

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-51 改 02
提出年月日	2022年7月19日

支持装置の評価手法の精緻化について

2022年7月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1.	はじめに	1
2.	適用範囲	2
3.	支持装置の構造及び作動原理	3
3.1	メカニカルスナッパ	3
3.2	オイルスナッパ	6
3.3	ロッドレストレイント	9
4.	支持装置の耐震設計	10
4.1	既工認における評価	10
4.2	支持装置の定格荷重	11
4.3	今回工認における評価	13
4.3.1	評価手順	13
4.3.2	支持装置の耐震設計に係る技術基準及び適用規格	15
4.3.3	既工認と今回工認の差異	18
4.3.4	既往知見の今回工認への適用の妥当性	20
5.	今回工認の二次評価において適用する新規基準値の設定	25
5.1	評価部位及び評価項目の整理	26
5.2	J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度の整理	63
5.3	既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度の整理	67
5.3.1	既往知見の限界耐力値の概要	67
5.3.2	限界耐力値に対する定格荷重の裕度の整理	68
5.4	新規基準値の設定	71
6.	結論	78

別紙 1 スナッパ確性試験の概要

別紙 2 支持装置の耐震設計に係る技術基準及び適用規格の内容

別紙 3 支持装置の強度評価方法（構造部材に対する強度評価）

別紙 4 スナッパの電力共同研究の概要

別紙 5 スナッパの J N E S 研究の概要

別紙 6 スナッパの限界耐力設定にあたってのばらつきの考え方

別紙 7 ロッドレストレイント耐力確認試験の概要

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	支持装置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）に対して支持機能を発揮するための強度部材	P. 3 3.1 メカニカル スナッパ
2	機能部品	・支持装置を構成する部品のうち、荷重伝達経路上にあり、支持装置の動作機能に必要な部品 ・試験結果に基づき限界耐力値を設定する部品	P. 3 3.1 メカニカル スナッパ
3	定格荷重	各製品の設計強度に基づき支持装置メーカーが定めた型式別の許容荷重	P. 1 1. はじめに
4	(今回工認の) 一次評価	支持装置の地震時荷重に対して、あらかじめ設定した設計上の基準値を評価基準値として行う評価（既工認の評価と同様）	P. 13 4.3 今回工認に おける評価
5	(今回工認の) 二次評価	設計用地震力の増大により、支持装置に負荷される地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して実施する評価	P. 13 4.3 今回工認に おける評価
6	新規耐力係数	構造部材の許容限界に対する定格荷重の裕度及び機能部品の耐力を考慮して設定した係数であって、定格荷重に乗じる係数	P. 13 4.3 今回工認に おける評価
7	新規基準値	定格荷重に新規耐力係数を乗じて設定した今回工認の二次評価において適用する評価基準値	P. 1 1. はじめに
8	スナッパの機能	支持機能と動作機能の2つがあり、支持機能とは支持構造物として要求される構造強度及び動剛性、動作機能とは配管や機器の熱移動を拘束することなく追従する機能	P. 11 4.2 支持装置の 定格荷重
9	既往知見	今回工認の二次評価において適用する新規基準値を設定するにあたり参照した既往研究の知見 【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 研究】 平成 21～22 年度 耐震機能限界試験 (スナッパ) に係る報告書	P. 1 1. はじめに
10	確性試験	支持装置メーカーにおいて支持装置の基本性能を確認及び担保する目的で実施している試験	P. 11 4.2 支持装置の 定格荷重

No.	用語	定義	初出箇所
11	限界耐力評価法	<ul style="list-style-type: none"> ・電共研において策定された支持装置の限界耐力評価手法 ・支持装置を構成する荷重伝達経路上の構造部材の許容限界により定まる耐力と機能部品の動作機能が担保された荷重のうち小さい方の値により定まる限界耐力値を用いて、地震時荷重に対する支持装置の健全性を評価する手法 	<p>P. 19</p> <p>4.3 今回工認における評価</p>
12	動剛性	<ul style="list-style-type: none"> ・スナップが地震時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>P. 11</p> <p>4.2 支持装置の定格荷重</p>
13	振動応答試験	<ul style="list-style-type: none"> ・スナップを定格荷重が発生するよう一定の振動数で加振し、地震時荷重に対して要求される動剛性を示すことを確認する試験 ・電共研においては、振動試験と記載 	<p>P. 12</p> <p>4.2 支持装置の定格荷重</p>
14	過負荷振動試験	スナップを定格荷重×1.5が発生するよう一定の振動数で加振し、地震時荷重に対して要求される動剛性を示すことを確認する試験	<p>P. 12</p> <p>4.2 支持装置の定格荷重</p>
15	低速走行試験	スナップのピストン部を配管や機器の熱膨張による変位発生時に想定される速度で移動させ、要求される抵抗力以下で追従できることを確認する試験	<p>P. 12</p> <p>4.2 支持装置の定格荷重</p>
16	最大負荷荷重	スナップ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、支持装置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、支持装置の機能が維持された状態における最大荷重	<p>P. 68</p> <p>5.3 既往知見の限界耐力に対する定格荷重の裕度の整理</p>
17	耐力確認荷重	スナップ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、支持装置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>P. 21</p> <p>4.3. 今回工認における評価</p>
18	限界耐力値	<ul style="list-style-type: none"> ・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、あるいはそれらの耐力値のうち支持装置全体での最小値 ・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。 ・JNES研究においては耐力値と記載 	<p>P. 1</p> <p>1. はじめに</p>

No.	用語	定義	初出箇所
19	耐力評価式	支持装置の限界耐力値算出に用いる評価式であり、構造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. 21 4.3 今回工認における評価
20	ストローク	スナッパのピストンが移動できる限界長さ	P. 23 4.3 今回工認における評価
21	実際の耐力値	スナッパが実際の破損又は機能喪失に至る直前の耐力値	P. 68 5.3 既往知見の限界耐力に対する定格荷重の裕度の整理
22	耐力評価手法	JNES研究において策定されたスナッパの評価手法であり、電共研における限界耐力評価法に相当	P. 19 4.3. 今回工認における評価
23	予想耐力	スナッパ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スナッパ全体での最小値	別紙 4-2 3. スナッパ限界耐力評価法の策定方針
24	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	別紙 4-29 4.5.1 予想耐力との比較等による破壊試験結果の考察
25	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	別紙 4-29 4.5.1 予想耐力との比較等による破壊試験結果の考察

1. はじめに

本資料は、以下に示す図書について補足する図書である。

- ・VI-2-1-12 「配管及び支持構造物の耐震計算について」

島根原子力発電所第2号機（以下「島根2号機」という。）の機器・配管系の支持構造物の設計にあたっては、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」という。）にしたがい、地震時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支持装置に分類されるメカニカルスナッパ、オイルスナッパ及びロッドレストレイントは、J E A G 4 6 0 1の直接支持構造物に該当するため、強度評価によって支持機能を評価する。

既工認における耐震設計では、J E A G 4 6 0 1を踏まえ、メカニカルスナッパ及びオイルスナッパについては、あらかじめ計算により定格荷重*1 及び定格荷重×1.5 に対する各構成部品の応力を求めて許容応力状態ⅢA S 及び許容応力状態ⅣA S の許容限界を満足することを確認していることから、定格荷重及び定格荷重×1.5 を設計上の基準値として定め、メカニカルスナッパ及びオイルスナッパに負荷される地震時荷重と比較することによって耐震性を確認している。ロッドレストレイントについては、あらかじめ計算により定格荷重及び定格荷重×1.2 に対する各構成部品の応力を求めて許容応力状態ⅢA S 及び許容応力状態ⅣA S の許容限界を満足することを確認していることから、定格荷重及び定格荷重×1.2 を設計上の基準値として定め、ロッドレストレイントに負荷される地震時荷重と比較することによって耐震性を確認している。

今回工認の支持装置の耐震設計においても、既工認同様、あらかじめ設定した設計上の基準値を評価基準値として適用することを基本とする。ただし、あらかじめ設定した設計上の基準値は J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見*2 の限界耐力値*3 に対して十分な裕度を有していることから、設計用地震力が増大したことにより支持装置に負荷される地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超える場合は、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値を踏まえて新たに設定した新規基準値*4 を評価基準値として適用する。

注記*1：用語の定義 No. 3 参照

*2：用語の定義 No. 9 参照

*3：用語の定義 No. 18 参照

*4：用語の定義 No. 7 参照

2. 適用範囲

島根2号機の機器・配管系に設置する支持装置のうちメカニカルスナッパ、オイルスナッパ及びロッドレストレイントとし、設計用地震力の増大により地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超える場合に新規基準値を適用した評価を実施する。

3. 支持装置の構造及び作動原理

3.1 メカニカルスナッパ

(1) 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変位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、配管移動拘束時に発生する荷重（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。

支持機能としては、後述のオイルスナッパと同一の機能を有しているが、オイルスナッパは作動油及びそのシール材が必要であることに対し、メカニカルスナッパはそれらが不要となる特徴を有している。この特徴から、オイルスナッパに比べ耐放射線性に優れている。一般的に、メカニカルスナッパはオイルスナッパよりも高価な支持装置であるため、高線量環境が想定されるエリアにメカニカルスナッパを適用し、それ以外のエリアにオイルスナッパを適用する等の使い分けを実施する場合がある。

注記*1：用語の定義 No.1 参照

*2：用語の定義 No.2 参照

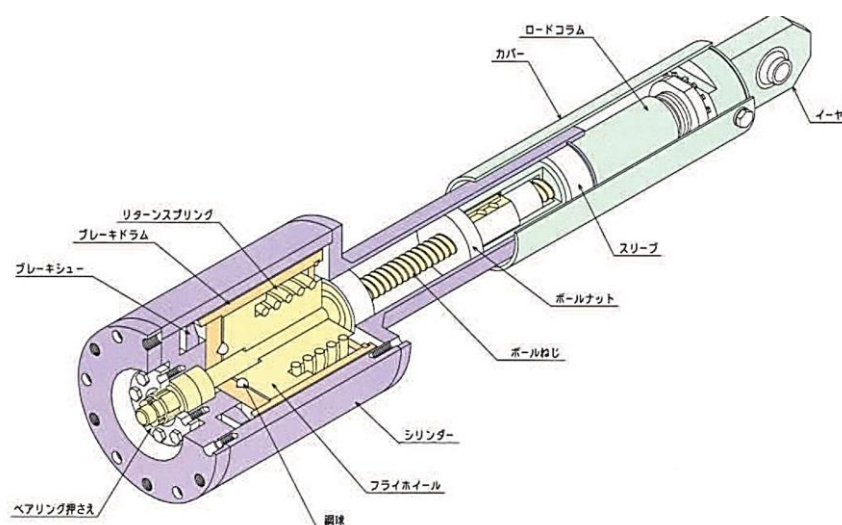


図3-1 メカニカルスナッパの構造概要

(2) 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、ボールねじ及び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運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。

$$F = M \cdot \alpha$$

ここで、

F：抵抗力

M：フライホイール質量

α ：加速度

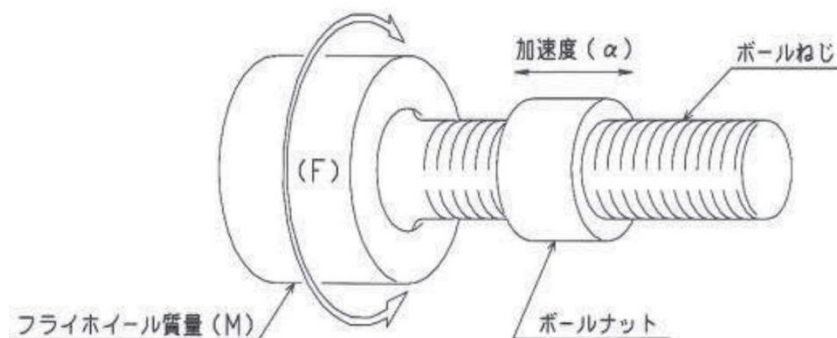


図 3-2 メカニカルスナップの作動原理

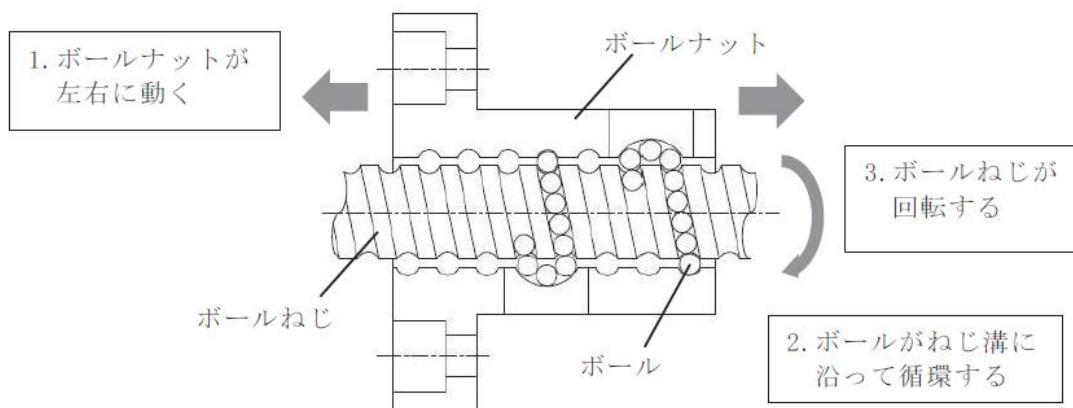


図 3-3 ボールねじ及びボールナット部の概要図

また、メカニカルスナップの動作の様子を図 3-4 に示す。入力加速度が小さい（緩やかな配管移動）場合は、メカニカルスナップの軸方向に作用した力は、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、メカニカルスナップ全体が伸縮する。

入力加速度が大きい（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、メカニカルスナップ全体の伸縮も拘束される。



図 3-4 メカニカルスナップの動作の様子

3.2 オイルスナッパ

(1) 構造

オイルスナッパは、メカニカルスナッパと同様に、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変位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3-5にオイルスナッパの構造概要を示す。

オイルスナッパは、作動油が充填されたシリンダ、ピストンロッド等にて配管移動を作動油の流体抗力に変換し、入力速度が小さい（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、配管移動拘束時に発生する荷重（配管反力）を支持するための構造部材及び配管移動に追従するための機能部品としての役割を持った部品等で構成されている。

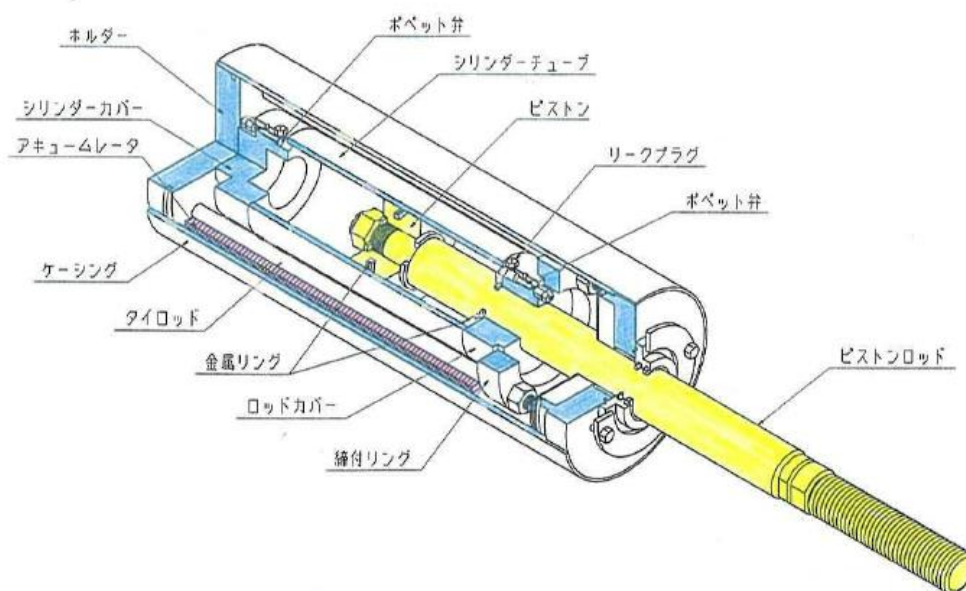


図3-5 オイルスナッパの構造概要

(2) 作動原理

オイルスナップの作動原理の概要を図 3-6 に示す。また、シリンダ内におけるピストンロッド及びポペット弁の概要図を図 3-7 に示す。オイルスナップの作動原理は、ピストンロッドの往復運動に対して、シリンダ内部に設置されるポペット弁に生じる流体抗力を弁の開動作に変換することが基本原理である。図 3-7 に示すとおり、ポペット弁は通常開状態となるよう弁体をばねにより押し上げた状態で構成されており、配管熱膨張程度の緩やかなピストンロッドの移動では、弁体に生じる流体抗力が小さいことから、ポペット弁が開状態で維持されるため、ピストンロッドが移動可能な状態が維持される。一方で、地震時にみられる急速なピストンロッドの移動では、ポペット弁に生じる流体抗力がばね反力に打ち勝って、弁が閉じることで、ピストンロッドが往復運動ができずに外力に抵抗する荷重が発生する。

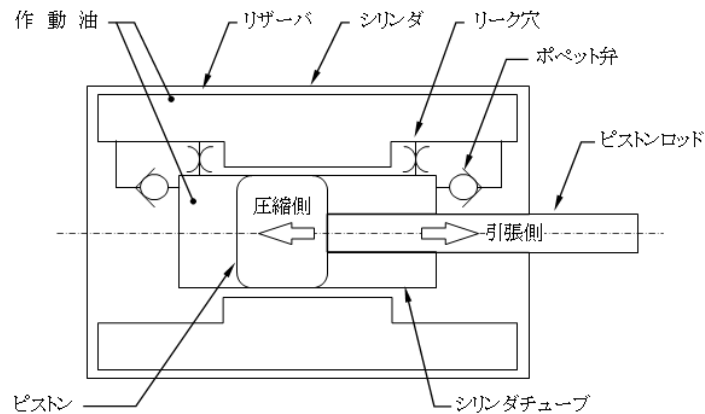


図 3-6 オイルスナップの作動原理

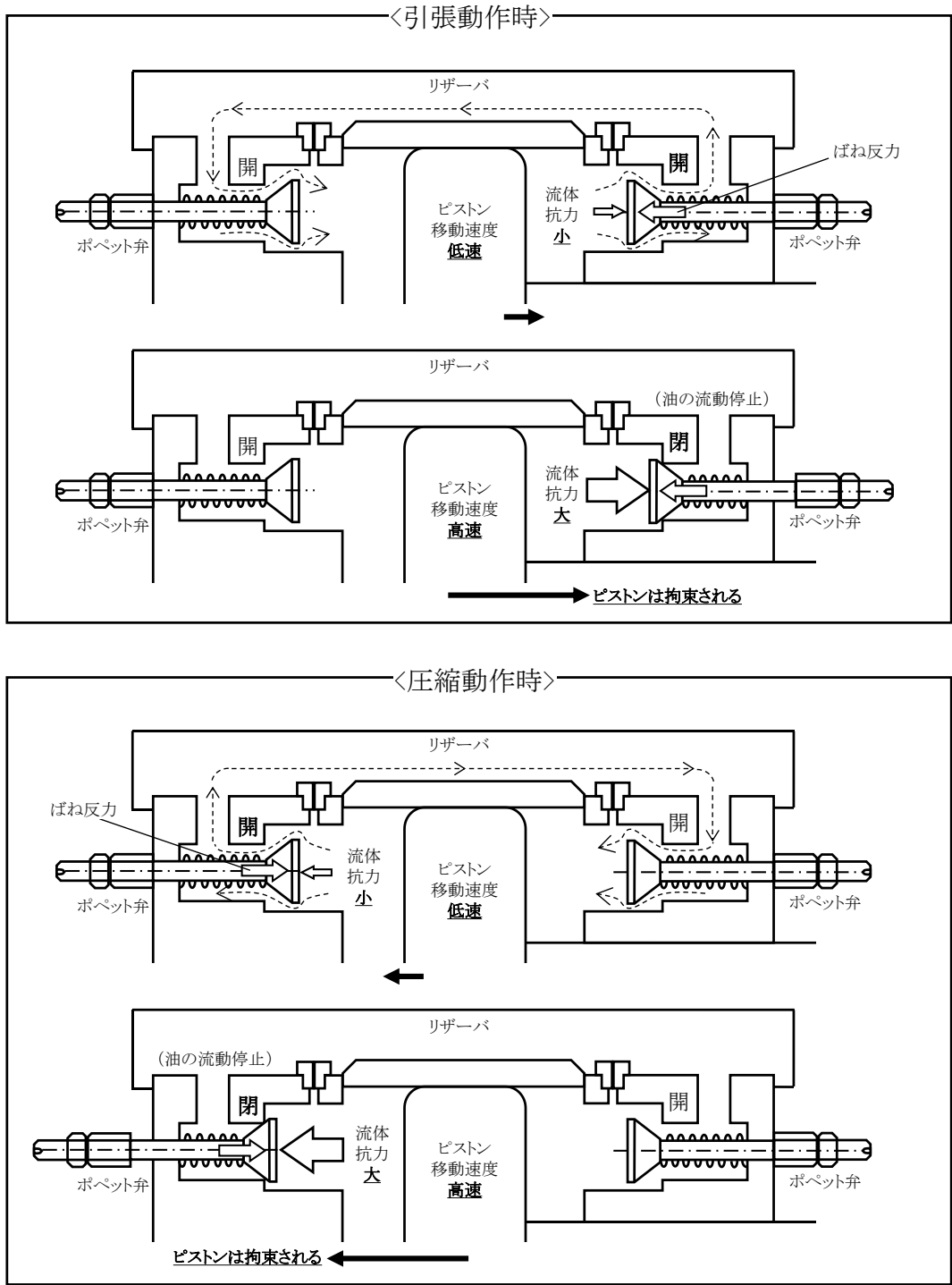


図 3-7 シリンダ内におけるピストンロッド及びポペット弁の概要図

3.3 ロッドレストレイント

ロッドレストレイントは、配管の耐震用の支持装置として、配管変位を拘束する機能を持った製品である。図3-8にロッドレストレイントの構造概要を示す。

ロッドレストレイントは、メカニカルスナップバやオイルスナップバとは異なり、機能部品から構成される動的機構を有しておらず、地震時に発生する配管変位のような急速な配管移動に加え、配管の熱膨張のような緩やかな配管移動も拘束する。

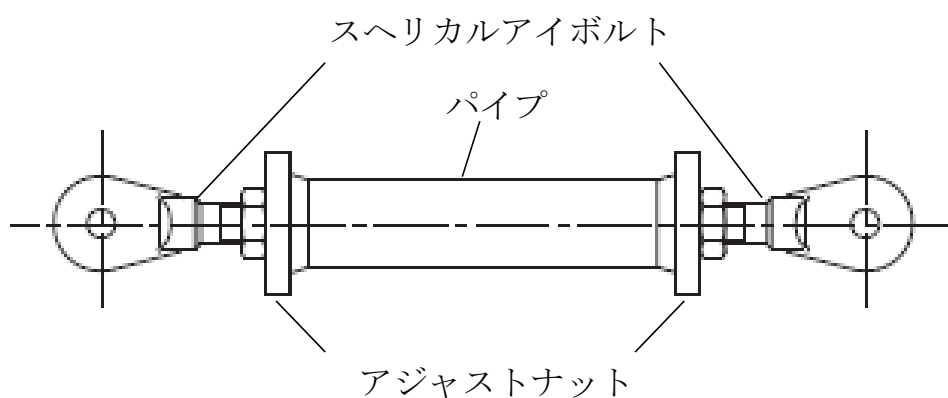


図3-8 ロッドレストレイントの構造概要

4. 支持装置の耐震設計

4.1 既工認における評価

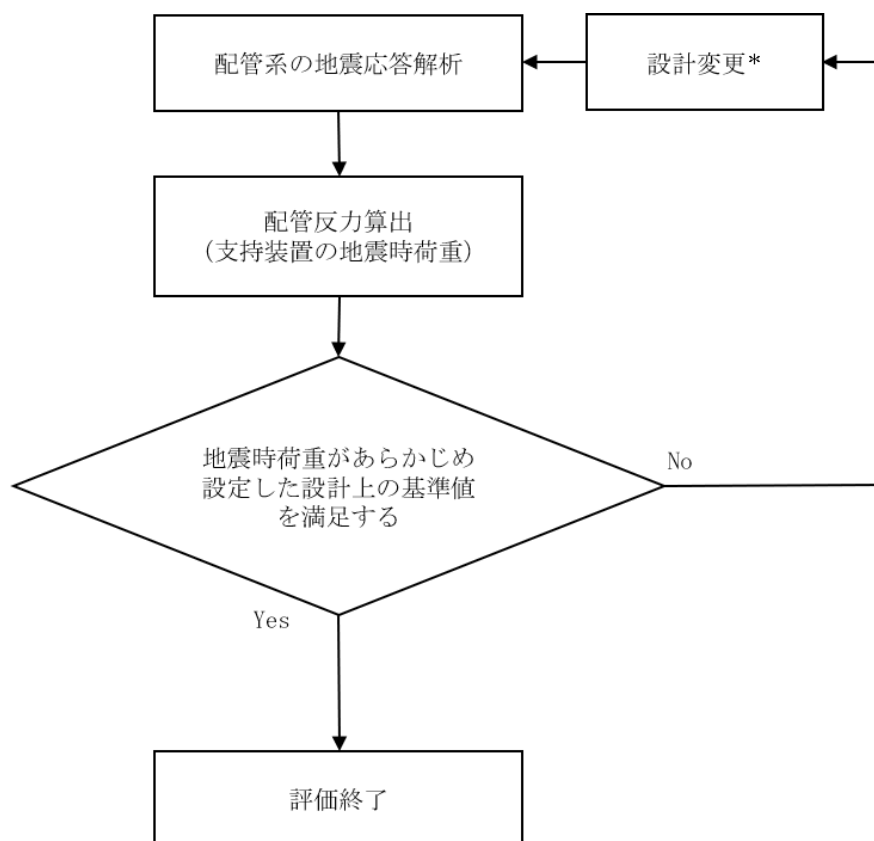
既工認における支持装置の評価手順を図 4-1 に示す。

既工認における支持装置の耐震評価では，支持装置に対する荷重による評価として，配管系の地震応答解析から算出された支持装置に負荷される配管反力（地震時荷重）が，あらかじめ設定した設計上の基準値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，支持装置に対する荷重による評価における評価基準値に相当するものであり，評価基準値に対する支持装置の強度評価として，各構造部材の応力が J E A G 4 6 0 1 に規定の許容応力状態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ている。

支持装置の耐震設計に係る技術基準及び適用規格については，4.3.2 に詳細を記載している。

なお，支持装置に対して J E A G 4 6 0 1 に規定の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。



注記*：支持装置を含む支持構造物の追設，容量変更，位置変更等

図 4-1 既工認における支持装置の評価手順

4.2 支持装置の定格荷重

支持装置は、支持装置メーカーによる構造部材及び機能部品の市場調達性、製作性等を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は、構造部材の許容限界や機能部品の限界耐力値に対して十分に余裕のある設計となっている。

支持装置の製造設計では、定格荷重に対する構造部材の構造強度が J E A G 4 6 0 1 に規定の直接支持構造物の許容限界を十分満足し、余裕のある設計であることを確認している。

したがって、荷重による評価として、支持装置の地震時荷重が定格荷重を踏まえてあらかじめ設定した設計上の基準値を満足する場合、構造部材ごとに評価を実施しなくても各評価部位の応力が J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界を満足することになる。

また、機能部品を有しているメカニカルスナッパ及びオイルスナッパについては、スナッパの機能*1 確認試験として、表 4-1 に示す確性試験*2 によって地震時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抵抗なく追従できること、使用環境で機能を発揮できること等を確認している。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. 8 参照

*2：用語の定義 No. 10 参照

*3：用語の定義 No. 12 参照

表 4-1 メカニカルスナップ及びオイルスナップ確性試験の概要

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, 地震時荷重に対して要求される動剛性を有していることを確認する。
	過負荷振動試験* ² (定格荷重×1.5)	
	低速走行試験* ³	ピストン部を熱膨張による変位時に想定される速度で移動させ, 配管の熱変位に対して抵抗なく追従できることを確認する。
	リリース試験又はブリードレート試験* ⁴	熱移動を想定した速度での移動時に, 拘束力が生じる変位を与え, 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, 放射線照射時等の環境状態で機能が維持されることを確認する。

注記*1: 用語の定義 No. 13 参照

*2: 用語の定義 No. 14 参照

*3: 用語の定義 No. 15 参照

*4: 熱変位を想定した緩やかな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。メカニカルスナップにおいてはリリース試験, オイルスナップにおいてはブリードレート試験と呼ぶ。

*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

今回工認における支持装置の評価手順を図4-2に示す。

今回工認における支持装置の耐震評価では、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（地震時荷重）があらかじめ設定した設計上の基準値以下であることを確認する。

支持装置の地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過する場合は、二次評価*²として、今回工認において新たに設定した新規基準値以下であることを確認する。

今回工認の二次評価において適用する新規基準値は、以下の手順で設定する。なお、新規基準値設定の詳細は、「5. 今回工認の二次評価において適用する新規基準値の設定」に示す。

- ・メカニカルスナッパ及びオイルスナッパ：

荷重伝達経路を踏まえて整理した評価部位及び評価項目について、J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値を踏まえて新規耐力係数*³を設定し、定格荷重に乗じることにより、新規基準値を設定する。

- ・ロッドレストレイント：

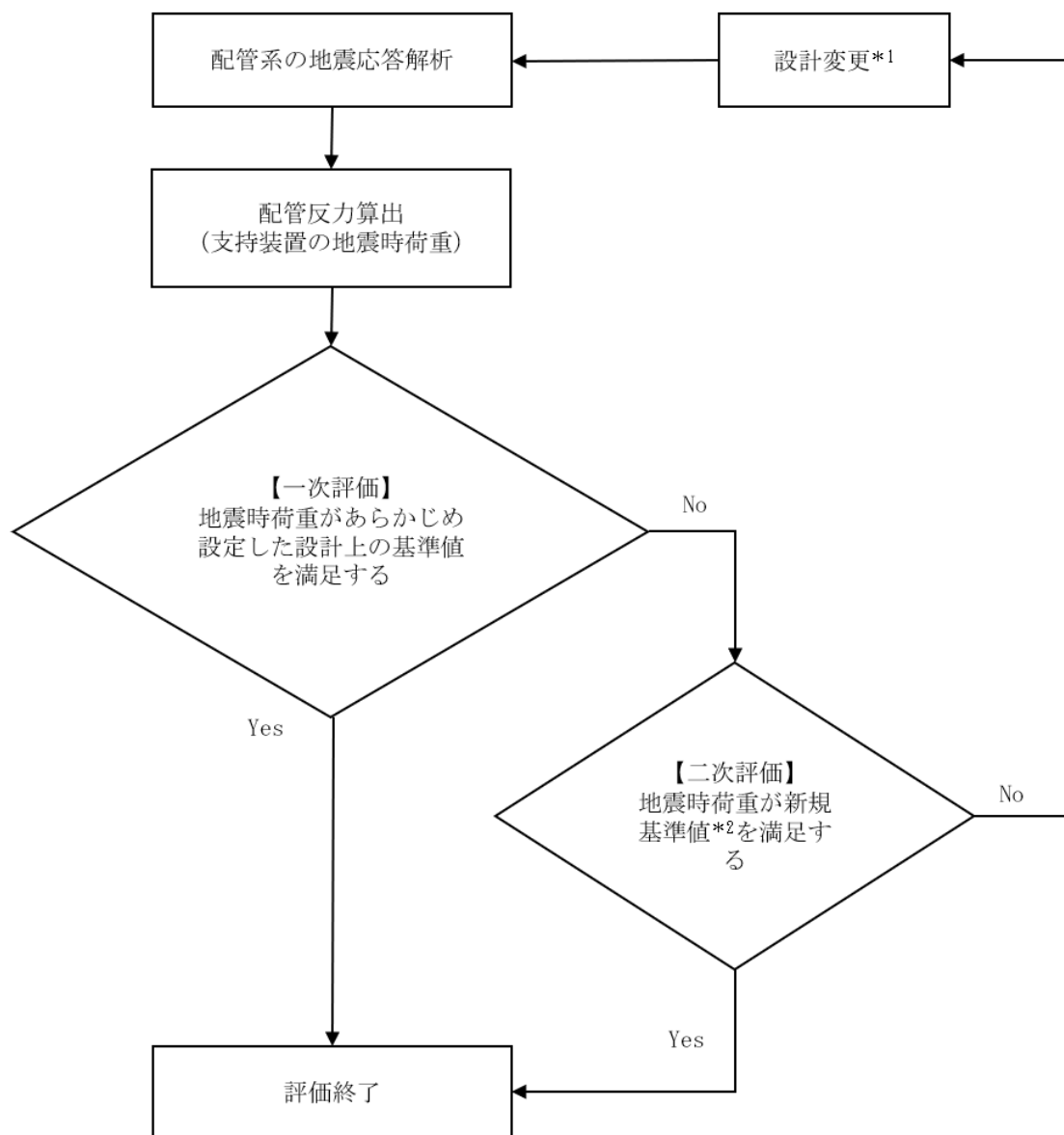
荷重伝達経路を踏まえて整理した評価部位及び評価項目について、J E A G 4 6 0 1に規定の許容限界を踏まえて新規耐力係数を設定し、定格荷重に乗じることにより、新規基準値を設定する。

今回工認における支持装置の耐震評価として、上記の一次評価及び二次評価を実施し、支持装置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. 5 参照

*3：用語の定義 No. 6 参照



注記*1：支持装置を含む支持構造物の追設，容量変更，位置変更等

*2：J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値を踏まえて設定した値（設定の詳細は「5. 今回工認の二次評価において適用する新規基準値の設定」に示す。）

図 4-2 今回工認における支持装置の評価手順

4.3.2 支持装置の耐震設計に係る技術基準及び適用規格

支持装置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支持装置は、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（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。

支持装置の耐震設計では、J E A G 4 6 0 1 の直接支持構造物に該当し、支持装置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）に対する支持装置の発生応力が J E A G 4 6 0 1 に規定の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、VI-2-1-12「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（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」

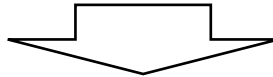
J E A G 4 6 0 1

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984

- ・耐震支持装置は「直接支持構造物」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。



支持装置の耐震評価

【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，地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を満足すること

【今回工認における二次評価】

- ・ J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値を踏まえて設定した新規基準値を満足すること

図 4-3 支持装置の耐震設計に係る技術基準及び適用規格の概要

表 4-2 今回工認における支持構造物の評価方法

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（一次評価）及び新たに設定した許容荷重による評価（二次評価）	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、荷重による評価を実施する。
2	オイルスナッパ			
3	ロッドレストレイント			
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			
6	リジットハンガ			
7	粘性ダンパ		使用荷重	
8	レストレイント	ラグ	Ⅲ _A S/Ⅳ _A S評価	支持構造物に応じた耐震設計とし、各構造部材の強度評価を行う。
9		Uボルト		
10		支持架構		
11		埋込金物		

4.3.3 既工認と今回工認の差異

支持装置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、支持装置の地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を満足できなかった場合の扱いが異なる。

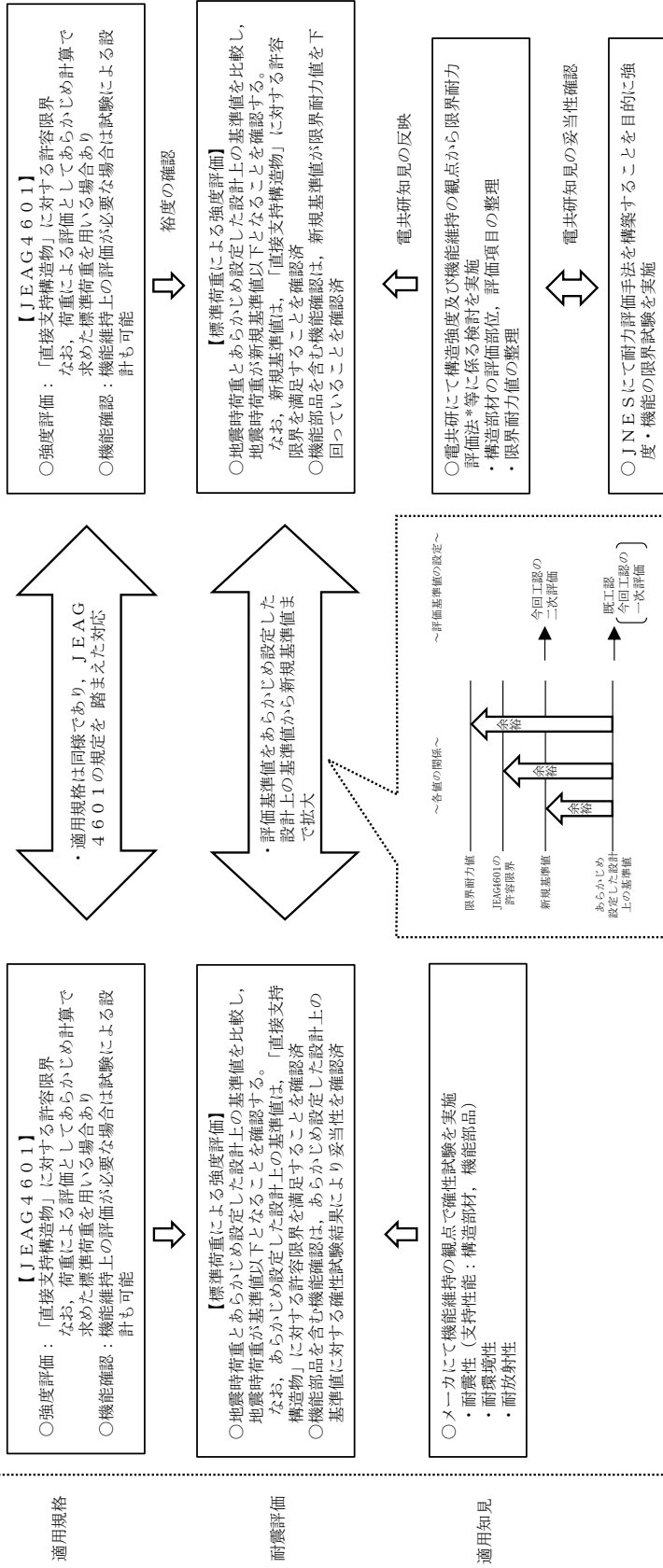
既工認では、即座に設計変更へ移行することに対して、今回工認においては、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があること及び既往知見を踏まえて、新規基準値による二次評価を適用し、支持装置の耐震性を確認することである。なお、二次評価を満足しない場合は、設計変更を行う。

二次評価における新規基準値の設定にあたっては、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値を踏まえて、支持装置の構造部材の強度評価及び機能部品を含む機能確認に係る内容を検討した。

既工認と今回工認の評価方法の差異を表 4-3 に示し、既工認及び今回工認の評価基準値に係る考え方を図 4-4 に示す。

表 4-3 既工認と今回工認の評価方法の差異

No.	種別		評価方法	
			既工認	今回工認
1	メカニカルスナッパ		定格荷重評価	定格荷重評価（一次評価）及び新たに設定した許容荷重による評価（二次評価）
2	オイルスナッパ			
3	ロッドレストレイント			
4	スプリングハンガ			
5	コンスタントハンガ			
6	リジットハンガ			
7	粘性ダンパ		—	使用荷重
8	レスト レイント	ラグ	ⅢA S /ⅣA S 評価	同左
9		Uボルト		
10		支持架構		
11		埋込金物		



注記*：用語の定義 No. 11 参照

4.3.4 既往知見の今回工認への適用の妥当性

今回工認の二次評価における新規基準値の設定にあたっては、既往知見として、「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」という。)の知見を適用した。電共研の詳細を別紙 4 に示す。

電共研では、メカニカルスナッパ及びオイルスナッパの振動試験として「スナッパ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。

今回工認の二次評価においては、機能部品を含むメカニカルスナッパ及びオイルスナッパの機能確認として、電共研において策定された振動試験及び低速走行試験の結果に基づく限界耐力値を適用することとした。なお、既往知見の適用にあたり、確性試験や第三者機関による研究成果との比較等により妥当性を検討した結果、今回工認の支持装置の二次評価において適用する新規基準値の設定に対して、既往知見を適用することは妥当であることを確認した。妥当性確認結果を以下に示す。また、ロッドレストレイントについては、既往知見及び後述の J N E S 研究における試験条件を踏まえた耐力確認試験を実施し、新規基準値の設定の妥当性を確認している。詳細を別紙 7 に示す。

(1) 試験項目の妥当性

電共研においては、機能部品を含むメカニカルスナッパ及びオイルスナッパの機能確認として、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、これらの試験項目について、確性試験における試験項目と比較を実施し、妥当性を検討した。検討結果を表 4-4 に示す。検討の結果、電共研の試験項目は妥当であることを確認した。

(2) 試験条件の妥当性

電共研については、限界耐力値の策定に関する振動試験及び低速走行試験の試験条件が、確性試験と同様であるとともに、島根 2 号機的设计仕様と整合するため、新規基準値の設定に適用することは妥当であることを確認した。試験条件と島根 2 号機的设计仕様の比較結果を表 4-5 に示す。また、表 4-5 の記載内容の詳細については別紙 4 に示す。

(3) 試験結果の妥当性

電共研の試験結果の妥当性確認のため、第三者機関による検討事例である、「J N E S 平成 21~22 年度 耐震機能限界試験 (スナッパ) に係る報告書」(以

下「JNES研究」という。)との比較を実施した。JNES研究の概要及び電共研との比較結果の詳細を別紙5に示す。

JNES研究では、メカニカルスナップ及びオイルスナップの耐力評価手法^{*1}を策定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^{*2}が得られている。

電共研で策定された試験結果に基づく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と同様であること、試験条件が同等であること、及び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^{*3}を用いて設定した限界耐力値が同等であることを確認した。電共研と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4-6に示す。

注記*1：用語の定義 No. 22 参照

*2：用語の定義 No. 17 参照

*3：用語の定義 No. 19 参照

表 4-4 新規基準値設定に対する各試験項目の適用要否

確性試験の項目	確認内容	新規基準値設定にあたっての適用要否	電共研
振動応答試験 過負荷振動試験	所定の地震時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)
リリース試験 又はブリード レート試験*1	地震時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：熱変位を想定した緩やかな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。メカニカルスナッパにおいてはリリース試験、オイルスナッパにおいてはブリードレート試験と呼ぶ。地震後の熱移動への追従性は、本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：本試験の変位速度（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本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、本試験も実施している。

表 4-5 電共研における試験条件と島根 2 号機的设计仕様の比較

項目	電共研 試験条件	島根 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り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	数十から百秒未満	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	<p>相違なし(具体的には以下基準を満足すること)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">・メカニカルスナップ</th> <th colspan="2">・オイルスナップ</th> </tr> <tr> <th>型式</th> <th>動剛性 (kgf/mm)</th> <th>型式</th> <th>動剛性 (kgf/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMS-03</td> <td rowspan="6" style="border: 2px solid black;"></td> <td>SHP-03</td> <td rowspan="6" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>SMS-1</td> <td>SHP-3</td> </tr> <tr> <td>SMS-3</td> <td>SHP-16</td> </tr> <tr> <td>SMS-6</td> <td>SN-03</td> </tr> <tr> <td>SMS-10</td> <td>SN-3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SN-6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>SN-16</td> </tr> </tbody> </table>	・メカニカルスナップ		・オイルスナップ		型式	動剛性 (kgf/mm)	型式	動剛性 (kgf/mm)	SMS-03		SHP-03		SMS-1	SHP-3	SMS-3	SHP-16	SMS-6	SN-03	SMS-10	SN-3		SN-6			SN-16
・メカニカルスナップ		・オイルスナップ																										
型式	動剛性 (kgf/mm)	型式	動剛性 (kgf/mm)																									
SMS-03		SHP-03																										
SMS-1		SHP-3																										
SMS-3		SHP-16																										
SMS-6		SN-03																										
SMS-10		SN-3																										
		SN-6																										
		SN-16																										
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	<p>相違なし(具体的には以下基準を満足すること)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">・メカニカルスナップ</th> <th colspan="2">・オイルスナップ</th> </tr> <tr> <th>型式</th> <th>抵抗力 (kgf)</th> <th>型式</th> <th>抵抗力 (kgf)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMS-03</td> <td rowspan="6" style="border: 2px solid black;"></td> <td>SHP-03</td> <td rowspan="6" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>SMS-1</td> <td>SHP-3</td> </tr> <tr> <td>SMS-3</td> <td>SHP-16</td> </tr> <tr> <td>SMS-6</td> <td>SN-03</td> </tr> <tr> <td>SMS-10</td> <td>SN-3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SN-6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>SN-16</td> </tr> </tbody> </table>	・メカニカルスナップ		・オイルスナップ		型式	抵抗力 (kgf)	型式	抵抗力 (kgf)	SMS-03		SHP-03		SMS-1	SHP-3	SMS-3	SHP-16	SMS-6	SN-03	SMS-10	SN-3		SN-6			SN-16
・メカニカルスナップ		・オイルスナップ																										
型式	抵抗力 (kgf)	型式	抵抗力 (kgf)																									
SMS-03		SHP-03																										
SMS-1		SHP-3																										
SMS-3		SHP-16																										
SMS-6		SN-03																										
SMS-10		SN-3																										
		SN-6																										
		SN-16																										

注記* : 用語の定義 No. 20 参照

表 4-6 電共研と J N E S 研究における限界耐力値の比較

型式	定格荷重 (kN)	電共研				J N E S 研究				J N E S 研究 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	ベアリング押さえ	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	アンギュラー 玉軸受	機能部品	—	—	—	—	—
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押さえ	構造部材	—	—	—	—	—
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押さえ	構造部材	—	—	—	—	—
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押さえ	構造部材	—	—	—	—	—
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押さえ	構造部材	—	—	—	—	—
SMS-40	400	—	941.4	コネクティング チューブ	構造部材	—	—	—	—	—
SMS-60	600	—	1353.3	ダイレクトアタッチ ブラケット	構造部材	—	—	—	—	—

5. 今回工認の二次評価において適用する新規基準値の設定

今回工認における二次評価において適用する新規基準値の設定手順を以下に示す。また、各手順（手順1～手順4）における内容の詳細をそれぞれ、5.1～5.4に示す。

・手順1：評価部位及び評価項目の整理

既往知見及び地震時の荷重伝達経路を考慮して、支持装置の強度評価及び機能確認対象となる構造部材及び機能部品を整理する。また、構造部材については、評価部位及び評価項目を整理する。

・手順2：J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度の整理

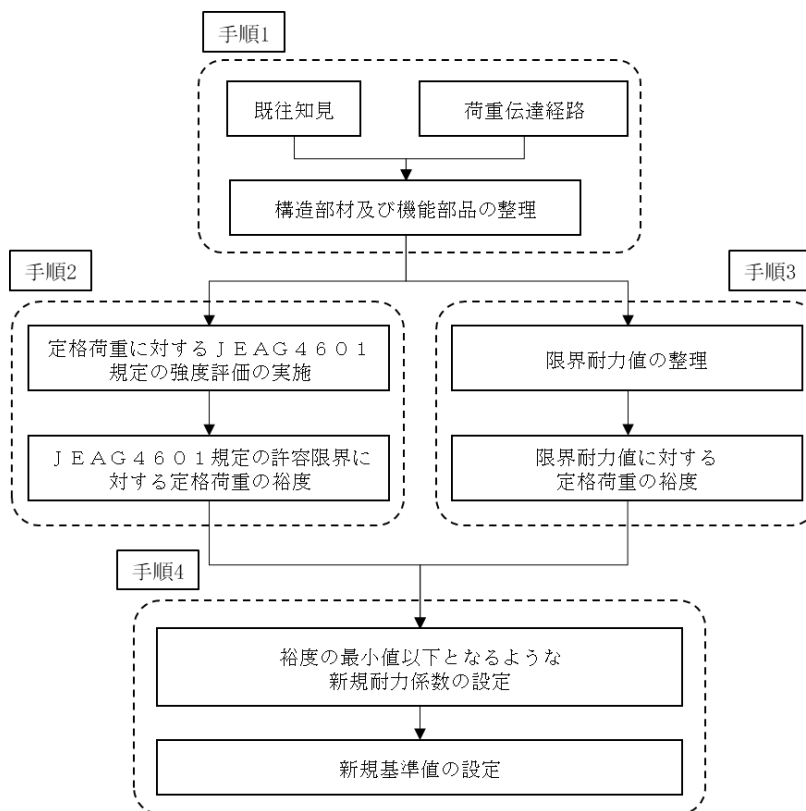
構造部材の評価部位及び評価項目について、定格荷重に対する J E A G 4 6 0 1 に規定の強度評価を実施し、許容限界に対する定格荷重の裕度として、許容応力に対する発生応力の裕度を整理する。

・手順3：既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度の整理

既往知見を踏まえて構造部材及び機能部品の限界耐力値を整理し、限界耐力値に対する定格荷重の裕度を整理する。

・手順4：新規基準値の設定

整理した J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び限界耐力値に対する定格荷重の裕度の最小値以下の数値で新規耐力係数を設定し、定格荷重に乗ることにより、新規基準値を設定する。



5.1 評価部位及び評価項目の整理

今回工認における支持装置の二次評価において適用する新規基準値の設定にあたり、構造部材に対する強度評価及び機能部品を含む機能確認に係る評価部位及び評価項目を整理した。整理内容の概要を表 5-1 に示す。

なお、既工認においては、代表的な構造部材についての評価結果が記載されているが、今回工認においては、既往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した。

表 5-1 評価部位及び評価項目の整理内容の概要

項目	対象	評価部位の整理方法	評価項目の整理方法
強度評価	構造部材	支持装置の各部を、構造部材と機能部品に分類する。	構造部材ごとに荷重伝達経路を整理し、想定される応力分類（引張、圧縮、せん断、曲げ、支圧、座屈）に分類する。
機能確認	機能部品		機能部品は、想定される発生荷重が、電共研及び J N E S 研究の破壊試験にて機能維持を確認した荷重値以下となることの確認を実施項目とする。ただし、比較的単純な構造となる機能部品については、構造部材と同様の強度評価を実施項目とする。

(1) SMS 型メカニカルスナッパ

a. 構造及び荷重伝達経路

SMS 型メカニカルスナッパの構造及び荷重伝達経路を図 5-1 に示すとともに、構成部品を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-2 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路は全ての型式において同一である。

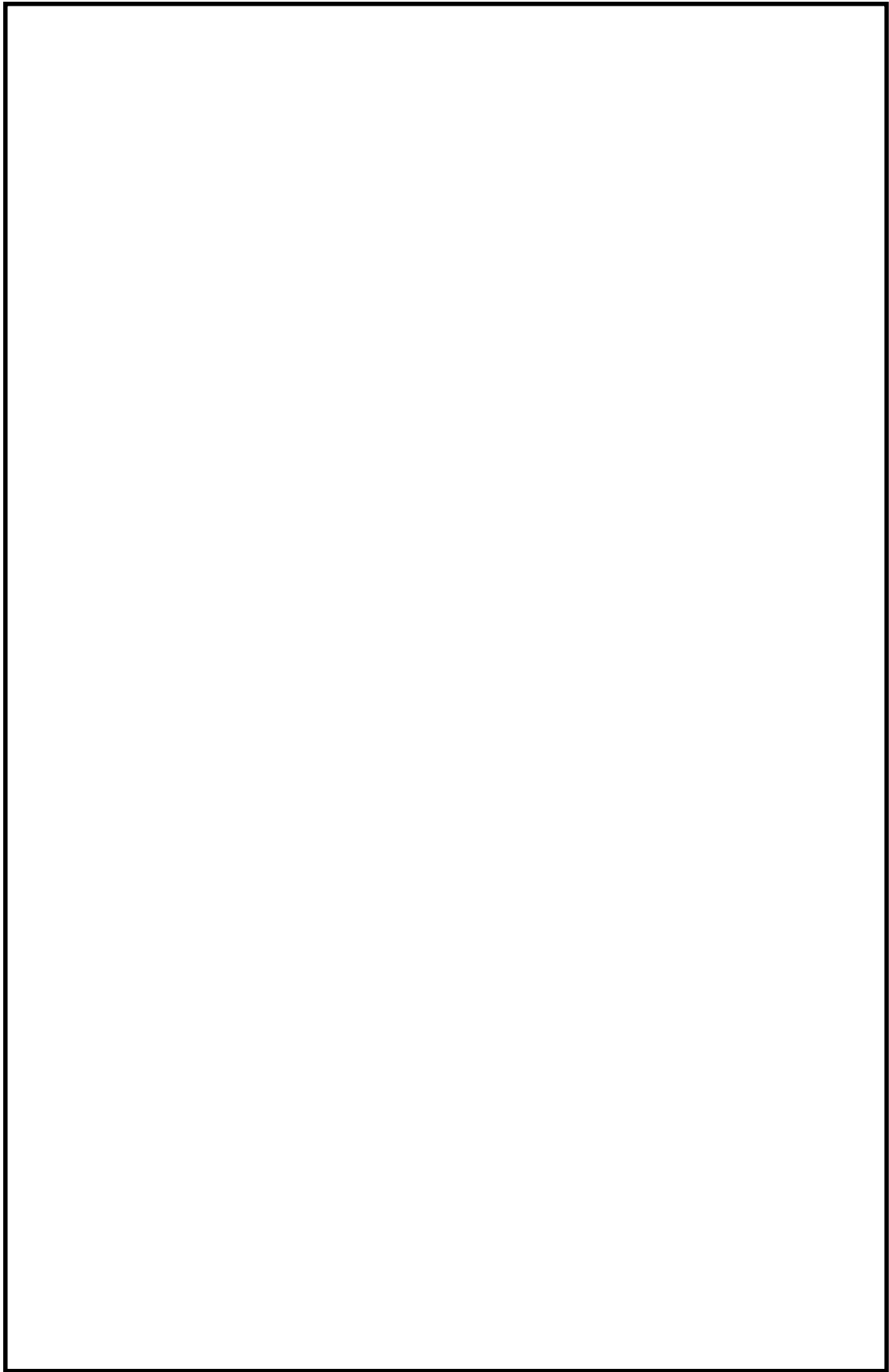


図 5-1 SMS 型メカニカルスナップの構造及び荷重伝達経路

表 5-2 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	既工認	今回工認	備考
①ブラケット	○	—	○	○	
②ジャンクションコラム	○	—	○	○	
③ロードコラム	○	—	○	○	
④ピン	○	—	○	○	
⑤コネクティングチューブ	○	—	○	○	
⑥ケース，ベアリング押さえ及び六角ボルト	○	—	○	○	
⑦イーヤ	○	—	○	○	
⑧ユニバーサルボックス	○	—	○	○	
⑨コネクティングチューブイーヤ部	○	—	○	○	
⑩ユニバーサルブラケット	○	—	○	○	
⑪ダイレクトアタッチブラケット	○	—	○	○	
⑫クランプ*1	○	—	—	—	
⑬ベアリングナット	○	—	—	○	追加項目*2
⑭ボールねじ	—*3	○*3	—	○	追加項目*2
⑮アンギュラー玉軸受	—	○	—	○	追加項目*2
⑯球面軸受	—	○	—	○	追加項目*2
全長座屈*4	—	—	—	○	追加項目*2

注記*1：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 G 4 6 0 1 の強度評価を実施しているため、メカニカルスナッパ本体の強度評価対象外とする。（付属部品の強度評価例を別紙 3 添付 1 に示す。）

*2：既工認では、評価結果記載対象外となっているが、今回工認では、既往知見及び地震時の荷重伝達経路を考慮し、評価対象として追加する。

*3：ボールねじは機能部品だが比較的単純な構造のため、構造部材と同様の強度評価を実施する。

*4：特定の部位ではないが、支持装置全体の座屈評価を項目として追加している。

b. 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、この抽出結果に基づく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 5-3 に示す。

この整理結果にしたがって設定した 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。

また、今回工認の二次評価において適用する新規基準値の検討にあたって追加した評価部位及び評価項目を表 5-4 に示す。比較のとおり、今回工認の二次評価にあたっては、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。

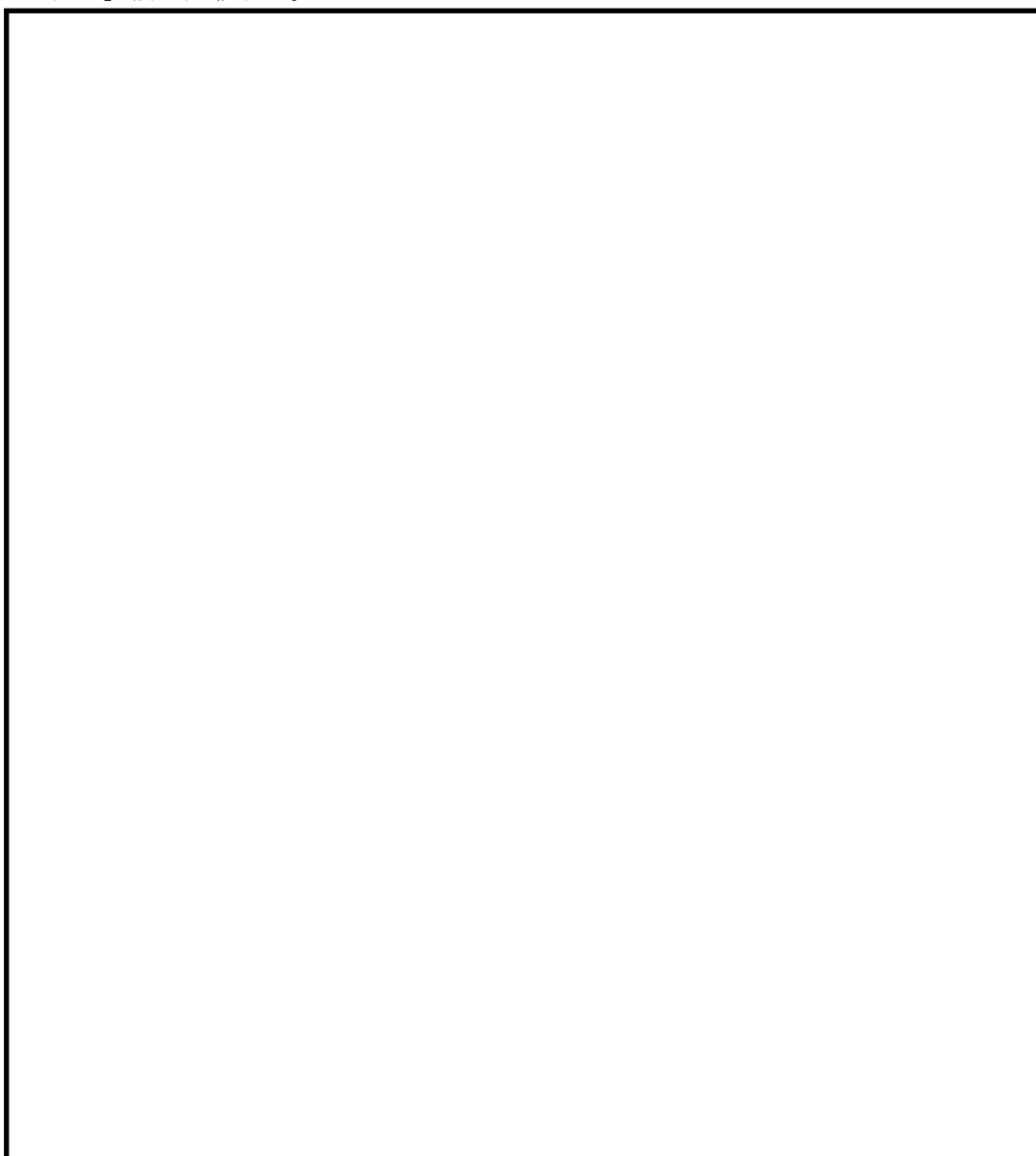


図 5-2 SMS 型メカニカルスナップの強度評価部位

表 5-3 SMS 型メカニカルスナップの構造部材に対する評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
①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	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
④ピン	せん断応力
⑤コネクティングチューブ	引張応力
	せん断応力
	圧縮応力
⑥ケース	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑥ベアリング押さえ	せん断応力
	支圧応力
	曲げ応力
⑥六角ボルト	引張応力
⑦イーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑧ユニバーサルボックス	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨コネクティングチューブイーヤ部	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
⑪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
⑬ベアリングナット	せん断応力
⑭ボールねじ	引張応力
全長座屈	圧縮応力

表 5-4 SMS 型メカニカルスナップの
構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (1/4)

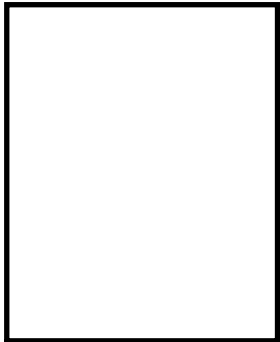
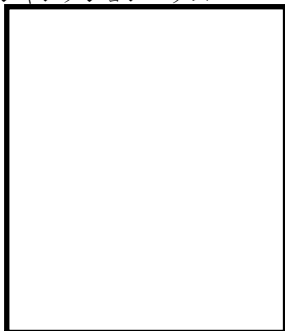


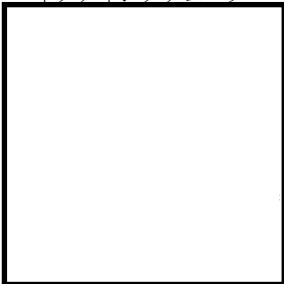
品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
①	ブラケット 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
②	ジャンクションコラム 	ボルト引張	○	○	相違なし
		溶接部引張	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	○	相違なし
		コラム引張	○	—	基本的に溶接部評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
③	ロードコラム 	引張	○	○	相違なし
		ねじ部せん断 (部品全体)	○	—	基本的に引張応力評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
		ねじ部せん断 (ねじ山)	○	—	
④	ピン 	ピンせん断	○	○	相違なし
⑤	コネクティングチューブ 	チューブ圧縮	○	○	相違なし
		チューブ引張	○	—	基本的にチューブ部の圧縮応力評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
		溶接部引張	○	—	
		溶接部せん断	○	—	

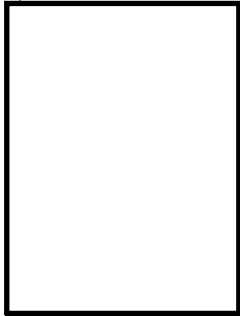

表 5-4 SMS 型メカニカルスナップの
構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (2/4)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑥	ケース	引張	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
⑥	ベアリング押さえ	せん断	○	○	相違なし
		支圧	○	○	相違なし
		曲げ	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して評価項目の網羅性のため追加
⑥	六角ボルト	引張	○	○	相違なし

表 5-4 SMS 型メカニカルスナッパの
構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (3/4)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑦	イーヤ	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		ねじ部引張	○	—	基本的に穴部の評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
		ねじ部せん断 (部品全体)	○	—	
		ねじ部せん断 (ねじ山)	○	—	
⑧	ユニバーサルボックス	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
⑨	コネクティングチューブイーヤ部	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
⑩	ユニバーサルブラケット	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし

表 5-4 SMS 型メカニカルスナッパの
構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (4/4)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑪	ダイレクトアタッチブラケット 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	—	基本的に穴部の強度評価の方が 厳しいが、評価項目の網羅性の ため追加
⑬	ベ어링ナット 	ねじ部せん断	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知 見を採用して評価項目の網羅性 のため追加
⑭	ボールねじ	引張	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知 見を採用して評価項目の網羅性 のため追加
—	全長	座屈	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知 見を採用して評価項目の網羅性 のため追加

(2) SHP 型オイルスナッパ

a. 構造及び荷重伝達経路

SHP 型オイルスナッパの構造及び荷重伝達経路を図 5-3 に示すとともに、構成部品を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-5 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路は全ての型式において同一である。

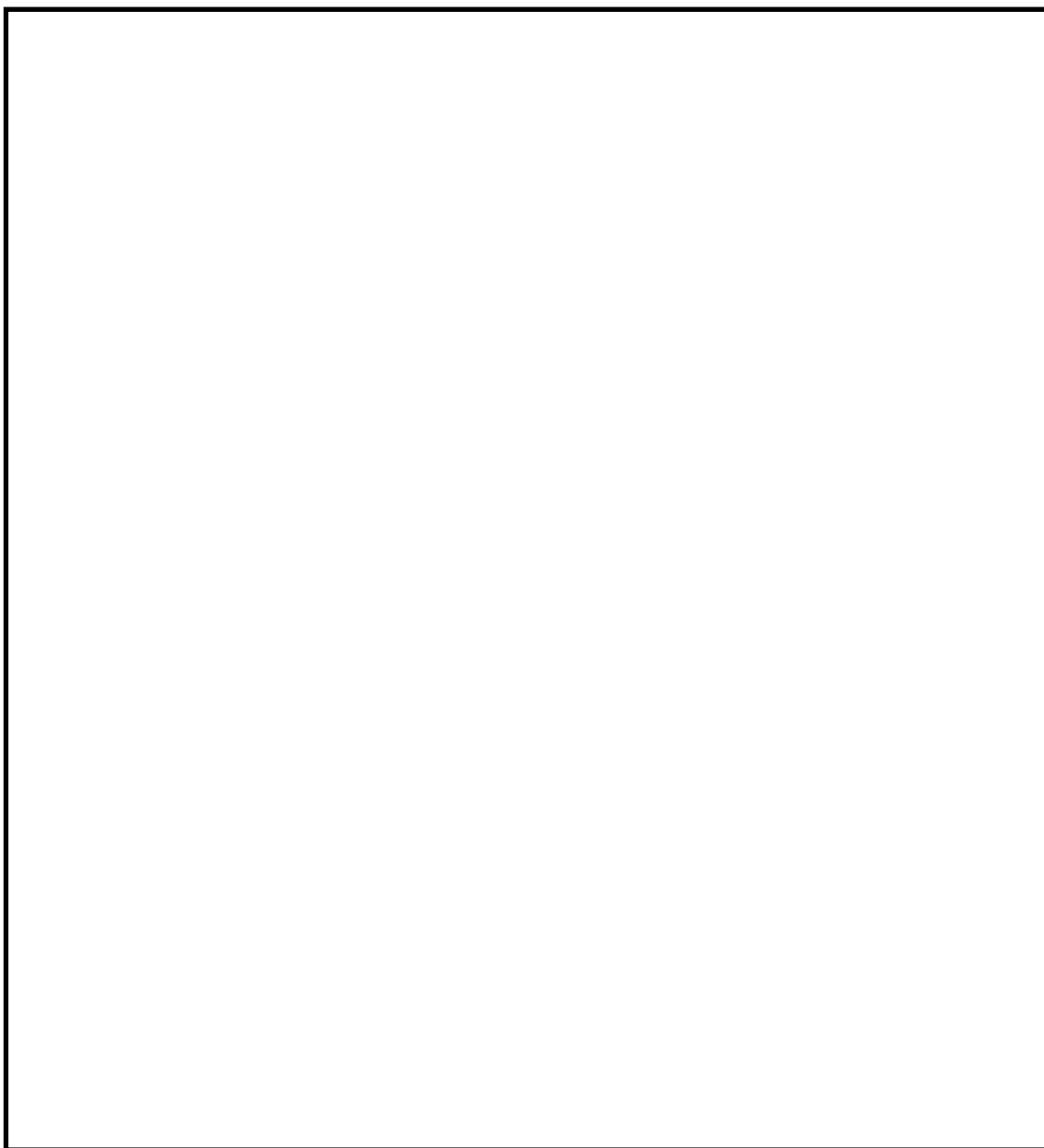


図 5-3 SHP 型オイルスナッパの構造及び荷重伝達経路(1/2)

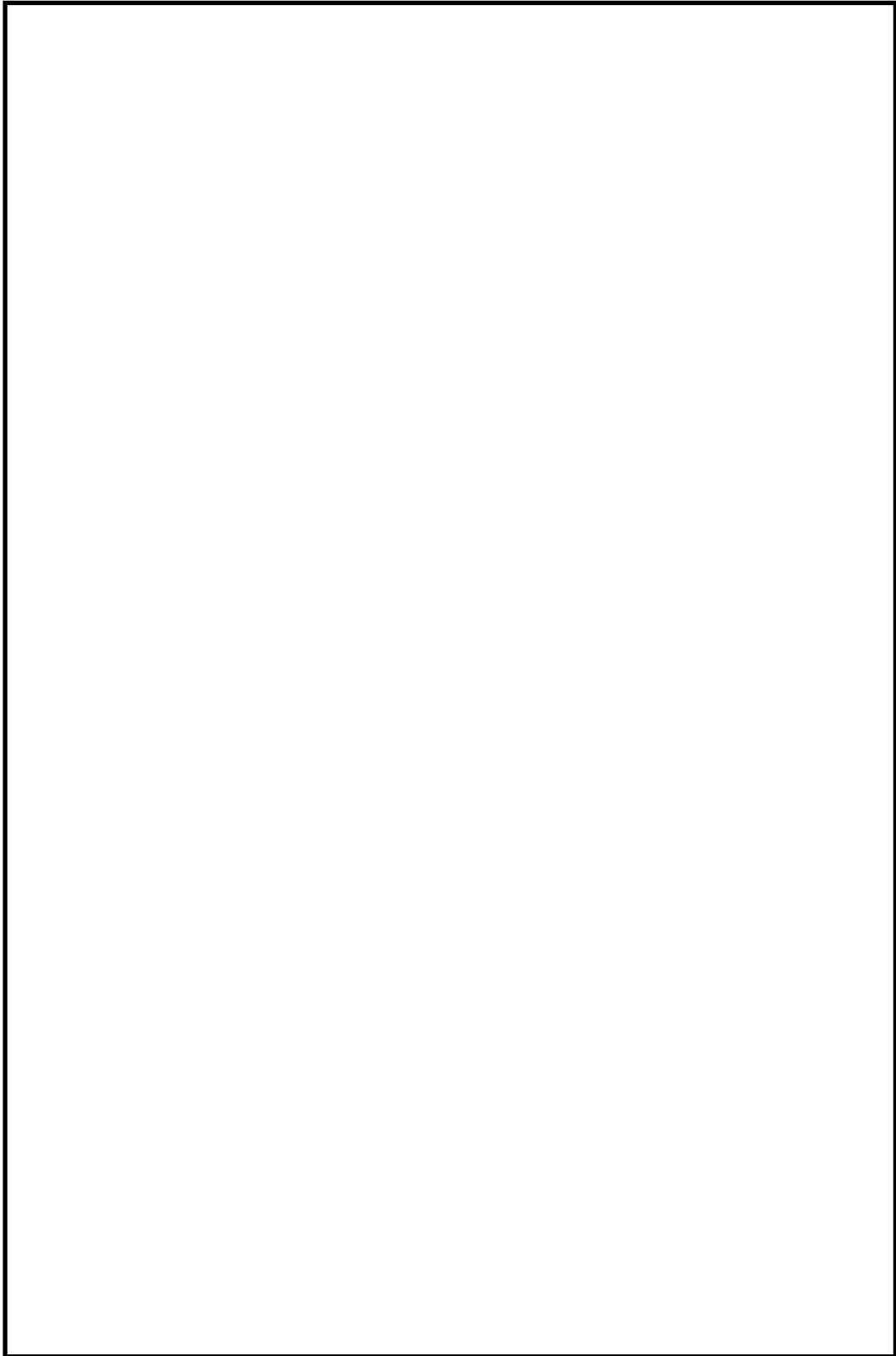


図 5-3 SHP 型オイルスナップの構造及び荷重伝達経路 (2/2)

表 5-5 SHP 型オイ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	既工認	今回工認	備考
①ブラケット	○	—	○	○	
②ピストンロッド	○	—	○	○	
③コネクティングパイプ	○	—	○	○	
④ピン	○	—	○	○	
⑤シリンダチューブ	○	—	○	○	
⑥六角ボルト	○	—	○	○	
⑦イーヤ	○	—	○	○	
⑧スヘリカルアイボルト	○	—	○	○	
⑨コンロッド (Bタイプ)	○	—	○	○	
⑩コンロッド (Cタイプ)	○	—	○	○	
⑪ターンバックル	○	—	○	○	
⑫シリンダカバー	○	—	○	○	
⑬タイロッド	○	—	○	○	
⑭アダプタ	○	—	○	○	
⑮クランプ*1	○	—	—	—	
⑯ロッドカバー	○	—	—	○	追加項目*2
⑰球面軸受	—	○	—	○	追加項目*2
⑱ポペット弁	—	○	—	○	追加項目*2
シール性	—	○	—	○	追加項目*2
全長座屈*3	—	—	—	○	追加項目*2

注記*1：オイルスナッパ本体ではなく、付属部品として J E A G 4 6 0 1 の強度評価を実施しているため、オイルスナッパ本体の強度評価対象外とする。(付属部品の強度評価例を別紙 3 添付 1 に示す。)

*2：既工認では、評価結果記載対象外となっているが、今回工認では、既往知見及び地震時の荷重伝達経路を考慮し、評価対象として追加する。

*3：特定の部位ではないが、支持装置全体の座屈評価を項目として追加している。

b. 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、この抽出結果に基づく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 5-6 に示す。

この整理結果にしたがって設定した SHP 型オイ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。

また、今回工認の二次評価において適用する新規基準値の検討にあたって追加した評価部位及び評価項目を表 5-7 に示す。比較のとおり、今回工認の二次評価にあたっては、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。

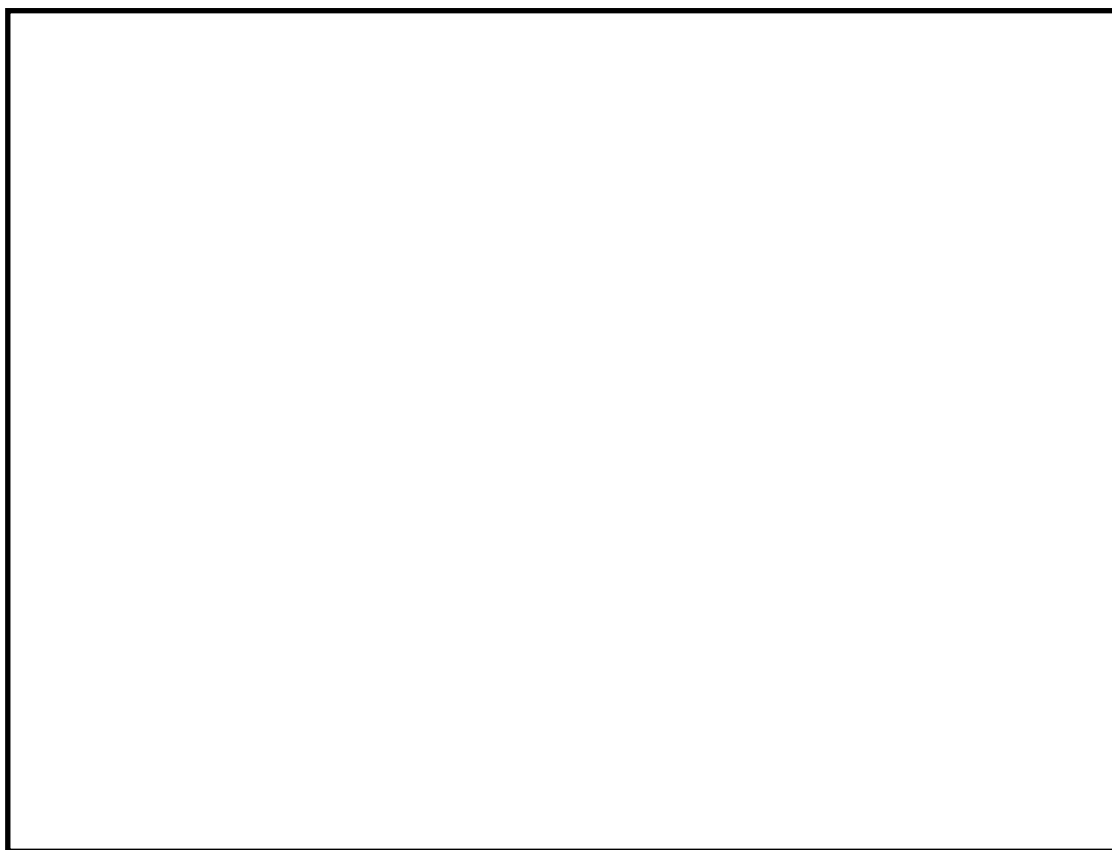


図 5-4 SHP 型オイルスナッパの強度評価部位 (1/2)

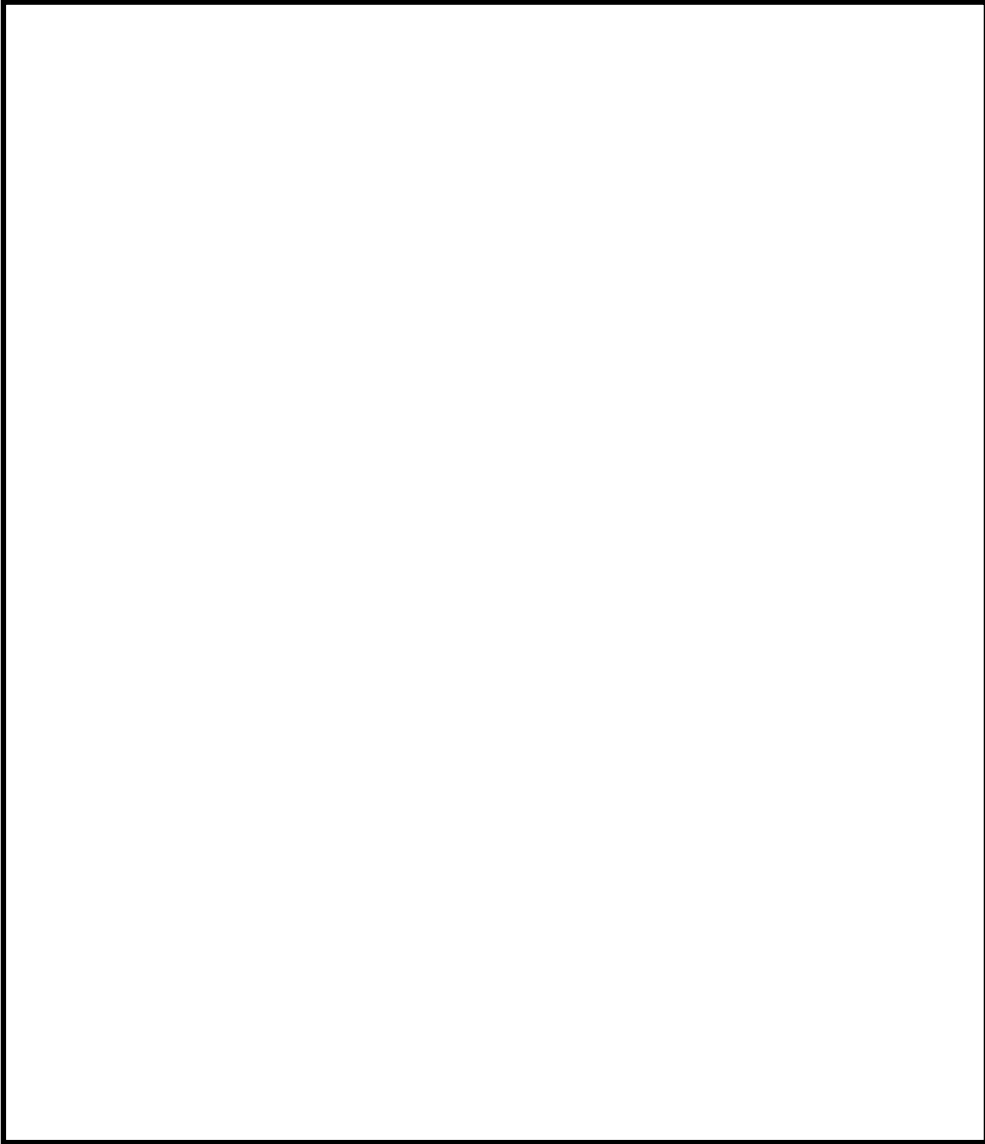


図 5-4 SHP 型オイルスナップの強度評価部位 (2/2)

表 5-6 SHP 型オイルスナッパの構造部材に対する評価部位及び評価項目 (1/2)

評価部位	評価項目
①ブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
②ピストンロッド	引張応力
③コネクティングパイプ	圧縮応力
	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
④ピン	せん断応力
⑤シリンダチューブ	引張応力
	圧縮応力
⑥六角ボルト	引張応力
⑦イーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑧スヘリカルアイボルト	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨コンロッド (Bタイプ) ⑩コンロッド (Cタイプ)	引張応力
	せん断応力
	支圧応力

表 5-6 SHP 型オイルスナッパの構造部材に対する評価部位及び評価項目 (2/2)

評価部位	評価項目
⑪ターンバックル	引張応力
	せん断応力
⑫シリンダカバー	せん断応力
⑬タイロッド	引張応力
⑭アダプタ	引張応力
	せん断応力
⑯ロッドカバー	せん断応力
全長座屈	圧縮応力

表 5-7 SHP 型オイルスナッパの構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (1/3)

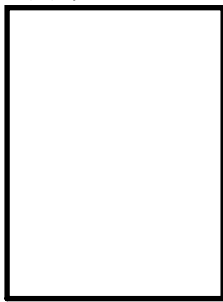


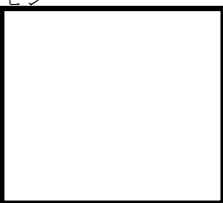

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
①	ブラケット 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
②	ピストンロッド 	ロッド部引張	○	○	相違なし
		ねじ部引張	○	—	基本的にロッド部の評価の方が 厳しいが、評価項目の網羅性の ため追加
③	コネクティングパイプ 	パイプ部圧縮	○	○	相違なし
		穴部引張	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知 見を採用して評価項目の網羅性 のため追加
		穴部せん断	○	—	
		穴部支圧	○	—	
溶接部せん断	○	—			
④	ピン 	せん断	○	○	相違なし
⑤	シリンダチューブ 	引張	○	○	相違なし
		圧縮	○	—	基本的に引張応力評価の方が厳 しいが、評価項目の網羅性のた め追加

表 5-7 SHP 型オイルスナッパの構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (2/3)


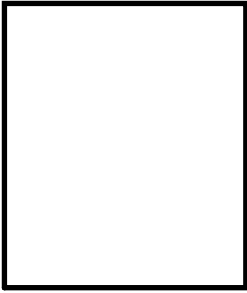
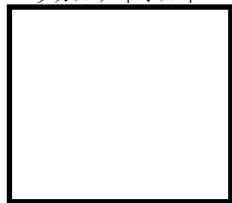



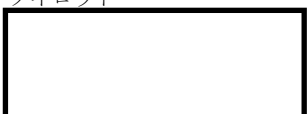
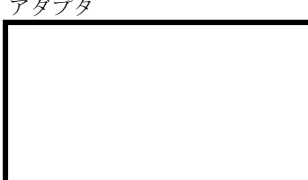

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑥	六角ボルト 	引張	○	○	相違なし
⑦	イーヤ 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	○	相違なし
⑧	スヘリカルアイボルト 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		ボルト部引張	○	○	相違なし
⑨ ⑩	コンロッド (Bタイプ) コンロッド (Cタイプ) 	ロッド部引張	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	○	相違なし
		穴部引張	○	—	基本的にロッド部評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
		穴部せん断	○	—	
		穴部支圧	○	—	

表 5-7 SHP 型オイルスナッパの構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (3/3)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑪	ターンバックル 	引張	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	—	基本的にターンバックル本体の評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
⑫	シリンダカバー 	せん断	○	○	相違なし
⑬	タイロッド 	ロッド部引張	○	○	相違なし
		ねじ部引張	○	—	基本的にロッド部の評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
⑭	アダプタ 	引張	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	—	基本的にアダプタ本体の評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
⑯	ロッドカバー 	せん断	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して評価項目の網羅性のため追加
—	全長	座屈	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して評価項目の網羅性のため追加

(3) SN 型オイルスナッパ

a. 構造及び荷重伝達経路

SN 型オイルスナッパの構造及び荷重伝達経路を図 5-5 に示すとともに、構成部品を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-8 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路は全ての型式において同一である。

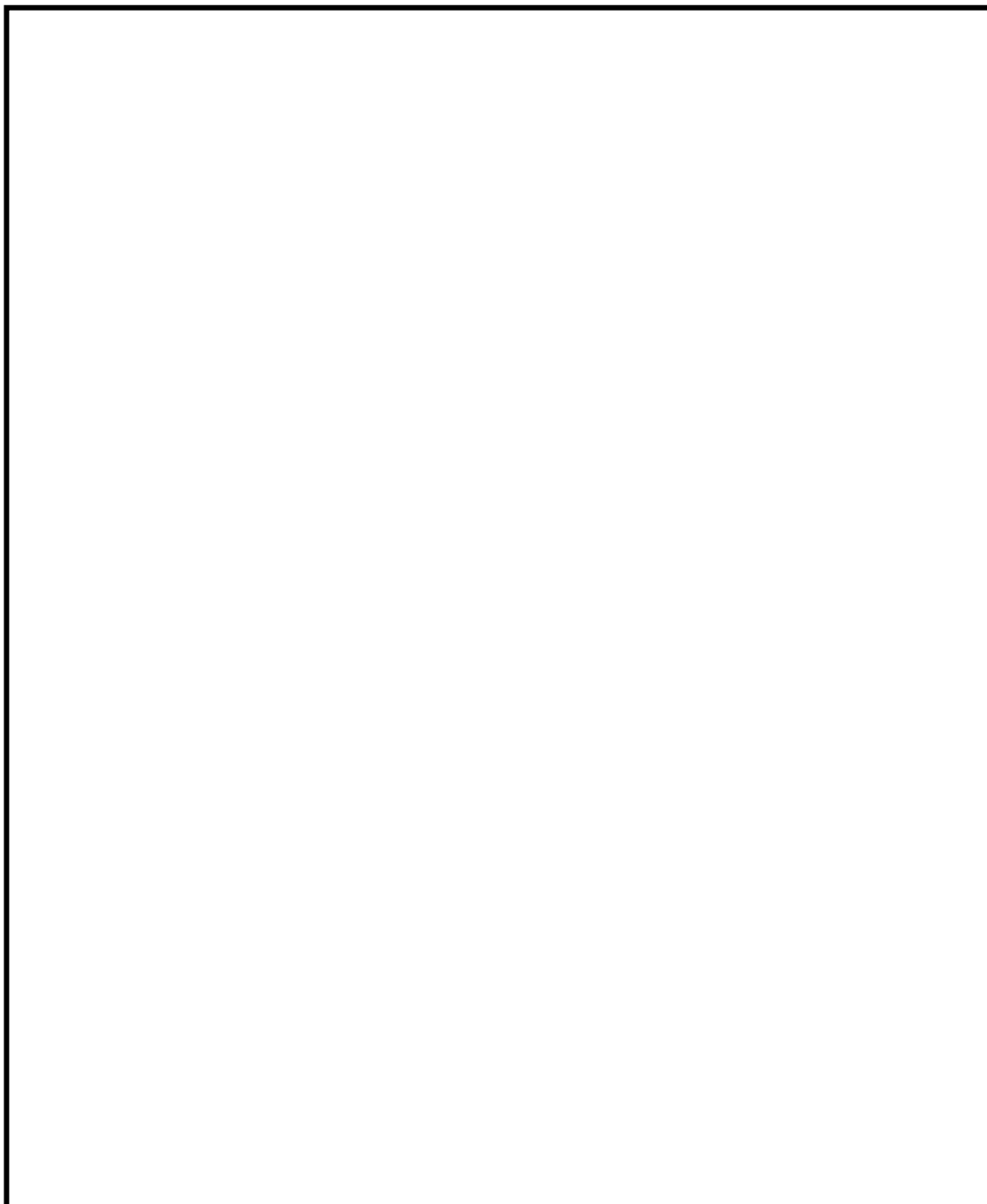


図 5-5 SN 型オイルスナッパの構造及び荷重伝達経路

表 5-8 SN 型オイ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	既工認	今回工認	備考
①ブラケット	○	—	○	○	
②ピストンロッド	○	—	○	○	
③コネクティングパイプ	○	—	○	○	
④ピン	○	—	○	○	
⑤シリンダチューブ	○	—	○	○	
⑥六角ボルト	○	—	○	○	
⑦イーヤ*1	○	—	○	○	
⑧ロッドエンド	○	—	○	○	
⑨シリンダカバー	○	—	○	○	
⑩タイロッド	○	—	○	○	
⑪アダプタ	○	—	○	○	
⑫ロッドカバー	○	—	○	○	
⑬クランプ*2	—	—	—	—	
⑭ホルダ	○	—	—	○	追加項目*3
⑮球面軸受	—	○	—	○	追加項目*3
⑯ポペット弁	—	○	—	○	追加項目*3
シール性	—	○	—	○	追加項目*3
全長座屈*4	—	—	—	○	追加項目*3

注記*1：Bタイプにおけるダイレクトイーヤを含む。

*2：オイルスナッパ本体ではなく、付属部品としてJ E A G 4 6 0 1の強度評価を実施しているため、オイルスナッパ本体の強度評価対象外とする。（付属部品の強度評価例を別紙3添付1に示す。）

*3：既工認では、評価結果記載対象外となっているが、今回工認では、既往知見及び地震時の荷重伝達経路を考慮し、評価対象として追加する。

*4：特定の部位ではないが、支持装置全体の座屈評価を項目として追加している。

b. 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 5-6 に、この抽出結果に基づく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 5-9 に示す。

この整理結果にしたがって設定した SN 型オイ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。

また、今回工認の二次評価において適用する新規基準値の検討にあたって追加した評価部位及び評価項目を表 5-10 に示す。比較のとおり、今回工認の二次評価にあたっては、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。

