

核燃料輸送物設計変更承認申請書

NDC 社発第 22-289 号

令和 4 年 9 月 26 日

原子力規制委員会 殿

住所 茨城県那珂郡東海村舟石川 6 2 2 番地 1 2

氏名 MHI 原子力研究開発株式会社

取締役社長 南雲 浩行

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

MS-1 型

2 核燃料輸送物設計承認番号

J/124/B (M) - 96 (Rev. 1)

3 変更内容

- ・平成20年4月22日付19諸文科科第4879号（平成25年4月22日付原管廃発第1304191号をもって期間更新、平成30年4月11日付原規規発第1804113号をもって期間更新）により承認を受けた核燃料輸送物設計変更承認申請書（以下「既承認申請書」という。）の記載事項について別記の通り変更する。
- ・既承認申請書別紙「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」について、下記の変更を行う。
 - ・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った。その結果を（ロ）章F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」（追加）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」（従前の（ロ）章F）に記載する。
 - ・（ハ）章「品質マネジメントの基本方針」を削除し、「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（二）章に変更する。
- ・蓋締付ボルトの材料規格を追加する。
- ・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」を追加する。
- ・その他記載の見直しを行う。

4 変更理由

- ・外運搬規則及び外運搬告示が改正されたため。
- ・今後の保全維持のため、入手性、調達性を考慮して現在の蓋締付ボルトと同等の規格を追加するため。
- ・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（輸送物安全解析書）
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

以上

1. 核燃料輸送物の名称

MS-1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1.1m (緩衝体含む)

高さ : 約3.3m (緩衝体含む)

(2) 輸送容器の重量

約 9,550kg

(3) 核燃料輸送物の総重量

9,600kg以下 (架台を含まず)

(4) 輸送容器の主要材料

外筒 : ステンレス鋼

内筒 : ステンレス鋼

蓋 : ステンレス鋼

バスケット : ステンレス鋼

ガンマ線遮蔽体 : 鉛

断熱材 : キャスタブル (酸化アルミニウム)

緩衝体 : バルサ、米杉

(5) 輸送容器の概略を示す図

図1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別紙1に示している。なお、輸送容器の形状を別紙1の(イ)-第C.2図から(イ)-第C.14図まで及び収納物の形状を別紙1の(イ)-第D.1図から(イ)-第D.29図までに示されている。

3. 核燃料輸送物の種類

BM型輸送物

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

表1のとおり。

5. 輸送制限個数

(1) 輸送制限個数 : 該当しない

(2) 配列方法 : 該当しない

(3) 臨界安全指数 : 該当しない

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

－20℃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

該当しない

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

該当しない

9. 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封装置は、内胴、上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び下部蓋に設けた気密漏えい検査孔蓋より構成される容器とこれに付属するリング並びに締付ボルトにより構成され、リングにはエチレンプロピレンゴムを用いる。

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

－40℃の周囲の温度において、き裂、破損等の生じるおそれがないことが確認されていない。

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

輸送容器の保守及び定期自主検査並びに核燃料輸送物の取扱いについては、別紙1に記載した方法により実施する。

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、別紙2の通り。

13. その他特記事項

本輸送容器の使用予定期間を60年、使用期間を通しての輸送予定回数を計300回、また1回の輸送期間を通常最長1か月としている。

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、必要に応じて核燃料輸送物設計変更承認申請書等の手続きを行う。

詳細については、別紙1の通り。

(別紙記載事項)

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（輸送物安全解析書）

- イ 核燃料輸送物の説明…………… (イ) 章
- ロ 核燃料輸送物の安全解析…………… (ロ) 章
- ハ 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法…………… (ハ) 章
- ニ 安全設計及び安全輸送に関する特記事項…………… (二) 章

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

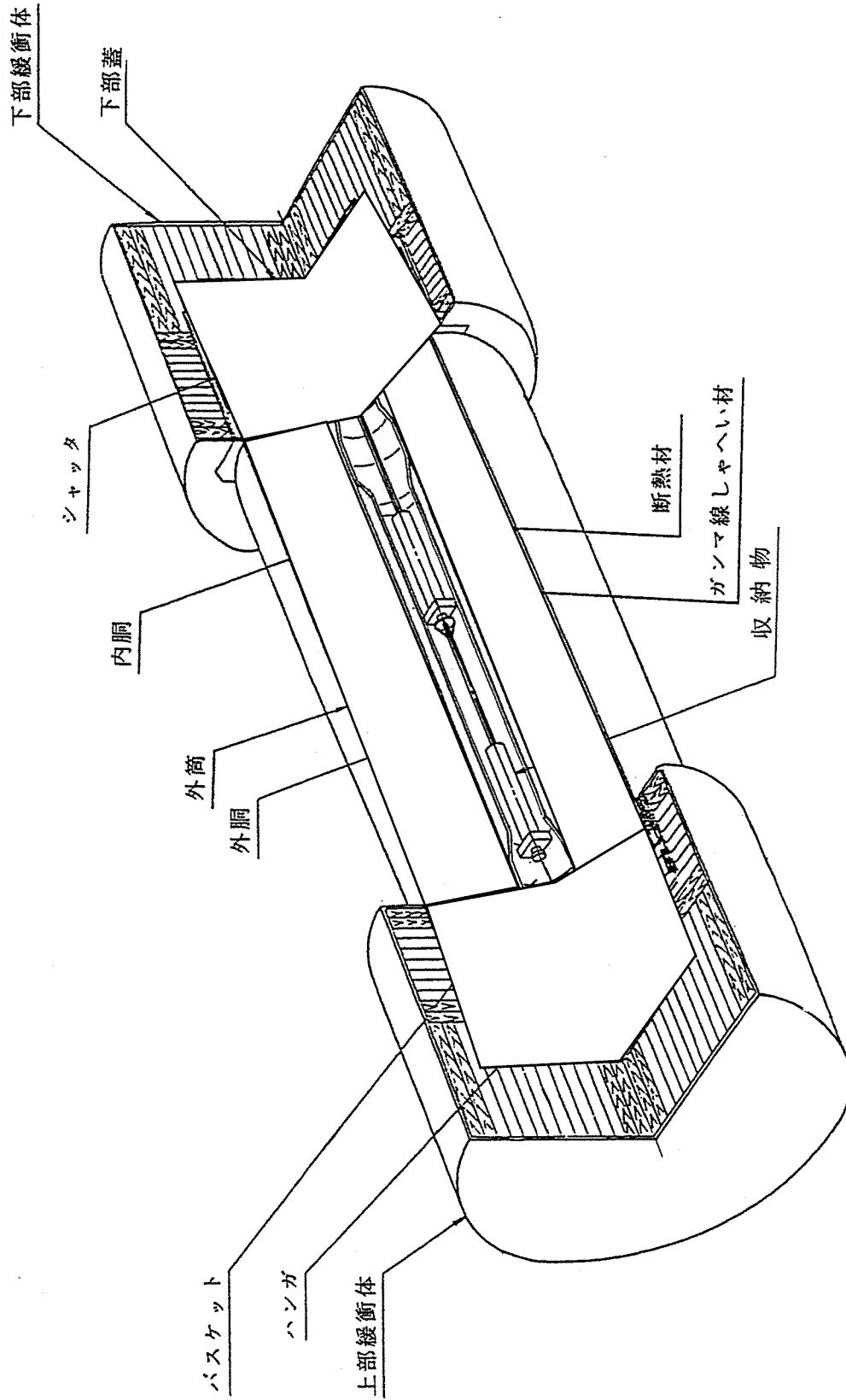


図1 MS-1型輸送物鳥瞰図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

表1 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量 (1/2)

項目	収納物タイプ	タイプI	タイプII	タイプIII	タイプIV
収納物名称		サーバイランス キャプセル	RCCロッド 及び収納缶	SSロッド 及び収納缶	NFBC被覆管 及び収納缶
種類					
性状					
重量 (kg以下/容器)					
放射能の量 (Bq以下/容器)	総量				
	主要な 核種				
濃縮度					
燃焼度					
発熱量 (W以下/容器)					
冷却日数 (日以上)					
照射時間 (年以下)					
収納体数 (体以下)					

(注) 異なる収納物タイプの核燃料物質等の混載は行わない。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

表1 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量(2/2)

収納物タイプ		タイプV	タイプVI	タイプVII	タイプVIII
項目	収納物名称				
	種類				
	性状				
	重量 (kg以下/容器)				
	放射能の量 (Bq以下/容器)	総量			
		主要な核種			
	濃縮度				
	燃焼度				
	発熱量 (W以下/容器)				
	冷却日数 (日以上)				
	照射時間 (年以下)				
	収納体数 (体以下)				

(注) 異なる収納物タイプの核燃料物質等の混載は行わない。 ※1：2サイクル照射 ※2：6サイクル照射

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

以上

【MS-1型核燃料輸送物】
核燃料輸送物設計承認書 改訂履歴 (1/2)

回数	申請/届出の内容 根拠法令	差出元記号番号 申請/届出日	設計承認書番号 設計承認書交付日	有効期間	設計承認番号	備考
初回	承認申請	関原管第174号 昭和56年12月17日	56安(核規)第676号 昭和57年3月2日	昭和60年3月1日まで	J/90/B(0)	
初回	承認申請 告示第23条	原発74号 昭和60年1月28日	60安(核規)第33号 昭和60年2月25日	昭和63年2月24日まで	J/95/B(0)(Rev.1)	
初回	承認申請 告示第23条	原設発第59号 昭和60年1月30日	60安(核規)第39号 昭和60年2月25日	昭和63年2月24日まで	J/94/B(0)(Rev.1)	
2	承認申請 告示第23条	関原管第182号 昭和60年2月15日	60安(核規)第84号 昭和60年3月20日	昭和63年3月19日まで	J/90/B(0)(Rev.1)	
初回	承認申請 告示第23条	原子軽-1276号 昭和63年11月24日	63安(核規)第783号 昭和63年12月27日	昭和63年12月27日から 昭和66年12月26日まで	J/117/B(0)	
初回	承認申請 告示第35条	管第150号 平成3年7月23日	3安(核規)第565号 平成3年8月19日	平成3年9月27日から 平成6年8月18日まで	J/124/B(0)-85	ニュークリア・デベロップメント(株)申請
2	期間更新 告示第35条	NDC管第261号 平成6年7月7日	6安(核規)第479号 平成6年8月19日	平成6年8月19日から 平成9年8月18日まで		
3	期間更新 告示第35条	NDC管第360号 平成9年7月10日	9安(核規)第413号 平成9年8月19日	平成9年8月19日から 平成12年8月18日まで		
4	設計変更 告示第35条	NDC管第80号 平成10年2月9日	10安(核規)第116号 平成10年4月6日	平成10年4月6日から 平成13年4月5日まで	J/124/B(0)-85 (Rev.1)	
5	期間更新 告示第35条	NDC管第157号 平成13年3月5日	12諸文科科第2000号 平成13年3月30日	平成13年4月6日から 平成16年4月5日まで		

(注) 告示は次のものをいう

告示：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を定める告示

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

【MS-1型核燃料輸送物】

核燃料輸送物設計承認書 改訂履歴 (2/2)

回数	申請/届出の内容 根拠法令	差出元記号番号 申請/届出日	設計承認書番号 設計承認書交付日	有効期間	設計承認番号	備考
6	設計変更 告示第35条	NDC管第412号 平成15年10月14日	15 諸文科科第3700号 平成15年12月17日	平成15年12月17日から 平成18年12月16日まで	J/124/B(M)-96	
7	期間更新 告示第35条	NDC管第395号 平成18年11月27日	18 諸文科科第3408号 平成18年12月15日	平成18年12月15日から 平成21年12月14日まで		
8	代表者交代 告示第41条第6項	NDC管第239号 平成19年7月18日	19 諸文科科第1680号 平成19年8月2日	平成18年12月15日から 平成21年12月14日まで		
9	設計変更 告示第41条第1項	NDC管第58号 平成20年3月13日	19 諸文科科第4879号 平成20年4月22日	平成20年4月22日から 平成25年4月21日まで	J/124/B(M)-96 (Rev. 1)	
10	期間更新 告示第41条第4項	NDC管第47号 平成25年3月21日	原管廃発第1304191号 平成25年4月22日	平成25年4月22日から 平成30年4月21日まで		
11	代表者交代 告示第41条第6項	NDC管第171号 平成25年7月5日	原管廃発第13072911号 平成25年8月1日	平成25年4月22日から 平成30年4月21日まで		
12	代表者交代 告示第41条第6項	NDC管第17-464号 平成29年8月10日	なし	平成25年4月22日から 平成30年4月21日まで		
13	期間更新 告示第41条第4項	NDC管第18-072号 平成30年2月9日	原規規発第1804113号 平成30年4月11日	平成30年4月22日から 平成35年4月21日まで		
14	代表者交代 告示第41条第6項	NDC社発20-221号 令和2年6月24日	なし	平成30年4月22日から 平成35年4月21日まで		
15	社名変更 告示第41条第6項	NDC社発22-031号 令和4年1月14日	なし	平成30年4月22日から 平成35年4月21日まで		

(注) 告示は次のものをいう

告示：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

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

M S - 1 型 輸 送 物

輸送物安全解析書

令和 4 年 9 月

MH I 原子力研究開発株式会社

目 次

	頁
イ章 核燃料輸送物の説明	(イ)
A. 目的及び条件	(イ)-A- 1
B. 核燃料輸送物の種類	(イ)-B- 1
C. 輸 送 容 器	(イ)-C- 1
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)
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- 17
A. 3 材料の機械的性質	(ロ)-A- 18
A. 4 核燃料輸送物の要件	(ロ)-A- 26
A. 4. 1 化学的及び電氣的反応	(ロ)-A- 26
A. 4. 2 低 温 強 度	(ロ)-A- 27
A. 4. 3 密 封 装 置	(ロ)-A- 30
A. 4. 4 吊 上 装 置	(ロ)-A- 31
A. 4. 5 固 縛 装 置	(ロ)-A- 44
A. 4. 6 圧 力	(ロ)-A- 69
A. 4. 7 振 動	(ロ)-A- 71
A. 5 一般の試験条件	(ロ)-A- 78
A. 5. 1 熱 的 試 験	(ロ)-A- 78
A. 5. 1. 1 温度及び圧力の要約	(ロ)-A- 78
A. 5. 1. 2 熱 膨 張	(ロ)-A- 78
A. 5. 1. 3 応 力 計 算	(ロ)-A- 79
A. 5. 1. 4 許容応力との比較	(ロ)-A- 85

A. 5.2	水 噴 霧	(口) - A - 88
A. 5.3	自 由 落 下	(口) - A - 89
A. 5.4	積み重ね試験	(口) - A - 143
A. 5.5	貫 通	(口) - A - 148
A. 5.6	角又は縁落下	(口) - A - 150
A. 5.7	結果の要約及びその評価	(口) - A - 150
A. 6	特別の試験条件	(口) - A - 151
A. 6.1	強度試験・落下試験 I (9 m落下時)	(口) - A - 152
A. 6.1.1	垂 直 落 下	(口) - A - 154
A. 6.1.2	水 平 落 下	(口) - A - 160
A. 6.1.3	コーナー落下	(口) - A - 170
A. 6.1.4	傾 斜 落 下	(口) - A - 174
A. 6.1.5	結 果 の 要 約	(口) - A - 175
A. 6.2	強度試験・落下試験 II (1 m落下時)	(口) - A - 176
A. 6.2.1	結 果 の 要 約	(口) - A - 187
A. 6.3	熱 的 試 験	(口) - A - 189
A. 6.3.1	温度及び圧力の要約	(口) - A - 189
A. 6.3.2	熱 膨 張	(口) - A - 189
A. 6.3.3	許容応力との比較	(口) - A - 193
A. 6.4	浸 漬	(口) - A - 195
A. 6.5	結果の要約及びその評価	(口) - A - 196
A. 7	強化浸漬試験	(口) - A - 198
A. 8	放射性収納物	(口) - A - 198
A. 9	核分裂性輸送物	(口) - A - 198
A. 10	付 属 書 類	(口) - A - 199

B. 熱 解 析	(ロ) - B - 1
B. 1 概 要	(ロ) - B - 1
B. 2 材料の熱的性質	(ロ) - B - 2
B. 3 構成要素の仕様	(ロ) - B - 6
B. 4 一般の試験条件	(ロ) - B - 8
B. 4. 1 熱解析モデル	(ロ) - B - 8
B. 4. 1. 1 解析モデル	(ロ) - B - 8
B. 4. 1. 2 試験モデル	(ロ) - B - 11
B. 4. 2 最高温度	(ロ) - B - 11
B. 4. 3 最低温度	(ロ) - B - 12
B. 4. 4 最大内圧	(ロ) - B - 12
B. 4. 5 最大熱応力	(ロ) - B - 12
B. 4. 6 結果の要約及びその評価	(ロ) - B - 12
B. 5 特別の試験条件	(ロ) - B - 13
B. 5. 1 熱解析モデル	(ロ) - B - 13
B. 5. 1. 1 解析モデル	(ロ) - B - 13
B. 5. 1. 2 試験モデル	(ロ) - B - 16
B. 5. 2 核燃料輸送物の評価条件	(ロ) - B - 17
B. 5. 3 核燃料輸送物温度	(ロ) - B - 18
B. 5. 4 最大内圧	(ロ) - B - 20
B. 5. 5 最大熱応力	(ロ) - B - 22
B. 5. 6 結果の要約及びその評価	(ロ) - B - 22
B. 6 付 属 書 類	(ロ) - B - 23

C. 密封解析	(口) - C - 1
C. 1 概要	(口) - C - 1
C. 2 密封装置	(口) - C - 1
C. 2.1 密封装置	(口) - C - 1
C. 2.2 密封装置の貫通部	(口) - C - 2
C. 2.3 密封装置のガスケット及び溶接部	(口) - C - 2
C. 2.4 蓋	(口) - C - 3
C. 3 一般の試験条件	(口) - C - 4
C. 3.1 放射性物質の漏えい	(口) - C - 4
C. 3.2 密封装置の加圧	(口) - C - 15
C. 3.3 冷却材汚染	(口) - C - 15
C. 3.4 冷却材損失	(口) - C - 15
C. 4 特別の試験条件	(口) - C - 16
C. 4.1 核分裂生成ガス	(口) - C - 16
C. 4.2 放射性物質の漏えい	(口) - C - 16
C. 5 結果の要約及びその評価	(口) - C - 21
C. 6 附属書類	(口) - C - 22
D. 遮蔽解析	(口) - D - 1
D. 1 概要	(口) - D - 1
D. 2 線源仕様	(口) - D - 3
D. 2.1 ガンマ線源	(口) - D - 3
D. 2.2 中性子源	(口) - D - 9
D. 3 モデル仕様	(口) - D - 13
D. 3.1 解析モデル	(口) - D - 13
D. 3.2 解析モデル各領域における原子個数密度	(口) - D - 13
D. 4 遮蔽評価	(口) - D - 17
D. 5 結果の要約及びその評価	(口) - D - 18
D. 6 附属書類	(口) - D - 19

E. 臨 界 解 析	(口)－E－ 1
E. 1 概 要	(口)－E－ 1
E. 2 解 析 対 象	(口)－E－ 1
E. 2. 1 収 納 物	(口)－E－ 1
E. 2. 2 輸 送 容 器	(口)－E－ 1
E. 2. 3 中 性 子 吸 収 材	(口)－E－ 1
E. 3 モ デ ル 仕 様	(口)－E－ 1
E. 3. 1 解 析 モ デ ル	(口)－E－ 1
E. 3. 2 解 析 モ デ ル 各 領 域 に お け る 原 子 個 数 密 度	(口)－E－ 1
E. 4 未 臨 界 評 価	(口)－E－ 2
E. 4. 1 計 算 条 件	(口)－E－ 2
E. 4. 2 核 燃 料 輸 送 物 へ の 水 の 浸 入 等	(口)－E－ 2
E. 4. 3 計 算 方 法	(口)－E－ 2
E. 4. 4 計 算 結 果	(口)－E－ 2
E. 5 ベ ン チ マ ー ク 試 験	(口)－E－ 2
E. 6 結 果 の 要 約 及 び そ の 評 価	(口)－E－ 2
F. 核 燃 料 輸 送 物 の 経 年 変 化 の 考 慮	(口)－F－ 1
F. 1 考 慮 す べ き 経 年 変 化 要 因	(口)－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	(口)－F－ 2
F. 3 安 全 解 析 に お け る 経 年 変 化 の 考 慮 内 容	(口)－F－ 12
G. 外 運 搬 規 則 及 び 外 運 搬 告 示 に 対 す る 適 合 性 の 評 価	(口)－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. 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－ 4
A. 3 取 出 し 方 法	(ハ)－A－ 5
A. 4 空 容 器 の 準 備	(ハ)－A－ 6
B. 保 守 条 件	(ハ)－B－ 1
B. 1 外 観 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 2 耐 圧 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 3 気密漏えい検査	(ハ)－B－ 1
B. 4 遮 蔽 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 5 未 臨 界 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 6 熱 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 7 吊 上 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 8 作 動 確 認 検 査	(ハ)－B－ 1
B. 9 補 助 系 の 保 守	(ハ)－B－ 1
B. 10 密 封 装 置 の 弁、ガ ス ケ ッ ト 等 の 保 守	(ハ)－B－ 2
B. 11 輸 送 容 器 の 保 管	(ハ)－B－ 2
B. 12 記 録 の 保 管	(ハ)－B－ 2
B. 13 そ の 他	(ハ)－B－ 2
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)－ 1

表 リ ス ト (1 / 5)

(イ)－第A. 1表	核燃料物質等の仕様	(イ)－A－ 3
(イ)－第B. 1表	収納放射能の量とA ₂ 値との比較	(イ)－B－ 2
(イ)－第C. 1表	輸送容器の主要材質 (1/2) ～ (2/2)	(イ)－C－ 19
(イ)－第C. 2表	輸送容器の寸法 (1/3) ～ (3/3)	(イ)－C－ 21
(イ)－第C. 3表	輸送容器の重量	(イ)－C－ 24
(イ)－第D. 1表	サーベイランスキャプセル概略仕様	(イ)－D－ 5
(イ)－第D. 2表	収納物内訳の例 (収納物タイプI－4)	(イ)－D－ 6
(イ)－第D. 3表	RCCロッド及び収納缶の概略仕様	(イ)－D－ 7
(イ)－第D. 4表	SSロッド及び収納缶の概略仕様	(イ)－D－ 8
(イ)－第D. 5表	NFBC被覆管及び収納缶の概略仕様	(イ)－D－ 9
(イ)－第D. 6表	バッフルフォーマボルト及び収納缶の概略仕様	(イ)－D－ 10
(イ)－第D. 7表	照射サンプル概略仕様	(イ)－D－ 11
(イ)－第D. 8表	シングルチューブ及び収納缶の概略仕様	(イ)－D－ 12
(イ)－第D. 9表	生成核種と放射能強度	(イ)－D－ 43
(ロ)－第A. 1表	構造解析に用いる応力評価基準	(ロ)－A－ 3
(ロ)－第A. 2表	設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分	(ロ)－A－ 5
(ロ)－第A. 3表	負 荷 条 件	(ロ)－A－ 6
(ロ)－第A. 4表	輸送容器の条件及び解析方法 (1/10～10/10)	(ロ)－A－7～16
(ロ)－第A. 5表	輸 送 物 の 重 量	(ロ)－A－ 17
(ロ)－第A. 6表	輸送容器主要部の材料の機械的性質 (60℃) (1/2) ～ (2/2)	(ロ)－A－ 18
(ロ)－第A. 7表	緩衝材のエネルギー吸収特性 (三菱重工業株実験値)	(ロ)－A－ 19
(ロ)－第A. 8表	接触する異種材料の一覧表	(ロ)－A－ 26
(ロ)－第A. 9表	各PWR原子力発電所設置地区の最低気温	(ロ)－A－ 27
(ロ)－第A. 10表	輸送物各部の最低温度または脆性遷移温度	(ロ)－A－ 28
(ロ)－第A. 11表	吊上装置、解析対象及び解析項目	(ロ)－A－ 31
(ロ)－第A. 12表	固縛装置解析項目	(ロ)－A－ 45
(ロ)－第A. 13表	通常の輸送条件下における解析結果の要約 (1/3) ～ (3/3)	(ロ)－A－75～77
(ロ)－第A. 14表	本体蓋の応力	(ロ)－A－ 81

表 リ ス ト (2/5)

(ロ)－第A. 15表	本体蓋締付けボルトの応力	(ロ)－A－ 82
(ロ)－第A. 16表	本体蓋Oリング部の変位	(ロ)－A－ 84
(ロ)－第A. 17表	一般の試験条件(熱的試験)下における評価結果 (1/2)～(2/2)	(ロ)－A－86, 87
(ロ)－第A. 18表	0.9m水平落下時における応力評価結果 (1/2)～(2/2)	(ロ)－A－139, 140
(ロ)－第A. 19表	0.9m垂直落下時における応力評価結果 (1/2)～(2/2)	(ロ)－A－141, 142
(ロ)－第A. 20表	積み重ね試験(軸直角方向)時における応力評価結果 (1/2)～(2/2)	(ロ)－A－146, 147
(ロ)－第A. 21表	9m垂直落下時における応力評価結果(1/2)～(2/2)	(ロ)－A－158, 159
(ロ)－第A. 22表	9m水平落下時における応力評価結果(1/2)～(2/2)	(ロ)－A－168, 169
(ロ)－第A. 23表	特別の試験条件(1m落下試験)下における応力評価 結果	(ロ)－A－188
(ロ)－第A. 24表	特別の試験条件下における輸送容器各部の最高温度	(ロ)－A－189
(ロ)－第A. 25表	特別の試験条件(熱的試験)下における応力評価結果	(ロ)－A－194
(ロ)－第A. 26表	MS－1型輸送物と原型モデルとの比較(1/3)～(3/3)	(ロ)－A－212～214
(ロ)－第A. 27表	9m落下試験での計測結果	(ロ)－A－214
(ロ)－第B. 1表	 の熱的性質	(ロ)－B－ 3
(ロ)－第B. 2表	鉛の熱的性質	(ロ)－B－ 3
(ロ)－第B. 3表	断熱材の熱的性質	(ロ)－B－ 4
(ロ)－第B. 4表	空気の熱的性質	(ロ)－B－ 4
(ロ)－第B. 5表	バルサの熱的性質	(ロ)－B－ 5
(ロ)－第B. 6表	米杉の熱的性質	(ロ)－B－ 5
(ロ)－第B. 7表	Oリング仕様	(ロ)－B－ 7
(ロ)－第B. 8表	断熱材の仕様	(ロ)－B－ 7
(ロ)－第B. 9表	溶融栓の仕様	(ロ)－B－ 7
(ロ)－第B. 10表	一般の試験条件下における熱解析方法	(ロ)－B－ 10
(ロ)－第B. 11表	一般の試験条件下の熱的条件	(ロ)－B－ 10
(ロ)－第B. 12表	一般の試験条件下の輸送容器各部最高温度	(ロ)－B－ 11
(ロ)－第B. 13表	特別の試験条件下における熱解析方法	(ロ)－B－ 15
(ロ)－第B. 14表	特別の試験条件下の熱的条件	(ロ)－B－ 16
(ロ)－第B. 15表	実証試験時の原型モデル各部最高温度	(ロ)－B－ 17

表 リ ス ト (3 / 5)

(ロ)－第B. 16表	特別の試験条件下の輸送容器各部最高温度	(ロ)－B－ 18
(ロ)－第B. 17表	輸送物の性能評価	(ロ)－B－ 22
(ロ)－第B. 18表	外筒変形状態での代表部の温度分布	(ロ)－B－ 36
(ロ)－第C. 1表	密封装置の設計圧力及び設計温度	(ロ)－C－ 1
(ロ)－第C. 2表	ガスケットの寸法及び材質	(ロ)－C－ 2
(ロ)－第C. 3表	燃料ピット水中の主要核種と放射能濃度	(ロ)－C－ 5
(ロ)－第C. 4表	PWR原子炉一次系ステンレス鋼に付着の腐食生成物の核種及び放射能濃度	(ロ)－C－ 6
(ロ)－第C. 5表	腐食生成物の放射能濃度	(ロ)－C－ 7
(ロ)－第C. 6表	最大許容空気漏えい率	(ロ)－C－ 7
(ロ)－第C. 7表	漏洩試験時の最大漏えい孔径	(ロ)－C－ 10
(ロ)－第C. 8表	一般の試験条件下の最大気体漏えい率	(ロ)－C－ 11
(ロ)－第C. 9表	一般の試験条件下の気体中の放射性物質の漏えい率	(ロ)－C－ 12
(ロ)－第C. 10表	一般の試験条件下の最大液体漏えい率	(ロ)－C－ 13
(ロ)－第C. 11表	一般の試験条件下の液体中の放射性物質の漏えい率	(ロ)－C－ 14
(ロ)－第C. 12表	一般の試験条件下の放射性物質の漏えい率と基準値との比率	(ロ)－C－ 15
(ロ)－第C. 13表	特別の試験条件下の最大気体漏えい率	(ロ)－C－ 17
(ロ)－第C. 14表	特別の試験条件下の気体中の放射性物質の漏えい率	(ロ)－C－ 18
(ロ)－第C. 15表	特別の試験条件下の最大水蒸気漏えい率	(ロ)－C－ 19
(ロ)－第C. 16表	特別の試験条件下の水蒸気中の放射性物質の漏えい率	(ロ)－C－ 20
(ロ)－第C. 17表	特別の試験条件下の放射性物質の漏えい率と基準値との比率	(ロ)－C－ 21
(ロ)－第D. 1表	サーベイランスキャプセル仕様 (収納物タイプ I－2)	(ロ)－D－ 4
(ロ)－第D. 2表	サーベイランスキャプセル構成材料の化学成分	(ロ)－D－ 4
(ロ)－第D. 3表	RCCロッド及びNFBC被覆管仕様	(ロ)－D－ 5
(ロ)－第D. 4表	RCCロッド及びNFBC被覆管構成材料の化学成分	(ロ)－D－ 5
(ロ)－第D. 5表	SSロッド仕様	(ロ)－D－ 6
(ロ)－第D. 6表	SSロッドの構成材料の化学成分	(ロ)－D－ 6
(ロ)－第D. 7表	バッフルフォーマボルト仕様	(ロ)－D－ 6
(ロ)－第D. 8表	バッフルフォーマボルト構成材料の化学成分	(ロ)－D－ 6
(ロ)－第D. 9表	照射サンプル及び照射用ロッド仕様	(ロ)－D－ 7
(ロ)－第D. 10表	照射サンプル及び照射用ロッド構成材料の化学成分	(ロ)－D－ 7

表 リ ス ト (4/5)

(ロ)－第D. 11表	シンプルチューブ仕様	(ロ)－D－ 7
(ロ)－第D. 12表	シンプルチューブの化学成分	(ロ)－D－ 7
(ロ)－第D. 13表	中性子束	(ロ)－D－ 8
(ロ)－第D. 14表	照射・冷却条件	(ロ)－D－ 9
(ロ)－第D. 15表	誘導放射エネルギー	(ロ)－D－ 10
(ロ)－第D. 16表	各収納物1体当たりのガンマ線源強度	(ロ)－D－ 11
(ロ)－第D. 17表	収納物タイプ毎のガンマ線源強度	(ロ)－D－ 12
(ロ)－第D. 18表	最高線量当量率の要約	(ロ)－D－ 18
(ロ)－第D. 19表	サーベイランスキャプセル収納時の最大線量当量率 (通常輸送時)	(ロ)－D－ 19
(ロ)－第D. 20表	バップルフォーマボルト収納時の最大線量当量率 (通常輸送時)	(ロ)－D－ 20
(ロ)－第D. 21表	照射サンプル及び照射用ロッド収納時の最大線量当量率 (通常輸送時)	(ロ)－D－ 21
(ロ)－第D. 22表	シンプルチューブ収納時の最大線量当量率 (通常輸送時)	(ロ)－D－ 22
(ロ)－第F. 1表	ステンレス鋼の経年変化の考慮 (1/2)～(2/2)	(ロ)－F－3, 4
(ロ)－第F. 2表	低合金鋼の経年変化の考慮 (1/2)～(2/2)	(ロ)－F－5, 6
(ロ)－第F. 3表	鉛の経年変化の考慮	(ロ)－F－ 7
(ロ)－第F. 4表	キャストブルの経年変化の考慮 (1/2)～(2/2)	(ロ)－F－8, 9
(ロ)－第F. 5表	木材の経年変化の考慮 (1/2)～(2/2)	(ロ)－F－10, 11
(ロ)－第G. 1表	外運搬規則及び外運搬告示に定める 技術基準への適合性の評価	(ロ)－G－2～12
(ハ)－第A. 1表	各締付ボルトの締付トルク	(ハ)－A－ 3
(ハ)－第A. 2表	輸送容器発送前検査要領	(ハ)－A－ 4
(ハ)－第B. 1表	輸送容器保守点検要領 (1/2)～(2/2)	(ハ)－B－1, 2
(参)－第A. 1表	使用材料の適用範囲	(参)－A－ 7
(参)－第A. 2表	材 料 特 性	(参)－A－ 8
(参)－第A. 3表	溶 接 材 料	(参)－A－ 9
(参)－第A. 4表	特 殊 材 料	(参)－A－ 9

表 リ ス ト (5/5)

(参)－第A. 5表	溶接施工法一覧表	(参)－A－ 14
(参)－第B. 1表	輸送容器完成時検査要領	(参)－B－ 1
(参)－第B. 2表	試験検査項目一覧表	(参)－B－ 2
(参)－第B. 3表	材料試験検査項目一覧表	(参)－B－ 4
(参)－第B. 4表	溶接継手の板の許容くい違い	(参)－B－ 5
(参)－第B. 5表	溶接検査一覧表	(参)－B－ 6
(参)－第B. 6表	輸送容器吊上げ重量	(参)－B－ 18

図 リ ス ト (1/6)

(イ)－第C. 1 図	MS－1型輸送物鳥瞰図	(イ)－C－ 5
(イ)－第C. 2 図	輸送容器組立図	(イ)－C－ 6
(イ)－第C. 3 図	輸送物輸送状態図	(イ)－C－ 7
(イ)－第C. 4 図	輸送容器密封境界	(イ)－C－ 8
(イ)－第C. 5 図	上部詳細図	(イ)－C－ 9
(イ)－第C. 6 図	上部蓋	(イ)－C－ 10
(イ)－第C. 7 図	シャッタ蓋	(イ)－C－ 11
(イ)－第C. 8 図	下部蓋	(イ)－C－ 12
(イ)－第C. 9 図	上部及び下部トラニオン	(イ)－C－ 13
(イ)－第C. 10 図	シャッタ駆動装置	(イ)－C－ 14
(イ)－第C. 11 図	上部駆動装置及びハンガ	(イ)－C－ 15
(イ)－第C. 12 図	バスケット構造図	(イ)－C－ 16
(イ)－第C. 13 図	上部緩衝体詳細図	(イ)－C－ 17
(イ)－第C. 14 図	下部緩衝体詳細図	(イ)－C－ 18
(イ)－第D. 1 図	原子炉容器サーベイランスキャプセル (収納物タイプI－1)	(イ)－D－ 13
(イ)－第D. 2 図	原子炉容器サーベイランスキャプセル (収納物タイプI－2)	(イ)－D－ 14
(イ)－第D. 3 図	原子炉容器サーベイランスキャプセル (収納物タイプI－3)	(イ)－D－ 15
(イ)－第D. 4 図	原子炉容器サーベイランスキャプセル (収納物タイプI－4)	(イ)－D－ 16
(イ)－第D. 5 図	キャプセル内配置列 (収納物タイプI－4)	(イ)－D－ 17
(イ)－第D. 6 図	引張試験片	(イ)－D－ 18
(イ)－第D. 7 図	衝撃試験片	(イ)－D－ 19
(イ)－第D. 8 図	破壊じん性試験片 (W. O. L試験片)	(イ)－D－ 20
(イ)－第D. 9 図	破壊じん性試験片 (CT試験片)	(イ)－D－ 21
(イ)－第D. 10 図	破壊じん性試験片 (3PB試験片)	(イ)－D－ 22
(イ)－第D. 11 図	 及び温度モニター用 	(イ)－D－ 23
(イ)－第D. 12 図		(イ)－D－ 24
(イ)－第D. 13 図	制御棒集合体の代表例 (PWR 15×15)	(イ)－D－ 25
(イ)－第D. 14 図	バーナブルポイズンアセンブリの代表例 (PWR 15×15)	(イ)－D－ 26

図 リ ス ト (2 / 6)

(イ)－第D. 15 図	中性子源アセンブリの代表例 (PWR 15×15)	(イ)－D－ 27
(イ)－第D. 16 図	R C C ロッド	(イ)－D－ 28
(イ)－第D. 17 図	R C C ロッド収納状態	(イ)－D－ 29
(イ)－第D. 18 図	S S ロッド (収納物タイプⅢ)	(イ)－D－ 30
(イ)－第D. 19 図	S S 棒収納状態 (収納物タイプⅢ)	(イ)－D－ 31
(イ)－第D. 20 図	N F B C 被覆管 (収納物タイプⅣ)	(イ)－D－ 32
(イ)－第D. 21 図	N F B C 被覆管収納状態 (収納物タイプⅣ)	(イ)－D－ 33
(イ)－第D. 22 図	バッフルフォーマボルト (収納物タイプⅤ, タイプⅥ)	(イ)－D－ 34
(イ)－第D. 23 図	バッフルフォーマボルト収納状態 (収納物タイプⅤ)	(イ)－D－ 35
(イ)－第D. 24 図	バッフルフォーマボルト収納状態 (収納物タイプⅥ)	(イ)－D－ 36
(イ)－第D. 25 図	サンプル照射用内挿物 (PWR 15×15)	(イ)－D－ 37
(イ)－第D. 26 図	照射サンプル及び照射用ロッド	(イ)－D－ 38
(イ)－第D. 27 図	照射サンプル (代表)	(イ)－D－ 39
(イ)－第D. 28 図	シングルチューブ (収納物タイプⅧ)	(イ)－D－ 40
(イ)－第D. 29 図	シングルチューブ収納状態図 (収納物タイプⅧ)	(イ)－D－ 41
(ロ)－第A. 1 図	重心の位置	(ロ)－A－ 17
(ロ)－第A. 2 図	 の温度特性 (ASME Sec. IIIより)	(ロ)－A－ 20
(ロ)－第A. 3 図	S S 4 0 0 の温度特性 (ASME Sec. IIIより)	(ロ)－A－ 21
(ロ)－第A. 4 図	 の温度特性 (ASME Sec. IIIより)	(ロ)－A－ 22
(ロ)－第A. 5 図	設計疲れ線図 (オーステナイト系ステンレス鋼及び 高ニッケル合金)	(ロ)－A－ 23
(ロ)－第A. 6 図	設計疲れ線図 (高張力ボルト)	(ロ)－A－ 23
(ロ)－第A. 7 図	米杉、木目水平・垂直の場合の圧縮特性曲線	(ロ)－A－ 24
(ロ)－第A. 8 図	バルサ、木目水平・垂直の場合の圧縮特性曲線	(ロ)－A－ 25
(ロ)－第A. 9 図	炭素鋼の低温における機械的性質	(ロ)－A－ 29
(ロ)－第A. 10 図	トランニオン解析モデル	(ロ)－A－ 32
(ロ)－第A. 11 図	トランニオンに働く曲げ荷重の方向	(ロ)－A－ 38
(ロ)－第A. 12 図	サドル部材解析モデル	(ロ)－A－ 46
(ロ)－第A. 13 図	サドル部材解析モデル	(ロ)－A－ 47
(ロ)－第A. 14 図	サドルカバー締付けボルト	(ロ)－A－ 49
(ロ)－第A. 15 図	カバーフランジ応力解析モデル	(ロ)－A－ 51
(ロ)－第A. 16 図	カバーフランジ部材断面係数解析モデル	(ロ)－A－ 53
(ロ)－第A. 17 図	輸送容器上部又は下部固縛要領図	(ロ)－A－ 54

図 リ ス ト (3 / 6)

(ロ)－第A. 18 図	緩衝体の受圧面積	(ロ)－A－ 55
(ロ)－第A. 19 図	横梁解析モデル	(ロ)－A－ 56
(ロ)－第A. 20 図	縦梁解析モデル	(ロ)－A－ 57
(ロ)－第A. 21 図	締付けボルト解析モデル	(ロ)－A－ 57
(ロ)－第A. 22 図	横梁溶接部解析モデル	(ロ)－A－ 61
(ロ)－第A. 23 図	縦梁溶接部解析モデル	(ロ)－A－ 62
(ロ)－第A. 24 図	中央部固縛装置横方向荷重解析モデル	(ロ)－A－ 64
(ロ)－第A. 25 図	サドルサポート溶接部解析モデル	(ロ)－A－ 67
(ロ)－第A. 26 図	振動解析モデル	(ロ)－A－ 71
(ロ)－第A. 27 図	1次モード係数	(ロ)－A－ 72
(ロ)－第A. 28 図	バスケット振動解析モデル	(ロ)－A－ 73
(ロ)－第A. 29 図	一般の試験条件下における輸送容器本体応力評価位置	(ロ)－A－ 79
(ロ)－第A. 30 図	内胴中央部応力解析モデル	(ロ)－A－ 80
(ロ)－第A. 31 図	本体蓋解析モデル	(ロ)－A－ 81
(ロ)－第A. 32 図	本体蓋Oリング部変位の解析モデル	(ロ)－A－ 83
(ロ)－第A. 33 図	緩衝材の形状及び配置	(ロ)－A－ 92
(ロ)－第A. 34 図	下部緩衝体変形状態	(ロ)－A－ 94
(ロ)－第A. 35 図	輸送容器水平落下解析モデル	(ロ)－A－ 95
(ロ)－第A. 36 図	下部蓋締付けボルト	(ロ)－A－ 97
(ロ)－第A. 37 図	0.9 m水平落下時下部蓋締付けボルト解析モデル	(ロ)－A－ 97
(ロ)－第A. 38 図	上部蓋締付けボルト	(ロ)－A－ 99
(ロ)－第A. 39 図	0.9 m水平落下時上部蓋締付けボルト解析モデル	(ロ)－A－ 99
(ロ)－第A. 40 図	シャッタ蓋解析モデル	(ロ)－A－101
(ロ)－第A. 41 図	シャッタ蓋解析モデル	(ロ)－A－103
(ロ)－第A. 42 図	被覆材の曲げ応力解析モデル	(ロ)－A－104
(ロ)－第A. 43 図	接続部変位解析モデル	(ロ)－A－105
(ロ)－第A. 44 図	収納缶本体曲げ応力解析モデル	(ロ)－A－107
(ロ)－第A. 44a 図	収納缶本体応力解析モデル	(ロ)－A－108
(ロ)－第A. 44b 図	収納缶脚の解析モデル	(ロ)－A－109
(ロ)－第A. 44c 図	照射用ロッドの解析モデル	(ロ)－A－110
(ロ)－第A. 44d 図	収納缶本体応力解析モデル	(ロ)－A－111
(ロ)－第A. 45 図	0.9 m垂直落下解析モデル	(ロ)－A－113
(ロ)－第A. 46 図	0.9 m垂直落下時輸送容器に生ずる応力解析モデル	(ロ)－A－117
(ロ)－第A. 47 図	サポートリング解析モデル	(ロ)－A－121

図 リ ス ト (4/6)

(ロ)－第A. 48 図	下部蓋解析モデル	(ロ)－A－122
(ロ)－第A. 49 図	上部蓋解析モデル	(ロ)－A－123
(ロ)－第A. 50 図	バスケット吊金具部解析モデル	(ロ)－A－124
(ロ)－第A. 51 図	サーベイランスキャプセル被覆材断面積	(ロ)－A－127
(ロ)－第A. 52 図	収納缶脚圧縮応力解析モデル	(ロ)－A－128
(ロ)－第A. 52a 図	収納缶本体の解析モデル	(ロ)－A－129
(ロ)－第A. 52b 図	収納缶蓋板の解析モデル	(ロ)－A－130
(ロ)－第A. 52c 図	収納缶脚の解析モデル	(ロ)－A－131
(ロ)－第A. 52d 図	照射用ロッドの解析モデル	(ロ)－A－132
(ロ)－第A. 52e 図	収納缶本体の解析モデル	(ロ)－A－133
(ロ)－第A. 53 図	コーナ落下緩衝体の解析モデル	(ロ)－A－134
(ロ)－第A. 54 図	横置き状態解析モデル	(ロ)－A－143
(ロ)－第A. 55 図	縦置き状態解析モデル	(ロ)－A－145
(ロ)－第A. 56 図	貫通モデル	(ロ)－A－148
(ロ)－第A. 57 図	せん断モデル	(ロ)－A－148
(ロ)－第A. 58 図	9 m垂直落下解析モデル	(ロ)－A－155
(ロ)－第A. 59 図	緩衝材の形状及び配置	(ロ)－A－161
(ロ)－第A. 60 図	緩衝体変形状態	(ロ)－A－162
(ロ)－第A. 61 図	シャッタフランジ部コーナ緩衝体変形量	(ロ)－A－164
(ロ)－第A. 62 図	コーナ落下緩衝体の解析モデル	(ロ)－A－171
(ロ)－第A. 63 図	輸送容器に生ずる曲げ応力解析モデル	(ロ)－A－181
(ロ)－第A. 64 図	水平落下時のシャッタ蓋部への落下姿勢	(ロ)－A－183
(ロ)－第A. 65 図	シャッタ蓋に生ずるせん断応力解析モデル	(ロ)－A－183
(ロ)－第A. 66 図	水平落下時の上部蓋部への落下姿勢	(ロ)－A－184
(ロ)－第A. 67 図	上部蓋のはめ込み形状	(ロ)－A－186
(ロ)－第A. 68 図	熱的試験条件下における容器本体応力評価位置	(ロ)－A－190
(ロ)－第A. 69 図	ボルト・ナット結合体に作用する力の釣合い	(ロ)－A－200
(ロ)－第A. 70 図	締付け線図	(ロ)－A－201
(ロ)－第A. 71 図	普通ボルト	(ロ)－A－201
(ロ)－第A. 72 図	被締付け物の形状	(ロ)－A－202
(ロ)－第A. 73 図	緩衝体の変形	(ロ)－A－204
(ロ)－第A. 74 図	$\frac{WH}{\sigma_{cal} R^2} = f(\delta_H / R)$	(ロ)－A－205
(ロ)－第A. 75 図	落下状態図	(ロ)－A－207

図 リ ス ト (5 / 6)

(ロ) - 第A. 76 図	潰れ部分モデル	(ロ) - A - 207
(ロ) - 第A. 77 図	$V_n = \frac{V}{R^3} = \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\}$ の関係	(ロ) - A - 209
(ロ) - 第A. 78 図	原型モデルの概略図	(ロ) - A - 211
(ロ) - 第B. 1 図	一般の試験条件下輸送容器ノード分割図	(ロ) - B - 9
(ロ) - 第B. 2 図	特別の試験条件下輸送容器ノード分割図	(ロ) - B - 14
(ロ) - 第B. 3 図	特別の試験条件下輸送容器各部温度変化	(ロ) - B - 19
(ロ) - 第B. 4 図	TRUMP フローチャート (1/3) ~ (3/3)	(ロ) - B - 26
(ロ) - 第B. 5 図	外筒変形の影響解析モデル	(ロ) - B - 33
(ロ) - 第B. 6 図	断熱材厚さ減少による外胴温度の変化	(ロ) - B - 37
(ロ) - 第B. 7 図	水平落下状態図	(ロ) - B - 39
(ロ) - 第B. 8 図	緩衝体損傷モデル	(ロ) - B - 40
(ロ) - 第B. 9 図	緩衝体損傷モデル詳細	(ロ) - B - 41
(ロ) - 第B. 10 図	シャッタ蓋部熱解析モデル	(ロ) - B - 42
(ロ) - 第B. 11 図	耐火試験時、シャッタ蓋Oリング部温度分布計算結果	(ロ) - B - 46
(ロ) - 第D. 1 図	輸送容器概略形状図	(ロ) - D - 2
(ロ) - 第D. 2 図	R C C ロッド	(ロ) - D - 14
(ロ) - 第D. 3 図	半径方向遮蔽解析モデル (円筒形状)	(ロ) - D - 15
(ロ) - 第D. 4 図	軸方向遮蔽解析モデル (円筒形状)	(ロ) - D - 16
(ハ) - 第A. 1 図	収納物装荷フローチャート	(ハ) - A - 7
(ハ) - 第A. 2 図	収納物取出しフローチャート	(ハ) - A - 8
(ハ) - 第A. 3 図	輸送容器取扱い状態図	(ハ) - A - 9
(参) - 第A. 1 図	MS - 1 型輸送容器製作工程	(参) - A - 4
(参) - 第A. 2 図	輸送容器本体詳細図	(参) - A - 15
(参) - 第A. 3 図	バスケット詳細図	(参) - A - 16
(参) - 第A. 4 図	継手形状図 (1/7) ~ (7/7)	(参) - A - 17 ~ 23
(参) - 第A. 5 図	輸送容器鉛充填作業及び検査フローダイヤグラム	(参) - A - 28

図 リ ス ト (6 / 6)

(参)－第B. 1 図	鉛鑄込み前、外胴耐圧検査概要	(参)－B－ 10
(参)－第B. 2 図	輸送容器本体完成後内胴耐圧検査概要	(参)－B－ 11
(参)－第B. 3 図	蓋部Oリング気密漏えい検査概要	(参)－B－ 12
(参)－第B. 4 図	輸送容器内胴の気密漏えい検査概要	(参)－B－ 13
(参)－第B. 5 図	標準試験片による遮蔽厚さ確認試験	(参)－B－ 15
(参)－第B. 6 図	試験体の測定配置	(参)－B－ 16
(参)－第B. 7 図	トラニオン吊上げ荷重検査要領	(参)－B－ 19
(参)－第C. 1 図	輸送容器の製作スケジュール	(参)－C－ 2
(参)－第D. 1 図	製作・品質管理組織	(参)－D－ 2

イ章 核燃料輸送物の説明

イ章 A. 目的及び条件

(イ) 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

原子力発電所（PWR型）の原子炉容器内に納められたサーベイランスキャプセル、収納缶に収納された非核燃料炉心構成品のロッド及び被覆管である制御棒（以下RCCロッドと呼ぶ）、二次中性子源棒（以下SSロッドと呼ぶ）及び被覆管（以下NFBC被覆管と呼ぶ）、収納缶に収納されたバツフルフォーマボルト、照射サンプル及び照射用ロッド並びに収納缶に収納されたシンプルチューブを材料検査のために原子力発電所からMHI原子力研究開発株式会社へ輸送することを目的とする。

- (2) 輸送容器の型名 : MS-1型
(3) 輸送物の型別 : BM型
(4) 輸送指数 : 8以下
(5) 輸送物の総重量 : 最大9600 kg（輸送架台含まず）

(6) 輸送容器の外形寸法

直径×全長（緩衝体含む） : 最大1.1 m×3.3 m

(7) 輸送容器の主要材料

- イ. 外筒 : ステンレス鋼
ロ. 内筒 : ステンレス鋼
ハ. 蓋 : ステンレス鋼
ニ. バスケット : ステンレス鋼
ホ. ガンマ線遮蔽体 : 鉛
ヘ. 断熱材 : キャスタブル（酸化アルミニウム）
ト. 緩衝体 : 鋼板被覆の木材（バルサ及び米杉）

(8) 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様

核燃料物質の仕様を（イ）-第A.1表に示す。

- (9) 輸送形態 : 陸上輸送の場合にはトレーラまたはトラック輸送とし、海上輸送の場合には貨物船を使用し、いずれも専用積載で行われる。
(10) 冷却方法 : 自然空気冷却

- (11) 使用予定年数 : 60年
(12) 輸送容器の使用予定回数 : 300回

(イ) - 第A.1表 核燃料物質等の仕様

収納物タイプ	タイプⅠ	タイプⅡ	タイプⅢ	タイプⅣ	タイプⅤ	タイプⅥ	タイプⅦ	タイプⅧ
項目	サーベイランス キャプセル	RCCロッド 及び収納缶	SSロッド 及び収納缶	NFBC被覆管 及び収納缶	バッフルフォーマボルト 及び収納缶		照射サンプル 及び照射用ロッド	シンプルチューブ 及び収納缶
種類								
重量 (kg 以下/容器)								
放射能の量 (Bq 以下/容器)								
性状								
濃縮度								
燃焼度								
発熱量 (W以下/容器)								
冷却日数 (日以上)								
照射時間 (年以下)								
収納体数 (体以下)								

(イ) - A-3

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

イ章 B. 核燃料輸送物の種類

(イ) - B 核燃料輸送物の種類

(1) 輸送物の型別としての要件

本輸送容器に収納される核燃料物質の放射能の量が (イ) - 第 B.1 表より A_2 値を超えることより、輸送物としては、BM型の要件に該当する。

ただし、 A_2 値の十万倍を超えることはない。

(2) 核分裂性輸送物としての要件

本輸送容器に核分裂性核種を収納しないため該当せず。

したがって、本輸送物は「BM型輸送物」である。

(イ) - 第B.1表 収納放射能の量とA₂値との比較

核種	収納物の タイプ	タイプII	A ₂ 値 (Bq)	比率
	種類	5		
	名称	RCC ロッドB (Bq)		
Mn ⁵⁴			1×10 ¹²	
Co ⁵⁸			1×10 ¹²	
Co ⁶⁰			4×10 ¹¹	
Fe ⁵⁹			9×10 ¹¹	
Cr ⁵¹			3×10 ¹³	
Mo ⁹⁹			6×10 ¹¹	
Ag ^{108m}			7×10 ¹¹	
Ag ^{109m}			5×10 ¹¹	
Ag ^{110m}			4×10 ¹¹	
Cd ¹⁰⁹			2×10 ¹²	
Cd ¹¹⁵			4×10 ¹¹	
Cd ^{115m}			5×10 ¹¹	
In ^{114m}			5×10 ¹¹	
In ¹¹⁴			5×10 ¹¹	
合計放射能強度 (Bq/2体)			比率計	: 3.01×10 ²

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

イ章 C. 輸 送 容 器

(イ) - C 輸送容器

C.1 輸送容器の概要

本輸送容器は、本体、蓋、緩衝体及びバスケットより構成される。

収納物が輸送容器内に収納されている状態の鳥瞰図を (イ) - 第 C.1 図 に示し、輸送容器の断面図を (イ) - 第 C.2 図 に示す。

本輸送容器は、収納物の装荷、取出しなどの取扱い時には縦置きとするが、輸送時には、その荷姿を (イ) - 第 C.3 図 に示すように横置きとする。

C.2 構造

C.2.1 本体 ((イ) - 第 C.2 図 参照)

本体の主要構成物は、内胴、外胴、外筒、鉛、断熱材、上部ブロック及びトラニオンである。

内胴は、外径 216.3mm、肉厚 12.7mm 及び 18.2mm のステンレス鋼管により製作される。内胴は肉厚 10mm のステンレス鋼板により製作された上部ブロック受け、シャッタハウジング及び下部ブロック受け並びにこれらに溶接されたステンレス鋼鍛鋼品の各フランジと共に輸送容器の密封境界を構成する。

外胴は、ステンレス鋼板を板曲げにより製作したもので外径 620mm、肉厚 15mm の円筒であり、前述の各フランジに溶接される。

外筒は、外胴と同様の方法で製作され、外径 720mm、肉厚 10mm の円筒である。この外筒と外胴の間には水蒸気により圧力が生じるので、外筒及び外胴の保護のため外筒及び断熱材両端のサポートリングに溶融栓 () が設けられる。

上部ブロックは輸送容器の軸方向のガンマ線遮蔽のためのもので、上部ブロック受けで支えられ、フランジ面でキーププレートにて固定される。(イ) - 第 C.5 図 参照)

輸送容器本体には 2 組のトラニオン (容器上部、下部に各 1 組) があり、輸送容器の取扱い時に用いられる。(イ) - 第 C.9 図 参照)

トラニオンはステンレス鋼鍛鋼品で本体に溶接される。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

C.2.2 蓋(イ)－第C.2図を参照)

この輸送容器には、上部、下部及びシャッタ部と開口部が3箇所ある。これらの開口部には、(イ)－第C.4図に示す密封境界を構成するため、上部蓋、下部蓋、シャッタ蓋が取付けられる。これらの蓋は、締付ボルトにより本体に固定される。蓋と本体フランジの接合部は本体側に設けられた2条のOリングにより密封性が確保されるようになっている。

上部蓋は、(イ)－第C.6図に示す様に外径620mm、肉厚50mmのステンレス鋼鍛鋼品であり、により本体に固定される。

下部蓋は、(イ)－第C.8図に示す様に外径440mm、肉厚50mmのステンレス鋼鍛鋼品で内側にガンマ線遮蔽用の下部ブロックを有し、
により本体に固定される。また、下部蓋には輸送容器の気密漏洩検査時に必要な気密漏洩検査孔があり、通常この孔には検査孔蓋が取付けられ、2条のOリングで密封性が保たれる。

シャッタ蓋は、(イ)－第C.7図に示す様に外径460mm、肉厚50mmのステンレス鋼鍛鋼品で、により固定される。

C.2.3 シャッタ

シャッタは、下部ブロックと共に下部方向のガンマ線遮蔽をなすもので、ステンレス鋼板製で内部に鉛が充填された円筒状のものである。その構造を(イ)－第C.10図に示す。

シャッタは、高さ455mm、胴部外径は270mmでバスケット出し入れ時にはシャッタ駆動装置を本体にボルトにて取付け、シャッタ駆動装置とシャッタを連結し、シャッタを開けることによってバスケットが出し入れできるようにする。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

C.2.4 バスケット

バスケットは、収納物を収納するもので、その構造を (イ) - 第 C.12 図 に示す。

バスケットはステンレス鋼鋼管製で、全長 1635mm、中央部で外径 114.3mm、肉厚 4mm、また両端部で外径 165.2mm、肉厚 5mm である。下端には肉厚 20mm の底板が取付けられる。

収納物は、ハンガを倒して上部からバスケットに収納され、取出す際は底板を開いて行う。

C.2.5 ハンガ

ハンガはバスケットを昇降させる際に用いられるものでバスケット吊金具、フック及びピンにてバスケットに接続される。その構造を (イ) - 第 C.11 図 に示す。ハンガはステンレス鋼製で高さ 297.5mm、底部外径 179mm の円錐状をしており、内部に鉛が充填され上部ブロックと共に軸方向のガンマ線遮蔽の役割も有する。バスケット昇降時には上部蓋を取外し、上部駆動装置を上部フランジに取付け、上部駆動装置の巻き上げワイヤロープをハンガ接続金具に接続させ、駆動装置によりバスケットを上下させる。

輸送時には、このハンガは上部ブロックにハンガ止め板にて固定した後、上部駆動装置を取外し上部蓋を取付ける。

C.2.6 緩衝体

落下等により輸送容器に加わる機械的衝撃を吸収して輸送容器本体を保護するために輸送容器の上・下部に緩衝体（外径 1084mm、長さ 995mm）が取付けられる。

(イ) - 第 C.13 図、(イ) - 第 C.14 図参照

これらの緩衝体は米杉とバルサとにより緩衝性能を出すため、その木目は落下方向に合わせて調整され、その外面はステンレス鋼板製のケースで覆われる。上部トラニオン部、下部トラニオン部及びシャッタ蓋部の緩衝体切欠き部にはカバー（バルサ充填）が挿入される。緩衝体の取付けは、外筒の取付ボスを使用してボルトにより固定される。

C.3 輸送容器の主要構成材料の材質及び寸法

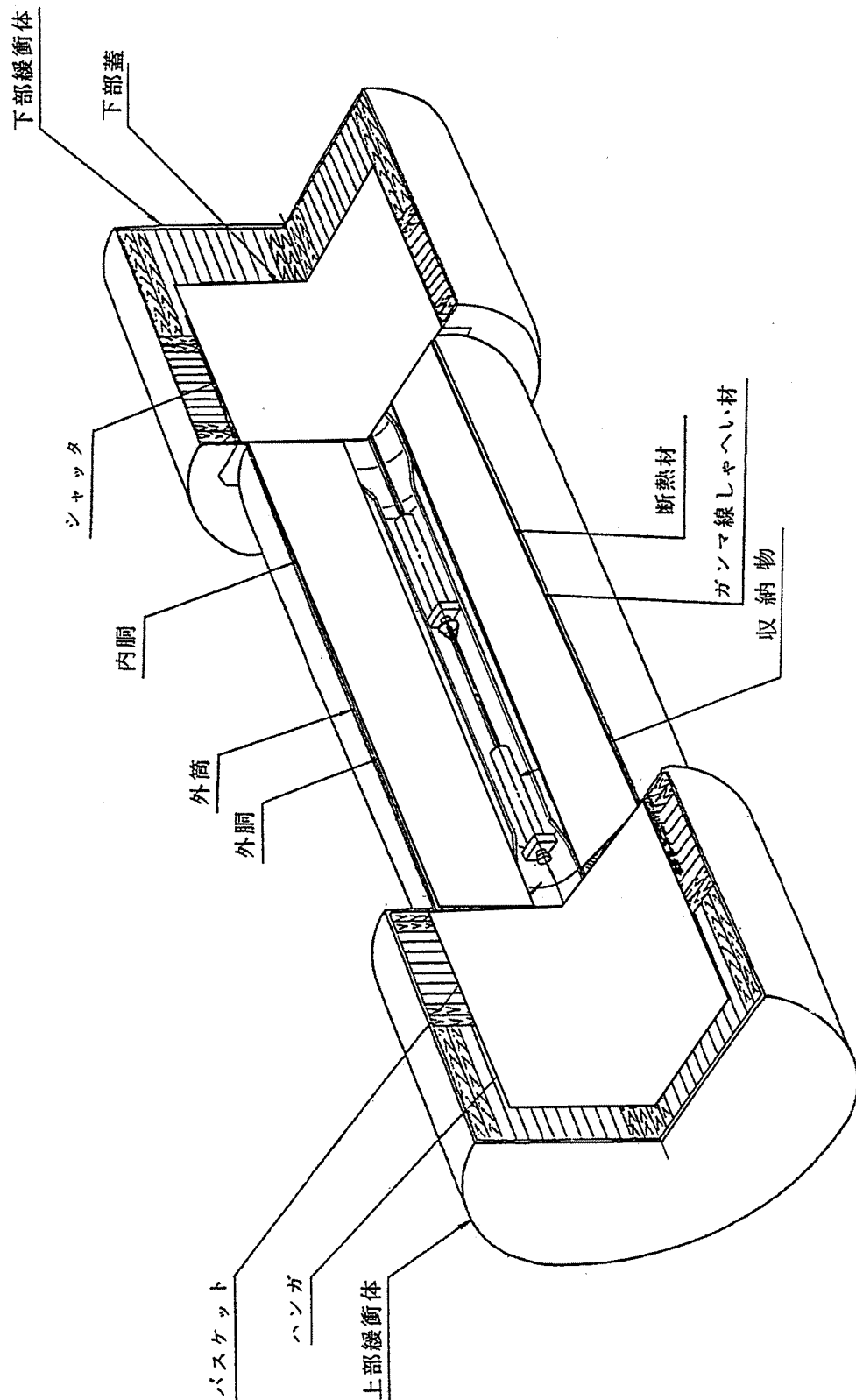
主要構成材料を (イ) - 第 C.1 表 に示し、寸法を (イ) - 第 C.2 表 に示す。

C.4 輸送容器の重量

輸送容器の重量を (イ) - 第 C.3 表 に示す。

C.5 密封境界

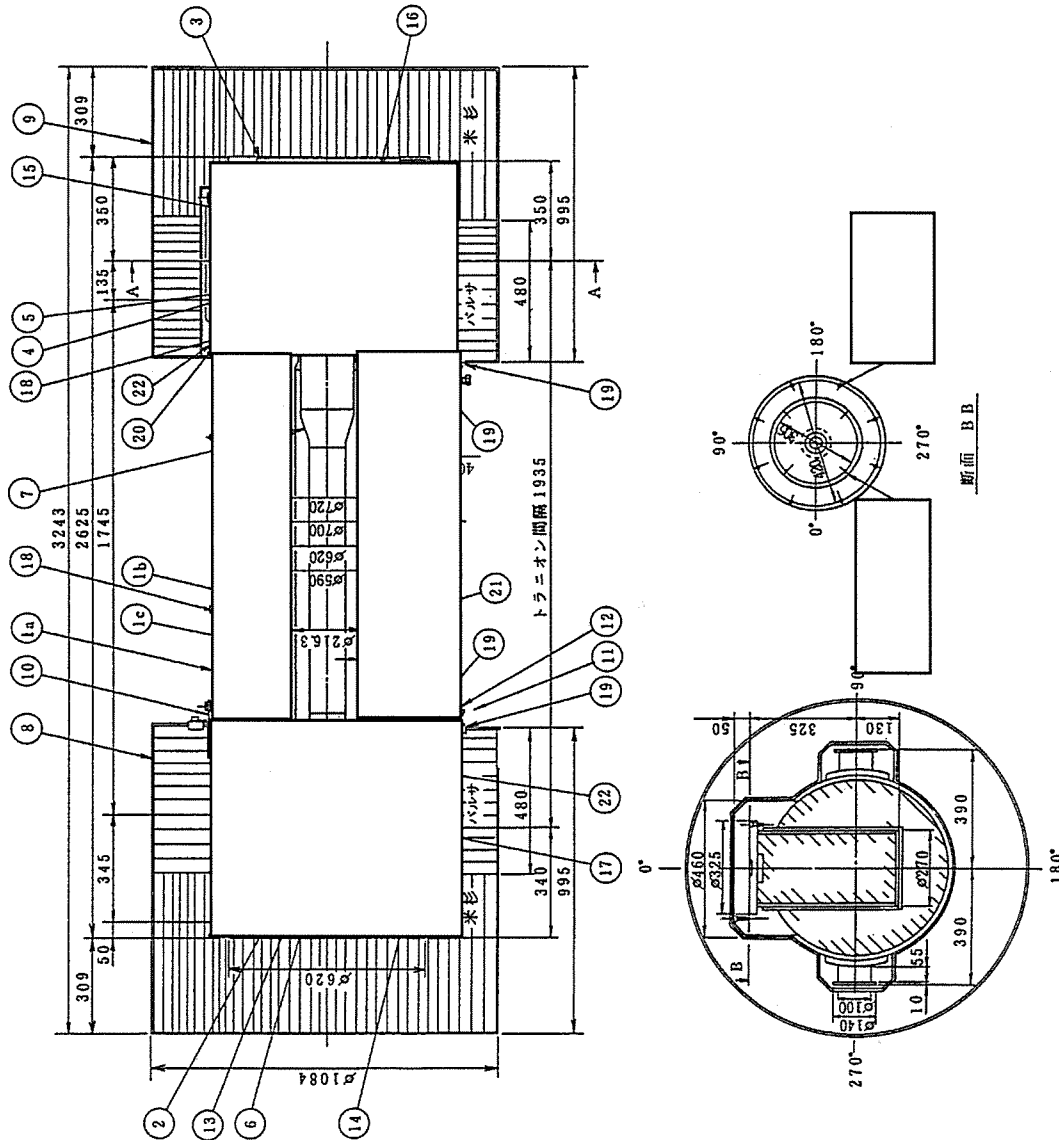
本輸送容器の密封境界は、(イ) - 第 C.4 図 に示すとおり 3 個所の本体と蓋の接合部で構成されており、各部の密封性は各々 2 条のエチレンプロピレンゴム製の O リングで保持される。



(イ) - 第C.1 図 MS-1 型輸送物鳥瞰図

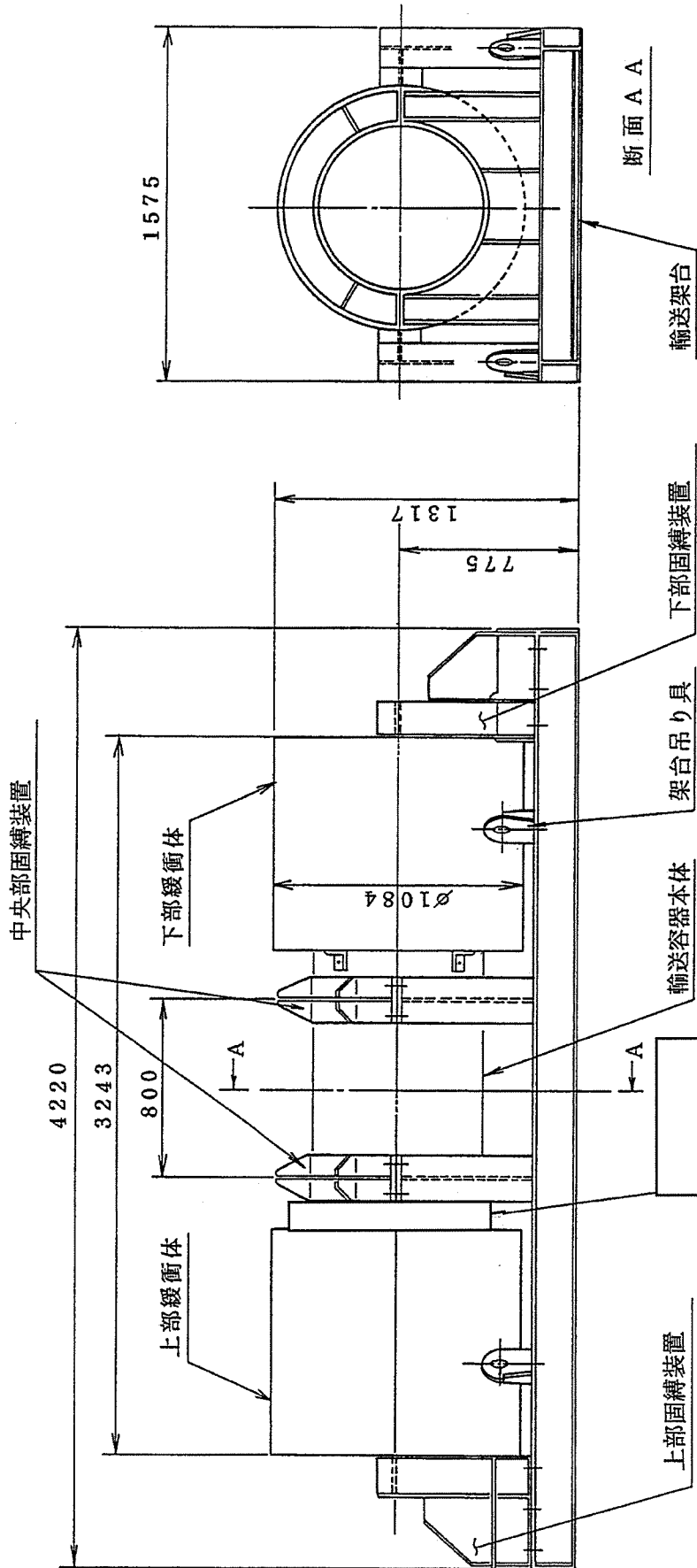
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

№	名称
1	本体
1a	筒
1b	筒
1c	筒
2	上部蓋
3	下部蓋
4	シャッタ
5	シャッタ蓋
6	ハスケット
7	バスケット
8	上部筒体
9	下部筒体
10	筒体固定金物
11	軌
12	軌
13	上部ブロック
14	オリング(2条)
15	オリング(2条)
16	オリング(2条)
17	トラニオン
18	筒
19	筒
20	断熱材サポートリング
21	断熱材
22	カバー



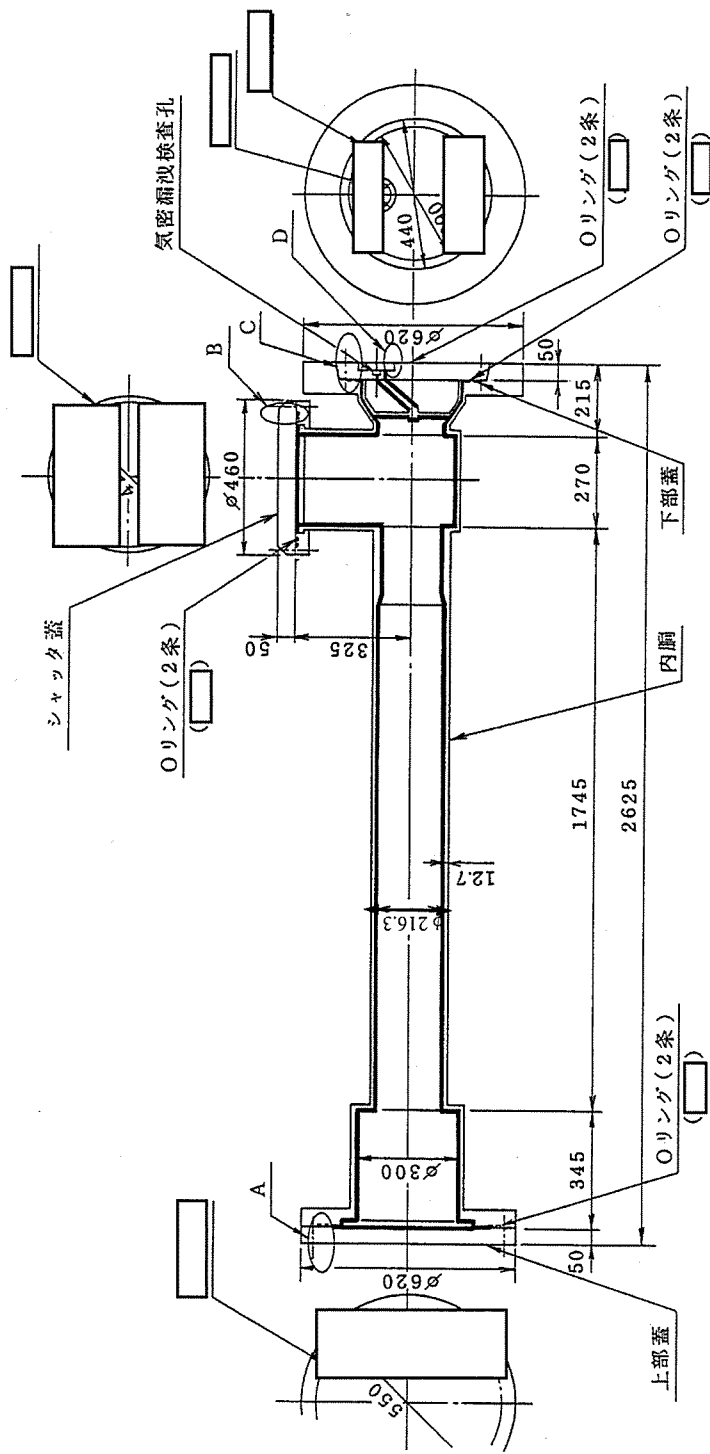
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 C.2 図 輸送容器組立図

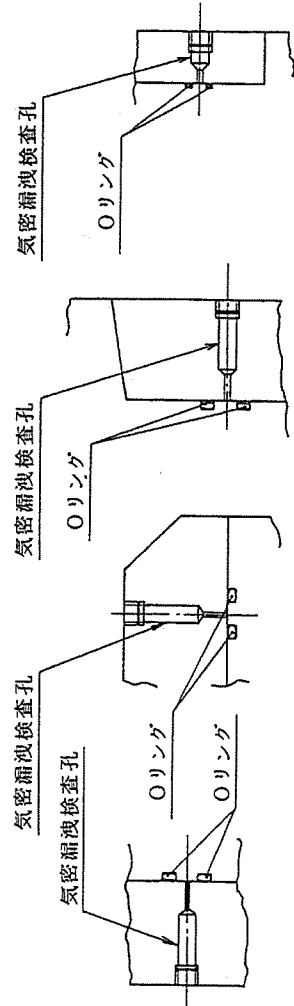


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(1) - 第C.3 図 輸送物輸送状態図



(注) 実線 (——) 部が密封境界を示す。



A部詳細

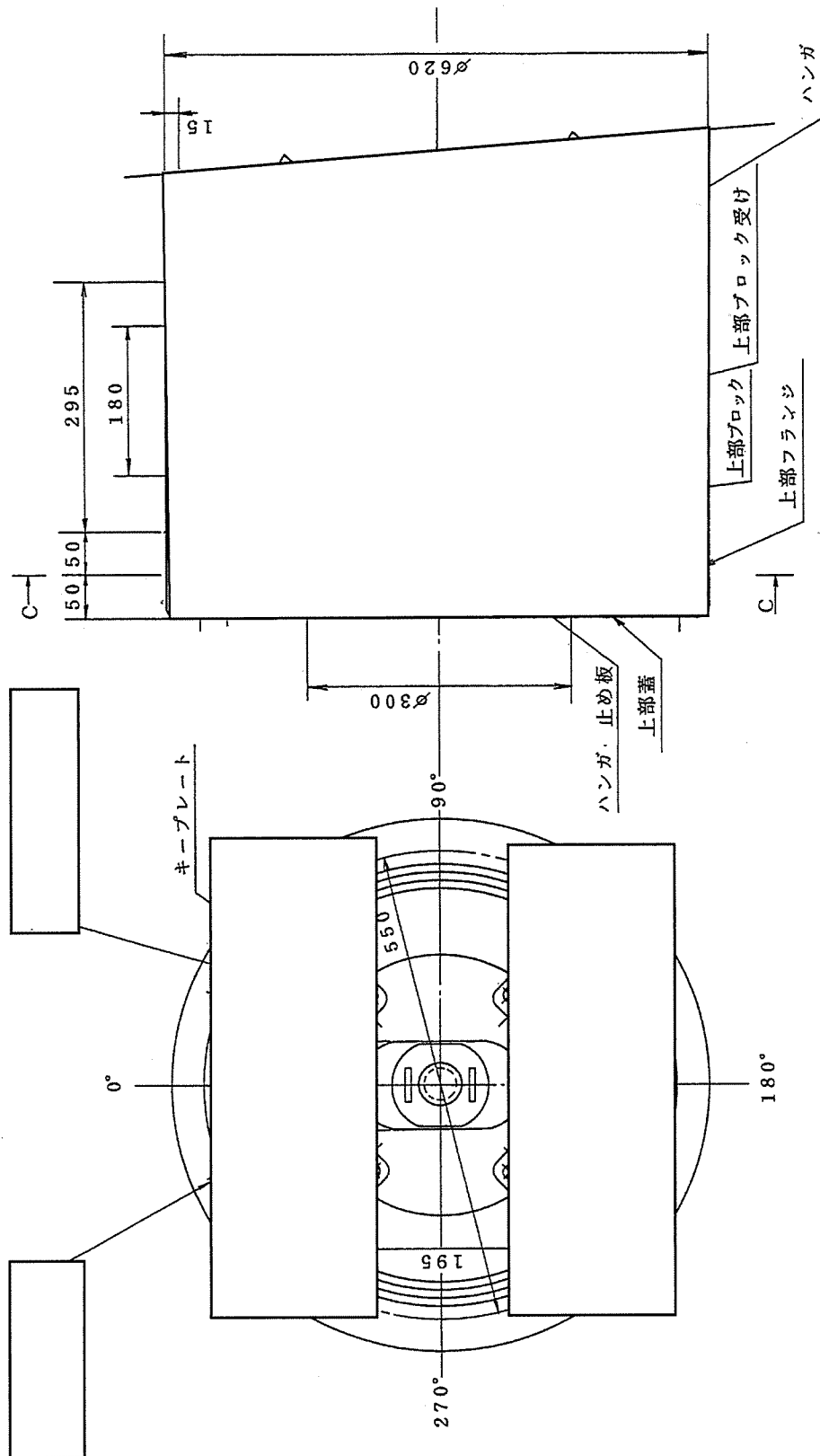
B部詳細

C部詳細

D部詳細

(イ) 第 C.4 図 輸送容器密封境界

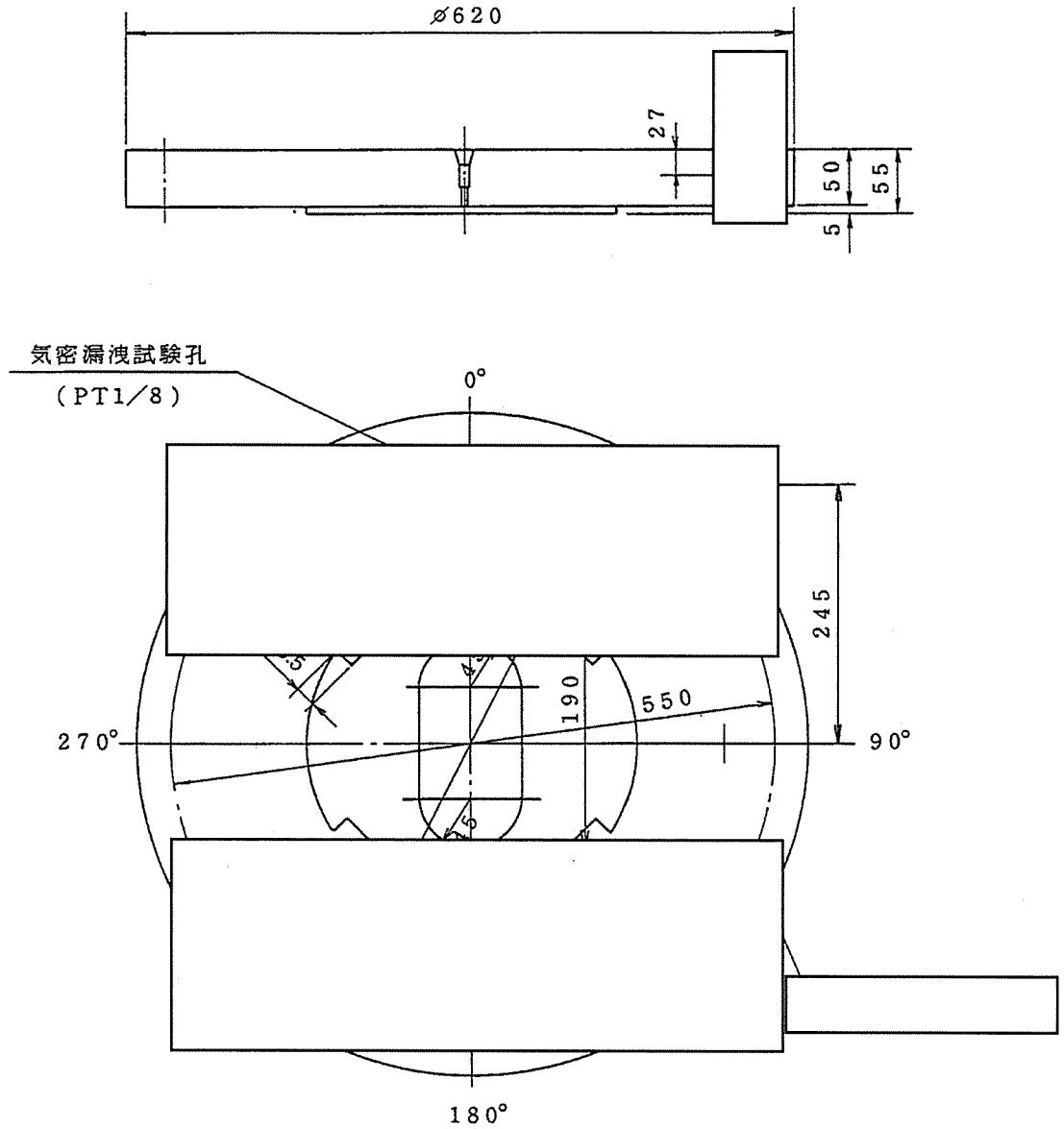
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



断面 C C

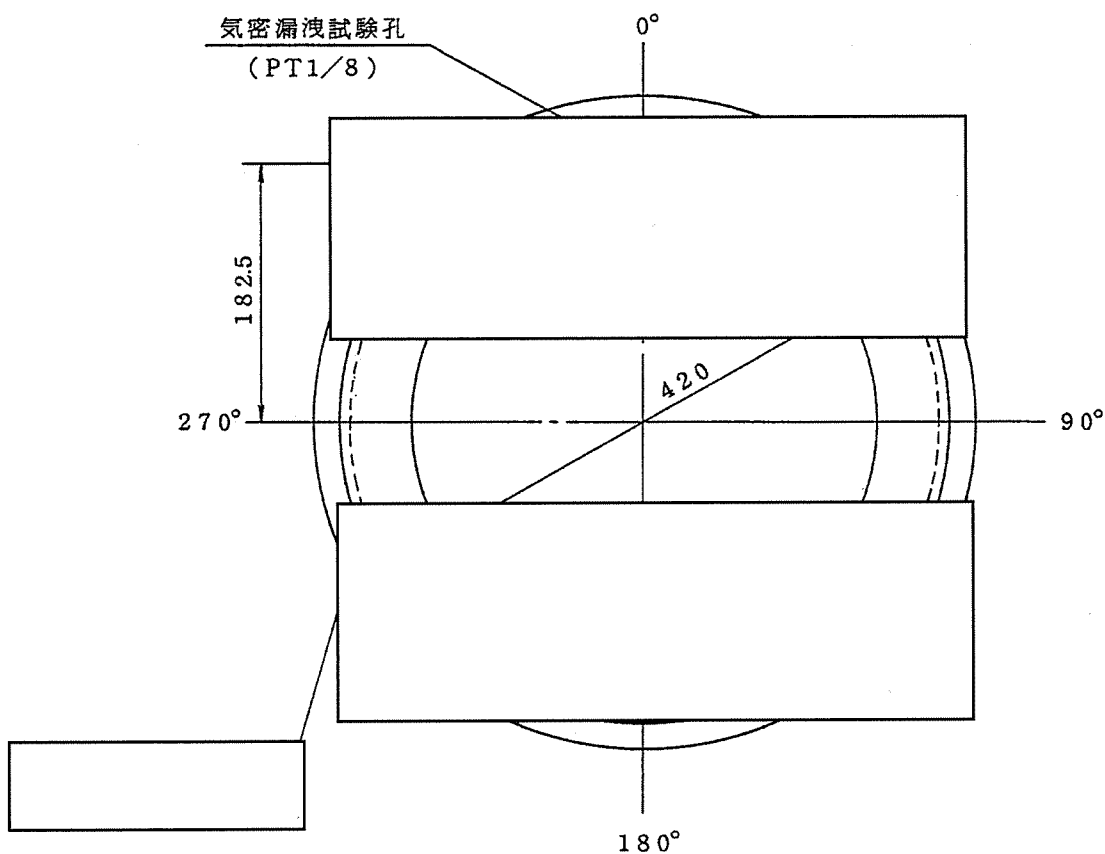
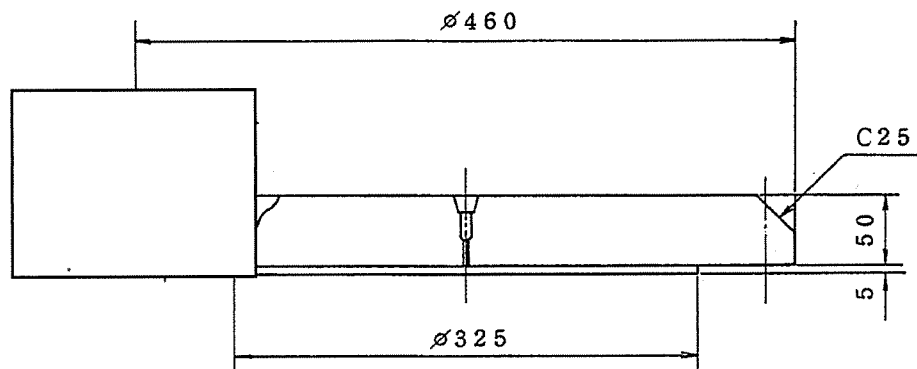
(イ) - 第 C.5 図 上 部 詳 細 図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



