

核燃料輸送物設計変更承認申請書

三原燃第 23-0603 号

令和 6 年 1 月 29 日

原子力規制委員会 殿

住所 茨城県那珂郡東海村大字舟石川 622 番地 1

氏名 三菱原子燃料株式会社

代表取締役社長 大和矢 秀成

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 年科学技術庁告示第 5 号）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

MX-6型

2. 核燃料輸送物設計承認番号

J/2026/AF-96

3. 変更内容

平成31年3月20日付原規規発第1903202号により承認書の交付を受けた核燃料輸送物設計承認申請書（以下「既承認申請書」という。）の記載事項について以下の変更を行う。

- － 収納物として、燃料集合体の種類の追加及び収納缶の追加を行う。これに伴い、収納物に関する説明を見直し、(イ)章に記載する。また、燃料集合体の種類（格子形状）追加に伴う臨界解析を見直し、(ロ)章E「臨界解析」に記載する。また、燃料集合体の表面汚染（汚染核種の種類及び放射能の量）を見直す。これに伴い遮蔽解析を見直し、(ロ)章D「遮蔽解析」に記載する。
- － 「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（以下、「外運搬規則」という）」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（以下、「外運搬告示」という）」の改正を踏まえて、使用予定期間中の経年変化の評価を行う。その結果を(ロ)章F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」及び(ロ)章G「外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価」に記載する。また経年変化の評価に関連して、(ロ)章A「構造解析」に内圧による疲労評価を追加する。
また、知見の更新のため、(ロ)章A「構造解析」に輸送中に予想される温度及び内圧の変化に対する影響評価の追加を行う。
- － 「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法」を(ハ)章に、「安全設計及び安全輸送に関する特記事項」を(ニ)章に変更を行う。
- － ハ章「品質マネジメントの基本方針」を削除し、別紙2として「輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明書」を追加する。
なお、既承認申請書からの組織変更等マネジメントシステムの最新の状況を反映するが、実質的な品質管理の方法自体に変更はない。
- － その他記載の見直しを行う。

4. 変更理由

変更理由を以下に示す。

- － 収納物を追加するため。
- － 法令改正内容を反映させるため。

- －核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイドの制定について」（原規規発第2002264号）に従った記載に変更するため。
- －知見の更新を図るため。
- －当社の品質マネジメントシステムの最新の状況を反映させるため。
- －記載を適正化するため。

別紙1 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書

別紙2 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明書

添付 核燃料輸送物設計変更承認申請に係る変更前後表

以 上

1 核燃料輸送物の名称

MX-6型

2 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料

(1) 輸送容器の外形寸法

外 径 : 約 2.1 m (前部及び後部衝撃吸収カバーを含む)

長 さ : 約 6.0 m (前部及び後部衝撃吸収カバーを含む)

(2) 輸送容器の重量

トン以下

(3) 核燃料輸送物の総重量

19.5トン以下(輸送架台は含まず)

(4) 輸送容器の主要材料

本 体 : ステンレス鋼、銅、合金鋼、レジン

蓋 部 : チタン合金、合金鋼、レジン

バスケット : アルミニウム合金、ボロン入りステンレス鋼

衝撃吸収カバー : 木材、ステンレス鋼、合金鋼

(5) 輸送容器の概略を示す図

添付図のとおり。

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和6年1月29日付三原燃第23-0603号)に係る別紙1の(イ)-第C.3図から(イ)-第D.4図までに示されている。

3 核燃料輸送物の種類

A型核分裂性輸送物

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

添付表のとおり。

5 輸送制限個数

- (1) 輸送制限個数 : 制限なし
- (2) 配列方法 : 任意
- (3) 臨界安全指数 : 0

6 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

−40℃から38℃まで

7 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のための本核燃料輸送物の構造は、燃料棒、燃料集合体、バスケット及び容器本体の内筒により構成される。

8 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

輸送物が任意の配列で無限個存在し、輸送物内への水の浸入があるとしている。

9 収納物の密封性に関する事項

輸送容器の密封境界は、胴部内面、底板内面、蓋板内面、蓋板ガスケット、クイックコネクションカバー内面及びクイックコネクションカバーガスケットで構成される。

10 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

該当しない

11 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核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和6年1月29日付三原燃第23-0603号）に係る別紙1のとおり。

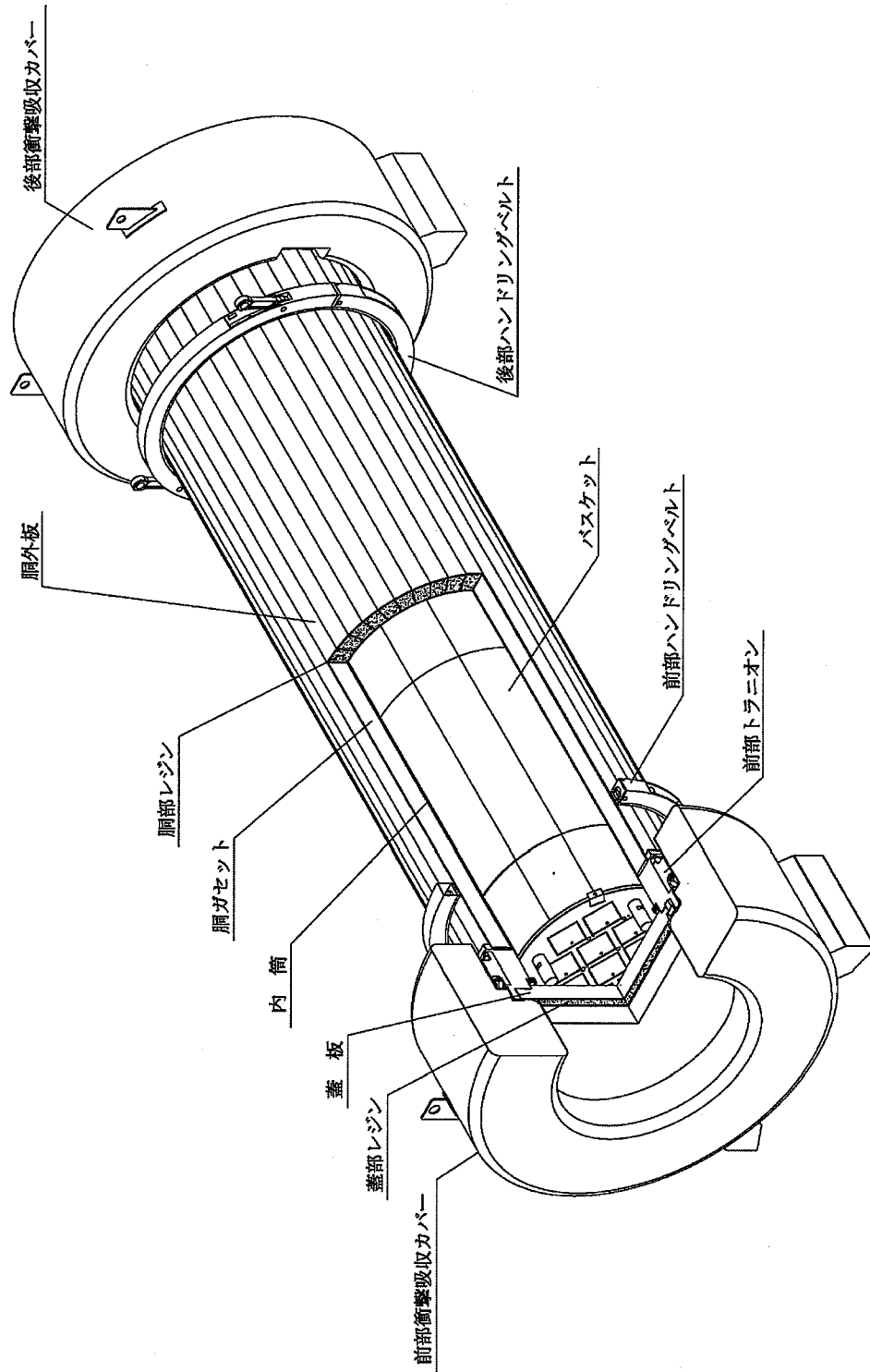
12 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和6年1月29日付三原燃第23-0603号）に係る別紙2のとおり。

13 その他特記事項

- (1) 使用予定年数

50年



添付図 MX-6 型輸送物 外觀及び構造図

添付表 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

燃料集合体の型式		9 × 9 燃料			
項 目					
種 類		軽水炉 (BWR) 用新燃料集合体 ¹⁾			
性 状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体又は ガドリニア入り二酸化ウラン粉末焼結体)			
輸送容器 1基当たり	収納物重量 ²⁾ (kg)	□ 以下			
	収納体数 (体)	10 以下			
	燃料集合体重量 (kg) (チャンネルボックスを含む)	□ 以下			
	放射 能の 量	総 量 (GBq)	□ 以下 (主要な核種の合計: □ 以下)		
		主要な核種 ²⁾ (GBq)	²³² U	□	
			²³⁴ U		
			²³⁵ U		
²³⁶ U					
²³⁸ U					
⁹⁹ Tc					
発 熱 量	該当せず (未使用)				
濃 縮 度 (wt%)		5.0 以下			
燃料集合体 1体当たり	重 量	燃料集合体重量 (kg) (チャンネルボックスを含む)	□ 以下		
		二酸化ウラン重量 (kg)	□ 以下		
		ウラン重量 (kg)	□ 以下		
	燃 焼 度	該当せず (未使用)			
	冷 却 日 数	該当せず (未使用)			
濃縮ウラン中の不純物仕様		²³² U	≤ □ μg/gU		
		²³⁴ U	≤ □ μg/g ²³⁵ U		
		²³⁶ U	≤ □ μg/gU		
		⁹⁹ Tc	≤ □ μg/gU		
		ただし、 ²³⁶ U < □ μg/gU の場合、 ²³² U 及び ⁹⁹ Tc は適用外			

注 1) 使用済燃料プールに保管されていた未使用の燃料集合体

注 2) 収納缶の重量を含む

注 3) 濃縮度が 5.0 wt% の場合

輸送容器の設計及び核燃料物質等を
当該輸送容器に収納した場合の
核燃料輸送物の安全性に関する説明書

目 次

	頁
(イ)章 核燃料輸送物の説明	(イ)－A－1
(イ)－A 目的及び条件	(イ)－A－1
(イ)－B 核燃料輸送物の種類	(イ)－B－1
(イ)－C 輸送容器	(イ)－C－1
(イ)－D 輸送容器の収納物	(イ)－D－1
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)－1
(ロ)－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－16
A.3 材料の機械的性質	(ロ)－A－16
A.4 核燃料輸送物の要件	(ロ)－A－20
A.4.1 化学的及び電気的反応	(ロ)－A－20
A.4.2 低温強度	(ロ)－A－21
A.4.3 密封装置	(ロ)－A－21
A.4.4 吊上装置	(ロ)－A－22
A.4.5 固縛装置	(ロ)－A－43
A.4.6 圧力	(ロ)－A－51
A.4.7 振動	(ロ)－A－51
A.5 一般の試験条件	(ロ)－A－57
A.5.1 熱的試験	(ロ)－A－57
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)－A－57
A.5.1.2 熱膨張	(ロ)－A－57
A.5.1.3 応力計算	(ロ)－A－59
A.5.1.4 許容応力との比較	(ロ)－A－69
A.5.2 水噴霧	(ロ)－A－69
A.5.3 自由落下	(ロ)－A－70

A. 5.4	積み重ね試験	(p) - A - 86
A. 5.5	貫通	(p) - A - 94
A. 5.6	角又は縁落下	(p) - A - 95
A. 5.7	結果の要約及びその評価	(p) - A - 95
A. 6	特別の試験条件	(p) - A - 96
A. 7	強化浸漬試験	(p) - A - 96
A. 8	放射性収納物	(p) - A - 96
A. 9	核分裂性輸送物	(p) - A - 97
A. 9.1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(p) - A - 97
A. 9.2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(p) - A - 99
A. 10	付属書類	(p) - A - 143
(p) - B	熱解析	(p) - B - 1
B. 1	概要	(p) - B - 1
B. 2	材料の熱的性質	(p) - B - 3
B. 3	構成要素の仕様	(p) - B - 3
B. 4	一般の試験条件	(p) - B - 8
B. 4.1	熱解析モデル	(p) - B - 8
B. 4.1.1	解析モデル	(p) - B - 8
B. 4.1.2	試験モデル	(p) - B - 8
B. 4.2	最高温度	(p) - B - 9
B. 4.3	最低温度	(p) - B - 11
B. 4.4	最大内圧	(p) - B - 11
B. 4.5	最大熱応力	(p) - B - 11
B. 4.6	結果の要約及びその評価	(p) - B - 12
B. 5	特別の試験条件	(p) - B - 13
B. 5.1	熱解析モデル	(p) - B - 13
B. 5.1.1	解析モデル	(p) - B - 13
B. 5.1.2	試験モデル	(p) - B - 16
B. 5.2	核燃料輸送物の評価条件	(p) - B - 21

B.5.3	核燃料輸送物温度	(p) - B - 22
B.5.4	最大内圧	(p) - B - 28
B.5.5	最大熱応力	(p) - B - 29
B.5.6	結果の要約及びその評価	(p) - B - 29
B.6	付属書類	(p) - B - 30
(p) - C	密封解析	(p) - C - 1
C.1	概要	(p) - C - 1
C.2	密封装置	(p) - C - 1
C.2.1	密封装置	(p) - C - 1
C.2.2	密封装置の貫通部	(p) - C - 1
C.2.3	密封装置のガスケット及び溶接部	(p) - C - 1
C.2.4	蓋	(p) - C - 2
C.3	一般の試験条件	(p) - C - 2
C.3.1	放射性物質の漏えい	(p) - C - 2
C.3.2	密封装置の加圧	(p) - C - 2
C.3.3	冷却材汚染	(p) - C - 3
C.3.4	冷却材損失	(p) - C - 3
C.4	特別の試験条件	(p) - C - 3
C.5	結果の要約及びその評価	(p) - C - 3
(p) - D	遮蔽解析	(p) - D - 1
D.1	概要	(p) - D - 1
D.2	線源仕様	(p) - D - 2
D.2.1	ガンマ線源	(p) - D - 3
D.2.2	中性子源	(p) - D - 5
D.3	モデル仕様	(p) - D - 6
D.3.1	解析モデル	(p) - D - 6
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(p) - D - 11
D.4	遮蔽評価	(p) - D - 15

D.5	結果の要約及びその評価	(p) - D - 17
D.6	付属書類	(p) - D - 18
(p) - E	臨界解析	(p) - E - 1
E.1	概要	(p) - E - 1
E.2	解析対象	(p) - E - 3
E.2.1	収納物	(p) - E - 3
E.2.2	輸送容器	(p) - E - 3
E.2.3	中性子吸収材	(p) - E - 4
E.3	モデル仕様	(p) - E - 5
E.3.1	解析モデル	(p) - E - 5
E.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(p) - E - 11
E.4	未臨界評価	(p) - E - 13
E.4.1	計算条件	(p) - E - 13
E.4.2	核燃料輸送物への水の浸入等	(p) - E - 13
E.4.3	計算方法	(p) - E - 13
E.4.4	計算結果	(p) - E - 14
E.5	ベンチマーク試験	(p) - E - 15
E.6	結果の要約及びその評価	(p) - E - 18
E.7	付属書類	(p) - E - 19
(p) - F	核燃料輸送物の経年変化の考慮	(p) - F - 1
F.1	考慮すべき経年変化要因	(p) - F - 1
F.2	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	(p) - F - 2
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	(p) - F - 21
F.4	付属書類	(p) - F - 22
(p) - G	外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	(p) - G - 1

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法	(ハ)－A－1
(ハ)－A 核燃料輸送物の取扱方法	(ハ)－A－1
A.1 装荷方法	(ハ)－A－1
A.2 核燃料輸送物の発送前検査	(ハ)－A－2
A.3 取出し方法	(ハ)－A－5
A.4 空容器の準備	(ハ)－A－5
(ハ)－B 保守条件	(ハ)－B－1
B.1 外観検査	(ハ)－B－2
B.2 耐圧検査	(ハ)－B－2
B.3 気密漏えい検査	(ハ)－B－2
B.4 遮蔽検査	(ハ)－B－2
B.5 未臨界検査	(ハ)－B－2
B.6 熱検査	(ハ)－B－2
B.7 吊上検査	(ハ)－B－2
B.8 作動確認検査	(ハ)－B－3
B.9 補助系の保守	(ハ)－B－3
B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ)－B－3
B.11 輸送容器の保管	(ハ)－B－3
B.12 記録の保管	(ハ)－B－3
B.13 その他	(ハ)－B－3
(ニ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項	(ニ)－1
参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	参考－A－1

図 リ ス ト (その1)

(イ)－第C.1図 輸送物荷姿図の例	(イ)－C－2
(イ)－第C.2図 輸送容器全体図	(イ)－C－3
(イ)－第C.3図 輸送容器縦断面図	(イ)－C－4
(イ)－第C.4図 輸送容器の密封境界	(イ)－C－5
(イ)－第C.5図 本体縦断面図	(イ)－C－7
(イ)－第C.6図 本体端面形状図	(イ)－C－8
(イ)－第C.7図 本体横断面図	(イ)－C－9
(イ)－第C.8図 トラニオン構造図	(イ)－C－10
(イ)－第C.9図 ハンドリングベルト構造図	(イ)－C－11
(イ)－第C.10図 蓋部構造図	(イ)－C－13
(イ)－第C.11図 バスケット構造図	(イ)－C－15
(イ)－第C.12図 前部衝撃吸収カバー構造図	(イ)－C－17
(イ)－第C.13図 後部衝撃吸収カバー構造図	(イ)－C－18
(イ)－第D.1図 BWR燃料集合体全体図	(イ)－D－2
(イ)－第D.2図 BWR燃料集合体断面図 (C格子の例)	(イ)－D－3
(イ)－第D.3図 BWR燃料集合体断面図 (D格子の例)	(イ)－D－4
(イ)－第D.4図 収納缶の構造図の例	(イ)－D－8
(ロ)－第A.1図 重心の位置	(ロ)－A－16
(ロ)－第A.2図 前部トラニオンの寸法と荷重作用点	(ロ)－A－23
(ロ)－第A.3図 解析モデル全体図 (吊上装置 ハンドリングベルトの 上部ベルト及び下部ベルト)	(ロ)－A－27
(ロ)－第A.4図 解析モデル寸法図 (吊上装置 ハンドリングベルトの 上部ベルト及び下部ベルト)	(ロ)－A－27
(ロ)－第A.5図 要素分割図 (吊上装置 ハンドリングベルトの 上部ベルト及び下部ベルト)	(ロ)－A－28
(ロ)－第A.6図 吊上装置 (ハンドリングベルトの 上部ベルト及び下部ベルト) の解析結果 (変形図)	(ロ)－A－30

図 リ ス ト (その2)

(a)一第A.7 図	吊上装置 (ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト) の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(a)一A-30
(a)一第A.8 図	吊上装置 (ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト) の応力評価位置	(a)一A-31
(a)一第A.9 図	解析モデル寸法図 (吊上装置 ハンドリングベルトの吊りハンドル)	(a)一A-34
(a)一第A.10 図	要素分割図 (吊上装置 ハンドリングベルトの吊りハンドル)	(a)一A-34
(a)一第A.11 図	吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の解析における荷重条件及び境界条件	(a)一A-35
(a)一第A.12 図	吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の解析結果 (変形図)	(a)一A-35
(a)一第A.13 図	吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(a)一A-35
(a)一第A.14 図	吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の応力評価位置	(a)一A-36
(a)一第A.15 図	解析モデル寸法図 (固縛装置)	(a)一A-44
(a)一第A.16 図	要素分割図 (固縛装置)	(a)一A-45
(a)一第A.17 図	輸送時の加速度に対する胴部の解析における荷重及び境界条件	(a)一A-47
(a)一第A.18 図	輸送時の加速度に対する胴部の解析結果 (変形図)	(a)一A-48
(a)一第A.19 図	輸送時の加速度に対する胴部の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(a)一A-49
(a)一第A.20 図	解析モデル寸法図 (振動)	(a)一A-53
(a)一第A.21 図	要素分割図 (振動)	(a)一A-54
(a)一第A.22 図	振動の解析における境界条件	(a)一A-55
(a)一第A.23 図	振動の解析結果 (状態図)	(a)一A-56
(a)一第A.24 図	解析モデル寸法図 (一般の試験条件の熱的試験)	(a)一A-60
(a)一第A.25 図	要素分割図 (一般の試験条件の熱的試験)	(a)一A-61
(a)一第A.26 図	一般の試験条件の熱的試験の解析結果 (変形図)	(a)一A-63

図 リ ス ト (その3)

(a) - 第A. 27 図	一般の試験条件の熱的試験の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(a) - A - 63 ~ (a) - A - 64
(a) - 第A. 28 図	一般の試験条件の熱的試験における応力評価位置	(a) - A - 65
(a) - 第A. 29 図	解析モデル寸法図 (自由落下/容器本体)	(a) - A - 71
(a) - 第A. 30 図	要素分割図 (自由落下/容器本体)	(a) - A - 72
(a) - 第A. 31 図	評価対象部品に設定した応力-歪関係	(a) - A - 72
(a) - 第A. 32 図	自由落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 74
(a) - 第A. 33 図	0.3m水平落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 75
(a) - 第A. 34 図	解析モデル寸法図 (自由落下/バスケット)	(a) - A - 78
(a) - 第A. 35 図	要素分割図 (自由落下/バスケット)	(a) - A - 79
(a) - 第A. 36 図	容器本体の速度時刻歴	(a) - A - 79
(a) - 第A. 37 図	バスケットの落下方向	(a) - A - 80
(a) - 第A. 38 図	燃料被覆管の落下解析モデル	(a) - A - 83
(a) - 第A. 39 図	容器本体の速度時刻歴 (後部垂直落下)	(a) - A - 84
(a) - 第A. 40 図	バスケットの速度時刻歴 (水平落下)	(a) - A - 84
(a) - 第A. 41 図	0.3m垂直落下/燃料被覆管の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 85
(a) - 第A. 42 図	積み重ね試験 (縦置き) における荷重及び境界条件	(a) - A - 87
(a) - 第A. 43 図	積み重ね試験/縦置きの解析結果 (変形図)	(a) - A - 87
(a) - 第A. 44 図	積み重ね試験/縦置きの解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(a) - A - 88
(a) - 第A. 45 図	積み重ね試験 (横置き) における荷重及び境界条件	(a) - A - 90
(a) - 第A. 46 図	積み重ね試験/横置きの解析結果 (変形図)	(a) - A - 91
(a) - 第A. 47 図	積み重ね試験/横置きの解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(a) - A - 92
(a) - 第A. 48 図	せん断モデル	(a) - A - 94
(a) - 第A. 49 図	9m前部垂直落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 101
(a) - 第A. 50 図	9m後部垂直落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 101
(a) - 第A. 51 図	9m水平落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 102
(a) - 第A. 52 図	9m前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 102

図 リ ス ト (その4)

(a) - 第A. 53 図	9m後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 103
(a) - 第A. 54 図	9m傾斜落下/容器本体の解析結果 (変形図)	(a) - A - 103
(a) - 第A. 55 図	9m後部垂直落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 104 ~ (a) - A - 105
(a) - 第A. 56 図	9m水平落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 107 ~ (a) - A - 108
(a) - 第A. 57 図	9m前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 109
(a) - 第A. 58 図	9m後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 110 ~ (a) - A - 111
(a) - 第A. 59 図	9m傾斜落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 112
(a) - 第A. 60 図	容器本体の速度時刻歴 (水平落下)	(a) - A - 115
(a) - 第A. 61 図	9m水平落下/バスケットの解析結果 (塑性歪分布図) (ロジメント/□ 方向落下時)	(a) - A - 116
(a) - 第A. 62 図	9m水平落下/バスケットの解析結果 (塑性歪分布図) (アルミスパーサー/□ 方向落下時)	(a) - A - 117
(a) - 第A. 63 図	容器本体の速度時刻歴 (後部垂直落下)	(a) - A - 120
(a) - 第A. 64 図	バスケットの速度時刻歴 (水平落下)	(a) - A - 120
(a) - 第A. 65 図	9m垂直落下/燃料被覆管の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 121
(a) - 第A. 66 図	9m水平落下/燃料被覆管の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) - A - 121
(a) - 第A. 67 図	要素分割図 (1m落下/実機モデル)	(a) - A - 128
(a) - 第A. 68 図	バスケットに対する落下方向	(a) - A - 129
(a) - 第A. 69 図	バスケットの変形状態 (最大変形時)	(a) - A - 130
(a) - 第A. 70 図	□ に発生した塑性歪 (□ 方向)	(a) - A - 131
(a) - 第A. 71 図	ロジメントに発生した塑性歪 (□ 方向)	(a) - A - 131
(a) - 第A. 72 図	□ に発生した塑性歪 (□ 方向)	(a) - A - 133
(a) - 第A. 73 図	ロジメントに発生した塑性歪 (□ 方向)	(a) - A - 133
(a) - 第A. 74 図	□ に発生した塑性歪 (□ 方向)	(a) - A - 134
(a) - 第A. 75 図	特別の試験条件の熱的試験の解析結果 (変形図)	(a) - A - 137
(a) - 第A. 76 図	特別の試験条件の熱的試験の解析結果 (内筒の塑性歪分布)	(a) - A - 137

図 リ ス ト (その5)

(ア) - 第A. 付 1.1 図	設計疲れ線図 (オーステナイトステンレス鋼及び 高ニッケル合金)	(ア) - A - 143
(ア) - 第A. 付 1.2 図	設計疲れ線図 (高張力ボルト)	(ア) - A - 144
(ア) - 第A. 付 2.1 図	落下試験確認モデル寸法図	(ア) - A - 153
(ア) - 第A. 付 2.2 図	要素分割図	(ア) - A - 154
(ア) - 第A. 付 2.3 図	ステンレス鋼の物性に与えた応力-歪関係	(ア) - A - 155
(ア) - 第A. 付 2.4 図	 材の物性に与えた応力-歪関係	(ア) - A - 155
(ア) - 第A. 付 2.5 図	加速度の比較	(ア) - A - 161 ~ (ア) - A - 162
(ア) - 第A. 付 3.1 図	 モデル落下試験の解析モデル寸法図	(ア) - A - 168
(ア) - 第A. 付 3.2 図	要素分割図	(ア) - A - 169
(ア) - 第A. 付 4.1 図	15m浸漬試験の解析結果 (変形図)	(ア) - A - 174
(ア) - 第A. 付 4.2 図	15m浸漬試験の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(ア) - A - 174 ~ (ア) - A - 175
(ア) - 第A. 付 4.3 図	15m浸漬試験における応力評価位置	(ア) - A - 176
(ア) - 第A. 付 5.1 図	後部トラニオンの寸法と荷重作用点	(ア) - A - 178
(ア) - 第A. 付 6.1 図	要素分割図	(ア) - A - 183
(ア) - 第A. 付 6.2 図	解析結果 / 垂直吊り (変形図)	(ア) - A - 184
(ア) - 第A. 付 6.3 図	解析結果 / 垂直吊り (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(ア) - A - 184 ~ (ア) - A - 185
(ア) - 第A. 付 6.4 図	解析結果 / 水平吊り (変形図)	(ア) - A - 186
(ア) - 第A. 付 6.5 図	解析結果 / 水平吊り (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(ア) - A - 186 ~ (ア) - A - 187
(ア) - 第A. 付 6.6 図	荷重及び境界条件	(ア) - A - 189
(ア) - 第A. 付 6.7 図	解析結果 (変形図)	(ア) - A - 190
(ア) - 第A. 付 6.8 図	解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)	(ア) - A - 190 ~ (ア) - A - 191
(ア) - 第A. 付 7.1 図	解析結果 (変形図) (-40°Cから70°Cに変化した場合)	(ア) - A - 195
(ア) - 第A. 付 7.2 図	解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (-40°Cから70°Cに変化した場合)	(ア) - A - 195 ~ (ア) - A - 196

図 リ ス ト (その6)

(a) ー第A. 付 7.3 図 解析結果 (変形図) (20℃から-40℃に変化した場合)	(a) ー A ー 197
(a) ー第A. 付 7.4 図 解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (20℃から-40℃に変化した場合)	(a) ー A ー 197 ~ (a) ー A ー 198
(a) ー第A. 付 7.5 図 解析結果 (変形図) (70℃から-40℃に変化した場合)	(a) ー A ー 199
(a) ー第A. 付 7.6 図 解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (70℃から-40℃に変化した場合)	(a) ー A ー 199 ~ (a) ー A ー 200
(a) ー第A. 付 7.7 図 応力評価位置	(a) ー A ー 201
(a) ー第A. 付 7.8 図 口開き変形量測定位置	(a) ー A ー 204
(a) ー第A. 付 8.1 図 応答倍率曲線	(a) ー A ー 205
(a) ー第A. 付 8.2 図 蓋板の計算モデル	(a) ー A ー 206
(a) ー第A. 付 8.3 図 底板の計算モデル	(a) ー A ー 208
(a) ー第A. 付 10.1 図 口開き変形量測定位置 (熱的試験)	(a) ー A ー 214
(a) ー第A. 付 10.2 図 口開き変形量測定位置 (自由落下)	(a) ー A ー 215
(a) ー第A. 付 11.1 図 積み重ね試験 (縦置き) における 荷重作用範囲の設定	(a) ー A ー 217
(a) ー第A. 付 11.2 図 積み重ね試験 (横置き) における 荷重作用範囲の設定	(a) ー A ー 218
(a) ー第A. 付 12.1 図 解析モデル寸法図 (貫通)	(a) ー A ー 221
(a) ー第A. 付 12.2 図 要素分割図 (貫通)	(a) ー A ー 221
(a) ー第A. 付 12.3 図 貫通の解析結果 (変形図)	(a) ー A ー 222
(a) ー第A. 付 12.4 図 貫通の解析結果 (塑性歪分布図)	(a) ー A ー 222
(a) ー第A. 付 13.1 図 チタン合金の疲労特性 (S-N 図)	(a) ー A ー 226
(a) ー第B. 1 図 解析モデル寸法図 (スライスモデル)	(a) ー B ー 14
(a) ー第B. 2 図 要素分割図 (スライスモデル)	(a) ー B ー 15
(a) ー第B. 3 図 解析モデル寸法図 (軸対称モデル)	(a) ー B ー 17
(a) ー第B. 4 図 要素分割図 (軸対称モデル)	(a) ー B ー 18
(a) ー第B. 5 図 境界条件 (スライスモデル)	(a) ー B ー 19
(a) ー第B. 6 図 境界条件 (軸対称モデル)	(a) ー B ー 20

図 リ ス ト (その7)


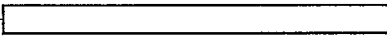
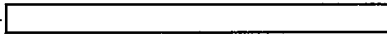
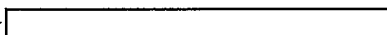
(a) - 第B.7 図	スライスモデルの温度分布(火災発生 30 分後)	(a) - B - 23 ~ (a) - B - 24
(a) - 第B.8 図	軸対称モデルの温度分布 (火災発生 30 分後)	(a) - B - 25
(a) - 第B.9 図	輸送容器各部の温度時刻歴 (スライスモデル)	(a) - B - 26
(a) - 第B.10 図	輸送容器各部の温度時刻歴 (軸対称モデル)	(a) - B - 27
(a) - 第D.1 図	通常輸送時の遮蔽解析モデル (蓋部方向)	(a) - D - 7
(a) - 第D.2 図	通常輸送時の遮蔽解析モデル (底部方向)	(a) - D - 8
(a) - 第D.3 図	一般の試験条件の遮蔽解析モデル (蓋部方向)	(a) - D - 9
(a) - 第D.4 図	一般の試験条件の遮蔽解析モデル (底部方向)	(a) - D - 10
(a) - 第D.付 1.1 図	Co-60 の放射能の量の比較	(a) - D - 21
(a) - 第D.付 2.1 図	燃料集合体の解析モデル	(a) - D - 25
(a) - 第D.付 2.2 図	燃料集合体モデルの表面線量当量率分布 (^{60}Co)	(a) - D - 29
(a) - 第D.付 2.3 図	燃料集合体モデルの表面線量当量率分布 (^{137}Cs)	(a) - D - 30
(a) - 第E.1 図	臨界解析モデル (軸方向断面図)	(a) - E - 6
(a) - 第E.2 図	臨界解析モデル (横断面図)	
	—  (C 格子燃料) —	(a) - E - 7
(a) - 第E.3 図	臨界解析モデル (横断面図)	
	—  (C 格子燃料) —	(a) - E - 8
(a) - 第E.4 図	臨界解析モデル (横断面図)	
	—  (D 格子燃料) —	(a) - E - 9
(a) - 第E.5 図	臨界解析モデル (横断面図)	
	—  (D 格子燃料) —	(a) - E - 10
(a) - 第E.6 図	PNL-3602 の臨界実験体系	(a) - E - 16
(a) - 第E.付 2.1 図	燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に 与える影響 (C 格子燃料)	(a) - E - 24
(a) - 第E.付 2.2 図	燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に 与える影響 (D 格子燃料)	(a) - E - 25
(a) - 第E.付 3.1 図	容器内の空間の水密度が与える影響の評価	(a) - E - 27
(a) - 第E.付 3.2 図	容器外の空間の水密度が与える影響の評価	(a) - E - 28
(a) - 第E.付 4.1 図	内筒とアルミスパーサーの変形の影響評価の ための臨界解析モデル (縦断面図)	(a) - E - 30

図 リ ス ト (その8)

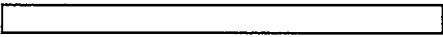
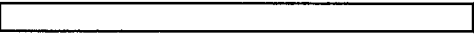
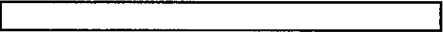

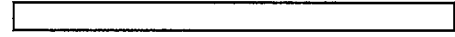
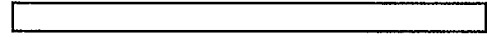




(㍀)一第E.付4.2図	内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための 臨界解析モデル(変形位置が45°方向の場合/ 横断面図)		(㍀)一E-31
(㍀)一第E.付4.3図	内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための 臨界解析モデル(変形位置が45°方向の場合/ 横断面図)		(㍀)一E-32
(㍀)一第E.付4.4図	内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための 臨界解析モデル(変形位置が90°方向の場合/ 横断面図)		(㍀)一E-33
(㍀)一第E.付4.5図	内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための 臨界解析モデル(変形位置が90°方向の場合/ 横断面図)		(㍀)一E-34
(㍀)一第E.付5.1図	内筒の変形の影響評価のための臨界解析モデル (横断面図)		(㍀)一E-37
(㍀)一第E.付5.2図	内筒の変形の影響評価のための臨界解析モデル (横断面図)		(㍀)一E-38
(㍀)一第E.付7.1図	梱包材のモデル化		(㍀)一E-42
(㍀)一第E.付7.2図	梱包材が与える影響の評価		(㍀)一E-43
(㍀)一第F.付2.1図	重量減損の測定結果		(㍀)一F-25
(㍀)一第F.付2.2図	LMPと重量減損の関係		(㍀)一F-26
(㍀)一第F.付3.1図	各保持時間における温度と引張強さ/降伏応力の関係 (アルミニウム合金 )		(㍀)一F-27
(㍀)一第F.付3.2図	各保持時間における温度と引張強さ/降伏応力の関係 (アルミニウム合金 )		(㍀)一F-28
(㍀)一第F.付3.3図	LMPと引張強さ/降伏応力の関係 (アルミニウム合金 )		(㍀)一F-29
(㍀)一第F.付3.4図	LMPと引張強さ/降伏応力の関係 (アルミニウム合金 )		(㍀)一F-29

図 リ ス ト (その9)

(参)－第A.1図	輸送容器本体の製作工程	参考－A－2
(参)－第A.2図	輸送容器蓋部の製作工程	参考－A－3
(参)－第A.3図	輸送容器衝撃吸収カバーの製作工程	参考－A－4
(参)－第A.4図	輸送容器バスケットの製作工程	参考－A－5
(参)－第A.5図	レジン注入の概略工程(胴部レジン)	参考－A－22
(参)－第A.6図	クイックコネクション部詳細図	参考－A－25
(参)－第B.1図	輸送容器の検査工程	参考－B－8

表 リ ス ト (その1)

(イ)－第A.1表	輸送容器に収納する核燃料物質の仕様	(イ)－A－2
(イ)－第C.1表	輸送容器の構成部品及び主要材料	(イ)－C－19～(イ)－C－20
(イ)－第C.2表	レジンの素材と割合	(イ)－C－20
(イ)－第C.3表	輸送容器の寸法	(イ)－C－21～(イ)－C－22
(イ)－第C.4表	輸送物重量	(イ)－C－23
(イ)－第D.1表	燃料集合体の型式及び仕様例	(イ)－D－5
(イ)－第D.2表	チャンネルボックスの仕様例	(イ)－D－6
(イ)－第D.3表	収納缶の仕様例	(イ)－D－7
(イ)－第D.4表	収納物の燃料組成仕様	(イ)－D－9
(イ)－第D.5表	放射能の量の算定に使用する比放射能	(イ)－D－9
(イ)－第D.6表	主要な核種の放射能の量	(イ)－D－10
(ロ)－第A.1表	構造解析に用いる評価基準	(ロ)－A－5～(ロ)－A－6
(ロ)－第A.2表	負荷の組合せ	(ロ)－A－7～(ロ)－A－8
(ロ)－第A.3表	構造解析の解析条件と解析方法	(ロ)－A－9～(ロ)－A－15
(ロ)－第A.4表	材料の機械的性質	(ロ)－A－17～(ロ)－A－19
(ロ)－第A.5表	接触する異種材料の一覧	(ロ)－A－20
(ロ)－第A.6表	吊上装置（ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト）の吊上げ操作における応力評価結果	(ロ)－A－32
(ロ)－第A.7表	吊上装置（ハンドリングベルトの吊りハンドル）の吊上げ操作における応力評価結果	(ロ)－A－36
(ロ)－第A.8表	疲労評価に用いる応力強さ	(ロ)－A－39
(ロ)－第A.9表	輸送時の加速度に対する胴部の応力評価結果	(ロ)－A－50
(ロ)－第A.10表	一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部の一次応力に関する応力評価結果	(ロ)－A－66
(ロ)－第A.11表	一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部の（一次＋二次）応力に関する応力評価結果	(ロ)－A－67
(ロ)－第A.12表	自由落下における容器本体の解析結果のまとめ	(ロ)－A－76
(ロ)－第A.13表	自由落下におけるバスケットの解析結果のまとめ	(ロ)－A－80
(ロ)－第A.14表	燃料集合体の諸元	(ロ)－A－81
(ロ)－第A.15表	燃料被覆管の物性	(ロ)－A－81

表 リ ス ト (その2)

(㉓)－第A. 16表	自由落下における燃料被覆管の解析結果のまとめ	(㉓)－A－85
(㉓)－第A. 17表	積み重ね試験（縦置き）における胴部の応力評価結果	(㉓)－A－89
(㉓)－第A. 18表	積み重ね試験（横置き）における胴部の応力評価結果	(㉓)－A－93
(㉓)－第A. 19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	(㉓)－A－98
(㉓)－第A. 20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	(㉓)－A－98
(㉓)－第A. 21表	9m落下における容器本体の解析結果のまとめ	(㉓)－A－113～(㉓)－A－114
(㉓)－第A. 22表	9m落下におけるバスケットの解析結果のまとめ	(㉓)－A－118
(㉓)－第A. 23表	9m落下における燃料被覆管の解析結果のまとめ	(㉓)－A－121
(㉓)－第A. 24表	火災発生 30 分後における各部品の最高温度	(㉓)－A－135
(㉓)－第A. 25表	特別の試験条件の熱的試験における容器本体の 解析結果のまとめ	(㉓)－A－138
(㉓)－第A. 26表	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の 輸送物の損傷状態	(㉓)－A－142
(㉓)－第A. 付 2.1表	実機と モデルとの諸元の比較	(㉓)－A－147～(㉓)－A－148
(㉓)－第A. 付 2.2表	落下試験結果の概要	(㉓)－A－149
(㉓)－第A. 付 2.3表	変形量の比較	(㉓)－A－157～(㉓)－A－160
(㉓)－第A. 付 3.1表	実機と モデルとの諸元の比較	(㉓)－A－164
(㉓)－第A. 付 3.2表	変形状態の比較	(㉓)－A－170～(㉓)－A－172
(㉓)－第A. 付 4.1表	15m浸漬試験における容器本体各部の応力	(㉓)－A－177
(㉓)－第A. 付 5.1表	前部トラニオンと後部トラニオンの評価結果の比較	(㉓)－A－181
(㉓)－第A. 付 6.1表	トラニオンによる垂直吊りにおいて本体部品に 発生した最大応力	(㉓)－A－188
(㉓)－第A. 付 6.2表	トラニオンによる水平吊りにおいて本体部品に 発生した最大応力	(㉓)－A－188
(㉓)－第A. 付 6.3表	ハンドリングベルトによる吊上げ時に本体部品に 発生した最大応力	(㉓)－A－191
(㉓)－第A. 付 7.1表	容器本体各部の応力 (内圧が最大となり外圧を上回る場合)	(㉓)－A－202
(㉓)－第A. 付 7.2表	容器本体各部の応力 (内圧が最小となり外圧を下回る場合)	(㉓)－A－203

表 リ ス ト (その3)

(a) - 第A. 付 7.3 表	各条件における口開き変形量	(a) - A - 204
(a) - 第A. 付 10.1 表	一般の試験条件の熱的試験における口開き変形量	(a) - A - 214
(a) - 第A. 付 10.2 表	一般の試験条件の自由落下における口開き変形量	(a) - A - 215
(a) - 第A. 付 13.1 表	輸送中に想定される輸送容器温度及び外圧の範囲	(a) - A - 223
(a) - 第A. 付 13.2 表	温度及び圧力条件と最大の内外圧力差	(a) - A - 224
(a) - 第A. 付 13.3 表	輸送中に容器本体各部に発生する最大応力	(a) - A - 225
(a) - 第A. 付 13.4 表	各材料に作用する最大の応力振幅	(a) - A - 225
(a) - 第B. 1 表	解析条件及び解析方法	(a) - B - 2
(a) - 第B. 2 表	材料物性	(a) - B - 4 ~ (a) - B - 7
(a) - 第B. 3 表	一般の試験条件下の熱的条件	(a) - B - 9
(a) - 第B. 4 表	特別の試験条件下の熱的条件	(a) - B - 18
(a) - 第B. 5 表	輸送物各部の最高温度	(a) - B - 22
(a) - 第D. 1 表	燃料組成及び線源解析仕様	(a) - D - 2
(a) - 第D. 2 表	燃料組成に由来するガンマ線源強度	(a) - D - 4
(a) - 第D. 3 表	表面汚染の線源強度	(a) - D - 5
(a) - 第D. 4 表	遮蔽解析で用いる物質の原子個数密度	(a) - D - 11 ~ (a) - D - 14
(a) - 第D. 5 表	輸送物各部の最大線量当量率	(a) - D - 16
(a) - 第D. 6 表	解析結果の要約	(a) - D - 17
(a) - 第D. 付 1.1 表	瓦礫の分析結果	(a) - D - 19
(a) - 第D. 付 1.2 表	想定される核種	(a) - D - 20
(a) - 第D. 付 1.3 表	汚染核種と測定された放射能の量	(a) - D - 22
(a) - 第D. 付 2.1 表	燃料集合体表面の線量当量率の管理基準	(a) - D - 23
(a) - 第D. 付 2.2 表	各領域における原子個数密度	(a) - D - 26 ~ (a) - D - 27
(a) - 第D. 付 2.3 表	燃料集合体各部位の表面汚染による線源仕様 (^{60}Co)	(a) - D - 29
(a) - 第D. 付 2.4 表	燃料集合体各部位の表面汚染による線源仕様 (^{137}Cs)	(a) - D - 30
(a) - 第D. 付 3.1 表	汚染核種の放射能の量	(a) - D - 32
(a) - 第D. 付 3.2 表	汚染核種の放射能の量に基づく A_2 値評価	(a) - D - 33

表 リ ス ト (その4)

(㉓)一第D.付3.3表	汚染核種の放射能の量 (放射能の量が最大)	(㉓)一D-34
(㉓)一第D.付3.4表	汚染核種の放射能の量に基づくA ₂ 値評価 (放射能の量が最大)	(㉓)一D-34
(㉓)一第D.付3.5表	汚染核種の放射能の量 (プール水のための汚染)	(㉓)一D-36
(㉓)一第D.付3.6表	汚染核種の放射能の量に基づくA ₂ 値評価 (プール水のための汚染)	(㉓)一D-36
(㉓)一第E.1表	規則で定められる条件と解析条件の対応	(㉓)一E-2
(㉓)一第E.2表	臨界解析の対象とする燃料集合体の主要諸元	(㉓)一E-4
(㉓)一第E.3表	臨界解析に用いる各領域の原子個数密度	(㉓)一E-11～(㉓)一E-12
(㉓)一第E.4表	臨界解析結果	(㉓)一E-14
(㉓)一第E.5表	ベンチマーク解析の結果	(㉓)一E-17
(㉓)一第E.付1.1表	輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法 (本体、蓋部及び衝撃吸収カバー)	(㉓)一E-20
(㉓)一第E.付1.2表	輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法 (バスケット)	(㉓)一E-21
(㉓)一第E.付1.3表	輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法 (収納物)	(㉓)一E-22
(㉓)一第E.付2.1表	燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に与える影響 (C格子燃料)	(㉓)一E-24
(㉓)一第E.付2.2表	燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に与える影響 (D格子燃料)	(㉓)一E-25
(㉓)一第E.付3.1表	容器内の空間の水密度が与える影響の評価	(㉓)一E-27
(㉓)一第E.付3.2表	容器外の空間の水密度が与える影響の評価	(㉓)一E-28
(㉓)一第E.付4.1表	内筒とアルミスペーサーの変形の有無における 実効増倍率の比較	(㉓)一E-35
(㉓)一第E.付5.1表	内筒の拡大の有無における実効増倍率の比較	(㉓)一E-39
(㉓)一第E.付6.1表	実効増倍率の比較に用いる解析条件	(㉓)一E-40
(㉓)一第E.付6.2表	実効増倍率の比較	(㉓)一E-40
(㉓)一第E.付7.1表	梱包材が与える影響の評価	(㉓)一E-42

表 リ ス ト (その5)

(ロ)－第F.1表	輸送容器の構成部品とその材料	(ロ)－F－2
(ロ)－第F.2表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	(ロ)－F－4～(ロ)－F－20
(ロ)－第F.付1.1表	燃料組成に由来する線源仕様 (各核種重量及び崩壊年数)	(ロ)－F－22
(ロ)－第F.付1.2表	ORIGEN2による中性子発生量の計算結果	(ロ)－F－22
(ロ)－第F.付2.1表	本輸送容器の温度及び使用期間に対するLMP	(ロ)－F－26
(ロ)－第F.付3.1表	本輸送容器の温度及び使用期間に対するLMP	(ロ)－F－28
(ロ)－第G.1表	規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価	(ロ)－G－2～(ロ)－G－23
(ハ)－第A.1表	発送前検査要領	(ハ)－A－3
(ハ)－第A.2表	燃料集合体表面の線量当量率の管理基準	(ハ)－A－4
(ハ)－第B.1表	定期自主検査要領	(ハ)－B－1
(ハ)－第B.2表	長期間保管時の定期自主検査要領	(ハ)－B－1
(参)－第A.1表	主要部品の材料区分と適用規格	参考－A－7
(参)－第A.2表	主要溶接材料の一例	参考－A－8
(参)－第A.3表	溶接施工法の一例	参考－A－16～参考－A－20
(参)－第A.4表	レジンの素材	参考－A－23
(参)－第B.1表	検査項目と実施時期	参考－B－1

写 真 リ ス ト

写真(□)－第A.1 蓋部を直撃する垂直落下 (試験前)	(□)－A－123
写真(□)－第A.2 蓋部を直撃する垂直落下 (試験後)	(□)－A－123
写真(□)－第A.3 底部を直撃する垂直落下 (試験前)	(□)－A－124
写真(□)－第A.4 底部を直撃する垂直落下 (試験後)	(□)－A－124
写真(□)－第A.5 胴部を直撃する水平落下 (試験前)	(□)－A－126
写真(□)－第A.6 胴部を直撃する水平落下 (試験後)	(□)－A－126
写真(□)－第A.付2.1 <input type="text"/> モデルの外観	(□)－A－146
写真(□)－第A.付2.2 0.32m水平落下後変形状態	(□)－A－150
写真(□)－第A.付2.3 9.51m前部垂直落下後変形状態	(□)－A－150
写真(□)－第A.付2.4 9.51m前部コーナー落下後変形状態	(□)－A－151
写真(□)－第A.付2.5 9.51m傾斜落下後変形状態	(□)－A－151
写真(□)－第A.付3.1 <input type="text"/> モデルの外観	(□)－A－164
写真(□)－第A.付3.2 落下試験の状況	(□)－A－165
写真(□)－第A.付3.3 試験結果 (損傷状態)	(□)－A－166
写真(□)－第F.付2.1 試験片の形状	(□)－F－25

(4) 章 核燃料輸送物の説明

(イ)章 核燃料輸送物の説明

(イ)－A 目的及び条件

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. 輸送物の使用目的 | 軽水炉型原子力発電所の使用済み燃料プールに保管されていた未使用の燃料集合体を燃料加工工場に輸送するために使用する。 |
| 2. 輸送容器の型名 | MX－6型 |
| 3. 輸送物の種類 | A型核分裂性輸送物 |
| 4. 輸送制限個数 | 制限なし |
| 5. 輸送指数 | 10以下 |
| 6. 臨界安全指数 | 0 |
| 7. 輸送物の総重量 | 19.5トン以下（輸送架台は含まず） |
| 8. 輸送容器の外形寸法 | 外径約2.1m、長さ約6.0m
(前部及び後部衝撃吸収カバーを含む) |
| 9. 輸送容器の材質 | |
| 本 体 : | ステンレス鋼、銅、合金鋼、レジン |
| 蓋 部 : | チタン合金、合金鋼、レジン |
| バスケット : | アルミニウム合金、ボロン入りステンレス鋼 |
| 衝撃吸収カバー: | 木材、ステンレス鋼、合金鋼 |
| 10. 輸送容器に収納する核燃料物質 | 核燃料物質の仕様を(イ)－第A.1表に示す。 |
| 11. 輸送形態 | 車両による陸上輸送及び船による海上輸送 |
| 12. 運搬中に予想される周囲の
温度の範囲 | －40℃から38℃まで |
| 13. 使用予定年数 | 50年 |
| 14. 輸送容器の使用予定回数 | 200回 |

(イ) - 第 A. 1 表 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様

項目		燃料集合体の型式	9 × 9 燃料	
種類		軽水炉 (BWR) 用新燃料集合体 ¹⁾		
性状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体又はガドリニア入り二酸化ウラン粉末焼結体)		
輸送容器 1 基当たり	収納物重量 ²⁾ (kg)	□ 以下		
	収納体数 (体)	10 以下		
	燃料集合体重量 (kg) (チャンネルボックスを含む)	□ 以下		
	放射能の量	総量 (GBq)	□ 以下 (主要な核種の合計: □ 以下)	
		主要な核種 ³⁾ (GBq)	²³² U	□
			²³⁴ U	
			²³⁵ U	
²³⁶ U				
²³⁸ U				
⁹⁹ Tc				
発熱量	該当せず (未使用)			
濃縮度 (wt%)		5.0 以下		
燃料集合体 1 体当たり	重量	燃料集合体重量 (kg) (チャンネルボックスを含む)	□ 以下	
		二酸化ウラン重量 (kg)	□ 以下	
		ウラン重量 (kg)	□ 以下	
	燃焼度	該当せず (未使用)		
冷却日数	該当せず (未使用)			
濃縮ウラン中の不純物仕様		²³² U	≦ □ μg/gU	
		²³⁴ U	≦ □ μg/g ²³⁵ U	
		²³⁶ U	≦ □ μg/gU	
		⁹⁹ Tc	≦ □ μg/gU	
		ただし、 ²³⁶ U < □ μg/gU の場合、 ²³² U 及び ⁹⁹ Tc は適用外		

注 1) 使用済み燃料プールに保管されていた未使用の燃料集合体

注 2) 収納缶の重量を含む

注 3) 濃縮度が 5.0 wt% の場合

(イ)－B 核燃料輸送物の種類

A型核分裂性輸送物

輸送物の種類に関する補足説明を(イ)章 付属書類－1に示す。

(イ)－C 輸送容器

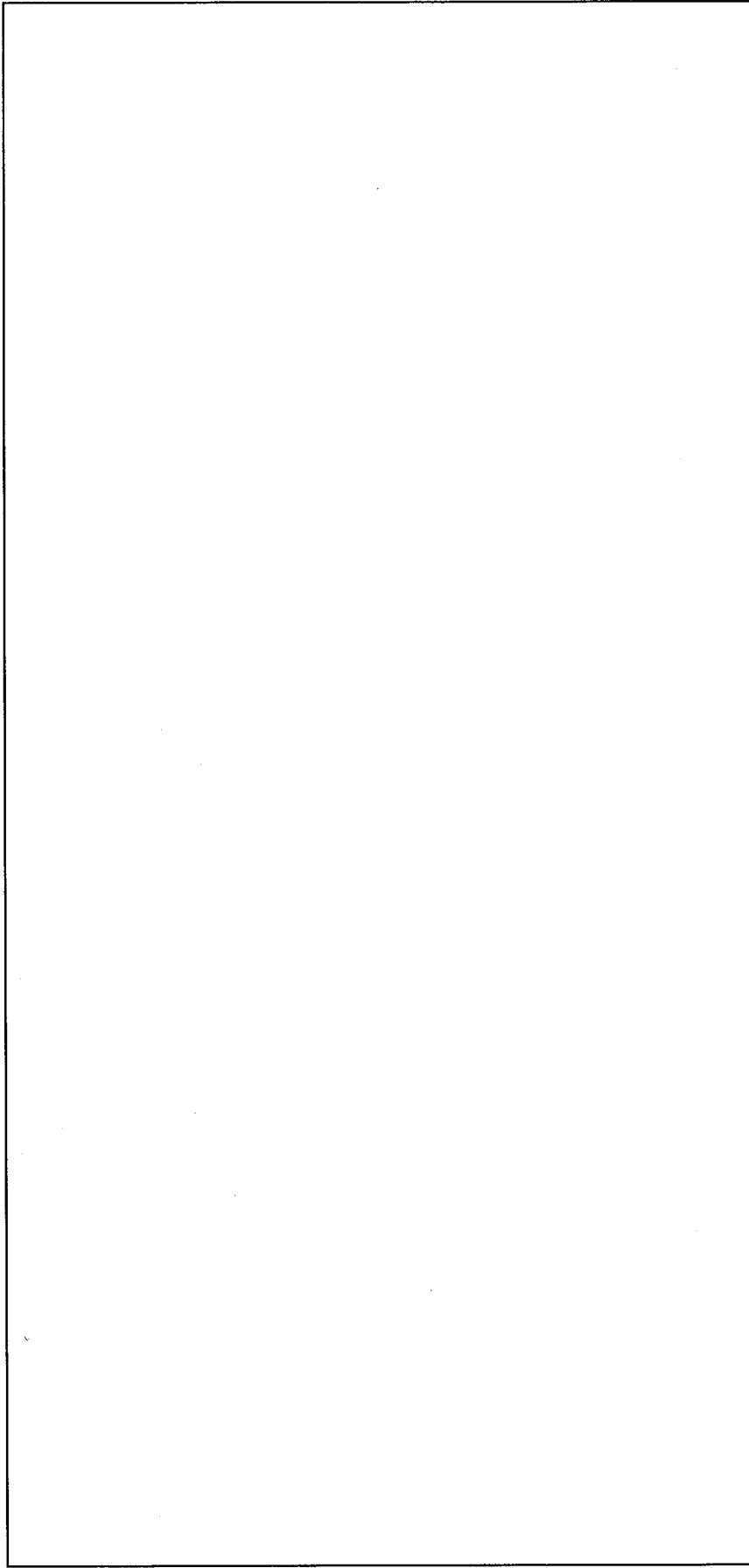
C.1 設計の概要

本輸送容器は、円筒形状であり、輸送中には(イ)－第C.1図に示すように、海上コンテナに収納され、固縛装置となる輸送架台により横置き状態に保持される。

輸送容器全体図を(イ)－第C.2図に、輸送容器縦断面図を(イ)－第C.3図に示す。

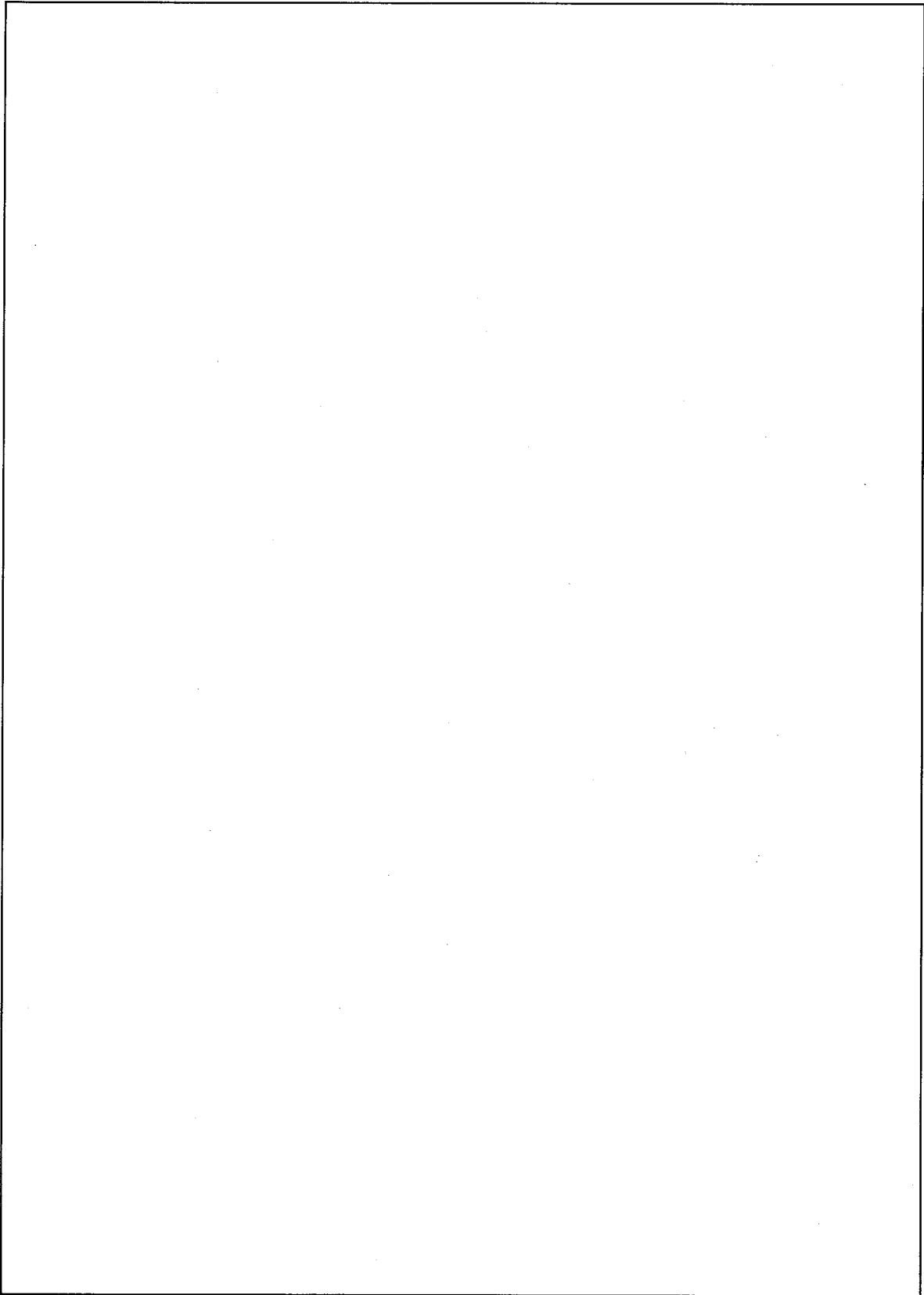
輸送容器の概要は次のとおりである。

- ・ 輸送容器の取扱いは、本体に取付けられたトラニオン又はハンドリングベルトを使用して行われる。
- ・ 落下等による衝撃を緩和するため、輸送容器の前部及び後部に衝撃吸収カバーが取付けられている。
- ・ 輸送容器は、密封機能を有する構造となっている。密封境界は、(イ)－第C.4図に示すように、胴部内面、底板内面、蓋板内面、蓋板ガスケット、クイックコネクションカバー内面及びクイックコネクションカバーガスケットである。
- ・ 主要な遮蔽材は、輸送容器を構成するステンレス鋼、チタン合金、アルミニウム合金並びにレジンである。
- ・ 燃料集合体を輸送容器内部に収納するためのバスケットには、中性子吸収材としてボロン入りステンレス鋼が用いられている。
- ・ 輸送容器の表面は、滑らかに仕上げられており、放射性物質によって汚染された場合に、汚染の除去が容易にできる構造となっている。

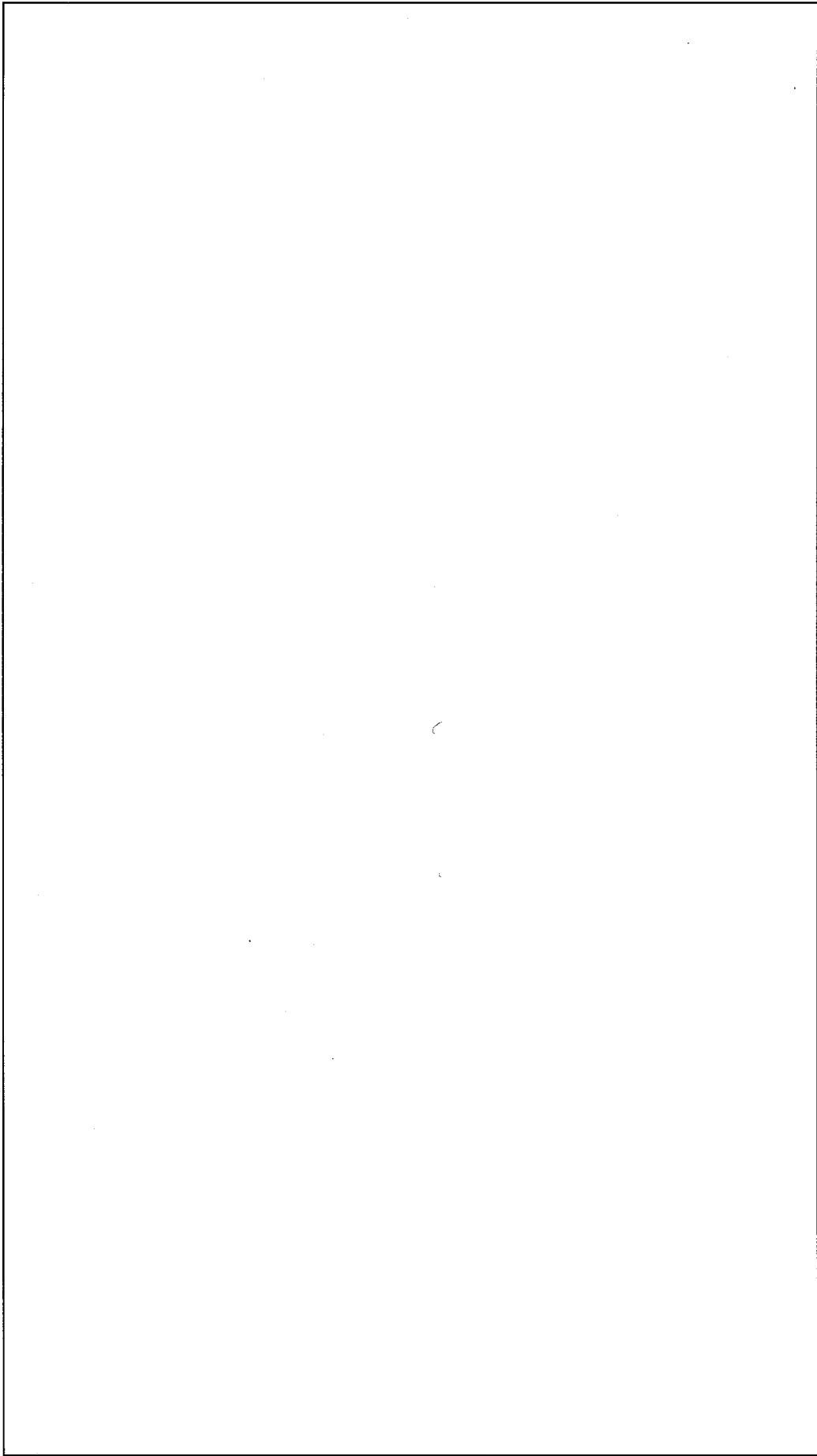


(単位：mm)

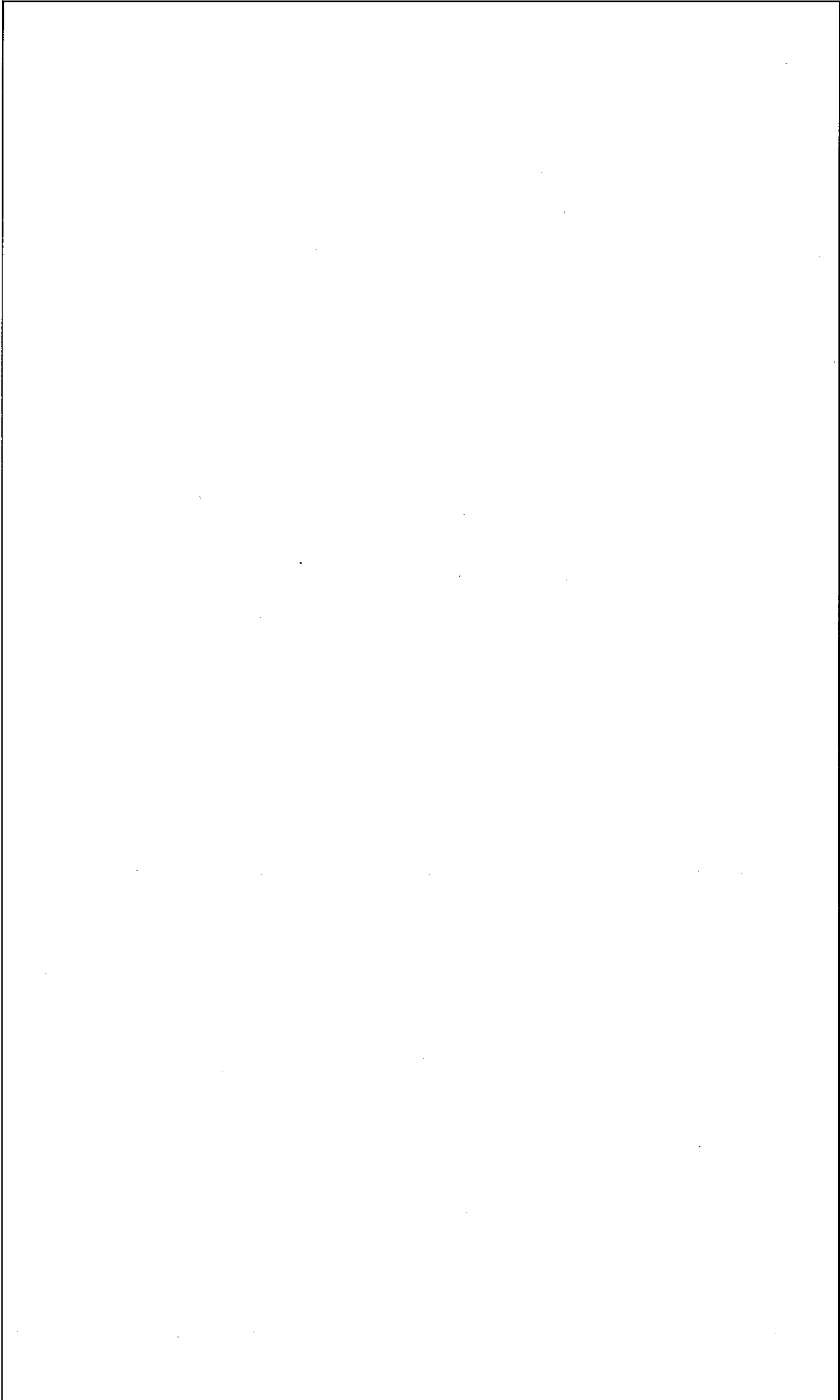
(イ)-第C.1.1図 輸送物荷姿図の例



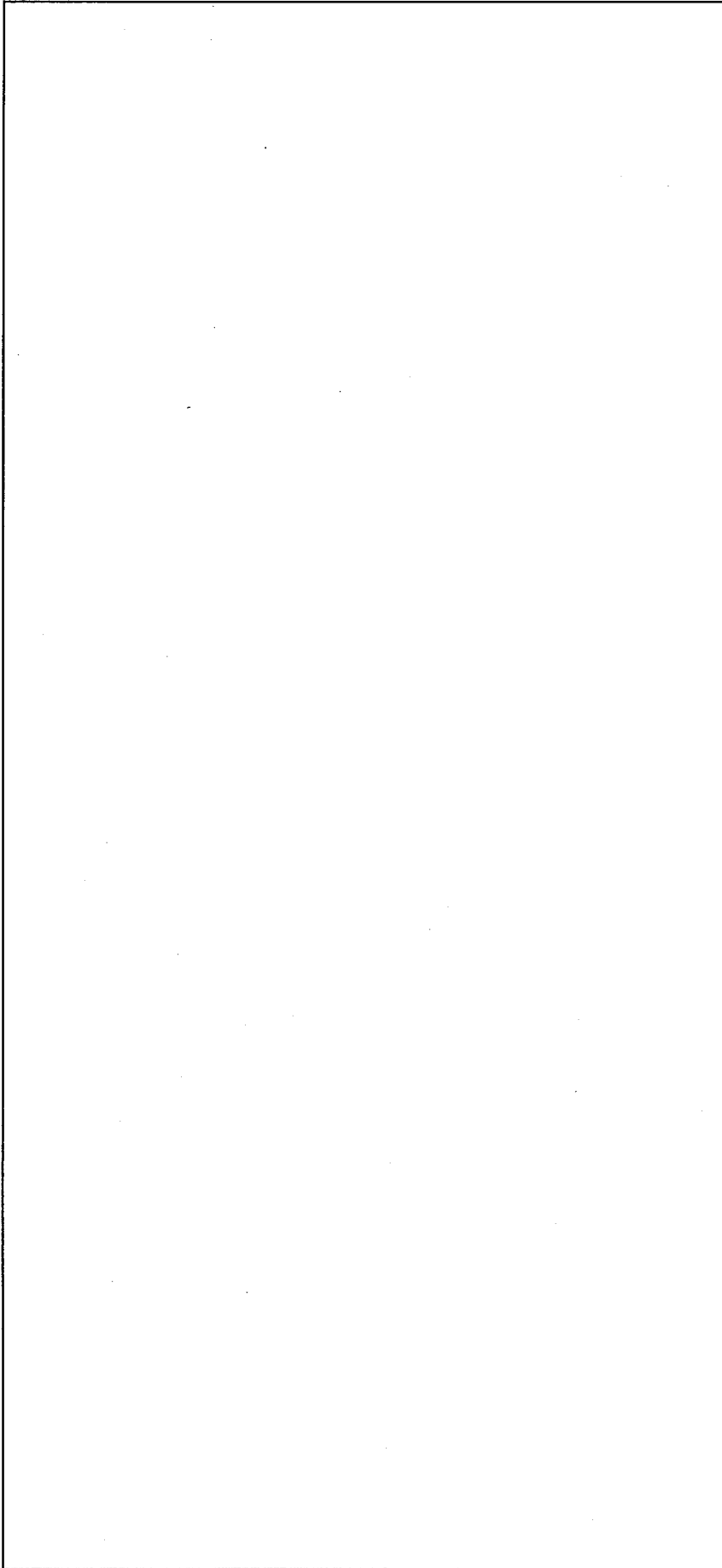
(1)-第C.2图 输送容器全体图



(1) - 第C.3 図 輸送容器縦断面図



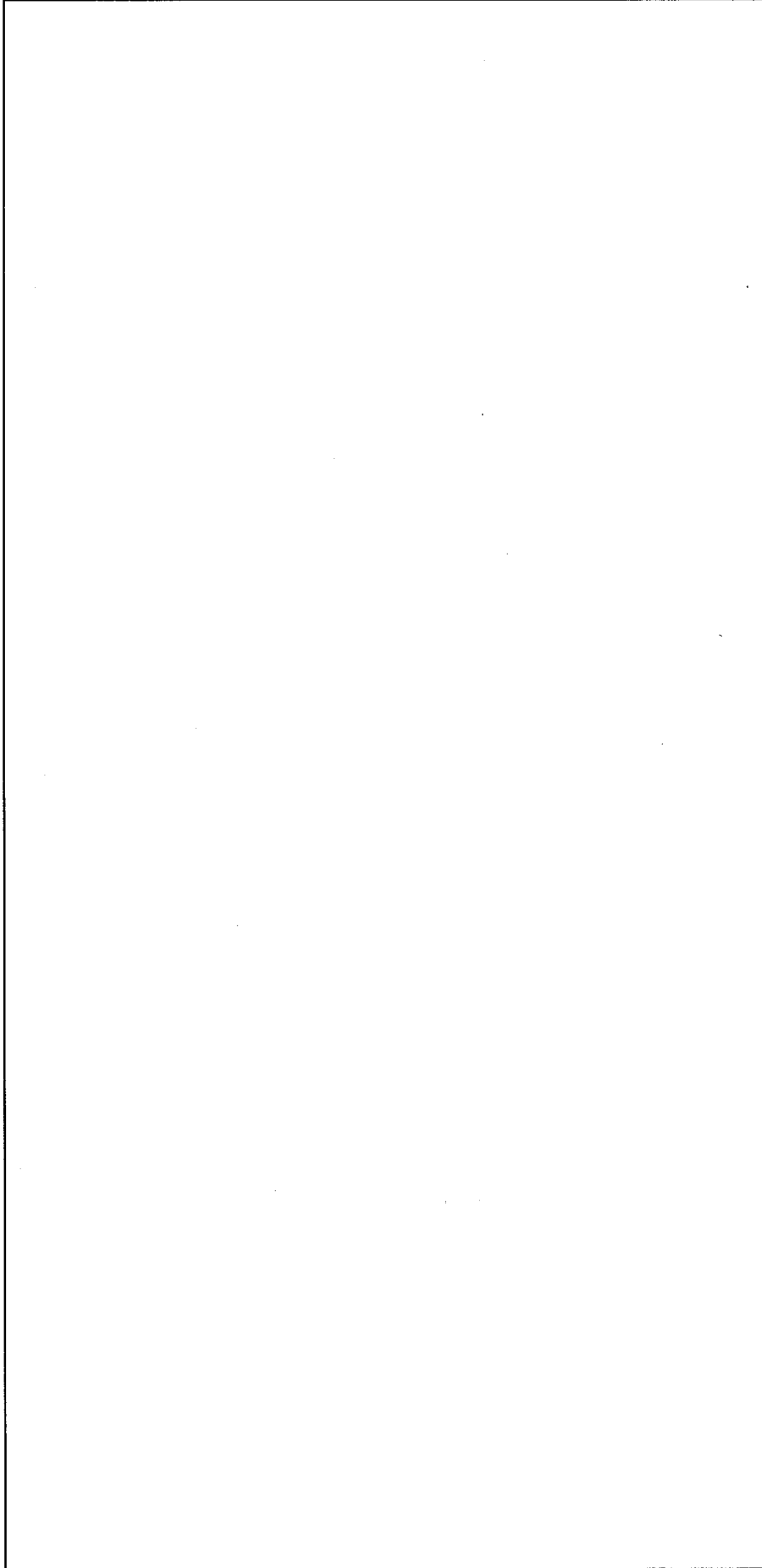
(イ) 第C.4 図 輸送容器の密封境界



(単位：mm)

* (イ)―第C.6 図参照

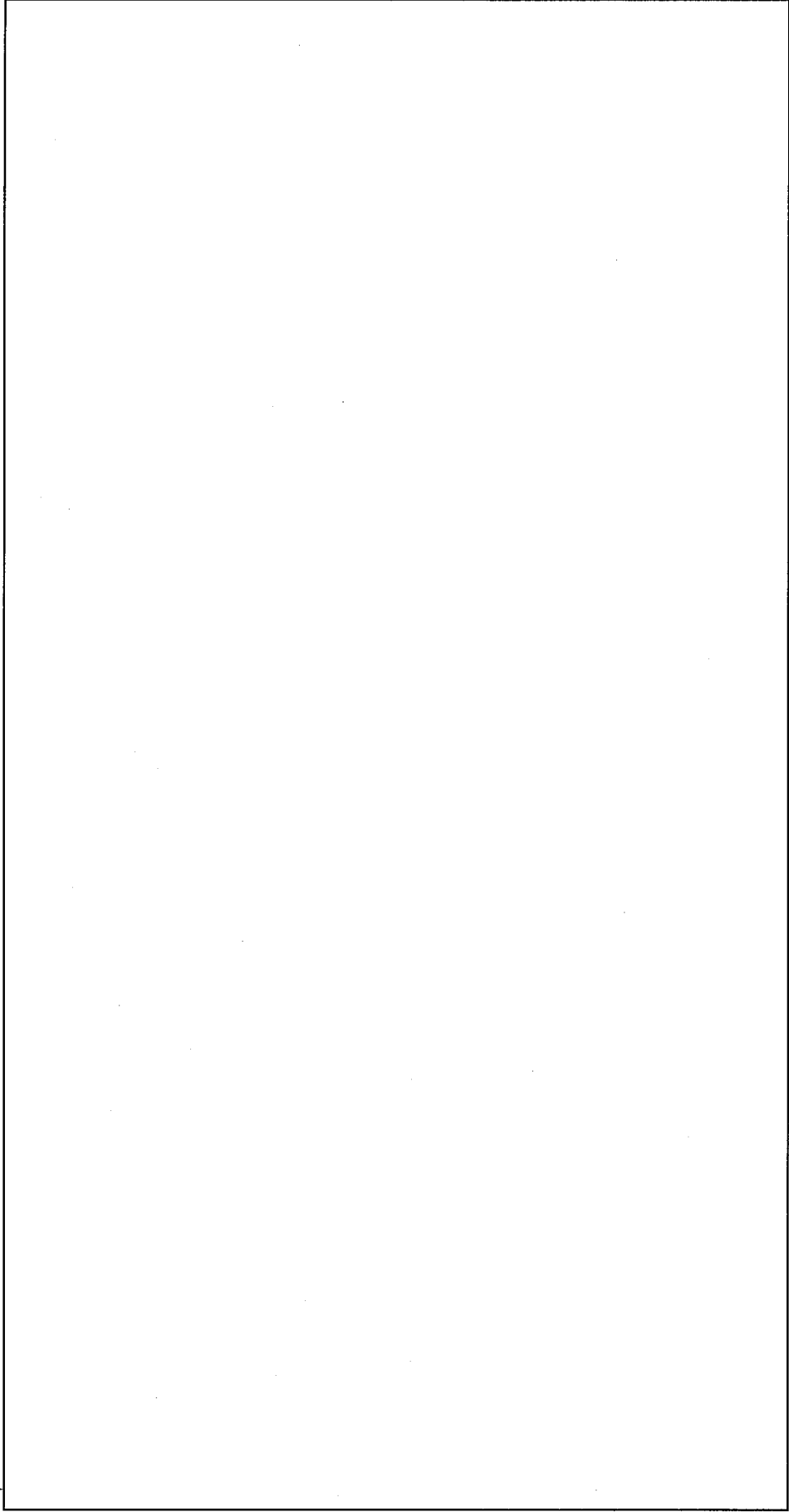
(イ)―第C.5 図 本体縦断面図



(单位：mm)

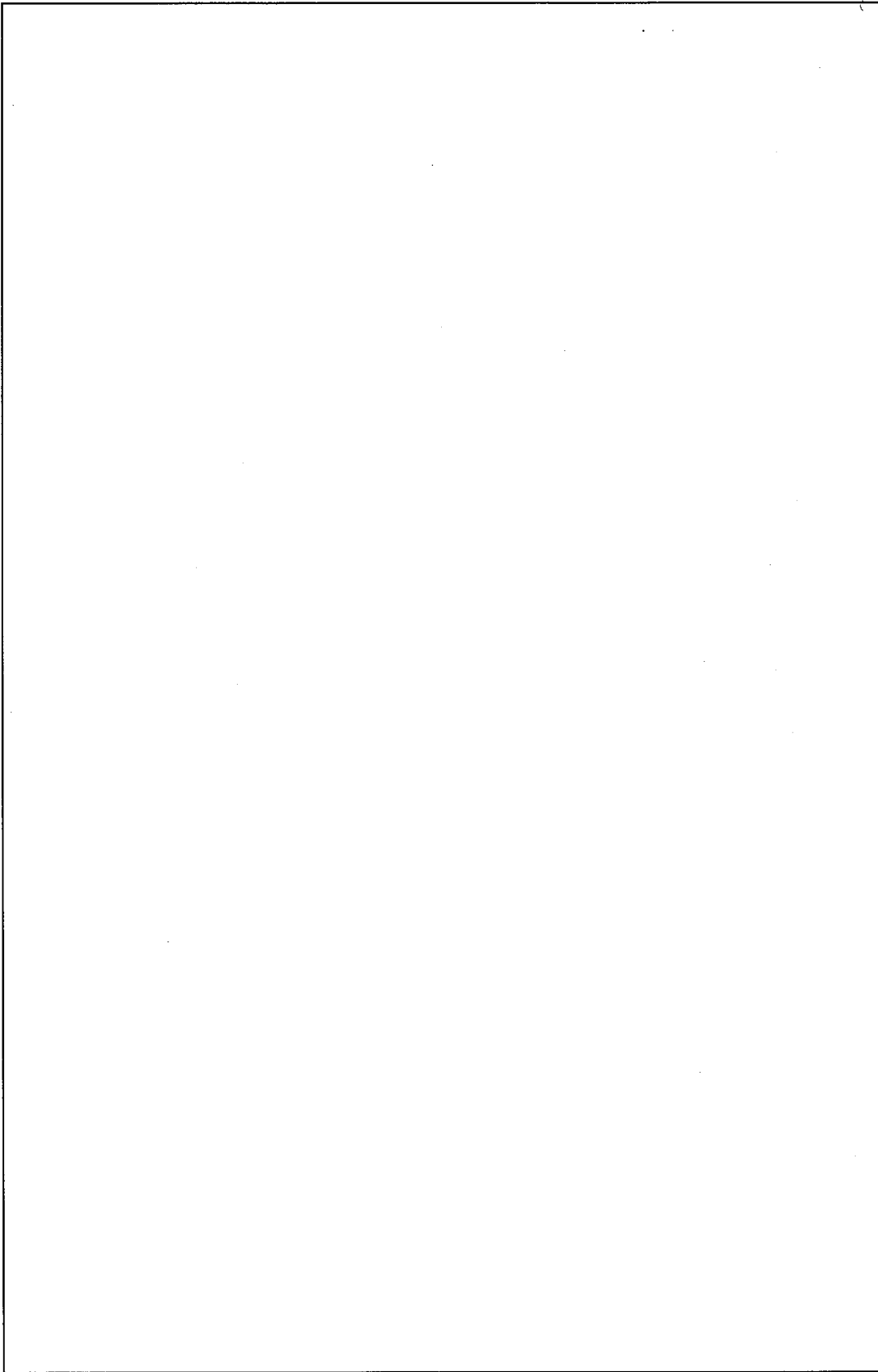
(1)－第C.6图 本体端面形状图

* (1)－第C.5图参照



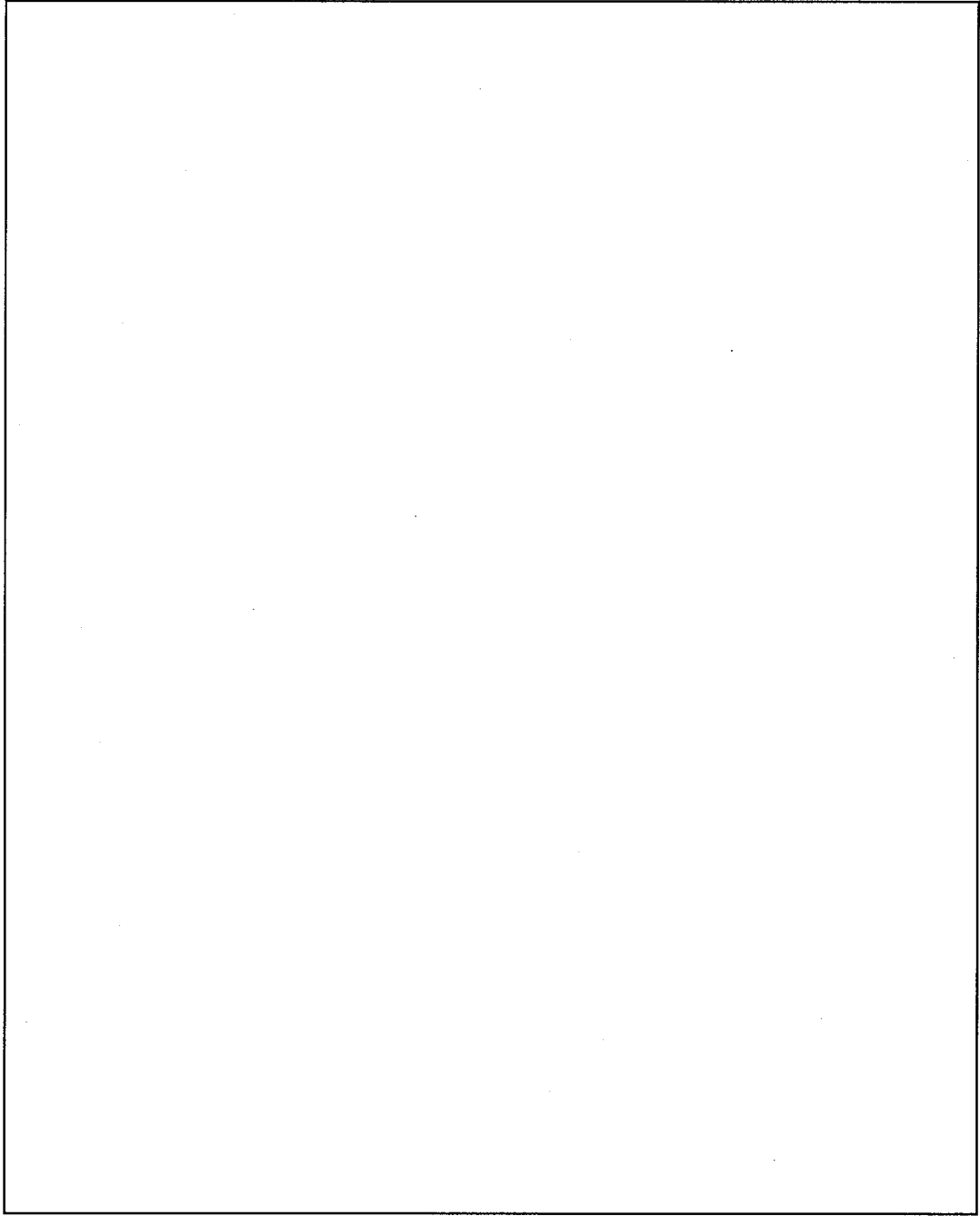
(イ)－第C.7図 本体横断面図

* (イ)－第C.5図参照



(単位：mm)

(イ)ー第C.8図 トラニオン構造図



(単位：mm)

(イ)ー第C.9図 ハンドリングベルト構造図

(2) 蓋 部

蓋部は、蓋板、蓋部レジン及び蓋部レジンカバーにより構成される。蓋部の構造を(イ)―第C.10図に示す。

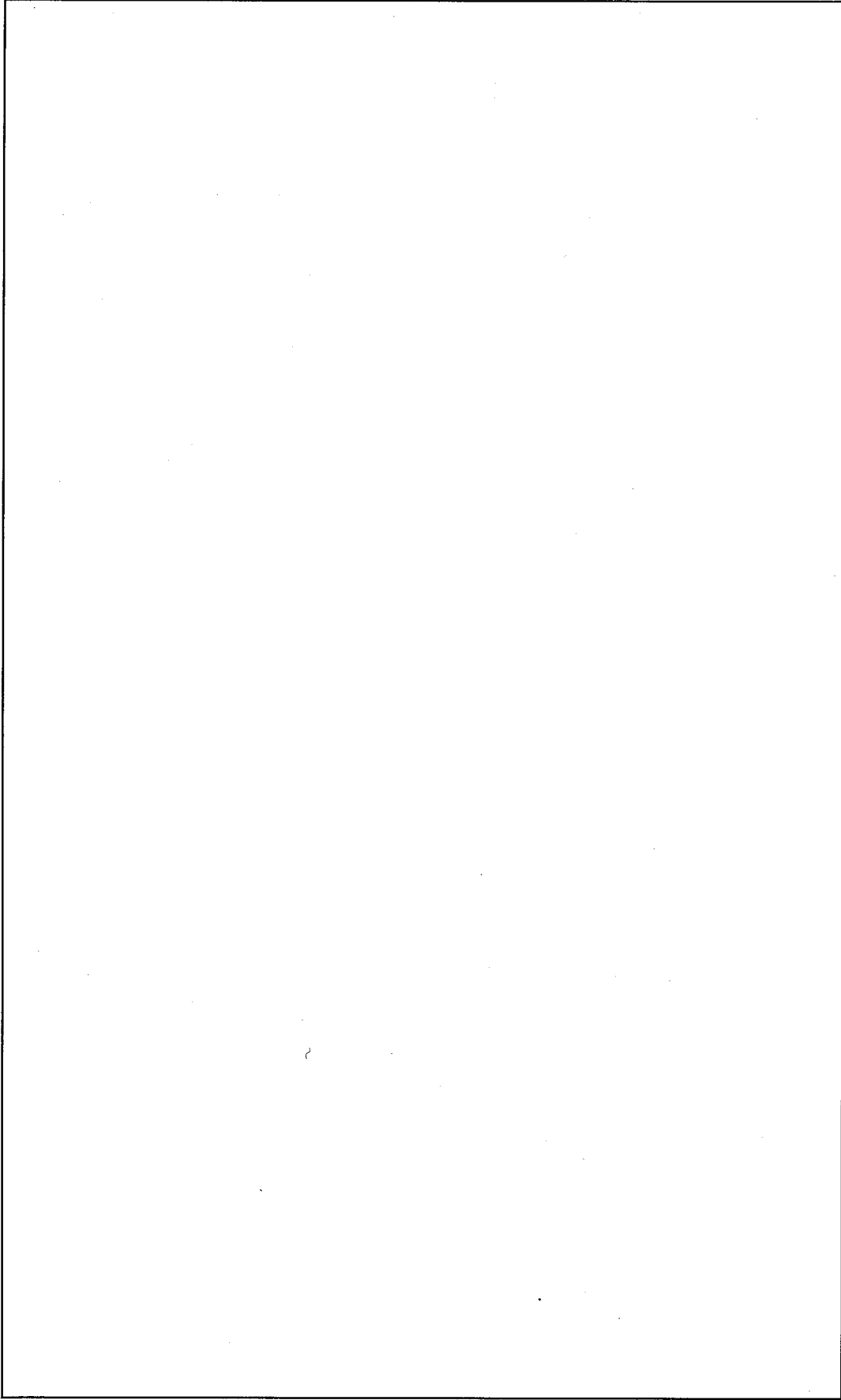
蓋板は、チタン合金製で中央部の厚さが□mm、周辺フランジ部の厚さが□mmの円板形状をしており、□本の□の蓋板締付けボルトにより上部フランジに取付けられる。¹⁾ 蓋板の上部フランジとの接合面には二重のガスケット溝が設けられ、Oリング状のEPDM製ガスケット(蓋板ガスケット)が取付けられており、この接合面の密封性が確保される。

□方向にはクイックコネクションが設置されており、輸送容器の内部ガスのサンプリング等が行えるようになっている。このクイックコネクションは、ステンレス鋼製のクイックコネクションカバーにより保護される。クイックコネクションカバーは、□本の□のボルトにより蓋板に取付けられる。クイックコネクションカバーの蓋板との接合面には二重のガスケット溝が設けられ、Oリング状のEPDM製ガスケット(クイックコネクションカバーガスケット)が取付けられており、この接合面の密封性が確保される。

蓋板ガスケットとクイックコネクションカバーガスケットに対する気密漏えい検査が行えるように、二重のガスケットの中間部に通じるテスト孔が、蓋板とクイックコネクションカバーにそれぞれ設けられており、検査用ツールの接続部にはテストプラグが取付けられている。

□が□により取付けられる。

注1) 前項で説明した本体に蓋部を取付けた形態を「容器本体」と称し、(ロ)章以降において解析対象等の名称として適宜用いる。



(单位：mm)

(f) - 第 C.10 图 盖部构造图

(3) バスケット

バスケットは、主に厚さ□mm のアルミニウム合金製の円板 (□
□) と燃料を収納するボロン入りステンレス鋼製のロジメ
ントから構成されている。バスケットの構造を(イ)－第C.11 図に示す。

ロジメントは、厚さ□mm の板を□組立てており、内法が□mm×□mm の
矩形のパイプ形状をしている。

□には、ロジメントを通す 10 個
の孔が設けてあり、軸方向に□に配置される。□
□は、直径□mm の□本の□によって、互
いに軸方向に締結される。

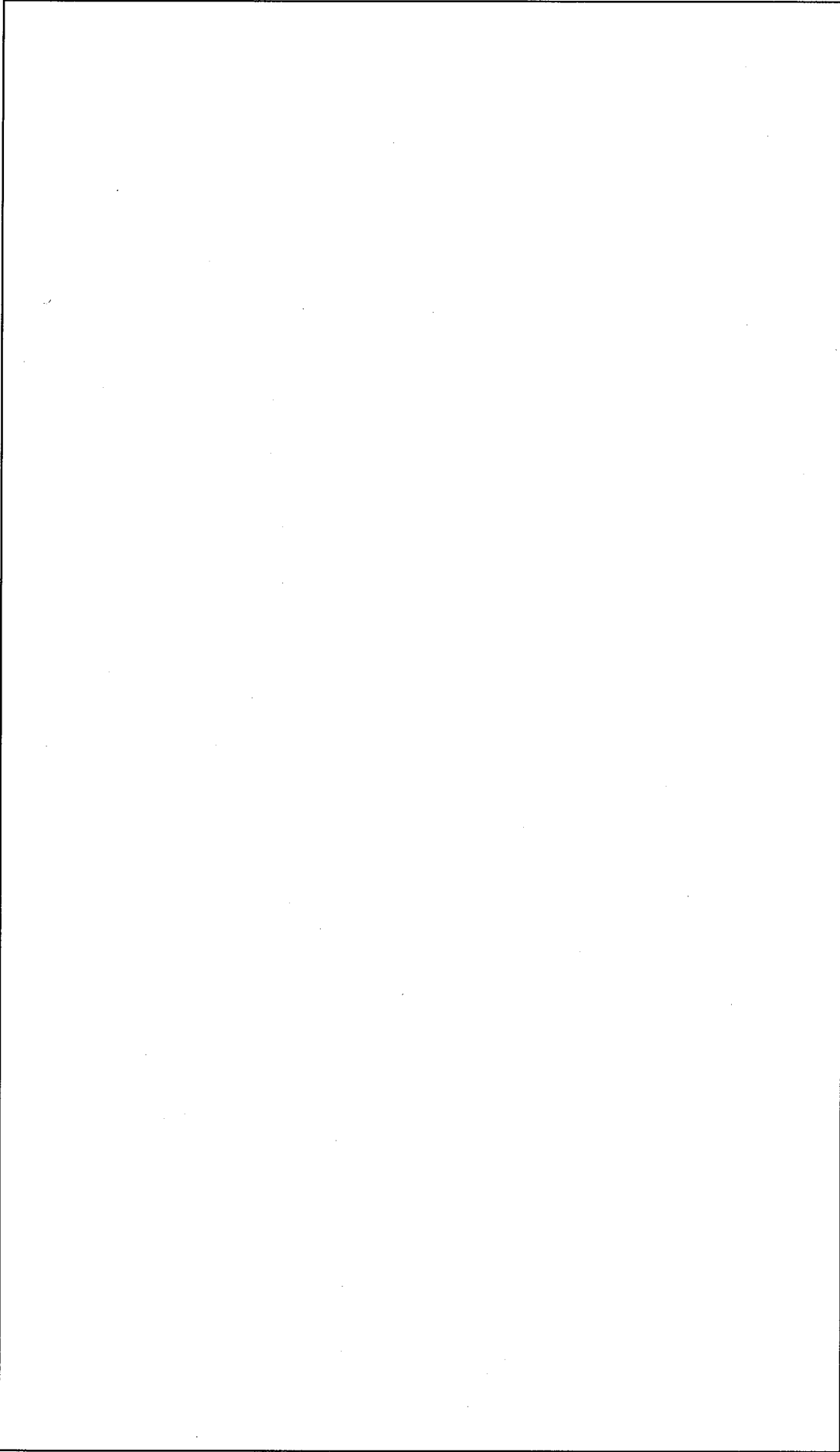
ロジメントは、□と
断面方向に固定される。

バスケットの軸方向位置を調整するために、アルミニウム合金製の円板と□及び□
□により構成されるバスケットサポートが底部に設けられている。

□外周に設置されるアルミスペーサーには遮蔽性能を補強するために
厚さ□mm のアルミニウム合金製の追加遮蔽板が□取付けられる。

□
□

また、バスケット全体は□と締結される。



(単位：mm)

(4) - 第C.11 図 バスケット構造図

(4) 衝撃吸収カバー

衝撃吸収カバーは、厚さ□mmのステンレス鋼製の外板及び

□その構造物の内側には緩衝材である□材が
充填される。前部及び後部衝撃吸収カバーの構造を(イ)－第C.12 図及び(イ)－第C.13
図に示す。

前部と後部の衝撃吸収カバーはほぼ同じ寸法形状をしており、前部衝撃吸収カバーは
上部フランジに、後部衝撃吸収カバーは底板にそれぞれ□本の□の締付けボルトで取
付けられる。

□

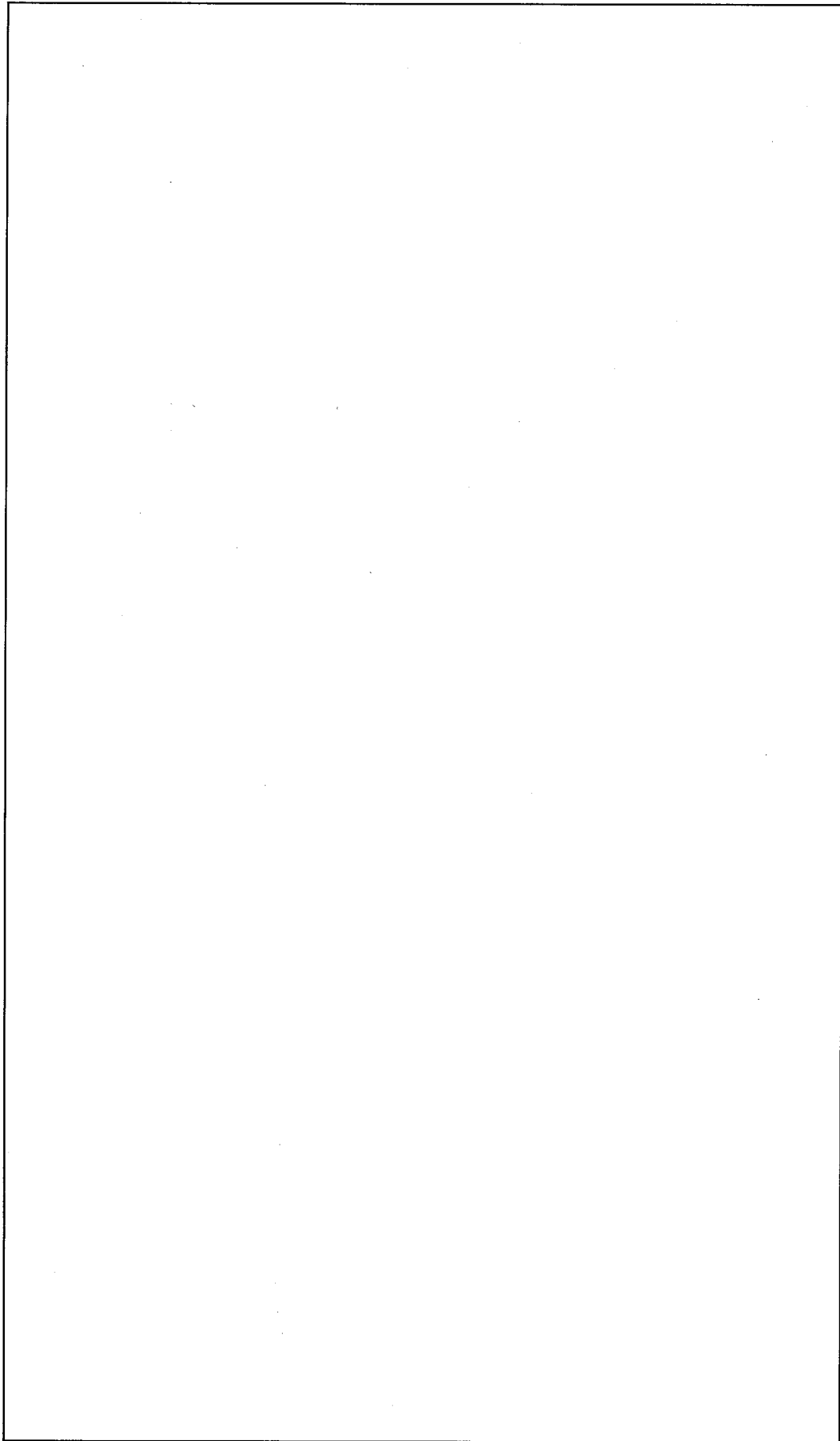
衝撃吸収カバーはトラニオンに被さるように取付けられるため、内側はトラニオンの
位置に相当する部分を切り欠いた形状となっている。

□

□

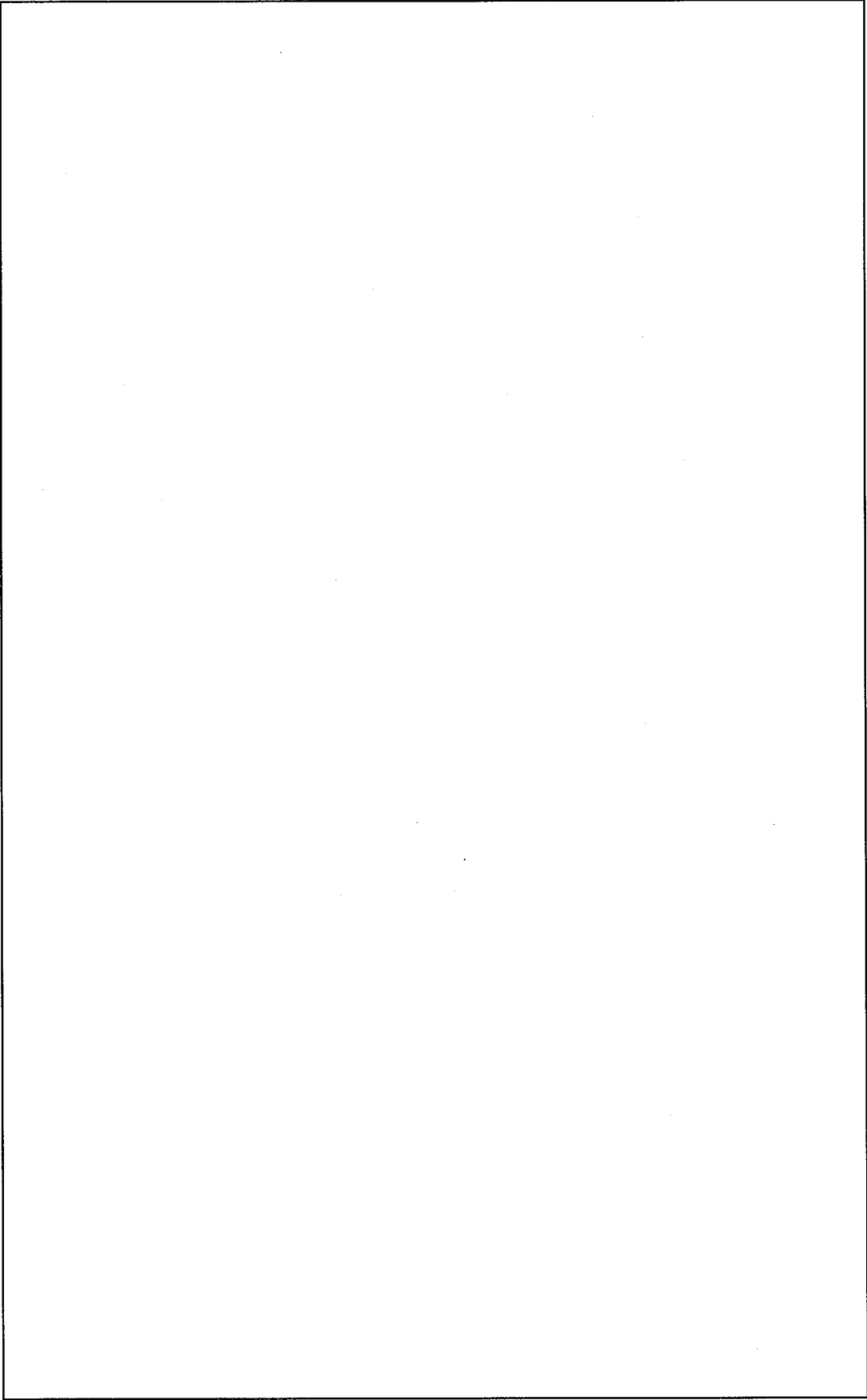
□

前部及び後部衝撃吸収カバーの外周面には、取扱い用の吊上げラグ及び単体で仮置き
するための脚が設けられている。



(単位:mm)

(イ) - 第 C. 12 図 前部衝撃吸収カバナー構造図



(単位:mm)

(イ) - 第C.13 図 後部衝撃吸収カバー構造図

C.3 材 質

材質は、(イ)―第C.1表に示すとおりである。

また、この輸送容器のレジン（胴部レジン、底部レジン、蓋部レジン）は、
を主材として、(イ)―第C.2表に示すように、素材を一定の割合で混合したものである。

(イ)―第C.1表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (1/2)

部 品	材 料	規 格 ¹⁾	
1. 本 体			
内 筒	ステンレス鋼	<input type="text"/>	
胴ガセット	ステンレス鋼		
胴 外 板	ステンレス鋼		
<input type="checkbox"/> プレート	<input type="checkbox"/>		
胴部レジン	<input type="text"/> レジン	—	
断熱カバー	ステンレス鋼	<input type="text"/>	
	<input type="text"/> 材	—	
上部フランジ	ステンレス鋼	<input type="text"/>	
トラニオン	ステンレス鋼		
トラニオン取付けボルト	合金鋼		
ハンドリングベルト(上部/下部ベルト)	ステンレス鋼		
吊りハンドル	ステンレス鋼		
吊りハンドル取付けピン	ステンレス鋼		
連結ボルト	合金鋼		
底 板	ステンレス鋼		
底部レジン	<input type="text"/> レジン		—
底部レジンカバー	ステンレス鋼		<input type="text"/>
2. 蓋 部			
蓋 板	チタン合金	<input type="text"/>	
蓋板締付けボルト	合金鋼		
蓋部レジン	<input type="text"/> レジン	—	
蓋部レジンカバー	ステンレス鋼	<input type="text"/>	
クイックコネクションカバー	ステンレス鋼		
ガスケット	EPDM	—	

注 1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

(イ)－第C.1表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (2/2)

部 品	材 料	規 格 ¹⁾
3. <u>バスケット</u> ロジメント <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> アルミスペーサー 追加遮蔽板 <input type="text"/> バスケットサポート <input type="text"/>	ボロン入りステンレス鋼 アルミニウム合金 アルミニウム合金 アルミニウム合金 アルミニウム合金 アルミニウム合金 アルミニウム合金 アルミニウム合金 <input type="text"/> アルミニウム合金	<input type="text"/> <input type="text"/>
4. <u>前部及び後部衝撃吸収カバー</u> 緩衝材 外板、 <input type="text"/> <input type="text"/> 締付けボルト <input type="text"/> 吊上げラグ、脚	<input type="text"/> 材 ステンレス鋼 ステンレス鋼 合金鋼 ステンレス鋼 <input type="text"/> 材 ステンレス鋼	<input type="text"/> <input type="text"/>

注 1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

(イ)－第C.2表 レジンの素材と割合

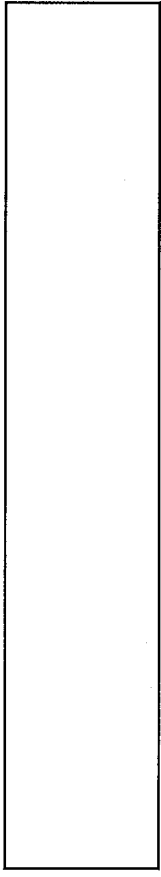
素 材	重量比 (%)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

C.4 寸 法

寸法は、(イ)―第C.3表に示すとおりである。

(イ)―第C.3表 輸送容器の寸法 (1/2)

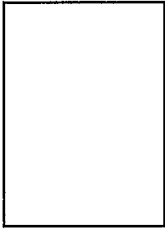
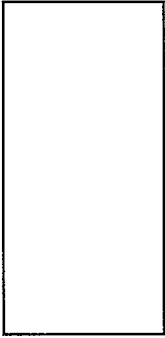

(単位：mm)

部 品		寸 法	参 照 図	
1. 本 体				
全 長		5,189	(イ)―第C.5図	
内 筒	内 径	1,072		
	厚 さ		(イ)―第C.7図	
胴ガセット	厚 さ			
胴 外 板	厚 さ			
□プレート	厚 さ			
胴部レジン	厚 さ			(イ)―第C.5図
底 板	厚 さ			
	外 径			
底部レジン	厚 さ			
トラニオン	外 径 (前部)			(イ)―第C.8図
	(後部)			
	高 さ (前部)			
	(後部)			
ハンドリングベルト	内 径(ベルト ¹⁾)		(イ)―第C.9図	
	断面外形			
吊りハンドル	間 隔			

注 1) ライナー厚さを除く。

(イ) - 第C.3表 輸送容器の寸法 (2/2)

(単位: mm)

部 品		寸 法	参 照 図
2. <u>蓋 部</u>			
蓋 板	外 径		(イ) - 第C.10 図
	厚 さ		
蓋板締付けボルト	径		
蓋部レジン	厚 さ		
3. <u>バスケット</u>			
外 径			(イ) - 第C.11 図
全 長			
ロジメント	内 幅		
	厚 さ		
追加遮蔽板	厚 さ		
4. <u>前部衝撃吸収カバー</u>			
	外 径	2,125	(イ) - 第C.12 図
	厚 さ	826	
5. <u>後部衝撃吸収カバー</u>			
	外 径	2,125	(イ) - 第C.13 図
	厚 さ	736	

C.5 重 量

本輸送物の総重量は 19.5 トン以下である。各部品の重量を(イ)－第C.4表に示す。

(イ)－第C.4表 輸送物重量

(単位：トン)

部品又は収納物	重 量
本 体 蓋 部 前部衝撃吸収カバー 後部衝撃吸収カバー バ ス ケ ッ ト 収納物 ¹⁾	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
輸送物総重量 (最大)	19.5

注 1) 燃料集合体 (チャンネルボックスを含む) 10 体の他、輸送物に同梱する梱包材並びに収納缶の重量を含む。

(イ)－D 輸送容器の収納物

(1) 燃料集合体

本輸送容器の収納物は、未使用のBWR燃料集合体であり、仕様例を(イ)－第D.1表に示す。また、本輸送容器に収納するBWR燃料集合体の代表的な全体図及び断面図を(イ)－第D.1図～(イ)－第D.3図にそれぞれ示す。

燃料集合体は、正方配列された燃料棒で構成され、両端はタイプレートで保持されている。また、燃料棒の中間部数カ所がスペーサにより保持されている。スペーサの形状として、2種類の形状があり（それぞれC格子、D格子と呼ぶ）、輸送容器には、同一格子形状の燃料集合体のみが収納される。

燃料は、濃縮度5wt%以下の二酸化ウランペレットでジルカロイ製の燃料被覆管の中に充填され両端に端栓を溶接して密封されている。また、燃料には可燃性毒物である Gd_2O_3 が含まれる場合がある。

燃料集合体には、燃料集合体単独あるいは燃料集合体にチャンネルボックスを装着した状態のものがある。燃料集合体に装着するチャンネルボックスの仕様例を(イ)－第D.2表に示す。

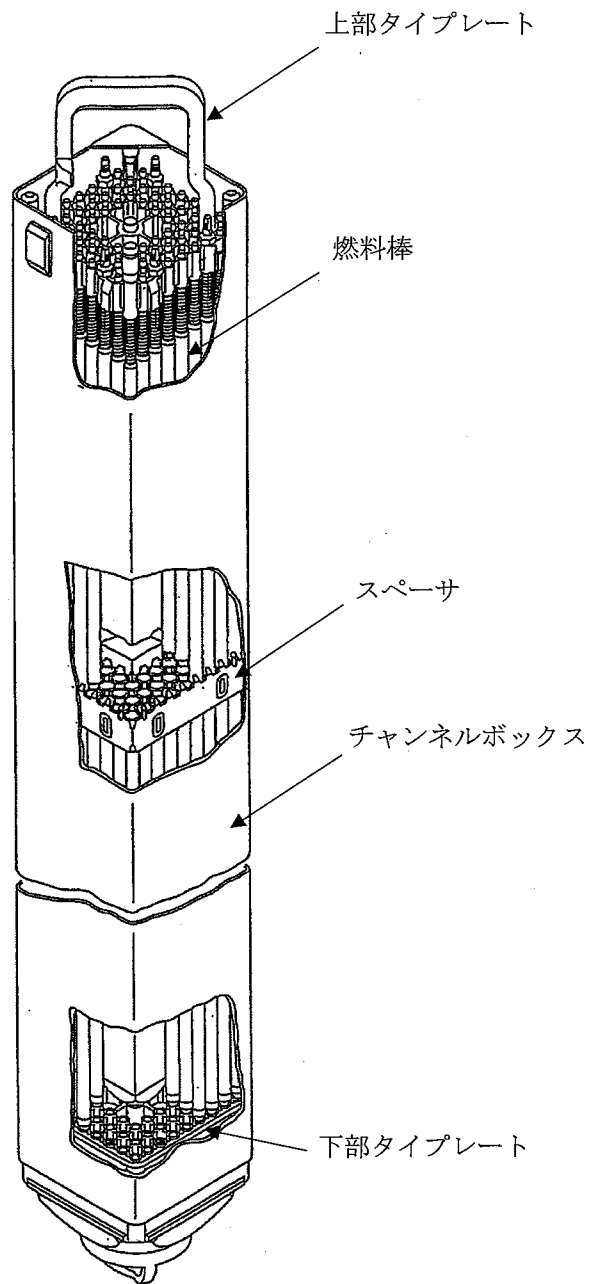
また、本輸送容器に収納される燃料集合体は、使用済み燃料プール水中に保管されたことにより表面に汚染のあるものと、使用済み燃料プール水中に保管中に汚染核種を含む瓦礫が付着したことにより表面に汚染のあるものがある。以降では、これら燃料集合体を合わせて「表面に汚染のある燃料集合体」とする。汚染に関する詳細は(ロ)－D遮蔽解析D.6.1付属書類－1に示す。

なお、収納される燃料集合体は未使用であり、収納物の仕様について、燃焼条件（燃焼度、冷却日数）と崩壊発熱は該当しない。

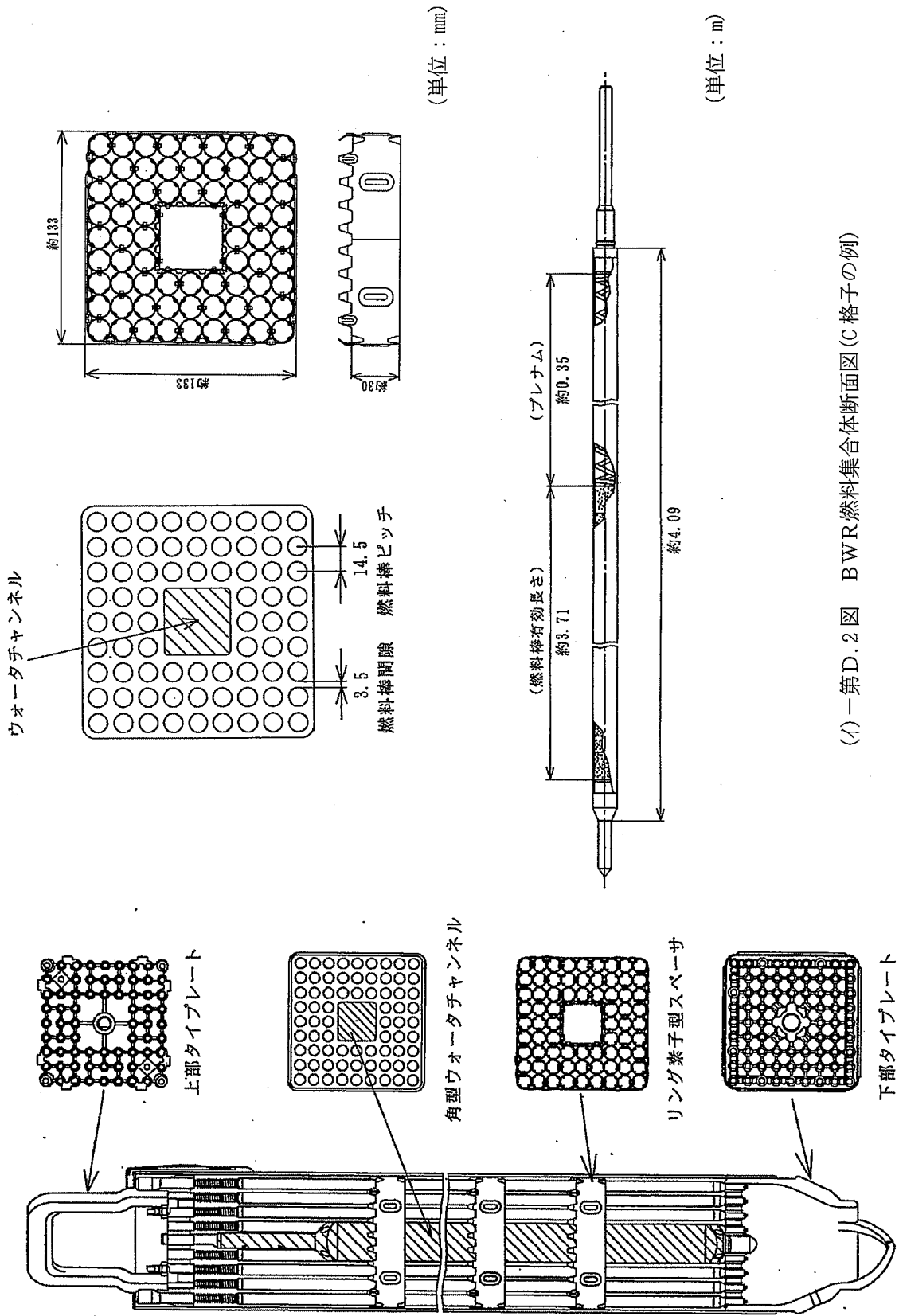
(2) 収納缶

燃料集合体表面の汚染が輸送容器内部へ拡散するのを防止するため、表面に汚染のある燃料集合体全てを収納缶に梱包し、ロジメントに収納する。燃料集合体を収納缶へ梱包する際には、必要に応じ、カードボード、木綿製の袋等の梱包材とともに梱包する。収納缶は、バスケットのロジメントに設置できる形状寸法で、開口部にはガスケットを備えた蓋板をボルト止めする構造となっている。

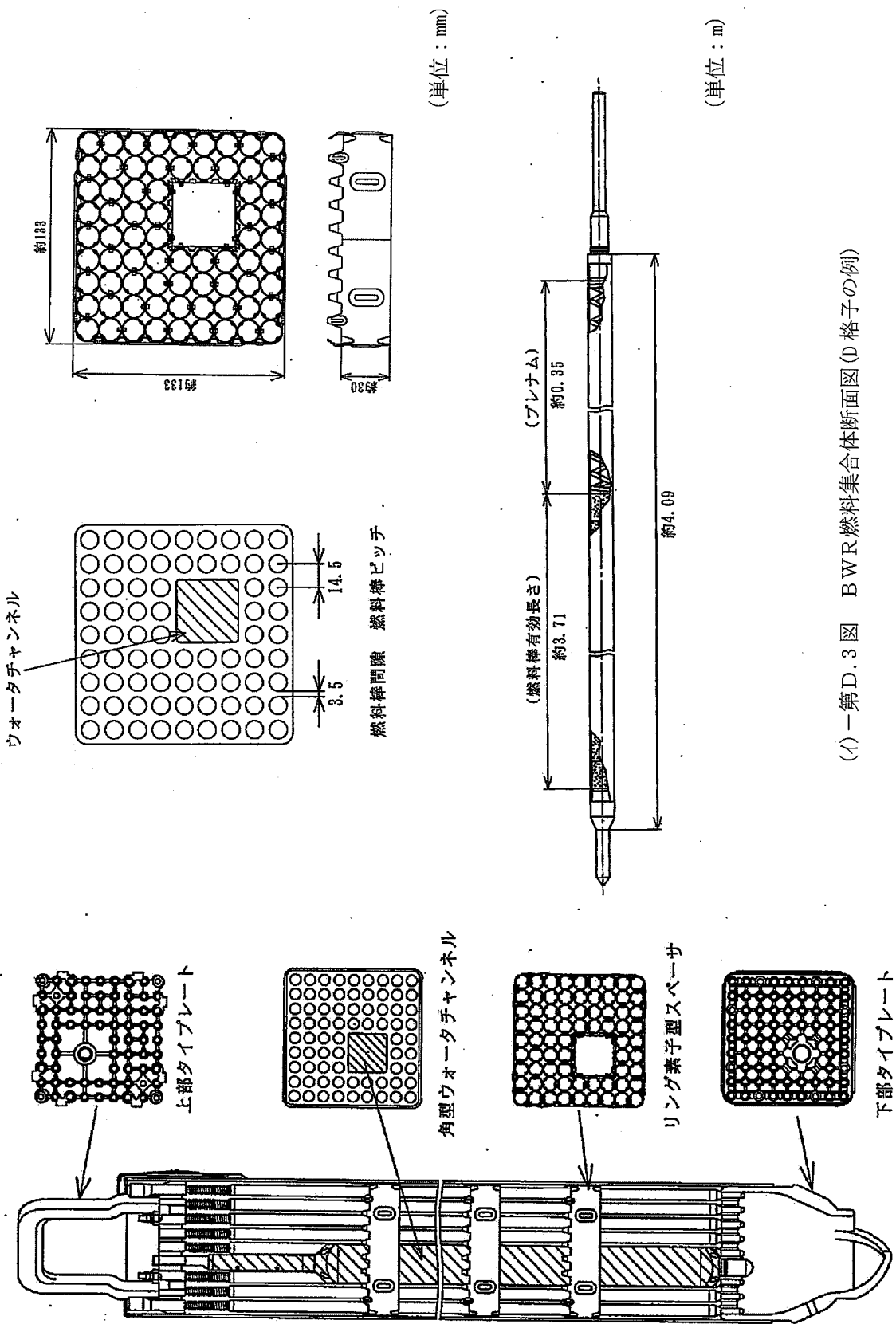
収納缶の仕様例を(イ)－第D.3表に、構造図の例を(イ)－第D.4図に示す。



(イ) - 第D.1図 BWR燃料集合体全体図



(イ) 第一D.2 図 BWR燃料集合体断面図(C格子の例)













(イ) 第一D.3 図 BWR燃料集合体断面図(D格子の例)

(イ)－第D.1表 燃料集合体の型式及び仕様例

燃料集合体の種類と型式 主要な燃料諸元	9×9 燃料
材 質	
燃 料	二酸化ウラン
被 覆 管	ジルカロイ-2 (ジルコニウム内張)
燃料密度 (理論密度比%)	約 <input type="text"/>
濃縮度 (wt%)	5.0 以下
形 状	
集合体長さ (mm)	約 <input type="text"/>
燃料有効長 (mm)	約 <input type="text"/>
燃料棒直径 (mm)	11.0
燃料棒ピッチ (mm)	14.5
集合体幅 (mm)	134
燃料棒本数	72
重 量	
燃料集合体重量 (kg) (チャンネルボックスを含む)	<input type="text"/> 以下
二酸化ウラン重量 (kg)	<input type="text"/> 以下
ウラン重量 (kg)	<input type="text"/> 以下
格子の種類	C 格子及び D 格子

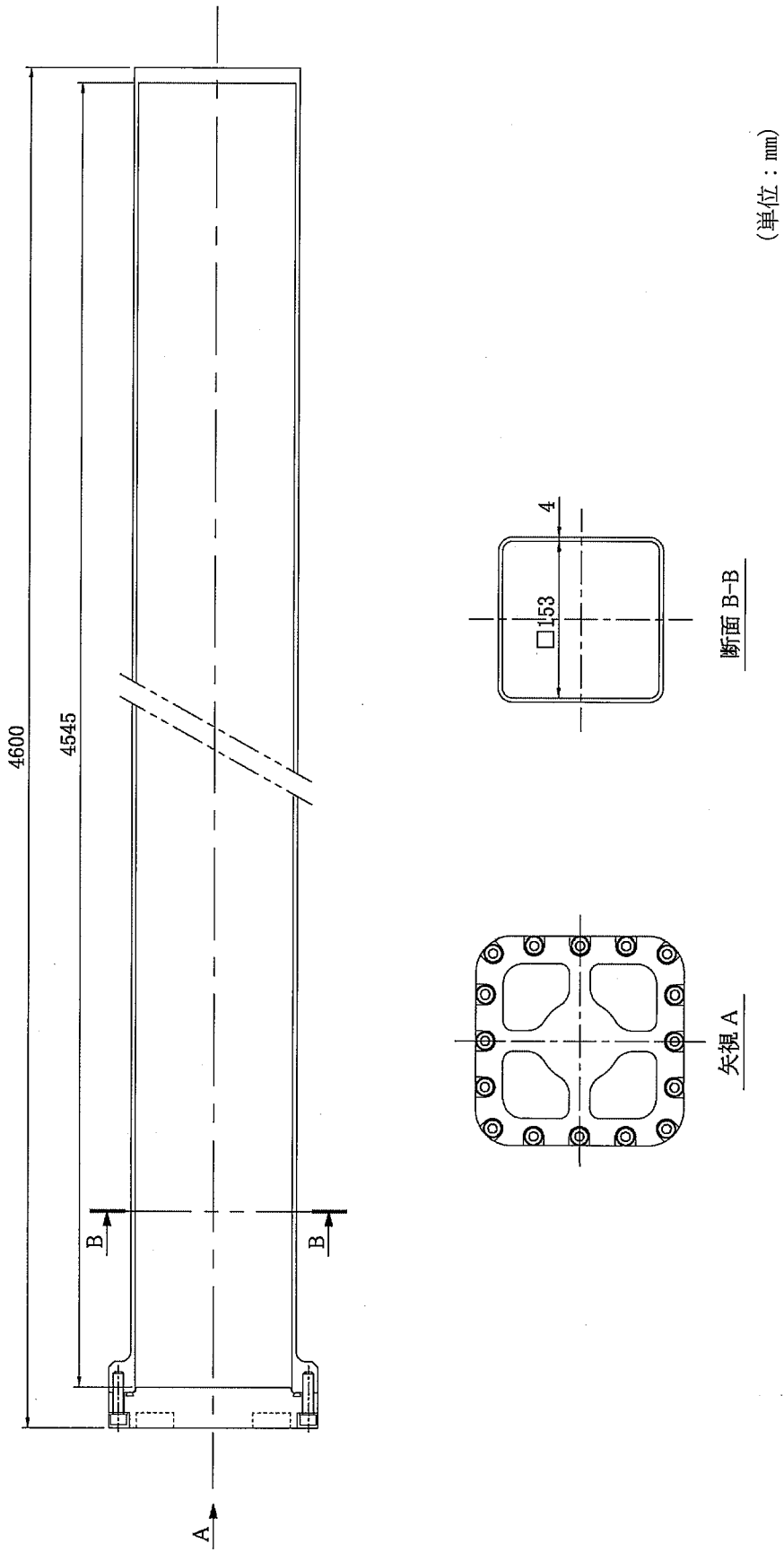
(イ) - 第D.2表 チャンネルボックスの仕様例

諸 元	仕 様	
	タイプ1	タイプ2
寸 法		
全 長 (mm)		
チャンネル幅 (mm)		
全 幅 (mm)		
チャンネル厚さ (mm)		
重 量		
全 重 量 (kg)		
材 質		
チャンネルボックス	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4

(イ) - 第D.3表 収納缶の仕様例

項目	仕様
寸法	
全長 (mm)	4600
内部長さ (mm)	4545
胴横断面内法 (mm)	153
胴板厚 (mm)	4
重量	
全重量 (kg)	<input type="text"/>
材質 ¹⁾	
胴	ステンレス鋼
底板	ステンレス鋼
蓋板	ステンレス鋼
胴フランジ	ステンレス鋼
蓋板ボルト	合金鋼
ガスケット	EPDM

注 1) ステンレス鋼は SUS304 又は相当品、合金鋼は SNB23-3 又は相当品を用いる。



(イ) 第D.4図 収納缶の構造図の例

(3) 燃料組成仕様

収納物の燃料組成仕様を(イ)－第D.4表に示す。

(イ)－第D.4表 収納物の燃料組成仕様

		燃料組成
^{235}U		$\leq 5.0 \text{ wt}\%$
^{238}U		残
濃縮ウラン中の 不純物 ¹⁾	^{232}U	$\leq \square \mu\text{g/gU}$
	^{234}U	$\leq \square \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$
	^{236}U	$\leq \square \mu\text{g/gU}$
	^{99}Tc	$\leq \square \mu\text{g/gU}$

注1) ただし、 ^{236}U が $\square \mu\text{g/gU}$ 未満の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外

(4) 主要な核種の放射性物質の量

収納物のうち、燃料集合体の燃料（ウラン）の部分に含まれる主要な核種について、放射能の量の算定に使用する比放射能と算定された放射能の量をそれぞれ(イ)－第D.5表と(イ)－第D.6表に示す。

(イ)－第D.5表 放射能の量の算定に使用する比放射能

主要な核種	比放射能 (Bq/g)	
	子孫核種を含まない ¹⁾	子孫核種を含む ²⁾
^{232}U	7.923×10^{11}	5.757×10^{12}
^{234}U	2.313×10^8	2.313×10^8
^{235}U	8.001×10^4	1.601×10^5
^{236}U	2.395×10^6	2.395×10^6
^{238}U	1.244×10^4	3.735×10^4
^{99}Tc	6.275×10^8	6.275×10^8

注1) 子孫核種を含まない比放射能 (Origen2 のデータベースより)

注2) 崩壊期間10年時点での子孫核種を含めた比放射能 (Origen2 による計算結果)

(イ)－第D.6表 主要な核種の放射能の量

主要な核種	放射能の量 ¹⁾ (GBq/基)	
	子孫核種を含まない	子孫核種を含む
^{232}U		
^{234}U		
^{235}U		
^{236}U		
^{238}U		
^{99}Tc		
合計		

注 1) 濃縮度が 5.0 wt% の場合

(イ)章 付属書類－1 輸送物の種類に関する補足説明

本輸送物の収納物は未使用のBWR燃料集合体であり、同燃料集合体に含まれるウランは濃縮度5%以下の未照射ウランである。

当該ウランは、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（以下、「告示」という）別表第一中の「U（未照射、かつ濃縮度20%以下のもの）」に該当し、当該ウランの特別形核燃料物質等以外の核燃料物質等である場合の数量（ A_2 値）は、「制限なし」である。

一方、収納物として追加した燃料集合体は、軽水炉型原子力発電所において汚染核種を含む瓦礫が付着した燃料集合体であり、この汚染核種として(ロ)－D遮蔽解析 D.6.1付属書類－1に示すように、主な核種としては ^{60}Co と ^{137}Cs （と子孫核種 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ）があり、その他に ^{63}Ni 、 ^{134}Cs 、 ^{90}Sr （と子孫核種 ^{90}Y ）が含まれている。また、(ハ)章輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法に示すように、燃料集合体は輸送容器への収納に際して、その表面の線量当量率を計測し、ある線量当量率以下となるように管理する（この線量当量率を管理基準と呼ぶ）。

(ロ)－D遮蔽解析D.6.3付属書類－3に示すように、燃料集合体表面での線量当量率が管理基準となる際、燃料集合体に付着している汚染核種の放射能の量を算出している。汚染核種の放射能の量が最も多くなる想定として、汚染核種のうち最も線量当量率への寄与の高い ^{60}Co を含まず、 ^{137}Cs 及びその他核種（ ^{63}Ni 、 ^{134}Cs 、 ^{90}Sr 、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 、 ^{90}Y ）のみとした条件で評価を実施し、これら汚染核種の放射能の量の合計を Bq と算出している。

このとき告示別表第四に定められる算式*に基づき、各核種（ ^{137}Cs 及び ^{63}Ni 、 ^{134}Cs 、 ^{90}Sr ）の放射能の量を、各核種の告示別表第一で定められる A_2 値で除した値の総和を計算し、この値が1よりも小さいことを確認している。したがって、本輸送物はA型輸送物に分類される。

また、本輸送物の収納物は、最大kgUの濃縮度5%以下のウランであり、輸送容器当たり最大kg ^{235}U の核分裂性核種が含まれ、核分裂性輸送物に該当する。

したがって、本輸送物はA型核分裂性輸送物に分類される。

*告示別表第四：「種類が二種類以上であり、かつ、種類の全部又は一部が明らかである放射性物質の場合の数量の限度」における「放射性物質の種類の一部及び種類別の数量の一部が明らかな場合」の「数量」に記載の算式

(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年総理府令第57号）」（以下「規則」という。）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年科学技術庁告示第5号）」（以下「告示」という。）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う。

本解析の概要は以下のとおりである。

1. 構造解析

構造解析では、A型輸送物に係る技術上の基準に適合することを確認するため、通常の輸送及び取扱いにおいて本輸送物に損傷が生じるおそれがないことを評価するとともに、A型輸送物に係る一般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。これらの結果は、A型輸送物に係る一般の試験条件における密封解析及び遮蔽解析の前提条件となっている。

さらに、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確認するため、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おり、これらの結果は、熱解析の結果とともに臨界解析の前提条件となっている。

2. 熱解析

熱解析では、安全側にBM型輸送物に係る一般の試験条件に規定された太陽放射熱の条件を考慮した評価を実施している。これらの結果は、構造解析及び密封解析での一部の前提条件となっている。

さらに、前記の構造解析（核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件の落下試験）での輸送物の損傷状態を考慮して、核分裂性輸送物に係る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ている。これらの結果は、構造解析（核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の熱的試験）の前提条件となっているほか、構造解析の結果とともに臨界解析の前提条件となっている。

3. 密封解析

密封解析では、前記の構造解析及び熱解析の結果を踏まえ、A型輸送物に係る一般の試験条件において密封装置の健全性が維持されることを確認し、A型輸送物に係る技術上の基準を満足することを示している。

4. 遮蔽解析

遮蔽解析では、通常輸送時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するとともに、前記の構造解析の結果を考慮して、A型輸送物に係る一般の試験条件における輸送物表面の線量当量率を評価し、A型輸送物に係る技術上の基準を満足することを示している。

5. 臨界解析

臨界解析では、前記の構造解析及び熱解析で明らかとなった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損傷状態を考慮して、通常輸送時における輸送物、孤立系における輸送物並びに核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件下における孤立系及び配列系輸送物のいずれの場合にも臨界に達することはなく、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している。

なお、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容器の損傷及び収納物の変形については、臨界解析モデルにおいて十分に保守的な条件を仮定しており、安全側の評価になっている。

6. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

使用予定期間に想定される使用状況において、核燃料輸送物を構成する部材の材料に対して、経年変化の要因とその影響について評価を行い、熱、放射線及び化学変化の要因による経年変化については、技術上の基準に適合していることを確認するうえで、その影響は考慮する必要がないことを示している。

また、繰返し荷重の要因による経年変化については、吊上げによる荷重、内外圧差による荷重、蓋ボルトの締付けによる荷重が核燃料輸送物を構成する各部材に作用するため、各部材の疲労を考慮する必要がある。使用予定回数及び各部材の材料を踏まえて疲労を評価したところ、各部材に疲労による破壊が生じる恐れはないため、技術上の基準に適合していることへの影響はないことを示している。

7. 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

以上の結果及び(i)章の核燃料輸送物の説明を総合して、本輸送物の設計が規則及び告示に定める技術上の基準に適合していることを示している。

以下、(ロ)－A～Gに各解析、評価の詳細を示す。

(□) - A 構造解析

(ロ)－A 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概 要

輸送物の安全な取扱いに必要な基本的構造及び構成は、以下のとおりである。

本輸送容器は、(イ)－第C.2 図に示すように、内筒、胴外板、胴ガセット及び上部フランジで構成される胴部と底板からなる本体、蓋板締付けボルトにより上部フランジに固定される蓋板、並びに 10 体のBWR燃料集合体を収納するバスケット、さらに落下などによる機械的衝撃を緩和するための前部及び後部衝撃吸収カバーとで構成される。

輸送容器は密封容器になっており、本体と蓋板の接合部の密封性は二重のガスケットにより保たれるようになっている。

また、その他の密封境界として、クイックコネクションを取付けた蓋板の貫通部は、(イ)－第C.10 図に示すように、クイックコネクションカバーガスケットで密封性が保たれる構造となっている。

なお、本体と蓋板接合部における蓋板締付けボルト、クイックコネクションカバーの取付けボルトは、(イ)－第C.3 図に示すように、輸送中は前部衝撃吸収カバーで覆われているため、不用意に開けられることはない。

(イ)－第C.5 図及び(イ)－第C.6 図に示すように、輸送容器の前部及び後部にはそれぞれ 2 組及び 1 組のトラニオンが取付けられており、輸送容器の吊上げ、立起こし及び横倒し操作が容易にかつ安全に実施できる構造となっている。

また、胴部の前部及び後部にはそれぞれ 1 個のハンドリングベルトが取付けられており、輸送容器の水平吊り操作が容易にかつ安全に実施できる構造となっている。

容器内部に設置されるバスケットは、燃料集合体が互いに接触して損傷したり、また、1 箇所に集合して臨界に達したりする危険性を防止するため、(イ)－第C.11 図に示すように、10 個のロジメントを配置し支持する構造となっている。

収納物である燃料集合体は、(イ)－第D.1 表に示すとおり、格子の種類として 2 種類あるが (C 格子及び D 格子)、主要な諸元は同じである。また、燃料集合体は、収納缶に梱包された状態で、輸送容器内ロジメントに設置される。収納缶は、収納物の質量として評価で考慮している。質量以外の要因で考慮する場合は、各評価の説明において、考慮の条件を示す。

本解析では、法令に定める各試験条件における輸送容器の挙動を評価し、次項に述べる設計基準に適合することを示す。

A.1.2 設計基準

告示の要件に従い、構成部品の材質、形状及び荷重条件を考慮して、各解析項目に適用する評価基準を設定する。

(1) 評価基準

各試験条件及び解析項目に応じて定めた評価基準を以下に示す。

a. 輸送物の要件（吊上装置及び固縛装置）

- ① 応力強さ（主応力の差の絶対値）が降伏応力以下であること。
- ② 吊上装置について疲労評価を行い、算定された許容繰返し回数が想定繰返し回数以上であること。

b. 一般の試験条件

(a) 熱的試験

- ① 蓋板締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq \frac{2}{3} S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

ここで、 σ_m ：平均引張応力 σ_b ：曲げ応力 S_y ：設計降伏応力

また、疲労評価を行い、算定された許容繰返し回数が想定繰返し回数以上であること。

- ② 蓋板締付けボルト以外の部品については、発生応力を分類してそれぞれの応力強さに対して以下の基準を適用する。

$$P_m \leq \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

$$P_L, P_L + P_b \leq 1.5 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

$$P_L + P_b + Q \leq 3 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

ここで、 P_m ：一次一般膜応力強さ P_L ：一次局部膜応力強さ

P_b ：一次曲げ応力強さ Q ：二次応力強さ

S_u ：設計引張応力

- ③ 密封シール部の部品については、応力強さが降伏応力を超えないこと。
- ④ バスケットについては、拘束による熱応力が生じないこと。

(b) 水噴霧

- ① 水の吹き付けに耐えうること。

(c) 自由落下

- ① 蓋板締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② 蓋板締付けボルト以外の部品については、他の解析で考慮を要するような形状変化が生じないこと。
- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(d) 積み重ね試験

- ① 本体胴部に発生する応力強さが降伏応力を超えないこと。

(e) 貫通

- ① 胴外板に貫通が生じないこと。

c. 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

(a) 水噴霧

- ① 水の吹き付けに耐えうること。

(b) 自由落下

- ① 容器本体及びバスケットについて、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。
- ② 蓋板締付けボルトについては、破断しないこと。
- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(c) 積み重ね試験

- ① 本体胴部について、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

(d) 貫通

- ① 臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

d. 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

(a) 強度試験・落下試験 I (9m落下時)

- ① 容器本体及びバスケットについて、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。
- ② 蓋板締付けボルトについては、破断しないこと。
- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(b) 強度試験・落下試験Ⅱ (1m落下時)

- ① 容器本体及びバスケットについて、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。
- ② 燃料被覆管については、破断しないこと。

(c) 熱的試験

- ① 容器本体及びバスケットについて、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。
- ② 蓋板締付けボルトについては、破断しないこと。
- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(d) 浸漬 (0.9m)

- ① 臨界の評価において浸水をあらかじめ想定する。

以上の各試験条件及び解析項目に応じた評価基準を(ロ)－第A.1表にまとめる。

(2) 負荷の組合せ条件

負荷の組合せ条件は、設計条件に従い、各解析項目に対して(ロ)－第A.2表に示すとおりとする。

(3) 余裕率

解析結果のうち定量的な設計基準値のあるものについては、次に示す余裕率(MS)を用いて評価する。

$$\text{余裕率(MS)} = \frac{\text{設計基準値}}{\text{解析結果}} - 1$$

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等をまとめて(ロ)－第A.3表 (1/7) ～(ロ)－第A.3表 (7/7) に示す。

(p) - 第 A.1 表 構造解析に用いる評価基準 (1/2)

条件	解析項目	評価部位	評価基準		
			一次応力強さ	一次+二次 応力強さ	一次+二次+ びく応力強さ
輸送物の要件	吊上装置	トラニオン	$\leq S_y$	—	使用回数 $\leq N_a$
		ハンドリングベルト	$\leq S_y$	—	使用回数 $\leq N_a$
	固縛装置	胴 部	$\leq S_y$	—	—
	圧 力	輸 送 物	外気圧の変動に耐えうること		
	振 動	輸 送 物	輸送中の振動に耐えうること		
一般の試験条件	熱的試験	本体、蓋板	$P_m \leq \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ PL, PL+Pb $\leq 1.5 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ PL+Pb+Q $\leq 3 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$	—	
		密封シール部	$\leq S_y$	—	
		蓋板締付けボルト	$\sigma_m \leq \frac{2}{3} S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$	使用回数 $\leq N_a$	
		バスケット	拘束による熱応力が生じないこと		
	水噴霧	輸 送 物	水の吹き付けに耐えうること		
	自由落下	本体、蓋板 バスケット	他の解析で考慮を要するような形状変化が生じないこと		
		蓋板締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$	—	—
		燃料被覆管	破断のないこと		
	積み重ね試験	本 体	$\leq S_y$	—	—
	貫 通	胴 外 板	耐貫通強度		

P_m : 一次一般膜応力 PL : 一次局部膜応力 Pb : 一次曲げ応力 Q : 二次応力
 N_a : 許容繰返し回数 σ_m : 平均引張応力 σ_b : 曲げ応力

(ロ) ー第A.1表 構造解析に用いる評価基準 (2/2)

条件	解析項目	評価部位	評価基準
核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	水噴霧	輸送物	水の吹き付けに耐えること
	自由落下	本体、蓋板 バスケット	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		蓋板締付けボルト	破断のないこと
		燃料被覆管	破断のないこと
	積み重ね試験	本体	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
	貫通	胴外板	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	落下試験Ⅰ (9m落下時)	本体、蓋板 バスケット	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		蓋板締付けボルト	破断のないこと
		燃料被覆管	破断のないこと
	落下試験Ⅱ (1m落下時)	本体、蓋板 バスケット	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		燃料被覆管	破断のないこと
	熱的試験	本体、蓋板 バスケット	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		蓋板締付けボルト	破断のないこと
		燃料被覆管	破断のないこと

(ロ) 第A.2表 負荷の組合せ (1/2)

条 件	解析項目	評価部位	負荷条件			
			重量	圧力	熱膨張	その他
輸 送 物 の 要 件	吊上装置	トラニオン	○	—	—	○ (初期締付力)
		ハドリングベルト	○	—	—	○ (初期締付力)
	固縛装置	胴 部	○	○	—	—
	圧 力	輸 送 物	—	△	—	—
	振 動	輸 送 物	—	—	—	△
一 般 の 試 験 条 件	熱的試験	本体、蓋板	—	○	○	—
		蓋板締付けボルト	—	○	○	○ (初期締付力)
		バスケット	—	—	△	—
	水噴霧	輸 送 物	—	—	—	△
	自由落下	本体、蓋板 バスケット	△	—	—	—
		蓋板締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		燃料被覆管	○	○	—	—
	積み重ね試験	本 体	△	—	—	—
貫 通	胴 外 板	—	—	—	△	

