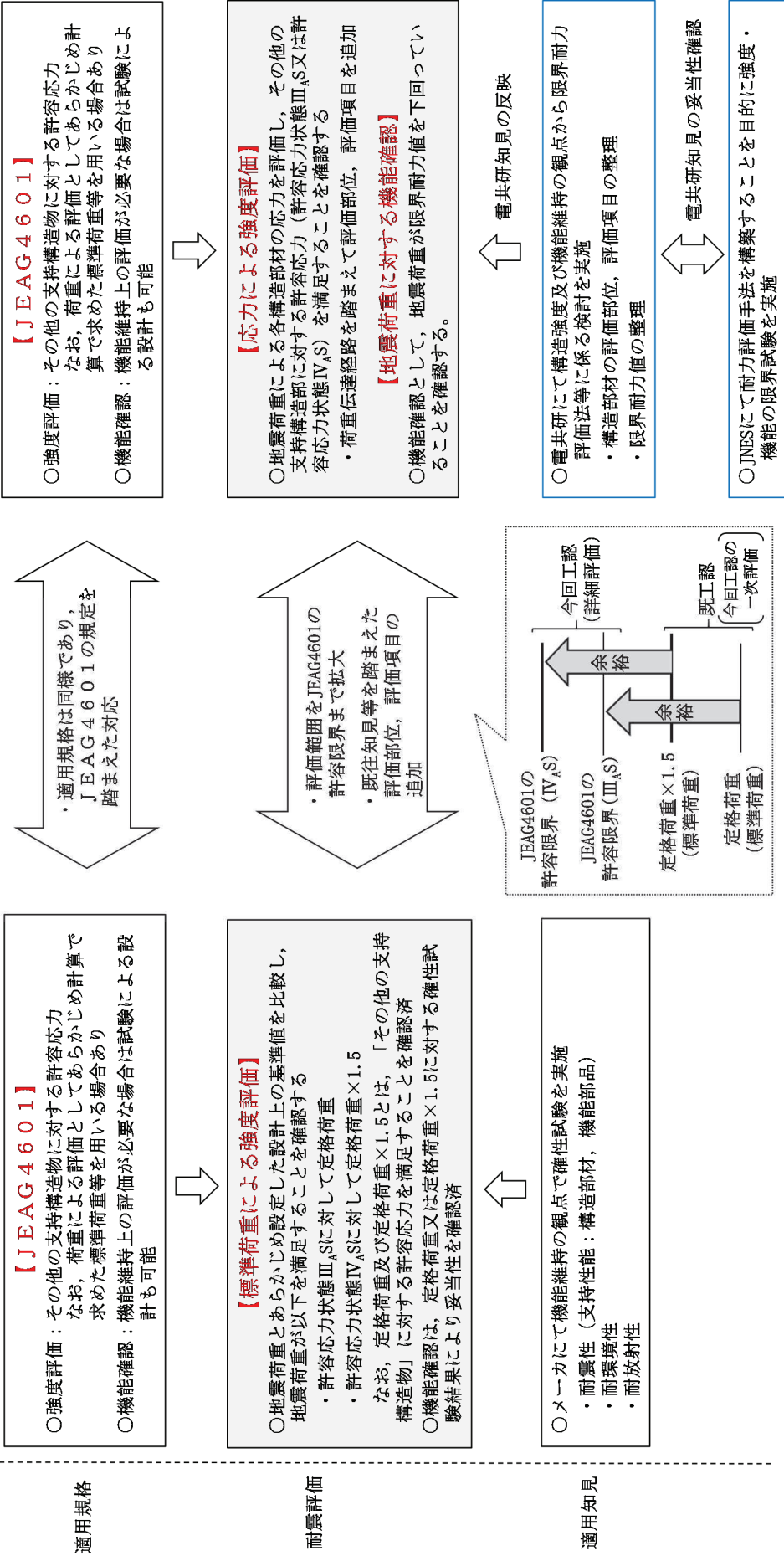


図 4-4 既工認の評価及び今回工認における詳細評価に係る考え方

表 4-5 既工認及び今回工認（詳細評価）における評価部位（SMS 型）

番号*1	部品名称	既工認	今回工認	備考
①	ダイレクトアタッチブラケット	○	○	
②	ジャンクションコラムアダプタ	○	○	
③	ロードコラム	○	○	
④	クランプ	—	—	*2
⑤	ピン	○	○	
⑥	コネクティングチューブ	○	○	
⑦-1	ベアリングケース	○	○	
⑦-2	ベアリング押え	○	○	
⑦-3	六角ボルト	○	○	
⑧	イーヤ	○	○	
⑨	ユニバーサルボックス	○	○	
⑩	コネクティングチューブイーヤ部	—	—	*3
⑪	ユニバーサルブラケット	○	○	
⑫	ベアリングナット	—	○	追加項目
⑬	ボールネジ	—	○	追加項目
—	座屈	—	○	追加項目

○：評価対象，—：評価対象外

注記*1:番号は図 5-1 の部品番号と同じものを示す。

*2:メカニカルスナッパ本体ではなく，付属部品として J E A C 4 6 0 1 の応力評価を実施しているため，メカニカルスナッパとしての詳細評価対象外とする。（付属部品の強度評価例を別紙 3 添付 1 に示す。）

*3:寸法及び計算式が①ダイレクトアタッチブラケットと同じため評価を省略する。

表 4-6 既工認及び今回工認（詳細評価）における評価部位（NMB 型）

番号*1	部品名称	既工認	今回工認	備考
①-1	リアブラケット（イヤ）	○	○	
①-2	リアブラケット（溶接部）	○	○	
①-3	リアブラケット（フランジ）	○	○	
②	セットボルト	○	○	
③-1	ケース	○	○	
③-2	ケース溶接部	○	○	
④	ベアリングシート	○	○	
⑤	ベアリングボックス	○	○	
⑥	スリーブ	○	○	
⑦	カラー	○	○	
⑧	ロードシリンダ	○	○	
⑨	ターンバックル	○	○	
⑩	エンドプラグ	○	○	
⑪	延長パイプキット及び溶接部	—	○	既工認：適用タイプなし
⑫-1	延長パイプブラケット （イヤ穴部）	—	○	既工認：適用タイプなし
⑫-2	延長パイプブラケット （溶接部）	—	○	既工認：適用タイプなし
⑫-3	延長パイプ	—	○	既工認：適用タイプなし
⑬	クレビス（アイ）	—	—	*2
⑭	クレビス（本体）	—	—	*2
⑮	ピン	○	○	
⑯	ボールねじ	○	○	
-	座屈 （ストローク 125mm 考慮）	—	○	追加項目
-	座屈 （ストローク 250mm 考慮）	—	○	追加項目

○：評価対象，—：評価対象外

注記*1:番号は図 5-3 の部品番号と同じものを示す。

*2:メカニカルスナッパ本体ではなく、付属部品として J E A C 4 6 0 1 の応力評価を実施しているため、メカニカルスナッパとしての詳細評価対象外とする。
（付属部品の強度評価例を別紙 3 添付 1 に示す。）

表 4-7 各試験項目に対する詳細評価適用要否

確性試験の項目	確認内容	詳細評価適用要否	電共研の知見
振動応答試験 過負荷振動試験	所定の地震荷重に対して想定される動剛性であること	要	振動試験
低速走行試験	配管の熱変位に追従すること	要	低速走行試験 (振動試験後)
レリーズ試験*1	地震荷重を受けてブレーキ機構が働いた後で、配管の熱移動に追従すること	不要 (地震条件と熱条件の重畳の影響は考慮不要のため*2)	—
その他環境試験等	その他環境条件等で健全であること	不要 (環境条件等に変更がないため)	—

注記*1：レリーズ試験は、熱変位を想定したゆっくりとした変位を与えているところに、地震を想定した素早い変位を与えることで、地震によりブレーキ機構が作動した後の熱移動への追従を確認するものである。地震後に熱移動へ追従するかどうかは、レリーズ試験ではなく振動試験後の低速走行試験によって確認する。

*2：レリーズ試験の熱変位速度（2mm/sec～4mm/sec）に比べて、原子力プラントの温度変化条件による変位速度は十分に小さいため、速度の大きい熱変位と地震の重畳による影響確認を目的としたレリーズ試験は実施不要と考えられる。確性試験時は、一般産業向け製品と同等の条件にて性能確認を行っているため、レリーズ試験も実施している。

5. 今回工認における詳細評価の内容

今回工認におけるメカニカルスナップの詳細評価は、構造部材に対する強度評価及び機能確認を実施する。

メカニカルスナップの構造部材に対する強度評価については、既工認におけるあらかじめ設定した設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_{AS} に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_{AS} に対し定格荷重×1.5）を用いた評価と同じ評価部位及び評価項目に対して、既往知見（電共研の知見）及び地震時の荷重伝達経路を考慮して評価部位及び評価項目を追加する。ここで、強度評価を実施するメカニカルスナップの構造部材の具体的な評価部位及び評価項目を 5.1 項に示す。

メカニカルスナップの機能確認については、既往知見（電共研の知見）における振動試験及び低速走行試験の試験結果より策定された限界耐力値とメカニカルスナップの地震荷重を比較することで評価を行う。ここで、メカニカルスナップの機能確認に対する荷重評価に用いる限界耐力値を 5.2 項に示す。

5.1 構造部材の強度評価（応力による強度評価）

(1) SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路を図 5-1 に示すとともに、メカニカルスナップの構成部材を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-1 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路はどの型式（容量）も同一である。

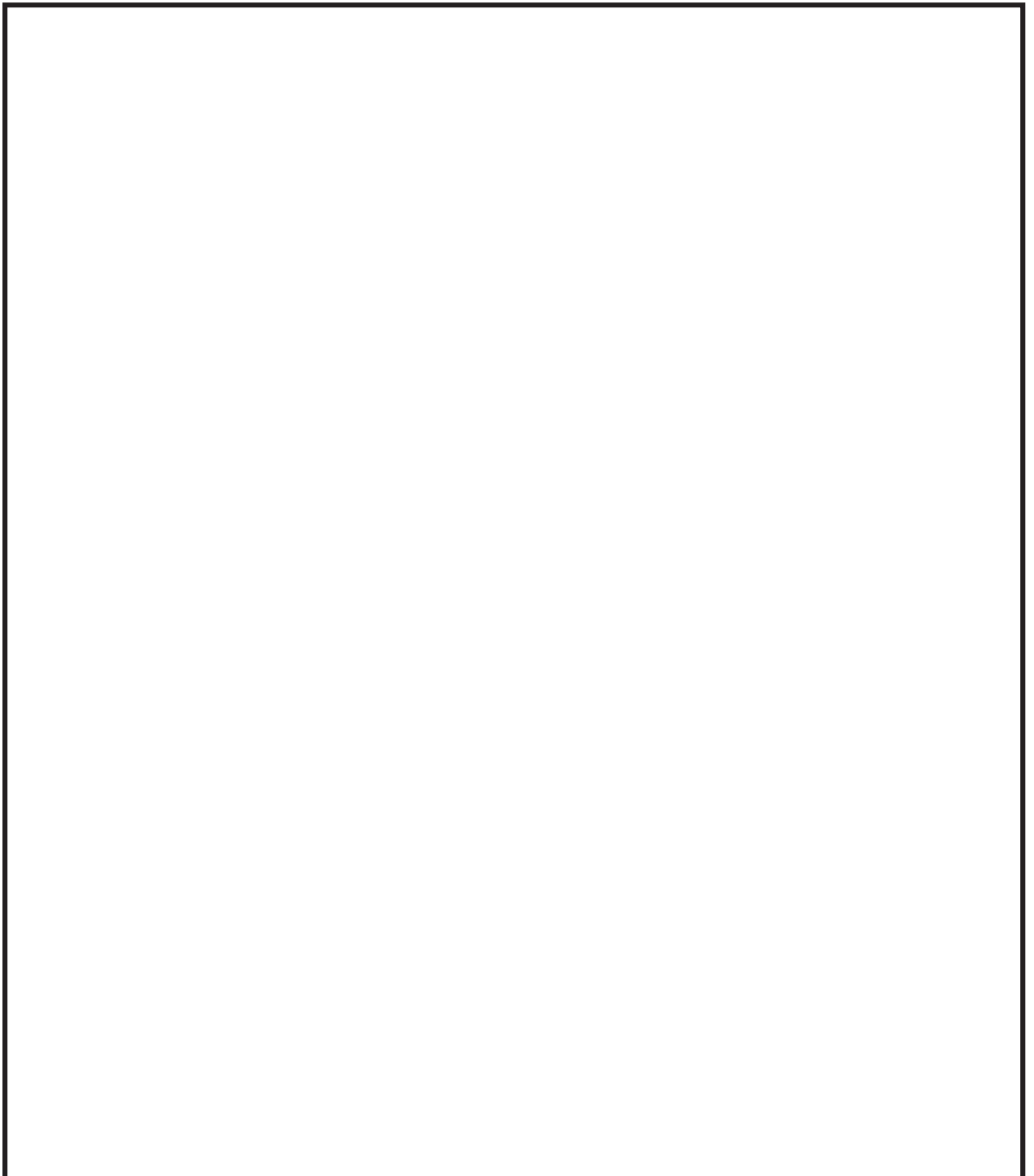


図 5-1 SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-1 SMS 型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①ダイレクトアタッチブラケット	○	—
②ジャンクションコラムアダプタ	○	—
③ロードコラム	○	—
⑤ピン	○	—
⑥コネクティングチューブ	○	—
⑦-1 ベアリングケース	○	—
⑦-2 ベアリング押え	○	—
⑦-3 六角ボルト	○	—
⑧イーヤ	○	—
⑨ユニバーサルボックス	○	—
⑩コネクティングチューブイーヤ部	○	—
⑪ユニバーサルブラケット	○	—
⑫ベアリングナット	○	—
⑬ボールネジ	—*	○*
⑭アンギュラー玉軸受	—	○
⑮球面軸受	—	○

注記*：ボールネジは機能部品だが比較的単純な構造のため、
構造部材と同様の応力評価を実施する。

(2) SMS 型メカニカルスナップの荷重伝達経路を踏まえた強度評価部位の抽出結果

荷重伝達経路を踏まえた強度評価部位の抽出結果を図 5-2 に、この抽出結果による構造部材に対する評価部位及び評価項目の整理結果を表 5-2 に示す。

この整理結果に従って設定した SMS 型メカニカルスナップの評価部位及び評価項目に対する詳細については、別紙 3 に示す。なお、④クランプはメカニカルスナップ本体ではなく付属部品に分類されるためメカニカルスナップの強度評価部位としては除外しているが、付属部品として個別に強度評価を実施している。強度計算例を別紙 3 の添付 1 に示す。⑩コネクティングチューブイーヤ部は、寸法及び計算式が①ダイレクトアタッチブラケットと全く同じため省略している。なお、特定の部位ではないが、メカニカルスナップ全体の座屈評価を項目として追加している。

また、今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較（SMS 型）を表 5-3 に示す。比較のとおり、今回工認の詳細評価では、既工認で実施した評価項目を網羅しており、既工認でも評価している項目については評価式に変更はない。今回工認の詳細評価にあたっては、発生荷重の増大を考慮して評価項目を追加した。個々の評価部位及び評価項目の追加理由については同表の「評価項目の相違及び評価項目追加根拠」欄に記載する。

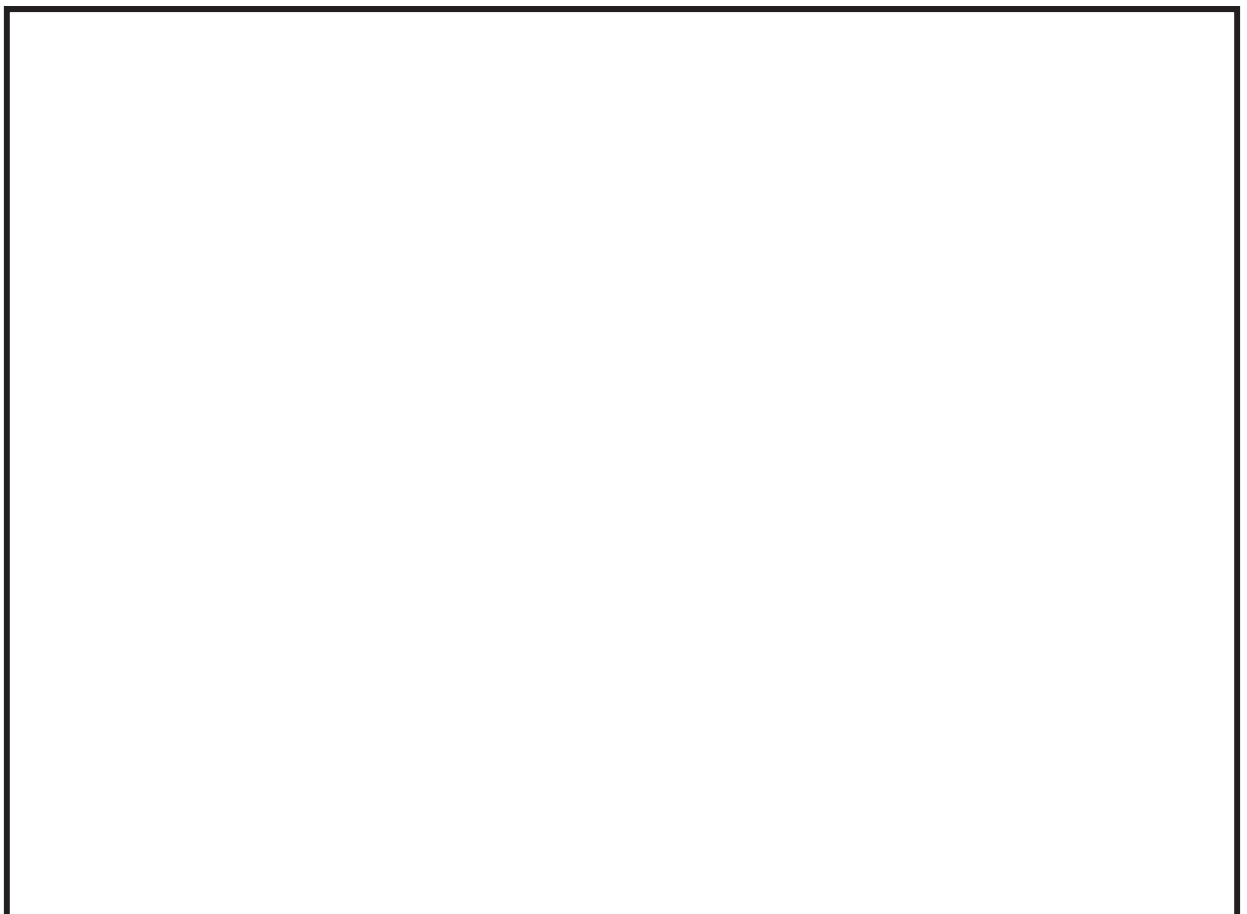


図 5-2 SMS 型メカニカルスナップの強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-2 SMS 型メカニカルスナップの評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
① ダイレクトアタッチブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
② ジャンクションコラムアダプタ	引張応力
	せん断応力
③ ロードコラム	引張応力
	せん断応力
⑤ ピン	せん断応力
⑥ コネクティングチューブ	引張応力
	せん断応力
	圧縮応力
⑦-1 ベアリングケース	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑦-2 ベアリング押え	せん断応力
	支圧応力
	曲げ応力
⑦-3 六角ボルト	引張応力
⑧ イーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨ ユニバーサルボックス	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑩ ユニバーサルブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑫ ベアリングナット	せん断応力
⑬ ボールネジ	引張応力
全長座屈	圧縮応力

表 5-3 今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較 (SMS 型) (1/2)

品番	部名	評価	既評価	既工認 (今回工認の 一部評価)	評価項目の相違及び評価項目追加理由
E	ダイヤノットタッチプロジェクト	引換	○	○	相違なし
		新人新	○	○	相違なし
		大任	○	○	相違なし
		非特約新人新	○	—	基本的に大任の電力評価の方が厳しいが、評価基準の相違性のため追加
E2	グリーンション=ラムアダプタ	バルト引換	○	○	相違なし
		非特約引換	○	○	相違なし
		=ラム引換	○	—	基本的に非特約評価の方が厳しいが、評価基準の相違性のため追加
E3	モード=サム	引換	○	○	相違なし
		非特約新人新 (新島追加)	○	—	基本的に引換電力評価の方が厳しいが、評価基準と作業 内容の相違性のため追加
		非特約新人新 (新島)	○	—	
E4	ピン	ピン新人新	○	○	相違なし
E5	=ネオタミングチューブ	チューブ圧縮	○	○	相違なし
		チューブ引換	○	—	基本的にチューブ圧縮圧縮電力評価の方が厳しいが、評 価基準と作業内容の相違性のため追加
		非特約引換	○	—	
		非特約新人新	○	—	
E5-1	ペアリングケース	引換	○	○	相違なし
		新人新	○	○	相違なし
		大任	○	○	相違なし
E5-2	ペアリング昇丸	新人新	○	○	相違なし
		大任	○	○	相違なし
		巻上げ	○	—	発生荷重の増大に伴い、別添4の巻上げ(10%)に示す履 帯設計の見直しを採用して追加
E5-3	カネボルト	引換	○	○	相違なし

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3 今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較（SMS 型）（2/2）

品番	部品	評価	基準評価	既工程 [今回工程の 一次評価]	評価項目の相違及び評価項目追加根拠
②	イーヤ	引張	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		せん断	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		変圧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		ねじ部引張	<input type="checkbox"/>	-	基本的に欠部の評価の方が厳しいが、評価箇所と荷重分類の相違性のため追加
		ねじ部せん断 [部品全体]	<input type="checkbox"/>	-	
		ねじ部せん断 [ねじ山]	<input type="checkbox"/>	-	
③	ユニバーサルボックス	引張	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		せん断	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		変圧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
④	ユニバーサルブラケット	引張	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		せん断	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
		変圧	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	相違なし
⑤	ベアリングナット	ねじ部せん断①	<input type="checkbox"/>	-	発生荷重の増大に伴い、評価箇所の相違性のため追加
		ねじ部せん断②	<input type="checkbox"/>	-	
⑥	ボールネジ	引張	<input type="checkbox"/>	-	発生荷重の増大に伴い、評価箇所の相違性のため追加
-	全長	座屈	<input type="checkbox"/>	-	発生荷重の増大に伴い、別添4の4.5.1(2)①c.に示す電 気研の知見を採用して追加

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路を図 5-3 に示すとともに、メカニカルスナップの構成部材を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-4 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路はどの型式（容量）も同一である。

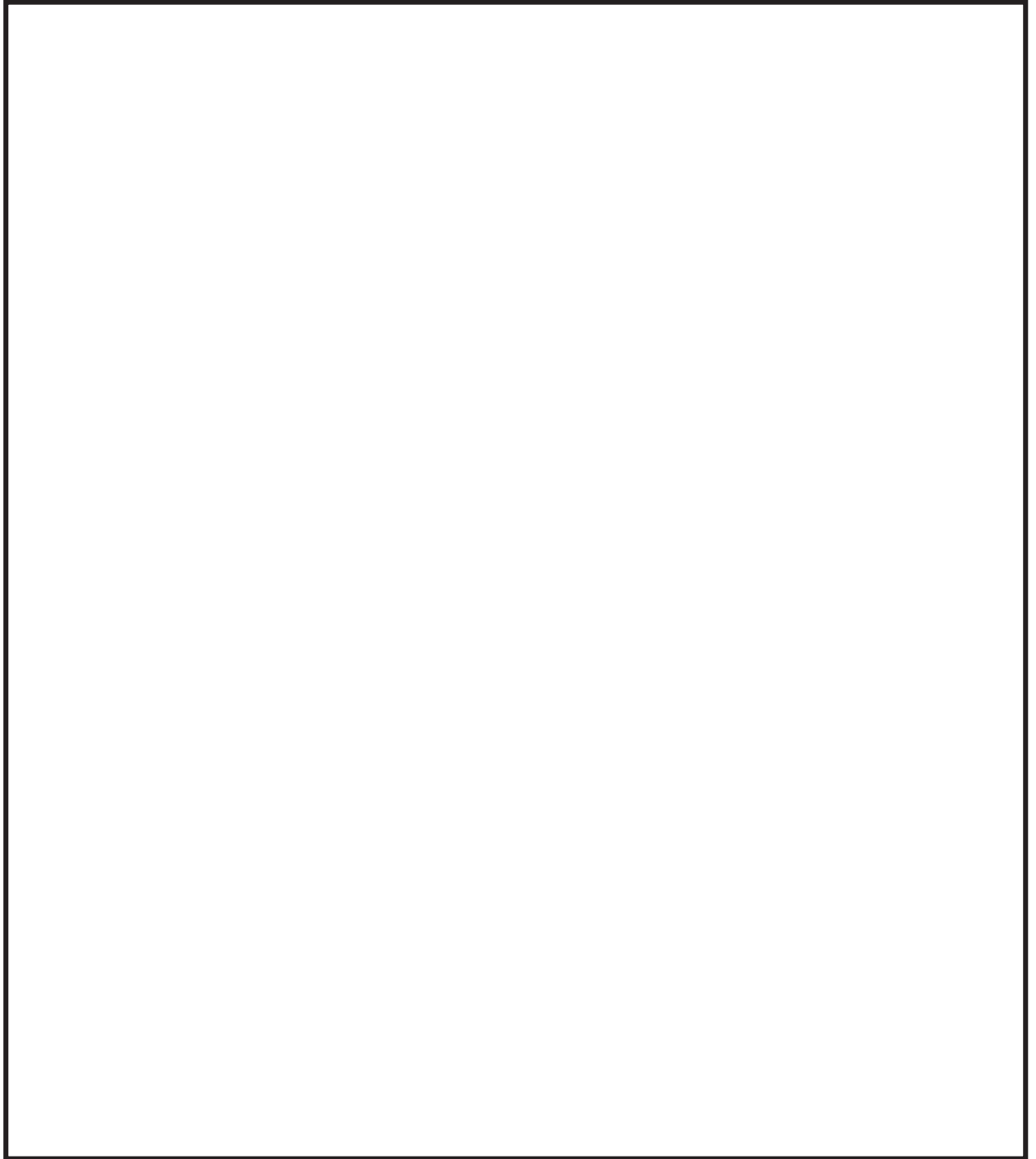


図 5-3 NMB 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4 NMB 型メカニカルスナップの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①リアブラケット	○	—
②セットボルト	○	—
③ケース	○	—
④ベアリングシート	○	—
⑤ベアリングボックス	○	—
⑥スリーブ	○	—
⑦カラー	○	—
⑧ロードシリンダ	○	—
⑨ターンバックル	○	—
⑩エンドプラグ	○	—
⑪延長パイプキット	○	—
⑫延長パイプブラケット	○	—
⑮ピン	○	—
⑯ボールねじ	—*	○*
⑰球面軸受	—	○
⑱転がり軸受	—	○

注記*：ボールねじは機能部品だが比較的単純な構造のため、
機能評価及び構造部材と同様の応力評価も実施する

(4) NMB型メカニカルスナッパの荷重伝達経路を踏まえた強度評価部位の抽出結果
荷重伝達経路を踏まえた強度評価部位の抽出結果を図 5-4 に、この抽出結果による構造部材に対する評価部位及び評価項目整理結果を表 5-5 に示す。

この整理結果に従って設定した NMB 型メカニカルスナッパの評価部位及び評価項目に対する詳細については、別紙 3 に示す。なお、⑬⑭クレビスはメカニカルスナッパ本体の部品ではなく付属部品に分類されるため、メカニカルスナッパの強度評価部位としては除外しているが、付属部品として個別に強度評価を実施している。強度計算例を別紙 3 の添付 1 に示す。なお、特定の部位ではないが、メカニカルスナッパ全体の座屈評価を項目として追加している。

また、今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較（NMB 型）を表 5-6 に示す。比較のとおり、今回工認の詳細評価では、既工認で実施した評価項目を網羅しており、既工認でも評価している項目については、同等か保守的な評価式としている。今回工認の詳細評価にあたっては、発生荷重の増大を考慮して評価項目を追加している。個々の評価部位及び評価項目の追加理由については同表の「評価項目の相違及び評価項目追加根拠」欄に記載する。

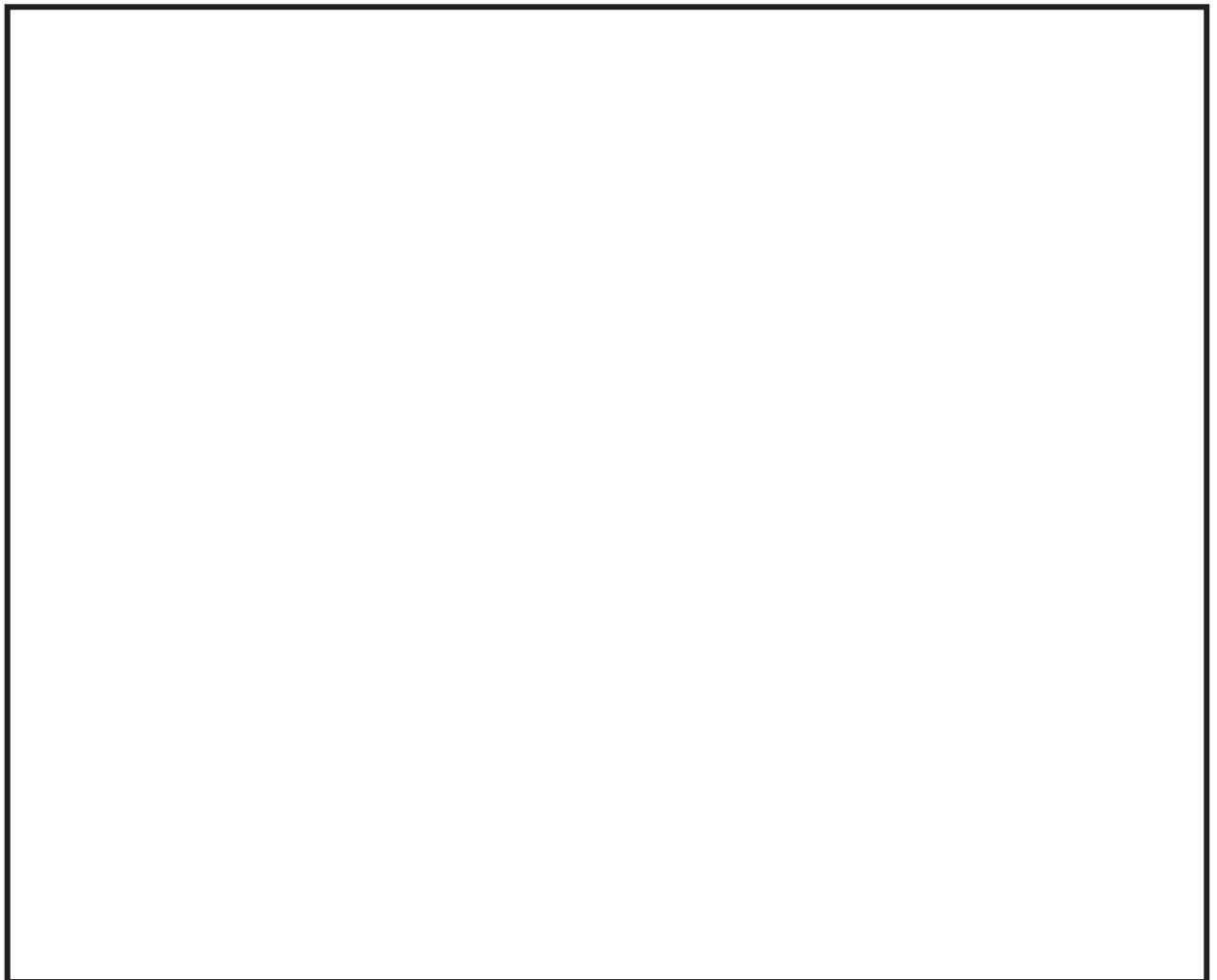


図 5-4 NMB 型メカニカルスナッパの強度評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-5 NMB 型メカニカルスナップの評価部位及び評価項目


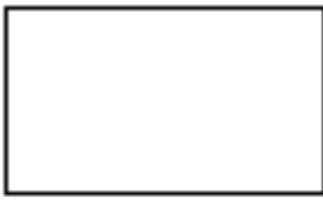

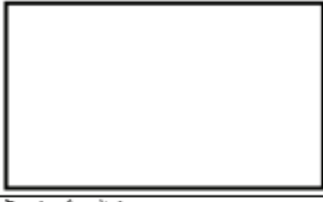
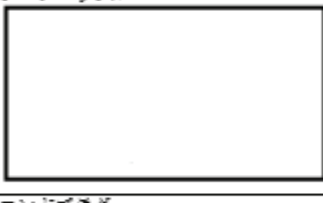

評価部位	評価項目	
① リアブラケット	引張応力	
	せん断応力	
	支圧応力	
	曲げ応力	
② セットボルト	引張応力	
③ ケース	引張応力	
	せん断応力	
④ ベアリングシート	引張応力	
	せん断応力	
	支圧応力	
⑤ ベアリングボックス	引張応力	
	せん断応力	
	支圧応力	
⑥ スリーブ	せん断応力	
	支圧応力	
⑦ カラー	せん断応力	
	支圧応力	
⑧ ロードシリンダ	引張応力	
	圧縮応力	
⑨ ターンバックル	引張応力	
⑩ エンドプラグ	引張応力	
	せん断応力	
	支圧応力	
⑪ 延長パイプキット	引張応力	
	せん断応力	
⑫ 延長パイプブラケット	引張応力	
	せん断応力	
	支圧応力	
⑮ ピン	せん断応力	
	曲げ応力	
⑯ ボールねじ	引張応力	
	全長座屈 (ストローク 125)	圧縮応力
	全長座屈 (ストローク 250)	圧縮応力

表 5-6 今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較（NMB 型）（1/4）

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)	評価項目の相違及び評価項目追加削除
①-1	ジアーブタケット (ダイヤ)	六角引張	○	○	相違なし
		六角金人断	○	○	相違なし
		六角支柱	○	○	相違なし
①-2	ジアーブタケット (溶接部)	金人断	○	○	相違なし
①-3	ジアーブタケット (アランジ)	曲げ	○	○	相違なし
②	メットボルト	ボルトの 引張	○	○	相違なし
②-1	ケース	引張	○	○	相違なし
②-2	ケース溶接部	金人断	○	○	相違なし
③	ヘアリングシート	引張	○	○	相違なし
		金人断	○	○	相違なし
		支柱	○	○	相違なし






枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較 (NMB 型) (2/4)

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)	評価項目の相違及び評価項目追加概括
⑤	ベアリングボックス 	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		圧延	○	○	相違なし
⑥	スリーブ 	せん断	○	○	相違なし
		圧延	○	○	相違なし
⑦	カラー 	せん断	○	○	相違なし
		圧延	○	○	相違なし
⑧	ロードシリング 	引張	○	○	相違なし
		座屈(圧縮)	○	—	発生荷重の増大に伴い、許容圧縮応力の低減を考慮して追加
⑨	ターンパッケル 	ロッドの引張	○	○	相違なし
⑩	エンドブラグ 	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		圧延	○	○	相違なし


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較 (NMB 型) (3/4)

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)	評価項目の相違及び評価項目追加機拠
⑪	延長パイプキット及び溶接部 	引張	○	—	既工認では延長パイプキット及び溶接部を使用したタイプを対象としていなかったため追加
		せん断	○	—	
⑫-1	延長パイプブラケット (イヤ穴部) 	引張	○	—	既工認では延長パイプブラケット (イヤ穴部) を使用したタイプを対象としていなかったため追加
		せん断	○	—	
		支圧	○	—	
⑫-2	延長パイプブラケット (溶接部) 	せん断	○	—	既工認では延長パイプブラケット (溶接部) を使用したタイプを対象としていなかったため追加
⑫-3	延長パイプ 	引張	○	—	既工認では延長パイプを使用したタイプを対象としていなかったため追加
⑬	ピン 	せん断	○	—	基本的に曲げ応力評価の方が厳しいが、荷重分類の網羅性のため追加
		曲げ	○	○	相違なし

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 今回工認の詳細評価及び既工認の評価項目の比較 (NMB 型) (4/4)

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)	評価項目の相違及び評価項目追加機軸
⑬	ボールねじ 	引張	○	○	相違なし
-	全長1 (ストローク125mm考慮)	座屈	○	-	発生荷重の増大に伴い、許容圧縮応力の低減を考慮して追加
-	全長2 (ストローク250mm考慮)	座屈	○	-	発生荷重の増大に伴い、許容圧縮応力の低減を考慮して追加

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) メカニカルスナップの最小裕度部品と許容応力の整理

SMS 型及び NMB 型メカニカルスナップの各型式に対する構造部材の強度評価結果を踏まえて、各型式の最小裕度部品と許容応力を整理した結果を表 5-7 に示す。

表 5-7 各型式の最小裕度部品と許容応力

型式	定格荷重 (kN)	最小裕度部品	許容応力 III _A S (MPa)	許容応力 IV _A S (MPa)
SMS-06	6	ベアリング押え		
SMS-1	10	コネクティングチューブ		
SMS-3	30	コネクティングチューブ		
SMS-6	60	コネクティングチューブ		
SMS-7.5	75	コネクティングチューブ		
SMS-10	100	ベアリング押え		
SMS-16	160	ベアリング押え		
SMS-25	250	ベアリング押え		
SMS-40	400	コネクティングチューブ		
NMB-030	30	リアブラケット(フランジ)		
NMB-075	75	リアブラケット(フランジ)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.2 機能確認（地震荷重と限界耐力値の比較）

メカニカルスナップの構成部品のうち機能部品については、電共研の知見において策定された限界耐力値を踏まえて評価を行うが、必要に応じて他の研究成果により得られた知見を取り込んだ評価とする。限界耐力値は、機能部品も含めてメカニカルスナップの機能を確認した耐力値であり、振動試験及び低速走行試験の試験結果から策定されたものである。メカニカルスナップの機能確認は、地震荷重と限界耐力値を比較することにより、評価する。

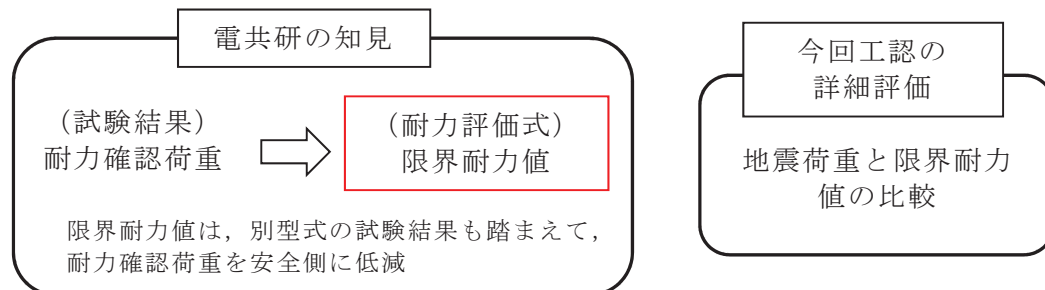
電共研の知見では、メカニカルスナップの耐力評価手法を構築することを目的として、地震に対する強度・機能の限界値を試験で確認するため、メカニカルスナップが破損するまで段階的に荷重を増加させる振動試験を実施している。また、それぞれの振動試験後には、加振後のメカニカルスナップの機能維持を確認するため、低速走行試験も併せて実施している。これらの試験より、当該荷重の負荷後も機能維持できる荷重値として、各型式の限界耐力値が策定されている。限界耐力値の策定手順と今回工認における詳細評価への適用の概要を以下及び図 5-5 に示す。なお、限界耐力値策定手順の詳細については別紙 4 に示す。

【限界耐力値の策定手順（電共研の知見）】

1. 振動試験によりメカニカルスナップの破損又は機能喪失が確認された試験条件の一つ前の試験条件における最大荷重(耐力確認荷重)を取得する。
2. 試験結果から得られた耐力確認荷重を踏まえて、耐力評価式を用いて算出した耐力値を限界耐力値として設定する。この際、限界耐力値は耐力確認荷重を下回るように安全側に設定される。また、別型式の試験結果から得られた知見を踏まえ、必要に応じて限界耐力値が保守的な設定となるように耐力評価式を見直している。

【今回工認の詳細評価への限界耐力値の適用】

3. 基準地震動 S_s 及び弾性設計地震動 S_d によりメカニカルスナップに発生する地震荷重と、電共研の知見にて策定された限界耐力値を比較し、地震荷重が限界耐力値以下であることを確認し、機能確認の評価を行う。



(評価例) 支持点番号:PLR-002-406SB, 型式 SMS-3

耐力確認荷重 94.2 [kN]	➡	限界耐力値 70.1 [kN]	>	地震荷重 (S _s) 67.3 [kN]
---------------------	---	--------------------	---	-------------------------------------

図 5-5 限界耐力値の策定手順と詳細評価への適用の概要

また、電共研の知見においては、耐力算出式から限界耐力値を算出する際に、構造部材についてはより実力の耐力値に近い限界耐力値を設定するため、許容応力算出式の規格の式からの見直し、許容応力へのミルシート値の適用等を考慮して限界耐力値を設定していた。これに対し、5.1 に記載した今回工認の詳細評価における構造部材の強度評価（応力による強度評価）においては、許容応力算出式及び許容応力値は規格に基づいた式及び値を適用していることから、今回工認の詳細評価における構造部材の強度評価においては限界耐力値と比較して保守側の評価となる。（詳細は別紙 4 を参照）

なお、今回工認で適用する限界耐力値のうち、アンギュラー玉軸受（機能部品）の限界耐力値は破損時の最大負荷荷重*に基づいて設定した。ここで、最大負荷荷重は、図 5-6 に示すとおりメカニカルスナップの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナップの機能が維持された状態における最大荷重である。また、アンギュラー玉軸受（機能部品）の限界耐力値は試験のばらつきを考慮する必要があることから、電共研の知見に加えて JNES 研究の試験結果も考慮し設定した。具体的には、JNES 研究のアンギュラー玉軸受の最大負荷荷重を考慮し、アンギュラー玉軸受の限界耐力値算出に用いる係数を見直した（詳細は別紙 6 を参照）。その結果を踏まえて、SMS-3 及び SMS-10 の限界耐力値は、電共研の知見において策定された限界耐力値から補正している。電共研の知見において策定された限界耐力値に対して、機能部品における試験のばらつきを考慮して補正した、女川 2 号機の今回工認の詳細評価に適用する限界耐力値（基準地震動 S_s 及び弾性設計地震動 S_d）を表 5-7 に示す。

注記*：用語の定義 No. 16 参照

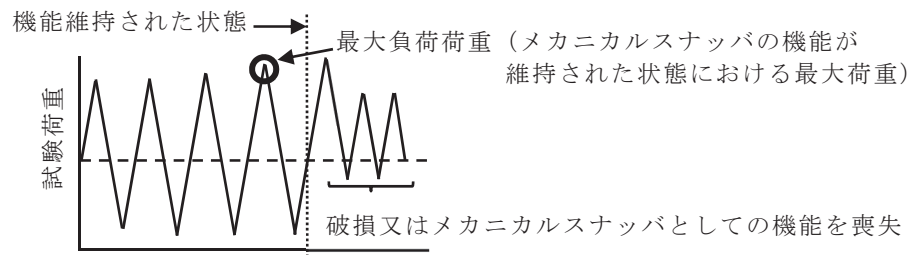


図 5-6 最大負荷荷重の考え方

また、今回工認の詳細評価と電共研の限界耐力策定時の評価では、構造部材の強度評価の評価項目に差異があるが、電共研の知見では限界耐力値の策定を目的としており、構造部材の中で最小裕度となる部位、項目に着目しているため、それ以外の項目を網羅的には記載していない。今回工認の詳細評価では、J E A G 4 6 0 1 に従い網羅的に評価を行うために評価項目を追加しているが、それらの追加項目の評価は電共研の知見にて策定した限界耐力値には影響しないことから、機能確認の評価に電共研の知見による限界耐力値を適用することに問題はない。

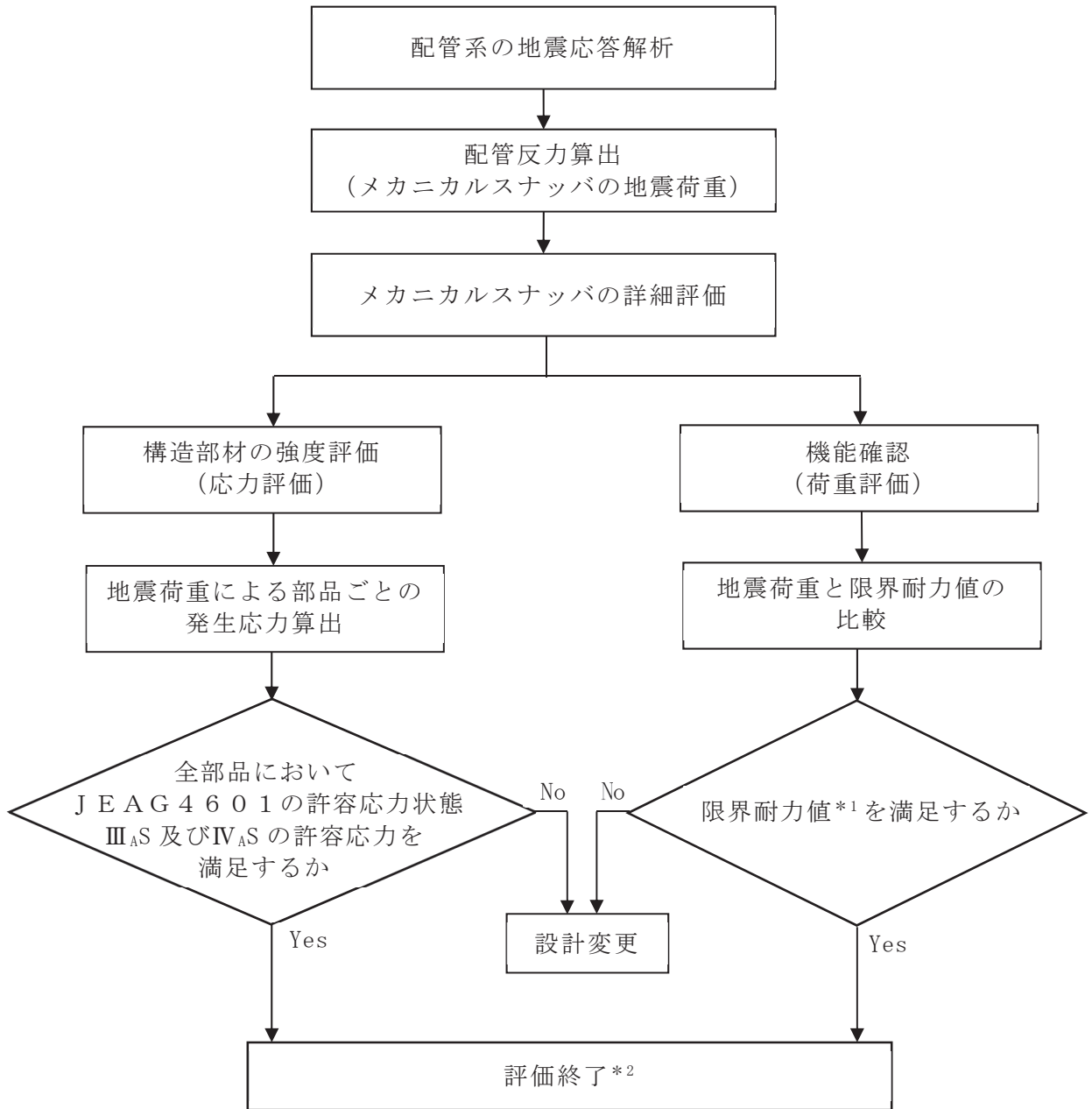
表 5-7 女川 2 号機の今回工認の詳細評価に適用する限界耐力値

型式	限界耐力値 [kN]
SMS-06	16.8
SMS-1	53.9
SMS-3	70.1
SMS-6	170.6
SMS-7.5	170.6*
SMS-10	219.1
SMS-16	344.2
SMS-25	490.3
SMS-40	941.4
NMB-030	67.4
NMB-075	169.7

注記*：型式 SMS-7.5 は、電共研では検討対象としていない型式だが、SMS-6 と同じ構造及び寸法のため、SMS-6 と同じ限界耐力値を記載した。

5.3 女川2号機の今回工認における詳細評価の手順

図4-2に示した女川2号機の今回工認におけるメカニカルスナッパの詳細評価を行う場合の具体的な評価手順を図5-7に示す。



注記*1:電共研の知見による限界耐力値に対して試験のばらつきの影響を考慮した値

*2:構造部材の強度評価及び機能確認のいずれも満足すること

図5-7 女川2号機の今回工認におけるメカニカルスナッパの詳細評価を行う場合の評価手順

6. 詳細評価結果

6.1 詳細評価対象メカニカルスナッパ

今回工認における主配管に設置されたメカニカルスナッパ（約 500 台）のうち、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する一次評価として、メカニカルスナッパの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重×1.5）を超えるメカニカルスナッパ（49 台）の評価結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 詳細評価対象メカニカルスナッパ（1/2）

配管モデル名	支持点番号	メカニカルスナッパ型式	弾性設計用地震動 S_d		基準地震動 S_s	
			地震荷重 [kN]	定格荷重 [kN]	地震荷重 [kN]	定格荷重×1.5 [kN]
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	73.7	75	120.9	112.5
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	113.6	100	177.0	150
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	56.4	60	95.6	90
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	100.7	100	151.7	150
MS-003	MS-003-220S	SMS-10	103.1	100	134.5	150
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	125.6	100	184.7	150
MS-004	MS-004-311S	SMS-6	63.7	60	90.2	90
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	118.9	100	164.2	150
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	79.6	60	112.2	90
PLR-001	PLR-001-010S	SMS-16	149.8	160	240.5	240
PLR-001	PLR-001-027S	SMS-16	200.5	160	317.4	240
PLR-001	PLR-001-307S	SMS-25	241.9	250	435.3	375
PLR-001	PLR-001-316S	SMS-40	437.6	400	744.1	600
PLR-001	PLR-001-317S	SMS-40	440.8	400	745.5	600
PLR-001	PLR-001-318S	SMS-40	367.3	400	604.9	600
PLR-001	PLR-001-319S	SMS-40	428.3	400	699.5	600
PLR-001	PLR-001-901S	SMS-10	119.3	100	212.1	150
PLR-001	PLR-001-902SA	SMS-7.5	76.1	75	132.9	112.5
PLR-001	PLR-001-906S	SMS-10	107.1	100	175.1	150
PLR-001	PLR-001-908S	SMS-6	56.2	60	92.9	90
PLR-001	PLR-001-912S	SMS-6	54.2	60	95.1	90
PLR-002	PLR-002-008S	SMS-10	117.4	100	187.1	150

表 6-1 詳細評価対象メカニカルスナッパ (2/2)

配管モデル名	支持点番号	メカニカルスナッパ型式	弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s	
			地震荷重 [kN]	定格荷重 [kN]	地震荷重 [kN]	定格荷重× 1.5 [kN]
PLR-002	PLR-002-010S	SMS-16	193.2	160	330.7	240
PLR-002	PLR-002-027S	SMS-16	171.6	160	293.8	240
PLR-002	PLR-002-111S	NMB-030	30.7	30	49.0	45
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	109.4	100	186.7	150
PLR-002	PLR-002-307S	SMS-25	260.4	250	470.5	375
PLR-002	PLR-002-308S	SMS-25	251.8	250	452.1	375
PLR-002	PLR-002-315S	SMS-40	374.5	400	605.6	600
PLR-002	PLR-002-406SA	SMS-3	36.5	30	65.8	45
PLR-002	PLR-002-406SB	SMS-3	37.8	30	67.3	45
RHR-001	RHR-001-903S	SMS-6	58.2	60	92.0	90
RHR-002	RHR-002-901SA	SMS-6	55.5	60	93.0	90
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	85.1	100	155.3	150
RHR-006	RHR-006-084S	SMS-10	96.5	100	175.1	150
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	11.1	10	20.6	15
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	9.7	10	18.1	15
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	58.4	60	103.5	90
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	81.6	100	164.8	150
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	60.0	60	110.2	90
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	50.1	60	93.5	90
RHR-011	RHR-011-089S	NMB-030	28.8	30	50.1	45
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	86.5	100	158.8	150
HPCS-001	HPCS-001-037S	SMS-6	56.0	60	99.4	90
HPCS-002	HPCS-002-086S	SMS-10	110.3	100	195.5	150
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	50.6	60	92.7	90
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	5.6	6	10.5	9
RCIC-005	RCIC-005-047SB	SMS-1	8.2	10	15.7	15
SGTS-004	SGTS-004-033S	SMS-6	65.0	60	109.7	90

6.2 構造部材の強度評価結果

6.1 項で抽出した詳細評価対象メカニカルスナップの強度評価について、別紙 3 に示す詳細評価方法に基づき、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する各評価部位の評価を実施した。

各メカニカルスナップにおける最小裕度部品の評価結果を表 6-2 に示す。弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する各メカニカルスナップの評価結果は、全て許容応力以下（許容応力Ⅲ_AS 及び許容応力Ⅳ_AS）であり、詳細評価対象メカニカルスナップの構造部材の強度が確保されることを確認した。

表 6-2 構造部材の強度評価結果一覧表 (1/6)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	リアブラケット (フランジ)	73.7	138		120.9	227	
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	ベアリング押え	113.6	213		177.0	332	
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	コネクティングチューブ	56.4	38		95.6	63	
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	ベアリング押え	100.7	189		151.7	285	
MS-003	MS-003-220S	SMS-10	ベアリング押え	103.1	194		134.5	253	
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	ベアリング押え	125.6	236		184.7	347	
MS-004	MS-004-311S	SMS-6	コネクティングチューブ	63.7	42		90.2	60	
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	ベアリング押え	118.9	223		164.2	308	

表 6-2 構造部材の強度評価結果一覧表 (2/6)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	コネクティングチューブ	79.6	53		112.2	74	
PLR-001	PLR-001-010S	SMS-16	ベアリング押え	149.8	184		240.5	295	
PLR-001	PLR-001-027S	SMS-16	ベアリング押え	200.5	246		317.4	389	
PLR-001	PLR-001-307S	SMS-25	ベアリング押え	241.9	208		435.3	375	
PLR-001	PLR-001-316S	SMS-40	コネクティングチューブ	437.6	62		744.1	105	
PLR-001	PLR-001-317S	SMS-40	コネクティングチューブ	440.8	63		745.5	106	
PLR-001	PLR-001-318S	SMS-40	コネクティングチューブ	367.3	52		604.9	86	
PLR-001	PLR-001-319S	SMS-40	コネクティングチューブ	428.3	61		699.5	99	

表 6-2 構造部材の強度評価結果一覧表 (3/6)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S [MPa]
PLR-001	PLR-001-901S	SMS-10	ベアリング押え	119.3	224		212.1	398	
PLR-001	PLR-001-902SA	SMS-7.5	コネクティングチューブ	76.1	50		132.9	88	
PLR-001	PLR-001-906S	SMS-10	ベアリング押え	107.1	201		175.1	329	
PLR-001	PLR-001-908S	SMS-6	コネクティングチューブ	56.2	37		92.9	61	
PLR-001	PLR-001-912S	SMS-6	コネクティングチューブ	54.2	36		95.1	63	
PLR-002	PLR-002-008S	SMS-10	ベアリング押え	117.4	221		187.1	351	
PLR-002	PLR-002-010S	SMS-16	ベアリング押え	193.2	237		330.7	405	
PLR-002	PLR-002-027S	SMS-16	ベアリング押え	171.6	211		293.8	360	
PLR-002	PLR-002-111S	NMB-030	リアブラケット(フランジ)	30.7	145		49.0	231	

表 6-2 構造部材の強度評価結果一覧表 (4/6)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S [MPa]
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	ベアリング押え	109.4	206		186.7	351	
PLR-002	PLR-002-307S	SMS-25	ベアリング押え	260.4	224		470.5	405	
PLR-002	PLR-002-308S	SMS-25	ベアリング押え	251.8	217		452.1	389	
PLR-002	PLR-002-315S	SMS-40	コネクティングチューブ	374.5	53		605.6	86	
PLR-002	PLR-002-406SA	SMS-3	コネクティングチューブ	36.5	39		65.8	70	
PLR-002	PLR-002-406SB	SMS-3	コネクティングチューブ	37.8	40		67.3	71	
RHR-001	RHR-001-903S	SMS-6	コネクティングチューブ	58.2	39		92.0	61	
RHR-002	RHR-002-901SA	SMS-6	コネクティングチューブ	55.5	37		93.0	62	
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	ベアリング押え	85.1	160		155.3	292	

表 6-2 構造部材の強度評価結果一覧表 (5/6)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]
RHR-006	RHR-006-084S	SMS-10	ベアリング押え	96.5	181		175.1	329	
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	コネクティングチューブ	11.1	20		20.6	36	
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	コネクティングチューブ	9.7	17		18.1	32	
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	コネクティングチューブ	58.4	39		103.5	68	
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	ベアリング押え	81.6	153		164.8	309	
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	コネクティングチューブ	60.0	40		110.2	73	
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	コネクティングチューブ	50.1	33		93.5	62	
RHR-011	RHR-011-089S	NMB-030	リアブラケット (フランジ)	28.8	136		50.1	237	

表 6-2 構造部材の強度評価結果一覧表 (6/6)

配管モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 III _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 IV _A S [MPa]
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	ベアリング押え	86.5	163		158.8	298	
HPCS-001	HPCS-001-037S	SMS-6	コネクティングチューブ	56	37		99.4	66	
HPCS-002	HPCS-002-086S	SMS-10	ベアリング押え	110.3	207		195.5	367	
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	コネクティングチューブ	50.6	34		92.7	61	
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	ベアリング押え	5.6	140		10.5	263	
RCIC-005	RCIC-005-047SB	SMS-1	コネクティングチューブ	8.2	15		15.7	27	
SGTS-004	SGTS-004-033S	SMS-6	コネクティングチューブ	65	43		109.7	72	

6.3 機能確認に対する荷重評価結果

弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する各メカニカルスナップの地震荷重と、今回工認の詳細評価に適用する限界耐力値との比較結果を表 6-3 に示す。比較の結果、各メカニカルスナップにおける地震荷重がいずれも今回工認の詳細評価に適用する限界耐力値以下となるため、詳細評価対象メカニカルスナップについて、メカニカルスナップの機能が確保されることを確認した。

また、構造強度評価の許容応力を荷重に換算した値と限界耐力値を表 6-4 に示す。

表 6-3 機能確認に対する荷重評価結果一覧表 (1/2)

配管モデル名	支持点番号	型式	地震荷重[kN]		今回工認における 限界耐力値 (電共研等の限界耐力値により設定) [kN]	電共研 耐力確認 荷重[kN]
			弾性設計用 地震動 S _d	基準地震 動 S _s		
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	73.7	120.9	169.7	—
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	113.6	177.0	219.1 ^{*2}	244.7
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	56.4	95.6	170.6	190.5
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	100.7	151.7	219.1 ^{*2}	244.7
MS-003	MS-003-220S	SMS-10	103.1	134.5	219.1 ^{*2}	244.7
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	125.6	184.7	219.1 ^{*2}	244.7
MS-004	MS-004-311S	SMS-6	63.7	90.2	170.6	190.5
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	118.9	164.2	219.1 ^{*2}	244.7
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	79.6	112.2	170.6	190.5
PLR-001	PLR-001-010S	SMS-16	149.8	240.5	344.2	—
PLR-001	PLR-001-027S	SMS-16	200.5	317.4	344.2	—
PLR-001	PLR-001-307S	SMS-25	241.9	435.3	490.3	—
PLR-001	PLR-001-316S	SMS-40	437.6	744.1	941.4	—
PLR-001	PLR-001-317S	SMS-40	440.8	745.5	941.4	—
PLR-001	PLR-001-318S	SMS-40	367.3	604.9	941.4	—
PLR-001	PLR-001-319S	SMS-40	428.3	699.5	941.4	—
PLR-001	PLR-001-901S	SMS-10	119.3	212.1	219.1 ^{*2}	244.7
PLR-001	PLR-001-902SA	SMS-7.5	76.1	132.9	170.6 ^{*1}	—
PLR-001	PLR-001-906S	SMS-10	107.1	175.1	219.1 ^{*2}	244.7
PLR-001	PLR-001-908S	SMS-6	56.2	92.9	170.6	190.5
PLR-001	PLR-001-912S	SMS-6	54.2	95.1	170.6	190.5
PLR-002	PLR-002-008S	SMS-10	117.4	187.1	219.1 ^{*2}	244.7
PLR-002	PLR-002-010S	SMS-16	193.2	330.7	344.2	—
PLR-002	PLR-002-027S	SMS-16	171.6	293.8	344.2	—
PLR-002	PLR-002-111S	NMB-030	30.7	49.0	67.4	130.3
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	109.4	186.7	219.1 ^{*2}	244.7

表 6-3 機能確認に対する荷重評価結果一覧表 (2/2)

配管モデル名	支持点番号	型式	地震荷重[kN]		今回工認における 限界耐力値 (電共研等の限界耐力値により設定) [kN]	電共研 耐力確認 荷重[kN]
			弾性設計用 地震動 S _d	基準地震 動 S _s		
PLR-002	PLR-002-307S	SMS-25	260.4	470.5	490.3	—
PLR-002	PLR-002-308S	SMS-25	251.8	452.1	490.3	—
PLR-002	PLR-002-315S	SMS-40	374.5	605.6	941.4	—
PLR-002	PLR-002-406SA	SMS-3	36.5	65.8	70.1*2	94.2
PLR-002	PLR-002-406SB	SMS-3	37.8	67.3	70.1*2	94.2
RHR-001	RHR-001-903S	SMS-6	58.2	92.0	170.6	190.5
RHR-002	RHR-002-901SA	SMS-6	55.5	93.0	170.6	190.5
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	85.1	155.3	219.1*2	244.7
RHR-006	RHR-006-084S	SMS-10	96.5	175.1	219.1*2	244.7
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	11.1	20.6	53.9	56.2
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	9.7	18.1	53.9	56.2
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	58.4	103.5	170.6	190.5
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	81.6	164.8	219.1*2	244.7
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	60.0	110.2	170.6	190.5
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	50.1	93.5	170.6	190.5
RHR-011	RHR-011-089S	NMB-030	28.8	50.1	67.4	130.3
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	86.5	158.8	219.1*2	244.7
HPCS-001	HPCS-001-037S	SMS-6	56	99.4	170.6	190.5
HPCS-002	HPCS-002-086S	SMS-10	110.3	195.5	219.1*2	244.7
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	50.6	92.7	170.6	190.5
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	5.6	10.5	16.8	—
RCIC-005	RCIC-005-047SB	SMS-1	8.2	15.7	53.9	56.2
SGTS-004	SGTS-004-033S	SMS-6	65	109.7	170.6	190.5

注記*1：型式 SMS-7.5 は、電共研では検討対象としていない型式だが、SMS-6 と同じ構造及び寸法のため、SMS-6 と同じ限界耐力値を記載した。

*2：電共研の知見に加え JNES 研究の試験結果も考慮したアンギュラー玉軸受の限界耐力値を記載した。

表 6-4 構造強度評価の許容荷重と限界耐力値の比較

型式	定格荷重 [kN]	構造強度評価 許容荷重Ⅲ _{AS} [kN]	構造強度評価 許容荷重Ⅳ _{AS} [kN]	今回工認における 限界耐力値 (電共研等の限界 耐力値により設 定) [kN]
SMS-06	6			16.8
SMS-1	10			53.9
SMS-3	30			70.1 ^{*1}
SMS-6	60			170.6
SMS-7.5	75			170.6 ^{*2}
SMS-10	100			219.1 ^{*1}
SMS-16	160			344.2
SMS-25	250			490.3
SMS-40	400			941.4
NMB-030	30			67.4
NMB-075	75			169.7

注記*1：電共研の知見に加え JNES 研究の試験結果も考慮したアンギュラー玉軸受の限界耐力値を記載した。

*2：型式 SMS-7.5 は、電共研では検討対象としていない型式だが、SMS-6 と同じ構造及び寸法のため、SMS-6 と同じ限界耐力値を記載した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7. 結論

女川原子力発電所 2 号機の機器・配管系の支持構造物であるメカニカルスナッパの耐震設計では、既工認と同様、地震によるメカニカルスナッパの発生荷重が J E A G 4 6 0 1 を踏まえてあらかじめ設定した設計上の基準値（許容応力状態Ⅲ_AS に対して定格荷重，許容応力状態Ⅳ_AS に対して定格荷重×1.5）を満足することを一次評価として確認している。また、設計上の基準値を超えた場合には、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること等を考慮し、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で詳細評価を適用することとした。

今回工認の詳細評価においては、メカニカルスナッパの構造部材に対する強度評価及び機能確認に対する荷重評価を実施することとした。構造部材に対する強度評価においては、J E A G 4 6 0 1 に基づく評価方法，電共研の知見を踏まえて、評価部位及び評価項目を追加した評価を行い、許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS の許容限界を満足することを確認した。また、機能確認に対する荷重評価においては、地震荷重と限界耐力値との比較を行い、地震荷重が限界耐力値以下であることを確認した。以上より、詳細評価対象メカニカルスナッパの耐震性が確保されることを確認した。

メカニカルスナッパ確性試験の概要

1. はじめに

機器・配管系の支持装置として用いるメカニカルスナッパは，地震によって生じる配管反力（地震荷重）のような急速な配管移動は拘束する一方，熱膨張などによって生じる緩やかな配管移動に対しては拘束せず自由に伸縮する機能を有している。

このメカニカルスナッパの機能については，定格荷重や定格荷重×1.5 の負荷後においても維持されることを確認する確性試験が実施されており，振動等に対して拘束する機能については振動応答試験や過負荷振動試験，低速度移動に対して自由に伸縮する機能については低速走行試験でそれぞれの機能維持が確認されている。この確性試験結果は，以下の図書にまとめられている。