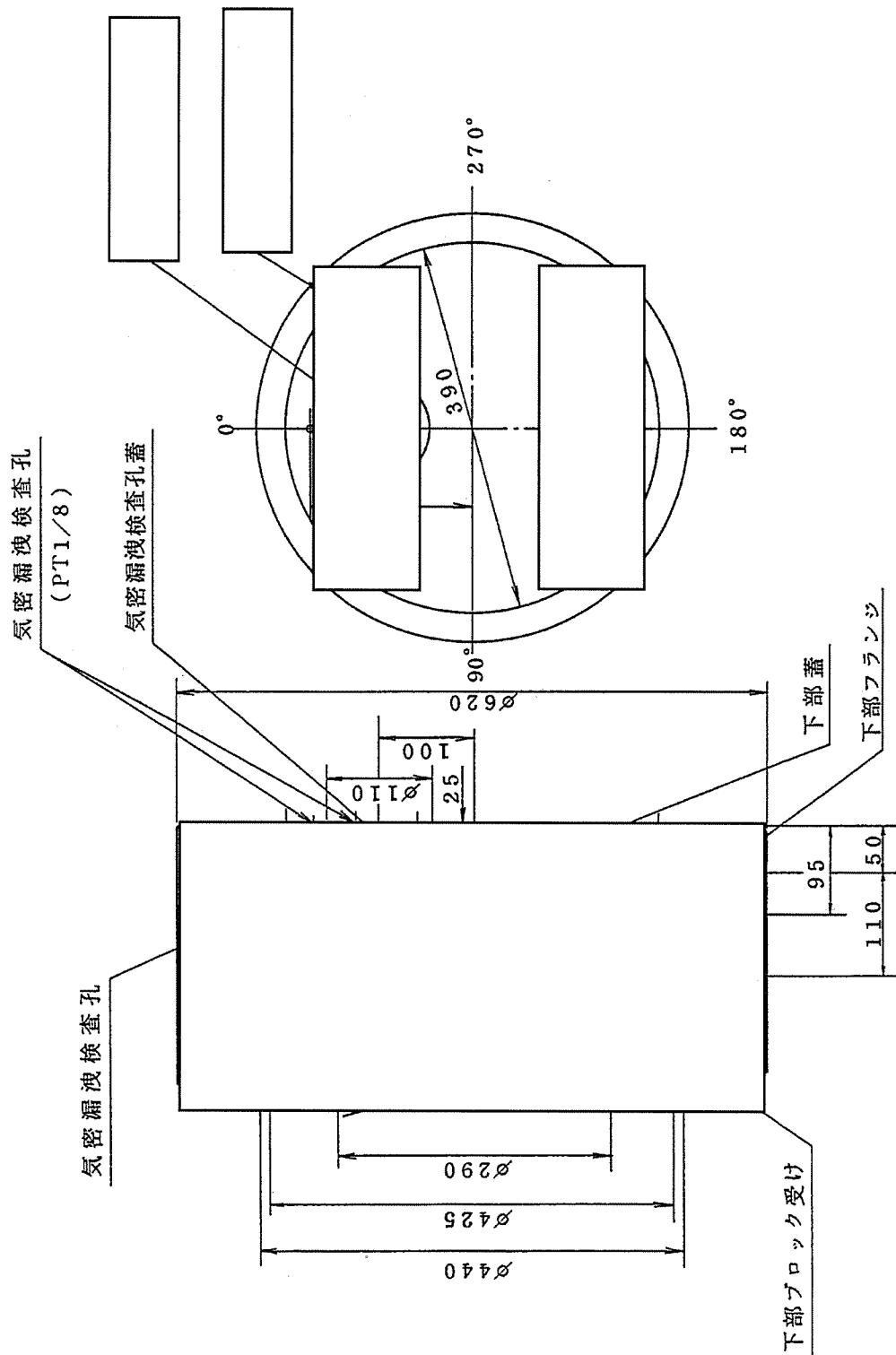
(イ) - 第C.6図 上 部 蓋

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



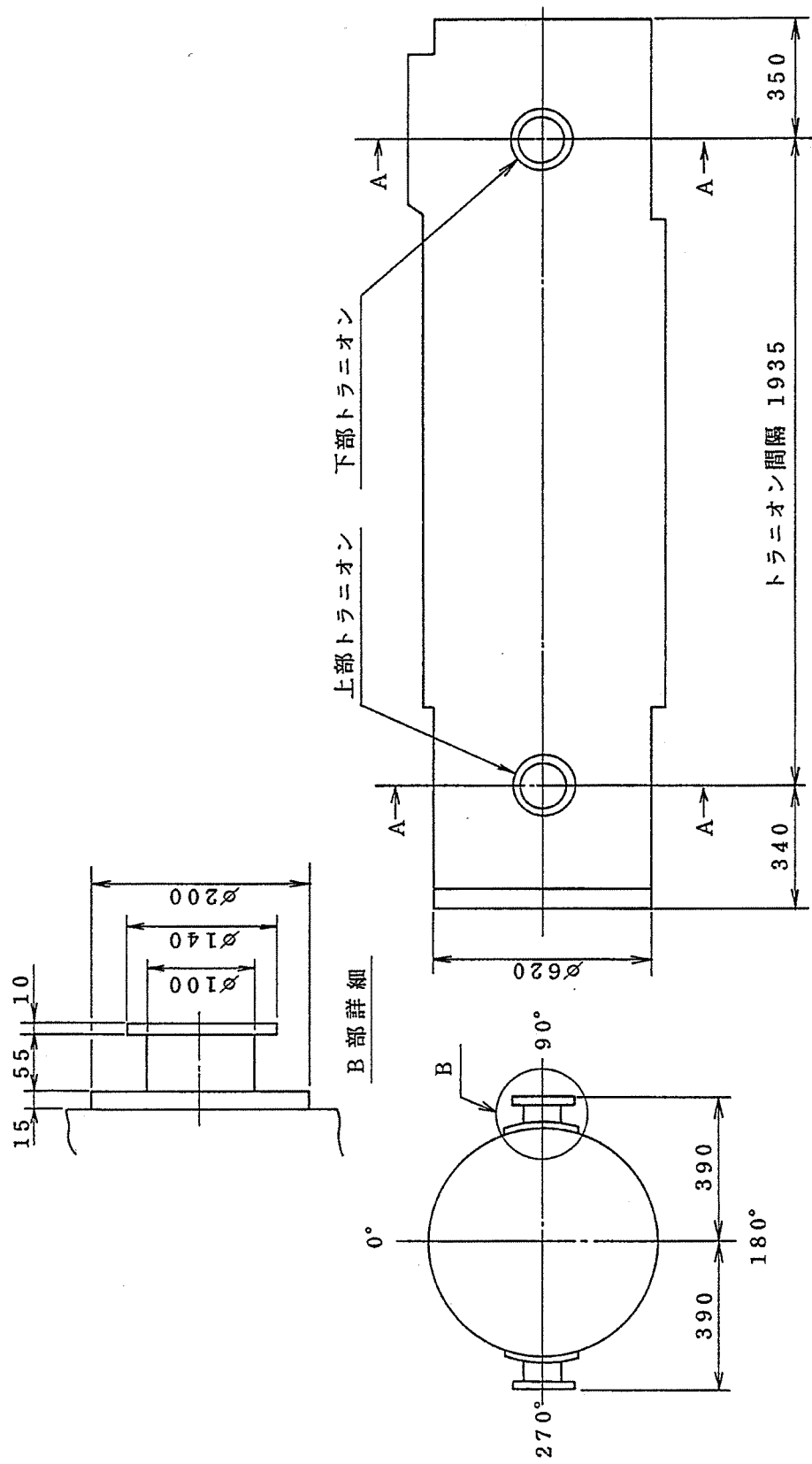
(イ) - 第C.7図 シャッタ蓋

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



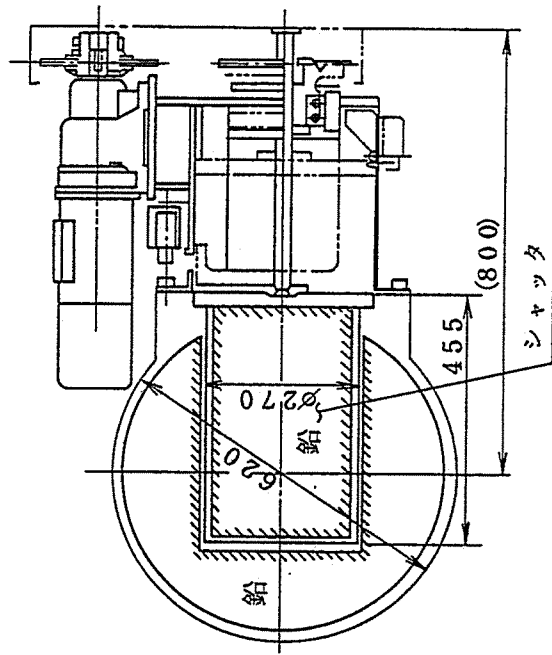
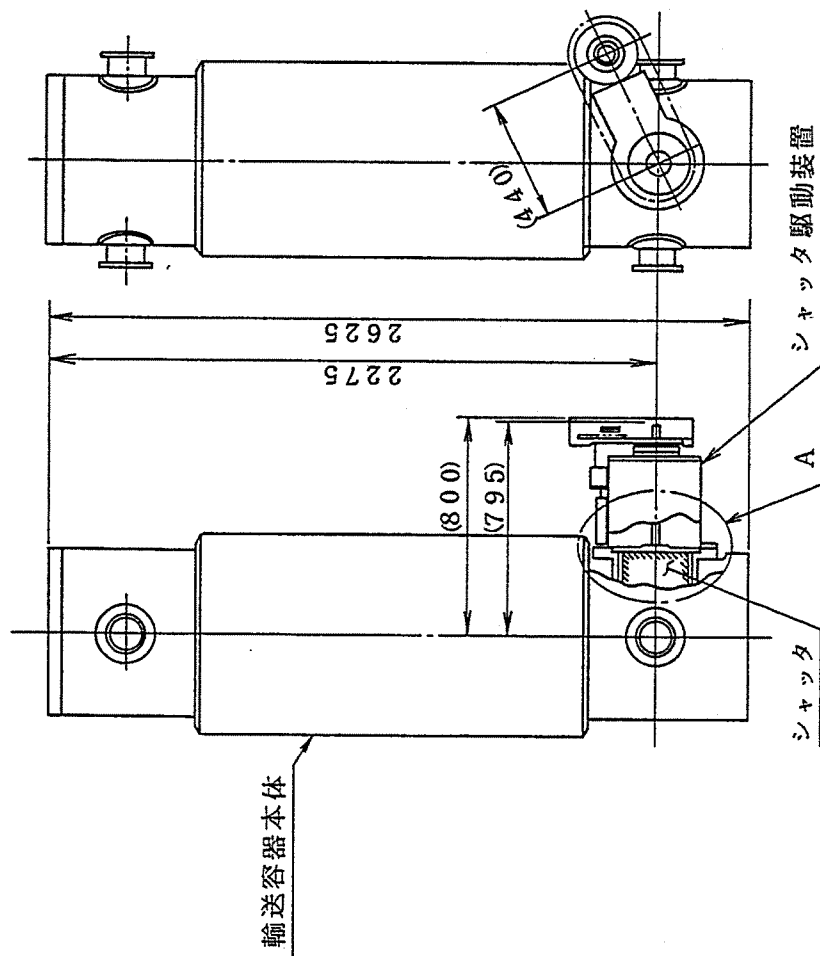
(イ) - 第C.8図 下部蓋

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



断面 A A

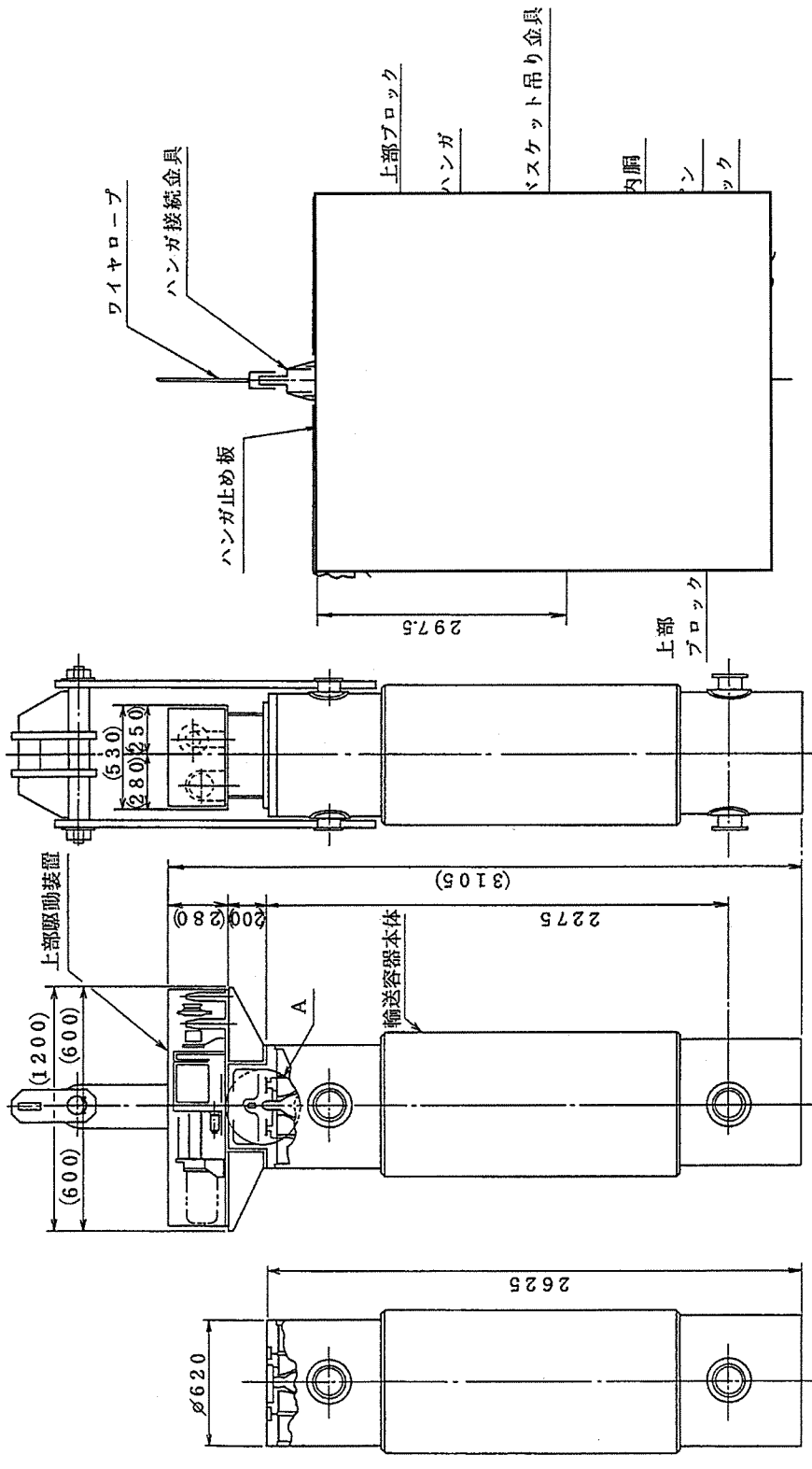
(イ) - 第 C.9 図 上部及び下部トラニオン



A 部詳細

(イ) - 第 C.10 図 シャフト駆動装置

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



A部詳細

輸送容器に上部駆動装置を

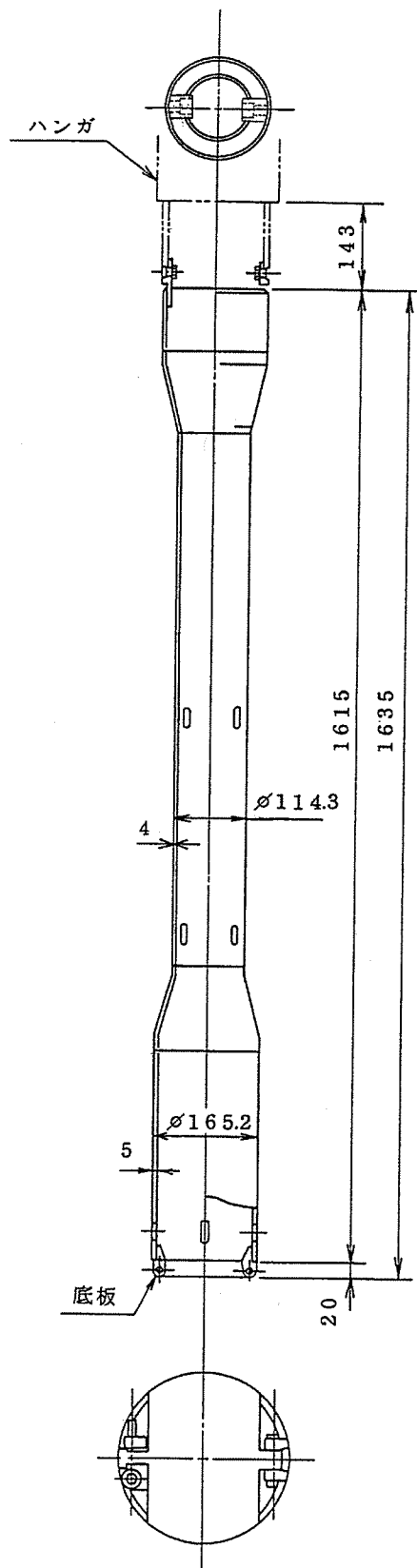
取付けた状態

輸送容器に上部駆動装置

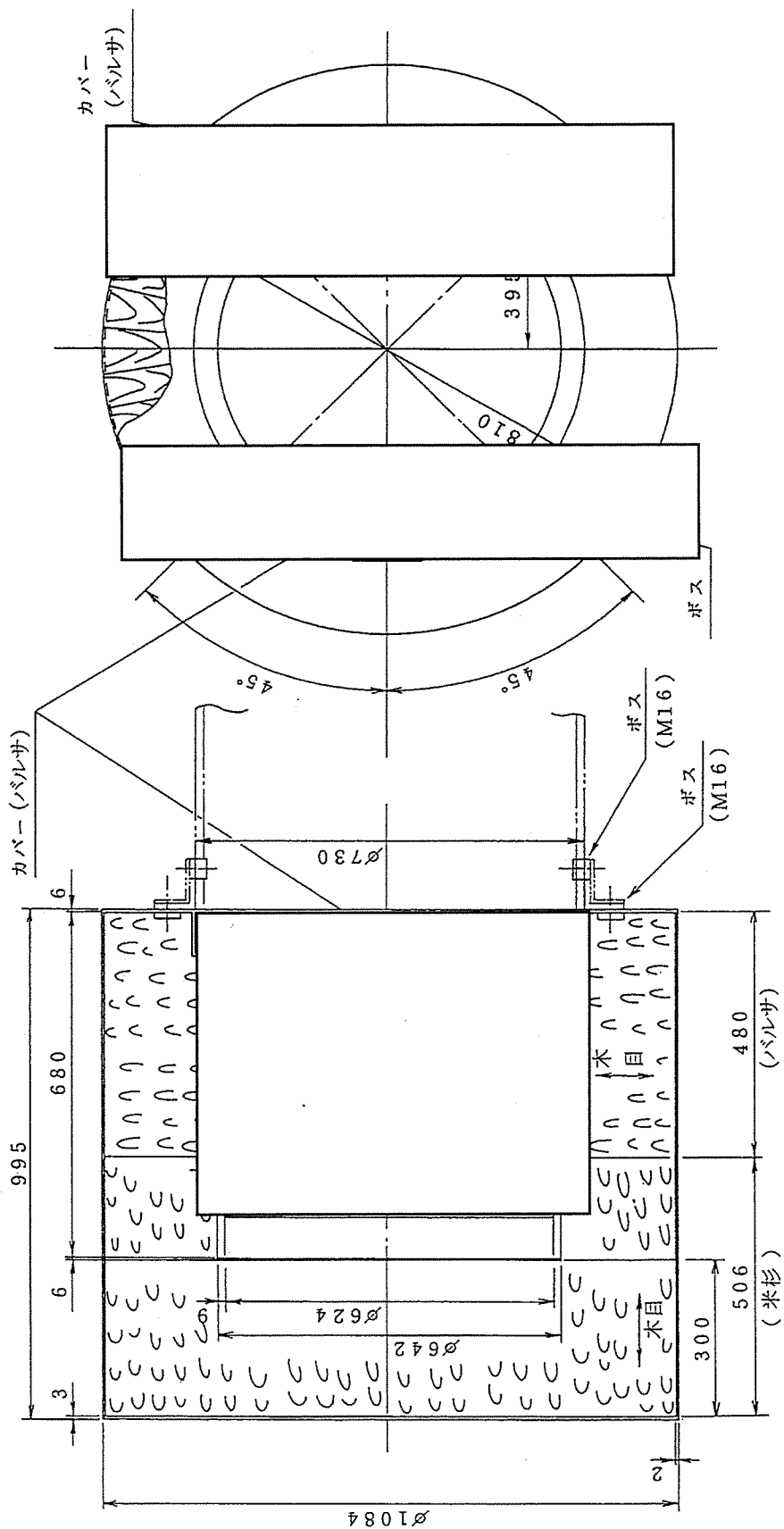
取付前の状態

(上部蓋取外)

(イ) - 第 C.11 図 上部駆動装置及びハンガ

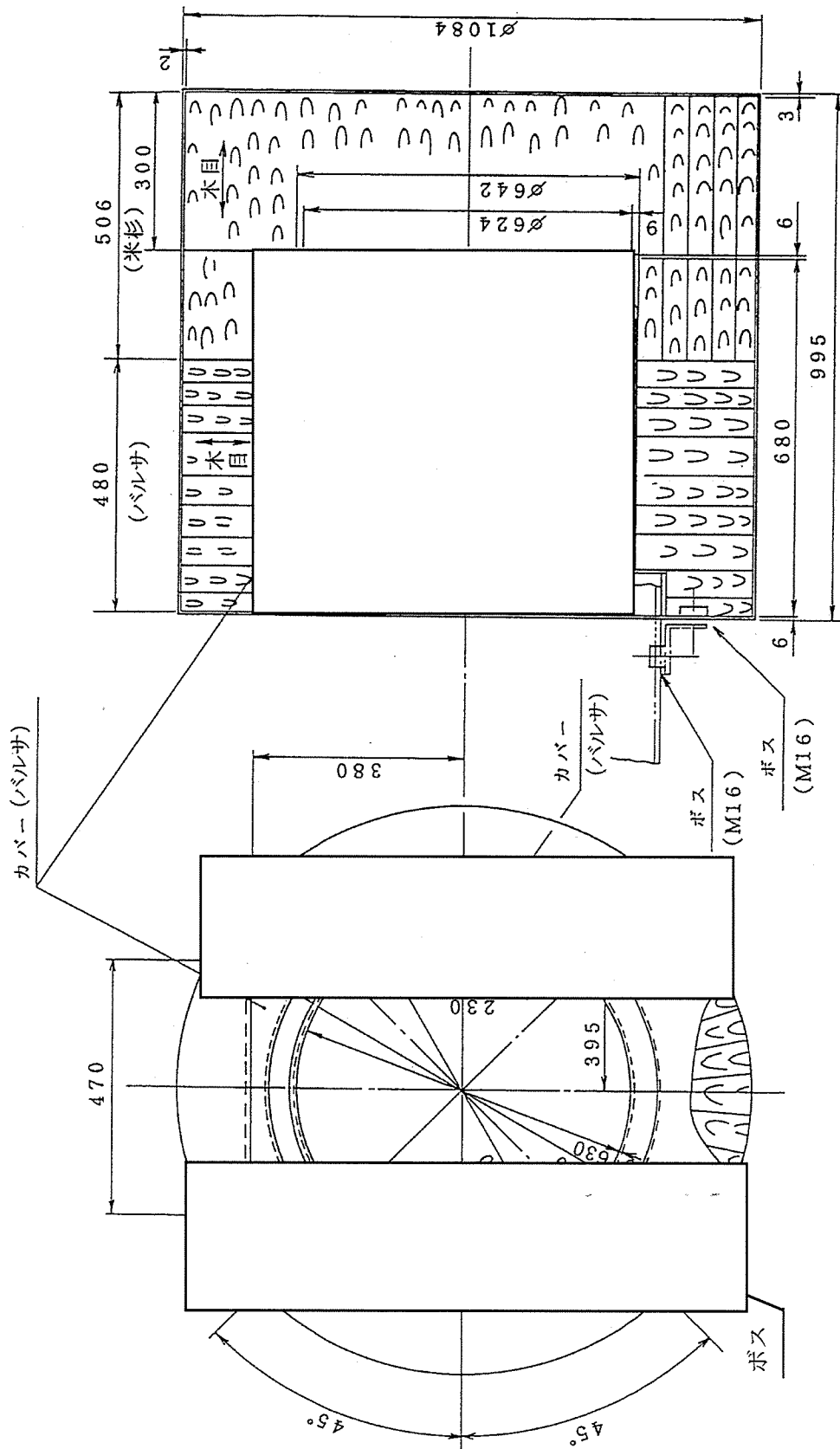


(イ) - 第 C. 12 図 バスケット構造図



(イ) - 第C.13図 上部緩衝体詳細図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 C.14 図 下部緩衝体詳細図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 C.1 表 輸送容器の主要材質 (1 / 2)

部 品	材 質	規 格
本 体		
内 胴	ステンレス鋼	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
外 胴	ステンレス鋼	
外 筒	ステンレス鋼	
上 部 フ ラ ン ジ	ステンレス鋼	
下 部 フ ラ ン ジ	ステンレス鋼	
シャッタフランジ	ステンレス鋼	
上部トラニオン	ステンレス鋼	
下部トラニオン	ステンレス鋼	
上部ブロック受け	ステンレス鋼	
下部ブロック受け	ステンレス鋼	
シャッタハウジング	ステンレス鋼	
上 部 ブ ロ ッ ク	ステンレス鋼、鉛	
ガンマ線遮蔽材	鉛	
断 熱 材	キャストブル		メーカー標準
蓋 部		
上 部 蓋	ステンレス鋼	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
下 部 蓋	ステンレス鋼	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 C.1 表 輸送容器の主要材質 (2 / 2)

部 品	材 質	規 格
下部ブロック	ステンレス鋼, 鉛	メーカー標準
シャッタ蓋 蓋締付ボルト	ステンレス鋼 低合金鋼	
オリング	エチレンプロピレンゴム	
<u>シャッタ</u>	ステンレス鋼, 鉛	メーカー標準
<u>バスケット</u>		
本 体	ステンレス鋼	メーカー標準
底 板	ステンレス鋼	メーカー標準
<u>ハンガ</u>	ステンレス鋼, 鉛	メーカー標準
<u>緩衝体</u>		
緩 衝 体	米杉及びバルサ	メーカー標準
緩衝体ケース	ステンレス鋼	メーカー標準

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第C.2表 輸送容器の寸法 (1/3)

部 品	寸 法 (mm)
<u>本 体</u>	
内 洞	
外 径	216.3
厚 さ	12.7/18.2
外 洞	
外 径	620
厚 さ	15
外 筒	
外 径	720
厚 さ	10
上部フランジ	
外 径	620
厚 さ	50
下部フランジ	
外 径	620
厚 さ	95
シャッタフランジ	
外 径	460
厚 さ (最小)	30
トラニオン (上部・下部)	
外 径	100
高 さ	65
ガンマ線遮蔽材 (鉛)	
厚 さ (最小)	180
断 熱 材	
厚 さ	40

(イ) - 第 C. 2 表 輸送容器の寸法 (2 / 3)

部 品	寸 法 (mm)
<u>蓋</u>	
上 部 蓋	
外 径	620
厚 さ	50
下 部 蓋	
外 径	440
厚 さ	50
シャッタ蓋	
外 径	460
厚 さ	50
<u>シャッタ</u>	
外 径 (円筒部)	270
高 さ	455
<u>バスケット</u>	
外 径 (中央部)	114.3
(両端部)	165.2
厚 さ (中央部)	4
(両端部)	5
全 長	1635
<u>ハンガ</u>	
外 径	179
高 さ	297.5
<u>緩衝体 (上部・下部)</u>	
外 径	1084
長 さ	995

(イ) - 第 C.2 表 輸送容器の寸法 (3 / 3)

部 品	寸 法 (mm)
輸 送 容 器	
外 径 (緩衝体を除く)	720
(緩衝体を含む)	1084
全 長 (緩衝体を除く)	2625
(緩衝体を含む)	3243

(イ) - 第 C.3 表 輸送容器の重量

部 品	重 量 (kg)
本 体	約 8080
上 部 蓋	約 120
下 部 蓋	約 130
シャッタ蓋	約 66
シャッタ	約 288
バスケット	約 30
ハ ン ガ	約 35
上部緩衝体	約 400
下部緩衝体	約 400
収 納 物	約 14
輸送物総重量	約 9563
輸 送 架 台	約 1500
輸送時合計重量	約 11063

イ章 D. 輸送容器の収納物

(イ) -D 輸送容器の収納物

D.1 収納物の概要

本輸送容器のバスケットには、収納物として最大、原子炉容器サーベイランスキャプセルが□体、収納缶に収納された非核燃料炉心構成品であるRCCロッドが□体、SSロッドが□体、NFBC被覆管が□体、収納缶に収納されたバッフルフォーマボルト□体または□体、照射サンプル及び照射用ロッドが□体または□体並びに、収納缶に収納されたシンプルチューブが□体の場合がある。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.2 収納物の型式及び構成要素

(1) サーベイランスキャプセル

このキャプセルは被覆材にステンレス鋼を使用しており、中に [] で製作された各種試験片が収納されている。サーベイランスキャプセルの種類は、(イ) - 第 D.1 表に示すとおり 4 種類に区分される。このキャプセルの構造図を (イ) - 第 D.1 図、(イ) - 第 D.2 図、(イ) - 第 D.3 図及び (イ) - 第 D.4 図に示す。

キャプセル内には、各種試験片、温度計、線量計が収納されている。その収納状態の例を (イ) - 第 D.5 図に、各種試験片、温度計、線量計の収納の内訳の例を (イ) - 第 D.2 表に示す。

各種試験片、温度計、線量計の形状及び寸法を、(イ) - 第 D.6 図、(イ) - 第 D.7 図、(イ) - 第 D.8 図、(イ) - 第 D.9 図、(イ) - 第 D.10 図、(イ) - 第 D.11 図及び (イ) - 第 D.12 図に示す。

なお (イ) - 第 D.1 図～第 D.3 図に示すキャプセルは、 [] と [] とに切離し両者を輸送容器に収納したうえで輸送する。

(2) R C C ロッド及び収納缶

R C C ロッドは、被覆材にステンレス鋼を使用しており、中に吸収材として、 [] を収納している。

材料試験に供するための R C C ロッドとは、(イ) - 第 D.13 図に示す制御棒集合体より、(イ) - 第 D.16 図に示すように、下端より [] mm の位置で切断する R C C ロッド A と、任意の位置より [] mm に切断する R C C ロッド B の 2 種類である。

収納缶は、(イ) - 第 D.17 図に示すように切断した R C C ロッドを収納するためのものであり、構造材としてステンレス鋼を使用し、また、収納缶内面は R C C ロッドを損傷等から保護するために [] を取付けている。

R C C ロッド及び収納缶の仕様を、(ロ) - 第 D.3 表に示す。

[] で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(3) S S ロッド及び収納缶

S S ロッドは、被覆材にステンレス鋼を使用しており、中に を収納している。

材料試験に供するための S S ロッドとは、(イ) - 第 D. 15 図に示す中性子源アセンブリより、(イ) - 第 D. 18 図に示すように、任意の位置より mm に切断したものである。

収納缶は、(イ) - 第 D. 19 図に示すように切断した S S ロッドを収納するためのものであり、構造材としてステンレス鋼を使用し、また、収納缶内面は S S ロッドを損傷等から保護するために を取付けている。

S S ロッド及び収納缶の仕様を (イ) - 第 D. 4 表に示す。

(4) N F B C 被覆管及び収納缶

N F B C 被覆管とは、非核燃料炉心構成品である制御棒集合体、バーナブルポイズンアセンブリ及び中性子源アセンブリの被覆管をいう。

材料試験に供するための N F B C 被覆管は、(イ) - 第 D. 13 図、(イ) - 第 D. 14 図及び (イ) - 第 D. 15 図に示す非核燃料炉心構成品より (イ) - 第 D. 20 図に示すように任意の位置より mm に切断したものである。

収納缶は、(イ) - 第 D. 21 図に示すように切断した N F B C 被覆管を収納するためのものであり、構造材としてステンレス鋼を使用し、また、収納缶内面は N F B C 被覆管を損傷等から保護するために を取付けている。

N F B C 被覆管及び収納缶の仕様を、(イ) - 第 D. 5 表に示す。

(5) バッフルフォーマボルト及び収納缶

バッフルフォーマボルトとは、炉心構造物内のバッフルフォーマ板とバッフル板を固定しているボルトをいう。

材料試験に供するためにバッフルフォーマボルトを (イ) - 第 D. 22 図に示す。

収納缶は、(イ) - 第 D. 23 図及び (イ) - 第 D. 24 図に示すようにバッフルフォーマボルトを収納するためのものであり、構造材としてステンレス鋼を使用し、また、収納缶内面はバッフルフォーマボルトを損傷等から保護するために を取付けている。

バッフルフォーマボルト及び収納缶の仕様を (イ) - 第 D. 6 表に示す。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(6) 照射サンプル及び照射用ロッド

照射用ロッドとは、ステンレス鋼製の被覆管で、(イ)－第 D. 27 図に示す照射サンプルを(イ)－第 D. 26 図に示すように収納している。材料試験に供するための照射用ロッドとは、(イ)－第 D. 25 図に示すサンプル照射用内挿物下端より□
□の長さで切断し、さらに□したものである。

各種照射サンプル概略仕様は(イ)－第 D. 7 表に示し、形状及び寸法の代表例を(イ)－第 D. 27 図に示す。

(7) シンプルチューブ及び収納缶

シンプルチューブとは、可動小型検出器を炉内へ案内する案内管として、シンプルチューブが燃料集合体上端まで挿入されるステンレス製のチューブをいう。

材料試験に供するためのシンプルチューブを(イ)－第 D. 28 図に示す。
収納缶は、(イ)－第 D. 29 図に示すようにシンプルチューブを収納するためのものであり、構造材としてステンレス鋼を使用している。

シンプルチューブ及び収納缶の仕様を(イ)－第 D. 8 表に示す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第D.1表 サーベイランスキャプセル概略仕様

項目	収納物のタイプ	タイプ I			
	種類	1	2	3	4
① 形状・全長等 (mm) ・サーベイランスキャプセル全長 ・試験片収納部 長さ 幅 [] ② 重量 (kg) ・総重量 ③ サーベイランスキャプセルの材質 ・上部支持栓 [] ・上部栓 ・底部栓 ・囲板 ④ 試験片等の材質 (注) ・引張試験片 ・衝撃試験片 ・破壊じん性試験片 [W. O. L. 試験片 C T 試験片 3 P B 試験片] ・温度モニタ ・線量計					

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 D.2 表 収納物内訳の例 (収納物タイプ I-4)

試験片内容			数量	備考
試験片	1	引張試験片		
	2	衝撃試験片		
	3	破壊じん性試験片(CT試験片)		
ドジメータ	1	<input type="text"/>		
	2	<input type="text"/>		
	3	<input type="text"/>		
	4	<input type="text"/>		
	5	<input type="text"/>		
	6	<input type="text"/>		
	7	<input type="text"/>		
温度モニタ	1	<input type="text"/>		
	2	<input type="text"/>		

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 D.3 表 RCC ロッド及び収納缶の概略仕様

項目	収納物のタイプ	タイプ II					
	種類	1	2	3	4	5	6
①	RCC ロッドタイプ						
②	燃料タイプ						
③	形状・寸法等 (mm) ・切断長さ ・被覆管直径 ・収納缶全長 ・収納缶外径 (収納部)						
④	重 量 (kg) ・RCC ロッド重量 ・収納缶重量 ・収納物最大重量 (RCC ロッド+収納缶)						
⑤	材 質 ・RCC ロッド ・被 覆 管 ・吸 収 材 ・下部端栓 ・収 納 缶 ・缶 本 体 ・ラ イ ナ						

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第D.4表 SSロッド及び収納缶の概略仕様

項目	収納物のタイプ	タイプ III		
	種類	1	2	3
① 燃料タイプ				
② 形状・寸法等 (mm)				
・切断長さ				
・被覆管直径				
・収納缶全長				
・収納缶外径				
(収納部)				
③ 重量 (kg)				
・SSロッド重量				
・収納缶重量				
・収納物最大重量				
(SSロッド + 収納缶)				
④ 材質				
・SSロッド				
・被覆管				
<input type="text"/>				
・下部端栓				
・収納缶				
・缶本体				
・ライナ				

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 D.5 表 NFBC 被覆管及び収納缶の概略仕様

項目	収納物のタイプ	タイプ IV		
	種類	1	2	3
① 燃料タイプ				
② 形状・寸法等 (mm)				
・切断長さ				
・被覆管直径				
・収納缶全長				
・収納缶外径 (収納部)				
③ 重量 (kg)				
・NFBC被覆管重量				
・収納缶重量				
・収納物最大重量 (NFBC 被覆管+収納缶)				
④ 材質				
・NFBC被覆管				
・収納缶				
・缶本体				
・ライナ				

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 D. 6 表 バッフルフォーマボルト及び収納缶の概略仕様

項目	収納物のタイプ	タイプ V		タイプ VI
	ボルトの種類	1	2	1
① 形状・全長等 (mm) ・ バッフルフォーマボルト 最大全長 ・ 最大巾 ・ 収納缶全長 ・ 収納缶外径 (収納部) ② 重量 (kg) ・ バッフルフォーマボルト 最大重量 ・ 収納缶重量 ・ 収納物最大重量 (バッフルフォーマボルト+収納缶) ③ 材質 ・ バッフルフォーマボルト ・ 収納缶 ・ 缶本体 ・ ライナ				

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 D.7 表 照射サンプル概略仕様

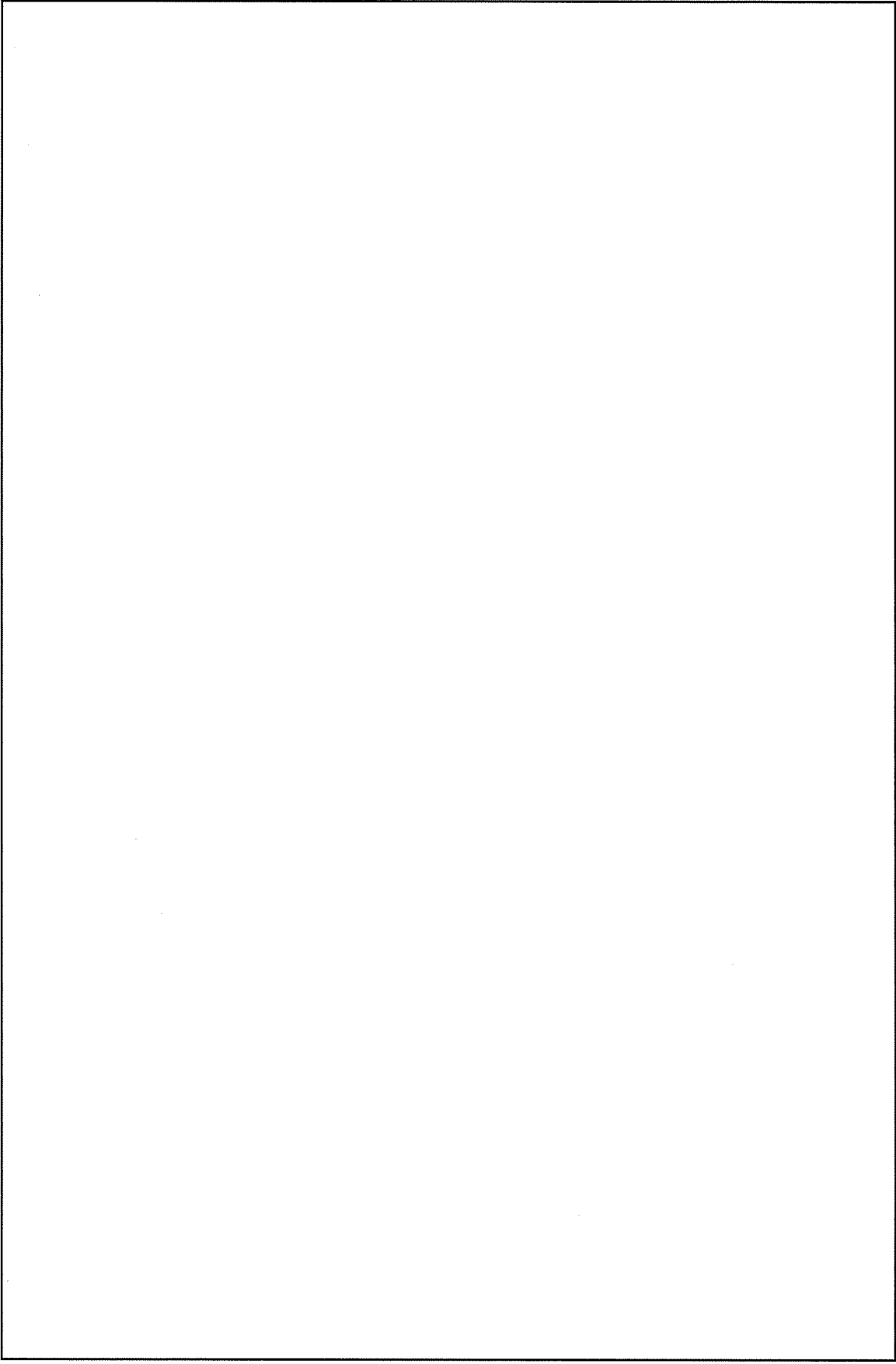
収納物のタイプ 項目	タイプⅦ
① 燃料タイプ ② 形状、全長等 (mm) ・ 照射用ロッド ・ 全 長 ・ ロッド径 ③ 重 量 ・ 総重量 (kg) ④ 照射用ロッドの材質 ・ 被 覆 管 ・ スペーサ ・ 下部端栓 ⑤ 照射サンプルの材質 ・ 引張試験片 ・ SSRT 試験片 ・ 金相用試験片 ・ 応力負荷試験片 ・ Oリング試験片	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第 D. 8 表 シンプルチューブ及び収納缶の概略仕様

収納物のタイプ 項目	タイプⅧ
① 燃料タイプ ② 形状・寸法等 (mm) ・全 長 ・シンプルチューブ直径 ・収納缶全長 ・収納缶外径 (収納部) ③ 重 量 (kg) ・シンプルチューブ重量 ・収納缶重量 ・収納物最大重量 (シンプルチューブ + 収納缶) ④ 材 質 ・シンプルチューブ ・収 納 缶 ・缶 本 体	

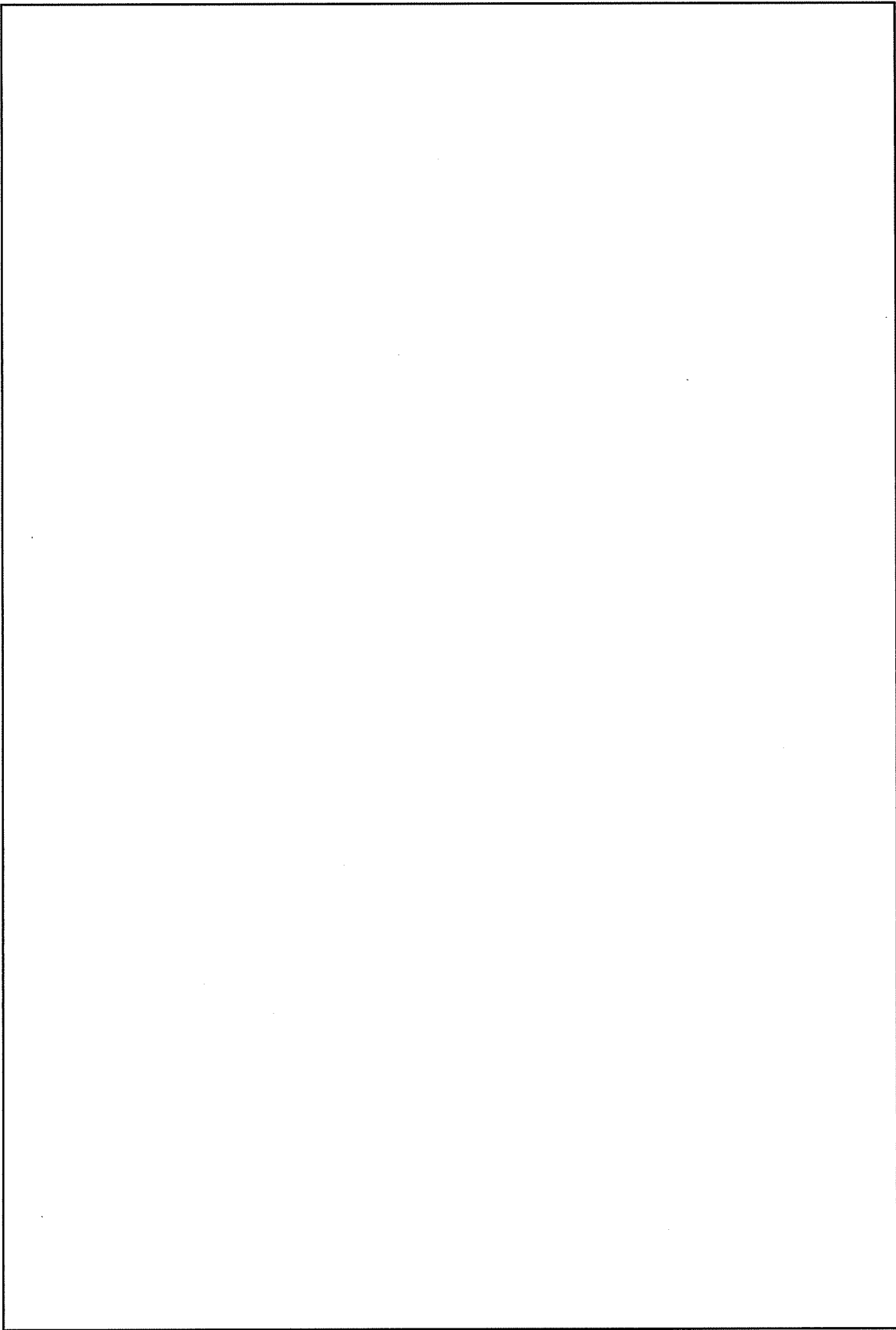
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



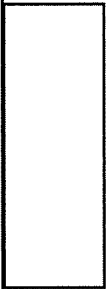
(イ) - 第D.1 図 原子炉容器サーベイランスキャプセル
(収納物タイプ I-1)



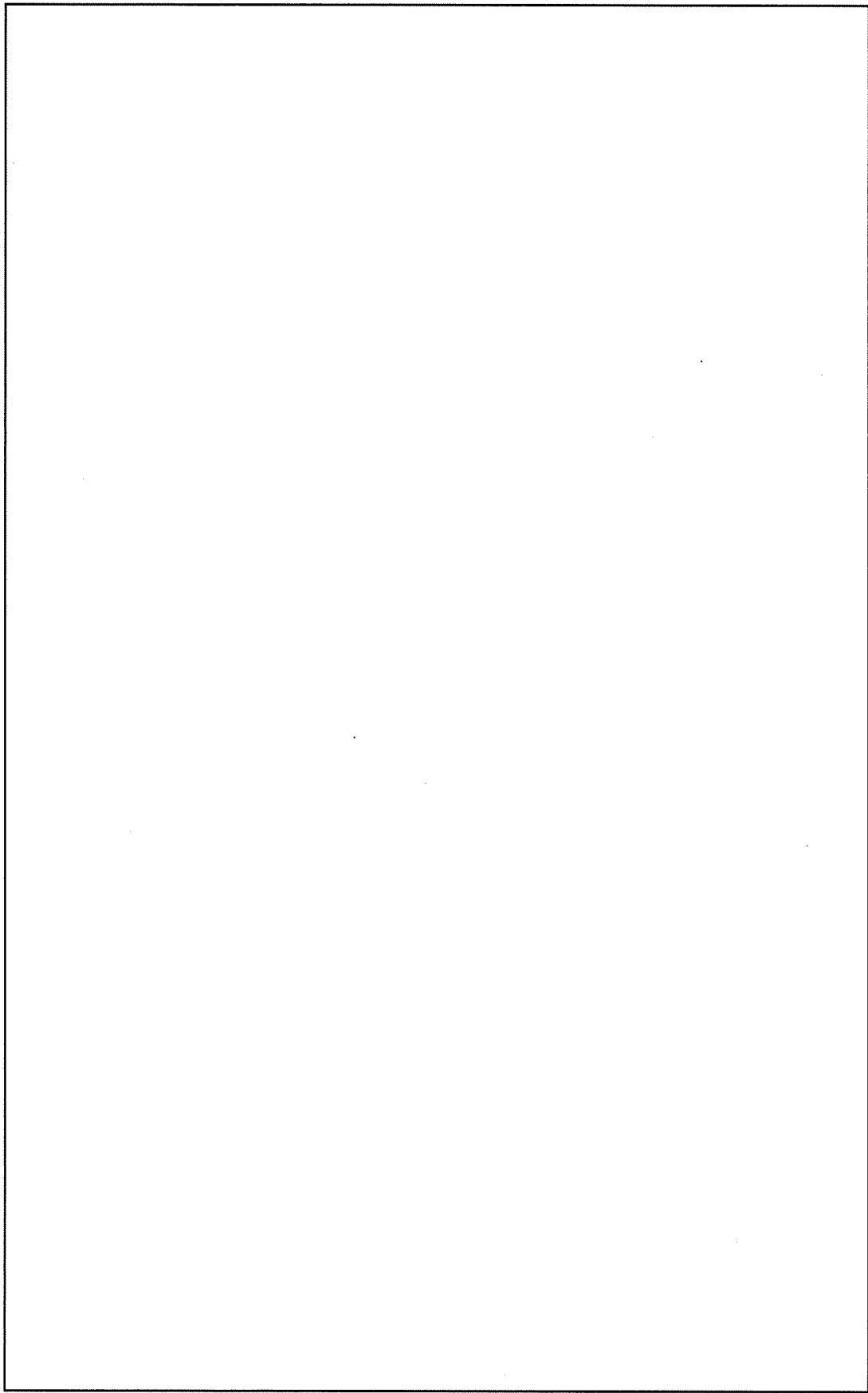
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



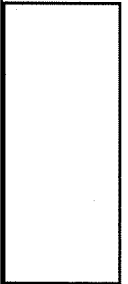
(イ) ー第D.2図 原子炉容器サーベイランスシステム
(収納物タイプI-2)



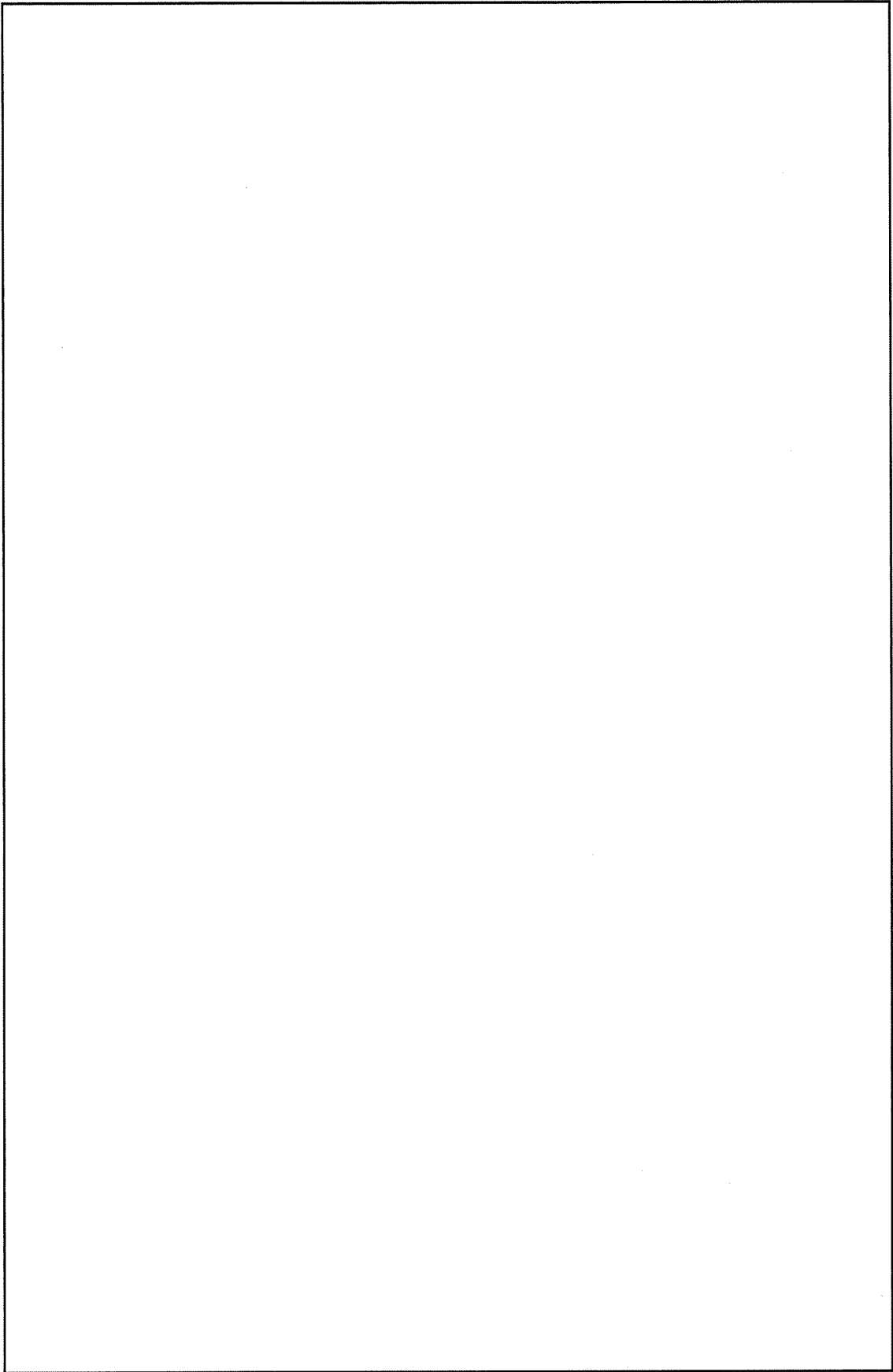
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 D.3 図 原子炉容器サーベイランスキャプセル
(収納物タイプ I - 3)



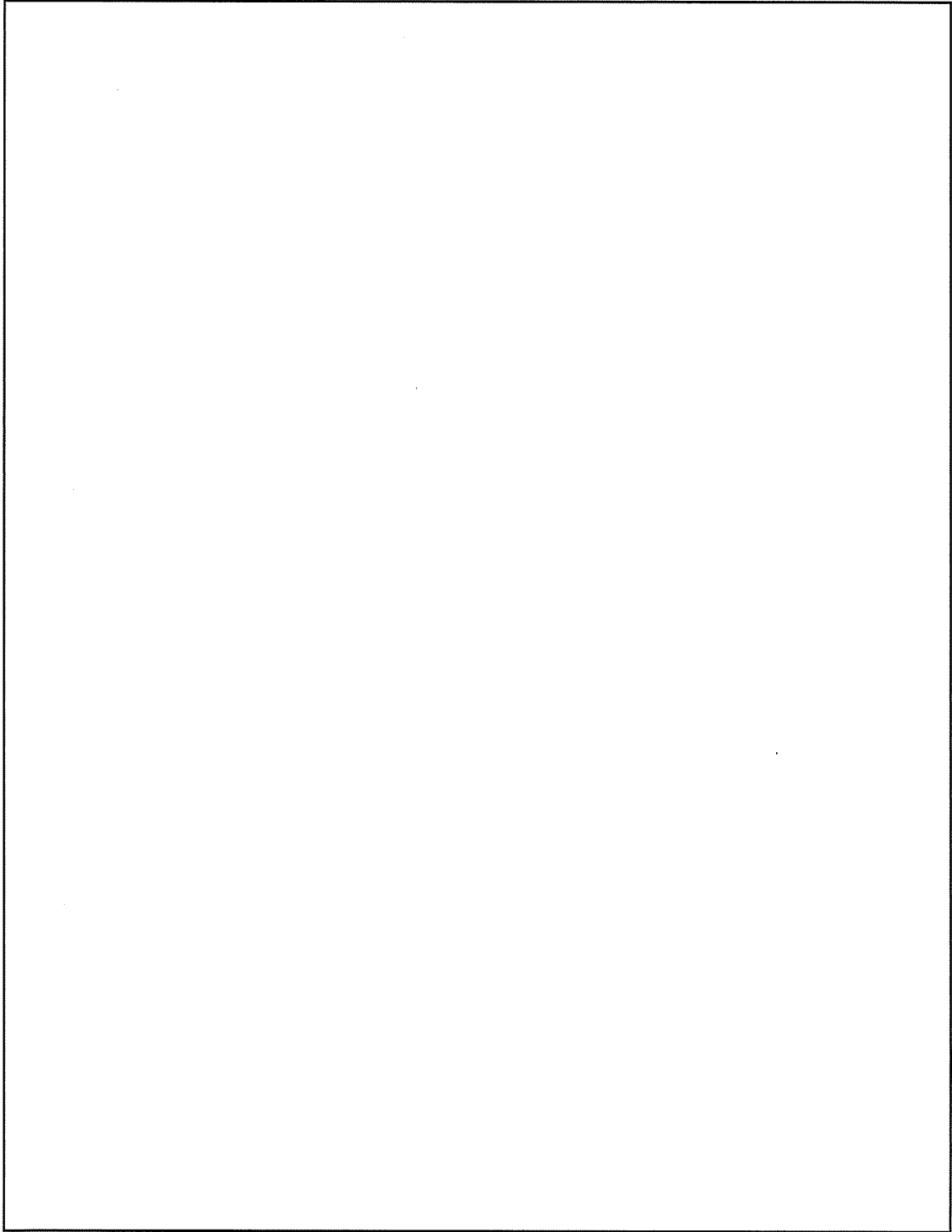
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 D.4 図 原子炉容器サーベイランススキャプセル
(収納物タイプ I - 4)

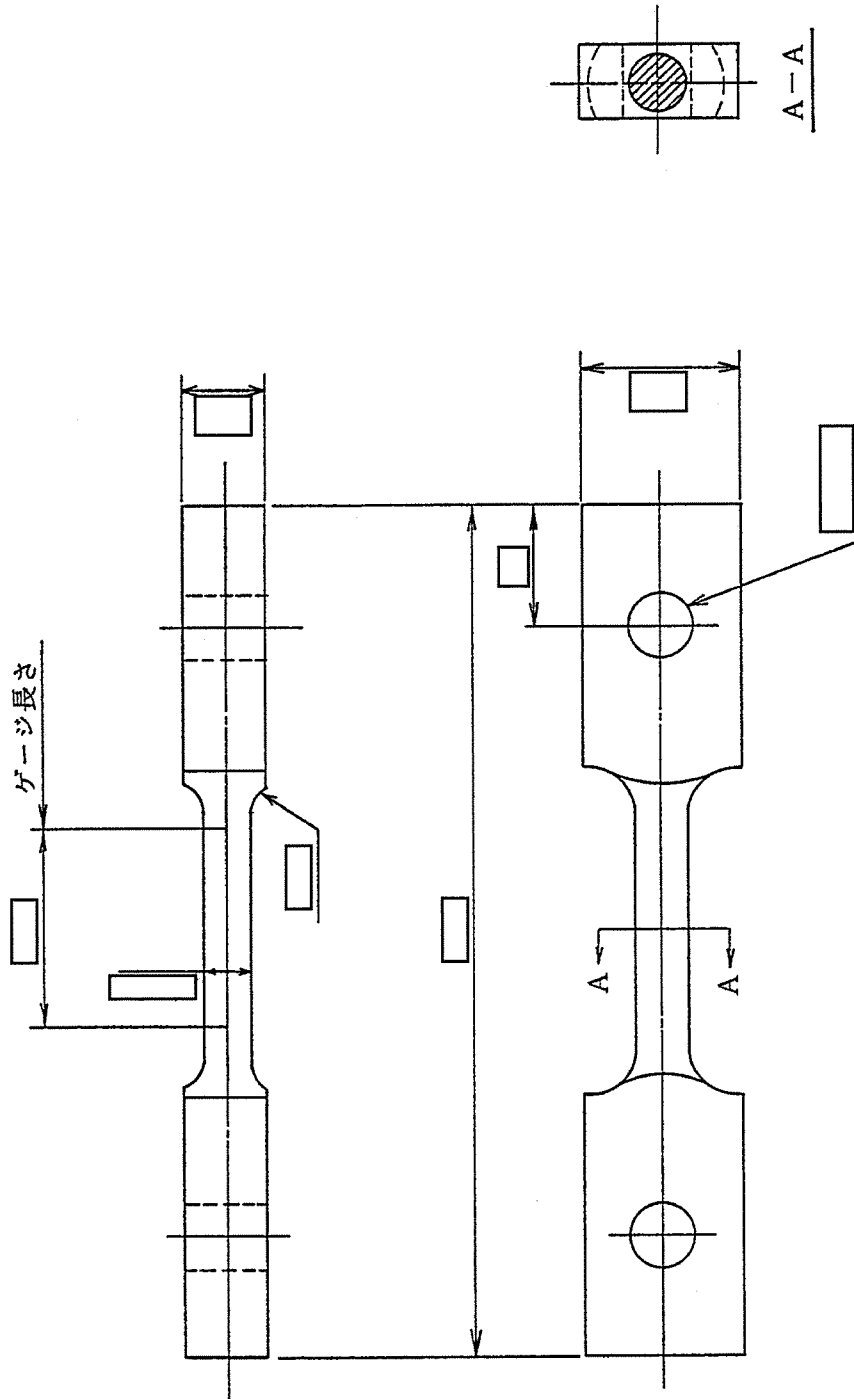


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



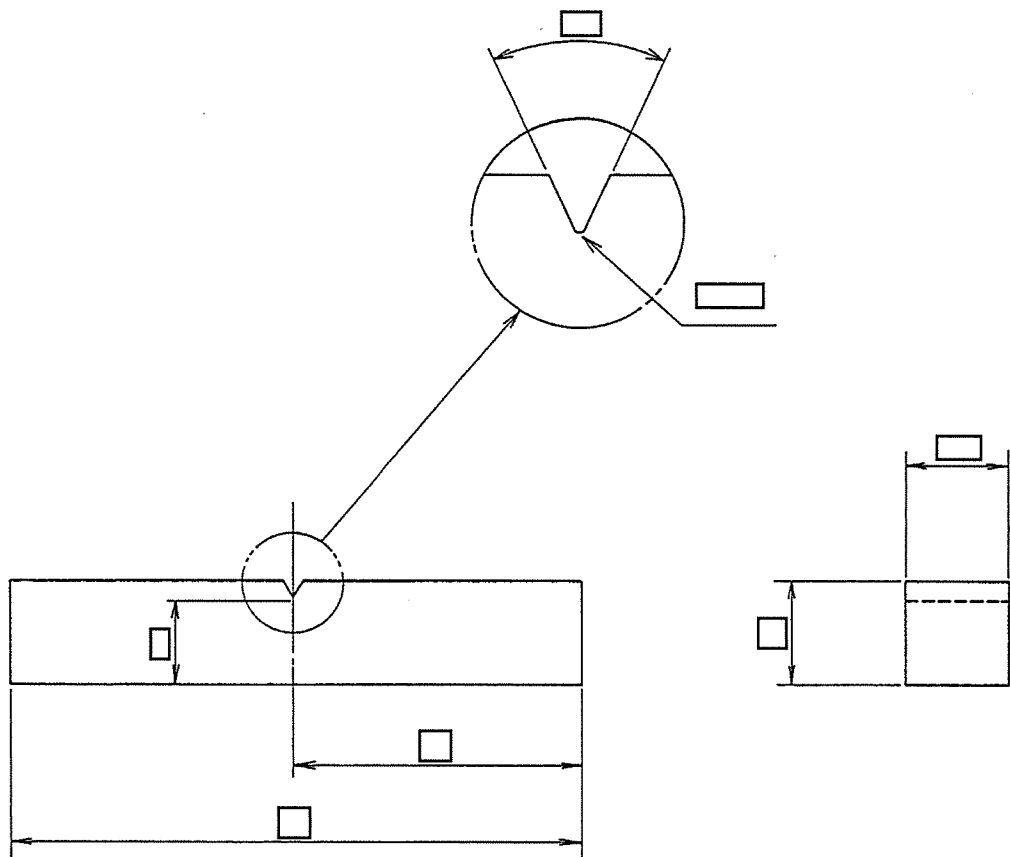
(イ) - 第D.5図 キヤプセル内配置例
(収納物タイプI-4)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



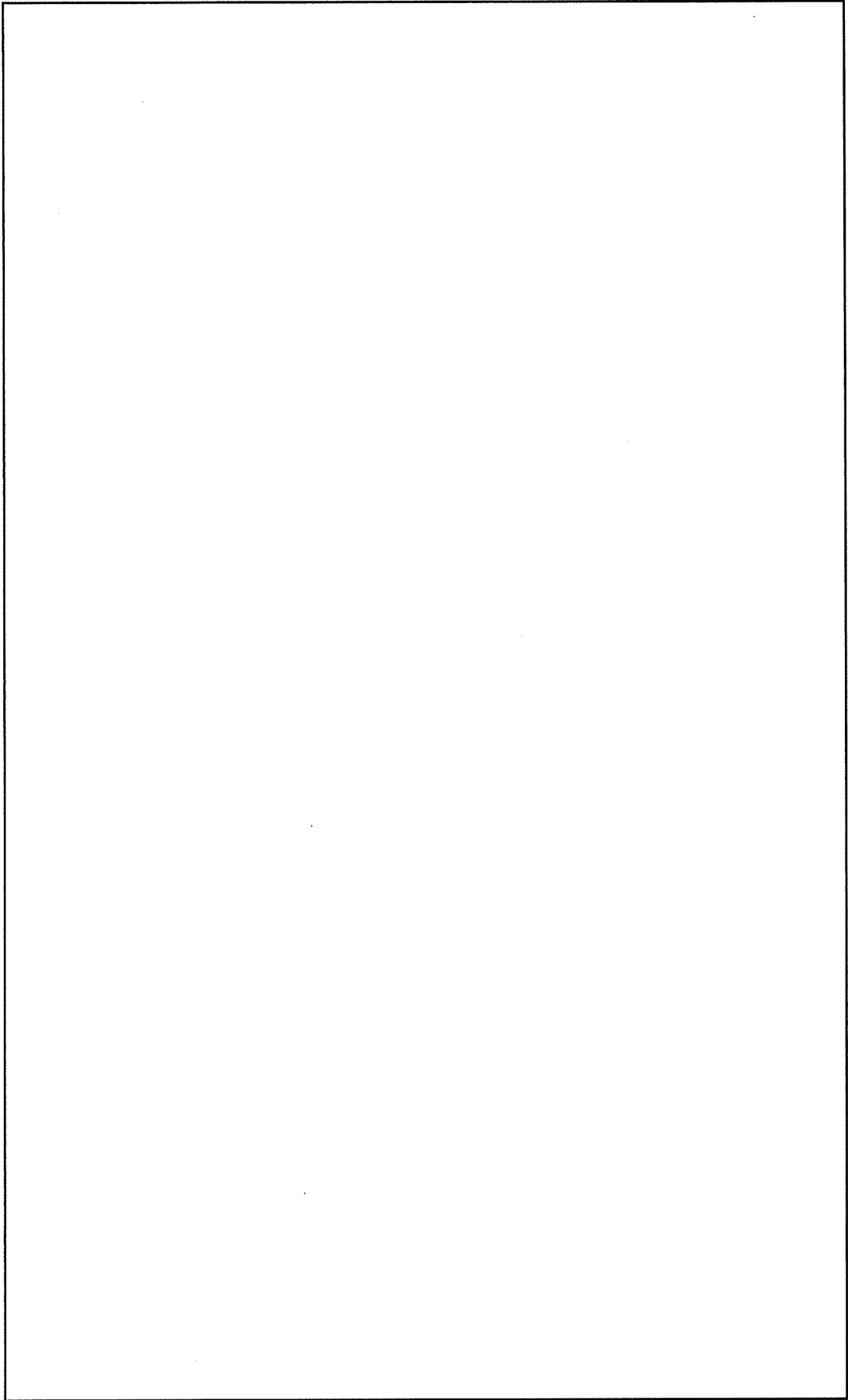
(イ) - 第D.6図 引張試験片

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



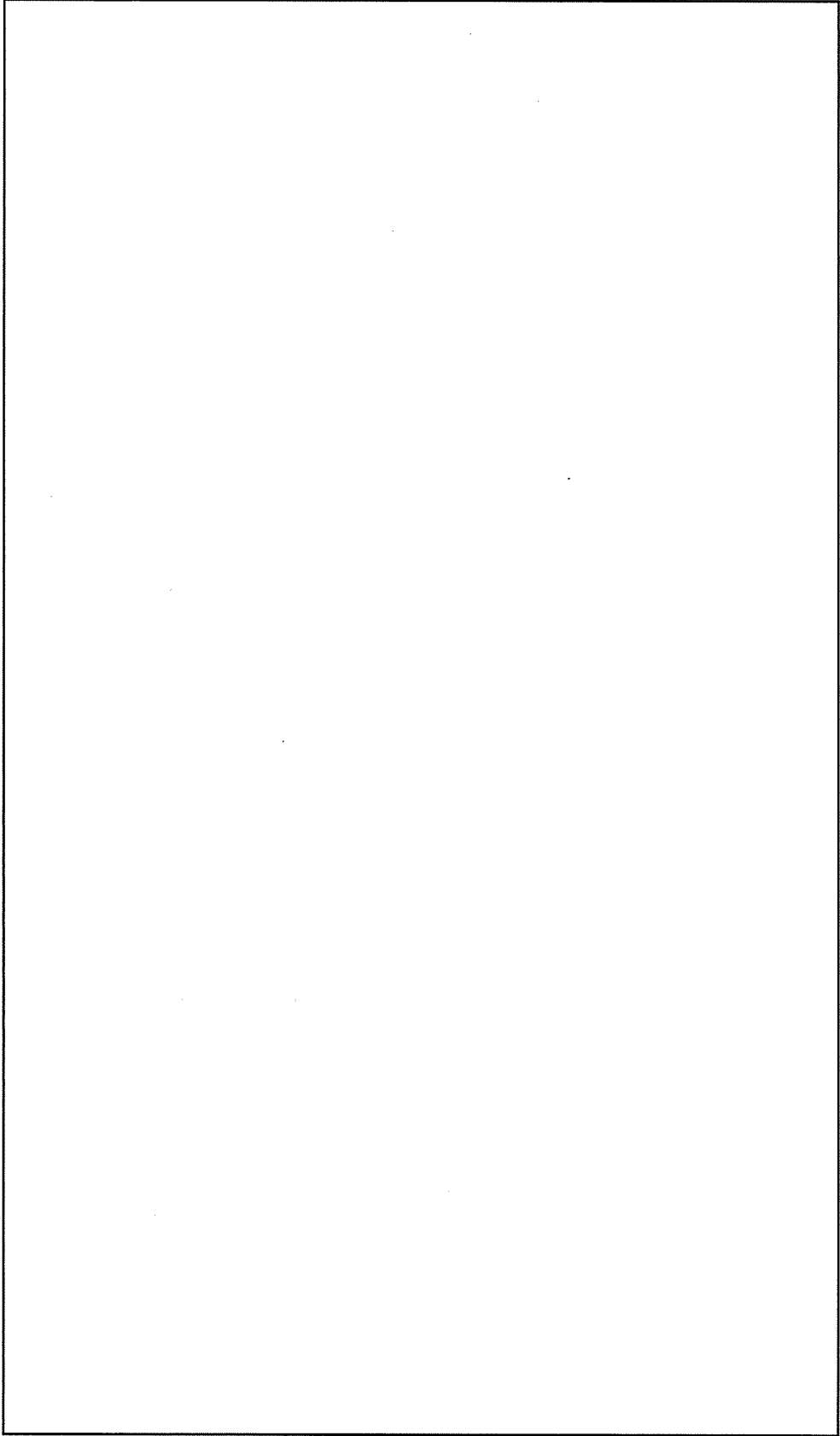
(イ) - 第 D.7 図 衝 撃 試 験 片

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



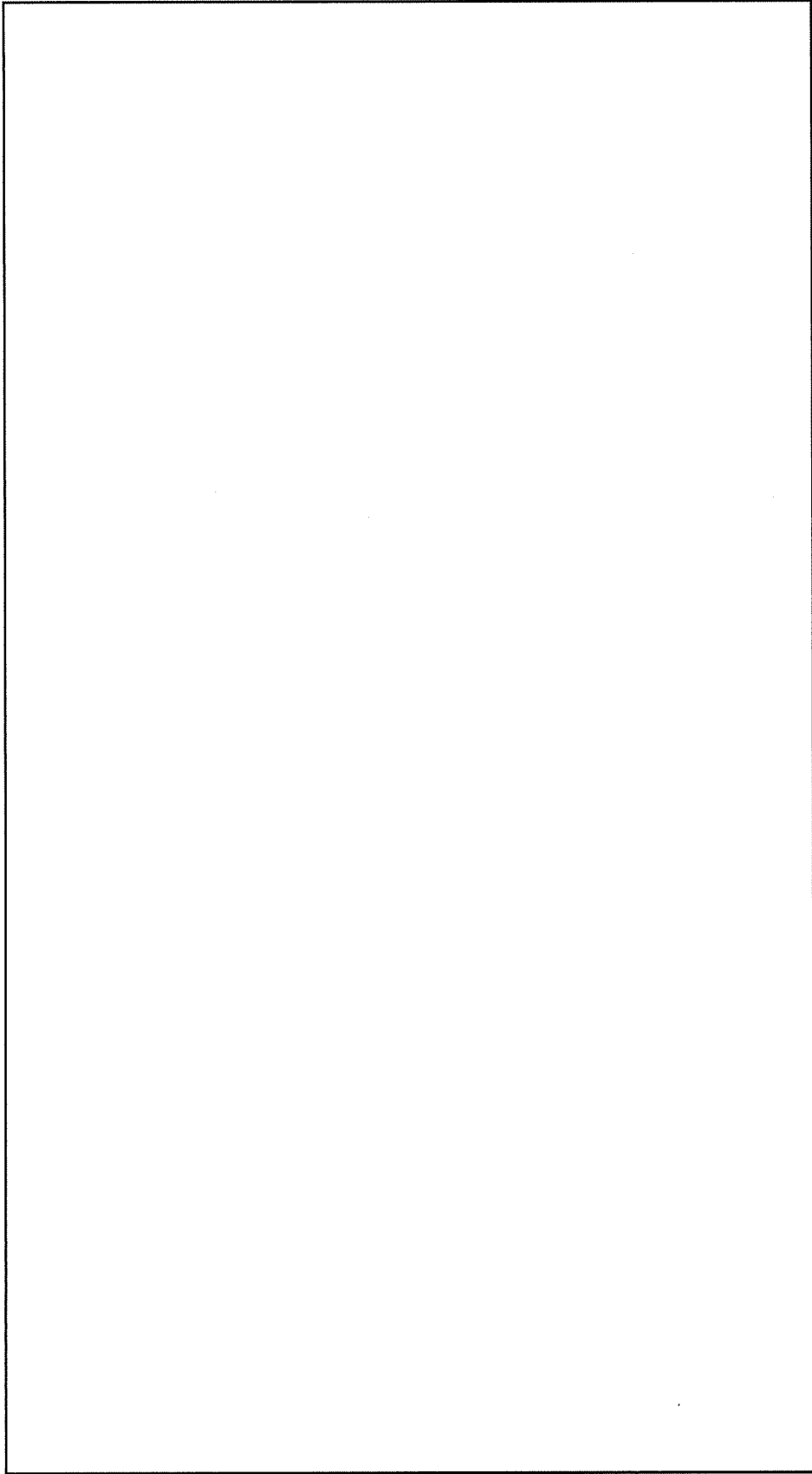
(イ) ー第D.8 図 破壊じん性試験片 (W. O. L. 試験片)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



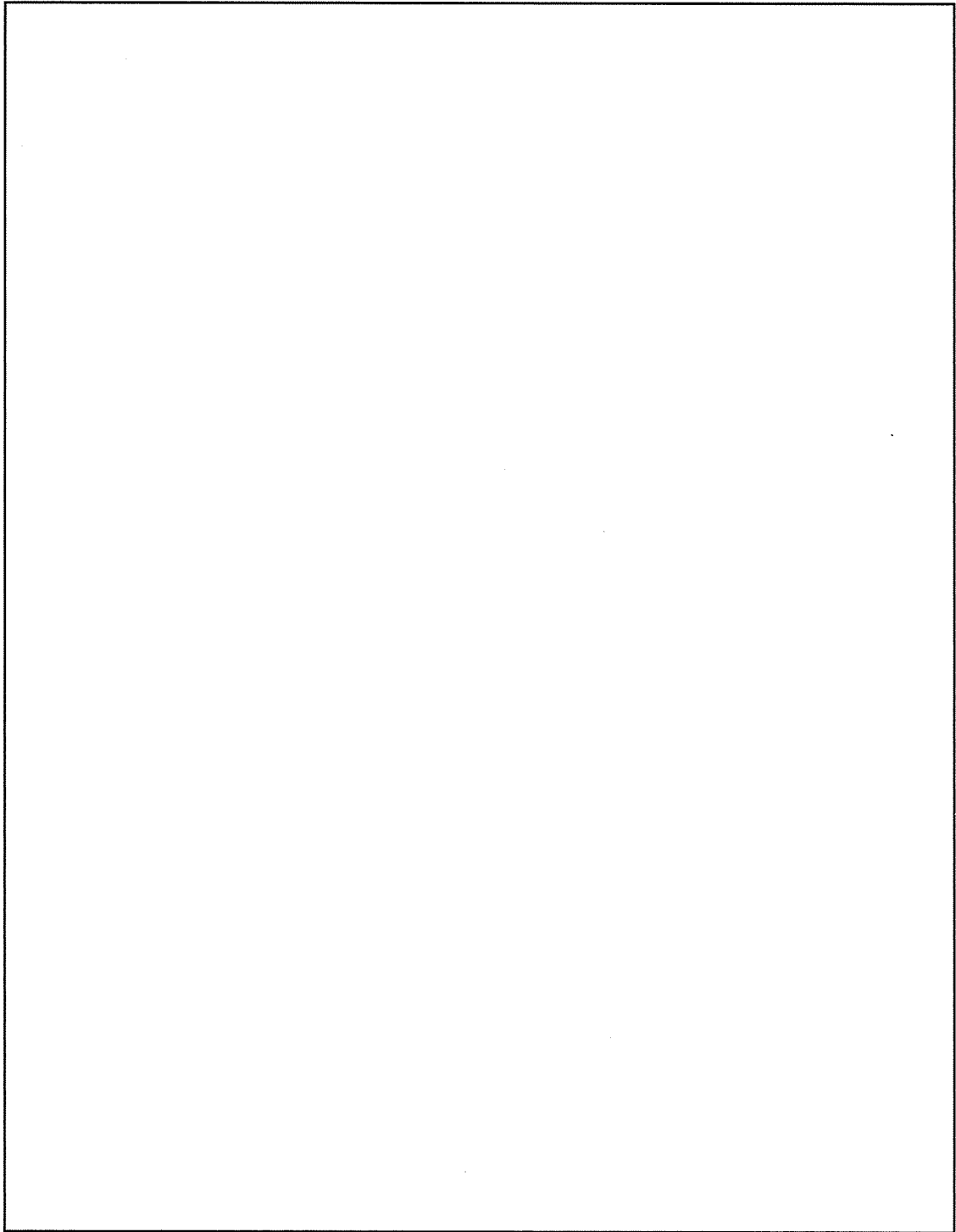
(イ) - 第D.9 図 破壊じん性試験片 (CT試験片)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



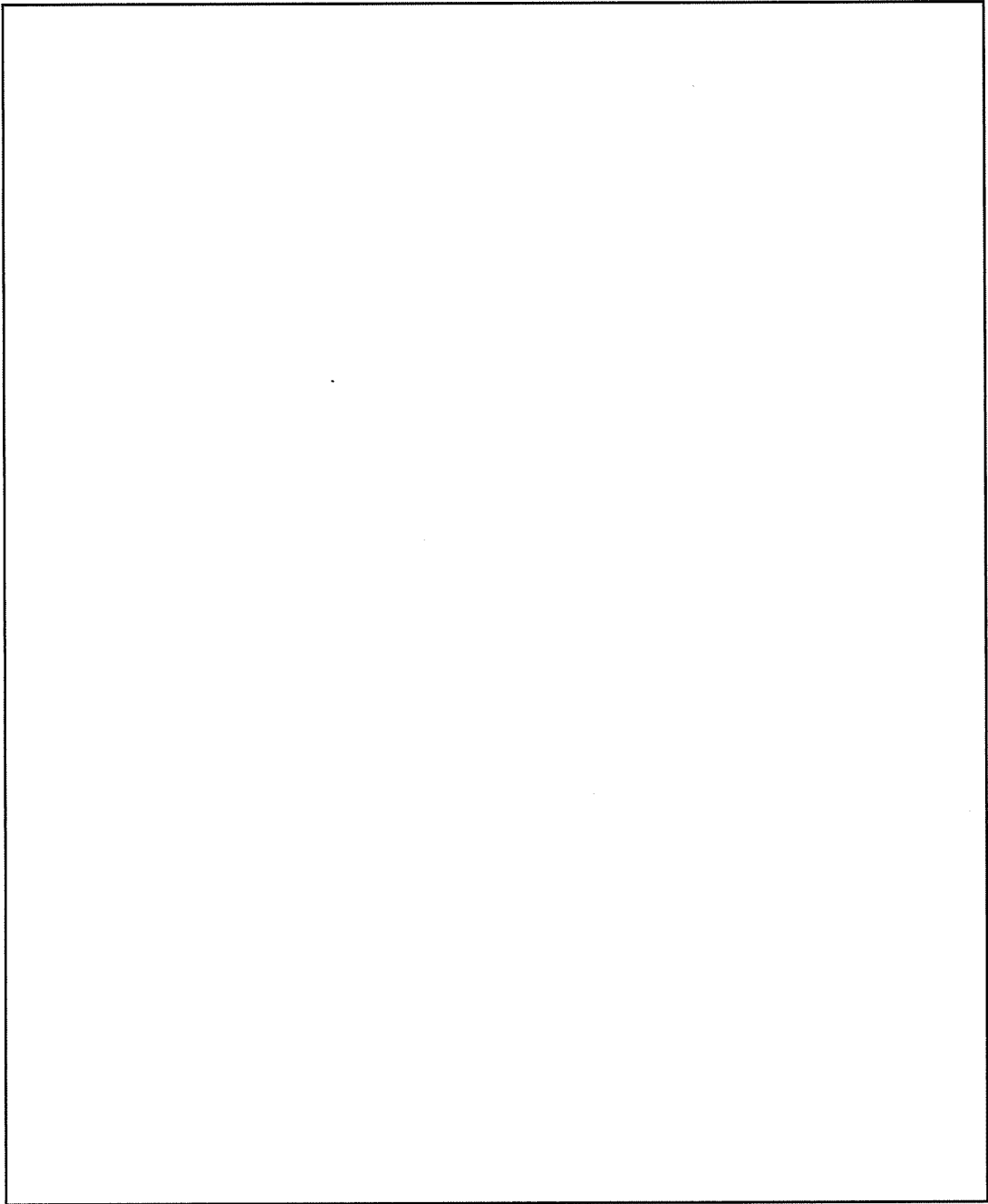
(イ) ー第D.10 図 破壊じん性試験片 (3PB試験片)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