○：負荷の組合せによる評価 △：単一負荷による評価

(ロ) 第A.2表 負荷の組合せ (2/2)

条件	解析項目	評価部位	負荷条件			
			重量	圧力	熱膨張	その他
核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	水噴霧	輸送物	—	—	—	△
	自由落下	本体、蓋板 バスケット	△	—	—	—
		蓋板締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		燃料被覆管	○	○	—	—
	積み重ね試験	本体	△	—	—	—
	貫通	胴外板	—	—	—	△
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	落下試験Ⅰ (9m落下時)	本体、蓋板 バスケット	△	—	—	—
		蓋板締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		燃料被覆管	○	○	—	—
	落下試験Ⅱ (1m落下時)	本体、蓋板 バスケット	△	—	—	—
	熱的試験	本体、蓋板	—	○	○	—
		蓋板締付けボルト	—	○	○	○ (初期締付力)
		バスケット	—	—	△	—
		燃料被覆管	—	△	—	—

○：負荷の組合せによる評価 △：単一負荷による評価

(ロ) 第A.3表 構造解析の解析条件と解析方法 (1/7)

条 件	項 目	解 析 条 件				解 析 方 法			備 考
		参 照 図	材 質	温 度 (°C)	負 荷 種 類	指 標	適 用 数 式 又 は 要 素	評 価 基 準	
	[化学的及び電気的反応]	—	—	—	腐 食	活性電位差	—	化学的及び電気的 反応が生じないこと	A.4.1
	[低温強度]	—	ステンレス鋼等	-40	低 温	材 料 劣 化	—	強度の維持	A.4.2
	[密封装置]								
	1. 蓋 板	(イ)-第C.10図	チタン合金	—	誤操作による 開放	誤操作の 可否	前部衝撃吸収カバ―が 取付けられた状態での 誤操作の可否	誤操作により開放され ないこと	A.4.3
	2. クイックコネクション カバ―	(イ)-第C.10図	ステンレス鋼	—					
	[吊上装置]								
	1. トラニオン	(ロ)-第A.2図	ステンレス鋼	70	輸送物の重量	応力強さ	$S = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$	Sy	A.4.4
	1) トラニオン円筒部	—	合 金 鋼	70	輸送物の重量 初期締付力	引張応力 疲労評価	$\sigma_1 = \frac{M}{Z} \sigma_2 = T \cdot k \quad \sigma_T = \sigma_1 + \sigma_2$ 許容繰返し回数	Sy	
	2) トラニオン取付けボルト	—	ステンレス鋼	70	輸送物の重量	応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力	Sy	
	2. ハンドリングベルト	(ロ)-第A.3図~ (ロ)-第A.8図 (ロ)-第A.9図~ (ロ)-第A.14図	ステンレス鋼 ステンレス鋼 ステンレス鋼	70 70 70	輸送物の重量 輸送物の重量 輸送物の重量	応力強さ 応力強さ 応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力 膜応力、膜応力+曲げ応力 $\tau = \frac{F}{2 \cdot \pi d^2/4} \quad S = 2\tau$	Sy Sy Sy	
	3) 吊りハンドルの取付けピン	—	合 金 鋼	70	輸送物の重量 初期締付力	引張応力 疲労評価	$\sigma_1 = \frac{F}{\pi d^2/4} \quad \sigma_2 = T \cdot k \quad \sigma_T = \sigma_1 + \sigma_2$ 許容繰返し回数	Sy 想定繰返し回数以上	
	4) 連結ボルト	—	合 金 鋼	70	輸送物の重量 初期締付力	引張応力 疲労評価	許容繰返し回数	想定繰返し回数以上	
	[固縛装置]								
	本体胴部	(ロ)-第A.15図 ~ (ロ)-第A.19図	ステンレス鋼	70	輸送物の重量 内外圧力差	応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力	Sy	A.4.5
	縦方向 2G								
	横方向 2G								
	垂直方向 2G(上方) 3G(下方) (自重を含む)								

(P) - 第 A.3 表 構造解析の解析条件と解析方法 (2/7)

条 件	項 目	解 析 条 件				解 析 方 法			備 考
		参 照 図	材 質	温 度 (°C)	負 荷 種 類	指 標	適 用 数 式 又 は 要 素	評 価 基 準	
	[圧 力]	—	—	—	内外圧力差	—	—	損傷が生じないこと	A.4.6
	[振 動]	(P)-第 A.20 図 ~ (P)-第 A.23 図	ステンレス鋼	70	輸送中の振動	—	固有振動数	共振しないこと	A.4.7
	[熱的試験]								
一 般 の 試 験 条 件	1. 本体、蓋板	(P)-第 A.24 図 ~ (P)-第 A.28 図	ステンレス鋼 チタン合金	70	内圧、温度分布 及び初期縮付力	1	応力強さ	$\left[\begin{array}{l} P_m \\ PL, PL+Pb \\ PL+Pb+Q \end{array} \right.$ $\text{Min. } \left\{ \frac{1}{3} Su, \frac{2}{3} Sy \right\}$ $1.5 \times \text{Min. } \left\{ \frac{1}{3} Su, \frac{2}{3} Sy \right\}$ $3 \times \text{Min. } \left\{ \frac{1}{3} Su, \frac{2}{3} Sy \right\}$	A.5.1 密封シール 部は Sy
	2. 蓋板縮付けボルト	(P)-第 A.24 図 ~ (P)-第 A.28 図	合金鋼	70	同上	1	引張応力 組合せ応力 疲労評価	$\frac{2}{3} Sy$ Sy 想定繰返し回数以上	
	3. バスケット 1) バスケットと本体の 熱膨張	—	ステンレス鋼 アルミニウム合金	70/70	熱膨張	1	膨張差	$\Delta L = (L_1 - L_2) + (\Delta L_1 - \Delta L_2)$ $\Delta D = (D_1 - D_2) + (\Delta D_1 - \Delta D_2)$	軸及び半径方向の 隙間：0mm 以上
	[水噴霧]	—	ステンレス鋼 塗装	—	水噴霧	—	吸水性 水切り性	無 良好	A.5.2

(ロ) - 第A.3表 構造解析の解析条件と解析方法 (3/7)

条 件	項 目	解 析 条 件			解 析 方 法			備 考
		参 照 図	材 質	温 度 (°C)	指 標	適 用 数 式 又 は 要 素	評 価 基 準	
一 般 の 試 験 条 件	[自由落下] 1. 衝撃吸収カバ-変形量 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コ-ナ-落下 2. 本体及び蓋板 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コ-ナ-落下 3. 蓋板締付けボルト 1) 前部垂直落下 2) 水平落下 3) 前部コ-ナ-落下 4. バスケット 1) 水平落下 5. 燃料被覆管	(ロ)-第A.29図~ (ロ)-第A.32図	ステンレス鋼 材	-	変形量	落下方向最大変位	-	A.5.3
		(ロ)-第A.29図~ (ロ)-第A.31図、 (ロ)-第A.33図	ステンレス鋼 チタン合金	70	塑性歪	最大塑性歪、歪分布	密封性能の維持及び他の解析で考慮を要する形状変化のないこと	
		(ロ)-第A.29図~ (ロ)-第A.31図	合金鋼	70	引張応力 組合せ応力	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	Sy Sy	
		(ロ)-第A.34図~ (ロ)-第A.37図	ポロン入り ステンレス鋼 アルミニウム合金	70	塑性歪	最大塑性歪、歪分布	他の解析で考慮を要する形状変化のないこと	
		(ロ)-第A.38図~ (ロ)-第A.41図	ジルカロイ2	70	塑性歪	最大塑性歪	破断のないこと	
A.5.4	[積み重ね試験] 1. 縦置き 2. 横置き	(ロ)-第A.42図~ (ロ)-第A.44図	ステンレス鋼	70	応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力	Sy	
		(ロ)-第A.45図~ (ロ)-第A.47図	ステンレス鋼	70	応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力	Sy	
		(ロ)-第A.48図	ステンレス鋼	70	貫通に必要なエネルギー	$W_p = m g h$ $W = \int_0^t \tau_{cr} \pi d (t - y) dy$	$W_p < W$	A.5.5

(ロ) 第A.3表 構造解析の解析条件と解析方法 (4/7)

条 件	項 目	解 析 条 件				解 析 方 法				備 考	
		参 照 図	材 質	温 度 (°C)	負 種	荷		指 標	適 用 数 式 又 は 要 素		評 価 基 準
						負 類	負 荷 係 数				
放射 性 収 納 物	[燃料破覆管の強度]							(ロ)章及びA.9を引用して評価)		A.8	
	[水噴霧]	—	ステンレス鋼 塗装	—	水 噴 霧	—	—	吸水性 水切り性	無 良好	A.9.1	
	[自由落下] 1. 衝撃吸収カバー変形量 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナラー落下 2. 本体及び蓋板 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナラー落下 3. 蓋板締付けボルト 1) 前部垂直落下 2) 水平落下 3) 前部コーナー落下 4. バスケット 1) 水平落下 5. 燃料破覆管	(ロ)-第A.29図～ (ロ)-第A.32図 (ロ)-第A.29図～ (ロ)-第A.31図、 (ロ)-第A.33図 (ロ)-第A.29図～ (ロ)-第A.31図 (ロ)-第A.34図～ (ロ)-第A.37図 (ロ)-第A.38図～ (ロ)-第A.41図	ステンレス鋼 []材 ステンレス鋼 チタン合金 合 金 鋼 ポロン入り ステンレス鋼 アルミニウム合金 ジルカロイ2	— 70 70 70	衝 突 速 度 衝 突 速 度、初 期 締 付 力 同 上 衝 突 速 度、本 体 速 度 履 歴 衝 突 速 度、本 体/ バ ス ケ ッ ト 速 度 履 歴、内 圧	1 1 1 1 1	変 形 量 塑 性 歪 引 張 応 力 組 合 せ 応 力 塑 性 歪 塑 性 歪	落 下 方 向 最 大 変 位 最 大 塑 性 歪、歪 分 布 σ_m $\sigma_m + \sigma_b$ 最 大 塑 性 歪、歪 分 布 最 大 塑 性 歪	臨 界 解 析 で 考 慮 を 要 す る 形 状 変 化 を 明 ら か に す る 臨 界 解 析 で 考 慮 を 要 す る 形 状 変 化 を 明 ら か に す る 破 断 の な い こ と 破 断 の な い こ と 臨 界 解 析 で 考 慮 を 要 す る 形 状 変 化 を 明 ら か に す る 破 断 の な い こ と	A.9.1	

(ロ) - 第A.3表 構造解析の解析条件と解析方法 (5/7)

条 件	項 目	解 析 条 件				解 析 方 法			備 考	
		参 照 図	材 質	温 度 (°C)	負 荷		指 標	適 用 数 式 又 は 要 素		評 価 基 準
					種 類	負 荷 係 数				
核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	〔積み重ね試験〕 1. 縦置き 2. 横置き	(ロ)-第A.42図~ (ロ)-第A.44図	ステンレス鋼	70	輸送物重量の5倍	1	応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力	Sy	A.9.1
		(ロ)-第A.45図~ (ロ)-第A.47図	ステンレス鋼	70	自重の6倍の慣性力を負荷	1	応力強さ	膜応力、膜応力+曲げ応力	Sy	
	〔貫通〕	(ロ)-第A.48図	ステンレス鋼	70	落下エネルギー	—	貫通に必要なエネルギー	$W_p = mgh$ $W = \int_0^t \tau \sigma \pi d(t-y) dy$	$W_p < W$	A.9.1

(ロ) 第A.3表 構造解析の解析条件と解析方法 (6/7)

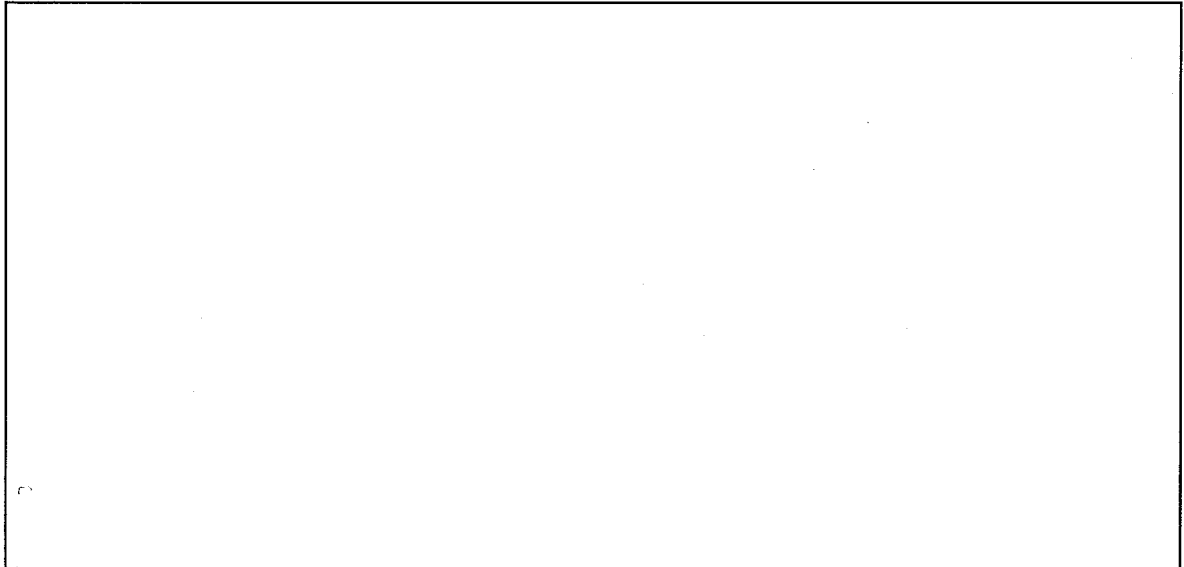
条件	項目	参照図	材質	温度 (°C)	解析条件		指標	適用数式又は要素	解析方法	評価基準	備考
					負種類	荷負荷係数					
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	[落下試験Ⅰ] 1. 衝撃吸収カバ変形量 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナ一落下 4) 傾斜落下 2. 本体及び蓋板 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナ一落下 4) 傾斜落下 3. 蓋板締め付けボルト 1) 前部垂直落下 2) 水平落下 3) 前部コーナー一落下 4) 傾斜落下 4. パスケット 1) 水平落下 5. 燃料被覆管 [落下試験Ⅱ] 1. 前部垂直落下 1) 蓋板直撃 2. 後部垂直落下 1) 底板直撃 3. 水平落下 1) 胴部直撃	(p)-第A.49図～ (p)-第A.54図	ステンレス鋼 []材	—	衝突速度	1	変形量	落下方向最大変位	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする	A.9.2	
		(p)-第A.55図～ (p)-第A.59図	ステンレス鋼 チタン合金	70	衝突速度、初期 締付力	1	塑性歪	最大塑性歪、歪分布	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする		
		—	合金鋼	70	同上	1	引張応力 組合せ応力	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	破断のないこと 破断のないこと		
		(p)-第A.60図～ (p)-第A.62図	ボロン入り ステンレス鋼 アルミニウム合金	70	衝突速度、本体 速度履歴	1	塑性歪	最大塑性歪、歪分布	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする		
		(p)-第A.63図～ (p)-第A.66図	ジルカロイ2	70	衝突速度、本体/ バスケット速度 履歴、内圧	1	塑性歪	最大塑性歪	破断のないこと		
		—	ステンレス鋼 []材、レジン	—	軟鋼棒上への落下	1	損傷状態	[]モデル試験	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする		
		—	ステンレス鋼 []材、レジン	—	軟鋼棒上への落下	1	損傷状態	[]モデル試験	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする		
		(p)-第A.67図～ (p)-第A.74図	ステンレス鋼 レジン	—	軟鋼棒上への落下	1	損傷状態 変形状態	[]モデル試験 バスケットの最大変形	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする		

(ロ) 第一A.3表 構造解析の解析条件と解析方法 (7/7)

条 件	項 目	解 析 条 件						解 析 方 法		備 考
		参 照 図	材 質	温 度 (°C)	負 荷 種 類	負 荷 係 数	指 標	適 用 数 式 又 は 要 素	評 価 基 準	
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	[熱的試験] 1. 本体、蓋板 2. 蓋板締め付けボルト 3. バスケット 1) バスケットと本体の熱膨張差 4. 燃料被覆管 [浸漬 (0.9m)]	(ロ)-第A.75図～ (ロ)-第A.76図	ステンレス鋼 チタン合金		内圧、温度分布 及び初期縮付力	1	塑性歪	最大塑性歪	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする	A.9.2
		—	合金鋼		同上	1	引張応力 引張+曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	破断のないこと 破断のないこと	
		—	ステンレス鋼 アルミニウム合金		熱膨張	1	膨張差	$\Delta L = (L_1 - L_2) + (\Delta L_1 - \Delta L_2)$ $\Delta D = (D_1 - D_2) + (\Delta D_1 - \Delta D_2)$	臨界解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする	
		—	ジルカロイ2		内圧	1	応力強さ	$S = \max(\sigma_\theta - \sigma_z , \sigma_z - \sigma_r , \sigma_\theta - \sigma_r)$	破断のないこと	
		—	—	—	—	—	—	—	(臨界解析で水の浸入を 考慮している)	A.9.2

A.2 重量及び重心

輸送容器及び収納物の総重量、各構成部品の重量は、(イ)一第C.4表に示すとおりである。また、輸送物の重心位置は、(ロ)一第A.1図に示すとおりである。



(ロ)一第A.1図 重心の位置

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)一第A.4表に示す。

なお、A.4.2及び熱解析に示すように、規則で定められている -40°C から 70°C の温度範囲は、本輸送容器の構成部品の使用可能な温度の範囲にあり、これらの温度範囲において構成部品に亀裂、破損の生じるおそれはない。

(ア) - 第A.4表 材料の機械的性質 (1/3)

材 料	部 品	設計降伏応力 (温度) [MPa] (°C)	設計引張応力 (温度) [MPa] (°C)	伸び (温度) [%] (°C)	ポアソン 比 ²⁾	密度 [10 ³ kg/m ³]	縦弾性係数 (温度) [10 ⁵ MPa] (°C)	線膨張係数 (温度) [1/°C×10 ⁻⁶] (°C)
ステンレス鋼	内筒	[]	[]	[]	0.3	7.8	[]	[]
	胴ガセット 胴外板							
	上部フラランジ 底板							
チタン合金	ハンドリングベルト ・ 上部/下部ベルト ・ 吊りハンドル ・ 吊りハンドル 取付けピン	[]	[]	-	-	-	[]	[]
	トラニオン	[]	[]	-	-	-	[]	[]
ステンレス鋼	蓋板	[]	[]	[]	0.3	4.42	[]	[]
	衝撃吸収カバー外板、 []	[]	[]	[]	0.3	7.9	[]	-

注1) 設計要求仕様値

注2) 代表値

注3) 落下解析に用いた応力-歪関係はA.10.2 付属書類-2に示す。

(□) — 第 A. 4 表 材料の機械的性質 (2/3)

材 料	部 品	1) 設計降伏応力 (温度) [MPa] (°C)	1) 設計引張応力 (温度) [MPa] (°C)	1) 伸び (温度) [%] (°C)	2) ポアソン 比	密度 [10 ³ kg/m ³]	縦弾性係数 (温度) [10 ⁵ MPa] (°C)	線膨張係数 (温 度) [1/°C×10 ⁻⁶] (°C)
合 金 鋼	蓋板縮付けボルト	□	—	—	0.3	7.75	□	□
	トラニオン取付けボルト		—	—	—			
	ハンドリングベルト 連結ボルト		—	—	0.3			
□材	緩衝材 ³⁾	—	—	—	—	□ ¹⁾	—	—

注 1) 設計要求仕様値

注 2) 代表値

注 3) 落下解析に用いた応力-歪関係は A. 10. 2 付属書類-2 に示す。

(ロ) - 第 A. 4 表 材料の機械的性質 (3/3)

材 料	部 品	1) 設計降伏応力 (温度) [MPa] (°C)	1) 設計引張応力 (温度) [MPa] (°C)	1) 伸び (温度) [%] (°C)	2) ポアソン 比	密度 [10 ³ kg/m ³]	縦弾性係数 (温度) [10 ⁵ MPa] (°C)	線膨張係数 (温度) [1/°C×10 ⁶] (°C)
ボロン入り ステンレス鋼	ロジメント (バスケット)				0.3	7.8		-
					0.3	2.78		
アルミニウム合金					0.3	2.78		
					0.3	2.78		
	アルミスペーサー (バスケット)				0.3	2.70		

注 1) 設計要求仕様値

注 2) 代表値

A.4 核燃料輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器及び輸送容器と収納物の間で接触する異種材料の一覧を(□)－第A.5表に示す。輸送物は乾式で輸送されることから、接触する異種材料間において、化学的及び電氣的反応は生じず、腐食等も発生しない。なお、レジン (□レジン) は、容器本体の胴部、蓋部及び底部にそれぞれ密閉されており、雨水等にさらされることはない。また、レジン、EPDM 及びエラストマー¹⁾がステンレス鋼と接触しても化学的反應は生じない。輸送容器及び収納物の各構成部品に使用される材料は、本輸送物の輸送中に予想される温度範囲を包含する－40℃から一般の試験条件における最高温度 (70℃) において化学的に安定している。

(□)－第A.5表 接触する異種材料の一覧

接触する異種材料	接触する部品
ステンレス鋼 — チタン合金	上部フランジ — 蓋板
ステンレス鋼 — □	内筒、胴ガセット、胴外板 — □プレート
ステンレス鋼 — □レジン	内筒、胴ガセット、胴外板 — 胴部レジン 蓋部レジンカバー — 蓋部レジン、底部レジンカバー — 底部レジン、底板 — 底部レジン
チタン合金 — 合金鋼	蓋板 — 締付けボルト
ステンレス鋼 — 合金鋼	衝撃吸収カバー、上部フランジ、クイックコネクションカバー — 締付けボルト トラニオン — 取付けボルト
ステンレス鋼 — □材	衝撃吸収カバー外板、□ — 緩衝材 断熱カバー — 緩衝材
ステンレス鋼 — EPDM	上部フランジ、クイックコネクションカバー — ガスケット
ステンレス鋼 — エラストマー ¹⁾	胴外板、上部ベルト、下部ベルト — ライナー
チタン合金 — EPDM	蓋板 — ガスケット
ステンレス鋼 — アルミニウム合金	内筒 — バスケット、ロジメント — □ □、□、□
□ — □レジン	□プレート — 胴部レジン
ステンレス鋼 — ジルコニウム合金	収納缶 — 燃料集合体 (又はチャンネルボックス)

注 1) EPDM、バイトン又はシリコン

A.4.2 低温強度

(1) 構成部品の低温特性

(イ) 一第C.1表に示す輸送容器の使用材料は、 -40°C において脆性破壊や亀裂等を発生することはない。

(2) 低温時の強度

本体胴部を構成する内筒、胴ガセット、胴外板の[]ステンレス鋼及びバスケットのボロン入りステンレス鋼は、薄板であり脆性破壊による低温時の強度の低下は生じない。

(板厚が小さいほど脆性破壊が生じにくく、厚さが16 mm未満の薄肉材では破壊靱性試験を除外^[6]している。)

蓋板のチタン合金は極低温まで低温脆性を示さない材料である。^[7]

バスケットのアルミニウム合金及び衝撃吸収カバー等の[]ステンレス鋼は低温脆性を示さない材料である。

本体の上部フランジと底板の[]ステンレス鋼鍛造材及び蓋板締付けボルトの合金鋼は低温脆性を示す材料であるが、 -40°C における衝撃試験を行い必要な靱性を有する材料が使用される。

蓋板ガスケットの材料であるEPDMは、 -40°C において使用可能である。^[8]

緩衝材の材料である[]材は、低温においても強度劣化はなく -40°C において使用可能である。^[9]

以上より、一般の試験条件及び特別の試験条件において、本輸送容器は低温におい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

輸送容器の蓋板及び蓋板締付けボルトは、通常輸送時において(イ)一第C.3図に示すように前部衝撃吸収カバーにより覆われている。また、蓋板のクイックコネクションを保護するクイックコネクションカバーは、同様に前部衝撃吸収カバーにより覆われている。したがって、輸送容器内部に対する開口部となる蓋板及びクイックコネクションカバーは、誤操作等により不用意に開放されることはない。

[]

[]

A.4.4 吊上装置

輸送物には、(イ)一第C.5図に示すように前部に4個(2対)、後部に2個(1対)のトラニオンが取付けられており、これらのトラニオンによって吊上げ操作が行われる。

トラニオンによる吊上げ操作には、前部1対と後部1対を使用する水平吊り、前部1対を使用する垂直吊りがある。

ここでは、後部のトラニオンに比べて径の小さい前部トラニオンを対象として、トラニオンに作用する荷重が最大となる垂直吊りした場合について評価を行う。¹⁾

また、輸送物には、(イ)一第C.3図に示すように胴部の前部及び後部にそれぞれ1個のハンドリングベルトが取付けられており、これらのハンドリングベルトによって水平吊り操作が行われるため併せて評価を行う。

なお、上記の吊上げ操作において、吊上装置であるトラニオン及びハンドリングベルトを取付けた本体側も荷重を受けるが、本体は十分な強度を有している。(付属書類-6参照)

(1) 応力評価

a. トラニオン

(a) 最大荷重

トラニオンに作用する最大荷重は、次の式により求められる。なお、トラニオンによって吊上げ操作を行う場合には、輸送物から衝撃吸収カバーが取外された状態であるが、輸送物の全体質量を用いてトラニオンに作用する最大荷重Fを算出する。

$$F = m \times g \times \frac{G}{N}$$

ここで、m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

G : 負荷係数 [3²⁾]

N : トラニオンの個数 [2]

したがって、

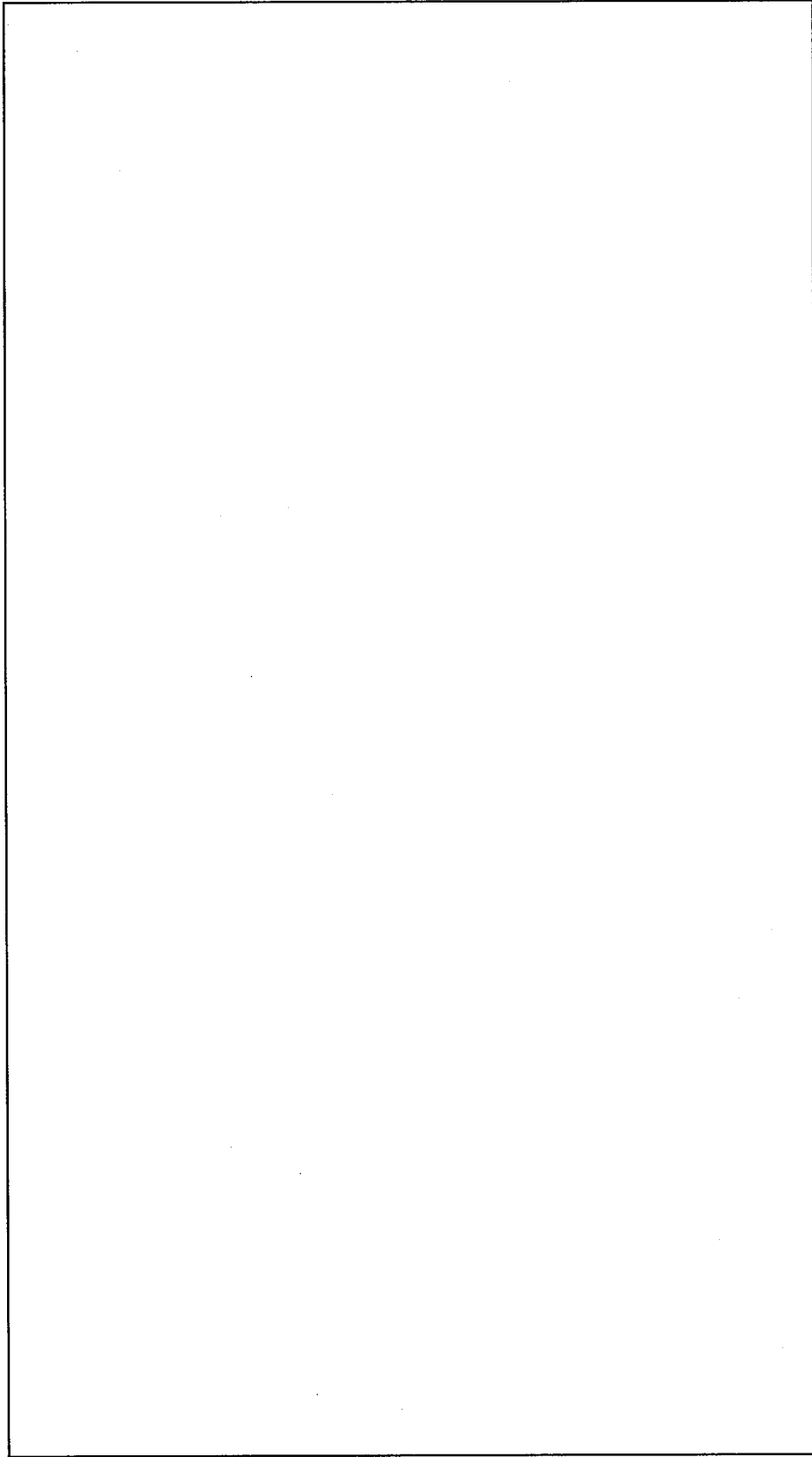
$$F = 2.87 \times 10^5 \text{ N}$$

(b) 応力計算

トラニオンの各部寸法及び荷重作用点を(ロ)一第A.2図に示す。

注1) 水平吊りにおける後部トラニオンについて評価すると、垂直吊りにおける前部トラニオンの方が厳しい結果となっている。(付属書類-5参照)

注2) 急激な吊上げ等を踏まえた安全係数。以降の評価についても同様に設定。



(単位：mm)

(ア) 第一A.2図 前部トランプの寸法と荷重作用点

i. トラニオン円筒部

トラニオン円筒部に発生する最大曲げ応力及びせん断応力は、はり理論を用いて次のように表わされる。

(i) 最大曲げ応力 (σ)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$M = F \times L$$

ここで、M : 曲げモーメント (N・mm)

F : トラニオン1個あたりに作用する最大荷重 [2.87×10^5 N]

L : F作用点と評価断面との距離

[断面 A-A: mm、断面 B-B: mm]

Z : 断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi}{32} D^3 \quad (D : \text{トラニオン円筒部の直径})$$

[断面 A-A: mm、断面 B-B: mm]

(ii) せん断応力 (τ)

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで、F : トラニオン1個あたりに作用する最大荷重 [2.87×10^5 N]

A : 断面積 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

(iii) 応力強さ (S)

$$S = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

(ロ) 第A.2図の断面 A-A 及び断面 B-B について評価した結果、応力強さは、断面 A-A において MPa、断面 B-B において MPa となり、これに対する評価基準 (S_y) は MPa (70°C¹⁾) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{\text{}}{\text{}} - 1 = \text{}$$

したがって、操作時における荷重に対してトラニオン円筒部は十分な強度を有している。

注1) (ロ) - B 熱解析の一般の試験条件における輸送物温度 (以下同様)

ii. トラニオン取付けボルト

トラニオンに作用するせん断荷重は、上部フランジにはめ込まれる円筒部で受け持たれる構造になっているため、トラニオン取付けボルトには、吊上げ時の回転モーメントによる引張荷重と初期締付けトルクによる軸力が作用する。

(i) 回転モーメントによる引張応力

(p) 第A.2 図に示すO点を支点とする回転モーメントによる最大引張応力 σ_1 は、ボルト \square 及び \square に生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_1 = M \times \frac{\square}{I} \quad (\square: \text{O点よりボルト}\square\text{又は}\square\text{までの距離} [\square\text{mm}])$$

$$M = F \times L$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times dr^4 \times \square + \sum_{i=1}^{\square} \left(\frac{\pi dr^2}{4} \times Di^2 \right) \times 2$$

ここで、F : トラニオン1個あたりに作用する最大荷重 [$2.87 \times 10^5 \text{ N}$]

M : 回転モーメント (N・mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

L : モーメントアーム [$\square \text{ mm}$]

Di : O点よりボルトまでの距離 (mm)

dr : ボルト (\square) の最小径 [$\square \text{ mm}$]

したがって、

$$\sigma_1 = \square \text{ MPa}$$

(ii) 初期締付けトルクによる引張応力

初期締付けトルクによる引張応力 σ_2 は次式で与えられる。

$$\sigma_2 = T \times \frac{1}{0.2d} \times \frac{1}{(\pi dr^2 / 4)}$$

ここで、T : 初期締付けトルク [$\square \text{ N}\cdot\text{mm}$]

d : ボルトの呼び径 [$\square \text{ mm}$]

したがって、

$$\sigma_2 = \square \text{ MPa}$$

以上より、吊上げ時にトラニオン取付けボルトに発生する引張応力 σ は、

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \square \text{ MPa}$$

となり、これに対する評価基準(S_y)は $\square \text{ MPa}$ (70°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

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

したがって、操作時における引張応力に対して、トラニオン取付けボルトは十分な強度を有している。

b. ハンドリングベルト

輸送物は、(イ)一第C.3図に示す位置に取付けられた2個のハンドリングベルトで水平吊りされる。したがって、ハンドリングベルトを対象として、吊上げ時の加速度が作用した場合の強度を評価する。

(a) 上部ベルト及び下部ベルト

ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルトは、(イ)一第C.9図に示すように、をしているため、解析コード ABAQUS を用いて、上部ベルト及び下部ベルトの各部に発生する応力を求める。

i. 解析モデル

解析モデルとして、ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルトの面対称3次元モデルを用いる。上部ベルト及び下部ベルトの構成部材であるによりモデル化している。

上部ベルトと下部ベルトは

また、ハンドリングベルトを取付ける輸送容器胴部をモデル化し、ハンドリングベルトが受け持つ質量を与える。

解析モデルの全体図、寸法図及び要素分割図を(ロ)一第A.3図～(ロ)一第A.5図に示す。

ii. 荷重条件及び境界条件

(i) 荷重条件

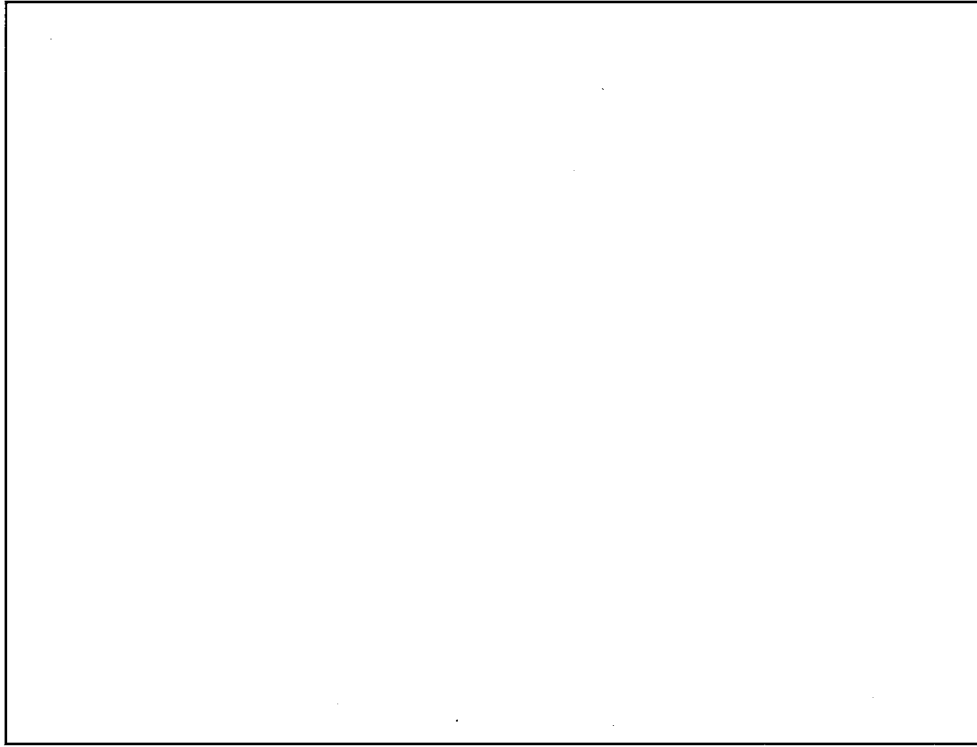
、モデル化する輸送容器胴部の質量 m' を以下のように設定する。

$$m' = m \times \frac{1}{4}$$

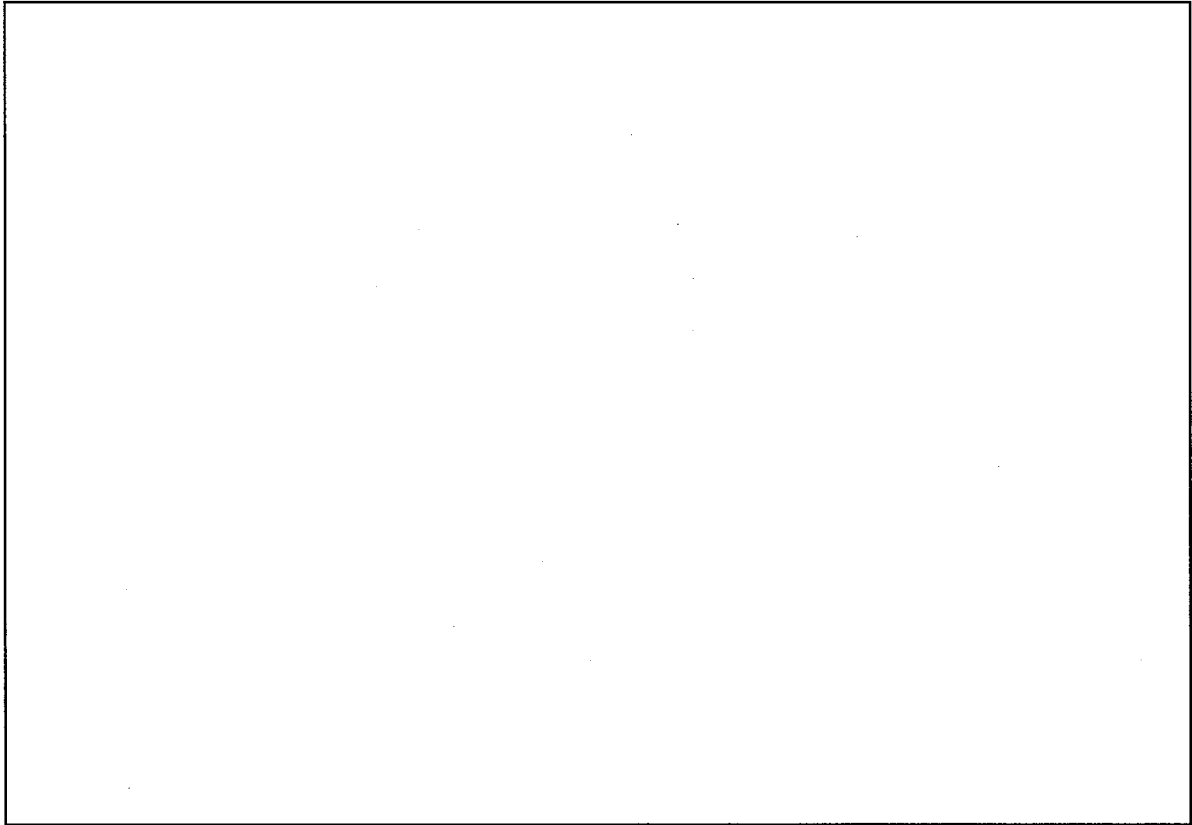
ここで、 m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

したがって、

$$m' = 4,875 \text{ kg}$$

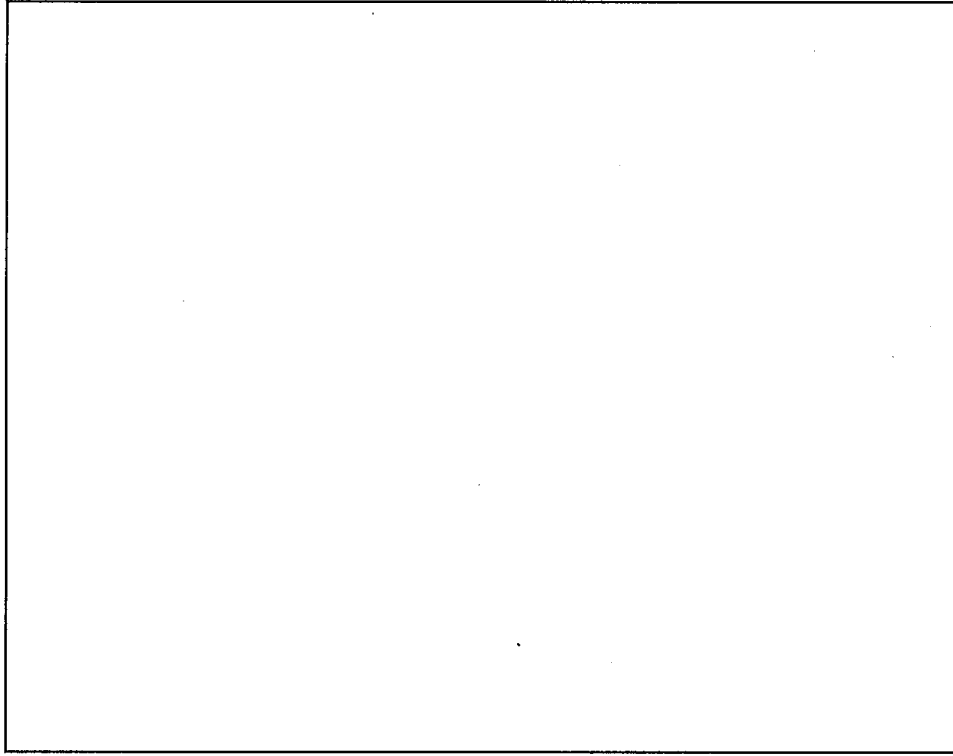


(ロ)－第A.3図 解析モデル全体図（吊上装置 ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト）



(単位：mm)

(ロ)－第A.4図 解析モデル寸法図（吊上装置 ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト）



(ア) 第A.5図 要素分割図 (吊上装置 ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト)

吊上げ操作時には、ハンドリングベルトの下部ベルトに対して、輸送物の自重に操作時の負荷係数[3]を乗じた荷重が作用する。

したがって、解析モデル全体に重力加速度 (9.81 m/s^2) の3倍の加速度を作用させる。

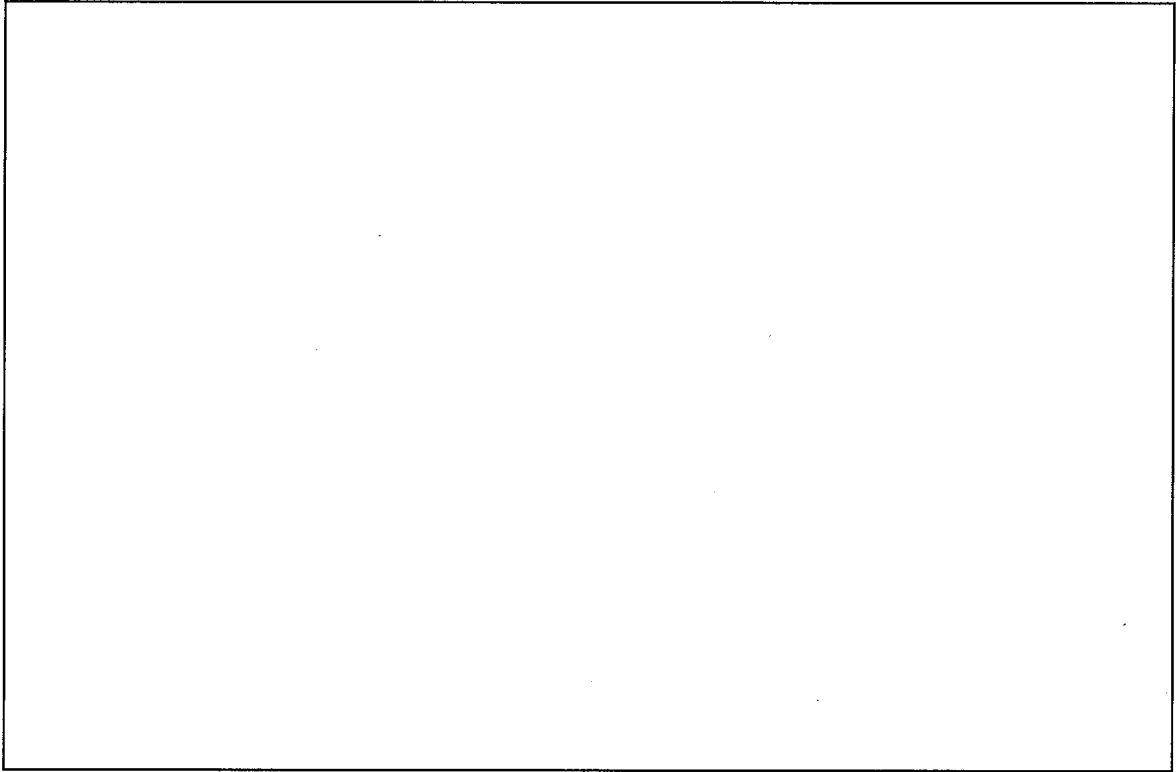
(ii) 境界条件

ハンドリングベルトは

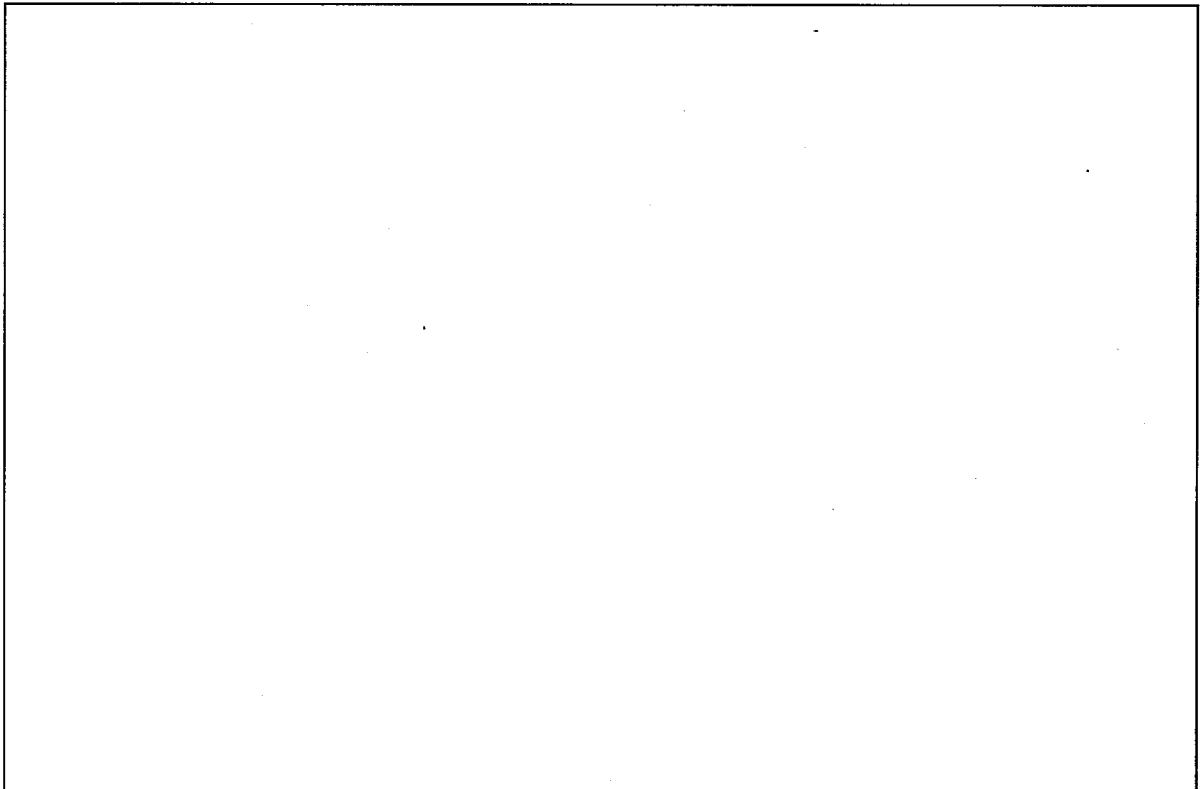
iii. 解析結果

変形図及び応力分布図をそれぞれ(□)－第A.6図及び(□)－第A.7図に示す。

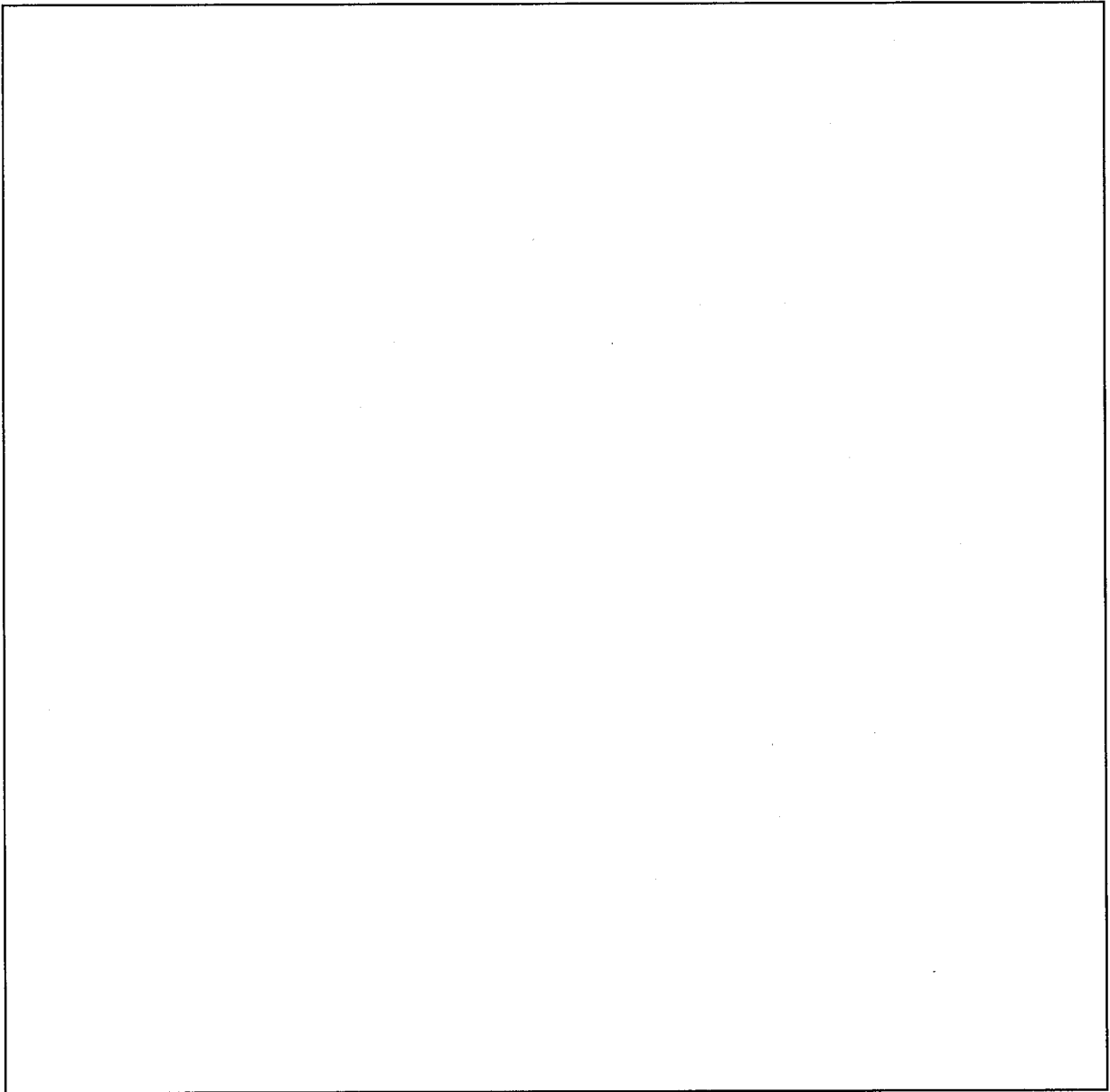
(□)－第A.8図に示す評価位置について、各部の応力の評価結果を(□)－第A.6表に示す。同表に示すように、上部ベルト及び下部ベルトに発生する応力はいずれも評価基準を下回っており、操作時における荷重に対してハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルトは十分な強度を有している。



(□)－第A.6図 吊上装置 (ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト) の解析結果 (変形図)



(□)－第A.7図 吊上装置 (ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト) の解析結果
(応力分布図<トレスカの応力強さ>)



(ア) - 第A.8図 吊上装置 (ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト) の応力評価位置

(ロ) 第A.6表 吊上装置（ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルト）の
吊上げ操作における応力評価結果

評価位置	応力の種類	応力強さ (MPa)	評価基準 ¹⁾ (MPa)	余裕率(MS)
	膜応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力+曲げ応力			
	膜応力			
	膜応力			
	膜応力			
	膜応力+曲げ応力			

注 1) 評価基準は、膜応力及び膜応力+曲げ応力に対して Sy

(b) 吊りハンドル

ハンドリングベルトの吊りハンドルは、(イ)－第C.9図に示すように、複雑な形状をしているため、解析コードABAQUSを用いて各部に発生する応力を求める。

i. 解析モデル

解析モデルとして、吊りハンドル1体を対象とし、ソリッド要素によりモデル化した3次元モデルを用いる。

解析モデルの寸法及び要素分割図を(ロ)－第A.9図及び(ロ)－第A.10図に示す。

ii. 荷重条件及び境界条件

(i) 荷重条件

1本の吊

りハンドルに作用する最大荷重 F_H は、下式により求める。

$$F_H = \frac{\alpha}{N} \times g \times m$$

ここで、 α : 負荷係数 [3]

N : 吊りハンドルの個数 [4]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

したがって、

$$F_H = 1.44 \times 10^5 \text{ N}$$

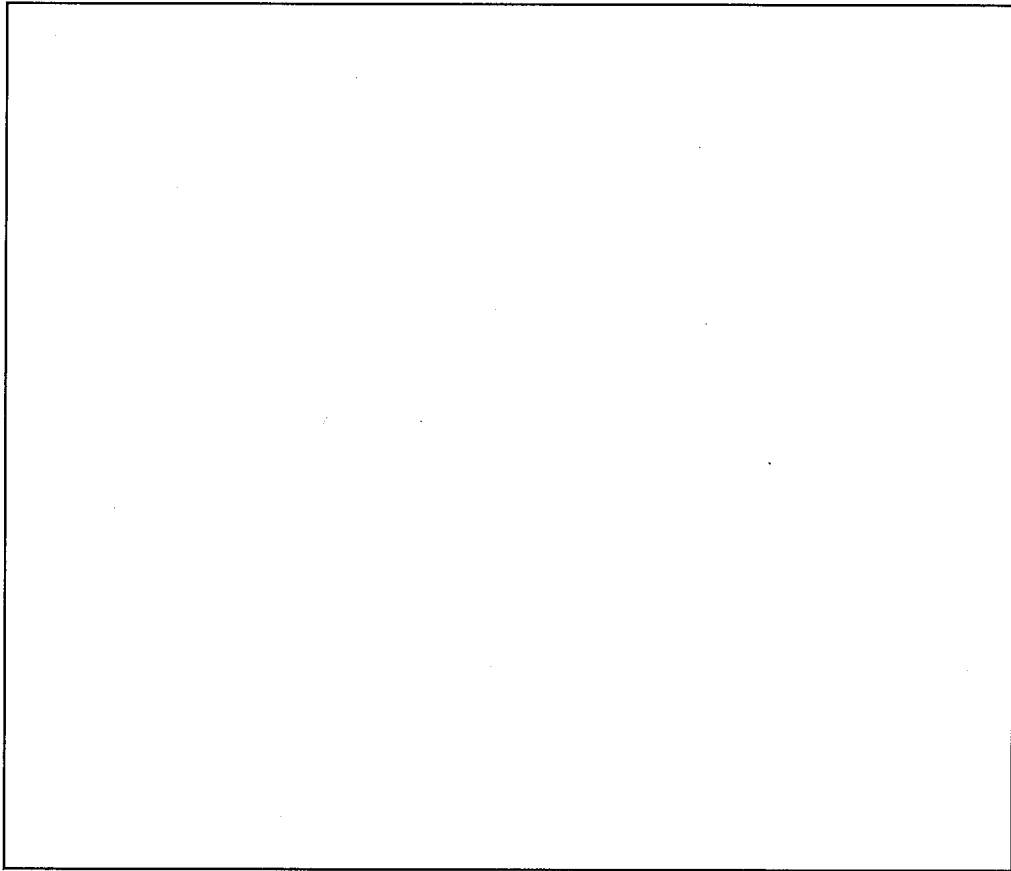
この荷重をとして負荷する。

(ii) 境界条件

以上の荷重及び境界条件を、(ロ)－第A.11図に示す。

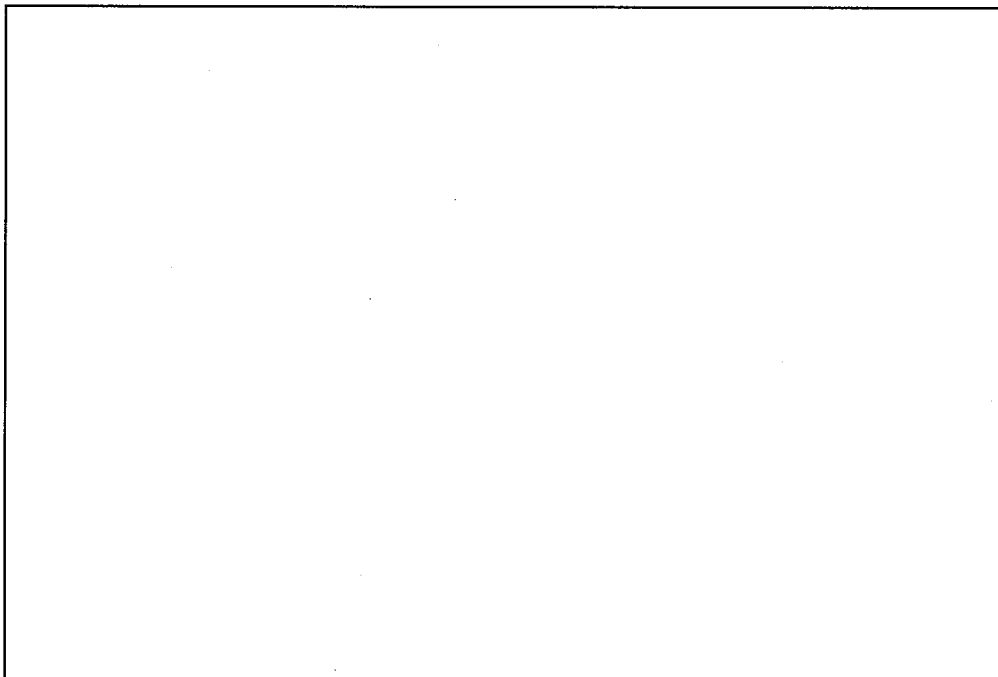
iii. 解析結果

変形図及び応力分布図をそれぞれ(ロ)－第A.12図及び(ロ)－第A.13図に示す。

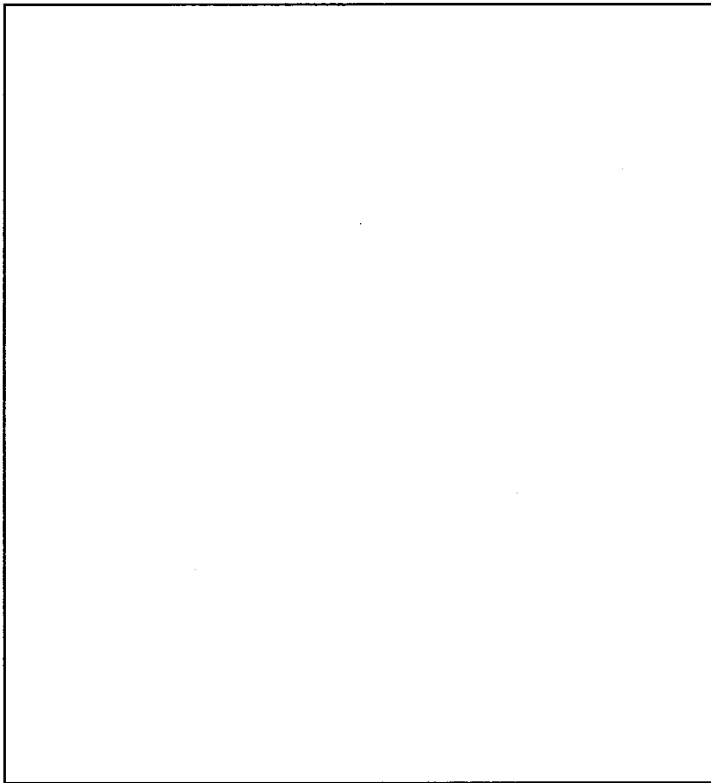


(単位 : mm)

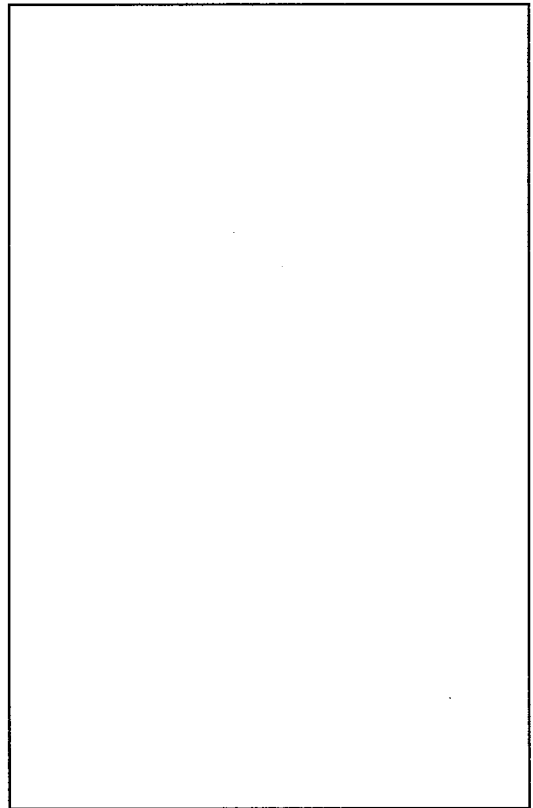
(□)－第A.9図 解析モデル寸法図 (吊上装置 ハンドリングベルトの吊りハンドル)



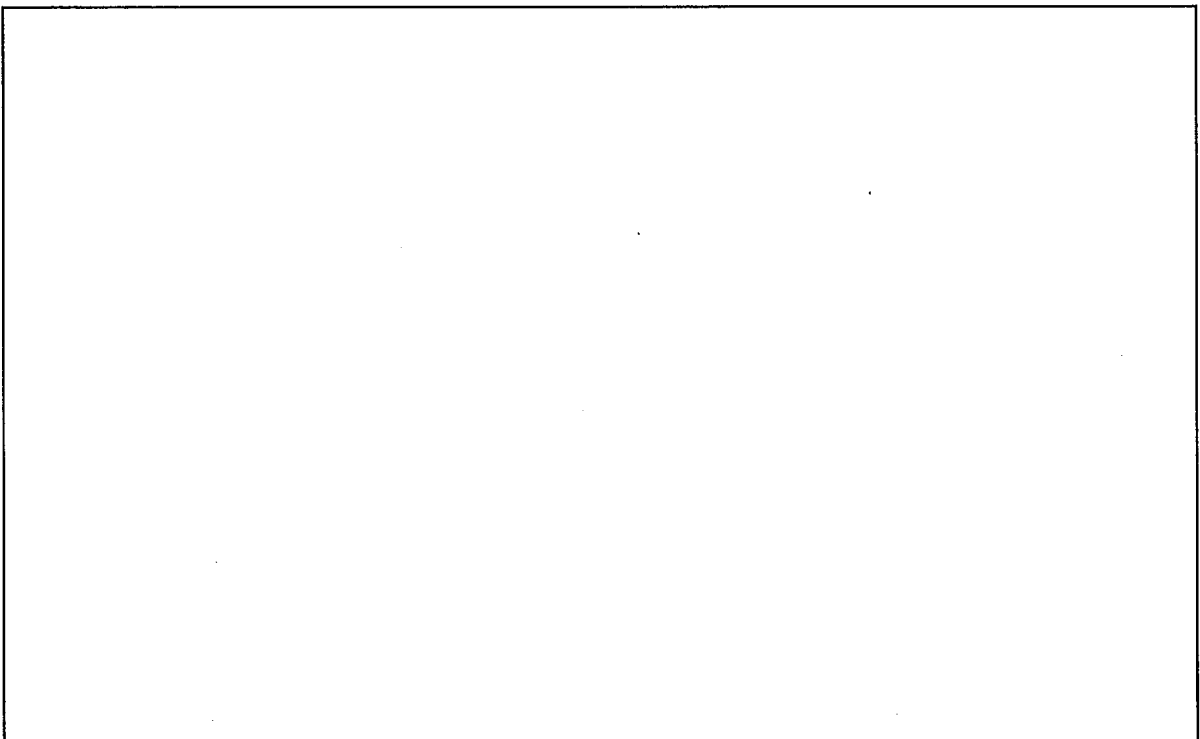
(□)－第A.10図 要素分割図 (吊上装置 ハンドリングベルトの吊りハンドル)



(ロ) 第A.11図 吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の解析における荷重条件及び境界条件

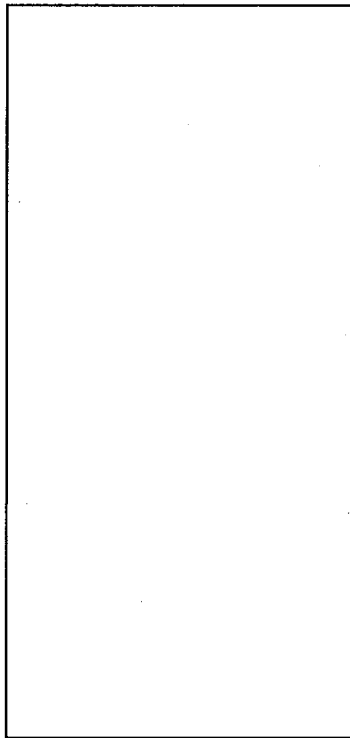


(ロ) 第A.12図 吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の解析結果 (変形図)



(ロ) 第A.13図 吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>)

(ロ)一第A.14 図に示す評価位置について、各部の応力の評価結果を(ロ)一第A.7 表に示す。同表に示すように、吊りハンドルに発生する応力はいずれも評価基準を満足しており、操作時における荷重に対してハンドリングベルトの吊りハンドルは十分な強度を有している。



(ロ)一第A.14 図 吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の応力評価位置

(ロ)一第A.7 表 吊上装置 (ハンドリングベルトの吊りハンドル) の
吊上げ操作における応力評価結果

評価位置	応力の種類	応力強さ (MPa)	評価基準 ¹⁾ (MPa)	余裕率 (MS)
①	膜応力+曲げ応力	[Empty Box]	[Empty Box]	[Empty Box]
②	膜応力+曲げ応力			
③	膜応力			
④	膜応力+曲げ応力			

注 1) 評価基準は、膜応力及び膜応力+曲げ応力に対して Sy

(c) 吊りハンドル取付けピン及び連結ボルト

i. 最大荷重

ハンドリングベルトの吊りハンドル取付けピン及び連結ボルトに作用する最大荷重 F_B は、次の式により求められる。ここで、前部と後部のハンドリングベルトは また、吊りハンドル取付けピンと連結ボルトは、1個のハンドリングベルトに対してそれぞれ1対(2個)が取付けられることを考慮する。

$$F_B = \frac{\alpha}{N \times n} \times g \times m$$

ここで、 α : 負荷係数 [3]

N : ハンドリングベルトの個数 [2]

n : 吊りハンドル取付けピン及び連結ボルトの個数 [2]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

したがって、

$$F_B = 1.44 \times 10^5 \text{ N}$$

ii. 吊りハンドル取付けピンの応力計算

吊りハンドル取付けピンには、輸送物の吊上げに伴う荷重が、せん断荷重として作用する。せん断荷重によるせん断応力 τ は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F_B}{2 \times A_1}$$

ここで、 A_1 : 吊りハンドル取付けピンの断面積

$$A_1 = \pi d_1^2 / 4$$

ここで、 d_1 : 吊りハンドル取付けピンの径 [mm]

したがって、

$$\tau = \text{ MPa}$$

となり、応力強さ S は以下のようなになる。

$$S = 2 \tau = \text{ MPa}$$

これに対する評価基準値(S_y)は MPa (70°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{\text{}}{\text{}} - 1 = \text{$$

したがって、操作時におけるせん断応力に対して、ハンドリングベルトの吊りハンドル取付けピンは十分な強度を有している。

iii. 連結ボルトの応力計算

連結ボルトには、輸送物の吊上げに伴う軸方向荷重と初期締付けトルクによる軸力が作用する。

(i) 軸方向荷重による引張応力

軸方向荷重による引張応力 σ_1 は次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{F_B}{A_2}$$

ここで、 A_2 : 連結ボルトの最小断面積 (mm²)

$$A_2 = \pi d_2^2 / 4$$

ここで、 d_2 : 連結ボルト () の最小径 [mm]

したがって、

$$\sigma_1 = \text{ } \text{MPa}$$

(ii) 初期締付けトルクによる引張応力

初期締付けトルクによる引張応力 σ_2 は次式で与えられる。

$$\sigma_2 = T \times \frac{1}{0.2 d_3} \times \frac{1}{(\pi d_2^2 / 4)}$$

ここで、 T : 初期締付けトルク [N・mm]

d_3 : ボルトの呼び径 [mm]

したがって、

$$\sigma_2 = \text{ } \text{MPa}$$

以上より、ハンドリングベルトによる吊上げ時に連結ボルトに発生する引張応力 σ は、

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \text{ } \text{MPa}$$

となり、これに対する評価基準値 (S_y) は $\text{ } \text{MPa}$ (70°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{\text{ }}{\text{ }} - 1 = \text{ }$$

したがって、操作時における引張応力に対して、ハンドリングベルトの連結ボルトは十分な強度を有している。

(2) 疲労評価

疲労評価については、実際に作用する荷重をベースとし、クレーン構造規格^[10]に規定された衝撃係数（安全側に最大値を参照）を負荷係数[1.6]として設定する。

したがって、繰返しピーク応力強さを算定する応力強さは、応力評価における負荷係数と疲労評価における負荷係数の比率で以下のように補正する。

補正した応力強さを(□)－第A.8表に示す。

$$S_F = S \times (A / B)$$

ここで、 S_F : 疲労評価に用いる各部の応力強さ (MPa)

S : 応力評価における各部の応力強さ (MPa)

A : 疲労評価における負荷係数 [1.6]

B : 応力評価における負荷係数 [3]

(□)－第A.8表 疲労評価に用いる応力強さ

部品	部位	応力強さ (MPa)	
		S (応力評価)	S_F (疲労評価)
トラニオン	トラニオン円筒部	[ここに数値が入る]	
	トラニオン取付けボルト		
ハンドリング ベルト	上部ベルト及び下部ベルト		
	吊りハンドル		
	吊りハンドル取付けピン		
	連結ボルト		

a. トラニオン

トラニオンに生じる応力について、応力集中を考慮した繰返し応力強さによる許容繰返し回数と想定される繰返し回数を比較して評価を行う。

(a) トラニオン円筒部

i. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (1.95 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : トラニオン円筒部の応力強さ [MPa]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)] ^[11]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

ii. 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A.付 1.1 図に示すオーステナイトステンレス鋼の設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となる。実作業での輸送 1 回当たりのトラニオンによる吊上回数は 10 回程度であるが保守的に 20 回とすると、想定される繰返し回数は、輸送容器の使用予定回数 (200 回) より、 4×10^3 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、トラニオンは十分な疲労強度を有している。

(b) トラニオン取付けボルト

i. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : トラニオン取付けボルトの応力強さ (応力の変動幅) [MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)] ^[11]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

ii. 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A.付 1.2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回以上}$$

となる。前述のとおり輸送 1 回当たりのトラニオンによる吊上回数を保守的に 20

回とすると、想定される繰返し回数は 4×10^3 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、トラニオン取付けボルトは十分な疲労強度を有している。

b. ハンドリングベルト

ハンドリングベルトに生じる応力について、応力集中を考慮した繰返し応力強さによる許容繰返し回数と想定される繰返し回数を比較して検討を行う。

(a) 上部ベルト及び下部ベルト

i. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (1.95 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : (p)－第A.8表に示す応力強さ最大値 [MPa]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

ii. 許容繰返し回数

A.10.1 付属書類－1 (p)－第A.付1.1図に示すオーステナイトステンレス鋼の設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となる。実作業での輸送1回当たりのハンドリングベルトによる吊上回数は5回程度であるが保守的に10回とすると、想定される繰返し回数は、輸送容器の使用予定回数(200回)より、 2×10^3 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、ハンドリングベルトの上部ベルト及び下部ベルトは十分な疲労強度を有している。

(b) 吊りハンドル

i. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (1.95 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : (p)－第A.8表に示す応力強さ最大値 [MPa]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

ii. 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A. 付 1.1 図に示すオーステナイトステンレス鋼の設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{} \text{回}$$

となる。前述のとおり輸送 1 回当たりのハンドリングベルトによる吊上回数を保守的に 10 回とすると、想定される繰返し回数は 2×10^3 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、ハンドリングベルトの吊りハンドルは十分な疲労強度を有している。

(c) 吊りハンドル取付けピン

i. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times (1.95 \times 10^5 / E t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 吊りハンドル取付けピンの応力強さ [MPa]

$E t$: 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{} \text{ MPa}$$

ii. 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A. 付 1.1 図に示すオーステナイトステンレス鋼の設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{} \text{回以上}$$

となる。前述のとおり輸送 1 回当たりのハンドリングベルトによる吊上回数を保守的に 10 回とすると、想定される繰返し回数は 2×10^3 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、ハンドリングベルトの吊りハンドル取付けピンは十分な疲労強度を有している。

(d) 連結ボルト

i. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K t \times (2.07 \times 10^5 / E t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 連結ボルトの応力強さ (応力の変動幅) [MPa]

$K t$: 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)]

$E t$: 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{} \text{ MPa}$$

ii. 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A. 付 1.2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図

より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{回}$$

となる。前述のとおり輸送 1 回当たりのハンドリングベルトによる吊上回数を保守的に 10 回とすると、想定される繰返し回数は 2×10^3 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、ハンドリングベルトの連結ボルトは十分な疲労強度を有している。

A.4.5 固縛装置

本輸送容器に固縛装置はなく、(イ) 第 C.1 図に示すように、輸送架台に胴部を固定して輸送架台上に設置される。したがって、輸送架台が取付けられる部位近傍の胴部を対象として、輸送時の加速度が作用した場合の強度を評価する。

輸送時の加速度としては、以下のように仮定する。

- ・前後方向：2 G
- ・横方向：2 G
- ・垂直方向：2 G (上方)、3 G (下方)

輸送架台が取付けられる部位に発生する応力は、輸送架台の取付け範囲を支持条件とした解析モデルにより、解析コード ABAQUS を用いて求める。

(1) 解析モデル

解析モデルは、本体及び蓋部から構成されており、衝撃吸収カバーと等価な質量を上端面に付加する。また、各部の質量が等価となるようにレジンの密度を調整する。

解析モデルとして、対称性を考慮して面対称 3 次元モデルを用いる。

解析モデルの寸法及び要素分割図を (ロ) 第 A.15 図及び (ロ) 第 A.16 図に示す。

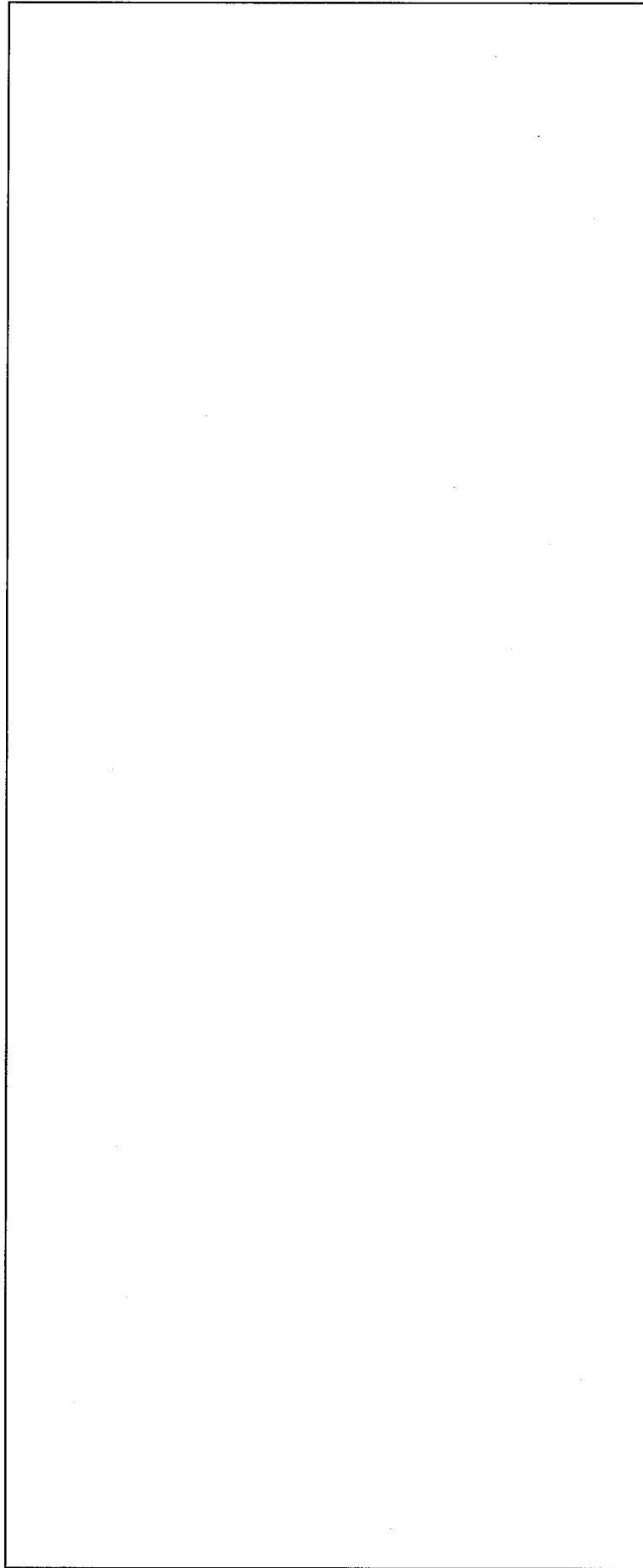
(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

輸送時には、加速度による荷重、内部圧力による荷重が作用する。

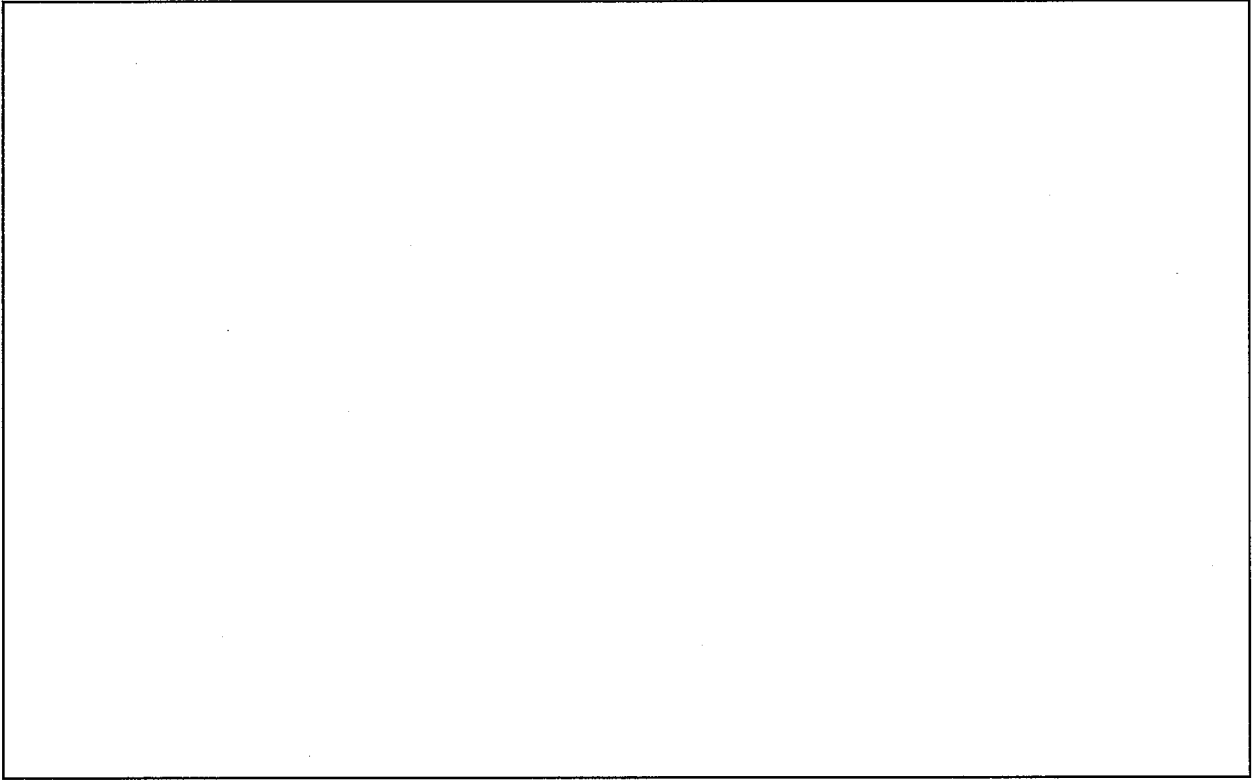
(a) 加速度による荷重

軸方向の加速度は輸送時の前後方向の値、半径方向の加速度は輸送時の横方向と垂直方向の合成値を負荷する。また、内容物 (バスケット+収納物) による荷重が胴部に負荷されるように、内筒の に等価な密度を与える。



(単位 : mm)

(a) 第A.15図 解析モデル寸法図 (固縛装置)



(□) - 第A.16図 要素分割図 (固縛装置)

(b) 内部圧力による荷重

一般の試験条件における輸送物の最大内圧は、(a)－B 熱解析に示すとおり MPa 絶対圧である。外気圧に変動が生じて外圧が 0.060 MPa に減少した場合でも、最大内外圧力差は MPa であることから、本評価では安全側に内外圧力差を MPa として評価する。

b. 境界条件

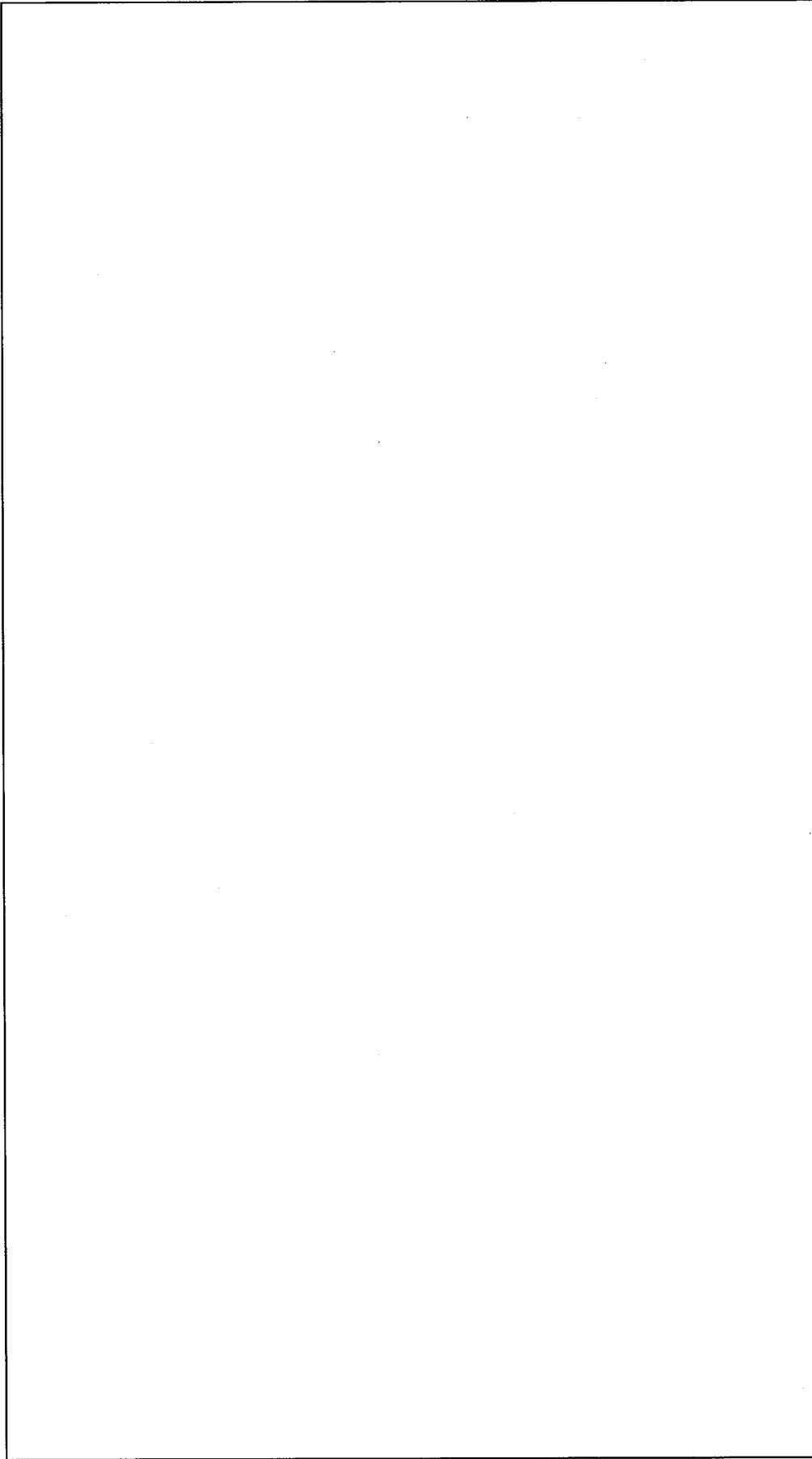
輸送架台は胴部を全周にわたって固定するように取付けられることから、半径方向については加速度の方向にかかわらず、胴部の半周が支持される。一方、軸方向については輸送架台と胴部間の摩擦により固定されるため、境界条件として、輸送架台の取付け部位に該当する範囲について、半径方向と軸方向の変位を拘束する。

以上の荷重及び境界条件を (a)－第 A.17 図に示す。

(3) 解析結果

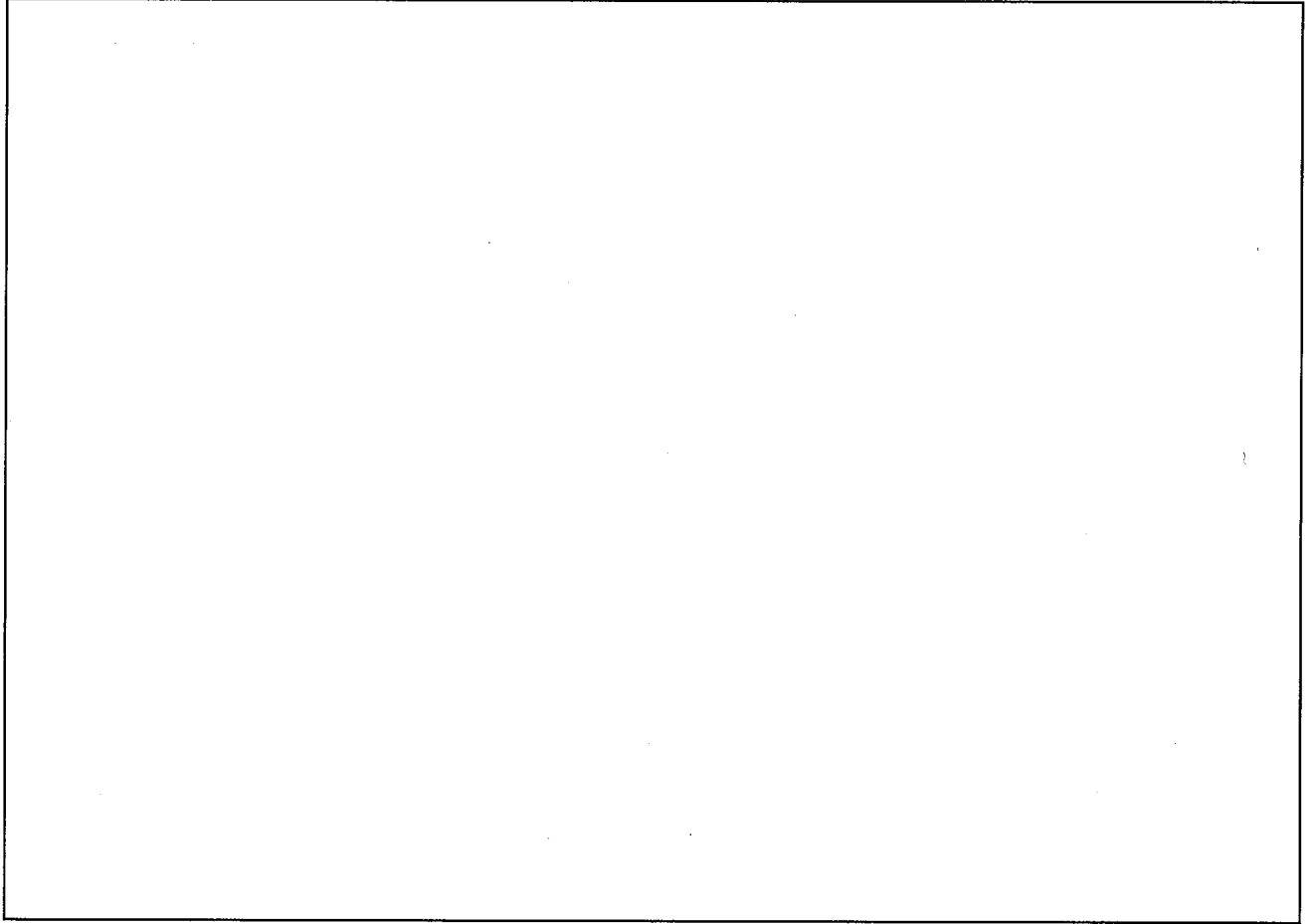
変形図及び応力分布図をそれぞれ (a)－第 A.18 図及び (a)－第 A.19 図に示す。

輸送架台が取付けられる部位の近傍について、胴部の構成部材（内筒、胴ガセット及び胴外板）に発生する応力の評価結果を (a)－第 A.9 表に示す。同表に示すように、いずれの部位においても発生応力は評価基準を下回っており、輸送時の加速度に対して胴部は十分な強度を有している。

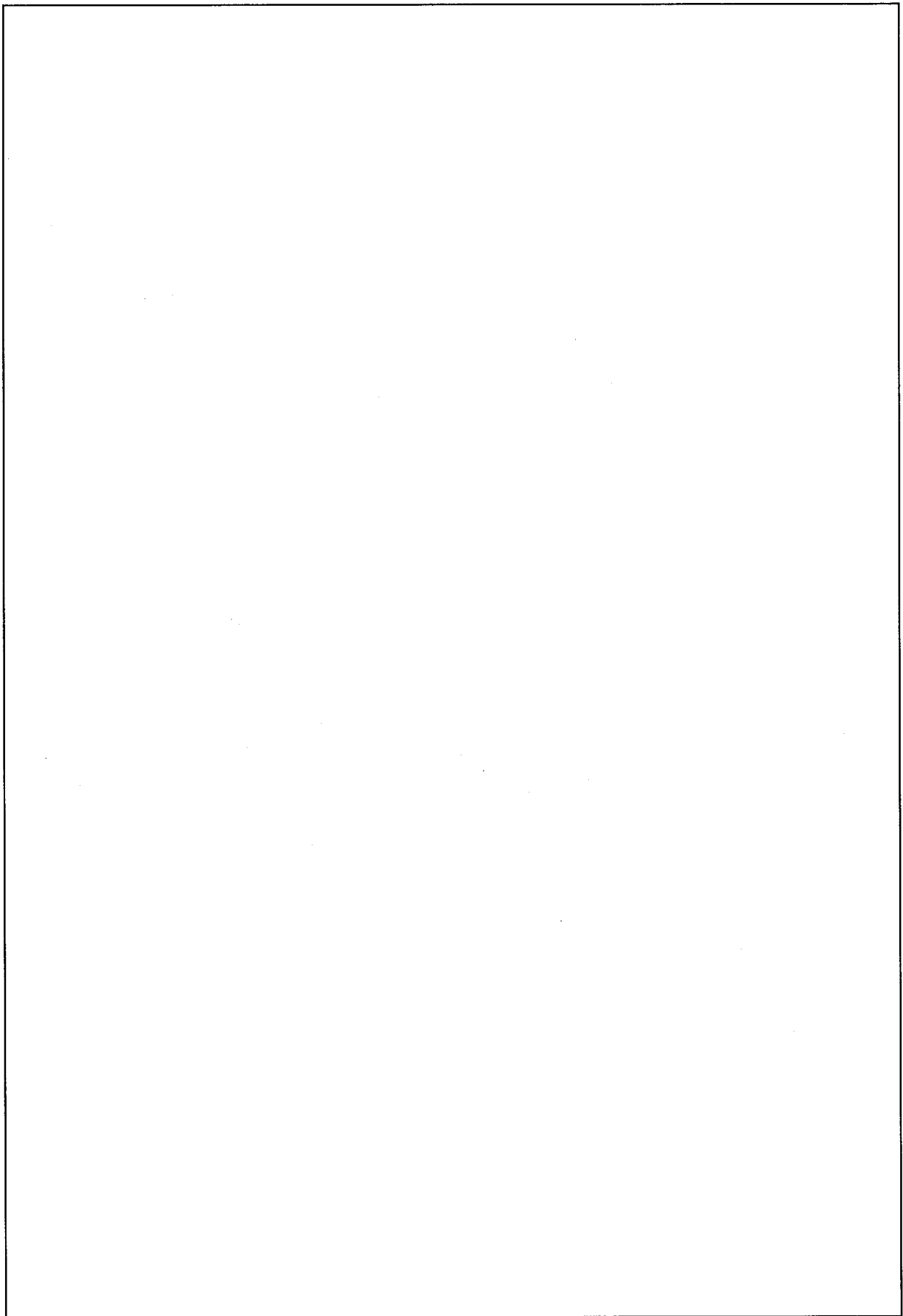


(単位：mm)

(ロ) 第一A.17図 輸送時の加速度に対する胴部の解析における荷重及び境界条件



(□) - 第A.18図 輸送時の加速度に対する胴部の解析結果 (変形図)



(ア)－第A.19図 輸送時の加速度に対する胴部の解析結果（応力分布図〈トレスカの応力強さ〉）

A.4.6 圧 力

本輸送物の輸送中に予想される温度の変化を包含する温度範囲として、 -40°C から一般の試験条件における最高温度 (70°C) の範囲における内圧の変化に対して、輸送容器の健全性が損なわれないことを評価する。

輸送容器の内圧と温度の関係は以下のとおりとなる。

① 内圧が最大となり外圧を上回る場合

内圧が最大となるのは最高温度 (70°C) の場合であり、常温 (20°C) を基準とした場合の最大内圧は MPa 絶対圧、最低温度 (-40°C) を基準とした場合の最大内圧は MPa 絶対圧である ((π) - B 熱解析)。外気圧に変動が生じて外圧が 60 kPa (0.060 MPa) に減少した場合、最大内外圧力差はそれぞれ MPa 及び MPa となる。

② 内圧が最小となり外圧を下回る場合

内圧が最小となるのは最低温度 (-40°C) の場合であり、常温 (20°C) を基準とした場合の最小内圧は MPa 絶対圧、最高温度 (70°C) を基準とした場合の最小内圧は MPa 絶対圧である。外圧を MPa (大気圧の変動を考慮) とした場合、最大内外圧力差はそれぞれ MPa、 MPa となる。

上記に対し、それぞれを包含する条件として、周囲との内外圧力差を MPa 又は MPa とし、A.5.1 熱的試験と同じ解析モデルを用いて容器本体各部に発生する応力を評価した結果、容器本体各部に発生する応力はいずれも評価基準を下回ることから、容器の構造健全性は維持される。また、蓋板ガスケット取付け部における口開き変形量を評価した結果、口開き変形量はガスケットの初期締付け代 (つぶれ代) よりも十分小さく、密封性能に影響を与えないことから、輸送容器の健全性が損なわれることはない。(付属書類-7 参照)

したがって、輸送中の内圧の変化により輸送容器に亀裂、破損等が生じるおそれはない他、周囲の圧力が 60 kPa に低下した場合でも、放射性物質の漏えいは生じない。

A.4.7 振 動

輸送物は、(イ) - 第 C.1 図に示すように、輸送架台に胴部を固定して輸送される。ここでは、輸送架台に固定された状態における輸送物の固有振動数を求め、輸送中の振動数と比較し、共振の可能性を検討する。

輸送物の固有振動数は、輸送架台の取付け範囲を支持条件とした解析モデルにより、解析コード ABAQUS を用いて求める。

(1) 解析モデル

解析モデルは、本体及び蓋部から構成されており、衝撃吸収カバーと等価な質量を上下端面に付加する。また、各部の質量が等価となるようにレジンの密度を調整する。

解析モデルとして、360° 3次元モデルを用いる。

内容物であるバスケット及び収納物の質量は、胴部に負荷されるように、内筒の□
□ に等価な密度を与える。

解析モデルの寸法及び要素分割図を(□)－第A. 20 図及び(□)－第A. 21 図に示す。

(2) 境界条件

輸送架台は胴部を全周にわたって固定するように取付けられることから、その取付け範囲にあたる胴外板の変位を拘束する。境界条件を(□)－第A. 22 図に示す。

(3) 解析結果

振動の状態図として固有振動数の小さい方から2 ケースを(□)－第A. 23 図に示す。

同図より、輸送物の固有振動数は以下ようになる。

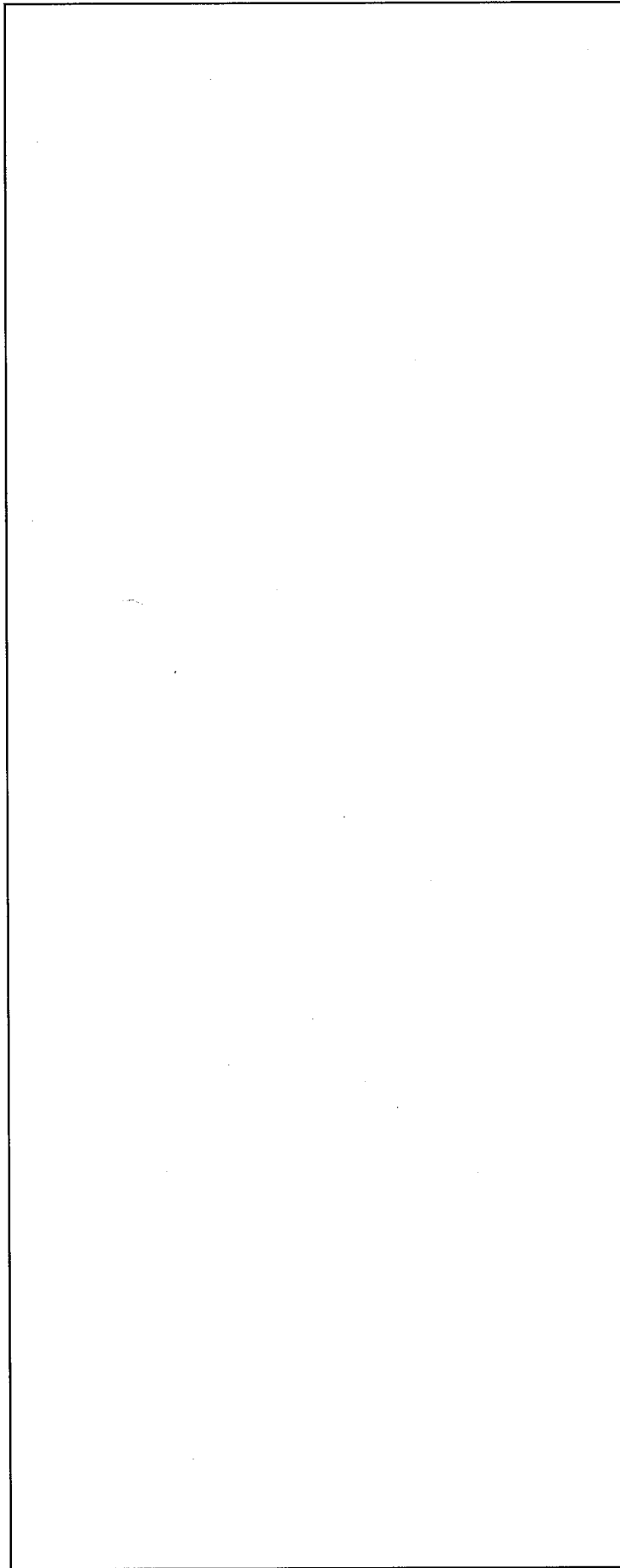
解析結果	輸送物の固有振動数
	□ Hz 以上

よって、輸送中の振動（主として 20 Hz 以下）により輸送物が共振することはない。

また、蓋板締付けボルト及びその他の締付けボルト等は、強固に締めつけられており、輸送時の振動により容易に緩むことはない。

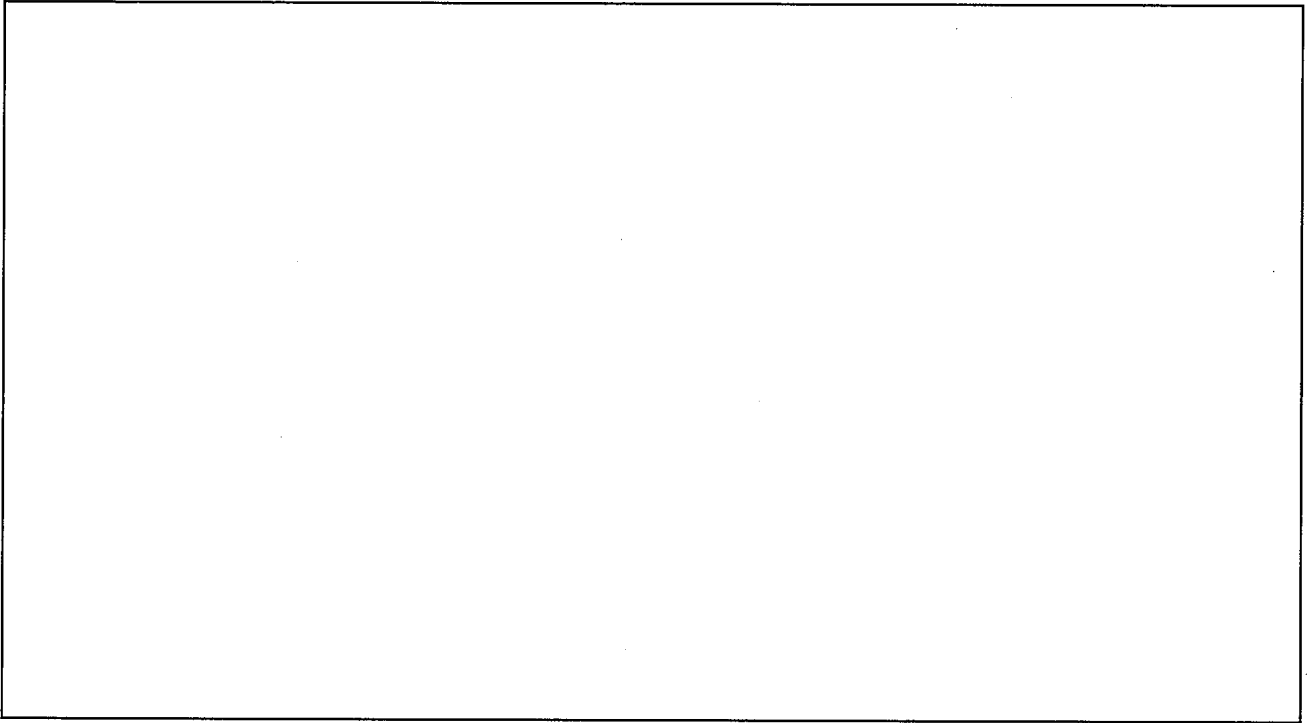
なお、A. 4.5 固縛装置に示されているように、輸送物に前後方向 2 G、横方向 2 G、垂直方向 3 G（下方）の加速度が作用した場合であっても、本体胴部は発生する応力に対して十分に大きな余裕率（評価基準（Sy）に対し余裕率□以上）を有しており、輸送中に荷重が増幅される程度（応答倍率）は最大でも□であるため、これを考慮しても十分な余裕が確保される。また、蓋板、蓋板締付けボルト部及び底板について、応答倍率□を考慮した評価を行った結果、各部に発生する応力は設計降伏応力を十分下回っている。（付属書類-8 参照）

したがって、輸送中の振動により輸送容器に亀裂、破損等が生じることはなく、輸送容器の健全性は維持される。

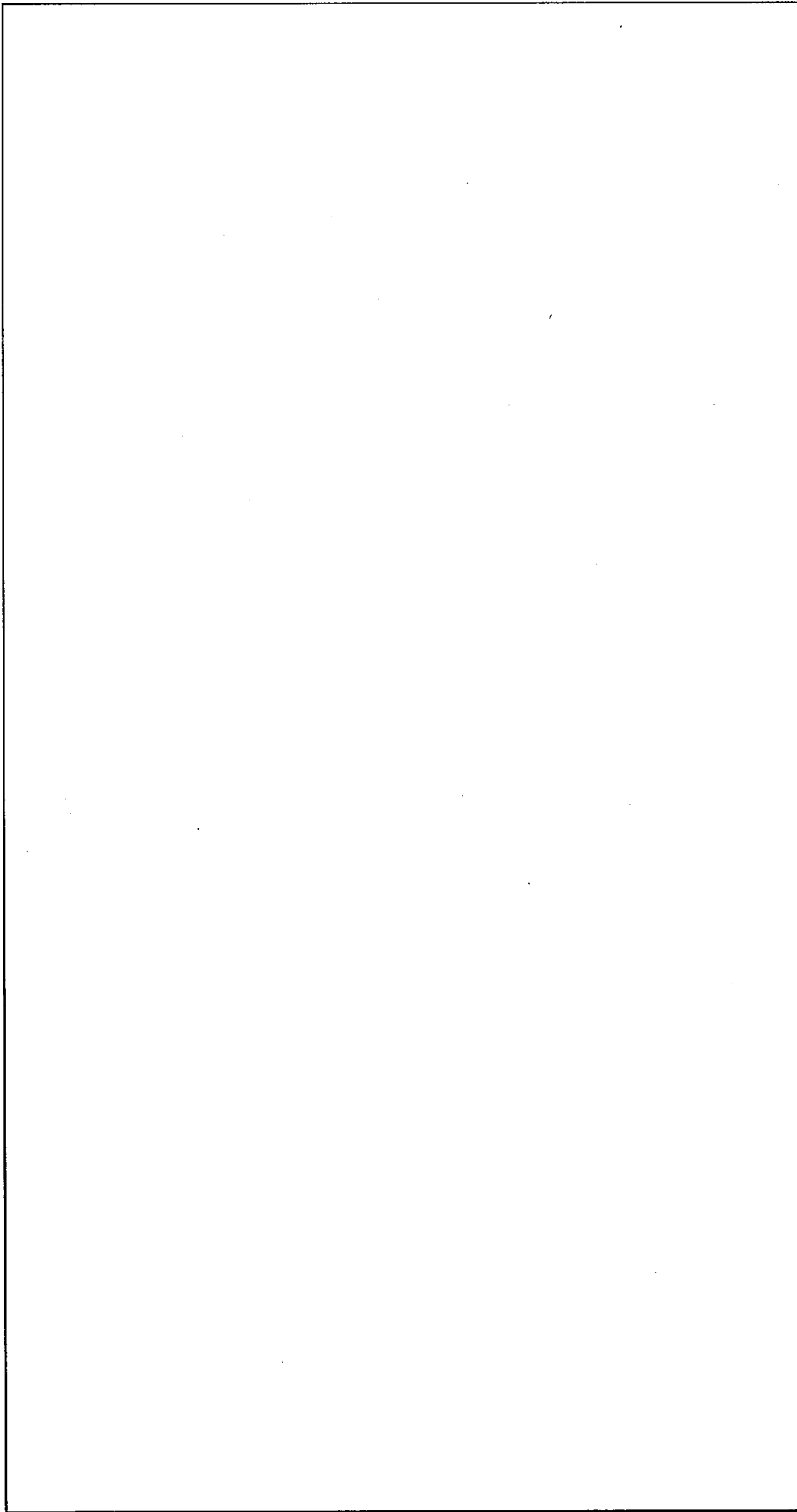


(単位：mm)

(a) 第A.20図 解析モデル寸法図 (振動)

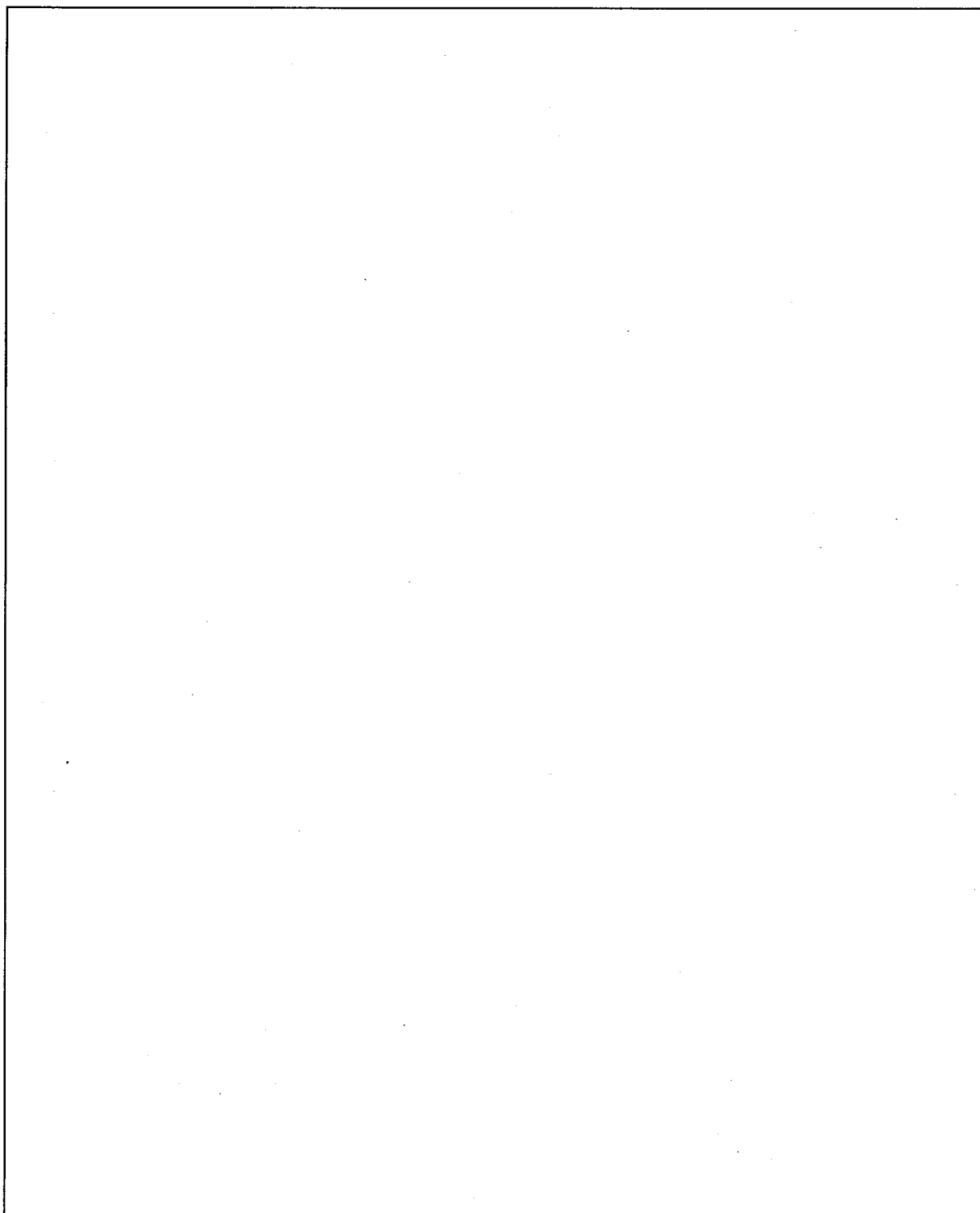


(□) - 第A. 21 図 要素分割図 (振動)



(単位 : mm)

(p) - 第 A. 22 図 振動の解析における境界条件



(□) - 第A.23図 振動の解析結果 (状態図)

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

一般の試験条件における輸送物温度の評価((p)－B 熱解析 B.4 一般の試験条件)では、保守的に太陽放射熱を考慮している。

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件における輸送物の温度は(p)－B.4 に示されている。この温度に基づき、本試験における評価基準の対象温度として、全ての部品に対して 70℃を設定する。

また、一般の試験条件における輸送物の内部圧力は[] MPa 絶対圧である。外気圧に変動が生じて外圧が 0.060 MPa に減少した場合でも、最大内外圧力差は[] MPa であることから、本試験では安全側に内外圧力差を[] MPa として評価する。

A.5.1.2 熱膨張

一般の試験条件における熱膨張により輸送容器各部には熱応力が発生する。

容器本体に発生する熱応力については、内圧及びボルトの初期締付け力との荷重の組み合わせを考慮して、A.5.1.3 に記載する。

(1) バスケットと容器本体

バスケットと容器本体の熱膨張差に基づく隙間の減少を算定し、拘束による熱応力が生じないことを評価する。なお、低温側については隙間が拡大する方向であるため、高温側についてのみ評価する。

a. 軸方向

バスケットと容器本体の胴部の熱膨張差により、軸方向の隙間が減少する。

バスケットと容器本体内面の軸方向の隙間 ΔL は以下のように求められる。

$$\Delta L = (L_1 - L_2) + \{L_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - L_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

ここで、 L_1 : 容器本体のキャビティ長さ [] mm]

L_2 : バスケットの全長 [] mm]

T_0 : 基準温度 [20℃]

T_1 : 胴部の温度 [70℃]

T_2 : バスケットの温度 [70℃]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [] / °C (70℃)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [] / °C (70℃)]

よって、 $\Delta L = [] \text{ mm} > 0 \text{ mm}$

となり、軸方向におけるバスケットと容器本体内面間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

b. 半径方向

バスケットと容器本体の胴部の熱膨張差により、半径方向の隙間が減少する。

容器本体の内径とバスケット外径はそれぞれ以下の寸法となっている。

- ・ 容器本体の内径： mm
- ・ バスケットの外径： mm

よって、容器本体の内径の最小値 D_1 とバスケットの外径の最大値 D_2 は次のようになる。

- ・ $D_1 =$ mm
- ・ $D_2 =$ mm

容器本体内面とバスケット外面の隙間 ΔD は以下のように求められる。

$$\Delta D = (D_1 - D_2) + \{D_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - D_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

ここで、 T_0 ：基準温度 [20℃]

T_1 ：胴部の温度 [70℃]

T_2 ：バスケットの温度 [70℃]

α_1 ：胴部の線膨張係数 [/ °C (70℃)]

α_2 ：バスケットの線膨張係数 [/ °C (70℃)]

よって、 $\Delta D =$ mm > 0 mm

となり、半径方向における容器本体内面とバスケット外面の間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

なお、上記 T_0 (基準温度) を輸送中に予想される最低温度である -40°C と仮定した場合であっても、バスケットと容器本体間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

(付属書類-9 参照)

(2) 収納物と輸送容器

本輸送物の収納物は、燃料集合体及び収納缶である。

収納缶と輸送容器の熱膨張差に基づく隙間の減少については、軸方向では、収納缶と容器本体との間の隙間が減少する可能性があり、また、断面方向では、収納缶とロジメントの間の隙間が減少する可能性があるが、それぞれの初期隙間は mm 及び mm と十分大きいため、拘束による熱応力が生じることはない。

収納物である燃料集合体と収納缶の熱膨張差に基づく隙間については、温度上昇に伴い

大きくなるため、拘束による熱応力が生じることはない。

なお、安全側に -40°C 及び 70°C を基準として運搬中に温度が変化することを想定したとしても、上記部材間には十分な隙間があり、拘束による熱応力が生じないことを確認している。(付属書類-9 参照)

A.5.1.3 応力計算

一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部に発生する応力の計算を行う。

収納物の発熱は無視できるが、太陽放射による入熱によって輸送物の温度が上昇するため、温度上昇に伴って容器本体の部品間に熱膨張差が生じて熱応力が発生する。

本項では内圧及びボルトの初期締付け力による一次応力と、部品間の熱膨張差を考慮した(一次+二次)応力について、解析コードABAQUSを用いて求める。

(1) 解析モデル

解析モデルとして、容器本体の 3次元モデルを用いる

当該モデルは、本体(上部フランジ、内筒、胴ガセット、胴外板及び底板)と蓋部(蓋板及び蓋板締付けボルト)で構成されており、蓋板は蓋板締付けボルトを介して上部フランジに接続され、蓋板と上部フランジの接触が考慮されている。

解析モデルの寸法及び要素分割図を(ρ)-第A.24図及び(ρ)-第A.25図に示す。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

一次応力の算出にあたり、容器本体内面に MPa を負荷し、蓋板締付けボルトには以下に示す初期締付けによる軸力を作用させる。

初期締付けトルクによる軸力Fは次式で与えられる。

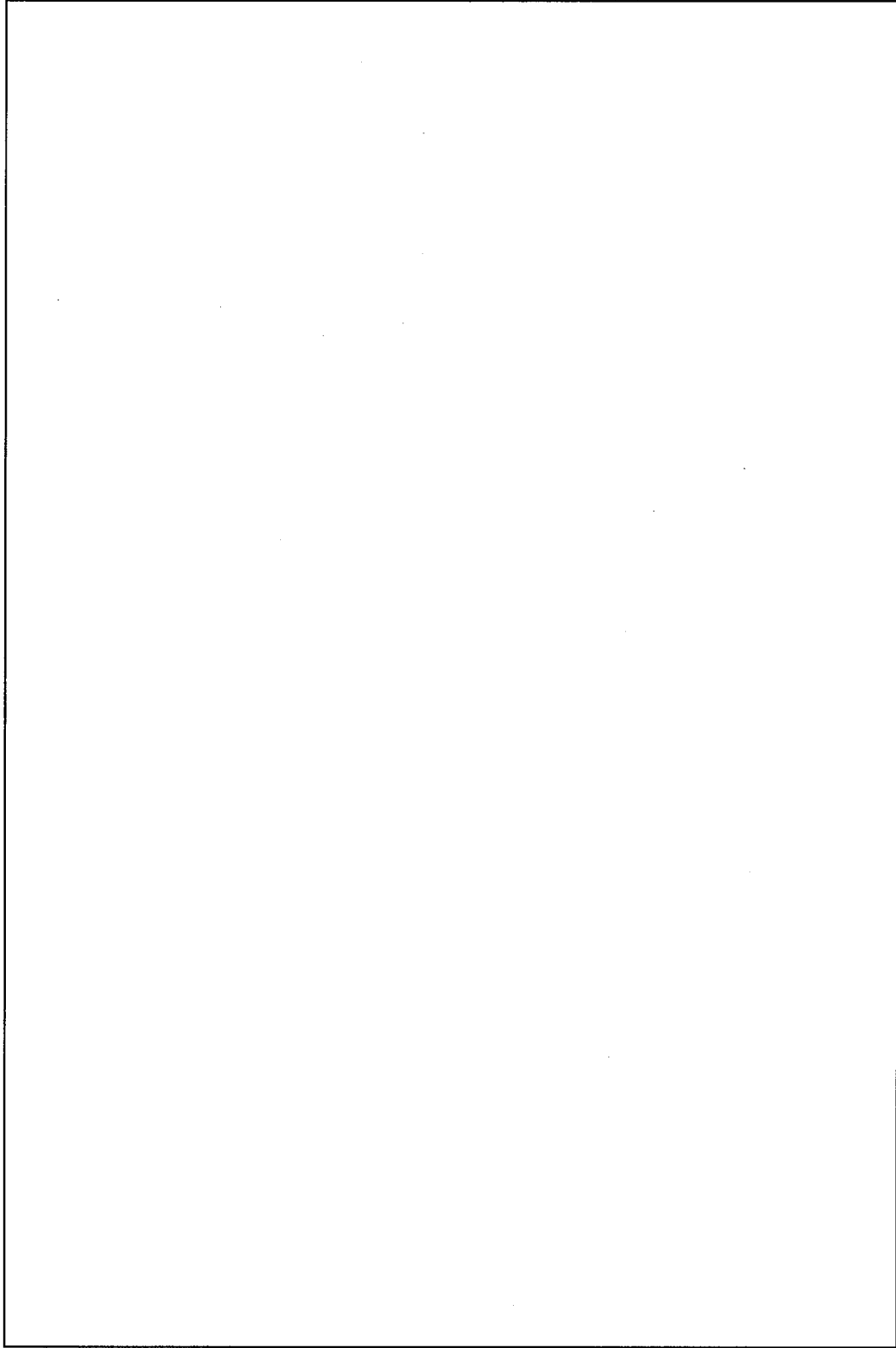
$$F = T \times \frac{1}{0.2d}$$

ここで、T : 初期締付けトルク [N・mm]

d : ボルトの呼び径 [mm]

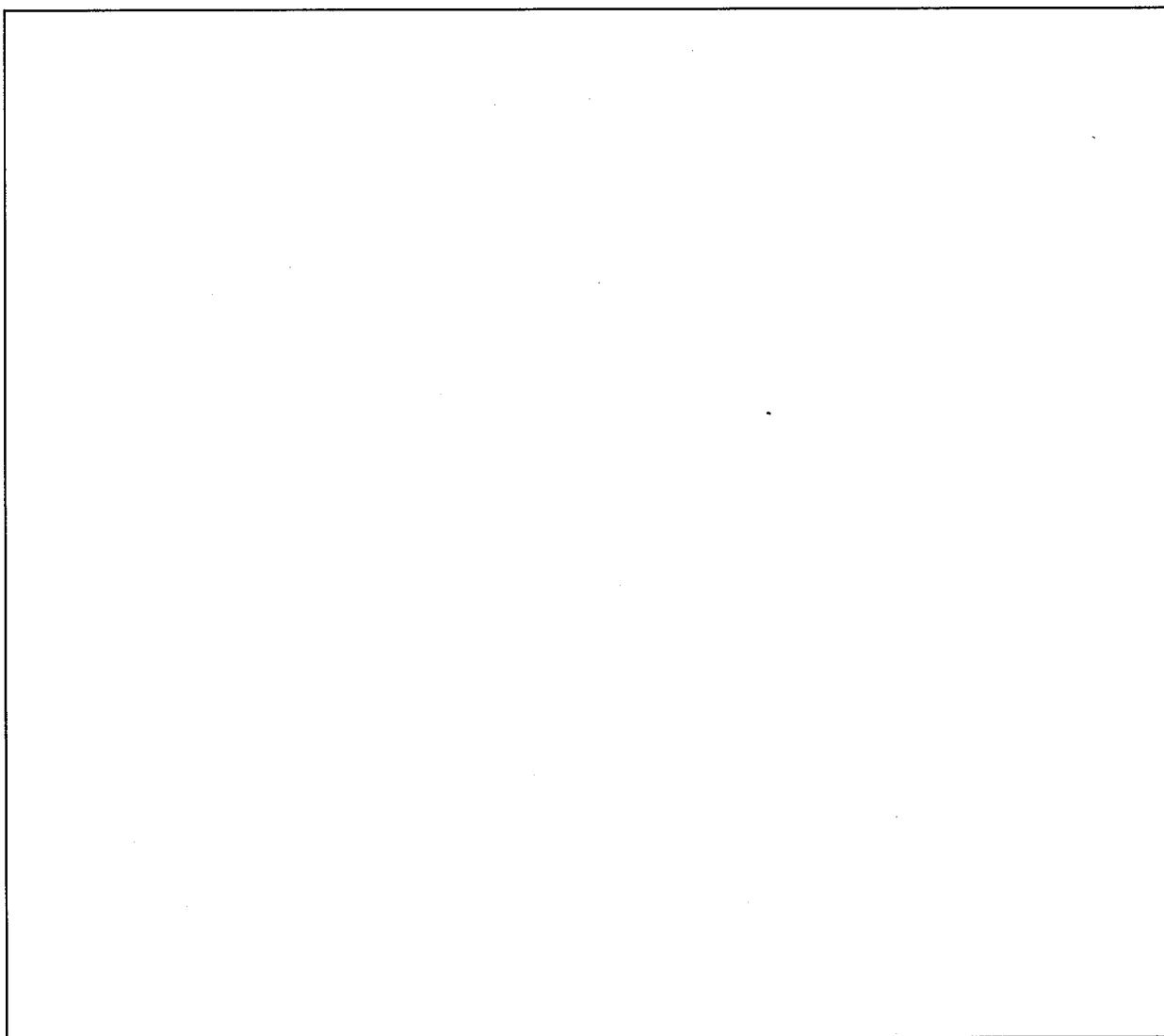
よって、 $F = 2.36 \times 10^5 \text{ N}$

次に、(一次+二次)応力の算出にあたり、解析モデル全体に一般の試験条件の温度(70°C)を与える。



(単位：mm)

(ロ) 第A.24図 解析モデル寸法図 (一般の試験条件の熱的試験)



(p)－第A.25図 要素分割図 (一般の試験条件の熱的試験)

b. 境界条件

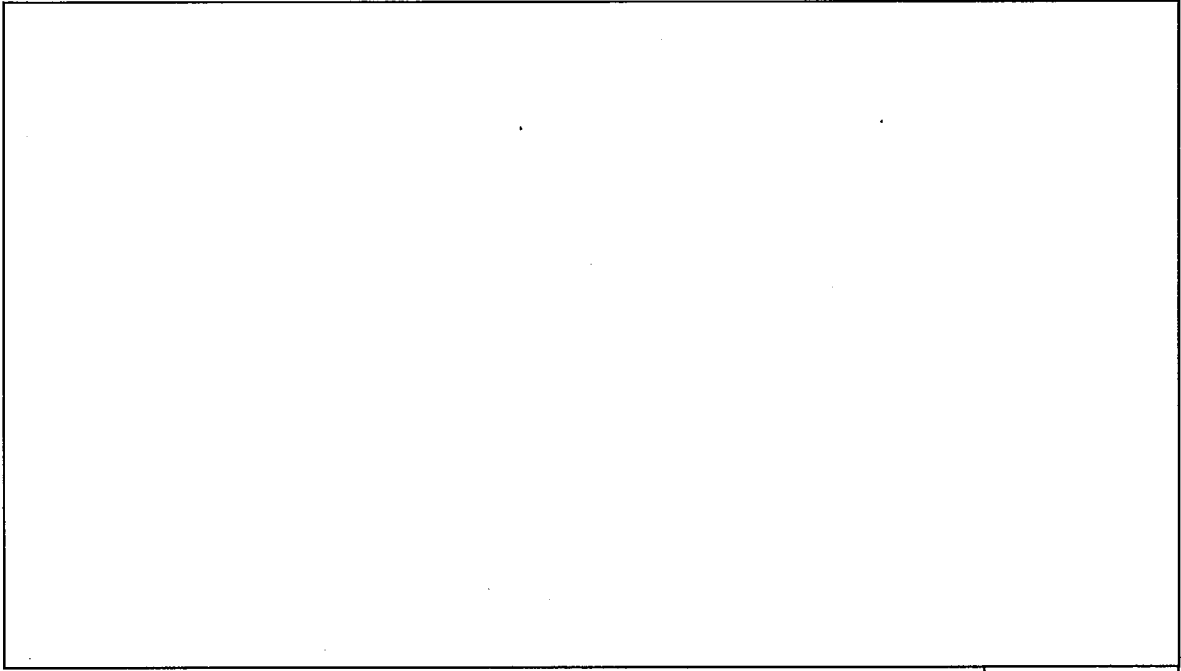
底板中央の軸方向変位、中心軸の半径方向変位、対称面の周方向変位を拘束する。

(3) 解析結果

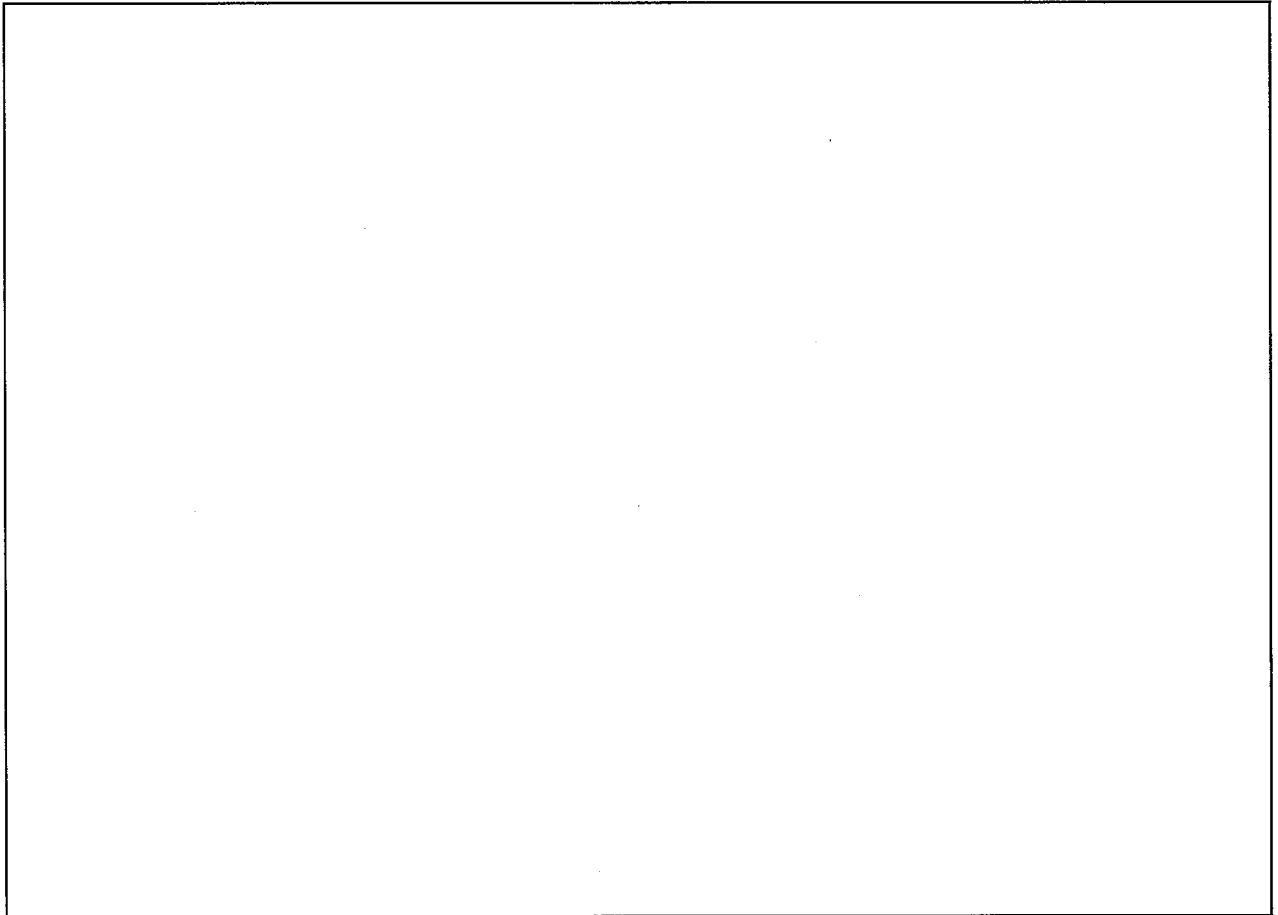
(一次+二次) 応力の算出における変形図及び応力分布図をそれぞれ(a)－第A. 26 図及び(a)－第A. 27 図に示す。

(a)－第A. 28 図に示す評価位置について、一次応力の評価結果を(a)－第A. 10 表に、(一次+二次) 応力の評価結果を(a)－第A. 11 表に示す。同表に示すように容器本体に発生する応力はいずれも評価基準を下回っており、輸送容器の構造健全性は維持される。

また、蓋板ガスケット取付け部における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代(つぶれ代) よりも十分小さく、密封性能に影響を与えない。(付属書類-10 参照)

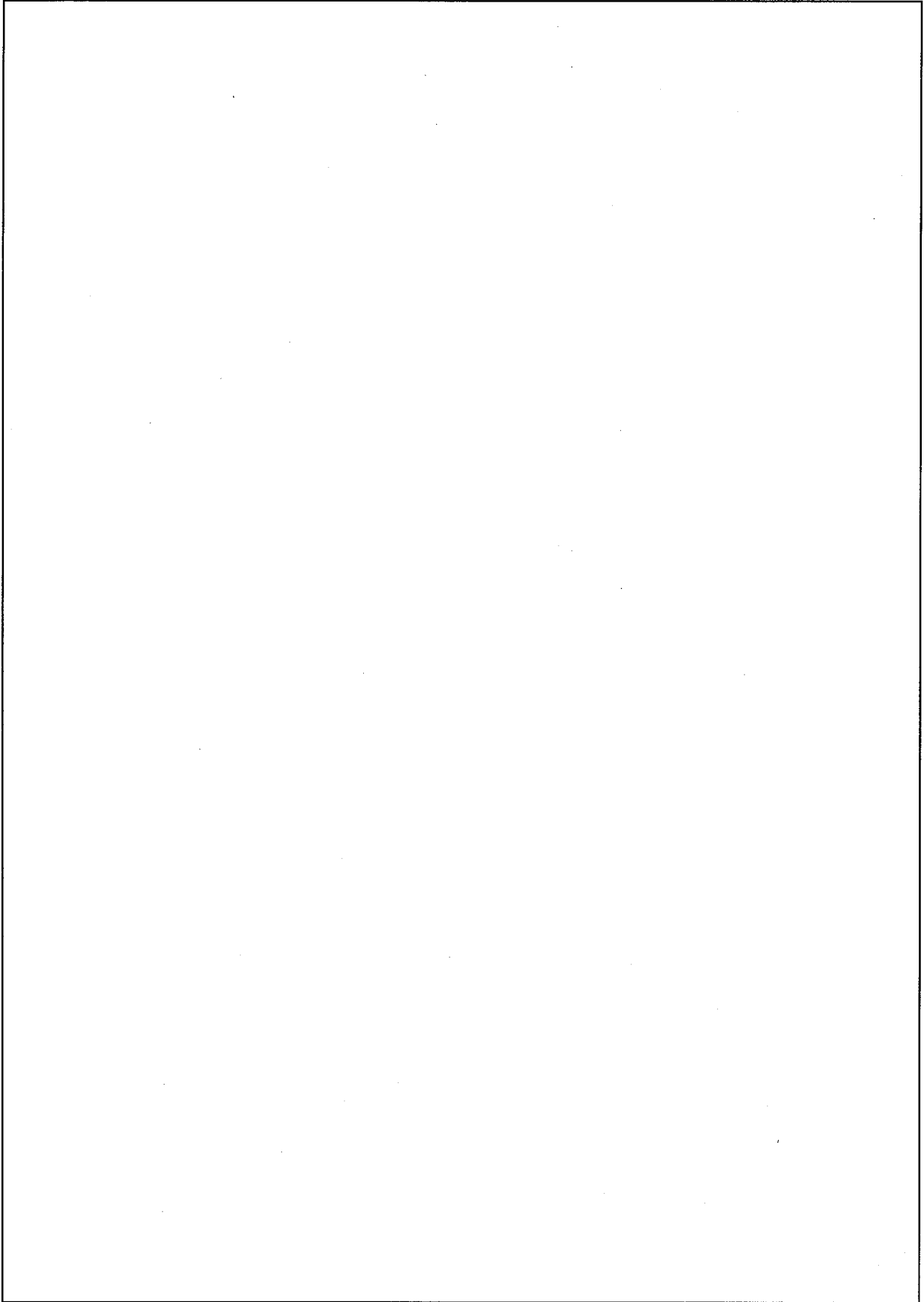


(a) 第 A. 26 図 一般の試験条件の熱的試験の解析結果 (変形図)



(a) 第 A. 27 図 一般の試験条件の熱的試験の解析結果

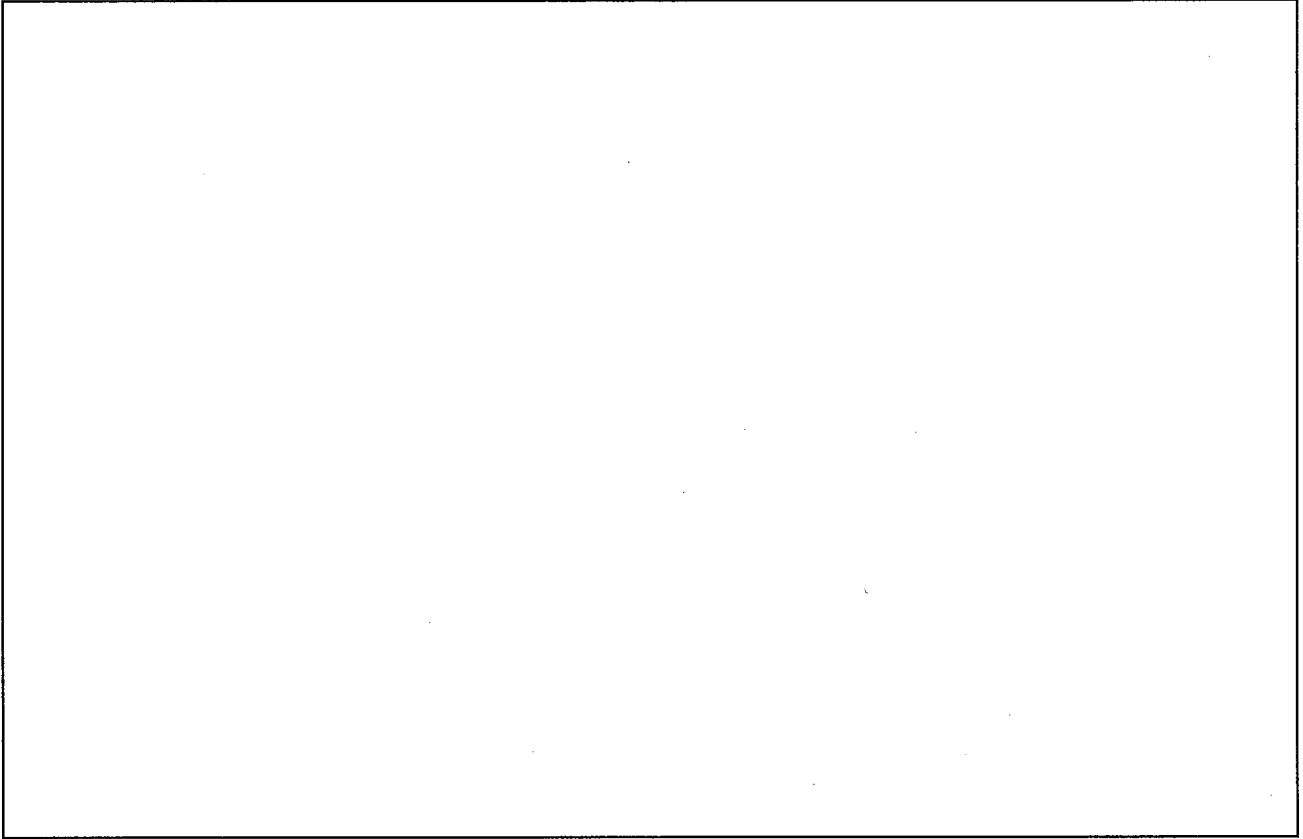
(応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)



(p) - 第 A. 27 図 一般の試験条件の熱的試験の解析結果

(応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)

(p) - A - 64



(㉓)－第A.28図 一般の試験条件の熱的試験における応力評価位置

(ア) - 第A. 10表 一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部の
一次応力に関する応力評価結果

評価位置		応力分類 ¹⁾	応力強さ (MPa)	評価基準 ²⁾ (MPa)	余裕率 (MS)
蓋 板	①	Pm			
		PL+Pb			
	②	PL			
胴外板	③	PL			
	④	Pm			
	⑤	PL			
内 筒	⑥	PL			
	⑦	Pm			
	⑧	PL			
胴ガセット	⑨	PL			
	⑩	PL			
	⑪	PL			
底 板	⑫	PL			
	⑬	Pm			
		PL+Pb			

注 1) Pm: 一次一般膜応力強さ、PL: 一次局部膜応力強さ、Pb: 一次曲げ応力強さ

注 2) 評価基準は、Pm に対して、 $\text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ 、PL 及び PL+Pb に対して $1.5 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ 、密封シール部に対して Sy

(ロ) 一第A.11表 一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部の
(一次+二次) 応力に関する応力評価結果

評価位置		応力強さ (MPa)	評価基準 ¹⁾ (MPa)	余裕率 (MS)
蓋板	①			
	②			
胴外板	③			
	④			
	⑤			
内筒	⑥			
	⑦			
	⑧			
胴ガセット	⑨			
	⑩			
	⑪			
底板	⑫			
	⑬			
蓋板締付けボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) (一次+二次) 応力に対して $3 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ 、密封シール部に対して S_y

蓋板締付けボルトの σ_m に対して $\frac{2}{3} S_y$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して S_y

(4) 疲労評価

一般の試験条件の熱的試験においては、(㉞)－第A. 10 表あるいは(㉞)－第A. 11 表に示すように、容器本体部品のうち初期締付けによる荷重を受ける蓋板締付けボルトが比較的高い応力を示しているため、蓋板締付けボルトに生じる応力について、応力集中を考慮した繰返し応力強さによる許容繰返し回数と想定される繰返し回数を比較して評価を行う。

a. 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 蓋板締付けボルトの応力強さ (応力の変動幅) [MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)] ^[11]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

b. 許容繰返し回数

A. 10. 1 付属書類－1 (㉞)－第A. 付 1. 2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となる。実作業での輸送 1 回当たりの蓋板締付けボルトの締付け回数は 2 回程度であるが、保守的に 4 回とすると、想定される繰返し回数は、輸送容器の使用予定回数 (200 回) より 8×10^2 回となる。したがって、許容繰返し回数 N_a は、想定される繰返し回数より大きく、蓋板締付けボルトは十分な疲労強度を有している。

一方、輸送中に周囲温度及び外圧が変化する場合、内圧 (内外圧力差) が変動し容器本体は圧力による荷重を繰返し受ける。

そこで、一般の試験条件の温度及び圧力の条件に基づいて、温度が -40°C から 70°C 、外圧が 0.060 MPa から MPa の間で変化すると仮定し、密封境界を構成する容器本体各部品に発生する応力の変動幅から、各部品における許容繰返し回数を求めた。

その結果、許容繰返し回数は 10^6 回以上と評価された。一方、繰返し回数は、使用予定年数 (50 年) の期間、一日に 1 回内圧 (内外圧差) が変動すると想定すると、 2×10^4 回 (1 回 \times 365 日 \times 50 年 $= 1.8 \times 10^4$ 回を包含する回数) となる。

したがって、許容繰返し回数は、繰返し回数を十分上回っており、疲労により密封

境界を構成する容器本体各 부품の健全性が損なわれることはない。(付属書類-13 参照)

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

(ロ)一第A. 10 表及び(ロ)一第A. 11 表に示すように、輸送容器に発生する応力に対する評価基準の余裕率は正であり、一般の試験条件の熱的試験における本輸送物の健全性は維持される。

A. 5. 2 水噴霧

輸送容器の外表面は、ステンレス鋼あるいは塗装されたステンレス鋼であり、水噴霧に対して吸水により劣化することはない、また、水溜まりによる腐食が発生することはない。

したがって、水噴霧により輸送物の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じることはなく、線量当量率の増加等が生じることはない。

A.5.3 自由落下

輸送物の最大重量は19.5トンであるため、告示により落下高さは0.3mとなる。

輸送容器の落下時における挙動については、実機の[]モデルを用いた落下試験を実施しており、種々の落下姿勢、条件における変形、衝撃加速度及び密封性能の状態が測定された。試験の結果、9m落下において容器本体に変形は見られず密封性能の損傷も生じていないことを確認している。したがって、0.3mを落下高さとする本試験においては、輸送容器に要求される構造健全性は維持される。

一方で、輸送容器の落下時における挙動を定量的に求めるため、解析手法を用いて本試験が輸送容器に与える影響を評価する。

(1) 容器本体

容器本体及び衝撃吸収カバーを実形状に従ってモデル化して、0.3mの高さから落下する事象を動的解析コードLS-DYNAを用いて解析し、容器本体各部に発生する応力及び歪を求め、他の解析に影響を与える形状変化が生じないことを示す。