本資料は，確性試験の概要を整理したものである。

2. メカニカルスナッパの確性試験概要

2.1 試験内容

確性試験では，振動負荷後の性能維持を確認するため，振動応答試験，定格荷重×1.5の荷重に対する過負荷振動試験及び低速走行試験等の試験を実施している。

確性試験のフローを図2-1に示す。

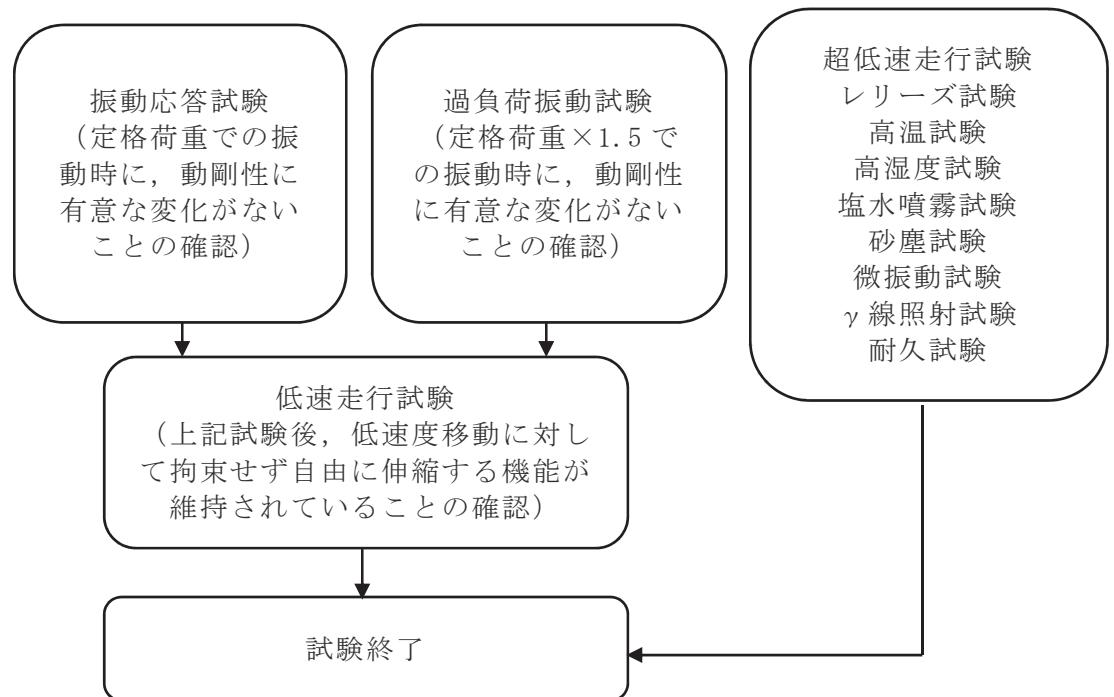
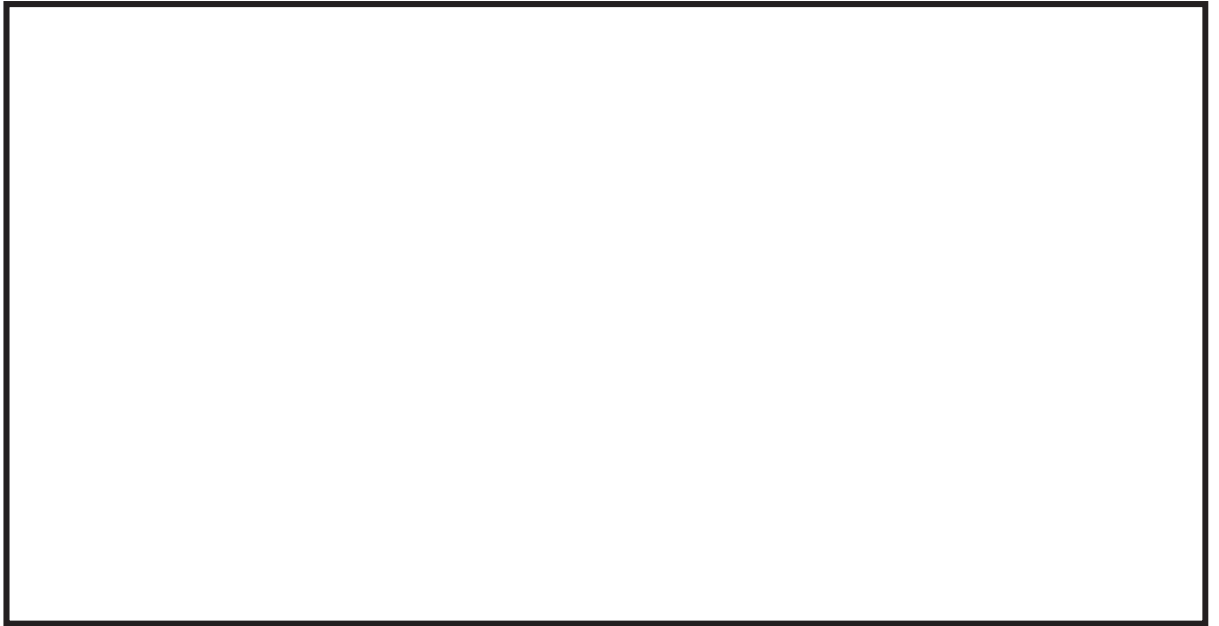


図2-1 確性試験フロー

2.2 試験方法（振動応答試験，過負荷振動試験，低速走行試験）



確性試験の試験項目と試験内容を表2-1に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-1 確性試験の各試験項目

試験項目	確認事項	試験内容
振動応答試験		
過負荷振動試験		
低速走行試験		
超低速走行試験		
レリーズ試験 ^{*2}		
高温試験 ^{*3}		
高湿度試験 ^{*3}		
塩水噴霧試験 ^{*3}		
砂塵試験 ^{*3}		
微振動試験 ^{*3}		
γ線照射試験 ^{*3}		
耐久試験		

注記*1：ステックスリップ現象は、機械部品の摩擦面において、静止摩擦力が作用する付着状態と、動摩擦力が作用する滑り状態が交互に発生することによる

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

自励振動現象である。

*2：レリーズ試験は、熱変位を想定したゆっくりとした変位を与えているところに、地震を想定した素早い変位を与えることで、地震によりブレーキ機構が作動した後での熱移動への追従を確認するものである。

*3：各環境試験後に振動試験及び低速走行試験を実施する。

2.3 試験結果

振動応答試験により定格荷重となる振動を負荷した後、あるいは過負荷振動試験により定格荷重×1.5となる振動を負荷した後であっても、振動による顕著な性能への影響は認められず、低速走行試験においても発生抵抗力は判定基準（設計要求値）以下であったため、メカニカルスナッパに要求される機能を維持できることが確認された。

また、環境試験では、原子炉格納容器内における冷却材喪失事故時の環境に曝されても機能を維持すること、プラント寿命中に定期的なメンテナンスを必要とせずに機能を維持すること、砂塵や γ 線照射等の環境でも機能を維持することが確認された。

メカニカルスナッパの耐震設計に係る技術基準及び適用規格の内容

1. 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

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では、地震力に対して「施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること」を要求している。

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	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の解釈
<p>(地震による損傷の防止)</p> <p>第五条 設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。</p> <p>2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</p>	<p>第5条（地震による損傷の防止）</p> <p>1 第1項の規定は、設置許可基準規則第4条第1項の規定に基づき設置許可で確認した設計方針に基づき、設計基準対象施設が、設置許可基準規則第4条第2項の地震力に対し、施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していることをいう。</p> <p>2 第2項の規定は、設置許可基準規則第4条第3項の規定に基づき設置許可で確認した設計方針に基づき、耐震重要施設が、設置許可基準規則第4条第3項の基準地震動による地震力に対し、<u>施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること</u>をいう。</p>

2. 耐震設計に係る工認審査ガイド

耐震設計に係る工認審査ガイドでは、適用可能な規格及び基準として J E A G 4 6 0 1 が記載されている。

4. 機器・配管系に関する事項

4.3 許容限界

【審査における確認事項】

機器・配管系の耐震設計においては、安全上適切と認められる規格及び基準等に基づき許容限界を設定していることを確認する。

【確認内容】

許容限界については以下を確認する。

(1) 「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、適用可能な規格及び基準等を以下に示す。なお、Bクラス、Cクラスの機器・配管系の基準地震動 S_s による地震力に対する波及的影響の検討を実施する際の許容限界については、J E A G 4 6 0 1 又は既往の研究等を参考に設定していること。

・ J E A G 4 6 0 1

・ 発電用原子力設備規格設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)

3. 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987

原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987の配管支持構造物に関する規定を以下に記載する。

- ① 設計用地震力による適切な応力・強度解析に基づいた地震応力と、他の荷重による応力との組み合わせがその許容限界内にあることを確認すること「解析による設計」を基本とし、許容限界だけから律することができない機器の機能維持上の評価が必要な場合、振動試験等によって確認すること「試験による評価」もできる。(J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.1 耐震設計の基本方針(2) 耐震設計と安全性評価」による)
- ② 「解析による設計」が行われる場合はその耐震重要度に応じた設計用地震力と組み合わせるべき他の荷重による各種応力が、それぞれに対応する許容応力限度以内にあることを確認することを基本とする。また、「試験による設計」の場合は、強度評価のみならず機能維持の観点からの評価も含まれる。(J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.7 耐震安全性評価」による)
- ③ 強度評価は、応力計算を行って許容応力と比較するものが大部分であるが、荷重による評価を行う場合、機器の機能維持評価が必要な場合がある。荷重の評価では、あらかじめ計算により標準荷重あるいは限界荷重を求めておく場合、試験により許容荷重を確認しておく場合などがある。(J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.6.1 荷重・応力の組合せ(2) 地震応力算定の概要」による)

(2) 耐震解析と安全性評価

機器・配管系は、その耐震上の重要度に応じて適切に分類され、それぞれの耐震クラス (As, A, B, C) に応じた設計用地震力に対して安全であることを確認しなければならない。

設計用地震力は、それぞれの耐震クラスに対応した水平静的震度による地震力と、As, A クラスでは更に設計用限界地震及び設計用最強地震による基準地震動 S_2 , S_1 に対し適切な地震応答解析に基づいた動的地震力と鉛直震度による静的地震力を算定しなければならない。

機器・配管系の耐震安全性評価は、上記設計用地震力による適切な応力・強度解析に基づいた地震応力と、組合すべき他の荷重による応力との組合せ応力がその許容限界内にあることを確認すること (解析による設計) を基本とする。しかし、系の解析の複雑さ、信頼度の問題、あるいは系の耐震安全性が応力許容限界だけから律することが出来ない機器の機能維持上の評価が必要な場合は振動試験等によって確認すること (試験による評価) もできる。

設計用地震力 (各クラスの静的地震力及び As, A クラスの基準地震動 S_1 に基づく動的地震力) による系の 1 次応力は、使用材料の降伏点以内、1 次+2 次応力を算定する必要のある系では、それが過大な歪を与えない範囲にあることを基本とするが、これは系の地震応答が巨視的にみて線形・弾性挙動の範囲にあることを意図している。したがって、解析による設計では、系の地震時 1 次応力は適切に算定することが必要であるが、2 次応力は系の線形・弾性挙動、あるいは地震時の低サイクル疲労等に影響があると判断される場合に評価することを基本とする。ただし、耐震 As, A クラスのものはその構造の重要性からみて、著しい 2 次応力の発生が考えられるところはその 2 次応力を適切に評価するものとする。

耐震 As クラスの基準地震動 S_2 に基づく動的地震力に対しては、非線形・弾塑性挙動の範囲に入ることは差支えないが、この場合は系の靱性を十分考慮し、系の限界強度又は機能維持上妥当な安全性を有していることを確認しなければならない。

試験による評価の場合は、相似率、据付位置の地震動特性等を考慮した適切な振動試験又はこれと同等な試験を実施し、組合せるべき他の荷重の効果を考慮して強度又は機能上妥当な安全性を有していることを確認するものとする。

② J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.7 耐震安全性評価」

6.1.7 耐震安全性評価

原子炉施設の機器・配管系の耐震安全性評価は、「解析による設計」が行われる場合は、その耐震重要度に応じた設計用地震力と組合せるべき他の荷重による各種応力が、それぞれに対応する許容応力限度以内であることを確認することを基本とする。しかし、機器系の種別によってはその機能が、強度評価だけでは不十分な場合があるので十分留意しなければならない。この点「試験による評価」の場合は、強度評価のみならず機能維持の観点からの評価も含まれるが、試験体の相似性、地震入力特性等の妥当性確認が重要である。

なお、S₂地震時のAsクラス機器系の耐震安全性評価に当たって、建屋の弾塑性応答が顕著な場合には、建屋自体の弾塑性応答特性、変形特性、床応答への影響、弾塑性挙動の信頼度等に留意することが必要であろう。

③ J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.6.1 荷重・応力の組合せ (2) 地震応力算定の概要」

(2) 地震応力算定の概要

本項では、「6.5 地震応答解析」で述べた地震応答解析から得られた地震荷重をもとに行う応力・強度評価について、その一般的な事項について述べる。

機器系の耐震設計における強度評価は応力計算を行って許容応力と比較するものが大部分であるが、このほか、荷重による評価を行う場合もあり、また、ひずみあるいは変形制限、機器の機能維持評価が必要な場合もある。

応力・強度解析の手法は対象機器に応じ、それぞれ適切な方法で行っているが、基本的な流れは図6.6.1-1のとおりである。

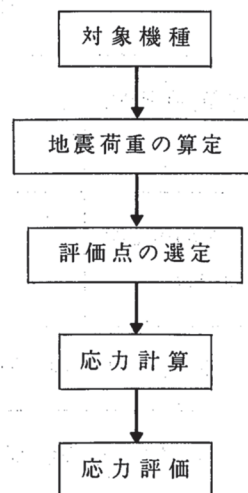


図 6.6.1-1 応力・強度解析の基本的な流れ

ここで応力評価については、大別すると次の二つの方法がある。

応力強さによる評価：第1種容器、配管、第2種容器に適用し、詳細な応力解析を行って評価する。

最大応力による評価：一般機器、支持構造物に適用し、比較的簡便に応力計算を行って評価する。

また、応力計算においても、対象機種の重要度、形状の複雑さ等に応じ、精密な手法から比較的簡便な手法までである。すなわち、有限要素法、シェル構造解析、はりによる

解析、骨組構造解析等、大型計算機を利用した計算から、単純な形状のものでは材料力学の基本的な式による計算から求める場合もある。

また、容器類の局部応力を求める場合は、Bijlaardの方法あるいは有限要素法が用いられる。

応力評価以外の強度評価法としては、荷重による評価があり、これは、あらかじめ計算により標準荷重あるいは限界荷重を求めておく場合、試験により許容荷重を確認しておく場合などがある。

4. 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984

メカニカルスナッパに対する要求事項として、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984の「その他の支持構造物」に関する規定を以下に記載する。

- ① J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力の解説」によると、メカニカルスナッパ本体は「その他の支持構造物」に該当する。
- ② J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力」によると、その他の支持構造物の許容応力については「2.8.1 第1種支持構造物」の規定の(2)の規定を準用し、使用材料に応じて許容応力が規定されている。

以上より、メカニカルスナッパは J E A G 4 6 0 1 の「その他の支持構造物」に該当し、構造部材に対する強度評価のみが求められている。

① J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 「2.9.1 その他の支持構造物の許容応力の解説」

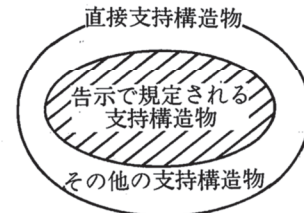
その他の支持構造物の許容応力の解説

- (1) 本項では「その他の支持構造物」の許容応力と「その他の支持構造物」に含まれるもの
のうち「電気計装設備」「換気空調設備」については具体例を示した。
- (2) 「その他の支持構造物」とは本指針の直接支持構造物の範囲であって告示で規定される
支持構造物の範囲外を意味している。

図 2-12

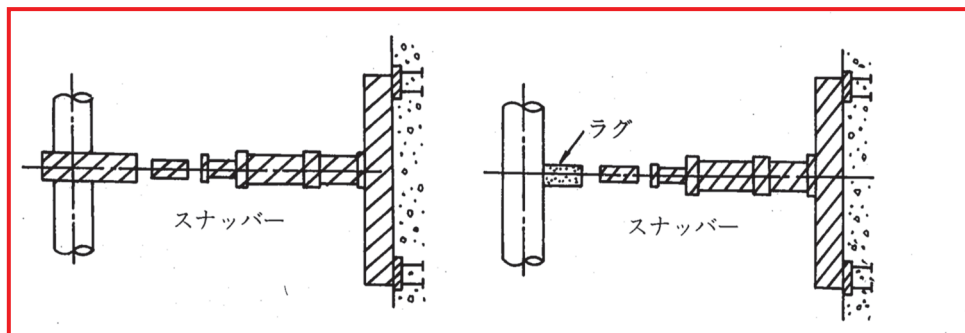
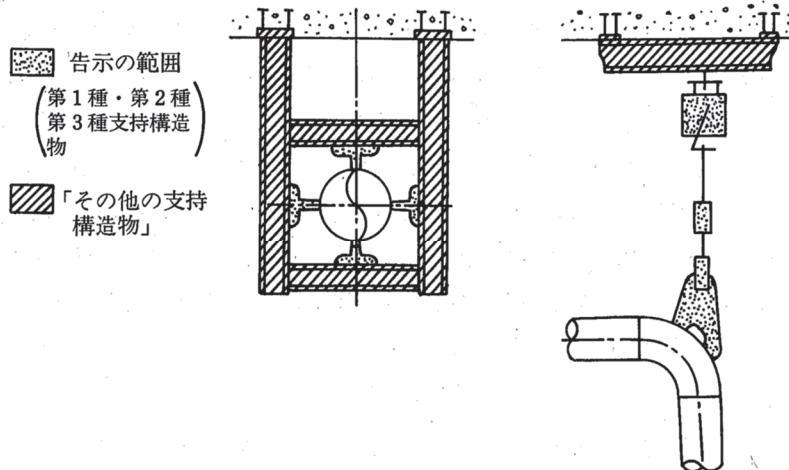
例えば、次のものがある。

- a. 耐震用サポート, 耐震用スナッバー
- b. 使用済燃料ラック, 配管, ケーブルトレイ及び電線
管の支持架構
- c. 電気盤の主体構造等骨組構造物
- d. 空調ユニット, フィルタユニット等の骨組構造物



- (3) 「その他の支持構造物」と告示で規定される支持構造
物との取り合いは、耐圧部から「その他の支持構造物」の鉄骨部表面を境とし溶接部及び
ボルトまでを、告示の適用範囲とする。(図 2-13参照)

図 2-13



2.9 その他の支持構造物，電気計装設備，換気空調設備，埋込金物の許容 応力

2.9.1 その他の支持構造物の許容応力

使用済燃料ラック，ケーブルトレイ，電線コンジット，配管の支持架構等その他の支持構造物の地震時許容応力については2.8.1の(2)，(3)及び(4)の規定を準用し，この場合のF値は次に定める値とする。

「告示別表第9に定める値又は告示別表第10に定める値の0.7倍の値のいずれか小さい方の値。ただし，使用温度が40度を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては，告示別表第9に定める値の1.35倍の値，告示別表第10に定める値の0.7倍の値又は室温における告示別表第9に定める値のいずれか小さい方の値。」

なお，その他の支持構造物であって，告示に規定される機器（第1種，第2種及び第3種）の耐圧部に直接溶接される部分については，2.8の規定による。また使用済燃料ラックの地震時の許容応力については，2.8.1の(2)の規定を準用する。

2.8 支持構造物の許容応力

2.8.1 第1種支持構造物の許容応力

(1) 容器に溶接により取付けられる支持構造物

容器に溶接により取付けられる支持構造物であって、その損壊が耐圧部の損壊を生じさせるおそれのあるものについては容器の耐圧部と同じ許容応力とする。

(2) 上記以外の支持構造物 (ボルト等を除く)

許容 応力状態	1 次 応 力					1 次 + 2 次 応 力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座 屈
設計条件	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I _A	f_t	f_s	f_c	f_b	f_p	$3f_t$	$3f_s^{(1)}$	$3f_b$	$1.5f_p^{(3)}$	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c^{(3)}$
II _A	f_t	f_s	f_c	f_b	f_p	$3f_t$	$3f_s^{(1)}$	$3f_b$	$1.5f_p^{(3)}$	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c^{(3)}$
III _A	$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	$1.5f_p$	—	—	—	—	—
IV _A	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$	—	—	—	—	—
III _A S	$1.5f_t$	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$	$1.5f_p$	$3f_t$	$3f_s^{(1)}$	$3f_b^{(2)}$	$1.5f_p^{(4)}$	$1.5f_b^{(2)(4)}$
IV _A S	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$	(S_1 又は S_2 地震動のみによる応力振幅について評価する)			$1.5f_p^{(4)}$	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c$

- 注：(1) すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5f_s$ とする。
 (2) 告示第88条第3項第一号イ(イ)により求めた f_b とすること。
 (3) 応力の最大圧縮値について評価する。
 (4) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合せて得られる応力の圧縮最大値について評価を行うこと。
 (5) 鋼構造設計規準（日本建築学会（1970年度制定））等の幅厚比の制限を満足すること。
 (6) 上記応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行うこと。
 (7) 耐圧部に溶接等により直接取付けられる支持構造物であつて耐圧部と一体の応力解析を行うものについては耐圧部と同じ許容応力とする。

メカニカルスナップの詳細評価方法（構造部材に対する強度評価）

1. 記号の定義

メカニカルスナップの強度計算式に使用する記号は、下記のとおりとする。

(1) SMS 型

記号	定義	単位
A	ダイレクトアタッチブラケット溶接部寸法	mm
A _c	圧縮応力計算に用いる断面積	mm ²
A _p	支圧応力計算に用いる断面積	mm ²
A _s	せん断応力計算に用いる断面積	mm ²
A _t	引張応力計算に用いる断面積	mm ²
B	イーヤせん断断面寸法	mm
	ブラケット穴部せん断断面寸法	
C	イーヤ引張断面寸法	mm
	ブラケット引張断面寸法	
	ユニバーサルブラケット引張断面寸法	
C ₁	ユニバーサルボックス引張断面寸法	mm
C ₂	ユニバーサルボックス引張断面寸法	mm
C ₃	ユニバーサルボックス引張断面寸法	mm
C ₄	ユニバーサルボックスせん断断面寸法	mm
D	イーヤ穴径	mm
	ブラケット穴径	
	コネクティングチューブ外径	
D ₁	ジャンクションコラムアダプタ外径	mm
	ロードコラム外径	
	ベアリング押えの支圧強度面内径	
D ₂	ジャンクションコラムアダプタ内径	mm
	ロードコラム内径	
	ベアリング押えの支圧強度面外径	
D ₃	ケースの引張強度面内径	mm
D ₄	ケースの引張強度面外径	mm
d	ピン径	mm
d ₁	ユニバーサルボックス穴径	mm
d ₂	ユニバーサルボックス穴径	mm

記号	定義	単位
E	縦弾性係数	MPa
e_1	ユニバーサルボックスせん断断面寸法	mm
e_2	ユニバーサルボックスせん断断面寸法	mm
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値	MPa
F_b	曲げ応力	MPa
F_c	圧縮応力	MPa
F_p	支圧応力	MPa
F_s	せん断応力	MPa
F_t	引張応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
H	ベアリングナット高さ	mm
h	すみ肉溶接部脚長	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
k	ねじ部せん断係数	—
L	ベアリングナット高さ	mm
	コネクティングチューブ圧縮長さ	
	ボールネジのキー溝部弧長	
l_k	座屈長さ	mm
M	六角ボルトの呼び径	mm
	ベアリングナット穴径	
n	六角ボルトの本数	本
P	発生荷重	N
T	ねじ部穴径	mm
t	コネクティングチューブ板厚	mm
	イーヤ板厚	
	ケースのせん断強度面板厚	
	ベアリング押え板厚	
	ユニバーサルブラケット板厚	

記号	定義	単位
t ₁	ユニバーサルボックス板厚	mm
	コネクティングチューブ板厚	
t ₂	ユニバーサルボックス板厚	mm
	コネクティングチューブ板厚	
T _e	コネクティングチューブ溶接部寸法	mm
β' ₁₀	ベアリング押え曲げ応力係数（「機械工学便覧 A4 材料力学」による）	—
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
A ₁ , A ₂ , A ₃ , a, b, c, d, h, α	ボールネジ引張断面寸法	mm
a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, m, I ₁ , I ₂ , I ₃ , I ₄ , I ₅ , I ₆ , L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆ ,	座屈計算に用いる寸法	mm

(2) NMB 型

記号	定義	単位
A	応力計算に用いる断面積	mm ²
A w	応力計算に用いる溶接部断面積	mm ²
a	イーヤ加工部径	mm
b	イーヤ加工部深さ	mm
B B P I N	連結部板厚	mm
D	ピン径	mm
D 0	パイプ外径	mm
	シリンダ外径	
D 0 B B	おねじ谷径	mm
D 0 B S	ベアリングシート引張部外径又は有効径	mm
D 0 C A	ケース外径	mm
D 0 C L	カラー外径	mm
D 0 E P	おねじの谷径	mm
D 0 E X K	パイプ外径	mm
D 0 L C	ロードシリンダ外径	mm
D 0 S L	スリーブ支持板外径	mm
D 0 T B	ターンバックル外径	mm
D 1	パイプ内径	mm
	シリンダ内径	
D 1 B B	軸受外径	mm
D 1 B S	ベアリングシート引張部内径	mm
D 1 C A	ケースねじ部の谷径	mm
D 1 E P	ボールネジ逃がし穴内径	mm
D 1 E X K	延長パイプ外径	mm
D 1 L C	ねじ逃げ溝部内径	mm
D 1 S B	ボルト呼び径	mm
D 1 T B	ねじ逃げ溝内径	mm
D 2 C A	ケース外径	mm
D 2 E X K	差し込み代確認用穴径	mm
D 3 C A	ケース内径	mm
D B	軸受寸法	mm

記号	定義	単位
DBAL	ねじ谷径	mm
DBBB	軸受外径	mm
DBCL	ベアリング内径	mm
DBSL	スリーブ外径	mm
DEPB	パイプ外径	mm
DH	球面軸受外径	mm
	ピン穴径	
DHBB	穴部直径	mm
DHBS	ベアリングシート開口部径	mm
DHCL	穴部内径	mm
DHEP	球面軸受用穴径	mm
DHEXB	球面軸受外径	mm
DHTB	ターンバックル内径	mm
DMCL	ボールネジ外径	mm
DMTB	おねじ部谷径	mm
DPIN	ピン径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値	MPa
FB	曲げ応力	MPa
FBX		
FBY		
FC	圧縮応力	MPa
FP	支圧応力	MPa
FR	組合せ応力	MPa
FT	引張応力	MPa
FT1		
FT2		
FV	せん断応力	MPa
FW	溶接部せん断応力	MPa
fc	許容圧縮応力	MPa
hE	イーヤ溶接部溶け込み長さ	mm

記号	定義	単位
I	断面二次モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
L	全長	mm
l_k	座屈長さ	mm
M	曲げモーメント	N・mm
N	セットボルトの本数	本
P	発生荷重	N
RE	球面軸受中心から端部までの距離	mm
REP	球面軸受穴中心から端部までの距離	mm
REXB	軸受中心から端部までの距離	mm
SE	イーヤ幅	mm
SEP	エンドプラグ幅	mm
SEXB	イーヤ幅	mm
SF	ボルト穴の中心同士の距離	mm
T1BB	荷重伝達部肉厚	mm
T1BS	ベアリングシート穴部の板厚	mm
T1CL	カラー板厚	mm
T1SL	スリーブ支持板厚	mm
T2BS	ベアリングシート下部の板厚	mm
TB	球面軸受部の幅	mm
TBEP	球面軸受の外輪幅	mm
TBEXB	球面軸受の外輪幅	mm
TE	イーヤ板厚	mm
TEP	エンドプラグ板厚	mm
TEXB	イーヤ板厚	mm
TF	フランジ部板厚	mm

記号	定義	単位
W O C A	溶接脚長	mm
W 1 C A		
W E		
W E P B		
W E X K		
Z	断面係数	mm ³
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—

2. 評価方法

詳細評価（強度評価）は、各強度評価部位の最弱部に発生する各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。

なお、適用型式を明記している評価項目以外は評価部位及び評価式について、型式ごとの違いはない。

2.1 SMS 型

① ダイレクトアタッチブラケット

i 引張応力評価

引張応力が、許容引張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 支圧応力評価

支圧応力が、許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iv 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～25）

溶接部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

v 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

溶接部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② ジャンクションコラムアダプタ

i 六角ボルト引張応力評価

六角ボルトの引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 溶接部せん断応力評価(適用：SMS-01～1)

溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 溶接部引張応力評価(適用：SMS-3～60)

溶接部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

iv コラム部引張応力評価

コラム部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ ロードコラム

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



ii ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



iii ねじ部せん断応力評価（ねじ山のせん断の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

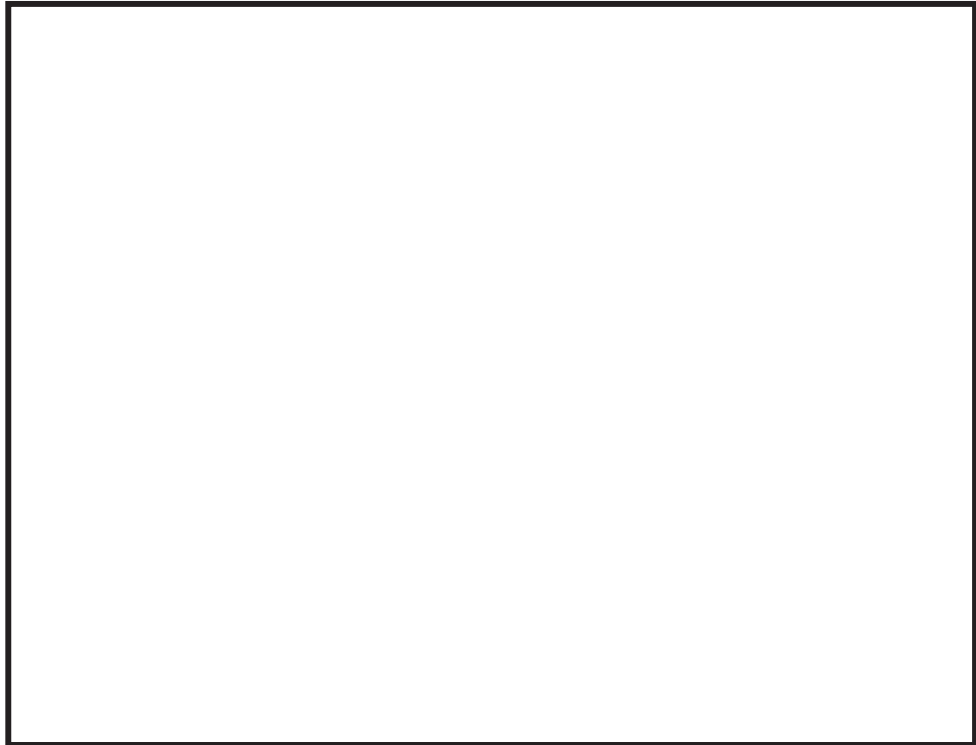


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑤ ピン

i 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。

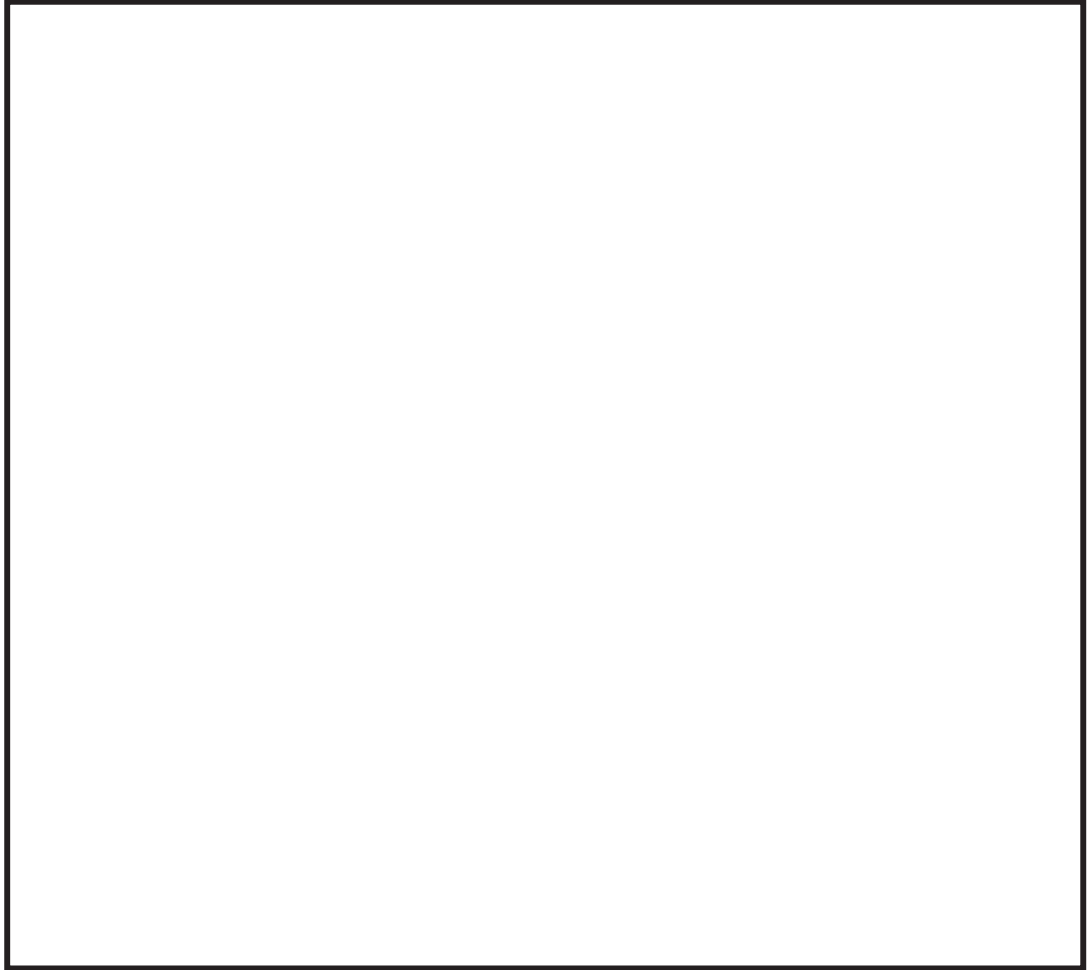


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑥ コネクティングチューブ（延長棒付きの A タイプのみ）

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ii チューブ引張応力評価（適用：SMS-01～25）

チューブ引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

iii 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～1）

溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iv 溶接部引張応力評価（適用：SMS-3～25）

溶接部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

v チューブ引張応力評価（適用：SMS-40～60）

チューブ引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

vi 溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

vii 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-01～3）

現地溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

viii 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-6～25）

現地溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ix 現地溶接部せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

現地溶接部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦-1 ベアリングケース

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張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 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦-2 ベアリング押え

i 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。

ii 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

iii 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦-3 六角ボルト(ベアリング押え用)

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑧ イーヤ

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張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 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iv ねじ部引張応力

ねじ部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



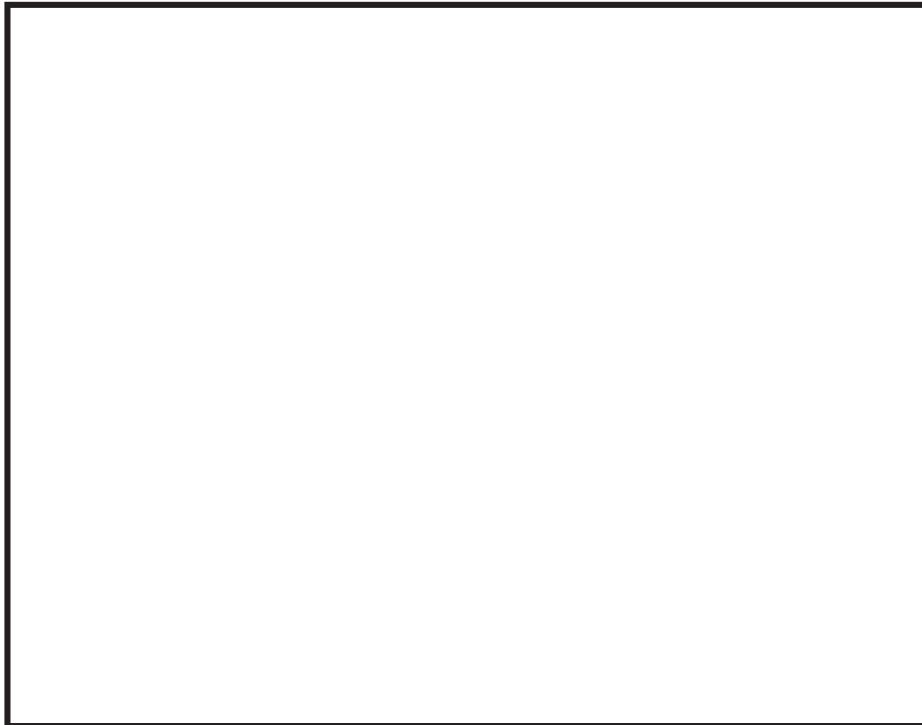
v ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

ねじ部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



vi ねじ部せん断応力評価（ねじ山のせん断の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑨ ユニバーサルボックス

i 引張応力評価（適用：SMS-01～25）

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



ii せん断応力評価（適用：SMS-01～25）

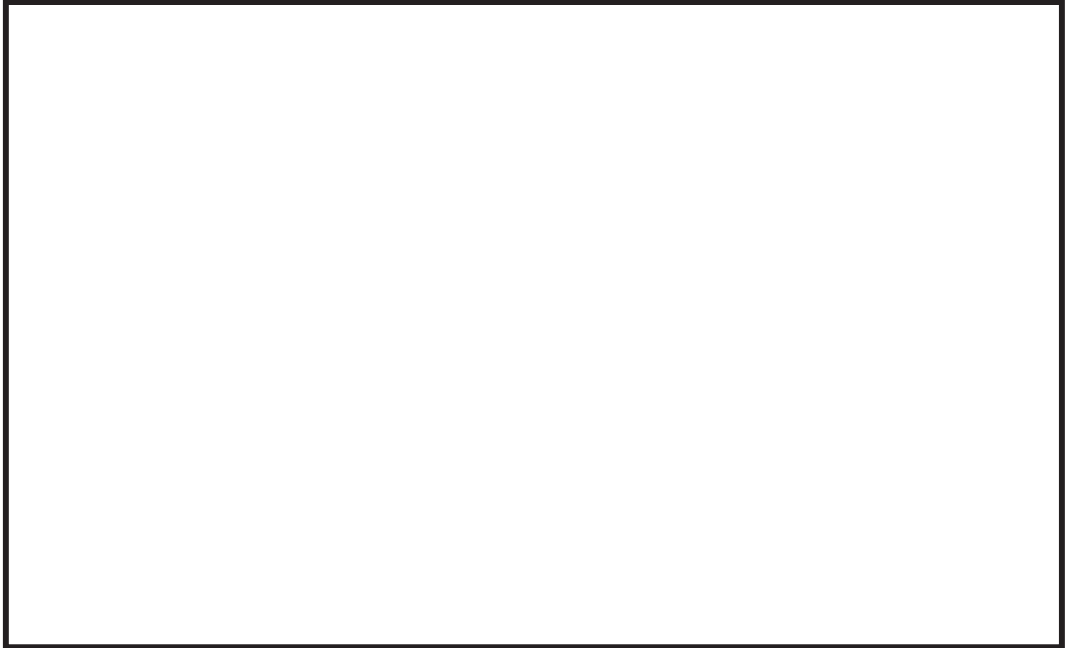
せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iii 支圧応力評価（適用：SMS-01～25）

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。



iv 引張応力評価（適用：SMS-40～60）

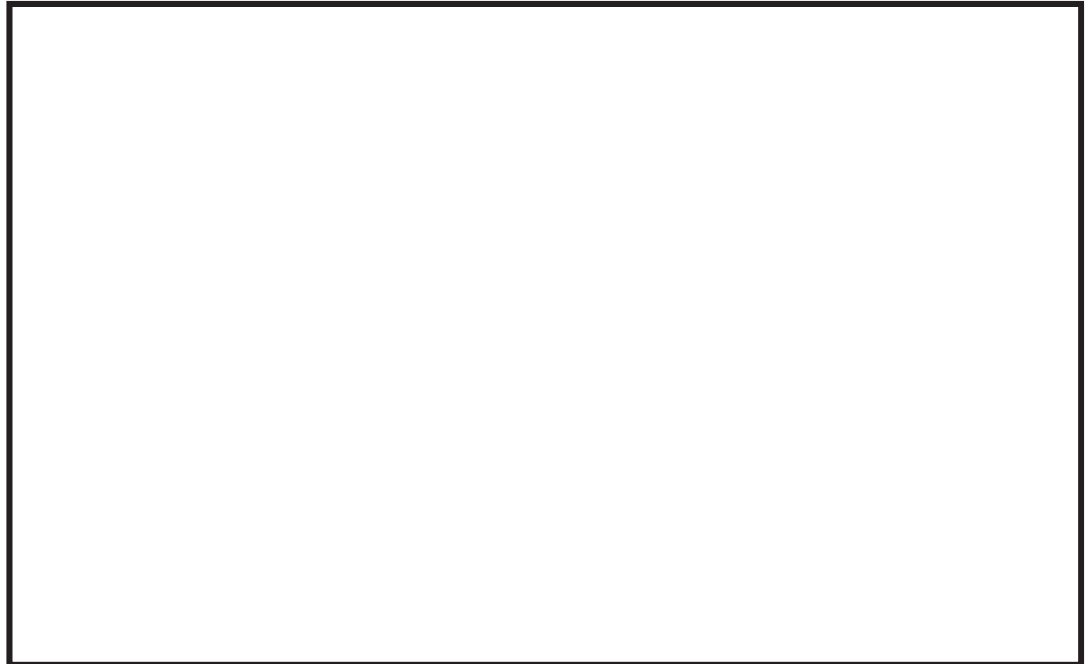
引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

v せん断応力評価（適用：SMS-40～60）

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。



vi 支圧応力評価（適用：SMS-40～60）

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑪ ユニバーサルブラケット

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張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 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑫ ベ어링ナット

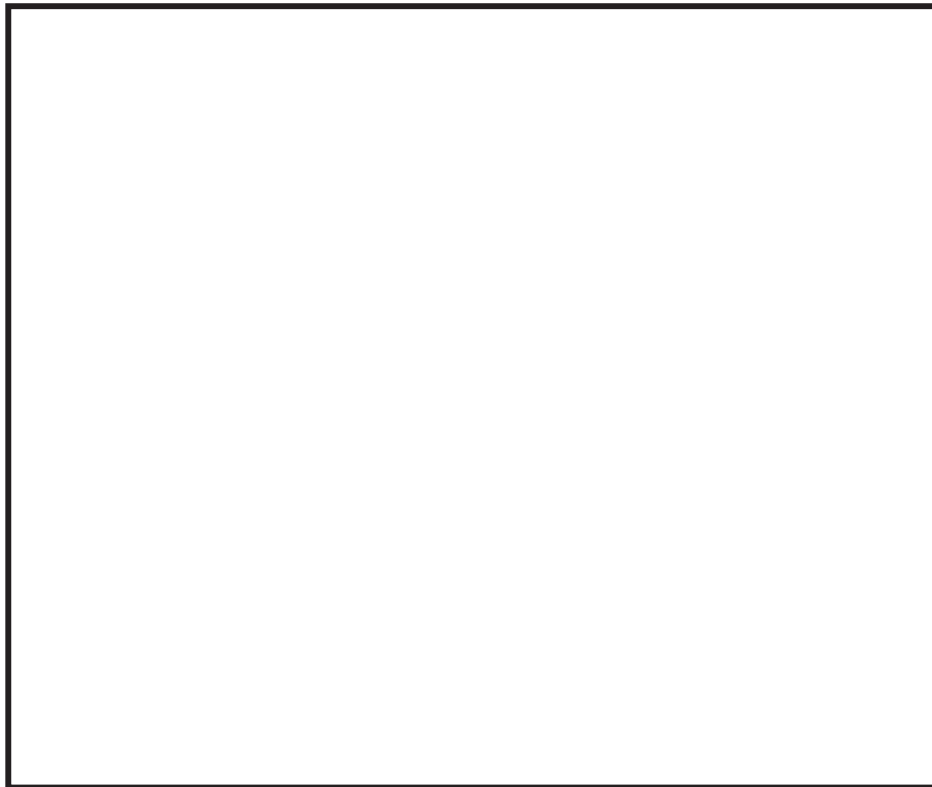
i ねじ部せん断応力評価（部品全体の評価）

ねじ部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



ii ねじ部せん断応力評価（ねじ山のせん断の評価）

ねじ部のせん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

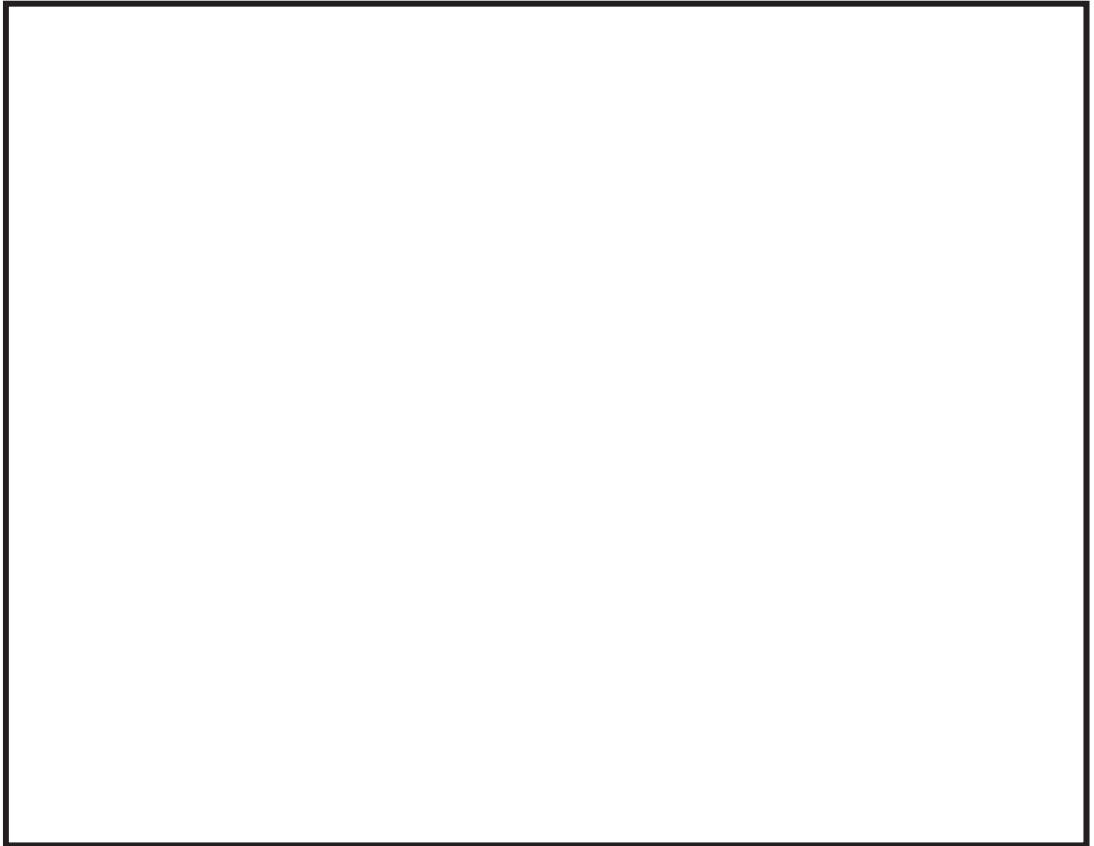


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑬ ボールネジ

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

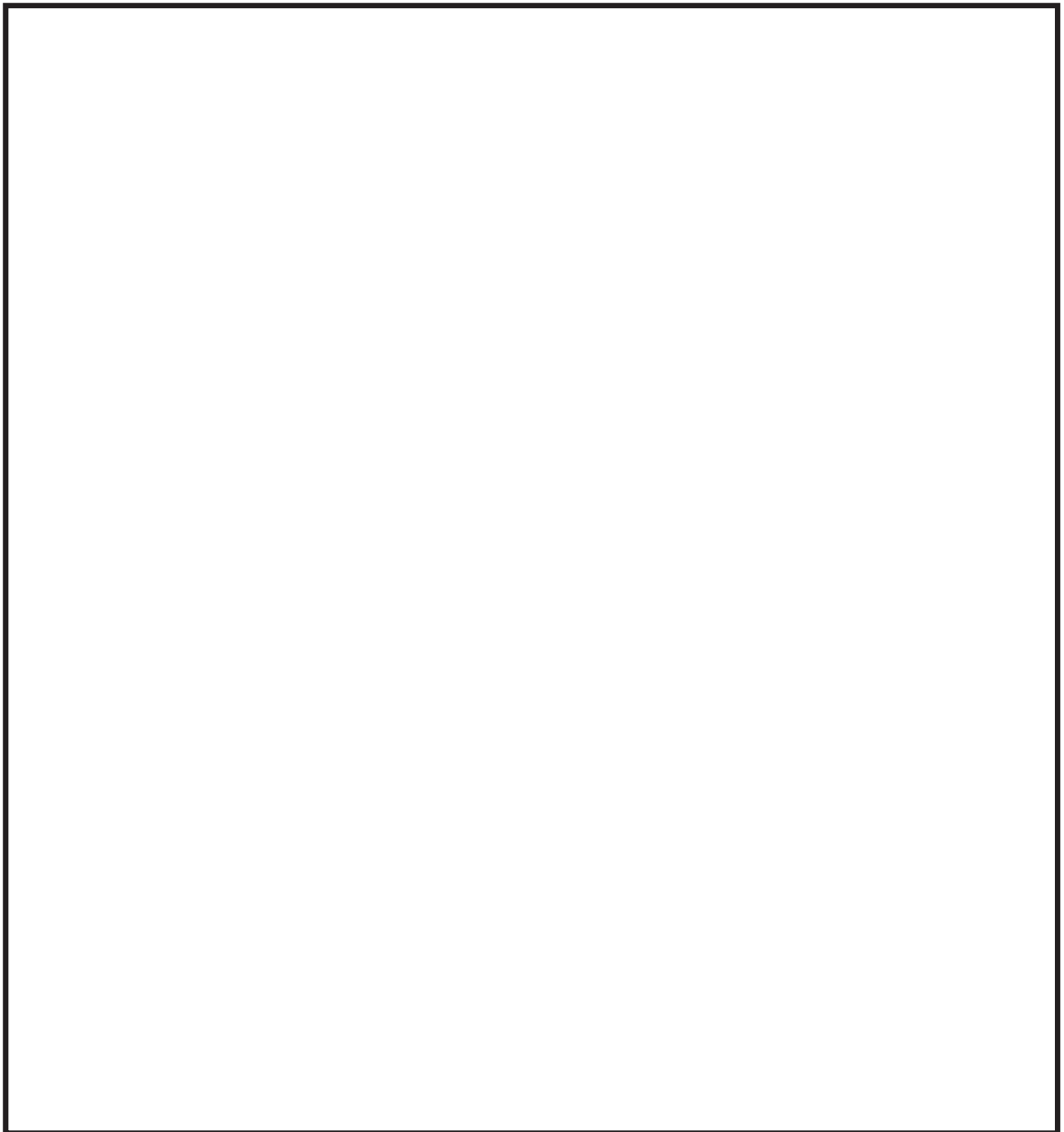
座屈評価

座屈評価は、電共研の研究成果から、計算にて算出した座屈荷重に係数を乗じた値を限界耐力値として評価を行う。

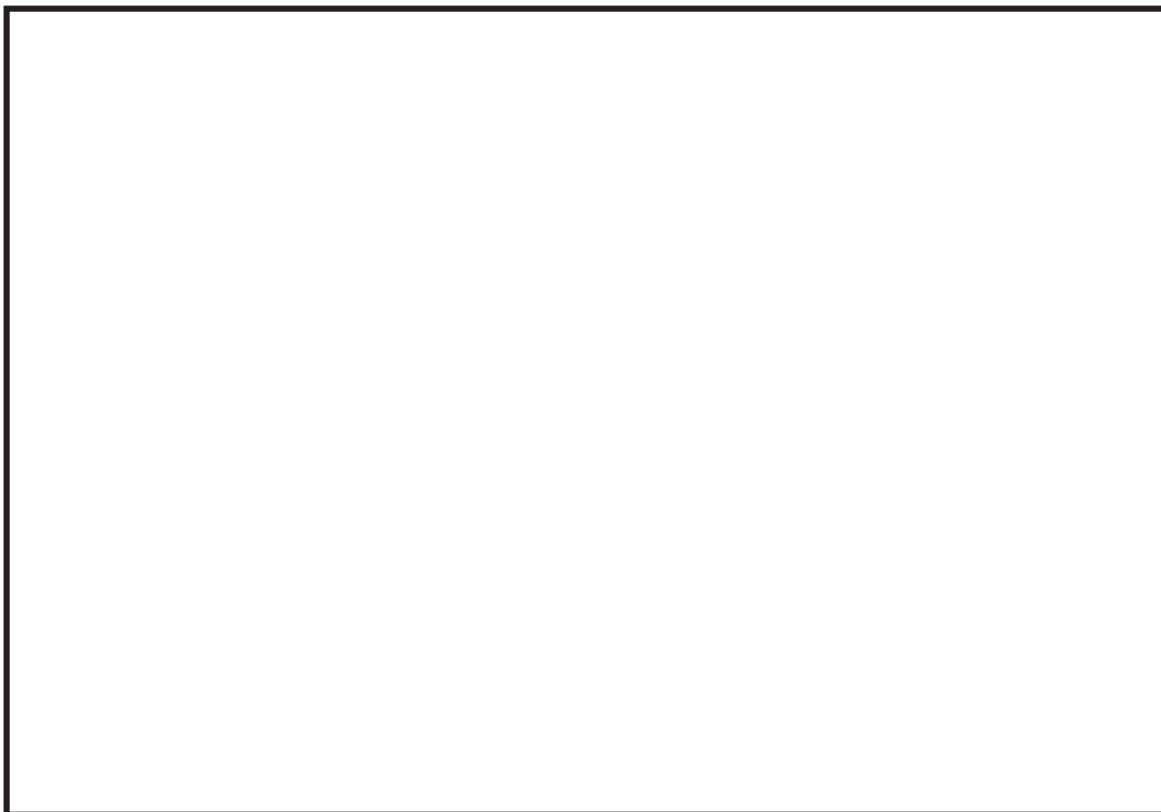
電共研試験にて SMS-03 に対して静的座屈試験を実施した結果 [] の荷重で座屈したことから、詳細評価においては計算座屈荷重に対して [] を座屈の限界耐力値として評価を行う。

座屈試験の内容について、別紙 4 に示す。

以下、座屈評価方法を示す。SMS 型の座屈評価においては、評価範囲を断面形状の異なる部材に分割し、それぞれの部材の長さや断面二次モーメントを組み合わせた以下評価式を用いて、座屈の限界耐力値を算出する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 NMB 型

① リアブラケット

i 穴部引張応力評価

穴部引張応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

ii 穴部せん断応力評価

穴部せん断応力が、許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 穴部支圧応力評価

穴部支圧応力が、許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- iv 溶接部せん断応力評価（適用：NMB-010～250, 001～006 は一体型構造のため対象外）

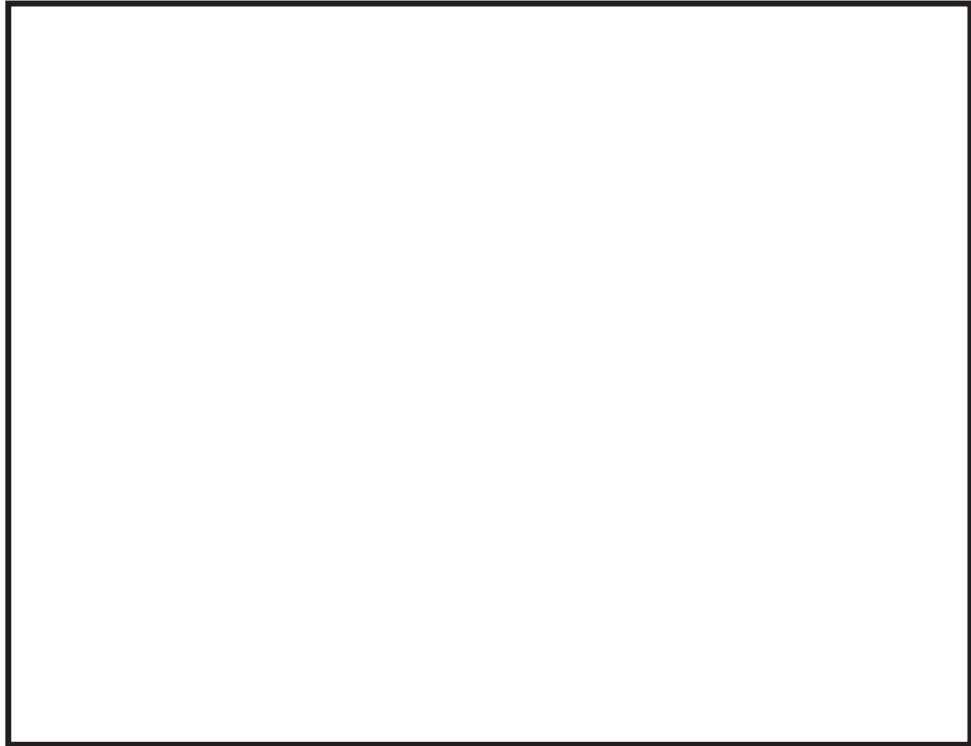
せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

v フランジ部曲げ応力評価

曲げ応力が，許容曲げ応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② セットボルト

i ボルト引張応力評価

ボルト引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

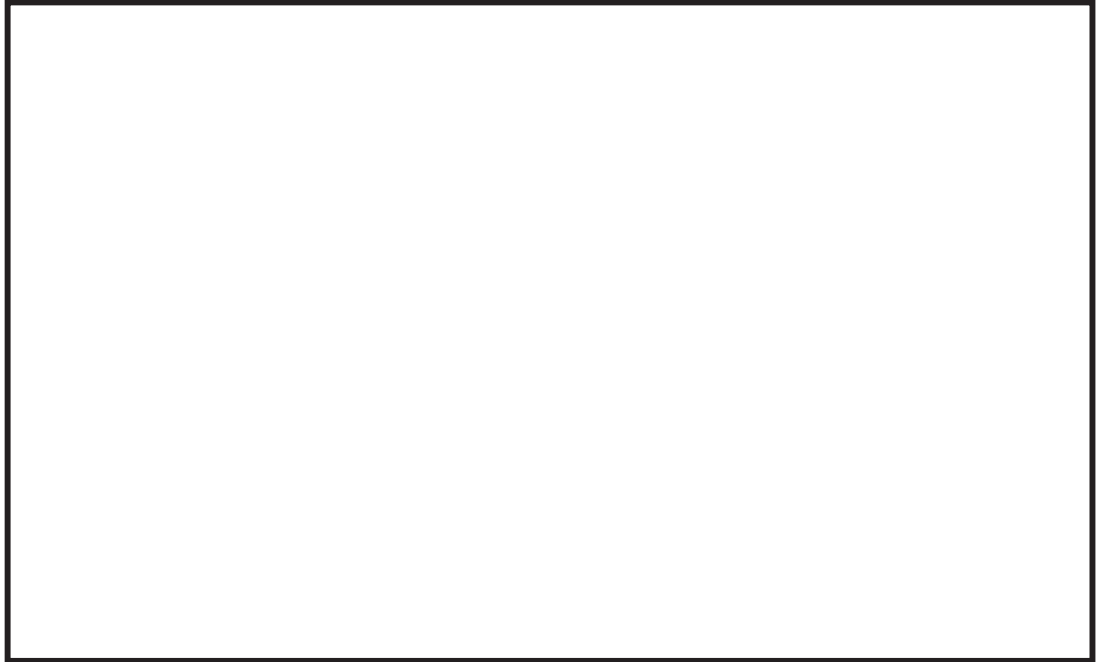


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

③ ケース

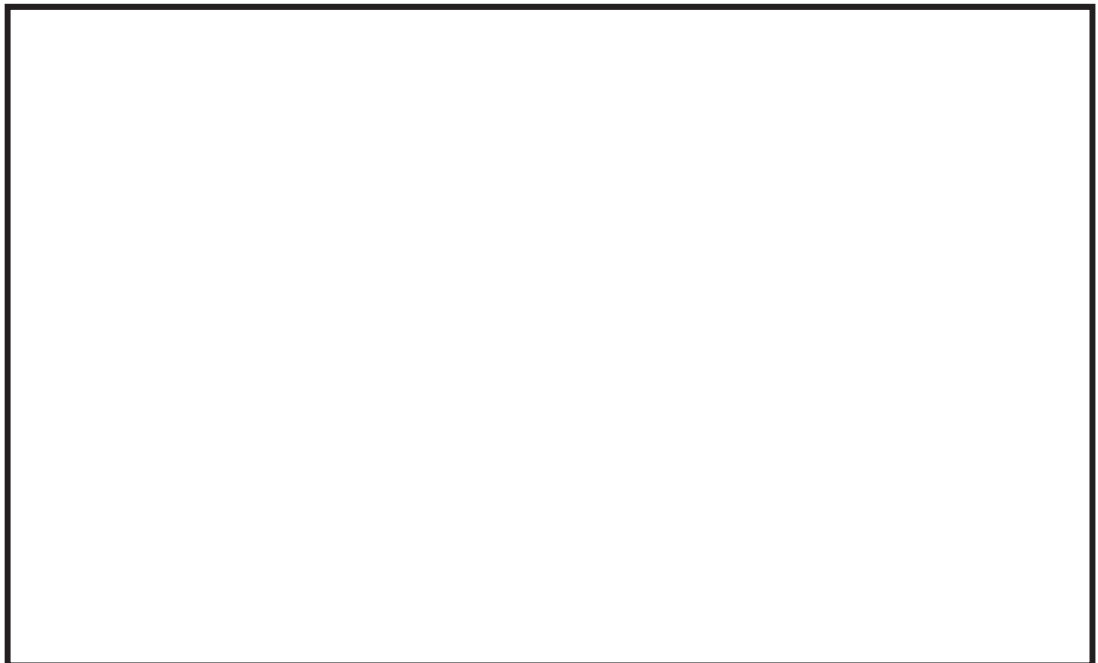
i 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



ii 溶接部せん断応力評価

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。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④ ベアリングシート

i 穴部引張応力

穴部引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 穴部せん断応力

穴部せん断応力が，許容せん断応力以下であることを確認する。

iii 穴部支圧応力

穴部支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑤ ベアリングボックス

i 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。

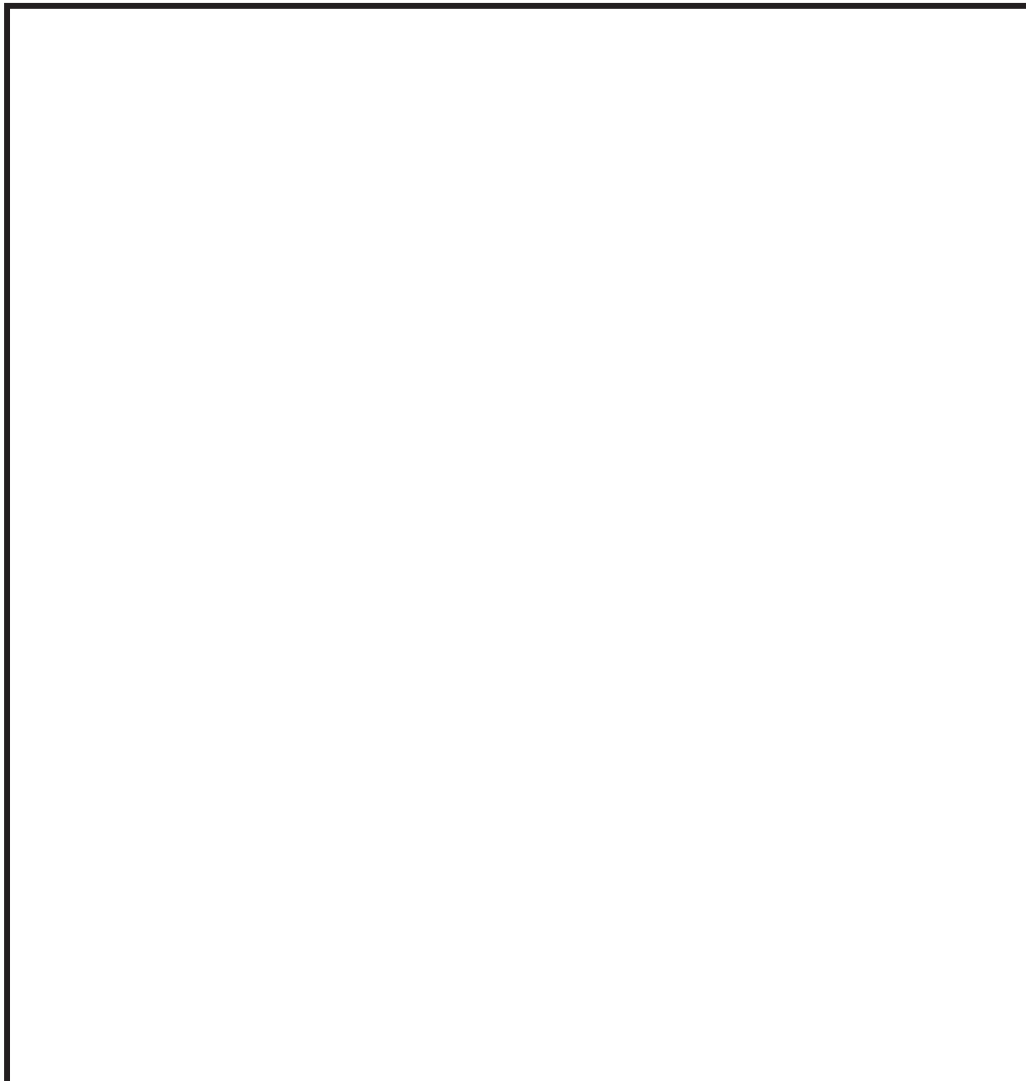
ii 支圧応力評価

支圧応力が、許容支圧応力以下であることを確認する。

iii 引張応力評価

引張応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑥ スリーブ

i 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。

ii 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑦ カラー

i 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。

ii 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑧ ロードシリンダ

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ii 圧縮応力評価(適用：NMB-001～100)