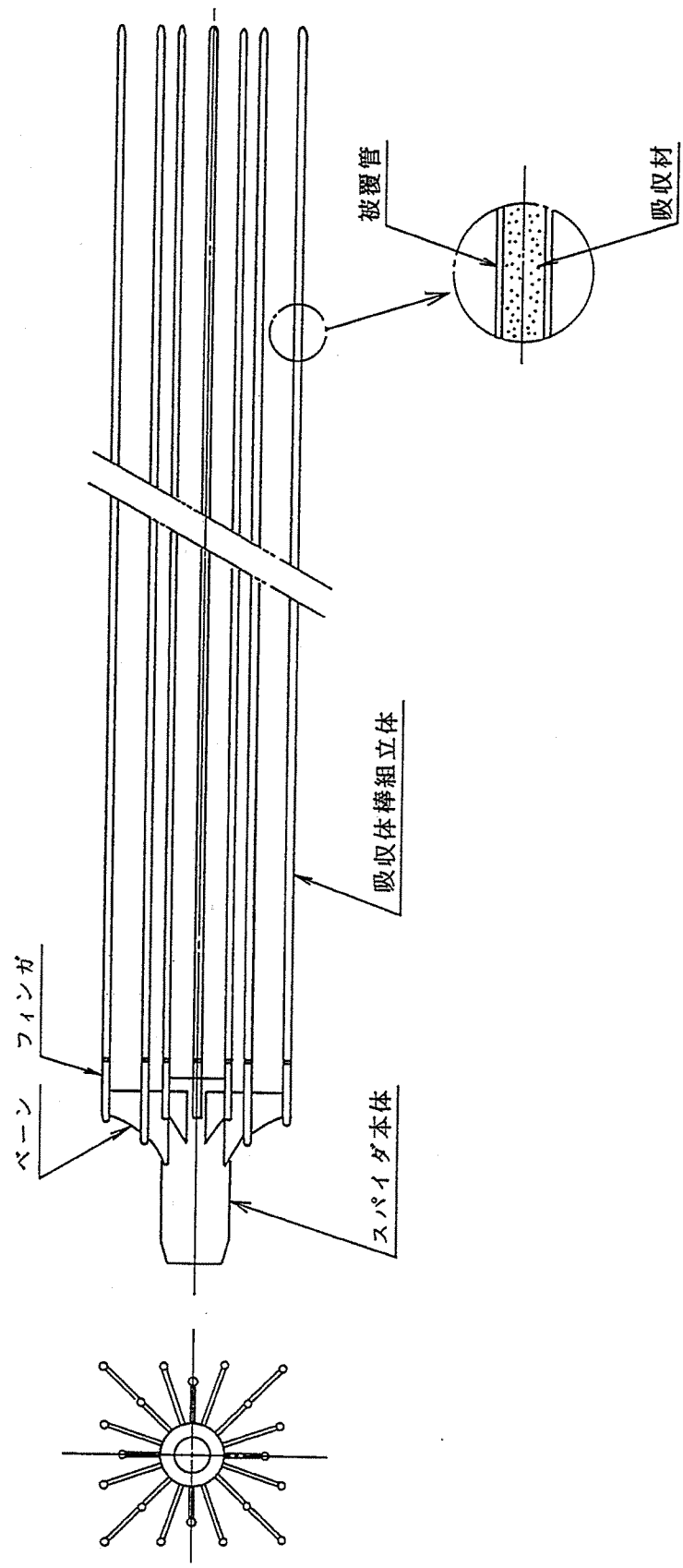
(イ) - 第 D. 11 図 及び温度モニタ用

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

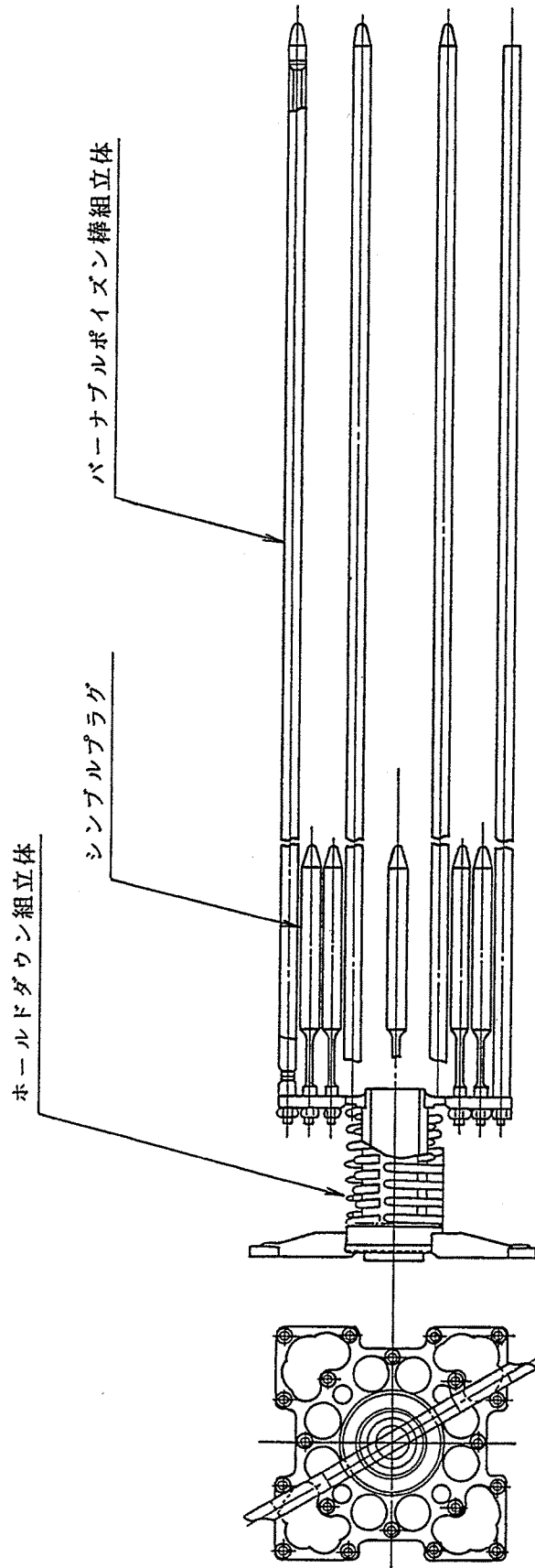


(イ) - 第 D. 12 図

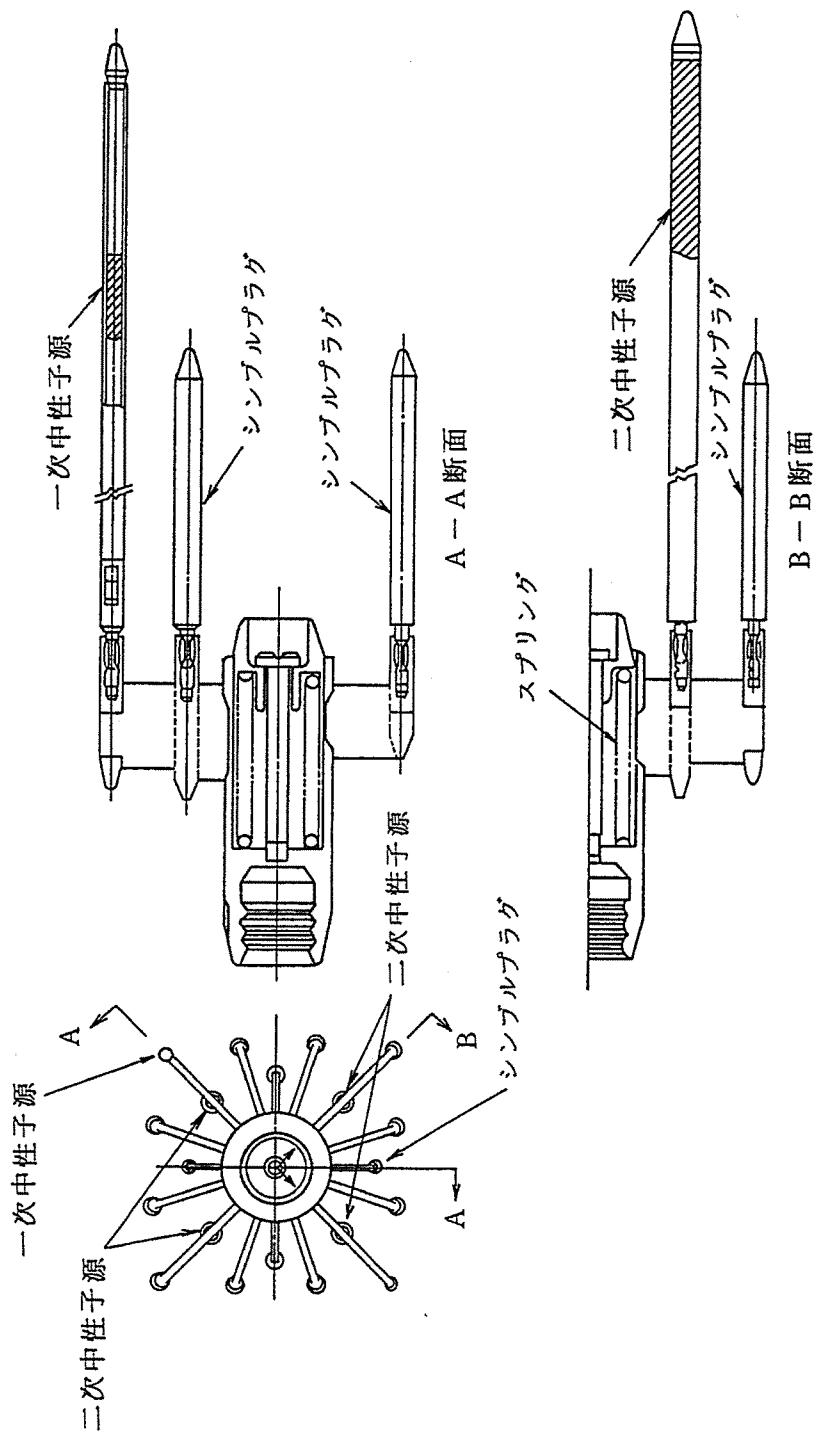
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 D.13 図 制御棒集合体の代表例 (PWR 15×15)

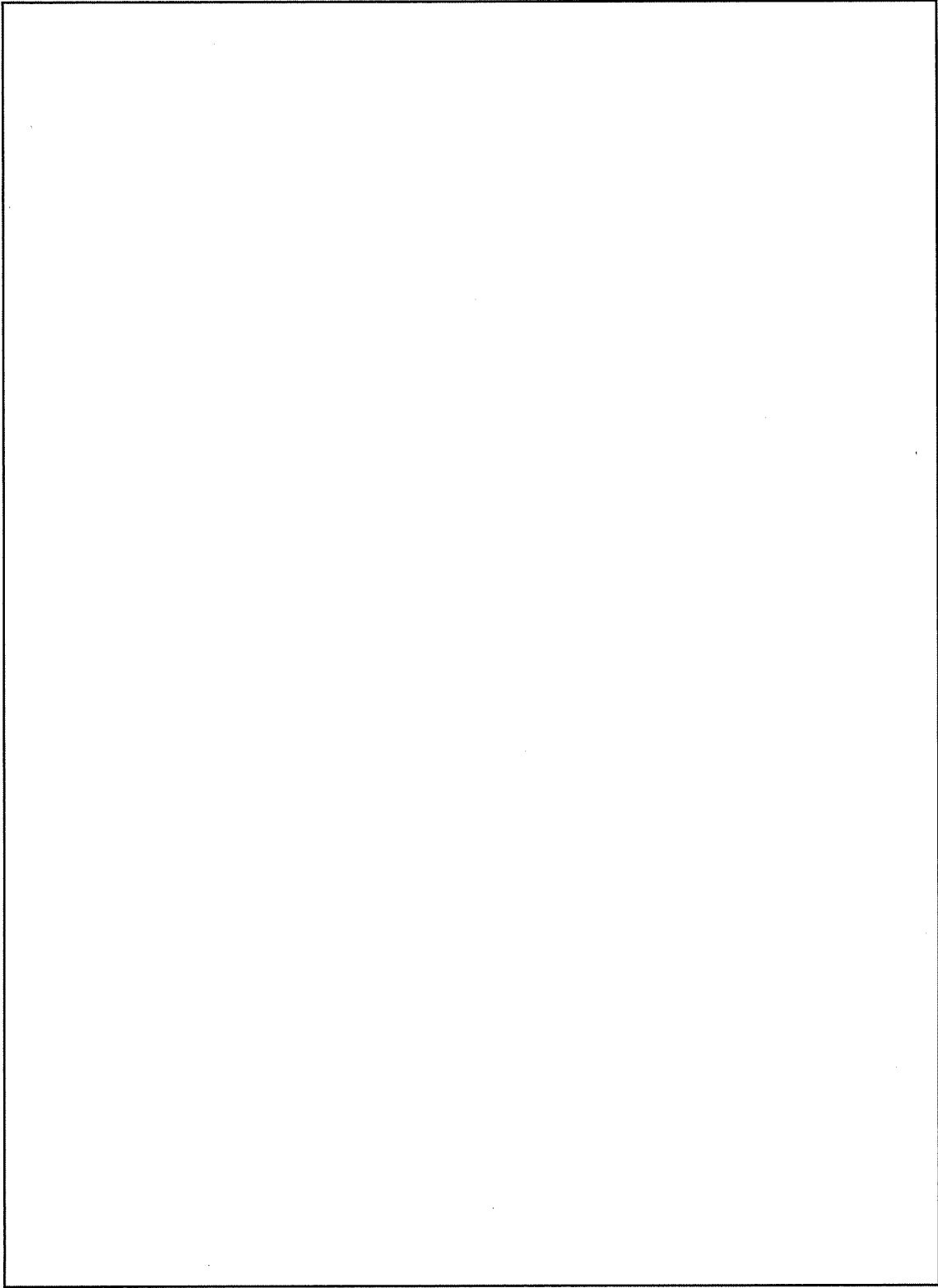


(イ) -第D.14 図 バーナブルポイズンセンブリの代表例 (PWR 15×15)



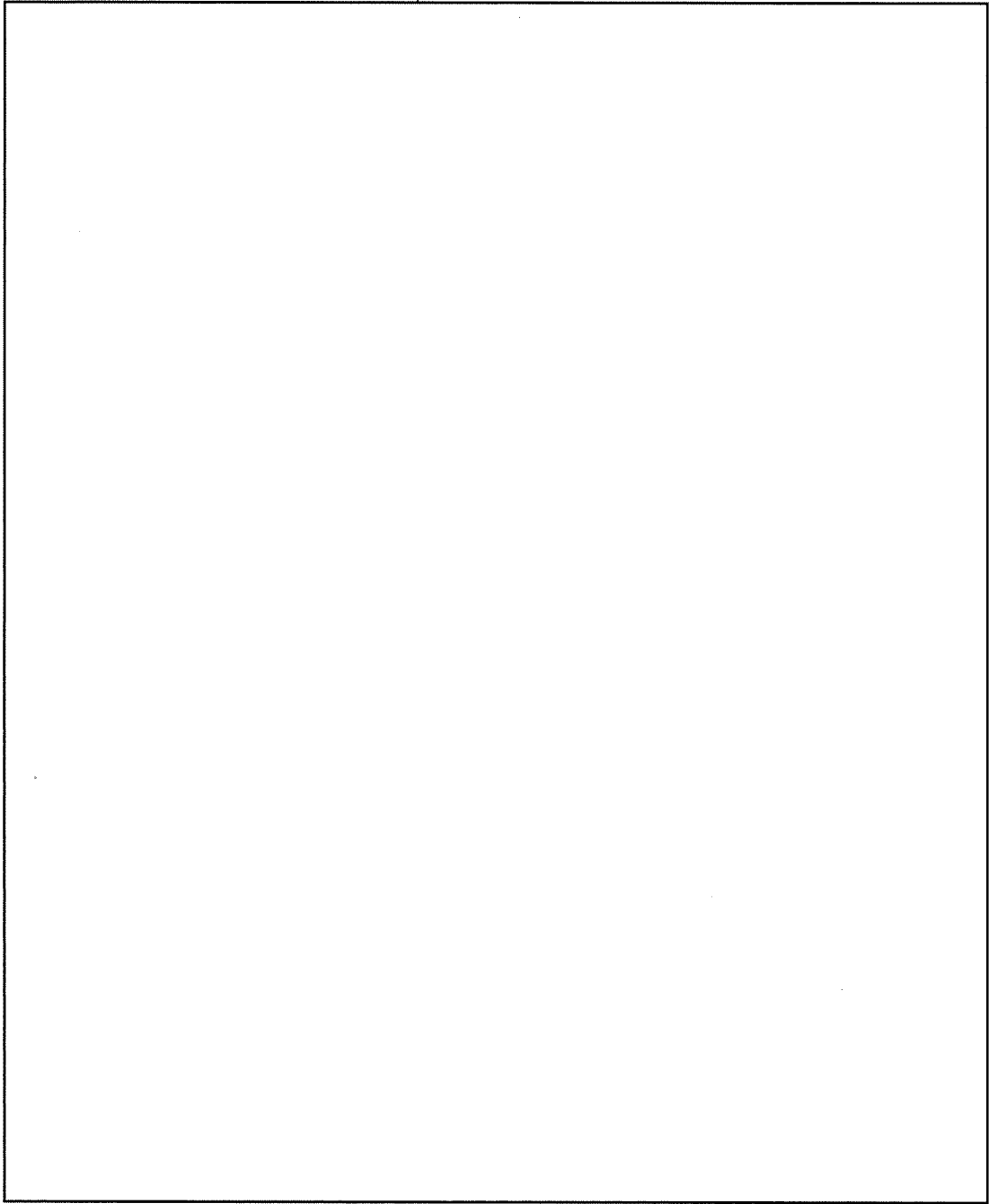
注) 本図は一次中性子源アセンブリ, 二次中性子源アセンブリを同一図に表わしてある。

(イ) - 第 D.15 図 中性子源アセンブリの代表例 (PWR 15×15)



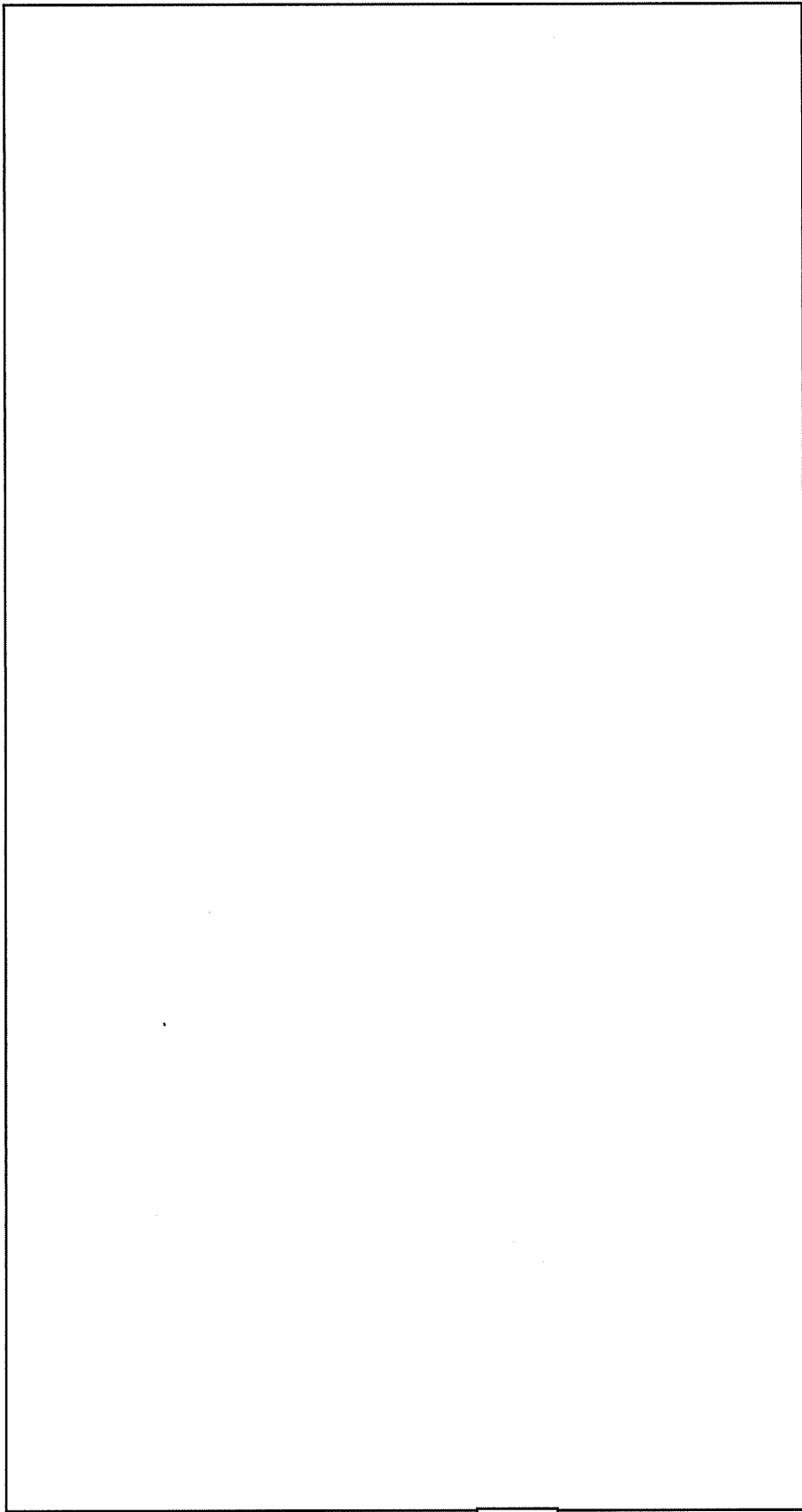
(イ) - 第D.16図 R C C ロ ッ ド

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第D.17 図 RCC ロック 収納状態

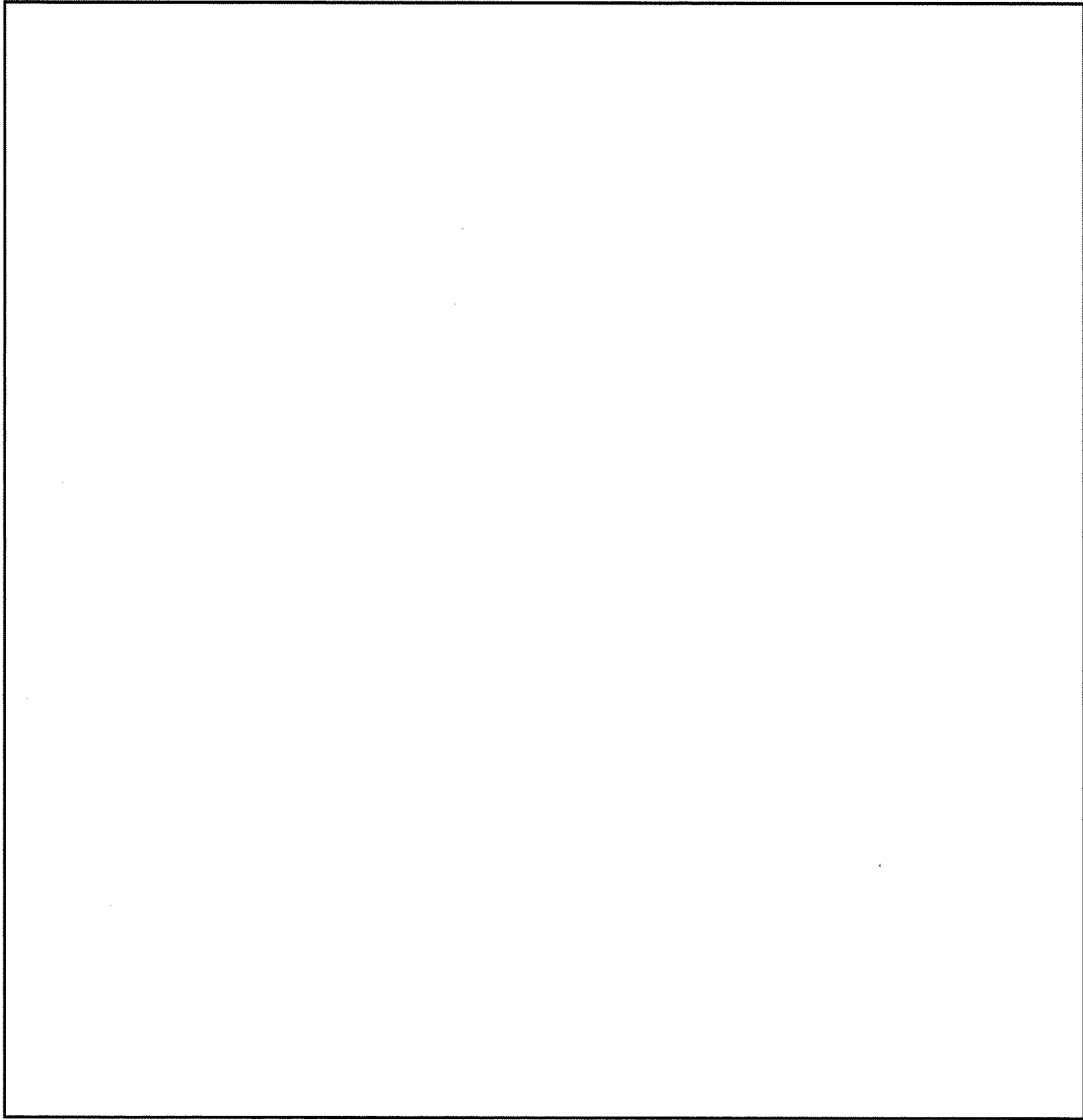
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 D.18 図 S S ロット (収納物タイプ III)

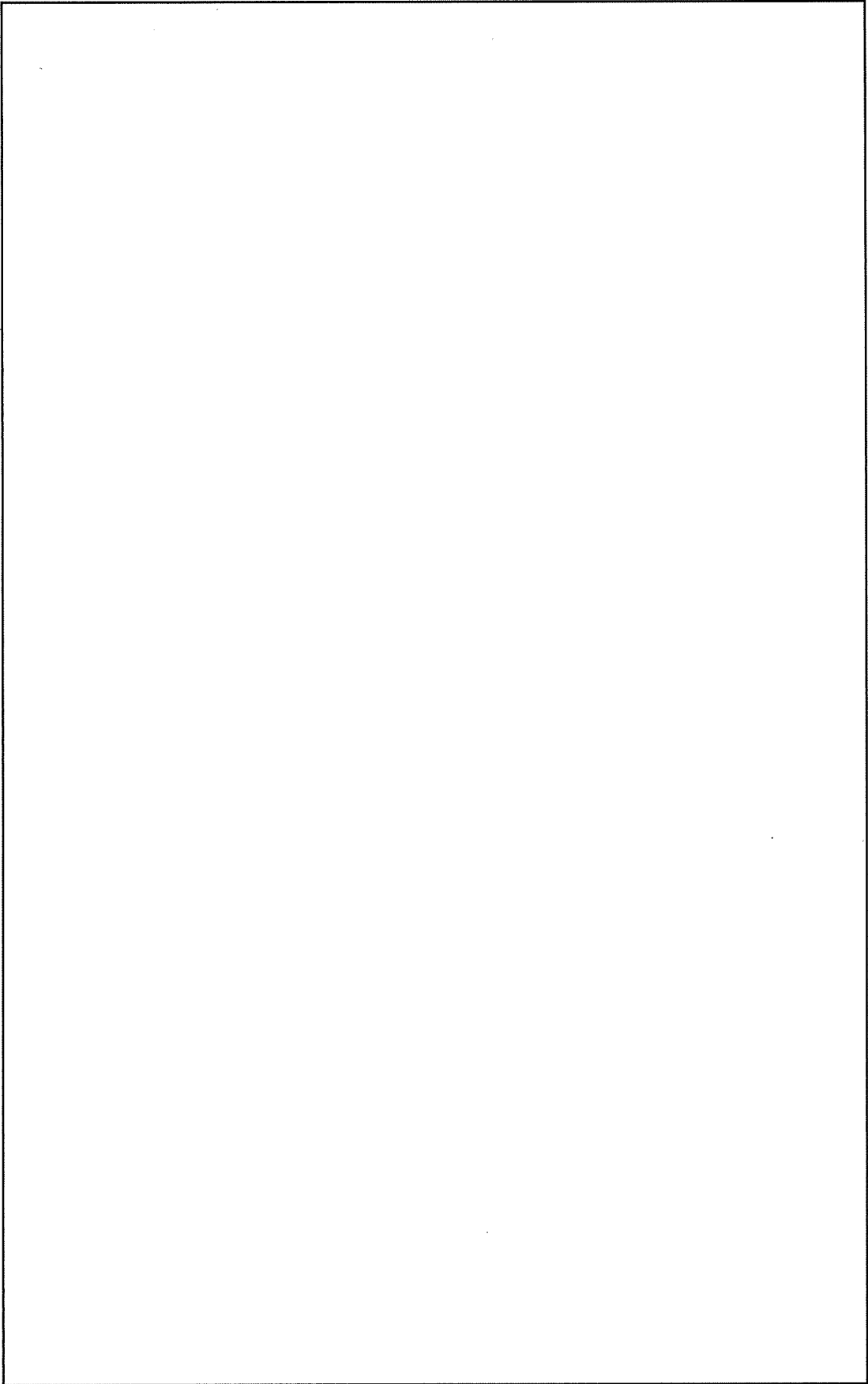
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。





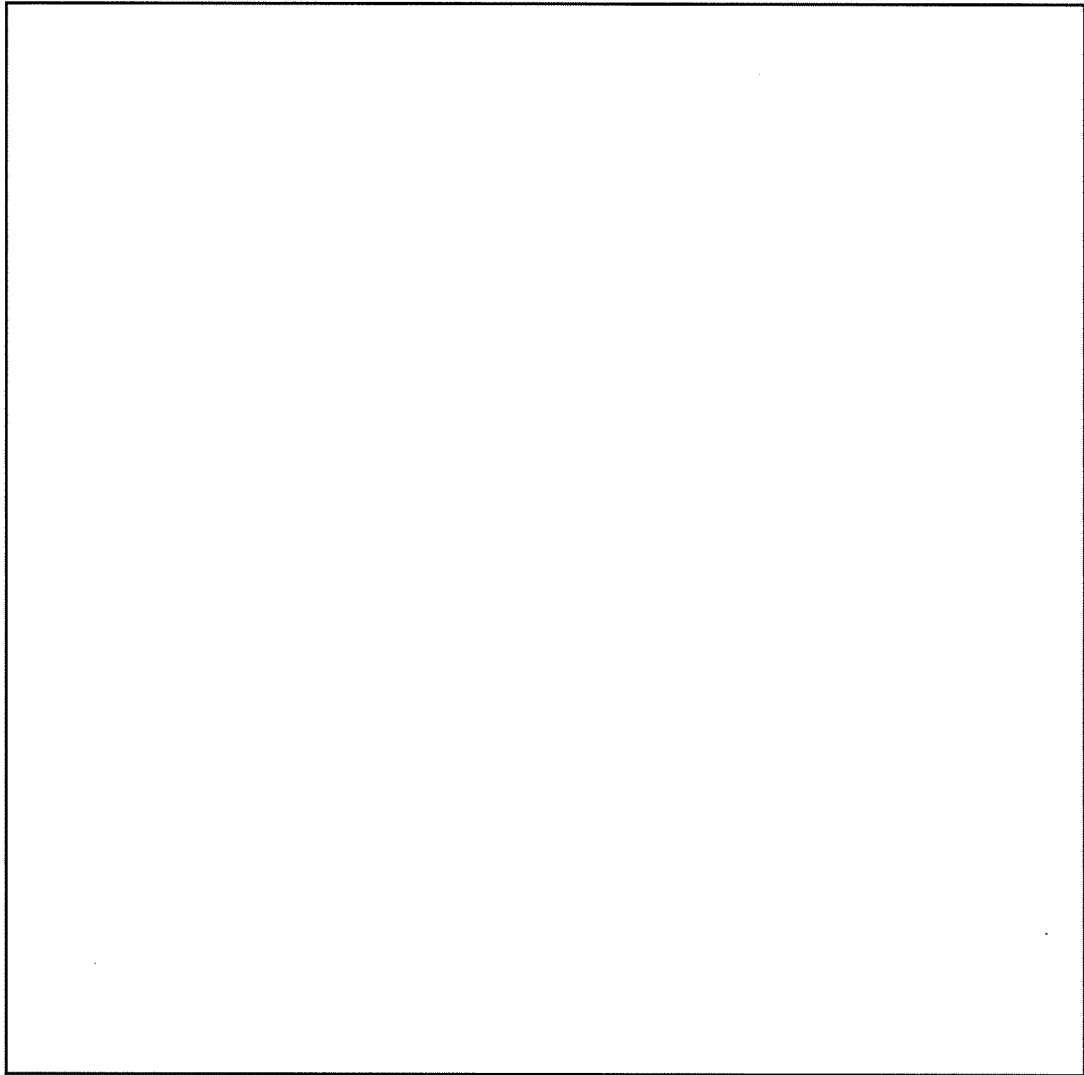
(イ) - 第D.19 図 S S ロット収納状態 (収納物タイプⅢ)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



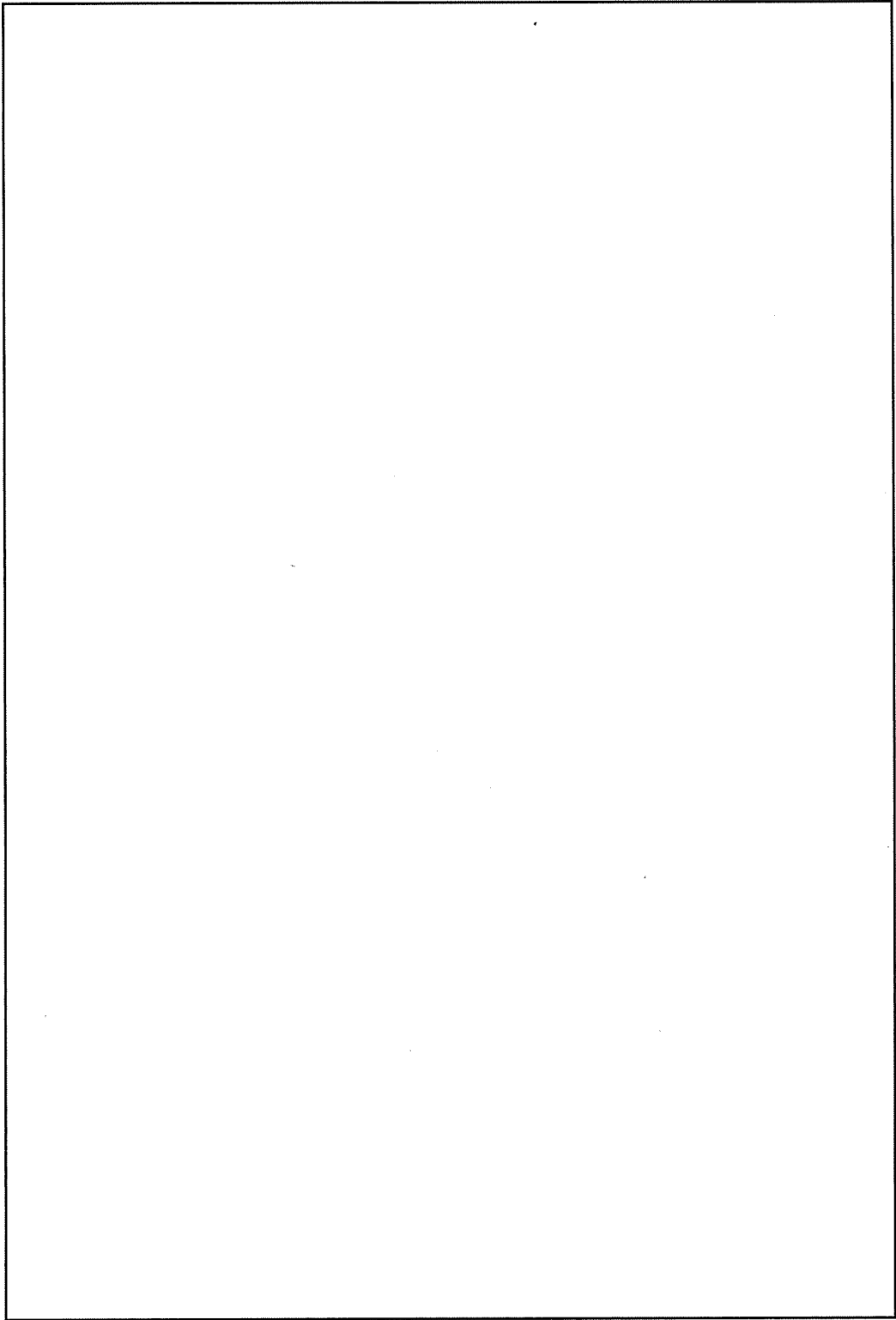
(イ) ー第D.20 図 NFB C被覆管 (収納物タイプIV)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



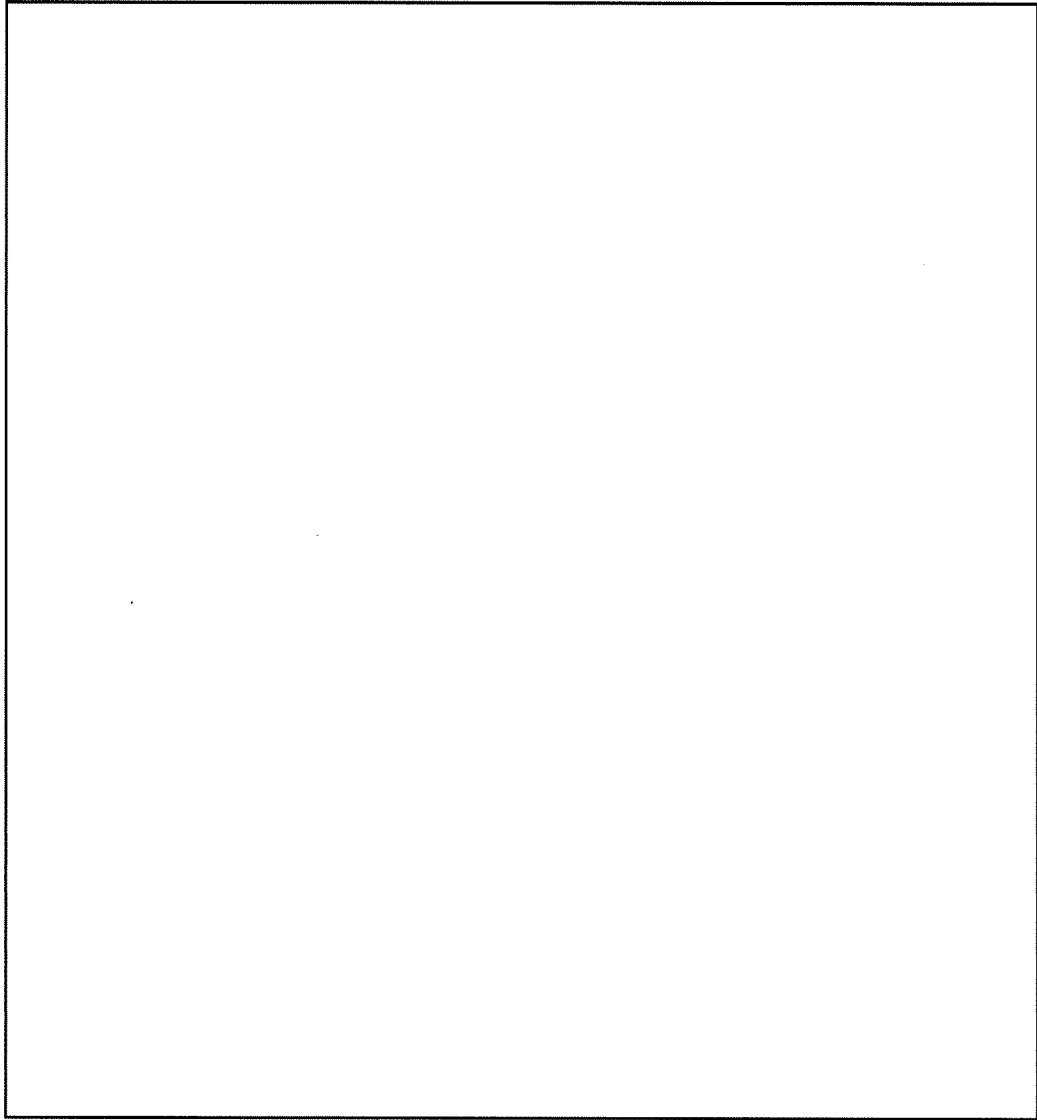
(イ) ー 第 D. 21 図 N F B C 被覆管収納状態 (収納物タイプ IV)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



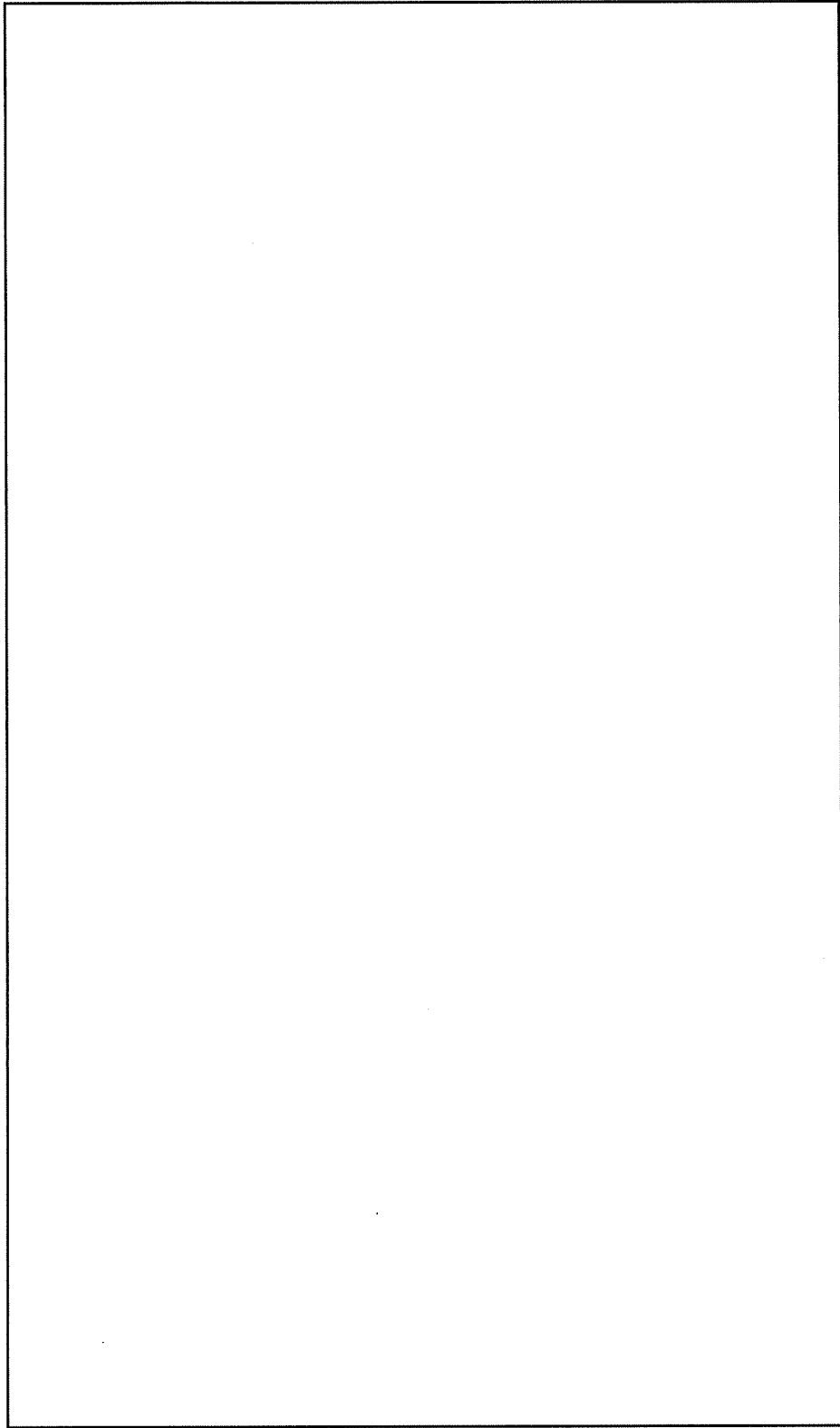
(イ) ー第D.22 図 バッフルフローマボルト (収納物タイプV、タイプVI)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



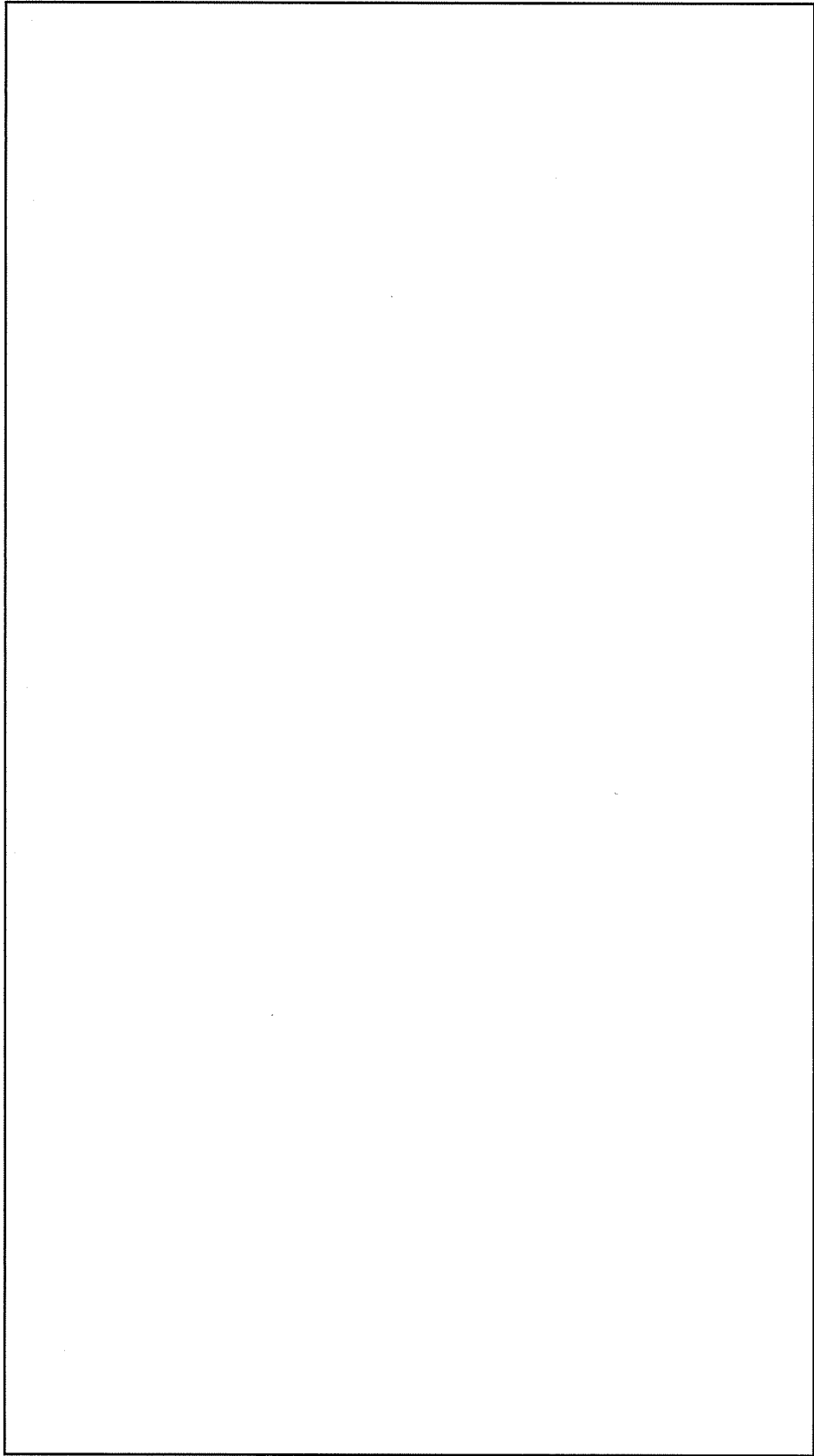
(イ) - 第 D. 23 図 バックアップフォーマット収納状態 (収納物タイプ V)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



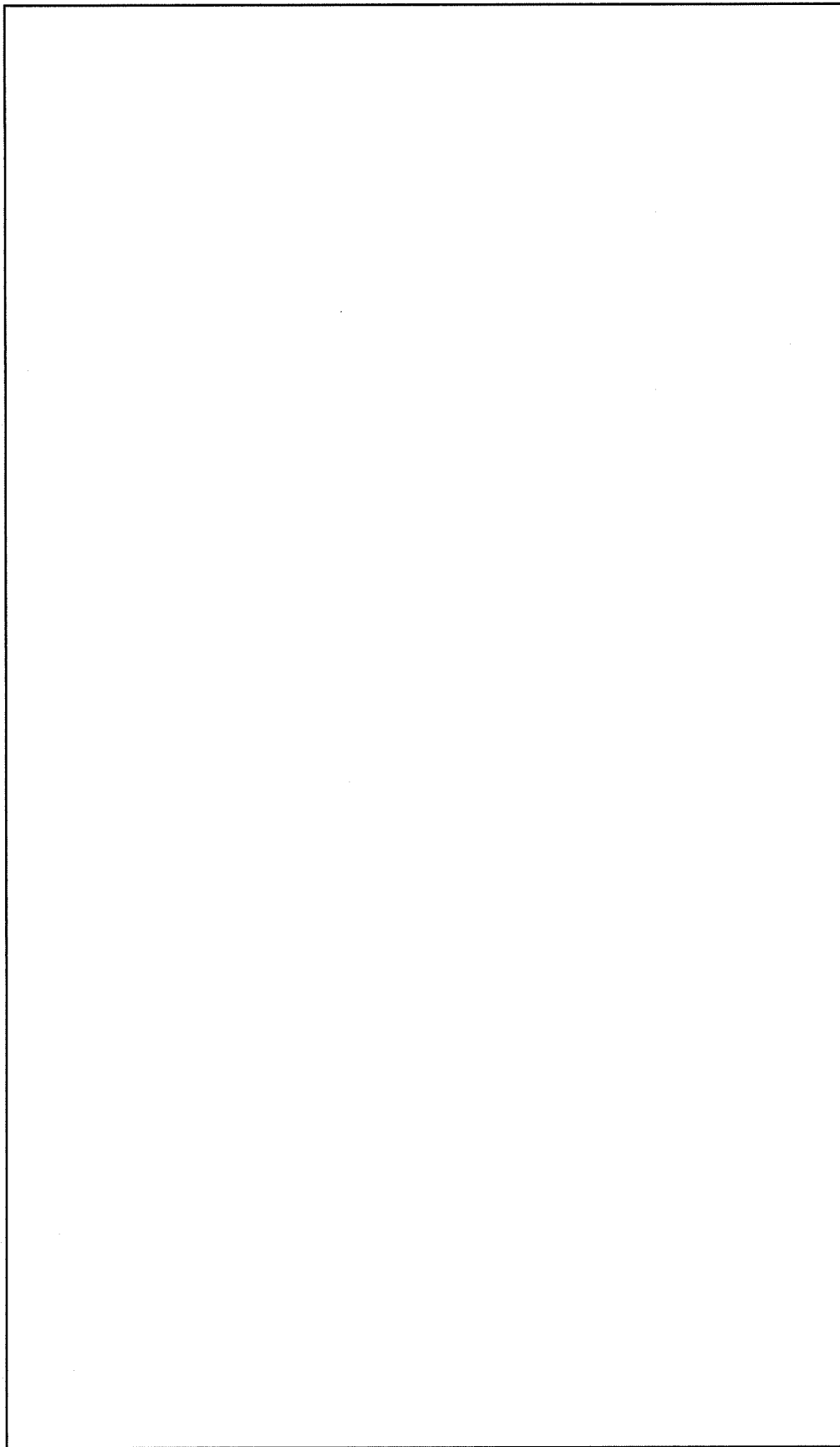
(イ) ー第 D.24 図 バックアップフォーマット収納状態 (収納物タイプVI)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



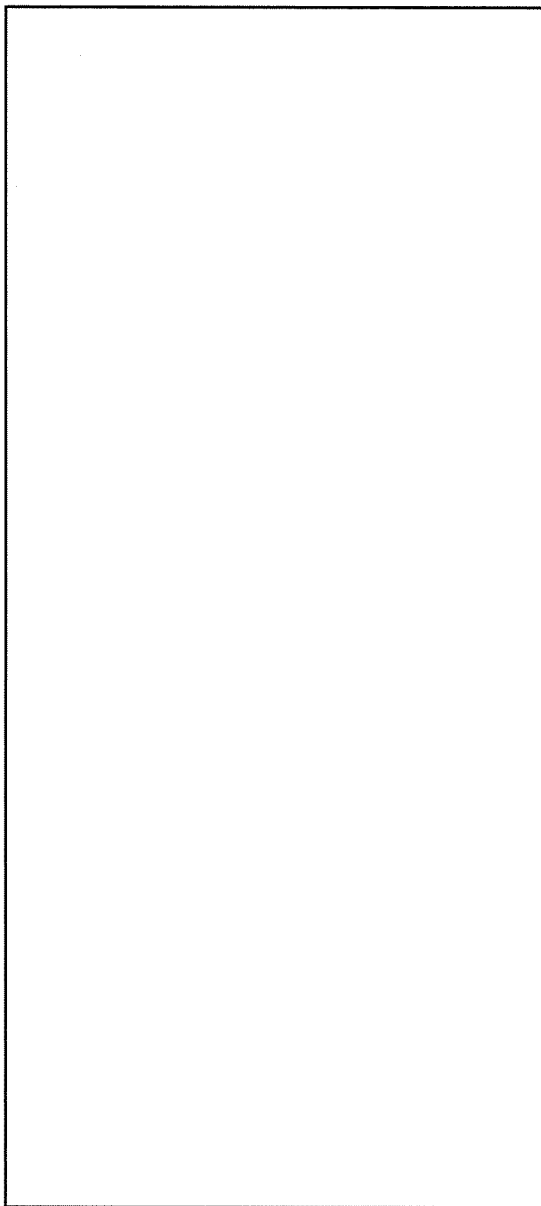
(イ) - 第D.25図 サンプル照射用内挿物 (PWR 15×15)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

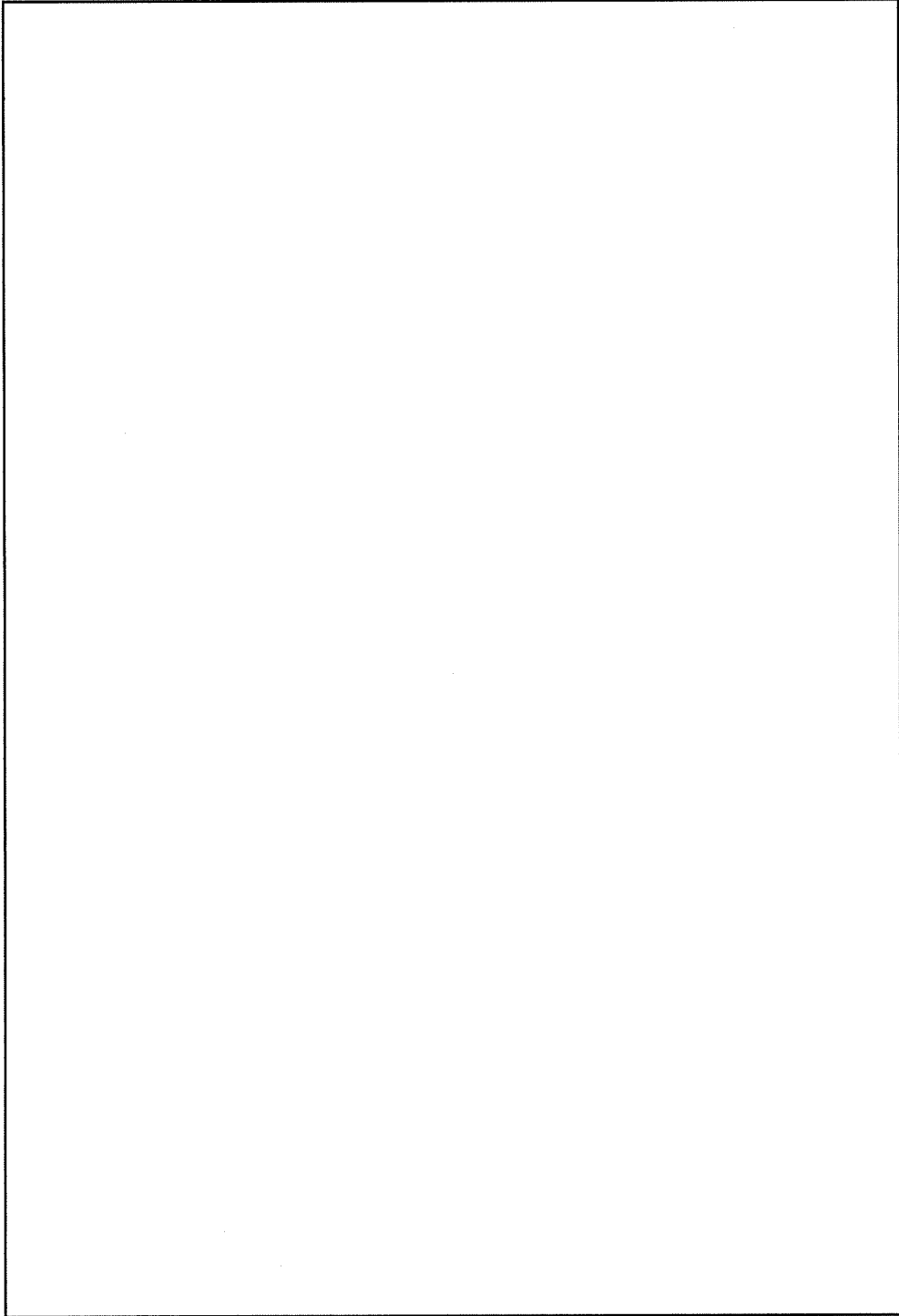


(イ) ー第D.26 図 照射サンプル及び照射用ロッド (収納物タイプVII)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 D. 28 図 シンブルチューブ (収納物タイプⅧ)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(イ) - 第 D. 29 図 シンブルチェーン収納状態図 (収納物タイプⅧ)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.3 放射能強度

(1) サーベイランスキャプセルの放射能強度

収納物種類 1 から 4 の内、最大重量で最大放射能強度となる収納物種類 2 の場合について、1 体当りの放射能強度の計算結果を (イ) - 第 D.9 表に示す。

注) (イ) - 第 D.9 表の計算は、サーベイランスキャプセルが、ステンレス鋼と炭素鋼から構成されているとして行った。

なお、キャプセル中に含まれるドジメータブロック及び温度モニタによる放射能強度は、 Bq である。

(2) RCC ロッド

輸送容器に収納する RCC ロッドのうち最大放射能強度を与える収納物種類 2 (RCC ロッド A) 及び種類 5 (RCC ロッド B) の放射能強度を (イ) - 第 D.9 表に示す。

(3) SS ロッドの放射能強度

輸送容器に収納する SS ロッドのうち最大放射能強度を与える収納物種類 2 の放射能強度を (イ) - 第 D.9 表に示す。

(4) NFBC 被覆管の放射能強度

輸送容器に収納する NFBC 被覆管の放射能強度を (イ) - 第 D.9 表に示す。

(5) バッフルフォーマボルトの放射能強度

輸送容器に収納するバッフルフォーマボルトのタイプ V 及びタイプ VI の放射能強度を (イ) - 第 D.9 表に示す。

(6) 照射サンプル及び照射用ロッド

輸送容器に収納する照射サンプル及び照射用ロッドの放射能強度を (イ) - 第 D.9 表に示す。

(7) シンプルチューブ

輸送容器に収納するシンプルチューブの放射能強度を (イ) - 第 D.9 表に示す。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) - 第D.9表 生成核種と放射能強度

単位: Bq/体

核種	収納物の タイプ	タイプ I		タイプ II		タイプ III	タイプ IV	タイプ V		タイプ VI	タイプ VII		タイプ VIII													
		2	カーベイン キャセル	2	RCC ロッド A	5	RCC ロッド B	2	SS ロッド	—	NFBC 被覆管	1	バッフル フォーマ ボルト	1	バッフル フォーマ ボルト	1	バッフル フォーマ ボルト	1	バッフル フォーマ ボルト	照射 *1 サンプル及び 照射用ロッド	照射 *2 サンプル及び 照射用ロッド	—	シンプル チューブ			
Mn ⁵⁴																										
Co ⁵⁸																										
Co ⁶⁰																										
Fe ⁵⁹																										
Cr ⁵¹																										
Mo ⁹⁹																										
Ag ^{108m}																										
Ag ^{109m}																										
Ag ^{110m}																										
Cd ¹⁰⁹																										
Cd ¹¹⁵																										
Cd ^{115m}																										
In ^{114m}																										
In ¹¹⁴																										
合計放射能強度 (Bq/体)																										

口で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.4 使用済燃料ピット水の放射能濃度

使用済燃料ピットは、使用済燃料を貯蔵するとともに、その崩壊熱の除去を行っている。ピット水の放射能は全放射能（ $\beta \cdot \gamma$ ）で管理され、その基準値は以下の値である。

$$\text{全放射能（}\beta \cdot \gamma\text{）} \leq \boxed{} \text{Bq/cm}^3$$

収納物を輸送容器に収納する際は、ピット内でバスケットに納めるため、収納物及びバスケット表面にはピット水が付着する。

燃料ピット水の放射能濃度を全放射能の基準値の10倍をとり、 $\boxed{}$ Bq/cm³とする。

D.5 収納物の発熱量

発熱量は各核種の放出エネルギーが全て熱に変わるものとして求めた。

その結果、発熱量が最大となるのは $\boxed{}$ 収納した場合で、その発熱量は約 $\boxed{}$ Wとなる。

\square で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

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

本輸送物が、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(昭和53年12月28日付け、総理府令第57号)」(以下「規則」と称す)第3条第3項の核燃料輸送物の経年変化を考慮した上で、第6条のBM型輸送物の設計条件である以下の規定を満足することを解析にて評価する。

(1) BM型輸送物に係る基準

(a) BM輸送物の通常輸送時

- (イ) 容易にかつ安全に取扱う事ができること。
- (ロ) 運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等によりき裂、破損等の生じるおそれの無いこと。
- (ハ) 表面に不要な突起物が無く、かつ表面の汚染の除去が容易であること。
- (ニ) 材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用または化学反応の生じるおそれの無いこと。
- (ホ) 弁が誤って操作されないような措置が講じられていること。
- (ヘ) 表面の放射性物質の密度が下記を超えないこと。
 - α 放射性物質 : $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$
 - $\beta \gamma$ 放射性物質 : $4\text{Bq}/\text{cm}^2$
- (ト) 外接する直方体の各辺が10cm以上であること。
- (チ) みだりに開封されないようにかつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように容易に破れないシールの貼付け等の措置が講じられていること。
- (リ) 構成部品は $-40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ までの温度範囲においてき裂、破損等の生じるおそれのないこと。ただし、運搬中に予想される温度の範囲が特定できる場合は、この限りでない。
- (ス) 周囲の圧力を60kPaとした場合に、放射性物質の漏えいがないこと。
- (ル) 液体状の核燃料物質等が収納されている場合には、核燃料物質等の温度による変化並びに運搬時及び注入時の挙動に対処し得る適切な空間を有していること。
- (ヲ) 表面における最大線量当量率が $2\text{mSv}/\text{h}$ を超えないこと。

(7) 表面から1 m離れた位置における最大線量当量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ を超えないこと。

(カ) 核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品以外のものが収納されていないこと。

(3) 運搬中に予想される最も低い温度から 38°C の周囲の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれのないこと。

(b) BM型輸送物の一般の試験条件

下記 (ロ) 項の一般の試験条件の下に置くこととした場合に、(イ) 項の要件を満足すること。

(イ) 要件

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

(ii) 放射性物質の1時間当たりの漏えい量が $A_2 \text{値} \times 10^{-6}$ を超えないこと。

(iii) 表面の温度が日陰において 50°C (専用積載としての運搬時の表面(近接防止枠を設置時はその表面)においては 85°C) を超えないこと。

(iv) 表面の放射性物質の密度が表面密度限度(1)(a)(ハ)を超えないこと。

(ロ) 一般の試験条件

(i) 38°C の条件下に1週間置くこと。

この場合輸送物表面の形状及び位置の区分に応じ、それぞれ次表に揚げる放射熱を1日につき12時間負荷すること。

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

(ii) 50 mm/h の雨量に相当する水を1時間吹き付けること。

(iii) (i) の条件に置いた後、次の条件に置くこと。

① 0.9 m (重量 5000 kg 以上 10000 kg 未満) 高さから最大の破損を及ぼすように落下させること。

② ①の後、重量の5倍に相当する荷重または鉛直投影面積に 13kPa を乗じた荷重のうち大きいものを24時間加えること。

③ ②の後、重量 6kg で直径が 3.2cm の鋼棒を 1 m の高さから落下させること。

(2) BM型輸送物の特別の試験条件

下記(ロ)項の特別の試験条件の下に置くこととした場合に、(イ)項の要件を満足すること。

(イ) 要件

(i) 表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率が 10m Sv/h を超えないこと

(ii) 放射性物質の 1 週間当たりの漏えい量が A_2 値を超えないこと。

ただし、 $Kr-85$ にあつては A_2 値の 10 倍 とする。

(iii) A_2 値の 10 万倍を超える量の放射能を有する核燃料物質等が収納されている核燃料輸送物にあつては、200 m の水中に 1 時間浸漬後、密封装置の破損のないこと。

(ロ) 特別の試験条件

(i) 9 m の高さから落下させること。

(ii) 直径が 15cm で長さ 20 cm の軟鋼丸棒上に 1 m の高さから落下させること。(i)、(ii) の順序は最大の破損を与える順序とする。

(iii) (ii) の後、38℃ の条件下に表面温度が一定になるまで置いた後、800℃ で、かつ、平均値が最小で 0.9 の放射率を有する火炎の放射熱の条件下に 30 分間置くこと。この場合において、表面吸収率は 0.8 とする。さらに、38℃ の条件下で冷却すること。この間 800 W/m^2 (上向きの表面)、 400 W/m^2 (その他の表面) の放射熱を負荷するものとする。ただし、人為的に冷却してはならない。

(iv) 深さ 15 m の水中に 8 時間浸漬させること。

口章 A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

輸送容器本体は、(イ)－第C. 2図に示したように、3重円筒構造である。

内胴は、上部蓋、下部蓋及びシャッタ蓋等により、密封容器を構成している。

内胴と外胴との間には、ガンマ線遮蔽用の鉛が充填されておりその厚さは、約180mmである。

また、外胴と外筒との間には、断熱材が充填されており、その厚さは約40mmでこれは火災時に、ガンマ線遮蔽材である鉛の溶融を防ぐために設けている。

外胴は一般の試験条件及び特別の試験条件に対し、十分耐え得る構造となっている。

また、外筒も特別の試験条件下において一部変形するが、熱的性能にはほとんど影響を及ぼさない。

蓋は(イ)－第C. 2図に示したように、締付けボルトにより本体に固定され各蓋フランジとの接合部の密封性は、(イ)C. 2. 2項で述べたようにいずれも2条のOリングにより保たれる構造となっている。

蓋は輸送中には(イ)－第C. 13図及び(イ)－第C. 14図に示す緩衝体で覆われ、かつ、これらの緩衝体は輸送容器本体の上部及び下部にボルトにより取付ける構造となっているため、不用意にあげられることはない。この緩衝体は落下等の機械的衝撃を緩和して輸送容器本体を保護する。

収納物を収納するバスケットは、(イ)－第C. 12図に示す構造となっており、収納物の出し入れに使用する。

輸送容器の吊上げは、本体上部及び下部に取付けられている各トラニオンを用いて行われる。上部トラニオンは、輸送容器の吊上げ荷重に耐える構造となっている。

輸送容器は、輸送中の加速度に対し耐えられるように(イ)－第C. 3図に示すように、架台へ固縛装置により固定される。

A.1.2 設計基準

輸送容器の設計基準は、科技庁告示第5号にしたがうと同時に、A S M E Sec. III Subsec. NB^[1]の技術基準に準拠し、各試験条件ごとに解析基準値を設ける。

(a) 解析基準値

各試験条件及び解析項目に対する解析基準^{*1}を(ロ)－第A.1表に示す。解析基準値は、各試験条件ごとに(ロ)A.3材料の機械的性質及び(ロ)B.熱解析に示す温度等にしたいが決定する。

なお、密封境界の重要部品であるボルト^{*2}及び収納物は、特別の試験条件においても塑性変形を生じない解析基準値とし、吊上装置及び固縛装置は科技庁告示第5号にしたがひ降伏応力を解析基準値とする。また、貫通試験時の衝突時近傍については、耐貫通強度を基準値とする。

また、溶接部の継手効率、放射線透過試験を行う箇所については1.0とし、それ以外の箇所については0.55とする。

以下、本項で用いる解析基準値の記号の内容は次の通りである。

Sm ; 設計応力強さ	N ; 使用回数
Sy ; 設計降伏強さ	Na ; 許容繰返し回数
Su ; 設計引張強さ	DF ; 疲れ累積係数 (=N/Na)
Sa ; 繰返しピーク応力強さ	

*1 本輸送器の使用回数は最大でも500回程度であり、この程度では、通常疲労損傷は生じない。ここでは参考までにA S M E Sec. III Subsec. NBにもとづき疲労評価を行った。

*2 密封装置の内、変形が密封性に影響を与える部位(蓋締付けボルト、蓋等)とする。

記号の説明

P_m ; 一次一般膜応力 Q ; 二次応力
 P_L ; 一次局部膜応力 F ; ピーク応力
 P_b ; 一次曲げ応力 DF ; 疲れ累積係数

(ロ) - 第A. 1表 構造解析に用いる応力評価基準

条件	解析項目	応力分類		一次応力強さ		(一次+二次)	(一次+二次+ピーク)
		評価位置	記号	$P_m(P_L)$	P_L+P_b	応力強さ P_L+P_b+Q	応力強さ P_L+P_b+Q+F
通常輸送時	吊上装置	トラニオン	外 胴	$< S_y$		-	-
		サドル					
	固縛装置	緩衝体	$< S_y$		-	-	
		圧力					容器本体	$< S_y$		-	-
振動	輸送物	輸送中の変動に耐え得ること。					
一般の試験条件	熱的試験	容器本体		$< S_y$		$< 2 S_y$	疲労評価 ($DF < 1$)
		蓋締付けボルト		$< S_y$		$< S_y$	
	水噴霧	輸送物	水の噴きつけに耐え得ること。				
	自由落下 (0.9 m落下)	容器本体		$< S_y$		$< 2 S_y$	疲労評価 ($DF < 1$)
		蓋締付けボルト		$< S_y$		$< S_y$	
		収納物		$< S_y$		$< S_y$	
		バスケット取付金具*		$< S_y$		$< S_y$	
積み重ね試験	輸送物		$< S_y$		$< 2 S_y$	疲労評価 ($DF < 1$)	
貫通	輸送物	耐貫通強度					
特別の試験条件	落下試験・I (9 m落下)	容器本体		$< S_u$		-	-
		蓋締付けボルト		$< S_y$		-	
		収納物		$< S_y$		-	
		バスケット取付金具*		$< S_y$		-	
	落下試験・II (1 m落下貫通)	容器本体(衝撃近傍)	耐貫通強度				
		容器本体(上記以外)		$< S_u$		-	-
	熱的試験	容器本体		$< S_u$		-	-
浸漬	容器本体	外圧に対して耐え得ること。					
<p>* バスケット取付金具とは、次のものを言う。 バスケット吊金具、バスケットピン</p>							

(b) 負荷の組合せ及び条件

負荷の組合せは、設計条件にしたがい、各解析項目に対して、(ロ)－第A. 2表及び(ロ)－第A. 3表に示すように、構造、材料、温度及び安全係数などを考慮して決定する。

(c) 解析方法

解析方法は次の簡易手法による応力解析とし、その解析及び応力評価範囲は、(ロ)－第A. 2表による。

(d) 余裕率

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

$$\text{余裕率 } M_s = \frac{(\text{解析基準値})}{(\text{解析結果})} - 1$$

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準値等を記述する。

以上に述べた設計基準にしたがい、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. 4表に示す。

(ロ) - 第A. 2表 設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分

条件	解析項目	応力分類 評価位置	簡易解析		
			重量	圧力	その他
通常試験時	吊上装置	トラニオン	△	—	—
		外 胴	△	—	—
	固縛装置	サドル	△	—	—
		緩衝体	△	—	—
	圧力	容器本体	—	△	—
	振動	輸送物	—	—	△
一般の試験条件	熱的試験	容器本体	—	△	—
		蓋締付けボルト	—	○	○
	水噴霧	輸送物	—	—	△
	自由落下	容器本体	○	○	—
		蓋締付けボルト	○	○	○
		収納物	△	—	—
		バスケット取付金具*	△	—	—
	積み重ね試験	輸送物	○	○	—
貫通	輸送物	—	—	△	
特別の試験条件	落下試験・I	容器本体	○	○	—
		蓋締付けボルト	○	○	○
		収納物	△	—	—
		バスケット取付金具*	△	—	—
	落下試験・II	容器本体(衝撃近傍)	—	—	△
		容器本体(上記以外)	○	○	—
	熱的試験	容器本体	—	△	—
	浸漬	容器本体	—	△	—

* バスケット取付金具とは、次のものを言う。
バスケット吊金具、バスケットピン

○：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 負荷条件

条件	解析項目	応力分類 評価位置	負荷条件				
			重量	内圧力	外圧力	その他	
通常輸送時	吊上装置	トラニオン	3 g	-	-	-	
		外 胴					
	固縛装置	サドル	長手方向: 2 g 横方向: 1 g 鉛直上方: 1 g 鉛直下方: 3 g	-	-	-	
		緩衝体					
圧力	容器本体	-	$5.7 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-		
一般の試験条件	熱的試験	容器本体	-	$1.6 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-	
		下部蓋締付けボルト	-	同上	-	初期締付け力 $6.58 \times 10^4 \text{N}$	
		上部蓋締付けボルト	-	同上	-	初期締付け力 $1.03 \times 10^5 \text{N}$	
		ジャック蓋締付けボルト	-	同上	-	同上	
	自由落下	容器本体	水平落下 95.0 (g)	$1.6 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-	
		下部蓋締付けボルト					同上	-	初期締付け力 $6.58 \times 10^4 \text{N}$
		上部蓋締付けボルト	垂直落下 228 (g)	同上	-	-	初期締付け力 $1.03 \times 10^5 \text{N}$
		ジャック蓋締付けボルト						同上	-	同上
		収納物	コーナ落下 50.3 (g)	-	-	-	-
		バスケット取付金具		-	-	-	-
	積み重ね試験	輸送物	$\times 5$ 倍+自重	$1.6 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-	
	貫通	輸送物	-	-	-	6kg 軟鋼棒の落下	
	特別の試験条件	落下試験・I	容器本体	水平落下 209 (g)	$1.6 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-
下部蓋締付けボルト			同上					-	初期締付け力 $6.58 \times 10^4 \text{N}$
上部蓋締付けボルト			垂直落下 228 (g)	同上	-	-	初期締付け力 $1.03 \times 10^5 \text{N}$
ジャック蓋締付けボルト								同上	-	同上
収納物			コーナ落下 177 (g)	-	-	-	-
バスケット取付金具				-	-	-	-
落下試験・II		容器本体 (衝撃近傍)	水平落下 75.5 (g)	-	-	-	-
		容器本体 (上記以外)	垂直落下 75.5 (g)	$1.6 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-	-
熱的試験		容器本体	-	$8.3 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$	-	-	
浸漬		容器本体	-	-	$147 \text{kPa} \cdot \text{G}$	-	

記号の説明

τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A. 4表 輸送容器の条件及び解析方法 (1/10)

条件	解析項目	設計条件					解析方法		備考	
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷係数	荷要素	適用数式または要素		解析基準
通常	1. 化学的及び電気的応答 (1) 化学的応答 (2) 電気的応答	-	-	-	腐食	-	活性	活性の有無	無	
		-	-	-	腐食	-	電位差	水分の有無	無	
常輸	2. 低温強度 (p) - 第A. 10表	-	-	-20°C	材質	-	低温脆性	低温脆性の有無	低温脆性の有無及び使用可能範囲	
		(イ) - 第C. 4図		60°C	誤操作による開放	-	誤動作の可否	誤動作の可否	否	
送時	4. 吊上装置 (1) トライオン (2) トライオンと補強板との溶接部 (3) 補強板と外胴の溶接部 (4) 外胴	(p) - 第A. 10図		60°C	輸送物の重量	3	せん断応力	$\tau = F/A$	0.6 S _y	
		(p) - 第A. 10図		60°C	輸送物の重量	3	せん断+曲げ	$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$	S _y	
		(p) - 第A. 10図		60°C	輸送物の重量	3	せん断+曲げ	$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$	S _y	
		(p) - 第A. 11図		60°C	輸送物の重量	3	軸方向応力	$\sigma_x = \frac{N_x}{T} \pm \frac{6M_x}{T^2}$	S _y	
		(p) - 第A. 11図		60°C	輸送物の重量	3	周方向応力	$\sigma_\phi = \frac{N_\phi}{T} \pm \frac{6M_\phi}{T^2}$	S _y	

口で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力
 τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

(ロ) - 第A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (2/10)

条件	解析項目	設計			条件		解析		備考		
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷係数	荷重要素	適用式または要素		解析基準	
											種	類
通 常 輸 送 時	5. 固縛装置										
	5.1 垂直方向										
	(1) サドル	(p)-第A.12 図	SS400	60°C	輸送物の重量	3	曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$	S_y		
	(2) サドルサポート	—	SS400	60°C	輸送物の重量	3	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F/2}{2A}$	S_y		
	(3) サドル部輸送容器本体	—	SS400	60°C	輸送物の重量	3	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F/2}{A}$	S_y		
	(4) サドルカバー締付ボルト	(p)-第A.14 図	SS400	60°C	輸送物の重量	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \end{array} \right.$	締付け応力 + 引張応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$ $\sigma_t = \frac{F}{nA_m}$	S_y		
	(5) カバーフランジ 5.2 長手方向	(p)-第A.15 図	SS400	60°C	輸送物の重量		1	曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$	S_y	
	(1) 緩衝体	(p)-第A.18 図	米 杉	—	輸送物の重量	2	圧縮応力	$\sigma_c = F/A$	σ_{ca}		
	(2) 固縛装置横梁	(p)-第A.19 図	SS400	60°C	輸送物の重量	2	曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$	S_y		
	(3) 固縛装置縦梁	(p)-第A.20 図	SS400	60°C	輸送物の重量	2	曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$	S_y		
	(4) 締付けボルト	(p)-第A.21 図	SS400	60°C	輸送物の重量	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 2 \end{array} \right.$	締付け応力 + 引張応力 + せん断応力	$\sigma = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_t)^2 + 4\tau^2}$	S_y		
	(5) 横梁溶接部	(p)-第A.22 図	SS400	60°C	輸送物の重量		2	せん断応力	$\tau = \frac{F_s}{A \cdot \eta}$	$0.6S_y$	
(6) 縦梁溶接部	(p)-第A.23 図	SS400	60°C	輸送物の重量	1		せん断+曲げ	$\sigma = \frac{1}{2} \left(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right)$	S_y		

記号の説明

τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (3/10)

条件	解析項目	設計条件				解析方法		備考		
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷係数	要素		適用数式または要素	解析基準
5.3 横方向 (1) 中央固縛装置 サドルサポート (2) サドルカバー-縮付け ボルト (3) サドルサポート 溶接部	(ロ)-第A.24図	SS400	60°C	輸送物の重量	1	せん断+曲げ	$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$	S _y		
	-	SS400	60°C	輸送物の重量	1	縮付け応力 + せん断応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_f^2 + 4\tau^2}$	S _y		
	(ロ)-第A.25図	SS400	60°C	輸送物の重量	1	せん断+曲げ	$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$	S _y		
6. 圧力 (1) 内胴	-		60°C	内圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	S _y		
	(ロ)-第A.26図 (ロ)-第A.28図	-	60°C	振動	1	共振	$f_1 = \frac{a_L}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot I}{w \cdot l^4}}$	輸送中の振動	f ₁ : 1次固有振動数 a ₁ : 1次モード係数 w: 単位当り質量	
8. 熱的試験 8.1 熱膨張 8.2 応力計算 (1) 内胴 (2) 本体蓋 (3) 本体蓋縮付けボルト 8.3 変位 (4) 本体オリング	-		60°C	熱膨張	1	熱膨張	熱膨張による拘束の有無	無		
	(ロ)-第A.30図 (ロ)-第A.31図		60°C 60°C	内圧 内圧	1 1	組合せ応力 組合せ応力	薄肉円筒の式 単純支持円板の式	S _y S _y		
	-		60°C	内圧	1	縮付け応力 + 引張り応力	$\sigma_t = 0.5\sigma_y$ $\sigma_t = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot P}{n \cdot Ar}$	初期縮付け力	a: 受圧面半径 (δ=1.1mm)	
	(ロ)-第A.32図		60°C	内圧	1		オリング部変位の式	S _y	初期縮め代	

□で囲った箇所は核セキリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

σ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) 第一A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (4/10)

条件	解析項目	参照図	材料	設計		条件		解析		備考
				温度	種類	設計	荷	適用式または要素	解析基準	
9. 水噴霧		-		-	水噴霧	1	吸水	吸水	無	
10. 自由落下										
10.1 水平落下										
10.1.1 緩衝体の変形量		(p)-第A.34 図	米杉, バルサ	-	0.9m 水平落下	1	変形量	$H > \Delta H (\Delta H = \frac{\delta_H}{\epsilon c})$	$H = 158\text{mm}$	H: 最少高さ ΔH : 必要高さ
10.1.2 応力計算		(p)-第A.35 図		60°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{e \cdot M}{I}$	S_y	
(1) 輸送容器本体		(p)-第A.37 図		60°C	0.9m 水平落下	1	縮付け応力 + 引張応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$ $\sigma_b = \frac{Mf_{max}}{I}$	S_y	
(2) 下部蓋縮付けボルト		(p)-第A.39 図		60°C	0.9m 水平落下	1	縮付け応力 + 引張応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$ $\sigma_b = \frac{Mf_{max}}{I}$	S_y	
(3) 上部蓋縮付けボルト		(p)-第A.40 図		60°C	0.9m 水平落下	1	組合せ応力	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_\theta = \sigma_r = 0.75 \frac{\Delta p b^2}{t^2} \\ \sigma_z = -P \end{array} \right.$	S_y	
(4) シヤッタ蓋		(p)-第A.41 図		60°C	0.9m 水平落下	1	縮付け応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$	S_y	
(5) シヤッタ蓋縮付けボルト		(p)-第A.42 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \beta_2 \frac{p a^2}{t^2}$	S_y	
(6) サーベイランスキャブセル		(p)-第A.44 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S_y	
(7) 収納缶本体		(p)-第A.44.a 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S_y	
(8) 収納缶本体		(p)-第A.44.b 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S_y	
(9) 収納缶脚		(p)-第A.44.c 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S_y	
(10) 照射用ロッド		(p)-第A.44.d 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S_y	
(11) 収納缶本体		(p)-第A.44.d 図		125°C	0.9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S_y	

□で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (5/10)

条件	解析項目	設計条件				解析方法		備考		
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷	要素		適用数式または要素	解析基準
一般の試験条件	10.2 垂直落下	(p)-第A.45 図	米形, β 材	-	0.9m 垂直落下	1	変形量	$H > \Delta H (\Delta H = \frac{4l}{\epsilon l})$	H=300	H: 最少高さ ΔH : 必要高さ
	10.2.1 緩衝体の変形量	(p)-第A.46 図		60°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	S_y	
	10.2.2 応力計算	(p)-第A.47 図		60°C	0.9m 垂直落下	1	曲げ+せん断	$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$	S_y	
	(1) 輸送容器本体	(p)-第A.48 図		60°C	0.9m 垂直落下	1	組合せ応力	$\sigma_\theta = \sigma_r = 0.75 \frac{\Delta p b^2}{t^2}$ $\sigma_z = -P$	S_y S_y	
	(2) 断熱材サポーターリング	(p)-第A.49 図		60°C	0.9m 垂直落下	1	組合せ応力	$\sigma_\theta = \sigma_r = 0.75 \frac{\Delta p b^2}{t^2}$ $\sigma_z = -P$	S_y S_y	
	(3) 下部蓋	-		60°C	0.9m 垂直落下	1	縮付け応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$	S_y	
	(4) 上部蓋	(p)-第A.50 図		65°C	0.9m 垂直落下	1	引張り+せん断	$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2}$	S_y	
	(5) シヤツタ蓋縮付けボルト	(p)-第A.50 図		65°C	0.9m 垂直落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2A}$	0.6 S_y	
	(6) 吊金具穴部	(p)-第A.51 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(7) バスケットピン	(p)-第A.52 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(8) サーマーバイランスキャプセル	(p)-第A.52.a 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(9) 収納脚	(p)-第A.52.b 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \beta \cdot \frac{W}{t^2} \cdot N$	S_y	
	(10) 収納本体	(p)-第A.52.c 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(11) 収納缶蓋板	(p)-第A.52.d 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
(12) 収納脚	(p)-第A.52.e 図		125°C	0.9m 垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y		
(13) 照射用ロッド										
(14) 収納本体										

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力
 τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

(ロ) - 第A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (6/10)

条件	解析項目	設計				条件			解析方法		備考
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷係数	荷重要素	適用数式または要素	解析基準		
										種	
一般	10.3 コーナ落下	(ロ)-第A.53 図	米杉、パル材	60°C	0.9 mコーナ落下	1	変形量 (10.1.2及び10.2.2の結果より評価)	$l > l_n (l_n = \frac{\delta \cdot l \cdot m}{\epsilon \cdot l})$	$l = 353 \text{ mm}$	l : 有効高さ l_n : 必要高さ	
	10.3.1 緩衝体の変形量										
	10.3.2 応力計算										
の	11. 積み重ね試験	(ロ)-第A.54 図	[]	60°C	5倍の輸送物重量	5	曲げ応力	$\sigma_b = M \cdot l / I$	S_y		
	(1) 輸送容器横置	(ロ)-第A.55 図		60°C	5倍の輸送物重量	5	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F_c + w \cdot g}{A}$	S_y		
試	12. 貫通	(ロ)-第A.56 図	[]	60°C	軟鋼棒の落下衝撃	1	貫通高さ	$E_2 = \tau_{cr} \cdot \pi d \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2$	$E_1 = w \cdot h$ 以下	τ_{cr} : せん断強度 (=0.65 σ_u)	
	(1) 緩衝体外板	(ロ)-第A.57 図									
験											
条											
件											

□で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A. 4表 輸送容器の条件及び解析方法 (7/10)

条件	解析項目	設計			条件		解析		備考	
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷係数	荷要素	適用式または要素		解析基準
特別の試験条件	13. 落下試験 I	(ロ) - 第A. 58 図	米杉, パル	-	9 m 垂直落下	1	変形量	$H > \Delta H (\Delta H = \frac{\Delta l}{\epsilon l})$	H = 300	H : 最小高さ ΔH : 必要高さ
	13.1 垂直落下						圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	S_u	
	13.1.1 緩衝体の変形量						曲げ+せん断	$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$	S_u	
	13.1.2 応力計算						組合せ応力	$\begin{cases} \sigma_\theta = \sigma_r = 0.75 \frac{\Delta p b^2}{t^2} \\ \sigma_z = -P \end{cases}$	S_u	
	(1) 輸送容器本体						組合せ応力	$\begin{cases} \sigma_\theta = \sigma_r = 0.75 \frac{\Delta p b^2}{t^2} \\ \sigma_z = -P \end{cases}$	S_u	
	(2) 断熱材サポートリング						縮付け応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$	S_y	
	(3) 下部蓋						引張り+せん断	$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2}$	S_y	
	(4) 上部蓋						せん断応力	$\tau = \frac{F}{2A}$	0.6 S_y	
	(5) シヤッタ蓋縮付けボルト						圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(6) 吊金具穴部						圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(7) バスケットピン						圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(8) サーベイランス キャプセル						圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(9) 収納缶脚						曲げ応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y	
	(10) 収納缶本体						圧縮応力	$\sigma_b = \beta \cdot \frac{W}{t^2} \cdot N$	S_y	
(11) 収納缶蓋板	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y							
(12) 収納缶脚	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y							
(13) 照射用ロッド	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y							
(14) 収納缶本体	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W \cdot N}{A}$	S_y							

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

σ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A. 4表 輸送容器の条件及び解析方法 (8/10)