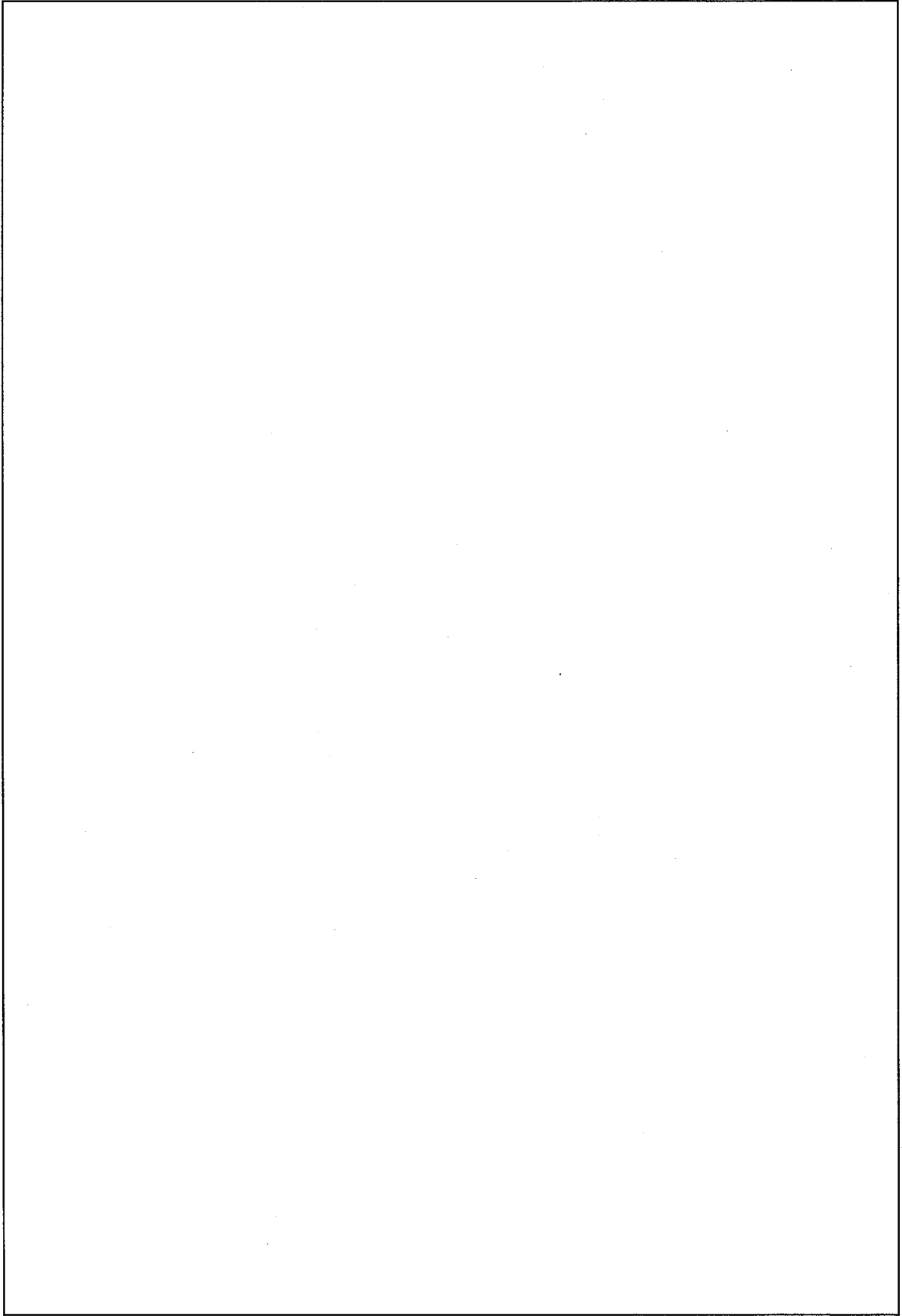
なお、容器本体に作用する衝撃荷重は、衝撃吸収カバーの緩衝特性に依存することから、解析モデルに与える衝撃吸収カバーの特性の妥当性は、モックアップ試験の代表的なケースを対象とした確認解析により確認している。(付属書類-2参照)

a. 解析モデル

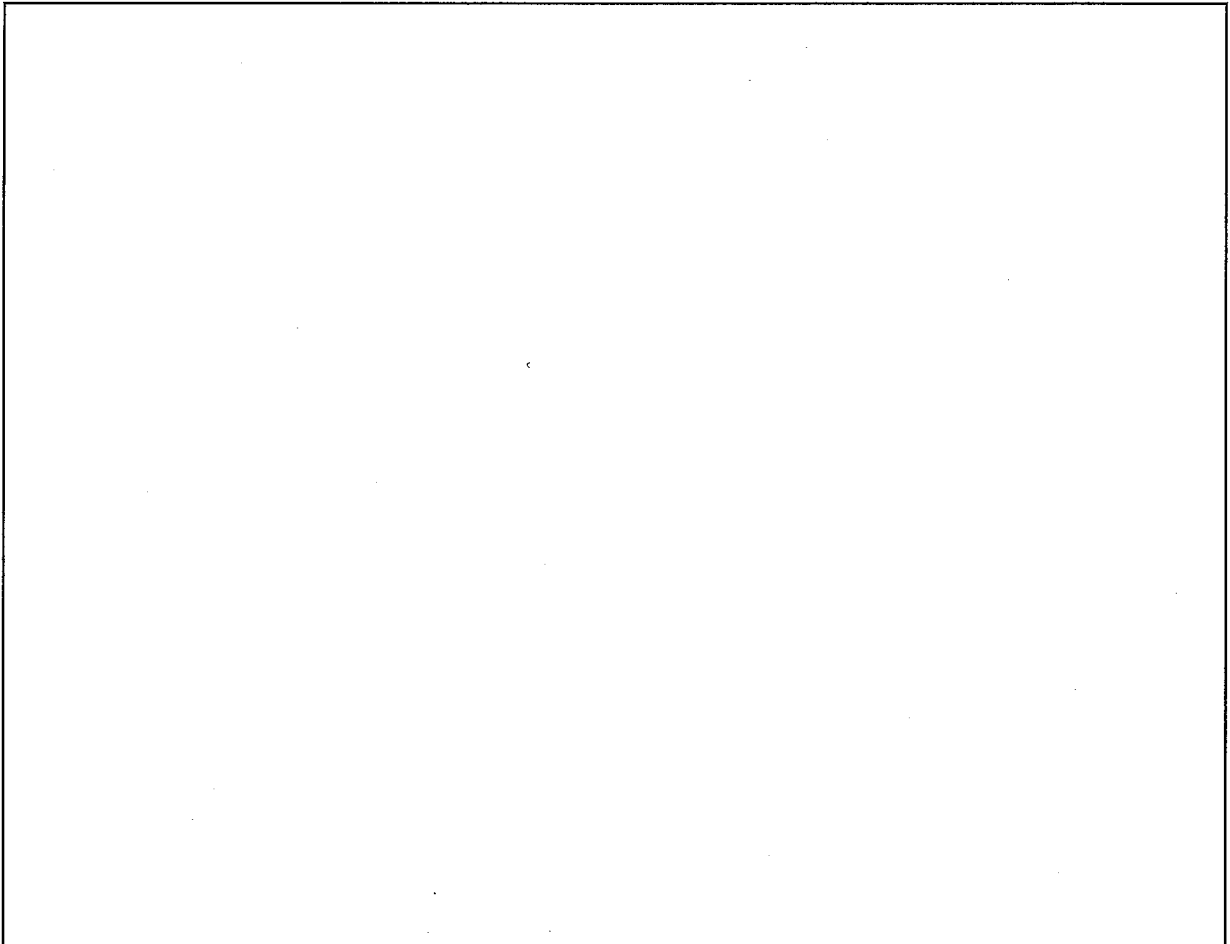
解析モデルは、各落下姿勢（垂直、水平、コーナー）に共通して適用できるように面対称3次元モデルとする。当該モデルは、衝撃吸収カバー、蓋板締付けボルトを組込んだ蓋部、胴部及び底部から構成されている。衝撃吸収カバーは、[]モデルを用いた落下試験を再現する落下試験確認解析に基づきモデル化している。レジン解析モデルの質量が全体質量となるように密度を調整してモデル化している。また、内容物（バスケット及び収納物）の質量による容器本体への負荷を反映するために、バスケットの形状を考慮した等価な密度の領域をモデル化している。

解析モデルの寸法及び要素分割図を(図) - 第A.29図及び(図) - 第A.30図に示す。

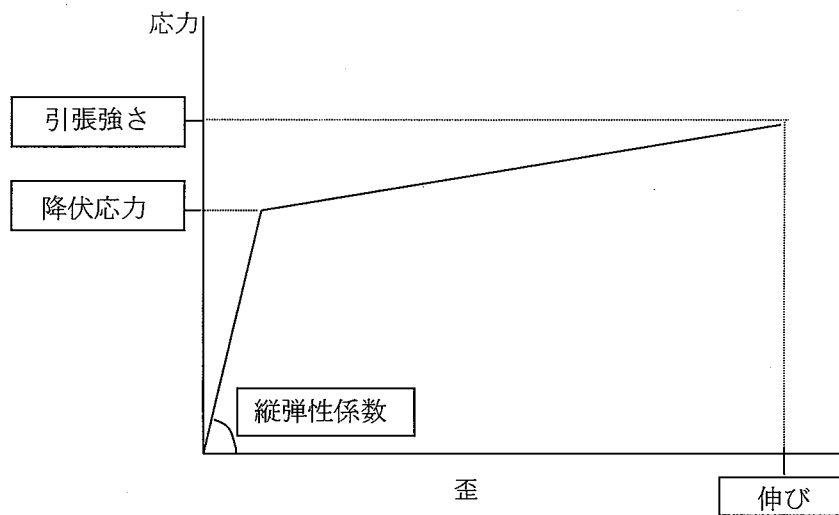
なお、構造強度部材に発生する塑性歪を保守的に算定するために、材料特性として公称応力及び伸びに基づく応力-歪関係（(図) - 第A.31図参照）を採用した。



(ア)一第A.29 図 解析モデル寸法図 (自由落下/容器本体)



(ア) - 第A.30図 要素分割図 (自由落下/容器本体)



(ア) - 第A.31図 評価対象部品に設定した応力-歪関係

b. 荷重条件及び境界条件

落下姿勢に応じた角度で剛体面に接した解析モデルに対し、まず、蓋板締付けボルトに初期締付けによる引張応力 (□MPa) に相当する応力を発生させる。続いて、自由落下時の衝突速度 (2.43m/sec) を与える。

解析ケースとして、以下の各落下姿勢について解析を行う。

- ① 垂直落下 (前部及び後部)
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下 (前部及び後部)

c. 解析結果

解析は最大変形が確認できる時刻まで実行し、解析結果として、最大変形量、落下中の各構造強度部材に発生する塑性歪及び蓋板締付けボルトの応力を抽出した。各落下姿勢における衝撃吸収カバーの変形図を(□)－第A.32図に示す。

各落下姿勢における損傷状態に関する解析結果を以下に示す。

(a) 前部垂直落下

容器本体の各部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。また、蓋板締付けボルトに発生する応力は評価基準(S_y)を下回っている。

(b) 後部垂直落下

容器本体の各部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

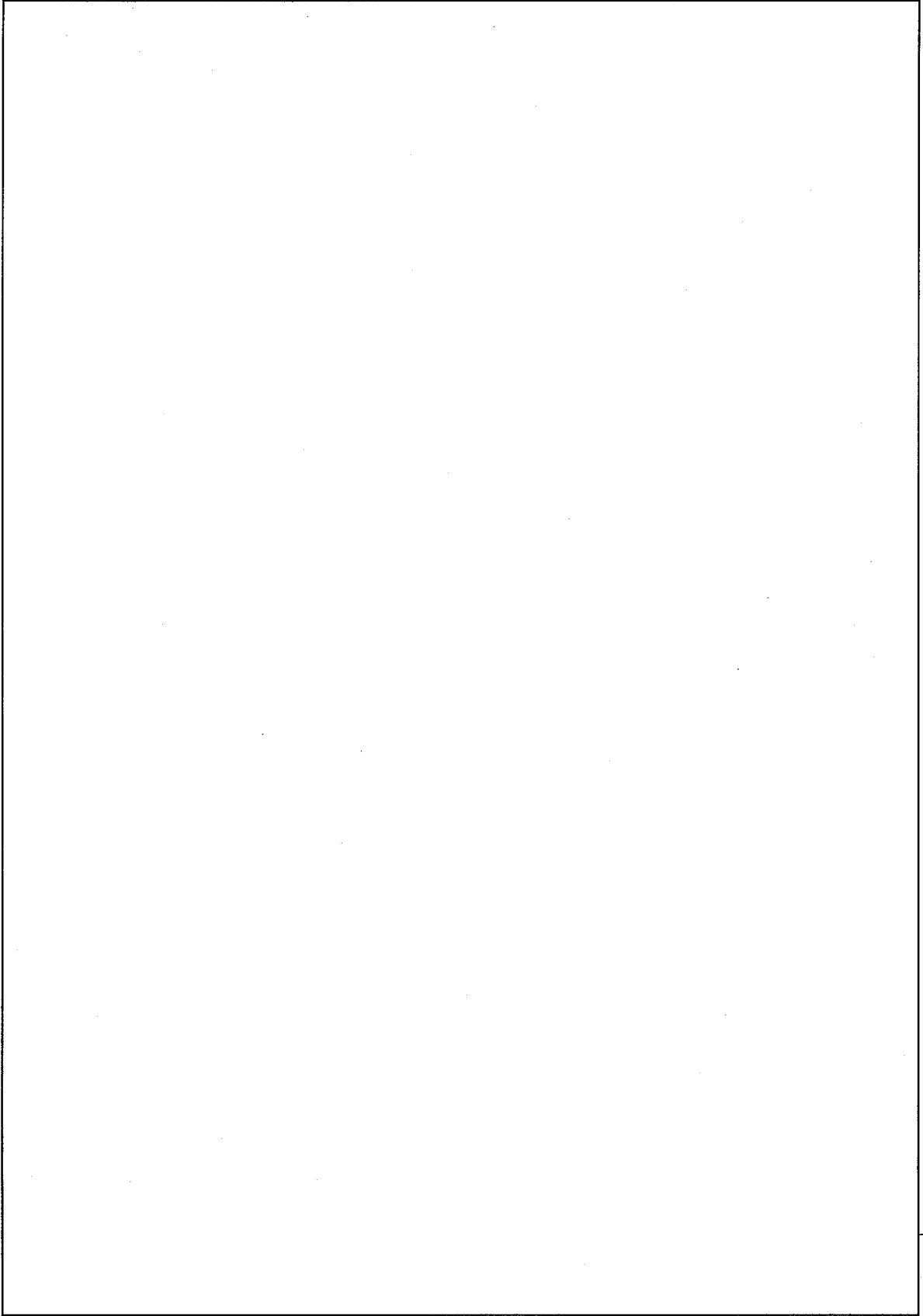
(c) 水平落下

容器本体部品のうち、□に□%以下の塑性歪((□)－第A.33図に示す。)が発生しているが、□形状は維持される。

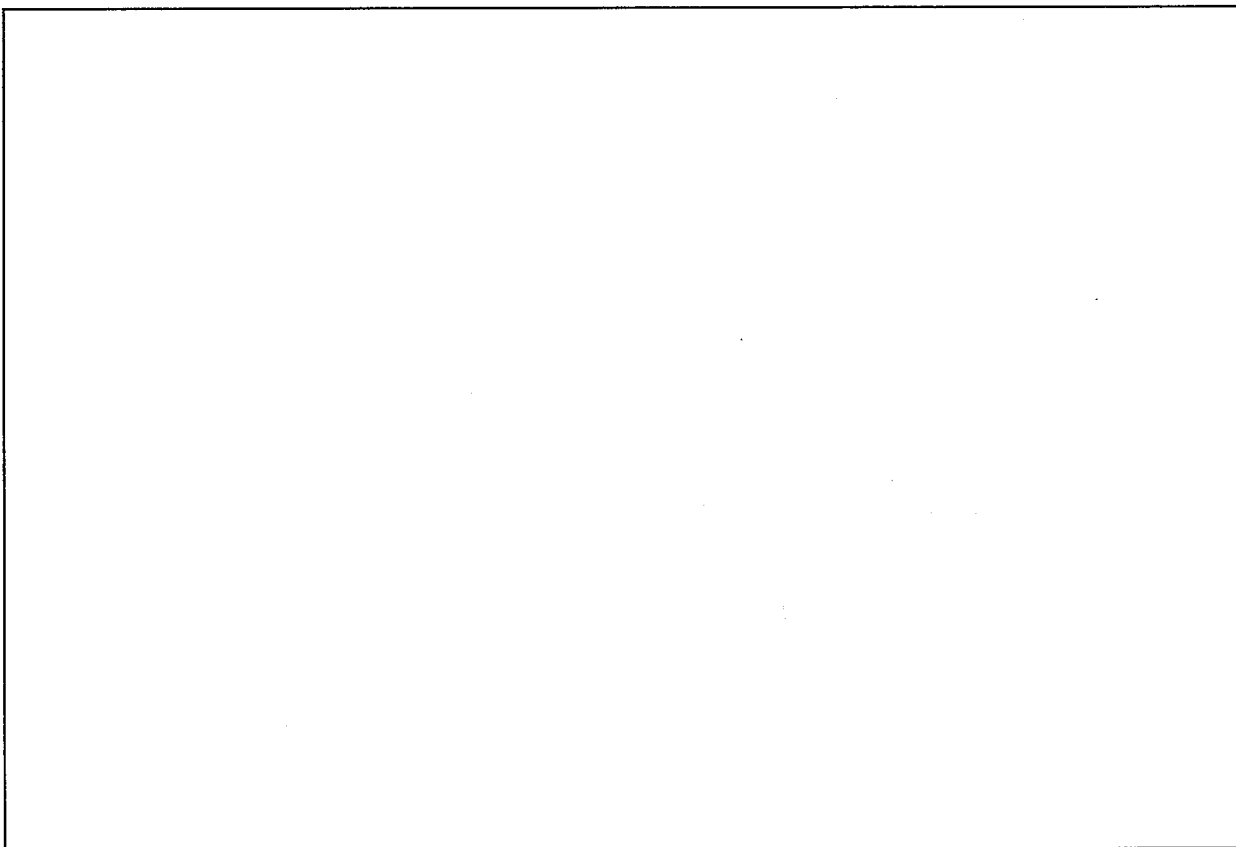
したがって、水平落下において、容器本体には他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。また、蓋板締付けボルトに発生する応力は評価基準(S_y)を下回っている。

(d) 前部コーナー落下

容器本体の各部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。また、蓋板締付けボルトに発生する応力は評価基準(S_y)を下回っている。



(p) - 第A. 32 図 自由落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(ロ)一第A.33 図 0.3m水平落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)

(e) 後部コーナー落下

容器本体の各部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

以上の解析結果を(ロ)一第A.12表にまとめる。

同表に示されるように、いずれの落下姿勢においても他の解析で考慮を要するような形状変化が生じるようなことはなく、自由落下試験に対して構造健全性は維持される。

また、前部垂直落下、水平落下及び前部コーナー落下において、蓋板ガスケット取り付け部における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代 (つぶれ代) よりも十分小さく、密封性能に影響を与えない。(付属書類-10 参照)

(ロ) 第一A.12表 自由落下における容器本体の解析結果のまとめ (1/2)

落下姿勢	衝撃吸収カバー 最大変形量 (mm)	部 品	塑性歪 (%)	評 価
前部垂直		蓋 板		
		上部フランジ		
		内 筒		
		胴ガセット		
		胴外板		
後部垂直		内 筒		
		胴ガセット		
		胴外板		
		底 板		
水平		上部フランジ		
		内 筒		
		胴ガセット		
		胴外板		
前部 コーナー		蓋 板		
		上部フランジ		
	内 筒			
	胴ガセット			
	胴外板			
後部 コーナー	内 筒			
	胴ガセット			
	胴外板			
	底 板			

(ロ) 第一A.12表 自由落下における容器本体の解析結果のまとめ (2/2)

評価対象部品	落下姿勢	応力の種類	解析結果 (MPa)	評価基準 ¹⁾ (MPa)	余裕率 (MS)
蓋板締付け ボルト	前部垂直	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	水平	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	前部 コーナー	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) 評価基準は、 σ_m 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対して S_y

(2) バスケット

落下時において、バスケットには自重による慣性力と収納物による慣性力が作用するが、落下姿勢の中で、収納物による全ての荷重が負荷される水平落下が最もバスケットにとって厳しい条件となる。本項では、水平落下時における衝撃を受けた場合のバスケットに発生する歪を動的解析コードLS-DYNAを用いて求め、バスケットに必要な構造健全性が維持されることを示す。

a. 解析モデル

バスケットは、

容器本体は、水平落下時にバスケットが容器本体の胴部により支持される条件を模擬するため、内筒、胴ガセット、胴外板及び胴部レジンから構成される円環としてモデル化する。

収納物は、チャンネルボックスの断面寸法で燃料有効長を全長とする角柱の体積から算定した密度を有する直方体でモデル化する。

なお、バスケット材料に与える物性としては、発生する歪を保守的に算定するために、主要強度部品であるは弾完全塑性体とみなし、その他の部品については(□)－第A.31 図に示したように公称応力と伸びに基づく応力－歪関係を採用する。

解析モデルの寸法及び要素分割図を(□)－第A.34 図及び(□)－第A.35 図に示す。

b. 荷重条件及び境界条件

バスケットに自由落下時の衝突速度 (2.43m/sec) を与え、バスケットを支持する容器本体の胴部の側面には、容器本体の水平落下の解析から抽出した胴部中央の速度時刻歴 ((□)－第A.36 図に示す。) を与える。

スライス形状のバスケットの両端面には対称条件を与える。

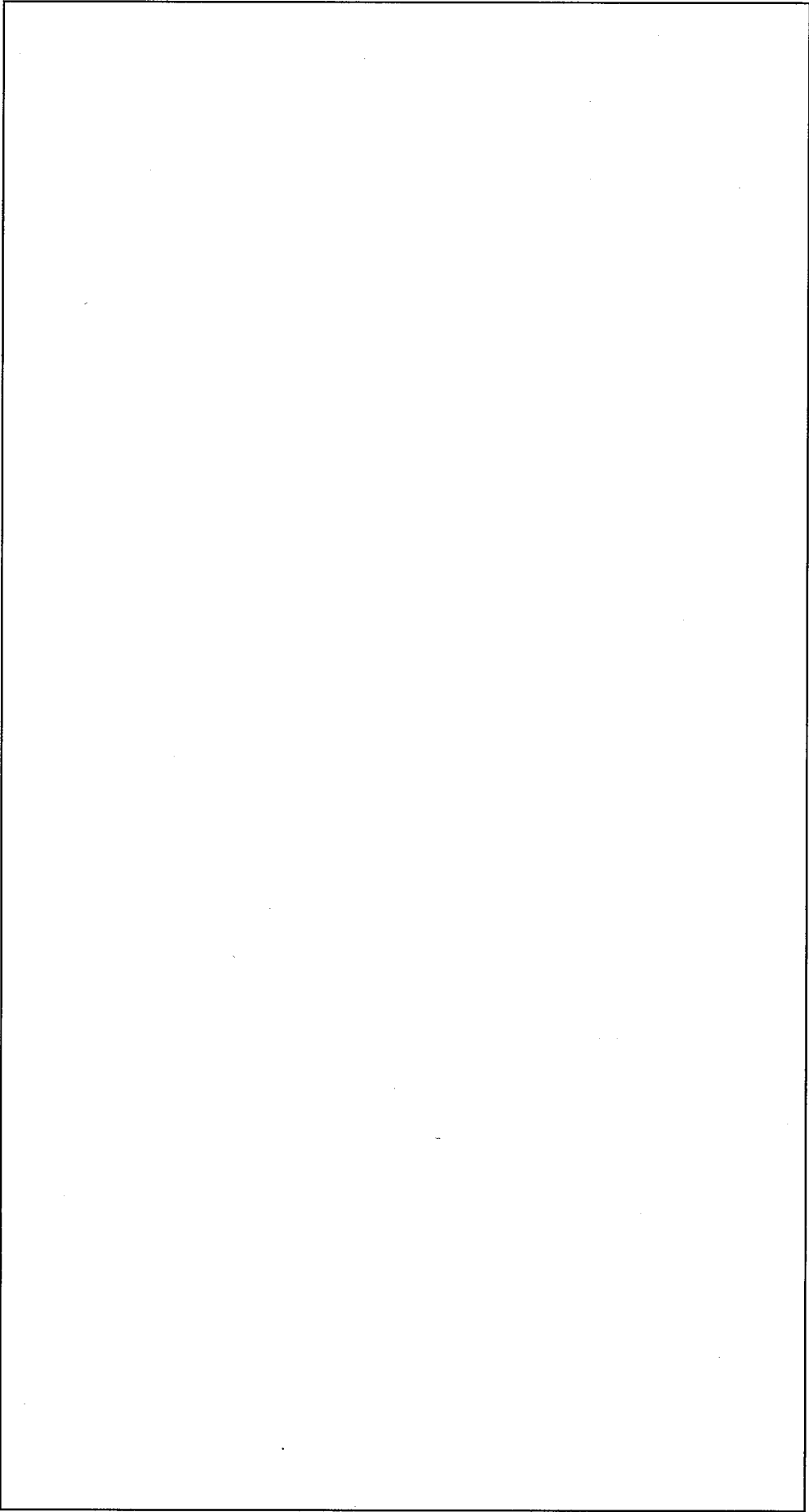
(□)－

第A.37 図に示すように落下方向として

を対象とする。

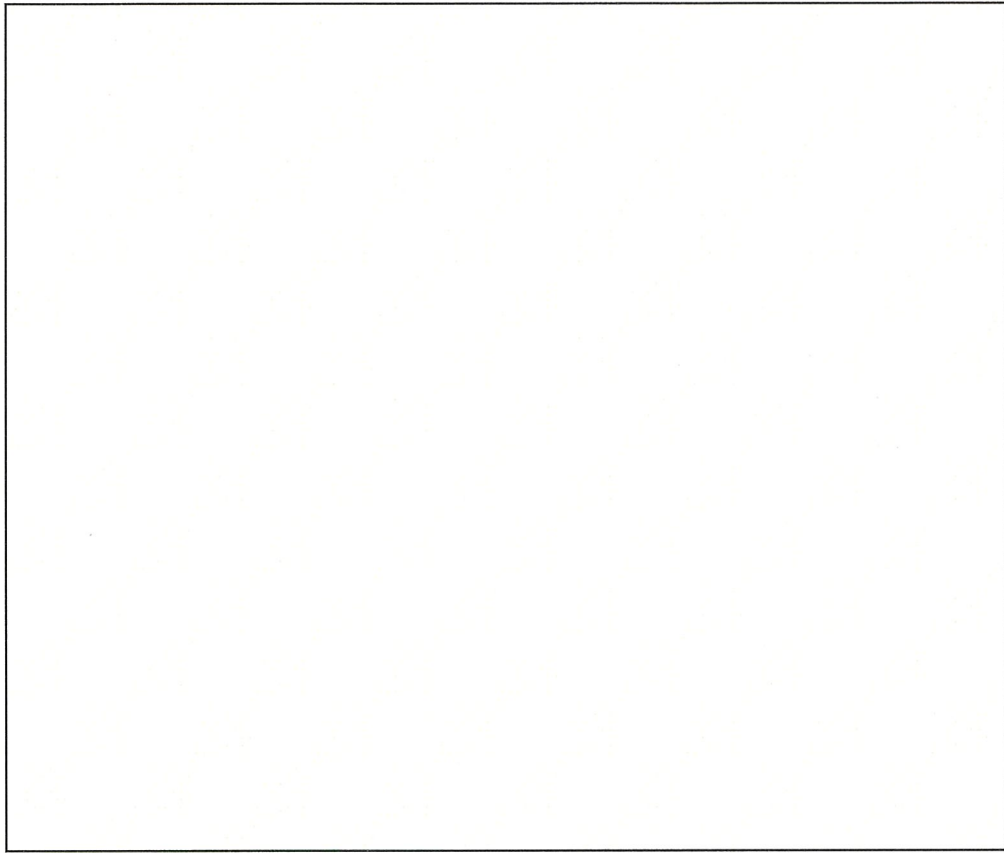
c. 解析結果

解析結果として、バスケットの構成部品に発生した塑性歪を抽出した。各落下方向に関する解析結果を(□)－第A.13 表にまとめる。同表に示されるように、いずれの落下方向においても他の解析で考慮を要するような形状変化が生じることはなく、自由落下試験に対してバスケットの構造健全性は維持される。

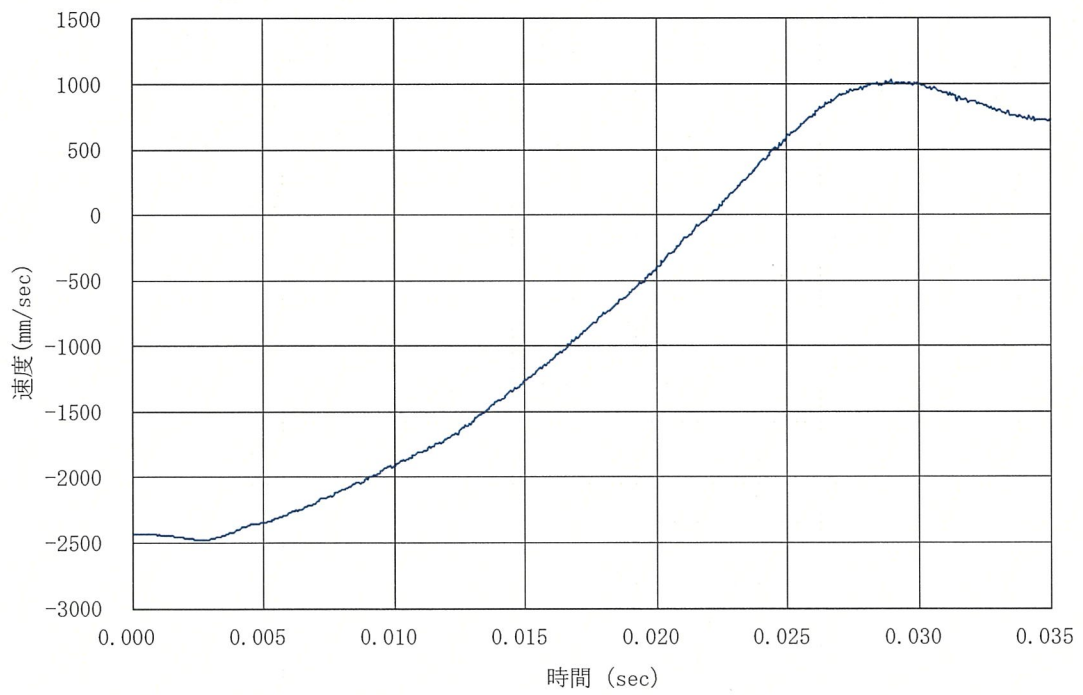


(単位：mm)

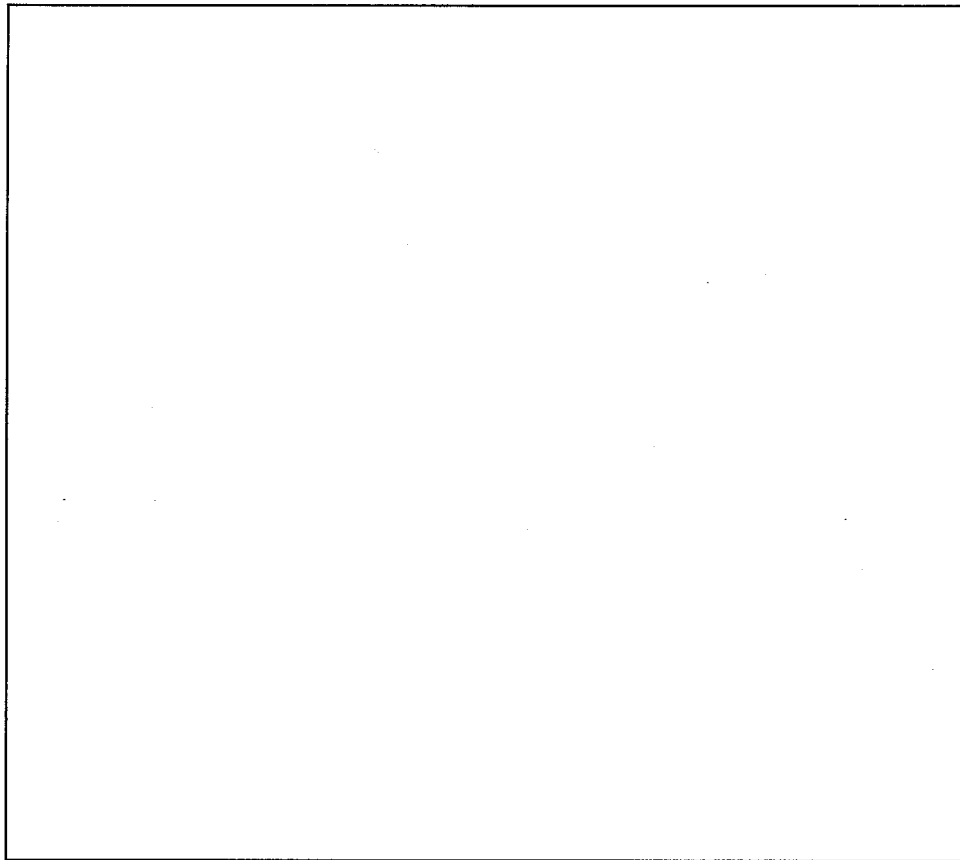
(甲) - 第A. 34 図 解析モデル寸法図 (自由落下/バスケット)



(ア) 第A. 35 図 要素分割図 (自由落下/バスケット)



(イ) 第A. 36 図 容器本体の速度時刻歴



(ロ)－第A. 37 図 バスケットの落下方向

(ロ)－第A. 13 表 自由落下におけるバスケットの解析結果のまとめ

落下方向	部 品	塑性歪 (%)	評 価
[Blank]	ロジメント	[Blank]	[Blank]
	[Blank]		
	アルミスパーサー		
	[Blank]		
	ロジメント		
	[Blank]		
	アルミスパーサー		
	[Blank]		
	ロジメント		
[Blank]			
アルミスパーサー			
[Blank]			

(3) 燃料被覆管

落下時において、輸送容器に収納されたBWR燃料集合体には輸送容器からの衝撃荷重が作用する。

ここでは、保守的に輸送容器からの衝撃荷重が伝わる過程にある部材（収納缶、燃料集合体のうち燃料棒以外の部分）の変形を無視し、燃料ペレットを封入している燃料被覆管に衝撃荷重が直接作用するものとして、動的解析コードLS-DYNAを用いて燃料被覆管に発生する最大塑性歪を求め、破断のないことを以下に示す。

落下姿勢としては、燃料被覆管に負荷される圧縮荷重及び曲げ荷重がそれぞれ最大となる垂直落下と水平落下を対象とする。

解析に用いる燃料集合体の諸元及び燃料被覆管の物性を(ρ)－第A.14表及び(ρ)－第A.15表に示す。

(ρ)－第A.14表 燃料集合体の諸元

項目	評価に用いる値
燃料集合体重量 (チャンネルボックス含む)	<input type="text"/> kg
燃料棒本数	72本
燃料ペレット質量	<input type="text"/> kg
燃料有効長	<input type="text"/> mm
燃料被覆管外径	11.0 mm
燃料被覆管内径	<input type="text"/> mm
スペーサー間隔	<input type="text"/> mm
内部気体充填圧力 (20°C)	<input type="text"/> MPa 絶対圧

(ρ)－第A.15表 燃料被覆管の物性 [12]

項目	評価に用いる値
密度 (10^3 kg/m^3)	6.55
縦弾性係数 (10^5 MPa)	<input type="text"/> (70°C)
降伏応力 (MPa)	<input type="text"/> (70°C)
引張強さ (MPa)	<input type="text"/> (70°C)
ポアソン比	<input type="text"/> (70°C)
最小破断伸び (%)	<input type="text"/> (70°C)

a. 解析モデル

燃料棒はスペーサーによりほぼ等しい間隔に支持されていることから、スペーサー間隔の長さの燃料被覆管をモデル化する。

解析モデルに与える物性としては、発生する歪を保守的に算定するために、公称応力と伸びに基づく応力-歪関係を採用する。(□) - 第A. 31 図参照)

解析モデルの要素分割図を(□) - 第A. 38 図に示す。

b. 荷重条件及び境界条件

(a) 垂直落下

垂直落下では、燃料被覆管が直接容器内面に衝突するものと仮定する。

衝突面は、変形による燃料棒の落下エネルギー吸収を無視するために、剛体として定義する。

解析モデルに自由落下時の衝突速度 (2.43 m/sec) を与え、衝突面には(□) - 第A. 39 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、前部垂直落下より衝撃の大きい後部垂直落下における底板から抽出した。

垂直落下ではペレットの慣性力はペレット自身により受け持たれるため、燃料集合体 (チャンネルボックス含む) 質量からペレット質量を差し引いた質量が負荷されるものとして、当該質量を燃料棒本数で除した質量を解析モデルの上端に付加する。

また、燃料被覆管内面には、内部気体の充填圧力が負荷される。内部気体の充填圧力は20°Cにおいて□ MPa 絶対圧であるため、70°Cにおける内外圧力差Pは以下のように求められる。

$$P = \square \times \frac{273+70}{273+20} - 0.101 = \square \text{ MPa}$$

したがって、解析モデルの内面に□ MPa の圧力を作用させる。

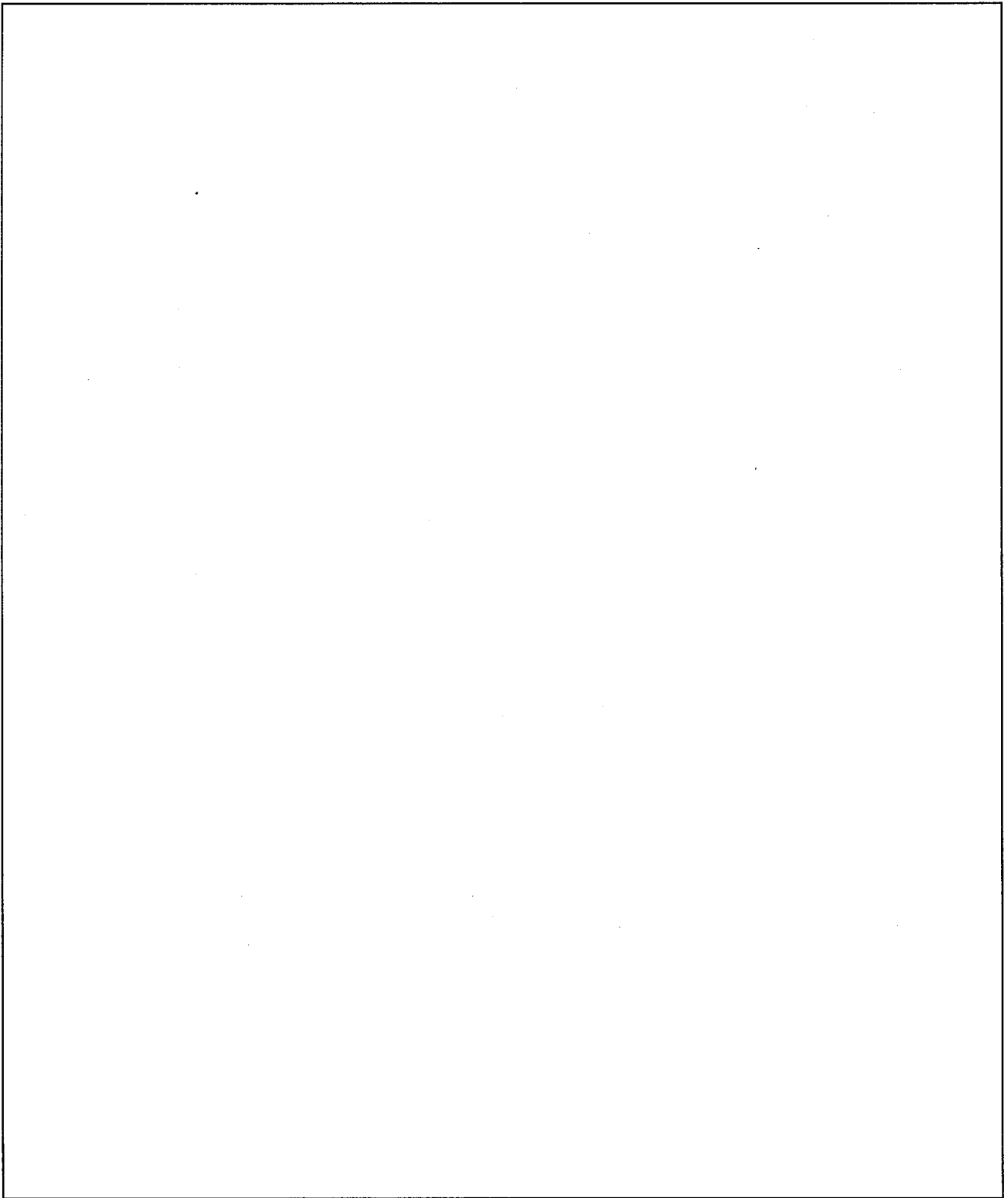
境界条件として、解析モデルの両端には対称条件を与える。

(b) 水平落下

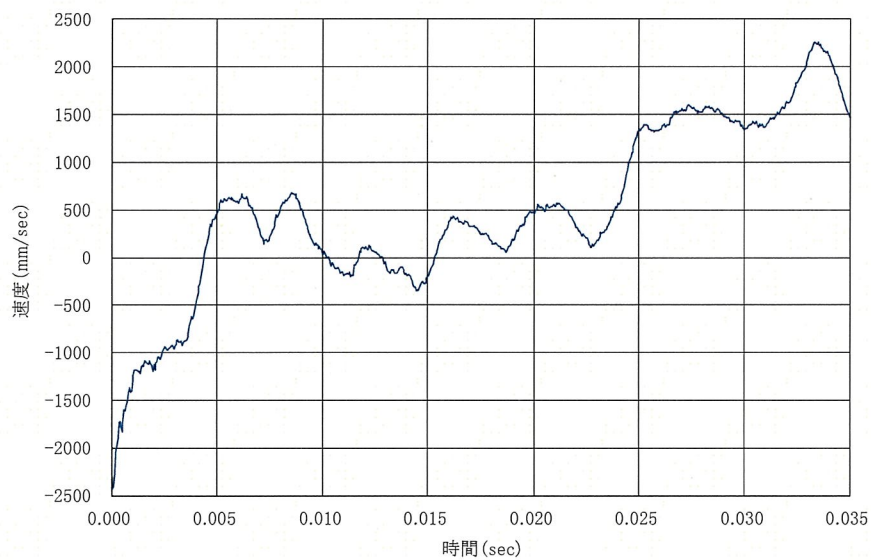
水平落下では、燃料集合体のスペーサー部分がロジメント内面に保持され、燃料被覆管がスペーサーを支持点とした曲げ変形を受けるものと仮定する。

スペーサーにより支持された状態を模擬するため、燃料被覆管の両端を剛体面で保持する。

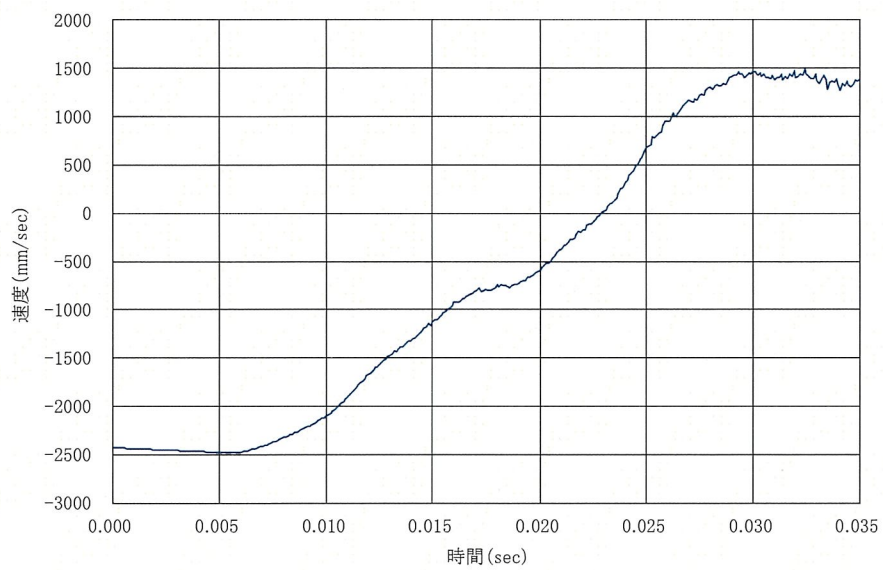
解析モデルに自由落下時の衝突速度 (2.43 m/sec) を与え、両端の剛体面には(□) - 第A. 40 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、水平落下におけるバスケットから抽出した。



(□) - 第A: 38 図 燃料被覆管の落下解析モデル



(□)－第A. 39 図 容器本体の速度時刻歴 (後部垂直落下)



(□)－第A. 40 図 バスケットの速度時刻歴 (水平落下)

水平落下ではペレットの慣性力は全て燃料被覆管に受け持たれるため、ペレットの質量を一様に内面に付加する。

また、解析モデルの内面には MPa の圧力を作用させる。

境界条件として、解析モデルの両端には対称条件を与える。

c. 解析結果

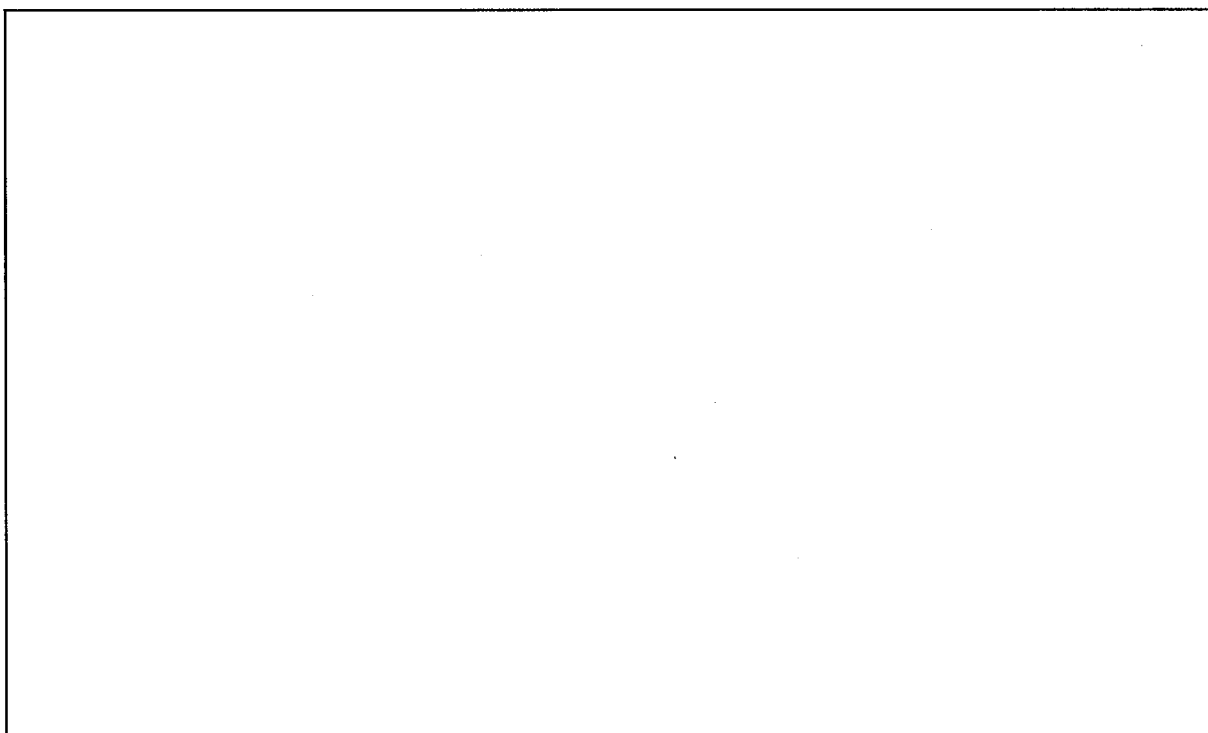
垂直及び水平落下における解析結果を (a) ー 第 A. 16 表 に示す。

垂直落下では、(a) ー 第 A. 41 図 に示すように最下部近傍に最大 % の塑性歪が発生しているが燃料被覆管の最小破断伸びに比べて十分に小さい。一方、水平落下では、塑性歪の発生は見られなかった。

したがって、自由落下において、燃料被覆管は破断することなく、燃料棒の密封性は維持される。

(a) ー 第 A. 16 表 自由落下における燃料被覆管の解析結果のまとめ

条 件	最大塑性歪 (%)	最小破断伸び (%)
0.3m垂直落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
0.3m水平落下		



(a) ー 第 A. 41 図 0.3m垂直落下/燃料被覆管の解析結果 (塑性歪分布図)

A.5.4 積み重ね試験

本試験の条件は、輸送物の総重量の5倍に相当する荷重、もしくは輸送容器の投影面積に13 kPaを乗じた値の大きい方を輸送容器に負荷することから、本輸送容器については、輸送物重量(19.5トン)の5倍に相当する荷重が負荷された時の容器本体の強度を評価する。

(1) 縦置き

容器本体の上端面に輸送物の総重量の5倍に相当する荷重を負荷した時の胴部に発生する応力を解析コードABAQUSを用いて求める。

a. 解析モデル

解析モデルとして、胴部の各部品の応力を求めるために、A.5.1 熱的試験に用いた容器本体の□ 3次元モデルを用いる。

解析モデルの寸法及び要素分割図は(□)－第A.24図及び(□)－第A.25図に示したとおりである。

b. 荷重及び境界条件

上部フランジの端面に輸送物重量の6倍に相当する荷重を分布荷重として負荷し、底板下面周辺部を固定する。負荷する荷重Fは以下のとおりである。

$$F = m \times g \times 6 \times \frac{\square}{360^\circ}$$

ここで、m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

g : 重力加速度 [9.81m/s²]

したがって、

$$F = \square \text{ N}$$

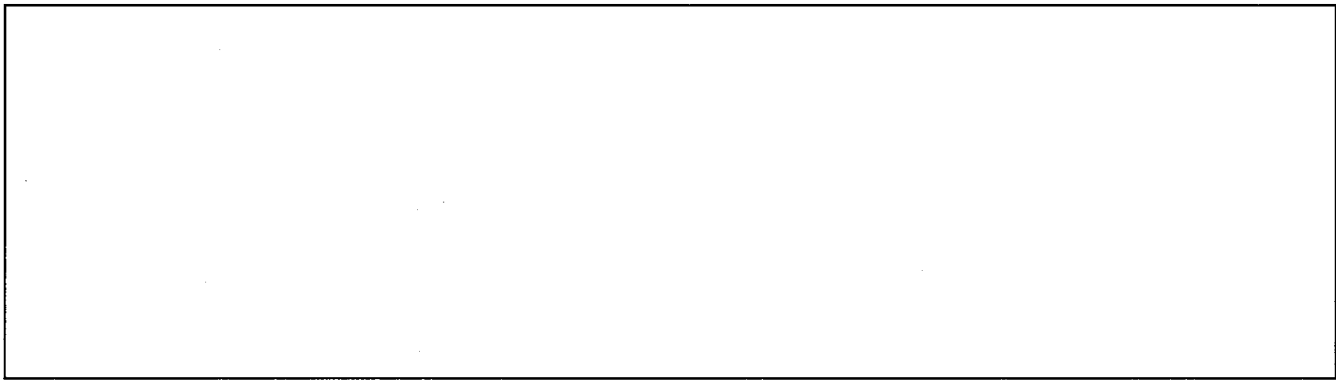
また、中心軸の半径方向変位、対称面の周方向変位を拘束する。解析モデルに与えた荷重及び境界条件を(□)－第A.42図に示す。

c. 解析結果

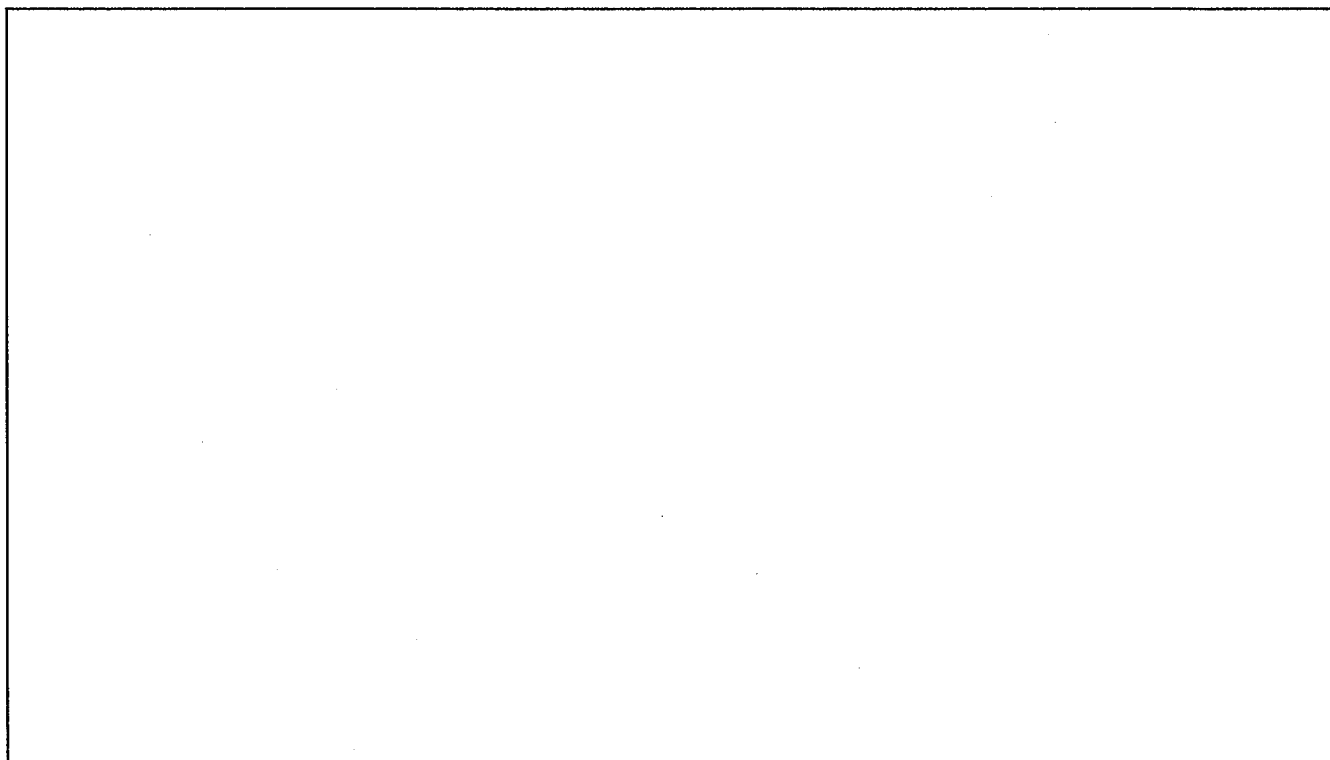
変形図及び応力分布図をそれぞれ(□)－第A.43図及び(□)－第A.44図に示す。

胴部の各部品に発生した応力の評価結果を(□)－第A.17表に示す。

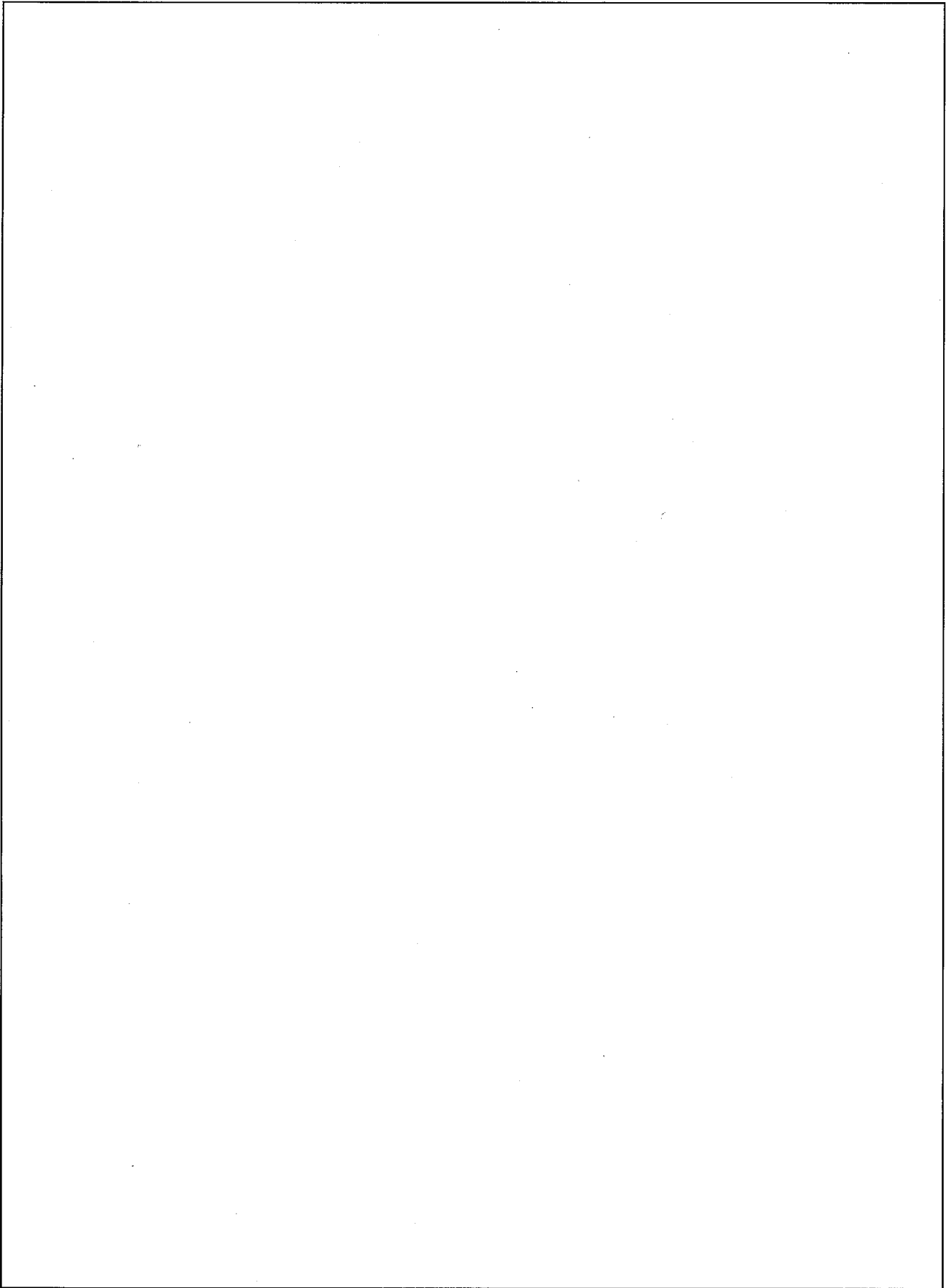
いずれの部品についても、発生応力は評価基準を下回っており、縦置き状態における積み重ね試験により胴部の構造健全性が損なわれることはない。



(ア)－第A.42図 積み重ね試験（縦置き）における荷重及び境界条件



(ア)－第A.43図 積み重ね試験/縦置きの解析結果（変形図）



(□) - 第A. 44 図 積み重ね試験/縦置きの解析結果(応力分布図<トレスカの応力強さ>)

(ロ) ー第A. 17表 積み重ね試験（縦置き）における胴部の応力評価結果

評価位置	応力の種類	応力強さ (MPa)	評価基準 ¹⁾ (MPa)	余裕率 (MS)
内筒	膜応力	[Blank]	[Blank]	[Blank]
	膜応力+曲げ応力			
胴外板	膜応力			
	膜応力+曲げ応力			
胴ガセット	膜応力			
	膜応力+曲げ応力			

注 1) 評価基準は、膜応力及び膜応力+曲げ応力に対して Sy

(2) 横置き

実際の運用では輸送容器を積み重ねることにはないことから、輸送物重量（19.5トン）の5倍に相当する荷重が負荷された状態に等しくなるように、重力加速度の6倍の加速度を作用させて、輸送架台を取付ける部位近傍の胴部に発生する応力を解析コード ABAQUS を用いて求める。

a. 解析モデル

解析モデルとして、胴部の各部品の応力を求めるために、A. 4.5 固縛装置に用いた容器本体の面对称3次元モデルを用いる。

解析モデルの寸法及び要素分割図は(ロ)ー第A. 15 図及び(ロ)ー第A. 16 図に示したとおりである。

b. 荷重及び境界条件

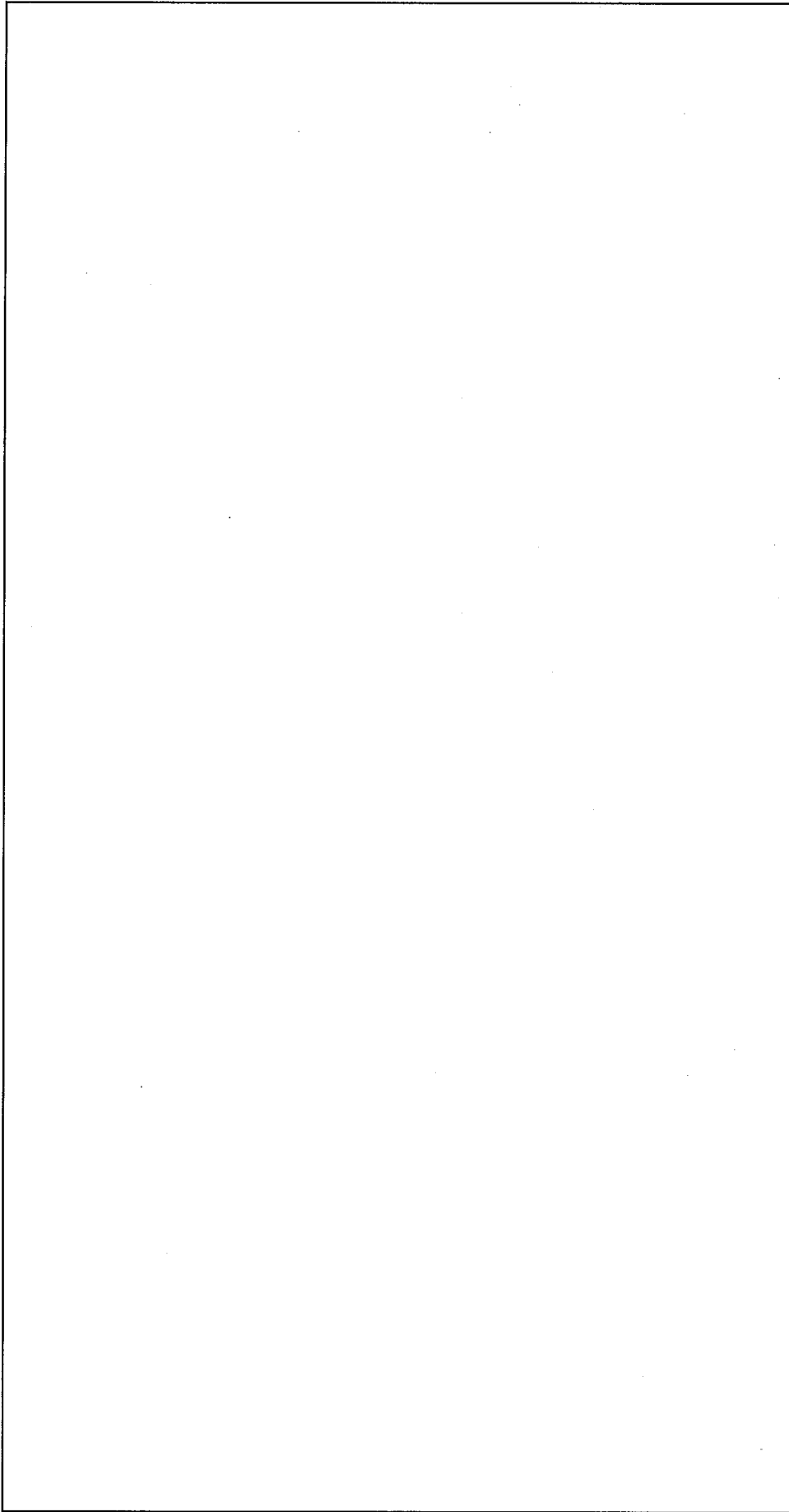
垂直方向加速度として6Gを負荷する。また、内容物（バスケット+収納物）による荷重が胴部に負荷されるように、内筒の に内容物の質量を重ね合わせた等価な密度を与える。

輸送架台は胴部を全周にわたって固定するように取付けられることから、胴部の下側半周の半径方向変位を拘束する。

解析モデルに与えた荷重及び境界条件を(ロ)ー第A. 45 図に示す。

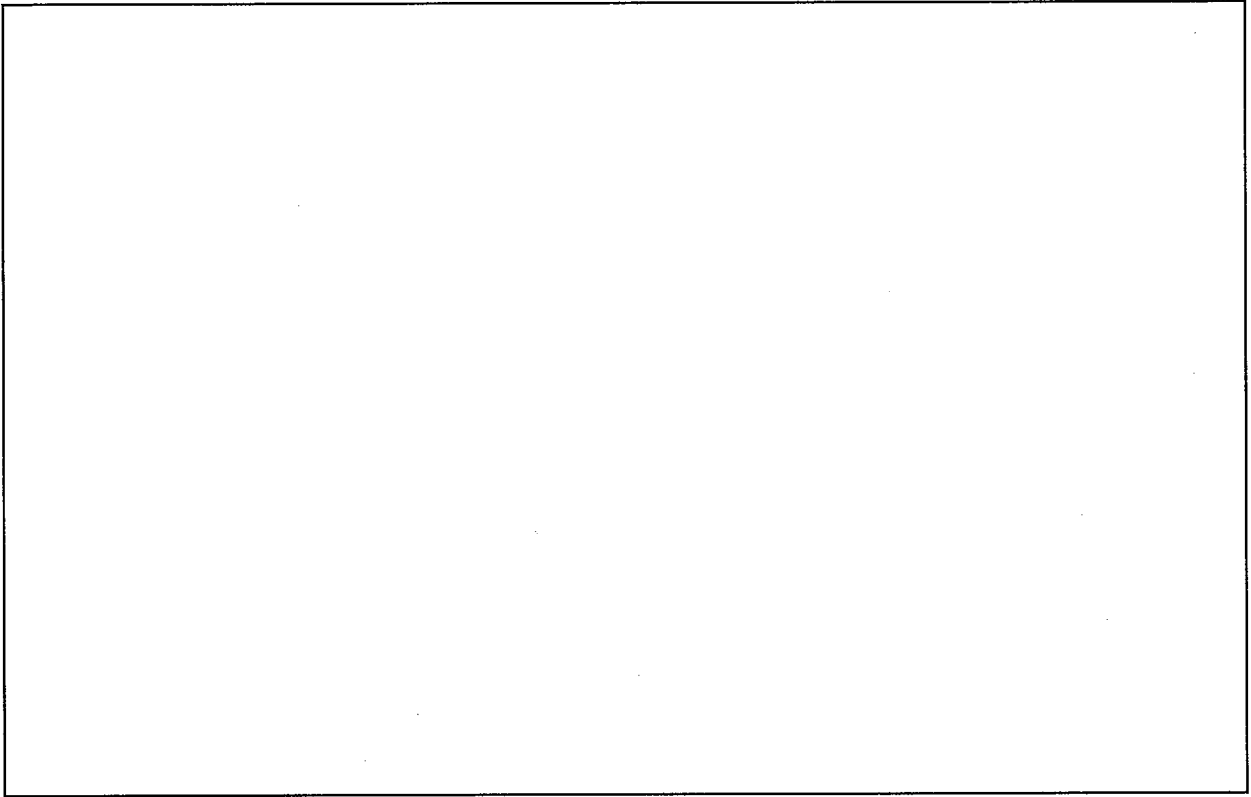
c. 解析結果

変形図及び応力分布図をそれぞれ(ロ)ー第A. 46 図及び(ロ)ー第A. 47 図に示す。

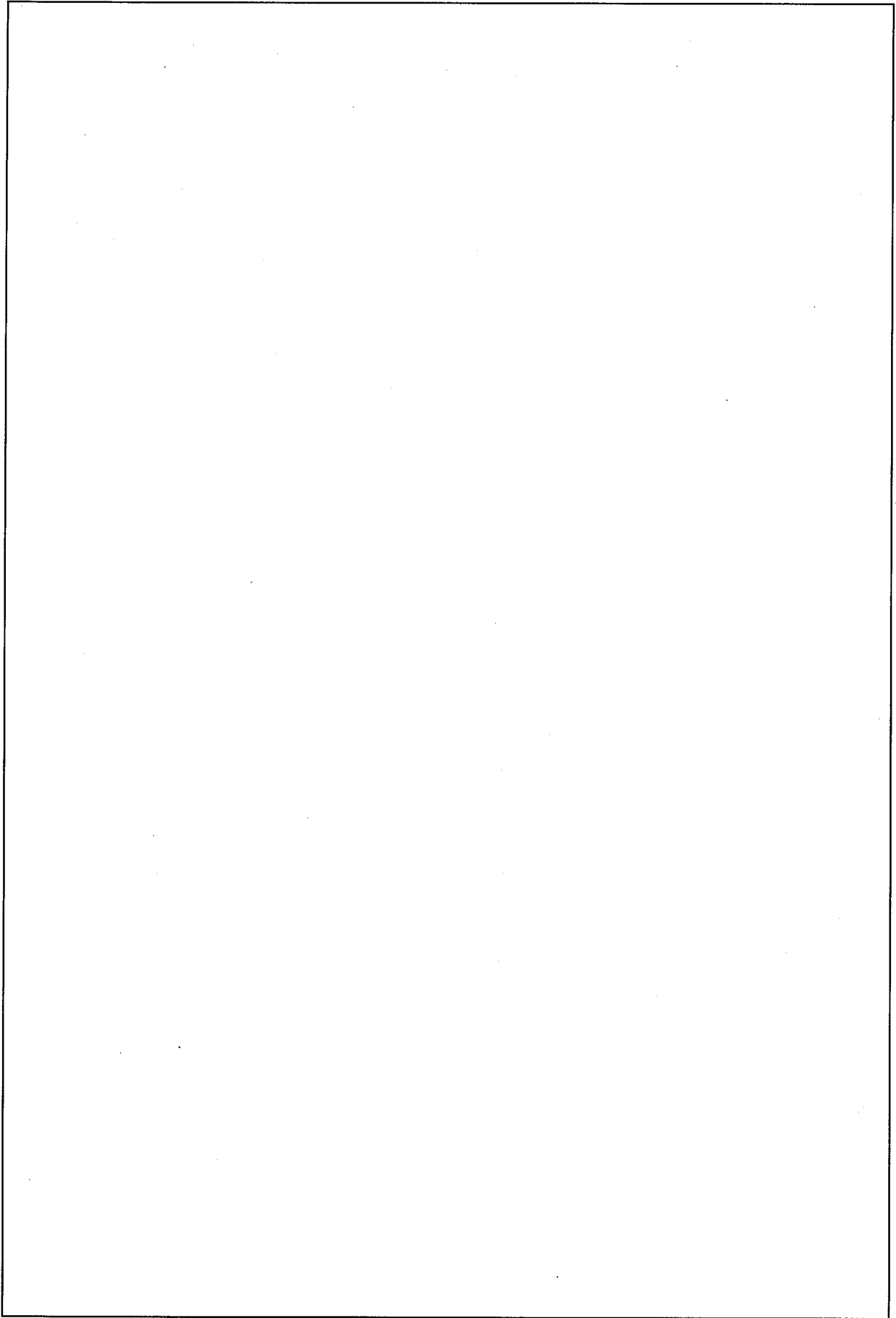


(単位：mm)

(F) - 第A.45 図 積み重ね試験 (横置き) における荷重及び境界条件



(ア)－第A.46図 積み重ね試験/横置きの解析結果 (変形図)



(□) - 第A. 47 図 積み重ね試験/横置きの解析結果(応力分布図<トレスカの応力強さ>)

胴部の各部品に発生した応力の評価結果を(ロ)一第A.18表に示す。

いずれの部品についても、発生応力は評価基準を下回っており、横置き状態における積み重ね試験により胴部の構造健全性が損なわれることはない。

(ロ)一第A.18表 積み重ね試験（横置き）における胴部の応力評価結果

評価位置		応力の種類	応力強さ (MPa)	評価基準 ¹⁾ (MPa)	余裕率 (MS)
内筒	蓋板側	膜応力	[Blank]	[Blank]	[Blank]
		膜応力+曲げ応力			
	中央部	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
	底板側	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
胴ガセット	蓋板側	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
	中央部	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
	底板側	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
胴外板	蓋板側	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
	中央部	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			
	底板側	膜応力			
		膜応力+曲げ応力			

注1) 評価基準は、膜応力及び膜応力+曲げ応力に対して Sy

また、付属書類-11 に示すとおり、積み重ね試験において、衝撃吸収カバーに有意な変形は生じない他、密封性能に影響を与えるような蓋板ガスケット取付け部の口開き変形は生じない。したがって、積み重ね試験において容器の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。

A.5.5 貫通

質量 6 kg、直径 3.2 cm の棒が 1m の高さから輸送物の外表面に落下した場合の貫通の有無を評価する。

棒の落下を受ける部品として、密封装置を構成する容器本体の外表面のうち、最も板厚の薄い胴外板 (□ mm) を対象に、棒が貫通しないことを示す。

落下前の棒が持つポテンシャルエネルギー (W_p) は、次式で表わされる。

$$W_p = m g h$$

ここで、 m : 棒の質量 [6 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

h : 落下高さ [1,000 mm]

したがって、

$$W_p = 6 \times 9.81 \times 1000 = 5.89 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

一方、棒が板厚 □ mm の外板を貫通するために必要なエネルギー (W) は、次式で求められる。(□) - 第 A.48 図参照)

$$W = \int_0^t \tau_{cr} \pi d (t - y) dy = \tau_{cr} \pi d \times \frac{1}{2} \times t^2$$

ここで、 τ_{cr} : 胴外板のせん断強さ

[0.6 Su = □ MPa (70°C)]

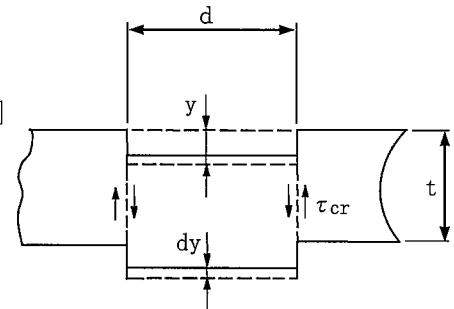
d : 棒の直径 [32 mm]

t : 胴外板の板厚 [□ mm]

積分を行い、数値を代入すると、

$$W = \tau_{cr} \pi d \times \frac{1}{2} \times t^2$$

$$= \square \times \pi \times 32 \times \frac{1}{2} \times \square^2 = \square \text{ N}\cdot\text{mm}$$



(□) - 第 A.48 図 せん断モデル

棒が持つポテンシャルエネルギーと板厚 □ mm の胴外板を貫通するために必要なエネルギーを比較すると、

$$W_p (5.89 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{mm}) < W (\square \text{ N}\cdot\text{mm})$$

となるため、棒の落下によって胴外板は貫通せず、棒が密封境界に到達することはない。

なお、密封装置以外の部位を含めた輸送物の外表面のうち最も板厚の薄い部位は、衝撃吸収カバーの外板 (□ mm) であるが、棒の落下により貫通することはない、棒が衝撃吸収カバーで覆われた密封装置に到達することはない。(付属書類-12 参照)

よって、棒の落下により密封装置が影響をうけることなく、本輸送物の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。

A. 5.6 角又は縁落下

本輸送物は、鋼製の円筒形で重量は 19.5 トンであり、角又は縁落下の対象には該当しない。

A. 5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下の試験後の輸送物の安全性について以下に要約する。

(1) 熱的試験

本体及び蓋板並びに蓋板締付けボルトに発生する応力は、評価基準を下回っており、蓋板ガスケット取付け部における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代（つぶれ代）よりも十分小さい。

バスケットと容器本体の内面間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。また、収納物と輸送容器間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

したがって、熱的試験において容器の構造健全性及び密封性能は維持される。

(2) 水噴霧

水噴霧により、輸送物の構成部品に劣化や腐食は生じることなく、輸送物の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。

(3) 自由落下

容器本体については、水平落下において \square に \square %以下の微小な塑性歪が発生したが、垂直、コーナー落下においては塑性歪の発生は見られなかった。また、いずれの落下姿勢においても蓋板締付けボルト及び密封シール面の発生応力は評価基準の降伏応力を下回っており、蓋板ガスケット取付け部における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代（つぶれ代）よりも十分小さい。

バスケットについては、最も厳しい落下姿勢である水平落下において、構成部品に塑性歪は発生していない。

したがって、自由落下において容器の構造健全性及び密封性能は維持される。

収納物である燃料集合体については、燃料被覆管を対象とした解析において垂直落下で \square %の塑性歪が発生したが最小破断伸びに比べて十分小さい。また、水平落下では塑性歪の発生は見られなかった。

したがって、自由落下において燃料被覆管に亀裂や破断が生じることはなく、燃料棒の密封性は維持される。

(4) 積み重ね試験

輸送物の重量の5倍に相当する荷重を受けた時の胴部に発生する応力は、評価基準を下回っている。

また、衝撃吸収カバーに荷重が作用すると仮定し、仮想的に輸送容器を積み重ねた場合においても、衝撃吸収カバーに有意な変形が生じることはない他、密封性能に影響を与えるような蓋板ガスケット取付け部の口開き変形は生じない。

したがって、積み重ね試験において容器の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。

(5) 貫通

密封装置を構成する容器本体の胴外板あるいは密封装置を覆っている衝撃吸収カバーの外板に6 kg 棒を1m高さから落下させた場合でも、棒の落下により貫通することなく、棒が密封境界に到達することはない。

したがって、貫通により容器の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。

A.6 特別の試験条件

本輸送物はA型輸送物であり、本項の試験条件は該当しない。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物の最大放射エネルギーは A_2 値以下であり、本項の試験条件は該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物は、未使用のBWR燃料集合体である。

BWR燃料集合体の仕様及び構造図をそれぞれ(イ)－第D.1表並びに(イ)－第D.2図及び(イ)－第D.3図に示す。

燃料集合体の強度については、A.9核分裂性輸送物において評価しており、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の自由落下及び特別の試験条件である9m落下時には、燃料被覆管に塑性歪が発生するものの、最小破断伸びに比べて十分に小さいため、破断して燃料被覆管内の燃料が放散されることはない。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は、核分裂性輸送物に該当する。

したがって、(v)－E 臨界解析に影響する形状変化等を、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として、水噴霧、自由落下、積み重ね試験及び貫通の各試験の重畳効果を考慮する。

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件におけ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以下のようになる。

(1) 水噴霧

A.5.2 と同様に、輸送物に損傷はない。

(2) 自由落下

A.5.3 と同様に、緩衝体に変形が生じるが容器本体に発生する塑性歪は局所的であり形状は維持される。

燃料被覆管は、A.5.3 に示すように、自由落下において塑性歪が発生するものの最小破断伸びに比べて十分に小さいため破断することはない。

(3) 積み重ね試験

A.5.4 と同様に、容器本体に損傷はない。

(4) 貫通

A.5.5 と同様に、容器本体に損傷はない。

以上の結果より、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における輸送物の損傷状態は (v)－第A.19 表のようにまとめられる。本輸送物は、(v)－第A.20 表に示すように、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物に係る一般の試験条件としての要件を満足する。

(ロ)－第A.19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
水噴霧	損傷なし
自由落下	<ul style="list-style-type: none">・衝撃吸収カバーが変形する。・容器本体に発生する塑性歪は局所的であり形状は維持される。・燃料被覆管に塑性歪が発生するが破断することはない。
積み重ね試験	損傷なし
貫通	損傷なし

(ロ)－第A.20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 10 cm の立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。	衝撃吸収カバーが変形するが、一辺 10 cm の立方体を包含するようなくぼみは生じない。
外接する直方体の各辺が 10 cm 以上であること。	外接する直方体の各辺は 10 cm 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

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件として、次の試験手順のうち最大の破損を受ける条件の下に置く。

- (a) 一般の試験条件後の損傷状態 + 9m落下試験 + 1m落下試験 + 熱的試験（耐火）
+ 0.9m浸漬試験
- (b) 一般の試験条件後の損傷状態 + 15m浸漬試験

本輸送容器は、水深 15mに相当する外圧に対して十分な構造強度を有しており容器本体部品に損傷は生じない。（付属書類-4 参照）

したがって、上記(a)と(b)のうち、輸送物の損傷が生じる(a)の条件で重畳効果を考慮する。

ここで、一般の試験条件としては、(p)-第A. 19表に示すように損傷がある自由落下を考慮する。

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損傷状態を以下に評価する。

(1) 9m落下試験

A. 9.1の自由落下と9m落下の落下方向が同一の場合に衝撃吸収カバーの変形量が最大になり、輸送物に作用する衝撃も最大になると考えられるため、0.3mと9mを合計して落下高さを9.3mとした場合について検討する。

A. 5.3にて述べたように、輸送物の落下時における挙動については、実機の モデルを用いたモックアップ試験が実施されており、種々の落下姿勢及び条件における変形、衝撃加速度及び密封機能の状態が測定された。試験の結果、9m落下において容器本体に変形は見られず密封機能の損傷も生じていないことが確認されている。

ここでは、解析手法を用いて容器本体、バスケット及び収納物の落下時における挙動を定量的に求める。

a. 容器本体

容器本体及び衝撃吸収カバーを実形状に従ってモデル化して、9m落下時（落下高さは9.3m）の事象を動的解析コードLS-DYNAを用いて模擬し、容器本体各部に発生する応力及び歪を求め、臨界解析に影響する形状変化等について評価する。

なお、容器本体に作用する衝撃荷重は、衝撃吸収カバーの緩衝特性に依存することから、解析モデルに与える衝撃吸収カバーの特性の妥当性は、モックアップ試験の代表的なケースを対象とした確認解析により確認している。（付属書類-2 参照）

(a) 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

(b) 荷重条件及び境界条件

落下姿勢に応じた角度で剛体面に接した解析モデルに対し、まず、蓋板締付けボルトに初期締付けによる引張応力 (MPa) に相当する応力を発生させる。続いて、9m落下時の衝突速度 (9. 3mの落下高さに相当する 13. 6m/sec) を与える。

解析ケースとして、以下の各落下姿勢について解析を行う。

- ① 垂直落下 (前部及び後部)
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下 (前部及び後部)
- ④ 傾斜落下 (二次衝撃：蓋側、傾斜角度：30°)

(c) 解析結果

解析は最大変形が確認できる時刻まで実行し、解析結果として、最大変形量、落下中の各構造強度部材に発生する歪及び蓋板締付けボルトの応力を抽出した。各落下姿勢における衝撃吸収カバーの変形図を (ロ) - 第A. 49 図 ~ (ロ) - 第A. 54 図 に示す。

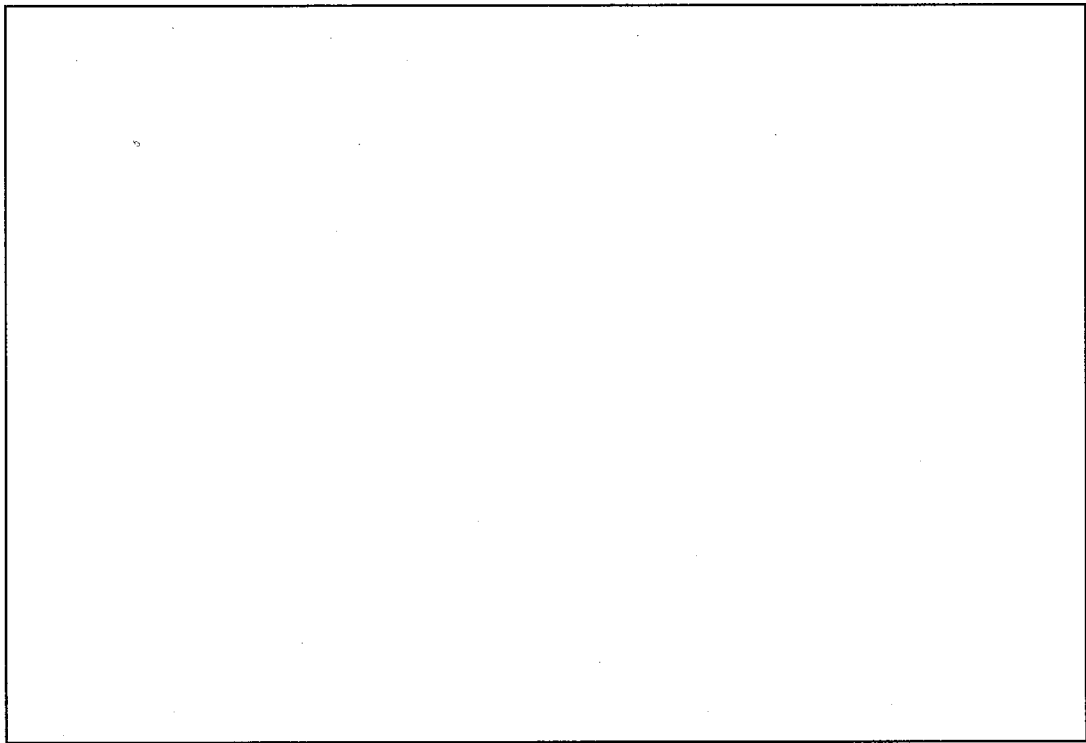
各落下姿勢における損傷状態に関する解析結果を以下に示す。

i. 前部垂直落下

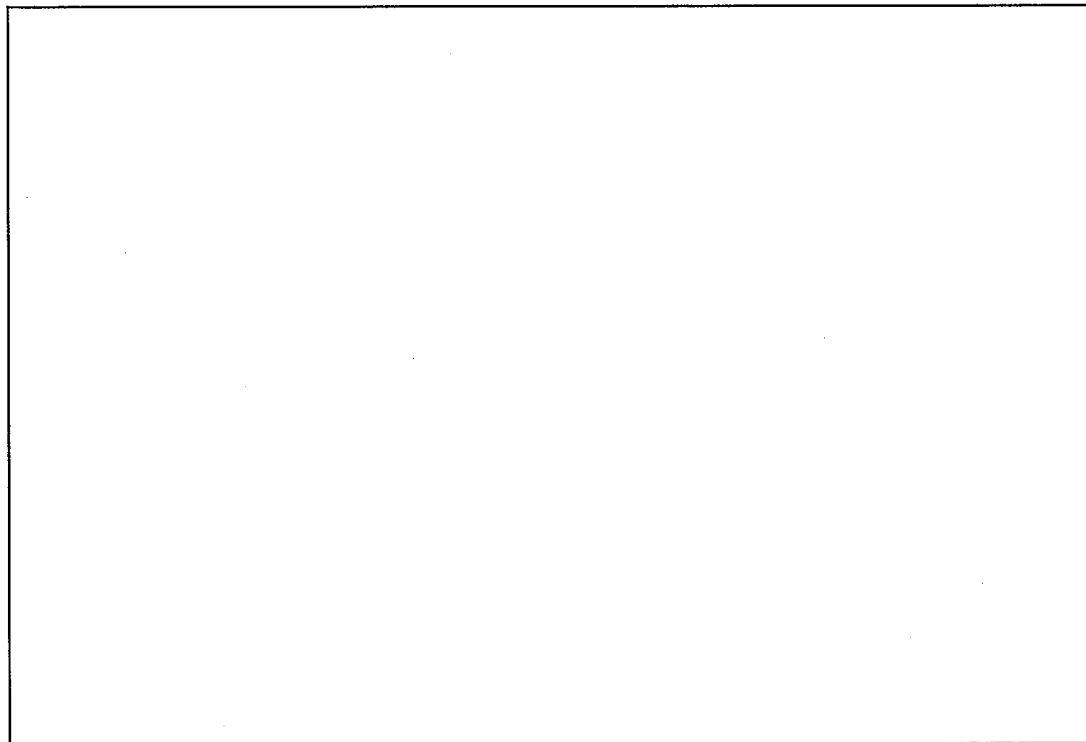
容器本体部品のうち、 には % 以下の塑性歪が発生しているが、 破断することはない。他の部品には塑性歪の発生はなく、形状の変化は生じない。

ii. 後部垂直落下

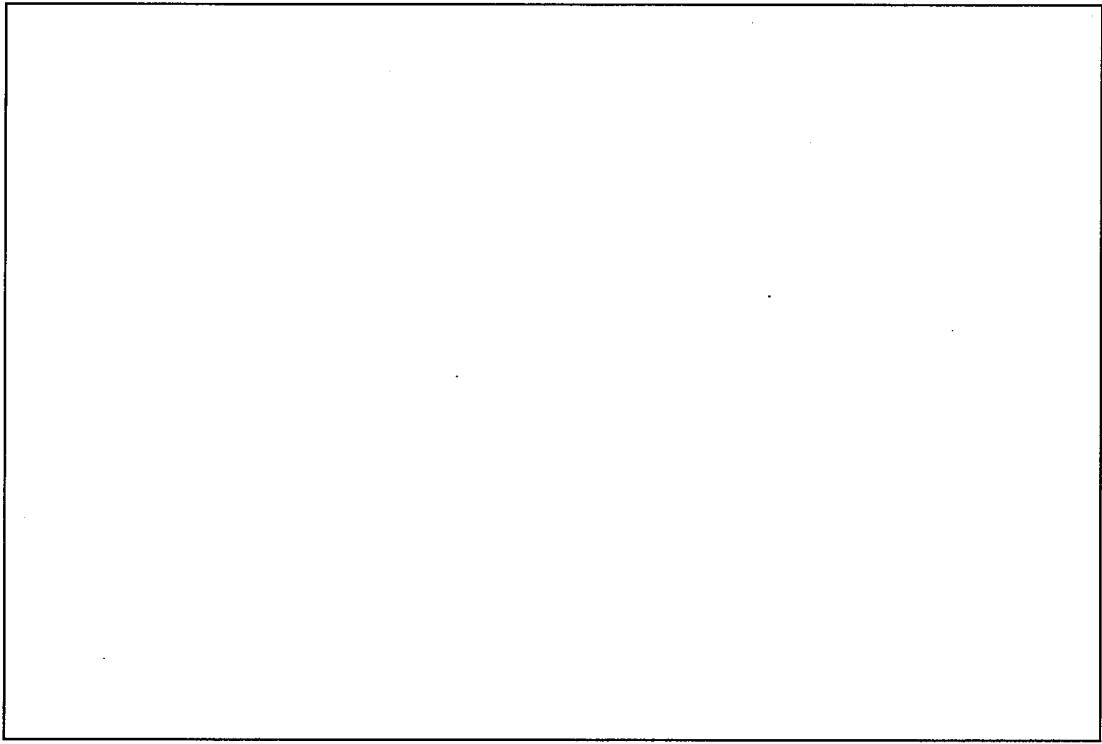
容器本体部品のうち、 にそれぞれ最大 %、 %、 % 及び % の塑性歪 ((ロ) - 第A. 55 図 に示す。) が発生しているが、
 形状は維持される。



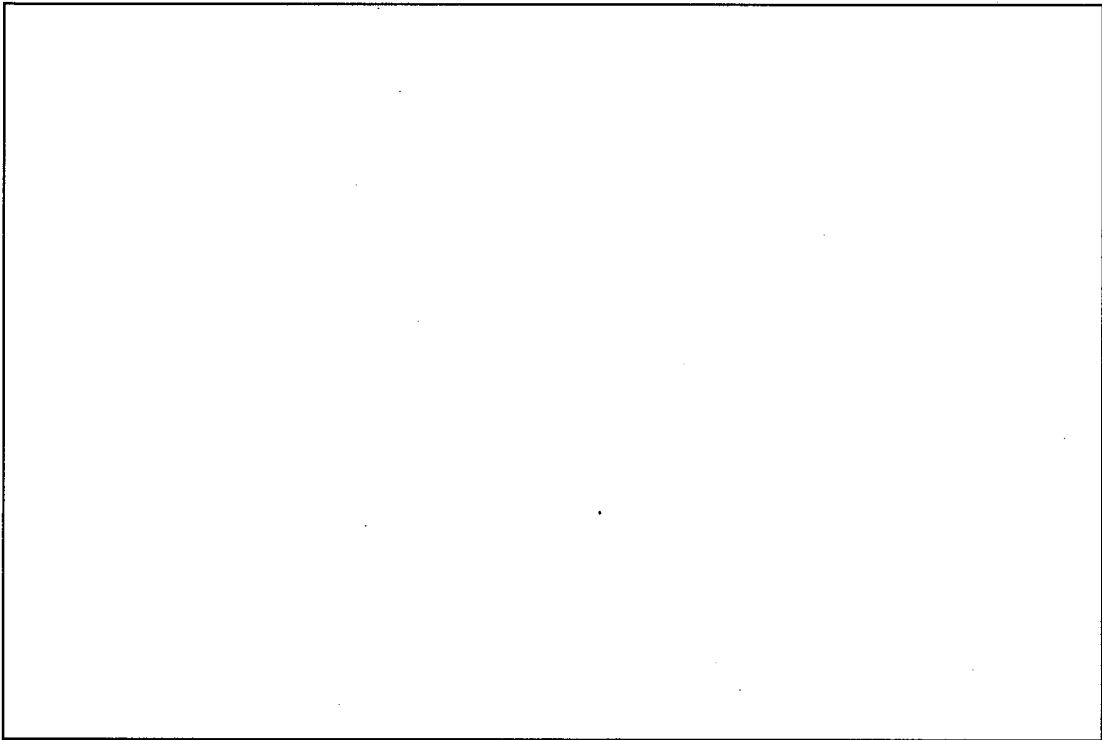
(□)－第A.49図 9m前部垂直落下/容器本体の解析結果(変形図)



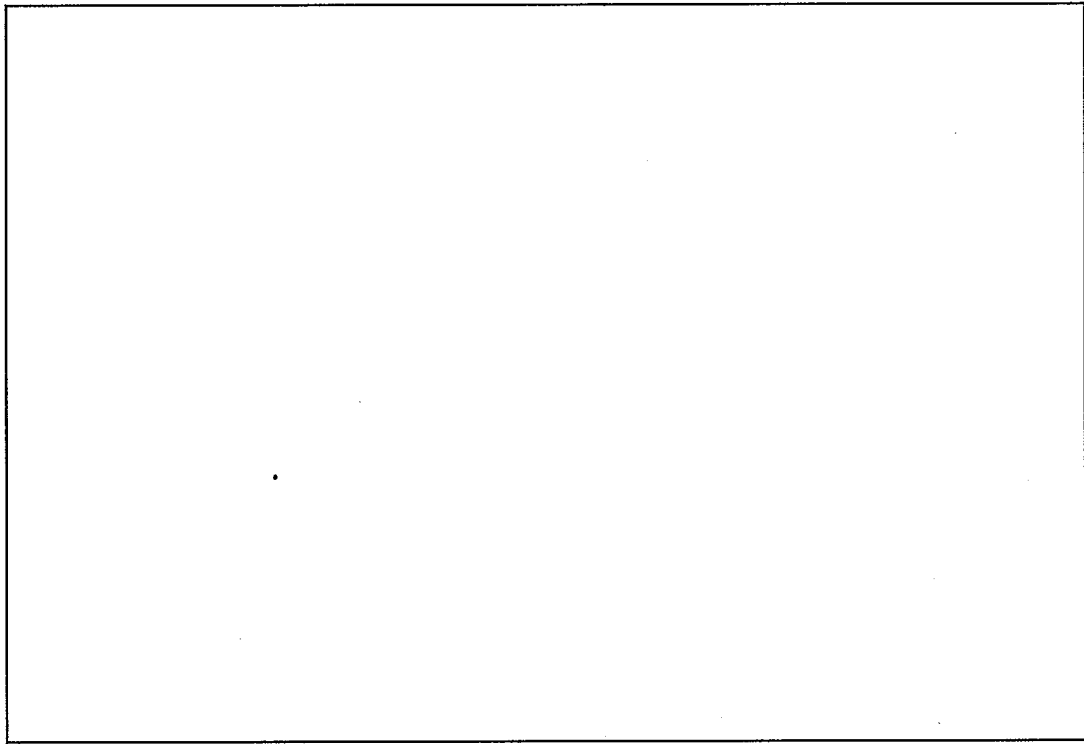
(□)－第A.50図 9m後部垂直落下/容器本体の解析結果(変形図)



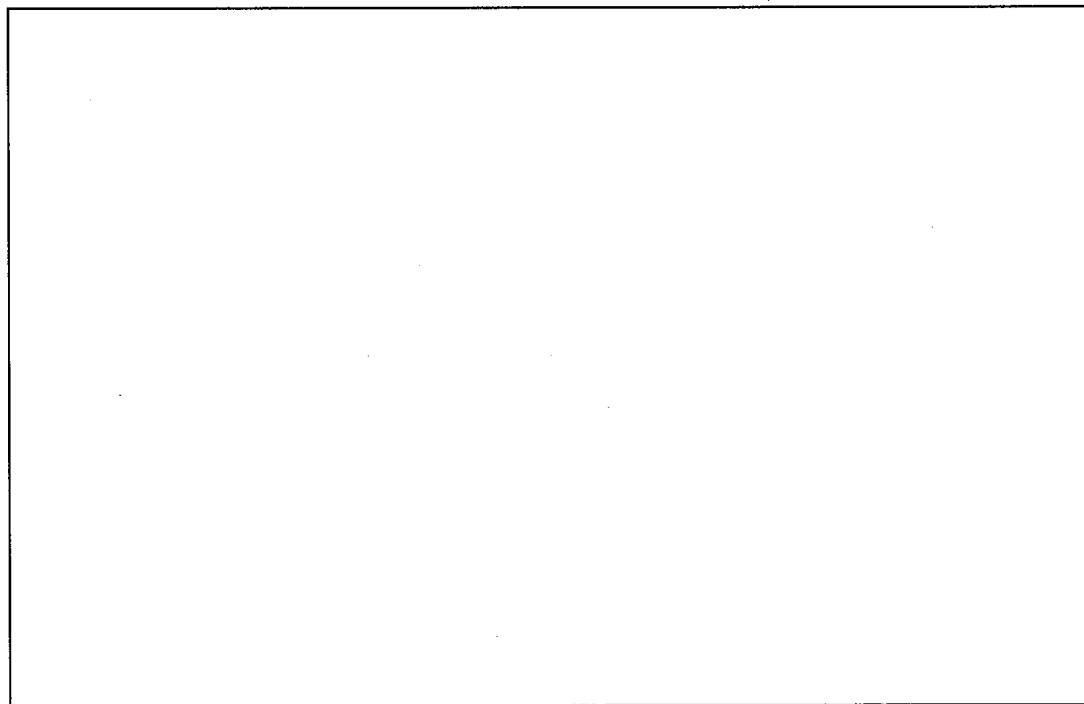
(㉔) - 第A.51図 9m水平落下/容器本体の解析結果 (変形図)



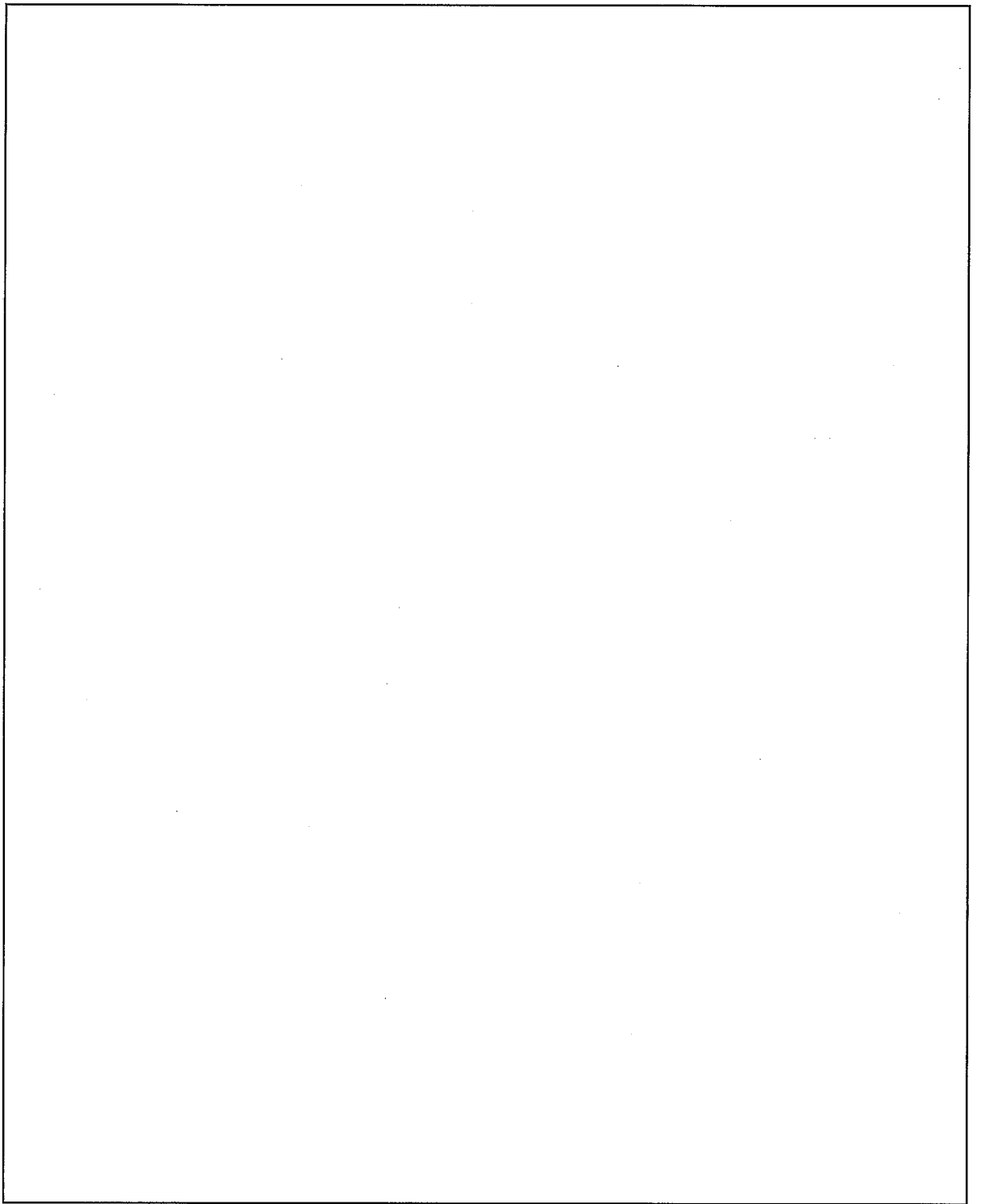
(㉔) - 第A.52図 9m前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (変形図)



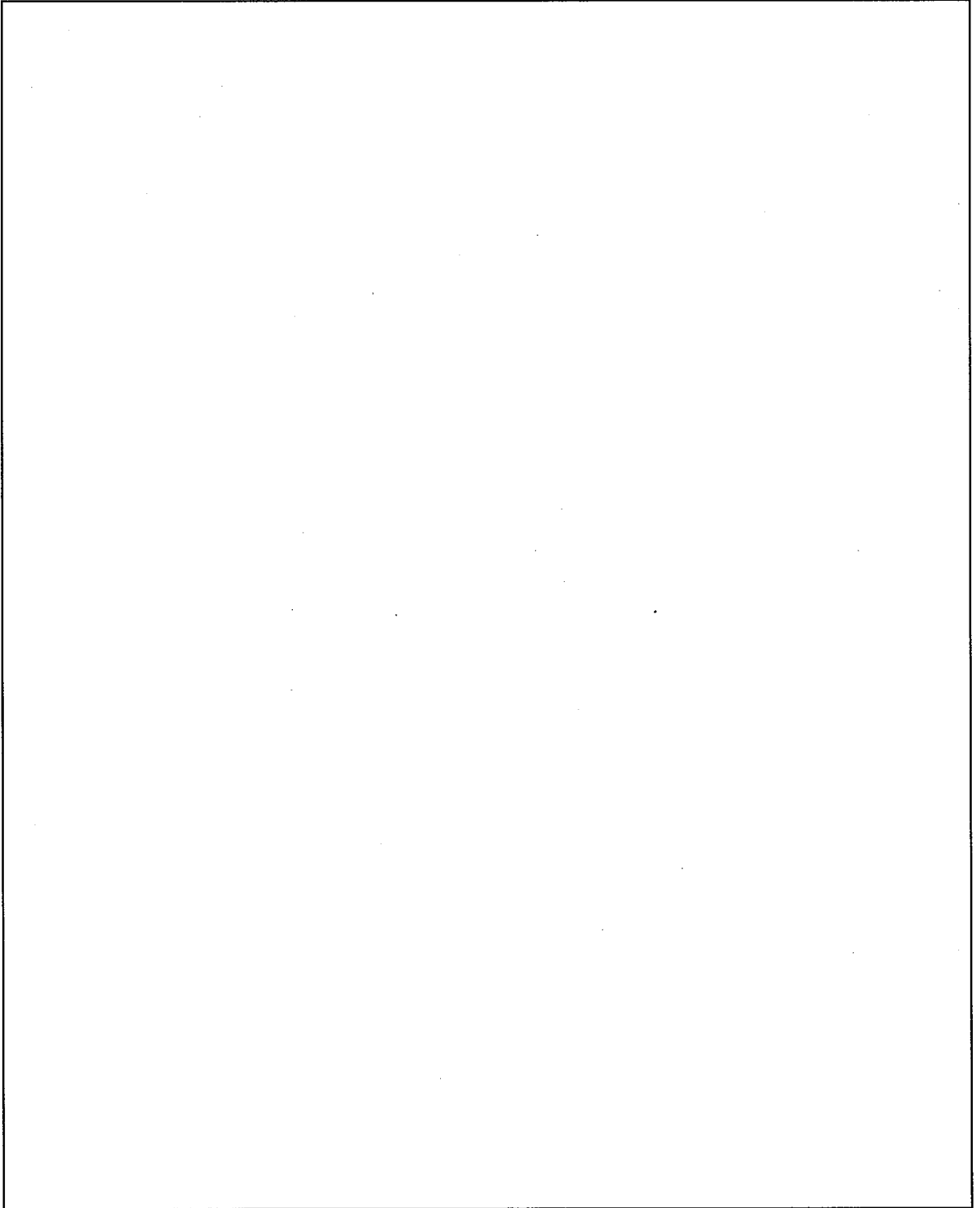
(㍀) - 第A.53 図 9m後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(㍀) - 第A.54 図 9m傾斜落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(p) - 第A.55 図 9m後部垂直落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図) (1/2)



(□)一第A.55図 9m後部垂直落下/容器本体の解析結果(塑性歪分布図)(2/2)

iii. 水平落下

容器本体部品のうち、に%以下、
にそれぞれ最大%、%、%及び%の塑性歪（(p)－第A. 56
図に示す。）が発生しているが、
形状は維持される。蓋板締付
けボルトの発生応力は降伏応力を下回っており、塑性歪の発生はなく破断する
ことはない。

iv. 前部コーナー落下

容器本体部品のうち、にそれぞれ最大
%、%及び%の塑性歪（(p)－第A. 57 図に示す。）が発生しているが、

形状は維持される。蓋板締付けボルトの発生応力は降伏応力
を下回っており、塑性歪の発生はなく破断することはない。

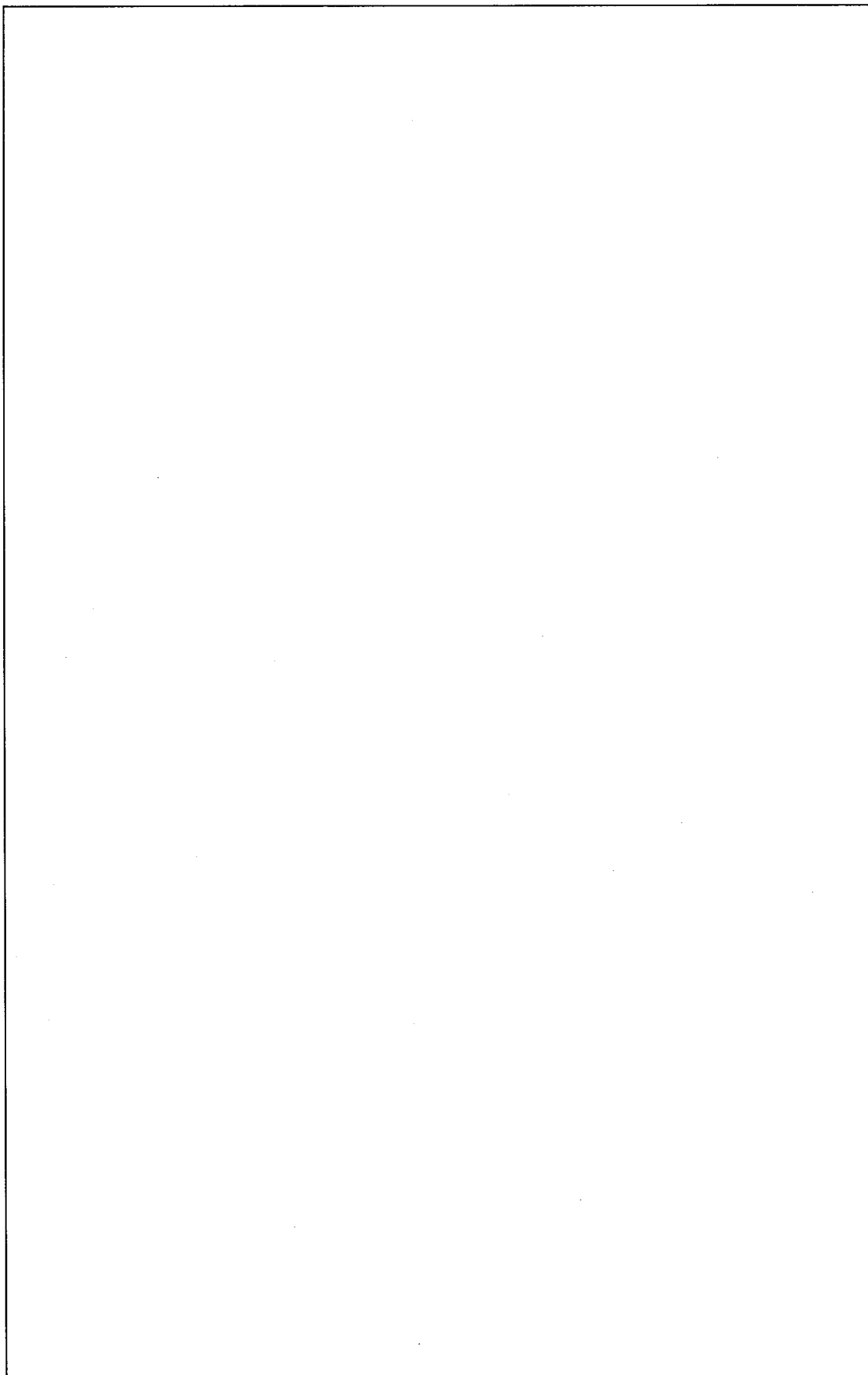
v. 後部コーナー落下

容器本体部品のうち、に%以下、にそれ
ぞれ最大%、%及び%の塑性歪（(p)－第A. 58 図に示す。）が発生し
ているが、
形状は維持される。

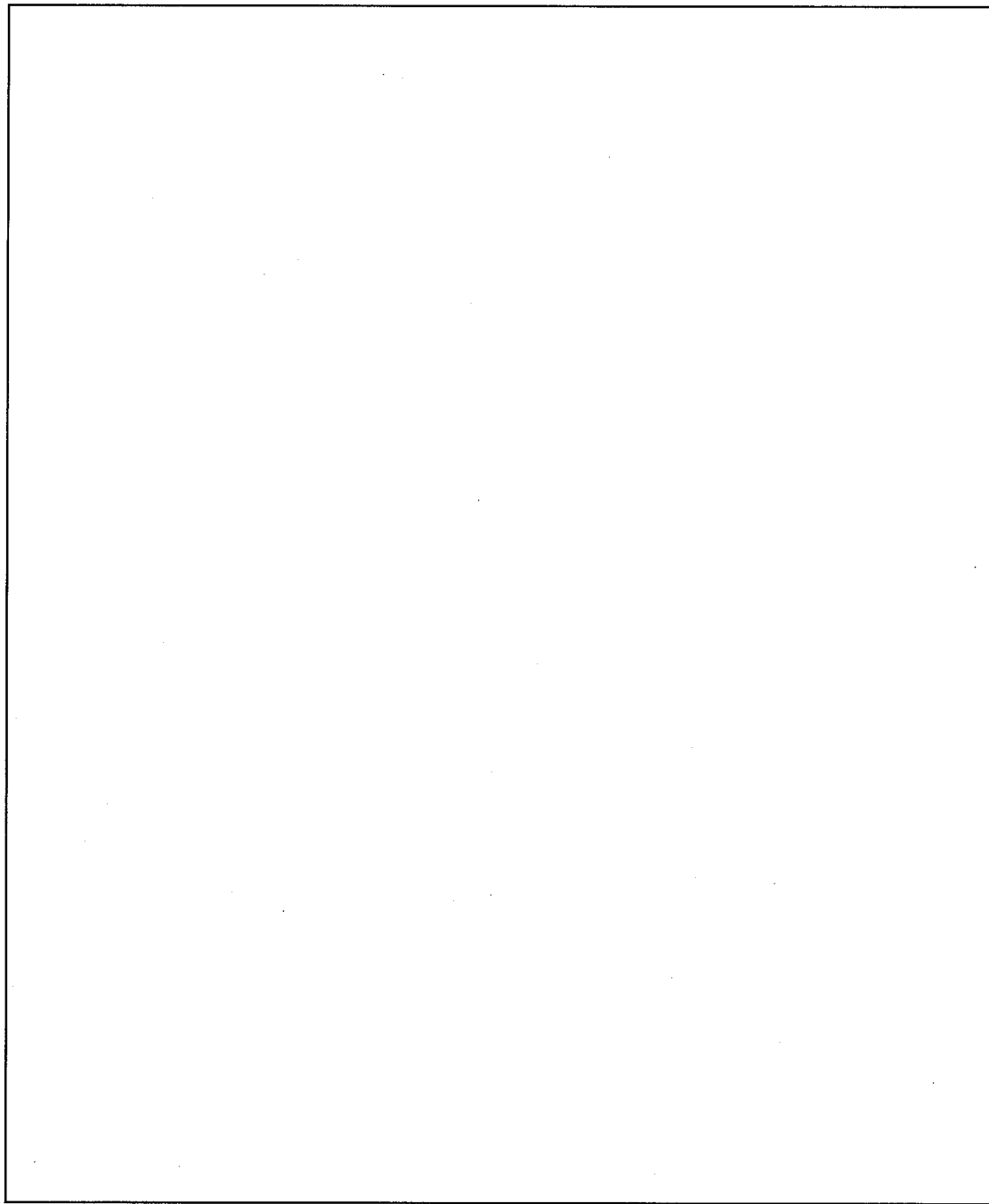
vi. 傾斜落下

容器本体部品のうちに最大%、に%以下の塑
性歪（(p)－第A. 59 図に示す。）が発生しているが、
形状は維
持される。蓋板締付けボルトの発生応力は降伏応力を下回っており、塑性歪の
発生はなく破断することはない。

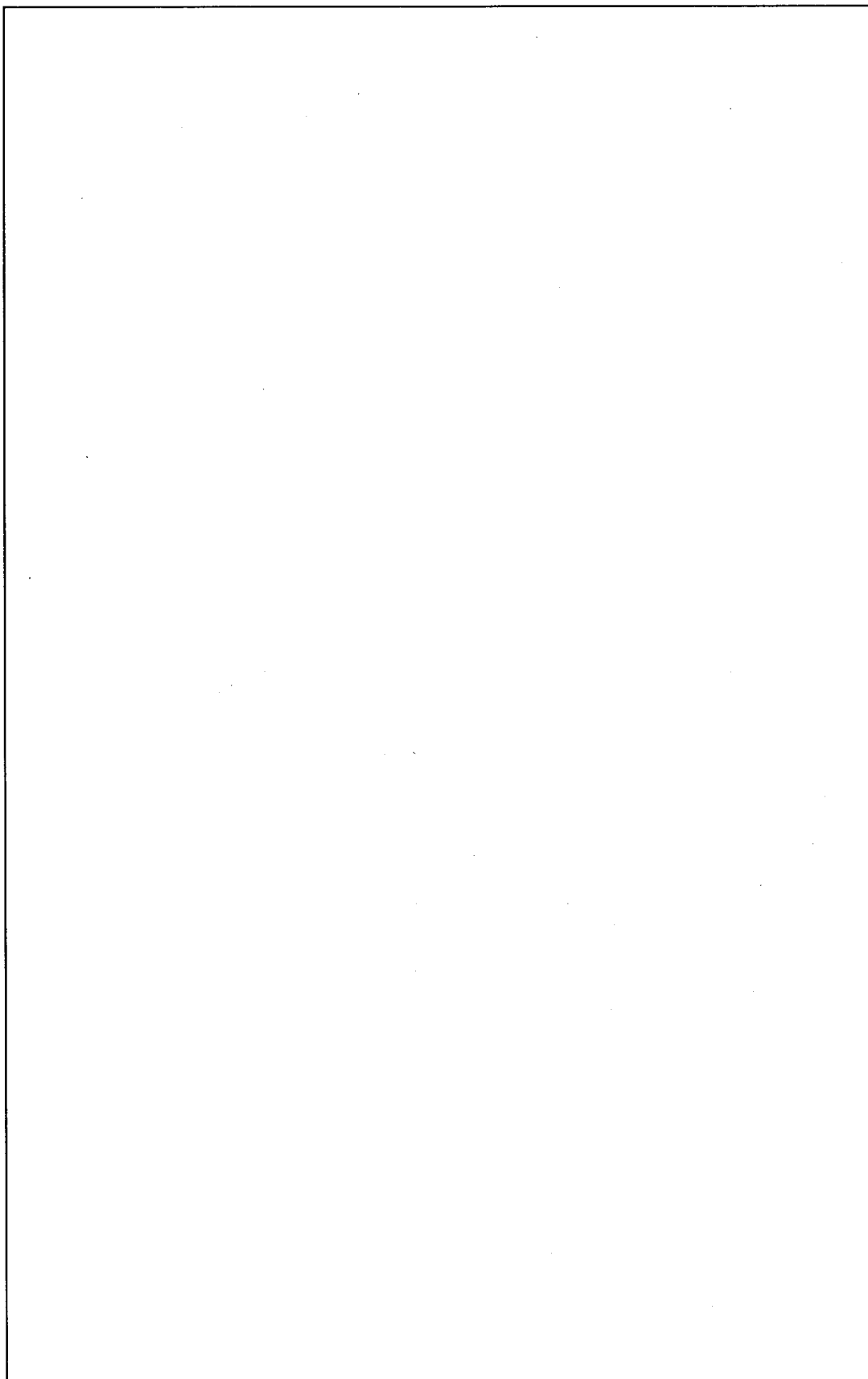
以上の容器本体の解析結果を(p)－第A. 21 表にまとめる。



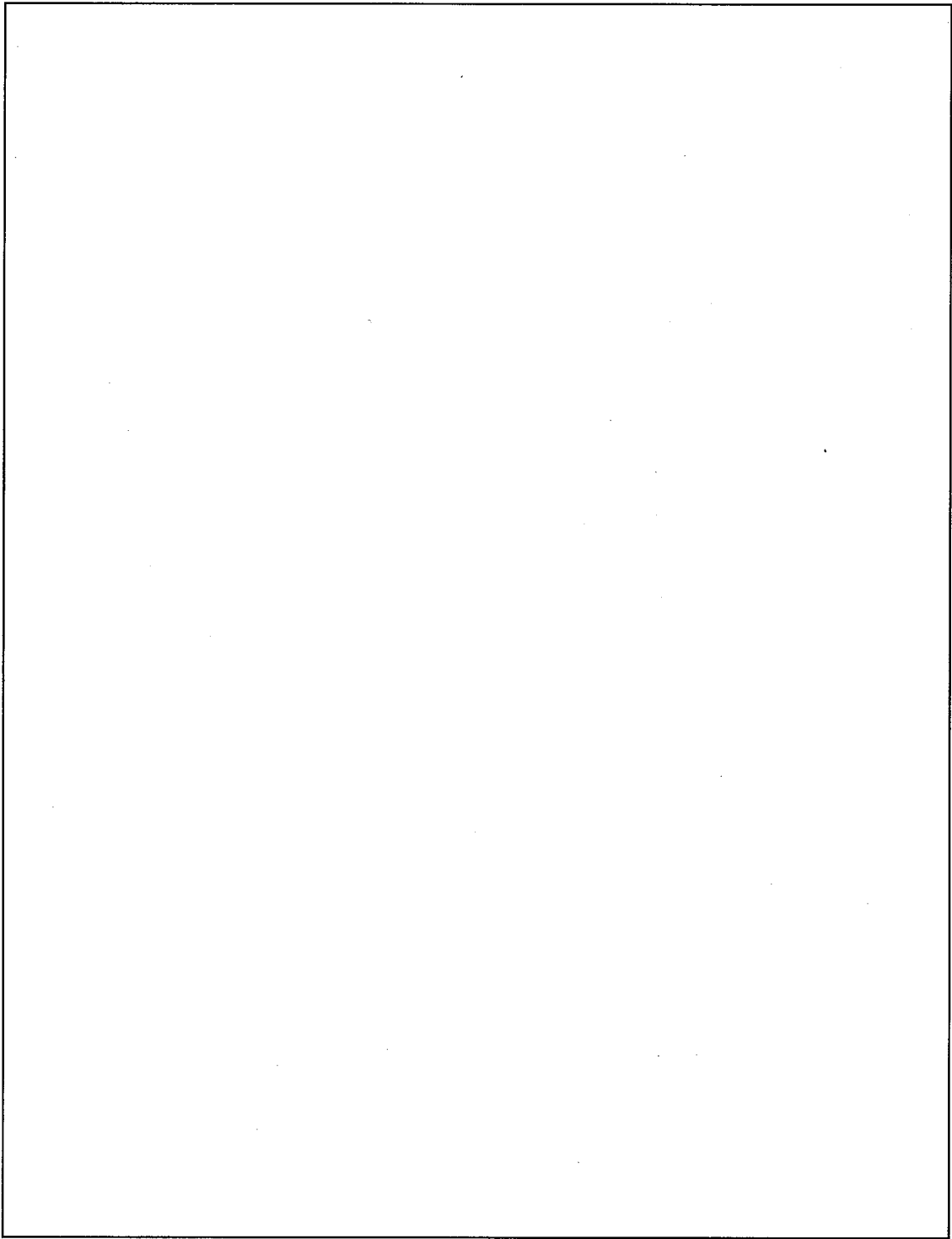
(p) - 第 A. 56 図 9m水平落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図) (1/2)



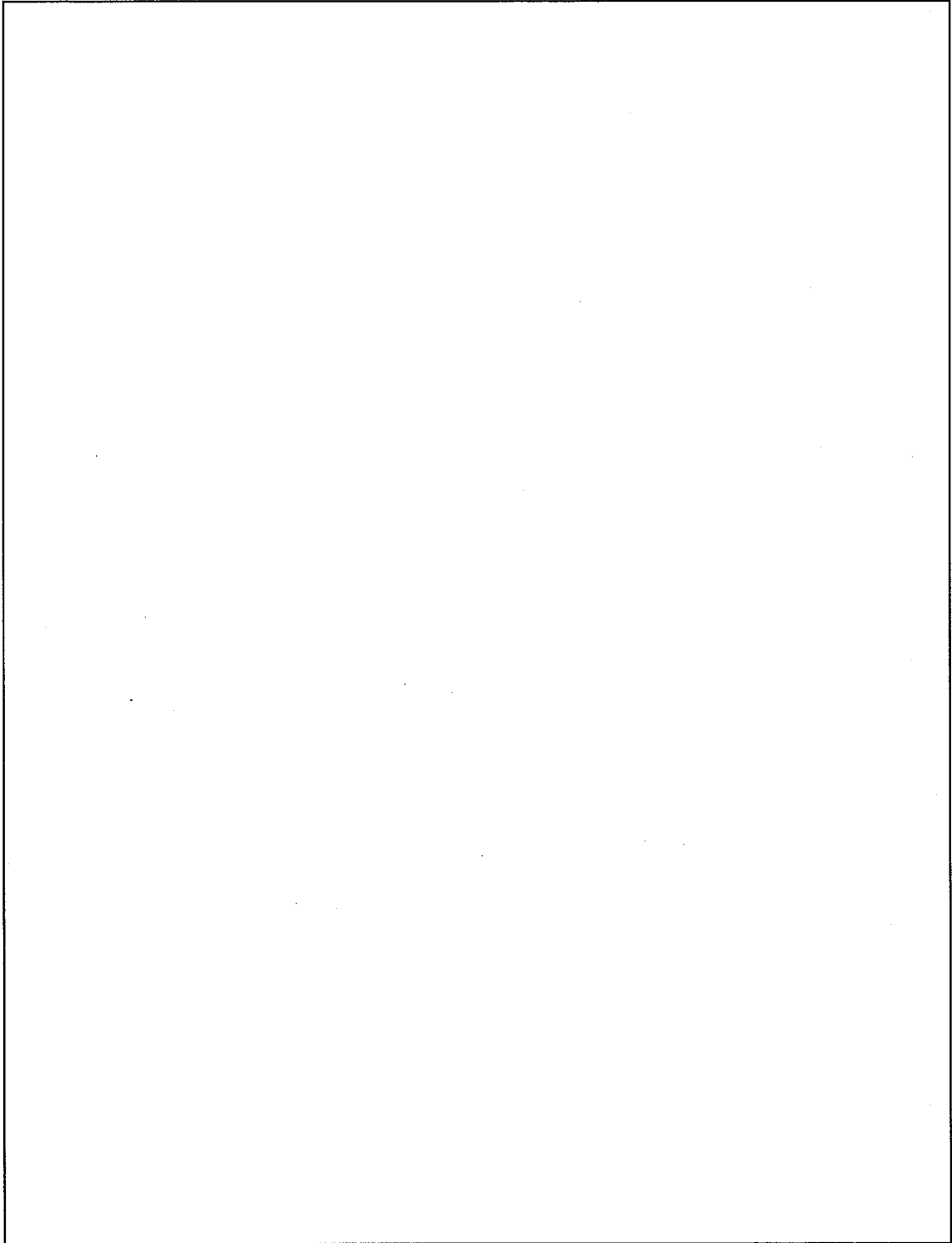
(ア) 第A. 56 図 9m水平落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図) (2/2)



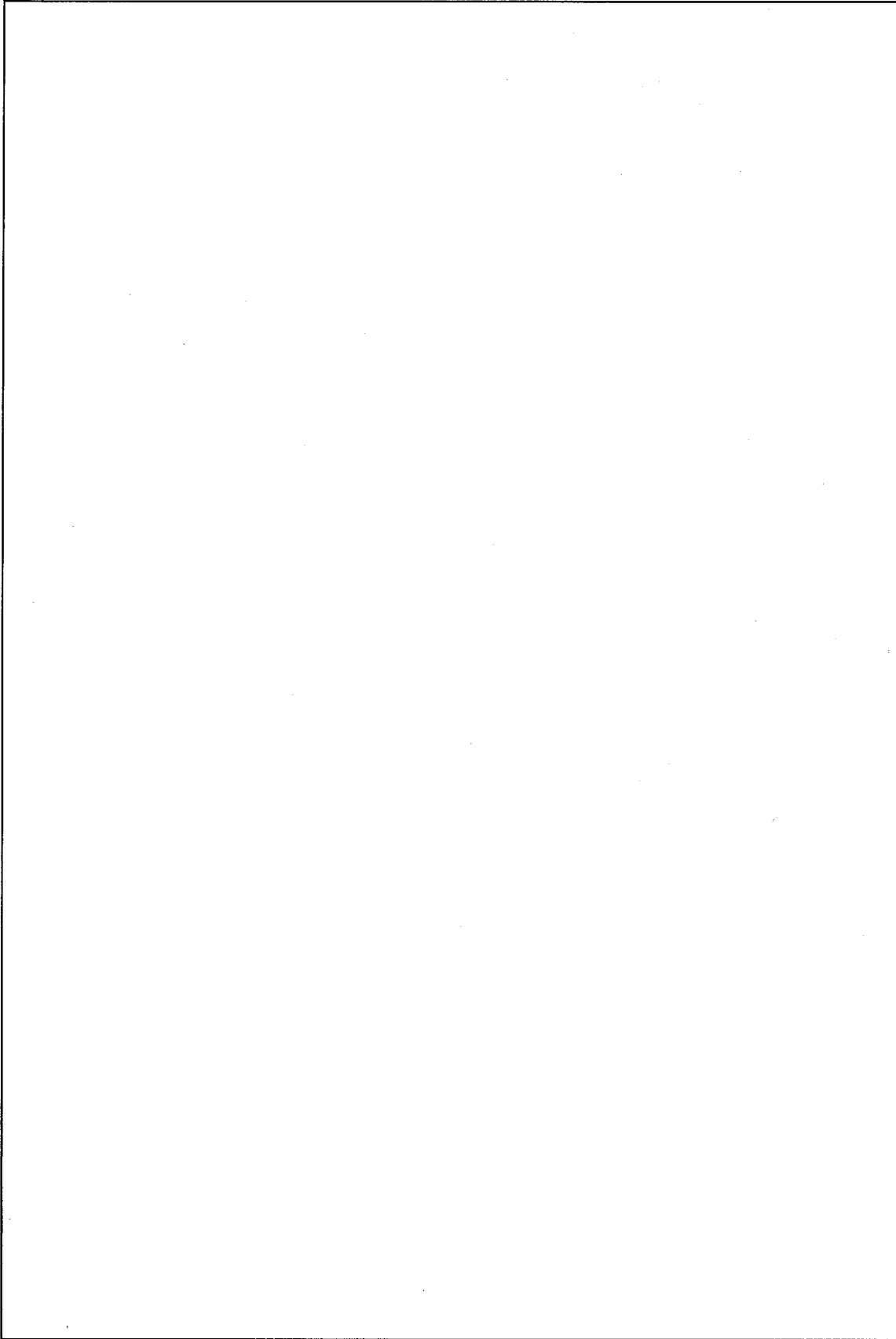
(ア) 第A.57図 9m前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)



(ア) - 第A.58図 9m後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図) (1/2)



(□) - 第 A. 58 図 9m 後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図) (2/2)



(p) - 第A.59図 9m傾斜落下/容器本体の解析結果 (塑性歪分布図)

(ロ) 第A.21表 9m落下における容器本体の解析結果のまとめ (1/2)

落下姿勢	衝撃吸収カバー 最大変形量 ¹⁾ (mm)	部 品	最大塑性歪 (%)	最小破断 伸び (%)	評 価
前部垂直		蓋 板			
		上部フランジ			
		内 筒			
		胴ガセット			
		胴外板			
後部垂直		内 筒			
		胴ガセット			
		胴外板			
		底 板			
水平		蓋 板			
		上部フランジ			
		内 筒			
		胴ガセット			
		胴外板			
前部 コーナー		底 板			
		蓋 板			
		上部フランジ			
		内 筒			
		胴ガセット			
後部 コーナー		胴外板			
	内 筒				
	胴ガセット				
	胴外板				
傾斜 (30°)	底 板				
	蓋 板				
	上部フランジ				
	内 筒				
	胴ガセット				
	胴外板				

注 1) 衝撃吸収カバーの変形量は特別の試験条件の熱解析の解析モデルに考慮される。

(ロ) 第一A.21表 9m落下における容器本体の解析結果のまとめ (2/2)

部 品	落下姿勢	応力の種類	解析結果 (MPa)	評 価
蓋板締付け ボルト	前部垂直	σ_m		
		$\sigma_m + \sigma_b$		
	水平	σ_m		
		$\sigma_m + \sigma_b$		
	前部 コーナー	σ_m		
		$\sigma_m + \sigma_b$		
	傾斜 (30°)	σ_m		
		$\sigma_m + \sigma_b$		

注1) 蓋板締付けボルトの S_y (降伏応力) は、 MPa (70°C)

b. バスケット

収納物による全ての荷重が負荷される水平落下について、動的解析コード LS-DYNAを用いてバスケット各部に発生する歪を求め、バスケットに必要な構造健全性が維持されることを示す。

(a) 解析モデル

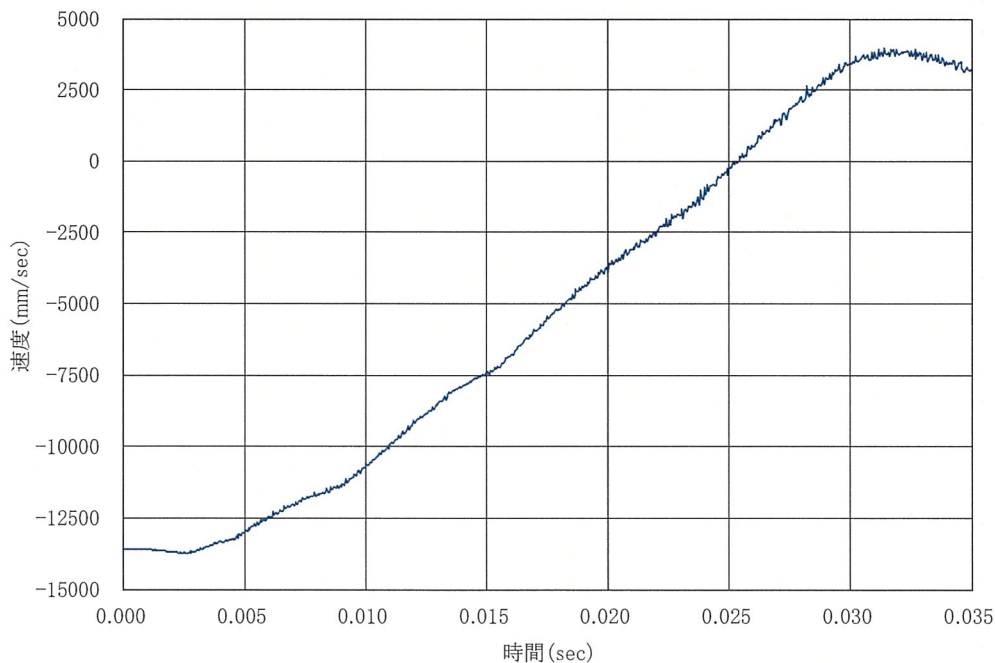
解析モデルは、A. 5.3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

(b) 荷重条件及び境界条件

バスケットに 9m落下時の衝突速度 (9.3mの落下高さに相当する 13.6m/sec)を与え、バスケットを支持する容器本体の胴部の側面には、容器本体の水平落下の解析から抽出した胴部中央の速度時刻歴 ((p)一第A.60 図に示す。)を与える。

A. 5.3 に示したとおり、バスケットの両端面には対称条件を与える。

、(p)
一第A.37 図に示すように落下方向として
 を対象とする。



(p)一第A.60 図 容器本体の速度時刻歴 (水平落下)

(c) 解析結果

水平落下におけるバスケットの損傷状態は以下のとおりである。

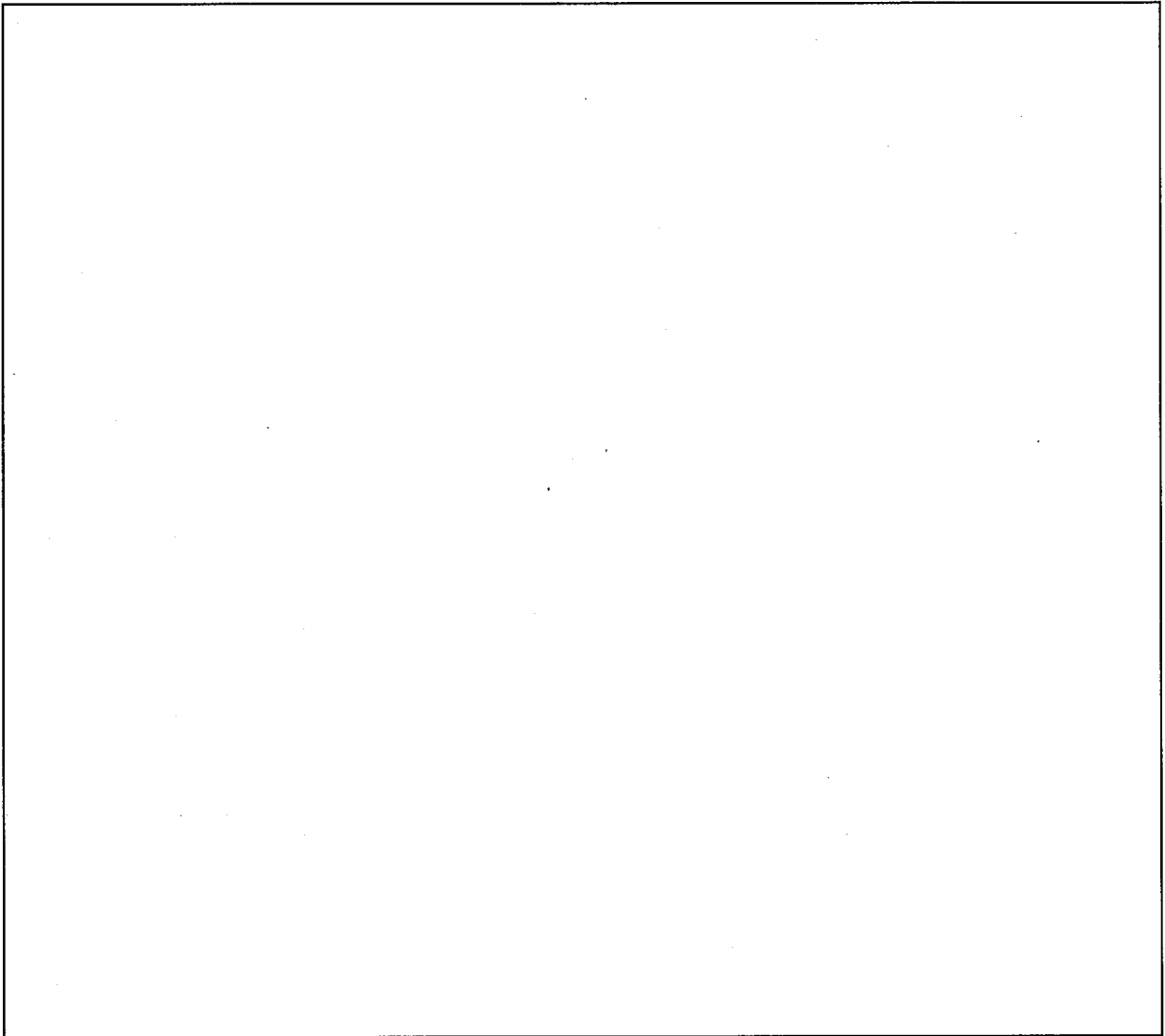
- ・ には、塑性歪の発生はなく形状は維持される。
- ・ には最大 %の塑性歪が発生しているが、 形状は維持される。
- ・ バスケットの周囲に位置するアルミスペーサーには、 による最大 %の塑性歪が発生しているが、 形状は維持される。

バスケットの各部品について、最大の塑性歪が発生した落下方向における塑性歪分布図を(ロ)－第A. 61 図及び(ロ)－第A. 62 図に示す。

バスケットの解析結果を(ロ)－第A. 22 表にまとめる。



(ロ)－第A. 61 図 9m水平落下/バスケットの解析結果 (塑性歪分布図)
(ロジメント/ 方向落下時)



(ア) - 第A. 62 図 9m水平落下/バスケットの解析結果 (塑性歪分布図)
(アルミスペーサー/□ 方向落下時)

(ロ)－第A.22表 9m落下におけるバスケットの解析結果のまとめ

落下方向	部 品	最大塑性歪 (%)	最小破断 伸び (%)	評 価
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>	ロジメント			
	<div style="border: 1px solid black; width: 80%; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>			
	<div style="border: 1px solid black; width: 85%; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>			
	アルミスパーサー			
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>	ロジメント			
	<div style="border: 1px solid black; width: 80%; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>			
	<div style="border: 1px solid black; width: 85%; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>			
	アルミスパーサー			
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>	ロジメント			
	<div style="border: 1px solid black; width: 80%; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>			
	<div style="border: 1px solid black; width: 85%; height: 15px; margin: 5px auto;"></div>			
	アルミスパーサー			

c. 燃料被覆管

A. 5. 3 において用いた評価手法と同じ手法で、燃料被覆管に発生する最大塑性歪を求め、燃料被覆管が破断しないことを以下に示す。

落下姿勢としては、燃料被覆管に負荷される圧縮荷重並びに曲げ荷重がそれぞれ最大となる垂直落下と水平落下を対象とする。

解析に用いる燃料集合体の諸元及び燃料被覆管の物性は、(p)－第A. 14 表及び(p)－第A. 15 表に示したとおりである。

(a) 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

(b) 荷重条件及び境界条件

i. 垂直落下

解析モデルに9m落下時(落下高さは9.3m)の衝突速度(13.6 m/sec)を与え、衝突面には(p)－第A. 63 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、前部垂直落下より衝撃の大きい後部垂直落下における底板から抽出した。

落下速度及び速度時刻歴を除く荷重条件及び境界条件は、A. 5. 3 に示したとおりである。

ii. 水平落下

解析モデルに9m落下時(落下高さは9.3m)の衝突速度(13.6 m/sec)を与え、両端の剛体面には(p)－第A. 64 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、水平落下におけるバスケットから抽出した。

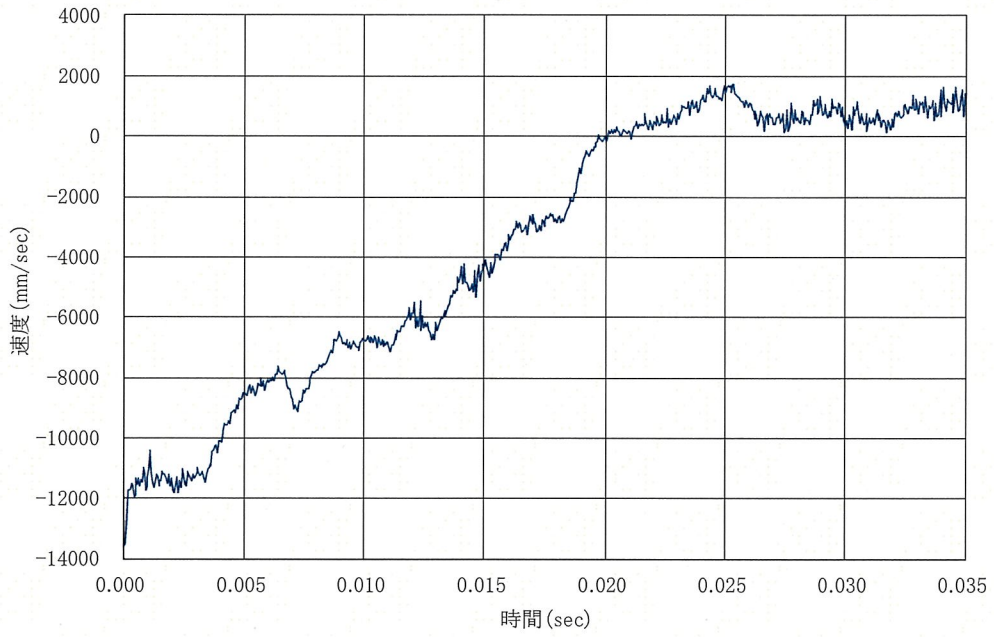
落下速度及び速度時刻歴を除く荷重条件及び境界条件は、A. 5. 3 に示したとおりである。

(c) 解析結果

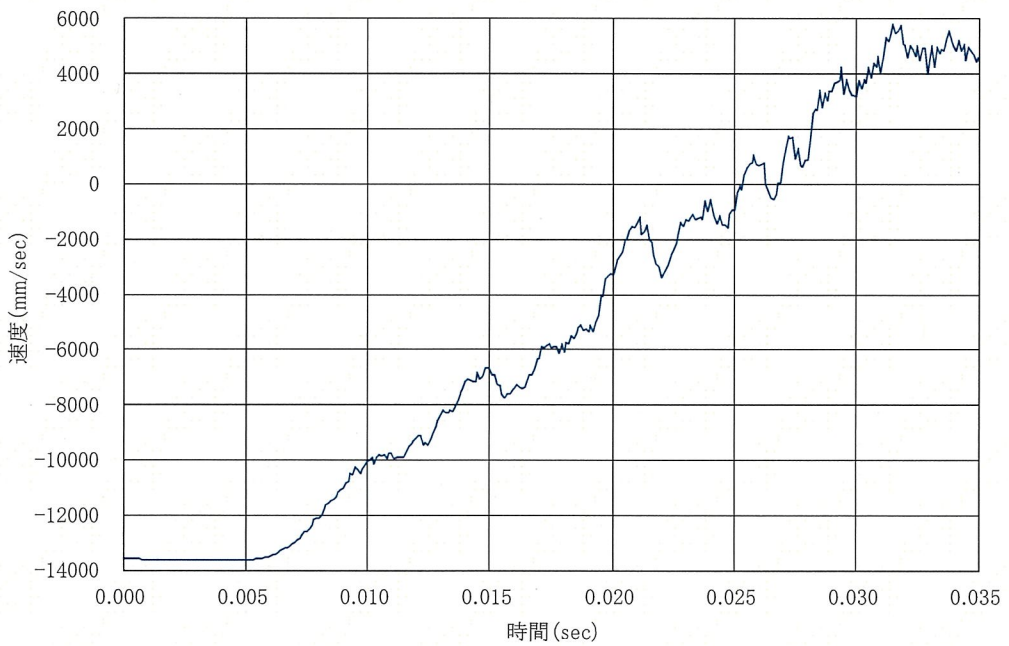
垂直及び水平落下における解析結果を(p)－第A. 23 表に示す。

垂直落下では、(p)－第A. 65 図に示すように最下部近傍に最大□%の塑性歪が発生し、水平落下では、(p)－第A. 66 図に示すように両端部に最大□%の塑性歪が発生しているが、いずれも燃料被覆管の最小破断伸びに比べて十分に小さい。

