

核燃料輸送物設計承認申請書

第 88200110-A-20170310-001 号

平成 29 年 3 月 24 日

原子力規制委員会 殿

東京都千代田区霞が関一丁目 3
国立研究開発法人産業技術総合
理事長 中 鉢 良

平成 2 年科学技術庁告示第 5 号（核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示）第 4 1 条第 1 項の規定により、下記のとおり申請します。

記

1. 核燃料輸送物の名称 : S 3 0 0 型
2. 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料
 - (1) 核燃料輸送物の外形寸法
外 径 : 約 6 0 . 2 c m
高 さ : 約 8 8 . 4 c m
 - (2) 核燃料輸送物の総重量 : 2 1 8 k g 以下
 - (3) 核燃料輸送物の外観 : 添付図のとおり
 - (4) 輸送容器の主要材料 : 添付表 - 1 のとおり
3. 核燃料輸送物の種類
 - (1) 核燃料輸送物の種類 : A 型核分裂性輸送物
 - (2) 配列方法 : 任意
 - (3) 臨界安全指数 : 0 . 3
4. 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量
添付表 - 2 のとおり
5. 輸送制限個数

6. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）において、円筒容器蓋ボルトが破断する可能性を考慮し、円筒容器内から収納物が格納された特別形カプセルが放出され、特別形カプセルの周りに水が存在するものとして評価している。

7. 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界は、特別形カプセルの本体及びシーリングプラグより構成されている。また、特別形カプセルに封入される中性子線源は、

中性子線源の密封境界は
により構成されている。

8. BM型輸送物にあつては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準についての説明
該当なし

9. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

本輸送容器の保守及び定期自主検査並びに核燃料輸送物としての取扱いについては、本書別紙に記載した方法により実施する。

本核燃料輸送物の運搬は、環境温度 -40°C 以上で専用積載または非専用積載にて実施する。

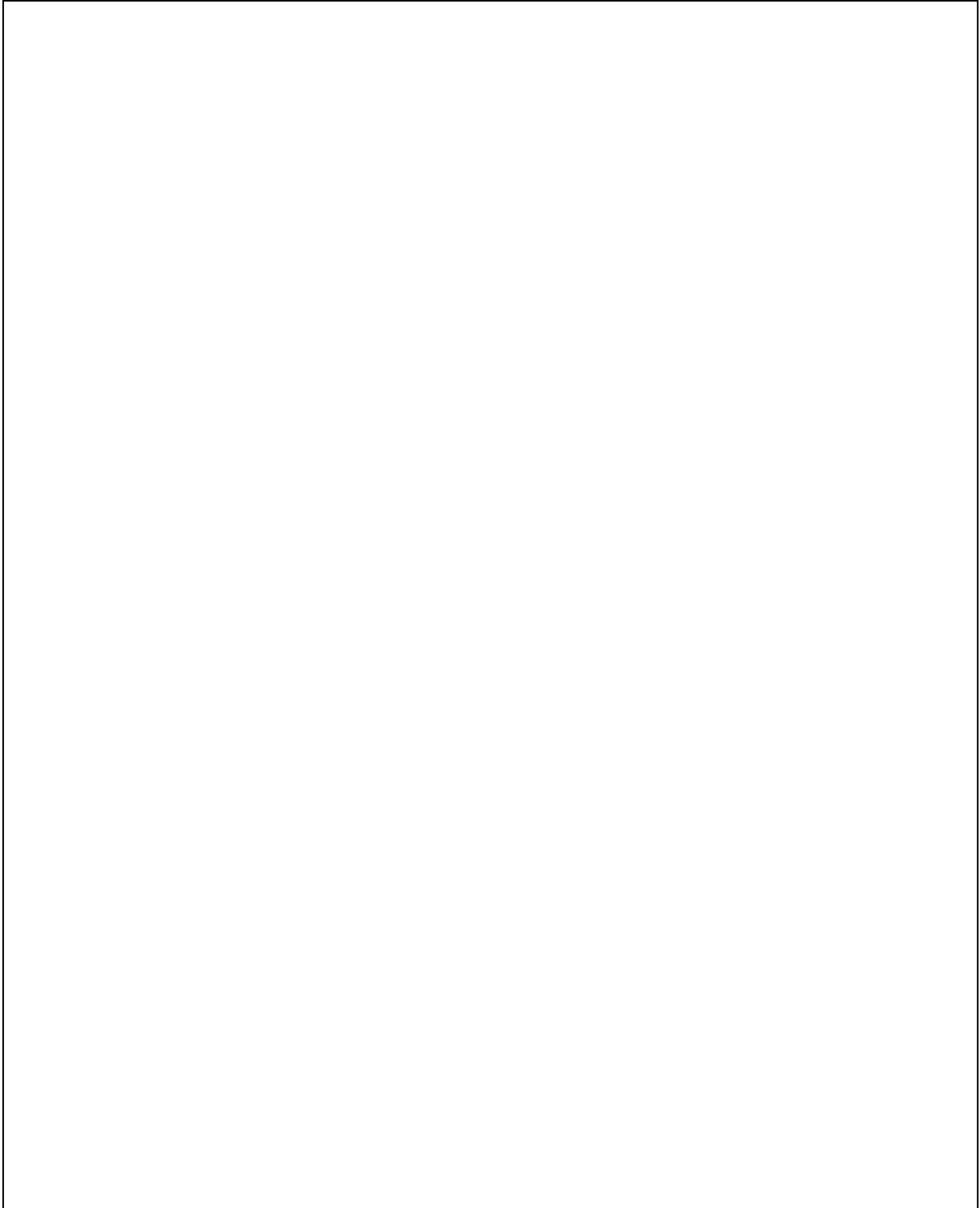
添付表－１ 輸送容器の主要材料

輸送容器部位	主要材料
オーバーパック 17Cドラム缶 敷材	炭素鋼 ケーンファイバー材 及びファープライウッド
円筒容器 本体 蓋	オーステナイト系ステンレス鋼 オーステナイト系ステンレス鋼
中性子遮蔽材	高密度ポリエチレン
特別形カプセル 本体 蓋 シーリングプラグ	オーステナイト系ステンレス鋼 オーステナイト系ステンレス鋼 オーステナイト系ステンレス鋼

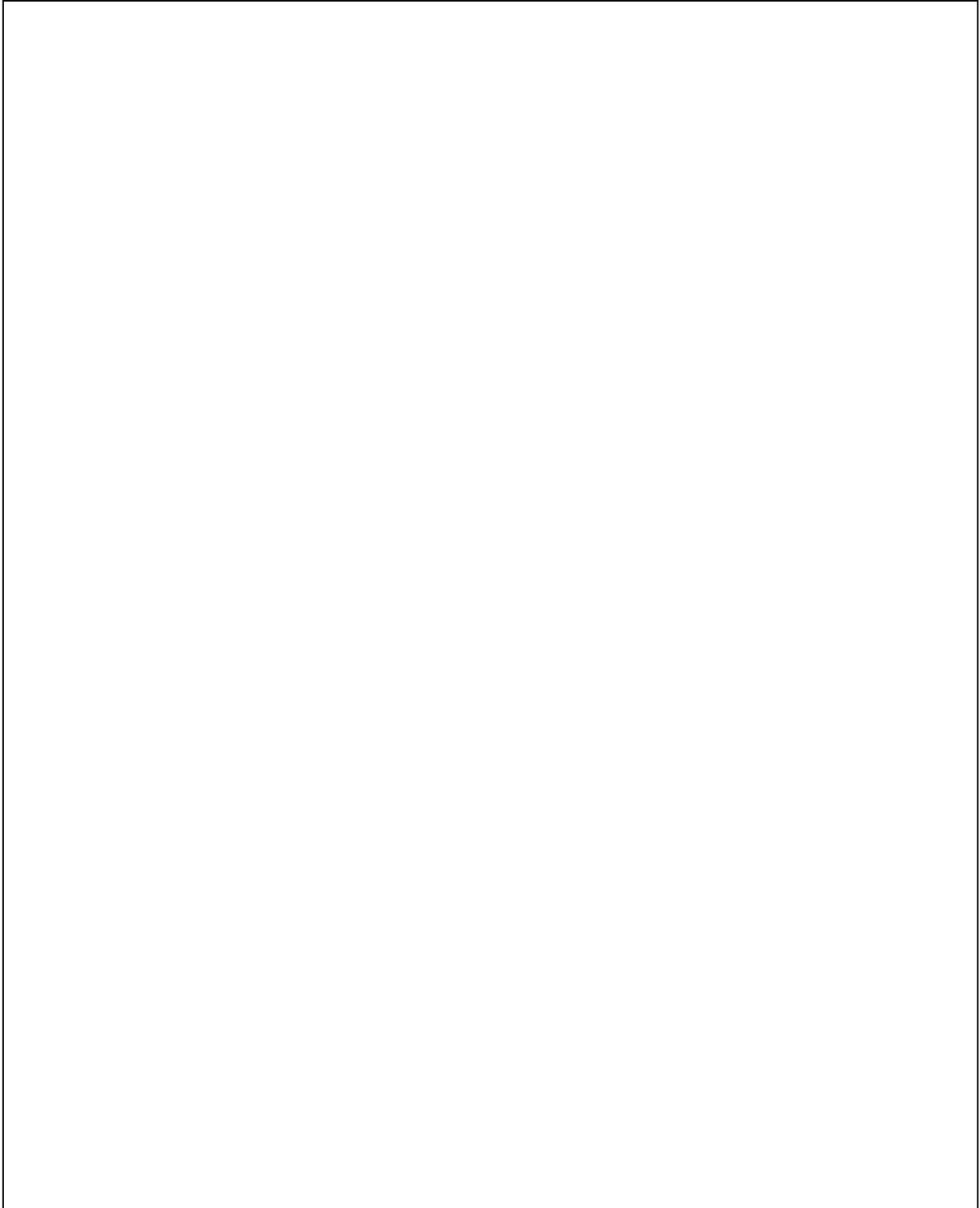
添付表－２ 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

項目		仕様
種類		中性子線源
性状		<input type="text"/>
中性子線源の重量※	1体 (kg以下)	<input type="text"/>
	総重量 (kg以下)	<input type="text"/>
① 中性子線源収納体数 (体以下)		<input type="text"/>
② 放射能の量 (TBq以下) (輸送容器1基あたり)		<input type="text"/>
③ 主要な核種の放射能の量 (TBq以下) (②を主要な核種ごとに分類)		<input type="text"/>
[核種] <input type="text"/>		
合計		<input type="text"/>
発熱量 (W以下)		1.1

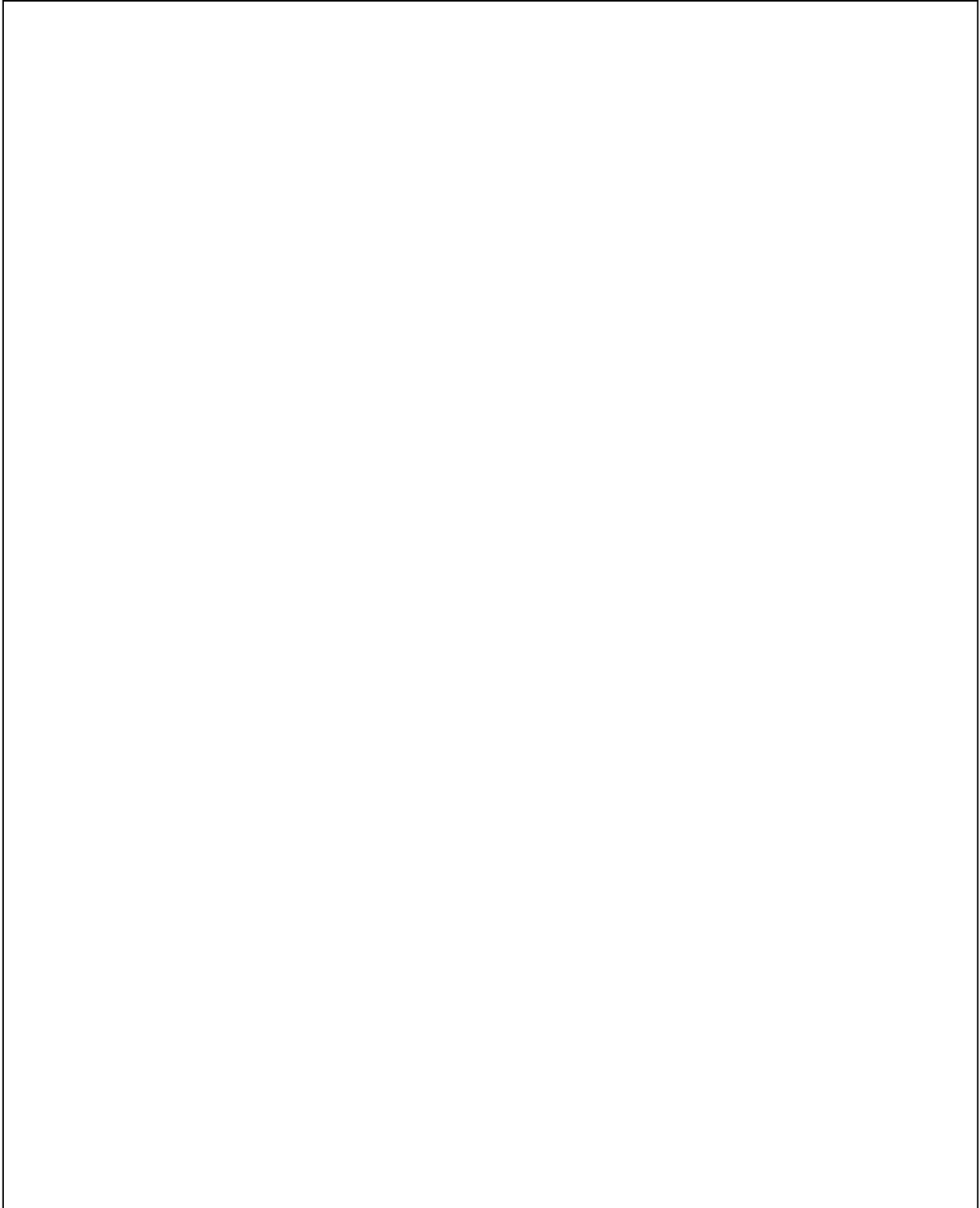
※ の重量を含む。



(a) オーバーパック外観



(b) 円筒容器外観



(c) 特別形カプセル

添付図 S300 型輸送物外観 (3/3)

S 3 0 0 型
核燃料輸送物設計承認申請書

別 紙

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

目 次

イ章 核燃料輸送物の説明	イ-1
A. 目的及び条件	イ-1
B. 輸送物の種類	イ-1
C. 輸送容器	イ-3
D. 輸送容器の収納物	イ-15
ロ章 核燃料輸送物の安全解析	ロ-1
ロ章A 構造解析	ロ-A-1
A. 1 構造設計	ロ-A-1
A. 1. 1 概 要	ロ-A-1
A. 1. 2 設計基準	ロ-A-2
A. 2 重量及び重心	ロ-A-11
A. 3 材料の機械的性質	ロ-A-11
A. 4 輸送物の要件	ロ-A-11
A. 4. 1 化学的及び電気的反応	ロ-A-11
A. 4. 2 低温強度	ロ-A-17
A. 4. 3 密封装置	ロ-A-18
A. 4. 4 吊上装置	ロ-A-18
A. 4. 5 固縛装置	ロ-A-18
A. 4. 6 圧 力	ロ-A-18
A. 4. 7 振 動	ロ-A-19
A. 5 一般の試験条件	ロ-A-22
A. 5. 1 熱 的 試 験	ロ-A-22
A. 5. 1. 1 温度及び圧力の要約	ロ-A-22
A. 5. 1. 2 熱 膨 張	ロ-A-23
A. 5. 1. 3 応 力 計 算	ロ-A-26
A. 5. 1. 4 許容応力との比較	ロ-A-28

A. 5. 2	水 噴 霧	.....	ロ-A-29
A. 5. 3	自 由 落 下	.....	ロ-A-30
A. 5. 4	積み重ね試験	.....	ロ-A-37
A. 5. 5	貫 通	.....	ロ-A-38
A. 5. 6	角又は縁落下	.....	ロ-A-39
A. 5. 7	結果の要約及びその評価	.....	ロ-A-39
A. 6	特別の試験条件	.....	ロ-A-40
A. 7	強化浸漬試験	.....	ロ-A-40
A. 8	放射性収納物	.....	ロ-A-40
A. 9	核分裂性輸送物	.....	ロ-A-40
A. 9. 1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	.....	ロ-A-40
A. 9. 2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	.....	ロ-A-42
A. 10	付属書類	.....	ロ-A-70
A. 10. 1	参 考 文 献	.....	ロ-A-70
A. 10. 2	9 m落下試験	.....	ロ-A-72
A. 10. 3	ベンチマーク解析	.....	ロ-A-79
ロ章B	熱 解 析	.....	ロ-B-1
B. 1	概 要	.....	ロ-B-1
B. 2	材料の熱的性質	.....	ロ-B-4
B. 3	構成要素の仕様	.....	ロ-B-8
B. 4	一般の試験条件	.....	ロ-B-9
B. 4. 1	熱解析モデル	.....	ロ-B-9
B. 4. 1. 1	解析モデル	.....	ロ-B-9
B. 4. 1. 2	試験モデル	.....	ロ-B-16
B. 4. 2	最 高 温 度	.....	ロ-B-16
B. 4. 3	最 低 温 度	.....	ロ-B-21
B. 4. 4	最 大 内 圧	.....	ロ-B-21
B. 4. 5	最 大 熱 応 力	.....	ロ-B-22
B. 4. 6	結果の要約及びその評価	.....	ロ-B-22
B. 5	特別の試験条件	.....	ロ-B-24
B. 5. 1	熱解析モデル	.....	ロ-B-24

B. 5. 1. 1 解析モデル	.....	ロ-B-24
B. 5. 1. 2 試験モデル	.....	ロ-B-26
B. 5. 2 輸送物の評価条件	.....	ロ-B-26
B. 5. 3 輸送物温度	.....	ロ-B-26
B. 5. 4 最大内圧	.....	ロ-B-31
B. 5. 5 最大熱応力	.....	ロ-B-31
B. 5. 6 結果の要約及びその評価	.....	ロ-B-31
B. 6 付 属 書 類	.....	ロ-B-33
B. 6. 1 太陽放射熱	.....	ロ-B-33
B. 6. 1. 1 通常輸送時における太陽放射熱	.....	ロ-B-33
B. 6. 1. 2 特別の試験条件における太陽放射熱	.....	ロ-B-34
B. 6. 2 対流熱伝達率	.....	ロ-B-35
B. 6. 2. 1 通常輸送時における熱伝達率	.....	ロ-B-35
B. 6. 2. 2 特別の試験条件における熱伝達率	.....	ロ-B-38
B. 6. 3 参考文献	.....	ロ-B-41
ロ章C 密 封 解 析	.....	ロ-C-1
C. 1 概 要	.....	ロ-C-1
C. 2 密 封 装 置	.....	ロ-C-2
C. 2. 1 密 封 装 置	.....	ロ-C-2
C. 2. 2 密封装置の貫通部	.....	ロ-C-2
C. 2. 3 密封装置のガスケット及び溶接部	.....	ロ-C-2
C. 2. 4 蓋	.....	ロ-C-2
C. 3 一般の試験条件	.....	ロ-C-3
C. 3. 1 放射性物質の漏えい	.....	ロ-C-3
C. 3. 2 密封装置の加圧	.....	ロ-C-3
C. 3. 3 冷却材汚染	.....	ロ-C-3
C. 3. 4 冷却材損失	.....	ロ-C-3
C. 4 特別の試験条件	.....	ロ-C-4
C. 4. 1 核分裂生成ガス	.....	ロ-C-4
C. 4. 2 放射性物質の漏えい	.....	ロ-C-4
C. 5 結果の要約及びその評価	.....	ロ-C-4

ロ章D 遮蔽解析	ロ-D-1
D.1 概要	ロ-D-1
D.2 線源仕様	ロ-D-3
D.2.1 ガンマ線源	ロ-D-4
D.2.2 中性子源	ロ-D-5
D.3 モデル仕様	ロ-D-7
D.3.1 解析モデル	ロ-D-7
D.3.2 解析モデル各領域における密度	ロ-D-11
D.4 遮蔽評価	ロ-D-12
D.5 結果の要約及びその評価	ロ-D-18
D.6 参考文献	ロ-D-20
ロ章E 臨界解析	ロ-E-1
E.1 概要	ロ-E-1
E.2 解析対象	ロ-E-3
E.2.1 収納物	ロ-E-3
E.2.2 輸送容器	ロ-E-3
E.2.3 中性子吸収材	ロ-E-3
E.3 モデル仕様	ロ-E-4
E.3.1 解析モデル	ロ-E-4
E.3.2 解析モデル各領域における密度	ロ-E-5
E.4 未臨界評価	ロ-E-12
E.4.1 計算条件	ロ-E-12
E.4.2 輸送物への水の浸入等	ロ-E-12
E.4.3 計算方法	ロ-E-12
E.4.4 計算結果	ロ-E-12
E.5 ベンチマーク試験	ロ-E-13
E.6 結果の要約及びその評価	ロ-E-16
E.7 附属書類	ロ-E-17
E.7.1 一般の試験条件下の配列系におけるパラメータ計算 ...	ロ-E-17
E.7.2 特別の試験条件下の孤立系におけるパラメータ計算 ...	ロ-E-19
E.7.3 特別の試験条件下の配列系におけるパラメータ計算 ...	ロ-E-21

E. 7. 4 参考文献	ロー E - 27
ロ章 F 規則及び告示に対する適合性の評価	ロー F - 1
ハ章 品質マネジメントの基本方針	ハ - 1
A. 品質マネジメントシステム	ハ - 1
B. 申請者の責任	ハ - 2
C. 教育・訓練	ハ - 3
D. 設計管理	ハ - 3
E. 輸送容器の製造発注	ハ - 3
F. 取扱い及び保守	ハ - 4
ニ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	ニ - A - 1
A. 輸送物の取扱い方法	ニ - A - 1
A. 1 装荷方法	ニ - A - 1
A. 2 輸送物の発送前検査	ニ - A - 3
A. 3 取出し方法	ニ - A - 3
A. 4 空容器の準備	ニ - A - 4
B. 保守条件	ニ - B - 1
B. 1 外観検査	ニ - B - 1
B. 2 耐圧検査	ニ - B - 2
B. 3 気密漏えい検査	ニ - B - 2
B. 4 遮蔽検査	ニ - B - 2
B. 5 未臨界検査	ニ - B - 2
B. 6 熱検査	ニ - B - 2
B. 7 吊上検査	ニ - B - 2
B. 8 作動確認検査	ニ - B - 2
B. 9 補助系の保守	ニ - B - 2
B. 10 密封装置の弁、ガスケット等の保守	ニ - B - 2
B. 11 輸送容器の保管	ニ - B - 2
B. 12 記録の保管	ニ - B - 2
B. 13 その他	ニ - B - 2

ホ章	安全設計及び安全輸送に関する特記事項	ホ－ 1
参考	輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	参－ A－ 1

イ 章 核燃料輸送物の説明

イ章 核燃料輸送物の説明

A. 目的及び条件

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. 使用目的 | 国立研究開発法人 産業技術総合研究所が保有している中性子線源を米国に返還するため。 |
| 2. 輸送容器の型名 | S 3 0 0 型 |
| 3. 輸送物の種類 | A型核分裂性輸送物 |
| 4. 輸送制限個数 | 167 |
| 5. 輸送指数 | 6 以下 |
| 6. 臨界安全指数 | 0.3 |
| 7. 輸送物の総重量 | 4801b (218kg) 以下 |
| 8. 輸送容器の外形寸法 | 外径 約 23 11/16inch (602mm) 注)
長さ 約 34 13/16inch (884mm) 注) |
| 9. 輸送容器の重量 | 4501b (204kg) 以下 注) |
| 10. 輸送容器の材質 | 1 7 C ドラム缶－炭素鋼
円筒容器－オーステナイト系ステンレス鋼
特別形カプセル－オーステナイト系ステンレス鋼
中性子遮蔽材－高密度ポリエチレン
敷材－ファープライウッド及びケーンファイバー材 |
| 11. 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様 | 核燃料物質の仕様を(イ)－第A. 1表に示す。 |
| 12. 輸送形態 | 車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送
専用積載又は非専用積載として輸送 |
| 13. 冷却方法 | 自然空気冷却 |

B. 輸送物の種類

A型核分裂性輸送物

注) 本輸送容器は、米国で設計されており、ヤード・ポンド法で設計・製作されている。
本書では、メートル法での表記も併記する。

(イ)－第A. 1表 輸送容器1基に収納する中性子線源の仕様

項 目		仕 様
種 類		中性子線源
性 状		<input type="text"/>
中性子線源 の重量※	1 体 (g 以下)	<input type="text"/>
	総 重 量 (g 以下)	<input type="text"/>
<input type="text"/> 総 重 量 (g 以下)		<input type="text"/>
<input type="text"/> 同 位 体 濃 度 (w t % 以下)		<input type="text"/>
輸送容器1基当りの仕様	放 射 能 の 量 (TBq 以下)	<input type="text"/>
	主 要 な 核 種 の 放 射 能 の 量 (TBq 以下)	<input type="text"/>
	発 熱 量 (W 以下)	1.1
	収 納 体 数 (以下)	<input type="text"/>

※ の重量
を含む

C. 輸送容器

1. 設計の概要

本輸送物の全体図を(イ)－第C.1図に、輸送容器の縦断面図を(イ)－第C.2図に示す。

輸送容器は円筒形状である。輸送容器は取扱い時には縦置き状態に保持される。中性子線源は、特別形カプセル内に収納される。この特別形カプセルは、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成2年11月28日付、科学技術庁告示第5号）」第3条及び別記第一に規定される、特別形核燃料物質等に係る試験の要求事項を満足する。その詳細については、イ章D.2(3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」を参照のこと。

中性子線源が収納された特別形カプセルは円筒容器に収納される。円筒容器の全体図を(イ)－第C.3図に、円筒容器の断面図を(イ)－第C.4図に示す。

中性子線源が収納される特別形カプセルへの衝撃を緩和するため、オーバーパックと円筒容器の間に敷材が挿入される。

中性子線源から発生する崩壊熱は、自然冷却により容器外面に放出され、特別な除熱装置は設けられていない。

輸送容器の主な遮蔽材は、高密度ポリエチレンである。

2. 構造

輸送容器は、(イ)－第C. 1 図に示すようにオーバーパック（17Cドラム缶、ライナー及び敷材）、円筒容器、中性子遮蔽材（蓋、本体、上部及び下部補助遮蔽プラグ）、並びに特別形カプセルにより構成される。なお、中性子吸収材及び中性子減速材は、本輸送物には設けられていない。

(1) オーバーパック

オーバーパックは二重円筒構造であり、主要構成物は17Cドラム缶、ライナー、並びに敷材である。

17Cドラム缶は、一般的な55ガロンドラム缶である。

蓋は、締め付けリングを介して本体にボルト締結される。蓋には、オーバーパック内を継続的に通気できるようフィルターベントが取り付けられている。

蓋及び本体の内側には、高密度ポリエチレン製のライナーが設けられている。

敷材は、円筒容器の位置決め、並びに落下時の衝撃吸収のため、17Cドラム缶内に挿入する。敷材の材質はファープライウッド及びケーンファイバー材である。敷材の断面図を(イ)－第C. 5 図に示す。

(2) 円筒容器

(イ)－第C. 4 図に示すように、本体は円筒構造であり、下部側には下部端栓が、上部側には蓋のボルト締結のためのフランジが溶接されている。円筒構造部の最小板厚は0.219inch(5.56mm)であり、下部に溶接されている下部端栓の最小板厚は0.25inch(6.35mm)である。

蓋は、12本の蓋ボルトで本体上部のフランジに取り付けられる。蓋にはボルトの中心円上に吊り具が2個取り付けられており、蓋中央に吊り具を1個追設することも可能である。さらに蓋には通気用のフィルターベントが取り付けられている。

蓋と本体上部のフランジとの接合面には、本体側にゴムOリングが取り付けられ、防塵の役割を果たす。ゴムOリングの断面直径は0.210inch(5.33mm)であり、材質はエチレンプロピレンゴムである。

(3) 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材の断面図を(イ)－第C.6図に示す。中性子遮蔽材は、円筒状の本体及び段差が設けられた円柱状の蓋から構成され、円筒容器内に収納される。中性子遮蔽材の材質は高密度ポリエチレンである。

また、特別形カプセルの上下には、補助遮蔽プラグが挿入される。

中性子遮蔽材空間部の長さは13inch (330mm)、内径は3.5inch (88.9mm) である。

(4) 特別形カプセル

特別形カプセルは、円筒状の本体及び蓋、シーリングプラグ、インパクトプラグ、並びにスナップリングから構成され、中性子遮蔽材空間部内に収納される。特別形カプセルの主要材料はオーステナイト系ステンレス鋼である。

なお、蓋に取り付けられている柄は、中性子線源を収納し、蓋締めした後は、再び蓋を開放できないようにせん断され、取り外される。

本体円筒部の最薄部の板厚は 、本体底板の厚さは 、蓋の厚さは である。

シーリングプラグ側面及び本体の間口内面にはテーパ加工が施されており、蓋の締め付け力によってシーリングプラグ側面に締め付け力が与えられ、特別形カプセルの密封性能を達成する。

3. 材 質

下記(イ)－第C.1表のとおりである。



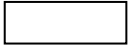
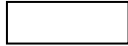




(イ)－第C.1表 材 質

部 位	部 品	材 料	規 格
オーバーパック	17Cドラム缶	炭素鋼	—
	敷 材	ケーンファイバー材 ファープライウッド	ASTM C208 —
	ライナー	高密度ポリエチレン	—
円筒容器	フランジ	} オーステナイト系 ステンレス鋼	ASME SA-182-F304L
	本 体		ASME SA-312-F304L
	下部端栓		ASTM A240-304L
	蓋		ASTM A240-304L
	蓋ボルト	ASTM A193 B8	
	ゴムOリング	エチレンプロピレンゴム	—
中性子遮蔽材	蓋	} 高密度ポリエチレン	ASTM D4976
	本 体		ASTM D4976
	補助遮蔽プラグ		—
特別形カプセル	本 体	} オーステナイト系 ステンレス鋼	} ASTM A276-304L
	蓋		
	シーリングプラグ		
	インパクトプラグ		
	スナップリング	—	—

4. 寸 法 (公称)

下記(イ)－第C. 2表のとおりである。

(イ)－第C. 2表 輸送容器各部の寸法

部 品 名	寸 法 (inch)	寸 法 (mm)	参 照 図
<u>オーバーパック</u>			
17Cドラム缶 外径	23 11/16	602	(イ)－第C. 2図
長さ	34 13/16	884	
板厚	0.055	1.40	
敷材 外径	21.5	546	(イ)－第C. 5図
長さ	32.3	820	
<u>円筒容器</u>			
蓋 外 径	16.3	414	(イ)－第C. 4図
厚 さ	0.9	22.9	
蓋ボルト径	7/8	22.2	
本体外径 ^{注1)}	12.8	325	
板厚 ^{注2)}	0.219	5.56	
底板厚さ ^{注2)}	0.25	6.35	
ゴムOリング断面径	0.210	5.33	
全 長	27.5	699	
全 幅	16.3	414	
<u>中性子遮蔽材</u>			
外 径	11.8	300	(イ)－第C. 6図
長 さ	24.8	630	
<u>特別形カプセル</u>			
外 径	3.0	76.2	(イ)－第D. 3図
長 さ ^{注3)}	11 3/4	298	
内径			
板厚 ^{注4)}			
蓋 厚さ			
底板厚さ ^{注4)}			

注1) 最大寸法を示す。

注2) 最小寸法を示す。

注3) 柄をせん断した後の寸法を示す。

注4) 最薄部の寸法を示す。

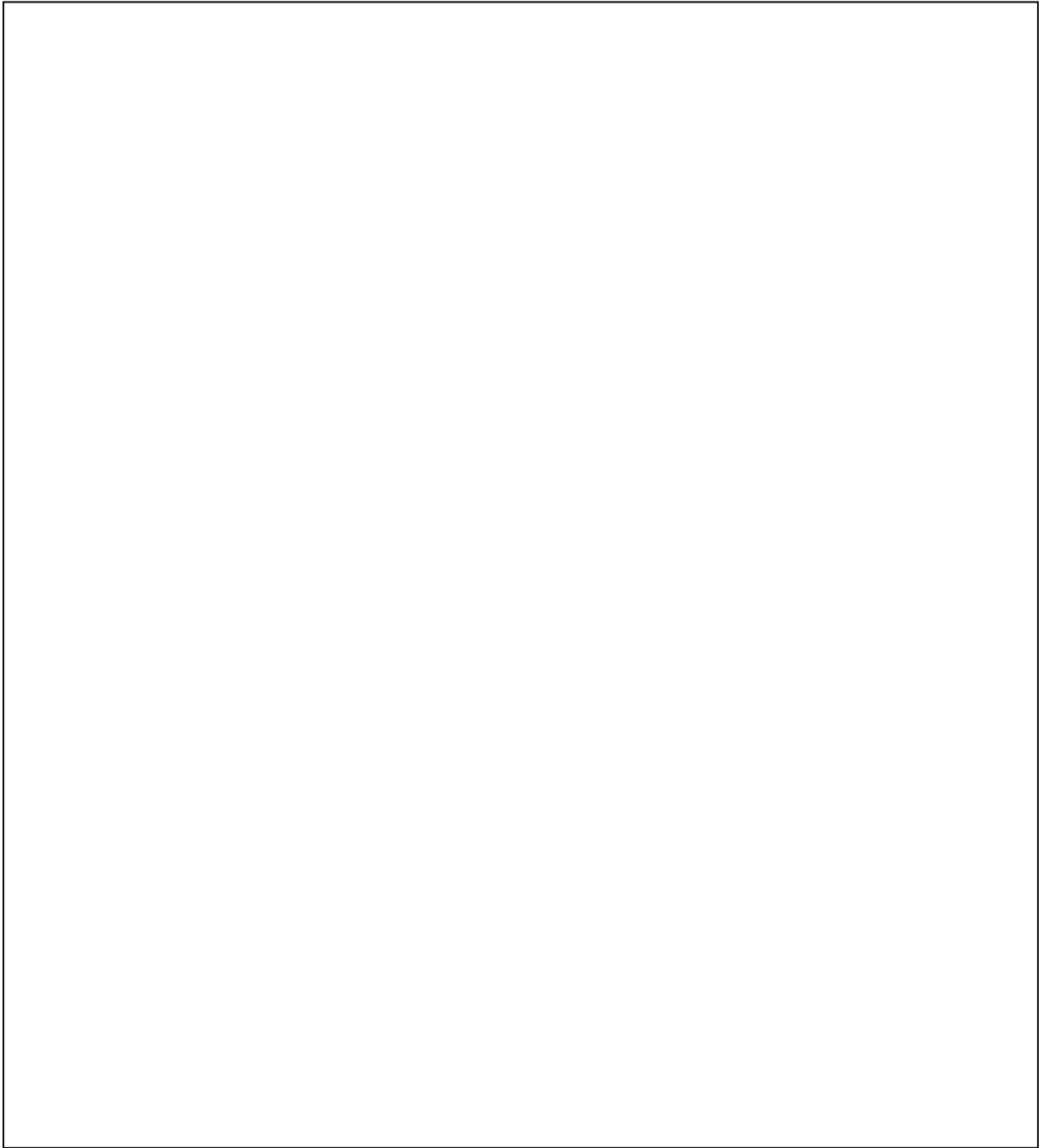
5. 重 量

本輸送物の総重量は 480lb (218kg) 以下であり、その詳細を(イ)－第C. 3表に示す。

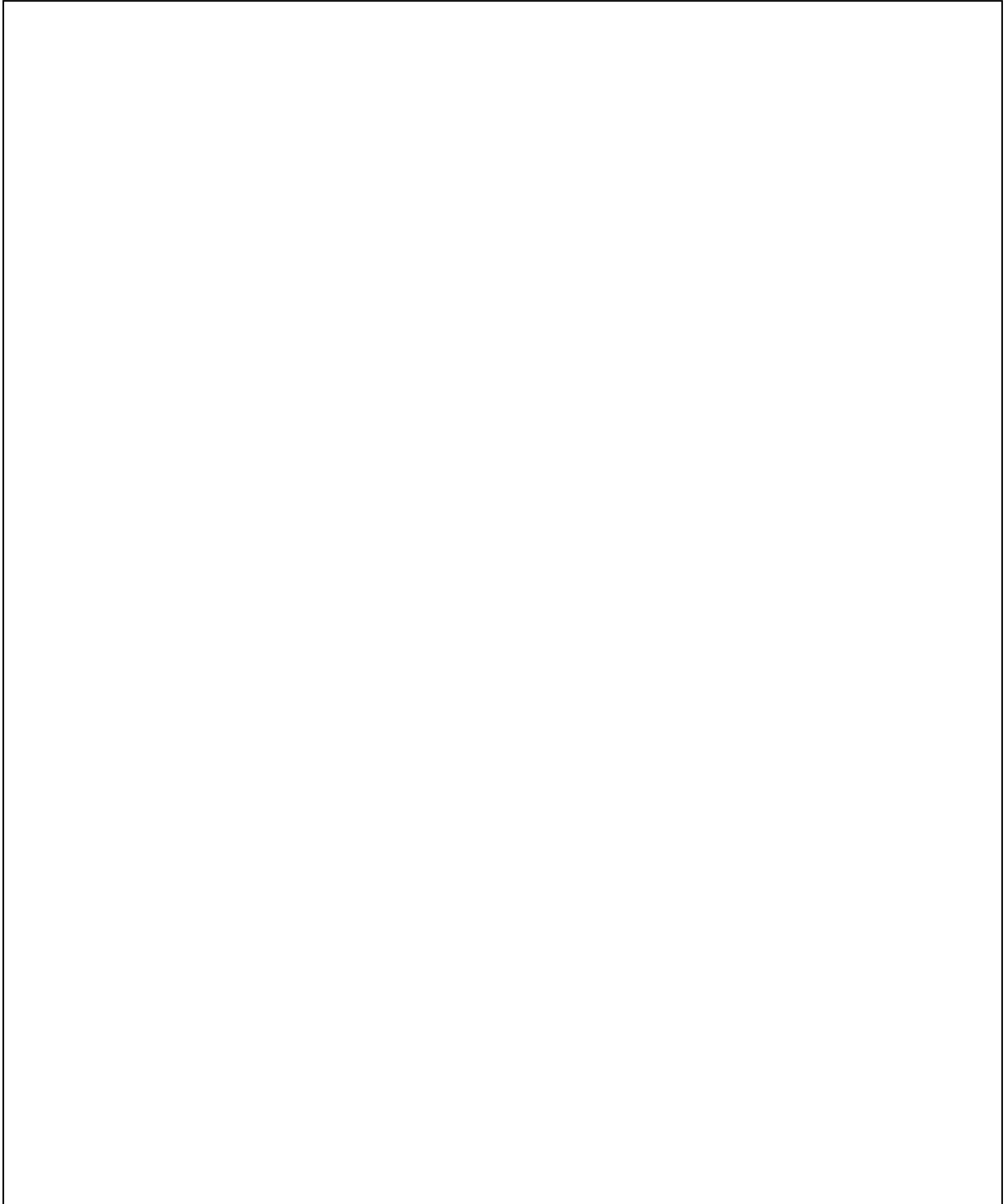
(イ)－第C. 3表 輸送物重量

輸送容器各部又は収納物	重 量 (lb)	重 量 (kg)
A. オーバーパック	180 以下	81.7 以下
B. 円筒容器	180 以下	81.7 以下
C. 中性子遮蔽材	90 以下	40.9 以下
D. 特別形カプセル ^{注)}	30 以下	13.7 以下
E. 輸送物総重量 A + B + C + D	480 以下	218 以下

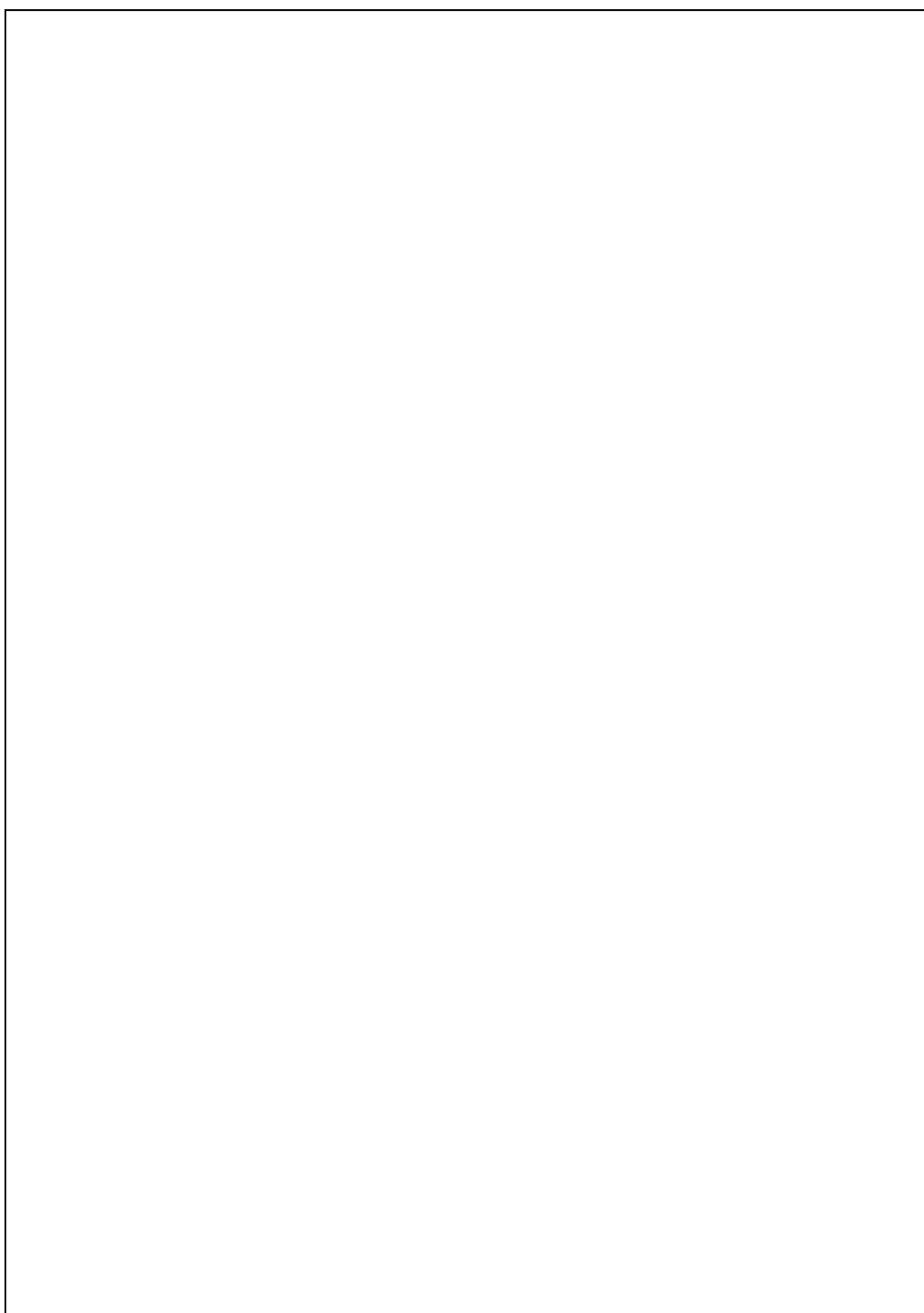
注) 中性子線源を含む重量を示す。



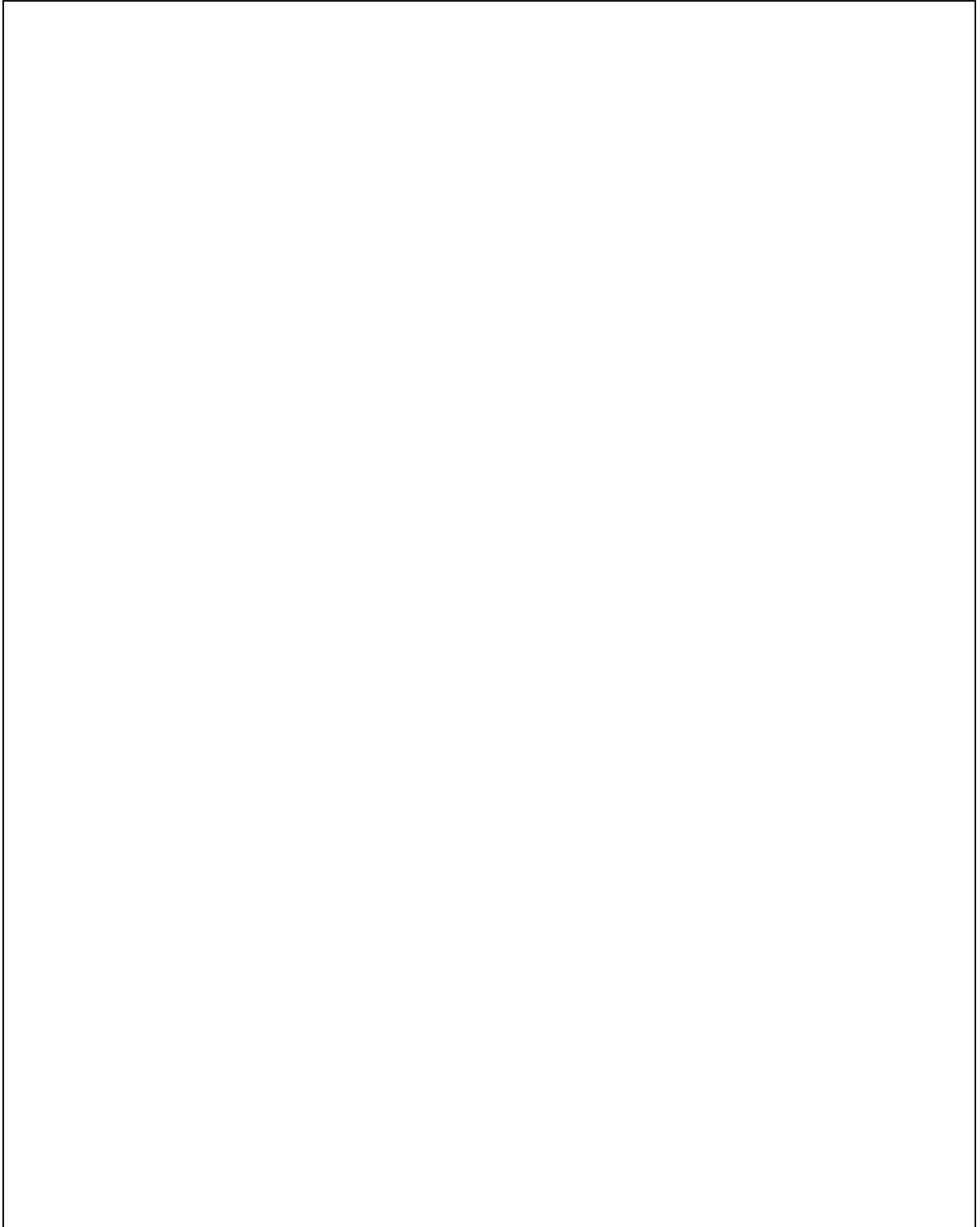
(イ) - 第C.1図 輸送物全体図



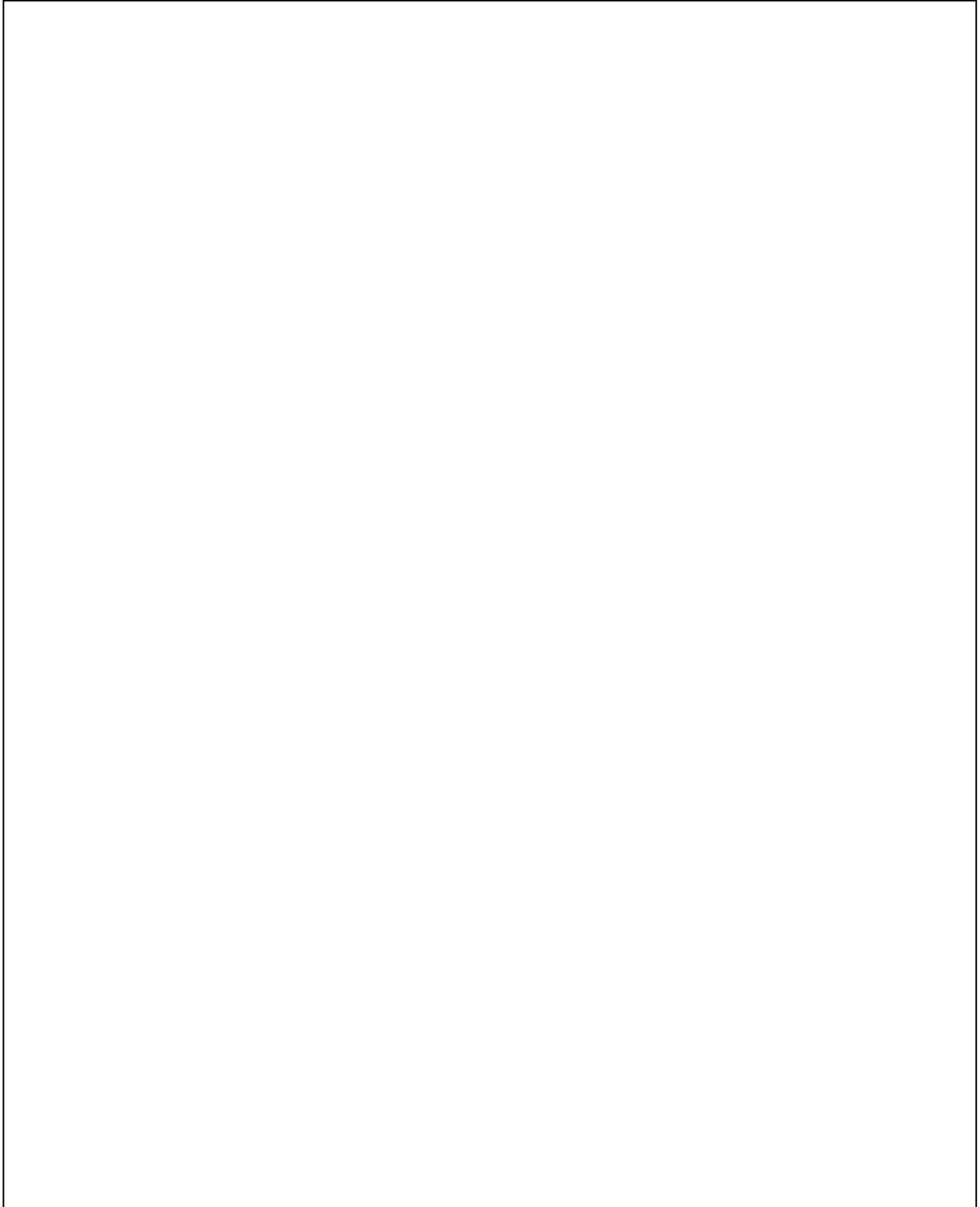
(イ) - 第C. 2図 輸送容器縦断面図



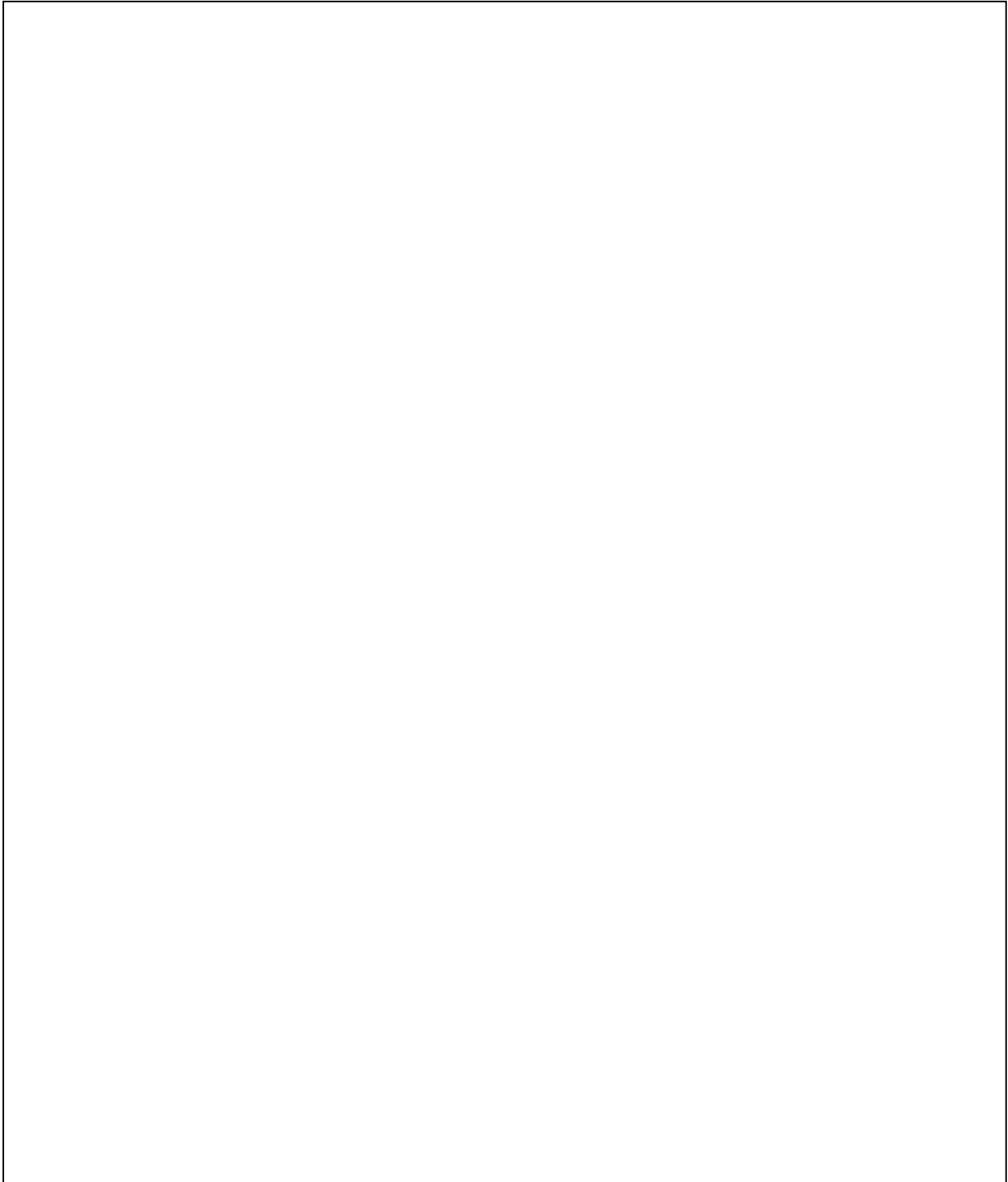
(イ) - 第C.3図 円筒容器全体図



(イ) - 第C. 4図 円筒容器縦断面図



(イ) - 第C. 5 図 敷材縦断面図



(イ) - 第C. 6 図 中性子遮蔽材縦断面図

D. 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は、中性子線源及び特別形カプセルである。

1. 中性子線源

(イ)－第D. 1 図は、本輸送容器に収納する中性子線源の全体図である。

中性子線源は、
から構成される。

また、輸送容器 1 基当りの最大の発熱量（崩壊熱量）は、1.1W 以下とする。

中性子線源は、特別形カプセルに格納して輸送容器に収納される。特別形カプセルを(イ)－第D. 2 図及び(イ)－第D. 3 図に示し、中性子線源が収納された状態の模式図を(イ)－第D. 4 図に示す。

主要な放射性核種と放射能の量を(イ)－第D. 1 表に示す。

2. 特別形カプセル

(イ)－第D. 2 図に本輸送容器に収納する特別形カプセルの全体図を示し、(イ)－第D. 3 図に特別形カプセルの縦断面図を示す。(イ)－第D. 3 図中に示すように、本輸送物の密封境界は特別形カプセル本体、シーリングプラグにより構成される。

(1) 要求事項

特別形カプセルは告示第 3 条第 1 号に定められた特別形核燃料物質等として取り扱う。特別形核燃料物質等に対して要求される技術上の基準は、以下のとおりである。

- ① 外接する直方体の少なくとも一辺が 0.5cm 以上であること。
- ② 別記第一に定めるところにより、衝撃試験及び打撃試験（長さが十センチメートル以上であり、かつ、長さの幅に対する比率が十以上である核燃料物質等にあつては、衝撃試験、打撃試験及び曲げ試験）を行った場合に損壊せず、加熱試験を行った場合に熔融又は分散せず、並びに浸漬試験を行った場合に水中への放射性物質の漏えい量が、2kBq を超えないものであること。

(2) 適合性評価

特別形カプセルは、(イ)－第D. 3 図に示すとおり外径 7.62cm、長さ 29.8cm であり、外接する直方体の各辺は 0.5cm 以上である。

また、特別形カプセルは、告示別記第一に規定される衝撃試験及び打撃試験を行った場合に損壊せず、加熱試験を行った場合に溶融又は分散せず、並びに浸漬試験を行った場合に水中への放射性物質の漏えい量が、2kBq を超えないことを試験により確認をしている。その詳細については、後述する(3)項「特別形核燃料物質等に係る試験結果」を参照のこと。

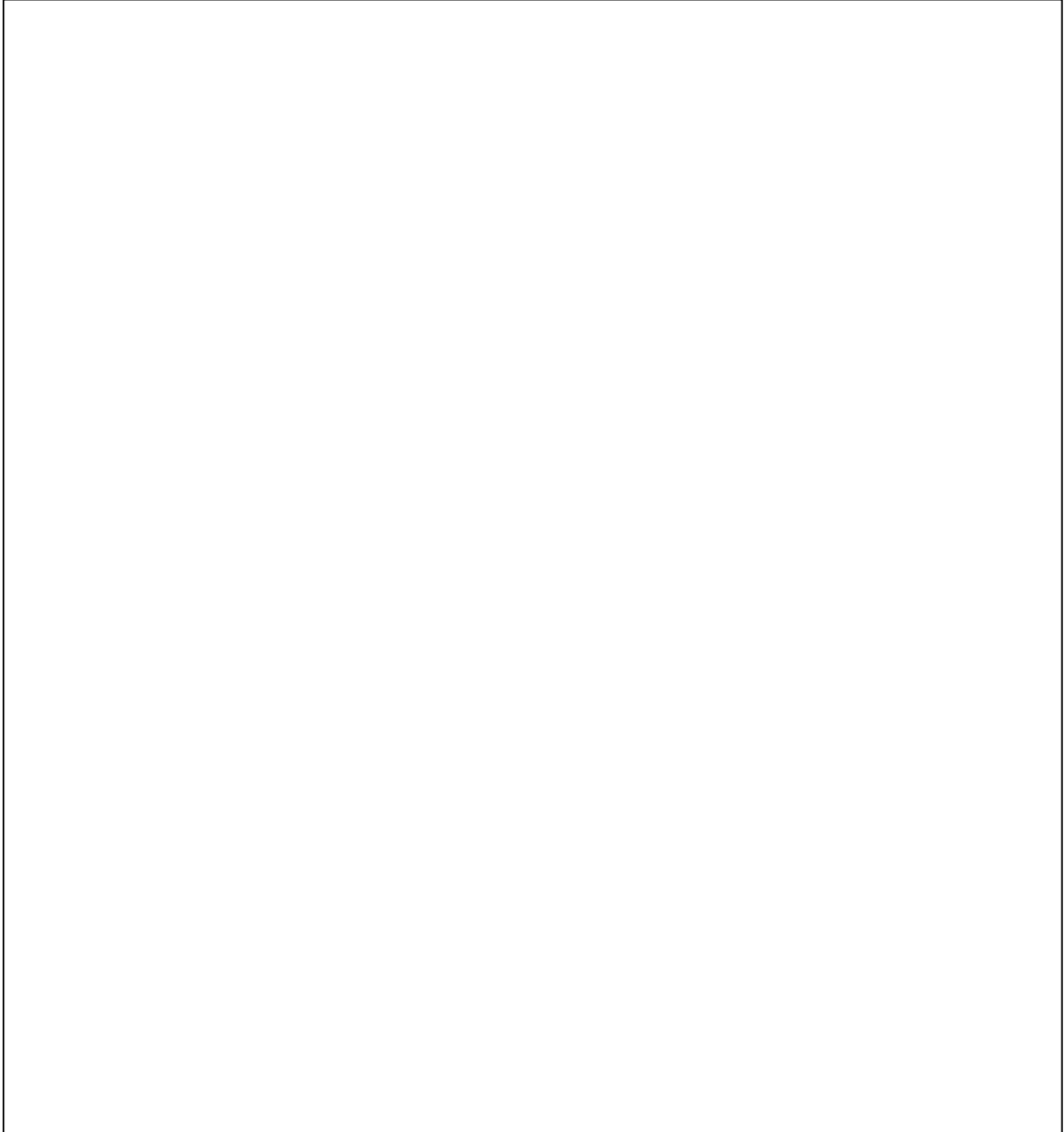
なお、曲げ試験については、本輸送物の特別形カプセルの長さが 29.8cm、長さの幅に対する比率が約 3.9 であることから、告示第 3 条第 1 号に規定される曲げ試験の適用条件、「長さが十センチメートル以上であり、かつ、長さの幅に対する比率が十以上である核燃料物質等にあつては、」に該当しないため、除外される。

以上より、特別形カプセルは、告示第 3 条第 1 号の要求に適合する。

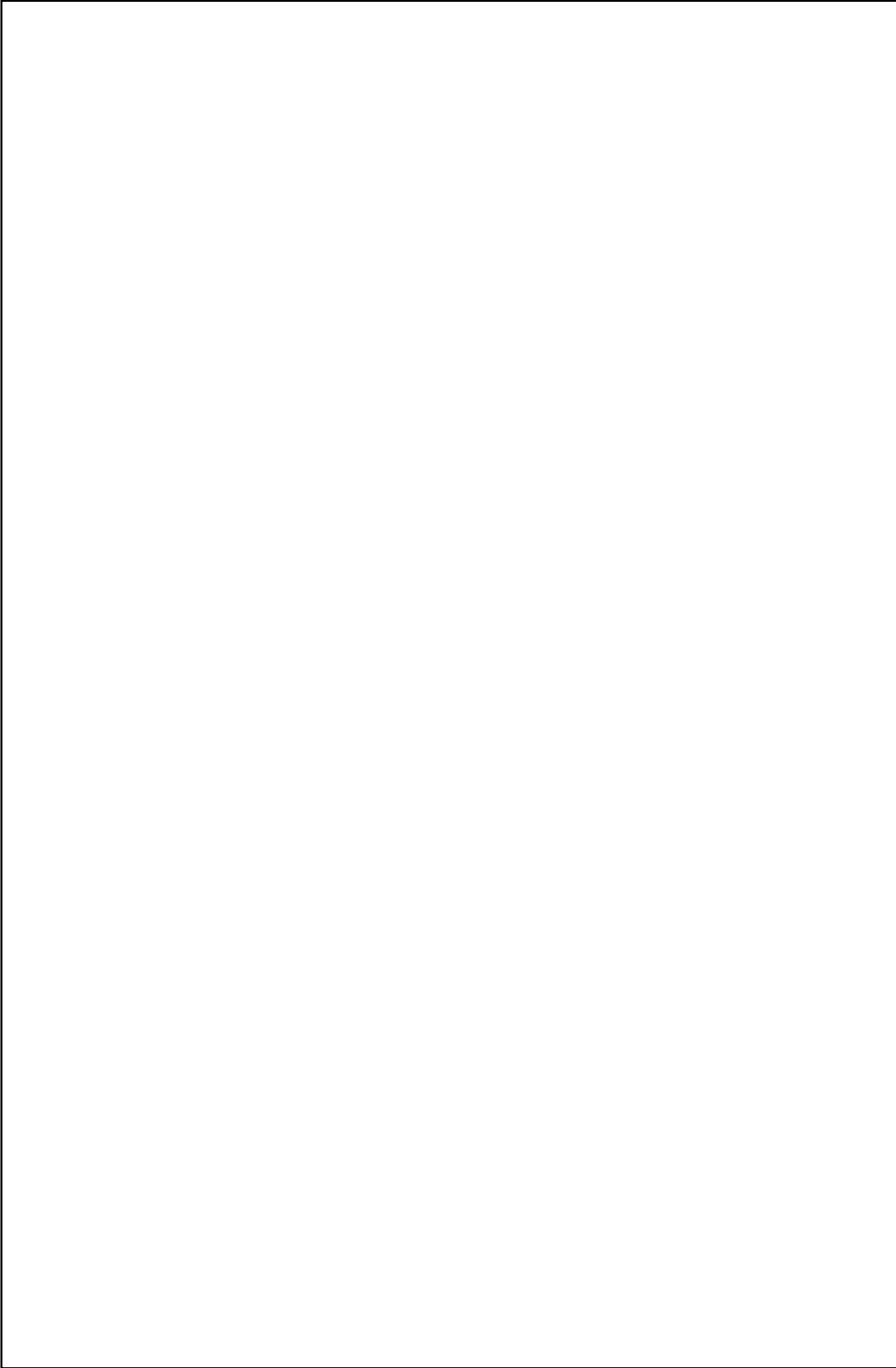
(イ)-第D.1表 主要核種の種類と量

項 目	数 値
① 中性子線源収納体数 (体以下)	□
② 放射能の量 (TBq 以下) (輸送容器 1 基当り)	□
③ 主要な核種の放射能の量 (TBq 以下) (②を主要核種ごとに分類) 〔核 種〕 <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 80px; margin: 10px auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
合計	
④ 崩壊熱量 (W 以下) (輸送容器 1 基当り)	1.1
⑤ □ 総重量 (g 以下)	□
⑥ □ 同位体濃度 (wt%以下)	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>

注) □ に対する放射能の量を示す。



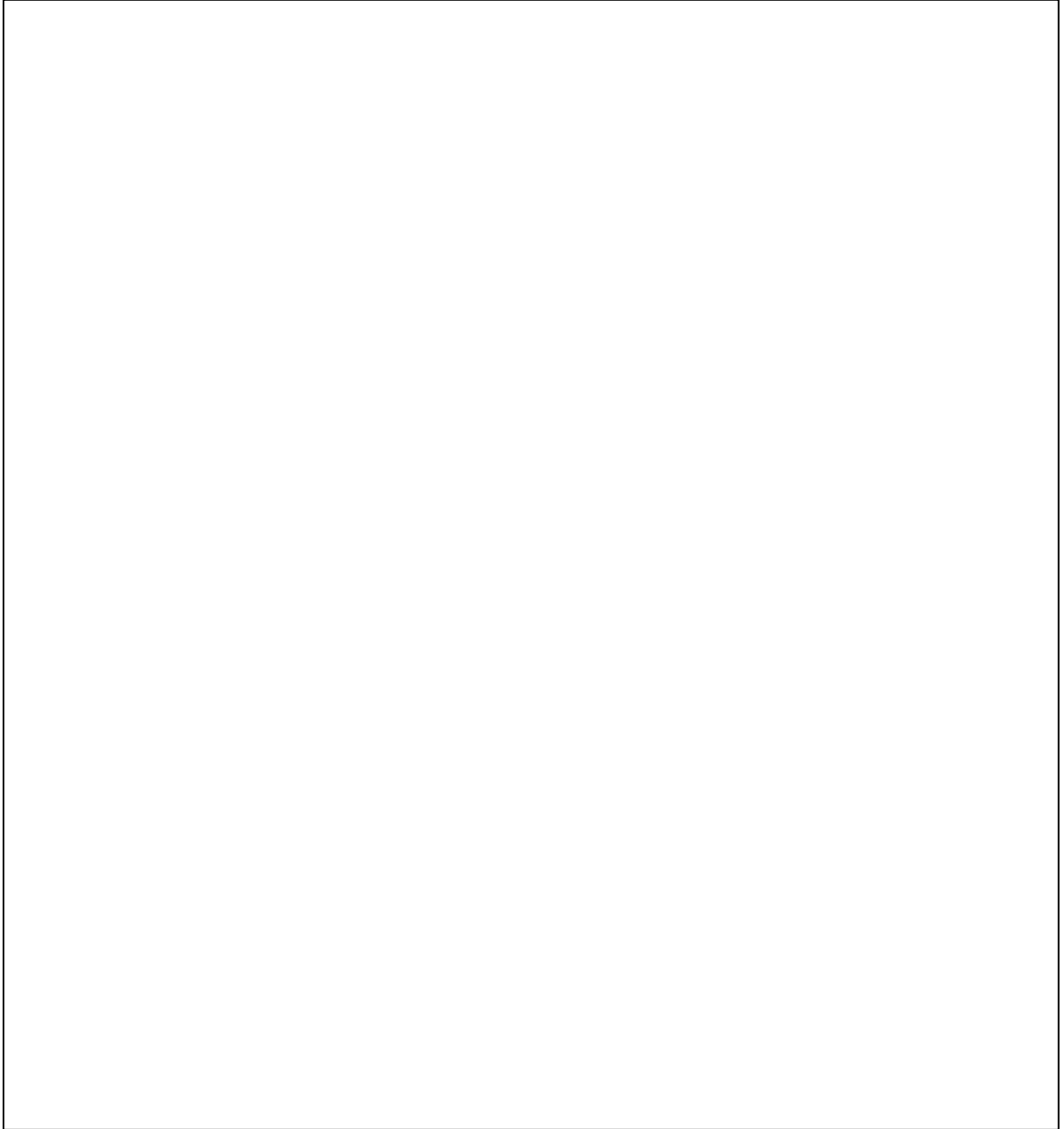
(イ) - 第D. 1 図 中性子線源全体図



(イ) - 第D. 2 図 特別形カプセル全体図



(イ) - 第D. 3 図 特別形カプセル縦断面図



(イ)－第D. 4図 中性子線源格納時の模式図

(3) 特別形核燃料物質等に係る試験結果

(i) 概要

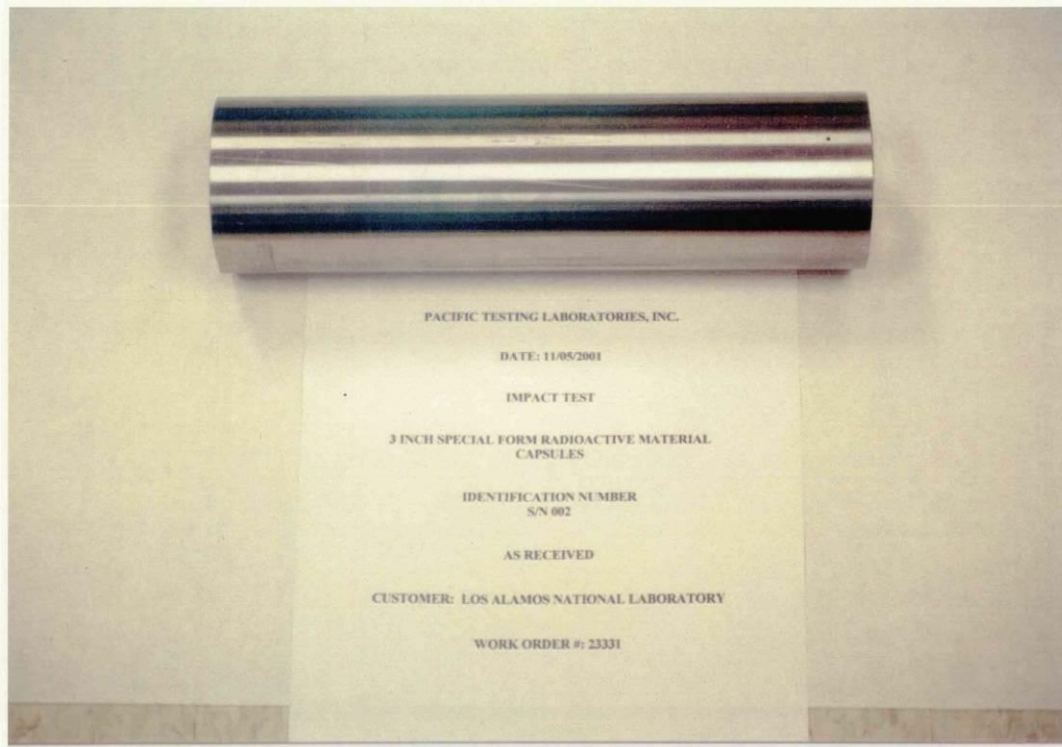
本輸送物に用いられる特別形カプセルは、告示別記第一に規定される特別形核燃料物質等に係る試験により、その性能を確認する。本項では、各種試験結果の詳細を示す。

各試験に用いられた供試体のシリアル番号を (イ) - 第D. 2表 に示し、試験前の供試体写真を (イ) - 第D. 5図 に示す。

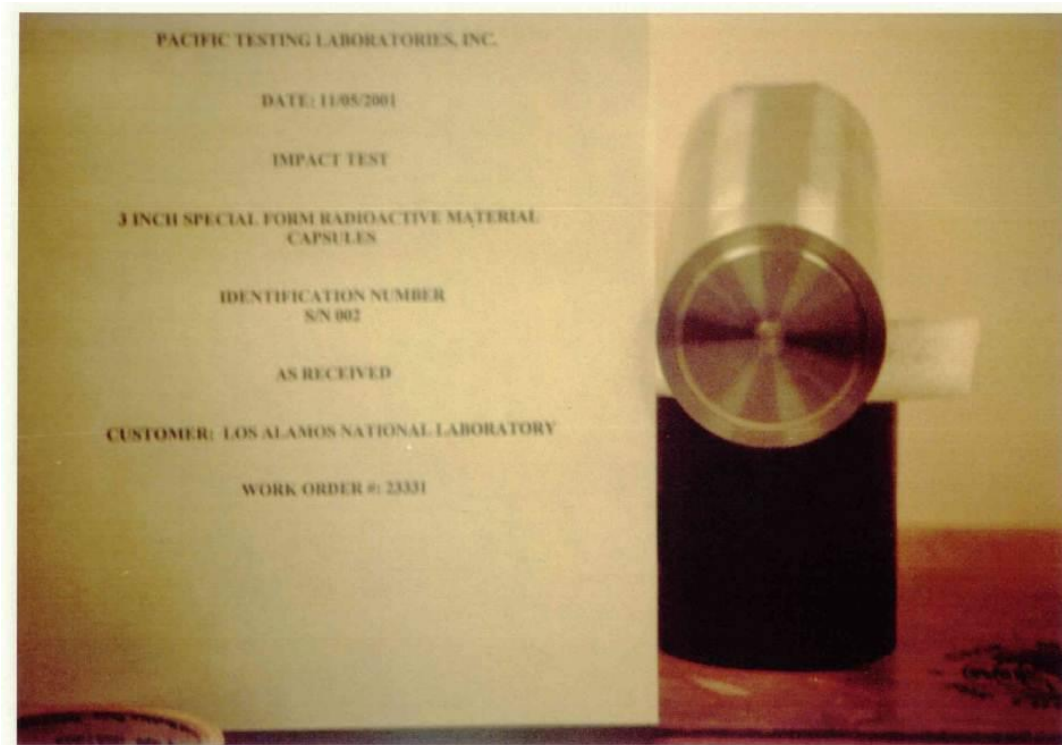
なお、曲げ試験については、本輸送物の特別形カプセルの長さが 29.8cm、長さの幅に対する比率が約 3.9 であることから、第 3 条第 1 号に規定される曲げ試験の適用条件、「長さが十センチメートル以上であり、かつ、長さの幅に対する比率が十以上である核燃料物質等にあつては、」に該当しないため、除外される。

(イ) - 第D. 2表 シリアル番号一覧表

試験	シリアル番号
衝撃試験／気密漏えい試験	002／004／005
打撃試験／気密漏えい試験	006／008／010
加熱試験／気密漏えい試験	011／017／018

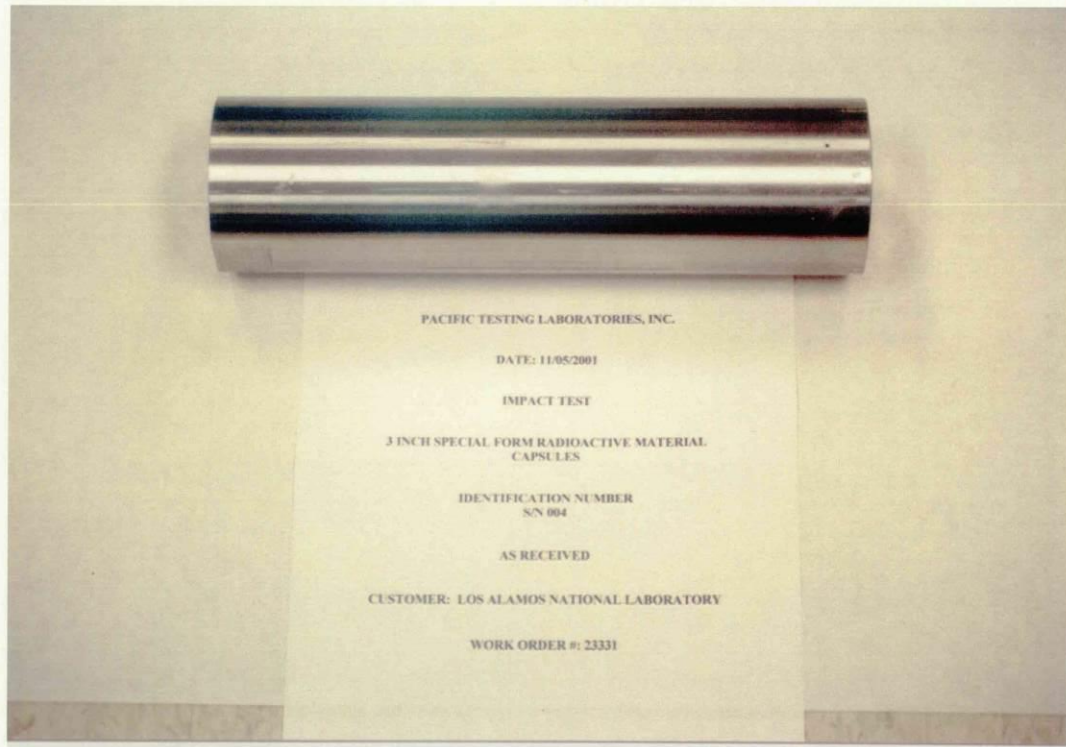


(a) 側面視 (シリアル番号 : 002 / 衝撃試験用)

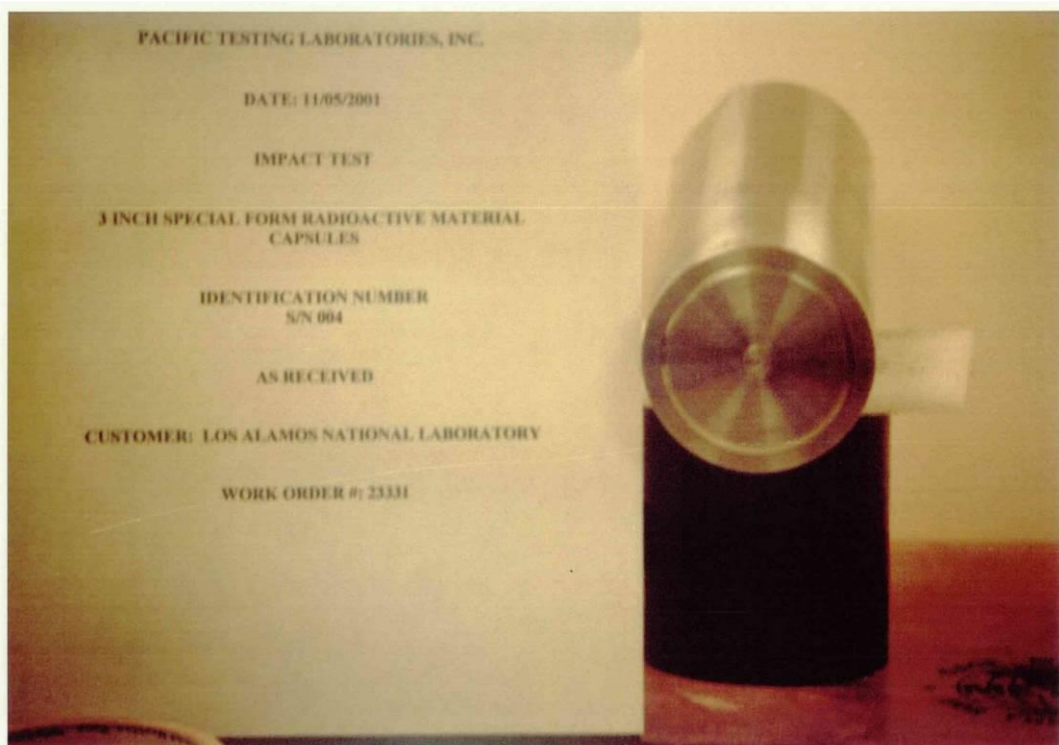


(b) 上方視 (シリアル番号 : 002 / 衝撃試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (1 / 9)