条件	解析項目	参照図	材料	設計		条件		解析方法		備考
				温度	種類	設計負荷係数	要素	適用数式または要素	解析基準	
特別の試験条件	13.2 水平落下	(ロ)-第A. 60図	米杉, 8"φ	-	9m 水平落下	1	変形量	$H > \Delta H (\Delta H = \frac{\sigma H}{\epsilon \ell})$	H = 158mm	H : 最少高さ ΔH : 必要高さ
	13.2.1 緩衝体の変形量	}	}	60°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{e \cdot M}{I}$	S _u	
	13.2.2 応力計算			60°C	9m 水平落下	1	縮付け応力 + 引張応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$ $\sigma_b = \frac{M \ell \max}{I}$	S _y	
	(1) 輸送容器本体			60°C	9m 水平落下	1	縮付け応力 + 引張応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$ $\sigma_b = \frac{M \ell \max}{I}$	S _y	
	(2) 下部蓋縮付けボルト			60°C	9m 水平落下	1	組合せ応力	$\sigma_\theta = \sigma_r = 0.75 \frac{\Delta p b^2}{t^2}$ $\sigma_z = -P$	S _y	
	(3) 上部蓋縮付けボルト			60°C	9m 水平落下	1	縮付け応力	$\sigma_f = 0.5\sigma_y$	S _y	
	(4) シヤッタ蓋			60°C	9m 水平落下	1	縮付け応力	$\sigma_b = \beta_2 \frac{p a^2}{t^2}$	S _y	
	(5) シヤッタ蓋縮付けボルト			125°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y	
	(6) サーベイランスキャプセル			125°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y	
	(7) 収納缶本体			125°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y	
	(8) 収納缶本体			125°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y	
(9) 収納缶脚	125°C			9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y		
(10) 照射用ロッド	125°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y				
(11) 収納缶本体	125°C	9m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	S _y				

□で囲った箇所は核セキユリテリ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (9/10)

条件	解析項目	設計条件				解析方法		備考	
		参照図	材料	温度	設計種類	設計負荷要素	適用数式または要素		解析基準
特	13.3 コーナ落下	(p)-第A.62図	米杉, ハル	60°C	0.9m ² 落下	1	変形量 (13.1.2及び13.2.2の結果より評価)	$l > l_n$ ($l_n = \frac{\delta l_m}{\epsilon l}$) l : 有効高さ l_n : 必要高さ	
	13.3.1 緩衝体の変形量								
	13.3.2 応力計算								
別	14. 落下試験 II								
	14.1 垂直落下			60°C	1 m 垂直落下	1	貫通限界重量 (10.2.2の結果より評価)	$E_f = 2.35 \sigma_{Br}^3 X^{1.6}$ S_u	
	14.1.1 貫通蓋	-		60°C	1 m 垂直落下	1			
の	14.1.2 応力計算 外筒及び内筒	-		60°C	1 m 水平落下	1	貫通限界重量	$E_s = 1.8(1+y+46y^2)e^{0.4X} X^{1.3} \sigma_{Br}^3$ S_u	
	14.2 水平落下			60°C	1 m 水平落下	1			
	14.2.1 貫通外筒			60°C	1 m 水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	
試	14.2.2 応力計算 (1) 外筒, 外筒及び内筒	(p)-第A.63図		60°C	1 m 水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	
	(2) シヤッタ蓋	(p)-第A.65図		60°C	1 m 水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	
	(3) 上部蓋	(p)-第A.66図		60°C	1 m 水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	
験									
条									
件									

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

記号の説明

τ : せん断応力
 F : 荷重
 P : 圧力
 A : 断面積

σ : 主応力
 σ_t : 引張応力
 σ_c : 圧縮応力
 σ_b : 曲げ応力

(ロ) 第一A.4表 輸送容器の条件及び解析方法 (10/10)

条件	解析項目	設計				条件			解析方法		備考
		参照図	材料	温度	種類	設計負荷係数	荷重要素	適用数式または要素	解析基準		
										種		類	素
15. 熱的試験 15.1 圧力 (1) 外筒 (2) 外胴 (3) 内胴	(ロ)-第A.68図 — —	[]	702°C	外圧力	1	組合せ応力	薄肉円筒板の式	S_u			
			187°C	内圧力	1	組合せ応力	薄肉円筒板の式	S_u			
			180°C	内圧力	1	組合せ応力	薄肉円筒板の式	S_u			
16. 浸漬 (1) 外筒 (2) 外胴	— —	[]	60°C	外圧	1	座屈圧力	$P_{CR} = \frac{4Bt}{3D_o}$	P_{CR}	P_{CR} : 座屈圧力		
			60°C	外圧	1	座屈圧力	$P_{CR} = \frac{4Bt}{3D_o}$	P_{CR}			

□で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.2 重量及び重心

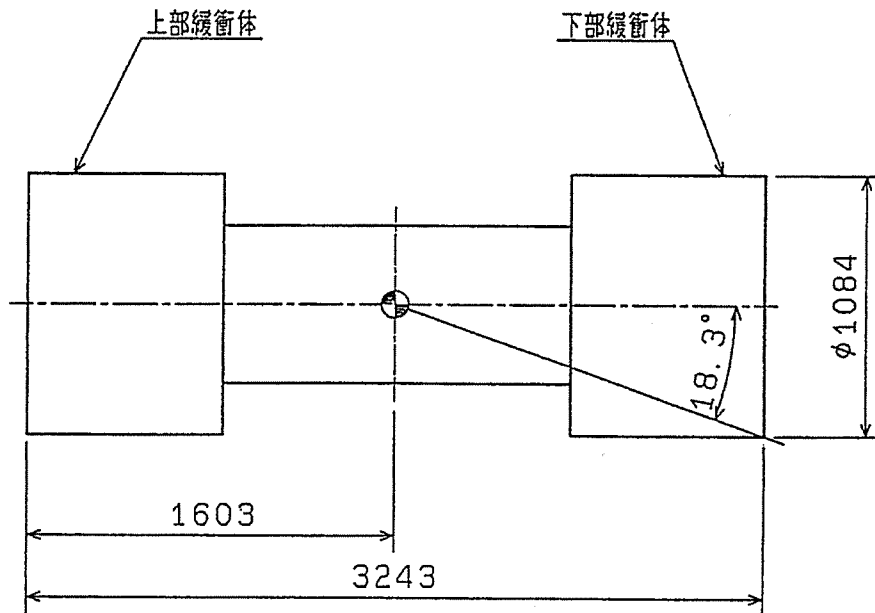
輸送物の重量を、(ロ)－第A.5表に示す。また、輸送物の重心位置を(ロ)－第A.1図に示す。

(ロ)－第A.5表 輸送物の重量

項 目	重 量(kg)
輸送容器本体 (蓋類、シャッタ、ハンガを含む)	8719
緩 衝 体	800
バスケット	30
収納物 (サーベイランスキャプセル)	
輸 送 物	9563

ただし、本輸送容器の構造解析では安全側の評価とするため、次に示す重量を用いた。

- ・ 輸送時及び水平操作時の全重量 : 9600kg
- ・ 垂直操作時の全重量 : 8800kg (緩衝体重量を除く)



(ロ)－第A.1図 重 心 の 位 置

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.3 材料の機械的性質

構造解析に用いる主要部の材料の機械的性質を(ロ)－第A.6表に示す。

☐ステンレス鋼の温度特性は、ASME Sec. IIIより(ロ)－第A.2図に示す。

溶接部は、母材と同等、またはそれ以上の機械的強度をもつもので、その、応力－歪曲線を(ロ)－第A.3図から(ロ)－第A.6図に示す。また、緩衝体に用いている緩衝材の米杉及びバルサのエネルギー吸収特性値を(ロ)－第A.7表に示す。

(ロ)－第A.6表 (1/2) 輸送容器主要部の材料の機械的性質 (60°C)

部材名	材 料	設計降伏強さ Sy N/mm ²	設計引張強さ Su N/mm ²	縦弾性係数 E N/mm ²	線膨張係数 α 1/°C	密 度 ρ kg/m ³
内 胴 外 胴 外 筒	☐	193	489	1.92×10 ⁵	15.5×10 ⁻⁶	7.93×10 ³
蓋 類	☐	193	489	1.92×10 ⁵	15.5×10 ⁻⁶	7.93×10 ³
トラニオン	☐	193	489	1.92×10 ⁵	15.5×10 ⁻⁶	7.93×10 ³
蓋締付け ボルト	☐	875	966	1.98×10 ⁵	11.8×10 ⁻⁶	7.85×10 ³
ガンマ線 遮蔽材	鉛	—	—	—	—	11.3×10 ³
断熱材	キャストワール	—	圧縮強さ 24N/mm ²	—	—	2.35×10 ³
固縛装置	SS400	227	390	2.00×10 ⁵	11.8×10 ⁻⁶	7.85×10 ³

(ロ)－第A.6表 (2/2) 輸送容器主要部の材料の機械的性質

部 材 名	材 料	温 度 °C	設計引張強さ Su N/mm ²
外 筒	☐	702	259
外 胴	☐	187	407
内 胴	☐	180	410

☐で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)一第A.7表 緩衝材のエネルギー吸収特性 (三菱重工業株実験値)

緩衝材	荷重方向に対する木目の方向	e N/mm ²	σ_{cp} N/mm ²	σ_{ca} N/mm ²	ϵ_l	備考
米杉	平行	12.6	23.5	19.2	0.65	(ロ)一第A.7図
	直角	8.43	21.1	12.1	0.70	(ロ)一第A.7図
バルサ	平行	6.18	10.7	8.24	0.75	(ロ)一第A.8図
	直角	0.88	3.09	1.23	0.70	(ロ)一第A.8図

[備考]

e : 単位体積当たりエネルギー吸収量 (N/mm²)

$$e = \int_0^{\epsilon_l} \sigma \cdot d\epsilon$$

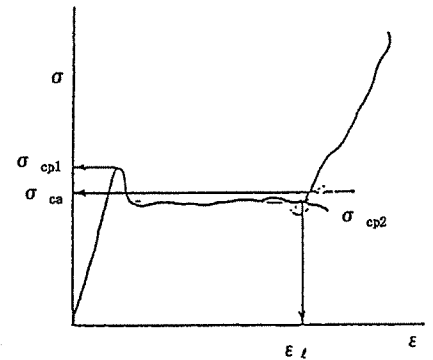
ϵ_l : ロックアップ歪

σ_{cp} : 最大圧縮応力 (N/mm²)

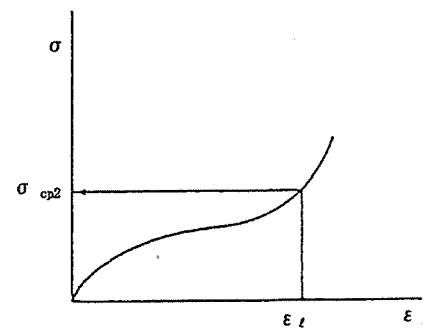
$$\left[\begin{array}{l} \sigma_{cp} : \sigma_{cp1} \text{ と } \sigma_{cp2} \text{ の} \\ \text{いずれか大きい値} \end{array} \right]$$

σ_{ca} : 平均圧縮応力 (N/mm²)

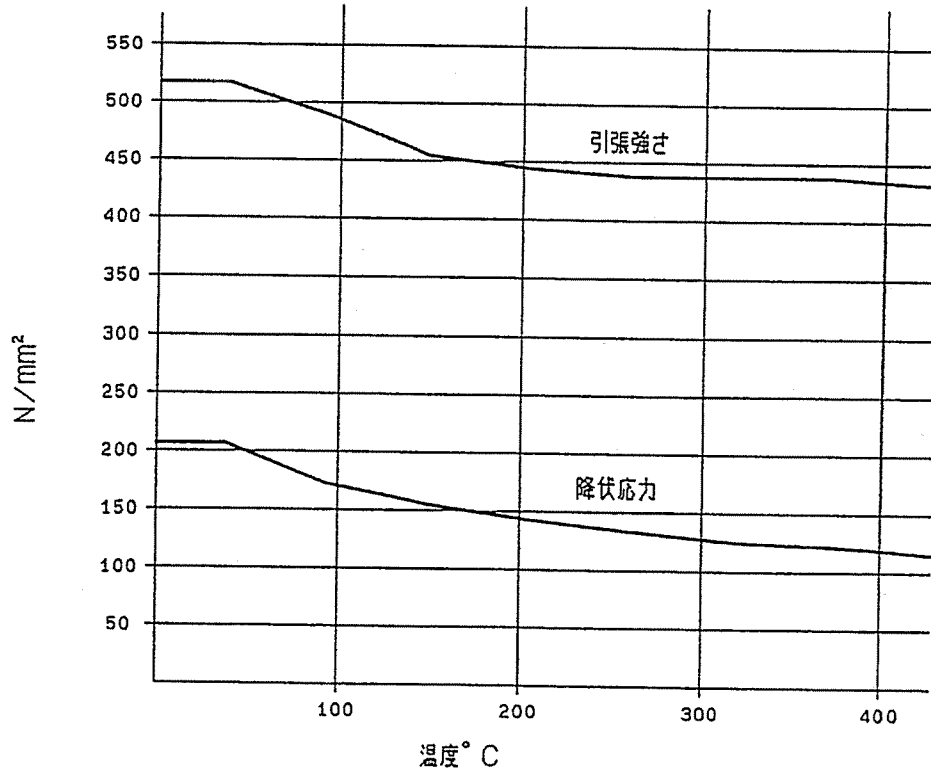
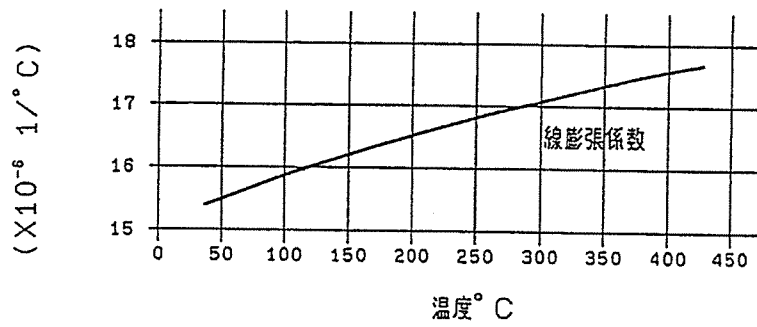
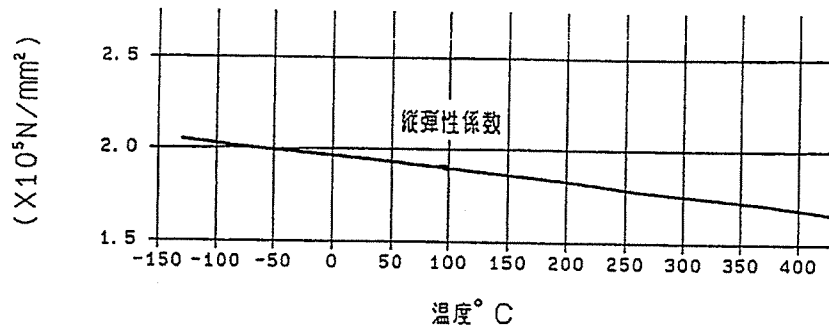
$$\left[\sigma_{ca} = \frac{\int_0^{\epsilon_l} \sigma \cdot d\epsilon}{\epsilon_l} \right]$$



荷重方向が木目に平行な場合

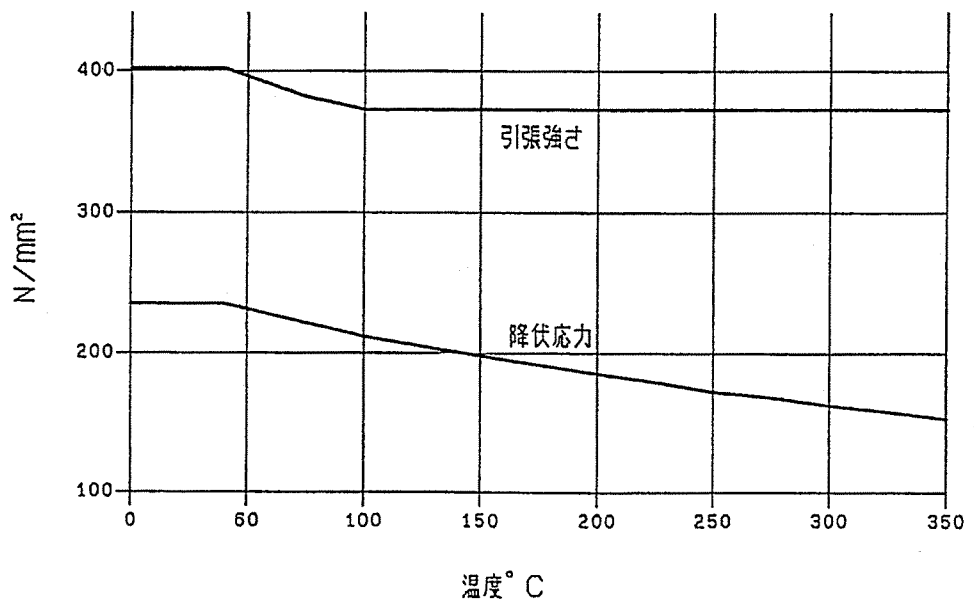
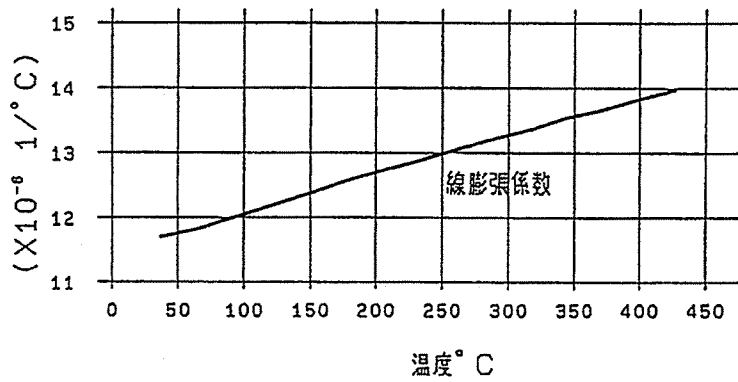
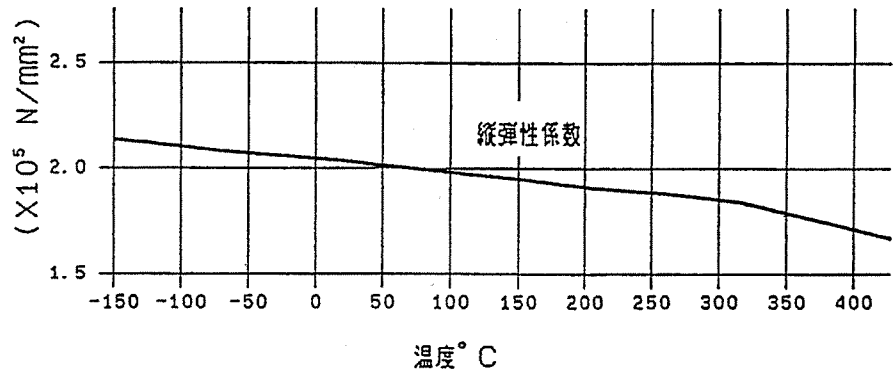


荷重方向が木目に直角な場合

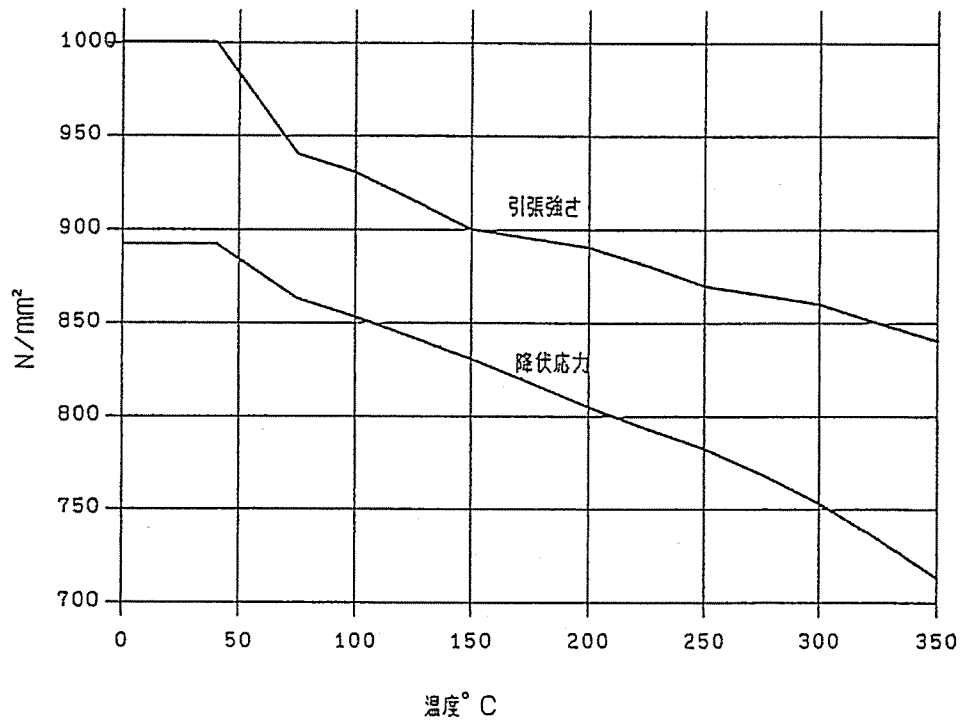
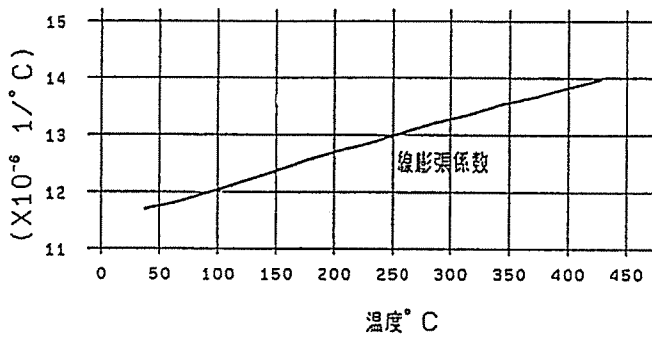
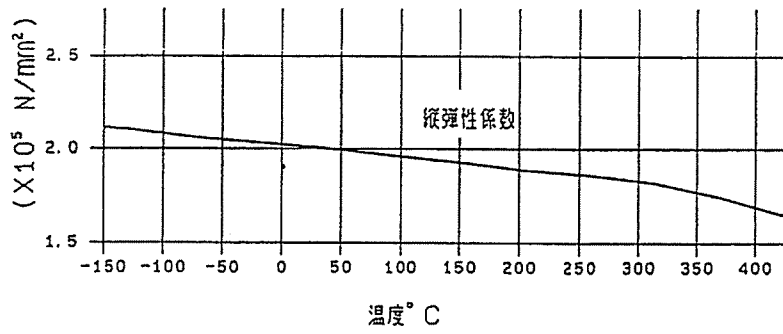


(口) - 第A. 2図 の温度特性 (ASME Sec. IIIより)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

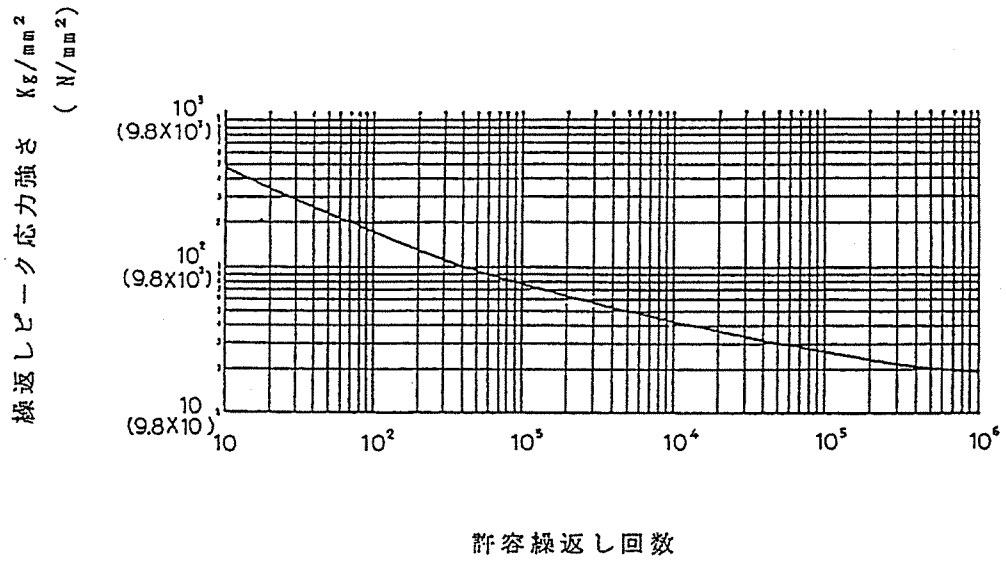


(ロ) - 第A. 3図 SS400の温度特性 (ASME Sec. IIIより)

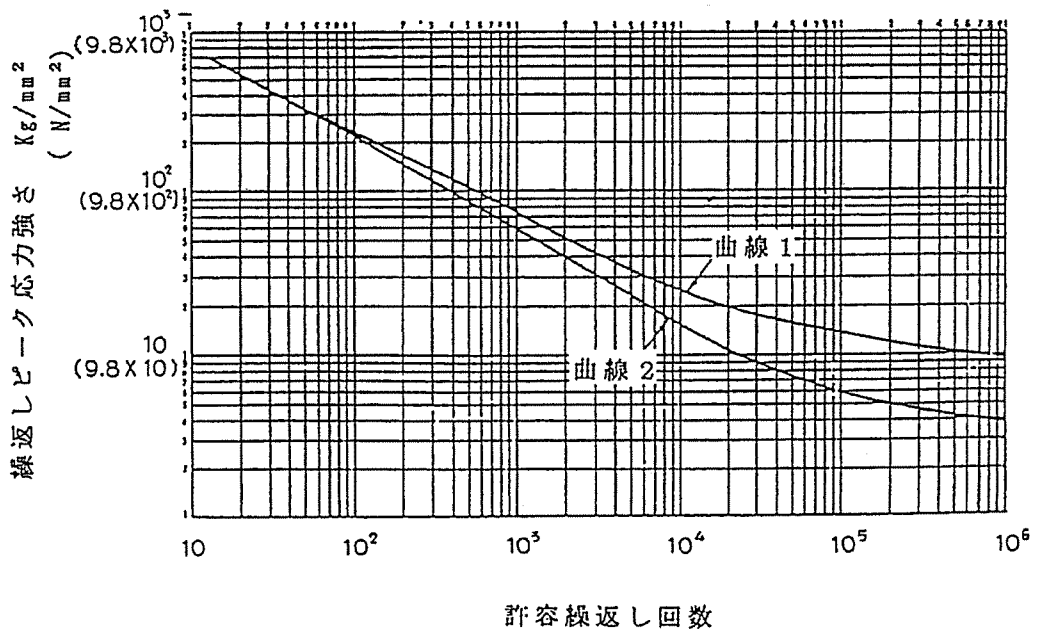


(ロ) - 第A. 4図 の温度特性 (ASME Sec. IIIより)

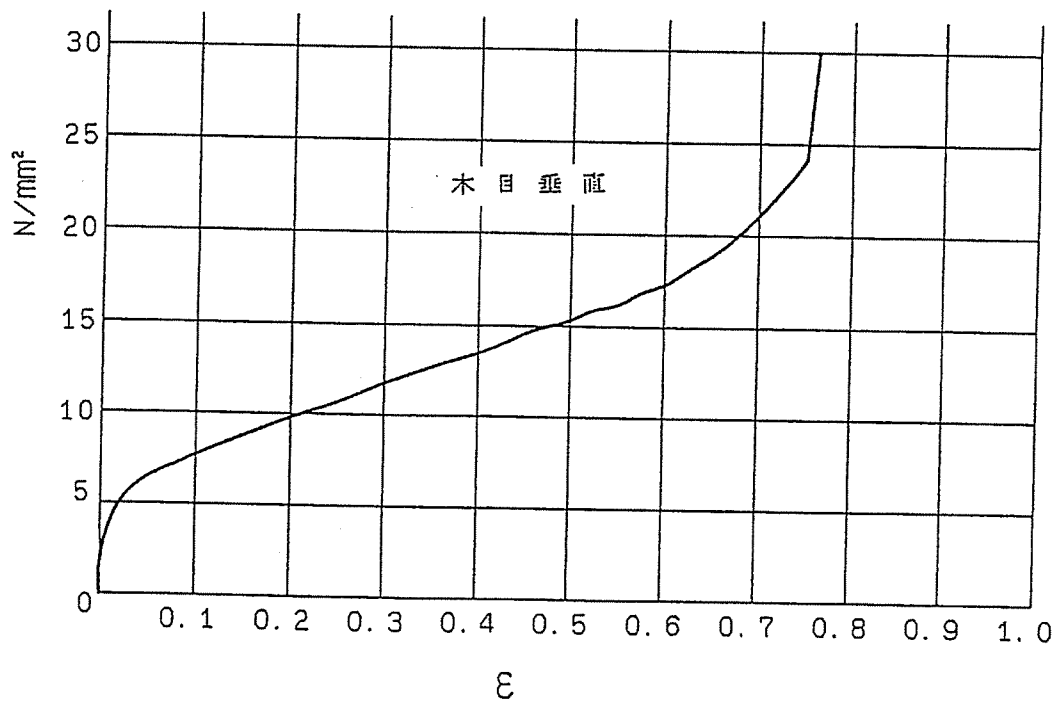
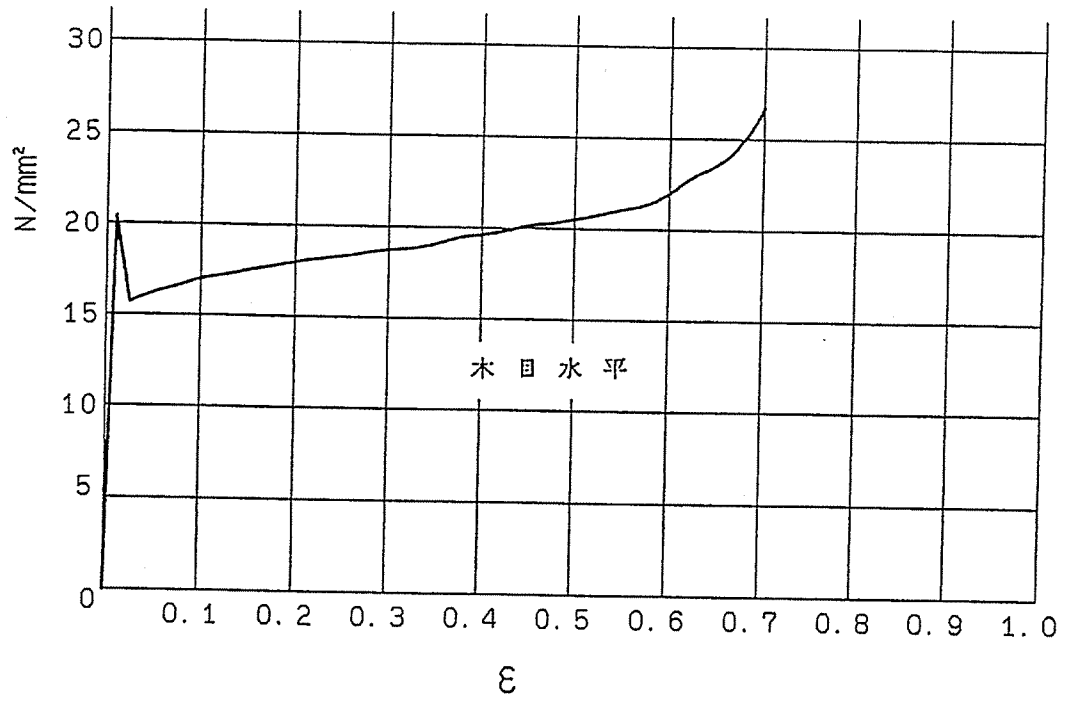
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



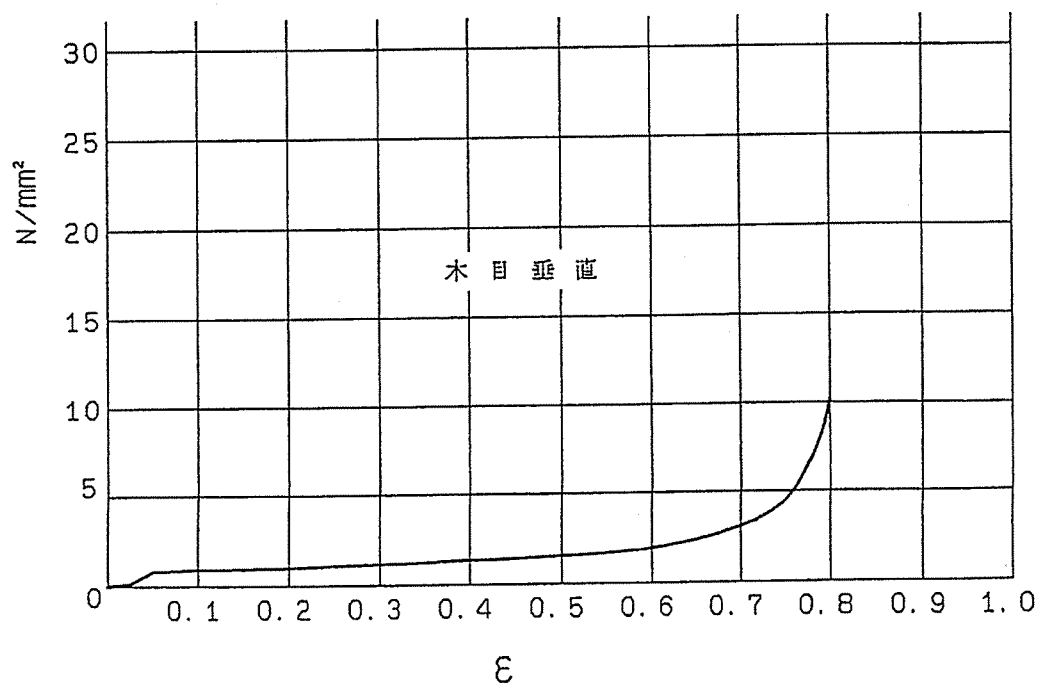
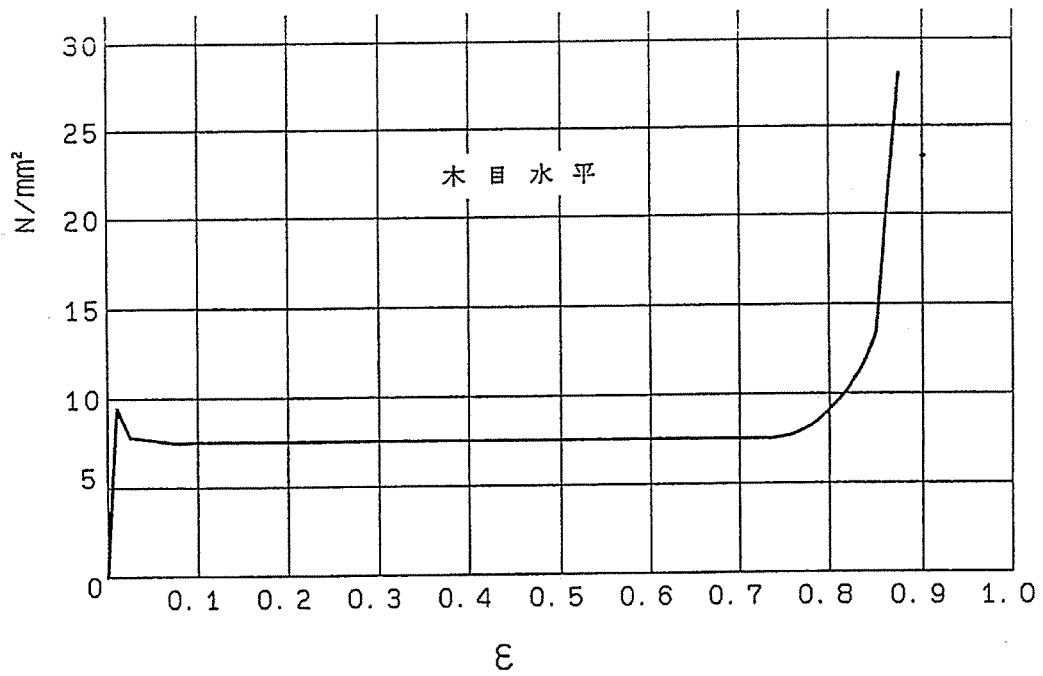
(ロ) - 第A. 5図 設計疲れ線図 (オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金)



(ロ) - 第A. 6図 設計疲れ線図 (高張力ボルト)



(口) - 第A. 7図 米杉、木目水平・垂直の場合の圧縮特性曲線



(ロ) - 第A. 8図 バルサ、木目水平・垂直の場合の圧縮特性曲線

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との間で接触する異種材料の一覧を(ロ)－第A.8表に示す。これらの材料は通常時において顕著な化学的、または異種材料の接触による電氣的反応を生ずる恐れはない。

(ロ)－第A.8表 接触する異種材料の一覧表

接 触 物		接 触 材 質
内 胴	} _____ ガンマ線遮蔽材	ステンレス鋼 – 鉛
外 胴		
外 胴	} _____ 断熱材	ステンレス鋼 – キャスタブル
外 筒		
蓋	} _____ オリング	ステンレス鋼 – ポリエチレン系の合成ゴム (EPDM)
本 体		
緩衝体ケース	_____ 緩衝材	ステンレス鋼 – 米杉及びバルサ
サーベイランスキャプセル被覆管	_____ 試験片	ステンレス鋼 – 炭素鋼
RCCロッド被覆管及び収納缶	} _____ ライナ	ステンレス鋼 – <input type="text"/>
NFBC被覆管及び収納缶		
2次中性子源棒及び収納缶		
バッフルフォーマボルト及び収納缶		

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.4.2 低温強度

(ロ)－第A.9表に、各PWR原子力発電所設置地区の最低気温を示す。

(ロ)－第A.9表において北海道電力泊原子力発電所の最低気温 -15.7°C が最も低い。
これより設計温度は -20°C とした。

(ロ)－第A.9表 各PWR原子力発電所設置地区の最低気温

プラント名	最低気温 ($^{\circ}\text{C}$)	地名
九電・川内	-6.7	鹿児島
九電・玄海	-8.2	福岡
四電・伊方	-8.3	松山
関電 { 高浜 大飯 美浜 原電・敦賀	-15.1	福井
北電・泊	-15.7	寿都

(ロ)－第A.10表に最低発熱量 0 kW における輸送物各部の温度と使用材質の脆性遷移温度または最低使用温度を示す。

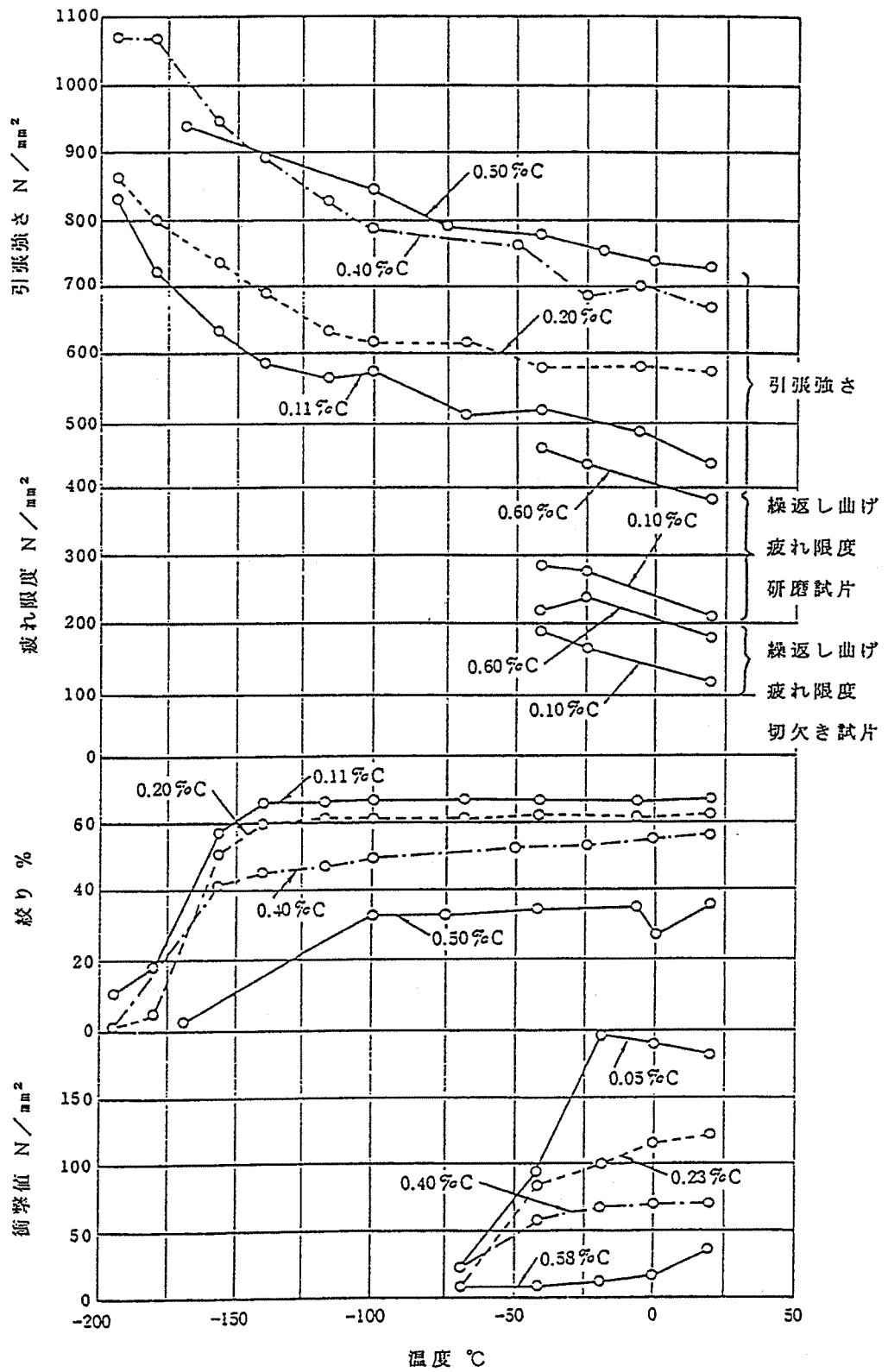
また、低合金鋼の低温下の機械的性質を(ロ)－第A.9図に示す。

(ロ)－第A.10表に示すように、輸送物各部の温度は -20°C となるが、(ロ)－第A.9図で明らかなように使用材質の脆性遷移温度、または最低使用温度以上であるため、低温強度に対して問題はない。

(ロ)－第A.10表 輸送物各部の最低温度または脆性遷移温度

No.	評価位置	材質	最低温度	脆性遷移温度または最低使用温度
1	吊上げ装置	低炭素鋼	−20℃	−30℃以下
2	固縛装置	低炭素鋼	−20℃	−30℃以下
3	容器本体	ステンレス鋼	−20℃	*1
4	ガンマ線遮蔽体	鉛	−20℃	−253℃
5	本体蓋締付けボルト	低合金鋼	−20℃	−30℃以下
6	本体蓋	ステンレス鋼	−20℃	*1
7	収納缶	ステンレス鋼	−20℃	*1
8	本体蓋部Oリング	エチレンプロピレンゴム	−20℃	−50℃

*1：金属学的に面心立方格子であることから、低温脆性をおこさない。



(口) - 第A. 9図 炭素鋼の低温における機械的性質

A.4.3 密装置

輸送容器の蓋及び蓋ボルトは、通常の輸送時には(イ)－第C.2図に示したように上・下部共緩衝体で覆われているので、不用意に開けられることはない。

また、輸送容器と緩衝体とは、取付けボルト以外に されるので不用意に取外されることはない。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.4.4 吊上装置

(1) 概 要

本輸送容器には、(イ)－第C.9図に示したように輸送容器の上・下部に180°間隔で吊上げ用のトラニオンが取付けられている。

本項では、この吊上げ装置が吊上げ時に健全性を十分保持することができることを示すために(ロ)－第A.11表に示す箇所及び項目について解析をする。吊上げ装置(トラニオン)の疲労についてはロ章Fの付属資料にて影響のないことを確認している。

(ロ)－第A.11表 吊上げ装置、解析対象及び解析項目

解析対象箇所	解析項目	解析モデル
トラニオン	せん断応力	(ロ)－第A.10図
トラニオンと補強板溶接部	せん断応力 曲げ応力 合成応力	(ロ)－第A.10図
補強板と外胴溶接部	せん断応力 曲げ応力 合成応力	(ロ)－第A.10図
外 胴	軸方向応力 周方向応力	(ロ)－第A.11図

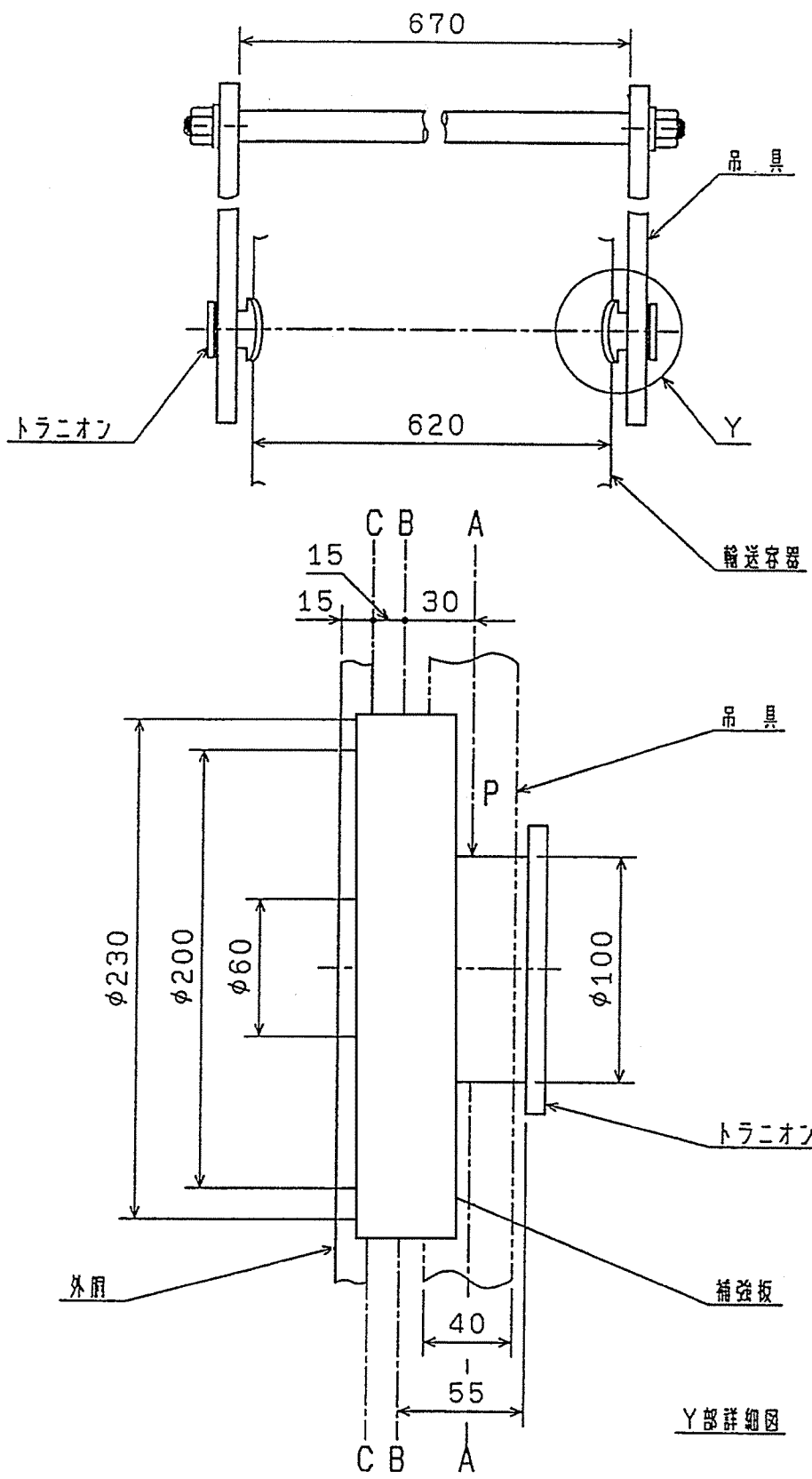
(2) 設計荷重

吊上げ用トラニオンの荷重に関する輸送物吊上げ総重量は、輸送物から上部緩衝体(含補強リング)と下部緩衝体を取外した状態の重量で、8.8トンとして取扱う。

2個の吊上げ用トラニオンのうち1個に加わる輸送物吊上げ時の最大荷重Fは、負荷係数を3として次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{2} W \cdot \alpha \cdot g \\
 &= \frac{1}{2} \times 8.8 \times 10^3 \times 3.0 \times 9.8 = 1.29 \times 10^5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

よって、 $F = 1.29 \times 10^5 \text{ N}$ として吊上げ用トラニオンに生ずる応力について解析する。



(ロ) - 第A.10図 トランニオン解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(a) トラニオンに生ずる応力 (断面A-A)

トラニオンに生ずるせん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \alpha \cdot \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ここで、

τ : せん断応力 (N/mm²)

F : 最大荷重 = 1.29 × 10⁵ N

α : 形状係数 = 4/3

d : トラニオン最小径 = 100mm

したがって、

$$\tau = \frac{4}{3} \times \frac{1.29 \times 10^5}{\pi/4 \times 100^2} = 21.9 \text{ N/mm}^2$$

となり、トラニオン材 のせん断強さ (0.6S_y = 115 N/mm²) より小さい。

また余裕率M_sは以下の値となる。

$$M_s = \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 = \frac{115}{21.9} - 1 = 4.2$$

(b) トラニオンと補強板との溶接部に生ずる応力 (断面B-B)

(i) 溶接部に生ずるせん断応力

溶接部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \alpha \frac{F}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \frac{1}{\eta}$$

ここで、

τ : せん断応力 (N/mm²)

F : 最大荷重 = 1.29 × 10⁵ N/mm²

α : 形状係数

$$\alpha = \frac{4}{3} \cdot \frac{R_2^2 + R_2 \cdot R_1 + R_1^2}{R_2^2 + R_1^2} = \frac{4}{3} \times \frac{50^2 + 50 \times 30 + 30^2}{50^2 + 30^2}$$

$$= 1.92$$

R₂ : 溶接脚長部外半径 = 50mm

R₁ : 溶接脚長部内半径 = 30mm

η : 溶接継手効率 = 0.55

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

したがって、溶接部に生ずるせん断応力 τ は

$$\tau = 1.92 \times \frac{1.29 \times 10^5}{\pi(50^2 - 30^2)} \times \frac{1}{0.55} = 89.6 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 のせん断強さ ($0.6S_y = 115 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 = \frac{115}{89.6} - 1 = 0.2$$

(ii) 溶接部に生ずる曲げ応力

溶接部に生ずる曲げ応力は次式より求まる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \cdot \frac{1}{\eta}$$

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

$$M = F \cdot \ell = 1.29 \times 10^5 \times 30 = 3.87 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

F : 最大荷重 $= 1.29 \times 10^5 \text{ N}$

ℓ : 荷重作用点から断面 B-B までの距離 $= 30 \text{ mm}$

Z : 断面係数 mm^3

$$Z = \frac{\pi}{4} \times \frac{R_2^4 - R_1^4}{R_2} = \frac{\pi}{4} \times \frac{50^4 - 30^4}{50} = 8.55 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

R_2 : 溶接部脚長外半径 $= 50 \text{ mm}$

R_1 : 溶接部脚長内半径 $= 30 \text{ mm}$

η : 溶接継手効率 $= 0.55$

したがって、溶接部に生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{3.87 \times 10^6}{8.55 \times 10^4} \times \frac{1}{0.55} = 82.3 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 の降伏応力 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{193}{82.3} - 1 = 1.3$$

(iii) 合成応力

上述のせん断応力 τ と曲げ応力 σ_b との合成応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right\}$$

σ : 合成応力 (N/mm²)

τ : せん断応力=89.6 N/mm²

σ_b : 曲げ応力=82.3 N/mm²

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{2} \left\{ 82.3 + \sqrt{82.3^2 + 4 \times 89.6^2} \right\} \\ &= 140 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

となり、溶接部 の降伏応力 ($S_y=193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \frac{193}{140} - 1 = 0.3$$

したがって、操作時における荷重によりトラニオンと補強板の溶接部に発生する応力は基準値を下まわっており健全性が損なわれることはない。

(c) 補強板と外胴との溶接部に生ずる応力 (断面C-C)

(i) 溶接部に生ずるせん断応力

溶接部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \alpha \frac{F}{A} \cdot \frac{1}{\eta}$$

ここで、

τ : せん断応力 (N/mm²)

F : 作用荷重=1.29×10⁵ N

A : 溶接部断面積=π (R₂²-R₁²)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

α : 形状係数

$$\alpha = \frac{4}{3} \cdot \frac{R_2^2 + R_2 \cdot R_1 + R_1^2}{R_2^2 + R_1^2} = \frac{4}{3} \times \frac{115^2 + 115 \times 100 + 100^2}{115^2 + 100^2}$$
$$= 1.99$$

R_2 : 溶接部脚長外半径 = 115mm

R_1 : 溶接部脚長内半径 = 100mm

η : 溶接継手効率 = 0.55

したがって、溶接部のせん断応力 τ は

$$\tau = 1.99 \times \frac{1.29 \times 10^5}{\pi(115^2 - 100^2)} \times \frac{1}{0.55} = 46.1$$

となり、溶接部 のせん断強さ ($0.6S_y = 115 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 = \frac{115}{46.1} - 1 = 1.4$$

(ii) 溶接部に生ずる曲げ応力

溶接部に生ずる曲げ応力は次式より求まる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \cdot \frac{1}{\eta}$$

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

$$M = F \ell' = 1.29 \times 10^5 \times 45 = 5.81 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

F : 作用荷重 = $1.29 \times 10^5 \text{ N}$

ℓ' : 荷重作用点から断面 C-C までの距離 = 45mm

Z : 断面係数 (mm^3)

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{R_2^4 - R_1^4}{R_2} = \frac{\pi}{4} \times \frac{115^4 - 100^4}{115} = 5.12 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

R_2 : 溶接部脚長外半径 = 115mm

R_1 : 溶接部脚長内半径 = 100mm

η : 溶接継手効率 = 0.55

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

したがって、溶接部に生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{5.81 \times 10^6}{5.12 \times 10^5} \times \frac{1}{0.55} = 20.6 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 の降伏応力は ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{193}{20.6} - 1 = 8.3$$

(iii) 補強板と外胴の溶接部に生ずる合成応力

上述のせん断応力と τ と曲げ応力 σ_b との合成応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right\}$$

σ : 合成応力 (N/mm²)

τ : せん断応力 = 46.1 N/mm²

σ_b : 曲げ応力 = 20.6 N/mm²

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{2} \left\{ 20.6 + \sqrt{20.6^2 + 4 \times 46.1^2} \right\} \\ &= 57.5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

となり、溶接部 の降伏応力 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \frac{193}{57.5} - 1 = 2.3$$

したがって、操作時における荷重により補強板と外胴の溶接部に発生する応力は基準値を下まわっており健全性が損なわれることはない。

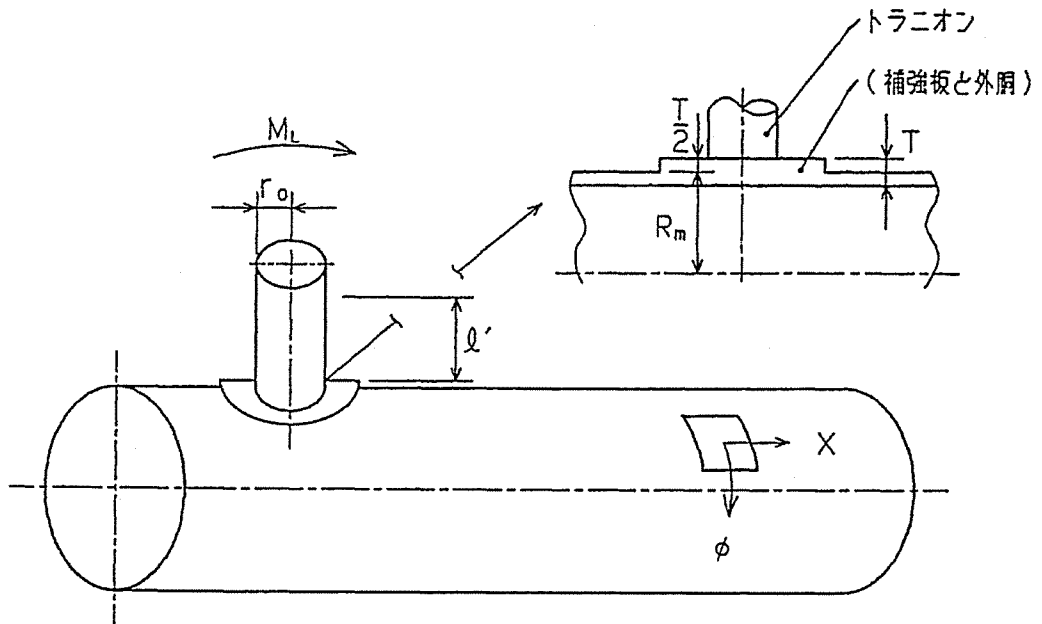
(d) 容器外胴に生ずる応力

トラニオンは容器外胴に取付けられている。

そのため、トラニオンに作用する荷重により外胴に生ずる応力について解析する。

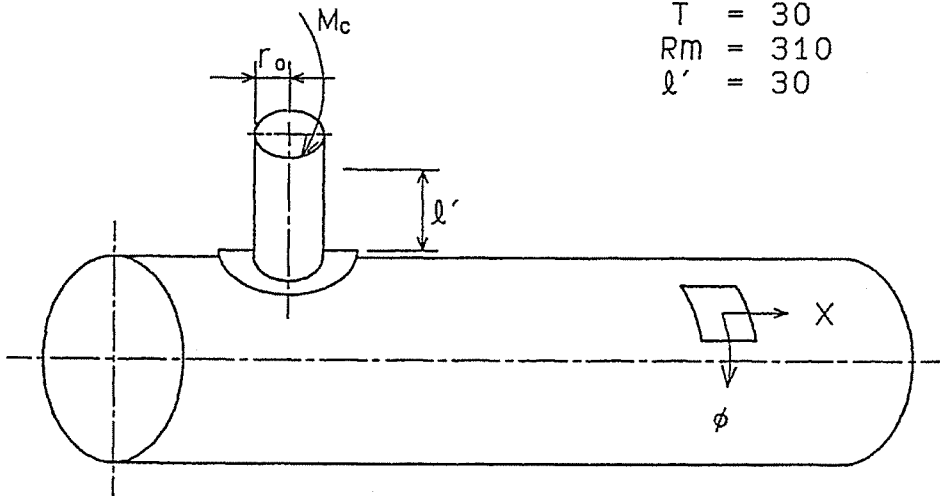
外胴のモデル図を(ロ)－第A.11図に示す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(1) 軸方向曲げモーメント

$r_o = 50$
 $T = 30$
 $R_m = 310$
 $l' = 30$



(2) 周方向曲げモーメント

(ロ) - 第A.11図 トラニオンに働く曲げ荷重の方向

外胴に作用する膜力及び曲げモーメントを求めるために使用する形状係数 r 並びに β は次式で与えられる。

$$r = \frac{R_m}{T}$$

$$\beta = \frac{0.875 \cdot r_o}{R_m}$$

ここで、

r_o : トラニオンの外半径 = 50mm

T : 外胴板厚 + 座板板厚 = 30mm

R_m : 外胴板厚と座板板厚の合計板厚中心までの半径 (mm)

$$R_m = R_i + T / 2 = 310 \text{ mm}$$

R_i : 外胴内半径 = 295 mm

したがって、以下の値となる。

$$r = \frac{310}{30} = 10.3$$

$$\beta = \frac{0.875 \times 50}{310} = 0.141$$

(i) 外胴に働く曲げモーメントが容器軸方向の場合 ((ロ) - 第A. 11 図 - (1) 参照)
軸方向に曲げモーメント M_L が働く場合、円筒殻に生ずる応力は次式で与えられる。

$$\sigma_x = \frac{N_x}{T} \pm \frac{6M_x}{T^2} \quad (\text{A. 4-1})$$

$$\sigma_\phi = \frac{N_\phi}{T} \pm \frac{6M_\phi}{T^2} \quad (\text{A. 4-2})$$

σ_x : 外胴軸方向応力 (N/mm²)

σ_ϕ : 外胴円周方向応力 (N/mm²)

M_x : 外胴軸方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

M_ϕ : 外胴円周方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

N_x : 外胴軸方向の膜力 (N/mm)

N_ϕ : 外胴円周方向の膜力 (N/mm)

T : 外胴板厚 + 座板板厚 (mm)

(イ) 軸方向応力； σ_x

軸方向応力 σ_x を導く (A. 4-1) 式は次式で与えられる。

$$\frac{N_x}{T} = \left(\frac{N_x}{M_L / R_m^2 \beta} \right) \times \left(\frac{M_L}{R_m^2 \beta T} \right) \quad (\text{A. 4-3})$$

$$\frac{6M_x}{T^2} = \left(\frac{N_x}{M_L / R_m \beta} \right) \times \left(\frac{6M_L}{R_m \beta T^2} \right) \quad (\text{A. 4-4})$$

ここで、

M_L : 軸方向に作用する曲げモーメント = $F\ell = 3.87 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$

F : 作用荷重 = $1.29 \times 10^5 \text{ N}$

ℓ : 荷重作用点から補強板までの距離 = 30mm

$R_m = 310 \text{ mm}$

$T = 30 \text{ mm}$

$\beta = 0.141$

$r = 10.3$

したがって、以下の値となる。

$$\frac{M_L}{R_m^2 \beta T} = \frac{3.87 \times 10^6}{310^2 \times 0.141 \times 30} = 9.52$$

$$\frac{6M_L}{R_m \beta T^2} = \frac{6 \times 3.87 \times 10^6}{310 \times 0.141 \times 30^2} = 5.90 \times 10^2$$

参考文献A. 1のグラフより次の値を得る。

$$\frac{N_x}{M_L / R_m^2 \beta} = 0.23$$

$$\frac{M_x}{M_L / R_m^2 \beta} = 0.086$$

これらより (A. 4-3) (A. 4-4) 式の値を求めると、次のようになる。

$$\frac{N_x}{T} = 0.23 \times 9.52 = 2.19 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{6M_x}{T^2} = 0.086 \times 5.90 \times 10^2 = 50.7 \text{ N/mm}^2$$

したがって、軸方向応力 σ_x は次のようになる。

$\sigma_x = 52.9 \text{ N/mm}^2$ (外表面) または、

-48.5 N/mm^2 (内表面)

(ロ) 円周方向応力； σ_ϕ

円周方向応力 σ_ϕ を導く (A. 4-2) 式は、次式で与えられる。

$$\frac{N_\phi}{T} = \left(\frac{N_\phi}{M_L / R_m^2 \beta} \right) \times \left(\frac{M_L}{R_m^2 \beta T} \right) \quad (\text{A. 4-5})$$

$$\frac{6M_\phi}{T^2} = \left(\frac{M_\phi}{M_L / R_m \beta} \right) \times \left(\frac{6M_L}{R_m \beta T^2} \right) \quad (\text{A. 4-6})$$

ここで、

$$\frac{M_L}{R_m^2 \beta T} = 9.52$$

$$\frac{6M_L}{R_m \beta T^2} = 5.90 \times 10^2$$

参考文献A. 1のグラフより、次の値を得る。

$$\frac{N_\phi}{M_L / R_m^2 \beta} = 0.88$$

$$\frac{M_\phi}{M_L / R_m \beta} = 0.054$$

したがって、(A. 4-5) (A. 4-6)式の値を求めると次のようになる。

$$\frac{N_\phi}{T} = 0.88 \times 9.52 = 8.38 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{6M_\phi}{T^2} = 0.054 \times 5.90 \times 10^2 = 31.9 \text{ N/mm}^2$$

したがって、円周方向応力 σ_ϕ は次のようになる。

$$\sigma_\phi = 40.3 \text{ N/mm}^2 \text{ (外表面) または、}$$

$$-23.5 \text{ N/mm}^2 \text{ (内表面)}$$

(ハ) 応力評価

容器の軸方向に曲げモーメントが作用した場合、最大応力は座板外表面に生ずる軸方向応力で、

$$\sigma_{x \max} = 52.9 \text{ N/mm}^2$$

となり、座板材 の降伏応力 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。また、余裕率 M_s は、以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_{x \max}} - 1 = \frac{193}{52.9} - 1 = 2.6$$

(ii) 外胴に働く曲げモーメントが容器円周方向の場合 ((ロ)-第A. 11 図-(2)参照)

円周方向に曲げモーメント M_ϕ が作用する場合に、円筒殻に生ずる応力は、次式で与えられる。

$$\sigma_x = \frac{N_x}{T} \pm \frac{6M_x}{T^2} \quad (\text{A. 4-7})$$

$$\sigma_\phi = \frac{N_\phi}{T} \pm \frac{6M_\phi}{T^2} \quad (\text{A. 4-8})$$

ここで、

σ_x	: 外胴軸方向の応力	(N/mm ²)
σ_ϕ	: 外胴円周方向応力	(N/mm ²)
M_x	: 外胴軸方向の曲げモーメント	(N・mm/mm)
M_ϕ	: 外胴円周方向の曲げモーメント	(N・mm/mm)
N_x	: 外胴軸方向の膜力	(N/mm)
N_ϕ	: 外胴円周方向の膜力	(N/mm)
T	: 外胴板厚+座板厚さと補強板厚さ	(mm)

(イ) 軸方向応力: σ_x

軸方向応力 σ_x を導く (A. 4-7) 式は次式で与えられる。

$$\frac{N_x}{T} = \left(\frac{N_x}{M_c / R_m^2 \beta} \right) \times \left(\frac{M_c}{R_m^2 \beta T} \right) \quad (\text{A. 4-9})$$

$$\frac{6M_x}{T^2} = \left(\frac{M_x}{M_c / R_m \beta} \right) \times \left(\frac{6M_c}{R_m \beta T^2} \right) \quad (\text{A. 4-10})$$

M_c : 円周方向に作用する曲げモーメント = $F\ell = 3.87 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$

F : 作用荷重 = $1.29 \times 10^5 \text{ N}$

ℓ : 荷重作用点から補強板までの距離 = 30mm

$$R_m = 310 \text{ mm}$$

$$T = 30 \text{ mm}$$

$$\beta = 0.141$$

$$r = 10.3$$

$$\frac{M_c}{R_m^2 \beta T} = \frac{3.87 \times 10^6}{310^2 \times 0.141 \times 30} = 9.52$$

$$\frac{6M_c}{R_m \beta T^2} = \frac{6 \times 3.87 \times 10^6}{310 \times 0.141 \times 30^2} = 5.90 \times 10^2$$

参考文献A. 1のグラフより次の値を得る。

$$\frac{N_x}{M_c / R_m^2 \beta} = 0.32$$

$$\frac{M_x}{M_c / R_m \beta} = 0.062$$

これらより (A. 4-9) (A. 4-10) 式の値を求めると、次のようになる。

$$\frac{N_x}{T} = 0.32 \times 9.52 = 3.05 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{6M_x}{T^2} = 0.062 \times 5.90 \times 10^2 = 36.6 \text{ N/mm}^2$$

したがって、軸方向応力 σ_x は、次のようになる。

$$\sigma_x = 39.7 \text{ N/mm}^2 \text{ (外表面) または、} \\ -33.5 \text{ N/mm}^2 \text{ (内表面)}$$

(ロ) 円周方向応力； σ_ϕ

円周方向応力 σ_ϕ を導く (A. 4-8) 式は、次式で与えられる。

$$\frac{N_\phi}{T} = \left(\frac{N_\phi}{M_c / R_m^2 \beta} \right) \times \left(\frac{M_c}{R_m^2 \beta T} \right) \quad (\text{A. 4-11})$$

$$\frac{6M_\phi}{T^2} = \left(\frac{M_\phi}{M_c / R_m \beta} \right) \times \left(\frac{6M_c}{R_m \beta T^2} \right) \quad (\text{A. 4-12})$$

$$\frac{M_c}{R_m^2 \beta T} = 9.52$$

$$\frac{6M_c}{R_m \beta T^2} = 5.90 \times 10^2$$

参考文献A. 1のグラフより、次の値を得る。

$$\frac{N_\phi}{M_c / R_m^2 \beta} = 0.23$$

$$\frac{M_\phi}{M_c / R_m \beta} = 0.10$$

これらより、(A. 4-11)、(A. 4-12)式の値を求めると、次のようになる。

$$\frac{N_\phi}{T} = 0.23 \times 9.52 = 2.19 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{6M_\phi}{T^2} = 0.10 \times 5.90 \times 10^2 = 59.0 \text{ N/mm}^2$$

したがって、円周方向応力 σ_ϕ は次のようになる。

$$\sigma_\phi = 61.2 \text{ N/mm}^2 \text{ (外表面) または、} \\ -56.8 \text{ N/mm}^2 \text{ (内表面)}$$

(ハ) 応力の評価

容器に円周方向の曲げモーメントが作用した場合、最大応力は補強板外表面に生ずる円周方向応力であり、

$$\sigma_{\phi \max} = 61.2 \text{ N/mm}^2$$

となり、補強板 の降伏応力 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。また、

余裕率 M_s は、以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_{\phi \max}} - 1 = \frac{193}{61.2} - 1 = 2.1$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.4.5 固縛装置

(1) 概 要

輸送物の固縛装置は、中央部固縛装置、上部固縛装置及び下部固縛装置より構成される。(イ)－第C.3図参照)

輸送中、輸送物の振動により、長手方向及び垂直方向には2gの、また、横方向には1gの加速度が加わるとして解析を行う。ただし、垂直上方向の場合には2g－1g＝1gの加速度が加わり、垂直下方向は2g＋1g＝3gの加速度が加わるものとする。

固縛装置に作用する荷重は次のとおりとする。

$$F = N \cdot W$$

ここで、

N：輸送物に生ずる加速度

W：輸送物の重量＝9600kg

したがって、作用荷重は次のとおりとする。

	長手方向	横方向	垂直上方向	垂直下方向
加 速 度 N	2 g (m/s ²)	1 g (m/s ²)	1 g (m/s ²)	3 g (m/s ²)
作用荷重 F	1.88×10 ⁵ N	9.41×10 ⁴ N	9.41×10 ⁴ N	2.82×10 ⁵ N

なお、各条件での解析項目を(ロ)－第A.12表に示す。

(ロ) - 第A.12表 固縛装置解析項目

部 位		荷重方向	解析項目	解析モデル
中 央 部 固 縛 装 置	サドル	垂直下方向 3 g (m/s^2)	曲げ応力	(ロ) - 第A.12図
	サドルサポート	垂直下方向 3 g (m/s^2)	圧縮応力	—
	サドル部の輸送容器本体	垂直下方向 3 g (m/s^2)	圧縮応力	—
	サドルカバー締付けボルト	垂直上方向 1 g (m/s^2)	引張応力	(ロ) - 第A.14図
	カバーフランジ	垂直上方向 1 g (m/s^2)	曲げ応力	(ロ) - 第A.15図
上 部 ま た は 下 部 固 縛 装 置	緩衝体	長手方向 2 g (m/s^2)	圧縮応力	(ロ) - 第A.18図
	固縛装置横梁	長手方向 2 g (m/s^2)	曲げ応力	(ロ) - 第A.19図
	固縛装置縦梁	長手方向 2 g (m/s^2)	曲げ応力	(ロ) - 第A.20図
	締付けボルト	長手方向 2 g (m/s^2)	引張応力	(ロ) - 第A.21図
	横梁溶接部	長手方向 2 g (m/s^2)	せん断応力	(ロ) - 第A.22図
	縦梁溶接部	長手方向 2 g (m/s^2)	曲げ応力 せん断応力	(ロ) - 第A.23図
中 央 部 固 縛 装 置	サドルサポート	横方向 1 g (m/s^2)	曲げ応力 せん断応力	(ロ) - 第A.24図
	サドルカバー締付けボルト	横方向 1 g (m/s^2)	せん断応力	—
	サドルサポート溶接部	横方向 1 g (m/s^2)	曲げ応力 せん断応力	(ロ) - 第A.25図

(2) 強度計算

(a) 垂直下方向に 3 g が加わった場合

(i) サドルに生ずる応力

中央部固縛装置のサドル (2組) には、垂直下方向に作用する荷重によって曲げ応力が生ずる。 ((ロ)一第A.12 図参照)

サドルの形状は曲り梁の構造で、

R : 内半径 = 363.5mm

h : サドル板厚 = 12mm

である。

$R/h - 303 > 10$ ならば、真直梁に近似しても応力は 3% 以下の誤差範囲におさまる。 [参考文献 A.2 参照]

したがって、ここでは真直梁で解析を行う。

サドルに生ずる曲げ応力は、次式より求まる。

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

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

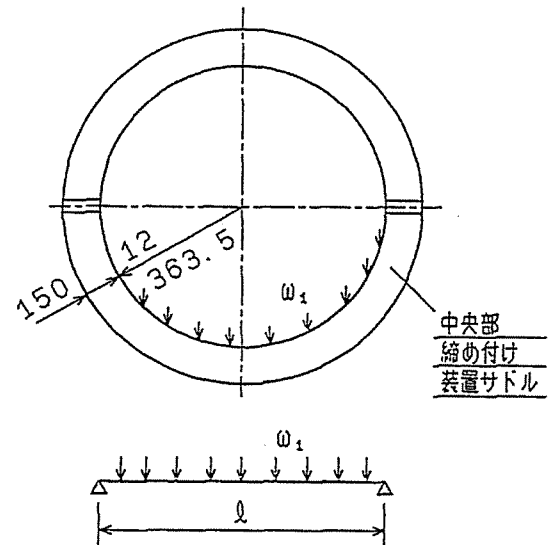
$$M = \frac{w_1 \ell^2}{8} = \frac{1.94 \times 10^2 \times 727^2}{8} = 1.28 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

w_1 : 単位長さあたりの作用荷重 = $\frac{F/2}{\ell} = \frac{1.41 \times 10^5}{727} = 194 \text{ N/mm}$

ℓ : サドル直径 = 727mm

$F/2$: 作用荷重 = $2.82 \times 10^5 / 2 = 1.41 \times 10^5 \text{ N}$ (サドル 1 箇所当たり)

Z : 断面係数 (= I / e) mm³



(ロ)一第A.12 図 サドル部材解析モデル

次に(ロ)－第A.13図に示すサドル部材の断面係数を求める。

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

e : 図心より最大応力発生点までの距離 (mm)

サドル部材のフランジ(Ⅰ材)の断面積

A_I及び断面二次モーメント I_Iは、

$$A_I = 200 \times 12 = 2.40 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_I = \frac{1}{12} \times 200 \times 12^3 \\ = 2.88 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

となる。

サドル部材のウェブ(Ⅱ材)の断面積

A_{II}及び断面二次モーメント I_{II}は

$$A_{II} = 150 \times 12 = 1.80 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_{II} = \frac{1}{12} \times 12 \times 150^3 = 3.38 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

となる。

図心 L_Gを求めると、次のようになる。

$$L_G = \frac{A_I \times 6 + A_{II} \times 87}{A_I + A_{II}} = \frac{2.40 \times 10^3 \times 6 + 1.80 \times 10^3 \times 87}{2.40 \times 10^3 + 1.80 \times 10^3} = 40.7 \text{ mm}$$

図心より、各Ⅰ、Ⅱ材の断面二次モーメントを求めると、

$$I_{IG} = I_I + (40.7 - 6)^2 A_I = 2.88 \times 10^4 + 34.7^2 \times 2.40 \times 10^3 = 2.92 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{IIG} = I_{II} + (40.7 - 87)^2 A_{II} = 3.38 \times 10^6 + 46.3^2 \times 1.80 \times 10^3 = 7.24 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

となる。

したがって、サドル部材の断面二次モーメント I は次のようになる。

$$I = I_{IG} + I_{IIG} = (2.92 + 7.24) \times 10^6 = 1.02 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

断面係数 Z は次のようになる。

$$Z = I / e = 1.02 \times 10^7 / 121.3 = 8.41 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$e = 162 - 40.7 = 121.3 \text{ mm}$$

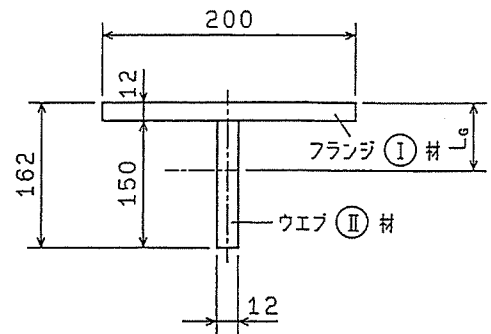
したがって、サドルに生ずる曲げ応力 σ_bは

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{1.28 \times 10^7}{8.41 \times 10^4} = 152 \text{ N/mm}^2$$

となり、サドル材 (SS400) の降伏応力 (S_y = 227 N/mm²) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{152} - 1 = 0.4$$



(ロ)－第A.13図 サドル部材解析モデル

(ii) サドルサポート部に生ずる応力

サドルサポート部には垂直下方向に作用する荷重によって圧縮応力が生ずる。

圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{F/2}{2A}$$

ここで、

$$\sigma_c : \text{圧縮応力} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$F/2 : \text{作用荷重} = 2.82 \times 10^5 / 2 = 1.41 \times 10^5 \text{ N}$$

$$A : \text{断面積} (H150 \times 150 \times 7 / 10) = 40.14 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

したがって、サドルサポート部に生ずる圧縮応力 σ_c は、

$$\sigma_c = \frac{1.41 \times 10^5}{2 \times 40.14 \times 10^2} = 17.6 \text{ N/mm}^2$$

となり、サドルサポート材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{227}{17.6} - 1 = 11.8$$

(iii) サドル部での輸送容器本体に生ずる応力

サドル部において、輸送容器本体には、垂直下方向に作用する荷重によって、圧縮応力が生ずる。圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{F/2}{A}$$

ここで、

$$F/2 : \text{作用荷重} = 2.82 \times 10^5 / 2 = 1.41 \times 10^5 \text{ N}$$

$$A : \text{受圧面積} = 200 \times 720 = 1.44 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

したがって、サドル部圧縮応力 σ_c は

$$\sigma_c = 1.41 \times 10^5 / 1.44 \times 10^5 = 1.0 \text{ N/mm}^2$$

となり、輸送容器のサドルサポート部に充填されている断熱材 (キャストブル) の圧縮強度 ($\sigma_s = 24 \text{ N/mm}^2$) より小さく、外筒及び断熱材が変形することはない。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} - 1 = \frac{24}{1.0} - 1 = 23$$

(iv) サドルカバー締付けボルトに生ずる応力

中央部固縛装置のサドルカバー締付けボルトには、垂直上方向に作用する荷重によって引張応力が生ずる。サドルカバー締付けボルトに生ずる応力は付属書類 [A. 10. 1] に示すように次式より求まる。 ((口) - 第A. 14 図参照)

$$\sigma_v = \sigma_f + \sigma_t$$

ここで、

$$\sigma_v : \text{ボルトに生ずる応力 (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_f : \text{締付け応力 (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_t : \text{引張応力 (N/mm}^2\text{)}$$

ボルトに加わる引張応力 σ_t は

以下に示す方法で求まる。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{n \cdot A_m}$$

ここで、

A_m : ボルト有効断面積

$$= \frac{\pi}{4} d_m^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 20.752^2$$

$$= 3.38 \times 10^2 \text{mm}^2$$

d_m : ボルト谷径 = 20.752mm

$$F_t : \text{引張力} = \frac{K_t}{K_t + K_c} \cdot \frac{F}{2} \text{ (N)}$$

K_t : ボルトのばね定数 (N/mm)

K_c : フランジのばね定数 (N/mm)

$$\frac{F}{2} : \text{作用荷重} = \frac{9.41 \times 10^4}{2} = 4.71 \times 10^4 \text{ N (サドルカバー、一個所当たり)}$$

n : ボルト本数 : 8本

ボルトのばね定数 K_t は以下に示す方法で求まる。

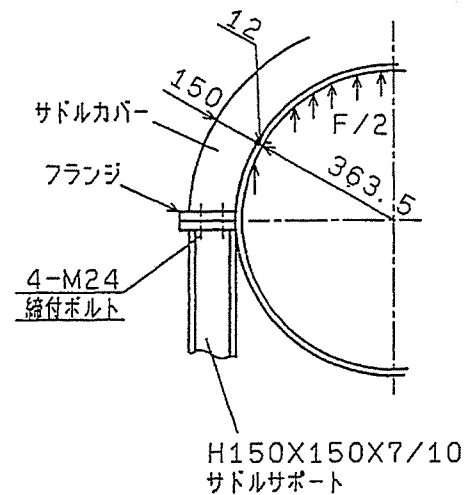
$$K_t = \frac{E_b \cdot A_m}{\ell_f + 0.6d}$$

ここで、

E_b : ボルト材の縦弾性係数 = $2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

ℓ_f : 締付け長さ = 38mm

d : ボルト呼び径 = 24mm



((口) - 第A. 14 図

サドルカバー締付けボルト

したがって、

$$K_t = \frac{2.00 \times 10^5 \times 3.38 \times 10^2}{38 + 0.6 \times 24} = 1.29 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

フランジのばね定数 K_c は以下に示す方法で求まる。

$$K_c = \frac{E_c \cdot \pi}{\ell_f} \cdot \frac{\pi}{4} \left\{ \left(B + \frac{\ell_f}{2} \right)^2 - D_1^2 \right\}$$

ここで、

E_c : カバーフランジ材の縦弾性係数 = $2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

B : ナットの二面幅 = 36mm

D_1 : ボルト穴径 = 28mm

したがって、

$$K_c = \frac{2.00 \times 10^5}{38} \times \frac{\pi}{4} \times \left\{ \left(36 + \frac{38}{2} \right)^2 - 28^2 \right\} = 9.26 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

ボルトに加わる引張力 F_t 及び引張応力 σ_t の値は、次のようになる。

$$F_t = \frac{1.29 \times 10^6}{1.29 \times 10^6 + 9.26 \times 10^6} \times 4.71 \times 10^4 = 5.76 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{5.76 \times 10^3}{8 \times 3.38 \times 10^2} = 2.13 \text{ N/mm}^2$$

ボルトの締付け応力 σ_f は次により求まる。

$$\sigma_f = 0.5 \sigma_y = 0.5 \times 227 = 114 \text{ N/mm}^2$$

したがって、ボルトに生ずる応力 σ_v の値は

$$\sigma_v = 114 + 2.13 = 116 \text{ N/mm}^2$$

となり、締付けボルト材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

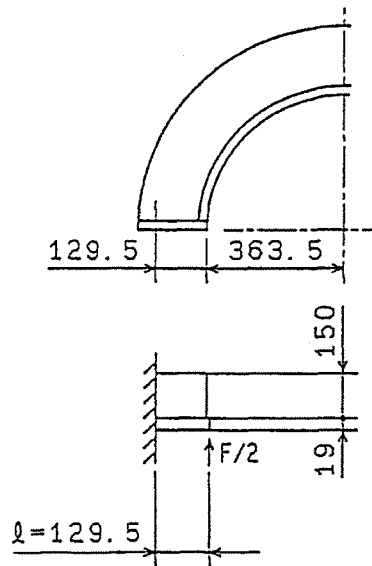
また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_v} - 1 = \frac{227}{116} - 1 = 0.9$$

(v) カバーフランジに生ずる応力

カバーフランジには、垂直上方向に作用する荷重によって、曲げ応力が生ずる。

((ロ)－第A. 15 図参照) 曲げ応力は次式より求まる。



(ロ)－第A. 15 図 カバーフランジ応力解析モデル

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

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$\begin{aligned} M &= \frac{F/2}{2} \ell \\ &= \frac{4.71 \times 10^4}{2} \times 129.5 \\ &= 3.05 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$F/2$: 作用荷重 = $9.41 \times 10^4 / 2$

$$= 4.71 \times 10^4 \text{ N}$$

ℓ : カバーフランジ内径より外側

締付けボルトまでの距離 = 129.5mm

$$Z = \text{断面係数} \left(= \frac{I}{e} \right) \text{mm}^3$$

次に、(ロ)－第A.16図に示すフランジ部材の断面係数を求める。

$$I : \text{断面二次モーメント} \quad (\text{mm}^4)$$

$$e : \text{図心より最大応力発生点までの距離} \quad (\text{mm})$$

断面二次モーメントは以下によって求められる。

カバーフランジ部材フランジ(Ⅰ材)の断面積 A_I 及び断面二次モーメント I_I

は、

$$A_I = 19 \times 200 = 3.80 \times 10^3 \text{mm}^2$$

$$I_I = \frac{1}{12} \times 200 \times 19^3 = 1.14 \times 10^5 \text{mm}^4$$

となる。

カバーフランジ部材のウェブ(Ⅱ材)の断面積 A_{II} 及び断面二次モーメント I_{II}

は、

$$A_{II} = 12 \times 150 = 1.80 \times 10^3 \text{mm}^2$$

$$I_{II} = \frac{1}{12} \times 12 \times 150^3 = 3.38 \times 10^6 \text{mm}^4$$

となる。

図心 L_G は、次のようになる。

$$L_G = \frac{A_I \times 9.5 + A_{II} \times 94}{A_I + A_{II}} = \frac{3.80 \times 10^3 \times 9.5 + 1.80 \times 10^3 \times 94}{3.80 \times 10^3 + 1.80 \times 10^3} = 36.7 \text{mm}$$

図心よりのⅠ、Ⅱ材の断面二次モーメントは次のとおりである。

$$I_{IG} = I_I + (36.7 - 9.5)^2 \times A_I = 1.14 \times 10^5 + 27.2^2 \times 3.80 \times 10^3 \\ = 2.93 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$I_{IIG} = I_{II} + (94 - 36.7)^2 \times A_{II} = 3.38 \times 10^6 + 57.3^2 \times 1.80 \times 10^3 \\ = 9.29 \times 10^6 \text{mm}^4$$

となる。

したがって、カバーフランジ部材の断面二次モーメントは次のようになる。

$$I = I_{IG} + I_{IIG} = (2.93 + 9.27) \times 10^6 = 1.22 \times 10^7 \text{mm}^4$$

断面係数は次のようになる。

$$Z = \frac{I}{e} = \frac{1.22 \times 10^7}{132.3} = 9.22 \times 10^4 \text{mm}^3$$

$$e = 169 - 36.7 = 132.3 \text{mm}$$

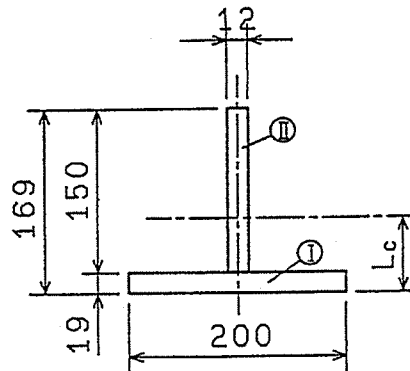
したがって、カバーフランジに生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{3.05 \times 10^6}{9.22 \times 10^4} = 33.1 \text{ N/mm}^2$$