圧縮応力が，許容圧縮応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑨ ターンバックル

i ロッド引張応力評価

ロッド引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑩ エンドプラグ

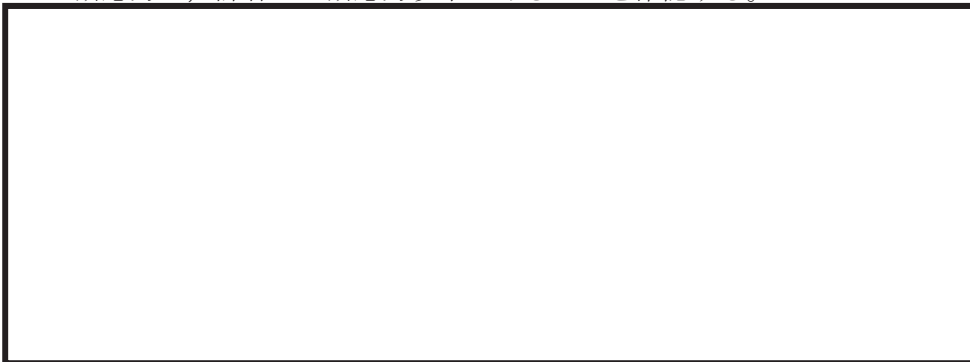
i 引張応力評価

引張応力が、許容引張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 支圧応力

支圧応力が、許容支圧応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑪ 延長パイプキット及び溶接部

[Redacted]

i 引張応力評価

引張応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

[Redacted]

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。

[Redacted]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑫ 延長パイプブラケット(イーヤ穴部)

i 引張応力評価

引張応力が，許容引張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 支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

iv 溶接部せん断応力評価

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。



v 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑮ ピン

i 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。

ii 曲げ応力評価

⑯ ボールねじ

i 引張応力評価

引張応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

全長座屈(ストローク 125mm 考慮)

NMB 型の座屈評価においては、簡易的かつ保守的な評価とするため、全長 L に渡って座屈最弱部位の断面と仮定して評価を行う。

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。

・許容圧縮応力

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

全長座屈(ストローク 250mm 考慮)

NMB 型の座屈評価においては、簡易的かつ保守的な評価とするため、全長 L に渡って座屈最弱部位の断面と仮定して評価を行う。

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。

・許容圧縮応力

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

付属部品（クランプ及びクレビス）の強度計算例

クランプ及びクレビスは、メカニカルスナッパ本体ではなく、メカニカルスナッパの付属部品として扱う。クランプ及びクレビスは、メカニカルスナッパ本体の型式とは別に、支持する配管や設置場所の条件によってサイズが異なるため、メカニカルスナッパ本体とは別に評価を実施する。具体的には、 S_d 及び S_s により発生するメカニカルスナッパの地震荷重（配管反力）に対しそれぞれの部品毎に構造強度評価を行い、J E A G 4 6 0 1のその他の支持構造物の許容応力状態Ⅲ_{AS}及びⅣ_{AS}の許容応力を満足することを確認している。

クランプ及びクレビスの強度評価式及び強度評価例（型式：SMS-10）を以下に示す。

(1) SMS 型メカニカルスナッパにおけるクランプの強度評価式

i 引張応力評価

引張応力が、許容引張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 支圧応力評価

支圧応力が、許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 1 SMS 型メカニカルスナップのクランプ強度評価における記号の定義

記号	定義	単位
A_p	支圧応力計算に用いる断面積	mm^2
A_s	せん断応力計算に用いる断面積	mm^2
A_t	引張応力計算に用いる断面積	mm^2
B	クランプ穴部せん断断面寸法	mm
C	クランプ引張断面寸法	mm
D	クランプ穴径	mm
d	ピン径	mm
F_p	支圧応力	MPa
F_s	せん断応力	MPa
F_t	引張応力	MPa
P	定格荷重	N
T	クランプ板厚	mm

(2) SMS 型メカニカルスナップにおけるクランプの強度評価結果

表 2 に SMS 型の応力評価結果を示す。全ての発生応力が許容応力以下であり、クランプの耐震性が確保されることを確認した。また、クランプの許容応力を許容限界 IV_{AS} の許容応力に相当する荷重に換算し、メカニカルスナップ本体の許容限界 IV_{AS} の許容応力に相当する荷重と比較した結果、クランプの許容限界 IV_{AS} の許容応力に相当する荷重が大きいいため、クランプの強度がメカニカルスナップ本体の構造強度評価結果に影響を及ぼさないことを確認した。

表 2 SMS 型メカニカルスナップのクランプ強度評価例（型式：SMS-10）

配管 口径*1	基準地 震動 S _s 地震 荷重 [kN]*2	引張応力		せん断応力		支圧応力		クラン プ評価 許容限 界IV _{AS} の許容 応力に 相当す る荷重 [kN] (A)*3	本体の 構造強 度評価 許容限 界IV _{AS} の許容 応力に 相当す る荷重 [kN] (B)	荷重 比較 (A/B)
		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]			
250A	184.7	37		37		124				
300A	186.7	37		38		125				
350A	175.1	35		35		117				
500A	164.8	26		26		86				
600A	151.7	24		24		79				

注記*1：詳細評価対象支持点の配管口径を抽出。

*2：同じ配管口径の地震荷重のうち最大値を記載。

*3：強度評価式のうち最小裕度の評価項目より算出。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) NMB 型メカニカルスナップにおけるクレビスの強度評価式

i X-X 軸に関する曲げ応力評価

曲げ応力が，許容曲げ応力以下であることを確認する。

ii Y-Y 軸に関する曲げ応力評価

曲げ応力が，許容曲げ応力以下であることを確認する。

iii 引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

iv 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。

v 組合せ応力評価

組合せ応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

ここで，

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

vi アイ部引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

vii アイ部せん断応力評価

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。

viii アイ部支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3 NMB 型メカニカルスナップのクレビス強度評価における記号の定義

記号	定義	単位
A	応力計算に用いる断面積	mm ²
D	ピン径	mm
DH	ピン穴径	mm
F B X	曲げ応力	MPa
F B Y		
F P	支圧応力	MPa
F R	組合せ応力	MPa
F T	引張応力	MPa
F V	せん断応力	MPa
L	穴中心軸から付根までの深さ	mm
L P	クレビス内幅	mm
P	発生荷重	N
S	クレビス幅	mm
T	クレビス板厚	mm
α	取り付け角度	deg
θ		

(4) NMB 型メカニカルスナップにおけるクレビスの強度評価結果

表 4 に NMB 型における応力評価結果を示す。全ての発生応力が許容応力以下であり、クランプの耐震性が確保されることを確認した。また、クレビスの許容応力を許容限界 IV_{AS} の許容応力に相当する荷重に換算し、メカニカルスナップ本体の許容限界 IV_{AS} の許容応力に相当する荷重と比較した結果、クレビスの許容限界 IV_{AS} の許容応力に相当する荷重が大きいため、クレビスの強度がメカニカルスナップ本体の構造強度評価結果に影響を及ぼさないことを確認した。

表4 NMB型メカニカルスナップのクレビス強度評価例(1/2)

メカニカルスナップ型式*1	基準地震動 S _s 地震荷重*2 [kN]	本体									
		曲げ応力		曲げ応力		引張応力		せん断応力		合成応力	
		発生 応力 F _{BX} [MPa]	許容 応力 f _b [MPa]	発生 応力 F _{BY} [MPa]	許容 応力 f _b [MPa]	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 _R [MPa]	許容 応力 f _t [MPa]
NMB-030	50.1	32		6		6		26		63	
NMB-075	120.9	34		6		6		26		65	

表4 NMB型メカニカルスナップのクレビス強度評価例(2/2)

メカニカルスナップ型式*1	基準地震動 S _s 地震荷重*2 [kN]	アイ部						クレビス評価 許容限界IV _A S の許容応力に 相当する荷重 *3 [kN]	本体の構造強 度評価 許容限界IV _A S の許容応力に 相当する荷重 [kN] (B)	荷重比較 (A/B)
		引張応力		せん断応力		合成応力				
		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 _R [MPa]	許容 応力 f _t [MPa]			
NMB-030	50.1	37		37		92				
NMB-075	120.9	39		39		78				

注記*1：当該型式で使用するクレビスの代表サイズにて評価。

*2：同じ配管口径の地震荷重のうち最大値を記載。

*3：強度評価式のうち最小裕度の評価項目より算出。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

メカニカルスナップの電力共同研究の概要

1. はじめに

本資料では、今回工認で参照した既往知見である「平成 12 年度 共同研究報告書 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究(Phase2)」(以下、「電共研」)の概要について説明する。

2. 研究の目的

原子力安全委員会は、平成 7 年の兵庫県南部地震を踏まえ耐震設計審査指針の妥当性が損なわれないことを確認したが、同時に耐震安全性に対する信頼性の向上を求めている。また、地震学会や建築学会においても地震学の知見、耐震設計等が議論されており、特に敷地近傍の活断層による地震動の評価、直下地震の考え方等の地震学の新知見を、耐震設計関連指針に取り込むべきとの議論もあった。さらに、建築基準法の改正、動的な上下地震動の評価等の周辺状況を鑑み、耐震設計関連指針の改訂を総合的に検討する必要が生じていた。

そこで、本電共研では、「共同研究報告書 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究(Phase1)」(以下、「Phase1 研究」という)の研究成果を踏まえ、耐震設計関連の法規、指針類との整合性の検討を行うとともに、耐震設計評価手法の総合的検討を行っている。

具体的な実施内容は以下のとおりである。

耐震設計評価手法の総合的検討

a. 架構類の耐震評価法の検討

配管系の耐震評価法のうち、特に架構類の合理的な許容応力体系を構築するとともに、バックチェック評価法としてスナップの実力の耐力値を把握するために以下の検討を実施する。

(a) 既往研究の調査

スナップの実力の耐力値及び架構類の許容応力緩和に関する既往研究を調査する。

(b) スナップ限界耐力評価法の検討

スナップの破壊試験により、スナップの実力の耐力値を明らかにするとともに、メーカーが従来から用いている設計手法が、スナップの許容限界(定格荷重)を超える荷重に対して適用できるかどうかを確認し、構造強度及び機能維持の面からのスナップ限界耐力評価法を策定する。

(c) 架構類の許容応力体系の構築

架構類の弾塑性挙動を考慮した許容応力基準案を作成し、策定のための課題を抽出する。

b. 耐震設計評価手法の総合的検討

a. 項で抽出された課題を検討するとともに、構築された新しい耐震評価手法に対して、それが有する信頼性、裕度、実設計上の変更ポイント等について評価を実施し、現行指針との比較評価を実施する。

以降では、電共研における上記の取り組みのうち、a. (b) スナッパ限界耐力評価法の検討におけるメカニカルスナッパについての検討の概要をまとめる。

3. メカニカルスナッパ限界耐力評価法の策定方針

メカニカルスナッパの異常要因分析等に基づき試験対象として選定されたメカニカルスナッパの破壊試験により、メカニカルスナッパの実力の耐力値を明らかにするとともに、メーカーが従来から用いている設計手法が、メカニカルスナッパの許容限界（定格荷重）を超える荷重に対して適用できるかどうかを確認し、構造強度及び機能維持の面からのメカニカルスナッパ限界耐力評価法を策定する。

メカニカルスナッパ限界耐力評価法策定のための検討フローを図 4-1-1 に示す。フローの(5)メカニカルスナッパの構造・強度の観点からの裕度推定にあたっては、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力体系を用いており、機能維持の観点からの裕度推定にあたっては、部品メーカーの許容値の考え方を参考値として用いている。

また、フローの(8)予想耐力*と試験結果（耐力確認荷重）の比較及び(9)～(10)限界耐力評価法の見直しに関して、概念図を図 4-1-2 に示す。図のとおり、耐力確認荷重が最小裕度部位の予想耐力を上回る結果となった場合は予想耐力を上方修正するよう限界耐力評価法を見直し、耐力確認荷重が最小裕度部位の予想耐力を下回る結果となった場合又は想定していなかった部位が破損ないし機能喪失した場合は予想耐力を下方修正するよう限界耐力評価法を見直す。

注記*：用語の定義 No. 15 参照

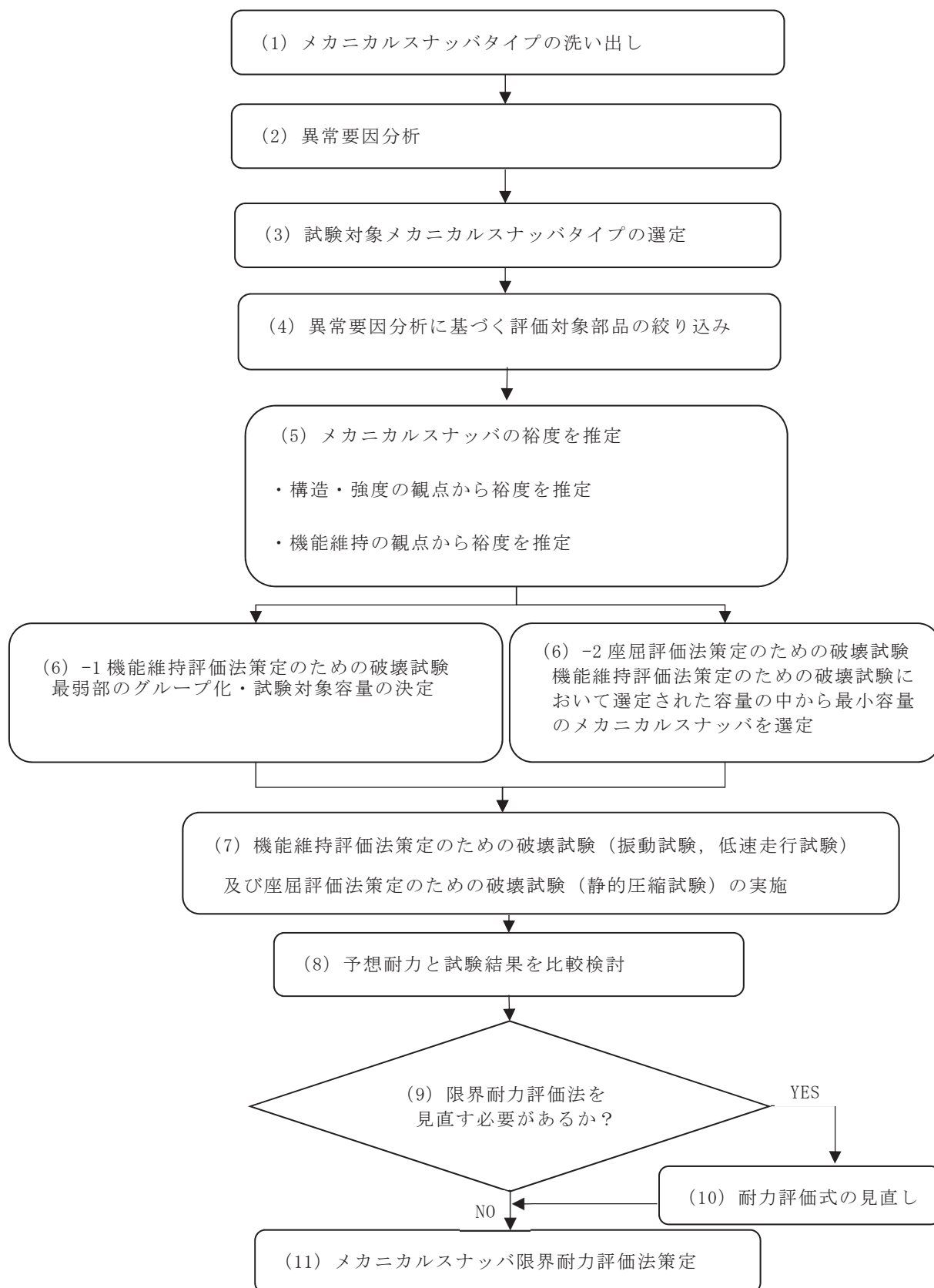


図 4-1-1 メカニカルスナップ限界耐力評価法策定フロー

	机上計算による 予想耐力算出	試験における耐力確認 荷重の確認	限界耐力値の設定
耐力確認荷重が 予想耐力を上回 った場合	予想耐力	耐力確認荷重	限界耐力値 ↑ 予想耐力を 上方修正
耐力確認荷重が 予想耐力を下回 った場合、又は 想定していなか った部位が破損 ないし機能喪失 した場合	予想耐力	耐力確認荷重	↓ 予想耐力を 下方修正 限界耐力値

図 4-1-2 限界耐力評価法の見直し方針の概要図

ここで、試験で確認した耐力確認荷重が予想耐力を下回った場合又は想定していなかった部位が破損ないし機能喪失した場合（上図の下段）は、予想耐力の算出に用いた応力算出式又は評価部位・評価項目が試験結果にあっていないと考えられる。したがって、応力算出式又は評価項目を見直すことにより適切な限界耐力評価式を策定する。また、許容応力についてもミルシート記載の設計引張強さ（Su）から算出した値を用いて、試験結果と比較して適切な限界耐力値を設定する。

なお、試験において実際に耐力確認荷重が予想耐力を下回ったことにより評価式又は評価項目を見直した部位を、「4.5.1 予想耐力との比較等による破壊試験結果の考察」の中の「(2) 予想耐力より下回って破損または機能喪失した部位」及び「(3) 想定していなかった部位が破損ないし機能喪失した場合」に示している。

また許容応力を J E A G 4 6 0 1 に基づく値から見直した部位については、別紙 4 の添付-4 の表 1 及び表 2 に示す。

4. メカニカルスナッパ破壊試験

4.1 破壊試験対象のメカニカルスナッパの選定（図 4-1-1 フロー（1）～（6））

電共研当時、日本における PWR, BWR のプラントにおけるメカニカルスナッパ使用状況が調査され、SMS 型 及び NMB 型 のタイプが洗い出された。それらの構造図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。以降、これらを対象に試験対象の選定について説明する。



図 4-2 SMS 型メカニカルスナッパ構造図



図 4-3 NMB 型メカニカルスナッパ構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.1.1 異常要因分析を踏まえた破壊試験における評価対象選定の基本的な考え方

メカニカルスナッパの破壊試験における評価項目を明らかにするために異常要因分析を実施した。

その結果、SMS 型、NMB 型ともに図 4-4 の異常要因モードで概ね代表できること、及び異常要因モードとして以下の 2 つがあるため、破壊試験における評価項目として、構造部材の強度評価および機能部品の機能評価が必要であることが確認された。

- ・地震時の機能要求に対し、配管系応答過大に伴う構造部材および機能部品の損傷によるメカニカルスナッパ支持機能喪失
- ・地震後の作動と性能確保要求に対し、低速走行抵抗力増大に伴う構造部材および機能部品の損傷によるメカニカルスナッパ機能喪失

また、構造部材および機能部品の損傷として、構造部材の変形やボールねじ機能喪失等に加えてメカニカルスナッパの座屈が考えられることから、メカニカルスナッパの地震時および地震後の機能を確認するための「機能維持評価法策定のための破壊試験」に加えて「座屈評価法策定のための破壊試験」を行うこととした。

両タイプについて、異常要因分析を踏まえて破壊試験における評価対象となる部位（構造部材と機能部品からなる評価対象部品）の一覧を表 4-1 及び表 4-2 に示す。両タイプを対比した結果、構造部材と機能部品の構成部品は概ね同様であることから、一方のタイプについて限界耐力評価法を策定すれば、他のタイプへ展開可能であることを確認した。そのことから、SMS 型の破壊試験結果に基づき限界耐力評価法を策定し、NMB 型への適用性を確認することとした。なお、電共研では NMB 型の破壊試験も実施している。

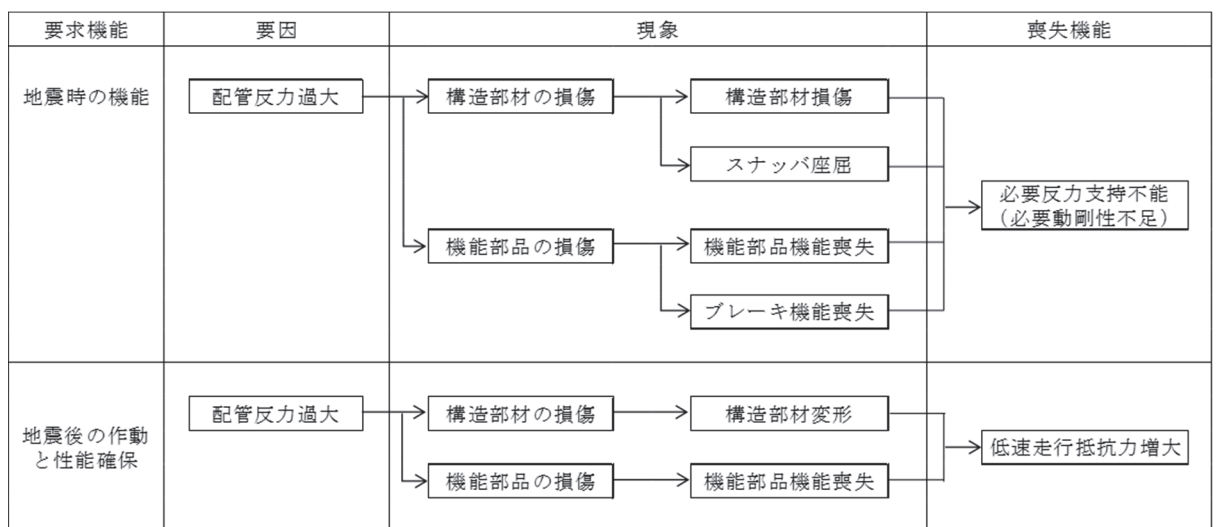


図 4-4 メカニカルスナッパ異常要因モード

表 4-1 SMS 型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①ダイレクトアタッチブラケット	○	-
②ジャンクションコラムアダプタ	○	-
③ロードコラム	○	-
⑤ピン	○	-
⑥コネクティングチューブ	○	-
⑦-1 ベアリングケース	○	-
⑦-2 ベアリング押え	○	-
⑦-3 六角ボルト	○	-
⑧イーヤ	○	-
⑨ユニバーサルボックス	○	-
⑩ユニバーサルブラケット	○	-
⑫ベアリングナット	○	-
⑬ボールネジ	- *	○*
⑭アンギュラー玉軸受	-	○
⑮球面軸受	-	○

注記*：ボールネジは機能部品だが比較的単純な構造のため、
機能評価及び構造部材と同様の強度評価も実施する。

表 4-2 NMB 型メカニカルスナッパの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品
①リアブラケット	○	-
②セットボルト	○	-
③ケース	○	-
④ベアリングシート	○	-
⑤ベアリングボックス	○	-
⑥スリーブ	○	-
⑦カラー	○	-
⑧ロードシリンダ	○	-
⑨ターンバックル	○	-
⑩エンドプラグ	○	-
⑪延長パイプキット	○	-
⑫延長パイプブラケット	○	-
⑮ピン	○	-
⑯ボールねじ	- *	○*
⑰球面軸受	-	○
⑱転がり軸受	-	○

注記* : ボールねじは機能部品だが比較的単純な構造のため、
機能評価及び構造部材と同様の強度評価も実施する

4.1.2 機能維持評価法策定のための破壊試験対象型式の選定

SMS 型の各型式を対象に、構造部材の強度評価または機能部品の機能評価の観点から、破壊試験における評価対象となる構造部材と機能部品の予想耐力を推定した上で、座屈を除く裕度（予想耐力／定格容量）を推定した。

さらに、各型式で裕度が最小の部品を特定し、最小裕度部品が同じ型式でグループ化を行った（最弱部のグループ化）。なお、ここでは予想耐力による最小裕度部品をもとにグループ化しているため、後述する限界耐力評価法による最小裕度部品とは一部異なる。

各型式の最小裕度部品の特定結果を表 4-3 に示す。（部品ごとの耐力値*一覧表は添付-1 参照）

注記*：各部品に対し耐力評価式を用いて算出した限界耐力値を示す。

表 4-3 SMS 型メカニカルスナッパの最小裕度部品

型式	最小裕度部品
SMS-01, SMS-03	六角ボルト
SMS-06, SMS-3, SMS-16	ボールネジ
SMS-1	コネクティングチューブ
SMS-6	ベアリングナット
SMS-10, SMS-25, SMS-40, SMS-60	ダイレクトアタッチブラケット（ピン）、 ユニバーサルブラケット（ピン）

破壊試験対象型式は、原則として上記のとおりグループ化した各グループのうち、最小容量の型式として以下のとおり選定した。なお、各型式の試験体は 1 体とし、SMS-3 のみ試験のばらつきを確認するために 3 体とした。

なお、ばらつきの確認は最小裕度部位、耐力確認荷重が異なる試験体間で同様の結果となることを確認するために実施するものであり、破損時の荷重（最大負荷荷重）のばらつきを評価するためのものではない。

- SMS-03（定格荷重 0.3ton）
- SMS-1（定格荷重 1.0ton）
- SMS-3（定格荷重 3.0ton）
- SMS-6（定格荷重 6.0ton）
- SMS-10（定格荷重 10.0ton）

4.1.3 座屈評価法策定のための破壊試験対象型式の選定

座屈評価法のための破壊試験対象型式は、試験装置の制約があるため、機能維持評価法策定のための破壊試験において選定された容量の中から最小容量の型式として以下のとおり選定した。

座屈評価法のための破壊試験は静的試験であり結果にばらつきがでにくいこと、座屈強度はメカニカルスナップの基本構造と寸法から決まること、基本構造はどの型式も同じであることから、材料力学の考え方にに基づき試験結果を他の型式に展開できるため、代表として試験体は1体とした。

- ・SMS-03（定格荷重 0.3ton）

ピン間長さ：標準寸法の範囲のうち最大寸法

4.2 破壊試験における試験項目（図 4-1-1 フロー（7））

4.2.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

メカニカルスナップが地震時及び地震後に維持しなければならない機能は以下のとおりである。

地震時：メカニカルスナップの動剛性が判定基準値以下にならないこと

地震後：地震後のプラント停止時の配管内部流体の温度変動による配管熱移動を拘束しないこと

上記の機能を確認するための試験項目を以下のとおりとした。

地震時の機能維持確認：振動試験

地震後の機能維持確認：低速走行試験

4.2.2 座屈評価法策定のための破壊試験

試験項目としては、静的圧縮試験とした。

4.3 破壊試験における試験内容（図 4-1-1 フロー（7））

4.3.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

ある荷重レベルの振動試験とその後の低速走行試験を 1 パッケージの試験として、メカニカルスナップの機能が維持できなくなった加振荷重レベルまで加振荷重を段階的に増加させて試験を実施した。目標加振荷重レベルを表 4-4 に示す。

表 4-4 SMS 型メカニカルスナップの目標加振荷重レベル（単位：kgf）

型式	SMS-03	SMS-1	SMS-3	SMS-6	SMS-10
目標加振 荷重レベル (段階的に 増加)	300	1000	3000	6000	10000
	450	1500	4500	9000	15000
	1000	2500	6000	12000	17000
	1500	3500	7000	15000	20000
	1800	4500	8000	17000	24000
	2000	5500	9000	18600	28000
			7000	10000	22000

(1) 振動試験

(a) 試験方法

試験体を実機での据付状態と同様に両端をピン拘束とした状態で振動試験機に取り付け、ストローク 1/2（中央）の位置で 9Hz の振動数で約 10 秒間加振し、データレコーダで記録した（正弦波を 100 波入力）。

なお、加振条件は、一般的な配管系で卓越する固有振動数である 9Hz で、応答が安定する秒数として 10 秒を目安として設定している。対象設備において卓越する固有振動数を基準に加振条件を決める考え方は、他の一般的な機器の振動試験と同様の考え方となっている。

試験は変位制御とし、変位を入力することで荷重を発生させた。

(b) 試験装置

振動試験装置の概要を図 4-5 に示す。

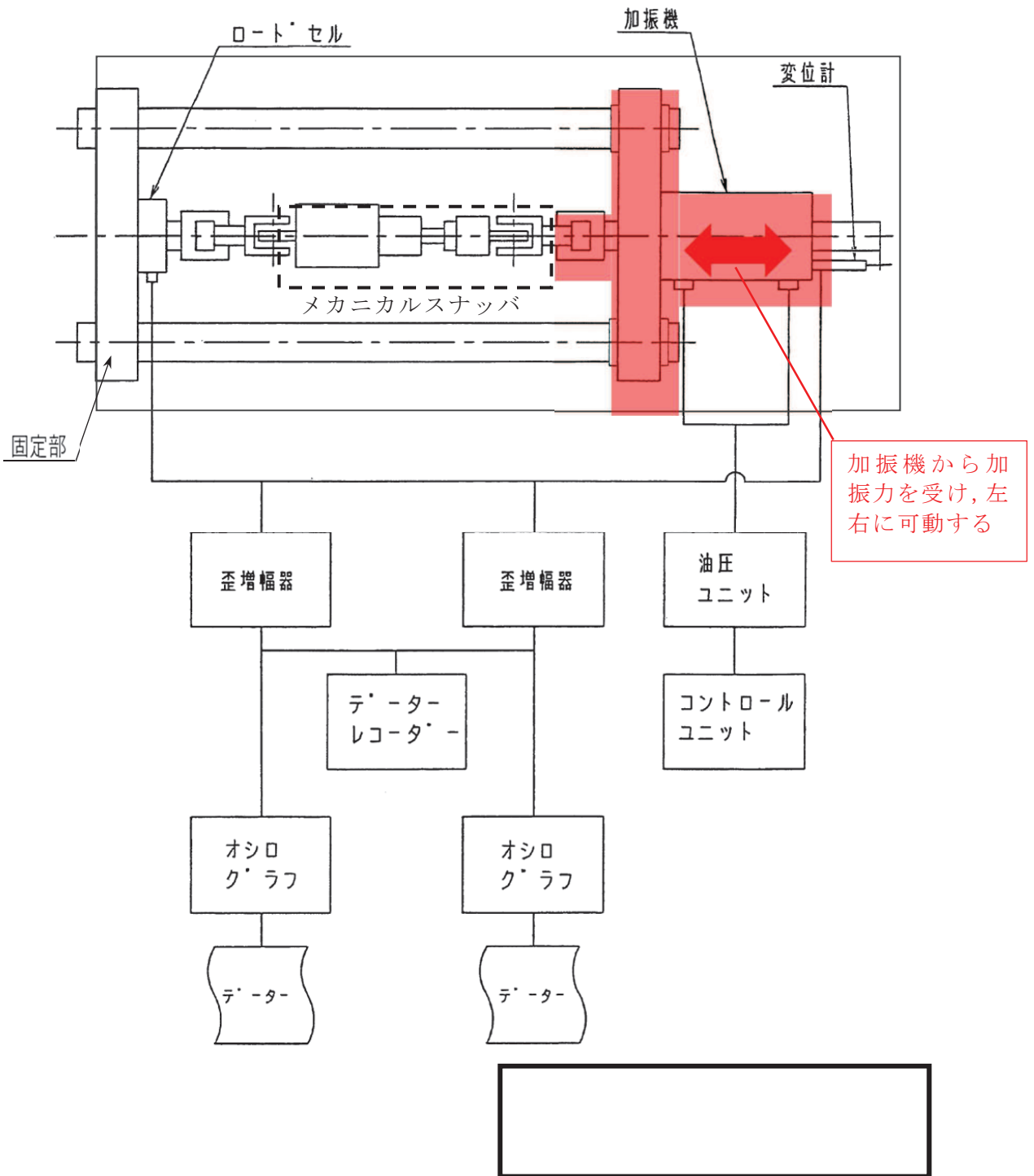


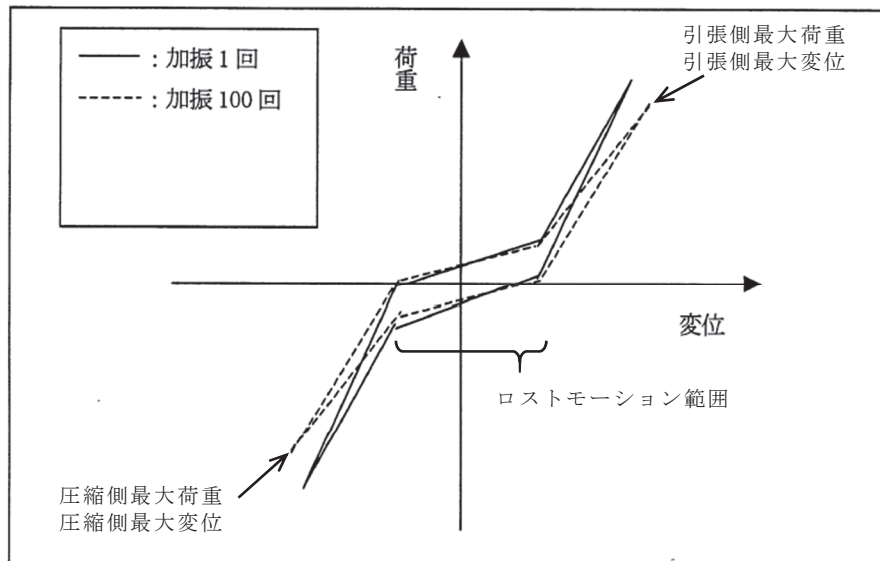
図 4-5 振動試験装置の概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 評価項目

変位制御による正弦波加振で得られるメカニカルスナップの荷重・変位特性から、以下の式で動剛性を求め、必要動剛性が確保されているかについて評価した。動剛性の計算例を以下の図に示す。動剛性の判定基準値は表 4-5 のとおり。また、試験結果から得られた動剛性の値は、表 4-7-2 に示す。

動剛性 =



(参考) メカニカルスナップの荷重・変位特性イメージ

(参考) 荷重・変位特性からの動剛性計算例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-5 振動試験中の動剛性（動ばね定数）判定基準値

定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN
動ばね定数					

(2) 低速走行試験

(a) 試験方法

試験体を低速走行試験機に両端をピン拘束とした状態でとりつけ、2.1 mm/sec の速度で試験体を伸縮させたときの抵抗力を測定・記録する。

(b) 試験装置

低速走行試験装置の概要を図 4-6 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

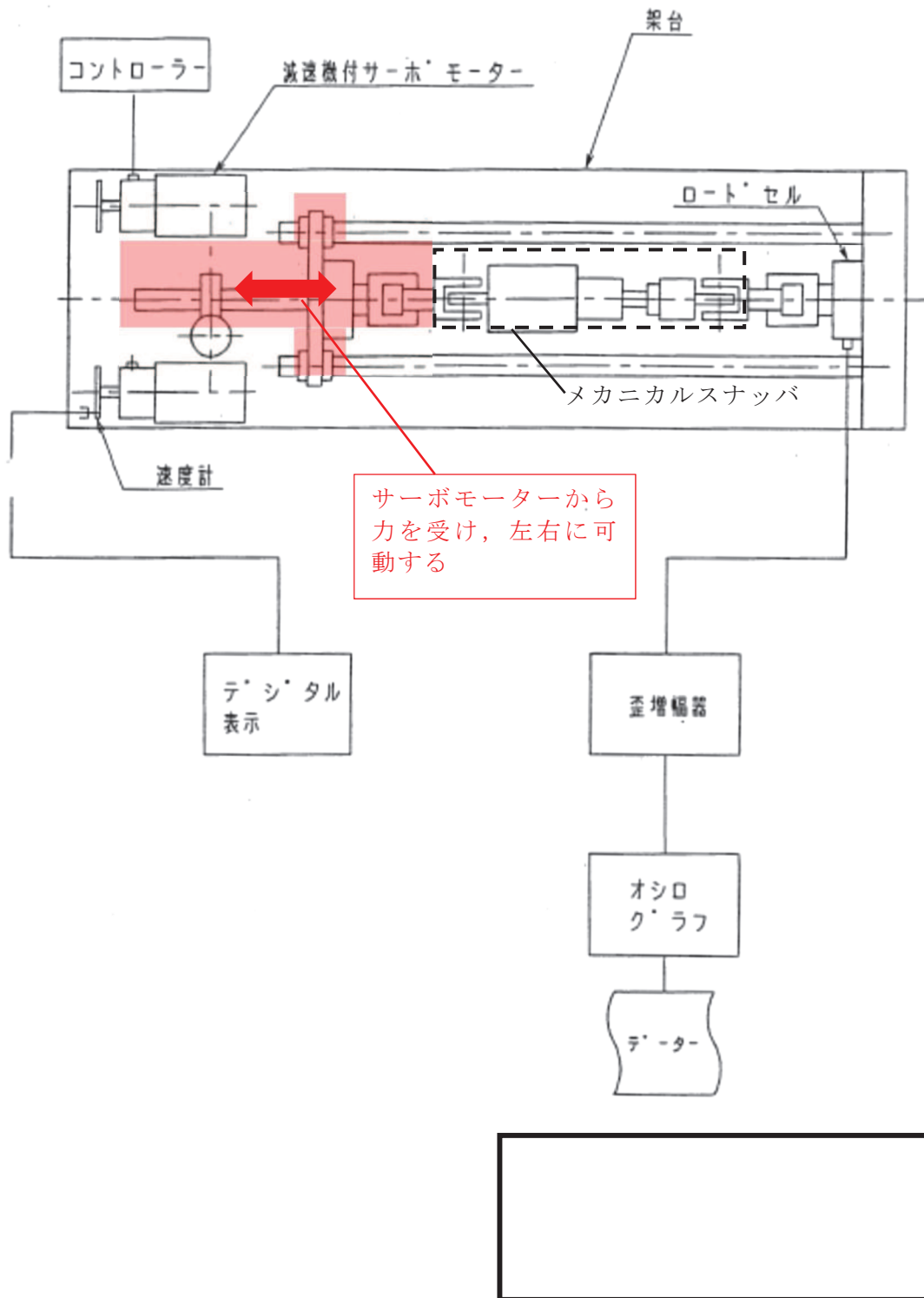


図 4-6 低速走行試験装置の概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 評価項目

低速走行試験中の抵抗力測定結果が判定基準値を満足しているかどうかを評価する。抵抗力の判定基準値は表 4-6 のとおり。

表 4-6 低速走行試験中の抵抗力の判定基準値

定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN
抵抗力					

4.3.2 座屈評価法策定のための破壊試験

(1) 静的圧縮試験

(a) 試験方法

試験体を低速走行試験機に両端をピン拘束とした状態でとりつけ、圧縮方向に変位を入力し、発生する荷重を記録する。変位の入力は本体が座屈するまで入力する。

(b) 試験装置概要

座屈試験の装置概要を図 4-7 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

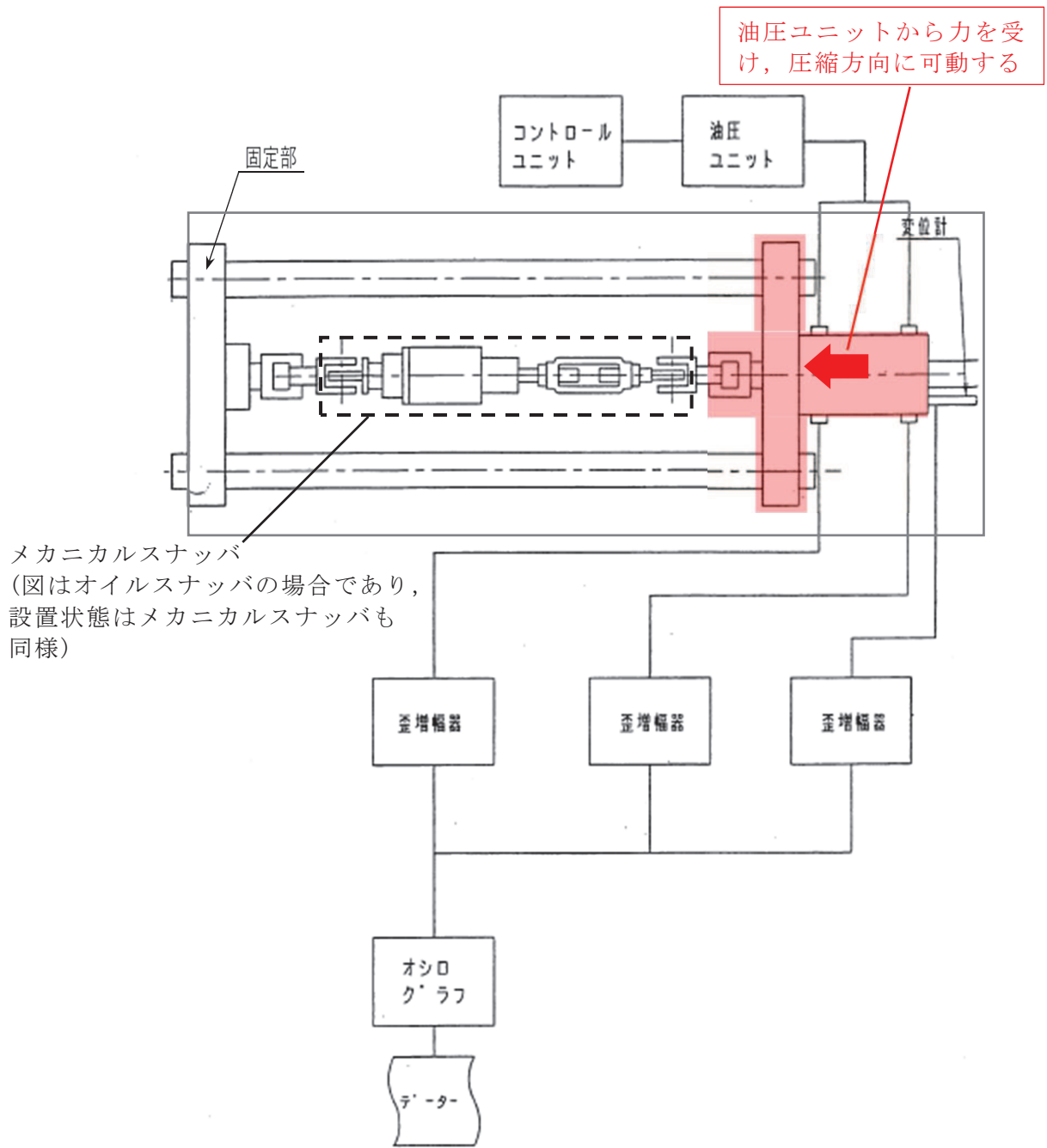


図 4-7 座屈試験装置の概要

(c) 評価項目

試験によって得られた座屈荷重と計算上求められる座屈荷重とを比較し、その結果を座屈評価法へ反映させた。(別紙 3 2.1 ⑭ 座屈評価 参照)

4.4 破壊試験結果（図 4-1-1 フロー（7））

4.4.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

メカニカルスナッパが損傷し機能が維持できなくなったと判断した際の荷重（最大負荷荷重）と破損箇所及び耐力確認荷重（破損または機能喪失が確認される前の試験条件における最大荷重）等をまとめた結果を表 4-7-1 に示す。また、これらの詳細データは、添付-2 に示す。なお、最大負荷荷重及び耐力確認荷重は、以下の観点から試験結果より読み取った。

- ① 破損したサイクル（9Hz，10 秒間）での荷重履歴から耐力確認荷重を読み取る時、破損時までに荷重が定常状態にならないものは、破損前の荷重サイクルの履歴から耐力確認荷重を読み取った。
- ② 最大負荷荷重は破損したサイクルの破損に至る前の最大荷重を読み取った。
- ③ メカニカルスナッパの加振サイクル初期の 1 波で発生する最大荷重は最大荷重とみなさないこととした。

また、各試験ケースにおける動剛性及び抵抗力（低速走行時抵抗値）の判定結果を表 4-7-2 に示す。表のとおり、SMS-1 の供試体 1-1 の抵抗力（低速走行時抵抗値）を除き、破損ケースであっても動剛性及び抵抗力（低速走行時抵抗値）は判定基準を満足している。

4.4.2 座屈評価法策定のための破壊試験

静的座屈試験を実施した結果を表 4-7-1 に合わせて示す。同じく詳細データは添付-2 に示す。

表 4-7-1 試験結果まとめ表

--

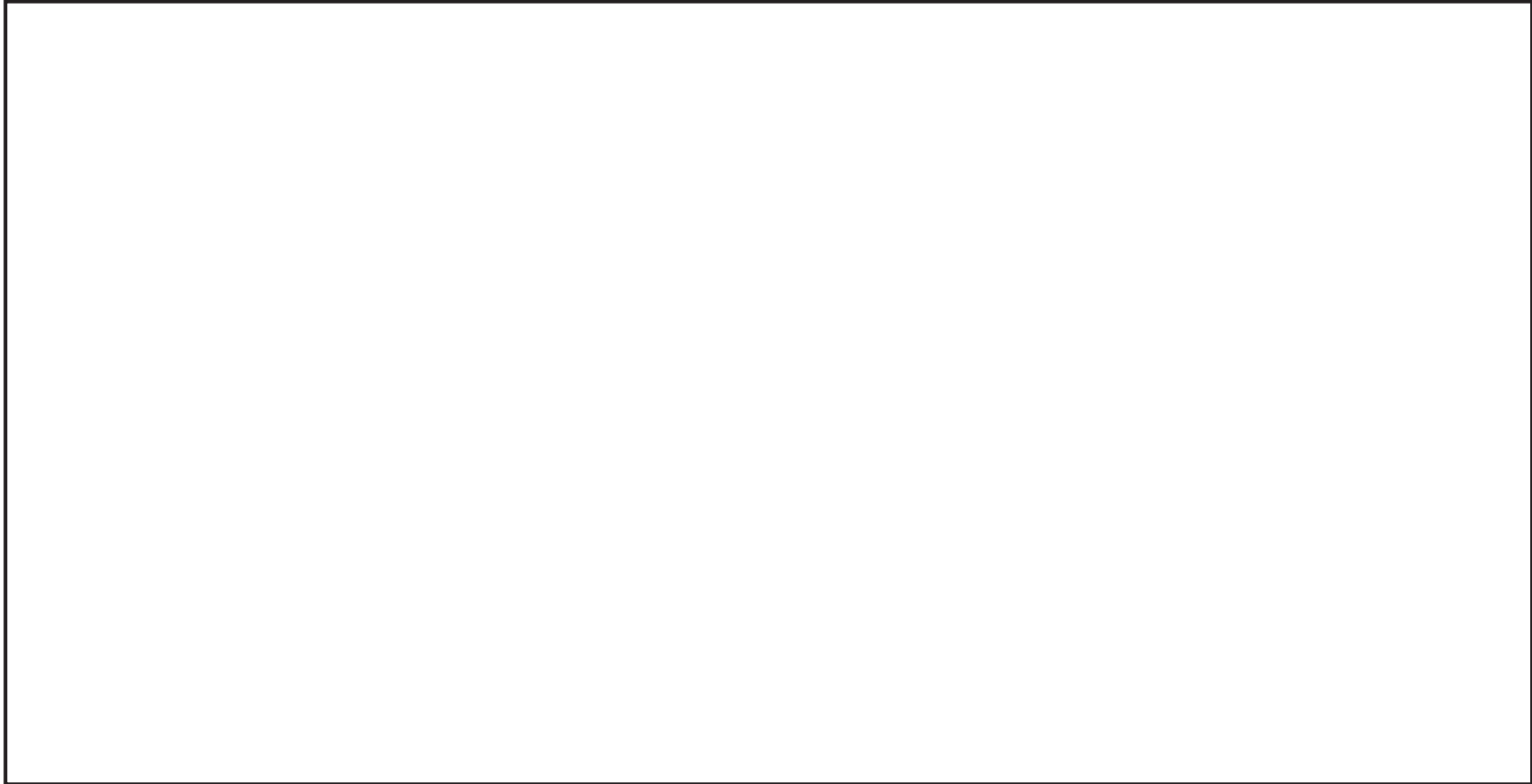
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-7-2 各試験ケースにおける判定結果 (1/4)

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-7-2 各試験ケースにおける判定結果 (2/4)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-7-2 各試験ケースにおける判定結果 (3/4)

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-7-2 各試験ケースにおける判定結果 (4/4)

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 破壊試験結果の考察（図 4-1-1 フロー（8）～（10））

破壊試験結果より、公称応力による予想耐力と破壊試験で得られた耐力確認荷重（破損または機能喪失が確認される前の試験条件における最大荷重）との関係を比較・整理し考察を行うとともに、破壊試験の再現性について球面軸受に着目した確認を行った。

4.5.1 予想耐力との比較等による破壊試験結果の考察

評価対象部位について、破壊試験結果から得られる耐力確認荷重を予想耐力と比較し、以下のように大別した。

- (1) 耐力確認荷重が予想耐力を上回った場合（図 4-1-2 の上段の場合）
- (2) 耐力確認荷重が予想耐力を下回った場合（図 4-1-2 の下段の場合）
- (3) 想定していなかった部位が破損ないし機能喪失した場合（図 4-1-2 の下段の場合）
これらについて、考察の上、限界耐力評価法に反映した。

(1) 耐力確認荷重が予想耐力を上回った場合

公称応力による予想耐力を超えても破損せず、耐力確認荷重が予想耐力を上回った部位は、予想耐力を求めた評価式に保守性があると考えられるため、評価式を限界耐力評価法として採用するにあたり、その保守性を低減することが可能と考えられる。

耐力確認荷重が予想耐力を上回った部位について、公称応力により部位ごとに計算した予想耐力（表 4-8 の「評価耐力*1」）、使用材料のミルシート強度や構造を考慮して部位ごとに計算した実耐力*2（表 4-8 の「実耐力」）及び試験で得られた最大負荷荷重（表 4-8 の「最大荷重」）と比較したものを表 4-8 にまとめた。赤枠で示すとおり、最大負荷荷重が予想耐力（表 4-8 の「評価耐力」）を上回っている。なお、一部の予想耐力は最大負荷荷重を上回っているが、評価式における最大応力を平均応力に見直した場合の影響を比較するために記載している。

これらのうち、予想耐力に対して試験で確認できた最大負荷荷重が余裕を有するものについては、限界耐力評価法を見直した。見直したものについて以降で説明する。

予想耐力を最大負荷荷重が上回った理由は、主に以下の仮定で予想耐力を算出していたためである。

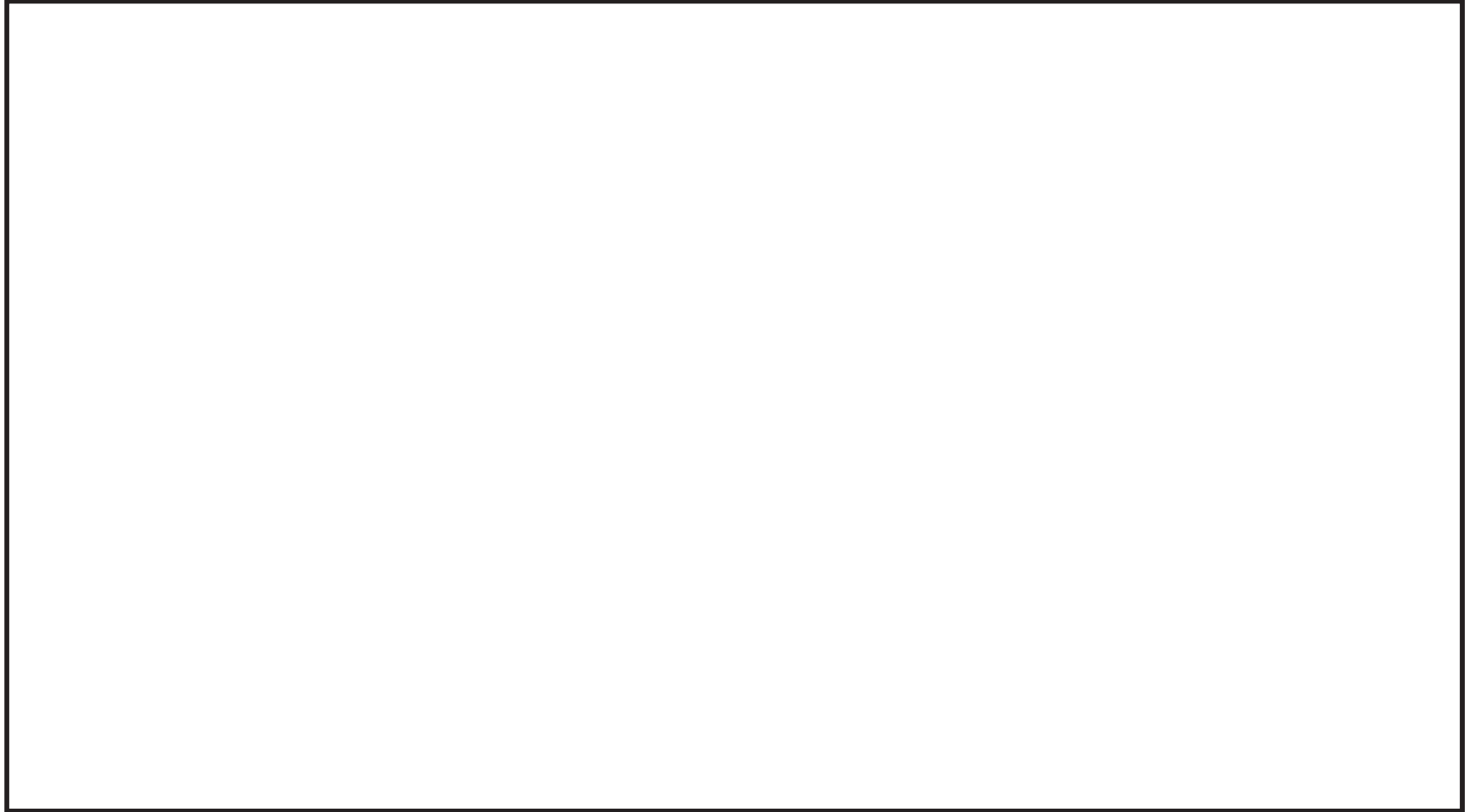
- a. 材料の許容値を引張り強さ (Su) の 0.7 倍または降伏点 (Sy) の 1.2 倍のいずれか小なる値としていたこと
- b. 断面積の算定を安全側にしていたこと
- c. せん断について平均応力でなく最大応力で評価していたこと

これらのうち、予想耐力に対し最大負荷荷重が大きなものに関しては予想耐力の耐力評価式を見直すこととする。

注記*1：用語の定義 No. 22 参照

*2：用語の定義 No. 23 参照

表 4-8 公称応力による予想耐力を超えても破損しなかった部位のまとめ表*1 (1/2)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-8 公称応力による予想耐力を超えても破損しなかった部位のまとめ表*1 (2/2)

--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

⑤六角ボルト（番号は表 4-8 の番号に合わせて記載）

六角ボルトに関して、SMS-03 の試験結果の最大荷重 2,930kgf は材料許容値を引張強さ(Su)の 1.0 倍としてネジ部の有効断面積より算出した使用材料強度による実耐力 2,940kgf に対してほぼ同一の値である。また、SMS-3 の試験結果から、最大荷重 15,145kgf であり、使用材料強度による実耐力 18,278kgf の 0.83 倍である。

このことから、メカニカルスナップの六角ボルトの限界耐力値の評価式を以下の式に見直すこととする。

$$F=0.8 \times Su \times A$$

ここで、

0.8 : 補正係数

Su : 引張強さ

A : ネジ部の有効断面積

⑬ ボールネジ（番号は表 4-8 の番号に合わせて記載）

SMS-3 の試験結果の最大荷重 10,012kgf は材料許容値を引張強さ(Su)の 1.0 倍とし、シャフトの断面積からキー溝の面積を差し引いた面積より算出した使用材料強度による実耐力 14,409kgf に対して 0.7 倍の値である。

このことから、ボールネジの限界耐力値の評価式を以下の式に見直すこととする。

$$F=0.7 \times Su \times A$$

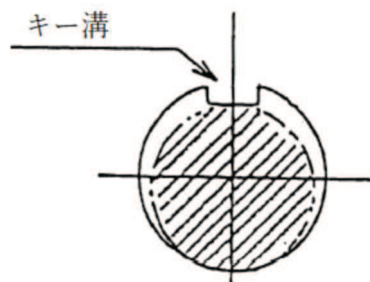
ここで、

0.7 : 補正係数

Su : 引張強さ

A : シャフトの断面積からキー溝の面積を差し引いた面積*又は谷径断面積の smaller 値

注記* : シャフトのキー溝がある範囲の断面積は、予想耐力算出時は簡易的に「キー溝部の内接円の面積（下図の斜線部）」としていたが、試験結果を踏まえた見直しに伴い、「シャフト径の断面積からキー溝の面積を差し引いた面積（下図全体）」とする。



⑧, ⑩ピン（せん断）（番号は表 4-8 の番号に合わせて記載）

ユニバーサルブラケット及びダイレクトアタッチブラケットのピンのせん断に関し、SMS-3 の試験結果の最大荷重を見ると平均応力より算出した使用材料強度による実耐力に比べ 0.77 倍の値である。

このことから、ピン（せん断）の限界耐力値の評価式を以下の式に見直すこととする。

$$F=0.7 \times (Su/\sqrt{3}) \times A$$

ここで、

0.7 : 補正係数

Su : 引張強さ

A : ピンの断面積（2面せん断）

(2) 耐力確認荷重が予想耐力を下回った場合

耐力確認荷重が予想耐力を下回った評価項目としては、座屈耐力が該当する。

メカニカルスナップの計算座屈荷重と静的座屈試験から得られた試験座屈荷重の比較は以下のとおりである。

試験結果より、計算座屈荷重の [] の荷重にて座屈が発生したことから、SMS タイプのメカニカルスナップにおいては、全ての型式に対して計算座屈荷重の [] を座屈限界耐力と設定し、評価を実施する。

なお SMS 型とは異なる型式のスナップに対しても静的座屈試験を実施しており、それらの結果を踏まえても、計算座屈荷重と試験座屈荷重との比は [] の範囲となっている。計算座屈荷重については計算式から算出され、スナップの基本構造と寸法から決まること、基本構造はどの型式も同じであることから、異なる型式であっても計算座屈荷重と試験座屈荷重の関係は同様になると考えられ、試験のばらつきを考慮しても、本試験結果から設定した評価方法が適用可能と考えられる。



(3) 想定していなかった部位が破損ないし機能喪失した場合

想定していなかった部位が破損ないし機能喪失した場合は以下のように分類される。これらについては、次に説明するとおり、考察を踏まえて限界耐力評価法に反映することとした。

- A. ベアリング押え板の変形
- B. つば付き球面軸受の割れ
- C. アンギュラー玉軸受の損傷

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A. ベアリング押え板の変形

SMS-3 の供試体 No. 3-2 及び SMS-6 の供試体 No. 6-1 においてベアリング押え板が曲げ変形して荷重が伝わらず、スナップの機能を喪失した。当初の評価法は押え板のせん断にて評価していたため、実耐力が大きかったが、曲げ評価に見直すと実耐力が低下する。ベアリング押え板を円板とし曲げで評価した結果と、変形に至った型式の破損荷重を比較すると以下のとおりである。



周辺固定の円板モデルにより実耐力を算出すると、上記の曲げ評価の実耐力(A)の荷重となる。これより、供試体の破損荷重(B)と比較すると計算ベースの実耐力の 0.9 倍以上の耐力である。したがって、ベアリング押え板の限界耐力値は周辺固定条件の円板のベアリング外径に荷重がかかる計算モデルで算出し、補正係数として 0.9 を乗じて求めることとする。以下に本手法で見直したベアリング押え板の限界耐力値及び耐力評価式を示す。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

B. つば付き球面軸受の割れ

つば付き球面軸受の割れは、SMS-3 を含む容量 3ton の型式で発生している。ピンの変形により、球面軸受のつばより割れが発生している。球面軸受けが損傷してもスナッパの機能（支持機能、低速走行機能）は喪失しなかった。ピンの実耐力と最大負荷荷重を比較した結果、最大負荷荷重に対するピンの実耐力は型式 SMS-3 においては 1.09 倍であったが、SMS 以外の型式において、実耐力が最大負荷荷重の 0.88 倍となった結果があることから、球面軸受の限界耐力値は、SMS 以外の型式も含めた最小値とし、ピンの限界耐力値の 0.8 倍として求めることとする。



C. アンギュラー玉軸受の損傷

SMS 型のアンギュラー玉軸受の限界耐力値は、破壊試験の結果を反映し、標準スラスト荷重の 倍とする。

【以下電共研試験報告書抜粋】

(2)-5 メカニカルスナッパのアンギュラー玉軸受の損傷

アンギュラー玉軸受の限界耐力値は標準スラスト荷重を元に試験で決めている。

損傷が発見された型式の標準スラスト荷重と最大負荷荷重を比較すると、以下に示すとおり 倍となっている。以下の表は、試験時にアンギュラー玉軸受に損傷が確認された型式のみを記載しており、SMS-3 及び SMS-6 においてはアンギュラー玉軸受の損傷が確認されなかったため、記載していない。

型式	標準スラスト荷重 (A) [kgf]	最大負荷荷重 (B) [kgf]	B/A
SMS-03	<input type="text"/>		
SMS-1			
SMS-10			

損傷を受けた荷重を最大負荷荷重と考え、アンギュラー玉軸受の限界耐力値は標準スラスト荷重の 倍として求めることとする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

なお、軸受メーカーの設定するアンギュラー玉軸受の標準スラスト荷重よりも、アンギュラー玉軸受が組み込まれたメカニカルスナッパの定格荷重は大きく設定されている。これは、軸受メーカーがアンギュラー玉軸受の標準スラスト荷重を設定した際に想定した使用条件（軸受に常に荷重がかかり、高速で回転し続ける状態）に比べ、メカニカルスナッパのアンギュラー玉軸受の使用条件（短期的にゆっくり回転する）の負荷が小さいためであり、メカニカルスナッパ製造者での確性試験時に、メカニカルスナッパ全体に対する試験を実施して妥当性を確認している。メカニカルスナッパの定格荷重はアンギュラー玉軸受の標準スラスト荷重に対して最大で□倍に設定されていることから、電共研の振動試験結果から得られたアンギュラー玉軸受の限界耐力値（標準スラスト荷重の□倍）は、定格荷重にて適用しているアンギュラー玉軸受の耐力（標準スラスト荷重の□倍）との関係は約□倍となっている。他の機能部品の評価においても、これと同様の考え方で、メカニカルスナッパ全体に対する試験によって機能維持の評価を実施している。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5.2 破壊試験の再現性

再現性を確認するための SMS-3 の試験体 3 体に対する試験では、いずれも球面軸受が破損した。試験体 3 体のうち 1 体（供試体 No. 3-2）はメカニカルスナッパの機能を確認するため、球面軸受が破損しても、更に加振力を上げて試験を実施した。

目標負荷荷重 9,000kgf の加振ケースにて、供試体 No. 3-1, 3-3 は圧縮荷重がそれぞれ 10,497kgf, 9,614kgf となりイヤ側の球面軸受内側が破損しているが、供試体 No. 3-2 の圧縮荷重は 9,410kgf と同等の荷重となった。

供試体 No. 3-2 はそのまま加振力を上げて試験を行った結果、目標負荷荷重 12,000kgf の加振ケースにて、圧縮荷重 13,638kgf 以上の荷重でユニバーサルボックス側のピンが曲がるとともに、イヤ側の球面軸受内側が破損した。

破損のタイミングは異なるが、発生荷重が目標負荷荷重を超えた条件において同じ箇所が破損しているため、これらの試験は再現性を有していると考えられる。

破損時の荷重のばらつきについては、いずれの試験体も目標負荷荷重を超えて破損していること、限界耐力値は確認された耐力確認荷重の最小値に対して、更に低減を考慮して設定されることから、目標負荷荷重を超えて破損した際の荷重のばらつきは限界耐力値の設定には影響しないと考えられる。

また試験に基づき一部の型式で評価式、評価項目等を見直した場合は、他の型式にも当該の評価手法を展開して限界耐力値を算出している。メカニカルスナッパに使用している部品の寸法は型式ごとに異なるが、部品の種類・基本的な構造は同じであるため、一部の型式の試験結果による知見を他の型式にも展開することにより、試験のばらつきを考慮している。

4.6 限界耐力評価法の策定（図 4-1-1 フロー（11））

メカニカルスナッパの機能維持評価法を策定するために実施した振動試験の結果から、表 4-9 に示す異常要因分析の機能喪失要因に対する影響確認方法をもとに、メカニカルスナッパの構造部材については材料力学ベースの強度評価式、機能部品については規格品の選定方法（評価式）を見直し、機能維持面の限界耐力評価式を策定した。

策定した限界耐力評価式は、添付-4 の表 1 及び表 2 それぞれに、電共研の発生応力計算式及び許容応力計算式として示す。また当該の限界耐力評価式から算出された各部材の限界耐力値及び型式ごとの限界耐力値を添付-1 に示す。

電共研にて策定した限界耐力評価法においては、メカニカルスナッパの発生荷重と添付-1 に示す限界耐力値を比較することにより、メカニカルスナッパの構造部材の強度評価及び機能評価を行う。

表 4-9 メカニカルスナッパの機能喪失要因の影響確認方法

要求機能	機能喪失要因	影響確認手法	確認対象
地震時の機能	構造部材損傷	構造強度評価	構造部材
	スナッパ座屈	構造強度評価（座屈）	全体
	機能部品機能喪失	構造強度評価	ボールねじ
		振動試験	機能部品
ブレーキ機能喪失	低速走行試験	ブレーキ機構を構成する機能部品	
地震後の作動と性能確保	構造部材変形	構造強度評価	構造部材
	機能部品機能喪失	構造強度評価	ボールねじ
		振動試験	機能部品

4.7 確性試験と電共研の試験条件の比較

確性試験と電共研の試験条件の比較を表 4-10 に示す。表のとおり、振動試験の主要な試験条件である加振波、振動数及び加振時間は、確性試験と電共研で同一である。また、電共研での荷重条件は、確性試験における定格荷重×1.5 を上回る荷重（損傷したと判定されるまで）となっており、電共研の方がより厳しい試験条件となっている。なお、損傷の判定基準の考え方は確性試験と同様であるが、確性試験の荷重が小さいため損傷には至っていない。

表 4-10 確性試験と電共研の試験条件の比較

	確性試験 (過負荷振動試験)	電共研 (振動試験)
加振波		正弦波
振動数		9Hz
加振時間		10 sec 程度
荷重条件		荷重を段階的に増加 (損傷したと判断されるまで)
計測項目		動剛性, 低速走行時抵抗力
加振開始位置		1/2 ストローク (中央)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 電共研の試験の妥当性

電共研における限界耐力評価法策定のための試験について、試験条件が妥当であることの確認を行った。

具体的には、地震時の機能維持確認として実施されている振動試験に対する条件と、地震後の機能維持確認として実施されている低速走行試験に対する条件について、妥当性を確認した。

振動試験における試験結果を左右する条件は以下に示す項目となる。

- i 加振波が正弦波であること
- ii 加振振動数が 9Hz であること
- iii 加振時間が 10 秒程度であること
- iv 判定基準が動剛性（動ばね定数）であり、判定基準値が表 4-5 に示す値であること
- v 加振開始位置が 1/2 ストロークであること

また、低速走行試験における試験結果を左右する条件は以下に示す項目となる。

- vi 低速走行試験における試験速度が 2.1(+0, -0.5)mm/sec であること
- vii 低速走行試験時の判定基準が抵抗値であり、判定基準値が表 4-6 に示す値であること