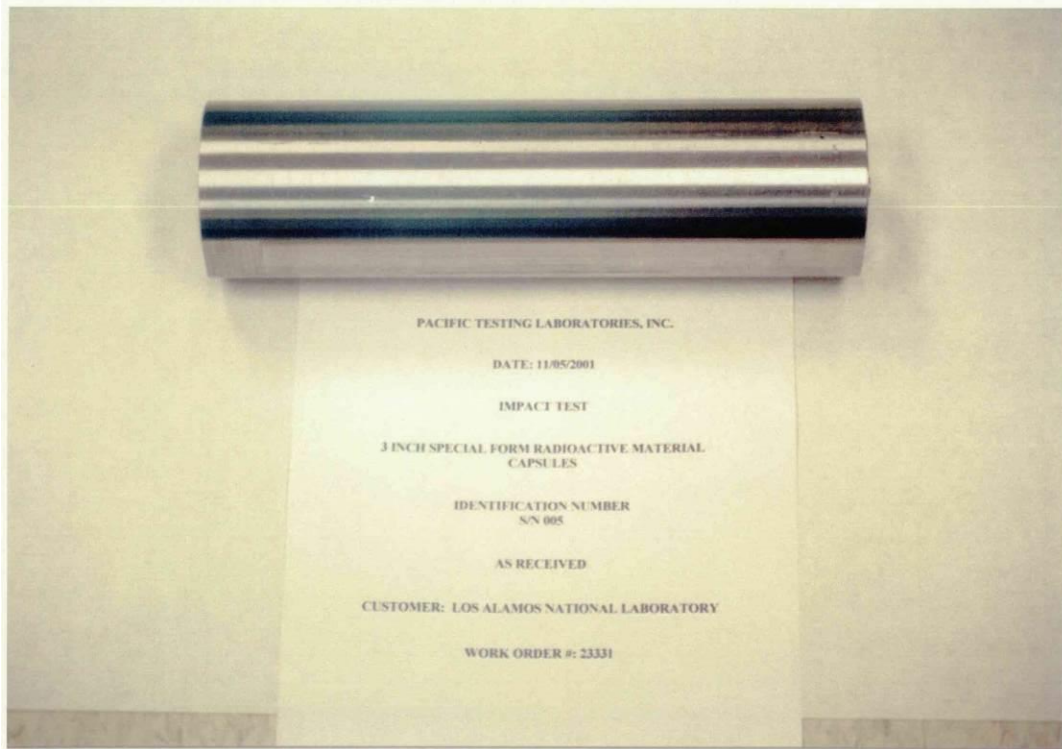


(c) 側面視 (シリアル番号 : 004 / 衝撃試験用)

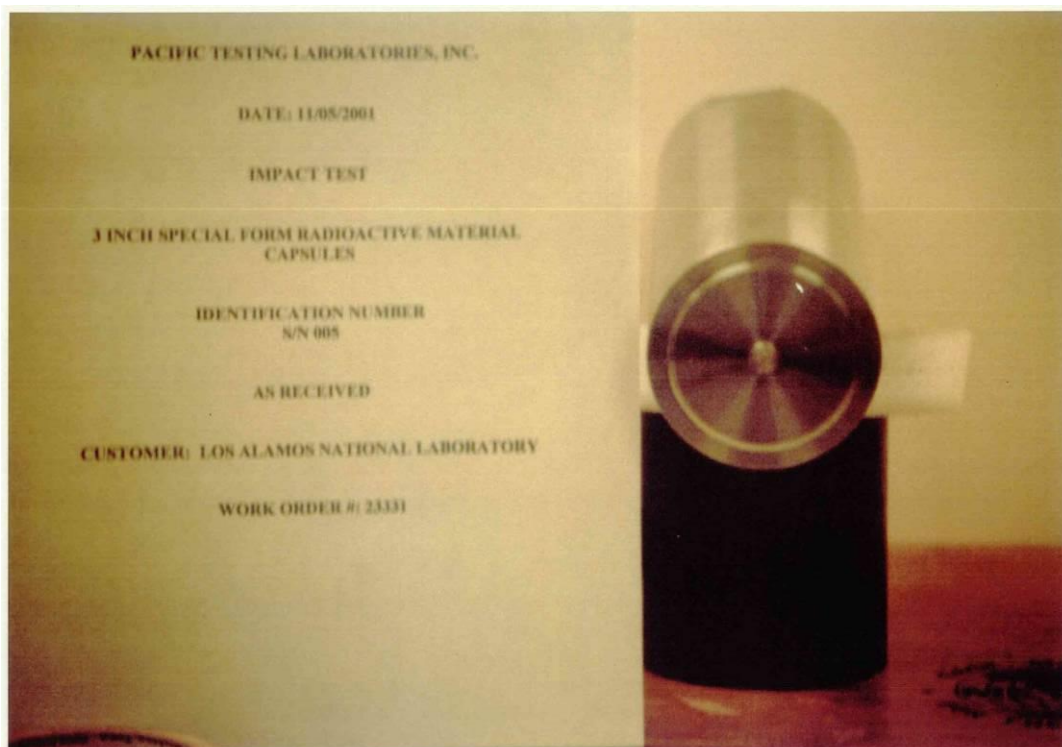


(d) 上方視 (シリアル番号 : 004 / 衝撃試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (2 / 9)

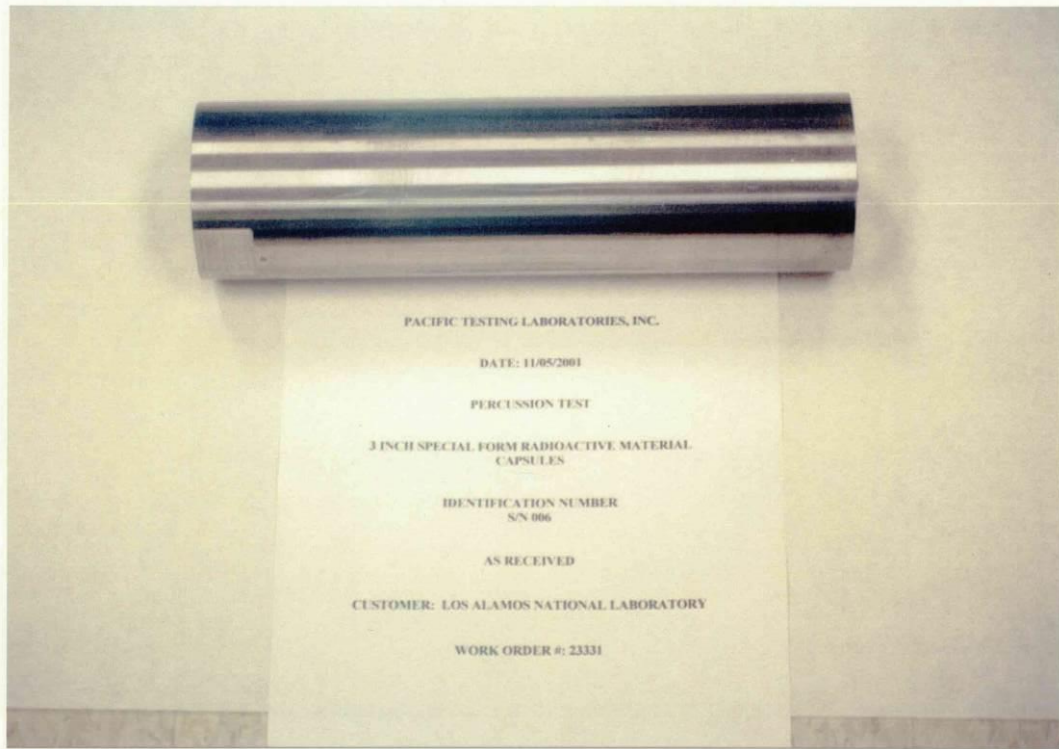


(e) 側面視 (シリアル番号 : 005 / 衝撃試験用)

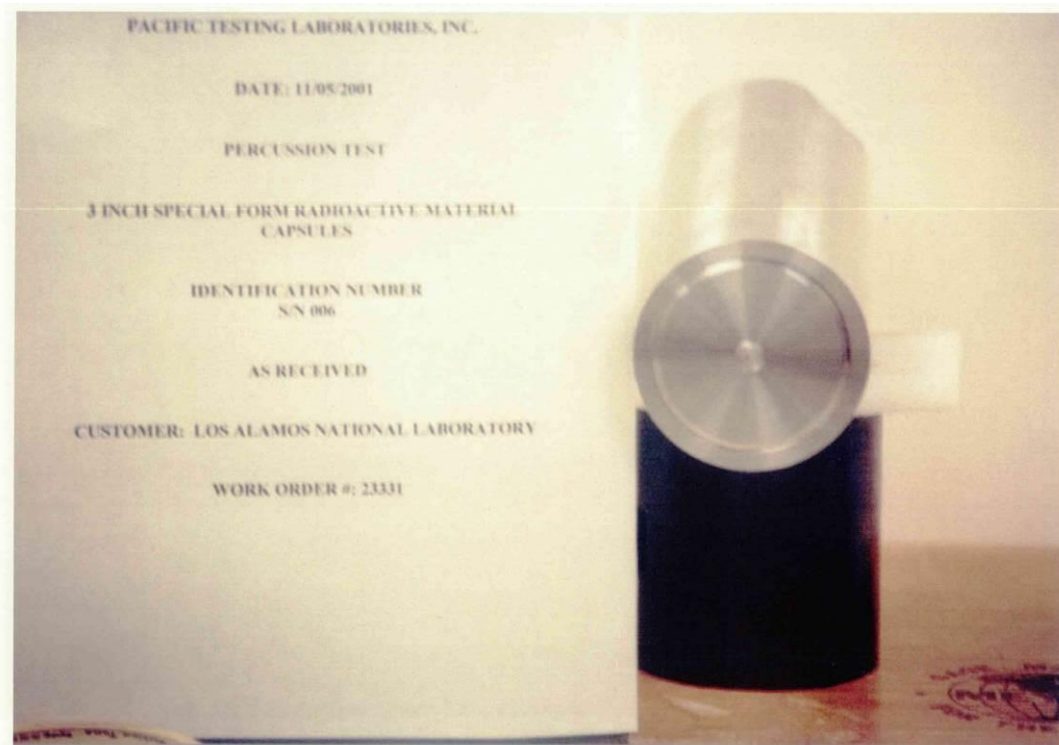


(f) 上方視 (シリアル番号 : 005 / 衝撃試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (3 / 9)

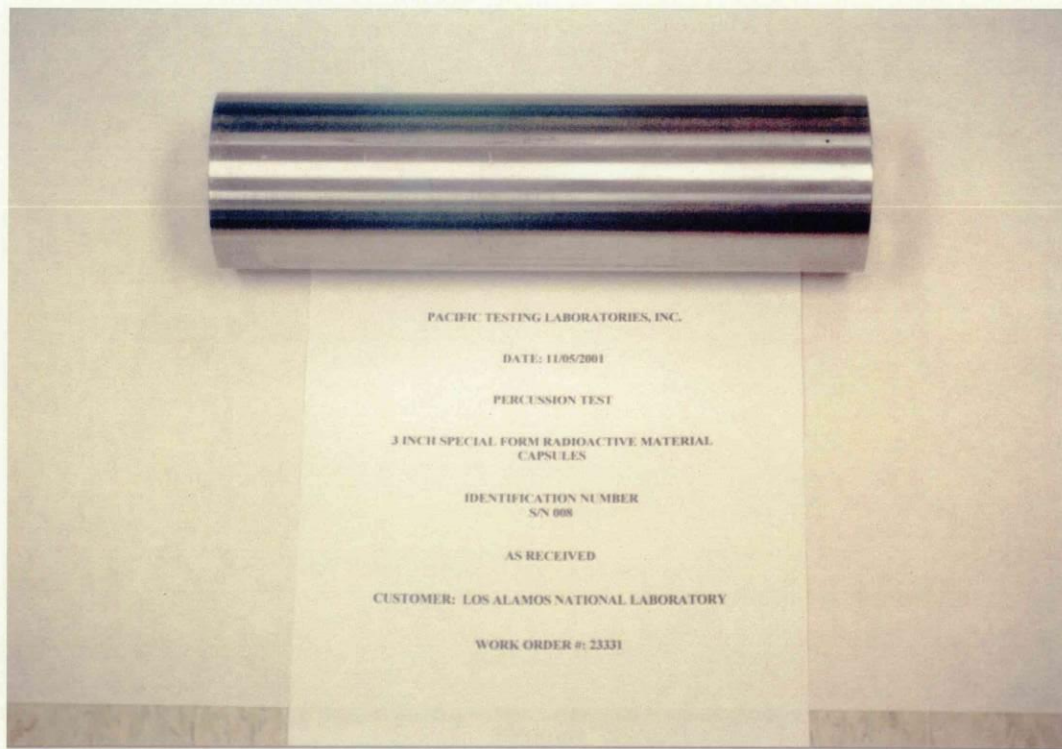


(g) 側面視 (シリアル番号 : 006 / 打撃試験用)

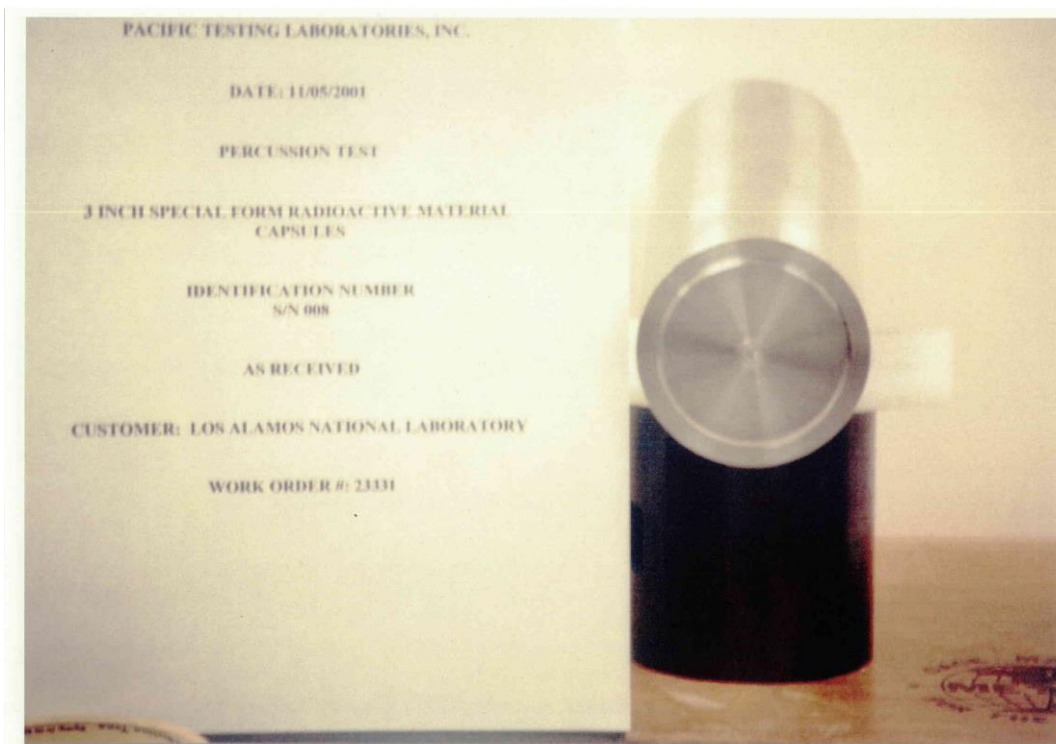


(h) 上方視 (シリアル番号 : 006 / 打撃試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (4 / 9)

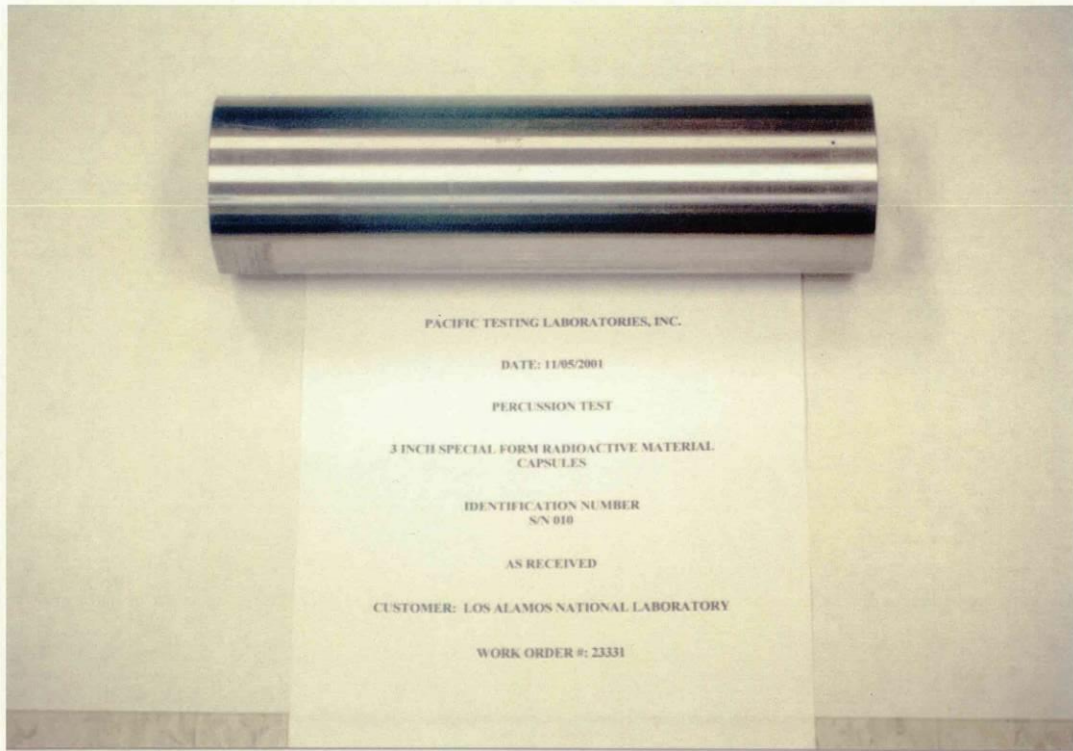


(i) 側面視 (シリアル番号 : 008 / 打撃試験用)

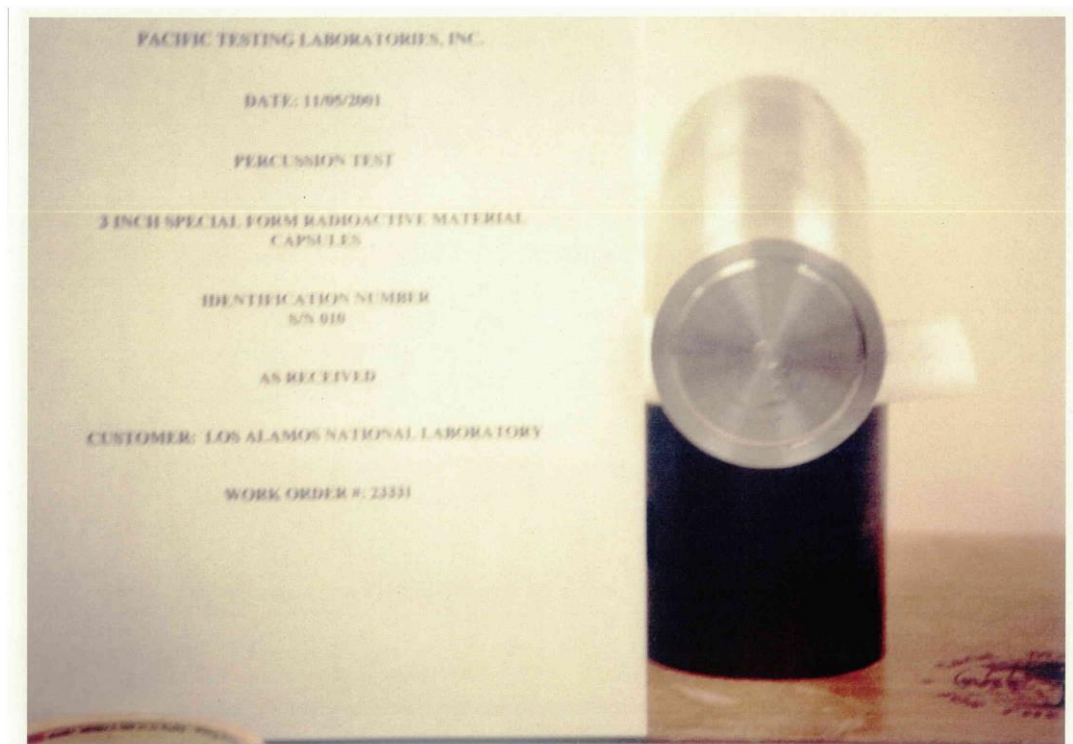


(j) 上方視 (シリアル番号 : 008 / 打撃試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (5 / 9)

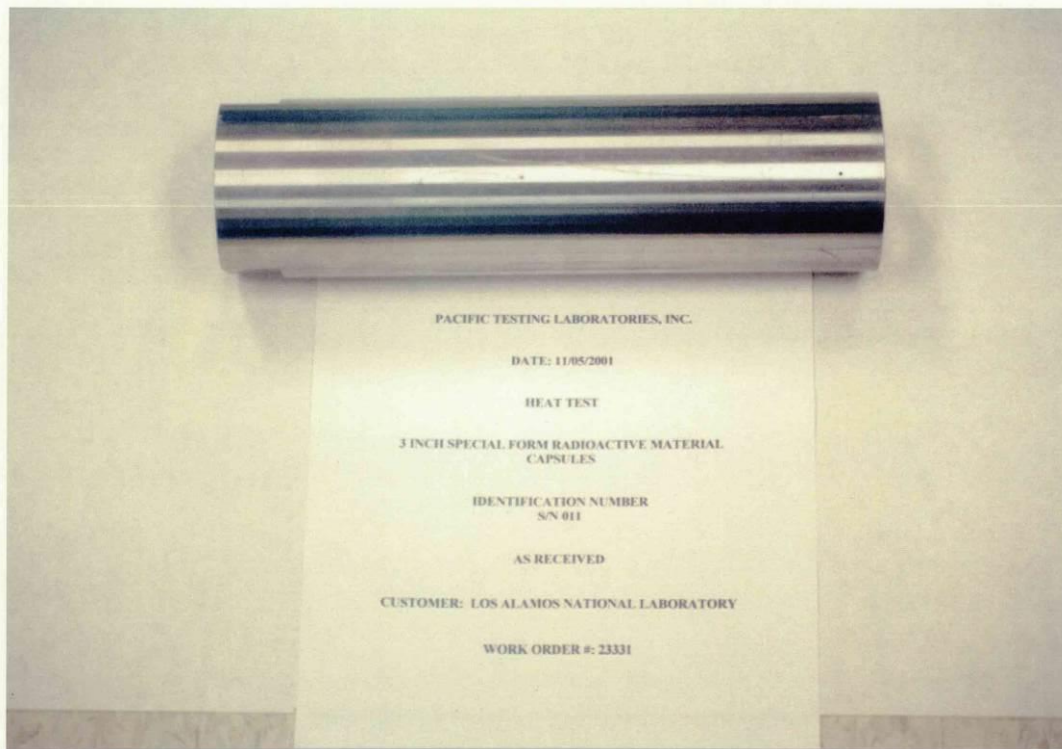


(k) 側面視 (シリアル番号 : 010 / 打撃試験用)

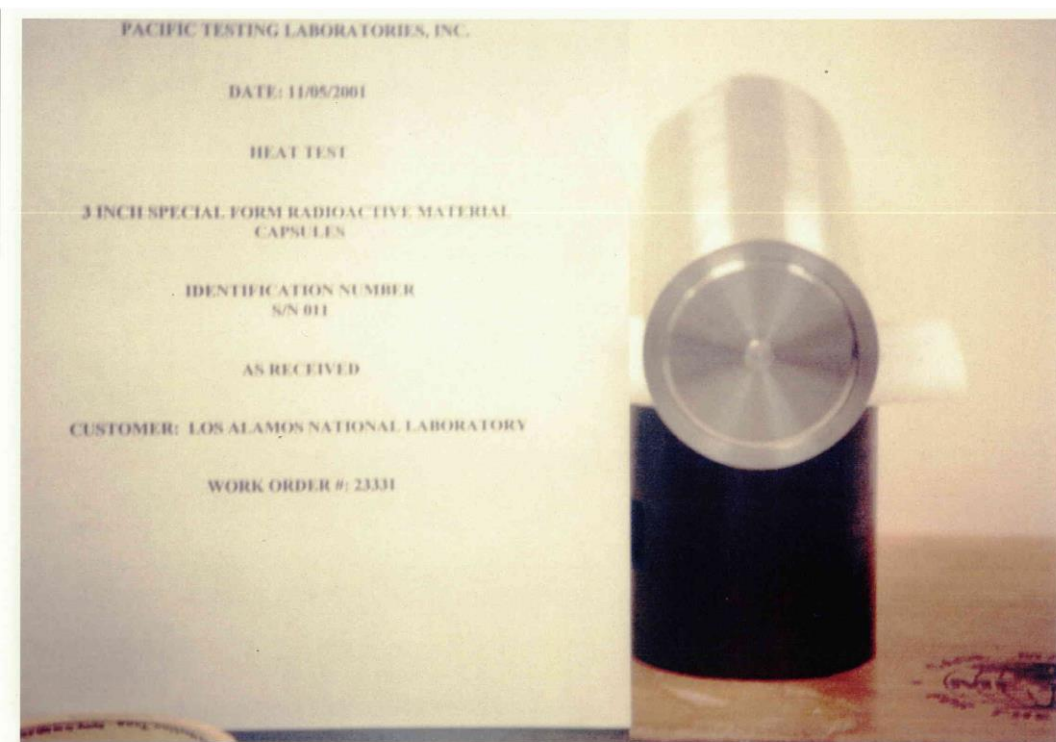


(l) 上方視 (シリアル番号 : 010 / 打撃試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (6 / 9)

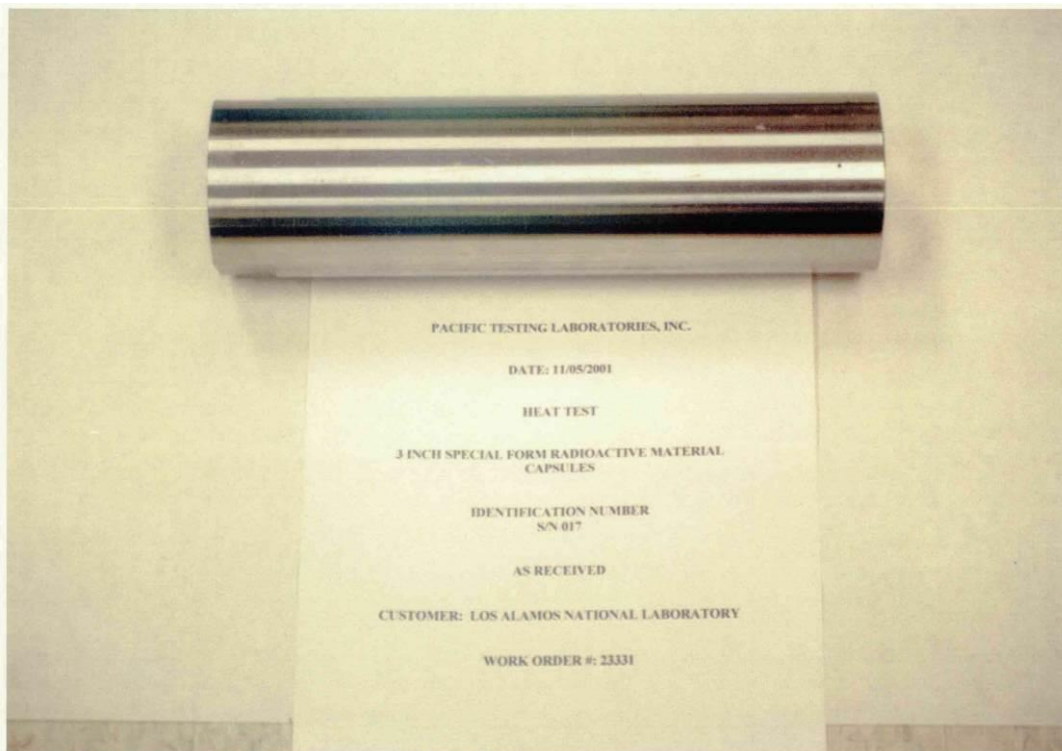


(m) 側面視 (シリアル番号 : 011 / 加熱試験用)

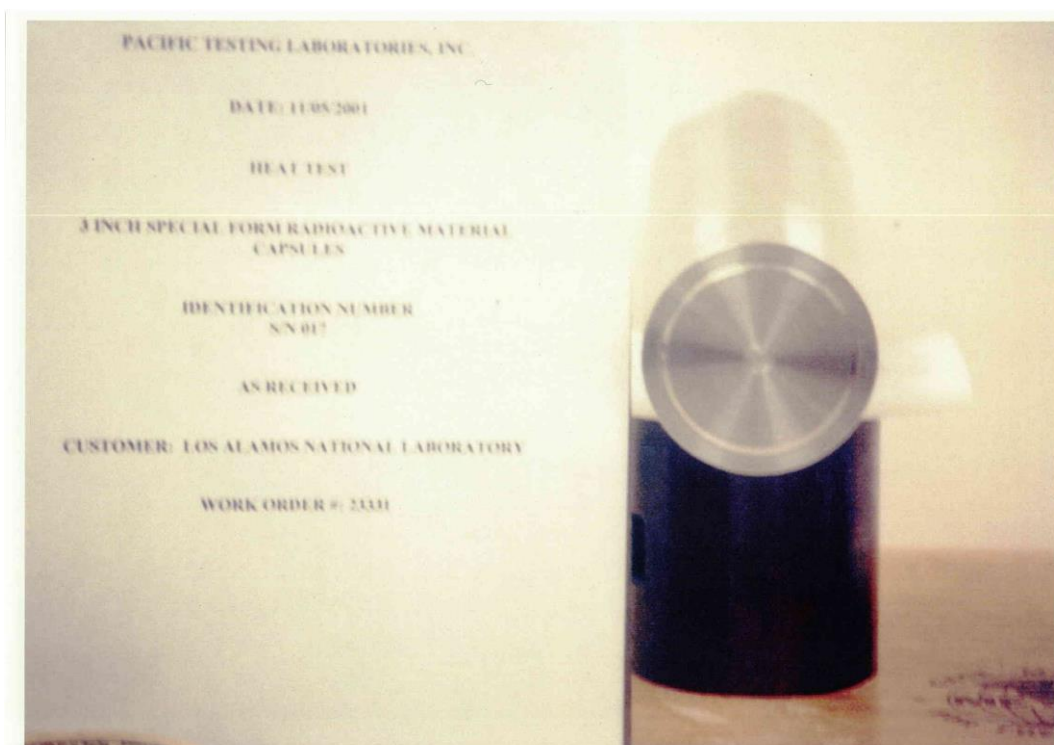


(n) 上方視 (シリアル番号 : 011 / 加熱試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (7 / 9)

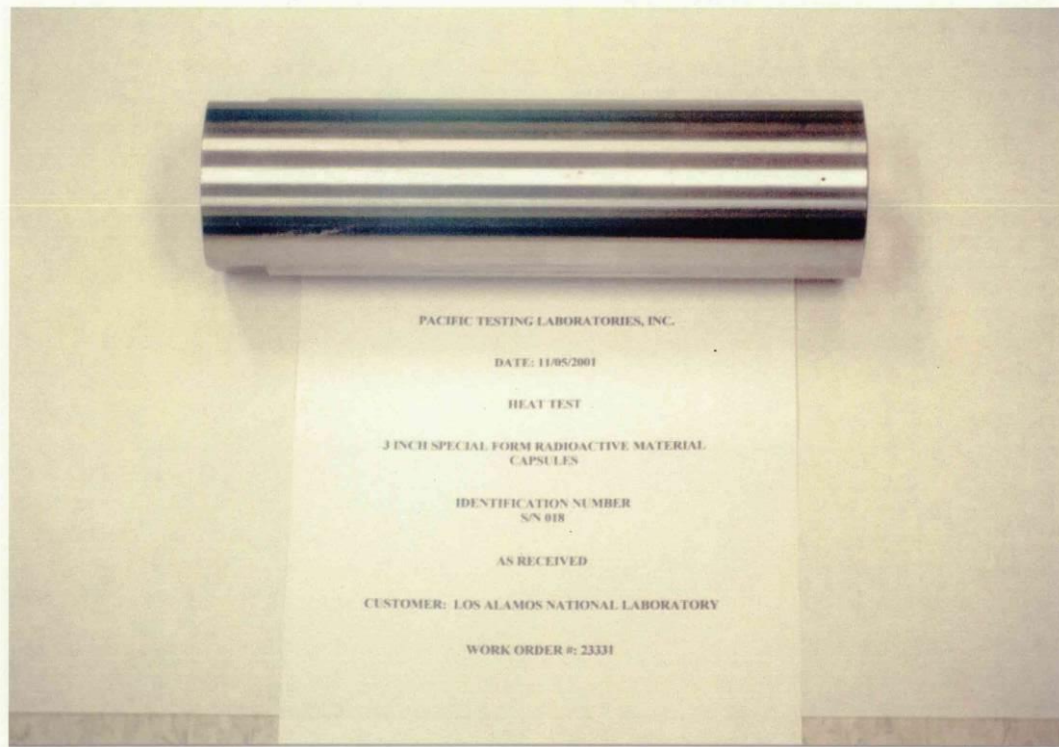


(o) 側面視 (シリアル番号 : 017 / 加熱試験用)

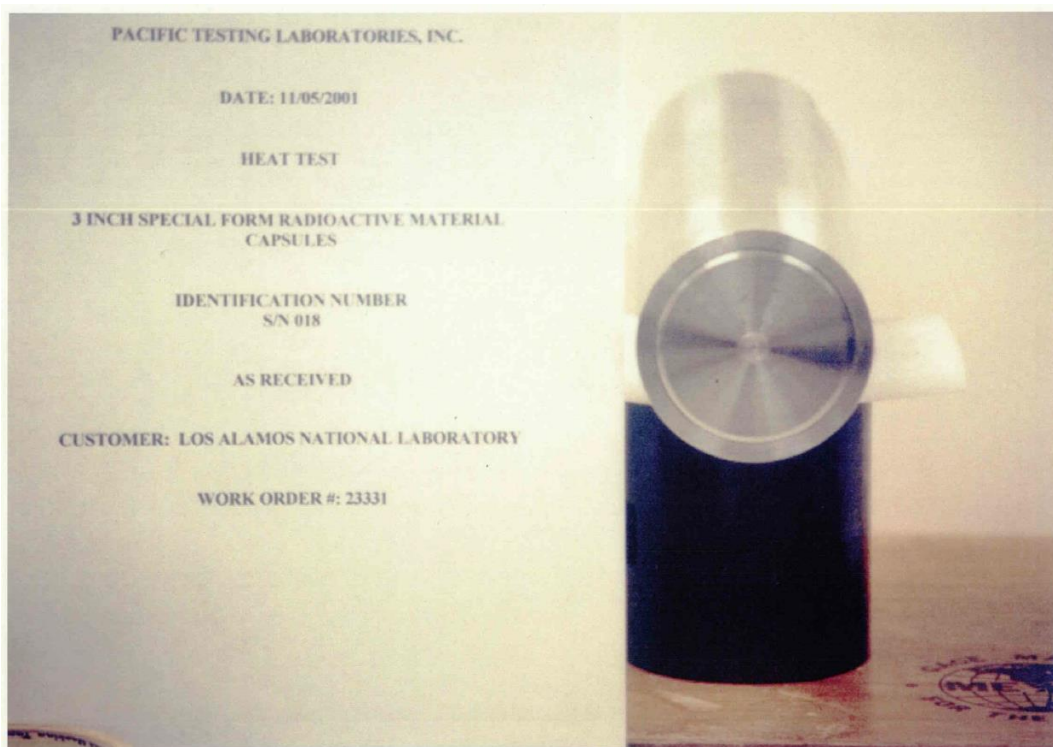


(p) 上方視 (シリアル番号 : 017 / 加熱試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (8 / 9)



(q) 側面視 (シリアル番号 : 018 / 加熱試験用)



(r) 上方視 (シリアル番号 : 018 / 加熱試験用)

(イ) - 第D. 5 図 供試体試験前写真 (9 / 9)

(ii) 衝撃試験

(イ) 概要

本試験は、ANSI/HPS N43.6-1997 の規定に従い実施した。この試験条件は、告示別記第一に規定される要求を満足する。供試体は、9m 以上の高さから標的に自由落下される。標的は、落下衝撃により試験片の損傷を増加させることがないような重量及び剛性を持ち、かつ水平な平面でなければならない。試験後、各供試体の外観検査、並びに気密漏えい試験を行う。

(ロ) 試験方法及び結果

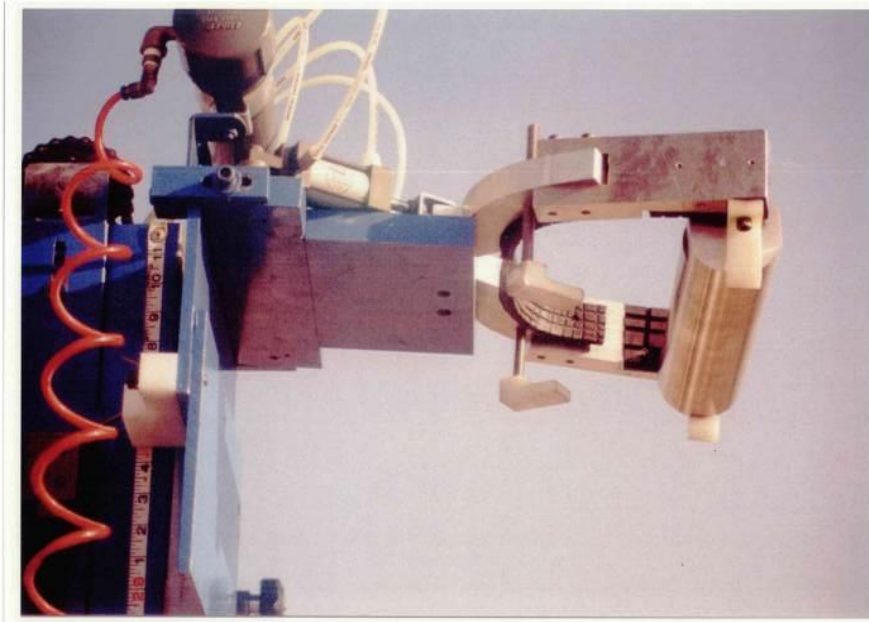
a. 試験方法

試験前後において、供試体の写真撮影を行った。衝撃試験装置は、電氣的に制御される空圧クランプ機構により、供試体を把持する機構を有する。試験装置に取り付けられる空圧クランプ機構を (イ) - 第 D. 6 図に示す。試験装置は、標的である鋼板上端から測定して、全体の高さが 9m より大きくなるように設置した。試験装置には、1/8inch(3.2mm) 刻みで、0.5inch(12.7mm) 幅の金尺を取り付け、1ft(305mm) 毎に赤色のマーキングを施した。

落下高さは、金尺と接触させた直角定規並びに水準器を用いて、供試体下端と標的である鋼板上端との距離を測定した。落下高さが 9m に正しく設定されていることを確認するため、試験技術者が供試体設置位置にて目視確認を行った。

落下後の供試体が、二次的衝突によって意図しない変形を受けないように、標的には供試体を捕獲するための治具が設置される。治具は、山形鋼とステンレス鋼製の網から構成される。

落下時の供試体の挙動を観察できるように、治具の片側は、透明のプレキシガラスシールドで覆う。供試体を落下高さ 9m まで持ち上げ、姿勢を確認した後、標的の衝撃点へ自由落下させることによって実施した。

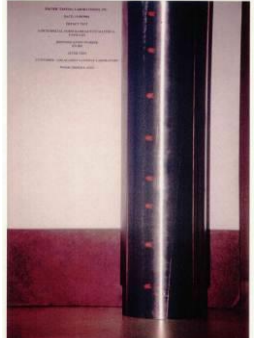


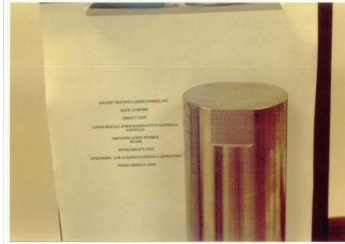



(イ) - 第D. 6 図 衝撃試験用空圧クランプ機構

b. 試験結果

衝撃試験後に回収された供試体は、衝撃を受けた箇所を確認するために外観検査を実施した。また、試験後の損傷状態を記録するために写真撮影を行った。衝撃試験後に撮影された供試体の写真を (イ) - 第D. 7 図 に示す。

衝撃試験の完了後、各供試体に対する外観検査並びに密封健全性を確認するための気密漏えい試験を行った。外観検査では、供試体にき裂、破損がないことを確認した。また、気密漏えい試験の結果、気泡の発生が 2 分間確認されなかったことから、衝撃試験後においても密封健全性が維持されることを確認した。

シリアル 番号	全体	蓋部	底部	上方視	下方視
002					
004					
005					

(イ) - 第D. 7 図 衝撃試験後供試体写真

(iii) 打撃試験

(イ) 概要

本試験は、ANSI/HPS N43.6-1997 Annex E に規定に従い実施した。この試験条件は、告示別記第一に規定される要求を満足する。供試体は、表面が滑らかな鉛製の平板上に静置された状態で、1.4kgの鋼製棒を1mの高さから自由落下させることによって衝撃が与えられる。

鋼製棒の平坦部の直径は25mmであり、角部は約3.0mmの丸みを帯びている。

平板は、ビッカース硬さは3.5Hv～4.5Hvであり、厚みは25mmを超えず、供試体を覆うことができる表面積を有することが要求される。

鋼製棒は、供試体が最大の損傷を及ぼすように供試体上に落下させる。

試験後、各供試体の外観検査並びに気密漏えい試験を行う。

(ロ) 試験方法及び結果

a. 試験方法

試験前後において、供試体の写真撮影を行った。

供試体よりも大きい表面積を有し、約6.5mm厚さの鉛製の平板を試験に用いた。試験前に硬度試験を実施し、鉛製の平板のビッカース硬さは4.4Hv～4.5Hvの間であることを確認しており、ANSI/HPS N43.6-1997 Annex E に規定されている要求を満足する。

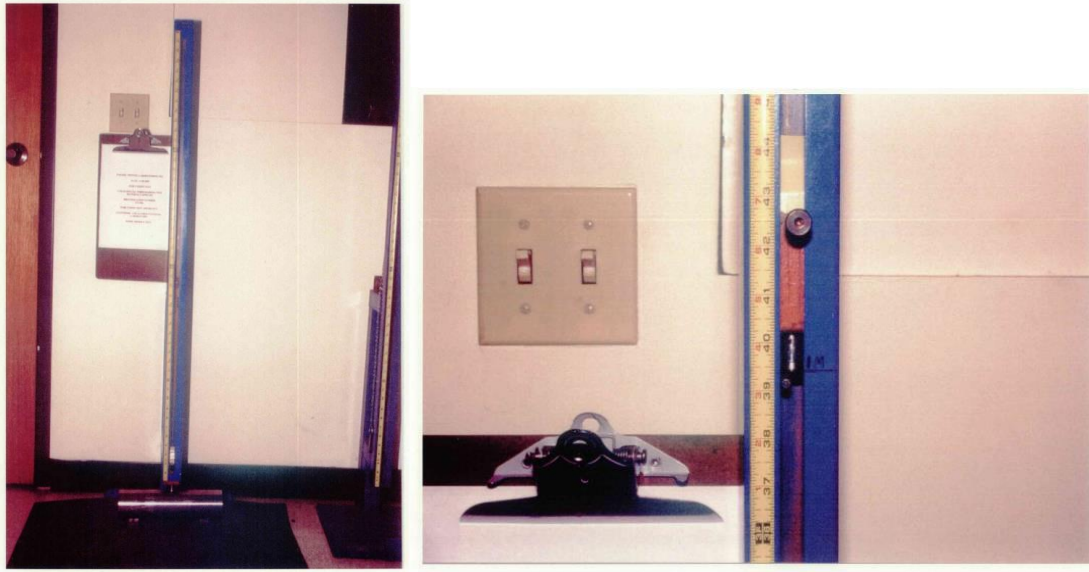
本試験に用いた試験装置の外観写真を(イ)－第D.8図に示す。試験装置は、重量が1.4kg、外径が25mmの鋼製棒、鋼製スケール、並びに鉛製の平板から構成される。

試験は、鉛製の平板上に静置された供試体の衝撃点の真上1mの高さに鋼製棒を持ち上げ、落下高さを計測した後、鋼製棒を自由落下させることによって実施した。

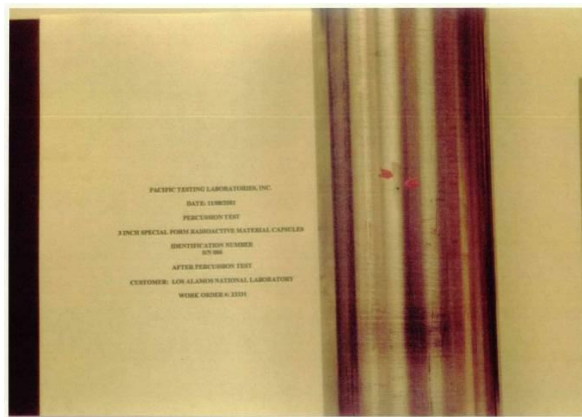
b. 試験結果

試験後の供試体の写真を(イ)－第D.9図に示す。

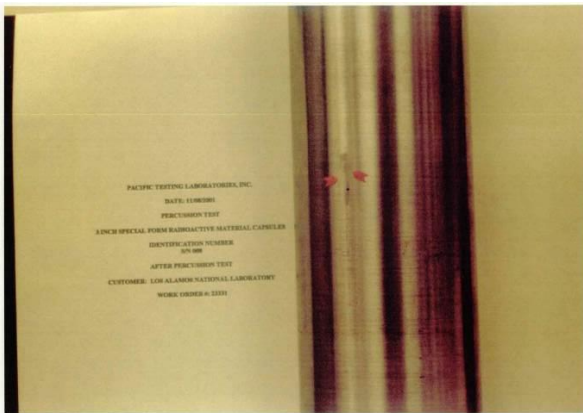
本試験後に外観検査及び気密漏えい試験を行い、供試体の密封健全性の確認を行った。外観検査により各供試体のき裂、破損はなく、また、気密漏えい試験の結果、気泡の発生が2分間確認されなかったことから、打撃試験後においても密封健全性が維持されることを確認した。



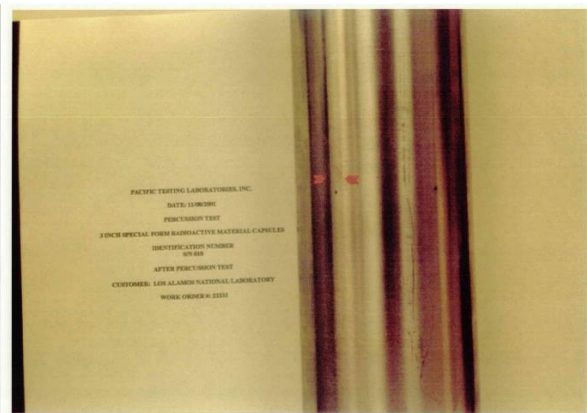
(イ) - 第D. 8 図 打撃試験装置外観



(a) シリアル番号 006



(b) シリアル番号 008



(c) シリアル番号 010

(イ) - 第D. 9 図 打撃試験後の供試体写真

(iv) 加熱試験

(イ) 概要

本試験条件は、ANSI/HPS N43.6-1997 Annex Eの規定に従い実施した。この試験条件は、告示別記第一に規定される要求を満足する。本試験では、供試体を気中にて800℃以上の温度まで加熱し、10分間保持された後、自然冷却される。

試験後、各供試体の外観検査並びに気密漏えい試験を行う。

(ロ) 試験方法及び結果

a. 試験方法

本試験に用いた試験装置の外観写真を (イ) - 第D.10 図 に示す。

試験前に、12時間の間、試験装置内の温度800℃まで予熱を行った。

供試体は、試験装置内で約2inch(50.8mm)間隔で同一平面上に設置した。供試体は、全て蓋部が上向きになるように縦置きにて設置した。

供試体を試験装置内に配置し、約40分かけて予熱温度800℃まで再び加熱した。

供試体は、10分間800±2℃の空気中にさらされた。

10分間の試験後、試験装置の出力を落とし、試験装置を開放し、供試体を一晩かけて自然冷却した。

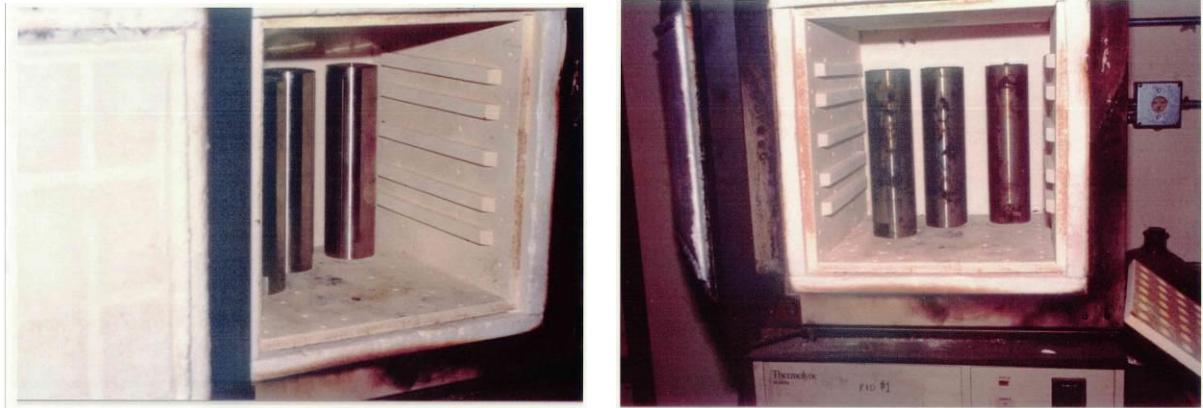
b. 試験結果

本試験後の供試体の写真を (イ) - 第D.11 図 に示す。

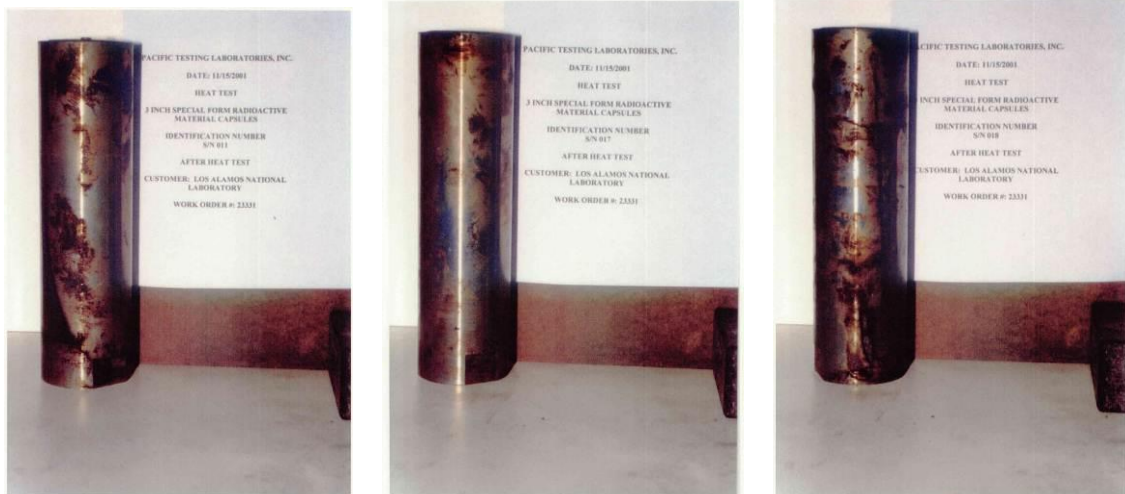
加熱したことにより、供試体表面が変色したが、き裂、破損はなかった。

本試験後に気密漏えい試験を行い、供試体の密封健全性の確認を行った。

気密漏えい試験の結果、気泡の発生が2分間確認されなかったことから、加熱試験後においても密封健全性が維持されることを確認した。



(イ) - 第D.10 図 加熱試験装置外観



(a) シリアル番号 011

(b) シリアル番号 017

(c) シリアル番号 018

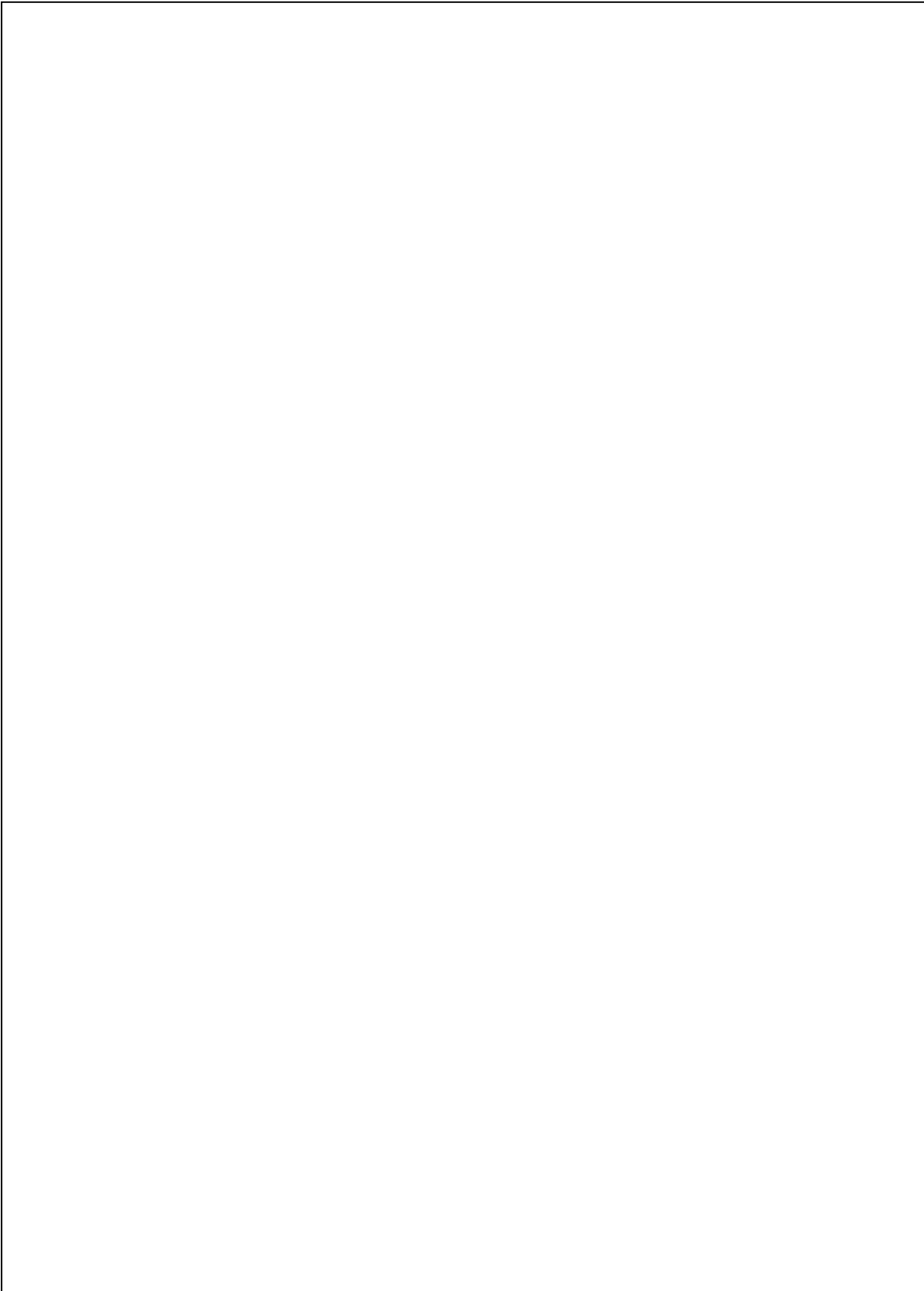
(イ) - 第D.11 図 加熱試験後の供試体写真

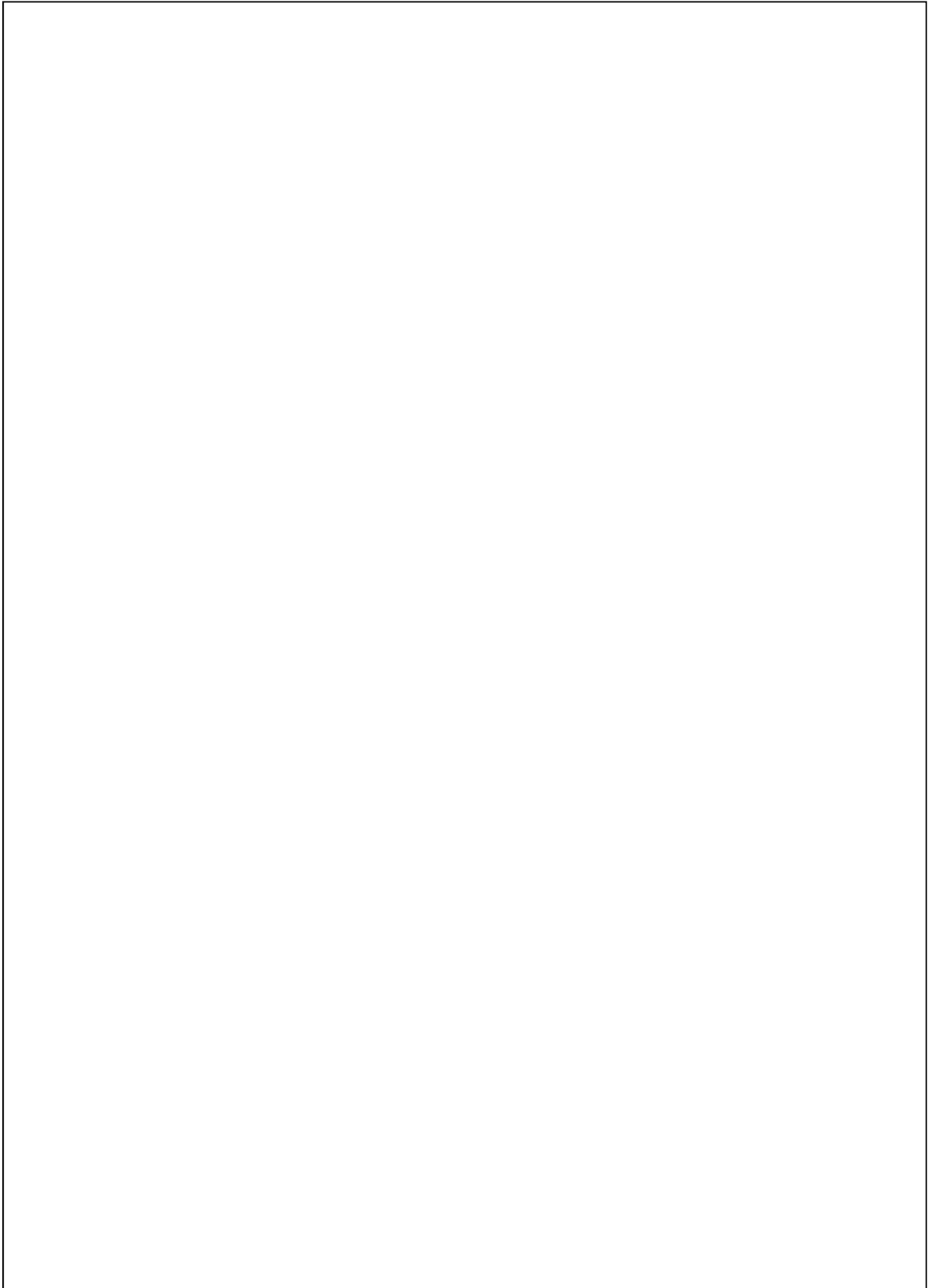
(v) 浸漬試験

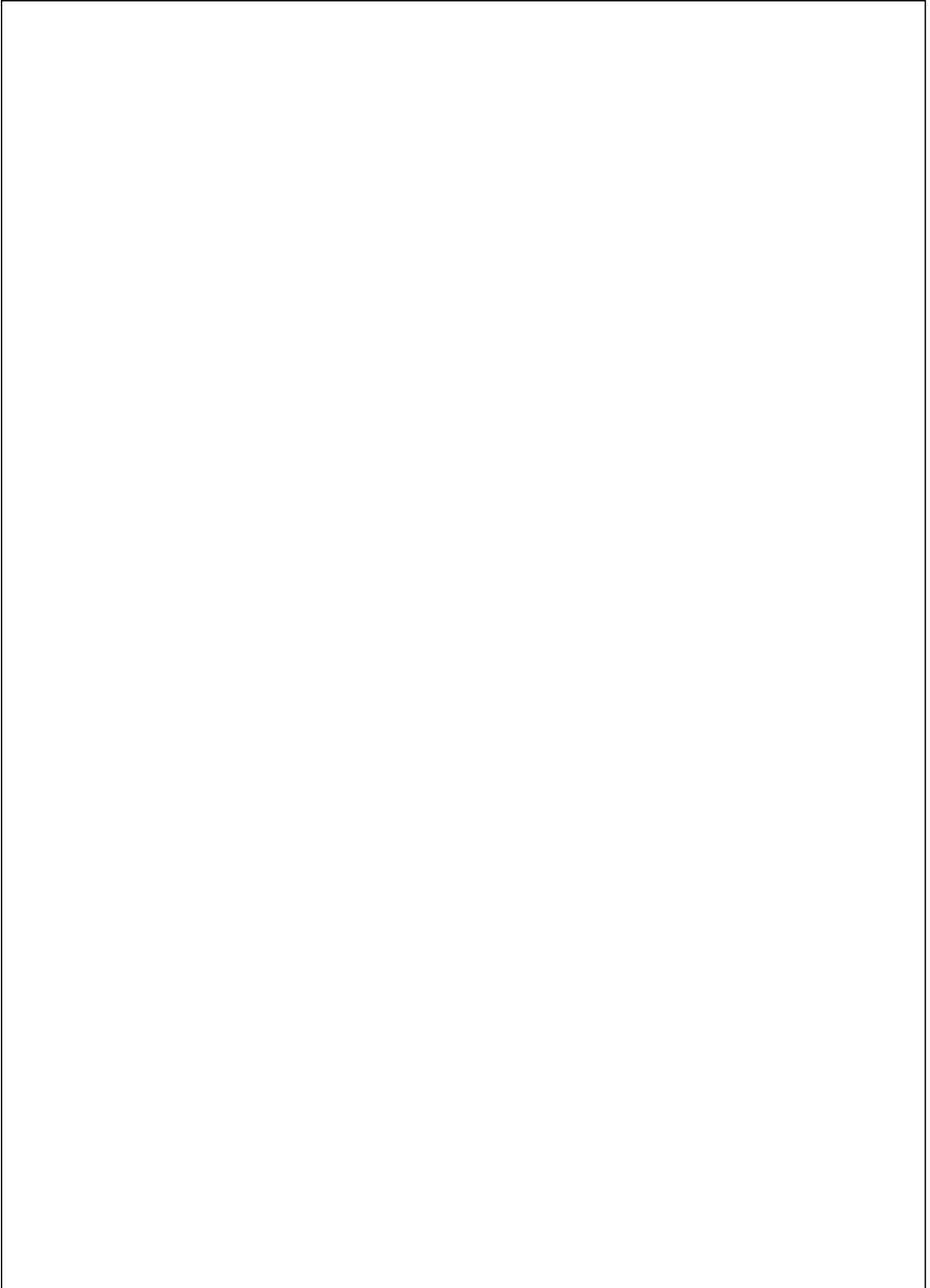
特別形カプセルの密封性能評価方法として、告示別記第一 5 項に基づいた浸漬試験を実施し、特別形カプセルの放射性物質の漏えい量が基準値 2kBq を超えないことを確認した。