したがって、9m落下において、燃料被覆管は破断することはない。



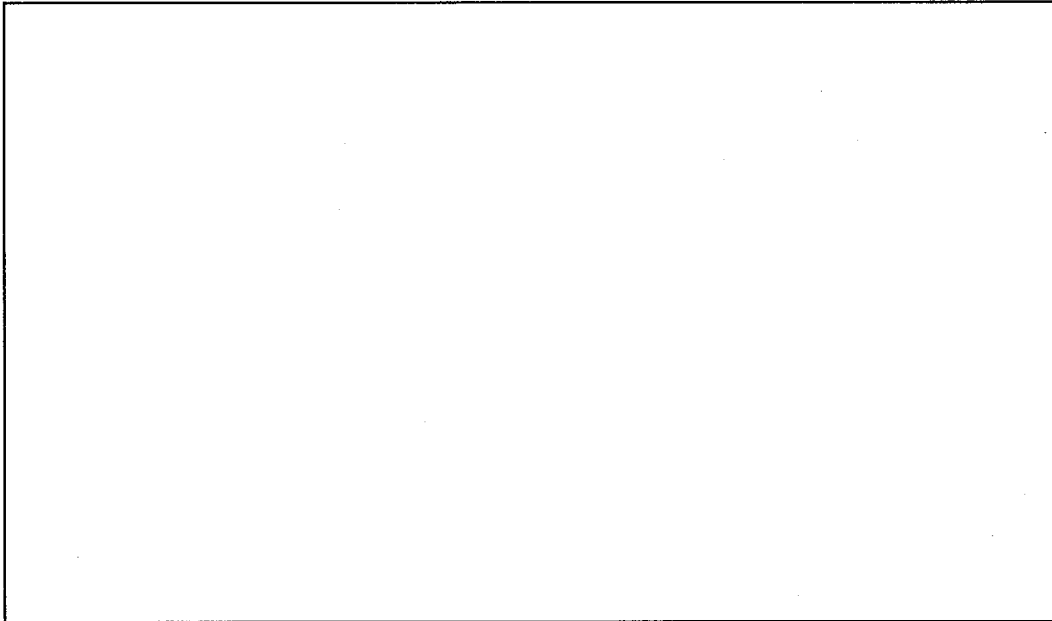
(□) - 第A. 63 図 容器本体の速度時刻歴 (後部垂直落下)



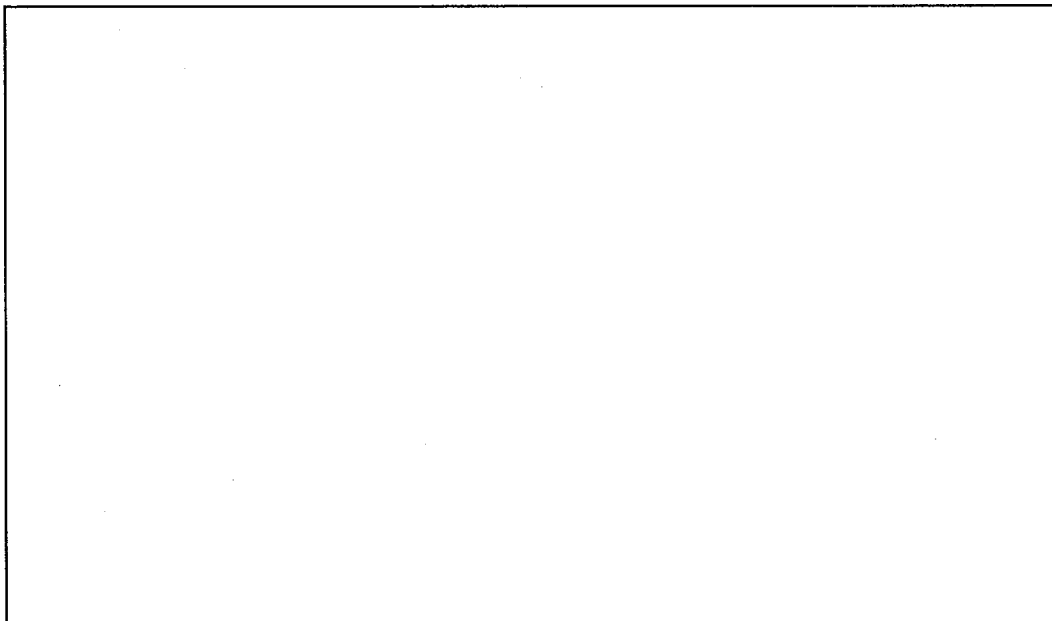
(□) - 第A. 64 図 バスケットの速度時刻歴 (水平落下)

(□)－第A.23表 9m落下における燃料被覆管の解析結果のまとめ

条 件	最大塑性歪 (%)	最小破断伸び (%)
9m垂直落下		
9m水平落下		



(□)－第A.65図 9m垂直落下/燃料被覆管の解析結果 (塑性歪分布図)



(□)－第A.66図 9m水平落下/燃料被覆管の解析結果 (塑性歪分布図)

(2) 1m落下試験

本試験は、輸送物が最大損傷を受けるよう直径 15 cm の軟鋼棒上に、1mの高さから落下させるものである。

先に述べたように、輸送容器の落下時における挙動を評価するために、モデルを用いたモックアップ試験が実施されており、9m落下に併せて軟鋼棒上への 1 m落下が行われている。モックアップ試験では、蓋部を直撃する垂直落下、底部を直撃する垂直落下、胴部を直撃する水平落下が実施され、直撃部の損傷状態及び密封性の変化が測定された。

各落下姿勢について、モックアップ試験及び解析に基づく評価を以下に示す。

a. 蓋部を直撃する垂直落下

試験の状態及び落下後の直撃部の状態を写真(ρ)－第A.1及び写真(ρ)－第A.2に示す。

観察された事項は次のとおり。

- ・前部衝撃吸収カバーは貫通した。
- ・蓋部レジンに最大mmのへこみが生じた。蓋部レジンカバーには半円状の亀裂が見られた。
- ・蓋板には損傷は見られなかった。
- ・引き続き実施した 9m前部垂直落下の後に測定した容器本体の漏えい率（ヘリウムリークテスト）は、リークタイトのレベル（ $10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ）を下回っており、密封は維持されていた。

以上の結果から、蓋部を直撃する 1m落下における、臨界解析で考慮を要する形状変化を以下に示す。

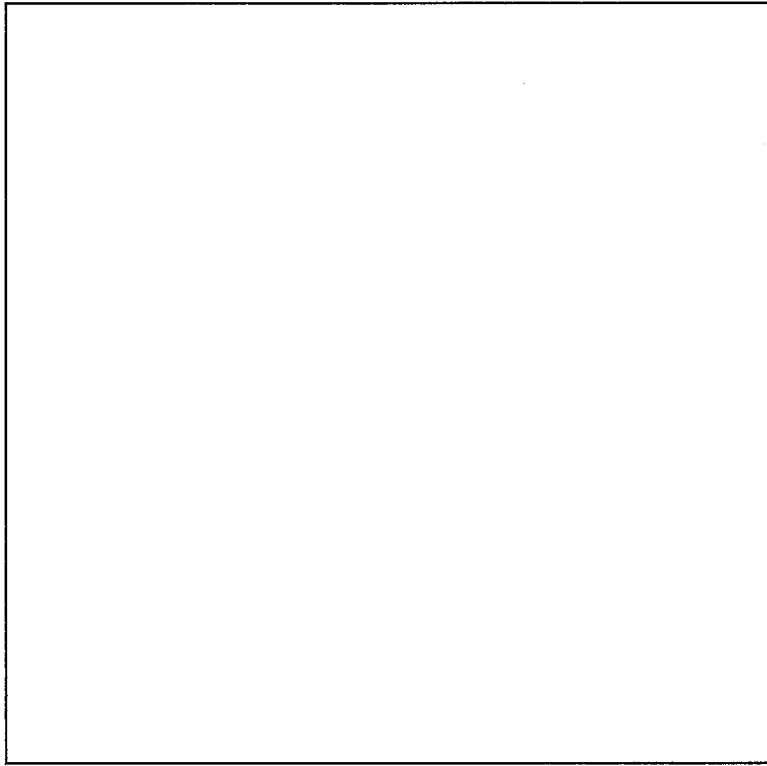
- ・前部衝撃吸収カバーに穴があき蓋部レジンカバーに最大約 mm
のへこみが生じる可能性がある。

b. 底部を直撃する垂直落下

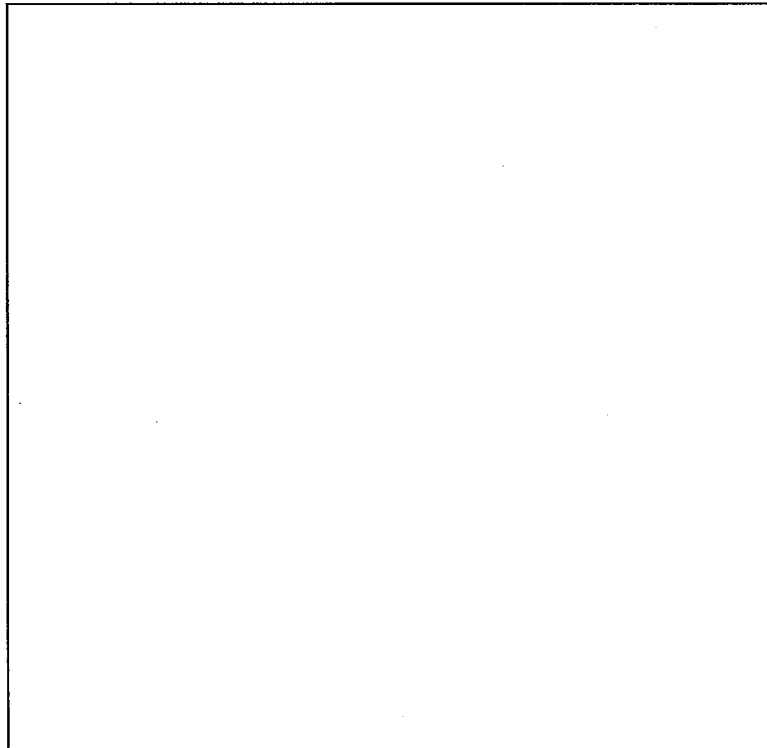
試験の状態及び落下後の直撃部の状態を写真(ρ)－第A.3及び写真(ρ)－第A.4に示す。

観察された事項は次のとおり。

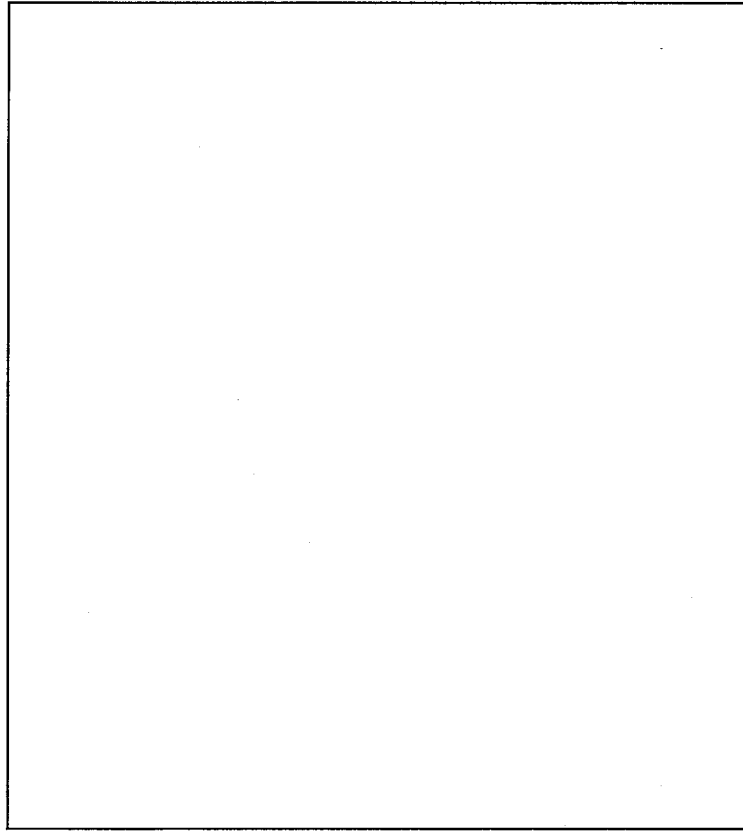
- ・後部衝撃吸収カバーは貫通した。
- ・底部レジンに最大mmのへこみが生じた。底部レジンカバーには亀裂は見られなかった。



写真(Ⓟ)－第A.1 蓋部を直撃する垂直落下 (試験前)



写真(Ⓟ)－第A.2 蓋部を直撃する垂直落下 (試験後)



写真(㍑)－第A.3 底部を直撃する垂直落下 (試験前)



写真(㍑)－第A.4 底部を直撃する垂直落下 (試験後)

- ・落下の後に測定した容器本体の漏えい率（ヘリウムリークテスト）は、リークタイトのレベル（ $10^{-8} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ）を下回っており、密封は維持されていた。

以上の結果から、底部を直撃する 1m 落下における、臨界解析で考慮を要する形状変化を以下に示す。

- ・後部衝撃吸収カバーに穴があき底部レジンカバーに最大約 mm のへこみが生じる可能性がある。

c. 胴部を直撃する水平落下

胴部への直撃にあたっては、胴外板及び胴ガセットに最大の損傷を与えることを目的として、水平から 傾けた落下姿勢が採用された。

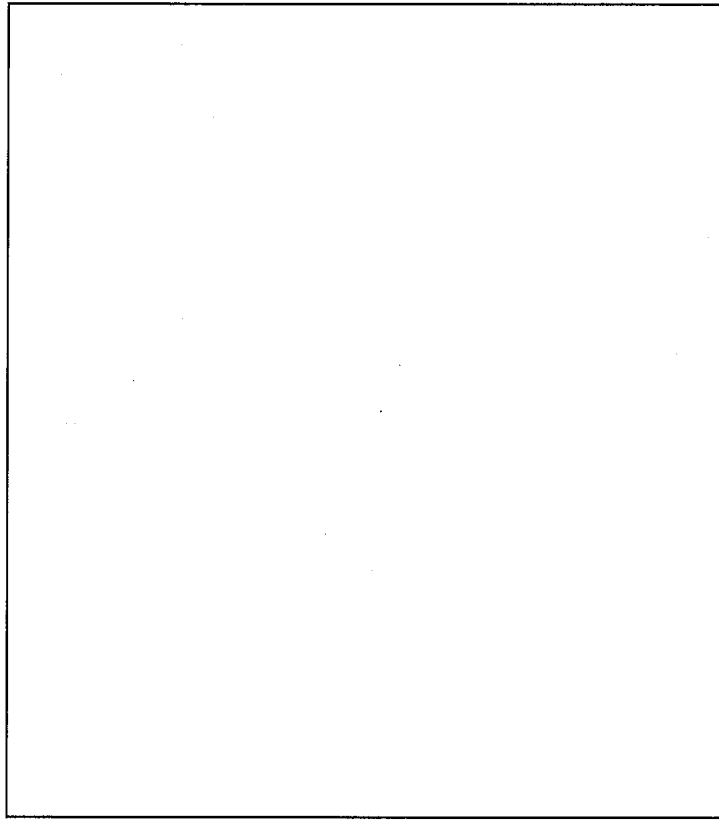
試験の状態及び落下後の直撃部の状態を 写真(p)－第A.5 及び 写真(p)－第A.6 に示す。

観察された事項は次のとおり。

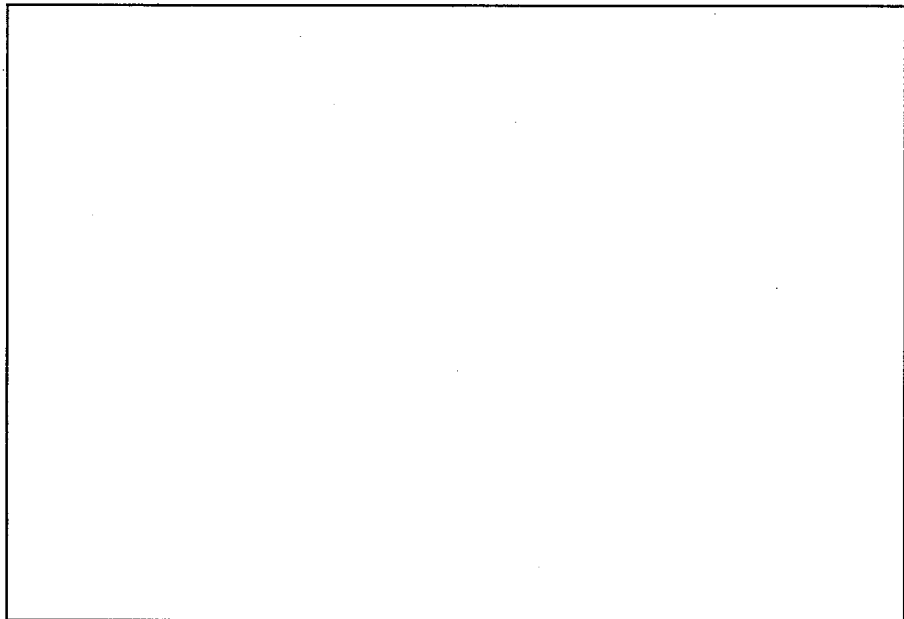
- ・胴外板及び胴ガセットが破断して、胴部に最大 mm の深さのくぼみが生じた。
また、このくぼみにより内筒の一部が内側に膨らむ変形が生じた。
- ・落下の後に測定した容器本体の漏えい率（ヘリウムリークテスト）は、リークタイトのレベル（ $10^{-8} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ）を下回っており、密封は維持されていた。

以上の結果から、胴部を直撃する 1m 落下における、臨界解析で考慮を要する形状変化を以下に示す。

- ・直撃部近傍の胴外板及び胴ガセットが破断し、胴外板の亀裂により胴部レジンが露出する可能性がある。また、胴部にくぼみが生じ、このくぼみにより内筒の一部が内側に膨らむ変形が生じる。



写真(㊦)－第A.5 胴部を直撃する水平落下 (試験前)



写真(㊦)－第A.6 胴部を直撃する水平落下 (試験後)

上述したように、直撃部の胴部にくぼみが生じて変形は内筒に及ぶため、内筒の変形を受けてバスケットの一部に変形が生じる可能性がある。そこで、胴部を直撃する1m落下におけるバスケットの形状変化について、解析手法を用いた評価を行う。

(a) 解析モデル

軟鋼棒の直撃により胴外板と胴ガセットが破断して内筒が変形する部分には、

〔 〕モデルの落下試験を模擬した解析により確認された解析モデルを実スケールにしてモデル化する。(付属書類-3 参照)

軟鋼棒が直撃しない部位は、内筒、胴ガセット、胴外板及び胴部レジンからなる胴部と、単純な形状の蓋部及び底部から構成され、モデルの質量が設計重量と同等になるように、それぞれの領域に等価な密度を与える。

バスケットについては、軟鋼棒の直撃により変形が予想される〔 〕を中央にして、〔 〕を含めた範囲にはバスケットの落下解析で用いた解析モデルを用いる。その両側からバスケットの軸方向端部までは、単純な円筒形状として等価な密度を与える。

解析モデルの要素分割図を(□)-第A.67図に示す。

(b) 荷重条件及び境界条件

モデル全体に1m落下時の衝突速度(4.43m/sec)を与え、剛体でモデル化した軟鋼棒はその全方向変位を拘束する。

(c) 解析結果

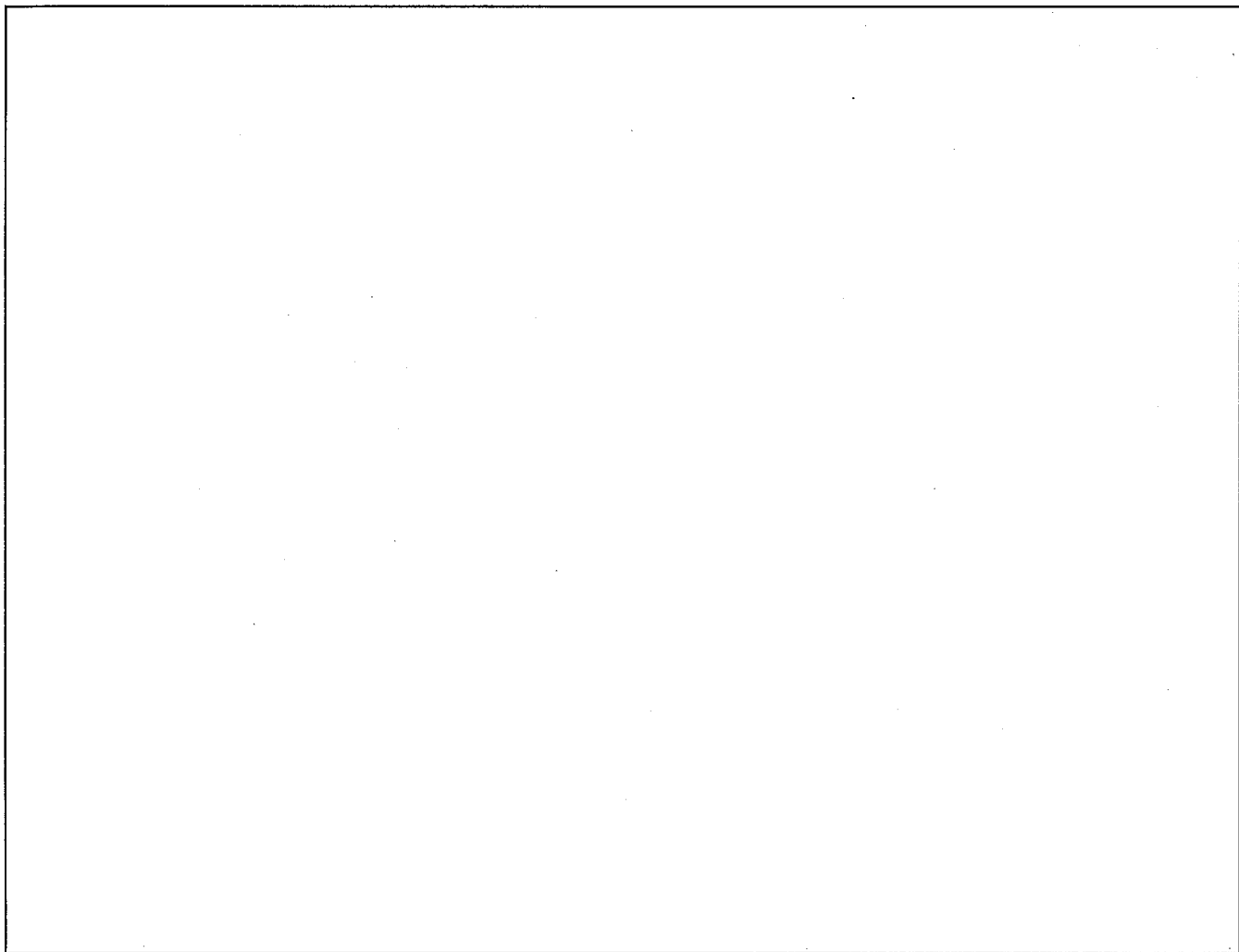
バスケットに対する落下方向として、(□)-第A.68図に示す〔 〕について解析を行った結果、以下のような観察が得られた。各ケースにおける最大変形時の変形状態を(□)-第A.69図に示す。

各ケースにおけるバスケットの損傷状態は以下のとおりである。

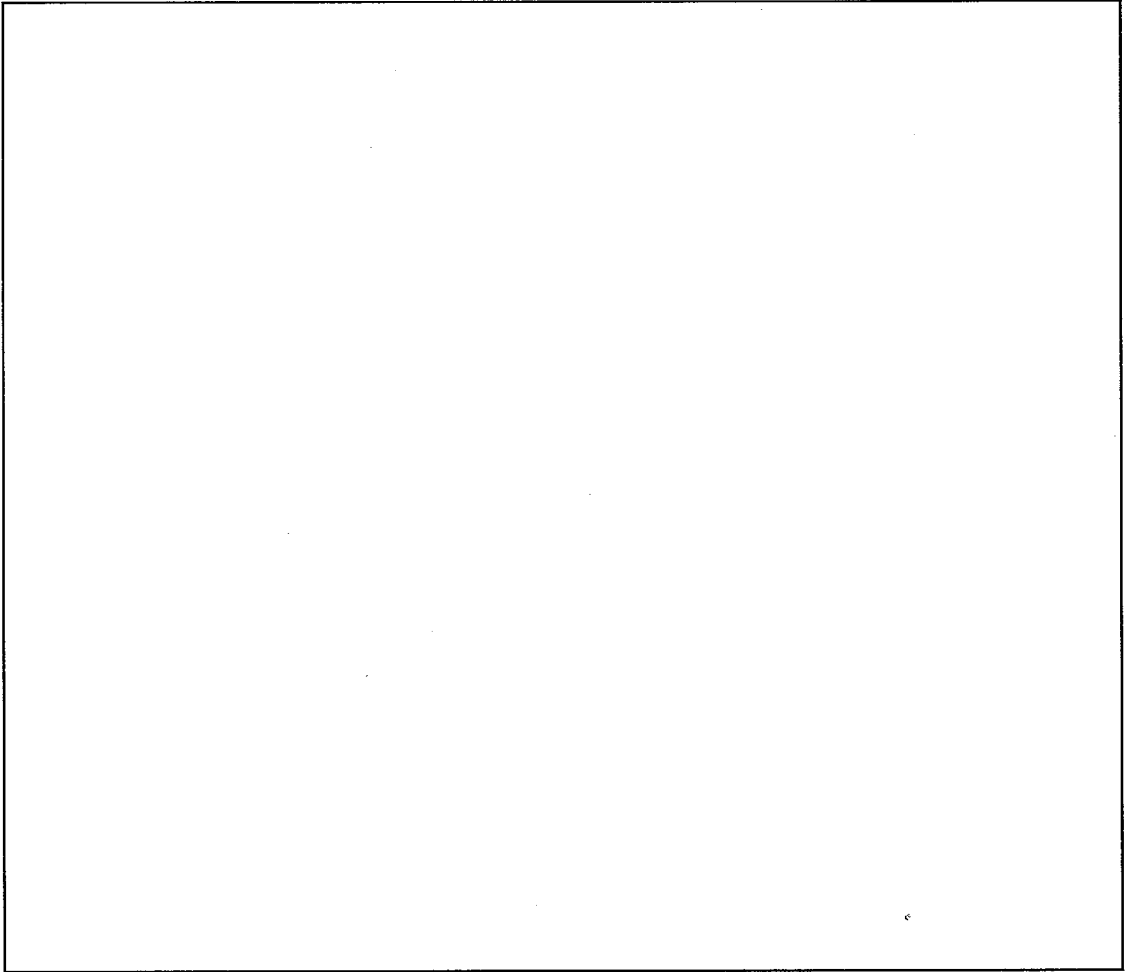
i. 〔 〕

〔 〕には、局所的に〔 〕に塑性歪が発生するが、〔 〕に発生した塑性歪(〔 〕%以下)は〔 〕下回っており、〔 〕の配置に有意な変化は生じない。(□)-第A.70図)

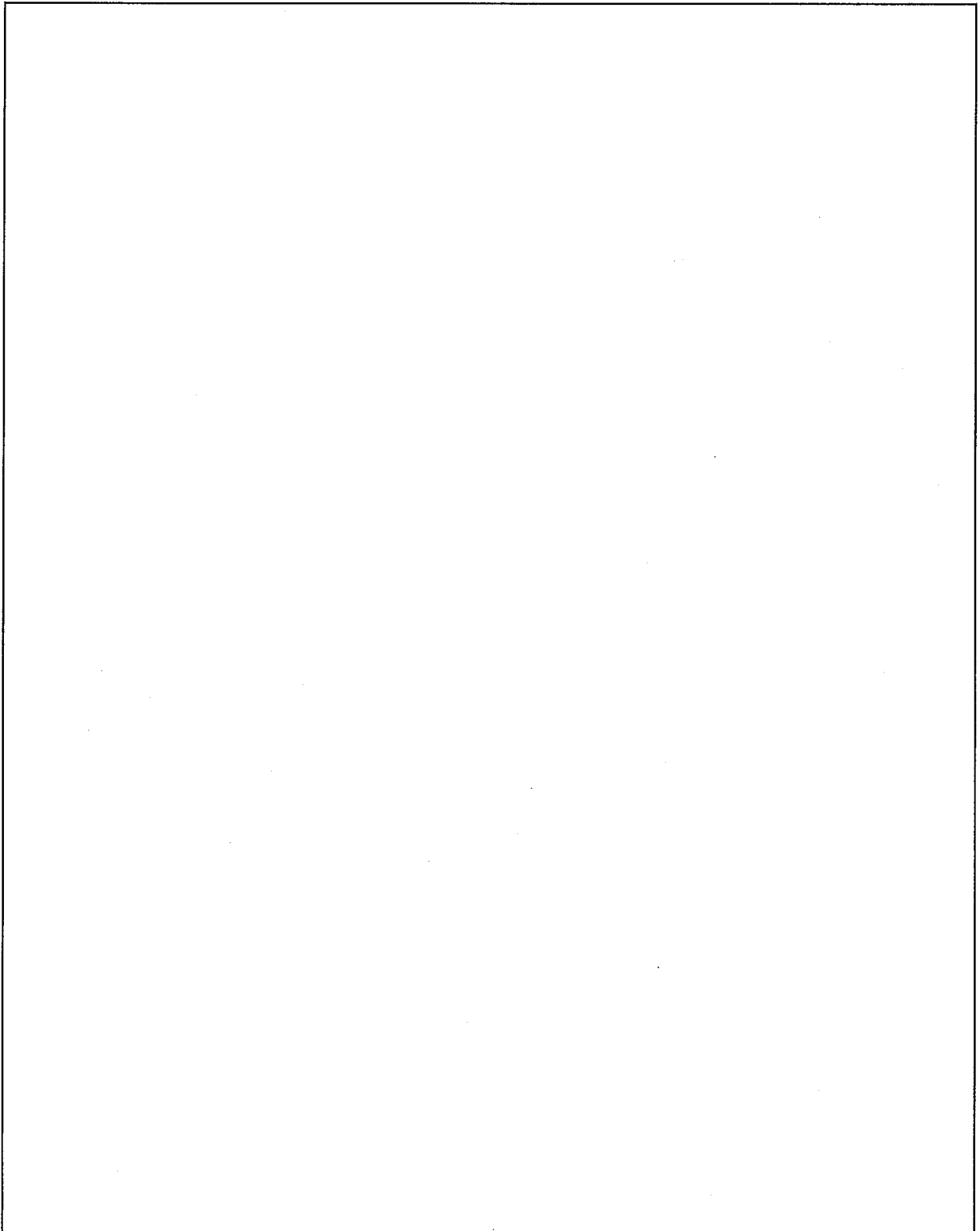
〔 〕には、局所的な塑性歪(最大〔 〕%)が発生しているが、〔 〕破断は生じない。(□)-第A.71図)



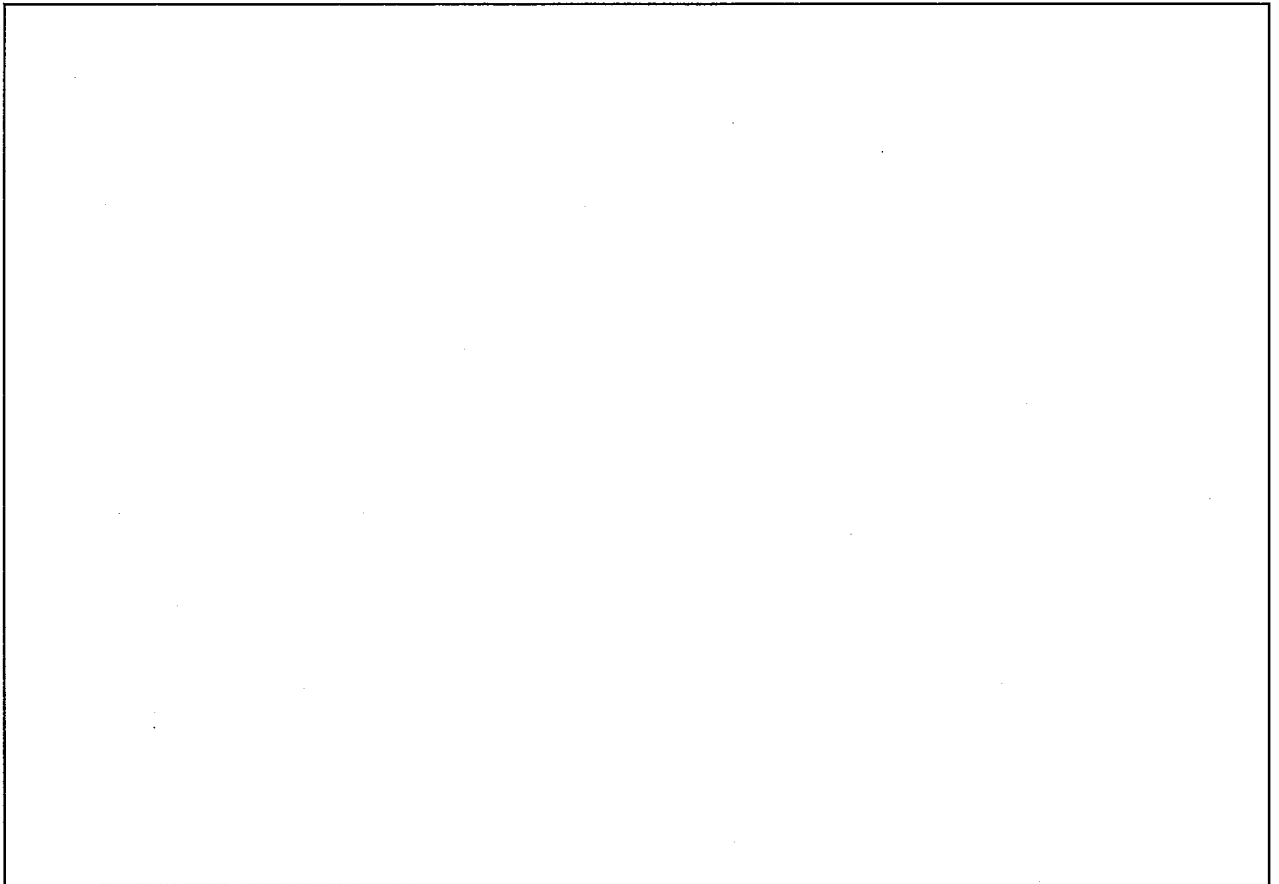
(㊦)－第A.67図 要素分割図 (1m落下/実機モデル)



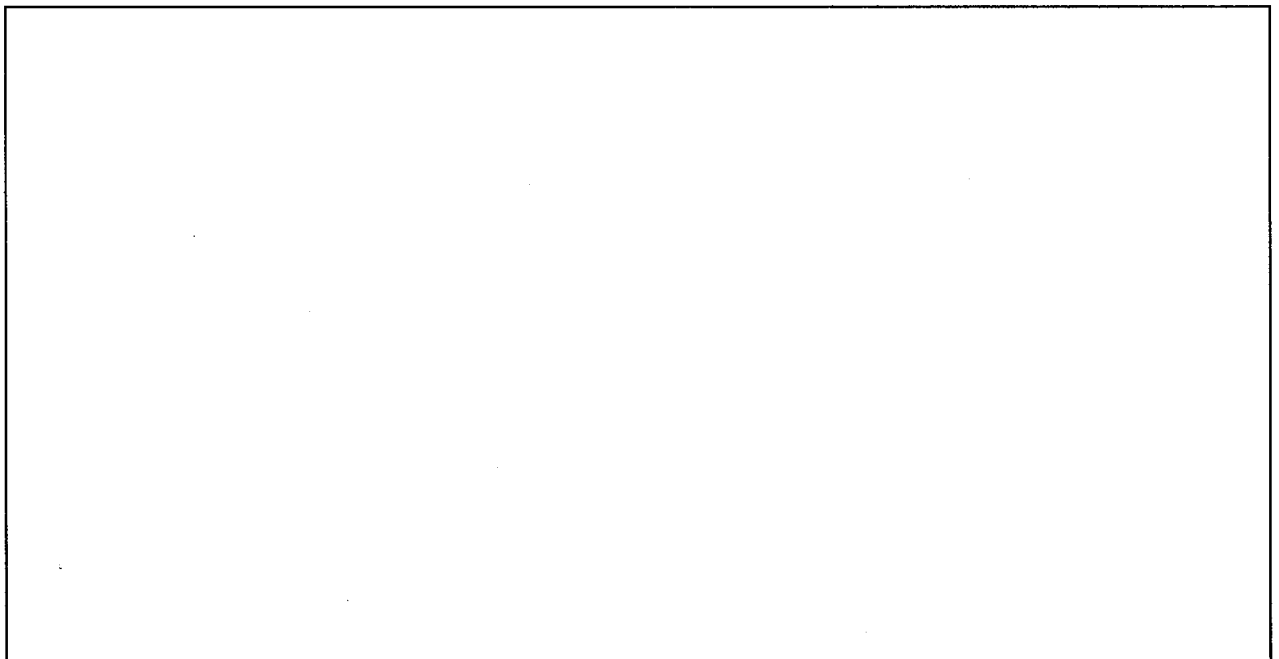
(ア) - 第A.68図 バスケットに対する落下方向



(㊦)－第A.69図 バスケットの変形状態 (最大変形時)



(ア) 第A.70図 に発生した塑性歪 (方向)



(イ) 第A.71図 ロジメントに発生した塑性歪 (方向)

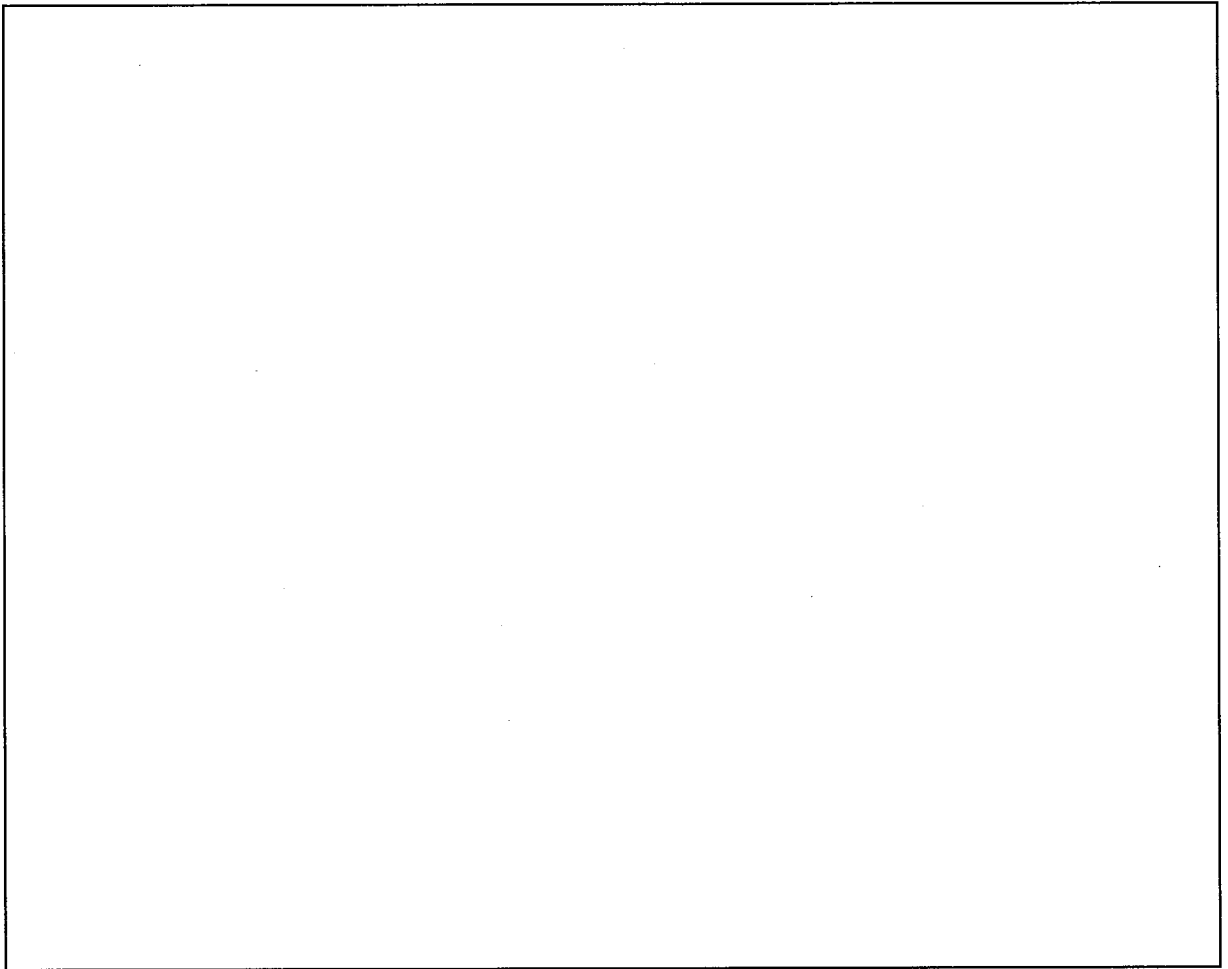
- ・ [] には、塑性歪の発生はなく、 [] の配置に有意な変化は生じない。
- ・ 最大変形時においてもロジメントと収納物の間には隙間が残存しており、 [] [] 燃料集合体が損傷することはない。

ii. []

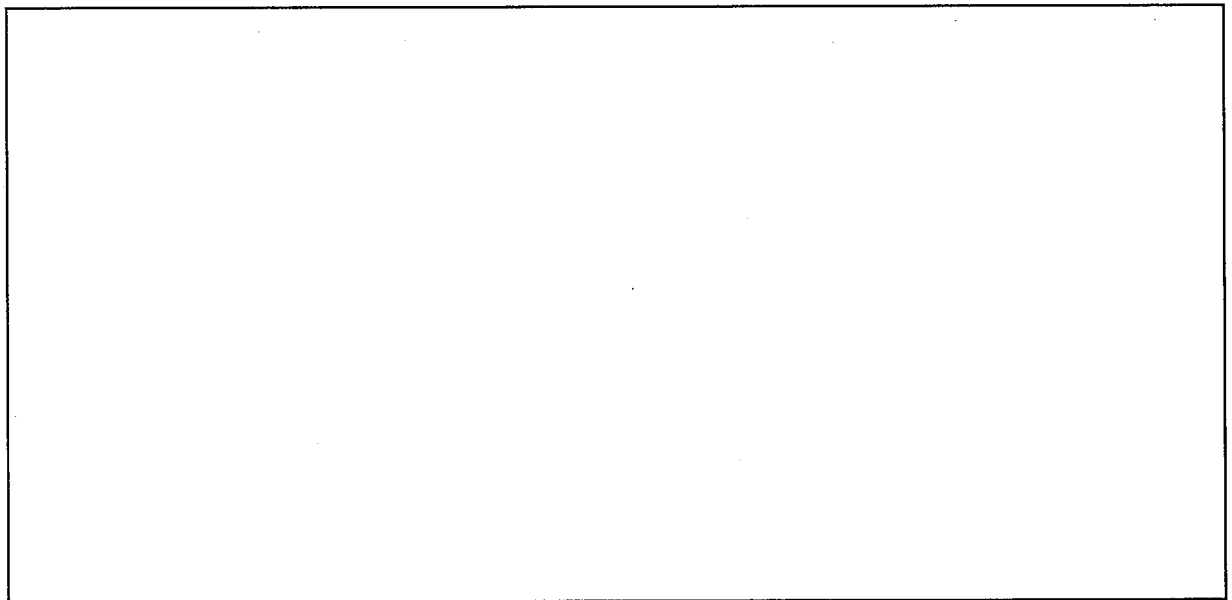
- ・ [] には、局所的に [] [] 塑性歪が発生するが、 [] に発生した塑性歪（最大 [] %）は [] 下回っており、 [] の配置に有意な変化は生じない。（(p)－第A.72図）
- ・ [] には、局所的な塑性歪（最大 [] %）が発生しているが、 [] [] 破断は生じない。（(p)－第A.73図）
- ・ [] には、塑性歪の発生はなく、 [] の配置に有意な変化は生じない。
- ・ 最大変形時においてもロジメントと収納物の間には隙間が残存しており、 [] [] 燃料集合体が損傷することはない。

iii. []

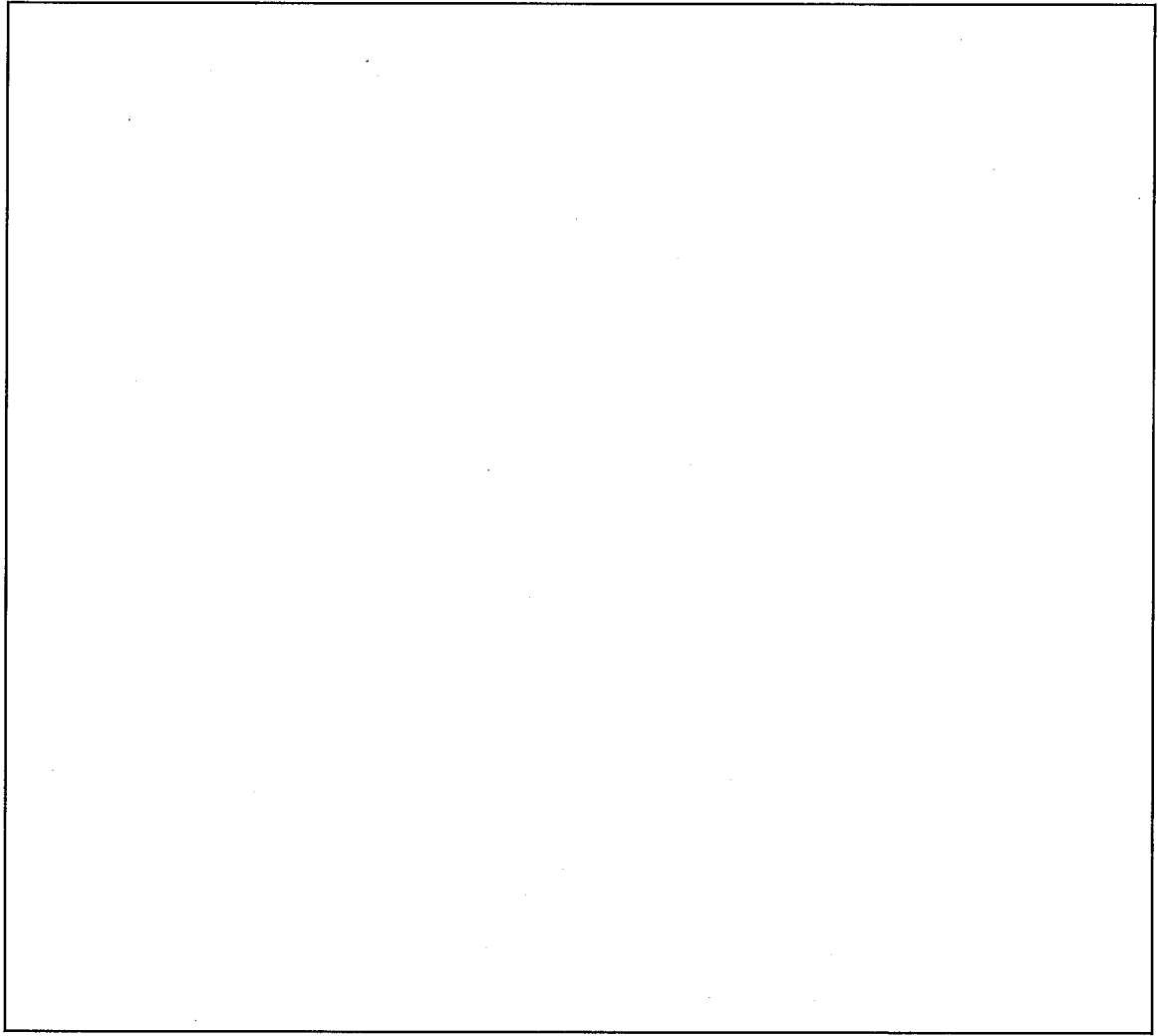
- ・ [] には、局所的に [] [] 塑性歪が発生するが、 [] に発生した塑性歪（最大 [] %）は [] 下回っており、 [] の配置に有意な変化は生じない。（(p)－第A.74図）
- ・ [] には、塑性歪の発生はない。
- ・ [] には、塑性歪の発生はなく、 [] の配置に有意な変化は生じない。
- ・ 最大変形時においてもロジメントと収納物の間には隙間が残存しており、 [] [] 燃料集合体が損傷することはない。



(ア) ー第A.72図 に発生した塑性歪 (方向)



(ア) ー第A.73図 ロジメントに発生した塑性歪 (方向)



(p) - 第 A. 74 図 に発生した塑性歪 (方向)

(3) 熱的試験（耐火試験）

a. 容器本体

耐火試験による容器本体の損傷状態を以下に評価する。

火災発生 30 分後における各部品の最高温度は(ρ)－第 A. 24 表に示すとおりである。

また、特別の試験条件における輸送物の最大内圧は□ MPa 絶対圧である。したがって、本試験では内外圧力差を□ MPa として評価する。

(ρ)－第 A. 24 表 火災発生 30 分後における各部品の最高温度

(単位：℃)

容器本体部品	熱解析結果
胴外板	
胴ガセット	
内筒	
上部フランジ	
底板	
蓋板	
蓋板締付けボルト	

耐火試験では、(ρ)－第 A. 24 表に示したように、胴部の外面と内面で大きな温度差が生じ、外面の胴外板及び胴ガセットの熱膨張により、内面の内筒に変形が生じる可能性がある。

内筒の変形量を保守的に評価するために、胴外板と胴ガセットは弾性体の物性を与え、一方、内筒をはじめ上部フランジ、底板、蓋板には弾完全塑性体の物性を与えて、内筒の変形挙動を解析コード ABAQUS を用いた弾塑性解析により評価する。

(a) 解析モデル

解析モデルとして、A. 5.1 と同様に容器本体の□ 3次元モデルを用いる。

当該モデルは、本体（上部フランジ、内筒、胴ガセット、胴外板及び底板）と蓋部（蓋板及び蓋板締付けボルト）で構成されており、蓋板は蓋板締付けボルトを介して上部フランジに接続され、蓋板と上部フランジの接触が考慮されている。

(b) 荷重条件及び境界条件

i. 荷重条件

容器内面に内外圧力差 (MPa) を負荷し、蓋板締付けボルトには初期締付けによる軸力を作用させ、容器本体の温度差が最も大きくなる火災発生 30 分後の温度分布を与える。

ii. 境界条件

底板中央の軸方向変位、中心軸の半径方向変位、対称面の周方向変位を拘束する。

(c) 解析結果

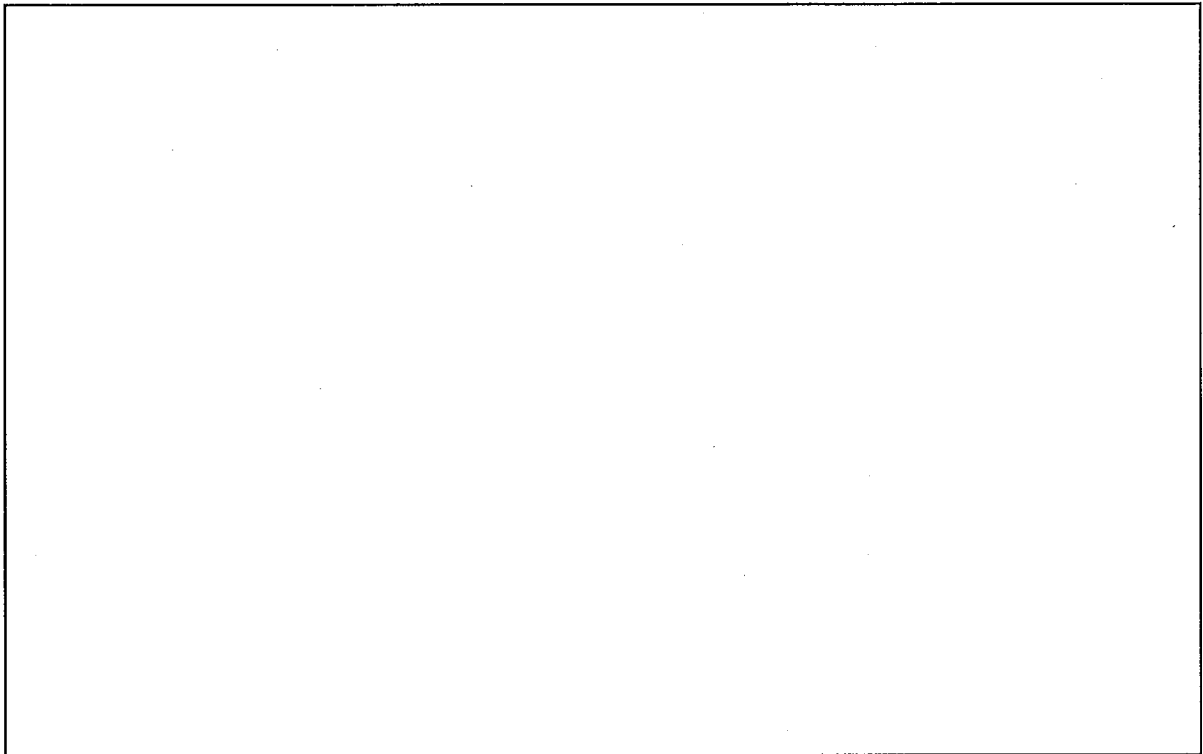
変形図及び内筒の塑性歪分布図をそれぞれ (p)－第A.75 図 及び (p)－第A.76 図 に示す。

に発生した最大塑性歪は % 以下で

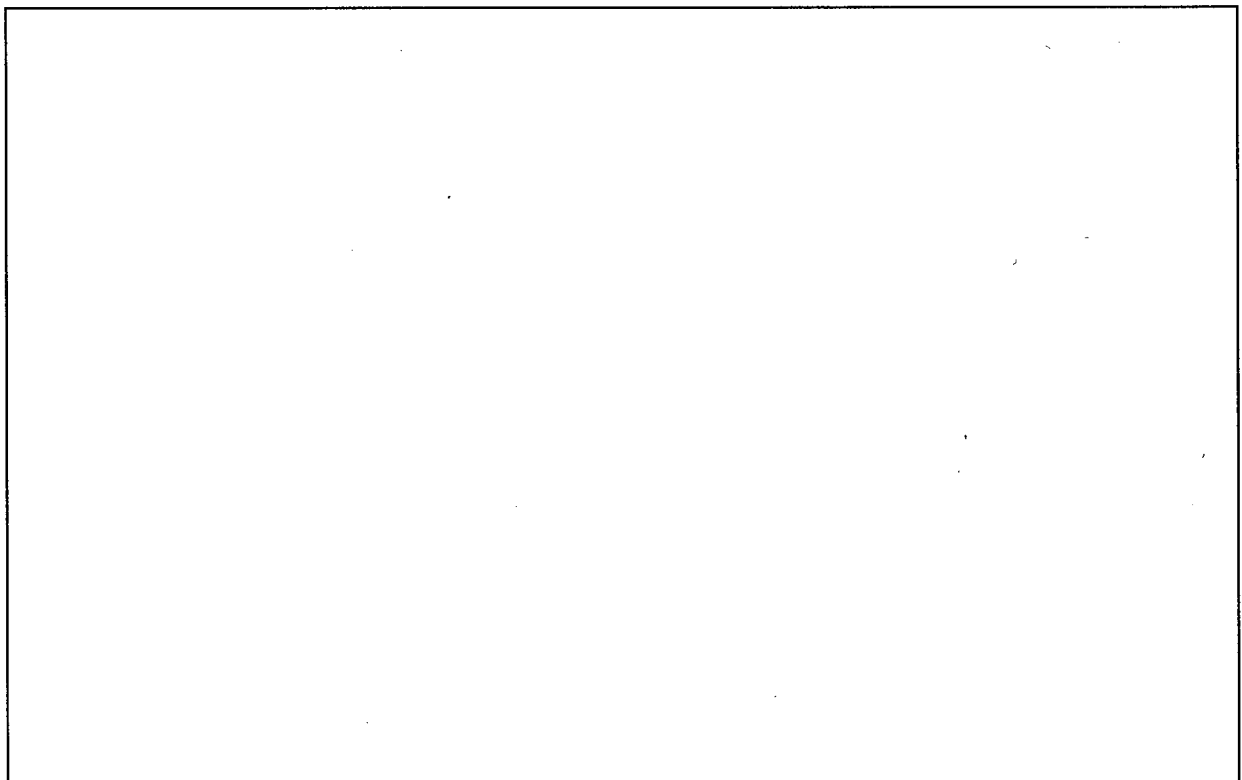
破断することはない。

一方、(p)－第A.75 図に示すように、胴外板及び胴ガセットとの熱膨張差により、内筒の中央部分が膨らむように変形して内半径が最大 mm 大きくなる。

弾性体の物性を与えた胴外板及び胴ガセットを除く各部品について、評価結果を (p)－第A.25 表 にまとめる。



(□)－第A.75図 特別の試験条件の熱的試験の解析結果 (変形図)



(□)－第A.76図 特別の試験条件の熱的試験の解析結果 (内筒の塑性歪分布)

(ロ) ー第 A. 25 表 特別の試験条件の熱的試験における容器本体の解析結果のまとめ (1/2)

容器本体部品	最大塑性歪 (%)	最小破断伸び (%)	評 価
内筒	□	□	□
上部フランジ			
蓋板			
底板			

(ロ) ー第 A. 25 表 特別の試験条件の熱的試験における容器本体の解析結果のまとめ (2/2)

部 品	応力の種類	応力 (MPa)	評 価
蓋板締付け ボルト	σ_m	□	発生応力は S_y^1 を下回っており破断しない。
	$\sigma_m + \sigma_b$		

注 1) 蓋板締付けボルトの S_y (降伏応力) は、□ MPa (□ °C)

b. バスケット

(p) - B.5 に示されているように、耐火試験におけるバスケットの最高温度は \square °C 以下であり、材料の使用可能温度の上限温度¹⁾を超えない。また、バスケット内の温度差は小さく有意な熱応力は発生しない。

ここでは、バスケットと容器本体の熱膨張差によるバスケットへの影響を評価する。

(a) 軸方向

バスケットと容器本体の胴部との熱膨張差により、軸方向の隙間が減少する。

スライスモデルによる熱解析の結果を参照して、バスケットと胴部の温度差が最大になる時刻における温度を用いて、バスケットと容器本体内面の軸方向の隙間 ΔL を下式により求める。なお、バスケットの温度として \square 最高温度、胴部の温度として胴外板最低温度を用いる。

熱解析の結果によれば、 \square 最高温度と胴外板最低温度の温度差は火災発生後 12 時間で最大となり、温度はそれぞれ \square °C と \square °C になる。

$$\Delta L = (L_1 - L_2) + \{L_1 \times (T_1 - 20) \times \alpha_1 - L_2 \times (T_2 - 20) \times \alpha_2\}$$

ここで、 L_1 : 容器本体のキャビティ長さ [\square mm]

L_2 : バスケットの全長 [\square mm]

T_1 : 胴部の温度 [\square °C]

T_2 : バスケットの温度 [\square °C]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [\square /°C (\square °C)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [\square /°C (\square °C)]

よって、 $\Delta L = \square$ mm

となり、バスケットと容器本体内面間には隙間が存在し拘束による熱応力は生じない。

(b) 半径方向

バスケットと容器本体の胴部との熱膨張差により、径方向の隙間が減少する。

軸方向の評価と同様に、バスケットと容器本体内面の径方向の隙間 ΔD を下式により求める。

$$\Delta D = (D_1 - D_2) + \{D_1 \times (T_1 - 20) \times \alpha_1 - D_2 \times (T_2 - 20) \times \alpha_2\}$$

注 1) ASME SEC. II Part D^[1] には、 \square 材料のアルミニウム合金の物性は 200 °C まで与えられており、当該温度は使用可能範囲である。

ここで、 D_1 : 容器本体の内径最小値 [mm] (公差を考慮した最小値)

D_2 : バスケットの外径最大値 [mm] (公差を考慮した最大値)

T_1 : 胴部の温度 [°C]

T_2 : バスケットの温度 [°C]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [/°C (°C)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [/°C (°C)]

よって、 $\Delta D =$ mm

となり、バスケットの半径方向の膨張により、一時的にバスケットの外表面が胴部の内面に接触する可能性がある。これにより、バスケットの外周に位置するアルミスペーサーが、胴部からの圧縮を受ける可能性はあるが、アルミスペーサーは十分な変形代を有する中空の構造となっており、胴部からの圧縮はアルミスペーサーにより吸収されるため、バスケットの構造強度部品である に変形は及ばない。

c. 燃料被覆管

耐火試験における温度上昇に伴う内圧の変化による燃料被覆管への影響を評価する。

(ロ) - B.5 に示されているように、耐火試験におけるバスケットの最高温度は °C 以下であるため、保守的に燃料被覆管の温度を °C とする。

耐火試験における燃料被覆管の内圧 (ゲージ圧) P_i は以下ようになる。

$$P_i = P_o \times \frac{T}{T_o} - 0.101$$

ここで、 P_o : 内部気体充填圧力 (20°C) [MPa 絶対圧]

T_o : 内部気体初期温度 [293 K (20°C)]

T : 燃料被覆管最高温度 [K (°C)]

したがって、

$$P_i = \text{} \times \frac{\text{} \text{ MPa}$$

内圧 P_i によって燃料被覆管に発生する応力は、内圧を受ける円筒の式を用いて以下のように求められる。

$$(\text{周方向応力}) \sigma_{\theta} = P_i \times \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2}$$

$$\text{(軸方向応力)} \quad \sigma_z = P i \times \frac{a^2}{b^2 - a^2}$$

$$\text{(径方向応力)} \quad \sigma_r = -P i$$

ここで、b : 燃料被覆管外半径 (mm)

a : 燃料被覆管内半径 (mm)

(v) - 第 A. 14 表に示す燃料被覆管の外径 (11.0 mm) 及び内径 (mm) より、

$$b = 5.50 \text{ mm}$$

$$a = \text{ mm}$$

となる。

燃料被覆管に発生する最大応力強さ S は上記の各応力から以下のように求められる。

$$S = \text{Max} \{ |\sigma_\theta - \sigma_z|, |\sigma_z - \sigma_r|, |\sigma_\theta - \sigma_r| \}$$

よって、 $S = \text{ MPa}$

となり、°Cにおける燃料被覆管の引張強さ (MPa) に比べて十分に小さく、耐火試験の温度上昇に伴う内圧の変化によって燃料被覆管が破断することはない。

(4) 0.9m浸漬試験

本試験は、輸送物内部への浸水の可能性を評価するものであるが、本輸送物では臨界解析においてあらかじめ浸水を想定しているため、評価は除外される。

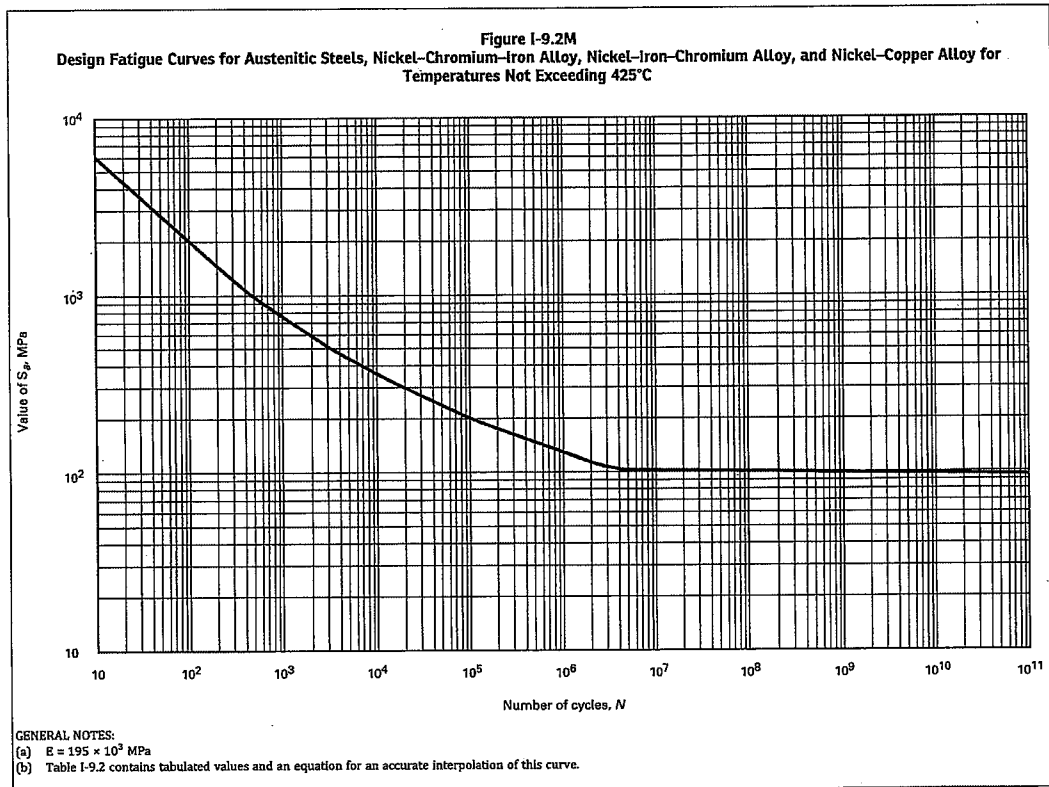
以上の結果より、特別の試験条件における輸送物の損傷状態は(v) - 第 A. 26 表のようにまとめられる。

(ロ) 第一A.26表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

条 件	輸送物の損傷状態
9m落下	<ul style="list-style-type: none"> ・衝撃吸収カバーが変形する。 ・容器本体に局所的な塑性歪が発生するが破断に至ることはなく形状は維持される。 ・バスケットに局所的な塑性歪が発生するが破断に至ることはなく形状は維持される。 ・燃料被覆管に塑性歪が発生するが破断には至らない。
1m落下	<p>1) 蓋部あるいは底部を直撃する垂直落下</p> <ul style="list-style-type: none"> ・衝撃吸収カバーが貫通する。 ・蓋部レジン及び底部レジンにへこみが生じる。 <p>2) 胴部を直撃する水平落下</p> <ul style="list-style-type: none"> ・直撃部の胴外板及び胴ガセットが破断し、胴部レジンが局所的に損傷する。 ・直撃部近傍の内筒が内側に膨らむ変形が生じる。 ・直撃部近傍のアルミスペーサーが変形する。 ・<input type="text"/>に<input type="text"/>塑性歪が局所的に発生するが、<input type="text"/>は破断には至らない。 ・<input type="text"/>に局所的な塑性歪が発生するが破断には至らない。 ・<input type="text"/>には塑性歪の発生はない。 ・最大変形時においてもロジメントと収納物の間には隙間が存在しており、<input type="text"/>燃料集合体が損傷することはない。
熱的試験（耐火）	<ul style="list-style-type: none"> ・容器本体に塑性歪が発生し、内筒の内半径が最大<input type="text"/>mm増加するが破断には至らない。
0.9m浸漬	(臨界解析で浸水を想定している)

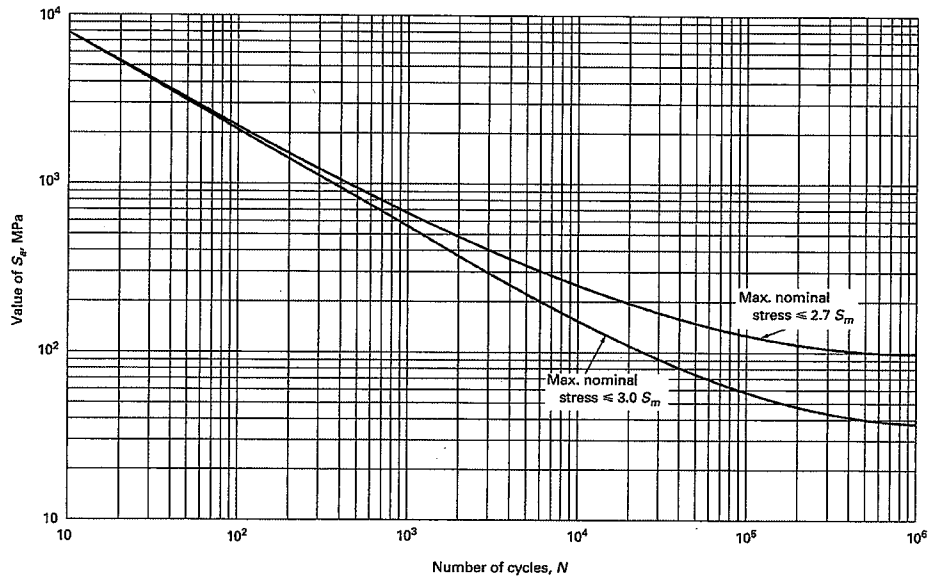
A. 10 付属書類

A. 10.1 付属書類-1 設計疲れ線図



(㍀) - 第 A. 付 1.1 図 設計疲れ線図 (オーステナイトステンレス鋼及び高ニッケル合金) [11]

Figure I-9.4M
Design Fatigue Curves for High Strength Steel Bolting for Temperatures Not Exceeding 370°C



GENERAL NOTES:

(a) $E = 207 \times 10^3$ MPa

(b) Table I-9.0M contains tabulated values and an equation for an accurate interpolation of these curves.

(㉓) - 第A. 付 1.2 図 設計疲れ線図 (高張力ボルト) [11]

A. 10.2 付属書類-2 []モデル落下試験の確認解析

(1) 概要

[]モデルにより実施された落下試験と同様の条件によって解析を実施し、落下試験において観察された挙動を解析によって模擬できることを確認する。

落下試験で得られた測定結果である加速度と変形量について、[]モデルをモデル化した解析モデル（落下試験確認モデル）による解析結果と比較し、当該解析モデルによる解析の妥当性について評価する。

(2) 落下試験の概要

a. []モデル

試験体である[]モデルの外観を写真(ロ)－第A.付2.1に示す。

[]モデルは、実機の輸送容器を[]で製作されている。ただし、試験を実施した当時の設計と現行の設計では、胴部のレジンの厚さが異なっているため、本体の外径がやや小さいものとなっている。

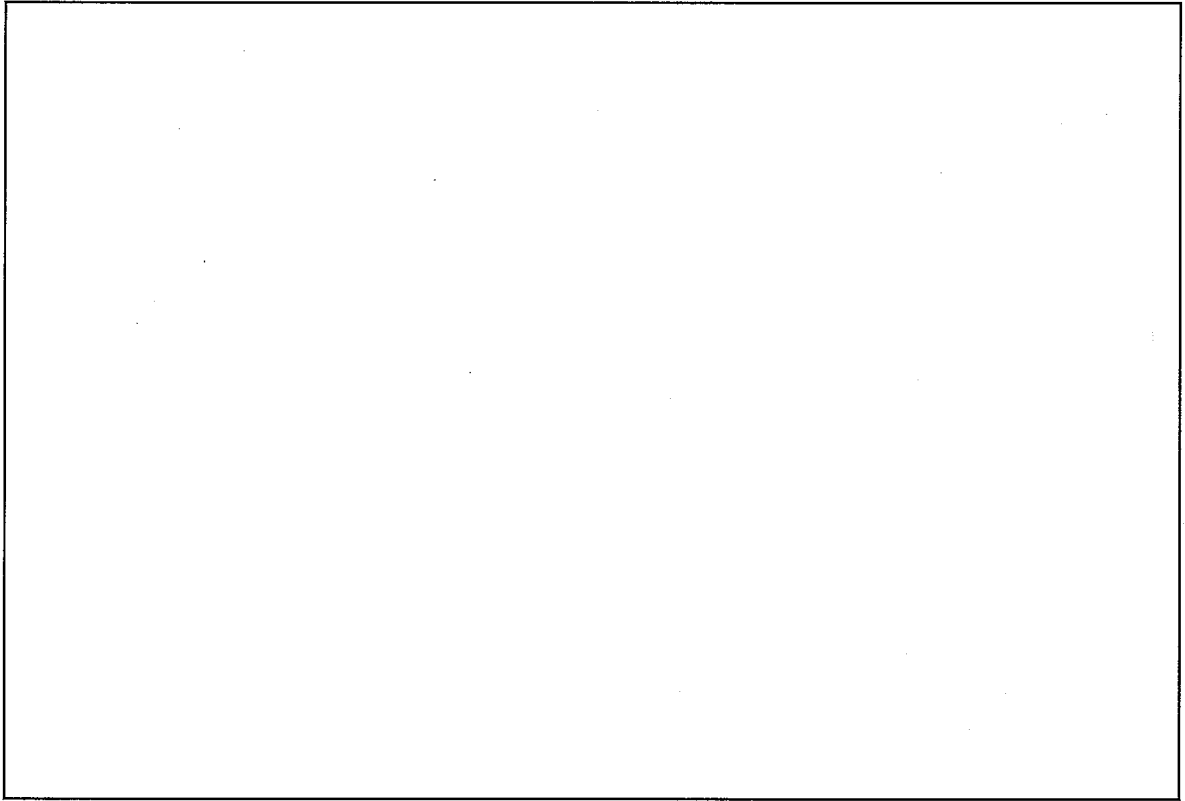
落下時に着床して変形する衝撃吸収カバーについては、後部衝撃吸収カバーの内径を除いて、実機を忠実に[]形状及び構成となっている。

[]
[]
[]

試験は常温で行われたため、本体及び蓋部の構成部品の材料には、輸送時の温度における実機材料の強度と同等強度の材料が採用されている。一方、衝撃吸収カバーのステンレス鋼及び緩衝材は実機と同じ材料が用いられた。レジンは、実機になって新しい材料に変更されたため、胴部の[]モデルを用いて、レジンの特性が影響する胴部への1m落下試験の適用性を確認する落下試験（付属書類-3参照）が実施された。

また、バスケットは欧州向けに設計されたバスケットが設置されたが、[]とロジメント等を組合わせた基本的な構成は本輸送容器と同じである。

実機と[]モデルとの諸元の比較を(ロ)－第A.付2.1表に示す。



写真(□)－第A. 付 2.1 □モデルの外観

(ロ) 第一A.付2.1表 実機と [] モデルとの諸元の比較 (1/3)

部 品	質 量 (kg)	
	実機	[] モデル
輸送物全体	19500 (最大)	[]

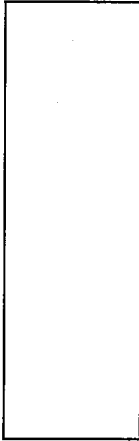









(ロ) 第一A.付2.1表 実機と [] モデルとの諸元の比較 (2/3)

部 品	主要材料	
	実機	[] モデル
本体		
内筒、胴ガセット、胴外板、 上部フランジ、底板	[]	炭素鋼 ¹⁾
レジン	[] レジン	[] レジン ²⁾
蓋部		
蓋板	[]	[]
ガスケット	EPDM	EPDM
衝撃吸収カバー		
緩衝材	[] 材	[] 材
衝撃吸収カバー 外板、 []	[]	[]

注 1) 温度による強度低下を考慮して等価な強度の材料が選定された。

2) レジン材料が実機で変更された。

(ロ) 第一A. 付 2.1 表 実機と モデルとの諸元の比較 (3/3)

部 品	主要寸法 (mm)		
	実 機	<input type="text"/> モデル	
本 体			
全長	5,189		
キャビティ長さ			
内筒内径	1,072		
内筒厚さ			
胴ガセット厚さ			
胴外板厚さ			
胴部レジン厚さ			
底板厚さ			
底板外径			
底部レジン厚さ			
底部レジンカバー厚さ			
蓋 部			
蓋板外径			
蓋板厚さ			
蓋部レジン厚さ			
蓋部レジンカバー厚さ			
前部衝撃吸収カバー			
外径	2,125		
内径 (外側)			
内径 (内側)			
厚さ	826		
緩衝材厚さ (外側)			
緩衝材厚さ (内側)			
外板/ <input type="text"/> 板厚			
後部衝撃吸収カバー			
外径	2,125		
内径 (外側)			
内径 (内側)			
厚さ	736		
緩衝材厚さ (外側)			
緩衝材厚さ (内側)			
外板/ <input type="text"/> 板厚			

b. 試験結果

落下試験は、0.3m落下、9m落下及び1m落下を合わせて、9ケースが実施された。

(ロ)一第A.付2.2表に各落下ケースの結果として、測定された最大加速度、衝撃吸収カバーの変形量を示す。

確認解析では、これらのケースの中から、以下の4ケースを対象とした。

- ・0.32m水平落下
- ・9.51m前部垂直落下
- ・9.51m前部コーナー落下
- ・9.51m傾斜落下 (25°)

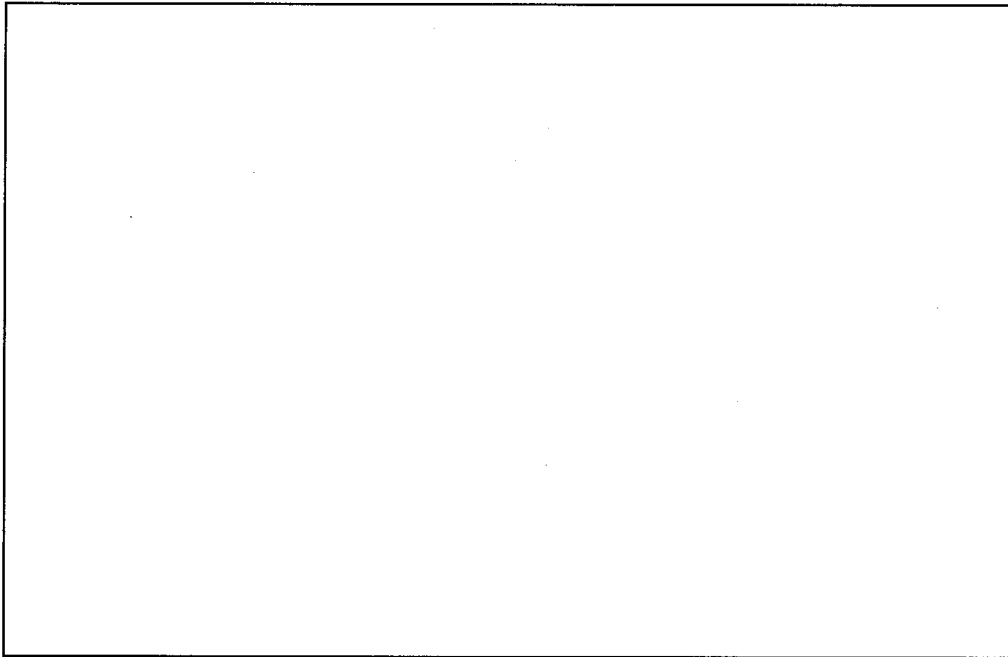
対象とした上記の4ケースについて、衝撃吸収カバーの変形状態を写真(ロ)一第A.付2.2～写真(ロ)一第A.付2.5に示す。

(ロ)一第A.付2.2表 落下試験結果の概要

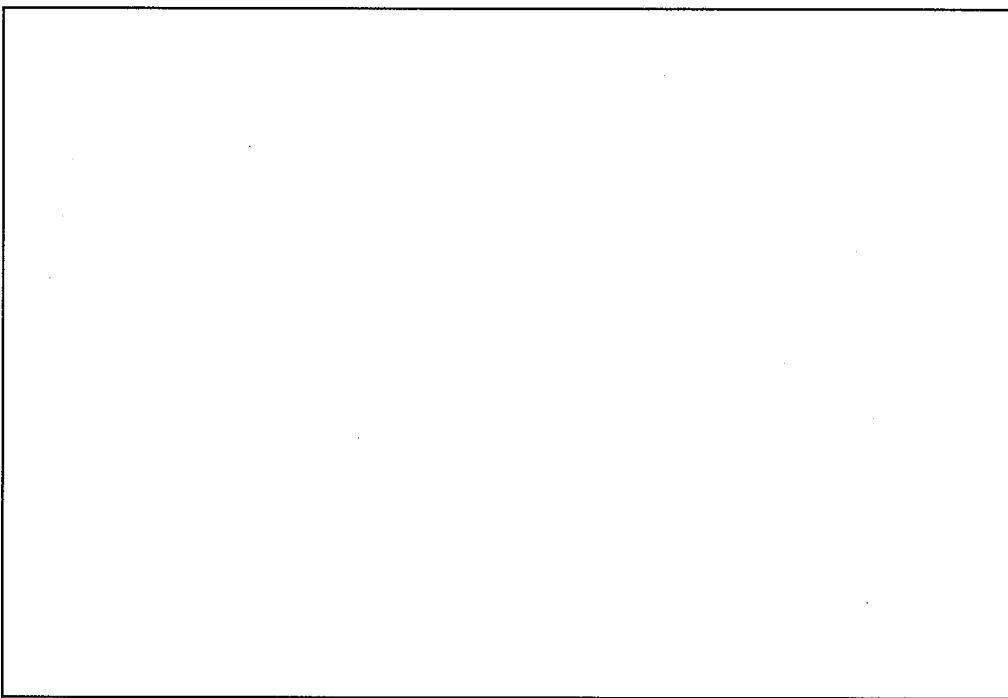
ケース	落下姿勢	落下高さ (m)	最大加速度 ¹⁾ (G)	衝撃吸収カバー最大変形量 (mm)
①	水平	0.32		
②	傾斜	9.51		
③	前部垂直 (棒上落下)	1.17		
④	前部垂直	9.51		
⑤	前部コーナー	9.51		
⑥	後部コーナー (棒上落下)	1.27		
⑦	後部コーナー	9.51		
⑧	水平 (棒上落下)	1.06		
⑨	後部垂直 (棒上落下)	1.11		

注1) フィルターのカットオフ周波数は Hz

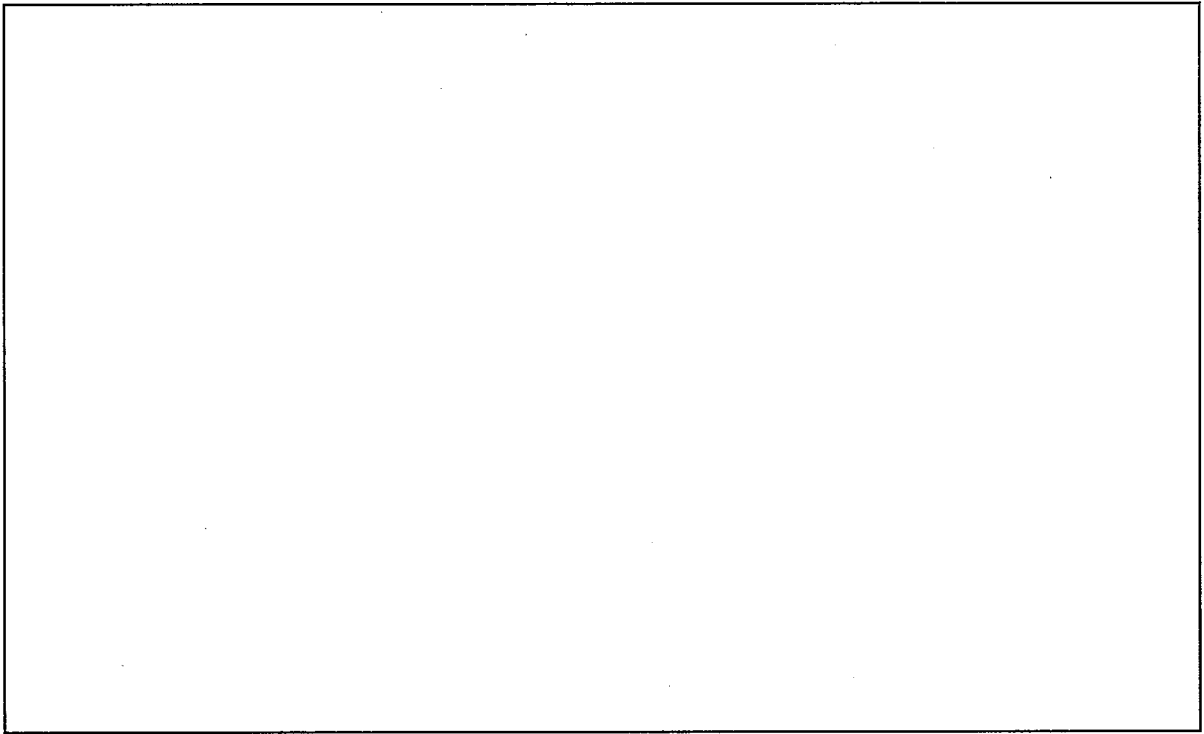
2) 底板に設置されたオリフィスとその保護カバー (いずれも欧州仕様向けのもの
で本輸送容器にはない) の影響により高い加速度が発生している。



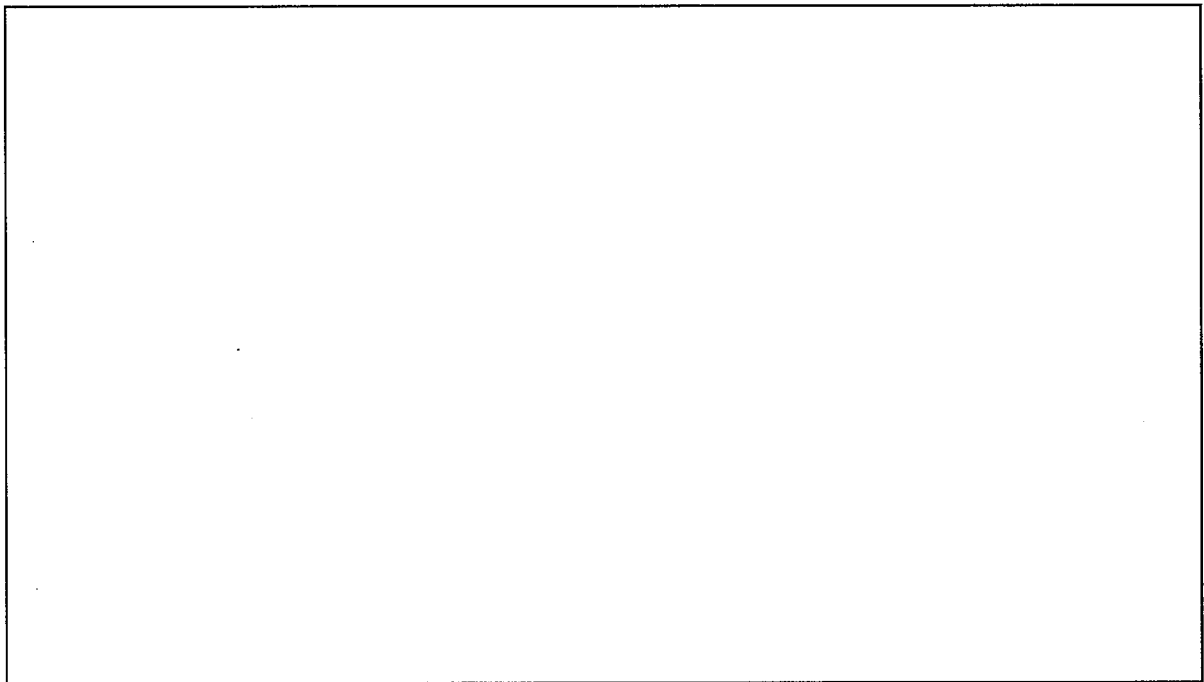
写真(㍉)－第A.付2.2 0.32m水平落下後変形状態



写真(㍉)－第A.付2.3 9.51m前部垂直落下後変形状態



写真(㍑)－第A.付2.4 9.51m前部コーナー落下後変形状態



写真(㍑)－第A.付2.5 9.51m傾斜落下後変形状態

(3) 落下試験確認解析

a. 落下試験確認モデルの構成

落下試験確認モデルは、衝撃吸収カバーと容器本体及びバスケットから構成される。

本輸送容器では、落下時の衝撃は衝撃吸収カバーにより受け持たれることから、変形挙動を示す衝撃吸収カバー以外の部品については詳細なモデル化は必要としない。そのため、本体及び蓋部については、蓋板締付けボルトは無視して蓋板は本体と一体とみなし、外形寸法を維持して形状は簡略化した。また、バスケットは、その質量を考慮するため、簡略化した形状の領域に等価な密度を与えた。

b. 解析手順

解析には、動的解析コード LS-DYNA を使用する。

落下試験の条件（落下姿勢、落下高さ）を与えて解析した結果から、衝撃吸収カバーの変形量と加速度を求め、落下試験の測定データと比較評価を行う。

c. 解析条件

(a) 解析モデル寸法

解析モデルの各部寸法を (p)－第A. 付 2.1 図に示す。

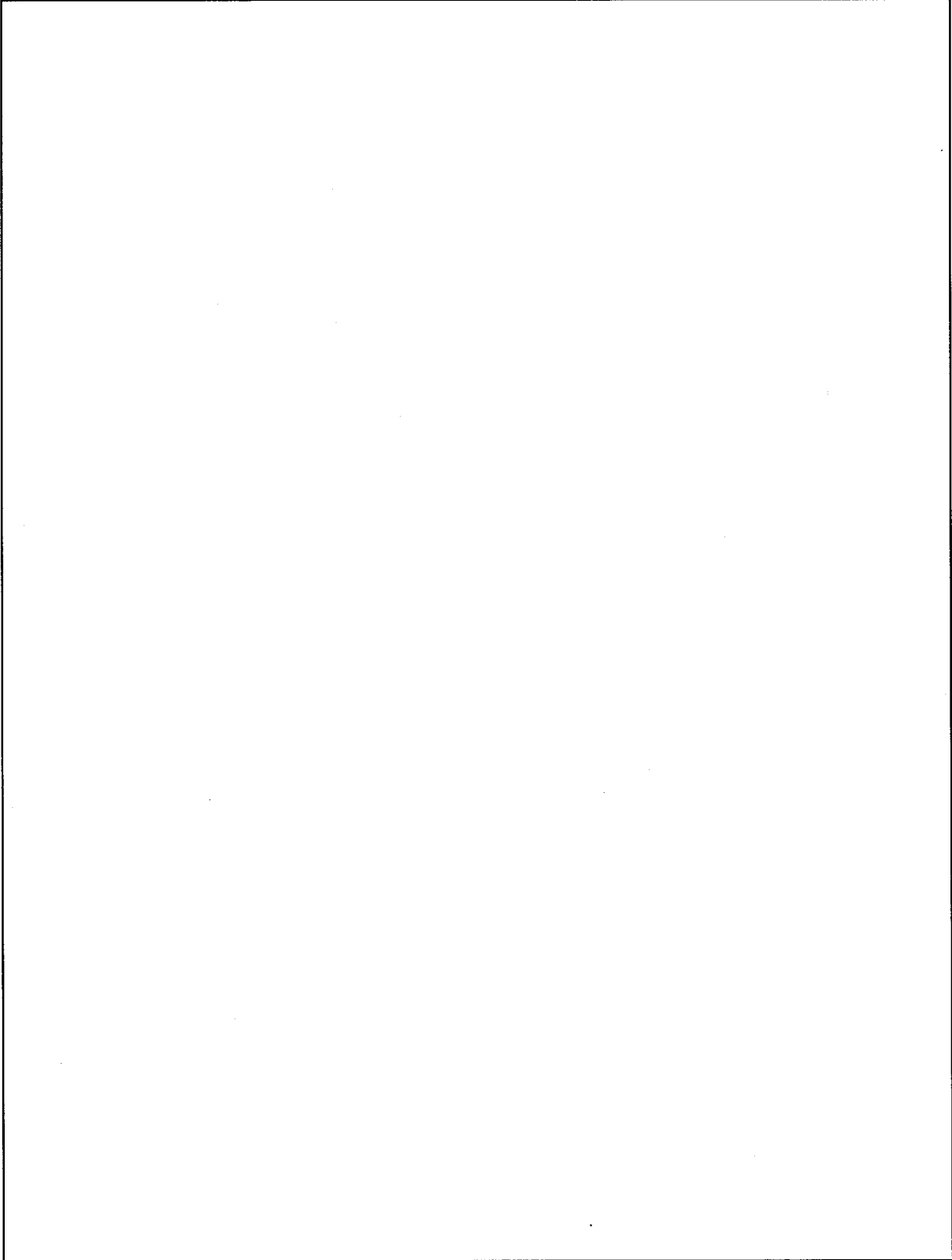
(b) 解析モデル図

解析モデルの要素分割図を (p)－第A. 付 2.2 図に示す。

(c) 衝撃吸収カバーの材料物性

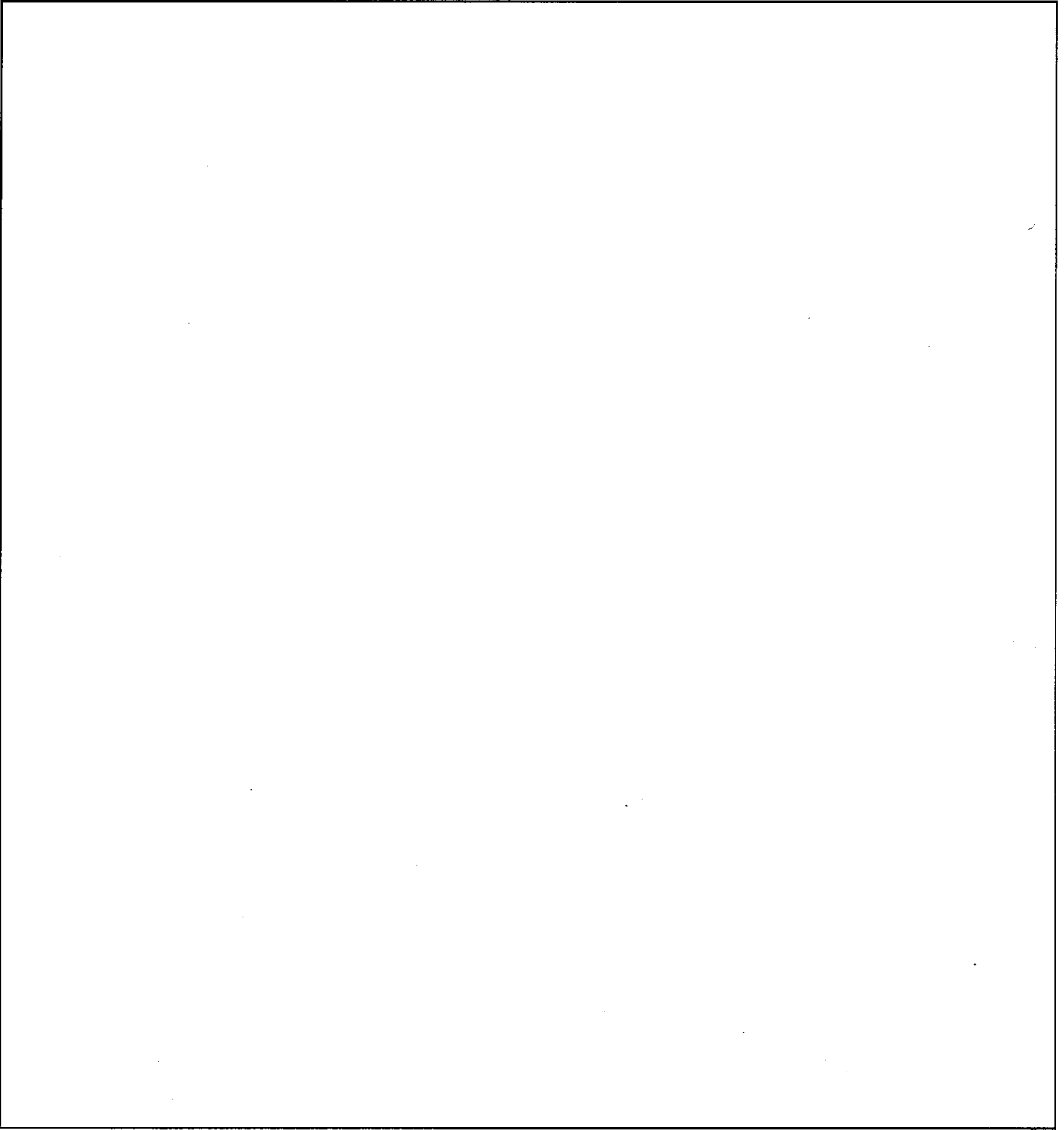
衝撃吸収カバーを構成するステンレス鋼と緩衝材に与える物性は、JAERI-M88-191 に提案されている構成方程式を参照して設定した。

衝撃吸収カバーの外板及び の材料であるステンレス鋼に与えた応力－歪関係を (p)－第A. 付 2.3 図に、緩衝材である 材に与えた応力－歪関係を (p)－第A. 付 2.4 図に示す。

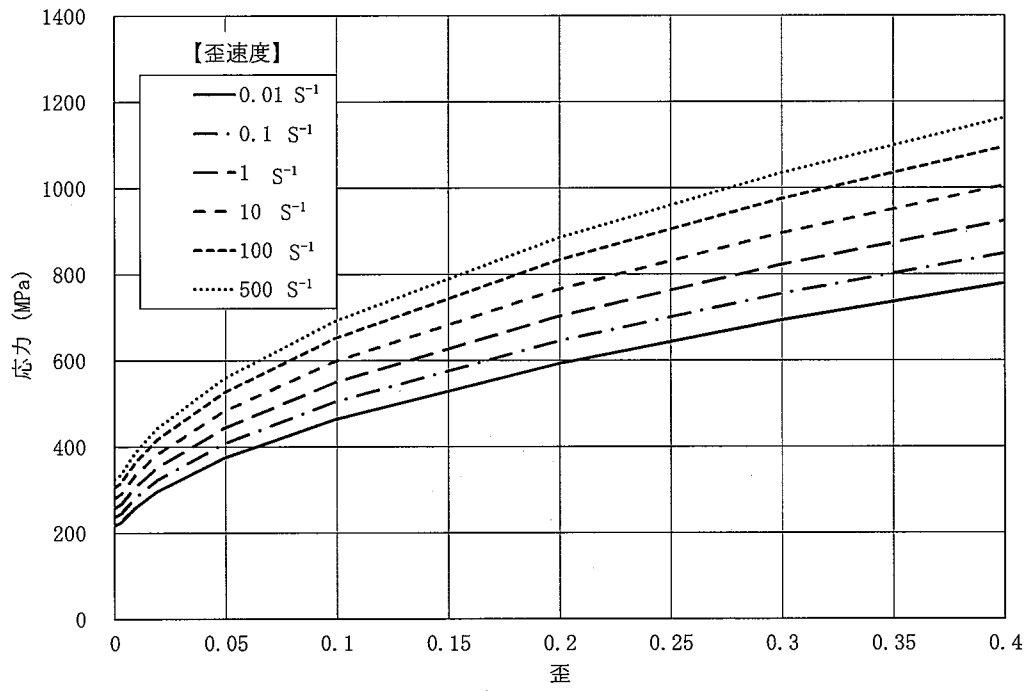


(単位：mm)

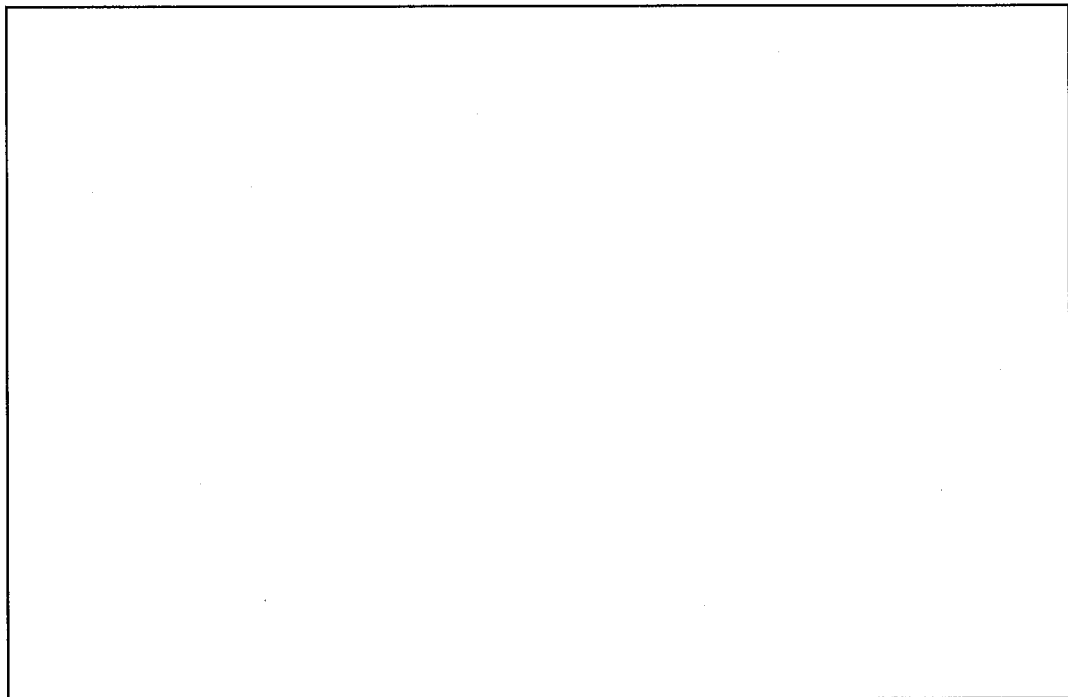
(ア) 第一A.付2.1図 落下試験確認モジュール寸法図



(㊦)－第A. 付 2. 2 図 要素分割図



(㊦) - 第A. 付 2.3 図 ステンレス鋼の物性に与えた応力-歪関係



(㊦) - 第A. 付 2.4 図 材の物性に与えた応力-歪関係

d. 解析結果

(a) 変形量の比較

衝撃吸収カバーの変形量について、モデルと落下試験確認モデルの比較を(□)－第A.付2.3表に示す。

いずれの落下姿勢についても、落下試験確認モデルの衝撃吸収カバーの変形量は、試験結果と良い一致を示している。

(b) 加速度の比較

各落下条件について、モデルで測定された加速度と、落下試験確認モデルで得られた加速度の比較を(□)－第A.付2.5図に示す。

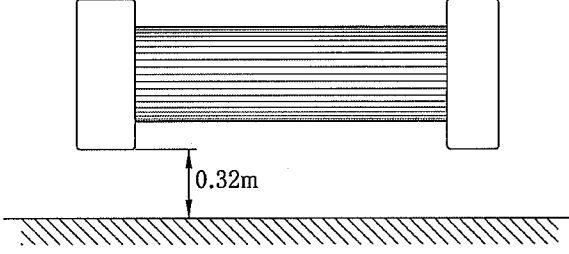
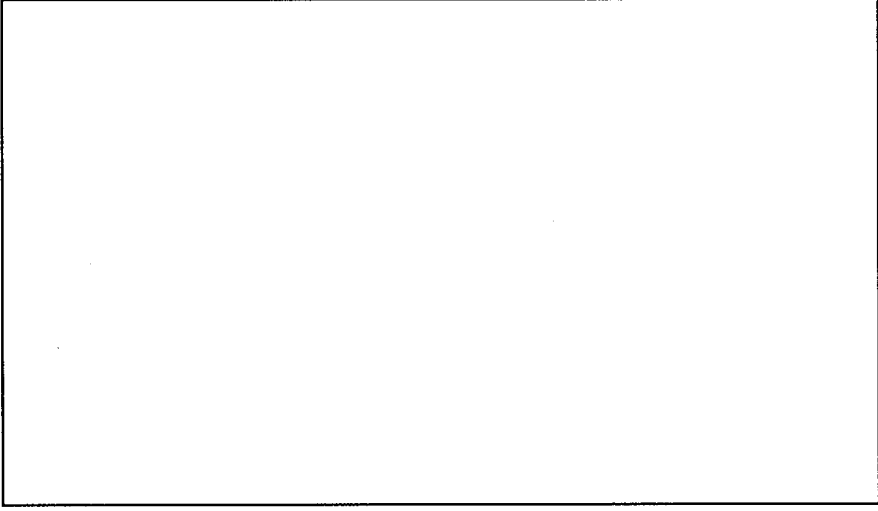
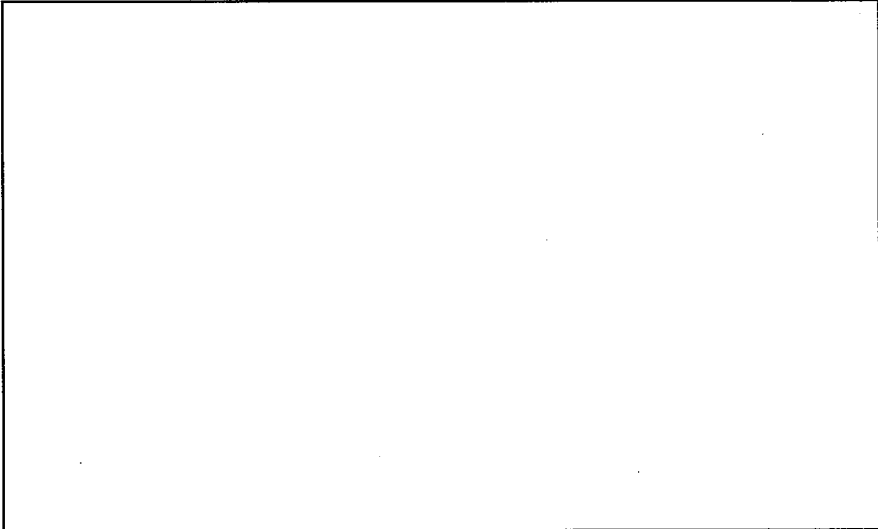
落下試験確認モデルで得られた加速度は、モデルの測定点に近い節点の加速度に、落下試験の測定に用いた Butterworth 型 (8 次) フィルターと同じ処理を施したものである。

0.32mの水平落下では、波形及び振幅について良い近似を示している。他の落下では、振幅にやや差異が見られるが、波形及び衝撃の発生時刻は同様の傾向を示している。

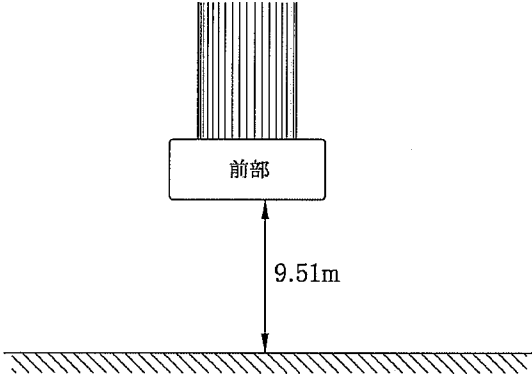
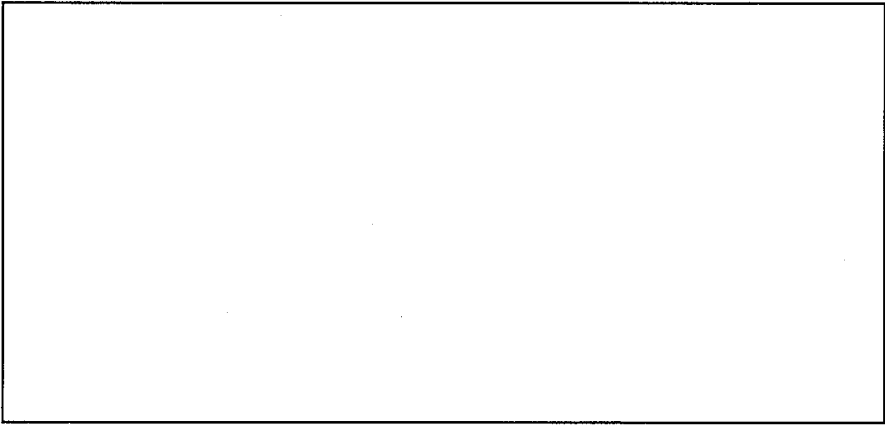
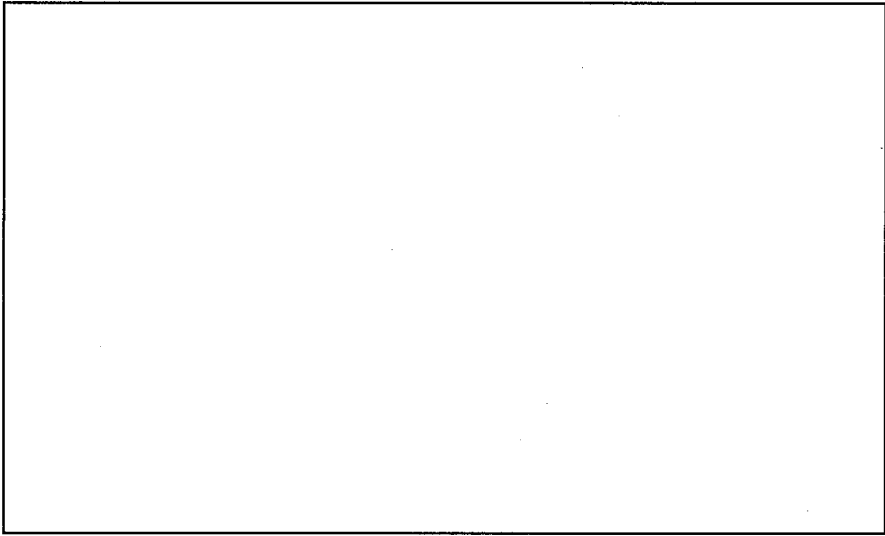
(4) 落下試験確認モデルの妥当性評価

前項に示すように、モデルと落下試験確認モデルを比較すると、変形量及び加速度は全体的に良く近似しており、落下試験確認モデルを用いた解析は妥当なものであると言える。

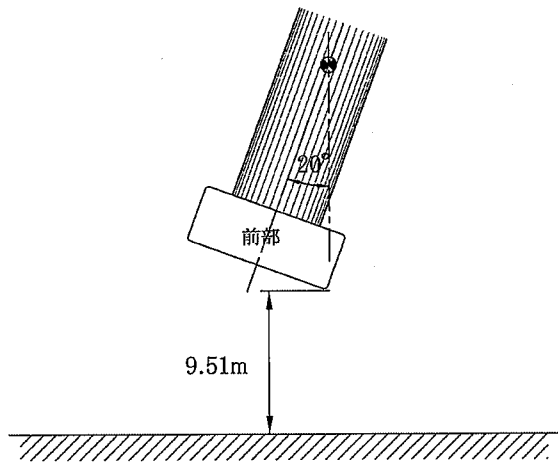
(p) - 第A. 付 2.3 表 変形量の比較 (1/4)

0.32m水平落下	
落下姿勢	
落下試験	
解析結果	

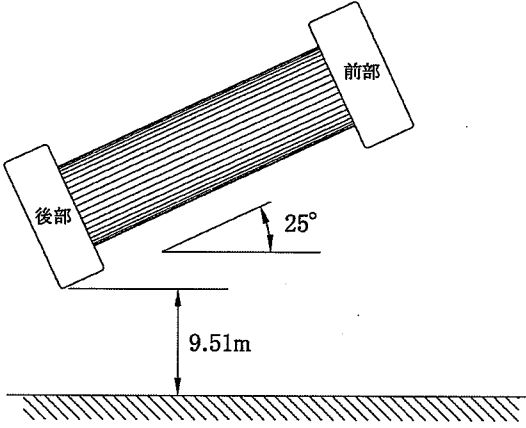
(□) - 第A. 付 2.3 表 変形量の比較 (2/4)

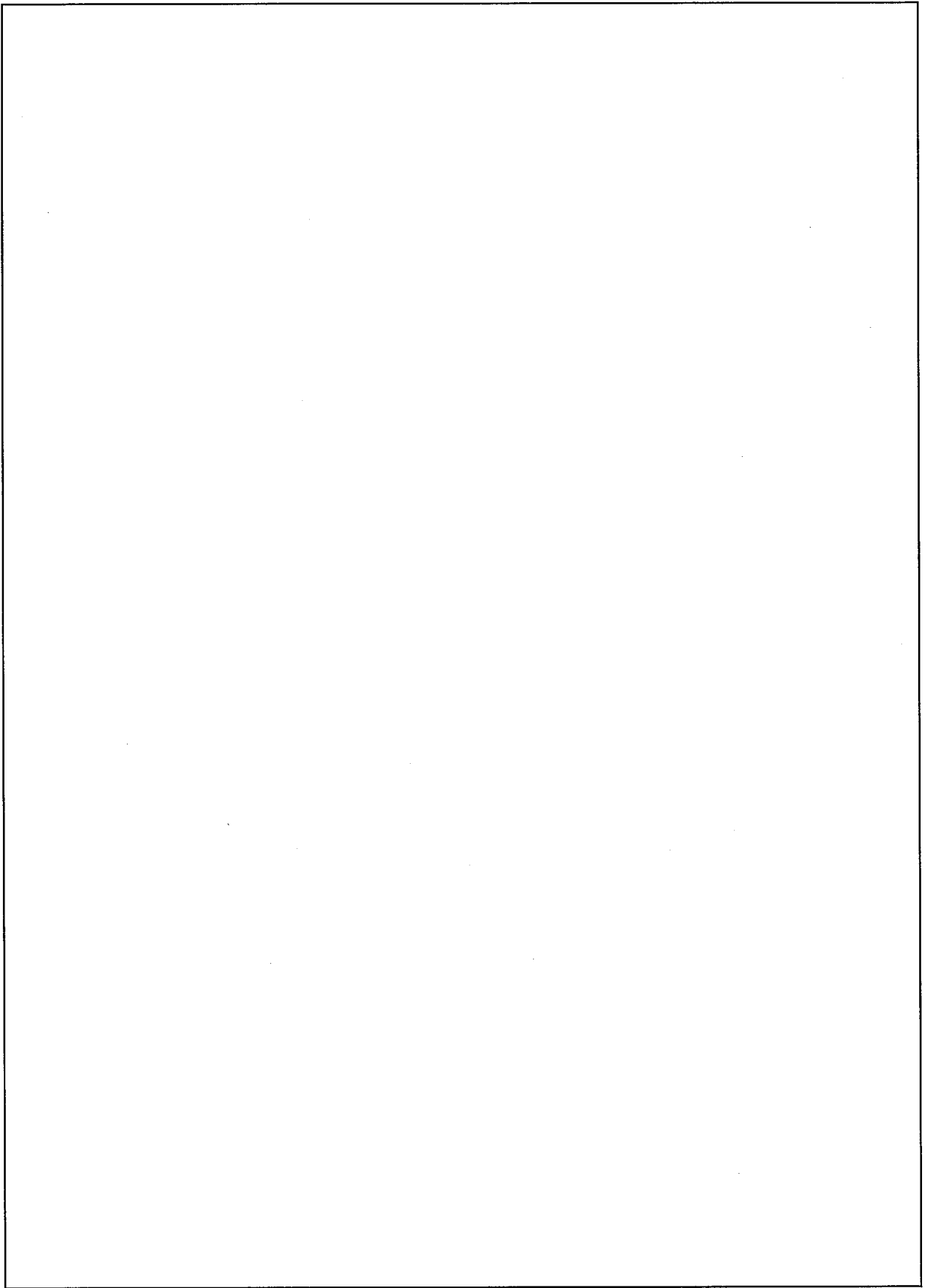
9.51m前部垂直落下	
落下姿勢	
落下試験	
解析結果	

(v) - 第A. 付 2.3 表 変形量の比較 (3/4)

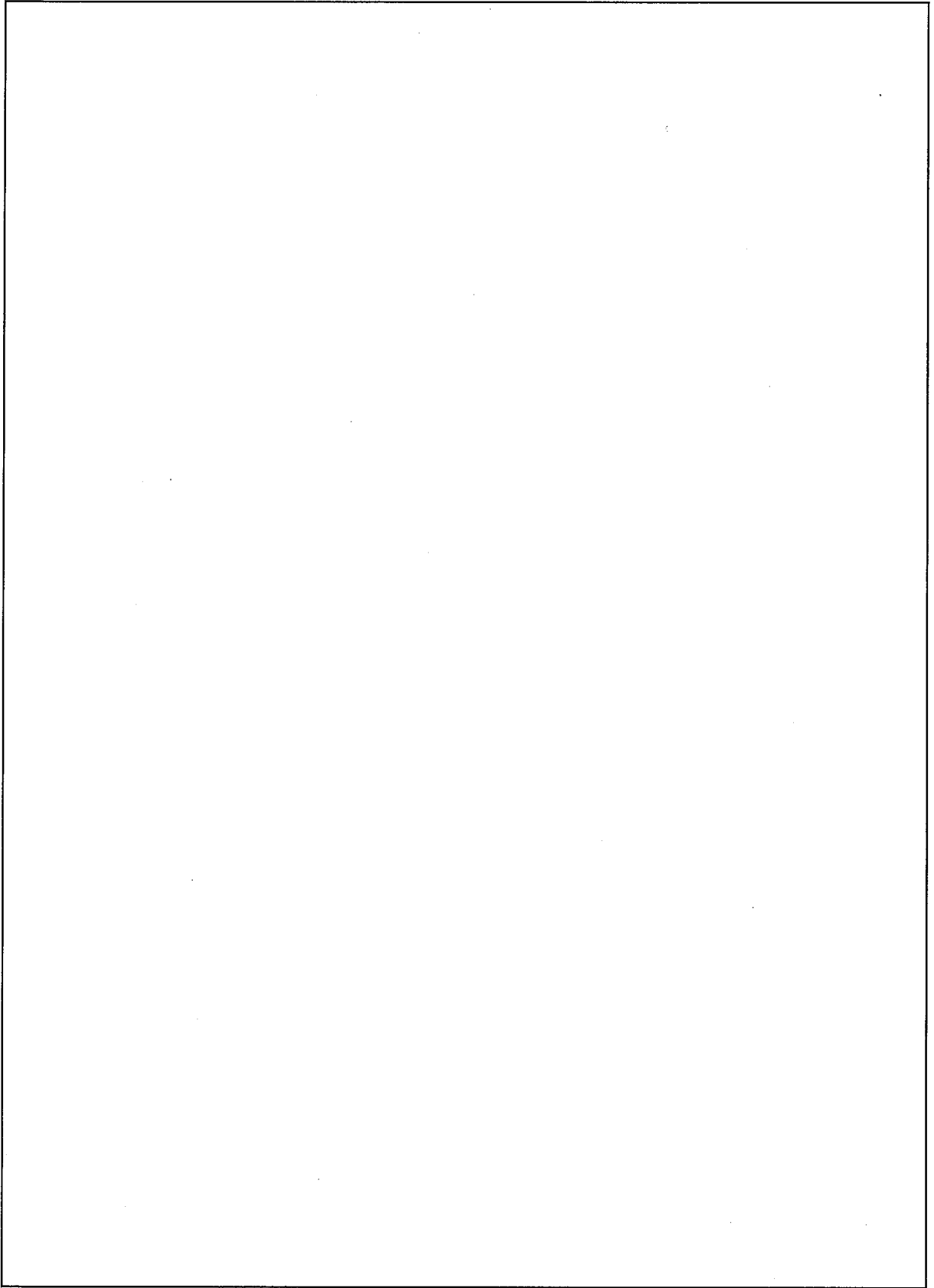
9.51m前部コーナー落下	
落下姿勢	
落下試験	
解析結果	

(□) - 第A. 付 2. 3 表 変形量の比較 (4/4)

9.51m傾斜落下	
落下姿勢	
落下試験	
解析結果	



(ア) - 第A. 付 2.5 図 加速度の比較 (1/2)



(ア) 第A. 付 2.5 図 加速度の比較 (2/2)

A. 10.3 付属書類-3 []モデル落下試験の確認解析

(1) 概要

先述したように、落下試験に用いられた []モデルでは、胴部のレジンの材料として []レジンが採用されたが、本輸送容器の設計において新たに開発された []レジンに変更された。

本輸送容器では、1m落下のうち胴部に直撃する試験において、最大の損傷を与えるように角度を与えた場合に、胴外板と胴ガセットに破断が生じて、内筒が内側に膨らむように変形する。この胴部の損傷状態にはレジンの特性が影響することから、上述した []レジンを用いた場合の胴部の損傷状態を評価し、輸送容器の安全性能に影響を及ぼさないことを確認するために、胴部を切り出した [] []モデルによる落下試験が実施された。

内筒の変形は、バスケットに変形を与えて燃料を収納しているロジメントの形状に影響を及ぼす可能性がある。

そこで、実機の1m落下の解析において、内筒が変形する部位に与える解析モデルを確認するために、 []モデルによる落下試験を模擬した解析を実施し、解析結果と試験結果の変形を比較し、解析モデルの妥当性を評価する。

(2) 落下試験の概要

a. []モデル

試験体である []モデルの外観を写真(ρ)-第A.付3.1に示す。

[]モデルは、胴部を周方向 []°、長さ約 []mmで切り出した形状をしており、実機と同じ材料及び製作方法によって []にした寸法で製作されている。

実機と []モデルとの諸元の比較を(ρ)-第A.付3.1表に示す。

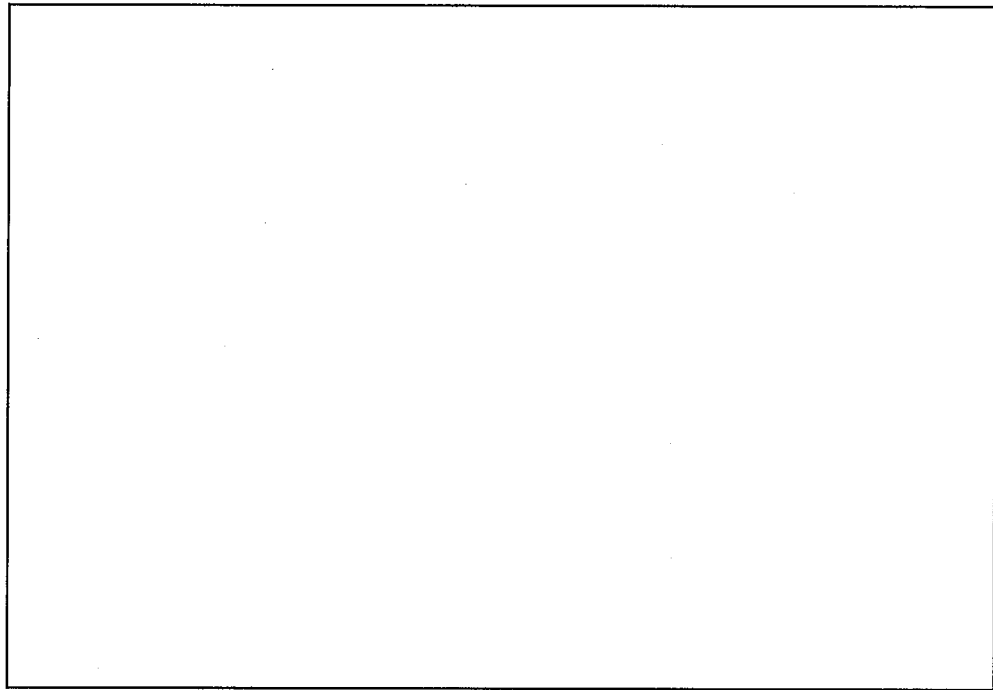
b. 試験方法

落下試験は、 []モデルを []の傾斜を与えた状態で治具に固定し、実機の輸送物質量の []に相当する錘を取付けた径がφ []mmの炭素鋼の丸棒を1mの高さから落下させる方法が用いられた。

[]

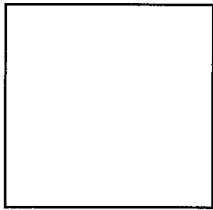
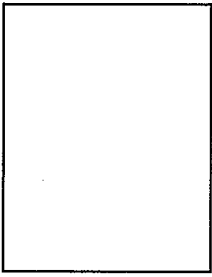
[]

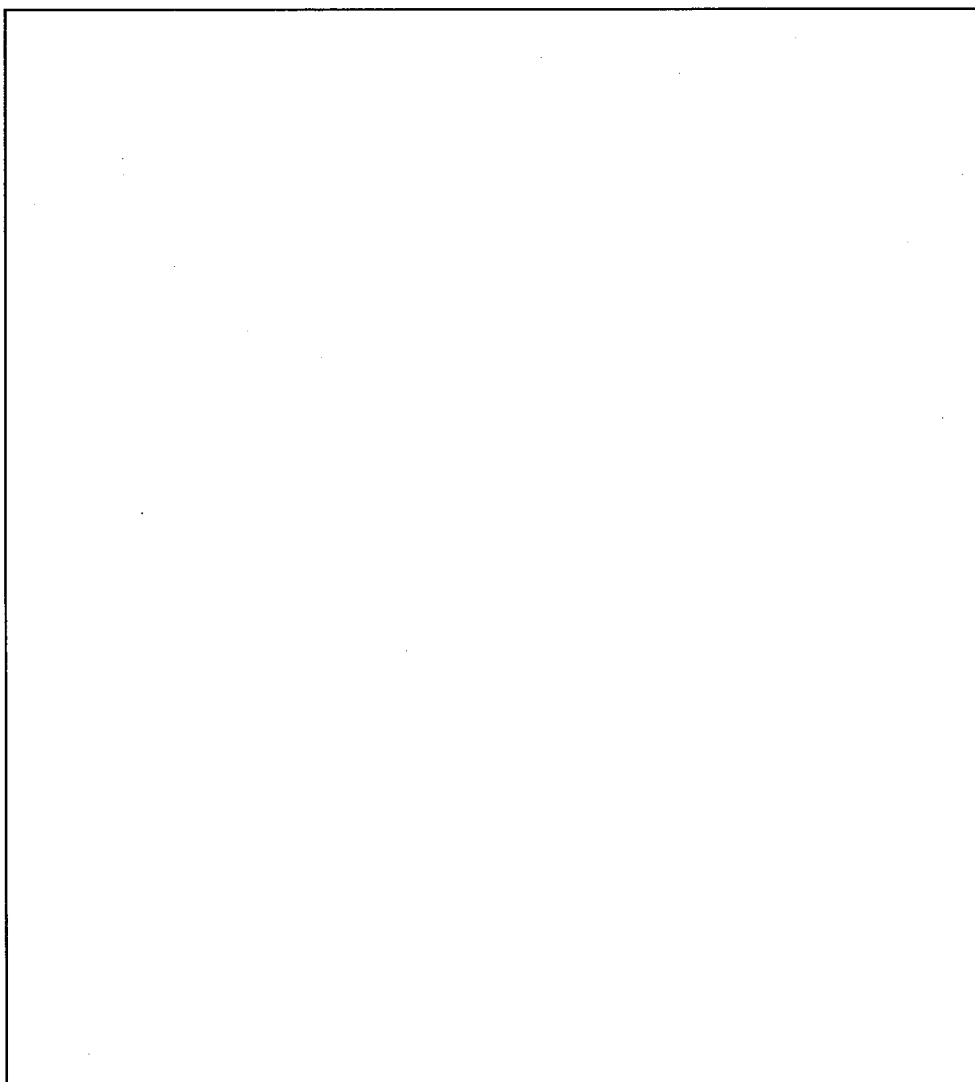
また、レジンは温度の上昇により強度が低下することから、落下試験に先立ち、 []モデルは輸送時の温度条件を模擬するため、約 []°Cに加熱した状態に保持された。(一般の試験条件における温度は70°Cであり保守的な条件となっている。)落下試験の状況を写真(ρ)-第A.付3.2に示す。



写真(□)－第A.付3.1 □モデルの外観

(□)－第A.付3.1表 実機と□モデルとの諸元の比較

部 品	主要寸法 (mm)	
	実機	□モデル
内筒厚さ		
胴ガセット厚さ		
胴外板厚さ		
内筒内径		

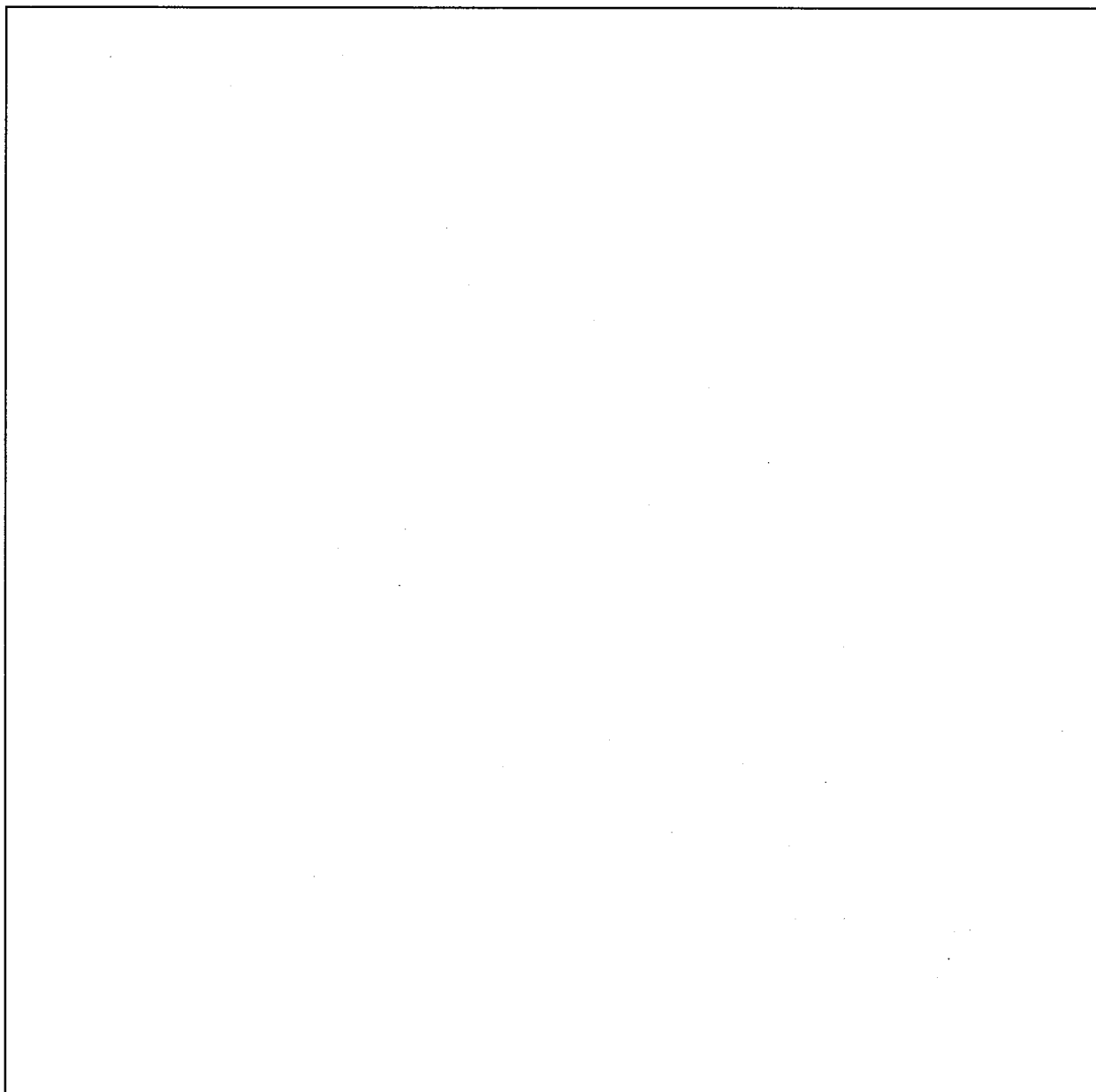


写真(φ)－第A.付3.2 落下試験の状況

c. 試験結果

□モデルの1m落下試験と同様に、胴外板と胴ガセットに破断が生じて、内筒が内側に膨らむように変形した。変形した内筒に液体浸透探傷検査を施したところ、亀裂等の発生はなく密封性能に影響する損傷のないことが確認された。

□モデルの損傷状態を写真(□)－第A.付3.3に示す。



写真(□)－第A.付3.3 試験結果 (損傷状態)

(3) 確認解析

a. 解析モデルの構成

解析モデルは、モデルと軟鋼棒により構成される。

モデルは、ステンレス鋼の板とレジンから構成され、軟鋼棒の直撃を受けて破断が生じる胴外板、胴ガセット及びレジンには、破断する条件を与える。

また、軟鋼棒には試験に用いた錘と丸棒の合計質量と同じ質量を与える。

b. 解析手順

解析には、動的解析コード LS-DYNA を使用する。

モデルを模擬した解析モデルに試験で観察された破断等の解析条件を与え、内筒の変形状態を試験結果と比較評価する。

c. 解析条件

(a) 解析モデル寸法

解析モデルの各部寸法を(ロ)－第A. 付 3.1 図に示す。

(b) 解析モデル図

解析モデルの要素分割図を(ロ)－第A. 付 3.2 図に示す。

d. 解析結果

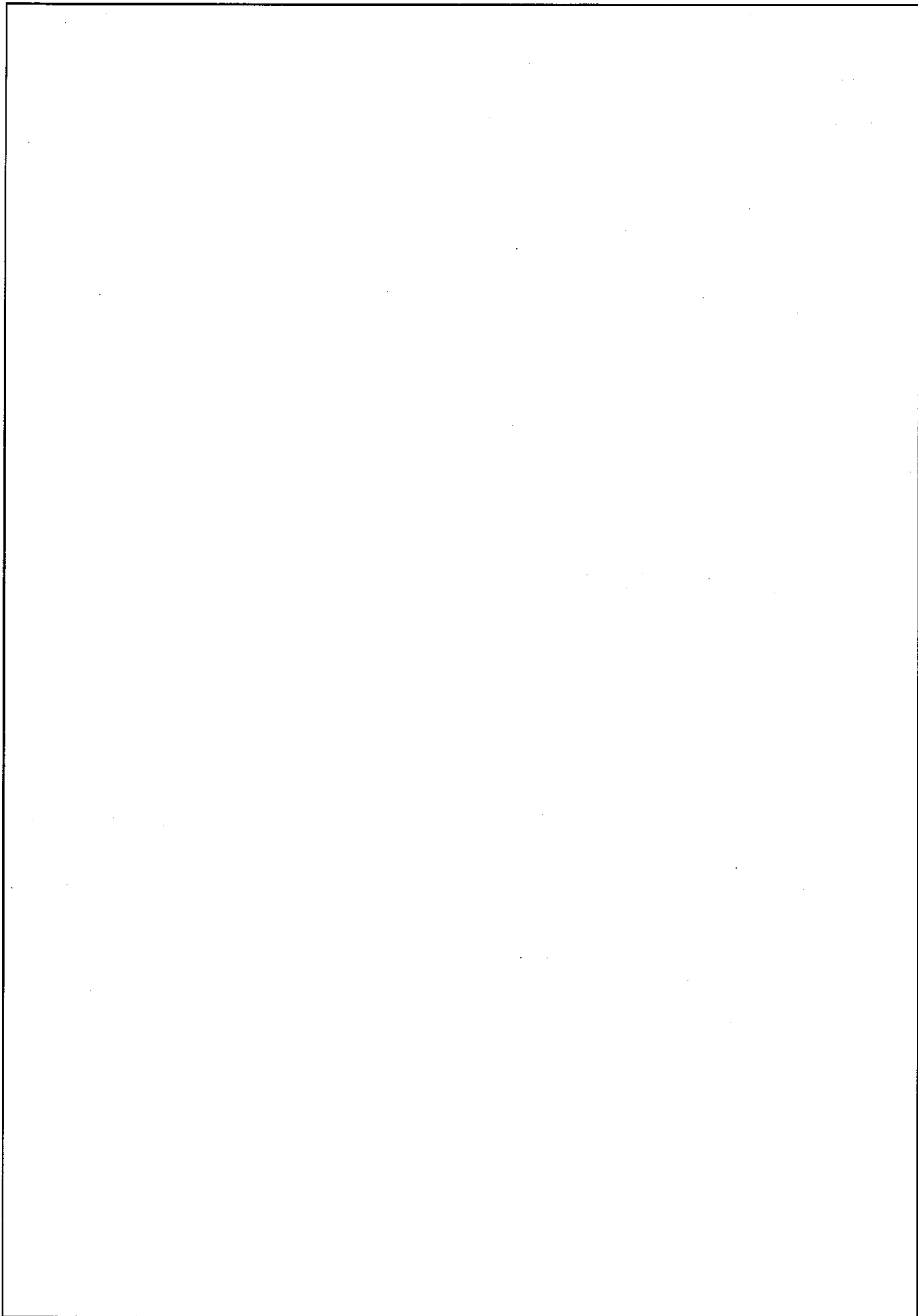
(a) 変形状態の比較

変形状態の比較として、モデルの外面及び内側の変形形状の比較、並びに内筒の変形寸法の比較を(ロ)－第A. 付 3.2 表に示す。

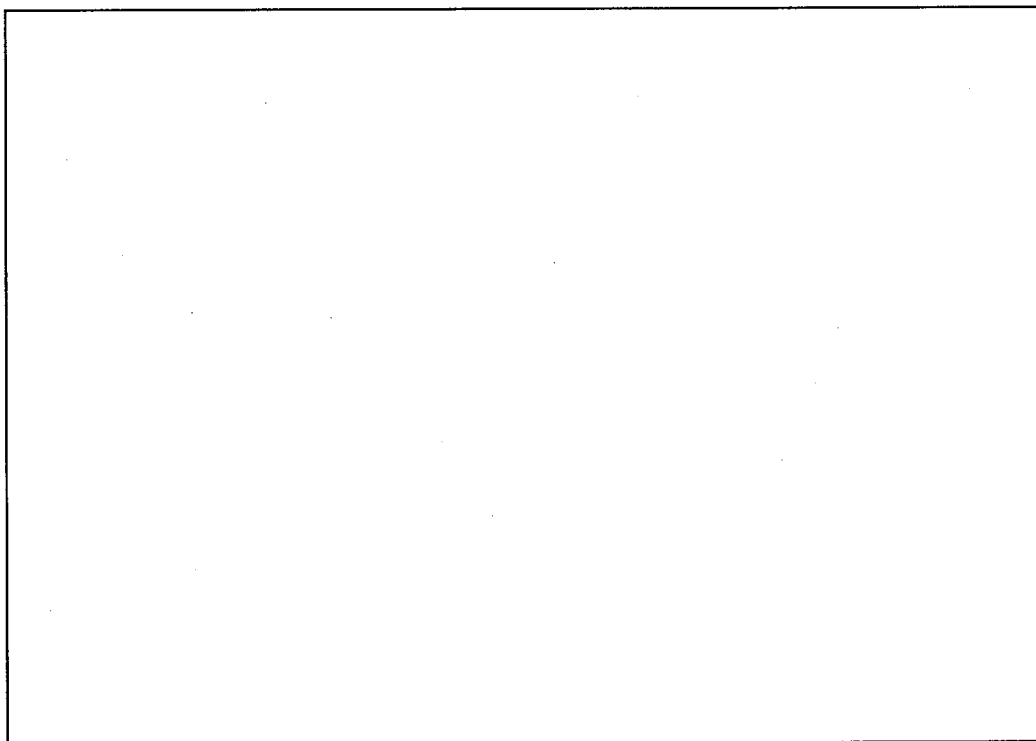
上記の比較に示すように、変形形状は近似しており、内筒の変形寸法も同等の値となっている。

(4) 解析モデルの妥当性評価

前項に示すように、解析モデルの内筒の変形形状は試験結果を模擬できており、実機の胴部直撃の 1m 落下解析に用いる内筒が変形する部位の解析モデルとして、妥当なものであることが確認された。



(p) 第一A.付3.1 図 モデル落下試験の解析モデル寸法図



(㉓) - 第A. 付 3.2 図 要素分割図

(㊦) - 第A. 付 3.2 表 変形状態の比較 (1/3)

	<input type="text"/> モデル外側の変形状態
落下試験	
解析モデル	

(ロ) - 第A. 付 3. 2 表 変形状態の比較 (2/3)

	<input type="text"/> モデル内側の変形状態
落下試験	
解析モデル	

(p) - 第 A. 付 3.2 表 変形状態の比較 (3/3)

	内筒の変形寸法
落下試験	
解析モデル	

A. 10.4 付属書類-4 15m浸漬試験における容器本体の強度

ここでは、輸送容器が水深 15mに相当する外圧を受けた場合に容器本体各部に発生する応力を求め、臨界解析に影響する形状変化等について評価する。

外圧により容器本体各部に発生する応力は、解析コード ABAQUS を用いて求める。

(1) 解析モデル

解析モデルとして、A. 5.1 と同様に容器本体の□ 3次元モデルを用いる。当該モデルは、本体（上部フランジ、内筒、胴ガセット、胴外板及び底板）と蓋部（蓋板及び蓋板締付けボルト）で構成されており、蓋板は蓋板締付けボルトを介して上部フランジに接続され、蓋板と上部フランジの接触が考慮されている。

(2) 荷重条件及び境界条件

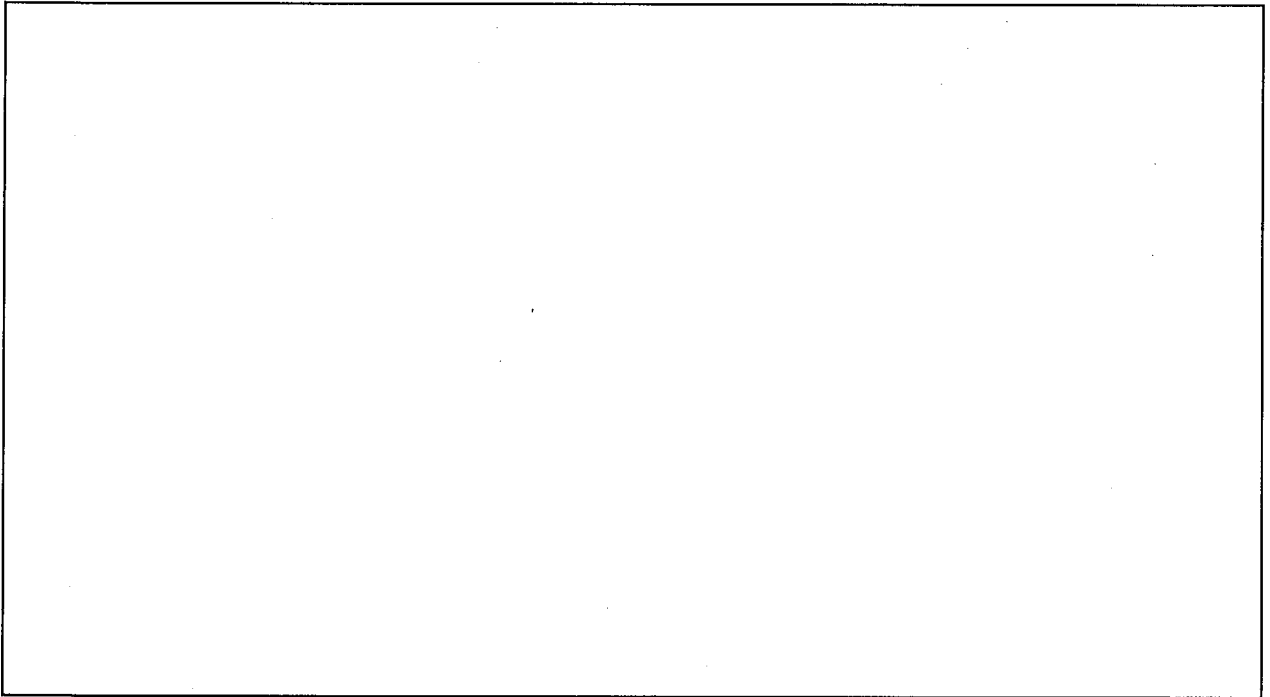
荷重条件として、容器外面に水深 15mに相当する圧力(0.15 MPa)を負荷し、蓋板締付けボルトには初期締付けによる軸力を作用させる。