以降に、上記 i ~vii の各項目に対して適切性の確認を行った結果を示す。

i 加振波が正弦波であること

実際にメカニカルスナッパが受ける地震荷重は振幅がランダムな荷重であり、最大の荷重が連続してメカニカルスナッパに負荷されるものではない。一方で、振動試験では加振波として正弦波を適用しており、振幅安定後、一定時間ほぼ同一の荷重が加わることとなるため、最大振幅が同じであれば、振動試験の方が保守的であると言える。従って、試験で得られた最大負荷荷重を超えない範囲での荷重の設定であれば、振動試験の入力波が正弦波であることに問題は無いと考える。

ii 加振振動数が 9Hz であること

振動試験では、正弦波の加振振動数を 9Hz としている。原子力発電プラントに設置される配管系の固有振動数は概ね 10Hz 前後であること、以下に示す文献においても、試験の加振振動数を 9Hz としている事などから、9Hz という加振振動数は妥当であると考えられる。

- ・日本機械学会規格 「J S M E S 014-1999 原子力発電用動的機器の検証規格」

iii 加振時間が 10 秒程度であること

メカニカルスナッパに負荷される地震荷重は、概ね数十秒から数百秒である。一方で、地震荷重はそのランダム性から、最大振幅が継続して発生し続ける訳ではなく、加振中に最大振幅相当の加振状態が生じるのは限定的である。また、メカニカルスナッパの機能喪失の要因は、過大荷重による構造部材の損傷や変形、あるいは機能部品の機能喪失である

と考えられる。過大荷重により上記事象が発生した場合は、振動試験において波形が安定する一定時間以上の加振を実施さえしていれば、動剛性の低下や、別途実施する低速走行試験時の抵抗値の上昇として計測されるものと推定される。従って、加振時間が10秒程度であることは妥当であると判断する。

iv 判定基準が動剛性（動ばね定数）であり、判定基準値が表4-5に示す値であること

表4-5に示す動剛性の判定基準値は、メーカーにて定められた基準値であり、女川原子力発電所第2号機におけるメカニカルスナッパ設計要求値と同じ値である。従って、表4-5に示す動剛性を判定基準値とすることは妥当である。

v 加振開始位置が1/2ストロークであること

メカニカルスナッパは1/2ストロークの位置を基準として据え付けられるため、試験において加振開始位置を1/2ストロークとすることは妥当である。

vi 低速走行試験における試験速度が2.1(+0, -0.5)mm/secであること

試験速度2.1(+0, -0.5)mm/secは、女川原子力発電所第2号機において想定される配管の移動速度($10^{-3} \sim 10^{-2}$ mm/sec)に対して十分大きく保守的であることから、試験条件として適切である。従って、設定されている試験速度は妥当である。

vii 低速走行試験時の判定基準が抵抗値であり、判定基準値が表4-6に示す値であること

表4-6に示す抵抗値の判定基準値は、メーカーにて定められた基準値であり、女川原子力発電所第2号機における設計要求値と同じ値である。従って、表4-6に示す抵抗値を判定基準値とすることは妥当である。

上記i～viiに示した検討結果から、電共研で実施された各試験の試験条件が、女川原子力発電所第2号機の設計要求と比較して妥当であることを確認した。


また、電共研の限界耐力値は適切な試験条件により実施された試験結果に基づいて、保守的に策定されている。

これにより、電共研の試験結果及び試験結果をもとに策定した限界耐力値を女川原子力発電所第2号機へ適用することは妥当であると判断する。

6. まとめ

電共研における耐震設計評価手法の総合的検討のうち、スナッパ限界耐力評価法の検討におけるメカニカルスナッパについての検討の概要として、振動試験、低速走行試験及び座屈試験の概要をまとめるとともに、限界耐力評価法の策定方法をまとめた。

その上で、電共研における限界耐力評価法策定のための試験について、試験条件が妥当であることを確認した。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

メカニカルスナップの部品ごとの限界耐力値一覧表 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

振動試験結果データ

電共研の振動試験の結果を表 1 に示す。表中の耐力確認荷重は、加振後の低速走行試験にて判定基準を満足した荷重ケースにおいて、引張方向及び圧縮方向の振動試験における最大荷重であり、荷重負荷後も機能維持できると考えられる荷重値である。

また、耐力確認荷重を得た加振ケース（加振後も破損せずに機能維持できたケース）の振動試験における時刻歴の変位波形及び荷重波形を図 1～図 9 に示す。引張方向と圧縮方向の荷重値が異なるのは、メカニカルスナップの引張方向と圧縮方向で動剛性が異なり、かつ変位振幅制御で加振しているためである。

なお、SMS-3 の供試体 No. 3-1 および供試体 No. 3-3 は、球面軸受けが破損した時点で破損ケースと判断して試験を終了したが、SMS-3 の供試体 No. 3-2 にて球面軸受けが破損しても支持機能及び低速走行機能を維持できることが確認できたため、SMS-3 の供試体 No. 3-1 および供試体 No. 3-3 は破損ケースから耐力確認荷重を求めている。

表 1 電共研における振動試験の試験結果

型式	供試体 No.	定格荷重 [kN]	耐力確認荷重[kN]	
			引張側	圧縮側
SMS-03	03-1	3	27.1	29.9
SMS-1	1-1	10	44.8	56.2
SMS-3	3-1	30	88.0	101.1
SMS-3	3-2	30	98.1	113.5
SMS-3	3-3	30	85.1	94.2
SMS-6	6-1	60	154.0	190.5
SMS-10	10-1	100	199.1	244.7
NMB-003	5-3	3	20.5	24.3
NMB-030	5-4	30	76.8	130.3

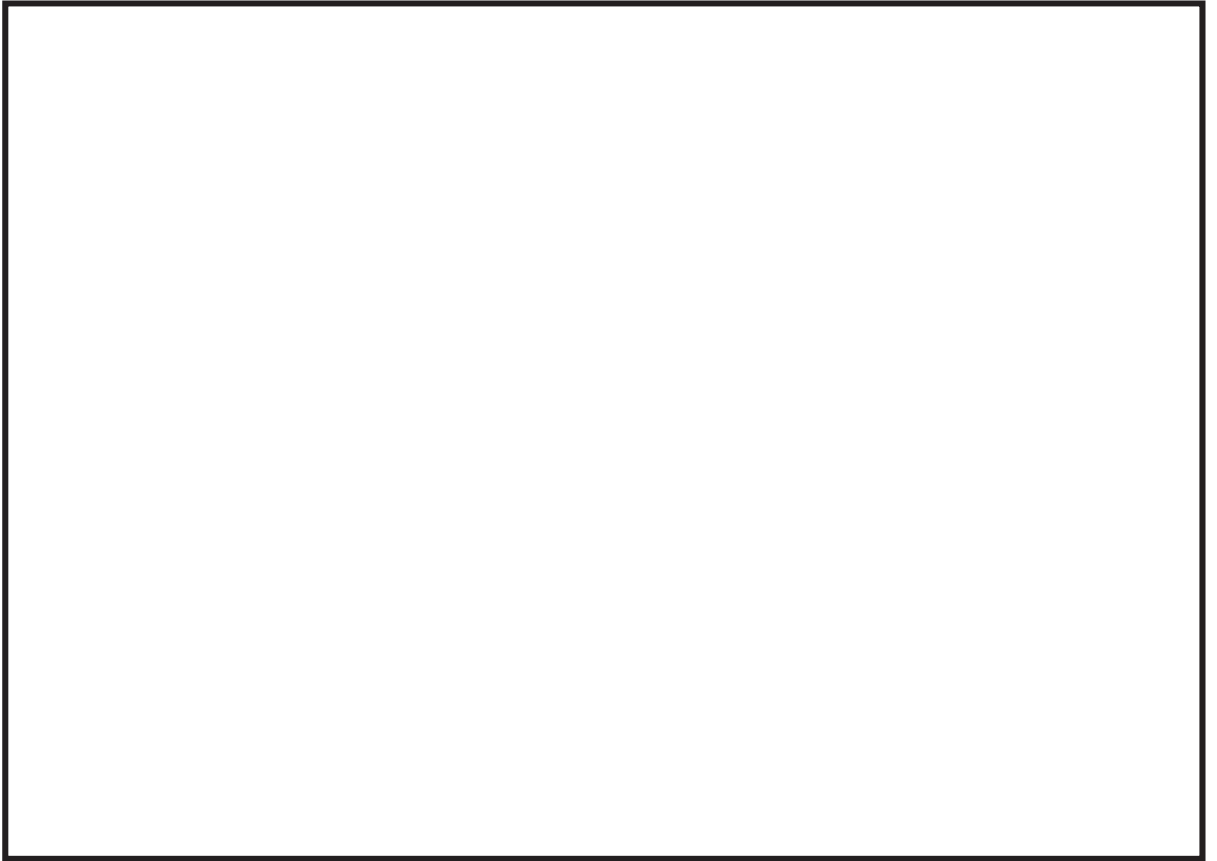


図 1 供試体 No. 03-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

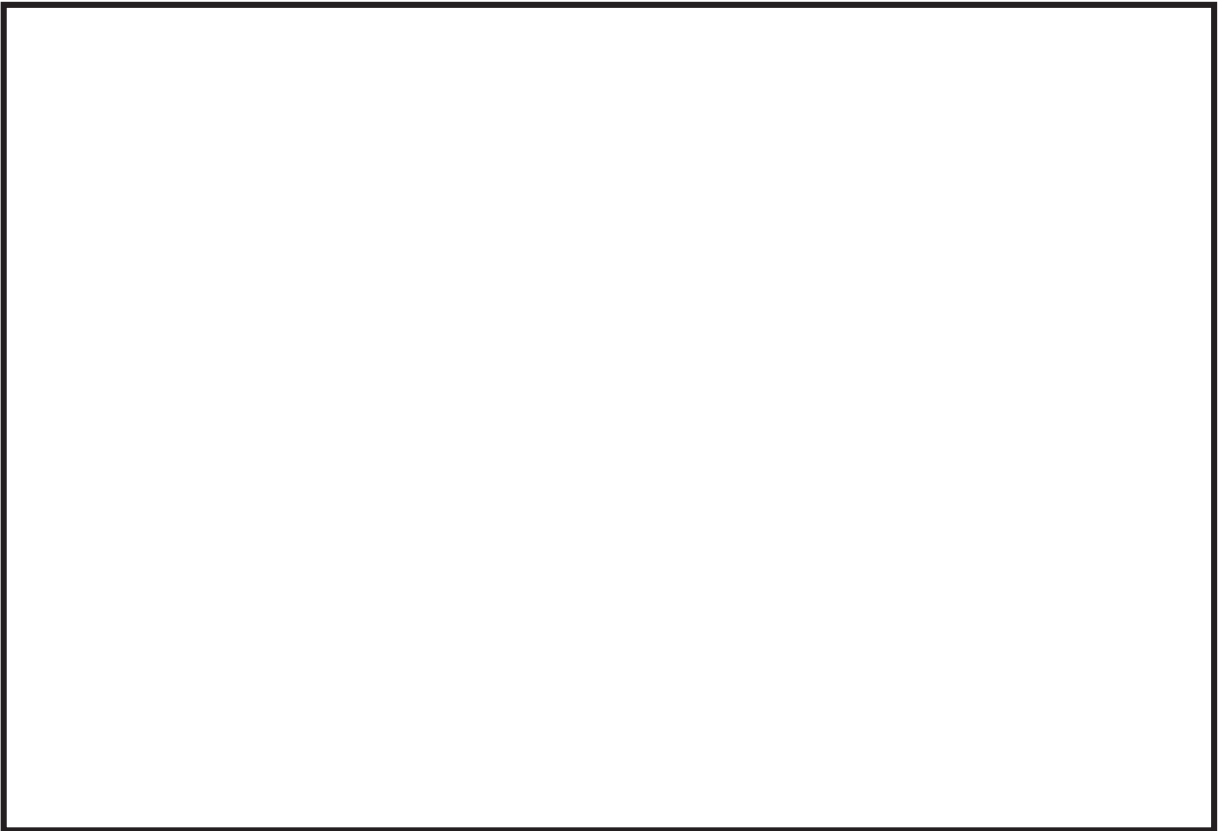


図 2 供試体 No. 1-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

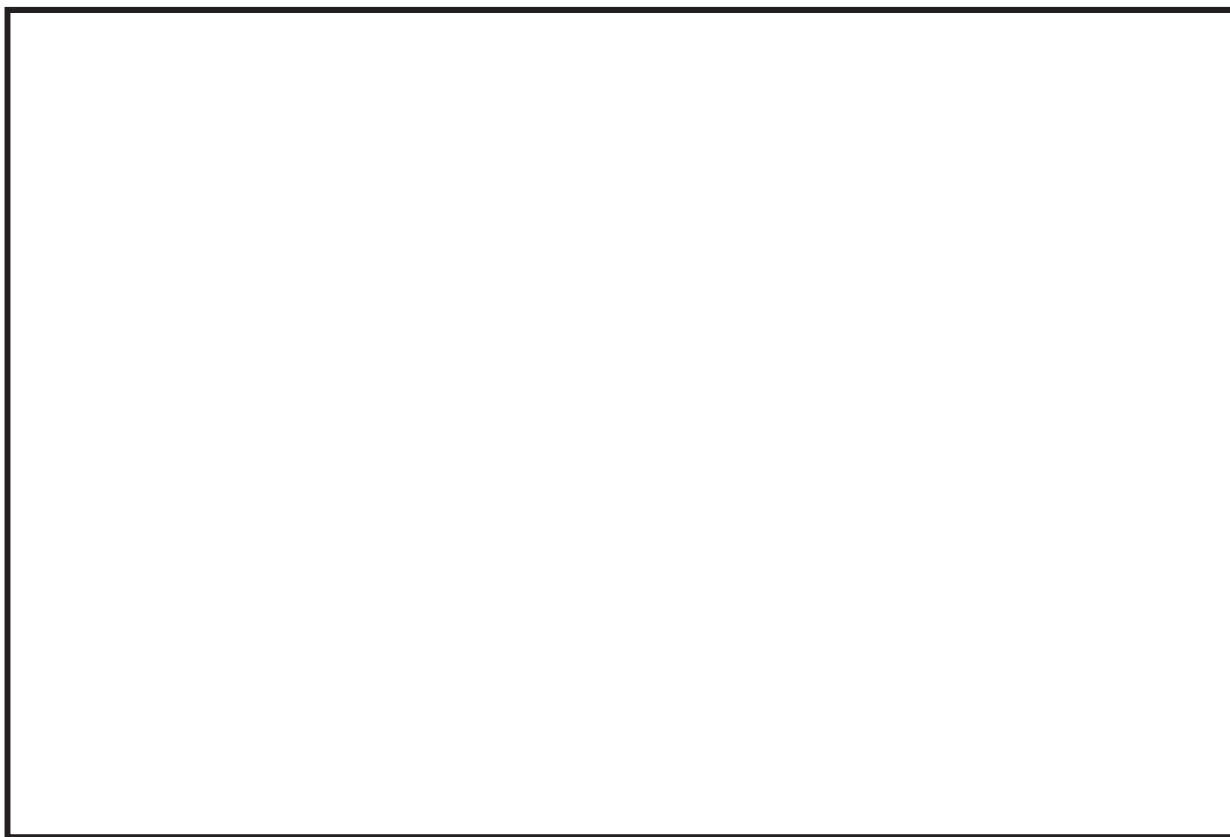


図 3 供試体 No. 3-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

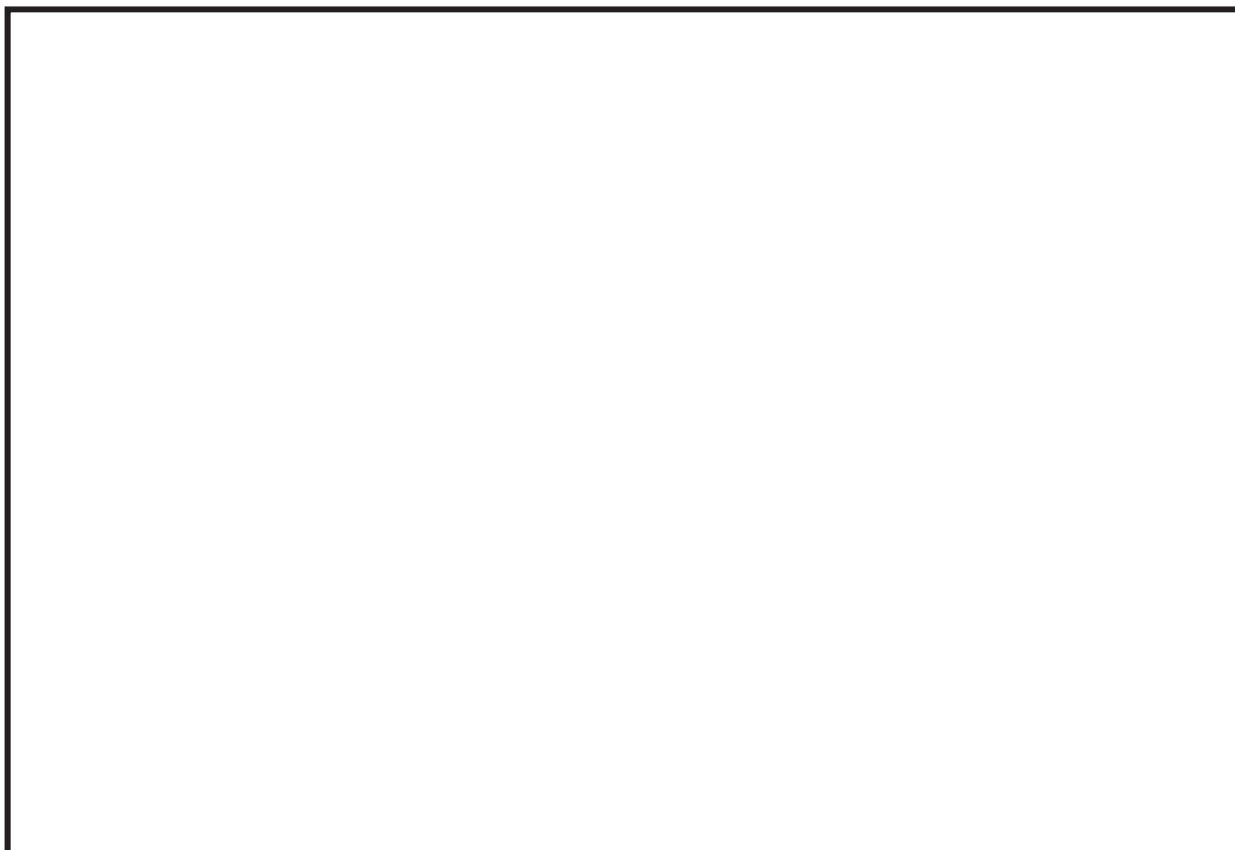


図 4 供試体 No. 3-2 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

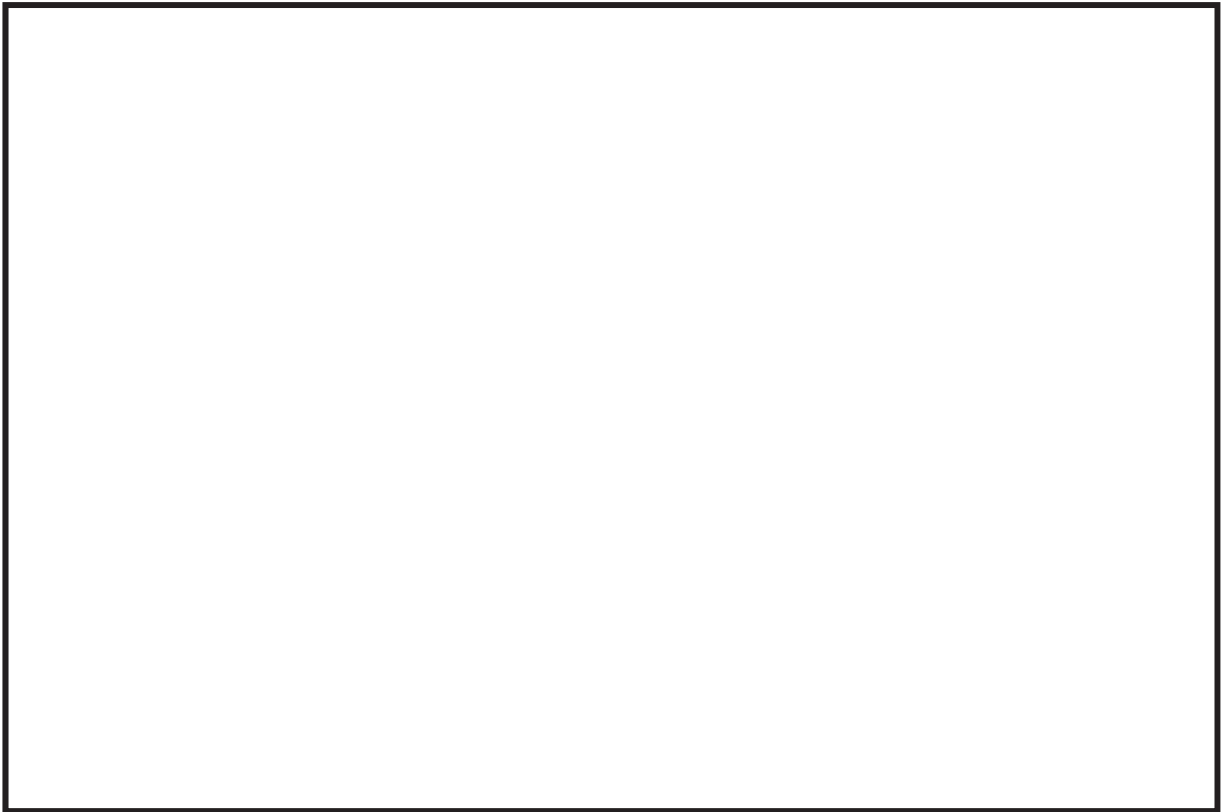


図 5 供試体 No. 3-3 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形



図 6 供試体 No. 6-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

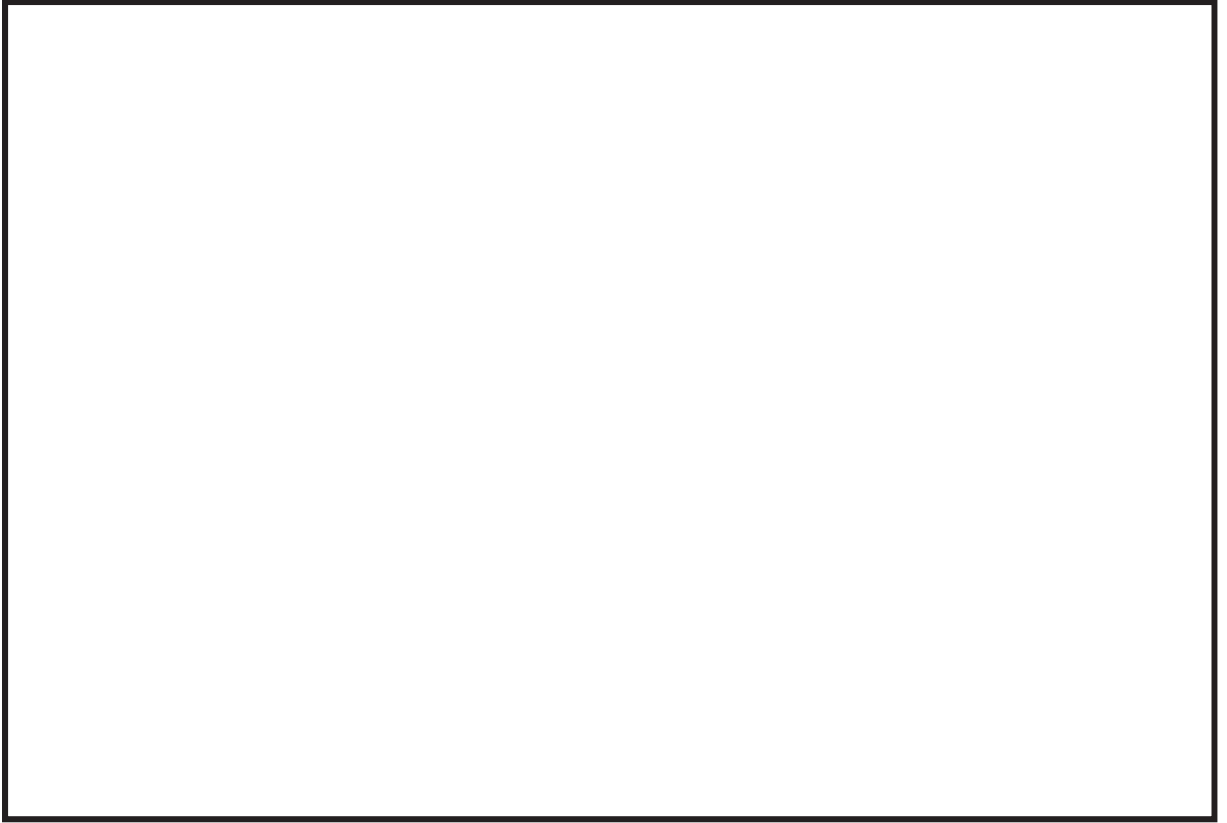


図 7 供試体 No. 10-1 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

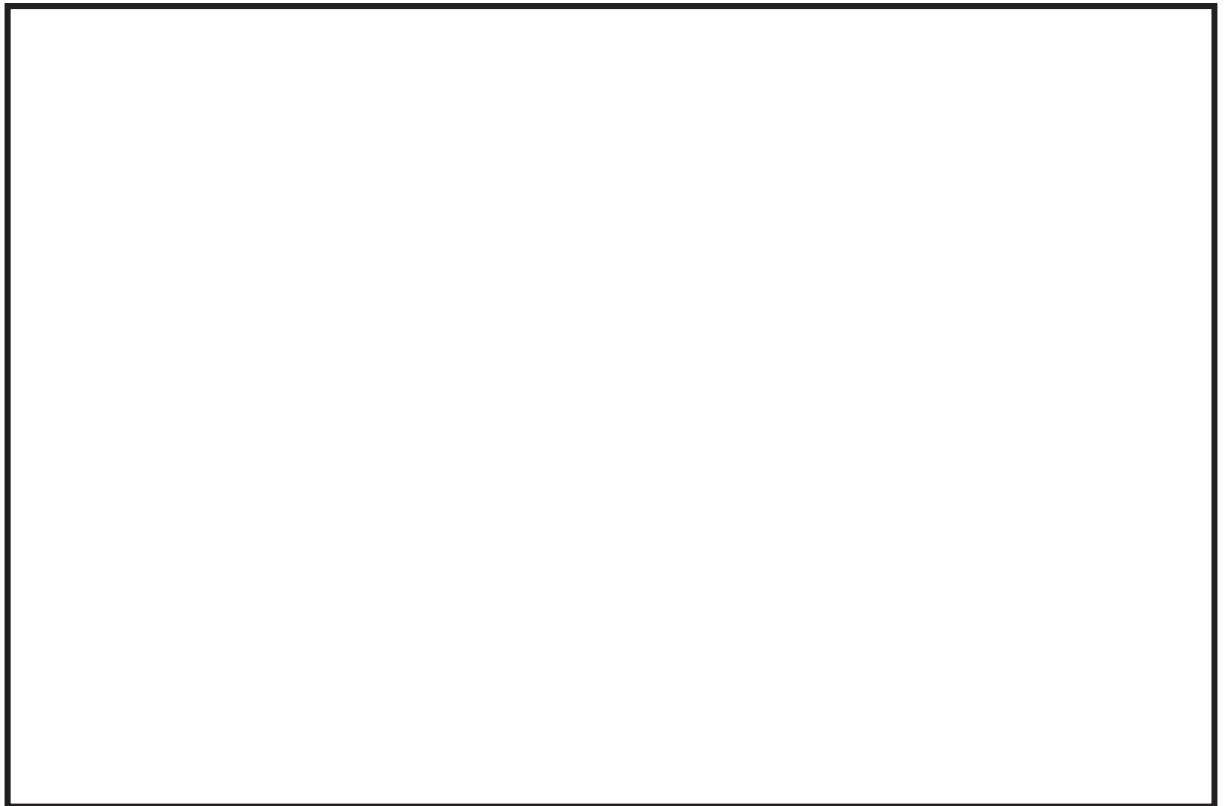


図 8 供試体 No. 5-3 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

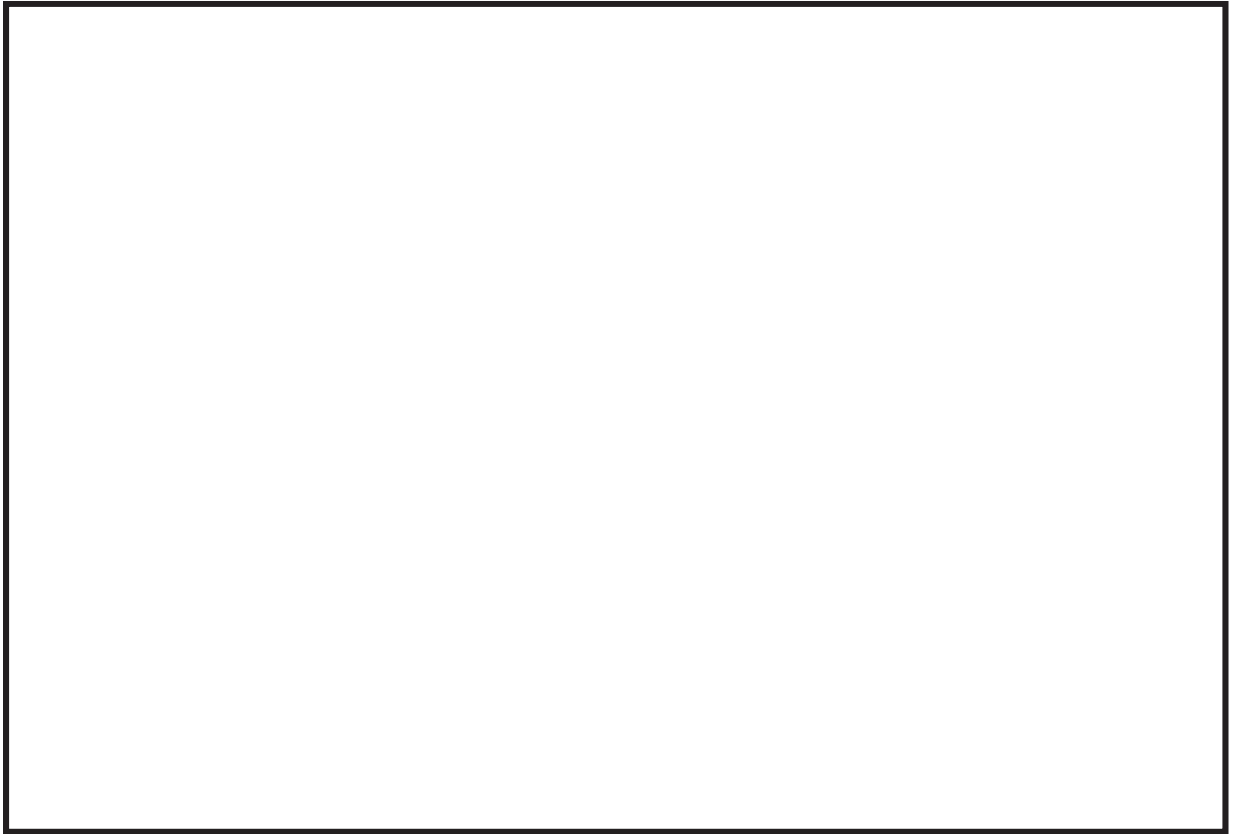


図 9 供試体 No. 5-4 の振動試験における時刻歴変位波形及び荷重波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

また、電共研による破壊試験（振動試験、低速走行試験及び静的圧縮試験）で機能維持が確認された耐力確認荷重と、その試験結果をもとに耐力評価式を見直して策定された限界耐力評価法による限界耐力値との比較を表2に示す。耐力確認荷重は、添付-3の考え方に従い、表1の耐力確認荷重の引張側及び圧縮側のうち大きい方の荷重値とした。試験が実施されている全ての型式について、試験による耐力確認荷重は限界耐力値よりも大きいため、限界耐力値が負荷された場合においても、メカニカルスナッパの機能維持に問題がないと判断できる。

なお、各型式の限界耐力値は、添付-4に示す電共研の発生応力計算式と許容応力計算式から各部位の限界耐力値を求めた上で、メカニカルスナッパ全部位での最小値を計算することで求める。

表2 電共研における耐力確認荷重と限界耐力値（1/2）

型式	定格容量 [kN]	電共研				限界耐力値／ 定格容量	耐力確認荷重 ／限界耐力値
		耐力確認荷重 [kN]	限界耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材	19.0	—
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	構造部材	6.26	1.59
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押え	構造部材	2.80	—
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティングチューブ	構造部材	5.39	1.04
SMS-3	30	94.2	75.3	アンギュラー玉軸受	機能部品	2.51	1.25
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押え	構造部材	2.84	1.11
SMS-7.5	75	—	—	—	—	—	—
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押え	構造部材	2.24	1.08
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押え	構造部材	2.15	—
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押え	構造部材	1.96	—
SMS-40	400	—	941.4	コネクティングチューブ	構造部材	2.35	—
NMB-001	1.6	—	15.9	リアブラケット	構造部材	9.93	—
NMB-003	3	24.3	15.2	リアブラケット	構造部材	5.06	1.59
NMB-006	6.8	—	21.9	リアブラケット	構造部材	3.22	—
NMB-010	10	—	56.0	リアブラケット	構造部材	5.60	—

表 2 電共研における耐力確認荷重と限界耐力値 (2/2)

型式	定格容量 [kN]	電共研				限界耐力値／ 定格容量	耐力確認荷重 ／限界耐力値
		耐力確認荷重 [kN]	限界耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度 部品の分類		
NMB-030	30	130.3	67.4	リアブラケット	構造部材	2.24	1.93
NMB-060	60	—	129.4	リアブラケット	構造部材	2.15	—
NMB-075	75	—	169.7	リアブラケット	構造部材	2.26	—
NMB-100	100	—	224.7	リアブラケット	構造部材	2.24	—
NMB-170	170	—	365.4	スリーブ	構造部材	2.14	—
NMB-250	250	—	514.3	リアブラケット	構造部材	2.05	—

耐力確認荷重における引張側と圧縮側の考え方

振動試験では、引張側と圧縮側の耐力確認荷重が得られるが、耐力確認荷重を限界耐力評価手法の検討に使用するにあたって、引張側と圧縮側のどちらを参照すべきか、考え方を以下にまとめた。

SMS 型の最小裕度部品はコネクティングチューブ、ベアリング押え、六角ボルト、アンギュラー玉軸受のいずれかであり、NMB 型の最小裕度部品はリアブラケット、スリーブのいずれかであるが、どの部品も引張方向と圧縮方向の両方に等しく荷重を伝達する。これらの部品において、引張方向と圧縮方向の荷重による発生応力が同じ算出式にて計算され、許容応力も同じ値である場合は、試験にて計測された引張側と圧縮側のいずれか大きい方の荷重を耐力確認荷重として採用することに問題はない。

一方、引張方向と圧縮方向で発生応力算出式と許容応力が異なる部品としてコネクティングチューブがあるが、当該部品についても引張と圧縮のうち大きい荷重を耐力確認荷重として採用することに問題がないことを、数値を使った例を挙げて説明する。

まず、メカニカルスナッパは構造上の特性により引張方向と圧縮方向で動剛性が異なるため、変位振幅制御による加振試験では、引張側と圧縮側の発生荷重が異なり、圧縮側の発生荷重が大きく計測される。また、コネクティングチューブの圧縮側の破損荷重は引張側の破損荷重よりも小さくなり、その破損荷重が引張方向で 30kN、圧縮方向で 25kN であったとする（図 2 参照）。

図 1 のケースでは、圧縮側の試験負荷荷重が 23kN、引張側の試験負荷荷重が 18kN となり、メカニカルスナッパの機能が維持されている。図 2 のケースでは圧縮側の試験荷重が 25kN に達したため、圧縮側の試験負荷荷重（25kN）にて破損する。耐力確認荷重は破損する前の試験ケースの荷重を採用するため、破損前の試験ケースの結果を参照して圧縮側の試験負荷荷重である、23kN が耐力確認荷重となる（図 1 参照）。この耐力確認荷重 23kN は、実際に破損する圧縮側の破損荷重 25kN 及び引張側の破損荷重 30kN いずれに対しても保守的な設定となるため、コネクティングチューブに対しても耐力確認荷重として発生荷重が大きい圧縮側の試験負荷荷重である 23kN を採用することで問題はない。

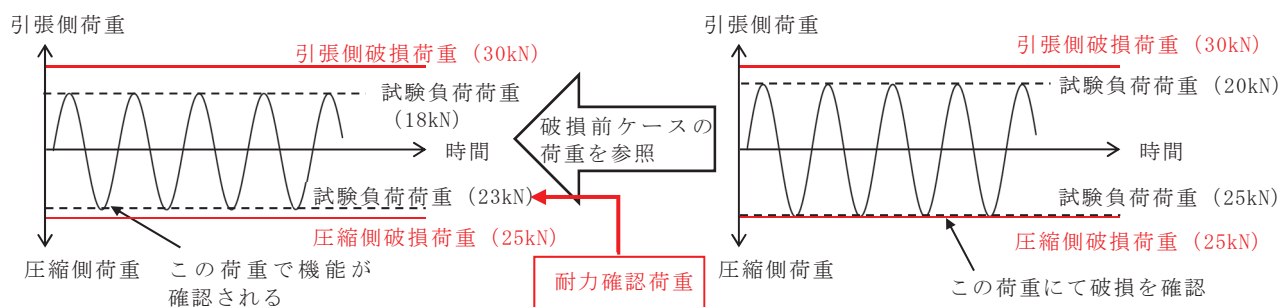


図 1 振動試験の荷重波形(破損前の試験ケース、機能確保)

図 2 振動試験の荷重波形(破損ケース)

電共研におけるメカニカルスナッパの限界耐力評価法

表 1 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式（SMS 型）（1/2）

品番	部品	評価	電共研		
			発生応力計算式	許容応力計算式	今回工認の詳細評価との相違点
②	ジャンクションコラムアダプタ				
③	ロードコラム				
⑤	ピン				
⑥	コネクティングチューブ				
⑦-1	ベアリングケース				
⑦-2	ベアリング押え				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表1 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式（SMS型）（2/2）

品番	部品	評価	電共研		
			発生応力計算式	許容応力計算式	今回工総の詳細評価との相違点*2
⑦-3	六角ボルト				
⑧	イーキ				
⑨	ユニバーサルボックス				
⑫	ベアリングナット				
⑬	ボールネジ				
⑭	アンギュラー玉軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)		
⑮	球面軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)		
-	全長	座屈	(予想耐力の記載のみ)	-	
				(発生応力、許容値算出式の記載なし)	

注記*1：代表として型式 SMS-10 の評価式にて比較を行った。また、表中の計算式における断面積や断面係数の算出方法は、特記箇所以外は別紙3の各型式における各部位の評価式と同様である。

*2：許容値の扱い（降伏点と引張強さの小なる値を採用するか、どちらか片方を採用するか）及び端数処理以外の相違点を記載した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式（NMB型）（1/3）

品番	部品	評価	電共研		
			発生耐力計算式	許容耐力計算式	今回工程の部材評価との相違点
①-1	リアブラケット【イヤ】				
	リアブラケット【溶接部】				
	リアブラケット【フランジ】				
②	セットボルト				
③-1	ケース				
	ケース溶接部				
④	ベアリングシート				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式（NMB型）（2/3）

品番	部品	評価	電共研		
			発生応力計算式	許容応力計算式	今回工場の経緯評価との相違点 ※2
⑤	ベアリングボックス				
⑥	スリーブ				
⑦	ホラー				
⑧	ロードリング				
⑨	ターンメッセル				
⑩	エンドブラグ				
⑪	延長パイプキット及び溶接部				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式（NMB型）（3/3）

品番	部品	評価	電共研			
			発生応力計算式	許容応力計算式	今回工場の評価評価との相違点 *2	
⑫-1	延長パイプブラケット（イヤ大部）					
	⑫-2					延長パイプブラケット（溶接部）
	⑫-3					延長パイプ
⑬	ピン					
⑭	ボールネジ					
⑮	球面軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)			
⑯	軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)			

注記*1：代表として型式 NMB-075 の評価式にて比較を行った。また、表中の計算式における断面積や断面係数の算出方法は、特記箇所以外は別紙3の各型式における各部位の評価式と同様である。

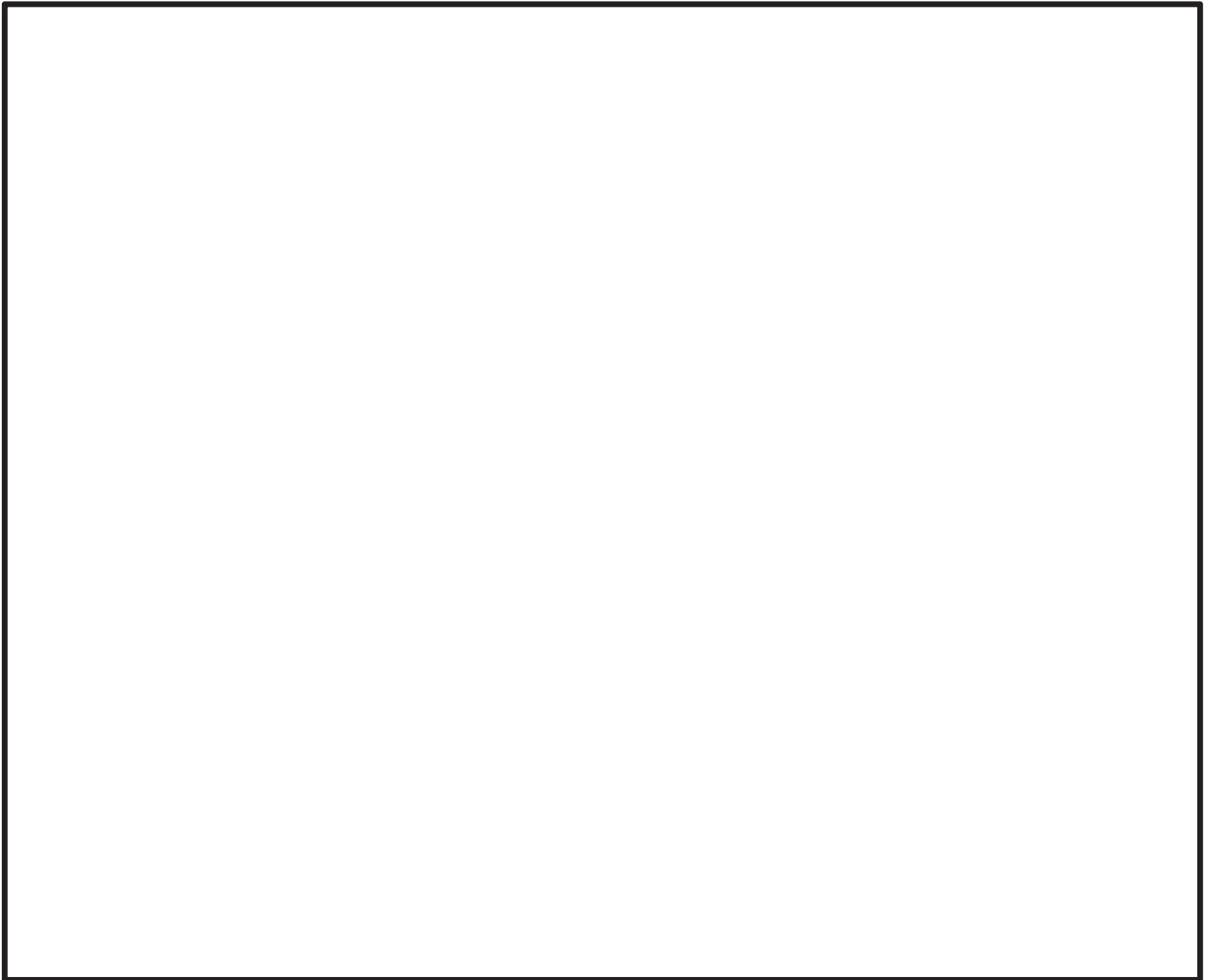
*2：許容値の扱い（降伏点と引張強さの小なる値を採用するか、どちらか片方を採用するか）及び端数処理以外の相違点を記載した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

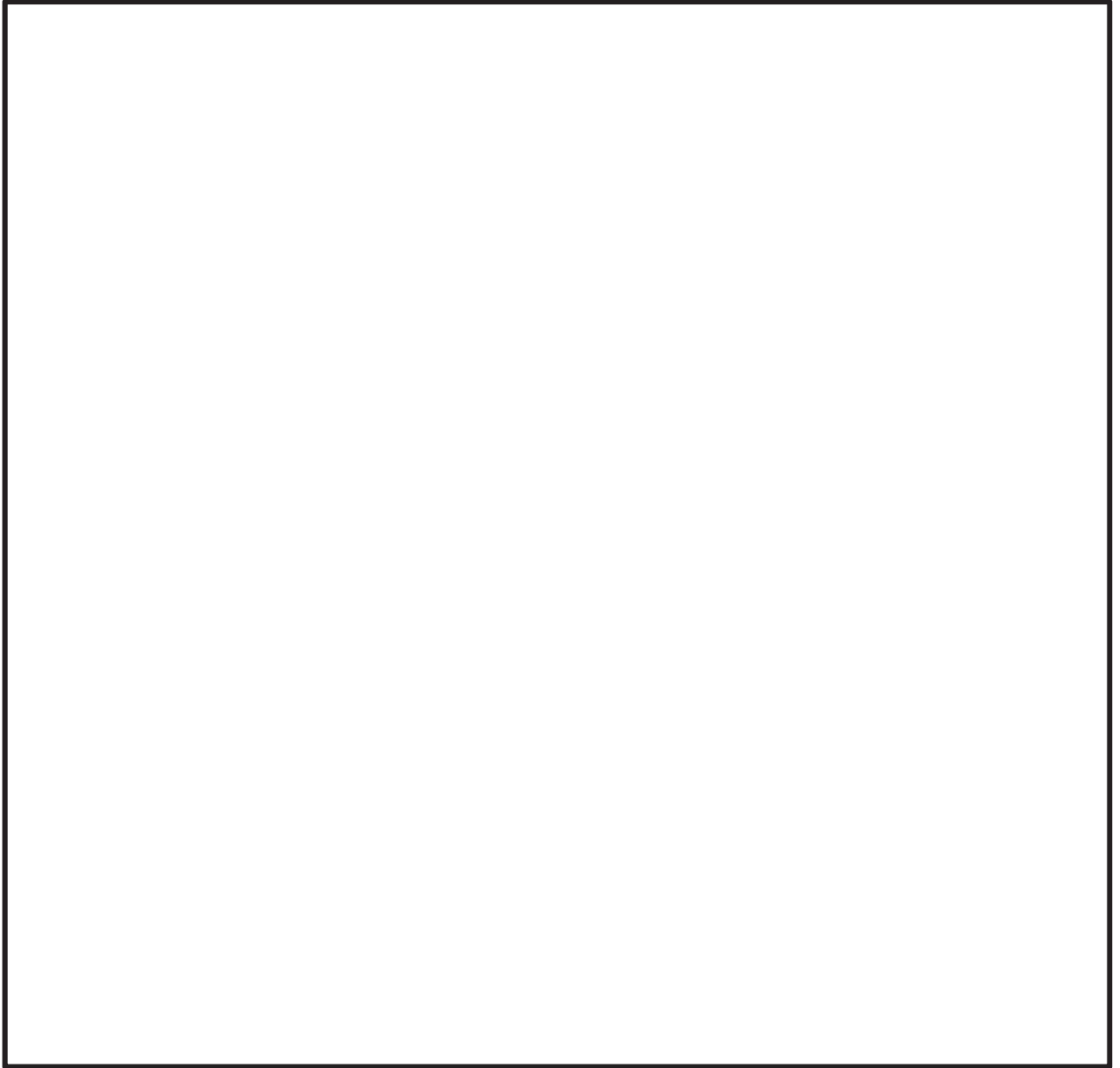
メカニカルスナバの JNES 研究の概要

1. はじめに

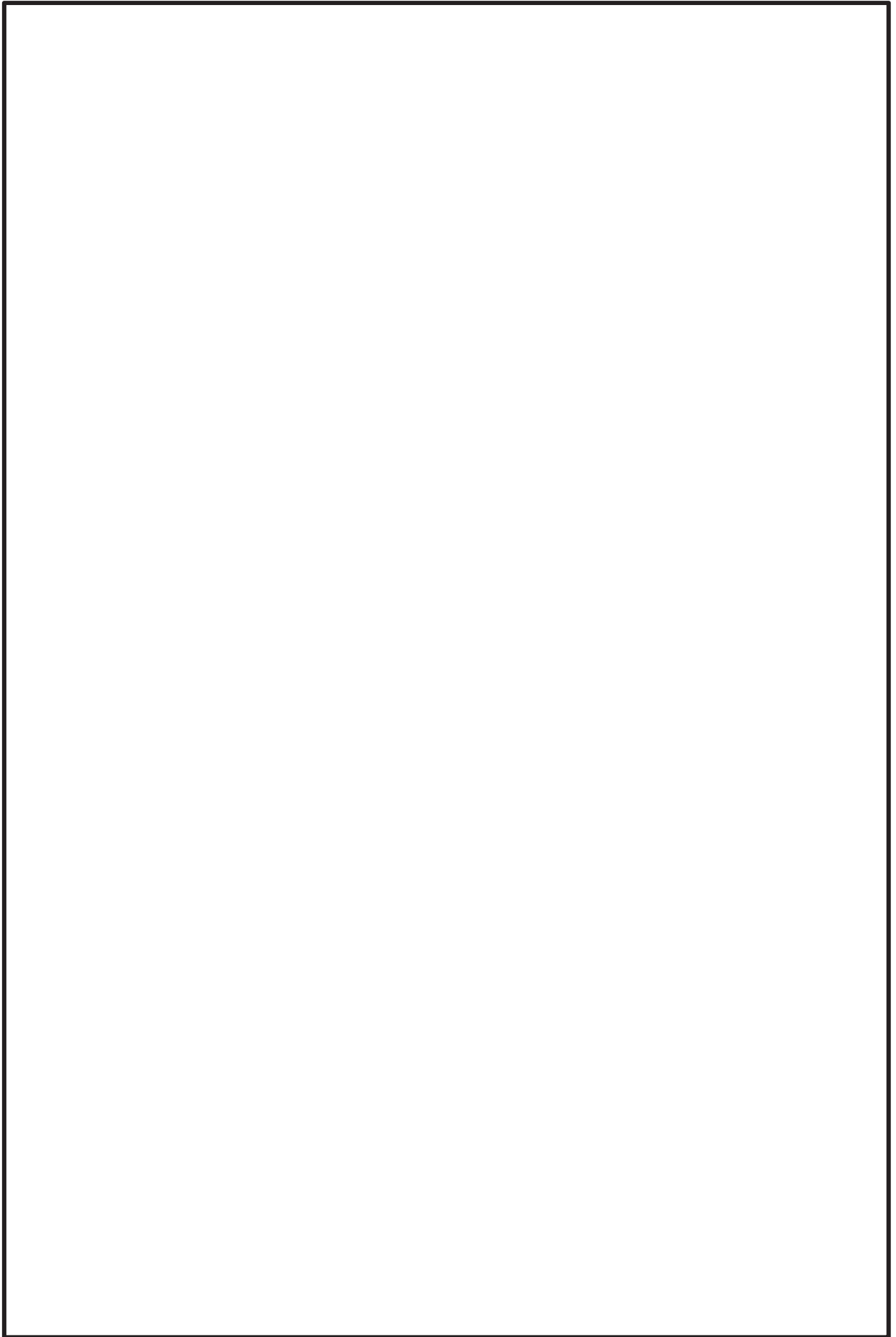
本資料では、今回工認で参照した既往知見である「JNES 平成 21～22 年度耐震機能限界試験（スナバ）に係る報告書」（以下、「JNES 研究」という。）の概要について説明する。

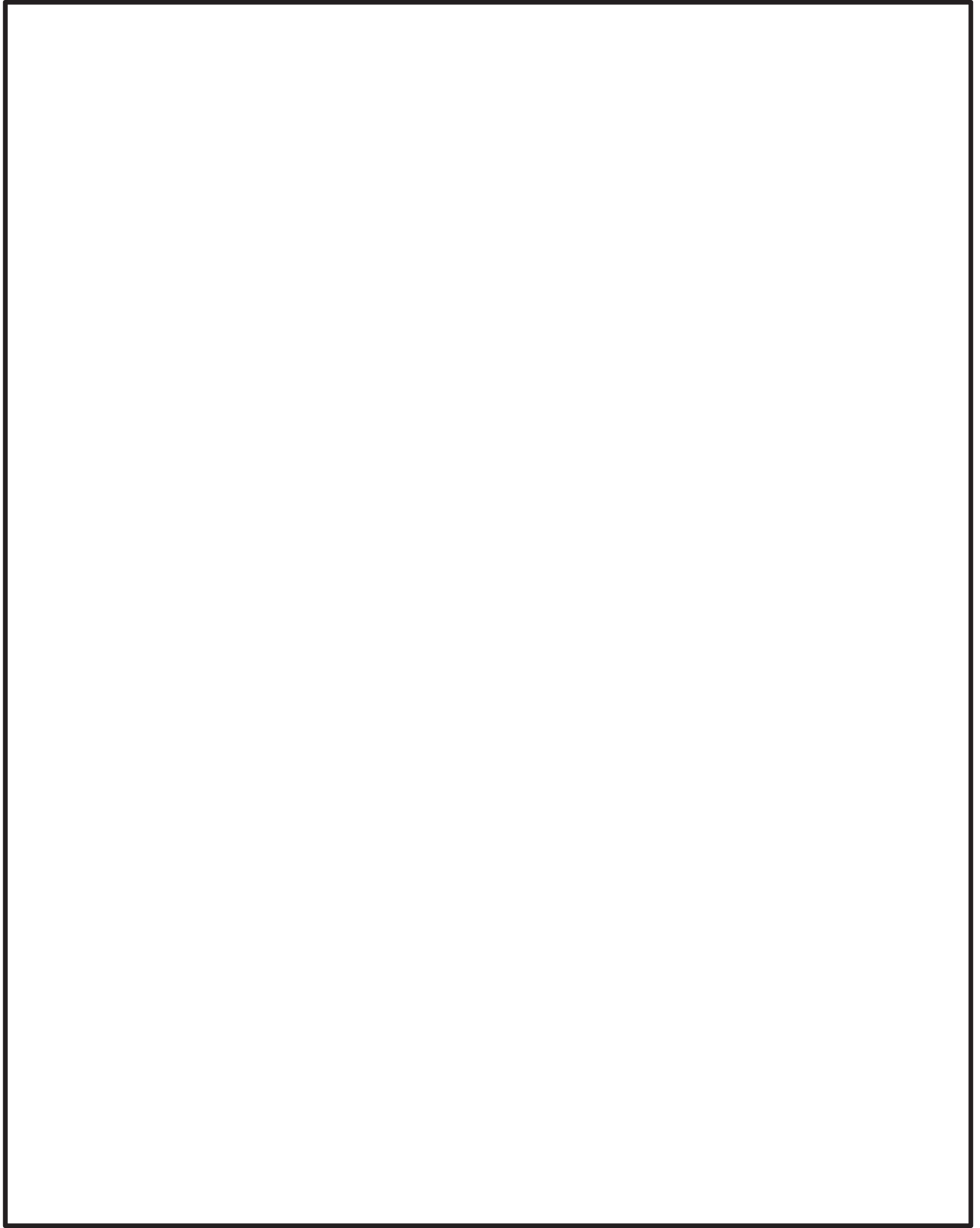


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

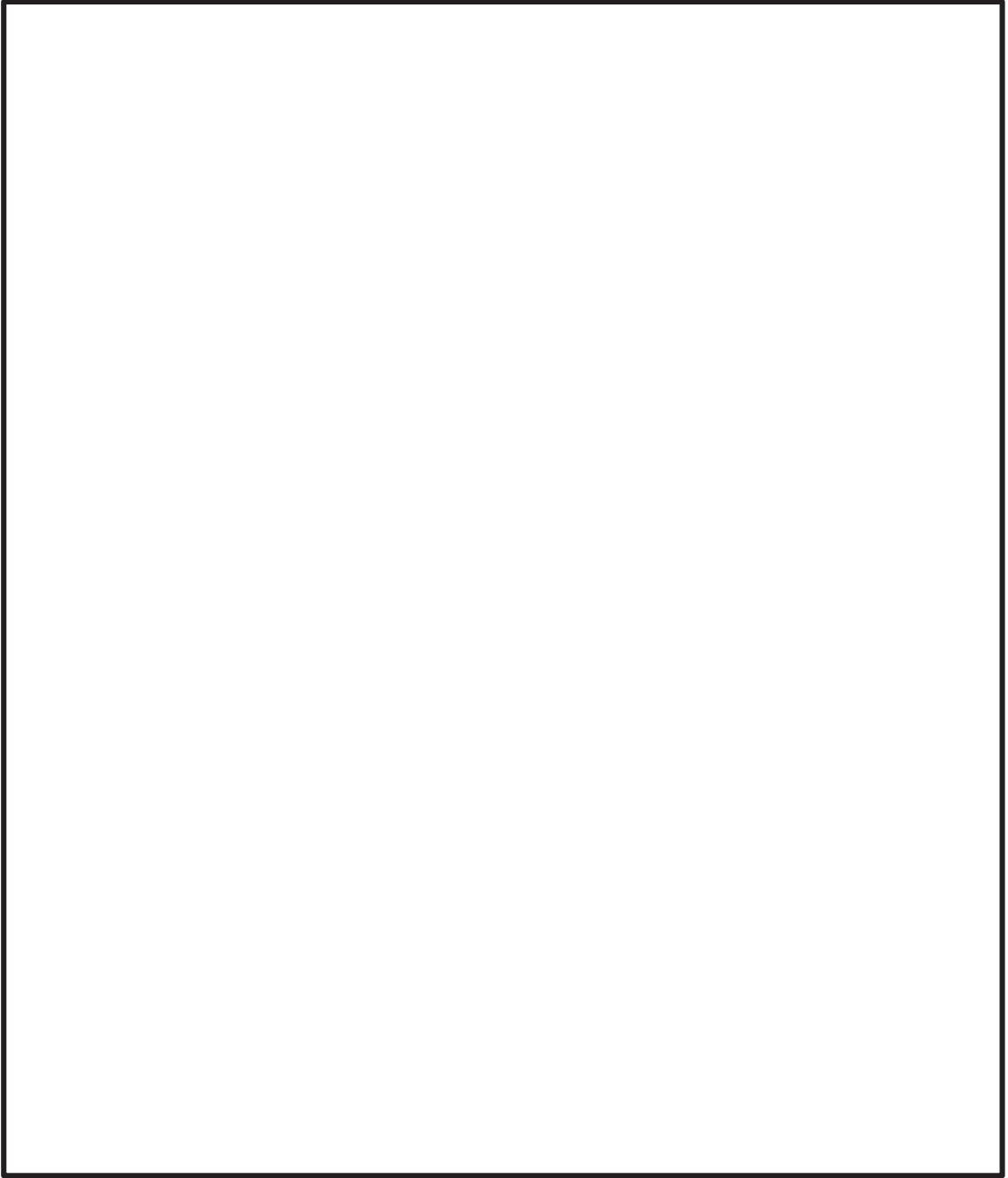


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

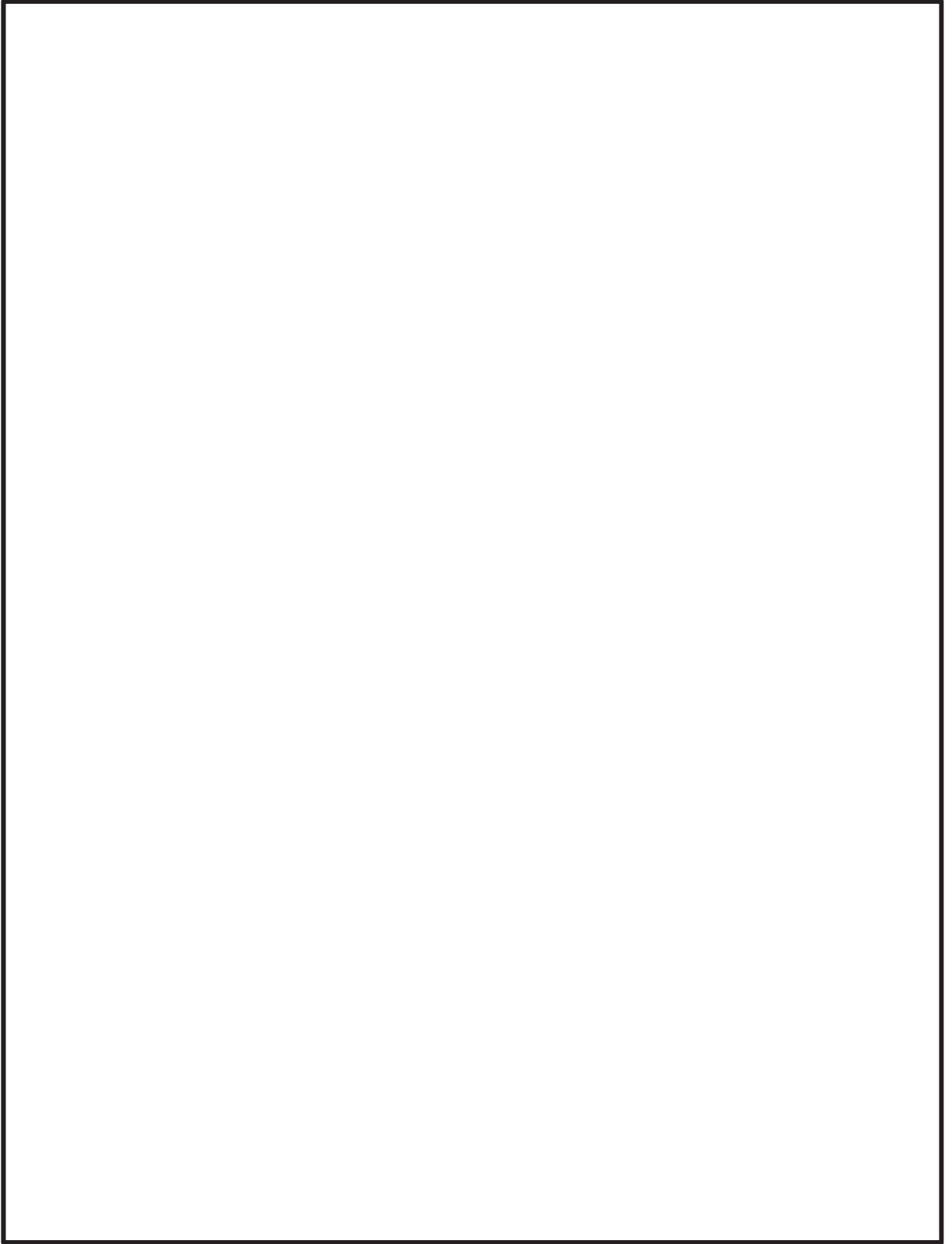




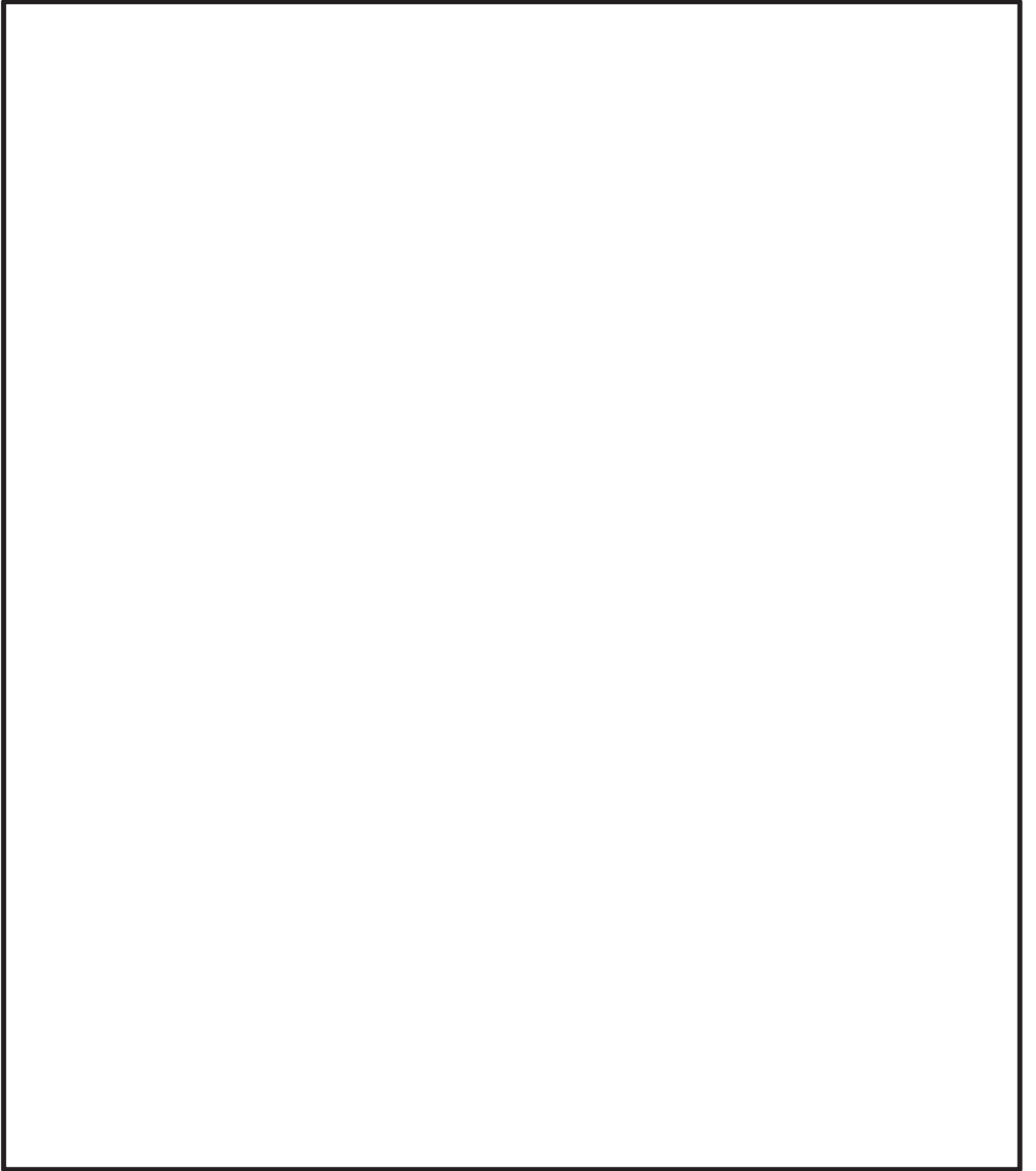
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