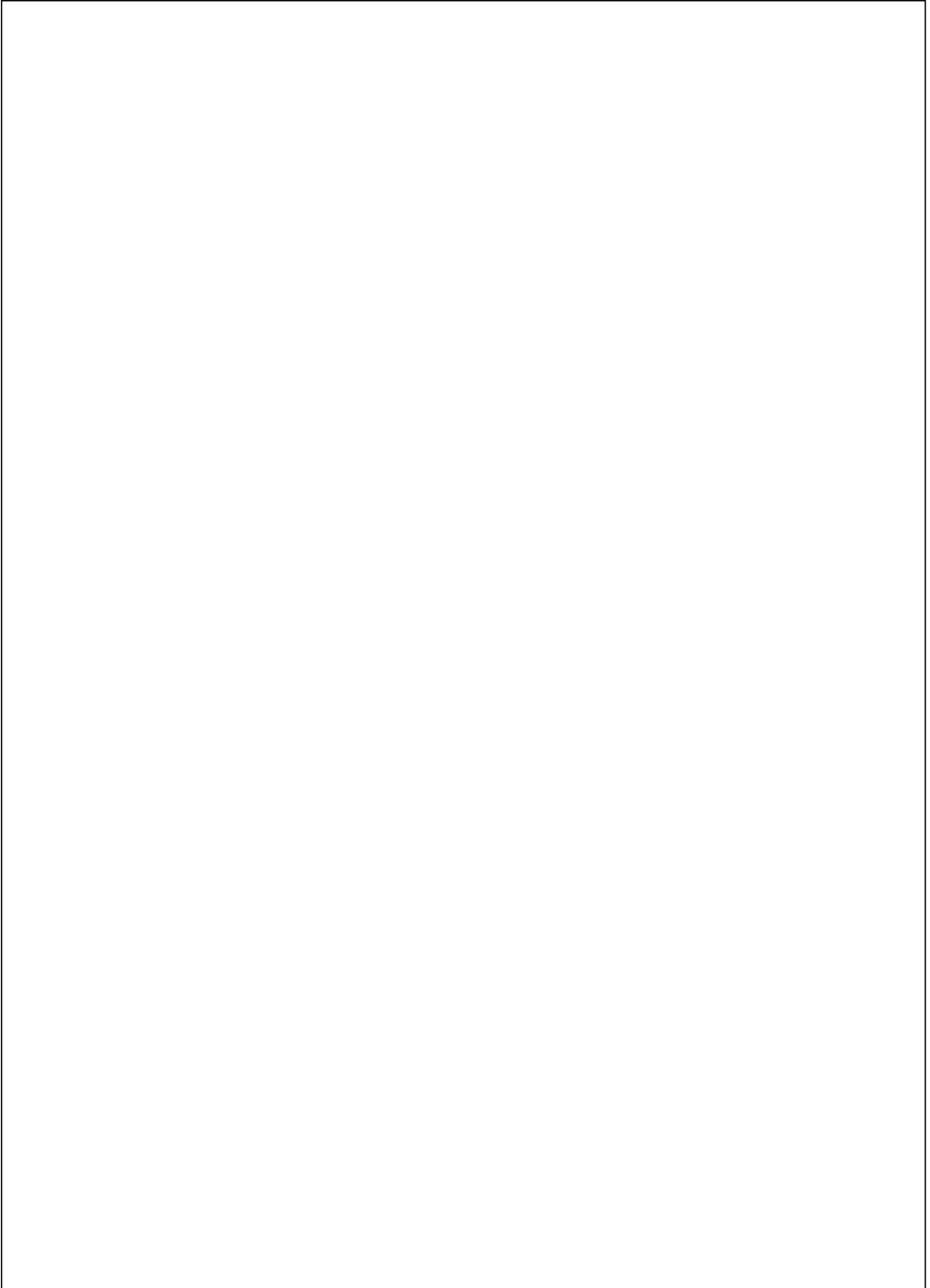
詳細については、に記載する。

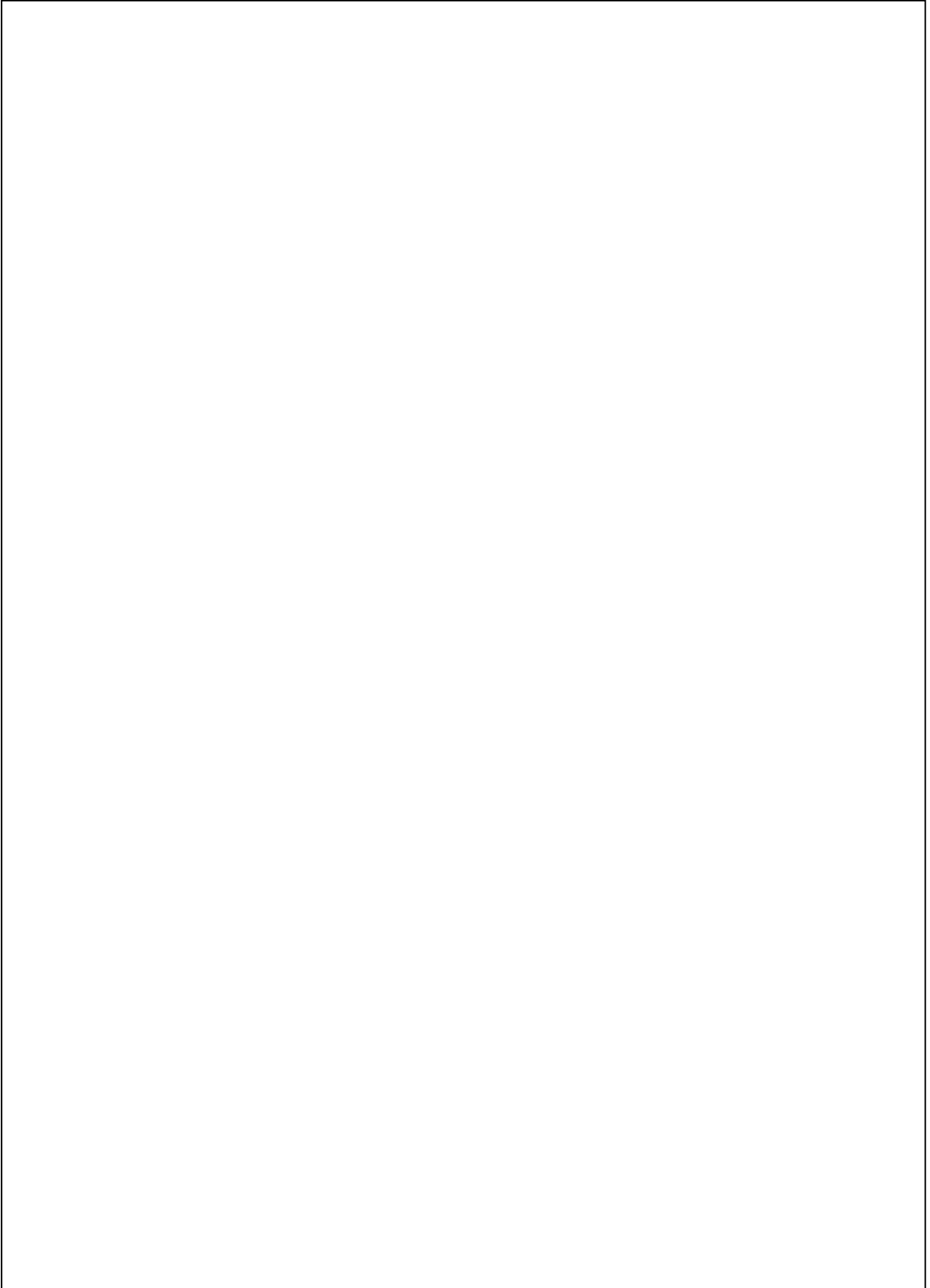
別添

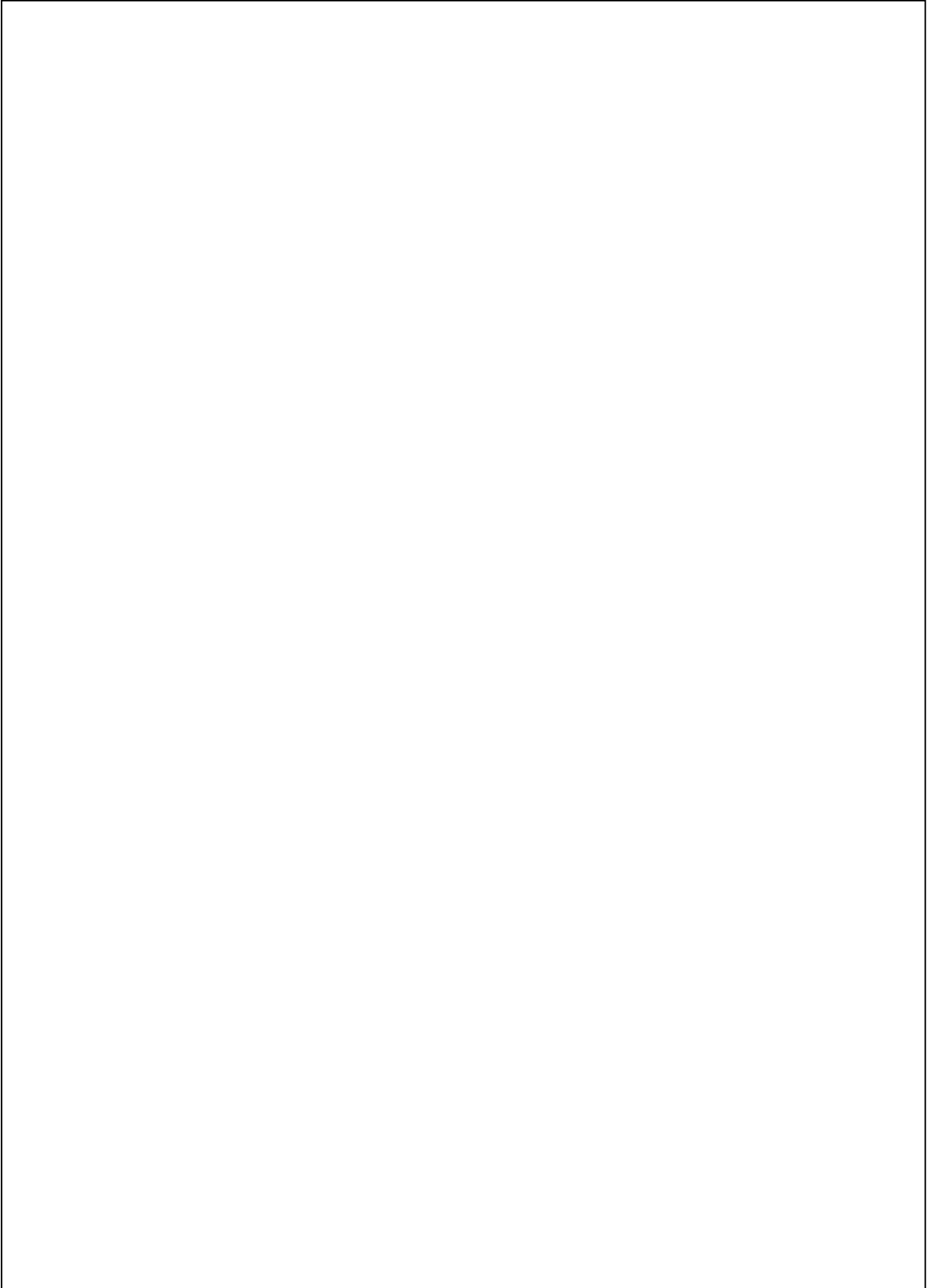


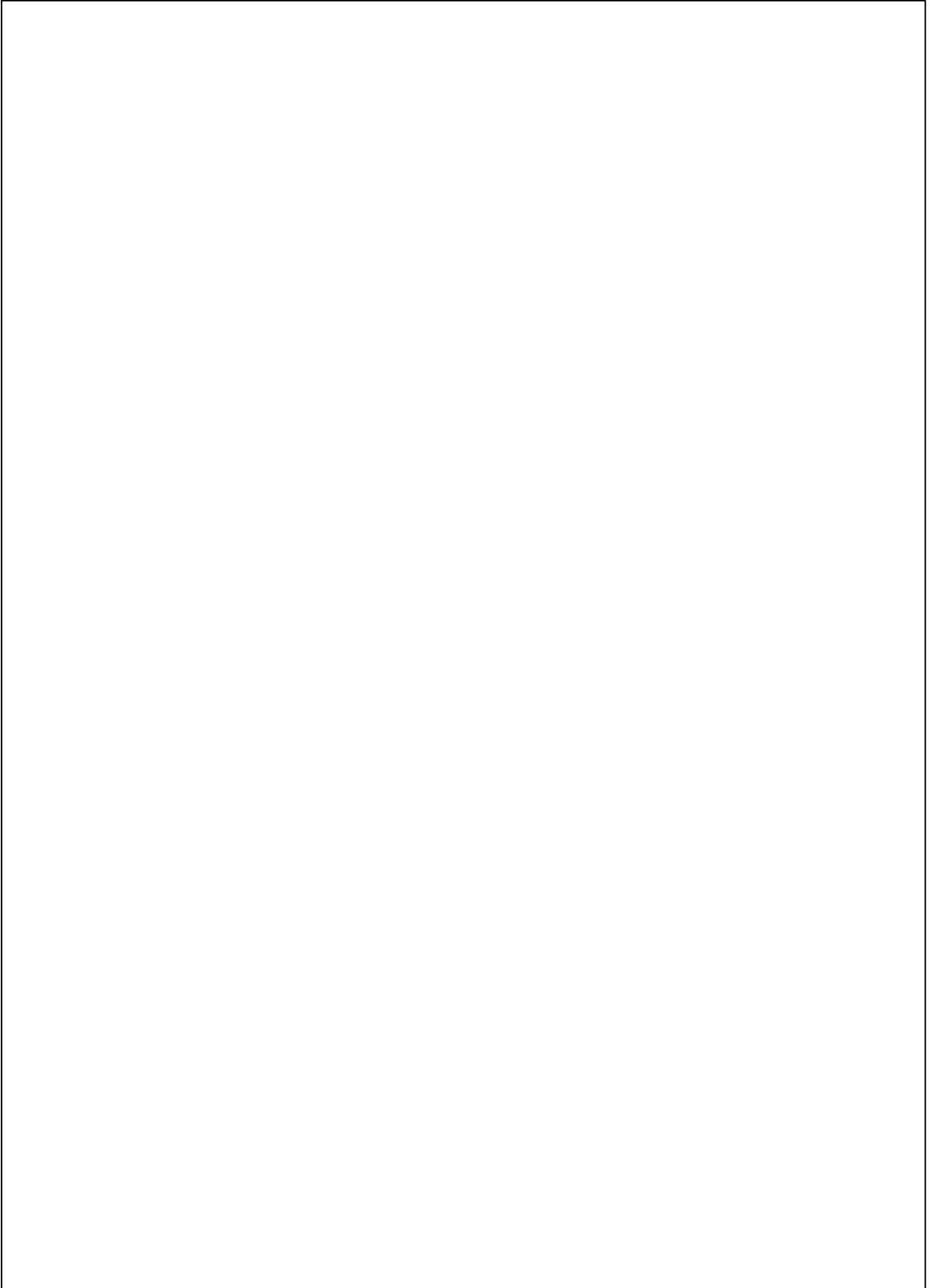


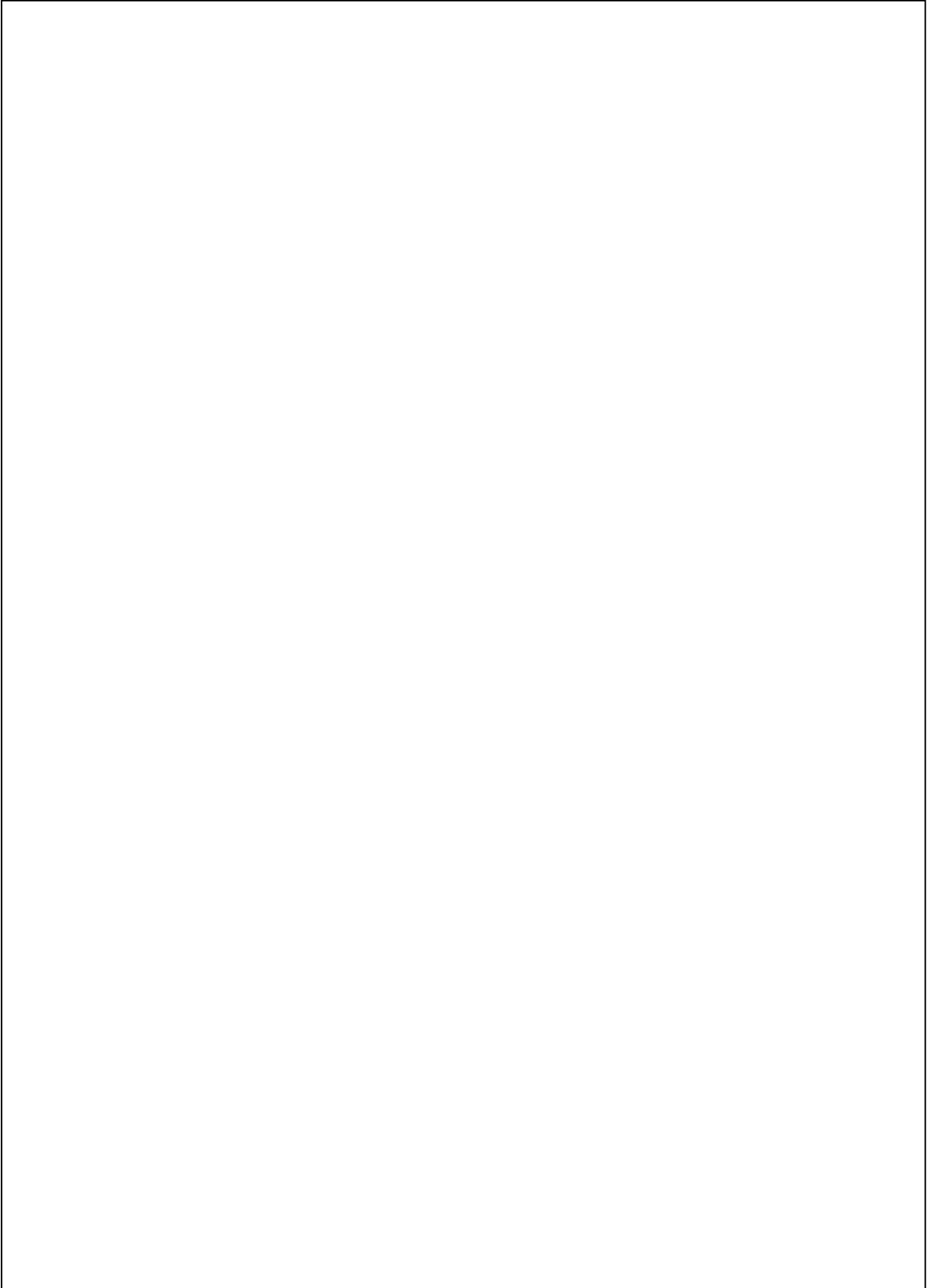


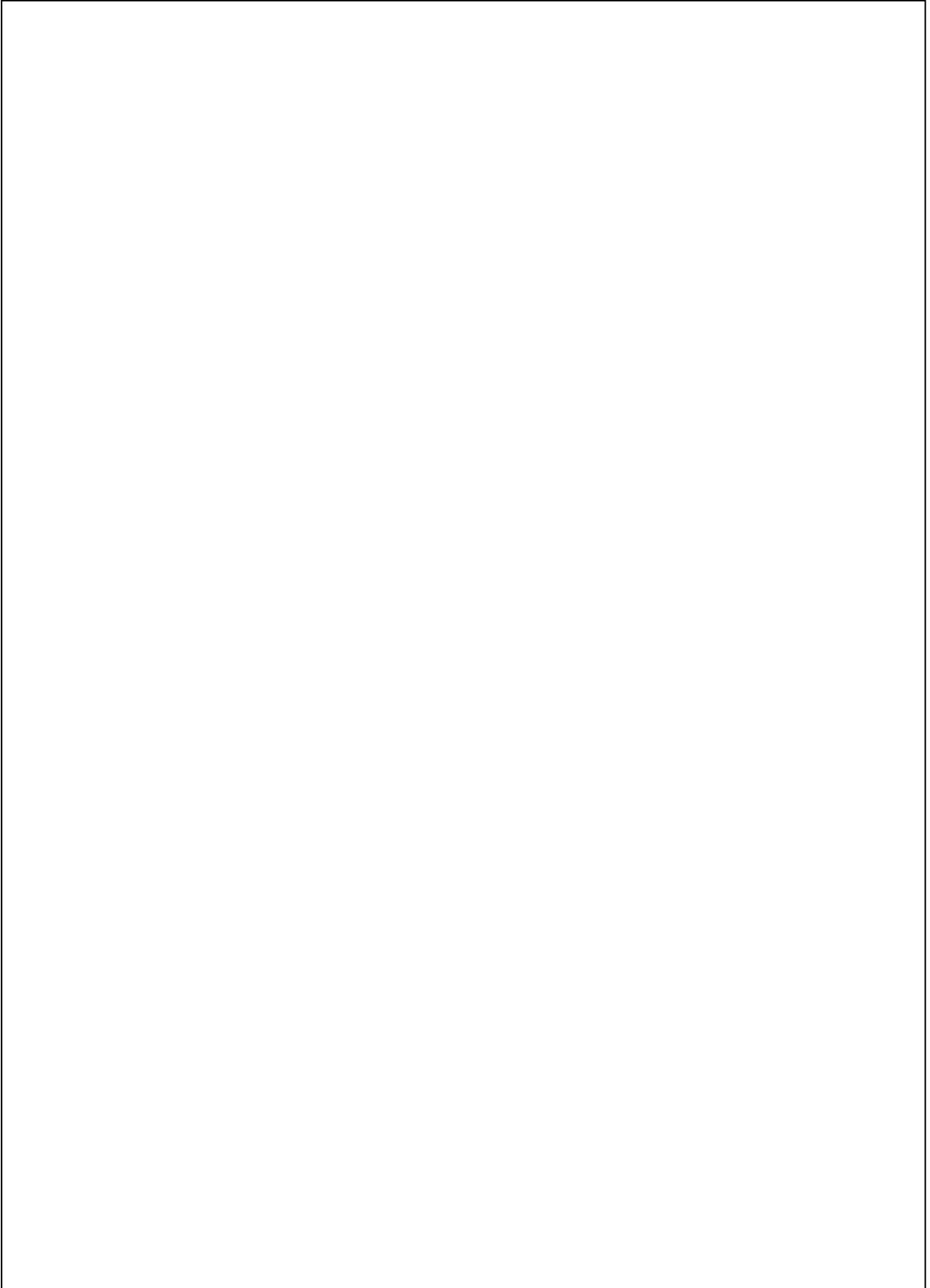


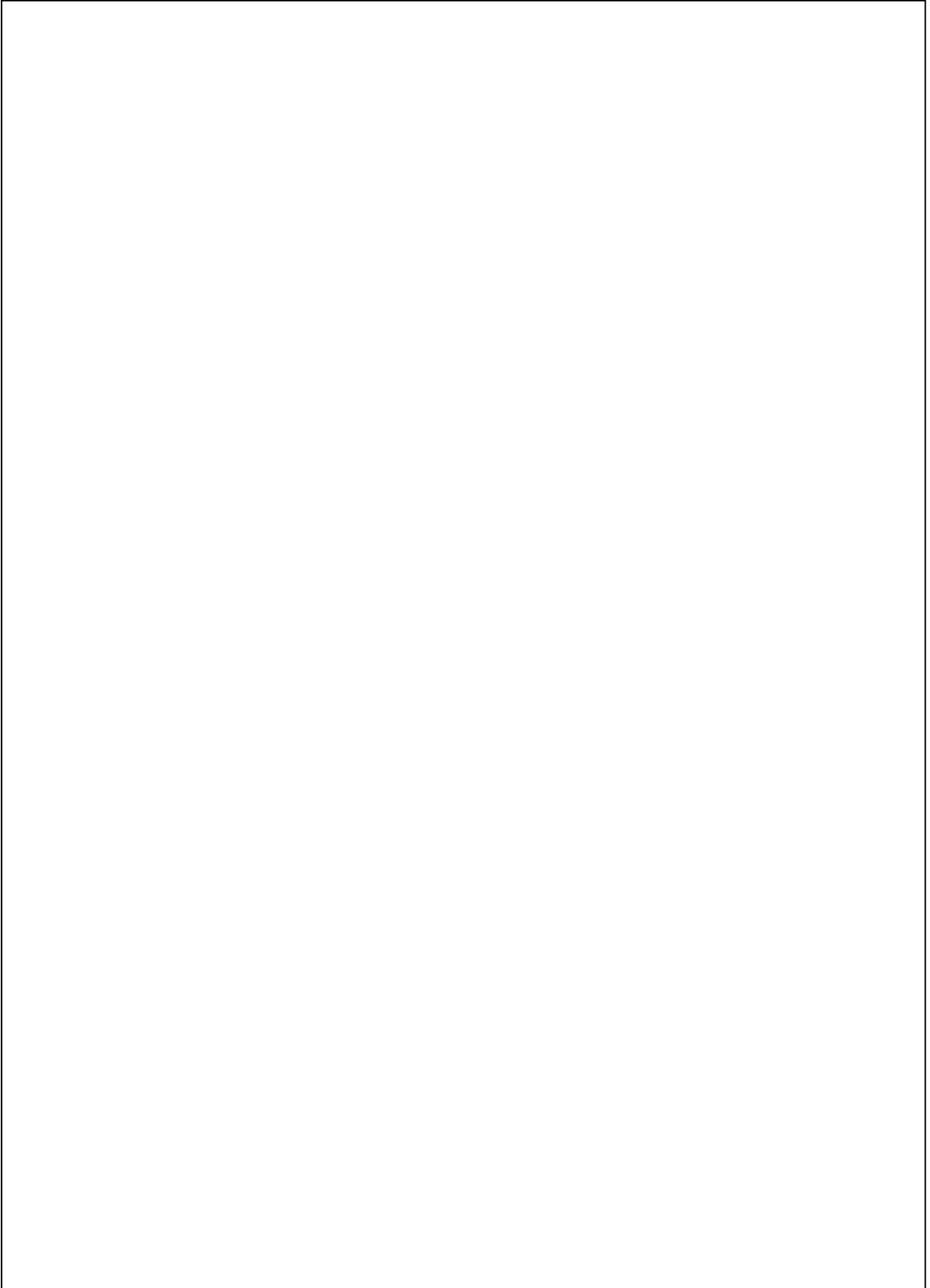


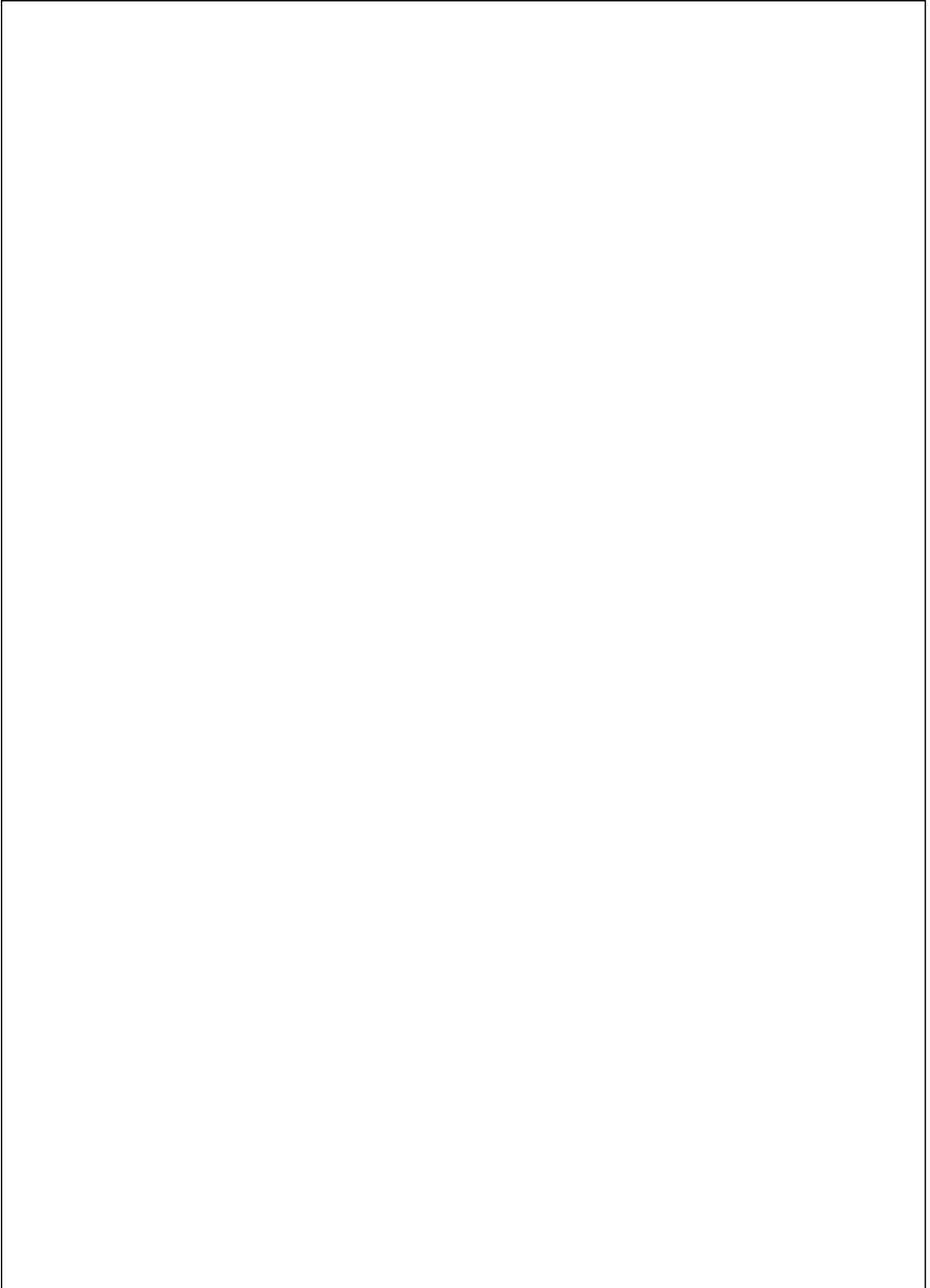


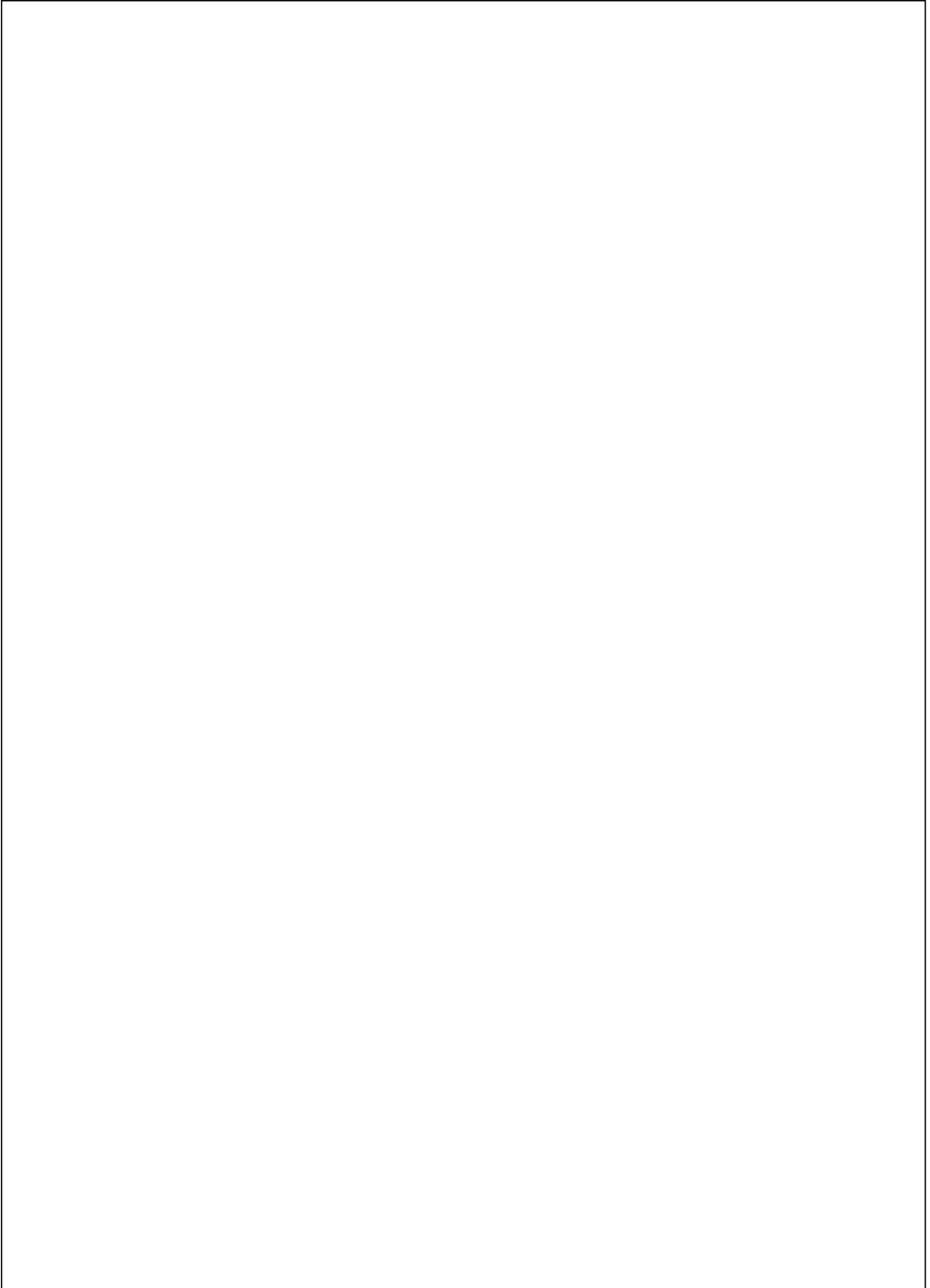


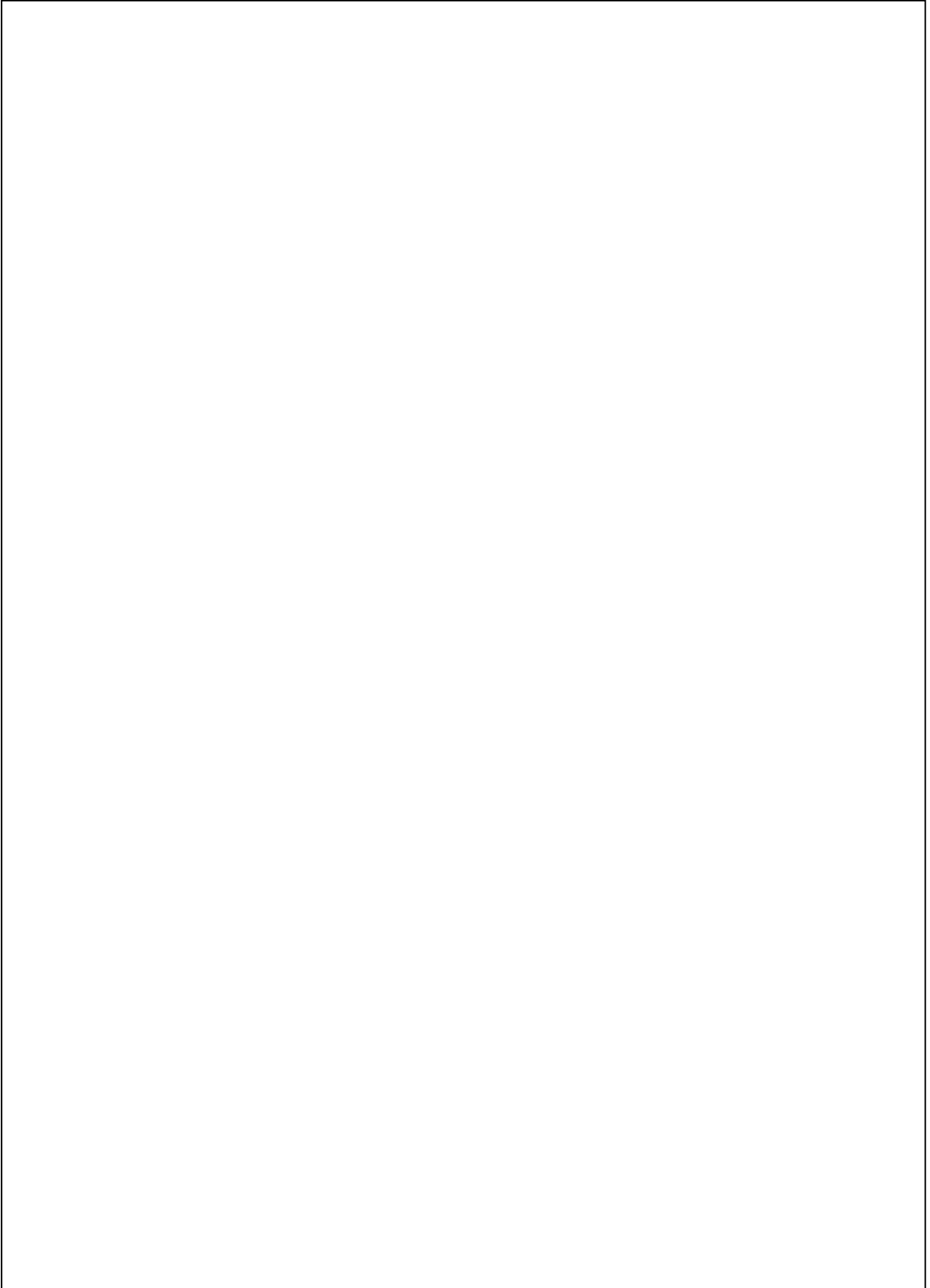


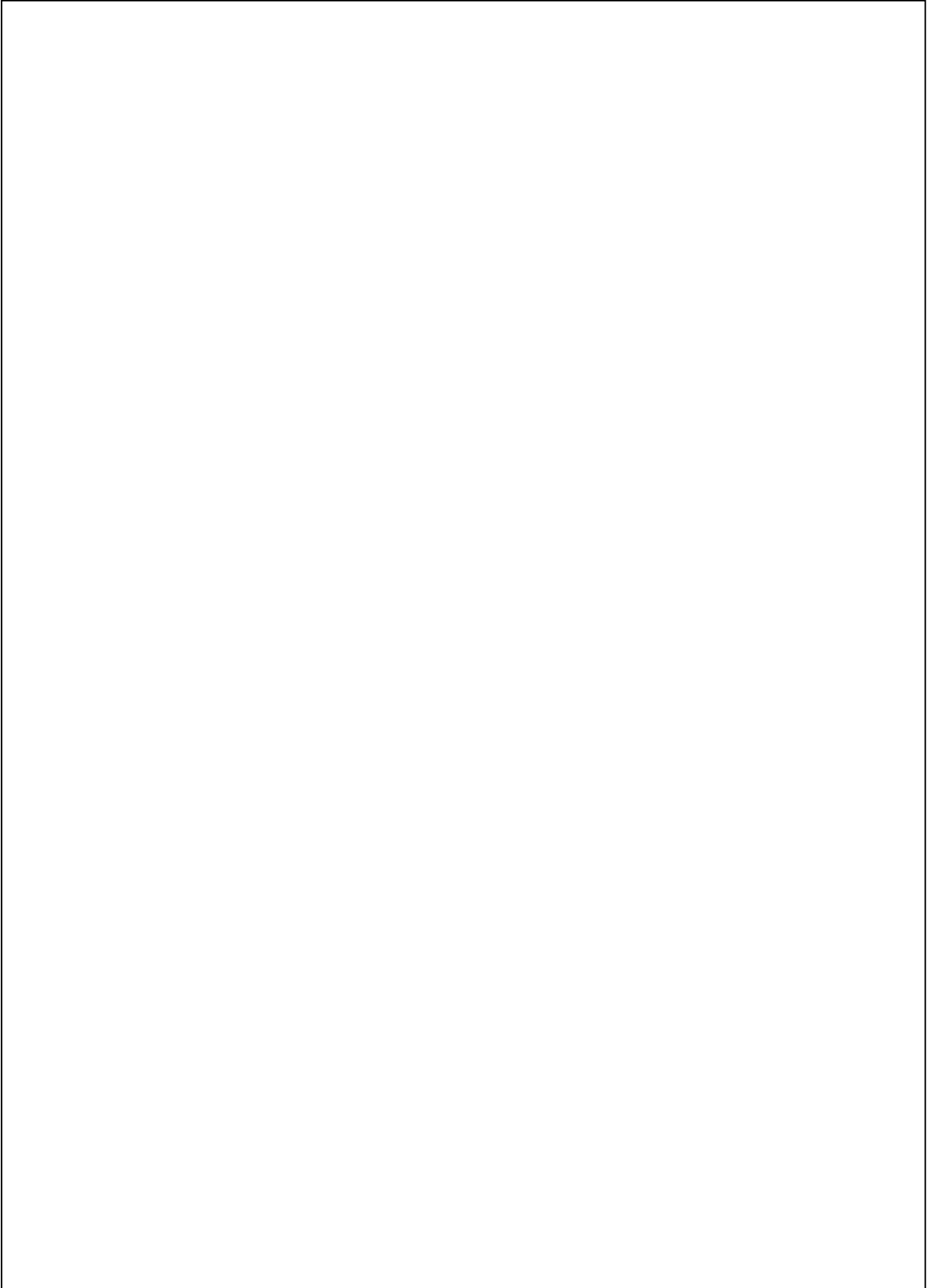


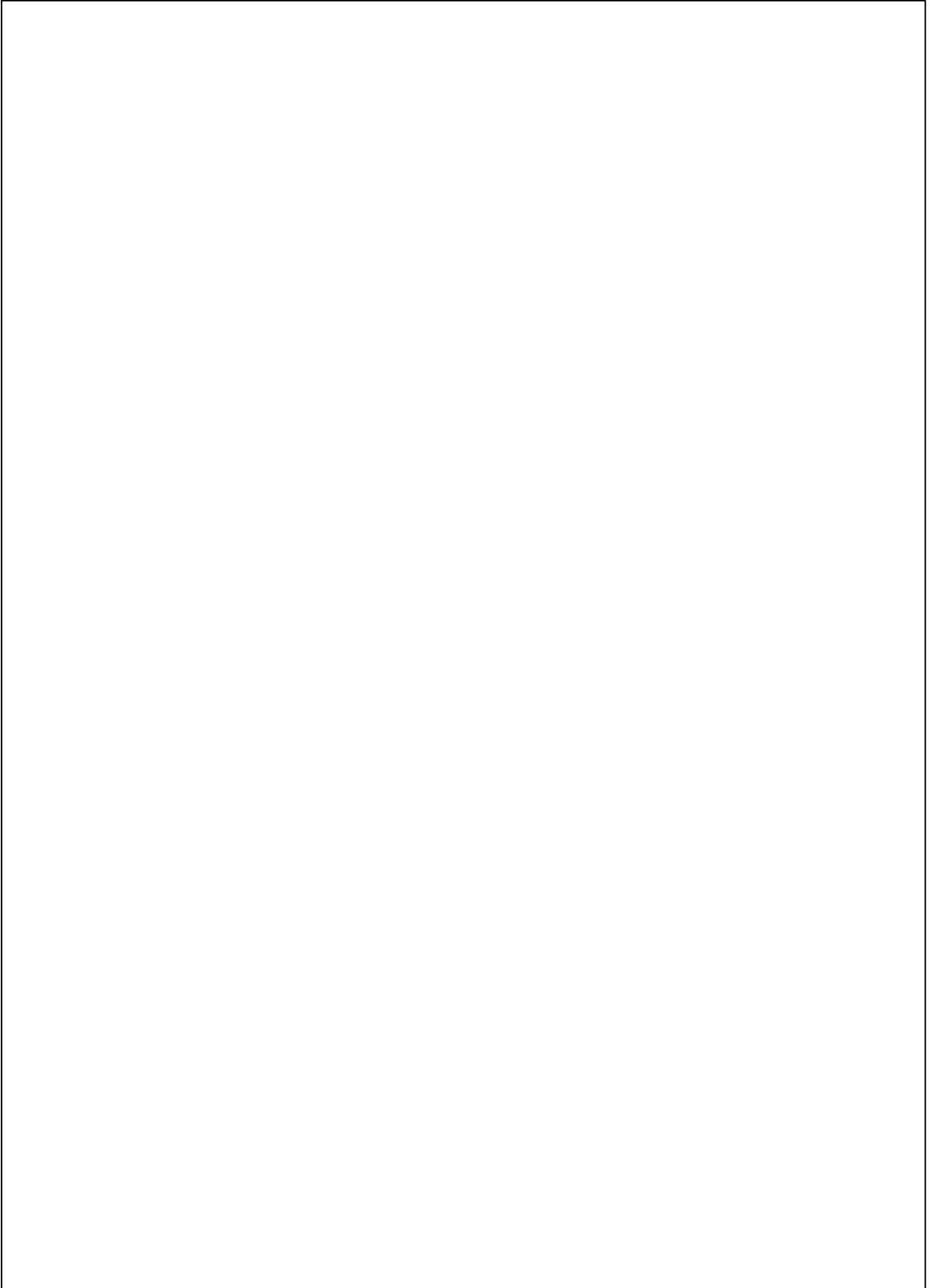


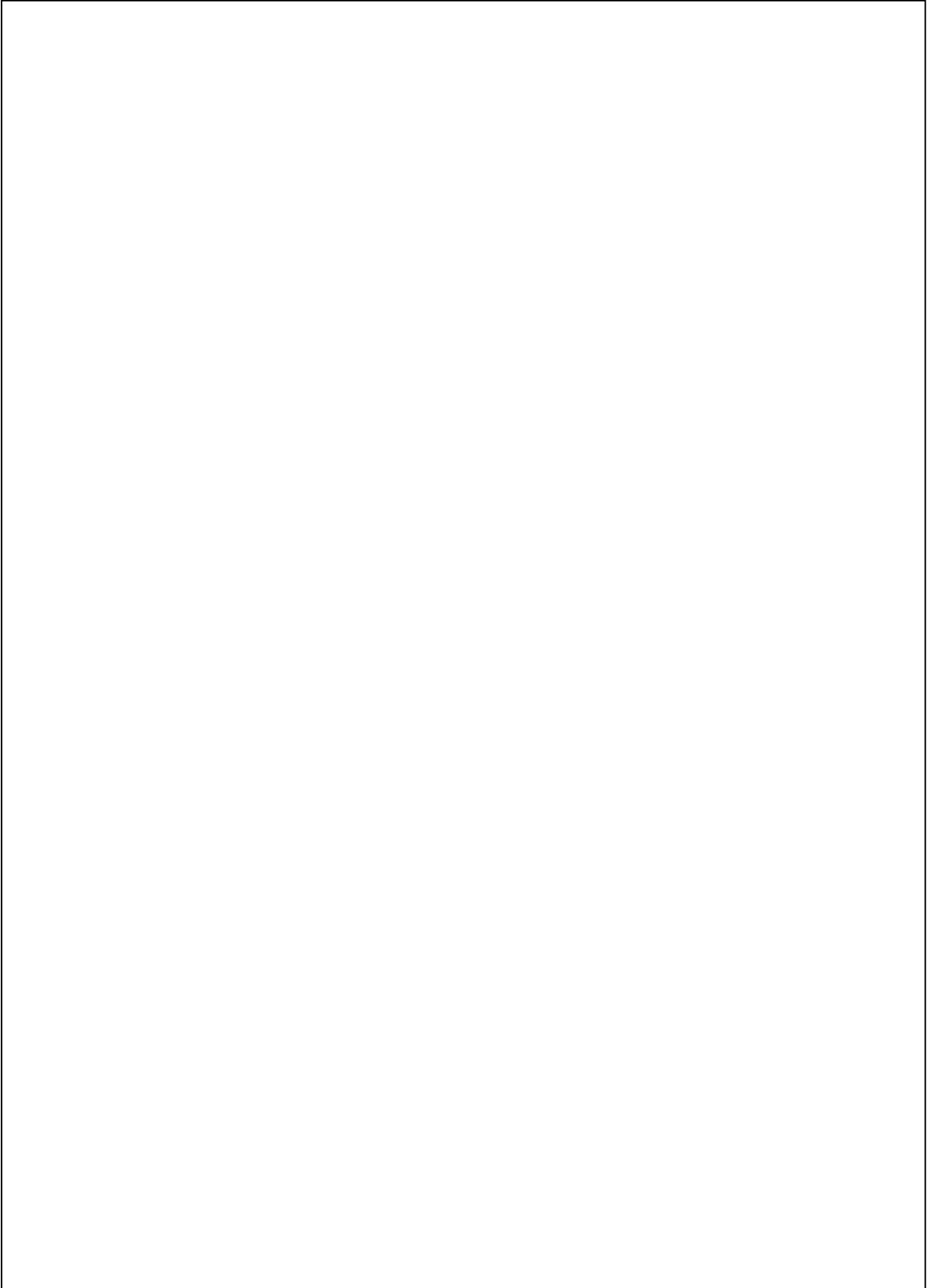


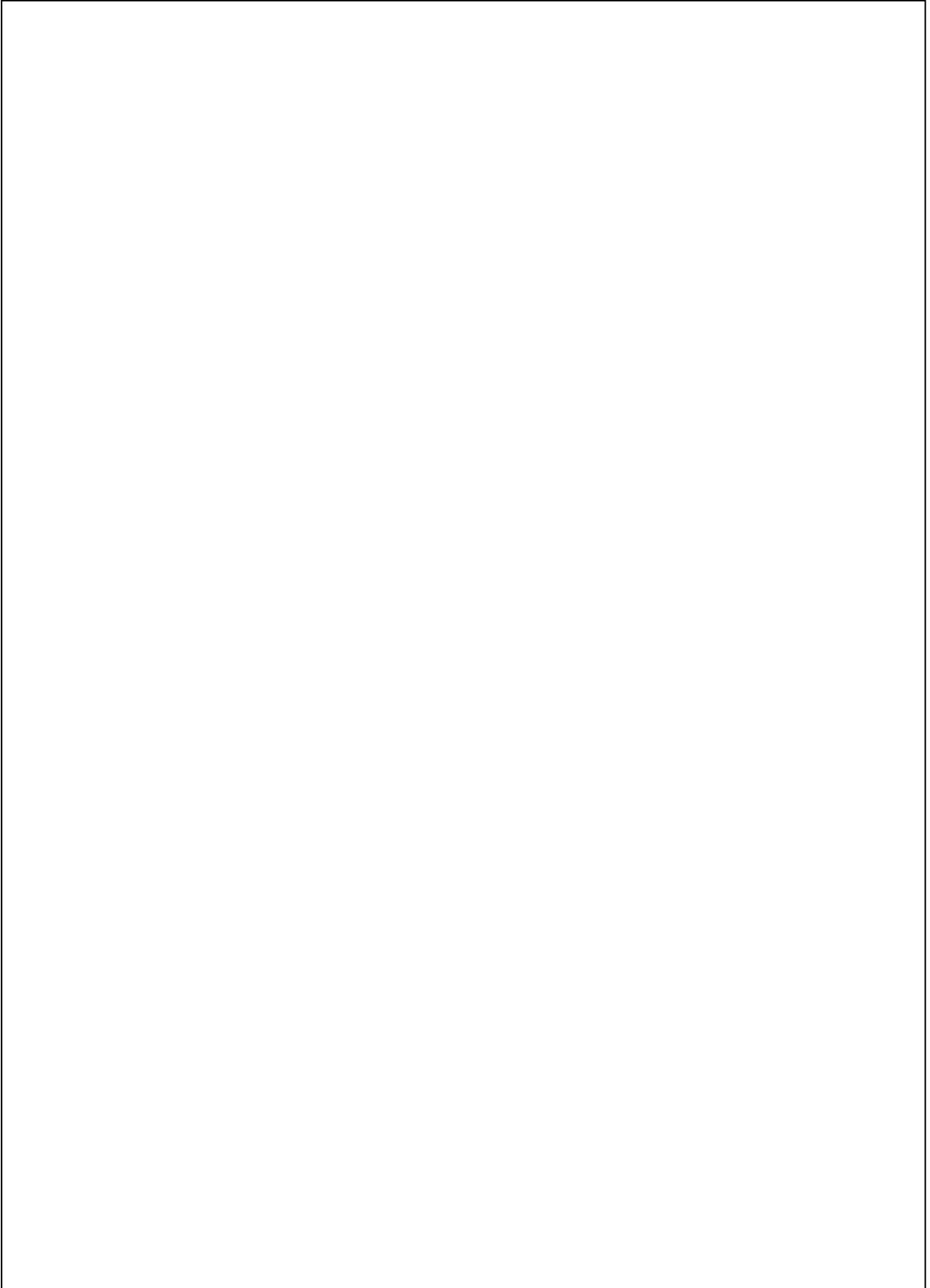


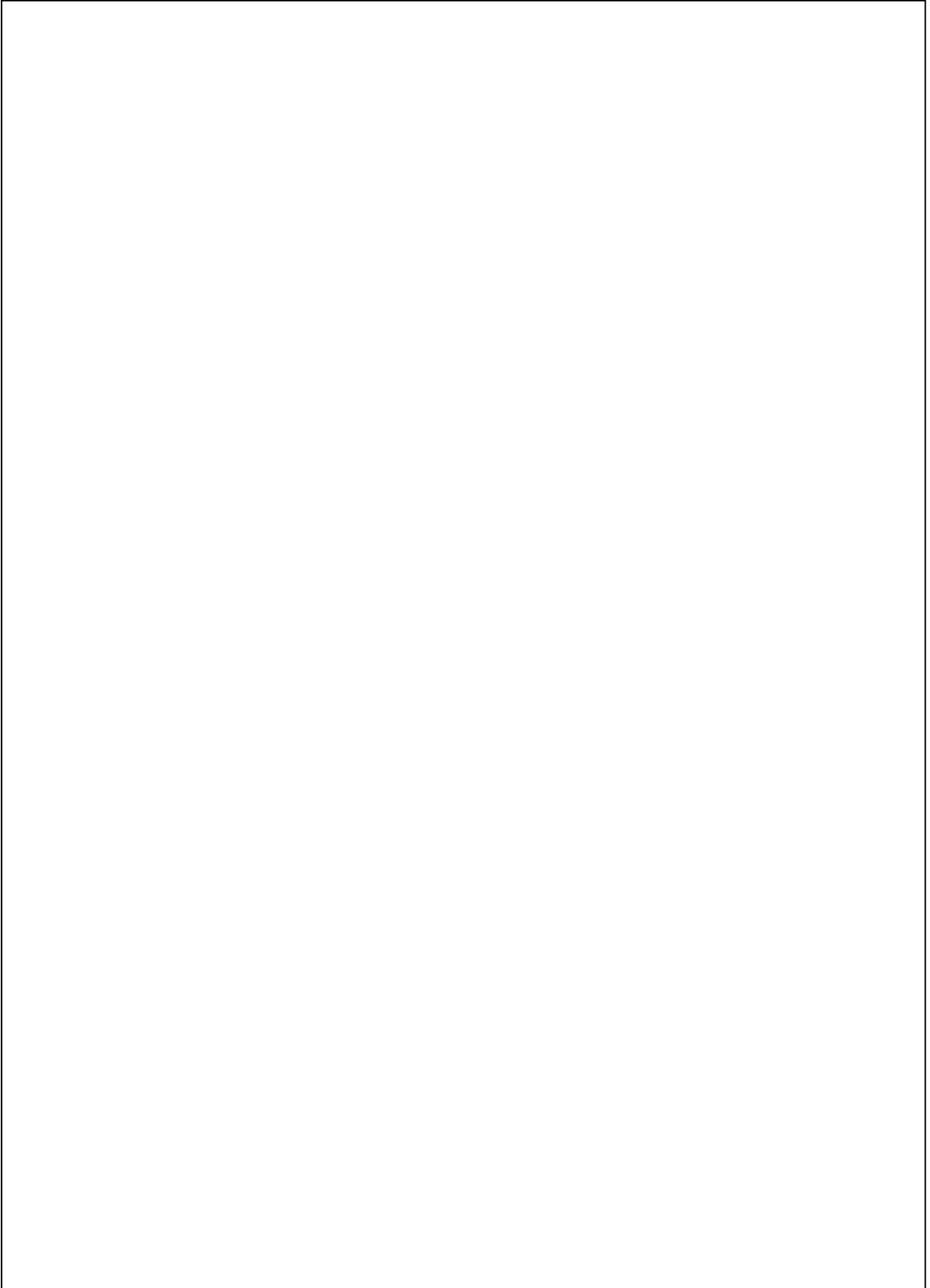


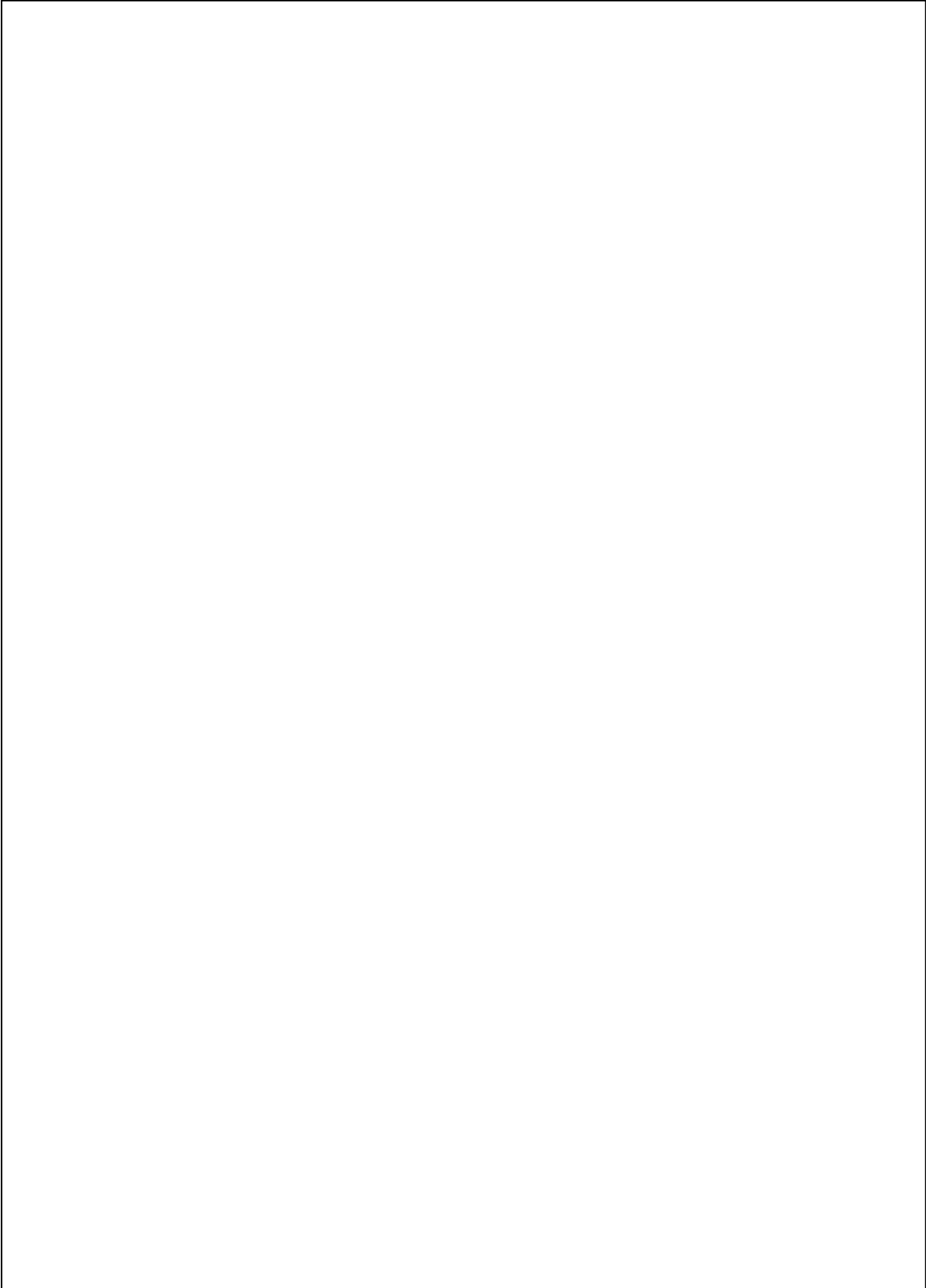


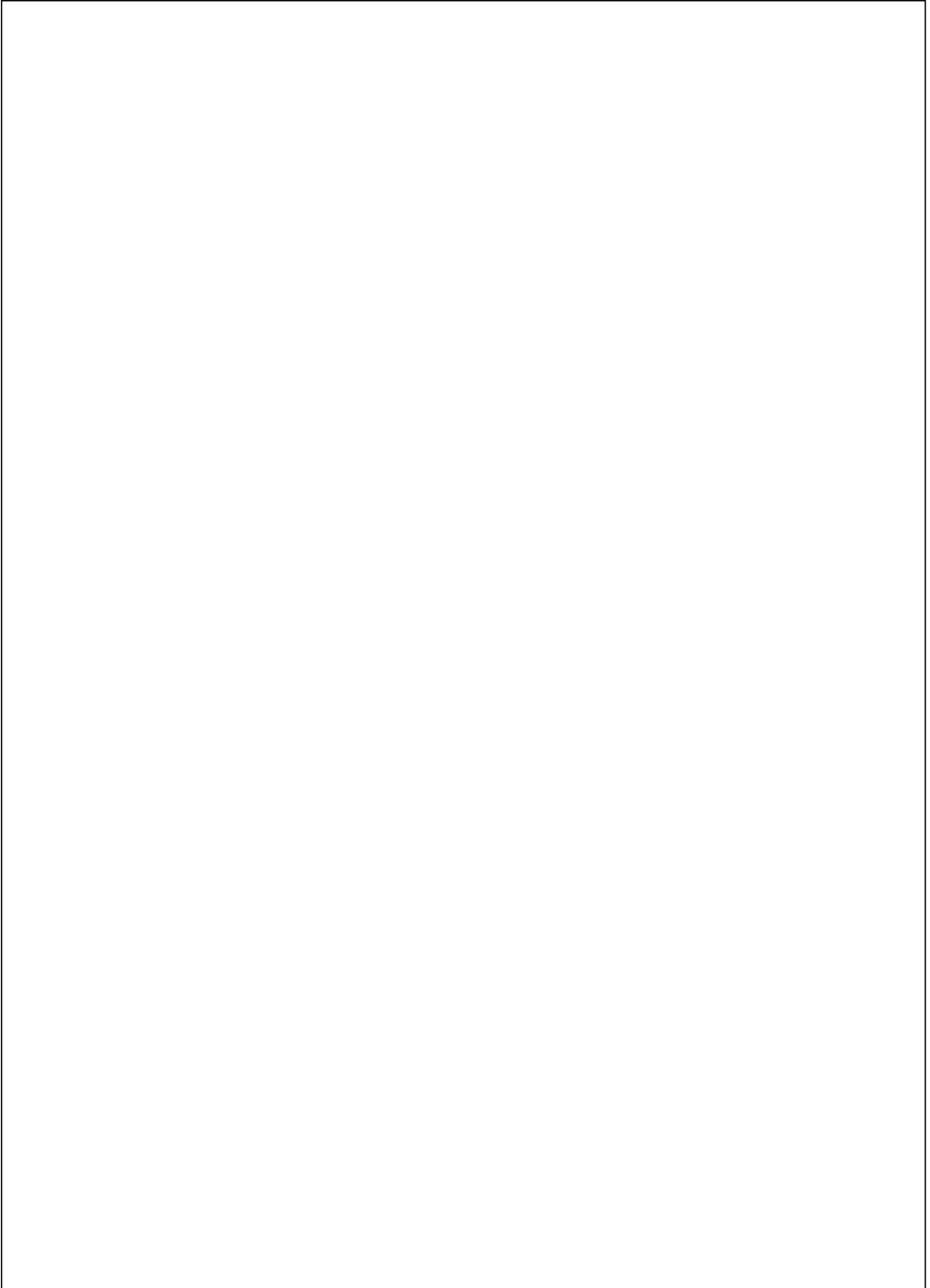


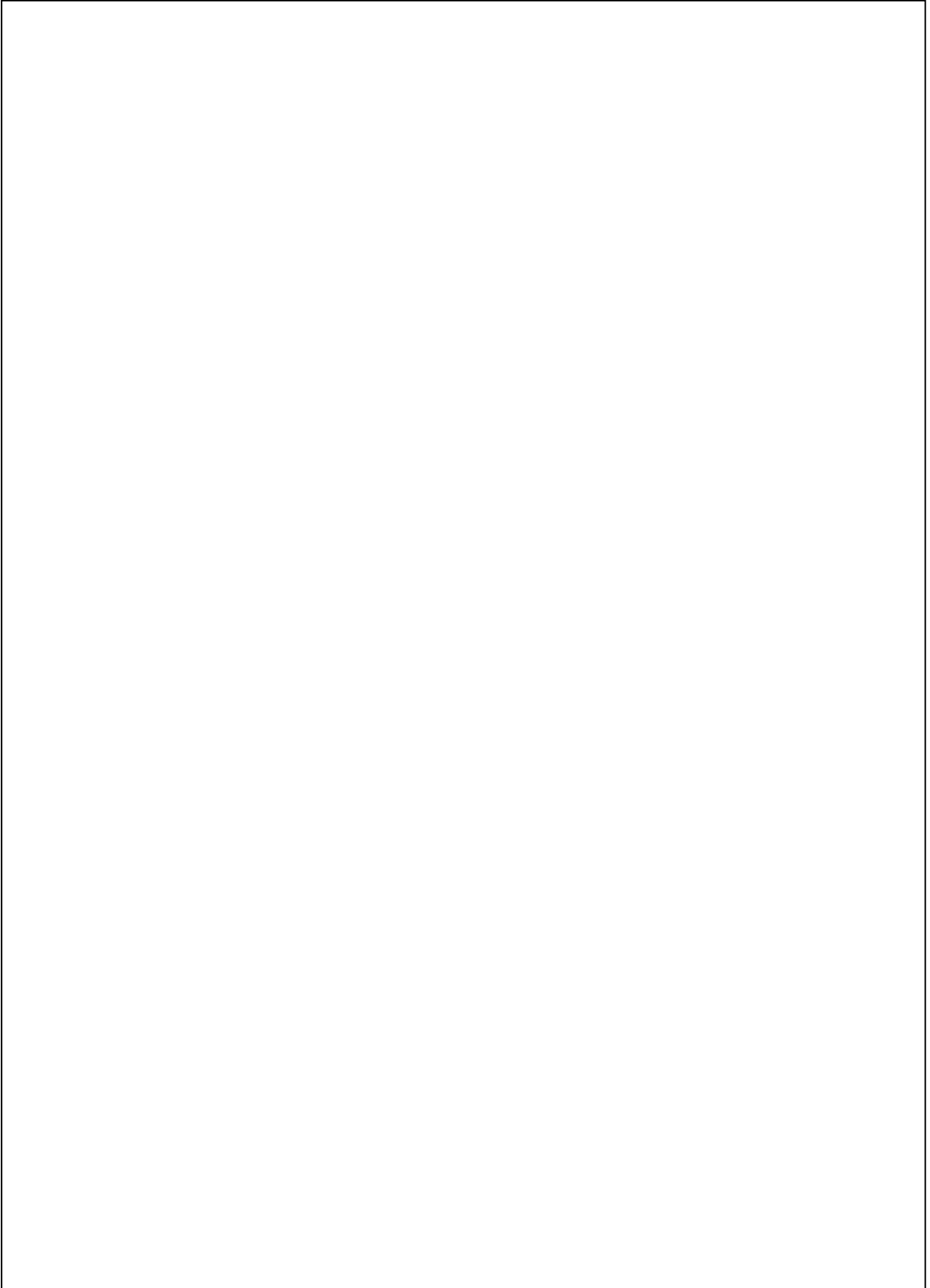


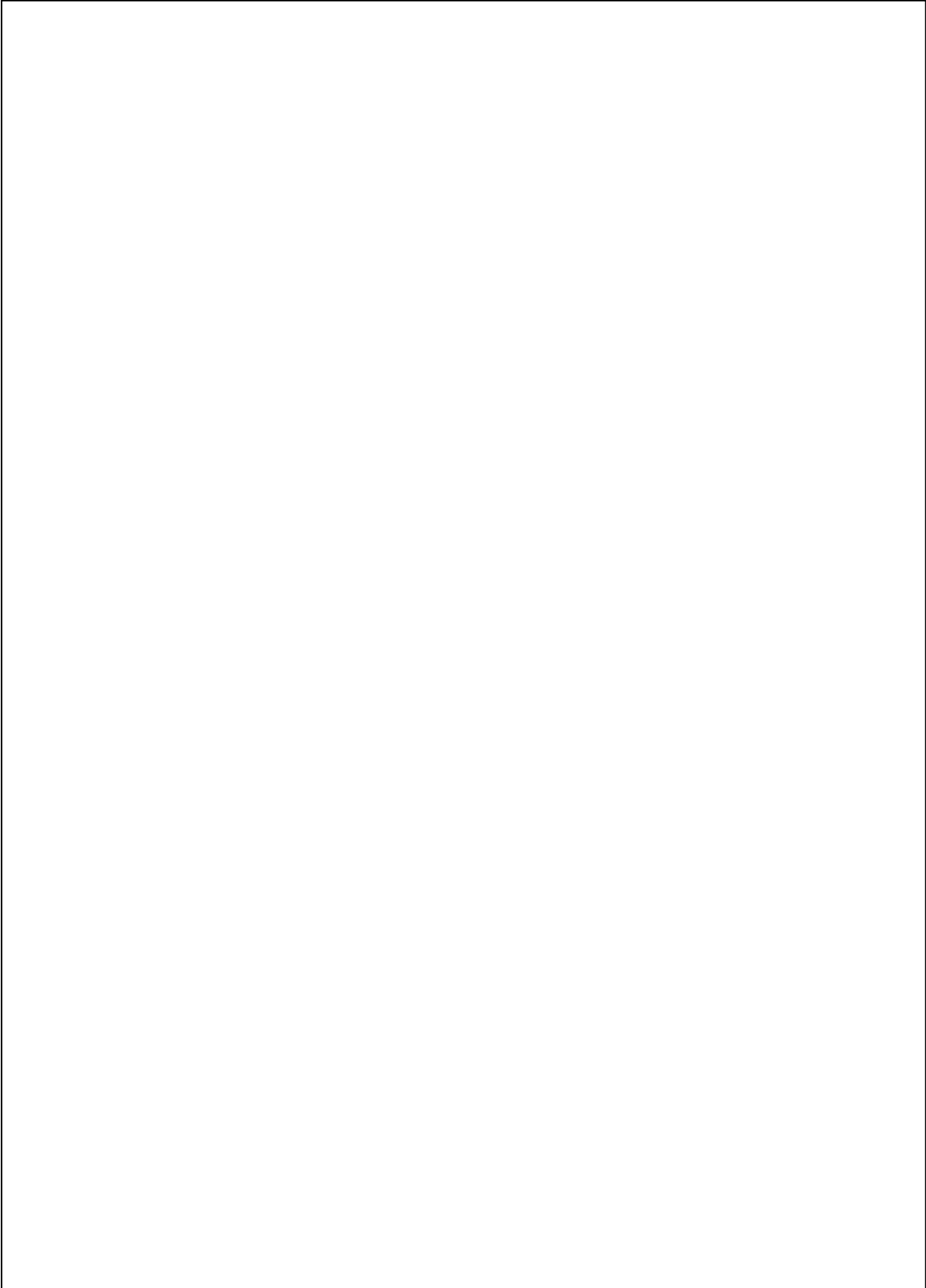


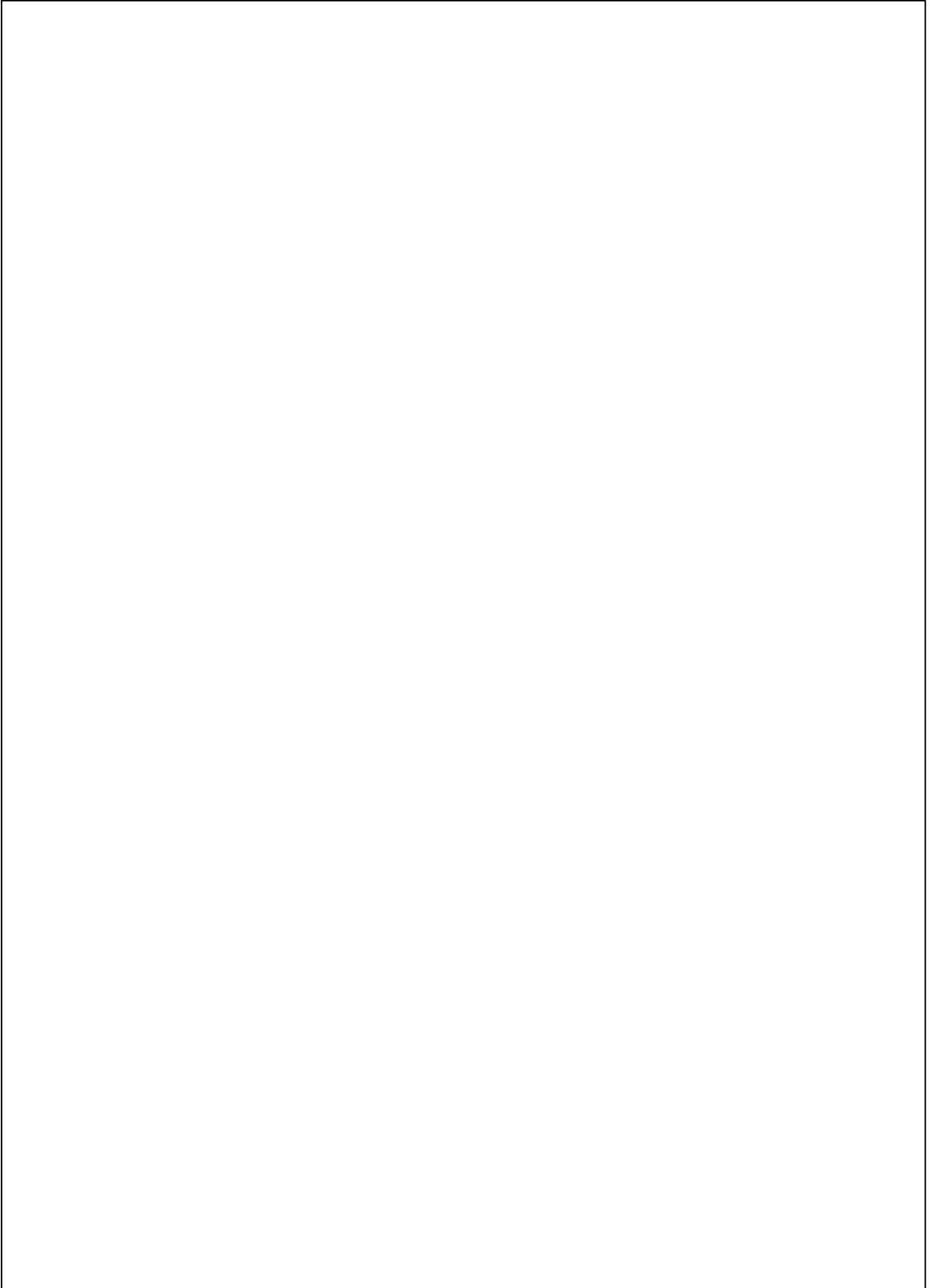


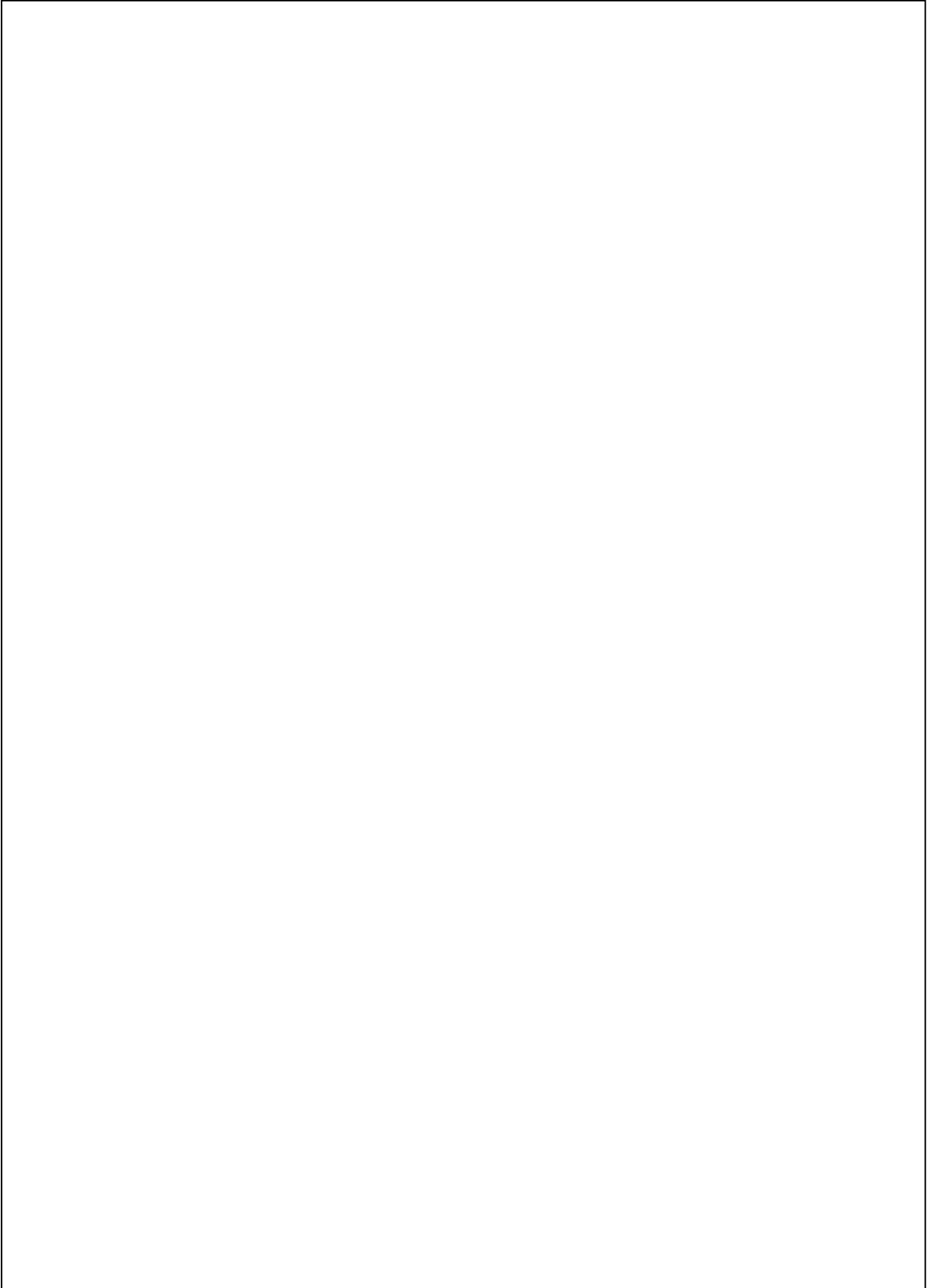


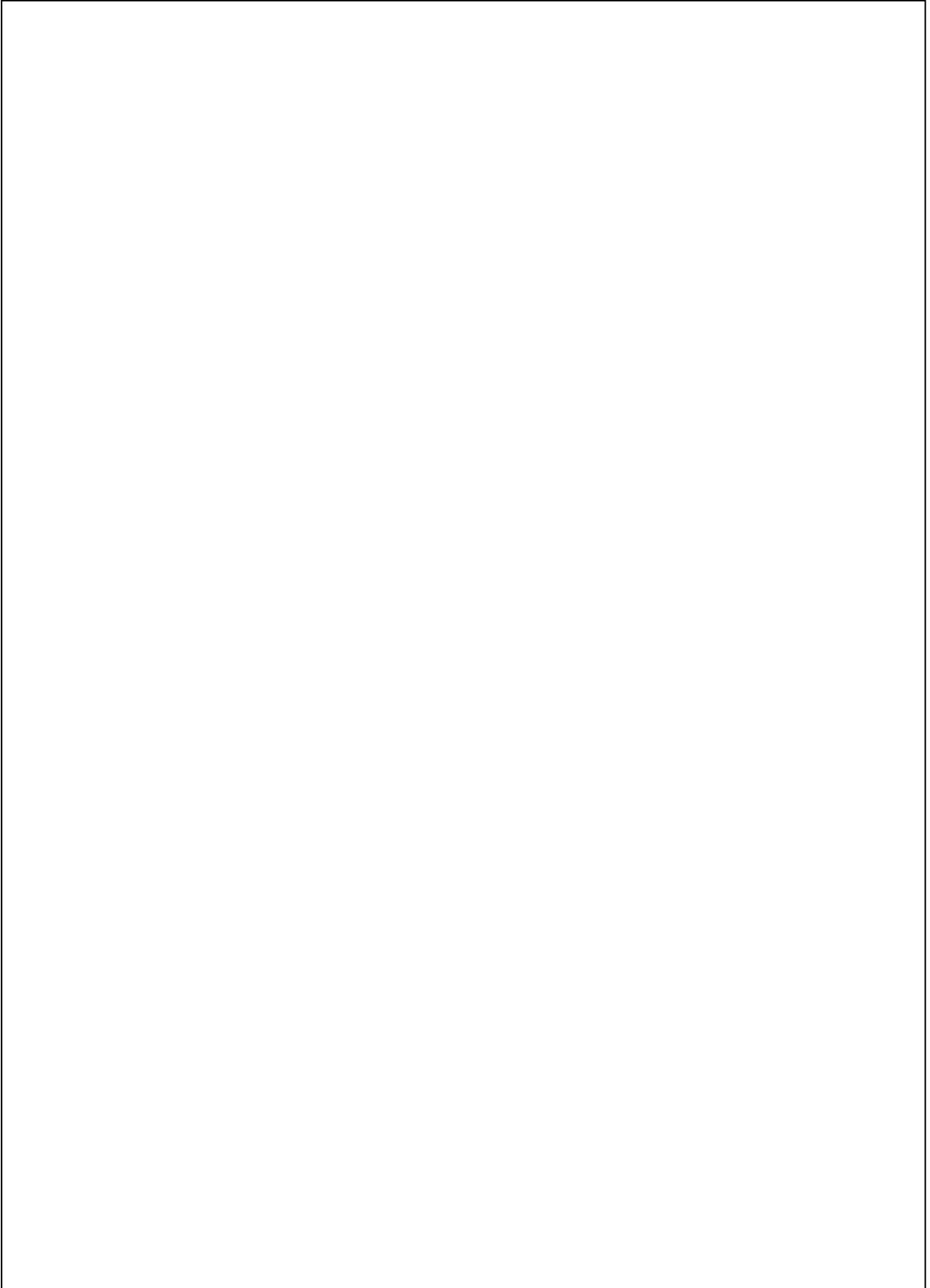


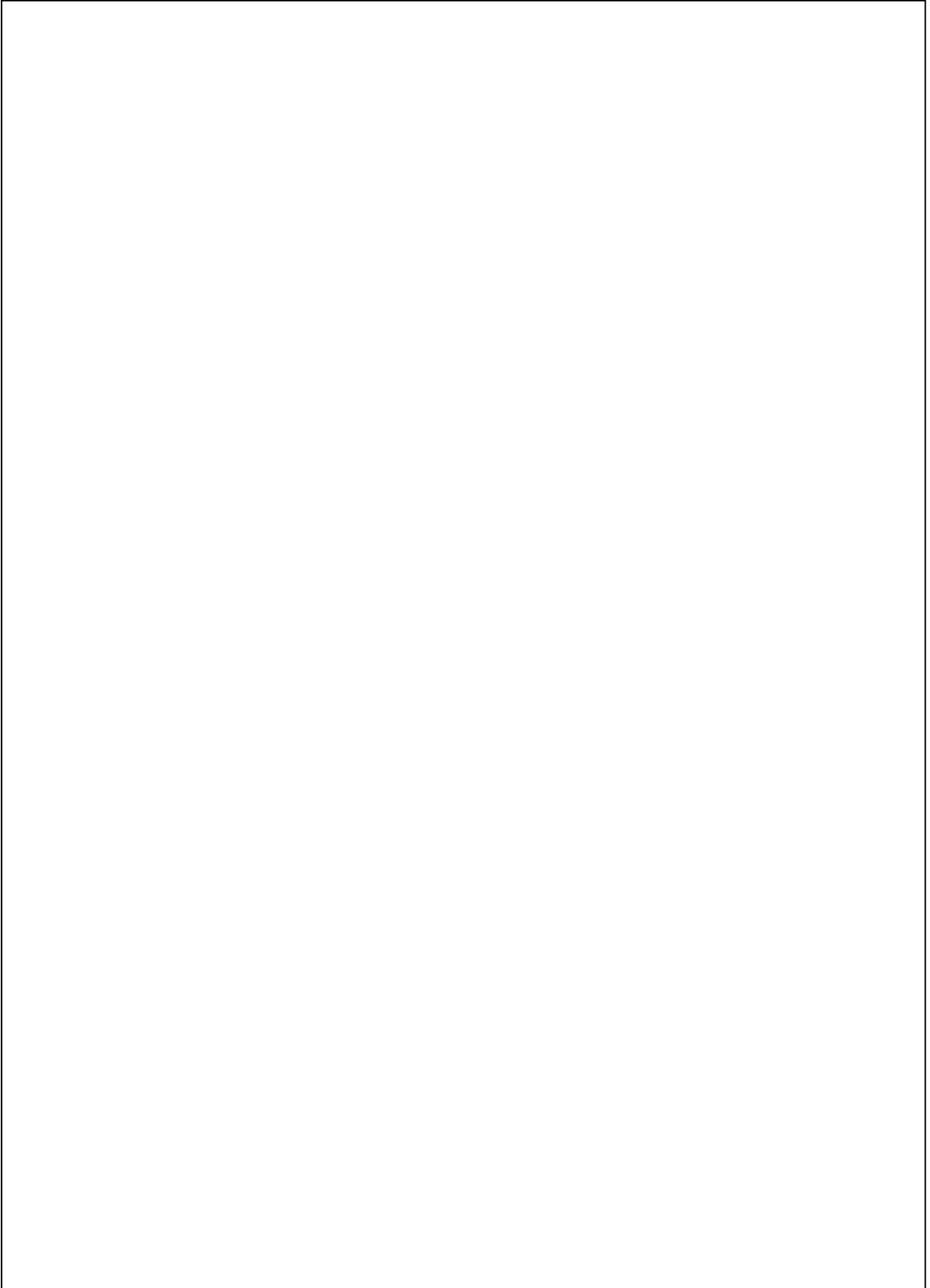


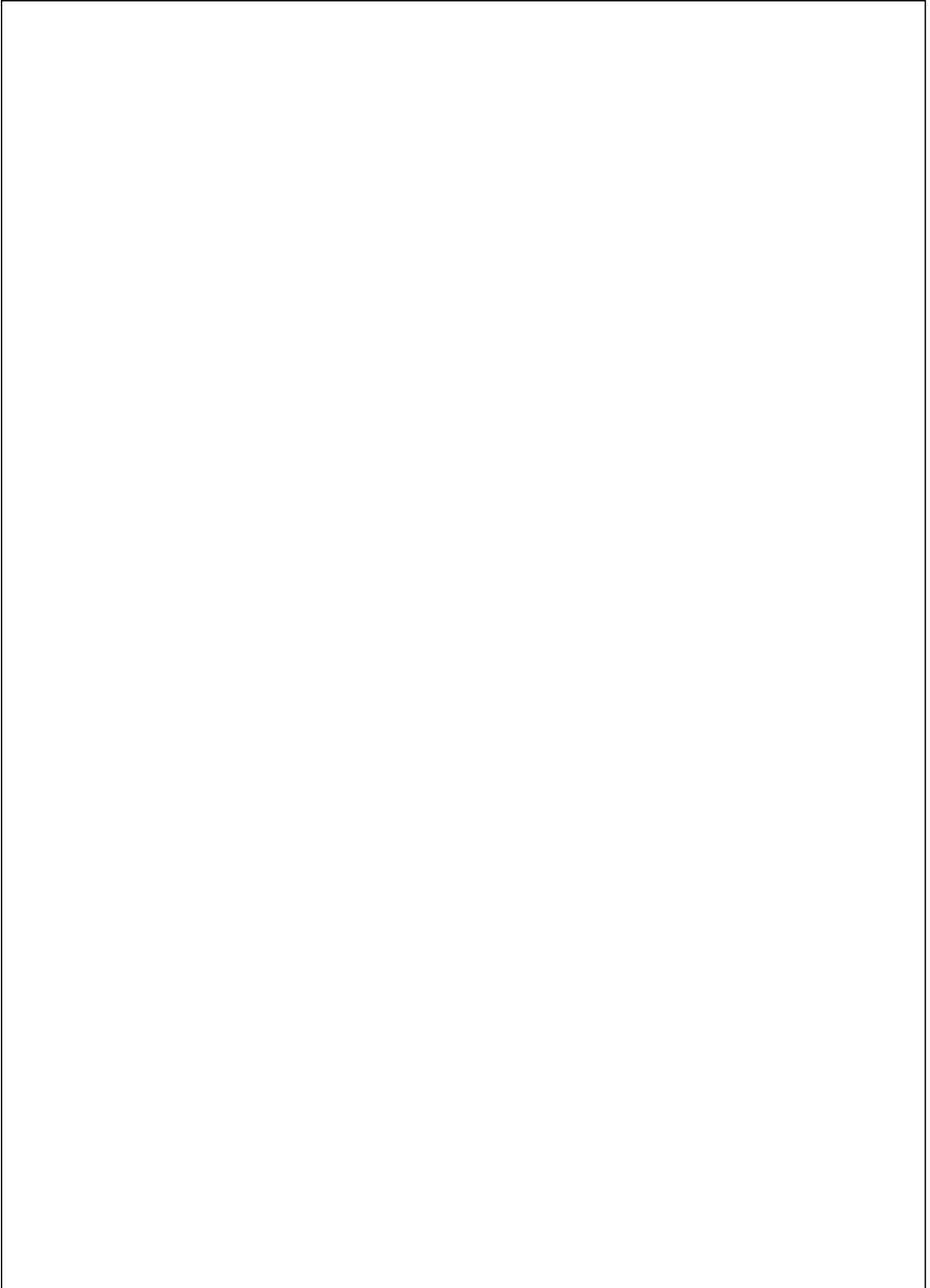


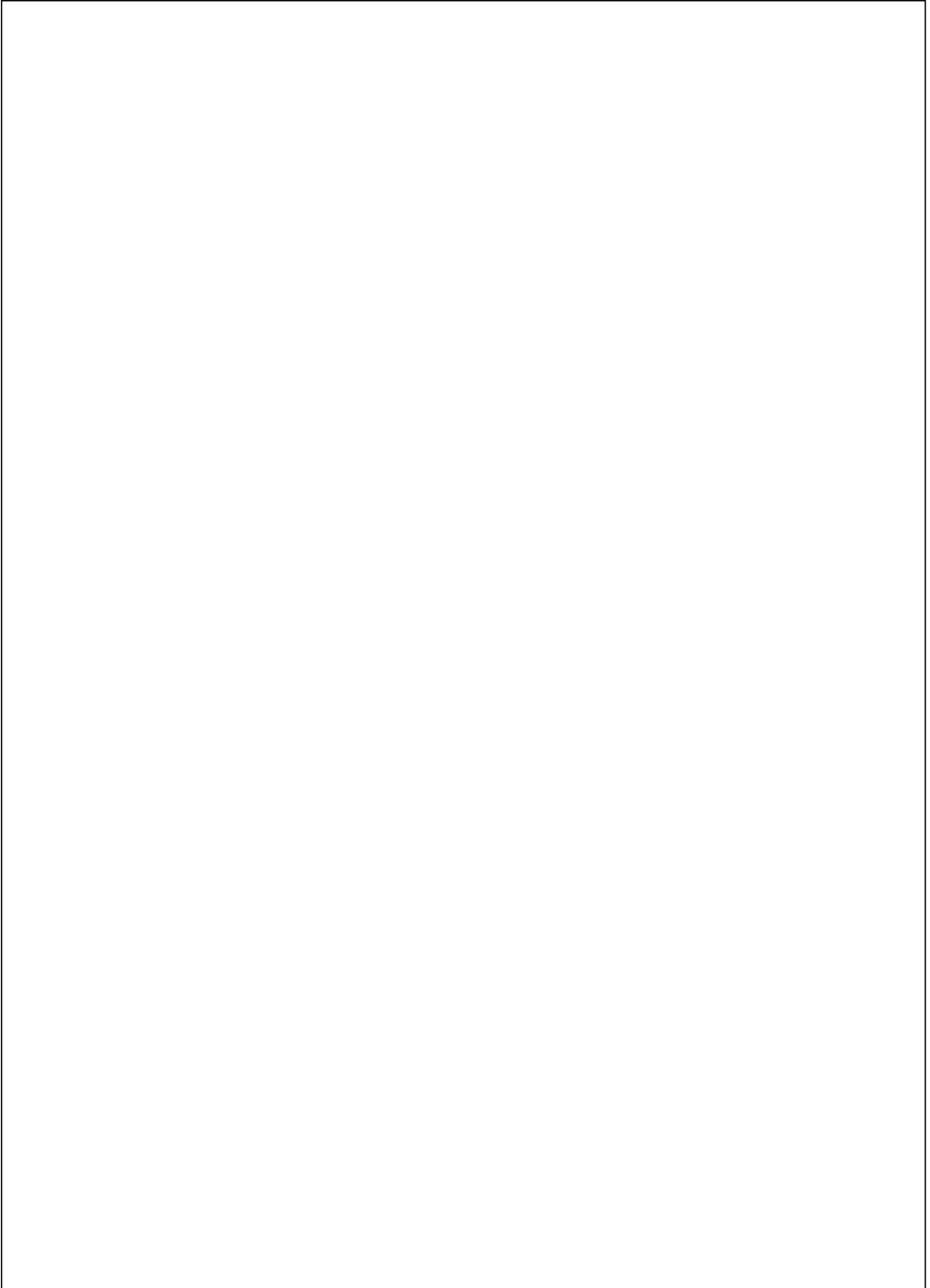


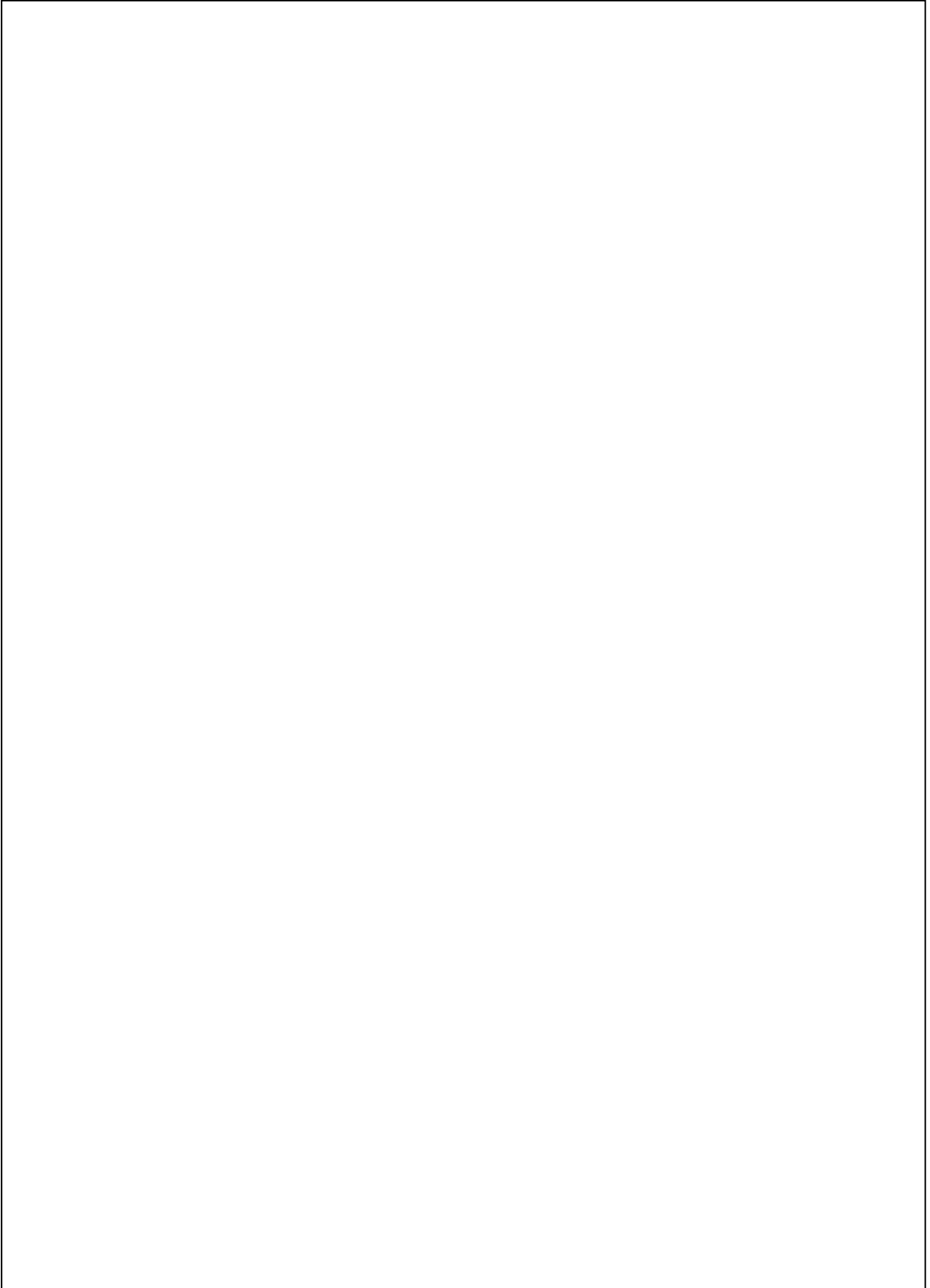












ロ 章 核燃料輸送物の安全解析

ロ章 核燃料輸送物の安全解析

本輸送物に関する安全解析は、本輸送物が「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年12月28日付、総理府令第57号）」（以下「規則」という）及び告示に基づいてA型核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合することを示すために行った。