境界条件として、底板中央の軸方向変位、中心軸の半径方向変位、対称面の周方向変位を拘束する。

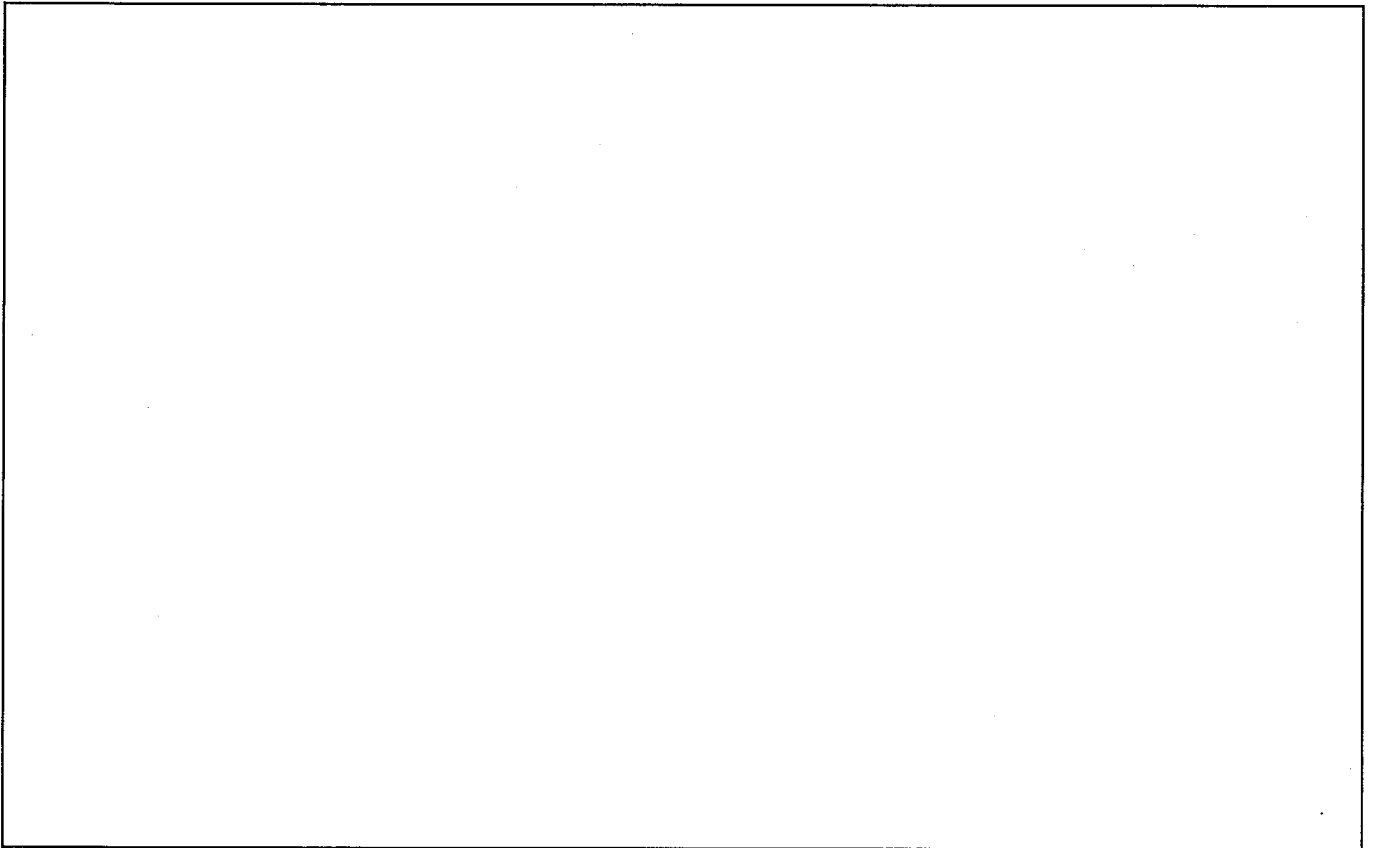
(3) 解析結果

変形図及び応力分布図をそれぞれ(□)-第A.付4.1図及び(□)-第A.付4.2図に示す。

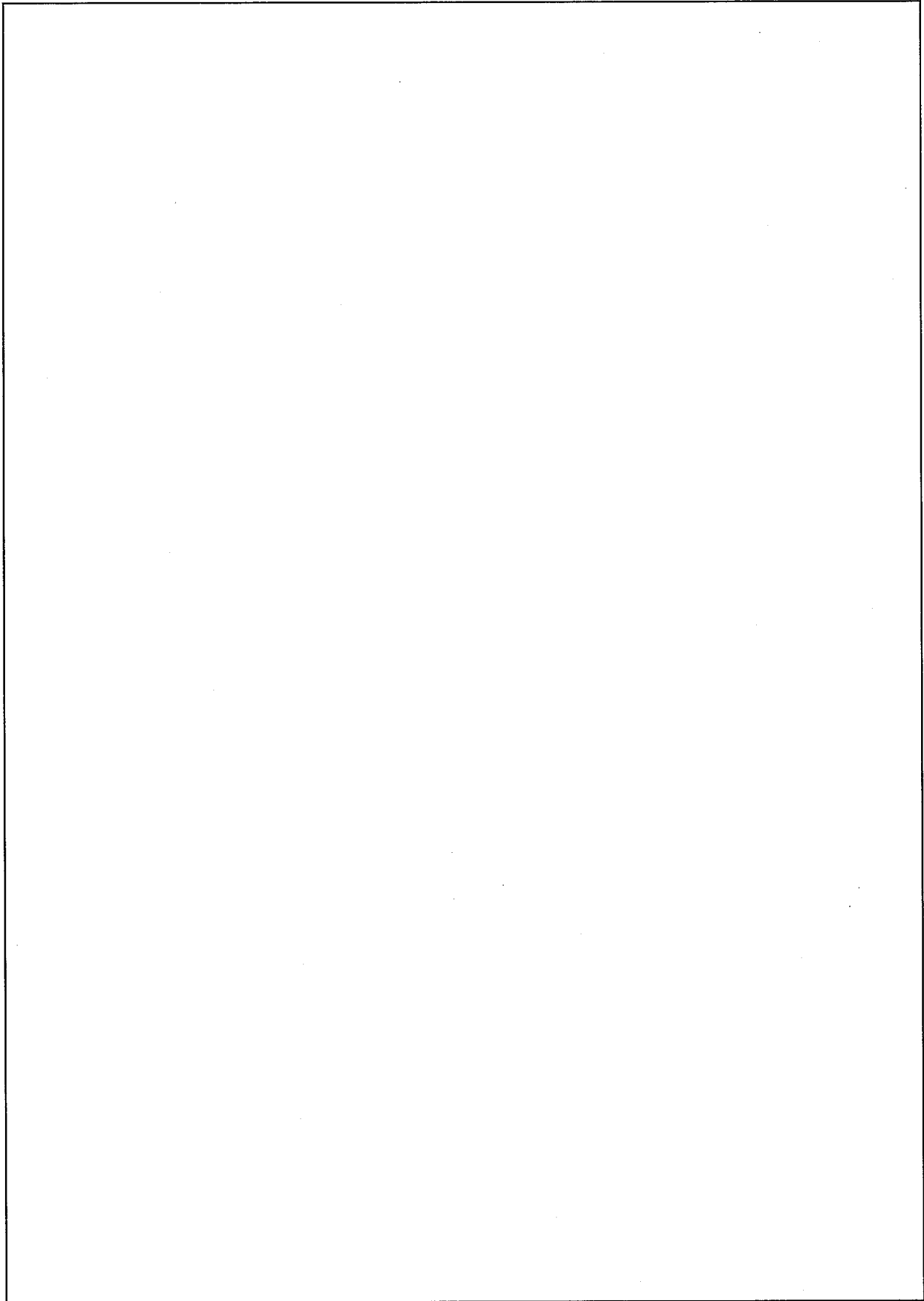
(□)-第A.付4.3図に示す主要な評価位置について、発生した応力の評価結果を(□)-第A.付4.1表に示す。同表に示すように容器本体各部に発生する応力はいずれも降伏応力を下回っており、有意な変形が生じることはない。



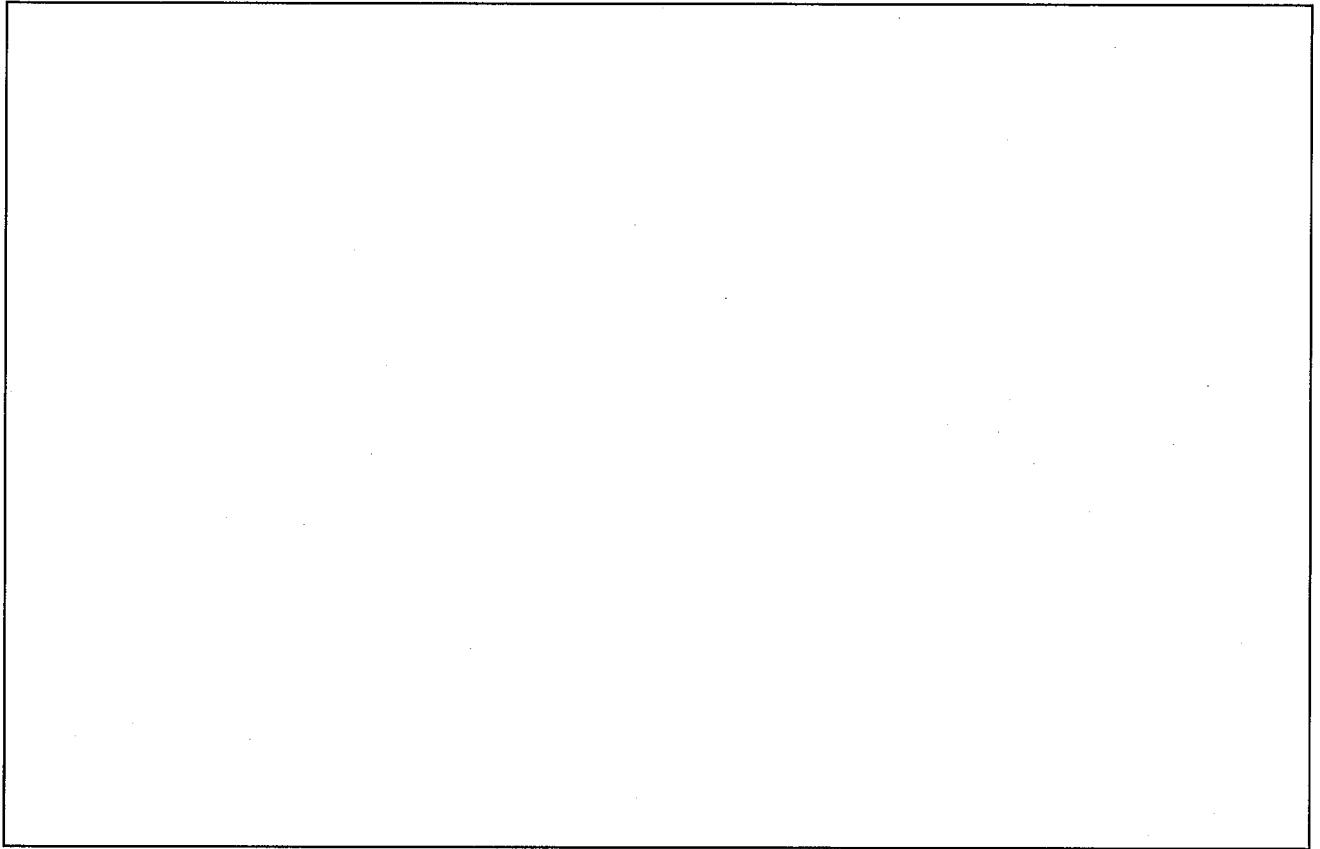
(□) - 第A. 付 4.1 図 15m浸漬試験の解析結果 (変形図)



(□) - 第A. 付 4.2 図 15m浸漬試験の解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)



(p) - 第A. 付 4. 2 図 15m浸漬試験の解析結果(応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)



(p) - 第A. 付 4.3 図 15m浸漬試験における応力評価位置

(ウ) 一第A. 付 4.1 表 15m浸漬試験における容器本体各部の応力

評価位置		応力分類 ¹⁾	応力強さ (MPa)	降伏応力 (MPa)
蓋 板	①	P _m	[Blank]	[Blank]
		PL+P _b		
	②	PL		
胴外板	③	PL		
	④	P _m		
	⑤	PL		
内 筒	⑥	PL		
	⑦	P _m		
	⑧	PL		
胴ガゼット	⑨	PL		
	⑩	PL		
	⑪	PL		
底 板	⑫	PL		
	⑬	P _m		
		PL+P _b		
蓋板締付けボルト		σ_m		
		$\sigma_m + \sigma_b$		

注 1) P_m: 一次一般膜応力強さ、PL: 一次局部膜応力強さ、P_b: 一次曲げ応力強さ
 σ_m : 平均引張応力 σ_b : 曲げ応力

A. 10.5 付属書類-5 水平吊りにおける後部トラニオンの強度

水平吊りにおいて後部トラニオンに発生する応力を A. 4.4 と同じ方法により評価する。

(1) 最大荷重

水平吊りにおいて後部トラニオンに作用する最大荷重は、次の式により求められる。
なお、トラニオンを用いた吊上げ操作を行う場合には、輸送物から衝撃吸収カバーが取外された状態であるが、輸送物の全体質量を用いてトラニオンに作用する最大荷重 F を算出する。

$$F = m \times g \times \frac{G}{N}$$

ここで、m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

G : 負荷係数 [3]

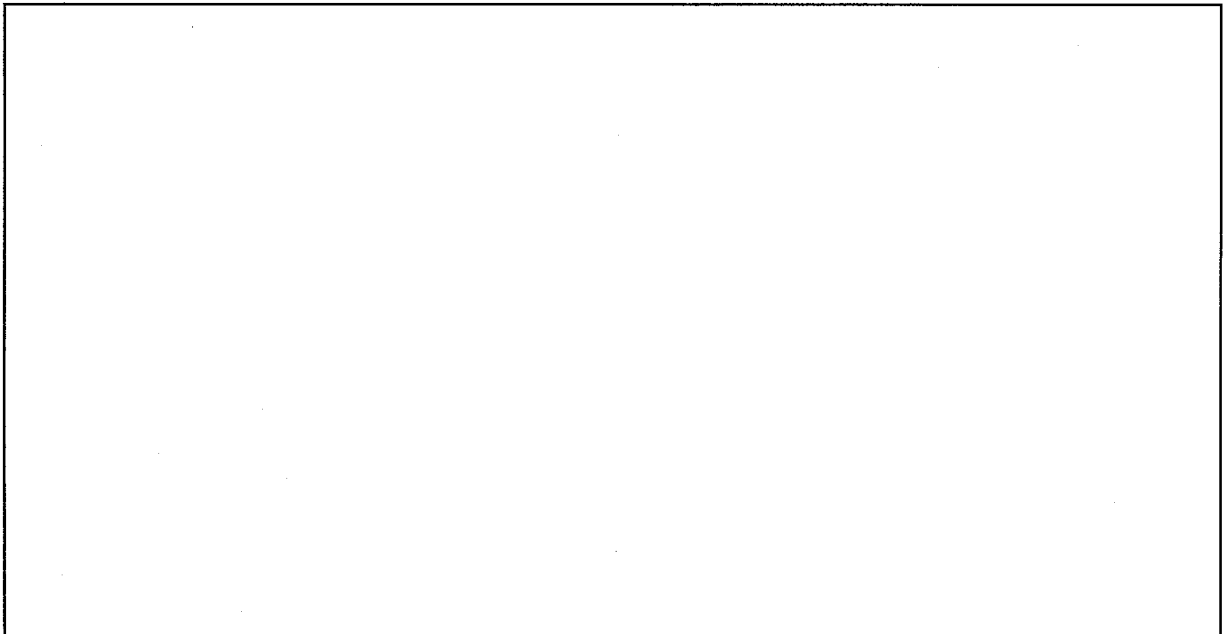
N : トラニオンの個数 [4]

したがって、

$$F = 1.44 \times 10^5 \text{ N}$$

(2) 応力計算

後部トラニオンの各部寸法及び荷重作用点(F)を(□)-第A.付5.1図に示す。



(□)-第A.付5.1図 後部トラニオンの寸法と荷重作用点

a. トラニオン円筒部

トラニオン円筒部に発生する最大曲げ応力及びせん断応力は、はり理論を用いて次のように表わされる。

(a) 最大曲げ応力 (σ)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$M = F \times L$$

ここで、M : 曲げモーメント (N・mm)

F : トラニオン1個あたりに作用する最大荷重 [1.44×10^5 N]

L : F作用点と評価断面との距離

[断面 A-A: mm、断面 B-B: mm]

Z : 断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi}{32} D^3 \quad (D : \text{トラニオン円筒部の直径})$$

[断面 A-A: mm、断面 B-B: mm]

(b) せん断応力 (τ)

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで、F : トラニオン1個あたりに作用する最大荷重 [1.44×10^5 N]

A : 断面積 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

(c) 応力強さ (S)

$$S = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

(p) 第A. 付5.1図の断面A-A及び断面B-Bについて評価した結果、応力強さは、断面A-Aにおいて MPa、断面B-Bにおいて MPa となり、これに対する評価基準(Sy)は MPa (70°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{\text{}}{\text{}} - 1 = \text{}$$

b. トラニオン取付けボルト

トラニオンに作用するせん断荷重は、底板にはめ込まれる円筒部で受け持たれる構造になっているため、トラニオン取付けボルトには、吊上げ時の回転モーメントによる引張荷重と初期締付けトルクによる軸力が作用する。

(a) 回転モーメントによる引張応力

(p) ー第A. 付5.1図に示すO点を支点とする回転モーメントによる最大引張応力 σ_1 は、ボルト に生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_1 = M \times \frac{\text{}}{I} \quad (\text{}: \text{O点よりボルトまでの距離 [mm])$$

$$M = F \times L$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times dr^4 \times \text{} + \sum_{i=1}^{\text{}} \left(\frac{\pi dr^2}{4} \times Di^2 \right)$$

ここで、F : トラニオン1個あたりに作用する最大荷重 [1.44×10^5 N]

M : 回転モーメント (N・mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

L : モーメントアーム [mm]

Di : O点よりボルトまでの距離 (mm)

dr : ボルト () の最小径 [mm]

したがって、

$$\sigma_1 = \text{} \text{ MPa}$$

(b) 初期締付けトルクによる引張応力

初期締付けトルクによる引張応力 σ_2 は次式で与えられる。

$$\sigma_2 = T \times \frac{1}{0.2d} \times \frac{1}{(\pi dr^2 / 4)}$$

ここで、T : 初期締付けトルク [N・mm]

d : ボルトの呼び径 [mm]

したがって、

$$\sigma_2 = \text{} \text{ MPa}$$

以上より、吊上げ時にトラニオン取付けボルトに発生する引張応力 σ は、

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \text{} \text{ MPa}$$

となり、これに対する評価基準(Sy)は MPa (70°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{許容}}} - 1 = \square$$

(3) 前部トラニオンと後部トラニオンの評価結果の比較

A. 4.4 に示した前部トラニオンの評価結果との比較を(□)－第A. 付 5.1 表に示す。
この表に示すように、前部トラニオンの方が厳しい結果となっている。

(□)－第A. 付 5.1 表 前部トラニオンと後部トラニオンの評価結果の比較

部品	部位	応力強さ (MPa)	余裕率(MS)
前部トラニオン (垂直吊り時)	トラニオン円筒部	□	□
	トラニオン取付けボルト		
後部トラニオン (水平吊り時)	トラニオン円筒部		
	トラニオン取付けボルト		

A. 10.6 付属書類-6 吊上げ操作における本体の強度

トラニオンあるいはハンドリングベルトによる吊上げ操作において、これら吊上装置周辺を含む本体側部品に発生する応力を求め、操作時における荷重に対して本体が十分な強度を有していることを確認する。

(1) トラニオンによる吊上げ操作時

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 4.5 固縛装置の評価に用いたモデル（(p) - 第A. 16 図参照）に上部フランジ及び底板それぞれにトラニオンを取付けるブロック（「トラニオン座」と呼ぶ）の部分を追加している。

解析モデルの要素分割図を (p) - 第A. 付 6.1 図に示す。

b. 荷重条件及び境界条件

(a) 垂直吊り

i. 荷重条件

解析モデルの質量は輸送物の全体質量（19.5 トン）とし、負荷係数 3 を乗じた重力加速度を作用させる。併せて内部圧力 MPa を負荷する。

バスケットと収納物を合わせた内容物の質量 トン/容器）は、底板の内面に均等に付加する。

ii. 境界条件

トラニオンはボルトによりトラニオン座に強固に固定されるため、前部のトラニオン座にトラニオンに見立てた剛体のシェルを配し、その中心の節点に対して重力加速度方向の変位を拘束する。

(b) 水平吊り

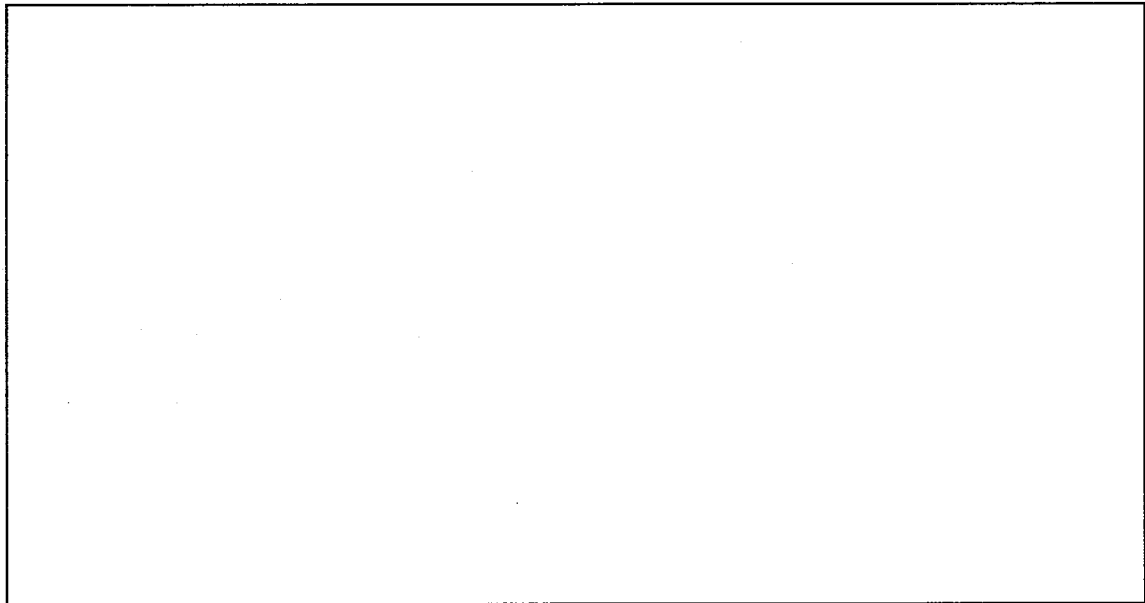
i. 荷重条件

解析モデルの質量は輸送物の全体質量（19.5 トン）とし、負荷係数 3 を乗じた重力加速度を作用させる。併せて内部圧力 MPa を負荷する。

内容物の質量は、A. 4.5 固縛装置の解析モデルと同じく、内容物の質量を考慮した密度を内筒に与える。

ii. 境界条件

前部と後部のトラニオン座に、垂直吊りのモデルと同様にトラニオンに見立てた剛体のシェルを配し、その中心の節点に対して重力加速度方向の変位を拘束する。



(p)－第A. 付 6.1 図 要素分割図

c. 解析結果

(a) 垂直吊り

本体の変形図及び本体部品に発生したトレスカの応力分布図を(p)－第A. 付 6.2 図及び(p)－第A. 付 6.3 図にそれぞれ示す。

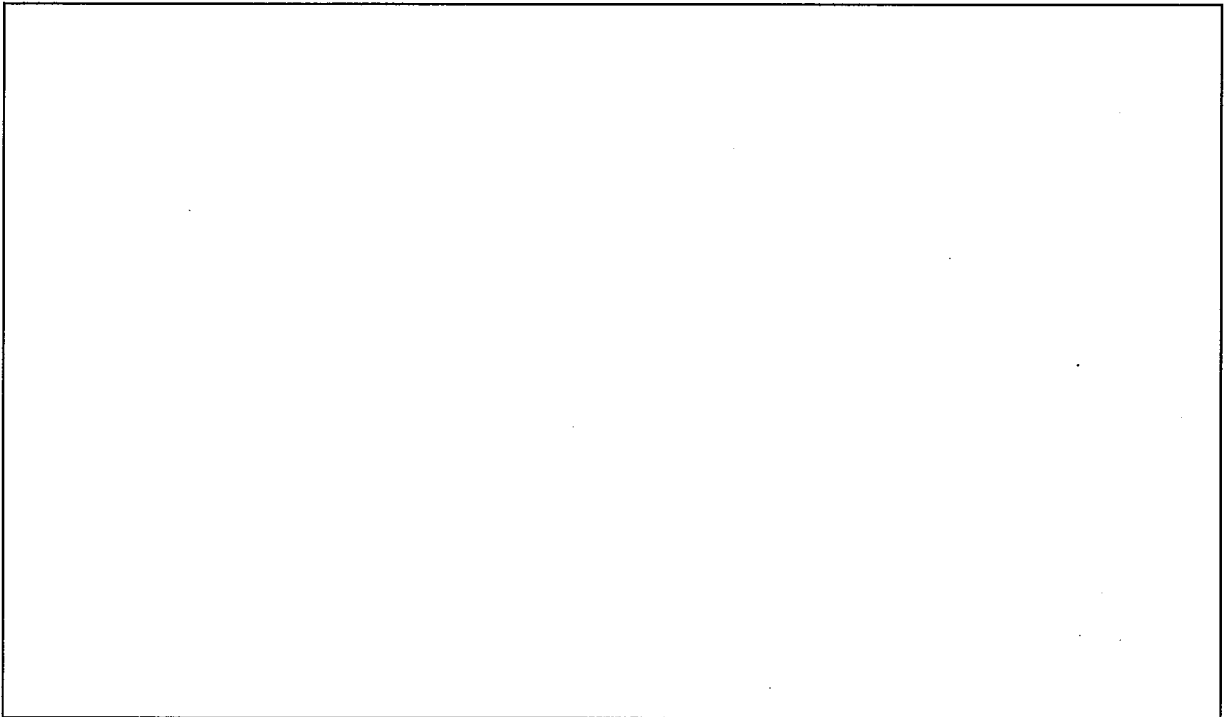
また、本体部品に発生した最大応力を(p)－第A. 付 6.1 表に示す。同表に示すように、本体部品に発生した応力は最大で□MPa 以下であり、各部材の設計降伏応力を十分に下回っている。

(b) 水平吊り

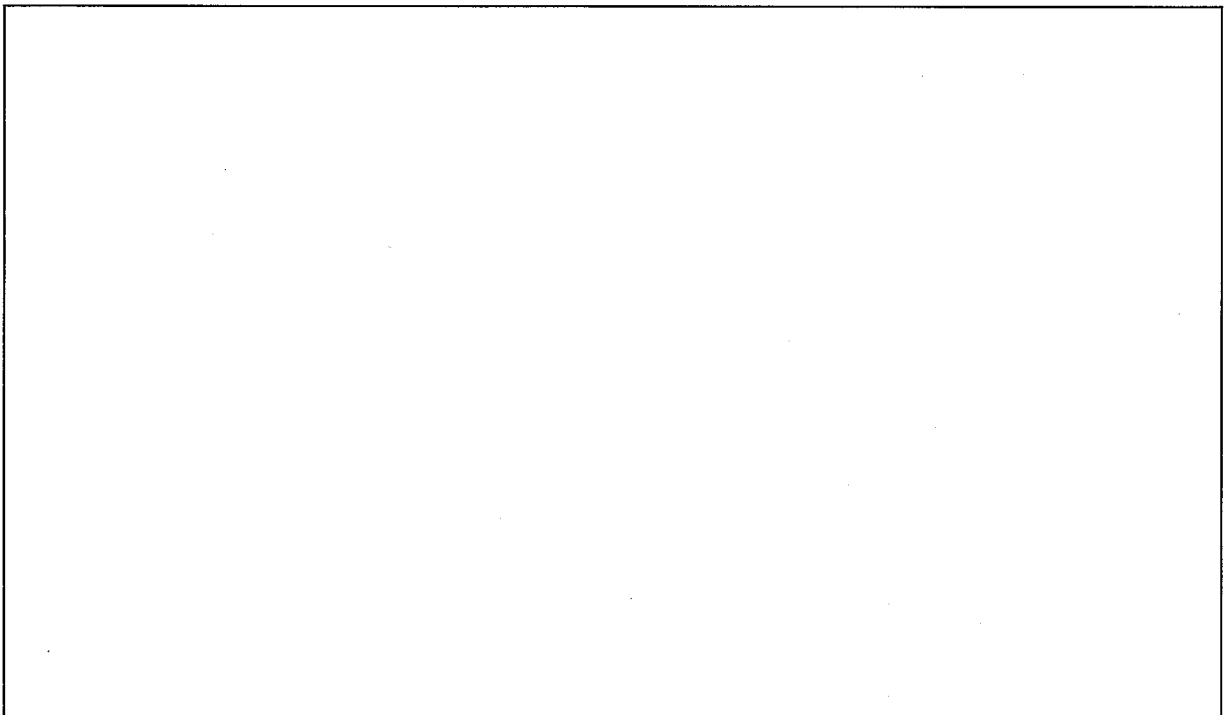
本体の変形図及び本体部品に発生したトレスカの応力分布図を(p)－第A. 付 6.4 図及び(p)－第A. 付 6.5 図にそれぞれに示す。

また、本体部品に発生した最大応力を(p)－第A. 付 6.2 表に示す。同表に示すように、本体部品に発生した応力は最大で□MPa 以下であり、各部材の設計降伏応力を十分に下回っている。

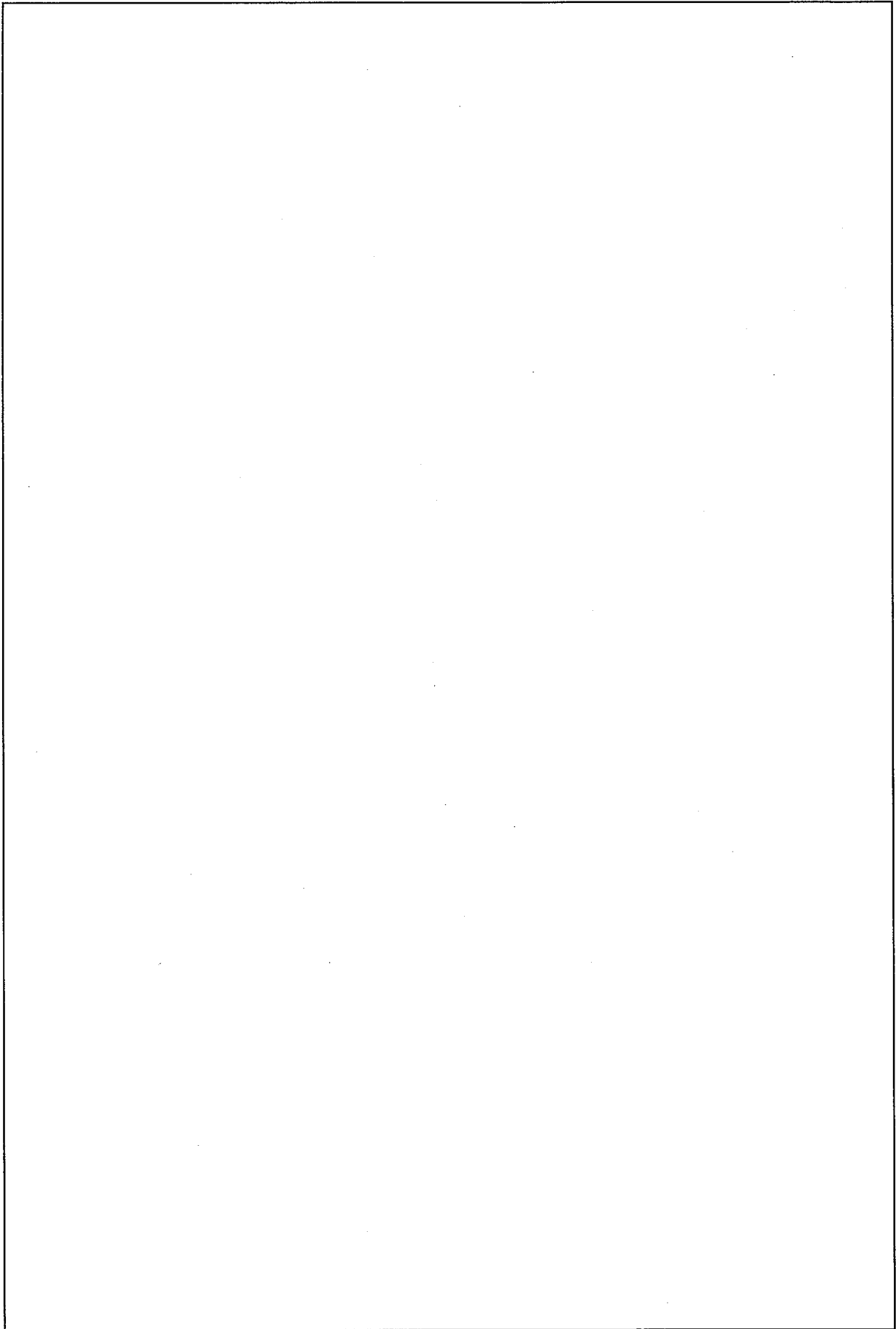
以上の結果から、トラニオンによる吊上げ操作における荷重に対して本体は十分な強度を有している。



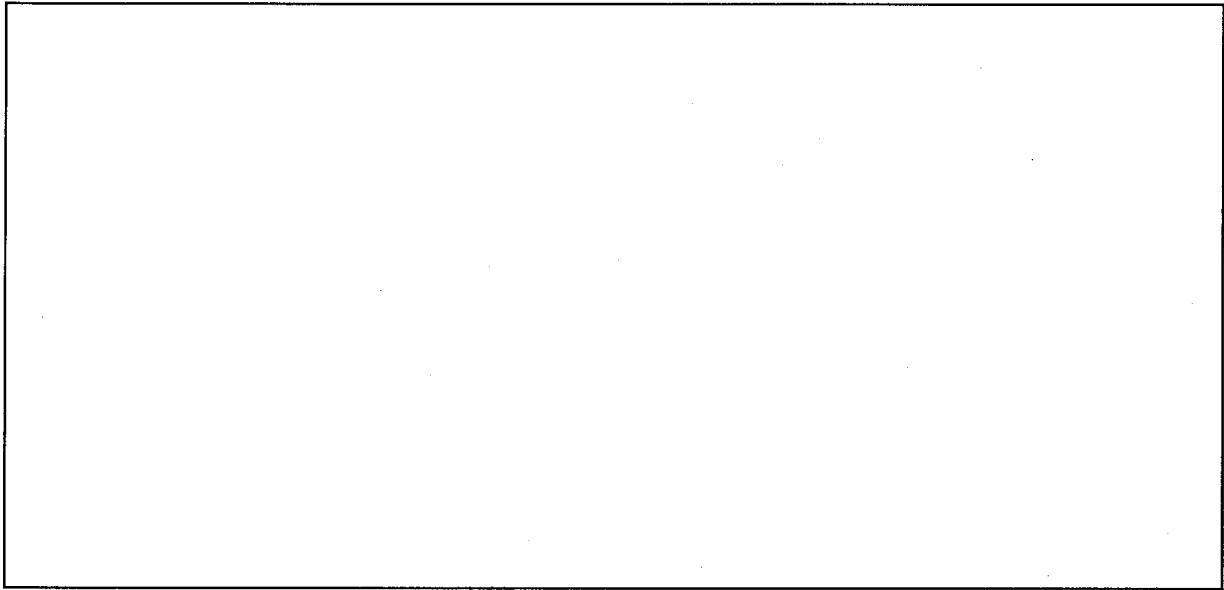
(□)－第A.付6.2図 解析結果 / 垂直吊り (変形図)



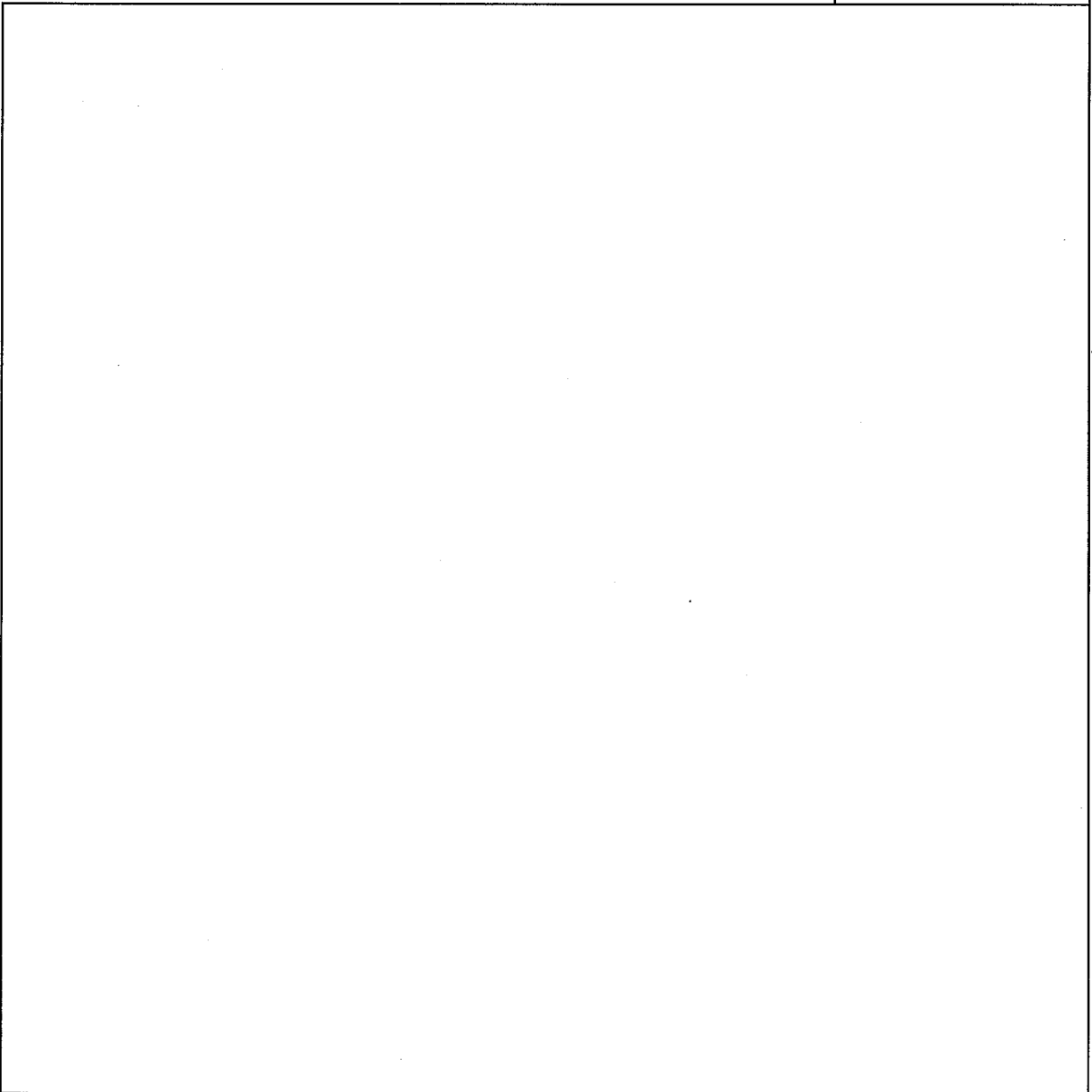
(□)－第A.付6.3図 解析結果 / 垂直吊り (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)



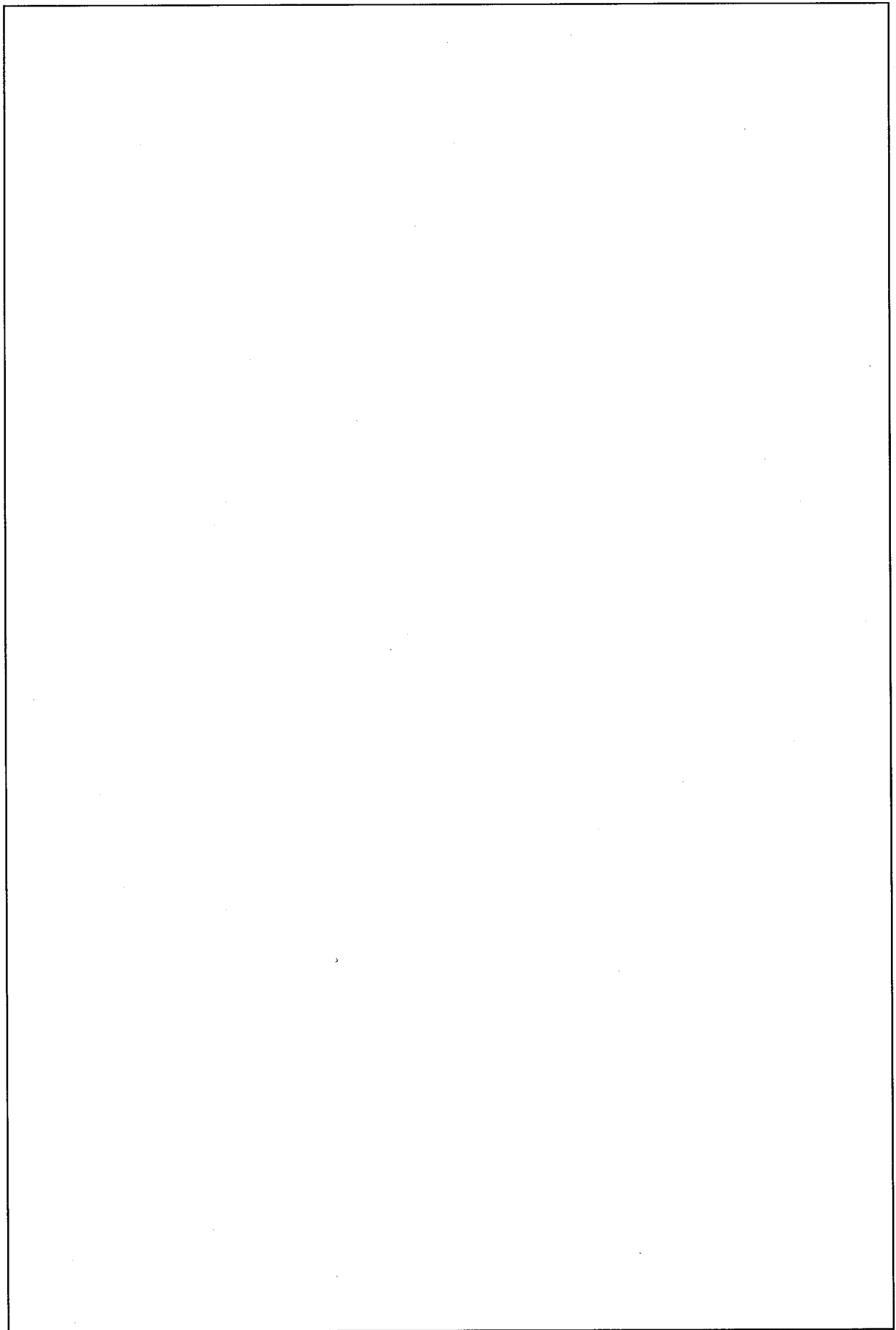
(□) - 第A. 付 6.3 図 解析結果 / 垂直吊り (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)



(□)－第A. 付 6.4 図 解析結果 / 水平吊り (変形図)



(□)－第A. 付 6.5 図 解析結果 / 水平吊り (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)



(□) - 第A. 付 6.5 図 解析結果 / 水平吊り (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)

(ロ) ー第A. 付 6.1 表 トラニオンによる垂直吊りにおいて本体部品に発生した最大応力

部品	応力強さ (MPa)	設計降伏応力 (MPa)
上部フランジ		
内筒		
胴ガセット		
胴外板		

(ロ) ー第A. 付 6.2 表 トラニオンによる水平吊りにおいて本体部品に発生した最大応力

部品	応力強さ (MPa)	設計降伏応力 (MPa)
上部フランジ		
底板		
内筒		
胴ガセット		
胴外板		

(2) ハンドリングベルトによる吊上げ操作時

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 4.5 固縛装置のモデル ((ロ) ー第A. 16 図参照) を用いる。

b. 荷重条件及び境界条件

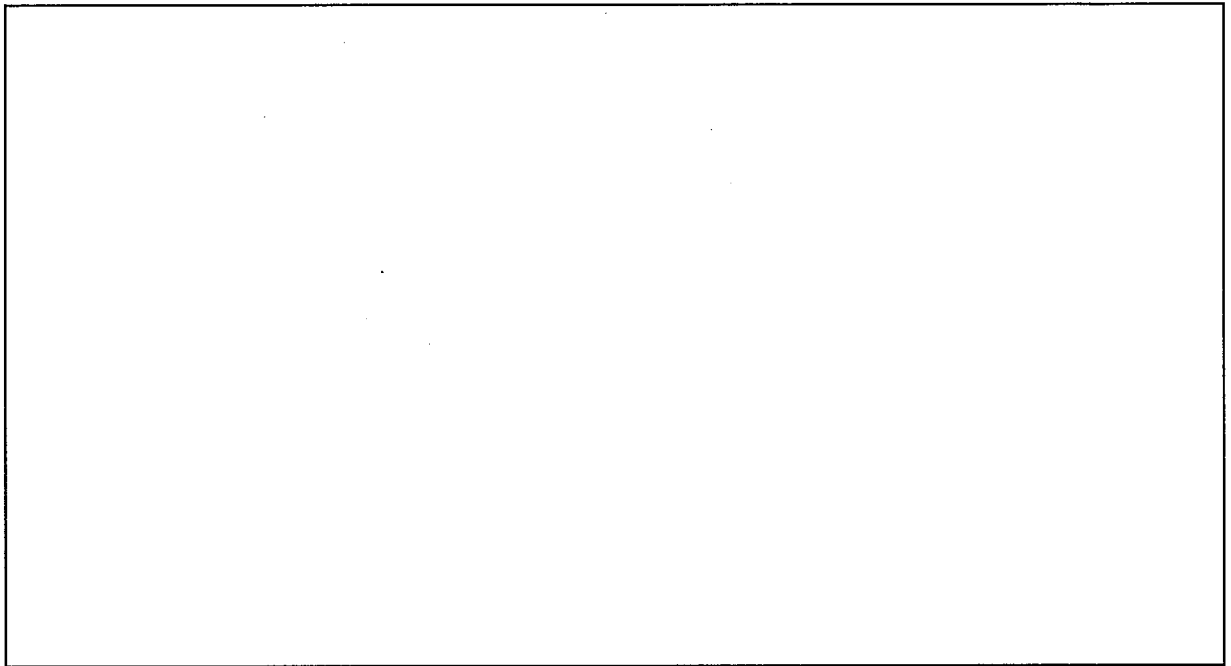
(a) 荷重条件

吊上げ操作時の荷重条件として、負荷係数 3 を乗じた重力加速度を解析モデル全体に作用させる。併せて内部圧力 MPa を負荷する。

(b) 境界条件

ハンドリングベルトは胴部を全周にわたって固定するように取付けられることから、取付け部位の胴部の半周について半径方向の変位を拘束する。

以上の荷重及び境界条件を(ロ) ー第A. 付 6.6 図に示す。



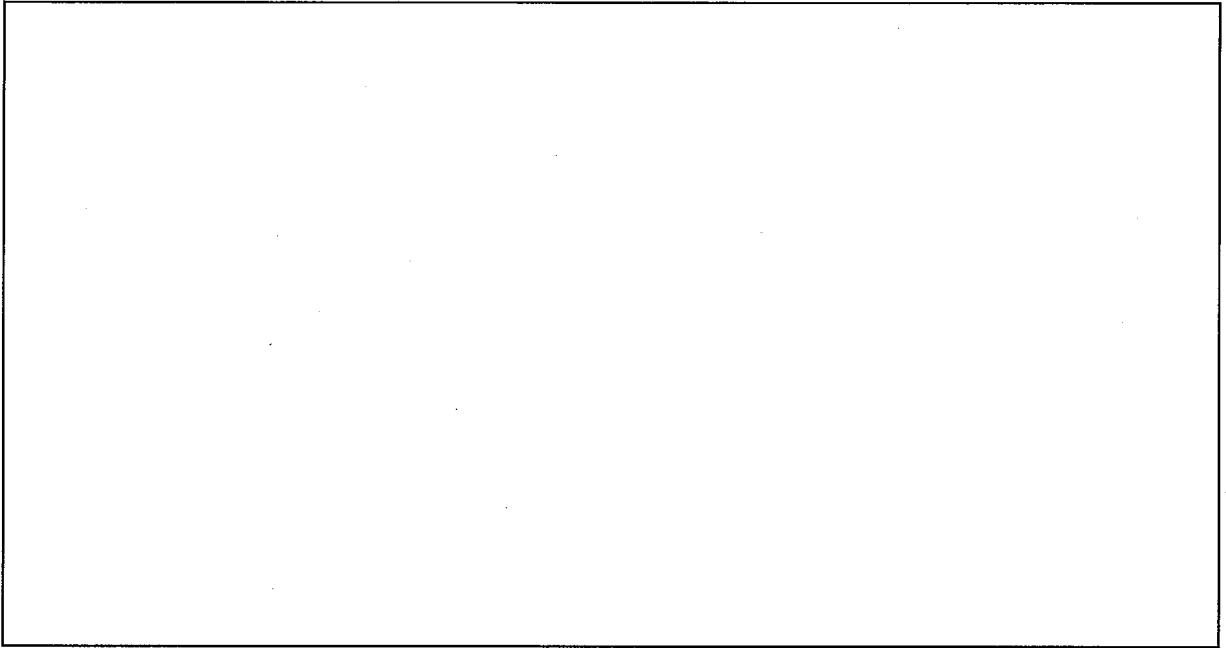
(a)－第A. 付 6.6 図 荷重及び境界条件

c. 解析結果

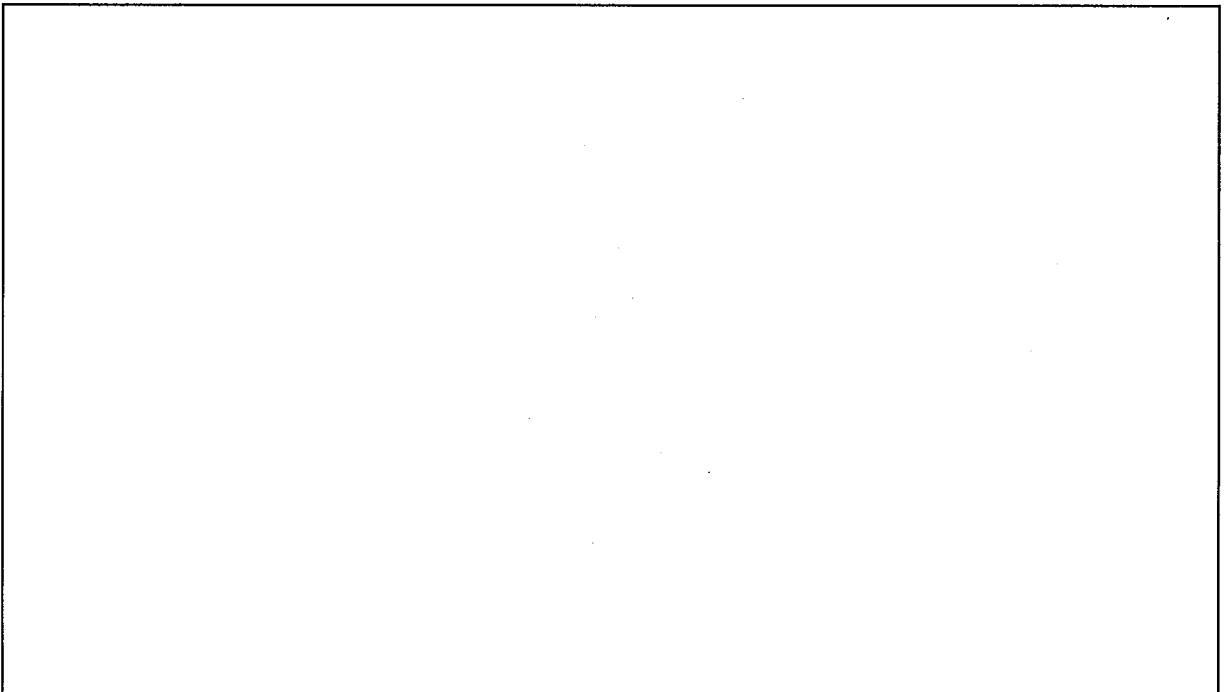
本体の変形図及びハンドリングベルトを取付けた胴部の部品に発生したトレスカの応力分布図を(a)－第A. 付 6.7 図及び(a)－第A. 付 6.8 図にそれぞれ示す。

また、本体部品に発生した最大応力を(a)－第A. 付 6.3 表に示す。同表に示すように、本体部品に発生した応力は最大で□MPa 以下であり、各部材の設計降伏応力を十分に下回っている。

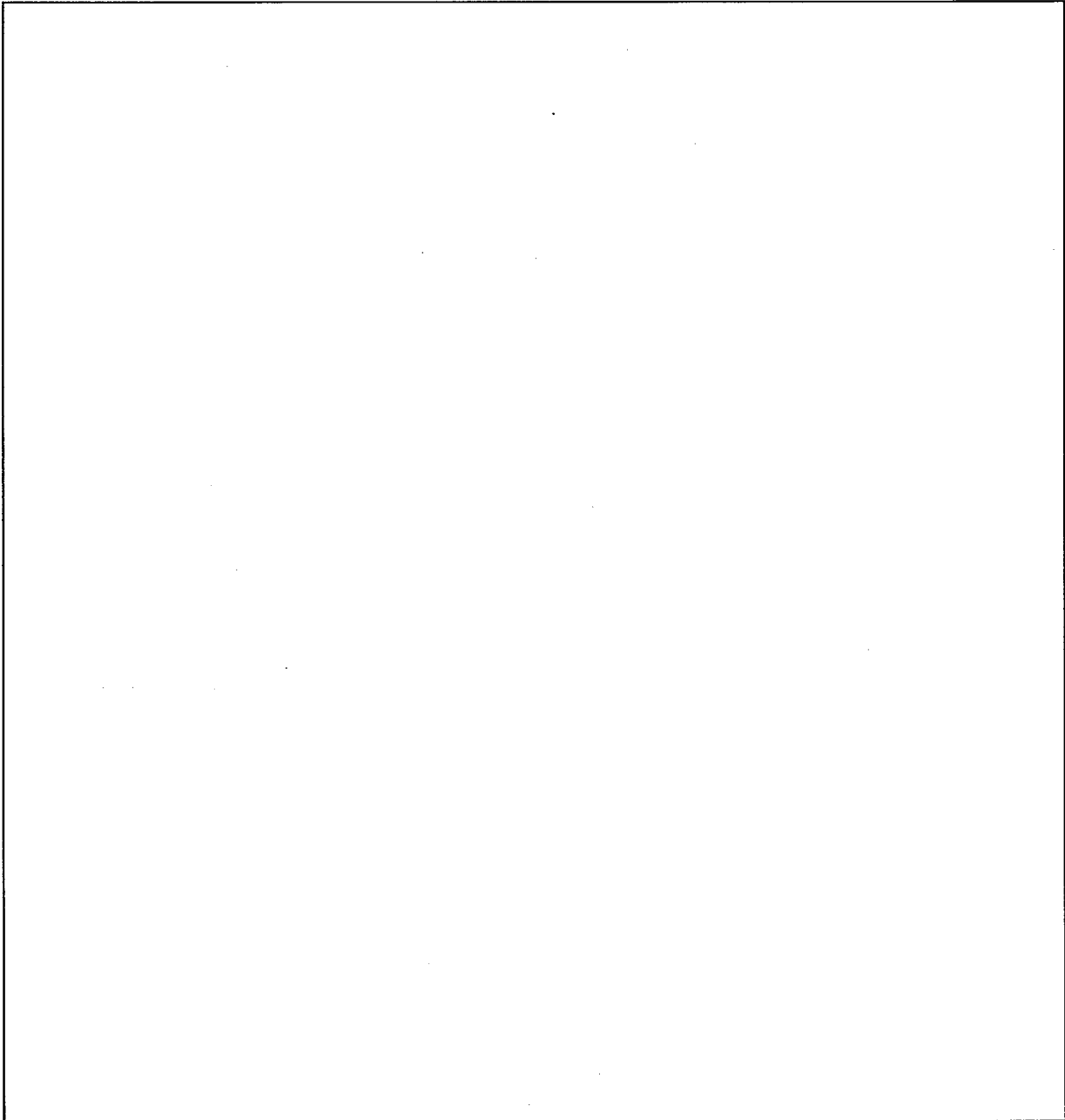
したがって、ハンドリングベルトによる吊上げ操作における荷重に対して本体は十分な強度を有している。



(□)－第A. 付 6.7 図 解析結果 (変形図)



(□)－第A. 付 6.8 図 解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)



(□)－第A. 付 6.8 図 解析結果（応力分布図<トレスカの応力強さ>）（2/2）

(□)－第A. 付 6.3 表 ハンドリングベルトによる吊上げ時に本体部品に発生した最大応力

部品	応力強さ (MPa)	設計降伏応力 (MPa)
内筒		
胴ガセット		
胴外板		

A. 10.7 付属書類-7 圧力及び温度の変動に対する容器本体の強度及び口開き変形量

本輸送物の輸送中に予想される温度の変化を包含する温度範囲として、-40℃から一般の試験条件における最高温度（70℃）の範囲における内圧の変化に対して、輸送容器の健全性が損なわれないことを評価する。

(1) 圧力及び温度条件

a. 内圧が最大となり外圧を上回る場合

輸送物の温度が最高温度（70℃）となる場合に内圧は最大となる。最大内圧は基準温度によって異なるため、基準温度が常温（20℃）と最低温度（-40℃）のそれぞれの場合について評価する。

なお、輸送物の温度が20℃から70℃に変化する場合は、A. 5.1 熱的試験において評価されており、容器本体に発生する応力及び蓋板ガスケット部の口開き変形量はいずれも評価基準を下回ることから、輸送物の温度が-40℃から70℃に変化する場合について以下に示す。

輸送物の温度が-40℃から70℃に変化する場合、最大内圧（ P_{max} ）は以下のように計算される。

$$P_{max} = P_o \times \frac{T}{T_o} + P_v$$

ここで、 P_o ： 輸送時初期圧力 [MPa 絶対圧¹⁾]

T_o ： 内部気体初期温度 [233K (-40℃)]

T ： 解析条件における内部気体温度 [343K (70℃)]

P_v ： 解析条件における内部気体温度の飽和水蒸気圧 (MPa)

したがって、

$$P_{max} = \text{} \times \frac{343}{233} + 0.0312 \text{ (70℃の飽和水蒸気圧^[2])} = \text{} \text{ MPa 絶対圧}$$

となる。

よって、外気圧に変動が生じて外圧が60 kPa (0.060 MPa) に減少した場合、内外圧力差 ΔP は、

$$\Delta P = \text{} - 0.060 = \text{} \text{ MPa}$$

となる。

注 1) 大気圧の変動を考慮して安全側に設定した。

この内外圧力差を安全側に MPa として、 -40°C から 70°C に変化したときに容器本体各部に発生する応力を求める。

また、蓋板ガスケット部の口開き変形量を求め、ガスケットの初期締付け代（つぶれ代）と比較し、密封性能への影響を評価する。

b. 内圧が最小となり外圧を下回る場合

輸送物の温度が最低温度（ -40°C ）となる場合に内圧は最小となる。最小内圧は基準温度によって異なるため、基準温度が常温（ 20°C ）と最高温度（ 70°C ）のそれぞれの場合について評価する。

輸送物の温度が低下する場合、最小内圧（ P_{\min} ）は以下のように計算される。

$$P_{\min} = P_o \times \frac{T}{T_o}$$

ここで、 P_o ： 輸送時初期圧力 [MPa 絶対圧¹⁾]

T_o ： 内部気体初期温度 (K)

T ： 解析条件における内部気体温度 [233 K (-40°C)]

したがって、基準温度が 20°C 及び 70°C の場合の最小内圧 $P_{1\min}$ 及び $P_{2\min}$ は、

$$P_{1\min} = \text{} \times \frac{233}{293} = \text{} \text{ MPa 絶対圧}$$

$$P_{2\min} = \text{} \times \frac{233}{343} = \text{} \text{ MPa 絶対圧}$$

となる。

よって、輸送中の大気圧を MPa 絶対圧¹⁾ とすると、基準温度が 20°C 及び 70°C の場合の内外圧力差 ΔP_1 及び ΔP_2 は、

$$\Delta P_1 = \text{} - \text{} = \text{} \text{ MPa}$$

$$\Delta P_2 = \text{} - \text{} = \text{} \text{ MPa}$$

となる。

これらの内外圧力差を安全側に MPa として、容器本体各部に発生する応力を求める。

また、蓋板ガスケット部の口開き変形量を求め、ガスケットの初期締付け代（つぶれ代）と比較し、密封性能への影響を評価する。

注 1) 大気圧の変動を考慮して安全側に設定した。

(2) 解析モデル

解析モデルは、A.5.1 熱的試験と同じモデルを用いる。

(3) 解析結果

a. 容器本体各部に発生する応力

変形図及び応力分布図を(□)－第A.付7.1図～(□)－第A.付7.6図に示す。

(□)－第A.付7.7図に示す評価位置での応力の評価結果を(□)－第A.付7.1表及び(□)－第A.付7.2表に示す。

同表に示すように容器本体各部に発生する応力はいずれも評価基準を下回っている。

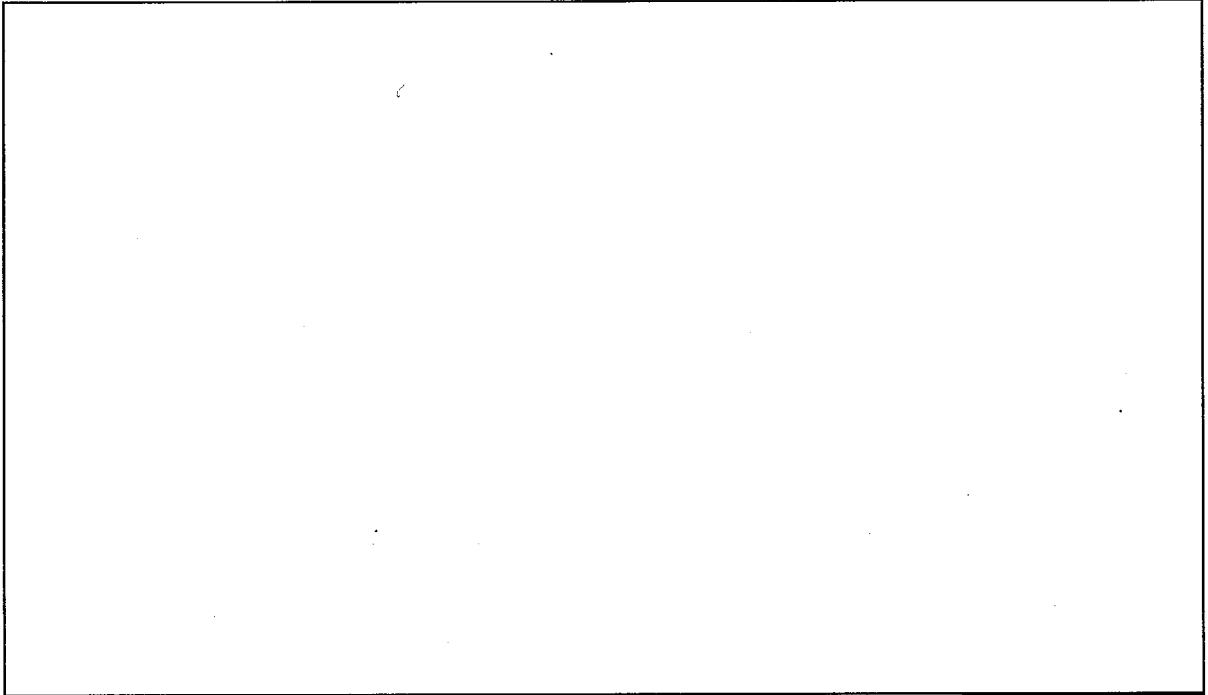
したがって、輸送中に予想される温度変化に伴う内圧の変化により、輸送容器に亀裂、破損等が生じることはない。

b. 口開き変形量

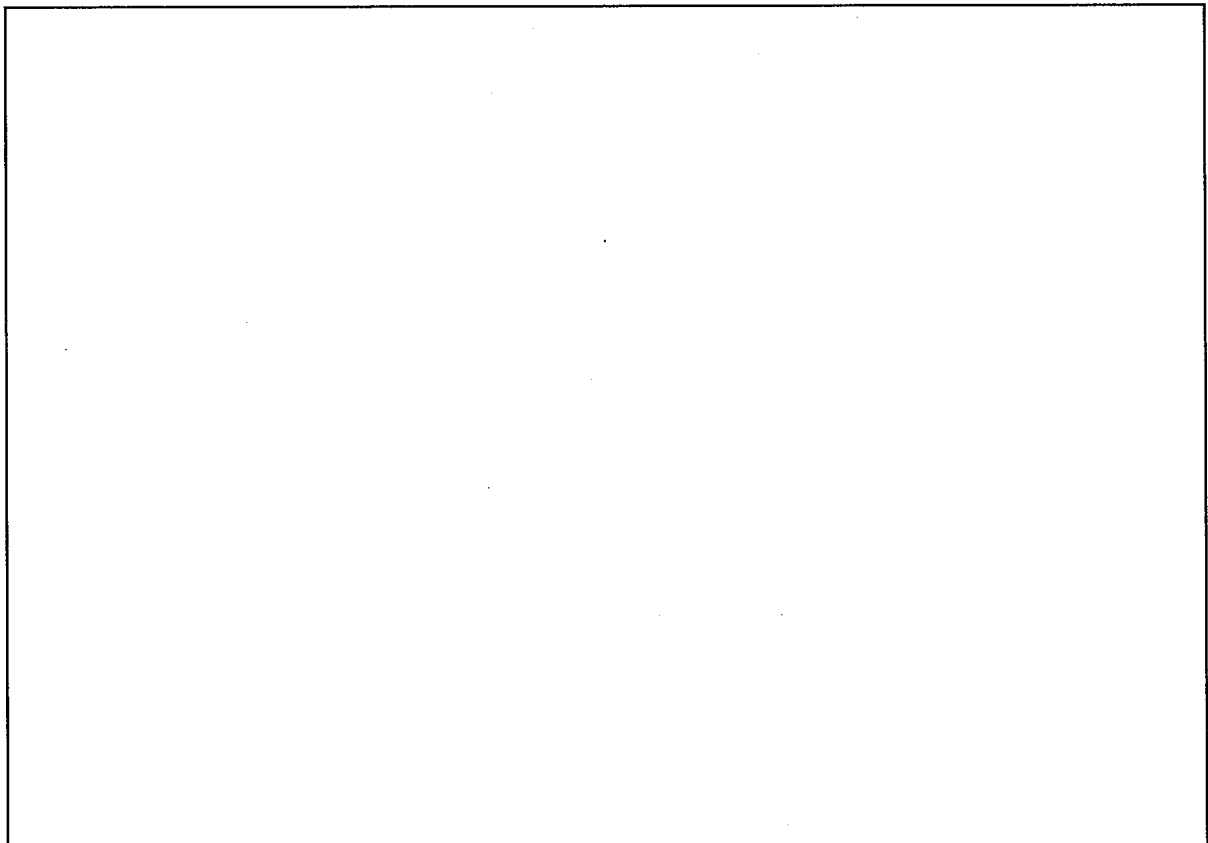
口開き変形量は、密封境界となっている蓋板のガスケット取付け部（内側）のガスケット溝底面と上部フランジ面との距離の変化によって示される。((□)－第A.付7.8図参照)

口開き変形量を(□)－第A.付7.3表に示す。同表に示すように口開き変形量はガスケットの初期締付け代（つぶれ代）よりも十分小さく、密封性能に影響を与えない。

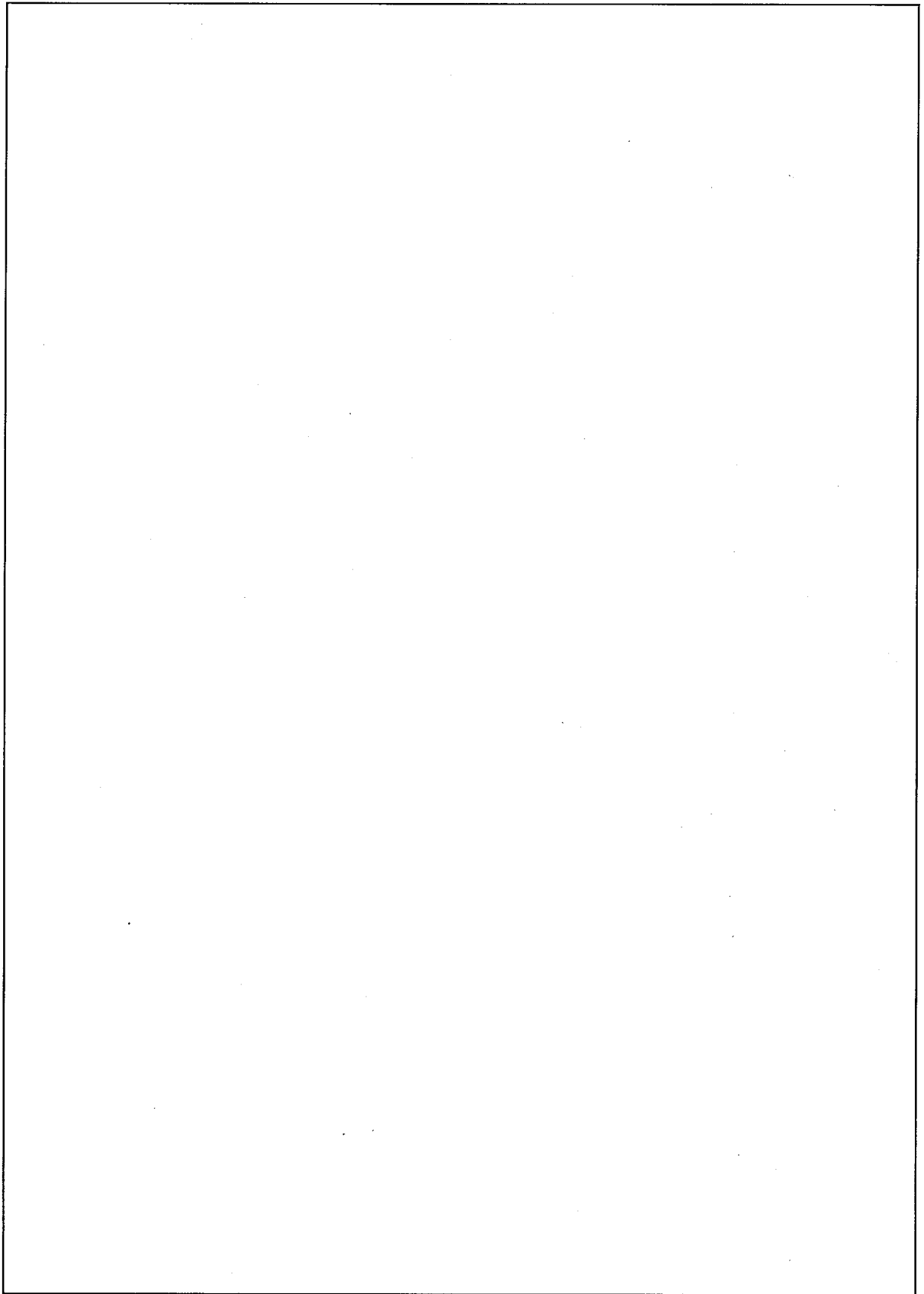
したがって、本輸送物の輸送中に予想される温度範囲における内圧の変化に対して、輸送容器の健全性が損なわれることはない。



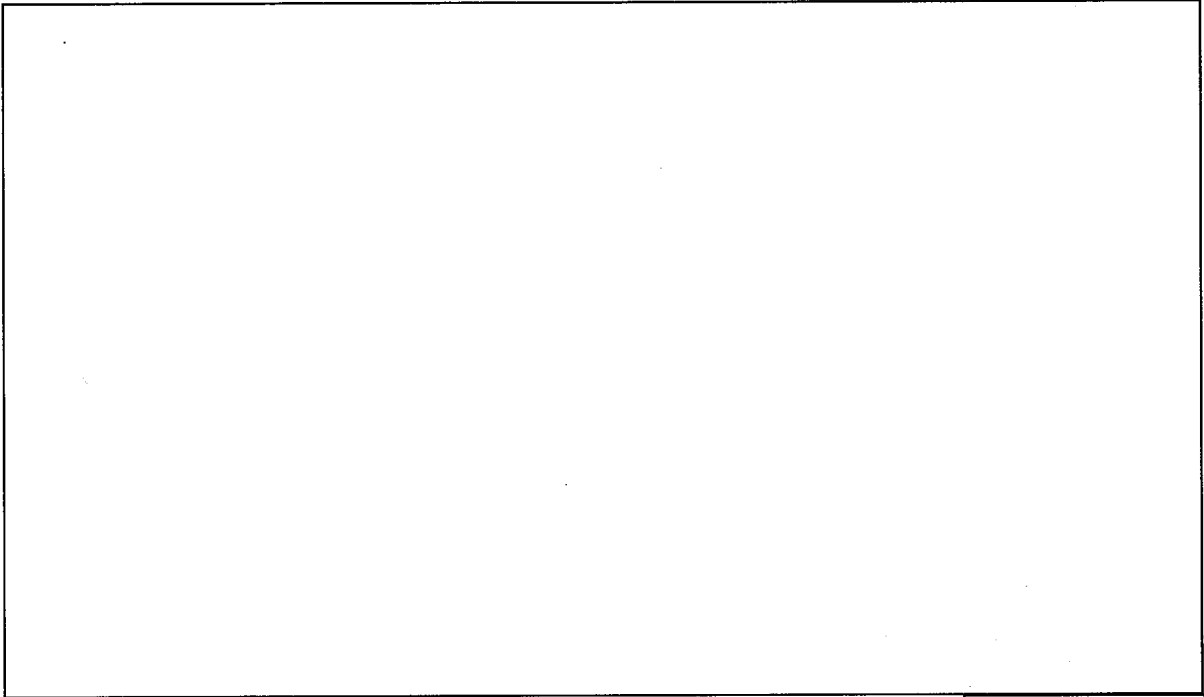
(□) - 第A. 付 7.1 図 解析結果 (変形図)
(-40°Cから 70°Cに変化した場合)



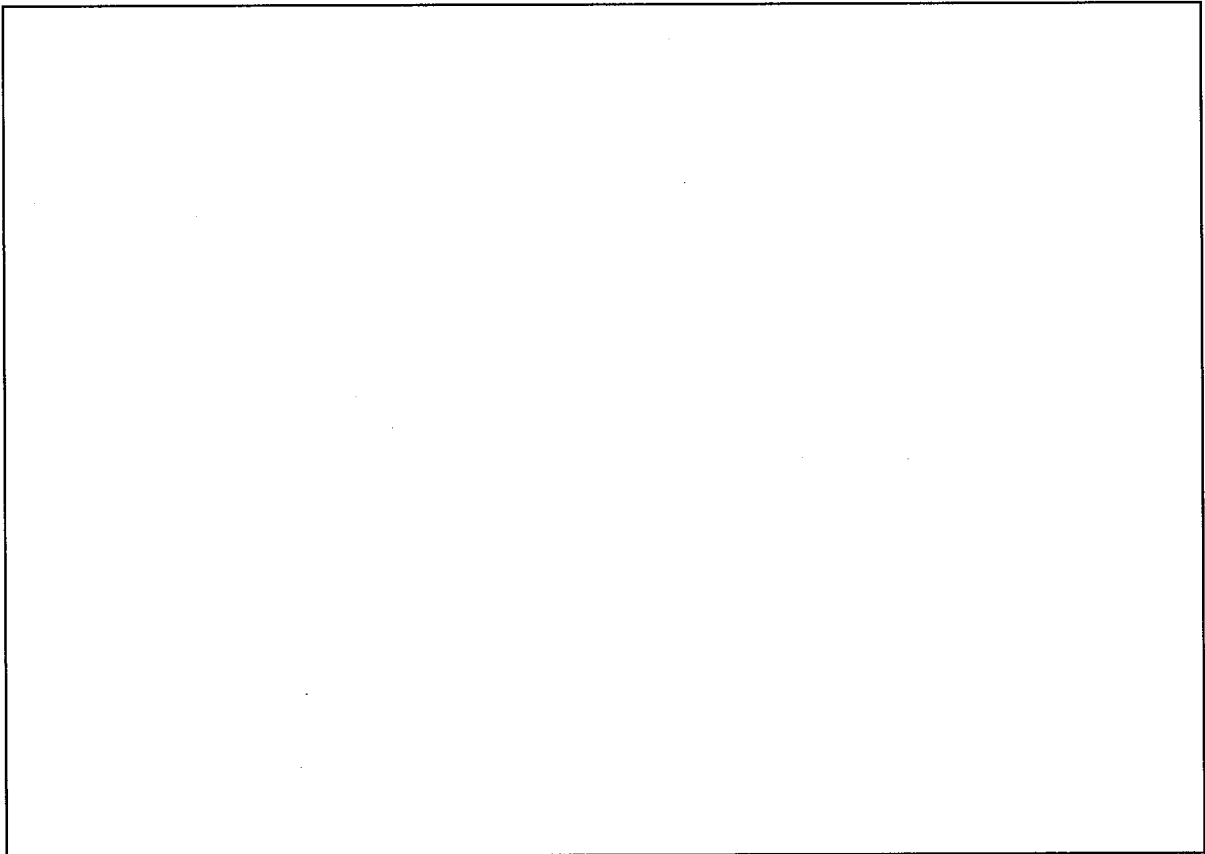
(□) - 第A. 付 7.2 図 解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)
(-40°Cから 70°Cに変化した場合)



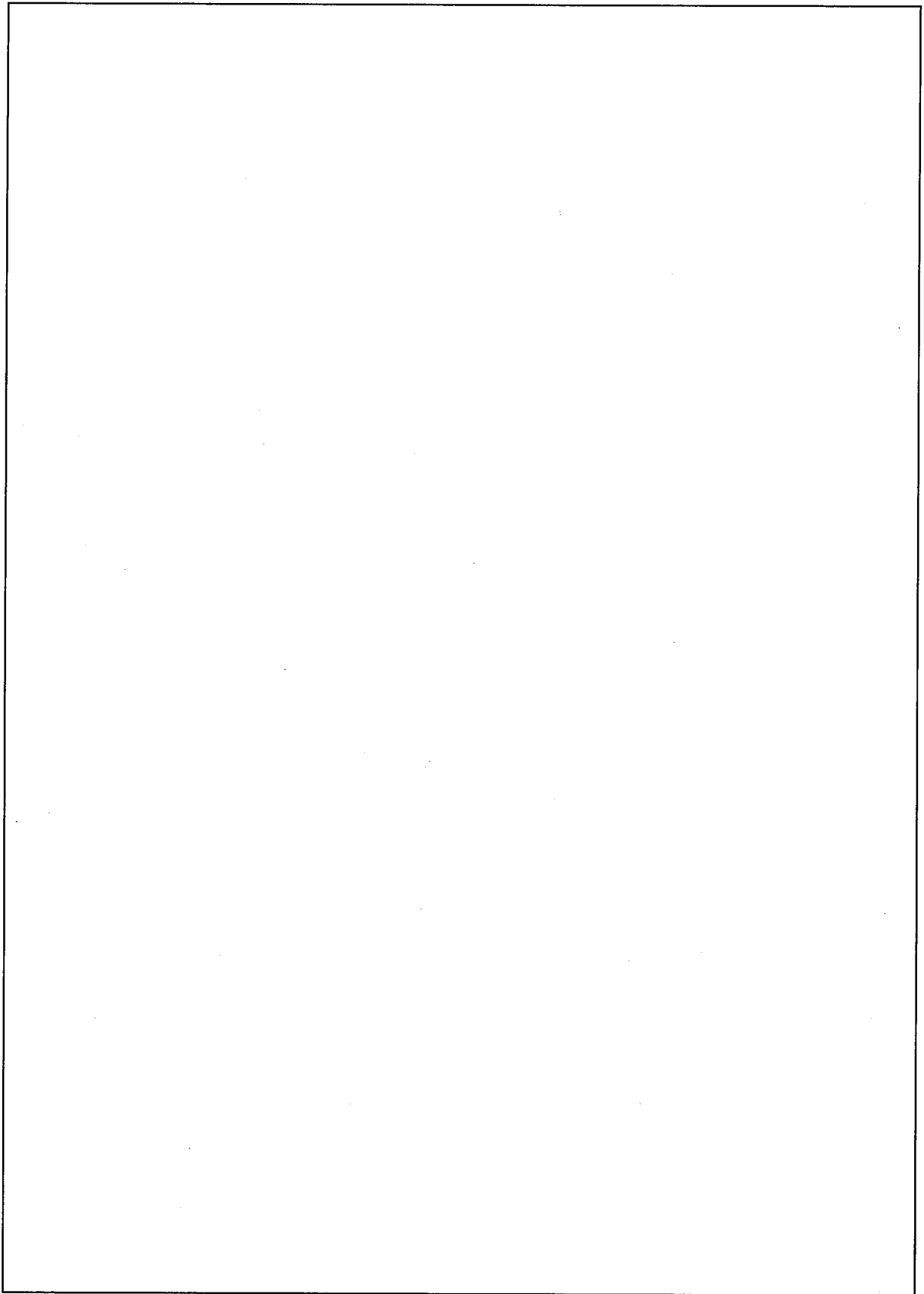
(ア) ー第A. 付 7.2 図 解析結果(応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)
(-40°Cから 70°Cに変化した場合)



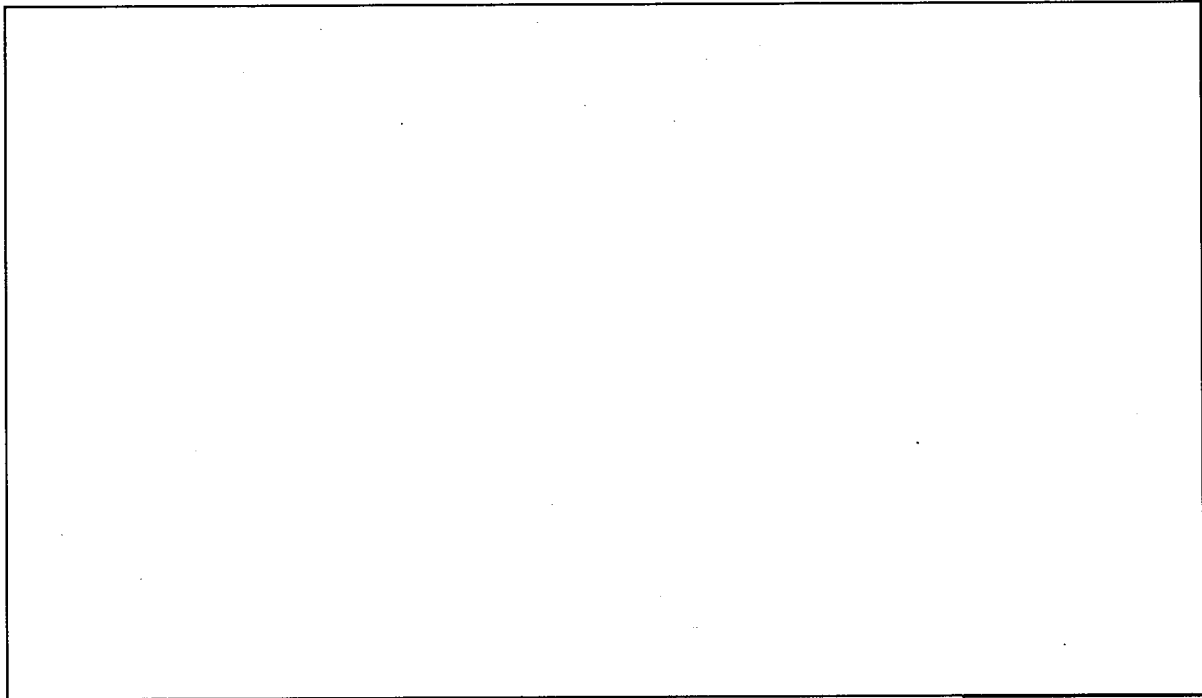
(□) - 第A. 付7.3図 解析結果 (変形図)
(20°Cから-40°Cに変化した場合)



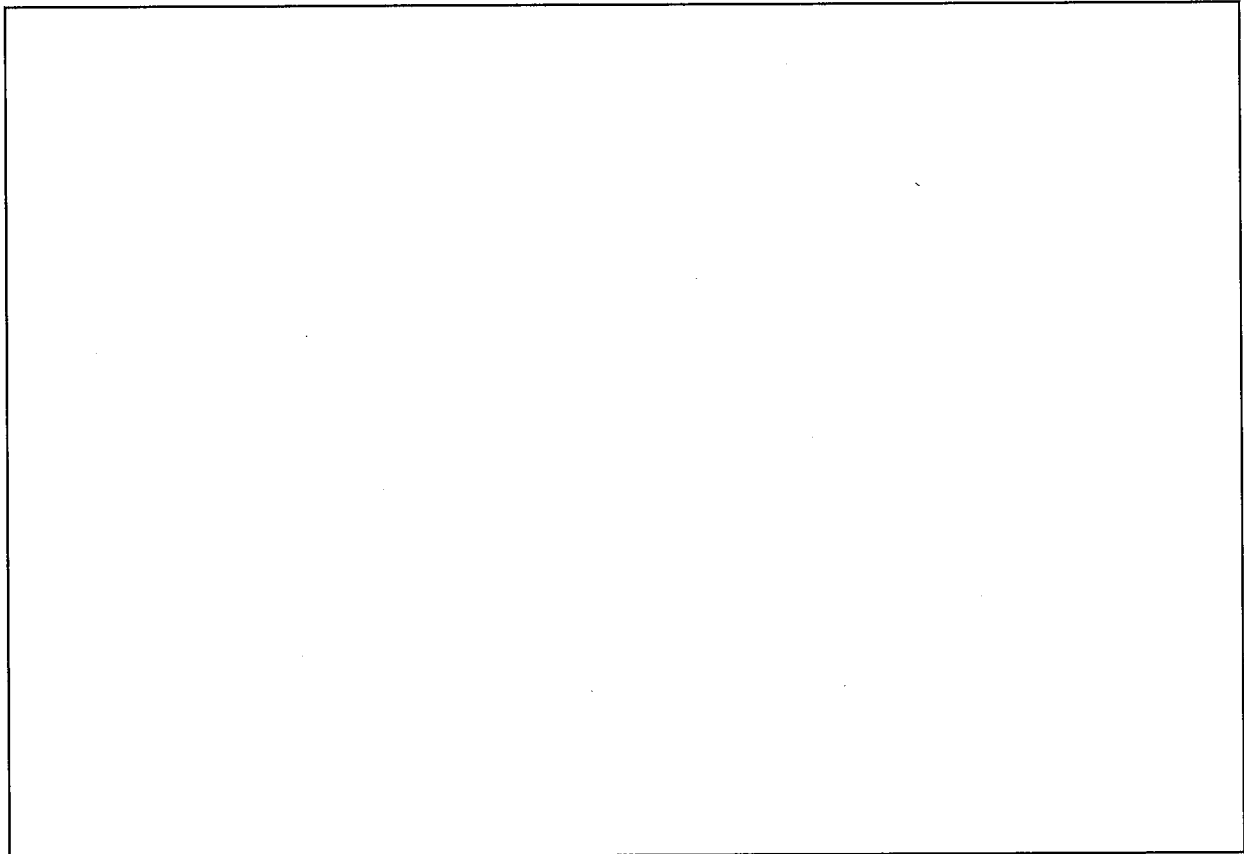
(□) - 第A. 付7.4図 解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)
(20°Cから-40°Cに変化した場合)



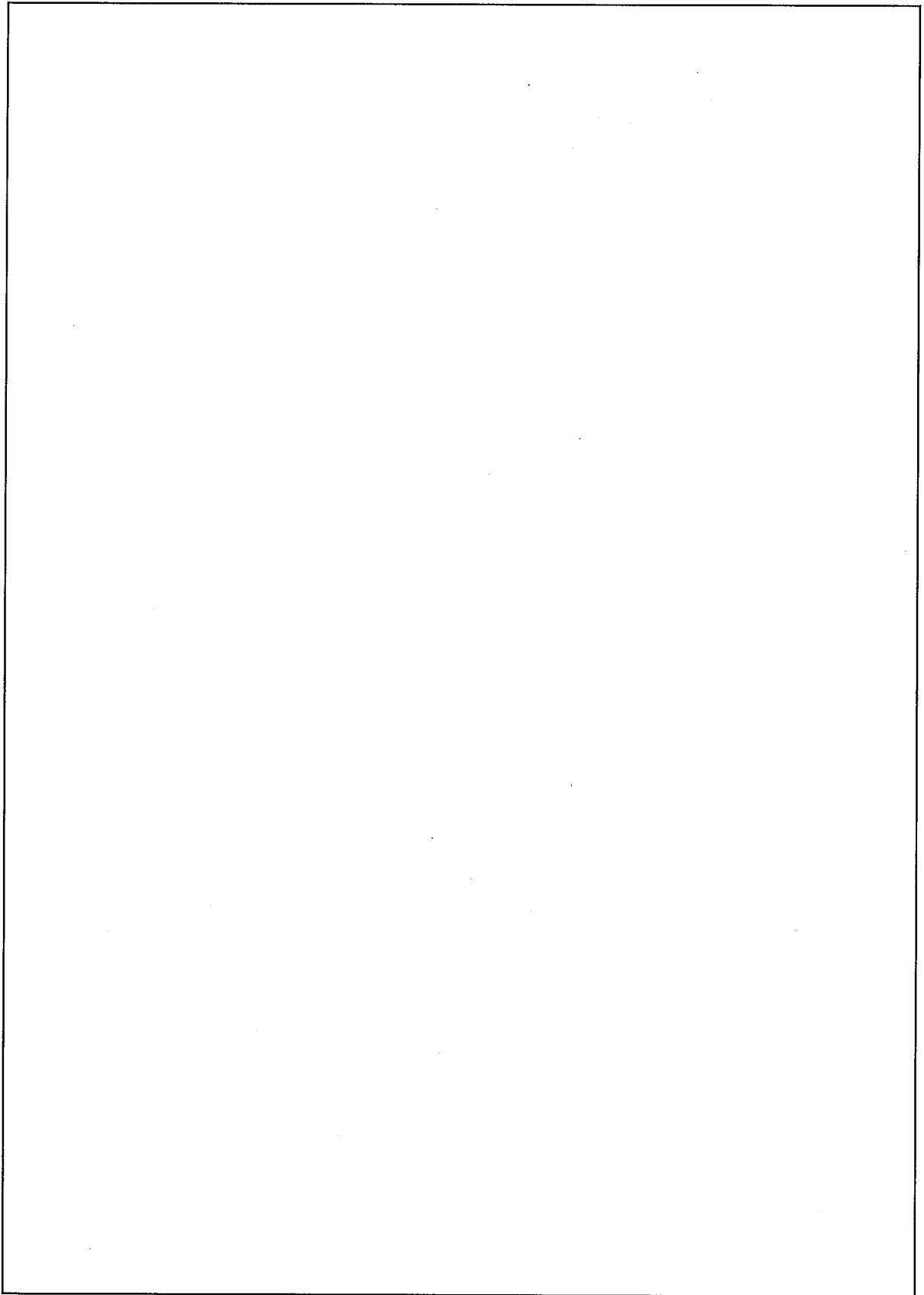
(□)－第A. 付 7.4 図 解析結果(応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)
(20°Cから-40°Cに変化した場合)



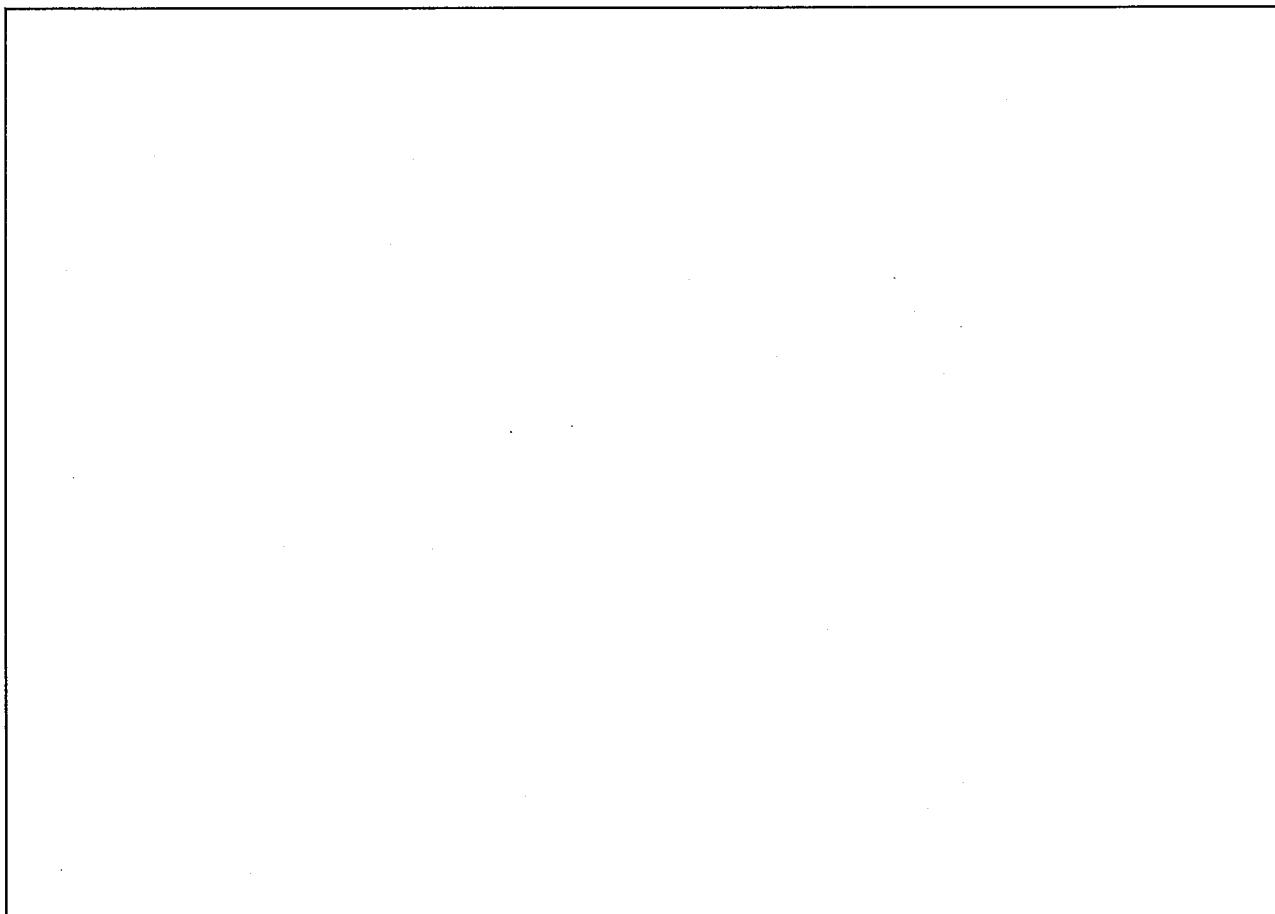
(□) - 第A. 付 7.5 図 解析結果 (変形図)
(70°Cから-40°Cに変化した場合)



(□) - 第A. 付 7.6 図 解析結果 (応力分布図<トレスカの応力強さ>) (1/2)
(70°Cから-40°Cに変化した場合)



(□) - 第 A. 付 7.6 図 解析結果(応力分布図<トレスカの応力強さ>) (2/2)
(70°Cから-40°Cに変化した場合)



(p)－第A.付7.7図 応力評価位置

(v)－第A. 付 7.1 表 容器本体各部の応力（内圧が最大となり外圧を上回る場合）

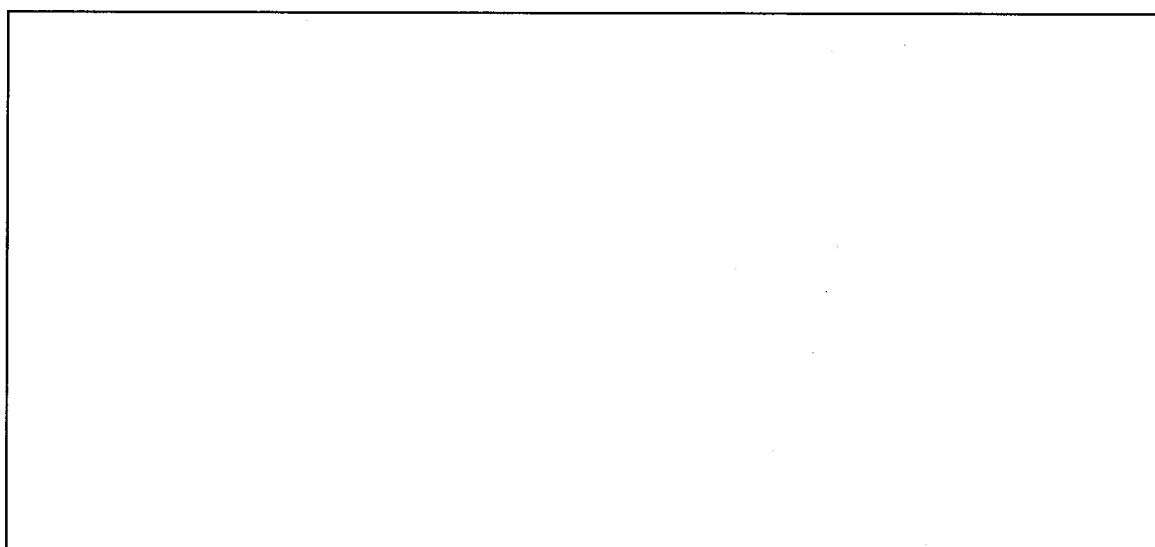
評価位置		応力強さ (MPa)		評価基準 ¹⁾ (MPa)
		20℃から70℃に 変化した場合	－40℃から70℃に 変化した場合	
蓋 板	①			
	②			
胴外板	③			
	④			
	⑤			
内 筒	⑥			
	⑦			
	⑧			
胴ガセット	⑨			
	⑩			
	⑪			
底 板	⑫			
	⑬			
蓋板締付けボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) 評価基準は、A. 5.1 熱的試験 (v)－第A. 11 表の記載と同じ

(㉓) 第一A. 付 7.2 表 容器本体各部の応力 (内圧が最小となり外圧を下回る場合)

評価位置		応力強さ (MPa)		評価基準 ¹⁾ (MPa)
		20°Cから-40°Cに 変化した場合	70°Cから-40°Cに 変化した場合	
蓋 板	①			
	②			
胴外板	③			
	④			
	⑤			
内 筒	⑥			
	⑦			
	⑧			
胴ガセット	⑨			
	⑩			
	⑪			
底 板	⑫			
	⑬			
蓋板締付けボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			

注 1) 評価基準は、A. 5.1 熱的試験(㉓) 第一A. 11 表の記載と同じ



(□)－第A.付7.8図 口開き変形量測定位置

(□)－第A.付7.3表 各条件における口開き変形量

	温度条件	口開き変形量 (mm)	ガスケット 初期締付け代 (つぶれ代) (mm)
内圧が最大となり ^{*1} 外圧を上回る場合	20℃から70℃に 変化した場合		
	−40℃から70℃に 変化した場合		
内圧が最小となり 外圧を下回る場合	20℃から−40℃に 変化した場合		
	70℃から−40℃に 変化した場合		

*1 外圧が 60 kPa に減少した場合の内外圧力差を考慮したケース

*2 ガスケット径（最小値）とガスケット溝深さ（最大値）の差

ここで、ガスケット径寸法： mm、ガスケット溝深さ寸法： mm

*3 内圧が最小となり外圧を下回る場合は、蓋板のガスケット取付け部（内側）のガスケット溝底面と上部フランジ面との距離は初期条件よりも短くなりガスケットはより圧縮される。

A. 10.8 付属書類—8 輸送中の振動による荷重の増幅の影響について

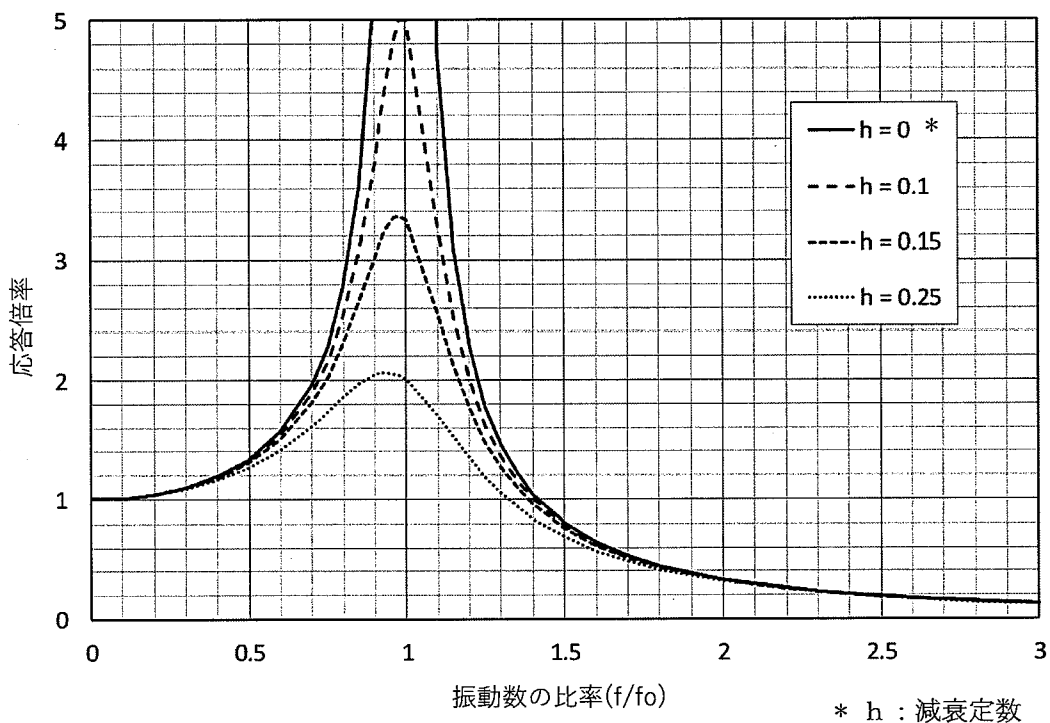
輸送容器の主要な構成部品である本体胴部（内筒、胴ガセット、胴外板）、蓋部（蓋板、蓋板締付けボルト）及び底部（底板）について、振動による影響を以下に示す。

輸送中に受ける荷重が振動により増幅される現象を考慮した場合、その増幅の程度（応答倍率）は、作用する荷重の変動（振動数）と輸送物の固有振動数の比率並びに減衰定数によって決まる。ここで、荷重が正弦波状に変動すると仮定すると、応答倍率と振動数の比率の関係は、(p)－第A. 付8.1図に示すような応答倍率曲線として求めることができる。

安全側に減衰がない場合（ $h = 0$ ）の線図から、本輸送物の固有振動数 f_0 を Hz、荷重の振動数 f を 20 Hz とすると、応答倍率は以下のように求められる。

振動数の比率 = $f/f_0 =$

応答倍率 <



(p)－第A. 付8.1図 応答倍率曲線

1) 本体胴部

A. 4.5 固縛装置に示されているように、輸送物に前後方向 2 G、横方向 2 G、垂直方向 3 G（下方）の加速度が作用した場合であっても、本体胴部は発生する応力に対して十分に大きな余裕率（評価基準（ S_y ）に対し余裕率 以上）を有している。

この余裕率は上記応答倍率（< ）よりも十分大きく、輸送中に受ける荷重が振動に

よって増幅されたとしても、まだ十分な余裕が確保されることから、輸送容器の本体胴部の構造健全性に影響は生じない。

2) 蓋部及び底部

振動による荷重の増幅は、輸送容器の蓋部及び底部にも影響を与える可能性があるが、それぞれ十分な強度を有しており、密封性能を担保する蓋板及び蓋板締付けボルトの健全性並びに底板の健全性が損なわれるおそれのないことを以下に示す。

(1) 計算方法

蓋板については、周囲を蓋板締付けボルトにより固定されるため、周辺固定の円板として、輸送中の加速度と自重の質量による慣性力並びに内外圧力差による圧力が分布荷重として作用すると仮定して発生応力を評価する。

蓋板締付けボルトについては、初期締付けによる軸力と蓋板に作用する荷重を足し合わせて、発生する引張応力を評価する。

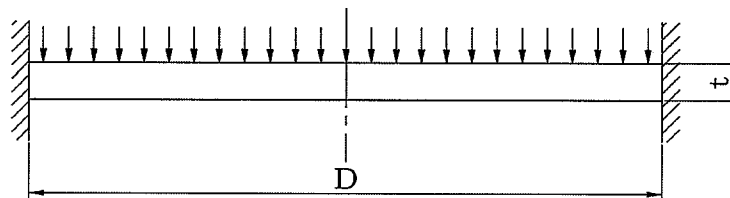
底板については、蓋板と同様に周辺固定の円板として評価する。

(2) 蓋板の計算

a. 計算モデル

蓋板の計算モデルの寸法図を(□)－第A. 付 8.2 図に示す。

円板の径は蓋板締付けボルトのピッチサークルとして、厚さはボルトの取付け部の厚さからガスケット溝高さを減じた寸法を仮定する。



D : 計算モデルの円板の径 [mm]

t : 計算モデルの板厚 [mm]

(□)－第A. 付 8.2 図 蓋板の計算モデル

b. 分布荷重

a) 慣性力による分布荷重

蓋板に作用する慣性力 F_i は、以下のように求められる。

$$F_i = \alpha \times k \times m g$$

ここで、 α : 輸送物の前後方向の加速度 [2 G]

k : 振動による応答倍率 []

m : 蓋部の質量 [kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

したがって、

$$F_i = 1.70 \times 10^4 \text{ N}$$

よって、蓋板に作用する慣性力による分布荷重 P_i は、以下のように求められる。

$$P_i = F_i / (\pi/4 \times D^2)$$

ここで、D : 計算モデルの円板の径 [mm]

したがって、

$$P_i = \text{ MPa}$$

b) 内外圧力差による分布荷重

蓋板には、内外圧力差により MPa の分布荷重が作用する。

以上より、蓋板に作用する分布荷重 P_T は、以下のようになる。

$$P_T = \text{} + \text{} = \text{ MPa}$$

c. 応力計算

周辺固定の円板では、固定部に最大曲げ応力及び最大せん断応力が発生し、以下のよう
に求められる。

$$\sigma_r = -(3/4) \times P_T \times (D/2)^2 / t^2$$

$$\sigma_\theta = -(3/4) \times P_T \times (D/2)^2 \times \nu / t^2$$

$$\tau = P_T \times (D/2) / (2 \times t)$$

ここで、 σ_r : 半径方向の最大曲げ応力 (MPa)

σ_θ : 周方向の最大曲げ応力 (MPa)

τ : 板厚方向の最大せん断応力 (MPa)

t : 円板の板厚 [mm]

ν : 蓋板のポアソン比 [0.3]

上記の各応力から、主応力 (σ_1 , σ_2 , σ_3) 及び応力強さ S を次式より求める。

$$\sigma_1 = (1/2) \times \{ \sigma_r + (\sigma_r^2 + 4 \times \tau^2)^{1/2} \}$$

$$\sigma_2 = (1/2) \times \{ \sigma_r - (\sigma_r^2 + 4 \times \tau^2)^{1/2} \}$$

$$\sigma_3 = \sigma_\theta$$

$$S = \text{Max} \{ | \sigma_1 - \sigma_2 |, | \sigma_2 - \sigma_3 |, | \sigma_1 - \sigma_3 | \}$$

以上より、蓋板に発生する最大応力強さは、以下のようになる。

$$S = \text{ MPa}$$

これに対する評価基準(Sy)は、MPa(70°C)であり、輸送中の振動によって蓋板の健全性が損なわれるおそれはない。

(3) 蓋板締付けボルトの計算

a. 初期締付けによる軸力

初期締付けトルクによる軸力 f_1 は次式で与えられる。

$$f_1 = T \times \frac{1}{0.2d}$$

ここで、T : 初期締付けトルク [N・mm]

d : ボルトの呼び径 [mm]

よって、 $f_1 = 2.36 \times 10^5$ N

b. 蓋板に作用する荷重による軸力

蓋板に作用する荷重による軸力 f_2 は次のように求められる。

$$f_2 = P_T \times (\pi / 4 \times D^2) / n$$

ここで、n : ボルトの本数 []

よって、 $f_2 = 4.76 \times 10^3$ N

c. 蓋板締付けボルトに発生する引張応力

蓋板締付けボルトに発生する引張応力 σ_{bolt} は次のように求められる。

$$\sigma_{bolt} = (f_1 + f_2) / (\pi / 4 \times dr^2)$$

ここで、dr : ボルトの最小径 [mm]

よって、 $\sigma_{bolt} =$ MPa

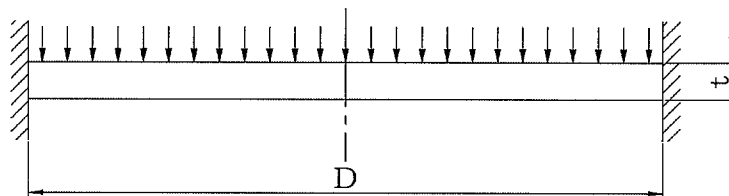
これに対する評価基準(Sy)は、MPa(70°C)であり、輸送中の振動によって蓋板締付けボルトの健全性が損なわれるおそれはない。

(4) 底板の計算

a. 計算モデル

底板の計算モデルの寸法図を(Ⅱ)－第A.付8.3図に示す。

円板の径は胴の内径として、厚さは底板本体の厚さを仮定する。



D : 計算モデルの円板の径 [mm]

t : 計算モデルの板厚 [mm]

(Ⅱ)－第A.付8.3図 底板の計算モデル

b. 分布荷重

a) 慣性力による分布荷重

底板に作用する慣性力 F_i は、以下のように求められる。

$$F_i = \alpha \times k \times m g$$

ここで、 α : 輸送時の蓋板方向の加速度 [2 G]

k : 振動による応答倍率 []

m : 底部の質量 [kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

したがって、

$$F_i = 1.18 \times 10^4 \text{ N}$$

よって、底板に作用する慣性力による分布荷重 P_i は、以下のように求められる。

$$P_i = F_i / (\pi/4 \times D^2)$$

ここで、 D : 計算モデルの円板の径 [mm]

したがって、

$$P_i = \text{} \text{ MPa}$$

b) 内外圧力差による分布荷重

底板には、内外圧力差により MPa の分布荷重が作用する。

以上より、底板に作用する分布荷重 P_T は、以下ようになる。

$$P_T = \text{} + \text{} = \text{} \text{ MPa}$$

c. 応力計算

蓋板の計算と同じ方法により、底板に発生する最大応力強さを求めると以下のようになる。

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

これに対する評価基準 (S_y) は、 MPa (70℃) であり、輸送中の振動によって底板の健全性が損なわれるおそれはない。

A.10.9 付属書類-9 -40℃あるいは70℃を基準とした熱膨張の評価

1) バスケットと容器本体の隙間

基準温度として輸送中に予想される最低温度（-40℃）を考慮した場合について、バスケットと容器本体の熱膨張差による隙間の減少を算定し、拘束による熱応力が生じないことを確認する。なお、温度が低下する変化の場合、隙間は拡大するため拘束は生じない。

(1) 軸方向

バスケットと容器本体の胴部の熱膨張差により、軸方向の隙間が減少する。

バスケットと容器本体内面の軸方向の隙間 ΔL は以下のように求められる。

$$\Delta L = (L_1 - L_2) + \{L_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - L_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

ここで、 L_1 : 容器本体のキャビティ長さ [mm]

L_2 : バスケットの全長 [mm]

T_0 : 基準温度 [-40℃]

T_1 : 胴部の温度 [70℃]

T_2 : バスケットの温度 [70℃]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [/ °C(70℃)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [/ °C(70℃)]

よって、 $\Delta L =$ mm > 0 mm

となり、軸方向におけるバスケットと容器本体内面間には隙間が存在する。

(2) 半径方向

バスケットと容器本体の胴部の熱膨張差により、半径方向の隙間が減少する。

容器本体の内径とバスケット外径はそれぞれ以下の寸法となっている。

・ 容器本体の内径 : mm

・ バスケットの外径 : mm

よって、容器本体の内径の最小値 D_1 とバスケットの外径の最大値 D_2 は次のようになる。

・ $D_1 =$ mm

・ $D_2 =$ mm

容器本体内面とバスケット外面の隙間 ΔD は以下のように求められる。

$$\Delta D = (D_1 - D_2) + \{D_1 \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 - D_2 \times (T_2 - T_0) \times \alpha_2\}$$

ここで、 T_0 : 基準温度 [-40℃]

T_1 : 胴部の温度 [70℃]

T_2 : バスケットの温度 [70°C]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [/°C (70°C)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [/°C (70°C)]

よって、 $\Delta D = \text{ mm} > 0 \text{ mm}$

となり、半径方向における容器本体内面とバスケット外面の間には隙間が存在する。

したがって、基準温度として-40°Cを考慮した場合でも、バスケットと容器本体の間で拘束による熱応力は生じない。

2) 収納物と輸送容器の隙間

基準温度として輸送中に予想される最低温度 (-40°C) を考慮した場合並びに最高温度 (70°C) を考慮した場合について収納物に係る隙間の減少を算定し、拘束による熱応力が生じないことを確認する。

(1) 軸方向

a. 基準温度として最低温度 (-40°C) を考慮した場合

(a) 収納缶と容器本体

収納缶を収納するバスケットと容器本体の隙間は前項において確認されている。収納缶はバスケット上端から突出しないため、収納缶と容器本体の隙間は、バスケットと容器本体の隙間より大きい。また、収納缶の材料であるステンレス鋼の線膨張係数に比べて、バスケットの材料であるアルミニウム合金の線膨張係数の方が大きい。

したがって、バスケットと同様に、軸方向について、収納缶と容器本体の間に隙間が存在する。

(b) 燃料集合体と収納缶

燃料集合体は、ジルコニウム合金、ステンレス鋼及びインコネルにより構成されている。これらの材料の線膨張係数に比べて、収納缶の材料であるステンレス鋼の線膨張係数は同等以上である。そのため、-40°Cから70°Cに温度が変化した場合、燃料集合体よりも収納缶の方が膨張代は大きくなる。

したがって、軸方向について、燃料集合体と収納缶の間に隙間が存在する。

b. 基準温度として最高温度 (70°C) を考慮した場合

(a) 収納缶と容器本体

容器本体の線膨張係数に比べて、収納缶の線膨張係数の方が大きい。そのため、70°Cから-40°Cに温度が変化した場合、容器本体よりも収納缶の方がより収縮する。

したがって、軸方向について、収納缶と容器本体の間に隙間が存在する。

(b) 燃料集合体と収納缶

70℃から-40℃に温度が変化した場合、燃料集合体と同じく収納缶にも収縮が生じる。

ここで、燃料集合体の収縮を無視して、収納缶の収縮量Sを燃料集合体と収納缶の初期隙間と比較する。

$$S = | L \times (T_1 - T_0) \times \alpha_1 |$$

ここで、L : 収納缶の内部長さ [4545 mm]

T₀ : 基準温度 [70℃]

T₁ : 収納缶の温度 [-40℃]

α₁ : 収納缶の線膨張係数 [/ °C (70℃)]

よって、S = mm

となる。燃料集合体と収納缶の初期隙間は mm 以上であることから、70℃から-40℃に温度が変化して収納缶に収縮が生じた場合、燃料集合体の収縮を無視しても燃料集合体と収納缶の間に隙間が存在する。

(2) 断面方向

(a) 収納缶と容器本体

収納缶はバスケットのロジメントに収納される。

-40℃から70℃に温度が変化した場合、ロジメントの断面寸法の拡大を無視すると、収納缶の断面寸法は拡大し、ロジメントとの間の隙間は減少する。また、70℃から-40℃に温度が変化した場合、収納缶の断面寸法の縮小を無視すると、ロジメントの断面寸法は縮小し、ロジメントとの間の隙間は減少する。

ロジメントの内法は mm、収納缶の断面幅は 161 mm であり、ロジメントと収納缶の断面方向の初期隙間は mm となる。

一方、温度の変化による断面寸法の変化は、ロジメントと収納缶のいずれの場合も 1 mm を超えることはなく、初期隙間に比べて十分に小さい。

したがって、-40℃から70℃に温度が変化した場合、70℃から-40℃に温度が変化した場合のいずれにおいても、収納缶とロジメントの間に隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

(b) 燃料集合体と収納缶

燃料集合体は収納缶に収納される。

-40℃から70℃に温度が変化した場合、収納缶の断面寸法の拡大を無視すると、燃料集合体の断面寸法は拡大し、収納缶との間の隙間は減少する。また、70℃から

-40℃に温度が変化した場合、燃料集合体の断面寸法の縮小を無視すると、収納缶の断面寸法は縮小し、収納缶との間の隙間は減少する。

収納缶の内法は 153 mm、燃料集合体の断面幅はチャンネルファスナーを含めても □ mm であり、収納缶と燃料集合体の断面方向の初期隙間は □ mm となる。

一方、温度の変化による断面寸法の変化は、収納缶と燃料集合体のいずれの場合も 1 mm を超えることはなく、初期隙間に比べて十分に小さい。

したがって、-40℃から 70℃に温度が変化した場合、70℃から -40℃に温度が変化した場合のいずれにおいても、収納缶と燃料集合体の間に隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

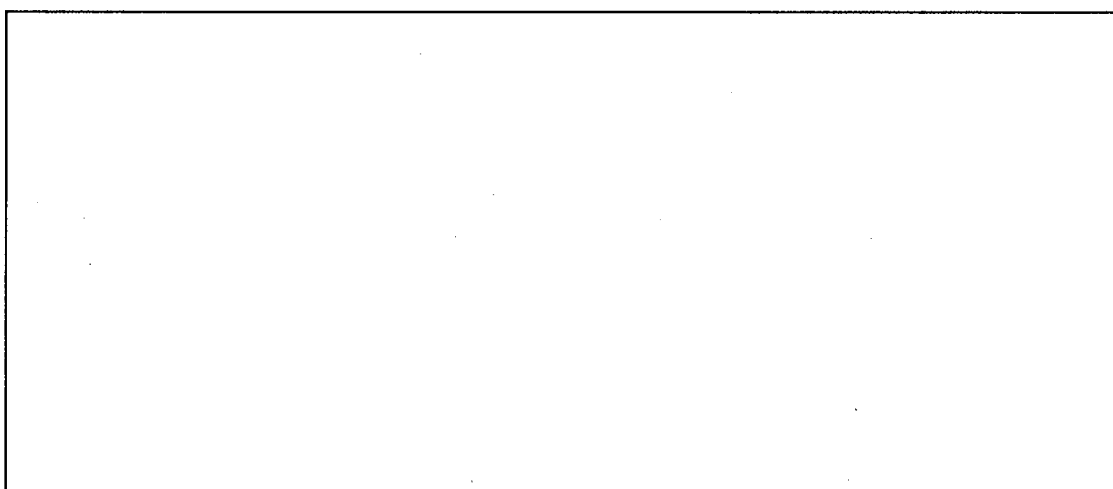
A. 10.10 付属書類-10 一般の試験条件の熱的試験及び自由落下における口開き変形量

一般の試験条件の熱的試験及び自由落下における蓋板ガスケット部の口開き変形量を求め、ガスケットの初期締付け代（つぶれ代）と比較する。

(1) 熱的試験

口開き変形量は、密封境界となっている蓋板のガスケット取付け部（内側）のガスケット溝底面と上部フランジ面との距離の変化によって示される。（(p)-第A.付10.1図参照）

熱的試験では、蓋板締付けボルトによる初期締付け力を与え、内圧のみを負荷したケースと、内圧と温度分布を負荷したケースを評価しており、それぞれのケースについて、口開き変形量を(p)-第A.付10.1表に示す。



(p)-第A.付10.1図 口開き変形量測定位置（熱的試験）

(p)-第A.付10.1表 一般の試験条件の熱的試験における口開き変形量

荷重条件	ガスケット 初期締付け代 (つぶれ代) (mm)	口開き変形量 (mm)
ボルト初期締付け+内圧		
ボルト初期締付け+内圧+温度分布		

*1 ガスケット径（最小値）とガスケット溝深さ（最大値）の差

ここで、ガスケット径寸法: mm、ガスケット溝深さ寸法: mm

上記の結果が示すように、熱的試験における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代（つぶれ代）よりも十分小さく、密封性能に影響を与えない。

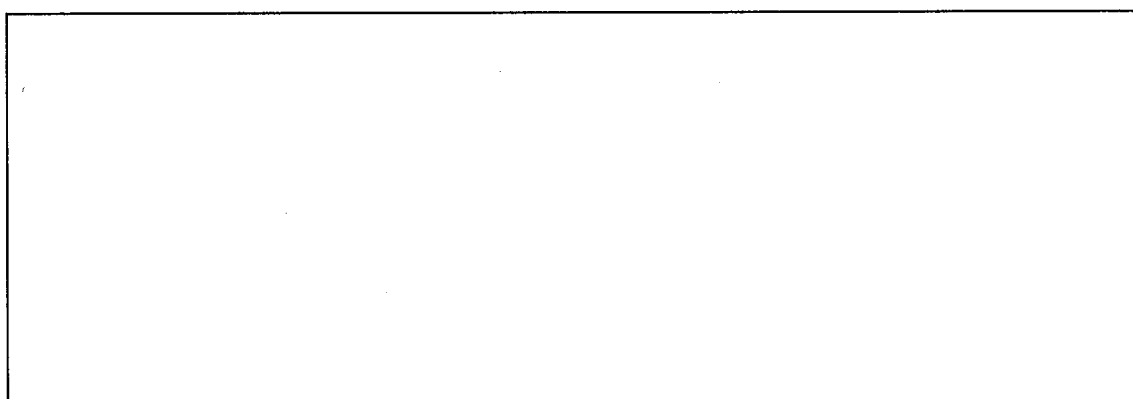
(2) 自由落下

蓋板ガスケット部の口開きが生じる可能性のある落下方向として、前部垂直落下、水平落下、前部コーナー落下が対象となる。

解析モデルが 180° モデルとなっているため、口開き変形量の測定位置は、代表として対称面 2 カ所と対称面から 90° の計 3 カ所とする。(□)－第 A. 付 10.2 図参照)

落下事象では、口開き変形量は時間とともに変化するため、輸送容器が剛体面に着床してから落下終了までの間の最大値と落下後の値を求める。

各落下方向について、口開き変形量を(□)－第 A. 付 10.2 表にまとめる。口開き変形量の最大値は、いずれも落下中瞬間的に生じており、その後、 mm 以下となっている。



(□)－第 A. 付 10.2 図 口開き変形量測定位置 (自由落下)

(□)－第 A. 付 10.2 表 一般の試験条件の自由落下における口開き変形量

落下姿勢	ガスケット 初期締付け代 (つぶれ代) (mm)	口開き変形量 *1 (mm)	
		落下中 (最大値)	落下後 *2
前部垂直落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下			
前部コーナー落下			

*1 測定位置 3 カ所の最大値

*2 解析終了時

上記の結果が示すように、自由落下において落下後の口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代 (つぶれ代) よりも十分小さく、密封性能に影響を与えない。

A. 10. 11 付属書類-11 積み重ね試験における衝撃吸収カバーの変形及び口開きについて

本輸送容器の運用上、積み重ね操作は行われませんが、積み重ね試験における衝撃吸収カバーの変形と口開きへの影響を確認するため、仮想的に輸送容器を積み重ね、衝撃吸収カバーの変形と蓋板ガスケット取付け部の口開き変形について評価する。

(1) 衝撃吸収カバーの変形

衝撃吸収カバーの変形について、積み重ね試験による荷重を緩衝材である木材のみが受け持つと仮定して、木材に作用する圧力と木材に変形が生じる応力を比較する。

a. 縦置き

縦置きの積み重ねの形態を(□)-第A. 付 11. 1 図に示す。

縦置きにおいては、最大荷重は最下段の後部衝撃吸収カバーに作用する。

後部衝撃吸収カバーは、(□)底板に固定されることから、(□)-第A. 付 11. 1 図の詳細図に示した斜線部分の断面で輸送物 6 個分の荷重を受け持つと仮定し、さらに、(□)の断面積を除外する。

斜線の部分の断面積 A 及び輸送物 6 個分の荷重 F は、以下のように計算される。

$$A = (D_o^2 - D_i^2) \times \pi / 4 - d^2 \times \pi / 4 \times n$$

ここで、 D_o : (□) 外径 [ϕ (□) mm]

D_i : (□) 内径 [ϕ (□) mm]

d : (□) 外径 [ϕ (□) mm]

n : (□) の個数 [(□)]

したがって、

$$A = (□) \text{ mm}^2$$

$$F = 6 \times m \times g$$

ここで、 m : 輸送物の全体質量 [19, 500 kg]

g : 重力加速度 [9. 81 m/s²]

したがって、

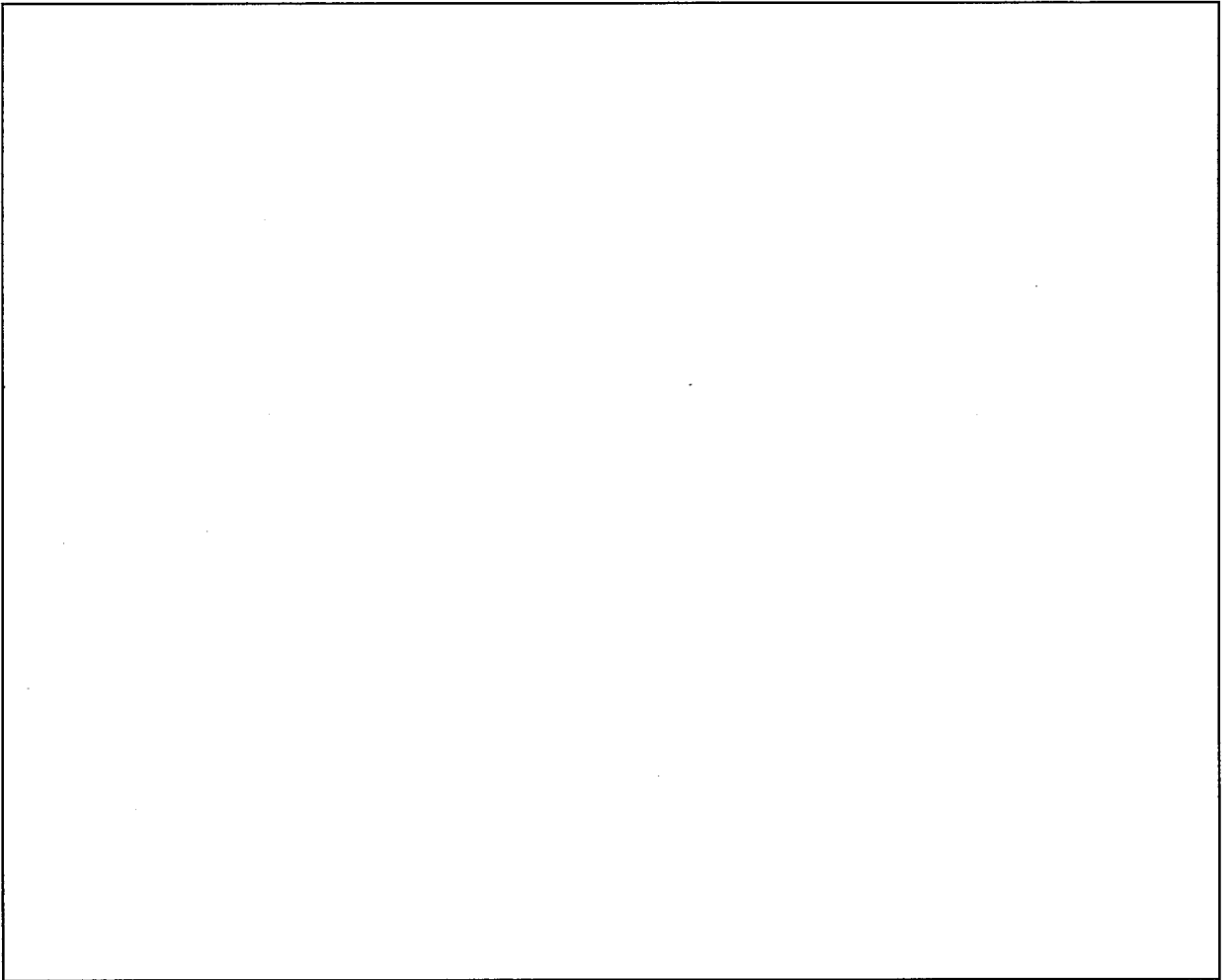
$$F = 1. 15 \times 10^6 \text{ N}$$

よって、斜線部分の断面に作用する圧力 P は、以下のように計算される。

$$P = F / A$$

したがって、

$$P = (□) \text{ MPa}$$



(単位：mm)

(□)－第A. 付 11.1 図 積み重ね試験 (縦置き) における荷重作用範囲の設定

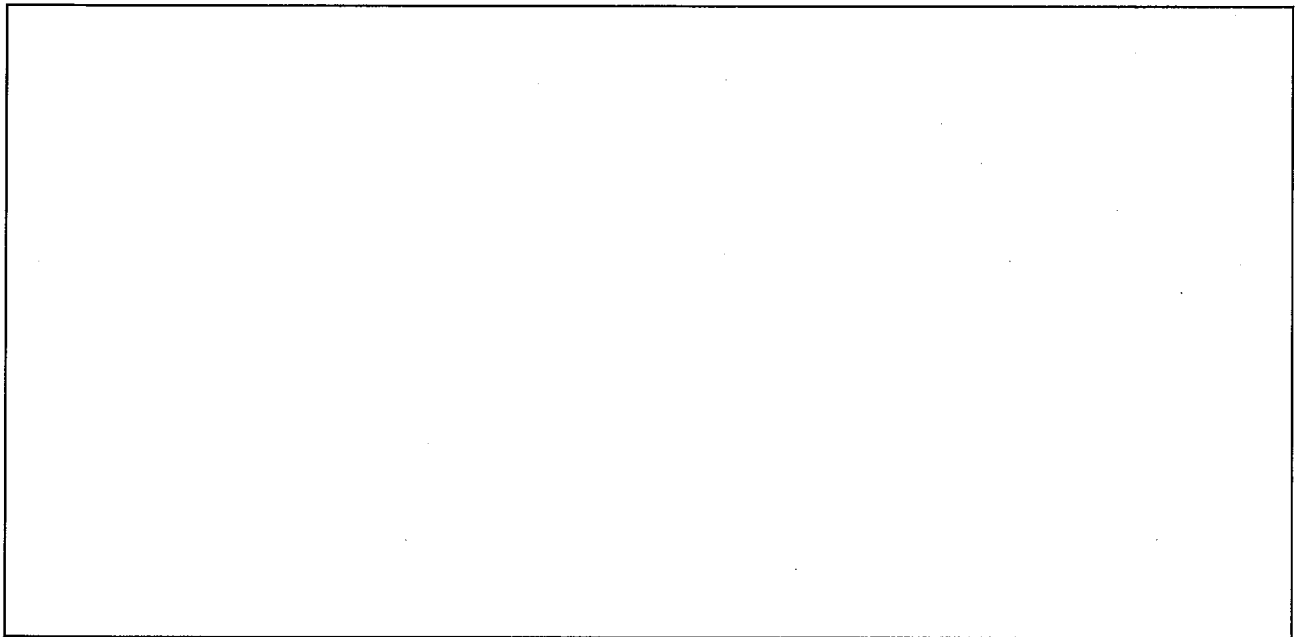
A. 10.2 付属書類-2 に示した 材の物性 (応力-歪関係) によれば、木目に平行な方向の変形時の圧縮応力は MPa 以上であり、上記の圧力 P よりも十分大きい。

したがって、積み重ね (縦置き) における衝撃吸収カバーに有意な変形は生じない。

b. 横置き

横置きの積み重ねの形態を (□)－第A. 付 11.2 図 に示す。

横置きの場合、衝撃吸収カバーが円形であるため、(□)－第A. 付 11.2 図に示すような十分な大きさの受け台に設置されると想定する。



(ロ)－第A.付 11.2 図 積み重ね試験（横置き）における荷重作用範囲の設定

最大荷重が作用する最下段の前部及び後部衝撃吸収カバーには、輸送物 6 個分の荷重が受け台からの反力として作用する。この反力が作用する範囲としては、安全側に(ロ)－第A.付 11.2 図の斜線部分のみと仮定する。

斜線部分の断面積A及び輸送物 6 個分の荷重Fは、以下のように計算される。

$$A=W \times (L_1+L_2)$$

ここで、W : 周方向の断面幅 [mm]

L₁ : 前部衝撃吸収カバーの長さ方向範囲 [mm]

L₂ : 後部衝撃吸収カバーの長さ方向範囲 [mm]

したがって、

$$A = \text{} \text{ mm}^2$$

$$F = 6 \times m \times g$$

ここで、m : 輸送物の全体質量 [19,500 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

したがって、

$$F = 1.15 \times 10^6 \text{ N}$$

よって、斜線部分の断面に作用する圧力Pは、以下のように計算される。

$$P = F/A$$

したがって、

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

A. 10.2 付属書類-2 に示した \square 材の物性（応力-歪関係）によれば、木目に平行な方向の変形時の圧縮応力は \square MPa 以上であり、上記の圧力 P よりも十分大きい。

したがって、積み重ね（横置き）における衝撃吸収カバーに有意な変形は生じない。

(2) 口開き変形

縦置きの状態では、蓋板が上部フランジに押し付けられる方向に荷重が作用するため、口開き変形が生じる可能性はない。したがって、横置きについて以下に示す。

積み重ね試験においては、最大で輸送物 6 個分の荷重が輸送容器に作用する。

この荷重による蓋板ガスケット部の口開き変形に対する影響について、自由落下において輸送容器に作用した荷重（床面からの反力）と比較して検討する。

積み重ね試験の横置きに対応する自由落下の落下姿勢は水平落下であり、A. 5.3 自由落下の解析結果から得られる水平落下時の床面からの反力は、最大で約 \square N である。

一方、積み重ね試験では、輸送容器に作用する最大荷重は、(1) b より 1.15×10^6 N であり、自由落下（水平落下）における反力 約 \square N は、この荷重を大きく上回っている。

したがって、積み重ね試験（横置き）における蓋板ガスケット部の口開き変形は、自由落下（水平落下）の結果に包含され、密封性能に影響はない。（付属書類-10 参照）

A.10.12 付属書類-12 衝撃吸収カバーの外板における貫通の評価

衝撃吸収カバーの外板 (□ mm) を対象に、質量 6 kg、直径 3.2 cm の棒が 1m の高さから落下した場合の貫通の有無について、動的解析コード LS-DYNA を用いて評価する。

(1) 解析モデル

衝撃吸収カバー外板の解析モデルは、側面の外板の板幅に基づいて径が□ mm の円板とする。6 kg の棒は剛体でモデル化し中央に配置する。

なお、衝撃吸収カバー外板に発生する歪を保守的に算定するために、外板材料に与える物性として公称応力と伸びに基づく応力-歪関係を採用する。

解析モデルの寸法及び要素分割図を(□)-第A. 付 12.1 図及び(□)-第A. 付 12.2 図に示す。

(2) 荷重及び境界条件

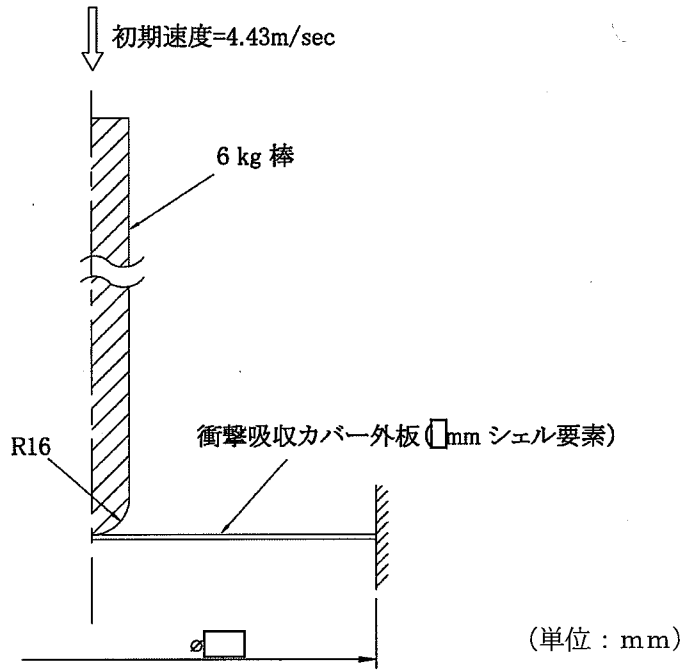
6 kg の質量を有する直径 3.2 cm で先端が半球状の剛体に、落下高さ 1m に相当する初速度 (4.43m/sec) を与え、落下方向以外の変位を拘束する。

衝撃吸収カバー外板である円板は周辺を固定する。

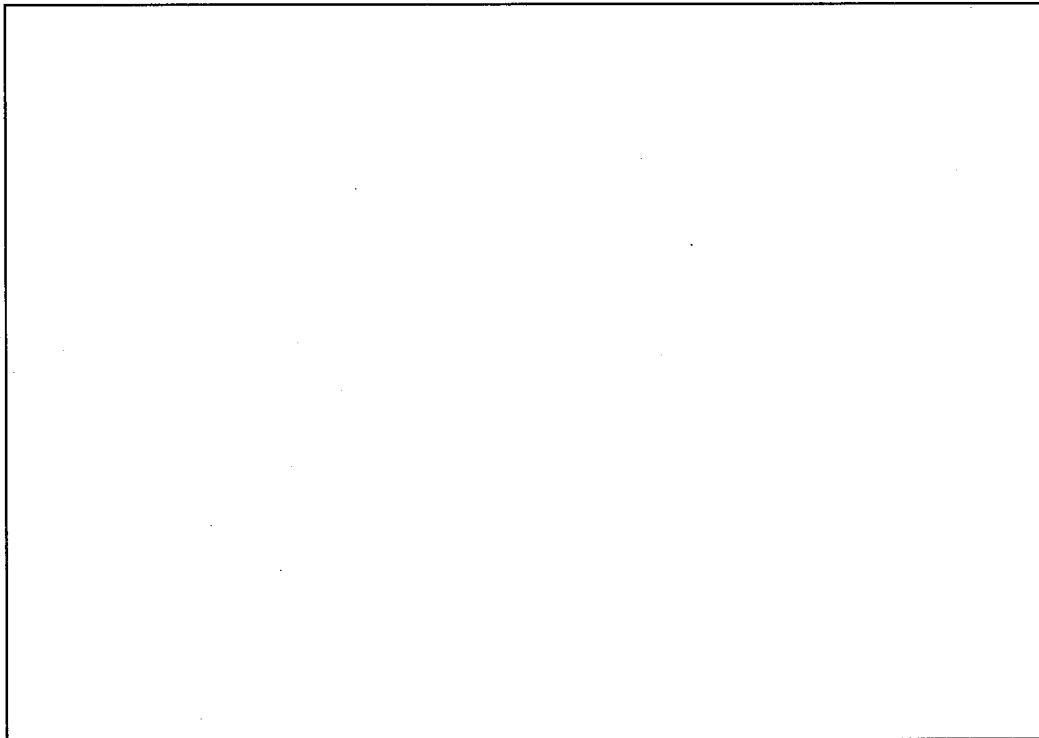
(3) 解析結果

変形図及び塑性歪分布図をそれぞれ(□)-第A. 付 12.3 図及び(□)-第A. 付 12.4 図に示す。

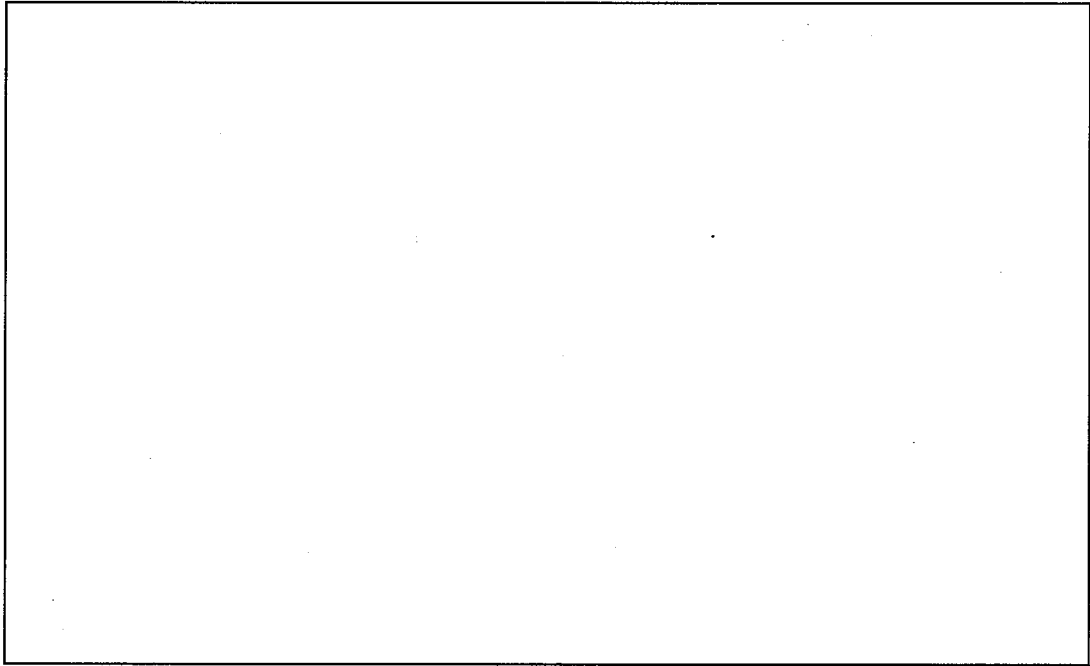
衝撃吸収カバー外板に発生した塑性歪は最大□%で、最小破断伸び (□%) を下回っており、破断して棒が衝撃吸収カバーの外板を貫通することはない。



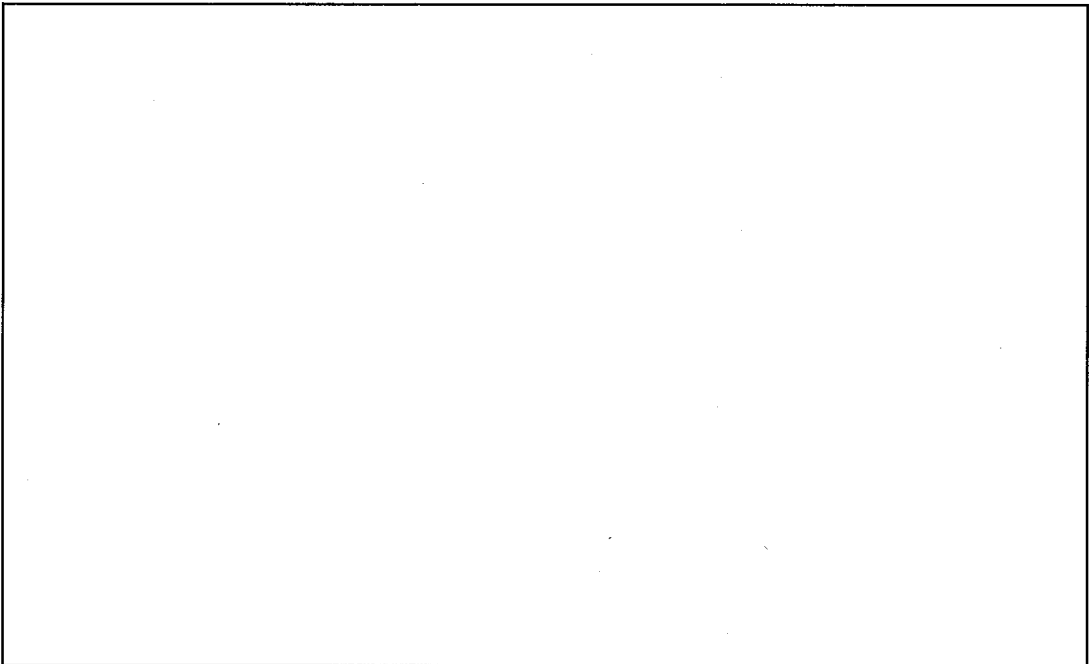
(ア) - 第A. 付 12.1 図 解析モデル寸法図 (貫通)



(ア) - 第A. 付 12.2 図 要素分割図 (貫通)



(p) - 第A. 付 12.3 図 貫通の解析結果 (変形図)



(p) - 第A. 付 12.4 図 貫通の解析結果 (塑性歪分布図)

A. 10.13 付属書類-13 輸送中の輸送容器内圧変化に係る疲労評価

A. 4.4 吊上装置では吊上げ操作における吊上装置、並びに A. 5.1 一般の試験条件の熱的試験では蓋板締付けボルトの疲労強度を評価して、許容繰返し回数が使用予定回数に対して余裕のあることを確認している。

ここでは、輸送中に生じる周囲温度及び外圧の変化に伴う内圧（内外圧力差）の変化を想定して、容器本体各部に生じる応力の変動に対する容器本体部品の疲労強度について評価する。

(1) 想定される温度及び圧力条件

輸送中、周囲温度は規則要件により -40°C から 38°C の範囲で変化するとしており、安全側に太陽放射熱による入熱を考慮すると、輸送容器の温度は -40°C から 70°C の間で変化する。

また、外圧については、大気圧は安全側に MPa 絶対圧から MPa 絶対圧の範囲で変化するとしており、さらに、規則要件である 60 kPa に低下することを考慮すると、 0.060 MPa 絶対圧から MPa 絶対圧の間で変化する。

上記した輸送中に想定される輸送容器温度及び外圧の範囲をまとめると (p) - 第 A. 付 13.1 表 のようになる。

(p) - 第 A. 付 13.1 表 輸送中に想定される輸送容器温度及び外圧の範囲

	上限	下限
輸送容器温度 (°C)	70	-40
外圧 (MPa 絶対圧)	<input type="text"/>	0.060

(2) 最大の内外圧力差

A. 4.6 圧力に示すように、輸送中の内圧は輸送容器の温度の変化に応じて、外圧を上回る場合と下回る場合がある。内外圧力差は、前者では輸送容器の温度が 70°C 、後者は輸送容器温度が -40°C において最大となる。

内外圧力差は基準とする初期温度によって異なるが、ここでは輸送中の変化を対象としていることから、内圧が外圧を上回る場合と下回る場合のいずれについても、同じ基準温度として常温の 20°C を仮定する。

最大の内外圧力差とその時の温度及び圧力条件を (p) - 第 A. 付 13.2 表 に示す。

(p)－第A. 付 13.2 表 温度及び圧力条件と最大の内外圧力差

	基準温度 (°C)	温度及び圧力条件			最大の 内外圧力差 (MPa)
		輸送容器 温度 (°C)	内圧 (MPa)	外圧 (MPa)	
内圧が外圧を 上回る場合	20	70	<input type="text"/> ¹⁾	0.060	<input type="text"/>
内圧が外圧を 下回る場合		-40	<input type="text"/> ²⁾	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注 1) (p)－B 熱解析 B. 4. 4 に記載の最大内圧