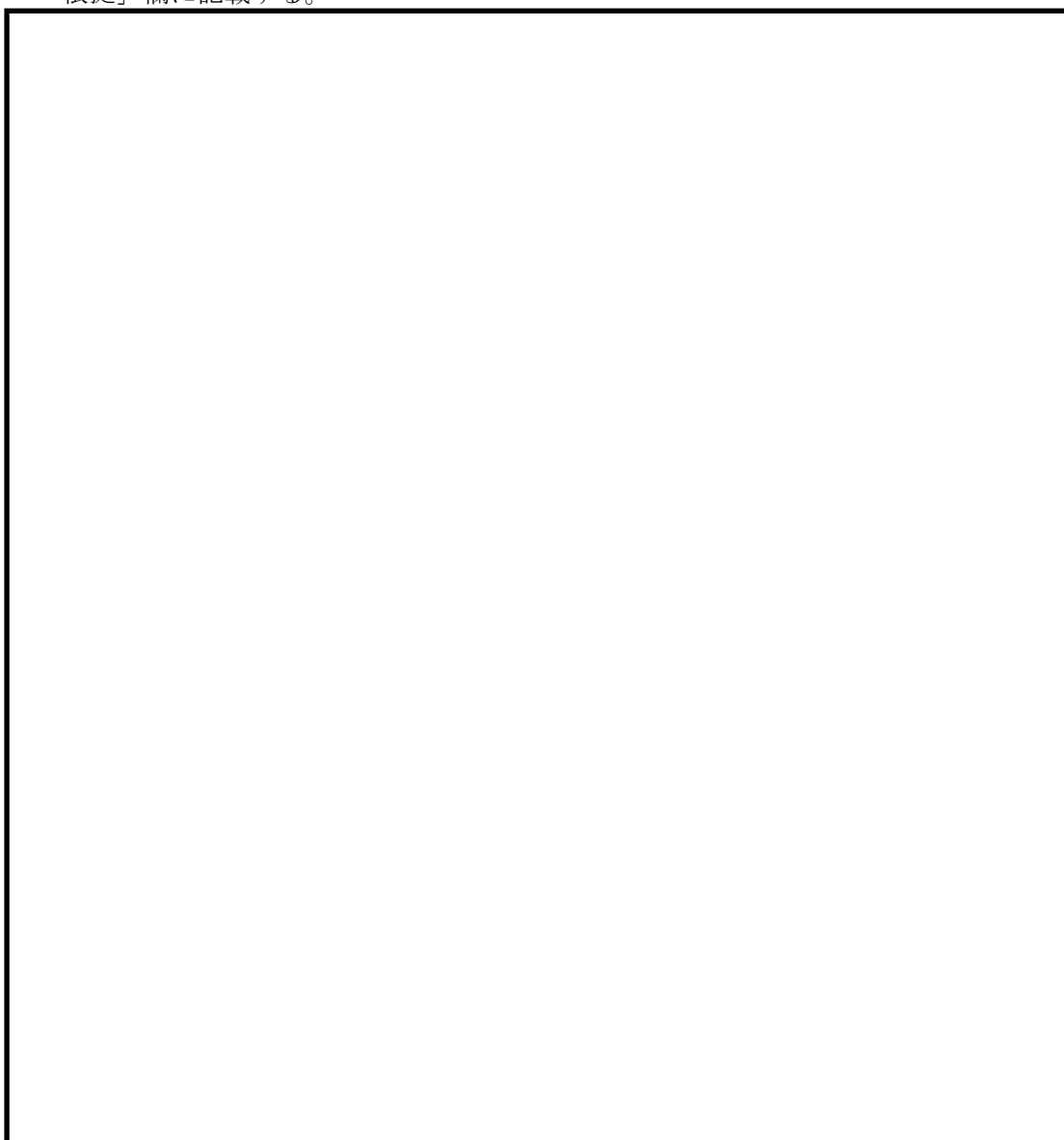


図 5-6 SN 型オイルスナッパの強度評価部位

表 5-9 SN 型オイルスナッパの構造部材に対する評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
①ブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
②ピストンロッド	引張応力
	せん断応力
③コネクティングパイプ	圧縮応力
	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
④ピン	せん断応力
⑤シリンダチューブ	引張応力
	圧縮応力
⑥六角ボルト	引張応力
⑦イーヤ*	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
	圧縮応力
⑧ロッドエンド	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑨シリンダカバー	せん断応力
⑩タイロッド	引張応力
⑪アダプタ	引張応力
	せん断応力
⑫ロッドカバー	せん断応力
⑭ホルダ	せん断応力
全長座屈	圧縮応力

注記* : B タイプにおけるダイレクトイーヤを含む。

表 5-10 SN 型オイルスナッパの構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (1/3)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
①	ブラケット	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
②	ピストンロッド	ロッド部引張	○	○	相違なし
		ねじ部引張	○	—	基本的にロッド部の評価の方が 厳しいが、評価項目の網羅性の ため追加
		カラー部 せん断	○	—	
③	コネクティングパイプ	パイプ部圧縮	○	○	相違なし
		穴部引張	○	—	基本的にパイプ部の評価の方が 厳しいが、評価項目の網羅性の ため追加
		穴部せん断	○	—	
		穴部支圧	○	—	
溶接部せん断	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知 見を採用して評価項目の網羅性 のため追加		
④	ピン	せん断	○	○	相違なし
⑤	シリンダチューブ	引張	○	○	相違なし
		圧縮	○	—	基本的に引張応力評価の方が厳 しいが、評価項目の網羅性のた め追加

表 5-10 SN 型オイルスナッパの構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (2/3)


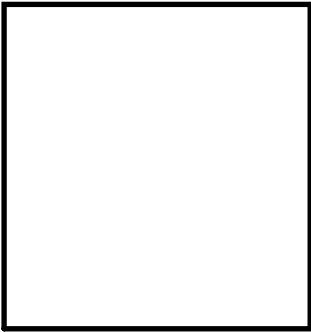



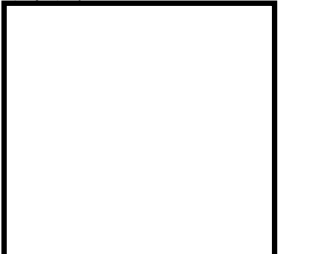

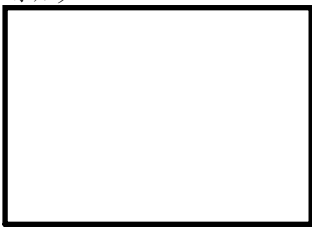
品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑥	六角ボルト 	引張	○	○	相違なし
⑦	イーヤ (Bタイプのダイレクトイーヤを含む。) 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	○	相違なし
		ボルト取付部 引張	○	—	基本的に穴部の評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
		ねじ部せん断	○	—	
		パイプ部圧縮	○	—	
⑧	ロッドエンド 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		ボルト部引張	○	—	基本的に穴部の評価の方が厳しいが、評価項目の網羅性のため追加
		ねじ部せん断	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して評価項目の網羅性のため追加
⑨	シリンダカバー 	せん断	○	○	相違なし
⑩	タイロッド 	ねじ部引張	○	○	相違なし
⑪	アダプタ 	引張	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	○	相違なし

表 5-10 SN 型オイルスナッパの評価項目の構造部材に対する比較及び追加根拠 (3/3)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
⑫	ロッドカバー 	せん断	○	○	相違なし
⑭	ホルダ 	せん断	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して評価項目の網羅性のため追加
—	全長	座屈	○	—	発生荷重の増大に伴い、既往知見を採用して評価項目の網羅性のため追加

(4) RSA 型ロッドレストレイント

a. 構造及び荷重伝達経路

RSA 型ロッドレストレイントの構造及び荷重伝達経路を図 5-7 に示すとともに、構成部品を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-11 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路は全ての型式において同一である。



図 5-7 RSA 型ロッドレストレイントの構造及び荷重伝達経路

表 5-11 RSA 型 ロッドレストレイントの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品	既工認	今回工認	備考
①ブラケット	○	—	○	○	
②ピン	○	—	○	○	
③スヘリカルアイボルト	○	—	○	○	
④アジャストナット	○	—	○	○	
⑤パイプ	○	—	○	○	
⑥クランプ*1	—	—	—	—	
全長座屈*2	○	—	○	○	

注記*1：ロッドレストレイント本体ではなく、付属部品として J E A G 4 6 0 1 の強度評価を実施しているため、ロッドレストレイント本体の強度評価対象外とする。
 (付属部品の強度評価例を別紙 3 添付 1 に示す。)

*2：構造強度評価については⑤パイプの圧縮応力評価にて実施している。

b. 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 5-8 に、この抽出結果に基づく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 5-12 に示す。

この整理結果にしたがって設定した RSA 型ロッドレストレイント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。

また、今回工認の二次評価において適用する新規基準値の検討にあたって、評価部位及び評価項目の既工認との比較及び追加根拠について整理したものを表 5-13 に示す。



図 5-8 RSA 型ロッドレストレイントの強度評価部位

表 5-12 RSA 型ロッドレストレイントの構造部材に対する評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
①ブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
②ピン	せん断応力
③スヘリカルアイボルト	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
④アジャストナット	引張応力
⑤パイプ	圧縮応力
全長座屈	圧縮応力

表 5-13 RSA 型ロッドレストレイントの構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
①	ブラケット	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
②	ピン	せん断	○	○	相違なし
③	スヘリカルアイボルト	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
		ボルト部引張	○	○	相違なし
④	アジャストナット	溶接部引張	○	○	相違なし
⑤	パイプ	圧縮	○	○	相違なし
—	全長	圧縮	○	○	相違なし (⑤パイプの圧縮応力 評価にて実施)

(5) RTS 型ロッドレストレイント

a. 構造及び荷重伝達経路

RTS 型ロッドレストレイントの構造及び荷重伝達経路を図 5-9 に示すとともに、構成部品を構造部材及び機能部品に分類した結果を表 5-14 に示す。なお、基本的に構造及び荷重伝達経路は全ての型式において同一である。

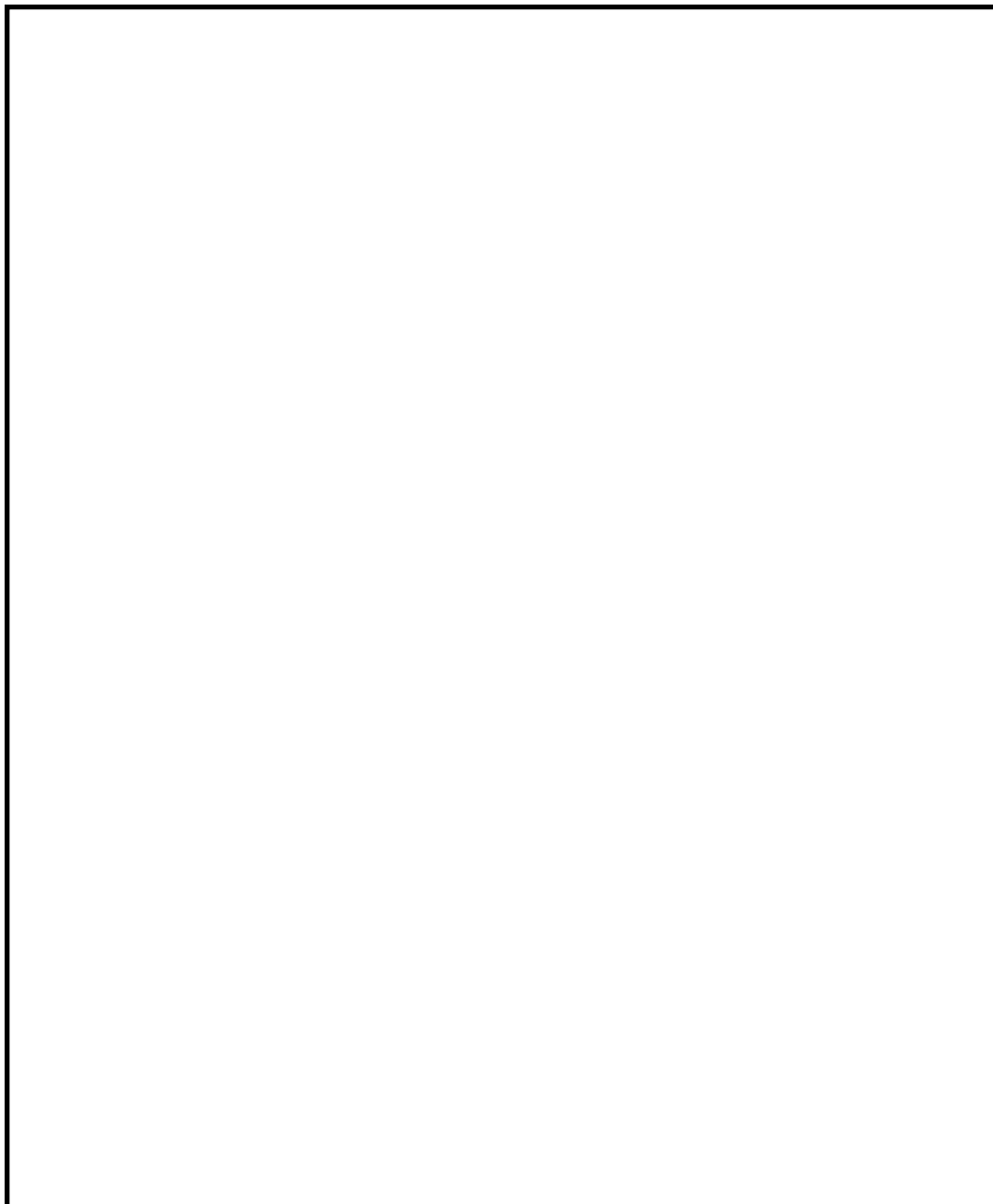


図 5-9 RTS 型ロッドレストレイントの構造及び荷重伝達経路

表 5-14 RTS 型ロッドレストレイントの構造部材と機能部品

部品名	構造部材	機能部品	既工認	今回工認	備考
①ブラケット	○	—	○	○	
②ピン	○	—	○	○	
③パイプ	○	—	○	○	
④コネクティングパイプ溶接部	○	—	○	○	
⑤コネクティングイーヤ	○	—	○	○	
⑥インナーチューブ	○	—	○	○	
⑦クランプ*1	—	—	—	—	
全長座屈*2	○	—	○	○	

注記*1：ロッドレストレイント本体ではなく，付属部品として J E A G 4 6 0 1 の強度評価を実施しているため，ロッドレストレイント本体の強度評価対象外とする。
 (付属部品の強度評価例を別紙 3 添付 1 に示す。)

*2：構造強度評価については③パイプの圧縮応力評価にて実施している。

b. 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 5-10 に、この抽出結果に基づく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 5-15 に示す。

この整理結果にしたがって設定した RTS 型ロッドレストレイント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。

また、今回工認の二次評価において適用する新規基準値の検討にあたって、評価部位及び評価項目の既工認との比較及び追加根拠について整理したものを表 5-16 に示す。

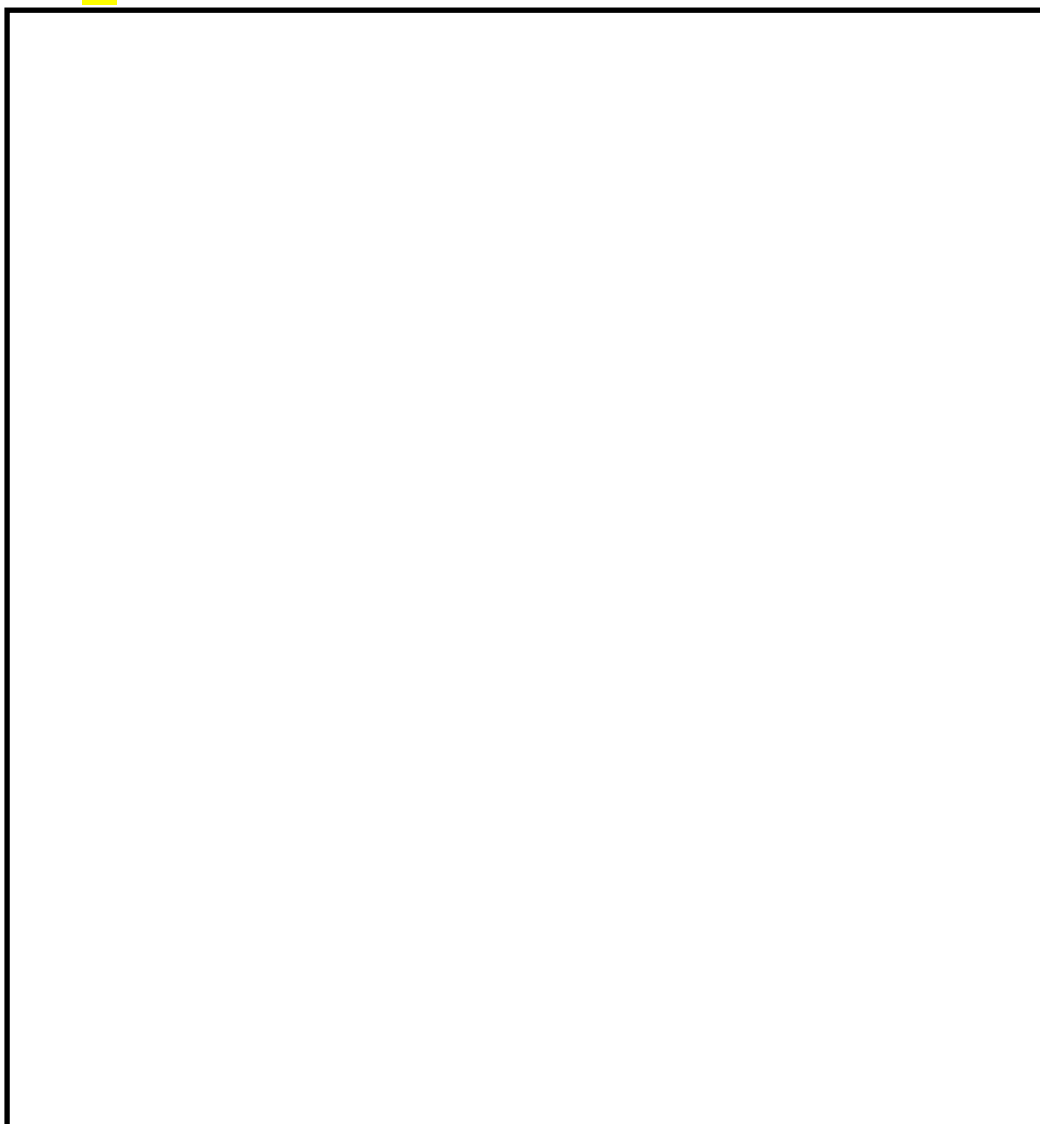


図 5-10 RTS 型ロッドレストレイントの強度評価部位

表 5-15 RTS 型ロッドレストレイントの構造部材に対する評価部位及び評価項目

評価部位	評価項目
①ブラケット	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
②ピン	せん断応力
③パイプ	せん断応力
	圧縮応力
④コネクティングパイプ溶接部	せん断応力
⑤コネクティングイーヤ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
⑥インナーチューブ	引張応力
	せん断応力
	支圧応力
全長座屈	圧縮応力

表 5-16 RTS 型ロッドレストレイントの
構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (1/2)

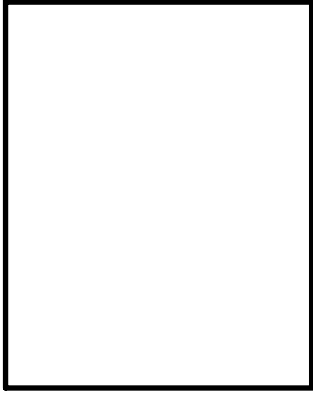

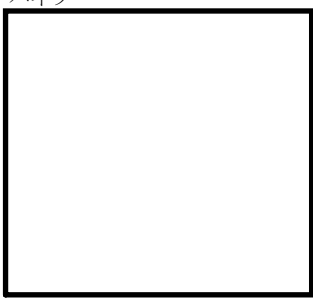
品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
①	ブラケット 	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
②	ピン 	せん断	○	○	相違なし
③	パイプ 	圧縮	○	○	相違なし
		溶接部せん断	○	○	相違なし

表 5-16 RTS 型ロッドレストレイントの
構造部材に対する評価項目の比較及び追加根拠 (2/2)

品番	評価部位	評価項目	今回 工認	既工認	評価項目の相違及び 評価項目追加根拠
④	コネクティングパイプ溶接部	溶接部せん断	○	○	相違なし
⑤	コネクティングイーヤ	穴部引張	○	○	相違なし
		穴部せん断	○	○	相違なし
		穴部支圧	○	○	相違なし
⑥	インナーチューブ	イーヤ穴部 引張	○	○	相違なし
		イーヤ穴部 せん断	○	○	相違なし
		イーヤ穴部 支圧	○	○	相違なし
		せん断	○	○	相違なし
—	全長	座屈	○	○	相違なし (③パイプの圧縮応力評価にて実施)

5.2 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度の整理

J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度の整理にあたり，5.1 で整理した評価部位及び評価項目について，定格荷重に対する J E A G 4 6 0 1 に規定の強度評価を実施し，許容限界に対する定格荷重の裕度として，許容応力に対する発生応力の裕度を整理した結果を表 5-17～表 5-19 に示す。

表 5-17 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度 (メカニカルスナッパ)

型式	定格荷重 (kN)	許容応力状態Ⅲ _A S の評価結果				許容応力状態Ⅳ _A S の評価結果					
		最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
SMS-01	1	六角ボルト					六角ボルト				
SMS-03	3	六角ボルト					六角ボルト				
SMS-06	6	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-1	10	コネクティングチューブ					コネクティングチューブ				
SMS-3	30	ボールねじ					ボールねじ				
SMS-6	60	コネクティングチューブ					ベアリング押さえ				
SMS-10	100	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-16	160	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-25	250	ベアリング押さえ					ベアリング押さえ				
SMS-40	400	コネクティングチューブ					コネクティングチューブ				
SMS-60	600	コネクティングチューブ					コネクティングチューブ				

注記* : 最小裕度部位は、対応する許容応力状態の一次応力及び一次+二次応力評価結果の中から、最小裕度となる部位を選定している。

表 5-18 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度 (オイルスナツバ)

型式	定格荷重 (kN)	許容応力状態Ⅲ _A S の評価結果				許容応力状態Ⅳ _A S の評価結果					
		最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
SHP-03	3	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SHP-06	6	アダプタ					アダプタ				
SHP-1	10	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SHP-3	30	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SHP-6	60	イーヤ					コンロッド				
SHP-10	100	イーヤ					イーヤ				
SHP-16	160	イーヤ					イーヤ				
SHP-25	250	ターンバックル					ターンバックル				
SN-03	3	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SN-06	6	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SN-1	10	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SN-3	30	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SN-6	60	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SN-10	100	コネクティングパイプ					コネクティングパイプ				
SN-16	160	コネクティングパイプ					イーヤ				
SN-25	250	コネクティングパイプ					イーヤ				
SN-40	400	ダイレクトイーヤ					ピストンロッド				
SN-60	600	ダイレクトイーヤ					ダイレクトイーヤ				
SN-100	1000	ダイレクトイーヤ					六角ボルト				

注記* : 最小裕度部位は、対応する許容応力状態の一次応力及び一次+二次応力評価結果の中から、最小裕度となる部位を選定している。

表 5-19 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度 (ロッドレストレイント)

型式	定格荷重 (kN)	許容応力状態Ⅲ A S の評価結果				許容応力状態Ⅳ A S の評価結果					
		最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	最小裕度部品*	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
RSA-06	9	パイプ (全長座屈)									
RSA-1	15	パイプ (全長座屈)									
RSA-3	45	パイプ (全長座屈)									
RSA-6	90	スヘリカルアイボルト									
RSA-10	150	スヘリカルアイボルト									
RSA-16	240	スヘリカルアイボルト									
RSA-25	375	スヘリカルアイボルト									
RTS-06	9	パイプ (全長座屈)									
RTS-1	15	パイプ (全長座屈)									
RTS-3	45	パイプ (全長座屈)									
RTS-6	90	コネクティングイーヤ									
RTS-10	150	コネクティングイーヤ									
RTS-16	240	コネクティングイーヤ									
RTS-25	375	コネクティングイーヤ									
RTS-60	900	インナーチューブ									

注記* : 最小裕度部位は、対応する許容応力状態の一次応力及び一次十二次応力評価結果の中から、最小裕度となる部位を選定している。

5.3 既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度の整理

5.3.1 既往知見の限界耐力値の概要

今回工認の二次評価において適用する新規基準値については、電共研において策定された限界耐力値を踏まえて設定を行うが、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むこととする。限界耐力値は、機能部品も含めてスナッパ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。

電共研では、スナッパ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、スナッパ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、加振後のスナッパ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。これらの試験により、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】

・手順1：

振動試験によりスナッパ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。

・手順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。

また、電共研においては、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際の耐力値*1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に基づいた式からの見直し、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。(詳細は別紙4を参照)これに対し、今回工認では新規基準値の設定に際し、新規基準値による各構成部品の強度評価を実施しており(詳細は別紙3に示す)、この評価では、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、この評価結果によって新規基準値が有する保守性が確認できる。

今回工認において適用する限界耐力値は破損時の最大負荷荷重*2(図5-11参照)に基づいて設定しており、試験のばらつきを考慮する必要があることから、電共研に加えてJNES研究の試験結果も考慮し設定した。

注記*1:用語の定義No.21参照

*2:用語の定義No.16参照

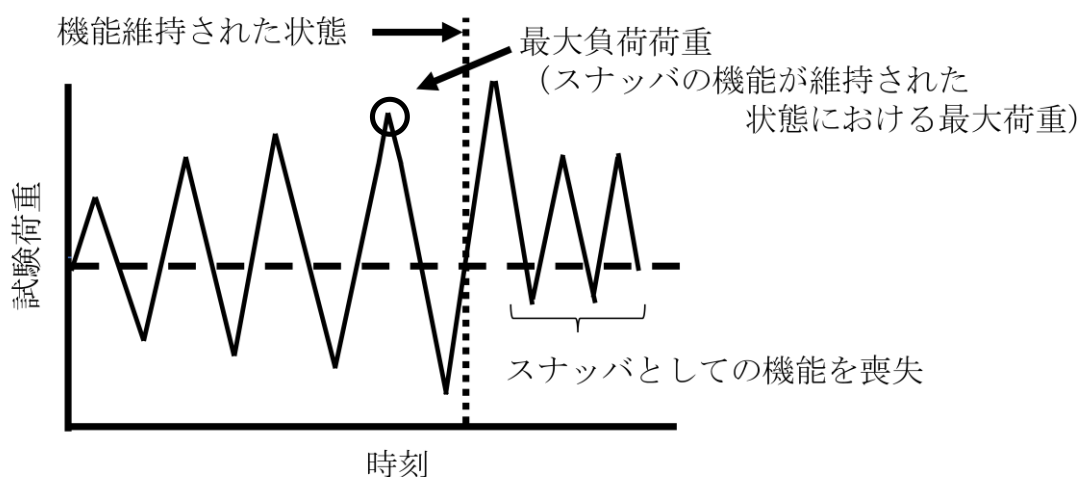


図5-11 最大負荷荷重の考え方

5.3.2 限界耐力値に対する定格荷重の裕度の整理

既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を表5-20～表5-21に示す。なお、限界耐力値については、既往知見で対象としている全ての構造部材及び機能部品の中から、型式ごとに最小値となるものを整理している。

表 5-20 既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度 (メカニカルスナッパ)

型式	電共研			JNES研究			
	① 定格 荷重 (kN)	② 限界 耐力値 (kN)	②/① 限界耐力値に対す る定格荷重の裕度	最小裕度 部品の 分類	③/① 限界耐力値に対す る定格荷重の裕度	最小裕度部品	最小裕度 部品の 分類
SMS-01	1	19.0	19.00	六角ボルト		六角ボルト	構造部材
SMS-03	3	18.8	6.26	六角ボルト		六角ボルト	構造部材
SMS-06	6	16.8	2.80	ベアリング押さえ		ベアリング押さえ	構造部材
SMS-1	10	53.9	5.39	コネクティング チューブ		コネクティング チューブ	構造部材
SMS-3	30	75.3	2.51	アンギュラー 玉軸受		アンギュラー 玉軸受	機能部品
SMS-6	60	170.6	2.84	ベアリング押さえ		ベアリング押さえ	構造部材
SMS-10	100	224.5	2.24	ベアリング押さえ		ベアリング押さえ	構造部材
SMS-16	160	344.2	2.15	ベアリング押さえ		ベアリング押さえ	構造部材
SMS-25	250	490.3	1.96	ベアリング押さえ		ベアリング押さえ	構造部材
SMS-40	400	941.4	2.35	コネクティング チューブ		コネクティング チューブ	構造部材
SMS-60	600	1353.3	2.25	ダイレクトアタッチ ブラケット		ダイレクトアタッチ ブラケット	構造部材

表 5-21 既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度 (オイルスナツバ)

型式	電共研				J N E S 研究			
	① 定格 荷重 (kN)	② 限界 耐力値 (kN)	②/① 限界耐力値に対す る定格荷重の裕度	最小裕度 部品の 分類	③ 限界 耐力値 (kN)	③/① 限界耐力値に対す る定格荷重の裕度	最小裕度部品	最小裕度 部品の 分類
SHP-03	3	5.3	1.76	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-06	6	14.1	2.35	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-1	10	22.7	2.27	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-3	30	50.8	1.69	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-6	60	141.8	2.36	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-10	100	196.1	1.96	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-16	160	318.7	1.99	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SHP-25	250	514.8	2.05	ターンバックル	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-03	3	9.1	3.03	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-06	6	16.4	2.73	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-1	10	26.2	2.62	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-3	30	70.6	2.35	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-6	60	125.5	2.09	タイロッド (シール性)	機能部品	機能部品	機能部品	機能部品
SN-10	100	205.9	2.05	ジャンクシヨン コラムアダプタ	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-16	160	321.6	2.01	タイロッド (シール性)	機能部品	機能部品	機能部品	機能部品
SN-25	250	465.8	1.86	ダイレクトイヤー	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材
SN-40	400	—	—	—	—	—	—	—
SN-60	600	—	—	—	—	—	—	—
SN-100	1000	—	—	—	—	—	—	—

5.4 新規基準値の設定

5.2 及び 5.3 にて整理した J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を比較し、それらの最小値以下の数値で新規耐力係数を設定し、定格荷重に乗ることにより、新規基準値を設定した。なお、新規耐力係数については、設計時の作業の効率化を考慮して、型式（SMS, SN, SHP, RSA, RTS）ごとに一律の値で設定することを基本としているが、新規基準値を設定することによる支持装置の評価基準値引き上げの効果も踏まえて設定する。

また、支持装置の構造部材の評価部位及び評価項目について、設定した新規基準値に対する強度評価を実施し、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界を満足することを確認した。

設定した新規耐力係数を表 5-22～表 5-24、新規基準値を表 5-25～表 5-27 に示す。また、設定した新規基準値に対する強度評価結果を別紙 3 に示す。本項にて設定した新規基準値を今回工認の二次評価において適用する。

表 5-22 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を考慮して設定した新規耐力係数（メカニカルスナップ）

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		既往知見の限界耐力値			
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究	Ⅲ A S	Ⅳ A S
SMS-01	1			19.00			
SMS-03	3			6.26			
SMS-06	6			2.80			
SMS-1	10			5.39			
SMS-3	30			2.51			
SMS-6	60			2.84			
SMS-10	100			2.24			
SMS-16	160			2.15			
SMS-25	250			1.96			
SMS-40	400			2.35			
SMS-60	600			2.25			

表 5-23 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を考慮して設定した新規耐力係数（オイルスナッパ）

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		既往知見の限界耐力値			
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究	Ⅲ A S	Ⅳ A S
SHP-03	3			1.76			
SHP-06	6			2.35			
SHP-1	10			2.27			
SHP-3	30			1.69			
SHP-6	60			2.36			
SHP-10	100			1.96			
SHP-16	160			1.99			
SHP-25	250			2.05			
SN-03	3			3.03			
SN-06	6			2.73			
SN-1	10			2.62			
SN-3	30			2.35			
SN-6	60			2.09			
SN-10	100			2.05			
SN-16	160			2.01			
SN-25	250			1.86			
SN-40	400			—			
SN-60	600			—			
SN-100	1000			—			

表 5-24 J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を考慮して設定した新規耐力係数（ロッドレストレイント）

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		既往知見の限界耐力値		Ⅲ A S	Ⅳ A S
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究		
RSA-06	9			—	—		
RSA-1	15			—	—		
RSA-3	45			—	—		
RSA-6	90			—	—		
RSA-10	150			—	—		
RSA-16	240			—	—		
RSA-25	375			—	—		
RTS-06	9			—	—		
RTS-1	15			—	—		
RTS-3	45			—	—		
RTS-6	90			—	—		
RTS-10	150			—	—		
RTS-16	240			—	—		
RTS-25	375			—	—		
RTS-60*	900			—	—		

注記*：本型式は、今回工認にて新規に設計したものであり、地震時荷重が増大した特定の箇所にも適用している。当該特定箇所における地震時荷重は定格荷重もしくは定格荷重×1.2 以下となることが確認できていることから、新規耐力係数はそれぞれ 1.0 と 1.2 として設定している。

表 5-25 今回工認の二次評価において適用する新規基準値（メカニカルスナッパ）

本体 型式	定格荷重 (kN)	新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	Ⅲ _A S (kN) ^{*1}	Ⅳ _A S (kN) ^{*2}
SMS-01	1				
SMS-03	3				
SMS-06	6				
SMS-1	10				
SMS-3	30				
SMS-6	60				
SMS-10	100				
SMS-16	160				
SMS-25	250				
SMS-40	400				
SMS-60	600				

注記*1：配管反力が定格荷重を超えた場合に、二次評価を行うための許容応力状態Ⅲ_AS
に対する許容荷重を示す。

*2：配管反力が定格荷重を超えた場合に、二次評価を行うための許容応力状態Ⅳ_AS
に対する許容荷重を示す。

表 5-26 今回工認の二次評価において適用する新規基準値（オイルスナッパ）

本体 型式	定格荷重 (kN)	新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	Ⅲ _A S (kN) ^{*1}	Ⅳ _A S (kN) ^{*2}
SHP-03	3				
SHP-06	6				
SHP-1	10				
SHP-3	30				
SHP-6	60				
SHP-10	100				
SHP-16	160				
SHP-25	250				
SN-03	3				
SN-06	6				
SN-1	10				
SN-3	30				
SN-6	60				
SN-10	100				
SN-16	160				
SN-25	250				
SN-40	400				
SN-60	600				
SN-100	1000				

注記*1：配管反力が定格荷重を超えた場合に、二次評価を行うための許容応力状態Ⅲ_AS
に対する許容荷重を示す。

*2：配管反力が定格荷重を超えた場合に、二次評価を行うための許容応力状態Ⅳ_AS
に対する許容荷重を示す。

表 5-27 今回工認の二次評価において適用する新規基準値（ロッドレストレイント）

本体型式	定格荷重 (kN)	新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	Ⅲ _A S (kN) ^{*1}	Ⅳ _A S (kN) ^{*2}
RSA-06	9				
RSA-1	15				
RSA-3	45				
RSA-6	90				
RSA-10	150				
RSA-16	240				
RSA-25	375				
RTS-06	9				
RTS-1	15				
RTS-3	45				
RTS-6	90				
RTS-10	150				
RTS-16	240				
RTS-25	375				
RTS-60	900				

注記*1：配管反力が定格荷重を超えた場合に、二次評価を行うための許容応力状態Ⅲ_AS に対する許容荷重を示す。

*2：配管反力が定格荷重を超えた場合に、二次評価を行うための許容応力状態Ⅳ_AS に対する許容荷重を示す。

6. 結論

島根2号機の機器・配管系の支持構造物のうち支持装置の設計では、既工認と同様、地震時における支持装置の発生荷重が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新たに設定した設計上の基準値を設定し、その基準値を用いた二次評価を評価手順に追加することとした。

今回工認の二次評価において適用する新規基準値は、支持装置の構造部材に対する強度評価及び機能部品を含む機能確認に対する荷重評価に基づいて設定することとし、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、既往知見を踏まえて、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ように設定した。また、機能部品を含む機能確認に対する荷重評価においては、地震時荷重と限界耐力値との比較を行い、地震時荷重が限界耐力値を下回るように設定した。

以上より、今回工認における支持装置の評価は、耐震性が確保される評価手法であることを確認した。

スナップ確性試験の概要

1. はじめに

機器・配管系の支持装置として用いるスナップは、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。

このスナップの機能については、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。なお、スナップの確性試験については、メカニカルスナップもオイルスナップもほぼ同様の項目について実施していることから、本資料での説明はメカニカルスナップを代表として示す。

2. メカニカルスナップの確性試験の概要

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。

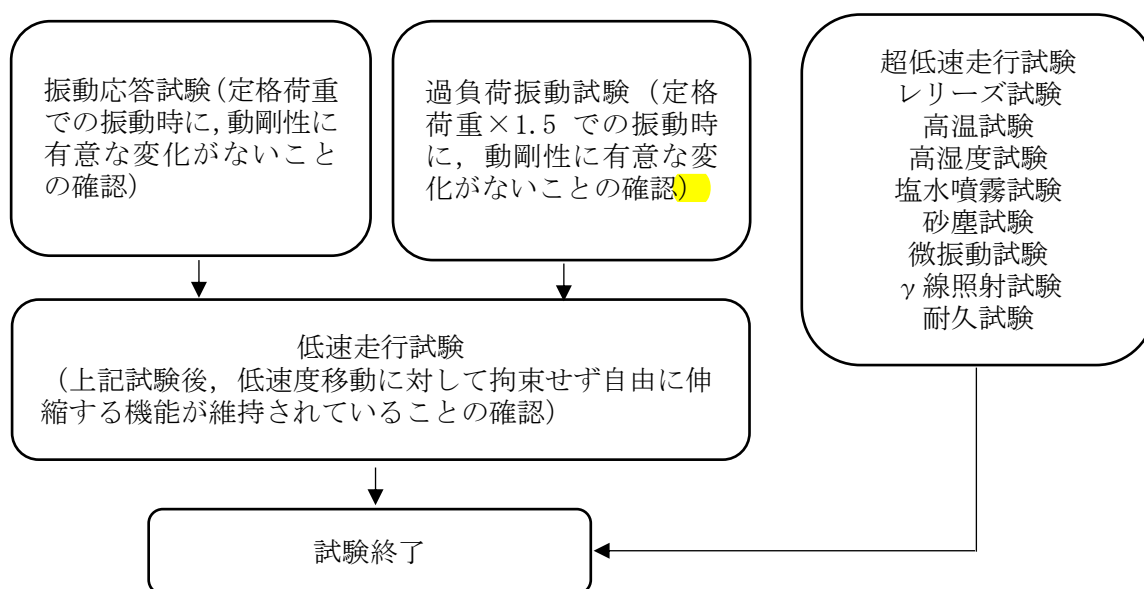


図 2-1 確性試験フロー

2.2 スナッパ試験方法（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。

表 2-1 確性試験の各試験項目（メカニカルスナップの例）

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		
リリース試験*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：スティ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自励振動現象である。

*2：リリース試験は、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 メカニカルスナッチ確性試験の結果

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、メカニカルスナッチに要求される性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性能を維持すること、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。

支持装置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となることの確認を基本とする。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）

① J E A G 4 6 0 1 -1987 「6.1.1 耐震設計の基本方針 (2) 耐震解析と安全性評価」

(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に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 「6.1.1 荷重・応力の組合せ (2) 地震応力算定概要」

(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

支持装置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「直接支持構造物」に関する規定を以下に記載する。

- ① 支持装置は、被支持体となる設備に直接取り付けられる支持構造物であり、このような支持構造物は J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 「3.3 適用にあたっての留意事項」 c. における「直接支持構造物」に該当する。
- ② なお、 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、「直接支持構造物」はさらに「告示で規定される支持構造物」と「その他の支持構造物」に分類される。
- ③ 告示で規定される支持構造物の許容応力は J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 「2.8 支持構造物の許容応力」に、告示で規定される種別に応じて規定されている。
- ④ その他の支持構造物の許容応力は 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、「2.8.1 第1種支持構造物」(2) の規定を準用し、使用材料に応じて規定されている。

以上より、支持装置は J E A G 4 6 0 1 の「直接支持構造物」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。

3.3 適用にあたっての留意事項

当該施設に課せられる機能は、その機能に直接的に関連するもののほか、補助的な役割をもつもの、支持構造物等の間接的な施設をも含めた健全性が保たれて初めて維持し得るものであることを考慮し、これらを主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物及び設備相互間の影響を考慮すべき設備に区分する。

安全上要求される同一の機能上の分類に属する主要設備、補助設備及び直接支持構造物については同一の耐震重要度とするが、間接支持構造物の支持機能及び設備相互間の影響の評価については、それぞれ関連する設備の耐震設計に適用される地震動に対して安全上支障ないことを確認するものとする。

各区分ごとの設備とは、次のものをいう。

- a. 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する系統設備をいう。
 - b. 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割をもつものをいう。⁽¹⁾
 - c. 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。⁽²⁾
- ただし、アンカボルト、アンカプレート及び埋込金物はこれに含まれる。
- d. 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける鉄筋コンクリート、鉄骨等の構造物（建物、構築物）をいう。
 - e. 設備相互間の影響を考慮すべき設備とは、⁽³⁾下位の耐震クラスに属するものの破損によって上位の分類に属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある設備をいう。

注：(1) 主要設備が補助的役割をもつ機能を必要とせずに、それ自体で安全上の当該機能を満す場合には、主要設備の付属設備については、補助設備とみなさない。
たとえば、安全機能上の「閉」の動作を要求されるような格納容器隔離弁（主要設備）がフェイルセーフの設計になっている場合は、通常動作を与える付属設備（電気・計装設備）は、補助設備とみなさない。

(2) 直接支持構造物の範囲は、次のとおりとする。

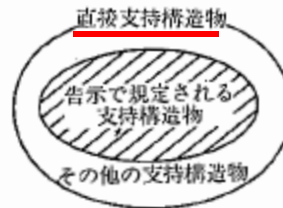
- a. 昭和55年通商産業省告示 501 号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下告示という。）で規定している支持構造物の範囲

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。

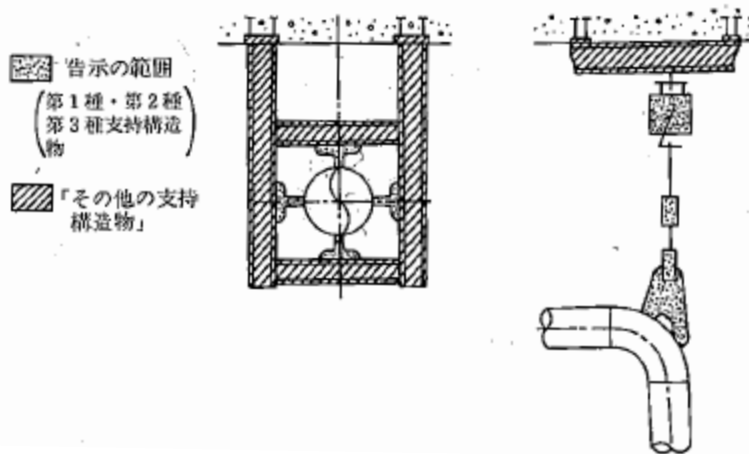
図 2-12



例えば、次のものがある。

- a. 耐震用サポート、耐震用スナッパー
 - 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



2.8 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）

応力分類 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項第一号イ同により求めた 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。

2.8.2 第2種支持構造物の許容応力

2.8.1の(2)、(3)及び(4)の規定を準用する。

2.8.3 第3種支持構造物の許容応力

2.8.1の(2)、(3)及び(4)の規定を準用する。

③ J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 「2.8 支持構造物の許容応力」

**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つては，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つて，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。

支持装置の強度評価方法（構造部材に対する強度評価）

1. 記号の定義

支持装置の強度計算式に使用する記号は、次の通りとする。

記号	単位	定 義
A_c	mm^2	圧縮応力計算に用いる断面積
A_p	mm^2	支圧応力計算に用いる断面積
A_s	mm^2	せん断応力計算に用いる断面積
A_t	mm^2	引張応力計算に用いる断面積
B	mm	せん断寸法
C, C_1	mm	引張断面寸法
$D, d, D_1 \sim D_4$	mm	外径, 内径, 穴径, 軸径
E	MPa	縦弾性係数
e, T_{e1}, T_{e2}	mm	溶接部のど厚
F	MPa	支持構造物の許容応力を決定するための基準値
F_b	MPa	曲げ応力
F_c	MPa	圧縮応力
F_p	MPa	支圧応力
F_s	MPa	せん断応力
F_t	MPa	引張応力
f_c	MPa	許容圧縮応力
h, h_1	mm	すみ肉溶接部脚長
I	mm^4	断面二次モーメント
i	mm	断面二次半径
K	MPa	内圧
L	mm	部材長さ
ℓ_k	mm	座屈長さ
M	mm	ねじ径
n	本	本数
P	kN, N	許容荷重
R, r_1, r_2	mm	半径, 内半径, 外半径
T, t	mm	厚さ
β	deg	開先角度
β_{10}	—	ベアリング押さえ曲げ応力係数 （「機械工学便覧 A4 材料力学」による）
Λ	—	限界細長比
λ	—	部材有効細長比

記号	単位	定 義
a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, m, p, Q	mm	座屈計算に用いる部材代表長さ
$I_1 \sim I_8$	mm ⁴	座屈計算に用いる断面二次モーメント

2. 評価手法

支持装置（構造部材）の強度評価は、二次評価荷重に対して各強度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 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。

② ジャンクションコラム (Aタイプ)

i 六角ボルト引張応力評価

六角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。

ii 溶接部せん断応力評価 (型式 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 (型式 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 コラム引張応力評価

コラムの引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

③ ロードコラム (型式 01~25)

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。

④ 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。

⑤ コネクティングチューブ（Aタイプ）

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。

[Redacted content]

ii 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 content]

[Redacted content]

iii 溶接部せん断応力評価 (型式 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 (型式 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 溶接部せん断応力評価 (型式 40, 60)

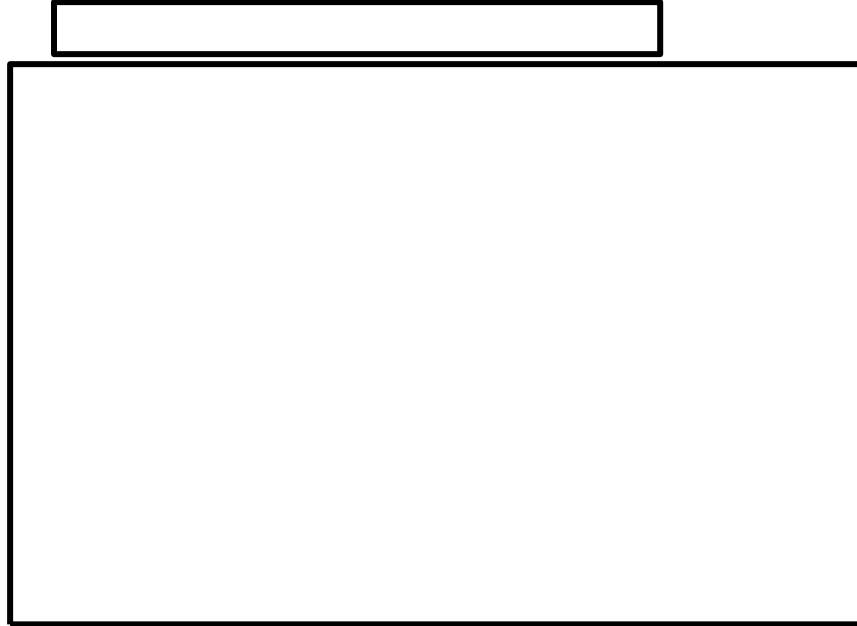
溶接部せん断応力が許容せん断応力以下であることを確認する。

vi 現地溶接部せん断応力評価 (型式 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。

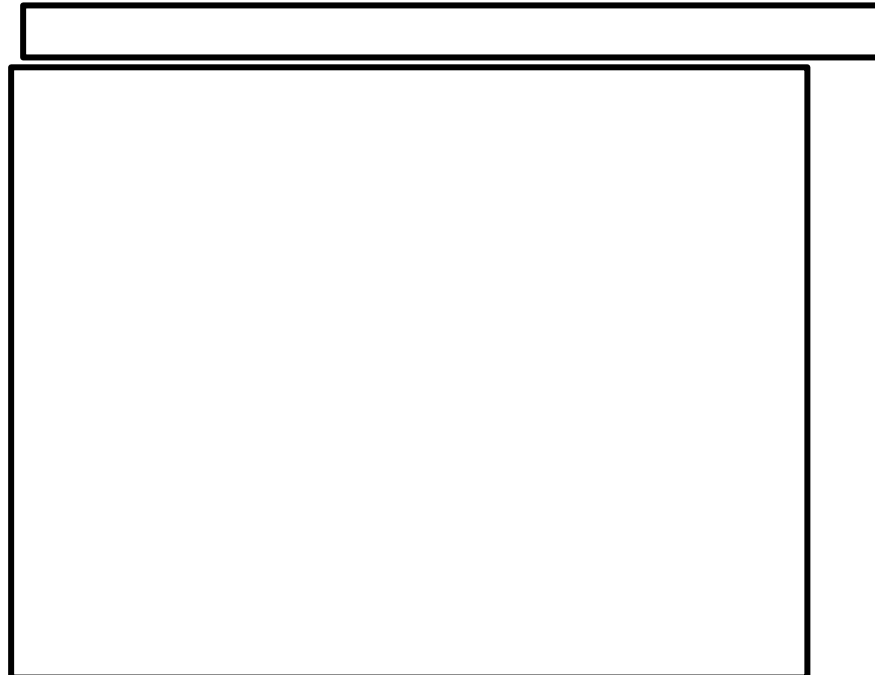
vii 現地溶接部せん断応力評価（型式 6～25）

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。

A large rectangular area that has been redacted with a thick black border, covering the entire content of item vii.

viii 現地溶接部せん断応力評価（型式 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。

A large rectangular area that has been redacted with a thick black border, covering the entire content of item viii.

⑥ ケース，ベアリング押さえ及び六角ボルト

i 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。

ii ベアリング押さえ

(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。

iii 六角ボルト

(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。

⑦ 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。

iv ねじ部引張応力評価

引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

v 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。

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。

⑧ ユニバーサルボックス

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。

⑨ コネクティングチューブイーヤ部 (Aタイプ)

i 引張応力評価

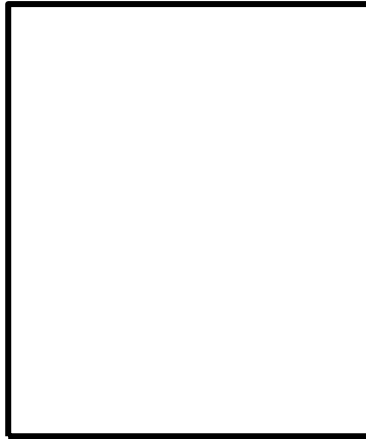
引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

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。



⑩ ユニバーサルブラケット

i 引張応力評価

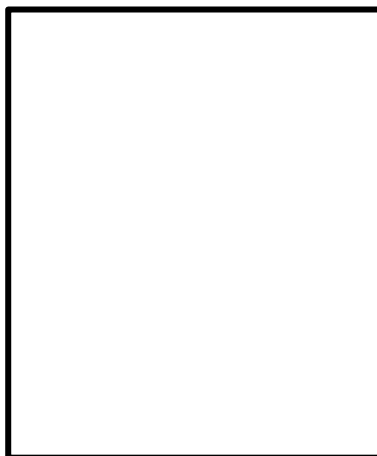
引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

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。



⑪ ダイレクトアタッチブラケット (Bタイプ)

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。

iv 溶接部せん断応力評価

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。

⑬ ベ어링ナット

i ねじ部せん断応力評価

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。

⑭ 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。

全長座屈

座屈耐力 P_c は以下の式から算出する。なお、座屈耐力 P_c は、電共研の知見で定められた最弱部位に応じて求まる補正係数 α を考慮して算定する。

上記式より、座屈耐力 であることを確認する。なお、座屈耐力 P_c の計算に用いる各種記号は以下の通り。

座屈長さ比 L' 及び関係する断面二次モーメント比 I' は以下の通り。

ここで、

各部の断面二次モーメント I は以下より求める。

各部断面に係る寸法 $a \sim m$ 及び座屈長さ l_k は下図の通り。

2.2 SHP 型

① 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。

② ピストンロッド

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 ねじ部引張応力評価

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。

③ コネクティングパイプ(Aタイプ及びBタイプ)

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。

[Redacted content]

ii 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。

[Redacted content]

iii 穴部せん断応力評価

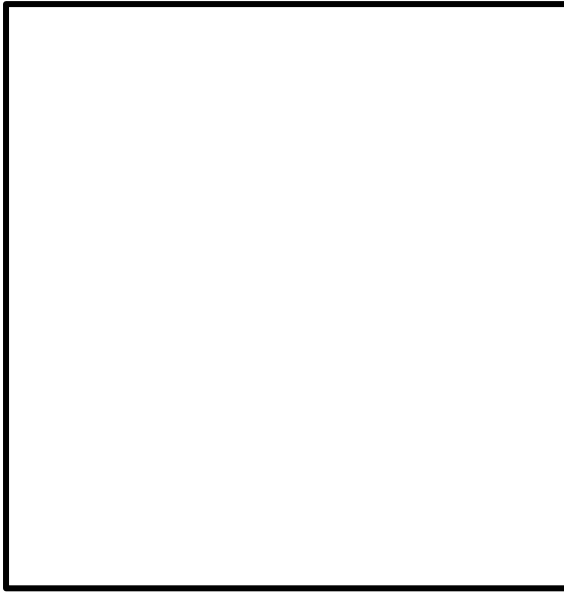
せん断応力が許容せん断応力以下であることを確認する。

[Redacted content]

iv 穴部支圧応力評価

支圧応力が許容支圧応力以下であることを確認する。

[Redacted content]



v 溶接部せん断応力評価

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。



④ 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。

⑤ シリンダチューブ

i 引張応力評価

内圧により生ずる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

内圧により生ずる圧縮応力が許容圧縮応力以下であることを確認する。

⑥ 六角ボルト

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。

⑦ イーヤ (Cタイプ)

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。

iv 溶接部せん断応力評価

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。

⑧ スペリカルアイボルト（Aタイプ）

i 穴部引張応力評価

引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

ii 穴部せん断応力評価

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。

iii 穴部支圧応力評価

支圧応力が許容支圧応力以下であることを確認する。

iv ボルト部引張応力評価

引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

⑨ コンロッド (Bタイプ), ⑩ コンロッド (Cタイプ)

i ロッド部引張応力評価

引張応力が許容引張応力以下であることを確認する。

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。

iii 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。

iv 穴部せん断応力評価

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 穴部支圧応力評価

支圧応力が許容支圧応力以下であることを確認する。

⑪ ターンバックル（Aタイプ）

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（型式 16 及び 25）

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。

⑫ シリンダカバー

i せん断応力評価

内圧により生ずる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。

⑬ タイロッド

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 ねじ部引張応力評価

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。

⑭ アダプタ(Aタイプ及びBタイプ)

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

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 現場溶接部せん断応力評価

現場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。



⑯ ロッドカバー

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。



全長座屈

座屈耐力 P_c は以下の式から算出する。なお、座屈耐力 P_c は、電共研の知見で定められた最弱部位に応じて求まる補正係数 α を考慮して算定する。

上記式より、座屈耐力 であることを確認する。なお座屈耐力 P_c の計算に用いる各種記号は以下の通り。

座屈長さ比 L' 及び関係する断面二次モーメント比 I' は以下の通り。

ここで、

各部の断面二次モーメント I は以下より求める。

- ・型式 03~25 の場合

各部断面に係る寸法 $a\sim m$ 及び座屈長さ l_k は下図の通り。

2.3 SN型

① 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。



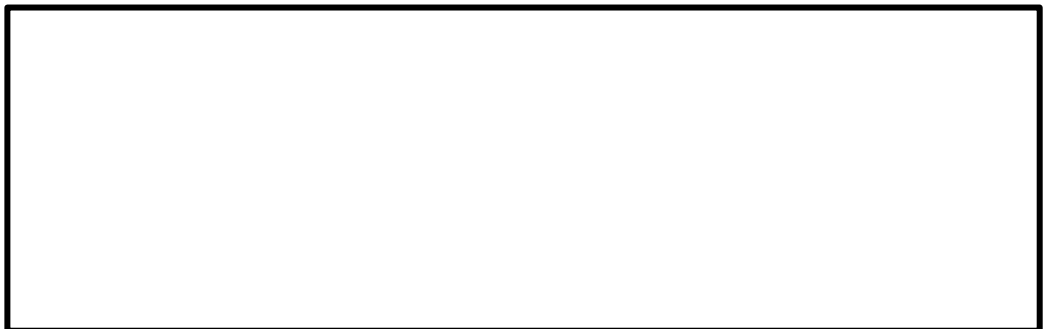
② ピストンロッド

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 ねじ部引張応力評価

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。



iii カラー部せん断応力評価 (型式 40~100)

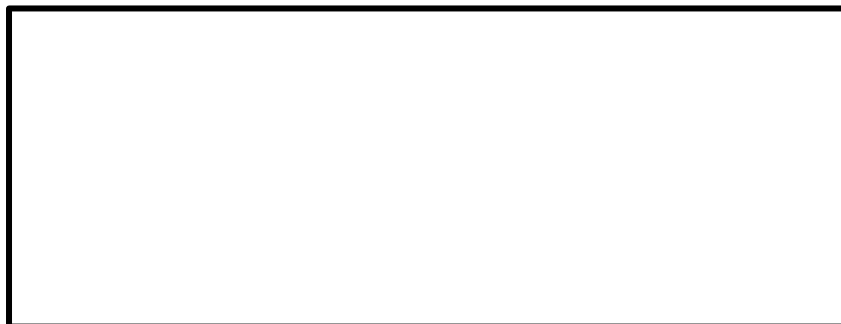
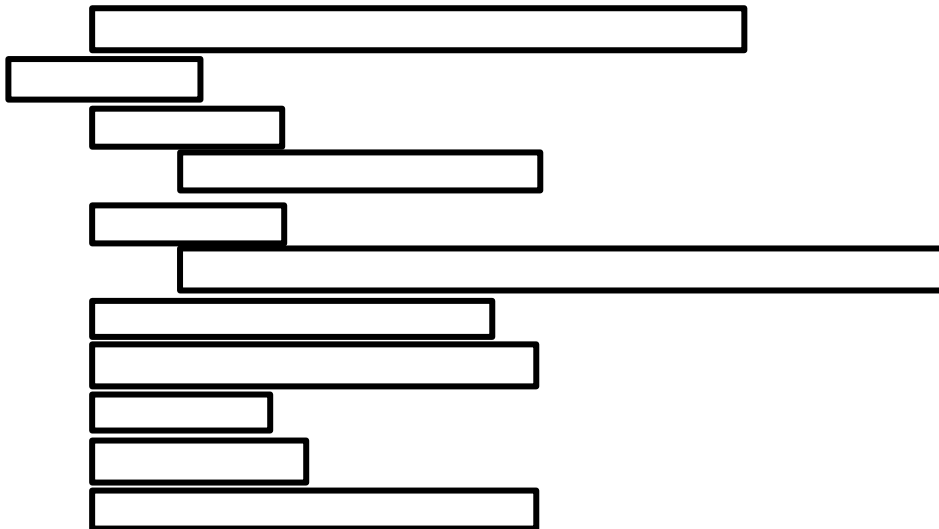
せん断応力が許容せん断応力以下であることを確認する。



③ コネクティングパイプ (型式 03~25)

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。



ii 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。



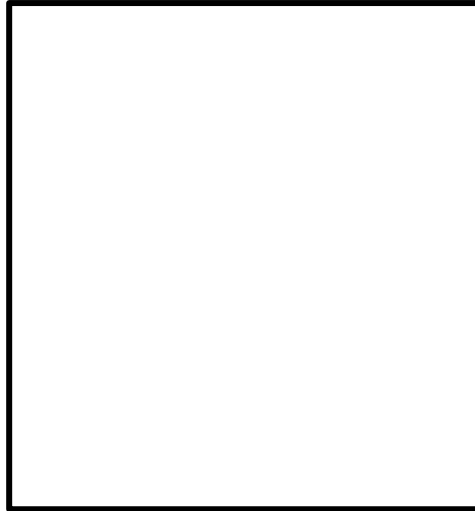
iii 穴部せん断応力評価

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。



iv 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。



v 溶接部せん断応力評価

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。



④ 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。



⑤ シリンダチューブ

i 引張応力評価

内圧により生ずる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 (型式 03~25)

内圧により生ずる圧縮応力が許容圧縮応力以下であることを確認する。

⑥ 六角ボルト

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。

⑦ イーヤ

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。

iv 溶接部せん断応力評価 (型式 03～25)

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。

v ボルト取付部引張応力評価 (型式 40～100)

ボルト取付部引張応力が許容引張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 (型式 40～100)

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。



vii パイプ部圧縮応力評価（型式 40～100）

圧縮応力が許容圧縮応力以下であることを確認する。



⑧ ロッドエンド

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。

iv ボルト部引張応力評価

ボルト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

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。

⑨ シリンダカバー

i せん断応力評価

内圧により生ずる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。

⑩ タイロッド

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。

⑪ アダプタ

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

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。

⑫ ロッドカバー

i せん断応力評価

内圧により生ずる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。

⑭ ホルダ（型式 03～25）

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。



全長座屈

座屈耐力 P_c は以下の式から算出する。なお、座屈耐力 P_c は、電共研の知見で定められた最弱部位に応じて求まる補正係数 α を考慮して算定する。

上記式より、座屈耐力 であることを確認する。なお、座屈耐力 P_c の計算に用いる各種記号は以下の通り。

座屈長さ比 L' 及び関係する断面二次モーメント比 I' は以下の通り。

ここで、

各部の断面二次モーメント I は以下より求める。

各部断面に係る寸法 $a \sim m$, p , Q 及び座屈長さ l_k は下図の通り。

2.4 RSA 型

① 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。

② 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。

③ スヘリカルアイボルト

i 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。

ii ボルト部

(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。

④ アジャストナット溶接部

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。

⑤ パイプ

i 圧縮応力評価（全長座屈評価）

圧縮応力が許容圧縮応力以下であることを確認する。



2.5 RTS 型

① 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。

② ピン

i せん断応力評価

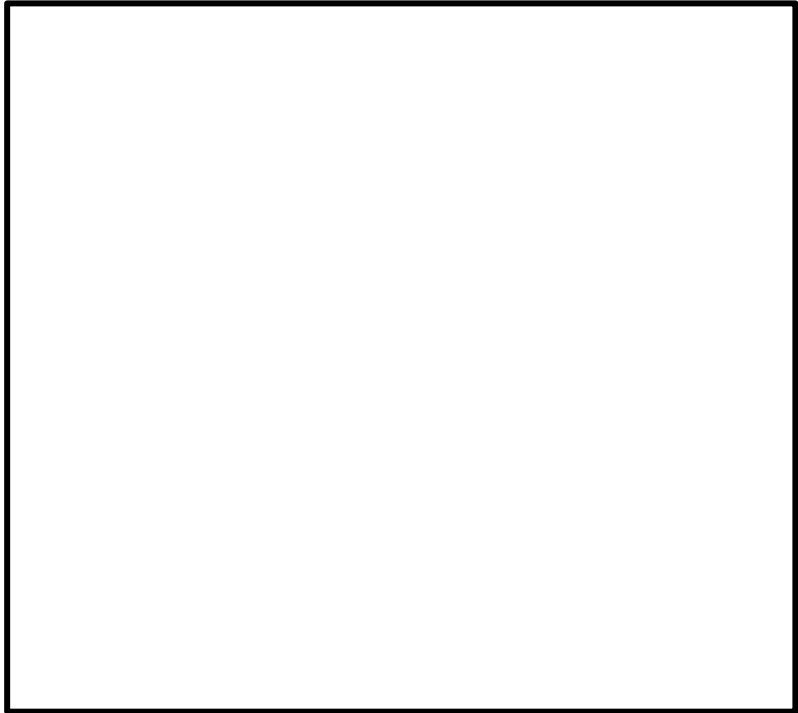
せん断応力が許容せん断応力以下であることを確認する。

③ パイプ

i パイプ部

(i) 圧縮応力評価（全長座屈評価）

圧縮応力が許容圧縮応力以下であることを確認する。



ii 溶接A部 (型式 60)

(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。

iii 溶接B部 (型式 60)

(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。

④ コネクティングパイプ溶接部（型式 06～25）

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。

⑤ コネクティングイーヤ（型式 06～25）

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。

⑥ インナーチューブ (型式 60)

i 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。

ii 溶接部

(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。

付属部品（クランプ及びブラケット）の強度計算例

クランプ及びブラケットは、支持装置本体ではなく、支持装置の付属部品として扱う。クランプ及びブラケットは、支持装置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、支持装置本体とは別に評価を実施する。具体的には、支持装置の二次評価荷重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ⅢA S及びⅣA Sの許容応力を満足することを確認している。

クランプ及びブラケットの強度評価式及び強度評価例（代表として定格容量 3ton(30kN)とした）を以下に示す。なお、表1に支持装置のクランプ強度評価における記号の定義を示す。

(1) 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。

表1 支持装置のクランプ強度評価における記号の定義

記号	単位	定義
A _p	mm ²	支圧応力計算に用いる断面積
A _s	mm ²	せん断応力計算に用いる断面積
A _t	mm ²	引張応力計算に用いる断面積
B	mm	クランプ穴部せん断寸法
C	mm	クランプ引張断面寸法
D	mm	クランプ穴径
d	mm	ピン径
F _p	MPa	支圧応力
F _s	MPa	せん断応力
F _t	MPa	引張応力
P	N	二次評価荷重
T	mm	クランプ厚さ

(2) 支持装置におけるクランプの強度評価結果

表2に許容応力状態IV_ASでの二次評価荷重に対するクランプの強度評価結果を示す。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。

表2 支持装置のクランプ強度評価例 (定格容量 3ton (30kN) の例)

配管口径	二次評価 荷重* (kN) (A)	引張応力		せん断応力		支圧応力	
		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
150A							
300A							
500A							
600A							

(3) ブラケットの強度評価式

i X-X 軸に関する本体の曲げ応力評価

曲げ応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

ii Y-Y 軸に関する本体の曲げ応力評価

曲げ応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

iii 本体の引張応力評価

引張応力が、許容引張応力以下であることを確認する。

iv 本体のせん断応力評価

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 本体の組合せ応力評価

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、

vi 穴部引張応力評価

引張応力が，許容引張応力以下であることを確認する。

vii 穴部せん断応力評価

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 穴部支圧応力評価

支圧応力が，許容支圧応力以下であることを確認する。

表3 支持装置のブラケット強度評価における記号の定義

記号	単位	定義
A	mm ²	本体の応力計算に用いる断面積
A _p	mm ²	穴部支圧応力計算に用いる断面積
A _s	mm ²	穴部せん断応力計算に用いる断面積
A _t	mm ²	穴部引張応力計算に用いる断面積
B	mm	穴部せん断面寸法
C	mm	穴部引張断面寸法
D	mm	穴径
d	mm	ピン径
F _{bx}	MPa	X-X 軸に関する曲げ応力
F _{by}	MPa	Y-Y 軸に関する曲げ応力
F _p	MPa	支圧応力
F _s	MPa	せん断応力
F _t	MPa	引張応力
F _r	MPa	組合せ応力
H	mm	モーメントアーム
P	N	二次評価荷重
S	mm	ブラケット幅
T	mm	ブラケット厚さ
Z _x	mm ³	X 軸回りの断面係数
Z _y	mm ³	Y 軸回りの断面係数
α	deg	取り付け角度
θ	deg	取り付け角度

(4) 支持装置におけるブラケットの強度評価結果

表4に許容応力状態IV_ASでの二次評価荷重に対するブラケットの強度評価結果を示す。全ての発生応力が許容応力以下であり、ブラケットの耐震性が確保されることを確認した。

表 4 支持装置のブラケット強度評価例 (定格容量 3ton (30kN) の例) (1/2)

型式	本体												
	二次評価荷重* (kN) (A)		曲げ応力 (X-X 軸)		曲げ応力 (Y-Y 軸)		引張応力		せん断応力		組合せ応力		
	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
3													

表 4 支持装置のブラケット強度評価例 (定格容量 3ton (30kN) の例) (2/2)

型式	穴部							
	二次評価荷重* (kN) (A)		引張応力		せん断応力		支圧応力	
	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
3								

スナッパ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」という。)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性が生じていた。

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パ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

スナッパ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) スナッパ限界耐力評価法の検討

スナッパの破壊試験により、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、スナッパの許容限界(定格荷重)を超える荷重に対しても適用可能であるかを確認し、構造強度及び機能維持の面からのスナッパ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)スナップ限界耐力評価法の検討におけるスナップについての検討の概要をまとめる。

3. スナップ限界耐力評価法の策定方針

スナップの異常要因分析等に基づき試験対象として選定された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も適用可能であるかを確認し、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。

スナップ限界耐力評価法策定のための検討フローを図3-1に示す。フローの(5)スナップの構造・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3-2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. 23 参照

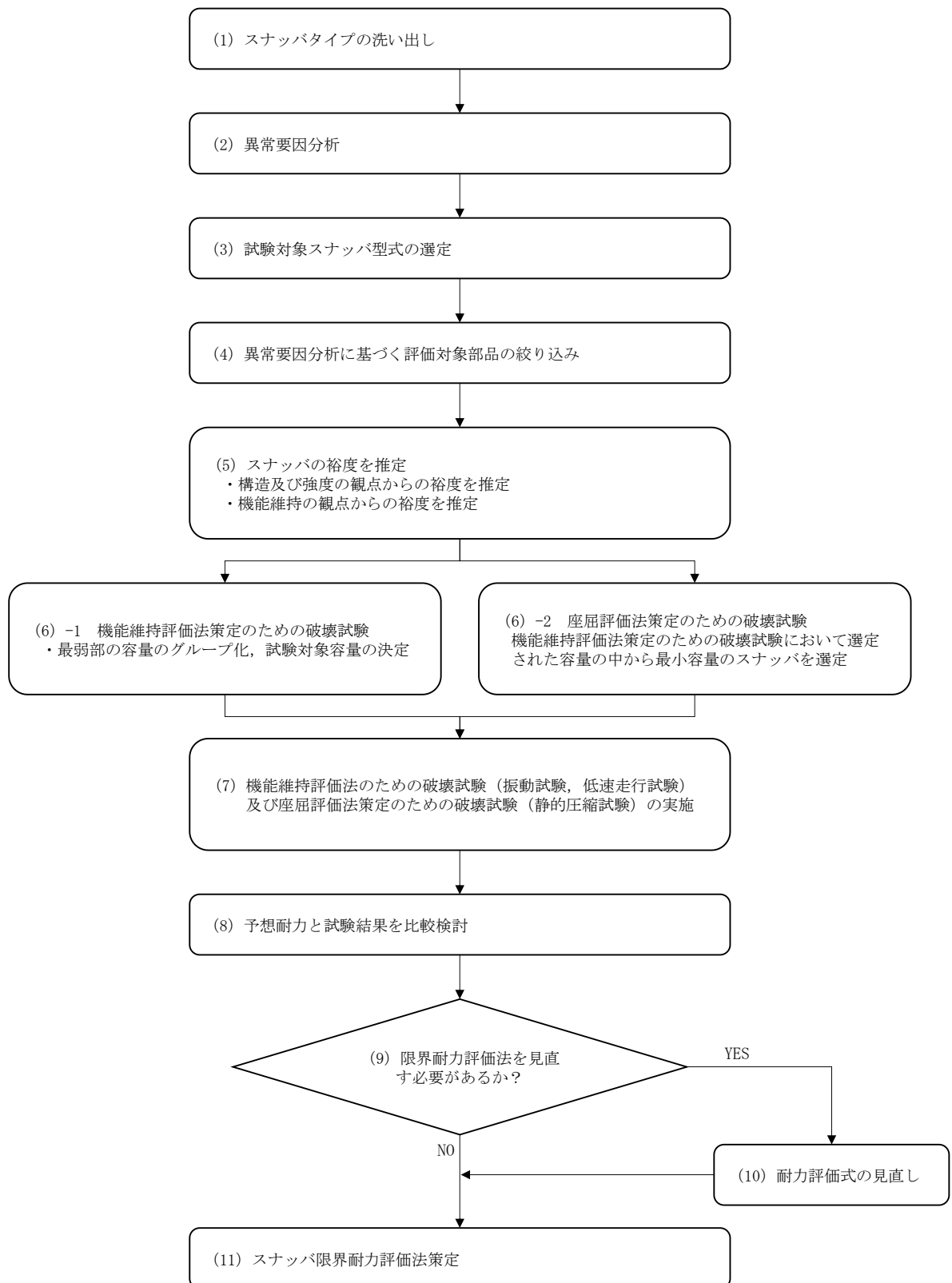


図 3-1 スナップ限界耐力評価法策定フロー

	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	↓ 限界耐力値 予想耐力を 下方修正

図 3-2 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（図 3-2 の下段）は、予想耐力の算出に用いた応力算出式又は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（ S_u ）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) 耐力確認荷重が予想耐力を下回ったもの」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. スナッパ破壊試験

4.1 破壊試験対象の選定（図3-1フロー（1）～（6））

電共研当時における国内 PWR 及び BWR のプラントを対象にスナッパの使用状況が調査され、以下に示すタイプが抽出された。以降では、抽出されたもののうち、島根2号機で使用している SMS 型メカニカルスナッパ、SHP 型及び SN 型オイルスナッパに限定して試験対象の選定について説明する。またこれらの構造図を図4-1～図4-3に示す。

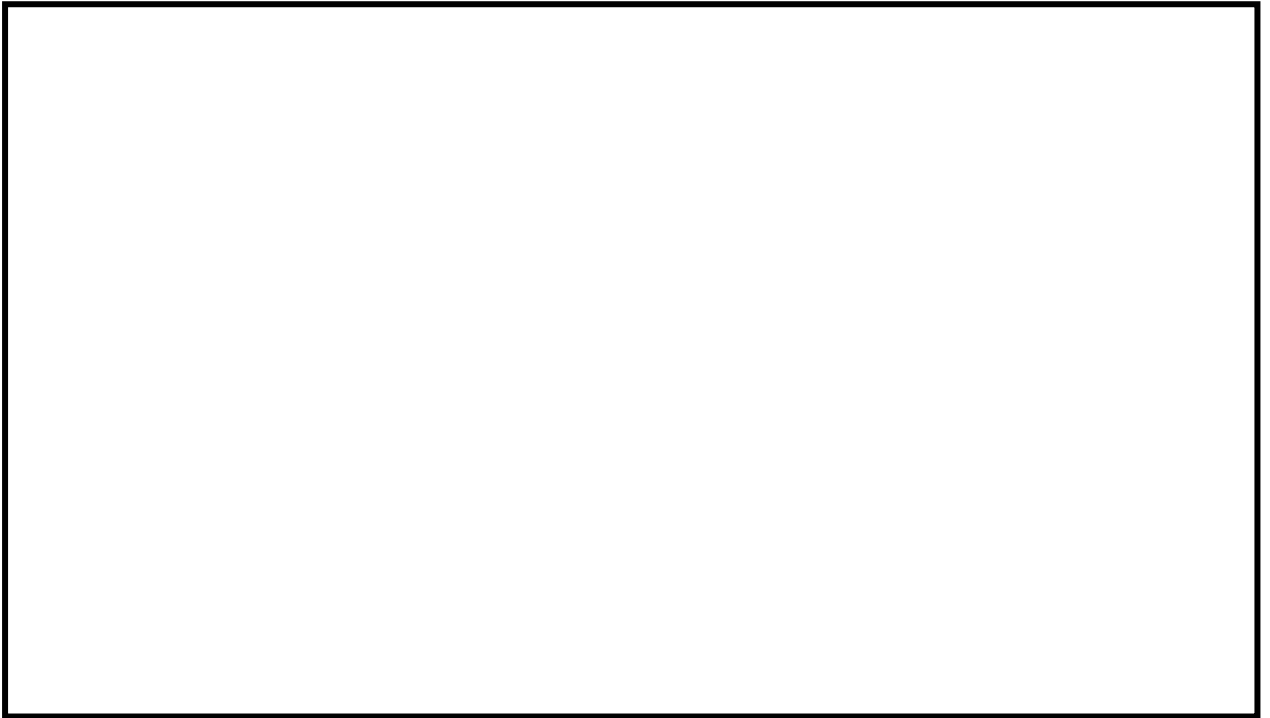


図4-1 SMS型メカニカルスナッパ構造図



図 4-2 SHP 型オイルスナッパ構造図

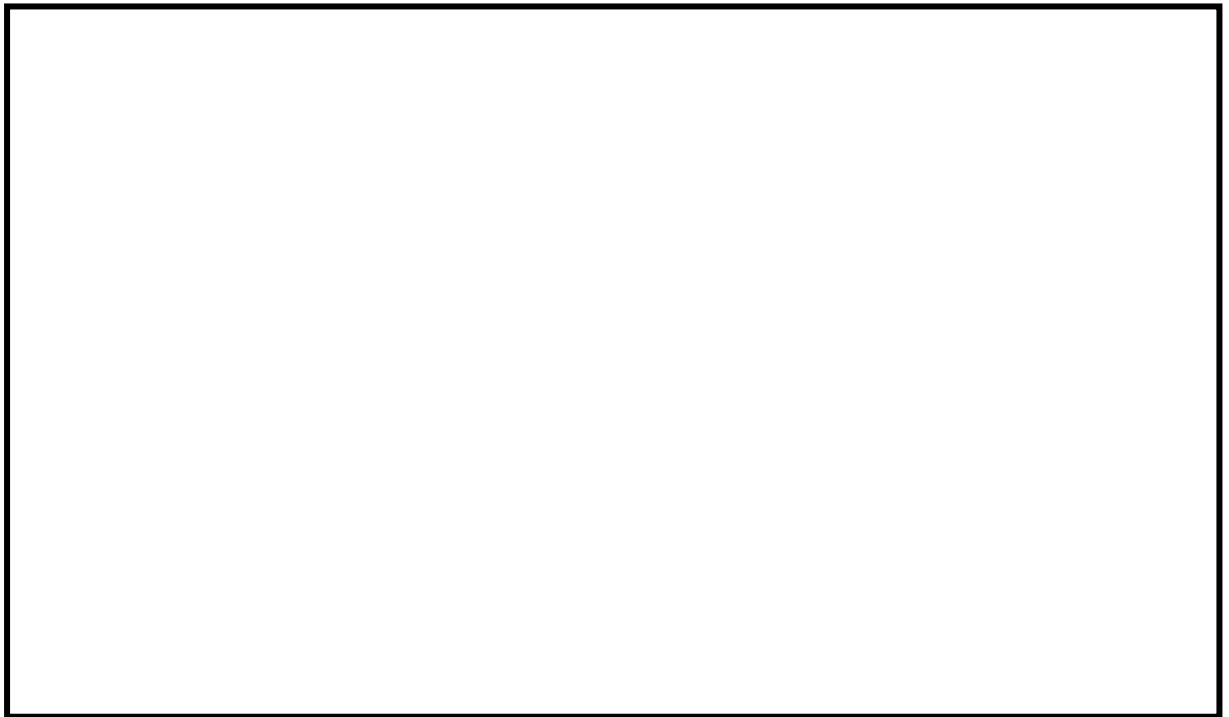


図 4-3 SN 型オイルスナッパ構造図

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

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、メカニカルスナッパ及びオイルスナッパは図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及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及び機能部品の損傷による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及び機能部品の損傷によるスナッパ機能喪失

また、構造部材及び機能部品の損傷として、構造部材の部材ごとの変形等に加えてスナッパ全長に対する座屈が考えられることから、スナッパの地震時及び地震後の機能を確保するための「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。

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）を型式ごとに分けて、一覧化したものを表4-1～表4-3に示す。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、スナッパにおいて代表型式について限界耐力評価法を策定すれば、他の型式へ展開可能であることを確認した。

対象	要求機能	要因	現象	喪失機能
オイルスナッパ	地震時の機能	配管系応答過大	構造部材の損傷 → 構造部材損傷*1 → スナッパ座屈 機能部品の損傷 → シール性喪失*3 → 油漏れ → ポベット弁機能喪失*2	スナッパ支持機能喪失
	地震後の作動と性能確保	低速走行抵抗力増大	構造部材の損傷 → 構造部材変形*4 機能部品の損傷 → ポベット弁機能喪失 → シール性喪失	スナッパ機能喪失
メカニカルスナッパ	地震時の機能	配管系応答過大	構造部材の損傷 → 構造部材損傷*1 → スナッパ座屈 機能部品の損傷 → ボールネジ機能喪失*5 → プレーキッドラム機能喪失	スナッパ支持機能喪失
	地震後の作動と性能確保	低速走行抵抗力増大	構造部材の損傷 → 構造部材変形*4 機能部品の損傷 → ボールネジ機能喪失*5	スナッパ機能喪失

*1：各スナッパの構造部材の強度評価。
 *2：ポベット弁損傷においては、弁のパネ力の変化が考えられる。地震時には所定の抵抗力が得られない事が考えられる。また、地震後においては低速走行時の抵抗力増大が考えられる。但し、地震時にはポベット弁のパネ力が変化するような地震荷重は作用しない。
 *3：シール性喪失には、系内リークと系外リークが考えられる。系内リークの場合は、ピストン部のシール性が低下し、所定の抵抗力が得られない事が考えられる。系外リークの場合は、ピストンとロッドカバー間のシール性が低下し、所定の抵抗力が得られない事が考えられる。
 *4：構造部材の変形により、低速走行時の抵抗力を増大させるもの。例えば、ピストンロッド、ロードコラム等の変形。
 *5：地震時には、ボールネジ部のボールの圧砕により支持機能喪失が考えられる。地震後においては、低速走行時の抵抗力増大が考えられる。

図4-4 スナッパ異常要因モード

表 4-1 SMS 型オイ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
②ジャンクションコラム	○	—
③ロードコラム	○	—
④ピン	○	—
⑤コネクティングチューブ	○	—
⑥ケース, ベアリング押さえ及び六角ボルト	○	—
⑦イーヤ	○	—
⑧ユニバーサルボックス	○	—
⑨コネクティングチューブイーヤ部	○	—
⑩ユニバーサルブラケット	○	—
⑪ダイレクトアタッチブラケット	○	—
⑬ベアリングナット	○	—
⑭ボールねじ	—*	○*
⑮アンギュラー玉軸受	—	○
⑯球面軸受	—	○

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。

表 4-2 SHP 型オイ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
②ピストンロッド	○	—
③コネクティングパイプ	○	—
④ピン	○	—
⑤シリンダチューブ	○	—
⑥六角ボルト	○	—
⑦イーヤ	○	—
⑧スヘリカルアイボルト	○	—
⑪ターンバックル	○	—
⑫シリンダカバー	○	—
⑬タイロッド	○	—
⑭アダプタ	○	—
⑯ロッドカバー	○	—
⑰球面軸受	—	○
⑱ポペット弁	—	○*
シール性	—	○

注記*：ポペット弁損傷においては、弁のばね力の変化が考えられる。地震時には所定の抵抗力が得られないことが考えられる。また、地震後において低速走行時の抵抗力増大が考えられる。ただし、地震時にはポペット弁のばね力が変化するような地震荷重は採用しない。

表 4-3 SN 型オイ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
②ピストンロッド	○	—
③コネクティングパイプ	○	—
④ピン	○	—
⑤シリンダチューブ	○	—
⑥六角ボルト	○	—
⑦イーヤ	○	—
⑧ロッドエンド	○	—
⑨シリンダカバー	○	—
⑩タイロッド	○	—
⑪アダプタ	○	—
⑫ロッドカバー	○	—
⑬ホルダ	○	—
⑭球面軸受	—	○
⑮ポペット弁	—	○*
シール性	—	○

注記*：ポペット弁損傷においては、弁のばね力の変化が考えられる。地震時には所定の抵抗力が得られないことが考えられる。また、地震後において低速走行時の抵抗力増大が考えられる。ただし、地震時にはポペット弁のばね力が変化するような地震荷重は採用しない。

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

構造部材の強度評価又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／定格荷重）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 4-4～表 4-6 に示す。（部品ごとの耐力値*一覧表は添付-1 参照）

破壊試験対象型式は、原則として表 4-4～表 4-6 に示したグループの中から、最小の定格荷重となる型式として選定した。なお、各型式の試験体は 1 体とし、各型式において定格容量 3ton(30kN)のもののみ試験のばらつきを確認するために 3 体とした。各型式の試験体選定結果を表 4-7～表 4-9 に示す。

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。

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 4-4 SMS 型メカニカルスナッパの最小裕度部品

グループ	型式	最小裕度部品
1	SMS-01, 03	六角ボルト
2	SMS-06, 3, 16	ボールねじ
3	SMS-1	コネクティングチューブ
4	SMS-6	ベアリングナット（せん断）
5	SMS-10, 25～60	ダイレクトアタッチブラケット（ピンせん断） ユニバーサルブラケット（ピンせん断）

表 4-5 SHP 型オイルスナッパの最小裕度部品

グループ	型式	最小裕度部品
1	SHP-03, 06, 10, 40, 60	シール性
2	SHP-1, 3, 6	アイボルト、コネクティングパイプ（イーヤ引張）
3	SHP-16, 25	ターンバックル（溶接部せん断）

表 4-6 SN 型オイルスナッパの最小裕度部品

グループ	型式	最小裕度部品
1	SN-03, 06, 1	ロッドエンド（イーヤ引張）
2	SN-3	コネクティングパイプ（溶接部せん断）
3	SN-6, 10	アダプタ部（溶接部せん断）
4	SN-16, 25	ダイレクトイーヤ（せん断）

表 4-7 SMS 型メカニカルスナッパ試験体選定結果

グループ	型式	定格荷重	試験体数
1	SMS-03	0.3ton(3kN)	1
2	SMS-1	1ton(30kN)	1
3	SMS-3	3ton(30kN)	3
4	SMS-6	6ton(60kN)	1
5	SMS-10	16ton(160kN)	1

表 4-8 SHP 型オイルスナッパ試験体選定結果

グループ	型式	定格荷重	試験体数
1	SHP-03	0.3ton(3kN)	1
2	SHP-3	3ton(30kN)	3
3	SHP-16	16ton(160kN)	1

表 4-9 SN 型オイルスナッパ試験体選定結果

グループ	型式	定格荷重	試験体数
1	SN-03	0.3ton(3kN)	1
2	SN-3	3ton(30kN)	3
3	SN-6	6ton(60kN)	1
4	SN-16	16ton(160kN)	1

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型式（表 4-7～表 4-9）の中から最小の定格荷重となる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、座屈強度はスナッパ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式に展開できるため、代表として試験体は 1 体とした。なお、いずれの試験体においてもピン間長さは、型式ごとに設定される標準寸法の範囲のうち最大寸法としている。

- SMS-03（定格荷重 0.3ton(3kN)）
- SHP-03（定格荷重 0.3ton(3kN)）
- SN-03（定格荷重 0.3ton(3kN)）

4.2 破壊試験における試験項目（図 3-1 フロー（7））

4.2.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

スナッパ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：スナッパ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 3-1 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、スナッパ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 4-10 に示す。

表 4-10 目標加振荷重レベル(単位:kgf)

型式	SMS 型					SHP 型			SN 型				ケース数	
	SMS-03	SMS-1	SMS-3	SMS-6	SMS-10	SHP-03	SHP-3	SHP-16	SN-03	SN-3	SN-6	SN-16		
目標加振 荷重レベル (段階的に増 加)	300	1000	3000	6000	10000	300	3000	16000	300	3000	6000	16000	1	
	450	1500	4500	9000	15000	450	4500	24000	450	4500	9000	24000	2	
	1000	2500	6000	12000	17000	1000	6000	28000	1000	5500	11000	27000	3	
	1500	3500	7000	15000	20000	1500	7000	32000	2000	6500	12000	30000	4	
	1800	4500	8000	17000	24000	2000	8000	36800	2500	7500	13000	33600	5	
	2000	5500	9000	18600	28000	2500	9000	40000	3000	8500	13800	36000	6	
	—	7000	10000	22000	32000	3000	10000	—	—	—	16000	—	—	7
	—	—	—	—	—	3300	11000	—	—	—	—	—	—	8
	—	—	—	—	—	3700	11800	—	—	—	—	—	—	9
	—	—	—	—	—	—	13000	—	—	—	—	—	—	10

(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。

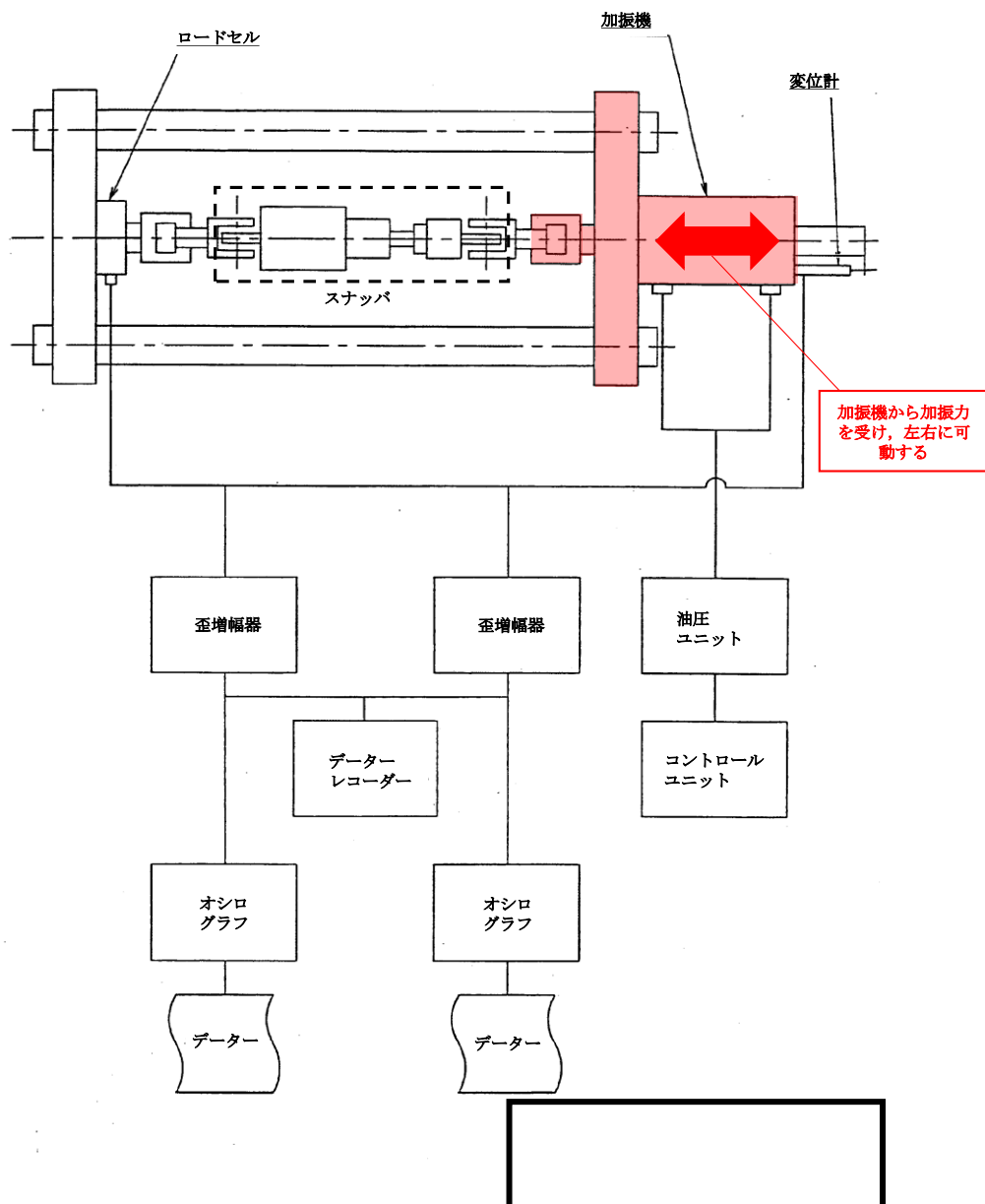
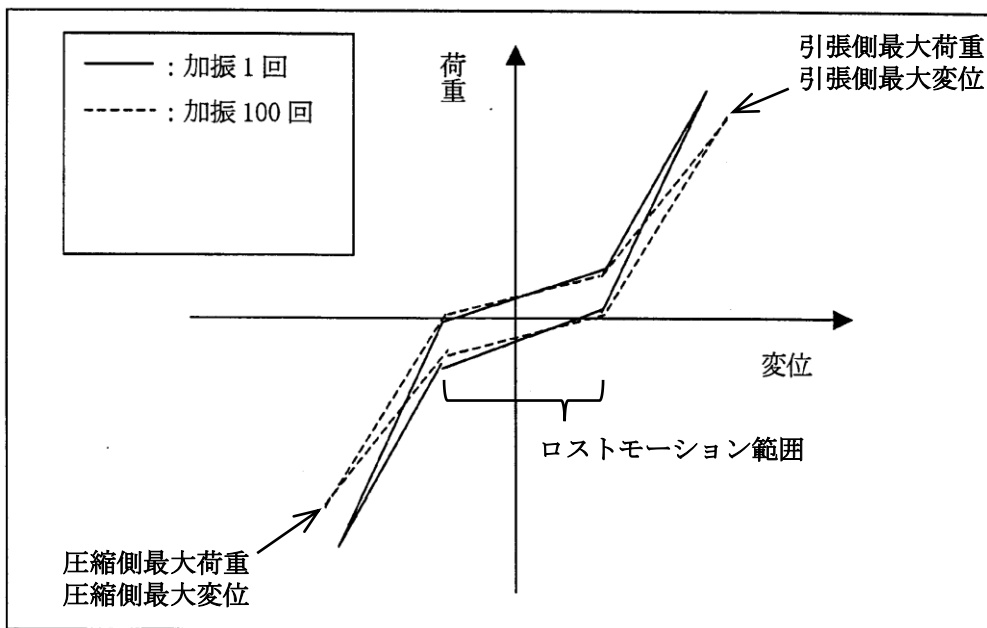