となり、カバーフランジ材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

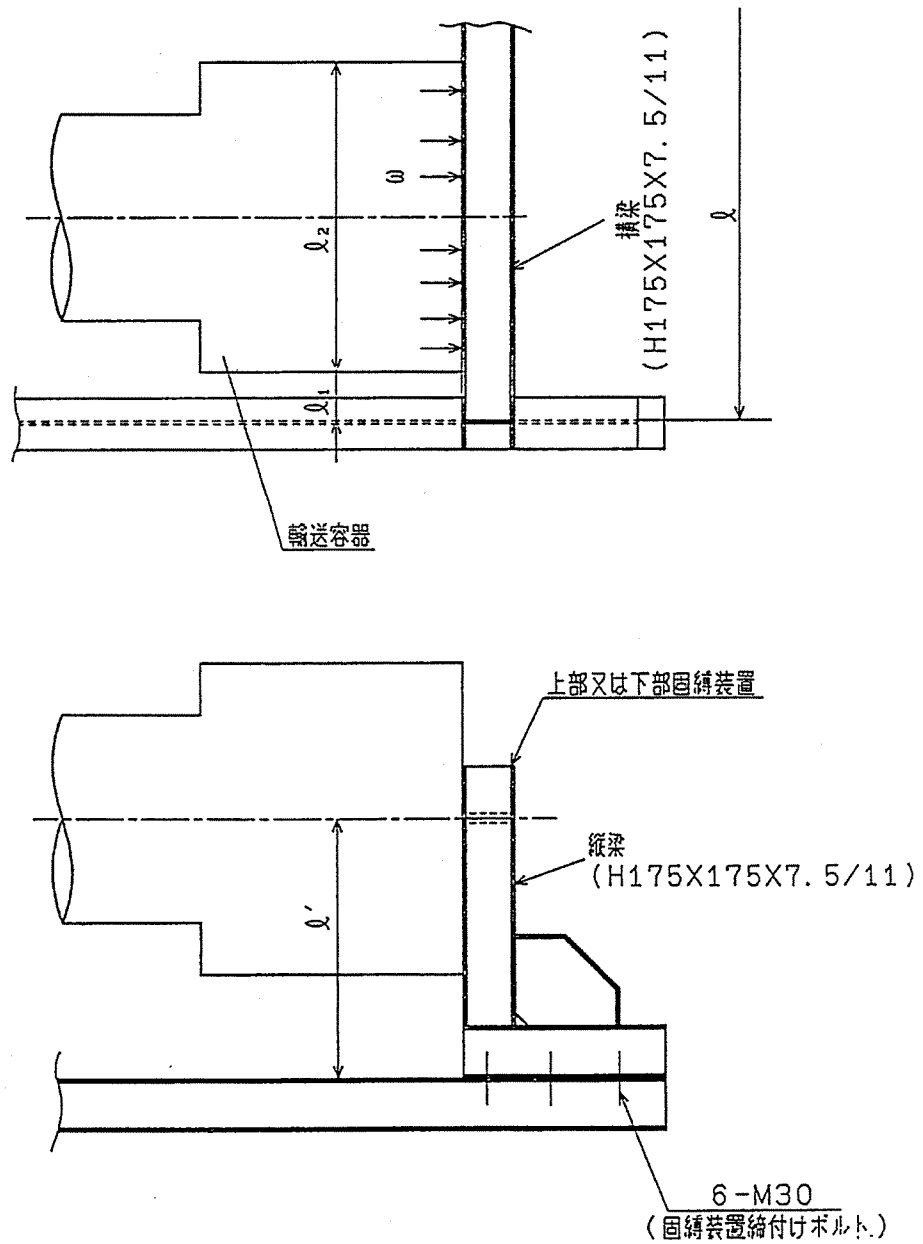
$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{33.1} - 1 = 5.8$$



(ロ) - 第A.16図 カバーフランジ部材断面係数解析モデル

(b) 長手方向に 2 g が加わった場合

輸送容器が長手方向に加速度を受けた場合、その慣性力は上部あるいは、下部固縛装置に作用する。固縛要領を(口)－第A.17図に示す。



(口)－第A.17図 輸送容器上部または下部固縛要領図

(i) 緩衝体に生ずる応力

緩衝体は、固縛装置により長手方向の圧縮荷重を受ける。その圧縮荷重を受ける範囲を、(ロ)－第A.18図に斜線で示す。

斜線部で荷重を受けるとした場合に緩衝体に生ずる圧縮応力は次式より求める。

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

ここで、

σ_c : 緩衝体に生ずる圧縮応力 (N/mm²)

F : 作用重量 = 1.88×10^5 N

A : 受圧面積 = 175×1070
= 1.87×10^5 mm²

したがって、緩衝体に生ずる圧縮応力 σ_c は、

$$\sigma_c = \frac{1.88 \times 10^5}{1.87 \times 10^5} = 1.01 \text{ N/mm}^2$$

となり、緩衝材(米杉)の圧縮強さ ($\sigma_{ca} = 19.2$ N/mm²)より小さく、緩衝体が変形することはない。

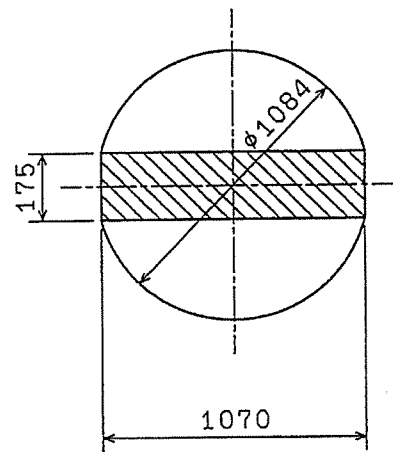
また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{\sigma_{ca}}{\sigma_c} - 1 = \frac{19.2}{1.01} - 1 = 18.0$$

(ii) 固縛装置に生ずる応力

固縛装置に生ずる応力として、次の個所について解析を行う。

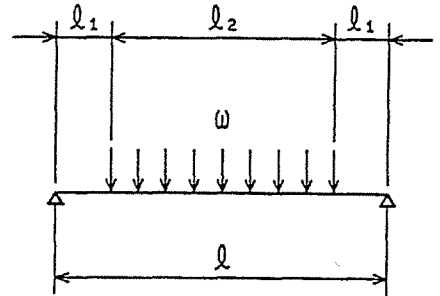
- ① 横梁の曲げ応力
- ② 縦梁の曲げ応力
- ③ 締付けボルトに生ずる応力
- ④ 横梁溶接部に生ずる応力
- ⑤ 縦梁溶接部に生ずる応力



(ロ)－第A.18図 緩衝体の受圧面積

(イ) 横梁の曲げ応力

上部または下部固縛装置の横梁には、
 長手方向に作用する荷重によって、曲
 げ応力が生ずる。(ロ)－第A.19 図に
 横梁の解析モデルを示す。



曲げ応力は次式より求まる。

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

ここで、

σ_b : 横梁に生ずる曲げ応力 (N/mm²) (ロ)－第A.19 図 横梁解析モデル

Z : 横梁の断面係数 (mm³)

$$Z = 3.30 \times 10^5 \text{ mm}^3 \text{ (H 175} \times 175 \times 7.5 / 11)$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = \frac{w l_2}{l} \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \right) \left(l_1 + \frac{2 l_1 l_2 + l_2^2}{4 l} \right)$$

w : 作用荷重

$$w = \frac{F}{l_2} = \frac{1.88 \times 10^5}{1084} = 1.73 \times 10^2 \text{ N/mm}$$

$$l = 1400 \text{ mm}$$

$$l_1 = 158 \text{ mm}$$

$$l_2 = 1084 \text{ mm}$$

$$F = 1.88 \times 10^5 \text{ N}$$

$$M = \frac{1.73 \times 10^2 \times 1084}{1400} \left(158 + \frac{1084}{2} \right) \left(158 + \frac{2 \times 158 \times 1084 + 1084^2}{4 \times 1400} \right)$$

$$= 4.02 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

したがって、横梁に生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{4.02 \times 10^7}{3.30 \times 10^5} = 122 \text{ N/mm}^2$$

となり、横梁材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

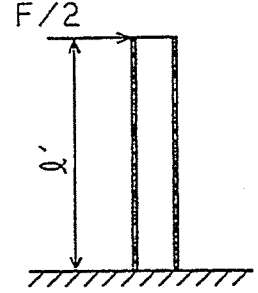
また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{122} - 1 = 0.8$$

(ロ) 縦梁の曲げ応力

上部または下部固縛装置の縦梁には、長手方向に作用する荷重によって曲げ
 応力が生ずる。(ロ)－第A.20 図に

縦梁の解析モデルを示す。



曲げ応力は次式より求まる。

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

ここで、

σ_b : 縦梁に生ずる曲げ応力 (N/mm²)

Z : 断面係数 (mm³)

(ロ)－第A.20 図 縦梁解析モデル

$$Z = 3.30 \times 10^5 \text{mm}^3 \text{ (H 175} \times 175 \times 7.5 / 11)$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = \frac{F}{2} \cdot l' = 9.41 \times 10^4 \times 600 = 5.65 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$F/2 = 9.41 \times 10^4 \text{ N}$$

$$l' = 600 \text{mm}$$

したがって、縦梁に生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{5.65 \times 10^7}{3.30 \times 10^5} = 171 \text{ N/mm}^2$$

となり、縦梁材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{171} - 1 = 0.3$$

(ハ) 締付けボルトに生ずる応力

固縛装置の締付けボルトに生ずる
 応力は、付属書類 [A. 10. 1] に示す
 ように、次式より求まる。

((ロ)－第A.21 図参照)

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_t)^2 + 4\tau^2}$$

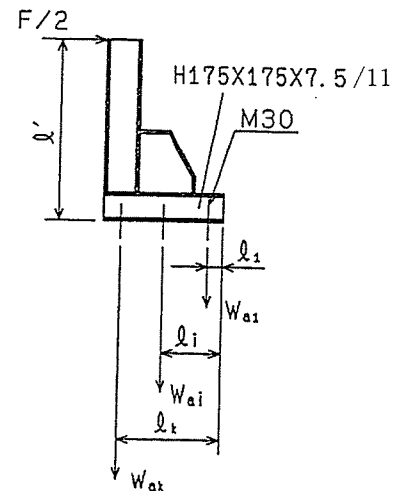
ここで、

σ_v : ボルトに生ずる応力 (N/mm²)

σ_f : 締付け応力 (N/mm²)

σ_t : 引張応力 (N/mm²)

τ : せん断応力 (N/mm²)



(ロ)－第A.21 図

締付けボルト解析モデル

ボルトに加わる引張応力 σ_t は以下に示す方法で求まる。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_m}$$

ここで、

$$A_m : \text{ボルト有効面積} = \frac{\pi}{4} d_m^2 = \frac{\pi}{4} \times 26.211^2 = 5.40 \times 10^2 \text{mm}^2$$

$$d_m : \text{ボルト谷径} = 26.211 \text{mm}$$

$$F_t : \text{ボルトに加わる引張力} = \frac{K_t}{K_t + K_c} F_{t,k} \quad (\text{N})$$

$$K_t : \text{ボルトのばね定数} \quad (\text{N/mm})$$

$$K_c : \text{固縛装置のばね定数} \quad (\text{N/mm})$$

$$F_{t,k} : k \text{ 番目のボルトに作用する引張荷重} \quad (\text{N})$$

ボルト群 ($k=3$) の受持つ荷重 ($F_{t,k}$) は次式より求まる。

$F_{t,i}$ を i 番目 (の列) のボルト引張力とすれば

$$F_{t,i} = \frac{\ell_i}{\ell_k} F_{t,k}$$

$$F_{t,k} = \frac{F/2 \cdot \ell' \cdot \ell_k}{n_1 \ell_1^2 + \dots + n_i \ell_i^2 + \dots + n_k \ell_k^2}$$

ここで、

$$\ell_1 : \text{支点Aより1列目のボルトまでの距離} = 70 \text{mm}$$

$$\ell_2 : \text{支点Aより2列目のボルトまでの距離} = 245 \text{mm}$$

$$\ell_{k(3)} : \text{支点Aより3列目のボルトまでの距離} = 420 \text{mm}$$

$$n_1 = n_2 = n_k (= n_3) : \text{各列のボルト本数} = 2$$

$$F/2 : \text{作用荷重} = 9.41 \times 10^4 \text{N}$$

$$\ell' : \text{荷重点より各列ボルトまでの距離} = 600 \text{mm}$$

したがって、 $k=3$ 番目のボルト引張力は

$$\begin{aligned} F_{t,3} &= \frac{9.41 \times 10^4 \times 600 \times 420}{2 \times 70^2 + 2 \times 245^2 + 2 \times 420^2} \\ &= 4.91 \times 10^4 \text{N} \end{aligned}$$

また、1番目、2番目のボルト引張力は

$$F_{t,1} = \frac{70}{420} \times 4.91 \times 10^4 = 8.18 \times 10^3$$

$$F_{t,2} = \frac{245}{420} \times 4.91 \times 10^4 = 2.86 \times 10^4$$

となる。

したがって、最大引張力 $F_{t,k} = 4.91 \times 10^4 \text{ N}$ を用いる。

ボルトのばね定数 K_t は以下に示す方法で求まる。

$$K_t = \frac{E_b \cdot A_m}{\ell_f + 0.6d}$$

ここで、

$$E_b : \text{ボルト材の縦弾性係数} = 2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\ell_f : \text{締付け長さ} = 15 \text{ mm}$$

$$d : \text{ボルト呼び径} = 30 \text{ mm}$$

$$A_m : \text{ボルト有効断面積} = 5.40 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

したがって、

$$K_t = \frac{2.00 \times 10^5 \times 5.40 \times 10^2}{15 + 0.6 \times 30} = 3.27 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

固縛装置のばね定数 K_c は以下に示す方法で求まる。

$$K_c = \frac{E_c}{\ell_f} \cdot \frac{\pi}{4} \left\{ \left(B + \frac{\ell_f}{2} \right)^2 - D_i^2 \right\}$$

ここで、

$$E_c : \text{固縛装置材の縦弾性係数} = 2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$B : \text{ナットの二面幅} = 46 \text{ mm}$$

$$D_i : \text{ボルトの穴径} = 35 \text{ mm}$$

したがって、

$$K_c = \frac{2.00 \times 10^5}{15} \times \frac{\pi}{4} \times \left\{ \left(46 + \frac{15}{2} \right)^2 - 35^2 \right\} = 1.71 \times 10^7 \text{ N/mm}$$

ボルトに加わる引張力 F_t 及び引張応力 σ_t の値は、次のようになる。

$$F_t = \frac{3.27 \times 10^6}{3.27 \times 10^6 + 1.71 \times 10^7} \times 4.91 \times 10^4 = 7.88 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{7.88 \times 10^3}{5.40 \times 10^2} = 14.6 \text{ N/mm}^2$$

次に、ボルトに加わるせん断力 τ は次式より求まる。

$$\tau = \frac{F/2}{n \cdot A_m}$$

ここで、

τ :せん断応力 (N/mm²)

$F/2$:作用荷重=9.41×10⁴ N

n :ボルト本数=6本

A_n :ボルト有効断面積=5.40×10²mm²

したがって、

$$\tau = \frac{9.41 \times 10^4}{6 \times 5.40 \times 10^2} = 29.0 \text{ N/mm}^2$$

また、締付け応力 σ_f は次式より求まる。

$$\sigma_f = 0.5 \sigma_y = 0.5 \times 227 = 114 \text{ N/mm}^2$$

したがって、固縛装置の締付けボルトに生ずる応力は

$$\sigma_v = \sqrt{(114 + 14.6)^2 + 4 \times 29.0^2} = 141 \text{ N/mm}^2$$

となり、締付けボルト材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_v} - 1 = \frac{227}{141} - 1 = 0.6$$

(二) 横梁溶接部に生ずる応力

上部または下部固縛装置の横梁に長手方向荷重が作用した場合の横梁溶接部の解析モデルを(ロ)－第A.22図に示す。

横梁溶接部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

[参考文献A.5参照]

$$\tau = \frac{F_s}{A \cdot \eta}$$

ここで、

τ : 横梁溶接部のせん断応力
(N/mm²)

F_s : 横梁溶接部のせん断力
 $F_s = \frac{F}{2} = 9.41 \times 10^4 \text{ N}$

A : 横梁断面積 = $5.121 \times 10^3 \text{ mm}^2$

η : 溶接効率 = 0.55

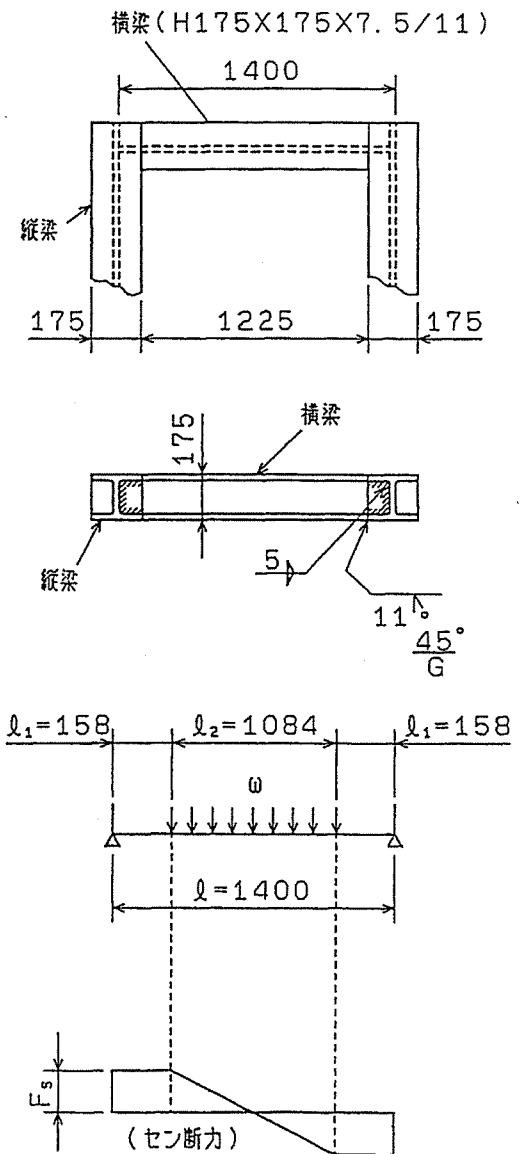
したがって、横梁溶接部に生ずるせん断応力 τ は

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{9.41 \times 10^4}{5.121 \times 10^3 \times 0.55} \\ &= 33.4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

となり、溶接部 (SS400) の許容せん断応力 ($0.6S_y = 136 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$\begin{aligned} M_s &= \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 \\ &= \frac{136}{33.4} - 1 \\ &= 3.0 \end{aligned}$$



(ロ)－第A.22図

横梁溶接部解析モデル

(ホ) 縦梁溶接部に生ずる応力

上部または下部固縛装置の縦梁に長手方向荷重が作用した場合の縦梁溶接部の解析モデルを(ロ)―第A.23図に示す。

① 溶接部に生ずる曲げ応力

溶接部に生ずる曲げ応力は次式より求まる。

[参考文献A.9参照]

$$\sigma_b = 4.24 \frac{F/2 \cdot \ell}{b^2 h \cdot \eta}$$

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm²)

F : 作用荷重 = 1.88 × 10⁵ N

ℓ : 荷重作用点から溶接部までの距離 = 425 mm

b : 溶接長さ = (b₁ + b₂) × 2 = (175 + 275) × 2 = 900 mm

h : 溶接脚長 = 8 mm

η : 溶接効率 = 0.55

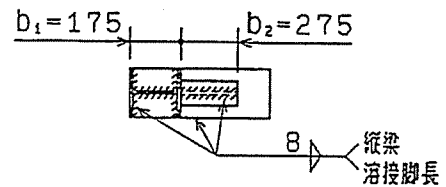
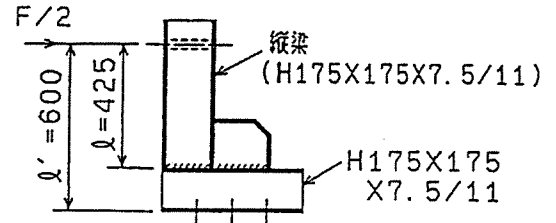
したがって、溶接部に生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = 4.24 \times \frac{1.88 \times 10^5 / 2 \times 425}{900^2 \times 8 \times 0.55} = 47.5 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 (SS400) の降伏応力 (S_y = 227 N/mm²) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{47.5} - 1 = 3.7$$



(ロ)―第A.23図

縦梁溶接部解析モデル

② 溶接部に生ずるせん断応力

溶接部に生ずるせん断応力は次式により求まる。

$$\tau = 1.06 \times \frac{F/2}{b \cdot h \cdot \eta}$$

ここで、

$$\tau : \text{せん断応力} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$F : \text{作用荷重} = 1.88 \times 10^5 \text{ N}$$

$$b : \text{溶接長さ} = (b_1 + b_2) \times 2 = (175 + 275) \times 2 = 900 \text{ mm}$$

$$h : \text{溶接脚長} = 8 \text{ mm}$$

$$\eta : \text{溶接効率} = 0.55$$

したがって、溶接部に生ずるせん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{1.06 \times 1.88 \times 10^5 / 2}{900 \times 8 \times 0.55} = 25.2 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 (SS400) のせん断強さ ($0.6S_y = 136 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 = \frac{136}{25.2} - 1 = 4.3$$

③ 合成応力

上述のせん断応力 τ と曲げ応力 σ_b との合成応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma : \text{合成応力} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_b : \text{曲げ応力} = 47.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau : \text{せん断応力} = 25.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ 47.5 + \sqrt{47.5^2 + 4 \times 25.2^2} \right\} = 58.4 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

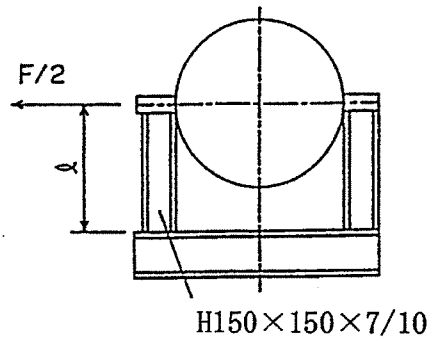
$$M_s = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \frac{227}{58.4} - 1 = 2.8$$

(c) 横方向に 1 g が加わった場合

輸送容器が横方向に 1 g の加速度を受けた場合、その慣性力は中央部固縛装置によって支えられる。

(i) 中央部固縛装置に生ずる応力

中央部固縛装置サドルサポートに横方向荷重が作用した場合の、解析モデルを (ロ) - 第 A. 24 図に示す。



(ロ) - 第 A. 24 図 中央部固縛装置横方向荷重解析モデル

① サドルサポートに生ずる曲げ応力

サドルサポートに生ずる曲げ応力は次式より求まる。

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

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = \frac{F}{2} \cdot \ell$$

F : 作用荷重 = 9.41×10^4 N

ℓ : サドルサポート高さ = 600mm

M : $9.41 \times 10^4 / 2 \times 600 = 2.82 \times 10^7$ N・mm

Z : サドルサポート断面係数 = 2.19×10^5 mm³

したがって、サドルサポートに生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{2.82 \times 10^7}{2.19 \times 10^5} = 129 \text{ N/mm}^2$$

となり、サドルサポート (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{129} - 1 = 0.7$$

② サドルサポートに生ずるせん断応力

サドルサポートに生ずるせん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \frac{F/2}{A}$$

ここで、

τ : せん断応力 (N/mm²)

F : 作用荷重 = 9.41 × 10⁴ N

A : サドルサポート断面積 = 40.14 × 10² mm²

したがって、サドルサポートに生ずるせん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{9.41 \times 10^4 / 2}{40.14 \times 10^2} = 11.7 \text{ N/mm}^2$$

となり、サドルサポート (SS400) のせん断強さ (0.6S_y = 136 N/mm²) より小さい。

また、余裕率M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 = \frac{136}{11.7} - 1 = 10.6$$

③ 合成応力

上述のせん断応力 τ と曲げ応力 σ_b との合成応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right\}$$

ここで、

σ : 合成応力 (N/mm²)

σ_b : 曲げ応力 = 129 N/mm²

τ : せん断応力 = 11.7 N/mm²

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ 129 + \sqrt{129^2 + 4 \times 11.7^2} \right\} = 130 \text{ N/mm}^2$$

となり、サドルサポート (SS400) の降伏応力 (S_y = 227 N/mm²) より小さい。

また、余裕率M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \frac{227}{130} - 1 = 0.7$$

(ii) サドルカバー締付けボルトに生ずる応力

サドルカバー締付けボルトには、横方向作用荷重によってせん断応力が生ずる。

サドルカバー締付けボルトに生ずる応力は、付属書類 [A. 9. 1] に示すように次式より求まる。

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_f^2 + 4\tau^2}$$

ここで、

σ_v : ボルトに生ずる応力 (N/mm²)

σ_f : 締付け応力 = 0.5 σ_y = 0.5 × 227 = 114 N/mm²

τ : せん断応力 (N/mm²)

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{F/2}{n \cdot A_m} \\ &= \frac{9.41 \times 10^4 / 2}{4 \times 3.38 \times 10^2} = 34.8 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

n : ボルト本数 = 4 本

F : 作用荷重 = 9.41 × 10⁴ N

A_m : ボルト有効断面積 = $\frac{\pi}{4} d_m^2 = \frac{\pi}{4} \times 20.752^2 = 3.38 \times 10^2 \text{ mm}^2$

d_m : ボルト谷径 = 20.752mm

したがって、

$$\sigma_v = \sqrt{114^2 + 4 \times 34.8^2} = 134 \text{ N/mm}^2$$

となり、サドルカバー締付けボルト材 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_v} - 1 = \frac{227}{134} - 1 = 0.6$$

(iii) サドルサポート溶接部に生ずる応力

中央部固縛装置のサドルサポートに横方向荷重が作用した場合の、サドルサポート溶接部の解析モデルを(□)－第A.25図に示す。

① 溶接部に生ずる曲げ応力

溶接部に生ずる曲げ応力は次式より求まる。[参考文献A.9参照]

$$\sigma_b = 4.24 \frac{F/2 \cdot \ell}{b^2 h \cdot \eta}$$

ここで、

σ_b : 曲げ応力 (N/mm²)

F : 作用荷重 = 9.41×10^4 N

ℓ : サドルサポート高さ = 600mm

b : 溶接長さ = $(b_1 + b_2) \times 2 = (150 + 375.5) \times 2 = 1051$ mm

h : 溶接脚長 = 8 mm

η : 溶接効率 = 0.55

したがって、溶接部に生ずる曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = 4.24 \times \frac{9.41 \times 10^4 / 2 \times 600}{1051^2 \times 8 \times 0.55} = 24.6 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{227}{24.6} - 1 = 8.2$$

② 溶接部に生ずるせん断応力

溶接部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \frac{1.06 \times F/2}{b \cdot h \cdot \eta}$$

ここで、

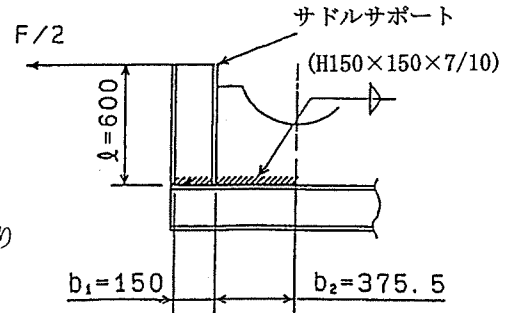
τ : せん断応力 (N/mm²)

F : 作用荷重 = 9.41×10^4 N

b : 溶接長さ = $(b_1 + b_2) \times 2 = (150 + 375.5) \times 2 = 1051$ mm

h : 溶接脚長 = 8 mm

η : 溶接効率 = 0.55



(□)－第A.25図

サドルサポート溶接部解析モデル

したがって、溶接部に生ずるせん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{1.06 \times 9.41 \times 10^4 / 2}{1051 \times 8 \times 0.55} = 10.8 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 (SS400) のせん断強さ ($0.6S_y = 136 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{0.6S_y}{\tau} - 1 = \frac{136}{10.8} - 1 = 11.5$$

③ 合成応力

上述のせん断応力 τ と曲げ応力 σ_b との合成応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma : \text{合成応力} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_b : \text{曲げ応力} = 24.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau : \text{せん断応力} = 10.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ 24.6 + \sqrt{24.6^2 + 4 \times 10.8^2} \right\} = 28.7 \text{ N/mm}^2$$

となり、溶接部 (SS400) の降伏応力 ($S_y = 227 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \frac{227}{28.7} - 1 = 6.9$$

A.4.6 圧 力

本輸送容器の密封境界内の内圧力は通常輸送時では16kPa・Gである。

((ロ)－B.4.4項参照)

上記条件下で外気圧が60kPaまで低下したときの本輸送容器に及ぼす影響について検討する。

外気圧が60kPaまで低下したとき、容器に

$$(0.016+0.101)-0.060=0.057\text{MPa}=57\text{kPa}$$

の内圧が作用する。

この場合、内胴に生ずる応力 σ は次式より求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot D_m}{2t}$$

$$\sigma_z = \frac{P \cdot D_m}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

$$\sigma_{\theta} : \text{円周方向応力} \quad (\text{N}/\text{mm}^2)$$

$$\sigma_z : \text{軸方向応力} \quad (\text{N}/\text{mm}^2)$$

$$\sigma_r : \text{径方向応力} \quad (\text{N}/\text{mm}^2)$$

$$P : \text{圧力} = 57 \times 10^{-3} \text{MPa}$$

$$D_m : \text{内胴平均径} = 190.9 + 12.7 = 203.6 \text{mm}$$

$$t : \text{内胴板厚} = 12.7 \text{mm}$$

したがって、

$$\sigma_{\theta} = \frac{57 \times 10^{-3} \times 203.6}{2 \times 12.7} = 4.57 \times 10^{-1} \text{N}/\text{mm}^2$$

$$\sigma_z = \frac{57 \times 10^{-3} \times 203.6}{4 \times 12.7} = 2.28 \times 10^{-1} \text{N}/\text{mm}^2$$

$$\sigma_r = -\frac{57 \times 10^{-3}}{2} = -2.85 \times 10^{-2} \text{N}/\text{mm}^2$$

上記より、一次一般膜応力 P_m は

$$P_m = |\sigma_\theta - \sigma_r| = 0.486 \text{ N/mm}^2$$

となり、内胴 の降伏応力 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) より小さい。

また、余裕率 M_s は以下の値となる。

$$M_s = \frac{S_y}{P_m} - 1 = \frac{193}{0.486} - 1 = 396$$

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.4.7 振 動

本項では、輸送中に発生する振動が輸送物に及ぼす影響を調べるために、輸送物の固有振動数と輸送中の振動数を比較検討する。

(1) 輸送容器の振動

本輸送物は横置き状態で、中央部固縛装置により拘束し、輸送される。

解析モデルを(ロ)－第A.26図に示す。この場合の固有振動数は次式より求まる。

$$f_1 = \frac{a_\ell}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{w \cdot \ell^4}}$$

ここで、

f_1 : 輸送容器の1次固有振動数 (Hz)

a_ℓ : 1次モード係数=18

((ロ)－第A.27図を用いて、

$$\alpha = \frac{a_1}{\ell} = \frac{912.5}{2625} = 0.348$$

より、 $a_\ell = 18$ となる)

E : 縦弾性係数 = $1.92 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
 $= 1.92 \times 10^{11} \text{ Pa}$

ℓ : 輸送容器全長 = 2625mm

a_1 : 支点よりの張出し長さ

$$a_1 = 912.5 \text{ mm}$$

w : 単位長さ当たりの質量

$$w = \frac{W}{\ell} = \frac{9600}{2625}$$

$$= 3.66 \text{ kg/mm}$$

$$= 3.66 \times 10^3 \text{ g/mm}$$

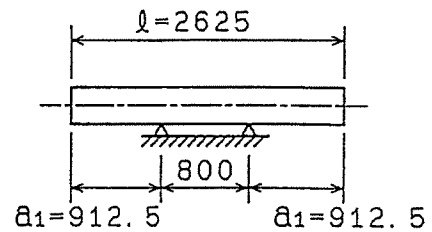
W : 輸送容器重量 = 9600kg

I : 断面2次モーメント (mm^4)

$$I = \sum_{i=1}^3 I_i$$

I_1 : 内胴の断面2次モーメント

$$= \frac{\pi}{4} (r_2^4 - r_1^4)$$



(ロ)－第A.26図 振動解析モデル

$$I_2 : \text{外胴の断面 2 次モーメント}$$

$$= \frac{\pi}{4} (r_4^4 - r_3^4)$$

$$I_3 : \text{外筒の断面 2 次モーメント}$$

$$= \frac{\pi}{4} (r_6^4 - r_5^4)$$

$$r_1 : \text{内胴の内半径} = 95.5 \text{mm}$$

$$r_2 : \text{内胴の外半径} = 108.2 \text{mm}$$

$$r_3 : \text{外胴の内半径} = 295 \text{mm}$$

$$r_4 : \text{外胴の外半径} = 310 \text{mm}$$

$$r_5 : \text{外筒の内半径} = 350 \text{mm}$$

$$r_6 : \text{外筒の外半径} = 360 \text{mm}$$

$$I_1 = \frac{\pi}{4} \times (108.2^4 - 95.5^4)$$

$$= 4.23 \times 10^7 \text{mm}^4$$

$$I_2 = \frac{\pi}{4} \times (310^4 - 295^4)$$

$$= 1.31 \times 10^9 \text{mm}^4$$

$$I_3 = \frac{\pi}{4} \times (360^4 - 350^4)$$

$$= 1.41 \times 10^9 \text{mm}^4$$

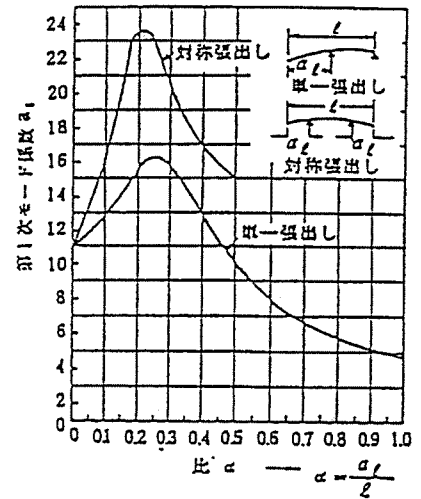
したがって、

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 2.76 \times 10^9 \text{mm}^4$$

したがって、輸送物の輸送容器の 1 次固有振動数 f_1 は

$$f_1 = \frac{18}{2\pi} \sqrt{\frac{1.92 \times 10^{11} \times 2.76 \times 10^9}{3.66 \times 10^3 \times 2625^4}}$$

$$= 158 \text{Hz}$$



(口) - 第 A. 27 図 1 次モード係数

J. P. Den Hartog

Mechanical Vibrations

McGraw Hill Book CO.

(2) 収納物を収納したバスケットの振動

輸送容器のバスケット内に収納物が、拘束されないで収納される。

輸送中に発生する振動がバスケットに及ぼす影響を調べるために、バスケットの固有振動数と輸送中の振動数とを比較する。

バスケットは輸送容器内にて横置き単純支持の状態となる。解析モデルを(ロ)－第A.28図に示す。

この場合の固有振動数は次式より求まる。

$$f_1 = \frac{a\ell}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot I}{w \cdot \ell^4}}$$

ここで、

f_1 : バスケットの1次固有振動数 (Hz)

$a\ell$: 1次モード係数=10

((ロ)－第A.27図を用いて、

$$\alpha = \frac{a\ell}{\ell} = 0 \text{ より}$$

$a\ell = 10$ となる。)

E : 縦弾性係数 = $1.92 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$$= 1.92 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

ℓ : バスケット長さ = 1635mm

w : 単位長さ当りの質量

$$w = \frac{W}{\ell} = \boxed{} \text{ kg/m}$$

W : バスケット重量 (30kg) + 収納物重量 ($\boxed{}$ kg) = $\boxed{}$ kg

I : バスケット断面2次モーメント (mm^4)

$$I = \frac{\pi}{4} (r_o^4 - r_i^4)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (57.15^4 - 53.15^4) = 2.11 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

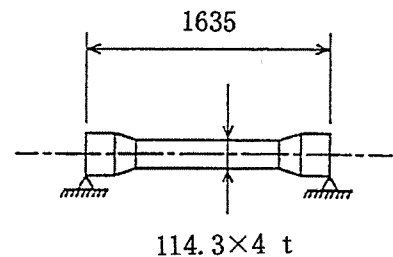
r_o : バスケット外半径 = 57.15mm

r_i : バスケット内半径 = 53.15mm

したがって、バスケットの1次固有振動数 f_1 は

$$f_1 = \frac{10}{2\pi} \sqrt{\frac{1.92 \times 10^{11} \times 2.11 \times 10^6}{\boxed{}}}$$

$$= 73.1 \text{ Hz}$$



(ロ)－第A.28図

バスケット振動解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(3) 評 価

輸送物輸送時に積載車両の荷台に生ずる振動数は、最大 50Hz 程度である。

この輸送物の固有振動数は、それに比べ大きいため共振することはない。

したがって、蓋締付けボルト及びその他の締付け部が輸送中にゆるむことは無く、密封性能が損なわれることはない。

以上の A. 4 項の結果をまとめて(ロ)－第 A. 13 表に示す。

(ロ) 第一A.13表 通常輸送時における解析結果の要約 (1/3)

条件	解析項目	荷重の種類	解析基準	解析基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (Ms)
通常輸送時	吊上装置	輸送物重量×3g				
	1. 吊上げ用トラニオン					
	(1) トラニオンのせん断応力					
	(2) トラニオンと補強板					
	(a) 溶接部へのせん断応力					
	(b) 溶接部への曲げ応力					
	(c) 合成応力					
	(3) 補強板と外胴					
	(a) 溶接部へのせん断応力					
	(b) 溶接部への曲げ応力					
(c) 合成応力						
2. 外筒	輸送物重量×3g					
(1) 軸方向応力						
(2) 円周方向応力						

(ロ)―第A.13表 通常輸送時における解析結果の要約(2/3)

条件	解析項目	荷重の種類	解析基準	解析基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率(Ms)
通常輸送時	固縛装置	輸送物重量×3g	S _y S _y σ _s S _y S _y	227 227 24 227 227	152 17.6 1.0 116 33.1	0.4 11.8 23 0.9 5.8
	1. 垂直方向					
	(1) サドル					
	(2) サドルサポート					
	(3) サドル部の輸送容器本体への圧縮					
	(4) サドルカバー締付けボルト					
	(5) カバーフランジへの曲げ応力					
	2. 長手方向	輸送物重量×2g	σ _{ca} S _y S _y S _y 0.6 S _y S _y	19.2 227 227 227 136 227	1.01 122 171 141 33.4 58.4	18 0.8 0.3 0.6 3.0 2.8
	(1) 緩衝体					
	(2) 固縛装置に生ずる応力					
(a) 横梁の曲げ応力						
(b) 縦梁の曲げ応力						
(c) 締付けボルト						
(d) 横梁溶接部のせん断応力						
(e) 縦梁溶接部の最大応力						

(ロ)一第A.13表 通常輸送時における解析結果の要約 (3/3)

条件	解析項目	荷重の種類	解析基準	解析基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (Ms)	
通常輸送時	3. 横方向	輸送物重量×1g					
	(1) 中央固縛装置に生ずる応力						
	(a) サドルサポート曲げ応力		Sy	227	129	0.7	
	(b) サドルサポートせん断応力		0.6Sy	136	11.7	10.6	
	(c) サドルサポート最大応力		Sy	227	130	0.7	
	(2) サドルサポート縮付ボルトに生ずる応力		Sy	227	134	0.6	
	(3) サドルサポート溶接部						
	(a) 曲げ応力		Sy	227	24.6	8.2	
	(b) せん断応力		0.6Sy	136	10.8	11.5	
	(c) 最大応力		Sy	227	28.7	6.9	
4. 圧力内筒		5.7×10 ⁻² MPa	Sy	193	0.486	396	

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件下における各部温度及び圧力を以下に示す。

((口)－B.4.2項参照)

外筒外表面温度 : 60°C

外胴外表面温度 : 60°C

内胴内表面温度 : 60°C

内胴内圧力(キャビティ内圧力) : $1.17 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{abs}$

A.5.1.2 熱膨張

本輸送容器の収納物発熱量は、最大でも と小さくかつ、輸送容器本体は、薄板構造であるので、板厚方向の温度勾配による応力は発生しない。

また、内胴と、バスケット及び収納物の間には十分なすき間があるため、不測の拘束は生じない。

したがって、熱膨張による熱応力の発生はない。

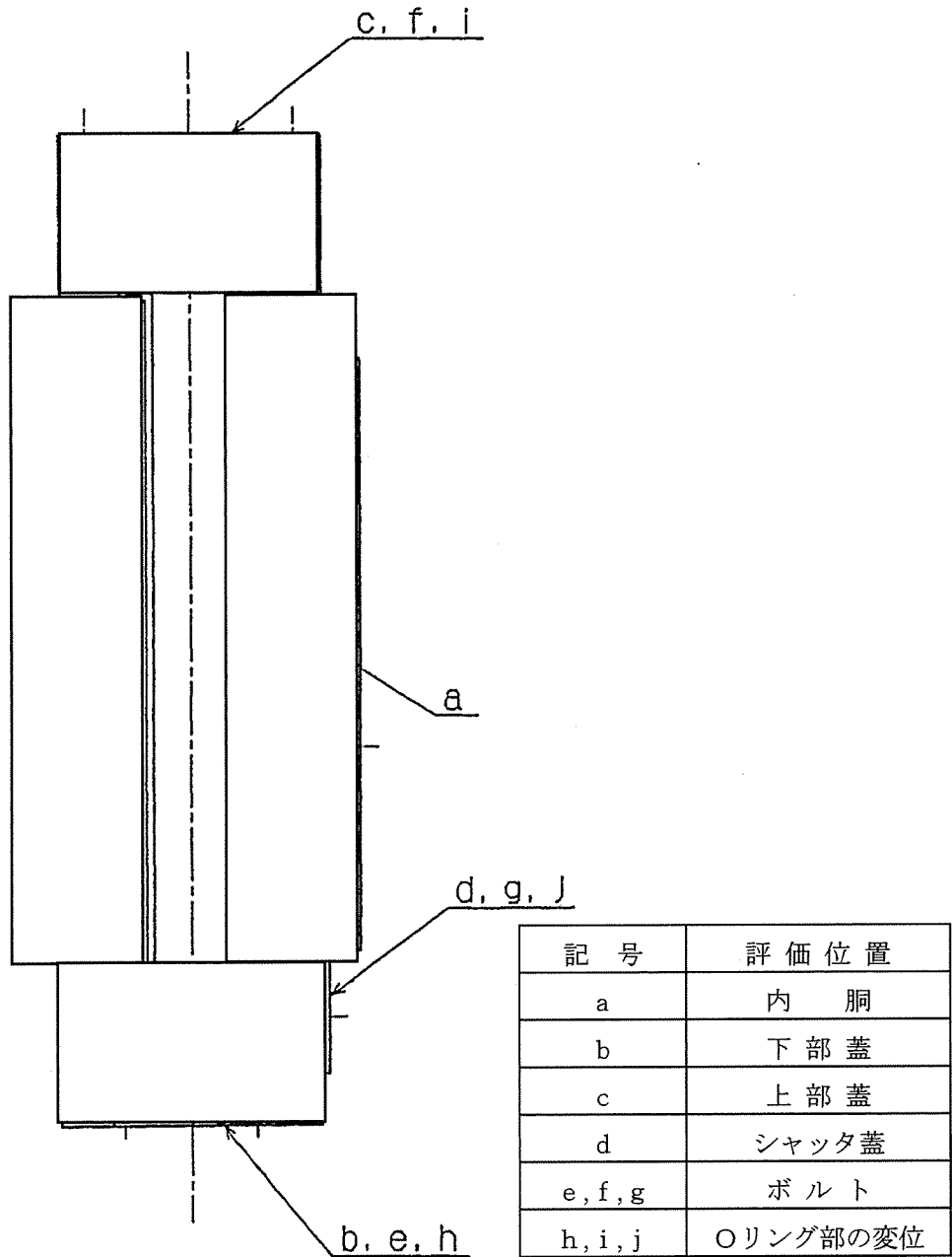
で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.5.1.3 応力計算

一般の試験条件下で内胴内の圧力は $1.17 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{abs}$ となる。

((口) - B. 4. 4 項参照)

また、輸送容器の応力評価位置を(口) - 第A. 29 図に示す。



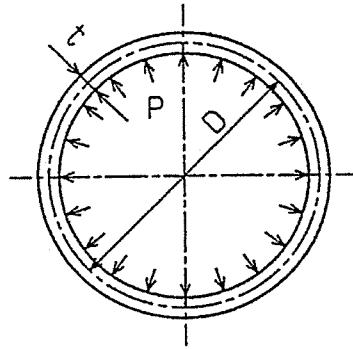
(口) - 第A. 29 図 一般の試験条件下における輸送容器本体応力評価位置

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(1) 内 洞

内洞には、キャビティ内圧力が内圧力として作用する。

内圧を受ける内洞に生じる応力解析モデル図を(ロ)－第A.30図に示す。内洞に生じる応力 σ は薄肉円筒として、次式で与えられる。



(ロ)－第A.30図 内洞中央部応力解析モデル

$$\sigma_{\theta} = \frac{PD}{2t}$$

$$\sigma_z = \frac{PD}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_{θ} : 周方向応力 (N/mm²)

σ_z : 軸方向応力 (N/mm²)

σ_r : 径方向応力 (N/mm²)

P : キャビティ内設計圧力 = 1.17×10^{-1} MPa · a
= 16×10^{-3} MPa · G

D : 内洞平均径 = 203.6 mm

t : 内洞板厚 = 12.7 mm

したがって、以下の値となる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{16 \times 10^{-3} \times 203.6}{2 \times 12.7} = 0.128 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z = \frac{16 \times 10^{-3} \times 203.6}{4 \times 12.7} = 0.064 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = -0.008 \text{ N/mm}^2$$

(2) 本体蓋

内圧力を受ける本体蓋に生ずる応力の解析モデル図を(ロ)－第A.31図に示す。

(ロ)－第A.31図に示す周辺単純支持円板に生ずる応力 σ は中央部で最大となり次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta} = \sigma_r = \pm 1.24 \frac{P \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_z = -P \text{ (内面)}$$

ここで、

σ_{θ} : 周方向応力 (N/mm²)

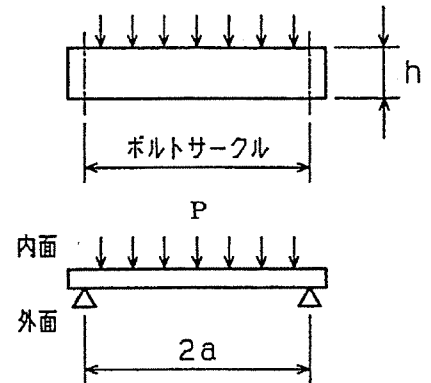
σ_r : 径方向応力 (N/mm²)

σ_z : 軸方向応力 (N/mm²)

P : キャビティ内設計圧力 (MPa・G)

a : 蓋支持点の半径 (mm)

h : 蓋の板厚 (mm)



(ロ)－第A.31図

本体蓋解析モデル

各本体蓋に生じる各応力を(ロ)－第A.14表に示す。

(ロ)－第A.14表 本体蓋の応力

	P (MPa・G)	a (mm)	h (mm)	σ_{θ}^* (N/mm ²)	σ_r^* (N/mm ²)	σ_z^{**} (N/mm ²)
下部蓋	16×10^{-3}	195	50	$\pm 3.02 \times 10^{-1}$	$\pm 3.02 \times 10^{-1}$	-0.016
上部蓋	16×10^{-3}	275	50	$\pm 6.0 \times 10^{-1}$	$\pm 6.0 \times 10^{-1}$	-0.016
シャッタ蓋	16×10^{-3}	210	50	$\pm 3.5 \times 10^{-1}$	$\pm 3.5 \times 10^{-1}$	-0.016

(注)* ; 応力の符号は正が外面、負が内面を表す。

(注)** ; 内面応力を表す。

(3) 本体蓋締付けボルト

本体蓋締付けボルトは、初期締付け応力及び内圧による応力について解析する。

なお、熱膨張によりボルトに発生する応力については、極めて小さいため、評価を省略する。

(a) 初期締付け応力

本体蓋締付けボルトの、初期締付け時に生ずる引張応力 σ_t は各蓋共通で次式で与えられる。

$$\sigma_t = 0.5 \times \sigma_y = 4.38 \times 10^2$$

ここで、

$$\sigma_y = 875 \text{ N/mm}^2$$

(b) 内圧による応力

本体蓋締付けボルトに生ずる引張応力 σ_t は各蓋共通で次式で与えられる。

$$\sigma_t = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot P}{4 \cdot n \cdot A_r}$$

ここで、

a : 受圧面径 (mm)

P : キャビティ内設計圧力 (MPa・G)

A_r : ボルトの谷径断面積 (mm²)

n : ボルトの本数

上式より求めた各本体蓋の締付けボルトに生ずる各応力を(ロ)－第A. 15表に示す。

(ロ)－第A. 15表 本体蓋締付けボルトの応力

	a (mm)	P (MPa・G)	A_r (mm ²)	n	σ_t (N/mm ²)
下部蓋締付けボルト <input type="text"/>	<input type="text"/>	16×10^{-3}	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2.63
上部蓋締付けボルト <input type="text"/>	<input type="text"/>	16×10^{-3}	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.77
シャッタ部蓋締付けボルト <input type="text"/>	<input type="text"/>	16×10^{-3}	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.02

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(4) 本体蓋Oリング部の変位

本体蓋Oリング部変位の解析モデル図を

(ロ)－第A.32図に示す。

(ロ)－第A.32図に示す周辺単純支持円板における変位

ω (mm) は次式^[7]で与えられる。

$$\omega = \frac{P \cdot a^4}{64D} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) \cdot \left(\frac{5+\nu}{1+\nu} - \frac{r^2}{a^2}\right)$$

ここで、

P : キャビティ内設計圧力 (MPa)

ν : ポアソン比=0.3

a : 蓋支持点の半径 (mm)

r : 中心から評価点までの距離 (mm)

r_i : 内側Oリング溝の半径 (mm)

r_o : 外側Oリング溝の半径 (mm)

D : 蓋の曲げ剛性 (N・mm)

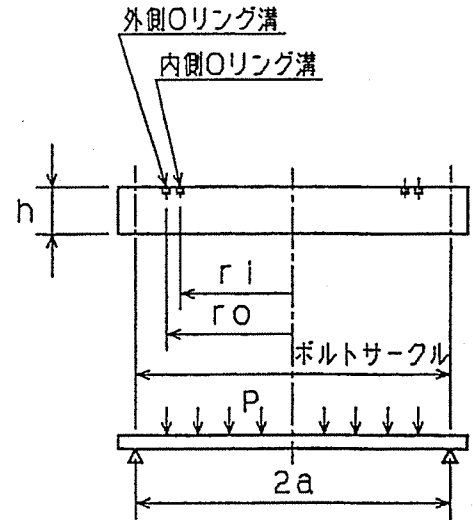
$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu)}$$

E : 縦弾性係数=1.92×10⁵ N/mm²

h : 蓋の最小板厚 (mm)

上式より求めた各本体蓋の内側Oリング溝の変位 ω_i 及び外側Oリング溝の変位 ω_o を(ロ)－第A.16表に示す。

Oリングの変位は(ロ)－第A.16表に示すようにOリングの初期締付け量 δ より十分小さい。



(ロ)－第A.32図

本体蓋Oリング部変位の解析モデル

(ロ) 第一A.16表 本体蓋Oリング部の変位

	P (MPa·G)	ν	a (mm)	r_i (mm)	r_o (mm)	D (N·mm)	E (N/mm ²)	h (mm)	ω_i (mm)	ω_o (mm)	δ ^(注) (mm)
下部蓋	16×10^{-3}	0.3	195	156.3	173.8	2.86×10^9	1.92×10^5	50	1.55×10^{-4}	8.53×10^{-5}	1.1
上部蓋	16×10^{-3}	0.3	275	236.3	253.8	2.86×10^9	1.92×10^5	50	4.37×10^{-4}	2.39×10^{-4}	1.1
シヤッタ	16×10^{-3}	0.3	210	173.8	191.3	2.86×10^9	1.92×10^5	50	1.82×10^{-4}	9.39×10^{-5}	1.1

(注) : δ は、初期締付け量を示す。

A.5.1.4 許容応力との比較

(ロ)－A.5.1.3項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて(ロ)－第A.17表に示す。

この表から分かるように、個々の荷重が単独あるいは重畳作用しても解析基準値に対する余裕率は0以上である。

したがって、一般の試験条件下（熱的試験）において本輸送物の健全性は維持される。なお、蓋締付けボルトは熱応力が極めて小さいため、運搬中に予想される $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ～ $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の周囲温度の変化があってもボルトの軸力は影響されない。また、運搬中に予想される $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ～ $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の周囲温度の変化によっては内胴内圧力が $1.17\times 10^{-1}\text{MPa}\cdot\text{abs}$ より増加し、 $1.35\times 10^{-1}\text{MPa}\cdot\text{abs}$ となる場合や、周囲の圧力が60kPaまで低下する場合に容器内外の差圧が増加する可能性があるが、差圧により部材に発生する応力自体が基準値（ $S_y=193\text{ N/mm}^2$ ）に比べ十分小さい。このことから、この増加分を考慮しても荷重の繰返しが容器の健全性に影響することはない。また、本輸送物の使用回数を500回とした場合の許容繰返し数に対する余裕率は、(ロ)－第A.17表に示すように0以上である。よって、荷重の繰返しにより本輸送物の健全性が損なわれることはない。

(ロ) ー第A.17表 一般の試験条件 (熱的試験) 下における評価結果 (1/2)

No.	応力及びび応力強さ (N/mm ²)			初期 応力	圧力に よる応力	熱応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価						(一次十二次)応力強 さの評価						疲 勞 評 価					
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_y	M_s	P_L+P_h	S_y	M_s	P_L+P_h+Q	$2S_y$	M_s	P_L+P_h+Q+F	S_a	N	Na	DF	M_s		
1				内 洞	σ_r																			-0.008	
	σ_θ				0.128	0.140	193	1377	0.140	193	1377	0.140	386	2756	0.140	0.070	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000					
	σ_z				0.064																				
2	下部蓋	内 面	σ_r																						
			σ_θ			-0.302																			
			σ_z			-0.302																			
	外 面	σ_r			-0.016	0.008	193	2.41×10^4	0.302	193	638	$S_y=193$	638	0.302	0.151	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000						
		σ_θ			0.302																				
		σ_z			0																				
3	上部蓋	内 面	σ_r																						
			σ_θ			-0.60																			
			σ_z			-0.016	0.008	193	2.41×10^4	0.60	193	320	$S_y=193$	320	0.60	0.30	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000					
	外 面	σ_r			0.60																				
		σ_θ			0.60																				
		σ_z			0																				
4	シャッタ蓋	内 面	σ_r																						
			σ_θ			-0.35																			
			σ_z			-0.016	0.008	193	2.41×10^4	0.35	193	550	$S_y=193$	550	0.350	0.175	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000					
	外 面	σ_r			0.35																				
		σ_θ			0.35																				
		σ_z			0																				

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_h : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 Na : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ M_s : 余裕率

(ロ) 第A.17表 一般の試験条件 (熱的試験) 下における評価結果 (2/2)

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)		初期 応力	圧力に よる応力	熱応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価						(一次+二次)応力強 さの評価						疲 勞 評 価					
	評価位置	σ_t					$P_m(P_L)$	S_y	Ms	P_L+P_b	S_y	Ms	P_L+P_b+Q	$2S_y$	Ms	P_L+P_b+Q+F	Sa	N	Na	DF	Ms			
5	下部蓋締付け ボルト	σ_t	438	2.63	—	—	—	875	0.98	—	—	—	441	441	$S_y=$ 875	0.98	1764*	882	500	700	0.71	0.4		
6	上部蓋締付け ボルト	σ_t	438	1.77	—	—	—	875	0.98	—	—	—	440	440	$S_y=$ 875	0.98	1760*	880	500	700	0.71	0.4		
7	シヤツタ蓋 締付けボルト	σ_t	438	1.02	—	—	—	875	0.99	—	—	—	439	439	$S_y=$ 875	0.99	1756*	878	500	700	0.71	0.4		

* : 応力集中係数=4

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 Na : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計引張強さ S_u : 設計引張強さ Ms : 余裕率

A.5.2 水噴霧

本輸送容器の外表面の構成材料はすべてステンレス鋼であり吸水性はなく、したがって、水噴霧により腐食等で構成材が劣化するおそれはない。

A. 5.3 自由落下

本輸送物の重量は約 9.6 トンあり、5 トンを越え 10 トン以下であるので、告示に定める一般の試験条件下での自由落下の高さは 0.9 m となる。

(a) 解析モデル

(i) 解析する落下方向

輸送物が最大破損を受ける方向としては、次の 3 つの落下状態について検討する。

- ① 水平落下
- ② 垂直落下
- ③ コーナ落下（落下点が輸送物の重心を通る鉛直線上にある場合）

傾斜落下については、落下方向がコーナ落下と垂直落下の間の場合とコーナ落下と水平落下の間の場合がある。両者の場合、落下エネルギーの一部は回転モーメントとして働く。前者の場合は輸送物を垂直方向に回転させ、後者の場合は輸送物を水平方向に回転させる。したがって、傾斜落下時に吸収させる落下エネルギーは回転モーメントを生じるエネルギー量の分だけコーナ落下時に吸収される落下エネルギーに対し小さくなるので、本項では傾斜落下の検討を省略する。

(ii) 解析項目及び内容の概要

解析項目としては、輸送物が落下する場合、運動エネルギーを吸収するための緩衝体変形量を求める。その変形量が緩衝体の許容変形量以内であることを確認するとともに、緩衝体に生ずる衝撃力から輸送物が受ける衝撃加速度を求める。

(iii) 解析方法

本輸送物について、0.9 m自由落下試験を行った場合の、加速度と緩衝体の変形量は下記の条件に基づき解析を行う。

- ① 輸送物の落下エネルギーはすべて緩衝体の塑性変形によって吸収される。したがって、緩衝体に生ずる衝撃力はすべて輸送物に与えられる。
(輸送物の質量×落下衝撃加速度と釣り合うものとする。)
- ② 緩衝体の変形により吸収する運動エネルギーは Volumetric Displacement 法により解析する。[参考文献A. 4 参照]
- ③ 熱膨張及び圧力による応力はA. 5. 1 熱的試験に示したように微小であるので考慮しない。
- ④ 緩衝材のエネルギー吸収特性は(ロ)―第A. 7表に示す値を使用する。
- ⑤ 緩衝材の外側を覆うステンレス鋼板は板厚が薄いのでステンレス鋼板による落下エネルギー吸収量は少ない。したがって、外装ステンレス鋼板の影響は考慮しない。

(b) 原型試験

A. 10. 6による。

(c) モデル試験

該当せず。

A. 5. 3. 1 水平落下

本項では、輸送物が 0.9 m 水平落下時に受ける衝撃力に対して輸送容器の本体及び蓋等が十分な強度をもち、容器の健全性が保持されることを解析により示す。

(1) 緩衝体の変形量、衝撃力及び輸送物の衝撃加速度

(a) 緩衝体の変形量

輸送物の水平落下時の運動エネルギーは容器の両端に取付けた緩衝体の潰れによって吸収される。

水平落下時には、最初に剛平面に接する緩衝体の外表面が長方形に変形しその変形体積が運動エネルギーを吸収するまで緩衝体は変形する。

緩衝体の変形量 δ_H は付属書類 [A. 10. 2] を用いて次式より求まる。

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca} \cdot \ell \cdot R^2} = f\left(\frac{\delta_H}{R}\right)$$

$$f(\delta_H/R) = \cos^{-1}(1 - \delta_H/R) - \frac{1}{2} \sin 2 \cos^{-1}(1 - \frac{\delta_H}{R})$$

ここで、

W : 輸送物の重量 = 9600 kg

H : 輸送物の落下高さ = 900 mm

g : 重力加速度 = 9.8 m / s²

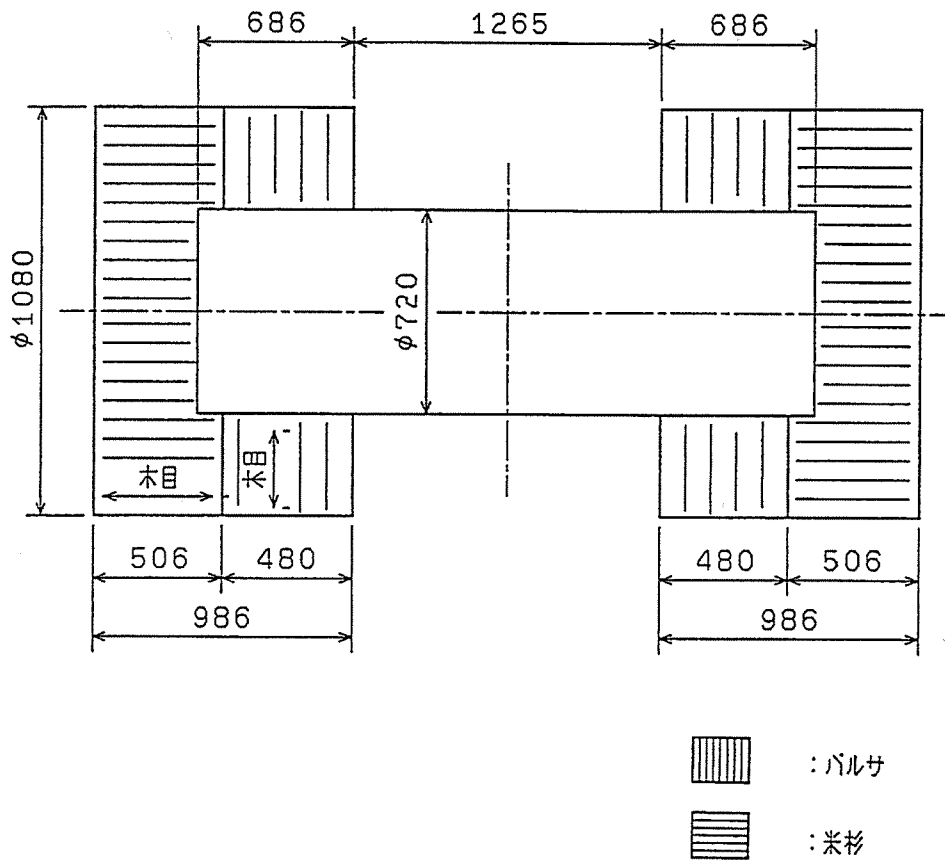
ℓ : 緩衝体の有効長 = 986 × 2 = 1972 mm

R : 緩衝体の半径 = 540 mm

δ_H : 緩衝体の変形量 (mm)

σ_{ca} : 緩衝材の平均圧縮応力 (N / mm²)

ここで、緩衝材の平均圧縮応力を求める。緩衝材は(ロ) - 第 A. 33 図に示すようにバルサと米杉よりなり、バルサは木目が落下方向に対して平行であり米杉は、木目が落下方向に対して垂直である。したがって、平均圧縮応力は次式より求まる。



(口) - 第A. 33 図 緩衝材の形状及び配置

$$\sigma_{ca} = \frac{\ell_a \cdot \sigma_{ca}^{(1) (\parallel)} + \ell_b \cdot \sigma_{ca}^{(2) (\perp)}}{\ell_a + \ell_b}$$

ここで、

ℓ_a : バルサの有効長 = $480 \times 2 = 960\text{mm}$

ℓ_b : 米杉の有効長 = $506 \times 2 = 1012\text{mm}$

$\sigma_{ca}^{(1) (\parallel)}$: バルサの木目平行の場合の平均圧縮応力 = 8.24 N/mm^2

$\sigma_{ca}^{(2) (\perp)}$: 米杉の木目垂直の場合の平均圧縮応力 = 12.1 N/mm^2

したがって、

$$\sigma_{ca} = \frac{960 \times 8.24 + 1012 \times 12.1}{960 + 1012} = 10.2 \text{ N/mm}^2$$

したがって、

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca} \cdot \ell \cdot R^2} = \frac{9600 \times 900 \times 9.8}{10.2 \times (960 + 1012) \times 540^2} = 1.44 \times 10^{-2}$$

より、付属書類[A. 10. 2]の(口)－第A. 74 図を用いて $\frac{\delta_H}{R}$ を求めると、

$$\frac{\delta_H}{R} = 0.035$$

となり、

変形量 δ_H は

$$\delta_H = \left(\frac{\delta_H}{R} \right) \times R = 0.035 \times 540 = 18.9\text{mm}$$

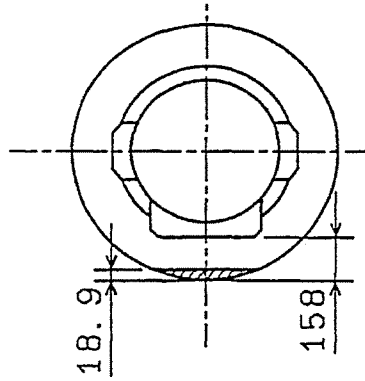
となる。

緩衝体に変形をしてもロックアップを生じないための必要高さ ΔH は

$$\Delta H = \frac{\delta_H}{\varepsilon_\ell} = \frac{18.9}{0.7} = 27.0\text{mm}$$

ε_ℓ : ロックアップ歪 = 0.70

となり緩衝体の最小高さ ($H_{\min} = 158\text{mm}$ 、(口)－第A. 34 図参照) より低い。



(ロ) - 第A. 34 図 下部緩衝体変形状態

(b) 衝撃力

緩衝体に生ずる衝撃力は、付属書類[A. 10. 2]を用いて次式より求まる。

$$F = 2\ell \cdot R \cdot \sigma_{cp} \sqrt{2(\delta_H / R) - (\delta_H / R)^2}$$

ここで、

F : 衝撃力 N

ℓ : 緩衝体有効長 $= 986 \times 2 = 1972 \text{ mm}$

R : 緩衝体半径 $= 540 \text{ mm}$

δ_H : 緩衝体の変形量 $= 18.9 \text{ mm}$

σ_{cp} : 緩衝材の最大圧縮応力

緩衝材の最大圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_{cp} = \frac{\ell_a \cdot \sigma_{cp}^{(1)}(\parallel) + \ell_b \cdot \sigma_{cp}^{(2)}(\perp)}{\ell_a + \ell_b}$$

ここで、

$\sigma_{cp}^{(1)}(\parallel) = \text{バルサの木目平行の場合の最大圧縮応力} = 10.7 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{cp}^{(2)}(\perp) = \text{米杉の木目垂直の場合の最大圧縮応力} = 21.1 \text{ N/mm}^2$

したがって、

$$\sigma_{cp} = \frac{960 \times 10.7 + 1012 \times 21.1}{960 + 1012} = 16.0 \text{ N/mm}^2$$

となる。

衝撃力 F は

$$F = 2 \times 1972 \times 540 \times 16.0 \times \sqrt{2 \times \frac{18.9}{540} - \left(\frac{18.9}{540}\right)^2}$$

$$= 8.94 \times 10^6 \text{ N}$$

となる。

(c) 衝撃加速度

輸送物に生ずる衝撃加速度は次式より求まる。

$$N = \frac{F}{W \cdot g} g$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

F : 緩衝体に生ずる衝撃力 = 8.94×10^6 N

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

したがって、

$$N = \frac{8.94 \times 10^6}{9600 \times 9.8} g = 95.0 \text{ g (m/s}^2)$$

となる。

(2) 応力計算

(a) 容器本体

緩衝体の衝撃力が容器本体に作用する場合、本体は両端を緩衝体で支持された梁として容器本体の曲げ強度を検討する。

輸送容器本体に生ずる衝撃力Fは次式より求まる。

$$F = N \cdot W$$

ここで、

N : 衝撃加速度 = $95.0 \text{ g (m/s}^2)$

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

W : 本体重量 = 8800kg

したがって、

$$F = 95.0 \text{ g} \times 8800$$

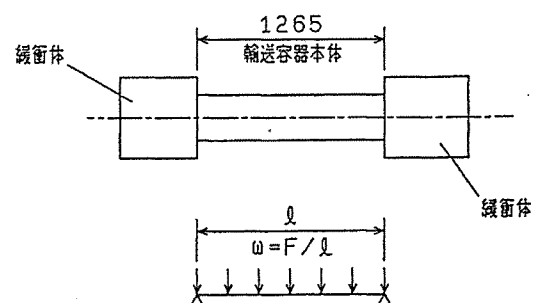
$$= 8.19 \times 10^6 \text{ N}$$

衝撃力は輸送容器に等分布に作用する。

この場合、本体に生ずる曲げ応力は次式より求まる。

(□) - 第A.35 図参照)

$$\sigma_b = \frac{e \cdot M}{I}$$



(□) - 第A.35 図

輸送容器水平落下解析モデル

ここで、

M : 曲げモーメント

$$M = \frac{w\ell^2}{8} = \frac{F\ell}{8}$$
$$= \frac{8.19 \times 10^6 \times 1265}{8}$$

$$= 1.30 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

w : 等分布荷重 = F/ℓ (N/mm)

ℓ : サポート間隔 = 1265mm

I : 断面 2 次モーメント (mm^4)

$$I = \frac{\pi}{64} [(D_o^4 - D_i^4) + (d_o^4 - d_i^4) + (d_o'^4 - d_i'^4)]$$

D_o : 外筒外径 = 720mm

D_i : 外筒内径 = 700mm

d_o : 外胴外径 = 620mm

d_i : 外胴内径 = 590mm

d_o' : 内胴外径 = 216.3mm

d_i' : 内胴内径 = 190.9mm

$$I = \frac{\pi}{64} [(720^4 - 700^4) + (620^4 - 590^4) + (216.3^4 - 190.9^4)]$$

$$= 2.75 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

e_1 : 内胴外半径 = 108.15mm

e_2 : 外胴外半径 = 310mm

e_3 : 外筒外半径 = 360mm

したがって、内胴、外胴及び外筒に生ずる曲げ応力 σ_{b1} 、 σ_{b2} 及び σ_{b3} は、以下の値となる。

$$\text{内胴 } \sigma_{b1} = \frac{108.15 \times 1.30 \times 10^9}{2.75 \times 10^9} = 51.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外胴 } \sigma_{b2} = \frac{310 \times 1.30 \times 10^9}{2.75 \times 10^9} = 147 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外筒 } \sigma_{b3} = \frac{360 \times 1.30 \times 10^9}{2.75 \times 10^9} = 170 \text{ N/mm}^2$$

(b) 下部蓋締付けボルト

(i) 締付けトルクによる応力

下部蓋は、下部フランジにはめ込みした状態で締付ける。水平落下時、下部蓋締付けボルトには衝撃荷重は作用せず、締付け力のみ作用する。((口)―第A.36図参照)

下部蓋締付けボルトに生ずる応力は、付属書類[A.10.1]に示すように次式により求まる。

$$\sigma_v = \sigma_f$$

ここで、

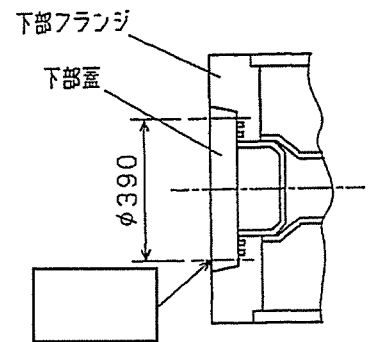
σ_v : ボルトに生ずる応力 (N/mm²)

σ_f : 締付け応力 = $0.5 \times S_y$

$$= 0.5 \times 875 = 438 \text{ N/mm}^2$$

したがって、下部蓋締付けボルトに生ずる応力 σ_v は、以下の値となる。

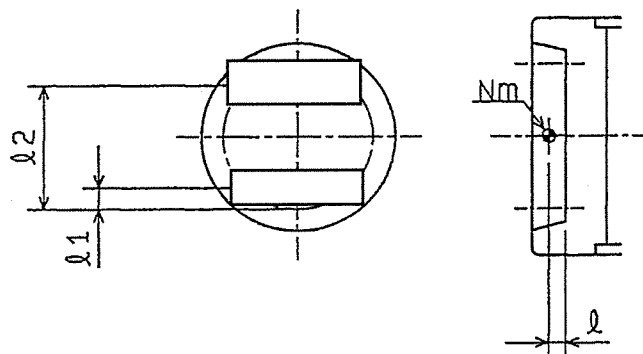
$$\sigma_v = \sigma_f = 438 \text{ N/mm}^2$$



((口)―第A.36図

下部蓋締付けボルト

(ii) 落下時の衝撃荷重により発生する応力解析モデル図を((口)―第A.37図)に示す。



((口)―第A.37図 0.9 m水平落下時下部蓋締付けボルト解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)－第A.37図に示す下部蓋締付けボルトには0.9 m水平落下により本体蓋の回転モーメントが作用する。したがって、ボルトには曲げ応力 σ_b が生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot l_{\max}}{I} = \frac{M \cdot l_{\max}}{n \cdot \sum l_i^2 \cdot A_r}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = N \cdot m \cdot \ell = 95.0 \times 9.8 \times 130 \times 25 = 3.03 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

N : 加速度 = 95.0 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

m : 蓋の重量 = 130kg

ℓ : モーメントアーム = 25mm

l_i : 支点から各ボルトまでの距離 (mm)

$$l_1 = \square \text{ mm}$$

$$l_2 = \square \text{ mm}$$

l_{\max} : 支点から最もはなれたボルトまでの距離 (mm)

$$l_{\max} = \square \text{ mm}$$

A_r : ボルトの谷径断面積 (mm²)

$$A_r = \frac{\pi}{4} d_r^2 = \frac{\pi}{4} \times \square = \square \text{ mm}^2$$

d_r : ボルトの谷径 = \square mm

n : l_i 点におけるボルトの数 = \square

したがって、ボルトに発生する応力は以下の値となる。

$$\sigma_b = \square$$

$$= 29.5 \text{ N/mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(c) 上部蓋締付けボルト

(i) 締付けトルクによる応力

上部蓋は、上部フランジにはめ込みした状態で締付ける。水平落下時、上部蓋締付けボルトには、せん断荷重は作用せず締付け力のみ作用する。

((□)－第A.38図参照)

上部蓋締付けボルトに生ずる応力は、付属書類[A.10.1]に示すように、次式より求まる。

$$\sigma_v = \sigma_f$$

ここで

$$\sigma_v : \text{ボルトに生ずる応力 (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_f : \text{締付け応力} = 0.5 \times S_y$$

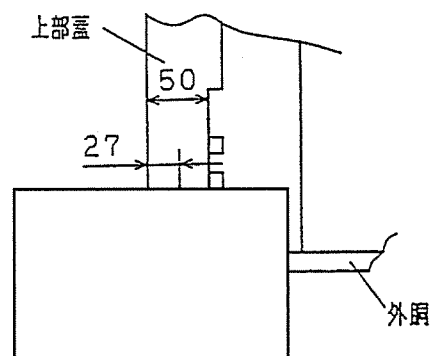
$$= 0.5 \times 875$$

$$= 438 \text{ N/mm}^2$$

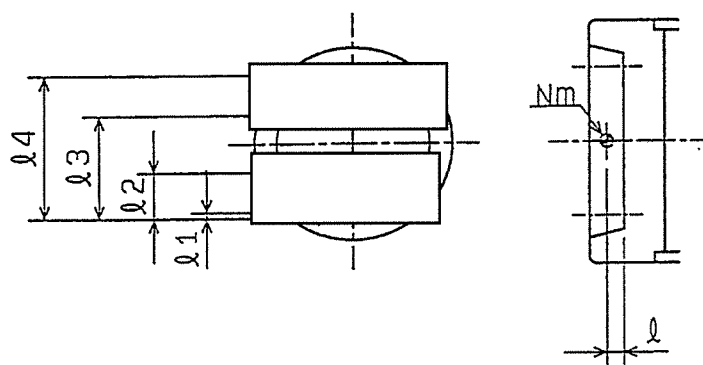
したがって、上部蓋締付けボルトに生ずる(σ_v)は、以下の値となる。

$$\sigma_v = \sigma_f = 438 \text{ N/mm}^2$$

(ii) 落下時の衝撃荷重により発生する応力解析モデル図を(□)－第A.39図に示す。



(□)－第A.38図 上部蓋締付けボルト



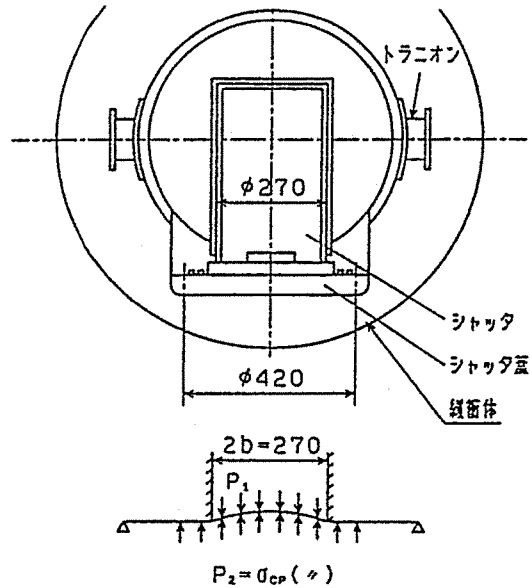
(□)－第A.39図 0.9 m水平落下時上部蓋締付けボルト解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(d) シャッタ部

(i) シャッタ蓋に生ずる応力

シャッタ蓋を下向として水平落下させた場合、シャッタ蓋には緩衝体からの反力とシャッタ自身の慣性力とが作用する。シャッタ蓋の解析モデルを(ロ)―第A.40図に示す。



(ロ)―第A.40図 シャッタ蓋解析モデル

シャッタ慣性力により蓋に作用する荷重は、次式より求まる。

$$P_1 = \frac{W \cdot N}{\pi \cdot b^2}$$

ここで

P_1 : シャッタ慣性力により蓋に作用する等分布荷重 (N/mm²)

W : シャッタ蓋及びシャッタの重量=354kg

N : 衝撃加速度=95.0 g (m/s²)

g : 重力加速度=9.8 m/s²

b : シャッタ半径=135mm

したがって、

$$P_1 = \frac{354 \times 95.0 \times 9.8}{\pi \times 135^2} = 5.76 \text{ N/mm}^2$$

緩衝体からの反力 P_2 はバルサの木目平行の場合の最大圧縮応力となる。

$$P_2 = \sigma_{cp(\parallel)} = 10.7 \text{ N/mm}^2$$

したがって、蓋に作用する荷重は、

$$\Delta P = |P_1 - P_2| = |5.76 - 10.7| = 4.94 \text{ N/mm}^2 \text{ となる}$$

$P_1 < P_2$ であるからシャッタの閉方向に荷重が作用する。

シャッタ蓋に生ずる応力は次式より求まる。(参考文献A5参照)

$$\sigma_\theta = \sigma_r = \pm 0.75 \frac{\Delta P \cdot b^2}{t^2}$$

$$\sigma_z = -P \text{ (外面)}$$

ここで、

σ_θ : 周方向応力 (N/mm²)

σ_r : 径方向応力 (N/mm²)

σ_z : 軸方向応力 (N/mm²)

b : サポート径=135mm

t : シャッタ蓋板厚=50mm

ΔP : 作用荷重=4.94 N/mm²

したがって、シャッタ蓋に生ずる応力は、以下の値となる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \pm 0.75 \times \frac{4.94 \times 135^2}{50^2} = \pm 27.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z = -4.94 \text{ N/mm}^2$$

(注) 応力の符号は正が内面、負が外面を表す。

(ii) シャッタ蓋締付けボルトに生ずる応力(シャッタ蓋が下向きに落下した場合)

シャッタ蓋を下方向とした場合の水平落下では、シャッタ蓋には閉方向に荷重が作用するので、シャッタ蓋締付けボルトには引張応力は作用しない。したがって、シャッタ蓋締付けボルトに生ずる応力は締付け応力のみとなり、以下の値となる。

$$\sigma_v = \sigma_f = 0.5 \times 875 = 438 \text{ N/mm}^2$$

(iii) シャッタ蓋締付けボルトに生ずる応力(シャッタ蓋が横向きに落下した場合)

シャッタ蓋は、シャッタフランジにはめ込みした状態で締付ける。シャッタ蓋を横方向にした水平落下時、シャッタ蓋締付けボルトにはせん断荷重は作用せず締付け力のみ作用する。((ロ) - 第A.41 図参照)

シャッタ蓋締付けボルトに生ずる応力は付属書類 [A. 10.1] に示すように、次式より求まる。

$$\sigma_v = \sigma_f$$

ここで、

$$\sigma_v : \text{ボルトに生ずる応力 (N/mm}^2\text{)}$$

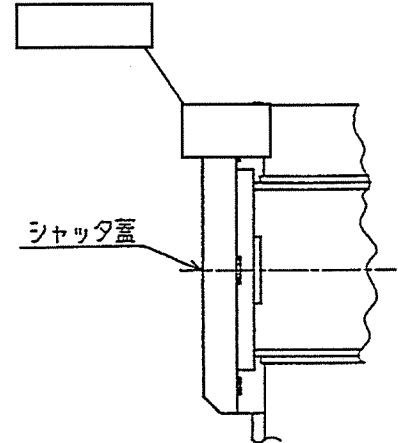
$$\sigma_f : \text{締付応力} = 0.5 \times S_y$$

$$= 0.5 \times 875$$

$$= 438 \text{ N/mm}^2$$

したがって、シャッタ蓋締付けボルトに生ずる応力 σ_v は、以下の値となる。

$$\sigma_v = \sigma_f = 438 \text{ N/mm}^2$$



(ロ) - 第A. 41 図シャッタ蓋解析モデル

(e) 収納物

(i) サーベイランスキャプセル被覆材に生ずる曲げ応力

0.9 m水平落下時、サーベイランスキャプセル被覆材に生ずる曲げ応力は、(ロ) - 第A. 42 図に示す解析モデルを用いて、次式より求まる。

$$\sigma_b = \beta_2 \frac{P \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

$$\sigma_b : \text{被覆材平板に生ずる曲げ応力 (N/mm}^2\text{)}$$

$$a : \text{被覆材部材巾} = \boxed{}$$

$$b : \text{被覆材部長さ} = \boxed{}$$

$$t : \text{被覆材部材厚さ} = \boxed{}$$

$$P : \text{作用荷重 (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_2 : \text{応力係数}$$

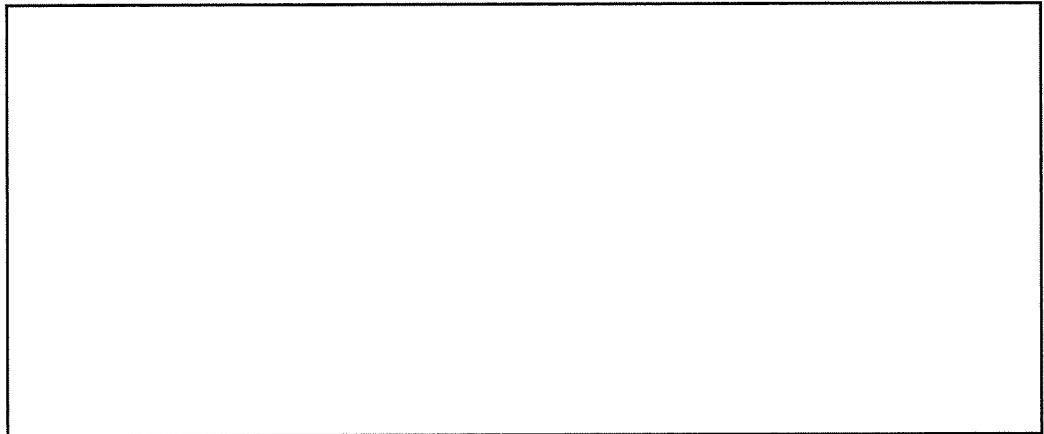
$$\gamma : \text{密度} = \boxed{} (\text{g/cm}^3)$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(イ) 収納缶本体と脚接部の変位

RCCロッドを収納した収納缶は、(ロ)－第A.43図に示すようにバスケット内に収納されている。



(ロ)－第A.43図 接続部変位解析モデル

水平落下時、脚接部に発生するモーメントがプラスチックヒンジモーメントを上回る場合、(A)点がバスケット内に接する。

そこで、ここでは水平落下時に脚接部に発生するモーメントを求める。

(ロ)－第A.43図(b)に示すように、荷重 F_1 及び荷重 F_2 が作用したときの脚接部(B)に発生するモーメントは次式より求められる。

$$M = M_1 + M_2 = F_1 \cdot l_1 \cdot (l - 2l_1) / l + F_2 \cdot l_2 \cdot 2l_1 / l$$

ここで、

$$F_1 = N \cdot W_1 \text{ (N)}$$

$$F_2 = N \cdot W_2 \text{ (N)}$$

$$l_1 : \text{スパン} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$l_2 : \text{スパン} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$l : \text{スパン} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$N : \text{衝突加速度} = 95.0 \text{ g (m/s}^2\text{)}$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$W_1 : \text{(収納缶本体+RCCロッド)の重量} = 4.7 \text{ kg}$$

$$W_2 : \text{脚の重量} = \boxed{} \text{ kg}$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) 収納缶本体に生ずる曲げ応力

収納缶本体に生ずる曲げ応力は(ロ)－第A.44 図に示す等分布荷重を受ける単純2点支持梁として、次式で求まる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{W \cdot \ell \cdot N}{8Z}$$

ここで、

W : (収納缶本体+RCCロッド)

の重量=4.7kg

ℓ : スパン=mm

N : 衝撃加速度=95.0 g (m/s²)

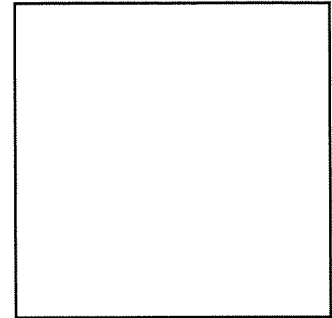
g : 重力加速度=9.8 m/s²

Z : 缶本体の断面係数 (mm³)

$$Z = \text{} = 9.28 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

したがって、収納缶本体に生ずる曲げ応力(σ_b)は、以下の値となる。

$$\sigma_b = \text{} = \text{} \text{ N/mm}^2$$



(ロ)－第A.44 図

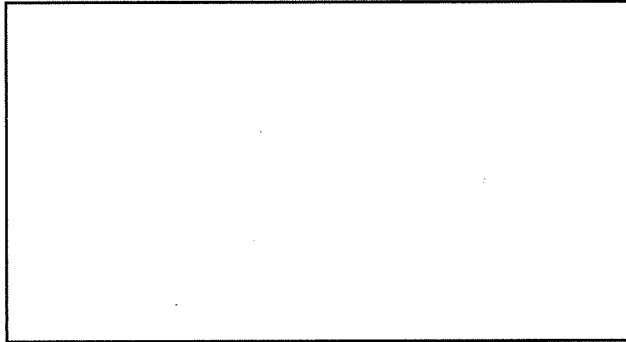
収納缶本体曲げ応力解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) 収納缶脚の曲げ応力