本解析の概要は以下のとおりである。

また、評価は解析及び試験によって実施した。

1. 構造解析

構造解析では、通常輸送時において輸送物のき裂、破損等の生じないことを確認している。

本輸送物はA型核分裂性輸送物であるため、後述の「2. 熱解析」及び「5. 臨界解析」の評価条件を得ることを含め、A型輸送物に係る一般の試験条件、並びに核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件における輸送物の状態及び健全性について評価している。

2. 熱解析

熱解析では、構造解析の評価結果に基づいて、通常輸送時及び特別の試験条件における輸送物各部の温度及び圧力を評価し、構造解析の評価条件を与えている。

通常輸送時については、輸送物各部の最高温度が、許容温度を下回ることを確認している。

また、特別の試験条件については、特別形核燃料物質等に係る加熱試験と本質的に同等の条件であることを確認し、加熱試験結果を引用することで輸送物の健全性を評価している。

3. 密封解析

本輸送物の密封境界を構成する特別形カプセルの密封性能は、特別形核燃料物質等に係る試験によって確認している。詳細は、イ章D. 2 (3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」を参照のこと。

4. 遮蔽解析

遮蔽解析では、構造解析の評価結果に基づいて、通常輸送時及び一般の試験条件における輸送物表面及び表面から 1m 離れた位置の線量当量率を評価し、基準値を満足することを示している。

5. 臨界解析

臨界解析では、構造解析の評価結果に基づいて、通常輸送時、孤立系並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件に置かれた輸送物の孤立系及び配列系の各状態のいずれの場合にも未臨界であることを示している。

6. 規則及び告示に対する適合性の評価

以上の結果及びイ章の核燃料輸送物の説明により、本輸送物の設計が規則及び告示に定める技術基準に適合していることを示している。

以下、ロ章A～Fに各解析、評価の詳細を示す。

口章A 構 造 解 析

A 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

本輸送物の全体図は、(イ)－第C.1図に示すとおりである。

本輸送物の主な機能は、オーバーパックによる衝撃吸収機能、円筒容器による未臨界維持機能、並びに高密度ポリエチレンによる中性子遮蔽機能である。

一般の試験条件及び特別の試験条件における落下衝撃を緩和するために、オーバーパック内にファープライウッド及びケーンファイバー材製の敷材を装荷する。

オーステナイト系ステンレス鋼製の円筒容器には、中性子遮蔽材に覆われた特別形カプセルが収納される。一般の試験条件及び特別の試験条件において、円筒容器が破損した場合にも、本輸送物の未臨界性は、特別形カプセルによって維持する。

高密度ポリエチレン製の中性子遮蔽材は、中性子を遮蔽する役割を果たすと共に、特別形カプセルへの衝撃や振動を抑制する。

本輸送物に用いられる材料は、脆性破壊に対して問題とならない。オーバーパックに用いられる炭素鋼は薄肉部材（板厚約 0.055inch(1.40mm)）であり、低温条件下で脆性破壊は生じない。また、円筒容器や蓋ボルトはオーステナイト系ステンレス鋼製であり、脆性破壊を生じない。

本輸送物は、通常1回輸送されると恒久的に貯蔵されるため、蓋ボルト等に対する疲労評価は必要ない。

中性子遮蔽材空間部内に格納される特別形カプセルは密封境界を構成しており、一般の試験条件及び特別の試験条件において特別形カプセル内部の圧力に耐えられる構造になっている。

A.1.2 設計基準

本輸送容器は、以下に示す設計基準に従う。

1. 設計の基本

設計の基本としては、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年12月28日付、総理府令第57号）」（以下「規則」と呼ぶ）及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成2年11月28日付、科学技術庁告示第5号）」（以下「告示」と呼ぶ）に基づいて以下の条件等を考慮した。

(1) A型輸送物に係る基準

(a) 通常輸送時

- (イ) 容易に、かつ、安全に取扱うことができること。
- (ロ) 運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- (ハ) 表面に不要な突起物がなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること。
- (ニ) 材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれがないこと。
- (ホ) 弁が誤って操作されないような措置が講じられていること。
- (ヘ) 表面の放射性物質の密度が下記を超えないこと。
 - α 線を放出する放射性物質 : 0.4Bq/cm²
 - α 線を放出しない放射性物質 : 4 Bq/cm²
- (ト) 外接する直方体の各辺が10cm以上であること。
- (チ) みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールのはり付け等の措置が講じられていること。
- (リ) 構成部品は、-40℃～70℃までの温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。ただし、運搬中に予想される温度の範囲が特定できる場合は、この限りでない。
- (ヌ) 周囲の圧力を60kPaとした場合に、放射性物質の漏えいがないこと。
- (ル) 表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと。
- (レ) 表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと。

(7) 核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品（核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのないものに限る。）以外のものが収納されていないこと。

(b) 一般の試験条件

下記(ρ)項の試験条件の下に置くこととした場合に、(イ)項の要件に適合すること。

(イ) 要件

(i) 放射性物質の漏えいがないこと。

(ii) 表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、2mSv/h を超えないこと。

(ρ) 試験条件

(i) 50mm/h の雨量に相当する水を1時間吹き付けること。

(ii) (i)の条件の下に置いた後、次の条件の下に置くこと。

① 1.2m 高さから、最大の破損を及ぼすように落下させること。

② その重量の5倍に相当する荷重又は鉛直投影面積に13kPaを乗じて得た値に相当する荷重のうち、いずれか大きいものを24時間加えること。

③ その重量が、100kg 以下のファイバー板製の円筒形のものにあつては、両縁の四半分ごとに対して最大の破損を及ぼすように、それぞれ0.3mの高さから落下させること。

④ 重量が6kgであり、直径が3.2cmの容易に破損しない棒であつて、その先端が半球形のを1mの高さから当該核燃料輸送物の最も弱い部分に落下させること。

(2) 核分裂性輸送物に係る基準

(a) 通常輸送時

(イ) 孤立系^{※1}で臨界に達しないこと。

(ロ) -40℃～38℃までの周囲の温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。ただし、運搬中に予想される最も低い温度の範囲が特定できる場合は、この限りではない。

※1 下記に示す条件を考慮する

①輸送物中の空間を水で満たすこと。

②収納される核燃料物質等は中性子増倍率が最大となる配置及び減速状態とすること。

③密封装置の周囲に厚さ 20cm の水の反射を考慮すること。

(b) 一般の試験条件

(イ) 要件

以下の(ロ)項の試験条件下に置くこととした場合に、(イ)項の(i)及び(ii)の要件に適合すること。また、(ロ)項の試験条件下に置いた輸送物が(イ)項の(iii)及び(iv)の要件に適合すること。

(i) 容器の構造部に一辺 10cm の立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。

(ii) 外接する直方体の各辺が 10cm 以上であること。

(iii) 孤立系^{※1}の条件で臨界に達しないこと。

(iv) 配列系^{※2}の条件の下で、かつ、当該核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率になるような状態で、当該核分裂性輸送物の輸送制限個数の 5 倍に相当する個数積載することとした場合に臨界に達しないこと。

※2 任意に配列した核分裂性輸送物の周囲に置かれた厚さ 20cm の水による中性子の反射を考慮する。

(ロ) 試験条件

(i) 50mm/h の雨量に相当する水を 1 時間吹き付けること。

(ii) 1.2m 高さから、最大の破損を及ぼすように落下させること。

(iii) その重量の 5 倍に相当する荷重又は鉛直投影面積に 13kPa を乗じて得た値に相当する荷重のうち、いずれか大きいものを 24 時間加えること。

(iv) 重量が 6kg であり、直径が 3.2cm の容易に破損しない棒であって、その先端が半球形のを 1m の高さから当該核燃料輸送物の最も弱い部分に落下させること。

(c) 特別の試験条件

(イ) 要件

以下の(ロ)項の条件下に置いた輸送物が下記の要件に適合すること。

- (i) 孤立系^{*1}の条件で臨界に達しないこと。
- (ii) 配列系^{*2}の条件で、かつ、当該核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率になるような状態で、輸送制限個数の2倍に相当する個数を積載することとした場合に臨界に達しないこと。

(ロ) 試験条件

- (i) 上記(b)(ロ)の一般の試験条件の後、9m高さから落下させること。ただし、その重量が500kg以下、かつ、比重が1以下のものにあつては、これに代えて、重量が500kg、縦及び横の長さが1mの軟鋼板を9mの高さから当該核燃料輸送物が最大破損を受けるように水平に落下させること。
- (ii) (i)の後、垂直に固定した直径が15cmであり、長さが20cmの軟鋼丸棒であつて、その上面が滑らかな水平面であるものに1mの高さから落下させること。
- (iii) (ii)の後、摂氏38℃の環境に表面温度が一定になるまで置いた後、摂氏800℃の環境に30分間置くこと。この場合において、太陽放射熱を負荷しつつ、設計上最大となる内部発熱があるという条件とすること。また、摂氏38℃の条件下で太陽放射熱及び設計上最大となる内部発熱を負荷しつつ冷却する。ただし、人為的に冷却はしない。
- (iv) (iii)の後、深さ0.9mの水中に8時間浸漬させること。
- (v) 上記(i)～(iv)の試験条件とは別に、上記(b)(ロ)の一般の試験条件後、深さ15mの水中に8時間浸漬させる場合についても考慮し、最大の破損を受けるいずれかの条件の下に置くこと。

2. 解析基準値

構造解析において用いる応力評価基準を(ロ)－第A.1表に示す。

(ロ)－第A. 1表 構造解析に用いる応力評価基準

解析項目	条 件	負荷条件	評価の基準
吊上装置	通常輸送時	・自重	該当なし
円筒容器 ボルト部	一般の試験条件	・内圧力	該当なし
	特別の試験条件	・衝撃荷重 ・熱荷重	$\varepsilon < \varepsilon_r$
密封境界	一般の試験条件	・内圧力 ・外圧力	$P_m \leq S_m$ $P_L \leq 1.5 S_m$ $P_L + P_b \leq 1.5 S_m$
	特別の試験条件	・衝撃荷重 ・熱荷重	$P_m \leq 2/3 S_u$ 注2) $P_L \leq S_u$ 注3) $P_L + P_b \leq S_u$ 注3)

注1) P_m : 一次一般膜応力 P_L : 局部膜応力 P_b : 曲げ応力

S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ

S_m : 設計応力強さ = M I N $(\frac{2}{3} S_y, \frac{1}{3} S_u)$

ε : 解析ひずみ

ε_r : 破断ひずみ

注2) オーステナイト系ステンレス鋼に対しては、 $2.4 S_m$ との小さい方

注3) オーステナイト系ステンレス鋼に対しては、 $3.6 S_m$ との小さい方

3. 余裕率

数式を適用することにより、定量的に求めた結果については、次に示す余裕率MSを用いて評価する。

$$MS = \frac{\text{解析基準値}}{\text{解析結果}} - 1$$

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準値等を記述する。以上に述べた設計基準に従い、構造解析の条件、解析項目及び解析手法をまとめて(ロ)－第A. 2表に示す。

(ロ) - 第A. 2表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1 / 4)

要件	解析項目及びその詳細	設 計 条 件						解 析 方 法		備 考
		参 照 図 表	材 質	温 度	設 計 負 荷			適 用 数 式 又 は 素 要	解 析 基 準	
					種 類	負 荷 係 数	要 素			
A 常 型 の 輸 送 物 件	化学的及び電氣的反応	(ロ) - 第A. 5表	表による	-	反 応	-	活 性	反応の有無	-	
	1) 化学的反應									
	2) 電氣的反應	(ロ) - 第A. 5表	表による	-	反 応	-	電 位 差	反応の有無	-	
	低 温 強 度	(ロ) - 第A. 6表	表による	-	材 質	-	き裂・破損	-40℃でのき裂・破損の有無	-	
	1) 構成部品									
	2) 低温時の強度	(ロ) - 第A. 6表	表による	-	材 質	-	脆性破壊	-40℃での脆化の有無	-	
	密 封 装 置	(イ) - 第D. 2図	-	-	誤操作による開放	-	誤操作の有無	円筒容器に覆われての誤操作の有無	-	
	1) 特別形カプセル									
	吊 上 装 置	-	-	-	-	-	-	-	-	
	・該当なし									
固 縛 装 置	-	-	-	-	-	-	-	-		
・該当なし										
圧 力	-	-	-	周囲圧力の降下	-	圧 力	一般の試験条件の熱的試験にて評価	S _m		
振 動	(ロ) - 第A. 3図	-	-	振動による力	-	振 動	試験結果を用いて評価	破損の有無		

(ロ) - 第A. 2表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (2 / 4)

要件	条件	解析項目及びその詳細	設 計 条 件					解 析 方 法		備 考	
			参 照 図 表	材 質	温 度	設 計 負 荷			適 用 数 式 又 は 素 要		解 析 基 準
						種 類	負荷係数	要 素			
A 一般型の輸送物件	熱 的 試 験	1) 特別形カプセル本体	—	SUS304L	180°F (82.2°C)	内圧	1	曲 げ	$\sigma_a = P \cdot D / (2t)$	S _m	
		2) 特別形カプセル蓋	—	SUS304L	180°F (82.2°C)	内圧	1	曲 げ	$\sigma_{max} = 1.24 p \cdot a^2 / h^2$	S _m	
		3) 特別形カプセル底板	—	SUS304L	180°F (82.2°C)	内圧	1	曲 げ	$\sigma_{max} = 0.750 p \cdot a^2 / h^2$	S _m	
	水 噴 霧	—	—	—	水噴霧	—	—	試験結果を用いて評価	内部への水の漏えい、損傷の有無		
	自 由 落 下	(ロ) - 第A. 5図	—	—	1.2m 落下衝突	1	—	試験結果を用いて評価	有意な変形量の有無		
	1) コーナー落下		—	—	1.2m 落下衝突	1	—	試験結果を用いて評価	有意な変形量の有無		
	2) 水平落下	(ロ) - 第A. 7図	—	—	1.2m 落下衝突	1	—	試験結果を用いて評価	有意な変形量の有無		
積 み 重 ね	—	—	—	輸送物重量の5倍以上	1	—	試験結果を用いて評価	有意な変形量の有無			
貫 通	—	—	—	1m 落下衝突	1	—	試験結果を用いて評価	貫通の有無			

(ロ) - 第A. 2表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (3 / 4)

6-V-ロ

要件	条件	解析項目及びその詳細	設 計 条 件					解 析 方 法		備 考	
			参 照 図 表	材 質	温 度	設 計 負 荷			適 用 数 式 又 は 素 要		解 析 基 準
						種 類	負 荷 係 数	要 素			
核 分 裂 の 性 試 輸 送 物 件	一般	水 噴 霧	}	A型輸送物の一般の試験条件に対する解析結果を引用して評価							
		自由落下									
		積み重ね									
		貫通									

(ロ) - 第A. 2表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (4 / 4)

要件	条件	解析項目及びその詳細	設 計 条 件					解 析 方 法		備 考		
			参 照 図 表	材 質	温 度	設 計 負 荷			適 用 数 式 又 は 要 素		解 析 基 準	
						種 類	負荷係数	要 素				
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件	特 別 の 性 試 験	落 下 試 験 III	—	—	180F (82. 2°C)	動的圧潰	1	圧潰	LS-DYNAによる解析	中性子遮蔽材空間部と特別形カプセルとの隙間量の有無		
		円筒容器及び特別形カプセル										
	特別の性試験	落 下 試 験 II	—	SUS304L	180F (82. 2°C)	1m 落下衝突	1	—	垂直落下評価を包絡する特別形核燃料物質等に係る試験	試験後の密封健全性		
		1) 垂直落下 特別形カプセル蓋部及び底部										
	輸送条件	輸 験	熱 的 試 験	—	—	—	内圧、熱膨張	1	ひずみ	熱的試験と等価とみなせる特別形核燃料物質等に係る試験	試験後の密封健全性	
			特別形カプセル									
輸送条件	輸 送 条 件	1 5 m 浸 漬	—	SUS304L	180F (82. 2°C)	外圧	1	圧 力	$P_a = 1.5 \left(\frac{2.167t}{D_0} - 0.0833 \right) B$	P a		
		1) 特別形カプセル本体										
		2) 特別形カプセル底板										
		3) 特別形カプセル蓋	—	SUS304L	180F (82. 2°C)	外圧	1	曲 げ	$\sigma_b = \frac{3(3+\nu)P \cdot a^2}{8t^2}$	3.6 S _m		

A. 2 重量及び重心

輸送物の重量は、イ章C. 5に記載したとおり 480lb (218kg) 以下である。また、輸送物は対称形状であるため、重心は輸送物の幾何学的中心とほぼ一致する。

A. 3 材料の機械的性質

解析に用いる材料の機械的性質を(ロ)－第A. 3表及び(ロ)－第A. 4表に示す。高密度ポリエチレンの温度に対する機械的性質の変化を(ロ)－第A. 1図に示す。

なお、収納物である中性子線源の放射能強度は十分小さいため、中性子の照射が材料の機械的特性に及ぼす影響については考慮しない。

A. 4 輸送物の要件

A. 4. 1 化学的及び電氣的反応

輸送物構成部品及び輸送容器と収納物の中で接触する異種材料の一覧を(ロ)－第A. 5表に示す。

本輸送物に使用される材料は、全て化学的腐食やガルバニック腐食に対して耐性を有しており、通常輸送時に有害な化学的及び電氣的反応を生じることはない。また、本輸送物に使用される材料は、A型輸送物の材料として長年の実績を有している。

A. 4. 1. 1 高密度ポリエチレン

高密度ポリエチレンは、 CH_2 単量体が鎖状に連結した熱可塑性プラスチックであり、塩化物イオン等の腐食性のある成分を含まない。また、熱可塑性であるため、大きな化学変化を伴うことなく溶解する。したがって、固体又は溶解した高密度ポリエチレンが、特別形カプセルの材料であるオーステナイト系ステンレス鋼を腐食することはない。

火災にさらされた場合に生じる燃焼生成物は、主に一酸化炭素又は二酸化炭素である。火災中の煙には微量のアルデヒド、ケトン、有機酸又は炭化水素が含まれる場合もあるが、これらは通常オーステナイト系ステンレス鋼を腐食しない。さらに特別の試験条件において想定する火災時間は限られており、高密度ポリエチレンの燃焼生成物が特別形カプセルの材料であるオーステナイト系ステンレス鋼と有害な化学的及び電氣的反応を生じることはない。

A. 4. 1. 2 特別形カプセル及び中性子線源

本項では、特別形カプセルと中性子線源との相互作用により、本輸送物に有害な化学的及び電気的反応が生じないことを示す。

(1) の共晶反応について

特別形カプセルの材料は 304 型のオーステナイト系ステンレス鋼である。B. 5. 3 に示すとおり、特別の試験条件において、特別形カプセルの温度は比較的短い時間で 1475F (802°C) に到達する可能性がある。



上式より、オーステナイト系ステンレス鋼の鋼板が減少する速度は、800°Cにおいて $0.088 \mu\text{m/s}$ ($3.465 \times 10^{-6} \text{inch/s}$) となる。上述の通り、共晶は °C以上で生成を開始するが、ここでは保守側に火災時間 30 分間に加えて、鎮火後の 1 時間を考慮した合計 5400 秒間に共晶が生成されるものとする、によって減少するオーステナイト系ステンレス鋼の板厚は、0.019inch (0.48mm) となる。

特別形カプセル本体の板厚が であることから、減少する厚さは特別形カプセル本体の板厚の約 となる。なお、によって、特別形カプセル本体の板厚が貫通されるまでに必要な時間は、以下のようになる。

$$t_{\text{soak}} = \frac{\text{}}{\text{}} = 135354 \text{ 秒 (37.6 時間)}$$

ただし、

t_{soak} : 特別形カプセル本体の板厚が貫通されるまでの時間 (秒)

この時間は、本輸送物が火災に暴露される時間に対して十分長い。

以上より、によって、特別形カプセルの健全性が損なわれることはない。

(2) []の燃焼について

乾燥空気中の []の発火温度は [] $^{\circ}\text{C}^{2)}$ である。中性子線源が収納される特別形カプセル本体内部の温度は、火災時には上記温度を上回り、 []が発火することが想定される。発火による生成物は []のみであり、 []は生成されない。特別形カプセルの内法長さが []、内径が []であることから、内容積Vは以下のように計算される。

$$V = [] \cdot [] = 30.79\text{inch}^3 \quad (504.5\text{cm}^3)$$

1molの空気は、標準状態において22.4ℓ (22400 cm^3)の体積となることから、特別形カプセル内部には0.0225molの空気が存在することになる。さらに酸素は空気の約21%を占めることから、特別形カプセル内に存在する酸素は約0.0047molである。火災時に生成される []は、上述の通り []のみであることから、この酸素を全て消費するために必要な []は []となる。 []の重量は [] (g/mol) であることから、火災時に生成される []の量は微量であり、本輸送物の健全性に影響を及ぼすことはない。

(ロ)－第A. 3表 高密度ポリエチレンの機械的性質 [設計温度：180ℱ (82.2℃)]

特 性	高密度ポリエチレン
縦弾性係数 psi (MPa)	25,900 (179)
真降伏応力 psi (MPa)	500 (3.45)
ポアソン比 —	0.46
密度 lb/in ³ (kg/mm ³)	0.035 (0.969×10 ⁻⁶)
接線係数 psi (MPa)	15.5 (0.107)

(ロ)－第A. 4表 オーステナイト系ステンレス鋼及び炭素鋼の機械的性質 [設計温度：180ℱ (82.2℃)]

特 性	オーステナイト系 ステンレス鋼 304L	炭素鋼 A36
縦弾性係数 ^{注1)} psi (MPa)	27.6×10 ⁶ (1.90×10 ⁵)	28.9×10 ⁶ (1.99×10 ⁵)
公称破断応力 ^{注2)} psi (MPa)	66.9×10 ³ (461)	58.0×10 ³ (400)
公称降伏応力 ^{注3)} psi (MPa)	21.9×10 ³ (151)	33.3×10 ³ (230)
伸び ^{注4)} —	0.40	0.23
ポアソン比 ^{注5)} —	0.31	0.30
密度 ^{注5)} lb/in ³ (kg/mm ³)	0.290 (8.03×10 ⁻⁶)	0.280 (7.75×10 ⁻⁶)

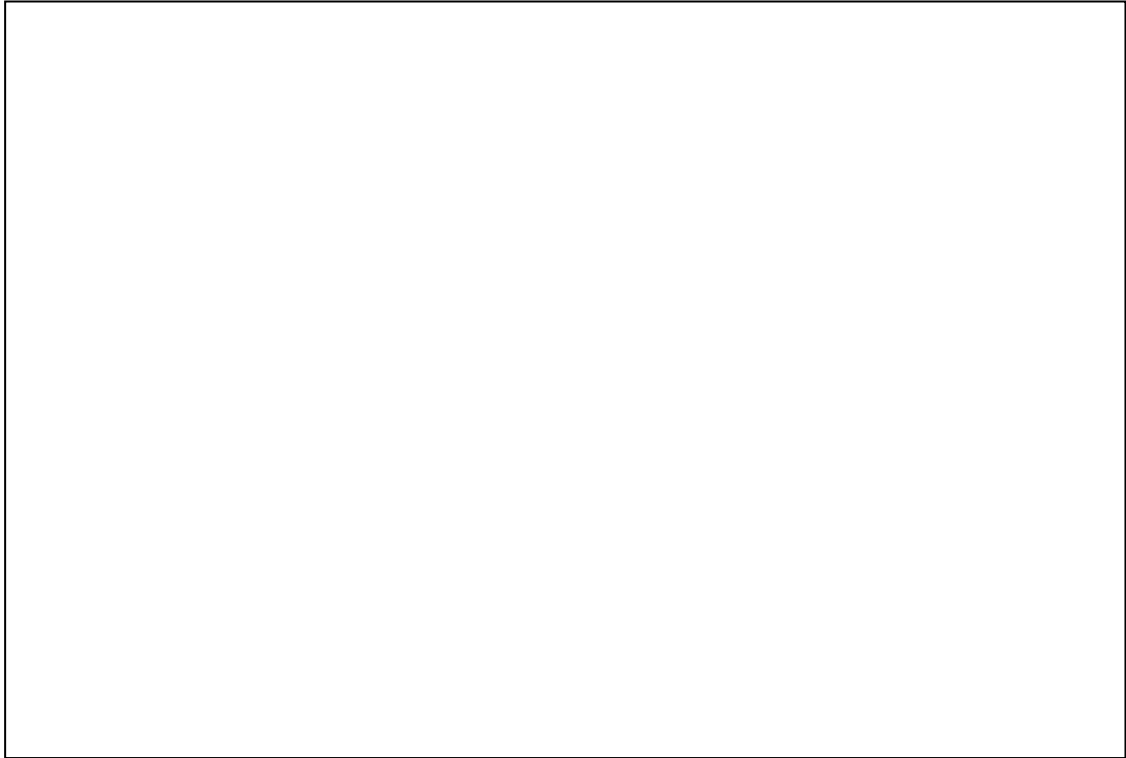
注1) ASME B&PV Code、section II partD、表 TM-1、材料群 G 及び炭素鋼 (C[0.30%])。70ℱ 及び 200ℱ に対する値を用いた線形内挿による。

注2) ASME B&PV Code、section II、part D、表 U. 100ℱ 及び 200ℱ に対する値を用いた線形内挿による。

注3) ASME B&PV Code、section II、part D、表 Y-1. 150ℱ 及び 200ℱ に対する値を用いた線形内挿による。

注4) ASME B&PV Code、section II、part A.

注5) ASME B&PV Code、section II、part D 表 PR.



(ロ)－第A. 1 (a)図 高密度ポリエチレンの温度に対する降伏応力の変化



(ロ)－第A. 1 (b)図 高密度ポリエチレンの温度に対する縦弾性係数の変化

(ロ)－第A. 5表 接触する異種材料の一覧表

接 触 す る 異 種 材 料 の 一 覧 表					
材 質	部 品		材 質	部 品	
		接 触 境 界 面	}		
			}	オーステナイト系 ステンレス鋼	特別形カプセル
高密度ポリエチレン	中性子遮蔽材				
高密度ポリエチレン	中性子遮蔽材		}	オーステナイト系 ステンレス鋼	円筒容器
ケーンファイバー材	} 敷材				
ファープライウッド					
ケーンファイバー材	} 敷材		}	高密度ポリエチレン	ライナー
ファープライウッド					
高密度ポリエチレン	ライナー		}	炭素鋼	17Cドラム缶
炭素鋼	締め付けリング				

A. 4. 2 低温強度

本輸送物は周囲温度 -40°C 以上で使用する。

1. 構成部品の低温特性

イ章C. 3に示す本輸送容器の使用材料の低温特性を(ロ)－第A. 6表に示す。同表より明らかなように、規則に規定される最低温度 -40°C において構成部品はき裂、破損等の生じるおそれはない。

(ロ)－第A. 6表 輸送容器使用材料の -40°C における低温特性評価

輸送容器の部品	材 質	評 価	引用、文献、資料
円筒容器 特別形カプセル	オーステナイト系 ステンレス鋼 (SUS304L)	-40°C において使用可能	JIS B 8265 ^{1 1)}
17Cドラム缶	炭素鋼	-40°C で強度低下なし	文献 ^{1 3)}
敷材	ケーンファイバー材	-40°C で強度低下なし	木材工業ハンドブック ^{1 2)}
	ファープライウッド	-40°C で強度低下なし	木材工業ハンドブック ^{1 2)}
中性子遮蔽材	高密度ポリエチレン	-40°C において使用可能	高分子劣化・長寿命化 ハンドブック ⁸⁾
ゴムOリング	エチレン プロピレンゴム	-40°C でき裂、破損なし	複合材料技術集成 ⁹⁾

2. 低温時の強度

密封境界を構成する特別形カプセル本体材料のオーステナイト系ステンレス鋼は、低温脆化のない材料であるので、低温での機械的性質が低下することはない。したがって、一般及び特別の試験条件において、輸送物は低温になっても強度等の機械的性能が低下又は損なわれることはない。

A. 4. 3 密封装置

本輸送物の密封性は、特別形カプセルによって維持する。一度中性子線源が特別形カプセル内に収納されると、蓋に取り付けられている柄をせん断することにより封印するため、不用意に開けられることはない。

さらに特別形カプセルは円筒容器に収納されており、円筒容器の蓋は 12 本のボルトを用いて締め付けられている。このボルトは、輸送時にオーバーパックで覆われているため、不用意に触れることはできない。

以上より、中性子線源が不用意に特別形カプセルから取り出されることはない。

A. 4. 4 吊上装置

本輸送物は吊上装置を設けていないため、評価を省略する。

A. 4. 5 固縛装置

本輸送物は固縛装置を設けていないため、評価を省略する。

A. 4. 6 圧 力

外気圧が 60kPa まで急低下した場合に、本輸送物が構造健全性を維持し、放射性物質の漏えいがないことを確認する。

輸送容器は密封性を有していないため、外気圧低下に伴う影響はない。

特別形カプセル内の圧力は、B. 4. 4 において 0.0216MPaG と求められる。

外気圧が 60kPa まで降下したとき、密封境界を有する特別形カプセルには、

$$(21.6 + 101.3) - 60 = 62.9 \text{ kPa}$$

の内圧が作用することになる。

この時の応力評価については、A. 5. 1. 3 「応力計算」において解析し、その健全性を確認しているため、本項での解析は省略する。

A. 4. 7 振 動

通常輸送時における振動の影響については、17Cドラム缶に対して実施された振動試験¹⁴⁾、並びに本輸送物の原型容器3基による試験によって評価する。

A. 4. 7. 1 17Cドラム缶 振動試験

Title 49, Code of Federal Regulations (49CFR) , Part 178.608⁴⁾にて規定される条件下で、17Cドラム缶に対して実施された振動試験結果を(ロ)－第A. 2図に示す。

9001b (408kg) 及び 10001b (454kg) の重量を有する17Cドラム缶に対して振動試験を実施した結果、通常輸送時の振動が17Cドラム缶に及ぼす影響はわずかであり、17Cドラム缶の健全性が損なわれることはないことが確認された。

Specific packaging	No. tested	Weight (lb)	Contents	Results	Comments
Packagings for docket in this category that are pre-HM-181 are considered to be acceptable based on evaluation and/or by comparison with similar packagings.					
DOT-17C (UN1A2) (55-gal)	2	1,000	Sand and lead bricks	2 pass	Drums were observed for leakage at filter location, ring and bolt location, and bottom of drum; nothing was detected.
	1	900	Flour/fluorescein sand, lead bricks	1 pass	Drums were observed for leakage at filter location, ring and bolt location, and bottom of drum; nothing was detected.

DOE/RL-96-57 REV 0

(ロ)－第A. 2図 17Cドラム缶振動試験結果

A. 4. 7. 2 S300型輸送物原型容器 振動試験

1. 試験条件

振動試験に用いた試験体は、本輸送物の原型容器3基であり、設計及び製造は規格どおりに実行した。収納物である特別形カプセルを模擬するため、棒鋼を円筒容器内に収納した。試験体のシリアル番号及び重量を(ロ)－第A. 7表に示す。

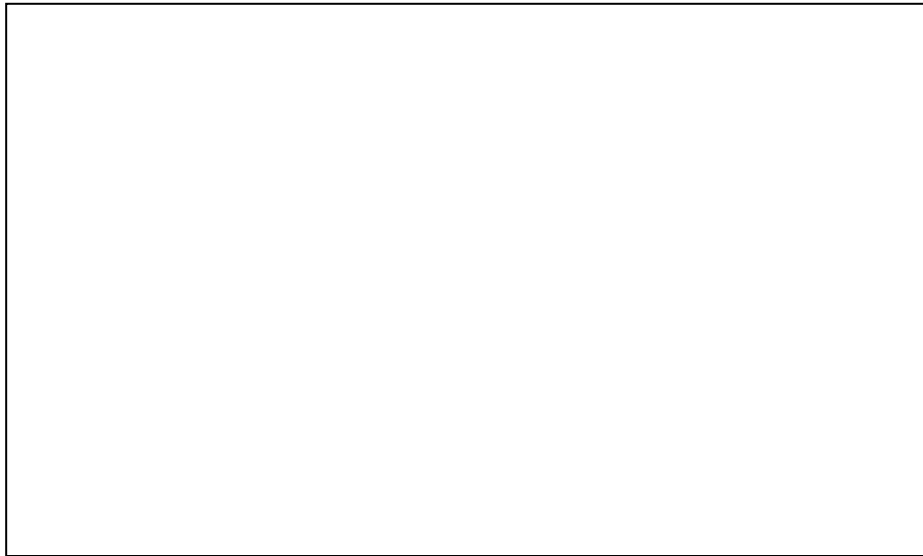
振動試験装置外観を(ロ)－第A. 3図に示す。各試験体は振動台上に設置され、正弦波形の振動を与えた。このときの最大振幅は1inch (25.4mm)であった。試験中に試験体が振動台から落下するのを防止するため、振動台端部に障壁が設けられたが、これを除いて供試体を拘束するものは試験装置に設置しない。1時間の試験の間、1/16inch (1.59mm)の板厚を有する鋼鉄製の帯板を輸送物の底部と試験台との間に通せるような状態で各輸送物を振動させた。

(ロ)－第A. 7表 S300型輸送物原型容器 振動試験 試験体重量

試験体番号	重量 1b (kg)
1T	444 (201)
2T	448 (203)
3T	448 (203)

2. 試験結果

試験後、輸送物の外観検査が実施され、17Cドラム缶、ライナー、中性子遮蔽材及び円筒容器に有意な変形がないことを確認した。また、敷材が17Cドラム缶内で摩耗したことにより、わずかな塵が発生したのみであった。これより通常輸送時に想定する振動により、本輸送物の健全性が損なわれるおそれはない。



(ロ)－第A. 3図 S300型輸送物原型容器 振動試験装置外観

以上の結果より通常輸送時における輸送物の要件に対する評価結果の要約を(ロ)－第A. 8表に示す。

(ロ)－第A. 8表 輸送物の要件に対する評価結果の要約

条件	解析及びその詳細	解析基準	解析結果
通常輸送条件	・ 化学的及び電気的反応		
	化学的反応	反応の無いこと	反応が無いため、基準に合致
	電気的反応	反応の無いこと	反応が無いため、基準に合致
	・ 低温強度		
	構成部品の低温特性	-40℃でのき裂、破損の無いこと	-40℃でのき裂、破損が無いため 基準に合致
	低温時の強度	-40℃での脆化の無いこと	-40℃での低温脆化が無いため 基準に合致
	・ 密封装置		
	特別形カプセル	誤操作による開放が無いこと	誤操作による開放が無いため 基準に合致
	・ 吊上装置	—	吊上装置の設置なし
	・ 固縛装置	—	固縛装置の設置なし
・ 圧力	—	一般の試験条件の熱的試験にて評価	
・ 振動	破損の無いこと	主要構造部品に有意な変形は確認されなかったため、基準に合致	

A. 5 一般の試験条件

A. 5. 1 熱的試験

A. 5. 1. 1 温度及び圧力の要約

1. 圧 力

輸送容器に最大崩壊熱の中性子線源を収納し、太陽放射熱を考慮した場合の特別形カプセル内の圧力は、B. 4. 4において0.0216MPaGと求められている。A. 5. 1. 3「応力計算」において、本内圧を考慮した特別形カプセルの構造健全性を評価する。

なお、輸送容器自体は密封されていないため、圧力変化に伴う影響はない。

2. 温 度

輸送物各部の温度分布はB. 4. 2に示されている。各部位の最高温度と解析基準値に適用する温度を(ロ)－第A. 9表に示す。

(ロ)－第A. 9表 一般の試験条件における最高温度の要約

(単位：℉)
(°C)

部 位	熱解析結果	解析基準値に適用する温度
特別形カプセル	151 (66.1)	180 (82.2)
中性子遮蔽材	150 (65.6)	180 (82.2)
円筒容器	152 (66.7)	180 (82.2)

A.5.1.2 熱膨張

本項では、一般の試験条件下における輸送容器本体各部の熱膨張量を計算し、部品同士の干渉の有無を評価する。

1. 中性子遮蔽材-円筒容器間

中性子遮蔽材は、円筒容器内に収納される。一般の試験条件における温度分布を考慮し、中性子遮蔽材及び円筒容器間の径方向及び軸方向の隙間量を評価する。円筒容器内法長さの最小値は、以下のように計算される。

$$H_P = L_P - a_P - t_P - d_P$$

ただし、

H_P : 円筒容器内法長さの最小値 (inch)

L_P : 円筒容器本体全長 = 25.6inch (650mm)

a_P : 円筒容器本体全長の許容公差 = 0.1inch (2.54mm)

t_P : 円筒容器底板の最大板厚 = 0.35inch (8.89mm)

d_P : 円筒容器蓋インロー深さ = 0.05inch (1.27mm)

したがって、

$$\begin{aligned} H_P &= 25.6 - 0.1 - 0.35 - 0.05 \\ &= 25.1 \text{ inch (638mm)} \end{aligned}$$

また、中性子遮蔽材及び円筒容器間の径方向及び軸方向の隙間量は、以下のように計算される。

$$C_{D1} = D_P - D_S \times (1 + \alpha_S \times \Delta T)$$

$$C_{A1} = H_P - H_S \times (1 + \alpha_S \times \Delta T)$$

ただし、

C_{D1} : 径方向の隙間量 (inch)

C_{A1} : 軸方向の隙間量 (inch)

D_S : 中性子遮蔽材の外径 = 11.8inch (300mm)
 H_S : 中性子遮蔽材の全長 = 24.8inch (630mm)
 D_P : 円筒容器の最小内径 = 12.0inch (305mm)
 H_P : 円筒容器内法長さの最小値 = 25.1inch (638mm)
 α_S : 高密度ポリウレタンの熱膨張係数
 $= 0.0001\text{inch}/\text{inch}/\text{F}^3) (1.8 \times 10^{-4}\text{mm}/\text{mm}/\text{C})$
 ΔT : 温度差 = 180 - 70 = 110F (43.3C)

したがって、

$$\begin{aligned}
 C_{D1} &= 12.0 - 11.8 \times (1 + 0.0001 \times 110) \\
 &= 0.070\text{inch} (1.78\text{mm}) \\
 C_{A1} &= 25.1 - 24.8 \times (1 + 0.0001 \times 110) \\
 &= 0.027\text{inch} (0.686\text{mm})
 \end{aligned}$$

以上の計算より、一般の試験条件下では中性子遮蔽材及び円筒容器間に熱膨張による干渉は生じないため、本輸送物の健全性を損なうような熱応力は生じない。

2. 特別形カプセル-中性子遮蔽材間

特別形カプセルは、円筒容器内の中性子遮蔽材に収納される。一般の試験条件における温度分布を考慮し、特別形カプセル及び中性子遮蔽材間の隙間量を評価する。径方向及び軸方向の隙間量は、以下のように計算される。

$$\begin{aligned}
 C_{D2} &= D_C - a_C - (D_{SFC} + a_{SFC}) \times (1 + \alpha_C \times \Delta T) \\
 C_{A2} &= L_C - a_C - 2 \times (L_H + a_H) - (L_{SFC} + a_{SFC}) \times (1 + \alpha_C \times \Delta T)
 \end{aligned}$$

ただし、

C_{D2} : 径方向隙間量 (inch)
 C_{A2} : 軸方向隙間量 (inch)
 D_C : 中性子遮蔽材空間部径 = 3.5inch (88.9mm)
 L_C : 中性子遮蔽材空間部長さ = 17.0inch (432mm)

- a_C : 中性子遮蔽材空間部の許容公差=0.1inch (2.54mm)
 L_H : 補助遮蔽プラグの長さ=2.0inch (50.8mm)
 a_H : 補助遮蔽プラグの長さの許容公差=0.1inch (2.54mm)
 D_{SFC} : 特別形カプセル外径=3.0inch (76.2mm)
 L_{SFC} : 特別形カプセル全長=11.8inch (300mm)
 a_{SFC} : 特別形カプセルの許容公差=0.1inch (2.54mm)
 α_C : 特別形カプセル材料 (オーステナイト系ステンレス鋼) の熱膨張係数
 $=8.742 \times 10^{-6} \text{ inch/inch/}^\circ\text{F}$ (注) ($1.573 \times 10^{-5} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$)
 ΔT : 温度差=180-70=110°F (43.3°C)

注) 設計・建設規格 (2005年版) 第I編 付録図表 Part 6 表2、
オーステナイト系ステンレス鋼(区分4)から内挿した数値

したがって、

$$\begin{aligned}
 C_{D2} &= 3.5 - 0.1 - (3.0 + 0.1) \times (1 + 8.742 \times 10^{-6} \times 110) \\
 &= 0.30 \text{ inch (7.62mm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{A2} &= 17.0 - 0.1 - 2 \times (2.0 + 0.1) - (11.8 + 0.1) \times (1 + 8.742 \times 10^{-6} \times \\
 &110) \\
 &= 0.79 \text{ inch (20.1mm)}
 \end{aligned}$$

以上の計算より、一般の試験条件下では特別形カプセル及び中性子遮蔽材間に熱膨張による干渉は生じないため、本輸送物の健全性を損なうような熱応力は生じない。

A. 5. 1. 3 応力計算

一般の試験条件下における特別形カプセルの内圧上昇により生じる各部の応力について検討する。

1. 特別形カプセル本体

特別形カプセル本体が内圧を受ける時に、当該箇所が生じる引張応力 σ_a (MPa) を次式により求める。

$$\sigma_a = \frac{P \cdot D}{2 t}$$

ただし、

P : 特別形カプセル内圧 (MPa)

D : 特別形カプセル本体内径 (mm)

t : 特別形カプセル最薄部板厚 (mm)

ここで、

$$P = 0.0629 \text{MPa}$$

$$D = 52.4 \text{mm}$$

$$t = \boxed{} \text{mm}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{0.0629 \times 52.4}{2 \times \boxed{}} \\ &= \boxed{} \text{MPa} \end{aligned}$$

特別形カプセル本体の設計応力強さ S_m は (ロ) - 第 A. 4 表より $S_y = 21.9 \times 10^3$ psi (151MPa)、 $S_u = 66.9 \times 10^3$ psi (461MPa) であるので、 $S_m = \min \{2/3 S_y, 1/3 S_u\} = 100 \text{MPa}$ である。したがって、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{100}{\boxed{}} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

2. 特別形カプセル 蓋

蓋板を単純支持される円板にモデル化すると、最大応力 σ_{max} (MPa) は次式¹⁰⁾ で評価する。

$$\sigma_{max} = 1.24 \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

ただし、

p : 特別形カプセル内圧 (MPa)

a : 蓋半径 (mm)

h : 蓋板厚 (mm)

ここで、

$$p = 0.0629 \text{MPa}$$

$$a = 38.1 \text{mm}$$

$$h = \boxed{} \text{mm}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= 1.24 \times \frac{0.0629 \times 38.1^2}{\boxed{}} \\ &= \boxed{} \text{MPa} \end{aligned}$$

特別形カプセル蓋板の設計応力強さ S_m は 100MPa であるので、余裕率 MS は次式であたえられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{100}{\boxed{}} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

3. 特別形カプセル 底板

底板を周辺部が固定された円板にモデル化すると、最大応力 σ_{max} (MPa) は次式¹⁰⁾ で評価する。

$$\sigma_{max} = 0.750 \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

ただし、

p : 特別形カプセル内圧 (MPa)

a : 特別形カプセル本体径 (mm)

h : 底板厚さ (mm)

ここで、

$$p = 0.0629 \text{MPa}$$

$$a = 38.1 \text{mm}$$

$$h = \boxed{} \text{mm} \text{ (設計上は特別形カプセルの底板にネジ穴があることも考えられるため、保守側に設定)}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0.750 \times \frac{0.0629 \times 38.1^2}{\boxed{}} \\ &= \boxed{} \text{MPa} \end{aligned}$$

特別形カプセル底板の設計応力強さ S_m は 100MPa であるので、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{100}{\boxed{}} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

A. 5. 1. 3における評価結果を(ロ)－第A. 10表に示す。この表からいずれの部位においても解析基準値を満足するため、特別形カプセルが内圧によって健全性を損なうことはない。

(ロ)－第A. 10表 一般の試験条件における内圧による特別形カプセルの応力評価

部 位		応力強さ MPa	温度 T	解析基準値 MPa	余裕率 MS
特 別 形 カ プ セ ル	本 体	<input type="text"/>	180 (82.2℃)	100	<input type="text"/>
	蓋	<input type="text"/>			<input type="text"/>
	底 板	<input type="text"/>			<input type="text"/>

A. 5.2 水噴霧

17Cドラム缶に対する水噴霧試験結果^{1 5)}により、当該試験条件において損傷又は内部への水の漏えいが生じないことを確認する。試験結果を(ロ)－第A. 4図に示す。

また、オーバーパックの蓋に取り付けられているフィルターベントは、大量の水を内部に通すことはできない。

オーバーパックは金属製であり、ボルトによって蓋は締め付けられているため、水噴霧試験による本輸送物を構成する材料への影響はわずかである。

したがって、水噴霧によって本輸送物の健全性が損なわれることはない。

Table D-1.a. Water Spray Test Results for Steel Drums.

STEEL DRUMS	
Specific packaging	Test/Analysis Results
DOT-6C, 5-gal	By comparison, this drum would meet this requirement.
DOT-6C, 10-gal	By comparison, this drum would meet this requirement.
DOT-17C, 5-gal	By comparison, this drum would meet this requirement.
DOT-17C, 30-gal	By comparison, this drum would meet this requirement.
DOT-17C, 35-gal	Three loaded and three empty drums were tested and passed.
DOT-17C 55-gal	Three drums were subjected to this test and passed (Configuration RF-1).
DOT-17C, 55-gal w/pressure relief device	Three lids with the Nucfil [®] filters were subjected to the water spray test and no water passed through the filter (Configurations HF-1 and RF-2).
DOT-17C, 55-gal w/HDPE liner	The same data shown for the 17C 55-gal drum would apply here (Configurations HF-2, LL-1, MD-1 and RF-3).
DOT-17C, 55-gal w/HDPE vented liner	One test unit package was subjected to the test conditions and passed (Configurations RF-4 through RF-8). [Dockets 89-13-7A and 90-18-7A]
DOT-17H, 30-gal	Three drums were subjected to this test and passed (Configuration OR-1).
DOT-17H, 30-gal w/filter	One test unit package was subjected to the test conditions and passed (Configurations AW-1 and FM-1). [Dockets 90-17-7A and 90-20-7A]
DOT-17H, 55-gal	Three drums were subjected to this test and passed.
MS-24347-1 ^b	By comparison, this drum would meet this requirement.
MS-24347-7 ^b	Two drums were subjected to this test and passed.
MS-27684-1 ^b	By comparison, this drum would meet this requirement.
MS-27684-2 ^b	By comparison, this drum would meet this requirement.
MS-27684-3 ^b	Three drums were subjected to this test and passed.
MS-27684-6 ^b	By comparison, this drum would meet this requirement.
MS-27684-8 ^b	Three drums were subjected to this test and passed.
MS-27683-7 ^b	Three drums were subjected to this test and passed.
MS-27683-13 ^b	By comparison, this drum would meet this requirement.
MS-24683-21 ^b	Three drums were subjected to this test and passed.

DOE/RL-96-57 REV 0
Volume 1

See Table D-1.b. Water Spray Test Results for Steel Drums (Packaging Specialties). (2 pages)

(ロ)－第A. 4図 17Cドラム缶 水噴霧試験結果

A. 5.3 自由落下

ここでは、A. 1.2 設計基準のうち、一般の試験条件の自由落下試験において規則及び告示に規定された輸送物の健全性について評価を行う。本輸送物の最大総重量は 4801b (218kg) であるため、告示により、落下高さは 1.2m となる。

輸送物が 1.2m 落下した場合、その落下エネルギーが 17C ドラム缶及び敷材の変形によって吸収される。

本項では、S300 型輸送物原型容器を用いた落下試験結果に基づき、輸送容器の健全性を評価する。

(a) 解析モデル

該当なし

(b) 原型試験

(i) 概要

一般の試験条件の自由落下試験において、核分裂性放射性物質の損失又は拡散、並びに輸送物表面における線量当量率の増加を防止できることを確認するため、原型容器を用いて、下記試験を実施した。

未臨界性の維持の観点から、締め付けリングの固定用ボルト（以下、締め付けリングボルト）の破断を防止し、特別形カプセルが収納されている円筒容器の放出を防ぐことが重要となる。これより、締め付けリングボルトを衝撃点として、本輸送物の蓋側を下向きとしたコーナー落下試験を実施した。

また、同じ試験体を用いて水平落下試験を行った。

垂直落下の場合は、本輸送物の上面又は下面に均一に荷重が分布し、締め付けリングボルトに作用する荷重はコーナー落下時に作用する荷重に包絡されるため、本姿勢における落下試験は実施しない。

さらに、傾斜落下の場合は、試験体を 1.2m 高さまで持ち上げた際の位置エネルギーが、一部は一次衝突点に、これを除くものは二次衝突点に与えられることになり、締め付けリングボルトに作用する荷重はコーナー落下時に作用する荷重に包絡されるため、本姿勢における落下試験は実施しない。

なお、A. 5.2 に示すように、本輸送物に対する水噴霧の影響は無視できるため、落下試験前の水噴霧試験は省略している。

(ロ) 試験項目

(i) 落下試験 I (コーナー落下)

- a. 0.3m コーナー落下×4回
- b. 1.2m コーナー落下×1回

(ii) 落下試験 I (水平落下)

- a. 0.3m コーナー落下×4回
- b. 1.2m 水平落下×1回

(ハ) 使用機器類

(i) 試験体

S300型輸送物原型容器 1基

本試験体は、A.4.7.2に示す振動試験に供した原型容器から1基を流用した。

(ii) 落下試験台

落下試験台の重量は約50000lb(22.7ton)であり、試験体重量の10倍を超え、十分な剛性を有する落下試験台である。

(ニ) 試験方法

一連の試験は、49CFR, Part 173.465(c)(2)項に従って実施した。初めに、1.2m コーナー落下試験を実施し、引き続き同じ試験体を用いて1.2m 水平落下試験を1回ずつ実施した。また、49CFR, Part 173.465(c)(2)項に規定される要求により、各1.2m 落下試験の前に0.3m コーナー落下試験を実施し、リム部に対して90°ピッチの4か所を衝撃点とした。これらの試験には、締め付けリングボルトを衝撃点とした試験1回が含まれる。

(ホ) 試験結果

一連の落下試験時に撮影された試験体の写真を(ロ)－第A.5図～(ロ)－第A.10図に示す。

また、以下に各試験結果の要約を示す。

(i) 0.3m コーナー落下

リム部に軽微な曲げ変形が確認されたが、損傷は極めて小さい。

(ii) 1.2m コーナー落下

1.2m コーナー落下試験後、締め付けリング接合部が変形していたが、変形量は1inch (25.4mm) 未満の極めて小さいものであり、破損はない。

(iii) 1.2m 水平落下

1.2m コーナー落下試験で用いた試験体を用いて、引き続き1.2m 水平落下試験を実施した。試験後、17Cドラム缶リム部に軽微な変形が確認されたが、破損はない。また、締め付けリングは17Cドラム缶に固定された状態を維持し、工具を用いて取り外すことも可能であった。また、17Cドラム缶の収納物である円筒容器や中性子遮蔽材に損傷がないことも確認した。

(ハ) 試験結果の評価

一連の落下試験後、17Cドラム缶の蓋は締め付けリングで固定された状態を維持し、収納される全ての構造物は輸送容器外に放出されることはなかった。

また、全ての試験後に計測された試験体の変形量は極めて小さいことから、一般の試験条件の自由落下試験後においても、輸送物表面の線量当量率が著しく増加することはない。

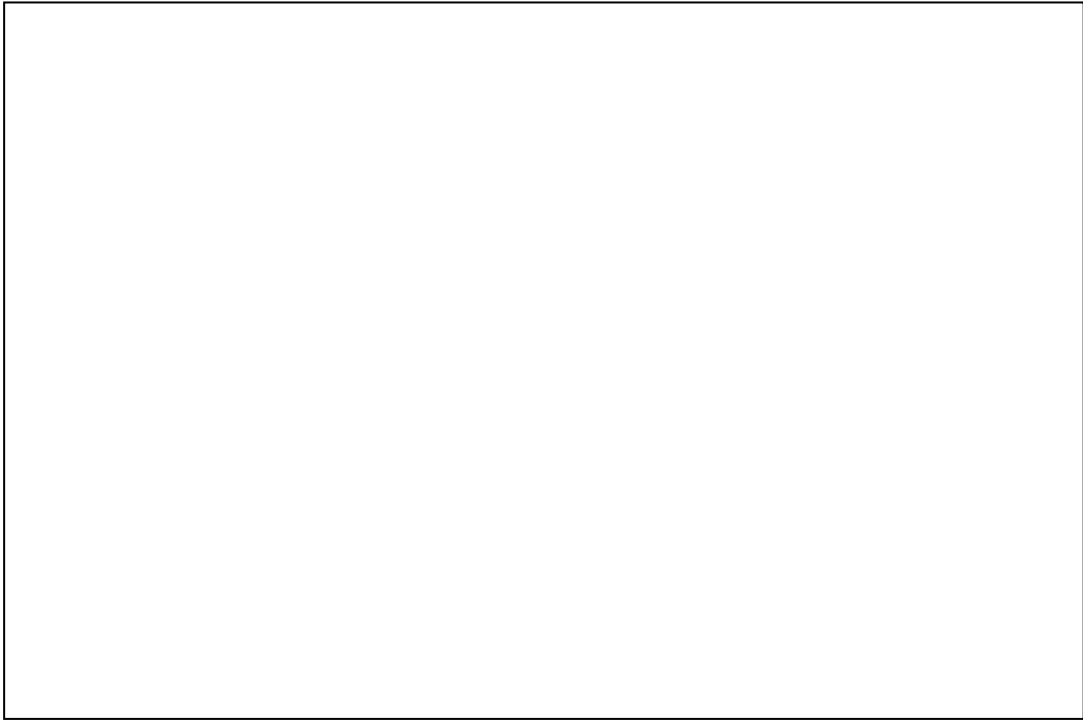
一般の試験条件における落下試験結果の要約を(ロ)－第A.11表に示す。

(ロ) - 第 A. 11 表 一般の試験条件における落下試験結果の要約

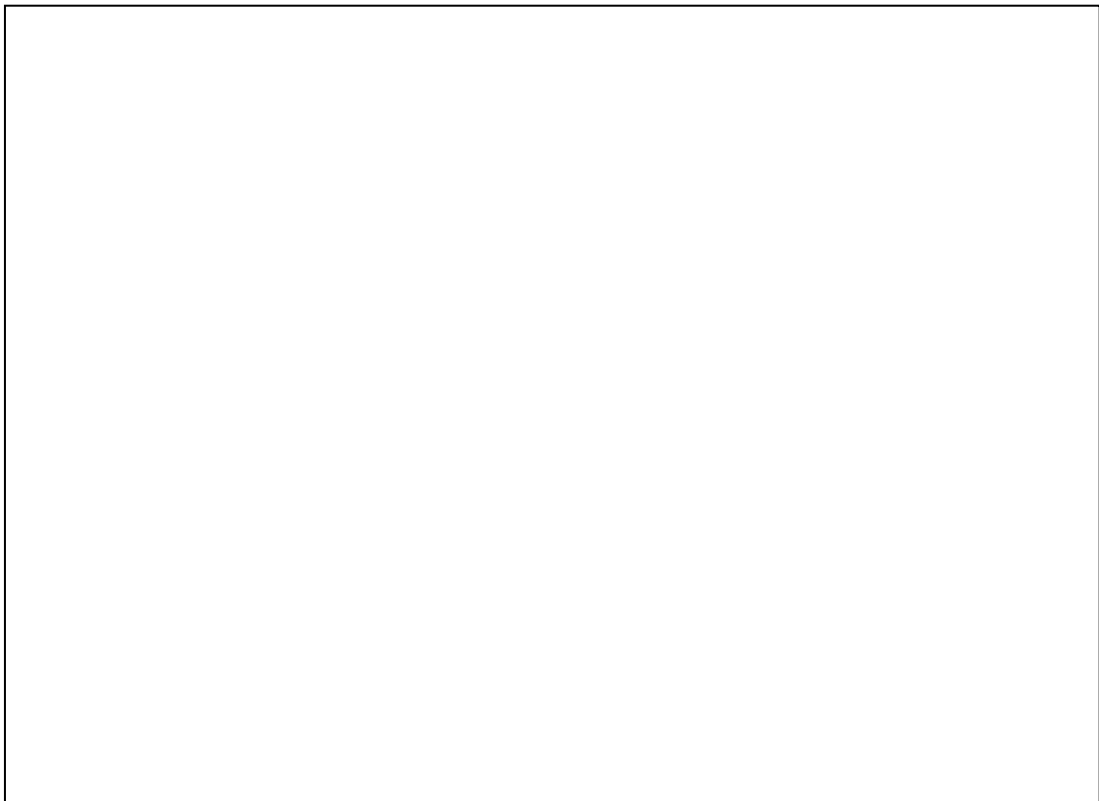
試験体番号	変形量 inch (mm)	
	長手方向 ^{注1)}	径方向 ^{注2)}
3T	15/16 (23.8)	3/4 (19.1)

注1) 本変形量は、17Cドラム缶上端から、最も大きく変形した締め付けリング端部までの距離を、17Cドラム缶の軸方向に沿って計測したものである。なお、基準面は水平落下試験前に計測した。

注2) 本変形量は、水平落下試験の後に17Cドラム缶側面から、締め付けリングの最大突出部までの距離を径方向に沿って測定したものである。



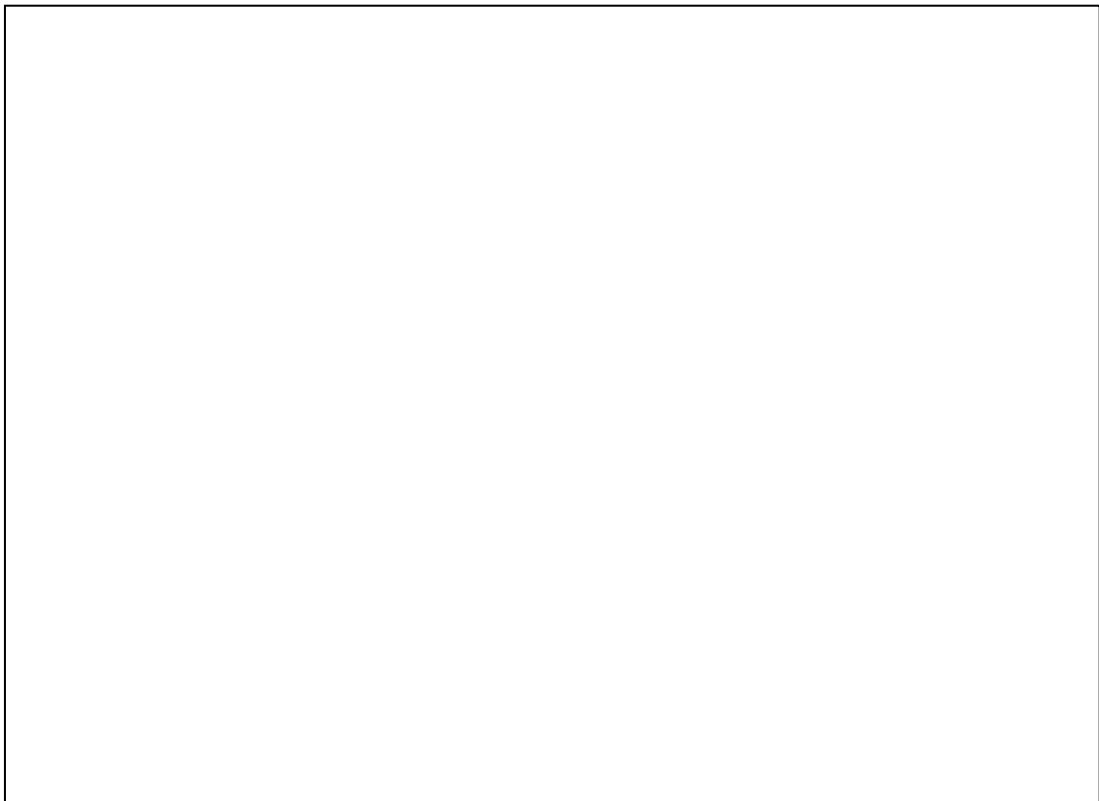
(ロ) - 第A. 5 図 1.2m コーナー落下試験時の試験体



(ロ) - 第A. 6 図 1.2m コーナー落下試験後の締め付けリング



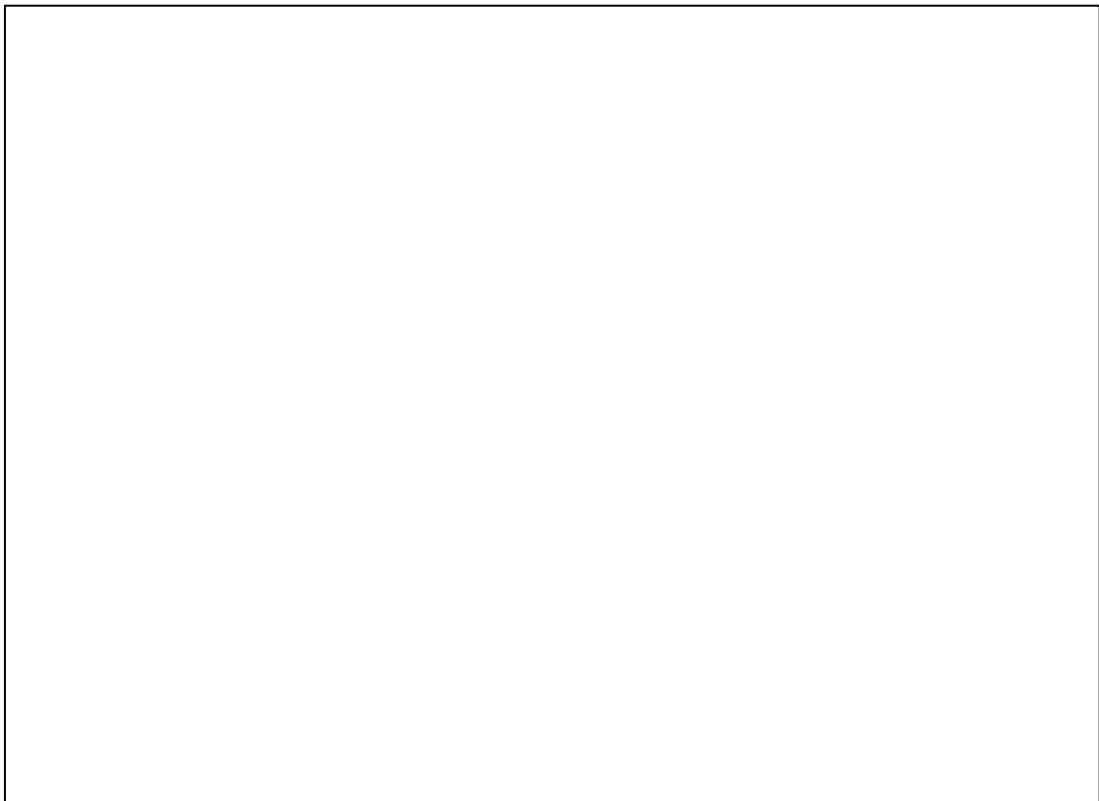
(ロ) - 第A. 7 図 1.2m 水平落下試験時の試験体



(ロ) - 第A. 8 図 1.2m 水平落下試験後の締め付けリング



(ロ)－第A.9図 落下試験後の試験体内部状況



(ロ)－第A.10図 落下試験後の構造部品

(c) モデル試験

該当なし

A. 5. 4 積み重ね試験

17Cドラム缶に対する積み重ね試験結果¹⁶⁾により、当該試験条件において17Cドラム缶が健全であることを確認する。試験結果を(ロ)－第A.11図に示す。1000lb(454kg)の重量を有する試験体に、24時間、5525lb(2.51ton)の荷重を加えた。なお、この荷重は本輸送物重量の5倍である2400lb(1.09ton)を大きく包絡した保守側の設定である。本試験を実施した結果、試験体には有意な変形は確認されなかった。

したがって、本輸送物は、軸方向の圧縮荷重により圧潰することはない。

Table D-24. Compression Test Results for Steel Drums. (2 pages)

Specific packaging	Authorized gross weight (lb)	Compression test weight (lb)	Test duration (hr)	Test/analysis data and results		Comments
				No. tested	Results	
DOT-6C 5-gal	80	500	>24	1	1 pass	No detectable effect.
DOT-6C 10-gal	160	928	>24	1	1 pass	No detectable effect.
DOT-17C 5-gal	100	520	>24	1	1 pass	No detectable effect.
DOT-17C 30-gal	500	Not tested ^a	--	--	--	Pass, based on testing of DOT-17H 30-gal drum.
DOT-17C 35-gal	400	2,060	>24	1	1 pass	No detectable effect.
DOT-17C 55-gal	1,000	Not tested ^b	--	--	--	Pass, based on testing of DOT-17H 55-gal drum. ^c
DOT-17C 55-gal with pressure relief devices	1,000	Not tested ^c	--	--	--	Pass, based on testing of DOT-17H 55-gal drum. ^c
DOT-17C 55-gal with HDPE liner	1,000	5,525	>24	1	1 pass	Passed. [Dockets 89-13-7A and 90-18-7A]
DOT-17H 30-gal	500	2,700	>24	1	1 pass	No detectable effect.
	400	2,069	>24	1	1 pass	No detectable effect. [Dockets 90-17-7A and 90-20-7A]
DOT-17H 55-gal	1,000	5,100	>24	1	1 pass	No detectable effect.
MS-24347-1 ^d	10	100	48	1	1 pass	No detectable effect.
MS-24347-7 ^d	35	200	48	1	1 pass	No detectable effect.
MS-24684-1 ^d	60	300	>24	1	1 pass	No detectable effect.
MS-27684-2 ^d	110	Not tested	--	--	--	Pass, based on comparison to test data on comparable drum.
MS-27684-3 ^d	80	401	>24	1	1 pass	No detectable effect.
MS-27684-5 ^d	80	500	>24	1	1 pass	No detectable effect.