図 4-5 振動試験装置の概要

c. 評価項目

変位制御による正弦波加振で得られるスナップの荷重・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 4-11～表 4-13 のとおり。また、試験結果から得られた動剛性の値は、表 4-18～表 4-20 に示す。

動剛性＝



(参考) スナップの荷重・変位特性イメージ



表 4-11 SMS 型メカニカルスナップ 振動試験中の動剛性（動ばね定数）判定基準値

定格容量	0.3ton (3kN)	1ton (10kN)	3ton (30kN)	6ton (60kN)	10ton (100kN)
動剛性					

表 4-12 SHP 型オイルスナップ 振動試験中の動剛性（動ばね定数）判定基準値

定格容量	0.3ton (3kN)	3ton (30kN)	16ton (160kN)
動剛性			

表 4-13 SN 型オイルスナップ 振動試験中の動剛性（動ばね定数）判定基準値

定格容量	0.3ton (3kN)	3ton (30kN)	6ton (60kN)	16ton (160kN)
動剛性				

(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取り付け、2.1mm/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。

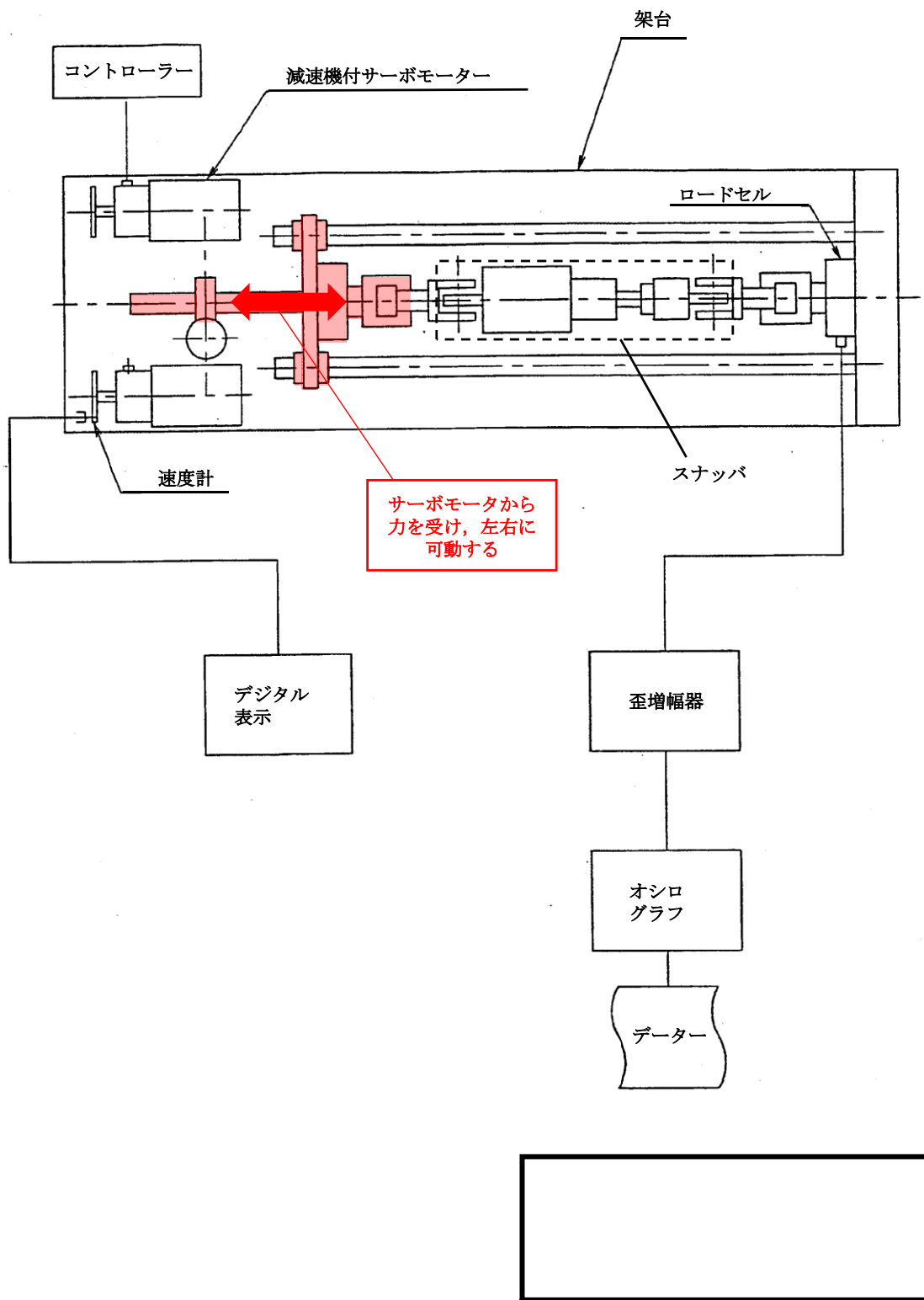


図 4-6 低速走行試験装置の概要

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 4-14～表 4-16 のとおり。

表 4-14 SMS 型メカニカルスナッパ 低速走行試験中の抵抗力の判定基準値

定格容量	0.3ton (3kN)	1ton (10kN)	3ton (30kN)	6ton (60kN)	10ton (100kN)
抵抗力					

表 4-15 SHP 型オイルスナッパ 低速走行試験中の抵抗力の判定基準値

定格容量	0.3ton (3kN)	3ton (30kN)	16ton (160kN)
抵抗力			

表 4-16 SN 型オイルスナッパ 低速走行試験中の抵抗力の判定基準値

定格容量	0.3ton (3kN)	3ton (30kN)	6ton (60kN)	16ton (160kN)
抵抗力				

4.3.2 座屈評価法策定のための破壊試験（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に取り付け、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

試験装置の概要を図 4-7 に示す。

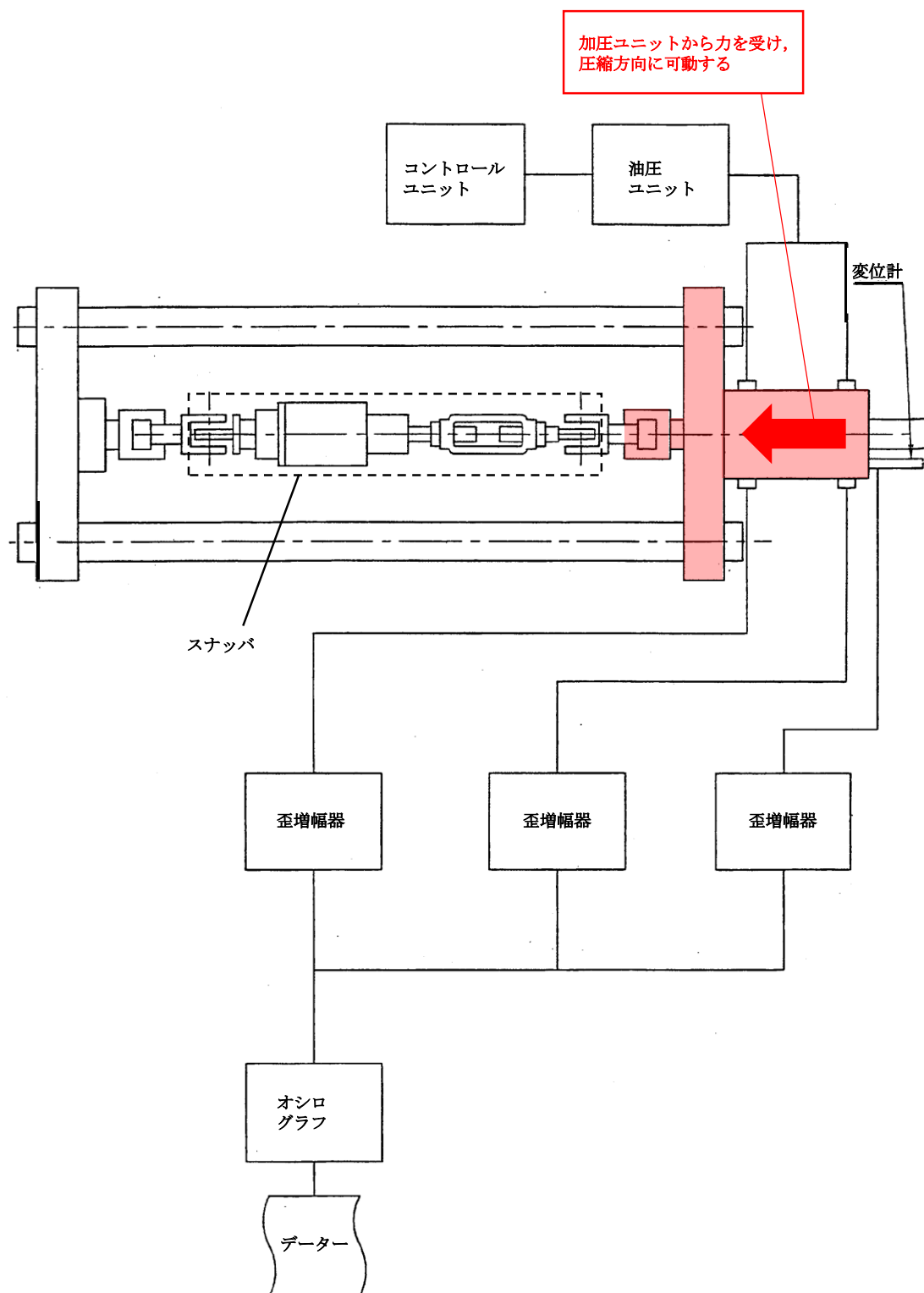


図 4-7 静的圧縮試験装置の概要

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 座屈評価 参照)

4.4 破壊試験結果（図3-1 フロー（7））

4.4.1 機能維持評価法策定のための破壊試験

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（破損又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4-17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 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4-18～表4-20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）及び座屈損傷したSHP-3の供試体3-1，3-2を除き，予想耐力相当の負荷荷重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4-17に合わせて示す。同じく詳細データは添付-2に示す。

表 4-17 試験結果まとめ表

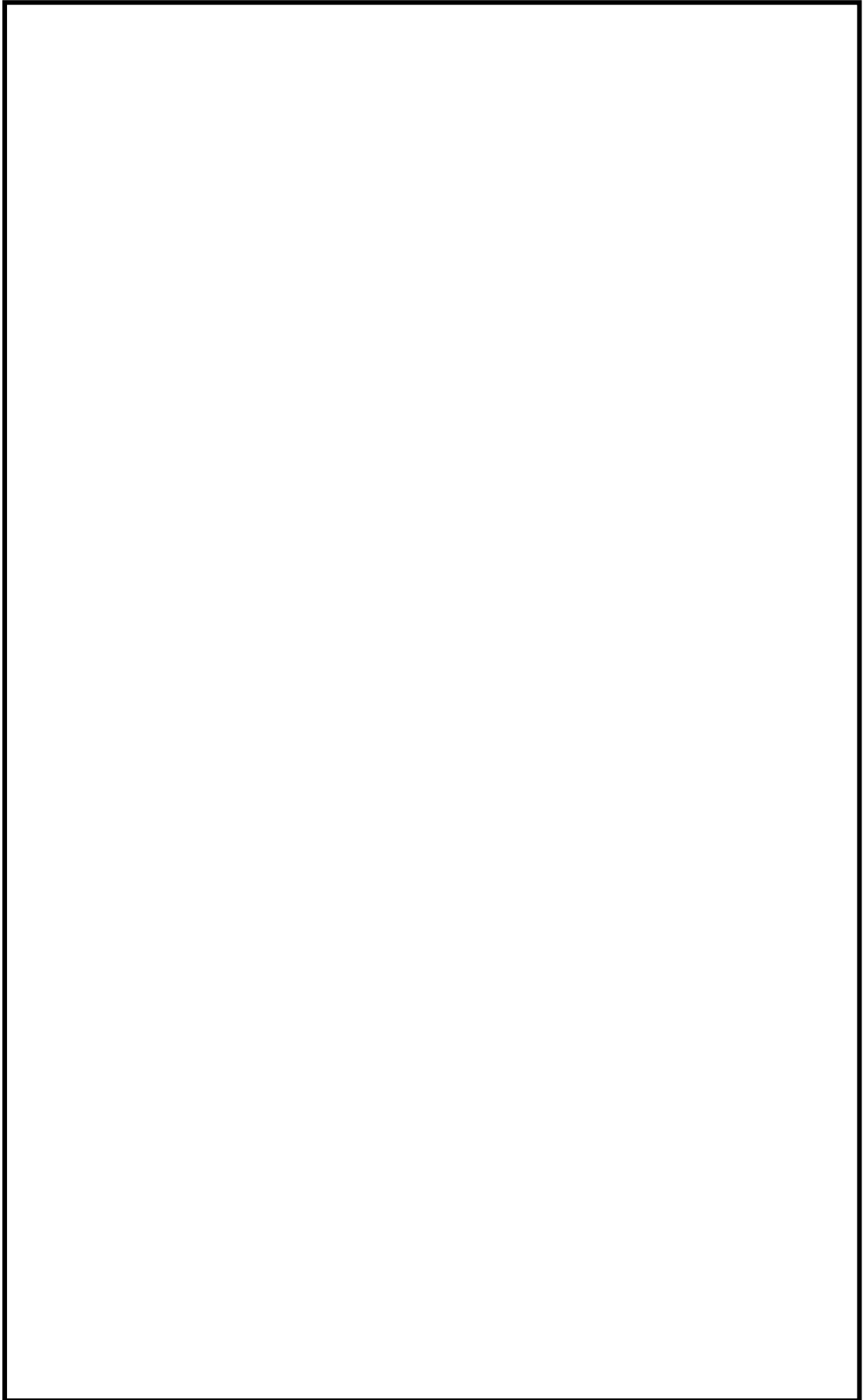


表 4-18 SMS 型メカニカルスナツバ 各試験ケースにおける判定結果(1/2)

--

表 4-18 SMS 型メカニカルスナツバ 各試験ケースにおける判定結果(2/2)

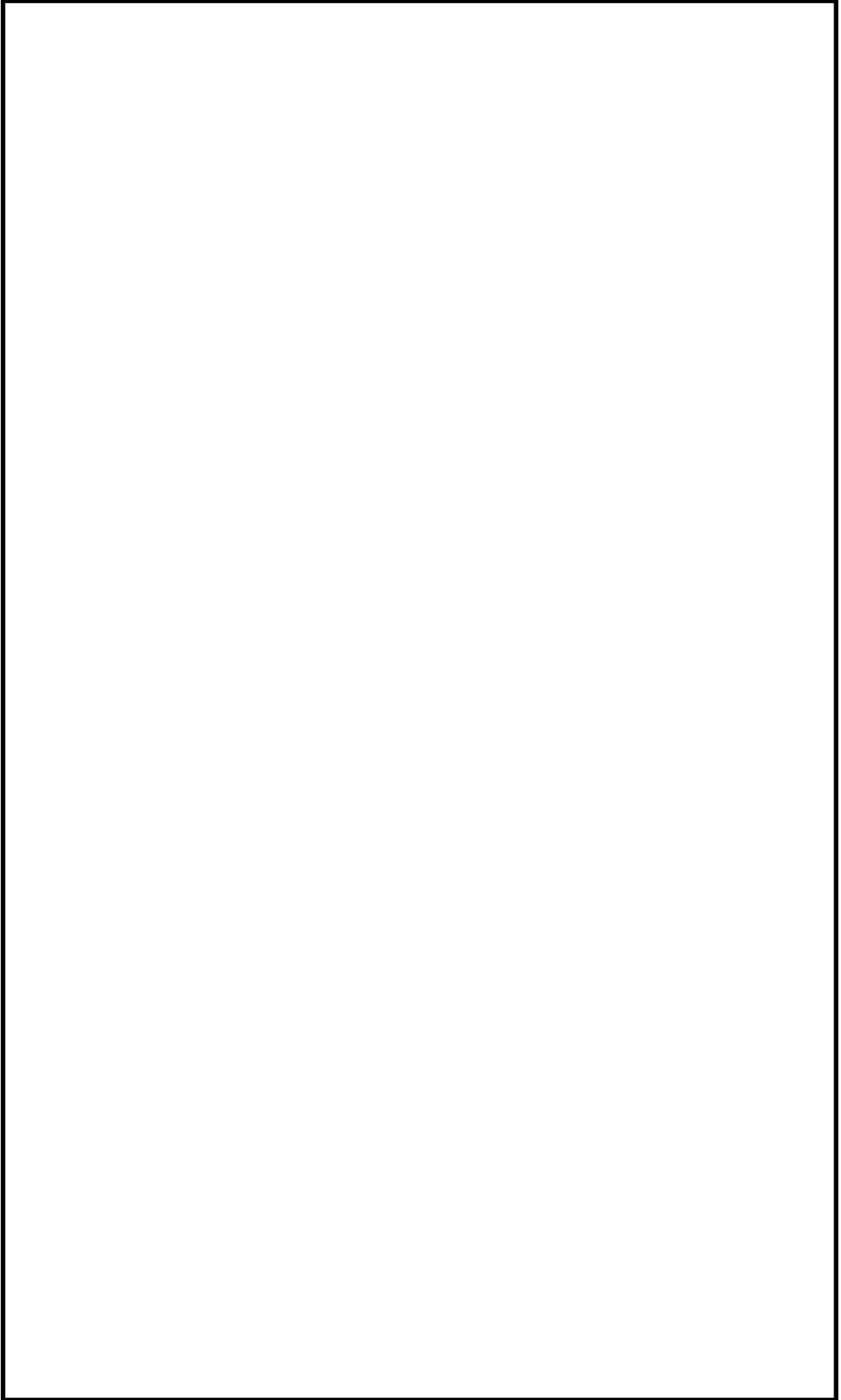


表 4-19 SHP 型オイルスナツバ 各試験ケースにおける判定結果(1/2)

--

表 4-19 SHP 型オイルスナツバ 各試験ケースにおける判定結果(2/2)

--

表 4-20 SN 型オイルスナツバ 各試験ケースにおける判定結果(1/2)

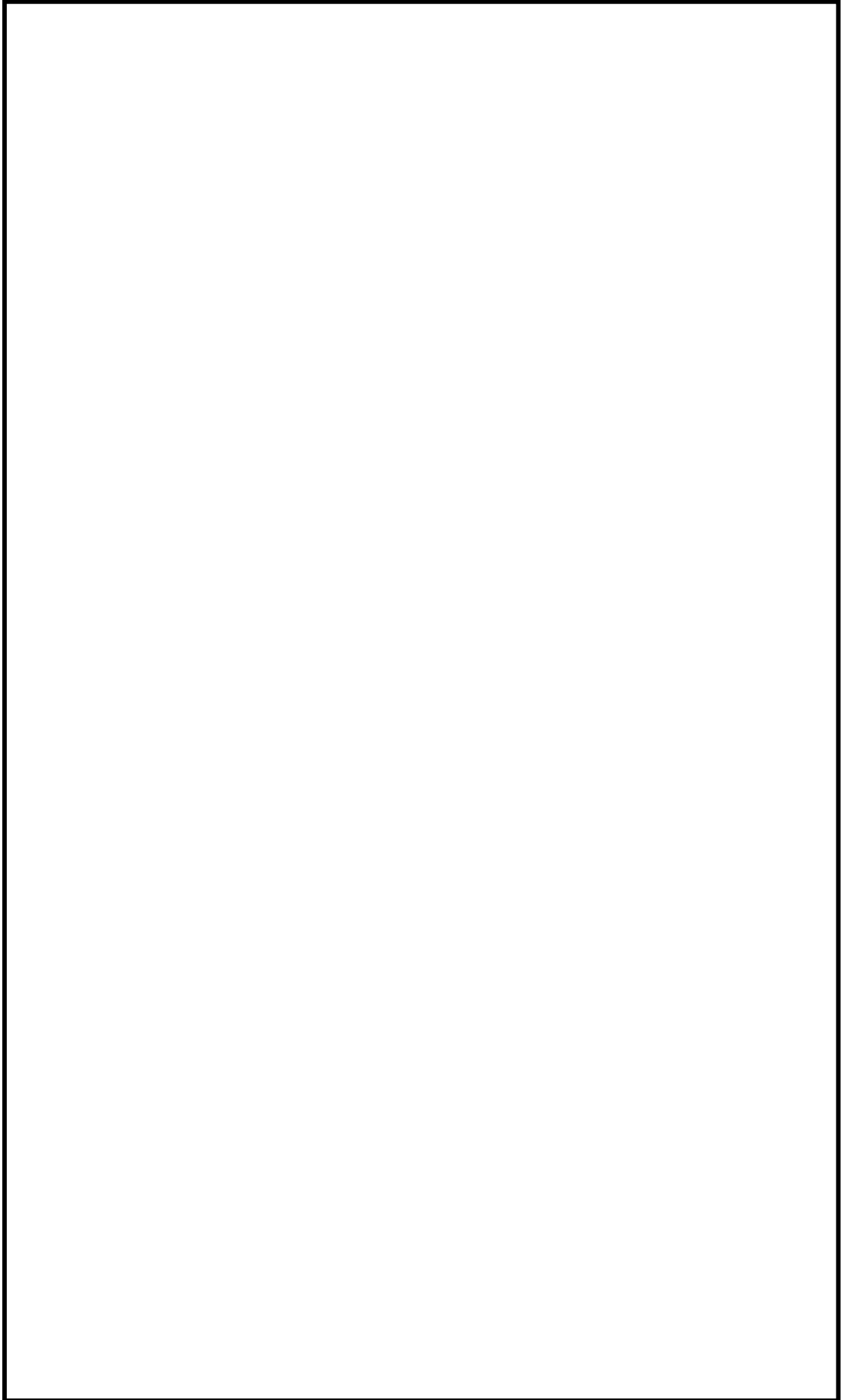


表 4-20 SN型オイルスナツバ 各試験ケースにおける判定結果(2/2)

--

4.5 破壊試験結果の考察（図3-1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（破損又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もの（図3-2の上段の場合）
- (2) 耐力確認荷重が予想耐力を下回ったもの（図3-2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もの（図3-2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もの

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4-21～表4-23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（表4-21～表4-23の「実耐力*2」）及び試験で得られた最大負荷荷重（表4-21～表4-23の「最大荷重」）と比較したものを表4-21～表4-23に型式ごとにまとめた。赤枠で示すとおり、最大負荷荷重が予想耐力（表4-21～表4-23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(S_u)の0.7倍又は降伏点(S_y)の1.2倍のいずれか小さい値としていたこと
- 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. 24 参照

*2：用語の定義 No. 25 参照

表 4-21 SMS 型メカニカルスナッパ 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)

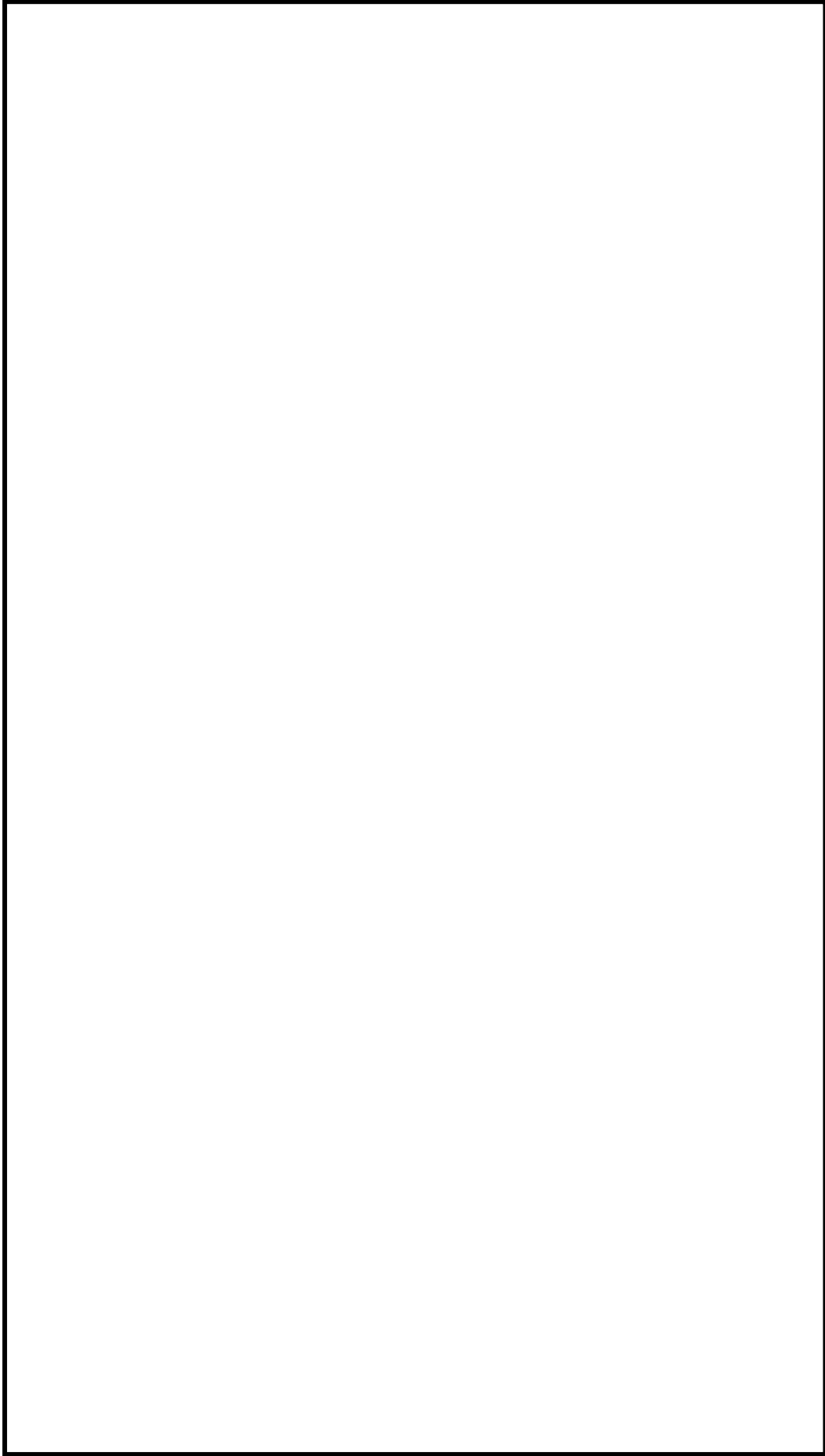


表 4-21 SMS 型メカニカルスナッパ 公称応力による予想耐力を超えても破損しなかった部位のまとめ表* (2/2)

--

表 4-22 SHP 型オイルスナックバ 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*

--

表 4-23 SN 型オイルスナツバ 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*



(a) 部位ごとの考察

イ. メカニカルスナップ

・六角ボルト (表 4-21 中の⑤)

SMS-03 における試験結果の最大荷重は kgf であり、ねじ部の有効断面積において引張強さ (S_u) が生じることを想定することで算定される耐力 (実耐力) である kgf とほぼ同一の値である。また、SMS-3 における試験結果の最大荷重は kgf であることに對して、実耐力は kgf であり、試験結果は実耐力の 倍であった。

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。

$$F=0.8 \cdot S_u \cdot A$$

ここで、

S_u : 引張強さ

A : ねじ部の有効断面積

・ボールねじ (表 4-21 中の⑫)

SMS-3 における試験結果の最大荷重は kgf であり、シャフトの有効断面積*において引張強さ (S_u) が生じることを想定することで算定される耐力 (実耐力) である kgf に対して 倍の値であった。

このことから、ボールねじの限界耐力値の評価式を以下に見直すこととする。

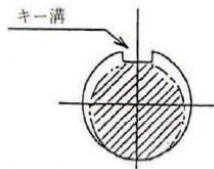
$$F=0.7 \cdot S_u \cdot A$$

ここで、

S_u : 引張強さ

A : シャフト部の有効断面積*

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 (補足図の斜線部)」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断面を差し引いた断面 = シャフト部の有効断面積 (補足図全体)」とした。



・ピンせん断（表 4-21 中の⑧, ⑩）

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 倍の値となる。

$$F=0.7 \cdot (S_u / \sqrt{3}) \cdot A$$

ここで、

S_u : 引張強さ

A : ピンの断面積 (2 面せん断)

ロ. オイルスナッパ

・シール性（表 4-22 中の①）

バックアップリングを使用していない型式の SHP-03 及び SHP-06 については、耐力値としてはシール性が最弱であり、これらに関するシール性については、メーカー推奨値の最小値を予測耐力としていたが、代表で試験を実施した SHP-03 の試験結果の最大荷重と比較すると、試験結果がメーカー推奨値の 倍であったため、バックアップリングを使用していない型式の SHP-03 及び SHP-06 の耐力値はメーカー推奨値の 倍として見直すこととした。

(2) 耐力確認荷重が予測耐力を下回ったもの

耐力確認荷重が予測耐力を下回った評価項目としては、座屈耐力が該当する。

座屈損傷については、静的座屈試験結果の他に、加振試験においても確認された。座屈した型式の計算座屈荷重と試験座屈荷重を比較したものを表 4-24 に示す。また、座屈耐力の整理のために、表 4-24 の記載データ及び過去データも含め、グラフにしたものを図 4-8 に示す。

SHP 型はターンバックルを有した構造であり、SMS 型や SN 型等に比べて最弱部（ピストンロッド部）の位置が座屈計算上のスナッパ全長（＝ピン間距離）の中央に位置する構造である。ピン間距離の中央に最弱部が位置すると、理論値と試験値との差異が大きくなる傾向が確認された。このように、最弱部（ピストンロッドのターンバックル付近）が中央に位置するものは理論値の 倍、端に位置するものは理論値の 倍を座屈の限界耐力とした。

なお、座屈耐力を決定する構造上の特徴は、スナッパのどの型式においても同様（受荷重面は円筒もしくは円柱断面であり、軸荷重のみを支持する棒形状）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となることが考えられ、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手法が適用可能であるものと考えられる。

表 4-24 計算座屈荷重と試験

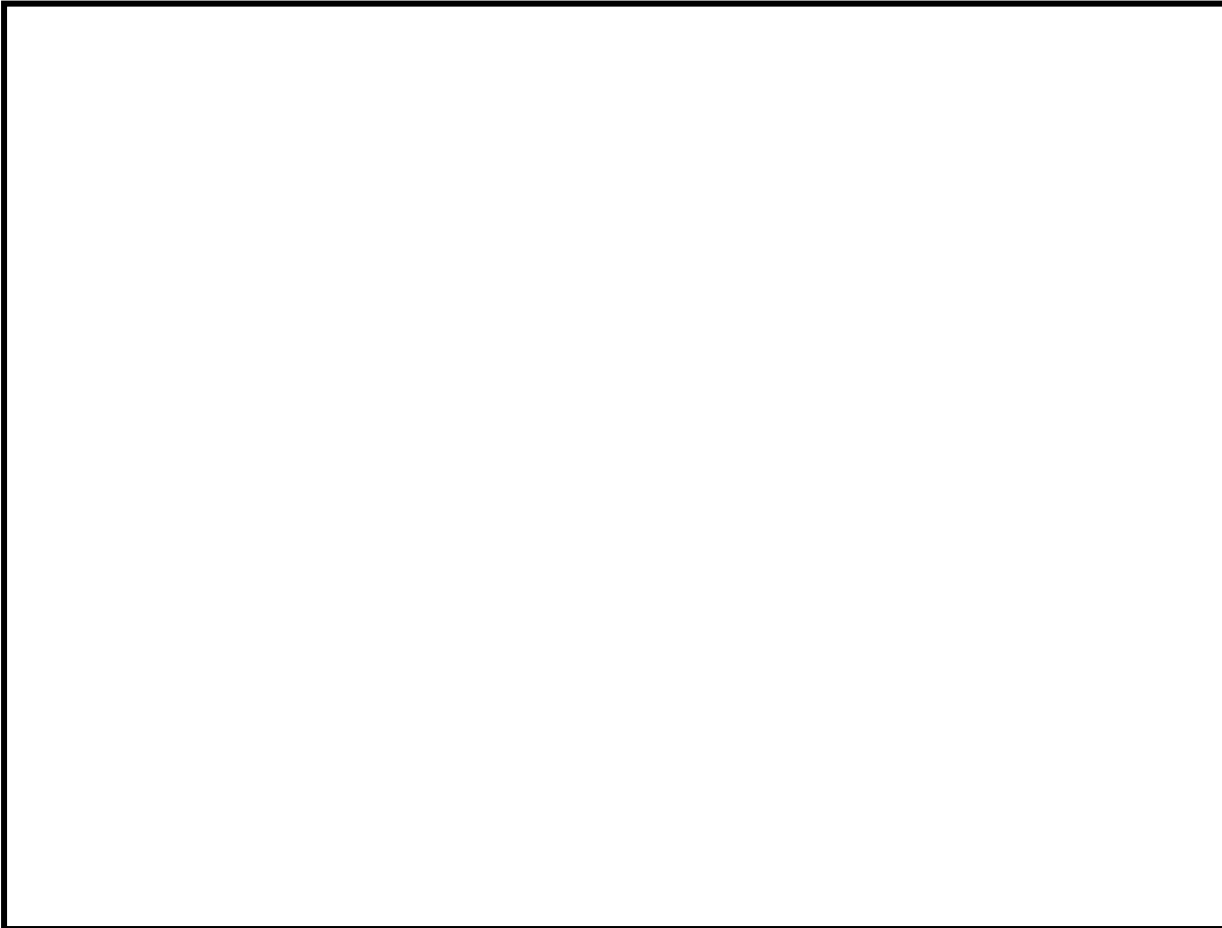


図 4-8 本試験及び過去データによる座屈耐力に関する試験値と理論値の整理

(3) 想定していなかった部位が破損ないし機能喪失したもの

a. 共通部位

(a) つば付き球面軸受の割れ

つば付き球面軸受の割れは、定格荷重 3ton (3kN) の型式 (SMS-3, SHP-3, SN-3) で発生しており、ピンの変形により、球面軸受のつばを起点とした割れが発生している。球面軸受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を表 4-25 に示す。最大負荷荷重に対するピンの実耐力の比は最小のもので、 倍となったことから、球面軸受の限界耐力値は、ピンの限界耐力の 倍として求めることとした。

表 4-25 つば付き球面軸受の実耐力と最大負荷荷重

--

--

b. メカニカルスナップ

(a) ベ어링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어링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어링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表 4-26 のとおりである。

表 4-26 ベ어링押え板の実耐力と破壊荷重



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 倍以上の耐力である。したがって、ベ어링押え板の限界耐力値は周辺固定条件の円板のベ어링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어링押え板の限界耐力値及び耐力評価式を示す。



(b) 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 メカニカルスナップ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もと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。

表 4.2.1.2.9-8 メカニカルスナップのアンギュラー玉軸受のメカ保証値と最大負荷荷重

型式	メーカ保証値(A) (kgf)	最大負荷荷重(B) (kgf)	B/A
SMS-03 ^T			
SMS-1 ^T			
SMS-10 ^T			

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した。

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プ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、メカニカルスナップ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、メカニカルスナップ製造者での確性試験時に、メカニカルスナップ全体に対する試験を実施して妥当性を確認している。メカニカルスナップ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、メカニカルスナップ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。

c. オイルスナップ

(a) シリンダ室からの漏えい

SN 型オイルスナップのシリンダ室を形成するシリンダとロッドカバー、シリンダカバーの接触部はメタルタッチであり、タイロッドの締付力によりシール性を保持している。スナップに引張荷重が作用することによりタイロッドが伸び、その結果メタルタッチ部の押えが効かなくなり、内部ではオイルリークが生じ、一定値以上の荷重が支持できなくなる事象が確認された。タイロッドが伸ばされる方向である引張方向の最大負荷荷重と、タイロッド締付力（軸力）の比較を表 4-27 に示す。表 4-27 の結果から、SN 型のシール性（タイロッド引張）の限界耐力はタイロッドのボルト部締付力の 倍として求めることとした。

表 4-27 タイロッド締付力と引張方向最大負荷荷重

--

4.5.2 破壊試験の再現性

再現性を確認するための各型式における定格容量 3ton(30kN)の試験体 3 体に対する試験では、以下の結果を確認した。

(1) SMS 型メカニカルスナップ

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) はスナップ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 [] kgf, [] kgf 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 [] kgf 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 [] kgf 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。

(2) SHP 型オイルスナップ

ターンバックル部を微調整することでスナップのピン間長さを変えて試験を実施した。標準寸法である供試体 No. 3-1 は [] kgf, 標準寸法より 25mm 長くした供試体 No. 3-3 は [] kgf の荷重で座屈し、標準より 25mm 短くした供試体 No. 3-2 は、座屈せず [] kgf で球面軸受が破損した。座屈の損傷挙動を示した供試体 No. 3-1, 3-3 の座屈損傷箇所については、いずれもターンバックルとピストンロッド間を起点としていることが確認され、ほぼ再現性を有すると考えられる。

(3) SN 型オイルスナップ

いずれも球面軸受が破損しており、供試体 No. 3-1 は [] kgf, 供試体 No. 3-2 は [] kgf, 供試体 No. 3-3 は [] kgf であり、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。スナップ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3-1フロー（11））

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4-28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、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に電共研における発生応力及び許容応力の計算式として示す。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、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、スナッパの構造部材の強度評価及び機能評価を行う。

表4-28 スナッパの機能喪失要因の影響確認方法

種類	要求機能	機能喪失要因	影響確認手法	対象
メカニカル スナッパ	地震時の 支持機能	構造部材損傷	構造強度評価	構造部材
		スナッパ座屈	座屈強度評価	全体
		機能部品機能喪失	振動試験	機能部品
			構造強度評価	ボールねじ
	地震後の 作動と性能	ブレーキ機能喪失	振動試験	ブレーキ機構を 構成する機能部品
		構造部材変形	構造強度評価	構造部材
			リリース機能喪失	低速走行試験
オイル スナッパ	地震時の 支持機能	構造部材損傷	構造強度評価	構造部材
		スナッパ座屈	座屈強度評価	全体
		機能部品機能喪失	振動試験	機能部品
		シール性喪失	構造強度評価	シール性に 係る構造部材
	地震後の 作動と性能	構造部材変形	構造強度評価	構造部材
		リリース機能喪失	低速走行試験	リリース機構を 構成する機能部品

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 4-29 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 4-29 確性試験と電共研の試験条件の比較

比較項目	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 秒程度
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)

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 4-11～表 4-13 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 4-14～表 4-16 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。したがって、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 としていることなどから、9Hz という加振振動数は妥当であると考ええる。

- ・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

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、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。したがって、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 4-11～表 4-13 に示す値であること

表 4-11～表 4-13 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、島根原子力発電所第2号機におけるスナッパ設計要求値と同じ値である。したがって、表 4-11～表 4-13 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

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、島根原子力発電所第2号機において想定される配管の移動速度(10^{-3} ～ 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。したがって、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 4-14～表 4-16 に示す値であること

表 4-14～表 4-16 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、島根原子力発電所第2号機における設計要求値と同じ値である。したがって、表 4-14～表 4-16 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、島根原子力発電所第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島根原子力発電所第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。

添付-1

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 18 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 及び供試体 No. 3-3 は、球面軸受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 及び供試体 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
SHP-03	03-1	3	20.0	17.4
SHP-3	3-1	30	69.3	78.4
SHP-3	3-2	30	106.6	122.2
SHP-3	3-3	30	73.1	90.1
SHP-16	16-1	160	388.2	523.1
SN-03	03-1	3	20.3	53.4
SN-3	3-1	30	91.0	129.2
SN-3	3-2	30	93.4	127.0
SN-3	3-3	30	89.3	109.7
SN-6	6-1	60	144.1	235.3
SN-16	16-1	160	409.1	510.7

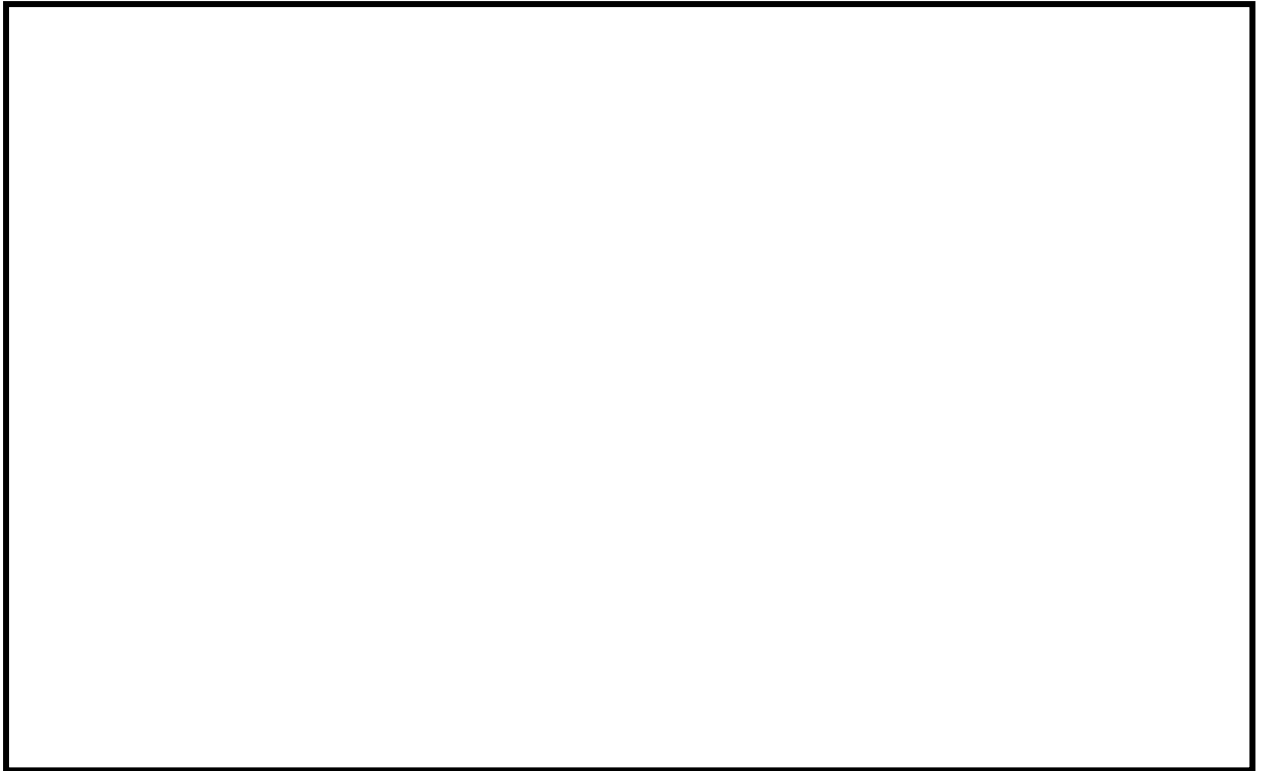


図1 SMS型メカニカルスナップ 供試体 No. 03-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

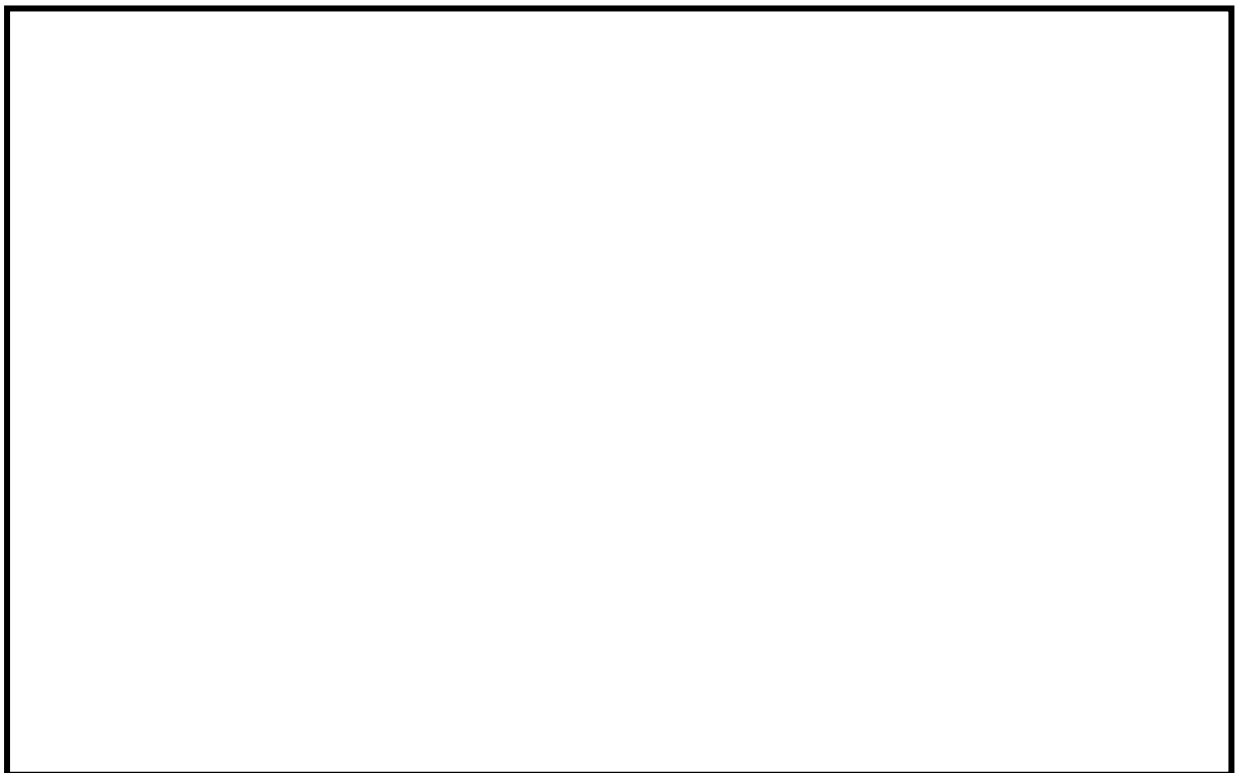


図2 SMS型メカニカルスナップ 供試体 No. 1-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

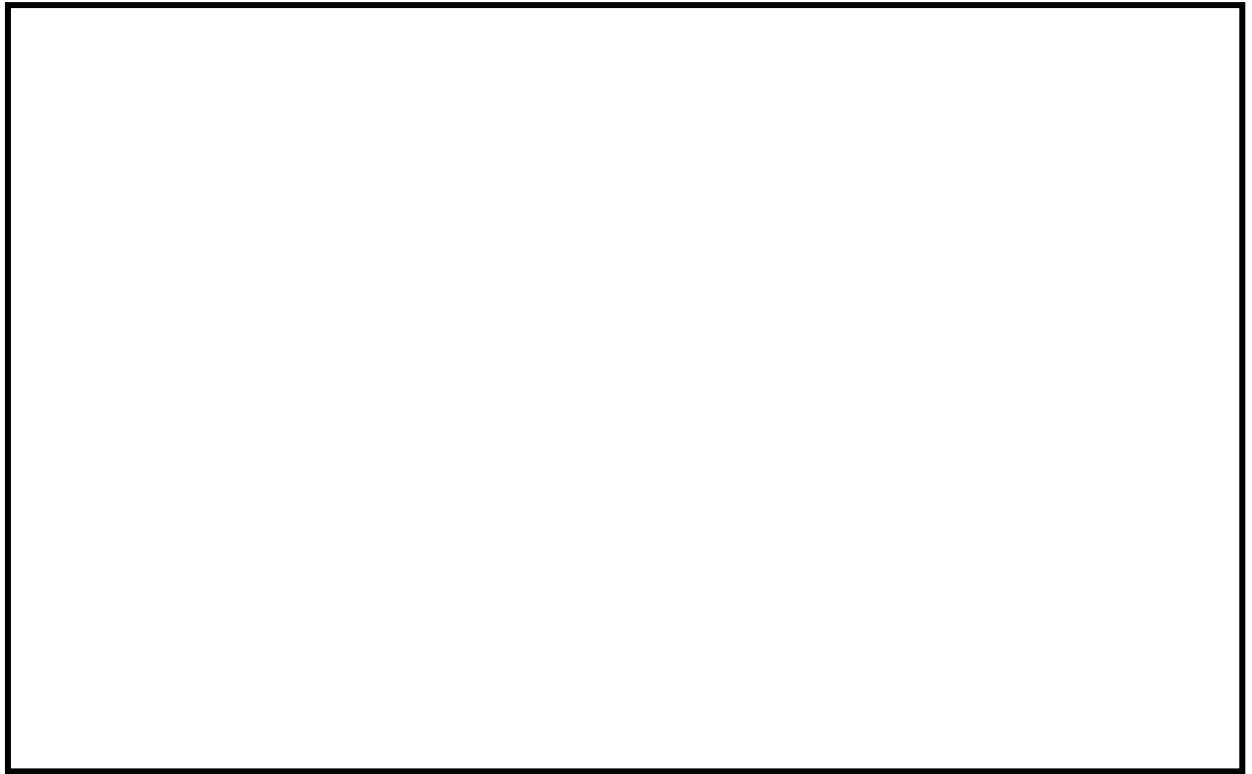


図 3 SMS 型メカニカルスナップ 供試体 No. 3-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

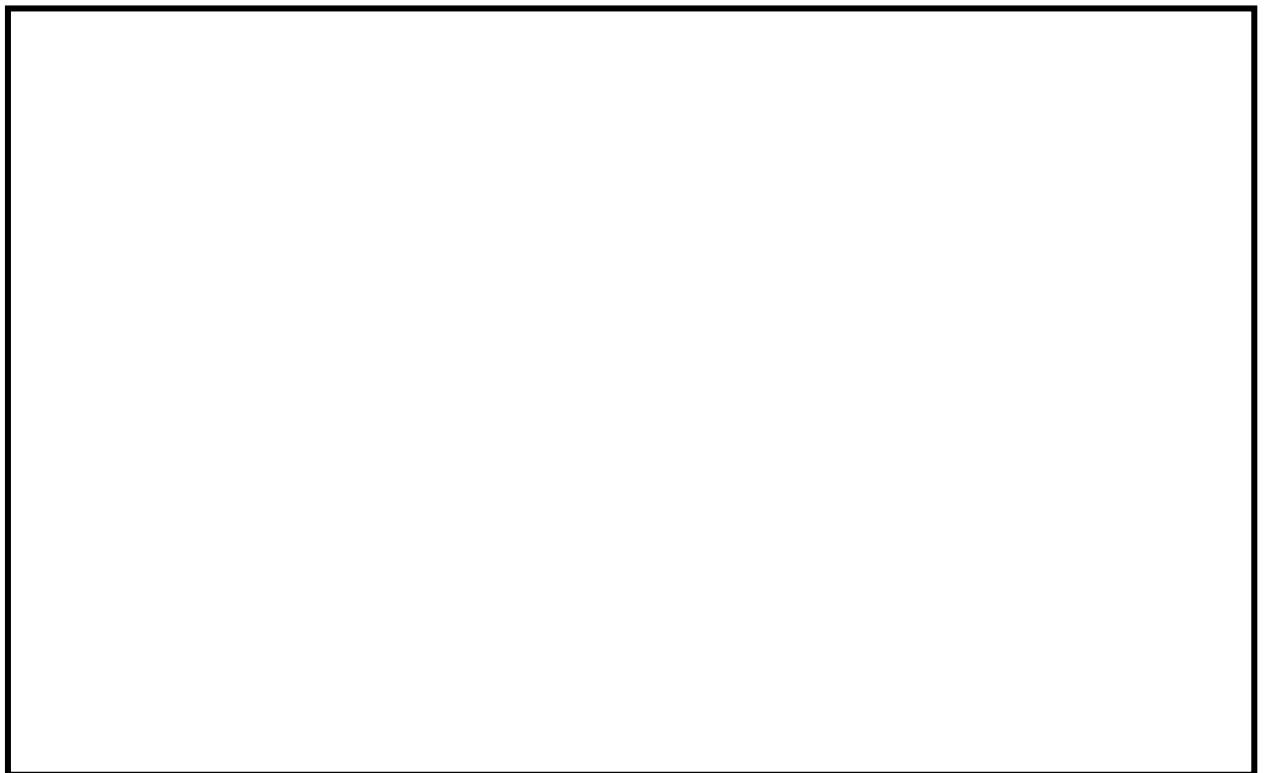


図 4 SMS 型メカニカルスナップ 供試体 No. 3-2 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

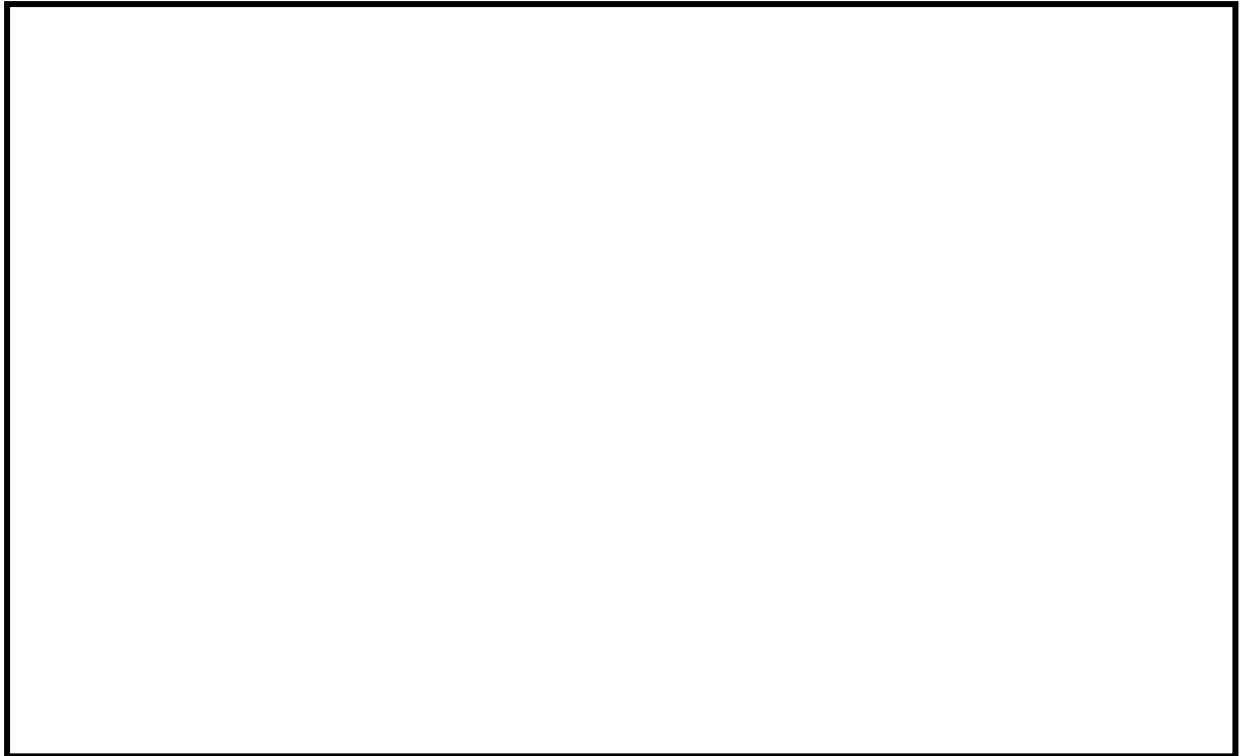


図 5 SMS 型メカニカルスナップ 供試体 No. 3-3 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

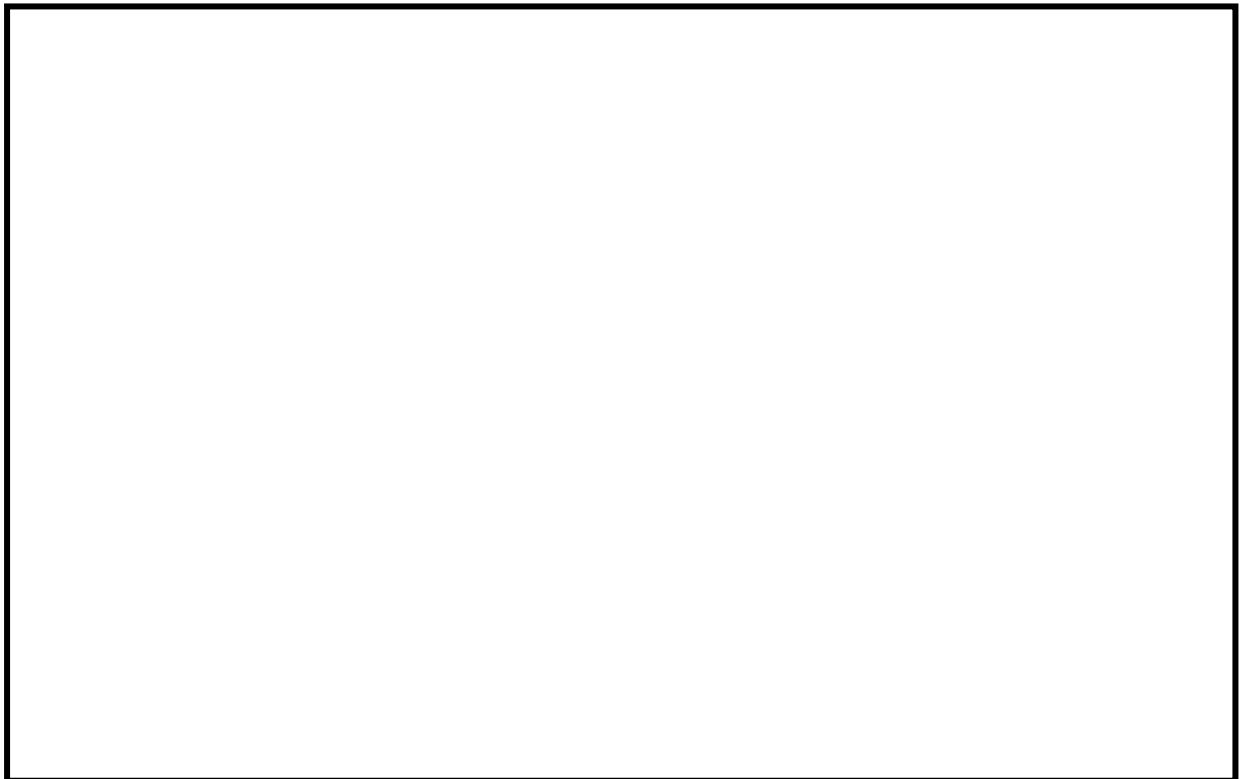


図 6 SMS 型メカニカルスナップ 供試体 No. 6-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形



図7 SMS型メカニカルスナッパ 供試体 No. 10-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

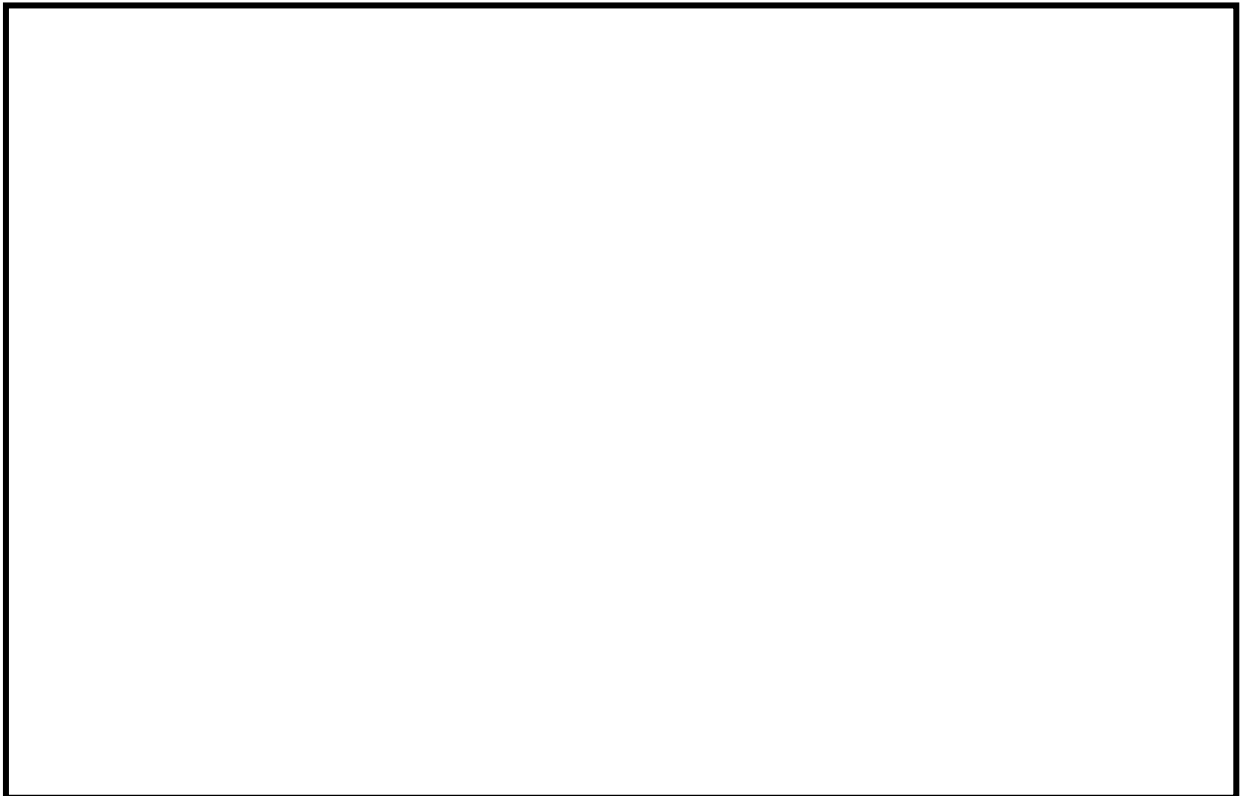


図8 SHP型オイルスナッパ 供試体 No. 03-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

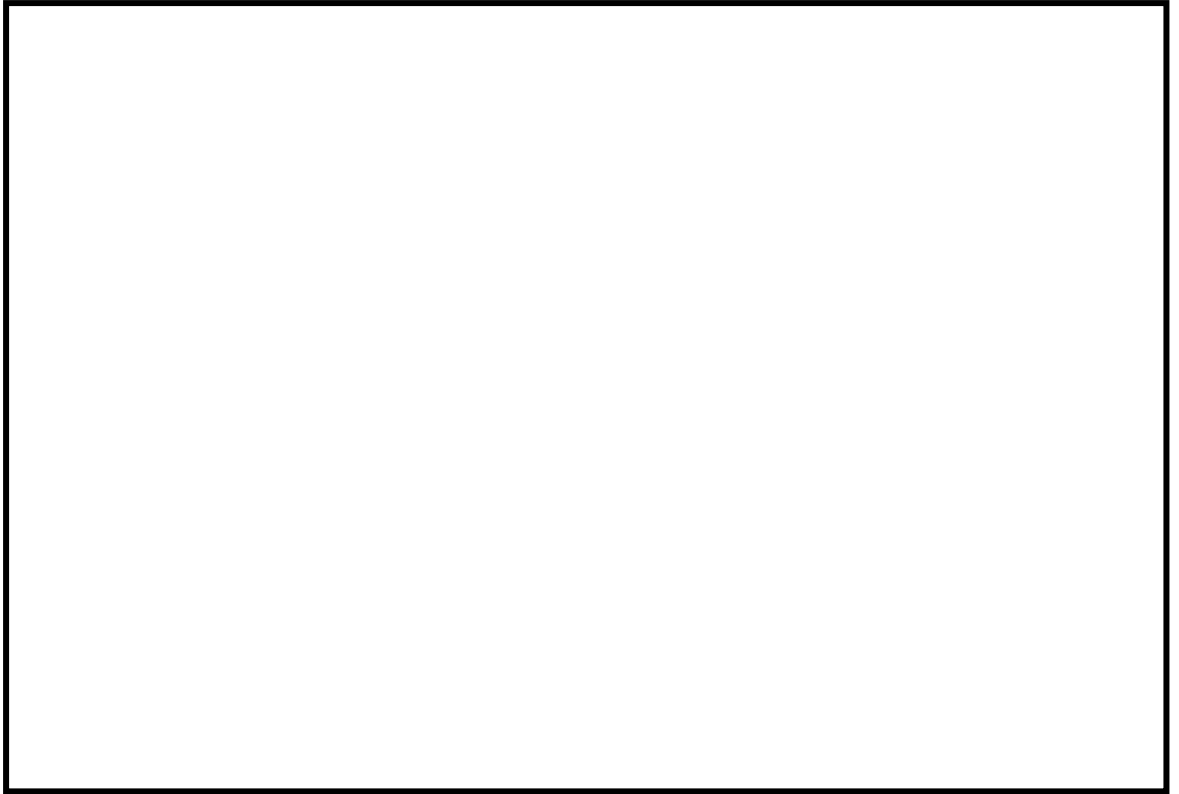


図9 SHP型オイルスナックバ 供試体 No. 3-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

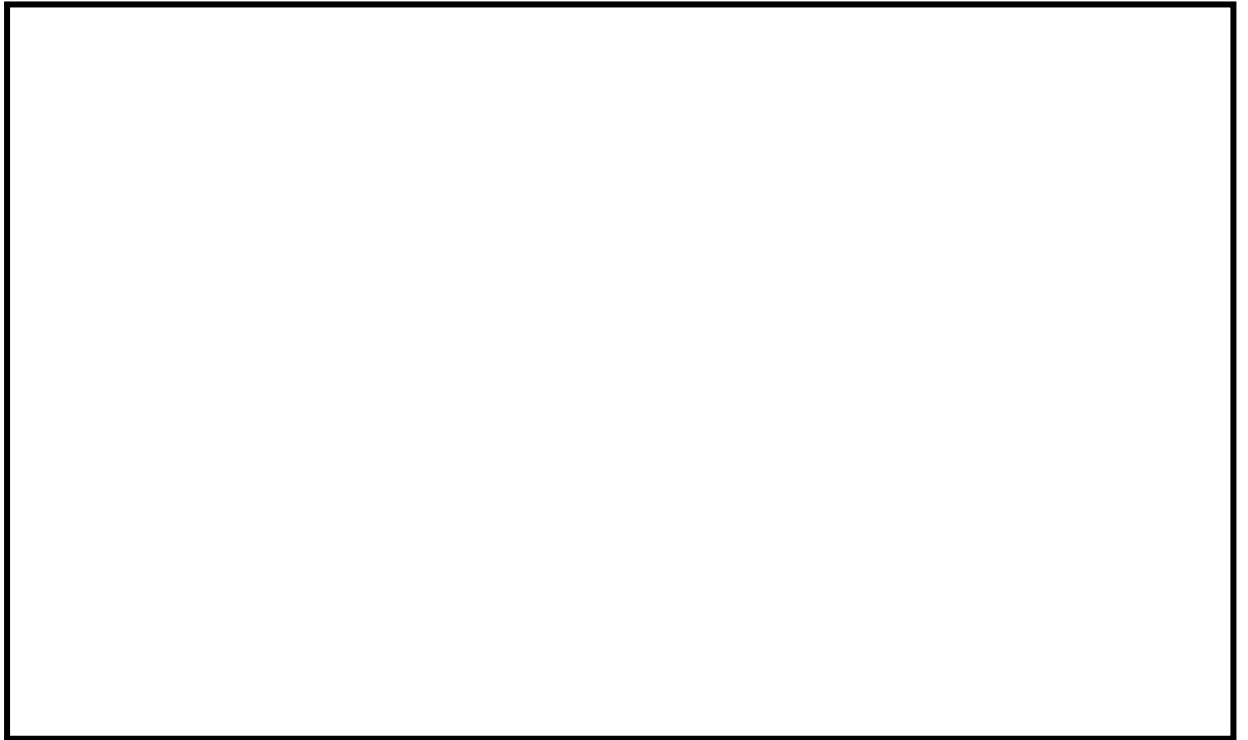


図10 SHP型オイルスナックバ 供試体 No. 3-2 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

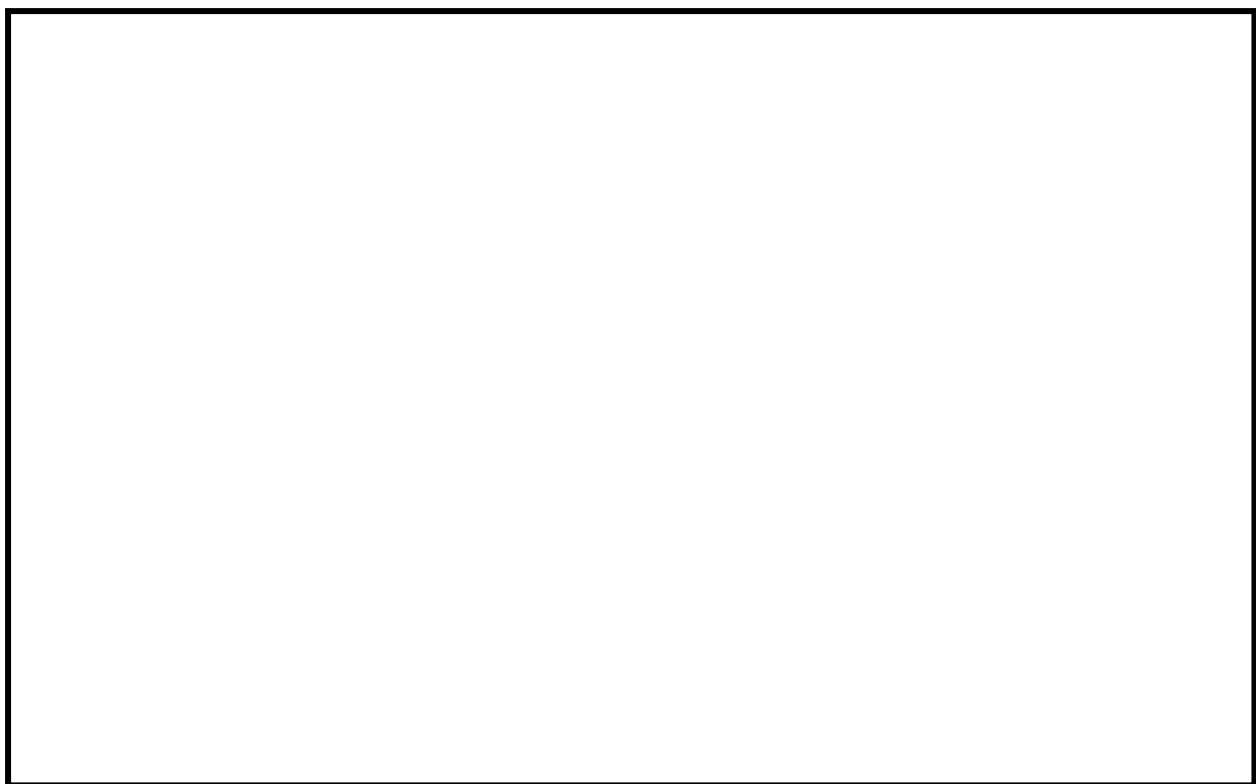


図 11 SHP 型オイルスナックバ 供試体 No. 3-3 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

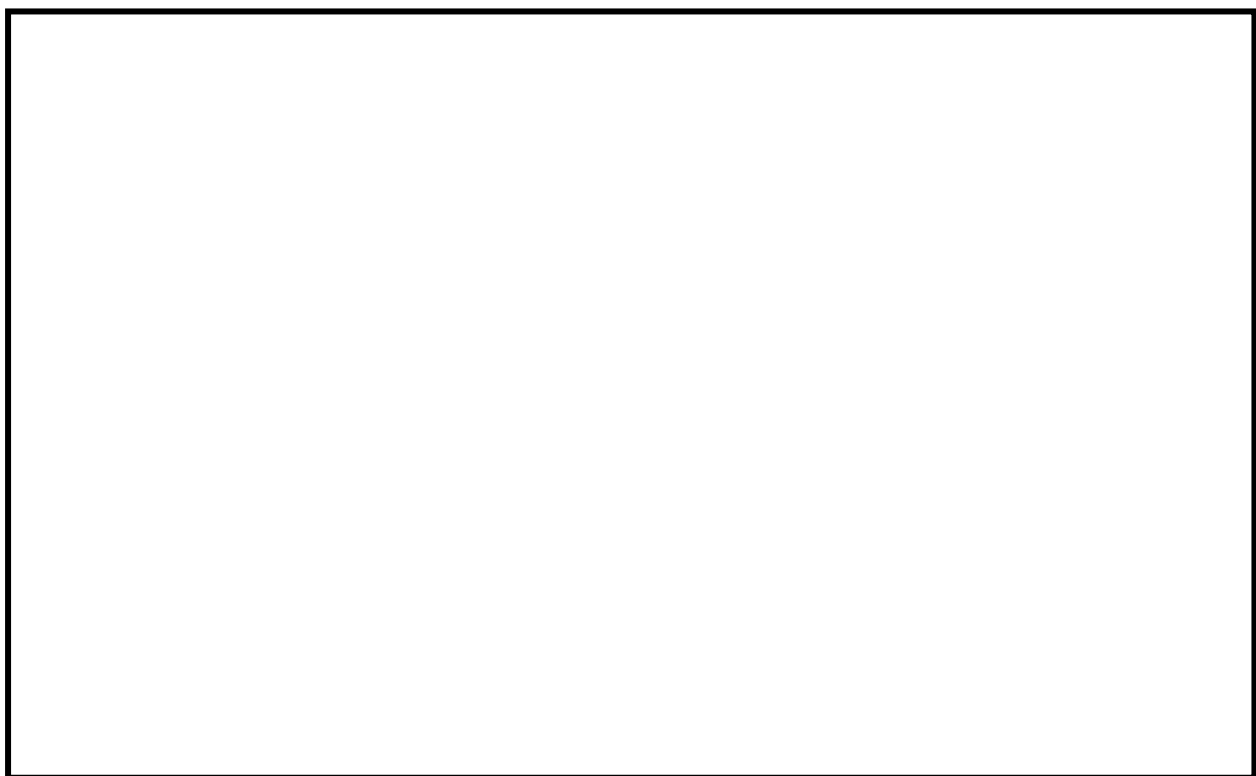


図 12 SHP 型オイルスナックバ 供試体 No. 16-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

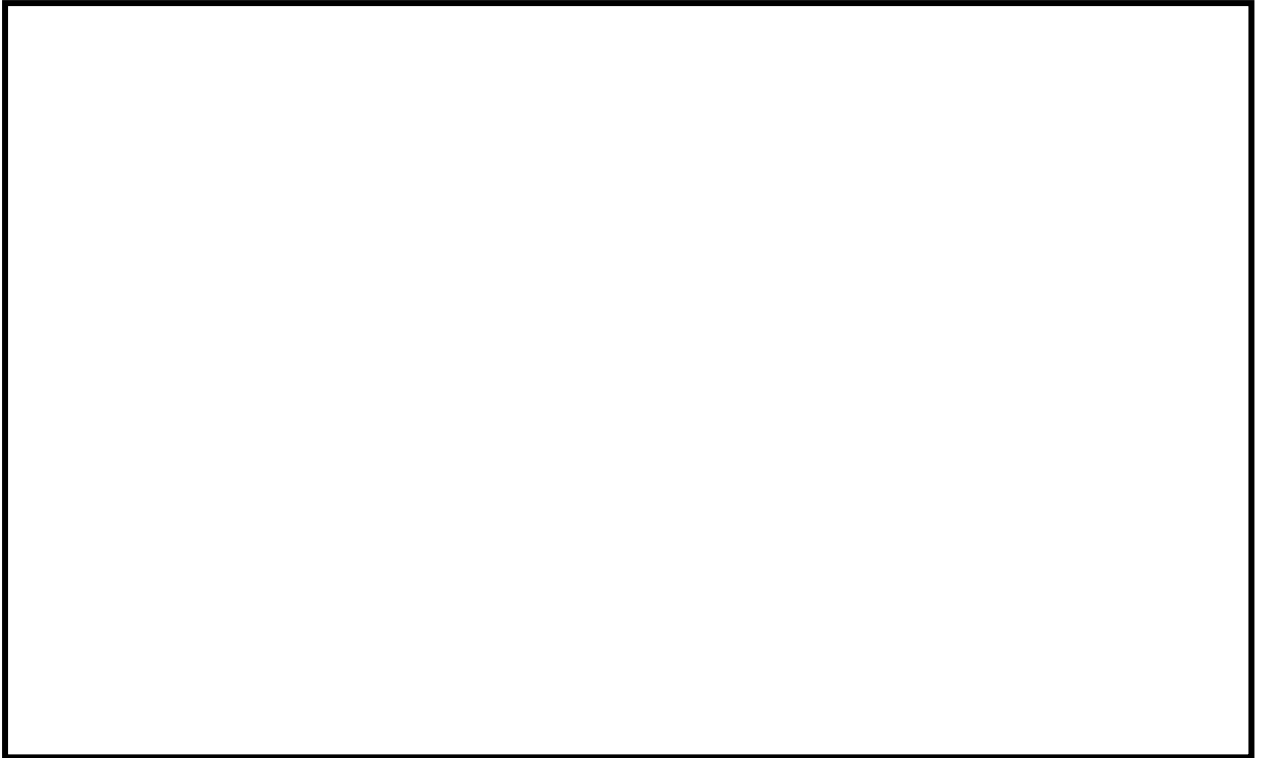


図 13 SN 型オイルスナップ 供試体 No. 03-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

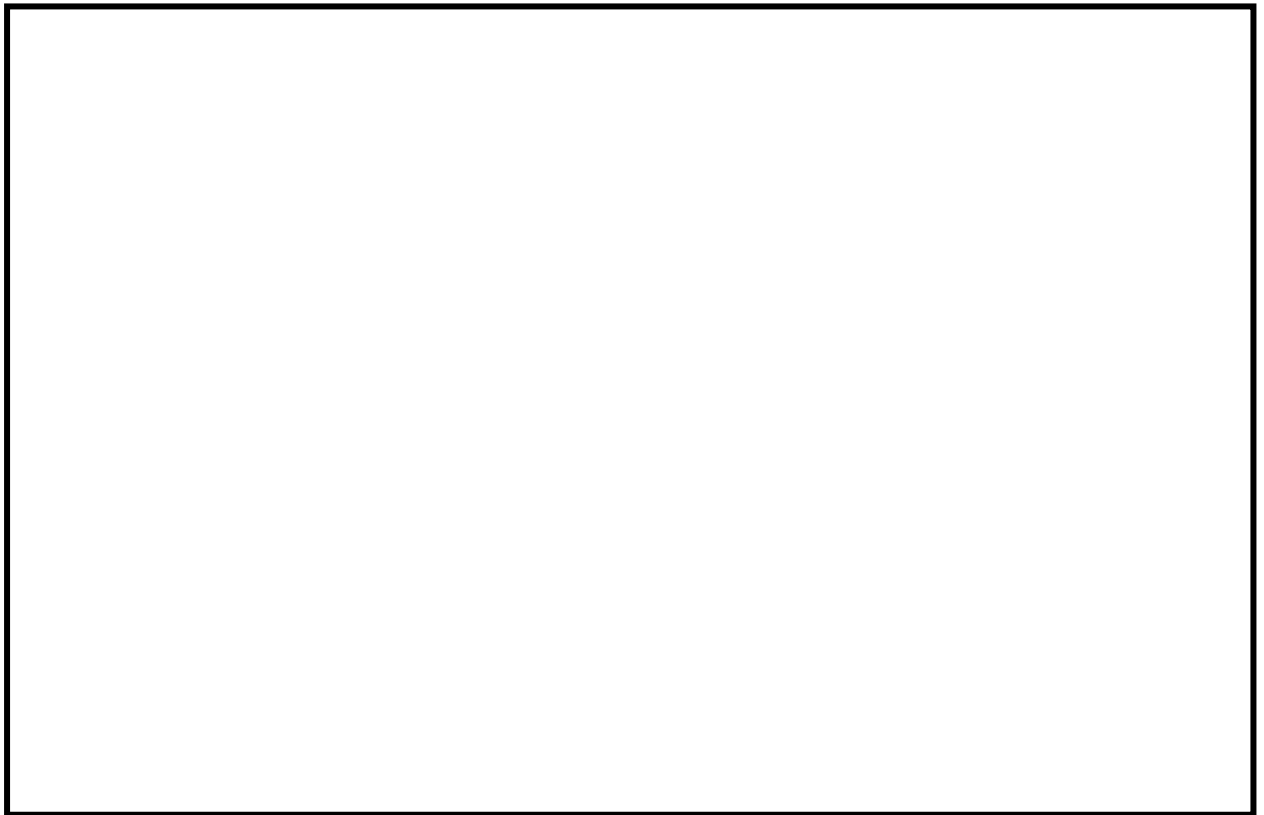


図 14 SN 型オイルスナップ 供試体 No. 3-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

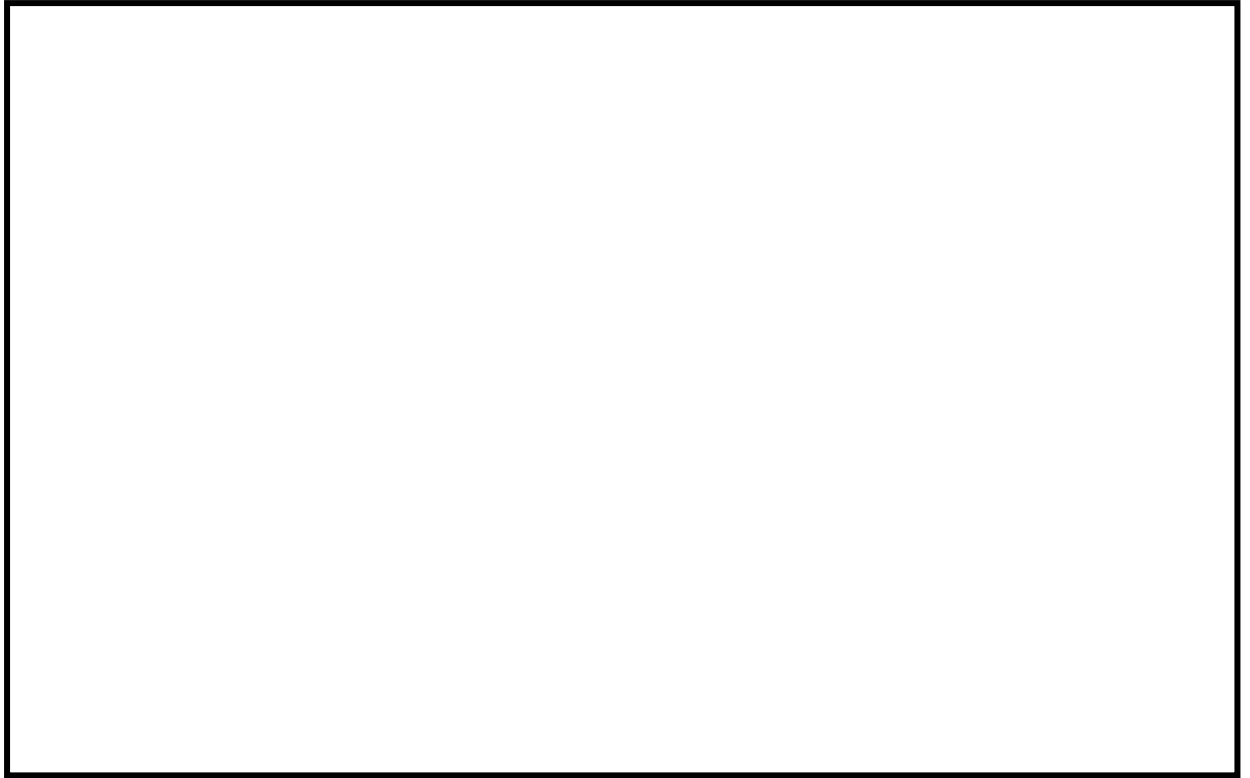


図 15 SN 型オイルスナップ 供試体 No. 3-2 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

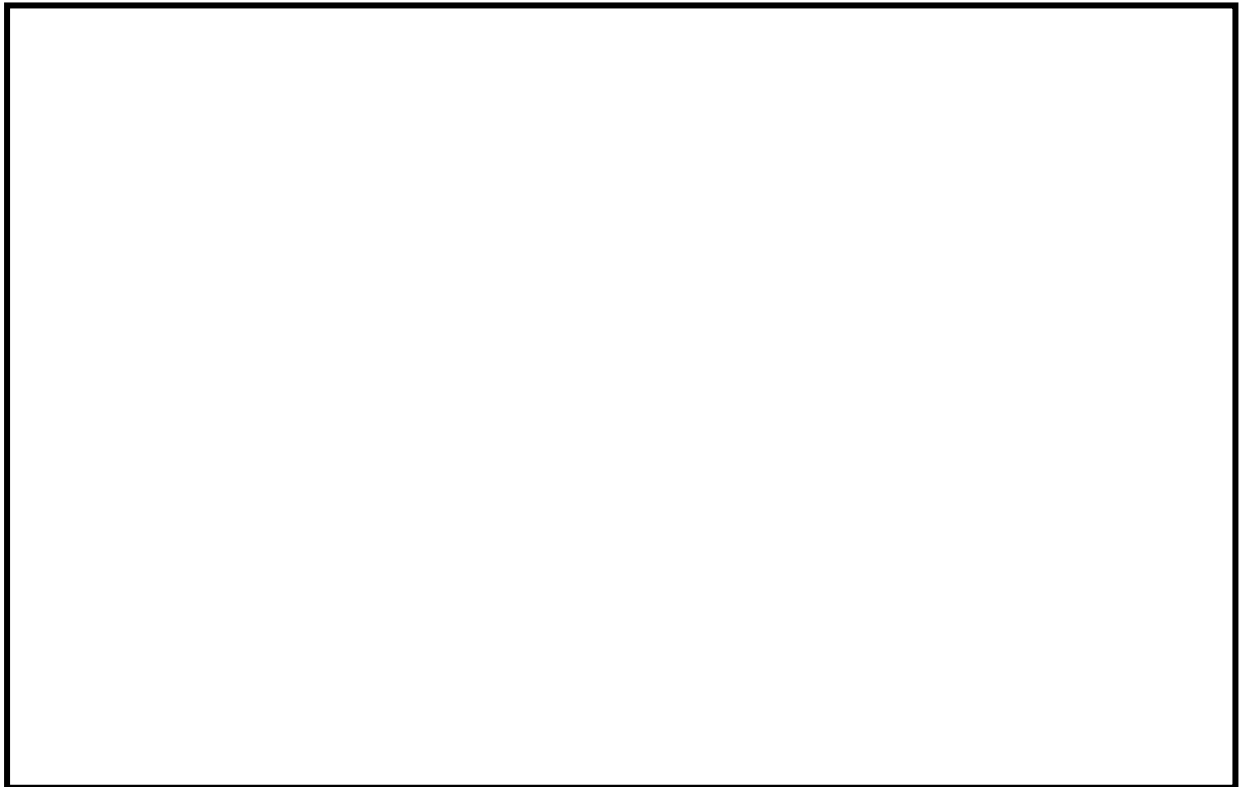


図 16 SN 型オイルスナップ 供試体 No. 3-3 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