解析モデルは(ロ)－第A. 44. b 図に示し、次式により求める。

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



(ロ)－第A. 44. b 図 収納缶脚の解析モデル

ここで、

σ_b : 収納缶脚に生ずる曲げ応力 (N/mm²)

M : 収納缶脚に生ずる曲げモーメント (N・mm)

$$M = \frac{w \cdot \ell^2}{8} \cdot N$$

$$= \boxed{}$$

$$= 2.54 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

w : 収納缶脚の重量 = $\boxed{}$ kg/mm

ℓ : 収納缶脚の長さ = $\boxed{}$ mm

N : 衝撃加速度 = 95.0 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

Z : 収納缶脚の断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32d_o} = \boxed{} = 4.62 \times 10^3$$

d_o : 収納缶脚の外径 = $\boxed{}$ mm

d_i : 収納缶脚の内径 = $\boxed{}$ mm

したがって、収納缶脚に生ずる曲げ応力 σ_b は以下の値となる。

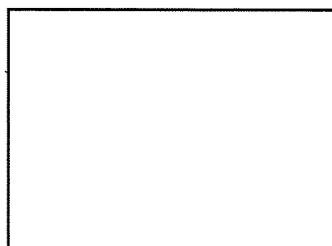
$$\sigma_b = \boxed{} = 55.0 \text{ N/mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(iv) 照射用ロッド (タイプVII) に生ずる応力

0.9 m水平落下時、照射サンプルを収納する照射用ロッド1本に生ずる応力は、(ロ)－第A.44.c 図に示す解析モデルを用いて次式により求める。

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



(ロ)－第A.44.c 図
照射用ロッドの解析モデル

ここで、

σ_b : 照射用ロッドに生ずる曲げ応力 (N/mm²)

M : 照射用ロッドに生ずる単位長さあたりの曲げモーメント (N・mm/mm)

$$\begin{aligned} M &= \frac{3}{2} \cdot w \cdot R^2 \cdot N \\ &= \frac{3}{2} \times \boxed{} = 0.16 \text{ N} \cdot \text{mm}/\text{mm} \end{aligned}$$

R : 照射用ロッドの中心半径 = mm

w : 照射用ロッドの等分布荷重 = kg/mm/mm

N : 衝撃加速度 = 95.0 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

Z : 照射用ロッドの断面係数 (単位幅当り) (mm³/mm)

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{6} b \cdot t^2 \\ &= \boxed{\phantom{4.17 \times 10^{-2}}} = 4.17 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{mm} \end{aligned}$$

b : 照射用ロッドの単位幅 (mm)

t : 照射用ロッドの板厚 = mm

したがって、照射用ロッドに生ずる応力 σ_b は以下の値となる。

$$\sigma_b = \boxed{} = 3.84 \text{ N}/\text{mm}^2$$

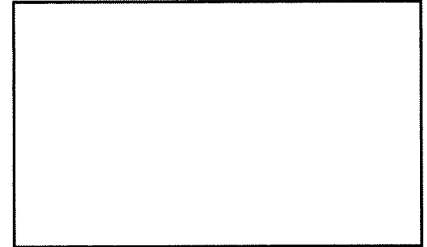
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(v) 収納缶（タイプⅧ）に生ずる応力

0.9 m水平落下時、シングルチューブを収納した収納缶に発生する応力を評価する。

(イ) 収納缶本体に生ずる応力

収納缶本体に発生する応力は(ロ)－第A.44.d図に示す解析モデルを用いて次式により求める。



(ロ)－第A.44.d図
収納缶本体応力解析モデル

$$\sigma_{b1} = \frac{M}{Z}$$

ここで、

σ_{b1} : 収納缶本体に生ずる曲げ応力 (N/mm²)

M : 収納缶本体に生ずる曲げモーメント (N・mm)

$$M = \frac{w \cdot \ell^2}{8} \cdot N$$

$$= \boxed{}$$

$$= 2.29 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

w : 収納缶本体の等分布荷重 = $\boxed{}$ kg/mm

$$w = (W_h + W_c) / 2\ell$$

W_h : 収納缶本体の重量 = $\boxed{}$ kg

W_c : シングルチューブの重量 = $\boxed{}$ kg

ℓ : 収納缶本体（1体分）の長さ = $\boxed{}$ mm

N : 衝撃加速度 = 95.0 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

Z : 収納缶本体の断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32d_o} = \boxed{}$$

$$= 7.00 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

d_o : 収納缶本体の外径 = $\boxed{}$ mm

d_i : 収納缶本体の内径 = $\boxed{}$ mm

したがって、収納缶本体に生ずる応力(σ_{b1})は以下の値となる。

$$\sigma_{b1} = \boxed{}$$

$$= 32.7 \text{ N/mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.5.3.2 垂直落下

本項では、輸送物が 0.9 m 垂直落下時に受ける衝撃力に対して輸送容器本体及び蓋等が十分な強度をもち、容器の健全性が保持されることを解析により示す。

(1) 緩衝体の吸収エネルギーと変形量、衝撃力及び加速度

垂直落下時には、落下運動エネルギーは、上部または下部緩衝体の変形によって吸収される。上部緩衝体と下部緩衝体の緩衝材の配置は全く同一であるため、緩衝体としての機能は同じである。したがって、解析は一方向のみについて行う。解析モデルを(ロ)―第A.45図に示す。

(a) 緩衝体の吸収エネルギー

輸送容器が 0.9 m 落下した場合の運動エネルギー E_k は次式により求まる。

$$E_k = W \cdot H \cdot g$$

ここで、

W : 輸送物の総重量 = 9600 kg

H : 輸送物の落下高さ = 900 mm

g : 重力加速度 = 9.8 m / s²

したがって、

$$E_k = 9600 \times 900 \times 9.8 = 8.47 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

このエネルギーは(ロ)―第A.45図の緩衝体の潰れによって吸収される。

(b) 衝撃力

(ロ)―第A.45図の緩衝体の米杉は木目が軸に平行に積層されている。この場合の衝撃力は次式により求まる。

$$F = A_o \cdot \sigma_{cp}$$

ここで、

F : 衝撃力 N

A_o : 受圧面積

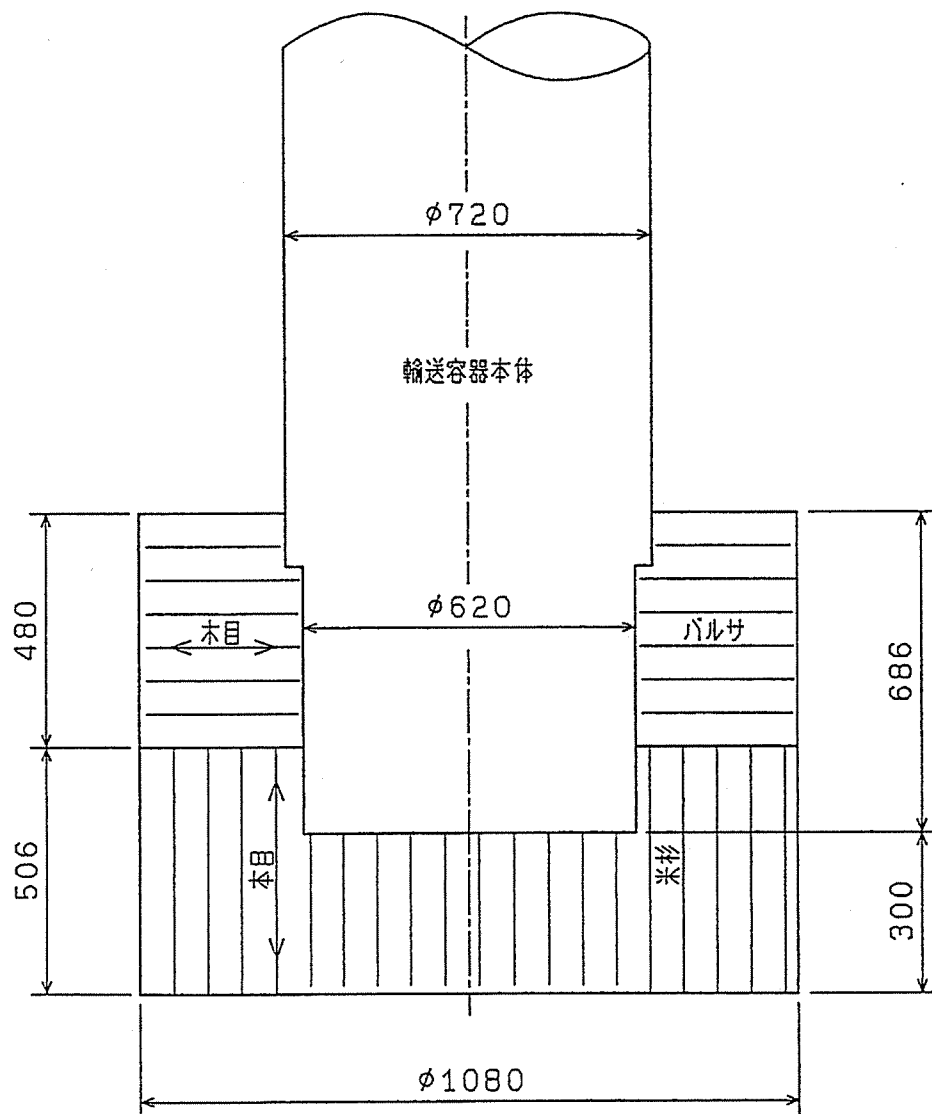
$$A_o = \pi / 4 \times D_o^2 = \pi / 4 \times 1080^2 = 9.16 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

D_o = 緩衝体外径 = 1080 mm

σ_{cp} : 米杉の木目平行の場合の最大圧縮応力 = 23.5 N / mm²

したがって、衝撃力は以下の値となる。

$$F = 9.16 \times 10^5 \times 23.5 = 2.15 \times 10^7 \text{ N}$$



(ロ) - 第A. 45 図 0.9 m 垂直落下解析モデル

(c) 緩衝体の変形量

輸送物の運動エネルギーを吸収するのに必要な緩衝体の軸方向変形量は次式より求まる。

$$\Delta \ell = \frac{E_k}{A_0 e}$$

ここで、

$\Delta \ell$: 緩衝体の軸方向変形量 (mm)

E_k : 運動エネルギー = $8.47 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$

A_0 : 受圧面積 = $9.16 \times 10^5 \text{ mm}^2$

e : 米杉の木目平行の場合の単位体積当りの

エネルギー吸収量 = 12.6 N/mm^2 ((ロ) - 第A. 7表より)

したがって、軸方向変形量は

$$\Delta \ell = \frac{8.47 \times 10^7}{9.16 \times 10^5 \times 12.6} = 7.34 \text{ mm}$$

となる。

緩衝体に変形してもロックアップを生じないための必要高さ ΔH は、

$$\Delta H = \frac{\Delta \ell}{\varepsilon_\ell} = \frac{7.34}{0.65} = 11.3 \text{ mm}$$

ε_ℓ : ロックアップ歪 = 0.65

となり、緩衝体軸方向高さ ($H = 300 \text{ mm}$) より低い。

(d) 衝撃加速度

落下時に輸送物が受ける衝撃加速度は次式より求まる。

$$N = \left(\frac{F}{W} \times \frac{1}{g} \right) \cdot g$$

ここで、

N : 衝撃加速度 (m/s^2)

F : 衝撃力 = $2.15 \times 10^7 \text{ N}$

W : 輸送物重量 = 9600 kg

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

したがって、以下の値となる。

$$N = \frac{2.15 \times 10^7}{9600 \times 9.8} \times g = 228 \cdot g \quad (\text{m/s}^2)$$

(e) 輸送容器本体の強度

輸送物が 0.9 m の高さから垂直落下した場合、本体に衝撃力が作用する。

本項では、この衝撃力により輸送容器が損傷しないことを示す。

解析モデルは(ロ)－第A.46図に示す。

容器本体の外胴及び内胴に作用する衝撃力 F_o 。または F_i は加速度 $228 \cdot g$ (m/s^2) を用いて次式より求まる。

$$F_o \text{。または } F_i = 228 \cdot g \sum_{i=1}^n W_i$$

ここで、

W_i : 輸送容器各構成部材の重量 ((ロ)－第A.46図参照)

(i) 外胴に生ずる衝撃力

外胴に生ずる衝撃力は次式より求まる。

$$\begin{aligned} F_o &= 228 \cdot g \sum_{i=1}^n W_i \\ &= 228 \cdot g \times \left[W_4 + W_5 + (W_1 + W_2 + W_3) \frac{A_o}{A_i + A_o} \right] \end{aligned}$$

ここで、

F_o : 外胴に生ずる衝撃力 (N)

A_i : 内胴の断面積 = $(\pi d_i \cdot t_i)$ mm^2

d_i : 内胴の平均径 = 203.6mm

t_i : 内胴の厚み = 12.7mm

A_o : 外胴の断面積 = $(\pi d_o \cdot t_o)$ mm^2

d_o : 外胴の平均径 = 605mm

t_o : 外胴の厚み = 15mm

W_i : 輸送容器各構成部材の重量 ((ロ)－第A.46図参照)

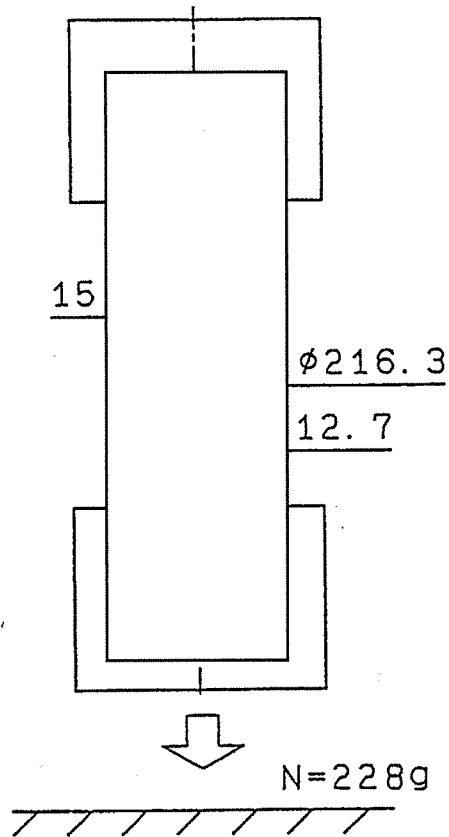
g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

したがって、

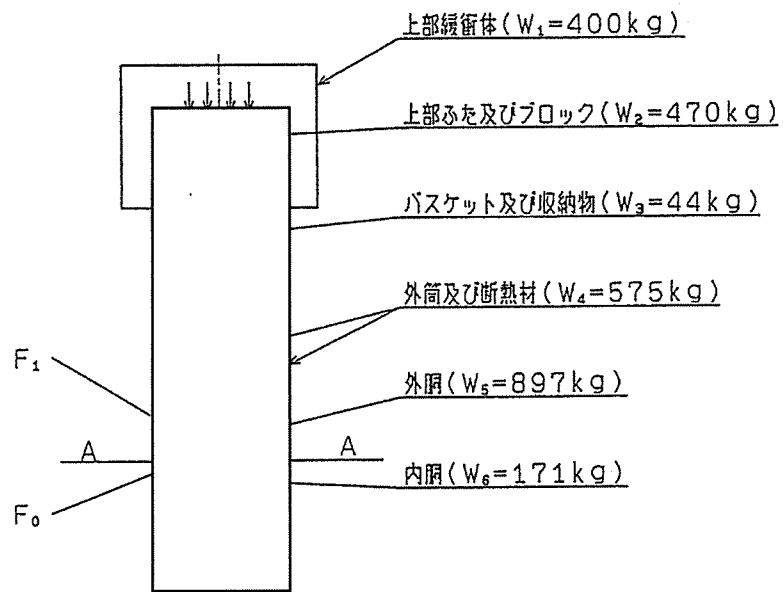
$$F_o = 228 \times 9.8 \times \left[575 + 897 + (400 + 470 + 44) \times \frac{605 \times 15}{203.6 \times 12.7 + 605 \times 15} \right]$$
$$= 4.88 \times 10^6 \text{ N}$$

となる。

(a) 落下状態



(b) 荷重条件



(ロ) - 第A. 46 図 0.9 m 垂直落下時輸送容器に生ずる応力解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ii) 外胴A-A断面に生ずる応力

外胴に生ずる応力 σ_{∞} は次式より求まる。

$$\sigma_{\infty} = \frac{F_o}{A_o}$$

ここで、

$$A_o = \pi \times d_o \times t_o = \pi \times 605 \times 15 = 2.85 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\sigma_{\infty} = \frac{4.88 \times 10^6}{2.85 \times 10^4} = 171 \text{ N/mm}^2$$

となる。

(iii) 内胴に生ずる衝撃力

内胴に生ずる衝撃力 F_i は次式より求まる。

$$F_i = 228 \cdot g \sum_{i=1}^n W_i$$

$$= 228 \cdot g \times \left[W_6 + (W_1 + W_2 + W_3) \frac{A_i}{A_i + A_o} \right]$$

したがって、

$$\begin{aligned} F_i &= 228 \times 9.8 \times \left[171 + (400 + 470 + 44) \times \frac{203.6 \times 12.7}{203.6 \times 12.7 + 605 \times 15} \right] \\ &= 8.35 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

となる。

(iv) 内胴A-A断面に生ずる応力

内胴に生ずる応力 σ_{ci} は次式より求まる。

$$\sigma_{ci} = \frac{F_i}{A_i}$$

ここで、

$$A_i = \pi \times d_i \times t_i = \pi \times 203.6 \times 12.7 = 8.12 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{ci} &= \frac{8.35 \times 10^5}{8.12 \times 10^3} \\ &= 103 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

となる。

(f) 断熱材サポートリングの強度

断熱材サポートリングには、緩衝体からの反力及び断熱材の慣性力による応力が生ずる。ここでは、次の2項目について解析を行う。

(i) サポートリングと外胴溶接部に生ずるせん断応力

サポートリングと外胴溶接部に生ずるせん断応力の解析モデルを(ロ)―第A.47図に示す。せん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \frac{F}{A_o} \times \frac{1}{\eta}$$

ここで、

τ : 付根部に生ずるせん断応力 (N/mm²)

F : 作用荷重

$$F = \Delta P \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d_o^2)$$

$$A_o = \pi \times d_o \times t = \pi \times 620 \times 30 = 5.84 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

η : 溶接継手効率=0.55

d_o : 外胴外径=620mm

t : サポートリング厚さ=30mm

ΔP : 単位面積当りの荷重 = $\sigma_{cp}^{(1)(\perp)} - P_1$

D : 外筒内径=700mm

$\sigma_{cp}^{(1)(\perp)}$: バルサ木目垂直方向の場合の最大圧縮応力=3.09 N/mm²

P_1 : 断熱材の慣性力による等分布荷重

$$P_1 = N \times \ell' \times \gamma = 228 \times 9.8 \times 1375 \times 2.35 \times 10^{-6} = 7.22 \text{ N/mm}^2$$

N : 衝撃加速度=228 g

g : 重力加速度=9.8 m/s²

ℓ' : 断熱材の長さ=1375mm

γ : 断熱材の密度=2.35×10³ kg/m³=2.35×10⁻⁶ kg/mm³

したがって、

$$\Delta P = |3.09 - 7.22| = 4.13 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 4.13 \times \pi / 4 \times (700^2 - 620^2) = 3.43 \times 10^5 \text{ N}$$

以上より、サポートリングと外胴溶接部に生ずるせん断応力 τ は以下の値となる。

$$\tau = \frac{3.43 \times 10^5}{5.84 \times 10^4} \times \frac{1}{0.55} = 10.7 \text{ N/mm}^2$$

(ii) サポートリングに生ずる曲げ応力

サポートリングに生ずる曲げ応力は、(ロ)－第A.47図の解析モデルにより、次式で決まる。(参考文献A5参照)

$$\sigma_b = \beta_{15} \frac{\Delta P \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

σ_b : サポートリングに生ずる曲げ応力

β_{15} : 応力係数=0.05

$$\frac{b}{a} = \frac{310}{350} = 0.89$$

t : 板厚=30mm

a : サポート外半径=350mm

b : サポート内半径=310mm

ΔP : 単位面積当りの荷重=4.13 N/mm²

したがって、サポートリングに生ずる曲げ応力 σ_b は以下の値となる。

$$\sigma_b = 0.05 \times \frac{4.13 \times 350^2}{30^2} = 28.1 \text{ N/mm}^2$$

(iii) 合成応力

上述のせん断応力 τ と曲げ応力 σ_b との合成応力 σ (は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \right\}$$

ここで、

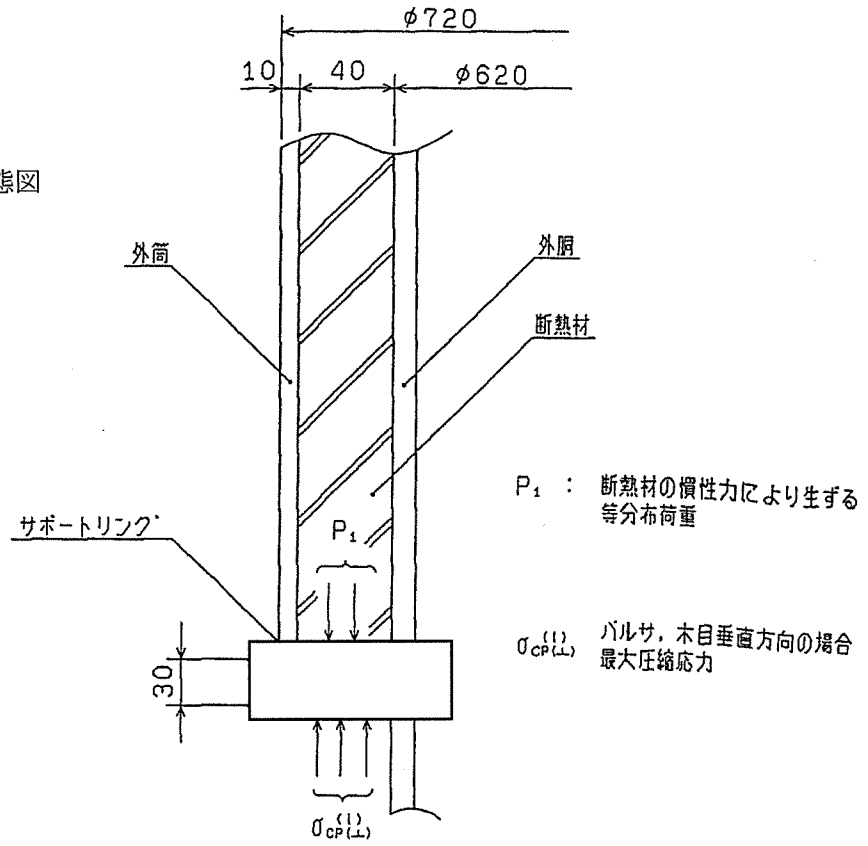
τ : せん断応力=10.7 N/mm²

σ_b : 曲げ応力=28.1 N/mm²

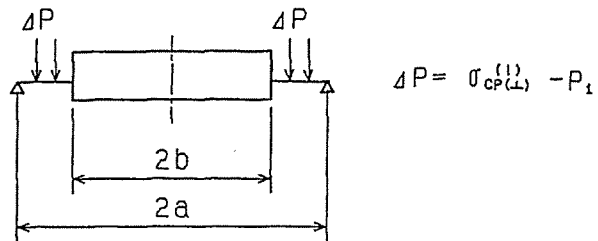
したがって、サポートリングに生ずる合成応力 σ は以下の値となる。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{2} \times \left\{ 28.1 + \sqrt{28.1^2 + 4 \times 10.7^2} \right\} \\ &= 31.7 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(a) 荷重状態図



(b) 解析モデル



(ロ) - 第A. 47 図 サポートリング解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(g) 下部蓋に生ずる応力

下部蓋を下方向にした垂直落下の場合、下部蓋に応力が生ずる。解析モデルは(ロ) - 第A.48図に示す。

この解析モデルによる曲げ応力は、次式により求まる。

(参考文献A.5参照)

$$\sigma_{\theta} = \sigma_r = \pm 0.75 \frac{\Delta P \cdot b^2}{t^2}$$

$$\sigma_z = -P$$

ここで、

σ_r : 径方向応力 (N/mm²)

σ_{θ} : 周方向応力 (N/mm²)

σ_z : 軸方向応力 (N/mm²)

b : サポート半径

$$= 145 \text{ mm}$$

t : 板厚 = 50 mm

ΔP : 作用荷重 (N/mm²)

$$\Delta P = |P_1 - \sigma_{cp}^{(2)}|$$

$\sigma_{cp}^{(2)}$: 米杉の木目平行の場合の

$$\text{最大圧縮応力} = 23.5 \text{ N/mm}^2$$

P_1 : 蓋の慣性力により生ずる等分布荷重 (N/mm²)

$$P_1 = \frac{N \cdot W}{\pi b^2} = \frac{228 \times 9.8 \times 130}{\pi \times 145^2} = 4.40 \text{ N/mm}^2$$

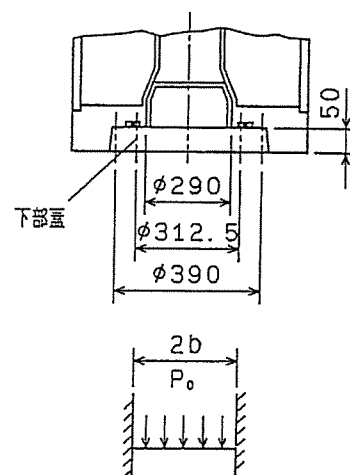
W : 下部蓋重量 = 130 kg

N : 衝撃加速度 = 228 · g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

したがって、

$$\Delta P = |4.40 - 23.5| = 19.1 \text{ N/mm}^2$$



(ロ) - 第A.48図

下部蓋解析モデル

以上より、下部蓋に生ずる応力は以下の値となる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \pm 0.75 \times \frac{19.1 \times 145^2}{50^2} = \pm 120 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z = -19.1 \text{ N/mm}^2$$

(注) 応力の符号は正が内側、負が外側を表す。

(h) 上部蓋に生ずる応力

上部蓋を下方向にした垂直落下の場合、上部蓋に応力が生ずる。解析モデルを(ロ) - 第A.49図に示す。

上部蓋に生ずる応力は次式より求まる。(参考文献A.5参照)

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \pm 0.75 \frac{\Delta P b^2}{t^2}$$

$$\sigma_z = -P$$

ここで、

σ_r : 径方向応力 (N/mm²)

σ_θ : 周方向応力 (N/mm²)

σ_z : 軸方向応力 (N/mm²)

b : サポート半径 = 150mm

t : 板厚 = 50mm

ΔP : 作用荷重 (N/mm²)

$$\Delta P = |P_1 - \sigma_{cp}^{(2)}|$$

$\sigma_{cp}^{(2)}$ (//): 米杉の木目平行の場合の

最大圧縮応力 = 23.5 N/mm²

P_1 : 上部蓋に作用する慣性力によ

って生ずる等分布荷重 (N/mm²)

$$P_1 = \frac{N \cdot W}{\pi b^2} = \frac{228 \times 9.8 \times 399}{\pi \times 150^2} = 12.6 \text{ N/mm}^2$$

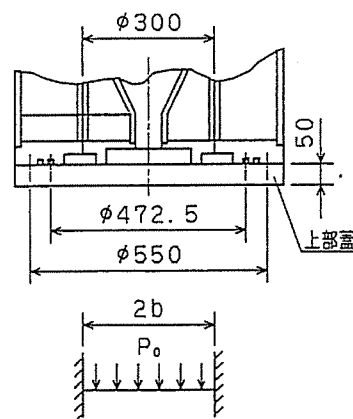
W = 上部蓋 (120kg) + 上部ブロック (200kg) + ハンガ (35kg) + バスケット (30kg) + 収納物 (14kg) = 399kg

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

したがって、

$$\Delta P = |12.6 - 23.5| = 10.9 \text{ N/mm}^2$$



(ロ) - 第A.49図

上部蓋解析モデル

以上より、上部蓋に生ずる応力は、以下の値となる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \pm 0.75 \times \frac{10.9 \times 150^2}{50^2} = \pm 73.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z = -10.9 \text{ N/mm}^2$$

(注) 応力の符号は正が内側、負が外側を表す。

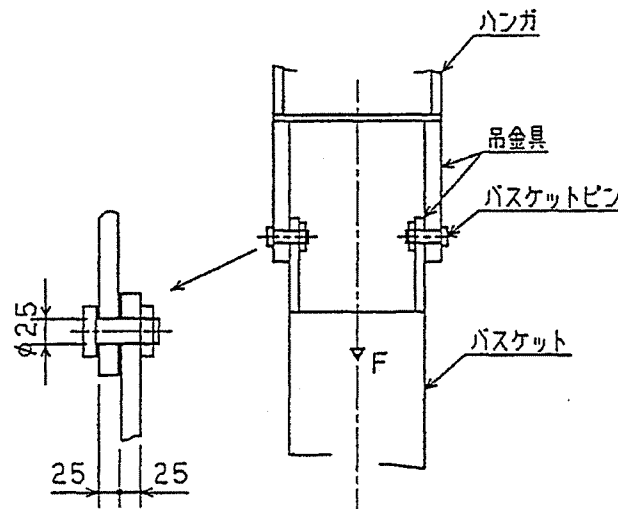
(i) シャッタ蓋締付けボルトに生ずる応力

垂直落下の場合、シャッタ蓋締付けボルトには、せん断荷重は作用しない。

したがって、ボルトに生ずる応力は締付け応力のみで、その値は、 438 N/mm^2 である。

(j) バスケットの吊金具部の強度

垂直落下の際、バスケットの吊金具部に生ずる応力として、次の個所について解析する。解析モデル(ロ)－第A.50図に示す。



(ロ)－第A.50図 バスケット吊金具部解析モデル

(i) 吊金具穴部に生ずる引張応力

吊金具穴部に生ずる引張応力は、次式により求まる。

$$\sigma_t = \frac{F}{2A}$$

ここで、

σ_t : 吊金具穴部に生ずる引張応力 (N/mm^2)

F : 作用荷重

$$\begin{aligned} F &= N \cdot W \\ &= 228 \times 9.8 \times 44 \\ &= 9.83 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

N : 衝撃加速度 = 228 g (m / s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m / s²

W : バスケット (30kg) + 収納物 (14kg) = 44kg

A : 吊金具穴部断面積

$$= (b - d) \times t = (50 - 25) \times 25 = 6.25 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

b : 吊金具の幅 = 50mm

d : 穴 径 = 25mm

t : 吊金具の板厚 = 25mm

したがって、吊金具穴部に生ずる引張応力 σ_t は、以下の値となる。

$$\sigma_t = \frac{9.83 \times 10^4}{2 \times 6.25 \times 10^2} = 78.6 \text{ N/mm}^2$$

(ii) 吊金具穴部に生ずるせん断応力

吊金具穴部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

$$\tau = \frac{F}{2A}$$

ここで、

τ : 吊金具穴部に生ずるせん断応力 (N / mm²)

F : 作用荷重

$$\begin{aligned} F &= N \cdot W \\ &= 228 \times 9.8 \times 44 \\ &= 9.83 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

N : 衝撃加速度 = 228 g (m / s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m / s²

W : バスケット (30kg) + 収納物 (14kg) = 44kg

A : 吊金具穴部断面積

$$= (b - d) \times t = (50 - 25) \times 25 = 6.25 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

b : 吊金具の幅=50mm

d : 穴 径=25mm

t : 吊金具の板厚=25mm

したがって、吊金具穴部に生ずるせん断応力 τ は、以下の値となる。

$$\tau = \frac{9.83 \times 10^4}{2 \times 6.25 \times 10^2} = 78.6 \text{ N/mm}^2$$

(iii) 吊金具穴部に生ずる合成応力

吊金具穴部に生ずる合成応力は、次式より求まる。

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

ここで、

σ : 吊金具穴部に生ずる合成応力 (N/mm²)

σ_t : 吊金具穴部に生ずる引張応力=78.6 N/mm²

τ : 吊金具穴部に生ずるせん断応力=78.6 N/mm²

したがって、吊金具穴部に生ずる合成応力 σ は、以下の値となる。

$$\sigma = \sqrt{78.6^2 + 4 \times 78.6^2} = 176 \text{ N/mm}^2$$

(iv) バスケットピンに生ずるせん断応力

バスケットピンに生ずるせん断応力は、次式により求まる。

$$\tau = \frac{F}{2A}$$

ここで、

τ : バスケットピンに生ずるせん断応力 (N/mm²)

F : 作用荷重量

$$F = N \cdot W$$

$$= 228 \times 9.8 \times 44$$

$$= 9.83 \times 10^4 \text{ N}$$

N : 衝撃加速度=228 g (m/s²)

g : 重力加速度=9.8 m/s²

W : バスケット(30kg)+収納物(14kg)=44kg

A : バスケットピンの断面積

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 25^2 = 491 \text{ mm}^2$$

d : バスケットピン外径=25mm

したがって、バスケットピンに生ずるせん断応力 τ は、以下の値となる。

$$\tau = \frac{9.83 \times 10^4}{2 \times 491} = 100 \text{ N/mm}^2$$

(2) 収納物

(a) サーベイランスキャプセル被覆材に生ずる応力

0.9 m 垂直落下時、サーベイランスキャプセル被覆材に生ずる圧縮応力は、次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} \cdot N$$

ここで、

σ_c : 被覆材に生ずる圧縮応力 (N/mm²)

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

W : 2分割した後のサーベイランスキャプセル被覆材の重量

$$W = \gamma \times A \times \ell = \boxed{} = 1.10 \text{ kg}$$

A : 被覆材の断面積

$$A = \boxed{}$$

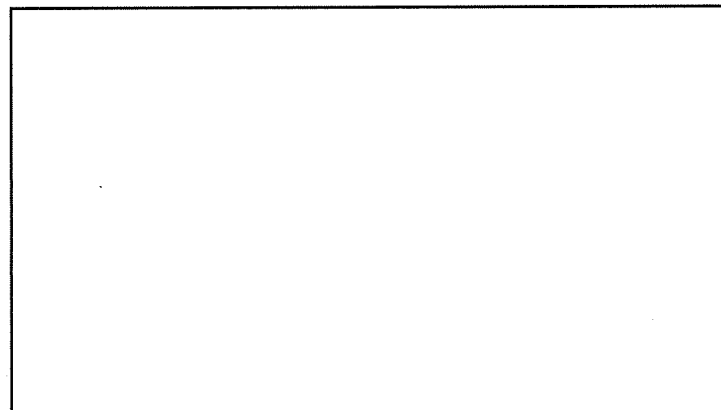
$$= 9.28 \times 10^4 \text{ mm}^2 \quad (\square) - \text{第 A. 51 図参照}$$

$$\gamma : \text{被覆材の密度} = \boxed{} \text{ kg/m}^3 = \boxed{} \text{ kg/mm}^3$$

$$\ell : \text{被覆材の長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

したがって、被覆材に生ずる圧縮応力 σ_c は、以下の値となる。

$$\sigma_c = \boxed{} = 26.5 \text{ N/mm}^2$$



(□) - 第 A. 51 図 サーベイランスキャプセル被覆材断面積

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(b) 収納缶脚（タイプⅡ～Ⅴ）に生ずる圧縮応力

収納缶に収納される収納物としては、RCCロッド、NFBC被覆管、SS棒及びバッフルフォーマボルトがあるが、この内RCCロッド収納時が最も厳しい条件となるため、この場合について評価する。

収納缶脚に生ずる圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} \cdot N$$

ここで、

σ_c : 収納缶脚に生ずる圧縮応力 (N/mm²)

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

W : 収納物重量 = kg / 体

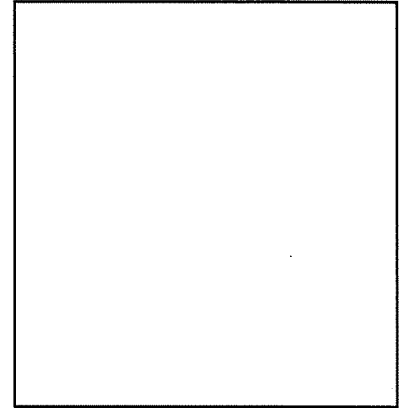
A : 脚の断面積

((口) - 第A.52図参照)

$$A = \text{} = 1.51 \times 10^2 \text{mm}^2$$

したがって、収納缶脚に生ずる圧縮応力 σ_c は、以下の値となる。

$$\sigma_c = \text{} = \text{} \text{N/mm}^2$$



(口) - 第A.52図

収納缶脚圧縮応力解析モデル

(c) 収納缶（タイプVI）に生ずる応力

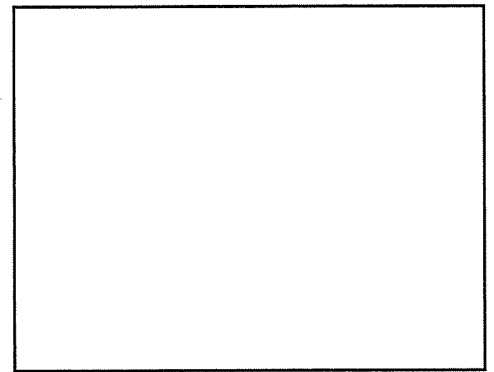
0.9 m垂直落下時、バッフルフォーマボルトを収納した収納缶に生ずる応力として、次の箇所について解析する。

(i) 収納缶本体に生ずる圧縮応力

収納缶本体に生ずる圧縮応力は、

(ロ)–第A.52.a 図に示す解析モデルを用いて次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} \cdot N$$



ここで、

(ロ)–第A.52.a 図

σ_c : 収納缶本体に生ずる圧縮応力 (N/mm²) 収納缶本体の解析モデル

W : バッフルフォーマボルト

$$(\square \text{ kg} \times \square \text{ 本}) + \text{収納缶本体} (\square \text{ kg}) = \square \text{ kg}$$

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

A : 収納缶本体の断面積

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) \\ &= \frac{\pi}{4} (\square - \square) \\ &= \square \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

d_o : 収納缶本体の外径 = \square mm

d_i : 収納缶本体の内径 = \square mm

したがって、収納缶本体に生ずる圧縮応力 σ_c は以下の値となる。

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \square \\ &= 47.5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

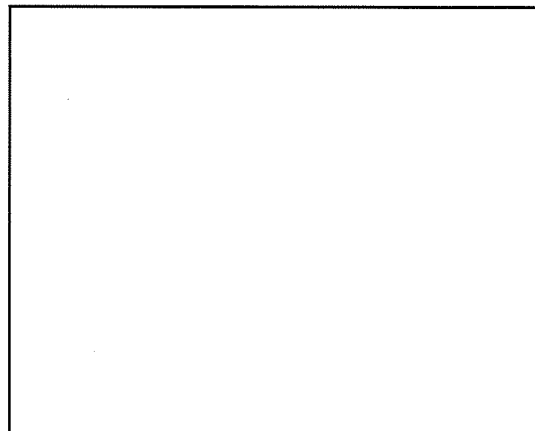
(ii) 収納缶蓋板に生ずる曲げ応力

収納缶蓋板に生ずる曲げ応力は、

(ロ)－第A.52.b 図に示す解析モ

デルを用いて次式より求まる。

$$\sigma_b = \beta \cdot \frac{W}{t^2} \cdot N$$



(ロ)－第A.52.b 図

ここで、

収納缶蓋板の解析モデル

σ_b : 収納缶本体に生ずる曲げ応力 (N/mm²)

W : パッフルフォーマボルト重量 = kg

t : 収納缶蓋板の厚さ = mm

N : 衝撃加速度 = 228 · g (m / s²)

β : 応力係数 = 2.2

したがって、収納缶蓋板に生ずる圧縮応力 σ_b は、以下の値となる。

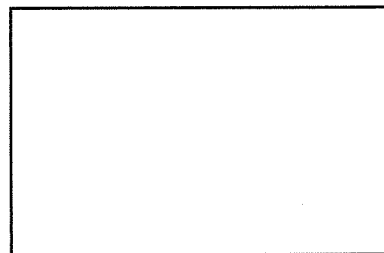
$$\sigma_b = \text{}$$
$$= 94.4 \text{ N/mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(iii) 収納缶脚 (タイプVI) に生ずる応力

バッフルフォーマボルトを収納した収納缶脚に生ずる応力は、(ロ)―第A.52.c 図に示す解析モデルを用いて次式により求める。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} \cdot N$$



(ロ)―第A.52.c 図
収納缶脚の解析モデル

ここで、

σ_c : 収納缶脚に生ずる圧縮応力 (N/mm^2)

W : バッフルフォーマボルト \times 本 + 収納缶本体 = kg

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s^2)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

A : 収納缶脚の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) = \frac{\pi}{4} (\text{} - \text{}) = \text{} \text{mm}^2$$

d_o : 収納缶脚の外径 = mm

d_i : 収納缶脚の内径 = mm

したがって、収納缶脚に生ずる圧縮応力は、以下 σ_c の値となる。

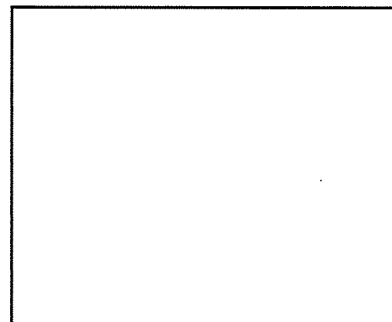
$$\sigma_c = \text{} \text{N}/\text{mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(d) 照射用ロッド (タイプVII) に生ずる応力

0.9 m垂直落下時、照射用ロッドに生ずる応力は、(ロ)－第A.52.d 図に示す解析モデルを用いて次式により求まる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} \cdot N$$



(ロ)－第A.52.d 図

ここで、

照射用ロッドの解析モデル

σ_c : 照射用ロッドに生ずる圧縮応力 (N/mm²)

W : 荷重 = kg

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

A : 照射用ロッドの断面積

$$A = \frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)$$

$$= \text{}$$

$$= \text{} \text{ mm}^2$$

d_o : 照射用ロッドの外径 = mm

d_i : 照射用ロッドの内径 = mm

したがって、照射用ロッドに生ずる圧縮応力 σ_c は、以下の値となる。

$$\sigma_c = \text{}$$

$$= 66.5 \text{ N/mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(e) 収納缶（タイプⅧ）に生ずる応力

0.9 m 垂直落下時、シンプルチューブを収納した収納缶に生ずる応力として、次の箇所について解析する。

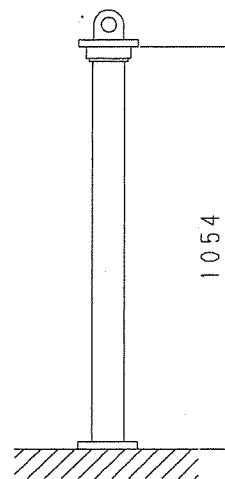
(i) 収納缶本体に生ずる圧縮応力

収納缶本体に生ずる圧縮応力は、

(ロ)－第A.52.e 図に示す解析モデルを用いて次式より求まる。

デルを用いて次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} \cdot N$$



(ロ)－第A.52.e 図

収納缶本体の解析モデル

ここで、

σ_c : 収納缶本体に生ずる圧縮応力 (N/mm²)

W : シンプルチューブ収納缶本体 = kg

N : 衝撃加速度 = 228 g (m/s²)

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

A : 収納缶本体の断面積

$$= \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)$$

$$= \text{$$

$$\text{ mm}^2$$

d_o : 収納缶本体の外径 = mm

d_i : 収納缶本体の内径 = mm

したがって、収納缶本体に生ずる圧縮応力 σ_c は以下の値となる。

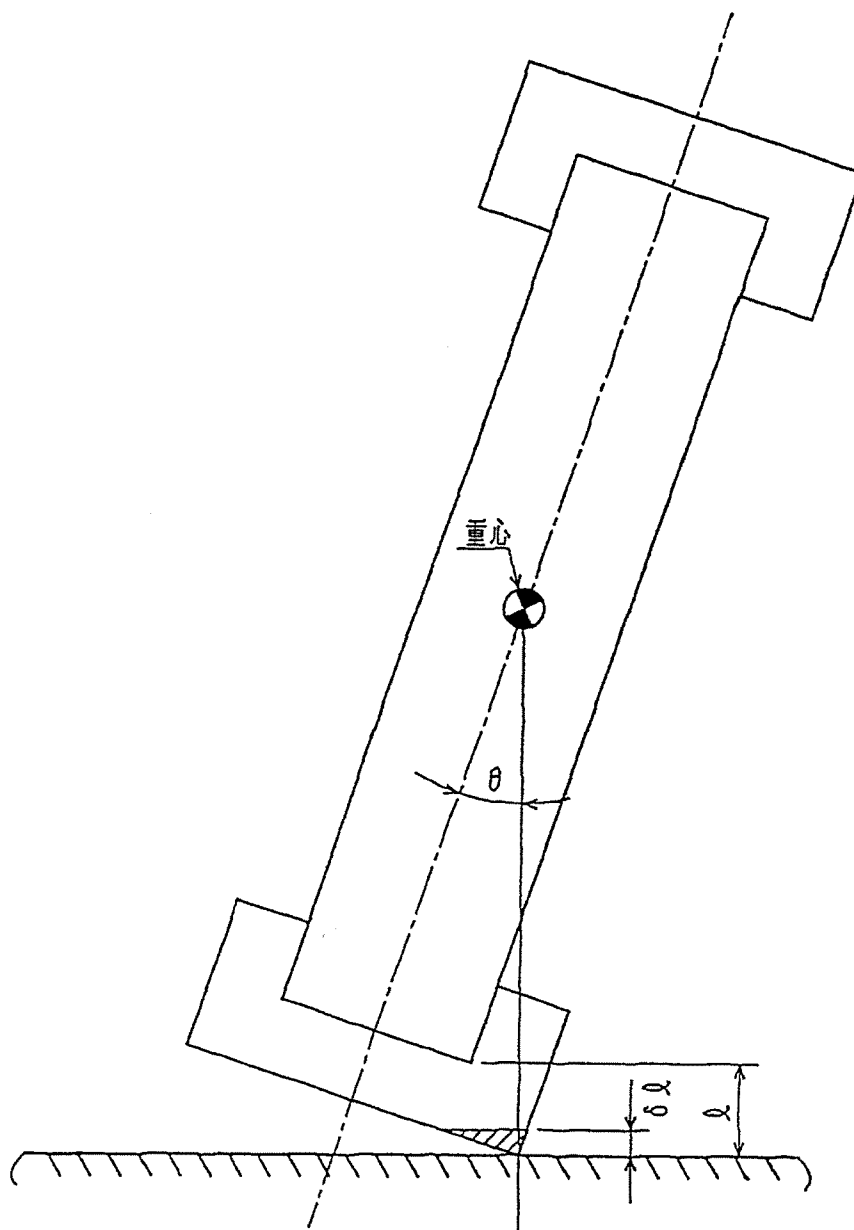
$$\sigma_c = \text{$$

$$= 33.0 \text{ N/mm}^2$$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.5.3.3 コーナ落下

コーナ落下は(ロ)－第A.53図に示すように、輸送物の重心が落下点の鉛直線上に位置するように容器を傾斜させて落下させたものである。



(ロ)－第A.53図 コーナ落下緩衝体の解析モデル

本項では、コーナ落下に対して輸送容器両端部についている緩衝体が全ての運動エネルギーを吸収し、容器本体及び蓋は十分な強度をもち、容器の健全性が保持されることを解析によって示す。

(1) 緩衝体の変形量、衝撃力及び輸送物の衝撃加速度

コーナ落下時、運動エネルギーは上部または下部緩衝体の変形によって、吸収される。上部緩衝体と下部緩衝体の緩衝材の配置は全く同一であるため、緩衝体としての機能は同じである。したがって、解析は一方向のみについて行う。解析モデルを(ロ)―第A. 53 図に示す。

(a) 緩衝体の変形量

輸送物の運動エネルギーを吸収するのに必要な緩衝体の変形量は、付属書類 [A. 10. 3] を用いて次式より求まる。

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca}(\theta) \cdot R^3} = f(\beta, \theta)$$

$$f(\beta, \theta) = \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\}$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

H : 落下高さ = 900mm

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

θ : 落下角度 = 18.3° = 0.319rad ((ロ)―第A. 53 図参照)

R : 緩衝体の半径 = 540mm

β : (付属書類 [A. 10. 3]、((ロ)―第A. 76 図参照)) (rad)

$\sigma_{ca}(\theta)$: 緩衝材の木目にある角度 θ 方向から圧縮した場合の、平均圧縮応力 (N/mm²)

木目に対して任意の角度 (θ°) での平均圧縮応力 (または、最大圧縮応力) は木目に平行な方向の平均圧縮応力 (または、最大圧縮応力) 成分と、木目に垂直な方向での平均圧縮応力 (または、最大圧縮応力) 成分の組合せによって求まる。(参考文献 [A. 6] 参照)

したがって、任意の角度での平均圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_{ca}(\theta) = \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sigma_{ca}^{\parallel}} + \frac{\sin^2 \theta}{\sigma_{ca}^{\perp}} \right)^{-1}$$

ここで、

σ_{ca}^{\parallel} : 米杉の木目平行の場合の平均圧縮応力 = 19.2 N/mm²

σ_{ca}^{\perp} : 米杉の木目垂直の場合の平均圧縮応力 = 12.1 N/mm²

((ロ)―第A. 7 表参照)

したがって、

$$\sigma_{ca}(18.3^\circ) = \left(\frac{\cos^2 0.319}{19.2} + \frac{\sin^2 0.319}{12.1} \right)^{-1} = 18.2 \text{ N/mm}^2$$

したがって、

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca}(18.3^\circ) R^3} = \frac{9600 \times 900 \times 9.8}{18.2 \times 540^3} = 0.0295$$

これより、付属書類[A. 10. 3](ロ)－第A. 77図を用いて β を求めると

$$\beta = 0.97 \text{ rad}$$

となる。

緩衝体の変形量 δl は付属書類[A. 10. 3]の(7)式より

$$\delta l = 540 \times (1 - \cos 0.97) \times \sin 0.319 = 73.6 \text{ mm}$$

なお、事故時の実証試験の結果、変形量を22%過小評価しているため修正する。

$$\delta l_m = \alpha \times \delta l$$

$$\delta l_m : \text{修正後の変形量 mm}$$

$$\alpha : \text{修正係数} = 1.22$$

したがって、

$$\delta l_m = 1.22 \times 73.6 = 89.8 \text{ mm}$$

となる。

緩衝体の有効高さ l は次式より求まる。

$$l = (s \tan \theta + H) \cos \theta$$

ここで、

$$s = (1080 - 642) \times 1/2 = 219 \text{ mm}$$

$$H = 300 \text{ mm}$$

したがって、

$$l = (219 \times \tan 0.319 + 300) \times \cos 0.319 = 354 \text{ mm}$$

エネルギー吸収に必要な高さ l_n (ロックアップを生じない高さ)は、ロックアップ歪を $\varepsilon_l = 0.675$ (木目平行と垂直の場合のロックアップ歪の平均値)とすると

$$l_n = \frac{\delta l_m}{\varepsilon_l} = \frac{89.8}{0.675} = 133 \text{ mm}$$

となり緩衝体の有効高さ($l = 353 \text{ mm}$)より低い。

(b) 緩衝体の衝撃力

コーナ落下時、緩衝体に作用する衝撃力は、付属書類[A. 10. 3]を用いて次式より求まる。

$$F = \frac{\sigma_{cp}(\theta)R^2}{\cos\theta}(\beta - \sin\beta \cos\beta)$$

ここで、

$$\beta = 1.08\text{rad} \quad (\text{修正係数 } \alpha = 1.22 \text{ を考慮した値})$$

$$\theta = 18.3^\circ = 0.319\text{rad}$$

$\sigma_{cp}(\theta)$: 緩衝材の木目にある角度 θ 方向から圧縮した場合の最大圧縮応力
(N/mm^2)

$\sigma_{cp}(\theta)$ は $\sigma_{ca}(\theta)$ を求めた時と同様に次式より求まる。

$$\sigma_{cp}(\theta) = \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sigma_{cp//}} + \frac{\sin^2 \theta}{\sigma_{cp\perp}} \right)^{-1}$$

ここで、

$$\sigma_{cp//} : \text{米杉の木目平行の場合の最大圧縮応力} = 23.5 \text{ N}/\text{mm}^2$$

$$\sigma_{cp\perp} : \text{米杉の木目垂直の場合の最大圧縮応力} = 21.1 \text{ N}/\text{mm}^2$$

したがって、

$$\sigma_{cp}(18.3^\circ) = \left(\frac{\cos^2 0.319}{23.5} + \frac{\sin^2 0.319}{21.1} \right)^{-1} = 23.2 \text{ N}/\text{mm}^2$$

衝撃力 F は

$$F = \frac{23.2 \times 540^2}{\cos 0.319} (1.08 - \sin 1.08 \cos 1.08) = 4.73 \times 10^6 \text{ N}$$

となる。

(c) 輸送物に生ずる衝撃加速度

輸送物に生ずる衝撃加速度 N は次式により求まる。

$$N = \frac{F}{W \cdot g} g$$

ここで、

$$W : \text{輸送物重量} = 9600 \text{ kg}$$

$$F : \text{緩衝体に生ずる衝撃力} = 4.73 \times 10^6 \text{ N}$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$$

したがって、

$$N = \frac{4.73 \times 10^6}{9600 \times 9.8} g = 50.3 \text{ g} \quad (\text{m}/\text{s}^2)$$

となる。

(2) 輸送容器本体の強度

コーナ落下時に生ずる加速度は、水平落下時及び垂直落下時に生ずる加速度よりも小さい。

したがって、輸送物各部に生ずる応力も垂直落下時及び水平落下時より小さいので、応力解析は省略する。

A. 5. 3 項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて(ロ)―第A. 18 表及び(ロ)―第A. 19 表に示す。

これらの表から分かるように、個々の荷重が単独、あるいは重畳作用しても解析基準値に対する余裕率は0以上である。

また、本輸送物の使用回数を 500 回とした場合の、許容繰返し数に対する余裕率も同様に0以上である。

したがって、一般の試験条件下(自由落下試験)において、本輸送物の健全性が損なわれることはない。

(ロ) 第一A.18表 0.9 m水平落下時における応力評価結果 (1/2)

No.	応力及びひ応力強さ (N/mm ²)			初期 応力	圧力に よる応力	熱応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価						(一次+二次)応力強 さの評価						疲 勞 評 価					
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_y	M_s	P_L+P_b	S_y	M_s	P_L+P_b+Q	$2S_y$	M_s	P_L+P_b+Q+F	Sa	N	Na	DF	Ms		
1	内 胴	σ_r	-0.008	-	-	-	-	-	193	1377	51.2	193	2.7	51.2	386	6.5	51.32	25.6	500	1×10 ⁶	5×10 ⁻⁴	2000			
		σ_θ	0.128																						
		σ_z	0.064																						
2	外 胴	σ_r	-	-	-	-	-	-	-	-	147	193	0.31	147	386	1.6	147	73.5	500	1×10 ⁶	5×10 ⁻⁴	2000			
		σ_θ	-																						
		σ_z	-																						
3	外 筒	σ_r	-	-	-	-	-	-	-	-	170	193	0.13	170	386	1.2	170	85.0	500	1×10 ⁶	5×10 ⁻⁴	2000			
		σ_θ	-																						
		σ_z	-																						
4	下部蓋縮付け ボルト	σ_t	438	-	2.63	-	-	-	875	0.98	470	875	0.86	470	=875	0.86	1884*	942	500	600	0.83	0.2			
		σ_b	-																						
5	上部蓋縮付け ボルト	σ_t	438	-	1.77	-	-	-	875	0.98	447	875	0.95	447	=875	0.95	1788*	894	500	700	0.71	0.4			
		σ_b	-																						
6	シャッタ蓋 縮付けボルト	σ_t	438	-	1.02	-	-	-	875	0.99	-	-	-	439	=875	0.99	1756*	878	500	700	0.71	0.4			
		σ_b	-																						
7	内 面	σ_r	-0.35	-	-	-	-	-	193	76	26.7	193	6.2	26.7	386	13	26.7	13.4	500	1×10 ⁶	5×10 ⁻⁴	2000			
		σ_θ	-0.35																						
		σ_z	-0.016																						
	外 面	σ_r	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		σ_θ	0.35																						
		σ_z	-																						

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次曲げ応力 P_b : ピーク応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 Na : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ M_s : 余裕率

(ロ) 第一A.18表 0.9 m水平落下時における応力評価結果 (2/2)

No.	応力及びび応力強さ (N/mm ²)		初期 応力	圧力に よる応力	熱応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価						(一次+二次)応力強 さの評価						疲労評価													
	評価位置	σ_b					$P_m(P_L)$	S_y	M_s	P_L+P_b	S_y	M_s	P_L+P_b+Q	$2S_y$	M_s	P_L+P_b+Q+F	S_a	N	Na	DF	M_s											
8	サーベイラン スキャプセル 被覆材	σ_b	—	—	—	3.50	—	—	—	—	3.50	163	45	3.50	$S_y=$ 163	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	収納缶本体 (タイプII~V)	σ_b	—	—	—	16.2	—	—	—	—	16.2	163	9.0	16.2	$S_y=$ 163	9.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	収納缶本体 (タイプVI)	σ_b	—	—	—	2.34	—	—	—	—	2.34	163	68	2.34	$S_y=$ 163	68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	収納缶脚 (タイプVI)	σ_b	—	—	—	55.0	—	—	—	—	55.0	163	1.9	55.0	$S_y=$ 163	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	照射用ロッド (タイプVII)	σ_b	—	—	—	3.84	—	—	—	—	3.84	163	41	3.84	$S_y=$ 163	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	収納缶本体 (タイプVIII)	σ_b	—	—	—	32.7	—	—	—	—	32.7	163	3.9	32.7	$S_y=$ 163	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
																	* : 応力集中係数=4															

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 Na : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計引張強さ S_u : 設計引張強さ M_s : 余裕率

(ロ) 一第A.19表 0.9 m垂直落下時における応力評価結果 (2/2)

No.	応力及びび応力強さ (N/mm ²)	初期 応力	圧力に よる応力	熱 応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価				(一次十二次)応力強 さの評価				疲 勞 評 価						
						P _m (P _L)	S _y	Ms	P _L +P _b	S _y	Ms	P _L +P _b +Q	2S _y	Ms	P _L +P _b +Q+F	S _a	N	Na	DF	Ms
6	シヤッタ蓋 締付けボルト	σ _t	438	1.02	—	439	875	0.99	—	—	—	439	S _y = 875	0.99	1756*	878	500	700	0.71	0.4
7	バスケットの 吊り金具	σ _t τ	—	—	78.6 78.6	78.6	189	1.4	176	189	0.07	176	189	0.07	176	88	500	1×10 ⁴	5× 10 ⁻⁴	2000
8	バスケット ピン	τ	—	—	100	—	—	—	100	0.6S _y =113	0.13	100	0.6S _y =113	0.13	100	50	500	1×10 ⁴	5× 10 ⁻⁴	2000
9	サーバイラン スキヤプセル 被覆材	σ _c	—	—	26.5	26.5	163	5.1	26.5	163	5.1	26.5	S _y =163	5.1	—	—	—	—	—	—
10	収納缶脚 (タイプII~V)	σ _c	—	—	155	155	163	0.05	155	163	0.05	155	S _y =163	0.05	—	—	—	—	—	—
11	収納缶本体 (タイプVI)	σ _c	—	—	47.5	47.5	163	2.4	47.5	163	2.4	47.5	S _y =163	2.4	—	—	—	—	—	—
12	収納缶蓋板 (タイプVI)	σ _b	—	—	94.6	—	—	—	94.6	163	0.72	94.6	S _y =163	0.72	—	—	—	—	—	—
13	収納缶脚 (タイプVI)	σ _c	—	—	36.4	36.4	163	3.4	36.4	163	3.4	36.4	S _y =163	3.4	—	—	—	—	—	—
14	照射用ロッド (タイプVII)	σ _c	—	—	66.5	66.5	163	1.4	66.5	163	1.4	66.5	S _y =163	1.4	—	—	—	—	—	—
15	収納缶本体 (タイプVIII)	σ _c	—	—	33.0	33.0	163	3.9	33.0	163	3.9	33.0	S _y =163	3.9	—	—	—	—	—	—
															*: 応力集中係数=4					

P_m: 一次一般膜応力 P_L: 一次局部膜応力 P_b: 一次曲げ応力 Q: 二次応力 F: ピーク応力 Sa: 繰返しピーク応力強さ N: 使用回数
 Na: 許容繰返し回数 DF: 疲れ累積係数 S_y: 設計降伏強さ S_a: 設計引張強さ Ms: 余裕率

A.5.4 積み重ね試験

本項の試験条件において、圧縮荷重としては、輸送物の総重量の5倍の荷重の方が投影面積より算出する荷重*よりも大きい。したがって、解析に使用する圧縮荷重は次のとおりとする。

$$F_c = 5W \times g = 5 \times 9600 \times 9.8 = 4.70 \times 10^5 \text{ N}$$

ここで

F_c : 輸送容器に加わる圧縮荷重 (N)

W : 輸送物の重量 = 9600kg

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

圧縮荷重 F_c が輸送容器の軸へ直角方向に作用する場合と軸方向に作用する場合について、輸送容器に生じる応力を解析する。

(注) *

最大鉛直投影面積 ($3.06 \times 10^6 \text{ mm}^2$) に圧力 0.013MPa を乗じた値

$$: 3.06 \times 10^6 \times 0.013 = 3.98 \times 10^4 \text{ N}$$

(1) 輸送容器の軸に直角な重量が作用する場合

(ロ) 第A.54図に示すように輸送物を横置きした状態で、輸送容器に生ずる応力は次式より求まる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot \ell}{I}$$

ここで、

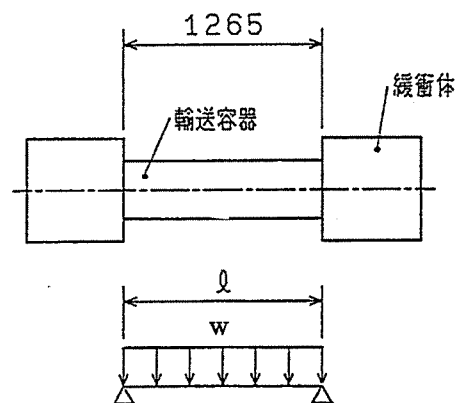
σ_b : 輸送容器に生ずる
曲げ応力 (N/mm²)

$$\begin{aligned} M &: \text{曲げモーメント} \\ M &= \frac{w\ell^2}{8} = \frac{(F_c + W \cdot g)\ell}{8} \\ &= \frac{5.64 \times 10^5 \times 1265}{8} \\ &= 8.92 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

w : 等分布荷重 (N/mm)

ℓ : サポート間隔 = 1265mm

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²



(ロ) 第A.54図 横置き状態解析モデル

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

$$I = \frac{\pi}{64} \left[(D_o^4 - D_i^4) + (d_o^4 - d_i^4) + (d_o'^4 - d_i'^4) \right]$$

D_o : 外筒外径 = 720mm

D_i : 外筒内径 = 700mm

d_o : 外胴外径 = 620mm

d_i : 外胴内径 = 590mm

d_o' : 内胴外径 = 216.3mm

d_i' : 内胴内径 = 190.9mm

$$I = \frac{\pi}{64} \left[(720^4 - 700^4) + (620^4 - 590^4) + (216.3^4 - 190.9^4) \right]$$

$$= 2.75 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

e₁ : 内胴外半径 = 108.15mm

e₂ : 外胴外半径 = 310mm

e₃ : 外筒外半径 = 360mm

したがって、内胴、外胴及び外筒に生ずる曲げ応力 σ_{b1} , σ_{b2} , σ_{b3} は、以下の値となる。

$$\text{内胴} \quad \sigma_{b1} = \frac{8.93 \times 10^7 \times 108.15}{2.75 \times 10^9} = 3.51 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外胴} \quad \sigma_{b2} = \frac{8.93 \times 10^7 \times 310}{2.75 \times 10^9} = 10.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外筒} \quad \sigma_{b3} = \frac{8.93 \times 10^7 \times 360}{2.75 \times 10^9} = 11.7 \text{ N/mm}^2$$

(2) 輸送容器に、軸方向荷重が作用する場合

(ロ) - 第A.55図に示すように輸送物を縦置きした状態で、輸送容器に生ずる応力は次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{F_c + W \cdot g}{A_o}$$

ここで、

σ_c : 外胴に生ずる圧縮応力 (N/mm²)

F_c : 圧縮荷重 = 4.70 × 10⁵ N

W : 輸送容器重量 = 9600kg

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

A_o : 輸送容器胴の断面積 = $3.66 \times 10^4 \text{ mm}^2$

$$A_o = \frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2) + \frac{\pi}{4}(d_o'^2 - d_i'^2)$$

d_o : 外胴外径 = 620mm

d_i : 外胴内径 = 590mm

d_o' : 内胴外径 = 216.3mm

d_i' : 内胴内径 = 190.9mm

したがって、容器に生ずる圧縮応力 σ_c は以下の値となる。

$$\sigma_c = \frac{4.7 \times 10^5 + 9600 \times 9.8}{3.66 \times 10^4} = 15.4 \text{ N/mm}^2$$

A. 5.4 項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて(ロ)－第A. 20 表に示す。

この表から分かるように、個々の荷重が単独、あるいは重畳作用しても解析基準値に対する余裕率は0以上となる。

また、本輸送物の使用回数を500回とした場合の許容繰返し数に対する余裕率も同様に0以上である。

したがって、一般の試験条件下(積み重ね試験)において、本輸送物の健全性が損なわれることはない。



(ロ)－第A. 55 図 縦置き状態解析モデル

(ロ) 第A.20表 積み重ね試験 (軸直角方向) 時における応力評価結果 (1/2)

No.	応力及び 応力強さ (N/mm ²)			初期 応力	圧力に よる応力	熱 応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価						(一次+二次)応力 強さの評価			疲 勞 評 価					
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_y	M_s	P_L+P_b	S_y	M_s	P_L+P_b+Q	$2S_y$	M_s	P_L+P_b+Q+F	S_a	N	N_a	DF	$M_s$
1	内 洞	σ_r	-0.008																			
		σ_θ	0.128			0.140	193	1377	3.58	193	52	3.58	386	106	3.58	1.79	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000		
		σ_z	0.064																			
2	外 洞	σ_r	-																			
		σ_θ	-						10.1		18	10.1	386	37	10.1	5.05	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000		
		σ_z	-																			
3	外 筒	σ_r	-																			
		σ_θ	-						11.7		15	11.7	386	31	11.7	5.85	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000		
		σ_z	-																			

P_m ; 一次一般膜応力 P_L ; 一次局部膜応力 P_b ; 一次曲げ応力 Q ; 二次応力 F ; ピーク応力 S_a ; 繰返しピーク応力強さ N ; 使用回数
 N_a ; 許容繰返し回数 DF ; 疲れ累積係数 S_y ; 設計降伏強さ S_u ; 設計引張強さ M_s ; 余裕率

(ロ) 第一A.20表 積み重ね試験 (軸方向) 時における応力評価結果 (2/2)

No.	応力及び 応力強さ (N/mm ²)			初期 応力	圧力に よる応力	熱 応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価						(一次+二次)応力 強さの評価						疲 勞 評 価					
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_y	Ms	P_L+P_b	S_y	Ms	P_L+P_b+Q	$2S_y$	Ms	P_L+P_b+Q+F	Sa	N	Na	DF	Ms		
1	内 胴	σ_r	-0.008	-	-	-	-	-	15.5	193	11	15.5	193	11	15.5	386	23	15.5	7.8	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000		
		σ_θ	0.128																						
		σ_z	0.064																						
2	外 胴	σ_r	-	-	-	-	-	-	15.4	193	11	15.4	193	11	15.4	386	23	15.4	7.7	500	1×10^6	5×10^{-4}	2000		
		σ_θ	-																						
		σ_z	-																						

P_m ; 一次一般膜応力 P_L ; 一次局部膜応力 P_b ; 二次応力 Q ; ピーク応力 F ; 繰返しピーク応力強さ N ; 使用回数
 Na ; 許容繰返し回数 DF ; 疲れ累積係数 S_y ; 設計降伏強さ S_a ; 設計引張強さ Ms ; 余裕率

A.5.5 貫 通

本項では、重量 6 kg の直径 32mm の棒をその半球形の先端を下にして、長軸を垂直にし 1 m の高さより輸送物の最も弱い部分に落下させた場合でも、輸送物の健全性が保持されていることを解析により示す。

本輸送物の重要な密封装置は上部及び下部緩衝体により覆われている。この緩衝体の外板の板厚は 2 mm である。

ここでは、上記の棒が緩衝体の外板を直撃する場合を説明し、棒が貫通しないことを示す。

(ロ) ー第 A.56 図に示すように、板厚 2 mm の緩衝体外板に棒が外板を最も貫通しやすい姿勢で衝突する場合について説明する。

落下前の棒の持つポテンシャルエネルギー E_1 は次式で表される。

$$E_1 : w \cdot h \cdot g$$

$$w : \text{棒の重量} = 6 \text{ kg}$$

$$h : \text{落下高さ} = 1000 \text{ mm}$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

したがって、

$$E_1 = 5.88 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

となる。

一方、棒が板厚 2 mm の外板を貫通するために必要なエネルギー E_2 は次式で求められる。

$$E_2 = \int_0^t \tau_{cr} \pi d (t - y) dy$$

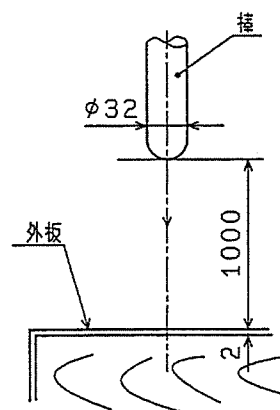
$$\tau_{cr} : \text{外板のせん断強さ}$$

$$\tau_{cr} = 0.6 \times S_u = 0.6 \times 489$$

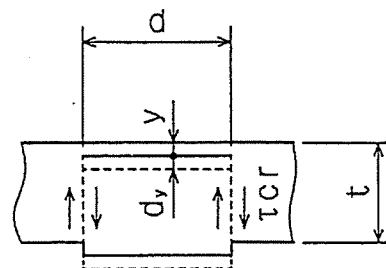
$$= 293 \text{ N/mm}^2$$

$$d : \text{棒の直径} = 32 \text{ mm}$$

$$t : \text{外板の板厚} = 2 \text{ mm}$$



(ロ) ー第 A.56 図 貫通モデル



(ロ) ー第 A.57 図 せん断モデル

積分を行い、数値を代入すると

$$\begin{aligned} E_2 &= \tau_{cr} \times \pi \times d \times \frac{1}{2} \times t^2 \\ &= 293 \times \pi \times 32 \times \frac{1}{2} \times 2^2 \\ &= 5.89 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

となる。

$$E_1 = 5.88 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm} < E_2 = 5.89 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

となるから、棒の落下によって緩衝体の外板が貫通することはない。

なお、上記エネルギー E_2 は、外板のせん断によるエネルギーのみを考慮している。しかし、実際に棒が外板を貫通するためには、外板の曲げ及び木材の圧縮等にもエネルギーが必要となり、 E_2 はさらに大きくなる。

したがって、上記の解析は安全側となっている。

以上に示したように、棒の落下により密封装置が影響をうけることはなく、本輸送物の健全性が損なわれることはない。

A. 5.6 角又は縁落下

該当せず。

A. 5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件（熱、水噴霧、自由落下、積み重ね、貫通の各試験条件）下における本輸送物の要約を以下に示す。

(1) 自由落下

A. 5.3 項より、0.9 m落下後における緩衝体の最小高さは衝突エネルギーを吸収するための必要高さ以上あることが確認された。

また、落下衝撃により輸送容器本体、収納物等に生ずる応力は許容限界以下であり、疲労評価結果も500回の使用回数（設計繰返し数）は許容繰返し回数を下回ることが確認された。

以上の結果より、自由落下後も本輸送物の密封性及び遮蔽性能は損なわれることはない。

(2) 貫通試験

A. 5.5 項より、試験用の棒を輸送容器の最弱部に落下させた場合でも、棒は緩衝体の外板を貫通することはない。

したがって、貫通試験後も本輸送物の密封性能は損なわれることはない。

(3) その他の要約

自由落下試験、貫通試験の他、熱、水噴霧及び積み重ねの各試験に対する解析評価の結果、本輸送容器及び収納物は健全性を保ち、その密封性能及び遮蔽性能は損なわれることはない。

A.6 特別の試験条件

告示により、本輸送容器に課せられる特別の試験は次のとおりである。

① 強度試験

- ・落下試験 I
- ・落下試験 II

強度試験では、落下試験 I と落下試験 II の順序が問題となる。

たとえば、落下試験 I に引続いて落下試験 II を実施した場合、輸送容器の変形は、一様な変形に局所的な変形が累積した形となる。一方、その逆の場合には、落下試験 II によって生じた局所的な変形が、落下試験 I の一様な変形に累積せず、埋没する形となる。

したがって、ここでは変形量が大きくなる場合を採用し、落下試験 I に引続いて落下試験 II を実施する場合について行う。

② 耐火試験

③ 浸漬試験

ここで、②耐火試験は後述の「(ロ)章 B. 熱解析」の項に示すので、本項では、①強度試験及び③浸漬試験について解析する。

A. 6.1 強度試験・落下試験 I (9 m落下時)

(1) 解析モデル

本項では特別の試験条件のうち、輸送物が最大破損を受けるように9 mの高さから落下した場合に輸送物が受ける影響を解析によって示す。

(a) 落下方向

輸送物が最大破損を受ける落下方向としては次の3つの落下状態について検討する。

(i) 垂直落下

(ii) 水平落下

(iii) コーナ落下 (落下点が輸送物の重心を通る鉛直線上にある場合)

傾斜落下については、落下方向がコーナ落下と垂直落下の間の場合とコーナ落下と水平落下の間の場合がある。

両者の場合、落下エネルギーの一部は回転モーメントとして働く。前者の場合は、輸送物を垂直方向に回転させ、後者の場合は輸送物を水平方向に回転させる。したがって、傾斜落下時に吸収される落下エネルギーは回転モーメントを生ずるエネルギー量の分だけコーナ落下時に吸収される落下エネルギーに比べ小さくなるので本項では傾斜落下の検討を省略する。

(b) 解析項目及び内容の概要

解析項目としては、輸送物が落下する場合、運動エネルギーを吸収するための緩衝体の変形量を求める。そして、その変形量が緩衝体の許容変形量以内であることを確認するとともに、緩衝体に生ずる衝撃力から輸送物が受ける衝撃加速度を求める。

衝撃加速度から求まる作用力を用いて、容器本体、容器蓋部等の強度並びに蓋の気密性について検討する。

(c) 解析方法

① 輸送物の落下エネルギーはすべて緩衝体の塑性変形によって吸収される。したがって、緩衝体に生ずる衝撃力はすべて、輸送物に与えられる。

(輸送物の質量×落下衝撃加速度と釣合うものとする。)

② 緩衝体の変形により吸収する運動エネルギーは、Volumetric Displacement 法により解析する。(参考文献A. 4 参照)

③ 熱膨張及び圧力による応力は、A. 5.1 熱的試験に示したように、微小であるので考慮しない。

④ 緩衝体のエネルギー吸収特性は(ロ)－第A. 7表に示す値を使用する。

⑤ 緩衝体の外側を覆うステンレス鋼板は板厚が薄いので、ステンレス鋼板による落下エネルギー吸収量は少ない。したがって、外装ステンレス鋼板の影響は考慮しない。

(2) 原型試験

原型試験の詳細については、付属書類 [A. 10. 6] に記載する。

(3) モデル試験

該当せず。

A.6.1.1 垂直落下

本項では、輸送物が9 m垂直落下時に受ける衝撃力に対して、輸送容器本体及び蓋が十分な強度を持ち、容器の健全性が保持される事を解析によって示す。

(1) 緩衝体の吸収エネルギーと変形量、衝撃力及び加速度

垂直落下時、落下運動エネルギーは上部または下部緩衝体の変形によって吸収される。上部緩衝体と下部緩衝体の緩衝材の配置は全く同一であるため緩衝体としての機能は同じである。したがって、解析は一方向のみについて行う。解析モデルを(ロ)―第A.58図に示す。

(a) 緩衝体の吸収エネルギー

輸送物が9 m落下した場合の運動エネルギー E_K は次式より求まる。

$$E_K = W \cdot H \cdot g$$

ここで、

W : 輸送物の総重量 = 9600 kg

H : 輸送物の落下高さ = 9000 mm

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

したがって、

$$E_K = 9600 \times 9000 \times 9.8 = 8.47 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

このエネルギーは(ロ)―第A.58図の緩衝体の潰れによって吸収される。

(b) 衝撃力

(ロ)―第A.58図の緩衝体の米杉は木目が軸に平行に積層されている。この場合の衝撃力は次式より求まる。

$$F = A_o \cdot \sigma_{CP}$$

ここで、

F : 衝撃力 (N)

A_o : 受圧面積

$$A_o = \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 = \pi / 4 \times 1080^2 = 9.16 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

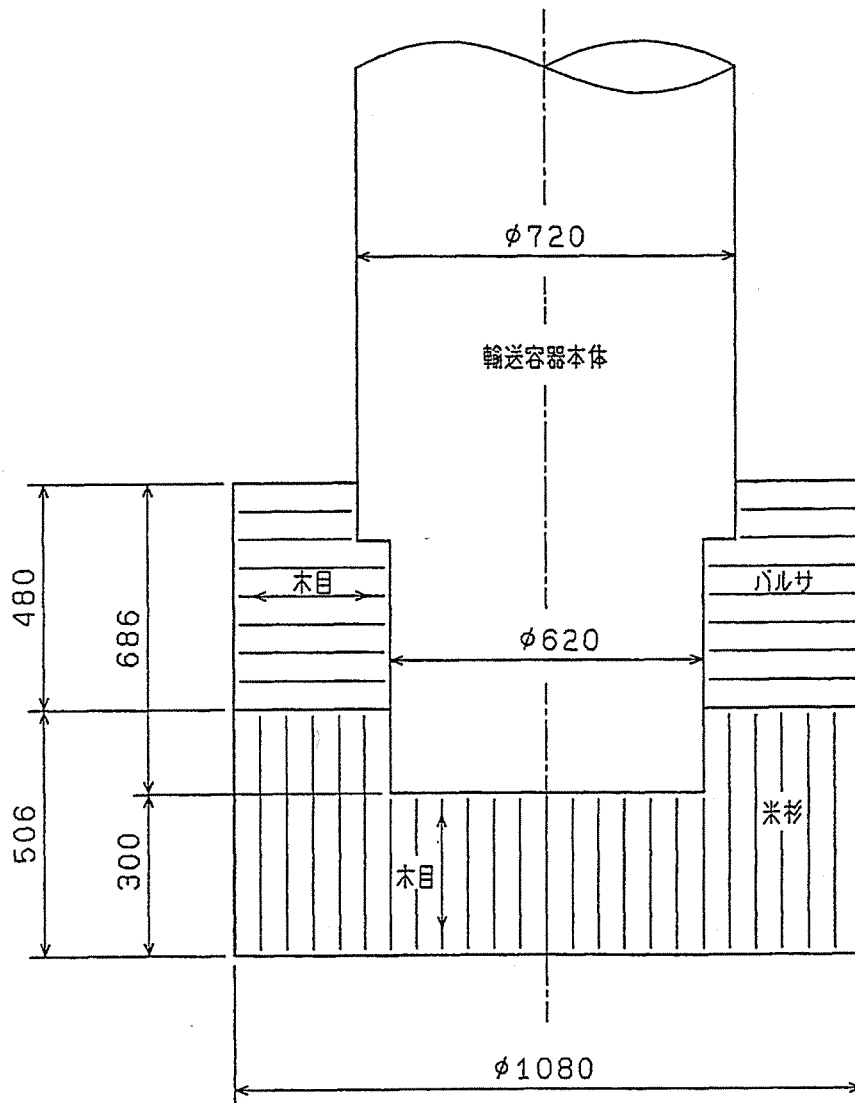
D_o = 緩衝体外径 = 1080mm

σ_{CP} : 米杉の木目平行の場合の最大圧縮応力 = 23.5 N/mm²

したがって、衝撃力は、

$$F = 9.16 \times 10^5 \times 23.5 = 2.15 \times 10^7 \text{ N}$$

となる。



(口) - 第A. 58 図 9 m 垂直落下解析モデル

(c) 緩衝体の変形量

輸送物の運動エネルギーを吸収するのに必要な緩衝体の軸方向変形量 $\Delta \ell$ は次式より求まる。

$$\Delta \ell = \frac{E_K}{A_o \cdot e}$$

ここで、

$\Delta \ell$: 緩衝体の軸方向変形量 (mm)

E_K : 運動エネルギー = 8.47×10^8 (N・mm)

A_o : 受圧面積 = 9.16×10^5 (mm²)

e : 米杉の木目平行の場合の単位体積当りのエネルギー吸収量

$$e = 12.6 \text{ N/mm}^2 \text{ ((ロ) - 第A. 7表より)}$$

したがって、軸方向変形量は、

$$\Delta \ell = \frac{8.47 \times 10^8}{9.16 \times 10^5 \times 12.6} = 73.4 \text{ mm}$$

となる。

緩衝体に変形してもロックアップを生じないための必要高さ ΔH は、

$$\Delta H = \frac{\Delta \ell}{\varepsilon_\ell} = \frac{73.4}{0.65} = 113 \text{ mm}$$

ε_ℓ : ロックアップ歪 = 0.65

となり、緩衝体方向高さ ($H = 300 \text{ mm}$) より低い。

(d) 衝撃加速度

落下時に輸送物が受ける衝撃加速度は次式より求まる。

$$N = \frac{F}{W \cdot g} \cdot g$$

ここで、

N : 衝撃加速度 (m/s²)

F : 衝撃力 = $2.15 \times 10^7 \text{ kg}$

W : 輸送物重量 = 9600 kg

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

したがって、

$$N = \frac{2.15 \times 10^7}{9600 \times 9.8} \cdot g = 228 \text{ g (m/s}^2\text{)}$$

となる。

(2) 輸送容器及び収納物各部に生ずる応力

(ロ)－A 5.3 項と同一の評価位置について、同一の解析を行う。

解析結果を評価結果とともに、(ロ)－第A.21表に示す。

(ロ)一第A.21表 9m垂直落下時における応力評価結果 (1/2)

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)			初期応力	圧力による 応力	熱 応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_u	Ms	P_L+P_b	S_u	Ms
1	内 胴	σ_r	-0.008	-	-	-	-	-	103	506	3.9	103	506	3.9
		σ_θ	0.128											
		σ_z	0.064											
2	外 胴	σ_r	-	-	-	-	-	-	171	506	1.9	171	506	1.9
		σ_θ	-											
		σ_z	-											
3	断熱材ボートリング	σ_b	-	-	-	-	28.1	-	-	-	-	31.7	506	-
		τ	10.7											
4	下部蓋	内 側	σ_r	-0.302	-	-	-	120	9.56	Sy=193	19	120	Sy=193	0.6
			σ_θ	-0.302										
			σ_z	-0.016										
	外 側	σ_r	0.302											
		σ_θ	0.302											
		σ_z	0											
5	上部蓋	内 側	σ_r	-0.60	-	-	73.6	-	5.46	Sy=193	34	73	Sy=193	1.6
			σ_θ	-0.60										
			σ_z	-0.016										
	外 側	σ_r	0.60											
		σ_θ	0.60											
		σ_z	0											

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 N_a : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ M_s : 余裕率

(ロ)―第A.21表 9m垂直落下時における応力評価結果 (2/2)

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)		初期応力	圧力による 応力	熱 応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
	評価位置	σ_r					$P_m(P_L)$	S_u	M_s	P_L+P_b	S_u	M_s
6	シヤッタ蓋 締付けボルト	σ_r	438	1.02	—	—	439	Sy=875	0.99	—	—	—
7	バスケットの吊金具	σ_t	—	—	—	78.6	78.6	Sy=189	1.4	176	Sy=189	0.07
		τ	—	—	—	100						
8	バスケットピン	τ	—	—	—	100	—	—	—	100	—	0.13
9	サーバイランス キャプセル被覆材	σ_c	—	—	—	26.5	26.5	Sy=163	5.1	—	—	—
10	収納缶脚	σ_c	—	—	—	155	155	Sy=163	0.05	—	—	—
11	収納缶本体 (タイプVI)	σ_c	—	—	—	47.5	47.5	Sy=163	2.4	47.5	Sy=163	2.4
12	収納缶蓋板 (タイプVI)	σ_b	—	—	—	94.4	—	—	—	94.4	Sy=163	0.72
13	収納缶脚 (タイプVI)	σ_c	—	—	—	36.4	36.4	Sy=163	3.4	36.4	Sy=163	3.4
14	照射用ロッド (タイプVII)	σ_c	—	—	—	66.5	66.5	Sy=163	1.4	66.5	Sy=163	1.4
15	収納缶本体 (タイプVIII)	σ_c	—	—	—	33.0	33.0	Sy=163	3.9	33.0	Sy=163	3.9

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 N_a : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ M_s : 余裕率

A.6.1.2 水平落下

本項では、輸送物が9m水平落下時に受ける衝撃力に対して、輸送容器の本体及び蓋等が十分な強度をもち、容器の健全性が保持されている事を解析によって示す。

(1) 緩衝体の変形量、衝撃力及び輸送物の衝撃加速度

(a) 緩衝体の変形量

輸送物の水平落下時の運動エネルギーは、容器の両端に取付けた緩衝体の潰れによって吸収される。

水平落下時には、最初に剛平面に接する緩衝体の外表面が長方形に変形し、その変形体積が運動エネルギーを吸収するまで緩衝体に変形する。

緩衝体の変形量 δ_H は、付属書類 [A. 10. 2] を用いて次式より求まる。

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca} \cdot \ell \cdot R^2} = f \left(\frac{\delta_H}{R} \right)$$

$$f \left(\frac{\delta_H}{R} \right) = \cos^{-1}(1 - \delta_H/R) - \frac{1}{2} \sin 2\cos^{-1}(1 - \delta_H/R)$$

ここで、

W : 輸送物の重量=9600kg

H : 輸送物の落下高さ=9000mm

g : 重力加速度=9.8 m/s²

ℓ : 緩衝体の有効長=986×2=1972mm

R : 緩衝体の半径=540mm

δ_H : 緩衝体の変形量 (mm)

σ_{ca} : 緩衝体の平均圧縮応力 (N/mm²)

ここで、緩衝体の平均圧縮応力を求める。緩衝材は(ロ)－第A. 59 図に示すように、バルサと米杉よりなり、バルサは木目が落下方向に対して平行であり、米杉は木目が落下方向に対して垂直である。したがって、平均圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_{ca} = \frac{\ell_a \cdot \sigma_{ca}^{(1)} + \ell_b \cdot \sigma_{ca}^{(2)}}{\ell_a + \ell_b}$$