注 2) A. 10. 7 付属書類－7 に記載の基準温度が 20°C の場合の最小内圧

(3) 容器本体各部に発生する最大応力

A. 10. 7 付属書類－7 では、前項に示した最大の内外圧力差を以下のように安全側に仮定して、内圧が外圧を上回る場合と内圧が外圧を下回る場合における容器本体各部の最大応力を評価している。(p)－第A. 付 13. 3 表にそれぞれの場合の容器本体各部の最大応力を示す。

- ・ 内圧が外圧を上回る場合： MPa
- ・ 内圧が外圧を下回る場合： MPa

(4) 各構成材料に作用する最大の応力振幅

繰返しピーク応力強さの算定に用いる応力振幅は、前項における最大応力のうち、蓋板締付けボルトを除いて、内圧が外圧を上回る場合を正、内圧が外圧を下回る場合を負と見なして、その中央値からの振れ幅とする。

蓋板締付けボルトについては、常に初期締付け力が作用していることから、いずれも正として、その中央値からの振れ幅とする。

容器本体部品の材料ごとに、最大の応力振幅を求めると、(p)－第A. 付 13. 4 表のようになる。

(ロ)一第A.付13.3表 輸送中に容器本体各部に発生する最大応力

材料	評価位置 ¹⁾		応力強さ (MPa)	
			内圧が外圧を上回る場合	内圧が外圧を下回る場合
チタン合金	蓋板	①	[Blank Box]	[Blank Box]
		②		
[Blank Box]ステンレス鋼	胴外板	③		
		④		
		⑤		
	内筒	⑥		
		⑦		
		⑧		
	胴ガセット	⑨		
		⑩		
		⑪		
	底板	⑫		
		⑬		
合金鋼	蓋板締付けボルト			

注1) 評価位置は、(ロ)一第A.付7.7図参照

(ロ)一第A.付13.4表 各材料に作用する最大の応力振幅

材料	最大応力振幅 (MPa)	部品/評価位置
チタン合金	[Blank Box]	蓋板/②
[Blank Box]ステンレス鋼	[Blank Box]	内筒/⑧
合金鋼	[Blank Box]	蓋板締付けボルト

(5) 疲労評価

(ロ) 一第A. 付 13.4 表に示した応力振幅を用いて、容器本体部品を構成する材料である、チタン合金、ステンレス鋼及び合金鋼について、輸送中に想定される繰返しピーク応力強さを算定し、許容繰返し回数を求める。

なお、蓋板の材料であるチタン合金()に対する設計疲れ線図が ASME 規格には掲載されていないため、金属材料技術研究所の材料データシート^[13]を参照する。

a. チタン合金

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (E_o / E_t)$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力振幅 [MPa]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)]

E_o : 試験温度 (室温) における縦弾性係数 [MPa (20°C)]

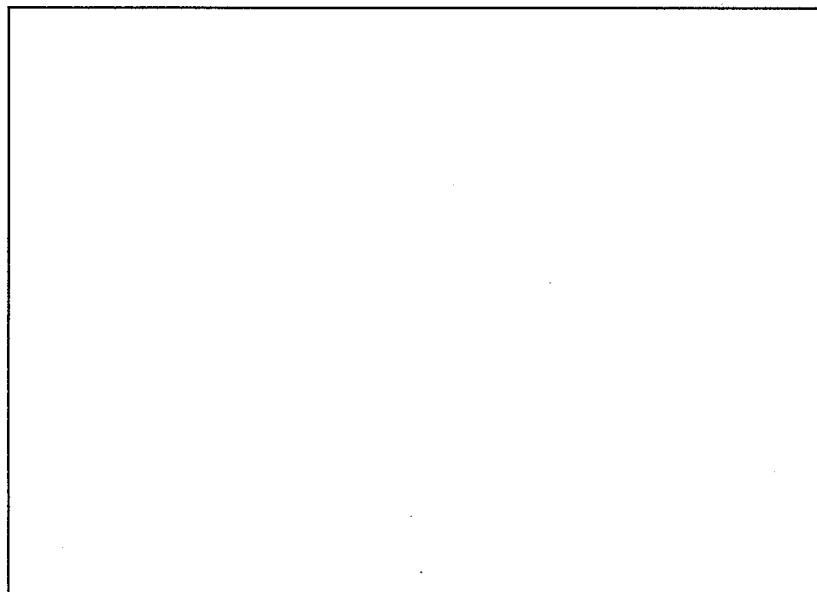
E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

(ロ) 一第A. 付 13.1 図に示すチタン合金の疲労特性 (S-N 図) によると、繰返し回数が 10^8 回における応力振幅は MPa 以上を示していることから、繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は 10^8 回以上となる。



(ロ) 一第A. 付 13.1 図 チタン合金の疲労特性 (S-N 図)

b. ステンレス鋼

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (1.95 \times 10^5 / E_t)$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力振幅 [MPa]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa(70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A付. 1.1 図に示すオーステナイトステンレス鋼の設計疲れ線図によると、93.7 MPa 以下の繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は、線図の最大値である 10^{11} 回以上を示している。

c. 合金鋼

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t)$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力振幅 [MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa(70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A付. 1.2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図によると、93 MPa 以下の繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は、線図の最大値である 10^6 回以上を示している。

一方、繰返し回数としては、使用予定年数 (50 年) の期間、一日に 1 回内圧 (内外圧差) が変動すると想定すると、 2×10^4 回 (1 回 \times 365 日 \times 50 年 $= 1.8 \times 10^4$ 回を包含する回数) となる。

上記の評価結果から、容器本体部品の材料であるチタン合金、ステンレス鋼及び合金鋼の許容繰返し回数は、繰返し回数を上回っている。したがって、輸送中に生じる周囲温度及び外圧の変化に対して、容器本体は十分な疲労強度を有しており、疲労により密封境界を構成する容器本体各部品の健全性が損なわれることはない。

A.10.14 付属書類-14 参考文献

- [1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SECII, Part D (2019)
- [2] “伝熱工学資料 改訂第5版” (社) 日本機械学会 (2009)
- [3] Titanium Metals Corporation, TIMETAL 6-4 技術データ (1998)
- [4] Industeel 社 (ArcelorMittal group) NUCL 18-10 B4 技術データ (2011)
- [5] NF EN 10088-1 Stainless steel - Part 1: 2014-12
- [6] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SECIII, Div.1 NB (2019)
- [7] “チタン合金の低温における変形、破壊特性” 鉄と鋼 第75年(1989)第5号
- [8] “複合材料技術集成” 産業技術センター (1976)
- [9] “木材工業ハンドブック 改訂3版” 林業試験場監修 (1982)
- [10] クレーン構造規格 (平成15年厚生労働省告示第399号) (2003)
- [11] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SECIII, Div.1 Appendices (2019)
- [12] “ジルカロイ被覆管に関するデータ集” 神戸製鋼技報 Vol.20 No.2 April, 1970
- [13] “金属材料技術研究所疲労データシート チタン合金
 の疲労特性データシート” 科学技術庁 金属材料研究所 (2000)

(口) - B 熱解析

(ロ)－B 熱解析

B.1 概要

本輸送物の熱設計上の特徴を以下に示す。

- (a) 収納物は新燃料集合体及び収納缶であり、新燃料集合体の崩壊熱は微小であるため無視できる。また、収納缶は発熱しない。
- (b) 輸送物への入熱は、輸送物外面への太陽放射熱と核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における火災時の熱である。
- (c) 輸送物外表面の熱は、伝導により容器本体内面に伝えられる。
- (d) 容器本体内面の熱は、伝導と放射によりバスケット及びバスケットのロジメント内面に伝えられる。
- (e) バスケットのロジメント内面の熱は、伝導と放射で収納物（収納缶及び燃料集合体）に伝えられるが、燃料集合体の発熱は無視できること及び収納缶は発熱しないことから、燃料集合体の温度はバスケットの最高温度以上に高くない。したがって、燃料集合体の最高温度はバスケットの最高温度で代表する。
- (f) 胴外板及び衝撃吸収カバー外板には、火災時の熱で発生するガスによる内圧上昇を防止するために可融栓を設けている。
- (g) 本輸送物は、横置き状態で輸送される。

本解析では、本輸送物に対して保守的な評価となるように、太陽放射による入熱があるものと仮定して、一般の試験条件における輸送物各部の温度を求める。

また、特別の試験条件における輸送物各部の温度を求め、構成部品に与える影響を評価し、臨界解析の前提となる条件を示す。

各解析項目における諸条件及び解析方法を(ロ)－第B.1表に示す。

(p) - 第B.1表 解析条件及び解析方法

	解 析 条 件			解 析 方 法		
	収納物の 発熱量	周囲温度	太陽放射熱	周囲放射率	使用コード等	計算モデル
1. 輸送物温度						
(1) 一般の試験条件	0 kW	38°C	あり	1.0	簡易解法	—
(2) 核分裂性輸送物に係る 特別の試験条件						
a. 火災前	0 kW	38°C	あり	1.0	ABAQUS	<ul style="list-style-type: none"> ・スライスモデル ・軸対称モデル
b. 火災中	0 kW	800°C (30分間)	あり	0.9		
c. 火災後	0 kW	38°C	あり	1.0		
2. 最大内圧						
(1) 一般の試験条件	一般の試験条件における内部気体温度				(p) - B. 4. 4 参照	—
(2) 核分裂性輸送物に係る 特別の試験条件	特別の試験条件における内部気体温度				(p) - B. 5. 4 参照	—
3. 最大熱応力						
(1) 一般の試験条件	一般の試験条件における最高温度				(p) - A. 5. 1 参照	
(2) 核分裂性輸送物に係る 特別の試験条件	特別の試験条件における温度分布				(p) - A. 9. 2 参照	

B.2 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料のうち、熱解析で用いる材料の熱的性質を(Ⅾ)－第B.2表に示す。

B.3 構成要素の仕様

使用温度条件により、その性能が影響を受ける主な構成要素の材料の仕様及び使用可能温度範囲を以下に示す。

(1) レジジン

・使用可能温度範囲^[1] :

(2) ガスケット (EPDM)

・使用可能温度範囲^[2] : $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$

(ロ) 第B.2表 材料物性 (1/4)

材 料	部 品	熱伝導率 (温度) (W/m・K) (°C)	比 熱 (温度) (J/kg・K) (°C)	密 度 (10 ³ kg/m ³)	放射率 ¹⁾	太陽光吸収率 ¹⁾
[3] [4] ステンレス鋼	内筒 胴ガセット 胴外板 上部フランジ 底板			7.8		
[3] [4] ステンレス鋼	衝撃吸収カバ― 外板・ <input type="text"/> 蓋部レジンカバ― 断熱カバ― 底部レジンカバ―			7.9		

注1) 衝撃吸収カバ―外板 (外表面) については、火災中のみ0.8とする。

(F) - 第B.2表 材料物性 (2/4)

材 料	部 品	熱伝導率 (温度) (W/m・K) (°C)	比 熱 (温度) (J/kg・K) (°C)	密 度 (10 ³ kg/m ³)	放射率	太陽光吸収率
チタン合金 [5] [6]	蓋板	[]	[]	4.42	[]	—
[5]	[]プレート			[]	—	—
[] ジン [1]	胴部レジン 蓋部レジン 底部レジン				—	—
[]材 [7]	緩衝材				—	—
塗 装 [4]	胴外板外表面			—	—	[] [火災前] 0.8 [火災中] [] [火災後]

(ロ) 第一B.2表 材料物性 (3/4)

材 料	部 品	熱伝導率 (温度) (W/m·K) (°C)	比 熱 (温度) (J/kg·K) (°C)	密 度 (10 ³ kg/m ³)	放射率	太陽光吸収率
ボロン入り ステンレス鋼 [4] [8]	ロジメント (バスケット)	[]	[]	7.8	[]	—
[3] [4] アルミニウム合金	[] (バスケット)			2.78		—
[3] アルミニウム合金	アルミスペーサー (バスケット)			2.70		—
[4] [9] アルミニウム合金	追加遮蔽板 (バスケット)			2.84		—

(甲) - 第B.2表 材料物性 (4/4)

材料	温度 (°C)	密度 (kg/m ³)	熱伝導率 (W/m·K)	比熱 (kJ/kg·K)	動粘性係数 (mm ² /s)	フランドル数 (—)
空 気 ^[10]	27	1.1763	0.02614	1.007	15.83	0.717
	127	0.8818	0.03305	1.015	26.39	0.715
	227	0.7053	0.03951	1.031	38.58	0.710
	327	0.5878	0.0456	1.052	52.36	0.710
	427	0.5038	0.0513	1.076	67.7	0.715
	527	0.4408	0.0569	1.099	84.5	0.719
	627	0.3918	0.0625	1.122	102.7	0.722
	727	0.3527	0.0672	1.142	122.1	0.732
	827	0.3206	0.0717	1.160	143.0	0.742

B.4 一般の試験条件

一般の試験条件下における輸送物の温度について、安全側に輸送物は「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」（以下、「告示」という。）の別記第四の太陽放射熱の条件（BM型輸送物に係る一般の試験条件）下にあるものとする。

B.4.1 熱解析モデル

本輸送物の収納物の崩壊熱は微小であるため、解析では、収納物からの発熱を無視する。

したがって、一般の試験条件下における本輸送物の温度上昇は、環境温度 38℃において太陽放射熱の入熱によるものである。

本解析では、本輸送物への入熱は太陽放射熱、放熱は自然対流と周囲への放射とし、入熱と放熱が平衡となる定常状態の輸送物表面温度を簡易計算により求める。

B.4.1.1 解析モデル

(1) 形状モデル

輸送物の表面となる本体側面は円筒形をしているため、形状モデルは水平に置かれた円筒とする。

(2) 熱的条件

解析に使用した一般の試験条件下の熱的条件を (p)－第B.3表 に示す。

B.4.1.2 試験モデル

試験モデルは採用しない。

(p)-第B.3表 一般の試験条件下の熱的条件

項 目		条 件	
		最高温度評価条件	最低温度評価条件
崩 壊 熱 (W)		0	0
環 境 条 件	周 围 温 度 (°C)	静止空気 38	静止空気 -40
	太陽放射熱 (W/m ²)	400 ¹⁾	0
	周囲放射率	1.0	1.0
輸 送 物 表 面	放射率 ²⁾	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	太陽光吸収率 ²⁾	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注1) 告示別記第四の「その他の表面」に対する放射熱

注2) 胴外板（塗装面）に比べて入熱量が大きくなる衝撃吸収カバー外板（ステンレス鋼）の値を用いる

B.4.2 最高温度

定常状態における輸送物外表面の熱収支をとることにより、一般の試験条件下における輸送物の最高温度を以下に求める。

流入熱量は太陽からの放射熱のみであるため、輸送物表面温度が最高温度となり、定常状態では輸送物は輸送物表面温度で一様になる。

放出熱量は周囲への放射による放出熱 Q_1 と自然対流による放出熱 Q_2 の和となることから、流入熱量 $Q_{in}=Q_1+Q_2$ となる輸送物表面温度 T (°C) を求める。

(1) 太陽からの放射熱 Q_{in}

$$Q_{in} = 400 \text{ (W/m}^2\text{)} \times a \times A$$

a : 輸送物表面の太陽光吸収率 []

A : 輸送物表面の面積 (m²)

(2) 周囲への放射による放出熱 Q_1

$$Q_1 = A \times \varepsilon \times \sigma \times \{(T+273)^4 - (T_0+273)^4\}$$

ε : 輸送物表面の放射率 []

σ : ステファン・ボルツマン定数 (W/m²·K⁴)

T_0 : 周囲温度 [38 °C]

(3) 自然対流による放出熱 Q_2

水平円筒面の自然対流による熱伝達率は、Schutz の式^[11]により次式のように与えられる。

$$Nu = 0.10 (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (5 \times 10^8 < Gr \cdot Pr < 10^{10})$$

$$= h \cdot d / \lambda \quad : \text{ヌッセルト数}$$

$$Gr = g \cdot \beta \cdot d^3 \cdot \Delta T / \nu^2 \quad : \text{グラスホフ数}$$

$$Pr = \nu / a \quad : \text{プラントル数}$$

ここで、

$$h \quad : \text{水平円筒面の熱伝達率} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

$$d \quad : \text{代表長さ (円筒径)} \quad [\text{ } \text{m}]$$

$$\lambda \quad : \text{空気の熱伝導率} \quad (\text{W/m} \cdot \text{K})$$

$$g \quad : \text{重力加速度} \quad [9.8 \text{ m/s}^2]$$

$$\beta \quad : \text{空気の体膨張係数} \quad 1 / (T_0 + 273) \quad (1/\text{K})$$

$$\Delta T \quad : \text{温度差 (T - T}_0\text{)} \quad (^\circ\text{C})$$

$$\nu \quad : \text{空気の動粘性係数} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$a \quad : \text{空気の熱拡散率} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

上記の空気の物性 (λ 、 ν 、 a) は T_0 と T の平均温度での値を用いる。

自然対流による放出熱 Q_2 は、熱伝達率 h を用いて、次式で与えられる。

$$Q_2 = h \cdot A \cdot \Delta T$$

(4) 輸送物表面温度 T の計算

$Q_{in} = Q_1 + Q_2$ となるように収束計算によって輸送物表面温度 T を求める。

計算の結果、 $T = \text{ } ^\circ\text{C}$ が得られた。

これにより、本輸送物の最高温度を 70°C とする。

B.4.3 最低温度

太陽放射熱がなく、 -40°C の静止空気中での輸送容器各部の温度は、収納物の崩壊熱が微小で無視できるため一様に -40°C となる。

この温度は、本輸送物に使用しているガスケット (EPDM) の使用可能温度範囲内にあり、また、主要材料であるステンレス鋼、チタン合金、レジン、アルミニウム合金は、 -40°C において脆化することはない。

また、本輸送物は冷却水を用いない乾式タイプであり、凍結により本輸送物が破損するおそれはない。

したがって、本輸送容器の健全性は維持される。

B.4.4 最大内圧

本輸送物の収納物は、使用済み燃料プールに保管されていた未使用の燃料集合体であり、燃料表面の洗浄後、付着水を除去する処置を施したうえで、収納缶に梱包され輸送容器へ収納する。ここでは、付着水を除去する処置及び収納缶への梱包する効果は無視し、安全側に飽和水蒸気により圧力が増加するとして最大内圧を求める。

一般の試験条件における最大内圧 (P) は以下ようになる。

$$P = P_0 \times \frac{T}{T_0} + P_v$$

ここで、 P_0 : 輸送時初期圧力 [MPa 絶対圧¹⁾]

T_0 : 内部気体初期温度 [293K]

T : 一般の試験条件における内部気体温度 (K)

P_v : 一般の試験条件における内部気体温度の飽和水蒸気圧 (MPa)

一般の試験条件における内部気体温度は、B.4.2の結果に示すように 70°C (343K)である。

したがって、

$$P = \text{} \times \frac{343}{293} + 0.0312 \text{ (70}^{\circ}\text{Cの飽和水蒸気圧^[5])} = \text{} \text{ MPa 絶対圧}$$

となる。

B.4.5 最大熱応力

一般の試験条件下における熱応力は、(p) - A構造解析のA.5.1に示すように基準値を下回っており、構造強度に影響を与えることはない。

注 1) 大気圧の変動を考慮して安全側に設定した。

B.4.6 結果の要約及びその評価

(1) 最高温度

一般の試験条件において、輸送物の最高温度は70℃である。

この温度は輸送容器構成部品の使用可能温度範囲内であり、輸送容器の健全性が損なわれることはない。

(2) 最低温度

輸送物の最低温度は-40℃である。この温度は輸送容器構成部品の使用可能温度範囲内であり、輸送容器の健全性が損なわれることはない。

(3) 最大内圧

最大内圧は□ MPa 絶対圧である。この圧力をもとに、構造解析では内外圧力差を安全側に□ MPa として評価を行っている。(□) - A 構造解析の A.5.1 に示すように発生応力は基準値を下回っており、輸送容器の構造健全性が損なわれることはない。

(4) 最大熱応力

一般の試験条件下における熱応力は、(□) - A 構造解析の A.5.1 に示すように基準値を下回っており、輸送容器の構造健全性が損なわれることはない。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

本輸送物はA型核分裂性輸送物であり、ここでは、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件のための評価を行う。

特別の試験条件における輸送物の温度は、解析コード ABAQUS を用いた非定常熱伝導解析により算出する。

B.5.1.1 解析モデル


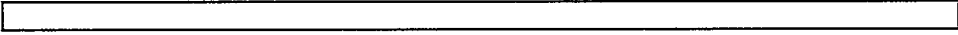
(1) 形状モデル

輸送物の解析モデルは、以下の2つのモデルを用いる。

- ・ 横断面形状を反映したモデル（スライスモデル）
- ・ 軸方向断面形状を反映したモデル（軸対称モデル）

なお、各解析モデルでは、輸送容器の温度に対して保守的な条件となるように、収納物（燃料集合体及び収納缶）の熱容量を無視すべく、収納物はモデル化しない。

a. スライスモデル

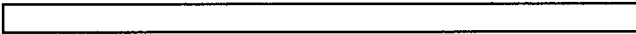

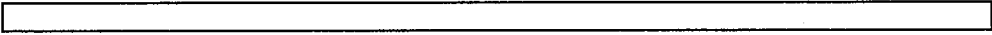
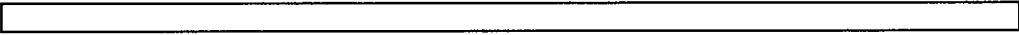

横断面形状を反映したモデルについては、胴部の形状は端面を除いて軸方向に一様であるが、

スライス形状（3次元）とする。解析モデルは、容器外面にあたる胴外板からバスケットのロジメントまでの部品で構成される。

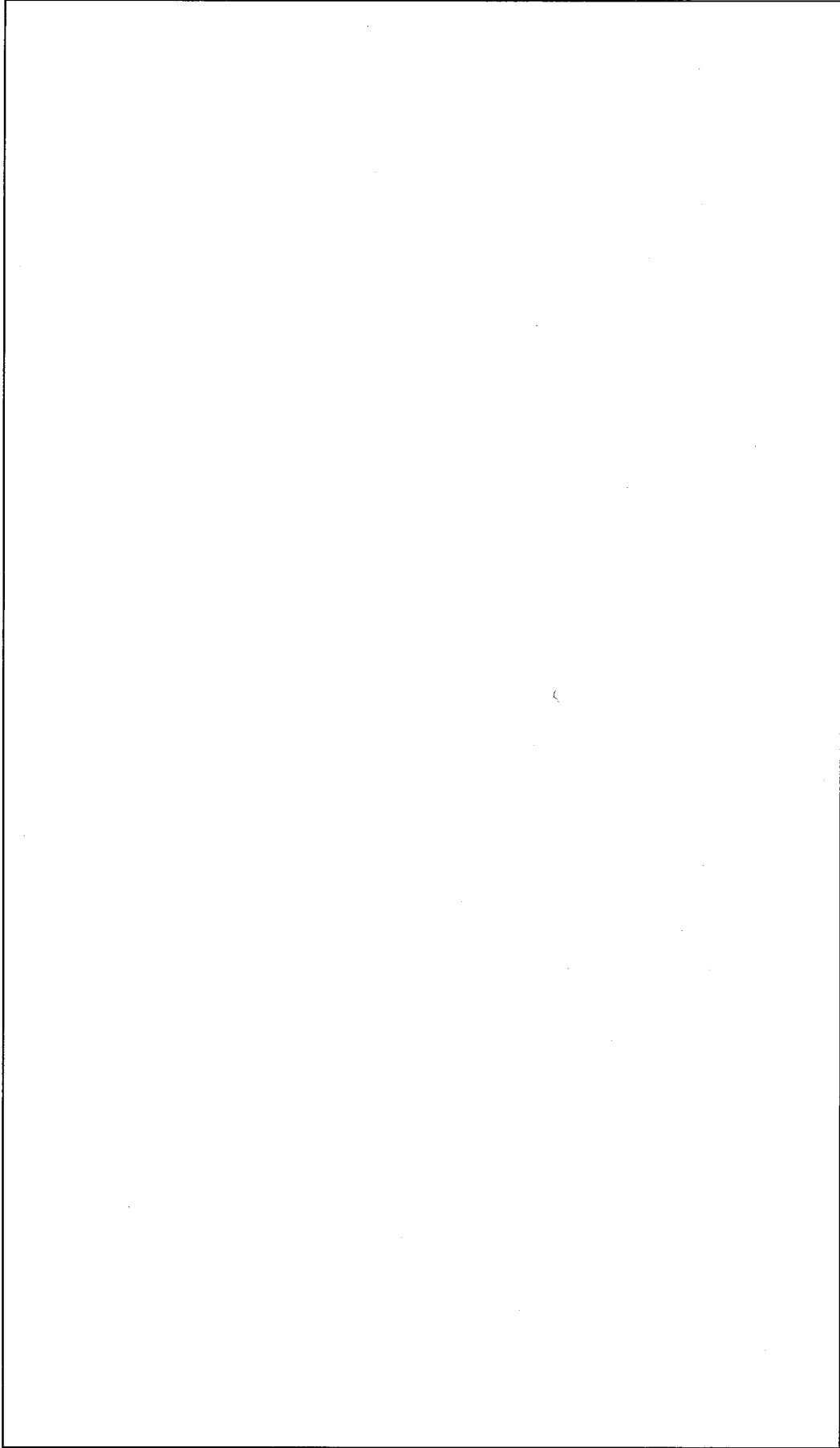
スライスモデルの寸法図及び要素分割図をそれぞれ (p)－第B.1 図 と (p)－第B.2 図 に示す。

なお、(p)－A構造解析のA.9 に示したように、9m落下試験において輸送容器の伝熱形態に影響するような形状変化はなく、1m落下試験においては、一部に破損が生じるが軟鋼棒の直撃部に限定されており、輸送物全体の伝熱形態に有意な影響はないため、スライスモデルに反映する形状変化はない。

b. 軸対称モデル

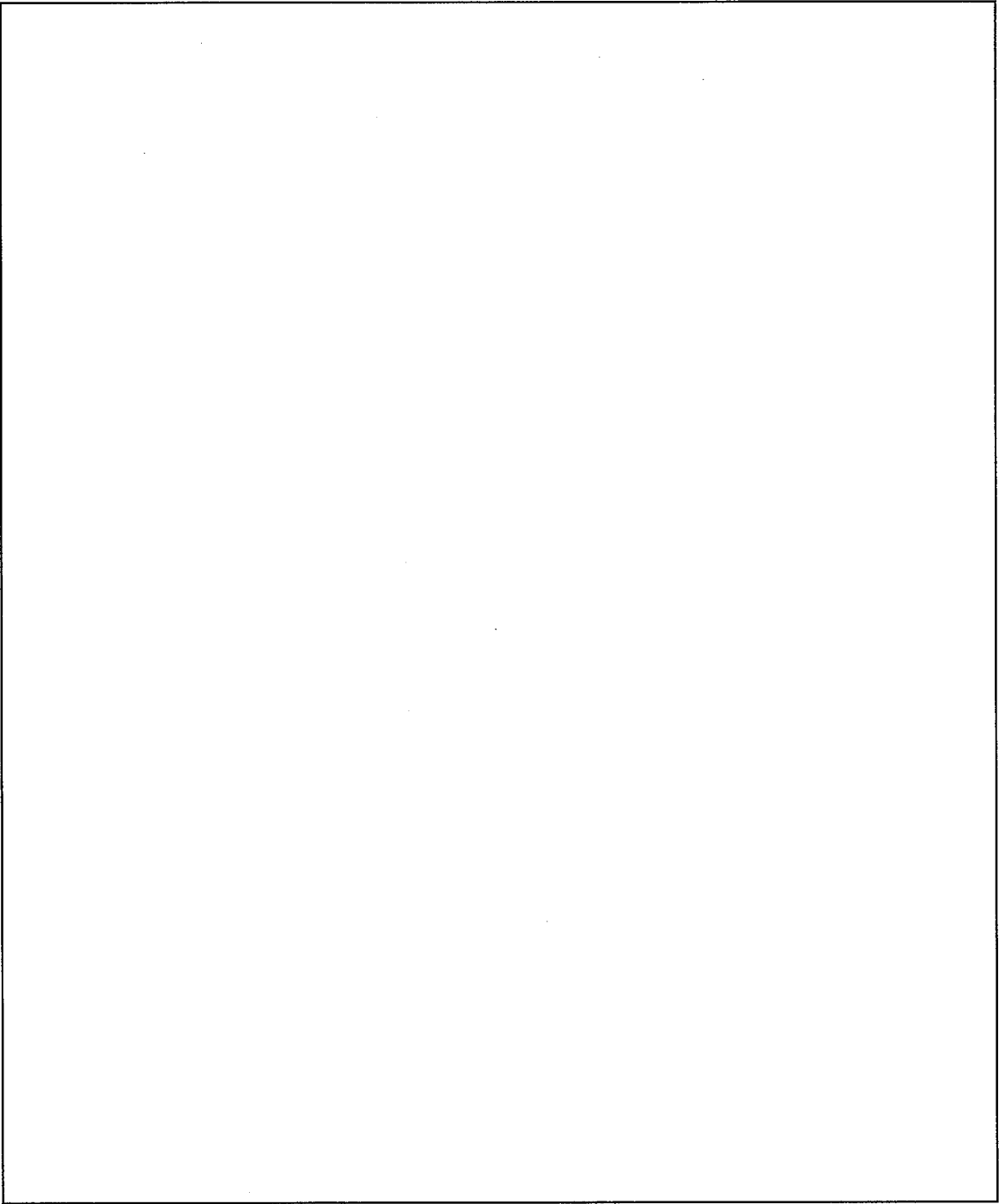
軸方向断面形状を反映したモデルについては、軸対称（2次元）のモデルを用いる。

、周方向に一様ではないため、





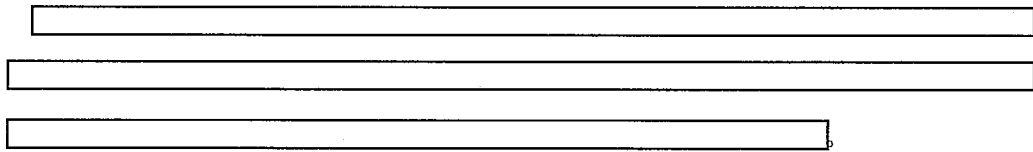



(単位:mm)

(ロ)ー第B.1 図 解析モデル寸法図 (スライスモデル)



(p) - 第B.2図 要素分割図 (スライスモデル)



また、バスケットは 10 個のロジメントを開口面積と板断面積を等価としたひとつの円筒で代表し、、追加遮蔽板、アルミスペーサーを同心円上に配置する。なお、蓋部レジン及び底部レジンは断熱領域とする。

軸対称モデルの寸法図及び要素分割図をそれぞれ (p) ー 第 B. 3 図 と (p) ー 第 B. 4 図 に示す。この軸対称モデルについては、9m 落下試験において衝撃吸収カバーに変形が生じて伝熱の距離が減少することを考慮して、衝撃吸収カバーの変形状態を反映している。

(2) 熱的条件

解析に使用した特別の試験条件下の熱的条件を (p) ー 第 B. 4 表 に示す。

特別の試験条件の解析に適用する境界条件として、構成部品間並びに雰囲気との伝熱形態を (p) ー 第 B. 5 図 及び (p) ー 第 B. 6 図 に示す。

輸送容器外面と周囲への自然対流における対流熱伝達率については、胴外面及び衝撃吸収カバーの円筒面に対して水平円筒、衝撃吸収カバーの端面に対しては垂直平板に関する、以下に示す経験式に基づく値を用いる。

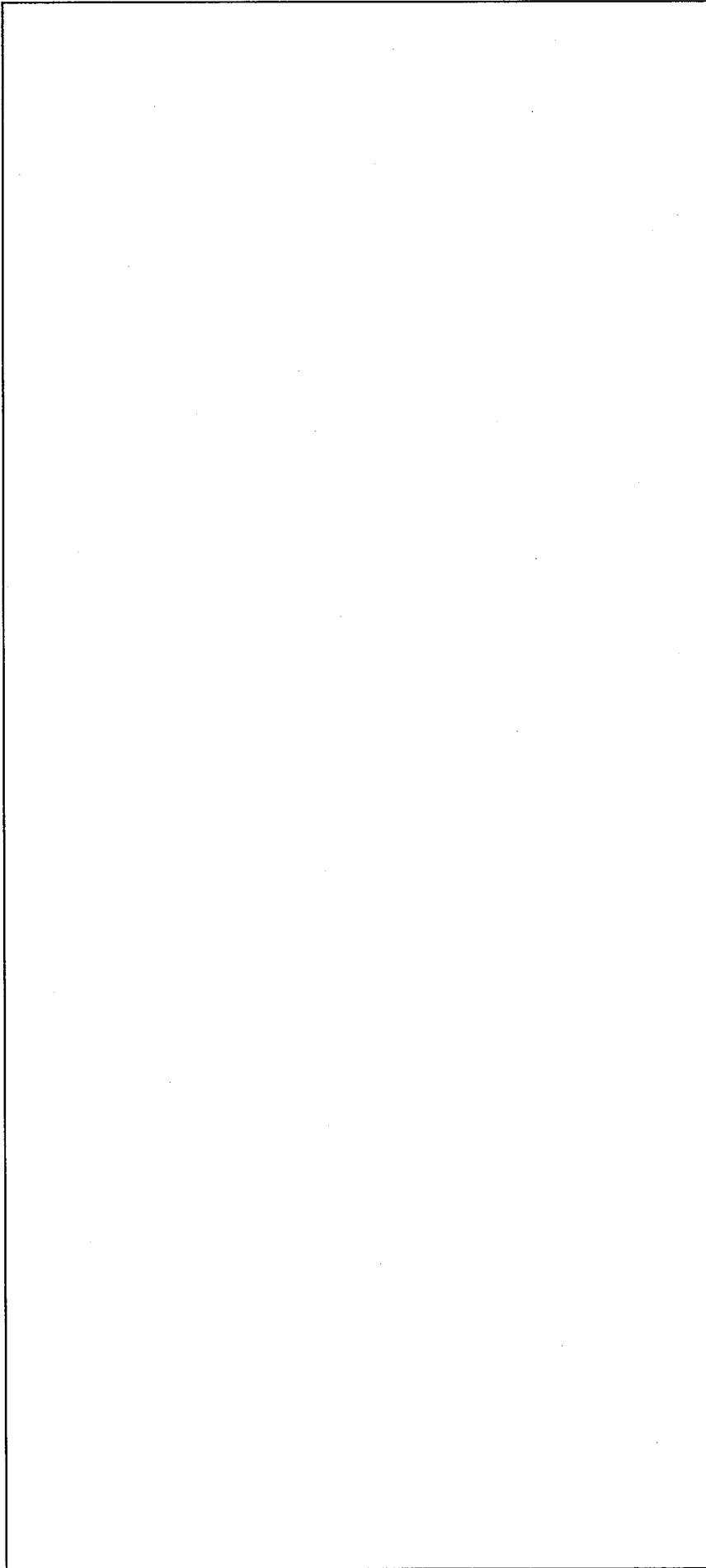
- ・ 水平円筒： (Schutz の式) ^[11] $Nu=0.10 (Gr \cdot Pr)^{1/3} (5 \times 10^8 < Gr \cdot Pr < 10^{10})$
- ・ 垂直平板： (Jakob の式) ^[11] $Nu=0.129 (Gr \cdot Pr)^{1/3} (10^8 < Gr \cdot Pr < 10^{12})$

ここで、Nu：ヌッセルト数、Gr：グラスホフ数、Pr：プラントル数

なお、輸送物の初期温度は、一様に一般の試験条件における最高温度の 70℃ とする。

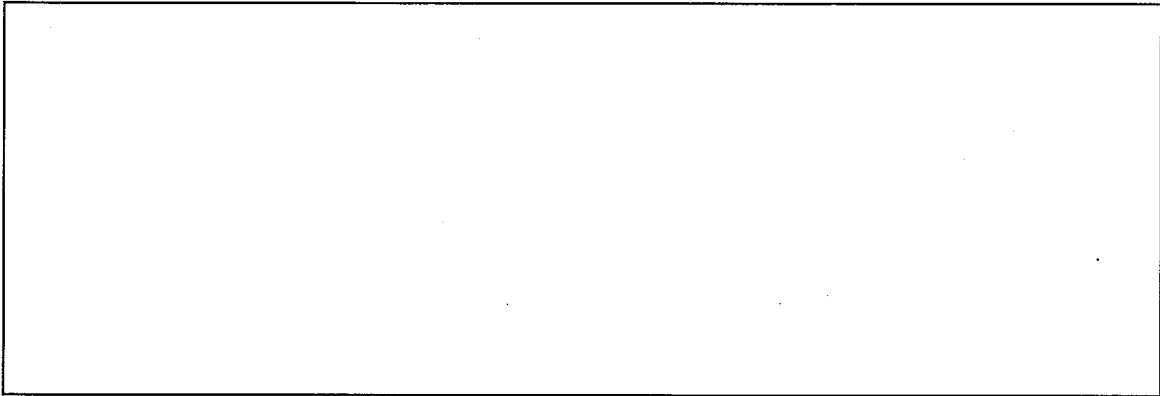
B. 5. 1. 2 試験モデル

試験モデルは採用しない。



(単位:mm)

(ロ)一第B.3図 解析モデル寸法図 (軸対称モデル)



(ロ) - 第B.4図 要素分割図 (軸対称モデル)

(ロ) - 第B.4表 特別の試験条件下の熱的条件

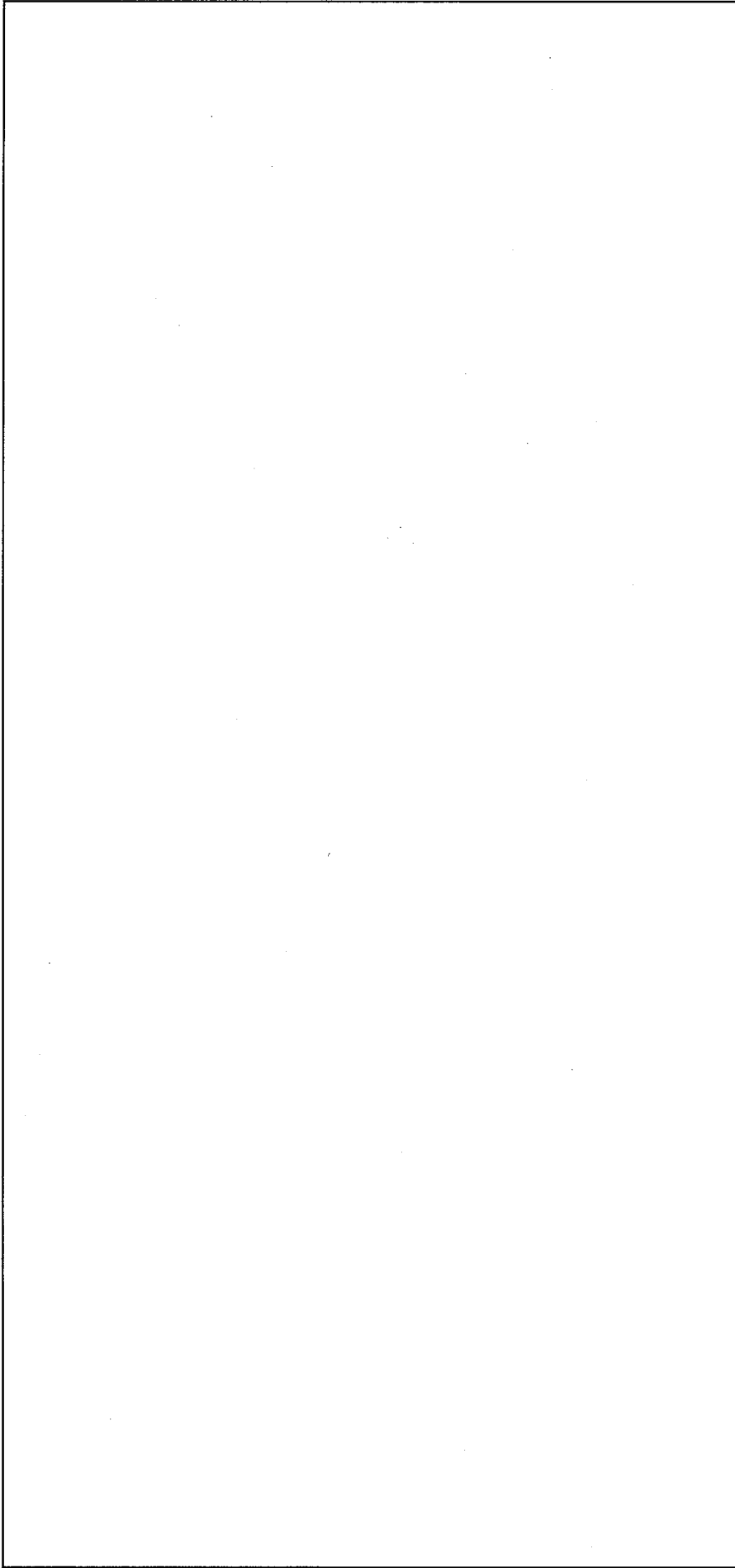
項 目		条 件	
		火災 30 分間	火災後
崩 壊 熱 (W)		0	0
環 境 条 件	周 围 温 度 (°C)	800	静止空気 38
	太 陽 放 射 熱 (W/m ²)	円筒面 : 400 ¹⁾ 垂直面 : 200 ²⁾	円筒面 : 400 ¹⁾ 垂直面 : 200 ²⁾
	周 围 放 射 率	0.9	1.0
輸 送 物 表 面	塗 装 面	放 射 率	[Redacted]
		太 陽 光 吸 收 率	
	ス テ ン レ ス 鋼	放 射 率	
		太 陽 光 吸 收 率	

注 1) 告示別記第四の「その他の表面」に対する放射熱

注 2) 告示別記第四の「垂直に輸送される表面」に対する放射熱



(ロ) 第一B.5図 境界条件 (スライスモデル)



(ロ)一第B.6図 境界条件 (軸対称モデル)

B.5.2 核燃料輸送物の評価条件

(1) 強度試験による輸送物の損傷状態

a. 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の9m落下時

核分裂性輸送物の一般の試験条件の自由落下における衝撃吸収カバーの変形と、本試験による変形の累積を考慮して、衝撃吸収カバーの最大変形量を以下に示す。

ここで、特別の試験条件の熱解析モデル（軸対称モデル）においては、これらの変形を包絡するように、水平方向に□ mm、前部コーナー方向に□ mm、後部コーナー方向に□ mmの変形を考慮した。

衝撃吸収カバーを除く輸送物には、伝熱性能に影響を及ぼすような変形は生じない。

- ・ 前部垂直落下 : □ mm
- ・ 後部垂直落下 : □ mm
- ・ 水平落下 : □ mm (前部) □ mm (後部)
- ・ 前部コーナー落下 : □ mm
- ・ 後部コーナー落下 : □ mm
- ・ 傾斜落下 : □ mm (□)

b. 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の1m落下時

- ・ 前部垂直落下では、前部衝撃吸収カバーに穴があき蓋部レジンのカバーに最大約□ mmのへこみが生じるが局所的である。
- ・ 後部垂直落下では、後部衝撃吸収カバーに穴があき底部レジンのカバーに最大約□ mmのへこみが生じるが局所的である。
- ・ 胴部中央を直撃する水平落下（傾斜落下）では、胴外板と胴ガセットが破断して、最大約□ mmの深さのくぼみが生じるが局所的である。

(2) 熱的性能に与える影響

9m落下時について、衝撃吸収カバーの最大変形量が解析モデルに考慮されている。

1m落下時について、変形は軟鋼棒が直撃する部位に限定されている。前部及び後部垂直落下では衝撃吸収カバーに穴があくが局所的であり断熱効果に大きな変化はない。また、胴部を直撃する水平落下では、軟鋼棒の直撃部の胴外板が破断してレジンの一部露出する可能性があるが、□、輸送物全体の伝熱形態に影響は与えない。

B.5.3 核燃料輸送物温度

特別の試験条件における輸送物各部の最高温度を火災発生からの経過時間とともに(□)一第B.5表に示す。

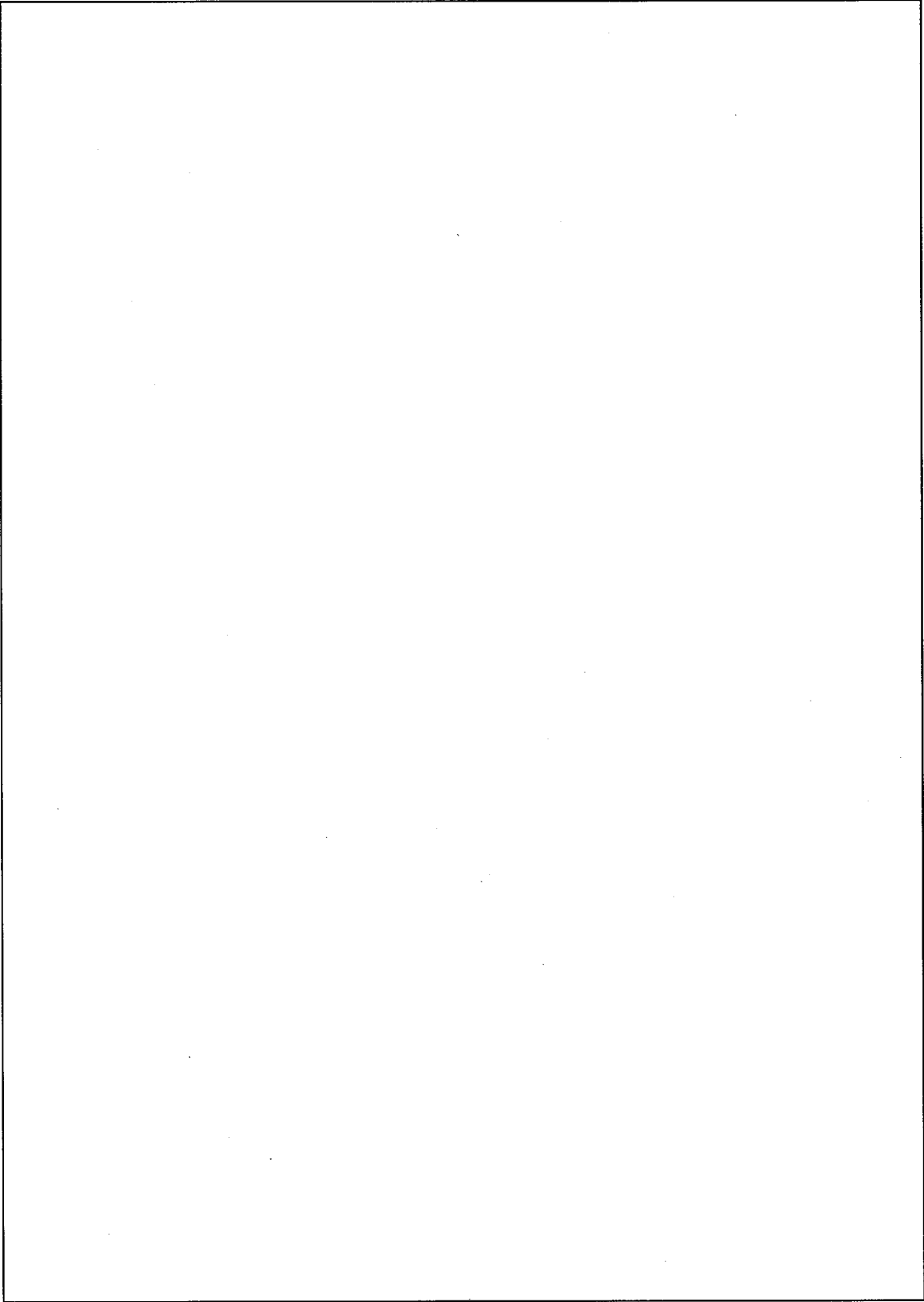
輸送物外面の温度が最大となる火災発生 30 分後の輸送容器の温度分布を(□)一第B.7図及び(□)一第B.8図に示す。また、輸送容器各部の温度時刻歴を(□)一第B.9図及び(□)一第B.10図に示す。

蓋板ガスケット部を含む蓋板の最高温度は□℃で、ガスケット (EPDM) の使用可能温度 150℃を下回っている。

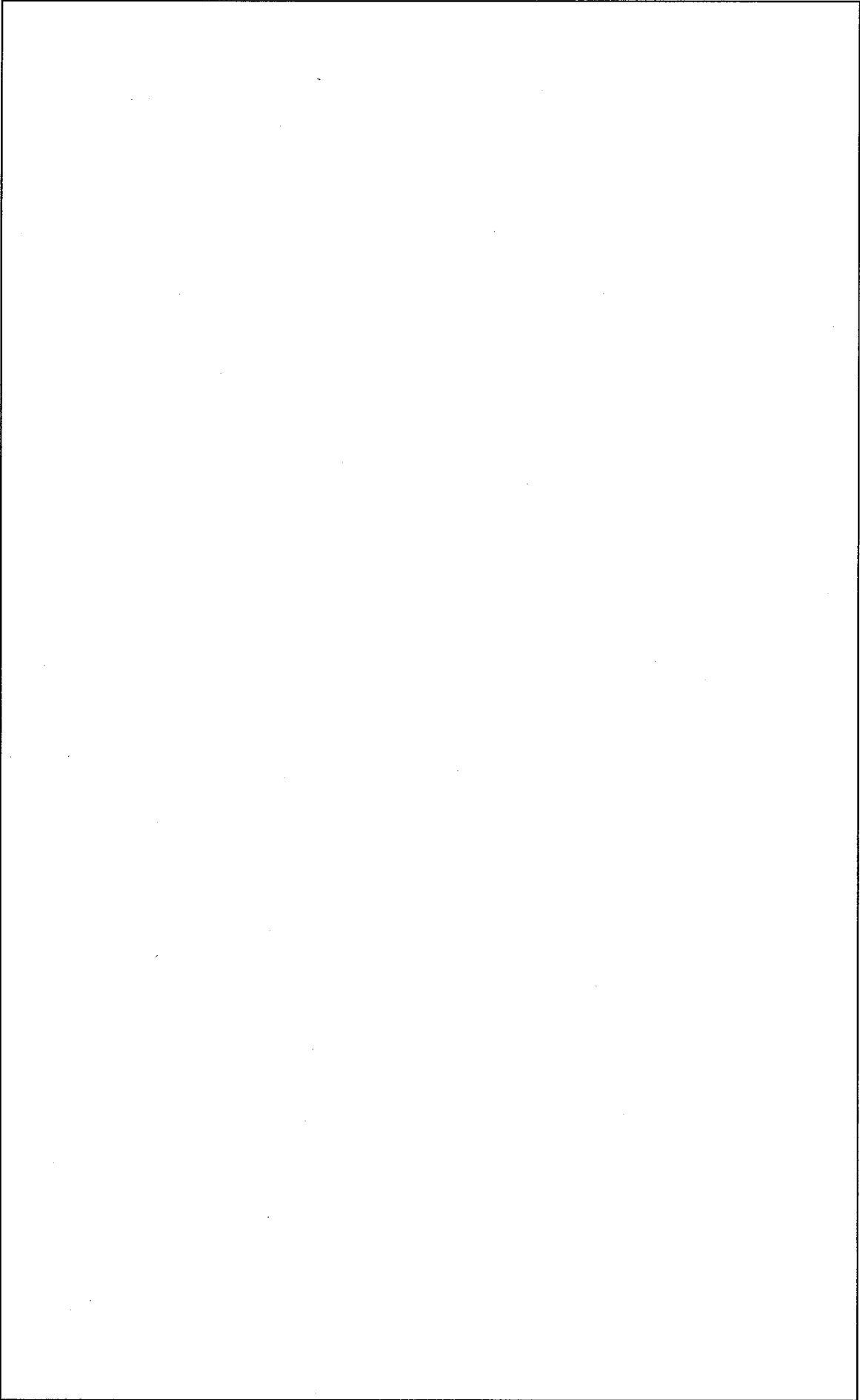
(□)一第B.5表 輸送物各部の最高温度

容器部位	温度 ¹⁾ (°C)
胴部外面	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
胴部内面	
蓋板	
上部フランジ	
底板	
バスケット外面	
ロジメント	
□	

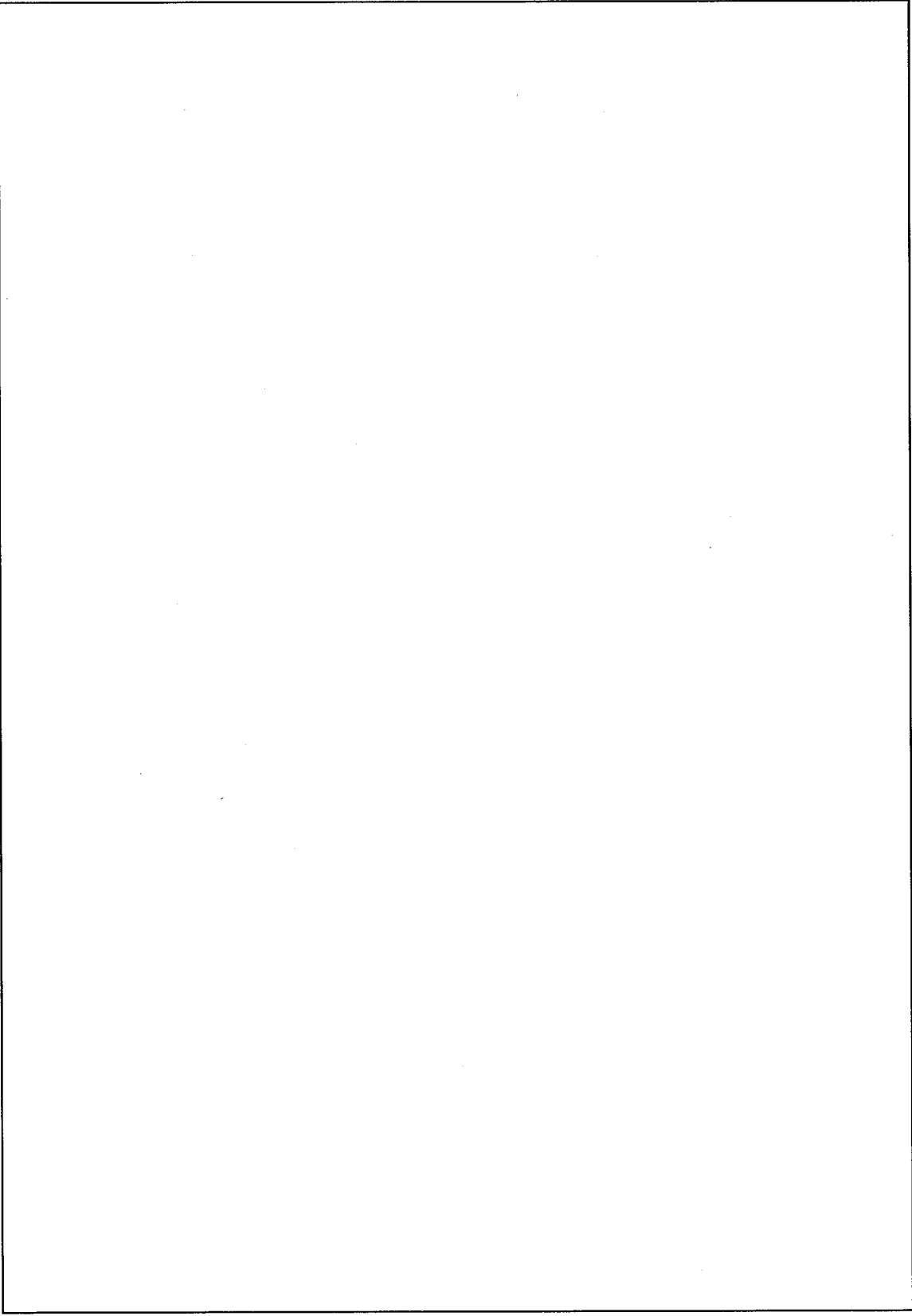
注 1) 括弧内は火災発生後の経過時間



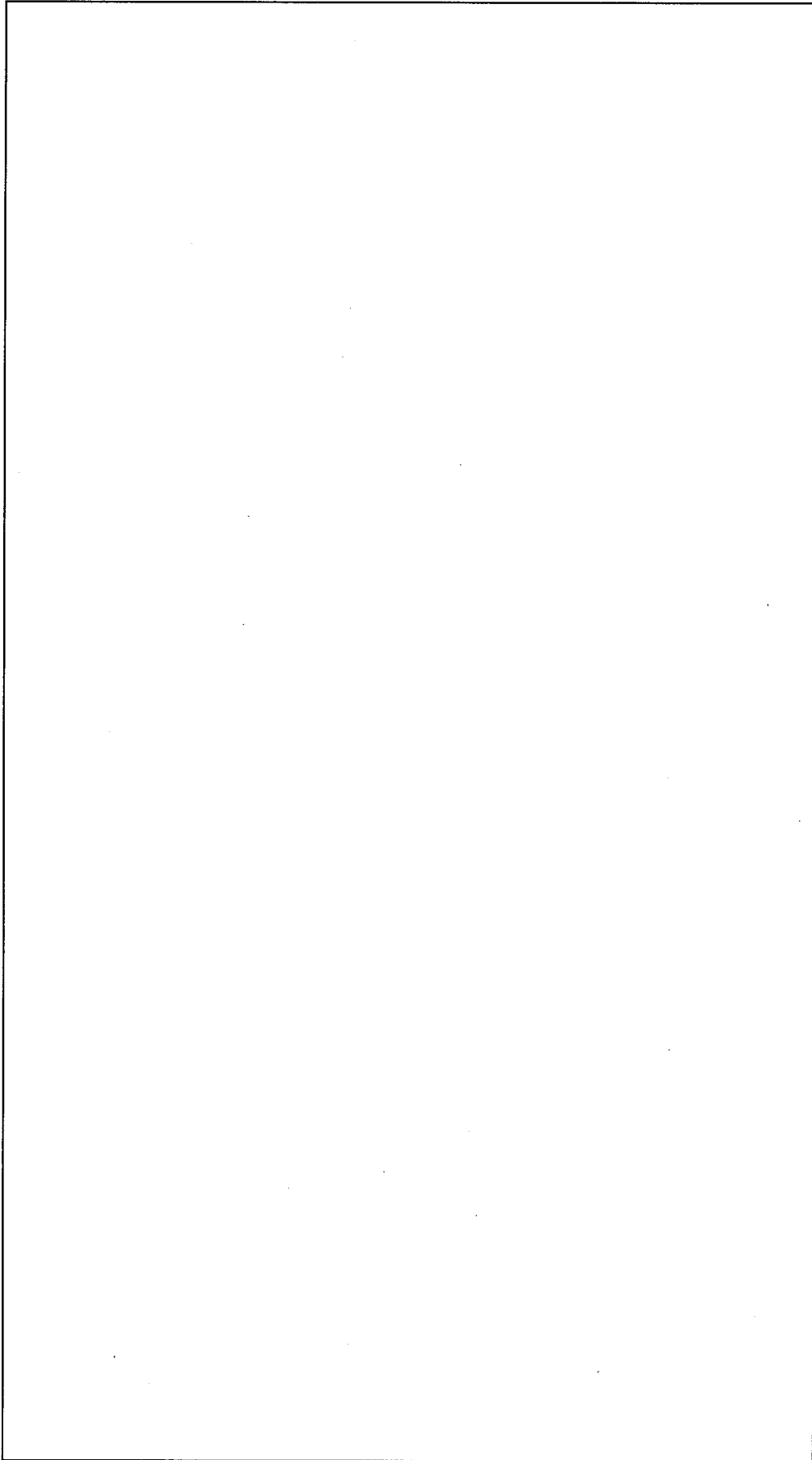
(ロ)ー第B.7図 スライスモデルの温度分布(火災発生30分後) (1/2)



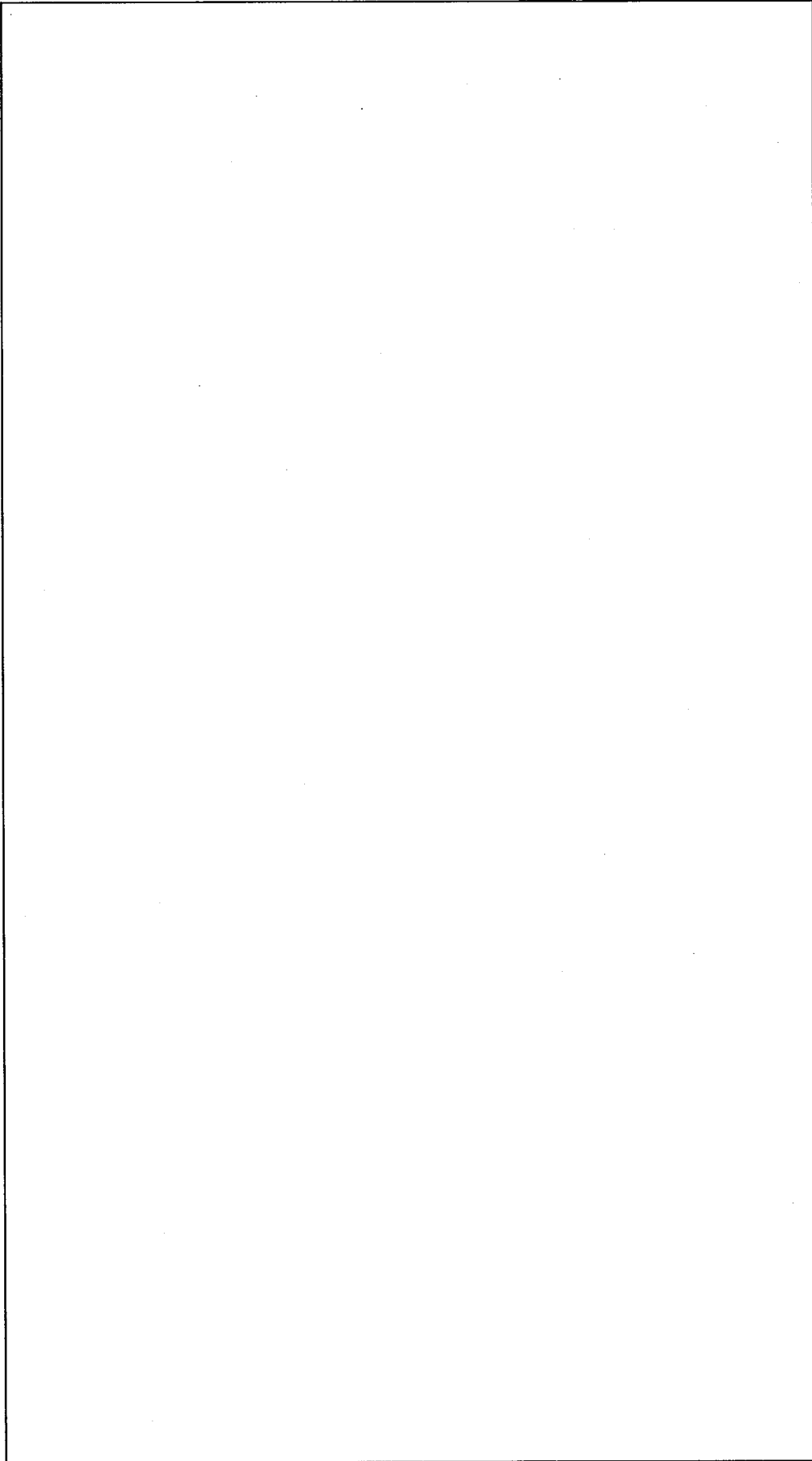
(ロ) 第一B.7図 スライスモデルの温度分布 (火災発生 30 分後) (2/2)



(ア) 第一B.8図 軸対称モデルの温度分布 (火災発生30分後)



(ロ)－第B.9 図 輸送容器各部の温度時刻歴 (スライスマデル)



(p) - 第B.10 図 輸送容器各部の温度時刻歴 (軸対称モデル)

B.5.4 最大内圧

本輸送物の収納物は、使用済み燃料プールに保管されていた未使用の燃料集合体であり、燃料表面の洗浄後、付着水を除去する処置を施したうえで、収納缶に梱包され輸送容器へ収納する。ここでは、付着水を除去する処置及び収納缶への梱包する効果を見なし、安全側に飽和水蒸気により圧力が増加するとして最大内圧を求める。

特別の試験条件における最大内圧 (P) は以下のようになる。

$$P = P_0 \times \frac{T}{T_0} + P_v$$

ここで、 P_0 : 輸送時初期圧力 [MPa 絶対圧¹⁾]

T_0 : 内部気体初期温度 [293 K]

T : 特別の試験条件における内部気体温度 (K)

P_v : 特別の試験条件における内部気体温度の飽和水蒸気圧 (MPa)

特別の試験条件における内部気体温度は、バスケットの最高温度を超えないことから、(v) 第 B.5 表に示すバスケット部品の最高温度に基づいて °C (K) とする。

したがって、

$$P = \text{} \times \frac{\text{} (\text{} \text{°C の飽和水蒸気圧}^{[5]}) = \text{} \text{ MPa 絶対圧}$$

となる。

注 1) 一般の気象条件を考慮して安全側に設定した。

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件において、温度分布と線膨張係数の違いにより、容器本体及びバスケットには熱歪が生じる。この熱歪により内筒に変形が生じる可能性がある。一方、(ロ)－A構造解析のA.9に示したように、温度勾配が最大となる火災発生30分後において内筒に発生する熱歪は破断伸びに比べて十分小さく、内筒が破断に至ることはない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

(1) 最高温度

特別の試験条件における輸送物の温度及び温度の変化は、それぞれ(ロ)－第B.5表と(ロ)－第B.9図及び(ロ)－第B.10図に示したとおりである。

ガスケットの最高温度は使用可能温度を下回っており、密封性能が損なわれることはない。レジンは胴外板などに接する表面が炭化する可能性はあるが、 焼失することはない。その他の構成部品については、損傷に至るような温度にはならない。

したがって、特別の試験条件における輸送物の温度によって、容器の性能が損なわれることはない。

(2) 最大内圧

最大内圧は MPa 絶対圧である。この圧力をもとに、構造解析では内外圧力差を MPa として評価を行っている。

(3) 最大熱応力

温度分布と線膨張係数の違いにより、容器本体には熱歪が発生して内筒に変形が生じる可能性がある。

B.6 付属書類

B.6.1 付属書類-1 参考文献

- [1] COGEMA LOGISTICS, "Development of a new neutron shielding material, TN resin Vyal for transport/storage casks for radioactive materials", PATRAM 2004.
- [2] "複合材料技術集成" 産業技術センター (1976)
- [3] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SEC II, Part D (2019)
- [4] R. Siegel and J. R. Howell "Thermal Radiation Heat Transfer", Fourth Edition (2002)
- [5] "伝熱工学資料 改訂第5版" (社) 日本機械学会 (2009)
- [6] Titanium Metals Corporation, TIMETAL 6-4 技術データ (1998)
- [7] F. Kollmann and W. A. Côté "Principles of Wood Science and Technology" Springer-Verlag (1968)
- [8] Industeel 社 (ArcelorMittal group) NUCL 18-10 B4 技術データ (2011)
- [9] (社) 日本アルミニウム協会 アルミニウム材料特性データベース (2007)
- [10] "伝熱工学資料 改訂第4版" (社) 日本機械学会 (1986)
- [11] 日本原子力学会標準, 「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準: 2013」, AESJ-SC-F006:2013, 2014年11月

(口) - C 密封解析

(ロ)－C 密封解析

C.1 概要

本輸送容器は、(イ)－Cに示すように密封機能を有する構造となっている。

一般の試験条件では、(ロ)－A構造解析及び(ロ)－B熱解析に示したように、密封装置に損傷が生じることなく密封性能は維持される。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

本輸送容器の密封装置は以下により構成される（(イ)－第C.4図参照）。

- ・ 本体及び蓋板
- ・ 蓋板ガスケット
- ・ クイックコネクションカバーガスケット

本輸送容器は、(ロ)－A構造解析及び(ロ)－B熱解析に示したように一般の試験条件における容器の温度、圧力及び衝撃に十分耐えられる設計となっている。また(ロ)－A構造解析のA.4.1で示したように、輸送容器の構成材料は相互にあるいは収納物と化学的及び電氣的反応を起こすことはない。蓋板ガスケット、クイックコネクションカバーガスケットについては、一般の試験条件における温度が使用可能な温度範囲にある（(ロ)－B熱解析参照）。

したがって、一般の試験条件において密封装置の性能は維持される設計となっている。

C.2.2 密封装置の貫通部

本輸送容器の貫通部としては蓋板に設置されたクイックコネクションの取付け部がある。クイックコネクションの取付け部の構造は、(イ)－第C.10図に示される。また、密封境界は、(イ)－第C.4図に示される。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

C.2.3.1 ガスケット

本輸送容器の密封装置のガスケットは、以下のとおりである。

- ・ 蓋板ガスケット
- ・ クイックコネクションカバーガスケット

これらのガスケットはOリング状のEPDM製ガスケットであり、(ロ)－B熱解析で述べたように、一般の試験条件において使用可能温度範囲内であるため、ガスケットの性能は維

持される。

また、これらのガスケットは、収納物の装荷の都度、新品に交換される。

C.2.3.2 溶接部

輸送物の密封性能に影響を及ぼす溶接部は次のとおりである。

-
-

これらの溶接部は全て であり、施工法確認試験により溶接部が母材と同等の構造強度を有すること、非破壊検査 () により割れ、融合不良等の欠陥のないことを確認する。また、密封境界全体を対象としたリークテストを実施し、漏れのないこと（リークタイトであること）を確認する。したがって、溶接部は母材と同様に (ρ) - B 熱解析の B.4 に示す一般の試験条件の最高温度、最低温度、最大内圧に対して健全であり密封性は維持される。

C.2.4 蓋

蓋部の密封境界は、蓋板と上部フランジとの接合面のほかにクイックコネクションカバーと蓋板との接合面がある。それぞれ、接合面にはOリング状の EPDM 製ガスケットが取付けられている ((イ) - 第 C.10 図参照)。

蓋板は、 本の のボルトにより上部フランジに取付けられる。(ρ) - A 構造解析で述べたように一般の試験条件における温度、圧力及び衝撃に十分耐え得る強度を有する。

C.3 一般の試験条件

(ρ) - C.2 で示したように、(ρ) - A 構造解析及び (ρ) - B 熱解析の解析結果から、一般の試験条件において密封装置の性能が損なわれることはない。

C.3.1 放射性物質の漏えい

前述のとおり、一般の試験条件において輸送容器の密封装置は破損せず、健全性が保たれることが明らかとなっている。

したがって、一般の試験条件において輸送物から放射性物質の漏えいは生じない。

C.3.2 密封装置の加圧

輸送物内部の加圧要因となるのは主に内部気体の熱膨張であり、一般の試験条件における温度に基づいて保守的に求められた最大内圧は MPa 絶対圧となるが、密封性能

が損なわれるような加圧状態になることはない。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送容器は、冷却水を用いない乾式タイプであり、冷却材汚染はない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送容器は、冷却水を用いない乾式タイプであり、冷却材損失はない。

C.4 特別の試験条件

本輸送物はA型輸送物であり、特別の試験条件における密封機能の維持は要求されていないため、本項の要求事項は該当しない。

C.5 結果の要約及びその評価

密封解析の評価結果は、C.2 及びC.3 に示すとおりであり、輸送物の密封性能は規則に定められるA型輸送物に係る技術上の基準に適合する。

(口) - D 遮蔽解析

(ロ)－D 遮蔽解析

D.1 概要

本輸送容器の収納物は、使用済み燃料プール水中に保管されていた未使用のBWR燃料集合体で、プール水及び汚染核種を含む瓦礫が付着している。

当該燃料集合体は、(ハ)章に示すように、輸送容器への収納に先だって、必要に応じて、汚染除去のための洗浄が施されるが、汚染の一部は燃料集合体表面に残留していることが想定される。そのため、輸送容器への梱包に際し、燃料集合体表面の線量当量率を測定し、管理のための基準として定めた線量当量率(以下、管理基準)を超えないことを確認する。

遮蔽解析は、これら表面に汚染のある燃料集合体が輸送容器に収納されている状態で実施し、線源としては燃料組成に由来するもの及び燃料集合体の表面汚染に由来するものを考慮する。燃料組成に由来する線源は、ウランの重量、濃縮度、不純物の仕様に基づき設定する。表面汚染に由来する線源は、燃料集合体表面での線量当量率が管理基準以上となる汚染核種の放射能の量(線源強度)を設定する。

本輸送容器の主要な遮蔽体は、内筒及び胴外板(ステンレス鋼)及びレジン、前部方向には蓋板(チタン合金)及びレジン、後部方向には底板(ステンレス鋼)及びレジンであり、遮蔽解析モデルに考慮する。

本輸送容器は、(ロ)－A構造解析に示すように一般の試験条件において自由落下により前部及び後部衝撃吸収カバーがわずかに変形するが、遮蔽解析では安全側に衝撃吸収カバーを空気に置き換えてモデル化しており、通常輸送時の遮蔽解析モデルからの変更はない。

通常輸送時及び一般の試験条件におけるガンマ線遮蔽計算には二次元輸送計算コードDORT^[1]を用いる。

D.2 線源仕様

本輸送容器には、BWR燃料集合体を最大 10 体収納する。燃料集合体 1 体には、濃縮度が 5.0 wt%以下の二酸化ウランペレットが最大 kg 収納されている。

線源としては燃料組成に由来するもの及び燃料集合体の表面汚染に由来するものを考慮する。

(1) 燃料組成に由来する線源

線源として考慮する燃料組成及び線源解析仕様を(□)－第D.1表に示す。

(□)－第D.1表 燃料組成及び線源解析仕様

(燃料集合体 1 体当たり)

		燃料組成	線源解析仕様
U 重量		—	<input type="text"/> kg
²³⁵ U 濃縮度		≤ 5.0 wt%	5.0 wt%
²³⁵ U 重量		—	<input type="text"/> g
²³⁸ U 重量		—	<input type="text"/> g
不純物	²³² U	≤ <input type="text"/> μg/gU	<input type="text"/> g
	²³⁴ U	≤ <input type="text"/> μg/g ²³⁵ U	<input type="text"/> g
	²³⁶ U	≤ <input type="text"/> μg/gU	<input type="text"/> g
	⁹⁹ Tc	≤ <input type="text"/> μg/gU	<input type="text"/> g
崩壊年数		—	10 年

(2) 燃料集合体の表面汚染に由来する線源

燃料集合体の表面に付着している瓦礫に含まれる汚染核種は、その付着している瓦礫を採取し分析したことで、汚染核種の種類及びその放射能の量が判明している。瓦礫に含まれる核種としては、⁶⁰Co、¹³⁷Cs (と子孫核種 ^{137m}Ba)、⁶³Ni、¹³⁴Cs、⁹⁰Sr (と子孫核種 ⁹⁰Y) である (付属書類-1)。

燃料集合体に含まれる汚染核種の放射能の量は、燃料集合体表面の線量当量率を測定

し、測定された線量当量率が管理基準以下とすることにより管理する（(ハ)－A 核燃料輸送物の取扱方法のA.2の発送前検査）。

遮蔽解析において想定する汚染核種の放射能の量（線源強度）は、燃料集合体の表面での線量当量率が、管理基準以上となる線源強度を算出する（付属書類－2）。輸送物としては、収納する燃料集合体 10 体とも算出された線源強度の汚染核種が含まれるとする。

D.2.1 ガンマ線源

(1) 燃料組成に由来する線源

燃料組成に由来する線源については燃焼計算コード ORIGEN2^[2]によりガンマ線源強度を求める。崩壊年数は放射能強度が最大となる 10 年とする。求められたガンマ線源強度を(ロ)－第D.2表に示す。

(ロ) ー第D.2表 燃料組成に由来するガンマ線源強度

(輸送物1基当たり)

群	平均エネルギー (MeV)	ガンマ線源強度 (photons/sec)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		

(2) 燃料集合体の表面汚染に由来する線源

燃料集合体の表面汚染について、その汚染核種は ^{60}Co 、 ^{137}Cs (と子孫核種 $^{137\text{m}}\text{Ba}$)、 ^{63}Ni 、 ^{134}Cs 、 ^{90}Sr (と子孫核種 ^{90}Y) である (付属書類-1)。汚染核種のうち放射能の量が多く主要な核種となる ^{60}Co 、 ^{137}Cs の線源強度を、管理基準に基づき算定している (付属書類-2)。

遮蔽解析では、 ^{137}Cs に比べて放出する放射線のエネルギーが高く評価上厳しくなる ^{60}Co の線源強度を用いる。表面汚染の線源強度を(Ⅱ)-第D.3表に示す。

(Ⅱ)-第D.3表 表面汚染の線源強度

燃料集合体部位	線源強度 (^{60}Co Bq/基)
ハンドル部	
上部グリッド部	
上部プレナム部	
燃料有効部	
下部タイプレート部	
合計	

D.2.2 中性子源


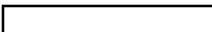
中性子源として対象となるのは、ウランの自発核分裂及び酸素の (α , n) 反応により放出されるものが考えられるが、これらの反応率は無視できるほど小さい。

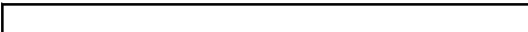
D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

(1) 通常輸送時

通常輸送時の遮蔽解析モデルを(ロ)－第D.1 図及び(ロ)－第D.2 図に示す。モデル化の考え方について以下に示す。

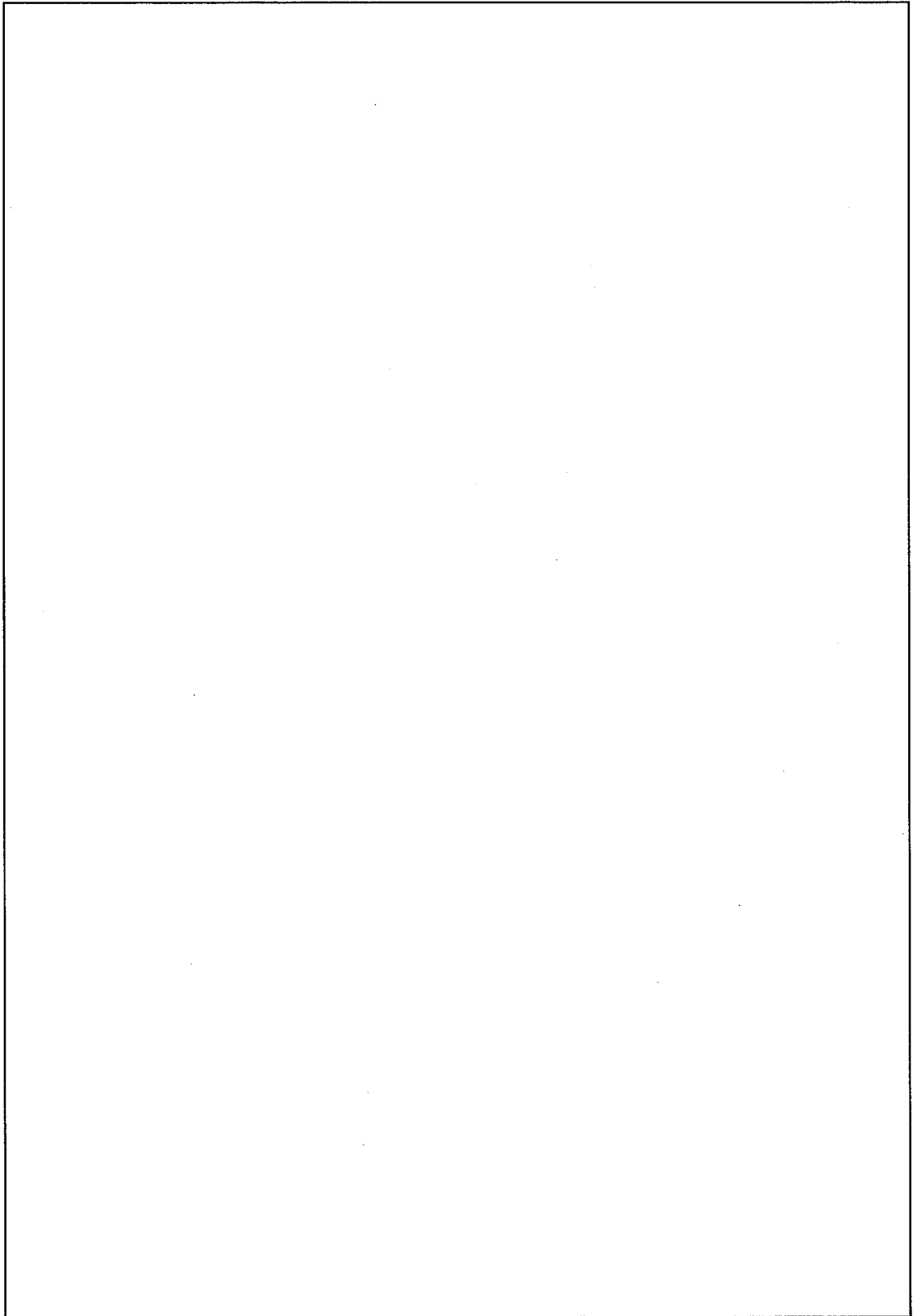
- 容器本体は、内筒、胴部レジン、胴外板、底板、底部レジン、蓋板、蓋部レジン、レジンカバーを基本的に実際の形状に即してモデル化する。
-  は安全側に無視する。
- 燃料集合体（ウラン燃料及び表面汚染を含む）は、ハンドル部、上部グリッド部、上部プレナム部、燃料有効部、下部タイプレート部の各領域を設定し領域内で均質化する。チャンネルボックス並びに収納缶は、その構造材が放射線を遮蔽する方向に作用するため、安全側にこれらの存在を無視する。
- ロジメントは最外周の最小厚さ分を追加遮蔽板の内側に置き、残りの部分は燃料集合体の各領域内（上部グリッド部、上部プレナム部、燃料有効部、下部タイプレート部）で均質化する。
- バスケットは、外周部にあるアルミスペーサー、底部のバスケットサポート底板を実際の形状に即してモデル化する。底部の  は安全側に空気とする。
- 燃料の軸方向の移動を考慮して、燃料はその上端が蓋下面に、下端がバスケットサポートに接しているものとし、キャビティと燃料の長さの差の分、輸送容器及びバスケットの長さを短縮する。
- 衝撃吸収カバーは、その構造材が放射線を遮蔽する方向に作用するため、安全側に空気に置き換え、その距離のみ考慮する。

ストリーミングを考慮すべき箇所については、蓋部にクイックコネクションがある。ただし、クイックコネクションの  及び衝撃吸収カバーを無視しており、ストリーミングの影響を包含した安全側のモデルとなっている。

(2) 一般の試験条件

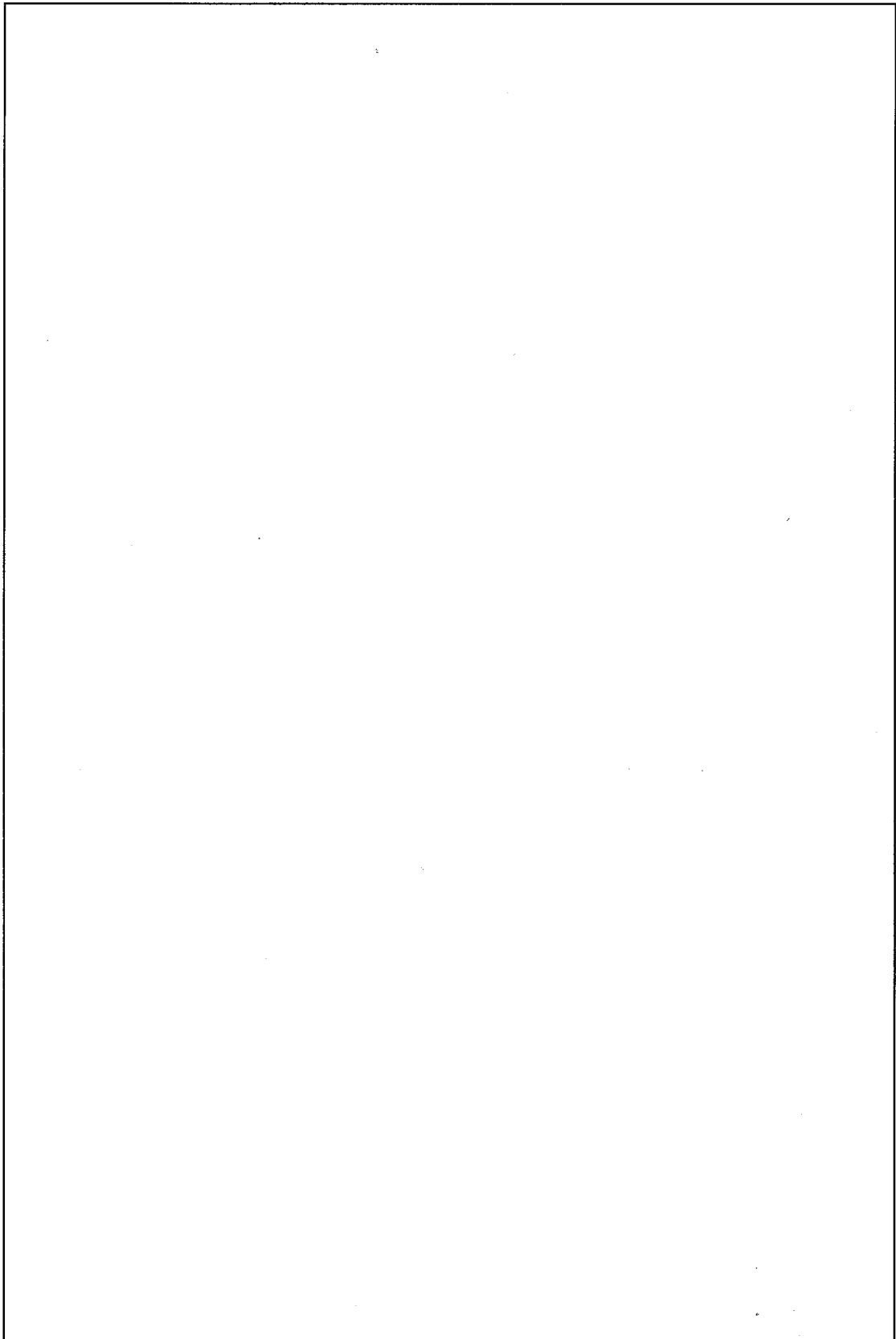
一般の試験条件の遮蔽解析モデルを(ロ)－第D.3 図及び(ロ)－第D.4 図に示す。D.1 で述べたように、一般の試験条件の遮蔽解析モデルは通常輸送時と同一である。

ただし、自由落下により前部及び後部衝撃吸収カバーがわずかに変形するため、一般の試験条件の遮蔽解析における評価点は、この変形を考慮して設定する。



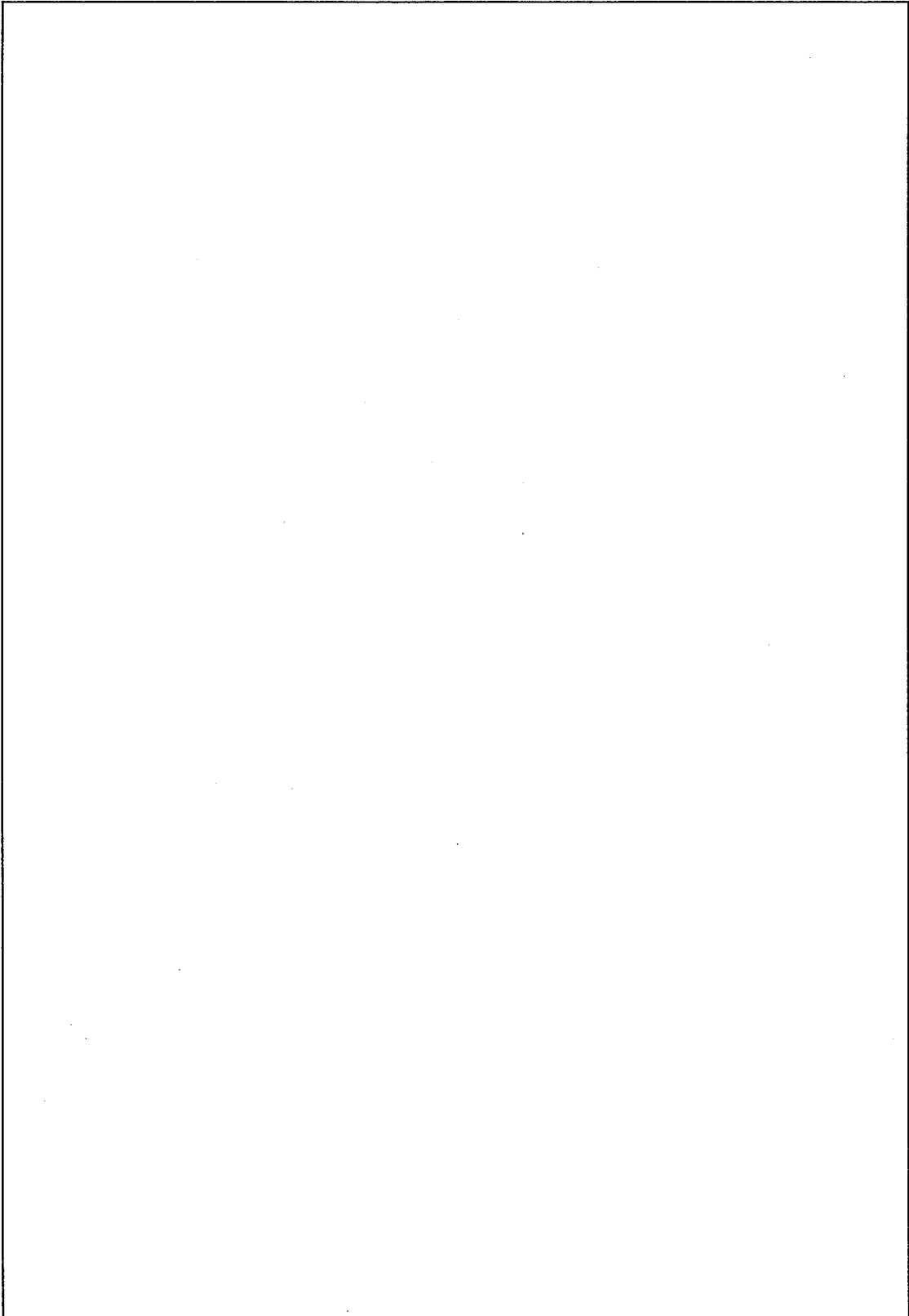
(単位：mm)

(□)－第D.1図 通常輸送時の遮蔽解析モデル (蓋部方向)



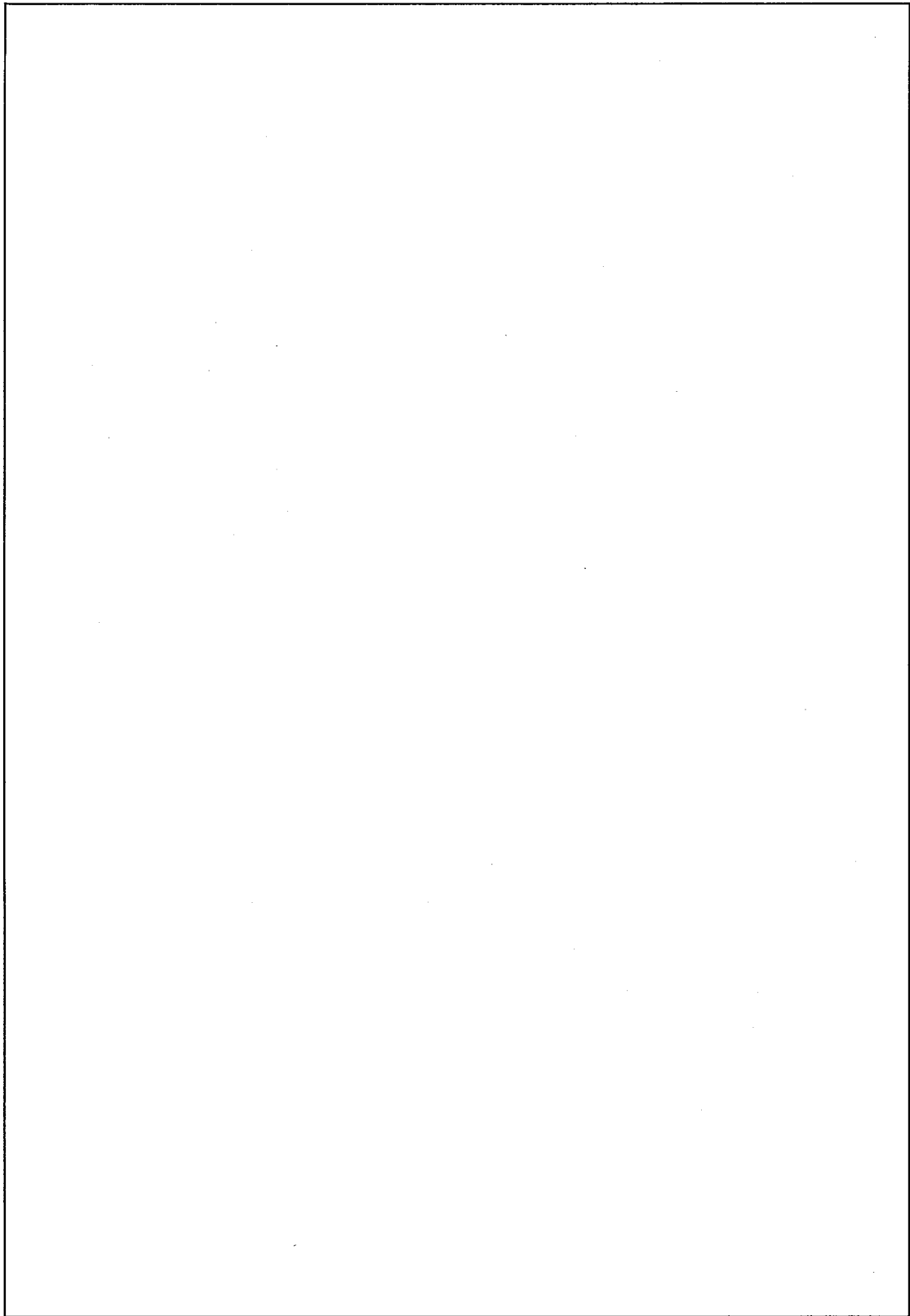
(単位：mm)

(ア) - 第D.2 図 通常輸送時の遮蔽解析モデル (底部方向)



(単位：mm)

(ロ) - 第D.3 図 一般の試験条件の遮蔽解析モデル (蓋部方向)



(単位 : mm)

(□) - 第D.4図 一般の試験条件の遮蔽解析モデル (底部方向)

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽解析で用いた各領域における各物質の原子個数密度を(□)－第D.4表に示す。

なお、解析で用いた寸法と原子個数密度は、常温における値を用いた。

(□)－第D.4表 遮蔽解析で用いる物質の原子個数密度 (1/4)

領域		密度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
1.1 ハンドル部 (バスケット外)	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9		Cr	
				Fe	
				Ni	
1.2.1 上部グリッド部 (バスケット外)	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55		Ti	
				Cr	
	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9		Fe	
				Ni	
	燃料構造材 (インコネル)	8.25		Zr	
1.2.2 上部グリッド部 (バスケット領域)	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55		¹⁰ B	
				Ti	
	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9		Cr	
				Fe	
	燃料構造材 (インコネル)	8.25	Ni		
	バスケット (ボロン入り ステンレス鋼)	7.8	Zr		
1.3 上部プレナム部	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55	¹⁰ B		
			Cr		
	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9	Fe		
			Ni		
	バスケット (ボロン入り ステンレス鋼)	7.8	Zr		
		Sn			

(ロ) - 第D.4表 遮蔽解析で用いる物質の原子個数密度 (2/4)

領域		密度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
1.4 燃料有効部	燃料ペレット	10.63		O	
				¹⁰ B	
				Ti	
	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55		Cr	
				Fe	
	燃料構造材 (インコネル)	8.25		Ni	
				Zr	
	バスケット (ボロン入り ステンレス鋼)	7.8		Sn	
1.5 下部タイプレート 部			²³⁵ U		
			²³⁸ U		
	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55	¹⁰ B		
			Ti		
	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9	Cr		
			Fe		
	燃料構造材 (インコネル)	8.25	Ni		
	バスケット (ボロン入り ステンレス鋼)	7.8	Zr		
		Sn			

(ロ)一第D.4表 遮蔽解析で用いる物質の原子個数密度 (3/4)

領域		密度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核種	原子個数密度 (atoms /barn·cm)
2. 内筒・胴外板・底板 (<input type="checkbox"/> ステンレス鋼)		7.8		Cr	
				Fe	
				Ni	
				Cu	
				Mo	
3. レジンカバー (ステンレス鋼)		7.9		Cr	
				Fe	
				Ni	
4. 蓋板 (チタン合金)		4.42		Al	
				Ti	
5. 胴部レジン層	レジン	— ¹⁾			
	<input type="checkbox"/> ステンレス鋼	7.8			
	<input type="checkbox"/>				

注1) レジンについては、仕様として原子個数密度により規定している。

(ロ)一第D.4表 遮蔽解析で用いる物質の原子個数密度 (4/4)

領域	密度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核種	原子個数密度 (atoms /barn·cm)
6. 蓋部レジン・底部レジン (レジン)	— ¹⁾		H	
			¹⁰ B	
			C	
			O	
			Al	
7. ロジメント (ボロン入りステンレス鋼)	7.8		¹⁰ B	
			Cr	
			Fe	
			Ni	
8. バスケットサポート底板 (アルミニウム合金)	2.78		Mg	
			Al	
			Cu	
9. 追加遮蔽板 (アルミニウム合金)	2.84		Al	
			Cu	
10. アルミスペーサー (アルミニウム合金)	2.70		Mg	
			Al	
11. 空気	1.205 ×10 ⁻³		N	
			O	

注1) レジンについては、仕様として原子個数密度により規定している。

D.4 遮蔽評価

輸送物の通常輸送時及び一般の試験条件における線量当量率を評価するために用いた手法と計算結果を以下に示す。

(1) 遮蔽評価手法

ガンマ線の線量当量率の計算には DORT コードを用いる。

反応断面積は SCALE ライブラリを使用する。

本ライブラリは、米国オークリッジ国立研究所により ENDF/B-VII 核データファイルを用いて作成されたものである。

このデータのガンマ線のエネルギー群数は 47 である。この群構造に対応した線束から線量当量率への変換係数は ICRP Publication 74^[3]に基づいている。

(2) 計算結果

通常輸送時及び一般の試験条件における、輸送物の蓋部方向、側面方向、底部方向の最大線量当量率の計算結果を(□)－第D.5表に示す。

同表に示すように、輸送物の表面及び表面から 1m離れた位置における線量当量率は、規則及び告示に定められた基準値を下回る。

また、一般の試験条件での輸送物の変形は衝撃吸収カバーがわずかに変形するのみであるため、一般の試験条件における最大線量当量率の位置及び値は通常輸送時の結果から特に変化していない。

したがって、一般の試験条件において輸送物表面における最大線量当量率が著しく増加することはない。

(ロ) 一第D.5表 輸送物各部の最大線量当量率¹⁾

(単位：μSv/h)

		輸送物表面			表面より1mの点		
		蓋部	側面	底部	蓋部	側面	底部
通常輸送時	燃料組成由来のガンマ線						
	表面汚染によるガンマ線						
	合計						
一般の試験条件	燃料組成由来のガンマ線						
	表面汚染によるガンマ線						
	合計						
基準値	通常輸送時	2,000			100		
	一般の試験条件	2,000			—		

注1) 最大線量当量率は、小数点第一位を切り上げて整数表示している。

表面汚染の線源は全て⁶⁰Co

D.5 結果の要約及びその評価

輸送物の通常輸送時及び一般の試験条件における解析結果の要約を(□)－第D.6表に示す。

計算から得られた最大線量当量率は、(□)－第D.6表に示すとおりであり、規則及び告示で定められた基準値を下回る。また、一般の試験条件における最大線量当量率の著しい増加は生じない。

(□)－第D.6表 解析結果の要約

(単位：μSv/h)

	輸送物表面		表面より1mの点	
	最大線量当量率	基準値	最大線量当量率	基準値
通常輸送時		2,000		100
一般の試験条件		2,000	/	

D.6 付属書類

D.6.1 付属書類-1 燃料集合体の表面汚染について

本輸送容器の収納物は、使用済み燃料プール水中に保管されていた未使用のBWR燃料集合体で、プール水及び汚染核種を含む瓦礫が付着している。

当該燃料集合体は、(ハ)章に示すように、輸送容器への収納に先だって、必要に応じて、汚染除去のための洗浄が施されるが、汚染の一部は燃料集合体表面に残留していることが想定される。

本付属書類では、汚染核種を含む瓦礫について、含まれる核種の種類とその放射能の量を説明する。なお、本付属書類において、核種の同位体の判別を容易にするため、質量数は元素記号の後に記載する表記としている。(例 $^{60}\text{Co}\rightarrow\text{Co-60}$ 、 $^{137}\text{Cs}\rightarrow\text{Cs-137}$)

(1) 燃料集合体に付着している瓦礫について

汚染核種の分析のために、燃料集合体に付着している瓦礫を採取した。燃料集合体は使用済み燃料プールに保管されていることから、付着している瓦礫を水中で吸い込み、フィルターで捕集した。

燃料集合体5体より合計約3gの瓦礫を得た。以降、採取した瓦礫を瓦礫サンプルと呼ぶ。

(2) 瓦礫サンプルの分析

採取した瓦礫サンプルは、以下の要領で分析した。

① アルファ線の測定

瓦礫サンプルから放出されるアルファ線を、アルファ線サーベイメーターにて測定した。測定結果に基づきアルファ線を放出する核種(いわゆるアクチノイド核種)を評価した。

② ガンマ線の測定

瓦礫サンプルより放出されるガンマ線を測定し、ガンマ線スペクトル分析を行った。測定されたガンマ線のエネルギー値とその計測数(カウント数)の関係より、瓦礫サンプルに含まれる核種の種類、及びその放射能の量を評価した。

③ ベータ線の測定

瓦礫サンプルには、ベータ線のみ放出する核種(以下、ベータ核種)が含まれている可能性がある。ベータ核種は、瓦礫サンプルより化学的に核種を分離精製し、その放射能の量を評価した。

また、分離抽出の困難なベータ核種については、測定可能な核種より、評価に基づきその存在する放射能の量を算出した。

(3) 瓦礫サンプルの分析結果

瓦礫サンプルの分析結果並びに評価対象の核種を(□)一第D. 付 1.1 表に示す。瓦礫に含まれる汚染核種は、放射能の量が多い順に、Co-60、Cs-137、Ni-63、Cs-134、Sr-90を検出した。アルファ線は検出されていない。検出された核種の放射能の量を、(□)一第D. 付 1.3 表に示す。

(□)一第D. 付 1.1 表 瓦礫の分析結果

放射線	想定される核種	分析結果	評価対象とする汚染核種
アルファ線	アルファ線を放出する核種 (注 1)	アルファ線は不検出 ^[4]	なし
ガンマ線	ガンマ線を放出する核種 (注 1)	Co-60、Cs-137、Cs-134 を検出	Co-60 Cs-137 Cs-134
ベータ線	ベータ線のみを放出する核種 (注 1)	Ni-63、Sr-90 を検出	Ni-63 Sr-90
	Pm-147、Sm-151 は、分析の困難なベータ核種であることから、化学的に挙動が類似しておりガンマ線の測定にて検出可能な Eu-154 より評価 ^[5]	Eu-154 は不検出。そのため Pm-147、Sm-151 は含まれない。	

(注 1) 想定される核種は、(□)一第D. 付 1.2 表参照。

(4) 想定される核種と測定結果の妥当性

瓦礫サンプルに含まれる核種として以下の汚染ルートが考えられる。各汚染ルートで想定される核種と今回の測定結果の妥当性を示す。

- ① 4号機の原子炉建屋における水素爆発の際に瓦礫に付着した核種
- ② 使用済み燃料プールにおけるプール水（クラッドを含む）に含まれる核種で瓦礫に付着した核種。

① 3号機炉心由来の核種

1F事故分析中間報告書の4号機原子炉建屋における水素爆発の評価において、爆発前日の4号機屋内の放射線当量率が高い状態にあったことに関し、放射性物質を含む気体が3号機側から流入（逆流）してきたと考えることが合理的である、と評価されている^[6]。したがって、3号機炉心に存在する核種が、瓦礫に付着し得る。付着が想定される核種を(ロ)―第D.付1.2表に示す。

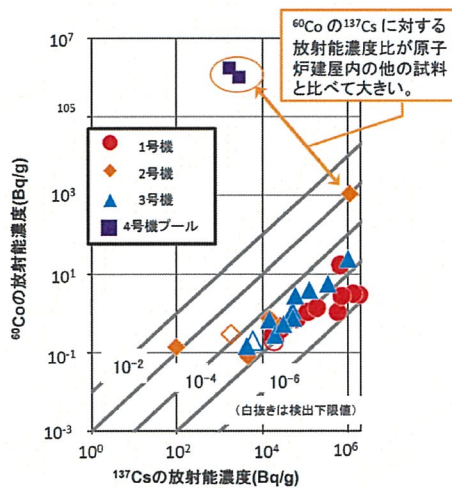
(ロ)―第D.付1.2表 想定される核種

	核種（その放射能の量が多い順）
アルファ線を放出する核種	Pu-241、Am-241、Cm-244、Np-239等 並びにそれらの同位体核種
ガンマ線を放出する核種	Co-60、Cs-137（及びその子孫核種 Ba-137m）、Kr-85、Cs-134、Eu-154、Eu-155、Sb-125、Ru-106（及びその子孫核種 Rh-106）、Te-125m、Ce-144（及びその子孫核種 Pr-144）等
ベータ線のみを放出する核種	Sr-90（及びその子孫核種 Y-90）、Pm-147、Sm-151、H-3、Tc99、Ni-63 等

- ・ 3号機炉心の放射能について、JAEAが公開している燃焼計算コードORIGEN2による評価結果^[7]の値を用いる。
- ・ 震災後10年経過した時点での3号機炉心内での核種を想定する。

② プール水（クラッドを含む）による汚染核種

(ロ) 一第D. 付 1.1 図に示すように 4 号機使用済み燃料プールで採取された瓦礫の Co-60 と Cs-137 の放射能の量の比は、原子炉建屋内の他の試料と比べて大きいことが報告されている^[8]。また、Co-60 はその化学性質から揮発したとは考え難いため、瓦礫サンプルに含まれる Co-60 は 3 号機炉心によるものとは異なると考えられる。従って、Co-60 に関しては 4 号機使用済み燃料プールでのプール水（クラッドを含む）による汚染と考えられる。



(ロ) 一第D. 付 1.1 図 Co-60 の放射能の量の比較^[8]

使用済み燃料プールの放射性物質（クラッドを含む）については、今回の分析で検出された核種のうち Co-60 及び Ni-63 が考えられる。Ni-63 についても、Co-60 と同様に、その化学性質上、3 号機炉心から揮発したとは考え難いことから、4 号機の使用済み燃料プールに存在するクラッド由来であると考えられる。

なお、日本原子力学会標準^[9]において、クラッド核種について「Co-60 の放射能濃度が最も大きく、かつ A₂ 値が最も小さいことから、密封設計上は燃料プール水中の放射性物質は全て Co-60 として評価すれば安全側の評価ができる」旨説明されており、今回の瓦礫サンプルの測定結果（Ni-63 に比べ Co-60 が多く含まれる）とも整合している。

(5) 瓦礫に含まれる汚染核種分析結果まとめ

瓦礫サンプルの分析結果をまとめ(ロ)一第D.付1.3表に示す。

(ロ)一第D.付1.3表 汚染核種と測定された放射能の量

核種	測定された放射能の量 ^(*1) (Bq/g)	合計放射能に対する 各核種の放射能の割合 (%)
Co-60	8.99×10^5 [10]	57.4
Cs-137	3.24×10^5 [10]	20.7
Ba-137m ^(*2)	3.07×10^5	19.6
Ni-63	2.54×10^4	1.62
Cs-134	1.07×10^4	0.68
Sr-90	4.20×10^1	0.003
Y-90 ^(*3)	4.20×10^1	0.003
合計	1.57×10^6	—

(*1) 2021年4月8日時点に減衰を補正し表記

(*2) Cs-137の子孫核種

(*3) Sr-90の子孫核種

D.6.2 付属書類-2 燃料集合体表面汚染の線源強度の設定

本付属書類では、遮蔽解析に使用する燃料集合体表面汚染の線源強度（放射能の量）を設定するため、燃料集合体表面の線量当量率の管理基準に基づき表面汚染の線源強度を算定する。

(1) 燃料集合体の線量当量率の管理基準

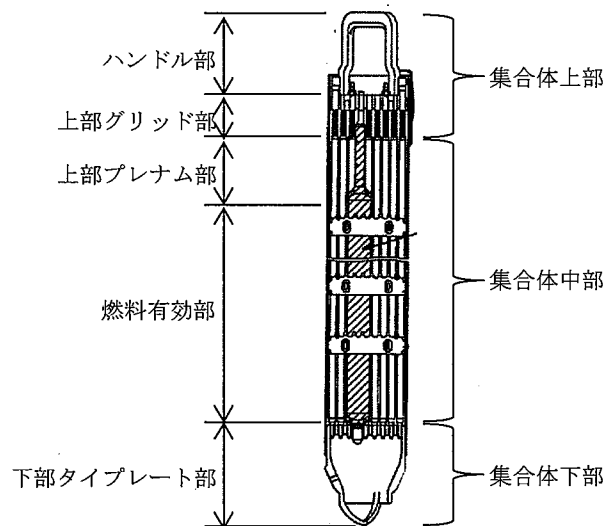
発送前の収納物検査における燃料集合体表面（チャンネルボックスを装着している場合はその表面）の線量当量率の管理基準を(□)-第D.付2.1表に示す。管理基準は、燃料集合体表面の線量当量率の測定結果^[11]を基に、測定値を包含するように設定した。

(□)-第D.付2.1表 燃料集合体表面の線量当量率の管理基準

部 位	管理基準値 ¹⁾ (mSv/h)
ハンドル部 ²⁾	
上部グリッド部（グリッド部～上部端栓部）	
上部プレナム部（プレナムスプリング部）	
燃料有効部	
下部タイプレート部（下部端栓部～下部タイプレート部）	

注1) 同じ軸方向位置について4面を測定した平均値に対する管理基準値

注2) チャンネルボックスを装着している場合のみ対象



燃料集合体模式図

(2) 表面汚染の線源強度の算定

燃料集合体表面の線量当量率は、線源の強度及びその線源の位置によって変化する。同じ強度の線源を燃料集合体に分散させた場合と燃料集合体表面から離れた位置（断面の中心）に集めた場合では、後者の方が線量当量率は低い値を示す。言い換えると、同じ線量当量率に対して、最も遮蔽効果の高い位置に線源があると仮定することが、より多くの線源を想定することになり、輸送物の遮蔽解析に対しては安全側の条件となる。

そこで、燃料集合体をモデル化し、表面汚染による線源が燃料集合体の中心軸上に線状で存在しているとする。この線源に任意の強度を与えて燃料集合体表面の線量当量率を計算し、(ロ)一第D.付2.1表に示す管理基準以上となる線源強度を求める。想定する汚染核種は、瓦礫の分析結果（付属書類-1）に基づき、放射能の量の多い ^{60}Co 及び ^{137}Cs とする。即ち、汚染核種が全て ^{60}Co とした場合の線源強度と、汚染核種が全て ^{137}Cs とした場合の線源強度を算定する。

a. 解析モデル

燃料集合体の解析モデルを(ロ)一第D.付2.1図に示す。

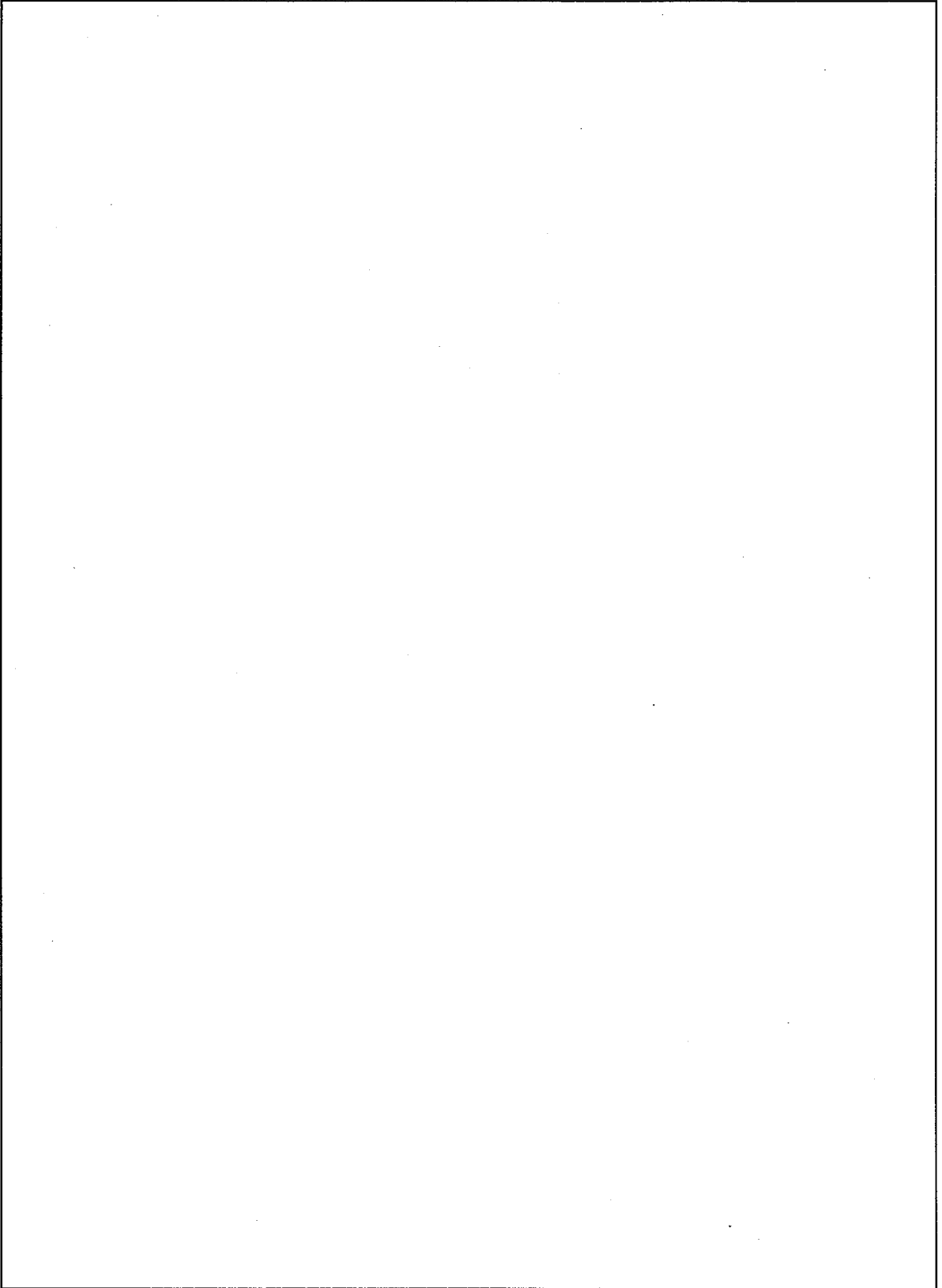
燃料集合体の断面形状は、正方形の1辺の長さを直径とする円形と見なして軸対称モデルとする。モデル化にあたっては、以下を考慮している。

- 軸方向について、燃料有効部を除き(ロ)一第D.付2.1表に示す各部位をひとつの領域として均質化し、外周にチャンネルボックスを配置する。チャンネルボックスは上下端を延長して燃料集合体全長にわたって存在すると仮定する。
- 燃料有効部は、スペーサのある範囲とスペーサのない範囲に区別する。
- 断面方向について、スペーサのある範囲では中心から、以下のような領域に区別する。（スペーサのない範囲では、スペーサは空気に置き換える。）

- ① 空気（ウォーターチャンネル内部）
- ② ウォーターチャンネル
- ③ 均質化した燃料棒、空気及びスペーサ（外板以外）
- ④ スペーサ（外板）
- ⑤ 空気
- ⑥ チャンネルボックス

b. 各領域における原子個数密度

遮蔽解析で用いた各領域における各物質の原子個数密度を(ロ)一第D.付2.2表に示す。なお、寸法と原子個数密度は、常温における値を用いた。



(単位：mm)

(㊦)－第D. 付 2.1 図 燃料集合体の解析モデル

(甲) 第D. 付 2.2 表 各領域における原子個数密度 (1/2)

領 域		密 度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核 種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)	
ハンドル部 (均質化領域)	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9		Cr		
				Fe		
				Ni		
空気		1.205 ×10 ⁻³		N		
				O		
上部グリッド部 (均質化領域)	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55		Cr		
				Fe		
	燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9		Ni		
				Ti		
	燃料構造材 (インコネル)	8.25		Zr		
				Sn		
空気		1.205 ×10 ⁻³		N		
				O		
	上部プレナム部 (均質化領域)	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)		6.55		Cr
						Fe
				Ni		
燃料構造材 (ステンレス鋼)		7.9	Zr			
			Sn			
			N			
空気		1.205 ×10 ⁻³	O			
	下部タイプレート部 (均質化領域)	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55	Cr		
				Fe		
		燃料構造材 (ステンレス鋼)	7.9	Ni		
			Ti			
燃料構造材 (インコネル)		8.25	Zr			
			Sn			
空気		1.205 ×10 ⁻³	N			
			O			

(p) - 第D. 付 2. 2 表 各領域における原子個数密度 (2/2)

領 域		密 度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核 種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
燃料有効部 [スぺーサなし] (均質化領域)	燃料ペレット	10.63		²³⁵ U	
				²³⁸ U	
	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55		Zr	
				Sn	
		N			
		O			
燃料有効部 [スぺーサあり] (均質化領域)	燃料ペレット	10.63		²³⁵ U	
				²³⁸ U	
	燃料被覆管 (ジルカロイ-2)	6.55		Zr	
	スぺーサ (外板以外) (ジルカロイ-4)	6.55		Sn	
				Ti	
	スぺーサ (外板以外) (インコネル)	8.25		Cr	
			Fe		
		Ni			
		N			
		O			
ウォーターチャンネル (ジルカロイ-4)		6.55	Zr		
			Sn		
チャンネルボックス (ジルカロイ-4)		6.55	Zr		
			Sn		
スぺーサ (外板) (ジルカロイ-4)		6.55	Zr		
			Sn		
空気		1.205 ×10 ⁻³	O		
			N		

c. 遮蔽計算

燃料集合体表面における線量当量率の計算方法及び計算結果を以下に示す。

(a) 計算方法

輸送物の遮蔽解析と同じく DORT コード及び SCALE ライブラリを用いる。

燃料集合体モデルの以下に示す各部位のそれぞれに対し、中心軸上に一様な線状の線源を与えたときに、燃料集合体表面の線量当量率が(ρ)－第D.付 2.1 表の管理基準を上回るような各部位の線源強度を求める。

- a. ハンドル部
- b. 上部グリッド部
- c. 上部プレナム部
- d. 燃料有効部
- e. 下部タイプレート部

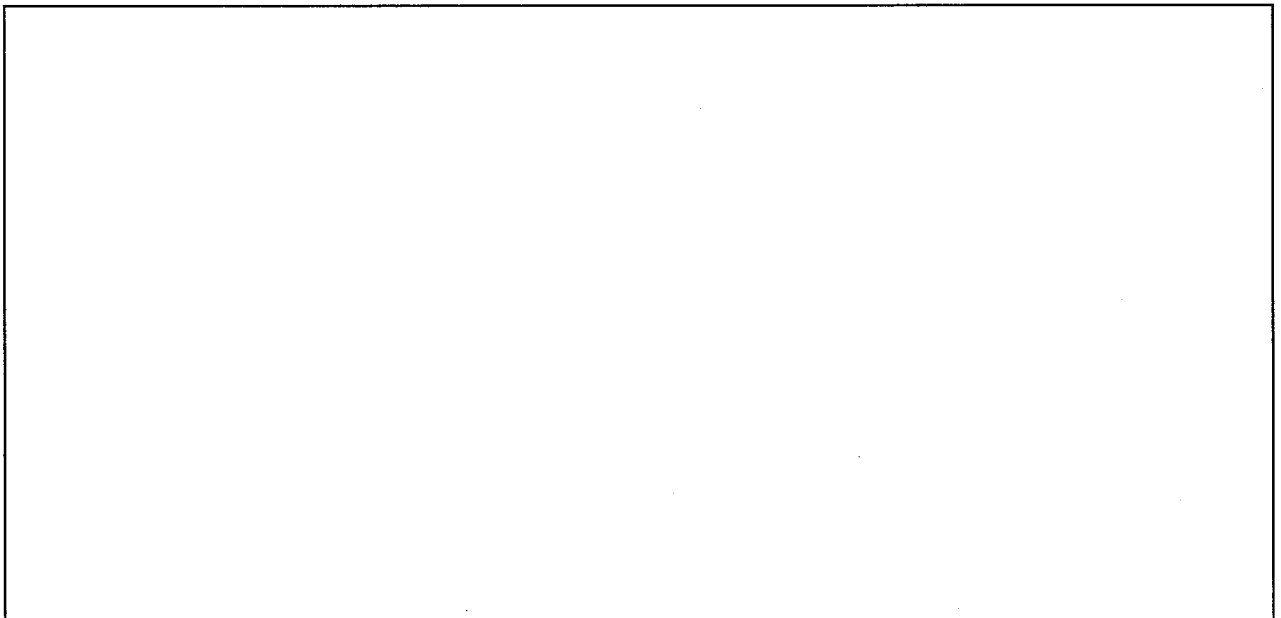
(b) 計算結果

前述の計算方法で求めた各部位の線源強度を、汚染核種が全て ^{60}Co とした場合を(ρ)－第D.付 2.3 表に、汚染核種が全て ^{137}Cs とした場合を(ρ)－第D.付 2.4 表に示す。算定した線源強度は、遮蔽解析の線源強度仕様として用いる。

算出した線源強度の妥当性を確認するため、(ρ)－第D.付 2.3 表又は(ρ)－第D.付 2.4 表に示す線源強度を入力として、燃料集合体表面での線量当量率の軸方向分布を算出した。汚染核種が全て ^{60}Co とした場合を(ρ)－第D.付 2.2 図に、汚染核種が全て ^{137}Cs とした場合を(ρ)－第D.付 2.3 図に、管理基準と併せて示す。各図に示すように、汚染核種が全て ^{60}Co とした場合及び汚染核種が全て ^{137}Cs とした場合とも、燃料集合体表面の線量当量率は、管理基準以上である。従って、(ρ)－第D.付 2.3 表及び(ρ)－第D.付 2.4 表に示す ^{60}Co または ^{137}Cs の線源強度は、遮蔽解析の入力として安全側となっている。

(㍀)－第D. 付 2.3 表 燃料集合体各部位の表面汚染による線源仕様 (^{60}Co)

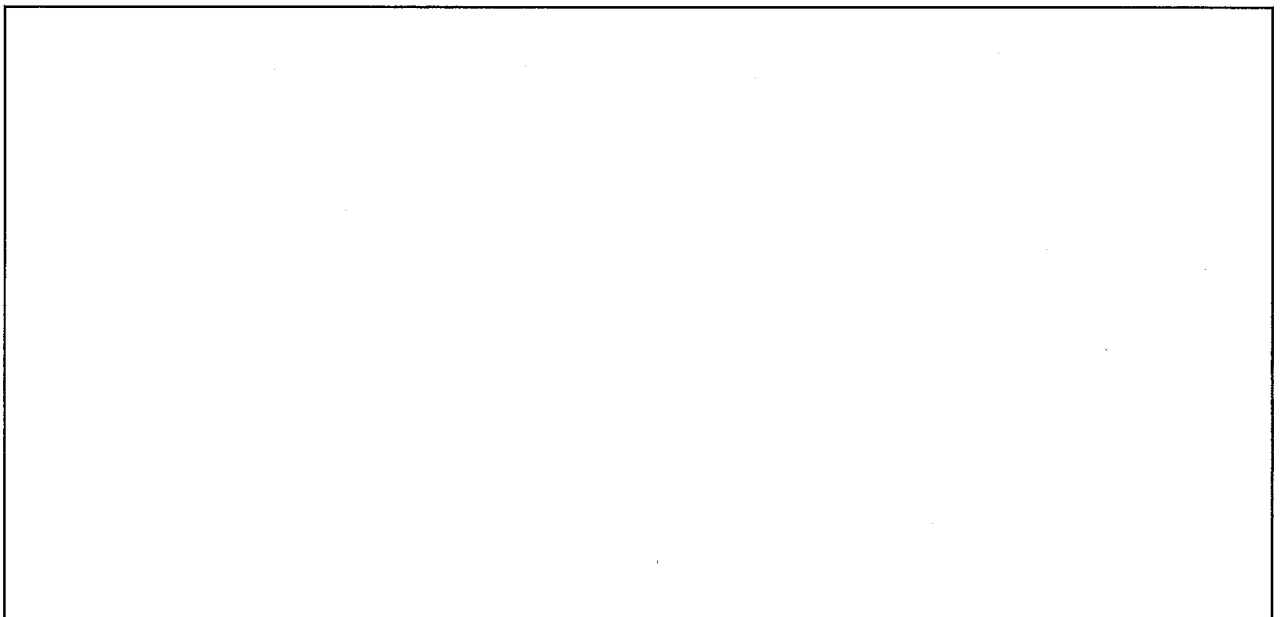
部 位	線源強度 (^{60}Co Bq/集合体)
a. ハンドル部	
b. 上部グリッド部	
c. 上部プレナム部	
d. 燃料有効部	
e. 下部タイプレート部	
合 計	



(㍀)－第D. 付 2.2 図 燃料集合体モデルの表面線量当量率分布 (^{60}Co)

(ア) 第D. 付 2.4 表 燃料集合体各部位の表面汚染による線源仕様 (^{137}Cs)

部 位	線源強度 (^{137}Cs Bq/集合体)
a. ハンドル部	
b. 上部グリッド部	
c. 上部プレナム部	
d. 燃料有効部	
e. 下部タイプレート部	
合 計	



(ア) 第D. 付 2.3 図 燃料集合体モデルの表面線量当量率分布 (^{137}Cs)

D.6.3 付属書類-3 輸送容器当りの汚染核種の放射能の量

輸送容器当りの汚染核種の放射能の量を求め、告示に示された算式を基に本輸送物がA型輸送物に該当することを説明する。なお、本付属書類において、核種の同位体の判別を容易にするため、質量数は元素記号の後に記載する表記としている。(例 $^{60}\text{Co} \rightarrow \text{Co-60}$ 、 $^{137}\text{Cs} \rightarrow \text{Cs-137}$)

(1) 瓦礫分析結果に基づく汚染核種の放射能の量

瓦礫分析結果に基づき、燃料集合体には付属書類-1の(ロ)-第D.付1.3表に示す核種が測定された放射能の量の割合にて付着しているとする。

放射能の量については、まず汚染核種が全てCo-60とした場合及び汚染核種が全てCs-137とした場合で、集合体表面の線量当量率が管理基準以上となる線源強度(放射能の量)を求める(付属書類-2)。次に瓦礫分析結果に基づき、主要核種であるCo-60又はCs-137の放射能の量に対する各核種の比率から、その他核種(Ba-137m、Ni-63、Cs-134、Sr-90、Y-90)の放射能の量を求め、最後に、全ての汚染核種の放射能の量を足し合わせ総量を算出する。

a. 主要核種の放射能の量

汚染核種が全てCo-60とした場合及び汚染核種が全てCs-137とした場合の放射能の量は、付属書類-2の(ロ)-第D.付2.3表及び(ロ)-第D.付2.4表に示しており、燃料集合体1体当りで以下ようになる。

Co-60 : Bq/集合体

Cs-137 : Bq/集合体

次に、Co-60及びCs-137が混在している状態で、燃料集合体表面の線量当量率が管理基準以上となるCo-60及びCs-137の放射能の量を求める。燃料集合体に存在するCo-60の放射能の量をA [Bq/集合体]、Cs-137の放射能の量をB [Bq/集合体]とすると、燃料集合体表面の線量当量率が管理基準以上となるA及びBは下式により与えられる。

$$\frac{A}{\text{}} + \frac{B}{\text{}} \geq 1 \text{ ----- (1)}$$

また、Co-60の放射能の量とCs-137の放射能の量の比率は、付属書類-1の(ロ)-第D.付1.3表より、下式ようになる。

$$A / B = 8.99 \times 10^5 / 3.24 \times 10^5 \text{ ----- (2)}$$

(1)式及び(2)式から A 及び B は以下のように算出される。

A (Co-60 の放射能の量) : Bq/集合体

B (Cs-137 の放射能の量) : Bq/集合体

したがって、Co-60 及び Cs-137 の輸送容器当りの放射能の量は以下ようになる。

Co-60 : Bq/容器 (10 体の燃料集合体)

Cs-137 : Bq/容器 (10 体の燃料集合体)

b. その他核種の放射能の量

その他の核種の放射能の量は、Co-60 又は Cs-137 の放射能の量と付属書類-1 の (ロ) 一第 D. 付 1.3 表に示された比率から算出する。

算出された各核種の放射能の量及び合計値を (ロ) 一第 D. 付 3.1 表に示す。

c. A_2 値の評価

(ロ) 一第 D. 付 3.1 表に示した各核種の最大放射能の量を用いて A_2 値を評価する。

A_2 評価においては、IAEA 輸送規則 (SSR-6 (Rev. 1), 2018) より、Ba-137m 及び Y-90 の A_2 値は親核種の Cs-137 及び Sr-90 の A_2 値で考慮されていることから、Ba-137m 及び Y-90 は A_2 値評価の対象核種からは除外する。これらの核種を除いた 5 核種を対象に、各核種の放射能の量と、 A_2 値を基に、告示別表第四に定められた $\Sigma (x_n/X_n)$ を計算した結果を (ロ) 一第 D. 付 3.2 表に示す。

(ロ) 一第 D. 付 3.2 表に示すように、告示別表第四に定められた $\Sigma (x_n/X_n)$ を計算した結果は であり、1 未満である。また、汚染核種の総放射能の量は TBq/容器となる。

なお、ウランは「未照射、かつ濃縮度 20% 以下のもの」に該当し、 A_2 値は、「制限なし」である。

(㍑)－第D.付3.1表 汚染核種の放射能の量

核種	容器当りの放射能の量 (Bq/容器)	
Co-60		
Cs-137		
Ba-137m		
Ni-63		
Cs-134		
Sr-90		
Y-90		
合計		

(㍑)－第D.付3.2表 汚染核種の放射能の量に基づくA₂値評価

核種	容器当りの放射能 x (TBq)	A ₂ 値 X (TBq)	x _n / X _n	
Co-60		0.4		
Cs-137		0.6		
Ba-137m		—(*1)		
Ni-63		30		
Cs-134		0.7		
Sr-90		0.3		
Y-90		—(*2)		
合計		(ウランを除く)		
A型輸送物のための基準				<1

(*1) Cs-137 に包含されるため除外している。

(*2) Sr-90 に包含されるため除外している。

(備考) Ba-137m 及び Y-90 は半減期 10 日未満の子孫核種

(2) 汚染核種の放射能の量が最も多くなる場合

汚染核種の放射能の量が最も多くなる場合として、線量当量率への寄与の高い Co-60 を含まず、Cs-137 とその他の核種 (Ba-137m、Ni-63、Cs-134、Sr-90、Y-90) となる場合を評価する。燃料集合体表面で測定される線量当量率が同じ場合、放出する放射線のエネルギーがより低い Cs-137 のみと想定することで、燃料集合体に含まれる線源強度 (放射能の量) を、Co-60 と Cs-137 が混在する場合より多く想定することとなる。

a. 各核種の放射能の量

Co-60 を含まない状態は、主要な汚染核種が全て Cs-137 の場合に相当し、その放射能の量は付属書類-2 の(ロ)一第D. 付 2.4 表に示した値の合計値になる。その他核種 (Ba-137m、Ni-63、Cs-134、Sr-90、Y-90) の放射能の量は、付属書類-1 の(ロ)一第D. 付 1.3 表に示した Cs-137 に対する比率を Cs-137 の放射能の量に乗じて算出する。

各核種の放射能の量及び合計値を(ロ)一第D. 付 3.3 表に示す。合計値は汚染核種の最大の放射能の量となる。

b. A_2 値の評価

(ロ)一第D. 付 3.3 表に示した各核種の放射能の量を用いて A_2 値を評価する。前項と同様に、Ba-137m 及び Y-90 は A_2 値評価の対象核種からは除外する。各核種の放射能の量と A_2 値を基に、告示別表第四に定められた $\Sigma(x_n/X_n)$ を計算した結果を(ロ)一第D. 付 3.4 表に示す。

(ロ)一第D. 付 3.4 表に示すように、告示別表第四に定められた $\Sigma(x_n/X_n)$ を計算した結果は であり、1 を下回っている。また、汚染核種の総放射能の量は TBq/容器となる。

なお、ウランは「未照射、かつ濃縮度 20% 以下のもの」に該当し、 A_2 値は、「制限なし」である。

(㍑) 第D. 付 3.3 表 汚染核種の放射能の量 (放射能の量が最大)

核種	容器当りの放射能の量 (Bq/容器)
Co-60	0
Cs-137	[Redacted]
Ba-137m	
Ni-63	
Cs-134	
Sr-90	
Y-90	
合計	

(㍑) 第D. 付 3.4 表 汚染核種の放射能の量に基づく A₂ 値評価 (放射能の量が最大)

核種	容器当りの放射能 x (TBq)	A ₂ 値 X (TBq)	x _n / X _n	
Co-60	0	0.4	0	
Cs-137	[Redacted]	0.6	[Redacted]	
Ba-137m		—(*1)		
Ni-63		30		
Cs-134		0.7		
Sr-90		0.3		
Y-90		—(*2)		
合計		(ウランを除く)		
A型輸送物のための基準				<1

(*1) Cs-137 に包含されるため除外している。

(*2) Sr-90 に包含されるため除外している。

(備考) Ba-137m 及び Y-90 は半減期 10 日未満の子孫核種

(3) プール水のみ汚染がある場合

燃料集合体に瓦礫が付着せず、プール水のみ汚染がある場合として、Co-60 と Ni-63 の 2 核種を汚染核種とした。

a. 各核種の放射能の量

Cs-137 を含まない場合、Co-60 の放射能の量は付属書類-2 の(ロ)一第D.付 2.3 表に示した値の合計値になる。Ni-63 の放射能の量は、付属書類-1 の(ロ)一第D.付 1.3 表に示した Co-60 に対する Ni-63 の比率を Co-60 の放射能の量に乗じて求める。

各核種の最大放射能の量及び合計値を(ロ)一第D.付 3.5 表に示す。

b. A_2 値の評価

(ロ)一第D.付 3.5 表に示した各核種の放射能の量を用いて A_2 値を評価する。各核種の放射能の量及び A_2 値を基に、告示別表第四に定められた $\Sigma(x_n/X_n)$ を計算した結果を(ロ)一第D.付 3.6 表に示す。

(ロ)一第D.付 3.6 表に示すように、告示別表第四に定められた $\Sigma(x_n/X_n)$ を計算した結果は であり、1 を下回っている。また、汚染核種の総放射能の量は TBq/容器となる。

なお、ウランは「未照射、かつ濃縮度 20%以下のもの」に該当し、 A_2 値は、「制限なし」である。

(㍀) 第D. 付 3.5 表 汚染核種の放射能の量 (プール水のみの汚染)

核種	容器当りの放射能の量 (Bq/容器)	
Co-60		
Cs-137		
Ba-137m		
Ni-63		
Cs-134		
Sr-90		
Y-90		
合計		

(㍀) 第D. 付 3.6 表 汚染核種の放射能の量に基づく A₂ 値評価 (プール水のみの汚染)

核種	容器当りの放射能 x (TBq)	A ₂ 値 X (TBq)	x_n / X_n
Co-60		0.4	
Cs-137		0.6	
Ba-137m		—(*1)	
Ni-63		30	
Cs-134		0.7	
Sr-90		0.3	
Y-90		—(*2)	
合計		(ウランを除く)	
A型輸送物のための基準			<1

(*1) Cs-137 に包含されるため除外している。

(*2) Sr-90 に包含されるため除外している。

(備考) Ba-137m 及び Y-90 は半減期 10 日未満の子孫核種

D.6.4 付属書類-4 参考文献

- [1] RSIC Code Package CCC-484, 'DORT two dimensional discrete ordinates transport code system,' Oak Ridge National Laboratory, Nov. 1989.
- [2] A.G.Croff, "ORIGEN2 - A Revised and Updated of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621, July 1980.
- [3] ICRP 74, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", Ann. ICRP 26 (3-4), 1996.
- [4] 東京電力ホールディングス, 「福島第一原子力発電所における日々の放射性物質の分析結果, 線量率等の測定計画及び結果 (2021年4月), II. 管理対象区域内外の測定 (随時測定), 4月19日」
- [5] 東京電力ホールディングス, 「インベントリ比からの評価により求めた核種濃度について」, 2019年4月26日
- [6] 原子力規制委員会, 「東京電力福島第一原子力発電所 事故の分析 中間報告書」, NREP-0001, p103, 平成26年10月8日
- [7] 日本原子力研究開発機構, 「福島第一原子力発電所の燃料組成評価」, JAEA-Data/Code 2012-018, September 2012.
- [8] 国際廃炉研究開発機構/日本原子力研究開発機構, 「福島第一原子力発電所の固体廃棄物試料分析 (現状までの成果報告)」, 平成29年5月25日
- [9] 日本原子力学会, 「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準:2013」, AESJ-SC-F006:2013, 2014年11月
- [10] 東京電力ホールディングス, 「福島第一原子力発電所における日々の放射性物質の分析結果, 1~4号設備・共用設備, 2020年度の分析結果, 1F4新燃料調査 (共用プール) 砂れきの放射能調査」
- [11] 東京電力株式会社, 「4号新燃料調査に関する報告」, 平成24年9月24日

(□) — E 臨界解析

(ロ)－E 臨界解析

E.1 概要

本解析では、規則に定められた条件において未臨界の状態が保たれることを示す。

臨界計算には、米国オークリッジ国立研究所で開発された SCALE システム^[1]を用い、実効増倍率(k_{eff})の計算には多群モンテカルロ計算コード KENO-VI を用いた。

本輸送物の臨界解析モデルは、(ロ)－A 構造解析及び(ロ)－B 熱解析において明らかとなった損傷状態を考慮して、胴外板、胴ガセット及び胴部レジン並びに蓋板、底板及び衝撃吸収カバーを無視し、軸方向に無限長を仮定した安全側のモデルとした。また、燃料集合体が変形する可能性を考慮し、全燃料集合体についてロジメント内での全スパンの燃料棒ピッチを拡大させたモデルとした。

なお、通常輸送時、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件に対し、これらを包含する損傷状態を考慮した同一のモデルとした。

規則で定められる条件とそれぞれの解析条件の対応を(ロ)－第 E.1 表に示す。同表に示すように、輸送物内への浸水を仮定し、かつ、輸送物が任意の配列で無限個存在する配列系の条件で代表した評価を行い、水密度及び境界条件をパラメータとした解析を実施した。

解析の結果、実効増倍率(k_{eff})は 3σ を含めても十分未臨界である。したがって、本輸送物は規則に定めるいずれの条件においても未臨界である。

(ロ)－第E.1表 規則で定められる条件と解析条件の対応

規則で定められる条件				解 析 条 件		
条 件	輸送物数	輸送物内への水の浸入	水の近接反射	輸送物の配置	輸送物内への水の浸入	輸送物周囲の境界条件
1. 通常輸送時	要件なし	要件なし	要件なし	輸送物が任意の配列で無限個存在すると仮定した。	あり	完全反射
2. 孤立系	1 個	あり	あり			
3. 一般の試験条件	1 個 (孤立系)	あり	あり			
4. 特別の試験条件	1 個 (孤立系)	あり	あり			
5. 一般の試験条件	5N 個 ¹⁾ (配列系)	要件なし	あり			
6. 特別の試験条件	2N 個 ¹⁾ (配列系)	要件なし ²⁾	あり			

注 1) N は輸送制限個数を示す。

注 2) (ロ)－A 構造解析の A.9.2 に示されるように、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の 0.9m 浸漬試験において、あらかじめ水の浸入を想定している。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

本輸送容器にはBWR燃料集合体を最大10体収納する。

本輸送容器に収納する燃料集合体の型式と仕様は(イ)―第A.1表に示したとおりであり、臨界解析の対象とする燃料集合体の主要諸元を(ロ)―第E.2表に示す。

燃料集合体には、ガドリニウムを含む燃料棒が含まれる場合があるが、安全側に無視し、ペレットの濃縮度は(ロ)―第E.2表に示すように安全側に全て5.0 wt%とする。

また、輸送容器に収納される燃料集合体について、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件において燃料被覆管が破断しないことを確認しているが、燃料集合体の変形する可能性があるため、全スパンの燃料棒ピッチの変化を仮定する。この燃料棒ピッチの変化としては、安全側に収納缶及びチャンネルボックスを無視し、燃料棒がロジメント内に均一に拡がった場合を考える。

E.2.2 輸送容器

本輸送容器は、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件において以下のような変形が生じる。

- ・ 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の落下試験において、衝撃吸収カバーが変形する。
- ・ 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の落下試験において、内筒、胴外板、胴ガセット、胴部レジン及び衝撃吸収カバーが変形する。また、バスケットの一部が変形・損傷する。
- ・ 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の熱的試験において、内筒が変形し半径が拡大する。また、レジンの一部が炭化する。

本輸送物の臨界解析モデルは、以上の損傷を考慮し、通常輸送時、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件を包含する損傷状態を仮定しモデル化する。詳細は付属書類―1から付属書類―6に示す。

E.2.3 中性子吸収材

本輸送容器は、バスケットに中性子吸収材としてボロン入りステンレス鋼を使用している。ステンレス鋼中のボロン含有量は□wt%以上である。

本輸送容器内の中性子束は低いため、長時間経過しても、この中性子の捕獲によって吸収材が著しく消耗されることはない。

(□)－第E.2表 臨界解析の対象とする燃料集合体の主要諸元

項目	臨界解析で用いた数値等
燃料材質	二酸化ウラン
燃料被覆管材質	ジルカロイ
燃料棒直径 (mm)	11.0
燃料ペレット直径 (mm)	□
燃料被覆管肉厚 (mm)	□
燃料有効長 (mm)	□
燃料棒配列	9×9
集合体当たり燃料棒数 (本)	72
燃料棒ピッチ (mm)	14.5
²³⁵ U 濃縮度 (wt%)	5.0
格子の種類	C 格子及びD 格子