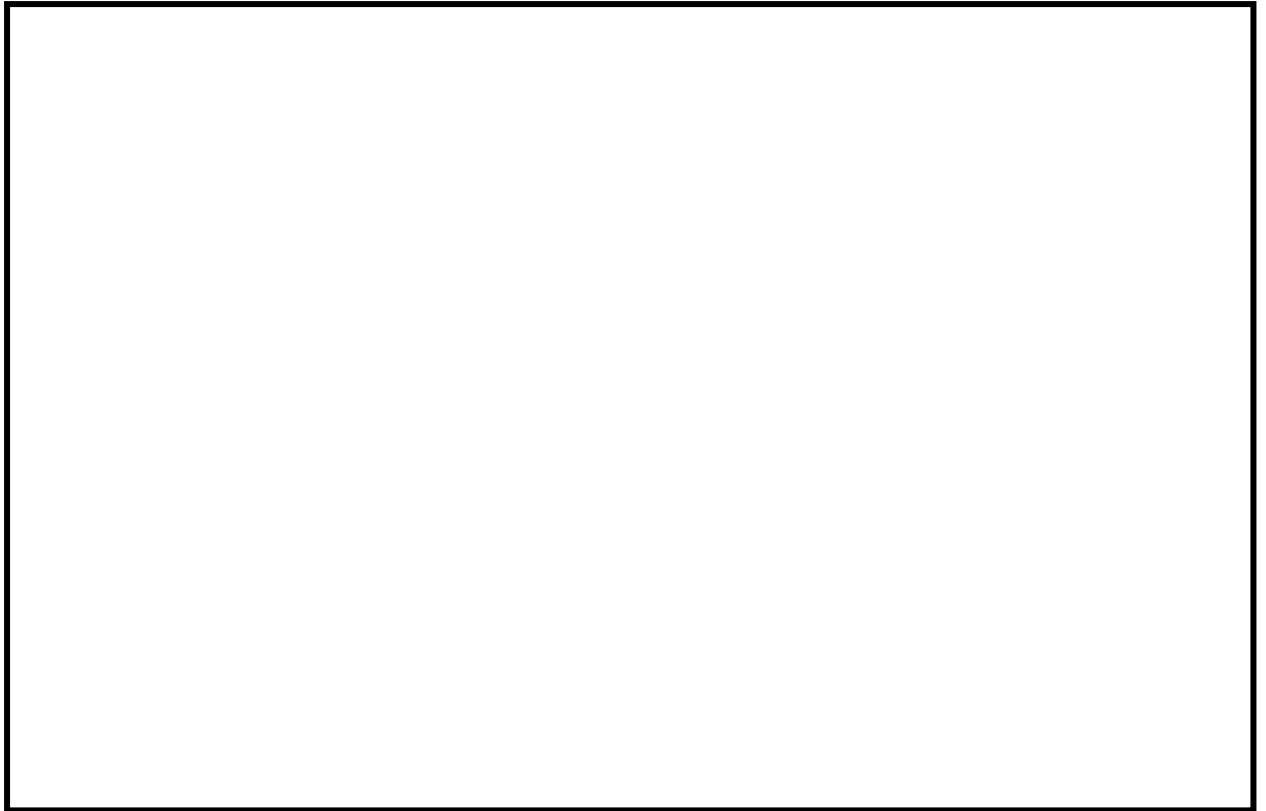


図 17 SN 型オイルスナップ 供試体 No. 6-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

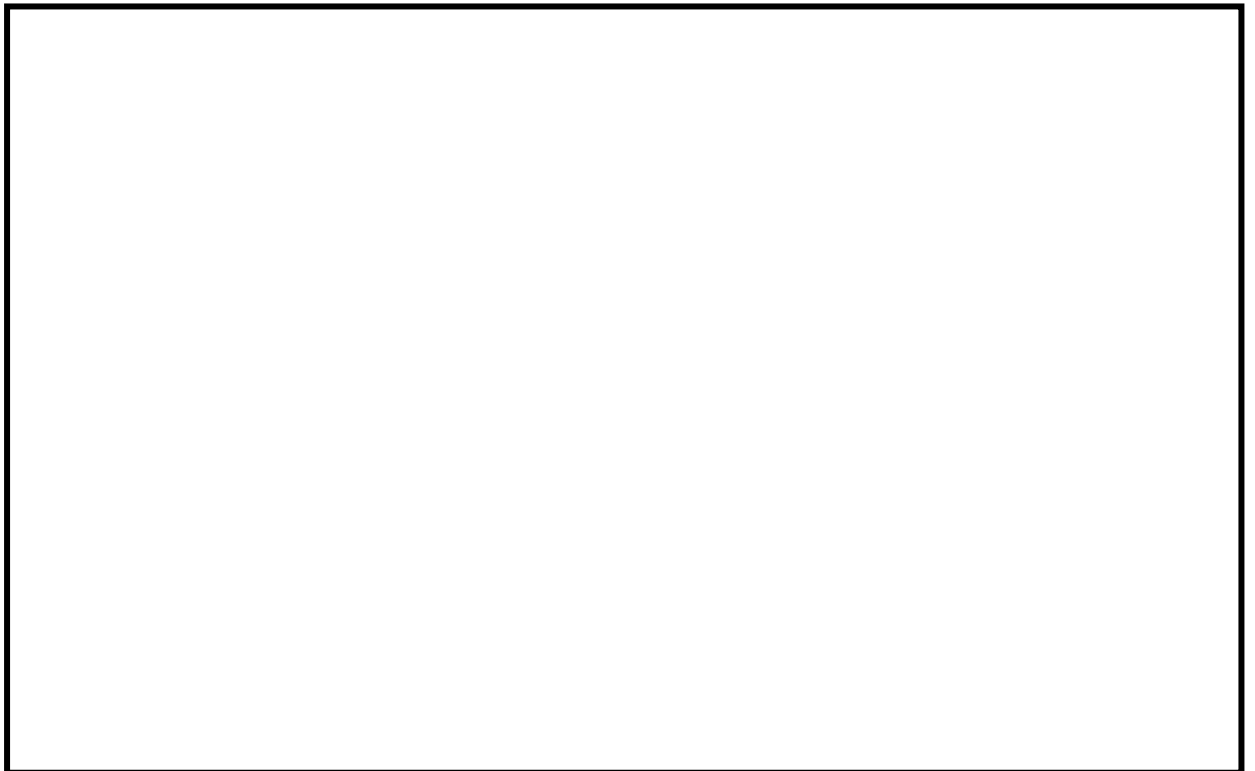


図 18 SN 型オイルスナップ 供試体 No. 16-1 の振動試験における時刻歴波形及び荷重波形

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、その試験結果を基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、原則として表1の耐力確認荷重のいずれか小さい方の荷重とするが、SMS型メカニカルスナップについては、添付-3の考え方に従い、表1の耐力確認荷重の引張り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すべての型式について、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、スナップ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及び許容応力の計算式から各部位の限界耐力値を求めた上で、スナップ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	定格荷重 (kN)	耐力確認荷重 (kN)	限界耐力値 (kN)	最小裕度部位	最小裕度部品の分類	限界耐力値／定格荷重	耐力確認荷重／限界耐力値
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材	19.00	—
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-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	—
SMS-60	600	—	1353.3	ダイレクトアタッチブラケット	構造部材	2.25	—

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	定格荷重 (kN)	耐力確認荷重 (kN)	限界耐力値 (kN)	最小裕度部位	最小裕度部品の分類	限界耐力値／定格荷重	耐力確認荷重／限界耐力値
SHP-03	3	17.4	5.3	全長座屈	構造部材	1.76	3.28
SHP-06	6	—	14.1	全長座屈	構造部材	2.35	—
SHP-1	10	—	22.7	全長座屈	構造部材	2.27	—
SHP-3	30	78.4	50.8	全長座屈	構造部材	1.69	1.54
SHP-6	60	—	141.8	全長座屈	構造部材	2.36	—
SHP-10	100	—	196.1	全長座屈	構造部材	1.96	—
SHP-16	160	523.1	318.7	全長座屈	構造部材	1.99	1.64
SHP-25	250	—	514.8	ターンバックル	構造部材	2.05	—
SHP-40	400	—	941.4	シール性	機能部品	2.35	—
SHP-60	600	—	1353.3	シール性	機能部品	2.25	—
SN-03	3	53.4	9.1	全長座屈	構造部材	3.03	5.86
SN-06	6	—	16.4	全長座屈	構造部材	2.73	—
SN-1	10	—	26.2	全長座屈	構造部材	2.62	—
SN-3	30	109.7	70.6	全長座屈	構造部材	2.35	1.55
SN-6	60	144.1	125.5	タイロッド (シール性)	機能部品	2.09	1.14
SN-10	100	—	205.9	ジャンクションコラムアダプタ	構造部材	2.05	—
SN-16	160	409.1	321.6	タイロッド (シール性)	機能部品	2.01	1.27
SN-25	250	—	465.8	ダイレクトイーヤ	構造部材	1.86	—

スナップの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。

スナップは構造上の特徴から引張方向と圧縮方向で剛性が異なるため、変位振幅制御による振動試験では、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傾向が確認されている。これに対し、スナップの構成部材への荷重伝達が引張方向と圧縮方向で等しい場合、試験で確認された引張側及び圧縮側の発生荷重のいずれに対しても機能維持されるものとの判断ができるため、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。

メカニカルスナップについては、引張又は圧縮の軸方向荷重を回転運動に変換する構造上の特徴から引張方向と圧縮方向で荷重伝達経路は、基本的に同一である。しかしながら、メカニカルスナップの最小裕度部位のうちコネクティングチューブは、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構成部材であるが、当該部品においても引張側と圧縮側のうち大きい荷重（＝圧縮荷重）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。

前述の通り、変位振幅制御による加振試験では、圧縮側の発生荷重が大きく測定される。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い。ここでは引張側破損荷重を 30kN、圧縮側破損荷重を 25kN として説明する。（図 1 及び図 2 参照）

図 1 と図 2 は振動試験の荷重データを示したものであり、図 1 が破損前の試験ケース、図 2 が破損ケースを示したものである。図 1 のケースの試験負荷荷重は圧縮側で 23kN、引張側で 18kN となり、機能維持が確認されている。図 2 のケースでは圧縮側荷重がコネクティングチューブの圧縮方向損傷荷重である 25kN に達し、破損が確認されたため、破損前のケースとなる図 1 の試験荷重が耐力確認荷重の採用対象ケースとなり、耐力確認荷重は圧縮側を採用し、23kN となる。この耐力確認荷重 23kN は実際に破損する圧縮側破損荷重 25kN 及び引張側破損荷重 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試験負荷荷重である 23kN を採用することで問題ない。

一方で、オイルスナップについては、構造上の特徴から引張方向と圧縮方向で荷重伝達経路が異なる構成部材が一部に含まれることから、引張側と圧縮側のいずれか小さい方を採用することとする。

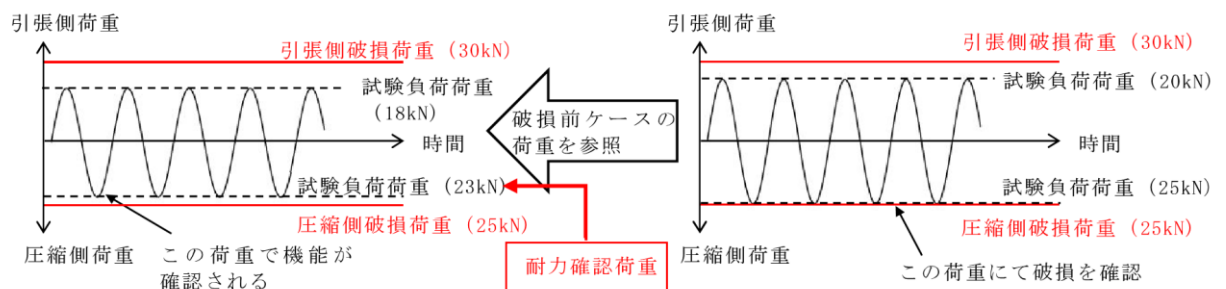


図 1 振動試験の荷重波形 (破損前の試験ケース, 機能確保)

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^{*1}型) (1/2)

品番	評価部位	評価項目	電共研計算式		
			発生応力	許容応力	今回工認に係る評価との相違点 ^{*2}
②	ジャンクションコラム				
③	ロードコラム				
④	ピン				
⑤	コネクティングチューブ				
⑥-1	ケース				
⑥-2	ベアリング押さえ				
⑥-3	六角ボルト				

表1 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式(SMS*1型) (2/2)

品番	評価部位	評価項目	電共研計算式		
			発生応力	許容応力	今回工認に係る評価との相違点*2
⑦	イーヤ				
⑧	ユニバーサルボックス				
⑬	ベアリングナット				
⑭	ボールねじ				
⑮	アンギュラー玉軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)		
⑯	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 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いずれか小さい値を採用するか、いずれかの値を採用するか)及び端数処理以外の相違点を記載した。

表2 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式(SHP*¹型) (1/2)









品番	評価部位	評価項目	電共研計算式		
			発生応力	許容応力	今回工認に係る評価との相違点* ²
②	ピストンロッド 				
③	コネクティングパイプ 				
④	ピン 				
⑤	シリンダチューブ 				
⑥	六角ボルト 				
⑧	スヘリカルアイボルト 				
⑩	ターンバックル 				
⑬	タイロッド 				

表 2 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式(SHP*¹型) (2/2)

品番	評価部位	評価項目	電共研計算式		
			発生応力	許容応力	今回工認に係る評価との相違点* ²
⑭	アダプタ				
⑮	ロッドカバー				
⑰	球面軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)		
—	シール性		(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 SHP-3 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いずれか小さい値を採用するか, いずれかの値を採用するか)及び端数処理以外の相違点を記載した。

表3 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式(SN*¹型)(1/2)

品番	評価部位	評価項目	電共研計算式		
			発生応力	許容応力	今回工認に係る評価との相違点* ²
②	ピストンロッド				
③	コネクティングパイプ				
④	ピン				
⑤	シリンダチューブ				
⑥	六角ボルト				
⑦	イーヤ				
⑧	ロッドエンド				

表3 電共研における限界耐力値の設定に係る計算式(SN*1型) (2/2)

品番	評価部位	評価項目	電共研計算式		
			発生応力	許容応力	今回工認に係る評価との相違点*2
⑨	シリンダカバー				
	タイロッド				
	アダプタ				
⑩					
⑪					
⑫	ロッドカバー				
⑬	ホルダ				
⑮	球面軸受		(試験結果をもとに耐力値を設定)		
—	シール性		(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SN-3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。

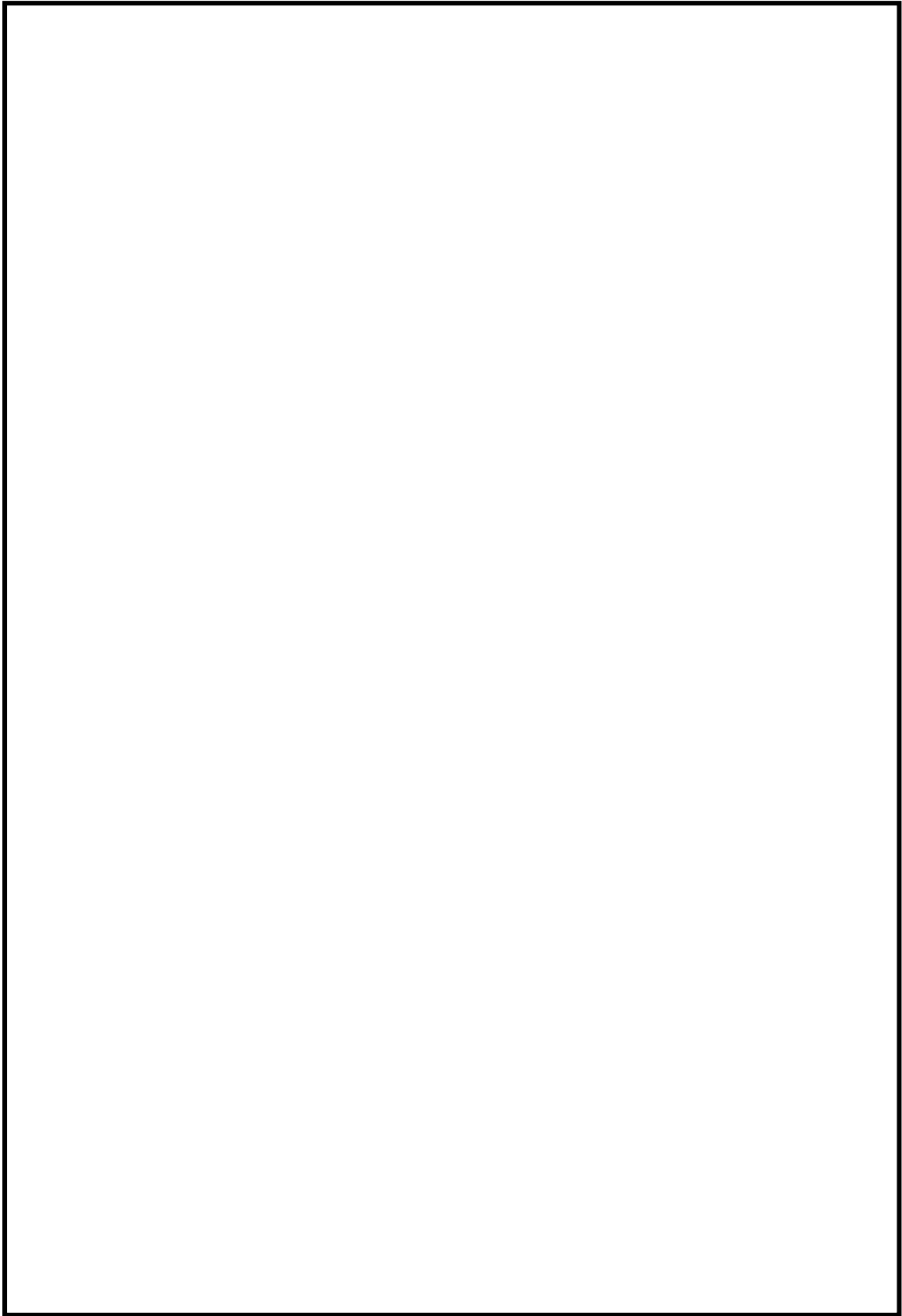
*2：許容値の扱い(降伏点と引張強さのいずれか小さい値を採用するか、いずれかの値を採用するか)及び端数処理以外の相違点を記載した。

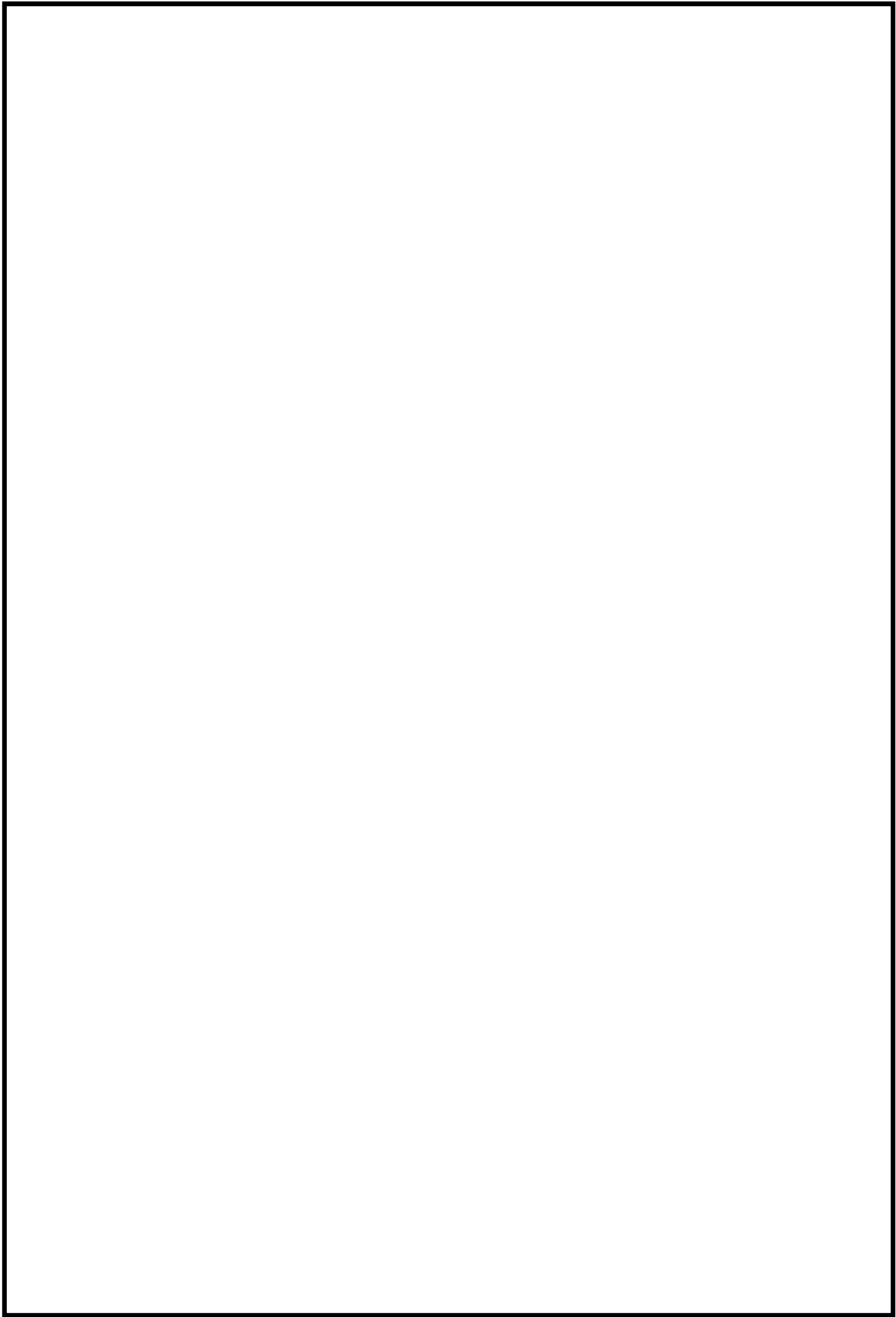
スナッパの J N E S 研究の概要

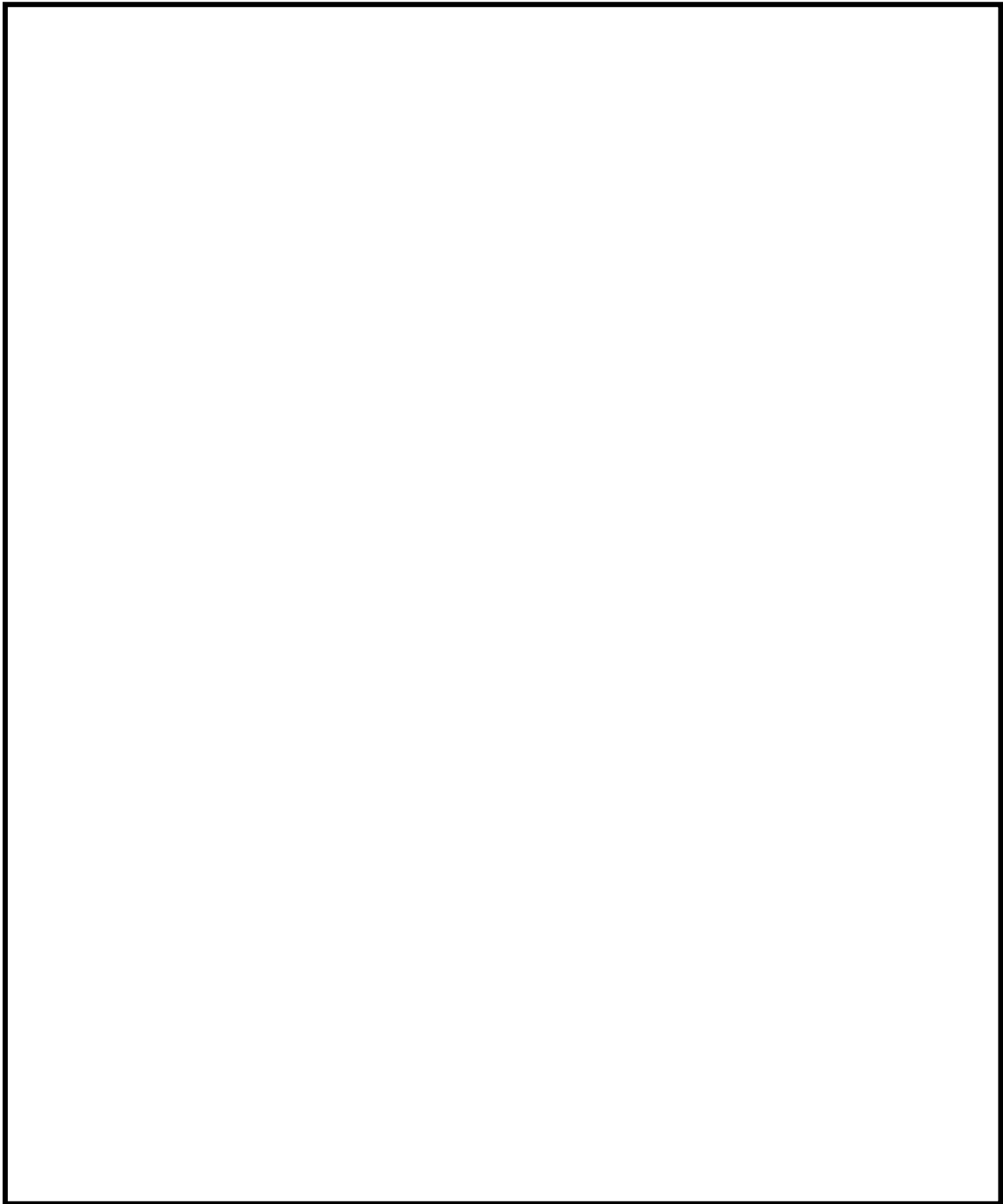
1. はじめに

本資料では、今回工認で参照した既往知見である「J N E S 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「J N E S 研究」という。）の概要について説明する。