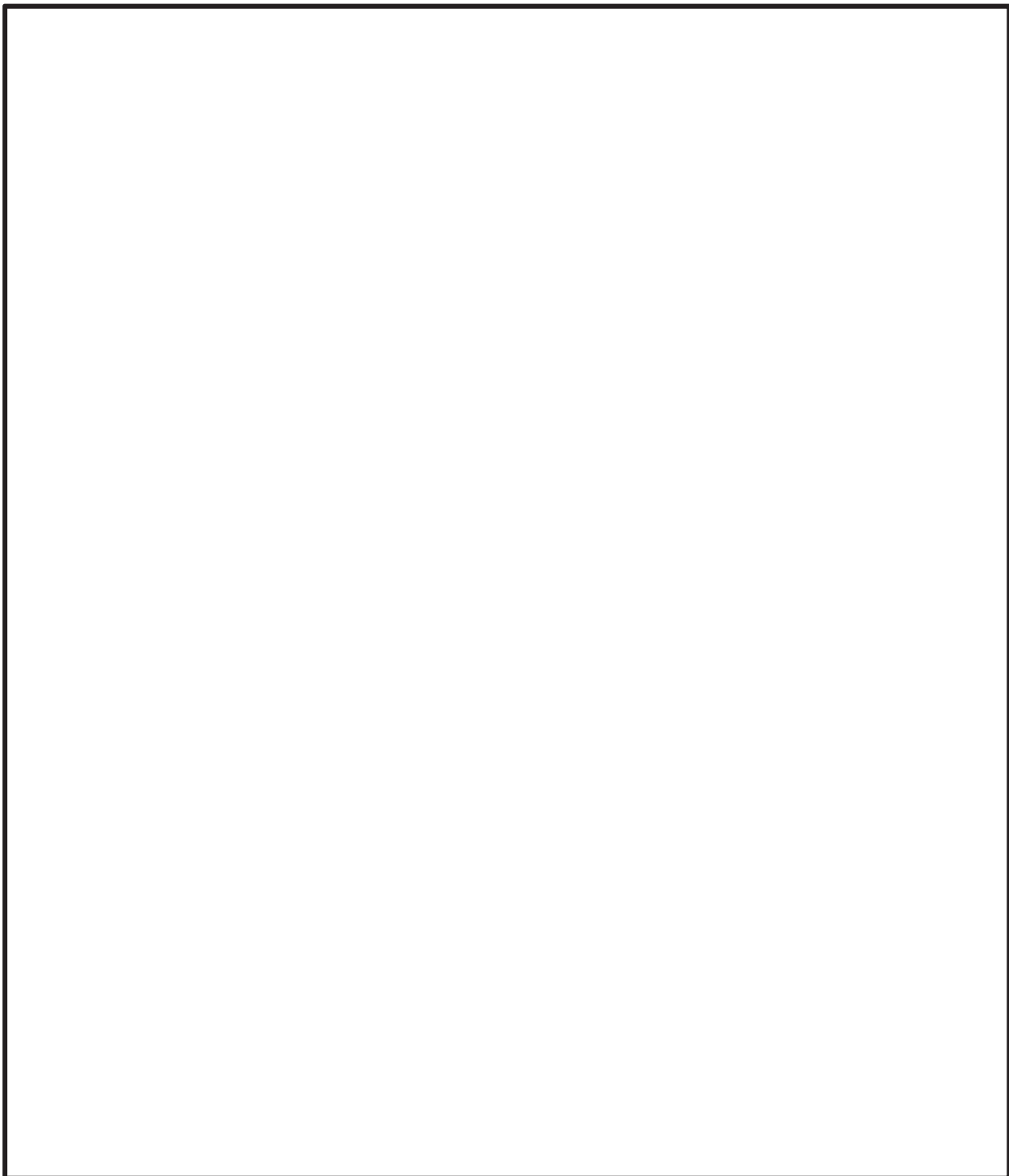
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



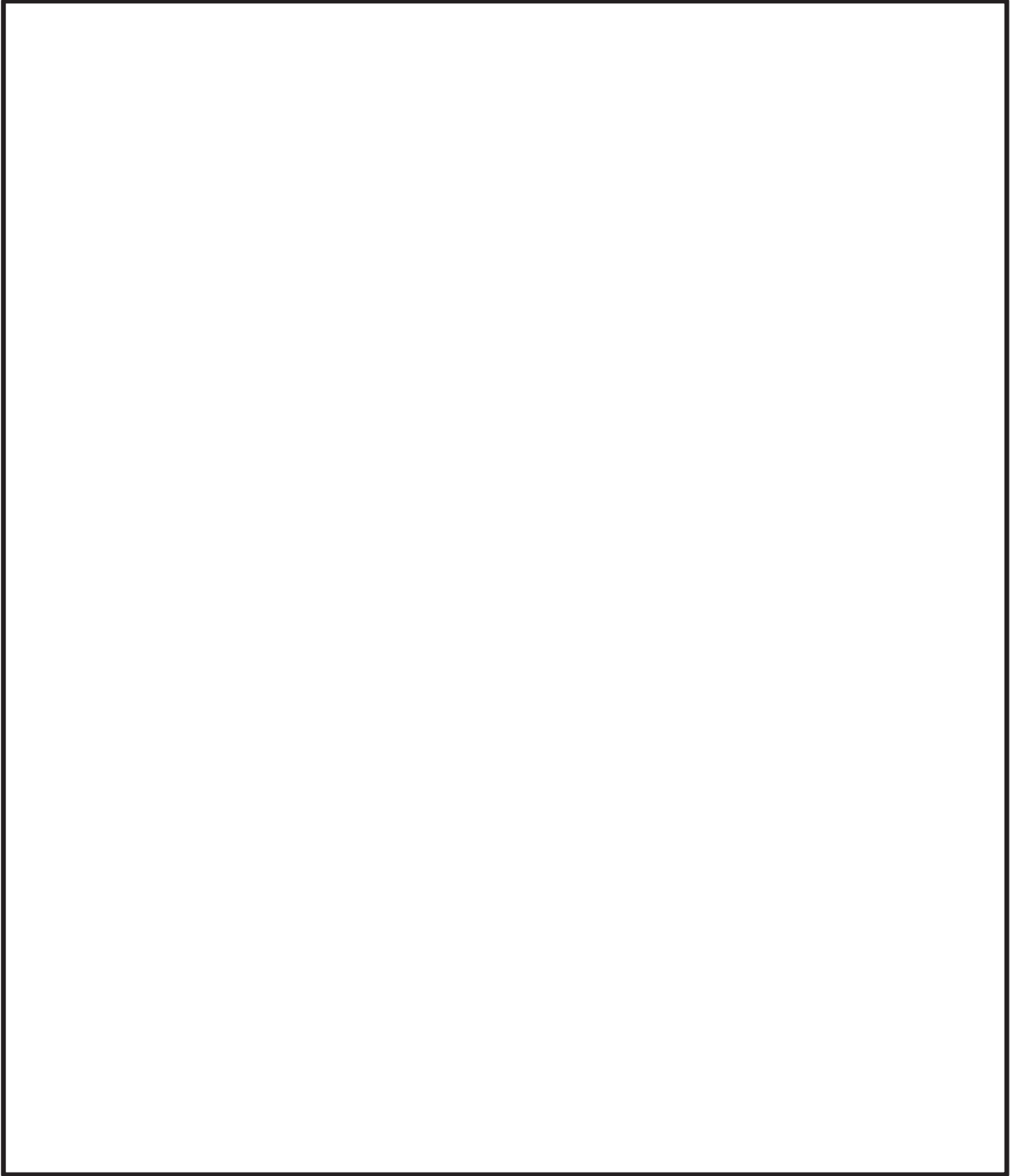
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



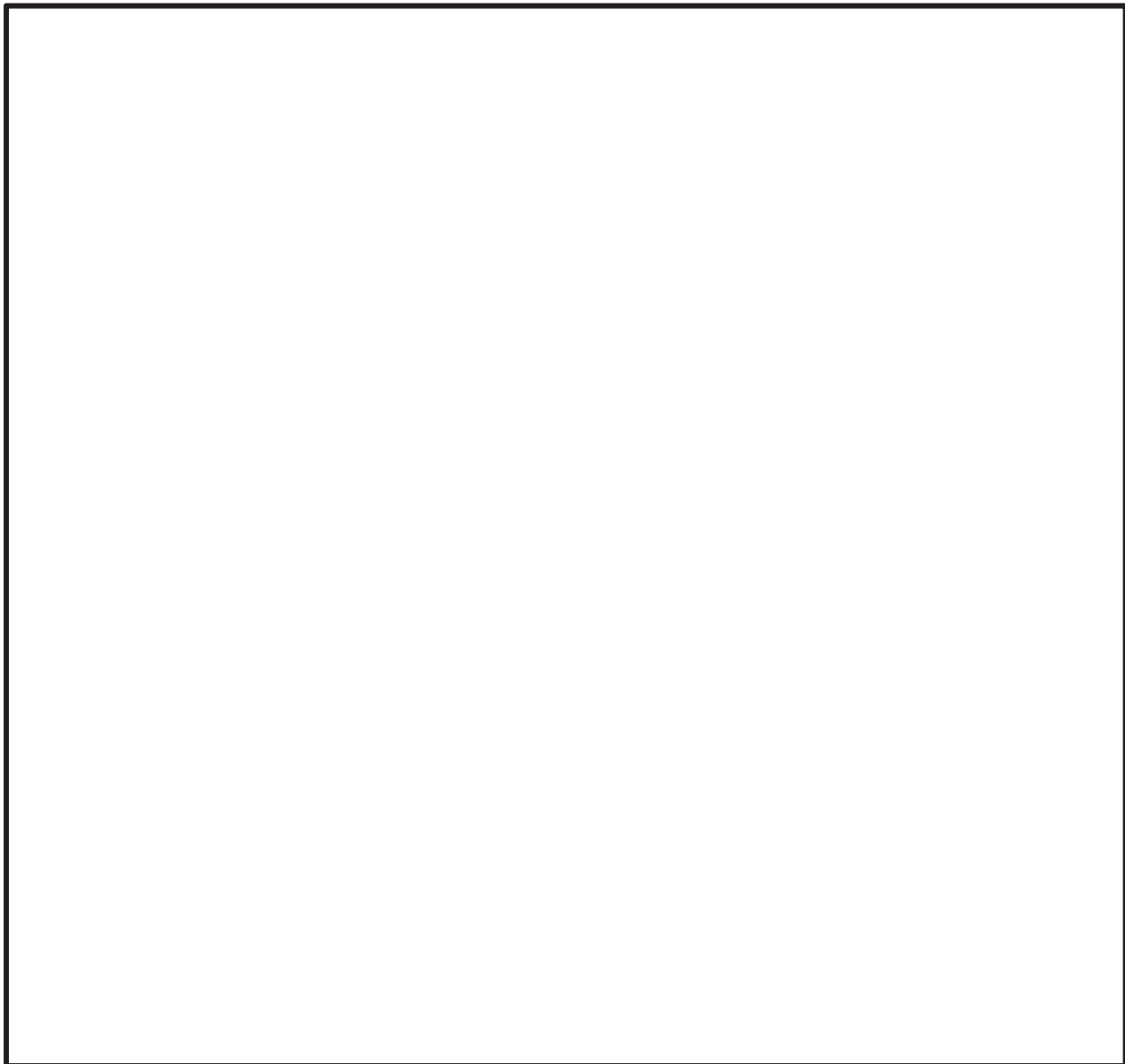
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



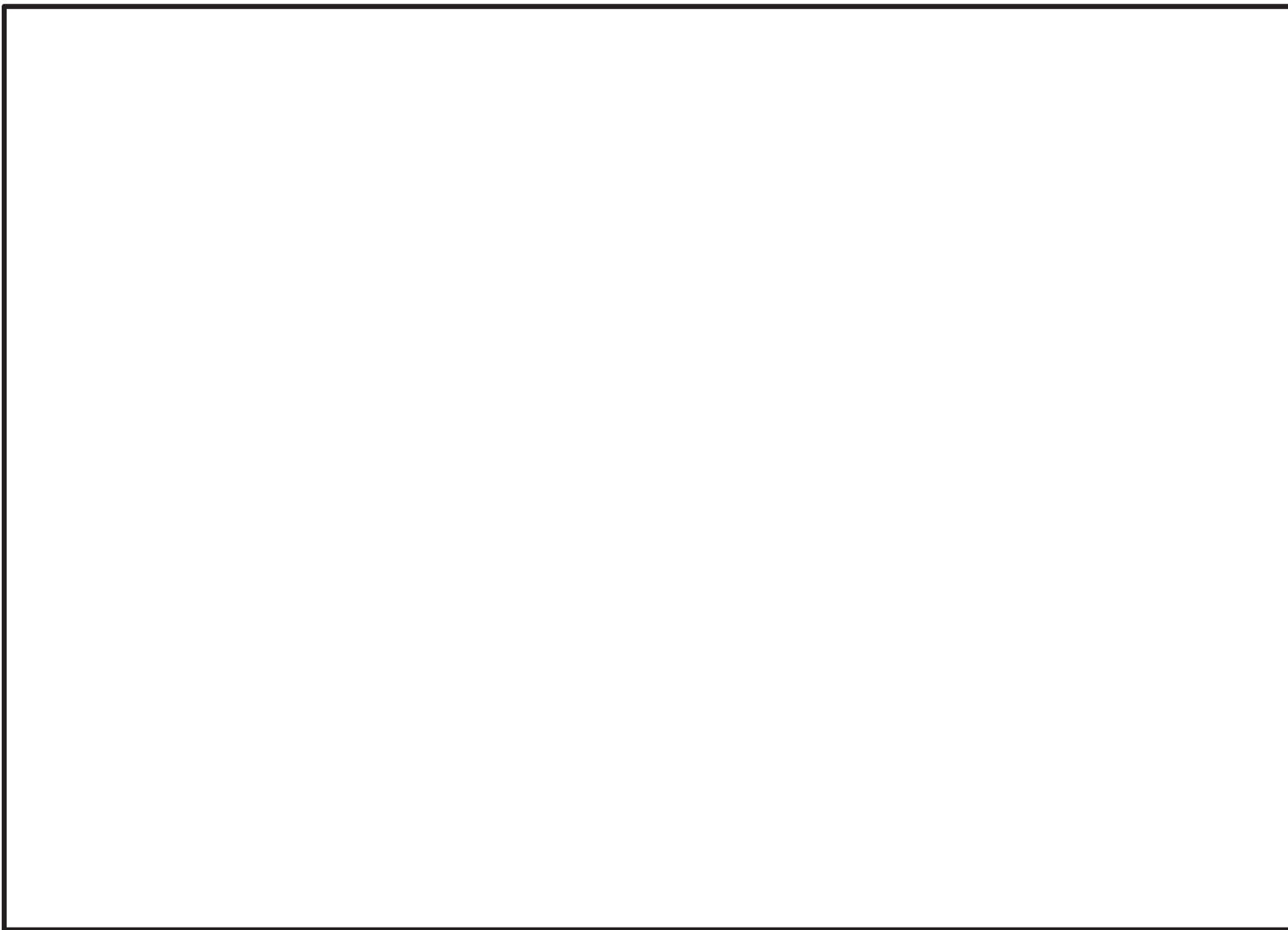
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



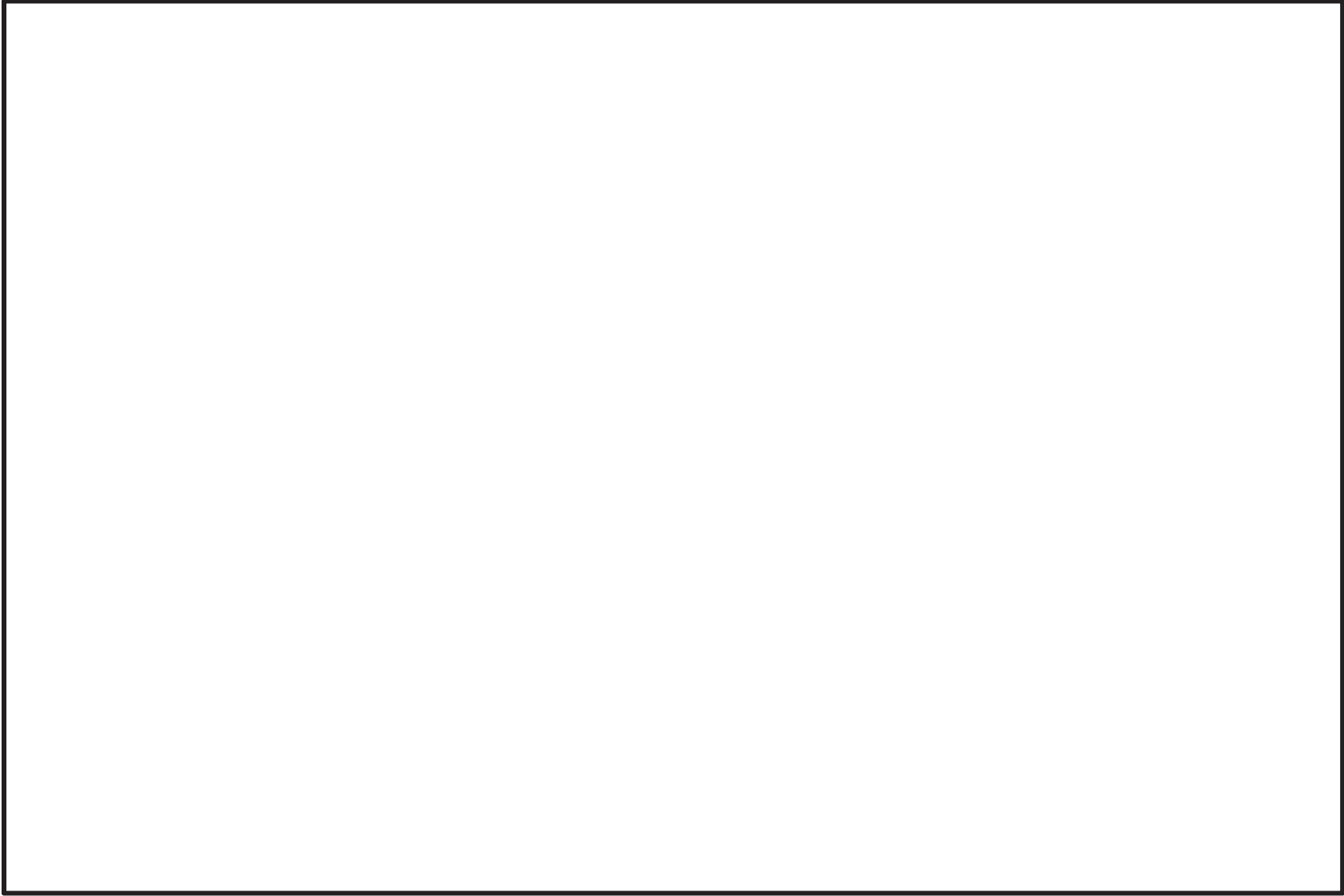
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



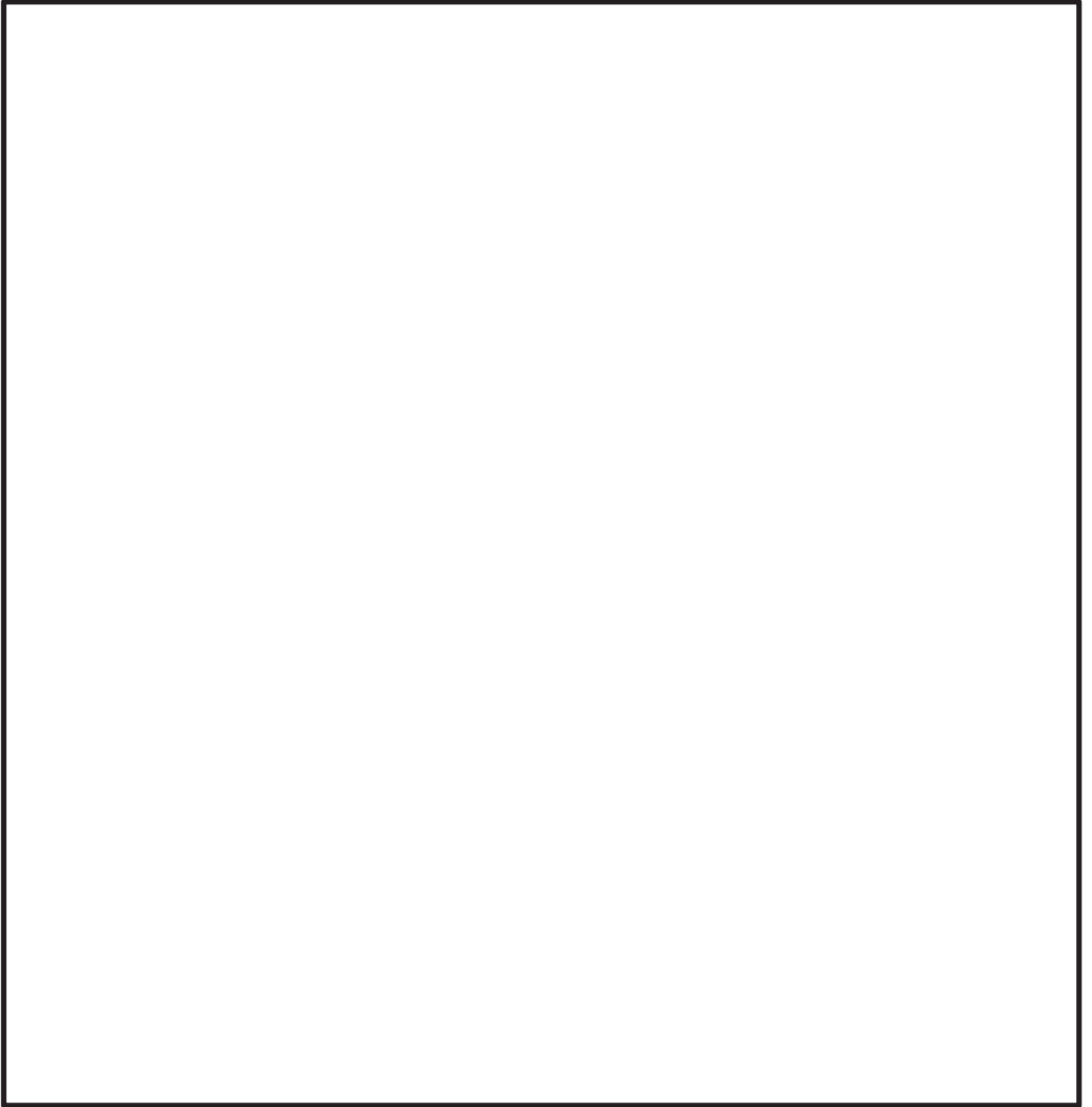
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



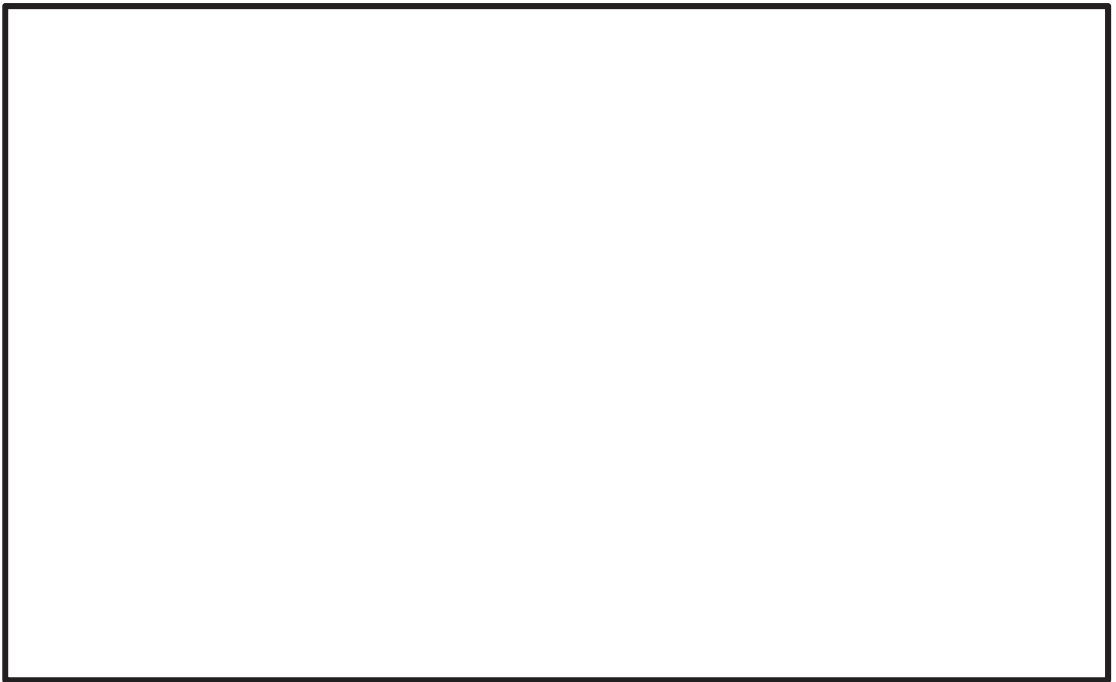
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



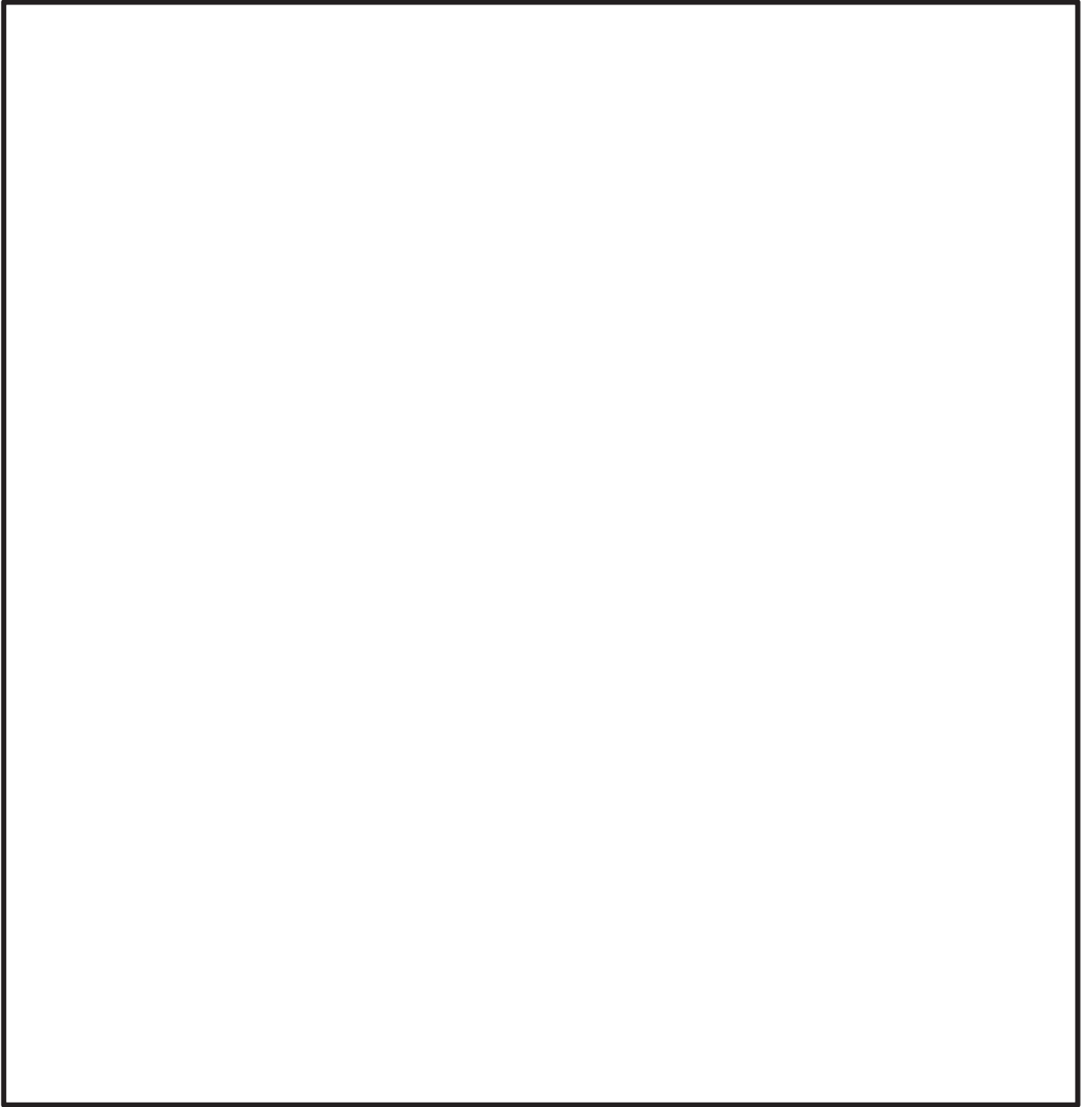
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



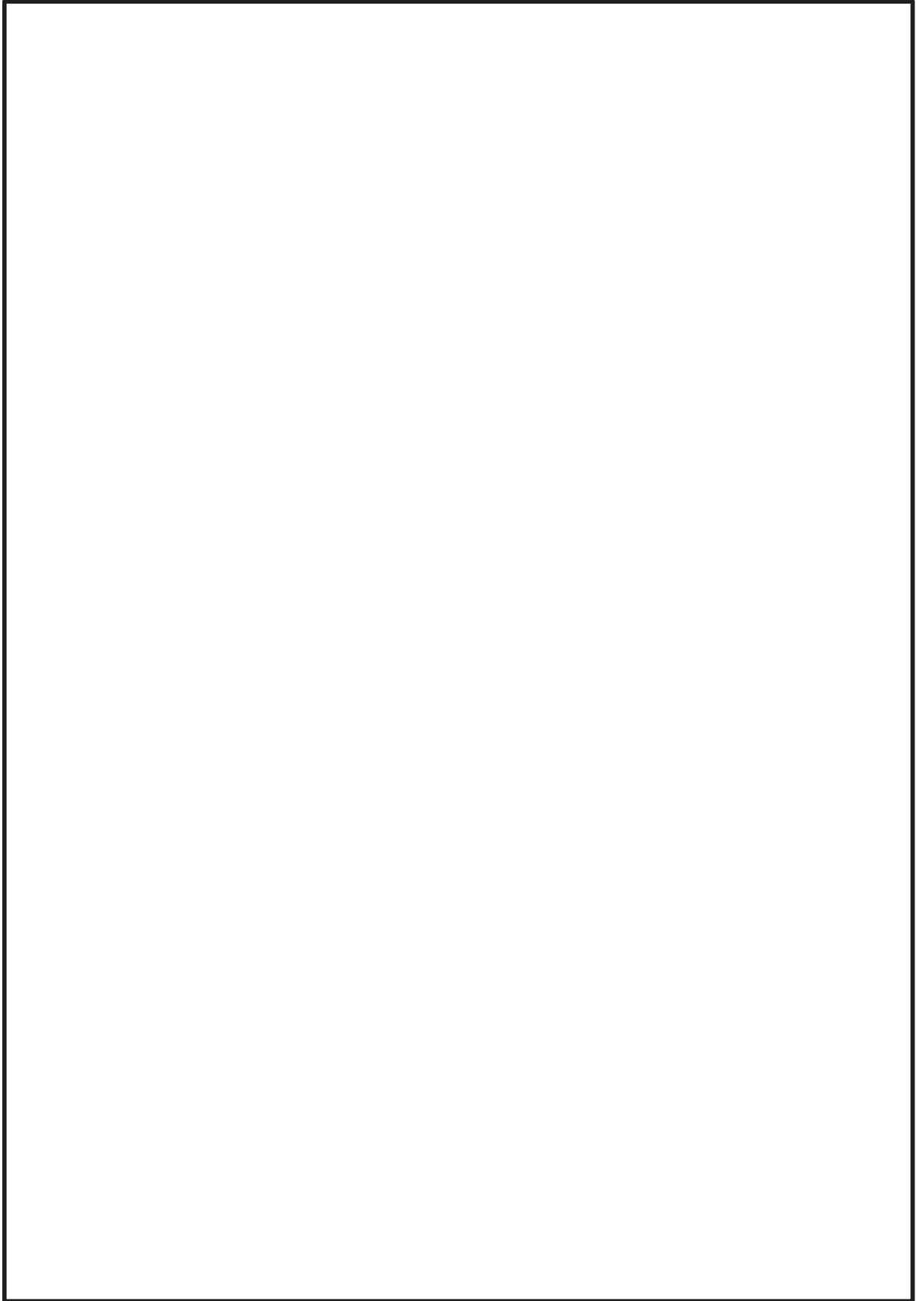
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



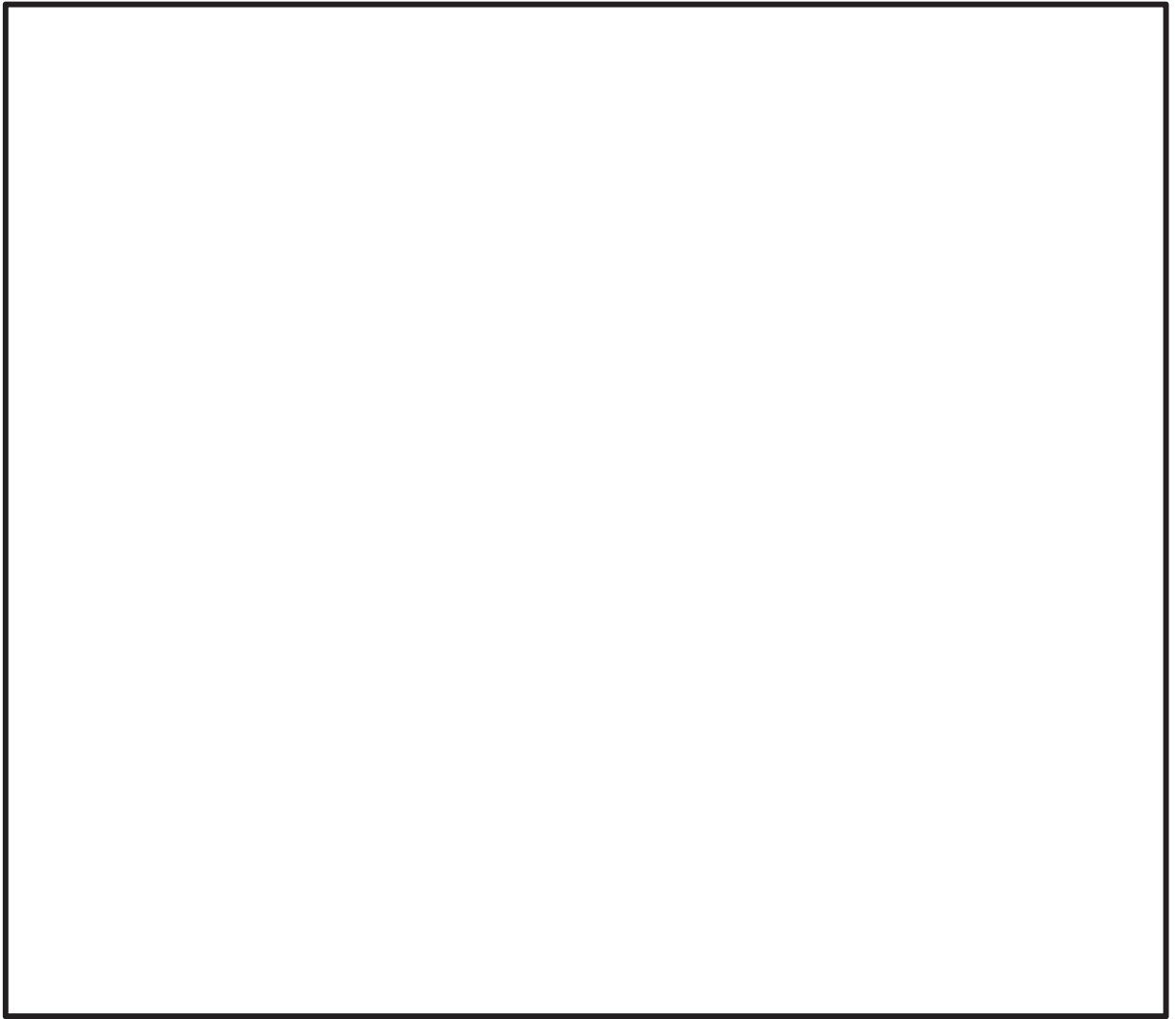
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



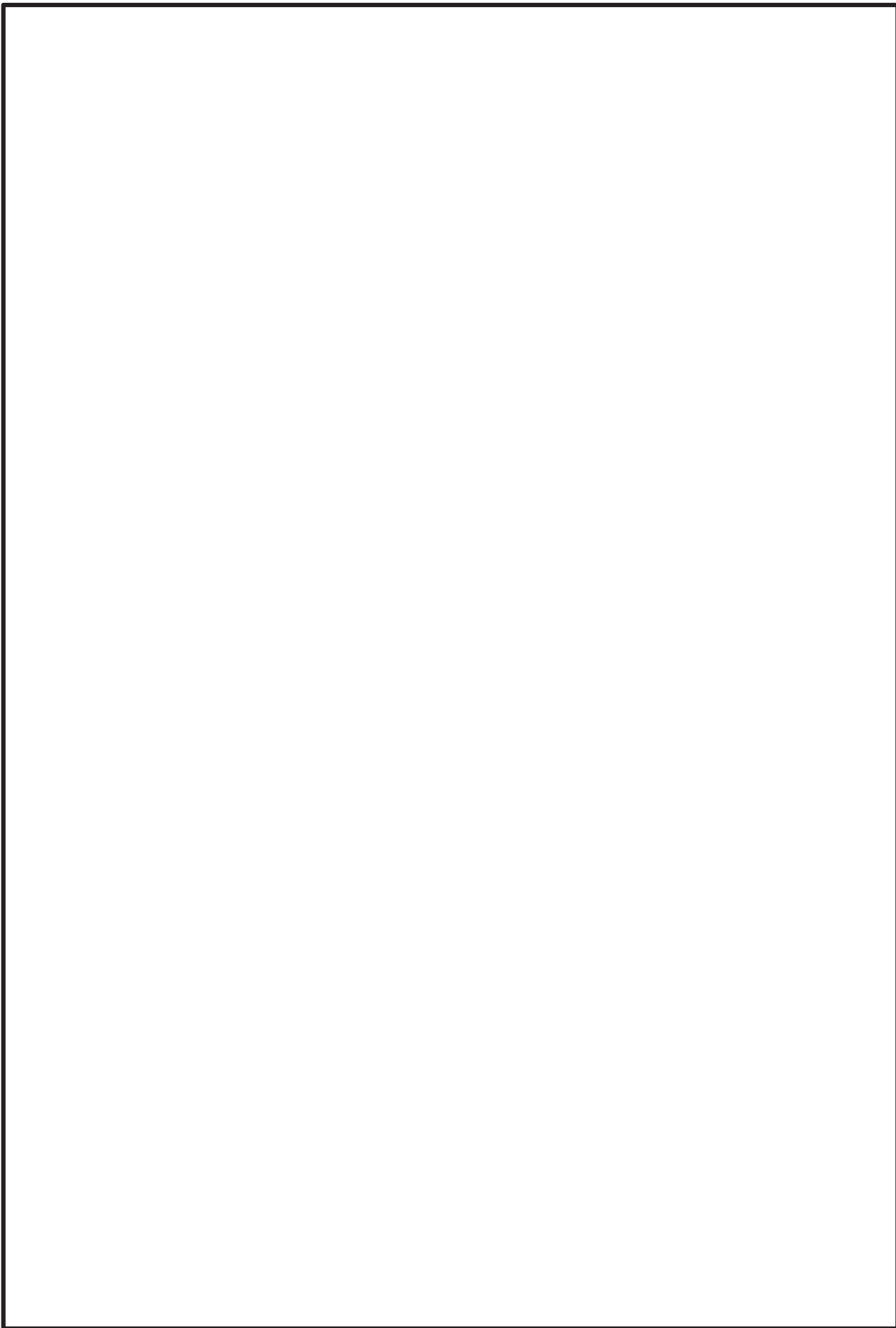
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

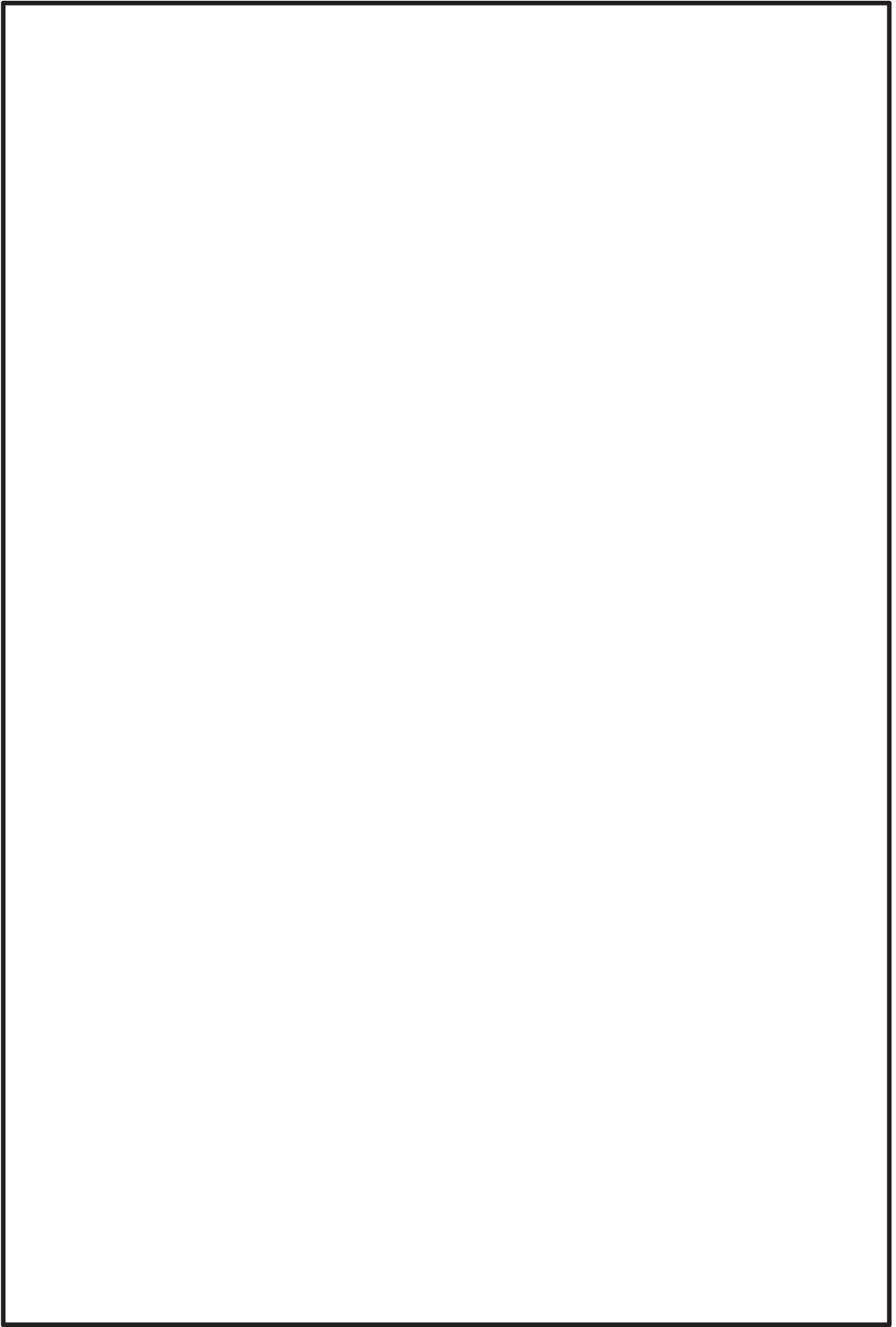


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

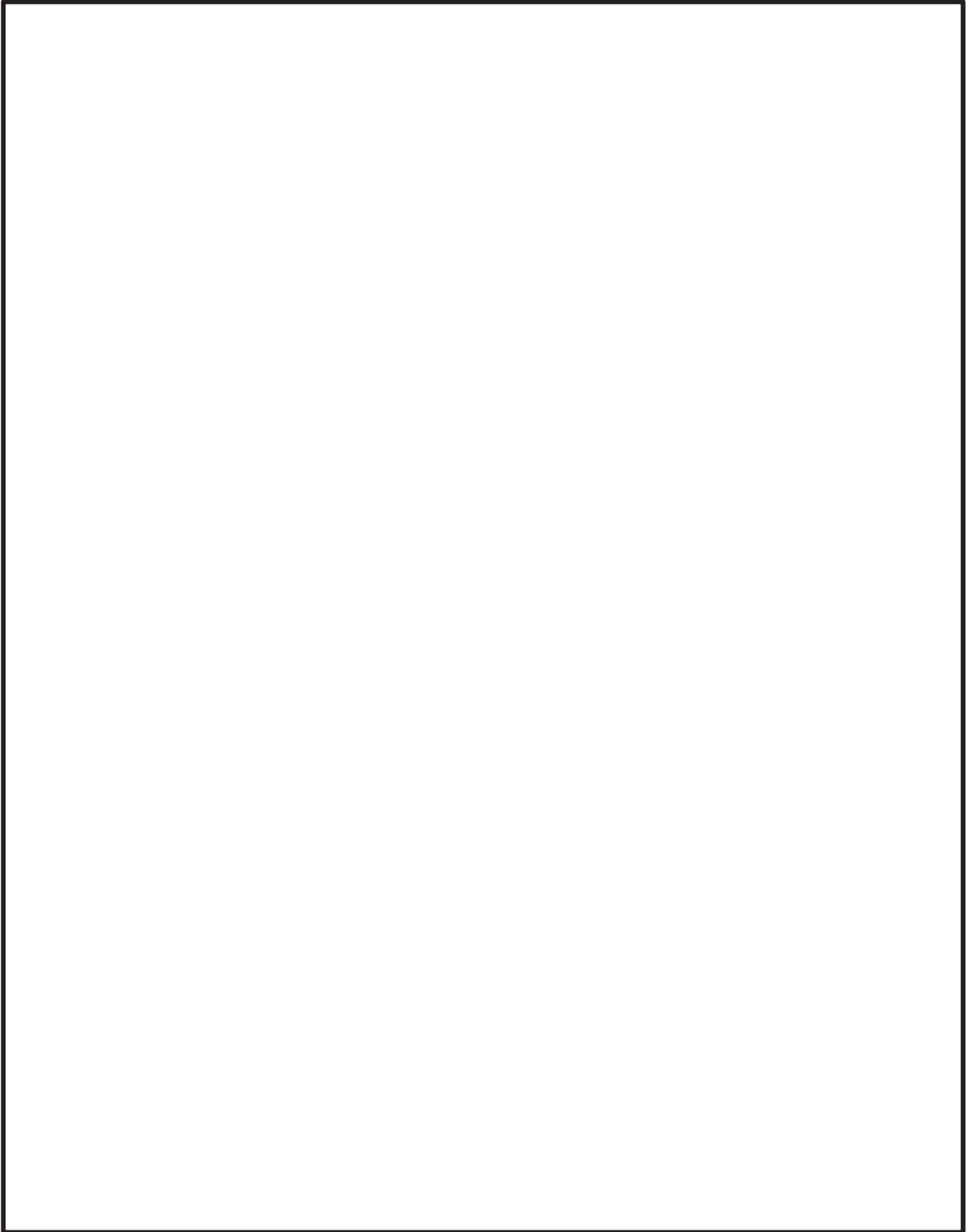




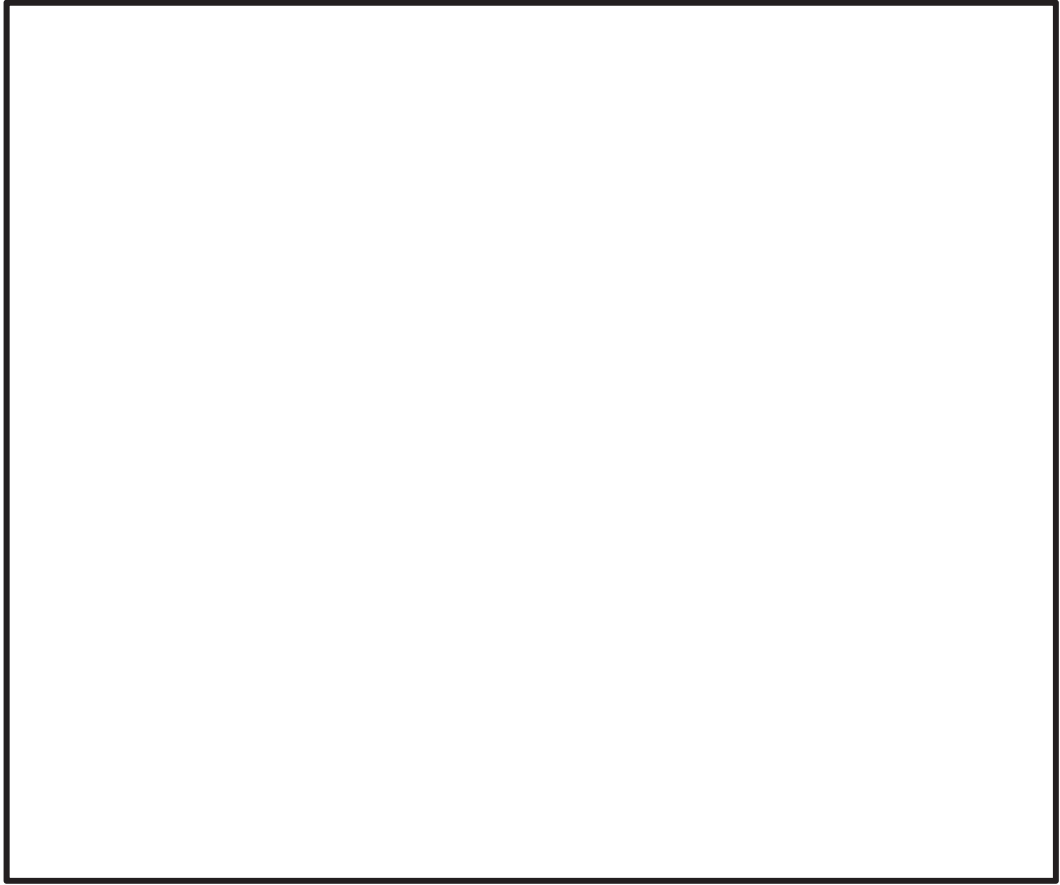
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



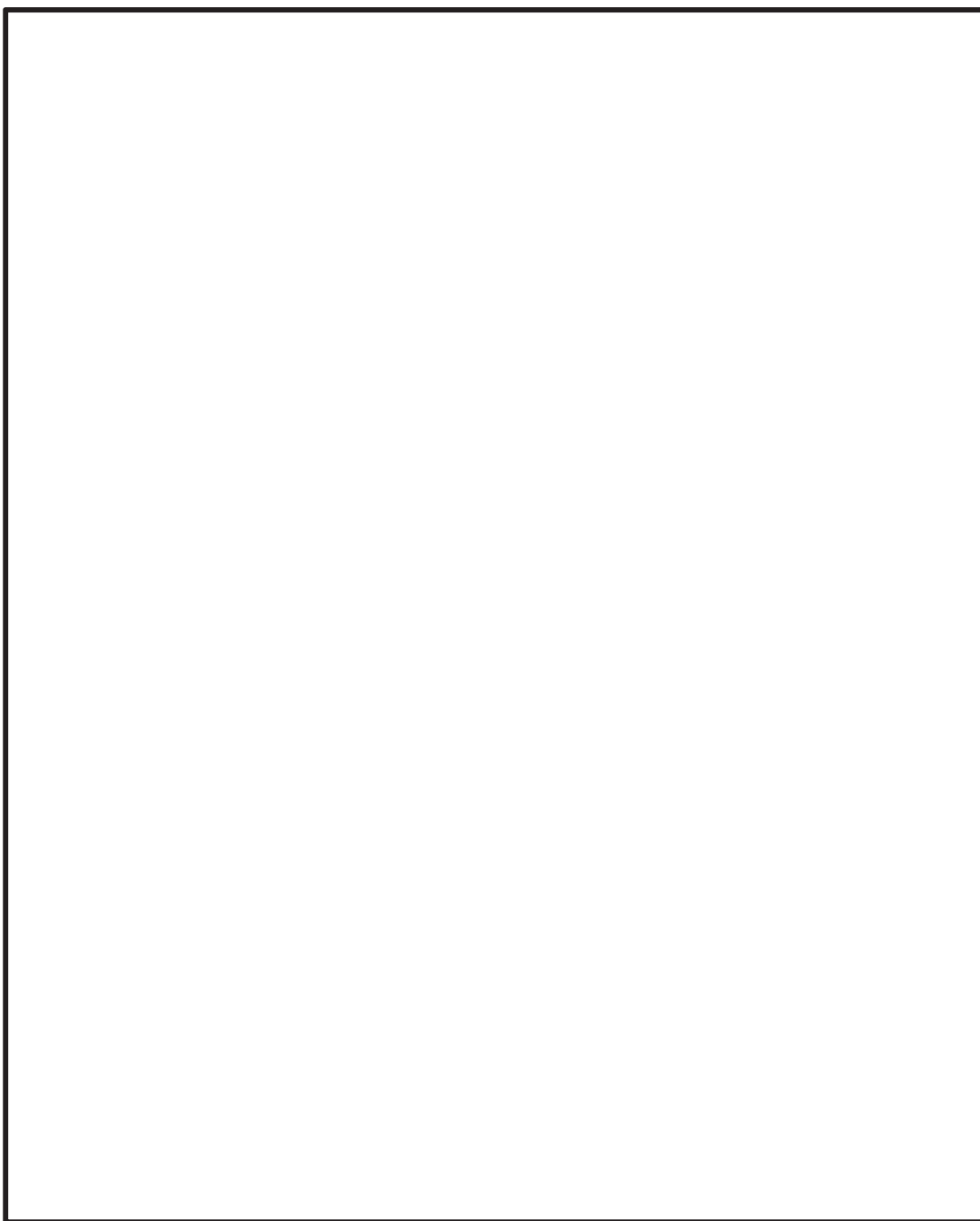
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



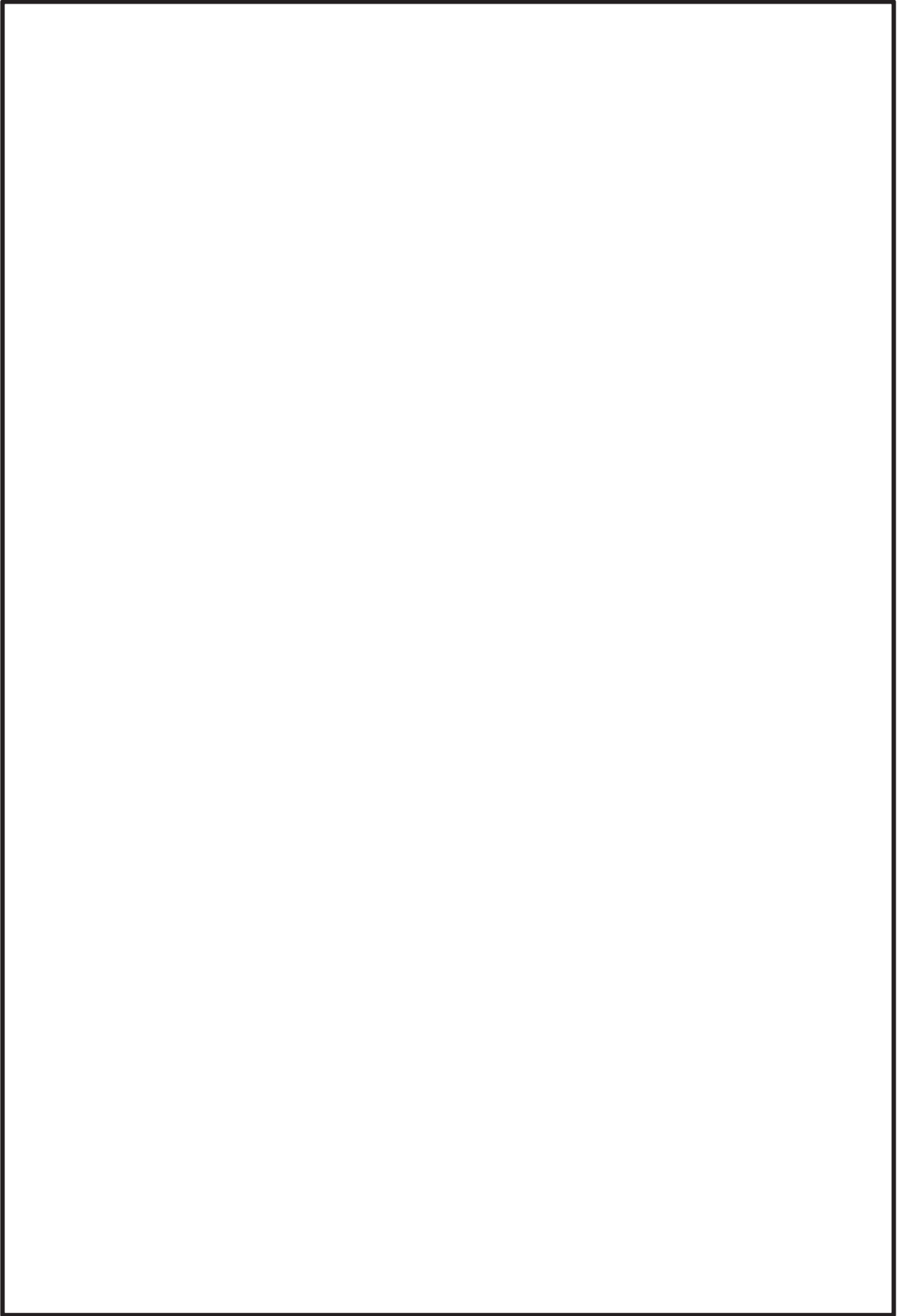
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



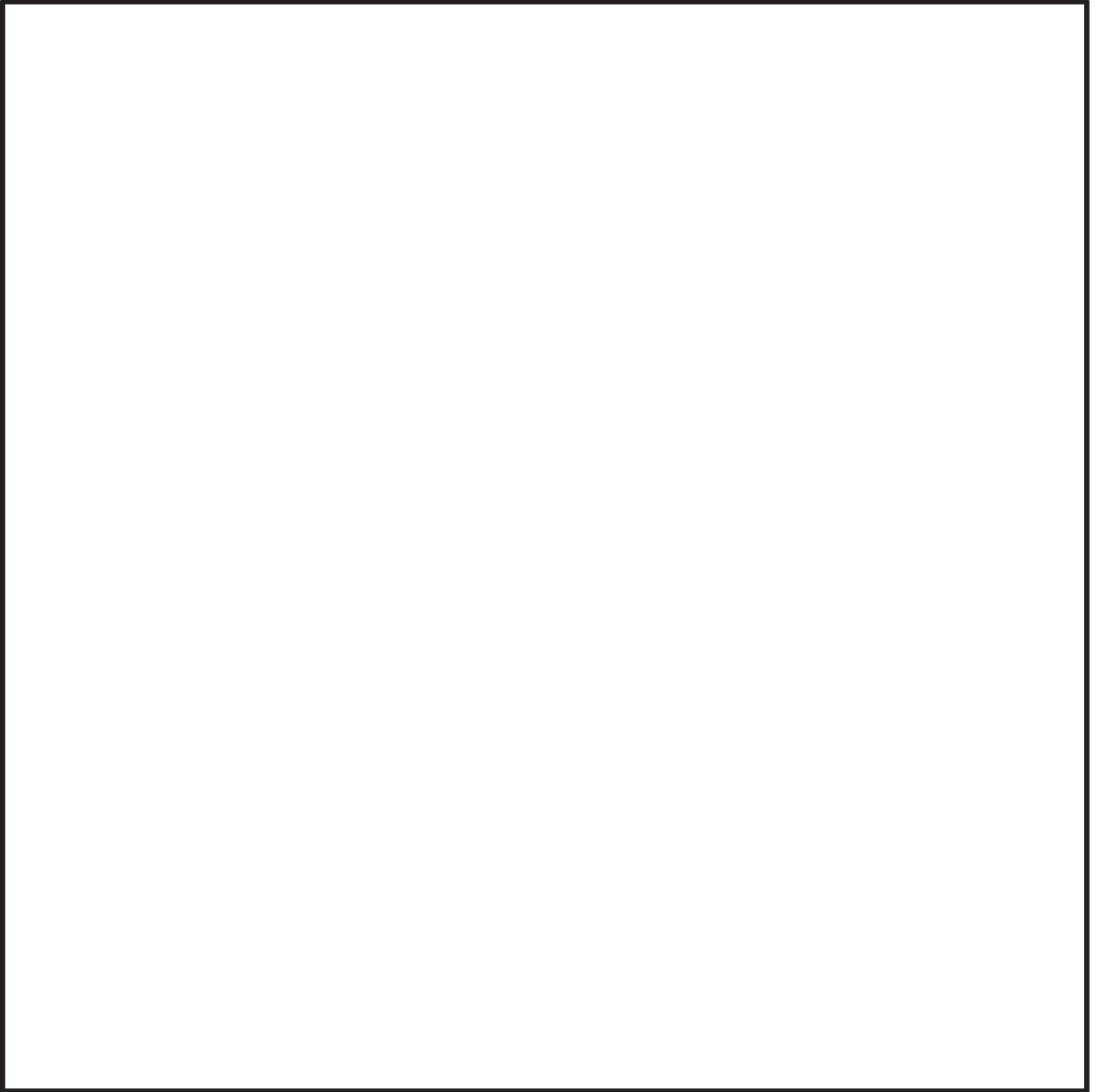
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



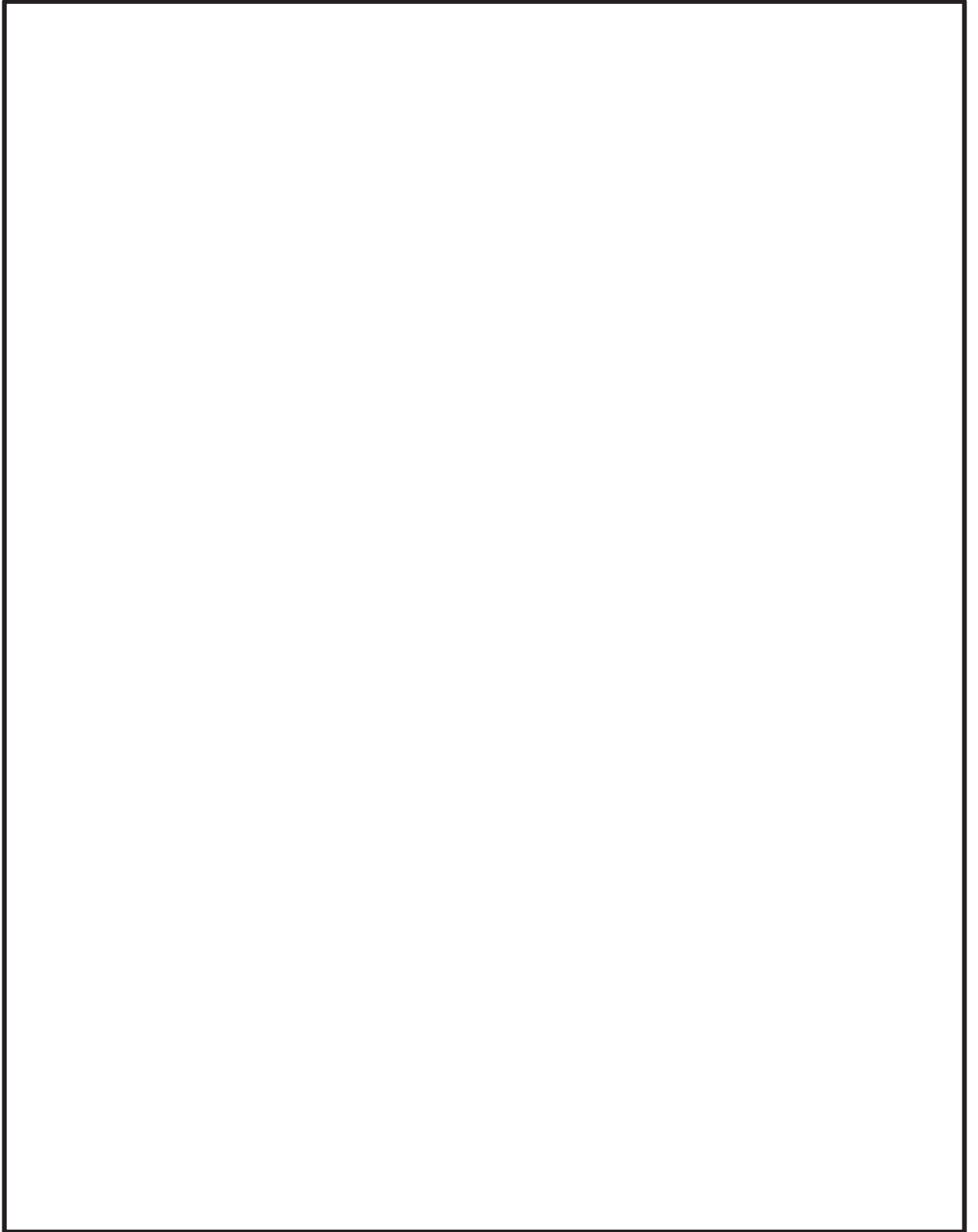
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