E.3 モデル仕様

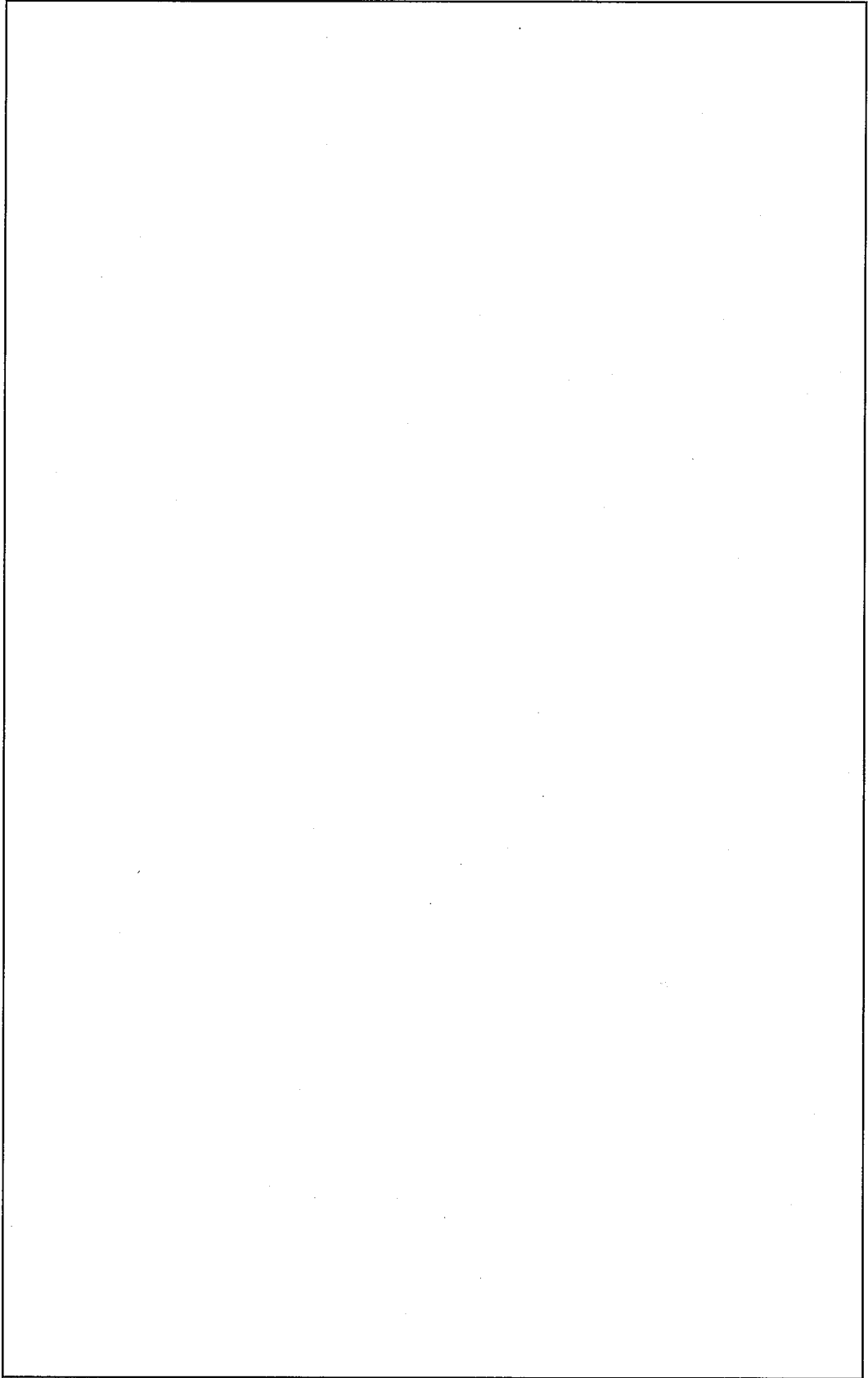
E.3.1 解析モデル

本輸送物の実効増倍率の計算は、(p)－第E.1 図～(p)－第E.5 図に示す解析モデルで行う。解析モデルは以下の領域により構成される。

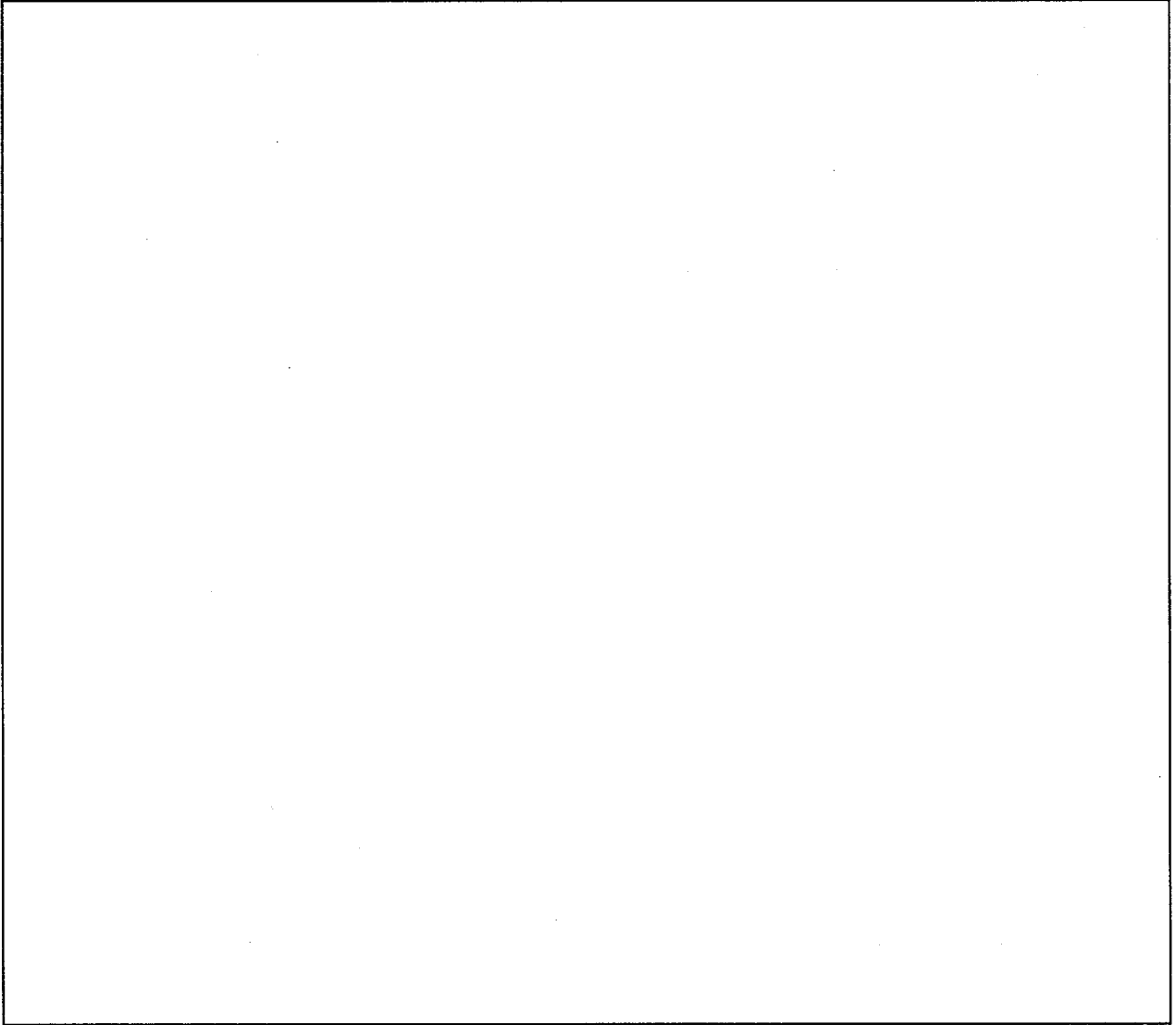
- ① 燃料
- ② 燃料被覆管 (ジルカロイ)
- ③ ロジメント (ボロン入りステンレス鋼)
- ④ (アルミニウム合金)
- ⑤ (アルミニウム合金)
- ⑥ (アルミニウム合金)
- ⑦ 追加遮蔽板 (アルミニウム合金)
- ⑧ アルミスペーサー (アルミニウム合金)
- ⑨ 内筒 (ステンレス鋼)
- ⑩ 水
- ⑪ 空間 (水密度最適化)

解析モデルは、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損傷状態を考慮し、安全側の評価となるように以下の条件を考慮している。(付属書類－1～6)

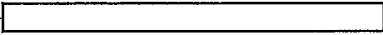
- ・ 軸方向に無限長を仮定し、胴外板、胴ガセット及び胴部レジン並びに蓋板、底板及び衝撃吸収カバーを無視する。
- ・ 容器内の水密度は、実効増倍率が最大となるように g/cm³ とする。
- ・ 輸送物の外側は真空とし、実効増倍率が最大となるように完全反射境界とする。
- ・ ウォーターチャンネル、チャンネルボックス及び収納缶を安全側に無視する。
- ・ 燃料集合体の変形する可能性を考慮し、全燃料集合体についてロジメント内での全スパンの燃料棒ピッチを拡大させた配列とする。

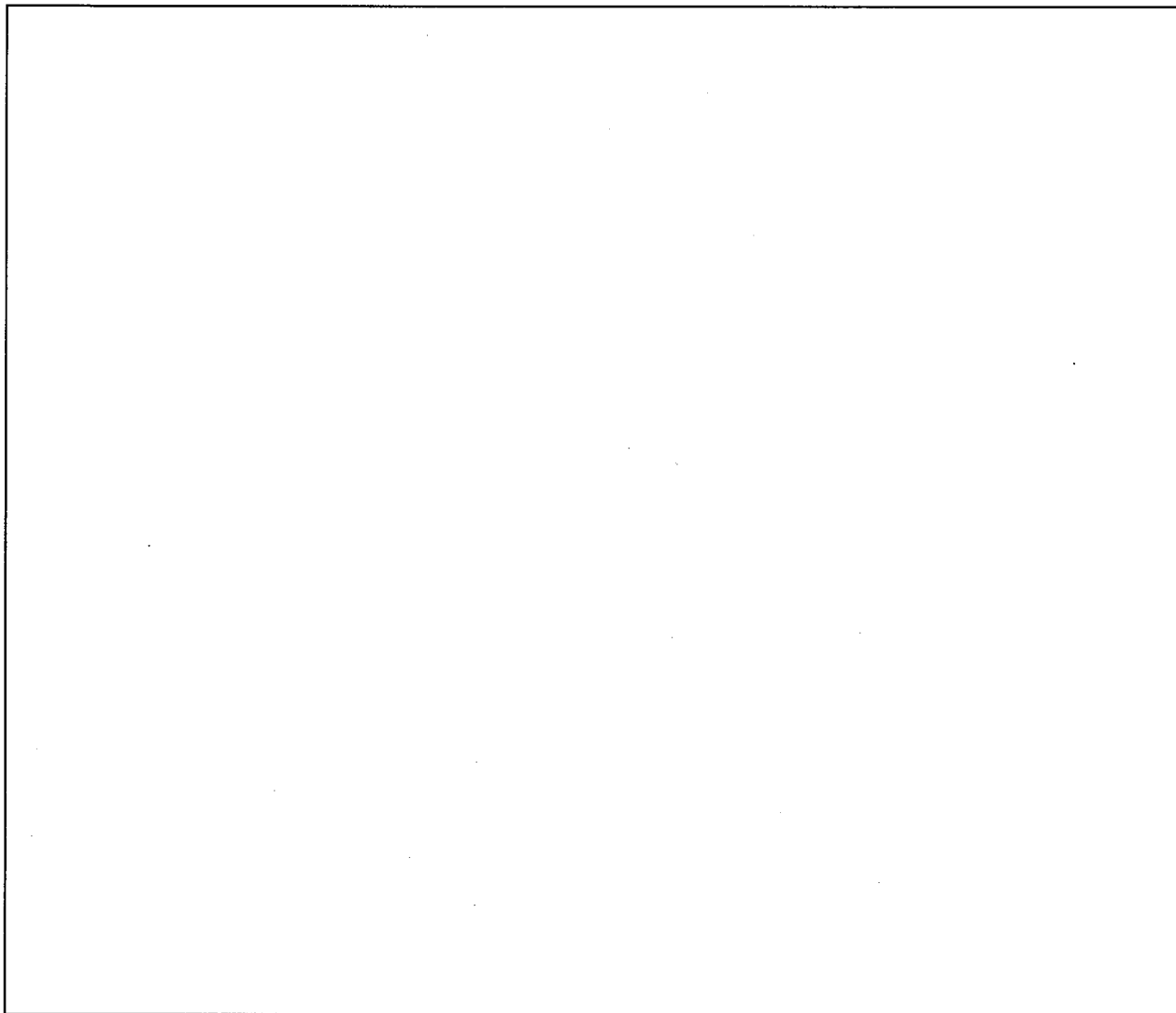


(㉔)－第E.1図 臨界解析モデル（軸方向断面図）

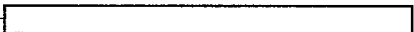


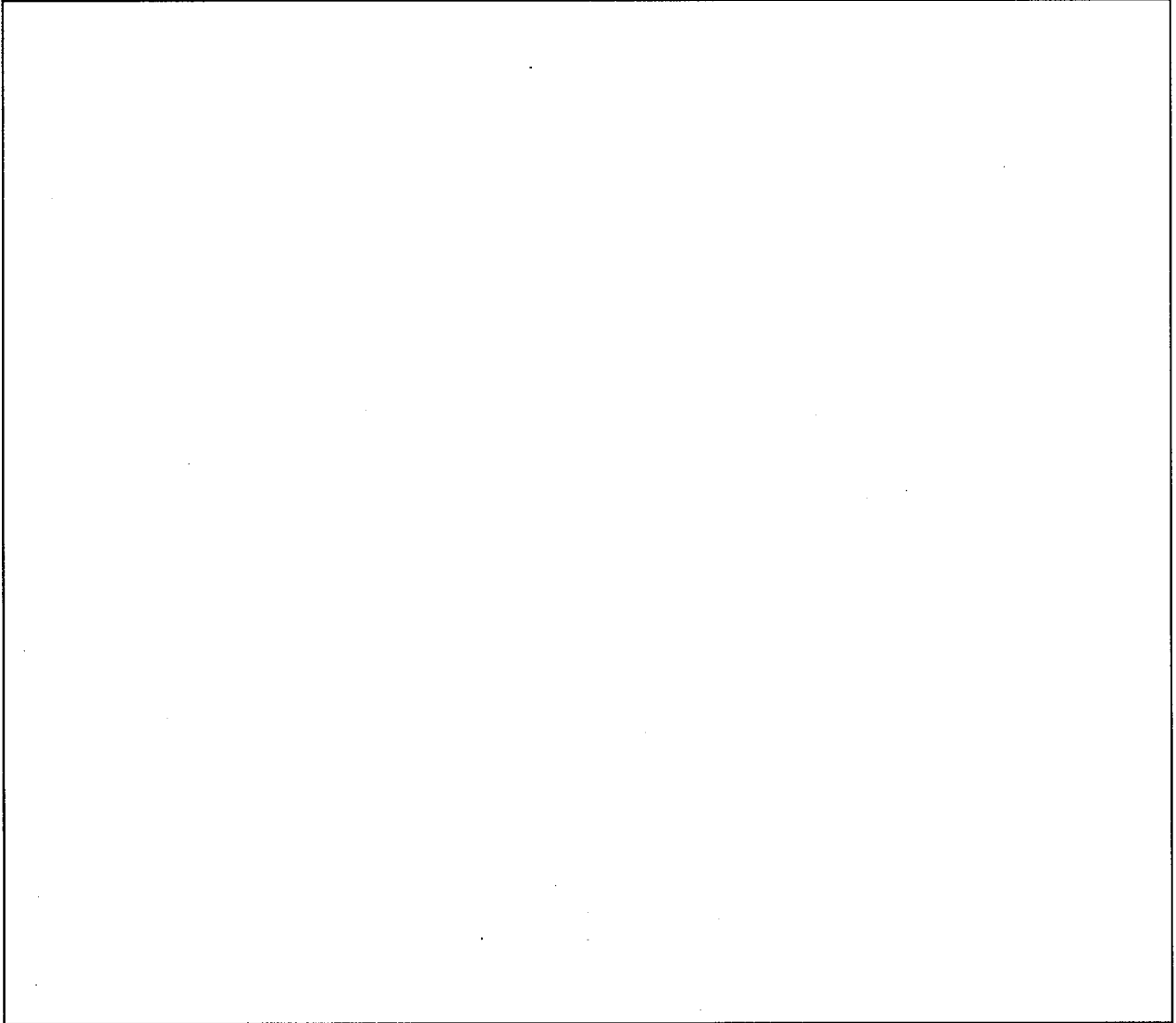
(ロ) 第E.2図 臨界解析モデル (横断面図)

—  (C 格子燃料) —




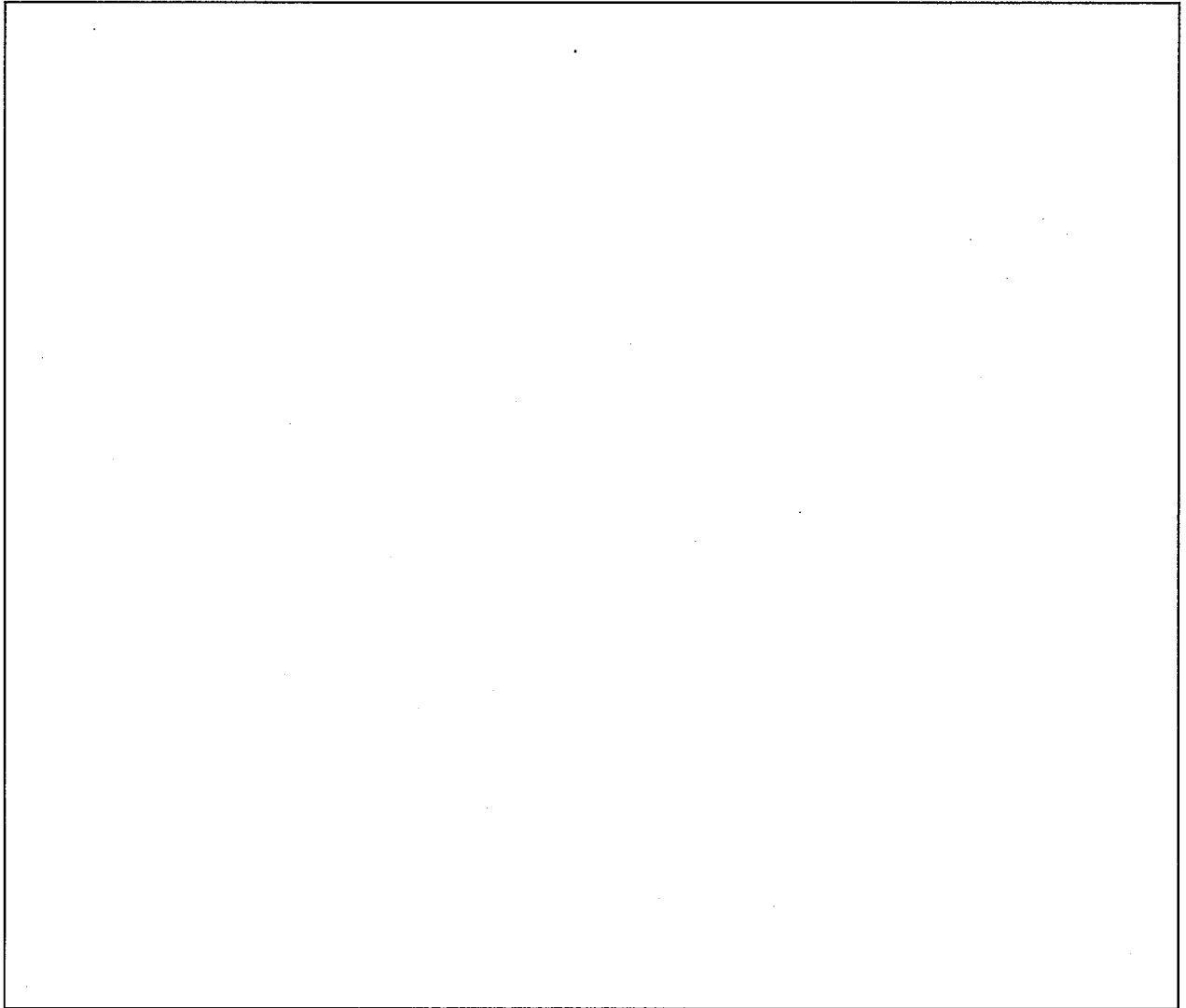
(ロ) ー第E.3 図 臨界解析モデル (横断面図)

—  (C 格子燃料) —




(ロ) 第E.4図 臨界解析モデル (横断面図)

—  (D 格子燃料) —



(ロ) 第E.5図 臨界解析モデル (横断面図)

—  (D 格子燃料) —

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度


臨界解析で用いた各領域の構成各元素の原子個数密度を(ρ)－第E.3表に示す。

なお、原子個数密度は、常温における値を用いた。

(ρ)－第E.3表 臨界解析に用いる各領域の原子個数密度 (1/2)

領 域	材 料	密度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核 種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
①燃 料	二酸化ウラン	10.63	100	0	
				²³⁵ U	
				²³⁸ U	
②燃料被覆管	ジルカロイ	6.55	100	Zr	
				Sn	
③ロジメント	ボロン入り ステンレス鋼	7.80	100	¹⁰ B	
				¹¹ B	
				Cr	
				Fe	
				Ni	
④ <input type="text"/>	アルミニウム 合金	2.78	100	Mg	
⑤ <input type="text"/>				Al	
				Cu	
⑥ <input type="text"/>	アルミニウム 合金	2.80	100	Mg	
				Al	
				Cu	
				Zn	
⑦追加遮蔽板	アルミニウム 合金	2.84	100	Al	
				Cu	
⑧アルミスペーサー	アルミニウム 合金	2.70	100	Mg	
				Al	

(ア)－第E.3表 臨界解析に用いる各領域の原子個数密度 (2/2)

領域	材料	密度 (g/cm ³)	体積比 (%)	核種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
⑨内筒	 ステンレス鋼	7.80	100	Cr	
				Fe	
				Ni	
				Cu	
				Mo	
⑩水	水	1.00	100	H	
				O	

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

収納物、輸送容器及び中性子吸収材のモデル化の妥当性について以下に示す。

(1) 収納物

輸送物の燃料の最大収納量は 10 体であるため、本解析では最大収納量の場合を想定している。また、(p)－第 E.2 表に示す燃料に対し、燃料集合体の変形する可能性を考慮し、全スパンの燃料棒をロジメント内に均一にピッチ拡大させている。燃料集合体の格子形状については、C 格子燃料及び D 格子燃料のそれぞれについて評価している。(付属書類－2)

(2) 輸送容器

臨界解析では、軸方向に無限長を仮定し、胴外板、胴ガセット及び胴部レジン並びに蓋板、底板及び衝撃吸収カバーを、安全側の仮定とするため無視している。

(3) 中性子吸収材

中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼に含まれるボロンの含有量を、最低保証値である wt% としており、十分安全側の解析モデルとなっている。また、本輸送容器内の中性子束は低いため、長時間経過しても、この中性子の捕獲によって吸収材が著しく消耗されることはない。(p)－F 核燃料輸送物の経年変化の考慮 F.4.3 付属書類－3)

E.4.2 核燃料輸送物への水の浸入等

最大の実効増倍率を評価するために、輸送物内へ水が浸入するものとしている。(付属書類－3) なお、燃料集合体は収納缶に梱包されたうえで輸送容器に収納されるが、臨界解析では収納缶の存在を無視し、燃料集合体の外表面まで水が浸入するものとしている。

また、(i)－D に示すように、燃料集合体を輸送容器に収納する際に、収納缶及び必要に応じて梱包材が使用されるが、これらの存在を考慮する場合に比べて、無視して燃料棒ピッチを拡大させた方が実効増倍率は大きくなることを確認しており(付属書類－7)、保守的に収納缶及び梱包材の存在を無視する。

E.4.3 計算方法

臨界計算には、米国オークリッジ国立研究所で開発された SCALE システム^[1]を用い、実効増倍率(k_{eff})の計算には多群モンテカルロ計算コード KENO-VI を用いる。

燃料領域以外の領域の群定数計算には共鳴計算処理コード CENTRN/PMC/WORKER を、燃料

領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI、CENTRN/PMC/WORKER 及び一次元輸送計算コード XSDRNPM を用いる。核データライブラリーは SCALE システムの内蔵ライブラリーデータの一つである ENDF/B-VII 238 群ライブラリーデータを用いる。

E.4.4 計算結果

臨界計算の結果を(Ⅱ)－第E.4表に示す。

本計算の結果、実効増倍率に標準偏差の 3 倍を含めても (C 格子燃料の場合) 及び (D 格子燃料の場合) であり、未臨界であることが確認された。

(Ⅱ)－第E.4表 臨界解析結果

燃料の格子形状	k_{eff}	σ	$k_{eff} + 3\sigma$
C 格子			
D 格子			

E.5 ベンチマーク試験

SCALE コードシステムは、米国オークリッジ国立研究所で、原子力関連許認可評価用に開発された解析コードであり、様々なベンチマーク解析により十分な検証が行われている。

ここでは、米国 Pacific Northwest Laboratories (PNL) で行われた臨界実験^[2]を対象としたベンチマーク解析を実施した。

(1) ベンチマーク試験

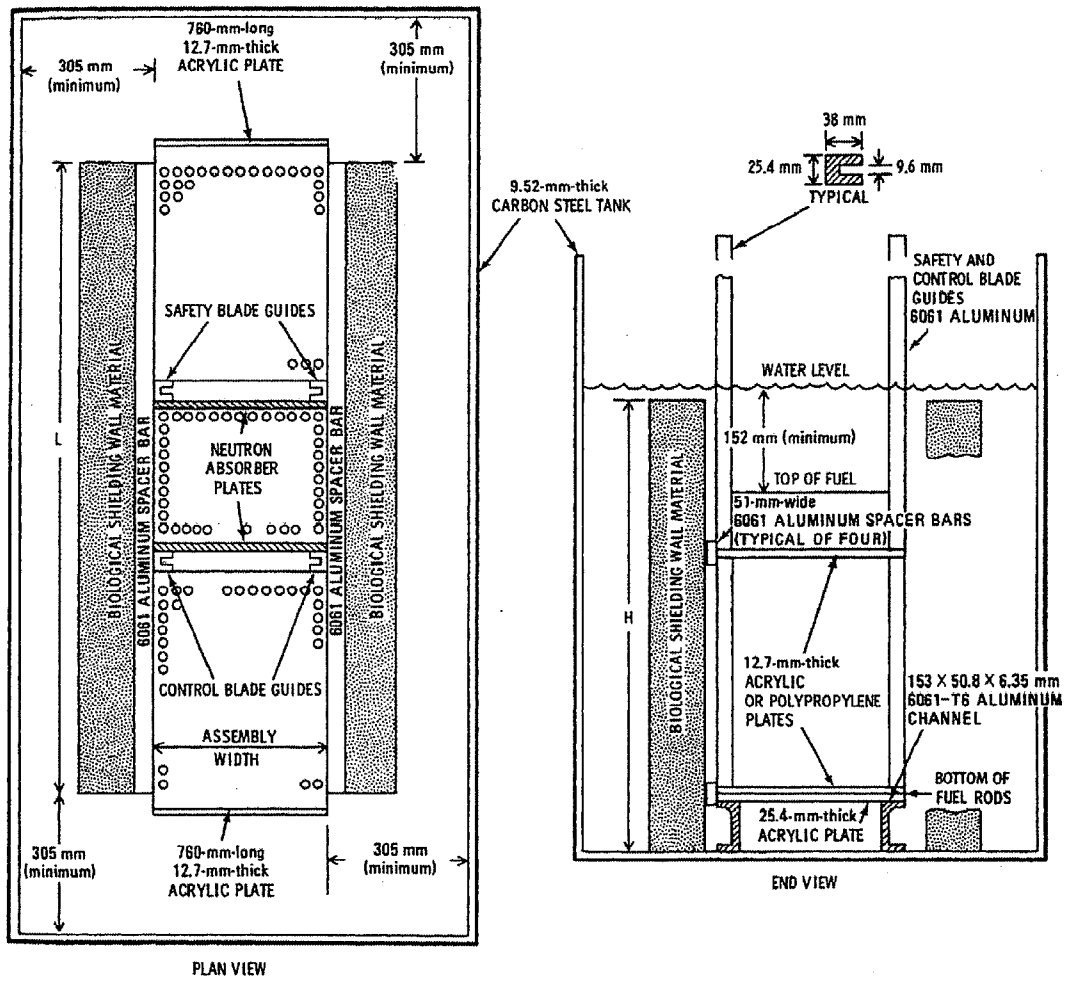
ベンチマーク解析対象とした PNL-3602 臨界実験の体系は、鉄の反射体に挟まれた 3 つのクラスタ（低濃縮ウラン燃料棒を正方格子に配列した体系）の間に中性子吸収材を設置したものであり、中性子吸収材の種類、板厚、水ギャップ幅及び燃料のウラン濃縮度など、輸送物の臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。実験体系の概要を (p)－第 E.6 図に示す。

(2) ベンチマーク解析条件

ベンチマーク解析は、国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project (ICSBEP)) の評価書から低濃縮二酸化ウラン燃料によるベンチマーク試験^{[3]~[6]}を選択した。本ベンチマーク解析では、本輸送物の臨界解析条件に合わせるために、ライブラリは ENDF/B-VII、計算コードは KENO-VI を用いた。

(3) ベンチマーク解析結果

ベンチマーク解析の結果を (p)－第 E.5 表に示す。ベンチマーク解析の結果は臨界試験結果と精度良く一致しており、使用した解析コード及び核データは妥当な結果を与えることが確認された。



(a) - 第 E. 6 図 PNL-3602 の臨界実験体系

(㉓) - 第E.5表 ベンチマーク解析の結果

試験番号	^{235}U 濃縮度 (wt%)	中性子吸収材	k_{eff}	σ
LEU-COMP-THERM-017-CASE17	2.35	—	0.99845	0.00024
LEU-COMP-THERM-042-CASE1	2.35	SUS304L	0.99679	0.00025
LEU-COMP-THERM-042-CASE2	2.35	SUS304L-1.1wt%B	0.99694	0.00026
LEU-COMP-THERM-042-CASE3	2.35	BORAL B	0.99795	0.00026
LEU-COMP-THERM-042-CASE4	2.35	BORAFLEX	0.99783	0.00028
LEU-COMP-THERM-042-CASE5	2.35	Cadmium	0.99772	0.00028
LEU-COMP-THERM-042-CASE6	2.35	Copper	0.99876	0.00026
LEU-COMP-THERM-042-CASE7	2.35	Copper-Cadmium	0.99670	0.00027
LEU-COMP-THERM-010-CASE17	4.31	—	1.00144	0.00028
LEU-COMP-THERM-013-CASE1	4.31	SUS304L	1.00051	0.00029
LEU-COMP-THERM-013-CASE2	4.31	SUS304L-1.1wt%B	1.00078	0.00029
LEU-COMP-THERM-013-CASE3	4.31	BORAL B	1.00007	0.00029
LEU-COMP-THERM-013-CASE4	4.31	BORAFLEX	1.00076	0.00029
LEU-COMP-THERM-013-CASE5	4.31	Cadmium	0.99968	0.00028
LEU-COMP-THERM-013-CASE6	4.31	Copper	0.99997	0.00028
LEU-COMP-THERM-013-CASE7	4.31	Copper-Cadmium	0.99966	0.00029
平均値			0.99900	
標準偏差			0.00156	
最 小			0.99670	
最 大			1.00144	

E.6 結果の要約及びその評価

本輸送容器には、輸送中に燃料集合体が分散あるいは集合しないように、燃料集合体を収納するバスケットが用いられている。燃料集合体を挿入するロジメントには中性子吸収材であるボロンを含むボロン入りステンレス鋼が採用されている。

本輸送容器の臨界解析は、

- 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 特別の試験条件下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

の条件を包含するように、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件での最大損傷を考慮し、かつ、輸送物内部への浸水を仮定した配列系の条件で行い、十分未臨界という結果となった。

したがって、上記の①～⑥のいずれの条件においても未臨界は維持される。

E.7 付属書類

E.7.1 付属書類-1 輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法

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損傷状態と臨界解析のモデル化方法を(□)-第E.付1.1表～(□)-第E.付1.3表に示す。

なお、E.1及び(□)-第E.1表に示したように、本解析においては、規則で定められた条件を包含するように、通常輸送時、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件に対し、これらを包含する損傷状態を考慮し、かつ、輸送物内への浸水を仮定した配列系の条件を用いた評価を行う。

(p) ー 第 E. 付 I. 1 表 輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法 (本体、蓋部及び衝撃吸収カバナー)

部位	核分裂性輸送物に係る ¹⁾ 一般及び特別の試験条件	輸送物の損傷状態	臨界解析のモデル化方法	備考
本体、蓋部及び衝撃吸収カバナー	自由落下及び落下試験 I (0.3m+9m 落下時)	<ul style="list-style-type: none"> ・内筒に最大 <input type="text"/> %、胴ガセットに最大 <input type="text"/> %、胴外板に最大 <input type="text"/> %、上部フランジに最大 <input type="text"/> % 及び底板に最大 <input type="text"/> % の局所的な塑性歪が発生するが、<input type="text"/> 下回る。 ・衝撃吸収カバナーに最大 <input type="text"/> mm の変形が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ (p) ー 第 E. 1 図 ~ (p) ー 第 E. 5 図に示すように、内筒のみをモデル化し、以下を無視する。 <ul style="list-style-type: none"> ー 胴ガセット ー 胴外板 ー 胴部レジン ー 上部フランジ ー 底板 ー 蓋板 ー 衝撃吸収カバナー 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内筒より外側を無視することとで安全側に輸送物間距離を接近させたモデルとしている。 ・ 内筒の変形については、以下の理由から変形を無視しモデル化している。 <ul style="list-style-type: none"> ー 自由落下及び落下試験 I において内筒に発生する塑性歪は、局所的かつ軽微であり、形状変化の影響は無視し得る。 ー 落下試験 II における内筒の変形については、実効増倍率への影響は無視し得る。(付属書類 ー 4) ー 熱的試験における内筒の拡大については、実効増倍率への影響は無視し得る。(付属書類 ー 6) ・ 容器内外での水密度については、実効増倍率が最大となるように最適化した条件としている。(付属書類 ー 3)
	落下試験 II (1m 落下時)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 胴外板、胴ガセットが破断し胴部レジンが露出する。 ・ 内筒の一部が内側に膨らむが破断には至らない。 ・ 蓋部レジンに最大約 <input type="text"/> mm、底部レジンに最大約 <input type="text"/> mm のへこみが生じる。 ・ 衝撃吸収カバナーが貫通する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物が任意の配列で無制限存在すると仮定する。²⁾ 	
	熱的試験 (耐火試験)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内筒の中央部分が膨らむように変形して内径が <input type="text"/> mm 大きくなる。 ・ レジンの一部が炭化する。 ・ 衝撃吸収カバナー内部の木材の一部が炭化する。 		
	浸漬試験 (0.9m 及び 15m 浸漬)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 15m 浸漬試験において損傷しない。 ・ 0.9m 浸漬試験では、輸送容器の損傷に係わらず、容器内部への浸水を想定している。 		

注 1) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件での水噴霧、積み重ね試験及び貫通において、輸送物への損傷は生じない。

注 2) 臨界解析モデル全体の共通事項

(ロ)一第E.付1.2表 輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法 (バスケット)

部位	核分裂性輸送物に係る ¹⁾ 一般及び特別の試験条件	輸送物の損傷状態 ²⁾	臨界解析のモデル化方法	備考
バスケット	自由落下及び落下試験 I (0.3m+9m落下時)	<ul style="list-style-type: none"> ・ [] に最大 [] %の局所的な塑性歪が発生するが、 [] 下回る。 ・ アルミスペーサーに最大 [] %の局所的な塑性歪が発生するが、 [] 下回る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ (ロ)一第E.1図～(ロ)一第E.5図に示すように、以下の部位をモデル化する。 <ul style="list-style-type: none"> ーロジメント [] ー [] ーアルミスペーサー [] ー追加遮蔽板²⁾ [] ー []²⁾ [] ・ 各部位の変形はモデルに反映させず、製作公差を安全側に考慮したモデルとする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自由落下及び落下試験 Iにおいて、 [] 及びアルミスペーサーに発生する塑性歪は局所的かつ軽微であり、形状変化の影響は無視し得る。 ・ 落下試験 IIにおいて生じる各変形については、以下の理由から変形を無視しモデル化している。 <ul style="list-style-type: none"> ー直撃部近傍のアルミスペーサーの変形については、実効増倍率への影響は無視し得る。(付属書類-4) ー [] に は局所的に [] 損傷が生じる可能性があるが、 [] [] には破断は生じず、役割であるロジメントの保持機能は維持されている (ロジメントの配置は維持される)。 ーロジメントには、燃料集合体を損傷させるような変形は生じない。 ・ 熱的試験におけるアルミスペーサーの変形は軽微であり、形状変化の影響は無視し得る。
	落下試験 II (1m落下時)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直撃部近傍のアルミスペーサーが変形する。 ・ [] に [] ・ [] 塑性歪が局所的に発生するが、 [] に発生した塑性歪 (最大 [] %) は [] 下回る。 ・ [] に最大 [] %の局所的な塑性歪が発生するが、 [] 下回る。 ・ 最大変形時においてもロジメントと収納物の間には隙間が存在する。 ([] 燃料集合体が損傷することはない。) 		
	熱的試験 (耐火試験)	<ul style="list-style-type: none"> ・ バスケットと容器本体の熱膨張差により、アルミスペーサーは径方向に最大 [] mmの圧縮変形を受ける。 		
	浸漬試験 (0.9m及び15m浸漬)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 15m浸漬試験において損傷しない。 ・ 0.9m浸漬試験では、輸送容器の損傷に係わらず、容器内部への浸水を想定している。 		

注1) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件での水噴霧、積み重ね試験及び貫通において、輸送物への損傷は生じない。

注2) 追加遮蔽板と [] の損傷状態は示されていないが、安全側の評価になるためモデル化する部位として考慮している。(付属書類-6)

(p)一第E.付1.3表 輸送物の損傷状態と臨界解析のモデル化方法 (収納物)

部位	核分裂性輸送物に係る ¹⁾ 一般及び特別の試験条件	輸送物の損傷状態	臨界解析のモデル化方法	備考
収納物	自由落下及び落下試験 I (0.3m+9m落下時)	・燃料被覆管は破断することはない。	<ul style="list-style-type: none"> ・(p)一第E.2 図～(p)一第E.5 図に示すように、燃料集合体のうち燃料(二酸化ウラン)と燃料被覆管のみをモデル化し、軸方向に無限長を仮定する。 ・燃料集合体について全ストロンの燃料棒がロジメント内に均一に広がった場合を仮定する。 ・燃料被覆管内部への水の浸入は想定しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全ストロンの燃料棒がロジメント内に均一に広がった場合について、燃料棒ピッチをパラメータとした感度解析を行い、実効増倍率が最大となる条件で評価している。(付属書類-2)
	落下試験 II (1m落下時)	・燃料被覆管は破断することはない。		
	熱的試験 (耐火試験)	・燃料被覆管は破断することはない。		
	浸漬試験 (0.9m及び15m浸漬)	・15m浸漬試験において燃料被覆管は破断することはない。		

注1) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件での水噴霧、積み重ね試験及び貫通において、輸送物への損傷は生じない。

E.7.2 付属書類-2 燃料集合体の燃料棒ピッチが与える影響の評価

E.2.1 に示すように、燃料集合体については、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件において燃料集合体に変形する可能性を考慮し、全スパンの燃料棒ピッチの変化を仮定した。この燃料棒ピッチの変化としては、燃料棒がロジメント内に均一に広がった場合を考えている。

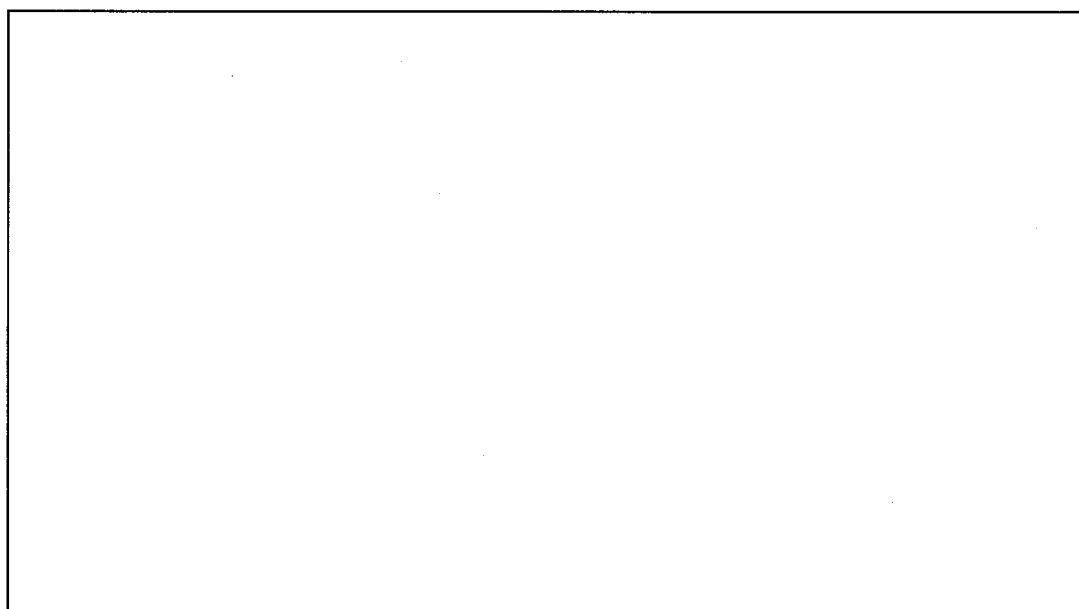
ここでは、燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に与える影響についてサーベイを行い、この仮定が安全側であることを確認する。燃料棒の配列は正方格子とし、ウォーターチャンネルの位置が異なる C 格子燃料と D 格子燃料のそれぞれについて、燃料棒ピッチが最小となる燃料棒同士が接した状態からロジメント内で最大に拡大した状態までサーベイを行った。燃料棒ピッチを除き解析モデルは E.3 モデル仕様で述べたものと同一である。

燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に与える影響を C 格子燃料については (E) - 第 E. 付 2.1 表及び (E) - 第 E. 付 2.1 図に、D 格子燃料については (E) - 第 E. 付 2.2 表及び (E) - 第 E. 付 2.2 図に示す。サーベイの結果、燃料棒ピッチが最大の場合に輸送物の実効増倍率が最大となることが確認された。

なお、C 格子燃料と D 格子燃料では同じ傾向を示したが、燃料棒ピッチが最大に拡大した状態では、わずかに D 格子燃料における実効増倍率が高くなった。このため、D 格子燃料での解析モデルを用いて影響確認を実施する (付属書類-3~7)。

(ア) 第E.付 2.1 表 燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に与える影響 (C 格子燃料)

ピッチ (cm)	k_{eff}	σ	$k_{eff} + 3\sigma$



(ア) 第E.付 2.1 図 燃料棒ピッチが輸送物の実効増倍率に与える影響 (C 格子燃料)

E.7.3 付属書類-3 容器内外の空間の水密度が与える影響の評価

E.3.1 に示すように容器内の水密度は \square g/cm³、輸送物間の空間は真空としている。ここでは、これら容器内外の空間の水密度が輸送物の実効増倍率に与える影響についてサーベイを行い、実効増倍率が最大となるように水密度の最適化を行った結果を示す。

なお、ここでは、C 格子燃料と D 格子燃料のうち、付属書類-2 の評価において、最大の実効増倍率を示した D 格子燃料のモデルを用いる。

(1) 容器内の空間の水密度が与える影響の評価

解析条件は E.3 モデル仕様に示したものと同一であるが、容器内の空間の水密度を 0.0 g/cm³ から 1.0 g/cm³ まで変化させて輸送物の実効増倍率に与える影響についてサーベイを行う。

サーベイの結果、(p)-第 E. 付 3.1 表及び (p)-第 E. 付 3.1 図に示すように、容器内の空間の水密度が \square g/cm³ の場合に輸送物の実効増倍率が最大となることが確認された。

(2) 容器外の空間の水密度が与える影響の評価

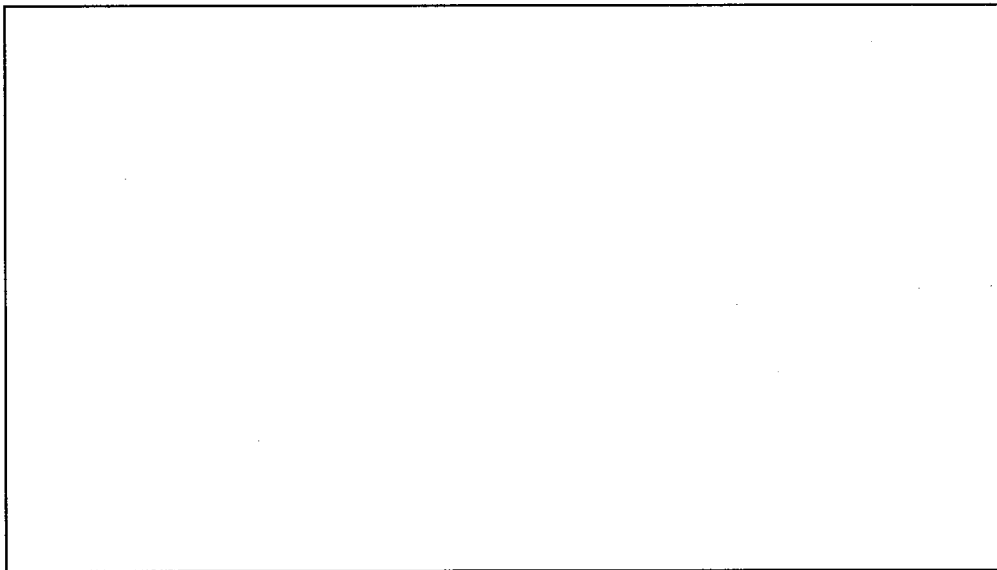
解析条件は E.3 モデル仕様に示したものと同一であるが、容器外の空間に水が存在することを仮定して、水密度を 0.0 g/cm³ から 1.0 g/cm³ まで変化させて輸送物の実効増倍率に与える影響についてサーベイを行う。

サーベイの結果、(p)-第 E. 付 3.2 表及び (p)-第 E. 付 3.2 図に示すように、容器外の空間の水の存在が実効増倍率へ与える影響は無視できることが確認された。

(㊦)－第E.付3.1表 容器内の空間の水密度が与える影響の評価

水密度 (g/cm ³)	k_{eff}	σ	$k_{eff}+3\sigma$
0.0			
0.05			
0.1			
0.2			
0.3			
0.4			
0.6			
0.8			
1.0			

(注記) 上記はD格子燃料による評価結果



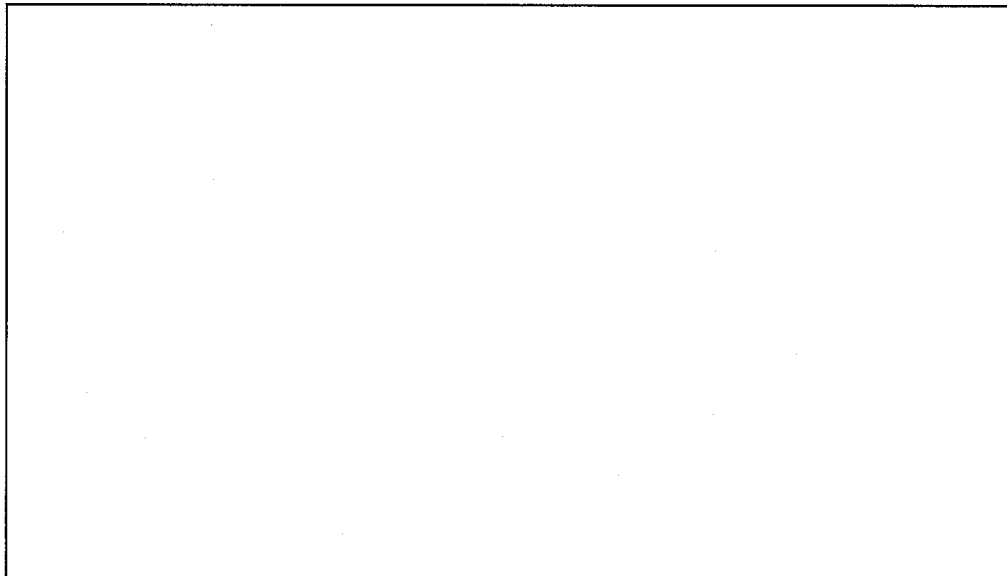
(注記) 上記はD格子燃料による評価結果

(㊦)－第E.付3.1図 容器内の空間の水密度が与える影響の評価

(ロ)一第E.付3.2表 容器外の空間の水密度が与える影響の評価

水密度 (g/cm ³)	k _{eff}	σ	k _{eff} +3σ
0.0			
0.1			
0.2			
0.3			
0.4			
0.6			
0.8			
1.0			

(注記) 上記はD格子燃料による評価結果



(注記) 上記はD格子燃料による評価結果

(ロ)一第E.付3.2図 容器外の空間の水密度が与える影響の評価

E.7.4 付属書類-4 内筒とアルミスペーサーの変形を考慮した実効増倍率

(ロ) - A 構造解析の A.9.2 に示すように、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の胴部を直撃する 1m 落下試験において、直撃部では内筒とアルミスペーサーが内側に押し付けられるように変形する。

この影響を確認するために、部分的に内筒とアルミスペーサー（外周部）を部品間の隙間なく内側に押し付けた形状を与えた解析モデルによる計算を行った。

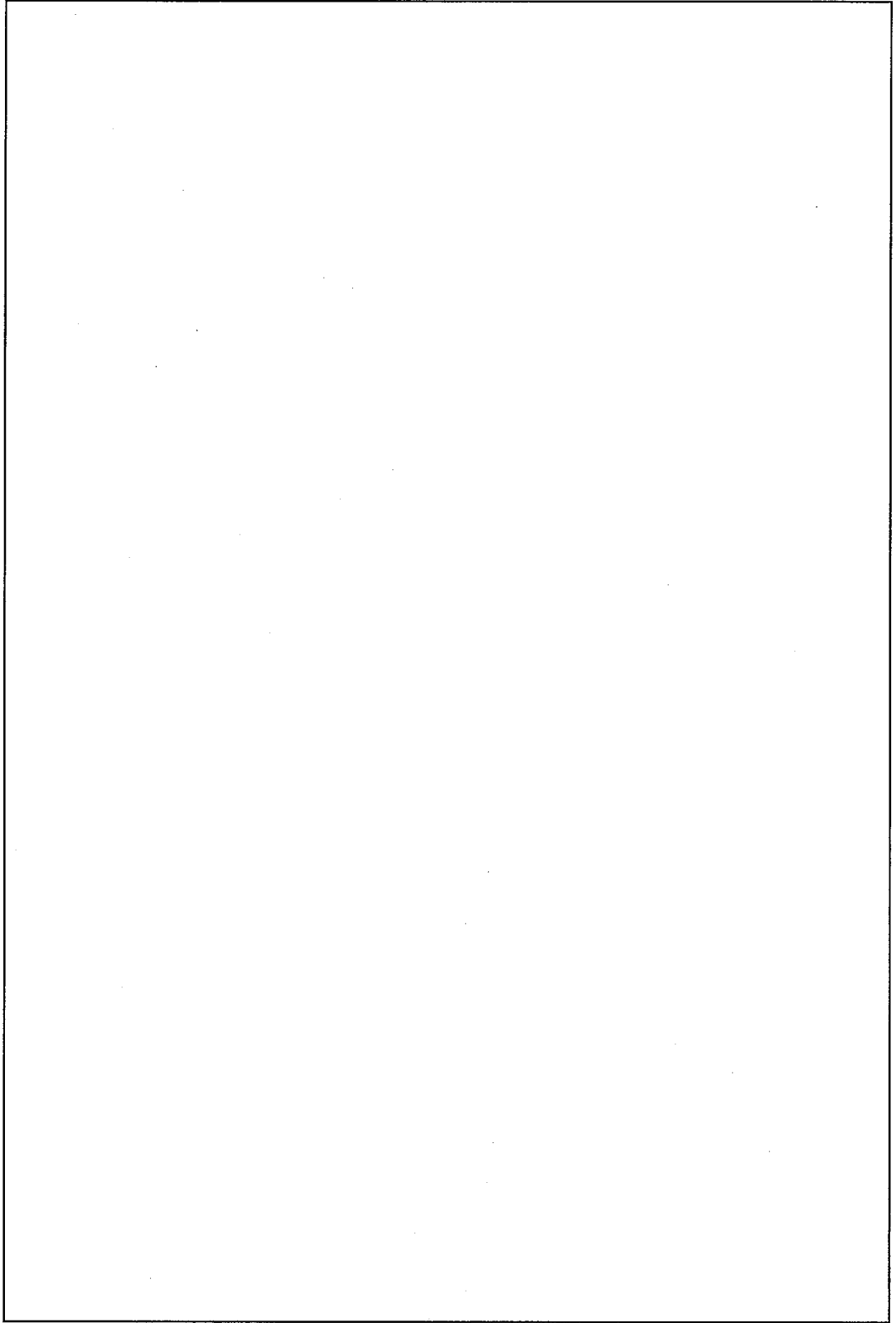
変形させる範囲は、落下試験の結果を包含するように、軸方向については 1 つの のある領域を含む 2 つの のない領域とした。また、径方向位置については、代表としてモデル図の 45° 方向と 90° 方向の 2 ケースを考慮した。

なお、変形は直撃部に限定されるため、完全反射境界の位置は変更していない。

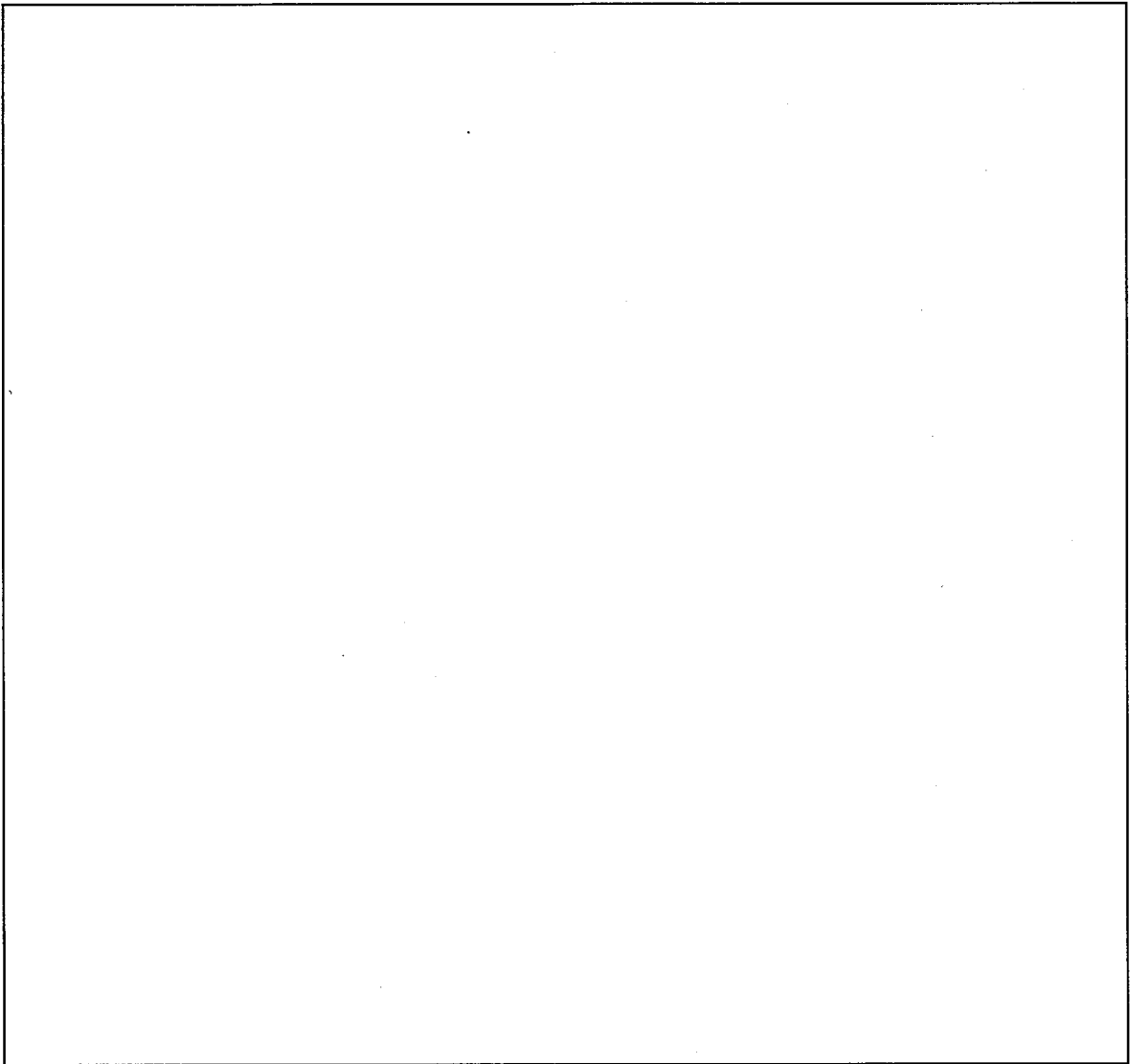
また、ここでは、C 格子燃料と D 格子燃料のうち、付属書類-2 の評価において、最大の実効増倍率を示した D 格子燃料のモデルを用いる。

解析モデルを (ロ) - 第 E. 付 4.1 図 ~ (ロ) - 第 E. 付 4.5 図 に示す。E.3.1 に示した解析モデルとの違いは上述した内筒とアルミスペーサー（外周部）の変形のみである。その他の解析条件は E.3 モデル仕様に示したものと同一である。

(ロ) - 第 E. 付 4.1 表 に示すように、部分的な内筒とアルミスペーサー（外周部）の変形による実効増倍率への影響は無視できることが確認された。

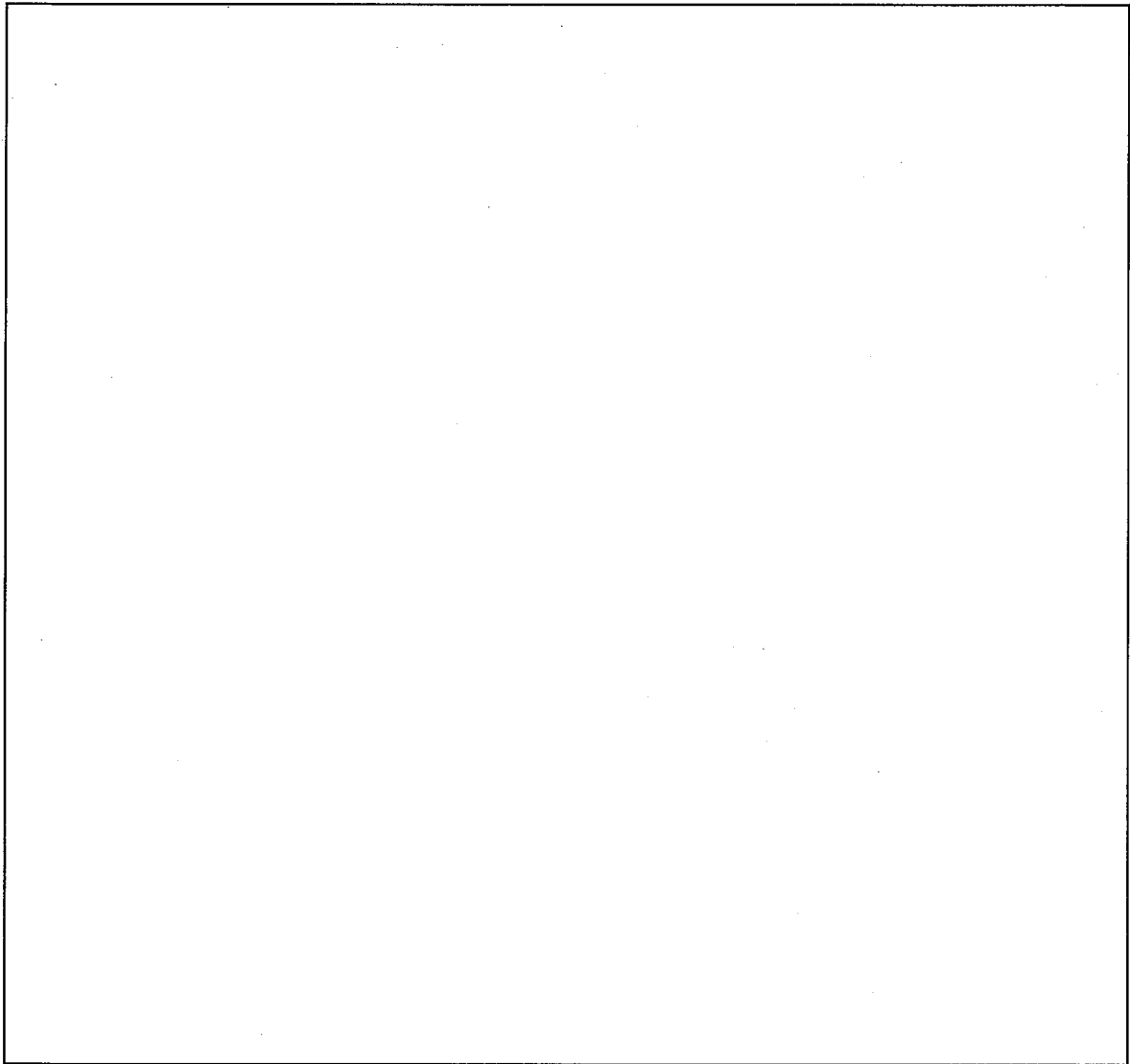


(p)－第E.付4.1図 内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための臨界解析モデル
(縦断面図)

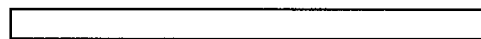


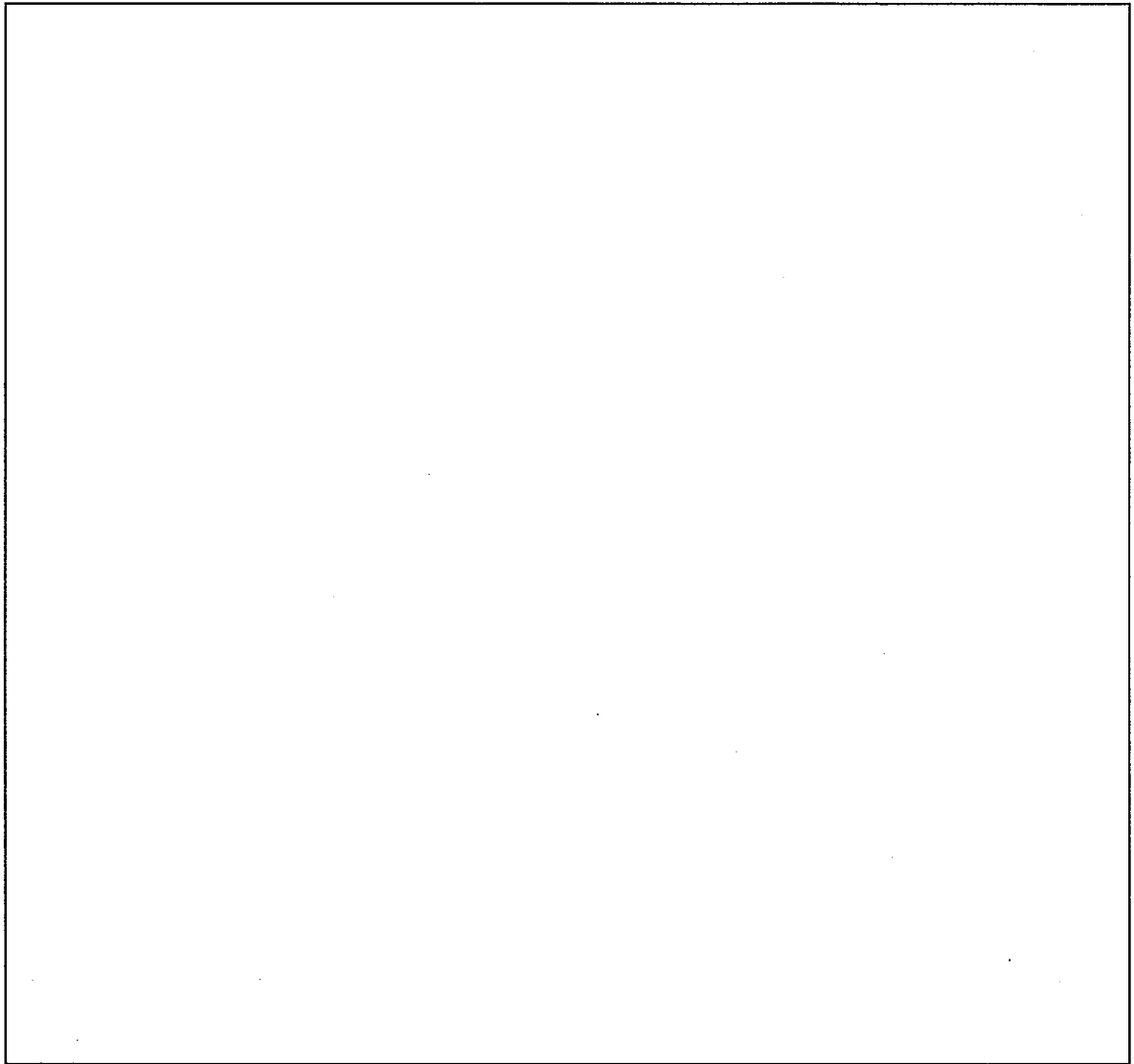
(ロ)一第E.付4.2図 内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための臨界解析モデル
(変形位置が45°方向の場合 / 横断面図)



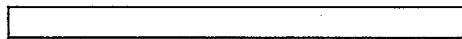


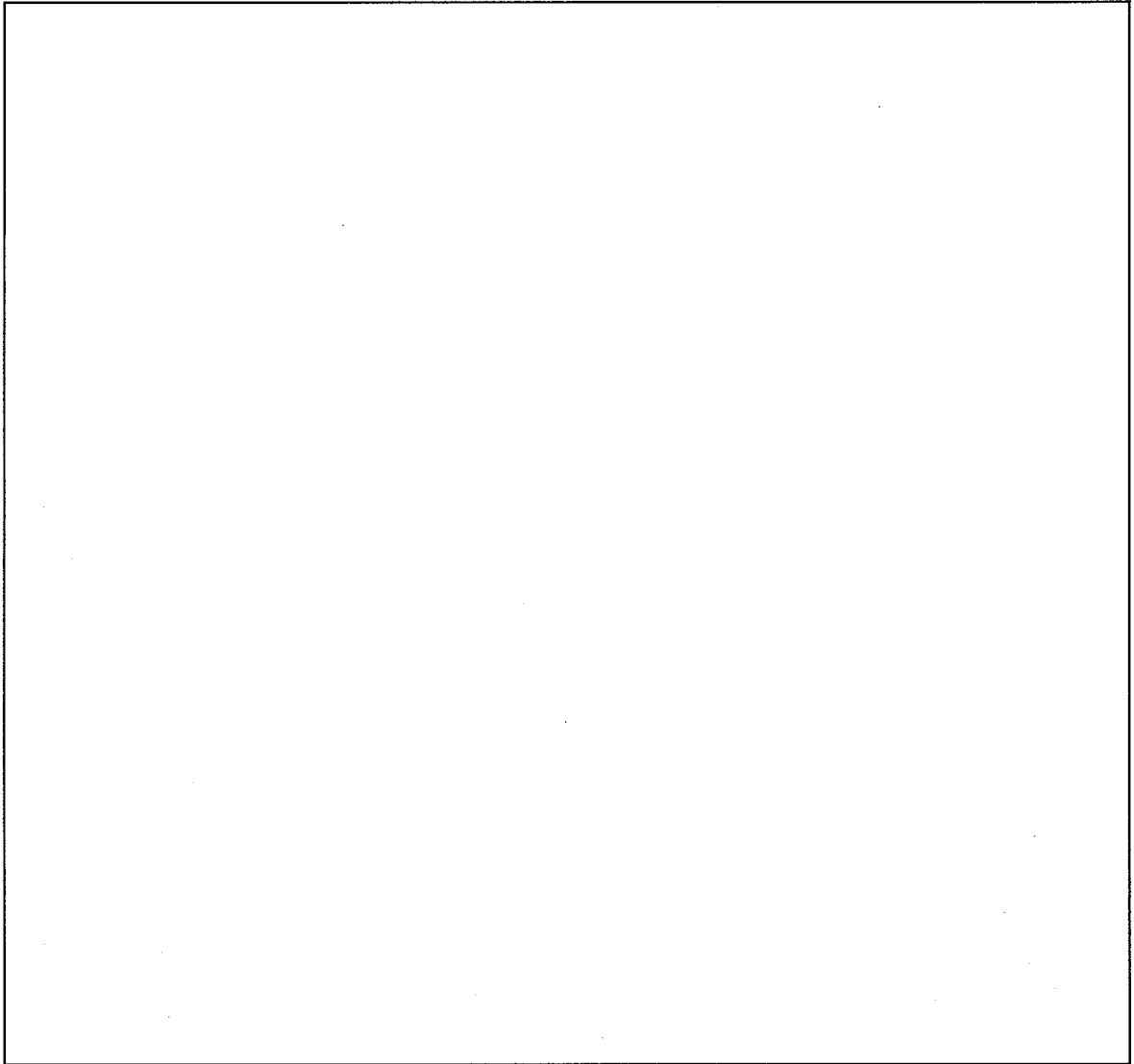
(ロ)－第E.付4.3図 内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための臨界解析モデル
(変形位置が45° 方向の場合 / 横断面図)





(□)－第E. 付 4. 4 図 内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための臨界解析モデル
(変形位置が 90° 方向の場合 / 横断面図)





(ア) - 第E. 付 4.5 図 内筒とアルミスペーサーの変形の影響評価のための臨界解析モデル
(変形位置が 90° 方向の場合 / 横断面図)



(㊦) 第E. 付 4.1 表 内筒とアルミスペーサーの変形の有無における実効増倍率の比較

内筒とアルミスペーサー	k_{eff}	σ	$k_{eff}+3\sigma$
変形無し			
変形有り (径方向位置：45°)			
変形有り (径方向位置：90°)			

(注記) 上記は D 格子燃料による評価結果

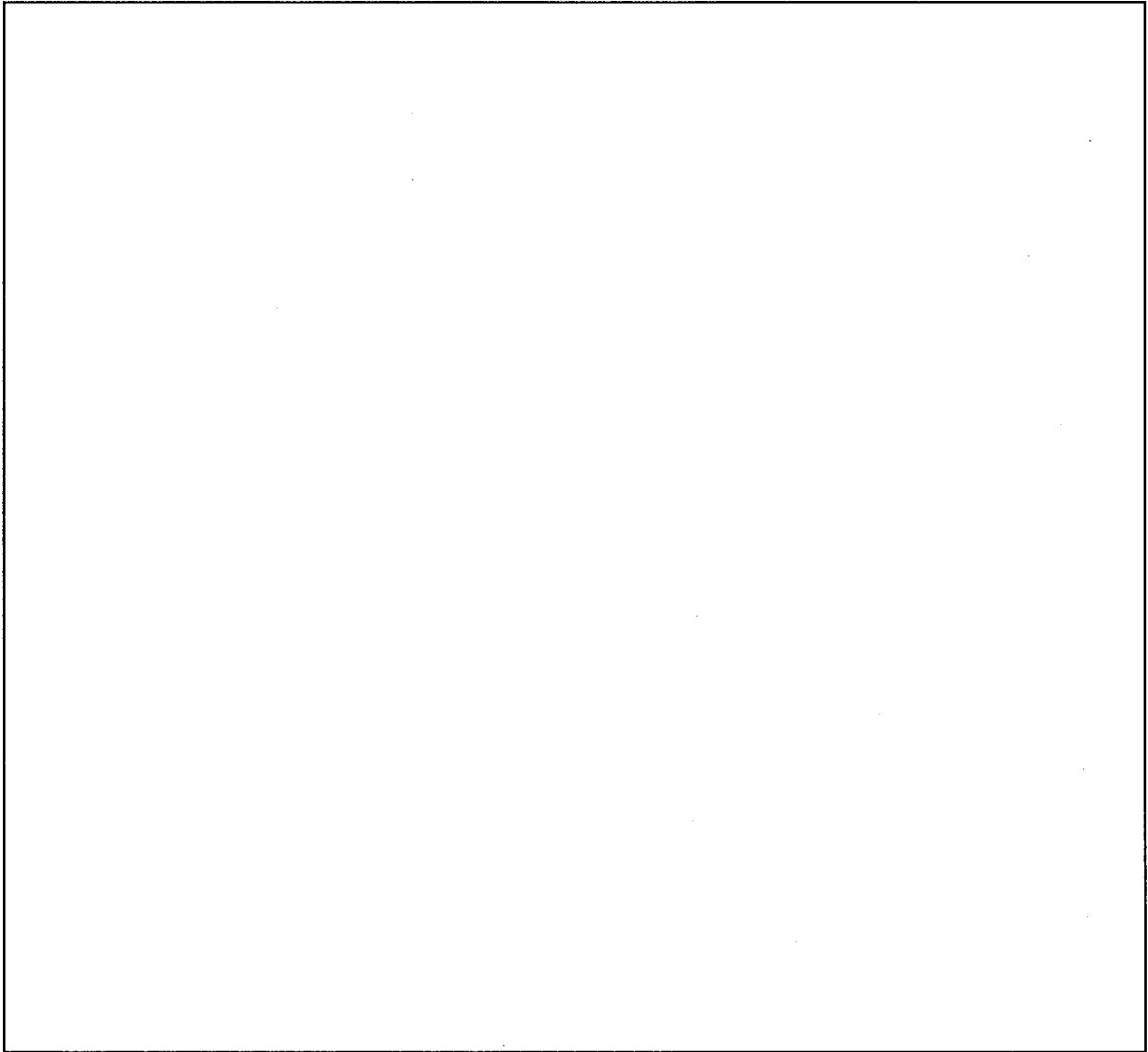
E.7.5 付属書類-5 内筒の拡大を考慮した実効増倍率

(ロ) - A構造解析のA.9.2に示すように、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の熱的試験において、内筒が変形し半径が□ mm程度拡大する。この影響を確認するために、拡大を考慮した解析モデルによる計算を行った。

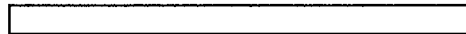
なお、ここでは、C格子燃料とD格子燃料のうち、付属書類-2の評価において、最大の実効増倍率を示したD格子燃料のモデルを用いる。

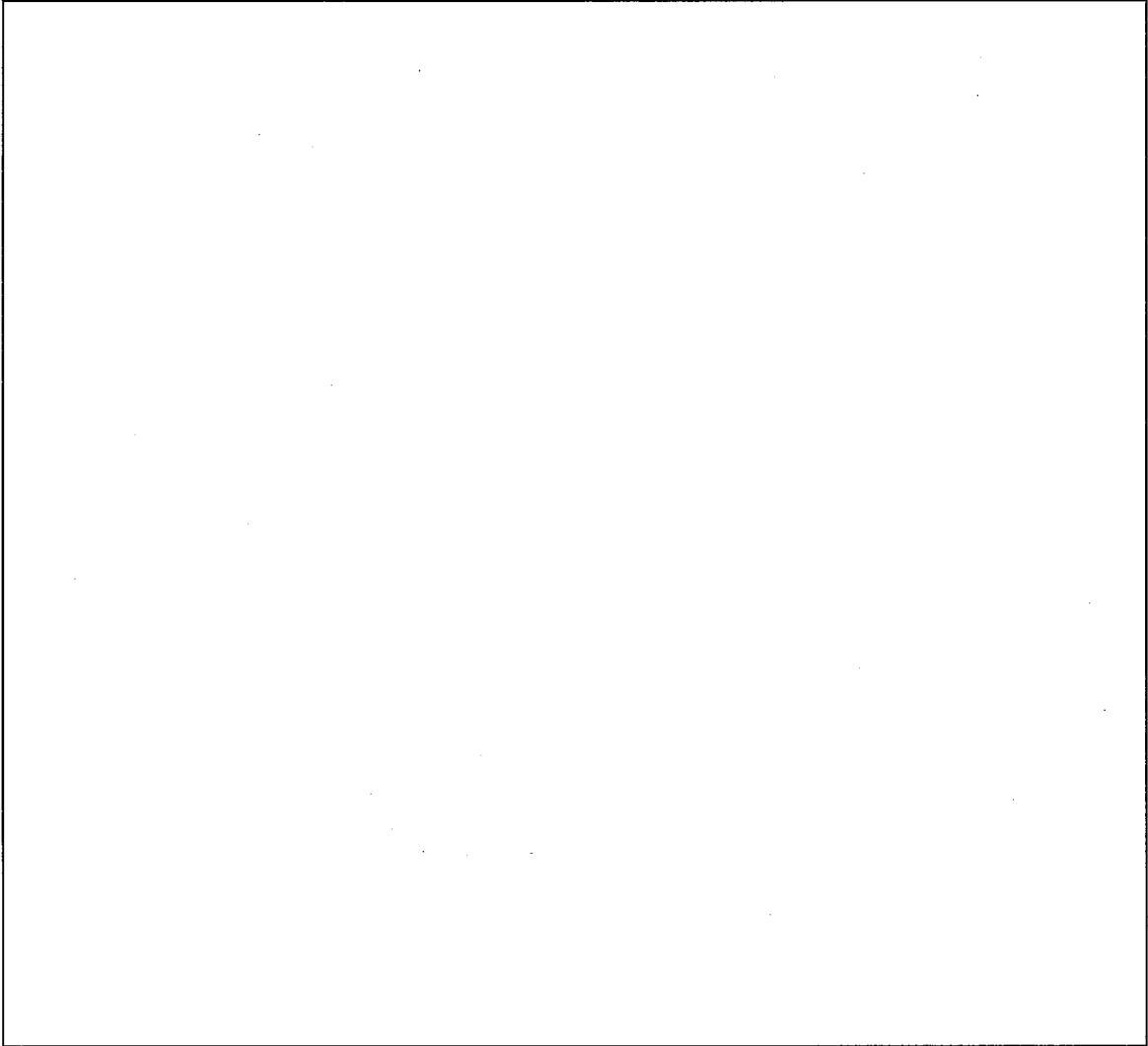
解析モデルを(ロ) - 第E.付5.1図～(ロ) - 第E.付5.2図に示す。E.3.1に示した解析モデルとの違いは内筒の径のみである。その他の解析条件はE.3モデル仕様に示したものと同一である。

(ロ) - 第E.付5.1表に示すように、内筒の拡大による実効増倍率への影響は無視できることが確認された。

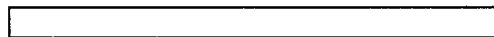


(p) - 第E. 付 5.1 図 内筒の変形の影響評価のための臨界解析モデル (横断面図)





(㊦)－第E.付5.2図 内筒の変形の影響評価のための臨界解析モデル（横断面図）



(ロ)－第E.付5.1表 内筒の拡大の有無における実効増倍率の比較

内筒	k_{eff}	σ	$k_{eff}+3\sigma$
拡大無し			
拡大有り			

(注記) 上記はD格子燃料による評価結果

E.7.6 付属書類-6 モデル化における追加遮蔽板と[]の取扱い

(p) - A構造解析では、バスケットの強度評価において、バスケット部品である追加遮蔽板と[]を無視しており、臨界解析で考慮するこれらの部品の損傷状態は示されていない。

そこで、これら追加遮蔽板と[]について、モデル化する場合とモデル化しない場合の実効増倍率を比較し、安全側になる条件を確認する。

(1) 実効増倍率の比較に用いる解析条件

実効増倍率の比較に用いる解析条件は、実効増倍率が最大を示している(p) - 第E. 付6.1表の条件(付属書類-2)とし、追加遮蔽板と[]の領域を水に置き換えた場合の実効増倍率を求める。

(p) - 第E. 付6.1表 実効増倍率の比較に用いる解析条件

燃料の格子形状	燃料棒ピッチ (mm)	容器内水密度 (g/cm ³)	容器外水密度 (g/cm ³)
D格子	[]	[]	0.0

(2) 実効増倍率の比較

追加遮蔽板と[]をバスケット部品として考慮した場合と、それぞれの領域の一方あるいは両方を水に置き換えた場合の実効増倍率の比較を(p) - 第E. 付6.2表に示す。

(p) - 第E. 付6.2表 実効増倍率の比較

比較したモデル		実効増倍率		
追加遮蔽板	[]	keff	σ	keff+3 σ
考慮	考慮	[]	[]	[]
考慮	無視(水)			
無視(水)	考慮			
無視(水)	無視(水)			

(p) - 第E. 付6.2表に示すように、追加遮蔽板と[]の両方を考慮した場合の実効増倍率が最も高くなっており、モデル化ではこれらを考慮した方が安全側となることが確認された。

E.7.7 付属書類-7 実効増倍率への梱包材の影響

燃料集合体は、カードボード、木綿製の袋等の梱包材とともに収納缶に収納されたいえで、ロジメントに収納される。

ここでは、燃料集合体全長にわたって設置されるカードボード及び木綿製の袋の実効増倍率への影響について検討する。なお、収納缶は内法 153mm、厚さ 4mm の角型のステンレス鋼製であり ((i)-D)、その内部に燃料集合体を収納している。このため、収納缶は、燃料棒がロジメント内にピッチ拡大するのを制約する存在となる。付属書類-2 での検討より、燃料棒のピッチが拡大する方が実効増倍率は大きくなることから、収納缶の存在を無視する。

梱包材のモデル化として、(p)-第E.付7.1図に示すように、燃料集合体とロジメントの間に厚さ□mm (厚さ□mm のカードボード及び厚さ□mm の木綿製の袋を仮定) の角管の領域を与え、材質はカードボード(紙製品)及び木綿の主成分がセルロースであることから、セルロース 90%、水 10%を仮定し、密度については、真密度を 1.5 g/cm^3 とする。安全側に収納缶及びチャンネルボックスの存在を無視する。

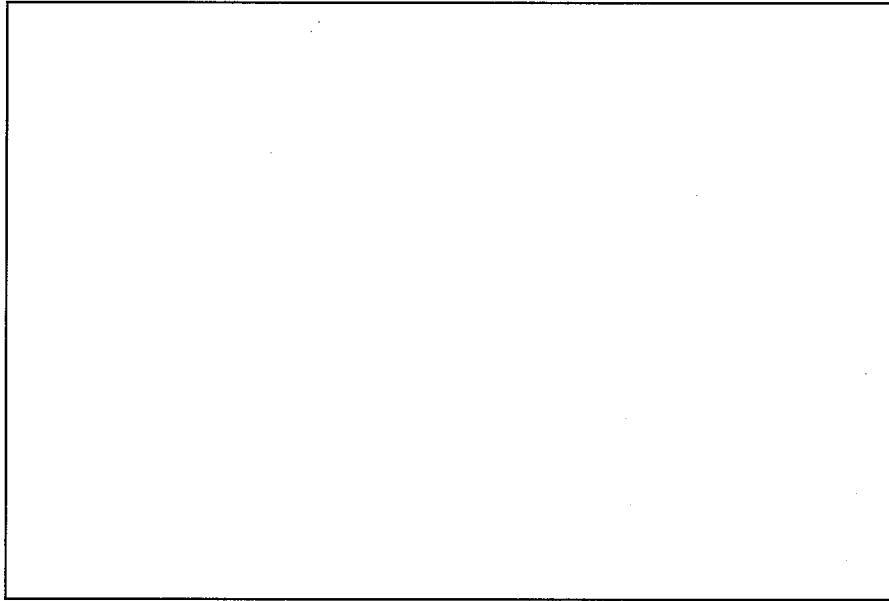
解析モデルは、輸送容器内部への水の浸入を考慮し、燃料棒ピッチは燃料棒が梱包材の内側に均一に広がった場合を考える。この場合、燃料棒ピッチの拡大は、梱包材が存在する分、付属書類-2に記載された最大の条件よりも小さい想定である。

また、梱包材には容器内部水が浸透するものとして、梱包材の領域から真密度の体積を除いた体積には水の存在を仮定する。その他解析条件はE.3モデル仕様で述べた解析モデルと同一である。

なお、ここでは、C格子燃料とD格子燃料のうち、付属書類-2の評価において、最大の実効増倍率を示したD格子燃料のモデルを用いる。

梱包材が与える影響として、梱包材のかさ密度を変化させたときの実効増倍率を(p)-第E.付7.1表及び(p)-第E.付7.2図に示す。

これらの結果から分かるように、梱包材の存在量に応じて実効増倍率がわずかに増加する傾向がみられるが、実効増倍率に対する梱包材の影響は軽微であり、梱包材の存在を考慮する場合に比べて、無視して燃料棒ピッチを拡大させた方が実効増倍率は大きくなる傾向にあることが確認された。



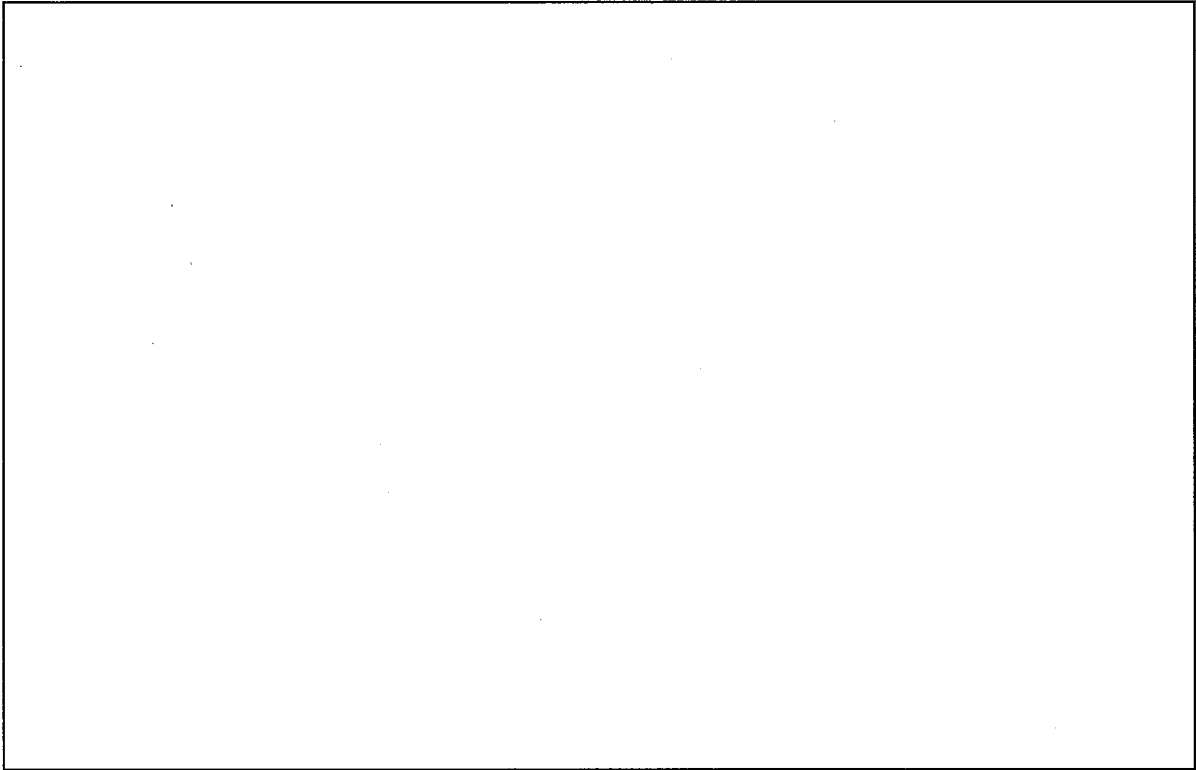
(ロ) - 第E. 付 7.1 図 梱包材のモデル化

(ロ) - 第E. 付 7.1 表 梱包材が与える影響の評価

燃料棒ピッチ (cm)	かさ密度 (g/cm ³)	keff	σ	keff+3 σ
	(梱包材なし)			
	(梱包材なし)			
	0.2			
	0.3			
	0.4			
	0.5			
	0.6			
	0.7			
	0.8			
	0.9			
	1.0			
	1.1			
	1.2			
	1.3			
	1.4			
1.5				

1) 収納缶及び梱包材がない状態で、燃料棒ピッチを最大に広げた状態 (付属書類-2)

(注記) 上記はD格子燃料による評価結果



(注記) 上記は D 格子燃料による評価結果

(ロ) - 第 E. 付 7.2 図 梱包材が与える影響の評価

E.7.8 付属書類—8 参考文献

- [1] Scale: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design, ORNL/TM-2005/39, Version 6.1, June 2011, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY
- [2] S. R. Bierman and E. D. Clayton, "Criticality Experiments with Subcritical Clusters of 2.35 Wt% and 4.31 Wt% ²³⁵U Enriched UO₂ Rods in Water with Steel Reflecting Walls", NUREG/CR-1784(PNL-3602), U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981
- [3] LEU-COMP-THERM-017, "Water-Moderated U(2.35)O₂ Fuel Rods Reflected by Two Lead, Uranium, or Steel Walls", (1998).
- [4] LEU-COMP-THERM-042, "Water-Moderated Rectangular Clusters of U(2.35)O₂ Fuel Rods (1.684-cm Pitch) Separated by Steel, Boron, Boroflex, Cadmium, or Copper Plates, with Steel Reflecting Walls", (2003).
- [5] LEU-COMP-THERM-010, "Water-Moderated U(4.31)O₂ Fuel Rods Reflected by Two Lead, Uranium, or Steel Walls", (1996).
- [6] LEU-COMP-THERM-013, "Water-Moderated Rectangular Clusters of U(4.31)O₂ Fuel Rods (1.892-cm Pitch) Separated by Steel, Boron, Boroflex, Cadmium, or Copper Plates, with Steel Reflecting Walls", (2003).

(ロ)－F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

(ロ)－F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

本章では、本輸送物について使用を予定する期間中に想定される使用状況及びそれに伴う経年変化について考慮する。本輸送容器の使用予定期間は 50 年であり、輸送頻度は年 4 回程度で使用期間を通しての輸送予定回数は計 200 回、1 回の輸送期間（実際に運搬している期間）は通常 程度を想定している。

本輸送物の使用期間中に想定される経年変化の要因としては、輸送物の保管中や使用中における温度変化（熱）、収納物から発生する放射線、腐食等の化学変化及び繰返し荷重による経年変化（疲労）が考えられる。本輸送容器の構成部品について、これらの経年変化に関する評価を行う。

熱、放射線及び化学変化による経年変化の評価においては、保守的な条件として 50 年間の連続使用を考慮し、輸送温度としては、運搬中の最高温度である 70℃（38℃の環境温度の下で太陽放射熱の影響を考慮した温度）を想定する。疲労による経年変化の評価においては、50 年間の 1 日 1 回の圧力変動又は 200 回の輸送に対して保守的な吊上げ回数を想定する。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

経年変化の評価の対象となる輸送容器の安全機能を担う構成部品及び収納物のうち繰り返し使用される収納缶について、その使用材料を(ロ)－第F.1表に示す。

(ロ)－第F.1表 輸送容器の構成部品とその材料

輸送容器の構成部品	材料
容器本体 ・内筒 ・胴ガセット ・胴外板 ・上部フランジ ・底板 ・トラニオン ・ハンドリングベルト ・蓋板締付けボルト ・トラニオン取付けボルト ・ハンドリングベルト連結ボルト ・ <input type="checkbox"/> プレート ・胴部レジン ・蓋部レジン ・底部レジン	<input type="checkbox"/> ステンレス鋼 合金鋼 <input type="checkbox"/> レジン
蓋板 ・蓋板	チタン合金
バスケット ・ロジメント ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・アルミスペーサー	ボロン入りステンレス鋼 アルミニウム合金
衝撃吸収カバー ・締付けボルト ・外板 ・ <input type="text"/> ・脚、 <input type="text"/> 等 ・緩衝材	合金鋼 <input type="text"/> ステンレス鋼 木材
収納缶 ・胴、底板及び蓋板 ・蓋板ボルト	<input type="text"/> ステンレス鋼 合金鋼

ここで、輸送容器のうちガスケット等の交換部品は、(ハ)章で示すように適宜、交換されるため、経年変化の考慮の必要性はなく評価から除外する。また、燃料集合体は、輸送毎に別の燃料集合体に置き換えられ1度しか輸送されないため評価から除外する。

(ロ)一第F.1表より、輸送容器において経年変化の考慮の必要性を評価する材料は下記の9種類となる。各材料について、経年変化の考慮の必要性を熱、放射線、化学変化及び疲労の観点から評価した結果を(ロ)一第F.2表に示す。

- ・ ステンレス鋼
- ・ ステンレス鋼
- ・ ボロン入りステンレス鋼
- ・ 合金鋼
- ・ チタン合金
- ・
- ・ アルミニウム合金
- ・ レジン
- ・ 木材

(ロ) 一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
<p>□ステンレス鋼</p> <p>構成部材： [容器本体]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内筒 ・胴ガセット ・胴外板 ・上部フランジ 	熱	<p>輸送中に想定される容器本体の最高温度は70℃以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・□ステンレス鋼がクリープの影響を受ける温度は、融点の三分の一程度で、それ以下の温度ではクリープによる変形量は無視できるほどに小さい^[1]。□ステンレス鋼の融点は、1700 K^[2]程度であることから、融点の1/3は約290℃となる。容器本体の最高温度は70℃であることから、使用上問題となるようなクリープは生じない。 	無し
<ul style="list-style-type: none"> ・トラニオン ・ハンドリングゲベルト 	放射線	<p>本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間当該燃料集合体を収納していたとしても、燃料集合体の表面における中性子発生量は2×10^9 n/cm²以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体10体分の2×10^{10} n/cm²を超えることはない。(付属書類-1)</p> <p>この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・□ステンレス鋼については、□ステンレス鋼に対する中性子照射の影響評価結果から、中性子照射量が10^{17} n/cm²以下では顕著な降伏応力の変化は見られない^[3]。また、原子炉構造材の監視試験方法 (JEAC 4201) によると、□部材に対して、10^{17} n/cm²を超える中性子照射を受けるものを監視の対象としている^[4]。これらのことから、□ステンレス鋼と□ステンレス鋼からなる□ステンレス鋼は中性子照射が10^{17} n/cm²以下では照射による脆化は問題とならない。 	無し

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
<p>□ステンレス鋼</p> <p>構成部材： [容器本体]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内筒 ・胴ガセット ・胴外板 ・上部フランジ ・底板 ・トラニオン ・ハンドリングベ 	<p>化学変化</p>	<p>□ステンレス鋼は、以下に示すように使用環境に対して十分な耐食性を有した材料が使用されており、使用上問題となる腐食は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ステンレス鋼は、不動態皮膜の形成により腐食しにくい材料である。 ・ □ステンレス鋼は、後述の□ステンレスよりも耐食性が高い^[6]。 ・ 長期間海浜大気*にさらされた場合の□ステンレス鋼の平均腐食速度は、0.25 μm/年未満であり^[6]、腐食はごく僅かである。本輸送容器の使用環境は、このデータの試験条件よりも腐食しにくい環境であり、□ステンレス鋼の腐食が問題となることはない。 <p>*海浜大気：海水による塩分や水分を含み金属の腐食が進みやすい大気</p>	<p>無し</p>
<p>ルト</p>	<p>疲労</p>	<p>トラニオン、ハンドリングベルトにおいて、吊上げ荷重より繰返し応力が発生するため、経年変化についての考慮が必要である。これら各部材に対して、吊上げ荷重による繰返し応力に対する疲労評価を行っており、この結果に基づいて、F.1で示した保守的に設定した使用回数による経年変化の影響を評価する。</p> <p>また、同様に容器本体（内筒、胴ガセット、胴外板、上部フランジ、底板）に内外圧差による繰返し応力が発生するため、経年変化についての考慮が必要である。これら各部材に対して、内外圧差による繰返し応力に対する疲労評価を行っており、この結果に基づいてF.1で示した保守的に設定した使用期間による経年変化の影響を評価する。</p>	<p>有り</p>

(甲) 第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (3/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
<p>ステンレス鋼</p> <p>構成部材： [衝撃吸収カバー]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外板 ・ [] ・ 脚、[]等 <p>[収納缶]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 胴、底板、蓋板 	<p>熱</p>	<p>輸送中に想定される容器本体の最高温度は 70℃以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けけない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ []ステンレス鋼がクリープの影響を受ける温度は、融点の三分の一程度で、それ以下の温度ではクリープによる変形量は無視できるほどに小さい^[1]。[]ステンレス鋼の融点は、1700 K^[7] 程度であることから、融点の 1/3 は約 290℃となる。容器本体の最高温度は 70℃であることから、使用上問題となるようなクリープは生じない。 	<p>無し</p>
	<p>放射線</p>	<p>本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間燃料集合体を収納していたとしても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm² 以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体 10 体分の 2×10^{10} n/cm² を超えることはない。(付属書類-1)</p> <p>この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ []ステンレス鋼 ([]ステンレス鋼) に対する中性子照射の影響評価結果から、中性子照射量が 10^{17} n/cm² 以下では顕著な降伏応力の変化は見られない^[3]。 	<p>無し</p>

(ロ) 第一 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
<p>ステンレス鋼</p> <p>構成部材： [衝撃吸収カバナー]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外板 ・ [] ・ 脚、[]等 	<p>化学変化</p>	<p>以下に示すように使用環境に対して十分な耐食性を有した材料が使用されており、使用上問題となる腐食は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ステンレス鋼は、不動態皮膜の形成により腐食しにくい材料である。 ・ 長期間海浜大気*にさらされた場合の[]ステンレス鋼の平均腐食速度は 0.25 μm/年未満であり^[6]、腐食はごく僅かである。本輸送容器の使用環境は、このデータの試験条件よりも腐食しにくい環境であり、[]ステンレス鋼の腐食が問題となることはない。 <p>*海浜大気：海水による塩分や水分を含み金属の腐食が進みやすい大気</p>	<p>無し</p>
<p>[収納缶]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 胴、底板、蓋板 	<p>疲労</p>	<p>衝撃吸収カバナー外表面の構成部材（外板、[]、脚、[]等）において、その保管及び使用中に繰返し荷重は作用しない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <p>一方、収納缶の構成部材（胴、底板、蓋板）について、使用中に内外圧差による繰返し応力が発生すると想定されるため、経年変化についての考慮が必要である。これら各部材に対して、内外圧差による繰返し応力に対する疲労評価を行っており、この結果に基づいて、F.1 で示した保守的に設定した使用期間による経年変化の影響を評価する。（付属書類-4）</p>	<p>有り</p>

(ロ) 一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (5/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
ボロン入りステンレス鋼 構成部材： [バスケット] ・ロジメント	熱	輸送中に想定される容器本体の最高温度は 70°C 以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けけない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 ・ボロン入りステンレス鋼がクリープの影響を受ける温度は、融点の三分の一程度で、それ以下の温度ではクリープによる変形量は無視できるほどに小さい ^[1] 。ボロン入りステンレス鋼の融点は、1600 K ^[8] 程度であることから、融点の 1/3 は約 260°C となる。容器本体の最高温度は 70°C であることから、使用上問題となるようなクリープは生じない。	無し
	放射線	本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50 年間燃料集合体を収納していたとしても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm ² 以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体 10 体分の 2×10^{10} n/cm ² を超えることはない。(付属書類-1) この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 ・ボロン入りステンレス鋼について、中性子照射量が 10^{17} n/cm ² 以下では引張強さや耐力に照射量による差異は特段見られない ^[9] 。 ・中性子照射に伴うボロンの減損については、 ¹⁰ B の 50 年間の減損率を、上述の容器内部の中性子照射量 2×10^{10} n/cm ² を用いて評価すると 10^{-10} 以下となる。このため、中性子照射に伴うボロンの減損が問題となることはない。(付属書類-1)	無し

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (6/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
ボロン入りステンレス鋼 構成部材： [バスケット] ・ロジメント	化学変化	以下に示すように使用環境に対して十分な耐食性を有した材料が使用されており、使用上問題となる腐食は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 <ul style="list-style-type: none"> ・ ボロン入りステンレス鋼は、不動態皮膜の形成により腐食しにくい材料である。 ・ 長期間海浜大気*にさらされた場合の[]ステンレス鋼の平均腐食速度は 0.25 μm/年未満であり^[6]、腐食はごく僅かである。ボロン入りステンレス鋼は、ボロンを添加した[]ステンレス鋼であるため、[]ステンレス鋼と同様の腐食特性にある。また、本輸送容器の使用環境は、このデータの試験条件よりも腐食しにくい環境である。したがって、ボロン入りステンレス鋼の腐食が問題となることはない。 *海浜大気：海水による塩分や水分を含み金属の腐食が進みやすい大気	無し
疲労		バスケットの構成部材（ロジメント）において、その保管及び使用中に繰返し応力は発生しない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (7/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
合金鋼 構成部材： [容器本体] ・蓋板締付けボルト ・トラニオン取付けボルト ・ハンドリングベルト連結ボルト [衝撃吸収カバー] ・締付けボルト [収納缶] ・蓋板ボルト	熱	輸送中に想定される容器本体の最高温度は 70℃以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 ・合金鋼がクリープの影響を受ける温度は、融点の三分の一程度で、それ以下の温度ではクリープによる変形量は無視できるほどに小さい ^[1] 。合金鋼の融点は、1700 K ^[7] 程度であることから、融点の1/3 は約 290℃となる。容器本体の最高温度は 70℃であることから、使用上問題となるようなクリープは生じない。 本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間燃料集合体を収納していても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm ² 以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体10体分の 2×10^{10} n/cm ² を超えることはない。(付属書類-1) この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 ・合金鋼について、 10^{17} n/cm ² 以上では遷移温度が上昇する傾向が認められる ^[10] が、鋼種によらず中性子照射量が 10^{16} n/cm ² 以下では顕著な脆化は生じない ^[11] 。	無し
	放射線		無し

(ロ) 第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (9/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
チタン合金 構成部材： [容器本体] ・ 蓋板	熱	<p>輸送中に想定される容器本体の最高温度は 70°C以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ チタン合金がクリープの影響を受ける温度は、融点の三分の一程度で、それ以下の温度ではクリープによる変形量は無視できるほどに小さい^[1]。チタン合金の融点は、1900 K^[7] 程度であることから、融点の 1/3 は約 360°Cとなる。容器本体の最高温度は 70°Cであることから、使用上問題となるようなクリープは生じない。 	無し
	放射線	<p>本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間燃料集合体を収納していたとしても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm² 以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体 10 体分の 2×10^{10} n/cm² を超えることはない。(付属書類-1)</p> <p>この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ チタン合金について、純チタンで中性子照射量が 10^{17} n/cm² 付近から照射硬化を示し始める^[2] ことから、中性子照射量が 10^{16} n/cm² 以下では顕著な機械的性質の変化は生じない。 	無し

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (10/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
チタン合金 構成部材： [容器本体] ・ 蓋板	化学変化	容器本体の蓋板に使用されるチタン合金は、以下に示すように使用環境に対して十分な耐食性を有した材料が使用されており、使用上問題となる腐食は起こらない。 ・ チタンは、強固に不動態化し、耐食材料として優れた性質を示す ^[13] 。 ・ 10年間の海水浸漬において、その腐食量はごく僅か(腐食量は0.2mg/dm ²)で表層に留まり、厚み方向への浸食は確認されなかった ^[6] 。本輸送容器の使用環境は、このデータの試験条件よりも腐食しにくい環境であり、チタン合金の腐食が問題となることはない。	無し
	疲労	容器本体の蓋板は、その保管及び使用中、内外圧差による繰返し応力が発生するため、経年変化についての考慮が必要である。この部材に対して、内外圧差による繰返し応力に対する疲労評価を行っており、この結果に基づいて、F.1で示した保守的に設定した使用期間による経年変化の影響を評価する。	有り

(F) 第一 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (11/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
<input type="checkbox"/> 構成部材： [容器本体]	熱	輸送中に想定される容器本体の最高温度は 70°C 以下である。この使用条件では、組織変化、割れ等の経年変化の影響は受けない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。	無し
<input type="checkbox"/> プレート	放射線	本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50 年間燃料集合体を収納していたとしても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm ² 以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体 10 体分の 2×10^{10} n/cm ² を超えることはない。(付属書類-1) この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 ・ <input type="checkbox"/> について、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² 以下では硬度に顕著な変化は見られない ^[4] 。	無し
	化学変化	<input type="checkbox"/> プレートが設置される容器本体のレジン充填領域はステンレス鋼で覆われており、その貫通部も可融栓あるいは圧力調整バルブで密閉されているため、空気（酸素）及び水分が十分に供給される環境にない。したがって、 <input type="checkbox"/> プレートに使用上問題となる腐食は起こらない。	無し
	疲労	<input type="checkbox"/> プレートは、その保管及び使用中に繰返し応力は発生しない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (12/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性
アルミニウム合金 構成部材： [バスケット] ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> <input type="text"/> ・アルミスペーサー ー	熱	経年変化の考慮の必要性 無し
放射線	放射線	経年変化の考慮の必要性 無し

輸送中に想定されるバスケットの最高温度は70℃以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となるような熱による経年変化は起こらない。

- ・アルミニウム合金（ロジメント以外のバスケット構成部材）については、並びにアルミスペーサーに使用されている「」を代表に種々の温度と保持期間について採取された機械的性質のデータをを用いて、温度及び期間から算定されるパラメータと強度低下の関係を評価した結果、70℃で50年間保持した場合でも、アルミニウム合金の強度低下は無視できることが確認されている。（付属書類一3）
- また、ASME規格^[16]では、「」及び「」のアルミニウム合金については、それぞれ150℃及び175℃以上の温度領域に対して時間依存特性（破断強度、クリープ速度）を考慮した許容引張応力（S値）を規定しているが、バスケットの使用環境はこれらの温度領域より十分に低く、使用上問題となるようなクリープは生じない。

本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間燃料集合体を収納していたとしても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm²以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体10体分の 2×10^{10} n/cm²を超えることはない。（付属書類一1）

この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。

- ・アルミニウム合金について、引張り特性に及ぼす照射効果が調べられており、それによれば、アルミニウム合金は、中性子照射量が 10^{19} n/cm²以下では顕著な機械的性質の変化は見られない^[16]。

(ロ) 一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (13/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
アルミニウム合金 構成部材： [バスケット] ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> ・ <input type="text"/> <input type="text"/> ・アルミスぺーサ ー	化学変化	本輸送容器は、大気中のみで取扱われ、かつ、乾式で輸送される。また、バスケットは容器本体の内部に収納され、輸送及び保管される。 バスケットを構成するアルミニウム合金製部材は、以下に示すように使用環境に対して十分な耐食性を有した材料が使用されており、使用上問題となる腐食は起こらない。 ・ アルミニウム合金は、酸化皮膜の形成により腐食しにくい材料である。 ・ 長期間海浜大気にさらされた場合のアルミニウム合金の平均腐食速度は 0.25 μm/年未満であり ^[6] 、腐食はごく僅かである。一方、本輸送容器のバスケットは、大気中のみで取扱われ、且つ、容器蓋部が開放されるのは建屋内のみであるため、バスケットの使用環境はこのデータの試験条件よりも腐食しにくい環境であり、アルミニウム合金の腐食が問題となることはない。 *海浜大気：海水による塩分や水分を含み金属の腐食が進みやすい大気	無し
	疲労	バスケットを構成するアルミニウム合金製の各種部材は、その保管及び使用中に繰返し応力は発生しない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。	無し

(甲)一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (14/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
レジン 構成部材： [容器本体] ・ 胴部レジン ・ 蓋部レジン ・ 底部レジン	熱	経年変化の考慮の必要性の評価 輸送中に想定される容器本体の最高温度は 70℃以下である。この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となるような熱による経年変化は起こらない。 ・ レジン (胴部レジン、蓋部レジン、底部レジン) については、長期加熱試験により重量減損を評価している。試験データから求められた温度及び期間から算定されるパラメータと重量減損率の関係式によると、70℃で 50 年間保持した場合、重量減損は無視できることを示している。(付属書類一2)	無し
	放射線	(ロ) D 遮蔽解析の計算結果から、レジン部の線量当量率として、蓋部レジンについては蓋板本体外面、胴部レジンについては内筒内面、底部レジンについては底板内面における線量当量率を求めて、収納している累積期間を 50 年として放射線照射量を算定すると、最も高い部位 (内筒内面) で最大 \square mSv/h) においても 3×10^3 Gy *未満となる。 この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。 ・ レジンは \square 樹脂と \square 樹脂の両方の性質を兼ね備えている樹脂で、それぞれの性質から、照射量が 5×10^4 Gy 以下では顕著な機械的性質の変化は生じないと判断できる [17]。 ・ 中性子照射に伴うレジン中のボロンの減損については、 ^{10}B の 50 年間の減損率を保守的に、前述した容器内部の中性子照射量 2×10^{10} n/cm ² を用いて評価しても 10^{-10} 以下であり無視できる。(付属書類一1) * \square [mSv/h] \times 50 [年] \times 365.25 [日] \times 24 [時間] = \square \times 10^3 Sv \rightarrow 放射線照射量 $< 3 \times 10^3$ Gy	無し

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (15/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
レジン 構成部材： [容器本体] ・胴部レジン ・蓋部レジン ・底部レジン	化学変化	容器本体のレジン充填領域（胴部レジン、蓋部レジン、底部レジン）はステンレス鋼で覆われており、その貫通部も可融栓あるいは圧力調整バルブで密閉されているため、空気（酸素）及び水分が十分に供給される環境にない。したがって、レジンに使用上問題となる腐食は起こらない。	無し
	疲労	容器本体のレジン充填領域（胴部レジン、蓋部レジン、底部レジン）は、その保管及び使用中に繰返し応力は発生しない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。	無し

(p) 一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (16/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性
木材 構成部材： [衝撃吸収カバナー] ・緩衝材	熱	<p style="text-align: center;">経年変化の考慮の必要性の評価</p> 高温環境下では熱による強度低下が考えられ、木材温度が 200℃に達すると熱分解が進む ^[18] との文献が確認できたものの、直接参照できる文献に乏しい状況にある。一方で、使用済燃料の輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の圧潰強度及び密度測定の結果、木材の衝撃吸収性能は健全であり、性能劣化はなかった*。 本申請に係る輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、収納物の発熱は無視し得るため、輸送容器の温度上昇は環境温度の上昇と太陽放射熱による影響のみとなる。したがって、本輸送容器の現実的な木材温度は、基本的に使用済燃料の輸送容器の木材温度よりも低いと判断されることから、木材の熱的劣化は生じないと考えられる。
放射線	放射線	*第 12 回輸送容器及び使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器に関する審査会合 (令和 4 年 4 月 25 日) 資料 1 別紙「緩衝材 (木材) の熱的劣化について」 四国電力株式会社 本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50 年間燃料集合体を収納していても、燃料集合体表面における中性子発生量は 2×10^9 n/cm ² 以下であり、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、燃料集合体 10 体分の 2×10^{10} n/cm ² を超えることはない。(付属書類 一1) この使用条件では、以下に示す知見/理由から、使用上問題となる放射線による経年変化は起こらない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。 ・ 木材の顕著な機械的特性変化をあたえたとされる中性子照射量は 10^{16} n/cm ² 程度以上である ^[19] 。

(ロ)一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (17/17)

材料 / 構成部材	経年変化の要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化の考慮の必要性
木材 構成部材： [衝撃吸収カババー] ・緩衝材	化学変化	衝撃吸収カババーにおいて、木材はステンレス鋼製の外板で覆われており、その貫通部も可融栓あるいは圧力調整バルブで密閉されている。木材腐朽菌が繁殖するためには酸素及び水分が必要となるが、衝撃吸収カババー内部ではこれらが連続的に供給される環境ではなく、使用上問題となる腐朽は起らない。	無し
	疲労	衝撃吸収カババーの木材製の衝撃材において、その保管及び使用中に繰返し応力は発生しない。したがって、技術基準への適合性を評価するうえで経年変化の考慮は必要ない。	無し

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

F.2 に示したとおり、本輸送物に係る安全機能を担う構成部品の材料を対象に、経年変化の考慮内容は以下の通りである。

熱、放射線及び化学変化の要因により、本輸送容器の構成部材（容器本体、バスケット、衝撃吸収カバー）並びに収納缶を構成する材料である、ステンレス鋼、
ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、合金鋼、チタン合金、、アルミニウム合金、レジン、木材に使用上問題となるような経年変化が起こることはなく、安全解析においてこれらの要因による経年変化の考慮は必要ない。

繰返し荷重（疲労）による経年変化については、吊り上げ及び内外圧差により繰返し荷重の作用している部材があり、経年変化の考慮は必要である。

これら部材と材料を整理すると以下の通りであり、それぞれ、(□)章A「構造解析」及び(□)-F.4.4 付属書類-4 において疲労評価を実施している。各疲労評価において、許容繰返し回数が想定される繰返し回数を上回っていることを確認している。したがって、繰返し荷重（疲労）による経年変化の影響はない。

- ・取扱時に荷重が負荷されるトラニオン及びハンドリングベルト (ステンレス鋼) についてはA.4.4 (2) において評価を実施。
- ・初期締付けによる荷重を受ける蓋板締付けボルト（合金鋼）についてはA.5.1.3 (4) において評価を実施。
- ・内圧変化による荷重が負荷される容器本体 (ステンレス鋼、チタン合金) についてはA.10.13 付属書類-13 において評価を実施。
- ・内圧変化による荷重及び初期締付けによる荷重が負荷される収納缶 (ステンレス鋼、合金鋼) についてはF.4.4 付属書類-4 において評価を実施。

F.4 付属書類

F.4.1 付属書類-1 中性子照射量及びボロンの減損率について

燃料組成に由来する線源について、燃焼計算コード ORIGEN2 により中性子発生量を求め、使用予定期間における累積の中性子照射量を算定する。

また、算定された中性子照射量に基づき、レジンあるいはボロン入りステンレス鋼に含まれるボロンの減損率を算定する。

(1) 中性子照射量の算定

a. 燃料組成に由来する線源

(a) - 第D.1 表に線源の仕様として各核種の重量及び崩壊年数が (a) - 第F.付 1.1 表のように示されている。

(a) - 第F.付 1.1 表 燃料組成に由来する線源仕様 (各核種重量及び崩壊年数)

核種	重量 (g/集合体)
^{235}U	[Blank Box]
^{238}U	
^{232}U	
^{234}U	
^{236}U	
^{99}Tc	
崩壊年数	10 年

b. ORIGEN2 による中性子発生量の計算結果

ORIGEN2 による中性子発生量の計算結果を (a) - 第F.付 1.2 表に示す。

(a) - 第F.付 1.2 表 ORIGEN2 による中性子発生量の計算結果

核種	中性子発生量 (n/sec)		
	(α, n) 反応	自発核分裂	合計
^{232}U	[Blank Box]		
^{234}U			
^{235}U			
^{236}U			
^{238}U			
^{99}Tc			
合計			[Blank Box]

ここで、(v)－第F.付1.2表に示す中性子発生量に、増倍効果を考慮した中性子発生量は以下のように求められる。

$$N' = N \times \left(\frac{1}{1 - (keff + 3\sigma)} \right)$$

ここで、 N' : 増倍効果を考慮した中性子発生量 (n/sec)

N : ORIGEN2による計算結果 [n/sec]

本輸送物は、(v)－E臨界解析に示すように、通常輸送時も含めた規則に定めるいずれの条件においても実効増倍率 ($keff + 3\sigma$) は 以下となっている。

したがって、 N' は以下のように表すことができる。

$$N' \leq N \times \text{} = \text{} \text{ n/sec}$$

c. 燃料集合体表面の中性子束

燃料から発生する中性子が全て燃料集合体の外に放出されると仮定すると、燃料集合体表面の中性子束は中性子発生量を燃料集合体側面の面積で除して得られる。

$$\phi = N' / S$$

ここで、 ϕ : 燃料集合体表面の中性子束 (n/cm²/sec)

N' : 燃料集合体当たりの中性子発生量 [\leq n/sec]

S : 燃料集合体側面の面積

$$S = L \times W \times 4$$

ここで、 L : 燃料有効部長さ [cm]

W : 燃料集合体幅 [cm]

したがって、

$$\phi \leq \text{} \text{ n/cm}^2\text{/sec}$$

d. 使用予定期間における中性子照射量

使用予定期間を50年とすると、累積の中性子照射量は以下のように計算される。

a) 中性子照射量 (集合体当たり) = $\phi \times 50 \times 365.25 \times 24 \times 3600 \leq 2 \times 10^9 \text{ n/cm}^2$

b) 中性子照射量 (輸送物当たり) $\leq 2 \times 10^9 \times 10 = 2 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$

(2) ボロン(^{10}B)の減損率の算定

前項にて求めた燃料集合体表面の中性子束により、レジンあるいはボロン入りステンレス鋼が照射を受けると安全側に仮定して、使用予定期間におけるのボロン(^{10}B)の減損率を算定する。

レジンあるいはボロン入りステンレス鋼中の ^{10}B の減損数は、以下のように計算される。

$$D = n \times \sigma \times B$$

ここで、D : 単位体積当たりの ^{10}B の減損数 (個/cm³)

n : 単位面積当たりの中性子数 [2×10^{10} 個/cm²]

σ : ^{10}B の吸収断面積 [4×10^{-21} cm²/個]

B : レジンあるいはボロン入りステンレス鋼中の ^{10}B の原子個数密度 (個/cm³)

したがって、 ^{10}B の減損率Fは以下のように求められる。

$$\begin{aligned} F &= D / B = n \times \sigma \\ &= 2 \times 10^{10} \times 4 \times 10^{-21} = 8 \times 10^{-11} \leq 1 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

よって、減損率Fは、 10^{-10} 以下となる。

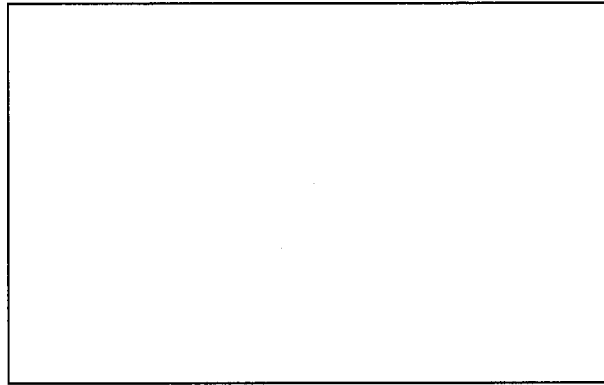
F.4.2 付属書類-2 レジンの重量減損について

レジンについて、長期加熱試験¹⁾が実施されている。このデータに基づいて、70℃
以下の場合のレジンの重量減損について以下に評価する。

(1) レジンの長期加熱試験

a. 試験の概要

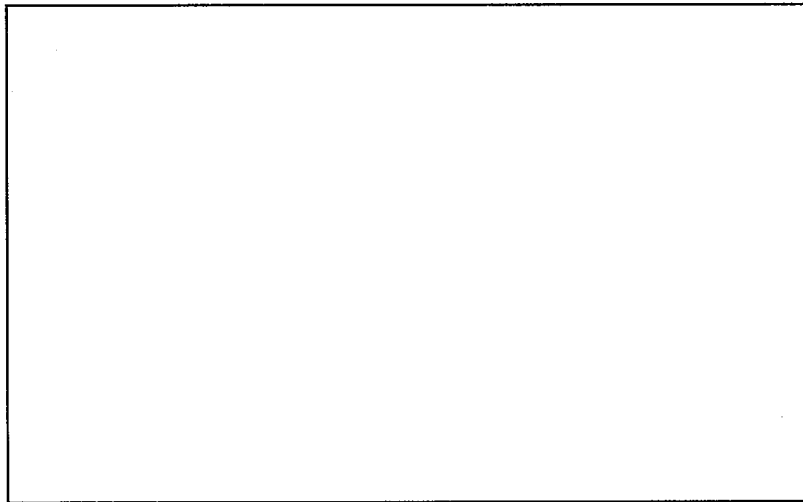
の試験片（写真(□)-第F.付2.1参照）を恒温槽で一定
期間加熱し重量を測定する。試験温度として、℃を設定し、最長
時間加熱する。



写真(□)-第F.付2.1 試験片の形状

b. 試験結果

各温度及び経過時間における重量減損(%)を(□)-第F.付2.1図のグラフに示す。



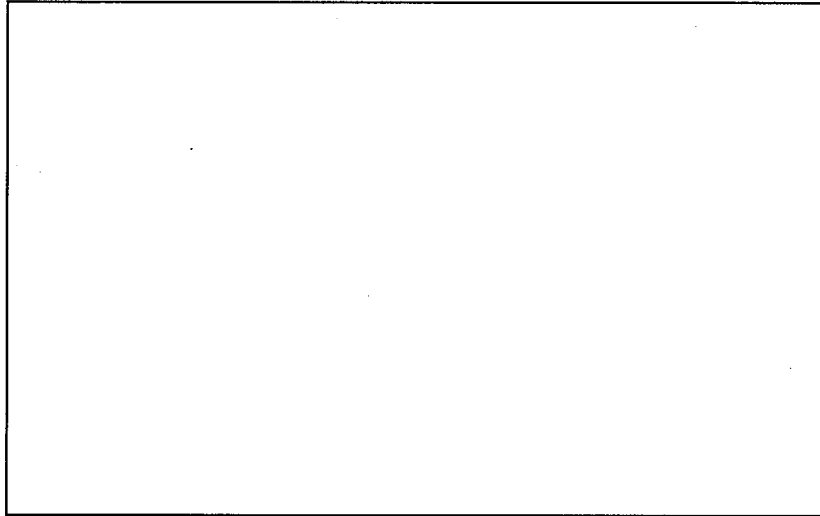
(□)-第F.付2.1図 重量減損の測定結果

注1)

c. 重量減損の関係式

測定結果について、ラーソンミラーパラメーター (LMP) を用いて重量減損を整理した結果、比例定数 C を $C = \square$ とした時に LMP と重量減損の良い相関が得られた。

LMP と重量減損をプロットしたグラフ及び関係式を (p)－第 F. 付 2.2 図に示す。



(p)－第 F. 付 2.2 図 LMP と重量減損の関係

(2) 本輸送容器の温度及び使用期間における重量減損

本輸送容器の輸送中における最高温度は 70℃以下である。

この温度及び使用期間に対する LMP の値を求めると、(p)－第 F. 付 2.1 表に示す値が得られる。

(p)－第 F. 付 2.1 表 本輸送容器の温度及び使用期間に対する LMP

温度 : T (K)	使用期間		LMP
	年数	時間 : t (h)	
343.15	50	438300	<input type="text"/>

(p)－第 F. 付 2.1 表で得られた LMP の値を重量減損の関係式に代入すると、負の値となる。

言い換えると、仮に使用期間の累積が 50 年経過した場合でも、レジンの重量減損は無視できることになり、考慮する必要はないことを示している。

なお、上記の加熱試験ではレジンは空気にさらされているが、本輸送容器のレジンは密閉された状態であり、試験は、十分に安全側の条件で実施されている。

F.4.3 付属書類-3 アルミニウム合金の強度低下について

各種のアルミニウム合金について、長期加熱における機械的性質のデータ¹⁾がまとめられている。

このデータ集に基づいて、70℃以下の場合の強度低下について以下に評価する。

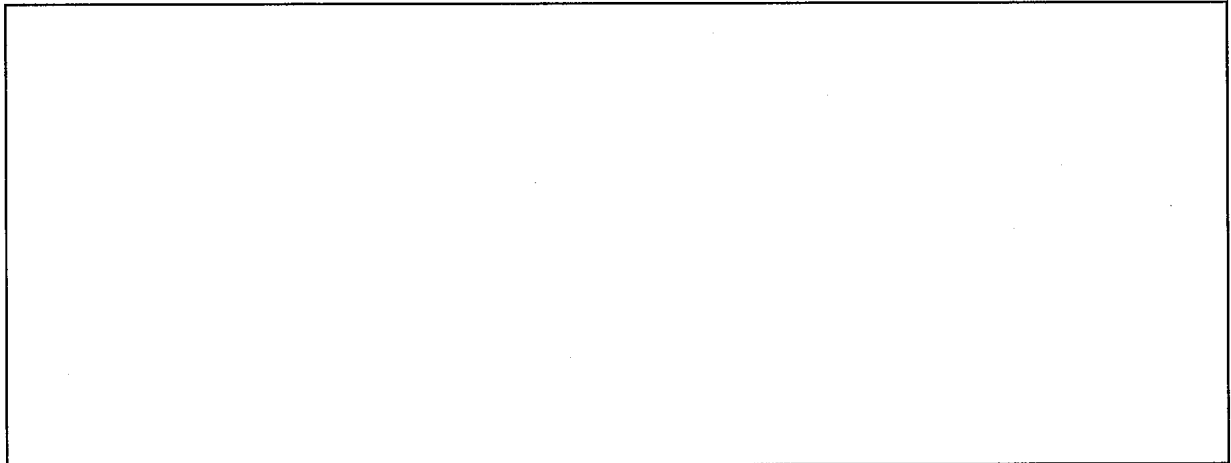
(1) 使用するデータ

データ集には、種々温度で0.1時間から最大100,000時間保持した時の機械的性質が掲載されている。

ここでは、加熱後の室温における引張強さと降伏応力のデータを用いて、ラーソンミラーパラメーター (LMP) との関係を求める。

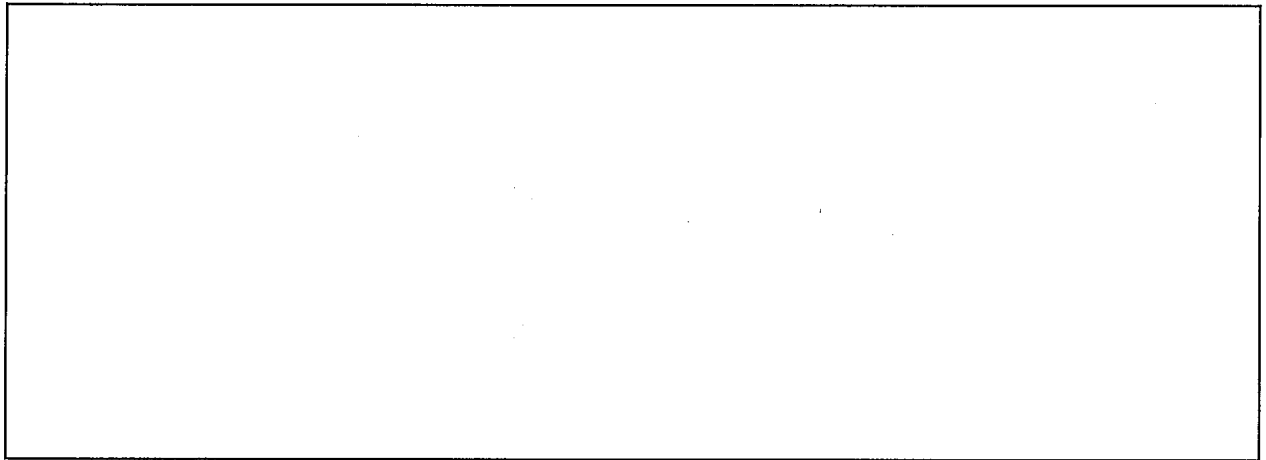
a. 記載データ

対象とするアルミニウム合金の (他) と (アルミスペーサー) について、各保持時間における温度と引張強さ及び降伏応力の関係をグラフにしたものを、(□)-第F.付3.1図及び(□)-第F.付3.2図に示す。



(□)-第F.付3.1図 各保持時間における温度と引張強さ/降伏応力の関係
(アルミニウム合金)

注1) The Aluminum Association, 'Properties of Aluminum Alloys', 2006



(□)－第F.付 3.2 図 各保持時間における温度と引張強さ／降伏応力の関係
(アルミニウム合金 □)

(2) LMP と引張強さあるいは降伏応力の関係

LMP と引張強さあるいは降伏応力の関係をグラフにして、(□)－第F.付 3.3 図及び
(□)－第F.付 3.4 図に示す。なお、定数 C は 20 を用いた。

(3) 本輸送容器の温度及び使用期間における引張強さあるいは降伏応力の低下

本輸送容器の輸送中における最高温度は 70℃以下である。

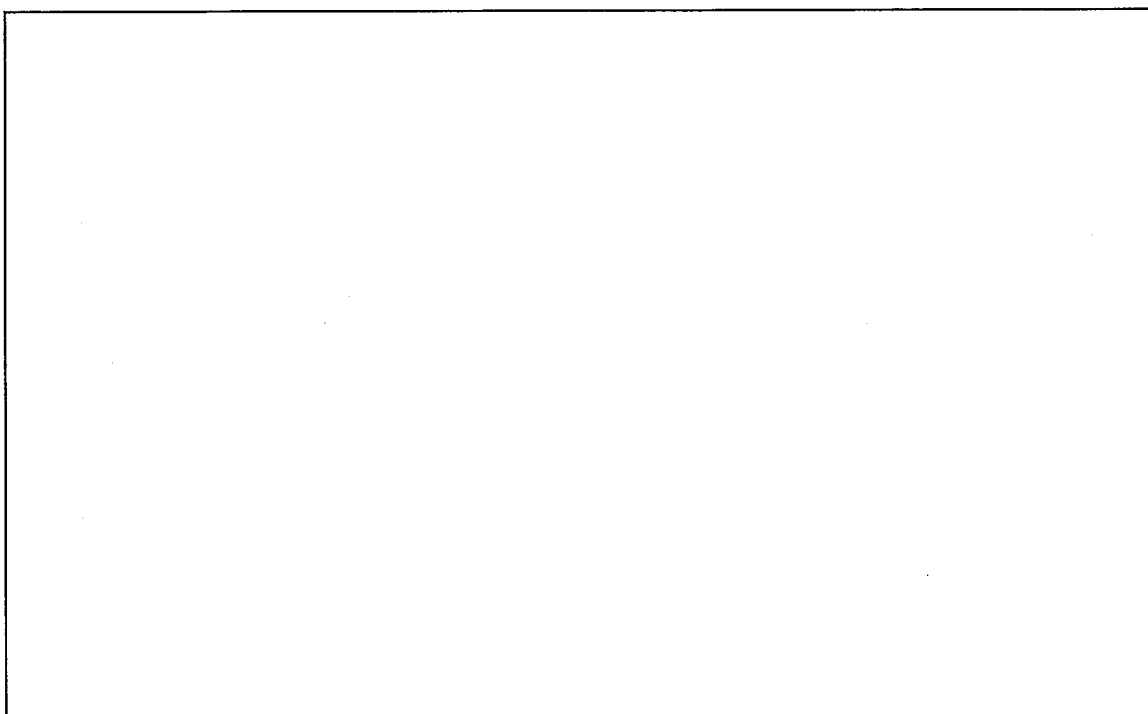
この温度に対する LMP の値を(□)－第F.付 3.1 表に示す。

(□)－第F.付 3.1 表 本輸送容器の温度及び使用期間に対する LMP

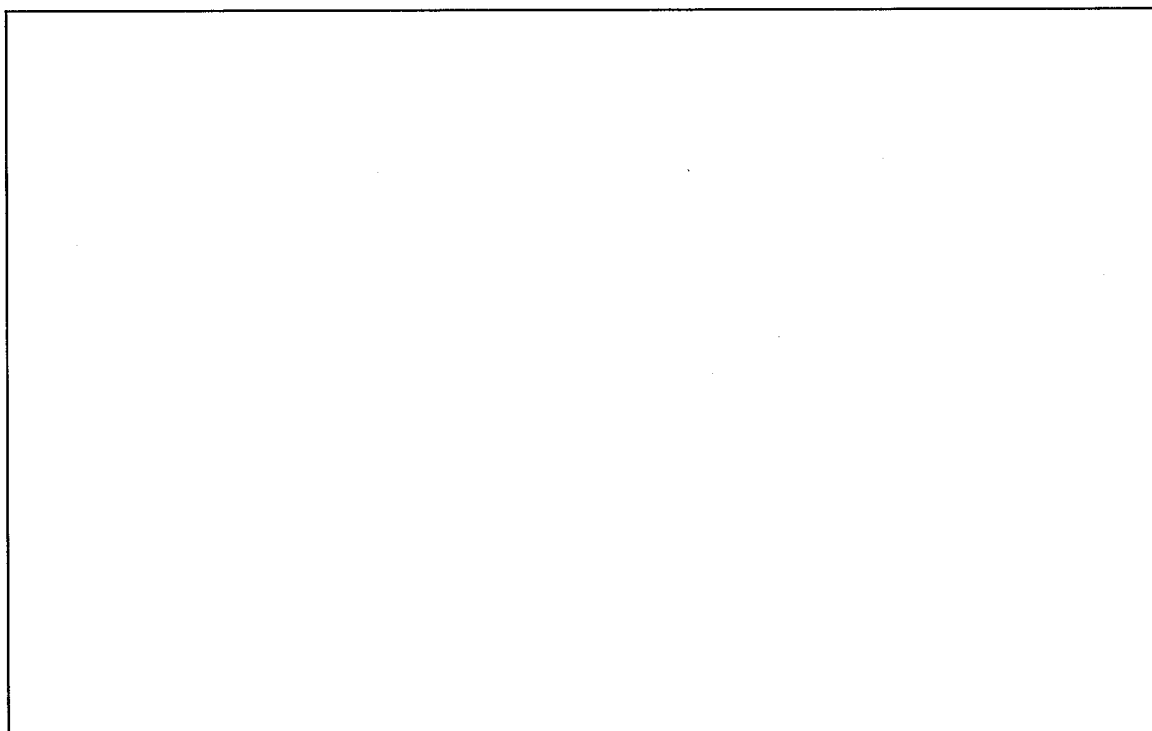
温度：T (K)	使用期間		LMP
	年数	時間：t (h)	
343.15	50	438300	□

(□)－第F.付 3.3 図及び(□)－第F.付 3.4 図について、(□)－第F.付 3.1 表で得られた LMP の値に対応する引張強さあるいは降伏応力を見ると、いずれも常温の応力値からの低下はまだ生じていない。

このことから、仮に使用期間の累積が 50 年経過した場合でも、本輸送容器に使用されているアルミニウム合金の強度低下は無視できると判断される。



(ロ) ー第F. 付 3.3 図 LMP と引張強さ／降伏応力の関係
(アルミニウム合金)



(ロ) ー第F. 付 3.4 図 LMP と引張強さ／降伏応力の関係
(アルミニウム合金)

F.4.4 付属書類-4 輸送中の内外圧力差の変動に対する収納缶の疲労強度について

収納缶には、(イ)-D(2)に示すように、蓋板にはガスケットが備えられているため、収納缶の内外で圧力差が生じることが考えられる。

ここでは、輸送中に想定される最大の内外圧力差から、収納缶に発生する最大応力を算定し収納缶の疲労強度を評価する。併せて、初期締付けによる引張応力を考慮した使用予定回数に対する蓋板ボルトの疲労強度を評価する。

(1) 最大の内外圧力差

収納物を輸送容器に装荷する時点では、収納缶の内外の圧力は同一である。

輸送容器は密封性能を有するため、輸送中に輸送物の温度が上昇しても、収納缶内外の気圧変化は等しく差は生じない。したがって、燃料集合体に付着した水分が残留していると仮定すると、収納缶内の水蒸気圧が収納缶の内外圧力差になる。

輸送中の最大の水蒸気圧は、輸送物最高温度（70℃）における飽和水蒸気圧であり、最大の内外圧力差は以下のようなになる。（(ロ)-B熱解析B.4.4参照）

最大の内外圧力差：0.0312 MPa（70℃における飽和水蒸気圧）

(2) 収納缶各部に発生する最大応力

a. 胴

収納缶の胴は、薄板の角管構造であるため、内圧に対しては胴のコーナー部において発生応力が最大となる。

コーナー部の丸みは小さいほど発生応力が高くなるため、コーナー部に丸みのない正方形を仮定すると、発生応力は次式により与えられる。（JIS B 8280 より）

$$\sigma_m = \frac{P h}{2 t \eta}$$

$$\sigma_b = \pm \frac{P h^2 c}{t^3 \eta}$$

$$\sigma_T = \sigma_m + \sigma_b$$

ここで、 σ_m ：膜応力（MPa）

P ：内外圧力差 [0.0312 MPa]

h ：胴の内法 [153 mm]

t ：胴の板厚 [4 mm]

η ：溶接継手効率 [1]

σ_b : 曲げ応力 (MPa)

c : 板断面の中立面から表面までの長さ [2 mm]

σ_T : 合成応力 (MPa)

したがって、

$$\sigma_T = \boxed{} \text{ MPa}$$

b. 底板

底板を周辺部が固定された正方形板と見なすと、最大曲げ応力は次式により与えられる。

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

ここで、 σ_b : 曲げ応力 (MPa)

β : 応力係数 [0.31]

P : 内外圧力差 [0.0312 MPa]

a : 底板の辺長さ [153 mm]

t : 底板の板厚 [$\boxed{} \text{ mm}$]

したがって、

$$\sigma_b = \boxed{} \text{ MPa}$$

c. 蓋板

蓋板をボルト中心部で固定された正方形板と見なすと、底板と同様に、最大曲げ応力は次式により与えられる。

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

ここで、 σ_b : 曲げ応力 (MPa)

β : 応力係数 [0.31]

P : 内外圧力差 [0.0312 MPa]

a : ボルト中心部の辺長さ [$\boxed{} \text{ mm}$]

t : 蓋板の板厚 [$\boxed{} \text{ mm}$]

(蓋板ガスケット溝深さを考慮した周辺部の板厚)

したがって、

$$\sigma_b = \boxed{} \text{ MPa}$$

d. 蓋板ボルト

a) 内外圧力差による引張応力

内外圧力差に対して蓋板ボルトには引張応力が作用し、次式により与えられる。

$$\sigma_{t1} = \frac{F}{n A}$$

ここで、 σ_{t1} : 引張応力 (MPa)

F : 内外圧力差による荷重 (N)

$$F = P \cdot a^2$$

ここで、P : 内外圧力差 [0.0312 MPa]

a : ボルト中心部の辺長さ [mm]

(蓋板ガスケットの辺長さより大きく安全側)

n : 蓋板ボルトの本数 [16]

A : 蓋板ボルトの最小断面積 (mm²)

$$A = \pi d^2 / 4$$

ここで、d : 蓋板ボルトの最小径 [mm]

したがって、

$$\sigma_{t1} = \text{ MPa}$$

b) 初期締付けトルクによる引張応力

初期締付けトルクによる引張応力は、次式により与えられる。

$$\sigma_{t2} = T \times \frac{1}{0.2D} \times \frac{1}{A}$$

ここで、 σ_{t2} : 引張応力 (MPa)

T : 初期締付けトルク [N・mm]

D : 蓋板ボルト呼び径 [mm]

したがって、

$$\sigma_{t2} = \text{ MPa}$$

以上より、蓋板ボルトに発生する最大の引張応力 σ_t は、以下のようになる。

$$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{t2} = \text{ MPa}$$

(3) 疲労評価

a. 胴、底板、蓋板

前項で求めた最大応力によると、胴、底板及び蓋板では胴に発生する応力が最大

となる。そこで、この最大応力に基づいて、輸送中に想定される繰返しピーク応力強さを算定し、許容繰返し回数を求める。

a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (1.95 \times 10^5 / E_t)$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力振幅 [MPa (σ_T の 1/2)]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

b) 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A付. 1.1 図に示すオーステナイトステンレス鋼の設計疲れ線図によると、93.7 MPa 以下の繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は、線図の最大値である 10^{11} 回以上を示している。

したがって、使用予定年数 (50 年) の期間、一日に 1 回内圧 (内外圧差) が変動すると想定した回数 (約 2×10^4 回) を繰返し回数と想定すると、収納缶の許容繰返し回数は十分に上回っており、収納缶の胴、底板及び蓋板は十分な疲労強度を有している。

b. 蓋板ボルト

前項で求めた蓋板ボルトの最大応力に基づいて、輸送中に想定される繰返しピーク応力強さを算定し、許容繰返し回数を求める。

a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 蓋板ボルトの応力強さ (応力の変動幅) [MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)]

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 [MPa (70°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

b) 許容繰返し回数



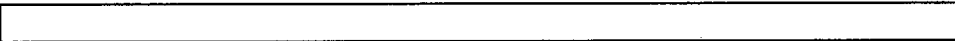


A. 10.1 付属書類-1 (p)-第A. 付 1.2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

Na= 回

となる。実作業での輸送1回当たりの蓋板ボルトの締付回数は2回程度であるが、保守的に4回の締付けを想定すると、輸送容器の使用予定回数(200回)で想定される繰返し回数は 8×10^2 回となる。したがって、許容繰返し回数は想定される繰返し回数より十分に大きく、蓋板ボルトは十分な疲労強度を有している。

上記の評価結果から、収納缶は十分な疲労強度を有しており、疲労により収納缶の健全性が損なわれることはない。

F.4.5 付属書類-5 参考文献

- [1] ステンレス鋼便覧 第3版 (1995) p.216
- [2] 
- [3] 
- [4] JEAC 4201「原子炉構造材の監視試験方法」の概要 日本電気協会、原子力規格委員会、構造分科会資料 平成20年11月11日
- [5] 
- [6] 
- [7] 
- [8] “共晶組織を伴うボロン含有 18Cr-8Ni ステンレス鋼の凝固過程における高温変形挙動” 日本鉄鋼協会 「鉄と鋼」85巻 (1999) No.4 p.295-300
- [9] “Neutron effects on borated stainless steel” Nuclear Technology Vol. 96 (1991) p.346-352
- [10] “低合金鋼の中性子照射の影響評価結果” 原子炉材料ハンドブック 日刊工業新聞社 (1977) p.662
- [11] “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys”, Journal of Nuclear Materials, Vol.210, (1994) p.268-281
- [12] “STRENGTH CHANGES IN VANADIUM AND TITANIUM IRRADIATED WITH 14 MeV NEUTRONS” Journal of Nuclear Materials 103 &104 (1981) p.901-906
- [13] 金属便覧 改訂5版 日本金属学会 (1990) p.641, p.878
- [14] “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, ASTM STP888, (1986) p.141-160
- [15] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, SEC II, Part D (2019)
- [16] “Reactor irradiation effects on Al1100” Proc. Jpn. Congr. Mater. Res. Vol. 24 (1981) p.1-6
- [17] “The use of Plastics and Elastomers in Nuclear Radiation” Nuclear Engineering and Design, Volume 17 (1971) p.247-280

- [18] 木材科学ハンドブック 初版 朝倉書店 (2006) p.135- 136
- [19] 発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請書 (特定兼用キャスク) 本文及び添付書類の一部補正について、三菱重工業 (株) (2021)

(ロ)－G 外運搬規則及び外運搬告示に対する
適合性の評価

(ロ)－G 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

本輸送物はA型核分裂性輸送物である。本輸送物の規則及び告示に対する適合性の評価を(ロ)－第G.1表に示す。

(ロ) 第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (1/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
<p>(核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬) 第3条 第1項第1号</p> <p>第2号</p> <p>第3号</p> <p>第2項</p>	<p>(L型輸送物として運搬できる核燃料物質等) 第3条</p>	<p>該当しない。</p>	
	<p>(A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の放射能の量の限度) 第4条</p>	<p>設計変更により、燃料集合体の種類 (D 格子燃料) を追加したが、燃料集合体中のウランの重量、濃縮度等のウラン仕様は、既存の設計 (C 格子燃料) と同一である。</p> <p>一方、設計変更において、燃料集合体の表面の汚染は、既存の設計に比べより高いことを想定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 核燃料物質は「特別形核燃料物質等以外のもの」に該当し、濃縮度 5.0%以下、最大放射能 <input type="text"/> GBq の未照射ウランである。したがって、告示別表第一の「U (未照射、かつ濃縮度 20%以下のもの)」に該当し、A_2 値は「制限なし」となる。 燃料集合体の表面の汚染は、瓦礫に含まれる汚染核種 (主に ^{60}Co、^{137}Cs からなる 7 核種) が最大 <input type="text"/> Bq と評価している。このとき、告示別表第四の算式に基づき、各汚染核種の放射能の量を A_2 値で除した数値の総和は 1 よりも小さく、A型輸送物の要件に該当することを確認している。 <p>以上より、設計変更を行っても本輸送物が A 型輸送物の要件に該当することに変更はない。</p>	<p>(イ) - B (イ) - D (イ) 章 付 書類-1</p>
		<p>該当しない。</p> <p>該当しない。</p>	

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (3/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
第3条 第3項		<p>しない。</p> <p>容器本体のレジンについては、長期加熱試験により重量減損を評価しており、最高温度70°Cが50年間連続したとしても、重量減損は無視できることを示している。</p> <p>衝撃吸収カバー内部の木材については、使用済燃料輸送容器の緩衝体木材の衝撃吸収性能が維持されていた実績、及び、本輸送物の収納物の発熱量が無いことから、熱による経年変化の影響は受けない。</p> <p>2. 放射線による経年変化</p> <p>本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間燃料集合体を収納していたとしても、輸送容器の中性子照射量は最も高い部位でも、2×10^{10} n/cm²を超えることはない。この中性子照射量は、輸送容器の構成部品及び収納缶の各材料において顕著な機械的特性の変化を与えるとされる以下の中性子照射量と比較して十分小さい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <input type="checkbox"/>ステンレス鋼、<input type="checkbox"/>ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼：10^{17} n/cm² ・ 合金鋼、チタン合金、<input type="checkbox"/>：10^{16} n/cm² ・ アルミニウム合金：10^{19} n/cm² ・ 木材：10^{16} n/cm² <p>本輸送物の収納物は未使用の新燃料集合体であり、50年間燃料集合体を収納していたとしても、輸送容器の放射線照射量は3×10^3 Gy未滿となる。この放射線照射量は、レジンに顕著な機械的特性の変化を与える放射線照射量5×10^4 Gyと比較して小さい。</p> <p>ボロン入りステンレス鋼及びレジンに含まれるボロンの減損については、50年間の減損率を保守的に容器内部の中性子照射量2×10^{10} n/cm²を用いて評価しても10^{-10}以下であり無視できる。</p>	(ロ)一F.2

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (4/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
		<p>3. 化学変化による経年変化 本輸送容器は、大気中のみで取り扱われ、かつ、乾式で輸送される。容器本体、バスケット及び収納缶の材料 (<input type="checkbox"/> ステンレス鋼、<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、合金鋼、チタン合金、アルミニウム合金) は、使用環境に対して十分な耐食性を有した材料が使用されており、使用上問題となる腐食は起こらない。また、容器本体のレジン及び銅並びに衝撃吸収カバーの木材は、ステンレス鋼で覆われており、その貫通部も密閉されているため、空気(酸素)及び水分が十分に供給される環境にない。したがって、使用上問題となる腐食及び腐朽菌の発生はない。</p> <p>4. 繰返し荷重による経年変化 繰返し荷重の評価では、輸送物の吊上げ操作及び輸送中の内圧の変動に対する輸送容器及び収納缶の疲労評価を行っている。、本輸送容器及び収納缶は、使用予定年数である50年間の1日1回の圧力変動(計算値18250回に対して2×10^4回と設定)、また本輸送容器は、使用予定回数である200回の輸送で想定される吊上げ回数(ハンドリングベルトによる吊上げについて実作業5回程度に対して10回とし、2×10^3回を想定)に対して、十分な許容繰返し回数を有しており、繰返し荷重により構成部品の健全性は損なわれない。</p> <p>以上より、熱、放射線、化学変化については、技術上の基準に適合していることを確認する上で経年変化の影響を考慮する必要はない。一方、繰返し荷重については、経年変化の影響を考慮する必要がある。なお、繰返し荷重により構成部品の健全性が損なわれることはないことを確認している。</p>	<p>(ロ)－F.2</p> <p>(ロ)－F.2 (ロ)－A.4.4 (ロ)－A.5.1 (ロ)－A.10.13 付属書類-13 (ロ)－F.2 付属書類-4</p>