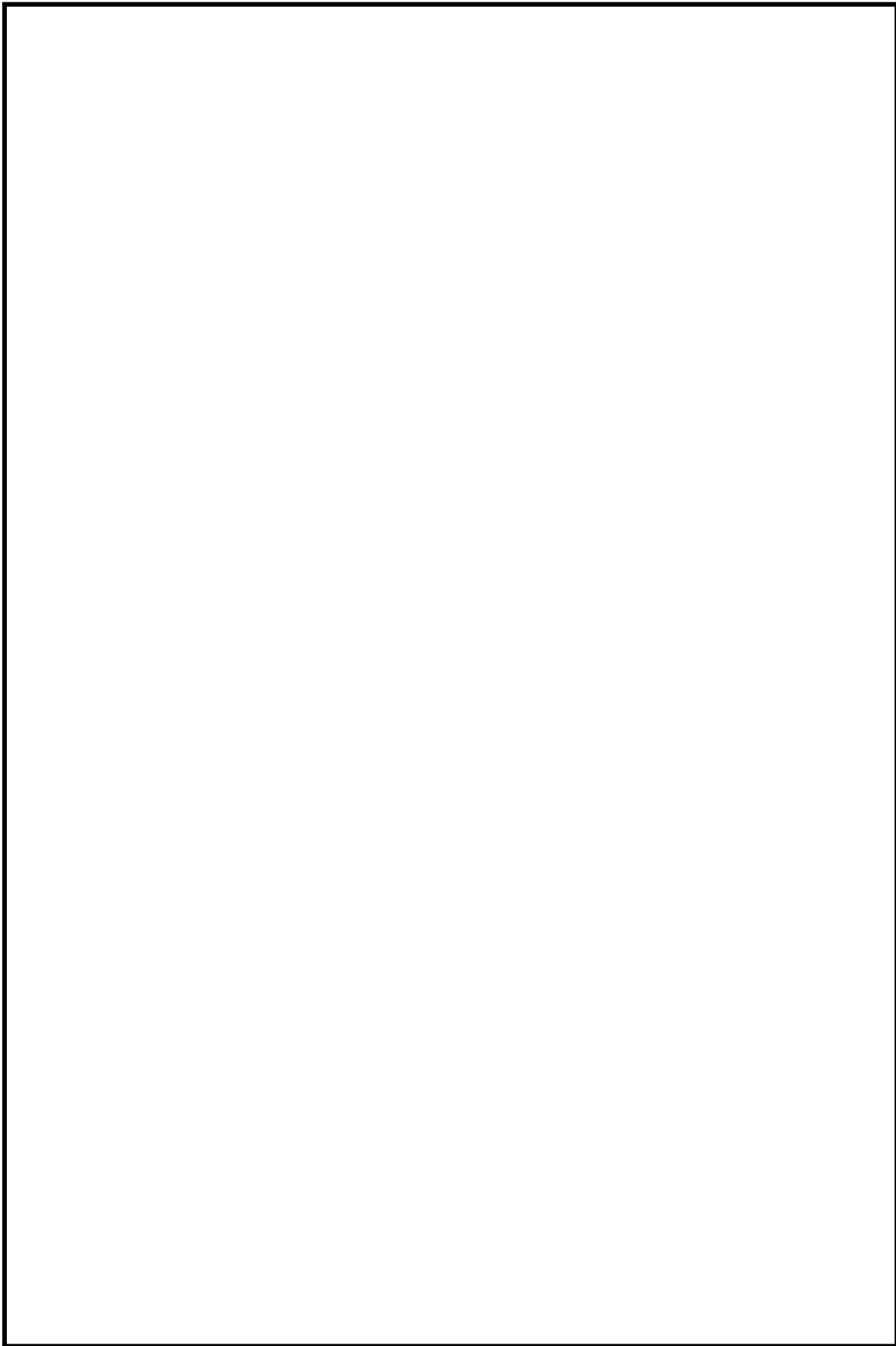


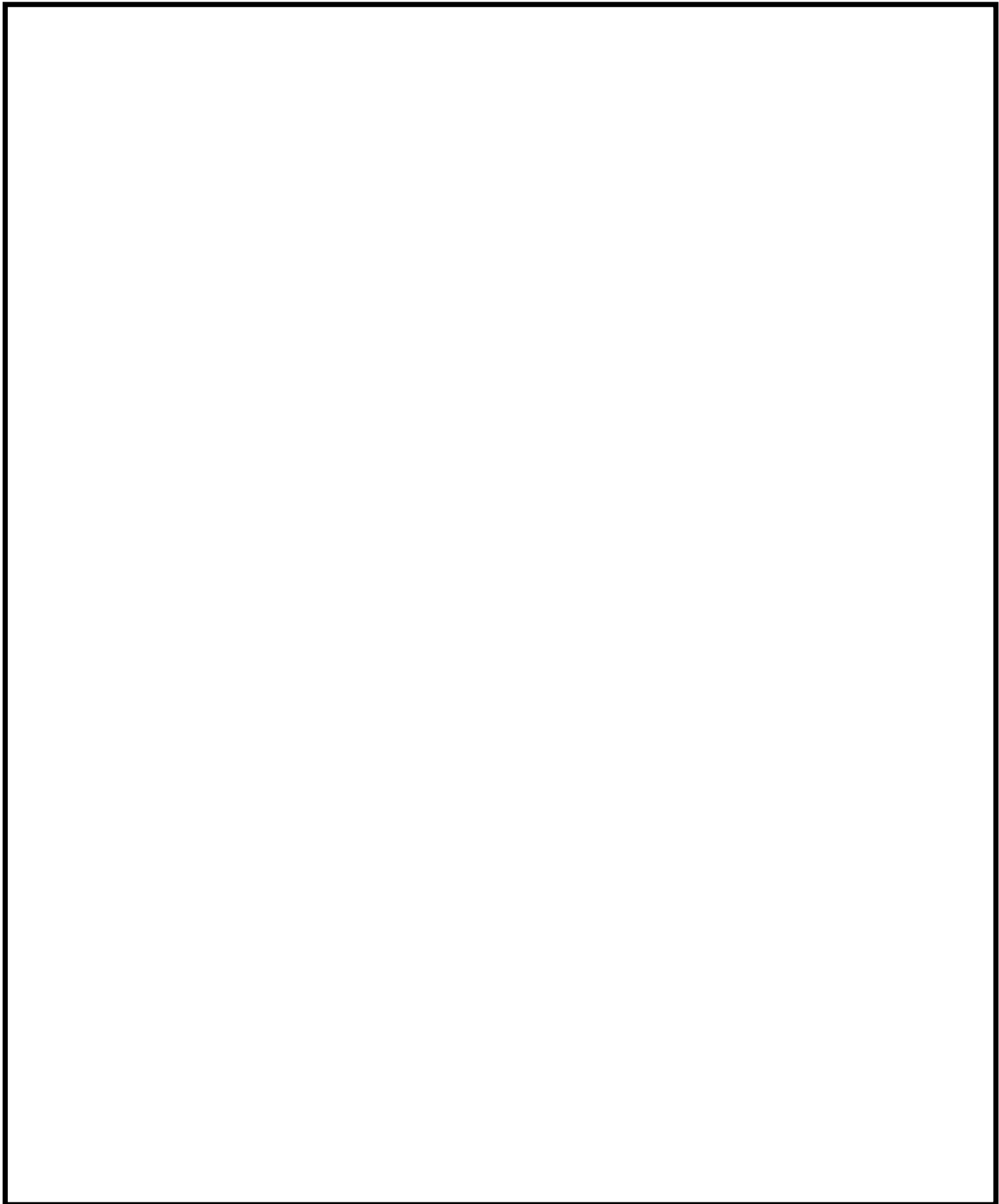


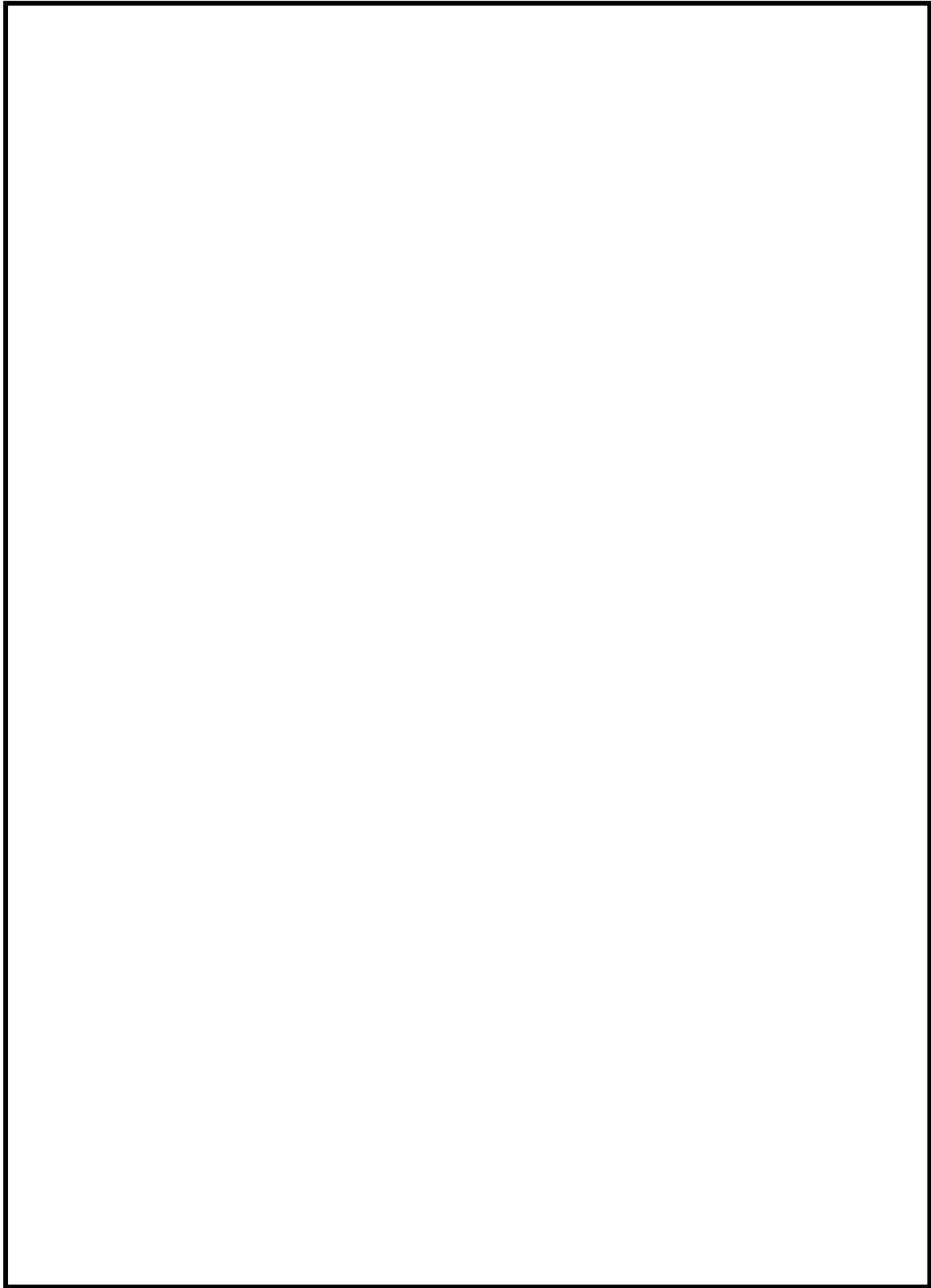


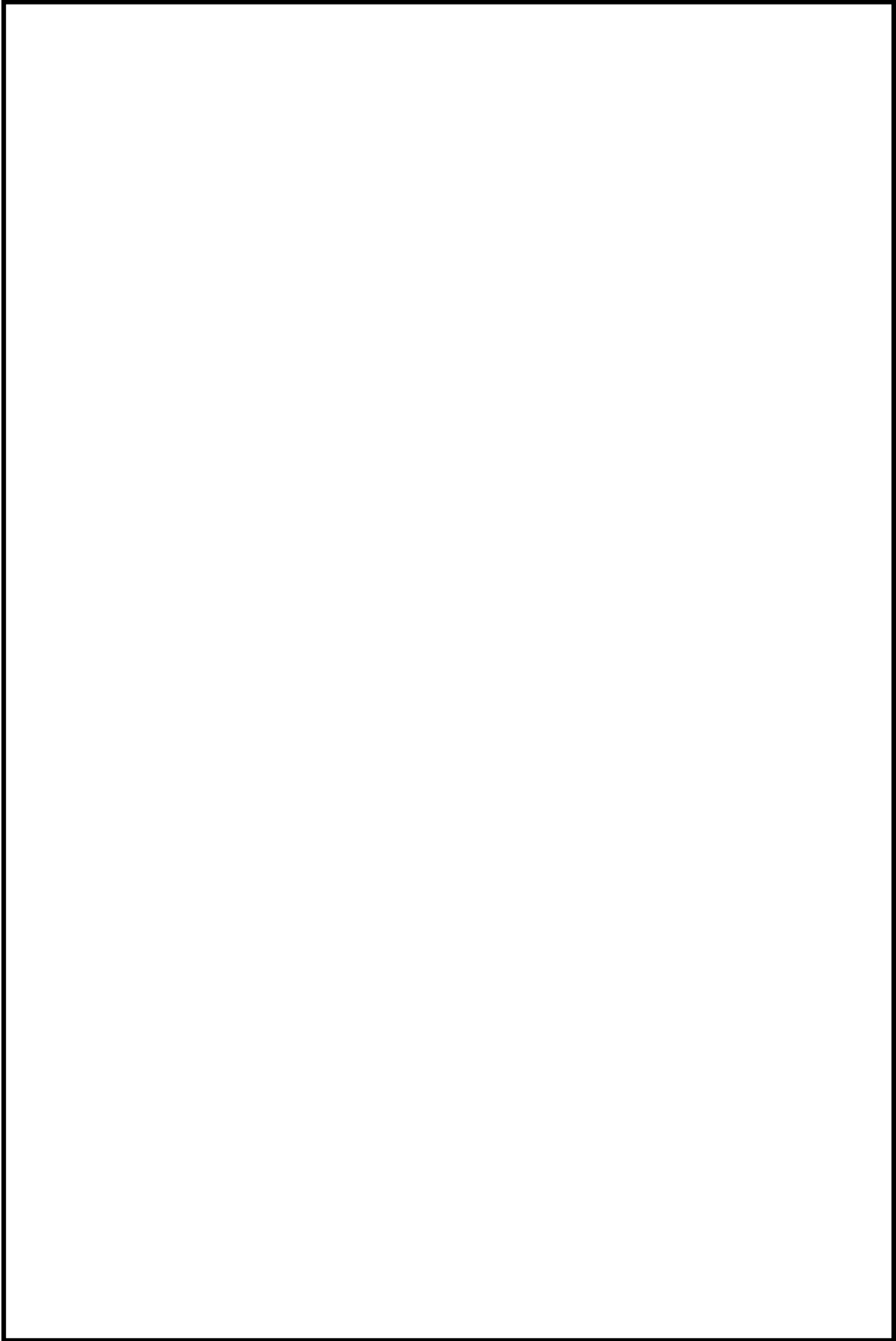


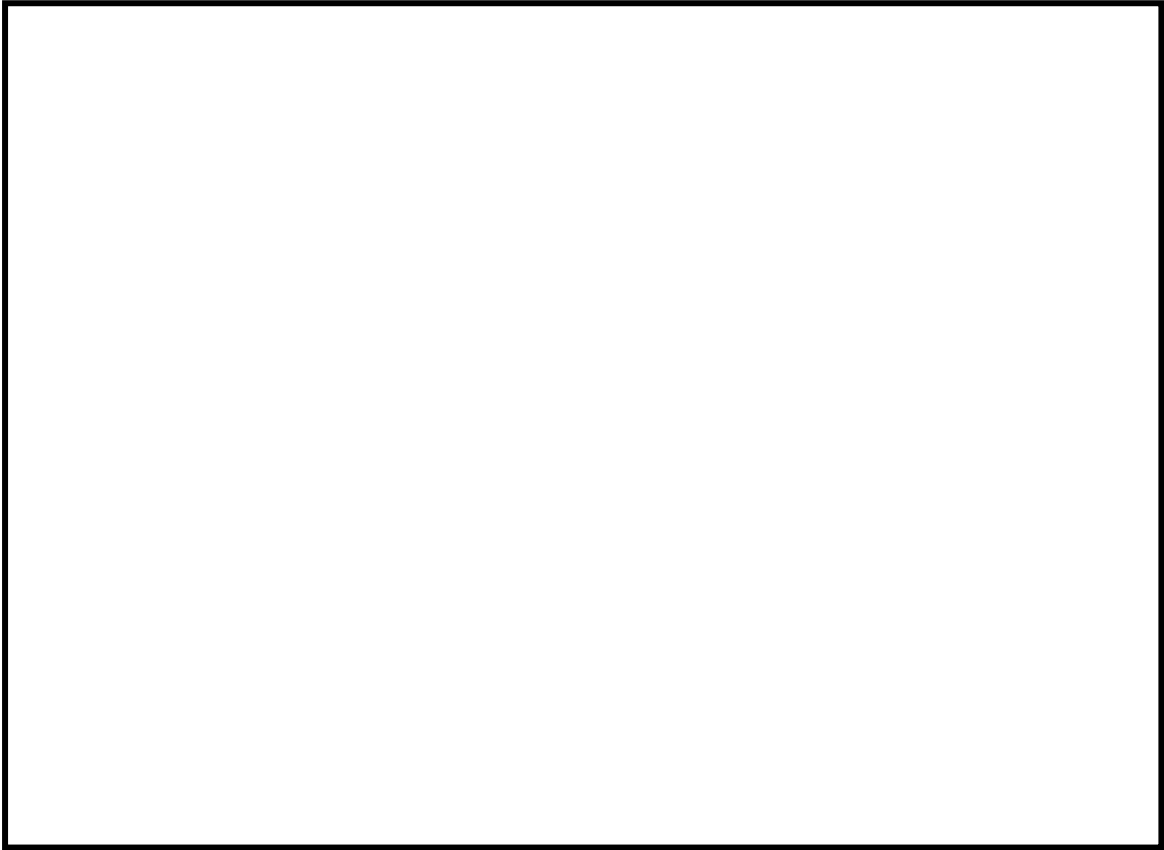


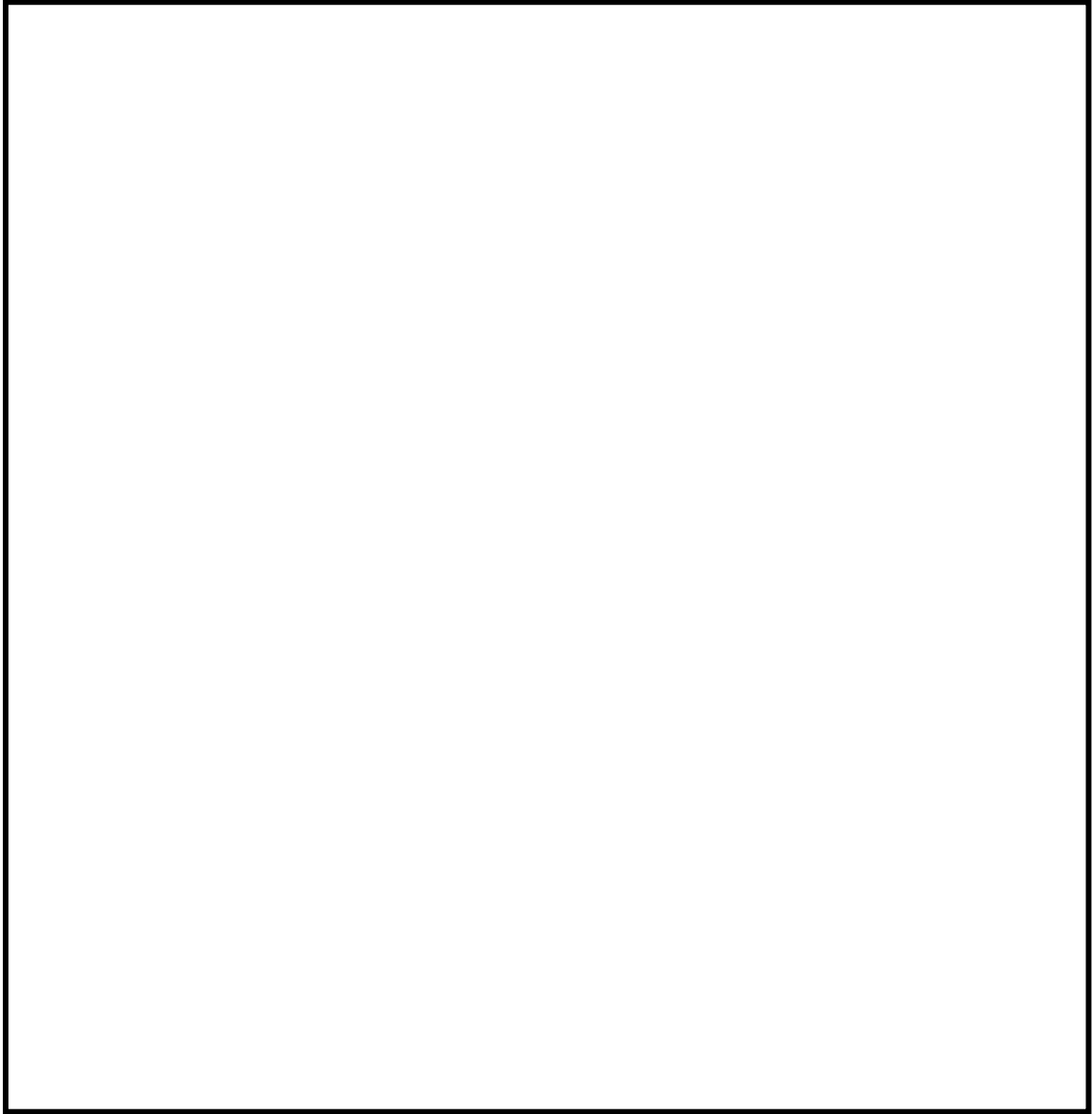


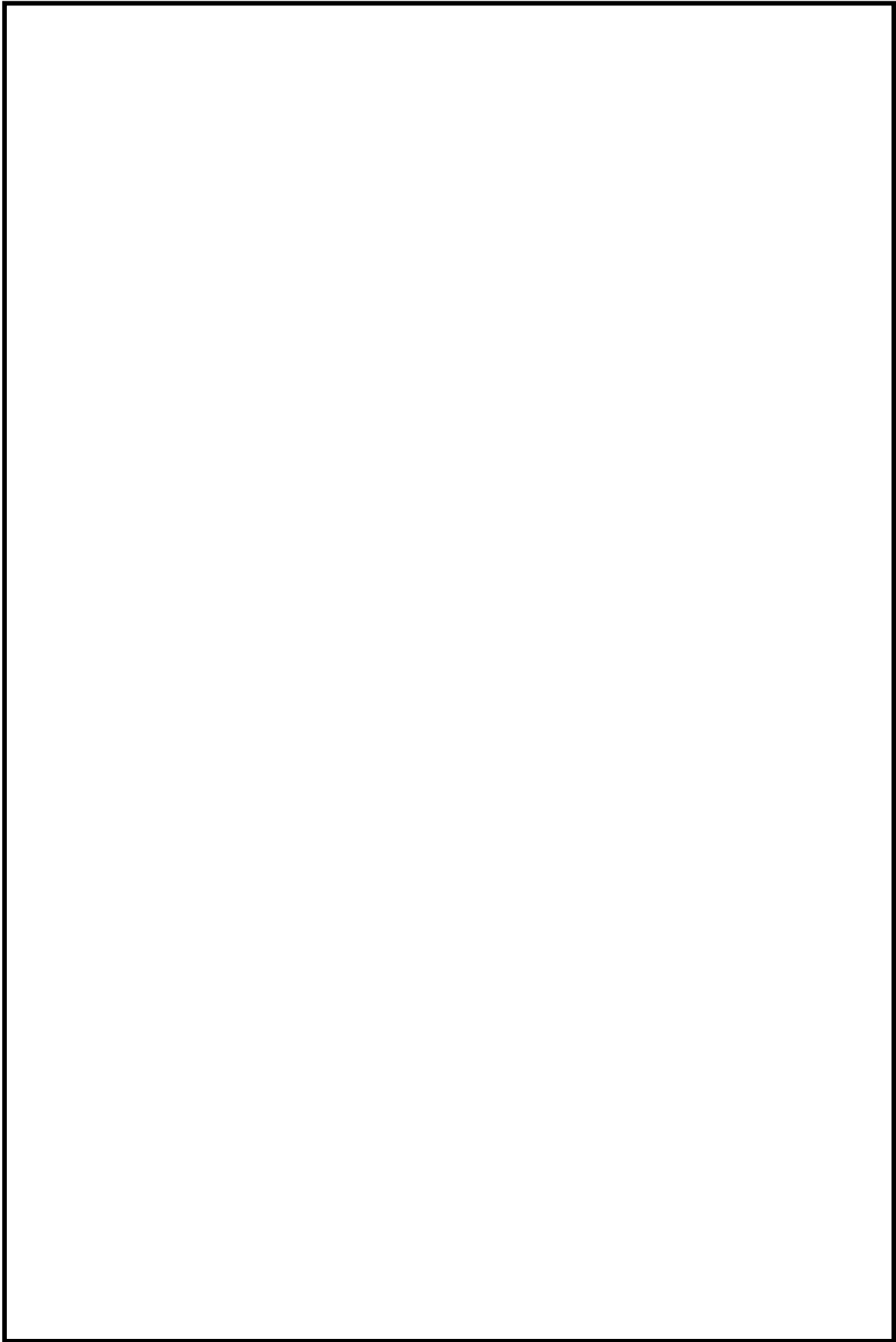


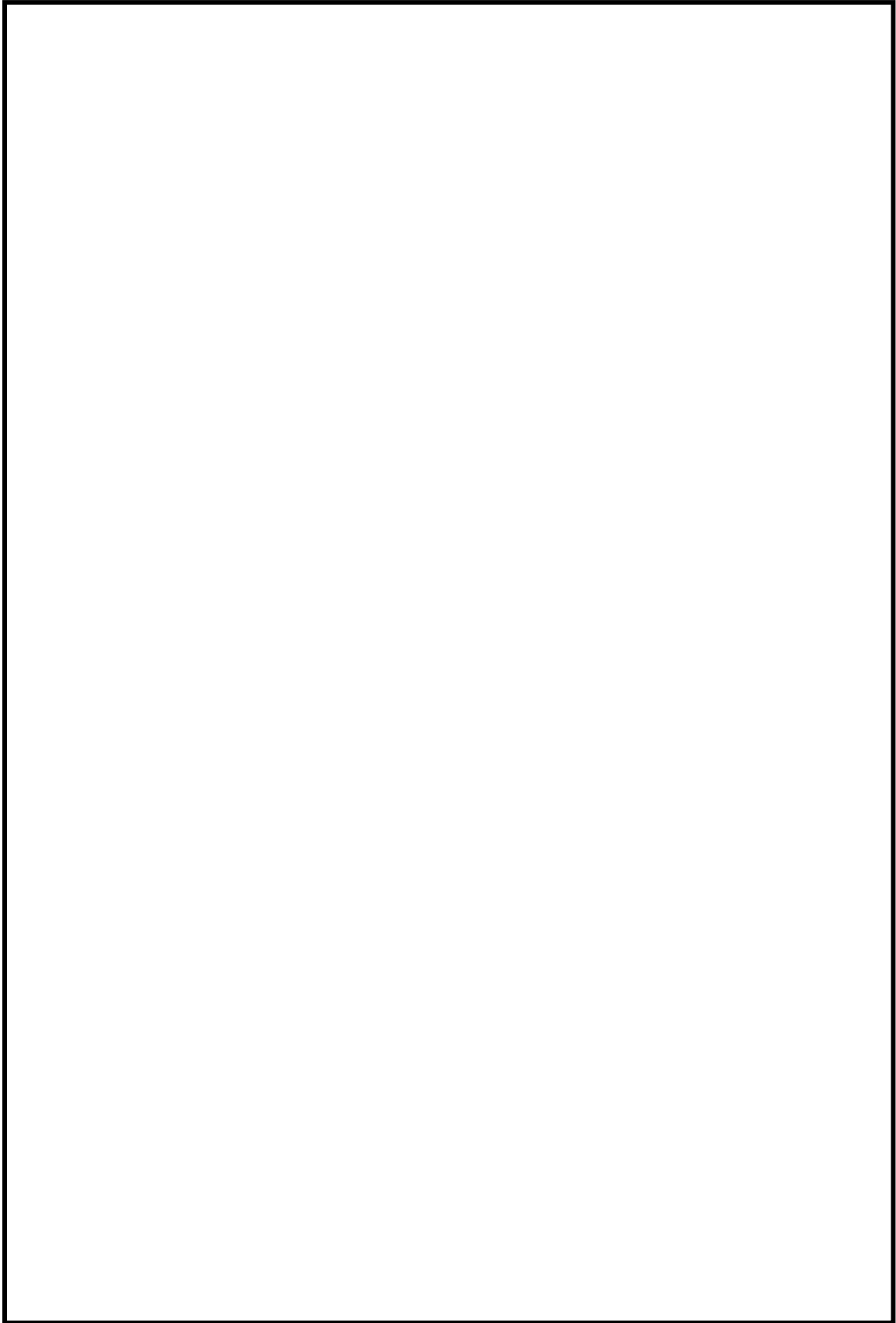


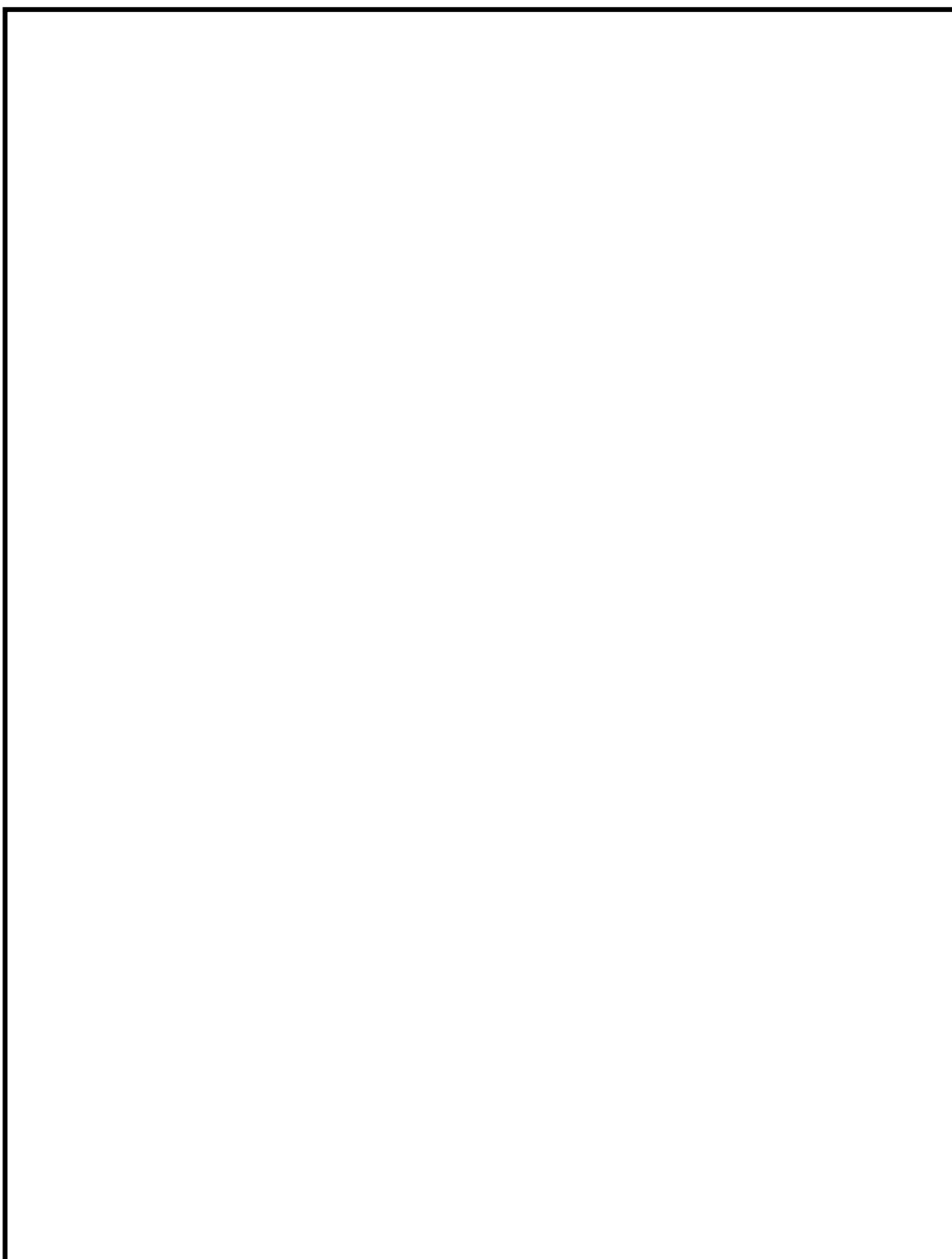


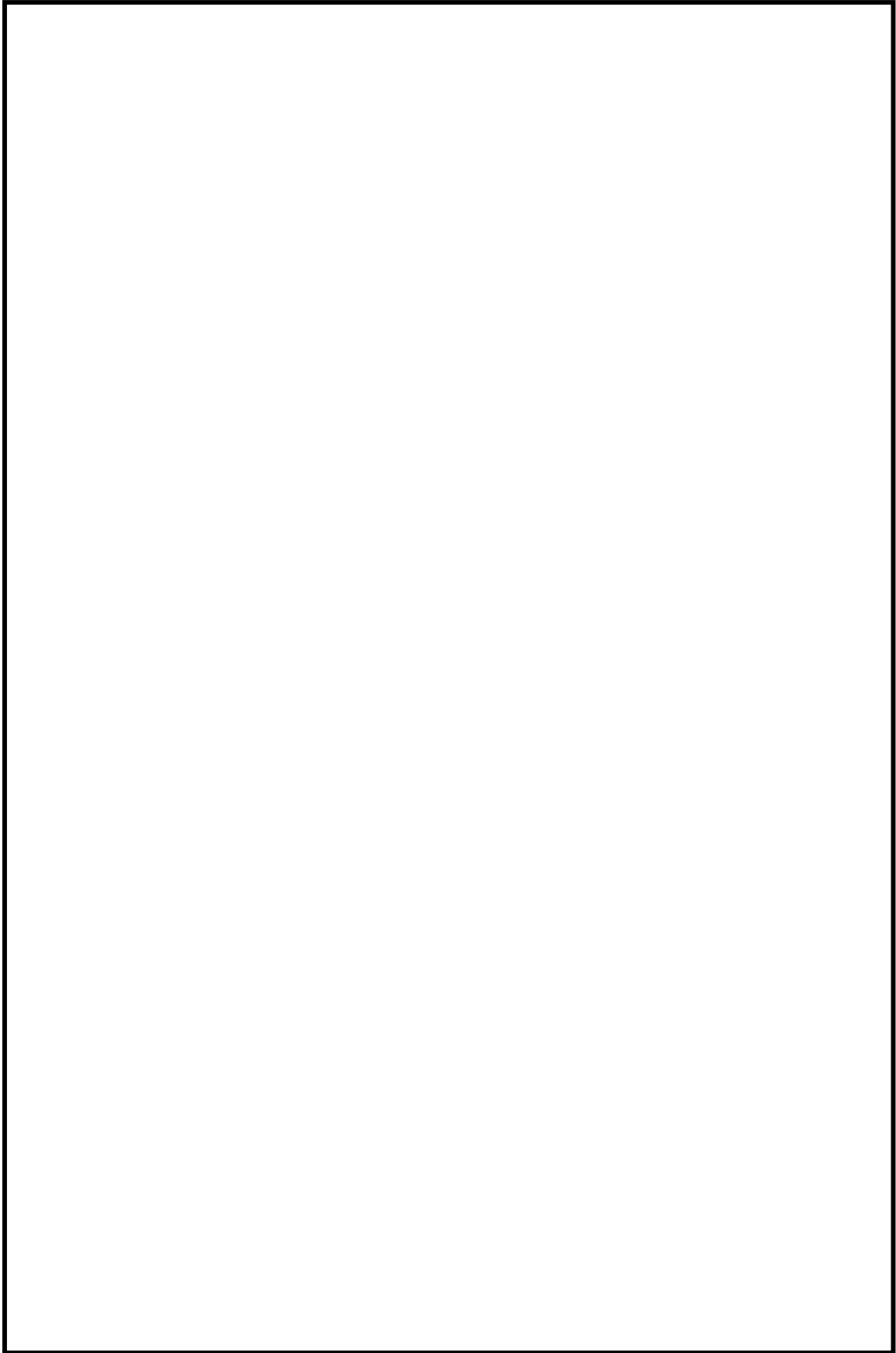


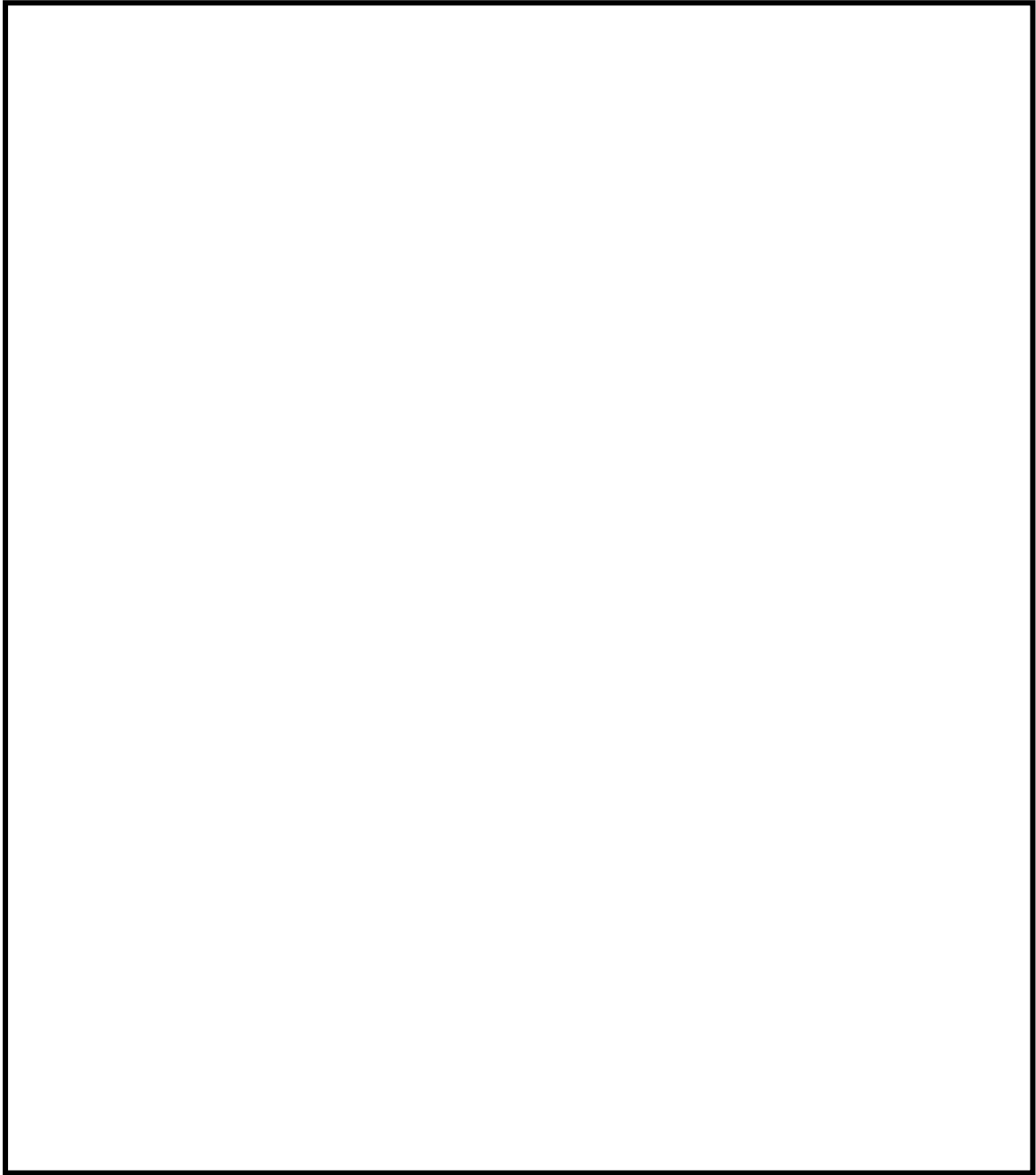


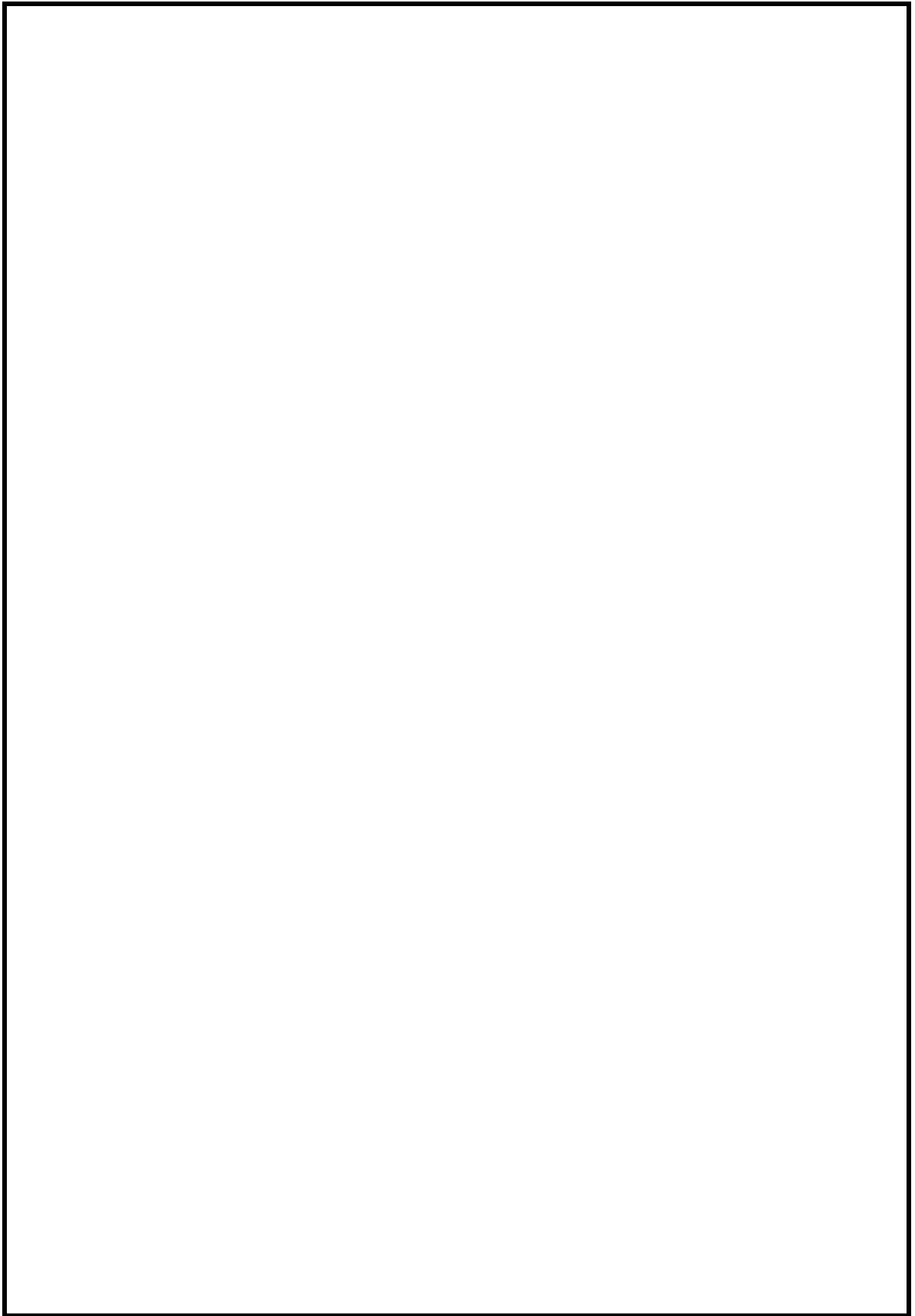


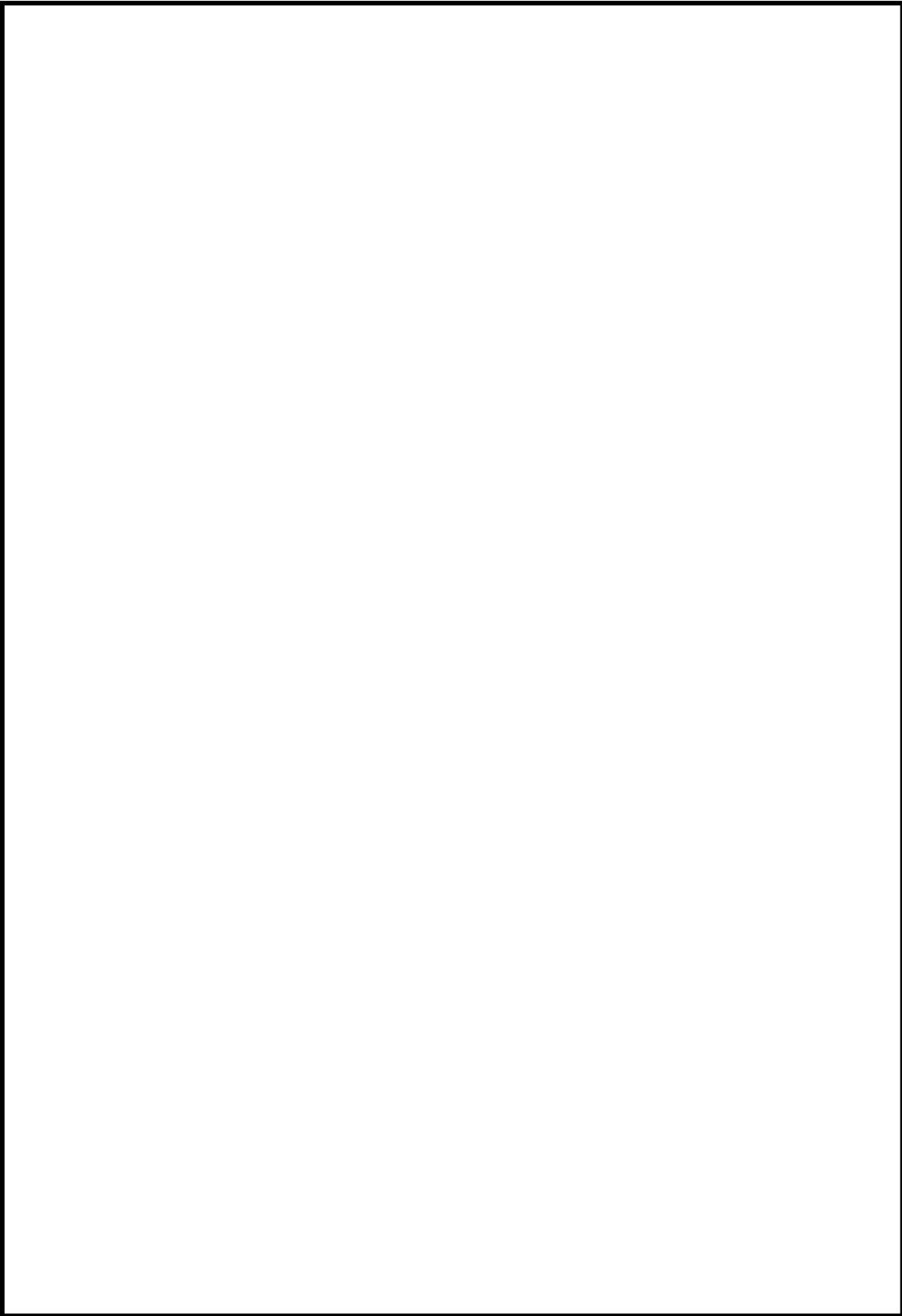


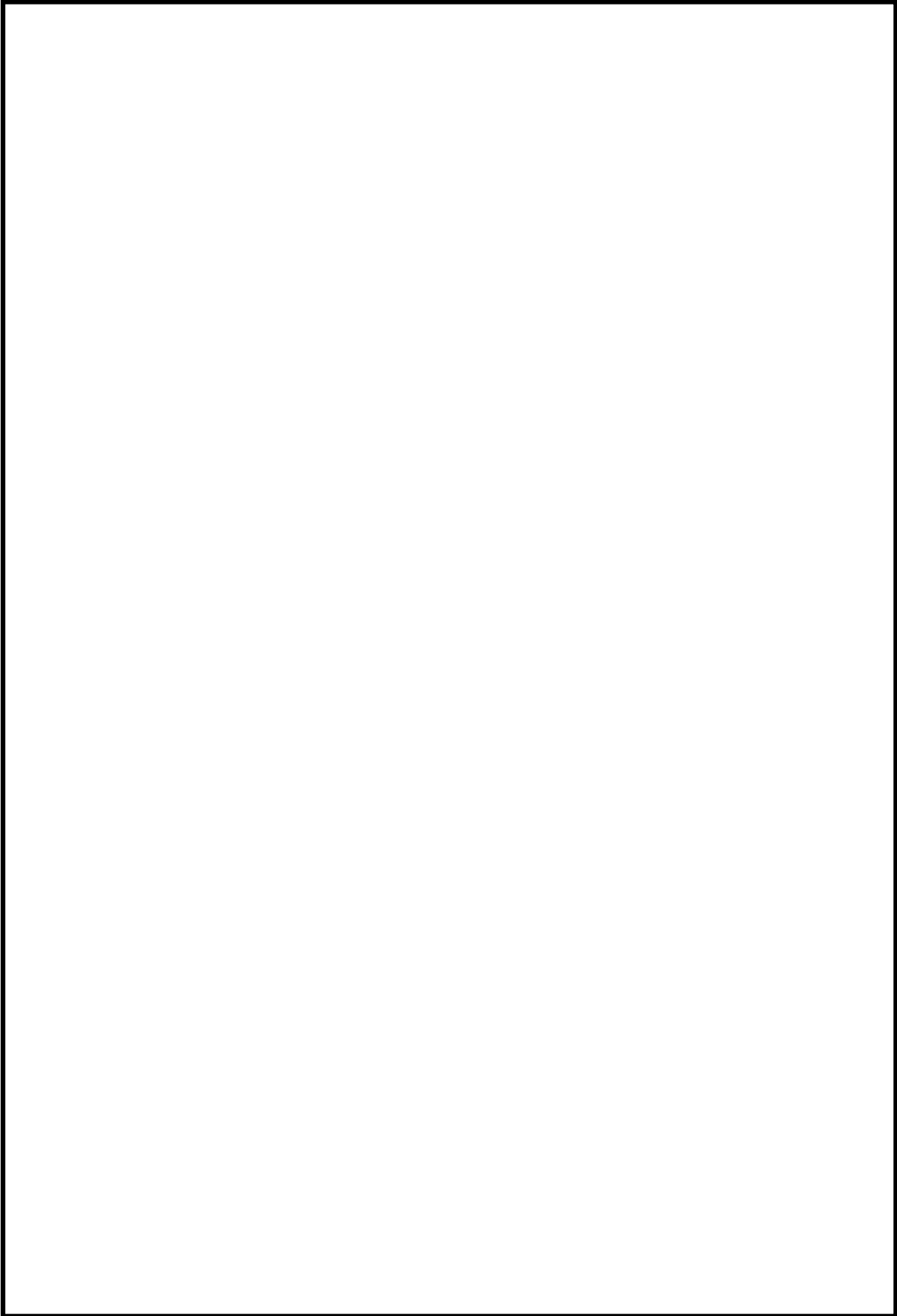


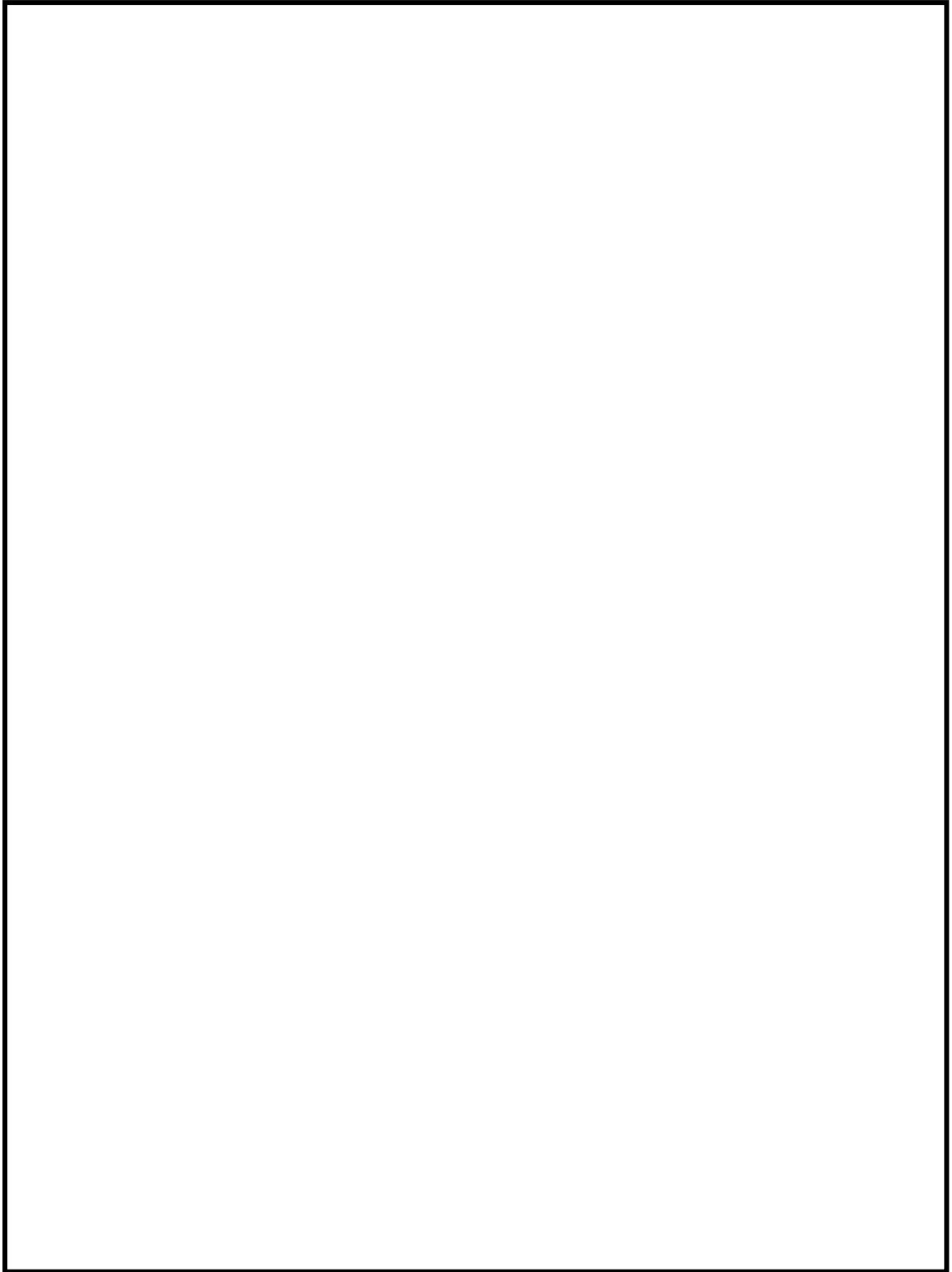


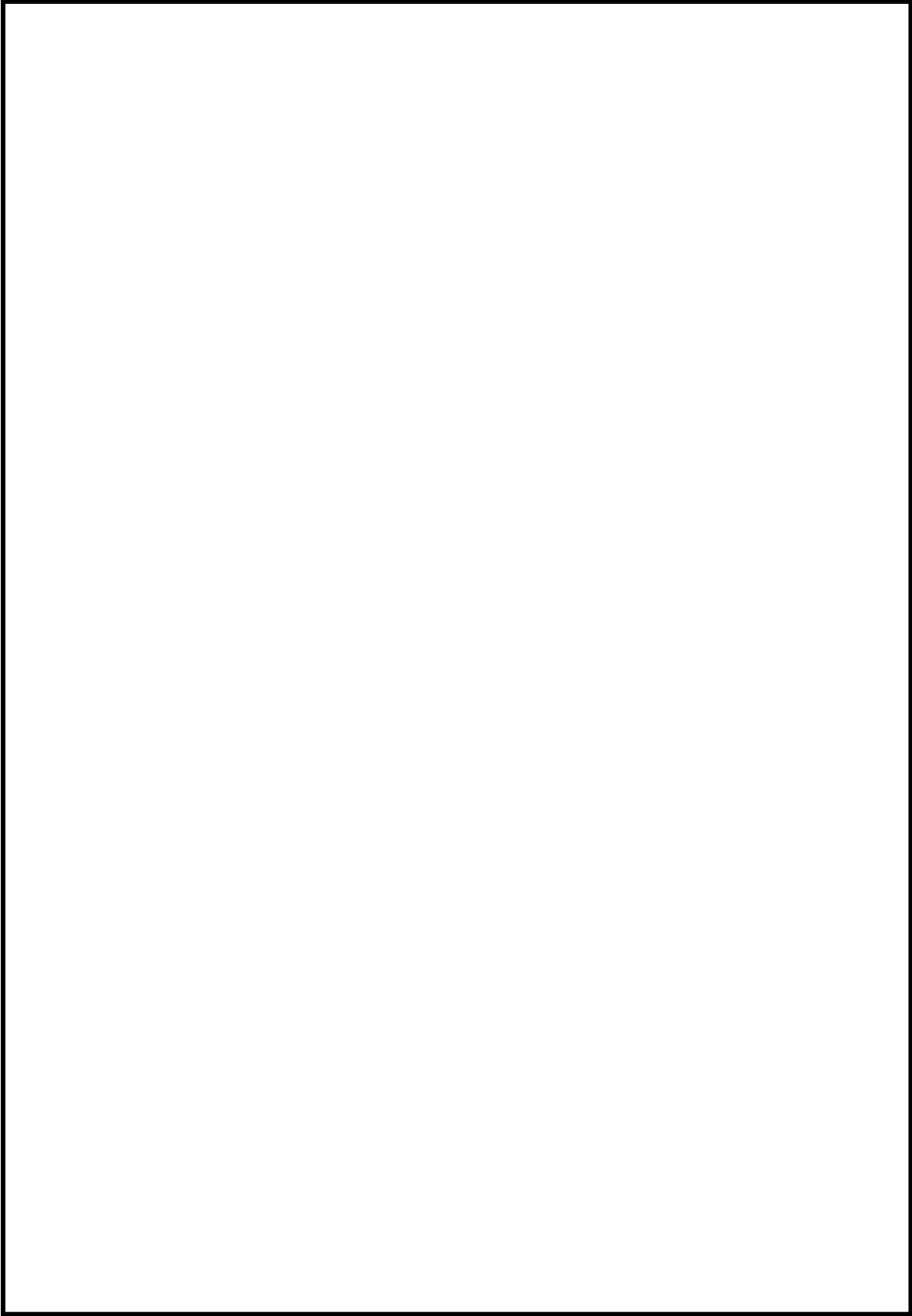


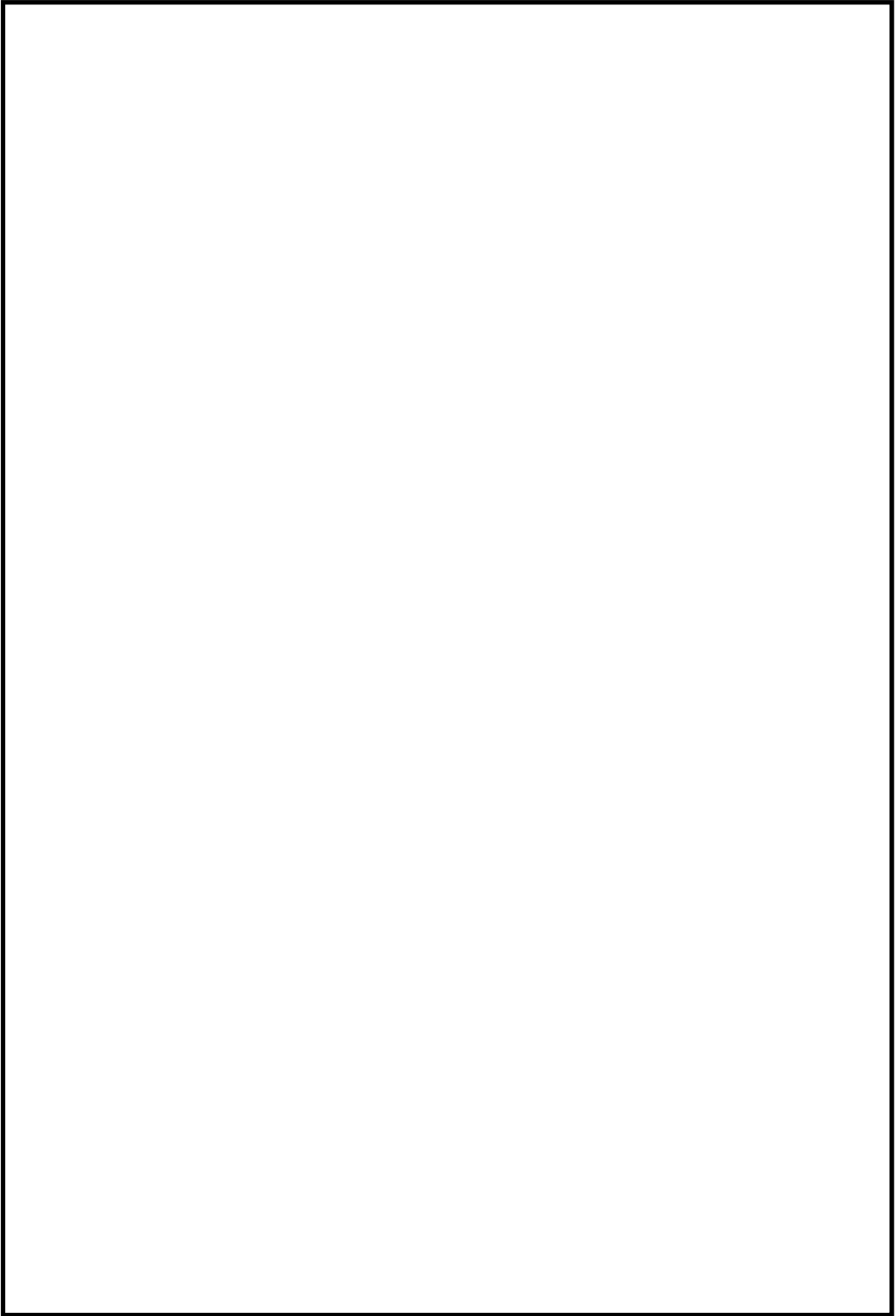


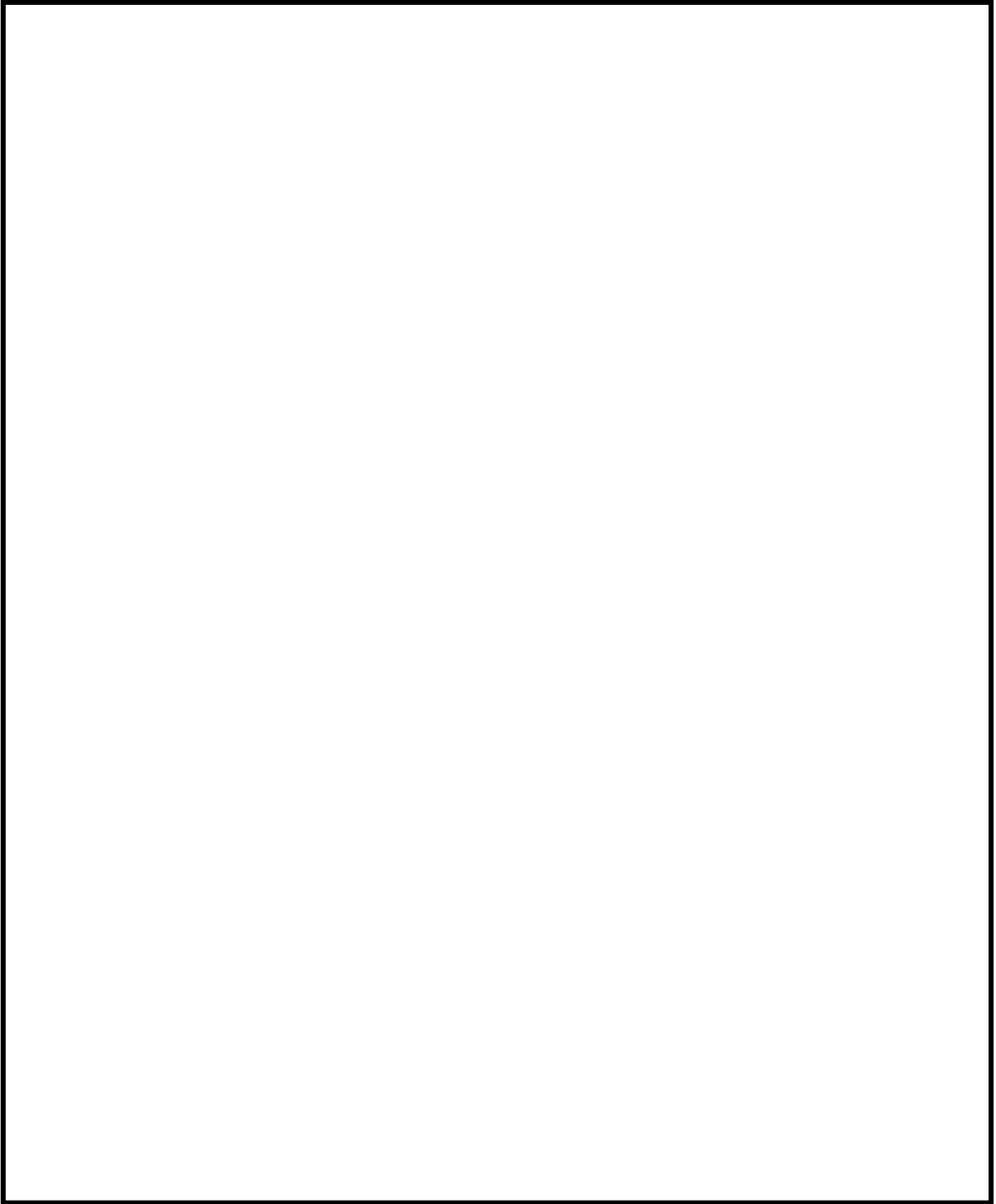


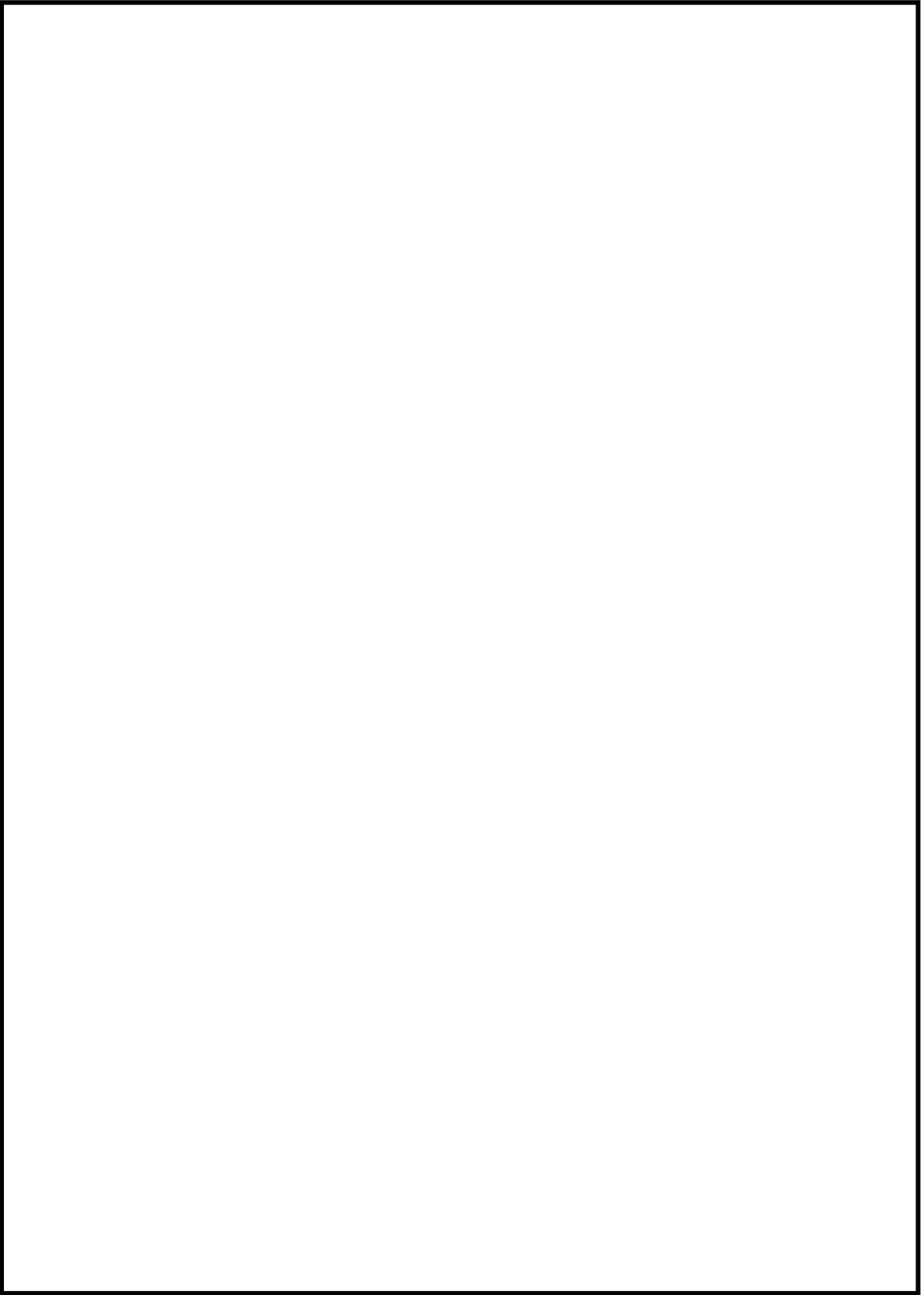


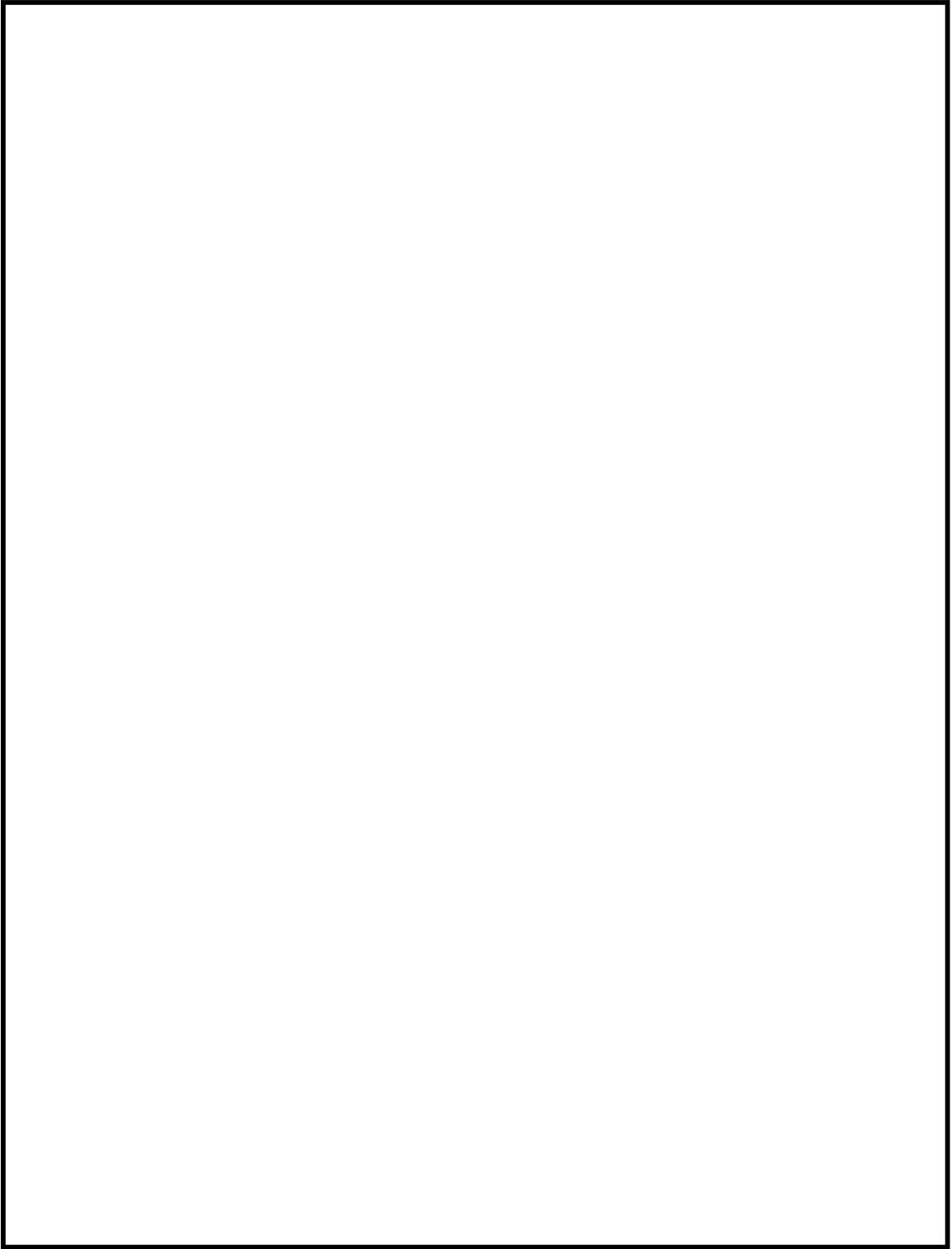




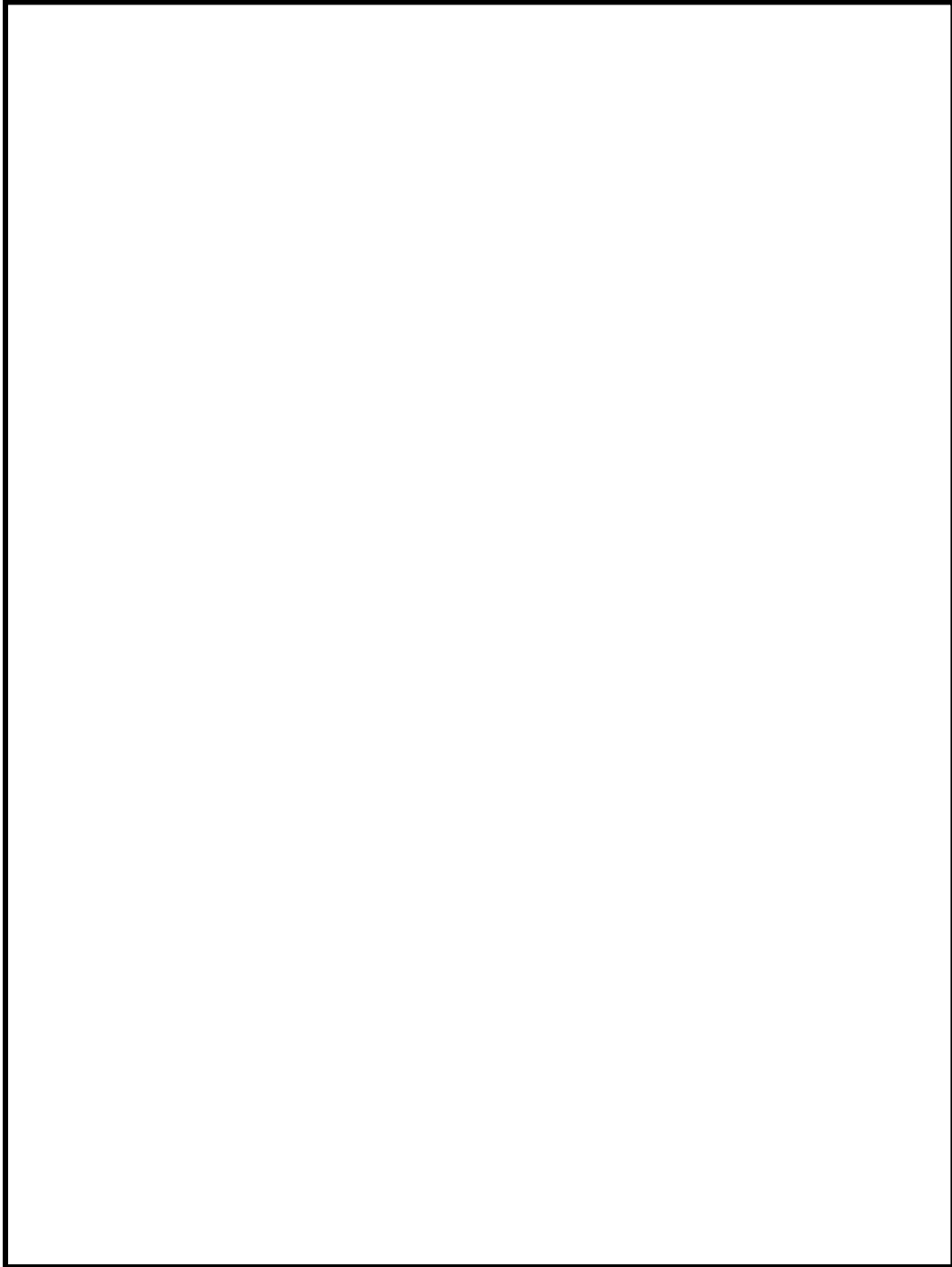


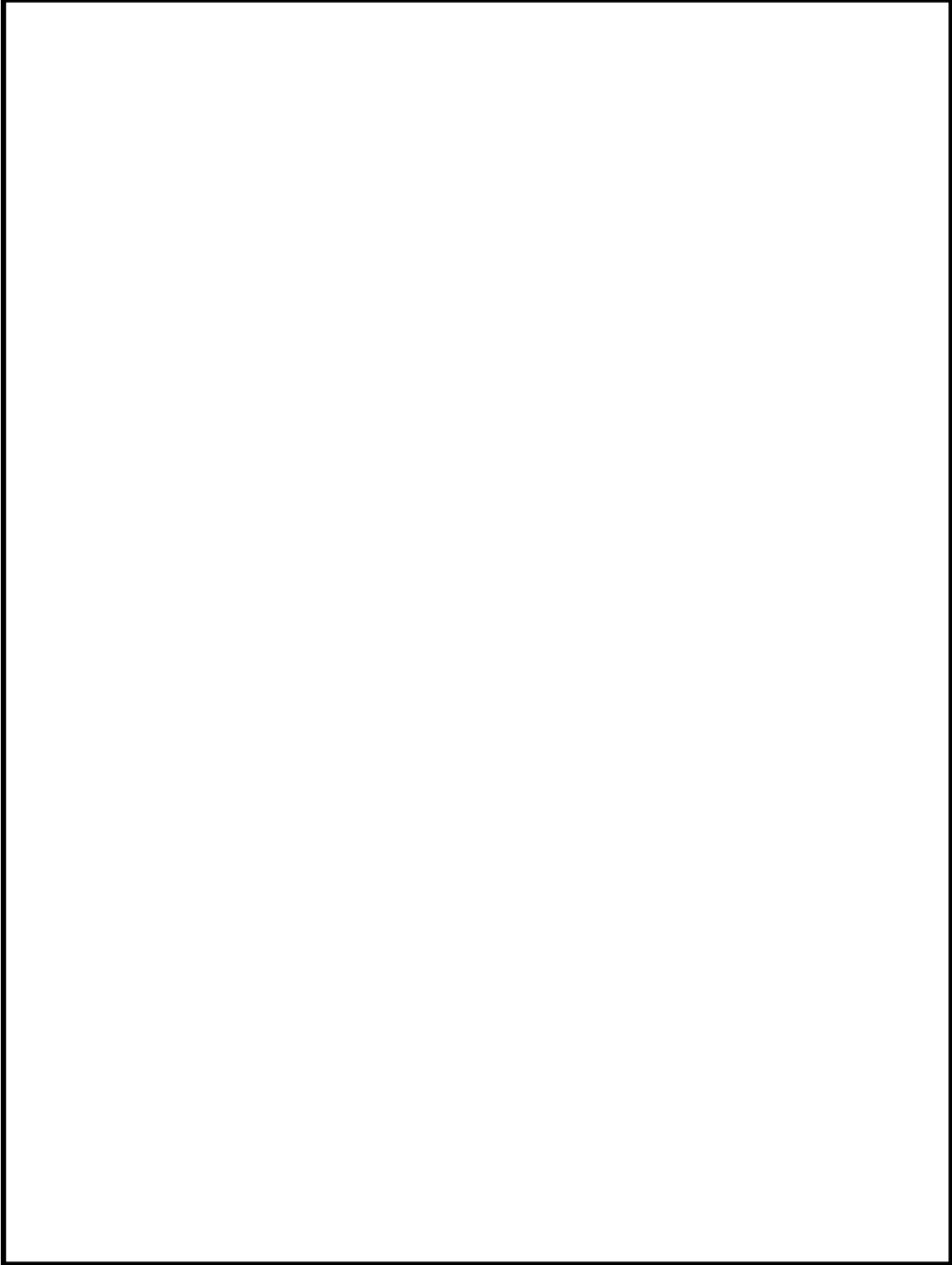


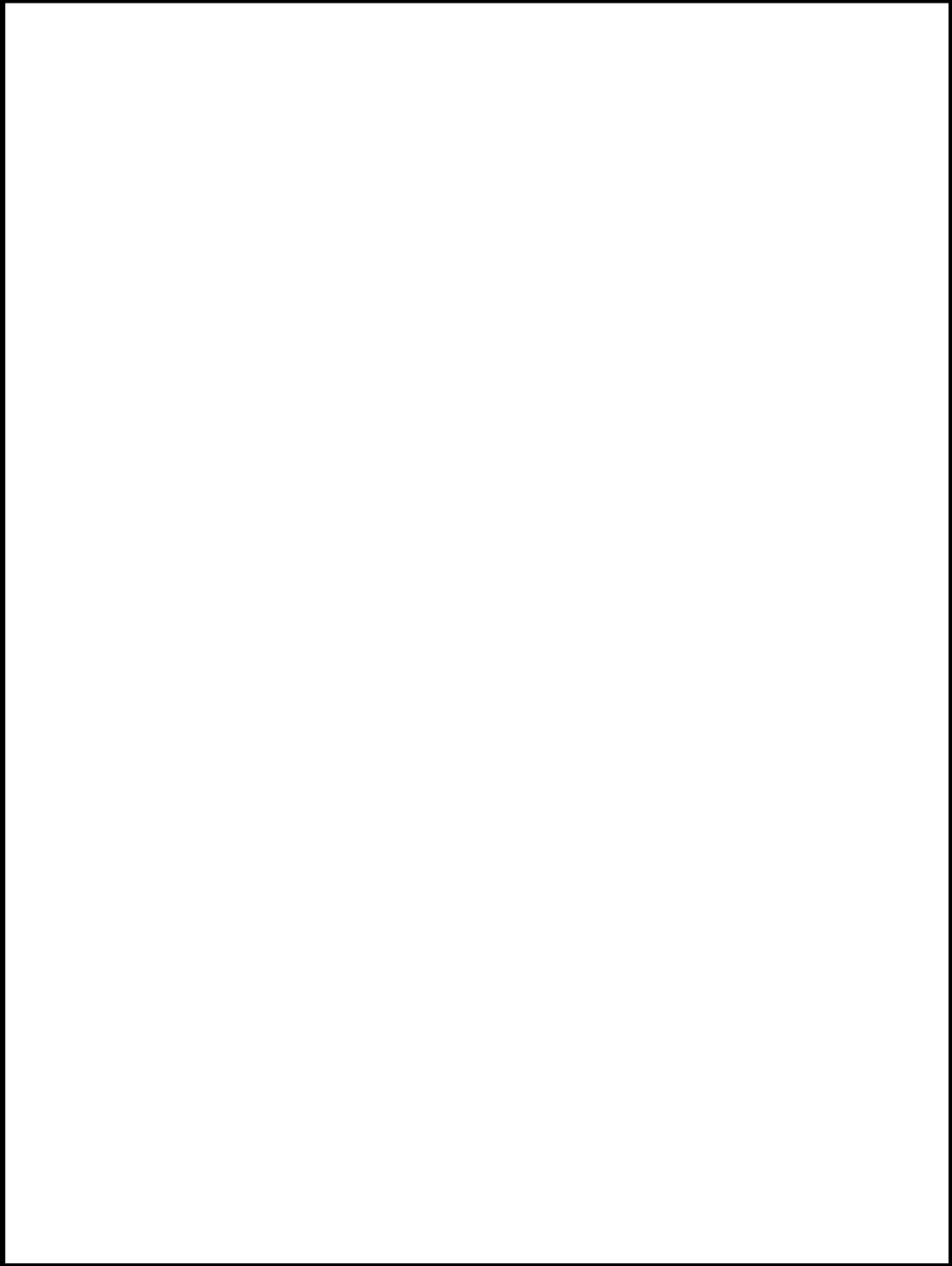


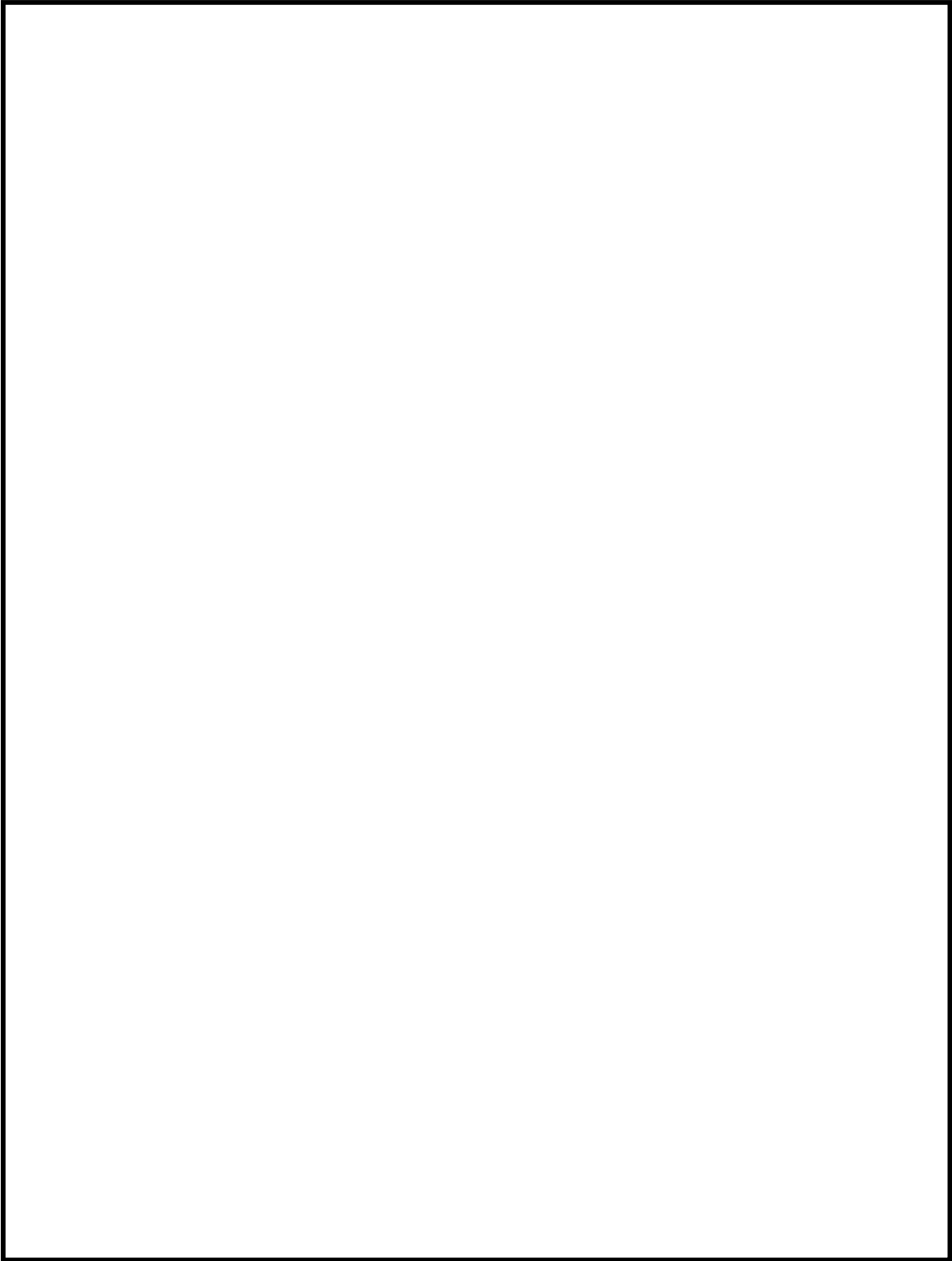


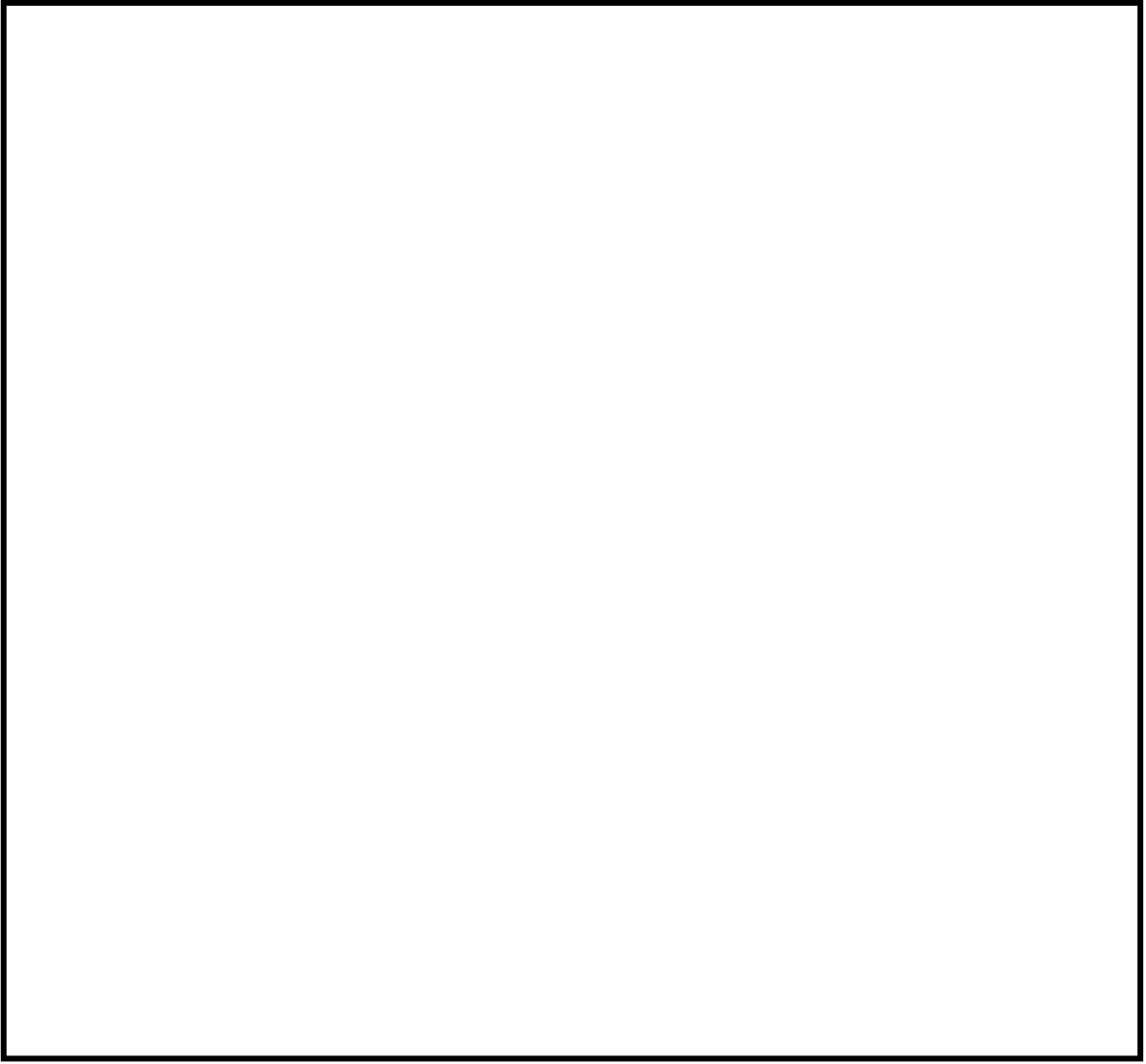


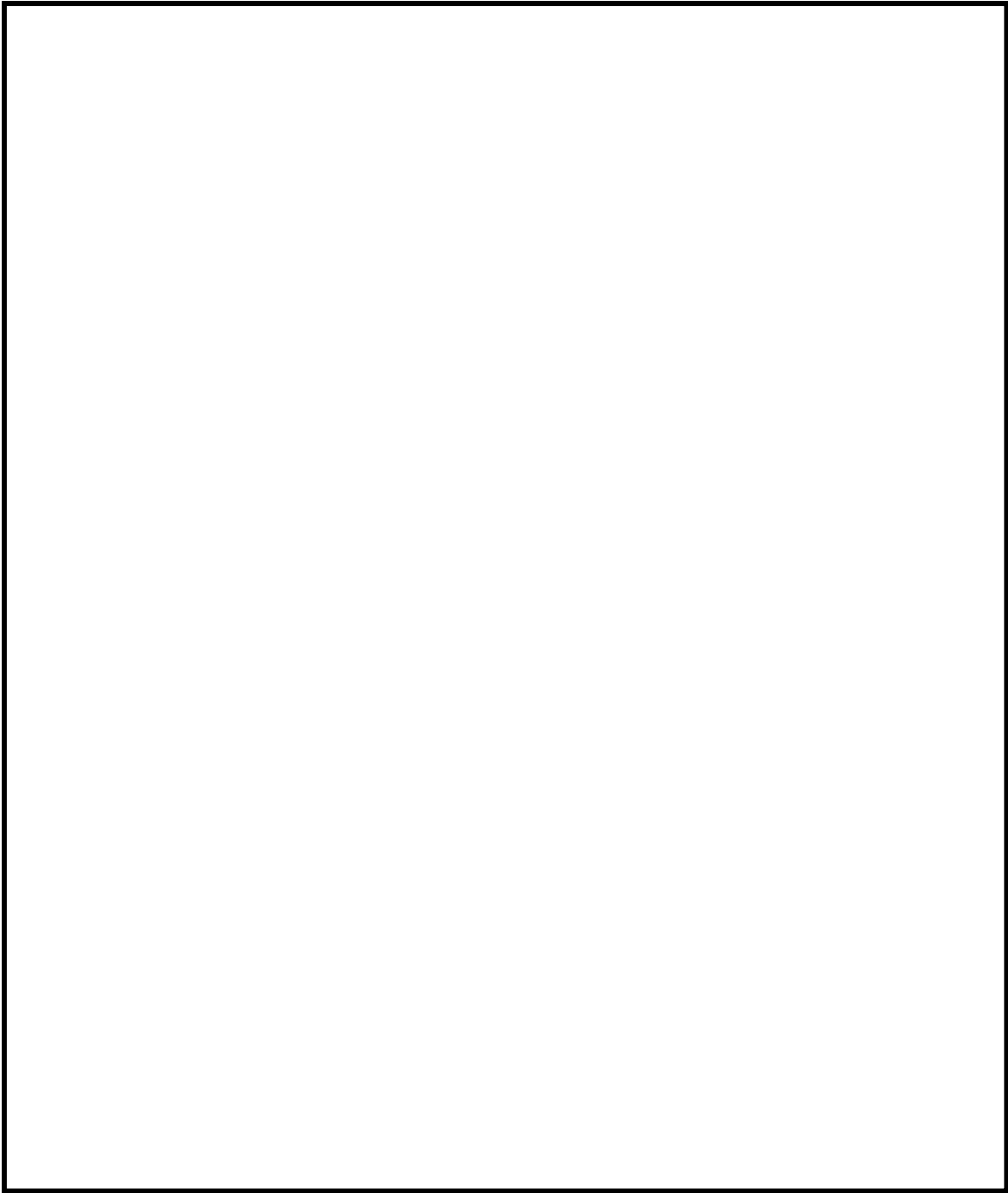


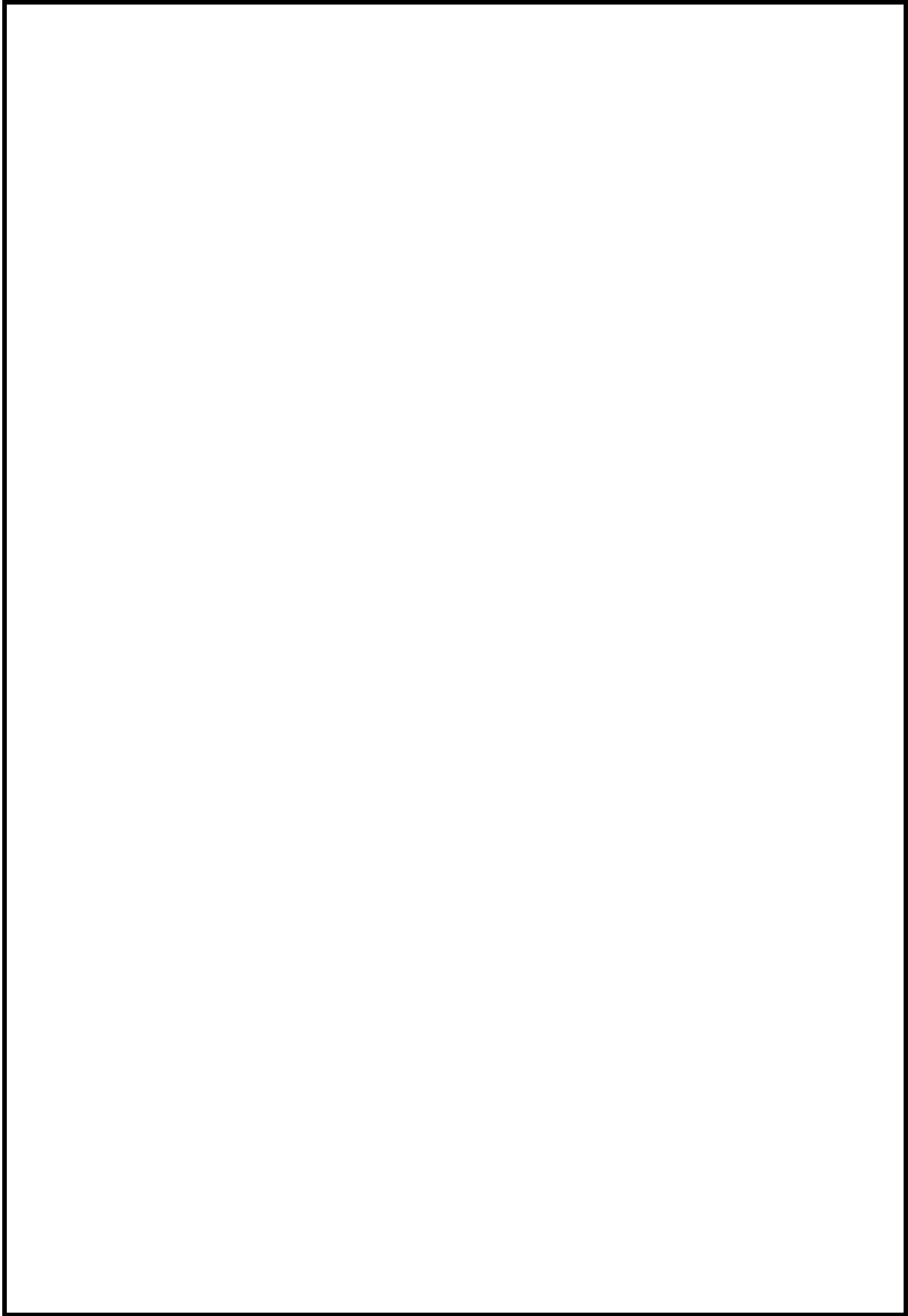


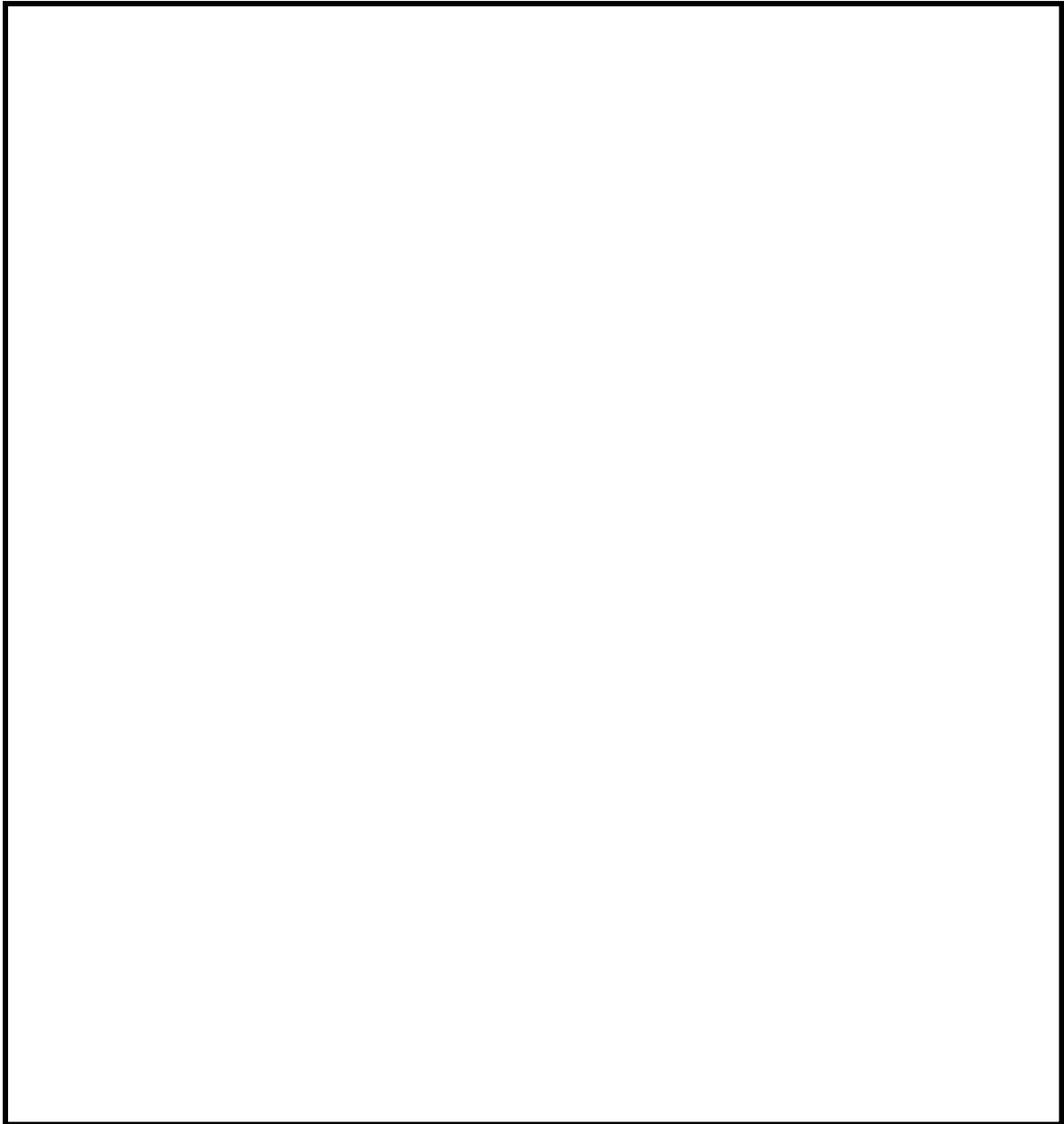


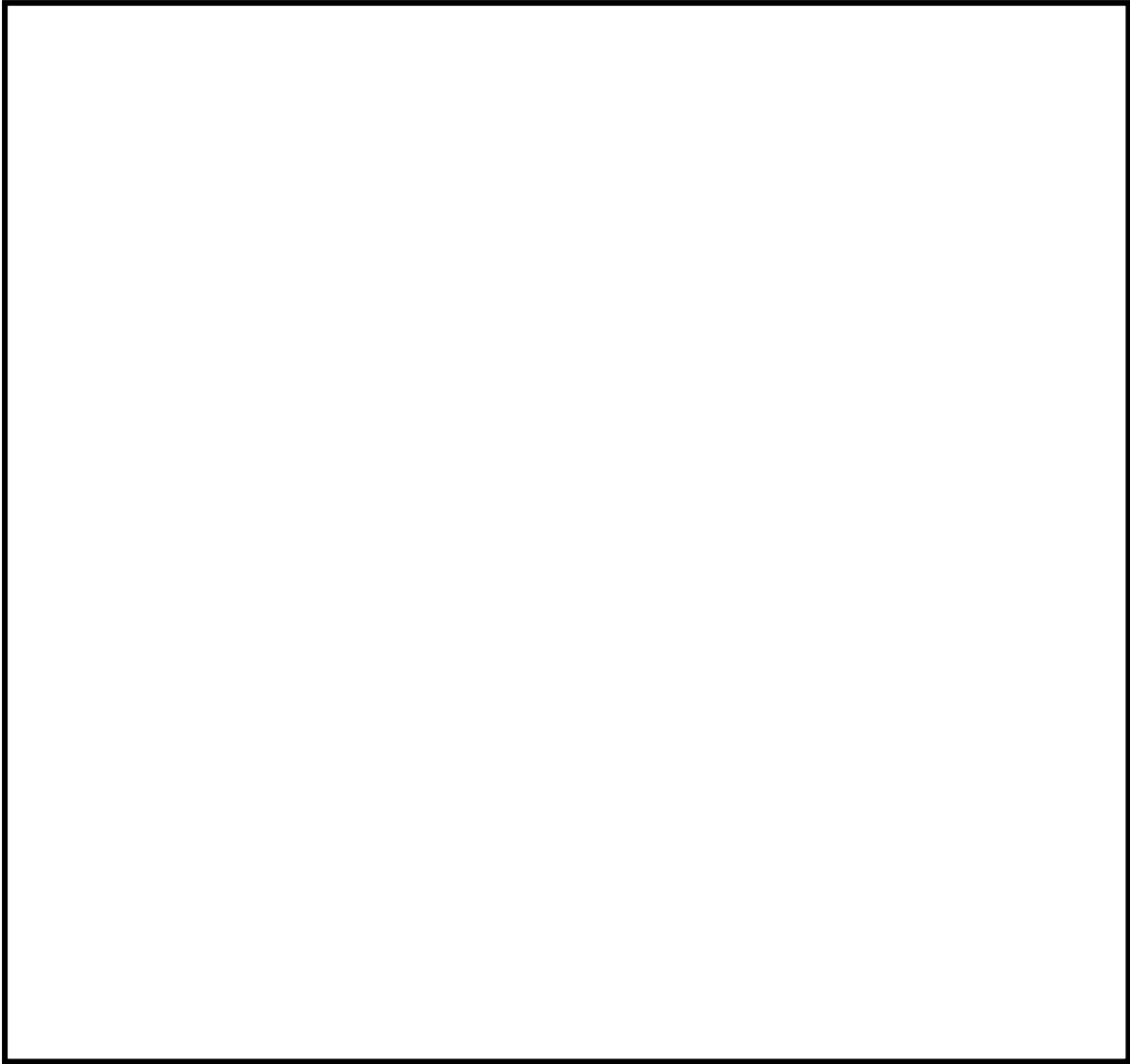




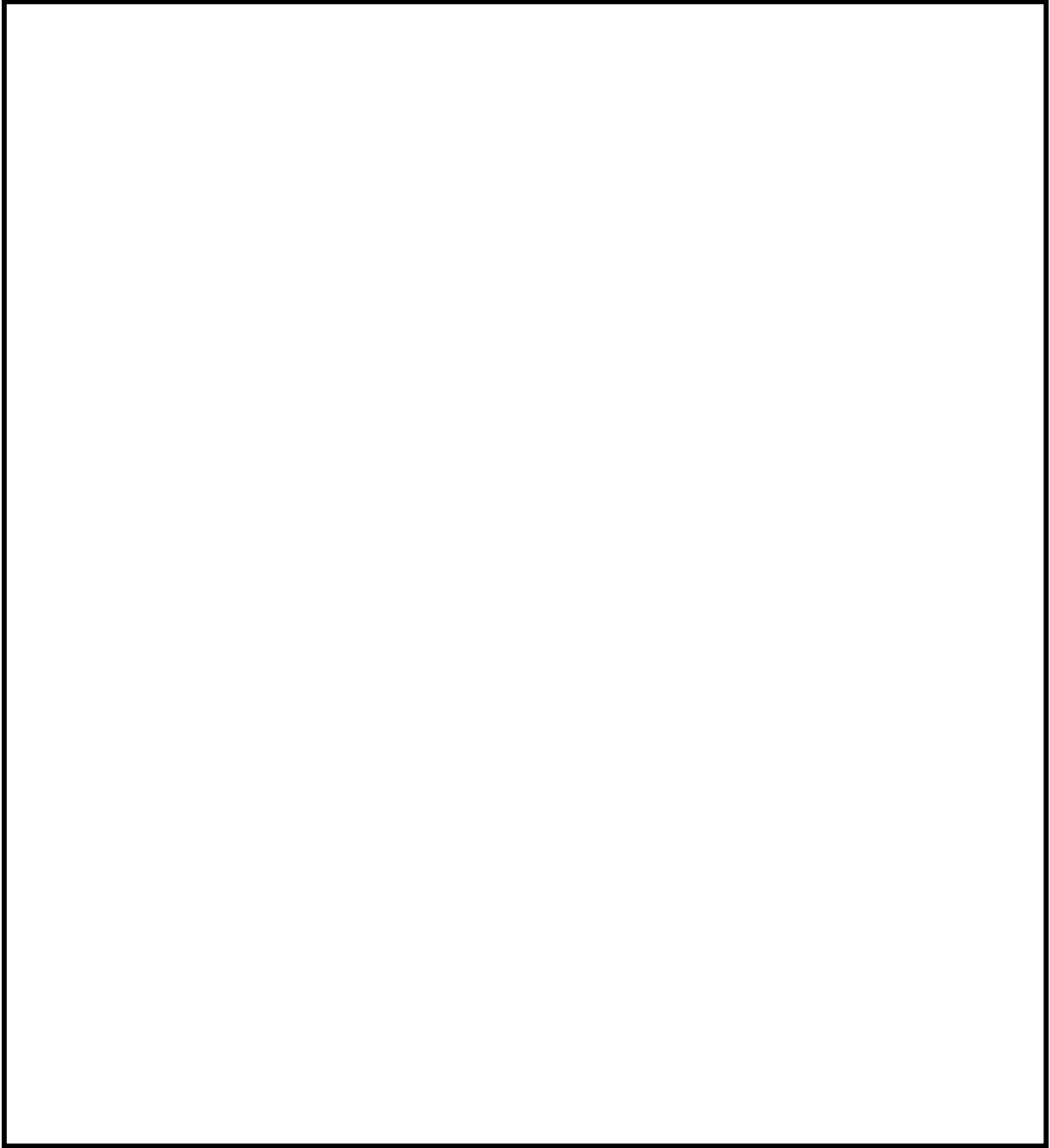


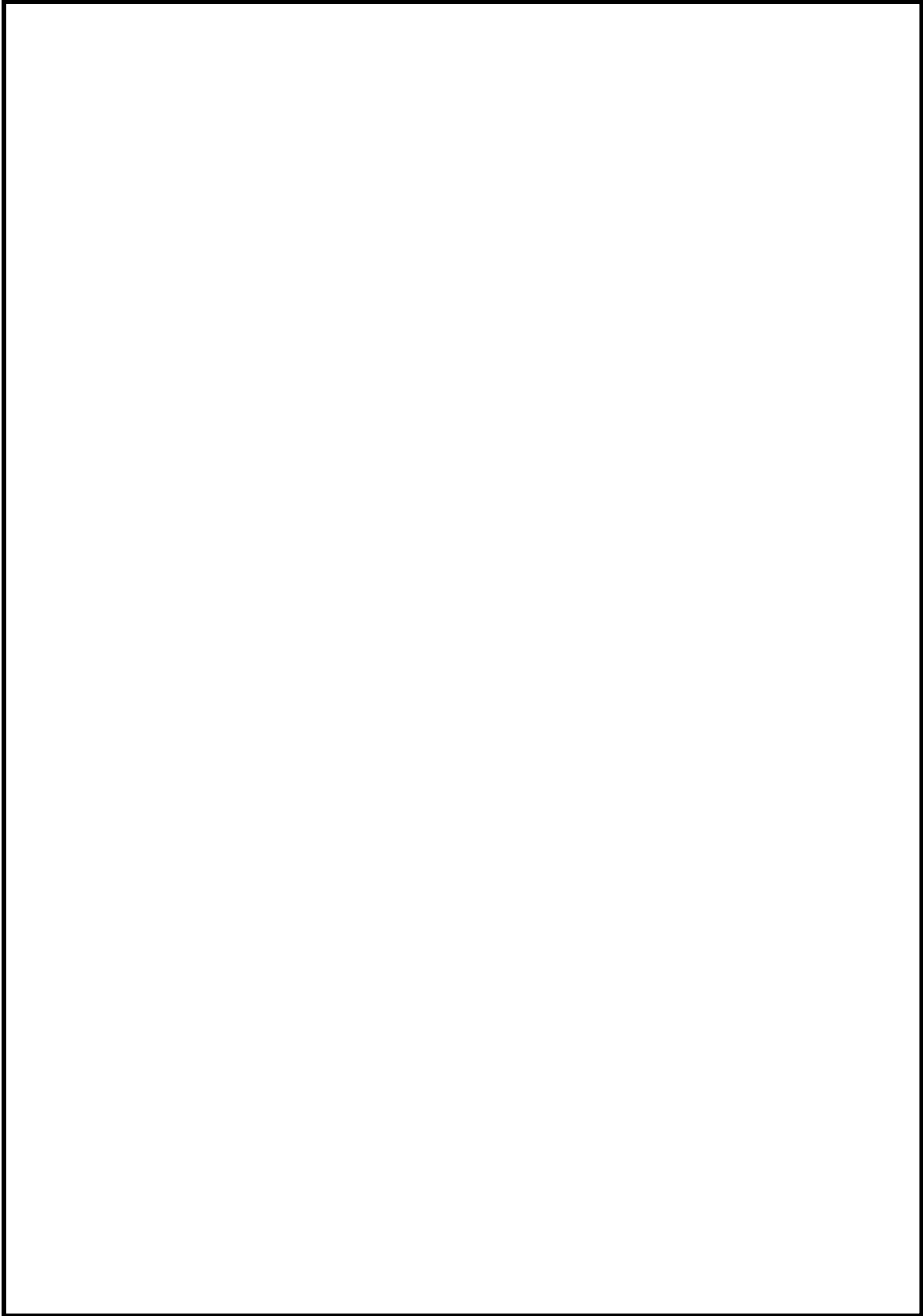






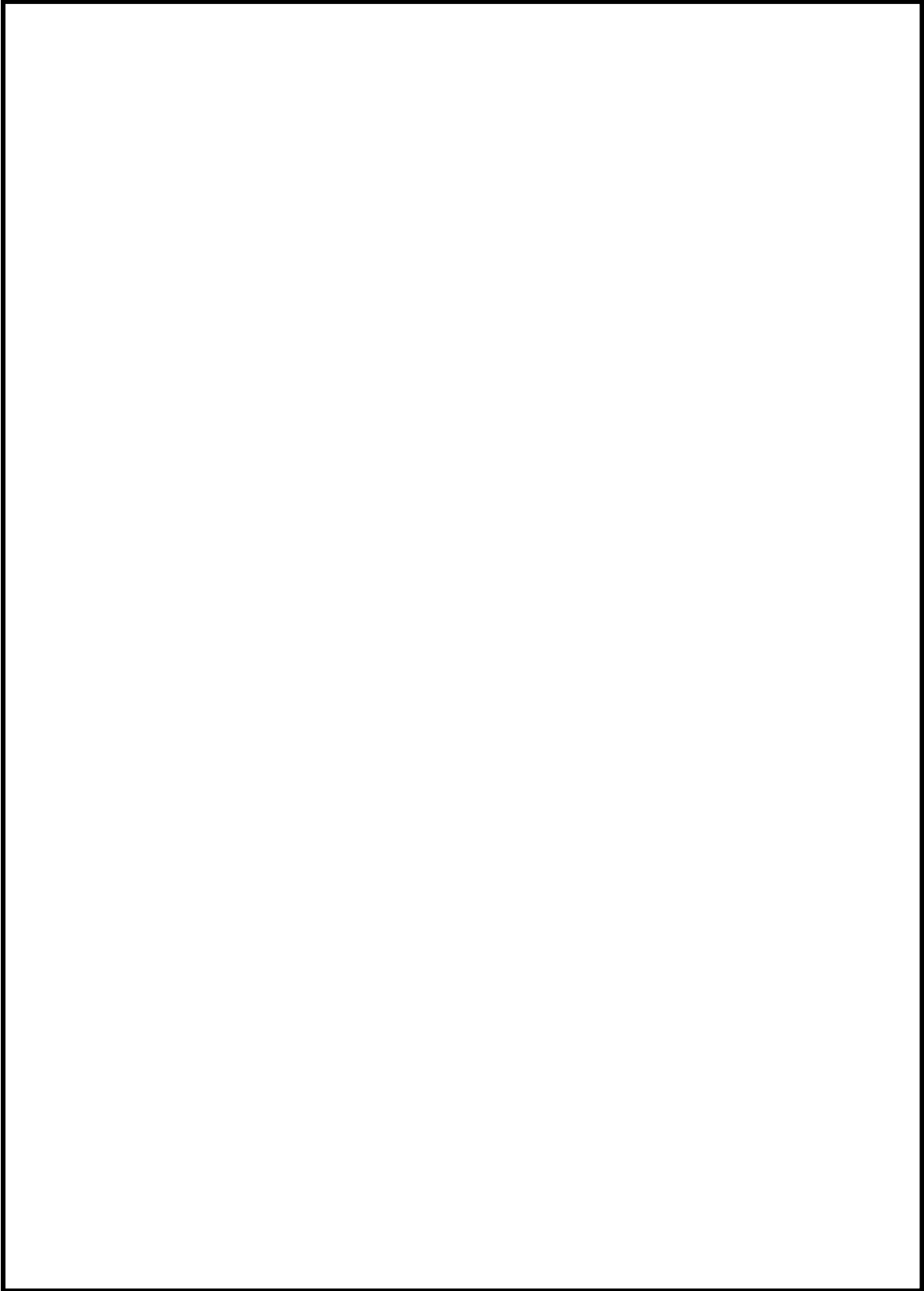


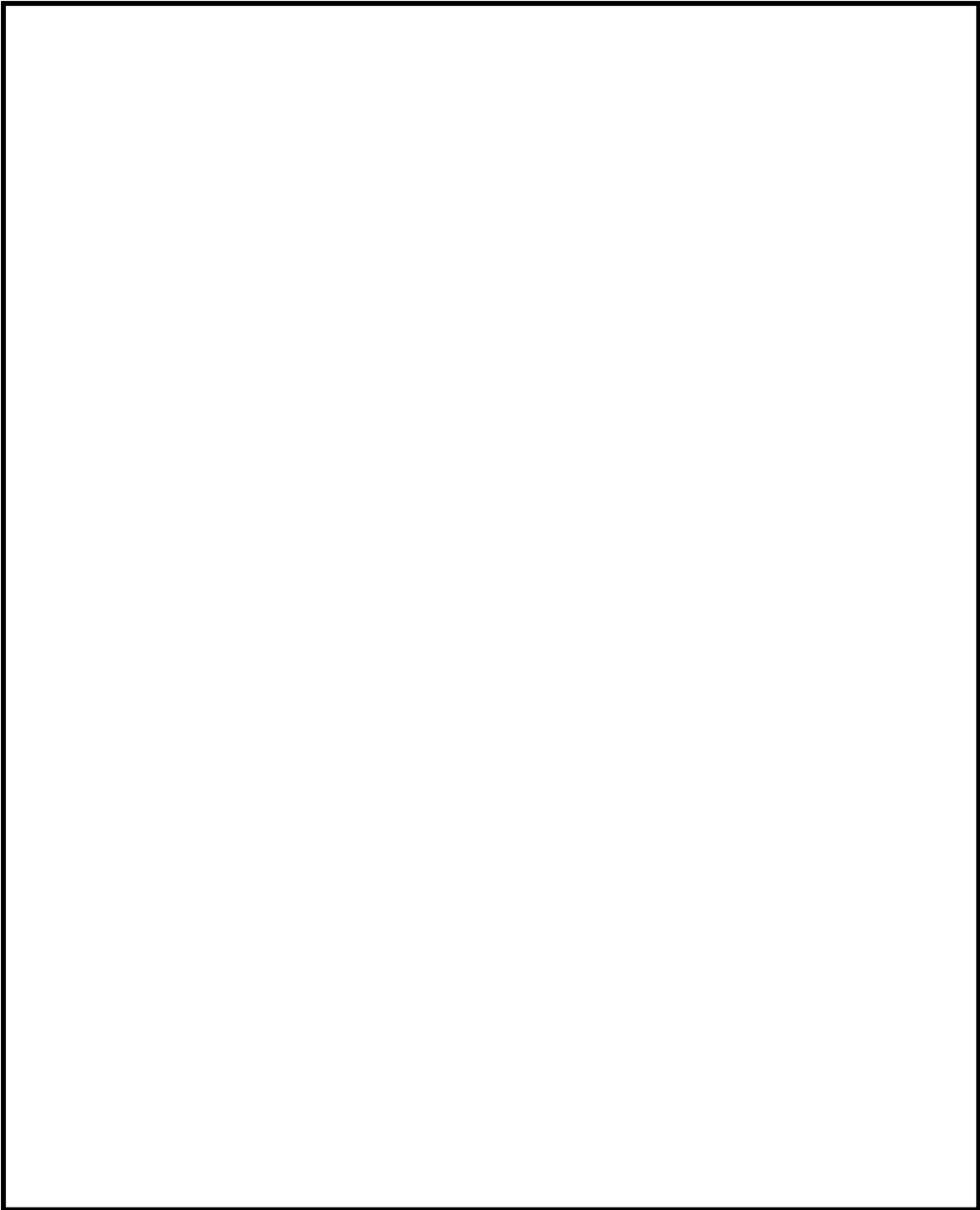


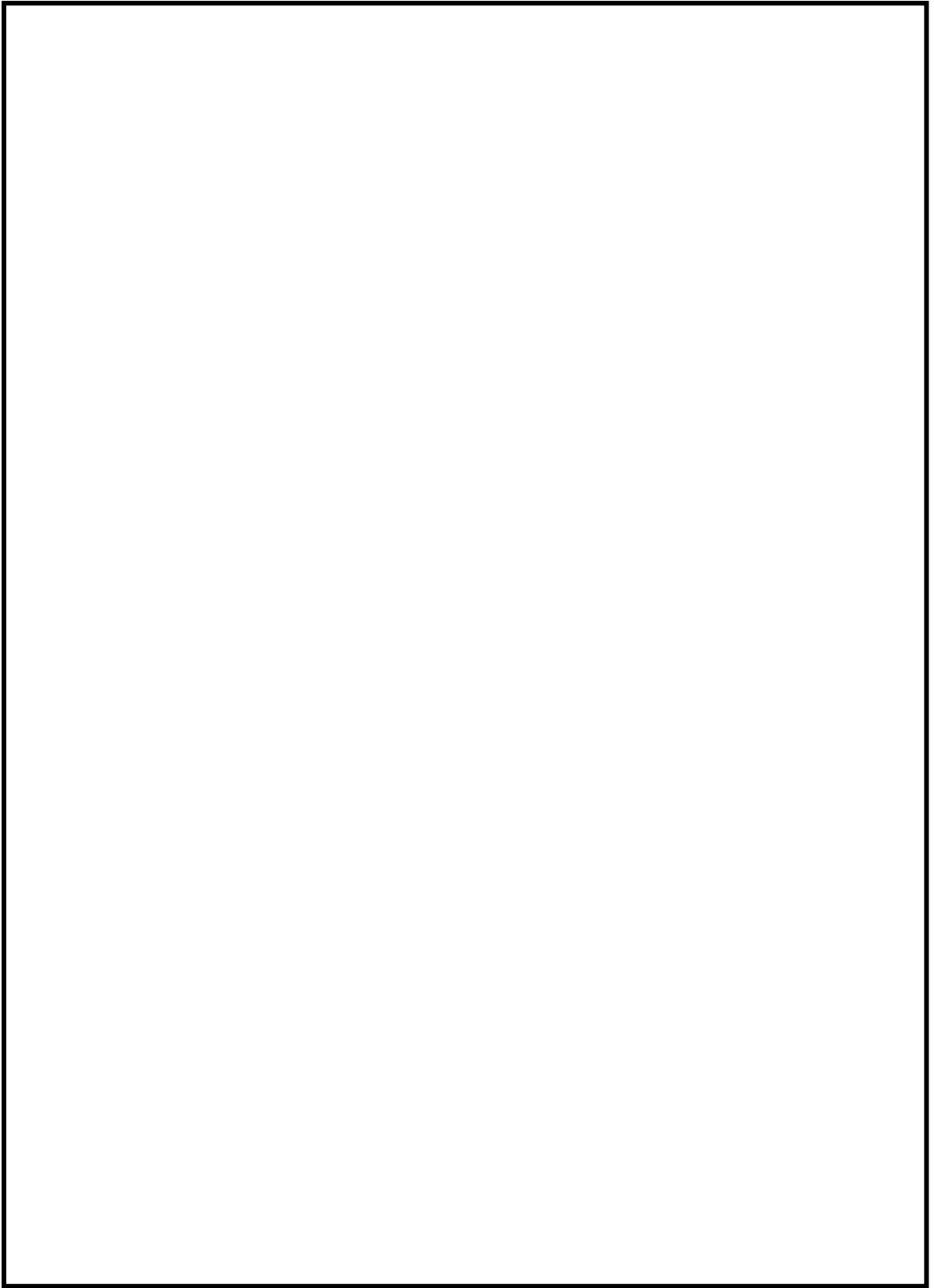


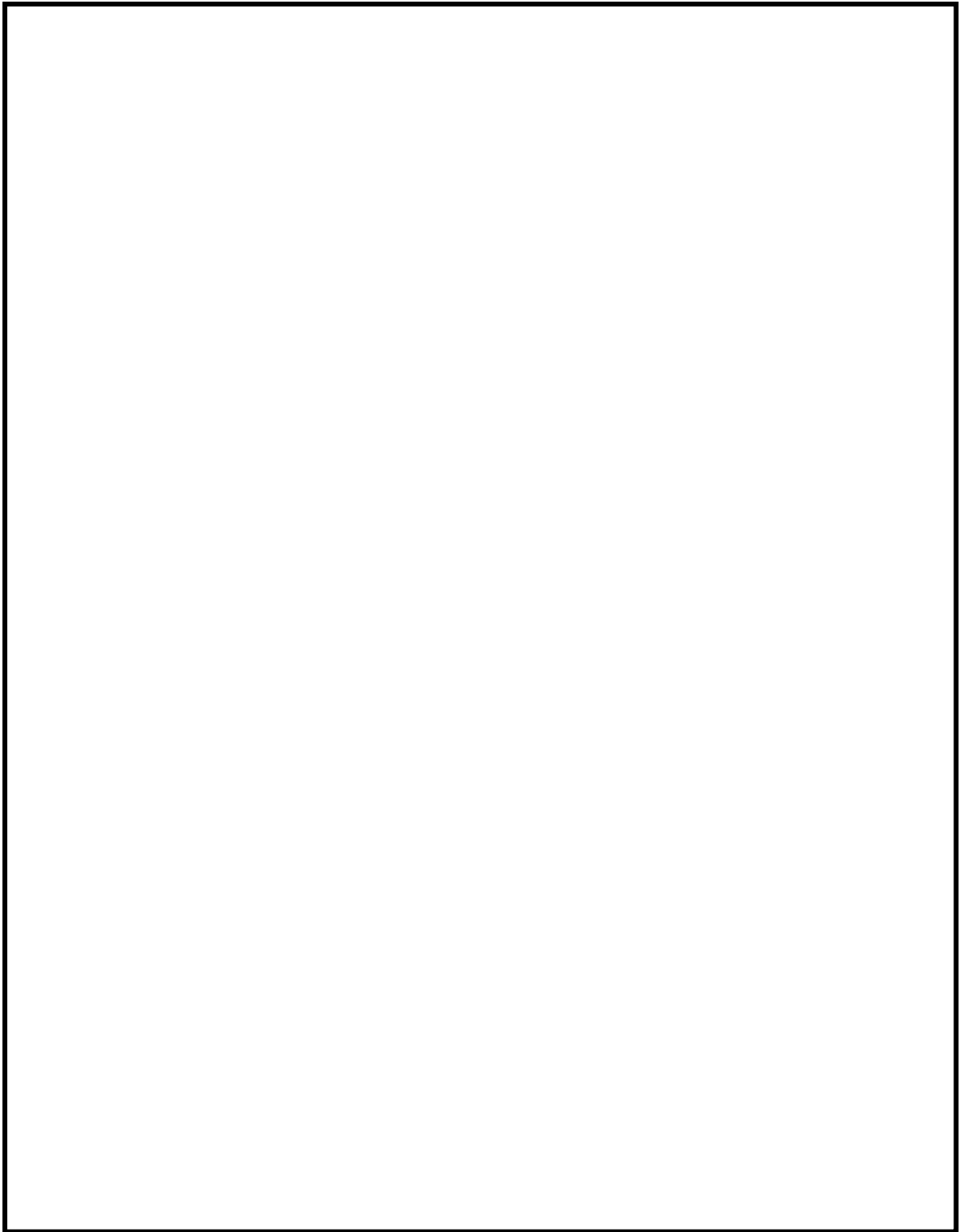


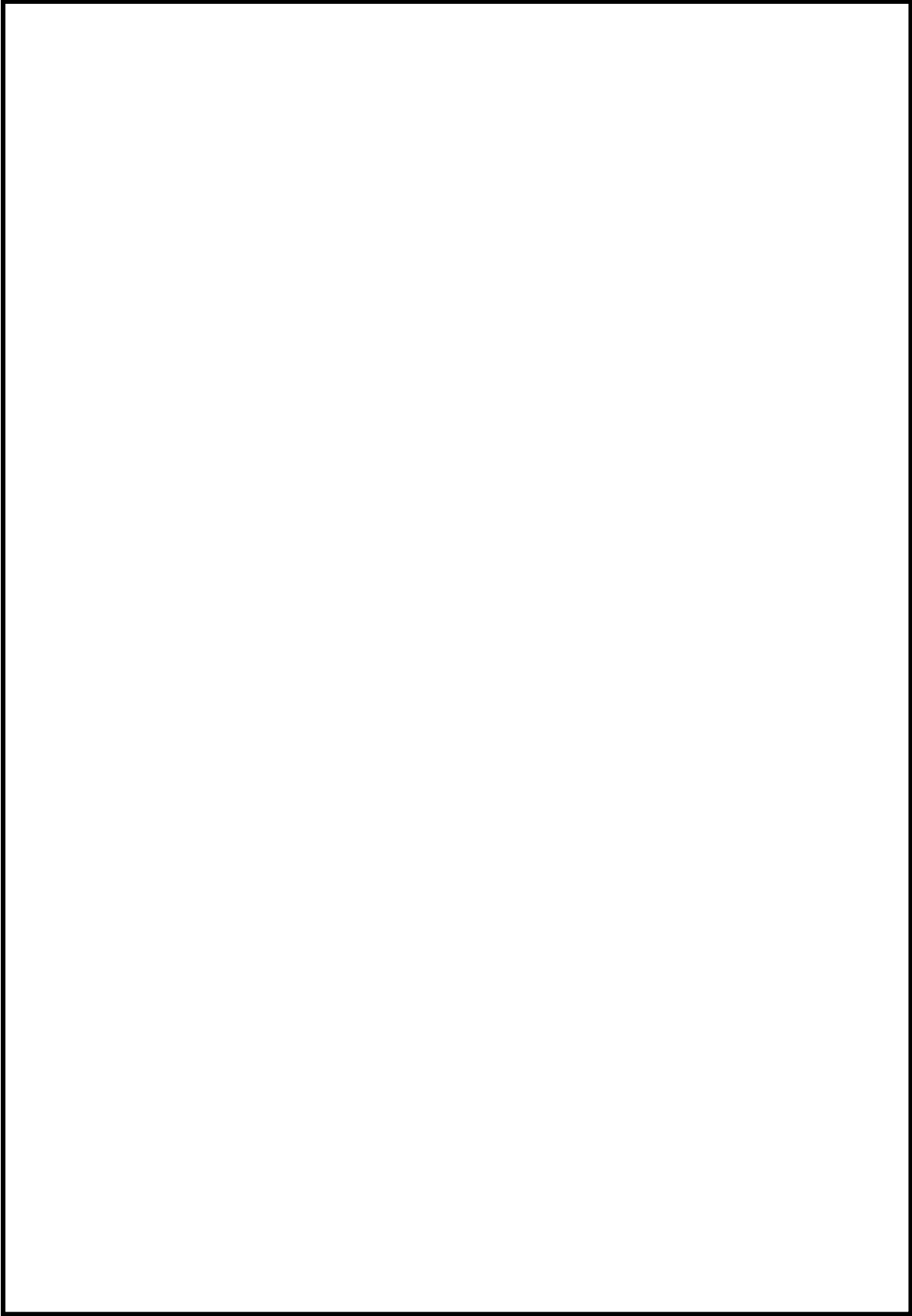






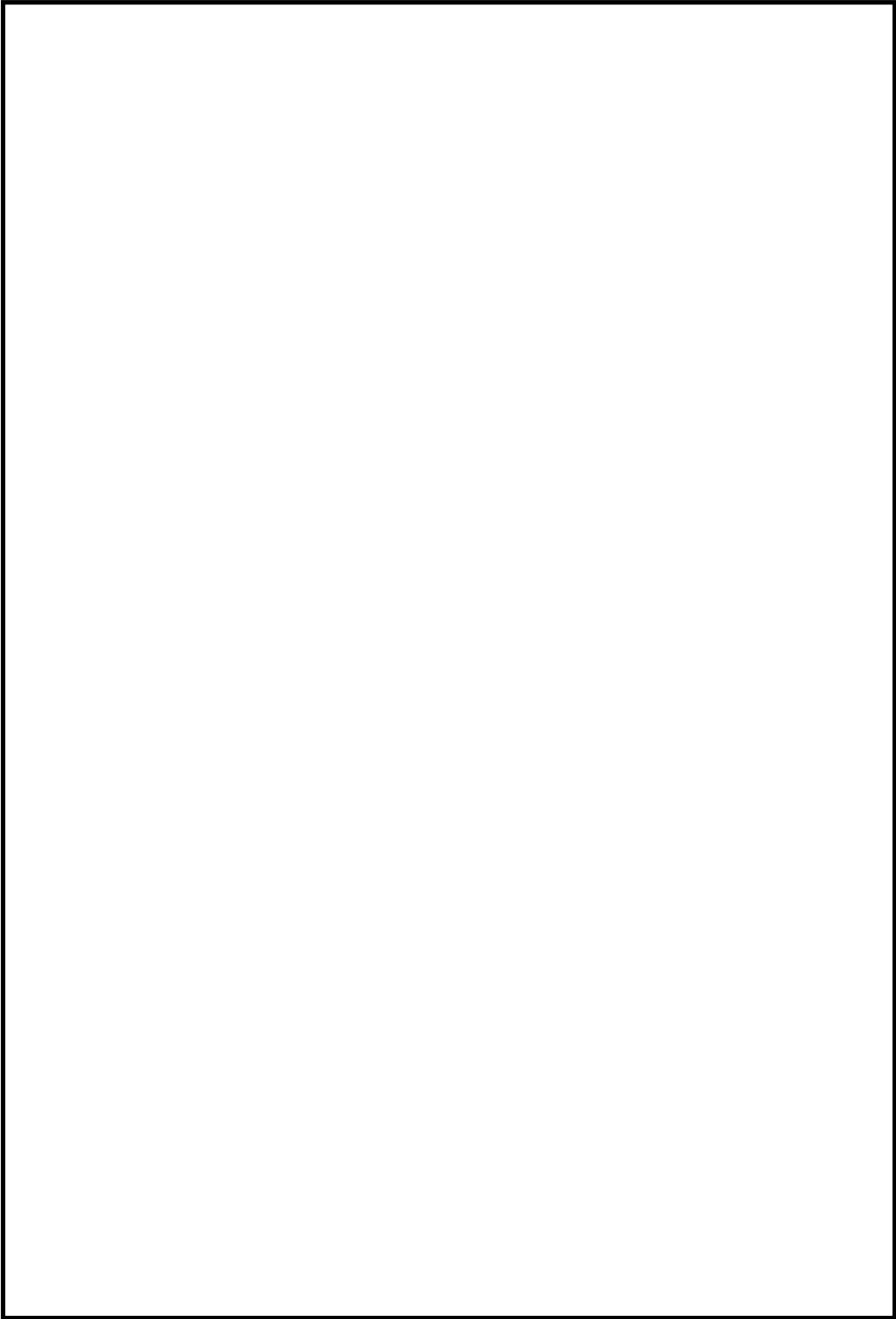


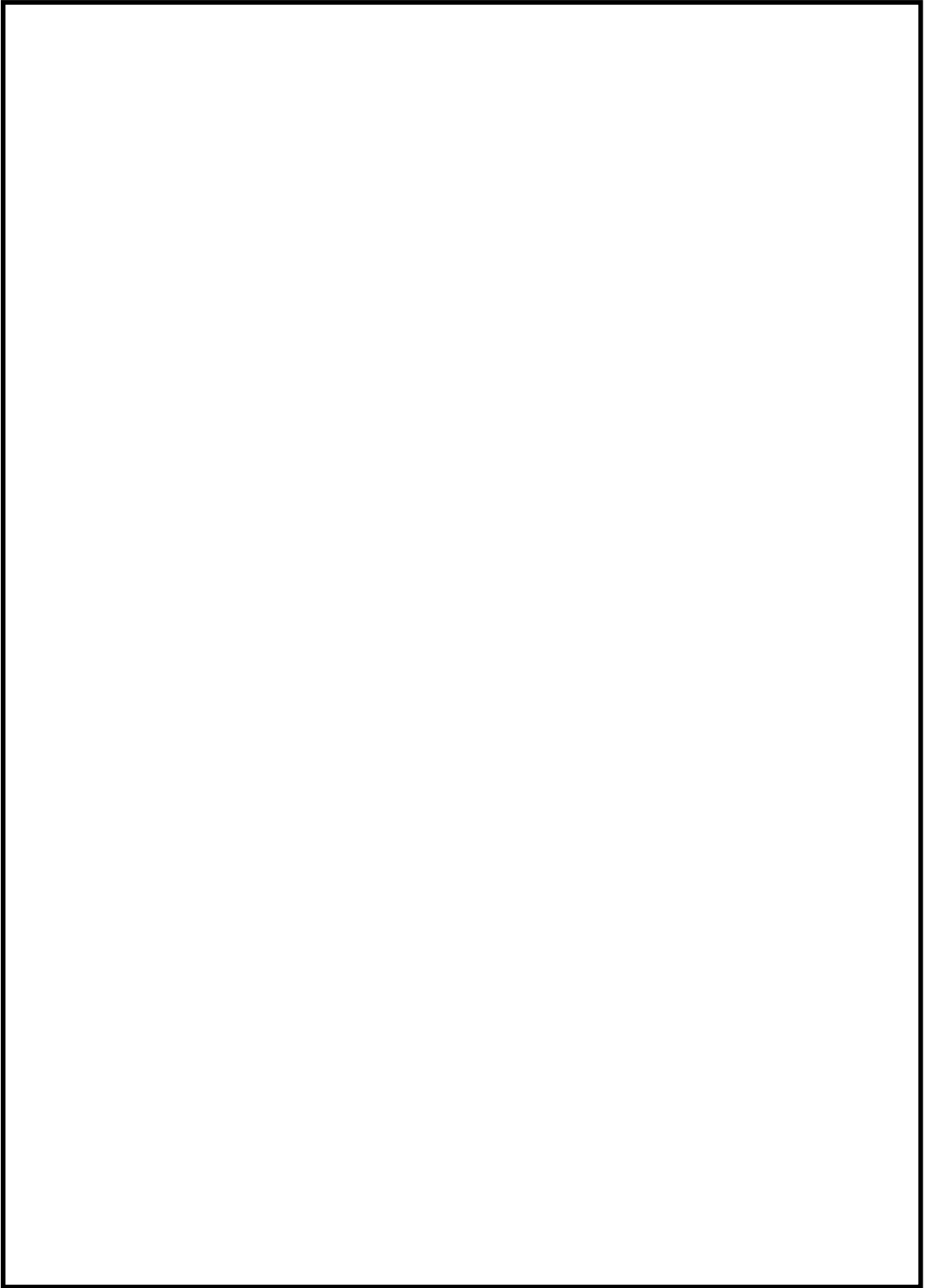


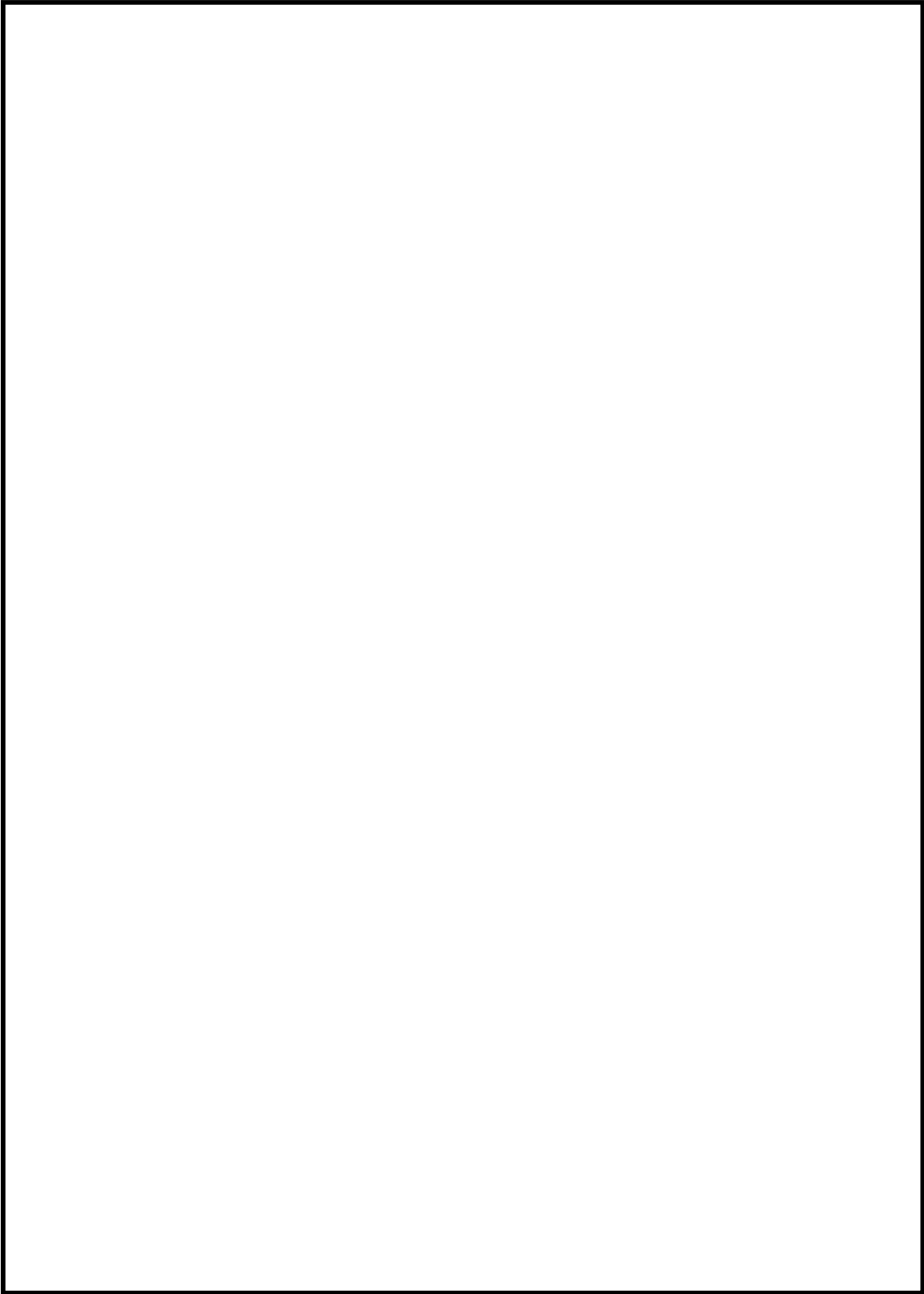


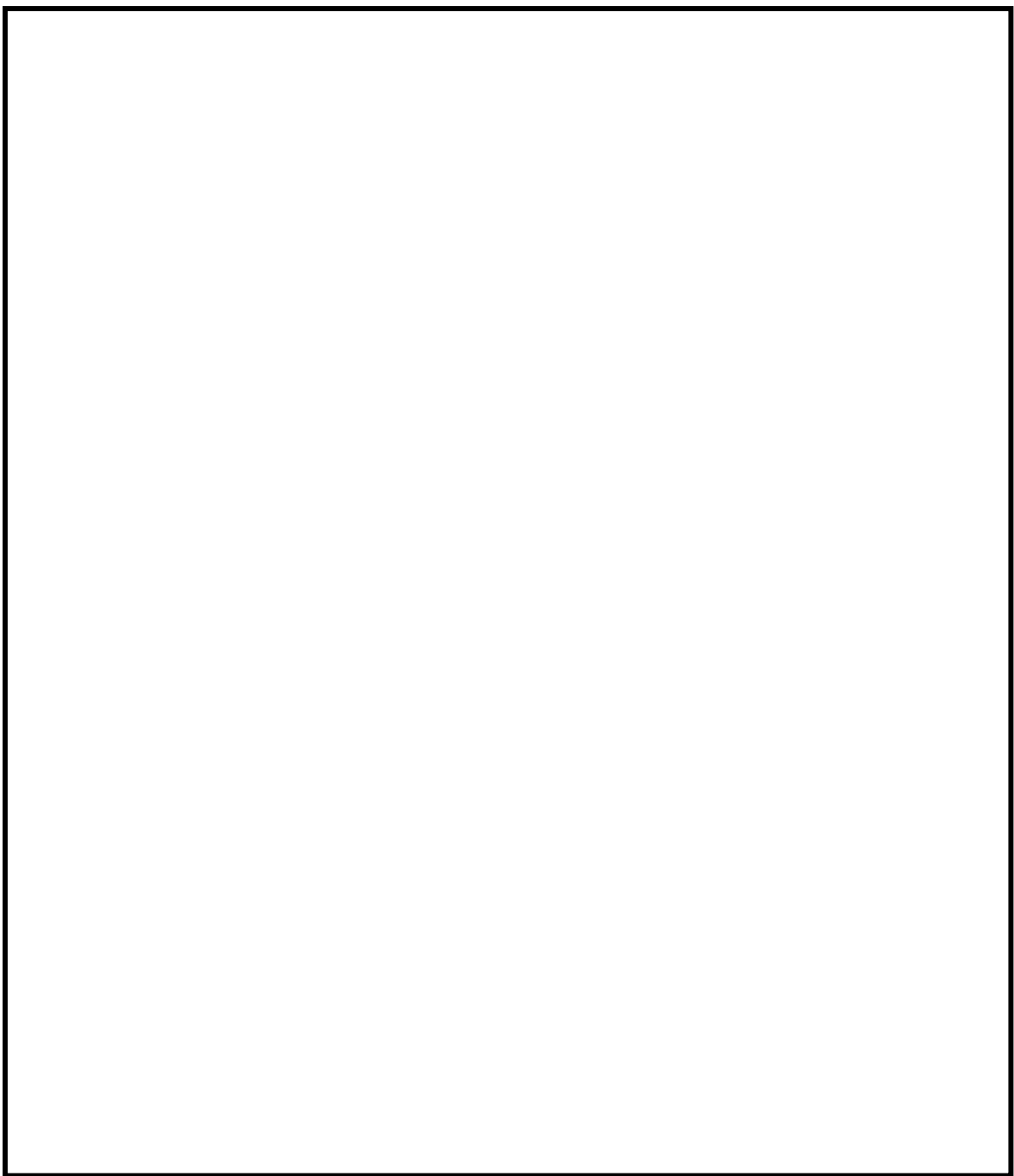