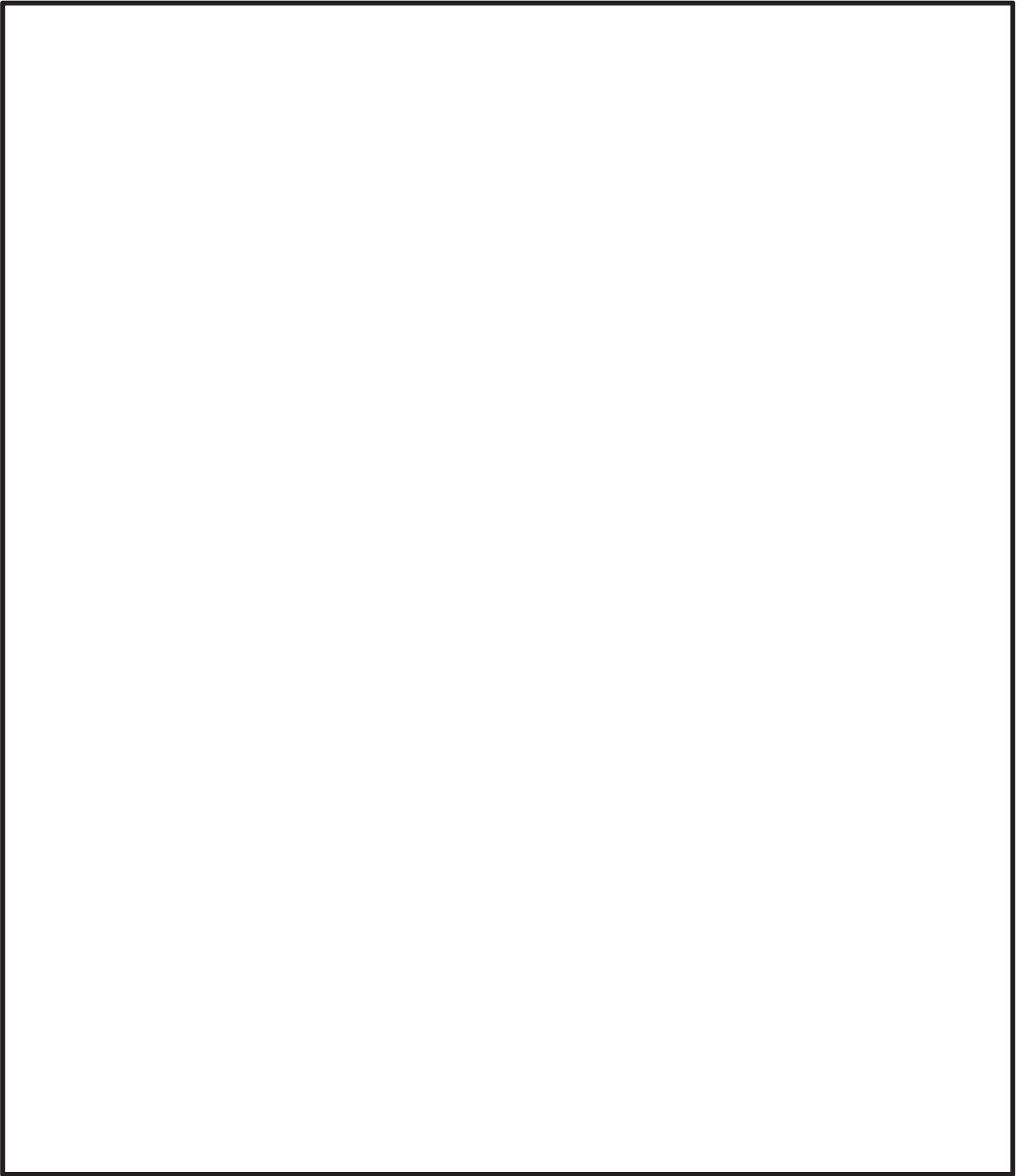
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



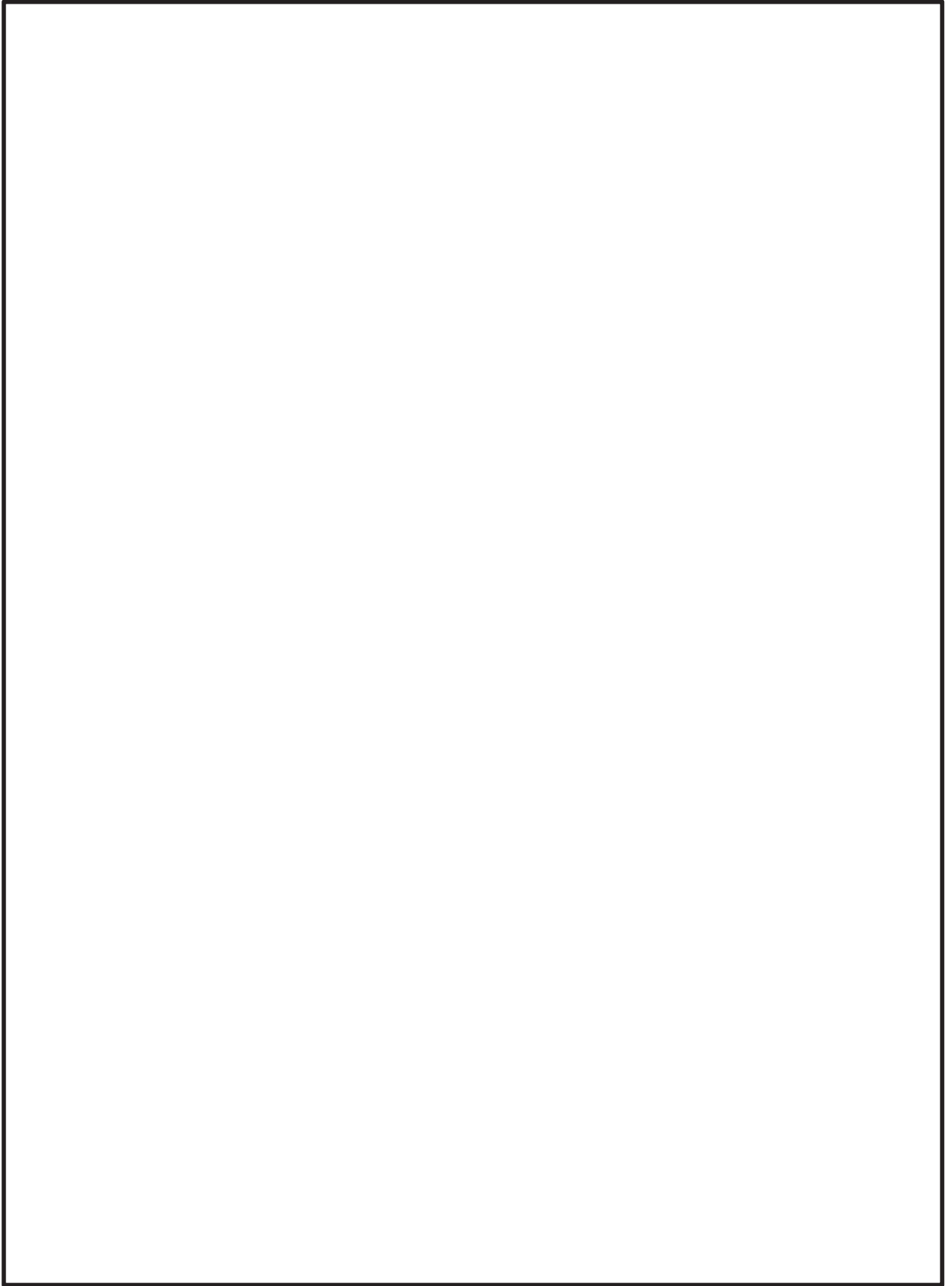
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



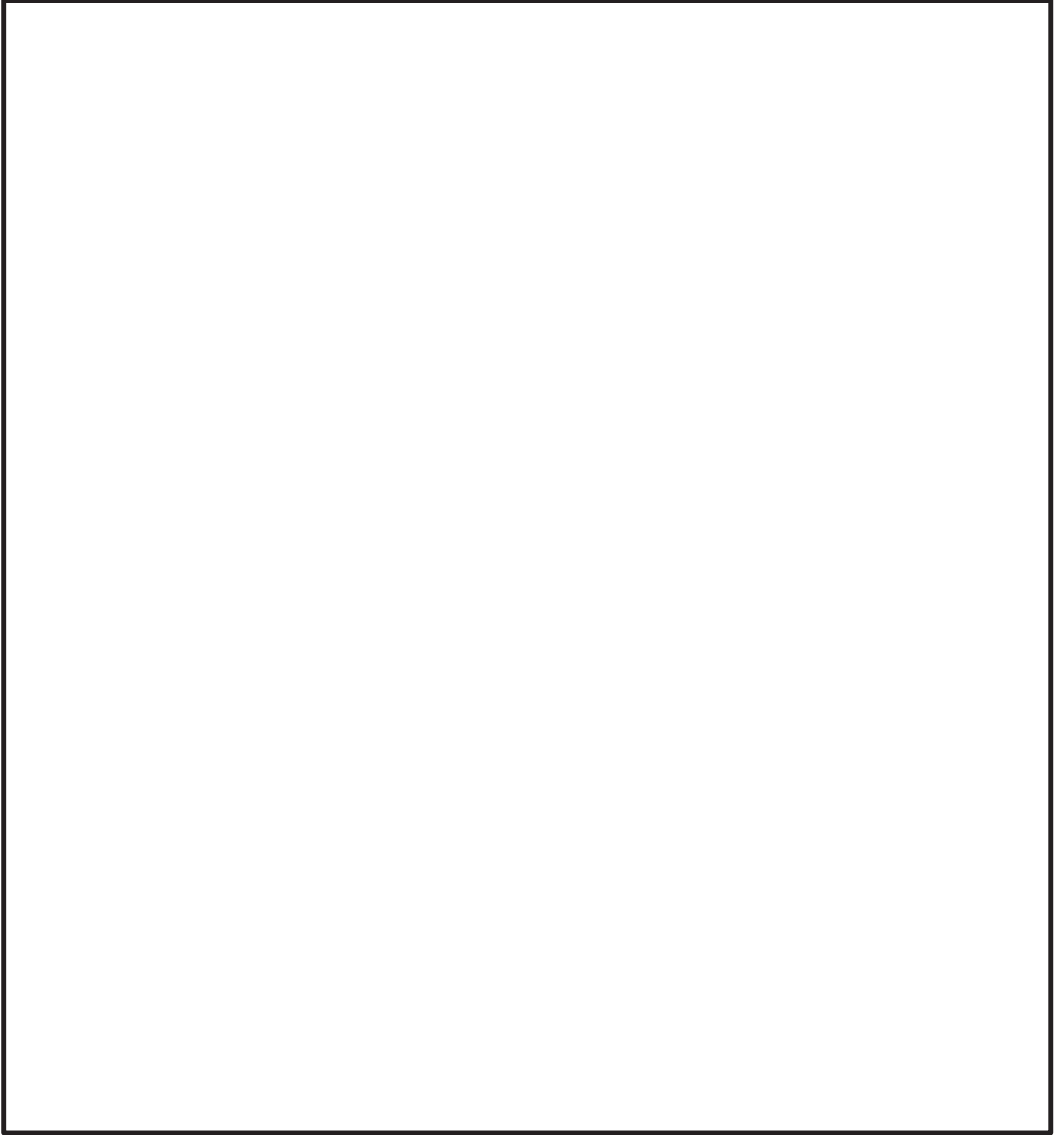
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



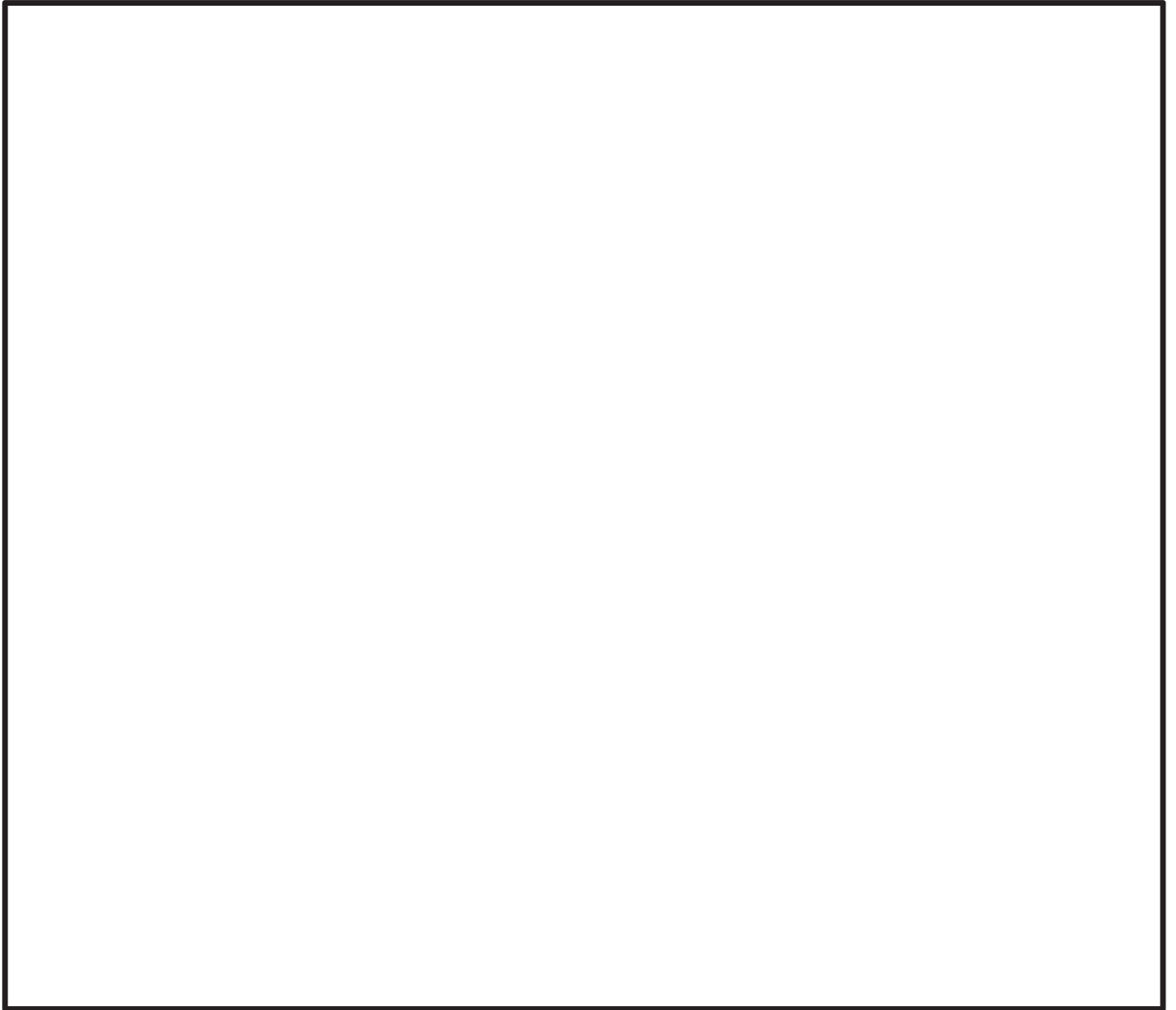
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



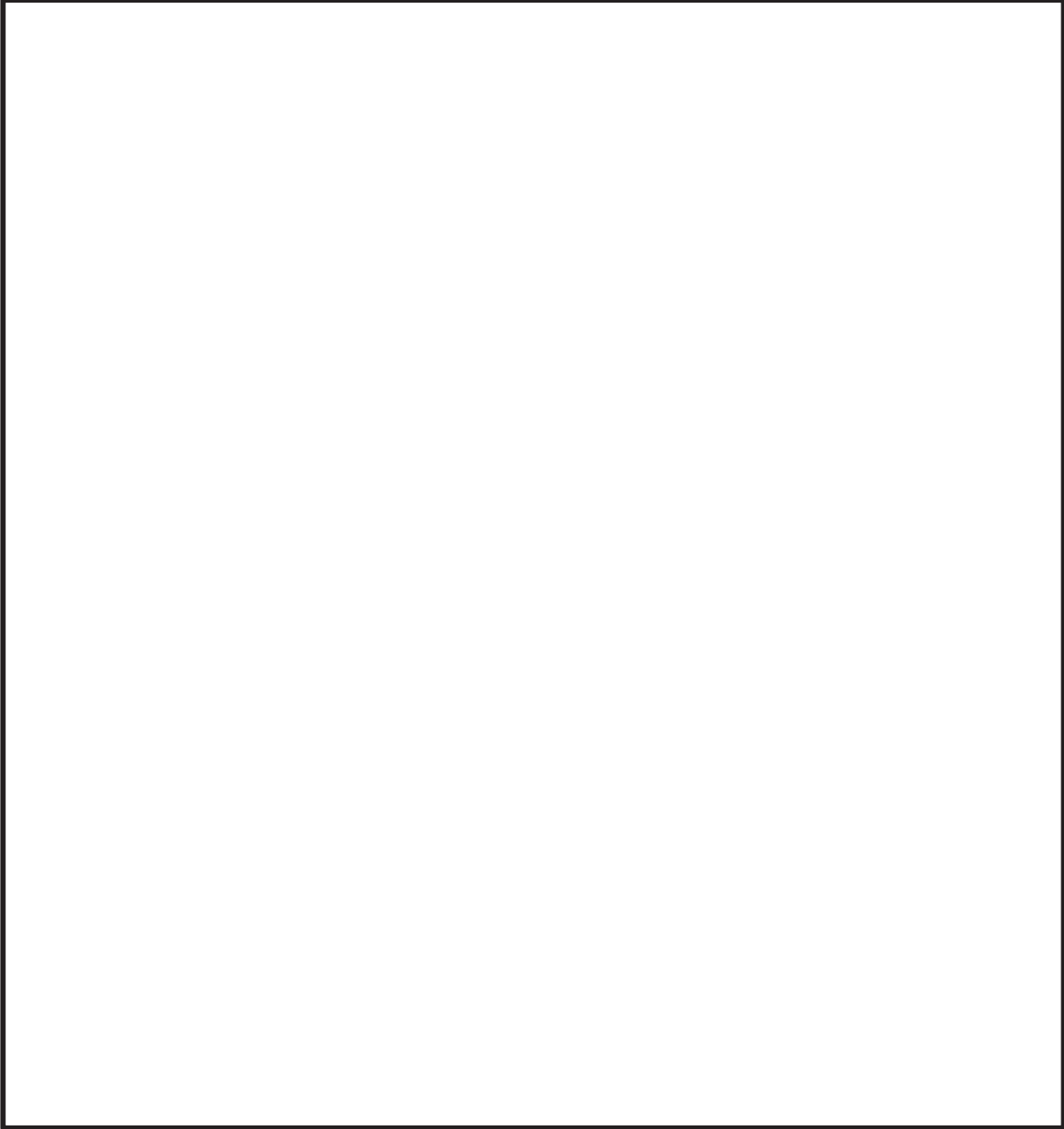
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



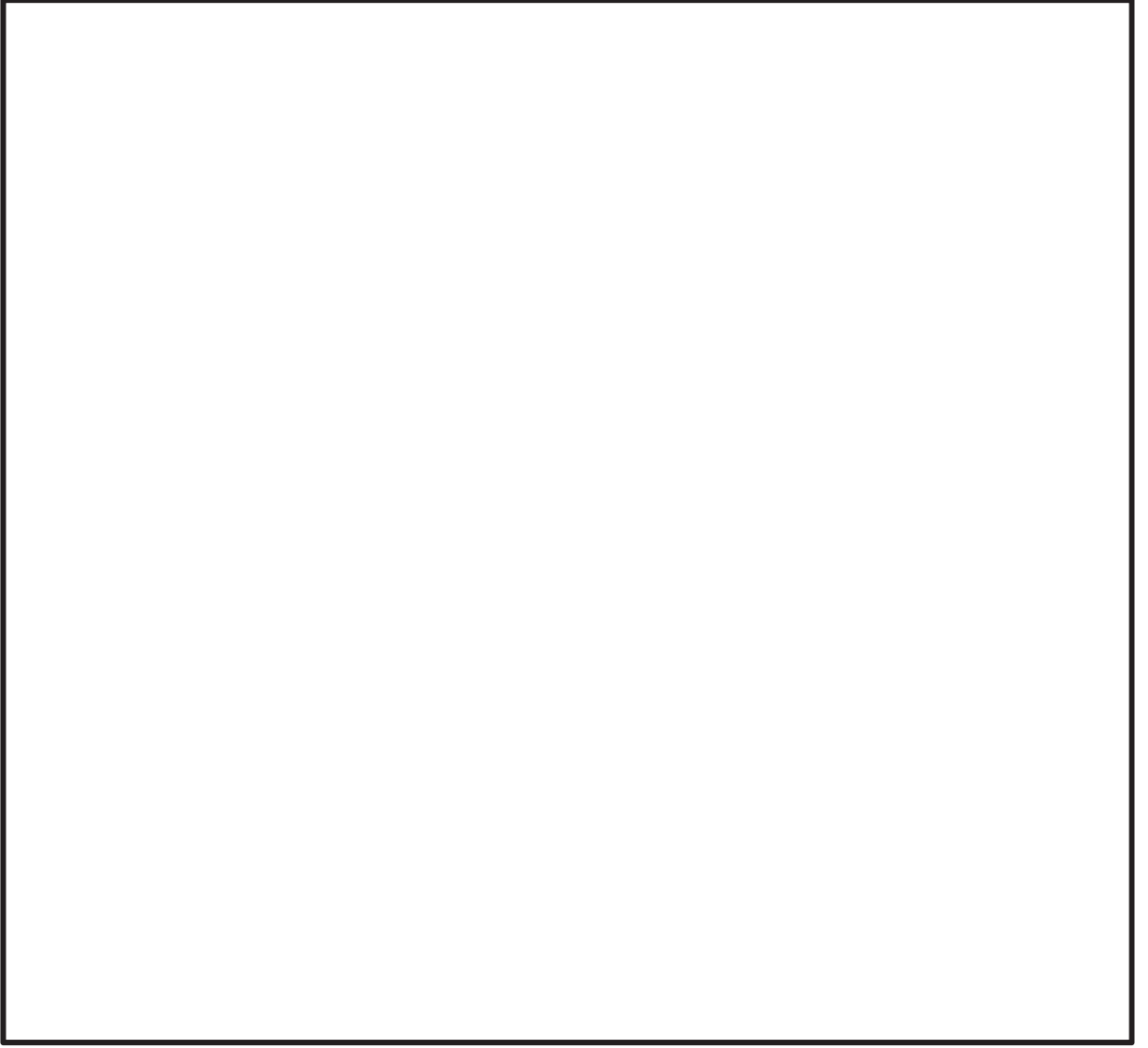
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



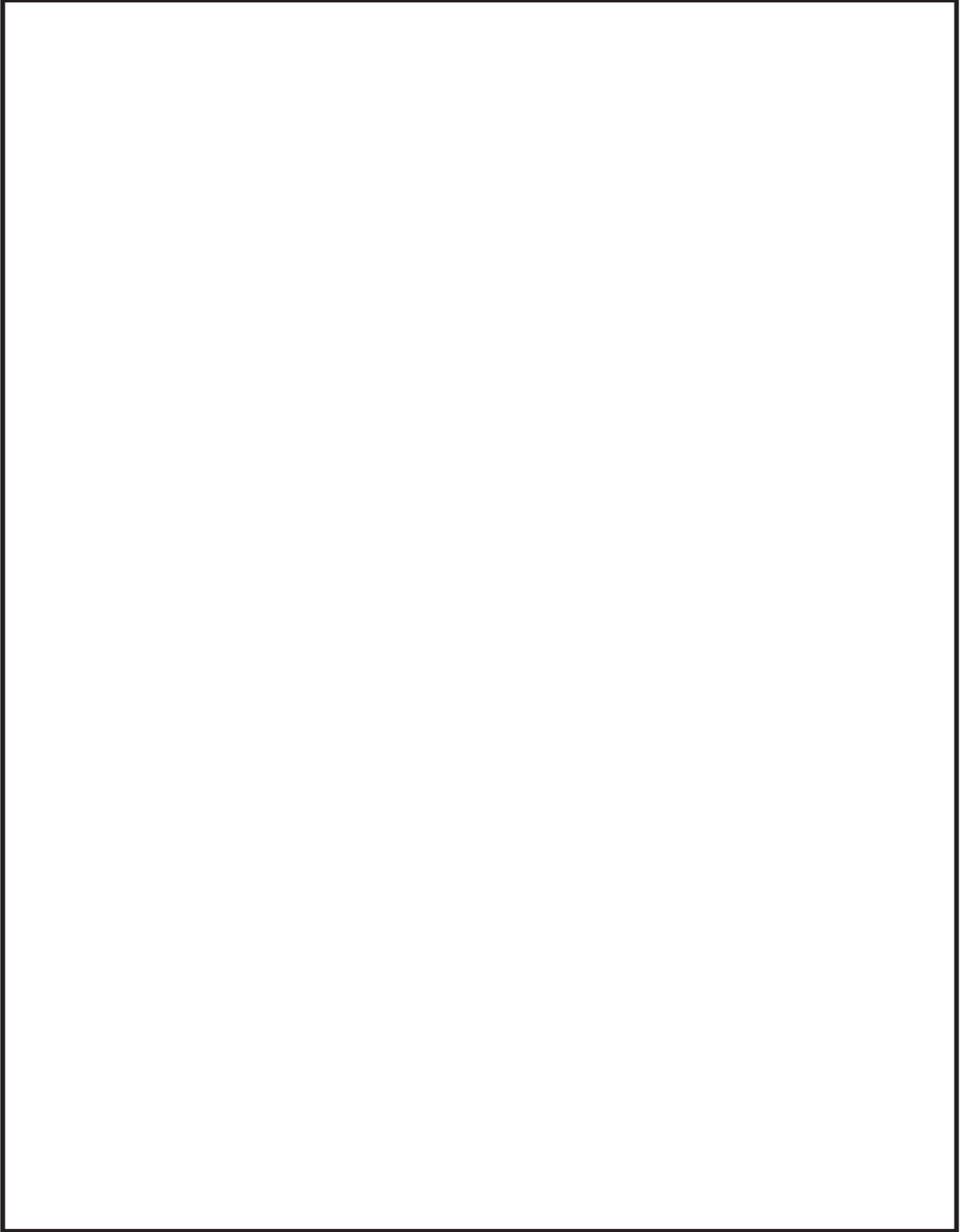
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

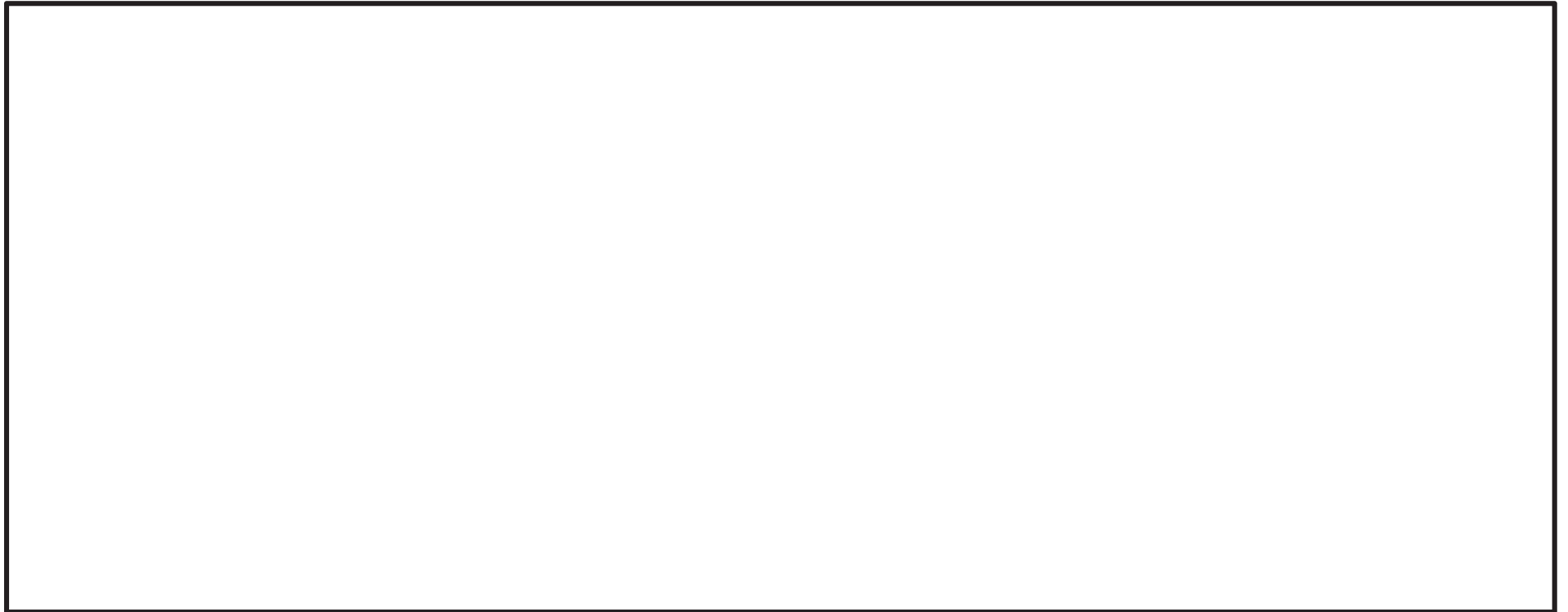


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

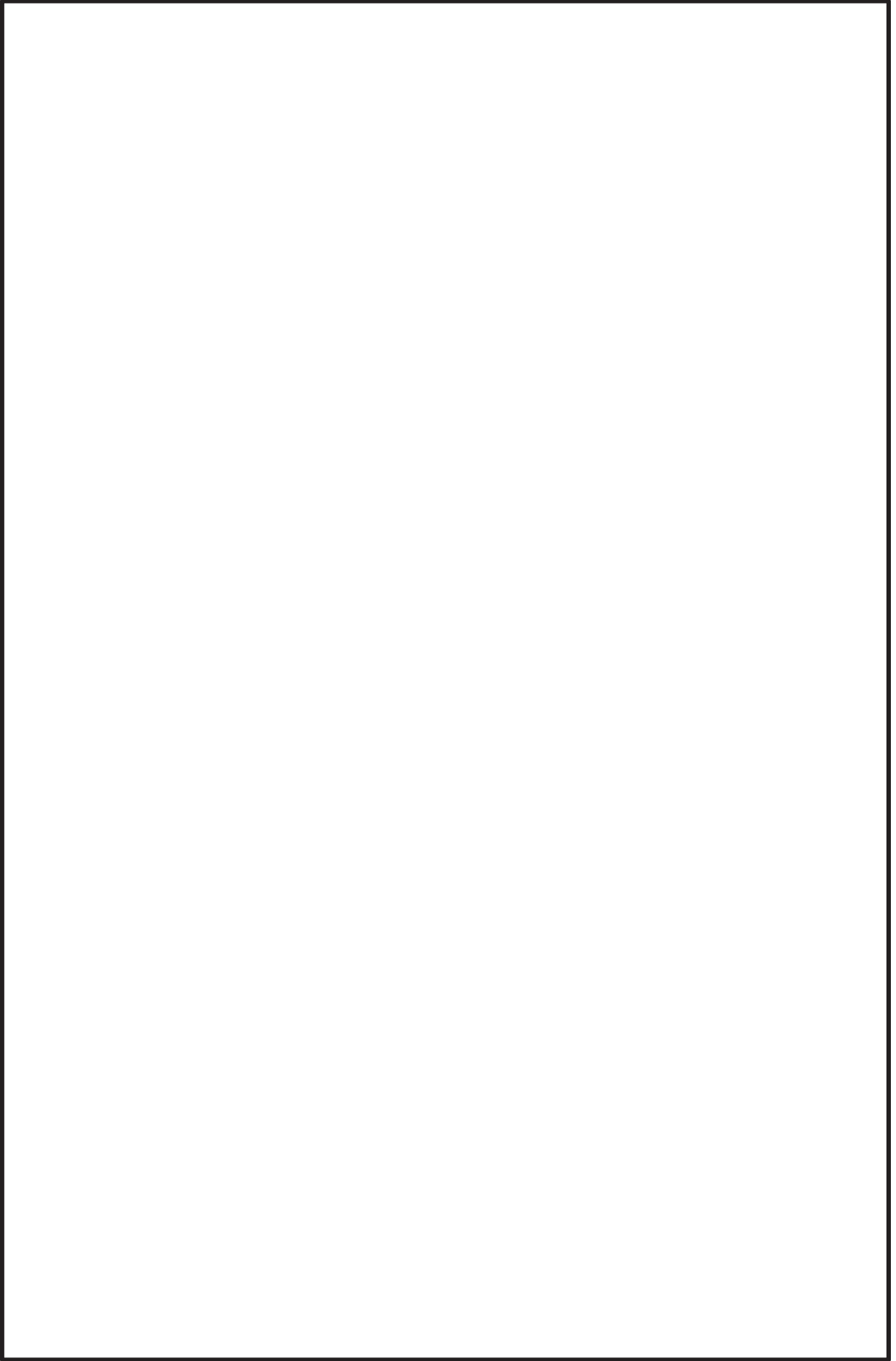


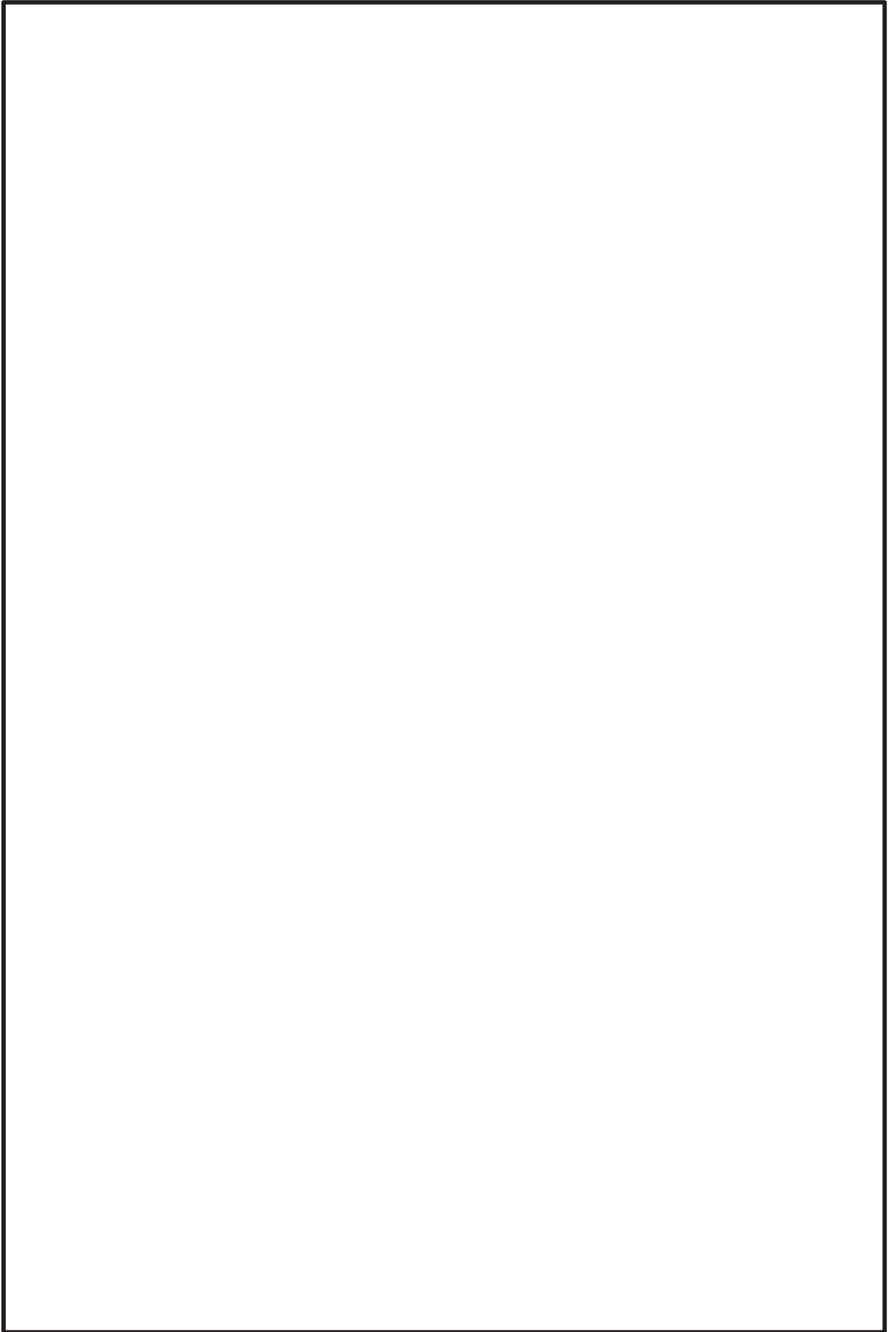
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

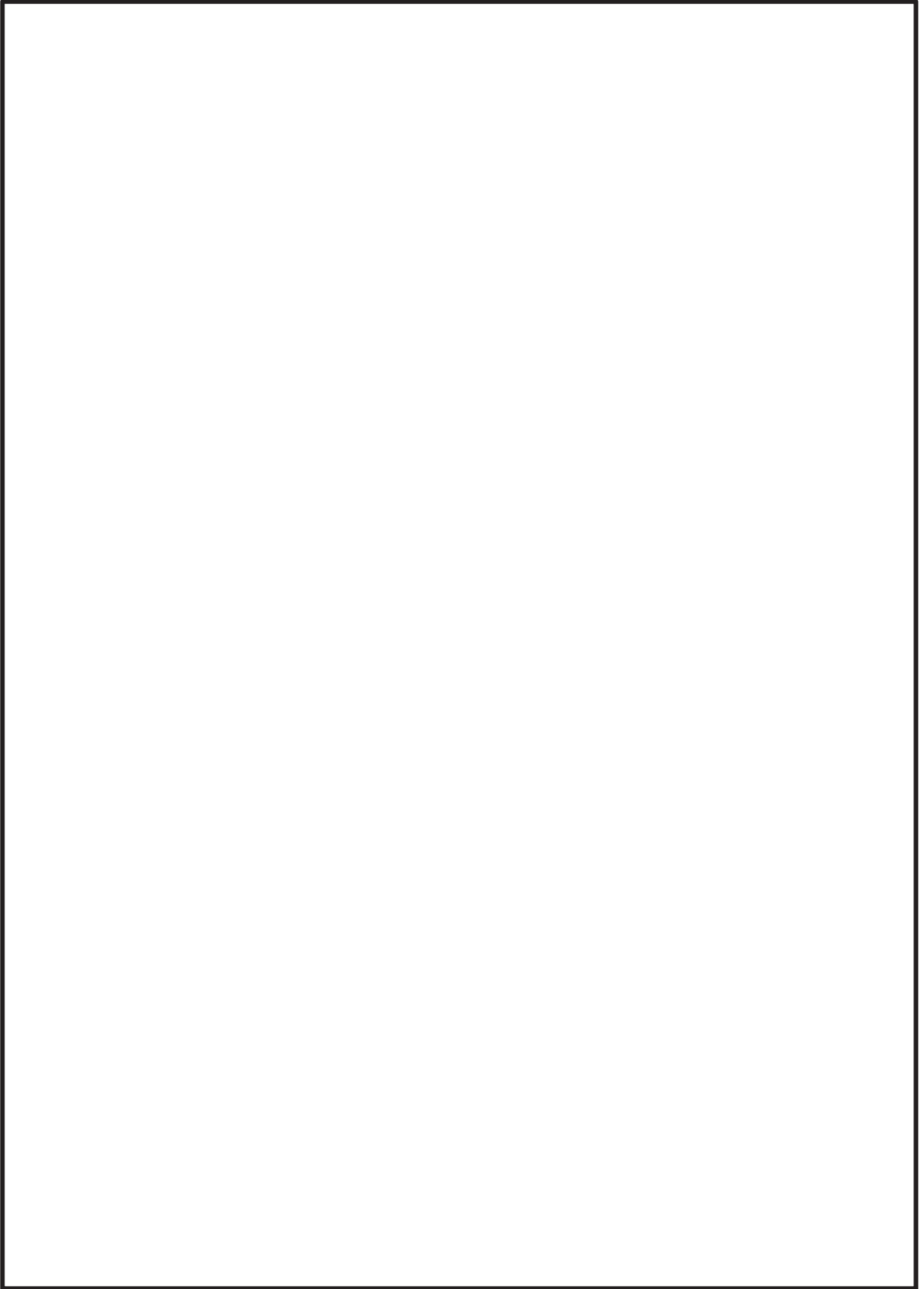
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



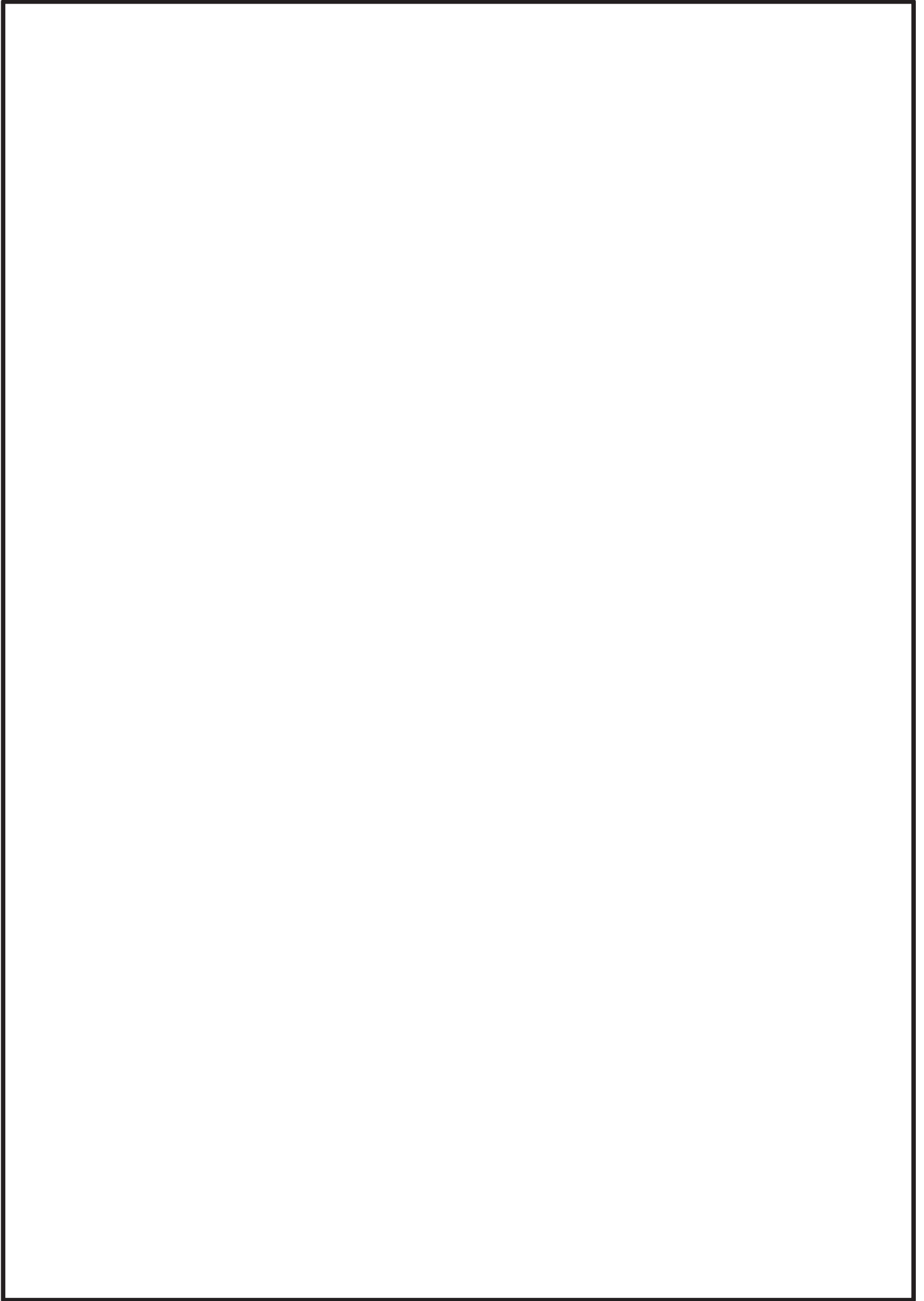
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



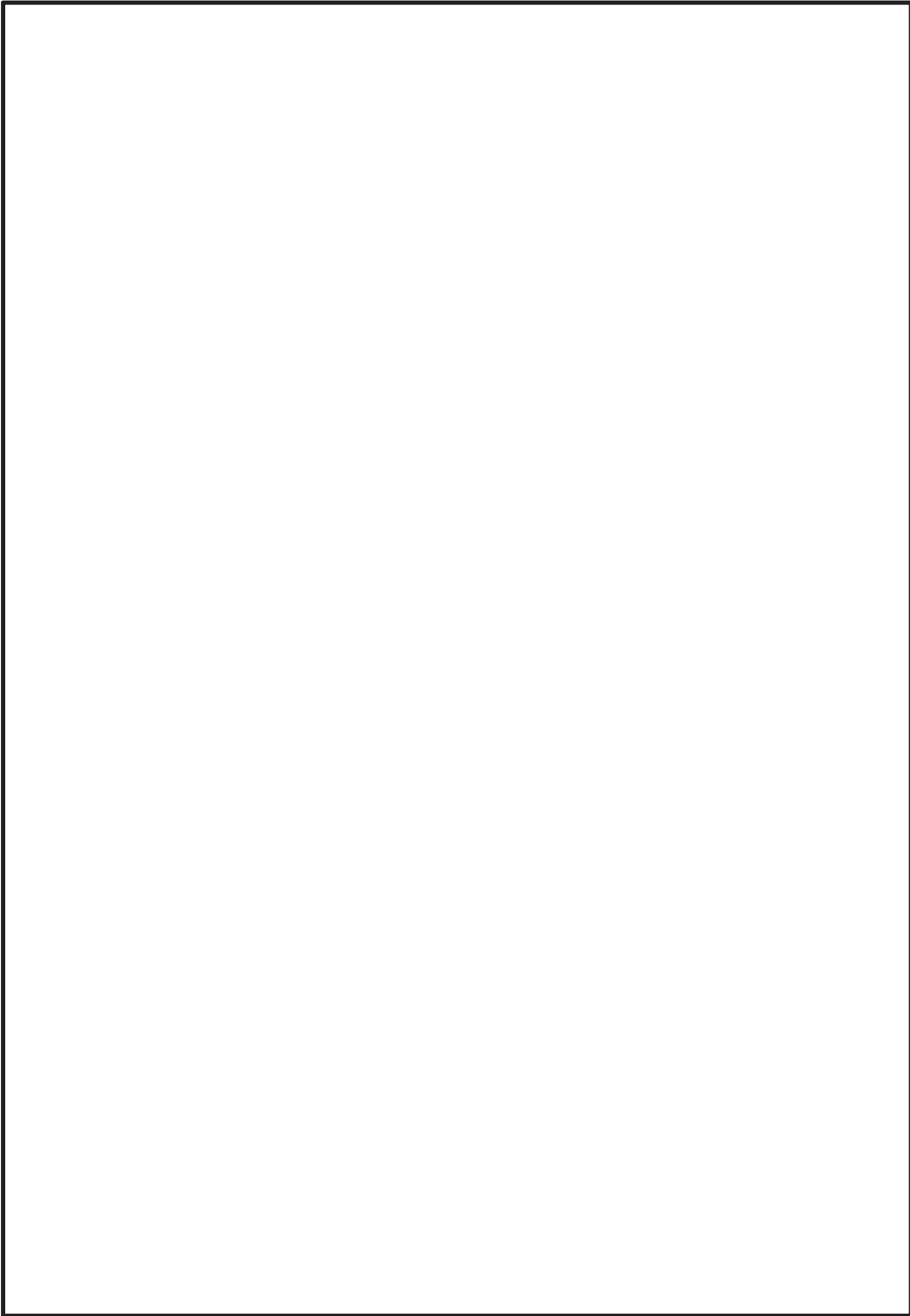




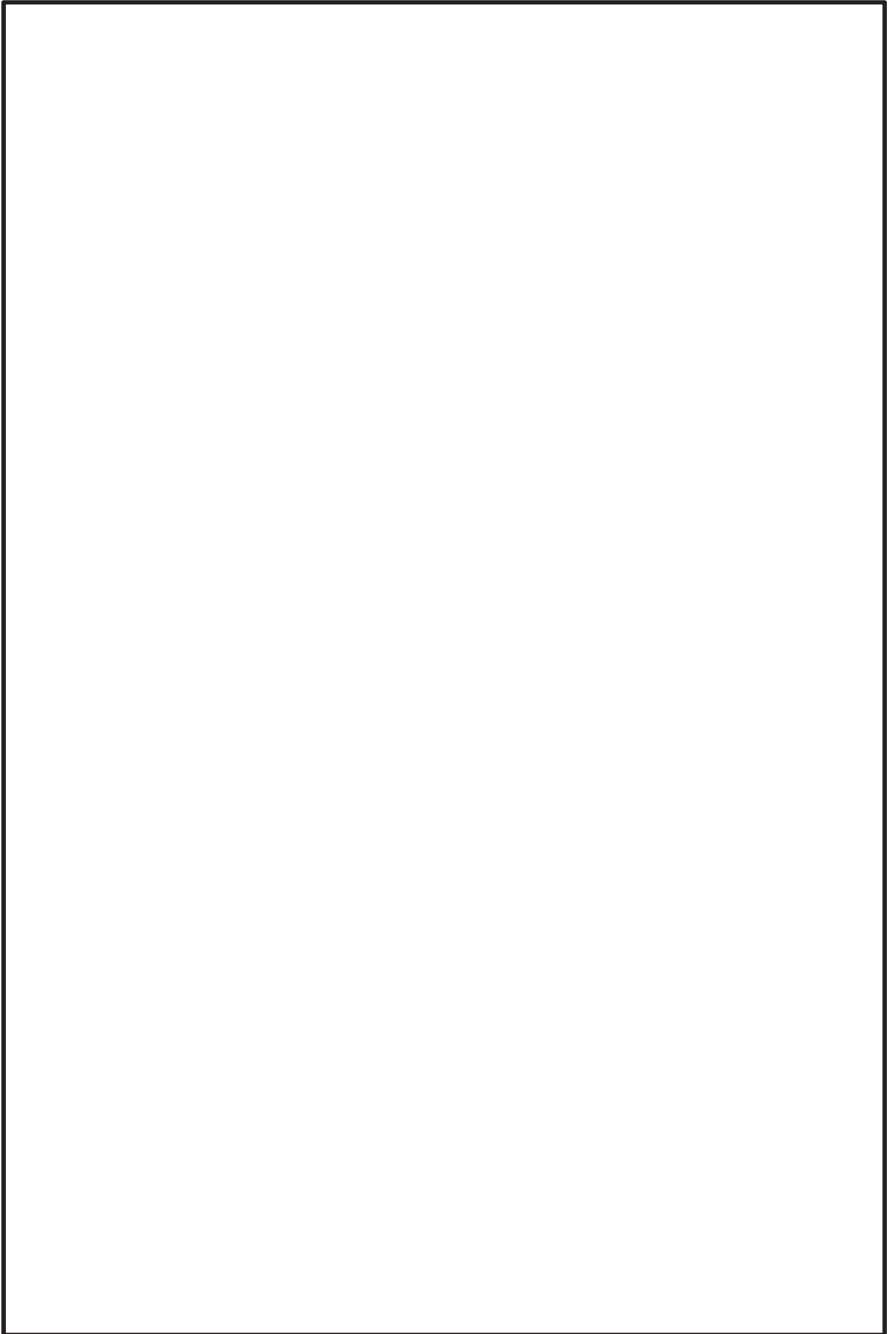
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

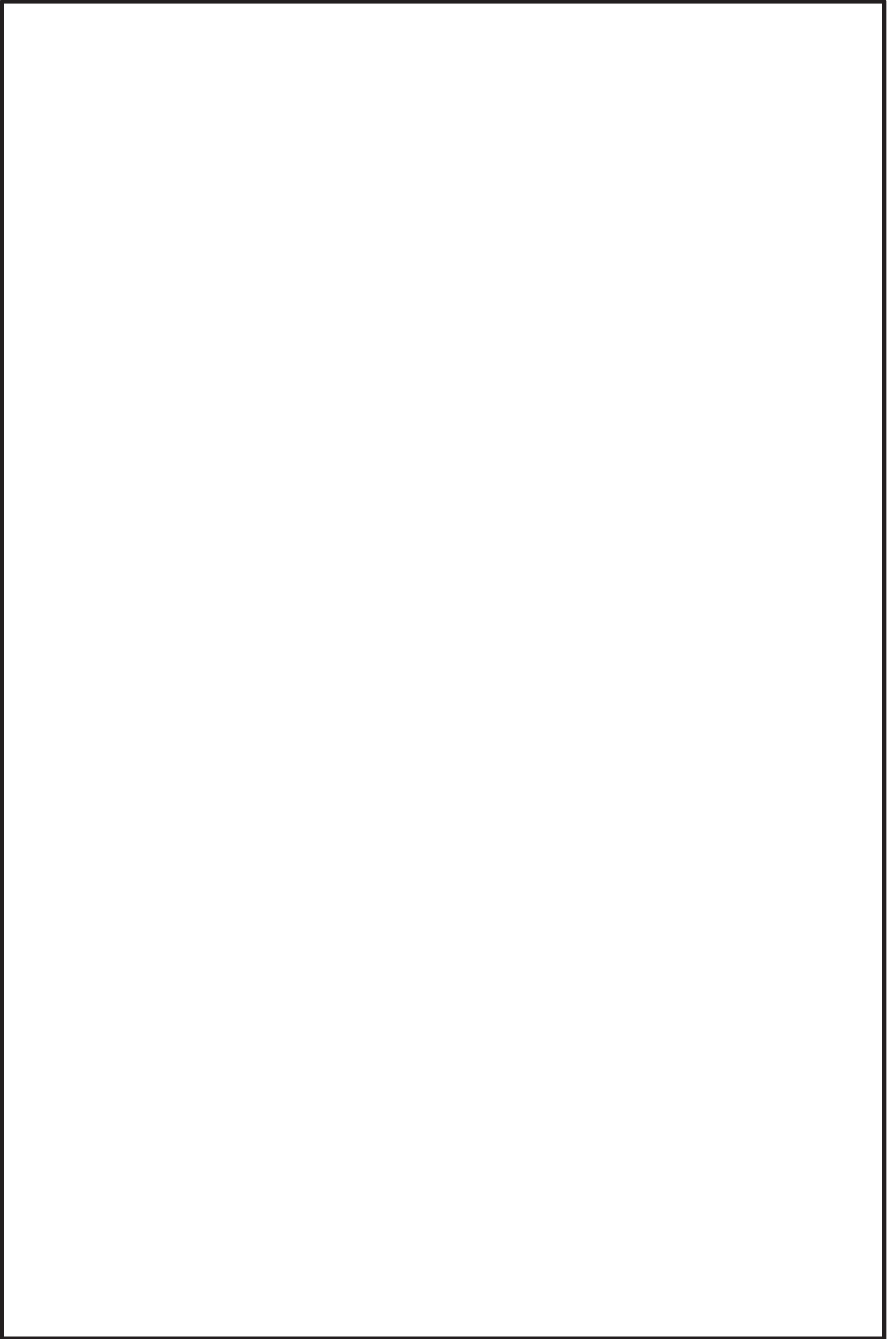


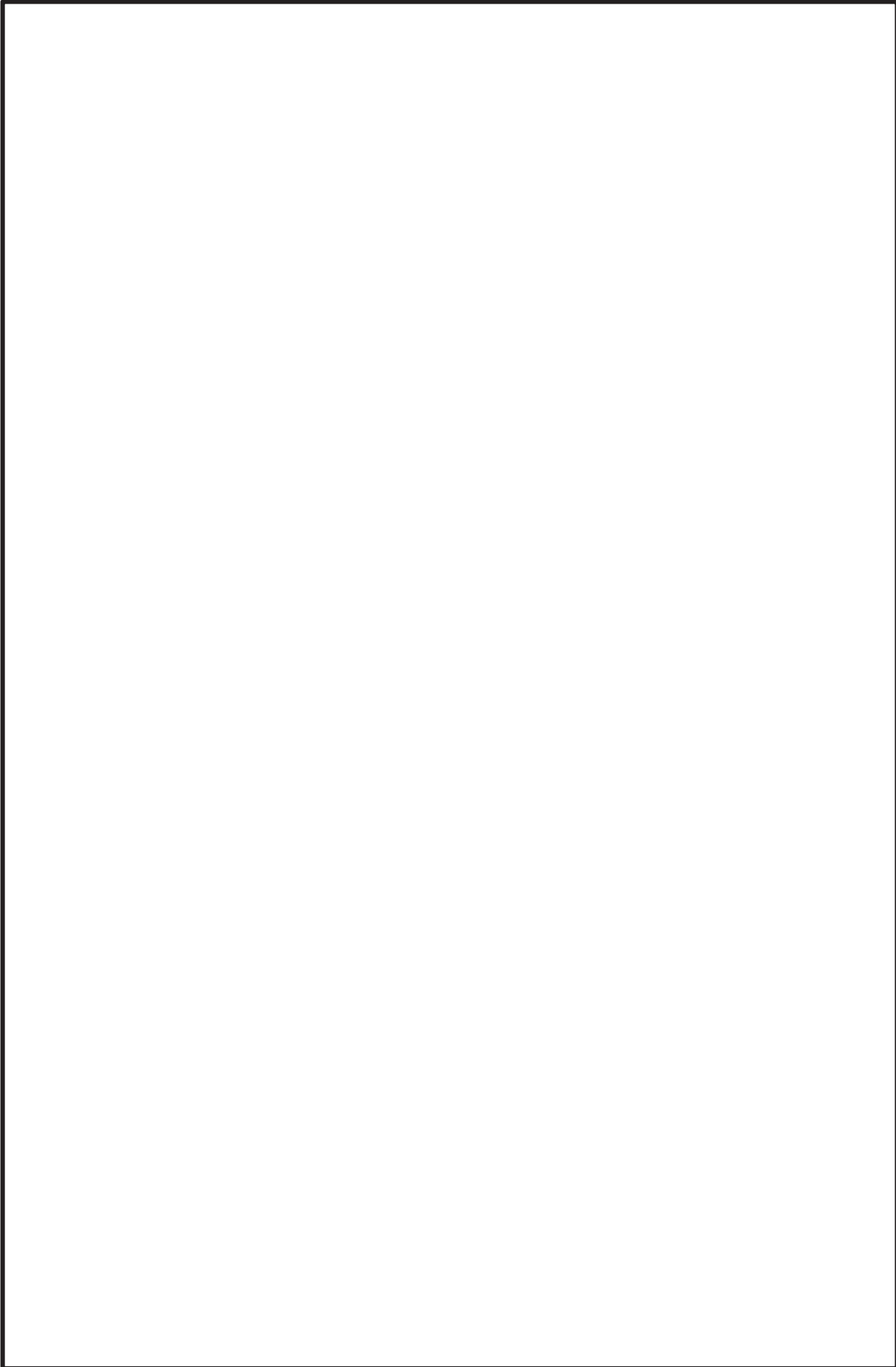
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。









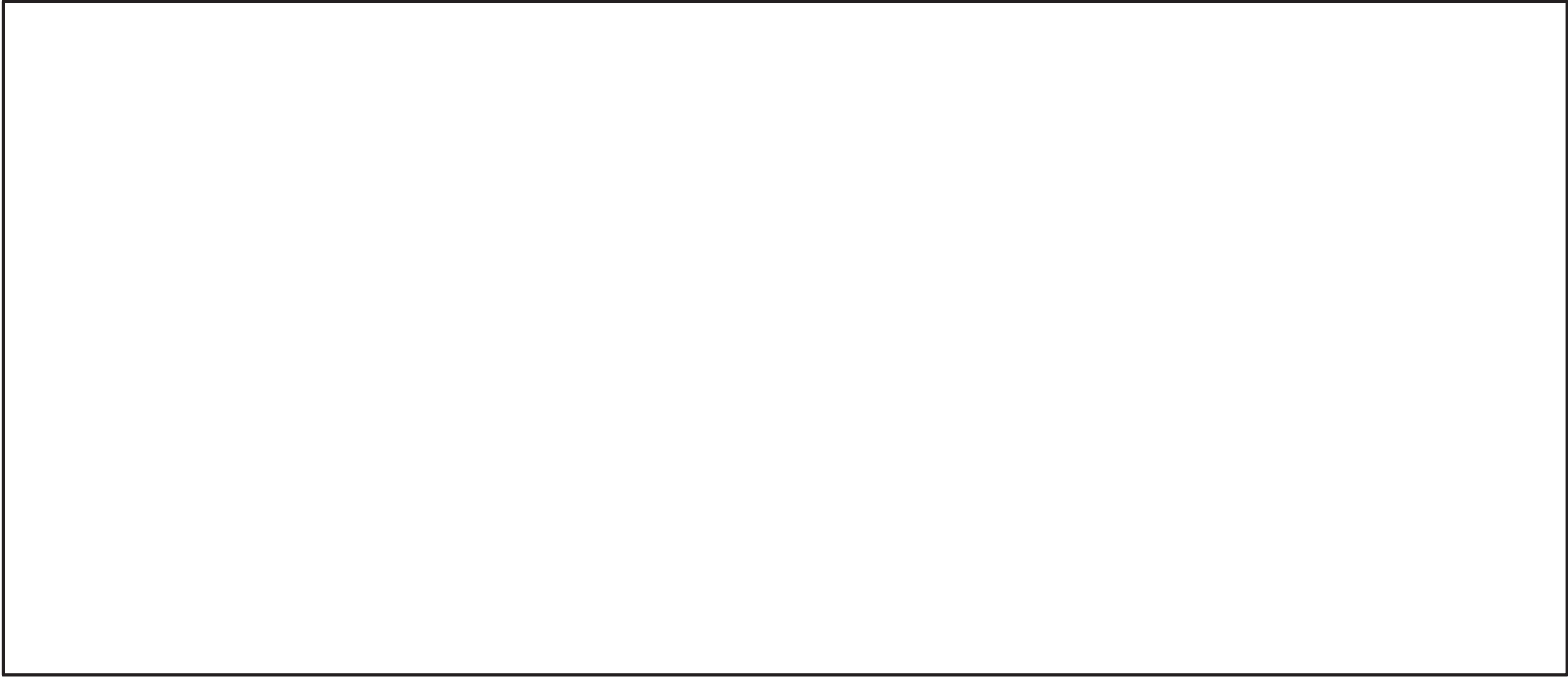
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



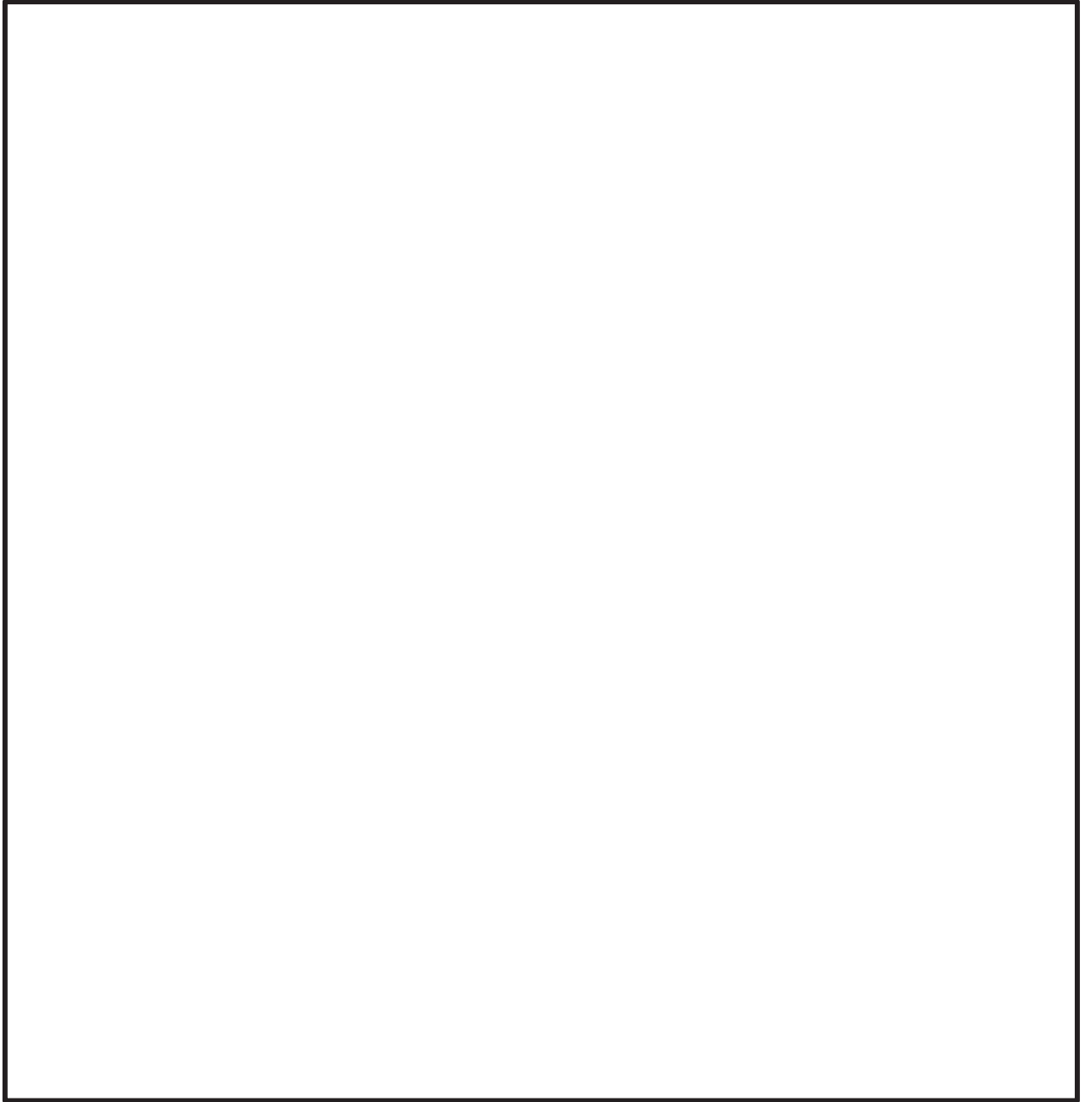
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