ここで、

$$l_a \quad : \text{バルサの有効長} = 480 \times 2 = 960 \text{mm}$$

$$l_b \quad : \text{米杉の有効長} = 506 \times 2 = 1012 \text{mm}$$

$$\sigma_{ca}^{(1)} (\parallel) \quad : \text{バルサの木目平行の場合の平均圧縮応力} = 8.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ca}^{(2)} (\perp) \quad : \text{米杉の木目垂直の場合の平均圧縮応力} = 12.1 \text{ N/mm}^2$$

したがって、

$$\sigma_{ca} = \frac{960 \times 8.24 + 1012 \times 12.1}{960 + 1012} = 10.2 \text{ N/mm}^2$$

したがって、

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca} \cdot l \cdot R^2} = \frac{9600 \times 9000 \times 9.8}{10.2 \times 1972 \times 540^2} = 0.144$$

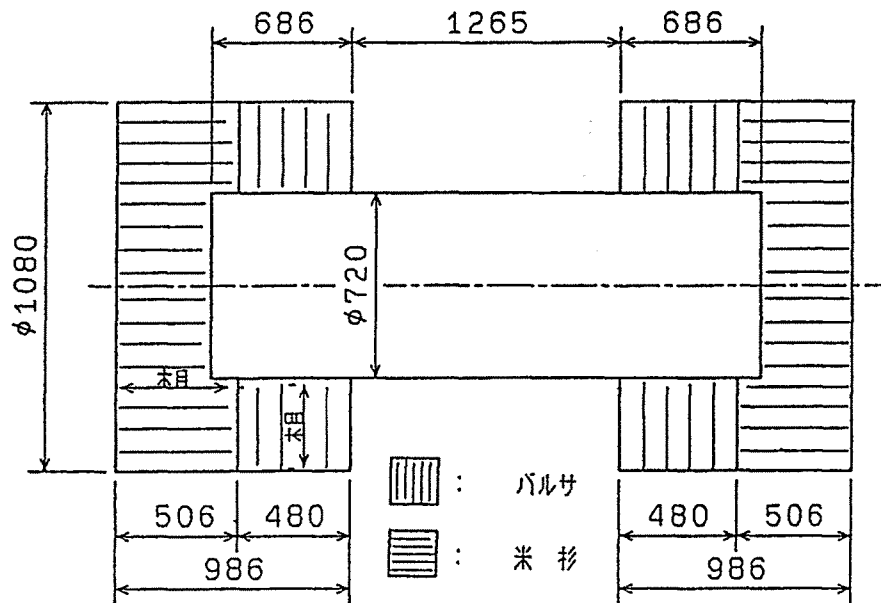
となり、付属書類 [A. 10.2] の(ロ) - 第A. 74 図を用いて $\frac{\delta_H}{R}$ を求めると、

$$\frac{\delta_H}{R} = 0.185$$

となり、変形量 δ_H は、

$$\delta_H = 0.185 \times 540 = 99.9 \text{mm}$$

となる。



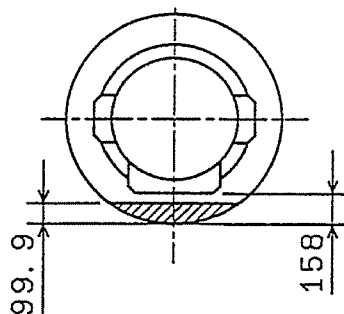
(ロ) - 第A. 59 図 緩衝材の形状及び配置

緩衝体が変形をしてもロックアップを生じないための必要高さ ΔH は、

$$\Delta H = \frac{\delta_H}{\varepsilon_\ell} = \frac{99.9}{0.7} = 143\text{mm}$$

ε_ℓ : ロックアップ歪 = 0.70 となり緩衝体最小高さ ($H_{\min} = 158\text{mm}$ 、(ロ) - 第

A. 60 図参照) より低い。



(ロ) - 第 A. 60 図 緩衝体変形状態

(b) 衝撃力

緩衝体に生ずる衝撃力は、付属書類 [A. 10. 2] を用いて次式より求まる。

$$F = 2\ell \cdot R \cdot \sigma_{cp} \sqrt{2(\delta_H / R) - (\delta_H / R)^2}$$

ここで、

F : 衝撃力 (N)

ℓ : 緩衝体有効長 = $986 \times 2 = 1972\text{mm}$

R : 緩衝体半径 = 540mm

δ_H : 緩衝体の変形量 = 99.9mm

σ_{cp} : 緩衝体の最大圧縮応力 (N/mm^2)

緩衝体の最大圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_{cp} = \frac{l_a \cdot \sigma_{cp}^{(1)} + l_b \cdot \sigma_{cp}^{(2)}}{l_a + l_b}$$

$\sigma_{cp}^{(1)}$: バルサの木目平行の場合の最大圧縮応力 = $10.7 \text{ N}/\text{mm}^2$

$\sigma_{cp}^{(2)}$: 米杉の木目垂直の場合の最大圧縮応力 = $21.1 \text{ N}/\text{mm}^2$

したがって、

$$\sigma_{cp} = \frac{960 \times 10.7 + 1012 \times 21.1}{960 + 1012} = 16.0 \text{ N}/\text{mm}^2$$

となる。

衝撃力Fは

$$F = 2 \times 1972 \times 540 \times 16.0 \sqrt{2 \times \frac{99.9}{540} - \left(\frac{99.9}{540}\right)^2} = 1.97 \times 10^7 \text{ N}$$

となる。

(c) 衝撃加速度

輸送物に生ずる衝撃加速度Nは次式より求まる。

$$N = \frac{F}{W \cdot g} \cdot g$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

F : 緩衝体に生ずる衝撃力 = 1.97×10^7 kg

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

したがって、

$$N = \frac{1.97 \times 10^7}{9600 \times 9.8} g = 209 \text{ g} \quad (\text{m/s}^2)$$

となる。

(d) 緩衝体局部損傷の影響

輸送物の水平落下時、下部緩衝体のシャッタフランジ部コーナを接地面とした落下姿勢((口)―第A.61図参照)の場合の緩衝体変形量が衝撃力に及ぼす影響を検討する。

(口)―第A.61図に示すように、緩衝体の軸方向寸法をバルサ 480mm、米杉 206mm とする。

シャッタフランジ部コーナを接地面とした水平落下時の変形量は、前項で求めた値($\delta_H = 99.9\text{mm}$)を用いて、緩衝材断面における各点の歪みを求める。

(口)―第A.61図に示すように、断面各点(12分割で検討する)における水平落下前の緩衝材高さを $L_1 \sim L_{12}$ とし、水平落下時の各点の変形量を $l_1 \sim l_6$ とする。

したがって、断面各点における歪みは次の通りとなる。

$$\varepsilon_1 = \ell_6 / L_1 = 17.4 / 177.9 = 0.10$$

$$\varepsilon_2 = \ell_5 / L_2 = 46.2 / 178.2 = 0.26$$

$$\varepsilon_3 = \ell_4 / L_3 = 68.1 / 171.5 = 0.40$$

$$\varepsilon_4 = \ell_3 / L_4 = 83.9 / 158.8 = 0.53$$

$$\varepsilon_5 = \ell_2 / L_5 = 94.2 / 140.5 = 0.67$$

$$\varepsilon_6 = \ell_1 / L_6 = 99.3 / 117.1 = 0.85$$

$$\varepsilon_7 = \ell_1 / L_7 = 99.3 / 110.4 = 0.90$$

$$\varepsilon_8 = \ell_2 / L_8 = 94.2 / 182.2 = 0.52$$

$$\varepsilon_9 = \ell_3 / L_9 = 83.9 / 187.9 = 0.45$$

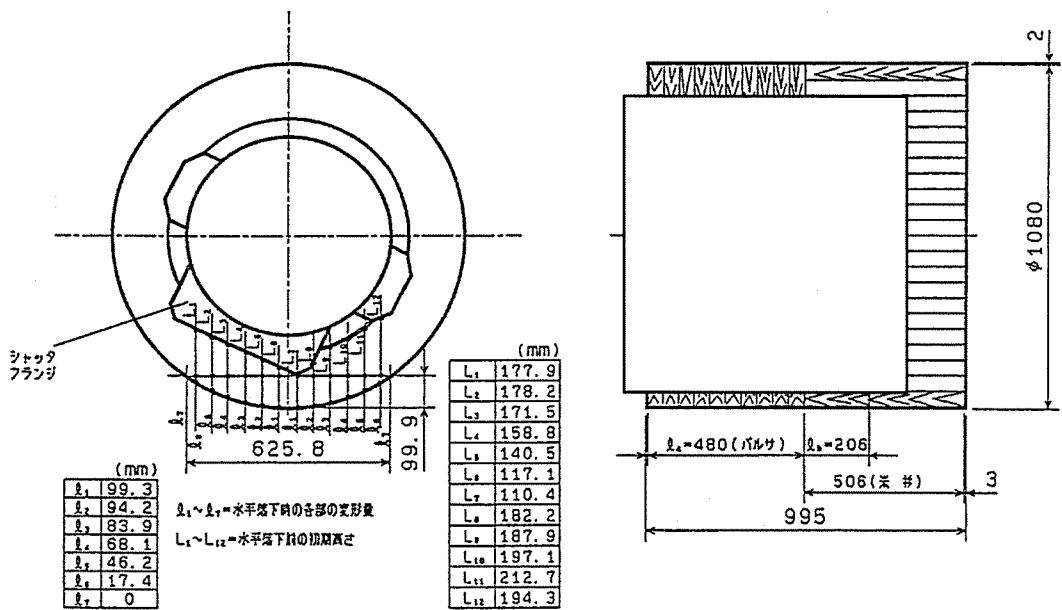
$$\varepsilon_{10} = \ell_4 / L_{10} = 68.1 / 197.1 = 0.35$$

$$\varepsilon_{11} = \ell_5 / L_{11} = 46.2 / 212.7 = 0.22$$

$$\varepsilon_{12} = \ell_6 / L_{12} = 17.4 / 194.3 = 0.09$$

ロックアップを生じない。

ロックアップを生じない。



(ロ) - 第A.61図 シャッターフランジ部コーナ緩衝体変形量

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

上部断面分割において、 $L_6 \sim L_7$ 間の緩衝材がロックアップするとした緩衝材の圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_c = \frac{\ell_a \sum_{i=1}^{12} \sigma_{c(\parallel)}^{(1)} i \times 1/12 + \ell_b \sum_{i=1}^{12} \sigma_{c(\perp)}^{(2)} \times 1/12}{\ell_a + \ell_b}$$

ここで、

ℓ_a : バルサ、有効長さ=480mm

ℓ_b : 米杉、有効長さ=206mm

$\sum_i \sigma_{c(\parallel)}^{(1)} 1/12$: バルサ、木目平行、平均圧縮応力 (N/mm²)

$\sum_i \sigma_{c(\perp)}^{(2)} 1/12$: 米杉、木目垂直、平均圧縮応力 (N/mm²)

σ_c : バルサ、米杉、有効長さ部での平均圧縮応力 (N/mm²)

$i=1 \sim 12$: 断面分割 (12分割)

バルサの木目平行、平均圧縮応力 ($\sum_i \sigma_{c(\parallel)}^{(1)} 1/12$) を求める。

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)1} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_1 = 0.10 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)2} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_2 = 0.26 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)3} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_3 = 0.40 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)4} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_4 = 0.53 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)5} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_5 = 0.67 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)6} = 14.7 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_6 = 0.85 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)7} = 37.3 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_7 = 0.90 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)8} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_8 = 0.52 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)9} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_9 = 0.45 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)10} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_{10} = 0.35 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)11} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_{11} = 0.22 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(1)}{}_{(\parallel)12} = 8.24 \text{ N/mm}^2 (\varepsilon_{12} = 0.10 \text{ より (口) - 第A.8図を用いて求めた値})$$

したがって、バルサの木目平行、平均圧縮応力は、

$$\sum_{i=1}^{12} \sigma_c^{(1)}(//)_i \times \frac{1}{12} = \frac{8.24 \times 10 + 14.7 + 37.3}{12} = 11.2 \text{ N/mm}^2$$

となる。

米杉の木目垂直、平均圧縮応力 ($\sigma_c^{(2)}(\perp)1/12$)

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_1 = 7.85 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_1 = 0.10 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_2 = 10.8 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_2 = 0.26 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_3 = 13.4 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_3 = 0.40 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_4 = 15.7 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_4 = 0.53 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_5 = 19.2 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_5 = 0.67 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_6 = 32.4 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_6 = 0.85 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_7 = 36.3 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_7 = 0.90 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_8 = 15.5 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_8 = 0.52 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_9 = 14.3 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_9 = 0.45 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_{10} = 12.6 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_{10} = 0.35 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_{11} = 10.0 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_{11} = 0.22 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

$$\sigma_c^{(2)}(\perp)_{12} = 7.85 \text{ N/mm}^2 \quad (\varepsilon_{12} = 0.10 \text{ より (口) - 第 A. 7 図を用いて求めた値})$$

したがって、米杉の木目垂直、平均圧縮圧力は、

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{12} \sigma_c^{(2)}(\perp)_i \times \frac{1}{12} \\ &= \frac{7.85 + 10.8 + 13.4 + 15.7 + 19.2 + 32.4 + 36.3 + 15.5 + 14.3 + 12.6 + 10.0 + 7.85}{12} \\ &= 16.3 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

となる。

バルサ、米杉有効長部での平均圧縮応力 σ_c は、

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{480 \times 11.2 + 206 \times 16.3}{480 + 206} \\ &= 12.7 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

となる。

以上の結果より、局部変形量の影響を加味した場合の平均圧縮応力 σ_c は、緩衝体に生ずる衝撃力を求める場合に用いた緩衝体の最大圧縮応力 σ_{cp} 16.0 N/mm² より小さく A. 6. 1. 2 (1) (b) 項で求めた衝撃力評価への影響はない。

(2) 輸送容器及び収納物各部に生ずる応力

A. 5. 3 項と同一の評価位置について、同一の解析を行う。

解析結果を評価結果とともに(ロ)－第A. 22表に示す。

(ロ) - 第A.22表 9m水平落下時における応力評価結果 (1/2)

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)			初期応力	圧力による 応力	熱 応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_u	Ms	P_L+P_b	S_u	Ms
1	内 胴	σ_r	-0.008	-	-	-	-	-	0.140	506	3610	112	506	3.5
		σ_θ	0.128											
		σ_z	0.064											
2	外 胴	σ_r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	324	506	0.56
		σ_θ	-											
		σ_z	-											
3	外 筒	σ_r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	374	506	0.35
		σ_θ	-											
		σ_z	-											
4	下部蓋縮付けボルト	σ_t	438	438	2.63	-	-	-	441	Sy=875	0.98	506	Sy=875	0.72
		σ_b	-											
5	上部蓋縮付けボルト	σ_t	438	438	1.77	-	-	-	440	Sy=875	0.98	456	Sy=875	0.91
		σ_b	-											
6	シヤッタ蓋 縮付けボルト	σ_t	438	438	1.02	-	-	-	439	Sy=875	0.99	-	-	-
		σ_b	-											

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 Na : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ Ms : 余裕率

(ロ)―第A.22表 9m水平落下時における応力評価結果 (2/2)

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)			初期応力	圧力による 応力	熱 応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
	評価位置	σ_r	σ_θ					σ_z	$P_m(P_L)$	S_u	M_s	P_L+P_b	S_u	$M_s$
7	シャッタ蓋	内側	σ_r	-0.35	-	-	-32.1	1.01	Sy=193	190	33.3	Sy=193	4.7
			σ_θ	-0.35									
			σ_z	-0.016									
		外側	σ_r	0.35									
			σ_θ	0.35									
			σ_z	0									
8	サーバイランス キヤプセル被覆材	σ_b	-	-	-	7.68	-	-	-	7.68	Sy=163	20	
9	収納缶本体	σ_b	-	-	-	35.7	-	-	-	35.7	Sy=163	3.5	
10	収納缶本体 (タイプVI)	σ_b	-	-	-	5.17	-	-	-	5.17	Sy=163	30	
11	収納缶脚 (タイプVI)	σ_b	-	-	-	121	-	-	-	121	Sy=163	0.34	
12	照射用ロッド (タイプVII)	σ_b	-	-	-	8.39	-	-	-	8.39	Sy=163	18	
13	収納缶本体 (タイプVIII)	σ_b	-	-	-	72	-	-	-	72	Sy=163	1.2	

P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部膜応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_a : 繰返しピーク応力強さ N : 使用回数
 Na : 許容繰返し回数 DF : 疲れ累積係数 S_y : 設計降伏強さ S_u : 設計引張強さ M_s : 余裕率

A.6.1.3 コーナ落下

コーナ落下は、輸送物の重心が落下点の鉛直線上に位置するように容器を傾斜させて落下させるものである。

本項では、コーナ落下に対して輸送容器両端部についている緩衝体がすべての運動エネルギーを吸収し、容器本体及び蓋は十分な強度を持ち容器の健全性が保持されていることを解析によって示す。

(1) 緩衝体の変形量、衝撃力及び輸送物の衝撃加速度

コーナ落下時、運動エネルギーは上部または下部緩衝体の変形によって吸収される。

上部緩衝体と下部緩衝体の緩衝材の配置は全く同一であるため、緩衝体としての機能は同じである。

したがって、解析は一方向のみについて行う。解析モデルを(ロ)－第A.62図に示す。

(a) 緩衝体の変形量

輸送物の運動エネルギーを吸収するのに必要な緩衝体の変形量は、付属書類[A.10.3]を用いて次式より求まる。

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca(\theta)} \cdot R^3} = f(\beta, \theta)$$

$$f(\beta, \theta) = \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\}$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

H : 落下高さ = 9000mm

θ : 落下角度 = 18.3° = 0.319rad ((ロ)－第A.76図参照)

β : (付属書類[A.10.3])(ロ)－第A.77図参照) (rad)

$\sigma_{ca(\theta)}$: 緩衝体の木目にある角度 θ 方向から

圧縮した場合の平均圧縮応力 (N/mm²)

木目に対して任意の角度(θ°)での平均圧縮応力(または、最大圧縮応力)は、木目に平行な方向の平均圧縮応力(または、最大圧縮応力)成分と、木目に垂直な方向での平均圧縮応力(または、最大圧縮応力)成分の組合せによって求まる。(参考文献 [A. 6 参照])

したがって、任意の角度での平均圧縮応力は次式より求まる。

$$\sigma_{ca(\theta)} = \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sigma_{ca(\parallel)}^{(2)}} + \frac{\sin^2 \theta}{\sigma_{ca(\perp)}^{(2)}} \right)^{-1}$$

$\sigma_{ca(\parallel)}^{(2)}$: 米杉の木目平行の場合の平均圧縮応力 = 19.2 N/mm²

$\sigma_{ca(\perp)}^{(2)}$: 米杉の木目垂直の場合の平均圧縮応力 = 12.1 N/mm²

したがって、

$$\sigma_{ca(18.3^\circ)} = \left(\frac{\cos^2 0.319}{19.2} + \frac{\sin^2 0.319}{12.1} \right)^{-1} = 18.2 \text{ N/mm}^2$$

となる。

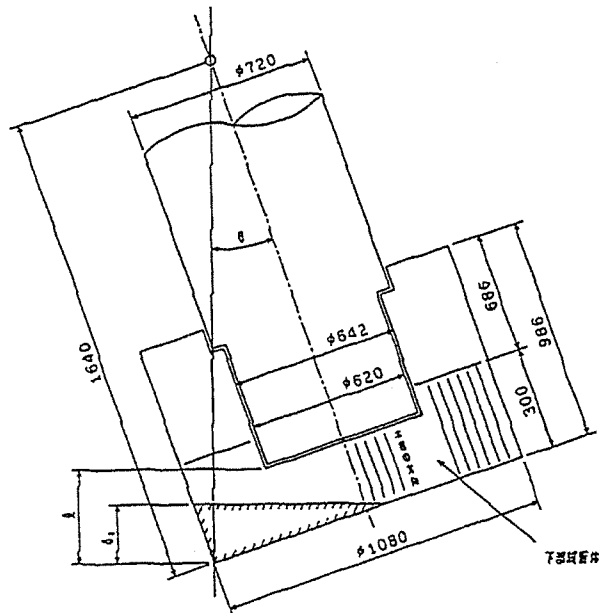
したがって、

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca(18.3^\circ)} R^3} = \frac{9600 \times 9000 \times 9.8}{18.2 \times 540^3} = 0.295$$

これより、付属書類 [A. 10. 3] (ロ) - 第A. 77 図を用いて β を求めると

$$\beta = 1.71 \text{ rad}$$

となる。



(ロ) - 第A. 62 図 コーナ落下緩衝体の解析モデル

緩衝体の変形量 δl は付属書類[A. 10. 3]の(7)式より

$$\begin{aligned}\delta l &= 540(1 - \cos 1.71) \times \sin 0.319 \\ &= 193\text{mm}\end{aligned}$$

なお、事故時の実証試験の結果、変形量を 22%過少評価しているため修正する。

$$\delta l_m = \alpha \times \delta l$$

δl_m : 修正後の変形量 (mm)

α : 修正係数 = 1.22

したがって、

$$\delta l_m = 1.22 \times 193 = 235\text{mm}$$

となる。

緩衝体の有効高さ l は次式より求まる。

$$l = (S \tan \theta + H) \cos \theta$$

ここで、

$$S = (1080 - 642) \times 1/2 = 219\text{mm}$$

$$H = 300\text{mm}$$

したがって、

$$l = (219 \times \tan 0.319 + 300) \times \cos 0.319 = 354\text{mm}$$

エネルギー吸収に必要な高さ (l_n) (ロックアップを生じない高さ)は、ロックアップ歪を $\varepsilon l = 0.675$ (木目平行と垂直の場合のロックアップ歪の平均値) とすると、

$$l_n = \frac{\delta l_m}{\varepsilon l} = \frac{235}{0.675} = 348\text{mm}$$

となり緩衝体の有効高さ (354mm) より低い。

(b) 緩衝体の衝撃力

コーナ落下時、緩衝体に作用する衝撃力は、付属書類[A. 10. 3]を用いて次式より求まる。

$$F = \frac{\sigma_{cp(\theta)} R^2}{\cos \theta} \quad (\beta - \sin \beta \cos \beta)$$

ここで、

$$\beta = 1.97 \text{ rad} \quad (\text{修正係数 } \alpha = 1.22 \text{ を考慮した値})$$

$$\theta = 18.3^\circ = 0.319 \text{ rad}$$

$$R = 540 \text{ mm}$$

$\sigma_{cp(\theta)}$: 緩衝材の木目にある角度 θ 方向から圧縮した場合の最大圧縮応力
(N/mm^2)

$\sigma_{cp(\theta)}$ は $\sigma_{ca(\theta)}$ を求めた時と同様に次式より求まる。

$$\sigma_{cp(\theta)} = \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sigma_{cp(\parallel)}^{(2)}} + \frac{\sin^2 \theta}{\sigma_{cp(\perp)}^{(2)}} \right)^{-1}$$

$\sigma_{cp(\parallel)}^{(2)}$: 米杉の木目平行の場合の最大圧縮応力 = $23.5 \text{ N}/\text{mm}^2$

$\sigma_{cp(\perp)}^{(2)}$: 米杉の木目垂直の場合の最大圧縮応力 = $21.1 \text{ N}/\text{mm}^2$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{cp(18.3^\circ)} &= \left(\frac{\cos^2 0.319}{23.5} + \frac{\sin^2 0.319}{21.1} \right)^{-1} \\ &= 23.2 \text{ N}/\text{mm}^2 \end{aligned}$$

衝撃力 F は

$$F = \frac{23.2 \times 540^2}{\cos 0.319} (1.97 - \sin 1.97 \cos 1.97) = 1.66 \times 10^7 \text{ N}$$

となる。

(c) 輸送物に生ずる衝撃加速度

輸送物に生ずる衝撃加速度Nは次式より求まる。

$$N = \frac{F}{W \cdot g} \cdot g$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

F : 緩衝体に生ずる衝撃力 = 1.66×10^7 N

g : 重力加速度 = 9.8 m/s^2

したがって、

$$N = \frac{1.66 \times 10^7}{9600 \times 9.8} g = 177 \text{ g} \quad (\text{m/s}^2)$$

となる。

(2) 輸送容器及び収納物各部に生ずる応力

コーナ落下時に生じる加速度は、水平落下時及び垂直落下時に加わる加速度よりも小さい。

したがって、輸送容器及び収納物各部に生ずる応力も水平落下時及び垂直落下時より小さいので応力解析は、省略する。

A. 6. 1. 4 傾斜落下

傾斜落下はA. 6. 1 で説明したように、垂直落下、水平落下及びコーナ落下よりゆるやかな落下条件であるから、輸送物に対する影響は上記3条件のいずれの場合よりも小さくなる。

A. 6. 1. 5 結果の要約

A. 6. 1. 1～A. 6. 1. 3 の解析において、本輸送物が落下試験 I の各落下方向で受ける落下衝撃及び変形は、(ロ)－第A. 21 表及び(ロ)－第A. 22 表に示した値に要約される。

これらの解析結果によると、緩衝体が落下時の衝撃を緩和しているので、輸送容器はいずれの落下方向に対しても健全性が保持される。

A. 6. 2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）

落下試験Ⅰに引続いて、落下試験Ⅱがおこるものとする。本項では、輸送物が1 mの高さから直径150mm、高さ200mmの軟鋼棒上に落下した場合に輸送物が受ける影響を解析によって示す。

落下試験Ⅱでは、輸送物が最大破損を受けるよう垂直及び水平方向に落下し、軟鋼棒が輸送物の重心を直撃するとして解析を行った。これ以外の落下では、落下エネルギーが回転モーメントとして作用するので、輸送物に対しては上記落下より大きな破損を生ずることはない。

また、原型容器による試験については、付属書類[A. 10. 6]に示す。

(1) 垂直落下

(a) 上部及び下部緩衝体の貫通限界エネルギー

緩衝体の貫通限界エネルギーを求め、落下エネルギーと比較し評価する。

上部及び下部緩衝体の貫通限界エネルギーは次式より求まる。

$$E_s = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_{ca} \cdot t \cdot \varepsilon l$$

ここで、

E_s : 上部及び下部緩衝体の貫通限界エネルギー (N・mm)

d : 軟鋼棒直径=150mm

σ_{ca} : 米杉の木目平行における平均圧縮応力=19.2 N/mm²

t : 緩衝材の厚さ=309mm

εl : 緩衝材のロックアップ歪=0.65

したがって、貫通限界エネルギーは次の値となる。

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{\pi}{4} \times 150^2 \times 19.2 \times 309 \times 0.65 \\ &= 6.81 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

また、輸送物が軟鋼棒に衝突する直前の運動エネルギーは、次式より求まる。

$$E_d = W \cdot H \cdot g = 9600 \times 1000 \times 9.8 = 9.41 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

H : 落下高さ = 1000mm

g : 重力加速度 = 9.8 m / s²

これより、緩衝材の貫通限界エネルギーは輸送物の運動エネルギーより小さいため、軟鋼棒は蓋部を直撃する。以下に蓋部を直撃した場合について評価する。

(b) 上部及び下部蓋貫通限界エネルギー

(a)項より垂直落下の場合、蓋部で落下衝撃に耐える。これらの部分の貫通強度は、参考文献A. 7より鉛が裏打ちされた場合の平板に対する貫通限界エネルギーを求め、落下エネルギーと比較し評価する。

平板の貫通限界エネルギーは次式より求まる。

$$\bar{E} = 2.35 X^{1.6}$$

ここで、

$$\bar{E} = E_{\ell} / \sigma_s \cdot t^3$$

E_{ℓ} : 貫通限界エネルギー (N・mm)

σ_s : 材料の引張強さ = 506 N / mm²

t : 蓋板板厚 = 50mm

$$X = d / t = 3$$

d : 軟鋼棒直径 = 150mm

したがって、蓋板の貫通限界エネルギーは

$$E_{\ell} = 2.35 \sigma_s t^3 X^{1.6} = 2.35 \times 506 \times 50^3 \times 3^{1.6} = 8.62 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

となる。

輸送物が軟鋼棒に衝突する直前の運動エネルギーは、次式より求まる。

$$E_d = W \cdot H \cdot g = 9600 \times 1000 \times 9.8 = 9.41 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、

W : 輸送物重量 = 9600kg

H : 落下高さ = 1000mm

g : 重力加速度 = 9.8 m / s²

したがって、軟鋼棒衝突直前の運動エネルギー ($E_d = 9.41 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$) は貫通限界エネルギー ($E_{\ell} = 8.62 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$) より小さい。

(c) 外胴及び内胴に生ずる応力

輸送容器が軟鋼棒上に垂直落下したときに、本体に生ずる加速度は次式より求まる。

$$N = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot \sigma_B}{W \cdot g} \cdot g$$

ここで、

N : 輸送容器に生ずる加速度 (m/s²)

d : 軟鋼棒直径=150mm

σ_B : 軟鋼棒の設計引張強さ=402 N/mm²

W : 輸送物の重量=9600kg

g : 重力加速度=9.8 m/s²

したがって、輸送容器本体に生ずる加速度は以下の値となる。

$$N = \frac{\frac{\pi}{4} \times 150^2 \times 402}{9600 \times 9.8} g = 75.5 g \quad (\text{m/s}^2)$$

この値は、一般の試験条件時に用いた垂直落下時の加速度(N=228 g)よりも小さい。

したがって、垂直落下時の応力評価は省略する。

(2) 水平落下

(a) 上部及び下部緩衝体の貫通限界エネルギー

緩衝体の貫通限界エネルギーを求め落下エネルギーと比較し、評価する。

上部及び下部緩衝体の貫通限界エネルギーは次式より求まる。

$$E_s = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_{ca} \cdot t \cdot \varepsilon \ell$$

ここで、

E_s : 上部及び下部緩衝体の貫通限界エネルギー (N・mm)

d : 軟鋼棒直径=150mm

σ_{ca} : バルサの木目平行における平均圧縮応力=8.24 N/mm²

t : 緩衝材の厚さ=232mm

$\varepsilon \ell$: 緩衝材のロックアップ歪=0.75

したがって、貫通限界エネルギーは次の値となる。

$$\begin{aligned} E_s &= \frac{\pi}{4} \times 150^2 \times 8.24 \times 232 \times 0.75 \\ &= 2.53 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

また、輸送物が軟鋼棒に衝突する直前の運動エネルギー E_d は、次式より求まる。

$$E_d = W \cdot H \cdot g = 9600 \times 1000 \times 9.8 = 9.41 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、

W : 輸送物重量=9600kg

H : 落下高さ=1000mm

g : 重力加速度=9.8 m/s²

これより、緩衝体の貫通限界エネルギーは、輸送物の運動エネルギーより小さいため、軟鋼棒は外筒を直撃する。以下に外筒を直撃した場合について評価する。

(b) 外筒の貫通強度

(a)項より、水平落下の場合外筒を直撃する。

貫通強度は、参考文献A7より鉛が裏打ちされた場合の円筒形状に対する貫通限界エネルギーを求め、落下エネルギーと比較し評価する。

円筒形に対する限界エネルギーは次式より求まる。

$$\bar{E} = 1.8(1 + y + 46 y^2) e^{2/X} \cdot X^{1.3}$$

$$x = d / t$$

$$y = d / D$$

$$\bar{E} = E_s / \sigma_B \cdot t^3$$

$$\bar{\ell} = \ell / D$$

ここで、

d : 軟鋼棒直径=150mm

t : 外筒板厚=10mm

D : 外筒外径=720mm

E_s : 貫通限界エネルギー (N・mm)

σ_B : 外筒材の引張強さ=506 N/mm²

ℓ : 輸送容器全長=2625mm

したがって、

$$x = 150 / 10 = 15$$

$$y = 150 / 720 = 0.208$$

$$\begin{aligned}\bar{E} &= 1.8 \times (1 + 0.208 + 46 \times 0.208^2) \cdot e^{2/15} \times 15^{1.3} \\ &= 1.8 \times 3.2 \times 1.14 \times 33.8 \\ &= 222\end{aligned}$$

したがって、限界エネルギーは

$$\begin{aligned}E_s &= 222 \times 506 \times 10^3 \\ &= 1.12 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

となる。

輸送物が軟鋼棒に衝突する直前の運動エネルギーは、次式より求まる。

$$E_d = W \cdot H \cdot g = 9600 \times 1000 \times 9.8 = 9.41 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、

W : 輸送物重量=9600kg

H : 落下高さ=1000mm

g : 重力加速度=9.8 m/s²

したがって、軟鋼棒衝突直前の運動エネルギー($E_d = 9.41 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$)は貫通限界エネルギー($E_s = 1.12 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$)より小さい。

(c) 外筒及び内胴に生ずる応力

輸送容器が軟鋼棒に衝突する場合、輸送容器に曲げ応力が生ずる。解析モデルを(ロ)

—第A.63図に示す。輸送容器に生ずる曲げモーメントは次式より求まる。

$$M = \frac{1}{2} \cdot w \left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = \frac{1}{8} w \cdot \ell^2$$

$$= \frac{1}{8} F \cdot \ell$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

w : 作用荷重 (N)

ℓ : 輸送容器全長=2625mm

作用荷重 w は次式より求まる。

$$w = F / \ell$$

$$P = N \cdot W$$

ここで、

N : 衝撃加速度

$$N = \frac{F}{W \cdot g} \cdot g = \frac{7.10 \times 10^6}{9600 \times 9.8} \cdot g = 75.5g(m/s^2)$$

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \sigma_B = \frac{\pi}{4} \times 150^2 \times 402 = 7.10 \times 10^6 N$$

d : 軟鋼棒直径=150mm

σ_B : 軟鋼棒引張強さ (N/mm²)

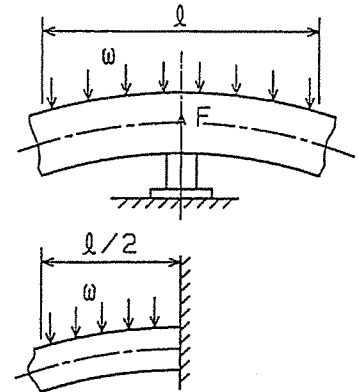
W : 輸送物重量=9600kg

g : 重力加速度=9.8 (m/s²)

したがって、

$$M = \frac{1}{8} \times 7.10 \times 10^6 \times 2625 = 2.33 \times 10^9 N \cdot mm$$

となる。



(ロ) — 第A.63図

輸送容器に生ずる曲げ応力

解析モデル

輸送容器に生ずる曲げモーメントを、外筒及び外胴によって受持つとした場合の応力は次式より求まる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$$

$$\tau = \frac{F}{2A}$$

ここで、

σ_b : 外筒及び外胴に生ずる曲げ応力 (N/mm²)

I : 外筒及び外胴の断面 2 次モーメント (mm⁴)

e : 中立軸より外筒、外胴、内胴各外面までの距離 (mm)

τ : 外胴に生ずるせん断応力 (N/mm²)

A : 輸送容器の断面積=5.89×10⁴mm²

外筒、外胴及び内胴の断面 2 次モーメントは次式より求まる。

I : 断面 2 次モーメント (mm⁴)

$$I = \frac{\pi}{64} [(D_o^4 - D_i^4) + (d_o^4 - d_i^4) + (d_o'^4 - d_i'^4)]$$

D_o : 外筒外径=720mm

D_i : 外筒内径=700mm

d_o : 外胴外径=620mm

d_i : 外胴内径=590mm

d_o' : 内胴外径=216.3mm

d_i' : 内胴内径=190.9mm

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} [(720^4 - 700^4) + (620^4 - 590^4) + (216.3^4 - 190.9^4)] \\ &= 2.75 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

e_1 : 内胴外半径=108.15mm

e_2 : 外胴外半径=310mm

e_3 : 外筒外半径=360mm

したがって、内胴、外胴及び外筒に生ずる曲げ応力 σ_{b1} 、 σ_{b2} 及び σ_{b3} 及び各胴に生ずるせん断応力 τ は、以下の値となる。

$$\text{内胴} \quad \sigma_{b1} = \frac{108.15 \times 2.33 \times 10^9}{2.75 \times 10^9} = 91.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外胴} \quad \sigma_{b2} = \frac{310 \times 2.33 \times 10^9}{2.75 \times 10^9} = 263 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{外筒} \quad \sigma_{b3} = \frac{360 \times 2.33 \times 10^9}{2.75 \times 10^9} = 305 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{7.10 \times 10^6}{2 \times 5.89 \times 10^4} = 60.3 \text{ N/mm}^2$$

(d) シャッタ蓋に生ずるせん断応力

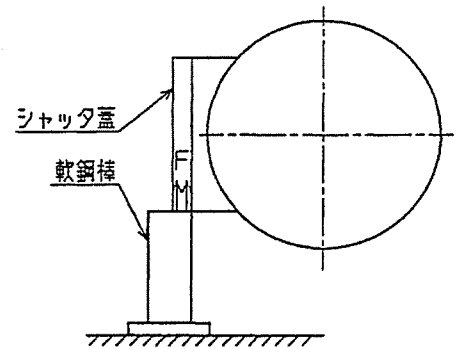
輸送容器のシャッタ部が水平落下時軟鋼棒に直撃する場合について検討する。

シャッタ蓋を軟鋼棒が直撃する場合は、

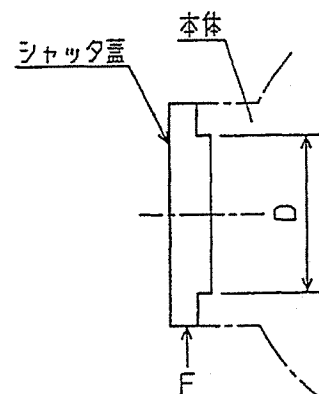
(ロ)-第A.64図に示す落下姿勢がもっとも厳しい条件となる。この場合、シャッタ蓋及び本体には貫通治具より反力 (F) を受ける。この反力は全てシャッタ蓋に作用するものとして評価する。

シャッタ蓋は本体にはめ込む段がついているため、この反力は段部のせん断荷重として作用する。

シャッタ蓋段部に生ずるせん断応力の解析モデルを(ロ)-第A.65図に示す。



(ロ)-第A.64図 水平落下時のシャッタ蓋部への落下姿勢



(ロ)-第A.65図 シャッタ蓋に生ずるせん断応力解析モデル

シャッタ蓋段部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

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

τ : シャッタ蓋段部に生ずるせん断応力 (N/mm²)

F : シャッタ蓋に作用する力 (N)

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot t \cdot d \cdot \sigma_B = 2.37 \times 10^6 \text{ N}$$

t : シャッタ蓋厚さ = 50mm

d : 軟鋼棒直径 = 150mm

σ_B : 軟鋼棒引張強さ = 402 N/mm²

A : シャッタ蓋段部の断面積 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \times 325^2 = 8.30 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

D = 段部直径 = 325mm

したがって、せん断応力 τ は、以下の値となる。

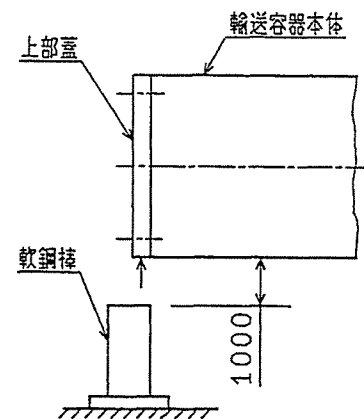
$$\tau = \frac{2.37 \times 10^6}{8.30 \times 10^4} = 28.6 \text{ N/mm}^2$$

(e) 上部蓋に生ずるせん断応力

輸送容器の上部蓋に(口)－第A. 66 図に示す落下姿勢で軟鋼棒上に落下させた場合の上部蓋に生ずるせん断応力について検討する。

上部蓋は(口)－第A. 67 図に示すようなはめ込み部を設ける。

上部蓋に作用するせん断荷重をはめ込み段部で受持つ。



(口)－第A. 66 図 水平落下時の上部蓋部への落下姿勢

上部蓋、はめ込み断部に生ずるせん断応力は次式より求まる。

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

ここで、

τ : せん断応力 (N/mm²)

F : 作用荷重 (N)

$$F = \frac{\pi}{4} t \cdot d \cdot \sigma_B$$

$$= 2.37 \times 10^6 \text{ N}$$

t : 上部蓋厚さ = 50mm

d : 軟鋼棒直径 = 150mm

σ_B : 軟鋼棒引張強さ = 402 N/mm²

A : 上部蓋段部の断面積 (mm²)

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} D^2 - 4 A_I - A_{II} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 300^2 - 4 \times 2.17 \times 10^3 - 1.66 \times 10^4 \\ &= 4.54 \times 10^4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

D : 段部直径 = 300mm

A_I : キーププレート部断面積 (mm²)

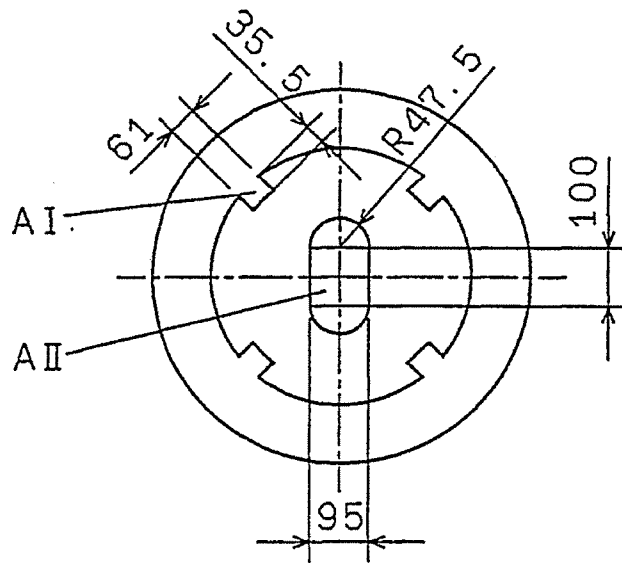
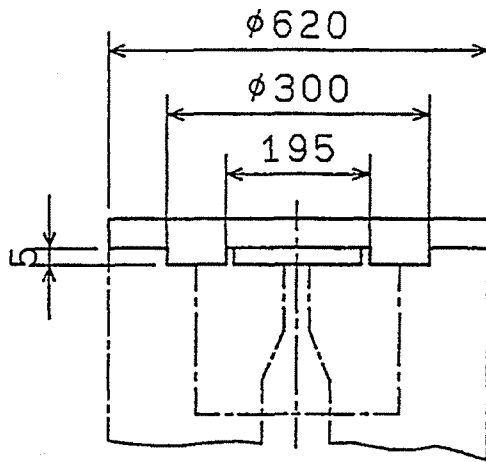
$$A_I = 61 \times 35.5 = 2.17 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

A_{II} : ハンガ取付部断面積 (mm²)

$$A_{II} = 100 \times 95 + \frac{\pi}{4} \times 95^2 = 1.66 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

したがって、せん断応力 τ は以下の値となる。

$$\tau = \frac{2.37 \times 10^6}{4.54 \times 10^4} = 52.2 \text{ N/mm}^2$$



(口) - 第A. 67 図 上部蓋のはめ込み形状

A.6.2.1 結果の要約

各項目について得られた応力解析結果に対する応力評価結果をまとめて、(口)一第A.23表に示す。

この結果より、特別の試験条件（落下試験Ⅱ）下において本輸送物の健全性は維持される。

(ロ) 第A.23表 特別の試験条件 (1 m落下試験) 下における応力評価結果

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)				初期応力	圧力による応力	熱応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						
	評価位置	σ_r	σ_θ	σ_z					τ	$P_m(P_L)$	S_u	Ms	P_L+P_b	S_u	Ms
1	内 洞	σ_r	-0.008	-	-	-	-	-	-	0.140	506	3610	152	506	2.3
		σ_θ	0.128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		σ_z	0.064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		τ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	外 洞	σ_r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75
		σ_θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		σ_z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		τ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	外 筒	σ_r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.54
		σ_θ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		σ_z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		τ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	シャッタ蓋段部	τ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.6	506	3.0
5	上部蓋段部	τ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52.2	506	1.2

P_m ; 一次一般膜応力 P_L ; 一次局部膜応力 P_b ; 一次曲げ応力 Q ; 二次応力 F ; ピーク応力 S_a ; 繰返しピーク応力強さ N ; 使用回数
 N_a ; 許容繰返し回数 DF ; 疲れ累積係数 S_y ; 設計降伏強さ S_u ; 設計引張強さ Ms ; 余裕率

A. 6.3 熱的試験

A. 6.3.1 温度及び圧力の要約

特別の試験条件下における輸送容器各部の最高温度及び最高圧力は、口章B. 5で求められている。

輸送容器各部の最高温度の要約を(口)－第A. 24表に示す。

(口)－第A. 24表 特別の試験条件下における輸送容器各部の最高温度

部 位	最 高 温 度	経 過 時 間
外 筒	702°C	30 分
外 胴	187°C	63 分
鉛	184°C	68 分
内 胴	180°C	86 分

特別の試験条件下における最高圧力は断熱材中の水分の水蒸気圧力である。耐火試験時に外筒及び外胴を破損させない目的で、溶融栓を設けている。溶融栓の溶融温度は186°Cである。したがって、186°Cにおける水蒸気飽和圧力(1.06MPa・G)とする。

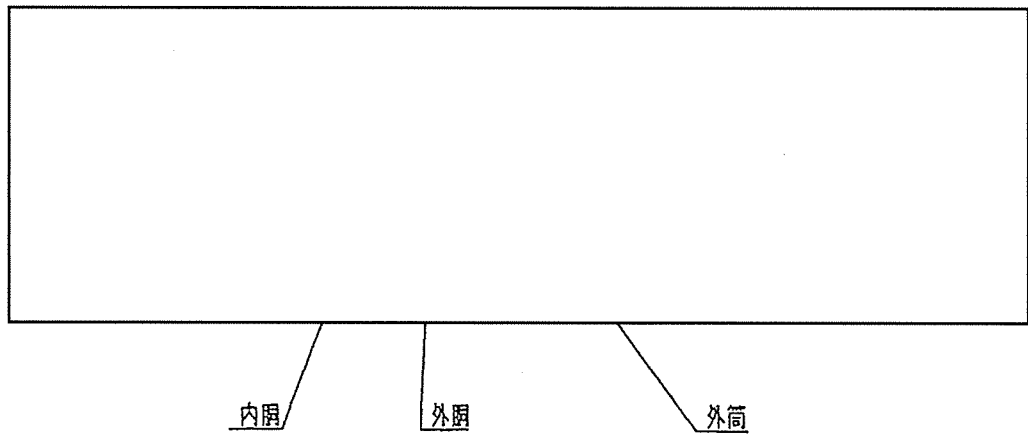
A. 6.3.2 熱膨張

本輸送容器は、薄板構造であるので板厚方向の温度差による応力は発生しない。

また、内胴とバスケット及び収納缶の間には十分なすき間があり、かつ、大きな温度差を生じない。このため、不測の拘束は発生しない。

ただし、温度上昇により容器内の圧力が上昇するため、この圧力上昇に対して評価を行う。

評価箇所を(口)－第A. 68図に示す。



(口)－第A.68図 熱的試験条件下における容器本体応力評価位置

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(1) 断熱材内圧力上昇による外胴及び外筒の強度

(a) 外胴に外圧力が作用した場合の応力

外胴は外圧力を受ける。この外圧力により外胴に生ずる応力を検討する。

薄肉の円筒に対する外圧力により生ずる応力は、次式より求まる。

$$\sigma_{\theta} = -\frac{P \cdot D}{2t}$$

$$\sigma_z = -\frac{P \cdot D}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_{θ} : 外胴に生ずる円周方向応力 (N/mm²)

σ_z : 外胴に生ずる軸方向応力 (N/mm²)

σ_r : 外胴に生ずる半径方向応力 (N/mm²)

P : 外圧力=1.06MPa・G

D : 外胴平均径=605mm

t : 外胴板厚=15mm

したがって、外胴に生ずる応力 σ は以下の値となる。

$$\text{円周方向応力 } \sigma_{\theta} = -\frac{1.06 \times 605}{2 \times 15} = -21.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{軸方向応力 } \sigma_z = -\frac{1.06 \times 605}{4 \times 15} = -10.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{半径方向応力 } \sigma_r = -\frac{1}{2} \times 1.06 = -0.53 \text{ N/mm}^2$$

(b) 外胴の座屈強度

外胴は外圧を受けるので、外胴の座屈強度の検討を行う。座屈圧力は、参考文献

[A. 10. 4] より、次式から求まる。

$$P_{CR} = \frac{4B \cdot t}{3D_0}$$

P_{CR} : 座屈圧力 (MPa・G)

B : 外胴の形状により定まる係数=54.9(-)

t : 外胴板厚=15mm

D_0 : 外胴外径=620mm

したがって、外筒の座屈圧力(P_{CR})は以下の値となる。

$$P_{CR} = \frac{4 \times 54.9 \times 15}{3 \times 620} = 1.77 \text{MPa}$$

(c) 外筒の強度

外筒は内圧力を受ける。この内圧力により、外筒に発生する応力を次式により求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot D}{2t}$$

$$\sigma_z = \frac{P \cdot D}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_{θ} : 外筒に生ずる円周方向応力 (N/mm²)

σ_z : 外筒に生ずる軸方向応力 (N/mm²)

σ_r : 外筒に生ずる半径方向応力 (N/mm²)

P : 内圧力=1.06MPa・G

D : 外筒平均径=710mm

t : 外筒板厚=10mm

したがって、外筒に生ずる応力 σ は、以下の値となる。

$$\text{円周方向応力 } \sigma_{\theta} = \frac{1.06 \times 710}{2 \times 10} = 37.6 \text{N/mm}^2$$

$$\text{軸方向応力 } \sigma_z = \frac{1.06 \times 710}{4 \times 10} = 18.8 \text{N/mm}^2$$

$$\text{半径方向応力 } \sigma_r = -\frac{1}{2} \times 1.06 = -0.53 \text{N/mm}^2$$

(2) 内圧力による内筒強度

内筒は内圧力を受ける。この内圧力により、内筒に発生する応力を次式により求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot D}{2t}$$

$$\sigma_z = \frac{P \cdot D}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_{θ} : 内筒に生ずる円周方向応力 (N/mm²)

σ_z : 内筒に生ずる軸方向応力 (N/mm²)

σ_r : 内筒に生ずる半径方向応力 (N/mm²)

P : 内圧力 = 8.3×10^{-2} MPa · G

D : 内筒平均径 = 203.6 mm

t : 内筒板厚 = 12.7 mm

したがって、内筒に生ずる応力 σ は、以下の値となる。

$$\text{円周方向応力 } \sigma_{\theta} = \frac{8.3 \times 10^{-2} \times 203.6}{2 \times 12.7} = 0.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{軸方向応力 } \sigma_z = \frac{8.3 \times 10^{-2} \times 203.6}{4 \times 12.7} = 0.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{半径方向応力 } \sigma_r = \frac{8.3 \times 10^{-2}}{2} = -0.042 \text{ N/mm}^2$$

A. 6. 3. 3 許容応力との比較

各項目について得られた応力解析結果に対する応力評価結果をまとめて(ロ)―第A. 25表に示す。

この結果より、特別の試験条件(熱的試験)下において本輸送物の健全性は維持される。

(ロ) 第一A.25表 特別の試験条件(熱的試験)下における応力評価結果

No.	応力及び応力強さ (N/mm ²)			初期応力	圧力による 応力	一次応力強さの評価						
						P _n (P _L)	S _u	M _s	P _L +P _b	S _u	M _s	
1	内 洞	σ_r	-	-	-0.042	0.71	410	576	-	-	-	-
		σ_θ										
		σ_z										
2	外 洞	σ_r	-	-	-0.53	20.9	407	18	-	-	-	-
		σ_θ										
		σ_z										
3	外 筒	σ_r	-	-	-0.53	38.1	259	5.7	-	-	-	-
		σ_θ										
		σ_z										

P_n; 一次一般膜応力 P_L; 一次局部膜応力 P_b; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 S_a; 繰返しピーク応力強さ
 N; 使用回数 N_a; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 S_y; 設計降伏強さ S_u; 設計引張強さ M_s; 余裕率

A.6.4 浸漬

15 mの水頭下に輸送容器を浸漬した場合(すなわち、外圧 $1.47 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{G}$ が作用した場合)に容器の健全性が保持されることを解析によって示す。

なお、原型モデルによる実証試験結果を付属書類A.10.7「原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器実証試験結果報告書」に示す。

(1) 外筒の外圧に対する強度

外筒の外圧に対する強度は座屈強度について検討する。座屈強度は次式より求まる。

(参考文献A.10.4参照)

$$P_{\text{CR}} = \frac{4B \cdot t}{3D_0}$$

ここで、

P_{CR} : 座屈圧力 (MPa)

B : 外筒の形状により定まる係数=63.7(—)

t : 外筒板厚=10mm

D_0 : 外筒外径=720mm

したがって、外筒の外圧により生ずる座屈圧力 P_{CR} は、以下の値となる。

$$P_{\text{CR}} = \frac{4 \times 63.7 \times 10}{3 \times 720} = 1.18 \text{MPa}$$

(2) 外胴の外圧に対する強度

外胴の外圧に対する座屈圧力は、A.6.3.2より $P_{\text{CR}} = 1.77 \text{MPa} \cdot \text{G}$ である。

A. 6.5 結果の要約及びその評価

特別の試験条件(落下、耐火、浸漬の各試験)後における破損の状態は、各試験についてそれぞれ、A. 6. 1. 5、A. 6. 2. 1、A. 6. 3. 3 及びA. 6. 4 に記述した。

ここではその要約を示す。

(1) 落下試験 I

本輸送物が落下試験 I の各落下姿勢で受ける落下衝撃、変形及び輸送物に対する影響を検討し以下のことを確認した。

- イ. 緩衝体は変形するが脱落することはない。
- ロ. 落下衝撃により輸送容器本体、蓋及び蓋締付ボルトに生ずる応力はいずれも許容応力以下である。
- ハ. 密封境界の健全性が損なわれることはない。

以上の結果から、落下試験 I の後も本輸送物の密封性及び遮蔽性能は保たれる。

(2) 落下試験 II

落下試験 II の本輸送物に対する影響が大きいと考えられる姿勢、すなわち、

- イ. 輸送容器の重心が軟鋼棒の真上に位置する垂直落下
- ロ. 輸送容器の重心が軟鋼棒の真上に位置する水平落下

について、輸送物に対する影響を検討した。

その結果、輸送物の本体及び蓋が軟鋼棒を直撃しても軟鋼棒がそれらを貫通することはなく、またその際本体に生ずる応力は許容応力を超えることはない。

以上の結果から、落下試験 II の後も本輸送物の密封性及び遮蔽性能は保たれる。

なお、付属書類 [A. 10. 6] に示すように、原型モデルによる試験では軟鋼棒との衝突面は変形するが、密封性及び遮蔽性能に影響を及ぼすものではないことを確認した。

(3) 熱的試験

耐火試験時の輸送物各部最高温度及び耐火試験時の温度勾配、熱膨張、内外圧差により輸送物各部に生ずる応力について検討した。その結果、

- イ. 輸送物各部最高温度は各構成材料を損傷させるには至らない。
- ロ. 内外圧差により発生する応力は許容応力以下であることが確認された。

したがって、本輸送物は熱的試験によって密封性及び遮蔽性能が損なわれることはない。

(4) 浸漬

水深 15 m相当水圧の外圧により、輸送物各部に生ずる応力について検討した。

その結果、内外圧力差により発生する応力は許容応力以下であることが確認された。

したがって、本輸送物は水深 15 m相当の水圧に十分耐え得る。

A.7 強化浸漬試験

該当せず。

A.8 放射性収納物

収納物の構造について評価を行い、問題のないことを確認した。

A.9 核分裂性輸送物

該当せず。

A.10 付属書類

A.10.1 ボルト締付けトルク及びボルトに生ずる応力

(1) ボルト締付け力 (F_f)

ボルト締付け応力の最大値 σ_{fmax} を降伏強さの70%とする。

$$\sigma_{fmax} = 0.7 \sigma_y \quad (1)$$

ボルト締付け応力の最小値を σ_{fmin} とすれば

$$\sigma_{fmin} = \sigma_{fmax} / A \quad (2)$$

ここで、

$$A : \text{締付け係数} = 1.4 \sim 1.8 = 1.8$$

ボルト締付け応力の平均値 σ_{fmean} は、(1)、(2)式より

$$\begin{aligned} \sigma_{fmean} &= \frac{\sigma_{fmax} + \sigma_{fmin}}{2} \\ &= 0.35 \left(1 + \frac{1}{A}\right) \sigma_y \\ &\doteq 0.5 \sigma_y \quad (3) \end{aligned}$$

となる。

したがって、ボルト締付け応力の平均値 σ_{fmean} を用いた場合の締付け力 F_f は式にて示される。

$$F_f = 0.5 \sigma_y \cdot A_m \quad (4)$$

ここで

$$A_m : \text{ボルト有効断面積} = \frac{\pi}{4} d_m^2 \quad (\text{mm}^2)$$

$$d_m : \text{ボルト谷径} \quad (\text{mm})$$

(2) 締付けトルク (T)

ボルト締付けトルク T は次式で表される。

$$T = K \cdot F_f \cdot d \quad (5)$$

ここで

$$K : \text{トルク係数} \doteq 0.2$$

$$F_f : \text{ボルト締付け力} \quad (\text{N})$$

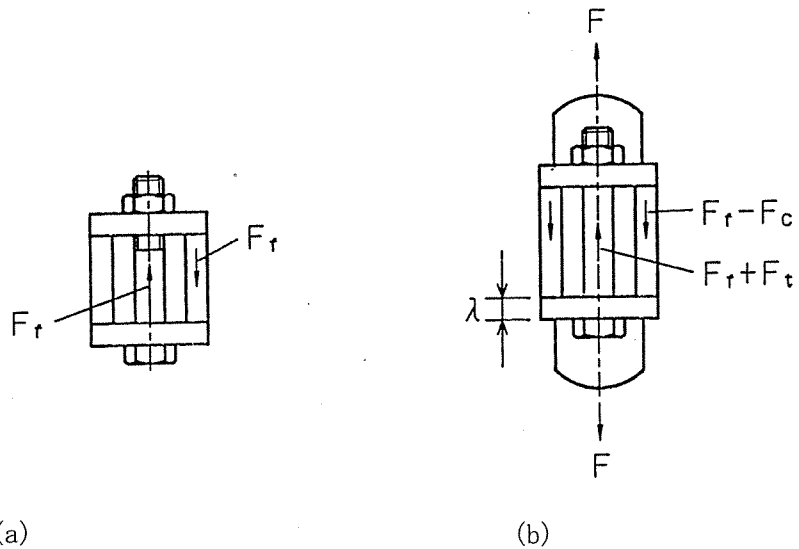
$$d : \text{ボルト呼び径} \quad (\text{mm})$$

(3) ボルトに作用する外力と内力の関係

(ロ)－第A.69 図(a)に示すように、ボルト・ナットで締付け力 F_f で締付け、さらに(ロ)－第A.69 図(b)に示すように外力 F が加わった場合にボルトに生ずる内力を求める。

初期のボルト締付けによって、ボルトには F_f なる引張力、被締付け物には F_f なる圧縮力を生じて釣合った状態にある。このねじ結合体に外力 F が作用したとき、ボルトには F_f なる引張力が追加され、被締付け物には F_c なる圧縮力が失われ、締付け長さは λ だけ伸びる。

ねじ結合の引張りばね定数（単位伸び当たりの荷重）を K_t 、被締付け物の圧縮ばね定数（単位縮み当たりの荷重）を K_c とすれば



初期締付け状態

初期締付けに外力が加わった状態

(ロ)－第A.69 図 ボルト・ナット結合体に作用する力の釣合い

$$F_t = K_t \cdot \lambda \quad (6)$$

$$F_c = K_c \cdot \lambda \quad (7)$$

であり、力の釣合い関係から

$$\begin{aligned} F &= (F_f + F_t) - (F_f - F_c) \\ &= F_t + F_c \\ &= (K_t + K_c) \cdot \lambda \end{aligned}$$

したがって、

$$\lambda = \frac{1}{K_t + K_c} \cdot F \quad (8)$$

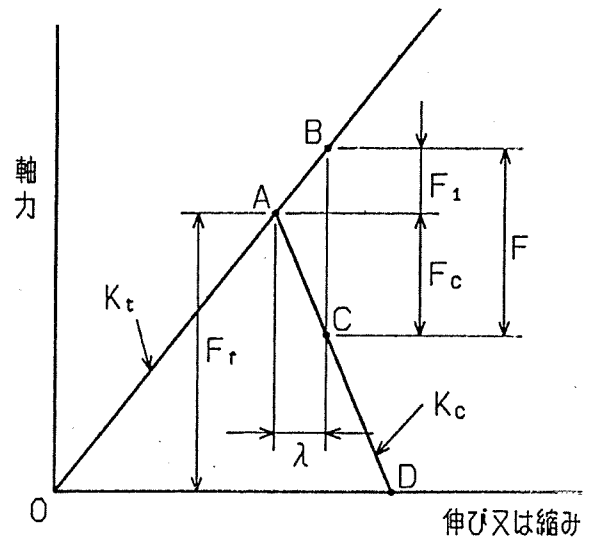
(8)式を(6)式及び(7)式に代入すれば

$$F_t = \frac{K_t}{K_t + K_c} \cdot F \quad (9)$$

$$F_c = \frac{K_c}{K_t + K_c} \cdot F \quad (10)$$

となる。

(ロ)－第A.70図は、横軸に伸び(ねじ結合)または縮み(被締め付け物)を縦軸に軸力をとって、(9)式及び(10)式の関係を表す。



(ロ)－第A.70図 締め付け線図

(4) ねじ結合の引張りばね定数 (K_t)

(ロ)－第A.71図に示す普通ボルトで、ボルト単位としてのばね定数を K_b 、はめ合いねじ部のばね定数を K_m とすれば、ナットと結合された状態でのボルトの引張りばね定数 K_t は、

$$\frac{1}{K_t} = \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_m} \quad (11)$$

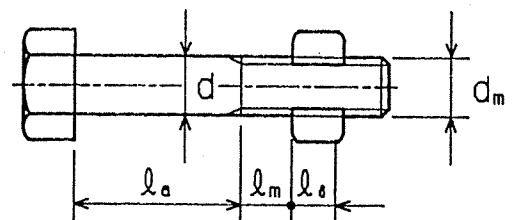
で表される。

ここで

$$\frac{1}{K_b} = \frac{1}{E_b} \left(\frac{l_a}{A} + \frac{l_m}{A_m} \right)$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{E_b} \frac{l_\delta}{A_m}$$

$$l_\delta \doteq 0.6d$$



(ロ)－第A.71図 普通ボルト

したがって、(11)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_t} &= \frac{1}{E_b} \left(\frac{l_a}{A} + \frac{l_m + l_\delta}{A_m} \right) \\ &\doteq \frac{1}{E_b} \cdot \frac{l_f + l_\delta}{A_m} = \frac{1}{E_b} \cdot \frac{l_f + 0.6d}{A_m} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\therefore K_t = \frac{E_b \cdot A_m}{l_f + 0.6d} \quad (12)'$$

ここで

l_δ : ボルトねじ部の等価長さ (mm)

E_b : ボルトの縦弾性係数 (N/mm²)

A : 称径断面積 = $\frac{\pi}{4} d^2$ (mm²)

A_m : 有効断面積 = $\frac{\pi}{4} d_m^2$ (mm²)

(5) 被締付け物の圧縮ばね定数 (K_c)

(ロ) - 第A.72図に示す被締付け物の圧縮ばね定数 K_c は次式で表されている。

$$K_c = \frac{E_c}{l_f} \cdot \frac{\pi}{4} \left\{ \left(B + \frac{l_f}{2} \right)^2 - D_i^2 \right\} \quad (13)$$

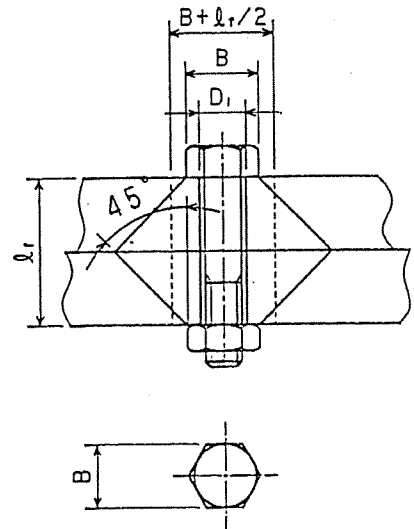
ここで

E_c : 被締付け物の縦弾性係数 (N/mm²)

B : ナットの二面幅 (mm)

D_i : ボルト穴径 (mm)

l_f : 締付け長さ (mm)



(ロ) - 第A.72図 被締付け物の形状

(6) ボルトに生ずる応力

被締付け物を締付け力 F_f で締付けた状態で、引張力 F_t 及びせん断力 F_s が加わった場合に、ボルトに生ずる応力は次式より求まる。

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_f + \sigma_t)^2 + 4\tau^2} \quad (14)$$

ここで

$$\sigma_v : \text{ボルトに生ずる応力} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_f : \text{締付け応力} = F_f / A_m \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_t : \text{引張応力} = F_t / A_m \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\tau : \text{せん断応力} = F_s / A_m \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$A_m : \text{ボルト有効断面積} = \frac{\pi}{4} d_m^2 \quad (\text{mm}^2)$$

$$d_m : \text{ボルト谷径} \quad (\text{mm})$$

せん断応力 F_s が作用しない場合には(14)式は

$$\sigma_v = \sigma_f + \sigma_t \quad (14)'$$

となる。

また、引張力が作用しない場合には(14)式は

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_f^2 + 4\tau^2} \quad (14)''$$

となる。

(14)、(14)' 及び(14)''式はせん断歪エネルギー説にもとづくもので、 $\sigma_v < \sigma_y$ で評価する。

A.10.2 水平落下時の緩衝体のエネルギー吸収特性

輸送物が水平落下時，両端に取り付けた緩衝体により落下エネルギーを吸収する物と考え，その際の緩衝体のエネルギー吸収特性を求める。

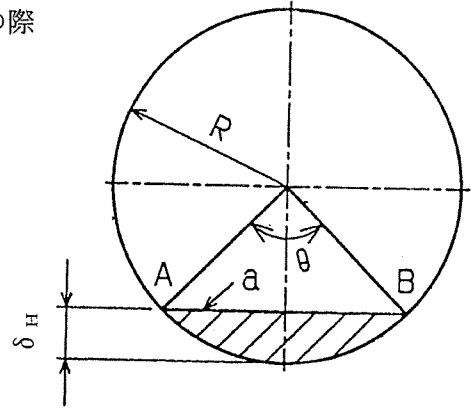
1. 緩衝体の変形量 δ_H

(□)－第A.73 図の斜線部分の面積は次式により求まる。

$$S = \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta) \quad (1)$$

θ は， δ_H 及び R より

$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{\delta_H}{R}\right) \quad (2)$$



(□)－第A.73 図

緩衝体の変形

(1)式を δ_H の関数にすると

$$S = \frac{1}{2} \cos R^2 \left\{ 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{\delta_H}{R}\right) - \sin 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{\delta_H}{R}\right) \right\} \quad (3)$$

半径 R の緩衝体が δ_H だけ変形した時の緩衝体の変形体積

(V) は，

$$V = S \ell \quad (4)$$

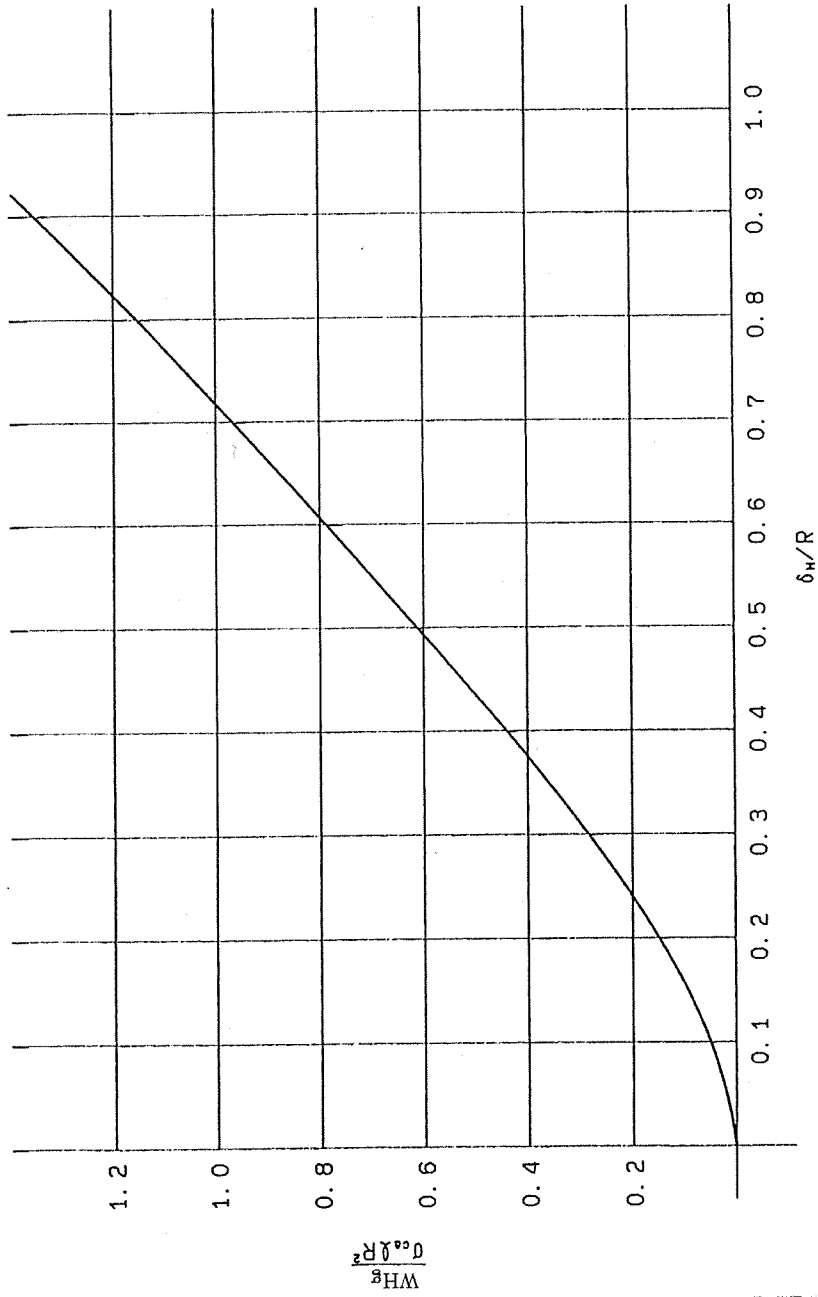
ℓ : 緩衝体の有効長

となる。

この変形により吸収するエネルギー E_a は，次式より求まる。

$$E_a = V \sigma_{ca} \quad (5)$$

σ_{ca} : 緩衝体の平均圧縮応力



(B) - A.74 \square $\frac{WHg}{\sigma_{ch} \ell R^2} = f(\delta_H/R)$

また、吸収すべき運動エネルギー E_k は次式により求まる。

$$E_k = W \cdot H \cdot g \quad (6)$$

W : 輸送物重量

H : 落下高さ

g : 重力加速度

以上より E_k を吸収するに必要な緩衝体の変形量は (3), (4), (5), (6) 式を用いて次式より求まる。

$$\frac{W \cdot H \cdot g}{\sigma_{ca} \ell R^2} = f \left(\delta_H / R \right) \quad (7)$$

$$f \left(\delta_H / R \right) = \cos^{-1} \left(1 - \frac{\delta_H}{R} \right) - \frac{1}{2} \sin 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{\delta_H}{R} \right) \quad (8)$$

(7), (8) 式の関係を図 A.74 に示す。

2. 衝撃力

(口) - 第 A.73 図の弦 AB は次式より求まる。

$$a = 2R \sqrt{2 \left(\delta_H / R \right) - \left(\delta_H / R \right)^2} \quad (9)$$

緩衝体の受圧面積 S' は次式より求まる。

$$S' = a \ell \quad (10)$$

衝撃力は次式より求まる。

$$F = \sigma_{cp} \times S' \quad (11)$$

σ_{cp} : 緩衝材の最大圧縮応力

以上 (9), (10), (11) 式を用いて衝撃力 F は次式より求まる。

$$F = 2 \ell R \sigma_{cp} \sqrt{2 \left(\delta_H / R \right) - \left(\delta_H / R \right)^2} \quad (12)$$

A.10.3 コーナ落下時の緩衝体のエネルギー吸収特性

輸送物がコーナ落下時、両端に取付けた緩衝体により落下エネルギーを吸収するものと考え、その際の緩衝体のエネルギー吸収特性を求める。

1. 緩衝体の変形量

緩衝体が、(ロ)－第A.75図のように、コーナ落下をし、着色部分によりエネルギーを吸収したものとする。まず、この部分の変形量を求める。

この変形量は、(ロ)－第A.76図のモデルから次式より求まる。

$$V = R^3 \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\} \quad (1)$$

$$V_n = \frac{V}{R^3} = \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\} \quad (2)$$

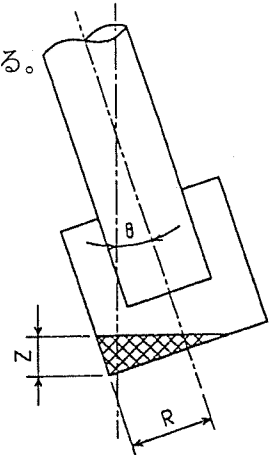
この変形により、吸収するエネルギー E_a は次式より求まる。

$$E_a = \sigma_{ca}(\theta) V \quad (3)$$

$\sigma_{ca}(\theta)$: 緩衝材の木目にある角度

(θ)方向から圧縮した場合

の平均圧縮応力



(ロ)－第A.75図

落下状態図

吸収すべき運動エネルギー E_d は次式より求まる。

$$E_d = W \cdot H \cdot g \quad (4)$$

したがって、(1), (3), (4)式より次の関係式を得る。

$$\frac{WHg}{\sigma_{ca}(\theta)R^3} = f(\beta, \theta) \quad (5)$$

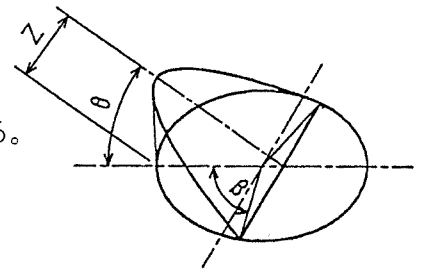
$$f(\beta, \theta) = \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\} \quad (6)$$

変形量 Z は次式より求まる。

$$Z = R(1 - \cos \beta) \sin \theta \quad (7)$$

したがって、コーナ落下時の緩衝体の変形量を求めるには、(5), (6)式より β を求め、この β を(7)式に代入して Z を求める。

なお、(6)式の関係は(ロ)－第A.77図に示す。



(ロ)－第A.76図

潰れ部分モデル

2. 緩衝体の衝撃力

コーナ落下時に、緩衝体に生ずる衝撃力は次式より求まる。

$$F = \sigma_{cp}(\theta) S \quad (8)$$

$\sigma_{cp}(\theta)$: 衝撃材の木目にある角度 (θ) 方向から圧縮した場合の最大圧縮応力

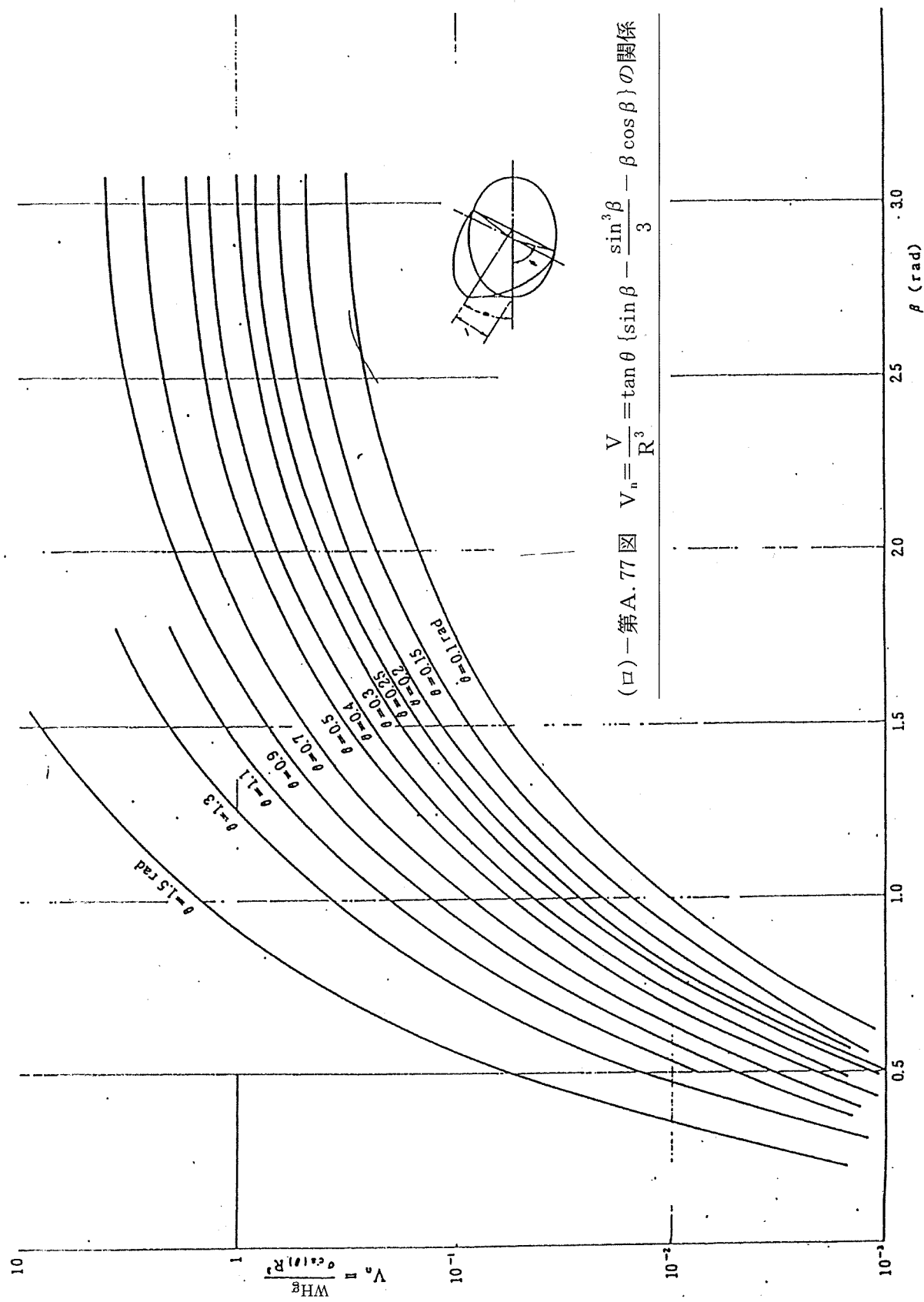
S : 緩衝体の受圧面積

緩衝体の受圧面積は次式より求まる。

$$S = \frac{R^2}{\cos \theta} (\beta - \sin \beta \cos \beta) \quad (9)$$

前項より β を求め、(8)、(9)式より衝撃力 (F) は次式より求まる。

$$F = \frac{\sigma_{cp}(\theta) R^2}{\cos \theta} (\beta - \sin \beta \cos \beta) \quad (10)$$

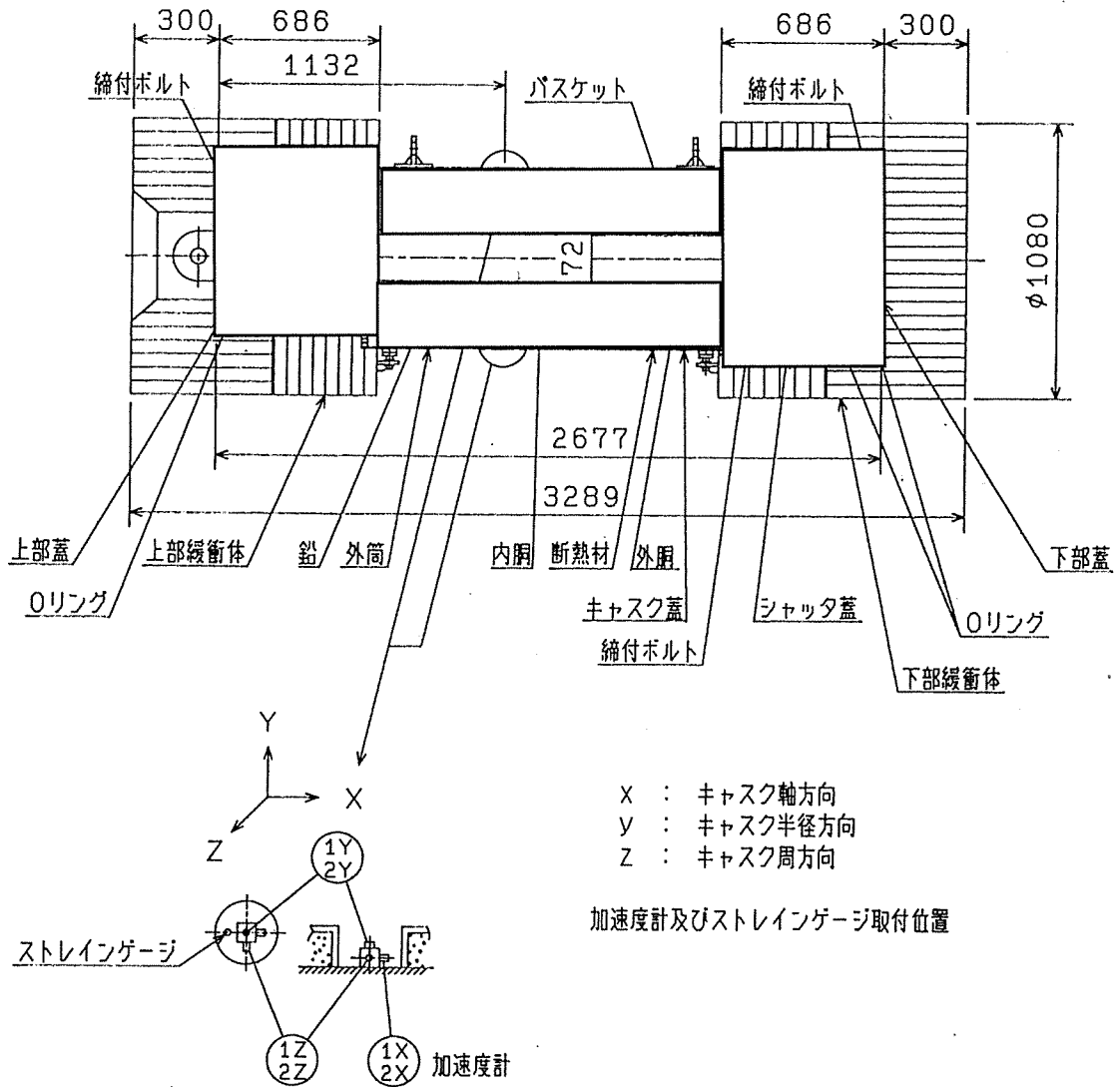


A.10.4 参考文献

- A. 1 : “Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loading”
K.G. Wichman, A.G. Hopper and J.L. Mershon.
- A. 2 : “チモシェンコ 材料力学, 下巻”
北島顕正, 片山健次郎共訳, コロナ社
- A. 3 : “ATR新燃料輸送容器開発試験”
動力炉技報 No.18, 1976
- A. 4 : “Mathematical Model for Prediction of Maximum Damage to Shielded Shipping Containers” B. J. Donham
LOS. Alamos Scientific Laboratory.
- A. 5 : “機械工学便覧改訂第6版, 第4編”
日本機械学会
- A. 6 : “木材物理” 北原覚一著, 森北出版
- A. 7 : “Empirical Equations for Puncture Analysis of Lead-Shielded Spent Fuel Shipping Casks”
R. C. Shien.
Transportation Branch.
U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- A. 8 : “圧力容器の構造 (JIS B 8243-1981)”
日本規格協会
- A. 9 : “溶接ハンドブック” 鈴木春義著, 山海堂
- A. 10 : “発生用原子力設備に関する構造等の技術基準「昭和55年告示501号」”

A.10.5 原型モデルの概要

9 m落下試験に使用した原型モデルの概略図を(ロ)－第A.78図に示す。
また、MS－1型輸送物と原型モデルの比較を(ロ)－第A.26表に示す。



(ロ)－第A.78図 原型モデルの概略図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) - 第A.26表 MS-1型輸送物と原型モデルとの比較 (1/3)

区 分	項 目	MS-1型輸送物	原型モデル
寸 法 (単位 mm)	本 体		
	内 洞		
	外 径	216.3	216.3
	厚 さ	12.7/18.2	12.7/18.2
	外 洞		
	外 径	620	620
	厚 さ	15	15
	外 筒		
	外 径	720	720
	厚 さ	10	10
	上部フランジ		
	外 径	620	620
	厚 さ	50	50
	下部フランジ		
	外 径	620	620
	厚 さ	95	100
	シャッタフランジ		
	外 径	460	450
	厚 さ	30	60
	ガンマ線遮蔽体		
	鉛 厚 さ	180	180
	断 熱 材		
	厚 さ	40	40
蓋			
上 部 蓋			
外 径	620	620	
厚 さ	50	50	
下 部 蓋			
外 径	440	449	
厚 さ	50	50	

(ロ) - 第A.26表 MS-1型輸送物と原型モデルとの比較(2/3)

区 分	項 目	MS-1型輸送物	原型モデル
寸 法 (単位 mm)	<u>蓋</u>		
	シャッタ蓋		
	外 径	460	450
	厚 さ	50	50
	<u>緩衝体</u> (上部, 下部)		
	外径 (緩衝材)	1080	1080
	長さ (緩衝材)	986	986
材 質	<u>輸送容器</u>		
	全長 (緩衝体を除く)	2575	2677
	<u>本 体</u>		
	内 胴	ステンレス鋼	ステンレス鋼
	外 胴	ステンレス鋼	ステンレス鋼
	外 筒	ステンレス鋼	ステンレス鋼
	上部フランジ	ステンレス鋼	炭素鋼
	下部フランジ	ステンレス鋼	炭素鋼
	シャッタフランジ	ステンレス鋼	炭素鋼
	ガンマ線遮蔽材	鉛	鉛
	断熱材	キャストブル	キャストブル
	<u>蓋 類</u>		
	上部蓋	ステンレス鋼	炭素鋼
下部蓋	ステンレス鋼	炭素鋼	
シャッタ蓋	ステンレス鋼	炭素鋼	
<u>緩衝体</u>			
緩衝材	米杉及びバルサ	米杉及びバルサ	
緩衝体ケース	ステンレス鋼	炭素鋼	

(ロ)－第A.26表 MS-1型輸送物と原型モデルとの比較(3/3)