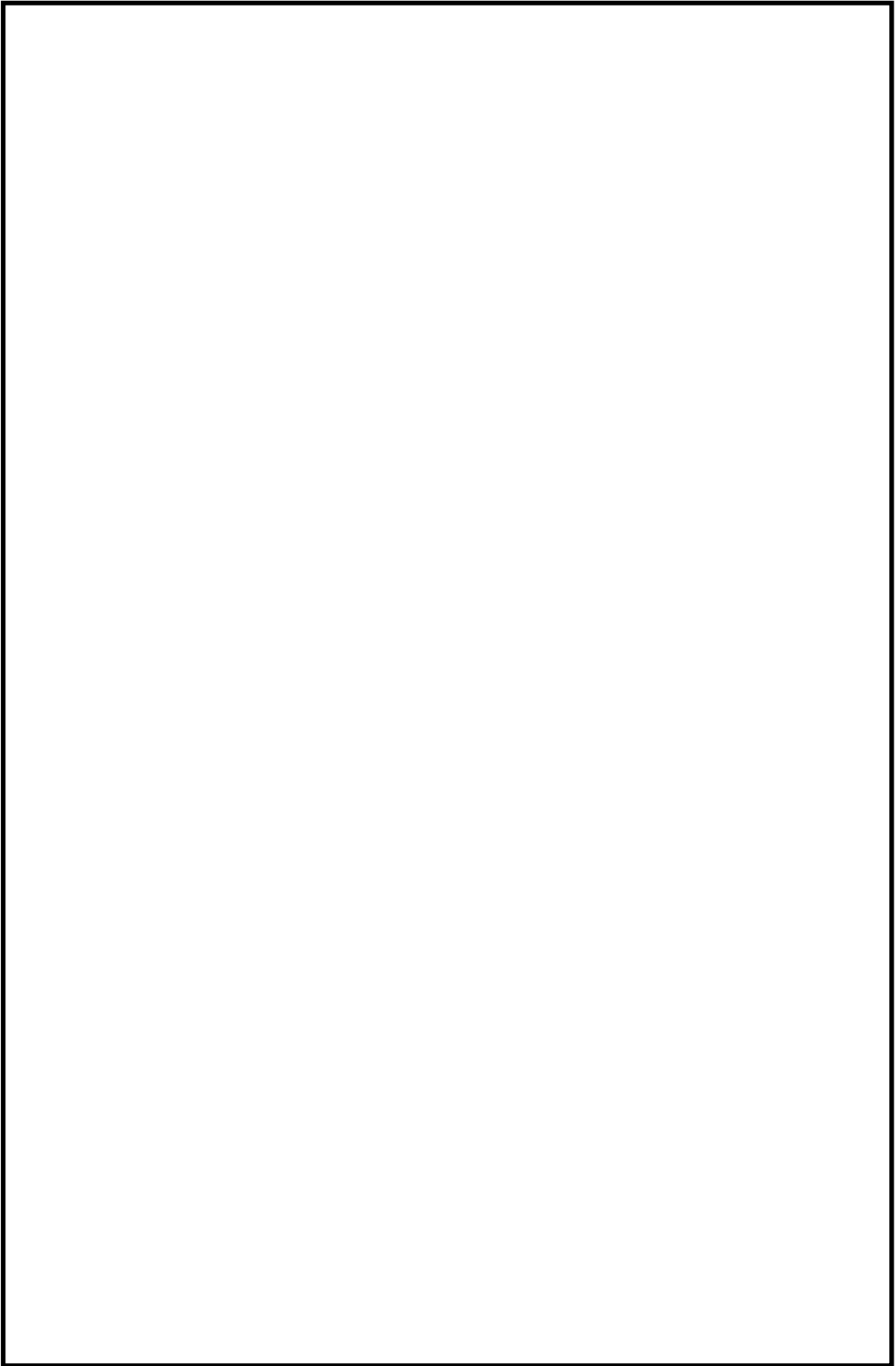


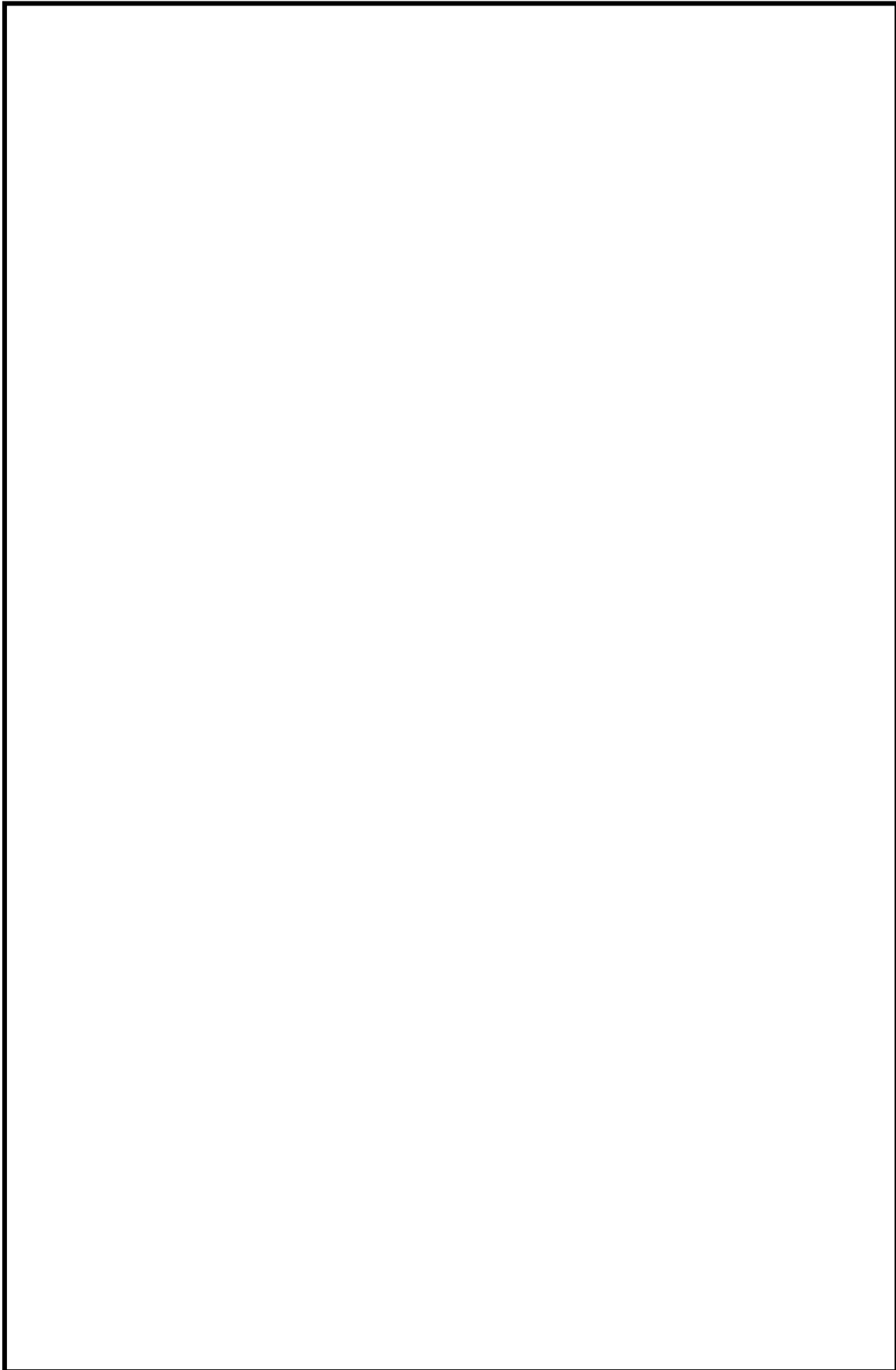


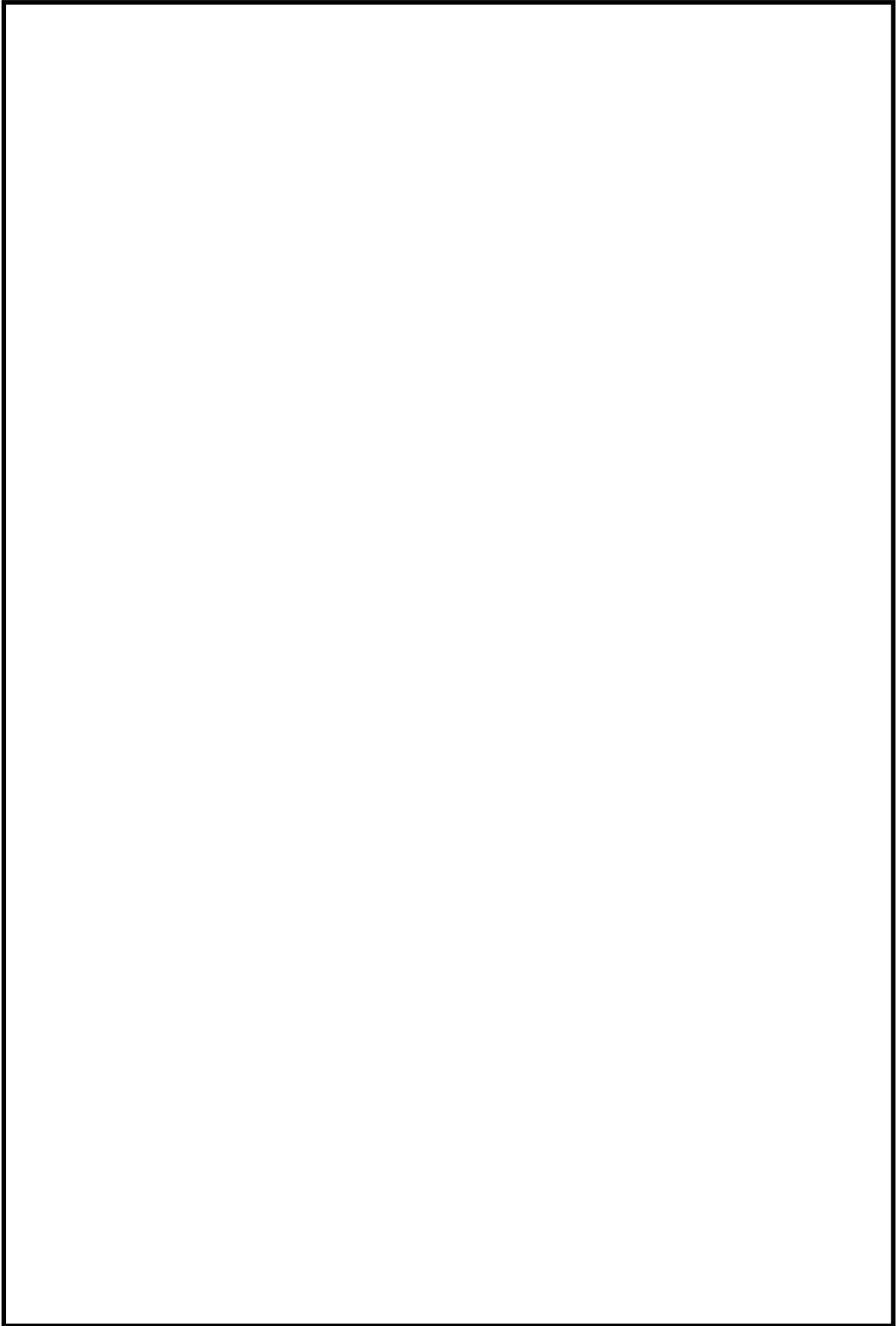


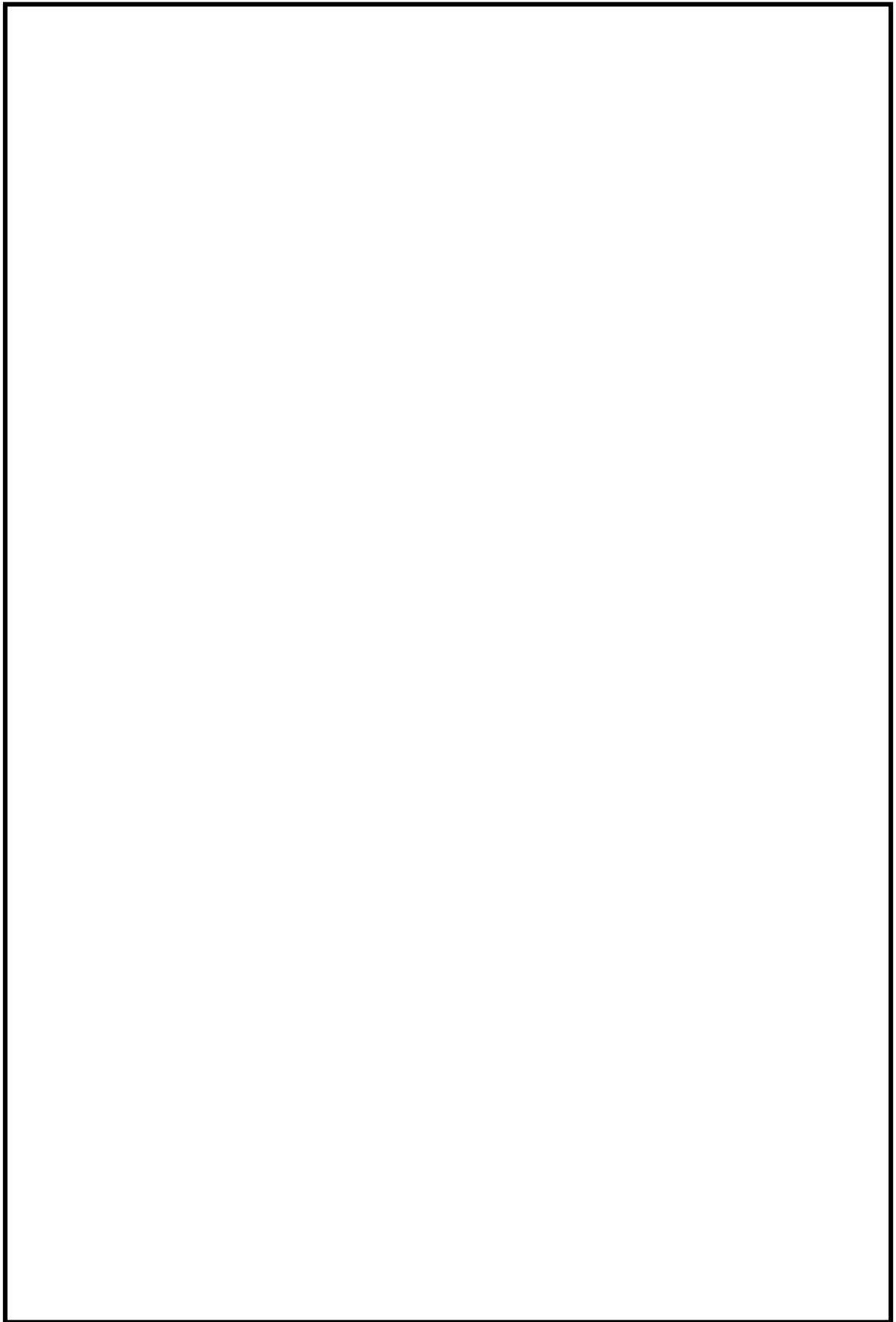


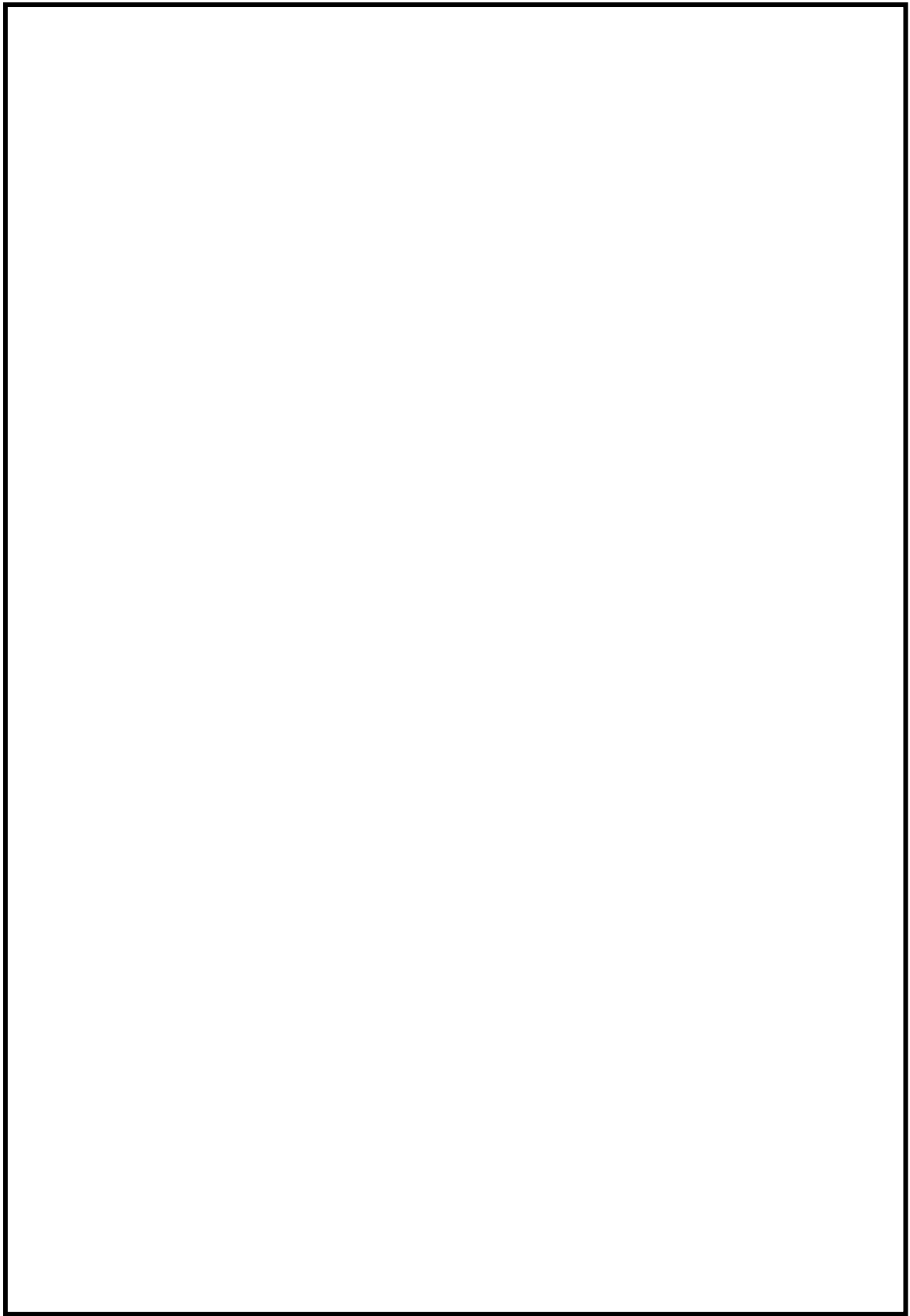


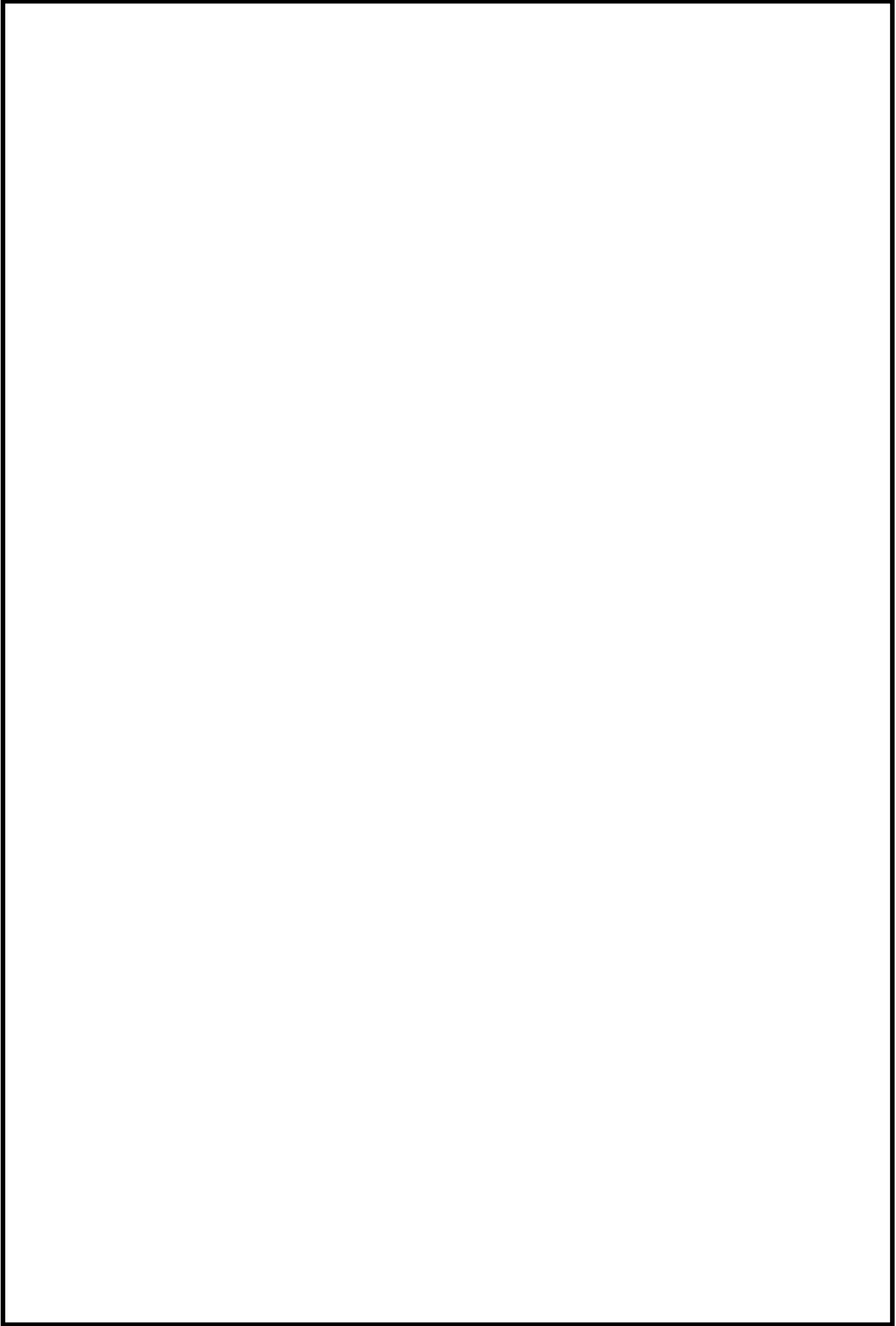


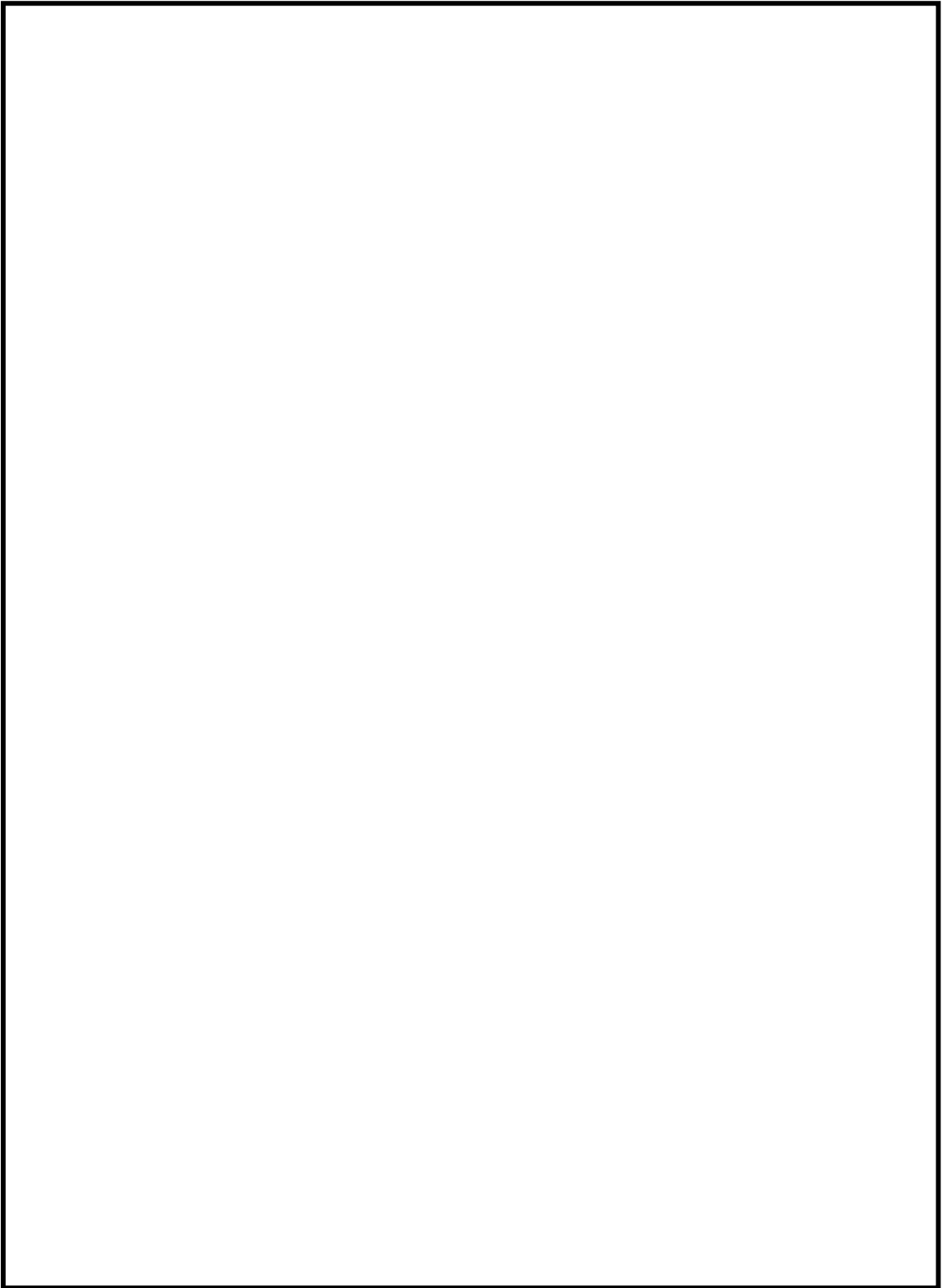


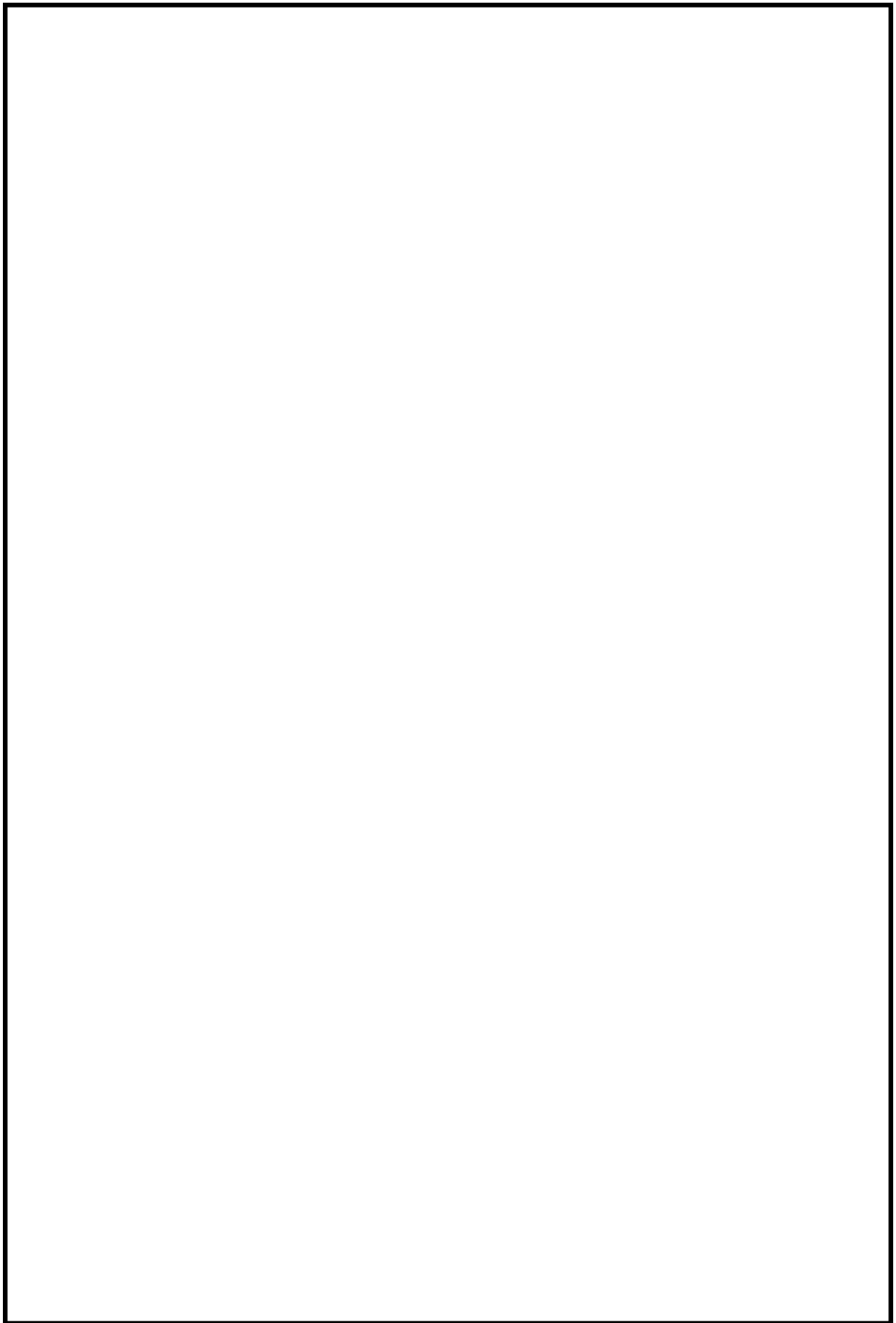


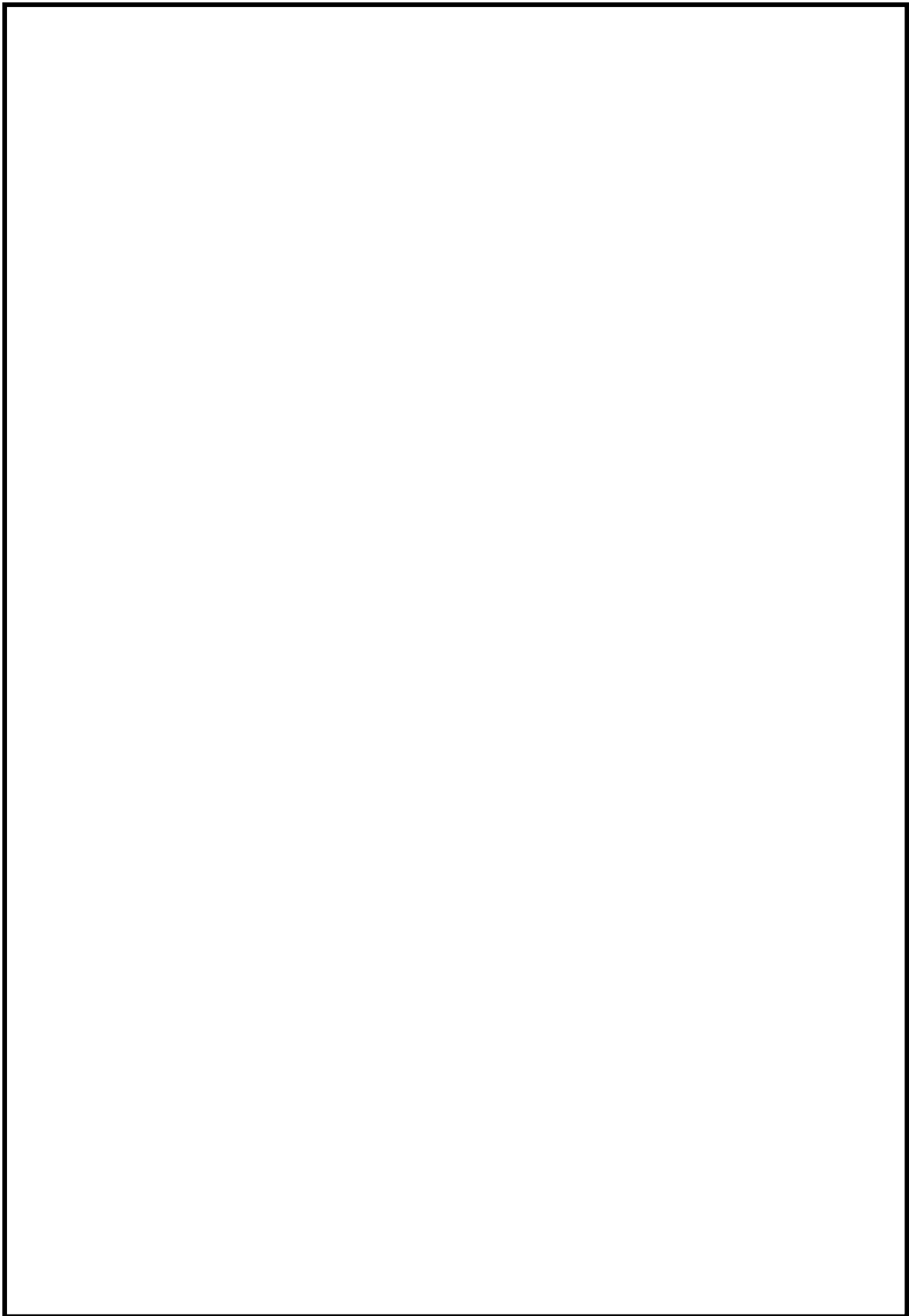


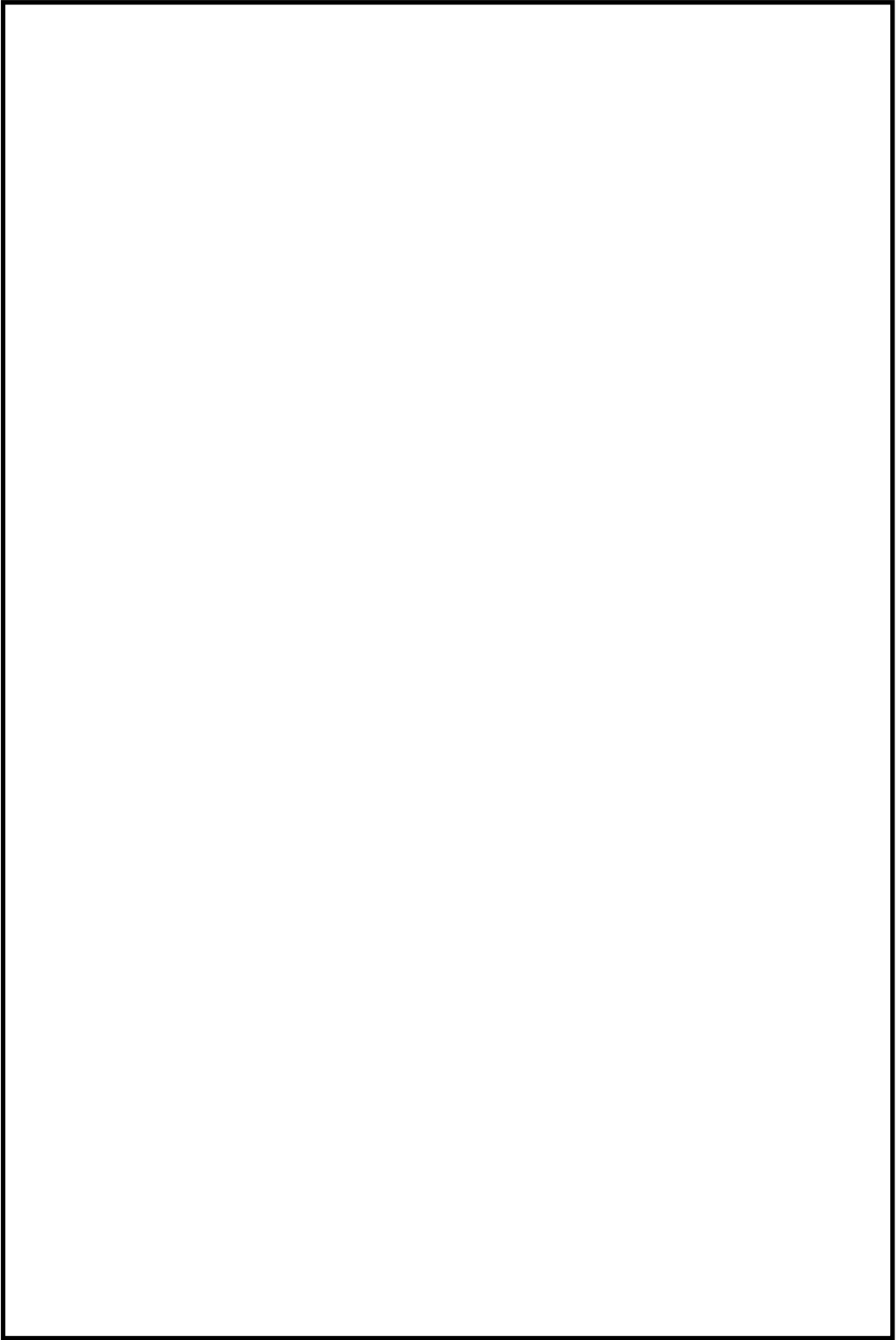


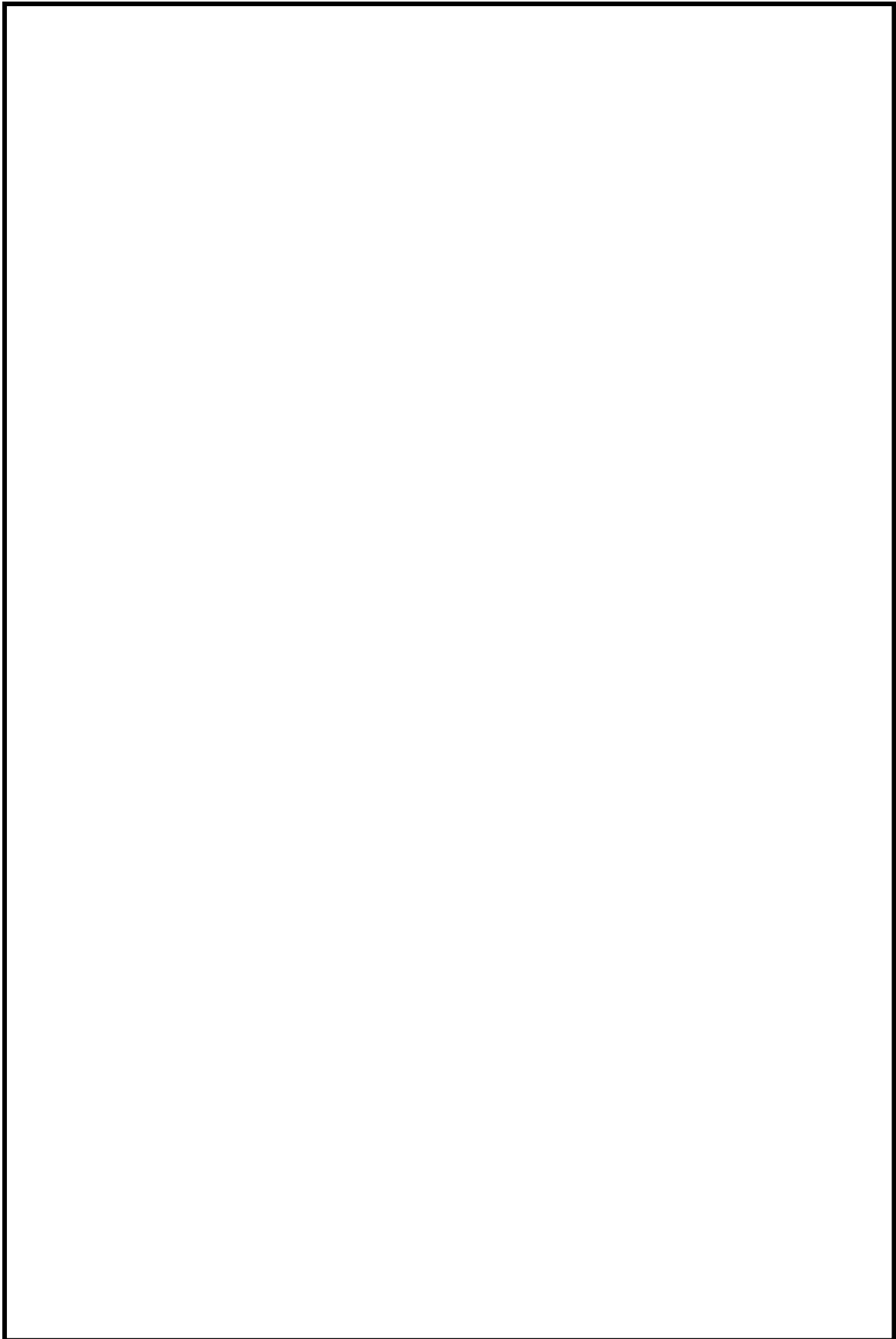


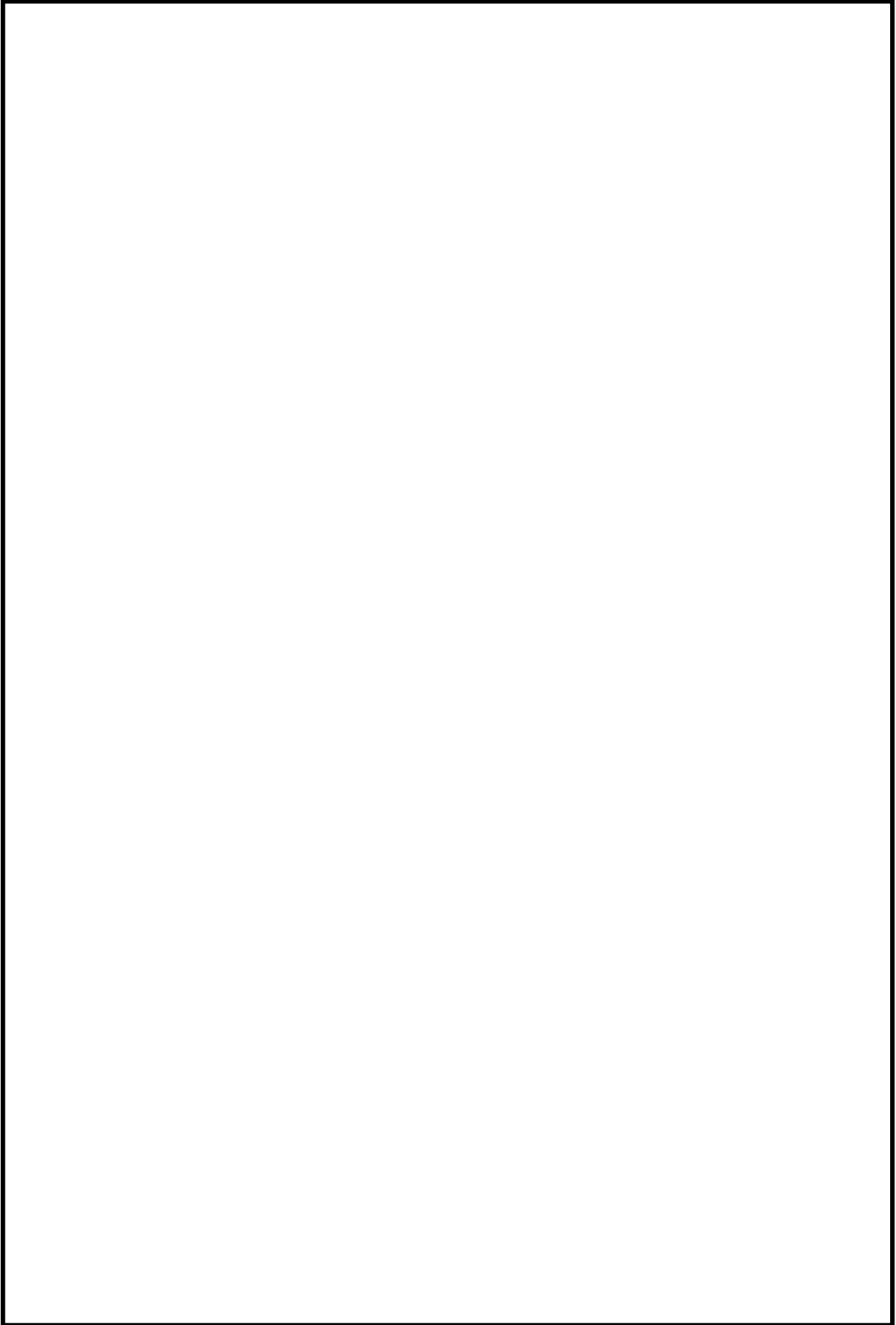


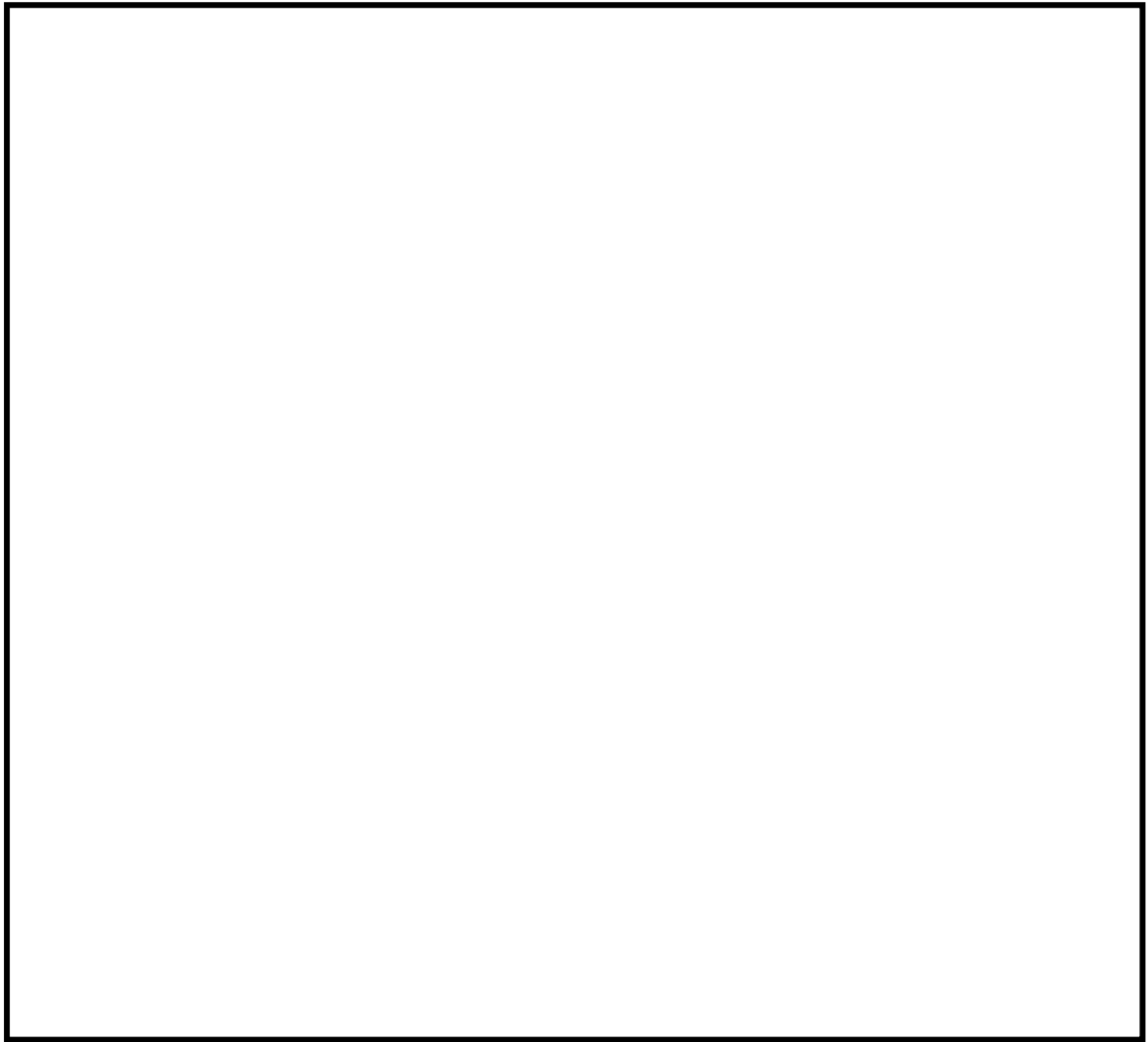


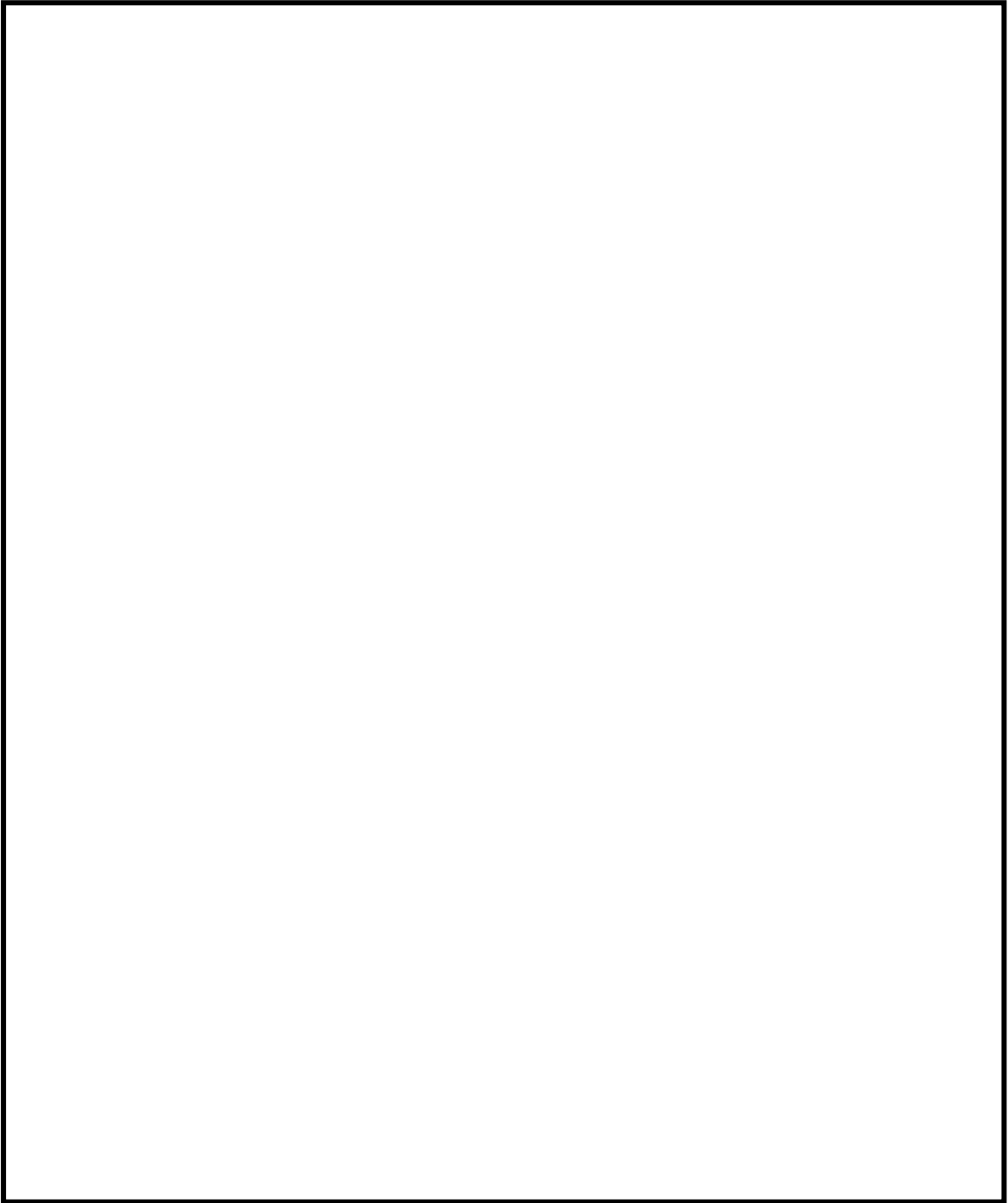


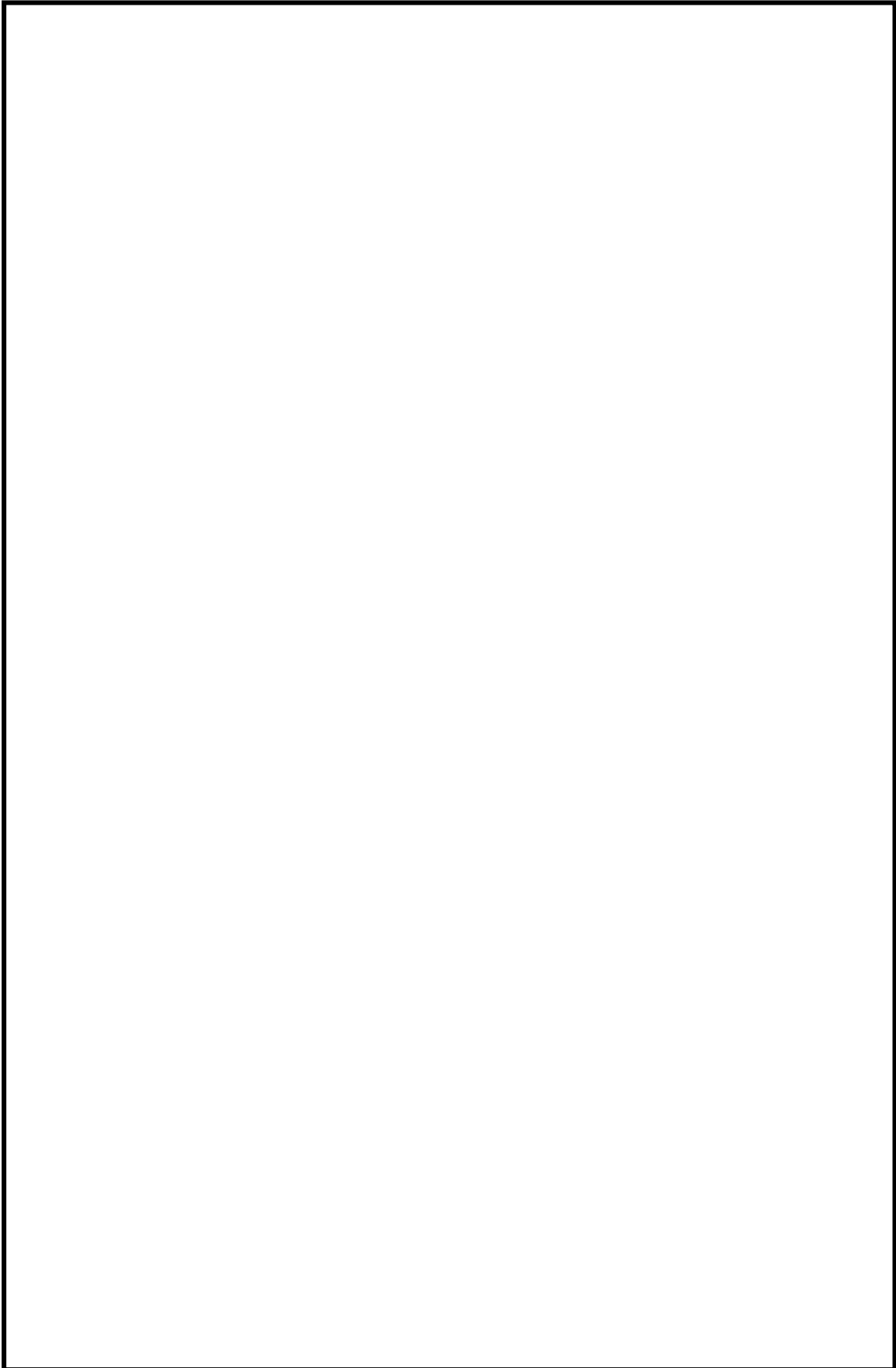


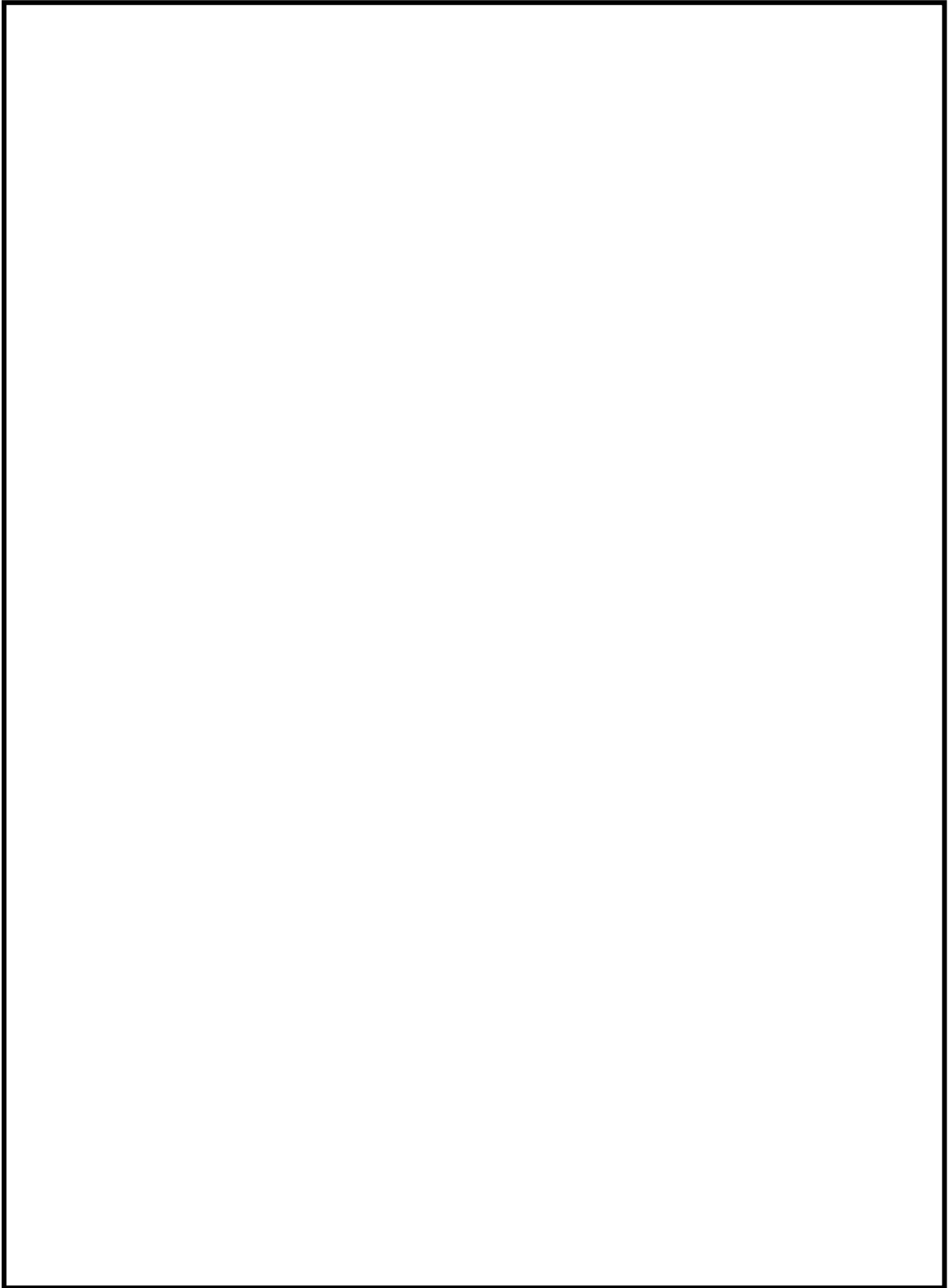


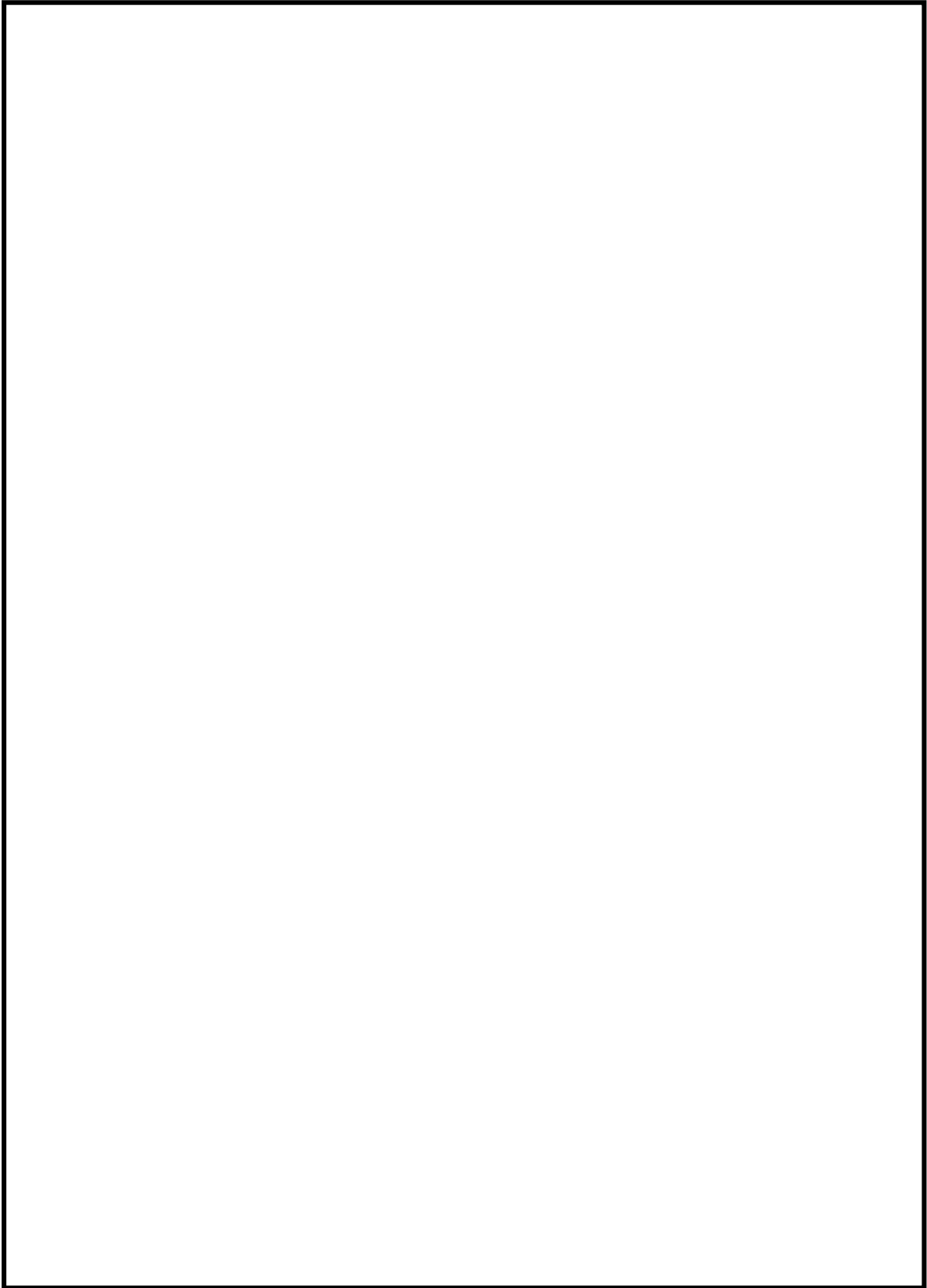


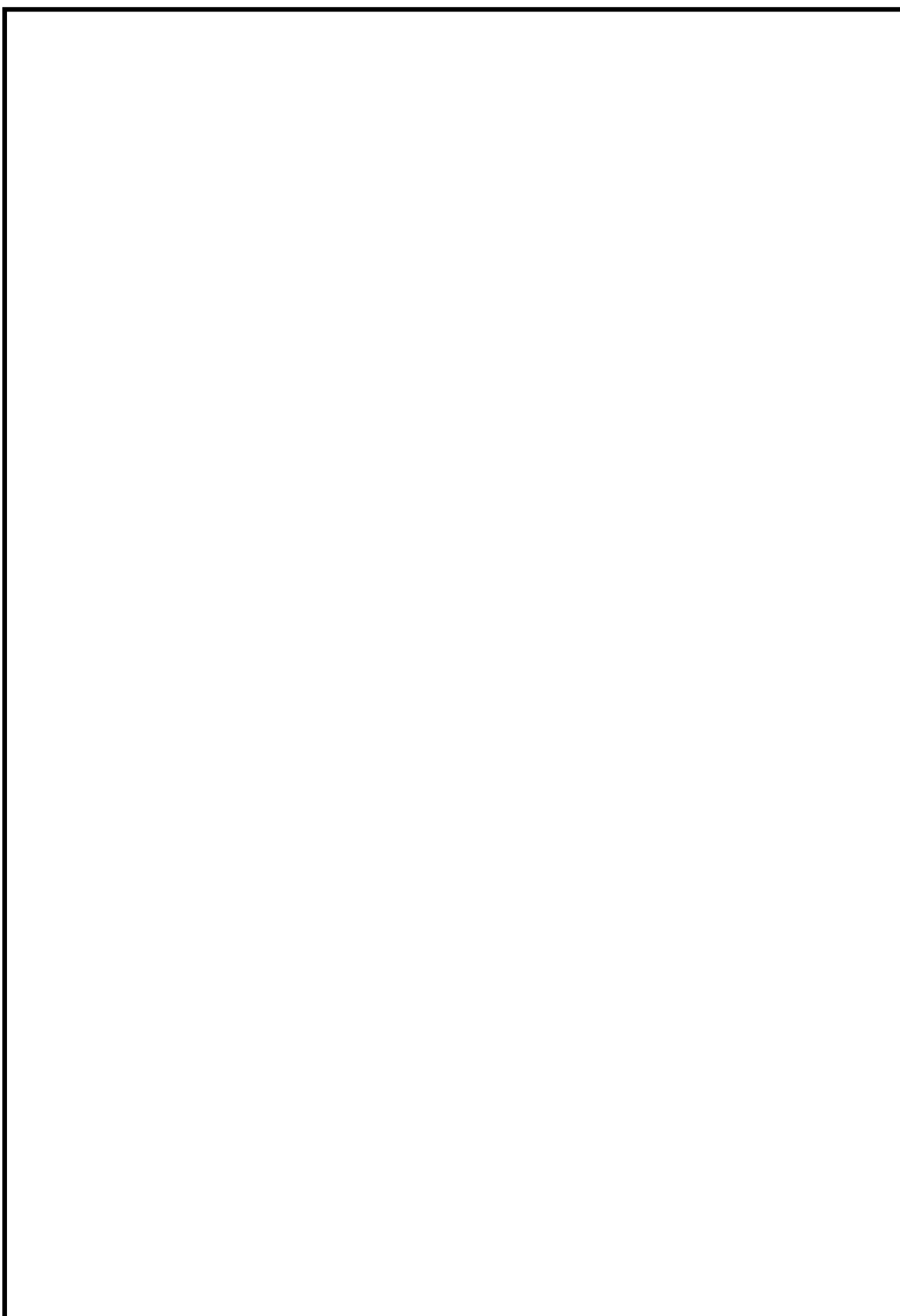


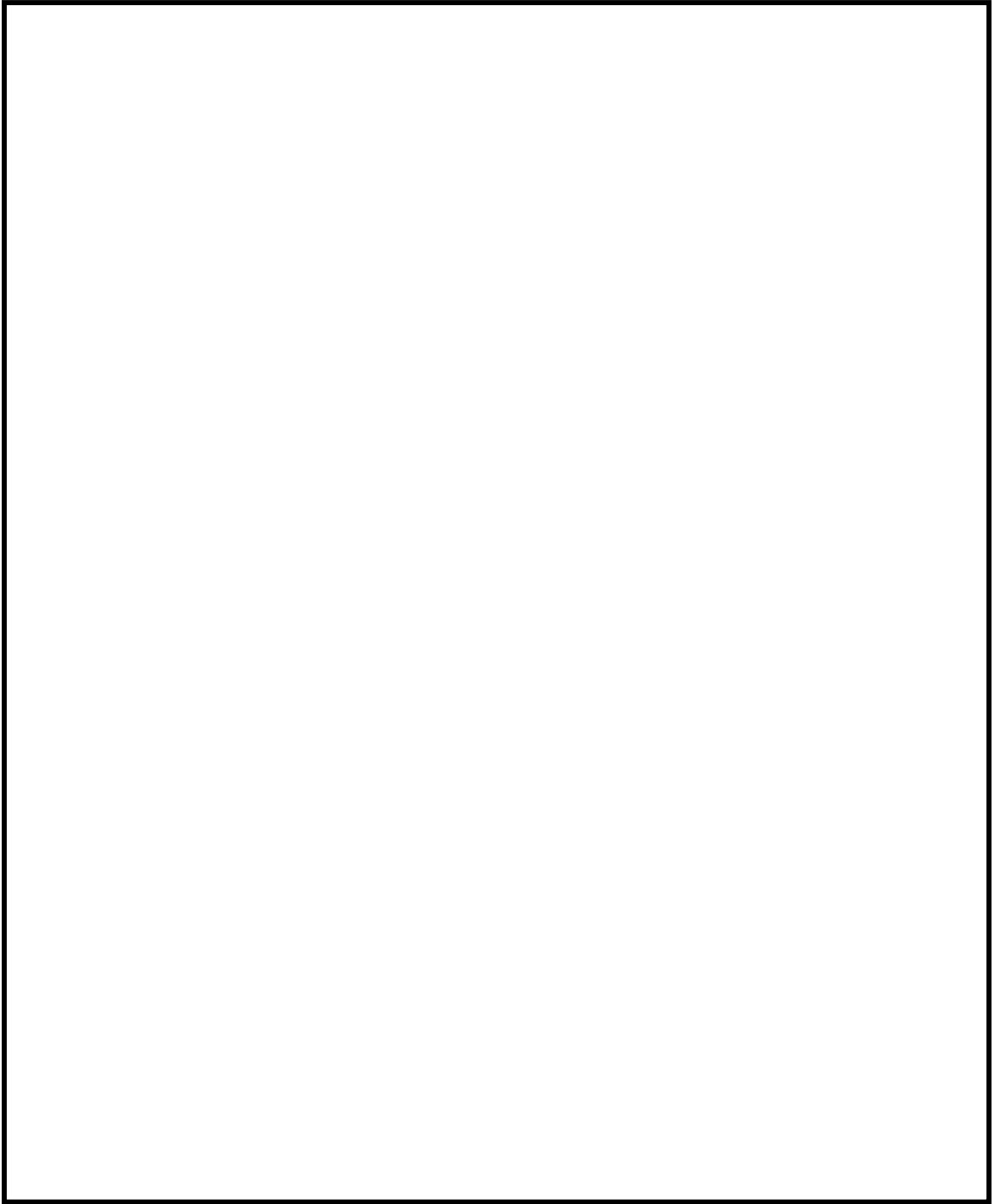


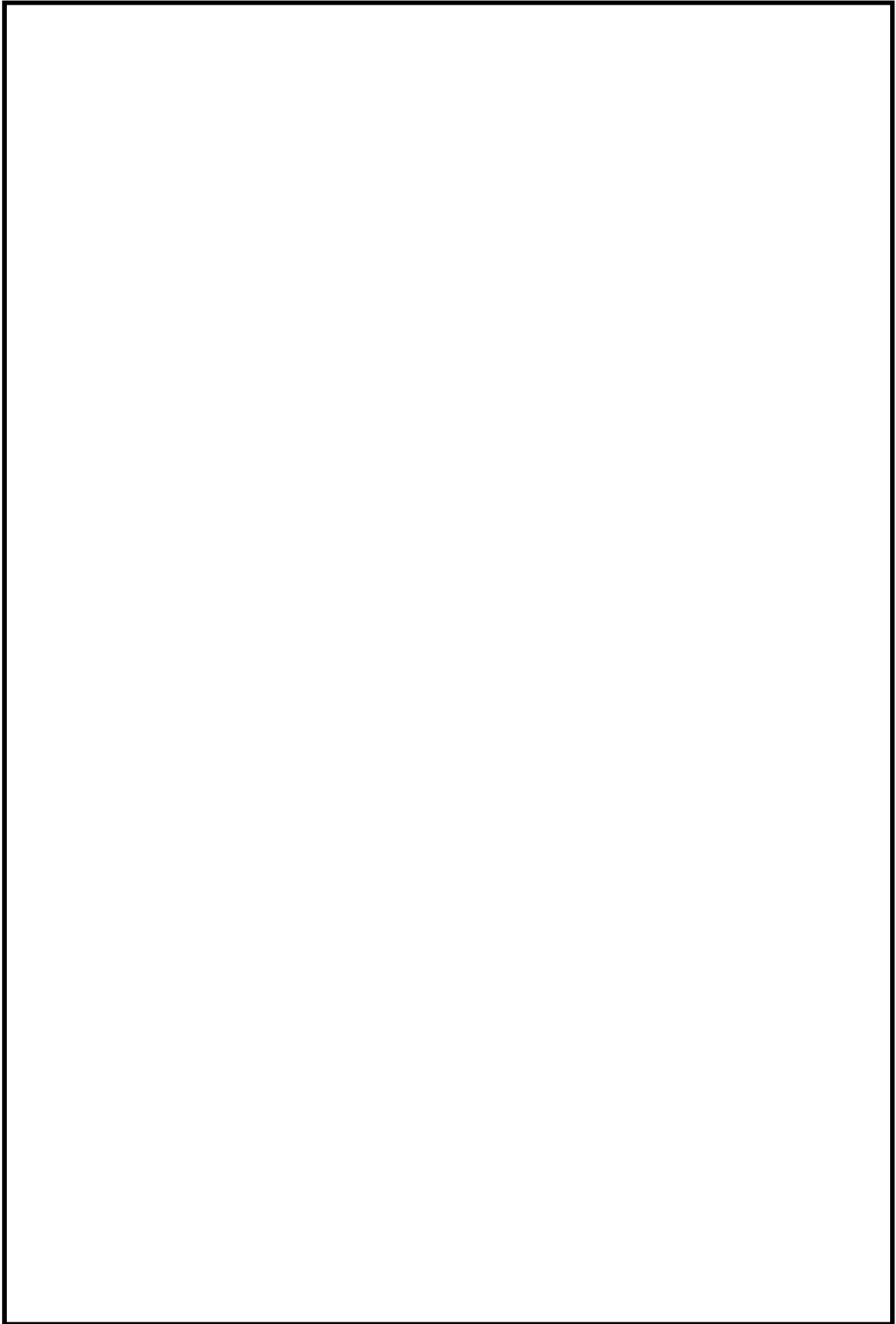


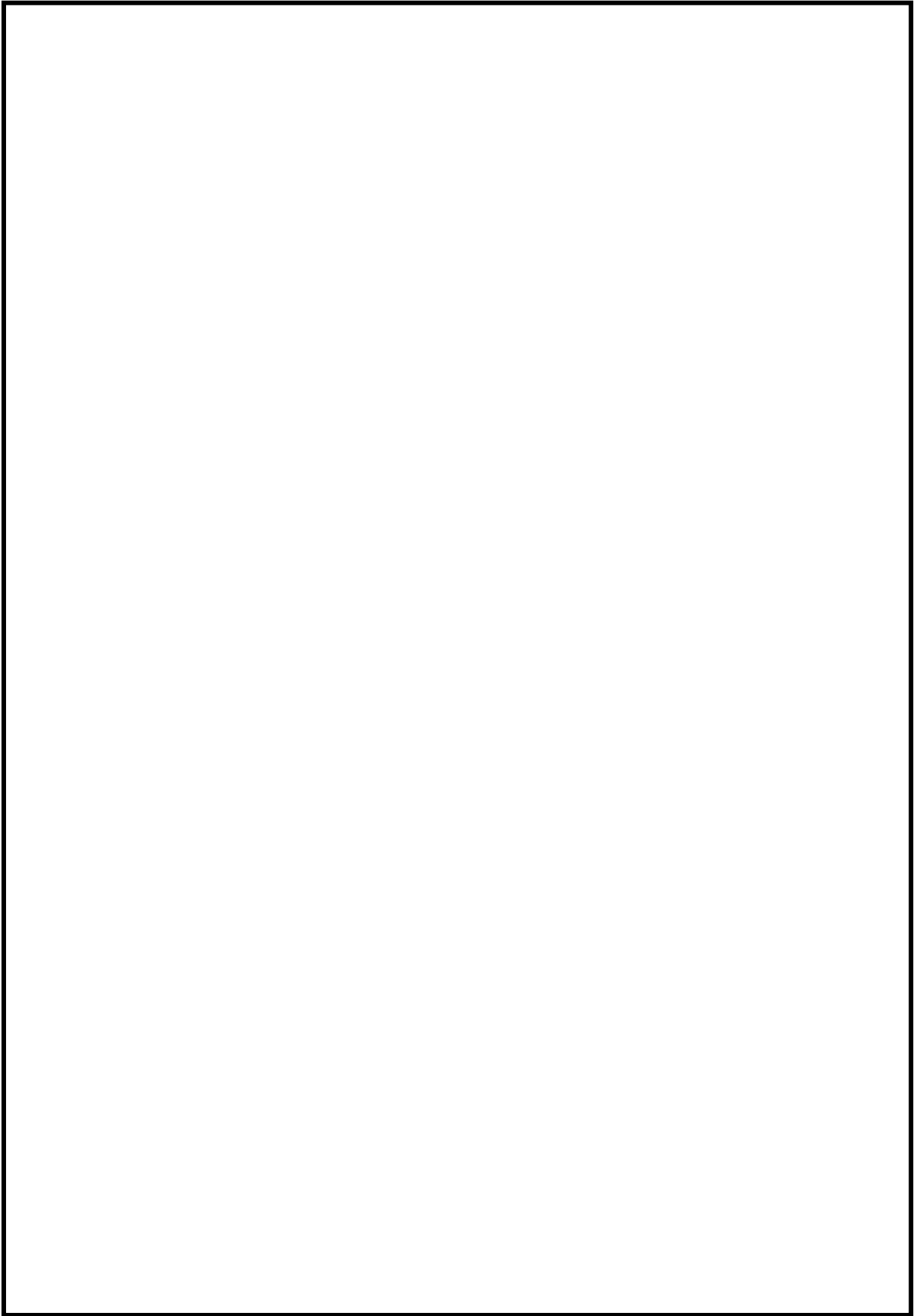


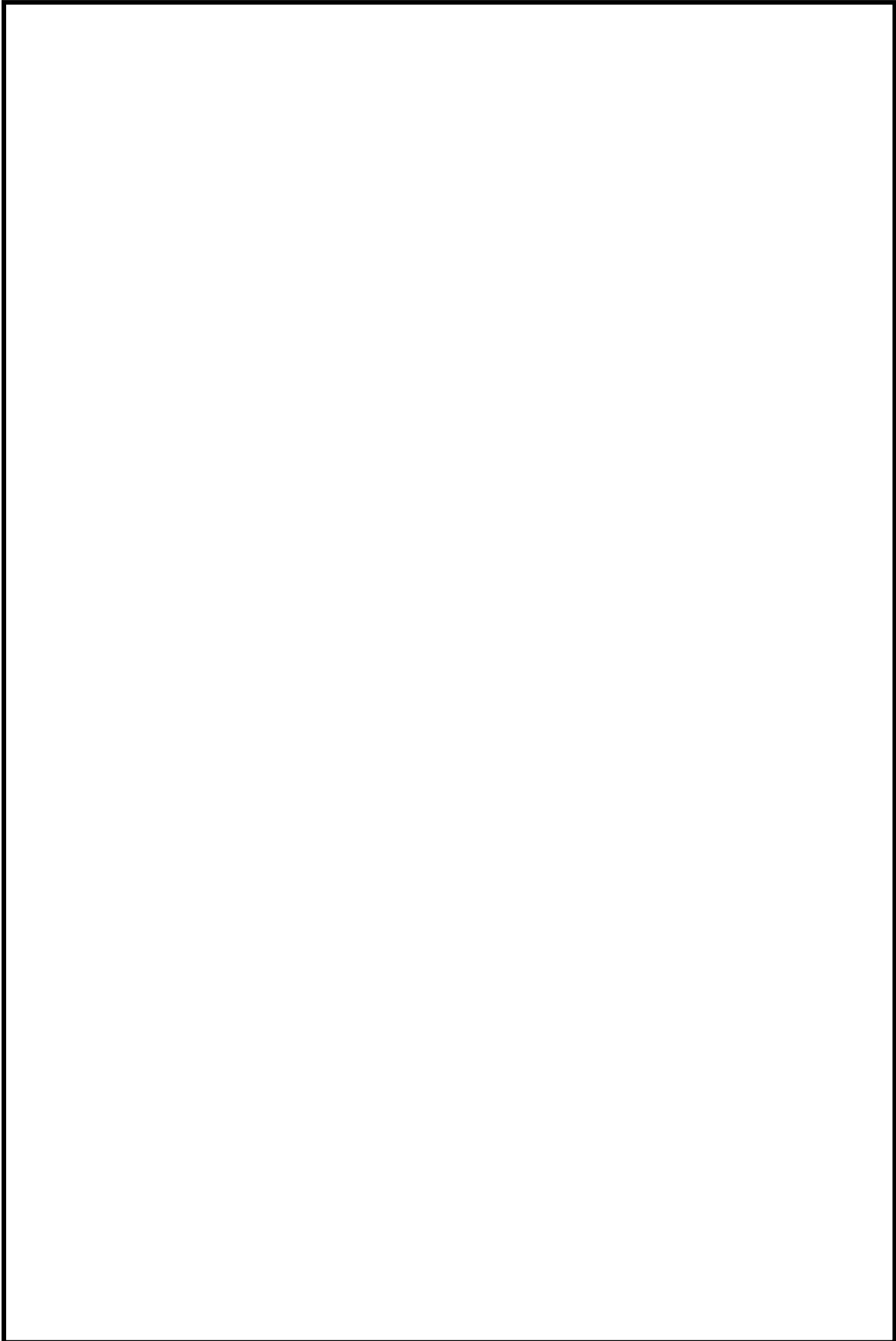


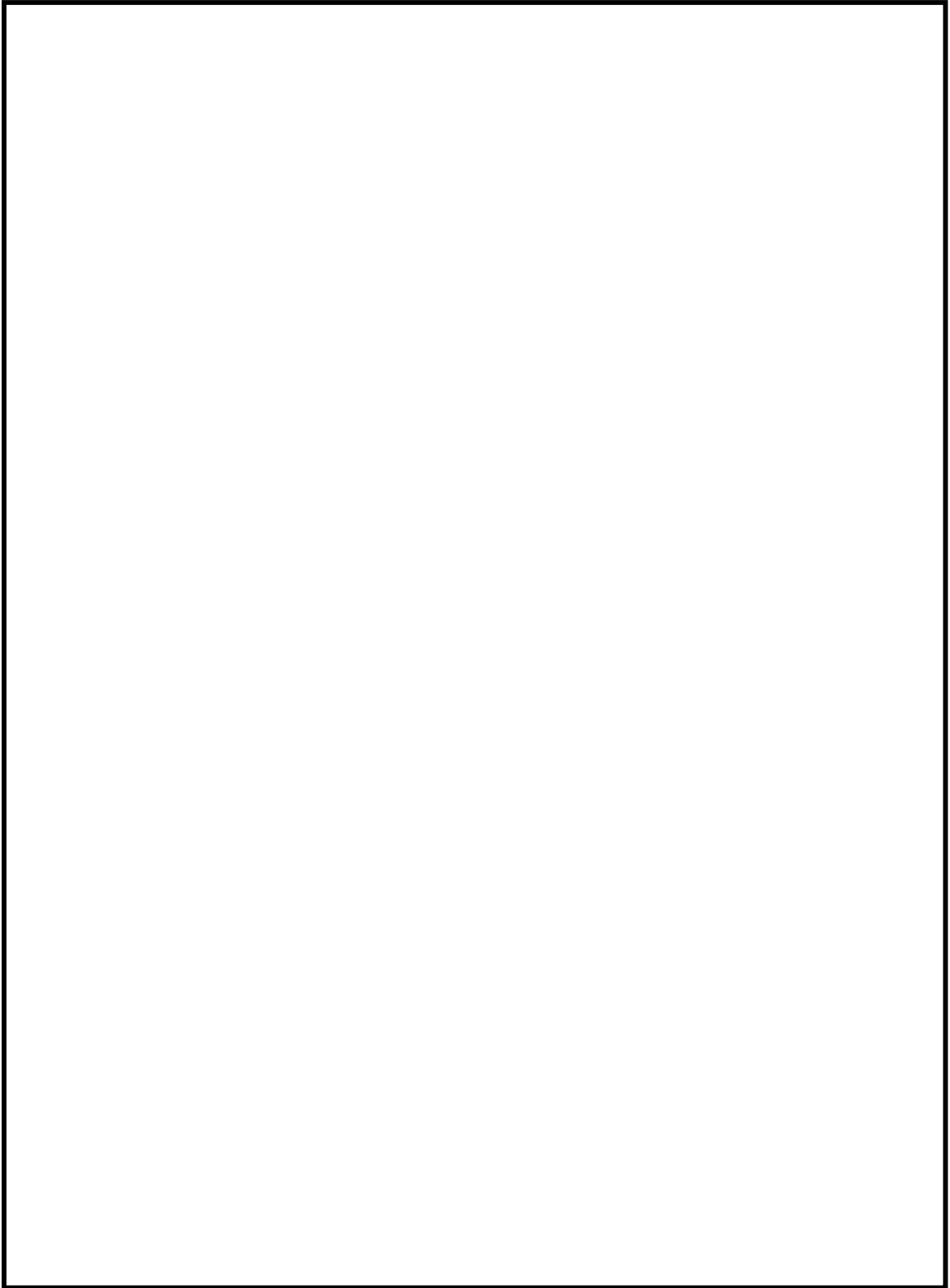


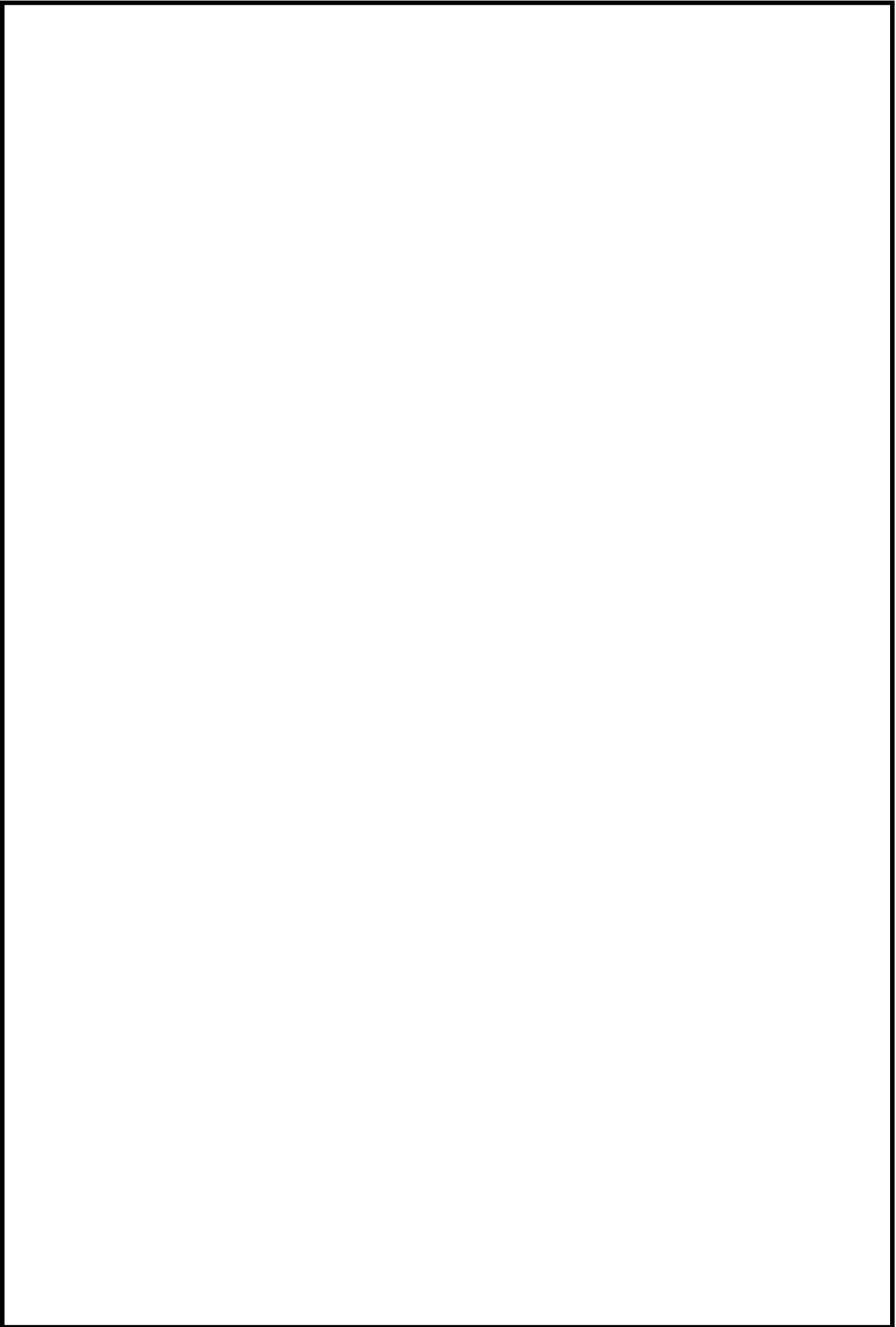


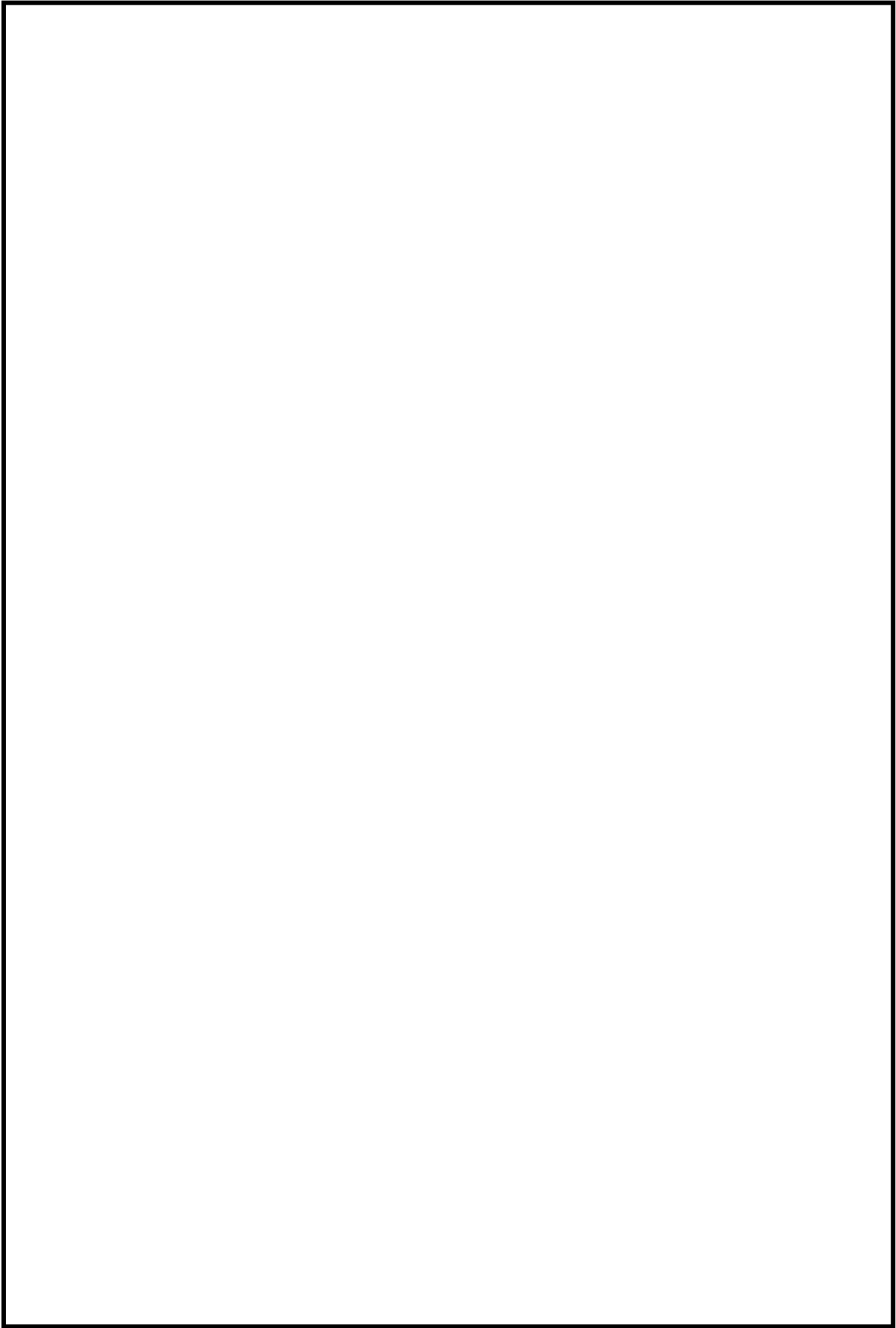


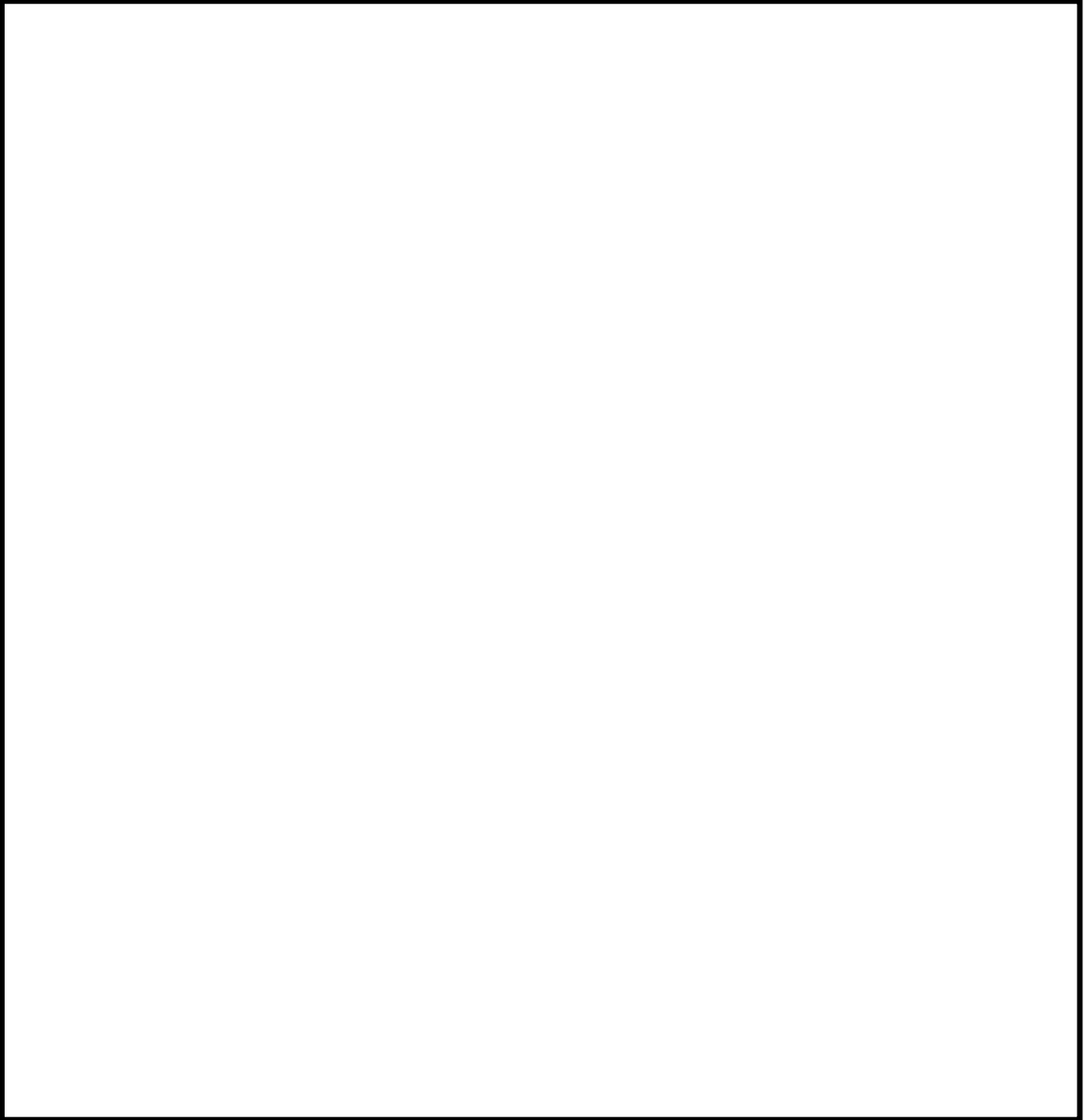














5. JNES研究の知見を踏まえた電共研の妥当性確認

5.1 JNES研究の試験方法

JNES研究におけるスナッパ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スナッパ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研究における加振試験と、電共研における振動試験の試験条件の比較を表5-1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5-1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が、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研究の加振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スナッパの仕様の比較を表5-2に示す。

表5-1 電共研とJNES研究の試験条件の比較

比較項目	電共研 振動試験	JNES研究 加振試験
加振波	正弦波	
振動数	9Hz	
加振時間	10秒程度	
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 5-2 スナッパ試験体仕様の比較