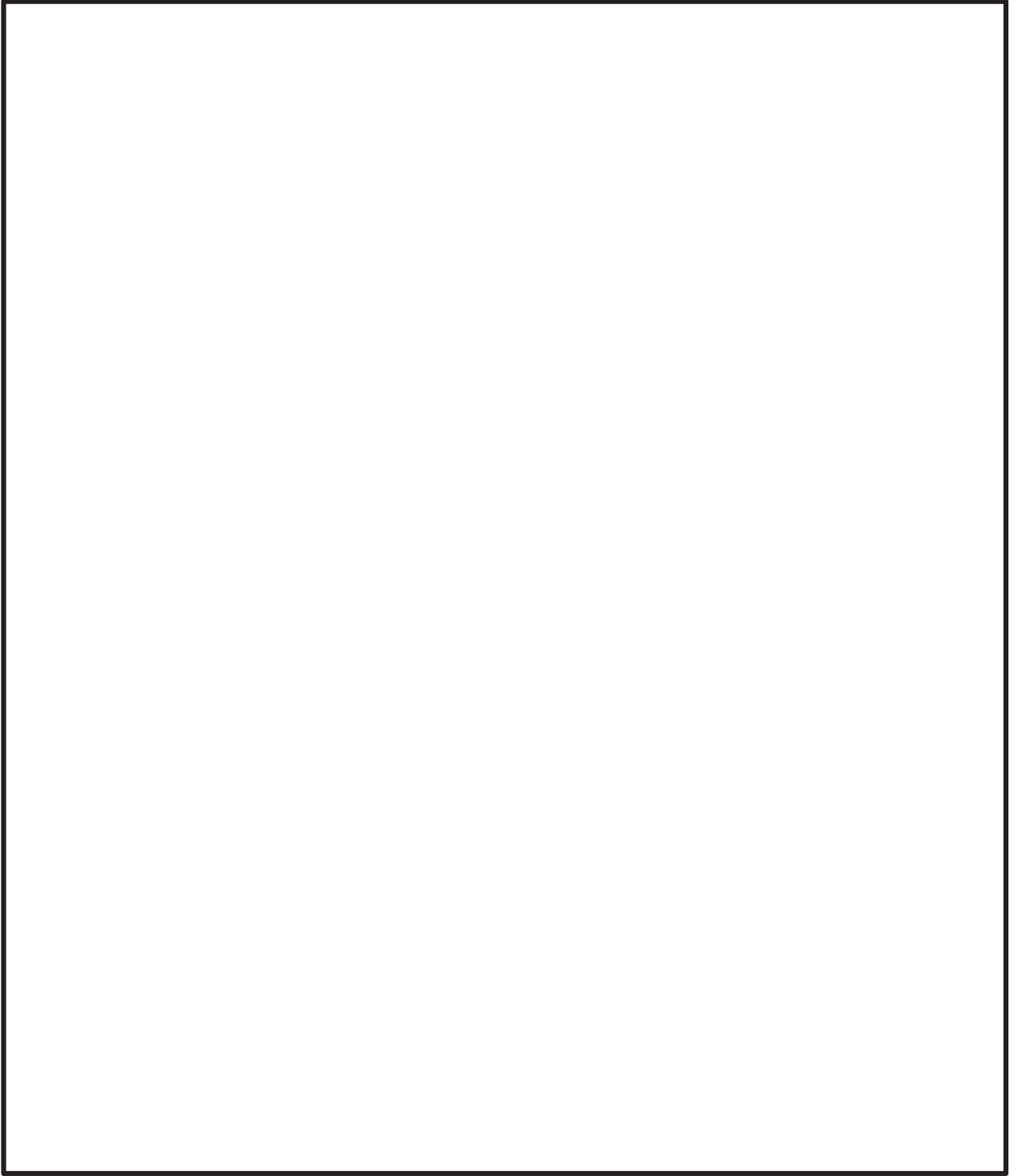
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



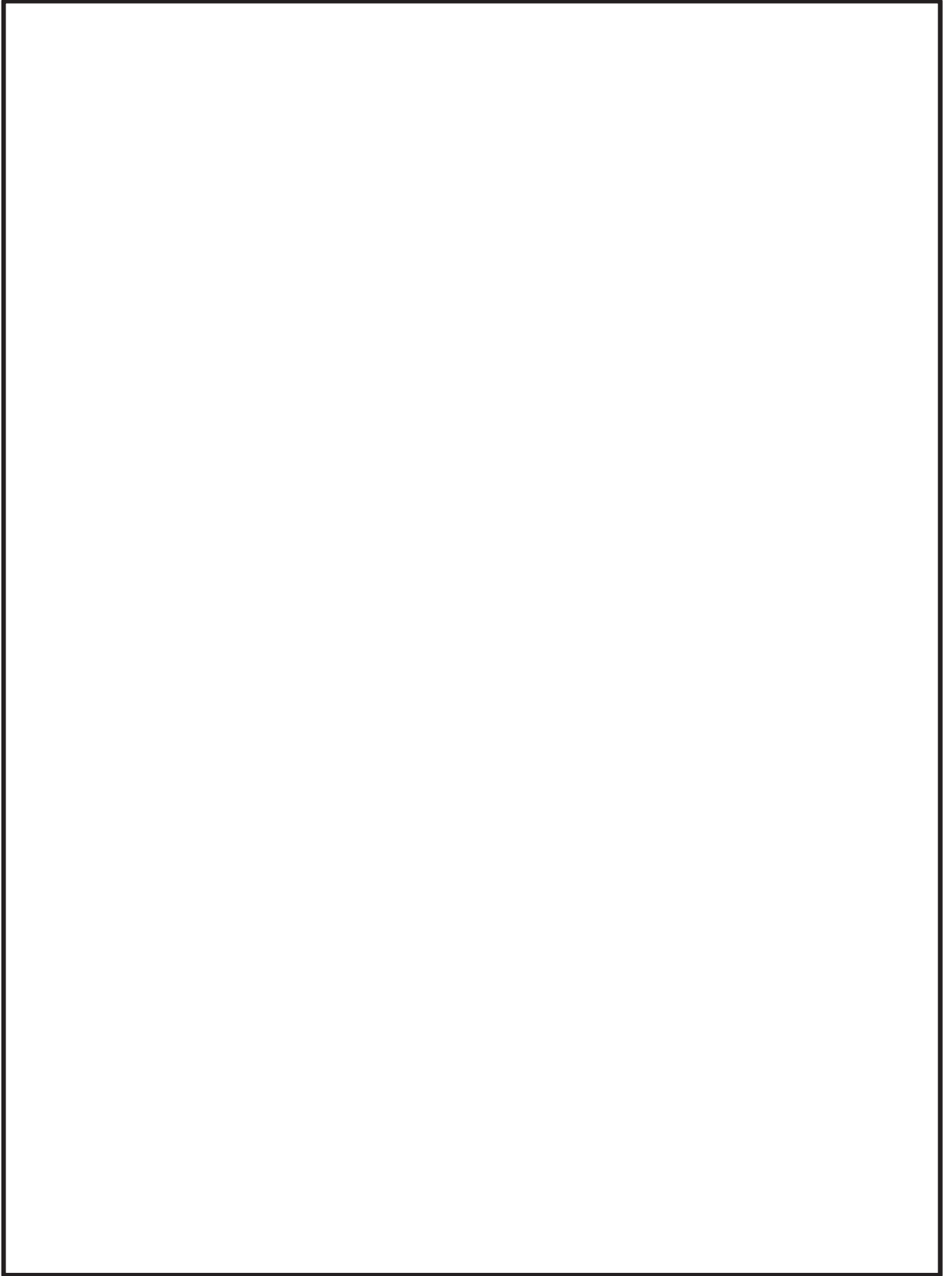
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



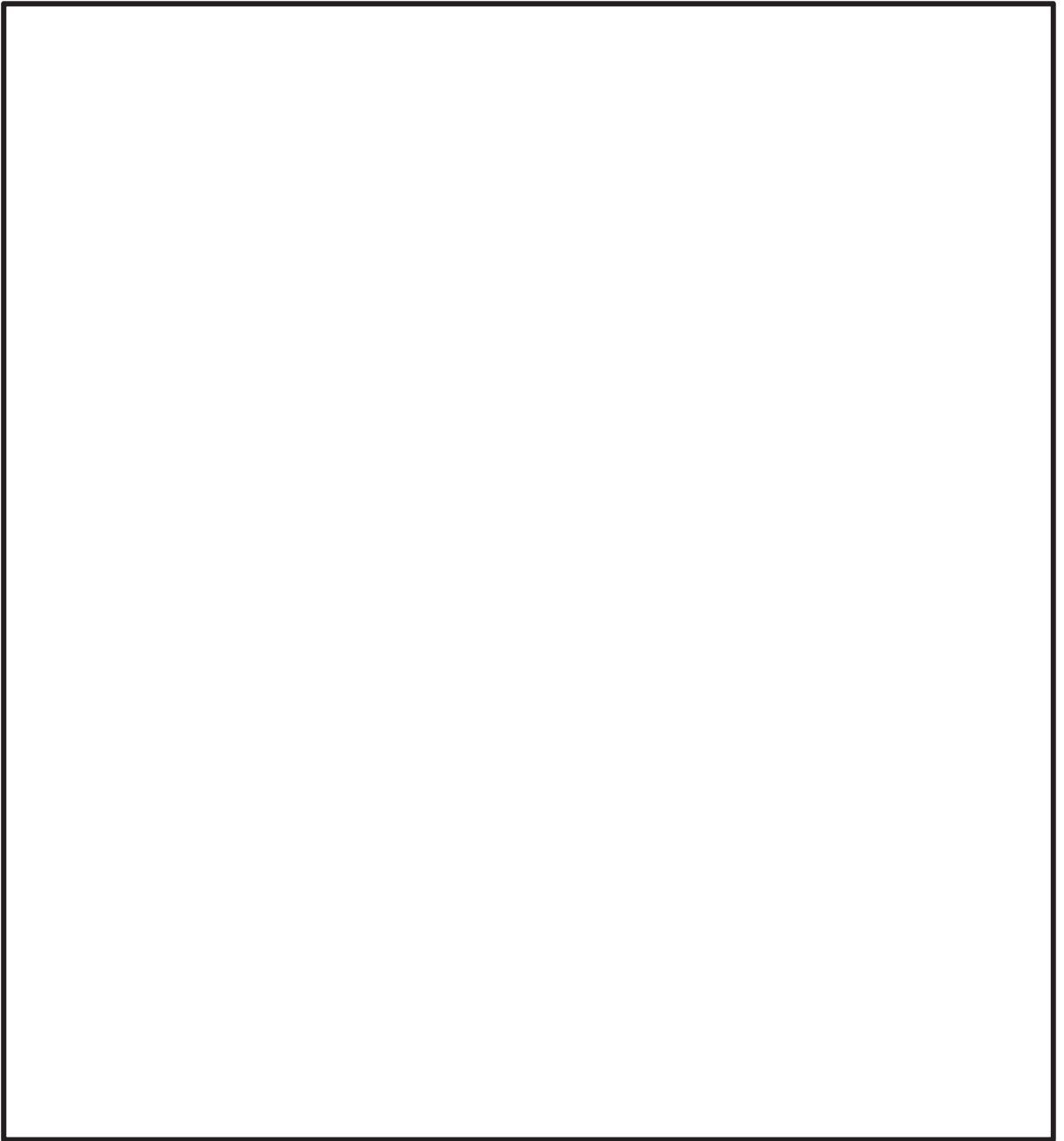
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



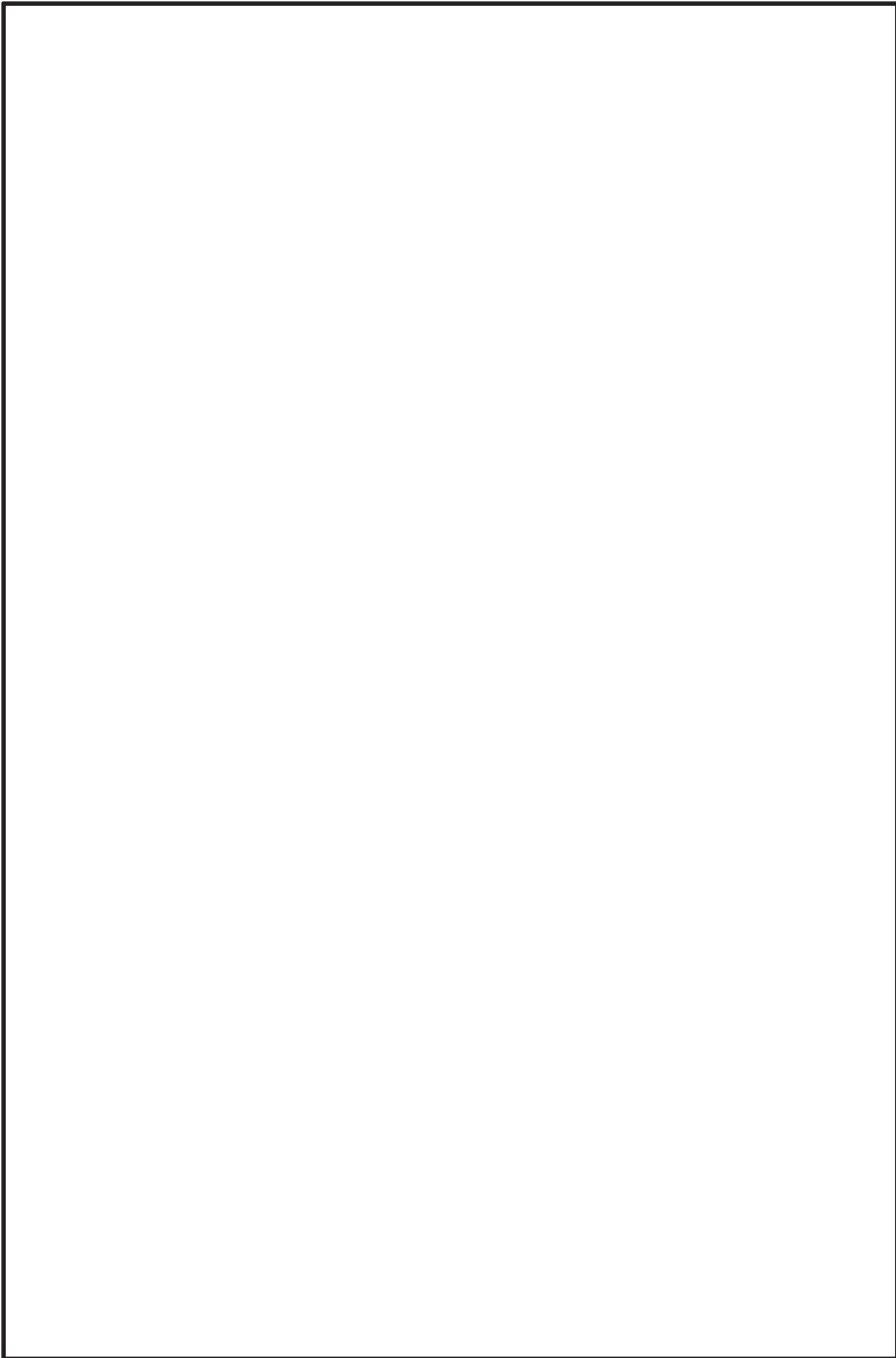
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



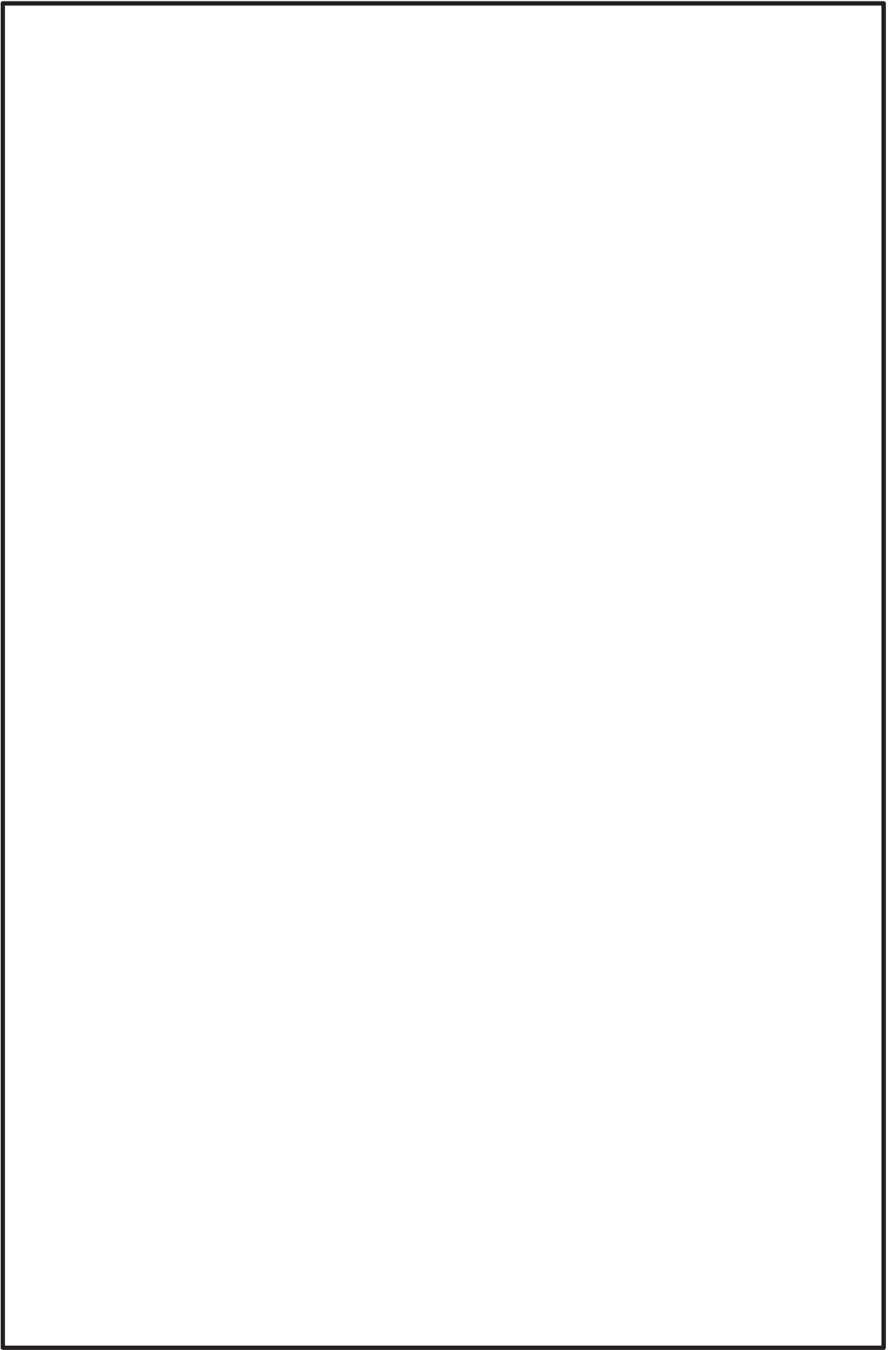
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



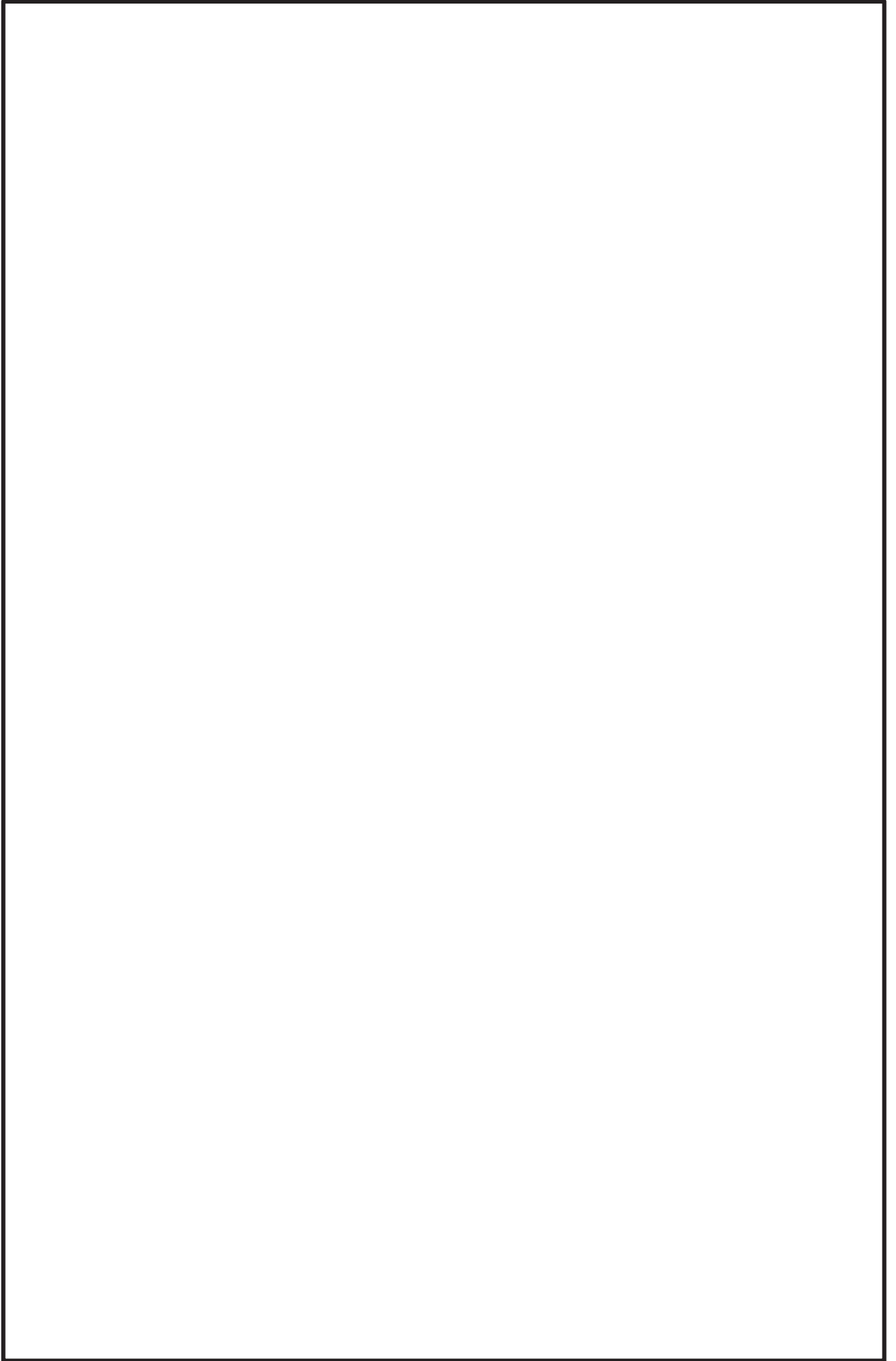
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

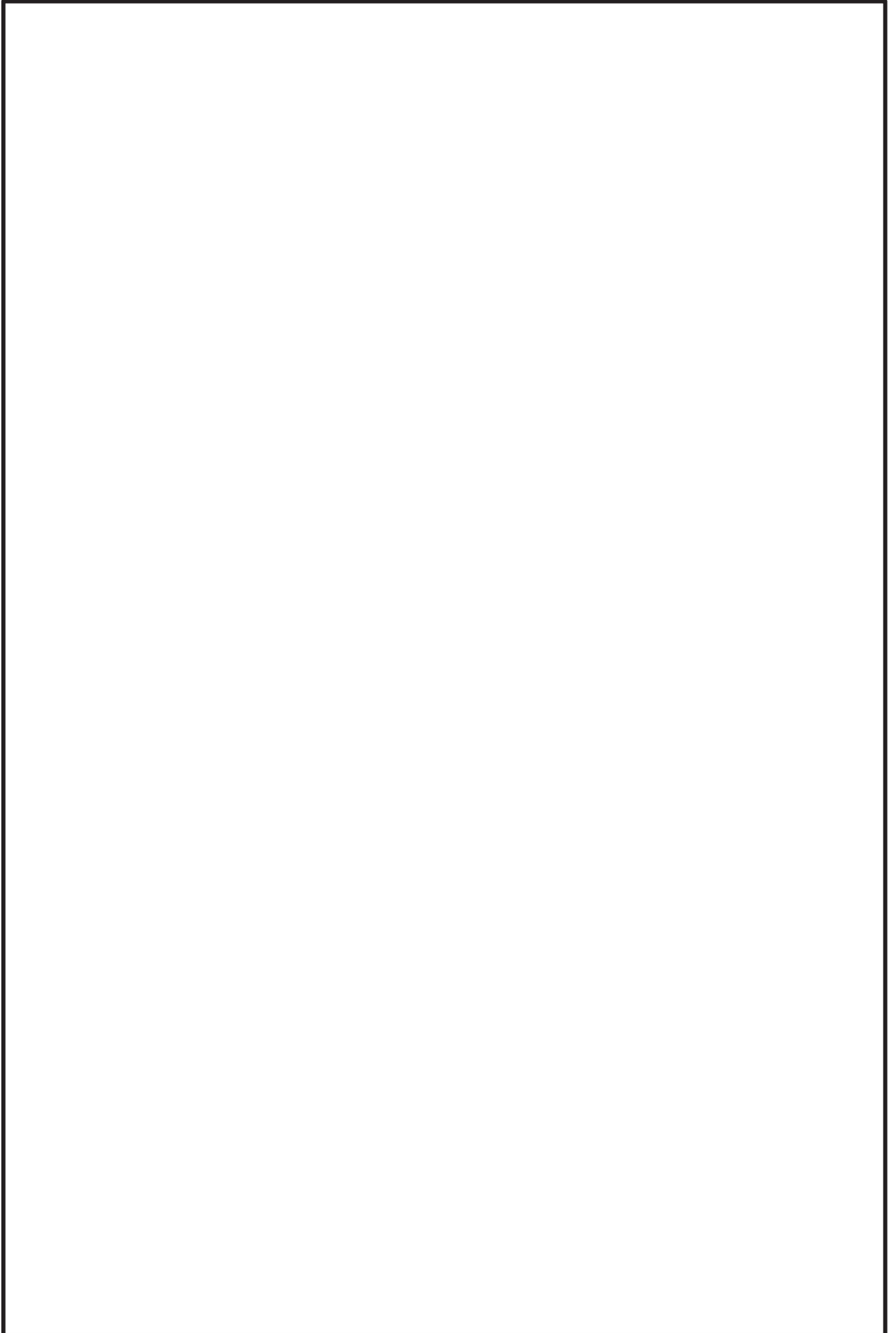


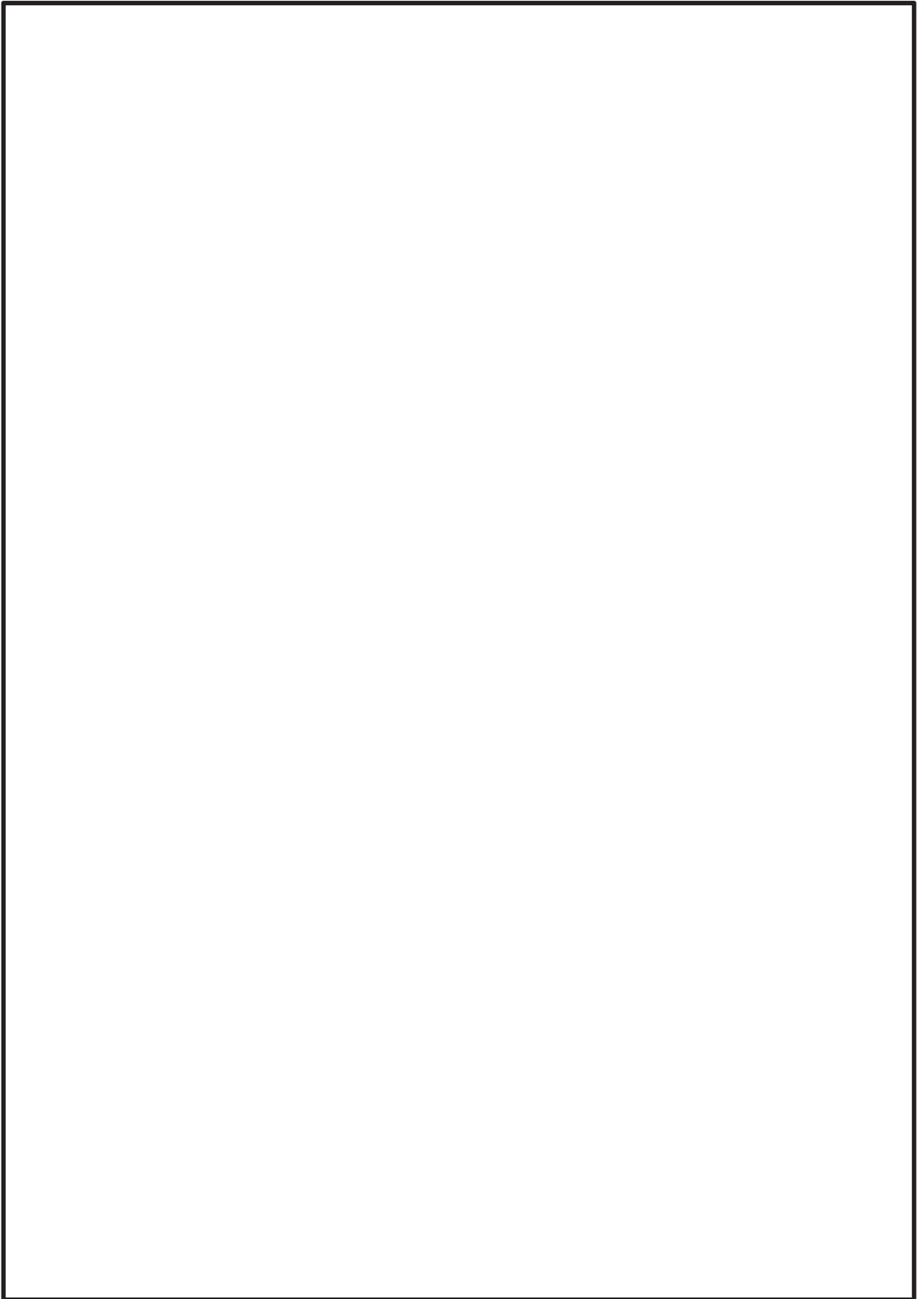
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



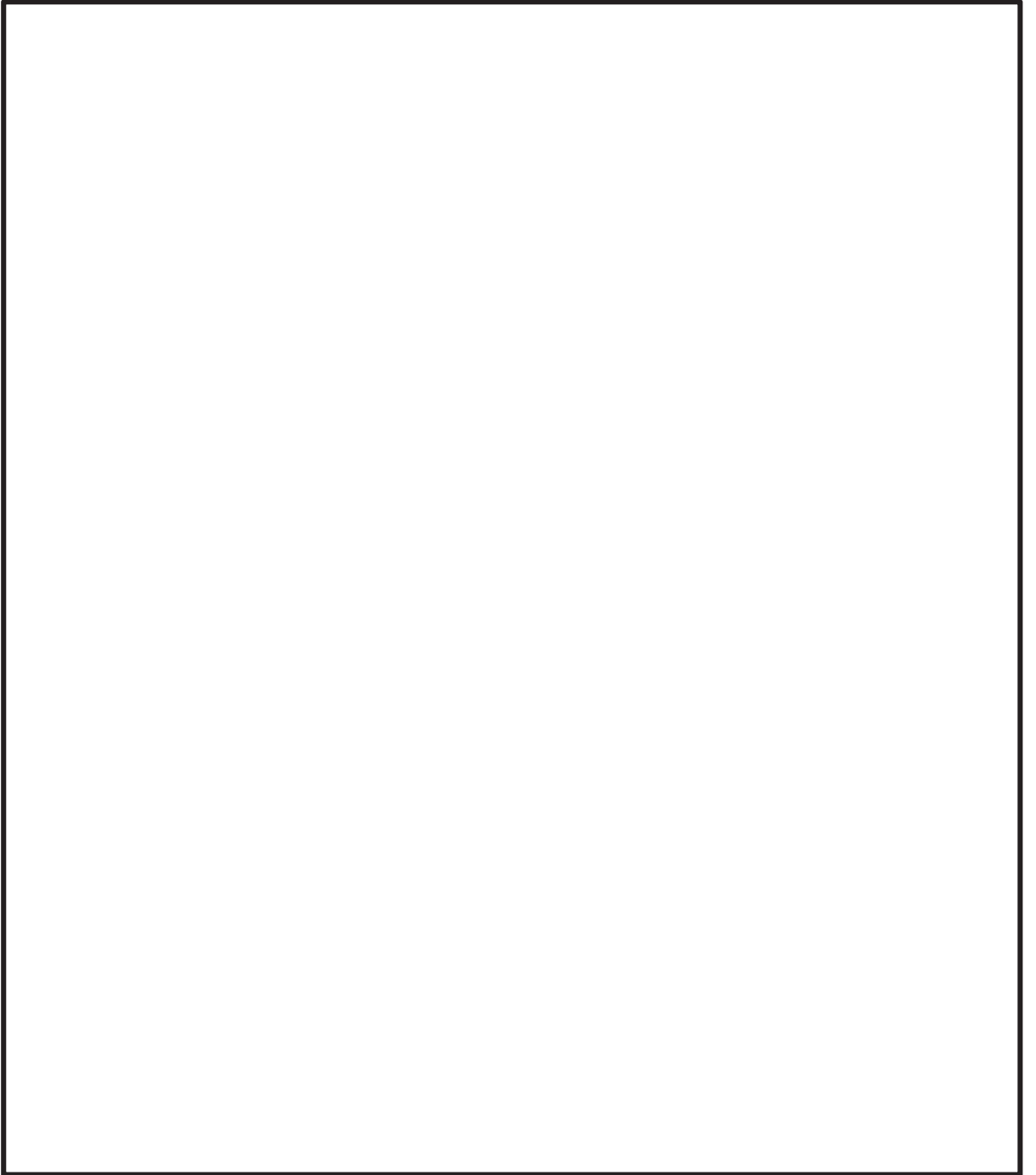
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。







枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. JNES 研究の知見を踏まえた電共研の妥当性確認

5.1 JNES 研究の試験方法

JNES 研究におけるメカニカルスナップの耐力評価手法の構築に係る検討では、想定される損傷モード等を踏まえた試験対象型式選定や試験項目設定等を行ったうえで耐震機能限界試験を実施し、得られた試験結果に基づき耐力評価手法の構築の検討を行っている。こうした一連の検討プロセスは電共研のメカニカルスナップの限界耐力評価法に係る検討と同様である。(別紙 4 参照)

JNES 研究における振動応答試験と、電共研における振動試験の試験条件の比較を表 4-23 に示す。どちらの試験も、加振後に低速走行試験を実施し、機能維持確認として低速走行時抵抗力を測定している。

表 4-23 に示すとおり、試験条件のうち加振波は、地震波を用いたケースを除き、JNES 研究と電共研で同じ正弦波である。振動数は JNES 研究よりも電共研の方が高いが、加振はどちらの試験も発生荷重を基準とした変位制御で行っているため、振動数の違いによる影響は小さいと考えられる。また、加振時間は電共研の方が短い、加振回数はどちらも 100 回程度と同等である。荷重条件は、どちらも定格荷重×1.5 を上回る荷重(損傷したと判断されるまで)となっており同等である。よって、電共研の振動試験の試験条件は、JNES 研究の振動応答試験の試験条件と同等と考えられる。

また、電共研と JNES 研究において試験体として選定したメカニカルスナップの仕様の比較を表 4-24 に示す。

5.2 JNES 研究の試験結果

電共研における耐力確認荷重及び限界耐力値と JNES 研究における耐力確認荷重及び耐力値との比較を表 4-25 に示す。なお JNES 研究の耐力値は、JNES にて振動応答試験を実施するにあたり、過去の知見を収集し、型式ごとに構造部材と機能部品の耐力値を算定した最小値である(添付-1 参照)。また、耐力確認荷重及び耐力値の定義は電共研と JNES 研究で同様である。

表 4-25 に示すとおり、メカニカルスナップが損傷に至るまで加振できなかった型式を除き、JNES 研究における耐力値は電共研の限界耐力値と同等であり、JNES 研究の耐力確認荷重は JNES 研究の耐力値よりも大きいのと同時に電共研の限界耐力値よりも大きい。なお、表中の電共研及び JNES 研究の最小裕度部品は、各部品の耐力評価により裕度が最小となった部品を表しているが、耐力評価に使用する計算式の考え方が両者で異なっている(例えば、表 4-24 の注記*2 に記載したボールネジの断面積など、JNES 研究では計算を簡略化している場合がある)ため、電共研と JNES 試験との最小裕度部品も異なっている。また、NMB 型は各部品が型式ごとで相似形に近い最小部品が同じとなっているが、SMS 型は製作性などを考慮して違う型式で同じ部品を使用しているものがあるため、型式ごとの最小裕度部品が異なっている。

以上より，JNES 研究の試験結果を含めた知見と比較しても，電共研の限界耐力値を含めたメカニカルスナッパの限界耐力評価法に係る検討及びその知見は妥当であると考えられる。

表 4-23 電共研と JNES 研究の試験条件の比較

	電共研 振動試験	JNES 振動応答試験
加振波	正弦波	
振動数	9Hz	
加振時間	10 sec 程度	
荷重	荷重を段階的に増加 (損傷したと判断されるまで)	
計測項目	動剛性，低速走行時抵抗力	
加振開始位置	ストローク 1/2 (中央)	

表 4-24 メカニカルスナッパ試験体仕様の比較

試験種類	電共研		JNES 研究	
	容量	試験体 No	容量	試験体 No
振動試験	SMS-03	SMS-03-1		
	SMS-1	SMS-1-1		
	SMS-3	SMS-3-1		
		SMS-3-2		
		SMS-3-3		
	SMS-6	SMS-6-1		
	SMS-10	SMS-10-1		
	NMB-003	NMB-5-3		
	NMB-030	NMB-5-4		
	-	-		
	-	-		
-	-			
座屈試験	SMS-03	-		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-25 電共研の限界耐力値と JNES 研究における耐力値および耐力確認荷重との比較 (1/2)

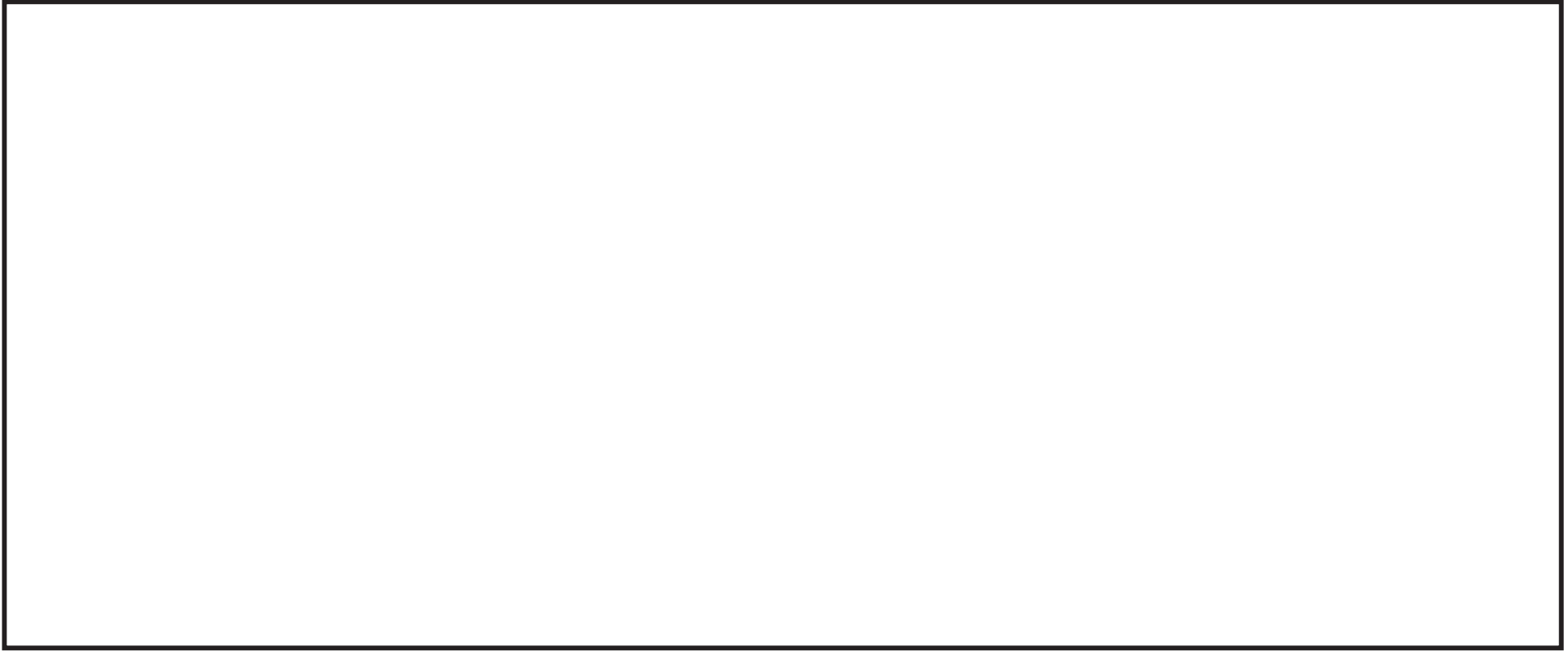
型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES 研究				JNES 耐力 確認荷重 ／電共研 限界耐力 値 (C/B)	JNES 耐力 値／電共 研限界耐 力値 (D/B)
		耐力確 認荷重*1 [kN] (A)	限界耐 力値*1 [kN] (B)	最小裕 度部品	最小裕 度部品 の分類	耐力確認 荷重*1 [kN] (C)	耐力値*1 [kN] (D)	最小裕 度部品	最小裕 度部品 の分類		
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材						
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	構造部材						
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押え*3	構造部材						
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティングチュー ブ	構造部材						
SMS-3	30	94.2	75.3*4	アンギュラー玉軸受*3	機能部品						
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押え*3	構造部材						
SMS-7.5	75	—	—	—	—						
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押え*3	構造部材						
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押え*3	構造部材						
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押え*3	構造部材						
SMS-40	400	—	941.4	コネクティングチュー ブ	構造部材						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-25 電共研の限界耐力値と JNES 研究における耐力値および耐力確認荷重との比較 (2/2)

型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES 研究				JNES 耐力確認荷重／電共研限界耐力値 (C/B)	JNES 耐力値／電共研限界耐力値 (D/B)
		耐力確認荷重*1 [kN] (A)	限界耐力値*1 [kN] (B)	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重*1 [kN] (C)	耐力値*1 [kN] (D)	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		
NMB-001	1.6	—	15.9	リアブラケット	構造部材						
NMB-003	3	24.3	15.2	リアブラケット	構造部材						
NMB-006	6.8	—	21.9	リアブラケット	構造部材						
NMB-010	10	—	56.0	リアブラケット	構造部材						
NMB-030	30	130.3	67.4	リアブラケット	構造部材						
NMB-060	60	—	129.4	リアブラケット	構造部材						
NMB-075	75	—	169.7	リアブラケット	構造部材						
NMB-100	100	—	224.7	リアブラケット	構造部材						
NMB-170	170	—	365.4	スリーブ	構造部材						
NMB-250	250	—	514.3	リアブラケット	構造部材						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



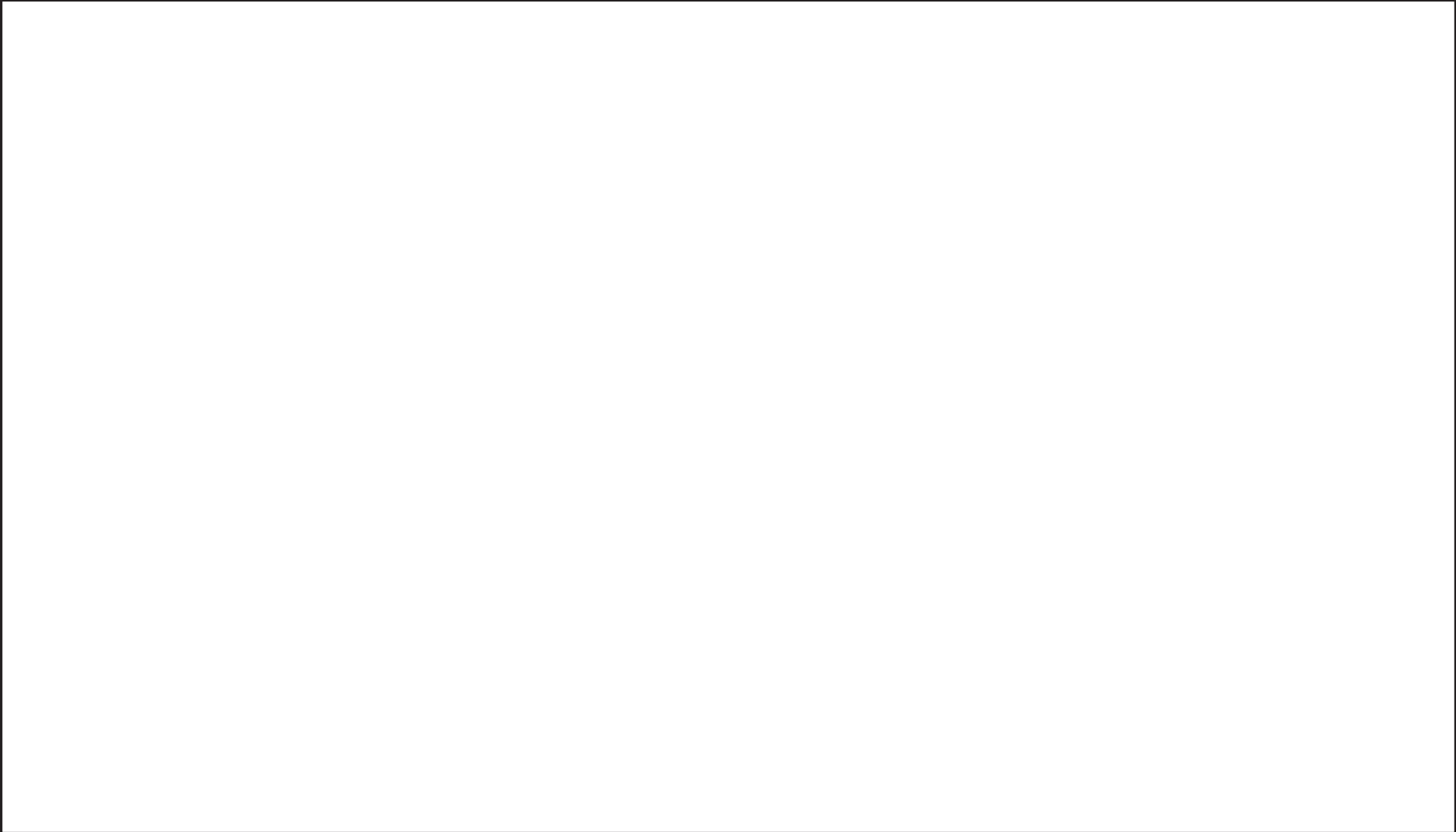
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

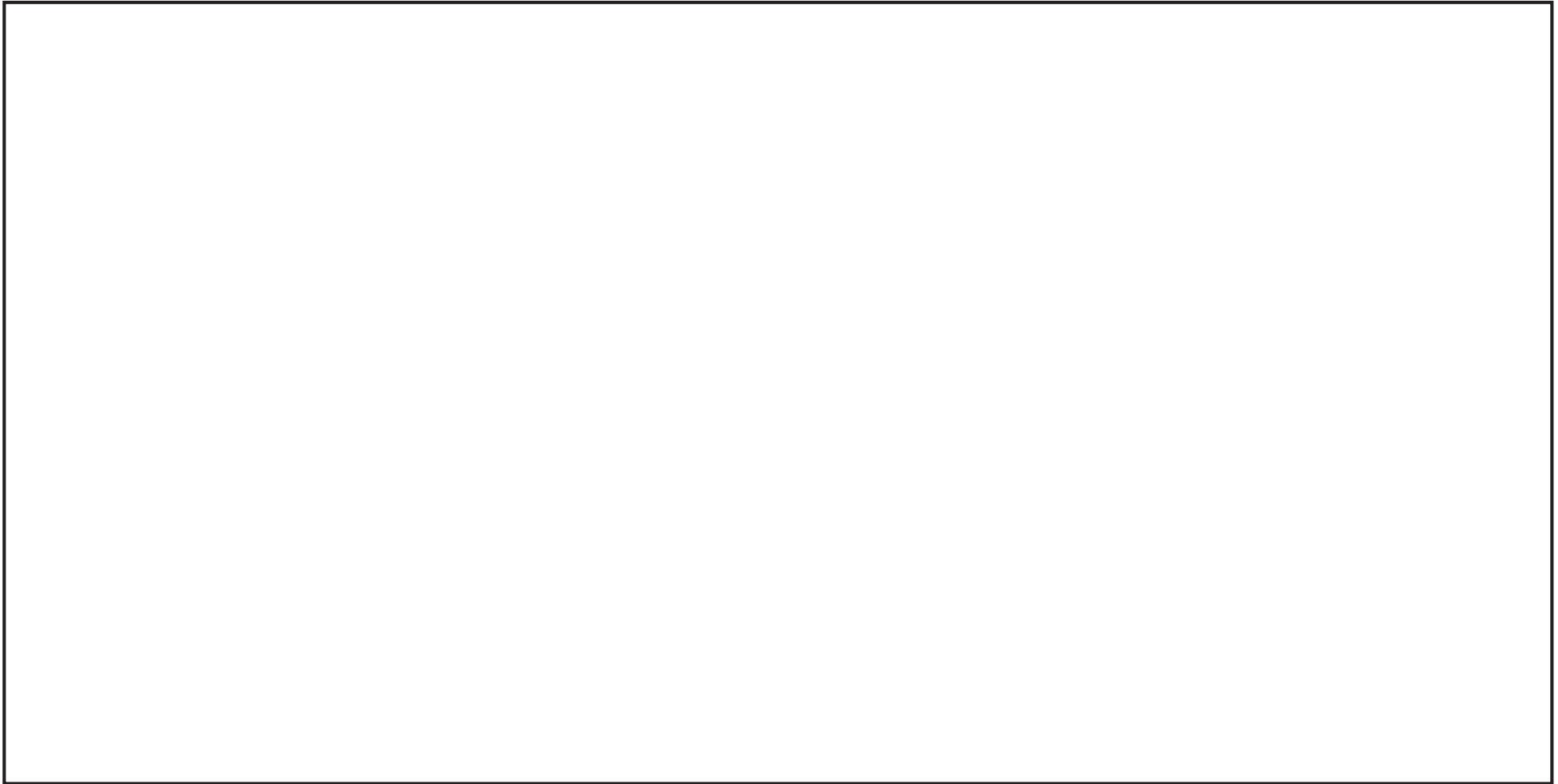
6. まとめ

JNES 研究におけるメカニカルスナッパの耐震機能限界試験を含む耐力評価手法の構築に係る検討の概要をまとめるとともに、その検討プロセスや耐力確認荷重等について、電共研のメカニカルスナッパの限界耐力評価法に係る検討との比較を行った。

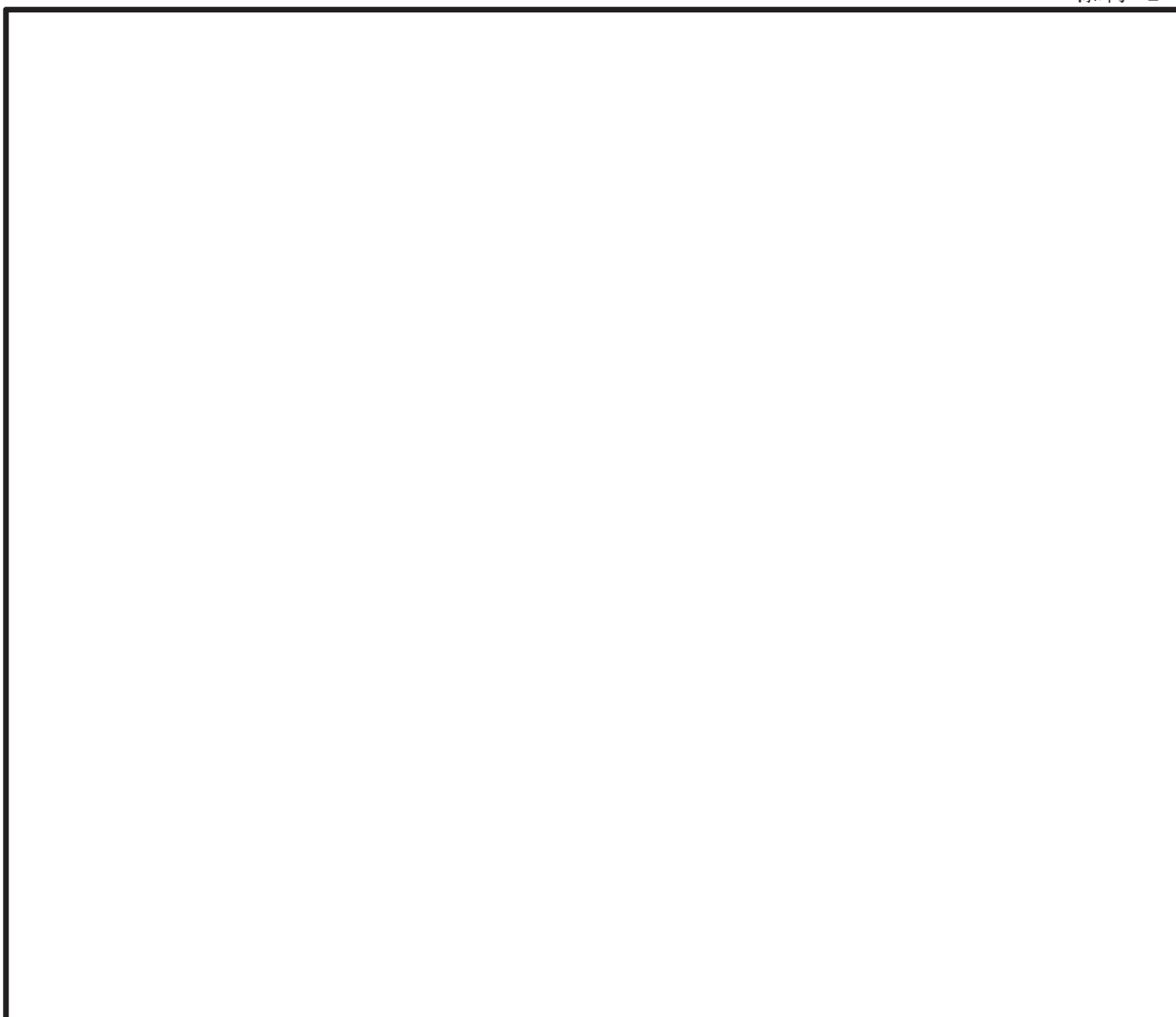
その結果、JNES 研究の知見を考慮しても、電共研の限界耐力値を含めたメカニカルスナッパの限界耐力評価法に係る検討は妥当であることを確認した。



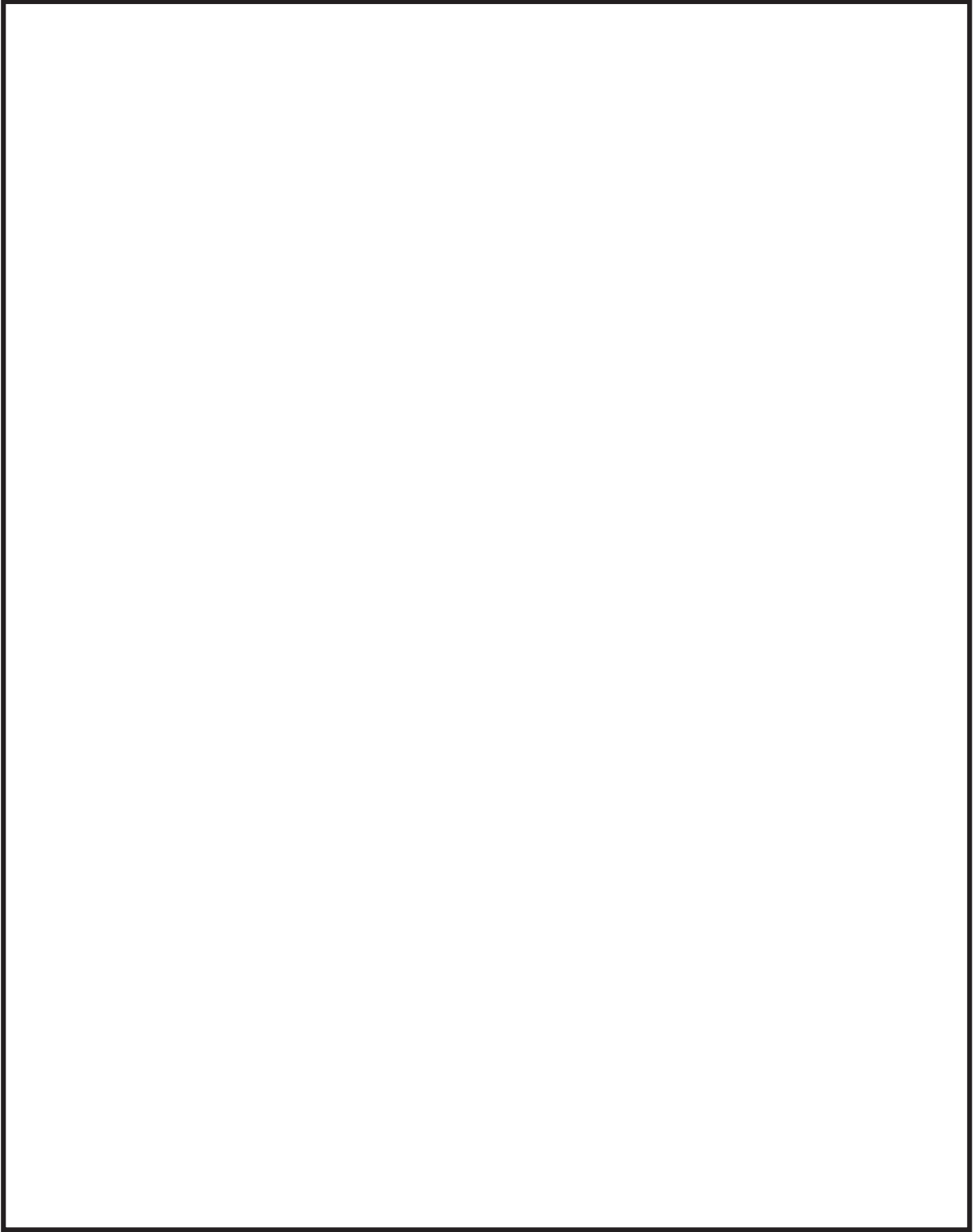
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



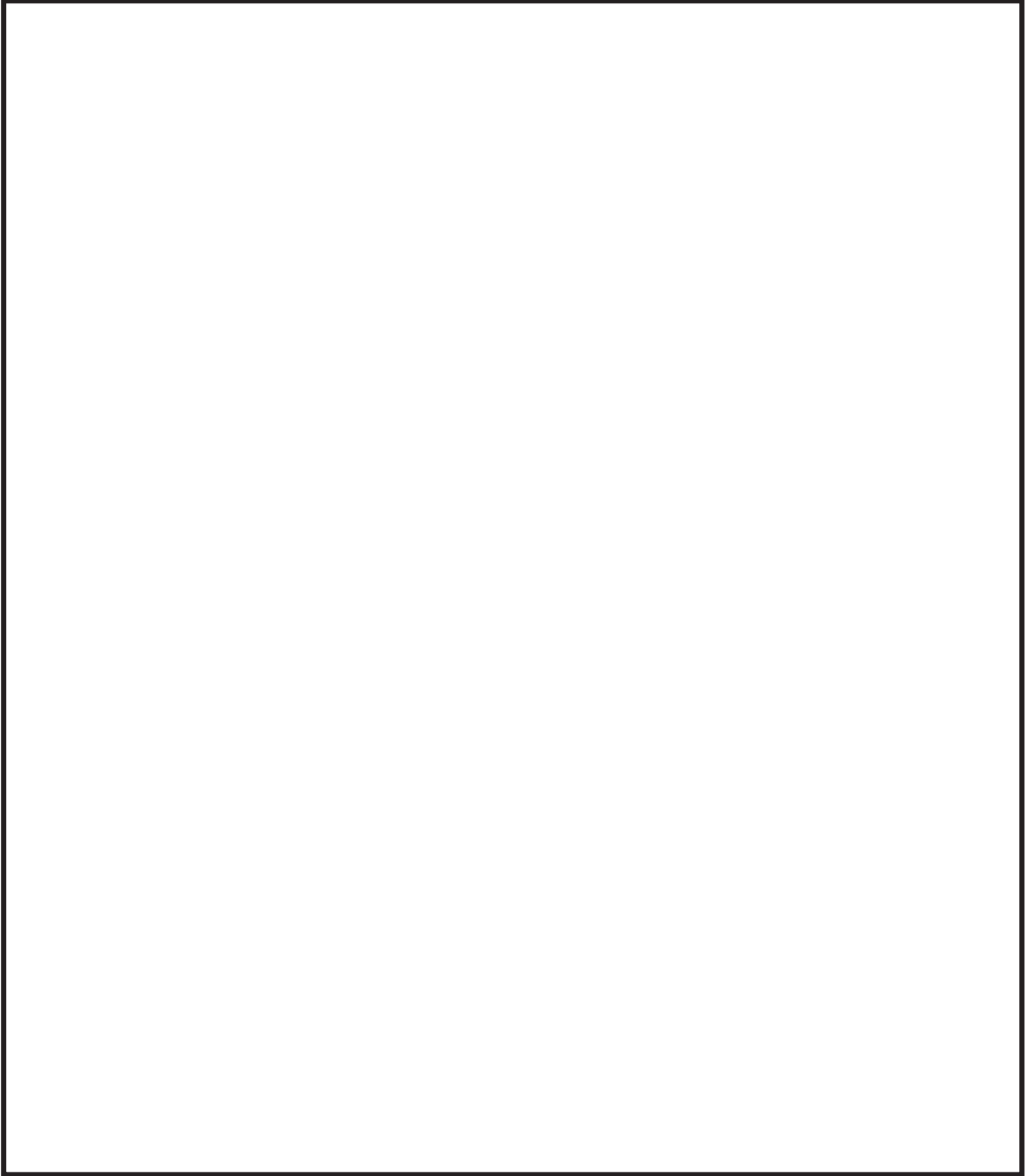
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



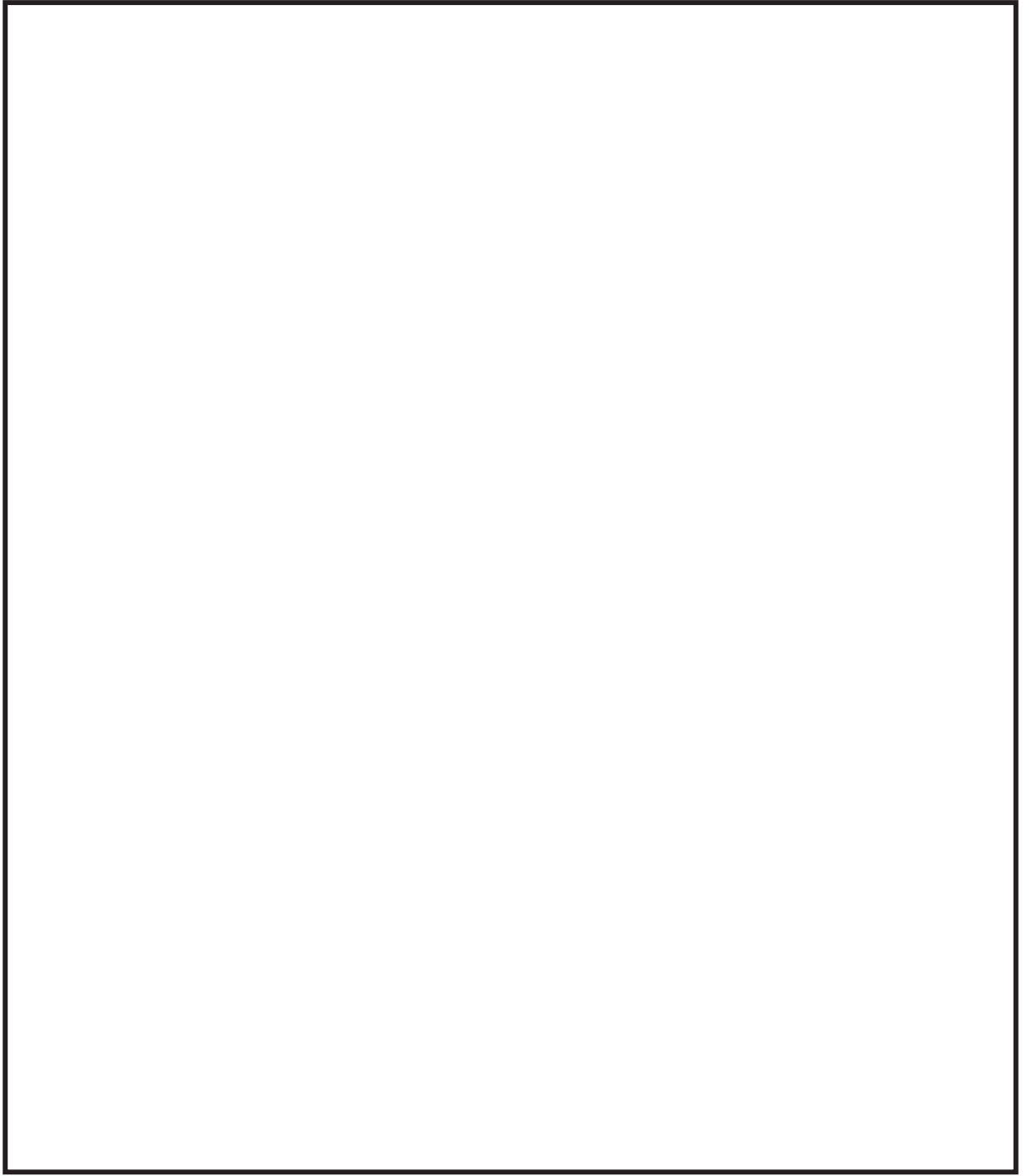
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