DOE/RL-96-57 REV 0
Volume 1

(ロ)－第A.11図 17Cドラム缶 積み重ね試験結果

A. 5. 5 貫 通

17Cドラム缶に対する貫通試験¹⁷⁾により、17Cドラム缶が、当該試験条件において健全性を維持することを確認する。試験結果を(ロ)－第A.12図に示す。本試験では、フィルターベントを衝撃点としている。

本試験による変形は軽微であり、損傷もほとんどないため、本輸送物は貫通試験により健全性を損なうことはない。

Table D-31. Penetration Test Results for Steel Drums. (4 pages)

Specific packaging	Test/analysis results			
	No. tested	Location	Results	Comments
DOT-6C (5-gal)	1	Lid at center	1 pass	0.50-in. dent
	1	Side at seam	1 pass	1.00-in. dent
	1	Lid near closure ring	1 pass	0.25-in. dent
DOT-6C (10-gal)	1	Lid at center	1 pass	0.50-in. dent
	1	Side at seam	1 pass	0.75-in. dent
	1	Lid near closure ring	1 pass	0.50-in. dent
DOT-17C (5-gal)	Not tested	--	--	Pass, based on test data shown for comparable or lesser gauge steels.
DOT-17C (30-gal)	Not tested	--	--	Pass, based on test data shown for comparable or lesser gauge steels.
DOT-17C (35-gal)	1	Lid near center	1 pass	0.625-in. dent
	2	Lid near edge	2 pass	0.500-in. dent max.
	1	Side near seam	1 pass	0.250-in. dent
DOT-17C (55-gal)	Not tested	--	--	Pass, based on test data shown for comparable or lesser gauge steels.
DOT-17C (55-gal) Pressure Relief Device Nucfil [®] Filter	3	Center of filter	3 pass	Air flow was established after each test with flour/fluorescein as contents. There was no visible evidence of loss of contents, and no loss of contents was detected under a black light.
DOT-17C (55-gal) with HDPE Liners	1	Lid center	1 pass	Minor damage
	1	Side	1 pass	Same result
	1	Bottom	1 pass	Same result
	1	Filter	1 pass	Minor damage [Dockets 89-13-7A and 90-18-7A]

DOE/RI-96-57 REV 0
Volume 1

(ロ)－第A.12図 17C型ドラム缶 貫通試験結果

A. 5. 6 角又は縁落下

本輸送物は、鋼製の円筒形であり、重量が 50kg を上回る 218kg であるため、角又は縁落下は該当しない。

A. 5. 7 結果の要約及びその評価

B. 4. 4 に示す熱解析結果に基づく温度及び圧力条件に基づく構造解析により、本輸送物の密封境界を形成する特別形カプセルが健全性を維持することを確認した。また、主要部品間で熱膨張による干渉は生じないため、本輸送物の健全性を損なうような熱応力は生じない。

原型容器を用いた一般の試験条件の自由落下試験により、本輸送物に生じる変形が十分小さいことが確認できたため、本試験条件において本輸送物が健全性を損なうおそれはない。

17C ドラム缶に対する水噴霧、積み重ね、並びに貫通試験により、本輸送物に適用するオーバーパックが十分な強度を有することが確認できた。

以上より、一般の試験条件において、本輸送物が構造健全性を損なうことはなく、規則及び告示に規定される要件を満たす。

A. 6 特別の試験条件

本輸送物はA型核分裂性輸送物に該当するため、要件として本項に該当しない。

A. 7 強化浸漬試験

本輸送物の放射能量は、 A_2 値の十万倍を超えないので、本項に該当しない。

A. 8 放射性収納物

本輸送物には放射性収納物は装荷されない。

A. 9 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性輸送物に該当し、周囲温度 -40°C 以上で使用する。

本輸送物は、A. 4. 2 に示すとおり、周囲温度 $-40\sim 38^{\circ}\text{C}$ の温度条件において、き裂、破損等の生じるおそれはない。したがって本項では、ロ章E 臨界解析において想定する輸送物の損傷状態を、以下の試験条件に対して評価する。

A. 9. 1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件は、告示により次の4種類が定められており、(i)の条件においた後(ii)～(iv)の条件の下に置く。

- (i) 水噴霧
- (ii) 1.2m自由落下
- (iii) 積み重ね試験
- (iv) 貫通試験

ロ章Eの臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態をA. 5の解析結果をもとに評価すると次のようになる。

1. 水噴霧

A. 5. 2 と同一であり、輸送物に損傷はない。

2. 1.2m自由落下

A. 5. 3 と同一であり、オーバーパックに局所的かつ軽微な変形が生じるが、それ以外の部位に損傷はない。

3. 積み重ね試験

A. 5. 4 と同一であり、輸送容器に損傷はない。

4. 貫通試験

A. 5. 5 と同一であり、輸送容器に損傷はない。

以上の結果より、一般の試験条件下の輸送物の損傷状態は(ロ)－第A.12 表のようにまとめられる。本輸送物は、(ロ)－第A.13 表に示すように、一般の試験条件において、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物としての要件を満足する。

(ロ)－第A.12 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備 考
水 噴 霧	損傷なし	-----
1.2m 落下	オーバーパックの 軽微な損傷	変形量が極めて小さいことから、 考慮しない。
積み重ね	損傷なし	-----
貫 通	損傷なし	-----

(ロ)－第A.13 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価

核分裂性輸送物としての要件	評 価
構造部に一辺 10cm の立方体を包含するようなくぼみが生じないこと及び外接する直方体の各辺が 10cm 以上であること。	17C ドラム缶が変形するが一辺が 10 cm の立方体を包含するようなくぼみが生じることはなく、外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。

A. 9. 2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

A. 9. 1 の一般の試験条件に続いて 15m 浸漬試験を実施する場合には、A. 9. 2. 4 に示すように本輸送物の損傷が拡大することはないので、本輸送物に関する特別の試験条件は最大破損条件となる以下の順序で実施する。

- ① 強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）
- ② 強度試験・落下試験Ⅱ（1m 貫通）
- ③ 熱的試験（耐火）
- ④ 15m 浸漬試験

ここで、落下試験の順序が問題となる。落下試験Ⅰ又は落下試験Ⅲに引き続いて落下試験Ⅱを実施した場合、輸送容器の変形は、一様な変形に局所的な変形が累積した形となる。一方、その逆の場合には、落下試験Ⅱによって生じた局所的な変形が落下試験Ⅰ又は落下試験Ⅲの一様な変形に累積せず埋没する形となる。したがって、ここでは変形量が大きくなる場合を採用し、落下試験Ⅰ又は落下試験Ⅲに引き続いて、落下試験Ⅱを実施する場合について検討する。

また、本輸送物は A. 10. 2 に示す通り、9m 水平落下及び 9m 垂直落下によって円筒容器の健全性は維持されるものの、17C ドラム缶蓋部の変形が生じることが考えられる。また、サバンナリバー国立研究所において実施された 9m コーナー落下及び 9m 傾斜落下試験結果^{6) 7)}により、17C ドラム缶蓋部に変形が生じる。

したがって、以下に示す動的圧潰時にはオーバーパックを考慮せず、円筒容器に直接、軟鋼板を落下させることを想定する。

A. 9. 2. 1 強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）

本輸送物は、イ章 B. に示す通り、A 型核分裂性輸送物である。本輸送物の最大総重量は 4801b (218kg) であり、500kg に満たない。また、体積が 8.13ft³ (2.30×10⁵ cm³) であることから、最大密度は 59lb/ft³ (0.95g/cm³) となり、比重は 1 に満たない。以上のことから、告示別記第十二第一号ロ(1)に従い、本輸送物には強度試験・落下試験Ⅰ（落下試験時）に代えて、強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）を適用する。

本試験では、重量が 500kg の軟鋼板を、9m の高さから輸送物が最大の破損を受けるように水平に落下させる。

また、前述のとおり、9m 落下試験において、17C ドラム缶蓋部の健全性を保証することが困難であることから、オーバーパックから円筒容器が放出された状態を想定する。

本項では、特別形カプセルが装荷された円筒容器に対して動的圧潰試験を適用した際に、中性子遮蔽材と特別形カプセル間に設けられる隙間が維持され、特別形カプセルに変形を生じさせる外力が生じないことを示し、輸送物の健全性を確認する。

1. 解析方法

本解析では、強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）において、本輸送物の構造健全性が維持されることを確認するため、汎用解析コード L S - D Y N A (ver. LS971S R2) を用いて評価を行う。

2. モデル概要

本解析に用いる L S - D Y N A 解析モデルを(ロ)－第 A.13 図に示す。本解析モデルは、製作図面に従って作成したものである。モデル化対象は、円筒容器、中性子遮蔽材、特別形カプセル、落下台、並びに軟鋼板である。解析モデルは、輸送物の対称形状を考慮して、2分の1対称モデルとする。

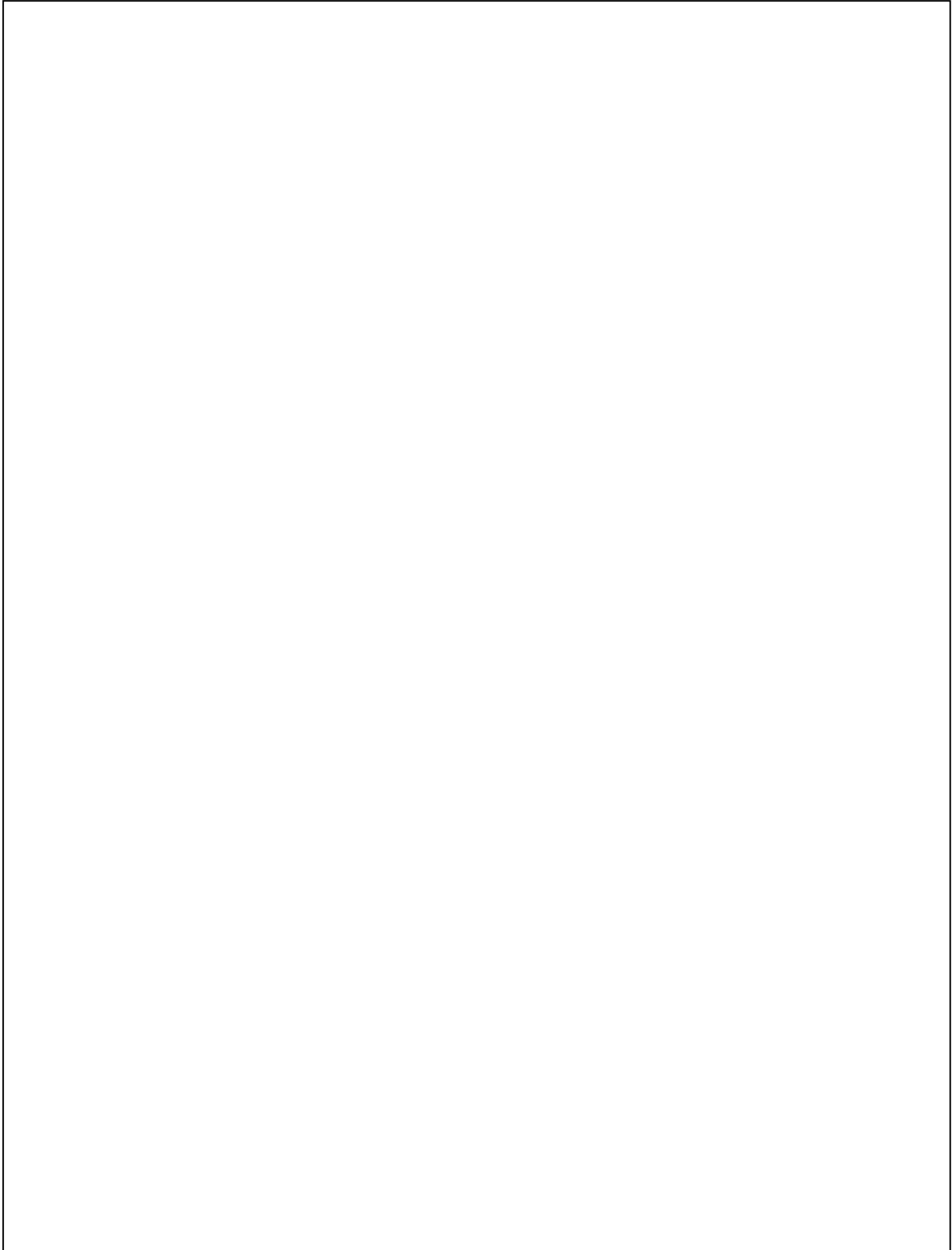
本解析モデルの重量を(ロ)－第 A.14 表に示す。

(ロ) - 第A.14表 解析モデル重量

構 成 部 品	部品 ID	部品質量 lb・s ² /in	総重量 lb	目標重量 ^{注2)} lb(kg)	相対誤差 %
特別形カプセル	1	0.0388302	30.008	30 (13.7)	+0.027
円筒容器 ^{注1)}	2	0.1010420	78.085	/	
	3	0.0303894	23.485		
	4	0.0777609	60.094		
	5	0.0160645	12.415		
	6	0.00773467	5.977		
	合計		180.056			180 (81.7)	+0.031
	中性子遮蔽材	11	0.1005960	77.741	/
12		0.0143962	11.125		
13		0.000822243	0.635		
14		0.000822243	0.635		
合計			90.137	90 (40.9)	+0.152
落下台	15	49.6916	38,401.7	/	
軟鋼板	16	1.42817	1,103.7	1,100 (500)	+0.34

注1) 空の状態における数値を示す。

注2) (イ) - 第C.3表参照



(ロ) - 第A.13図 動的圧潰時解析モデル図

3. 解析条件

B. 4. 2に示す、一般の試験条件における最高温度（151°F（66.1°C））を包絡するように、設計温度は 180°F（82.2°C）とする。設計温度が大きくなるほど材料はより軟らかくなり、変形に対する抵抗が小さくなるため、保守側に評価することになる。

また、軟鋼板の位置エネルギーを全て輸送物に与えるため、本輸送物のあらゆる接触部位の摩擦係数を 0 とする。

拘束条件は、輸送物の対称面及び落下台に与える。円筒容器の蓋ボルトには、65ft·lb（8.99kg·m）の締付トルクに相当する引張応力を各ボルトに与える。

軟鋼板には、527.5inch/s（13.4m/s）の初速度を与える。また、解析モデル全体に 386.4inch/s²（9.81m/s²）の重力加速度を与える。

本輸送物の材料特性は、A. 3に示す材料特性を元に設定する。

(ロ)－第A. 4表に示す公称応力及び公称ひずみは、解析コードに入力する際に真応力及び真ひずみに換算し、入力する。

公称ひずみと真ひずみの関係は、

$$\epsilon_t = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right) = \ln (1 + e) \text{—————} \quad (1)$$

となる。ただし、

ϵ_t : 真ひずみ (—)

L : 変形後の長さ (inch)

L_0 : 元の長さ (inch)

e : 公称ひずみ (—)

次に公称応力と真応力の関係は、

$$S_t = S (1 + e) \text{—————} \quad (2)$$

となる。ただし、

S_t : 真応力 (psi)

S : 公称応力 (psi)

降伏時の公称ひずみは、

$$e_y = \frac{S_y}{E} + 0.002 \text{—————} \quad (3)$$

となる。ただし、

e_y : 降伏時の公称ひずみ (—)

S_y : 降伏応力 (psi)

E : 縦弾性係数 (psi)

接線係数は、真応力－真ひずみ線図における塑性域の勾配に等しい。A. 3 に示す材料物性値及び式(1)～(3)から求めた、解析に入力する材料特性を(ロ)－第A.15表に示す。

なお、落下台については剛体として解析する。

(ロ)－第A.15表 解析に入力する材料特性 (オーステナイト系ステンレス鋼及び炭素鋼)

特性	オーステナイト系 ステンレス鋼 304L	炭素鋼 A36
真破断応力 psi (MPa)	93.7×10^3 (646)	71.3×10^3 (492)
真降伏応力 psi (MPa)	22.0×10^3 (152)	33.4×10^3 (230)
真降伏ひずみ —	0.00279	0.00315
真破断ひずみ —	0.336	0.207
接線係数 psi (MPa)	215×10^3 (1482)	186×10^3 (1282)

4. 解析結果

輸送物の変形が最大となった時の変形状態を(ロ)－第A.14 図に示す。(ロ)－第A.14 図より、軟鋼板の塑性変形量はわずかなものであり、軟鋼板の位置エネルギーのほぼ全てが輸送物に吸収されていると考えられる。

輸送物の変形量が最大となった時の円筒容器蓋ボルトの塑性ひずみ分布を(ロ)－第A.15 図に示す。蓋ボルトに生じる相当塑性ひずみは最下部に位置するボルトにおいて最大となり、その最大値は 0.3628 である。円筒容器蓋ボルトの材料であるオーステナイト系ステンレス鋼の破断ひずみは(ロ)－第A.15 表に示すように 0.336 であり、本ボルトについては破断するおそれがある。

次に大きな相当塑性ひずみを示すボルトは、最上部に位置するボルトであり、その値は 0.2044 であった。この値は、破断ひずみ 0.336 に対して十分な余裕がある。

以上のことから、円筒容器の蓋ボルトは最大で 1 本破断する可能性があるが、蓋ボルト 1 本の破損により、収納される中性子遮蔽材及び特別形カプセルが放出するおそれはない。

輸送物の変形量が最大となった時の中性子遮蔽材空間部断面図を(ロ)－第A.16 図に示す。本図に示すように、動的圧潰時に比較的柔らかい中性子遮蔽材空間部が局所的に変形することで、特別形カプセルが破損することを防いでいる。

円筒容器空間部内径時刻歴及び変形状態図を(ロ)－第A.17 図～(ロ)－第A.22 図に示す。特別形カプセル直径 3.0inch (76.2mm) に対して、中性子遮蔽材空間部内径はいずれの箇所においてもこれを下回ることはないため、動的圧潰時においても、特別形カプセルと中性子遮蔽材との間に常に隙間が確保される。これより、動的圧潰時に特別形カプセルの健全性を損なうような外力が特別形カプセルに生じることはない。解析から得られた中性子遮蔽材空間部隙間量を整理したものを(ロ)－第A.16 表に示す。

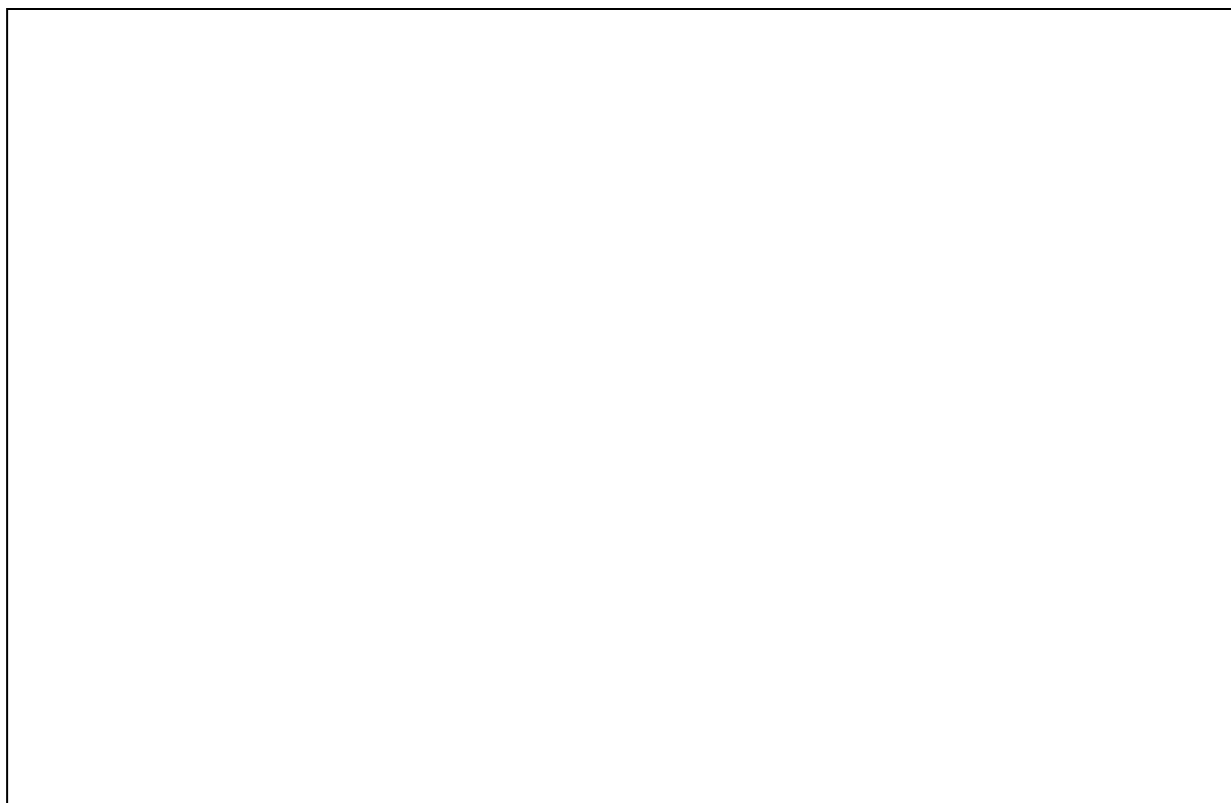
解析から得られているエネルギー時刻歴を(ロ)－第A.23 図に示す。本解析モデルの全エネルギーは、軟鋼板の位置エネルギーに等しく、その値は 198669 lb·inch (22447N·m) である。最終解析時刻における、輸送物の運動エネルギー及び内部エネルギーは、それぞれ 16800 lb·inch (1898N·m) 及び 179484 lb·inch (20279N·m) であり、全エネルギーは 196284 lb·inch (22177N·m) である。失われたエネルギーは 2385 lb·inch (269N·m) であり、初期の軟鋼板の位置エネルギー

一の約 1%である。

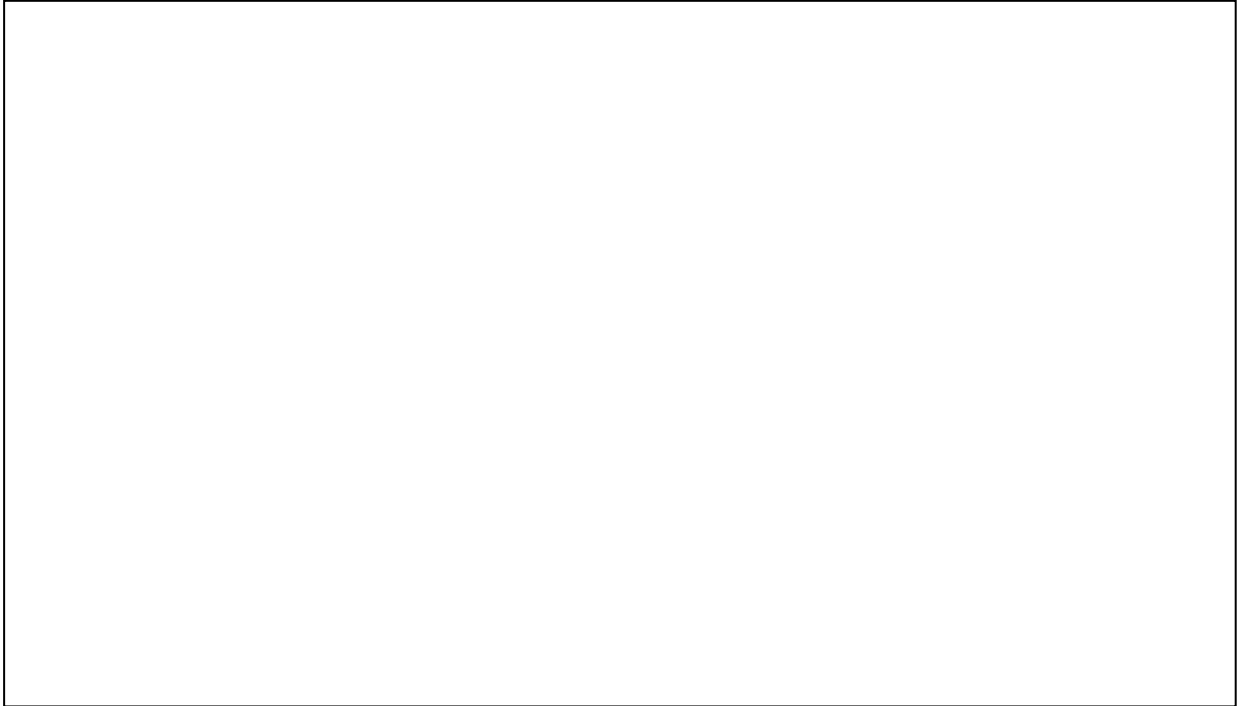
この傾向は、A. 10. 3 に示すベンチマーク解析と同様である。

(ロ)－第A. 16 表 円筒容器空間部隙間量

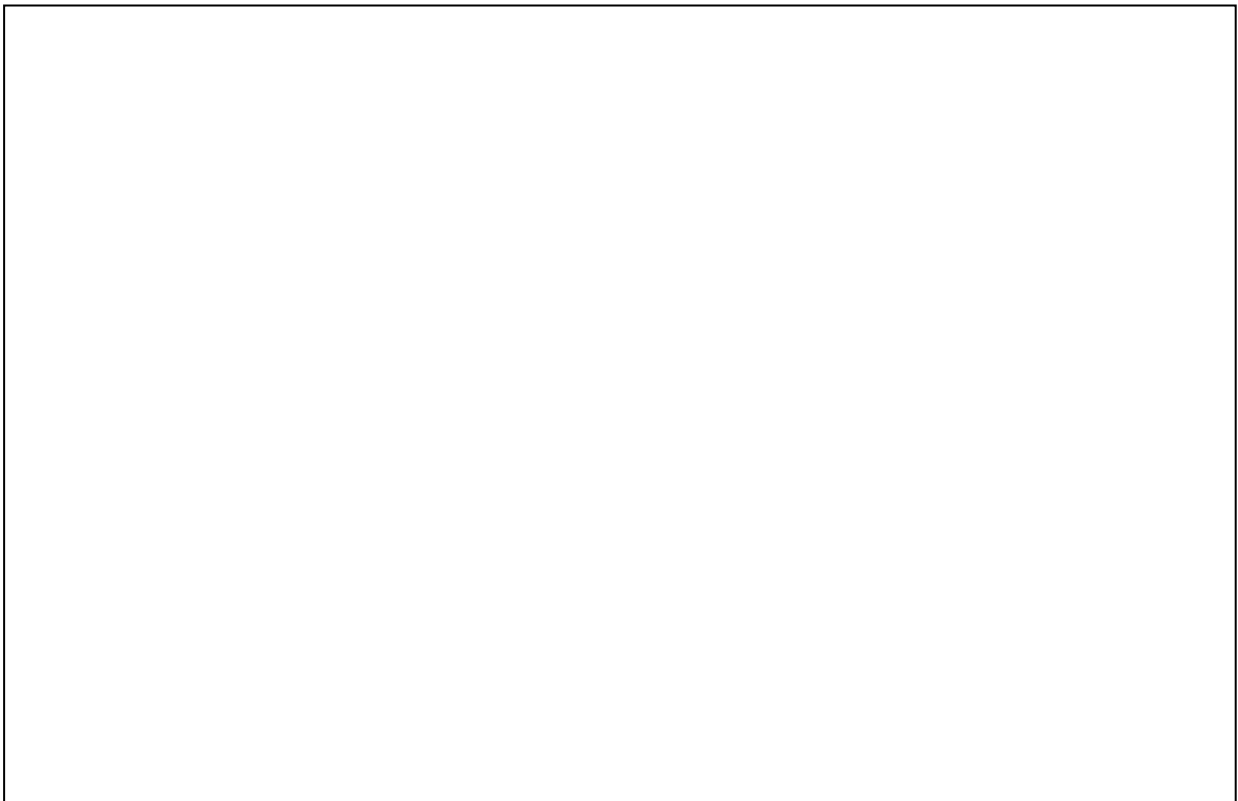
部 位	最 小 直 径 inch (mm)	隙 間 量 inch (mm)
底 部	3. 3802 (85. 857)	0. 3802 (9. 657)
中 央 部	3. 4438 (87. 473)	0. 4438 (11. 27)
最 上 部	3. 4106 (86. 629)	0. 4106 (10. 43)



(ロ)－第A. 14 図 動的圧潰時の輸送物の変形状態



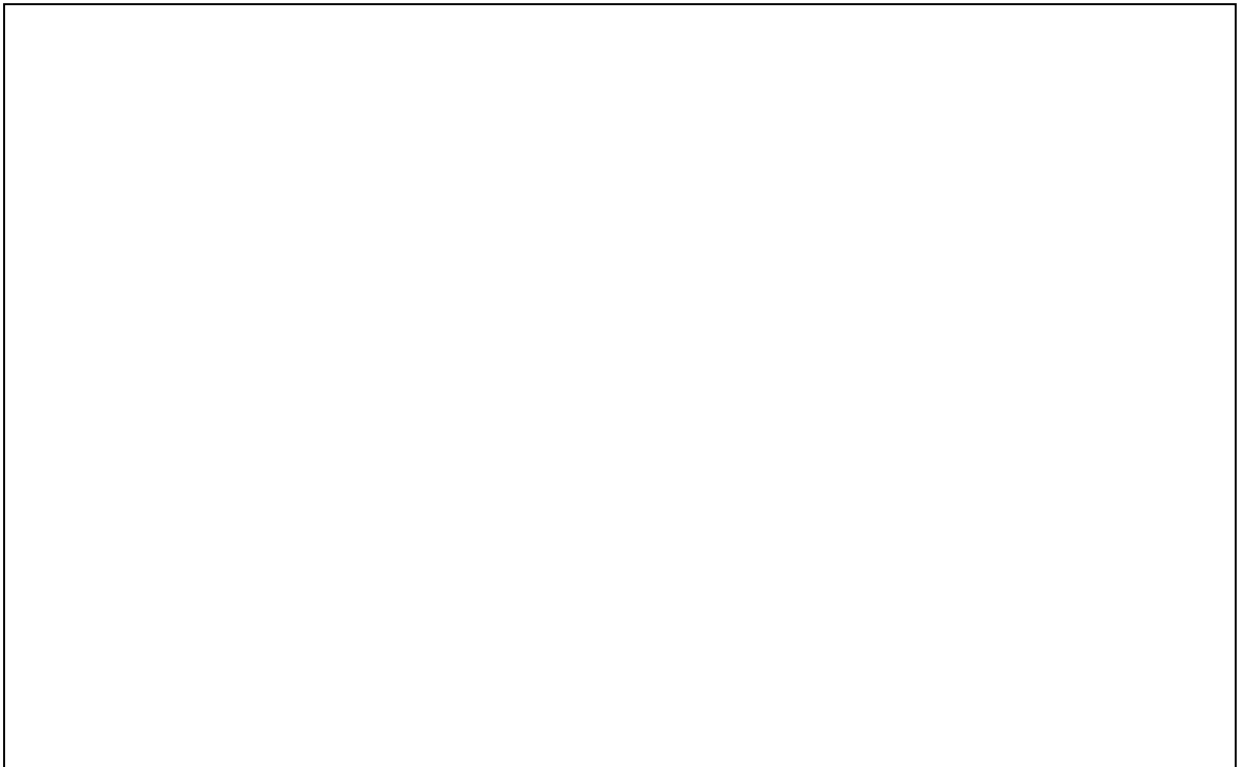
(ロ)－第 A.15 図 円筒容器蓋ボルトに生じる相当塑性ひずみ分布



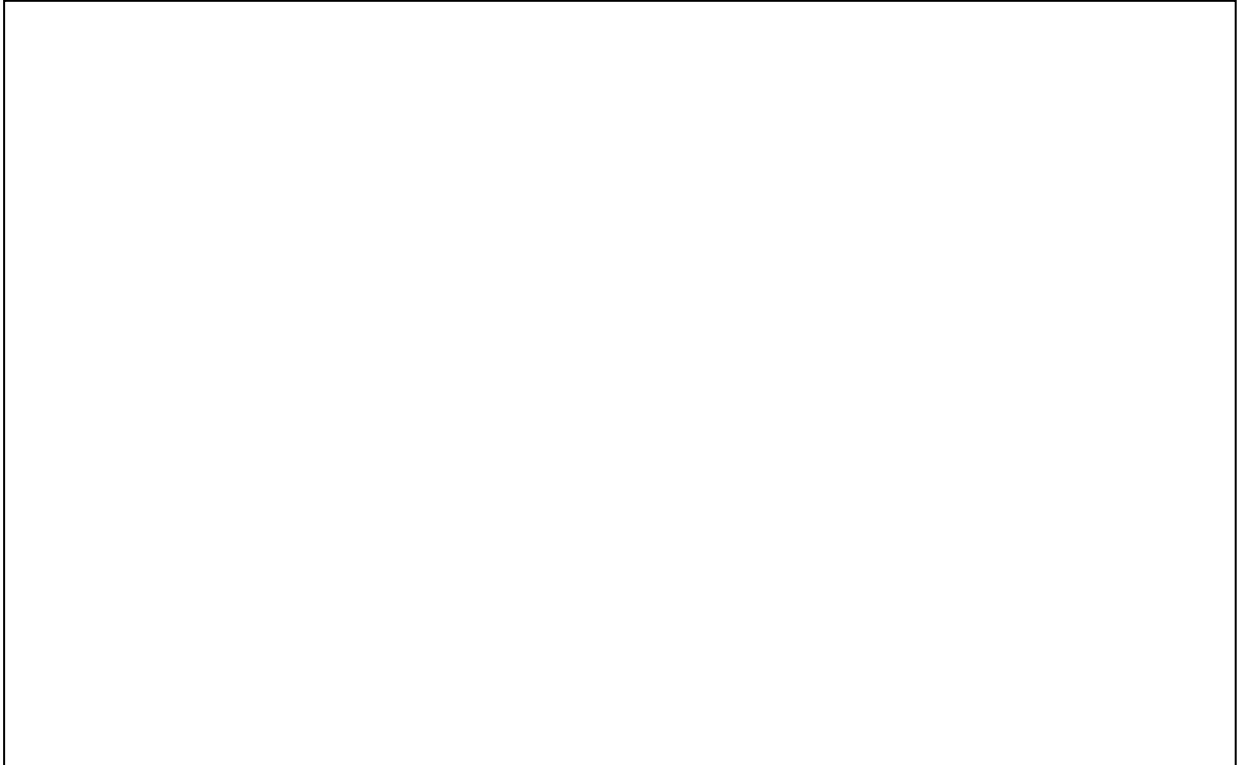
(ロ)－第 A.16 図 中性子遮蔽材空間部断面図 (輸送物の変形量最大時)



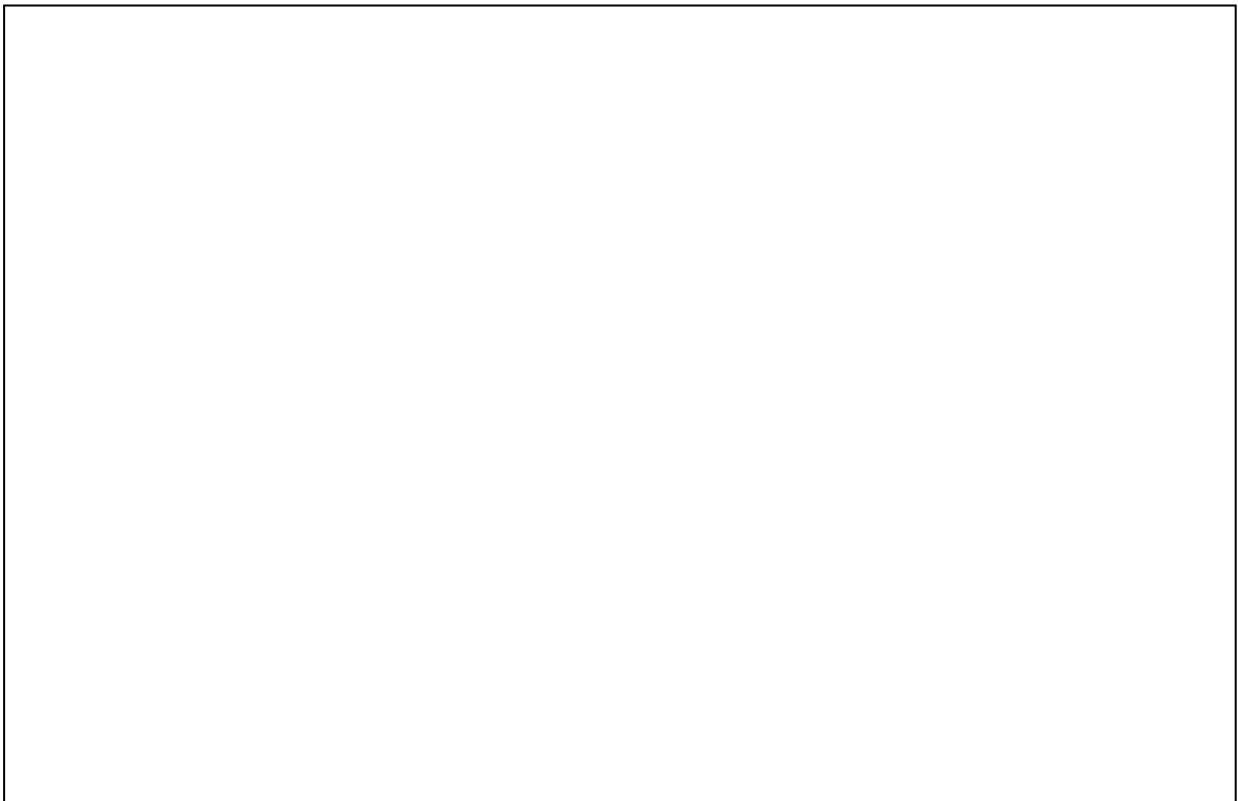
(口) - 第A.17図 中性子遮蔽材空間部内径時刻歴 (底部)



(口) - 第A.18図 中性子遮蔽材空間部底部変形状態



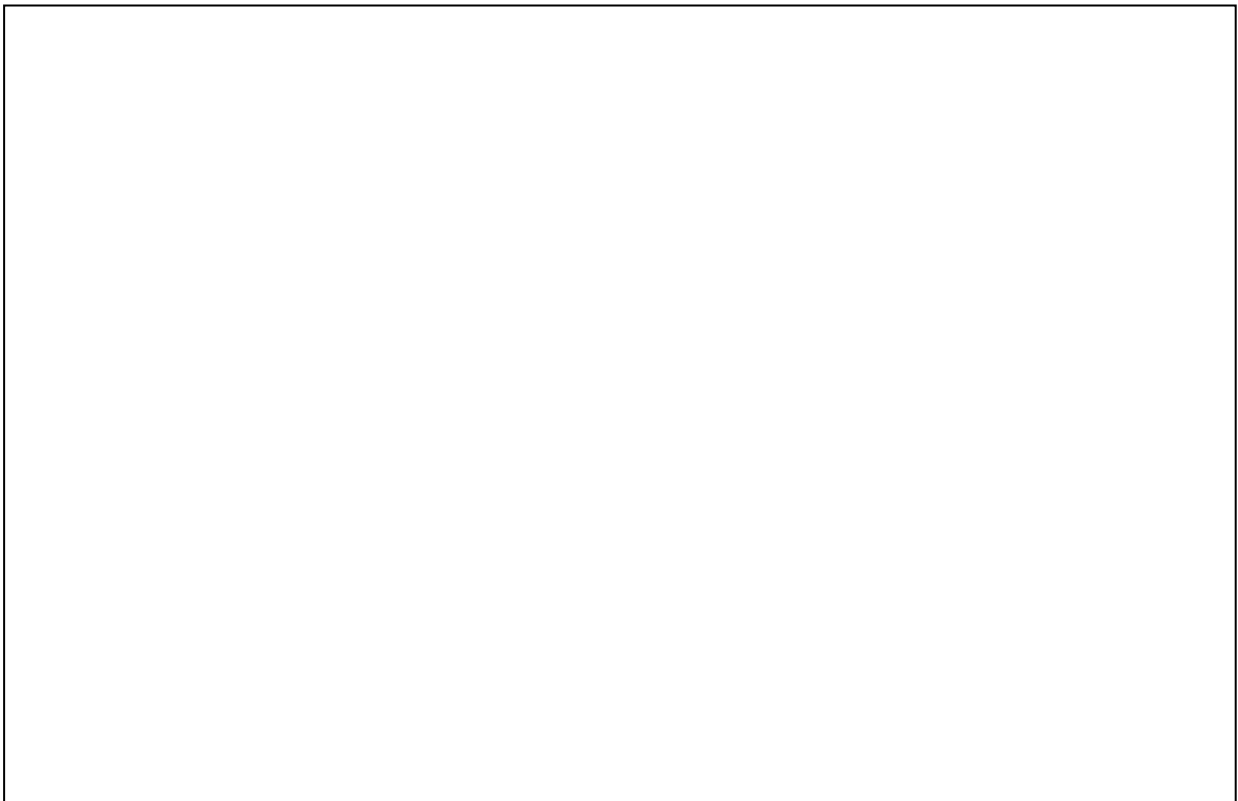
(口) - 第 A. 19 図 中性子遮蔽材空間部内径時刻歴 (中央部)



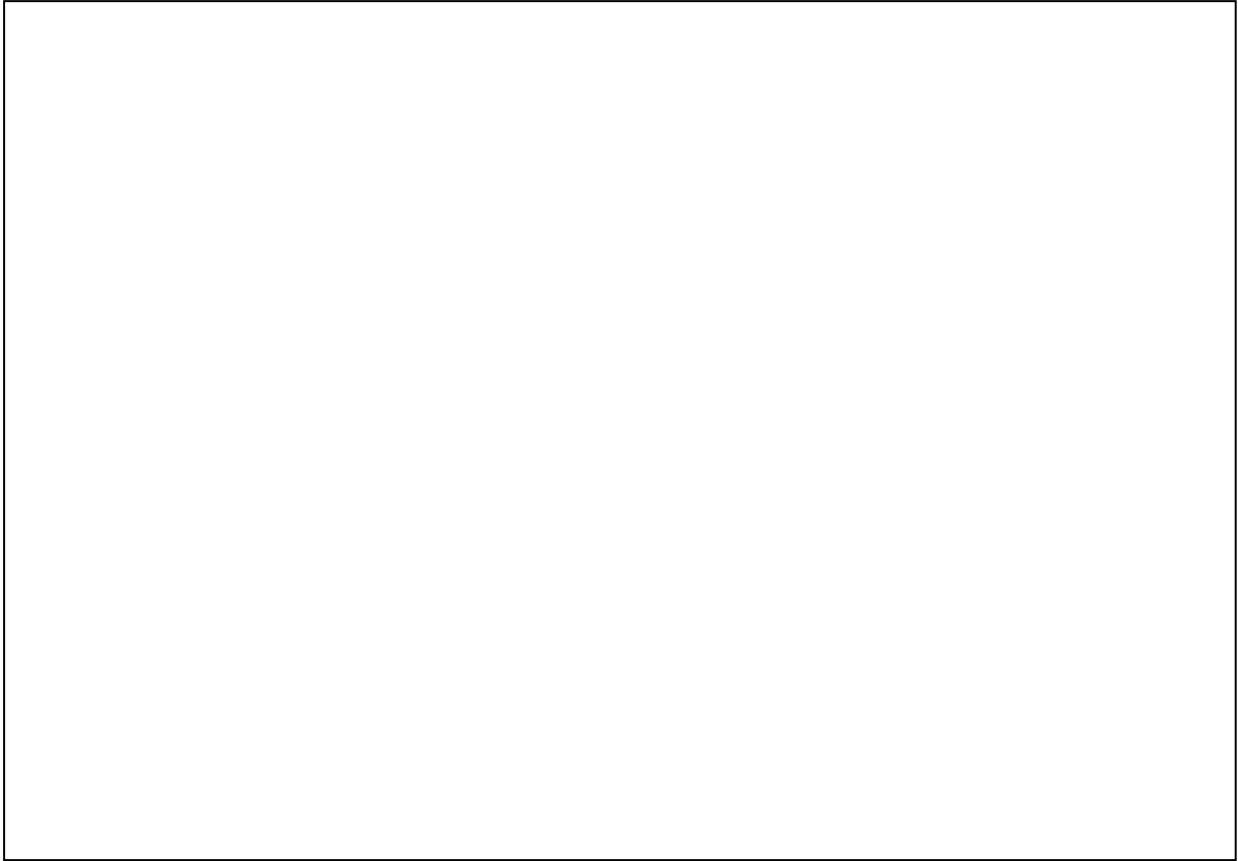
(口) - 第 A. 20 図 中性子遮蔽材空間部中央部変形状態



(口) - 第A.21 図 中性子遮蔽材空間部内径時刻歴 (上部)



(口) - 第A.22 図 中性子遮蔽材空間部上部変形状態



(ロ)－第A.23図 エネルギー時刻歴

5. まとめ

強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）におけるLS-DYNA解析の結果、円筒容器蓋ボルトが最大で1本破損するおそれがあるが、中性子遮蔽材空間部と特別形カプセル間の隙間は維持され、特別形カプセルに密封健全性を損なうような外力が作用することはない。したがって、動的圧潰によって本輸送物の密封健全性が損なわれることはない。

なお、引き続き行われる強度試験・落下試験Ⅱ（貫通試験）においては、円筒容器の蓋が開放し、円筒容器から放出された特別形カプセルが軟鋼棒状に落下するものとして評価する。

また、特別の試験条件の熱的試験においては、特別形カプセルが直接火炎にさらされるものとして評価する。

A. 9. 2. 2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）

A. 9. 2. 1 に示すように、動的圧潰時に円筒容器蓋ボルトが最大で 1 本破損する可能性がある。このため、本試験においては、円筒容器蓋部が開放され、放出された特別形カプセルが、垂直に固定された直径 15cm、長さが 20cm の軟鋼棒に 1m の高さから落下するとした場合に、特別形カプセルが、軟鋼棒により貫通しないことを示す。

解析は垂直方向において蓋部及び底部、また水平方向においては胴部について行う。

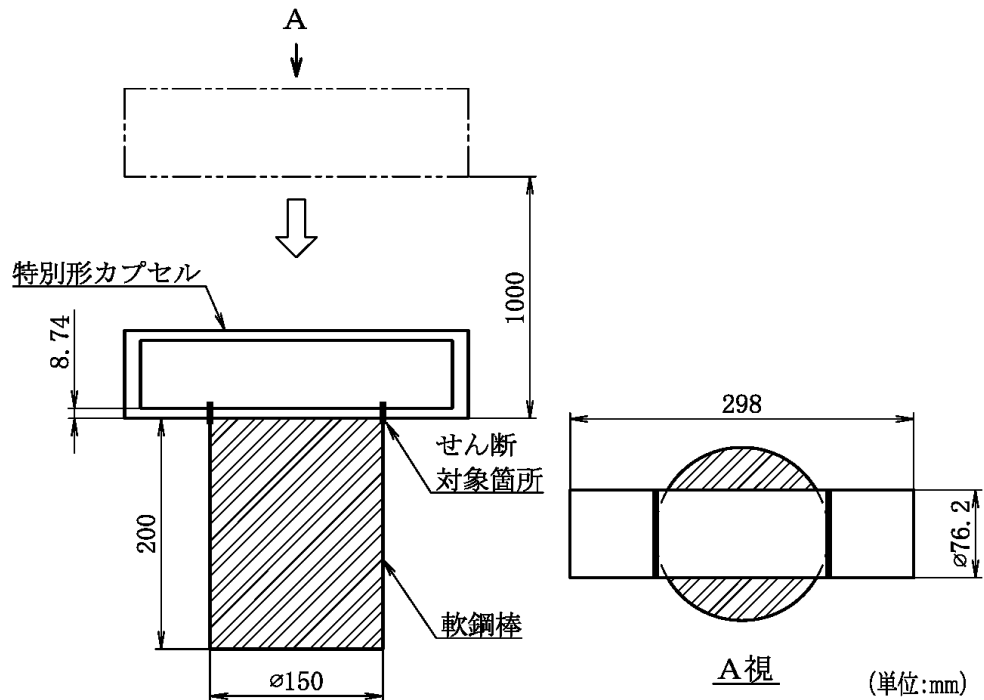
1. 垂直落下

特別形カプセルの蓋部及び底部の直径は、軟鋼棒の直径より小さいため、軟鋼棒上面への衝突は、剛体面への自由落下と同じとして評価できる。ここで特別形カプセルは、特別形核燃料物質等に係る試験において、9m 高さから落下させる試験が実施され、落下後においても密封健全性が維持されていることを確認している。衝撃試験は、1m の高さから軟鋼棒への落下と比較し、9 倍高い位置から落下させているため、本評価の落下エネルギーは衝撃試験時の落下エネルギーよりも小さい。よって、本評価は衝撃試験の結果に包絡される。

したがって、特別形カプセルは、1m 高さからの軟鋼棒への垂直落下によって密封健全性を損なうことはない。

2. 水平落下

水平落下の場合、(ロ)－第A.24 図に示すように、軟鋼棒に特別形カプセル本体側面が衝突して変形し、破損するおそれがある。したがって、水平落下では特別形カプセル本体側面に対して検討する。



301b (13.7kg) の特別形カプセルが 1m の高さから落下したときの落下エネルギー E (N・mm) は、次式で与えられる。

$$E = W \cdot H \cdot g$$

ただし、

W : 特別形カプセルの重量 (kg)

H : 落下高さ (mm)

g : 重力加速度 (m/s^2)

ここで、

$$W = 13.7 \text{ kg}$$

$$H = 1000 \text{ mm}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

したがって、

$$E = 1.35 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

特別形カプセルが軟鋼棒へ落下した場合のせん断に要するエネルギー E_s (N·mm) は、次式で与えられる。

$$E_s = 1/2 \cdot b \cdot N \cdot t^2 \cdot S$$

ただし、

b : せん断幅 (特別形カプセルの外径相当) (mm)

N : せん断対象箇所

t : 特別形カプセル本体の板厚 (mm)

S : 特別形カプセルのせん断強さ (MPa)

ここで、

$$b = 76.2 \text{ mm}$$

$$N = 2 \text{ 箇所}$$

$$t = \boxed{} \text{ mm}$$

せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき設計引張強さの $1/\sqrt{3}$ とすると、せん断強さは(ロ)－第A. 4表より 180F (82.2°C) において、

$$S = 66.9 \times 10^3 / \sqrt{3} = 38.6 \times 10^3 \text{ psi}$$

(266 MPa)

せん断に要するエネルギー E_s (N·mm) は、

$$E_s = 1/2 \times 76.2 \times 2 \times \boxed{} \times 266$$
$$= \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

落下エネルギー E とせん断エネルギー E_s を比較すると、

$$E = 1.35 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{mm} < E_s = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

したがって、特別形カプセル蓋部は軟鋼棒への 1m 落下によりせん断破壊せず、軟鋼棒は特別形カプセルを貫通しない。また、この時の余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \frac{\boxed{}}{1.35 \times 10^5} - 1$$
$$= \boxed{}$$

したがって、特別形カプセルは、1m 高さからの軟鋼棒への水平落下によって貫通しない。

3. 結果の要約

落下試験Ⅱにおいては、落下試験Ⅲ及びA. 10. 2の9m落下試験の結果を考慮し、特別形カプセルが直接軟鋼棒上に垂直及び水平落下する場合の評価を行った。

垂直落下の場合、特別形核燃料物質等に係る試験の内の衝撃試験よりも落下エネルギーが小さく、衝撃試験の結果に包絡されるため、特別形カプセルがせん断することはない。

また、水平落下の場合、特別形カプセルの落下前の位置エネルギーは、特別形カプセルをせん断させるためのエネルギーよりも小さいため、特別形カプセルがせん断することはない。本試験において本輸送物の密封健全性が損なわれることはない。

低温側の環境下に対しては、A. 4. 2に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので、輸送物の構造上の健全性に問題はない。

A. 9. 2. 3 熱的試験

A. 9. 2. 3. 1 温度及び圧力の要約

1. 圧 力

特別の試験条件における特別形カプセル内の圧力はB. 5. 4において0.271MPaGである。

2. 温 度

輸送物各部の最高温度はB. 5. 6の(ロ)－第B.16表に示されている。

A. 9. 2. 3. 2 熱膨張

B. 5. 3に示すとおり、特別の試験条件において特別形カプセルが800℃の環境下にさらされる時間は約9分間である。これに対して、特別形核燃料物質等に係る試験の内、加熱試験において、特別形カプセルは800℃の環境下に10分間さらされる。これより両試験条件は等価とみなすことができる。さらに加熱試験後に特別形カプセルの密封健全性が確認されていることから、特別の試験条件下の熱的試験時によって本輸送物の密封健全性が損なわれることはない。

A. 9. 2. 3. 3 許容応力との比較

A. 9. 2. 3. 2に示したとおり、本試験条件を包絡する特別形核燃料物質等に係る試験により、加熱試験後の健全性が確認されているため、特別の試験条件において本輸送物が健全性を損なうことはない。

A. 9. 2. 4 浸漬

本輸送物はA型核分裂性輸送物であるため、告示別記第十二に従い、深さ 15m の水中に 8 時間浸漬させることが要求される。0.15MPa の水頭圧が特別形カプセルに作用する定常状態における構造評価を実施し、本試験時に特別形カプセルの密封性能が損なわれないことを確認する。

1. 外圧に対する特別形カプセル本体の耐圧強度

設計・建設規格¹⁸⁾においては、本試験条件に対応する供用状態 D における円筒の許容外圧 P_a (MPaG) は、次のように与えられる。

$$P_a = \text{MIN} \{ P_{a_1}, P_{a_2} \}$$

$$P_{a_1} = 1.5 \times \left(\frac{2.167 t}{D_o} - 0.0833 \right) B$$

$$P_{a_2} = 1.5 \times \frac{2S \cdot t}{D_o} \left(1 - \frac{t}{D_o} \right)$$

ただし、

t : 特別形カプセル本体の板厚 (mm)

D_o : 特別形カプセル外径 (mm)

B : L/D_o 、 D_o/t 及び温度で定まる係数

L : 特別形カプセル本体支持間隔 (mm)

S : $\text{MIN} \{ 1.5 S_m, 0.9 S_y \}$

ここで、

$$t = \square \text{ mm}$$

$$D_o = 76.2 \text{ mm}$$

$$L = 298 \text{ mm}$$

$$S = 135 \text{ MPa}$$

設計・建設規格¹⁸⁾ 付録材料図表 Part 7 図 1 及び図 12 より、180°F (82.2°C) におけるオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304L) に対する B 値は、 $L/D_o =$

3.91、 $D_o/t = \square$ から、

$$B = \square$$

とする。

したがって、

$$P_{a1} = 1.5 \times \left(\frac{2.167 \times \square}{76.2} - 0.0833 \right) \times \square$$

$$= \square \text{ MPaG}$$

$$P_{a2} = 1.5 \times \frac{2 \times 135 \times \square}{76.2} \left(1 - \frac{\square}{76.2} \right)$$

$$= \square \text{ MPaG}$$

$$\therefore P_a = \square \text{ MPaG}$$

本試験条件において特別形カプセル本体に作用する外圧 $P_o = 0.15 \text{ MPaG}$ であるから、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \frac{P_a}{P_o} - 1$$

$$= \frac{\square}{0.15} - 1$$

$$= \square$$

2. 外圧に対する特別形カプセル本体底板の強度

底板を端部固定の円板にモデル化すると、その最大曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式¹⁰⁾で与えられる。

$$\sigma_b = 0.75 \frac{P \cdot a^2}{t^2}$$

ただし、

a : 円板の半径 (mm)

P : 外 圧 (MPaG)

t : 板 厚 (mm) (設計上は特別形カプセルの底板にネジ穴があることも考えられるため、保守側に設定)

ここで、

$$a = 38.1 \text{ mm}$$

$$P = 0.15 \text{ MPaG}$$

$$t = \square \text{ mm}$$

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_b &= 0.75 \times \frac{0.15 \times 38.1^2}{\square} \\ &= \square \text{ MPa}\end{aligned}$$

基準値はA. 1. 2より、 S_u 又は $3.6 S_m$ の小さい方である。

底板の温度 180°F (82.2°C)における設計引張強さ S_u は461MPa、 S_m は100MPaであるので、基準値は $3.6 S_m$ の360MPaである。

したがって、余裕率MSは、次のようになる。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{3.6 S_m}{\sigma_b} - 1 \\ &= \frac{360}{\square} - 1 \\ &= \square\end{aligned}$$

したがって、底板は、外圧に対して十分な強度を有する。

3. 外圧に対する蓋の強度

蓋の最大応力は蓋中央部に生じる。この半径方向曲げ応力 σ_b (MPa)は、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{3(3 + \nu) P \cdot a^2}{8t^2}$$

ただし、

a : 蓋半径 (mm)

P : 圧力 (MPaG)

t : 板厚 (mm)

ν : ポアソン比

ここで、

$$a = 38.1 \text{ mm}$$

$$P = 0.15 \text{ MPaG}$$

$$t = \square \text{ mm}$$

$$\nu = 0.31$$

したがって、

$$\sigma_b = \frac{3 \times (3 + 0.31) \times 0.15 \times 38.1^2}{8 \times \boxed{}}$$
$$= \boxed{} \text{MPa}$$

蓋の温度 180°F (82.2°C) における設計引張強さ S_u は 461MPa、 S_m は 100MPa であるので、基準値は $3.6 S_m$ の 360MPa である。したがって、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \frac{3.6 S_m}{\sigma_b} - 1$$

$$= \frac{360}{\boxed{}} - 1$$

$$= \boxed{}$$

したがって、外圧に対し蓋は十分な強度を有する。

A. 9. 2. 5 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

特別の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を(ロ)－第A. 17 表に示す。

(1) 落下試験Ⅲ(動的圧潰時)

落下試験Ⅲにおいては、最下部に位置する円筒容器蓋ボルトが破断するおそれがあるが、その他の蓋ボルトについては破断しない。したがって、円筒容器蓋ボルト 12 本の内、最大で 1 本が破断する可能性がある。

蓋ボルト 1 本の破断では、蓋が開放し、特別形カプセルが外部に放出することはないが、A. 9. 2. 2～A. 9. 2. 4においては、保守側に円筒容器から特別形カプセルが放出した状態を想定する。

また、円筒容器に収納されている特別形カプセルについては、中性子遮蔽材空間部と特別形カプセル間の隙間が常に確保されているため、特別形カプセルの密封健全性に影響を及ぼす外力は作用しない。

(2) 落下試験Ⅱ(貫通試験)

落下試験Ⅱにおいては、落下試験Ⅲの結果を考慮し、特別形カプセルが 1m 高さから軟鋼棒上に衝突するものとして評価しており、特別形カプセルは破損しない。

(3) 熱的試験

イ章D. 2 (3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示すように、特別形核燃料物質等に係る試験後に特別形カプセルの密封健全性が確認されており、また、B. 5. 6に示すように、特別形核燃料物質等に係る加熱試験と特別の試験条件の熱的試験は等価とみなすことができる。

したがって、特別の試験条件の熱的試験において、本輸送物の密封健全性が損なわれることはない。

(4) 15m 浸漬試験

15m 浸漬試験においては、特別形カプセルに 0. 15MPa の水頭圧が作用する場合に、構造健全性を損なうおそれがない。

以上の評価より、特別の試験条件において、本輸送物が密封健全性を損なうおそれはない。

(ロ) - 第A.17表 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約

条件	項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等 (MS)	
特別の試験条件	落下試験Ⅲ	落下試験Ⅲ後に特別形カプセルの密封性能に問題がないこと		中性子遮蔽材空間部と特別形カプセル間の隙間は、常に維持されており、特別形カプセルの密封性能に影響を及ぼす外力は作用しない		
	落下試験Ⅱ					
	1. 垂直落下 特別形カプセル蓋部及び底部	垂直落下において特別形カプセルの密封性能に問題がないこと	E _s	N・mm	垂直落下は、特別形核燃料物質等に係る試験の衝撃試験結果に包絡される。衝撃試験では、試験後に特別形カプセルの密封性能維持を確認しているため、問題ない 1.35×10 ⁵ N・mm	N・mm
	2. 水平落下 特別形カプセル本体					
	熱的試験	特別の試験条件である熱的試験後に、特別形カプセルの密封性能に問題がないこと			特別の試験条件である熱的試験と等価とみなせる試験（特別形核燃料物質等に係る試験）を実施し、試験後に特別形カプセルの密封性能に問題ないことを確認した	
	15m 浸漬試験					
特別形カプセル本体	P _a	20.5MPa				
特別形カプセル底板	3.6 S _m	360MPa				
特別形カプセル蓋	3.6 S _m	360MPa				

2. 破損の要約

特別の試験条件下における輸送物の主な破損の要約を(ロ)－第A.18表に示す。これらの破損が、容器の熱的性能、密封性能及び遮蔽性能に与える影響は、(ロ)－第A.19表に示すとおりである。これらの影響の具体的評価は、以下ロ章各項で検討する。

(ロ) - 第A.18表 特別の試験条件下の輸送物破損の評価

(備考) ○印は破損あり

—印は破損なし

試験	部位	17C ドラム 缶	敷 材	円 筒 容 器	中 性 子 遮 蔽 材	特 別 形 カ プ セル	備 考
落下試験Ⅲ (動的圧潰)		/	/	○	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・9m 落下試験結果を考慮し、17Cドラム缶及び敷材は無視する。 ・円筒容器蓋ボルトが最大で1本破損する。
落下試験Ⅱ (1m貫通)				—			—
熱的試験				—			—
15m 浸漬試験				—			—

(ロ)－第A.19表 特別の試験条件における他の解析への影響

熱 解 析	密 封 解 析	臨 界 解 析
<p>強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）における円筒容器蓋ボルトの破損を考慮し、特別形カプセルが輸送容器から放出された状態を想定して解析する。</p>	<p>－ （特別形核燃料物質等に係る試験により、密封性能を確認しているため、解析は実施しない。）</p>	<p>強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）における円筒容器蓋ボルトの破損を考慮し、特別形カプセルが輸送容器から放出された状態を想定するが、円筒容器内の高密度ポリエチレンが水よりも優れた反射体であることから、円筒容器までを考慮する。</p>

A.10 付属書類

A.10.1 参考文献

①

②

- ③ CRC Press, Handbook of Tables for Applied Engineering Science, 2nd Edition, 1973, p. 152.
- ④ Title 49, Code of Federal Regulations, Part 178, Subpart K, Specifications for Packagings for Class 7 (Radioactive) Materials, and Subpart M, Testing of Non-bulk Packagings and Packages
- ⑤ Ammerman, D. J., Bobbe, J. G., Arviso, M, and Bronowski, D. R., Testing in Support of Transportation of Residues in the Pipe Overpack Container, SAND97-0716, Sandia National Laboratories, April 1997.
- ⑥ Smith, Allen C., and Gelder, Lawrence F., Drop Tests for the 6M Specification Package Closure Investigation, WSRC-MS-2004-00221, April 30, 2004.
- ⑦ Blanton, P. S., Responses of Conventional Ring Closures of Drum Type Packages to Regulatory Drop Tests with Application to the 9974/9975 Package, WSRC-MS-2002-00452, August, 2002.
- ⑧ 大澤 善次郎、“高分子劣化・長寿命化ハンドブック” (2011)
- ⑨ 産業技術センター、“複合材料技術集成”
- ⑩ 日本機械学会、“機械工学便覧”改訂第5版
- ⑪ JIS B 8265、“圧力容器の構造—一般事項” (2010)
- ⑫ 木材工業ハンドブック編集委員会、“木材工業ハンドブック (改訂3版)”、(昭和57年)
- ⑬ W. R. Holman, R. T. Langeland, Recommendations for Protecting Against Failure by Brittle Fracture in Ferritic Steel Shipping Containers Up to Four Inches Thick, NUREG/CR-1815, UCRL-53013. (1981)

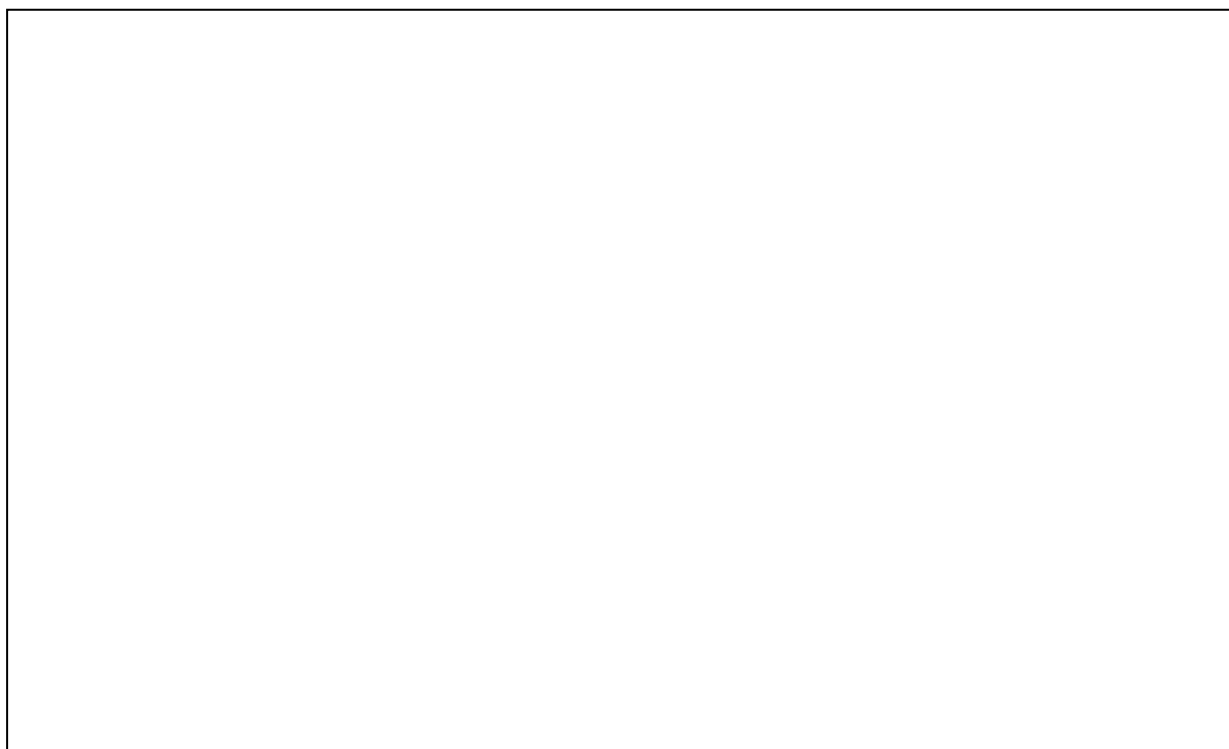
- ⑭ 米国運輸省、Test and Evaluation Document for DOT Specification 1 7 C Type A Packaging、DOE/RL-96-57, Revision0、付録E、表 E-1
- ⑮ 米国運輸省、Test and Evaluation Document for DOT Specification 1 7 C Type A Packaging、DOE/RL-96-57, Revision0、付録D、表 D-1. a
- ⑯ 米国運輸省、Test and Evaluation Document for DOT Specification 1 7 C Type A Packaging、DOE/RL-96-57, Revision0、付録D、表 D-24
- ⑰ 米国運輸省、Test and Evaluation Document for DOT Specification 1 7 C Type A Packaging、DOE/RL-96-57, Revision0、付録D、表 D-31
- ⑱ (社)日本機械学会、“発電用原子力設備規格 設計・建設規格<第 I 編 軽水炉規格>” JSME S NC1-2005 (2007 年追補版含む)、(2007)

A.10.2 9 m 落下試験

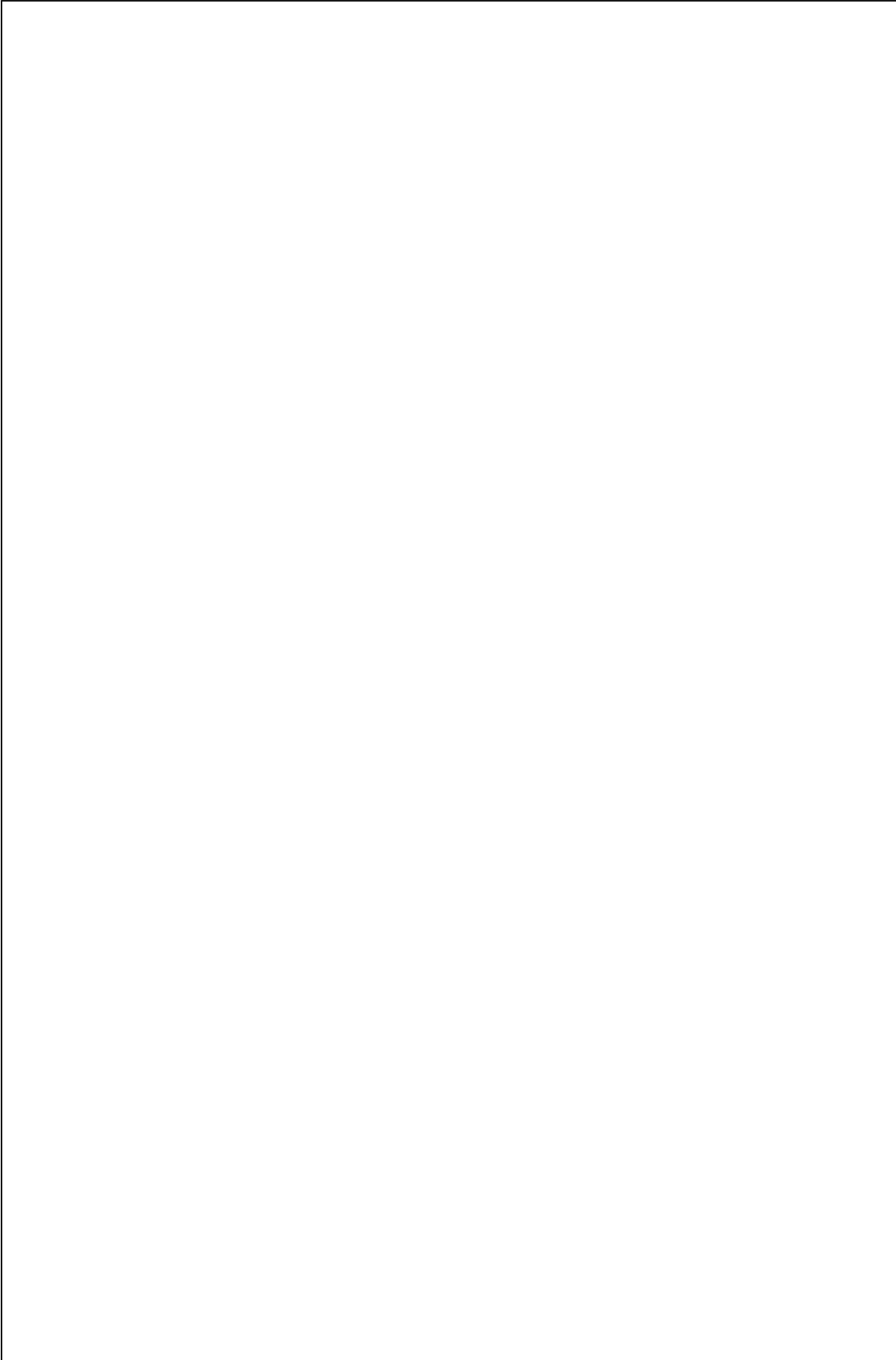
(1) 概要

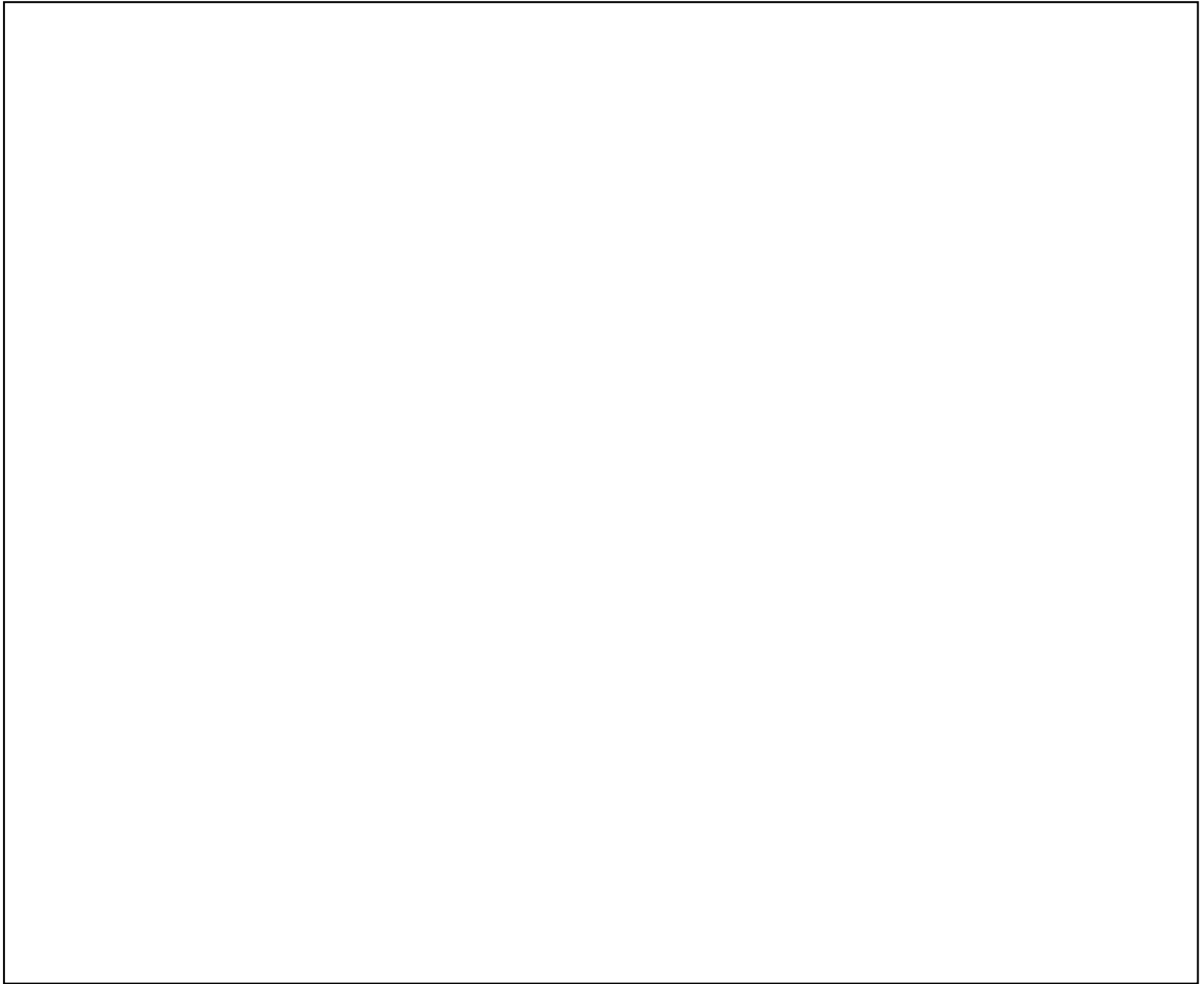
9m 自由落下時に、円筒容器が健全性を維持することを確認するため、本輸送容器と同じ形状を有するオーバーパック及び円筒容器に対する落下試験結果⁵⁾を引用し、オーバーパック及び円筒容器に対する評価を行う。

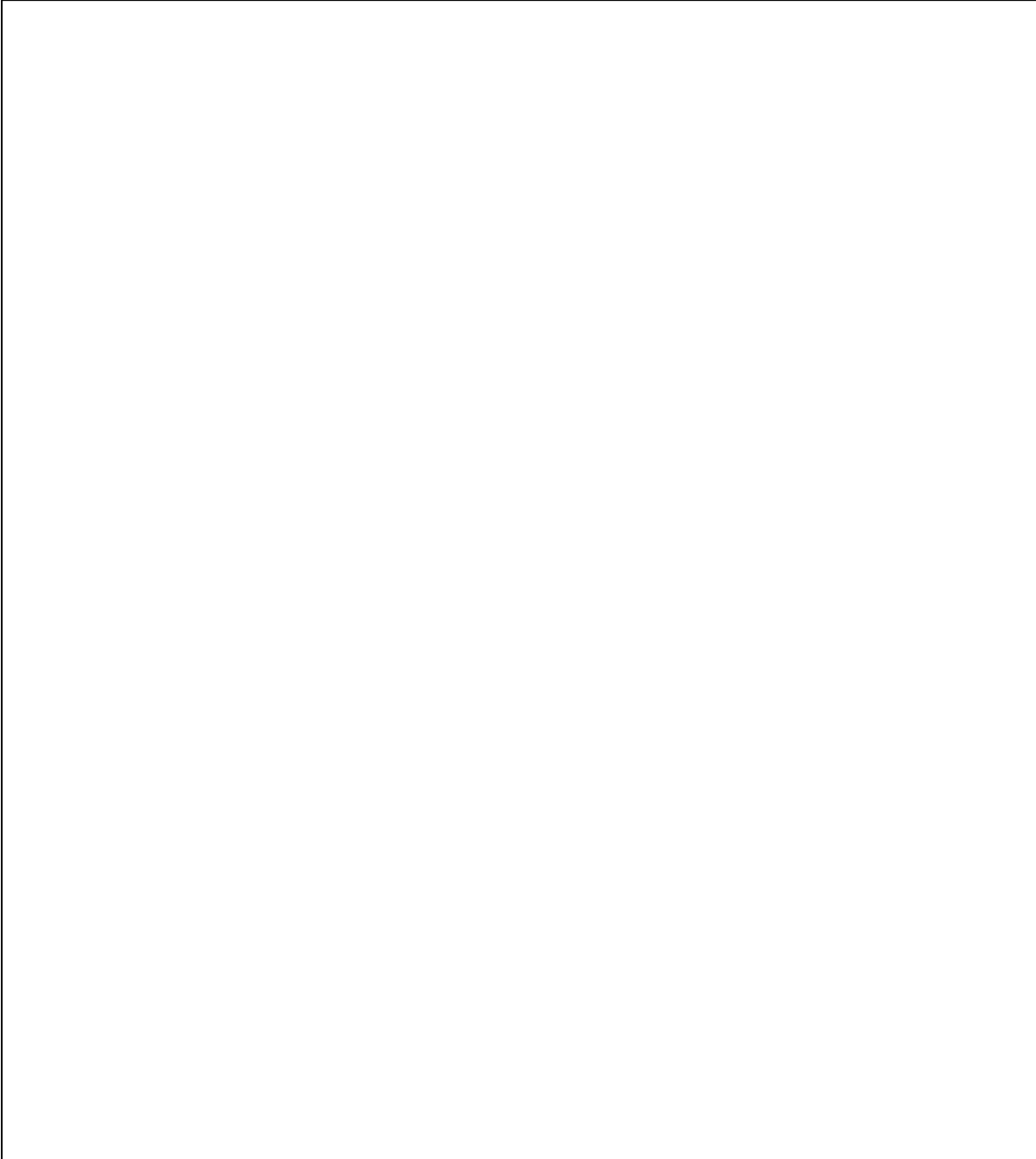
落下試験に使用したオーバーパック及び円筒容器が収納される TRUPACT-II 型輸送物の概要図を(ロ)－第A.25図に示す。

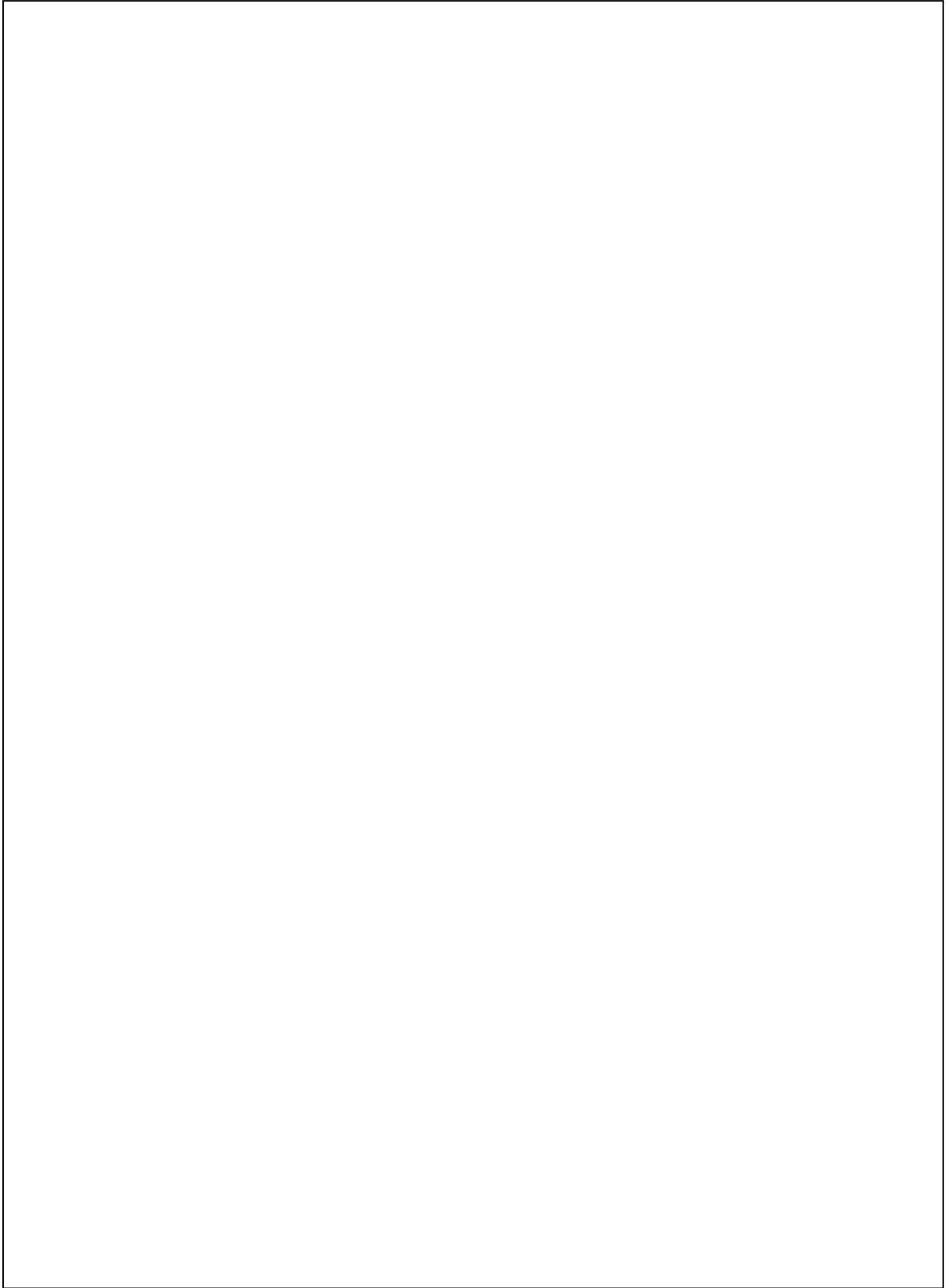


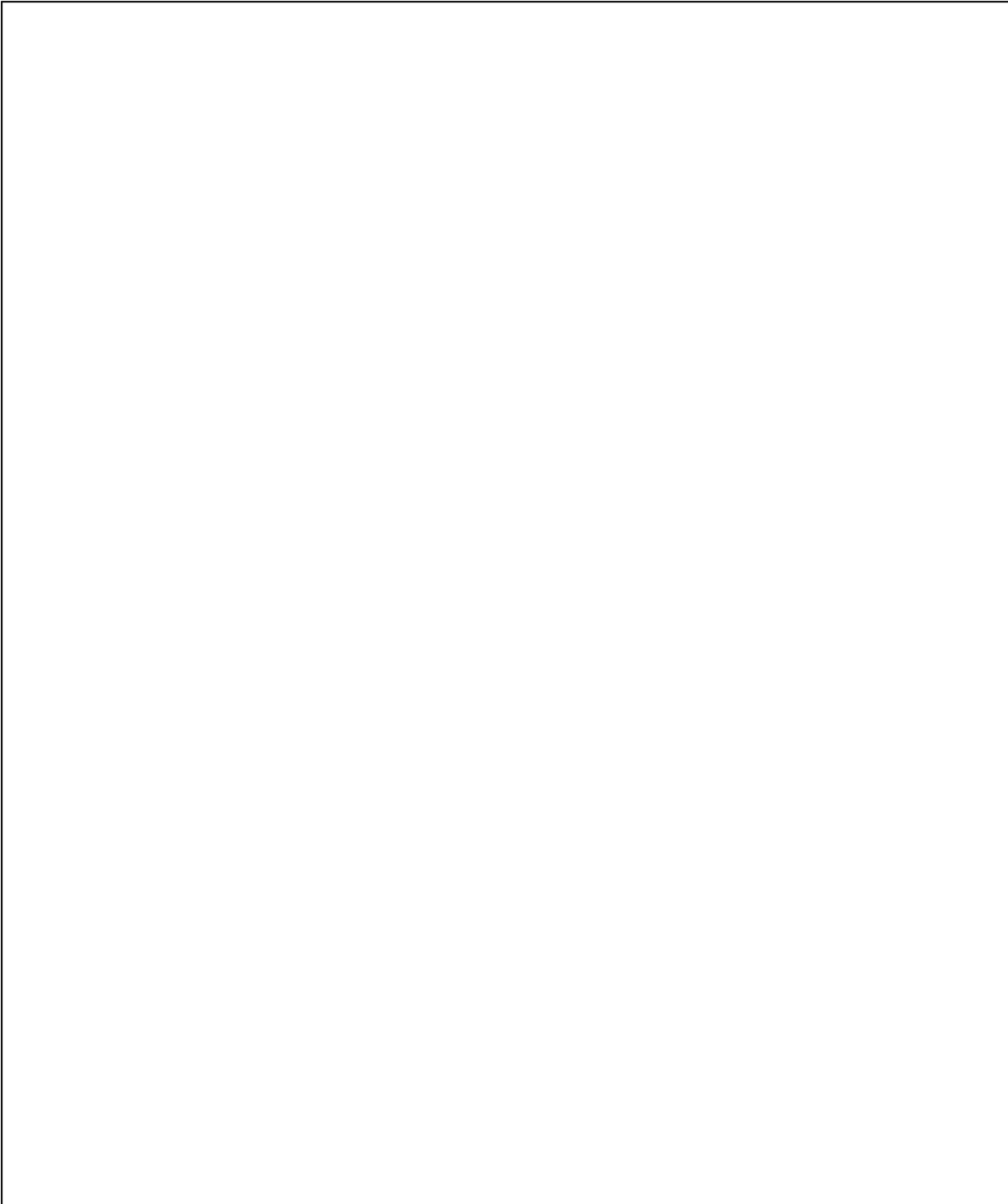
(ロ)－第A.25図 TRUPACT-II 型輸送物 概要図

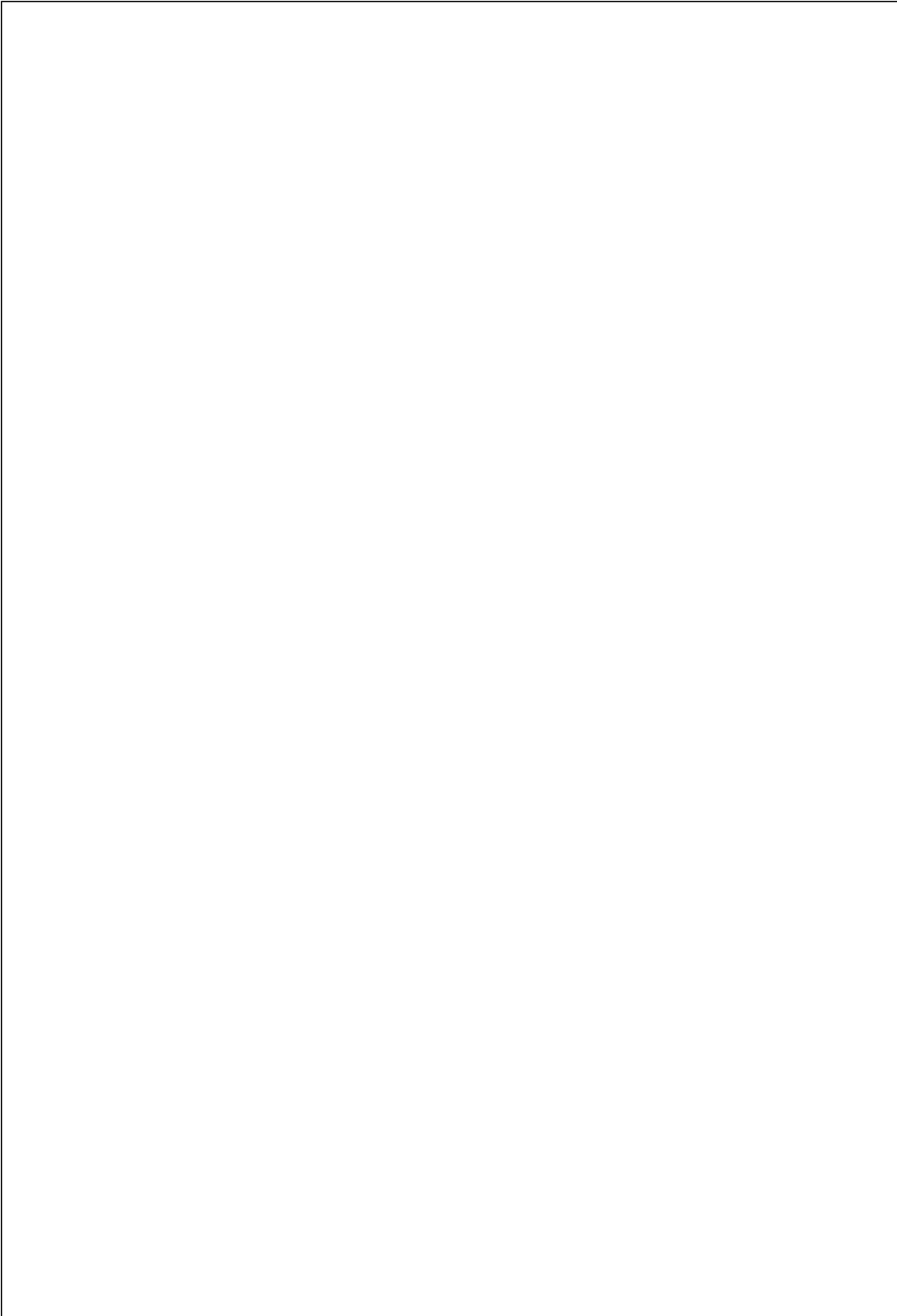












A.10.3 ベンチマーク解析

(1) 概要

A.9.2.1に示す動的圧潰時の解析結果を検証するため、単純化した解析モデルを用いたベンチマーク解析を行った。本解析によって、塑性変形量及びエネルギー時刻歴の出力を行った。