試験種類	電共研		J N E S 研究	
	型式	試験体 No.	型式	試験体 No.
振動試験	SMS-03	SMS-03-1		
	SMS-1	SMS-1-1		
	SMS-3	SMS-3-1~3		
	SMS-6	SMS-6-1		
	SMS-10	SMS-10-1		
	SHP-03	SHP-03-1		
	SHP-1	SHP-3-1~3		
	—	—		
	SHP-16	SHP-16-1		
	—	—		
	SN-03	SN-03-1		
	SN-3	SN-3-1~3		
	—	—		
	SN-6	SN-6		
	SN-16	SN-16		
—	—			
座屈試験	SMS-03	—		
	SHP-03			
	SN-03			

5.2 J N E S 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 J N E S 研究における耐力確認荷重及び耐力値との比較を表 5-3 に示す。なお、J N E S 研究の耐力値は、J N E S にて加振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 J N E S 研究で同様である。

表 5-3 に示すとおり、スナッパが損傷に至るまで加振できなかった型式を除き、J N E S 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、J N E S 研究の耐力確認荷重は J N E S 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 J N E S 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 5-3 の注記*4 に記載したボールねじの断面積など、J N E S 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 J N E S 研究との最小裕度部品も異なっている。なお、

スナッパは製作性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、J N E S 研究の試験結果を含めた知見として比較しても、電共研の限界耐力値を含めた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 5-3 電共研の限界耐力値と J N E S 研究における耐力値及び耐力確認荷重との比較 (1/3)

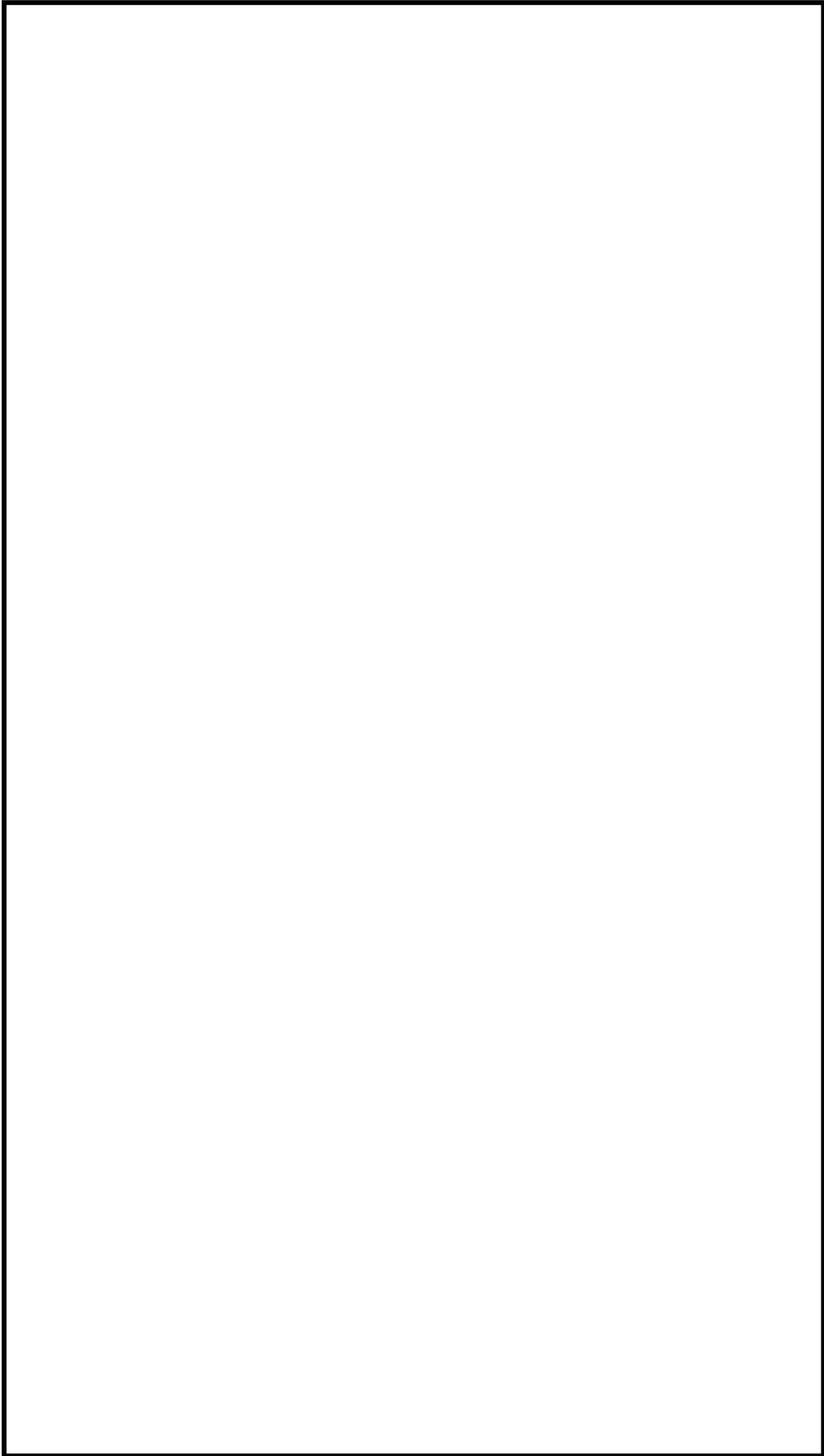
型式	定格荷重 (kN)	電共研			J N E S 研究				J N E S 耐力値 / 電共研限界耐力値 [D/B]	
		耐力確認荷重 *1 (kN) [A]	限界耐力値 *1 (kN) [B]	最小裕度部品の種類	耐力確認荷重 *1 (kN) [C]	耐力値 *1 (kN) [D]	最小裕度部品の種類	最小裕度部品の種類		
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	六角ボルト	構造部材	六角ボルト	六角ボルト	六角ボルト	構造部材
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	六角ボルト	構造部材	六角ボルト	六角ボルト	六角ボルト	構造部材
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティングチューブ	コネクティングチューブ	構造部材	コネクティングチューブ	コネクティングチューブ	コネクティングチューブ	構造部材
SMS-3	30	94.2	75.3	アンギュラ玉軸受*4	アンギュラ玉軸受*4	機能部品	アンギュラ玉軸受*4	アンギュラ玉軸受*4	アンギュラ玉軸受*4	機能部品
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	ベアリング押さえ*3	構造部材
SMS-40	400	—	941.4	コネクティングチューブ	コネクティングチューブ	構造部材	コネクティングチューブ	コネクティングチューブ	コネクティングチューブ	構造部材
SMS-60	600	—	1353.3	ダイレクトアタッチブラケット*5	ダイレクトアタッチブラケット*5	構造部材	ダイレクトアタッチブラケット*5	ダイレクトアタッチブラケット*5	ダイレクトアタッチブラケット*5	構造部材

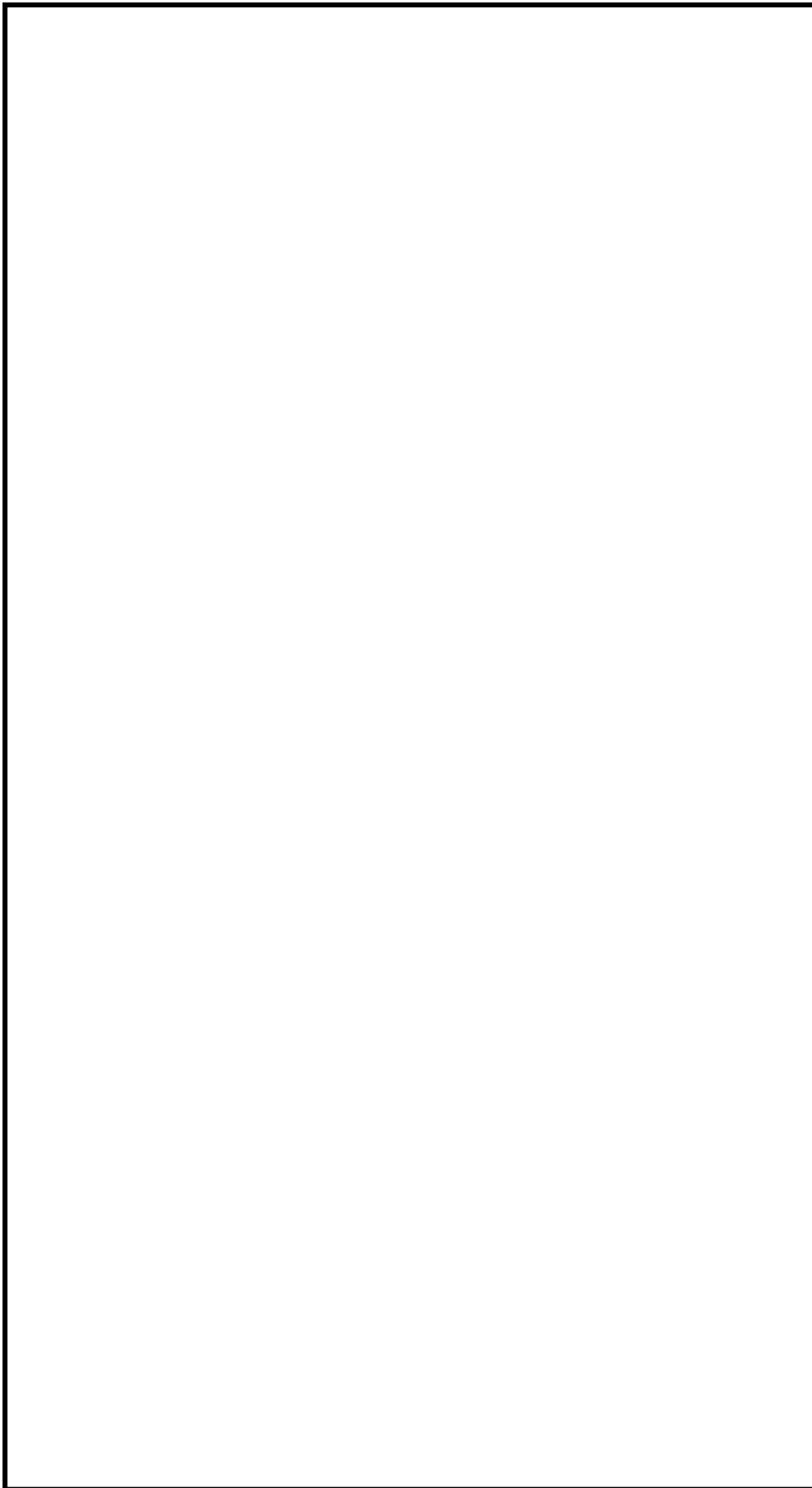
表 5-3 電共研の限界耐力値と J N E S 研究における耐力値及び耐力確認荷重との比較 (2/3)

型式	定格荷重 (kN)	電共研			J N E S 研究				J N E S 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]	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重 *1 (kN) [C]	耐力値 *1 (kN) [D]	最小裕度部品の分類	最小裕度部品の分類	
SHP-03	3	17.4	5.3	全長座屈 *7	構造部材				
SHP-06	6	—	14.1	全長座屈 *7	構造部材				
SHP-1	10	—	22.7	全長座屈	構造部材				
SHP-3	30	69.3	50.8	全長座屈	構造部材				
SHP-6	60	—	141.8	全長座屈	構造部材				
SHP-10	100	—	196.1	全長座屈	構造部材				
SHP-16	160	388.2	318.7	全長座屈	構造部材				
SHP-25	250	—	514.8	ターンバックル	構造部材				

表 5-3 電共研の限界耐力値と J N E S 研究における耐力値及び耐力確認荷重との比較 (3/3)

型式	定格荷重 (kN)	電共研			J N E S 研究				J N E S 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]	最小裕度部品の種類	耐力確認荷重 *1 (kN) [C]	耐力値 *1 (kN) [D]	最小裕度部品の種類	最小裕度部品の分類	
SN-03	3	20.3	9.1	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材	
SN-06	6	—	16.4	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材	
SN-1	10	—	26.2	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材	
SN-3	30	89.3	70.6	全長座屈	構造部材	構造部材	構造部材	構造部材	
SN-6	60	144.1	125.5	タイロッド (シール性) **	機能部品	タイロッド (シール性) **	機能部品	機能部品	
SN-10	100	—	205.9	ジャンクションコラムアダプタ	構造部材	ジャンクションコラムアダプタ	構造部材	構造部材	
SN-16	160	409.1	321.6	タイロッド (シール性) **	機能部品	タイロッド (シール性) **	機能部品	機能部品	
SN-25	250	—	465.8	ダイレクタートイヤー**9	構造部材	ダイレクタートイヤー**9	構造部材	構造部材	



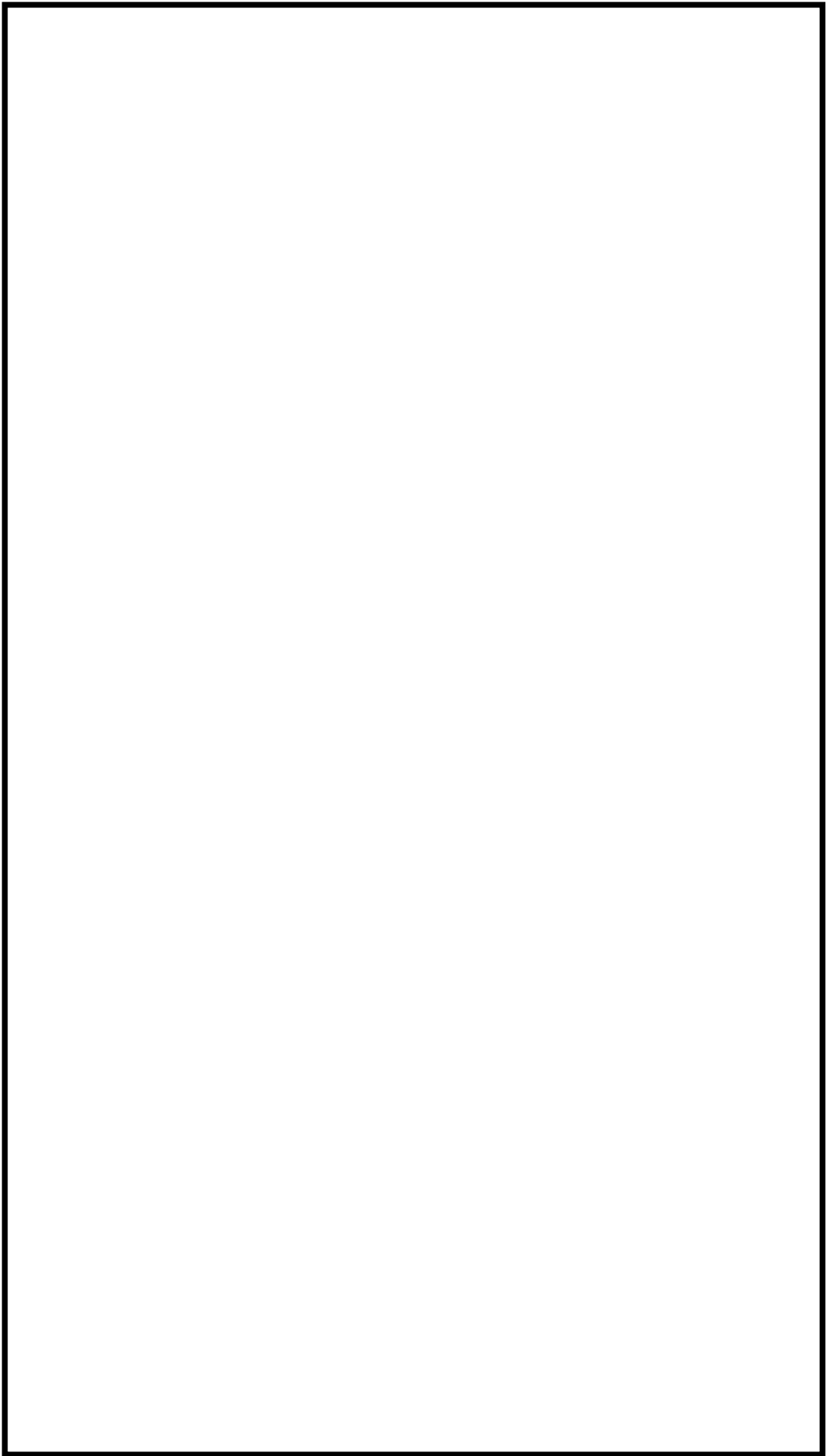


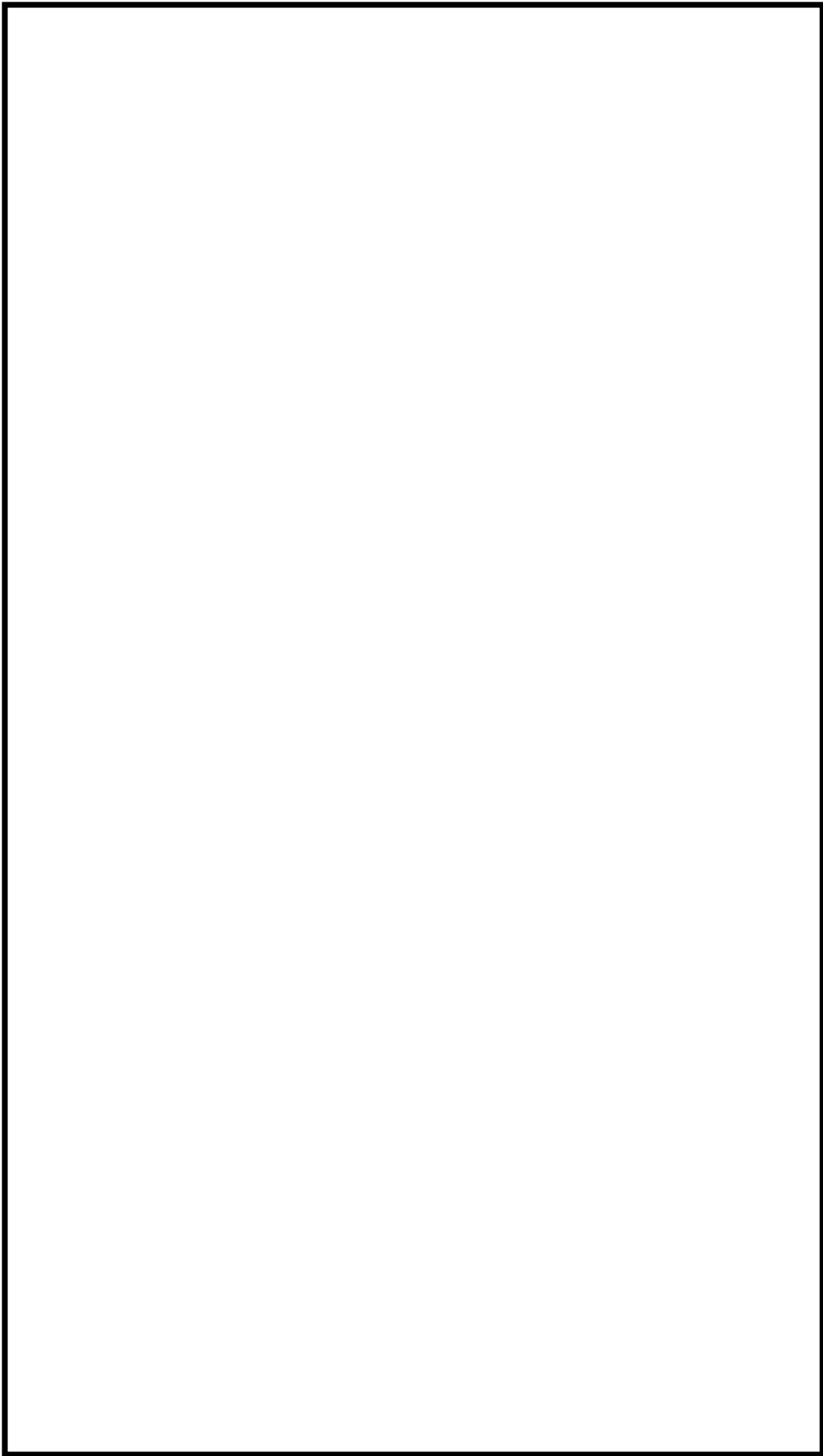
6. まとめ

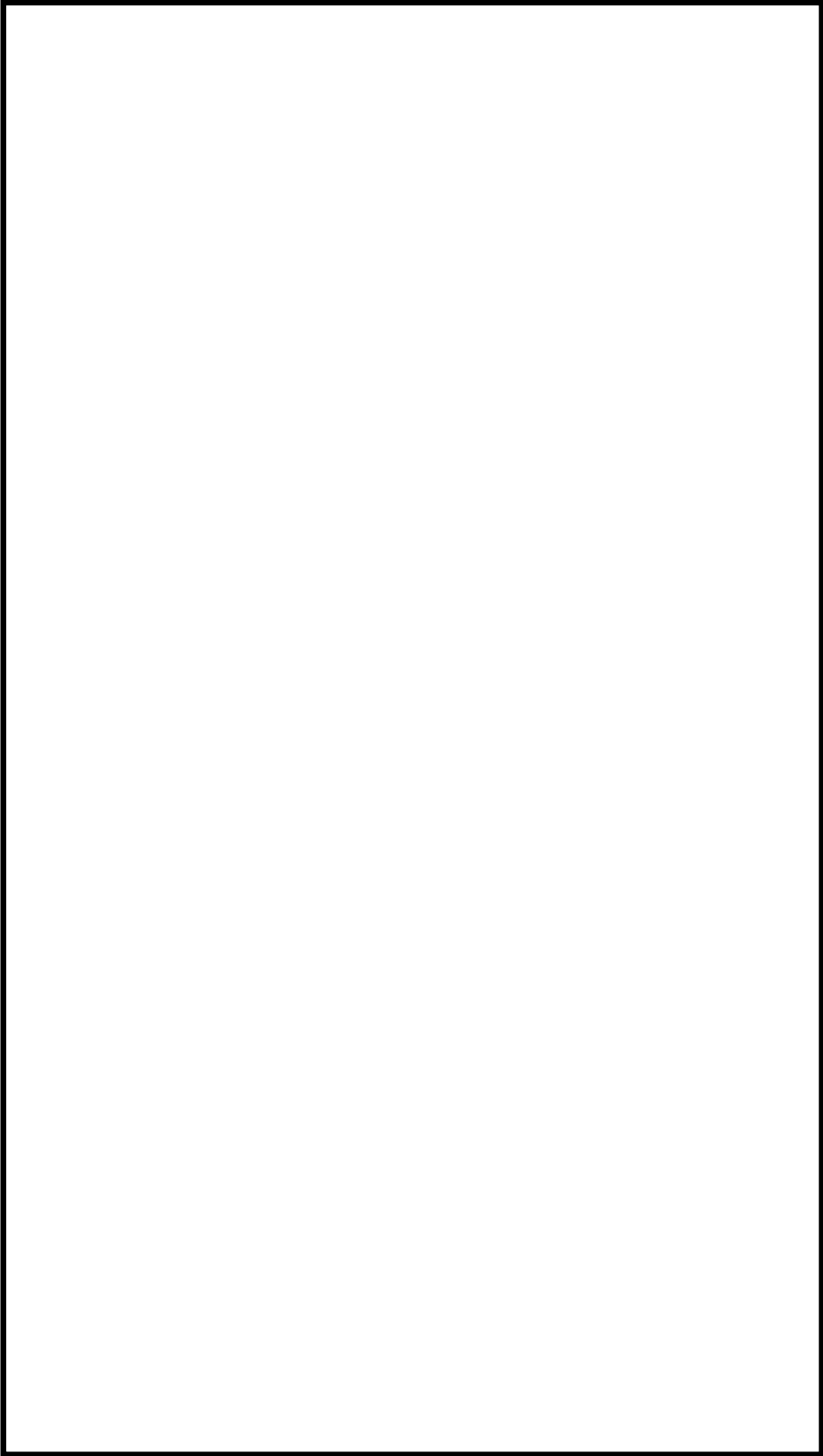
JNES 研究におけるスナッパの耐震機能限界試験を含む耐力評価手法の構築に係る検討の概要をまとめるとともに、その検討プロセスや耐力確認荷重等について、電共研のスナッパの限界耐力評価法に係る検討との比較を行った。

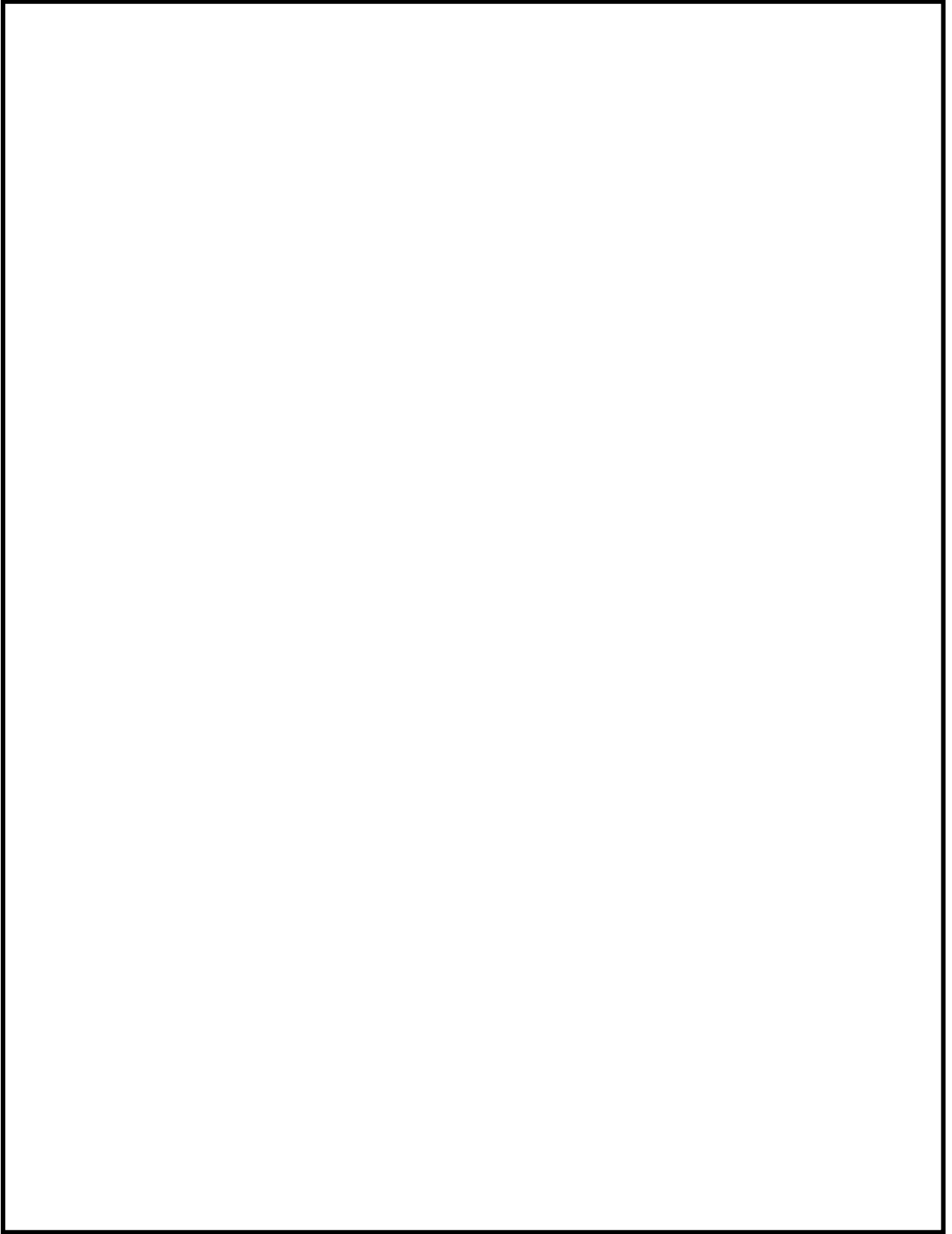
その結果、JNES 研究の知見を考慮しても、電共研の限界耐力値を含めたスナッパの限界耐力評価法に係る検討は妥当であることを確認した。