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (5/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
<p>(L型輸送物に係る技術上の基準) 第4条 第1号</p>		<p>設計変更により、輸送容器の材質、構造並びに輸送物の重量に変更はなく、吊上装置の強度評価に変更はないが、繰返し荷重に対する疲労評価において、本輸送容器の使用予定回数から想定される吊上げ回数を明確にした評価に変更している。</p> <p>本輸送物は、本体のトラニオンあるいはハンドリングベルトと、専用の吊上げ用具を用い、クレーンを利用し容易に取扱いが行えるよう設計している。</p> <p>吊上げに対する強度評価では、輸送物の最大重量に対し、急激な吊上げ等を踏まえた3倍の安全係数をもつ取扱い中の荷重を想定し、材料力学に基づく公式を用いた計算及びABAQUSコードにより、本体、トラニオン及びハンドリングベルトの強度を評価した結果、これらは取扱い中の荷重に対し十分な強度を有している。</p> <p>繰返し荷重に対する疲労評価では、安全側にクレーン構造規格に規定された衝撃係数を負荷係数として想定し評価した結果、本輸送容器の使用予定回数(200回)から想定される吊上げ回数(トラニオンでは4×10^3回(1回当たり実作業10回程度の吊上げに対して20回を想定)、ハンドリングベルトでは2×10^3回(1回当たり実作業5回程度の吊上げに対して10回の吊上げを想定))は、許容繰返し回数(トラニオンでは6×10^5回、ハンドリングベルトでは3×10^3回(吊りハンドル))を下回っており、繰返し荷重により輸送容器が破損することはない。</p> <p>以上より、本輸送物は容易にかつ安全に取扱うことができる設計となっており、本輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	<p>(イ)－C (ロ)－A.4.4 (ロ)－A.10.6 付属書類-6</p>
<p>第2号</p>		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はない。そのため、以下に示すように輸送中に予想される周囲</p>	

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (6/22)

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>温度(−40℃から38℃)及び内圧の変化、振動等により、亀裂、破損等が生じないように設計されていることに変更はなく、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>1. 輸送容器各部及び収納物の最低温度は、輸送中に想定される周囲の最低温度である−40℃となる。また、最高温度については、本輸送物はA型輸送物であるが、安全側にBM型輸送物に係る一般の試験条件に規定された太陽放射熱の条件を考慮した評価を実施しており、輸送容器各部及び収納物の最高温度は70℃となる。</p> <p>2. 輸送中に予想される−40℃から70℃の温度の範囲において、物理の公式を用いた熱膨張による寸法の変化を評価した結果、容器本体とバスケット間が干渉することはない。また、収納物である燃料集合体と収納缶間及び収納缶と容器本体若しくはロジメント間には隙間があり、干渉しない。 上記評価に加え、容器本体に発生する熱応力について、ABAQUSコードによる評価を行い、発生する熱応力に対して十分な強度を有していることを確認している。</p> <p>3. 輸送中の温度変化に伴う内圧は最大で <input type="text"/> MPa (絶対圧)、最小で <input type="text"/> MPa (絶対圧) となる。内圧に対しては周囲の圧力が60 kPa まで低下した場合を考慮し、安全側に周囲との圧力差を <input type="text"/> MPa (内圧) 及び <input type="text"/> MPa (外圧) として、ABAQUSコードによる強度評価及び疲労の評価を行っている。その結果、輸送容器の密封装置は十分な強度を有しており、輸送容器の構造健全性は維持される。また、蓋板ガスケット取付け部における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代(つぶれ代)よりも十分小さく、密封性は維持される。</p>	<p>(ロ)−B.4</p> <p>(ロ)−A.5.1 (ロ)−A.10.9 付属書類-9</p> <p>(ロ)−A.4.6 (ロ)−A.10.7 付属書類-7</p>

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (7/22)

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>4. 本輸送物は、輸送架台に本体胴部を固定して輸送する。輸送時に発生が予想される加速度として、進行方向 2G、垂直方向 3G、横方向 2G を仮定し、ABAQUS コードによる強度評価を行っている。その結果、輸送架台に固定された輸送容器の本体胴部は、十分な強度を有しており、輸送容器の構造健全性は維持される。</p> <p>5. ABAQUS コードにより求めた輸送物の固有振動数は□Hz 以上であり、輸送中に予想される振動（主として 20 Hz 以下）により共振することはない。また、輸送中の振動による荷重の応答倍率は最大で□となるが、振動による荷重の増幅を考慮しても、本体胴部の強度に関しては、4. で示した評価において、想定した加速度に対し十分な余裕率を有しており、構造健全性が損なわれることはない。また、蓋板、蓋板締付けボルト及び底板に関しては、材料力学に基づく公式を用いて強度を評価した結果、十分な強度を有していることを確認している。したがって、振動による荷重の増幅を考慮しても輸送容器の構造健全性は維持される。</p>	<p>(ロ)－A. 4. 5</p> <p>(ロ)－A. 4. 7 (ロ)－A. 10. 8 付属書類-8</p>
第3号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>本輸送物の表面には、取扱い時に使用するトラニオン、ハンドリングベルト及び衝撃吸収カバーの吊上げラグ以外に突起物はない。また、本輸送物の表面は、滑らかに仕上げられたステンレス鋼及び塗装面であり、放射性物質によって汚染された場合に、汚染の除去が容易にできる構造となっている。</p>	(イ)－C

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (8/22)

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4号		<p>設計変更により、収納物として燃料集合体の種類及び収納缶を追加する。これら収納物の構成材料は、既存の設計での収納物の構成材料と同じく、化学的に安定した材料を使用しており、以下に示すとおり、容器を構成する材料相互の間及び材料と収納物の間で危険な物理的又は化学的作用の生じるおそれはない。したがって、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第4条第2号で示したように、輸送中に予想される温度範囲において、容器を構成する材料及び収納物の熱膨張により、材料相互及び材料と収納物の間での干渉（拘束）により亀裂、破損が生じるおそれはない。 2. 本輸送物は冷却水を用いない乾式タイプであり、凍結により本輸送物が破損するおそれはない。 3. レジン（レジン）及びガスケット（EPDM）は金属と接触しても化学反応を起こすことはない。 4. レジンは容器本体の胴部、蓋部及び底部にそれぞれ密閉される。また、輸送物は乾式で使用されることから、構成部品の材料相互で腐食等は発生しない。 	(イ) - C (ロ) - A. 4. 1 (ロ) - A. 5. 1 (ロ) - B. 4. 3
第5号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に变更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p> <p>蓋板に設置されるクイックコネクションには、クイックコネクションカバーが設けられており、更に輸送中は前部衝撃吸収カバーにより覆われる構造となっている。したがって、輸送中に誤って操作されるおそれはない。</p>	(ロ) - A. 4. 3
第6号		該当しない。	

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (9/22)

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7号		該当しない。	
第8号	(表面密度限度) 第9条	設計変更により、適合性判断を行う条件となる表面密度限度に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合するよう運用することに変更はない。本輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前検査において、基準値以下であることを確認する。	(ハ)－A.2
第9号		該当しない。	
第10号 (A型輸送物に係る技術上の基準)		設計変更により、本輸送物の収納物に、燃料集合体の種類及び収納缶を追加する。しかし、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合するよう運用することに変更はない。 本輸送物は燃料装荷時に発送前検査として収納物検査が行われ、燃料集合体(チャンネルボックスを含む)、収納缶、梱包材、その他輸送容器構成部品以外のものが収納されていないことを確認するため、本輸送物の安全性を損なうおそれのあるものが収納されることはない。	(ハ)－A.2
第5条 第1号		第4条第1号から第5号まで、並びに第8号及び第10号に示すとおり、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (10/22)

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2号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>本輸送物は、外寸法が外径約2.1m、全長約6.0mの円筒型容器であり、外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p>	(イ) - A
第3号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造及び封印の運用方法に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>本輸送物の蓋板は、蓋板締付けボルトにより強固に取付けられており、また、輸送中、蓋板は</p>	(イ) - C (ロ) - A. 4. 3
第4号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料、並びに輸送物に想定される温度範囲に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>第4条第2号に示すとおり、本輸送物の輸送中に予想される周囲の温度は-40℃から38℃の範囲であり、輸送物の各構成部品に想定される温度は-40℃から70℃の範囲となる。この温度範囲において、本輸送容器の構成部品には、材料の著しい脆化又は強度の低下等は生じず、必要な材料強度に影響を及ぼさない。したがって、-40℃から70℃までの温度の範囲において、構成部品に亀裂、破損等が生じることはない。</p>	(ロ) - A. 3 (ロ) - A. 4. 2 (ロ) - B. 2 (ロ) - B. 3 (ロ) - B. 4. 3

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (11/22)

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5号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>第4条第2号に示すとおり、周囲の圧力を60 kPaとした場合でも、輸送容器の構造健全性は維持され、かつ、蓋板ガスケット取付け部における口開き変形量は、ガスケットの初期締付け代(つぶれ代)よりも十分小さく、容器の密封性は維持される。したがって、放射性物質の漏えいが生じることはない。</p>	(ロ)－A.4.6
第6号		<p>設計変更により、追加した収納物は、燃料集合体の種類及び収納缶であり、液体状の核燃料物質等ではない。したがって、本項に該当しないことに変更はない。</p>	
第7号	(線量当量率) 第8条	<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。一方で、収納物として追加する燃料集合体は、その表面の汚染レベルが高いことから、汚染による線源強度を見直した評価を実施している。なお、収納缶については、放射線を遮蔽する効果を有するため安全側にその存在を無視している。</p> <p>本輸送物は、以下に示す保守的な条件を設定し、DORTコードにて解析した結果、通常輸送時の輸送物表面の最大線量当量率は□ mSv/h以下であり、基準値の2 mSv/hを超えることはない。</p> <p>したがって、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 収納物中のウランの線源強度については、ウラン同位体核種の崩壊を考慮し、放射能強度の最大値を用いる。 2. 収納物である燃料集合体の表面汚染については、燃料集合体表面の線量当量率が管理基準以上となる汚染核種(⁶⁰Co)の放射能の量を線源として考慮する。 	(ロ)－D.2 (ロ)－D.3 (ロ)－D.5

(㍀)ー第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (12/22)

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7号	第8条	3. 解析モデルについて、バスケットはロジメント、追加遮蔽板及びアルミスペーサー以外の部品を無視し、バスケットサポートはバスケットサポート底板を除いて空気に置き換える。衝撃吸収カバーは安全側に空気に置き換え、その距離のみ考慮する。	
第8号	第8条	第5条第7号で示したものと同一条件で解析した結果、通常輸送時の輸送物表面から1m離れた位置における最大線量当量率は□ $\mu\text{Sv/h}$ 以下であり、基準値の100 $\mu\text{Sv/h}$ を超えることはない。 したがって、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(㍀)ーD.5

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (13/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
<p>第5条 第9号</p>	<p>(A型輸送物に係る一般の試験条件及び液体状又は気体状の核燃料物質等が収納されているA型輸送物に係る追加の試験条件) 第13条 別記第3第1号</p>	<p>a. 水噴霧 設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。 輸送容器の外表面は、ステンレス鋼あるいは塗装されたステンレス鋼であり、水噴霧によって吸水による劣化や腐食が生じることはない。したがって、本試験により輸送物の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。</p> <p>b. 自由落下 設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料、並びに輸送物の重量に変更はない。 設計変更後においても、本輸送物の最大重量は19.5トンであるため、落下高さは0.3mとなる。この高さから落下する事象をLS-DYNAコードを用いて解析し、輸送物各部に発生する応力及び歪を求めている。 容器本体については、最大の損傷を受けるよう垂直、水平及びコーナーの各落下姿勢について評価している。解析は保守的に最大重量の輸送物が剛体面に衝突するものとしている。その結果、本体に□%以下の微小な塑性歪が発生するが、蓋板締付けボルト及び密封シール面の発生応力は降伏応力を下回る。また、蓋板ガスケット取付け部には漏えいが起こるような口開きは生じない。</p>	<p>(ロ)－A.5.2 (ロ)－A.5.7</p> <p>(ロ)－A.5.3 (ロ)－A.5.7 (ロ)－A.10.10 付属書類-10</p>

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (14/22)

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9号	第13条 別記第3第1号	<p>衝撃吸収カバーは、最大で□ mmの変形が生じる。</p> <p>バスケットについては、最大の損傷を受けるよう収納物の全重量がバスケットに負荷される落下姿勢である水平落下について評価した結果、バスケットの構成部品に塑性歪は発生しない。</p> <p>収納物である燃料集合体については、燃料被覆管に負荷される圧縮荷重及び曲げ荷重がそれぞれ最大となる垂直落下及び水平落下について評価した結果、燃料被覆管は破断しない。</p> <p>以上の結果より、本試験における輸送物の状態は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・容器本体に微小な塑性歪が生じるが、容器の構造健全性及び密封性能は維持される。 ・衝撃吸収カバーがわずかに変形する。 ・バスケットの構造健全性は維持される。 ・燃料被覆管に破断が生じることはなく、燃料集合体の密封性は維持される。 <p>c. 積み重ね試験</p> <p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料、並びに輸送物の重量に変更はない。</p> <p>設計変更後においても、本輸送物は、輸送容器の投影面積に 13 kPa を乗じた値よりも輸送物の総重量の 5 倍に相当する荷重の方が大きいことから、輸送物重量 (19.5 トン) の 5 倍に相当する荷重が負荷されたときについて評価している。</p> <p>胴部について、ABAQUS コードを用いて評価した結果、発生する応力は設計降伏応力を下回っている。また、衝撃吸収カバーについて、材料力学に基づく公式を用いて評価した結果、衝撃吸収カバーに有意な変形は生じない。</p>	<p>(ロ) - A. 5. 4</p> <p>(ロ) - A. 5. 7</p> <p>(ロ) - A. 10. 11</p> <p>付属書類-11</p>

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (15/22)

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9号	第13条 別記第3第1号	<p>蓋板ガスケット取付け部については、積み重ねにより輸送容器に作用する荷重は自由落下による荷重より小さく自由落下の結果に包含されるため、漏えいが起こるような口開きは生じない。</p> <p>したがって、本試験において容器の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。</p> <p>d. 貫通</p> <p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。</p> <p>質量 6 kg、直径 3.2 cm の棒が 1m の高さから輸送物の外表面に落下した場合について、貫通の有無を評価している。密封装置を構成する容器本体の外表面のうち、最も板厚の薄い胴外板への落下について、材料力学に基づく公式を用いて評価した結果、棒の落下によって胴外板は貫通せず、棒が密封境界に到達することはない。また、密封装置以外の部位を含めた本輸送物の外表面のうち、最も板厚の薄い衝撃吸収カバーの外板への落下について、LS-DYNA コードを用いて評価した結果、棒の落下によって衝撃吸収カバーの外板が貫通することはなく、棒が衝撃吸収カバーで覆われた密封装置に到達することはない。</p> <p>したがって、本試験において、容器の構造健全性及び密封性能が損なわれることはない。また、遮蔽解析に影響する損傷も生じない。</p>	<p>(ロ) - A. 5. 5</p> <p>(ロ) - A. 5. 7</p> <p>(ロ) - A. 10. 12</p> <p>付属書類-12</p>

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (16/22)

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9号	別記第3第2号	設計変更により、収納物に燃料集合体の種類及び収納缶を追加するが、これらは液体状又は気体状の核燃料物質等ではない。したがって、本項に該当しないことに変更はない。	
第9号イ		第5条第9号で示したように、本輸送物を一般の試験条件の下に置いた場合において、本輸送物の密封性能が損なわれることはなく、密封性は維持される。したがって、放射性物質の漏えいはなく、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(ロ)－C.3.1 (ロ)－A.5.7
第9号ロ		第5条第9号で示したように、本輸送物を一般の試験条件の下に置いた場合において、衝撃吸収カバーがわずかに変形するが、容器本体の構造健全性は維持される。 第5条第7号の評価手法に基づき、衝撃吸収カバーの変形を考慮して DORT コードにより評価した結果、収納物の追加を考慮した輸送物表面における最大線量当量率は □ mSv/h 以下であり、通常輸送時からの増加はない。 したがって、表面における最大線量当量率が基準値の 2 mSv/h を超えることはなく、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(ロ)－D.3 (ロ)－D.5
第10号		設計変更により、収納物として燃料集合体の種類及び収納缶を追加するが、これらは液体状又は気体状の核燃料物質等ではない。したがって、本項に該当しないことに変更はない。	
第6条～ 第10条		該当しない。	

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (17/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
<p>(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</p>	<p>(核分裂性輸送物に係る一般の試験条件) 第24条 別記第11</p>	<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の収納物に、燃料集合体の種類を追加したが、本輸送物が核分裂性輸送物に該当することに変更はない。 本輸送物を核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた場合における輸送物の状態は、第5条第9号にて述べたとおりである。</p>	<p>(ロ)－A.9.1</p>
	<p>(核分裂性輸送物に係る特別の試験条件) 第26条 別記第12</p>	<p>a. 落下試験 I 設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料、並びに輸送物の重量に変更はない。 設計変更後において、9m高さから落下する事象をLS-DYNA コードを用いて解析し、輸送物各部に発生する応力及び歪を求めている。 容器本体については、最大の損傷を受けるよう垂直、水平、コーナー及び傾斜落下の各落下姿勢について評価している。解析は保守的に最大重量の輸送物が剛体面に衝突するものとし、0.3m落下との累積損傷を考慮して9.3m高さからの落下を評価している。その結果、容器本体に局所的な塑性歪が発生するが、<input type="text"/>下回る。また、衝撃吸収カバーは最大で<input type="text"/>mmの変形が生じる。 バスケットについては、最大の損傷を受けるよう収納物の全重量がバスケットに負荷される落下姿勢である水平落下について評価した結果、バスケットの構成部品に局所的な塑性歪が発生するが、<input type="text"/>下回る。</p>	<p>(ロ)－A.9.2</p>

(ロ) - 第 G.1 表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (18/22)

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 26 条 別記第 12	<p>収納物である燃料集合体については、燃料被覆管に負荷される圧縮荷重及び曲げ荷重がそれぞれ最大となる垂直落下及び水平落下について評価した結果、燃料被覆管には塑性歪が発生するが、最小破断伸びを下回る。以上の結果より、本試験における輸送物の状態は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 衝撃吸収カバーが変形する。 ・ 容器本体及びバスケットには局所的な塑性歪が発生するが形状は維持される。 ・ 燃料被覆管が破断することはない。 <p>b. 落下試験Ⅱ</p> <p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料、並びに輸送物の重量に変更はない。</p> <p>設計変更後において、直径 15cm の軟鋼棒上に 1m の高さから落下させたときの輸送容器の損傷については、<input type="text"/>モデルを用いた落下試験により確認されている。試験の結果、次のことが確認されている。蓋部あるいは底部を直撃する垂直落下において、衝撃吸収カバーが貫通し、レジンにへこみが生じる。胴部を直撃する水平落下において、胴外板及び胴ガセットが破断し、内筒の一部が内側に膨らむが破断することはない。また、容器の密封性能は維持される。</p> <p>上記の胴部を直撃する水平落下における内筒の膨らみについて、バスケットへの影響を LS-DYNA コードを用いて評価している。その結果、バスケットの直撃部近傍のアルミスペーサーが変形し、<input type="text"/>に<input type="text"/> <input type="text"/>塑性歪が局所的に発生するが、燃料集合体が収納されるロジメントの配置は維持され、また、燃料集合体を損傷させるような変形は生じない。</p> <p>c. 熱的試験 (耐火試験)</p> <p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。</p>	<p>(ロ) - A. 9. 2</p> <p>(ロ) - A. 9. 2</p> <p>(ロ) - B. 5</p>

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (19/22)

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26条 別記第12	<p>設計変更後において、耐火試験における本輸送物の損傷状態については、ABAQUS コード及び各種公式を用いて、輸送物各部の温度、応力及び歪を求めている。</p> <p>耐火試験の初期温度となる、周囲温度 38℃の条件下で太陽放射熱を負荷した温度については、伝熱工学に基づく公式を用いて計算し 70℃としている。その後、ABAQUS コードを用いた熱解析により、耐火試験における輸送容器の温度を評価している。また、圧力と温度の公式により輸送容器の内圧を計算した後、ABAQUS コードを用いた輸送容器の強度評価及び材料力学に基づいた公式を用いた燃料被覆管の強度評価を行っている。耐火試験の熱解析モデルでは、落下試験 I での衝撃吸収カバーの変形により伝熱の距離が減少することを考慮して変形状態を考慮したモデルとしている。また、収納物である燃料集合体の評価温度については、保守的にバスケットの最高温度を使用している。</p> <p>以上の結果より、本試験における輸送物の状態は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内筒の中央部分が膨らむように変形して内半径が <input type="text"/> mm 大きくなる。 ・レジン及び衝撃吸収カバー内部の木材の一部が炭化する。 ・燃料被覆管が破断することはない。 <p>d. 浸漬試験 (0.9m)</p> <p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。</p> <p>設計変更後において、臨界の評価において、浸水があらかじめ想定されているため対象外となる。</p> <p>なお、15m浸漬試験については、ABAQUS コードを用いて解析した結果、容器に有意な変形が生じることはないため、告示の別記第 12 において、第 1 号の条件が最大の破損を受ける条件となる。</p>	<p>(ロ)一A.9.2 (ロ)一A.10.4 付属書類-4</p>

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (20/22)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
第11条 本文		<p>第11条で示したように、設計変更後において、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に置いた場合の本輸送物の損傷状態を評価している。これをふまえ、輸送中を包含する条件において臨界に達しないことを解析により確認している。</p> <p>設計変更において、本輸送物の経年変化の影響は、第3条第3項で示したとおりであり、第11条に関する安全解析において考慮すべき輸送物の経年変化の影響はない。</p> <p>したがって、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)一E.6 (ロ)一F
第1号イ		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>本輸送物が本条件に置かれた場合、衝撃吸収カバーは変形するが、容器の構造部に一辺が10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じない。</p>	(ロ)一A.9.1
第1号ロ		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>本輸送物は、外寸法が外径約2.1m、全長約6.0mの円筒型容器である。</p> <p>本輸送物が本条件に置かれ、衝撃吸収カバーが変形しても、外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p>	(ロ)一A.9.1

(ロ)一第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (21/22)

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 イ、ロ、ハ、 ニ、ホ	(核分裂性輸送物に係る一般の試験条件) 第24条 (核分裂性輸送物に係る特別の試験条件) 第26条 (核分裂性輸送物に係る孤立系の条件) 第25条 (核分裂性輸送物に係る配列系の条件) 第27条	<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料に変更はない。一方、収納物として、燃料集合体の種類 (D 格子燃料) 及び収納缶が追加される。燃料集合体 (D 格子燃料) は、既存の設計での燃料集合体 (C 格子燃料) と比べ、格子形状が異なり、燃料棒の配置に差がある。この燃料棒の配置の差をふまえ、D 格子燃料及び C 格子燃料で評価を実施している。収納缶については、内包している燃料集合体の変形 (燃料棒のピッチが拡大すること) を制限するため、本評価において安全側にその存在を無視している。</p> <p>設計変更後において、本輸送物を核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件に置いた場合の損傷状態を踏まえ、下記に示す保守的な条件を設定し、第11条本文の輸送中及び第11条第2号イからホの条件を全て包含する無限配列モデルとし、SCALE コードシステム (KENO-VI コード) を用いて解析している。</p> <ol style="list-style-type: none"> 輸送容器の損傷状態を考慮して、容器本体の内筒より外側の部品、並びに、蓋板、底板及び衝撃吸収カバーを無視し、軸方向に無限長かつ任意の無限配列のモデルとなるように周囲を完全反射の境界条件とする。 燃料集合体の変形の可能性を考慮して、全スパンの燃料棒ピッチをロジメント内で広げる。 輸送物内への浸水を仮定し、実効増倍率が最大となるように輸送容器内外の水密度を最適化する。 <p>解析の結果、実効増倍率に標準偏差の3倍を含めても、<input type="text"/> (C 格子燃料の場合) 及び <input type="text"/> (D 格子燃料の場合) であり、臨界に達することはない。</p> <p>したがって、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)一E.2 (ロ)一E.3 (ロ)一E.4 (ロ)一E.6

(ロ)－第G.1表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価 (22/22)

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3号		<p>設計変更により、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、材料、並びに輸送物に想定される温度範囲に変更はない。したがって、以下に示すように本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>本輸送容器の構成部品は-40℃から70℃までの温度の範囲において、亀裂、破損等が生じることはない。</p> <p>また、本輸送物は冷却水を用いない乾式タイプであり、凍結により本輸送物が破損するおそれはない。</p>	(ロ)－A.3 (ロ)－A.4.2 (ロ)－B.4.3 (ロ)－B.4.6

(ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ)－A 核燃料輸送物の取扱方法

A.1 装荷方法

輸送容器への収納物（燃料集合体及び収納缶）の装荷方法、検査及び特別な準備を以下に示す。

(1) 輸送容器の準備及び事前作業

- (a) 輸送容器及び収納物のハンドリングに使用するクレーン、吊具、その他治具等は、事前に点検し、健全であることを確認する。
- (b) 輸送容器の移動及び衝撃吸収カバーの取外しを行い、輸送容器を燃料装荷作業位置に縦置き状態で設置する。
- (c) 輸送容器に転倒防止フレームを取付け、転倒防止対策を行う。

(2) 収納物の準備及び検査

- (a) 燃料集合体の表面汚染の状況に応じて、適宜、付着した汚染除去（汚染低減）を目的とした洗浄作業を行う。
- (b) 使用済燃料プールに保管されている燃料集合体については、プールからの取出し時に、燃料集合体に付着したプール水の除去作業を行う。
- (c) 燃料集合体（チャンネルボックスが装着されている場合はチャンネルボックスが装着された状態）の外観の確認（収納物検査）を行う。
- (d) 燃料集合体表面（チャンネルボックスが装着されている場合はチャンネルボックス表面）の線量当量率を測定し、管理基準値以下であることを確認する。（収納物検査）
- (e) 燃料集合体の識別番号の確認（収納物検査）を行う。

(3) 燃料装荷作業

- (a) 蓋板締付けボルトを取外し、アイボルトを取付けた後、蓋板を取外す。
- (b) 輸送容器内のバスケットの外観を目視で検査する。（未臨界検査）
- (c) 収納缶を輸送容器内ロジメントに設置する。燃料集合体を必要に応じ梱包材とともに収納缶に収納する。
- (d) 各収納物が、装荷計画どおりのロジメントに収納されたことを確認する。この時、格子形状の異なる燃料集合体が混在していないこと並びにD格子の燃料集合体については、ウォーターチャンネルが同一の方向となるようにロジメントに収納されたことを確認する。
- (e) 蓋板ガスケット及び上部フランジのシール面を目視により検査し、有害な変形、

傷、割れ等がないことを確認する。

- (f) 蓋板に新品のガスケットを取付けた後、蓋板を輸送容器本体に設置し、蓋板締付けボルトを所定のトルクで締付ける。
- (g) クイックコネクションカバーを取外し、ガスケットのシール面を目視により検査し、有害な変形、傷、割れ等がないことを確認する。
- (h) クイックコネクションカバーに新品のガスケットを取付けた後、クイックコネクションカバーを設置し、締付けボルトを所定のトルクで締付ける。
- (i) 上記作業においては、収納物の梱包に必要なもの以外が梱包されないことを確認しながら作業を行う。
- (j) なお、遮蔽水、冷却材等の液体の充填については、本輸送容器は乾式であるため該当しない。また、上記作業において、輸送容器内に水を入れることはなく、輸送容器内部の乾燥作業及び残留水分の管理は必要としない。

(4) 衝撃吸収カバーの取付け

- (a) 輸送容器を移動した後、輸送容器に前部衝撃吸収カバー及び後部衝撃吸収カバーを取付け、締付けボルトを所定のトルクで締付ける。

(b)

A.2 核燃料輸送物の発送前検査

(ハ)－第A.1表に示す発送前検査を実施し、輸送物の健全性を確認する。

また、梱包に際し確認される燃料集合体表面における線量当量率の管理基準を(ハ)－第A.2表に示す。

(ハ) 第一A.1表 発送前検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
1. 外観検査	輸送物の外観を目視により検査する。	輸送物の形状、塗装等に異常な傷又は割れがないこと。
2. 線量当量率検査	輸送物の表面及び表面から1m離れた位置での線量当量率をサーベイメータ等で検査する。	ガンマ線線量当量率が、 表面：2 mSv/h 表面より1mの距離：100 μ Sv/h をそれぞれ超えないこと。
3. 未臨界検査	輸送容器内のバスケットの外観を目視で検査する。	バスケットに異常な変形又は破損がないこと。
4. 吊上検査	輸送物を吊上げた後の状態において、トラニオン部及びハンドリングベルトの外観を目視で検査する。	トラニオン部及びハンドリングベルトに異常な変形又は破損がないこと。
5. 重量検査	輸送容器及び収納物の合計重量を計算により求め、基準値以下であることを検査する。	輸送物の重量が19.5トン以下であること。
6. 収納物検査	1) 燃料集合体の仕様を検査する ¹⁾ 。 2) 収納物（燃料集合体にチャンネルボックスが装着されている場合はその外観）に変形又は破損がないことを目視で検査する。 3) 燃料集合体外表面（チャンネルボックスが装着されている場合はその表面）のガンマ線線量当量率を測定し、管理基準値以下であることを検査する。 4) 輸送容器内に収納されているものを目視により確認する。	1) 収納物の仕様が車両運搬確認申請書に記載された条件又は記載予定の条件どおりであること ¹⁾ 。 2) 収納物に異常な変形又は破損がないこと。 3) 燃料集合体の部位に応じて、4面の線量当量率の平均値が(ハ) 第一A.2表に示す管理基準値を超えないこと。 4) 燃料集合体（チャンネルボックスを含む）、収納缶、梱包材、その他輸送容器構成部品以外のものが収納されていないこと。
7. 表面密度検査	スミヤ法等により、輸送物の表面密度を測定する。	α 線を放出する放射性物質： 0.4 Bq/cm ² を超えないこと。 α 線を放出しない放射性物質： 4 Bq/cm ² を超えないこと。

注1) 汚染核種の放射能の量は、燃料集合体表面のガンマ線線量当量率が管理基準値以下であれば車両運搬確認申請書に記載された条件どおりであるため、燃料集合体外表面（チャンネルボックス付きの場合はその表面）のガンマ線線量当量率を測定し、管理基準値以下であることを検査する。

(ハ)－第A.2表 燃料集合体表面の線量当量率の管理基準

部 位	管理基準値 ^{1) 2)} (mSv/h)
燃料集合体の上部領域 (燃料上端から □ mm の範囲 ³⁾)	
燃料集合体の中間部領域 (燃料上端から 212mm 以降、 燃料下端から □ mm までの範囲 ⁴⁾)	
燃料集合体の下部領域 (燃料下端から □ mm の範囲 ⁵⁾)	

注 1) ハンドル部を除き、燃料集合体の 4 表面 (同じ長手方向位置の 4 面) での線量当量率の平均値に対する管理基準値

注 2) チャンネルボックスが装着されている場合は、チャンネルボックス表面での線量当量率の管理基準値

注 3) 上部タイプレート及び上部端栓の領域

注 4) 燃料有効部及びプレナム部の領域

注 5) 下部タイプレート及び下部端栓の領域

A.3 取出し方法

輸送容器からの収納物の取出し方法及び安全上必要な措置等を以下に示す。

(1) 作業準備

- (a) 輸送容器及び収納物のハンドリングに使用するクレーン、吊具、その他治具等は、事前に点検し、健全であることを確認する。
- (b) 輸送容器の移動及び衝撃吸収カバーの取外しを行い、輸送容器を燃料取出し作業位置に縦置き又は横置きの状態で設置する。なお、縦置き、横置きは収納物の取出し作業を実施する施設の要領に従う。

(2) 燃料取出し作業

- (a) 蓋板の取扱い治具を用いて、蓋板締付けボルトを取外し、蓋板を取外す。
- (b) 収納缶に収納された燃料集合体を輸送容器のロジメントから取出す。
- (c) 輸送容器内のバスケットの外観を目視で検査し、バスケットに異常な変形又は破損がないことを確認する。
- (d) 蓋板ガスケットの外観検査を行い、有害な傷等がないことを確認する。
- (e) 蓋板の取扱い治具を用いて、蓋板を輸送容器本体に設置し、蓋板締付けボルトを所定のトルクで締付ける。

A.4 空容器の準備

空容器の準備段階で輸送容器の外表面の外観確認を行い、輸送容器本体、蓋、衝撃吸収カバーの形状、塗装等に異常な傷又は割れがないことを確認する。補修が必要な異常が認められた場合、補修後に当該箇所での再検査を行い、補修が確実に行われたことを確認する。また、可融栓及び圧力調整バルブの取付け状態、並びに、各ボルトの外観に異常が見られた場合¹⁾、適宜、部品交換等を行う。

なお、A.1 装荷方法に記載されたクイックコネクションカバーのガスケット交換及びシール面の確認（A.1 (3) の(g)及び(h)）については、必要に応じ、空容器の準備段階において事前に実施してもよい。

注1) トラニオン取付けボルトについては、取付け部に□による防水処理が施されており、通常はボルトの外観を確認できないが、当該箇所の防水処理の状態に異常が見られた場合、適宜、□を取外しボルトの外観を確認する。

(ハ)－B 保守条件

定期自主検査は、(ハ)－第B.1表に記した方法により、原則として1年に1回以上(年間の使用回数が10回を超えるものにあつては、使用回数10回ごとに1回以上)実施する。

ただし、輸送容器が前回の定期自主検査から使用されずに長期間保管されている場合、輸送容器外部のみを対象とした(ハ)－第B.2表に記した方法での定期自主検査を行い、当該輸送容器を使用する前に輸送容器内部を含めた(ハ)－第B.1表に記した方法での定期自主検査を行う。

定期自主検査の結果、補修が必要と判断された場合、次回輸送に使用する前までに補修を行う。補修後には、当該箇所の再検査を行い、補修が確実に行われたことを確認する。また、可融栓及び圧力調整バルブの取付け状態、並びに、各ボルトの外観に異常が見られた場合¹⁾、適宜、部品交換等を行う。

(ハ)－第B.1表 定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
1. 外観検査	輸送容器の本体、蓋部及び衝撃吸収カバーの外観並びに輸送容器内のバスケットの外観を目視により検査する。	有害な変形、傷、割れ等がないこと。
2. 未臨界検査	輸送容器内部のバスケットを目視により検査する。	バスケットの外観形状に異常がないこと。

(ハ)－第B.2表 長期間保管時の定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
1. 外観検査	輸送容器の本体及び衝撃吸収カバーの外観を目視により検査する。	有害な変形、傷、割れ等がないこと。

注1) ((ハ)－A.4の脚注参照)

B.1 外観検査

定期自主検査において、輸送容器の本体、蓋部及び衝撃吸収カバー並びに輸送容器内のバスケットに有害な変形、傷、割れ等がないことを目視により検査する。

B.2 耐圧検査

製造過程において、輸送容器内部に所定の圧力を加えて、輸送容器本体の各部に永久変形等が発生しないことを検査する。

輸送容器の供用中は、定期自主検査の外観検査において、本体及び蓋部に耐圧性能に影響するような変形、傷、割れ等がないことを目視で検査する。

B.3 気密漏えい検査

製造過程において、圧力上昇法等により蓋板ガスケット部、クイックコネクションカバーガスケット部の二重Oリング部に対し、漏えい率を検査する。

輸送容器の供用中は、収納物の梱包作業ごとにガスケットを新品に交換する他、蓋板ガスケット及びシール面、クイックコネクションカバーガスケット及びシール面に密封性能に影響するような有害な変形、傷、割れ等のないことを目視により検査する。

B.4 遮蔽検査

燃料集合体を装荷した状態で、輸送容器各部の線量当量率を測定し、遮蔽性能に劣化のないことを確認する。

なお、当該検査は線量当量率検査として発送前検査時に実施する。

B.5 未臨界検査

定期自主検査において、輸送容器内のバスケットの外観形状に異常のないことを目視で検査する。

B.6 熱検査

収納物の発熱は無視できるため該当しない。

B.7 吊上検査

輸送容器を吊上げた後にトラニオン部及びハンドリングベルトの外観形状を目視で確認し異常な変形等がないことを検査する。

なお、当該検査は発送前検査時に実施する。

B.8 作動確認検査

本輸送容器では、付属冷却システム、中性子遮蔽タンク及びその他の補助系は使用していないため該当しない。

B.9 補助系の保守

本輸送容器には、補助系を設けていないため該当しない。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

本輸送容器に弁・バルブ等は設けていない。

密封境界を構成する蓋板ガスケット及びクイックコネクションカバーガスケットは、収納物の装荷の都度、新品に交換する。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器の保管は屋内で行うか、屋外に防水シートをかけて保管し、雨水がかからないようにする。

B.12 記録の保管

本輸送容器供用中は、製作時検査記録、定期自主検査記録を保管する。

B.13 その他

特になし。

(二) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

(二)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

本輸送物の安全設計、安全輸送に関する特記事項は以下のものとする。

1. 木材の取扱いについて

安全性向上の観点から、緩衝材として使用する木材の経年変化に関する知見の拡充の取り組みの一環として、容器の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、木材温度が概ね実績のある温度の範囲内となる環境温度で輸送を行う。

2. 技術基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合の対応について

外運搬規則等の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

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

参考-A 輸送容器の製作方法

A.1 製作工程

本輸送容器の製作に関する諸工程は、原則として CODAP 規格によって行う。

以下に主要部品の製作工程及び手順を説明する。

本体の製作工程の例を(参)－第A.1図に示す。

本体は、により組立てた内筒、した
をすることにより作られる。
また、プレートが取付けられる。

内筒と胴ガセットと胴外板で囲まれた領域及び底板部にはレジンをされる。

トラニオンはした後、本体へボルトで取付けられる。

胴外板の外表面は塗装が施される。

ハンドリングベルトは、ことにより作られ、本体に取付けられる。

蓋部の製作工程の例を(参)－第A.2図に示す。

蓋部は、した蓋板とレジンをした蓋部レジンカバーにより構成される。

衝撃吸収カバーの製作工程の例を(参)－第A.3図に示す。

前部・後部衝撃吸収カバーは、を組立て、
材を充填した後、することにより作られる。前部衝撃吸収カバーには他にと材が組込まれる。

また、前部・後部衝撃吸収カバーの外表面には、吊上げラグと脚が取付けられる。

前部・後部衝撃吸収カバーはボルトにより容器本体に装着される。

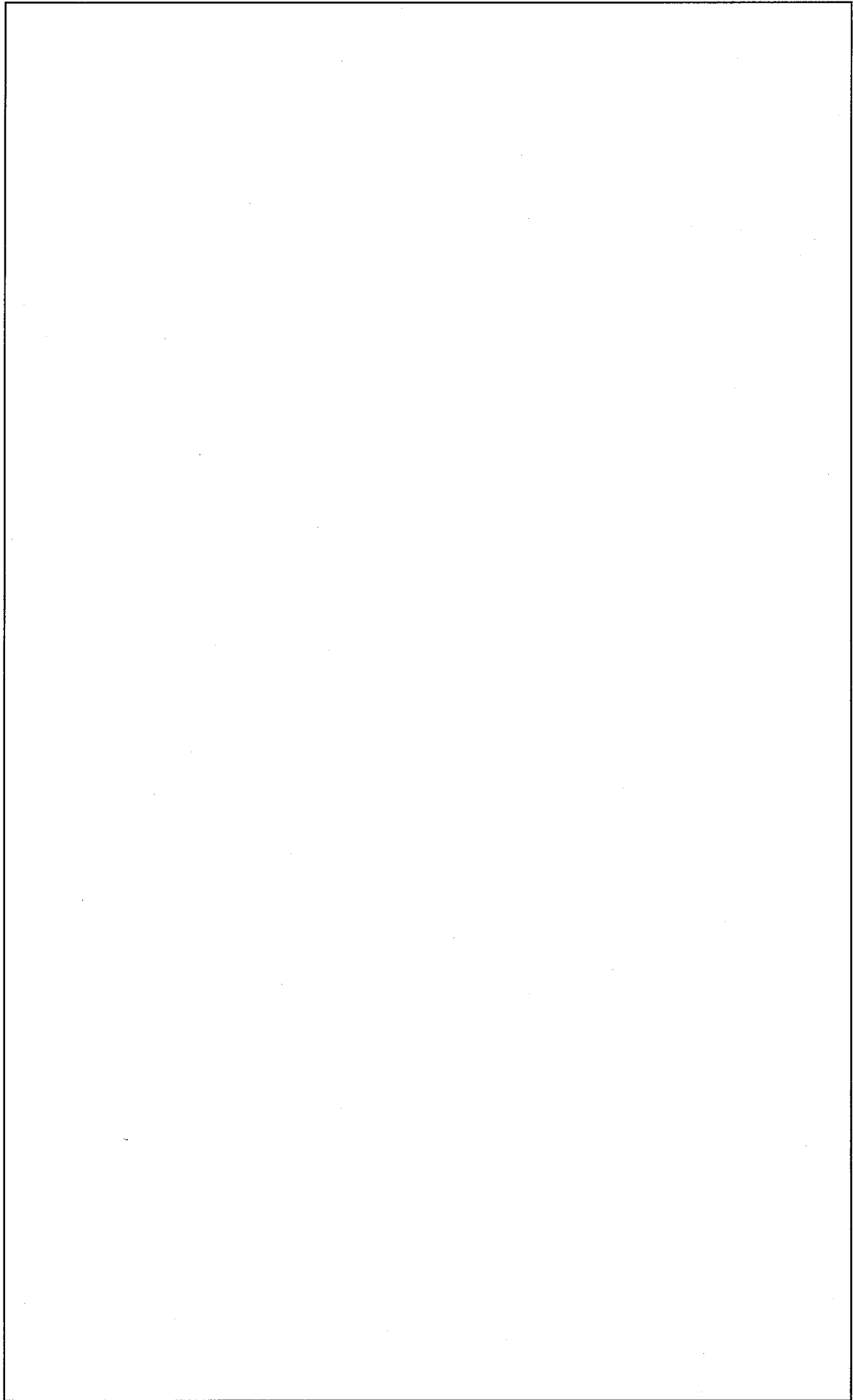
バスケットの製作工程の例を(参)－第A.4図に示す。

ロジメントは、枚のボロン入りステンレス鋼板をすることにより作られ、

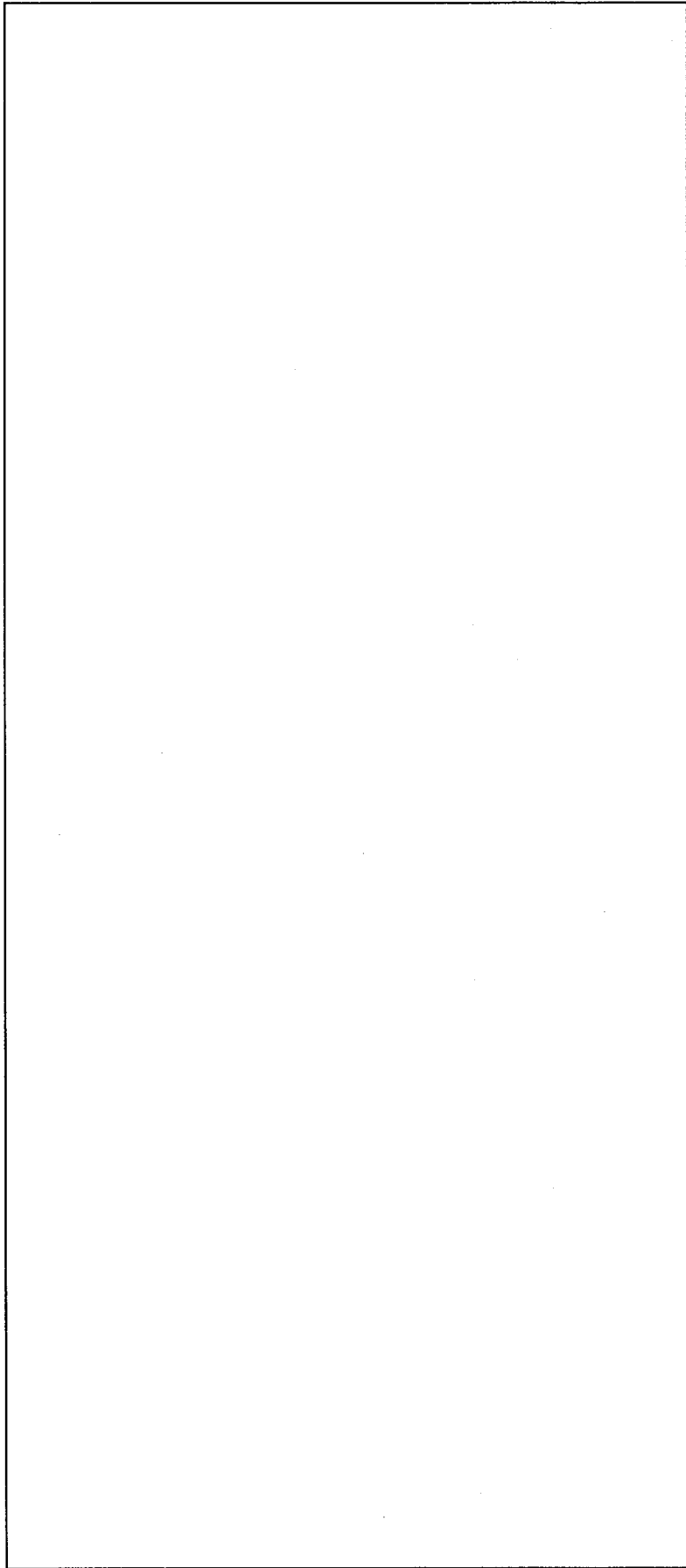
とともに組立てられる。

には追加遮蔽板が配置され、アルミスペーサーが
あるいは追加遮蔽板にされる。

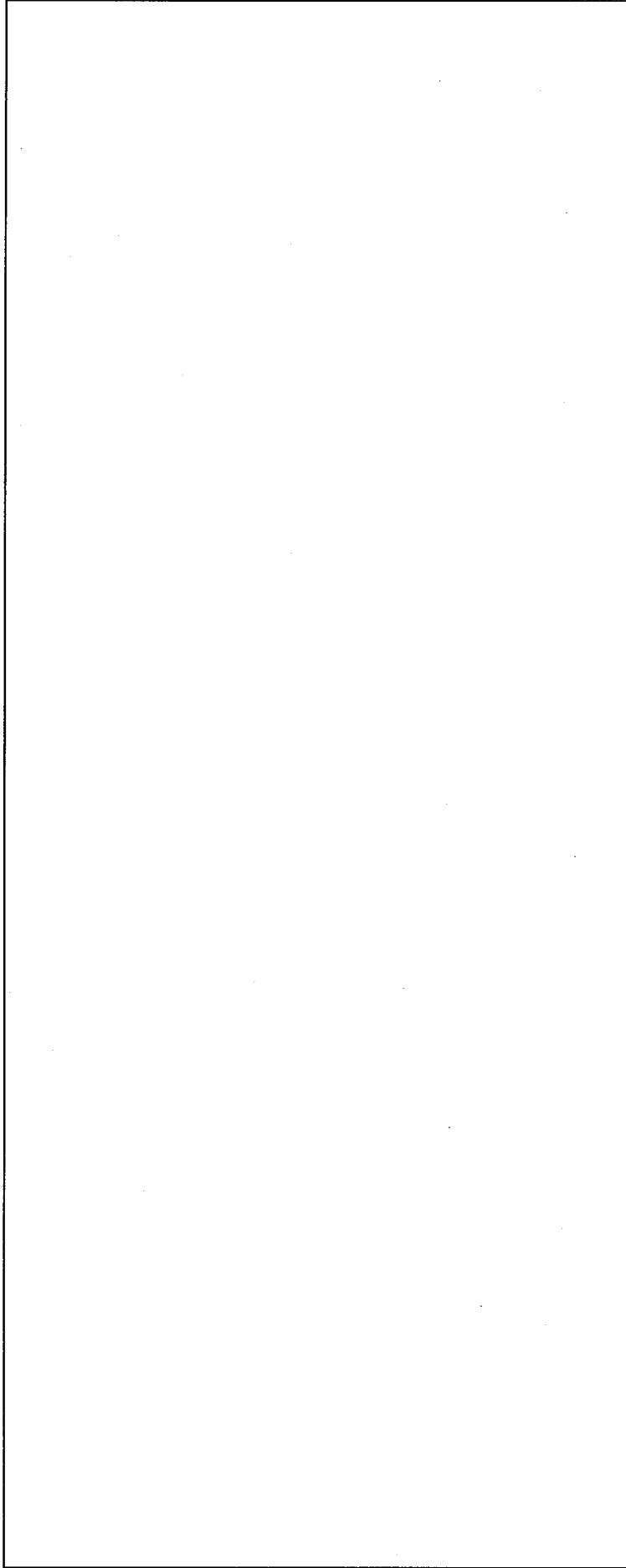
バスケットはによってに固定される。



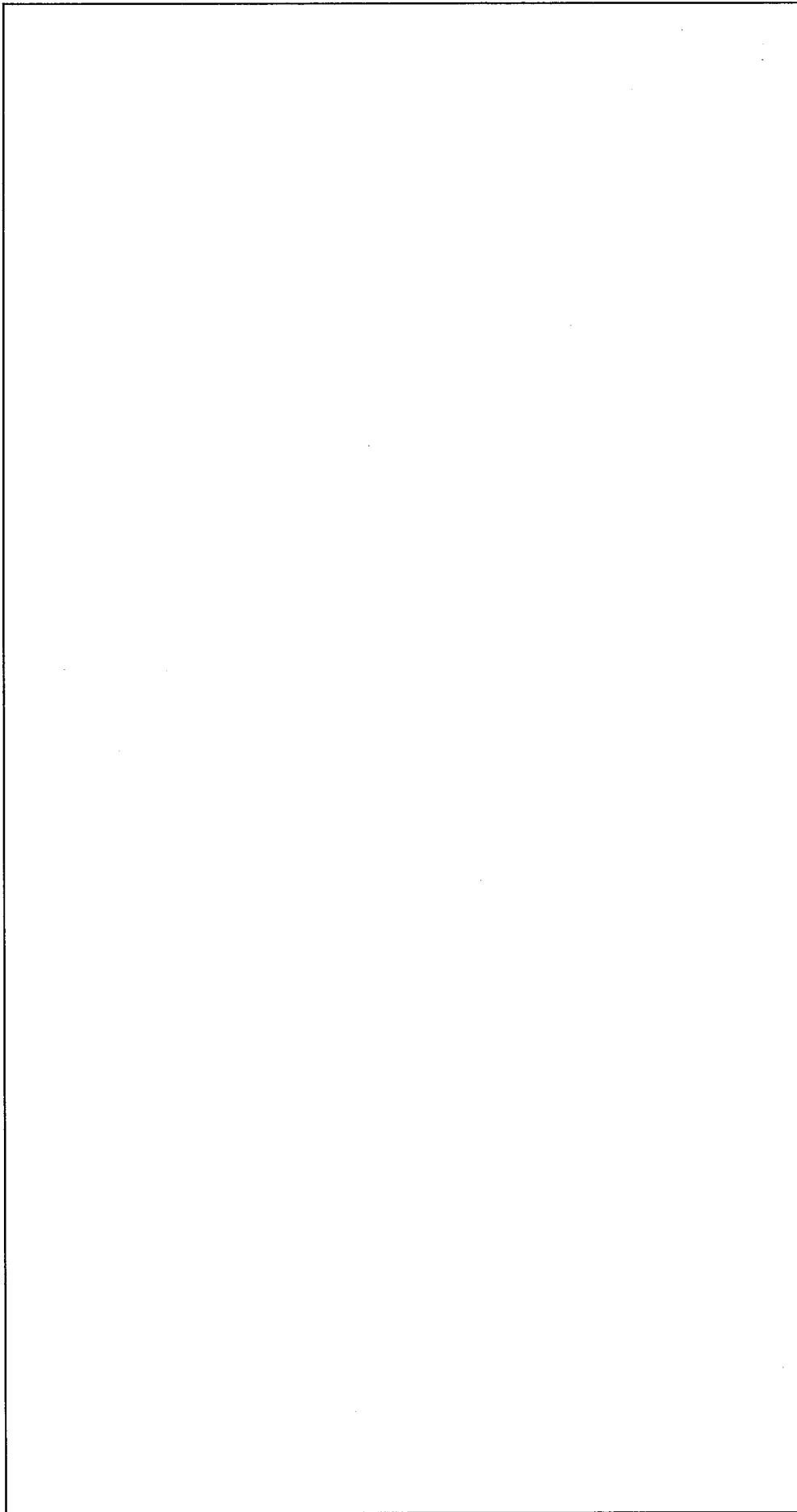
(参) - 第A.1 図 輸送容器本体の製作工程



(参)一第A.2図 輸送容器蓋部の製作工程



(参)一第A.3 図 輸送容器衝撃吸収カバーの製作工程



(参) - 第A.4 図 輸送容器バスケットの製作工程

A.2 材料の説明

主要な部品について、材料区分と適用規格を(参)－第A.1表に示す。

A.2.1 板材料

_____においてそれぞれ使用されるステンレス鋼板は、_____ステンレス鋼及び_____ステンレス鋼であり、使用条件下における材料の腐食の問題はない。

また、_____アルミニウム合金は、表面の不動態皮膜により使用条件下における材料の腐食の問題はない。

□プレートには_____を施し耐食性を増している。

これらの材料は、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

本輸送容器に使用されている主な管材は、_____ _____ステンレス鋼のチューブであり、材料の腐食の問題はない。

また、この材料は、切断、穴あけ、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.2.3 鍛造品及びボルト・ナット類

_____に使用される鍛造材は、_____ステンレス鋼であり使用条件下における材料の腐食の問題はない。

_____の鍛造材であり使用条件下における材料の腐食の問題はない。

_____の締付けに使用されるボルト材は合金鋼であり、_____を施し耐食性を増している。

A.2.4 溶接用電極・棒・ワイヤ

本輸送容器の溶接材料は_____の規格に従う。

本輸送容器の主要部に使用される溶接材料の一例を(参)－第A.2表に示す。

これらの溶接材料を用いることにより、いずれの溶接部も母材と同等以上の耐食性・強度が確保される。

(参) - 第A.1表 主要部品の材料区分と適用規格

部 品	材料区分	適用規格 ¹⁾
内筒、胴ガセット、胴外板		
上部フランジ、底板		
トラニオン		
トラニオン取付けボルト		
□プレート		
ハンドリングベルト(上部/下部ベルト)		
吊りハンドル、吊りハンドル取付けピン		
連結ボルト		
蓋板		
蓋板締付けボルト		
ロジメント (バスケット)		
□ (バスケット)		
□ (バスケット)		
追加遮蔽板 (バスケット)		
アルミスペーサー (バスケット)		
衝撃吸収カバー外板、□		

1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

(参) - 第 A. 2 表 主要溶接材料の一例

溶接適用箇所	溶接法	適用規格 ¹⁾ 又は溶接材料銘柄

1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

A.2.5 特殊材料

(1) 中性子遮蔽材

中性子遮蔽体として、レジンが本体の内筒と胴ガセットと胴外板で囲まれた領域、底部及び蓋部レジンカバー内にそれぞれ□□される。このレジンの□□時の製作工程をA.4.2に示す。

(2) 緩衝材

落下衝撃時の緩衝材として前部・後部衝撃吸収カバーに□□材が使用される。使用される□□は製作時に確認される。

A.2.6 ミルシート

ミルシート等には、各材料が指定の規格品又は銘柄であることが記載される。また、材料に応じて、規格等で要求される化学成分、機械的性質等の基準及びその測定・試験の結果が記載される。

主要部品におけるミルシートの確認内容は次のとおりである。

(1) 本体部品

内筒

- ・化学成分
- ・機械的性質 : □□□□□□□□□□
- ・非破壊検査結果 : □□□□□□□□□□

胴ガセット及び胴外板

- ・化学成分
- ・機械的性質 : □□□□□□□□□□

上部フランジ及び底板

- ・化学成分
- ・機械的性質 : □□□□□□□□□□
- ・非破壊検査結果 : □□□□□□□□□□

トラニオン

- ・化学成分
- ・機械的性質 : □□□□□□□□□□
- ・非破壊検査結果 : □□□□□□□□□□

トラニオン取付けボルト

- ・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

プレート

・化学成分

ハンドリングベルト(上部/下部ベルト)

・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

吊りハンドル、吊りハンドル取付けピン

・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

連結ボルト

・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

(2) 蓋部部品

蓋板

・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

蓋板締付けボルト

・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

(3) バスケット部品

ロジメント

・化学成分

・機械的性質 :

・非破壊検査結果 :

・化学成分

・機械的性質 :

・化学成分

・機械的性質 :

追加遮蔽板

・化学成分

アルミスペーサー

・化学成分

・機械的性質 :

(4) 前部・後部衝撃吸収カバー部品

外板、

・化学成分

・機械的性質 :

A.2.7 材料の欠陥部の修理

欠陥の修理及び検査は原則として CODAP 規格に従う。

たとえば

A.2.8 材料の切断

本輸送容器を製作するに当たり、素材として鍛造材、板材等が使われており、最終寸法へ加工する過程で切断が行われる。材料の切断の例について以下に述べる。

・鍛造材 : は厚肉の鍛造材であり、

・板 材 :

などに使用されるステンレス鋼板は

により板取りを行う。その後、機械加工により開先加工する。機械加工に

より開先加工できない形状の部分はした後

により寸法を整える。

A.2.9 材料の成型

本輸送容器は各種の部材から構成されているが、素材に要求される品質及び形状により

各種の成型方法が採用される。

材料の成型の例について以下に記述する。

- ・鍛造材：[]など大型の部材は、品質上の各種要求を満足させることができるプロセスに従い、[]成型される。
[]は[]から機械加工により成型される。
- ・板 材：[]など本輸送容器の製作に使用されている板材のうち、曲げ加工を必要とする部材は、[]
[]加工が採用される。

A.3 溶接

A.3.1 溶接方法及び材料

本容器の溶接は、NF EN か NF EN ISO 又は同等の規格に従って実施した溶接施工法確認試験に合格した施工法により行う。

輸送容器の溶接には以下の溶接方法のいずれか又はそれらの組合せが用いられる。

- ・ 被覆アーク溶接 (SMAW)

同溶接は、被覆剤を塗った溶接棒と被溶接部の間に発生させたアークの熱を利用する方法である。また、同溶接は手動溶接であるため、溶接棒を使用する。

- ・ ガスタングステンアーク溶接 (GTAW、通称 TIG溶接)

同溶接は、タングステン金属電極と溶接物の間に発生させたアークで溶接線を溶かして溶接する方法であり、電極の周囲からアルゴンガス等を流してシールドを行う。手動溶接、自動溶接ともに適用可能である。

- ・ 電子ビーム溶接 (EBW)

同溶接は、真空中で発生させた高速の電子ビームを当て、その衝撃発熱を利用して溶接する方法である。

- ・ プラズマアーク溶接 (PAW)

同溶接は、拘束されたアークプラズマを熱源として用いる非消耗電極式ガスシールドアーク溶接法である。

また、電極の周囲からアルゴンガス等を流してシールドを行う。

- ・ ガスシールドフラックス入りワイヤメタルアーク溶接 (FCAW)

同溶接は半自動溶接の一種であって、消耗フラックス入りワイヤを電動機その他の機械的装置により連続的に供給し、このワイヤを電極として母材との間にアークを発生させて溶接を行う方法であり、電極の周囲から CO₂ ガス等を流してシールドを行う。

各溶接材料についてはA.2.4に示したとおりである。

A.3.2 溶接機の管理及び溶接士資格

- (1) 溶接機の管理

溶接機は保守計画に従って定期的に保守、点検が行われる。

- (2) 溶接士資格

輸送容器に関する全ての溶接士は、溶接士技量認定試験に合格していなければならない。技量認定試験は NF EN 又は同等の規格に従って行われる。

A. 3.3 溶接の主要事項に関する説明

溶接部の(1)最低予熱温度、(2)最高層間温度、(3)開先等の主要寸法及び形状、(4)溶接表面の洗浄、(5)溶接後の溶接位置の許容範囲、(6)溶接部の仕上げについて、以下に述べる。

(1) 最低予熱温度

ステンレス鋼部品の溶接では

(2) 最高層間温度

この管理は高い層間温度による割れの発生を避けるために行うものである。ステンレス鋼板の溶接の場合、必要に応じて 最高層間温度を設定する。

(3) 開先等の主要寸法及び形状

本輸送容器の主な溶接部の開先寸法及び形状の一例を(参)一第A.3表に示す。

(4) 溶接表面の洗浄

溶接部における融合不良及び溶接後の割れを防止するため、溶接前に溶接部表面の酸化物や油等の異物の除去作業を行う。この方法には、機械的方法（グラインダー、ワイヤブラシ使用）と化学的方法（アセトン使用）とがあり、これらの方法を使用して洗浄を行っている。

(5) 溶接後の溶接位置の許容範囲

溶接後の溶接位置の余盛り及び溶接状態は、原則として CODAP 規格で定められた許容範囲内であることが必要である。

(6) 溶接部の仕上げ

溶接完了後、溶接部表面に付着したスパッタを除去し、溶接ビードの凹凸を滑らかに仕上げるために を行う。

A. 3.4 溶接欠陥の修理

溶接検査の結果、割れ、ピンホール、ブローホール、スラグ巻き込み等の欠陥が発見され、それらが合格基準に満たない溶接部は、品質管理に示された方法により処置する。

次に欠陥の修理手順について述べる。

- ① により欠陥を除去する。
- ② 欠陥が完全に除去されたことを、 により確認する。
- ③ 修理溶接が必要な場合は、その溶接施工法が溶接施工法確認試験に合格しているこ

とを確認した後、技量認定された溶接士により施工される。

- ④ 修理溶接完了後、A.3.3の(6)で述べた方法により溶接部の仕上げを行う。
- ⑤ 修理溶接部は、最初に欠陥を発見した溶接検査法により再検査され、その合否を確認する。

A.3.5 溶接後の熱処理

該当せず。

A.3.6 特殊溶接

該当せず。

A.3.7 溶接の施工管理、その他

溶接は原則としてEN 又はNF EN ISO の規格に従って行う溶接施工法確認試験に合格した施工法で溶接士技量認定試験に合格した溶接士（自動溶接の場合は溶接機オペレーター）により行う。

全ての溶接時には、溶接部位、溶接要領書番号、作業日時、溶接士名等を記録し、これを溶接作業及び溶接士の管理に使用する。

溶接完了後は溶接検査を実施し、溶接部の健全性を確認する。

(参)一第A.3表 溶接施工法の一例 (1/5)

位 置	溶接のタイプ	溶接法 ¹⁾	略	図 ²⁾	(単位：mm)

1) 溶接法の略号については A.3.1 項参照。

2) 略図の開先形状は一例を示す。

(参) - 第 A. 3 表 溶接施工法の一例 (2/5)

位 置	溶接のタイプ	溶接法 ¹⁾	略	図 ²⁾	(単位 : mm)

- 1) 溶接法の略号については A. 3. 1 項参照。
- 2) 略図の開先形状は一例を示す。

(参)一第A.3表 溶接施工法の一例 (3/5)

位 置	溶接のタイプ	溶接法 ¹⁾	略	図 ²⁾	(単位：mm)

1) 溶接法の略号については A.3.1 項参照。

2) 略図の開先形状は一例を示す。

(参) - 第A.3表 溶接施工法の一例 (4/5)

位 置	溶接のタイプ	溶接法 ¹⁾	略	図 ²⁾	(単位: mm)

1) 溶接法の略号については A.3.1 項参照。

2) 略図の關先形状は一例を示す。

(参)一第A.3表 溶接施工法の一例 (5/5)

位 置	溶接のタイプ	溶接法 ¹⁾	略	図 ²⁾	(単位：mm)

1) 溶接法の略号については A.3.1 項参照。

2) 略図の開先形状は一例を示す。

A.4 遮蔽体の製作法

本輸送容器の主な遮蔽体は、ステンレス鋼の内筒、胴外板及び底板、チタン合金の蓋板、アルミニウム合金の追加遮蔽板、並びに本体胴部と底部及び蓋部に□されるレジンにより構成される。

各遮蔽体の製作法について以下に述べる。

A.4.1 ステンレス鋼、チタン合金、アルミニウム合金

内筒及び胴外板はステンレス鋼の□により組立てる。底板及び蓋板はそれぞれステンレス鋼及びチタン合金の□から作られる。また、バスケットの追加遮蔽板はアルミニウム合金の□から作られる。これらは主としてガンマ線遮蔽体として使用される。

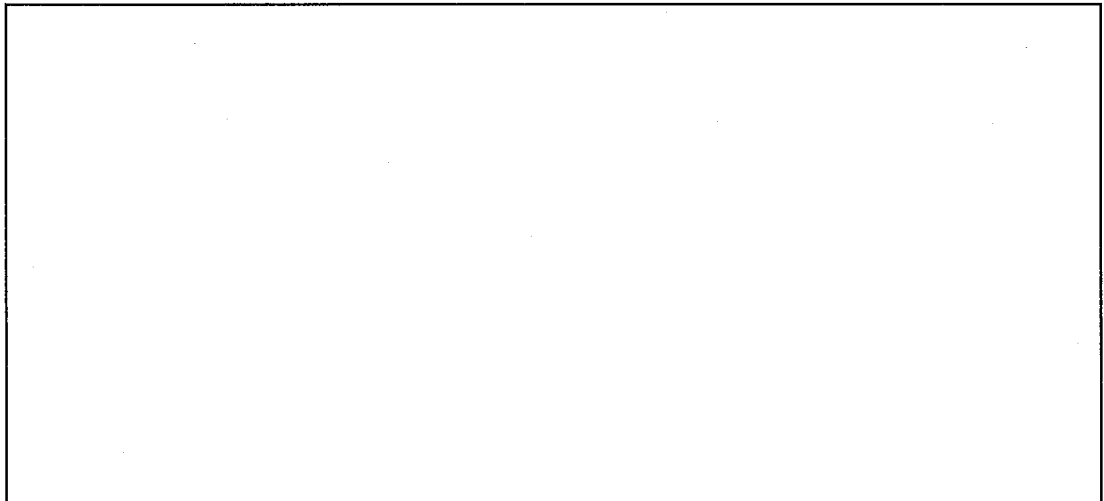
これらの部品のうち、□の底板、蓋板についてはそれぞれ□を行い、遮蔽性能に影響を及ぼすような欠陥がないことを確認する。

A.4.2 レジン

本体の内筒と胴ガセットと胴外板で囲まれた領域 □、底部及び蓋部レジンカバー内には中性子遮蔽体としてレジンが□される。

胴部へのレジン□の概略工程を(参)－第A.5 図に、レジンの素材を(参)－第A.4 表に示す。

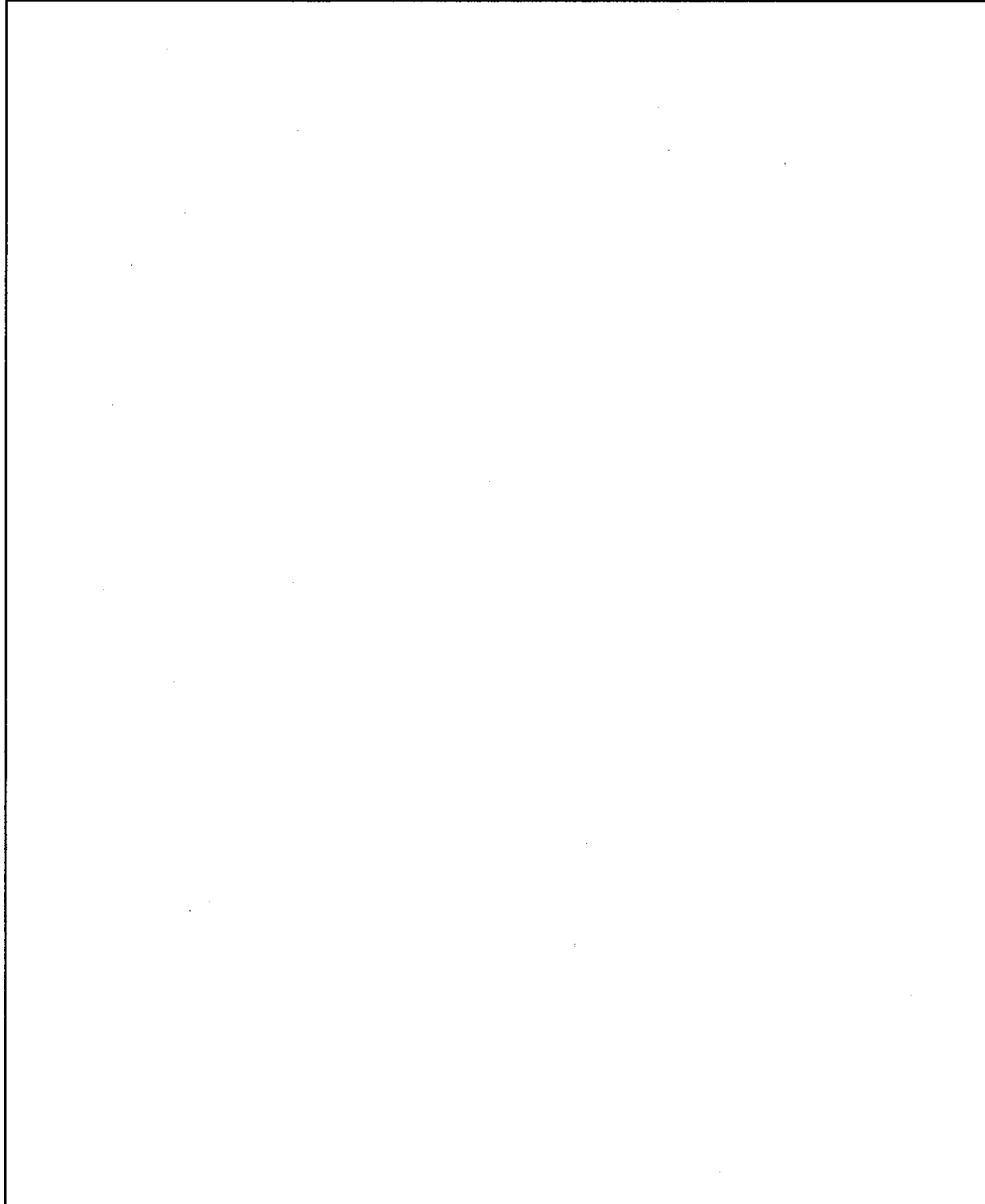
本体胴部へのレジン□は、次の手順で行われる。



輸送容器



レジン



(参)－第A.5図 レジン□の概略工程(胴部レジ)

また、底部及び蓋部レジンカバーへのレジン□は、次の手順で行われる。

--

(参)－第A.4表 レジンの素材

素 材	重量比 (%)	代 表 的 な 製 品 名 ¹⁾

1) 記載の製品又は相当品を用いる。

A.5 弁等の付属機器の製作法

本輸送容器には、蓋部にクイックコネクションが、また、本体及び蓋部、前部・後部衝撃吸収カバーには圧力調整バルブが組込まれている。さらに、本体胴部及び前部・後部衝撃吸収カバーには可融栓が組込まれている。

クイックコネクション部及び圧力調整用バルブ、可融栓の製作法について以下に記述する。

(1) クイックコネクション部

クイックコネクションを取付ける貫通孔は、蓋板の約 方向に配置されている。クイックコネクション部の詳細を(参)－第A.6 図に示し、以下にその製作方法を述べる。

① 貫通孔

クイックコネクションを取付ける貫通孔は、により所定の寸法に機械加工される。

② クイックコネクションカバー

クイックコネクションカバーはにより所定の寸法に仕上げ製作する。

③ クイックコネクション

クイックコネクションはステンレス鋼を機械加工により所定の寸法に仕上げ製作する。

(2) 圧力調整用バルブ

圧力調整用バルブは、本体胴外板 及び底部レジンカバー 、断熱カバー 、蓋部レジンカバー 、前部・後部衝撃吸収カバー に組込まれる。

(3) 可融栓

可融栓は本体胴部 及び前部・後部衝撃吸収カバー に組込まれる。

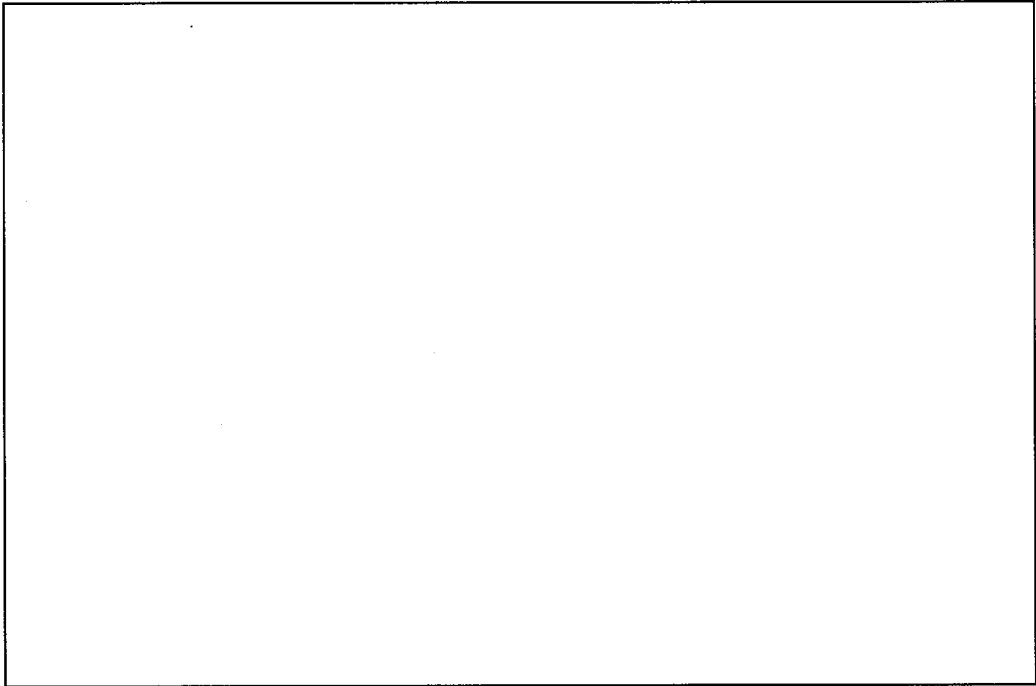
本体胴部では胴外板に取付けられ、衝撃吸収カバーでは

に取付けられる。

(4) ガasket

本体・蓋板接合部及び蓋板・クイックコネクションカバー接合部に使用されているガasketは全てOリングであり、その材質はEPDMである。

これらのOリングは金型を用いて成型した後、加硫を行って仕上げる。



(単位：mm)

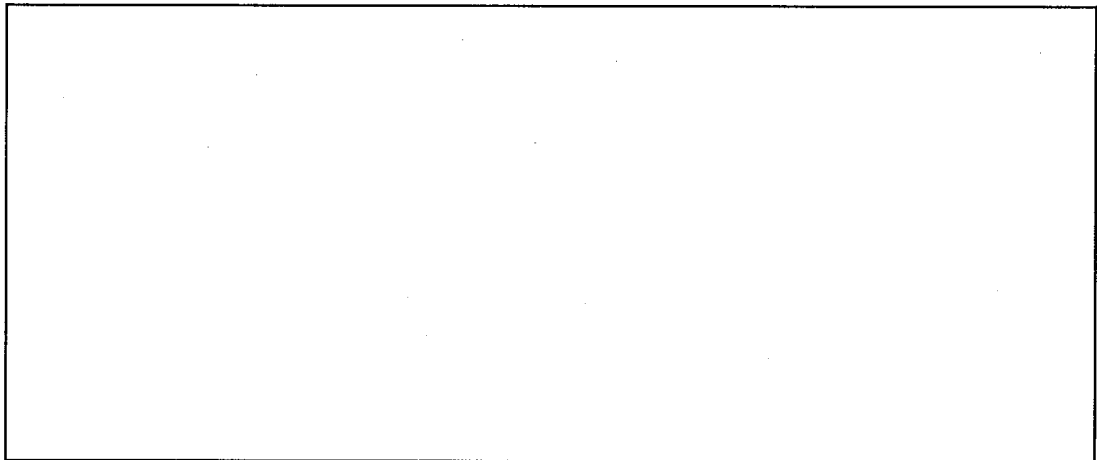
(参)－第A.6図 クイックコネクション部詳細図

A.6 組立等その他の製作法

本輸送容器の主要部分の製作法の一例を以下に述べる。

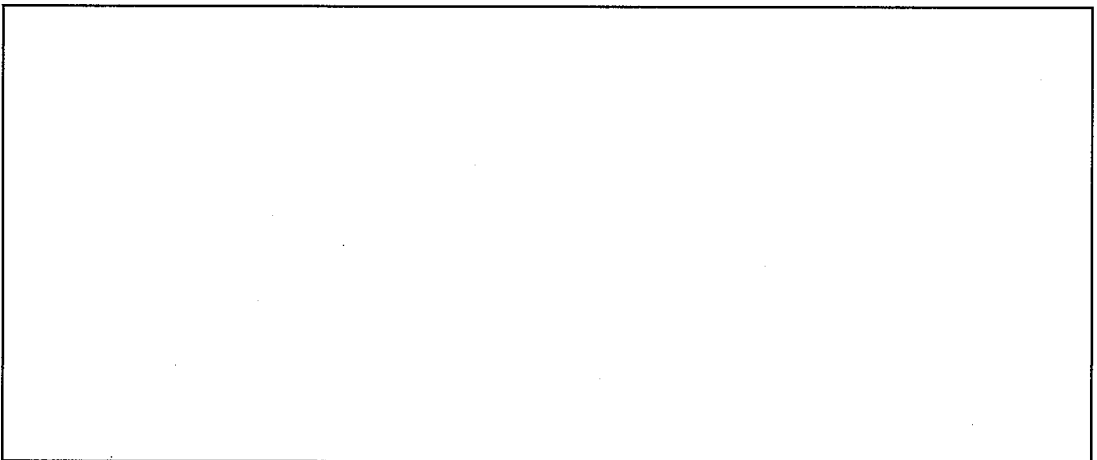
A.6.1 上部フランジ

上部フランジの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



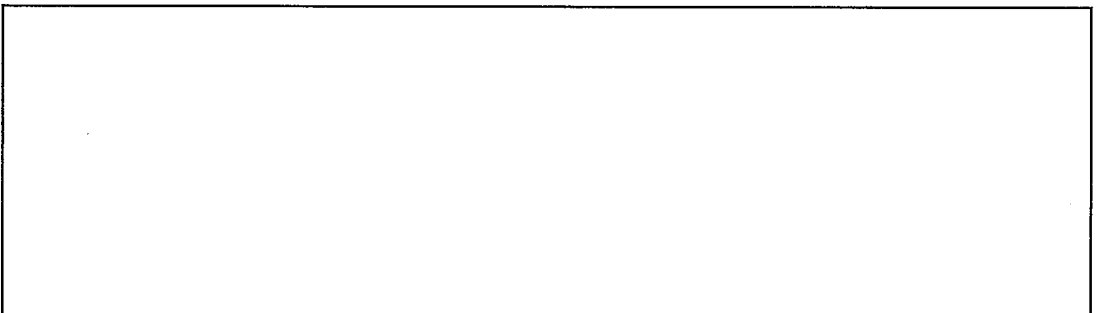
A.6.2 底板

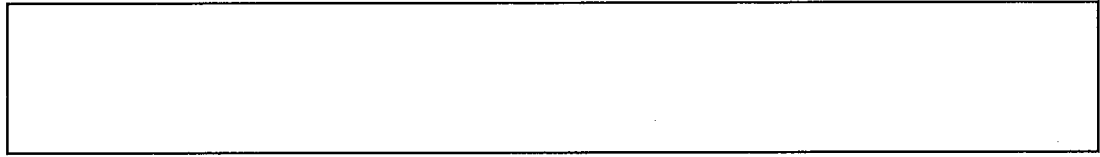
底板の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



A.6.3 トラニオン

トラニオン製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。





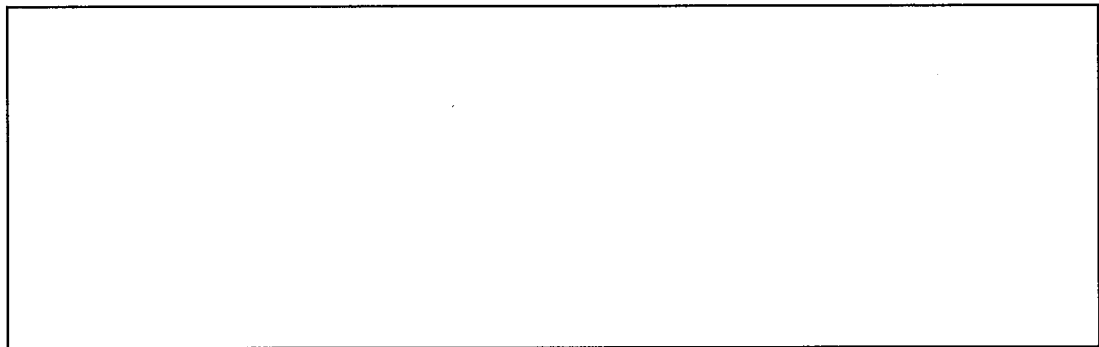
A.6.4 プレート

プレートの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



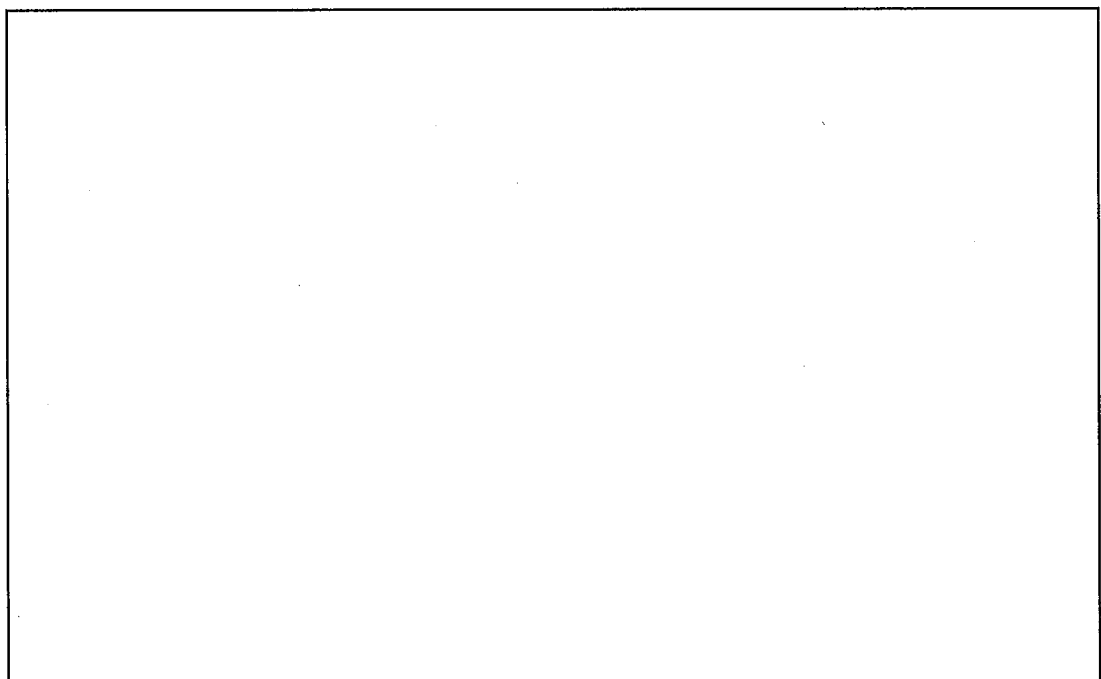
A.6.5 ハンドリングベルト

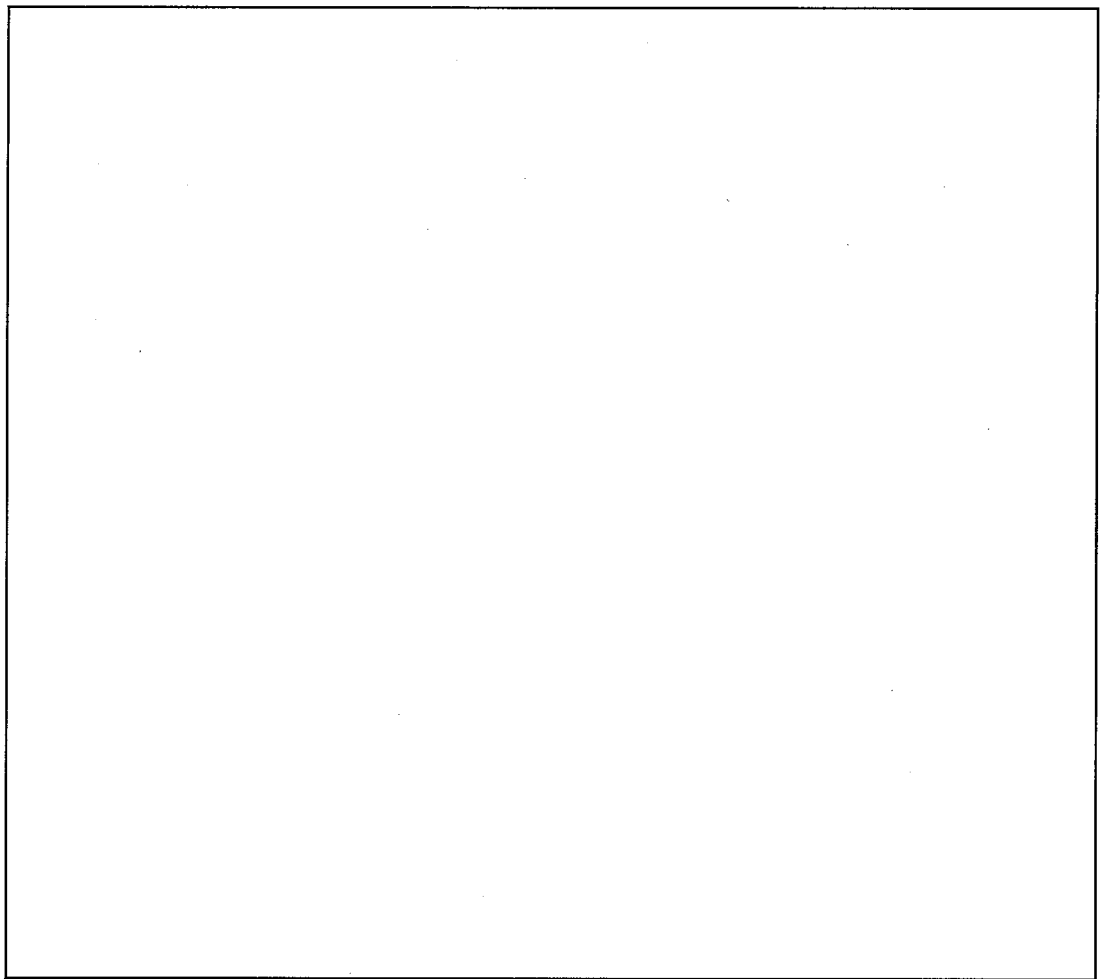
ハンドリングベルトの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



A.6.6 本体

本体の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

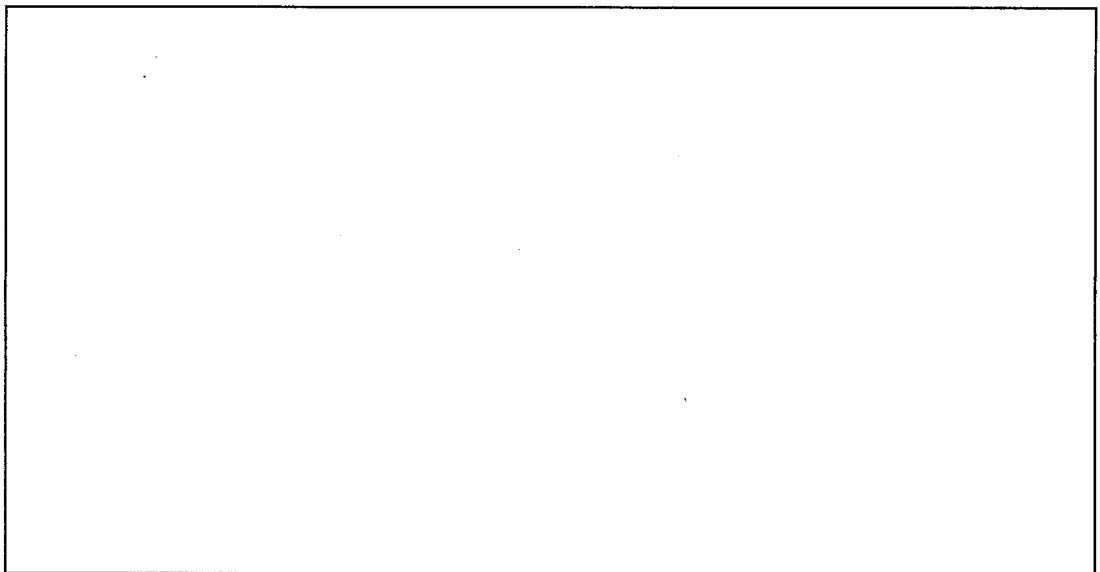




A.6.7 蓋部

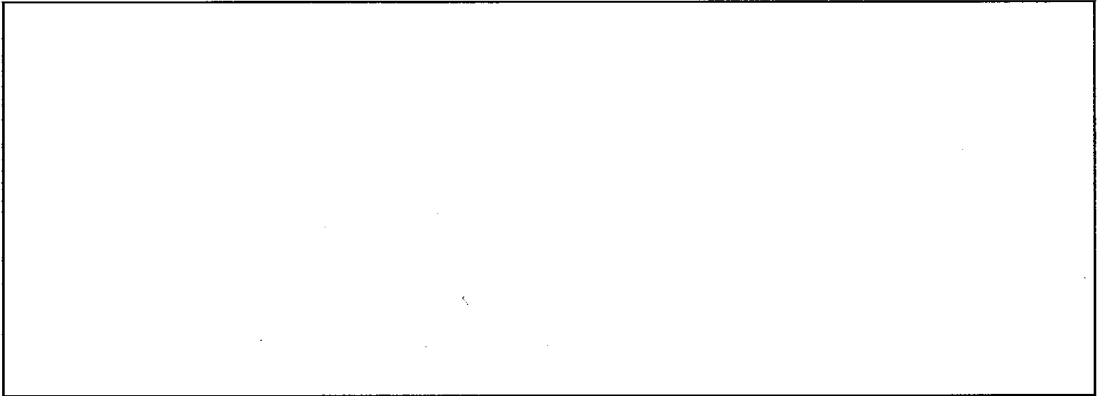
(1) 蓋板

蓋板の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



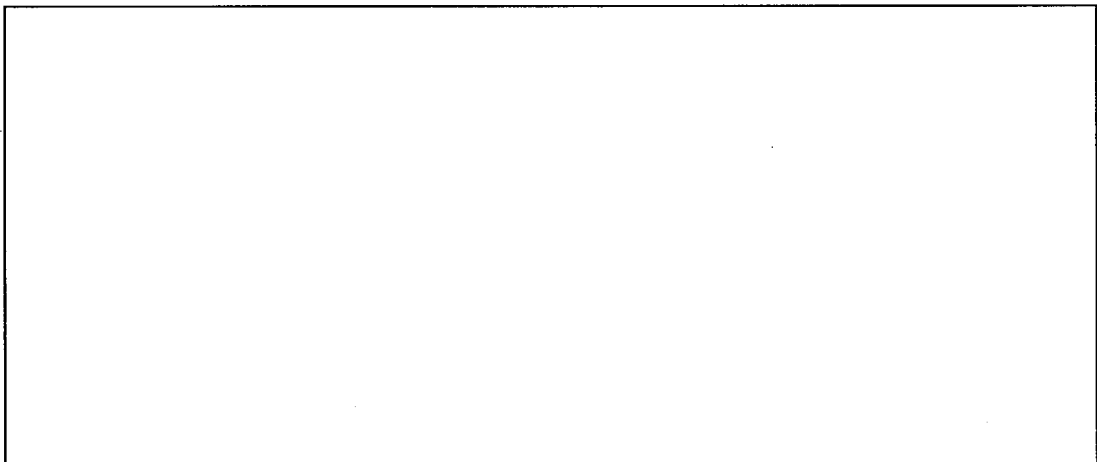
(2) 蓋部レジン

蓋部レジンの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



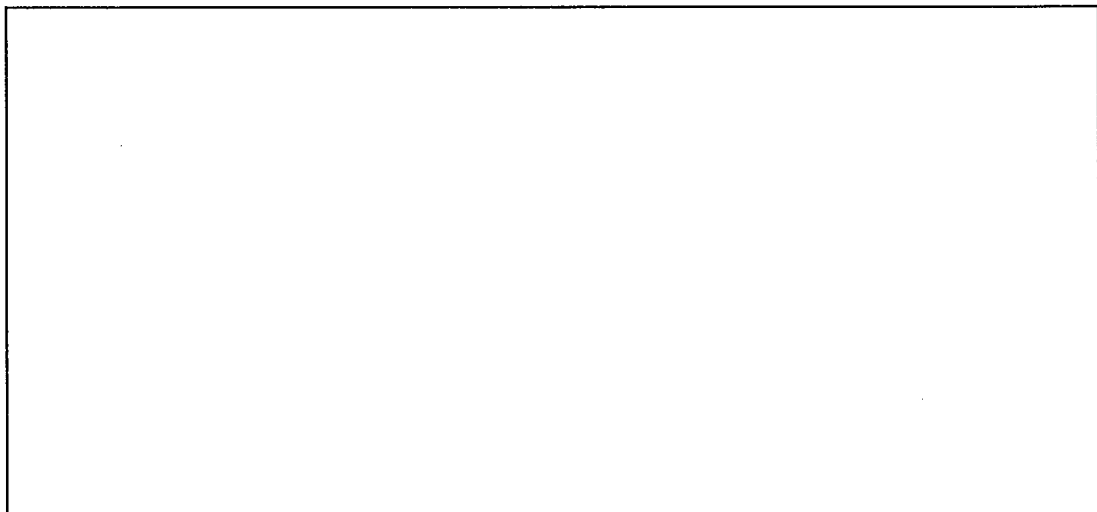
A. 6. 8 前部・後部衝撃吸収カバー

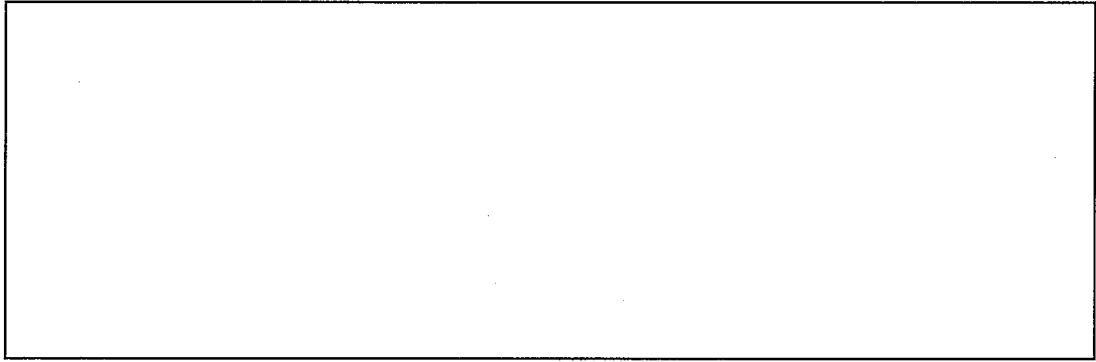
前部・後部衝撃吸収カバーの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。



A. 6. 9 バスケット

バスケットの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。





A.6.10 組立て

各部品は、製作が終了した段階で異常がない仕上がりであることを確認した後、組立てを行う。概要を以下に示す。

- ① バスケットを する。
- ② 蓋部をアイボルトによって吊上げて本体上に置き、蓋板締付けボルトを所定のトルクで締付ける。
- ③ 前部・後部衝撃吸収カバーをそれぞれの吊上げラグを使用して吊上げ、容器本体に取付ける。その後衝撃吸収カバー締付けボルトを所定のトルクで締付ける。

参考－B 輸送容器の検査方法

輸送容器の製作中及び製作完了後、(ロ)章で述べられている各解析とその要求値を満たすように製作されていることを確認するために各種検査を行う。

B.1 検査項目と検査方法

MX-6型輸送容器に適用する検査項目とその実施時期を(参)－第B.1表に示す。なお、本輸送容器には、作動確認検査の対象となるバルブや装置は含まれないことから、作動確認検査は対象外としている。

以下に各検査の方法等について述べる。

(参)－第B.1表 検査項目と実施時期

機器 検査項目	本 体	蓋 部	バスケット	前部・後部衝撃 吸収カバー
① 材 料 検 査	製作中	製作中	製作中	製作中
② 寸 法 検 査	製作中及び 製作完了時	製作完了時	製作完了時	製作完了時
③ 溶 接 検 査	製作中	製作中	製作中	製作中
④ 外 観 検 査	製作完了時	製作完了時	製作完了時	製作完了時
⑤ 耐 圧 検 査	製作中	製作完了時	－	－
⑥ 気密漏えい検査	製作完了時	製作完了時	－	－
⑦ 遮蔽性能検査	製作中	製作中	－	－
⑧ 遮蔽寸法検査	製作中	製作中	製作中	－
⑨ 吊上げ荷重検査	製作完了時	－	－	－
⑩ 重 量 検 査	製作完了時	製作完了時	製作完了時	製作完了時
⑪ 未 臨 界 検 査	－	－	製作完了時	－
⑫ 取 扱 い 検 査	製作完了時	製作完了時	本体製作完了後	本体製作完了後

(1) 材料検査

a. 目的

輸送容器主要部の各材料について、所定の性能を満足していることを確認する。

b. 確認項目・方法

各材料について、材料の化学成分、機械的性質等をミルシート等により確認する。

レジンについては、

を確認する。

(2) 寸法検査

a. 目的

輸送容器の主要寸法が所定の寸法公差あるいは最小許容寸法を満足していることを確認する。

b. 検査方法

巻尺、ノギス、マイクロメーター等を用いて、各部の寸法を測定する。

c. 判定基準

各部の寸法が指定された寸法公差あるいは最小許容寸法を満足していること。

(3) 溶接検査

輸送容器の溶接部が健全であることを確認する。

a. 開先検査

(a) 検査方法

① 開先面の外観検査

② 開先部の寸法検査

(b) 判定基準

① 開先表面及びその近傍にスケール、錆、油分等の溶接上有害なものがないこと。

② 開先寸法が所定の公差内に入っていること。

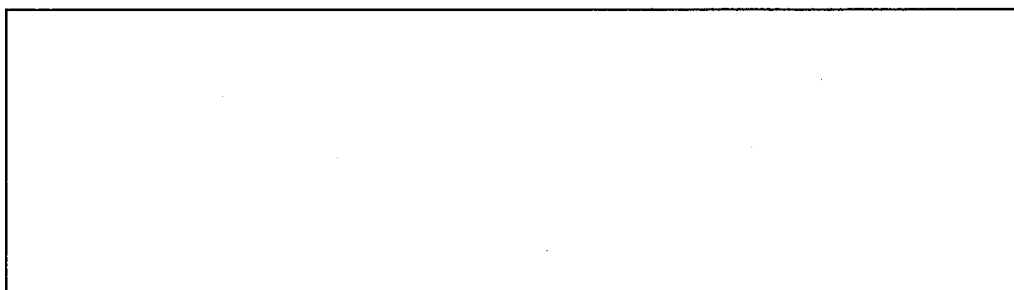
b. 液体浸透探傷検査

(a) 検査方法

溶接部に対して液体浸透探傷検査を行う。

(b) 判定基準

以下の指示模様がでないこと。



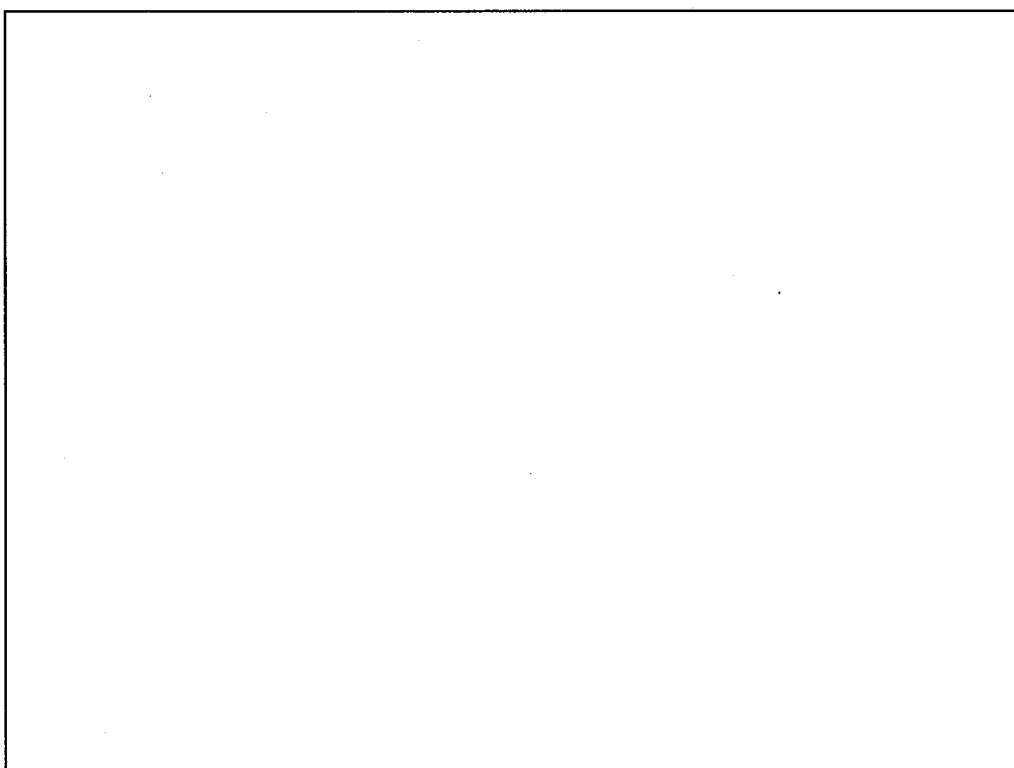
c. 放射線透過検査

(a) 検査方法

溶接部に対して放射線透過検査を行う。

(b) 判定基準

以下の欠陥指示がないこと。



(4) 外観検査

a. 目的

輸送容器に使用上支障のある異常がないことを確認する。

b. 検査方法

各部位について、外観を目視により確認する。

c. 判定基準

使用上支障のある傷、割れ、変形等の異常がないこと。

(5) 耐圧検査

a. 目的

容器が耐圧性能を有することを確認する。

b. 検査方法

容器内部に所定の圧力を加えた後、目視による外観検査を行う。

なお、本検査は、容器内にバスケットが未装荷の状態で行う。

c. 判定基準

異常な変形、ひび、割れ等がないこと。

(6) 気密漏えい検査

a. 二重Oリング部の気密漏えい検査

(a) 目的

二重Oリング部の密封性能を確認する。

(b) 検査方法

i. 蓋板の二重Oリング部

蓋板の

二重Oリング部からの漏えい率を測定する。

ii. クイックコネクションカバーの二重Oリング部

クイック

コネクションカバーの二重Oリング部からの漏えい率を測定する。

(c) 判定基準

蓋板の二重Oリング部及びクイックコネクションカバーの二重Oリング部からの漏えい率の合計が \square MPa・cm³/s を超えないこと。

b. 密封容器の気密漏えい検査

(a) 目的

内筒、底板及び上部フランジで構成される密封容器の密封性能を確認する。

(b) 検査方法

\square を行い漏えい率を測定する。

(c) 判定基準

密封容器全体からの漏えい率が MPa・cm³/s を超えないこと。

(7) 遮蔽性能検査

a. ガンマ線遮蔽性能検査

(a) 目的

主要なガンマ線遮蔽体のうち底板及び蓋板について、遮蔽性能に影響を及ぼす欠陥がないことを確認する。

(b) 検査方法

底板及び蓋板について、素材の 検査の結果を材料検査記録により確認する。

(c) 判定基準

底板及び蓋板について、材料検査の結果が合格であること。

b. 中性子遮蔽性能検査

(a) 目的

主要な中性子遮蔽体であるレジンの遮蔽性能を確認する。

(b) 検査方法

レジンの材料検査及び中性子遮蔽寸法検査の結果により確認する。

(c) 判定基準

レジンの材料検査及び中性子遮蔽寸法検査の結果が合格基準を満足していること。

(8) 遮蔽寸法検査

a. ガンマ線遮蔽寸法検査

(a) 目的

主要なガンマ線遮蔽体の遮蔽寸法を確認する。

(b) 検査方法

ノギス、マイクロメーター等を用いて、内筒、胴外板、底板、蓋板及びバスケットの追加遮蔽板の遮蔽寸法を測定する。

(c) 判定基準

各部の寸法が指定された寸法公差あるいは最小許容寸法を満足していること。

b. 中性子遮蔽寸法検査

(a) 目的

主要な中性子遮蔽体の遮蔽寸法を確認する。

(b) 検査方法

ノギス、マイクロメーター等を用いて、胴部レジン、蓋部レジン及び底部レジンの遮蔽寸法を測定する。

(c) 判定基準

各部の寸法が指定された最小許容寸法を満足していること。

(9) 吊上荷重検査

a. 目的

輸送容器の吊上げ時に、前部・後部トラニオン及び前部・後部ハンドリングベルトに使用上支障のある欠陥が発生しないことを確認する。

b. 検査方法

(a) 前部・後部トラニオン

各トラニオンに所定の荷重を□分間以上負荷し、荷重を解放した後、トラニオンの外観を目視により検査する。

(b) 前部・後部ハンドリングベルト

各ハンドリングベルトに所定の荷重を□分間以上負荷し、荷重を解放した後、ハンドリングベルトの外観を目視により検査する。

c. 判定基準

使用上支障のある異常な変形がないこと。

(10) 重量検査

a. 目的

輸送容器の重量を測定し、総重量が規定値以下であることを確認する。

b. 検査方法

各部品の重量を重量計により測定し、これらを合計して輸送容器の総重量を求める。

c. 判定基準

輸送容器の総重量が□トン以下であること。

(11) 未臨界検査

a. 目的

ロジメント材料の化学成分、ロジメントの寸法及びバスケットの外観を検査し、未臨界性能に問題がないことを確認すること。

b. 検査方法

(a) 化学成分検査

ロジメントに用いられる材料であるボロン入りステンレス鋼に対し、ボロンの含有量を 確認する。

(b) 寸法検査

ノギス、マイクロメーター等を用いて、ロジメントの寸法を測定する。

(c) 外観検査

バスケットの外観を目視により確認する。

c. 判定基準

(a) 化学成分検査

ボロン入りステンレス鋼のボロン含有量が % 以上であること。

(b) 寸法検査

各部の寸法が指定された寸法公差あるいは最小許容寸法を満足していること。

(c) 外観検査

バスケットに傷、割れ、変形等の異常がないこと。

(12) 取扱い検査

a. 目的

輸送容器を取扱う際に、支障が生じないことを確認すること。

b. 検査方法

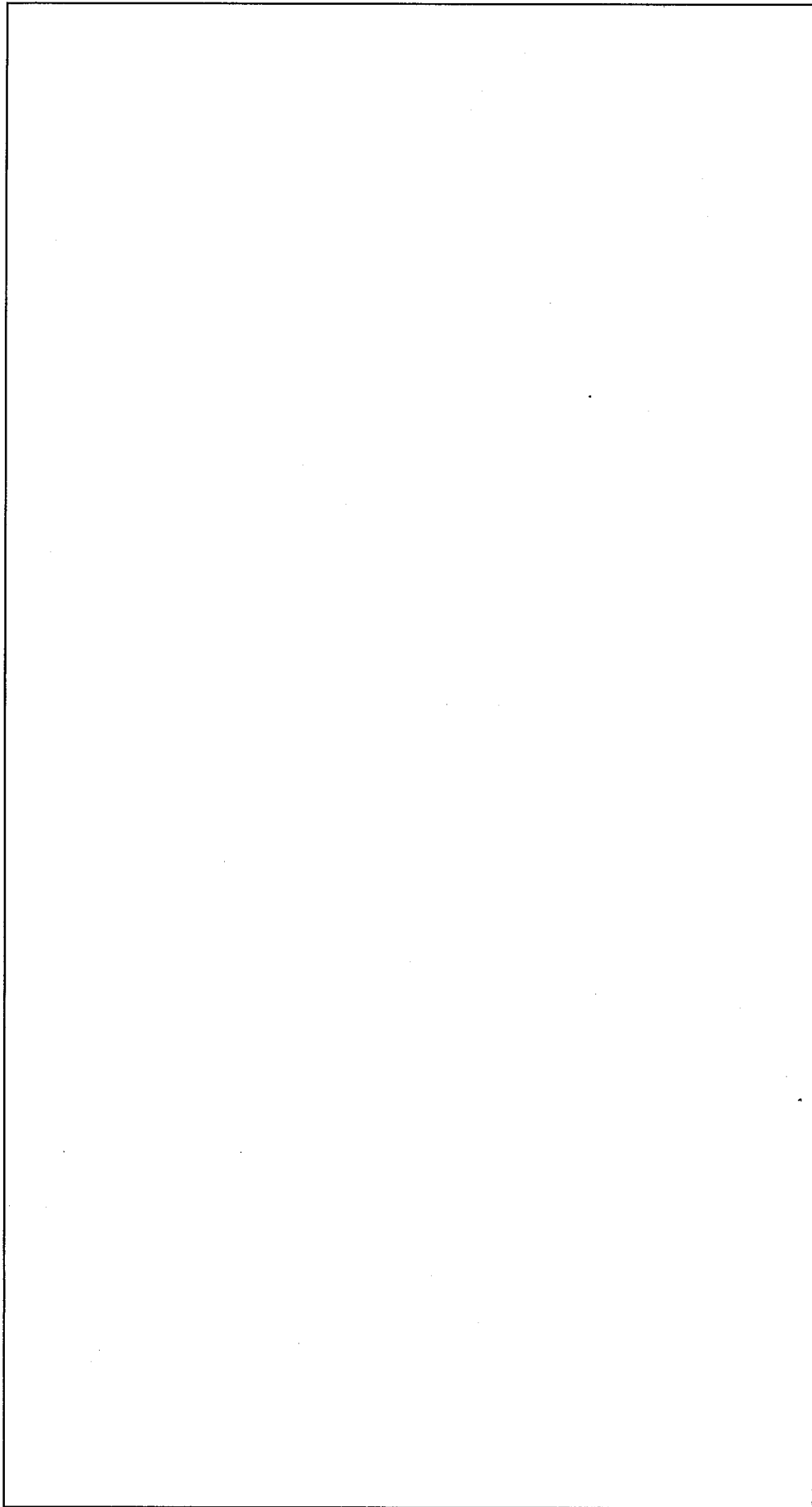
輸送容器に対して各種の取扱い操作を行う。

c. 判定基準

各種の取扱い操作性に支障がなく、安全に操作が行えること。

B.2 検査工程

MX-6 型輸送容器の標準的な検査工程を(参)－第B.1 図に示す。



(参)一第B.1 図 輸送容器の検査工程

輸送容器に係る品質管理の方法等
(設計に係るものに限る。)
に関する説明書

(イ)章 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明

(イ)－A 品質マネジメントシステム

三菱原子燃料㈱（以下「MNF」という）は、顧客の要求事項、法令の技術上の基準等に適合することを確実にするための手段としてISO9001（2015年版）に基づく品質マネジメントシステムを確立し、維持する。

A. 1 品質マニュアル

(1) 品質マニュアル

品質マニュアルは、ISO9001（2015年版）の要求事項を文書化した第1階層の文書であり、品質方針及び品質目標を明確にするとともに輸送容器に係る調達・設計・製作・使用（「取扱い」を含む）・保守等までの各段階で必要な品質保証活動の実施基準を明確にしたものである。

社長が定めた品質方針を受け、安全・品質保証部が品質マニュアルの作成、改訂、発行等の管理を行う。

(2) 品質保証計画

安全・品質保証部及び関連部門は、輸送容器が顧客の要求、法令の技術上の基準、核燃料輸送物設計承認申請書の設計仕様、容器承認申請書の製作方法等に適合することを確実にするために、品質マニュアルに基づき、又、適宜次の事項を考慮して輸送容器の設計、製作、調達、使用（「取扱い」を含む）、保守等に関する品質保証計画を確立し、文書化する。なお、安全・品質保証部、製造部、調達室、総務部及び輸送・サービス部等の発行する要領書等は本品質保証計画を構成する。

- ① 関係する各部門は、輸送容器の設計、製作、調達、使用、保守等の管理に関し、部門内の責任体制を明確にする。また、輸送・サービス部は必要に応じ、輸送容器の設計、製作、使用、保守等の業務の一部について、適切な品質マネジメントシステムを有する専門会社から役務の提供を受け、合理的な業務の遂行を図る。
- ② 輸送・サービス部は、輸送容器の製作、保守に関し、業務の適切な段階で、適切な検証を行うため、あらかじめ輸送容器の製作及び性能維持に係る検査要領書を策定し実施する。また、輸送・サービス部は、輸送容器の製造者（以下「容器製造者」という）等が作成する検査要領書に基づき検査を実施させる場合には、当該検査に係るMNFの要求事項を容器製造者等に提示し、容器製造者等が作成する検査要領書にMNFの要求事項が適切に反映されていることを審査、承認し、これに従い容器製造者等が検査を実施していることを確認する。

③ 各部門は、品質保証計画に従った、効果的な要領書（要領書、手順書及び指示書）を作成し、これらに従い品質保証活動を遂行する。要領書等で規定する範囲及び内容の詳しさは、業務の複雑さ、業務の遂行方法及び業務を遂行する作業者の技能及び訓練の度合いにより決定する。

④ 安全・品質保証部は、輸送容器の設計、製作、調達、使用、保守等に係る品質に影響を与える品質記録を明確にし、品質記録の作成及び保管の要領を明確にする。

(3) 品質方針及び品質目標

① 品質方針

社長は次のとおり製品品質方針を定める。

<製品品質方針>

三菱原子燃料株式会社（MNF）は、MHI グループの一員として、企業理念、経営方針及び社員行動指針に基づき、MNF、グループ会社及び協力会社のメンバー全員が事業の重要性を理解のもと、一丸となって安全を最優先に、品質の向上を図り、企業責任を果たして日本の原子力産業に貢献し、顧客のみならず社会全体から信頼されるよう業務を確実に推進します。

(1) 安全最優先

一人ひとりが原子力安全に及ぼす製品の影響を正しく理解し、ルールへの遵守の徹底と高い品質の実現に向けた品質管理、積極的な不適合未然防止、技術伝承に取り組むことにより、原子力安全を最優先させる文化を醸成します。

(2) 継続的改善

世界最高レベルの品質を確保するため、品質マネジメントシステムを継続的に改善するとともに、社会の変化に迅速・柔軟に対応し、持続的成長を実現するため、革新的な発想で新たなプロセスを創造します。

(3) 顧客価値創造

社会の動向及びお客様の意向を的確に把握の上、三菱グループの原子燃料会社としてその期待を超える、安全性と信頼性の高い製品・サービスを提供するとともに新たな価値を創造する。さらに、納期・品質を守り、原子力エネルギーの安定供給に貢献することで、社会からの信頼を高めるとともに、お客様の満足の向上を目指します。

また、社長は、上記製品品質方針達成を確実にするため、担当役員を管理責任者とし、必要な資源を配するとともに、品質マネジメントシステムを具体的に展開する。

② 品質目標

関係する各部門長は、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

定するとともに、設定した品質目標に対して品質マネジメントシステムの継続的改善のためのプロセスとして、達成状況を評価し、管理責任者の承認を受ける。

(4) マネジメントレビュー

社長は、品質マネジメントシステムが品質方針、品質目標を満足し、効果的に運用されていることを確認するために、定期的に製品品質マネジメントレビュー会議を開催し、品質マネジメントシステムの見直しを行う。

マネジメントレビューは、下記のような項目について行う。

- ① 内部監査及び外部監査の結果
- ② 顧客からのフィードバック
- ③ プロセスの成果を含む実施状況及び製品の適合性及び品質傾向
- ④ 不適合及び是正処置の状況
- ⑤ 安全文化を醸成するための活動の実施状況
- ⑥ 前回までのマネジメントレビューの結果に対するフォローアップ事項
- ⑦ 品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更
- ⑧ その他

A. 2 文書管理

(1) 文書及びデータの管理範囲

輸送容器の品質に係る文書及びデータに適用する。

対象とする文書は、品質マニュアルを含め契約仕様書、図面、発注仕様書、品質保証計画書、作業要領書、検査要領書等をいい、JIS 等公的規格の外部文書も含む。

(2) 文書及びデータの承認及び発行

- ① 文書及びデータは、発行に先立ち各部門において権限のある者（部門長が検討、承認を任せたる者）がその適切性について検討、承認を行う。

なお、輸送容器の構造が変更され使用又は作業に影響する場合は、発注仕様書等について関連部門のレビューを受ける。

- ② 文書の最新版の状態を、台帳等により管理し、次のことを確実にを行う。

- (a) 適切な文書・版の利用
- (b) 無効及び/又は廃止文書の処分
- (c) 保持する廃止文書の適切な識別

(3) 文書及びデータの変更

- ① 変更によって影響を受ける範囲の洗い出し
 - (a) 輸送容器の製作仕様に関する文書を体系化する。
 - (b) 上位の文書に変更があった場合、その変更が下位の文書に確実に反映される

ように、上記文書体系に基づき順次影響の有無を確認する。確認の結果、輸送容器の製作仕様に影響の恐れがある場合は、輸送容器の所有者（以下「容器所有者」という）又は容器製造者に対して変更を通知し、影響の有無の確認を指示する。

② 変更の実施

- (a) 変更の影響が「有」となった文書は、リストアップし改訂版発行をフォローする。
- (b) 文書データの変更は、発行時と同様の手続きに従って実施する。
- (c) 関係部門は、確認者及び承認者に対し根拠となる裏付け情報を提示し、変更を実施する。また、変更の内容を文書中又は添付文書で明確にする。
- (d) 変更を要する文書について、下流側文書が順次必要に応じて改訂、発行されるよう速やかに改訂版を発行する。
なお、輸送容器の製作仕様に影響がある場合は、容器所有者又は容器製造者に対して該当文書の改訂及び改訂版の提示を指示する。

A. 3 品質記録の管理

(1) 品質記録の種類

各部門は下記の代表を参考に管理すべき記録の範囲を明確にする。

- ・ マネジメントレビューの記録
- ・ 品質文書（品質保証計画、標準書、要領書等）
- ・ 契約内容レビューの記録
- ・ 発注仕様書、図面等
- ・ 検査記録（製作時検査、定期自主検査、発送前検査）
- ・ 監査記録（内部、調達先）
- ・ 不適合報告書及び是正処置報告
- ・ 教育・訓練記録

(2) 品質記録の保管

- ① 品質記録は読み易く、保管中の劣化、損傷及び紛失防止に適した環境で保管する。
- ② 品質記録は容易に検索できる状態で維持する。
- ③ 品質記録の保管期間を明確に定める。

(3) 品質記録の廃棄処分

各担当部門は、保管期間の過ぎた品質記録を処分する。品質記録については、焼却またはシュレッダー等で切断して廃棄する。

(イ)－B 申請者の責任

輸送容器の設計、製作、調達、保守等の業務に関する品質保証体制を(イ)－第1図に示す。MNFの責任の下に輸送容器の製作について、供給能力を有すると評価した容器製造者に容器所有者を経由、又は直接発注する。輸送容器の保守、維持管理の一部等については、必要に応じ、供給能力を有する輸送容器の保守管理会社等に業務委託する。

MNFの品質保証組織を(イ)－第2図に示す。また、MNFにおける各部門の業務及び責任を以下に示す。各部門の活動における最終的責任者は部長とする。

(1) 社長

社長は、次の事項について責任と権限を有する。

- ① 顧客の要求事項を満足する品質を確保するために、品質保証に係る各職制の責任と権限を明確にした組織を確立するとともに、予算、人、設備等の経営資源を適切に配置すること。
- ② 品質方針を設定し文書化すること。
- ③ 管理責任者を任命し、品質保証活動に対する責任と権限を与える。

(2) 管理責任者（担当役員）

管理責任者は、社長より命を受けた担当役員であり、他の責任と関係なく、次の事項について責任と権限を有する。

- ① 品質保証計画を確立し推進する。
- ② 以下の5項目を含む品質に関する総括的な責任を有するとともに、品質保証計画が有効且つ効果的であることを評価する。改善が必要な場合には適切な行動を起こす。
 - (a) 製品、プロセス及び品質マネジメントシステムに関する不適合の発生を防止する行動を起こすこと。
 - (b) 製品、プロセス及び品質マネジメントシステムに関する問題を明確にし記録すること。
 - (c) 所定の方法により解決策を開始、勧告又は提供すること。
 - (d) 解決策の実施を検証すること。
 - (e) 不適合を是正するまで、当該品の次の工程への払出しをホールドすること。
- ③ 上記①、②の実施状況及び改善の必要性の有無を社長に報告する。
- ④ 組織全体に対して顧客要求事項を達成する重要性について認識を高めるよう、それぞれの組織を指導する。

(3) 安全・品質保証部

安全・品質保証部は、組織上他の部門から独立し、次の責任及び権限を有する。

- ① 品質マネジメントシステムの立案と推進
- ② 内部品質監査の実施及び是正処置の指示
- ③ 輸送容器調達先の評価の取りまとめ及び認定
- ④ 輸送容器調達先に対する品質監査の実施及び是正処置の指示
- ⑤ 不適合報告書の承認、必要に応じ作業の停止指示並びに是正処置及び予防処置の承認
- ⑥ 教育・訓練の実施
- ⑦ 製品梱包及び現地確認検査並びに六ふっ化ウランシリンダの洗浄・リテスト（5年定期自主検査）及び蒸発・保管工程（以下「使用段階」という）で見つけられた輸送容器の不具合事項の報告及び是正処置の承認
- ⑧ 調達管理における記録の確認等

(4) 輸送・サービス部

輸送・サービス部は、次の責任及び権限を有する。

- ① 輸送容器に係る許認可申請業務
- ② 核燃料輸送物の発送前検査(役務調達を含む)及び運搬に関する確認申請
- ③ 容器の受入及び有効期限管理
- ④ 輸送容器の維持管理(役務調達を含む)
- ⑤ 不適合報告書作成並びに是正処置及び予防処置の検討
- ⑥ 教育・訓練の実施
- ⑦ 使用段階における輸送容器の管理（製造部による管理を除く）
- ⑧ 設計に係る契約内容の確認
- ⑨ 輸送容器調達先の技術的能力の評価
- ⑩ 輸送容器の設計に係る発注仕様書等の作成
- ⑪ 輸送容器の設計に係る図面、解析書等設計文書の審査、承認
- ⑫ 輸送容器に係る許認可申請添付書類等の作成
- ⑬ 輸送容器の製作に係る設計要件及び品質要件の作成又は発注仕様書等の作成
- ⑭ 製作用承認申請図書(製作用図面、検査要領書等)の承認
- ⑮ 輸送容器の製作に係る検査
- ⑯ 輸送容器の構成部品に係る発注仕様書等の作成及び検査の実施

(5) 製造部

製造部は、次の責任及び権限を有する。

- ① 六ふっ化ウランシリンダの洗浄
- ② 六ふっ化ウランシリンダのリテスト（5年定期自主検査）
- ③ 使用段階（原料貯蔵・蒸発工程）における六ふっ化ウランシリンダの管理

④ 使用段階（製品梱包）における輸送容器の管理

(6) 総務部

総務部は、次の責任及び権限を有する。

- ① 教育・訓練計画の管理、運営
- ② 要員の管理

(7) 調達室

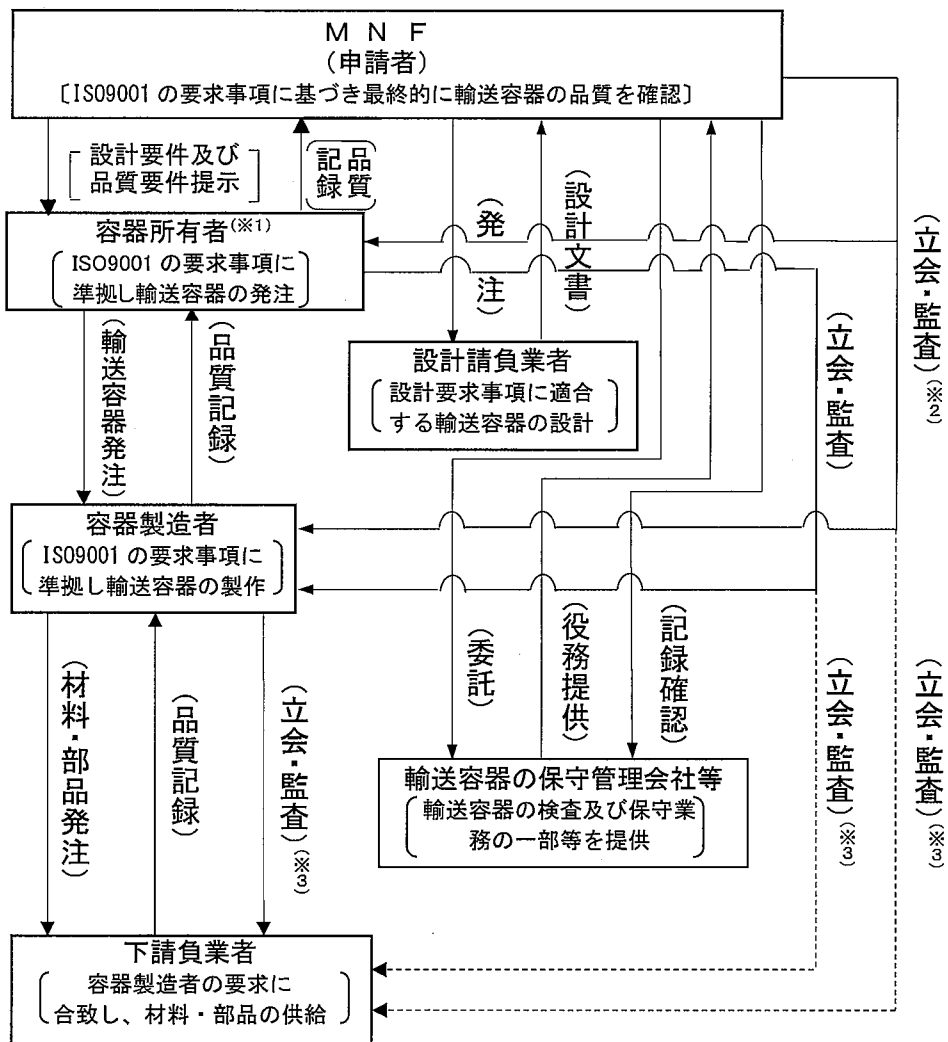
調達室は、次の責任と権限を有する。

- ① 契約の締結
- ② 輸送容器及びその構成部品の設計、製作及び調達に係る発注
- ③ 輸送容器の使用及び保守に係る発注

(8) 企画・改革推進室

企画・改革推進室は、次の責任と権限を有する。

- ① 輸送容器への顧客要求事項の確認

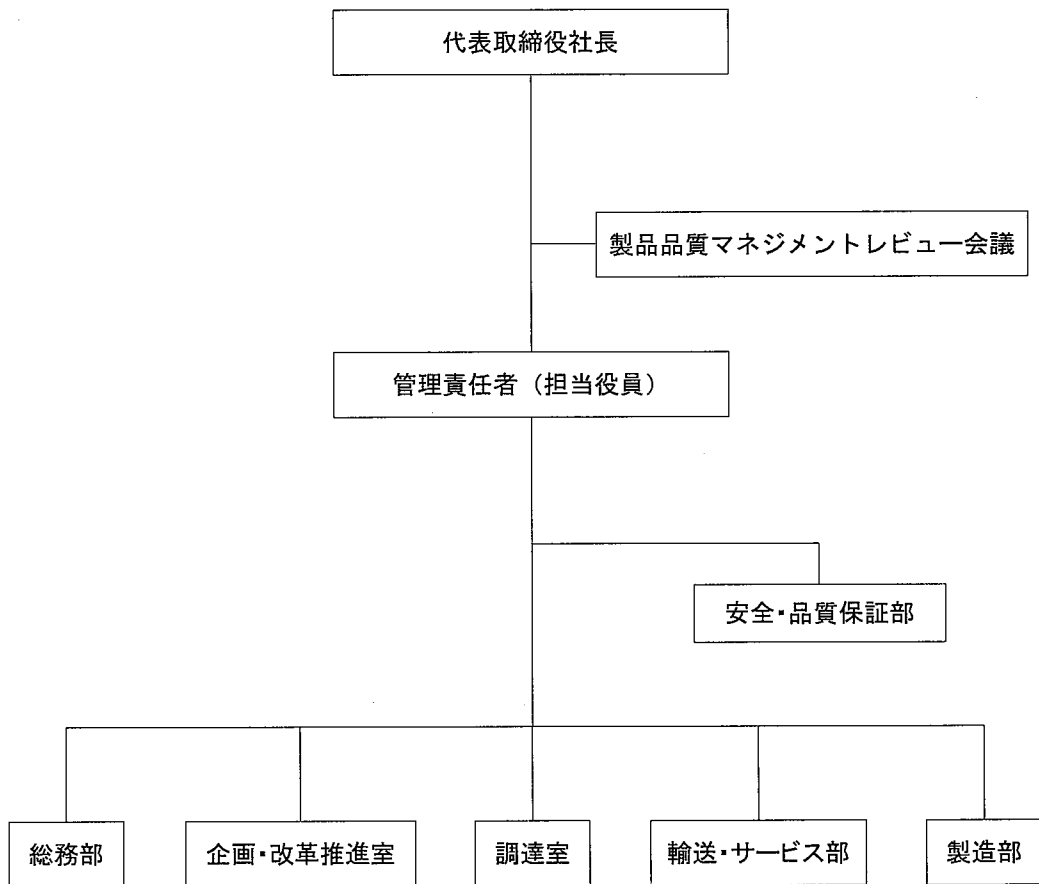


(※1) M N F が輸送容器を直接発注する場合は、図の容器所有者の欄は除く。

(※2) 輸送容器を新規製作する場合に限る。

(※3) 必要に応じ実施。

(イ) 第一図 輸送容器の設計、製作、調達、保守等の品質体制



(イ)－第2図 MNFの輸送容器の品質に関連する組織

(イ)－C 教育・訓練

輸送容器関連で品質に影響する業務に従事する者に対し必要な教育・訓練を行う。

なお、容器製造者等についても、同様に教育・訓練が行われることを確認する。

(1) 実施要領

輸送容器の品質に影響を与える業務に従事する者に対し教育・訓練を下記のとおり実施する。

- ① 教育・訓練を行うために計画を立てる。
- ② 教育・訓練を実施し記録を維持する。
- ③ 容器製造者に対し、品質保証計画に基づき実施するよう要求し、実施させる。

(イ)－D 設計管理

輸送容器の設計が設計要求事項に適合することを確実にするため、次の事項を実施する。

D. 1 社外委託に係る設計管理

(1) 設計管理

- ① 輸送・サービス部は、輸送容器の設計請負業者に発注する際に、顧客の要求事項、法令の技術上の基準、性能・機能上の要求事項等を踏まえた設計仕様を発注仕様書に明記し、輸送容器の設計請負業者に提示する。
- ② 輸送・サービス部は、新設計・新技術又は特殊材料を採用する場合には、設計要求事項を輸送容器の設計請負業者に十分理解させるため、必要に応じ輸送容器の設計請負業者及び材料メーカーとの間で、安全性と仕様の関連、仕様決定の背景等についての情報交換を行う。
- ③ 輸送・サービス部は、輸送容器の設計請負業者が作成する設計文書（図面、計算書、解析書等）に設計要求事項が適切に反映されていることを審査する。

(2) 設計検証

輸送・サービス部は、上記設計結果に基づき、新設計・新技術又は特殊材料を採用する場合には、必要に応じ実証試験、代替計算等により設計検証が行われていることを審査する。

(3) 設計変更

輸送・サービス部は、設計仕様を変更する場合、変更の内容を文書により輸送容器の設計請負業者に提示する。

輸送・サービス部は設計仕様の変更に伴い輸送容器の設計請負業者に設計を変更させる場合、又は輸送容器の設計請負業者が自ら設計変更を行う場合、輸送容器の設計請負業者が作成する設計文書（図面、計算書、解析書等）に要求事項が適切に反映されていることを審査する。また、輸送・サービス部は、関係する組織に設計変更に関する内容を文書により伝達する。

D. 2 社内での設計に係る設計管理

(1) 設計の計画

設計計画については核燃料物質等長期輸送計画を基に輸送容器の設計要求事項をまとめ輸送容器の設計を行う。

(2) 設計へのインプット

輸送容器に求められる要求事項の内容を確認する。輸送・サービス部は設計を行うに当たり輸送容器に求められる要求事項の確認結果に基づき、文書化した設計前提条件及び適用される法令・規則並びにその他の要求事項を含んだ設計インプット情報を文書化し、要求事項が適切であることの確認を行う。適用可能な場合は、以前の類似した設計から得られた情報を基にレビューしてインプットとする。インプット情報は記録する。

(3) 設計者からのアウトプット

輸送容器設計のアウトプット（仕様書、図面、試験検査要領書等）は、輸送容器に求められる安全性、輸送方法とのインターフェイス及び適用される法令・規則並びに安全解析書等の要求事項を満足するものであること。これらは輸送・サービス部が承認する。更に、アウトプット情報には、設計要求事項、合否判定基準、製作、取扱い、検査に関する特性も盛り込む。

(4) 設計のレビュー

輸送容器設計のアウトプットが要求事項を満足しているかどうかを確認する。レビューの結果、発見した問題を明確にして必要な処置を行う。レビューにおいては、関係する担当者（設計者）の他に、必要に応じて他の業務担当者を置く。

(5) 設計の検証

輸送・サービス部は、輸送容器設計者からのアウトプットが輸送容器設計へのインプットで与えられている要求事項を満たしていることの検証を行う。検証の結果は記録する。

(6) 設計の妥当性確認

輸送・サービス部は、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たし得ることを確実にするために設計の妥当性確認を行う。妥当性の確認結果は記録する。

(7) 設計の変更管理

① 設計変更管理

輸送・サービス部は、設計変更内容を明確にし、文書化し、内容をレビューする。

輸送・サービス部は、設計変更内容が調達先へ影響を与える場合、関係者に文書で通知し、周知する。

② 仕様変更の管理

輸送・サービス部は、輸送容器製作段階で仕様変更を行う場合、他への影響を考慮するとともに変更内容を明確にして、計画書の見直し、レビュー、検証及び妥当性の確認を行う。仕様変更内容は記録する。

(イ)－E 輸送容器の製造発注

輸送容器が顧客の要求事項、法令に定める技術上の基準、核燃料輸送物設計承認申請書の設計仕様及び容器承認申請書の製作方法等の要求事項に適合することを確実にするために、次の事項を実施する。

1. 容器製造者の評価

製作に関する能力については、安全・品質保証部の責任において必要に応じて次の事項を考慮して評価する。

- ① 輸送容器の製作に関する技術及び要員並びに製作設備
- ② 容器所有者及び容器製造者の品質方針、品質保証計画及びこれらの実施状況
- ③ 輸送容器又は類似のものに関する供給実績
- ④ 輸送容器又は類似のものに関する使用実績及び品質に関する記録
- ⑤ 試作品、サンプル等の評価（類似品がない場合）

2. 容器製造者への品質マネジメントシステム要求事項

輸送・サービス部は、容器所有者又は容器製造者への製作発注に当たって、輸送・サービス部の責任において必要に応じ、次の要求事項について、仕様書等の文書で明確に指示し、実施させるようにする。

- ① 容器所有者又は容器製造者の業務範囲
- ② 設計、製作、検査、適用法令等の技術的要求事項
- ③ 品質保証計画書の提出に関する事項
- ④ 品質監査、検査等のための容器製造者への立入りに関する事項
- ⑤ 文書の提出並びに記録の保管に関する事項
- ⑥ 容器製造者が、MNF の製作発注する製品について品質管理を実施するための組織、手順等を規定する品質管理計画を策定し、実施すること。品質管理計画は、「輸送容器の製作の方法に係る品質マネジメント指針」（「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイド」の別添（令和 2 年 2 月 26 日「原規規発第 2002264 号」にて制定、令和 2 年 11 月 18 日「原規規発第 2011188 号」にて改正）の「Ⅲ 容器製造者による品質マネジメントの内容」に適合するものであること。
容器製造者が輸送容器の一部の製作を下請負契約者に発注する場合は、容器製造者の品質管理計画には、下請負契約者に対する品質マネジメントシステム要求事

項を含むこと。

- ⑦ MNF 及び規制当局の職員が、容器所有者、容器製造者及びその下請負契約者先等において、輸送容器の製作時の検査や品質管理状態の確認を行うことができること。
- ⑧ 容器所有者が行う容器製造者の選定に係る基準について MNF が審査し、承認できるように措置すること。
又は、容器製造者及び下請負契約者の選定基準について MNF が審査及び承認し、選定状況等も確認できるように措置すること。
- ⑨ 輸送容器の製作に携わる事業者間の責任関係を契約等により明確にするための措置を講じること。
- ⑩ MNF が示す安全上重要な材料仕様値等について、容器所有者、容器製造者及びその下請負契約者にその数値の意味と重要性を十分理解させるための措置を講じること。
- ⑪ 輸送容器の製作に当たって、安全上の重要度が高く特殊な材料を採用する場合は、あらかじめ製作に係る施工、分析及び検査方法について、輸送容器の製作に携わる各事業者間における情報交換や技術的検討が十分行われるための措置を講じること。
- ⑫ 輸送容器の製作が複数の事業者にまたがる工程では、作業指示や納期などの取り決めを明確にし、緊密な連携を図るための措置を講じること。
- ⑬ 輸送容器の製作において、不適合が発生して、手直し等を行う場合は、MNF に文書で通知し、取扱いの指示を受けるように処置すること。
また、再発を防止するために、是正処置及び予防処置の手順を定め、維持すること。
- ⑭ 容器製造者の特殊工程に関しては、工程条件等を手順に定めること。また、製作のプロセスにおいて重要な変更があった場合、容器製造者及び下請負契約者等の調達先の変更があった場合は、MNF に速やかに報告し、承認を受けるように措置すること。
- ⑮ 容器所有者及び容器製造者が下請負契約者に対して、次の事項を行うように措置すること。
 - (a) 下請負を行う能力の評価を行うこと。
 - (b) MNF が容器所有者及び容器製造者に対して要求した事項を下請負契約者に指示し、実施させること。
 - (c) 容器所有者が容器製造者及び下請負契約者に対して、及び容器製造者が下請

負契約者に対して MNF の要求事項が満足されていることを品質監査及び検査により検証すること。

ただし、下請負契約者が次の場合は、この限りでない。

- (a) 容器承認の検査項目と関係がないと認められる下請負である場合
- (b) 容器製造者等が立会検査を行うことにより、直接管理する場合
- (c) JIS 等の公的規格や公的資格制度により製作が行われる場合であって、差支えないと認められる場合
- (d) 検査の確認項目が簡易なものや汎用品であって、受入れ時の検収で十分と認められる場合

なお、輸送容器の全部又は一部が既に製作された輸送容器を調達する場合は、安全・品質保証部は、当該輸送容器の容器製造者が「輸送容器の製作の方法に係る品質マネジメント指針」（「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイド」の別添（令和 2 年 2 月 26 日「原規規発第 2002264 号」にて制定、令和 2 年 11 月 18 日「原規規発第 2011188 号」にて改正）の「Ⅲ 容器製造者による品質マネジメントの内容」に適合、又は、これと同等の品質マネジメントシステム (ISO9001 等) を有していることを記録等により確認する。

3. 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証

輸送容器が調達要求事項に適合していることを検証するために、次の事項を実施する。

- (1) 安全・品質保証部は、品質保証計画書で提示された仕組みの実施状況の確認を目的に次のように品質監査を行う。

- ・実施時期：最初のロットの完成検査ができるようになった時点及び前回の監査から 3 年以上経過して製作する場合。
- ・監査項目：工程管理、識別管理、検査・試験に関連した管理項目、下請負契約者に対する管理、不適合品の管理、是正処置及び予防処置、統計的手法等製作に直接関連する項目について
- ・実施要領：検査計画を監査通知として被監査組織に連絡
監査は、要確認事項をリストアップしたチェックシートに基づいて実施

品質監査に当たっては、品質監査要領及び品質監査計画を策定し、これに従い実施す

る。

また、容器製造者の下請負契約者への品質監査状況を把握し、安全・品質保証部の責任において必要に応じ下請負契約者に対し直接品質監査を行う。

- (2) 輸送・サービス部は、輸送容器の検査に当たって、安全上の重要性等を考慮しつつ、公的規格、公的資格制度の有無及び特殊工程条件、容器所有者、容器製造者及び下請負契約者の品質管理の状況等を勘案して、実施要領等の文書を作成し、立会確認及び記録確認を行う。

なお、輸送容器の全部又は一部が既に製作された輸送容器を調達する場合は、当該容器が適切に製作されたものであることを検証するため、安全・品質保証部及び輸送・サービス部は製作当時の品質活動状況及び検査結果に関する記録等の確認を行う他、必要に応じ輸送容器に対する追加検査又は再検査を行う。

(イ)－F 取扱い及び保守

F. 1 維持管理

- (1) 輸送・サービス部は、該当する輸送物安全解析書（SAR）の記載事項を含む要件を明確にした要領書を作成し、要領書に基づいて輸送容器の定期自主検査及び保守を行う。このうち輸送容器の維持管理に係わる定期自主検査及び保守役務の一部については、必要に応じ供給能力を有する輸送容器の保守管理会社に業務委託する。
- (2) 定期自主検査及び保守の結果は所定の期間保管する。
- (3) 社外に輸送容器に係わる定期自主検査及び保守役務の一部を委託した場合、輸送・サービス部は委託先から提出された輸送容器の定期自主検査及び保守点検記録を確認することにより委託先の実施状況を検証する。
- (4) 輸送容器の定期自主検査及び保守において不適合品が発見された場合は、不適合品の管理並びに是正処置及び予防処置に従って必要な措置を行う。
- (5) 安全・品質保証部は、輸送・サービス部に対し定期的に内部監査を行い、輸送容器の維持管理の実施状況を確認する。

F. 2 発送前検査

- (1) 輸送・サービス部は、輸送に先立ち、要件を明確にした要領に従い、輸送物の発送前検査を行う。また、官庁等による発地等での立会又は安全確認が実施される場合は、輸送・サービス部はこれを受検する。
- (2) 輸送・サービス部は、輸送に先立ち、車両運搬確認申請を行う。申請に際しては、使用する輸送容器が承認容器であること並びに定められた定期自主検査に合格していることを確認する。但し、承認容器を用いない輸送の場合は、車両運搬確認申請書の記載内容に一致した容器であることを確認する。
- (3) 発送前検査結果は所定の期間保管する。
- (4) 発送前検査において不適合が発見された場合は、不適合品の管理並びに是正処置及び予防処置に従って必要な措置を行う。

(イ)－G 測定、分析及び改善

G. 1 内部品質監査

内部品質監査は、MNF の業務のうち、輸送容器関連の品質に影響を及ぼす業務活動に対して、品質保証活動の実施状況とその妥当性について検証するために行う。

内部品質監査は以下のとおり行う。

- ① 安全・品質保証部は、品質保証活動の状況及び重要性に基づいて、内部監査を計画する。なお、監査員は、監査に関する要領に従い資格を認定された者から指名される。
- ② 内部監査は、品質に関する活動を行っている部門に対し、原則として年 1 回実施する。

G. 2 不適合品の管理

(1) 不適合品の処置手順

輸送容器の製作段階で不適合品が発生した場合は、以下の手順に従い不適合品の誤用防止を図る。

- ① 輸送・サービス部は、調達先に詳細を文書で報告させる。
- ② 輸送・サービス部は、報告者と連絡を取り合い、発生事象を確認する。
- ③ 輸送・サービス部は、安全・品質保証部及び関係部門とともに調達先からの報告内容の検討、評価を行い、処置を決定し調達先に文書で指示する。
- ④ 輸送・サービス部は、輸送容器について修理又は手直しをした場合は、必要に応じて立会検査又は記録確認を行う。

(2) 不適合品の保留

不適合品に対しては、不適合品の識別表示を取り付けるか又は物理的に隔離する。

(3) 処置の実施及び保留の解除

不適合品に対しては、処置の実施後不適合品の識別表示を解除する前に、再検査を行う。

(4) 処置報告

輸送・サービス部は、調達先に対し、次の処置報告を指示する。

- ① 処置内容の確認及び社内関係部門（品質保証担当部門を含む）への報告
- ② 不適合品処置報告書の MNF への提出

なお、調達先より提出された不適合品処置報告書は、輸送・サービス部経由で安全・品質保証部へ提出する。

G. 3 不適合及び予防処置

(1) 是正処置

是正事項は以下の手順で実施する。

- ① 調達先による不適合の原因の調査、再発防止対策の立案、MNF への報告並びに MNF による妥当性確認
 - (a) MNF は、調達先からの報告内容の検討・確認を行い、原因究明・再発防止対策等の検討を指示する。
 - (b) MNF は、調達先からの再発防止対策の報告内容を検討、評価するとともに、必要に応じ具体的な再発防止対策等の実施を指示する。
- ② 調達先による再発防止対策の実施、MNF への報告並びに MNF による妥当性確認

(2) 予防処置

安全・品質保証部は、立会検査、外部品質監査結果、内部品質監査結果及び不適合報告の情報等から不適合の潜在的原因を検出し、輸送・サービス部を通して調達先に予防処置を指示する。社内における場合は、当該部門に予防処置の実施を指示する。