(2) 解析モデル

ベンチマーク解析に用いた解析モデル図を(ロ)－第A.31図に示す。

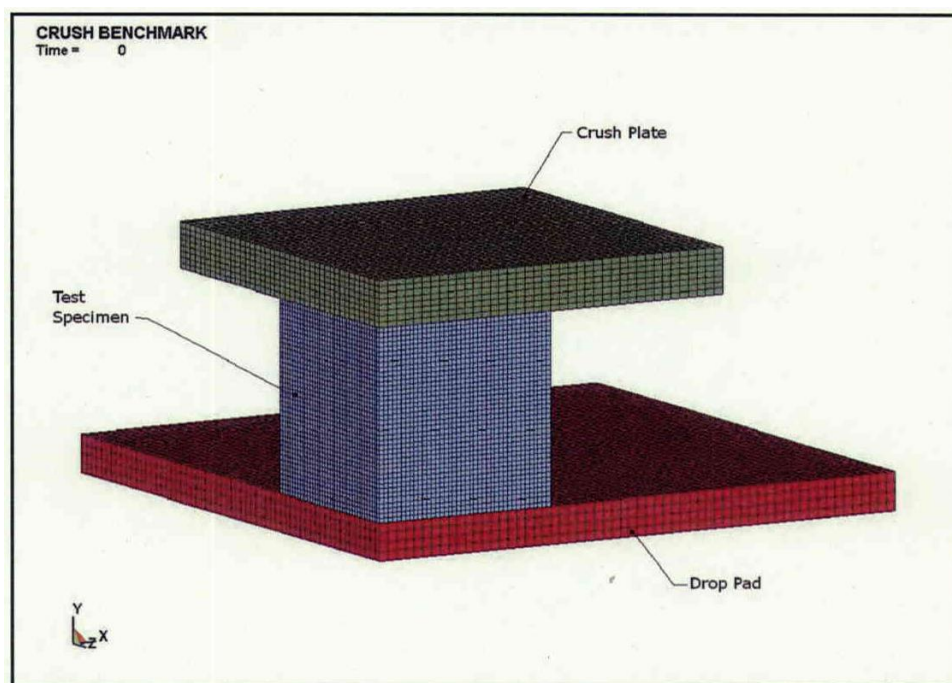
解析は、落下台上に置かれた供試体に対して、軟鋼板を落下衝突させることによって行った。供試体は、材質が高密度ポリエチレンである中実棒である。

落下台、供試体、並びに軟鋼板を組み合わせた解析モデル全体の外形寸法は、10.0inch×10.0inch×10.0inch (254mm×254mm×254mm) である。

また、 386.4 inch/s^2 (9.81m/s^2) の重力加速度を解析モデル全体に与える。

対称性を考慮し、本解析は4分の1モデルを用いて行う。

材料特性及び接触定義等の解析条件は、全てA.9.2.1に示す解析と同じである。



(ロ)－第A.31図 ベンチマーク解析モデル図

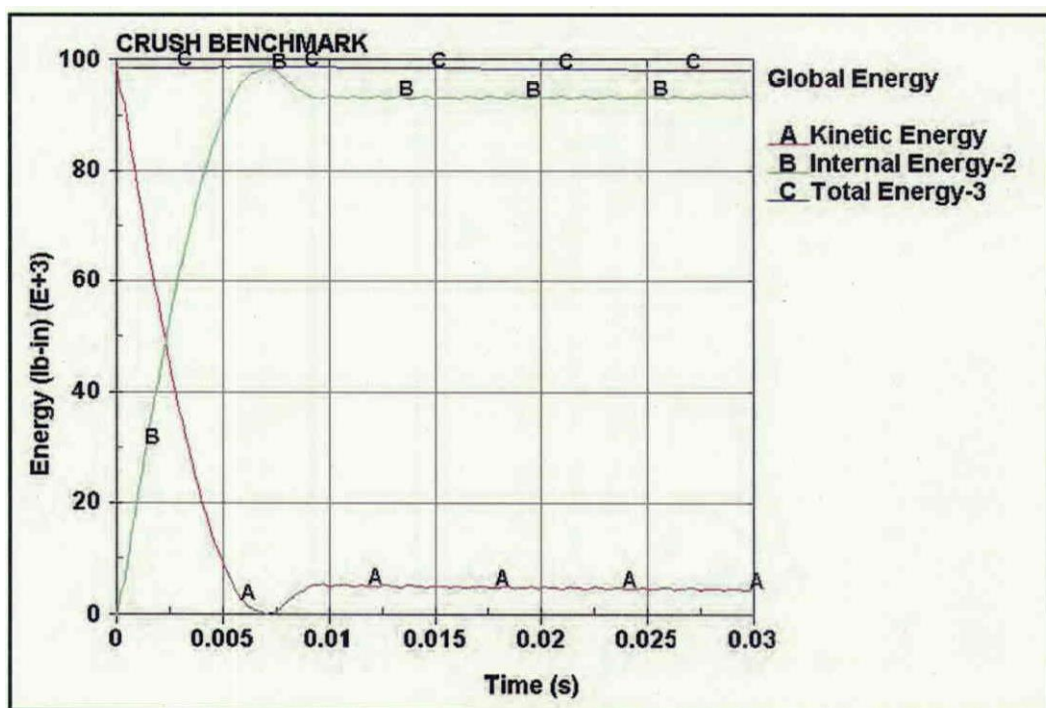
(3) 解析結果

解析では、軟鋼板の運動エネルギーにより、供試体が塑性変形する。供試体の塑性変形を生じさせたエネルギーは、一部は軟鋼板の運動エネルギーに回帰し、一部は供試体の内部エネルギーとして吸収される。

解析から得られたエネルギー時刻歴を(ロ)－第A.32図に示す。

(ロ)－第A.32図より解析初期は、内部エネルギーが増加するとともに、運動エネルギーが減少している。全エネルギーは、計算開始から終了までほぼ一定であるが、アワグラス制御等に起因する計算誤差により、1%程度の小さい損失が生じている。

計算開始時に与えられている軟鋼板の運動エネルギーは 99000 lb・inch (11185N・m) である。また、計算終了時の運動エネルギー及び内部エネルギーはそれぞれ 4892 lb・inch (553N・m) 及び 93181 lb・inch (10528N・m) であるので、全エネルギーは 98073 lb・inch (11081N・m) である。エネルギー損失量は 927 lb・inch (105 N・m) であり、計算開始時における軟鋼板の運動エネルギーの 1%程度であり、ごくわずかなものである。



(ロ)－第A.32図 ベンチマーク解析によるエネルギー時刻歴

供試体の変形量が最大となった時の変形状態図を(ロ)－第A.33図に示す。

供試体に生じた変形は、弾性変形及び塑性変形の双方によるものである。解析モデル形状が単純であるため、応力及びひずみは供試体全域にわたってほぼ均一であると考えられる。

供試体中心における最大変形量から、平均ひずみ量を計算すると以下のようなになる。

$$\varepsilon = \frac{L_0 - L}{L_0} = 0.1804 \text{ in/in}$$

ただし、

L_0 : 供試体初期長さ

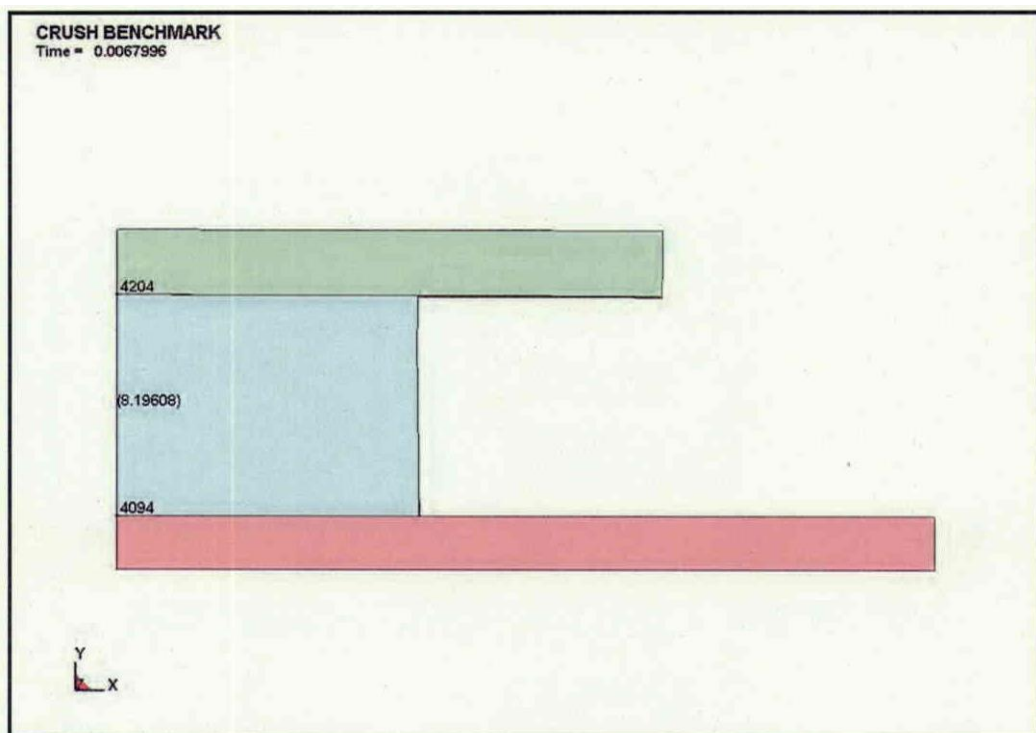
L : 最大変形時の供試体長さ

ここで、

$L_0 = 10.0 \text{ inch (254mm)}$

$L = 8.1961 \text{ inch (208mm)}$

このひずみ量は、高密度ポリエチレンの降伏ひずみを大きく上回っており、主に塑性変形に起因するものである。



(ロ)－第A.33図 変形量最大時の変形状態図 ($t = 6.8 \text{ms}$)

計算終了時刻における変形状態図を(ロ)－第A.34図に示す。

計算終了時刻におけるひずみ量は、以下のように計算される。

$$\varepsilon = \frac{L_0 - L}{L_0} = 0.1632 \text{ in/in}$$

ただし、

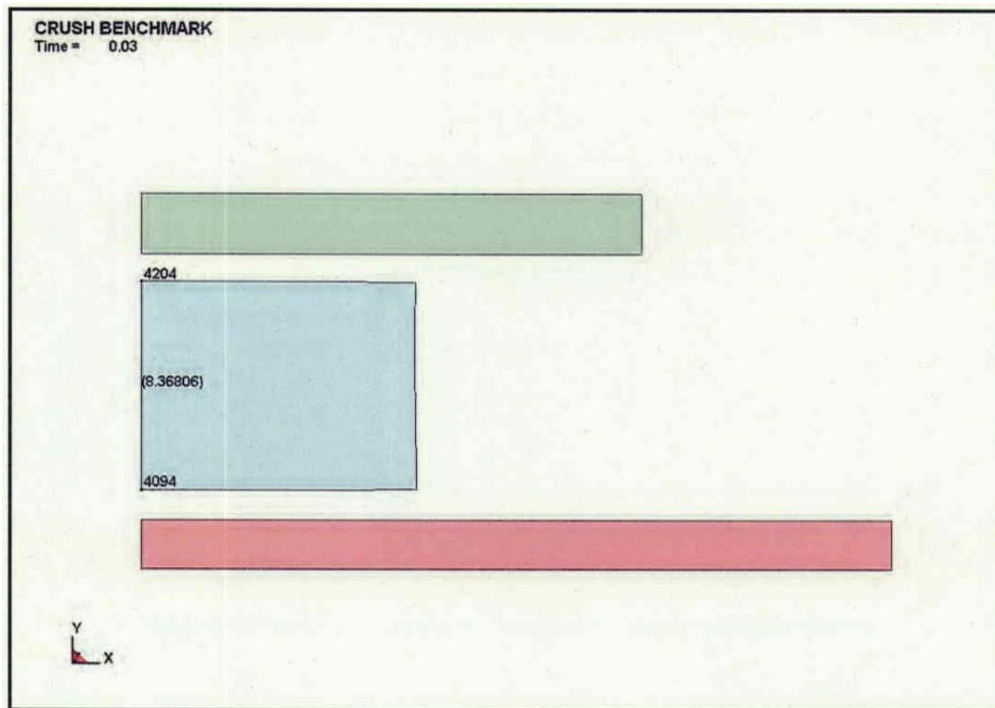
L_0 : 供試体初期長さ

L : 計算終了時の供試体長さ

ここで、

$L_0 = 10.0 \text{ inch (254mm)}$

$L = 8.3681 \text{ inch (213mm)}$



(ロ)－第A.34図 最大塑性変形時の変形状態図 ($t = 30\text{ms}$)

(4) まとめ

ベンチマーク解析では軟鋼板の運動エネルギーの99%が、解析後の運動エネルギー及び内部エネルギーとして使われており、内部エネルギーの増加に伴い塑性変形が発生していることが分かった。

A.9.2.1に示す動的圧潰時の解析も、同様の傾向が見られるため、A.9.2.1に示す動的圧潰時の解析結果も妥当であると言える。

口章B 熱 解 析

B. 熱解析

B.1 概要

1. 熱設計

本輸送容器の熱設計の要点は、容器内部に収納された中性子線源により発生する崩壊熱を外部に放散するシステムである。本輸送容器は(イ)－第C.1図に示すように円筒構造である。

特別形カプセル内に収納された中性子線源により発生する崩壊熱は、特別形カプセル内に充填された空気の自然対流及び伝導によって特別形カプセルに伝えられる。

特別形カプセルに伝えられた熱は、特別形カプセルと中性子遮蔽材の伝導によって円筒容器に伝えられる。特別形カプセル及び中性子遮蔽材の隙間、並びに中性子遮蔽材と円筒容器間の空気層においては、自然対流によって熱が伝えられる。

円筒容器に伝えられた熱は、空気層における自然対流を介して、敷材に伝えられる。敷材に伝えられた熱は、空気層を介してライナー及び17Cドラム缶に伝えられ、大気に放散される。

中性子線源収納時、特別形カプセル内は空気の温度上昇により圧力上昇を生じる。

また、敷材下部には、中性子線源から発生する崩壊熱を外部に放熱しやすくするために、ファープライウッド製のバッファシートが挿入されている。このバッファシートについては、保守側の評価を行うため、熱解析においては無視される。

なお、輸送物の崩壊熱量は、1.1W以下であり、自然冷却にて輸送を行う。

2. 熱解析

熱解析は、本輸送物が規則及び告示に基づいて核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準に適合することを示すために行った。

熱解析は、規則及び告示に規定された核分裂性輸送物に係る熱的条件、及び核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における輸送物の熱的特性について行った。

- (1) 核分裂性輸送物に係る熱的条件は以下の通りである。
 - (a) 周囲の温度範囲は -40°C ～ 38°C である。(規則第 11 条第 3 号)
- (2) 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の熱的条件は以下の通りである。
 - (a) 38°C の条件下に表面温度が一定になるまで置いた後、 800°C で、かつ、0.9 の放射率を有する火炎の放射熱の条件下に 30 分間おくこと。この場合において、告示に定める放射熱及び設計上最大となる内部発熱を負荷するものとし、当該核燃料輸送物の表面吸収率は 0.8 とする。
 - (b) 摂氏 38°C の条件下で太陽放射熱及び設計上最大となる内部発熱を負荷しつつ冷却する。ただし、人為的に冷却はしない。

熱解析の条件及び方法を(ロ)－第 B. 1 表に示す。

(ロ)－第B. 1表 熱解析の条件及び方法

項 目		条 件				
		通常輸送時	特 別 の 試 験 条 件			
		最高温度評価条件	火 災 前	火 災 時	火 災 後	
崩 壊 熱 量		1.1W	(評価しない注3))	な し注1)		
環 境 条 件	周 囲 温 度	静止空気 100F (38℃)		火災 30 分間 1475F (802℃)	静止空気 100F (38℃)	
	太 陽 放 射 熱	照 射		照 射	照 射	
	周 囲 吸 収 率	1.0		1.0 注2)	1.0	
容 器 表 面 放 射 率		0.8		0.8	0.9	
容 器 表 面 吸 収 率		0.9		0.9		
計 算 モ デ ル		二次元軸対称モデル				
温度分布計算プログラム		S I N D A / F L U I N Tコード				
使 用 物 性 値		B. 2 材料の熱的性質に示す。				
最 大 内 圧		$\frac{P V}{T} = \text{一定}$				

注1) 火災からの入熱量に対して十分小さいことから、考慮しない。

注2) 火災の放射率を示す。

注3) 通常輸送時における特別形カプセルの最高温度 151F (66.1℃) を包絡する 165F (73.9℃) を初期温度として火災時評価を行う。

B. 2 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料はイ章C. 3.に示すとおりである。これらの材料のうち熱解析で用いた材料の熱的性質を以下に示す。

1. オーステナイト系ステンレス鋼

オーステナイト系ステンレス鋼の熱的性質を(ロ)－第B. 2表に示す。このデータはASME¹⁾に基づいている。密度については、オンラインデータベース²⁾に基づいている。

製造後間もないオーステナイト系ステンレス鋼の放射率は、0.25～0.28程度⁸⁾である。除染の観点から表面仕上げがなされているため、本解析においては、放射率を0.25とする。

オーステナイト系ステンレス鋼は2700°F (1482°C)以上の融点を有する²⁾が、強度部材として使用されることから、ASME¹⁰⁾に従い、許容温度を800°F (427°C)とする。

2. 炭素鋼

炭素鋼の熱的性質を(ロ)－第B. 3表に示す。このデータはASME¹⁾に基づいている。密度については、オンラインデータベース²⁾に基づいている。炭素鋼の融点は、約2750°F (1510°C)であるが、強度部材として使用されることから、ASME¹⁰⁾に従い、許容温度を700°F (371°C)とする。

3. 高密度ポリエチレン

高密度ポリエチレンの熱的性質を(ロ)－第B. 4表に示す。密度は製造実績^{3) 4)}に基づいており、その他の熱的性質については文献⁵⁾によるものである。

4. ケーンファイバー材

ケーンファイバー材の熱的性質を(ロ)－第B. 5表に示す。このデータはサバンナリバー国立研究所で行われた試験結果⁶⁾に基づいている。ケーンファイバー材の熱的性質は異方性を有し、繊維に対して垂直方向の熱伝導率は、繊維に対して平行方向の熱伝導率に対して小さい。

5. 空 気

空気の熱的性質を(ロ)－第B. 6表に示す。このデータはHandbook of Heat Transfer⁷⁾に基づいている。空気の熱伝導率は、温度に依存して顕著に変化するため、平均膜温度の関数として計算機上で評価される。本輸送物は大気圧に解放されるため、本輸送物の空間は全て大気圧の空気で満たされているものとする。

(ロ) - 第B. 2表 オーステナイト系ステンレス鋼の熱的性質

オーステナイト系ステンレス鋼		
密度	0.289 lb/in ³ (8000 kg/m ³)	
放射率／吸収率	0.25／0.52 ⁹⁾	
温度 ℱ (°C)	熱伝導率 Btu/hr-ft-ℱ ⁹⁾ (W/(m·K))	比熱 Btu/lb-ℱ ⁹⁾ (kJ/(kg·K))
70 (21.1)	8.6 (14.9)	0.114 (0.477)
100 (37.8)	8.7 (15.1)	0.115 (0.481)
150 (65.6)	9.0 (15.6)	0.117 (0.490)
200 (93.3)	9.3 (16.1)	0.119 (0.498)
250 (121)	9.6 (16.6)	0.122 (0.511)
300 (149)	9.8 (17.0)	0.123 (0.515)
許容温度	800 ℱ (427°C)	

(ロ) - 第B. 3表 炭素鋼の熱的性質

炭素鋼		
密度	0.284 lb/in ³ (7860 kg/m ³)	
放射率／吸収率	0.8／0.9	
温度 ℱ (°C)	熱伝導率 Btu/hr-ft-ℱ ⁹⁾ (W/(m·K))	比熱 Btu/lb-ℱ ⁹⁾ (kJ/(kg·K))
70 (21.1)	27.3 (47.2)	0.105 (0.440)
100 (37.8)	27.6 (47.8)	0.108 (0.452)
150 (65.6)	27.8 (48.1)	0.112 (0.469)
200 (93.3)	27.8 (48.1)	0.116 (0.486)
250 (121)	27.6 (47.8)	0.119 (0.498)
300 (149)	27.3 (47.2)	0.122 (0.511)
許容温度	700 ℱ (371°C)	

(ロ) - 第B. 4表 高密度ポリエチレンの熱的性質

高密度ポリエチレン		
密度	0.034 lb/in ³ (941 kg/m ³)	
放射率	0.85	
温度	熱伝導率	比熱
	Btu/hr-ft-°F (W/(m·K))	Btu/lb-°F (kJ/(kg·K))
常温	0.250 (0.433)	0.460 (1.93)
許容温度	180°F (82.2°C)	

(ロ) - 第B. 5表 ケーンファイバー材の熱的性質

ケーンファイバー材			
密度	0.0107 lb/in ³ (296 kg/m ³)		
放射率	0.85 ⁹⁾		
温度 °F (°C)	熱伝導率		比熱 Btu/lb-°F (kJ/(kg·K))
	Btu/hr-ft-°F (W/(m·K))		
	垂直方向	平行方向	
77 (25)	0.0341 (0.0590)	0.0595 (0.103)	0.1433 (0.6000)
125.6 (52)	0.0364 (0.0630)	0.0618 (0.107)	0.1481 (0.6201)
195.8 (91)	0.0422 (0.0730)	0.0659 (0.114)	0.1665 (0.6971)
許容温度	250°F (121°C)		

(ロ) - 第B. 6表 空気の熱的性質

空 気					
温 度 ℱ (°C)	密 度 lb/ft ³ (kg/m ³)	比 熱 Btu/lb-ℱ (kJ/(kg·K))	粘 度 (粘性係数) lb/ft-hr (kg/(m·s))	熱伝導率 Btu/hr-ft-ℱ (W/(m·K))	プラン トル数 —
-40 (-40)	0.0945 (1.51)	0.240 (1.005)	0.03673 (1.518×10 ⁻⁵)	0.0121 (0.0209)	0.729
0 (-17.8)	0.0863 (1.38)	0.240 (1.005)	0.03953 (1.634×10 ⁻⁵)	0.0131 (0.0227)	0.724
50 (10.0)	0.0778 (1.25)	0.240 (1.005)	0.04288 (1.773×10 ⁻⁵)	0.0143 (0.0247)	0.720
100 (37.8)	0.0708 (1.13)	0.241 (1.009)	0.04607 (1.904×10 ⁻⁵)	0.0155 (0.0268)	0.716
200 (93.3)	0.0601 (0.963)	0.242 (1.013)	0.05207 (2.152×10 ⁻⁵)	0.0178 (0.0308)	0.708
300 (149)	0.0522 (0.836)	0.243 (1.017)	0.05764 (2.383×10 ⁻⁵)	0.0199 (0.0344)	0.704
400 (204)	0.0461 (0.739)	0.245 (1.026)	0.06286 (2.598×10 ⁻⁵)	0.0220 (0.0381)	0.700
500 (260)	0.0413 (0.662)	0.248 (1.038)	0.06778 (2.802×10 ⁻⁵)	0.0240 (0.0415)	0.700
600 (316)	0.0374 (0.599)	0.251 (1.051)	0.07242 (2.994×10 ⁻⁵)	0.0259 (0.0448)	0.702
700 (371)	0.0342 (0.548)	0.253 (1.059)	0.07680 (3.175×10 ⁻⁵)	0.0278 (0.0481)	0.699
800 (427)	0.0315 (0.504)	0.256 (1.072)	0.08098 (3.348×10 ⁻⁵)	0.0297 (0.0514)	0.698
900 (482)	0.0292 (0.467)	0.259 (1.084)	0.08500 (3.514×10 ⁻⁵)	0.0315 (0.0545)	0.699
1000 (538)	0.0272 (0.435)	0.262 (1.097)	0.08887 (3.674×10 ⁻⁵)	0.0333 (0.0576)	0.699
1200 (649)	0.0239 (0.383)	0.269 (1.126)	0.09620 (3.977×10 ⁻⁵)	0.0366 (0.0633)	0.707
1400 (760)	0.0213 (0.341)	0.274 (1.147)	0.10306 (4.260×10 ⁻⁵)	0.0398 (0.0689)	0.710
1500 (816)	0.0202 (0.324)	0.277 (1.160)	0.10633 (4.395×10 ⁻⁵)	0.0412 (0.0713)	0.715

B.3 構成要素の仕様

1. 円筒容器蓋部シール（防塵用）

ゴムOリング

使用可能温度 約-60～150℃

太 さ 約φ0.210inch（5.33mm）

2. 中性子遮蔽材

高密度ポリエチレン

使用可能温度 180F（82.2℃）

B.4 一般の試験条件

本輸送物は、B.1で示した通り、一般の試験条件に対する熱的条件は無いが、核分裂性輸送物に係る熱的条件が要求されているため、本章では通常輸送時における温度評価を行う。

B.4.1 熱解析モデル

通常輸送時における輸送物の熱解析は、有限差分法によるSINDA/FLUENTコード^{15) 16) 17)}を用いて行った。

B.4.1.1 解析モデル

1. 形状モデル

本輸送物の通常輸送時における各部温度を評価するため、二次元軸対称モデルを用いた。本モデルにおいて評価する輸送物部位は次のとおりである。

17Cドラム缶、敷材、ライナー、円筒容器、中性子遮蔽材、特別形カプセル

各解析モデルの形状及び要素分割図を(ロ)－第B.1図～(ロ)－第B.4図に示す。これらは、2次元軸対称モデルを3次元表示したものである。

円筒容器に取り付けられる吊り具及び蓋ボルトについては、熱解析への影響が軽微であるため無視する。

敷材下部に取り付けられるファープライウッド製のバッファシートは、評価上無視する。

ライナーは、17Cドラム缶と敷材の径方向中心に配置する。ライナー外面と17Cドラム缶内面、並びにライナー内面と敷材外表面の間の空気層厚さは、共に約0.23inch (5.84mm)である。17Cドラム缶内面の上下端部が皿型形状になっており、ライナーと17Cドラム缶内面の上下端との空気層には部位によってばらつきが生じていることから、ライナー蓋部と17Cドラム缶蓋との間には平均0.4inch (10.2mm)、ライナー下部とドラム缶下部との間には平均0.25inch (6.35mm)の空気層を設ける。ライナーと敷材下部は、直接接触するものとする。敷材上部とライナー蓋部との間には、約0.5inch (12.7mm)の空気層を設ける。

敷材側面と円筒容器側面の間には、0.15inch (3.81mm)の空気層を設ける。この空気層は上部において拡大し、上部での隙間量は平均1.8inch (45.7mm)である。円筒容器蓋部と敷材蓋の間には、0.15inch (3.81mm)～0.7inch (17.8mm)の

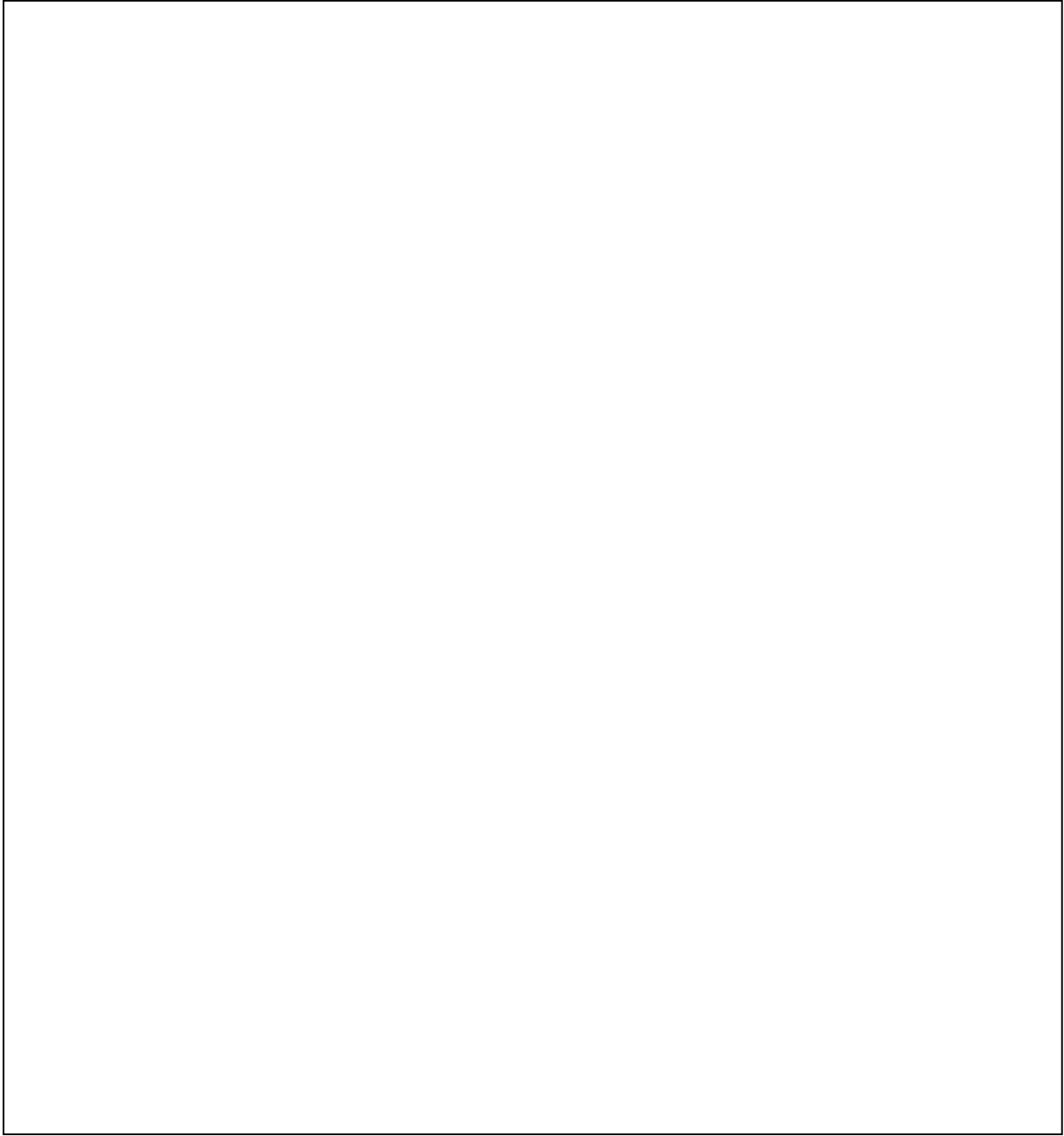
空気層を設ける。円筒容器底面と敷材下部は、直接接触するものとする。

円筒容器側面と中性子遮蔽材側面の間には、0.1inch (2.54mm) の空気層を設ける。円筒容器蓋下面と中性子遮蔽材上面との間には、0.5inch (12.7mm) の空気層を設ける。中性子遮蔽材底面と円筒容器と間は、直接接触するものとしてモデル化する。

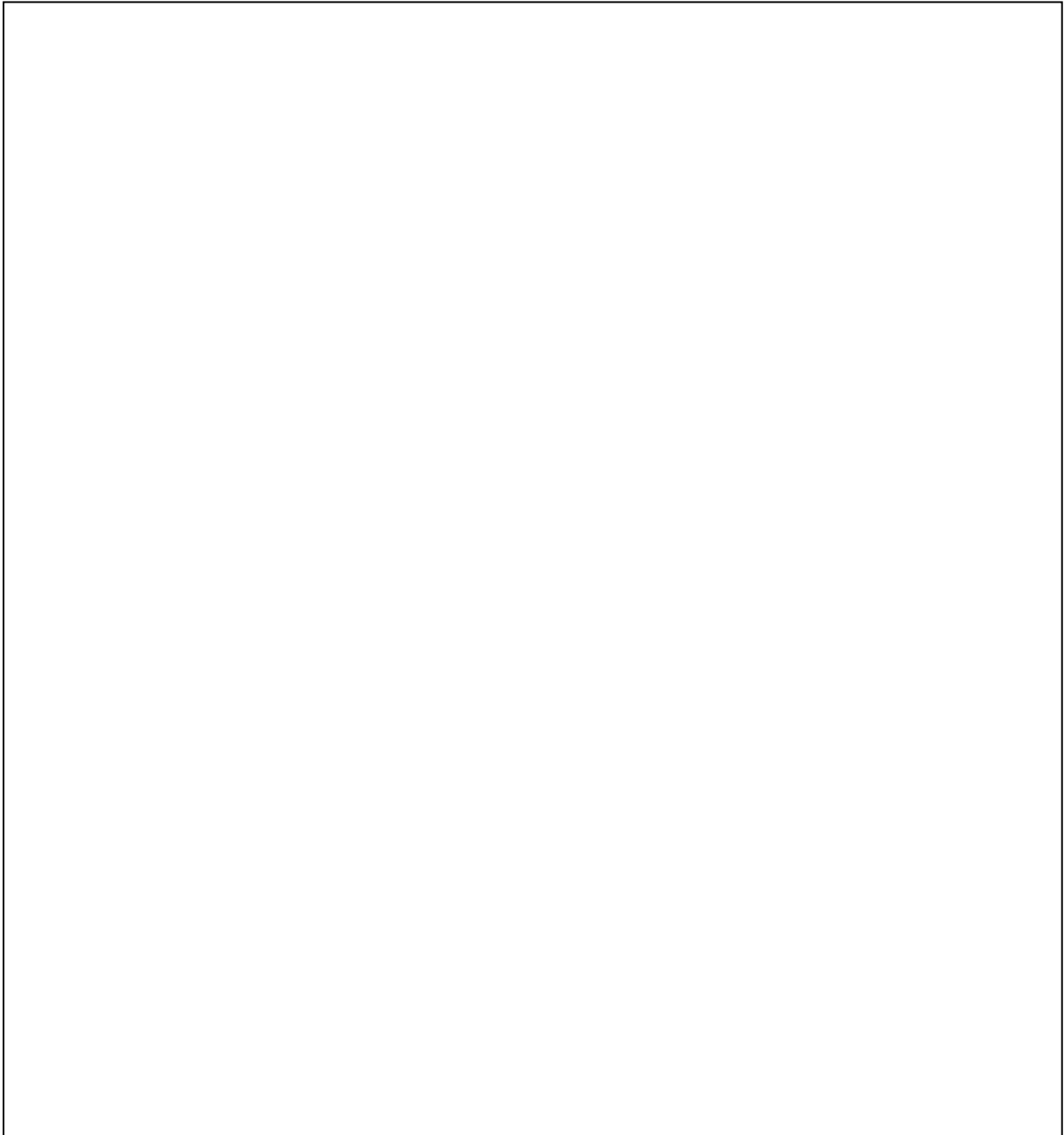
特別形カプセルは、中性子遮蔽材空間部内に径方向中心に位置するようにモデル化する。また、特別形カプセルの底面は、補助遮蔽プラグ上に接触した状態とする。

また、特別形カプセルの寸法は、S300型輸送物に収納可能な特別形カプセルで最も小さい形状（全長 197mm、外径 63.5mm）を設定し、特別形カプセルの熱容量を小さくすることにより、保守側な評価を行う。

なお、特別形カプセル上面と中性子遮蔽材との空間部間にある空気層は、保守側に無視して評価を実施する。



(ロ)－第B.1図 通常輸送時の全体モデル要素分割図



(ロ)－第B.2図 17Cドラム缶及びライナー要素分割図



(ロ) - 第B.3図 敷材及び円筒容器要素分割図



(ロ)－第B.4図 中性子遮蔽材及び特別形カプセル要素分割図

2. 解析条件

通常輸送時における解析条件を(ロ)－第B.7表に示す。また、太陽放射熱を(ロ)－第B.8表に示す。

中性子線源の最大崩壊熱量は、1.1Wである。また、周囲空気温度は最高100F(38℃)とする。容器表面の放射率は0.8とし、容器表面の吸収率は0.9とする。

特別形カプセル表面の放射率を0.25、敷材及び中性子遮蔽材の放射率を0.85として解析する。

特別形カプセル表面の吸収率は、0.52とする。

本評価では通常輸送時においても太陽放射熱を考慮し、太陽放射熱の時間変化を考慮した非定常解析によって輸送物の各部位の温度時刻歴及び最高温度を評価する。詳細は、B.6.1.1を参照のこと。

本輸送物は縦置き輸送され、太陽放射熱は輸送物外表面の半分にのみ与えられるが、本解析においては保守側に全ての外表面から太陽放射熱が入力されるものとして評価を行う。

(ロ)－第B.7表 通常輸送時の熱解析条件

項	目	条 件
崩	壊	熱
	量	1.1W
環境 条件	周	囲
	温	度
	100F (38℃)	
	太	陽
	放	射
	熱	(ロ)－第B.8表に示した熱量が 連続照射 ^{注1)}
	周	囲
	吸	収
	率	1.0
容	器	表
	面	放
	射	率
	0.8	
容	器	表
	面	吸
	収	率
	0.9	

注1) 詳細な解析条件については、B.6.1.1を参照のこと。

(ロ)－第B. 8表 太陽放射熱データ

表面の形状及び位置の区分		放射熱 ^{※1}	
		(g cal/cm ²)	(W/m ²)
水平に輸送される平面	下向きの表面	なし	なし
	その他の表面	800 ^{※2}	775
垂直に輸送される表面及び水平に輸送されない下向きの表面		200 ^{※2}	194
その他の表面		400 ^{※2}	388

※1 米国法令 10CFR § 71.71 に従って太陽放射熱を設定した。

※2 1日当り（昼夜を考慮した12時間分）の太陽放射熱量を表記

B. 4. 1. 2 試験モデル

該当なし

B. 4. 2 最高温度

B. 4. 1 に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた通常輸送時における輸送物各部の最高温度の結果を(ロ)－第B. 9表に示す。

本表に示すように、各部位の最高温度は許容温度に達しないため、輸送物は通常輸送時において健全性を維持する。

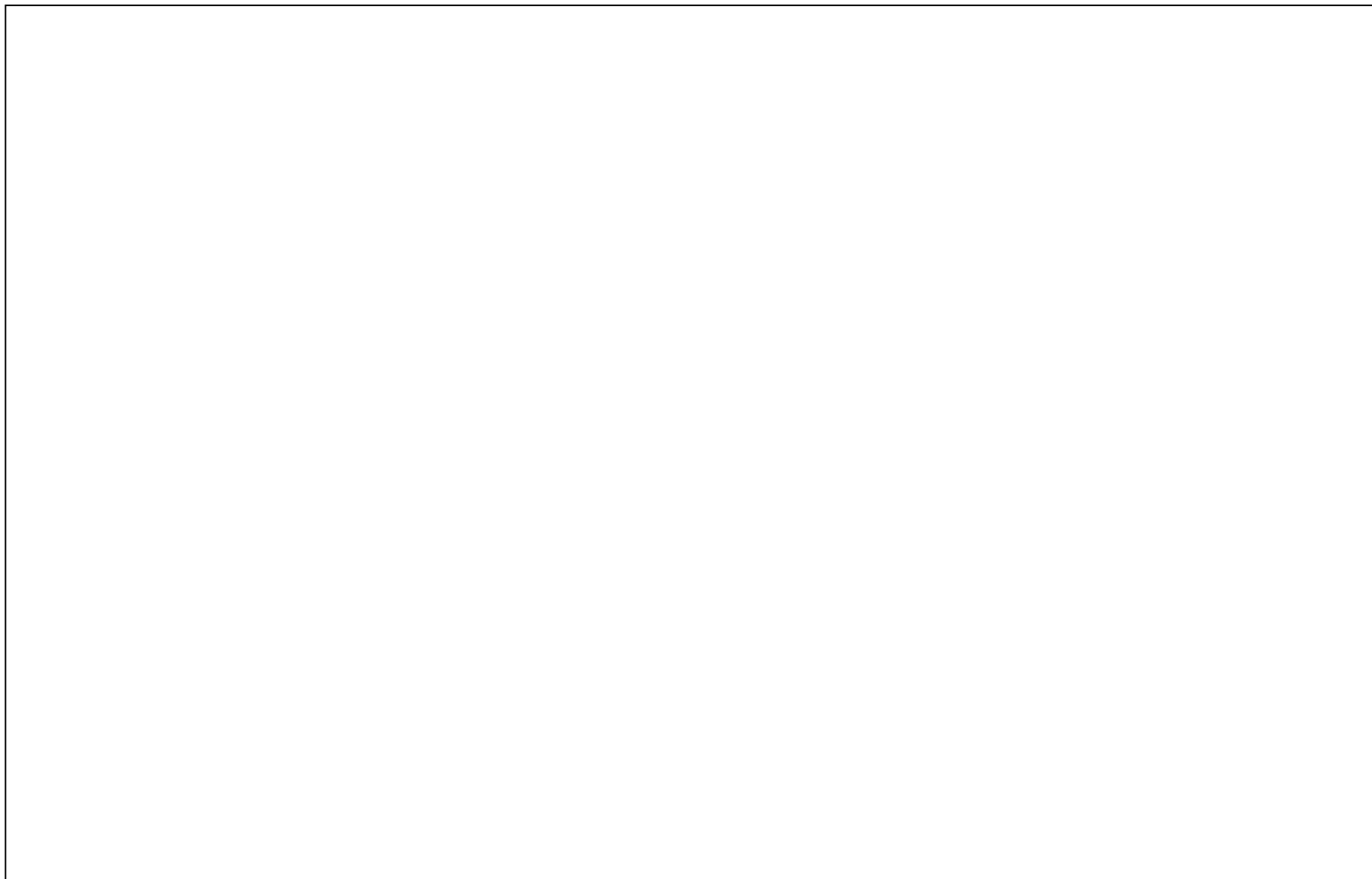
S I N D A / F L U I N Tコードで解析して得られた、太陽放射熱を考慮した非定常解析により得られた時刻歴温度を(ロ)－第B. 5図に、通常輸送時の17Cドラム缶が最高温度となる際の温度分布を(ロ)－第B. 6図に、通常輸送時の中性子遮蔽材が最高温度となる際の温度分布を(ロ)－第B. 7図に示す。

(ロ)－第B.9表 通常輸送時の最高温度

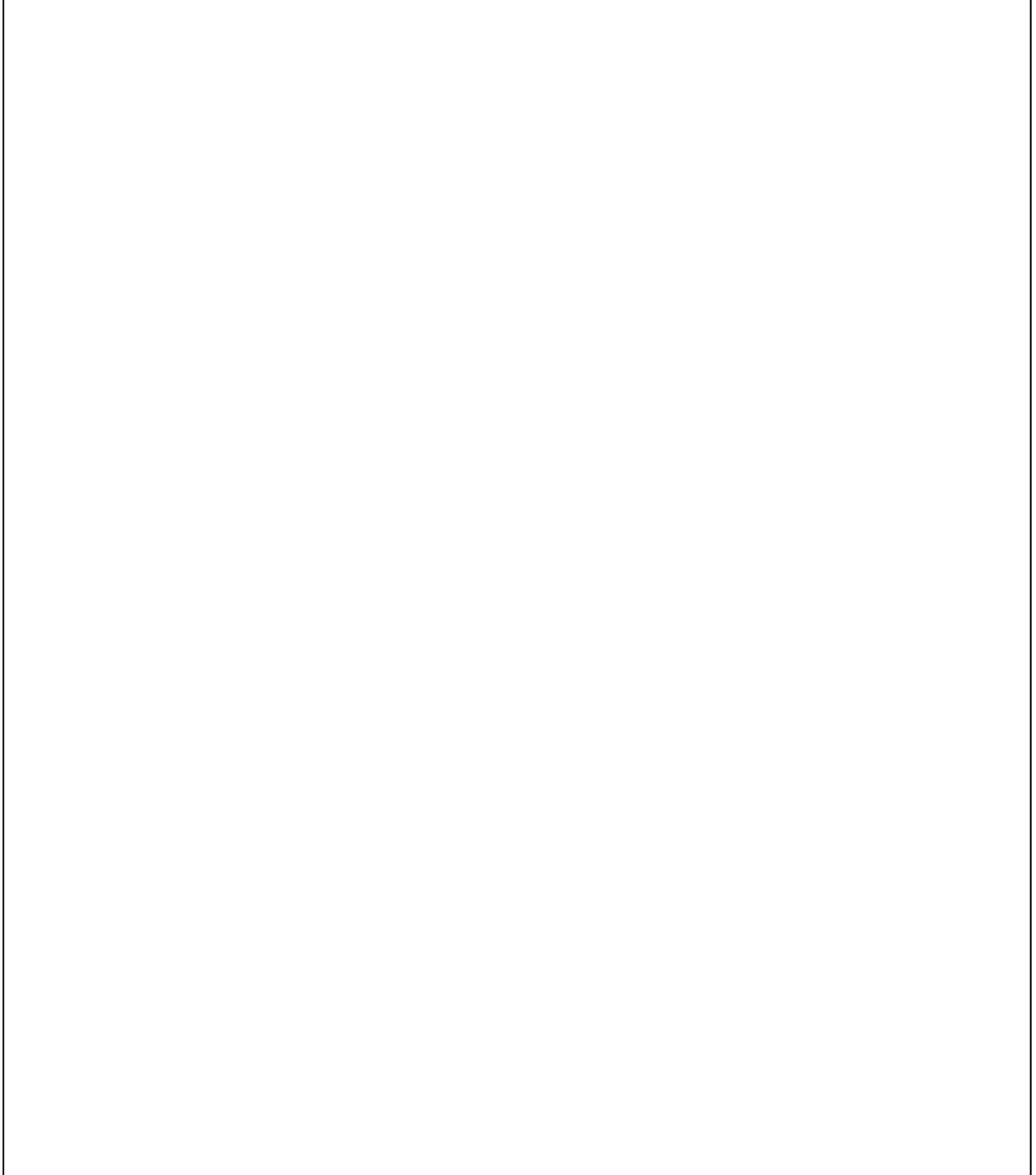
単位：F
(°C)

部 位		条 件	通常輸送時	許 容 温 度
		特 別 形 カ プ セ ル		151 (66.1)	800 (427)
中 性 子 遮 蔽 材	最 大	150 (65.6)	180 (82.2)	
	平 均	141 (60.6)		
円 筒 容 器			152 (66.7)	800 (427)
敷 材	最 大	214 (101)	169 (76.1)	250 ^{1 2)} (121)
	平 均			
ラ イ ナ ー			222 (106)	260 ^{2) 4) ※} (127)
1 7 C ド ラ ム 缶	側 面	189 (87.2)	233 (112)	250 ^{1 1)} (121)
	蓋			

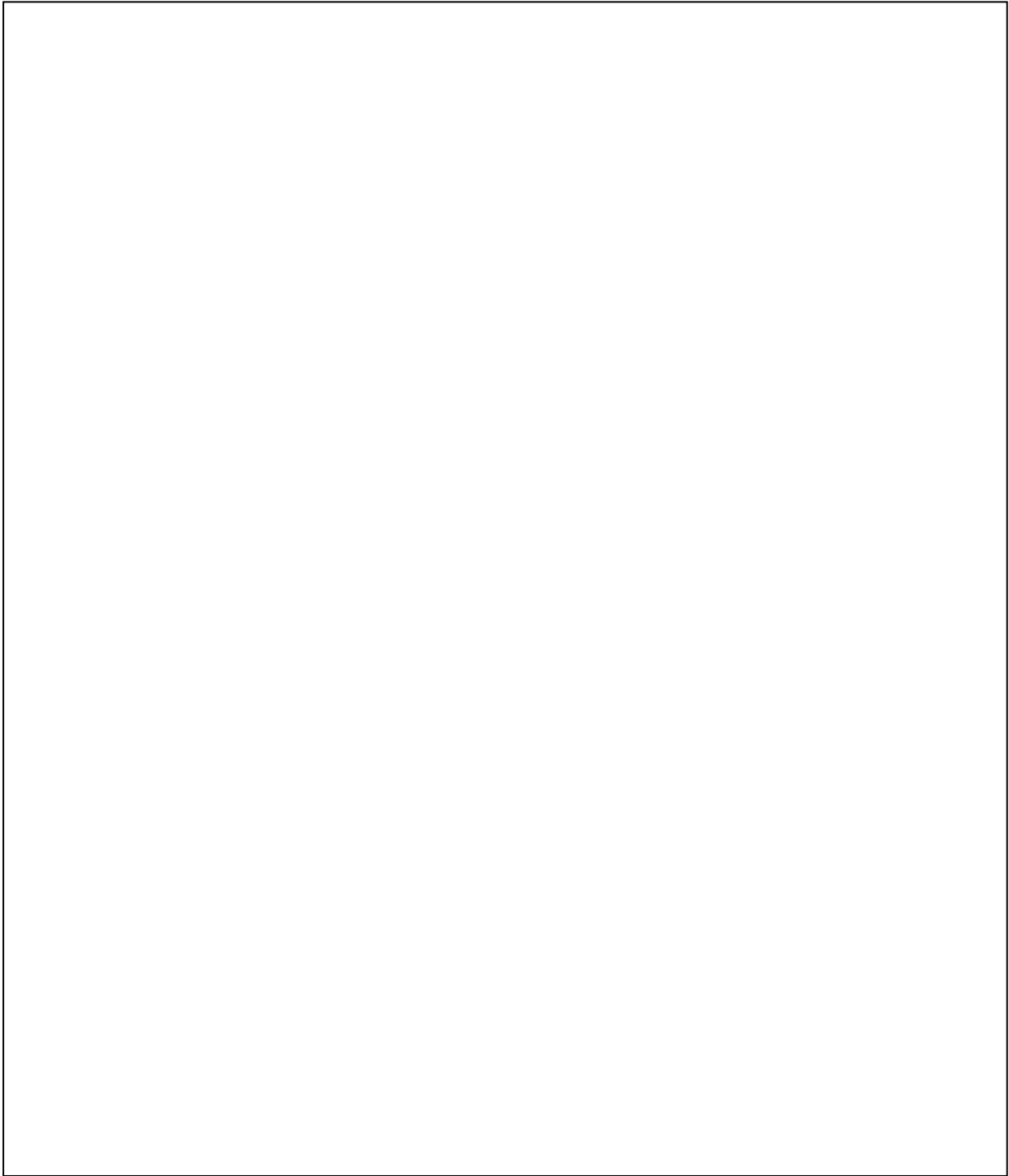
※ライナーは安全上、重要でないため融点を設定する。



(ロ) - 第B. 5図 通常輸送時における輸送物の時刻歴温度変化



(ロ) - 第B.6図 17Cドラム缶が最高温度となる際の温度分布



(ロ)－第B.7図 中性子遮蔽材が最高温度となる際の温度分布

B.4.3 最低温度

発熱量が0で周囲温度が-40℃のときは、輸送物の最低使用温度は、-40℃となる。ロ
章A.4.2低温強度の項で述べたように、最低温度-40℃において構成部品はき裂、破損
等は生じるおそれはなく、問題ない。

B.4.4 最大内圧

1. 特別形カプセル内の圧力

中性子線源を装荷した時の特別形カプセル内温度を20℃、通常輸送時における特
別形カプセル内の平均温度を t_1 ℃とすると、特別形カプセル内の圧力 P_c はボイ
ル・シャルルの法則を用いて以下のように計算される。

$$P_c = P_0 \frac{T_{t_1}}{T_{20}}$$

ただし、

P_c : t_1 ℃の特別形カプセル内圧 (MPa)

P_0 : 初期圧力 (大気圧 : 0.1013MPa 絶対圧)

T_{20} : 初期温度 (293K)

$T_{t_1} = t_1 + 273$ (K)

上記の式より求めた特別形カプセル内圧を(ロ)－第B.10表に示す。

(ロ)－第B.10表 通常輸送時の特別形カプセル内圧

項 目	記 号	単 位	計 算 値
特別形カプセル内平均温度※	t_1	°F (°C)	180 (82.2)
特別形カプセル内圧 (絶対圧)	P_c	MPa	0.123 (0.0216MPaG)

※ P_c は構造評価にも使用するため、 t_1 は構造評価用の温度を適用する。

((ロ)－第A.9表参照)

B. 4. 5 最大熱応力

イ章D. 2 (3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示すように、通常輸送時に対して保守側である特別形核燃料物質等に係る試験において、加熱試験後に特別形カプセルが密封健全性を維持することが確認されているため、通常輸送時において本輸送物の健全性が損なわれるような熱応力が生じることはない。

B. 4. 6 結果の要約及びその評価

通常輸送時における輸送物各部の最高温度は(ロ)－第B. 9表に、最大内圧は(ロ)－第B. 10表に示すとおりである。

通常輸送時において、許容温度を上回る構成部品は存在しない。

周囲温度が -40°C で太陽放射熱なしの場合、本輸送物の温度は -40°C となり、A. 4. 2に示したとおり、 -40°C において構成部品はき裂、破損等の生じるおそれはない。したがって、周囲温度が -40°C においても輸送容器の健全性に問題はない。

通常輸送時における熱解析結果の要約と評価を(ロ)－第B. 11表に示す。

(ロ)－第B.11表 通常輸送時の熱解析結果の要約と評価

項 目	解析基準値	解析結果	評 価
最高温度 特別形カプセル 中性子遮蔽材 円筒容器 敷材 ライナー 17Cドラム缶	800 ℉ (427 ℃) 180 ℉ (82.2 ℃) 800 ℉ (427 ℃) 250 ℉ (121 ℃) 260 ℉ (127 ℃) 250 ℉ (121 ℃)	151 ℉ (66.1 ℃) 150 ℉ (65.6 ℃) 152 ℉ (66.7 ℃) 214 ℉ (101 ℃) 222 ℉ (106 ℃) 233 ℉ (112 ℃)	基準に合致
最大内圧	—	0.123 MPa (0.0216 MPaG)	構造解析に使用
最低温度	構成部品のき裂及び破損等がないこと。	最低使用温度-40℃で構成部品のき裂、破損等の生じるおそれなし。	基準に合致

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

特別の試験条件における輸送物の熱解析は、通常輸送時と同様に、有限差分法による S I N D A / F L U I N T コードを用いて行った。

B.5.1.1 解析モデル

1. 形状モデル

通常輸送時と同様に、各部温度を算出するために解析モデルとして2次元軸対称モデルを用いた。熱解析によって評価する部位は、特別の試験条件における強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）の結果を考慮し、特別形カプセルが輸送容器から放出され、直接炎にさらされる条件として評価する。

特別の試験条件における解析モデルは、(ロ)－第B.4図に示す特別形カプセルの解析モデルである。

2. 解析条件

解析に使用した熱的条件は次のとおりである。

特別の試験条件下の熱解析は、強度試験・落下試験Ⅱ及びⅢの条件にひきつづいて、耐火試験条件下におかれるものとする。火災前の輸送容器の温度分布は、通常輸送時における熱解析結果を包絡するように、特別形カプセル全体を一律 165°F (73.9°C) とする。

なお、中性子線源の崩壊熱量は最大 1.1W であるが、本評価においては、崩壊熱量が火災から受ける熱流束に比べて十分小さいことから、考慮しない。

火災時の熱的条件は、周囲温度 1475°F (802°C)、火災時間 30 分、火災の放射率 1.0、特別形カプセル表面の放射率 0.8 であり、太陽放射熱は受けるものとする。火災後の熱的条件は、周囲温度 100°F (38°C) であり、太陽放射熱 ((ロ)－第 B. 8 表参照) を連続で受けるものとする。このとき、特別形カプセル表面の放射率及び吸収率は、0.9 である。特別形カプセル表面からの熱放散は、自然対流と放射を考慮する。

解析条件のまとめを(ロ)－第 B. 12 表に示す。

(ロ)－第 B. 12 表 特別の試験条件下の熱解析条件

事 象 項 目		火災前	火災時 (30 分間)	火災後
		崩 壊 熱 量				な し
環 境 条 件	周 囲 温 度	注 1)	火 災 1475°F (802°C)	静 止 空 気 100°F (38°C)
	太 陽 放 射 熱		照 射	照 射
	周 囲 吸 収 率		1.0 注 2)	1.0
特別形カプセル表面 放射率/吸収率	0.8/0.9		0.9/0.9	

注 1) 火災前は、解析モデル全体の温度を一律 165°F (73.9°C) とする。

注 2) 火災の放射率を示す。

B. 5. 1. 2 試験モデル

該当なし

B. 5. 2 輸送物の評価条件

強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）における輸送物の変形は、特別形カプセルに対して有意な変形を及ぼさないため、熱解析モデルとして特別形カプセルの変形は想定しない。

B. 5. 3 輸送物温度

B. 5. 1. 1 に記載したモデル及び条件に基づいて、S I N D A / F L U I N T コードにより解析を実施した。特別の試験条件下における火災時及び火災後の特別形カプセル最高温度の時刻歴を(ロ)－第B. 13 表及び(ロ)－第B. 14 表に示す。また、解析結果をグラフで示したものを(ロ)－第B. 8 図及び(ロ)－第B. 9 図に示す。

(ロ)－第B.13表 特別の試験条件下の特別形カプセル最高温度履歴 (火災時)

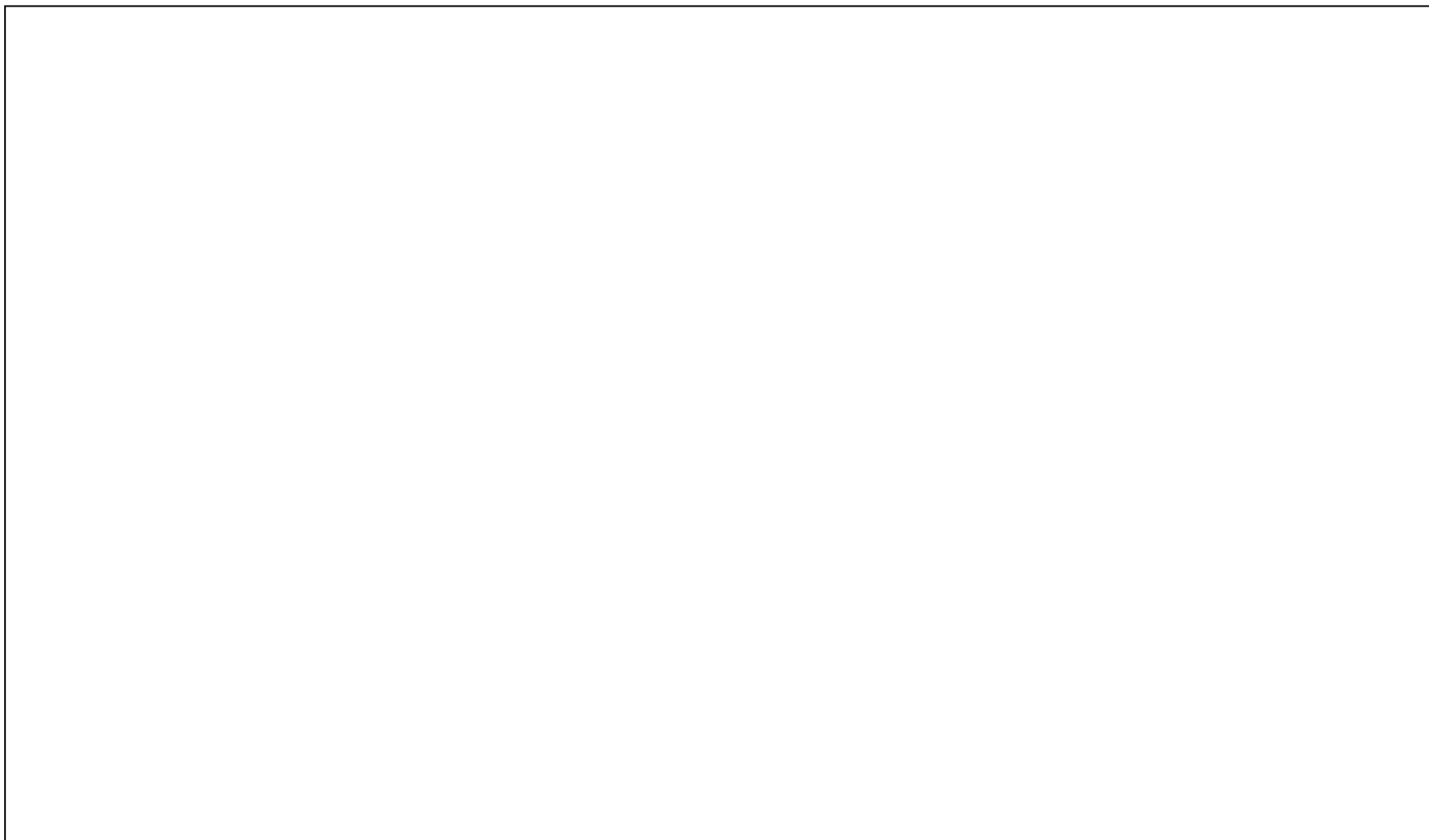
--

注) () 内の数値は℃を示す。

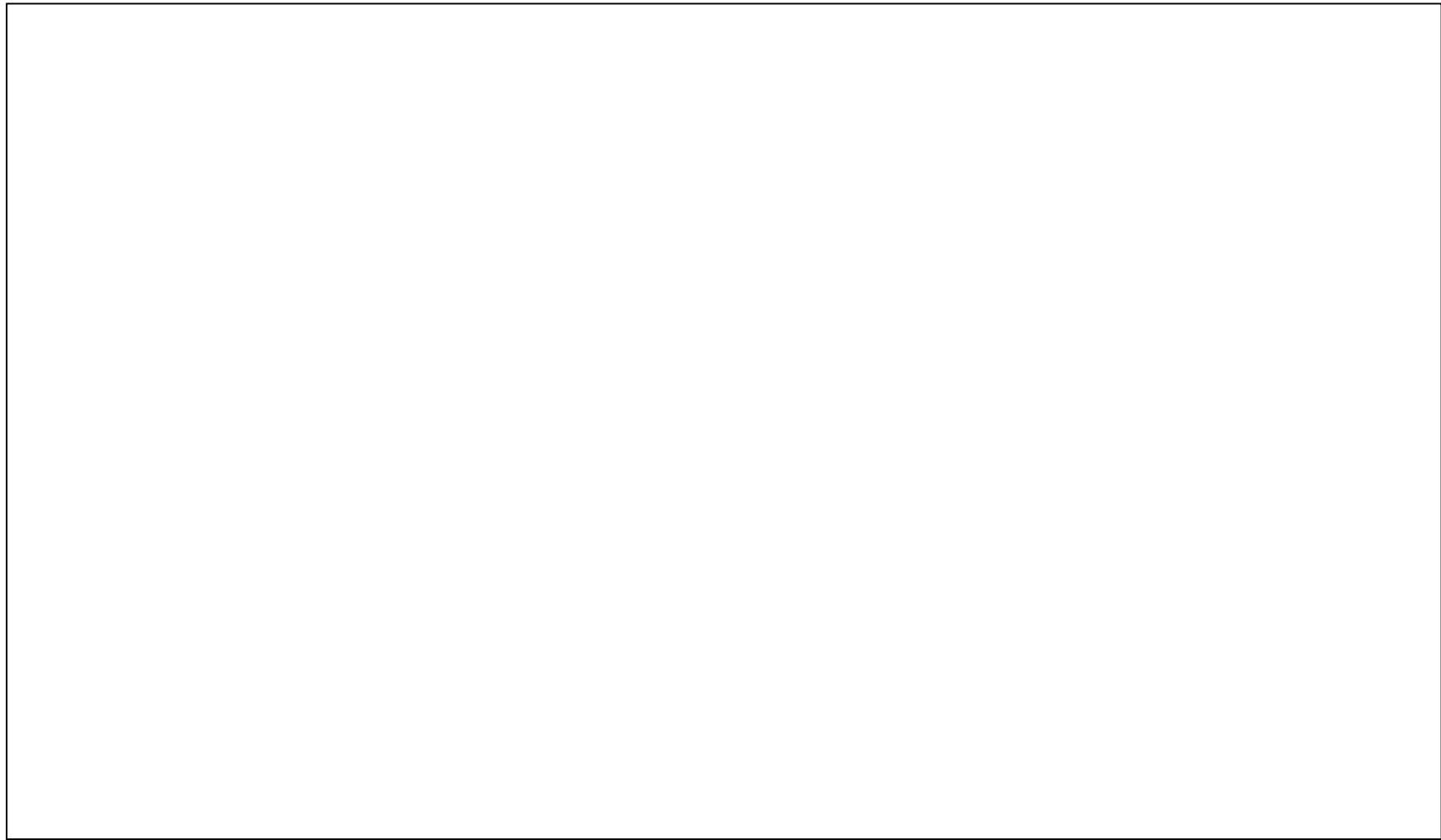
(ロ)－第B.14表 特別の試験条件下の特別形カプセル最高温度履歴 (火災後)

--

注) () 内の数値は℃を示す。



(ロ) - 第B. 8図 特別の試験条件下の特別形カプセル最高温度の時刻歴温度変化 (火災時)



(ロ) - 第B. 9 図 特別の試験条件下の特別形カプセル最高温度の時刻歴温度変化 (火災後)

B. 5. 4 最大内圧

輸送物の熱解析から、特別の試験条件下において特別形カプセルは火炎温度と同じ1475T（802℃）まで上昇すると考える。この時の特別形カプセル内の圧力を計算する。

なお、特別の試験条件下の特別形カプセル内圧は、B. 4. 4と同様に計算する。

特別の試験条件における特別形カプセル内圧の計算結果を(ロ)－第B. 15表に示す。

(ロ)－第B. 15表 特別の試験条件下の最大内圧

項 目	記 号	単 位	計 算 値
特別形カプセル内平均温度	t_1	T (°C)	1475 (802)
特別形カプセル内圧（絶対圧）	P_c	MPa	0.372 (0.271 MPaG)

B. 5. 5 最大熱応力

B. 5. 6に示すように、特別の試験条件における耐火試験、並びに特別形核燃料物質等に係る加熱試験における条件は本質的に同じであること、さらに、イ章D. 2(3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示すように、特別形核燃料物質等に係る試験において、加熱試験後の密封性が確認されているため、特別の試験条件において、健全性を損なうような熱応力は生じない。

B. 5. 6 結果の要約及びその評価

特別形カプセルの最高温度は(ロ)－第B. 8図及び(ロ)－第B. 9図に示すとおり、火災発生後の約21分後に特別の試験条件時の800℃に対して±2℃となる798℃に到達する。これより、特別形カプセルの最高温度の保持時間はおよそ9分間であると考えられる。

一方、イ章D. 2(3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示すように、特別形核燃料物質等に係る試験の内、加熱試験において、特別形カプセルが10分間800℃±2℃の空气中にさらされた後の密封健全性が確認されていることから、特別の試験条件においても本輸送物は密封性を維持する。

また、特別試験条件下における特別形カプセルの最大圧力は(ロ)－第B. 15表に示すとおりである。

特別の試験条件下における輸送物の総合的評価を(ロ)－第B. 16表に示す。

(ロ)－第B.16表 特別の試験条件下の輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度 特別形カプセル	—	1475F (802°C)	特別形核燃料物質等に係る試験において、加熱試験後に健全性が確認されており、問題ない。
最大圧力	—	0.372MPa (0.271MPaG)	構造解析に使用

B. 6 付属書類

B. 6. 1 太陽放射熱

B. 6. 1. 1 通常輸送時における太陽放射熱

通常輸送時においては、告示別記第四に規定される太陽放射熱を考慮する。輸送物に与えられる太陽放射熱は、(ロ)－第B. 8表に示すとおりである。本解析においては、通常輸送時における本輸送物の熱的特性を把握するため、放射性物質の安全輸送規則に対する助言資料 (TS-G-1.1) ¹⁸⁾ 第655条4項に従い、太陽放射熱を正弦関数として与える非定常解析を行う。太陽放射熱は、午前6時を日の出、午後6時を日の入りとし、熱量が最大となる時刻を正午とした正弦曲線として容器外表面に与える。午後6時から午前6時までの夜間については、太陽放射熱を零とする。日中に輸送物に与えられる全エネルギーは、以下のように計算される。

$$\int_{6[\text{hr}]}^{18[\text{hr}]} Q_{\text{peak}} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{12[\text{hr}]} - \frac{\pi}{2}\right) dt = \left(\frac{24[\text{hr}]}{\pi}\right) \cdot Q_{\text{peak}}$$

ただし、

Q_{peak} : 正午における太陽放射熱流束

上式を用いて、17Cドラム缶の上面及び側面に与えられる太陽放射熱を計算すると以下のようになる。((ロ)－第B. 8表参照)

$$\begin{aligned} Q_{\text{top}} &= 800 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] \times \frac{\pi}{24} \left[\frac{1}{\text{hr}} \right] \\ &= 2.68 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{hr} \cdot \text{in}^2} \right] = 0.0447 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{min} \cdot \text{in}^2} \right] = 1217 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{side}} &= 400 \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2} \right] \times \frac{\pi}{24} \left[\frac{1}{\text{hr}} \right] \\ &= 1.34 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{hr} \cdot \text{in}^2} \right] = 0.0223 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{min} \cdot \text{in}^2} \right] = 609 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \end{aligned}$$

ただし、

Q_{top} : 17Cドラム缶上面に作用する最大太陽放射熱流束

Q_{side} : 17Cドラム缶側面に作用する最大太陽放射熱流束

ここで、 $1\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{hr})=0.0256\text{Btu}/(\text{hr}\cdot\text{in}^2)$ として数値の換算を行っている。上記の太陽放射熱流束を考慮して、通常輸送時における輸送物の熱解析を行った。

B.6.1.2 特別の試験条件における太陽放射熱

特別の試験条件における火災後の評価においては、太陽放射熱が考慮される。輸送物に与えられる太陽放射熱は、(ロ)－第B.8表に示すとおりである。特別形カプセルの曲面部の表面積は $A_C=0.77\text{ft}^2$ ($7.15\times 10^4\text{mm}^2$)である。また、本解析において、特別形カプセルは横倒し姿勢とする。特別形カプセルの両端部の表面積は $A_E=0.10\text{ft}^2$ ($9.29\times 10^3\text{mm}^2$)である。

以上より、火災後に特別形カプセルに与えられる太陽放射熱量は以下のように計算される。

$$Q_1 = \varepsilon \cdot (A_C \times Q_C + A_E \times Q_E)$$

ただし、

Q_1 : 特別形カプセルへの太陽放射熱量 (Btu/hr)

Q_C : 曲面への太陽放射熱流束 (Btu/ft²・hr)

Q_E : 垂直平面への太陽放射熱流束 (Btu/ft²・hr)

ε : 放射率 (－)

A_C : 曲面部表面積 (ft²)

A_E : 垂直平面部表面積 (ft²)

ここで、

$$Q_C = 10.24\text{Btu}/\text{in}^2 (=400\text{gcal}/\text{cm}^2) \div 12(\text{hr})$$

$$= 122.9\text{Btu}/(\text{ft}^2\cdot\text{hr}) (=388\text{W}/\text{m}^2)$$

$$Q_E = 5.12\text{Btu}/\text{in}^2 (=200\text{gcal}/\text{cm}^2) \div 12(\text{hr})$$

$$= 61.4\text{Btu}/(\text{ft}^2\cdot\text{hr}) (=194\text{W}/\text{m}^2)$$

$$\varepsilon = 0.9$$

$$A_C = 0.77\text{ft}^2 (7.15\times 10^4\text{mm}^2)$$

$$A_E = 0.10\text{ft}^2 (9.29\times 10^3\text{mm}^2)$$

したがって、

$$Q_1 = 0.9 \times (0.77 \times 122.9 + 0.10 \times 61.4)$$

$$= 90.7\text{Btu}/\text{hr} (95.7\text{kJ}/\text{hr})$$

B. 6. 2 対流熱伝達率

B. 6. 2. 1 通常輸送時における熱伝達率

1. 垂直平面

垂直平面部における自然対流熱伝達率については、文献⁷⁾に基づき、以下の式を用いて計算される。

$$Nu^T = \bar{C}_L \cdot Ra^{\frac{1}{4}} \quad \bar{C}_L = \frac{0.671}{\left(1 + (0.492/Pr)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{4}{9}}}$$

$$Nu_L = \frac{2.0}{\ln(1 + 2.0/Nu^T)} \quad Nu_t = C_t^V Ra^{\frac{1}{3}} / (1 + 1.4 \times 10^9 Pr / Ra)$$

$$C_t^V = \frac{0.13 Pr^{0.22}}{(1 + 0.61 Pr^{0.81})^{0.42}} \quad Nu = \frac{h_c L}{k} = \left[(Nu_L)^6 + (Nu_t)^6 \right]^{\frac{1}{6}}$$

ただし、

Nu^T : 薄層流における平均ヌッセルト数 (—)

\bar{C}_L 、 C_t^V : プラントル数を引数とする関数 (—)

Pr : プラントル数 (—)

Ra : レイリー数 (—)

Nu_L : 層流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

Nu_t : 乱流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

k : 熱伝導率 (Btu/hr·ft·°F)

L : 代表長さ (ft)

Nu : 垂直平面部におけるヌッセルト数 (—)

h_c : 垂直平面部における自然対流熱伝達率 (Btu/hr·ft²·°F)

2. 垂直曲面

垂直曲面部における自然対流熱伝達率については、文献⁷⁾に基づき、以下の式を用いて計算される。

$$Nu_{L-Cylinder} = \frac{\delta}{\ln(1 + \delta)} Nu_{L-Plate}$$

$$\delta = \frac{1.8L/D}{Nu_{plate}^T}$$

$$Nu_{vert_Cylinder} = \frac{h_c L}{k} = \left[(Nu_{L-Cylinder})^6 + (Nu_{t-Plate})^6 \right]^{\frac{1}{6}}$$

ただし、

$Nu_{L-Cylinder}$: 垂直曲面における層流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

δ : 面の傾斜角度 (rad)

$Nu_{L-Plate}$: 平面における層流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

L : 代表長さ (ft)

D : 円筒の外径 (ft)

Nu_{plate}^T : 薄層流における平均ヌッセルト数 (—)

$Nu_{vert_Cylinder}$: 垂直曲面におけるヌッセルト数 (—)

h_c : 垂直曲面における自然対流熱伝達率 (Btu/(hr·ft²·°F))

$Nu_{t-Plate}$: 乱流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

垂直曲面における自然対流熱伝達率は解析開始から終了まで1時間毎に計算し、値は W/(m²·K) であった。

3. 水平面(上面加熱側、下面冷却側)

水平面において、上面が加熱側、下面が冷却側となる場合の自然対流熱伝達率については、文献⁷⁾に基づき、以下の式を用いて計算される。

$$Nu = \frac{h_c L}{k} = \left[(Nu_L)^{10} + (Nu_t)^{10} \right]^{\frac{1}{10}}$$

$$Nu_L = \frac{1.4}{\ln \left(1 + 1.4 \left(0.835 \times \bar{C}_L Ra^{\frac{1}{4}} \right) \right)}$$

$$\bar{C}_L = \frac{0.671}{\left(1 + (0.492/Pr)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{4}{9}}}$$

$$Nu_t = 0.14 \times \left(\frac{1 + 0.0107 \times Pr}{1 + 0.01 \times Pr} \right) \times Ra^{\frac{1}{3}}$$

ただし、

Nu : 加熱上面又は冷却下面におけるヌッセルト数 (—)

h_c : 加熱上面又は冷却下面における自然対流熱伝達率
($Btu/(hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$)

Nu_L : 層流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

Ra : レイリー数 (—)

Nu_t : 乱流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

\bar{C}_L : プラントル数を引数とする関数 (—)

Pr : プラントル数 (—)

4. 水平面(下面加熱側、上面冷却側)

水平面において、下面が加熱側、上面が冷却側となる場合の自然対流熱伝達率については、以下の式を用いて計算される。

$$Nu = Nu_L = \frac{2.5}{\ln(1 + 2.5/Nu^T)}$$

$$Nu^T = \frac{0.527}{\left(1 + (1.9/Pr)^{\frac{9}{10}}\right)^{\frac{2}{9}}} Ra^{\frac{1}{5}}$$

ただし、

Nu : 加熱下面又は冷却上面におけるヌッセルト数 (—)

Nu_L : 層流としたときの平均ヌッセルト数 (—)

Nu^T : 薄層流における平均ヌッセルト数 (—)

Pr : プラントル数 (—)

Ra : レイリー数 (—)

輸送物の水平面(下面加熱側、上面冷却側)の自然対流熱伝達率は解析開始から終了まで1時間毎に計算し、値は $W/(m^2 \cdot K)$ であった。

B.6.2.2 特別の試験条件における熱伝達率

1. 火災時における特別形カプセル表面への強制熱伝達率

火災時における特別形カプセル表面への強制熱伝達率は、平面に対する Schneider¹⁴⁾ の式を適用する。

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$Re_L = \frac{V \cdot \rho \cdot L}{\mu}$$

ただし、

h_c : 強制熱伝達率 (Btu/(hr·ft²·°F))

Nu : ヌッセルト数 (-)

k : 熱伝導率 (Btu/(hr·ft·°F))

L : 代表長さ (ft)

Re_L : レイノルズ数 (-)

V : 平均ガス速度 (ft/hr)

ρ : 空気密度 (lb/ft³)

μ : 粘度 (lb/(ft·hr))

ここで、

$$\begin{aligned} Nu &= 0.664 \times Re_L^{0.5} \times Pr^{0.33} \\ &= 56.8 \end{aligned}$$

$$k = 0.0290 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F})$$

$$L = 0.208 \text{ ft}$$

$$Pr = 0.699$$

$$Re_L = 9278$$

$$V = 118080 \text{ ft}/\text{hr}$$

$$\rho = 0.0309 \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$\mu = 0.0818 \text{ lb}/\text{ft} \cdot \text{hr}$$

上式より強制熱伝達率は 7.92 Btu/(hr·ft²·°F) (=45.0 W/(m²·K)) となる。

保守側に、本解析においてはこの値を 10 Btu/(hr·ft²·°F) (=56.8 W/(m²·K)) とする。

2. 火災後における特別形カプセル表面から静止空気への熱伝達率

火災後における火災時の特別形カプセル表面から静止空気への熱伝達率は、Guyer¹³⁾の式を適用する。

$$Nu = \frac{h_s L}{k} = \left[0.60 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left(1 + (0.559/P_r)^{9/16}\right)^{8/7}} \right]^2$$

$$Ra = \left(\frac{\rho^2 g \beta L^3 \Delta T}{\mu^2} \right) P_r$$

ただし、

h_s : 熱伝達率 (Btu/(hr·ft²·°F))

Nu : ヌッセルト数 (—)

k : 熱伝導率 (Btu/(hr·ft·°F))

L : 代表長さ = 0.25ft

Ra : 代表長さ当りのレイリー数 (—)

ρ : 空気密度 (lb/ft³)

μ : 粘度 (lb/(ft·hr))

上式より求めた熱伝達率を(ロ)－第B.17表に示す。

この熱伝達率が小さくなるほど、特別形カプセルの冷却速度は小さくなり、保守側の評価となる。この熱伝達率は、境界層空気の温度差や特別形カプセルとその雰囲気温度の差に依存して時間の経過に伴って変化し、解析時間 $\theta = 0$ において、その温度差は 1375 °F (746°C) となり、特別形カプセルが平衡状態に達した時、その温度差はおよそ 100 °F (37.8°C) となる。

(ロ)－第B.17表中には、上記二つの条件における熱伝達率を示している。これらの評価結果から、保守側に 1.0Btu/hr·ft²·°F (=5.68W/(m²·K)) を解析に用いる。

(ロ) - 第B.17表 火災後評価における熱伝達率

入力パラメータ	初期状態	平衡状態
T_{SURF} (°F)	1475	200
ΔT (°F)	1375	100
$1/2 \times (T_{SURF} + T_{\infty})$ (°F) ^{注)}	788	150
$\rho^2 g \beta / \mu^2$ (1/(°F ft ³))	52272	1305000
Pr	0.696	0.720
k (Btu/hr·ft·°F)	0.0284	0.0164
Ra 、 $\rho^2 g \beta / \mu^2 L^3 \Delta T$ (Pr)	800389	1503360
Nu	13.62	16.34
h_s (Btu/(hr·ft ² ·°F))	1.55 (max) (8.80 W/(m ² ·K))	1.07 (min) (6.08 W/(m ² ·K))

注) $T_{\infty} = 100^{\circ}F$

B. 6. 3 参考文献

- ① American Society of Mechanical Engineers (ASME) Boiler & Pressure Vessel Code, section II, part D.
- ② Matweb, Online Material Data Sheets, www.matweb.com.
- ③ Neutron Shielding Material Catalog No.201, Product Specifications 2003, Thermo-Electron Corporation, Santa Fe, NM., www.thermo.com.
- ④ DriscoPlex® PE3608/(PE3408) Pipe, Pipe and Fittings Data Sheet, Bulletin PP 109, September 2006.
- ⑤ Handbook of Polyethylene Pipe, Second Edition, Plastic Pipe Institute, Irving, TX, 75062, www.plasticpipe.org.
- ⑥ Vormelker, P.R. and Daugherty, W.L., Thermal Properties of Fiberboard Overpack Materials in the 9975 Shipping Package, presented at the 2005 ASME Pressure Vessels and Piping Conference in Denver, CO, Paper No. WSRC-MS-2005-00001
- ⑦ Rohsenow, Hartnett, and Choi, Handbook of Heat Transfer, 3rd edition, McGraw-Hill, 1998.
- ⑧ Frank, R. and Plagemann, W., Emissivity Testing of Metal Specimens, Boeing Analytical Engineering coordination sheet No. 2-3623-2-RF-C86-349, 1986.
- ⑨ Gubareff, G., Janssen, J., and Torborg, R., Thermal Radiation Properties Survey, 2nd edition Honeywell Research Center, 1960.
- ⑩ American Society of Mechanical Engineers (ASME) Boiler & Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Facility Components. Division 1, Subsection NB, Class 1 Components, & Subsection NG, Core Support Structures, 2001 Edition, 2002 Addendum.
- ⑪ Series 66 and 73 Product Data Sheets, Tnemec Company, Inc. 6800 Corporate Drive Kansas City, MO, www.tnemec.com.
- ⑫ Varble, J. L., Watkins, R. W., and Gunter, A. H., Demonstration of Equivalency of Cane and Softwood Based Celotex™ for Model 9975 Shipping Package, Savannah River National Laboratory Packaging Technology, Aiken SC.
- ⑬ Eric Guyer, Handbook of Applied Thermal Design, McGraw-Hill, Inc., 1989.
- ⑭ Schneider, M. E., and Kent, L. A., Measurements of Gas Velocities and

Temperatures in a Large Open Pool Fire, Heat and Mass Transfer in Fire – HTD
Vol. 73, 1987 ASME, New York, NY.