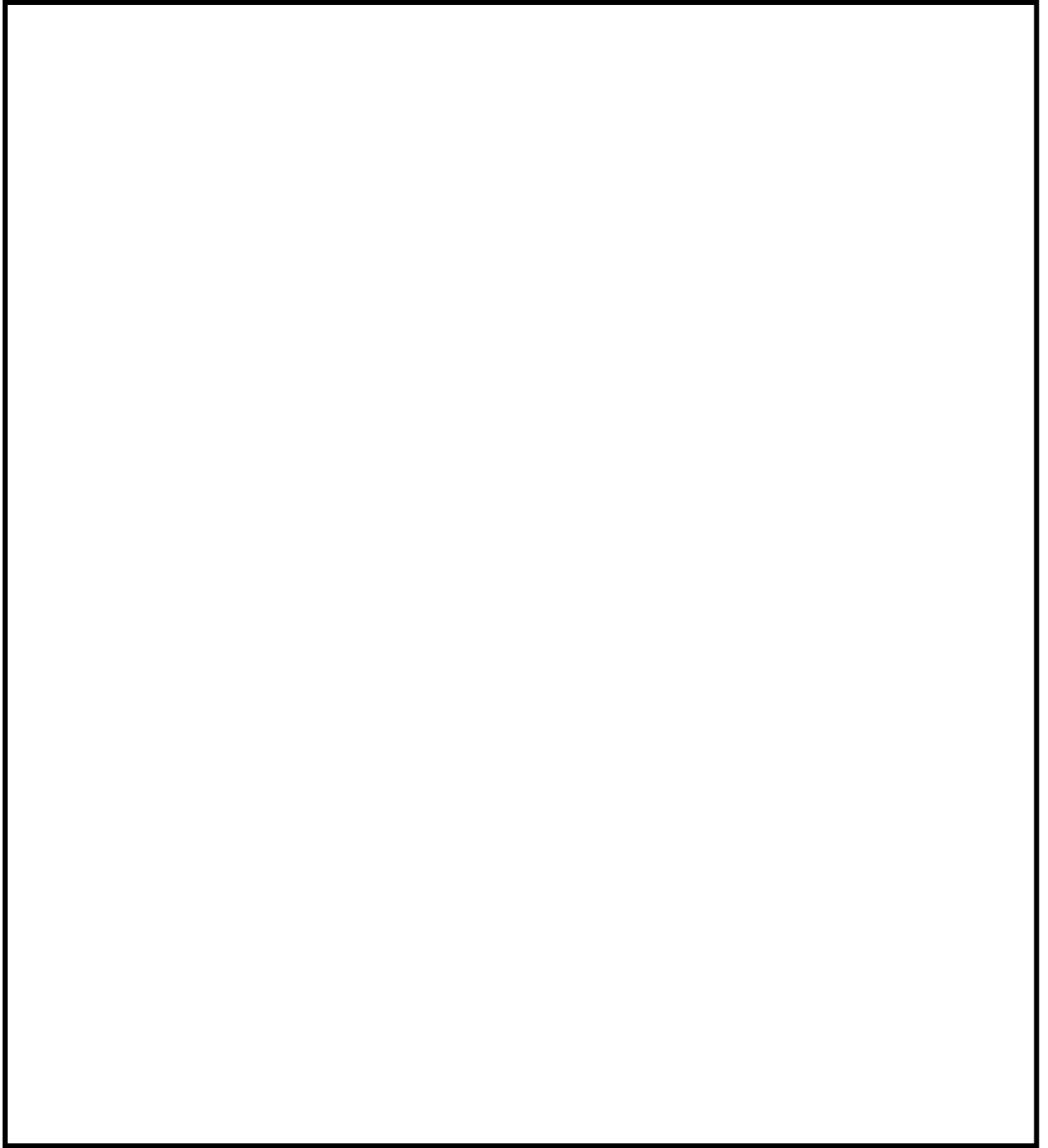
添付-1

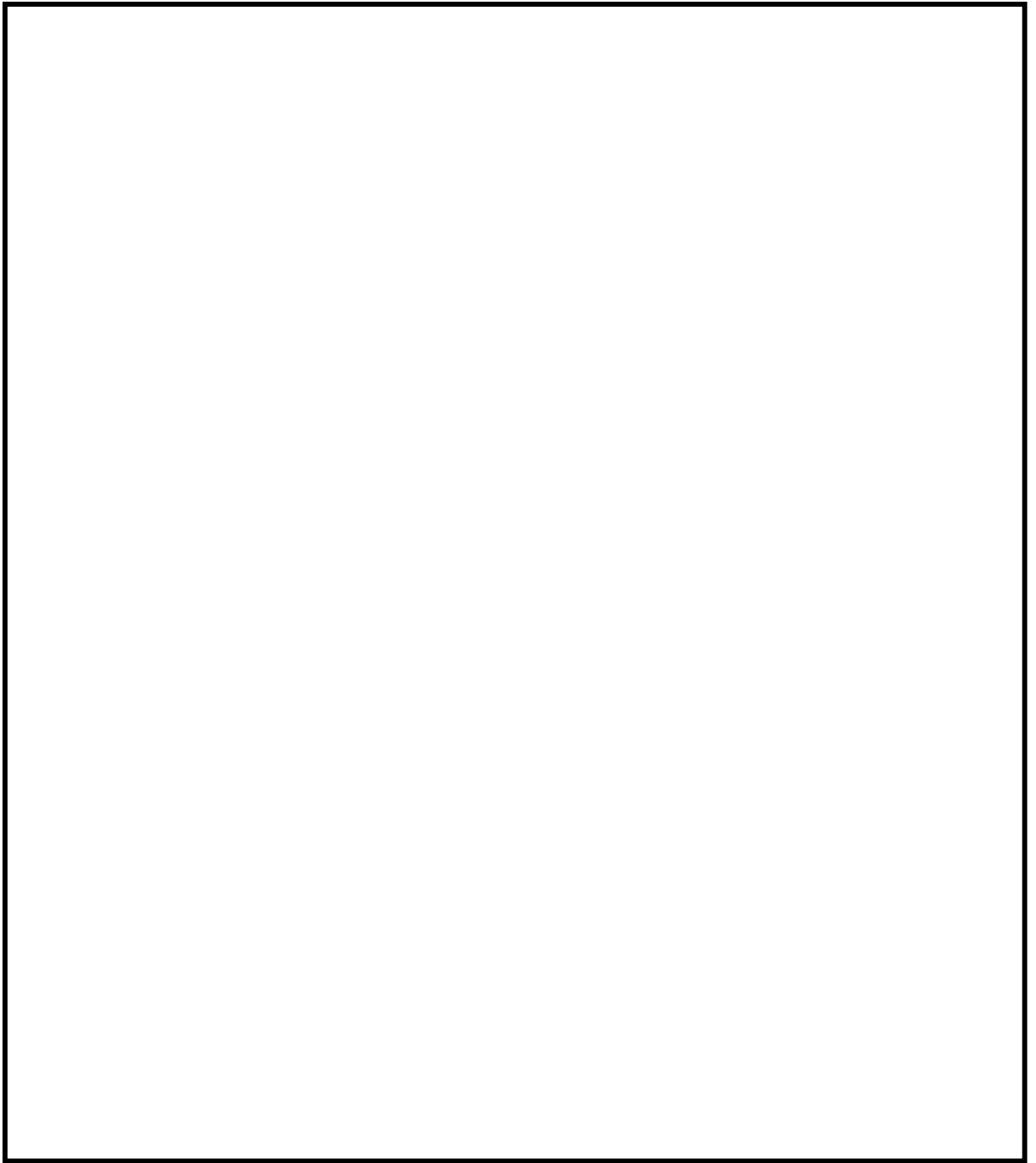


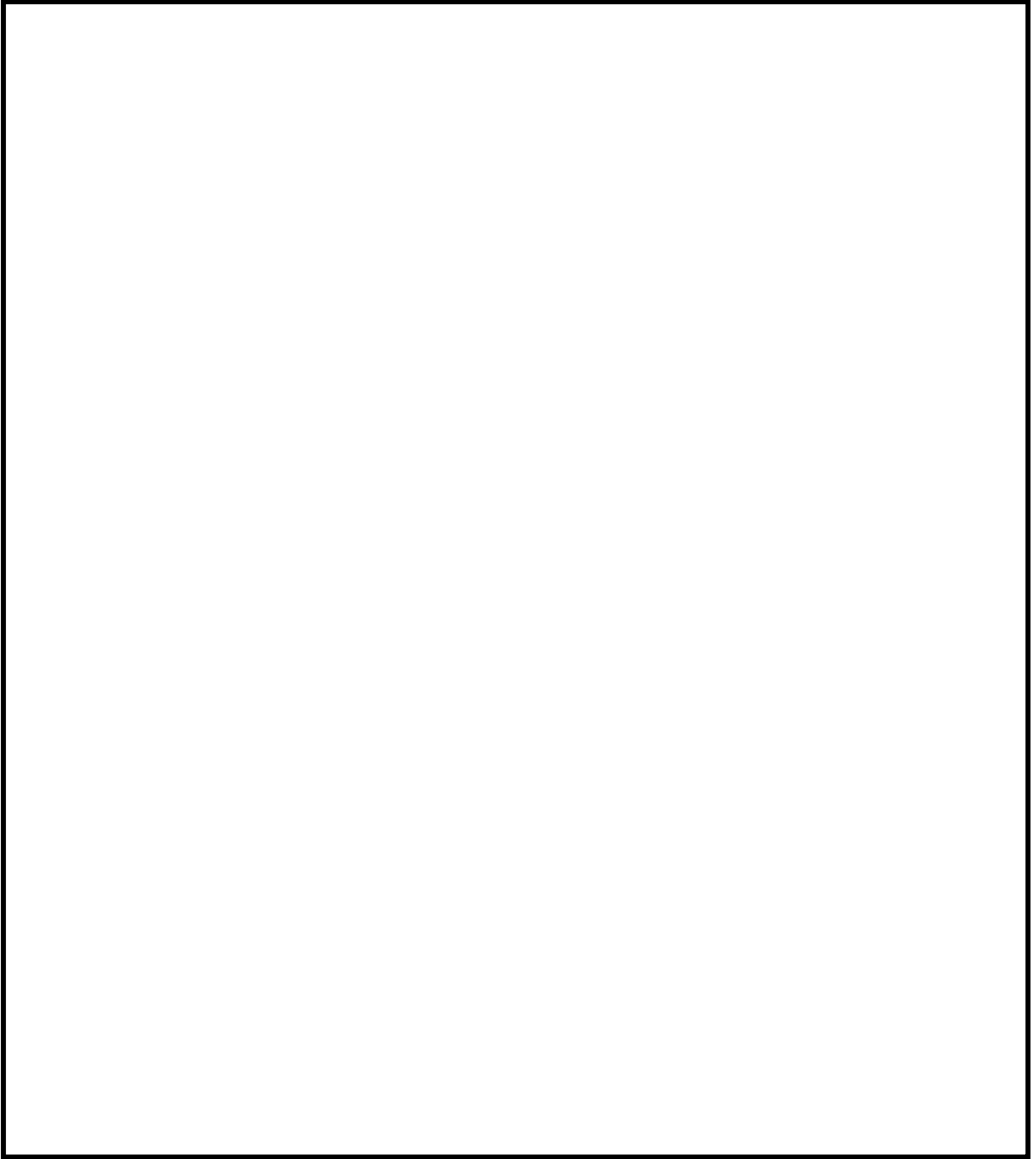


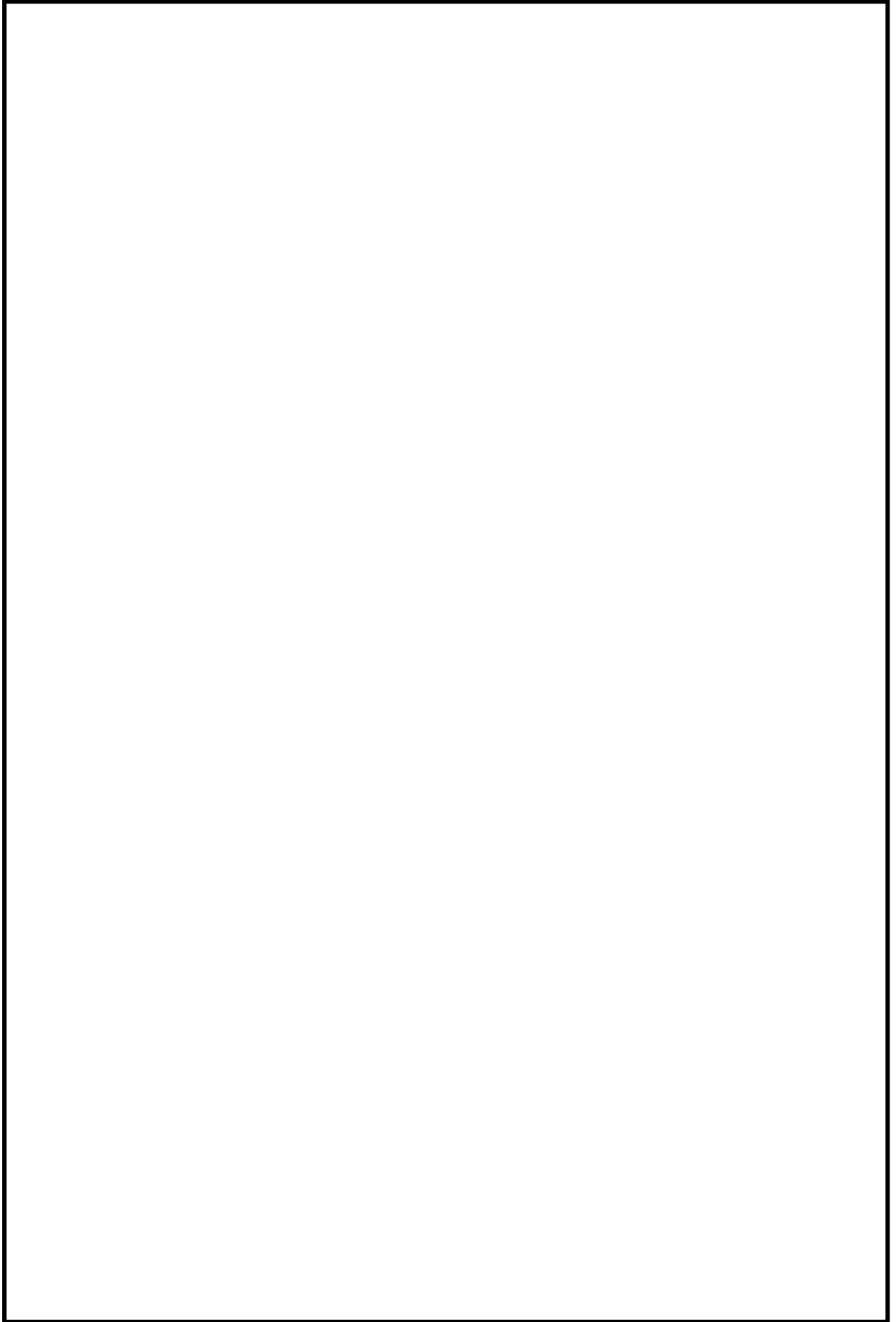


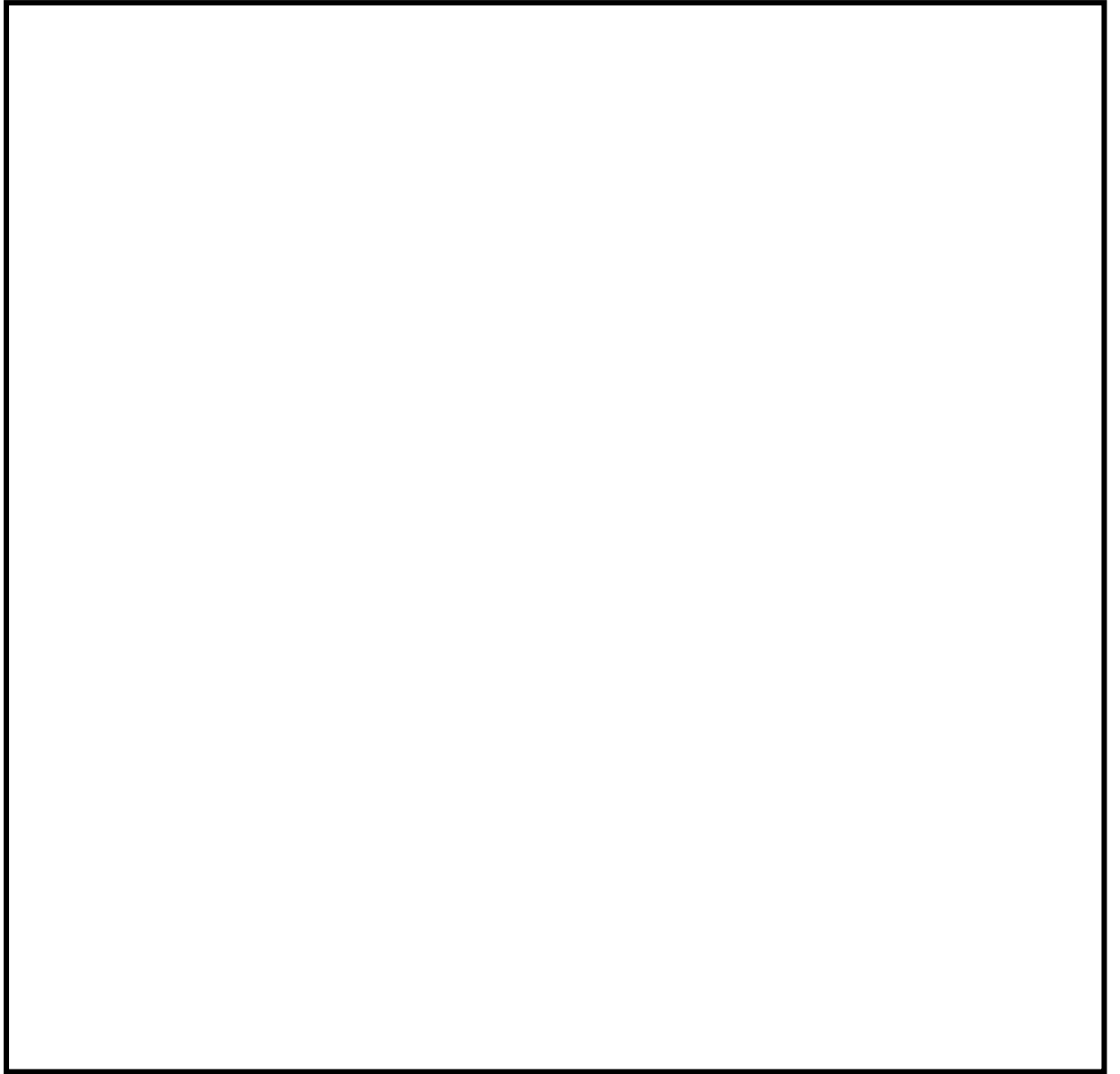


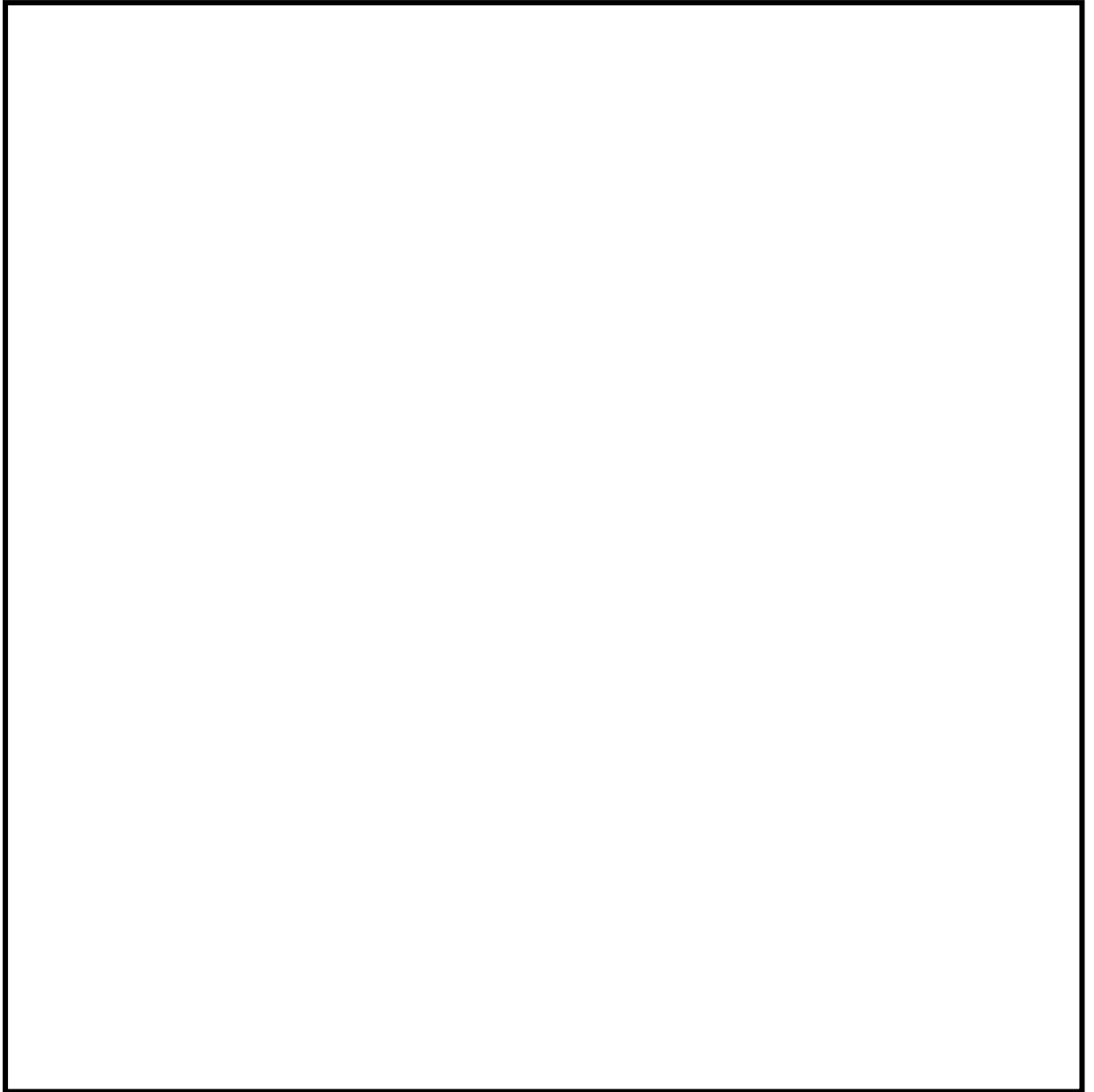


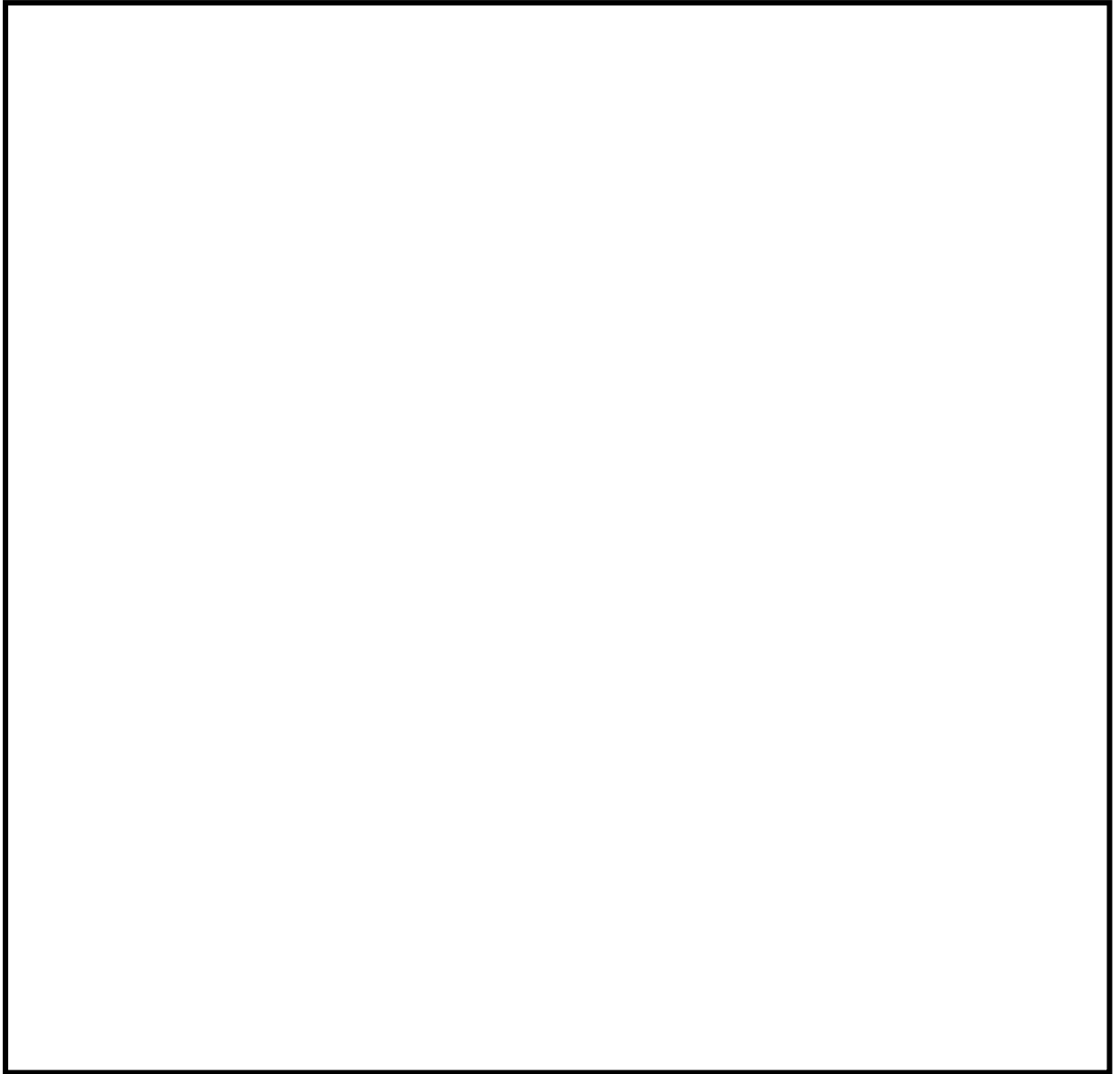


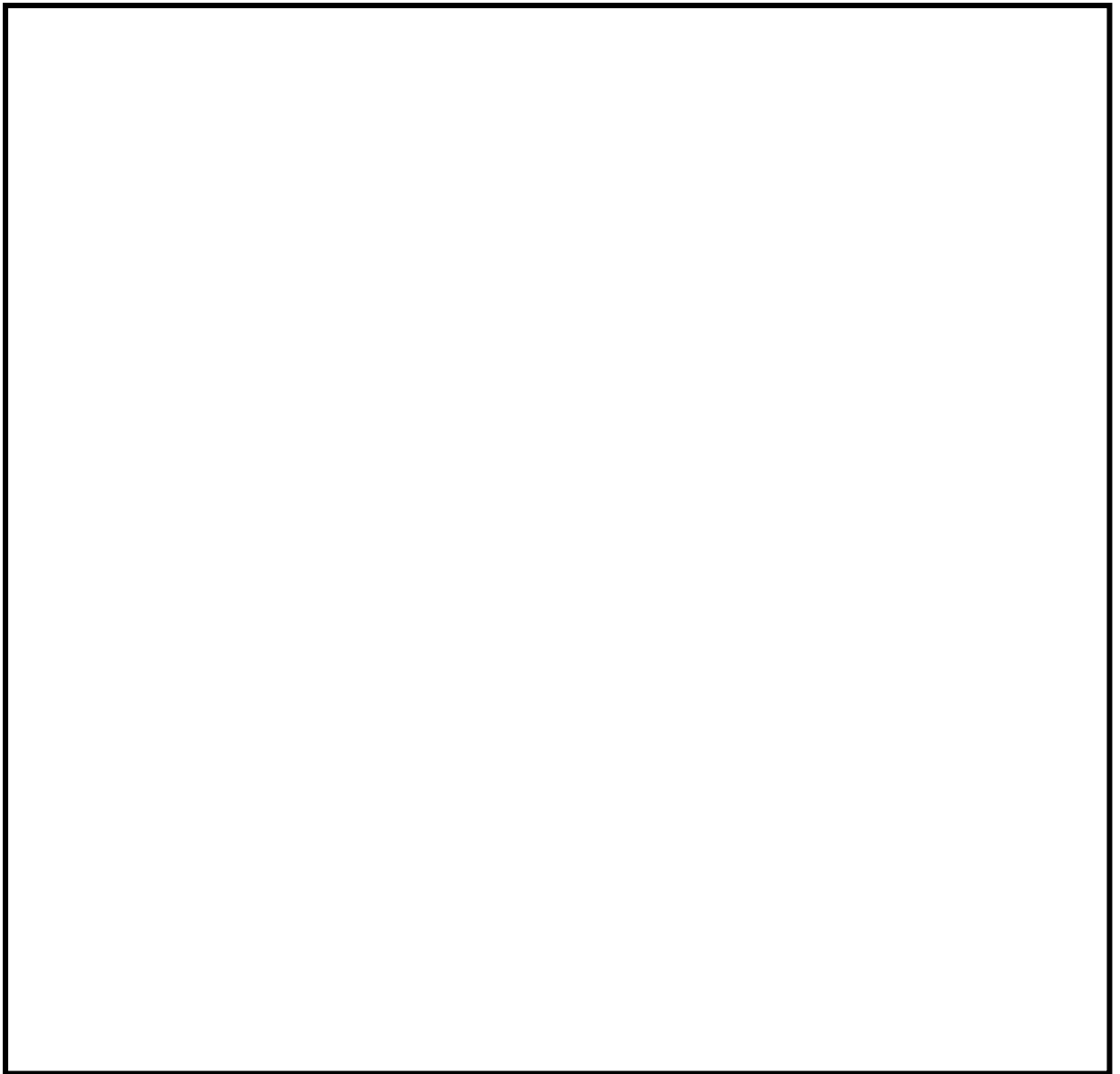


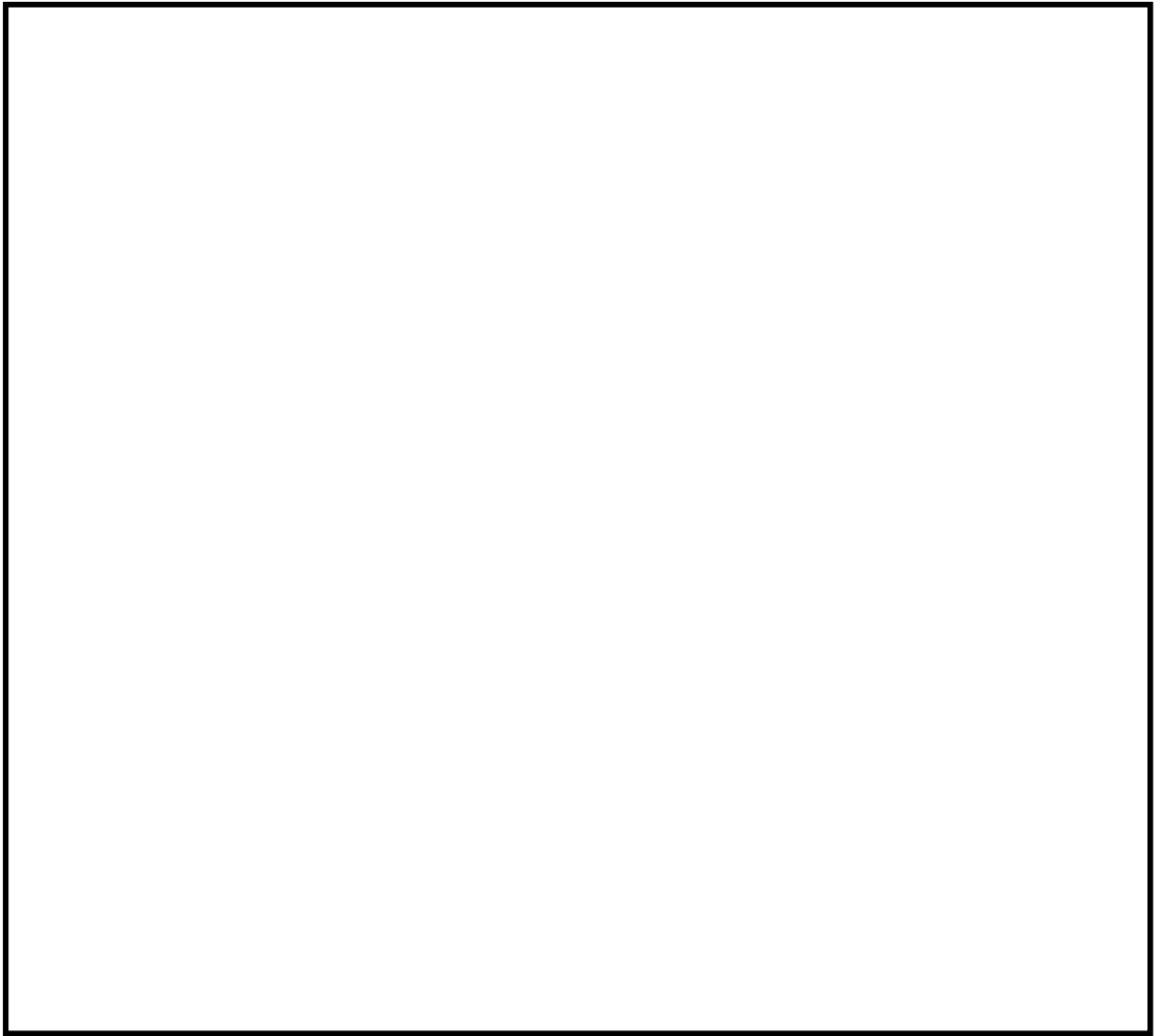


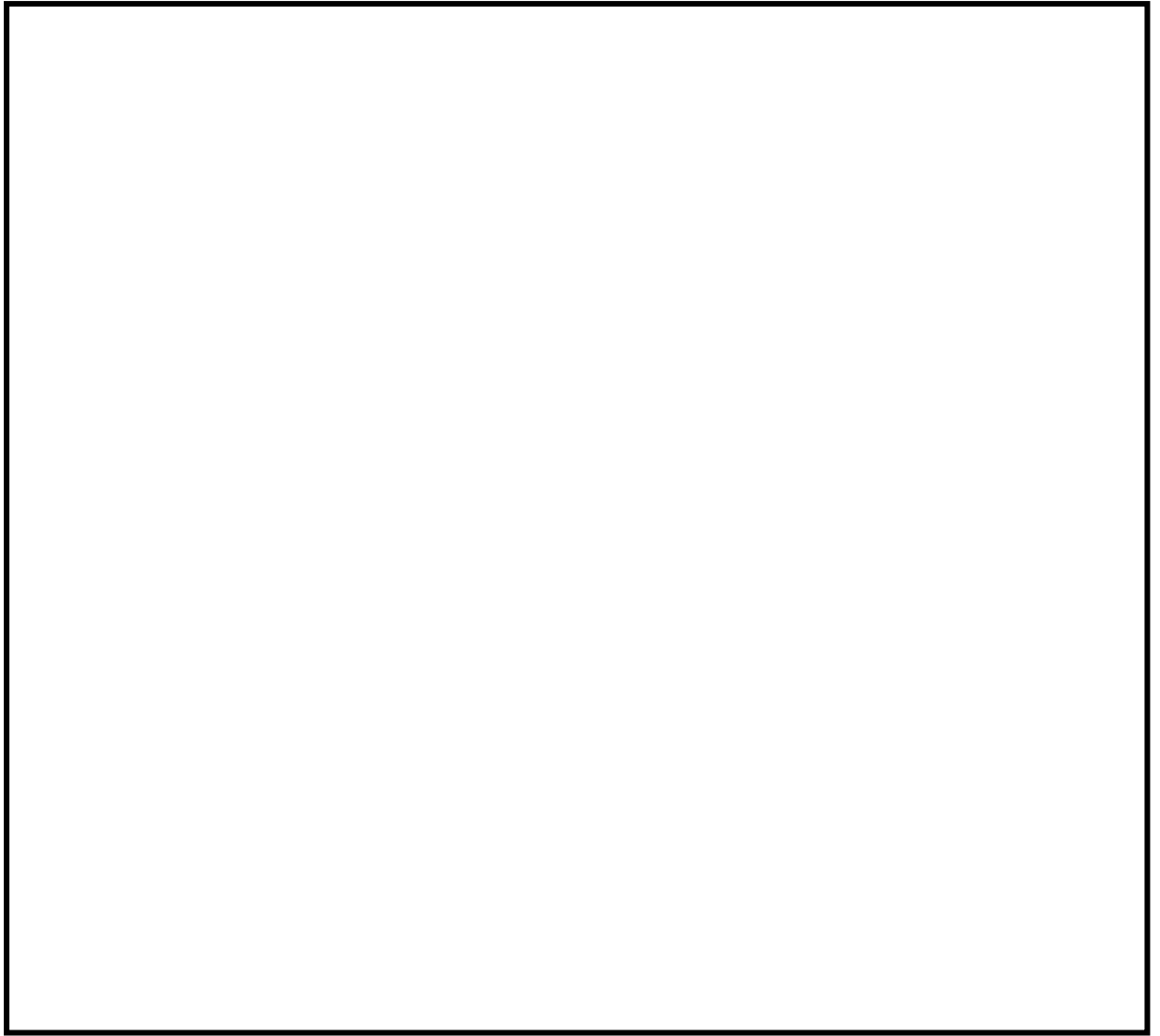


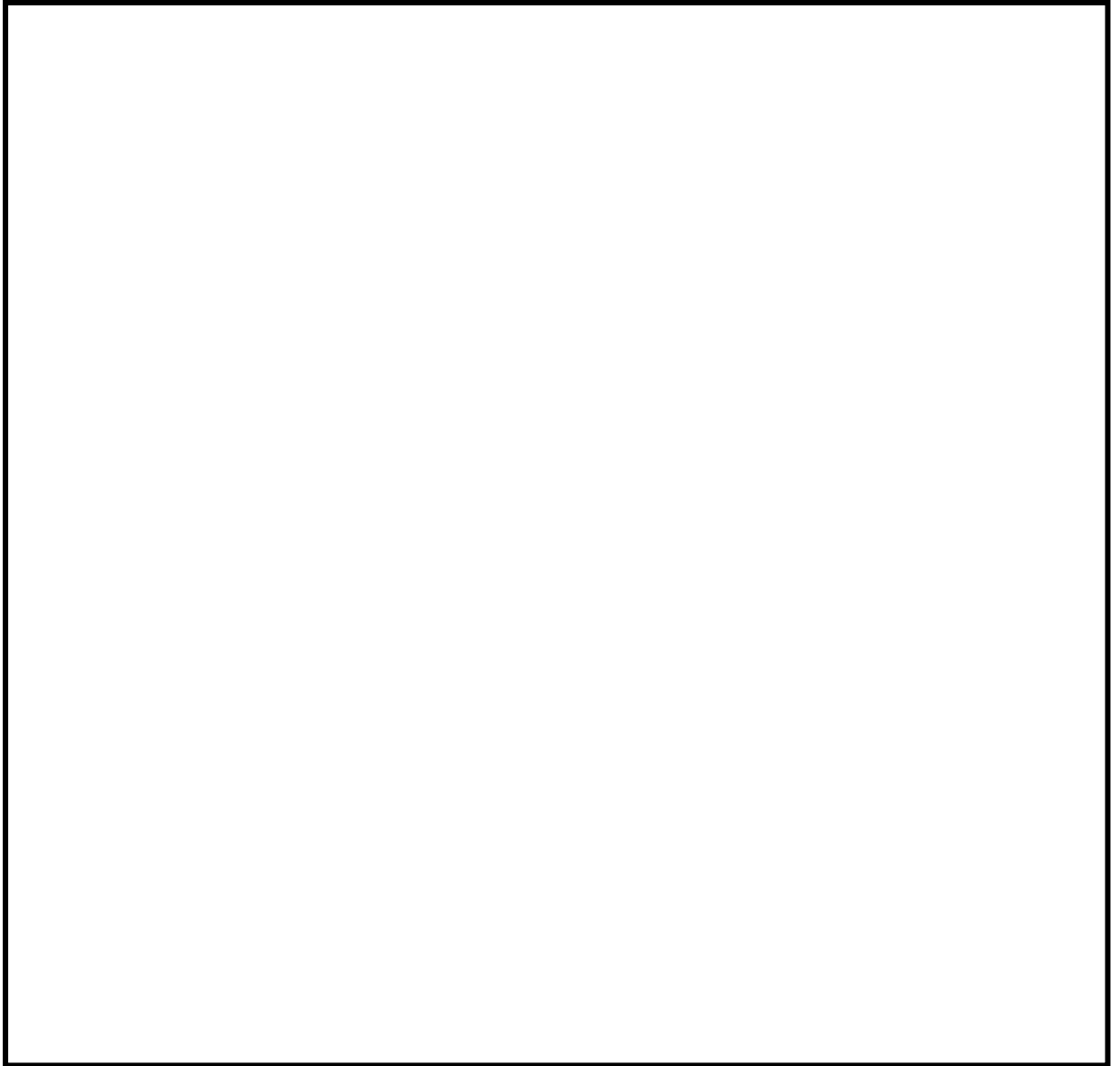


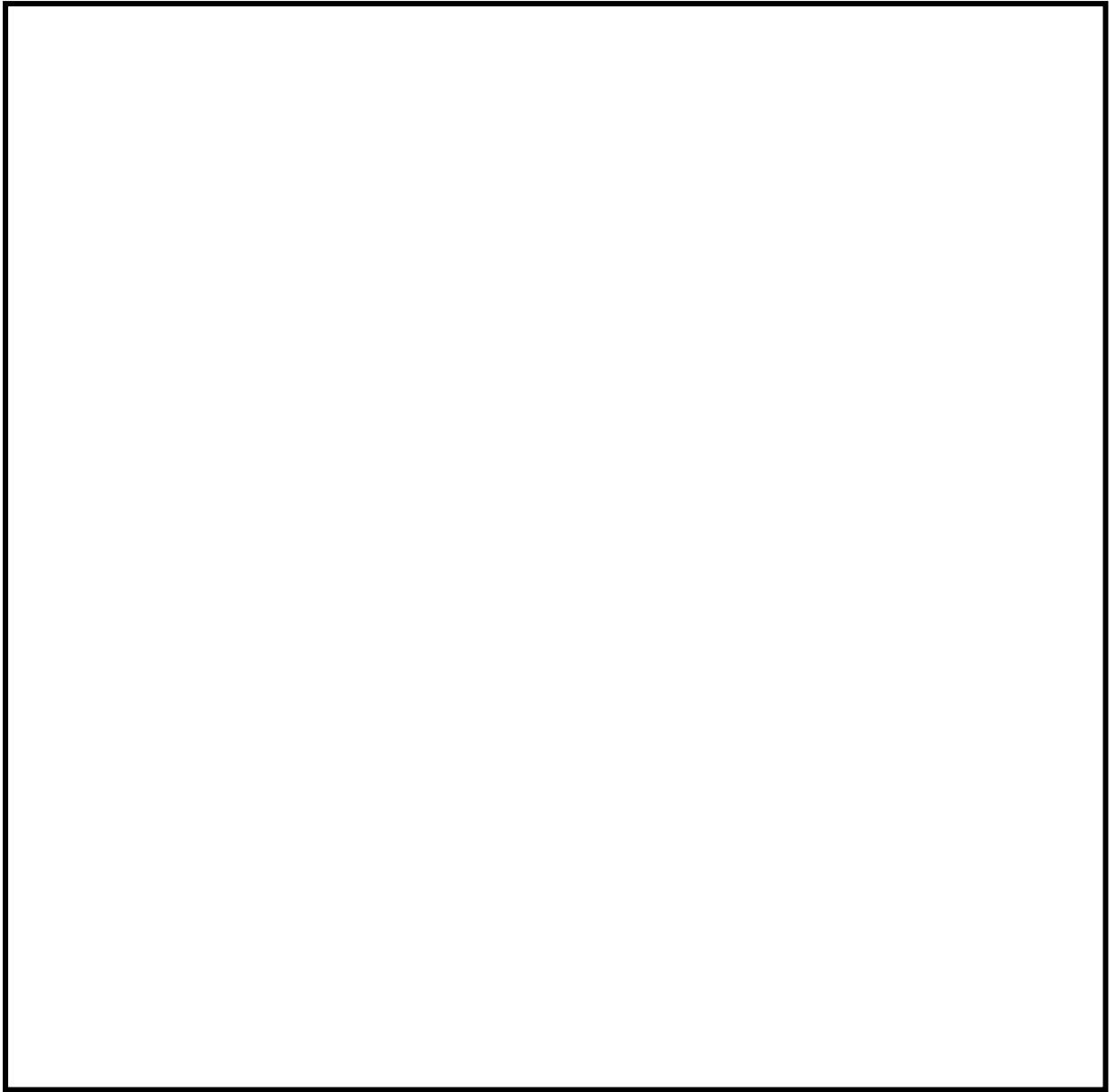


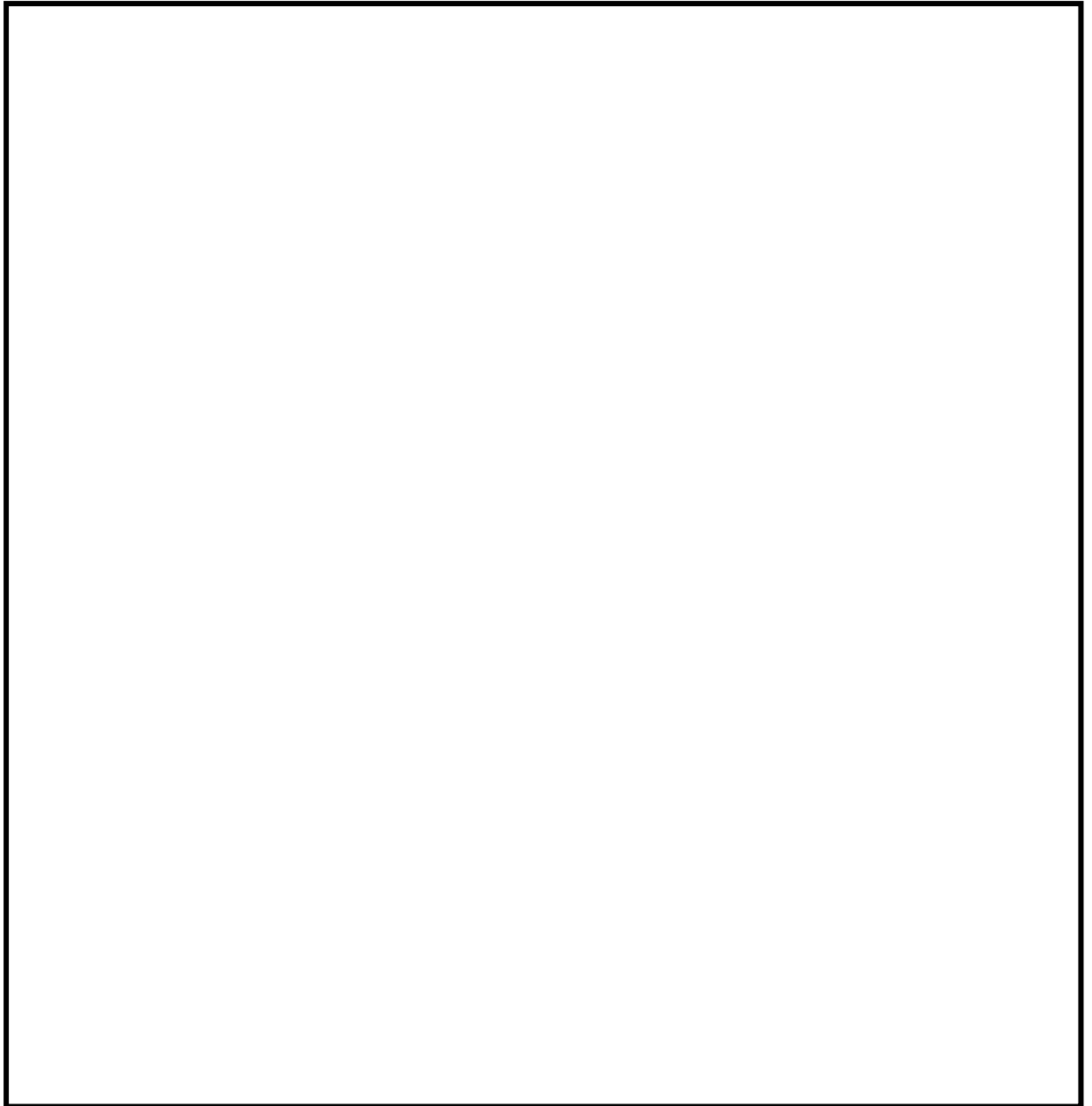


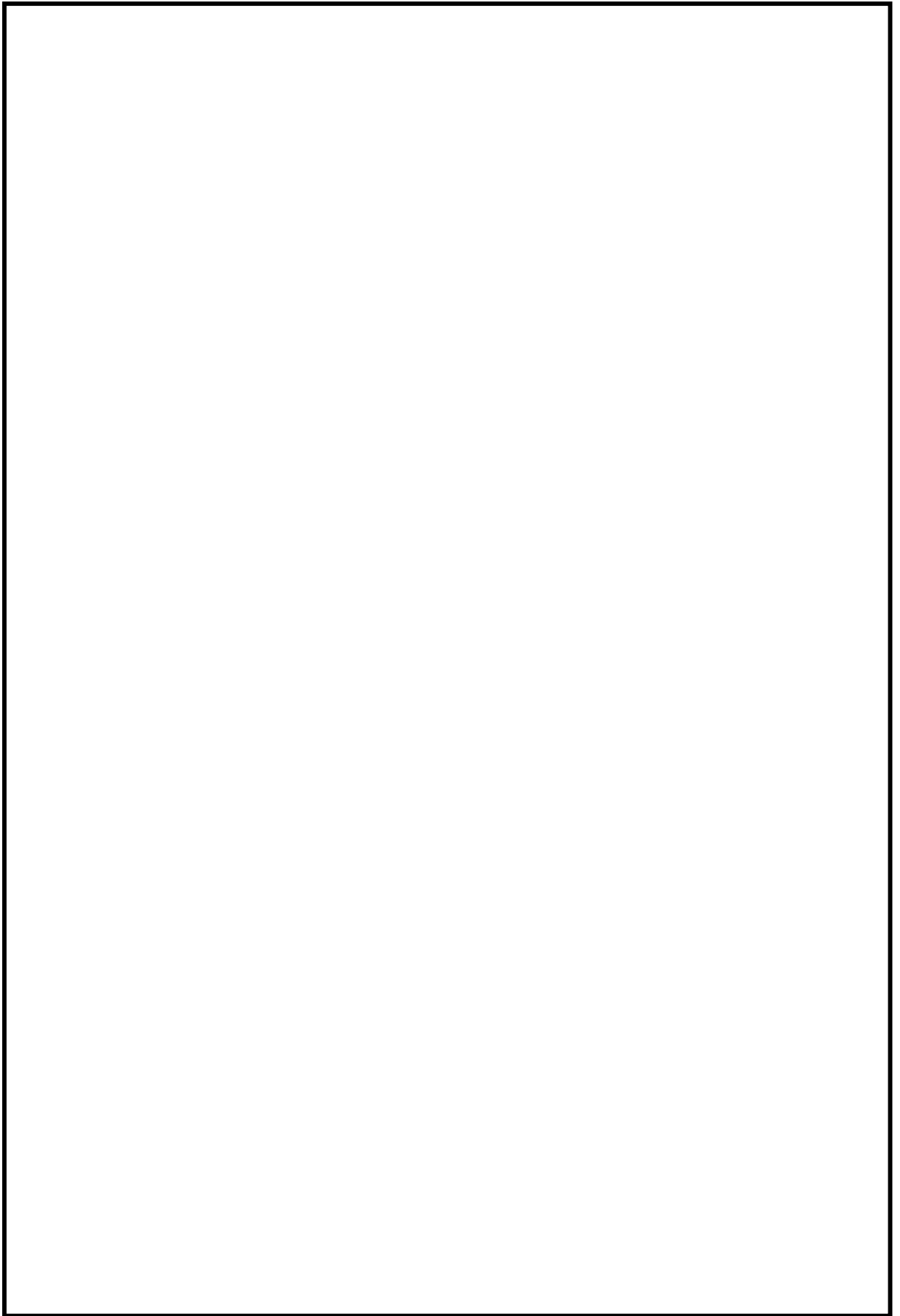


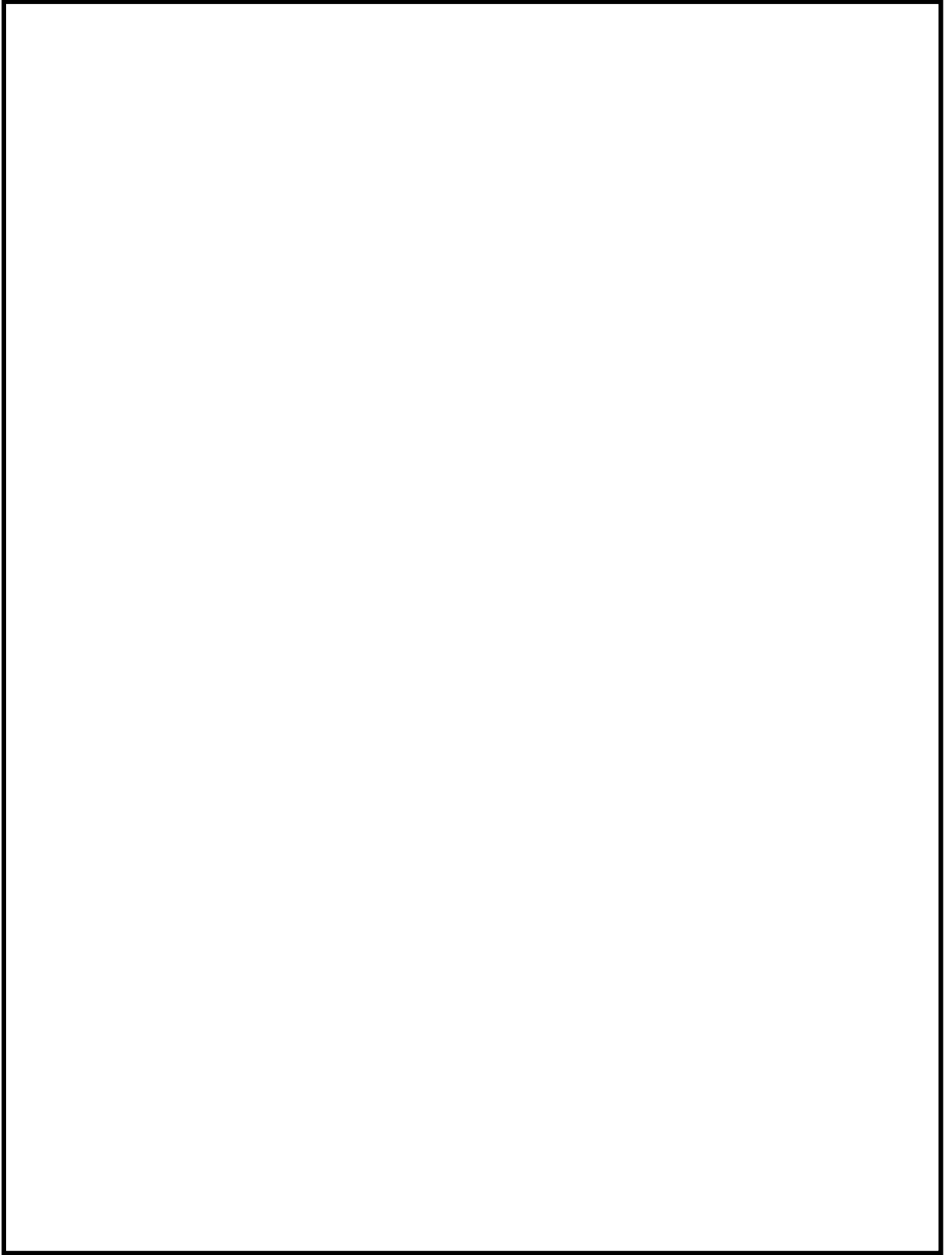


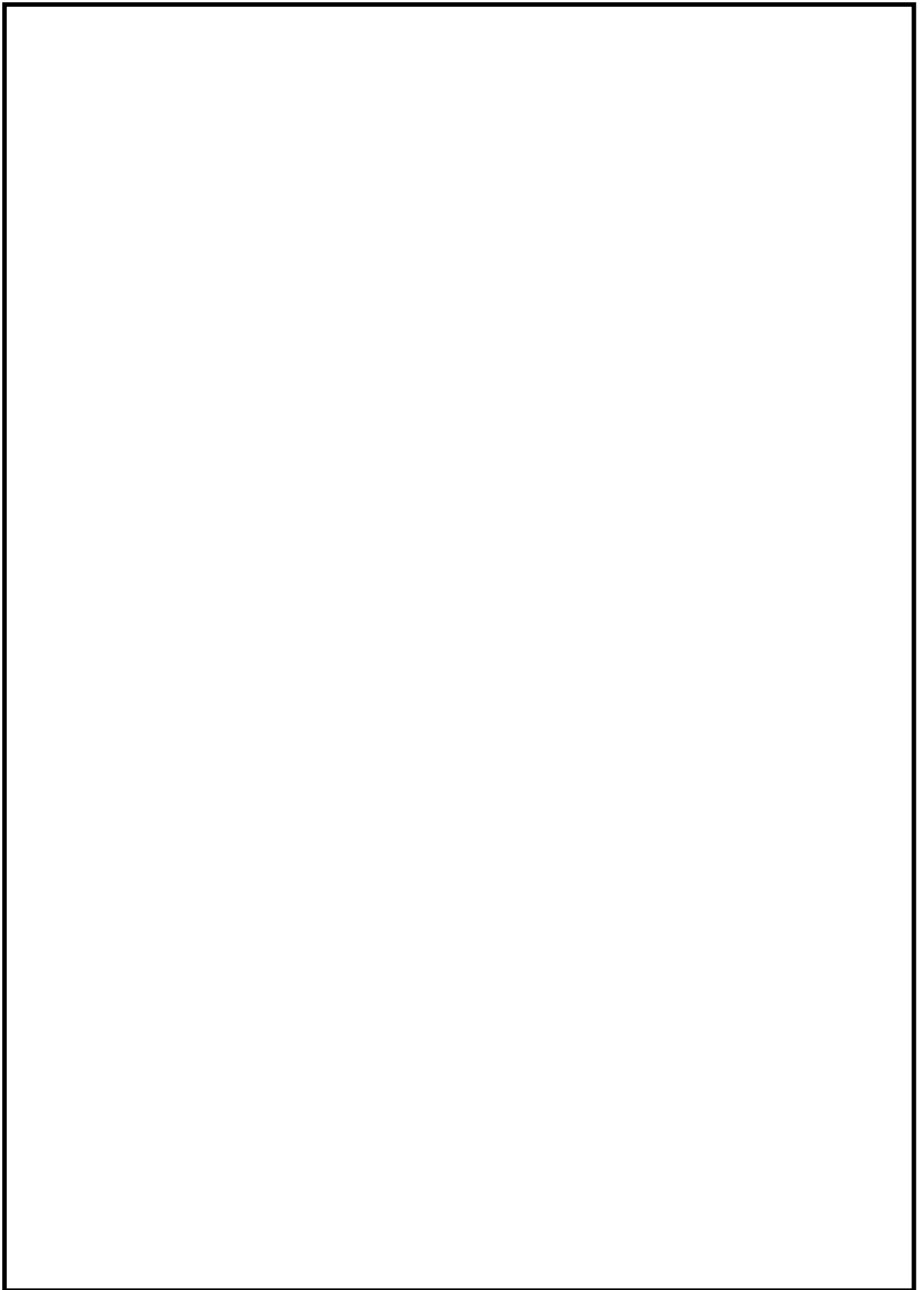




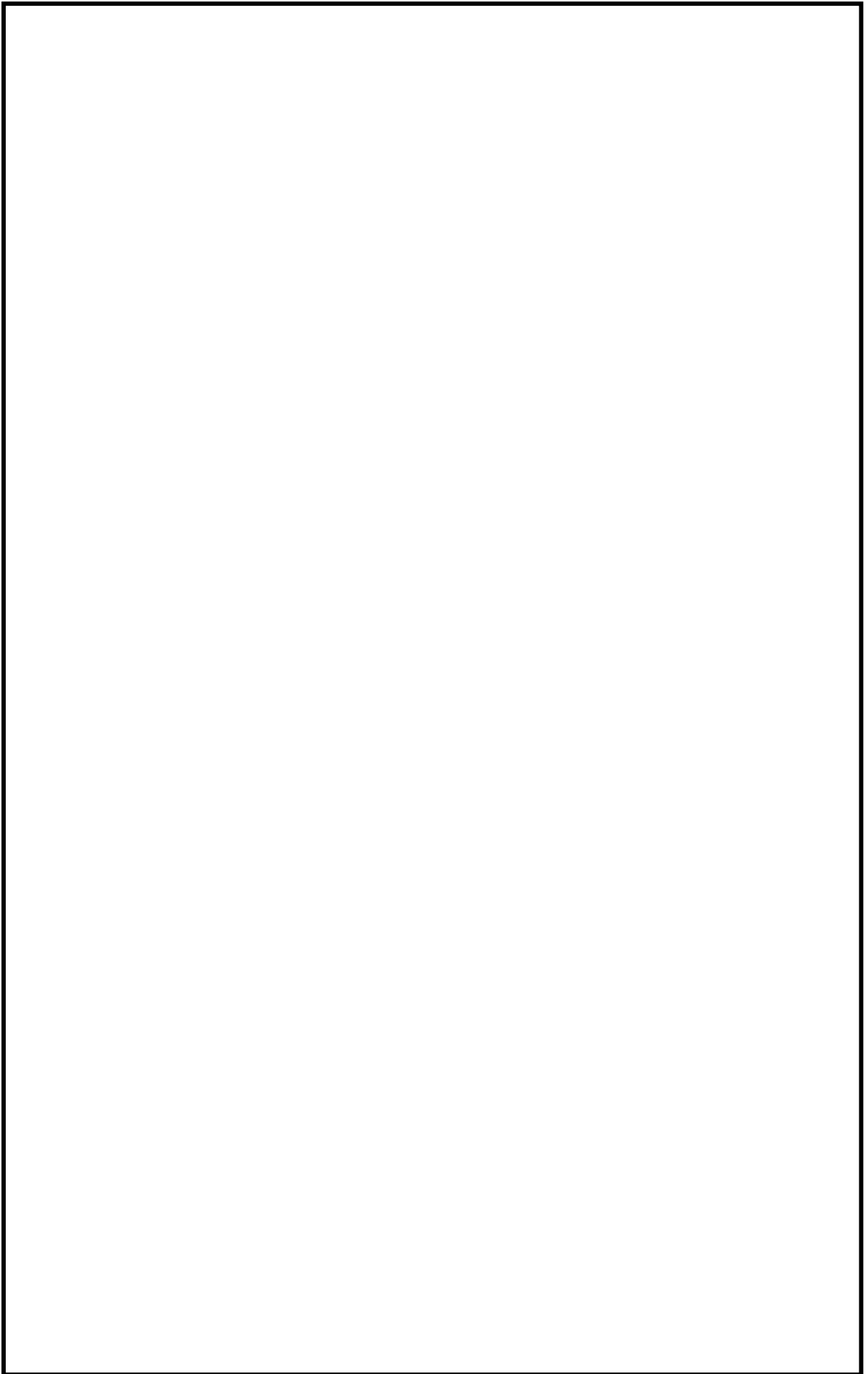




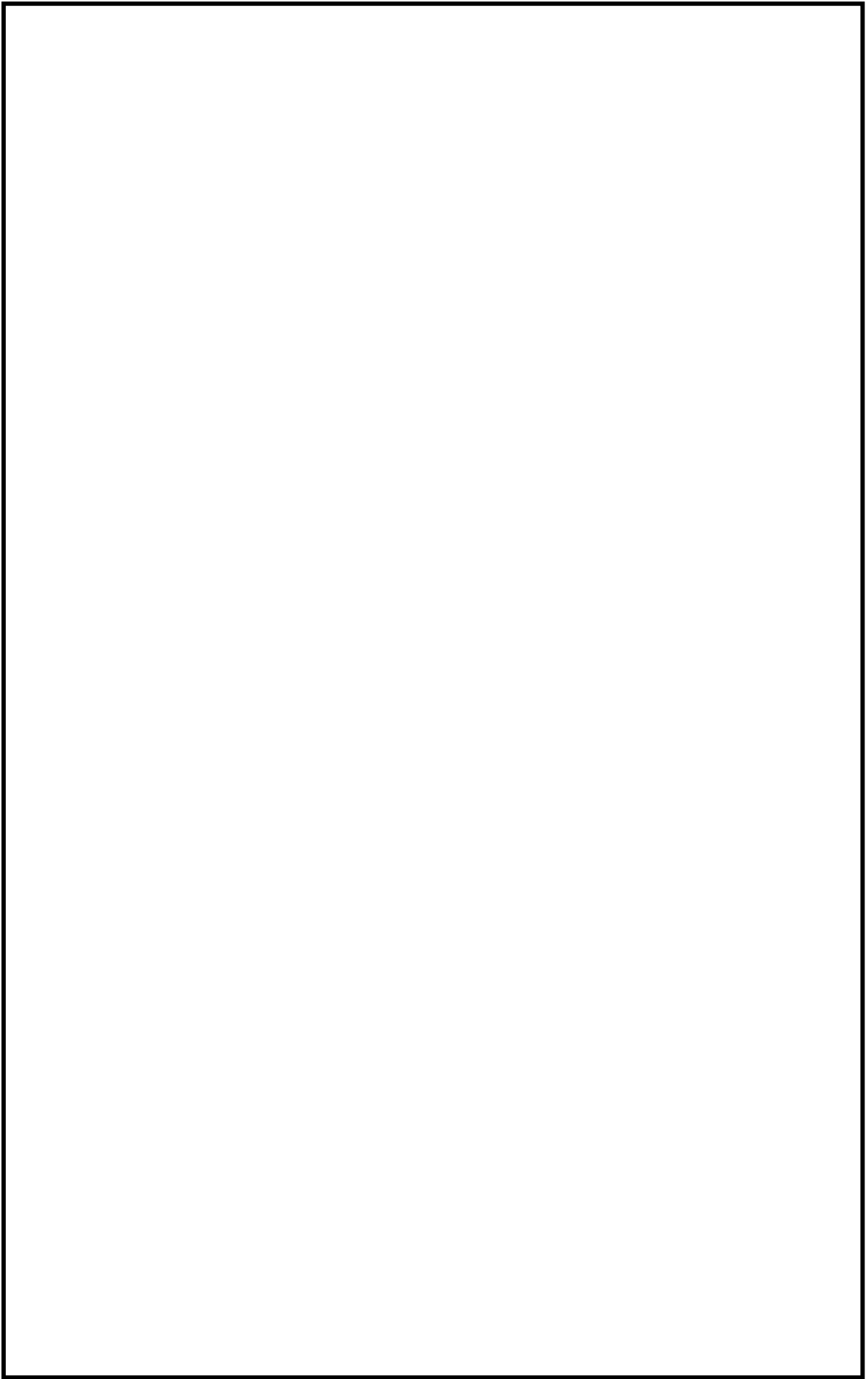


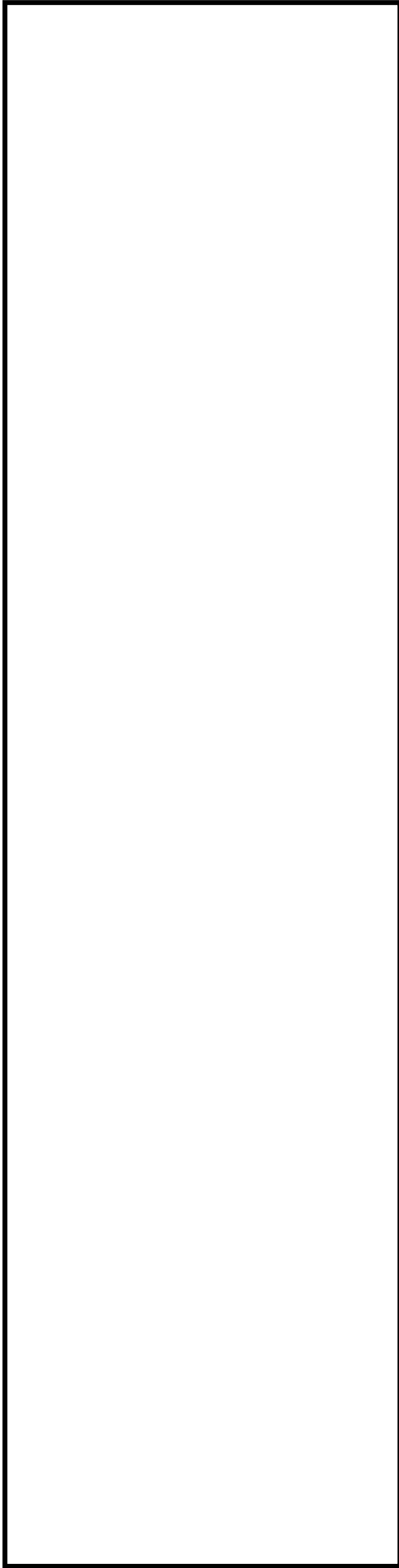


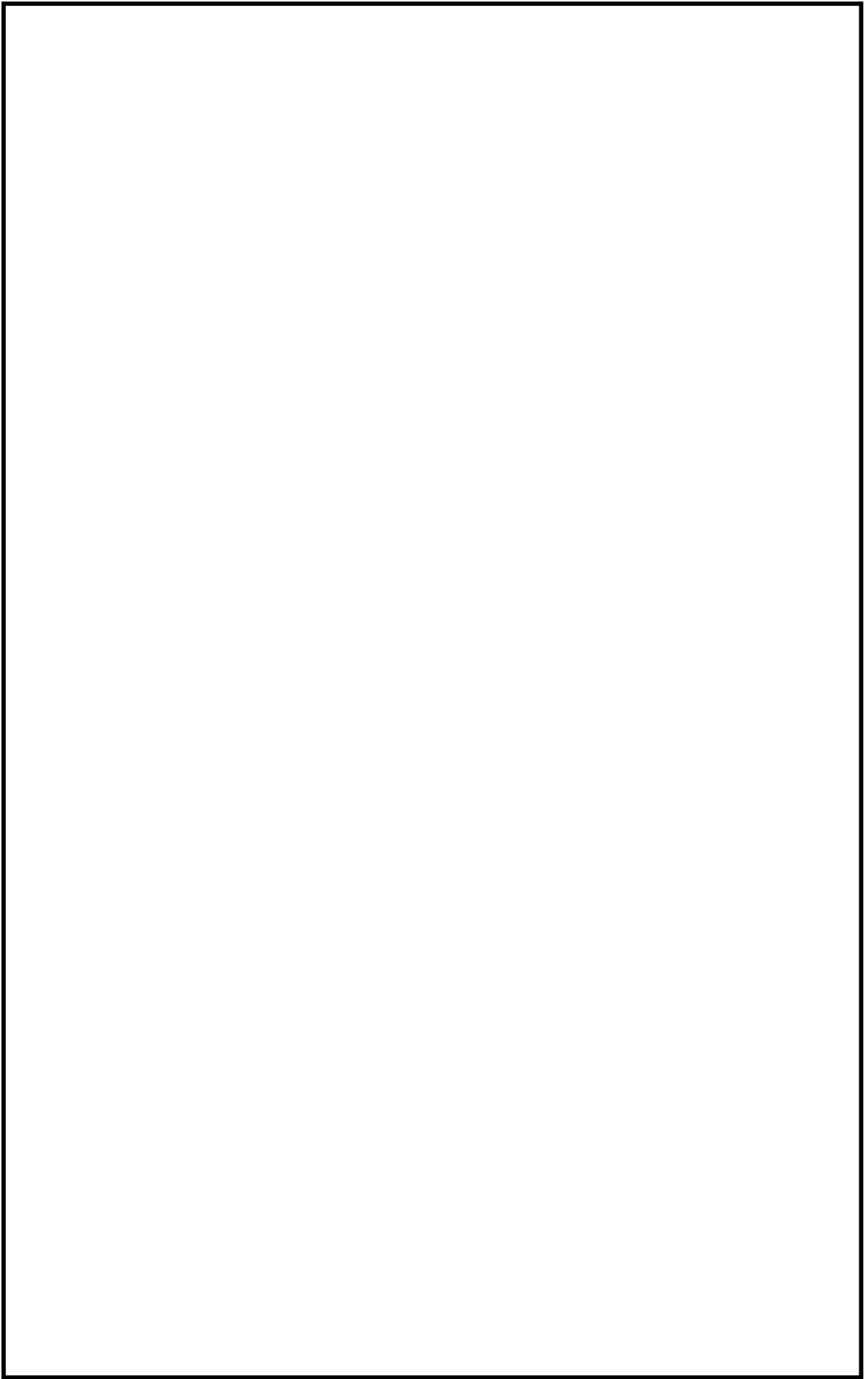


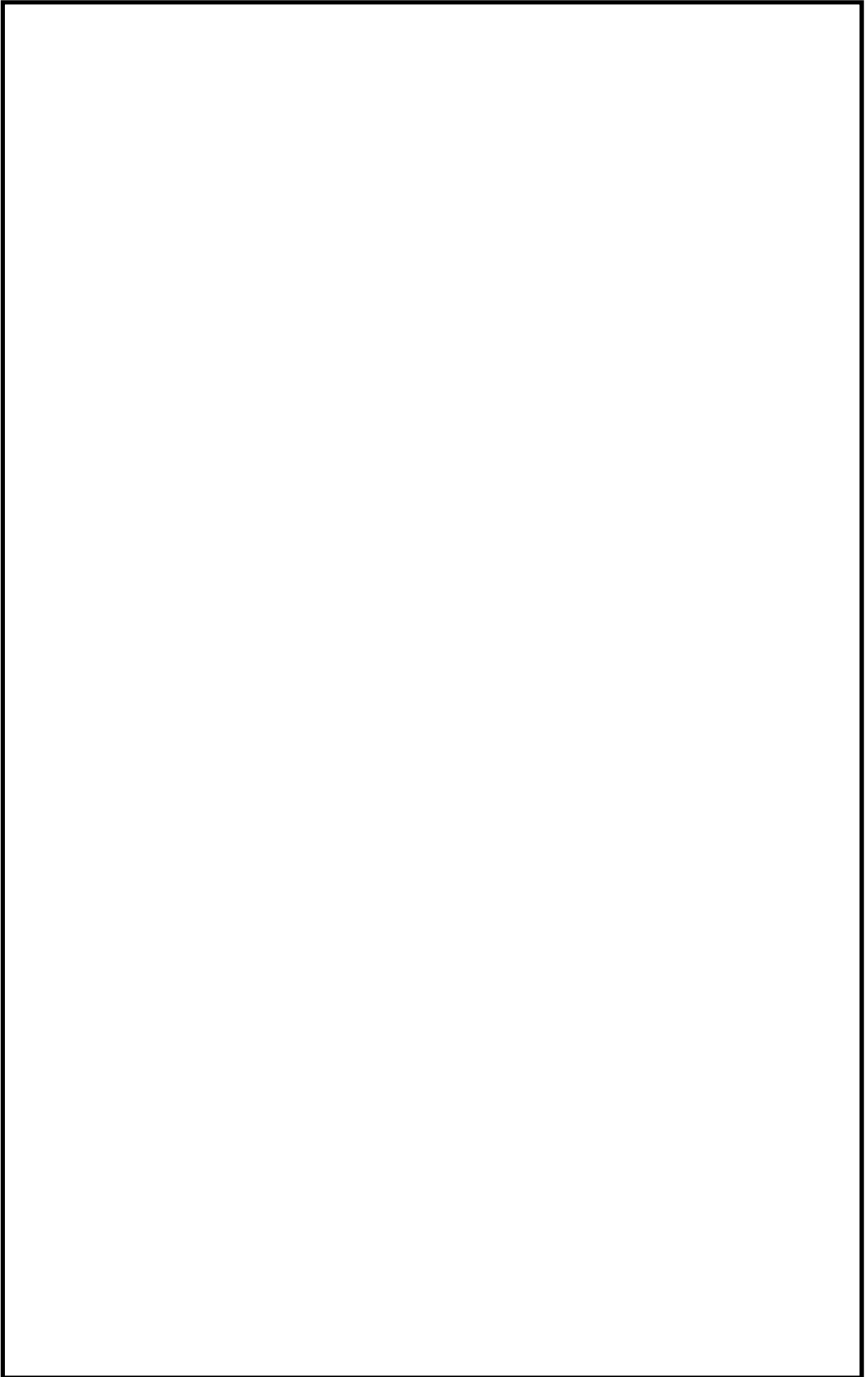


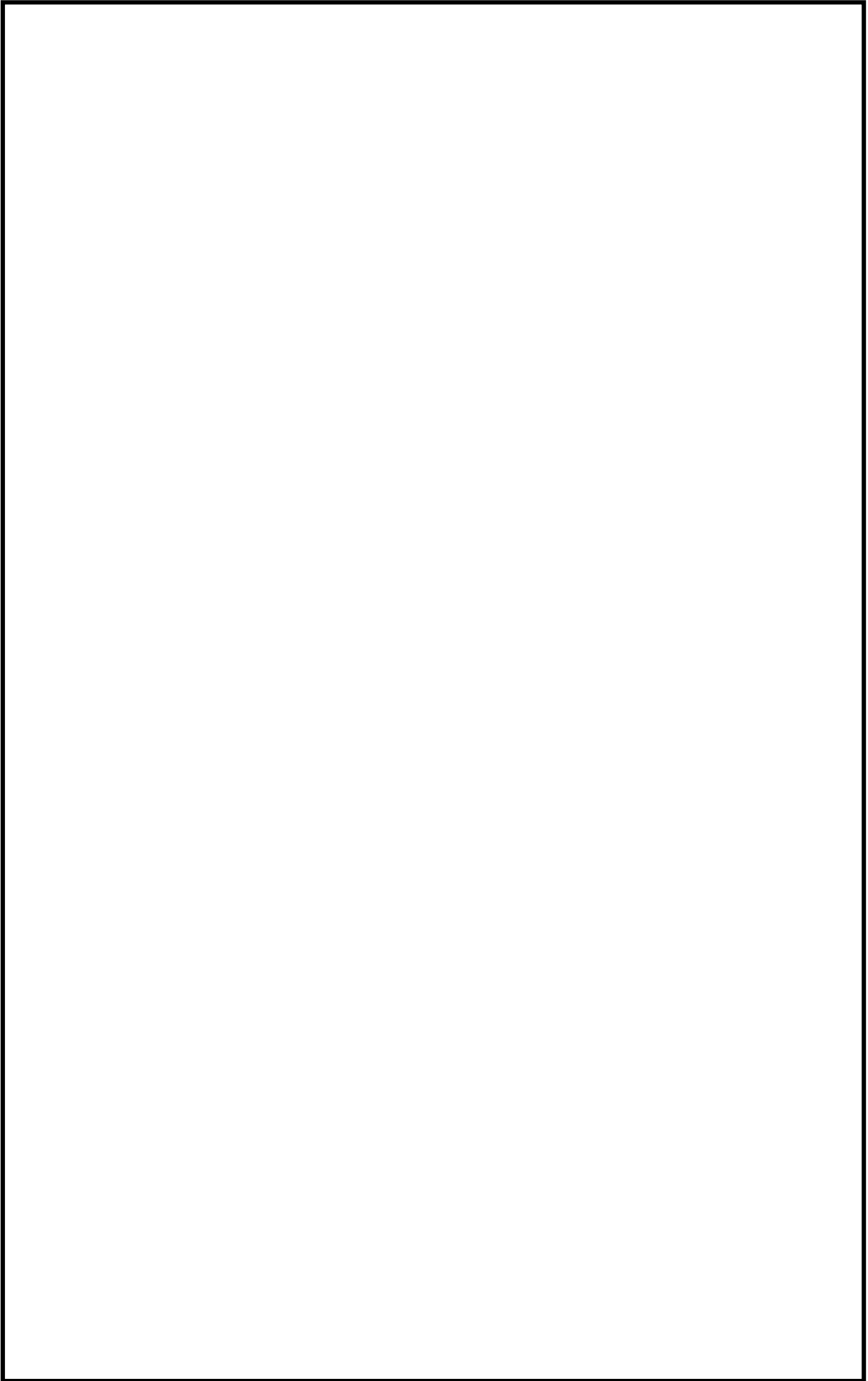


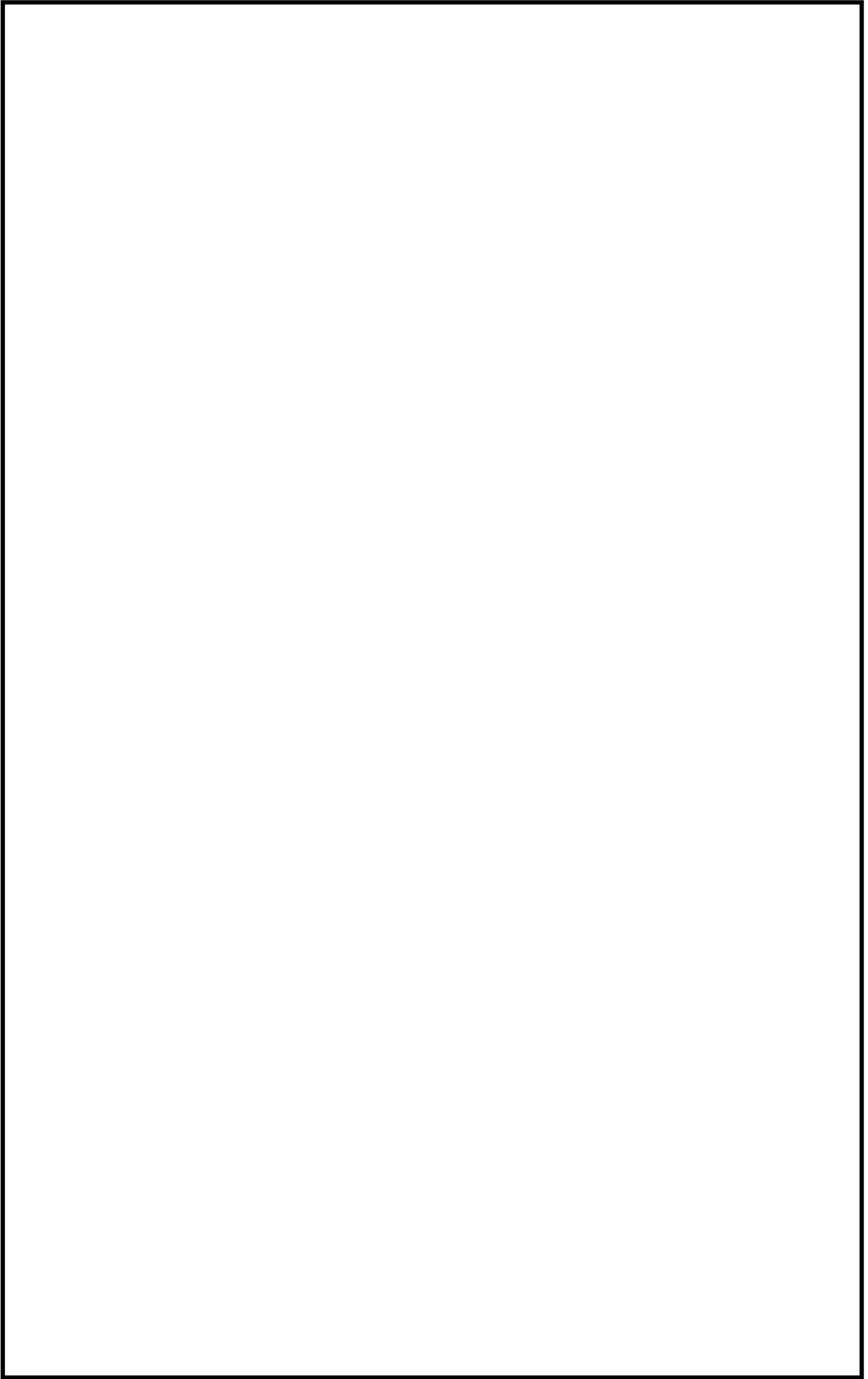


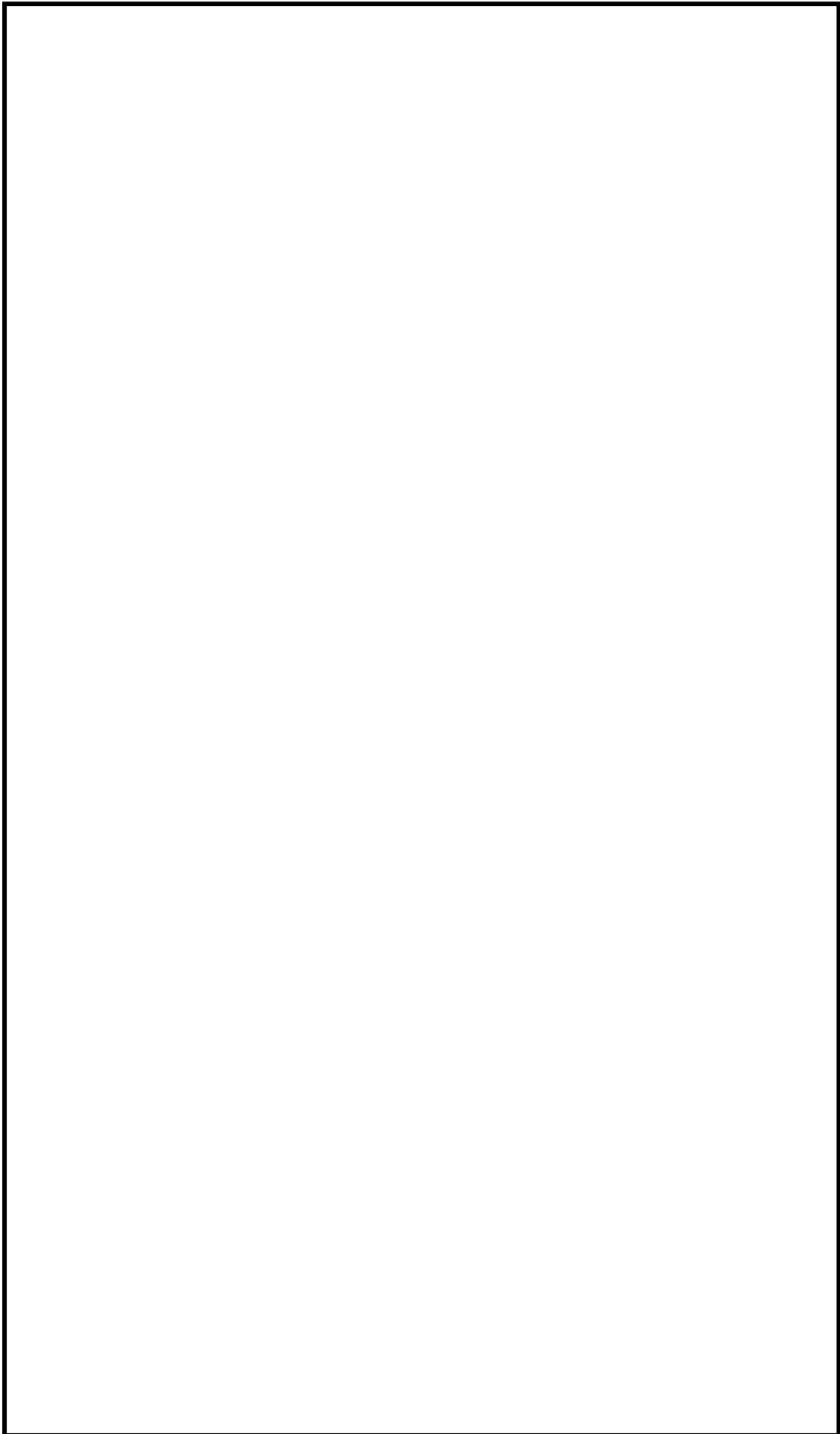


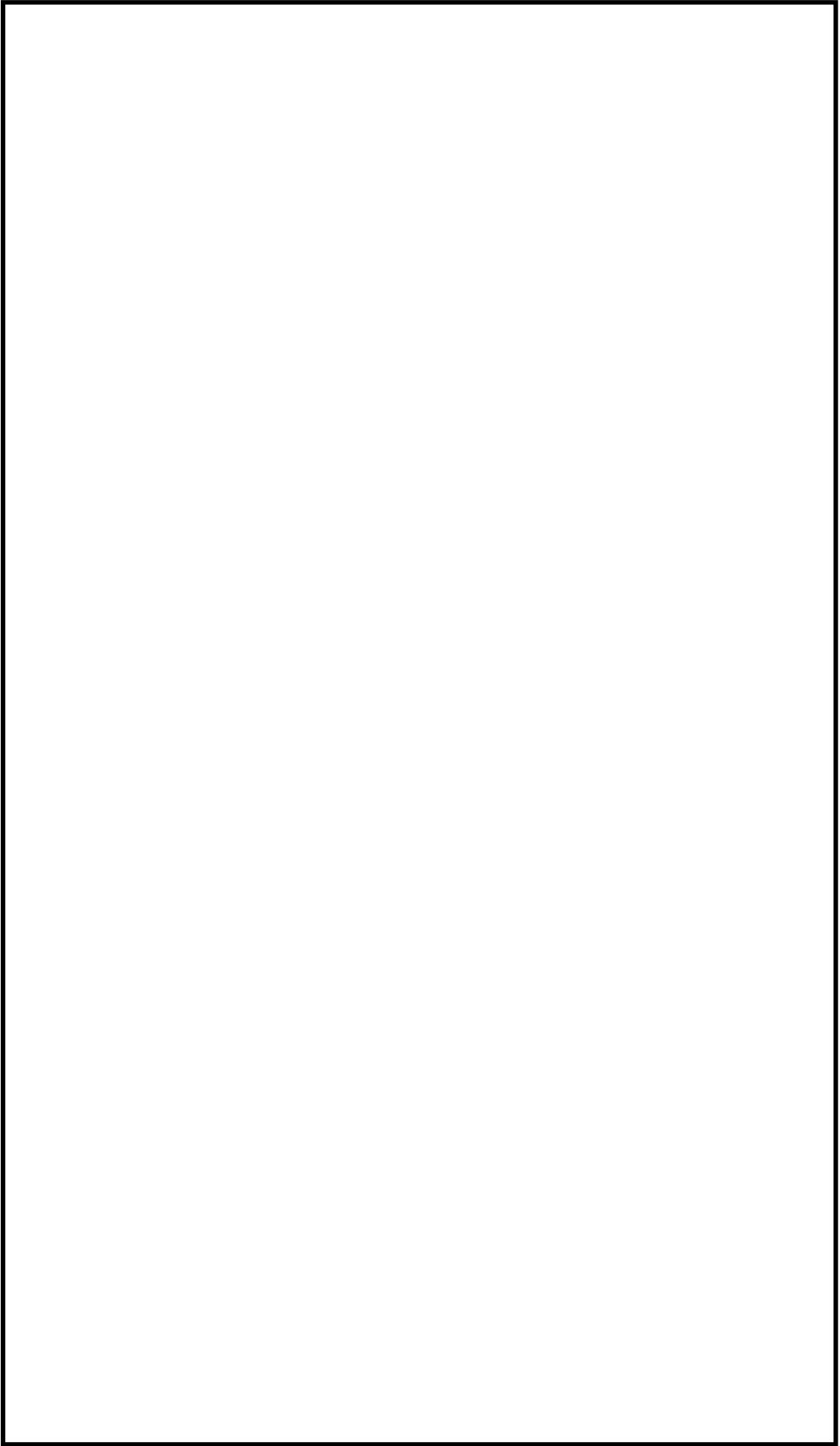


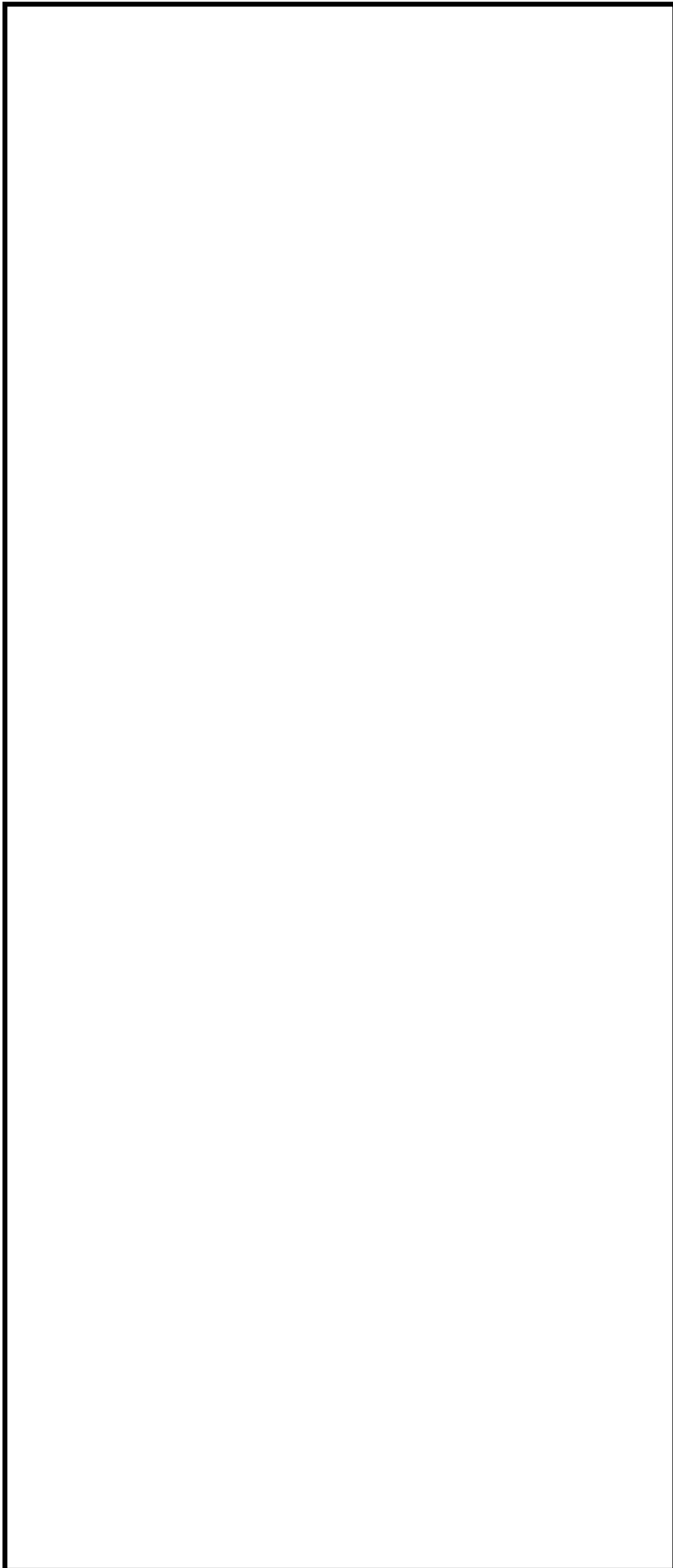












スナップの限界耐力設定にあたってのばらつきの考え方

1. はじめに

スナップの限界耐力値設定にあたり，電共研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. 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) 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) 機能部品の耐力評価式における補正係数
- (4) スナップ全体の座屈の耐力評価式における補正係数

(1) スナップの個体差

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，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あたっては，余裕を持たせている。

電共研においては定格容量 3ton の試験体 3 体に対して試験を実施した結果，座屈の損傷形態を示した SHP 以外は，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。定格容量 3ton の試験体の損傷確認箇所の情報を表 1 に示す。なお，表 1 については，圧縮荷重について整理したものであるが，引張側 SHP 以外は各型式 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限られているため，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 (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 損傷確認箇所の整理

本体 型式	供試体 No	損傷確認箇所	損傷を確認した 試験ケースの情報			最大圧縮 負荷荷重*3 (kgf)	圧縮側 耐力確 認荷重 (kgf)
			目標負 荷荷重 (kgf)	最大圧 縮荷重*1 (kgf)	判定*2		
SMS-3	SMS-3-1						
	SMS-3-2						
	SMS-3-3						
SN-3	SN-3-1						
	SN-3-2						
	SN-3-3						
SHP-3	SHP-3-1						
	SHP-3-2						
	SHP-3-3						

注記*1：損傷を確認したケースにおいて測定された荷重（引張・圧縮）のうち最大の荷重を示す。

*2：「○」は、当該試験ケースで取得した動剛性（構造強度の判定指標）と、低速走行時抵抗値（機能維持の判定指標）がいずれも基準値を満足したことを示し、「×」は、動剛性あるいは低速走行時抵抗値のいずれかが基準値以下となったことを示す。

*3：スナッパ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、スナッパの機能が維持された状態における圧縮側の最大荷重を示す。

(2) 構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法

構造部材については試験結果により得られたスナップの最大負荷荷重（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、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。

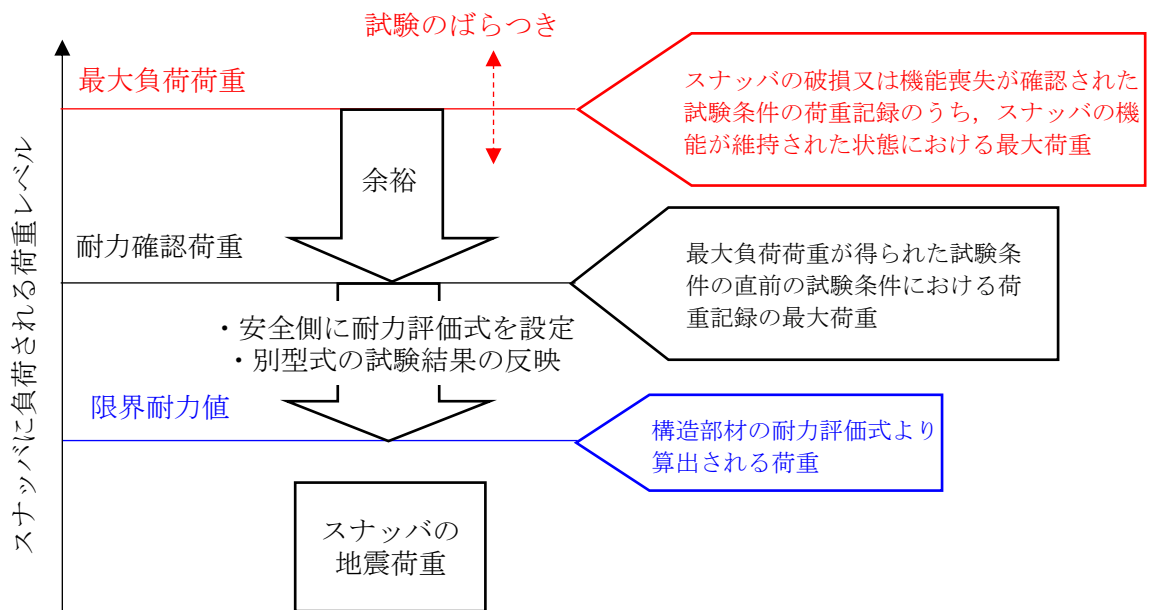


図1 スナップの構造部材に対する限界耐力値設定のイメージ

(3) 機能部品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。

a. 共通部品

各型式において共通の機能部品である球面軸受については、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。

b. SMS 型メカニカルスナップ

機能部品にはアンギュラー玉軸受及びボールねじがあるが、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 J N E S 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。J N E S 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にあたって，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+ J N E S 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)	比率 (B)/(A)
SMS-03	電共研			
SMS-1	電共研			
SMS-10	電共研			
	J N E S			
SMS-25	J N E S			
平均値				
標準偏差値 (σ)				
平均値 -2σ				

b. SHP 型オイルスナップ

機能部品はポペット弁とシール性としてシール材があるが、ポペット弁については、異常要因分析で示した通り、地震荷重の作用は考えられないことから、試験荷重のばらつきの考慮の対象外である。一方、シール性は、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、シール性の限界耐力値は、メーカー推奨値の最小値を予想耐力としていたが、耐力確認荷重が予想耐力を超えても損傷しなかったことから、試験結果の倍率で耐力値を見直して設定していた。

これに対し類似試験である J N E S 研究において、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されているため、限界耐力値については、J N E S 研究における耐力値も参照することで、ばらつきは考慮されることとなる。

c. SN 型オイルスナップ

機能部品はポペット弁とシール性としてメタルタッチを構成するタイロッドがあるが、ポペット弁については、異常要因分析で示した通り、地震荷重の作用は考えられないことから、試験荷重のばらつきの考慮の対象外である。タイロッドについては、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。

(4) スナップ全体の座屈の耐力評価式における補正係数

電共研の知見では、座屈強度の確認のために静的座屈試験を実施しているが、加振試験においても座屈損傷を確認している。このため、電共研では座屈に対する限界耐力値は、静的座屈試験と加振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、試験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、スナップの複数の試験体に対する試験結果から、試験結果のばらつきの影響を検討している。表 4 に電共研において座屈損傷を確認した型式の試験結果を示す。

なお、静的座屈試験は、一般的な材料試験の同様に、静的に荷重を負荷する試験であり、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、電共研では試験体はスナップの各型式より 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）と座屈の評価式に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 =

□□□□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。

表4に示される通り、SHP型オイルスナッパについては、加振試験結果における試験座屈荷重/計算座屈荷重=□□□□となる結果が得られている。

SHP型オイルスナッパは図2に示す通り、ターンバックルを有した構造であり、他の型式と比べて部位間の剛性差が大きくなる箇所（以下「最弱部」という）が装置全長に対し中央に位置する構造である。他の型式の構造例として図3にSMS型メカニカルスナッパの概略構造を示す。

また、加振試験では、座屈以外の構造部材及び機能部品の限界耐力取得に特化するため、装置全長を短く設定していることから、SHP型オイルスナッパの加振試験における供試体は、静的座屈試験の供試体よりも最弱部が中央に位置する構造となっていたことから、試験座屈荷重/計算座屈荷重から求まる比が小さい結果となったと考えられる。

表4 静的座屈試験と加振試験における座屈荷重

--

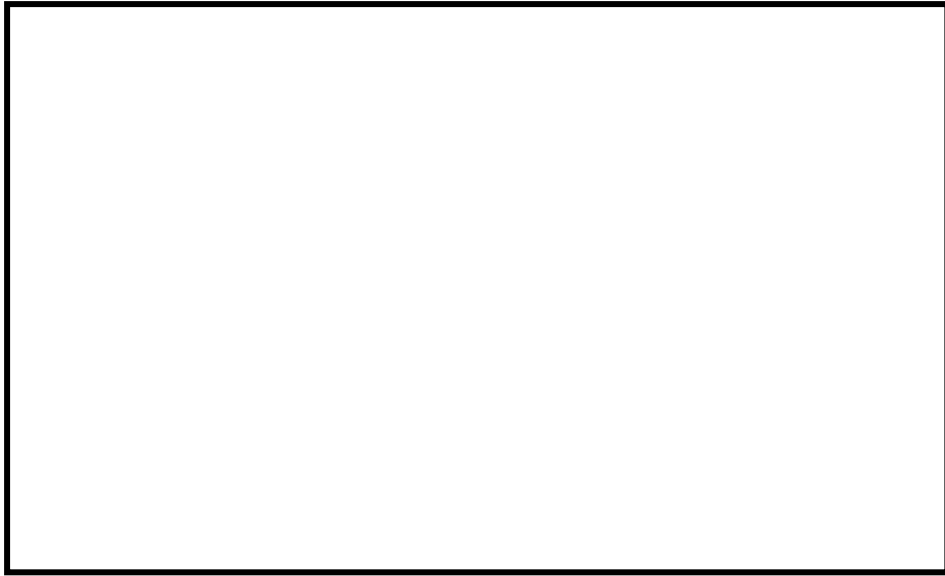


図2 SHP型オイルスナッパの概略構造及びターンバックル部



図3 メカニカルスナッパの概略構造

これらの構造特徴を踏まえ、電共研では、電共研以前に実施されたオイルスナッパの座屈試験結果についても図4に示すような整理を実施し、座屈強度に係る補正係数を設定している。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。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 倍、最弱部が端に位置する場合（下図②）は係数として 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。

電共研での試験結果では、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。



図4 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及びオイルスナップの検討結果により、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 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に記載の無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。

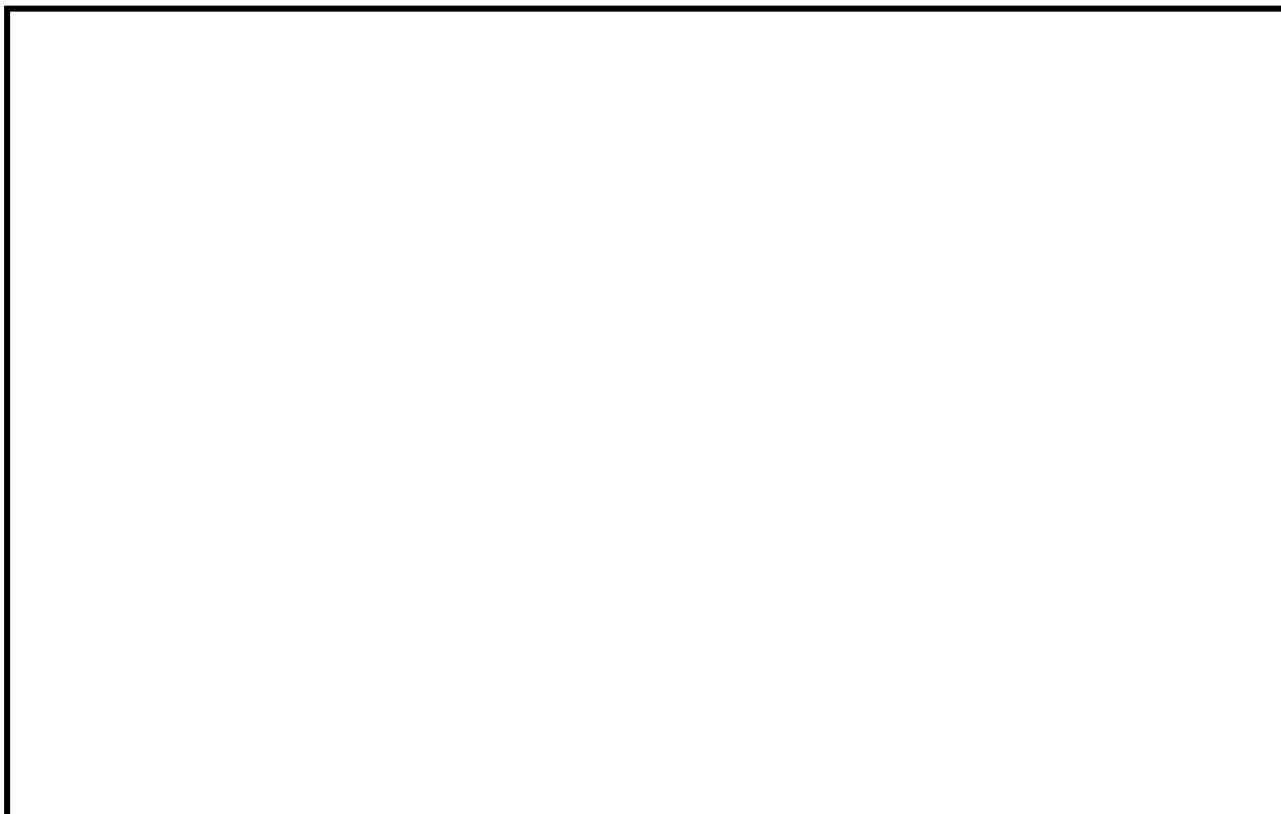
表5 ばらつきの影響を考慮した限界耐力値

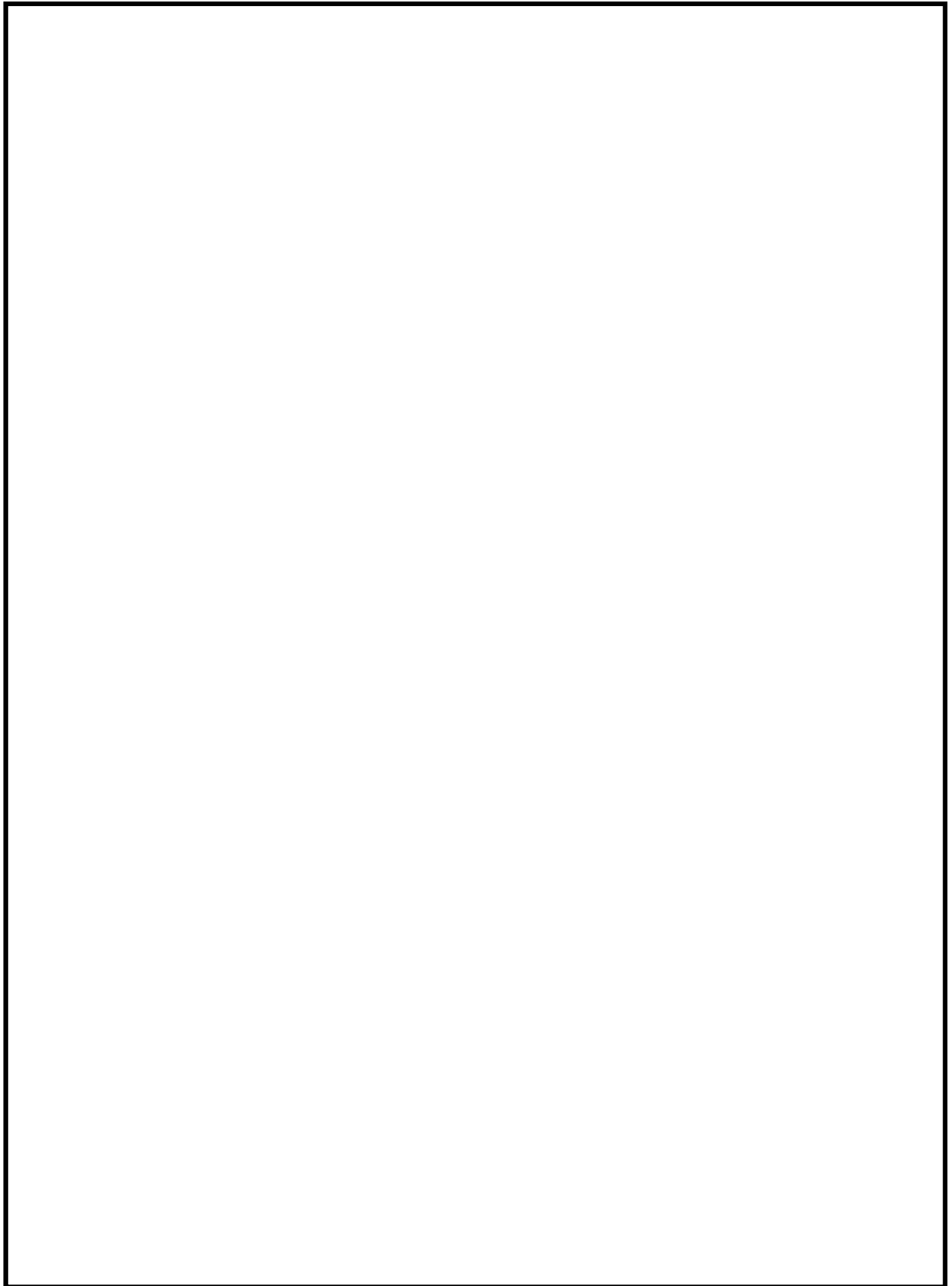
型式	定格容量 (kN)	ばらつきの検討結果反映前		ばらつきの検討結果反映後	
		最小裕度 部位	限界耐力値 (kN)	最小裕度 部位	限界耐力値 (kN)
SNS-3	30				
SMS-10	100				

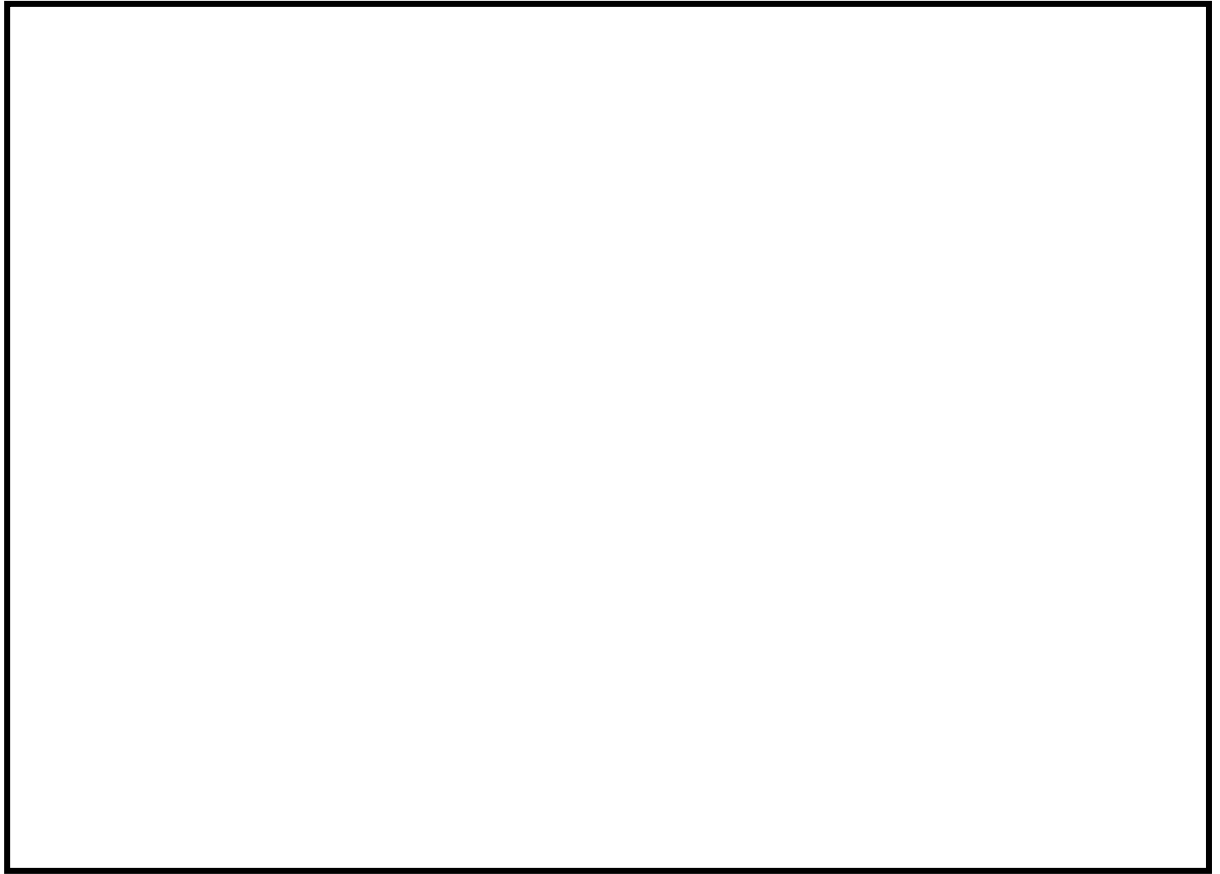
ロッドレストレイント耐力確認試験の概要

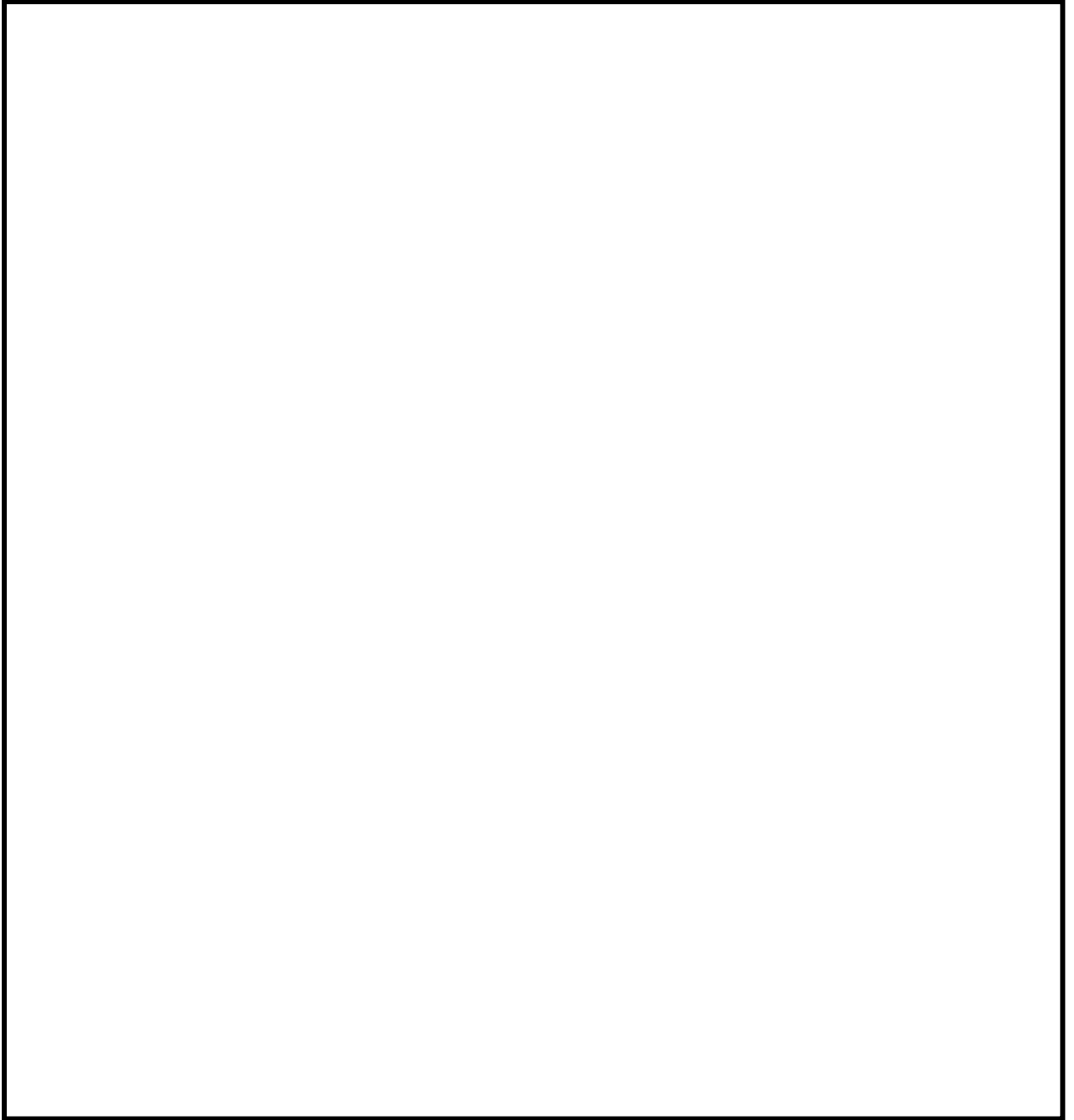
1. はじめに

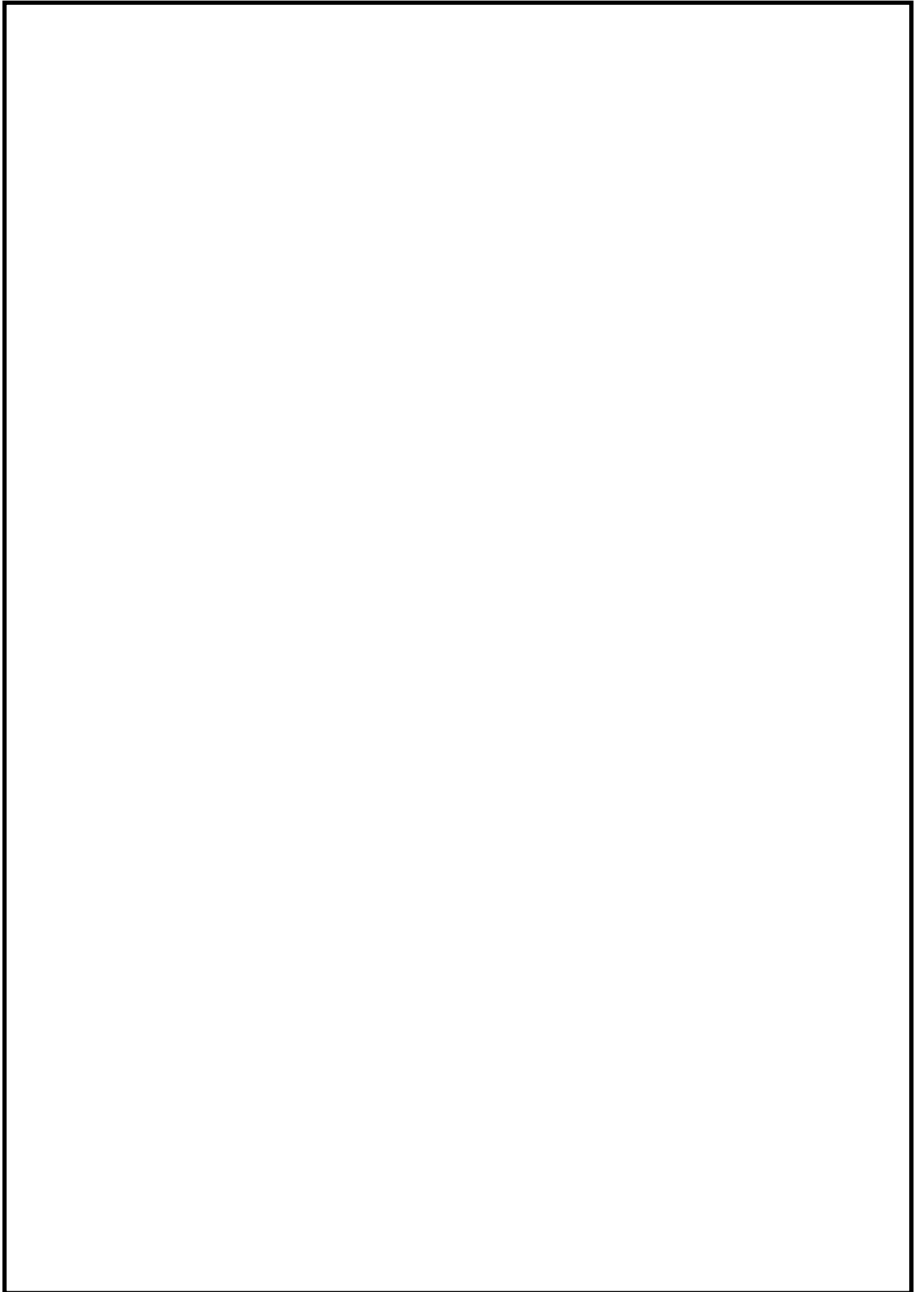
本資料では、今回工認にて新規に設定したロッドレストレイントの設計評価における基準値（許容荷重）が、ロッドレストレイントの実耐力に対して十分な余裕をもった値であることを確認する目的で実施されたロッドレストレイント耐力確認試験の概要について説明する。

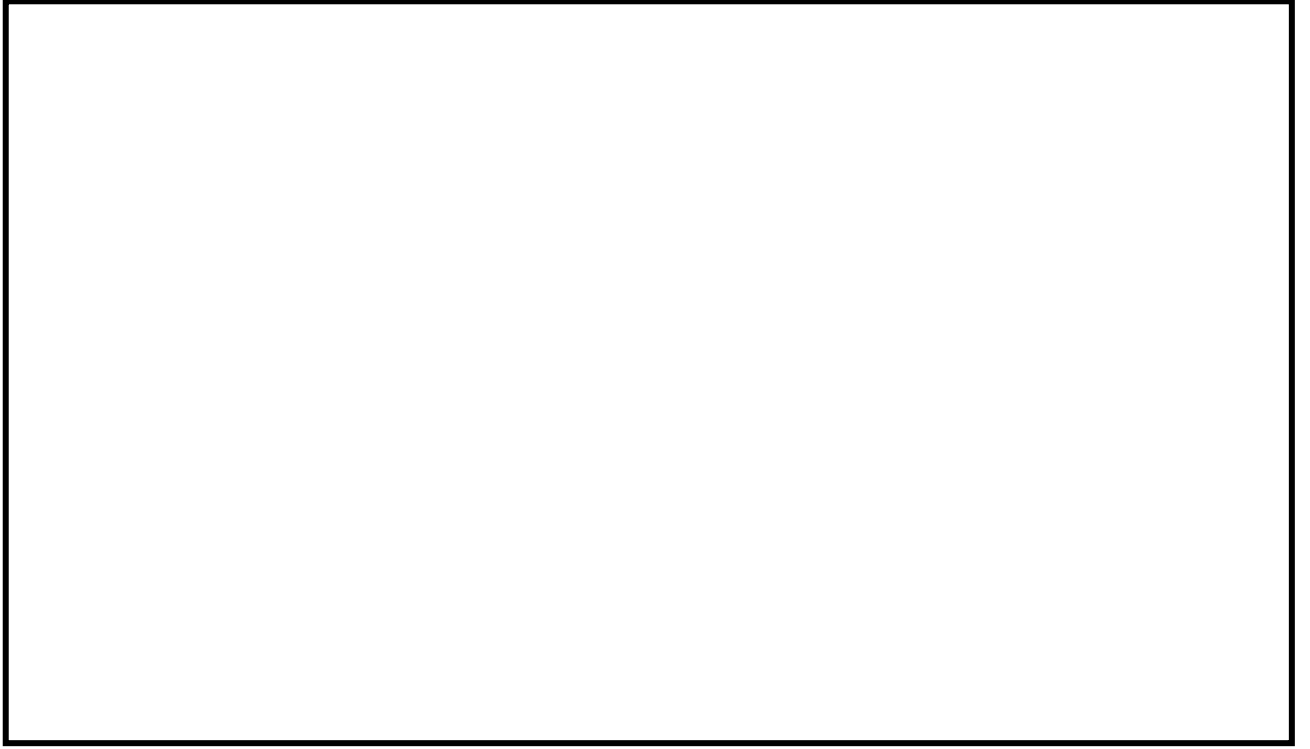


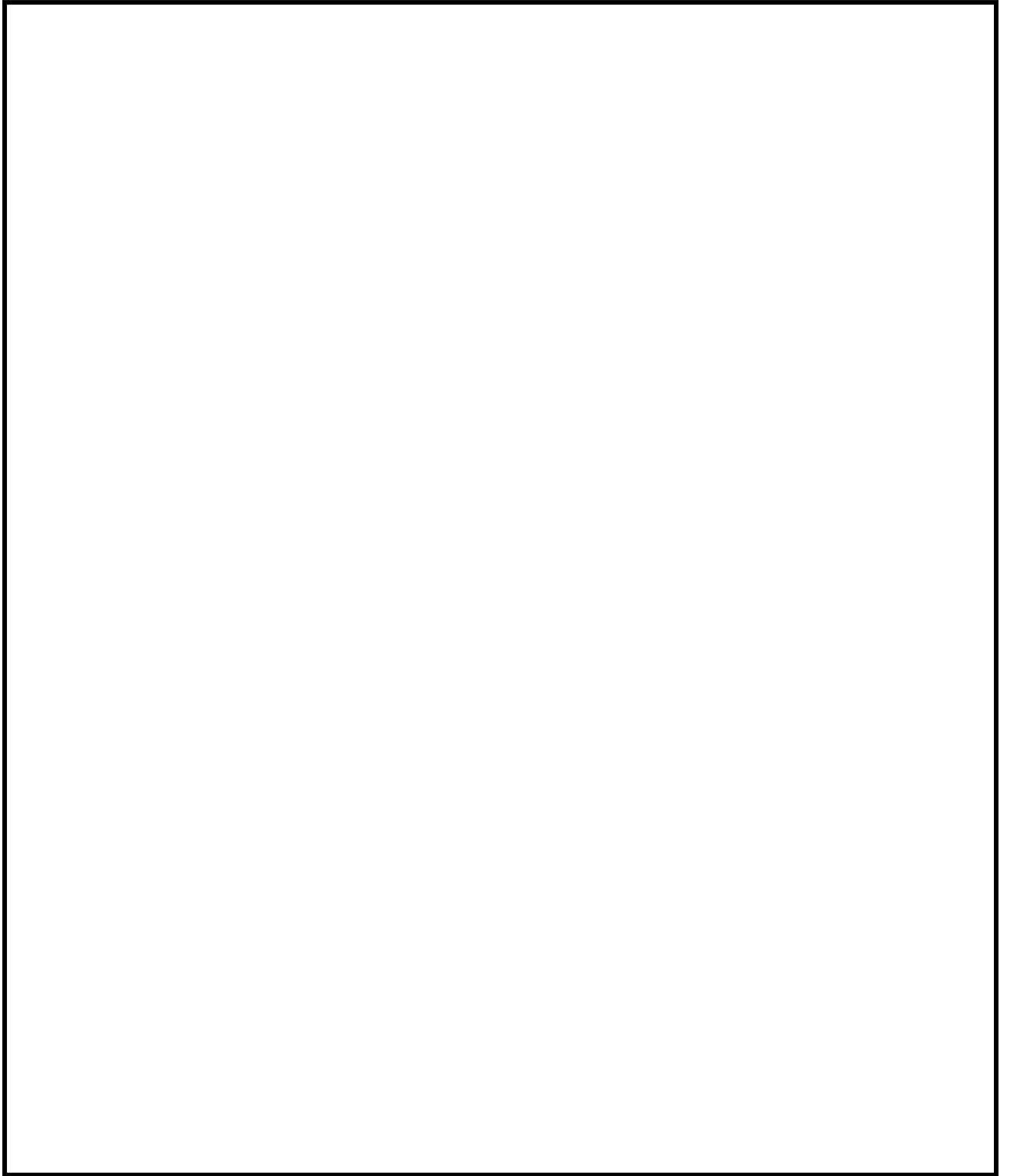


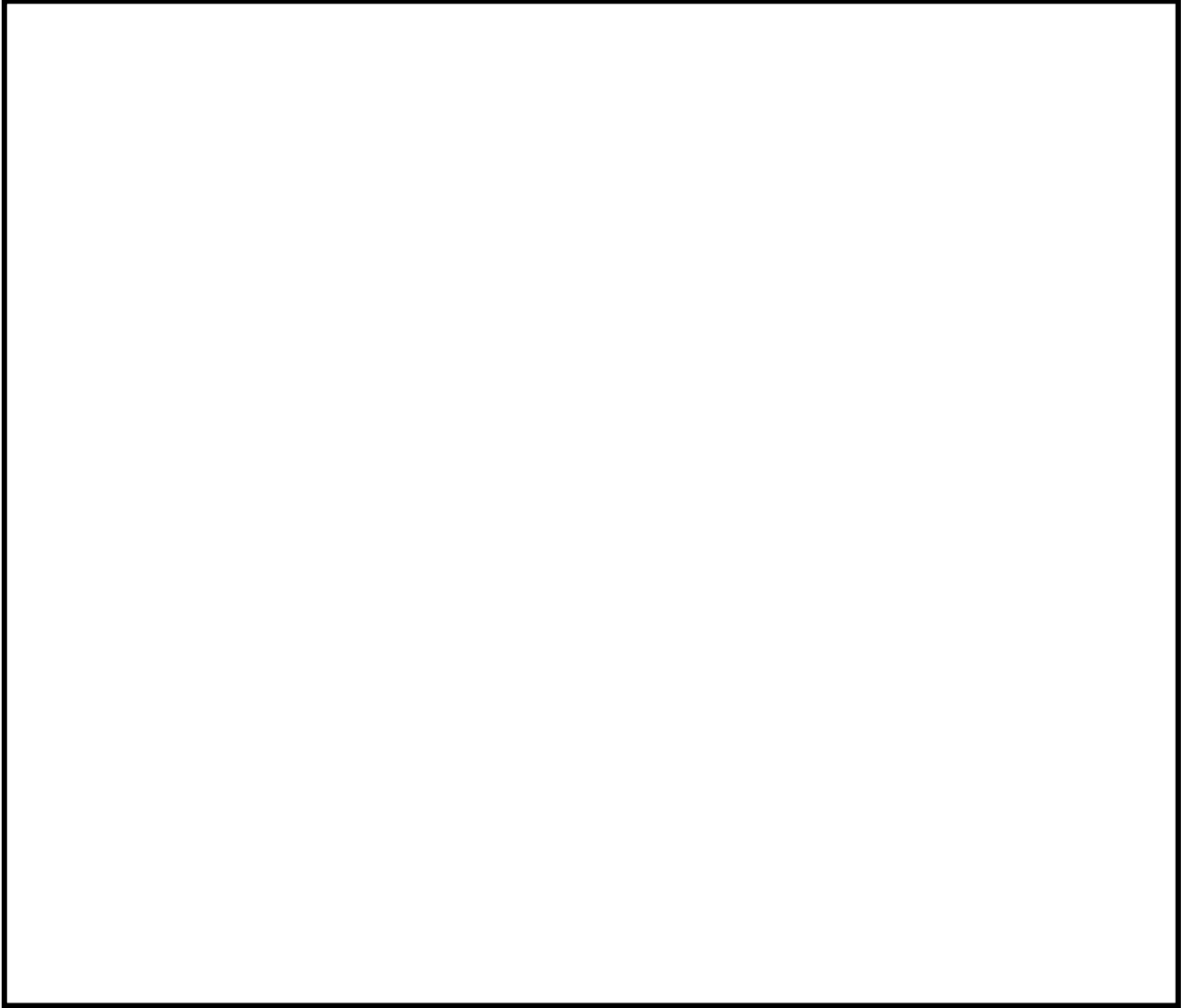


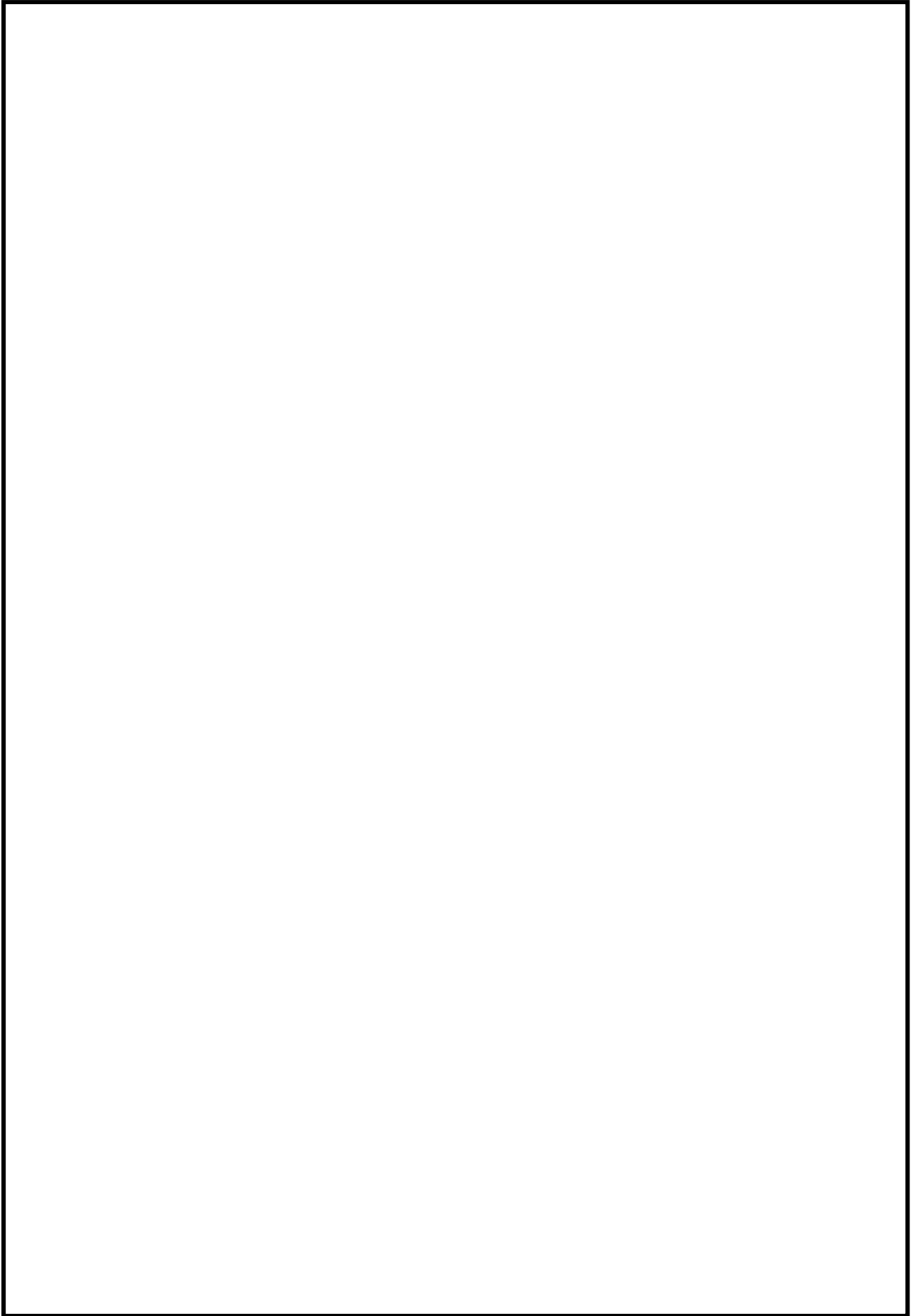


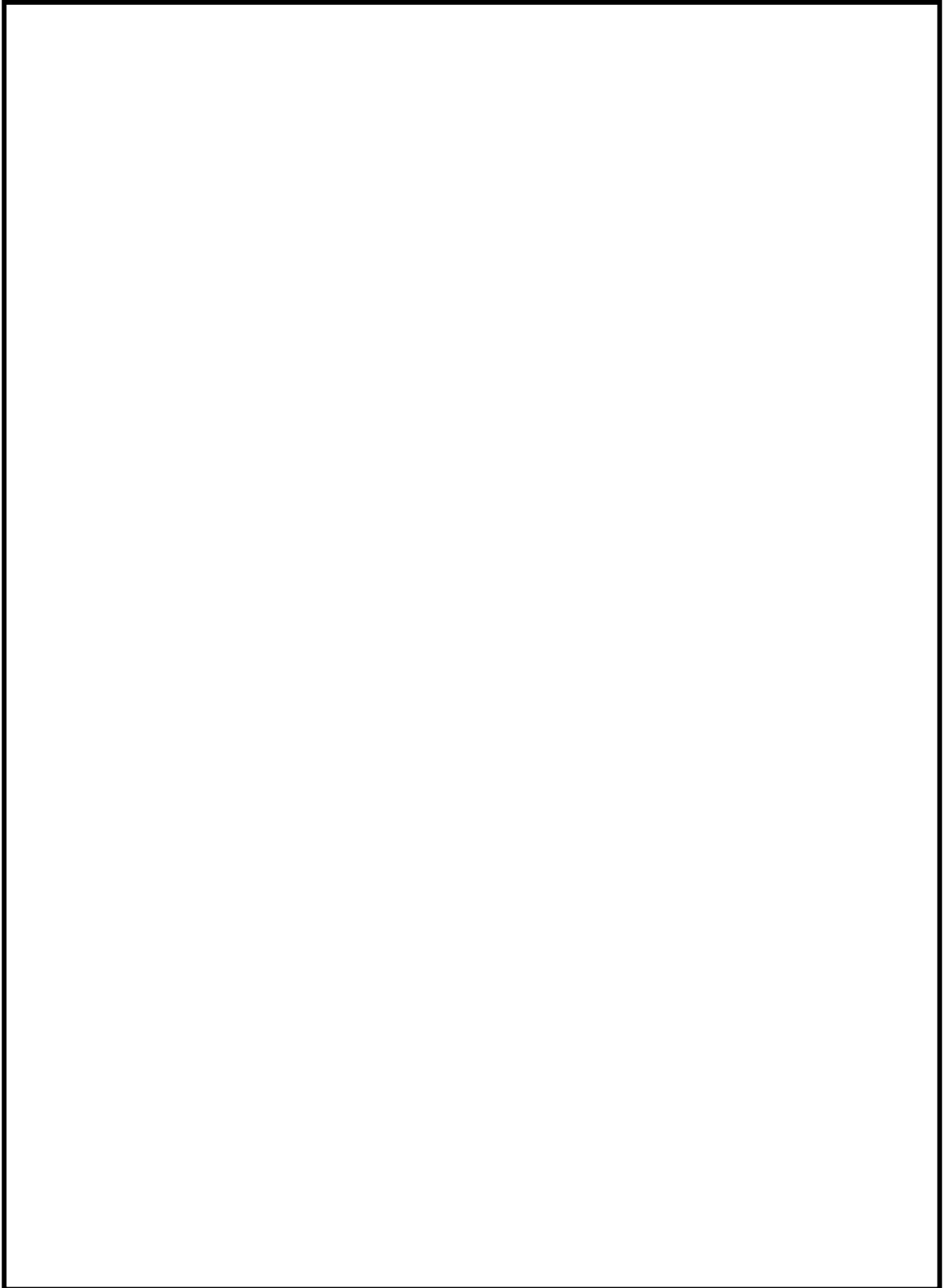


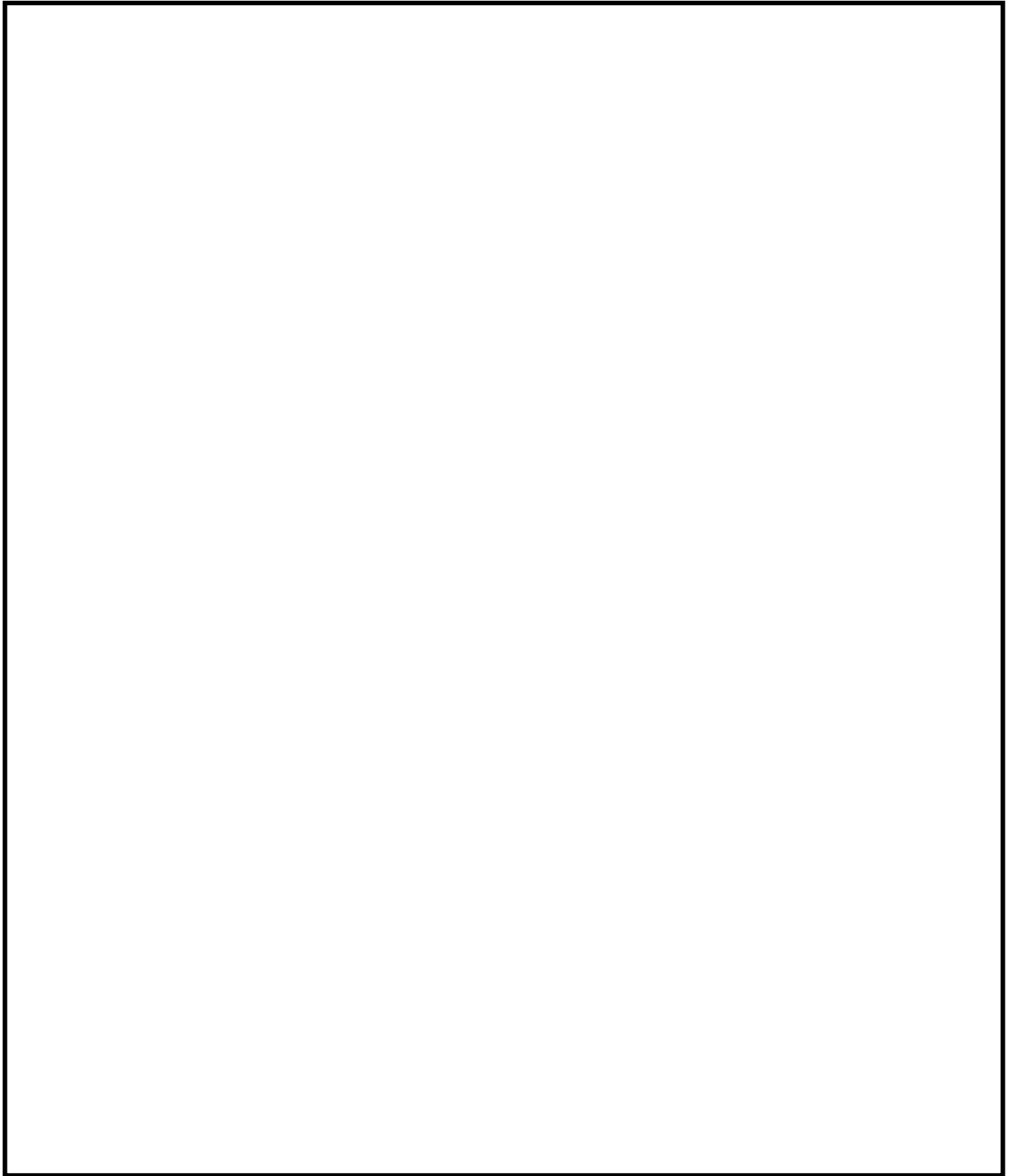


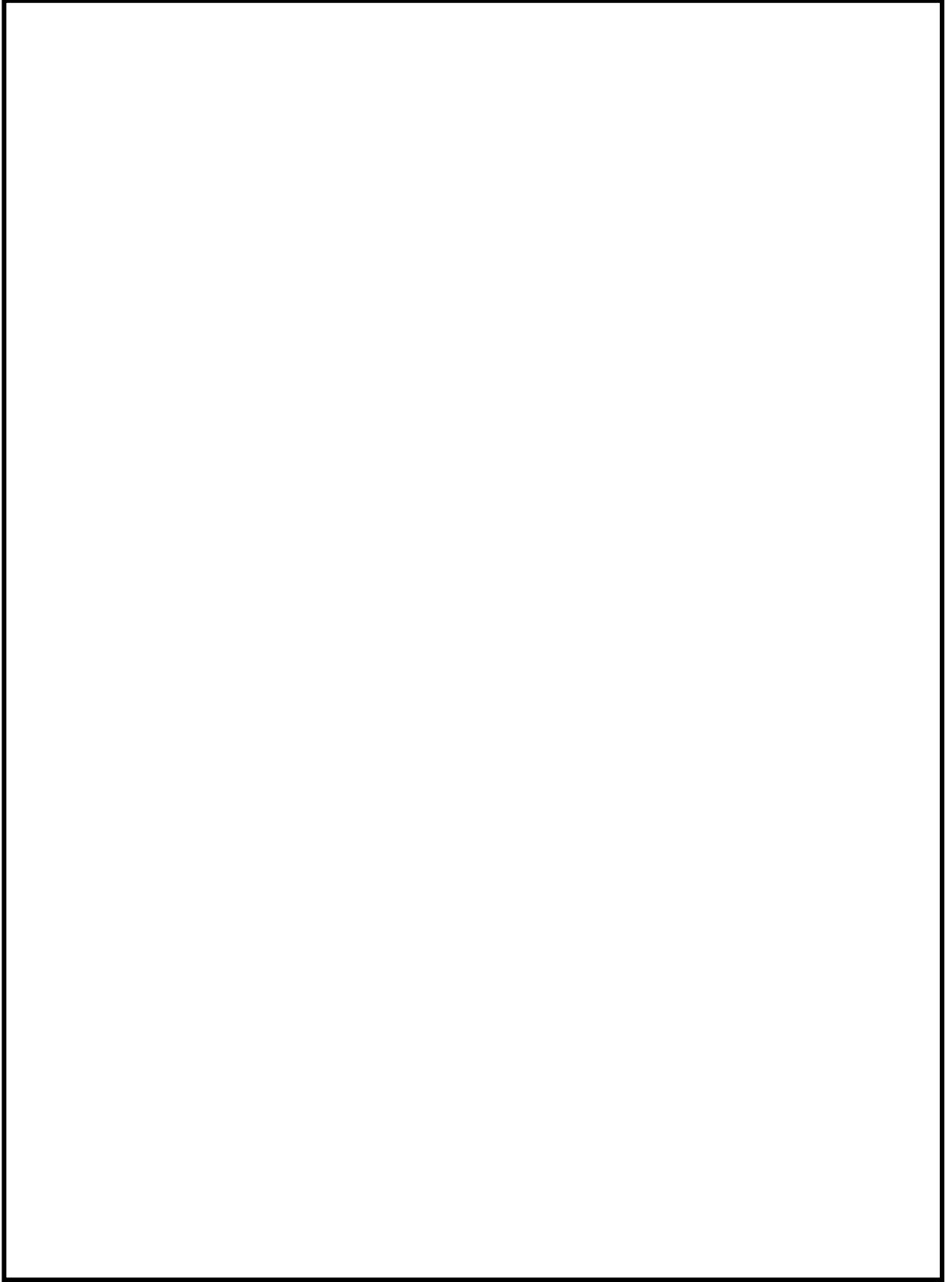




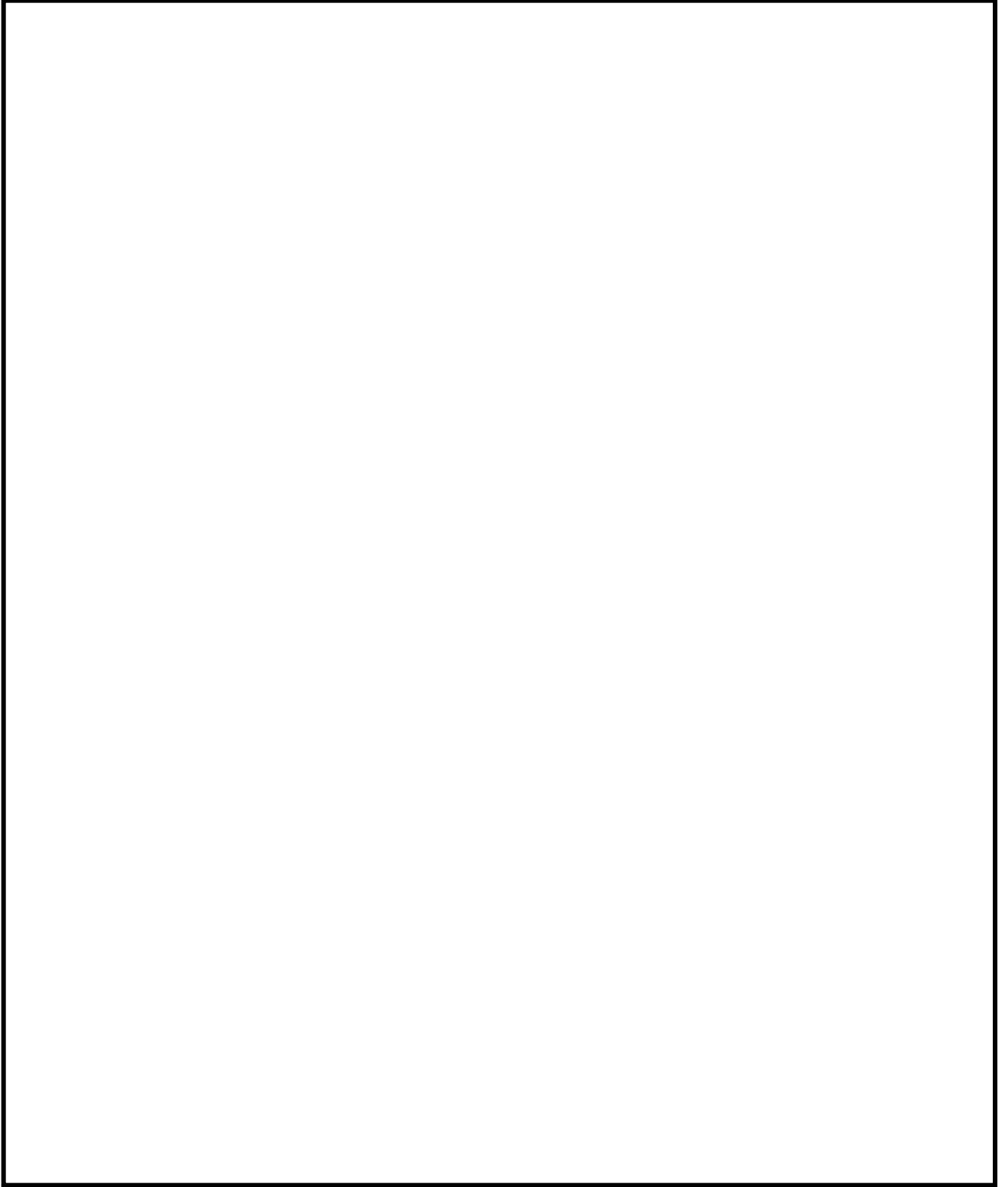












5. ロッドレストレイントの二次評価荷重の妥当性確認



耐力確認試験にて確認した耐力確認荷重に対する定格荷重の裕度（表 4-2 の③/①の値）と， J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界に対する定格荷重の裕度の比較を表 5-1 に示す。

表 5-1 に示すとおり，今回工認で適用する新規耐力係数は，いずれの裕度よりも保守的に設定されていることから，新規耐力係数に基づき設定されるロッドレストレイントの二次評価において適用する新規基準値は妥当であることを確認した。

表 5-1 ロッドレストレイント耐力確認試験結果と新規耐力係数の比較結果

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度		耐力確認試験における耐力確認荷重	新規耐力係数	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界			Ⅲ A S	Ⅳ A S
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S	Ⅳ A S	
RSA-06	9					
RSA-1	15					
RSA-3	45					
RSA-6	90					
RSA-10	150					
RSA-16	240					
RSA-25	375					
RTS-06	9					
RTS-1	15					
RTS-3	45					
RTS-6	90					
RTS-10	150					
RTS-16	240					
RTS-25	375					
RTS-60	900					