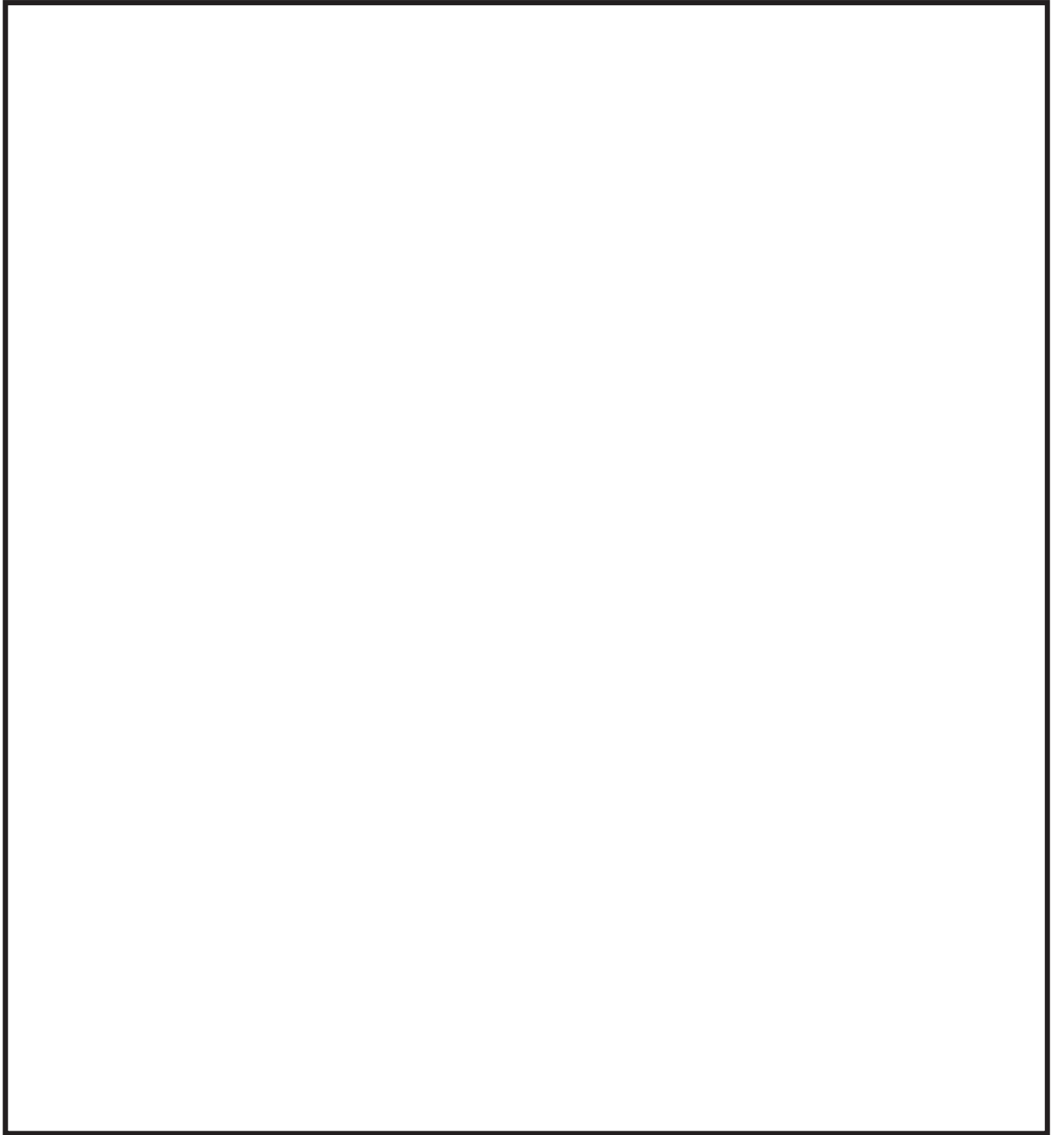
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



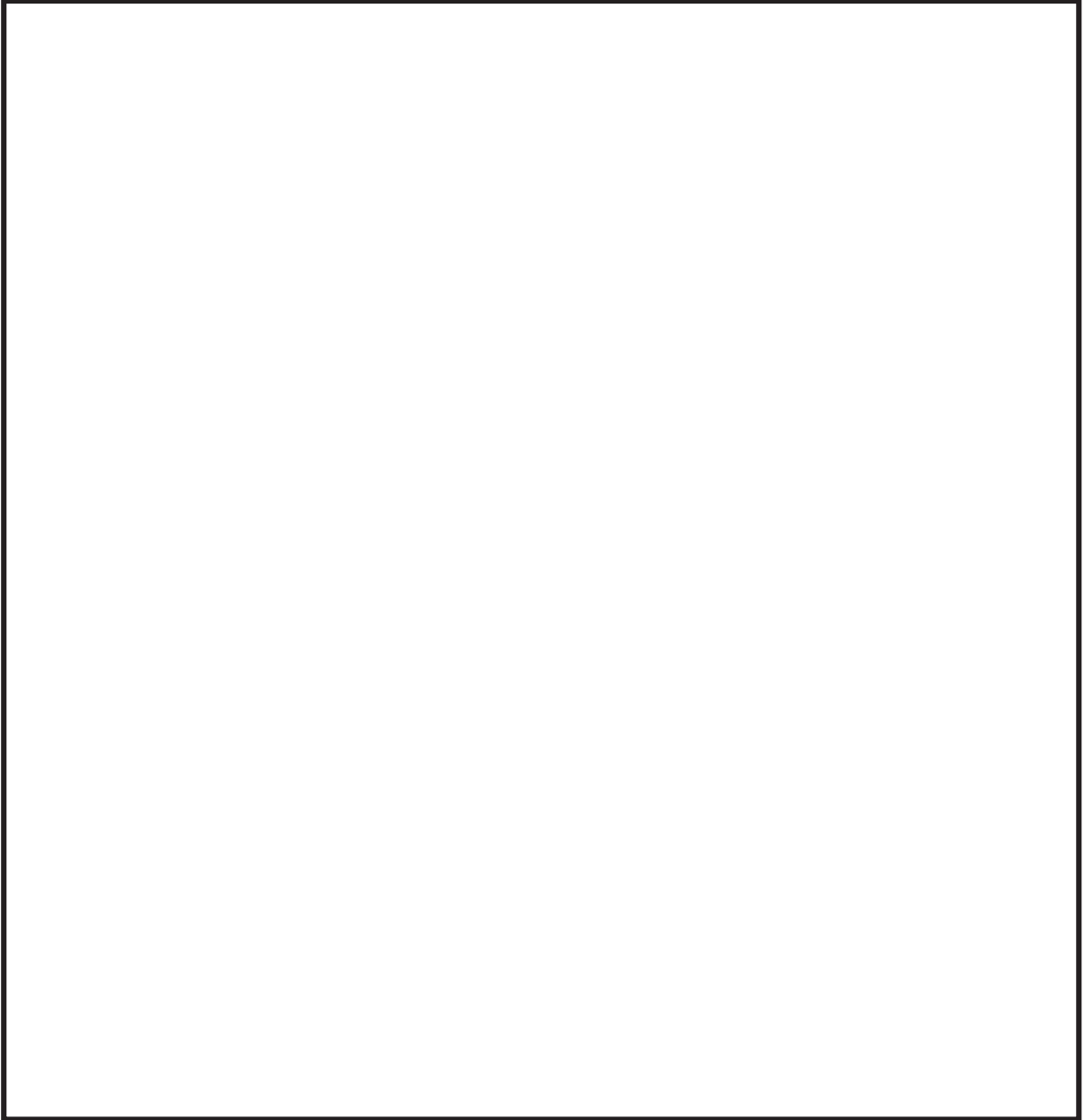
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



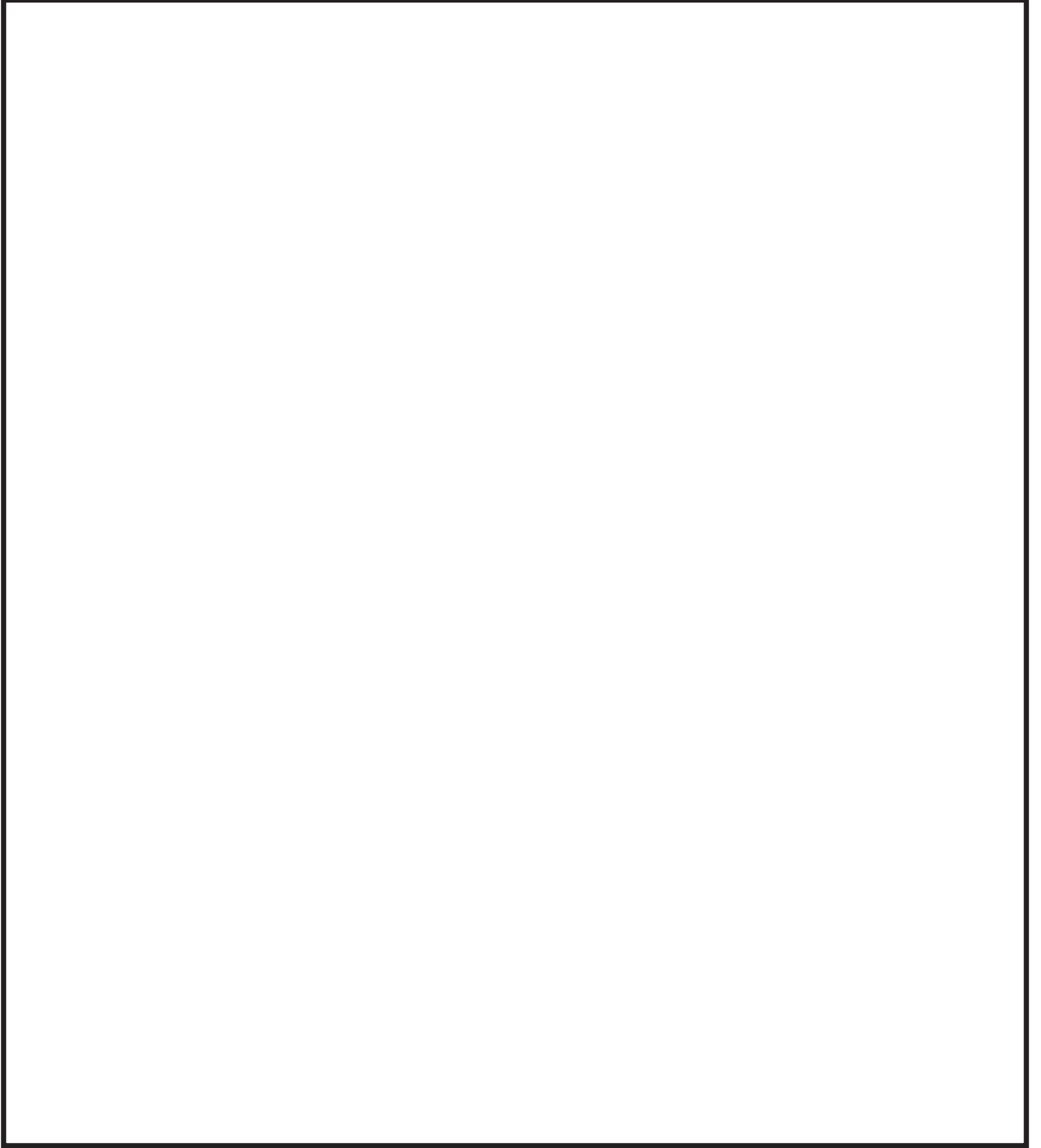
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



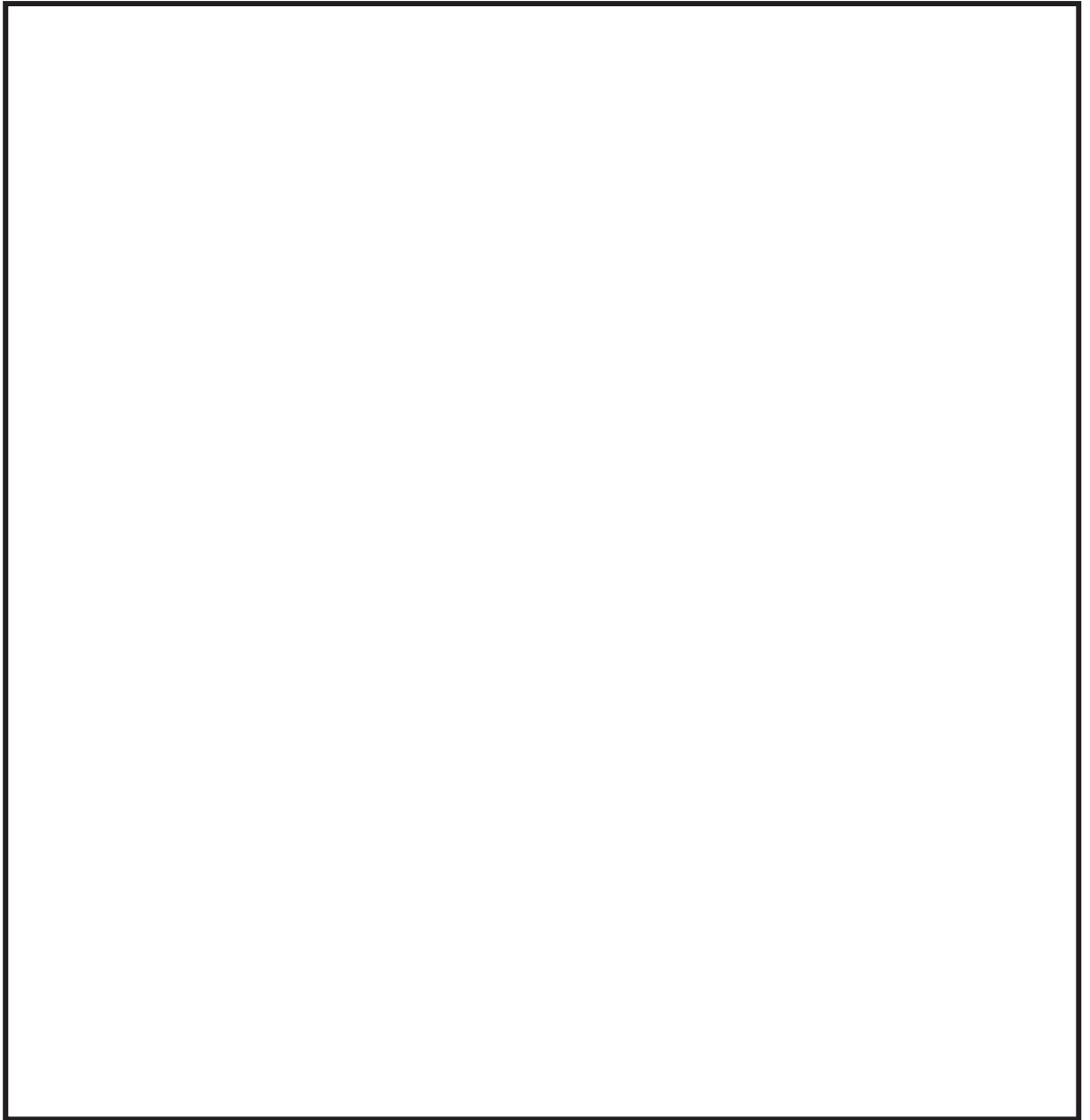
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



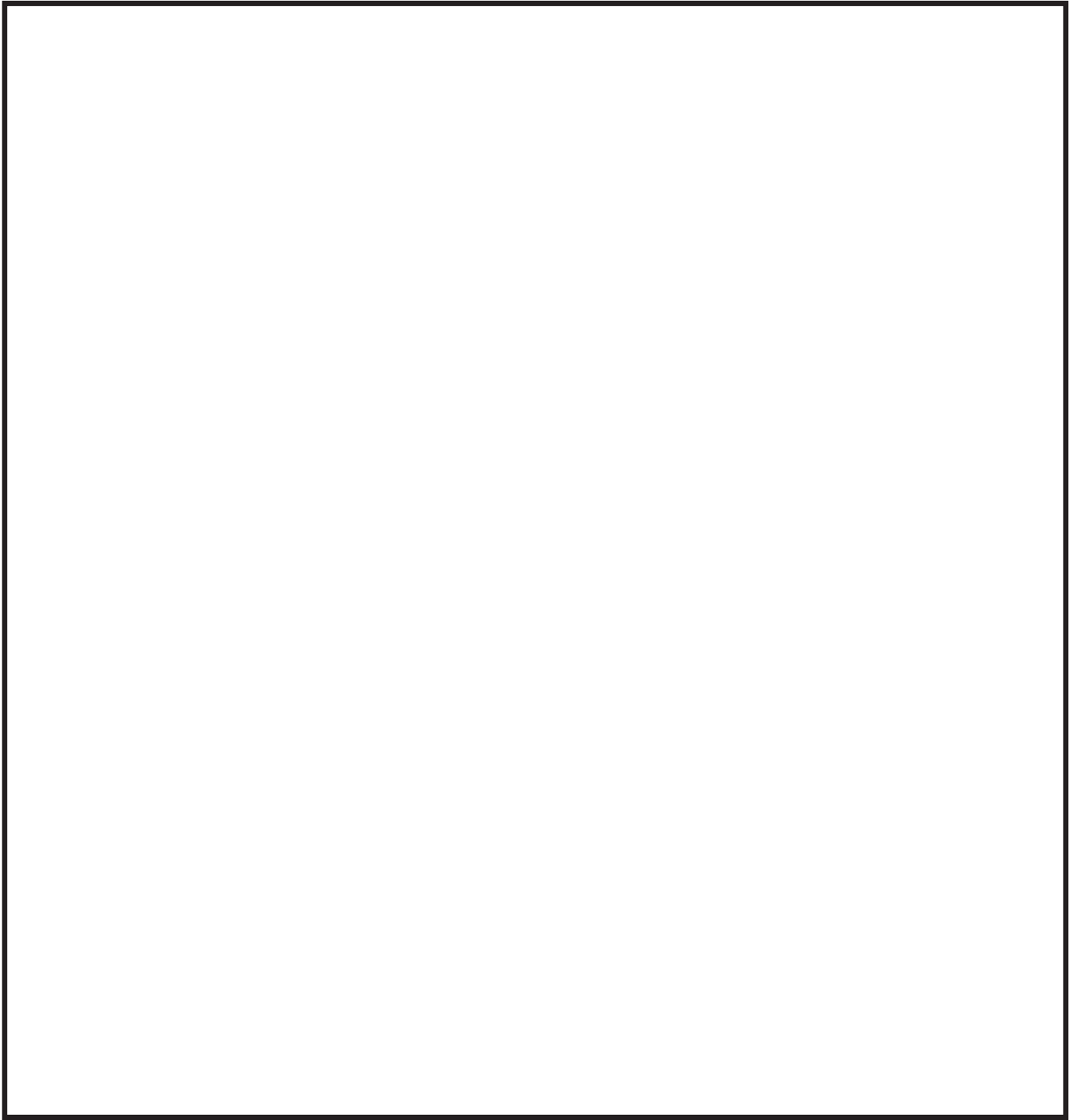
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



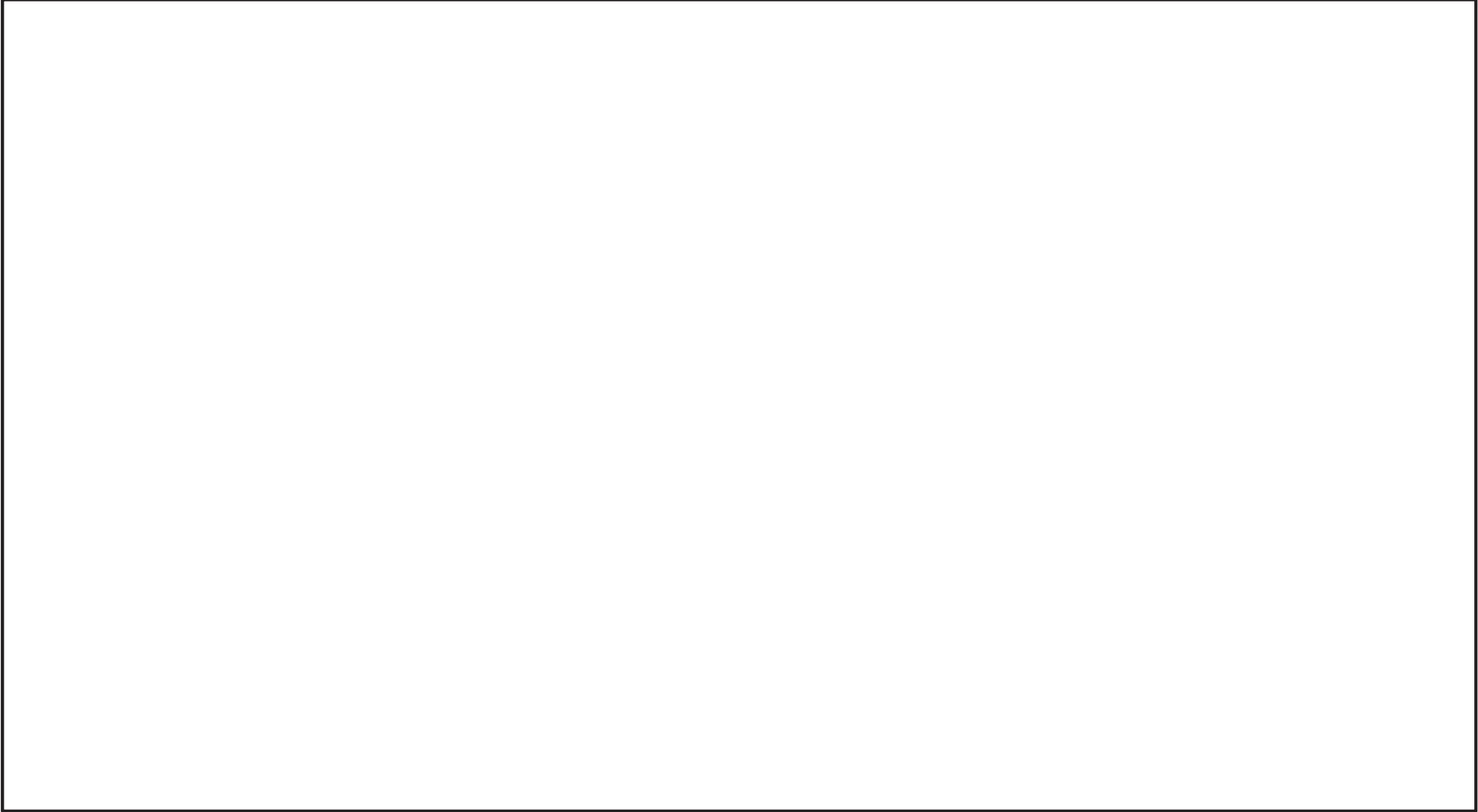
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



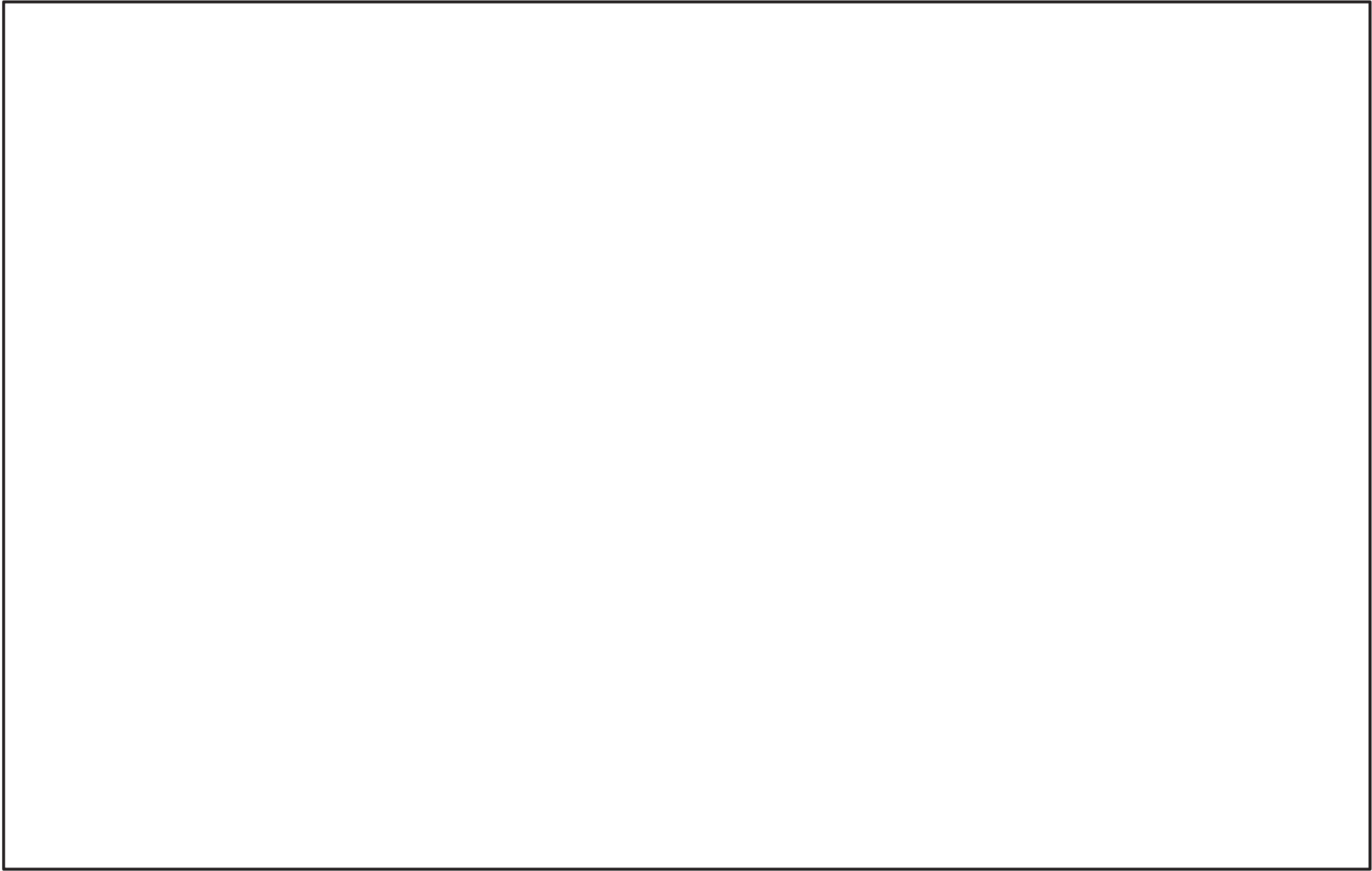
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



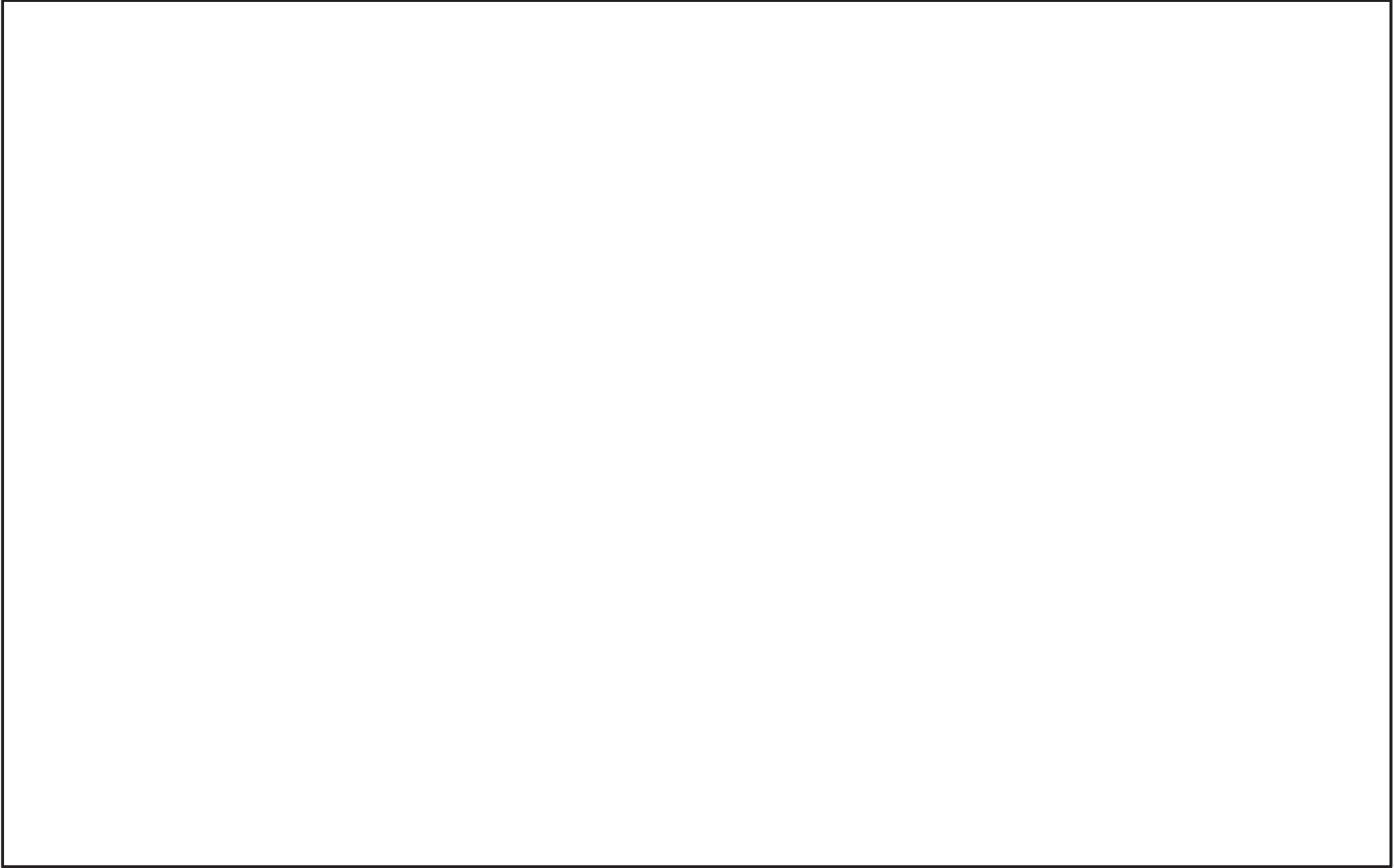
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



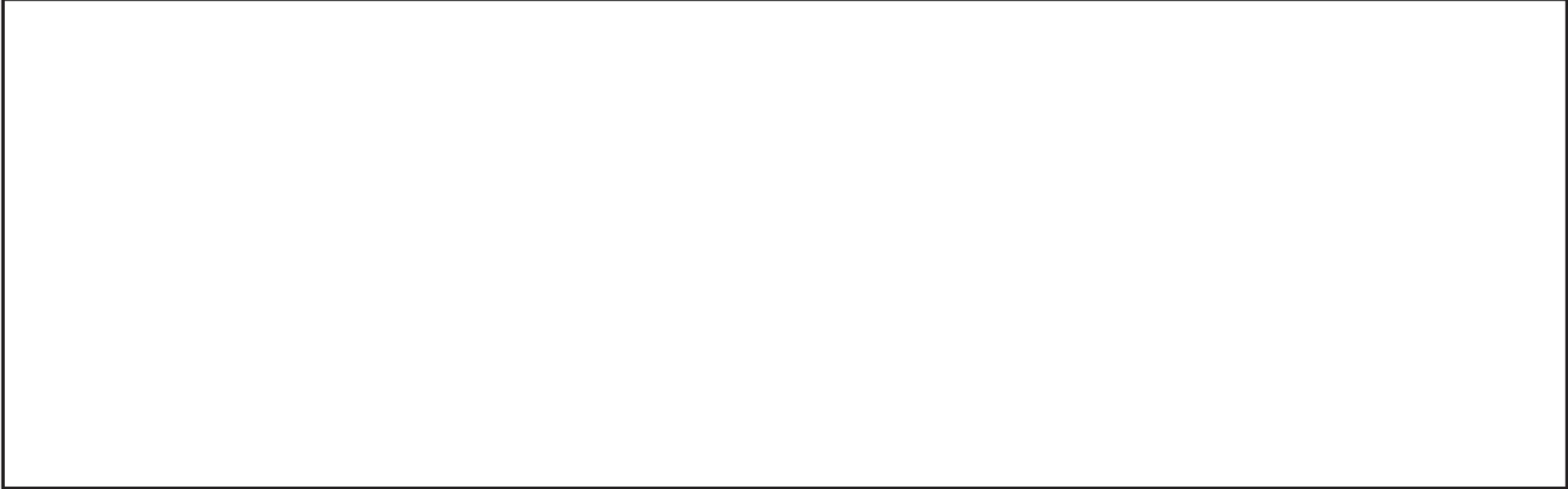
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



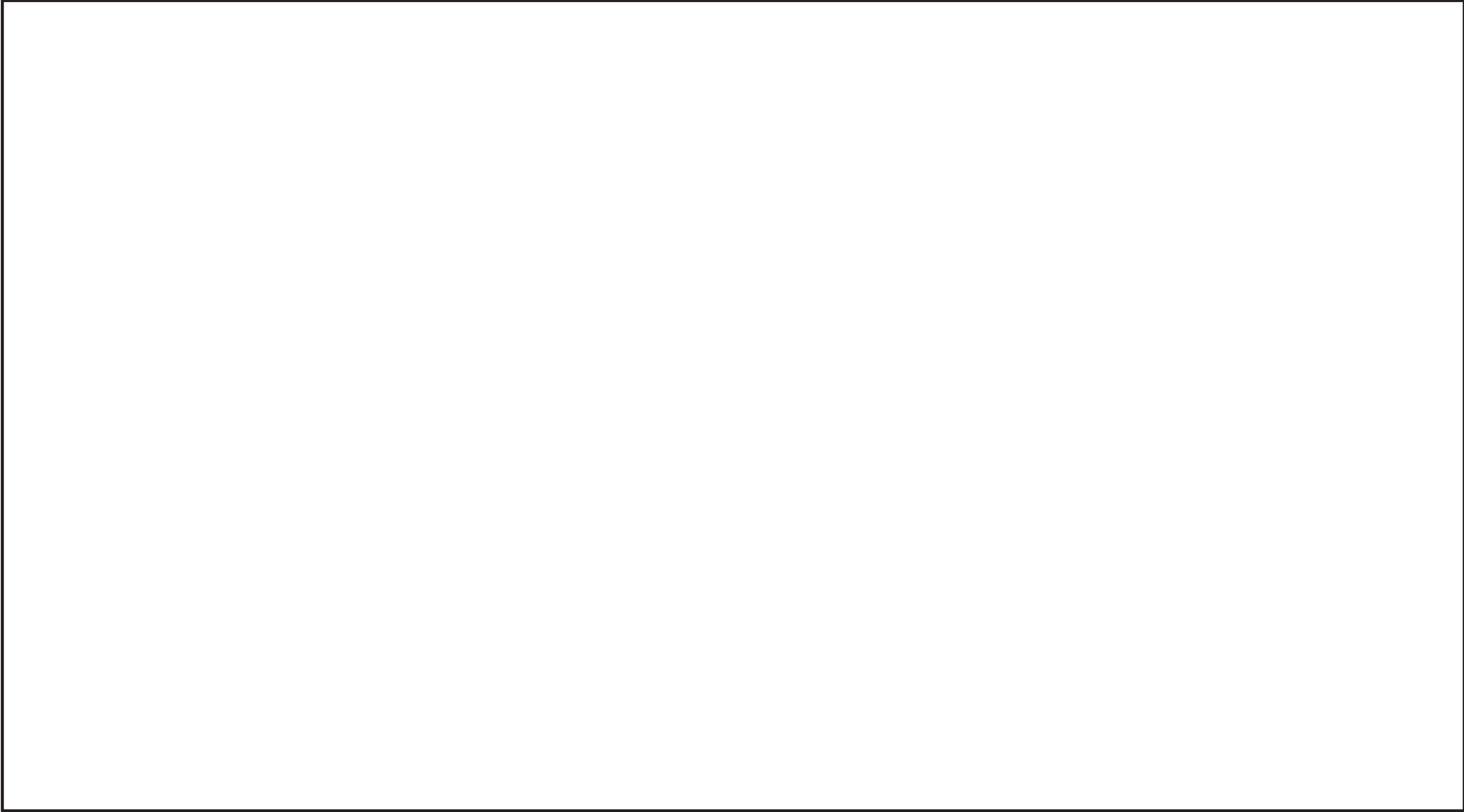
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



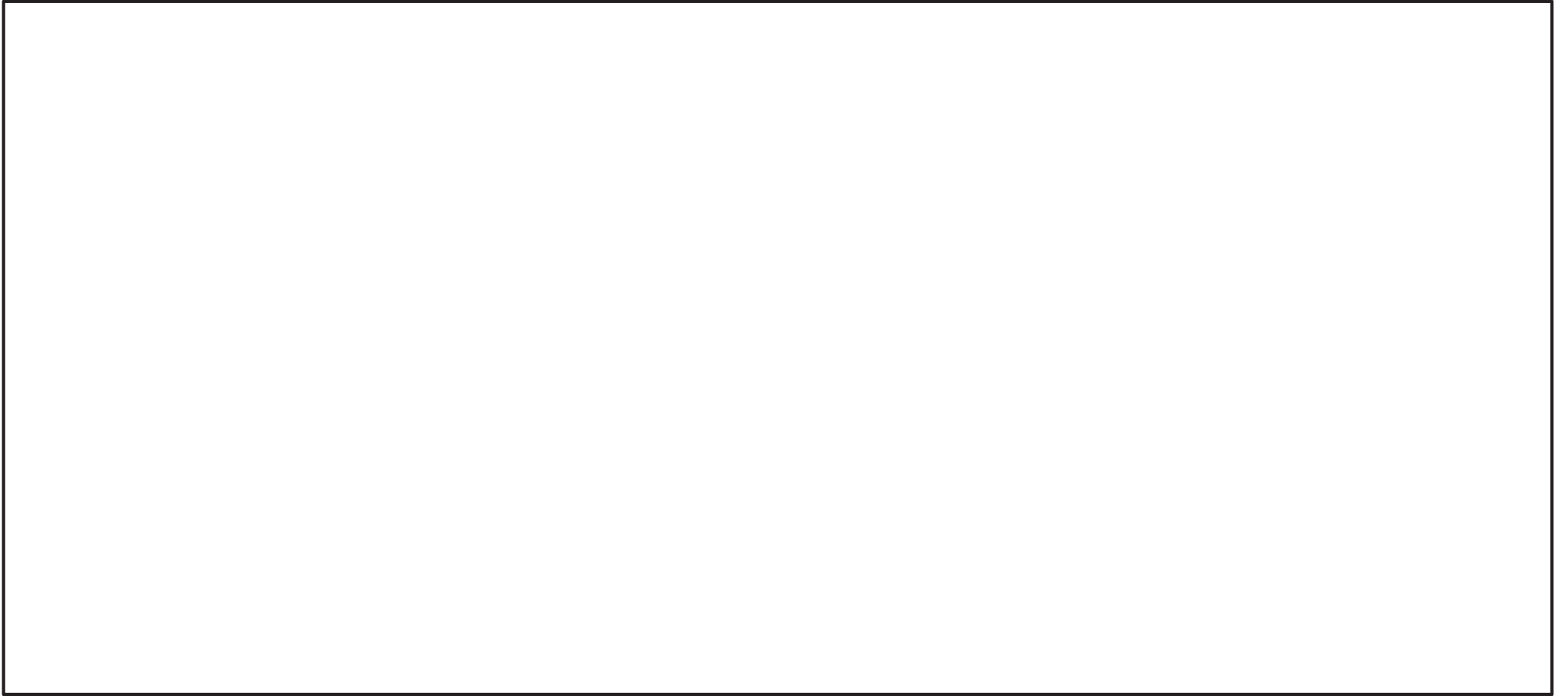
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



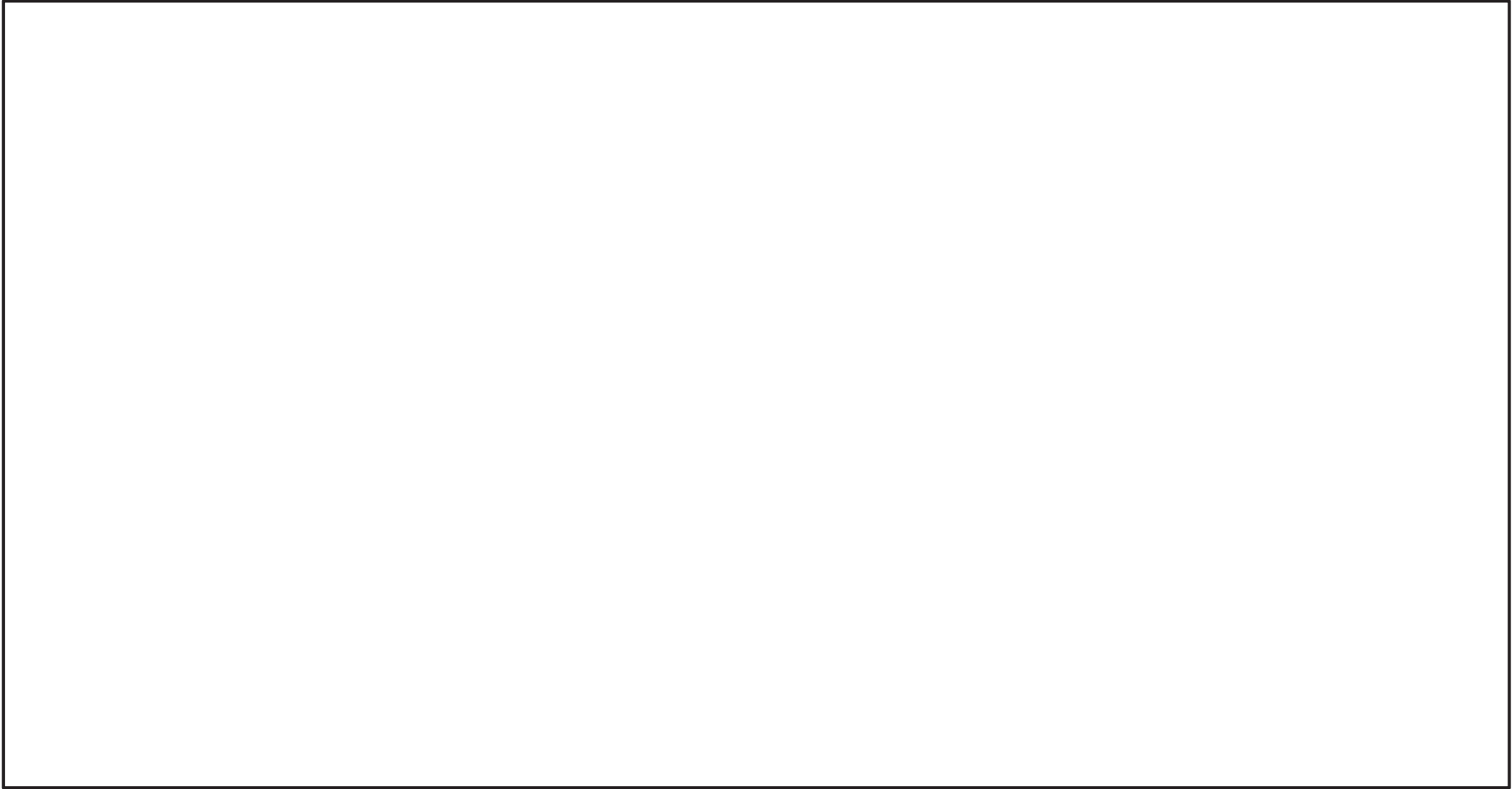
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

メカニカルスナップの詳細評価におけるばらつきの考え方

1. はじめに

メカニカルスナップの詳細評価における限界耐力値設定にあたり、破壊試験結果に対するばらつきの考え方について、本資料に整理した。

2. メカニカルスナップのばらつきの考え方

ばらつきの考え方について、以下の観点で整理した。

- (1) メカニカルスナップの個体差
- (2) 構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法
- (3) 機能部品（アンギュラー玉軸受）の耐力評価式における補正係数
- (4) メカニカルスナップ全体の座屈の耐力評価式における補正係数

(1) メカニカルスナップの個体差

メカニカルスナップは精密部品で構成され、品質管理（材料、製作等）が十分実施されている工業製品であることから、メカニカルスナップの個体差によるばらつきは基本的に小さいと考えられるものの、限界耐力値の設定に当たっては、余裕を持たせている。

電共研においては SMS-3 の試験体 3 体に対して試験を実施した結果、いずれも球面軸受が最初に損傷していることが確認された。SMS-3 の試験体 3 体の試験における損傷部位、測定した荷重を表 1 に示す。3 体ともに同じ部品が同じ損傷モードにて損傷しており、ばらつきが小さいことを示す結果と考えられるが、最大負荷荷重が得られるまで荷重を上げて試験を実施した試験体は 1 体（SMS-3-2）のみであるため、この試験結果から、最大負荷荷重に係るばらつきについて分析することはできない。

従って、ばらつきの影響については、以下の(2)、(3)及び(4)に示す内容により考慮する。

表 1 電共研の知見 SMS-3 の最大圧縮荷重と損傷箇所

試験体	損傷箇所	最大圧縮荷重* (kgf)	目標負荷荷重 (kgf)	耐力確認荷重 (kgf)	最大負荷荷重 (kgf)
SMS-3-1	イーヤ側の 球面軸受 内側割れ (機能は維持)	10,497	9,000	-	-
SMS-3-2	(損傷無し)	(9,410)	(9,000)	-	-
	イーヤ側の 球面軸受 内側割れ及び ユニバーサル ボックス側の ピン変形 (機能は維持)	13,638	12,000	11,576	15,145
SMS-3-3	イーヤ側の 球面軸受 内側割れ (機能は維持)	9,614	9,000	-	-

注記*:最大圧縮荷重は、目標負荷荷重での加振時に発生した圧縮側の最大荷重であり、最大負荷荷重とは異なる値である。

(2) 構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法

今回工認の詳細評価では、構造部材については試験結果により得られたメカニカルスナップの最大負荷荷重（メカニカルスナップの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナップの機能が維持された状態における最大荷重）から直接的に限界耐力値を定めるのではなく、最大負荷荷重に対して余裕を考慮して設定した耐力確認荷重に対して、安全側に耐力評価式を設定し、さらに別型式の試験結果も反映して安全側に設定した耐力評価式を用いて構造部材の限界耐力値を算出している。従って、耐力評価式による限界耐力値の設定にあたり十分な余裕を取っていることから、最大負荷荷重に対するばらつきの影響は耐力評価式により設定した限界耐力値に含まれる。図1に限界耐力値と最大負荷荷重等との関係を示す。

また材料の許容限界については、規格に基づいた許容応力を適用していることから、ばらつきは考慮されている。

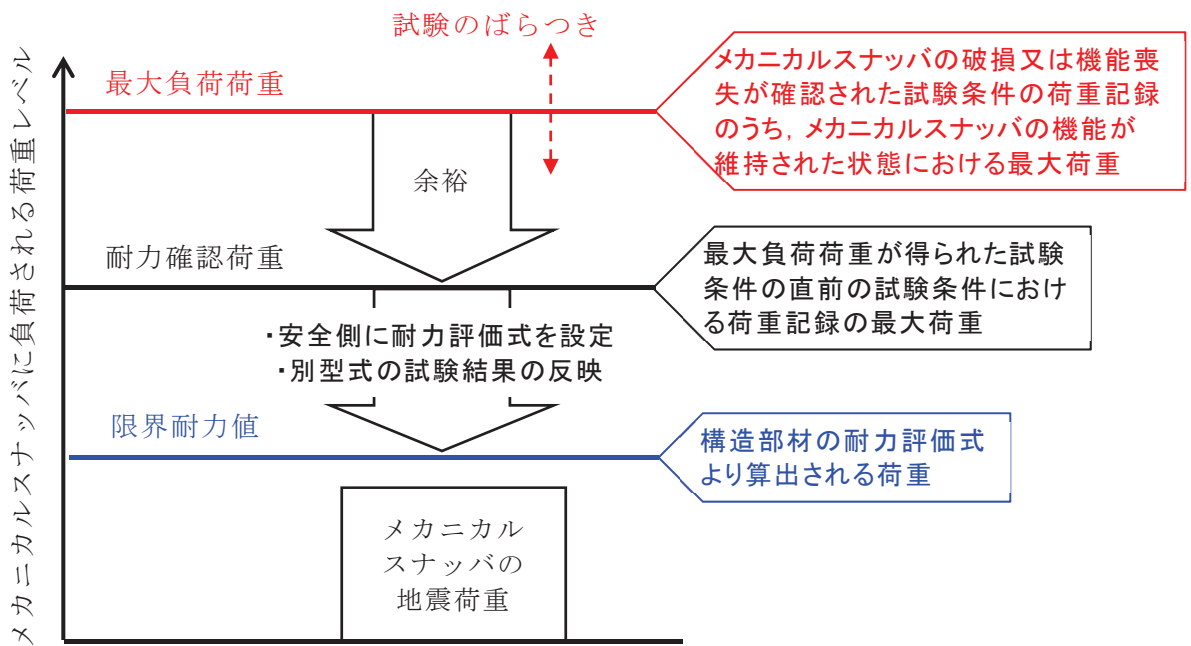


図1 メカニカルスナップの構造部材に対する限界耐力値設定のイメージ

(2)機能部品（アンギュラー玉軸受）の耐力評価式における補正係数

機能部品は、耐力評価式と規格の許容応力により限界耐力値を算出している構造部材と異なり、試験結果から得られた最大負荷荷重に基づき直接的に限界耐力値を設定していることから、試験時のばらつきを考慮する必要がある。

機能部品には球面軸受、アンギュラー玉軸受及びボールねじがあるが、球面軸受は構造部材と同様の耐力評価式に基づいた限界耐力値を設定する手法に見直しているため、ばらつきは考慮されている。ボールねじについては、構造部材と同様の耐力評価式にて強度評価が可能であり、耐力評価式を用いて限界耐力値が設定されること、試験にて損傷が確認されておらず最小裕度部位とならないことから、試験におけるばらつきの影響は考慮不要である。

一方、アンギュラー玉軸受は、試験における最大負荷荷重に基づき直接的に限界耐力値を設定していることから、試験時のばらつきを考慮する必要がある。

電共研の知見では、アンギュラー玉軸受の限界耐力値は、表2に示すアンギュラー玉軸受が損傷した試験の最大負荷荷重とベアリングメーカーにて設定している標準スラスト荷重の比（以下「荷重比」という。）の最小値 から 倍と設定していた。

表2 アンギュラー玉軸受の標準スラスト荷重と最大負荷荷重（電共研）

型式	(A) 標準スラスト荷重 (kgf)	(B) 最大負荷荷重 (kgf)	比率 (B) / (A)
SMS-03			
SMS-1			
SMS-10			

試験のばらつきを考慮するにあたり、電共研の試験結果に加えて類似の試験結果として JNES 研究を参照し、信頼性向上の観点から試験データの拡充を図ることとした。JNES 研究のうち、アンギュラー玉軸受の最大負荷荷重を確認した試験結果及び電共研の試験結果を表3に整理した。アンギュラー玉軸受のばらつきを検討する当たって、表3に整理した荷重比から保守的に -2σ を考慮すると、荷重比は 倍となり、電共研の知見にて設定した 倍を下回ることから、 倍での評価を行い、アンギュラー玉軸受の限界耐力値とする。

表 3 アンギュラー玉軸受の標準スラスト荷重，最大負荷荷重及び荷重比
 (電共研の試験結果+JNES 研究の試験結果)

型式	試験	(A) 標準スラスト荷重 (kN)	(B) 最大負荷荷重 (kN)	荷重比 (B) / (A)
SMS-03	電共研			
SMS-1	電共研			
SMS-10	電共研			
	JNES			
SMS-25	JNES			
平均値				
標準偏差値 (σ)				
平均値 - 2σ				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) メカニカルスナップ全体の座屈の耐力評価式における補正係数

電共研の知見におけるメカニカルスナップ全体の座屈に対する限界耐力値は、座屈試験の結果から得られた補正係数を計算式より算出した座屈荷重に対して考慮する手法により設定している。補正係数は、座屈試験の結果により得られた最大負荷荷重と計算による座屈荷重の比から直接的に設定していることから、補正係数に対してばらつきの影響を考慮する必要がある。電共研では、この補正係数に対し、メカニカルスナップ及びオイルスナップの複数の試験体に対する座屈試験結果から、試験結果のばらつきの影響を検討している。

座屈試験は静的試験であり結果にばらつきがでにくいこと、座屈強度は基本構造と寸法（断面二次モーメント及び長さ）から決まること、基本構造には型式間の相違はないことから、試験結果を他の型式に展開できると考え、電共研ではメカニカルスナップの試験体は1体としている。試験にて確認された座屈発生時の荷重（試験座屈荷重）と座屈の評価式より算出された座屈荷重（計算座屈荷重）の比は、試験座屈荷重／計算座屈荷重=0.78 となっている。なお、試験体のピン間長さは標準寸法の範囲のうち最大寸法としており、座屈の観点で最も厳しい条件としている。

一方で、電共研ではオイルスナップについても同様に試験による座屈荷重を確認しており、電共研以前に実施された試験と合わせて試験座屈荷重と計算座屈荷重の比較結果をまとめている。オイルスナップの基本構造を図1に示すが、座屈荷重計算に用いる部位の形状は、ターンバックル部（図1赤枠部）を除きメカニカルスナップと類似している（図1,図2の座屈検討部参照）。オイルスナップとメカニカルスナップでは、内部部品については種類、形状に相違があるが、それらは座屈荷重の計算には影響しない部位である。座屈荷重の計算に用いる部位は、オイルスナップ、メカニカルスナップいずれも円柱状の部品等で構成されており、座屈荷重の計算に用いる円柱部の断面二次モーメント及び長さはそれぞれの部品形状に基づいて評価に反映される。なお、メカニカルスナップにおける座屈の限界耐力値は、別紙3に示す計算式を用いて算出している。

以上より、座屈荷重の評価にあたっては、オイルスナップの試験により得られた知見をメカニカルスナップに反映可能であり、座屈の限界耐力値の設定における試験結果のばらつきの影響についても、オイルスナップの試験結果を踏まえて評価することができると考えられる。

なお、電共研の座屈試験はメカニカルスナップの座屈耐力のみを確認することが目的であり、座屈以外の要因による破損を生じさせないため、動的試験で

なく静的試験としている。

また、オイルスナップにおいては加振試験及び静的座屈試験の両方において座屈した型式があり、試験座屈荷重が計測されている。表 4 に示す試験結果より、静的試験の座屈荷重より動的試験の座屈荷重が大きくなることから、静的試験では動的試験より座屈が発生しやすく、静的試験に基づいて設定した座屈の限界耐力値のほうがより保守的となる。以上より、静的座屈試験により座屈の限界耐力値を設定することに問題はない。

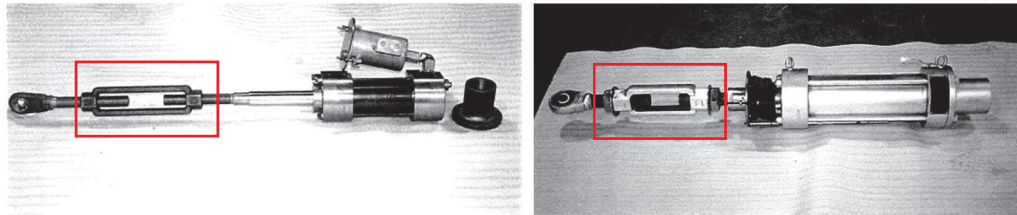
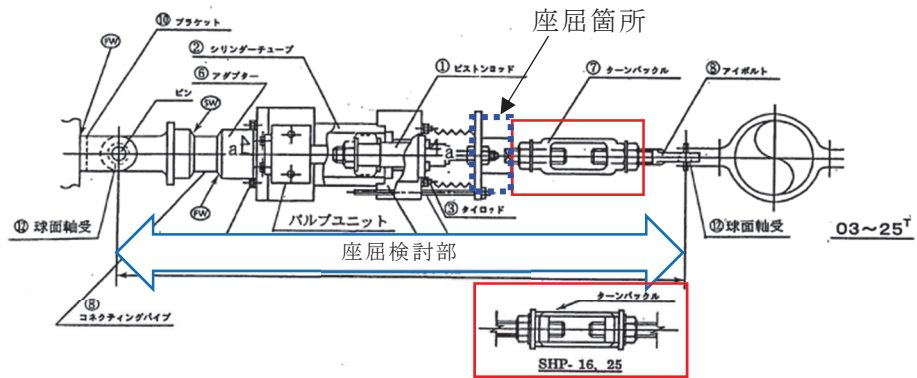


図1 SHP型オイルスナッパの概略構造及びターンバックル部

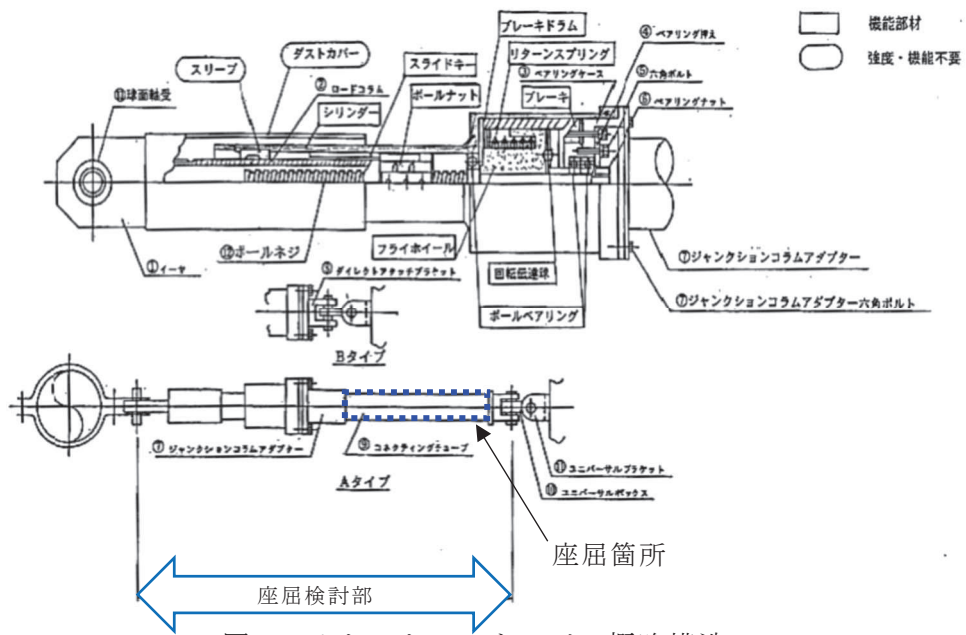


図2 メカニカルスナッパの概略構造

表4 オイルスナッパの静的座屈試験と加振試験における座屈荷重

型式	静的座屈試験における座屈荷重(kgf) (静的座屈)	加振試験における座屈荷重(kgf) (動的座屈)
SN-03		
SHP-03		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

電共研及び電共研以前に実施されたオイルスナップの座屈試験結果を図3に示す。図中の「試験値」は試験座屈荷重（最大負荷荷重に相当）,「理論値」は計算座屈荷重（予想耐力に相当）を示す。オイルスナップはターンバックル付近が最弱部となるが、電共研の知見においてはこの最弱部が中央寄りとなる場合（下図①）は計算座屈耐力に対する係数として0.5倍、最弱部が端に位置する場合（下図②）は係数として0.7倍を用いることとしている。なお、メカニカルスナップにおいては、オイルスナップのターンバックルに相当する部位がなく、 $1/L$ が表記できないため、便宜的に $1/L=0$ の位置に、試験値/理論値の値を示す。

座屈試験の結果では、メカニカルスナップ、オイルスナップともに試験座屈荷重が計算座屈荷重を下回っているが、計算座屈荷重は計算式により算出された理想的な条件下における座屈荷重であり、実際のメカニカルスナップ、オイルスナップにおいては芯ずれ等の実機固有の理由により、計算座屈荷重より低い荷重にて座屈することがあるため、試験結果より座屈の補正係数を設定し評価することは適切である。

- ① オイルスナップ全体が短くターンバックル部が中央に近い



- ② オイルスナップ全体が長くターンバックル部が端に近い（メカニカルスナップに近い形状）

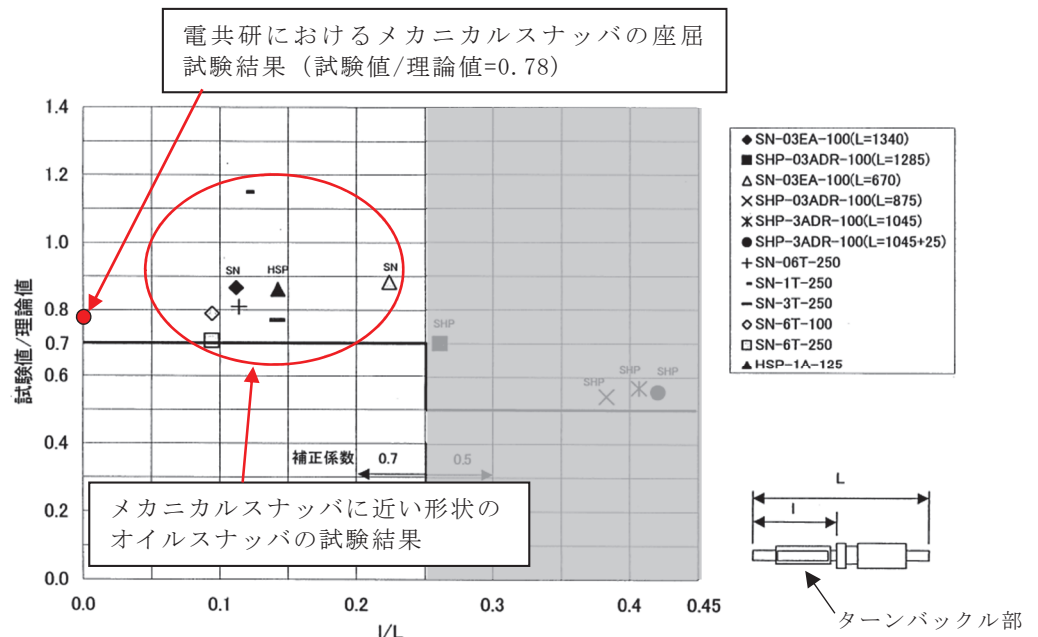


図3 電共研及び電共研以前に実施されたオイルスナップの座屈試験結果

メカニカルスナップの試験結果と、オイルスナップの最弱部が端に位置する場合の検討結果により、メカニカルスナップの座屈荷重評価においては、複数の試験体における試験結果から、ばらつきを考慮しても、計算座屈荷重に対する補正係数として0.7倍を採用することで適切に評価可能と考えられる。

3. ばらつきの影響を考慮した限界耐力値

2. におけるばらつきの検討結果を踏まえ、機能部品（アンギュラー玉軸受）の限界耐力値の低減を反映した限界耐力値を表5に示す。表5に記載のない型式のメカニカルスナップについては、ばらつきの影響を考慮しても電共研の限界耐力値からの変更が発生しないものである。今回工認の詳細評価において、表5の2つの型式のメカニカルスナップに対しては、ばらつきの検討結果反映後の限界耐力値を適用し評価を行う。

表5 ばらつきの影響を考慮した限界耐力値

型式	定格容量 (kN)	ばらつきの検討結果反映前		ばらつきの検討結果反映後	
		最小裕度部位	限界耐力値 (kN)	最小裕度部位	限界耐力値 (kN)
SMS-3	30	アンギュラー 玉軸受	75.3	アンギュラー 玉軸受	70.1
SMS-10	100	ベアリング押 え	224.5	アンギュラー 玉軸受	219.1

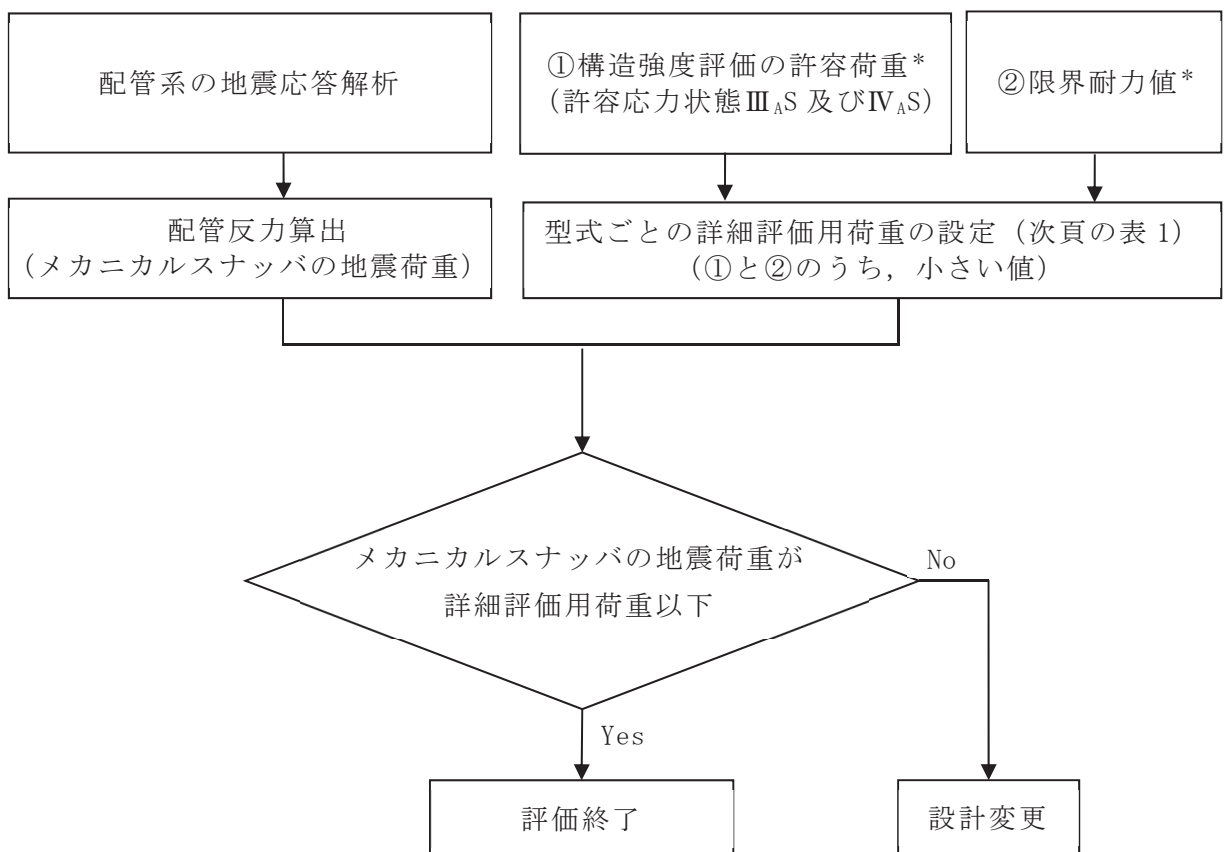
メカニカルスナップの詳細荷重評価方法

今回工認では、個別の部品に対する構造部材の強度評価（応力評価）と機能確認（荷重評価）による評価を採用する。

一方、メカニカルスナップの詳細評価としては、構造強度評価の許容荷重及び限界耐力値より設定される許容荷重（詳細評価用荷重）を用いて荷重評価する手法（詳細荷重評価方法）の採用も可能である。

この詳細荷重評価方法は、配管の地震応答解析から求まるメカニカルスナップの地震荷重と詳細評価用荷重を比較して、メカニカルスナップの地震荷重が詳細評価荷重以下であることを確認するものである。図 1 にメカニカルスナップの詳細荷重評価方法の手順を示す。

なお、メカニカルスナップの詳細評価用荷重は、表 1 に示す通り、本文の表 6-4 の構造強度評価の許容荷重と限界耐力値の小さい値とする。



注記*：本文の表 6-4 参照

図 1 メカニカルスナップの詳細荷重評価方法の手順

表 1 メカニカルスナップの詳細評価用荷重

型式	定格荷重 (kN)	詳細評価用荷重 (kN)	
		許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S
SMS-06	6		
SMS-1	10		
SMS-3	30		
SMS-6	60		
SMS-7.5	75		
SMS-10	100		
SMS-16	160		
SMS-25	250		
SMS-40	400		
NMB-030	30		
NMB-075	75		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。