- ⑮ Thermal Desktop®, Version 5.3. Cullimore & Ring Technologies. Inc., Littleton, CO, 2010.
- ⑯ SINDA/FLUINT, Systems Improved Numerical Differencing Analyzer and Fluid Integrator, 5.3, Cullimore & Ring Technologies. Inc., Littleton, CO, 2010.
- ⑰ AFS Report AFS-TR-VV-013 Rev. 0, Thermal Desktop®, and SINDA/FLUINT Testing and Acceptance Report, Version 5.3, AREVA Federal Services, LLC, 2010.
- ⑱ Safety Guide No. TS-G-1.1 (Rev. 1) , Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2008.

口章C 密 封 解 析

C. 密封解析

C.1 概要

密封解析は、本輸送物が規則及び告示に基づいて、A型核分裂性輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために実施した。

本輸送物の密封境界は、(イ)－第D. 2 図に示す特別形カプセルで構成されており、輸送容器に密封境界は存在しない。

また、特別形カプセルの密封性能については、イ章D. 2 (3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示す通り、告示別記第一に定められる試験後に密封健全性が維持されることを確認した。

さらに、特別形核燃料物質等に係る試験は、以下の観点から、一般の試験条件及び特別の試験条件を満足する。

1. 特別の試験条件における 9m 落下試験においては、特別形カプセルがオーバーパック及び円筒容器に収納された状態で落下されるが、特別形核燃料物質等に係る試験の内、衝撃試験においては、特別形カプセル単体を 9m 高さから落下させるため、保守側である。
2. 特別の試験条件における熱解析の結果、B. 5. 6 に示す通り、特別形カプセルは約 9 分間、約 800℃の雰囲気にさらされる。一方、特別形核燃料物質等に係る試験の内、加熱試験においては、10 分間 800±2℃雰囲気にさらした後、密封健全性が維持されることを確認した。
3. 一般の試験条件における圧力及び温度条件は、特別の試験条件に包絡されるため、上記の 2 と同様の理由により、特別形核燃料物質等に係る試験結果により一般の試験条件においても密封健全性が維持されることを確認した。

以上より、本輸送物の密封性能については、特別形核燃料物質等に係る試験によって確認した。

C. 2 密封装置

C. 2. 1 密封装置

本輸送物の密封性は特別形カプセルによって維持され、輸送容器に密封装置は取り付けられない。特別形カプセルの密封機能は、本体、蓋及びシーリングプラグによって達成する。

特別形カプセル本体の収納物挿入口内面、並びにシーリングプラグ側面には、テーパ加工が施されている。蓋の締め付け力がシーリングプラグ上面に作用し、その圧縮力は、シーリングプラグを介してテーパ加工を施された本体内面に作用する。これにより、輸送時における収納物の漏えいを防止するための密封機能を得る。

中性子線源を特別形カプセル内に収納した後、二章A. 1. 2に定められる手順に基づき、特別形カプセル蓋上部に取り付けられている柄はせん断されるため、再び開封することができない構造となっている。

さらに特別形カプセルは円筒容器に収納されており、円筒容器の蓋は 12 本のボルトを用いて締め付けられている。これらのボルトは、輸送時にオーバーパックで覆われているため、不用意に触れることはできない。

以上より、中性子線源が不用意に輸送容器から取り出されることはない。

C. 2. 2 密封装置の貫通部

密封装置に貫通部はない。

C. 2. 3 密封装置のガスケット及び溶接部

密封装置にガスケットは取り付けられない。

また、参考「輸送容器の製作の方法の概要に関する説明」に示すように、本輸送物の密封境界を形成する特別形カプセルの製造工程において、溶接は施工されない。

C. 2. 4 蓋

蓋は、本輸送物に密封機能を与えるため、シーリングプラグに圧縮力が作用するよう適切に締め付けられる。

また、C. 2. 1に示すように、中性子線源が一度収納され、蓋が締め付けられた後は、蓋上部に取り付けられている柄がせん断されるため、再び開封することはできない。

C.3 一般の試験条件

本輸送物の各条件における圧力及び温度を(ロ)－第C.1表に示す。本条件において、密封装置の性能が損なわれないことは、ロ章A構造解析において確認している。

(ロ)－第C.1表 各条件における圧力及び温度

条 件	項 目	計 算 値
一般の試験条件	圧力 (MPa abs)	0.123
	温度 (°C)	82.2
特別の試験条件	圧力 (MPa abs)	0.372
	温度 (°C)	802

注) 温度は、特別形カプセルの最大値を示す。

C.3.1 放射性物質の漏えい

一般の試験条件における圧力及び温度条件は、(ロ)－第C.1表に示すように、特別の試験条件に包絡されるため、C.4.2における評価をもって代替する。

C.3.2 密封装置の加圧

C.2.1に示す密封装置に外圧が生じた場合、シーリングプラグへの圧縮力が増加し、密封機能が向上する。これより、本輸送物の密封装置への加圧により、健全性を損なうおそれはない。

また、内圧が生じる場合、A.5.1.3に示すように、温度上昇に起因する内圧上昇により、特別形カプセルの健全性が損なわれることはない。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送物に冷却材はない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送物に冷却材はない。

C. 4 特別の試験条件

特別の試験条件における密封装置内の圧力及び温度は（ロ）－第C. 1表に示すとおりであり、本条件において、密封装置の健全性が損なわれないことは、ロ章A構造解析において確認している。

C. 4. 1 核分裂生成ガス

B. 5. 6に示すように、特別形核燃料物質等に係る試験の内、加熱試験条件、並びに特別の試験条件の熱的試験条件は等価である。また、イ章D. 2(3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示すように、加熱試験後の特別形カプセルに対して気密漏えい検査を実施しており、漏えいがないことを確認した。

以上より、特別の試験条件において、核分裂生成ガスが放出されることはない。

C. 4. 2 放射性物質の漏えい

イ章D. 2(3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に示すように、放射性物質の漏えいは浸漬試験によって確認しており、放射性物質の漏えいが基準値の2kBqを超えないことを確認した。

以上より、特別の試験条件において、放射性物質の漏えいが基準値を上回ることはない。

C. 5 結果の要約及びその評価

C. 1に示す通り、本輸送物の密封境界は特別形カプセルで構成されており、特別形カプセルの密封性能は、特別形核燃料物質等に係る試験によって確認した。また、特別形核燃料物質等に係る試験条件は、一般の試験条件及び特別の試験条件に比べて保守側あるいは等価であるため、一般の試験条件及び特別の試験条件においても密封健全性が損なわれることはない。

以上より、本輸送物が密封健全性を損なうことはない。

口章D 遮 蔽 解 析

D. 遮蔽解析

D. 1 概 要

遮蔽解析は、本輸送物が規則及び告示に基づいて、A型核分裂性輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために行った。

(イ) ー第C. 2図に示すとおり、本輸送容器の主要な中性子遮蔽材は、各部に設置された高密度ポリエチレン材である。本解析の基とした遮蔽体の概略形状、主要部寸法及び材料を(ロ)ー第D. 1図に示す。

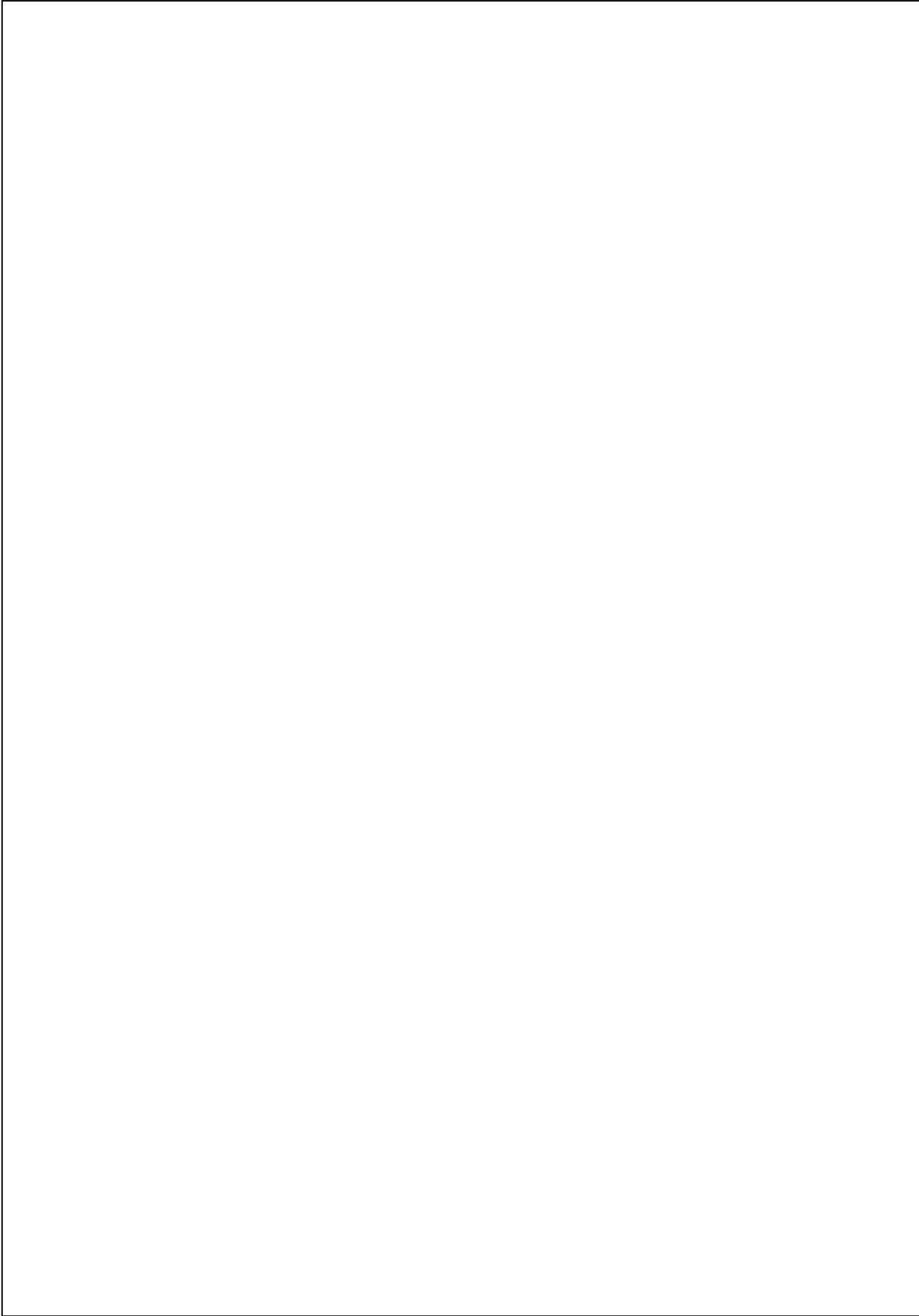
線量当量率評価位置は、通常輸送時及び一般の試験条件下については輸送物表面及び輸送物表面から1m点とし、輸送物表面は17Cドラム缶外表面とした。

線源としては輸送容器に収納される特別形カプセル中の 線源を考えた。

線源強度は、SCALE 6に搭載されているORIGEN-Sコード¹⁾により求めた。

通常輸送時及び一般の試験条件下での線量当量率は、MCNP 5コード^{2)、3)}で求めた。

これらの計算から得られた線量当量率は、規則及び告示で定められた基準を満足する。



(口) - 第D. 1図 遮 蔽 体 構 成

D. 2 線源仕様

線源は、特別形カプセル内に収納される中性子線源 \square 体である。特別形カプセルは、通常輸送時及び一般の試験条件下について、 \square を収納した状態を模擬する。本検討では、線源強度の計算は、SCALE 6に搭載されているORIGEN-Sコードにて算出を行う。線源の化学式は \square であるため、 \square
 \square ことになる。

ORIGEN-Sコードの計算では \square 状態として線源強度を算出する。

線源強度の計算に用いる1g当たりの \square の組成⁴⁾を(ロ)－第D. 1表に示す。

(ロ)－第D. 1表 \square の組成条件

核種	半減期(年)	存在量(g)	解析に使用する存在量(g)

(注1) \square

ため、初期より \square を考慮している

(注2) \square 線量当量率に大きく寄与する核

種であることから、保守側に \square

\square として取り扱う

D. 2. 1 ガンマ線源

ガンマ線源は、によるものである。ガンマ線源強度の計算は、ORIGEN-Sコードを用いて行った。

各エネルギーのガンマ線源強度を(ロ)－第D. 2表に示す。

(ロ)－第D. 2表 におけるガンマ線源強度

エネルギー群数	上限エネルギー (MeV)	ガンマ線源強度	
		<input type="text"/>	<input type="text"/>
1	0.05	<input type="text"/>	
2	0.10		
3	0.20		
4	0.30		
5	0.40		
6	0.60		
7	0.80		
8	1.00		
9	1.33		
10	1.66		
11	2.00		
12	2.50		
13	3.00		
14	4.00		
15	5.00		
16	6.50		
17	8.00		
18	10.00		
合計			

D. 2. 2 中性子源

中性子源は、

[redacted]

[redacted]のもの、及び

[redacted]である。中性子源強度の計算はORIGEN-Sコードを用い

て行った。

上記の

[redacted]

[redacted]である。

各エネルギーの中性子源強度を(ロ)－第D. 3表に示す。

(ロ) - 第D. 3表 における中性子源強度

エネルギー 群数	上限エネルギー (MeV)	中性子源強度
1	0.01	
2	0.02	
3	0.05	
4	0.10	
5	0.20	
6	0.40	
7	0.60	
8	0.80	
9	1.00	
10	1.30	
11	1.70	
12	2.10	
13	2.40	
14	2.70	
15	3.00	
16	3.30	
17	3.60	
18	4.00	
19	4.40	
20	5.00	
21	6.00	
22	7.00	
23	8.00	
24	9.00	
25	10.00	
26	12.00	
27	15.00	
28	20.00	
合計		

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

(ロ)－第D.1図の基本遮蔽体構造に基づき、遮蔽解析モデルを設定する。遮蔽解析モデルについては、輸送中の中性子線源の特別形カプセル内での移動を想定し、中性子線源の偏心を考慮する。また、輸送物内の特別形カプセルの下部と上部の隙間及び中性子線源が存在する空間部を除く側部の隙間については、解析モデルから除外する。

なお、モデル化は以下に示す条件を考慮する。

- 通常輸送時及び一般の試験条件下

通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル共に1.2m落下における容器の変形を考慮しているが、落下による損傷は17Cドラム缶リム部の軽微な変形のみである。変形箇所はモデル単純化のためモデル化されない箇所に含まれており、本解析モデルでは変形箇所及び厚さは考慮せず保守側に評価している。よって、通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは同じである。また、敷材については保守側にボイドとして取り扱う。

中性子線源を模擬し、

保守側に無視する。中性子線源の体積は、

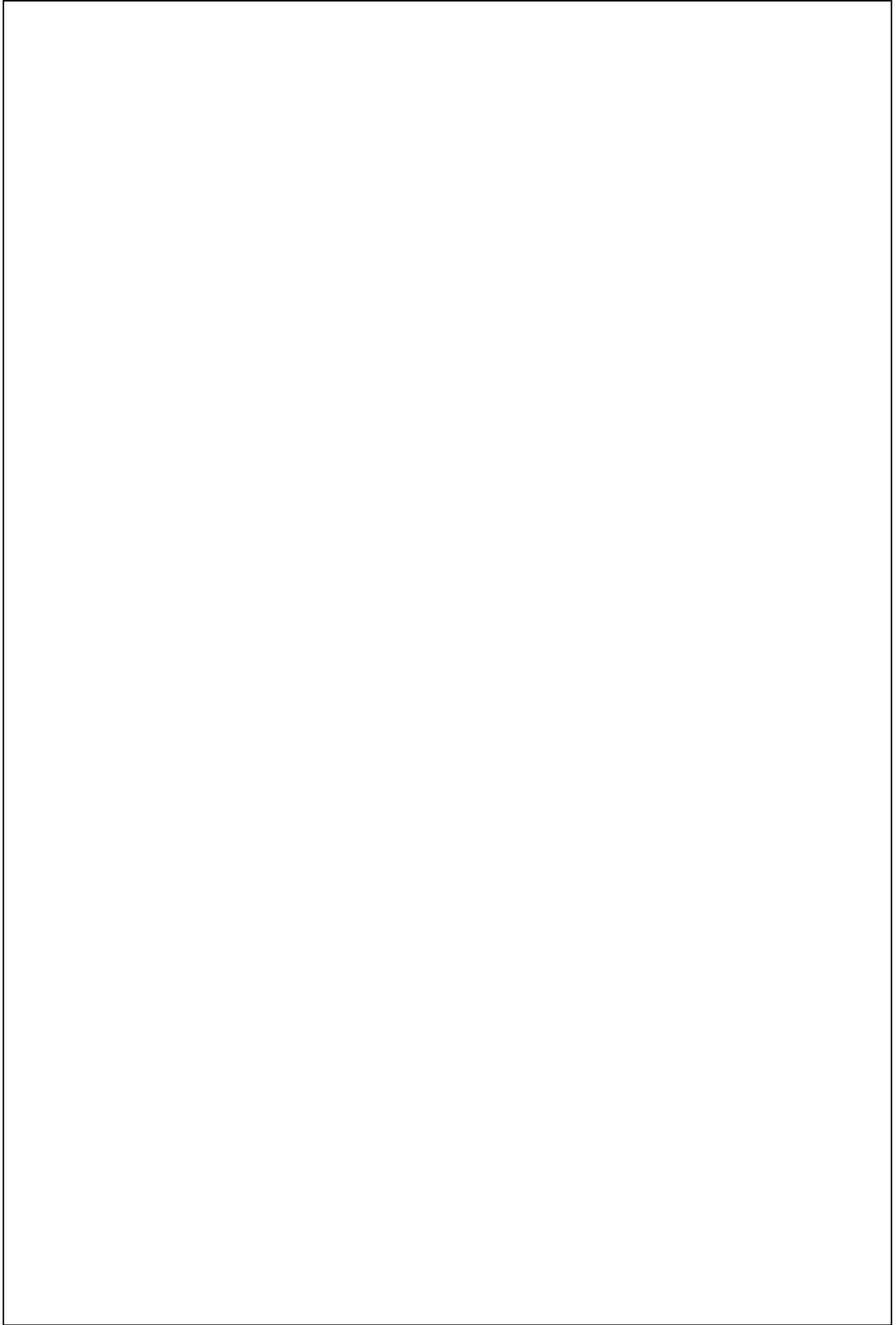
と一致させる(密度： g/cm^3)。

なお、輸送物上部側における線量当量率については、下記の理由により下部側よりも低くなることが明らかであるため、評価対象から除外する。

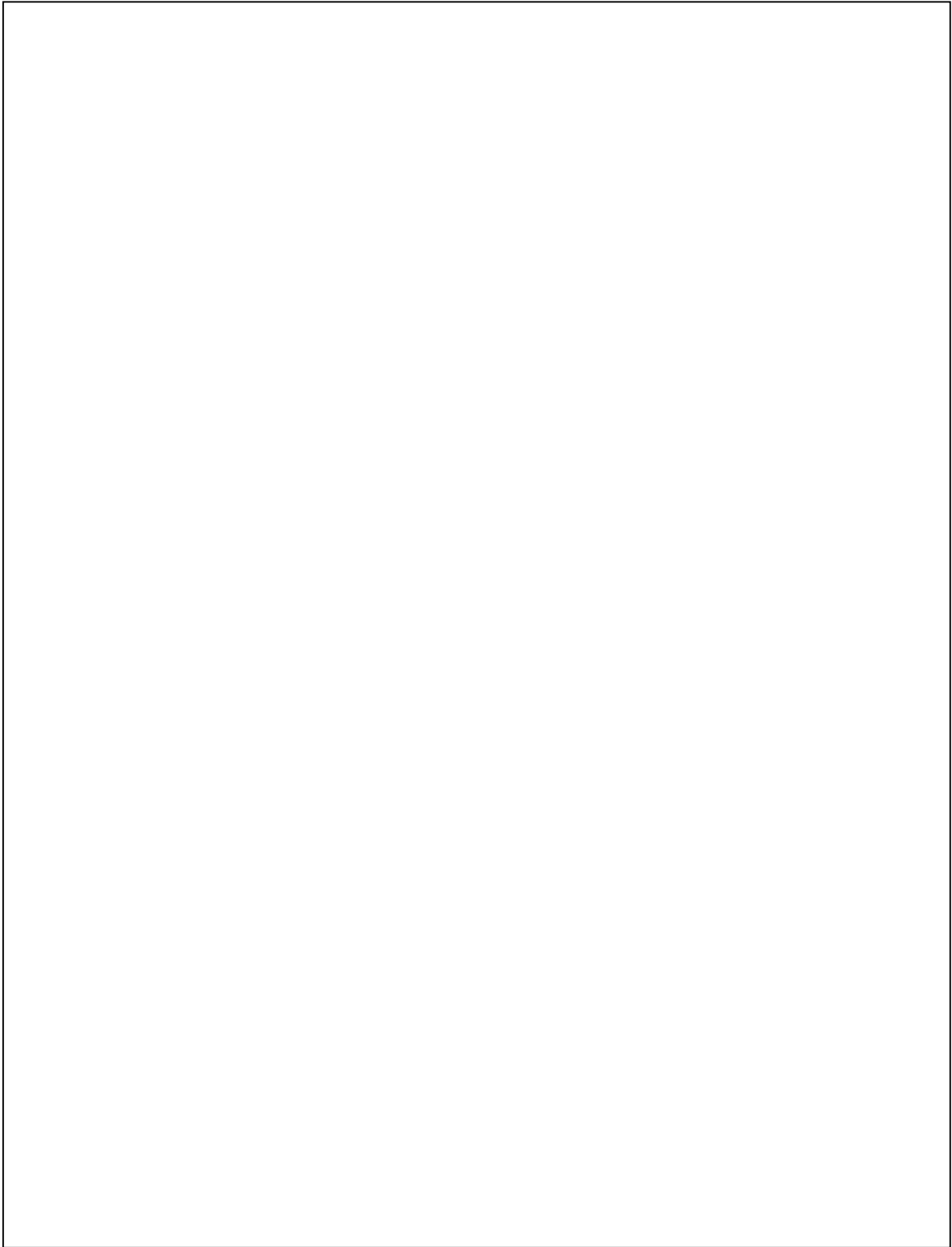
- ① 特別形カプセル上部にシーリングプラグが設置されている。
- ② 円筒容器上部、中性子遮蔽材上部及び敷材上部は下部側よりもそれぞれ厚い。

(ロ)－第D.2図、(ロ)－第D.3図及び(ロ)－第D.4図に解析モデル図を示す。

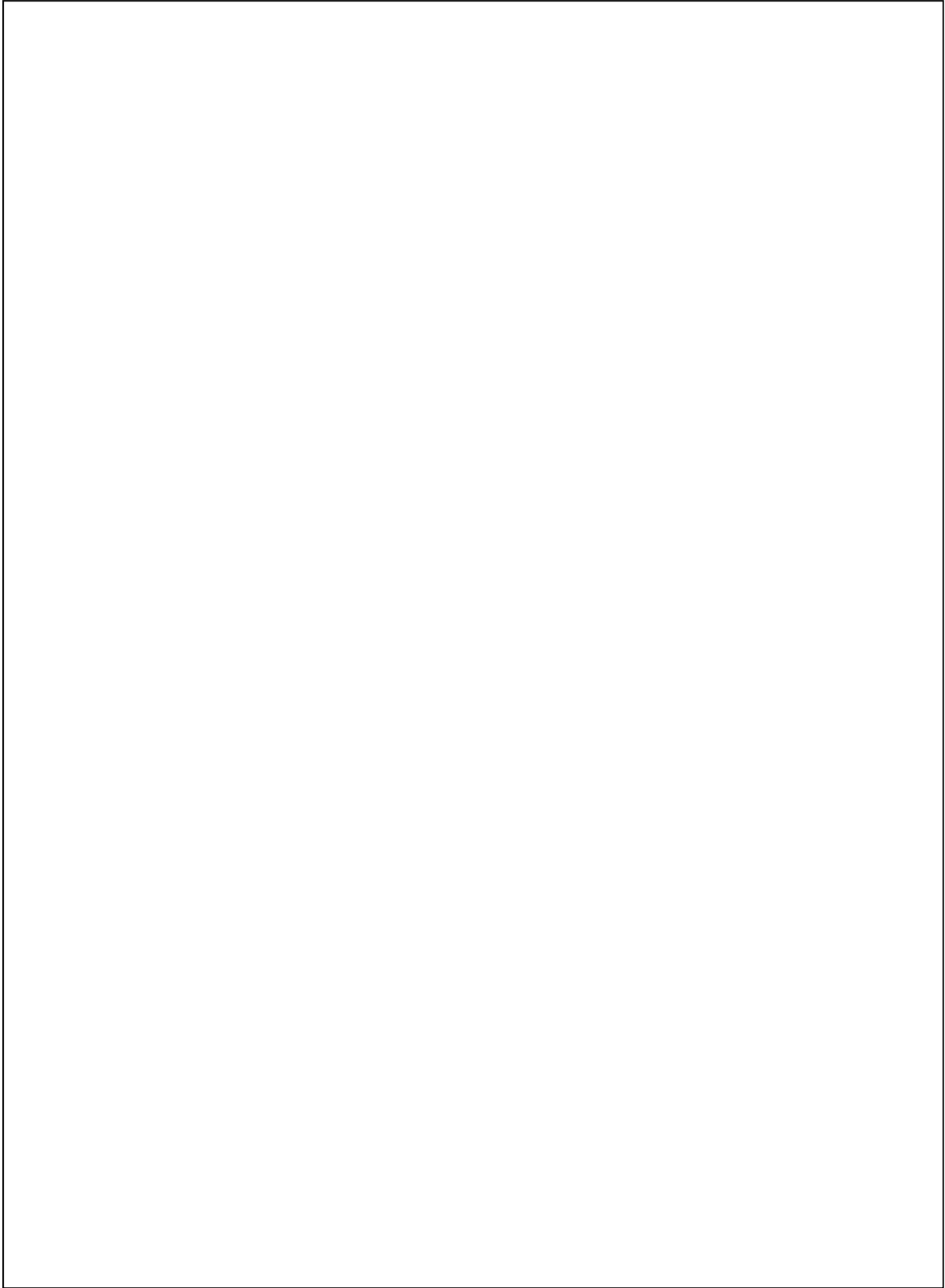
なお、遮蔽解析モデルは最小寸法にてモデル化されている。



(ロ)－第D. 2図 遮蔽解析モデル図 (通常輸送時及び一般の試験条件下)



(ロ)－第D. 3図 中性子線源下部偏心モデル図 (通常輸送時及び一般の試験条件下)



(ロ)－第D. 4図 中性子線源側部偏心モデル図 (通常輸送時及び一般の試験条件下)

D. 3. 2 解析モデル各領域における密度

以下に主要な遮蔽材の密度及び原子個数密度を示す。

1. 高密度ポリエチレン

密度 (g/cm^3) : 0.92

H ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 7.90×10^{-2}

C ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 3.95×10^{-2}

2. ステンレス鋼

密度 (g/cm^3) : 7.94

C ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 3.18×10^{-4}

Si ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 1.70×10^{-3}

P ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 6.95×10^{-5}

Cr ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 1.75×10^{-2}

Mn ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 1.74×10^{-3}

Fe ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 5.85×10^{-2}

Ni ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 7.74×10^{-3}

3. 炭素鋼

密度 (g/cm^3) : 7.8212

C ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 3.92×10^{-3}

Fe ($10^{24}\text{atoms}/\text{cm}^3$) : 8.35×10^{-2}

4. 中性子線源



D. 4 遮蔽評価

輸送物の外部の指定場所でガンマ線線量当量率、中性子線量当量率を評価するために使用した基本手法とコードについて以下に説明する。

1. 基本手法

遮蔽計算はガンマ線、中性子共にMCNP 5コードを用いて行った。MCNP 5コードはモンテカルロ法による三次元輸送計算プログラムであり、ガンマ線束、中性子束を計算し、線量当量率に変換するコードである。

断面積ライブラリはガンマ線についてはMCNP 5コードに搭載されているMCPLIB84⁵⁾、中性子についてはJENDL-3.3⁶⁾を使用した。

線束から線量当量率への変換係数はICRP Pub. 74の値⁷⁾に基づいており、これを(ロ)－第D.4表に示す。

(ロ) - 第D. 4(a)表 中性子線量当量率変換係数 (1/2)

エネルギー 群数	上限エネルギー (MeV)	線量当量率変換係数 ((μ Sv/h)/(n/cm ² /s))
1	1.00×10^{-9}	2.38×10^{-2}
2	1.00×10^{-8}	3.24×10^{-2}
3	2.53×10^{-8}	3.82×10^{-2}
4	1.00×10^{-7}	4.64×10^{-2}
5	2.00×10^{-7}	4.86×10^{-2}
6	5.00×10^{-7}	4.90×10^{-2}
7	1.00×10^{-6}	4.79×10^{-2}
8	2.00×10^{-6}	4.64×10^{-2}
9	5.00×10^{-6}	4.32×10^{-2}
10	1.00×10^{-5}	4.07×10^{-2}
11	2.00×10^{-5}	3.82×10^{-2}
12	5.00×10^{-5}	3.56×10^{-2}
13	1.00×10^{-4}	3.38×10^{-2}
14	2.00×10^{-4}	3.20×10^{-2}
15	5.00×10^{-4}	2.99×10^{-2}
16	1.00×10^{-3}	2.84×10^{-2}
17	2.00×10^{-3}	2.77×10^{-2}
18	5.00×10^{-3}	2.88×10^{-2}
19	1.00×10^{-2}	3.78×10^{-2}
20	2.00×10^{-2}	5.98×10^{-2}
21	3.00×10^{-2}	8.53×10^{-2}
22	5.00×10^{-2}	1.48×10^{-1}
23	7.00×10^{-2}	2.16×10^{-1}
24	1.00×10^{-1}	3.17×10^{-1}
25	1.50×10^{-1}	4.75×10^{-1}
26	2.00×10^{-1}	6.12×10^{-1}
27	3.00×10^{-1}	8.39×10^{-1}
28	5.00×10^{-1}	1.16×10^0
29	7.00×10^{-1}	1.35×10^0
30	9.00×10^{-1}	1.44×10^0

(ロ) - 第D. 4 (b) 表 中性子線量当量率変換係数 (2/2)

エネルギー 群数	上限エネルギー (MeV)	線量当量率変換係数 ($(\mu\text{ Sv/h})/(\text{n/cm}^2/\text{s})$)
31	1.00×10^0	1.50×10^0
32	1.20×10^0	1.53×10^0
33	2.00×10^0	1.51×10^0
34	3.00×10^0	1.48×10^0
35	4.00×10^0	1.47×10^0
36	5.00×10^0	1.46×10^0
37	6.00×10^0	1.44×10^0
38	7.00×10^0	1.46×10^0
39	8.00×10^0	1.47×10^0
40	9.00×10^0	1.51×10^0
41	1.00×10^1	1.58×10^0
42	1.20×10^1	1.73×10^0
43	1.40×10^1	1.87×10^0
44	1.50×10^1	1.94×10^0
45	1.60×10^1	2.00×10^0
46	1.80×10^1	2.05×10^0
47	2.00×10^1	2.16×10^0
48	3.00×10^1	1.85×10^0
49	5.00×10^1	1.44×10^0
50	7.50×10^1	1.19×10^0
51	1.00×10^2	1.03×10^0
52	1.25×10^2	9.36×10^{-1}
53	1.50×10^2	8.82×10^{-1}
54	1.75×10^2	9.00×10^{-1}
55	2.01×10^2	9.36×10^{-1}

(ロ) - 第D. 4(c)表 ガンマ線線量当量率変換係数

エネルギー 群数	上限エネルギー (MeV)	線量当量率変換係数 ((μ Sv/h)/(photons/cm ² /s))
1	0.010	2.20×10^{-4}
2	0.015	2.99×10^{-3}
3	0.020	3.78×10^{-3}
4	0.030	2.92×10^{-3}
5	0.040	2.30×10^{-3}
6	0.050	1.98×10^{-3}
7	0.060	1.84×10^{-3}
8	0.080	1.91×10^{-3}
9	0.100	2.20×10^{-3}
10	0.150	3.20×10^{-3}
11	0.200	4.32×10^{-3}
12	0.300	6.48×10^{-3}
13	0.400	8.57×10^{-3}
14	0.500	1.05×10^{-2}
15	0.600	1.24×10^{-2}
16	0.800	1.58×10^{-2}
17	1	1.87×10^{-2}
18	1.5	2.48×10^{-2}
19	2	3.10×10^{-2}
20	3	4.00×10^{-2}
21	4	4.82×10^{-2}
22	5	5.58×10^{-2}
23	6	6.34×10^{-2}
24	8	7.78×10^{-2}
25	10	9.22×10^{-2}

2. 計算結果

輸送物の主要部位でのガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果について(ロ)－第D. 5表に示す。

ここでは、輸送物側部及び下部の各エリアにおいて、輸送物表面及び表面から1m 点で線量当量率が最大となる位置での線量当量率の合計値及びその内訳を記載している。

また、通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは同じであるため、一般の試験条件下の輸送物表面の最大線量当量率は、通常輸送時と同じとなる。

(ロ)－第D. 5表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率

(単位：μSv/h)

			上部	側部	下部
表面	ガンマ線	ガンマ線			
		2次ガンマ線			
		小計			
	中性子				
	合計				
表面から1m	ガンマ線	ガンマ線			
		2次ガンマ線			
		小計			
	中性子				
	合計				

ロ-D-17

D. 5 結果の要約及びその評価

通常輸送時及び一般の試験条件下の遮蔽解析条件の要約を(ロ)－第D. 6表に示す。

また、計算から得られた最大線量当量率の要約は(ロ)－第D. 7表に示すとおり、輸送物表面で最大□□□□ μ Sv/h、輸送物表面から 1m で最大□□□□ μ Sv/h であり、規則及び告示で定められた基準（輸送物表面で 2000 μ Sv/h、輸送物表面から 1m で 100 μ Sv/h）を満足する。また、一般の試験条件下における輸送物表面の最大線量当量率は、通常輸送時と同じとなるため、規則及び告示で定められた基準（表面における最大線量当量率が著しく増加しない）を満足する。

(ロ)－第D. 6表 遮蔽解析条件の要約

項 目		条 件	
		通常輸送時	一般の試験条件下
線 源		<ul style="list-style-type: none"> ・側部方向評価モデルでは特別形カプセル内面側部方向に対して中性子線源の密着状態を考慮 ・下部方向評価モデルでは特別形カプセル内面下部方向に対して中性子線源の密着状態を考慮 	
遮 蔽 体	本 体	円筒容器、特別形カプセル（ステンレス鋼） 17Cドラム缶（炭素鋼） 中性子遮蔽体（高密度ポリエチレン）	

(ロ)－第D.7表 最大線量当量率の要約

(単位：μSv/h)

部 位 項 目	輸送物表面			輸送物表面から 1m		
	上 部	側 部	下 部	上 部	側 部	下 部
通常輸送時 ガンマ線 中性子 合計						
一般の試験条件下 ガンマ線 中性子 合計						
基 準 値 通常輸送時 一般の試験条件下	2000			100		
	2000			—		

D. 6 参考文献

- ① I. C. Gauld, O. W. Hermann, R. M. Westfall, “ORIGEN-S: SCALE SYSTEM MODULE TO CALCULATE FUEL DEPLETION, ACTINIDE TRANSMUTATION, FISSION PRODUCT BUILDUP AND DECAY, AND ASSOCIATED RADIATION SOURCE TERMS” , ORNL/TM-2005/39 Version 6 Vol.II, Sect. F7, (2009)
- ② X-5 Monte Carlo Team, “MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5” , LA-UR-03-1987, (2003)
- ③ Brian C. Kiedrowski, Forrest B. Brown, Morgan C. White, D. Kent Parsons, “Testing for the Photon Doppler Broadening Data Sampling Bug in MCNP5/X” , LA-UR-12-00121, (2012)
- ④

--
- ⑤ Morgan C. White, “Further Notes on MCPLIB03/04 and New MCPLIB63/84 Compton Broadening Data For All Versions of MCNP5” , LA-UR-12-00018, (2012)
- ⑥ K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, O. Iwamoto, J. Katakura, T. Fukahori, S. Chiba, A. Hasegawa, T. Murata, H. Matsunobu, T. Ohsawa, Y. Nakajima, T. Yoshida, A. Zukeran, M. Kawai, M. Baba, M. Ishikawa, T. Asami, T. Watanabe, Y. Watanabe, M. Igashira, N. Yamamuro, H. Kitazawa, N. Yamano and H. Takano, “Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3”, J. Nucl. Sci. Technol. 39, 1125 (2002).
- ⑦ ICRP, ”Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation” , PUBLICATION 74, (1996)

口章E 臨 界 解 析

E. 臨界解析

E.1 概要

臨界解析は、本輸送物が規則告示に基づいてA型核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合することを示すために行った。

本輸送物に係る未臨界性の評価については、以下に示す①～⑥のいずれの条件においても臨界に達しないことを評価することとなっている。

- ① 通常輸送時
- ② 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ③ 一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ④ 特別の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ⑤ 一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合
- ⑥ 特別の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

なお、本章では「核分裂性輸送物に係る一般の試験条件」及び「核分裂性輸送物に係る特別の試験条件」はそれぞれ「一般の試験条件」及び「特別の試験条件」と省略して記載する。

本輸送物は、臨界評価上、輸送物への浸水がある方が、浸水が無い場合よりも厳しい条件となる。本評価では、規則上の輸送物への水の浸入の有無に関わらず、上記の全ての条件において輸送物への浸水があると仮定し、未臨界性を確認している。

本輸送物は、中性子線源を特別形カプセルに収納し、収納物である [] [] 核分裂性輸送物に該当する。臨界解析における収納物重量については、実輸送では中性子線源の [] としているが、本解析では保守側に [] と設定した。

本臨界解析では、[] の中性子線源を収納した輸送容器が、一般及び特別の試験条件下の孤立系及び配列系において未臨界であることを確認する。解析の概要は次のとおりである。

一般の試験条件及び特別の試験条件下の孤立系では、オーバーパックを保守側に無視し、円筒容器と中性子遮蔽材をモデル化し、輸送容器の外側には厚さ 12inch (30cm) の水による反射があるとする。特別の試験条件の孤立系及び配列系では特別形カプセル内の浸水を考慮し、水は最適減速状態であるとする。輸送制限個数は一般及び特別の試験条件において未臨界性を保証できる量に制限される。一般の試験条件では最密六角配列による無限個の配列を仮定する。特別の試験条件下の配列系に置く場合では最密六角配

列による約 350 個（輸送制限個数 167 個の 2 倍に 5%の余裕を見た個数、E. 7. 3 参照）の有限配列とし、配列の外側に厚さ 12inch (30cm) の水による中性子の反射があるとす
る。

実効増倍率 (keff) の計算は連続エネルギーモンテカルロ法による MCNP 5 コード¹⁾ を用いて行ったが、いずれのケースに対しても keff は標準偏差の 3 倍を加えても十分未臨界である。

したがって、本輸送物は一般及び特別の試験条件下の孤立系及び配列系のいずれの条件においても未臨界である。

E. 2 解析対象

E. 2.1 収納物

本輸送容器の収納物は中性子線源である。本臨界解析では保守側に

であるとする。

中性子線源は

によって被覆されているが臨界解析モデルでは保守側に両者を無視する。モデル上の被覆はないが、実際は被覆材が存在することから、中性子線源と水の混合は想定しない。中性子線源は直径、高さはの円筒モデルとする。

E. 2.2 輸送容器

輸送容器本体については、(イ)－第C. 1 図等に示すように、オーバーパック、円筒容器、中性子遮蔽材及び特別形カプセルにより構成される。

オーバーパックの主要構成物は17Cドラム缶及び敷材であるが、臨界解析ではオーバーパック全体はないものとする。これによって孤立系では水反射体が核分裂性物質に近づき、一般の試験条件における配列系では輸送容器間の間隔が密になるため、保守側の仮定である。

円筒容器はステンレス鋼製であり、特別形カプセルと円筒容器の間は中性子遮蔽材である高密度ポリエチレンで満たされている。一般の試験条件では円筒容器に損傷はなく、特別の試験条件の孤立系では特別形カプセルの円筒容器から放出する可能性があるが、中性子遮蔽材の高密度ポリエチレンは水よりも優れた中性子反射体であるので、円筒容器及び中性子遮蔽材を考慮する。臨界解析では中性子反射体である高密度ポリエチレンの厚さが実際の寸法と比較して厚く設定している。これによって、核分裂性物質への中性子の反射効果が大きくなるため、保守側の仮定である。特別の試験条件の配列系のみ、隣接する特別形カプセルからの相互作用が大きくなることから、円筒容器及び中性子遮蔽材を無視する。

特別形カプセルはステンレス鋼製であり、特別の試験条件においても浸水はないが、特別の試験条件下の臨界解析では保守側に特別形カプセル内への浸水を仮定する。

E. 2.3 中性子吸収材

本輸送容器は未臨界性を保証するための中性子吸収材を必要としない。また、収納

物である [] の被覆材には [] が用いられているが、臨界解析では保守側に無視している。

E. 3 モデル仕様

E. 3.1 解析モデル

中性子線源の [] であるが、臨界解析モデルでは保守側に [] [] で評価を行う。

臨界解析モデルでは、全ての条件においてオーバーパックを無視し、円筒容器までをモデル化する。これは孤立系では水反射体が核分裂性物質に近づき、一般の試験条件における配列系では輸送容器間の間隔が密になるため、保守側の仮定である。円筒容器内は中性子反射体である高密度ポリエチレンで満たされているとする。特別形カプセル及び円筒容器寸法設定における実物と臨界解析モデルの違いを(ロ)－第E. 1表及び(ロ)－第E. 2表に示す。また、特別形カプセル及び円筒容器の臨界解析モデルを(ロ)－第E. 1図及び(ロ)－第E. 2図に示す。臨界解析モデルではステンレス鋼製の円筒容器の蓋及び底板厚さを小さくしていることから、一般の試験条件下の配列系において保守側の仮定である。

本寸法設定は一般及び特別の試験条件下に対して共通して適用できるモデルとしている。それぞれの評価条件における臨界解析モデル設定条件は以下のとおりである。一般の試験条件下の配列系並びに特別の試験条件下の孤立系及び配列系では最適減速条件を確認するためのパラメータ計算を実施の上、最も keff が大きくなる解析モデルとしている。パラメータ計算の詳細はE. 7に示す。

1. 一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合

- ・収納物は [] の中性子線源の円筒モデルとし、被覆材は保守側に無視する。
- ・輸送容器の周囲には厚さ 12inch (30cm) の水反射体があるものとする。
- ・一般の試験条件下の孤立系における臨界解析モデルは(ロ)－第E. 3図のとおりである。

2. 一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

- ・収納物は [] の中性子線源の円筒モデルとし、被覆材は保守側に無視する。

- ・ 輸送容器外部の雰囲気は真空とし、最密六角配列による無限個の配列を仮定する。
- ・ 一般の試験条件下の配列系における臨界解析モデルは(ロ)－第E. 4 図のとおりである。(E. 7. 1 参照)

3. 特別の試験条件下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合

- ・ 収納物は の中性子線源の円筒モデルとし、被覆材は保守側に無視する。特別形カプセル内は浸水があるものとして、特別形カプセル内は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ の水密度条件とする。
- ・ 特別形カプセルの円筒容器からの放出を考慮するが、円筒容器内の高密度ポリエチレンの方が水よりも優れた反射体であることから、円筒容器までをモデル化する。
- ・ 輸送容器の周囲には厚さ 12inch (30cm) の水反射体があるものとする。
- ・ 特別の試験条件下の孤立系における臨界解析モデルは(ロ)－第E. 5 図のとおりである。(E. 7. 2 参照)

4. 特別の試験条件下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

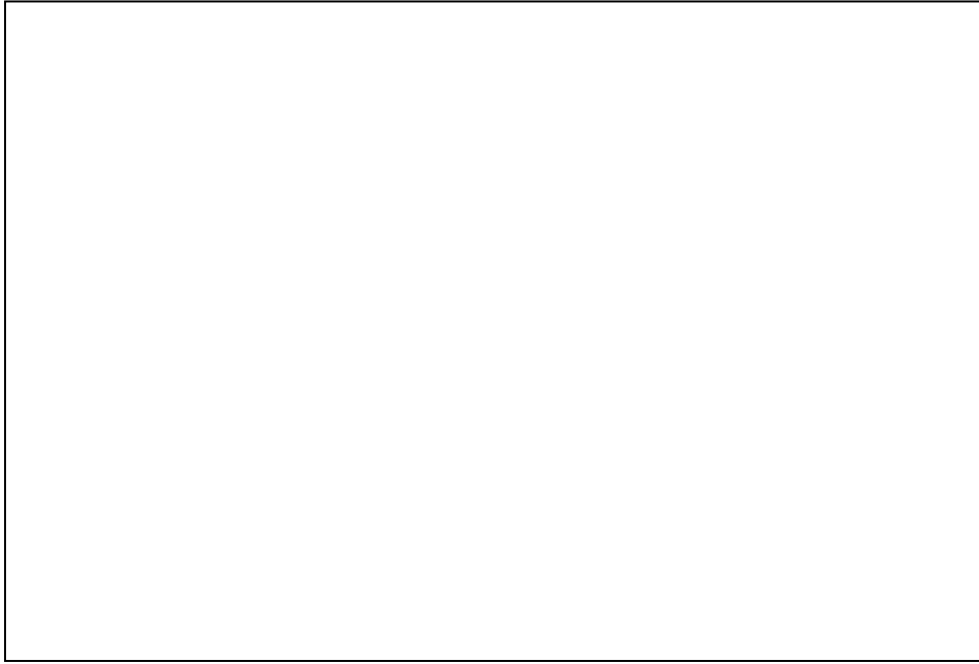
- ・ 収納物は の中性子線源の円筒モデルとし、被覆材は保守側に無視する。特別形カプセル内は浸水があるものとして、特別形カプセル内の線源周囲は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、線源上部は真空の水密度条件とする。
- ・ 特別形カプセルの円筒容器からの放出を考慮し、特別形カプセル約 350 個の最密六角配列による有限個の配列を仮定する。このとき特別形カプセル外部の雰囲気は真空とする。
- ・ 特別の試験条件下の配列系における臨界解析モデルは(ロ)－第E. 6 図のとおりである。(E. 7. 3 参照)

E. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度

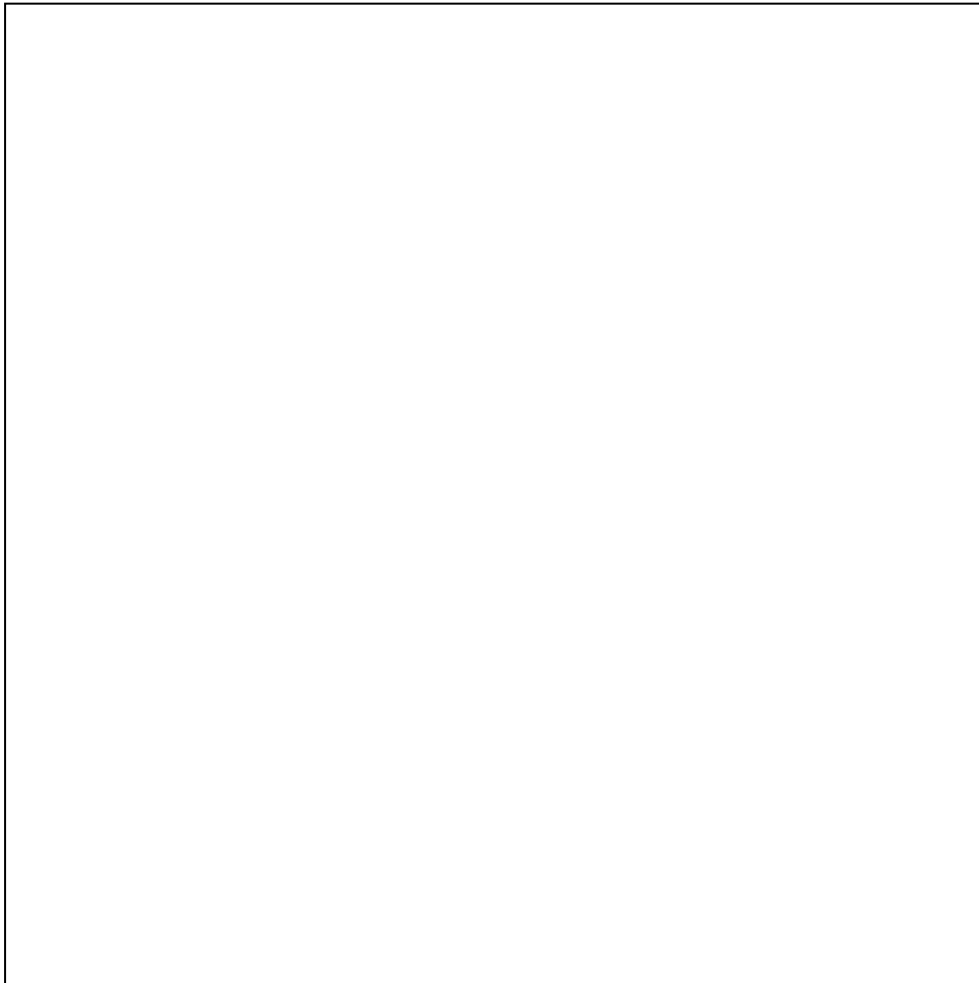
本輸送容器の収納物である中性子線源は の形で存在するので、
 の密度は g/cm^3 である。

(ロ) - 第 E . 1 表 特別形カプセルの臨界解析モデル寸法

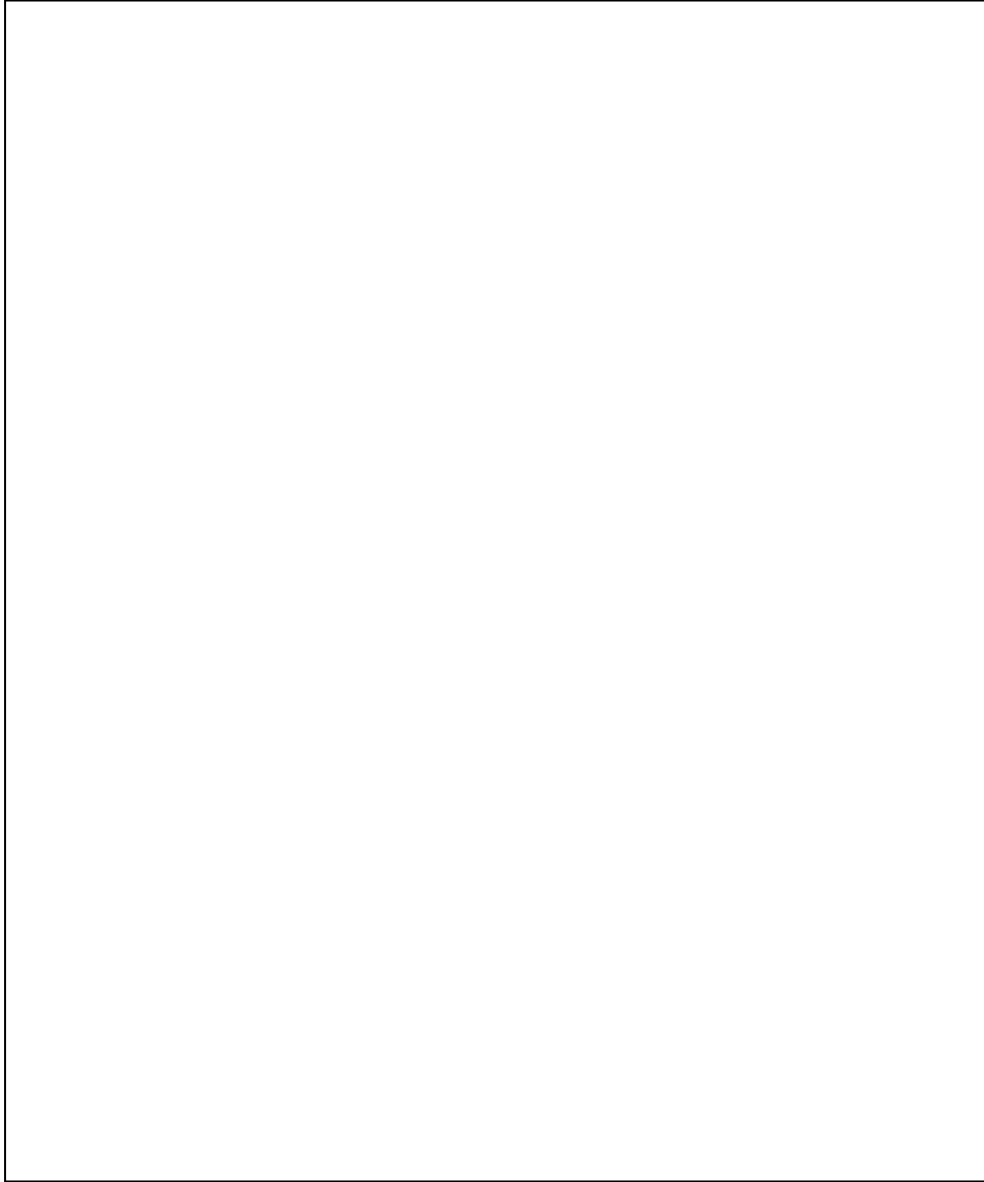
(ロ) - 第 E . 2 表 円筒容器の臨界解析モデル寸法



(ロ)－第E.1図 特別形カプセルの臨界解析モデル寸法



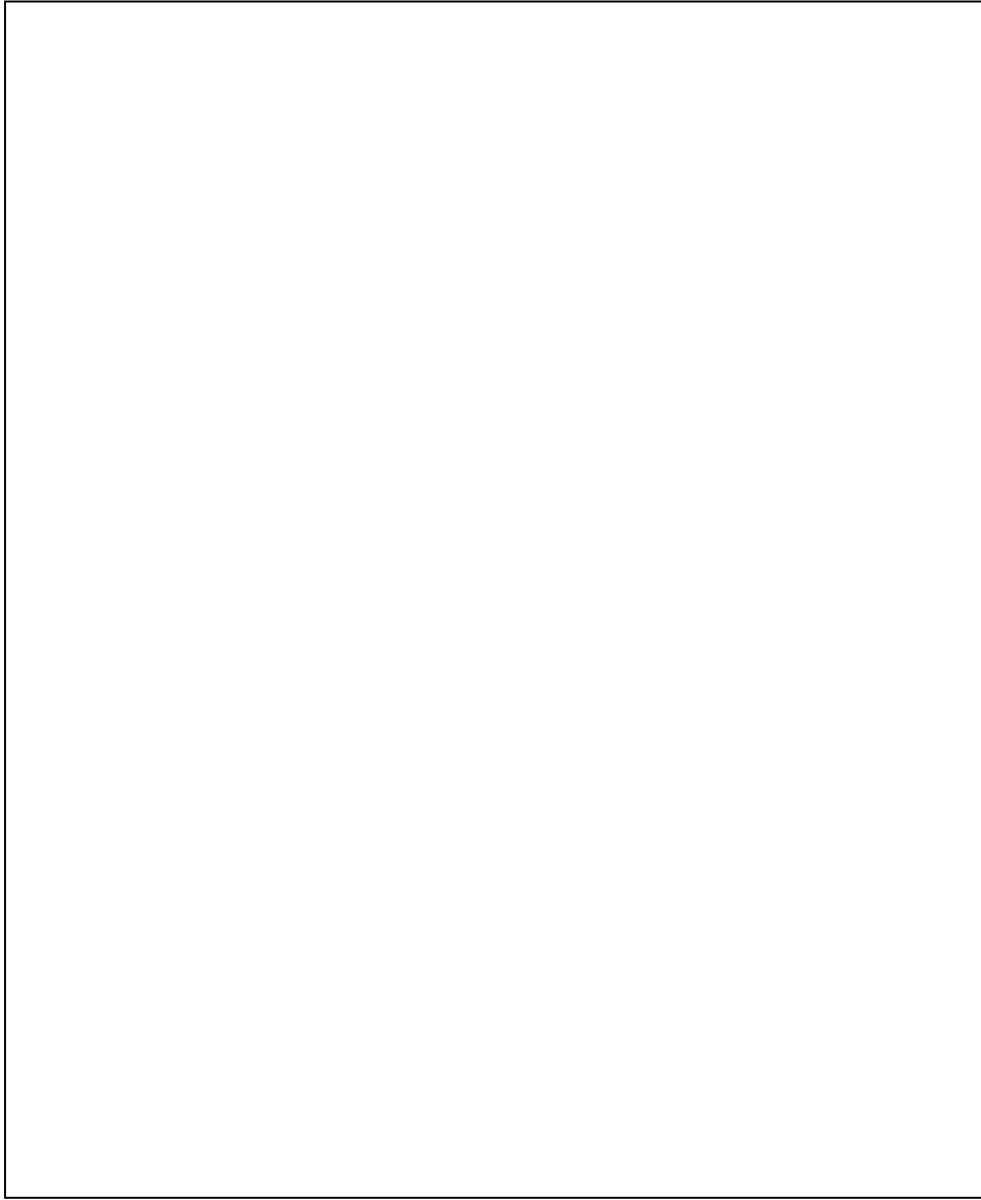
(ロ)－第E.2図 円筒容器の臨界解析モデル寸法



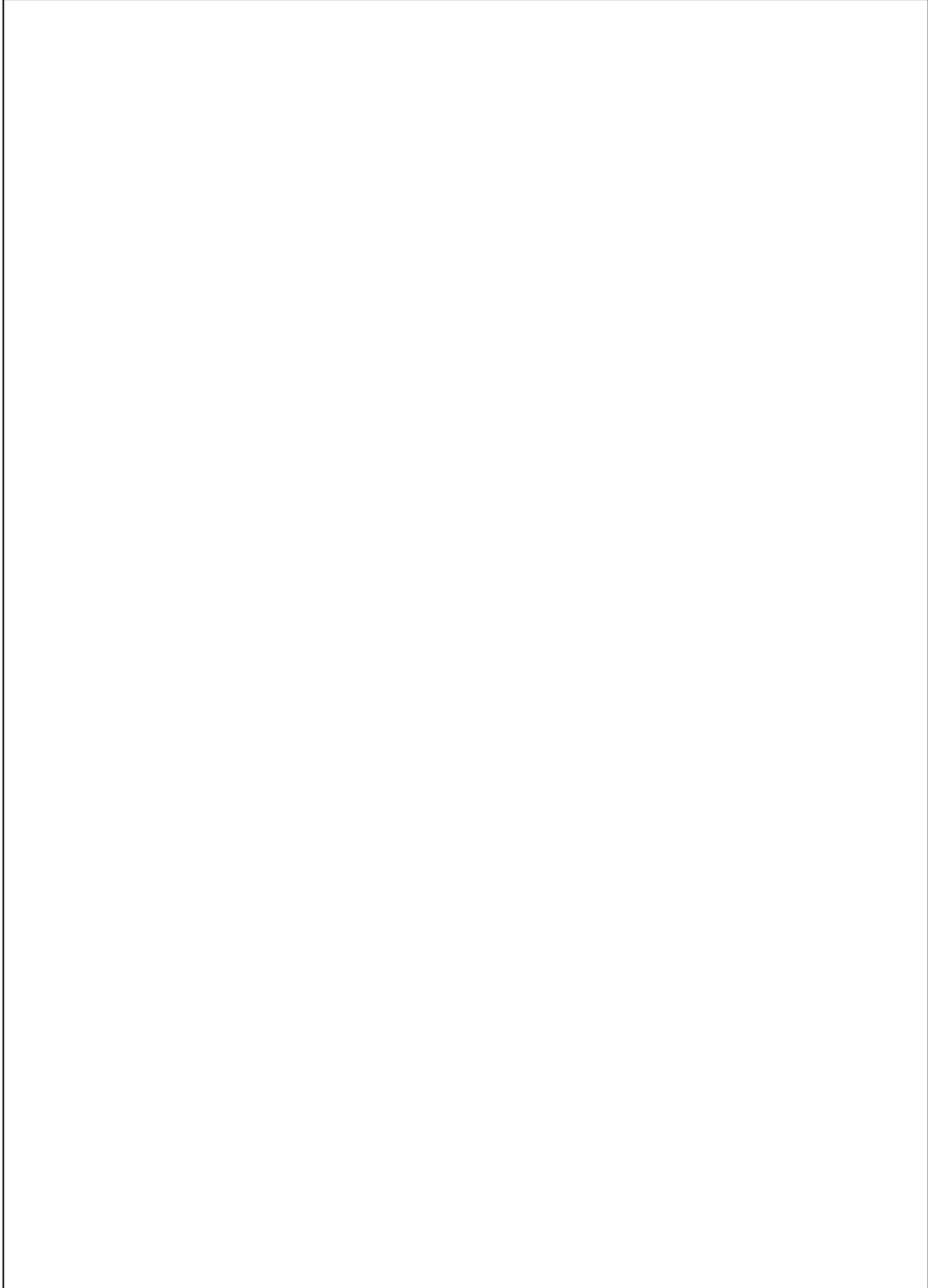
(ロ)－第E. 3図 臨界解析モデル（一般の試験条件の下の孤立系輸送物）



(ロ)－第E.4図 臨界解析モデル（一般の試験条件の下の配列系輸送物）



(ロ)－第E.5図 臨界解析モデル（特別の試験条件の下の孤立系輸送物）



(ロ)－第E.6図 臨界解析モデル (特別の試験条件の下の配列系輸送物)

(配列個数：約 350 個)

E. 4 未臨界評価

E. 4.1 計算条件

本臨界解析では、一般の試験条件下の配列系並びに特別の試験条件下の孤立系及び配列系では輸送容器内部及び外部における水の最適減速条件が考慮される。最適減速条件評価のためのパラメータ計算を実施の上、E. 3.1 で述べた解析モデルを最も k_{eff} が大きくなる条件として臨界計算を実施する。

E. 4.2 輸送物への水の浸入等

特別形カプセルは特別の試験条件においても浸水はないが、特別の試験条件では保守側に特別形カプセル内への浸水があるものとし、最適減速状態を仮定する。

E. 4.3 計算方法

臨界解析には、MCNP5コードを使用する。核データライブラリーはENDF/B-VIに基づいた断面積セットを用いる。Cr、Ni及びFeについてはENDF/B-VIの断面積データが利用できないため、ENDF/B-Vの断面積データを用いる。 は米国ロスアラモス国立研究所で検証されているENDF/B-VIIの断面積データを用いる。

E. 4.4 計算結果

E. 4.1 で述べた計算条件に対する臨界計算の結果を(ロ)－第E. 3表に示す。本輸送物は通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下に置かれた輸送物の孤立系及び配列系において未臨界である。

(ロ)－第E. 3表 臨界計算結果

	配列	k_{eff}	σ	$k_{eff}+3\sigma$
一般の試験条件	孤立系	未臨界	未臨界	未臨界
	配列系			
特別の試験条件	孤立系			
	配列系			

E.5 ベンチマーク試験

1. 対象とした臨界実験

本臨界解析では様々な減速状態における を解析モデルとしている。よって、熱、中速、高速中性子領域の全てを網羅したベンチマーク解析が必要である。これを考慮し、輸送容器及び収納物との類似性から合計 102 ケースのベンチマーク実験を選択した²⁾。これらを核分裂を起こす中性子レサジーに対応するエネルギー (EALF) によって区分し、 $EALF > 100\text{keV}$ を高速中性子領域、 $EALF < 0.625\text{eV}$ を熱中性子領域、これらの間を中速中性子領域とする。選択したベンチマーク実験を (ロ) - 第 E. 4 表 に示す。

2. ベンチマーク解析結果

(ロ) - 第 E. 5 表 にベンチマーク解析の結果を示す。ベンチマーク解析の結果、本輸送容器の臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な結果を与えるといえる。

(ロ)－第E.4表 ベンチマーク実験

名称	ケース数

(ロ)－第E.5表 ベンチマーク解析結果

	ケース数	平均値	標準偏差	最大値	最小値
高速中性子領域 (EALF>100keV)		1.0036	0.0059	1.0232	0.9948
中速中性子領域 (0.625eV<EALF<100keV)		1.0168	0.0099	1.0337	0.9975
熱中性子領域 (EALF<0.625eV)		1.0027	0.0026	1.0071	0.9978
合計	102	1.0088	0.0098	1.0337	0.9948

E. 6 結果の要約及びその評価

本輸送物は、中性子線源を特別形カプセルに収納する。特別形カプセルは円筒容器に収納され、円筒容器内は中性子遮蔽材である高密度ポリエチレンで満たされている。

本輸送容器の臨界解析は、一般及び特別の試験条件下の孤立系及び配列系の場合に水の最適減速条件を考慮した保守的な条件で行った。その結果、いずれの条件においても未臨界が維持されることを確認した。

E.7 付属書類

E.7.1 一般の試験条件下の配列系におけるパラメータ計算

一般の試験条件下の配列系輸送物の臨界解析モデルはオーバーパックを無視し、中性子遮蔽材及び円筒容器までをモデル化する。同モデルの境界条件を完全反射とすることで無限個の配列を仮定する。輸送物は最密六角配列を形成し、外部の雰囲気は水密度 $0\sim 1.0\text{g/cm}^3$ で変化する。

(ロ) ー第E.付1表に臨界計算の結果を示す。同表では輸送容器外部の水密度を変化させた以下のケースに対して計算を実施している。

- ・ ケース C 1 ～ C 5 収納物：中性子線源 ()
 輸送物外部水密度： $0.00\sim 1.00\text{g/cm}^3$

輸送物外部の水密度変化による k_{eff} への影響はモンテカルロ計算の標準偏差程度であり、核分裂性物質が輸送容器によって十分に隔離されている。一般の試験条件下の配列系輸送物において k_{eff} が最大を示すのは輸送容器外部水密度 g/cm^3 、すなわち とした場合である。 k_{eff} に標準偏差の 3 倍を加えた値は である。

(ロ)－第E.付1表 一般の試験条件下の配列系輸送物 臨界計算結果

ケース名	収納物		輸送容器 外部水密度 (g/cm ³)	keff	σ	keff+3 σ
C 1	中性子線源					
C 2						
C 3						
C 4						
C 5						

E. 7. 2 特別の試験条件下の孤立系におけるパラメータ計算

特別の試験条件下の孤立系輸送物の臨界解析では特別形カプセル内への水の浸入を仮定する。収納物である中性子線源の

による被覆材はモデル化しないが、実際は存在することから、水と混在することはないとする。

(ロ)－第E. 付2表に臨界計算の結果を示す。

- ・ ケース B 1、B 2 収納物：中性子線源 ()
 収納物形態：

ケース B 1 及び B 2 は中性子線源を収納した特別形カプセルがそれぞれ円筒容器の内及び外にある場合である。中性子線源のモデル形状は E. 2. 1 で述べたように直径 、高さ の円筒の としてのみ扱い、水との混在は想定しない。特別形カプセルが円筒容器の内側にある場合、特別形カプセルの周囲は中性子遮蔽材である高密度ポリエチレンとなり、特別形カプセルが円筒容器の外側にある場合、特別形カプセルの周囲は水反射体となる。高密度ポリエチレンは水よりも有効な反射体であるため、特別形カプセルが円筒容器の内側にある方が k_{eff} は大きい。

特別の試験条件下の孤立系輸送物を対象としたパラメータ計算において k_{eff} が最大となるのはケース B 1 の特別形カプセルが円筒容器の内側にある場合である。 k_{eff} に標準偏差の 3 倍を加えた値は である。

(ロ)－第E.付2表 特別の試験条件下の孤立系輸送物 臨界計算結果

ケース名	収納物	円筒容器		keff	σ	keff+3 σ
B 1	中性子線源	有				
B 2		無				

E. 7. 3 特別の試験条件下の配列系におけるパラメータ計算

特別の試験条件下の配列系輸送物の臨界解析では、特別形カプセルが円筒容器から放出し、最密六角配列を形成すると仮定し、特別形カプセル内部及び外部雰囲気に対して最適減速条件であるものとする。本モデルは全ての特別形カプセルが輸送容器から放出し、最適減速状態で最密六角配列を形成すると極めて保守的な仮定であることから、有限配列とし、配列の外側に厚さ 12inch (30cm) の水反射体を設置する。

有限配列は輸送制限個数の 2 倍の 334 個以上の配列を仮定する必要がある。特別形カプセルの六角配列による 2 層に積み重ねた臨界解析モデルを(ロ)－第 E. 付 1 図に示す。同図に示すモデルは無限個の特別形カプセルの六角配列を円筒境界で切り取っているため、境界上の特別形カプセルは切り取られている。本モデルにおいて配列個数 334 個以上を満足するための円筒境界半径の算出手順を(ロ)－第 E. 付 1 図の特別形カプセルを 2 層に積み重ねた場合を例にして以下に示す。

特別形カプセルの単位セルピッチ $P=7.622\text{cm}$ であるので、単位セル面積 A_1 は以下のようになる。

$$A_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} P^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times (7.622)^2 = 50.3116\text{cm}^2$$

円筒境界の断面積 A_T は単位セルの断面積 A_1 に輸送物個数を乗じたものである。輸送物個数は、境界上で切り取られる特別形カプセルに対して保守性を持たせるために、334 個に 5% の増加を考慮した $334 \times 1.05 = 350.7$ 個とする。特別形カプセルを 2 層に積み重ねる場合、1 層あたりの輸送物個数は $350.7/2 = 175.35$ 個である。これらより円筒境界の断面積 A_T から円筒境界の半径 R_T は以下の通り算出される。

$$A_T = \pi R_T^2 = 50.3116 \times 175.35$$
$$R_T = \sqrt{\frac{50.3116 \times 175.35}{\pi}} = 52.9922\text{cm}$$

特別の試験条件下の配列系によるパラメータ計算では、以下の3領域の水密度を個別に変化させ、最適減速を評価する。

- (1) 特別形カプセル内 中性子線源周囲の水密度
- (2) 特別形カプセル内 中性子線源上部の水密度
- (3) 特別形カプセル外の水密度

有限配列は(ロ)－第E.付1図及び(ロ)－第E.付2図に示すように特別形カプセルを2層又は3層に積み重ねた場合を評価する。両モデルにおいて、輸送物個数はほぼ同数である。(ロ)－第E.付3表に中性子線源を特別形カプセルに収納した場合の臨界計算の結果を示す。同表におけるケース名は以下の通りである。

- ・ケースD1～D15 収納物：中性子線源 ()
特別形カプセル積重数：2層
 - (1) 中性子線源周囲の水密度：0.0～1.0g/cm³
 - (2) 中性子線源上部の水密度：0.0～1.0g/cm³
 - (3) 特別形カプセル外の水密度： g/cm³
- ・ケースD21～D39 収納物：中性子線源 ()
特別形カプセル積重数：3層
 - (1) 中性子線源周囲の水密度：0.0～1.0g/cm³
 - (2) 中性子線源上部の水密度：0.0～1.0g/cm³
 - (3) 特別形カプセル外の水密度： g/cm³

まず、(3) 特別形カプセル外の水密度を g/cm³ に固定し、(1) 中性子線源周囲の水密度及び(2) 中性子線源上部の水密度を同時に0.0～1.0g/cm³へと変化させる。これは特別形カプセルが2層のモデルではケースD1～D11、3層のモデルではケースD21～D31が対応する。2層モデルではケースD11、3層モデルではケースD31の(1)及び(2)の水密度が g/cm³ のとき keff は最大を示す。

次にケースD11及びケースD31を基準に(1) 中性子線源周囲の水密度を1.0g/cm³に固定し、(2) 中性子線源上部の水密度を低下させる。これはケースD12～D15及びケースD32～D35が対応する。2層モデルのケースD12、3層モデルのケースD32において(2)の水密度が g/cm³ のとき keff は最大を示すが、ケースD12よりもケースD32の方が keff は大きい。よって以降の解析は3層モデルのケースD32を基準にして実施する。

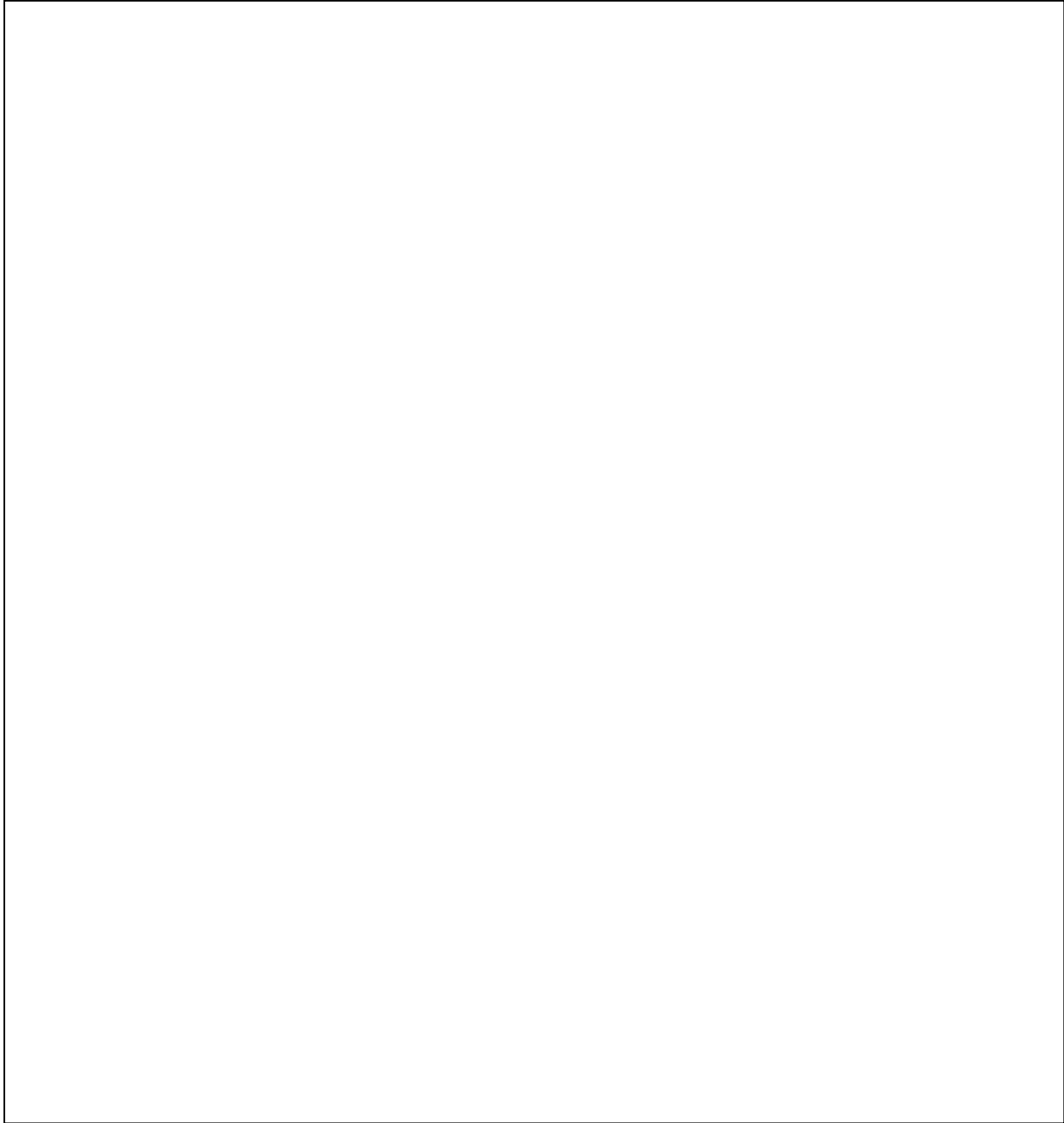
ケースD36及びD37はケースD32の条件から(1) 中性子線源周囲の水密度

を変化させた場合、ケースD38及びD39はケースD32の条件から（3）特別形カプセル外の水密度を変化させた場合である。ケースD36～D39はケースD32に対して k_{eff} は低下する。

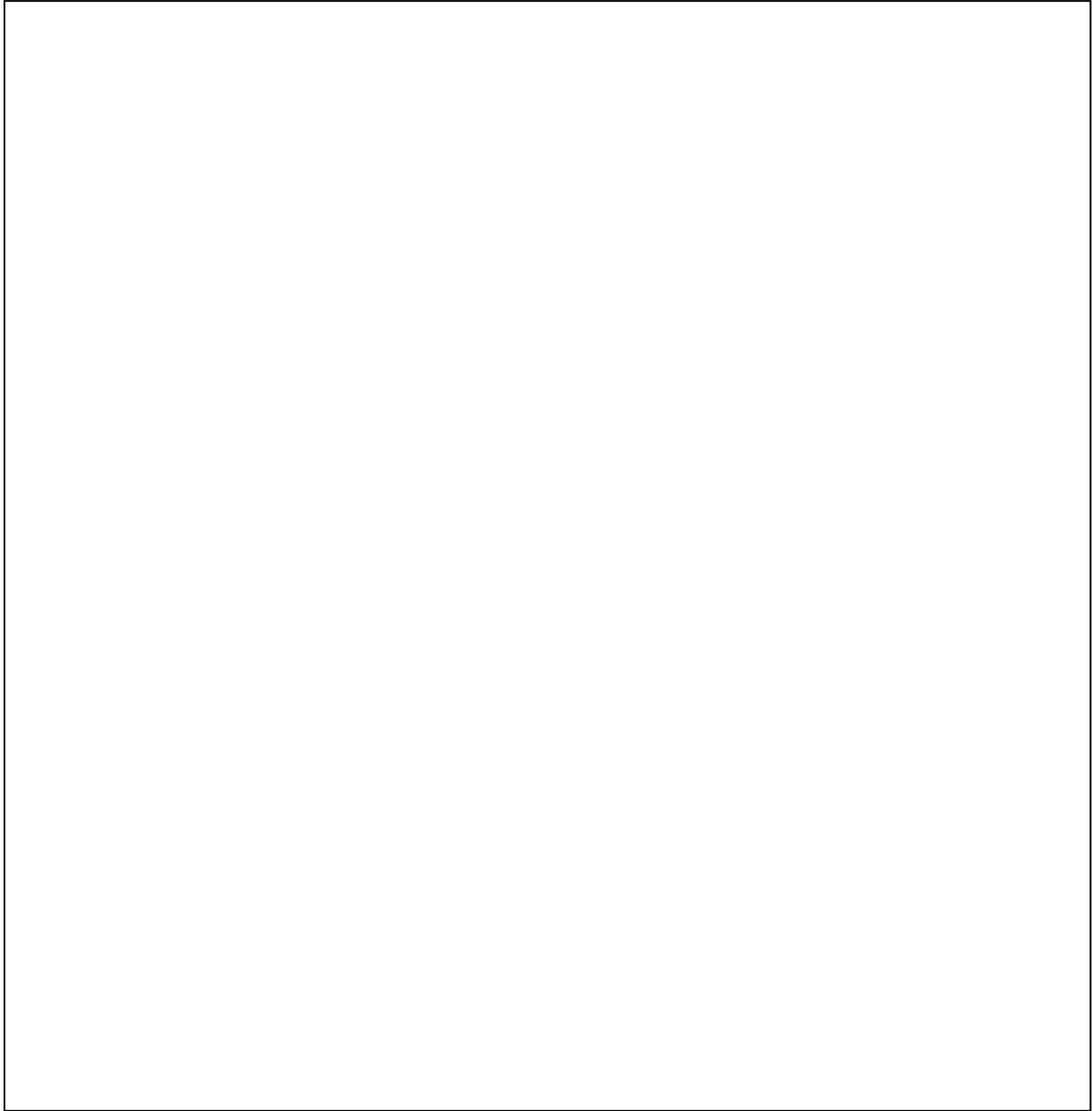
上記より中性子線源を特別形カプセルに収納した特別の試験条件下の配列系輸送物はケースD32、すなわち特別形カプセルを3層に積み重ねた場合の（1）中性子線源周囲の水密度が g/cm³、（2）中性子線源上部の水密度及び（3）特別形カプセル外の水密度が g/cm³ のときに k_{eff} は最大となる。 k_{eff} に標準偏差の3倍を加えた値は である。

(ロ)－第E.付3表 特別の試験条件下の配列系輸送物 臨界計算結果

ケース名	積重段数	(1) 中性子線源 周囲水密度 (g/cm ³)	(2) 中性子線源 上部水密度 (g/cm ³)	(3) 特別形 カプセル 外部水密度 (g/cm ³)	keff	σ	keff+3 σ
D 1	2層						
D 2							
D 3							
D 4							
D 5							
D 6							
D 7							
D 8							
D 9							
D 10							
D 11							
D 12							
D 13							
D 14							
D 15							
D 21	3層						
D 22							
D 23							
D 24							
D 25							
D 26							
D 27							
D 28							
D 29							
D 30							
D 31							
D 32							
D 33							
D 34							
D 35							
D 36							
D 37							
D 38							
D 39							



(ロ)－第E.付1図 臨界解析モデル
(特別の試験条件下の配列系輸送物 (2層))



(ロ)－第E.付2図 臨界解析モデル
(特別の試験条件下の配列系輸送物 (3層))

E. 7. 4 参考文献

- ① MCNP5, "MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5; Volume II: User's Guide," LA-CP-03-0245, Los Alamos National Laboratory, April 2003.

- ② International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, Nuclear Energy Agency, NEA/NSC/DOC(95)03, September 2009

ロ章F 規則及び告示に対する適合性の評価

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応事項
第4条第2号		<p>本輸送物は以下に示すように、運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>a. 通常輸送時での特別形カプセルの最高温度は 151℉ (66.1℃) であり、収納物が溶融することとはなく、収納物の幾何学的形状、物理的状态が変化することはない。</p> <p>b. 17Cドラム缶及びS300型輸送物の原型容器に対して振動試験が実施されており、健全性に問題はない。</p> <p>c. 輸送物の主要遮蔽材である高密度ポリエチレンの通常輸送時での最高温度は 150℉ (65.6℃) であり、使用制限温度 180℉ (82.2℃) より低く、遮蔽能力が低下することはない。</p> <p>また、容器各部の温度差による熱応力によって容器に割れが生じることはない。</p>	<p>(p)-B. 4. 6</p> <p>(p)-A. 4. 7</p> <p>(p)-B. 4. 6</p> <p>(p)-A. 5. 1. 3</p>
第3号		<p>輸送物表面には不要な突起物がなく、また、輸送物表面は滑らかに仕上げられており、除染は容易である。</p>	(i)-C
第4号		<p>本輸送物には、多種の材料が使われているが、各々の材料相互の間及び収納物との間では、危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれはない。</p>	(p)-A. 4. 1
第5号		<p>本輸送物の密封境界に弁は取り付いていない。</p>	(p)-C. 2. 2

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
第5条第4号		本輸送容器の構成部品は、-40℃の温度においてき裂、破損等は生じない。 したがって、-40℃～70℃の周囲温度において、構成部品にき裂、破損等を生じるおそれはない。	(p)-A. 4. 2
第5号		本輸送物の密閉装置は周囲圧力が 60kPa の場合でも、放射性収納物を保持できる構造である。	(p)-A. 4. 6
第6号	(線量当量率)	該当なし。	
第7号	第8条	本輸送物は最大放射エネルギーの収納物を収納しても、輸送物の表面における最大線量当量率は <input type="text"/> μ Sv/h であり、基準値の 2000 μ Sv/h を超えることはない。	(p)-D. 5
第8号		本輸送物は最大放射エネルギーの収納物を収納しても、輸送物の表面から 1m の距離における最大線量当量率は <input type="text"/> μ Sv/h であり、基準値の 100 μ Sv/h を超えることはない。	(p)-D. 5
第9号イ		本輸送物の密閉性能は特別形核燃料物質等に係る試験により確認した。したがって、一般の試験条件下における本輸送物からの放射性物質の漏えいはない。	(p)-C. 5
第9号ロ		一般の試験条件下に置いた場合、本輸送物は最大放射エネルギーの収納物を収納しても、輸送物の表面における最大線量当量率は <input type="text"/> μ Sv/h であり、基準値の 2000 μ Sv/h を超えることはない。	(p)-D. 5
第10号		該当なし。	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
(核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準) 第 11 条 第 1 号	(核分裂性輸送物に係る一般の試験条件) 第 24 条 別記第 11 第 1 号 別記第 11 第 2 号 別記第 11 第 3 号 同上	本輸送物は核分裂性輸送物として輸送する。 本輸送物は保守側のモデルを仮定しても、実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$) は <input type="text"/> となり未臨界である。	(p)-E. 4. 4
		17C ドラム缶に対する水噴霧試験結果により、本輸送物は当該試験において問題ない。	(p)-A. 5. 2
		本輸送物の原型容器を用いて、水平及びコーナー方向の 1.2m 落下試験を実施し、構造健全性に問題ない。	(p)-A. 5. 3
		17C ドラム缶に対する積み重ね試験結果により、本輸送物は当該試験において十分な強度を保有する。	(p)-A. 5. 4
		17C ドラム缶に対する貫通試験結果により、本輸送物は当該試験において十分な強度を保有する。	(p)-A. 5. 5
		本輸送物は、構造解析の結果、構造部に 10cm 立方を包含するようなくぼみを生じることなく、外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。	(p)-A. 9. 1

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応事項
第 11 条第 2 号 ハ及びホ	第 26 条 別記第 12 第 1 号 (ロ) (1)	解析による動的圧潰時の評価結果から、円筒容器が破損する可能性が考えられるが、特別形カプセルの構造健全性及び密封性は保持される。	(p)-A. 9. 2. 1
	別記第 12 第 1 号 (ロ) (2)	解析による動的圧潰時の評価結果を考慮し、円筒容器から放出された特別形カプセルが軟鋼棒状に 1m 高さから落下するものとして評価しており、特別形カプセルの構造健全性及び密封性は保持される。	(p)-A. 9. 2. 2
	別記第 12 第 1 号 (ハ)	本試験の条件は、特別形核燃料物質等に係る試験の内、加熱試験における条件と本質的に同じである。また、イ章 D. 2 (3) より特別形カプセルの加熱試験後の密封健全性を確認しており、本試験によって特別形カプセルの密封性が損なわれることはない。	(p)-B. 5. 6 (i)-D
	別記第 12 第 1 号 (ニ)	15m 浸漬試験における外圧に対しても特別形カプセルの密封性は保持される。	(p)-A. 9. 2. 4
第 11 条 第 2 号イ	第 25 条	孤立系の解析結果は、解析モデルが保守側となる一般の試験条件下の孤立系の解析に包括される。一般の試験条件下の孤立系での臨界解析結果より、実効増倍率 ($k_{eff}+3\sigma$) は <input type="text"/> となり未臨界である。	(p)-E. 4. 4
第 11 条 第 2 号ロ	第 25 条	一般の試験条件下の孤立系では、輸送容器の周囲には厚さ 12inch (30cm) の水反射体があるものとした。輸送容器間は保守側となる水密度条件とした。	(p)-E. 4. 4

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
第11条 第2号ハ	第25条	<p>特別の試験条件下の孤立系では、輸送容器の周囲には厚さ 12inch (30cm) の水反射体があるものとした。また特別形カプセル単体より保守側となる高密度ポリエチレンのある円筒容器を含めたモデルとした。輸送容器間は保守側となる水密度条件とした。</p> <p>特別の試験条件下での臨界解析結果より、実効増倍率 ($k_{eff}+3\sigma$) は <input type="text"/> となり未臨界である。</p>	(p)-E. 4. 4
第11条 第2号ニ	第27条	<p>一般の試験条件下の配列系では輸送容器の最密六角配列による無限個の配列とした。輸送容器間は保守側となる水密度条件とした。</p> <p>一般の試験条件下の配列系での臨界解析結果より、実効増倍率 ($k_{eff}+3\sigma$) は <input type="text"/> となり未臨界である。</p>	(p)-E. 4. 4
第11条 第2号ホ	第27条	<p>特別の試験条件下の配列系では特別形カプセルの最密六角配列による有限個の配列とした。特別形カプセル内及び輸送容器間は保守側となる水密度条件とした。</p> <p>特別の試験条件下での臨界解析結果より、実効増倍率 ($k_{eff}+3\sigma$) は <input type="text"/> となり未臨界である。</p>	(p)-E. 4. 4
第11条 第3号		<p>本輸送物は、周囲温度-40°C以上で使用する。本輸送容器の材料は、-40°Cの低温下においても機械的性能が低下することはない。$-40^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$までの運搬中に予想される温度変化に対してもき裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	(p)-A. 4. 2

ハ章 品質マネジメントの基本方針

ハ章 品質マネジメントの基本方針

A. 品質マネジメントシステム

A. 1 概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所 (以下「」という。) は、中性子線源を米国に返還するにあたり、核燃料輸送物が法令に定める技術上の基準並びに設計承認申請書及び容器承認申請書に記載された設計仕様及び製作方法に適合していることを確実にするため、品質マネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し、維持する。また、品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。

なお、本品質マネジメントシステムは S300 型輸送物のみに適用する。

A. 2 品質方針及び品質目標

A. 2. 1 品質方針

最高責任者は、核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等が、法令に定める技術上の基準並びに設計承認申請書及び容器承認申請書に記載された設計仕様及び製作方法に適合していることを確実にするため、品質方針を定め、文書化し、関係者への周知を確実に行う。

A. 2. 2 品質目標

管理責任者は、品質方針を達成するため、達成度が評価可能な品質目標を設定し、文書化し、関係者への周知を確実に行う。

A. 3 品質マニュアル及び品質管理計画書

A. 3. 1 品質マニュアル

品質マニュアルは、品質マネジメントが確実に実施されることを目的に、核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等の品質マネジメント業務の実施基準を定めたものである。

管理責任者は品質マニュアルを策定し、関係者に周知し、実施させる。また、管理責任者は必要に応じて、適時品質マニュアルを改定しなければならない。

A. 3. 2 品質管理計画書

管理責任者は、輸送容器製作の検証に関する品質マネジメント業務を規定する品質管理計画書を策定し、関係者に周知し、実施させる。また、管理責任者は必要に応じて適時、改定しなければならない。

B. 申請者の責任

B. 1 責任体制

品質マネジメントシステムの実施及び維持のための 責任体制を (ハ) - 第B. 1 図に示す。



(ハ) - 第B. 1 図 品質管理体制

B. 2 最高責任者

は最高責任者として下記の項目について責任及び権限を有する。

- ① 品質方針を策定し、文章化し、関係者に確実に周知させる。
- ② (ハ) - 第B. 1 図に示す品質管理体制を確立し、品質マネジメントに係る統括業務を行う。
- ③ を、品質マネジメントシステムの実施について責任及び権限を持つ管理責任者として任命する。
- ④ 品質マネジメントシステムを継続的に改善し、その有効性を維持するため、1年に1回以上マネジメントレビューを実施する。

B.3 管理責任者

管理責任者は下記の項目について責任及び権限を有する。

- ① 品質マニュアル及び品質管理計画書を策定し、品質マネジメント業務を確実に実施する。
- ② 中性子線源の輸送に係る業務に従事する職員等に 教育・訓練を実施する。
- ③ の中から、品質管理担当者及び品質管理監査員を任命する。

B.4 品質管理担当者

品質管理担当者は内部監査を除く品質管理に係る業務全般を行う。

B.5 品質管理監査員

品質管理監査員は内部監査業務のみを行う。

C. 教育・訓練

管理責任者は中性子線源の輸送に係る業務に初めて従事する者に対して、教育・訓練を実施する。着任後は、必要に応じて教育・訓練を実施し、少なくとも1年に1回以上、教育・訓練を実施する。

D. 設計管理

本品質マネジメントシステムが対象としている S300 型は、既に米国において A 型核分裂性輸送物として設計承認を取得している（証明書番号：USA/9329/AF-96）。また、輸送実績もあり、高い安全性が示されていることから、新たに設計の変更等を行わない。

E. 輸送容器の製造発注

E.1 容器製造者の評価

本中性子線源の輸送では新たな輸送容器の製造は行わず、ロスアラモス国立研究所が発注・製造し保管している輸送容器を購入し使用する。なお、輸送容器の製造は、S300 型に対して要求する技術基準及び品質要求を満足する製造者をロスアラモス国立研究所にて選定している。

E. 2 容器製造者への品質マネジメントシステム要求事項

ロスアラモス国立研究所が要求している製造者への品質マネジメントシステムについて、文書等で明確にし、適切に実施されていることを確認する。

E. 3 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証

今回の輸送に使用する輸送容器の製作記録、検査記録等より、輸送容器が適切に製造されていることを確認する。必要に応じて、容器製造者への品質監査、輸送容器の管理状況、容器の製作に係る品質管理状況等をロスアラモス国立研究所に確認し、輸送容器の製造が適切に実施されていることを検証する。

F. 取扱い及び保守

F. 1 輸送容器の取扱い及び保守

輸送容器の取扱い及び保守は、二章の記載事項を満足するよう実施し、必要に応じて実施要領や実施条件、検査計画を文書にて明確にする。

F. 2 輸送容器の管理方法

輸送容器の仕様を長期にわたって保障できるよう、輸送容器の保守条件として以下を文書化し、明確にする。

- ①環境条件等を考慮した保管の方法及び損傷防止対策
- ②保管する区域の設定
- ③保管する条件

二章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

ニ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

核燃料輸送物の標準的な取扱い方法、保守条件を示す。

A. 輸送物の取扱い方法

輸送物に吊上げ部もしくは持ち上げ部は無い。輸送物の移動方法は、以下の通りである。

- 1) 輸送物がパレット等に載った状態であれば、パレット等ごとパワーリフター等で移動させる。
- 2) 輸送物がパレット等に載っていないければ、ドラムグラブをフォークリフトに取り付け、輸送物をドラムグラブで挟んで移動させる。

A. 1 装荷方法

輸送容器への中性子線源装荷は、以下の方法により行う。

A. 1. 1 準備作業

準備作業は、天候に影響されない清潔な場所において実施する。一連の作業は、ALARAの原則に従い、作業員の安全を確保して行う。

(1) 蓋の開放

- 1) 所定の位置に輸送容器を設置する。
- 2) 17Cドラム缶蓋部の締め付けリングボルトを緩める。
- 3) 17Cドラム缶蓋、ライナー蓋、敷材蓋を取り外す。

(2) 円筒容器の取り出し

- 1) 円筒容器上部に取り付けられる吊り具を用いて、輸送容器内から円筒容器を取り出す。
- 2) 円筒容器蓋ボルト12本を緩め、蓋を取り外す。
- 3) 治具を用いて、中性子遮蔽材蓋を取り外す。
- 4) 上部補助遮蔽プラグを取り外す。
- 5) 下部補助遮蔽プラグが中性子遮蔽材空間部底部に問題なく設置されていることを確認する。
- 6) 各部品（円筒容器本体、円筒容器蓋、蓋ボルト、中性子遮蔽材蓋、上部補助遮蔽プラグ、下部補助遮蔽プラグ、中性子遮蔽材本体）に損傷がないことを外観検査により確認する。なお、損傷がある場合は交換する。
- 7) 円筒容器本体フランジ部に設置されるゴムOリングに損傷がないことを確認する。

A. 1. 2 装荷作業

輸送対象となる中性子線源の装荷作業は、以下に示す手順で実施する。なお、一連の作業は、作業員の被ばく防止措置を講じた上で行われる。

(1) 中性子線源の特別形カプセルへの装荷

- 1) 中性子線源の仕様が、(イ)－第A. 1 表及び(イ)－第D. 1 表に示す基準を満たすことを確認する。
- 2) 特別形カプセル本体内に、異物が混入していないことを目視確認する。
- 3) 中性子線源を特別形カプセル本体内に装荷する。
- 4) 中性子線源が、特別形カプセル本体内に問題なく装荷されていることを目視確認する。
- 5) 特別形カプセル蓋を本体に締め付ける。
- 6) 締め付け後、特別形カプセル本体上端から蓋上端までの距離を測定することにより、特別形カプセルの密封性を確認する。
- 7) 蓋の締め付け後、蓋上部に取り付けられている柄をせん断して取り外し、再び開封できないように処置する。

(2) 特別形カプセルの円筒容器への装荷

- 1) 特別形カプセルを円筒容器内に装荷する。
- 2) 中性子遮蔽材空間部内に、特別形カプセルが1 体のみ装荷されていることを目視確認する。
- 3) 特別形カプセル上部に上部遮蔽補助プラグを設置する。
- 4) 中性子遮蔽材蓋を装着する。
- 5) 中性子遮蔽材蓋が、中性子遮蔽材本体と密着していること（中性子遮蔽材蓋が、収納される特別形カプセル上に乗り上げていないこと）を確認する。

A. 1. 3 輸送前の準備

輸送前の準備は、以下に示す手順で実施する。

(1) 円筒容器蓋の取付け

- 1) 円筒容器蓋を円筒容器本体に取り付ける。なお、任意で円筒容器本体フランジ部に設置するゴムOリングの表面に真空グリスを塗布しても良い。
- 2) 円筒容器蓋ボルトねじ部にねじ潤滑剤を塗布し、12 本の蓋ボルトを全て円筒容器蓋に取り付け、仮締めする。

- 3) 12本の蓋ボルトを $65 \pm 5 \text{ft} \cdot \text{lb}$ ($88.1 \pm 6.8 \text{ N} \cdot \text{m}$) の規定トルクまで締め付ける。
- 4) 締め付け後、12本の蓋ボルトが全て問題なく締め付けられているかどうか、作業員の手で確認を行う。
- 5) 円筒容器上部に取り付けられる吊り具を用いて、円筒容器をオーバーパック内に装荷する。
- 6) 円筒容器がオーバーパック内に問題なく設置されていることを目視にて確認する。
- 7) 敷材蓋を取り付ける。
- 8) 敷材上端と、ライナー蓋下端間の隙間量を測定し、0.5inch (12.7mm) 未満であることを確認する。隙間量が0.5inch (12.7mm) 以上の場合は、ファープライウッド製のシムを用いて隙間量を調整する。
- 9) 17Cドラム缶蓋を取付ける。この時、17Cドラム缶内の収納物に蓋が乗り上げる等の異常がないことを確認する。
- 10) 17Cドラム缶の締め付けリングボルトを、 $40 \pm 5 \text{ft} \cdot \text{lb}$ ($54.2 \pm 6.8 \text{ N} \cdot \text{m}$) の規定トルクまで締め付ける。
- 11) 17Cドラム缶の締め付けリングボルトに設けられた穴部に封印ワイヤ及びシールを取り付ける。

A. 2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送する前に (二) - 第A. 1表に示す輸送物発送前検査を行う。

A. 3 取出し方法

輸送容器からの収納物の取出しは、以下の方法により行われる。

A. 3. 1 輸送物の開封

輸送物の開封は、以下の手順に従って行われる。なお、これらの作業は、天候に影響されない清潔な場所において行われる。

(1) 蓋の開放

- 1) 輸送物の封印を解く。
- 2) 17Cドラム缶の締め付けリングボルトを緩める。
- 3) 17Cドラム缶蓋、ライナー蓋、敷材蓋を取り外す。
- 4) 円筒容器上部に取り付けられる吊り具を用いて、円筒容器を輸送容器内から取り出す。

(2) 円筒容器蓋の開放

- 1) 円筒容器蓋ボルト 12 本を緩め、円筒容器蓋を取り外す。
- 2) 治具を用いて、中性子遮蔽材蓋を取り外す。
- 3) 上部補助遮蔽プラグを取り外す。

A. 3. 2 取出作業

円筒容器内から、特別形カプセルを安全な保管設備内に移送し、保管する。

A. 3. 3 後作業

本輸送容器は、使用により汚染しないため、輸送後に除染作業を実施する必要はない。

A. 4 空容器の準備

空の状態の本輸送物を輸送する場合の手順は、以下の通りである。

- 1) 特別形カプセルが円筒容器内から取り出されていることを確認する。
- 2) 中性子遮蔽材空間部内に上部遮蔽補助プラグ及び下部遮蔽補助プラグを装荷する。
- 3) 円筒容器の蓋を円筒容器本体に取り付け、12 本の蓋ボルトを用いて仮締めする。
- 4) トルクレンチを用いて、12 本の蓋ボルトを $65 \pm 5 \text{ft} \cdot \text{lb}$ ($88.1 \pm 6.8 \text{ N} \cdot \text{m}$) の規定トルクまで締め付ける。
- 5) 締め付け後、12 本の蓋ボルトが全て問題なく締め付けられているかどうか、作業員の手で確認を行う。
- 6) 円筒容器上部に取り付けられる吊り具を用いて、円筒容器をオーバーパック内に装荷する。
- 7) 円筒容器がオーバーパック内に問題なく設置されていることを目視にて確認する。
- 8) 敷材蓋及びライナー蓋を取り付ける。
- 9) 17C ドラム缶蓋を取付ける。この時、17C ドラム缶内の収納物に蓋が乗り上げる等の異常がないことを確認する。
- 10) 17C ドラム缶の締め付けリングボルトを、 $40 \pm 5 \text{ft} \cdot \text{lb}$ ($54.2 \pm 6.8 \text{ N} \cdot \text{m}$) の規定トルクまで締め付ける。
- 11) 出荷時に取り付けたラベル類については、全て除去、又は何らかの措置により見えない状態にする。

(二) - 第A. 1表 輸送物発送前検査の項目、検査方法及び合格基準

No.	検査項目	検査方法	合格基準
1	外観検査	オーバーパック、円筒容器、特別形カプセルの外観を目視で検査する。	異常な損傷、変形、汚れ、腐食などがなく、全部品が所定の位置に正常な状態で備わっていること。
2	重量検査	収納物重量の計測値と、輸送容器の受入時の計測値を加算することにより検査する。	4801b (218kg) 以下であること。
3	表面密度検査	スミヤ法により輸送物の表面密度を検査する。	アルファ線を放出しない放射性物質は、4 Bq/cm ² 以下、アルファ線を放出する放射性物質は、0.4Bq/cm ² 以下を満足していること。
4	線量当量率検査	収納物を装荷した状態でガンマ線及び中性子線の線量当量率を測定する。	ガンマ線及び中性子線の線量当量率の合計値が表面で2mSv/h以下、表面から1m離れた位置で0.1mSv/h以下を満足していること。
5	未臨界検査	臨界防止に関する部材（円筒容器及び特別形カプセル）の外観を目視で検査する。	異常な損傷、変形、汚れ、腐食などがなく、全部品が所定の位置に正常な状態で備わっていること。
6	収納物検査	<p>(1) 特別形カプセルの外観、数量及び中性子線源の収納体数を確認する。</p> <p>(2) 特別形カプセルの蓋と本体との段差を計測することで封入状態に異常がないことを確認する。</p> <p>(3) <input type="text"/> 記録（核燃料物質使用承認申請書等）により、<input type="text"/> が設計条件を満足することを確認する。</p>	<p>(1) 異常な損傷、変形、汚れ、腐食などがなく、特別形カプセルは1体、中性子線源の収納体数が<input type="text"/> 体以下であること。</p> <p>(2) 特別形カプセルの蓋と本体との段差が0.254mm以内であること。</p> <p>(3) <input type="text"/> であること。</p>
7	吊上検査	ドラムグラブで取扱後の輸送物の外観を目視で検査する。	異常な損傷、変形、汚れ、腐食がないこと。

B. 保守条件

輸送容器の仕様を長期にわたって保証できる保守条件について定める。

輸送容器は、輸送に先立ち、収納物装荷前に外観検査を実施し、問題がないことを確認する。
外観検査にて問題があった場合は、使用せず、修理及び部品の交換を行うものとする。

なお、何らかの理由で収納物を検査又は開封する必要がある場合には、二章Aに示す方法に従って作業を行うものとする。

輸送容器の定期自主検査は1年に1回以上実施する。定期自主検査要領を (二) - 第B.1表 に示す。

(二) - 第B.1表 輸送容器の定期自主検査要領

No.	検査項目	検査方法	合格基準
1	外観検査	オーバーパック、円筒容器、特別形カプセルの外観を目視で検査する。	異常な損傷、変形、汚れ、腐食などがないこと。
2	遮蔽検査	輸送物の遮蔽部（特別形カプセル、中性子遮蔽材及び円筒容器）の外観を目視で検査する。	異常な損傷、変形、汚れ、腐食などがないこと。
3	未臨界検査	臨界防止に関する部材（特別形カプセル及び円筒容器）の外観を目視で検査する。	異常な損傷、変形、汚れ、腐食などがないこと。

B.1 外観検査

外観検査は、輸送物の外観を目視で検査する。

特に以下に示す項目について確認を行う。異常が確認された場合は、部品交換を行う。

- (1) 17Cドラム缶蓋を本体に適切に取り付けることができること。
- (2) 締め付けリングが損傷していないこと。
- (3) 17Cドラム缶本体及び蓋に、構造健全性が損なわれるような腐食や変形がないこと。
- (4) 17Cドラム缶本体及び蓋に貫通部がないこと（弁を除く）。
- (5) 17Cドラム缶内部への水の浸入痕跡がないこと。

B. 2 耐圧検査

該当なし

B. 3 気密漏えい検査

該当なし

B. 4 遮蔽検査

輸送物の遮蔽部の外観を目視で検査する。

B. 5 未臨界検査

臨界防止に関する部材（円筒容器及び特別形カプセル）の外観について、異常の有無を目視で検査する。

B. 6 熱検査

該当なし

B. 7 吊上検査

該当なし

B. 8 作動確認検査

該当なし

B. 9 補助系の保守

該当なし

B. 10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

該当なし

B. 11 輸送容器の保管

輸送容器を保管状態に置くに当たっては、本輸送物の機能が損なわれないような状態で保管する。

B. 12 記録の保管

上記に示す検査記録については、当該輸送容器の容器承認期間中保存する。

B. 13 その他

該当なし

ホ 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

ホ章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

特記事項なし

参 考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

輸送容器は、ロ章「核燃料輸送物の安全解析」に述べられた構造、熱、密封、遮蔽、臨界の各解析及びそれらにより決定される寸法等、構造を満足するように、参考A. 「輸送容器の製作法」に従って製作し、それらが上記各設計条件を満足していることを、参考B. 「試験、検査方法等」に説明する各種検査により確認する。

A. 輸送容器の製作法

A. 1 概 要

輸送容器の製作手順例を(参)－第A. 1図に示す。

以下、(参)－第A. 1図に従い、製作手順及び方法の概要について述べる。

1. 円筒容器の製作

(1) 本体部の機械加工

オーステナイト系ステンレス鋼管から、機械加工により本体部を製作する。

(2) フランジ部の機械加工

オーステナイト系ステンレス鍛造材から、機械加工によりフランジ部を製作する。

(3) 下部端栓の機械加工

オーステナイト系ステンレス鋼板から、機械加工により下部端栓を製作する。

(4) 本体部、フランジ部、並びに下部端栓の組立溶接

タック溶接にて仮組みし、本体部とフランジ部及び下部端栓の組立溶接(周継手)を行う。

(5) 蓋の機械加工

オーステナイト系ステンレス鋼板から、機械加工により蓋を製作する。外形寸法を製作図面に規定されている寸法内に収めると共に、フィルターベント取付部、蓋ボルト穴、並びに吊り具取付け部についても加工を行う。

(6) 円筒容器本体の調整加工

溶接後の寸法検査により、製作図面に規定されている寸法を満足しない場合についてのみ、調整加工を行う。この際に、熱処理を施してはならない。

(7) 円筒容器本体の機械加工

円筒容器本体の仕上げ加工を実施する。(ボルトの穴空けも含む。)

(8) 円筒容器本体周溶接部の洗浄

円筒容器本体の周方向溶接部の洗浄を行う。

(9) 付属部品の取り付け

円筒容器本体フランジ部にゴムOリングを取り付けた後、蓋、並びに12本の蓋ボルトを取付け、規定のトルクで締め付ける。試験用通気弁を取り付けた後、気密漏えい検査を行い、試験に合格したことを確認した後、試験用通気弁をフィルターベントに付け替える。

(10) 中性子遮蔽材及び特別形カプセルの組み込み

2. 項に示す中性子遮蔽材、並びに 3. 項に示す特別形カプセルを円筒容器内に組み込む。

2. 中性子遮蔽材の製作

(1) 本体及び蓋部の機械加工

高密度ポリエチレン材から、機械加工によって本体及び蓋部を製作する。

3. 特別形カプセルの製作

(1) 本体の機械加工

オーステナイト系ステンレス棒鋼から、機械加工によって本体を製作する。

(2) 蓋、シーリングプラグ、インパクトプラグの機械加工

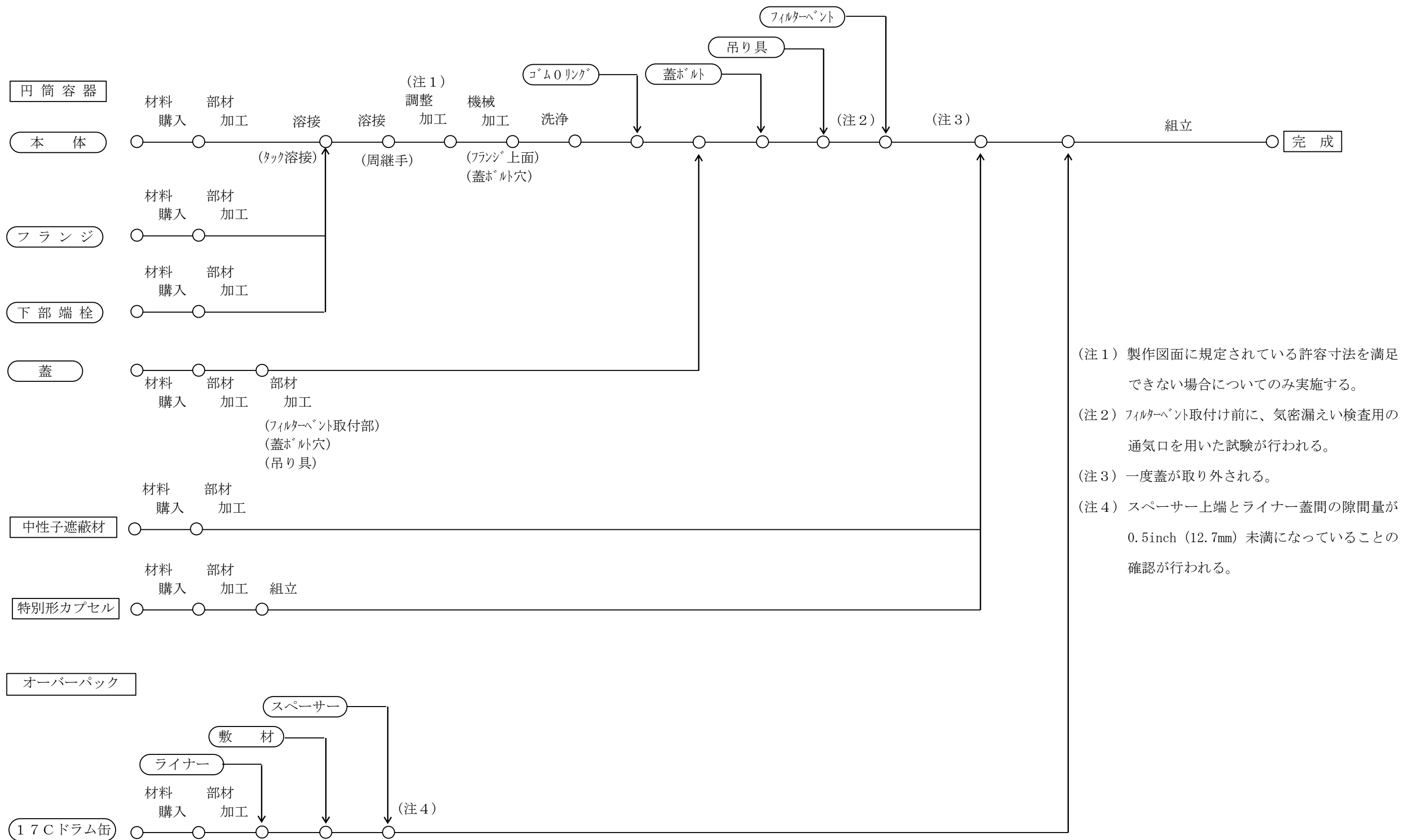
オーステナイト系ステンレス棒鋼から、機械加工によって蓋、シーリングプラグ、インパクトプラグを製作する。

(3) 組立

本体にインパクトプラグを挿入後、スナップリングを取付ける。シーリングプラグの取付け後、蓋締めし、組立作業を完了させる。

4. 輸送容器の組立

17Cドラム缶内にライナー及び敷材（下部及び円筒部）を収納し、1. 項に示す円筒容器を敷材内に収納する。敷材蓋及びスペーサーを取り付けた後、スペーサー上端とライナー蓋間の隙間量が0.5inch（12.7mm）未満となることを、ライナー蓋上端に空いた穴から測定し、確認する。最後に、17Cドラム缶の蓋を締め付ける。



(参) - 第A. 1図 輸送容器全体製作手順図 (例)

A. 2 材料の説明

A. 2.1 板材料

輸送容器に使用する板材料は、口章「核燃料輸送物の安全解析」に述べられた設計条件から、(参) - 第A. 1表に示す規格の材料を使用し、B. 1に示す検査を実施することにより(参) - 第A. 2表に示されている材料諸特性が得られていることを確認する。

円筒容器に使用する板材料は、ASTM 規格品である。円筒容器蓋及び下部端栓に使用される板材料はオーステナイト系ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件における材料の腐食の問題はない。

17Cドラム缶に使用される板材料は炭素鋼であるが、塗装が施されており、腐食の問題はない。

また、上記材料は切断、穴あけ、曲げ、溶接等の各種製作法においても特性を失うことなく加工可能である。

A. 2.2 管材類

材料の適用規格を(参) - 第A. 1表に示す。材料の諸特性の確認方法については、上記A. 2.1に同じ。

本輸送容器に使用する管材類は、ASTM 規格品である。本材料は、全てオーステナイト系ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。また、切断、溶接等の各種製作法においても特性を失うことなく加工可能である。(参) - 第A. 2表に機械的特性を示す。

A. 2.3 棒材類

材料の適用規格を(参) - 第A. 1表に示す。材料の諸特性の確認方法については、上記A. 2.1に同じ。

本材料は、全てオーステナイト系ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

A. 2.4 鍛造材、ボルト・ナット類

材料の適用規格を(参) - 第A. 1表に示す。材料の諸特性の確認方法については、上記A. 2.1に同じ。

本輸送容器に使用する鍛造材はASME 規格品、ボルト・ナット類は、ASTM 規格品である。円筒容器フランジ及び蓋ボルトの材料はオーステナイト系ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。また、切断、溶接等の各種製作法においても特性を失うことなく加工可能である。(参) - 第A. 2表に機械的特性を示す。

A. 2.5 溶接用電極・棒・線類

輸送容器に使用する材料に対し、健全な溶接を得るために(参) 一第A. 3表に示す規格の溶接材料を使用する。

本溶接方法は強度、耐食性等において要求される品質を十分満足するものであり、材料の使用条件及び母材との溶接性も良好であることを確認している。

A. 2.6 特殊材料

本輸送容器に使用する中性子遮蔽材及び防じん材は特殊材料に該当する。特殊材料の仕様を(参) 一第A. 4表に示す。

1. 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材として、高密度ポリエチレンを円筒容器内に挿入する。

2. 防じん材

円筒容器蓋部には、防じん材としてエチレンプロピレンゴム製のOリングを使用する。

A. 2.7 ミルシート

製造された材料が規格等で要求される諸特性を満足していることを確認するため、材料メーカーにてB. 1に示す検査を実施し、その結果をミルシート等に記載する。材料受入時には、各材料とミルシート等の記載事項を比較照合し、規定通りの材料であることを確認する。

A. 2.8 材料の欠陥部の修理

本輸送容器に使用する材料において、輸送容器の性能に影響を与えるような欠陥があった場合、当該材料は使用せず、また修理して使用することもない。

A. 2.9 材料の切断

本輸送容器の材料を切断する際には、その種類により以下に示す機械を使用する。また、機械加工後の切断部にバリ等がある場合は、グラインダー、ヤスリ等により手入れを行う。

- ・円筒容器 蓋及び下部端栓：プラズマ切断又はウォータージェット
- ・円筒容器 本体：帯のこ
- ・円筒容器 フランジ：NC旋盤

A. 2.10 材料の成型

本輸送容器には、プレス等による成型材料は使用しない。

(参) - 第A. 1表 材料適用規格 (板材、棒材、管材、鍛造材及びボルト材)

使用部位	材料区分	適用規格	備考
<u>1. オーバーパック</u>			
17Cドラム缶	板材	—	炭素鋼
<u>2. 円筒容器</u>			
フランジ	鍛造材	ASME SA-182-F304L	オーステナイト系ステンレス鋼
本体	管材	ASME SA-312-304L	オーステナイト系ステンレス鋼
下部端栓	板材	ASTM SA-240-304L	オーステナイト系ステンレス鋼
蓋	板材	ASTM SA-240-304L	オーステナイト系ステンレス鋼
蓋ボルト	ボルト材	ASTM A-193 B8	オーステナイト系ステンレス鋼
<u>3. 中性子遮蔽材</u>			
蓋	板材	ASTM D4976	高密度ポリエチレン
本体	板材	ASTM D4976	高密度ポリエチレン
補助遮蔽プラグ	板材	—	高密度ポリエチレン
<u>4. 特別形カプセル</u>			
本体	棒材	ASTM A276-304L	オーステナイト系ステンレス鋼
蓋	棒材	ASTM A276-304L	オーステナイト系ステンレス鋼
シーリングプラグ	棒材	ASTM A276-304L	オーステナイト系ステンレス鋼
インパクトプラグ	棒材	ASTM A276-304L	オーステナイト系ステンレス鋼

(参) - 第A. 2表 材料特性 (板材、棒材、管材、鍛造材及びボルト材)

適用規格	材料区分	降伏点 又は 耐力 MPa	引張強さ MPa	伸び %	絞り %	硬 さ			破 壊 韌 性			化 学 成 分 (%)												
						HB	HRB	HV	吸収エネルギー J	横膨出量 mm	関連温度	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	V	N	O
ASTM A240-304L	板 材	170 以上	485 以上	40 以上	—	201 以下	92 以下	—	—	—	0.03 以下	0.75 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.0 ～ 12.0	17.5 ～ 19.5	—	—	—	—	0.10 以下	—	
ASME SA-312-304L	管 材	170 以上	485 以上	縦方向:35 以上 横方向:25 以上	—	—	—	—	—	—	0.035 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ～ 13.0	18.0 ～ 20.0	—	—	—	—	—	—	
ASME SA-182-F304L	鍛造材	170 以上	485 以上	30 以上	50 以上	—	—	—	—	—	0.03 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.0 ～ 13.0	18.0 ～ 20.0	—	—	—	—	0.10 以下	—	
ASTM A276-304L	棒 材	170 以上	485 以上	30 以上	40 以上	—	—	—	—	—	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.0 ～ 12.0	18.0 ～ 20.0	—	—	—	—	—	—	
ASTM A193 B8	ボルト材	207 以上	517 以上	30 以上	50 以上	223 以下	96 以下	—	—	—	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ～ 11.00	18.0 ～ 20.0	—	—	—	—	—	—	

(参) - 第A. 3表 溶接材料

適用継手	溶接法	材質	適用規格
円筒容器本体とフランジ部及び下部端栓の周継手 (材料：オーステナイト系ステンレス鋼)	ガスシールドタングステンアーク溶接 (GTAW)	ER308L	AWS A5.9
	ガスシールドメタルアーク溶接 (GMAW)	ER308LSi	
	フラックスコアードアーク溶接 (FCAW)	ER308LT0-1/4	AWS A5.22

(参) - 第A. 4表 特殊材料

使用目的	材料名	適用規格	備考
中性子遮蔽材	高密度ポリエチレン	ASTM D4976	密度 (g/cm ³) : 0.92 以上
防じん材 (ゴムOリング)	エチレンプロピレンゴム	メーカー標準	

A. 3 溶 接

A. 3. 1 溶接方法及び材料

- (1) 円筒容器本体の溶接は、オーステナイト系ステンレス鋼同士の溶接である。
- (2) 本輸送容器の溶接は、ガスシールドタングステン溶接 (GTAW) 、ガスシールドメタルアーク溶接 (GMAW) 、フラックスコアードアーク溶接 (FCAW) の組合せにより行う。
- (3) 以下に各溶接法について述べる。

① ガスシールドタングステン溶接 (GTAW)

タングステン、又はタングステン合金からなる非消耗電極と溶接物の間に発生させたアークで溶接棒を溶かして溶接する方法で、電極の周囲からアルゴンガス等のガスを流してシールドを行う。

② ガスシールドメタルアーク溶接 (GMAW)

連続的に供給されるソリッドワイヤを電極として、溶接物との間にアークを発生させ、発生したアークでワイヤを溶かして溶接する方法で、電極の周囲からアルゴンガス等のガスを流してシールドを行う。

③ フラックスコアードアーク溶接 (FCAW)

ガスシールドメタルアーク溶接と溶接方法は同じだが、電極としてフラックス入りワイヤを用いる。シールドガスとして、炭酸ガス又は炭酸ガスとアルゴンガスの混合ガスを用いる。

- (4) 各溶接方法に使用する溶接材料は、(参) 一第A. 3表に示す。

A. 3. 2 溶接機の管理及び作業員資格

溶接機は、1年に1回定期点検を行う。点検項目は、所定の電流値及び電圧値が確保されていることを確認する。

また、本輸送物に対する溶接はASMEにて認められた溶接士が行うこととする。

A. 3. 3 溶接の主要事項に関する説明

- (1) 最高使用温度

電流及び電圧による制御を行う。直接、温度による制御はしない。

- (2) 開先等の主要寸法、形状

開先等の主要寸法、形状を(参) 一第A. 2図に示す。

- (3) 溶接表面の洗浄

溶接継ぎ手から50mmの範囲をステンレス製のブラシで洗浄する。

- (4) 溶接後の溶接位置の許容範囲

溶接後の溶接位置の許容範囲を（参）－第A. 2 図に示す。このとき円筒容器の最小板厚を割らないよう注意する。

(5) 溶接部の仕上げ（事後）

溶接完了後、溶接部表面に付着したスパッタ（溶接材料の飛び粉）を除去し、溶接ビードの凹凸を滑らかに仕上げる。

A. 3. 4 溶接欠陥の修理

溶接欠陥による補修は実施しない。

A. 3. 5 溶接後の熱処理

熱処理は実施しない。

A. 3. 6 特殊溶接

該当なし

A. 3. 7 溶接の施工管理・その他

輸送容器の溶接は、ASME にて技量認定された溶接士が溶接施工法確認試験に合格した施工法で行う。 容器本体の溶接時には、継手位置、施工法ナンバー、作業日時、溶接士名等を記録し、その記録を溶接作業及び溶接士の管理に使用する。

継手位置	溶接法	継手形状例
円筒とフランジの周継手 円筒と底板の周継手	GTAW GMAW FCAW (組合せ)	

(参)－第A. 2 図 輸送容器本体の主要溶接部の継手形状例及び溶接法

B. 試験、検査方法等

輸送容器の製作中及び製作完了後、ロ章で述べられた各解析に対応する設計条件を満たすように製造されていることを確認するために、(参) - 第B. 1 表に示す検査を実施する。以下各検査の方法等につき記述する。

B. 1 材料検査

輸送容器主要材料は、(参) - 第B. 2 表に示す検査を行う。

オーバーパックの一部である17Cドラム缶は、受け取り検査時にDOR/RL-96-57で規定される試験項目 ((参) - 第B. 3 表参照) に合格していることを確認する。

円筒容器は、受取検査時にミルシート等により化学成分、機械的性質が仕様及び適用規格を満足していることを確認する。

中性子遮蔽材は、受取検査時に密度が 0.92g/cm^3 以上であることを確認する。

防じん材(ゴムOリング)は、受取検査時に製作図面に記載されたメーカー標準品の基準を満足していることを確認する。

B. 2 寸法検査

適切に管理されている巻尺、ノギス、マイクロメータ、その他計測器具を用いて輸送容器の主要寸法を測定し、製作図面に規定される許容寸法を満足していることを確認する。各部材の寸法計測箇所及び合格基準値について、(参) - 第B. 1 図～(参) - 第B. 4 図に示す。

(参) - 第B. 1表 検査項目一覧表

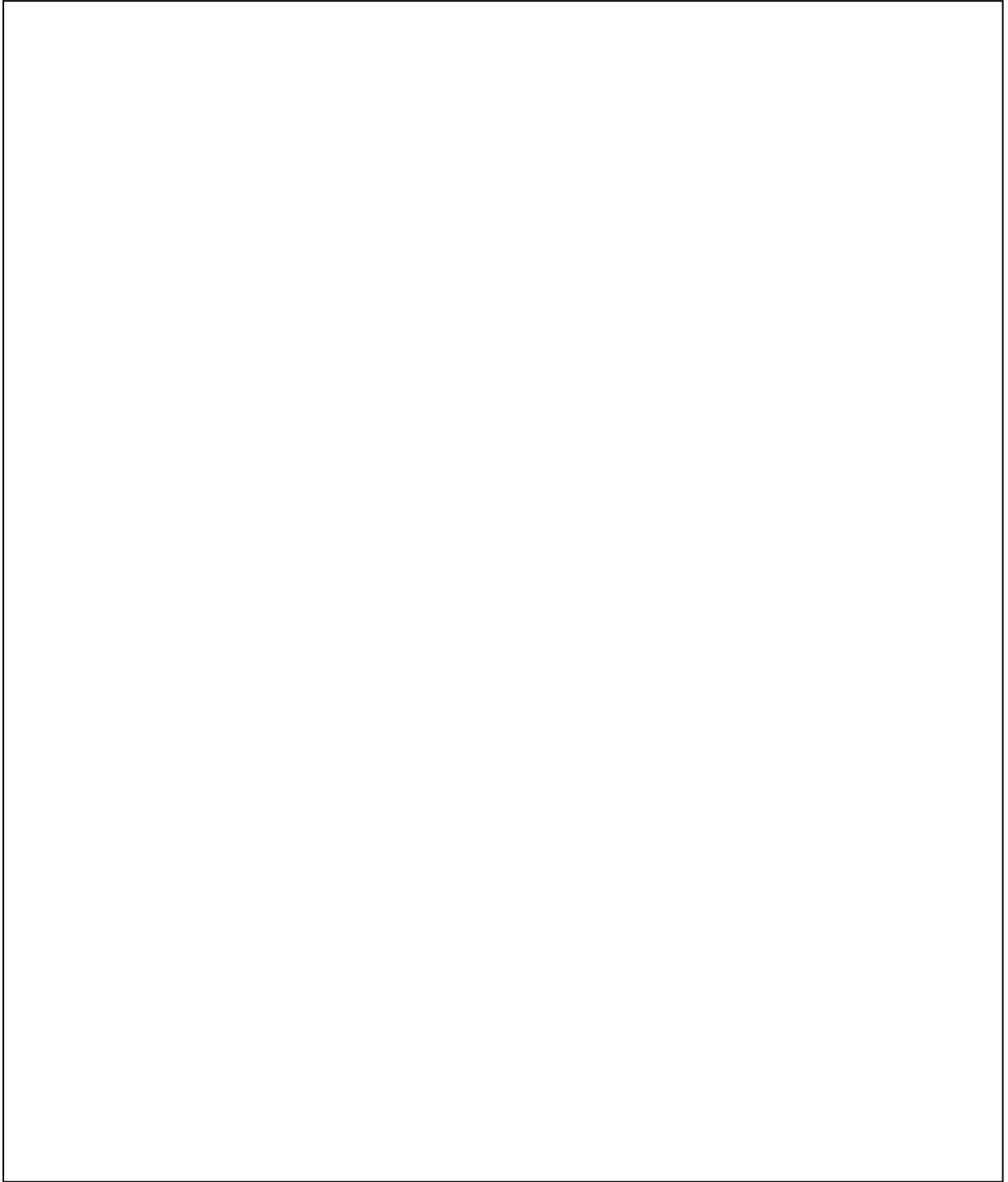
検査項目	オーバーパック		円筒容器		中性子遮蔽材		特別形カプセル		備考
	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	
材料検査	○	製作中 (材料受取時)	○	製作中 (材料受取時)	○	製作中 (材料受取時)	○	製作中 (材料受取時)	・遮蔽性能検査を含む ・(参) - 第B. 2表参照
寸法検査	○	製作中 (材料受取時)	○	製作中及び 製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時	遮蔽寸法検査を含む
溶接検査	-	-	○	製作中	-	-	-	-	(参) - 第B. 4表参照
外観検査	○	受入時	○	受入時	○	受入時	○	製作完了時 及び受入時	未臨界検査を含む
気密漏えい検査	-	-	○	製作中	-	-	-	-	
遮蔽性能検査	-	-	-	-	○	製作中及び 製作完了時	-	-	材料検査に含まれる
遮蔽寸法検査	-	-	-	-	○	製作完了時	-	-	寸法検査に含まれる
重量検査	○	受入時	○	受入時	○	受入時	○	受入時	
未臨界検査	-	-	○	受入時	-	-	○	受入時	外観検査に含まれる
取扱い検査	○	受入時	○	受入時	○	受入時	○	受入時	

(参) - 第B. 2表 材料検査項目一覧表

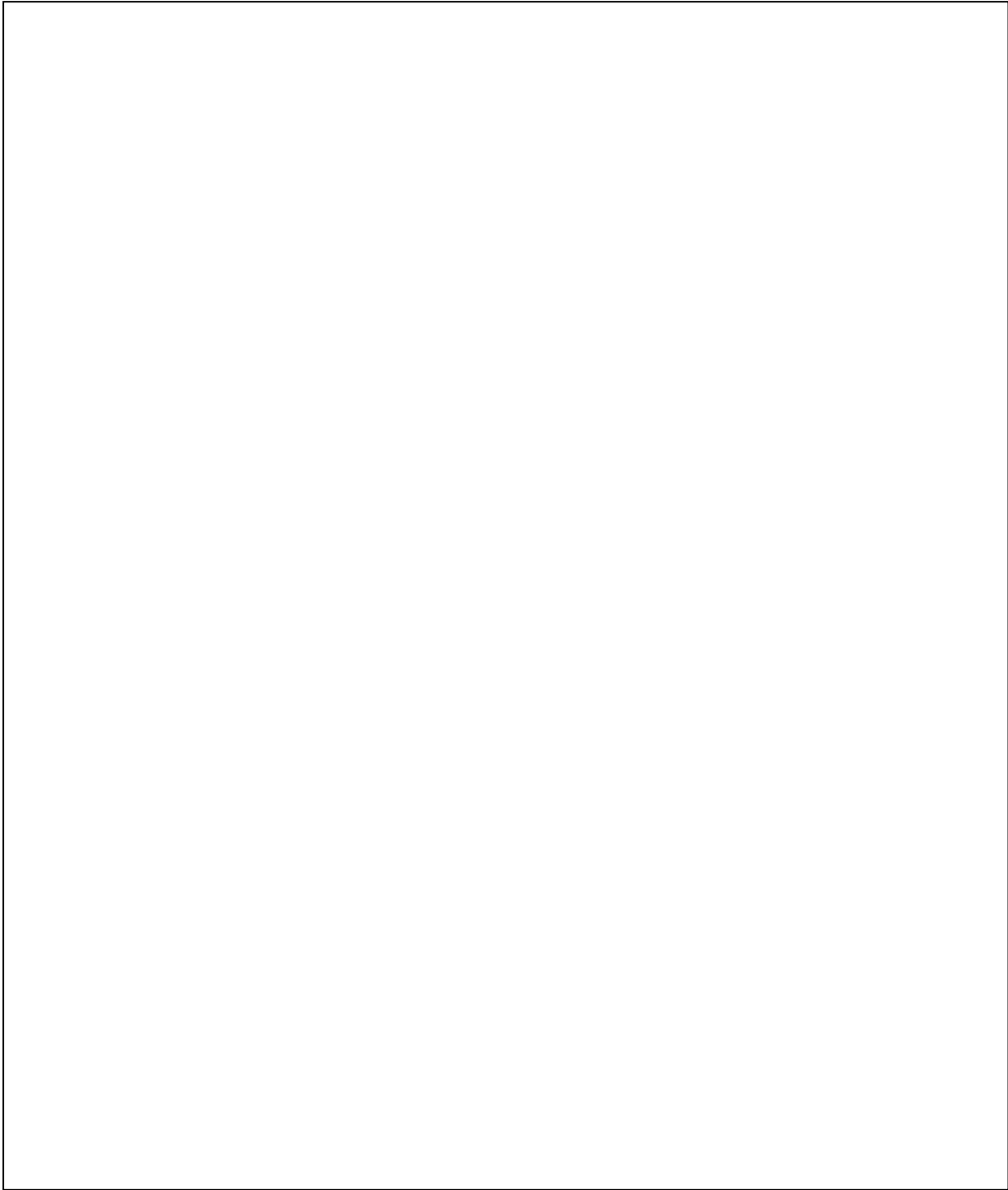
名 称	使用材質	試 験 検 査 項 目										備 考			
		化学分析	引張試験	せん断強さ試験	硬度試験	破壊靱性試験	曲げ試験	へん平試験	水圧試験	浸透探傷試験	超音波探傷試験		比重測定	密度計測	
<u>1. オーバーパック</u>															落下試験等が実施され、49CFR, Part 178 に適合することを検査にて確認
17Cドラム缶	—														
<u>2. 円筒容器</u>															
フランジ	ASME SA-182-F304L	○	○							○					
本体	ASME SA-312-304L	○	○							○					
下部端栓	ASTM A240-304L	○	○		○					○					
蓋	ASTM A240-304L	○	○		○										
蓋ボルト	ASTM A193 B8	○	○		○										
<u>3. 中性子遮蔽材</u>															
蓋	ASTM D4976												○		
本体	ASTM D4976												○		
補助遮蔽プラグ	—												○		
<u>4. 特別形カプセル</u>															
本体	ASTM A276-304L	○	○												
蓋	ASTM A276-304L	○	○												
シーリングプラグ	ASTM A276-304L	○	○												
インパクトプラグ	ASTM A276-304L	○	○												

(参) - 第B. 3表 17Cドラム缶に要求される試験項目と要求事項

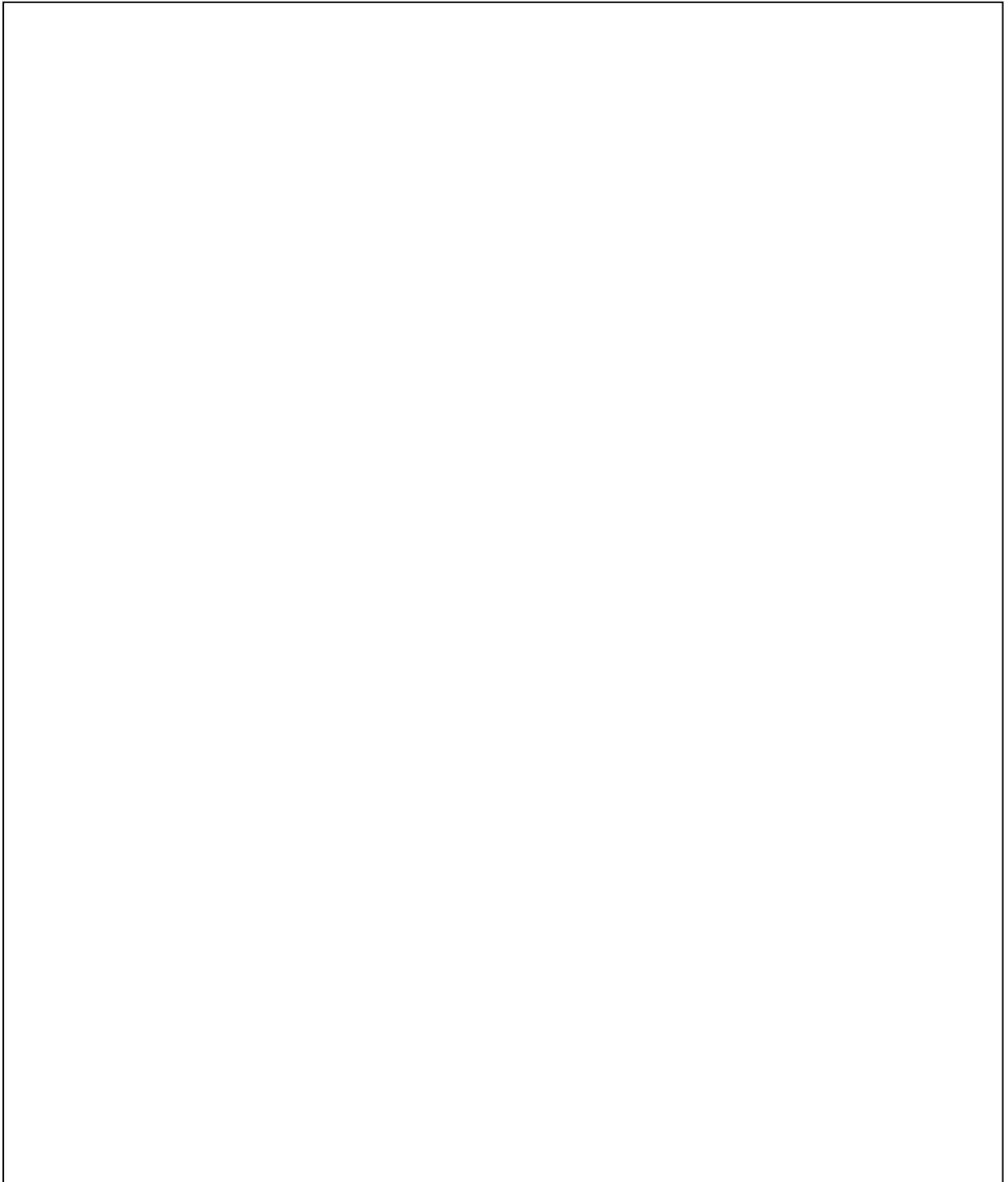
試験項目	適用する試験条件	要求項目
水噴霧試験	49CFR, Part 173.465(b)	5cm/hの雨量に相当する水を1時間以上吹き付け、収納物に問題がないことを確認する。
落下試験	49CFR, Part 173.465(c)	0.3m落下試験を行った後に、1.2m落下試験を行い、収納物に問題がないことを確認する。
積み重ね試験	49CFR, Part 173.465(d)	総重量の5倍以上の荷重を24時間以上作用させた場合に、収納物に問題がないことを確認する。
貫通試験	49CFR, Part 173.465(e)	直径3.2cmの棒鋼を1mの高さから落下させ、収納物に問題がないことを確認する。
振動試験	49CFR, Part 178.608	容器底部と振動台の隙間が1.59mm以上開く状態で1時間振動させ、収納物に問題がないことを確認する。



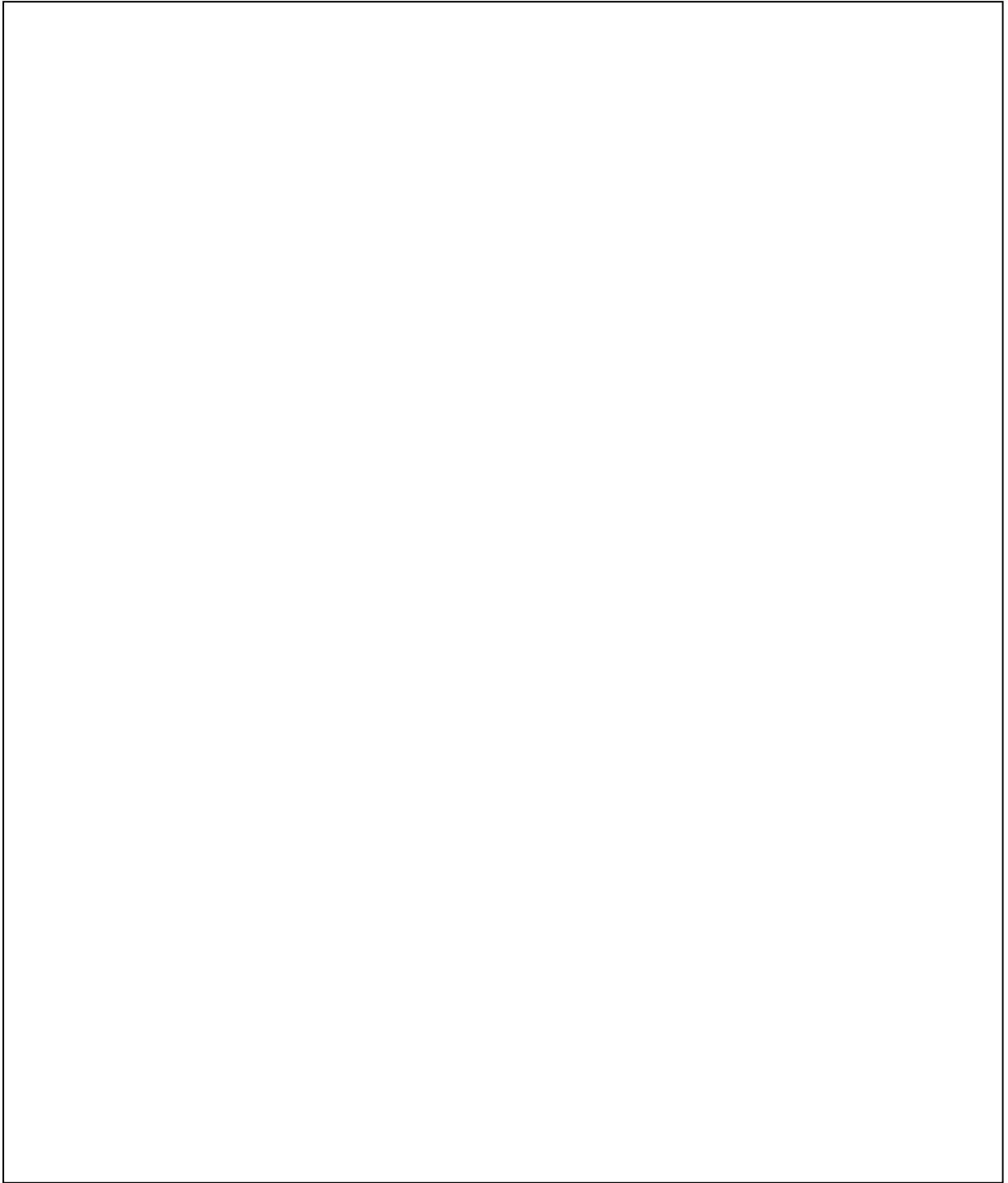
(参) - 第B. 1 図 17C ドラム缶の寸法計測箇所及び合格基準



(参) - 第B. 2図 円筒容器の寸法計測箇所及び合格基準



(参) - 第B. 3 図 中性子遮蔽材の寸法計測箇所及び合格基準



(参) - 第B. 4図 特別形カプセルの寸法計測箇所及び合格基準

B.3 溶接検査

輸送容器製作中、溶接部の健全性を確認するため、(参) - 第B.4表に従い各部分の溶接検査を行う。

要領及び判定基準を下記に示す。

1. 開先検査

該当なし。

2. 外観検査

(1) 試験方法

ASME B&PV Code, Section III, Division 1, Subsection NG, Articles NG-5260 及び NG-5360 に準拠する。

(2) 合格基準

- ① 溶接完了後、目視により外観検査を行い、割れ、アンダーカット、オーバーラップ等の有害なきずがないことを確認する。
- ② 突合せによる継手面の食い違いが生じていないこと。

3. 浸透探傷試験

溶接部の最終層について、ASME 規格に準拠して浸透探傷試験を行い、判定する。

(1) 試験方法

ASME B&PV Code, Section III, Division 1, Subsection NG, Articles NG-5230 及び NG-5350 に準拠する。

(2) 合格基準

- ① 割れによる浸透指示模様がないこと。
- ② 長さ 5mm を超える円形状浸透指示模様がないこと。
- ③ 4 個以上の円形状浸透指示模様が直線上に並んでいる場合は、隣接する浸透指示模様の間の距離が 1.5mm を超えること。
- ④ 面積が 4000mm² の長方形の範囲内（長辺は 150mm 以下）に、円形状浸透指示模様が 10 個以上含まれないこと。評価対象とする表面は、円形状浸透指示模様が最も多く含まれるように選定されなければならない。

(参) - 第B.4表 溶接検査項目一覧表

検査対象継手	開先検査	外観検査	浸透探傷試験
1. 円筒容器本体			
(1) 本体とフランジ部	—	○	○
(2) 本体と下部端栓	—	○	○

B. 4 外観検査

オーバーパック、円筒容器、中性子遮蔽材、特別形カプセル外表面について、目視により下記の検査を行う。

- ① 形状が製作図面通りであること。
- ② 外観上の傷及び切削部の返り等、有害な欠陥がないこと。
- ③ 仕上げ面の状態が良好であること。
- ④ 腐食等がないこと。

B. 5 耐圧検査

本輸送容器は耐圧容器ではないため、本検査は省略する。

B. 6 気密漏えい検査

1. 円筒容器

ヘリウムリークテストを実施し、漏えい率が $2.6 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 未満であることを確認する。

2. 特別形カプセル

イ章D. 2. (3)「特別形核燃料物質等に係る試験結果」に記載している通り、告示別記第一において要求される各種機械的試験後の密封性能を確認済みである。

B. 7 遮蔽性能検査

B. 1 の材料検査で、中性子遮蔽材の密度が $0.92 \text{g}/\text{cm}^3$ 以上であることを確認する。また、B. 8 の遮蔽寸法検査で、中性子遮蔽材の寸法が合格基準内であることを確認する。

B. 8 遮蔽寸法検査

B. 2 の寸法検査で、中性子遮蔽材の寸法が合格基準内であることを確認する。

B. 9 伝熱検査

本輸送容器の線源は であり、発熱量は小さい。

また、本輸送容器に特別な冷却装置は備わっていないため、本検査は省略する。

B. 10 吊上荷重検査

該当せず

B. 11 重量検査

各部品の重量を測定し、合計重量が (参) 一第B. 5表に示す合格基準を満足することを確認する。

(参) ー第B. 5表 輸送容器重量

部 品	合 格 基 準
オ ー バ ー パ ッ ク	合計重量が <input type="text"/> *以下 であること。
円 筒 容 器	
中 性 子 遮 蔽 材	
特 別 形 カ プ セ ル	

※輸送物総重量 (218kg) から中性子線源重量 () を
差し引いた値

B. 1 2 未臨界検査

B. 4の外観検査で、臨界防止に関する部材である特別形カプセル及び円筒容器が合格基準内であることを確認する。

B. 1 3 作動確認検査

本輸送容器に弁及び非常用安全装置は設けていないため、本検査は省略する。

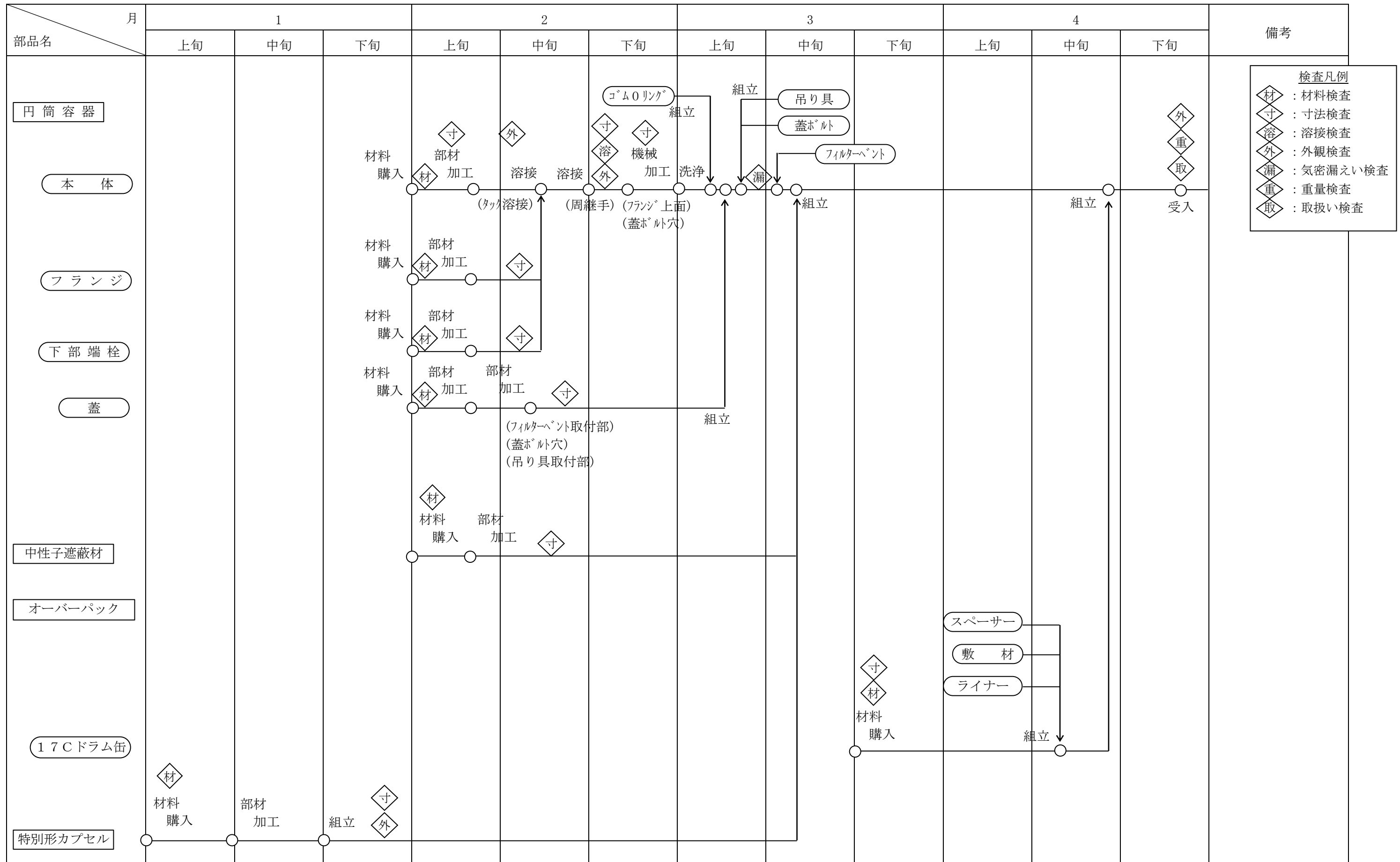
B. 1 4 取扱い検査

輸送容器及び特別形カプセルの取扱いを考慮し、以下の作業が正常に行えることを確認する。

- ・ 収納物を全て入れた状態で17Cドラム缶の開閉ができること
- ・ 円筒容器の蓋を開けられること
- ・ 特別形カプセルを装荷した状態で、円筒容器の蓋が閉まること
- ・ 特別形カプセルを一度装荷した状態から取り出せること

C. 容器の製作スケジュール

容器の標準的な製作スケジュール例を (参) 一第C.1図 に示す。



(参)-第C.1図 輸送容器の製作スケジュール (例)

S 3 0 0 型

核燃料輸送物設計承認申請書

参 考 資 料

参考資料

ロ章A 構造解析

A. 1 「LS-DYNA」コードの説明……………参-(ロ)-A-1

ロ章B 熱解析

B. 1 「SINDA-FLUINT」コードの説明……………参-(ロ)-B-1

ロ章D 遮蔽解析

D. 1 「MCNP5」コードの説明……………参-(ロ)-D-1

ロ章E 臨界解析

E. 1 「MCNP5」コードの説明……………参-(ロ)-E-1

A.1 「LS-DYNA」コードの説明

1. 概要

LS-DYNAコードは、米国ローレンス・リバーモア国立研究所の研究者であった John Hallquist が設立した Livermore Software Technology Corp. によって商用化された、陽解法による有限要素解析コードである。

このコードは、主に衝突問題を対象として、構造物の線形及び非線形応答を解析するために利用され、大変形問題、接触問題、並びに座屈問題等のような幾何学的非線形解析、弾塑性問題やクリープ問題等の材料非線形解析等の幅広い解析が可能である。

さらに、種々の形状に対して応用するため、二次元連続体、三次元連続体、シェル、はり等の構造に対して、多くの要素を含んだ要素ライブラリが用意されており、線形解析のみでなく非線形解析が可能である。要素ライブラリには非圧縮性材料に関するものや、接触及びインターフェイス等の特殊な問題に対する要素も含まれている。

LS-DYNA原型の解析コードである DYN3D においては、接触の定義が半自動であったのに対して、本解析コードにおいて単一面の接触アルゴリズムが採用されたことにより、大変形を伴い、かつ複雑な形状を有する構造物の衝突問題を計算することが可能となった。また、低減積分要素を併用することにより、衝突問題を高速で計算することが可能となり、近年までに多くの研究者から支持されてきた信頼性の高い解析コードである。

2. 特徴

LS-DYNAコードは、構造物の応答を数値的に解析する柔軟性に富むツールとなるように設計されており、線形及び非線形の解析をできるだけ自由に行えるよう、解析プロシージャは解析すべき問題の履歴をごく一般的にモデル化できるように作成されている。

本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。

(1) 接触アルゴリズム

LS-DYNAコードでは、接触、並びに非接触面を解析実施者が定義することなく、連続体要素、シェル要素、並びに梁要素の表面における構造物同士の接触を自動的に判定することができる。接触に伴う摩擦力、並びに接触反力を等価節点力に加算することにより、接触によって構造物に作用する外力を離散化する。

(2) 低減積分要素

有限要素解析においては、各ステップにおける有限要素の剛性マトリクスを計算するため、通常 Legendre-Gauss 積分が用いられる。計算時間の短縮や shear locking の回避の観点から、積分点を減じた低減積分法によって剛性マトリクスを計算する低減積分要素が用いられる。

なお、低減積分要素を用いる場合、剛性マトリクスのランク落ちに起因してアワーグラスモードが生じる場合があるが、これを解消するため、次項に示すアワーグラス制御が適用される。

(3) アワーグラス制御

前項に示す低減積分法を用いる場合、剛体変位以外の零エネルギーモードであるアワーグラスモードが生じることが知られている。このようなモードの発生を防止するため、アワーグラス制御が適用される。本輸送物の構造解析（強度試験・落下試験Ⅲ，動的圧潰時）においては、Flanagan と Belytschko によって提案された手法を採用している。

Flanagan らの提案する手法によれば、剛体モードに対して直交性を有するような微小の仮想弾性剛性を定義し、これを通常の剛性マトリクスに付加することにより、数値的安定性を図っている。

B.1 「SINDA-FLUINT」コードの説明

1. 概要

SINDA-FLUINTコードは、NASA で開発され、Cullimore and Ring Technologies Crop. により改良が進められている熱流体解析ソフトウェアである。

このコードは熱解析ソルバー（SINDA）と流体解析ソルバー（FLUINT）を組み合わせることにより、定常状態の流動特性から相変態や圧力脈動を考慮した過渡現象までの解析が可能である。また、SINDA-FLUINTコードは有限差分または有限要素にて定義される定常及び非定常問題に対して適用可能である。

さらに、Thermal DeskTop という解析ツールを組み合わせることにより、温度に依存する物性値及び対流や放射による熱伝達を考慮した3次元の定常及び非定常の熱流動解析を実施することが可能である。

2. 信頼性

SINDA-FLUINTコード及びThermal DeskTopの計算結果については、文献(1)において妥当性が検証されている。

文献(1) : AFS Report AFS-TR-VV-013, Rev.0, Thermal Desktop and SINDA/FLUINT Testing and Acceptance Report Version 5.3, AREVA Federal Services, LLC, 2010.

D.1 「MCNP5」コードの説明

1. 概要

三次元連続エネルギーモンテカルロコードMCNP5コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発された、中性子、光子及び電子輸送問題を解くための汎用モンテカルロコードである。

このコードは二次曲面の論理演算によって表現された任意の三次元領域を取扱うことができ、形状モデルや断面積データを正確に取り扱うことができる。

幾何形状の設定の自由度が大きいことや、断面積の取り扱いに連続エネルギーを採用していること等の利点がある。

2. 信頼性

MCNP5コードの計算結果については、文献(1)において輸送容器体系での放射線透過試験に対してベンチマーク解析を実施しており、妥当性が検証されている。

文献(1)：浅見光史ほか、放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定，海上技術安全研究所報告，平成25年度，第13巻，第1号。

E.1 「MCNP5」コードの説明

1. 概要

三次元連続エネルギーモンテカルロコードMCNP5コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発された、中性子、光子及び電子輸送問題を解くための汎用モンテカルロコードである。

このコードは任意の三次元領域を取扱うことができることから、幾何形状の設定の自由度が大きく、複雑な幾何形状を扱うことが可能である。また、粒子のエネルギーや飛行角度を連続的に取り扱うことから、断面積の共鳴構造も正確に扱うことができる。

臨界解析においては、中性子輸送問題に基づく固有値計算により、実効増倍率を求めることができる。

2. 信頼性

本輸送容器の臨界解析で用いたMCNP5コードと核データ（ENDF/B-VI、Cr、Ni及びFeについてはENDF/B-V、についてはENDF/B-VII）の組み合わせによる計算結果については、輸送容器及び収納物との類似の体系での様々な減速状態におけるベンチマーク解析（本文E.5参照）を実施しており、妥当性が検証されている。