区 分	項 目	MS-1型輸送物	原型モデル
重 量 (単位 kg)	輸送容器	約 8763	約 8680
	上部緩衝体	約 400	約 490
	下部緩衝体	約 400	約 540
	合 計	約 9563	約 9710

(1) 落下方向

落下方向ごとに、次の3ケースについて実施した。

- (a) 垂直落下
- (b) 水平落下
- (c) コーナ落下

(2) 落下試験結果

9 m落下試験における落下姿勢及び落下試験後の変形及び最大加速度の試験結果の要約を(ロ)－第A.27表に示す。

(ロ)－第A.27表 9 m落下試験での計測結果

	垂直落下	水平落下	コーナ落下
最 大 加 速	200g(m/s ²)	150g(m/s ²)	51.5g(m/s ²)
緩衝体の変形量	49.8mm	85.5mm	236.4mm

A.10.6 原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器

実 証 試 験 (強 度 試 験)

結 果 報 告 書

目 次

	ページ
1. 概 要	(ロ)-A-218
2. 実証試験用輸送容器仕様	(ロ)-A-218
2.1 構造概要	(ロ)-A-218
2.2 主要諸元	(ロ)-A-218
3. 計測及び検査項目	(ロ)-A-219
3.1 落下試験Ⅰ(9m落下時)	(ロ)-A-219
3.2 落下試験Ⅱ(1m落下時)	(ロ)-A-220
4. 試験設備	(ロ)-A-222
5. 計測要領	(ロ)-A-226
5.1 落下試験Ⅰ	(ロ)-A-226
5.1.1 一般的な計測項目	(ロ)-A-226
5.1.2 動的計測項目	(ロ)-A-226
5.1.3 試験後計測及び検査項目	(ロ)-A-231
5.2 落下試験Ⅱ	(ロ)-A-234
5.2.1 一般的な計測項目	(ロ)-A-234
5.2.2 動的計測項目	(ロ)-A-234
5.2.3 試験後計測及び検査項目	(ロ)-A-237
6. 計測結果	(ロ)-A-238
6.1 落下試験Ⅰ	(ロ)-A-238
6.1.1 一般的な計測項目	(ロ)-A-238
6.1.2 動的計測項目	(ロ)-A-238
6.1.3 試験後計測及び検査項目	(ロ)-A-238

6.2 落下試験Ⅱ	(口)－A－241
6.2.1 一般的な計測項目	(口)－A－241
6.2.2 動的計測項目	(口)－A－241
6.2.3 試験後計測及び検査項目	(口)－A－241
7. 実験値と解析値との比較	(口)－A－242
7.1 落下試験Ⅰ	(口)－A－242
7.2 落下試験Ⅱ	(口)－A－242
8. むすび	(口)－A－244
付表1 一般的な計測項目の計測結果	(口)－A－249
付表2 動的計測項目の計測結果	(口)－A－250
添付資料A 強度試験による残留変形測定結果	(口)－A－251
添付資料B 気密漏洩試験結果	(口)－A－258
Appendix A 落下試験Ⅰの解析結果	(口)－A－266
Appendix B 落下試験Ⅱの解析結果	(口)－A－273

1. 概 要

本書は、原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器の特別の試験のうち強度試験（9 m落下試験及び1 m落下試験）に関し、原型モデルを使用して行った実証試験結果を取纏めたものである。

2. 実証試験用輸送容器仕様

2.1 構造概要

この輸送容器本体は、円筒形状をなし、本体（内部より、内胴、鉛、外胴、断熱材及び外筒）蓋、締付けボルト及びOリングより構成される。

内胴・外胴及び外筒は強度材料で、ステンレス鋼製である。ガンマ線遮蔽材は鉛を使用する。内胴と外胴の間には、断熱材を充填している。

また、輸送容器の両端には米杉及びバルサを収納した鋼板製の緩衝体が取付けられている。

2.2 主要諸元

(1) 内 胴：内 径	190.9mm
板 厚	12.7mm
(2) 外 胴：内 径	620mm
板 厚	15mm
(3) 外 筒：内 径	720mm
板 厚	10mm
(4) 全 長：緩衝体有り	3301mm
緩衝体無し	2677mm
(5) 重 量：本 体	8700kg
上部緩衝体	490kg
下部緩衝体	540kg
全 重 量	9730kg

3. 計測及び検査項目

本試験の計測及び検査項目は次の通りである。

3.1 落下試験 I (9 m 落下時)

3.1.1 一般的な計測項目

(1) 試験時の気象条件の測定

落下試験時の気候, 気温, 風向及び風速を計測する。

(2) 輸送容器の落下高さ測定

各落下試験で, 落下台上面より輸送容器最下端までの落下直前の高さを計測する。

(3) 輸送容器の落下重量の測定

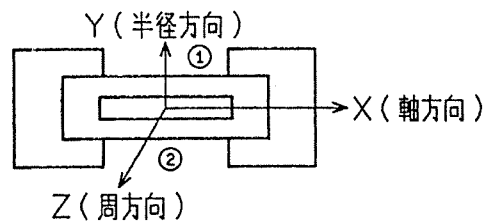
各落下姿勢での, 落下時の輸送容器の重量を測定する。

3.1.2 動的計測項目

(1) 輸送容器本体加速度

落下時輸送容器本体に生じる軸方向, 半径方向及び周方向の加速度を測定する。

(①, ②)

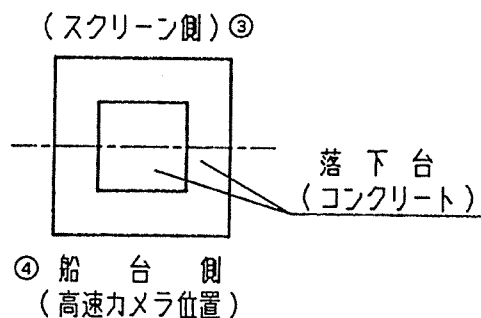


(2) 輸送容器本体歪

落下時輸送容器本体に生じる衝撃歪をストレインゲージにより計測する。同時に落下時の永久歪も計測する。(①, ②)

(3) 落下台 (コンクリート) 沈下量

落下量, 落下台の沈下量をインダクタンス式変異変換器により計測する。(③, ④)



(4) 通過マーカ

光電管を使用して2点間の落下時間を計測し輸送容器本体の落下速度を計測する。

(5) 高速度カメラ

緩衝体の衝撃変形挙動, 輸送容器本体の総体的な動的変形挙動及び輸送容器の反発挙動等を撮影する。

(6) ビデオカメラ

輸送容器本体の総体的な挙動を撮影する。

3.1.3 試験後計測及び検査項目

(1) 残留変形測定

緩衝体の変形量を金尺等により測定する。

(2) 機密漏洩試験

各落下姿勢による落下後, 加圧漏洩法により機密漏洩試験を実施する。

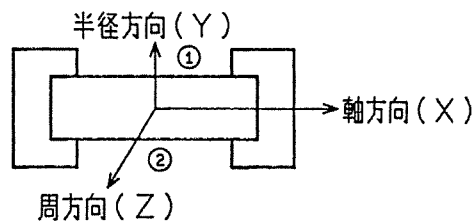
3.2 落下試験Ⅱ (1 m落下時)

3.2.1 一般的な計測項目

- (1) 試験時の気象条件の測定
- (2) 輸送容器の落下高さ測定
- (3) 輸送容器の落下重量の測定

3.2.2 動的計測項目

- (1) 輸送容器本体加速度 (X, Y, Z方向, ①, ②)
- (2) 輸送容器本体歪 (X, Z方向, ①, ②)



(3) 落下台（コンクリート）沈下量

(4) 高速度カメラ

(5) ビデオカメラ

(6) 貫通試験用軟鋼棒の歪

輸送容器と貫通治具の衝突により軟鋼棒に生じる衝撃の歪を計測する。

(7) 下部蓋の歪（垂直落下のみ）

貫通治具と下部蓋の衝突により下部蓋に生じる衝撃の歪を計測する。

3.2.3 試験後計測及び検査項目

(1) 残留変形測定

本体に生ずる残留変形を測定する。

(2) 気密漏洩試験

4. 試験設備

本試験に使用する試験設備の全体図を写真1に示す。

以下各設備の概要を記載する。

4.1 架台

この架台は、 $W 3.5 \text{ m} \times L 5 \text{ m} \times H 24.5 \text{ m}$ (重量約60 ton)のタワーに橋渡しする。

吊下げ用ビームを写真1に示す。

このタワーは、切り離し時の衝撃による転倒防止等を考慮し、ワイヤによる固縛を行っている。写真1及び2は架台の配置状況を示す。

なお、輸送容器の本体の吊上げは、100 ton ジブクレーンを使用し、所定の高さまで吊上げた後、この架台に取付けピン及びアイプレートにより固定した。



写真1 強度試験設備全体



写真2 強度試験設備落下台まわり

4.2 落下台

この試験に使用した落下台は、1個約100tonの仮設コンクリートブロック5個を配置し、その上に厚板50mm鋼板を設置した。

これらのコンクリートブロック等の積重ねに先立ち路盤の整地を20tonタイヤローラにより行った。(N値が約15.5となった)その後コンクリートブロック及び鋼板を据付けたが地盤及びコンクリートブロック、コンクリートブロック間及びコンクリートブロックと鋼板の密着性を高めるため、約厚さ100mmのコンクリート工事を行い、半乾きの状態でそれぞれを据付けた。

上部仮設コンクリートブロックのまわりには、輸送容器転倒防止用に鋼製台枠を設置した。(写真3参照)

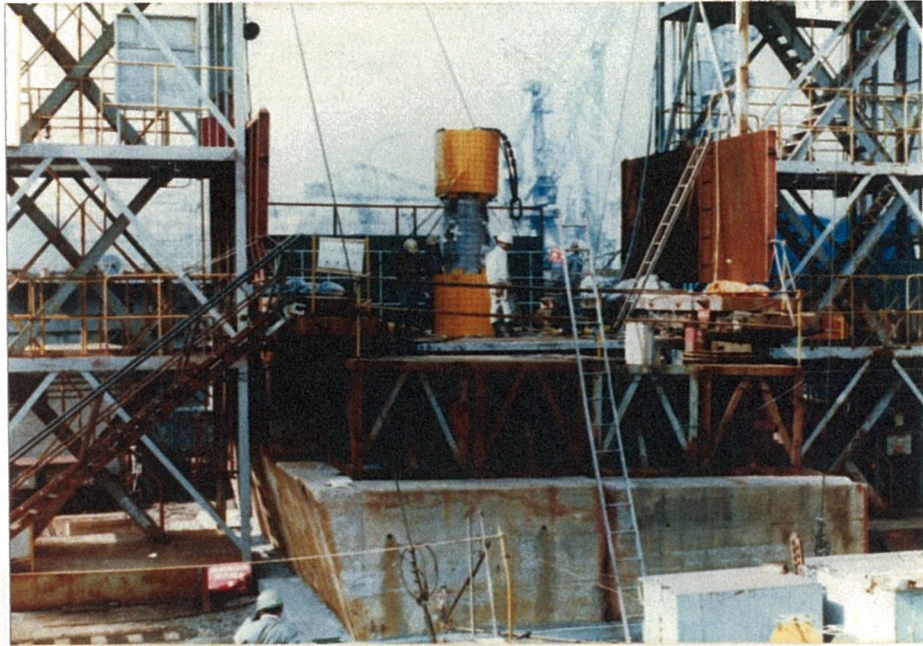


写真3 強度試験用落下台

4.3 切り離し装置

本試験に使用した切り離し装置はペリカンフック構造を有するもので、手動によりレバーを操作する。このレバーを引上げることにより輸送容器を支持する。ワイヤがペリカンフックから滑り落ち、切り離しを行われる。

切り離し装置の使用状況を写真4に示す。



写真4 切り離し装置使用状況

4.4 貫通試験治具

落下試験Ⅱに使用する貫通試験治具を写真5に示す。この治具は「放射性物質等の輸送に関する安全基準」に要求される構造を満足している。

なお、この治具は落下台中央に溶接により取付けられた。



写真5 貫通試験治具

5. 計測要領

5.1 落下試験 I

5.1.1 一般的な計測項目

(1) 試験時の気象条件の測定

落下試験時の気象条件として、気候、気温、風向及び風力を測定した。気温は、アルコール式温度計で、風速は、熱線風速計により測定した。風向は風速計の値が最大を示す向きを風向とした。

(2) 輸送容器の落下高さ測定

輸送容器の落下高さ測定は、架台間に通した糸を用いた。すなわち落下台面より 9 m の高さにマーキングされた基準線より輸送容器の最下端の長さをこの糸により測定し輸送容器の全高とした。なお、この高さについては、通過マーカ及び高速度カメラによる落下直前の速度により確認した。

(3) 輸送容器の落下重量の測定

輸送容器の落下重量は前もって各部品の重量を測定し、組合せ状態によりそれらの部品重量を合計し、輸送容器の落下重量とした。

5.1.2 動的計測項目

(1) 輸送容器本体加速度計測

(a) 輸送容器本体加速度計測

輸送容器本体にあらかじめ取付けた□20 mm の鋼材ネジ (M3) を取付けピエゾ型の加速度計をネジ止めにした。また、対称の位置に比較の意味で抵抗線歪型の加速度計 (以降歪型加速度計と呼ぶ) を取付けた。

ピエゾ型の加速度計は、計器室まで (約 25 mm)、同軸ケーブルで延長し直流増幅器 (DC アンプ) を通してデータレコーダに記録した。

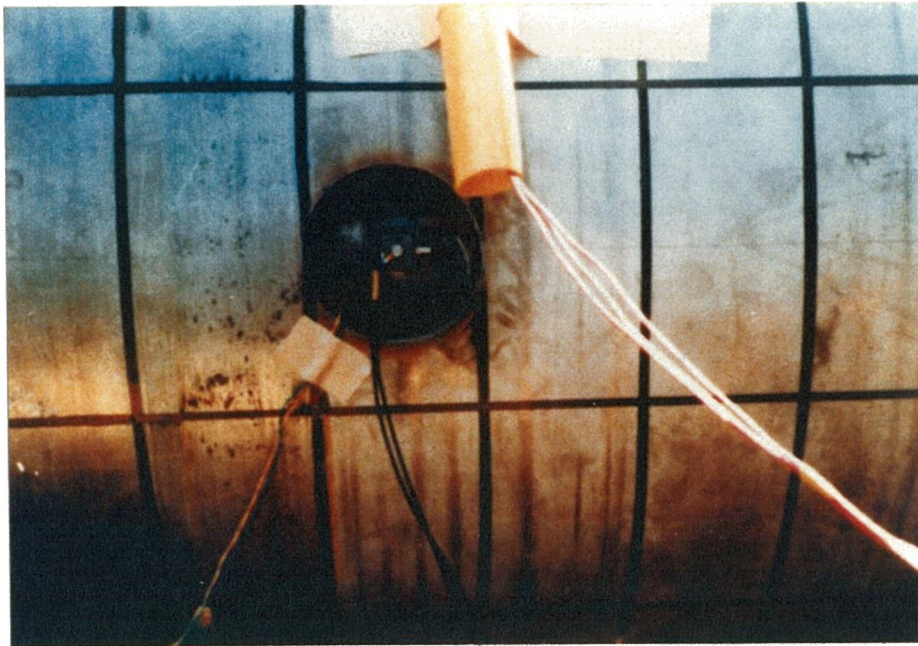
加速度計取付状況を写真 6 に示す。

(b) 輸送容器本体歪計測

輸送容器本体の加速度計取付箇所の近くに 2 方向ストレインゲージ (軸方向、周方向) を貼付けし落下時、輸送容器本体に生じる歪を計測した。

計測は、アクティブダミー法*で結線し、動歪計を通してデータレコーダに記録した。

歪ゲージ貼付状況を写真 6 に示す。



* : アクティブダミー法

R₁ : 輸送容器本体に貼付したストレインゲージ

R₂ : 負荷のかからないダミープレートに貼付したストレインゲージ

写真6 加速度計及びストレインゲージ取付状況

(c) 落下台沈下量計測

下部コンクリート2箇所にインダクタンス式変位変換器(Lゲージ)を取付け、キャスク落下時のコンクリートの沈下量を計測した。

Lゲージは動歪計を通してデータレコーダに記録した。

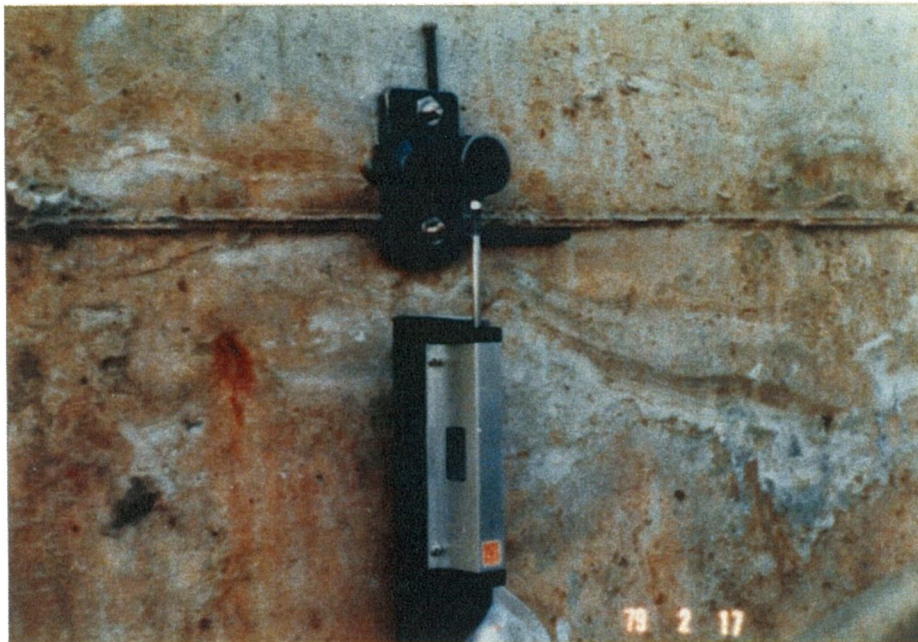
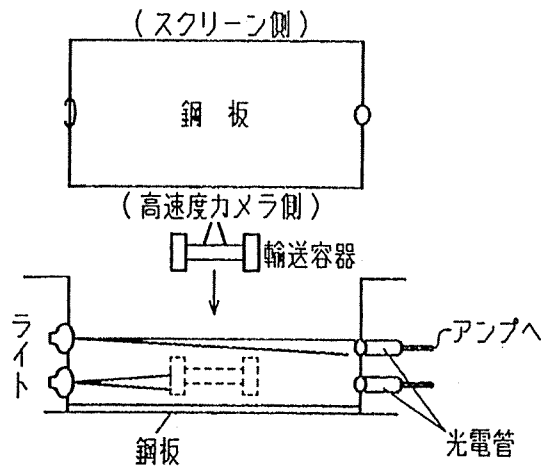


写真7 Lゲージ取付状況

(d) 通過マーカ

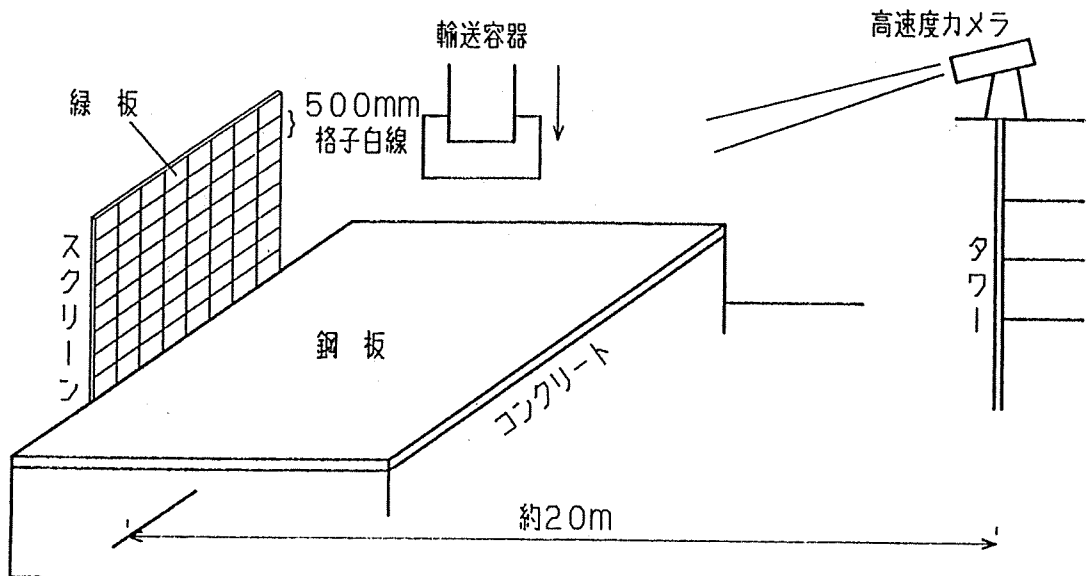
輸送容器落下時の落下速度を計測するため下に示すごとく光電管を2箇所に取り付け、対面より、ライトで反射させ、輸送容器が落下したときに光源をしゃ断し、その信号を専用アンプを通してデータレコーダに記録した。



(e) 高速度カメラ撮影

輸送容器落下時、緩衝体の衝撃挙動、輸送容器本体の総体的な緩衝変形挙動、輸送容器の反発挙動等を1秒間1100コマで撮影した。

下図に示すように高速度カメラ輸送容器落下地点より約20m離れた位置にセットし対面は500mm格子の寸法線を入れたスクリーンを設置した。



(f) ビデオカメラ撮影

輸送容器落下試験の試験状況及び輸送容器落下の様子と衝突時の挙動を連続撮影した。

(2) 計測システム

(a) 計測ブロック線図

落下試験Ⅰでは、5.1.2項目についてそれぞれ計測したが、全計測項目ともデータレコーダに記録し、モニタ用として電磁オシログラフにも記録した。データレコーダは、最大送りスピード76.2cm/secに設置し、落下10秒前よりスタートした。試験後は、データレコーダの送りスピードを1/8に落とし9.5cm/secで再生してデータを整理した。

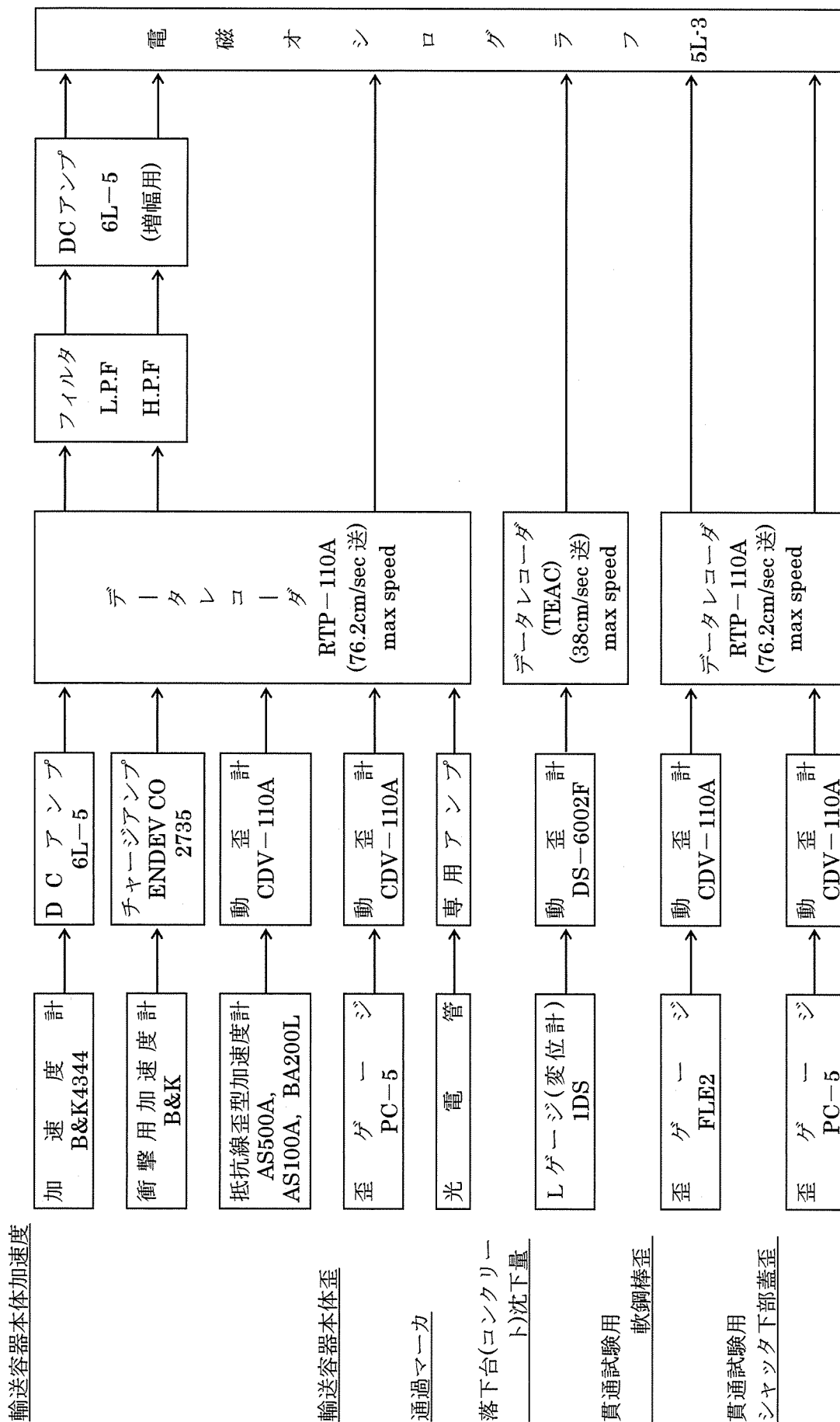
なお、計測ブロック線図は、図-1に示す。

(b) 計器類の諸特性

落下試験Ⅰ及びⅡに使用した計器類の諸特性を表-1に示す。

表-1 計器類の諸特性

品名	型名	特性	メーカー
加速度計	B&K4344	最大14000G 260°C耐熱, 応答周波数DC~20kHz	Bruel & Kjaer
加速度計	B&K 衝撃用	最大±100000G 120°C耐熱, 応答周波数DC~60kHz	Bruel & Kjaer
加速度計	AS500A	容量500G 応答周波数0~3kHz, 抵抗線歪型	共和電業
加速度計	AS1000A	容量1000G 応答周波数0~5kHz, 抵抗線歪型	共和電業
加速度計	BA200L	容量±200G 応答周波数0~450kHz, 抵抗線歪型	新興通信
ストレインゲージ	PC-5	ベース, ポリエステル 80°C耐熱	東京測器
ストレインゲージ	FLE-2	ベース, エポキシ 80°C耐熱	東京測器
接着剤	アロンアルファ	シアノアクリレート系 80°C耐熱	東亜化学
接着剤	NP-50	ポリエステル系 300°C耐熱 (2液常温硬化)	東京測器
直流増幅器	6L-5	応答周波数DC~20kHz(出力2V ^{P-P} 時)	三栄測器
動歪計	CDV-110A	応答周波数0~10kHz (6ch)	共和電業
動歪計	DS-6002F	応答周波数0~2kHz (6ch)	新興通信
Lゲージ	1DS	インダクタンズ式変位変換器, ストローク±20mm	新興通信
電磁オシログラフ	5L-3	P-1000ガルバー使用 (応答周波数DC~650Hz)	三栄測器
フィルタ	LF-6C	L・P・F, H・P・F, B・P・F 4ch 常時使用可	共和電業
データレコーダ	RTP-110A	最大テープ送りスピード 76.2cm/sec 応答周波数10kHz(14ch)	共和電業
データレコーダ	R-210	最大テープ送りスピード 38.1cm/sec 応答周波数5kHz(4ch)	TEAC
チャージアンプ	2735	応答周波数DC~20kHz (出力10V ^{P-P} 時)	ENDEV CO



図一1 計測ブロック線図

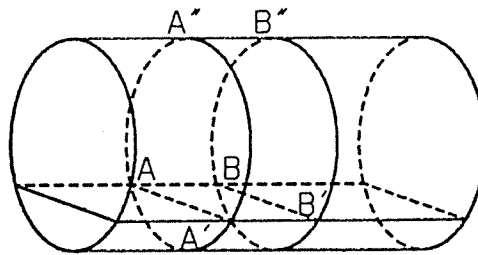
5.1.3 試験後計測及び検査項目

(1) 残留変形

輸送容器の落下試験 I による緩衝体に生ずる残留変形を次の要領で測定した。

(a) 水平落下

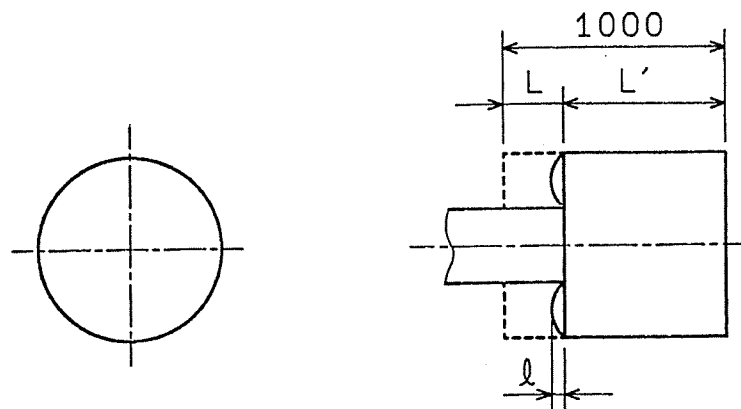
下図に示すような緩衝体不変形部の弧の寸法 ($AA'' A'$, $BB'' B'$, ...) 及び接地部の寸法 (AA' , BB' , ...) を, 最小目盛 1 mm の金尺により測定した。



(b) 垂直落下

緩衝体各位置 (等角度で 3 4 箇所) の落下後の緩衝体の全長 L' , 輸送容器本体へのくい込み量 l を, 最小目盛 1 mm の金尺で測定した。

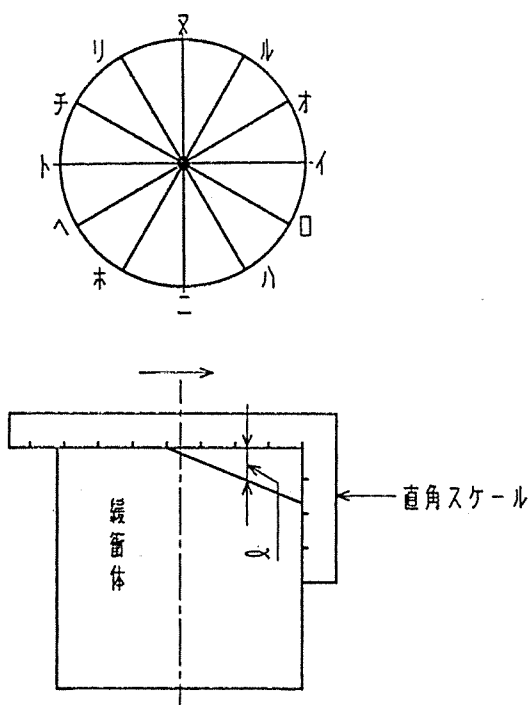
緩衝体の元の全長 (1000 mm) より落下後の緩衝体の全長 L' を引くことによつて, 緩衝体変形量 L を求めた。



(c) コーナ落下

下図のように、緩衝体の円周上各断面（イート、ローチ、…、へーオ）ごとに直角スケールをあて、矢印方向に160mmピッチで軸方向のへこみ量を測定した。

また、緩衝体内部の木材の押しつけによる鉄板のふくらみ量を、最小目盛1mmの金尺で測定した。



(2) 気密漏洩試験

各落下姿勢による落下試験後加圧漏洩法により、気密漏洩試験を実施した。実施要領は次の通りである。

(a) 漏洩試験方法 : 加圧漏洩法 (空気)

(b) 初期設定圧力 : 7.35 N/mm²G

(c) 保持時間 : 2 時間

(d) 測定項目 : 容器内圧力

容器内温度 (= 容器外壁温度)

(e) 漏洩量 : 漏洩量の算式は次による。

$$L = \frac{V \times T_s}{3600H} \left[\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right]$$

V … 容器内容積 (cm³)
T_s … 298°K
P₁ … 初期圧力 (atm)
P₂ … H時間後の圧力 (atm)
T₁ … 初期温度 (°K)
T₂ … H時間後の温度 (°K)
H … 保持時間 (h)
L … 漏洩量 (atm・cm³/sec)

なお、測定状況は、写真8に示す。

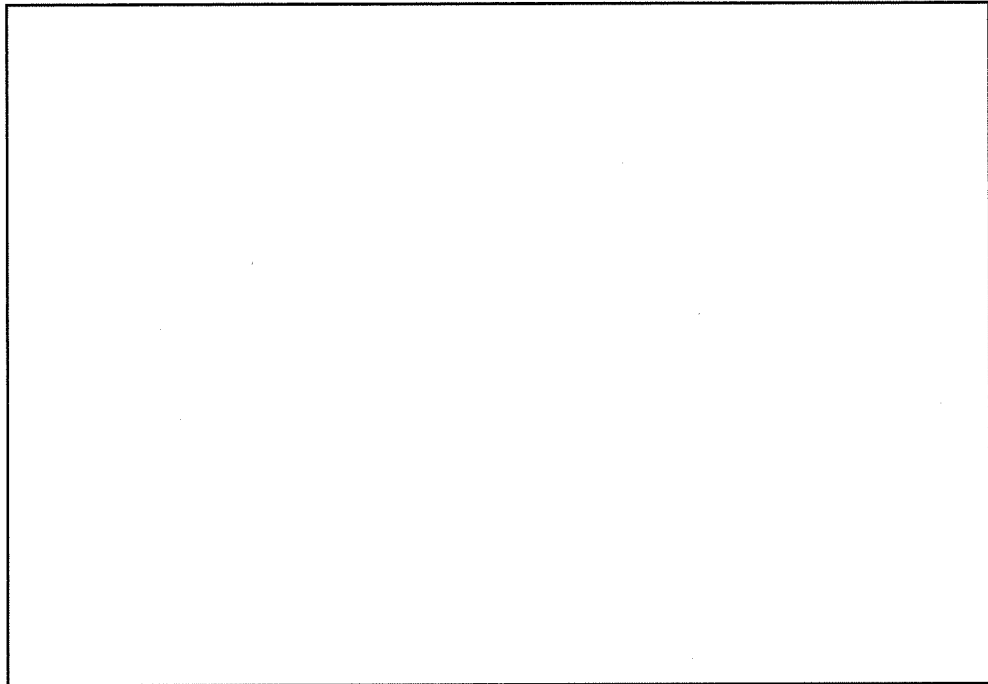


写真8 気密漏洩試験実施状況（垂直落下後）

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

5.2 落下試験Ⅱ

一般的な計測及び動的計測項目のうち1部は、落下試験Ⅰと同様であるため、ここでは、相違項目のみ記載する。

5.2.1 一般的な計測項目

(1) 輸送容器の落下高さ測定

輸送容器の落下高さは、下げ振りにより輸送容器と貫通治具のセンタリング後、巻き尺を使用して貫通治具上面より、輸送容器最下端までの高さを測定した。測定状況を写真9に示す。

写真9
落下試験Ⅱ
輸送容器落下高さ測定状況
(垂直落下)



5.2.2 動的計測項目

輸送容器本体加速度、輸送容器本体歪、落下台（コンクリート）沈下量、高速度カメラ撮影及びビデオカメラ撮影は、落下試験Ⅰと同様であるので省略する。

(1) 貫通治具軟鋼棒の歪計測

直径 ϕ 150mm、高さ200mmの軟鋼棒側面に1方向ストレインゲージを写真10に示すように、2箇所貼付し、輸送容器落下時に生じた衝撃歪をアクティブダミー法にて結線した動歪計を通してデータに記録した。ストレインゲージ貼付位置を図-2に示す。

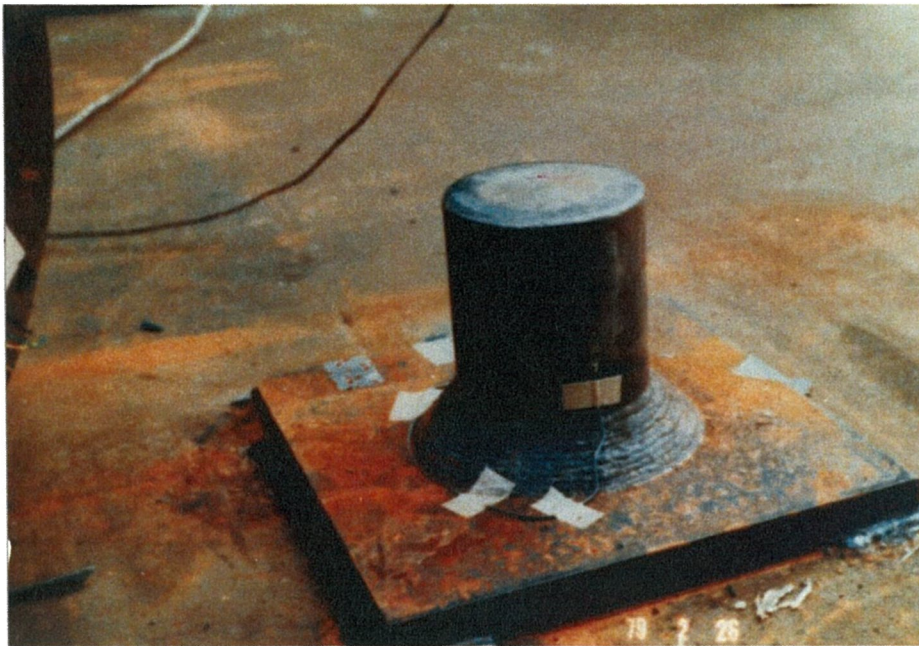


写真 10
ストレインゲージ
貼付状況

(2) 下部蓋歪計測

垂直落下試験のみ下部蓋に2方向ストレインゲージ（半径方向，周方向）を写真11に示すように2枚貼付し，輸送容器落下時，貫通治具と下部蓋が，衝撃したときに生じる衝撃力をアクティブダミー法にて結線した動歪計を通してデータレコーダに記録した。

ストレインゲージ貼付位置を図-2に示す。

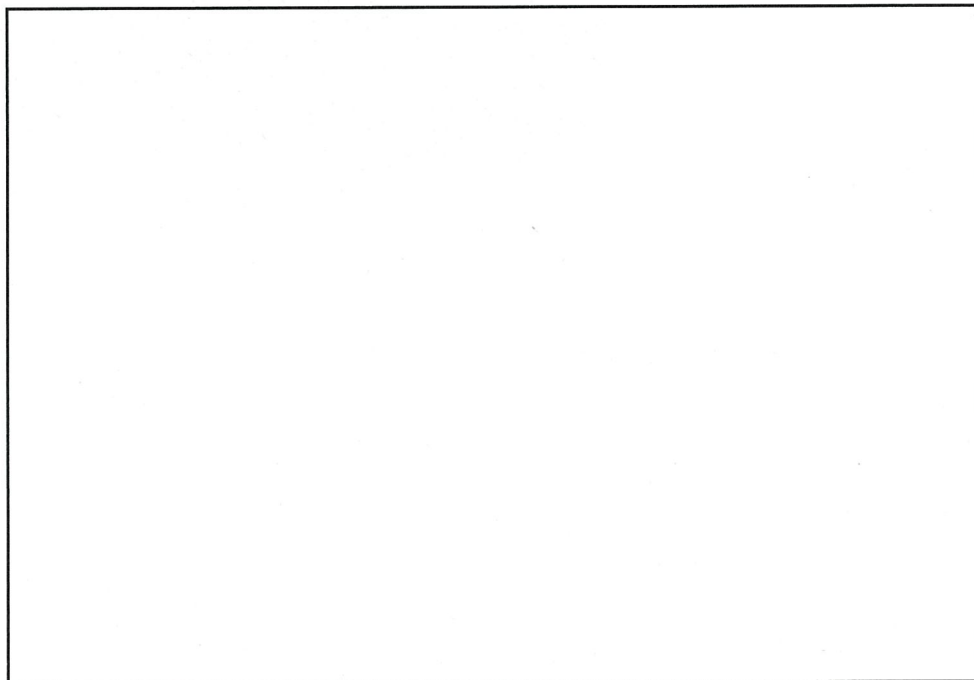
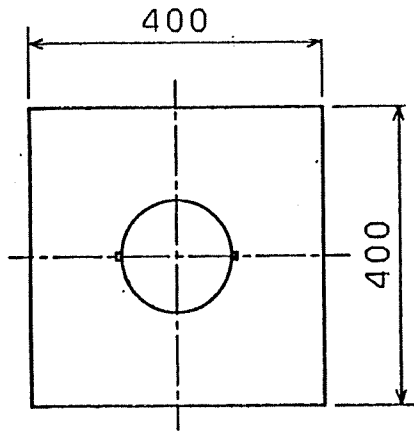
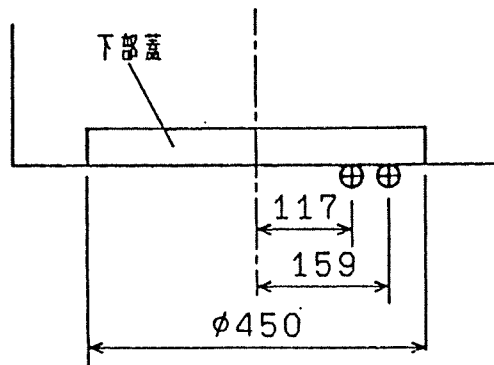
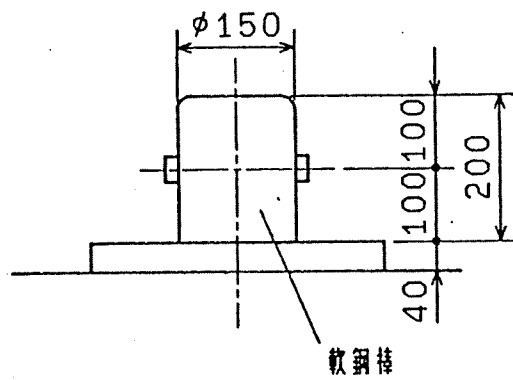


写真 11 ストレインゲージ貼付状況

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



□; 1方向歪ゲージ



⊕; 2方向歪ゲージ

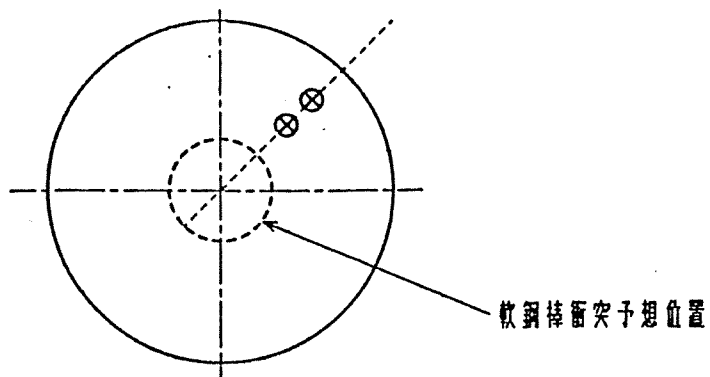


図-2 貫通治具下部蓋ストレインゲージ貼付位置

5.2.3 試験後計測及び検査項目

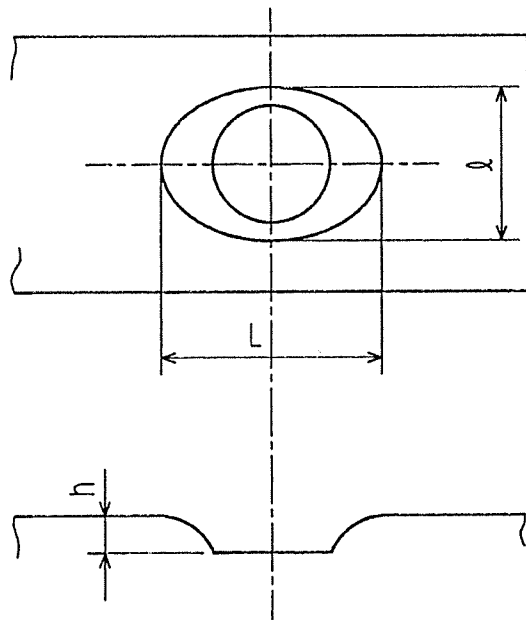
気密漏洩試験は、落下試験 I と同様であるので省略する。

(1) 残留変形測定

落下試験 II により輸送容器本体に生ずる残留変形は次の要領にて測定した。

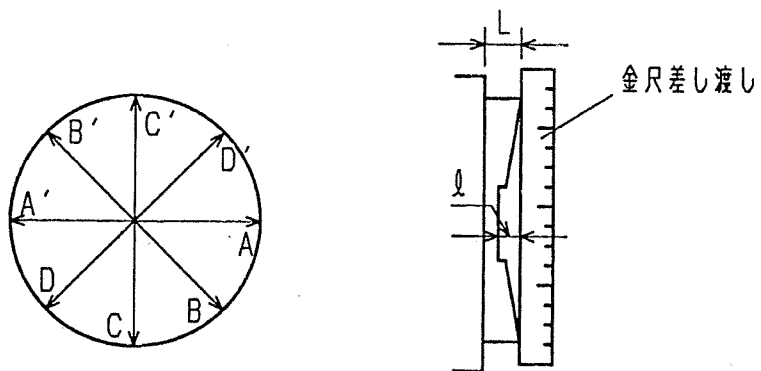
(a) 水平落下

変形寸法 l 、 L 、 h を最小目盛 1 mm の寸法で金尺で寸法測定及びキサンドブレン（東洋理化）で型どりした後、それをスライスして変形分布がわかる程度に金尺で測定した。



(b) 垂直落下

輸送容器下部蓋各断面（A-A'、B-B' …）ごとに蓋の輸送容器に対する露出寸法（ L ）及び同蓋の中心部の変形の寸法（ l ）を最小目盛 1 mm の金尺で測定した。



6. 計測結果

6.1 落下試験 I

6.1.1 一般的な計測項目

一般的な計測項目の計測結果を付表 1 に示す。各落下姿勢の吊上げ状況を写真 12～写真 16 に示す。

6.1.2 動的計測項目

動的計測項目の計測結果を付表 2 に示す。

6.1.3 試験後計測及び検査項目

(1) 残留変形測定

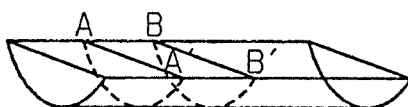
落下試験 I 後の緩衝体の残留変形の計測結果を添付資料 A に示す。またこれらの結果より、緩衝体の接地面積と変形量を求めると次の通りとなる。なお 2 回目の水平落下については、緩衝体の基準形状が 1 回目の水平落下により変形しているため、残留変形の測定は省略した。

(a) 水平落下

水平落下により緩衝体に生じた残留変形の計測結果を添付資料 A-I-1 及び A-I-2 図に示す。(写真 17 参照)

(i) 接地面積

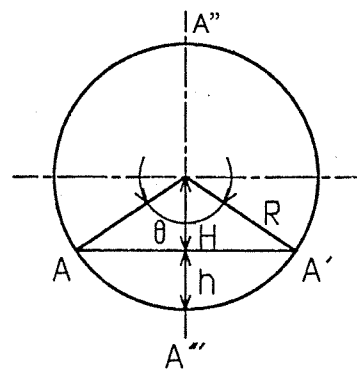
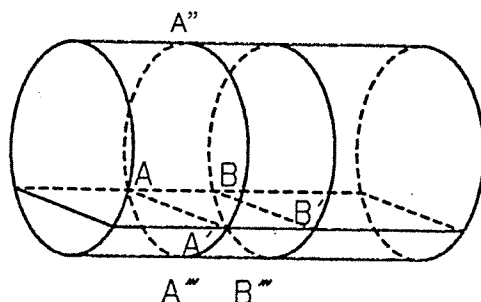
接地面積の長さ AA' 、 BB' を上辺、下辺、 AB を各断面 (AA' B' B) における台形面積 S_{Δ} を求め、次いでこれらの各台形面積 S_{Δ} をたしあわせた総面積 S_{all} を求め、これを接地面積とした。



$$S_{all} = \begin{cases} 6367\text{cm}^2 \\ 5771\text{cm}^2 \end{cases}$$

(ii) 変形量 = (弧の長さ)

緩衝体の水平落下による変形は次の要領で求めた。



変形した弧AA''A'に対する角度 θ は、実験前の緩衝体の全周長が3410mmであり、変形しない部分の周長をAA''A'とすると、次の式により与えられる。

$$\theta = 2\pi \times \frac{3410 - AA''A'}{3410} \quad (\text{rad})$$

θ がわかり、緩衝体の半径 $R = (542.7\text{mm})$ がわかれば弧の高さ h は次の式で与えられる。

$$h = R \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

結果をA-I-1及びA-I-2図に示す。

(b) 垂直落下

垂直落下により緩衝体に生じた残留変形の計測結果を添付資料A-I-3図に示す。(写真18参照)

(i) 接地面積

接地面積は、緩衝体が地面に接する面積 S であるから次式で示される。

$$S = \pi R^2 = \pi \times 540^2 = 9.161 \times 10^5 \text{mm}^2$$

(ii) 変形量

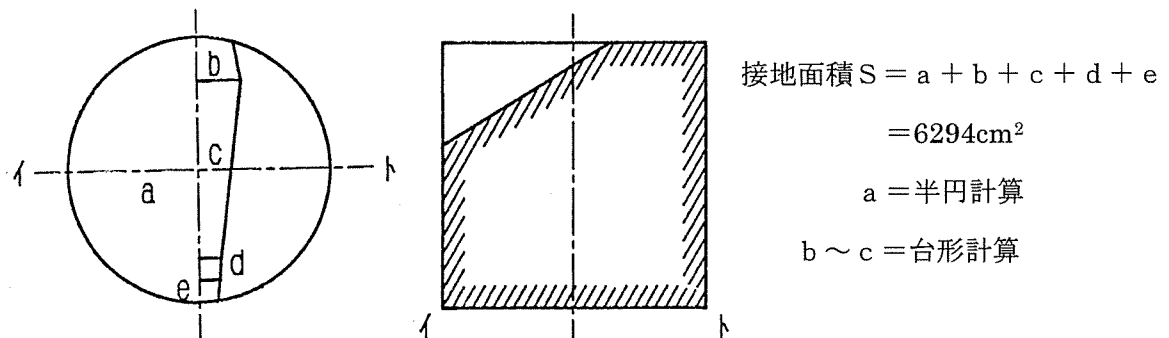
緩衝体の垂直落下の変形量は直接測定しその結果をA-I-3図に示す。

(c) コーナ落下

コーナ落下により緩衝体に生じる残留変形の計測結果を添付資料A-I-4図に示す。(写真19参照)

(i) 接地面積

下図に示すように、接地面を小領域に細分して、各領域の面積を求め、それらを合わせて接地面積を求めた。



(ii) 変形量

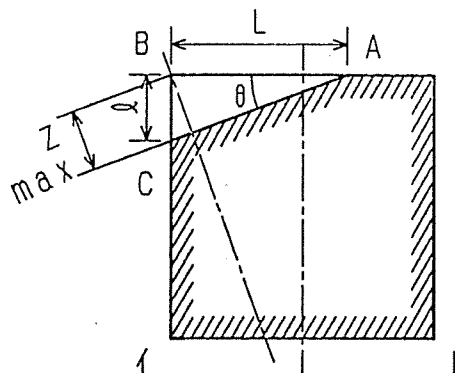
コーナ落下の緩衝体の変形は、トーチ断面において最大変形を示す。したがって、この断面における最大変形量を次の要領で求めた。

△BACは次式により与えられる。

$$\theta = \arctan \frac{\ell}{L}$$

それ故、最大変形量

$$\begin{aligned} Z_{\max} &= L \sin \theta \\ &= 236.4 \text{ mm となる。} \end{aligned}$$



(d) ま と め

落下試験 I の計測値を表-2に示す。

表-2 緩衝体の残留変形

落下姿勢		接地面積 (cm ²)	変形量 (mm)
水平落下1	上部緩衝体	6367	* 93.9
	下部緩衝体	5771	* 77.1
垂直落下		9161	* 49.8
コーナ落下		6294	** 236.4

* 計測値の平均変形量を示す。

** (イート) 断面の最大変形量を示す。

(2) 気密漏洩試験

落下試験後の気密漏洩試験の結果は、添付資料B-I-1~B-I-4に示す。

この結果より落下試験 I により、この輸送容器には漏洩は生じていない。

6.2 落下試験Ⅱ

6.2.1 一般的な計測項目

一般的な計測項目結果を付表1に示す。各落下姿勢による吊上げ状況を写真20～写真21に示す。

6.2.2 動的計測項目

落下試験Ⅱの動的計測項目の結果の一覧を付表2に示す。

6.2.3 試験後計測及び検査項目

(1) 残留変形測定

落下試験Ⅱにより、本体に生じた残留変形（貫通は生じない）の計測結果を添付資料AのA-II-1図及びA-II-2図に示す。

(a) 水平落下（写真22参照）

最大変形量は断面A-A'によって示される19mmである。

他の断面（C-C'，D-D'，B-B'）は、本体の形状から基準線が設けられず、参考値として付記した。

(b) 垂直落下（写真23参照）

蓋に貫通は生じないが、大変形を生じ、局部変形量として、最大13mmの陥没が生じた。（A-II-2図）

(2) 気密漏洩試験

各落下試験後に行った気密漏洩試験結果を添付資料2のB-II-1及びB-II-2に示す。

この結果より落下試験Ⅱにより、この輸送容器には漏洩は生じない。

7. 実験値と解析値の比較

7.1 落下試験 I

落下試験 I の実験値と、Volumetric Displacement 法による解析値 (Appendix A 参照) との比較を表-3 に示す。

表-3 実験値と解析値

		水平落下	垂直落下	コーナ落下	備考
輸送容器 の加速度	実験値	150 g	200 g	51.5 g **	
	解析値	208 g	225.5 g	138.6 g	
緩衝体 の変形量	実験値	85.5mm*	49.8mm	236.4mm	
	解析値	101mm	50.0mm	193mm	

* 上部緩衝体の変形量と下部緩衝体の変形量の平均値を示す。

** 軸方向加速度は $49 \text{ g (m/S}^2\text{)}$ であり, 落下方向に対しては,

$$a_{\text{max}} = 49 \text{ g (m/S}^2\text{)} / \cos 0.314 = 5.05 \times 10^2 \text{ m/S}^2$$

表3より, Volumetric Displacement 法による解析法は実験値に比し, 十分な安全側の評価を行っている (ただし, コーナ落下に対しては Volumetric Displacement 法の結果は変形において, 約 20% の危険側の評価を行っているので, 設計時には, この割合だけ余裕をみる必要がある。)

それ故, この手法で設計された輸送容器は落下試験 I に対しては十分な強度を有していることになる。

7.2 落下試験 II

落下試験 II の実験値と解析値の比較は次の 2 点に関して行う。

(1) 貫通の有無

落下時の輸送容器のもっている運動エネルギーと軟鋼棒と衝突部の輸送容器の持っている限界貫通エネルギーとの比較を表-4 に示す。

表-4 貫通実験値での判定

単位：N・mm

	運動エネルギー*	貫通限界エネルギー	判 定	備 考
水平落下	1.03×10^8	1.17×10^8	貫通せず	
垂直落下	9.30×10^7	7.52×10^8	貫通せず	

* : $E = WH g$

表-4より, この輸送容器には, 落下試験Ⅱでは貫通は生じないことが示されたが, 実証試験においても貫通は生じていない。

(2) 輸送容器に生ずる加速度

輸送容器に生ずる加速度の実験値と解析値の比較を表-5に示す。

表-5 輸送容器に生ずる加速度

	実 験 値	解 析 値	備 考
水 平 落 下	47 g	73.6 g	
垂 直 落 下	79.5 g **	78 g	

** : 測定値の平均値を示す。

表-5より, 輸送容器に生ずる加速度の解析値は, 実験値と良く一致している。

8. む す び

原型モデルによる強度試験（落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱ）により，この輸送容器は告示で要求される構造，強度を有していることが実証された。

各計測結果と解析値との比較により，この輸送容器の設計時に使用された解析手法の妥当性が確認された。

以 上



写真 12
落下試験 I
水平落下
(1回目)

写真 13
落下試験 I
水平落下

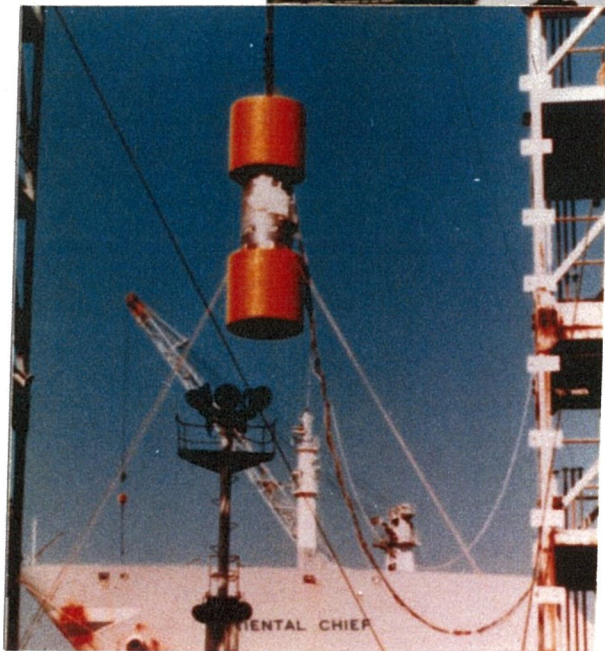
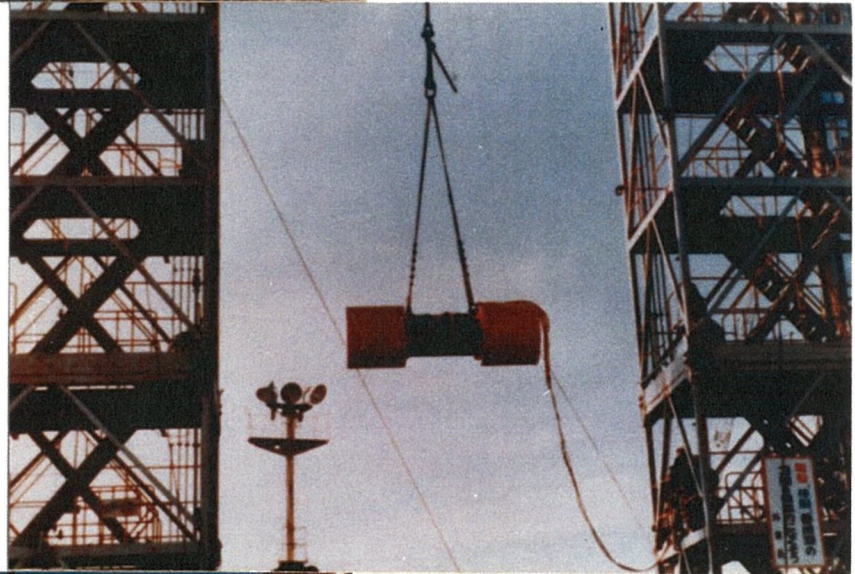


写真 14
落下試験 I
垂直落下

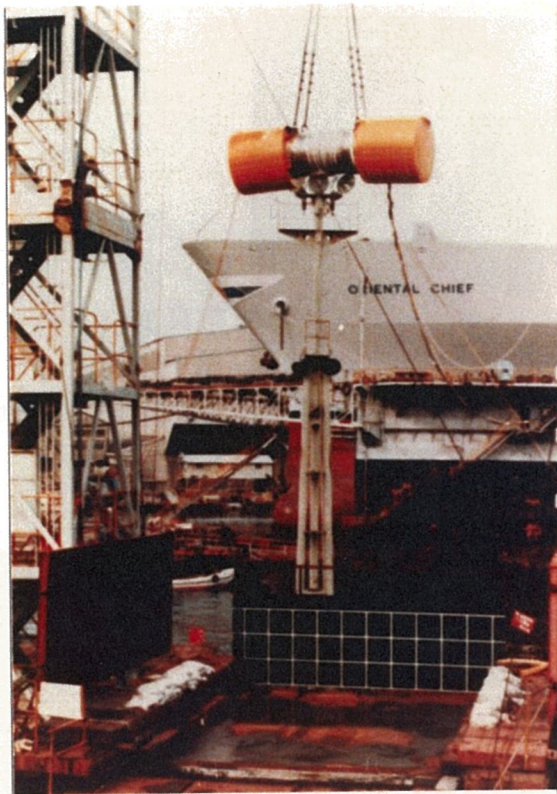


写真 15
落下試験 I
コーナ落下

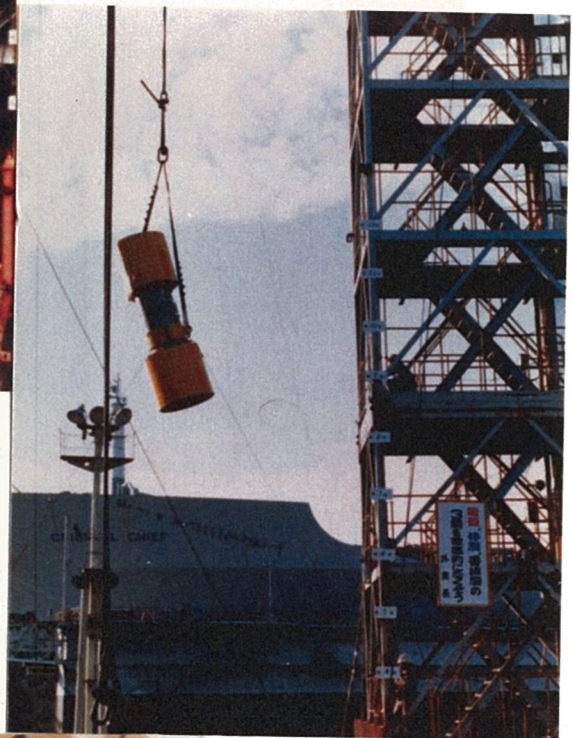


写真 16
落下試験 I
水平落下
(2回目)

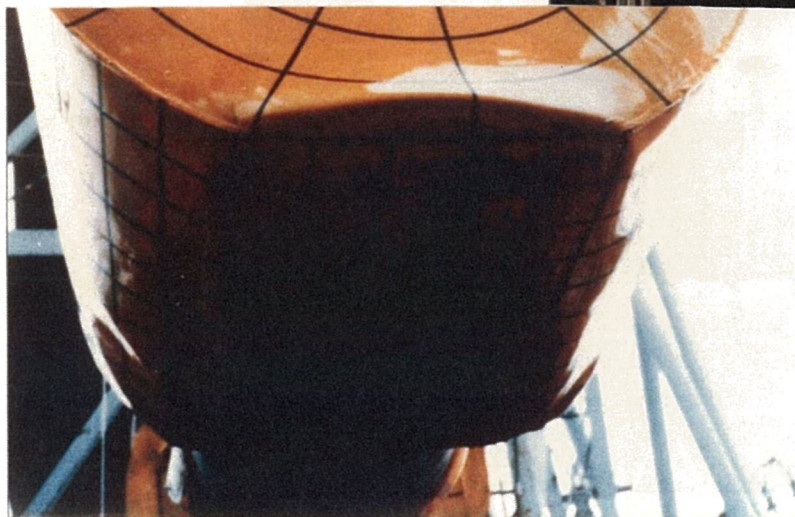


写真 17
落下試験 I
水平落下後の緩衝体
の残留変形状況

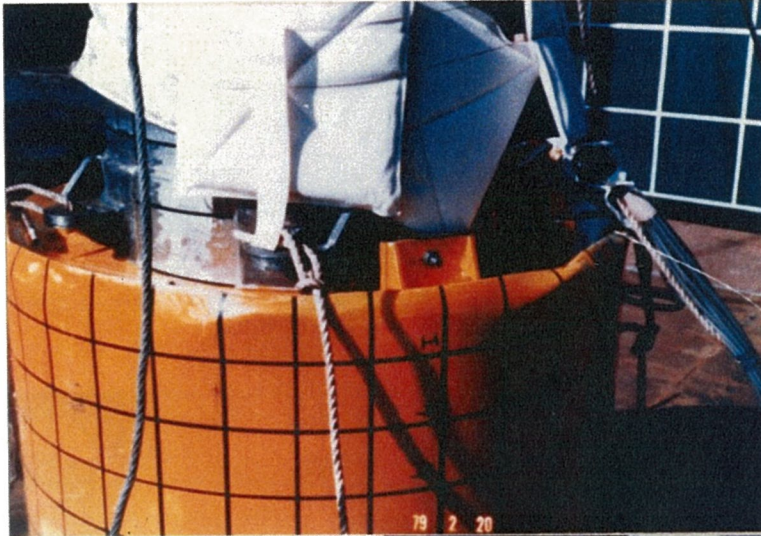


写真 18
落下試験 I
垂直落下後の緩衝体
の残留変形状況

写真 19
落下試験 I
コーナ落下後の緩衝体
の残留変形状況

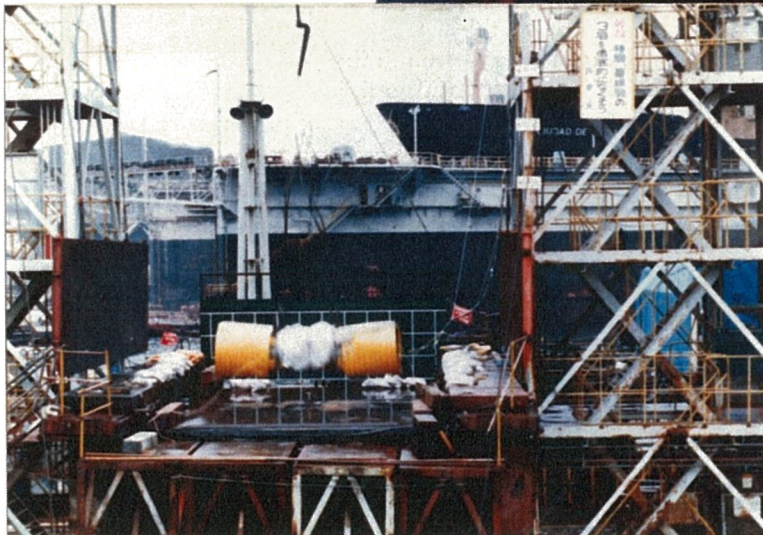
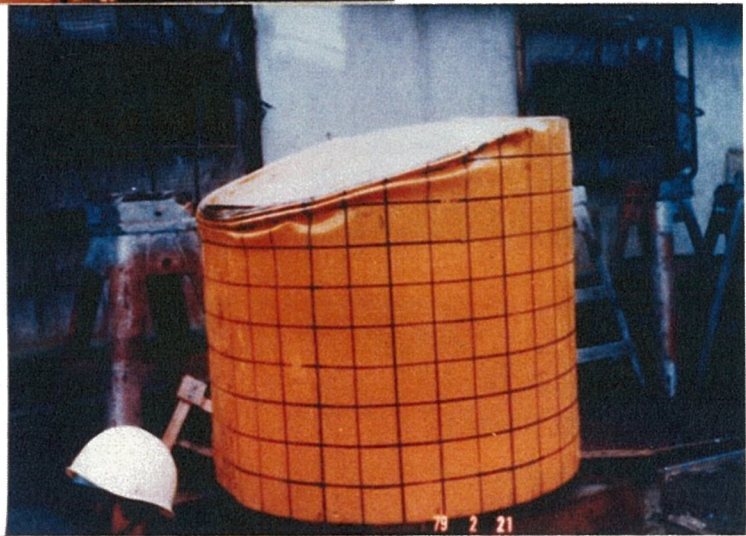


写真 20
落下試験 II
水平落下



写真 21
落下試験Ⅱ
垂直落下



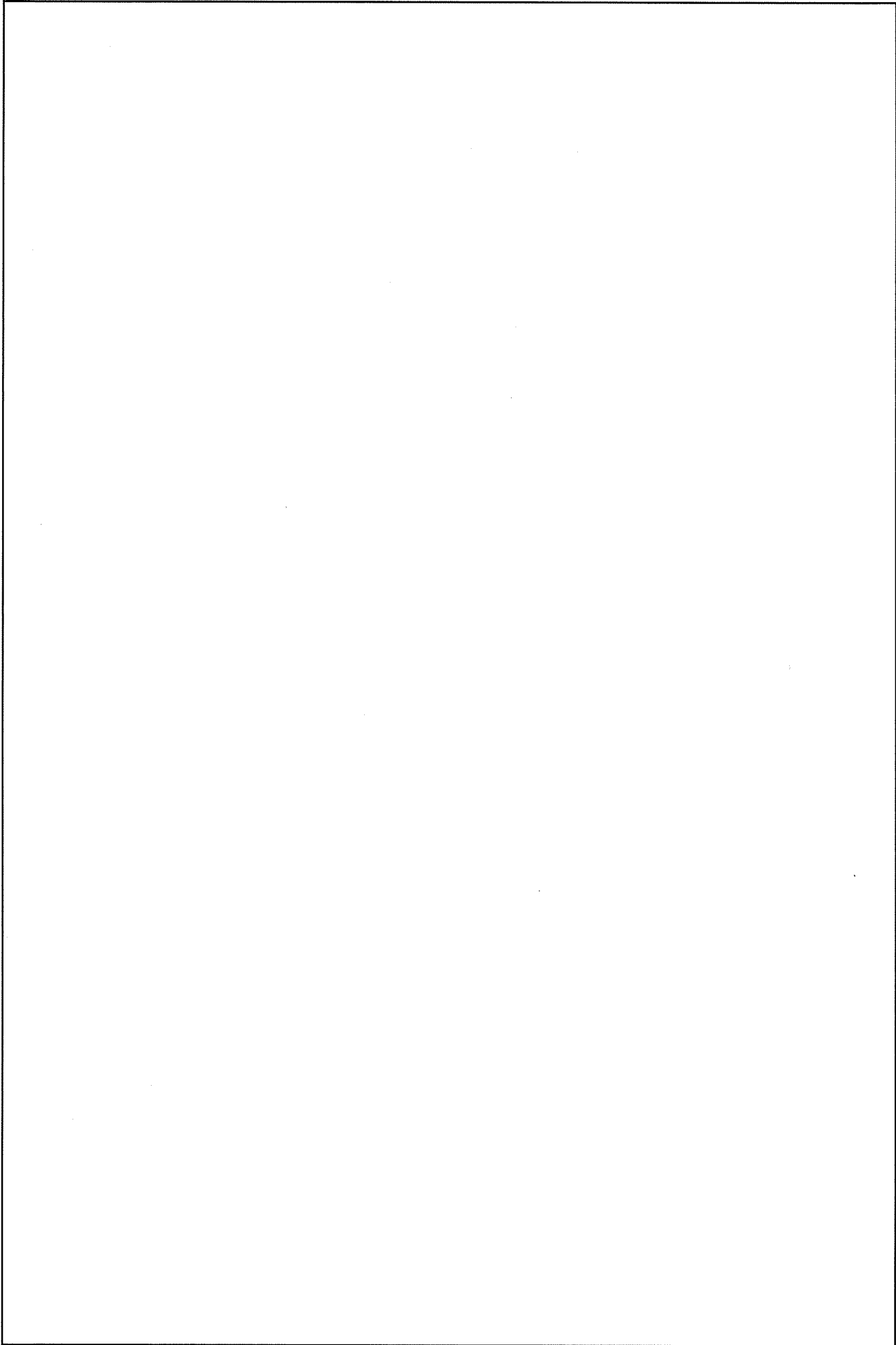
写真 22
落下試験Ⅱ
水平落下後の本体
の残留変形状況



写真 23
落下試験Ⅱ
垂直落下後の下部
蓋の残留変形状況

付表一 一般的な計測項目の計測結果

試験項目	落下試験 I (9 m 落下時)				落下試験 I (1 m 落下時)				備考
	試験日	54年2月17日	54年2月20日	54年2月21日	54年2月22日	54年2月23日	54年2月26日		
落下姿勢	水平(1回)	垂直	水平(2回)	水平(2回)	水平	垂直			
測定時刻	10:00	10:03	9:50	9:29	10:00	11:30			
天気	曇り	曇り(のち晴れ)	雨(のち曇り)	曇り	小雨	曇り			
気温	9℃	9℃	11.5℃	14℃	14℃	13℃			
気流	5~7 m/s	1~3.3 m/s	0.7~1.5 m/s	1.7~2.2 m/s	5~8 m/s	2~3 m/s			
気流方向	東南東	東南東	北	北	東	南			
落下高さ	9.165 m	9.165 m	9.070 m	9.090 m	1.078 m	1.035 m			
落下重量	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 下部 541 kg 合計 9711 kg	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 下部 539 kg 合計 9709 kg	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 下部 543 kg 合計 9839 kg	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 下部 541 kg 合計 9711 kg	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 下部 541 kg 合計 9711 kg	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 合計 9170 kg	本体 8677 kg 上部残留体 493 kg 合計 9170 kg		
落下形状 (吊上げ状況)									
落下条件									
備考	写真12, 写真13	写真14	写真15	写真16	写真20	写真21			



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(□) - A - 250

添付資料A

強度試験による残留変形測定結果

1. 落下試験 I

A-I-1 図 : 水平落下 (上部)

A-I-2 図 : 水平落下 (下部)

A-I-3 図 : 垂直落下

A-I-4 図 : コーナ落下

2. 落下試験 II

A-II-1 図 : 水平落下

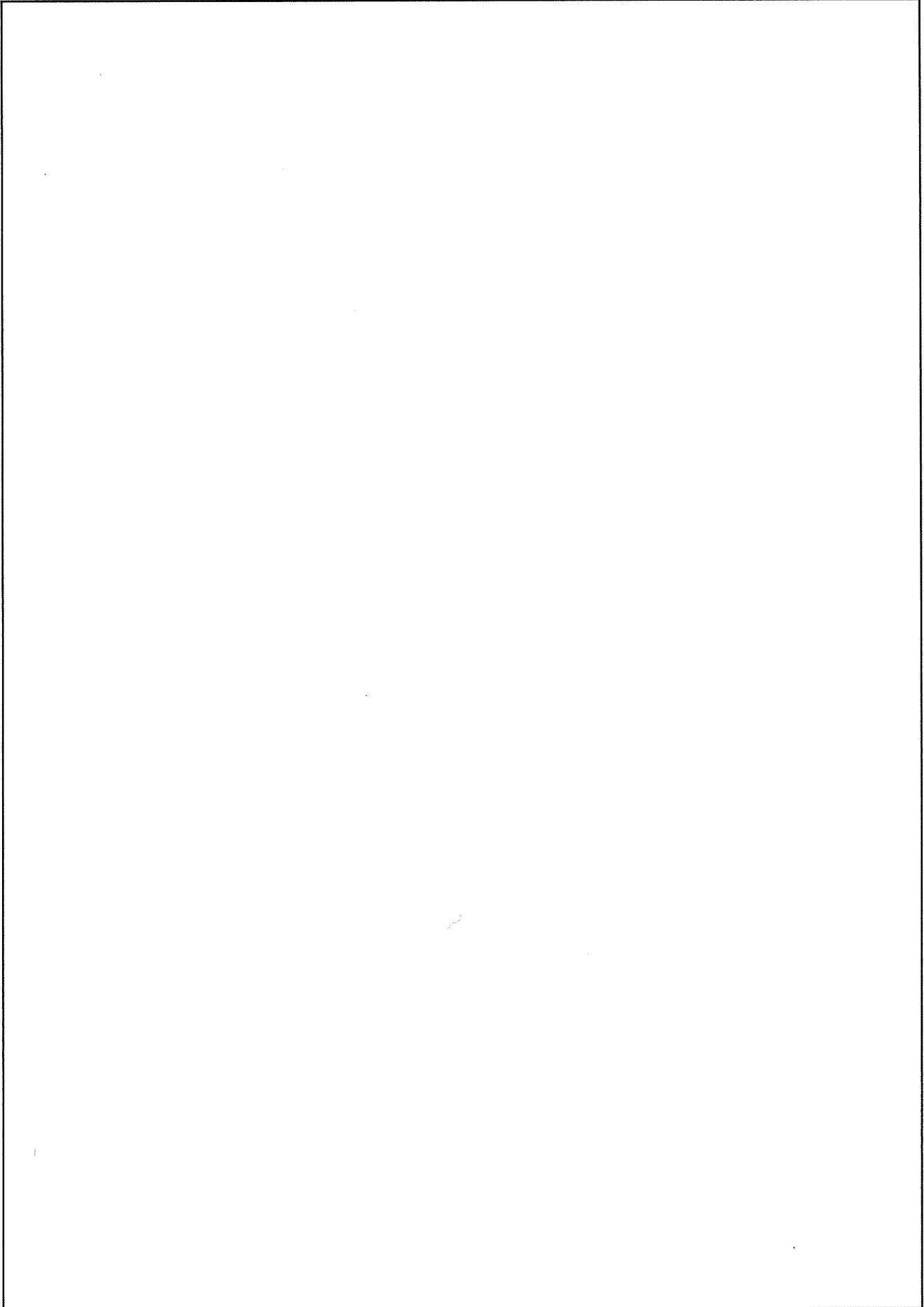
A-II-2 図 : 垂直落下一下部蓋の変形

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(p) - A - 252

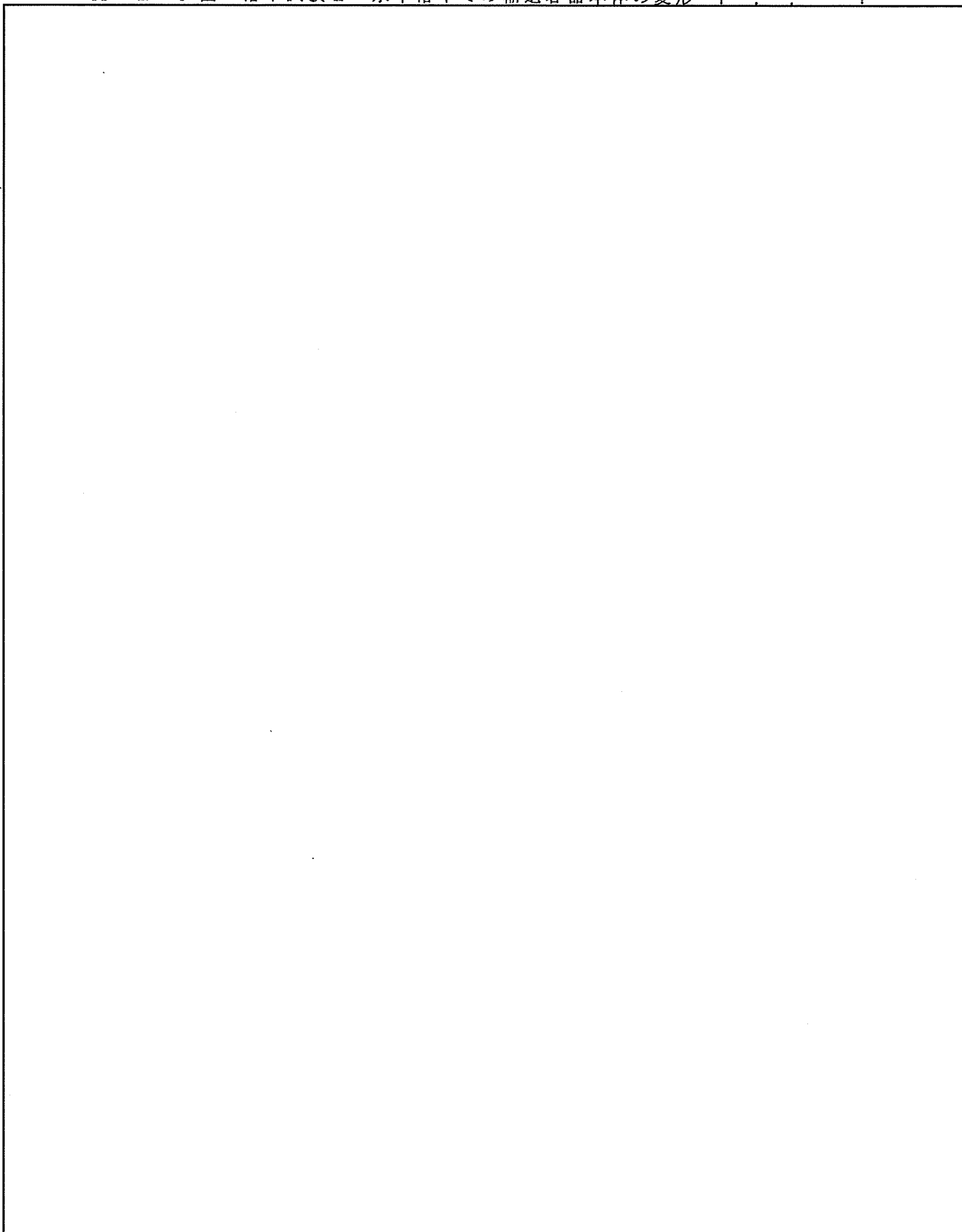
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(p) - A - 254



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

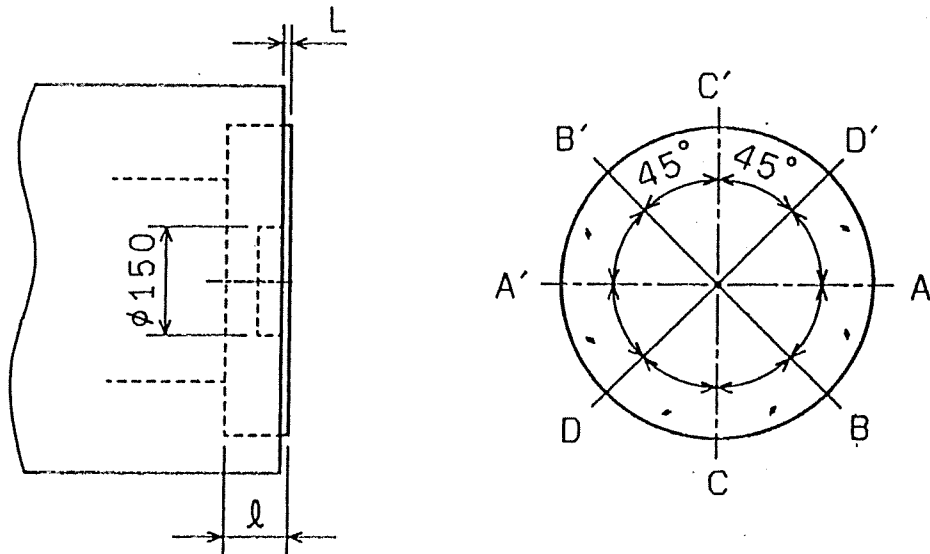
A-Ⅱ-1 図 落下試験Ⅱ 水平落下での輸送容器本体の変形



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A-II-2図 落下試験II 垂直落下試験時の下部蓋の変形

部 陥没変形



測定値

L (mm)

A	
B	
C	
D	
A'	
B'	
C'	
D'	

l (mm) [形部中央点]

方向

A~A'	
B~B'	
C~C'	
D~D'	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

添付資料B

気密漏洩試験結果

1. 落下試験 I

B-I-1 図 : 水平落下 (1回目) 後

B-I-2 図 : 垂直落下後

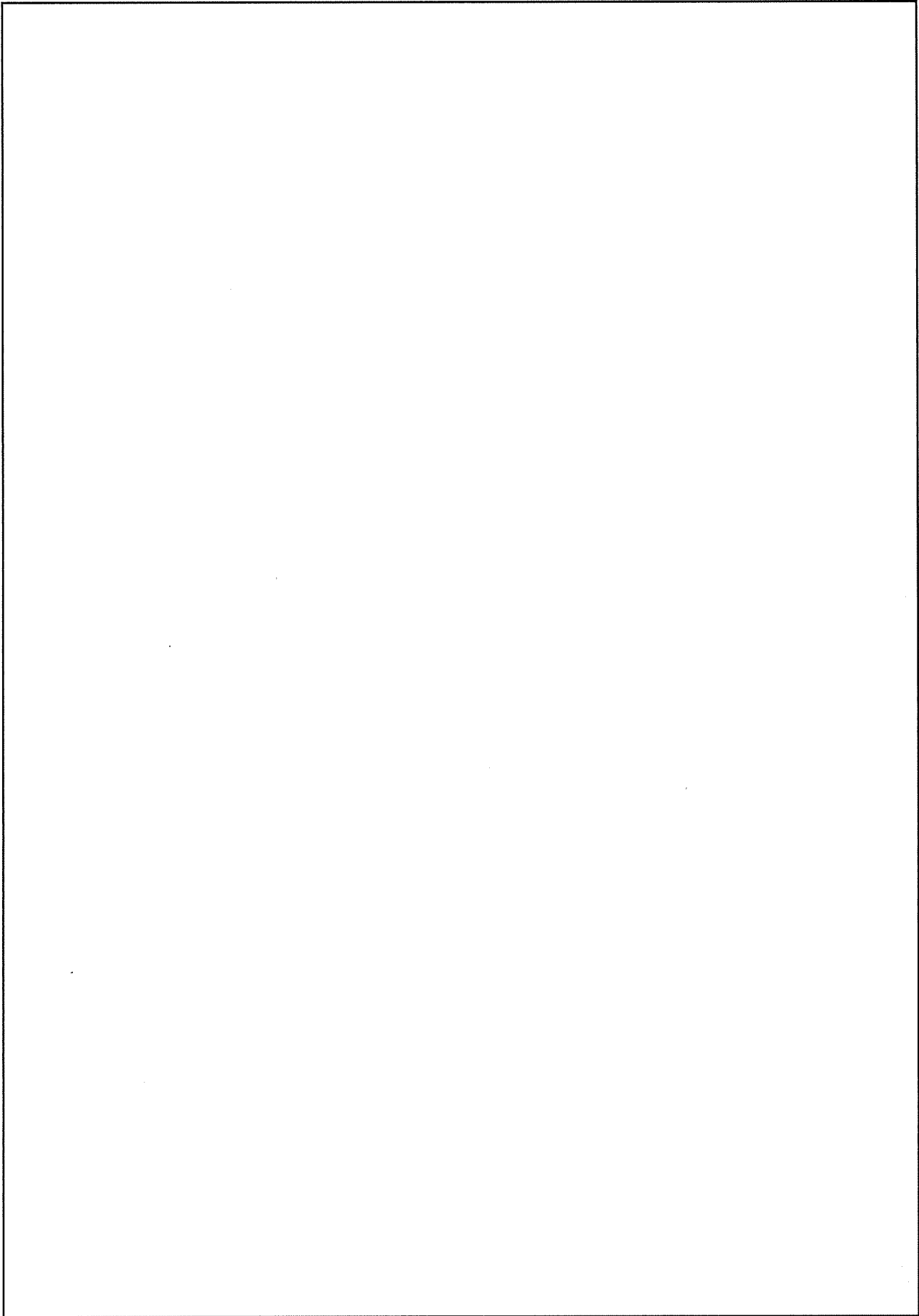
B-I-3 図 : コーナ落下後

B-I-4 図 : 水平落下 (2回目) 後

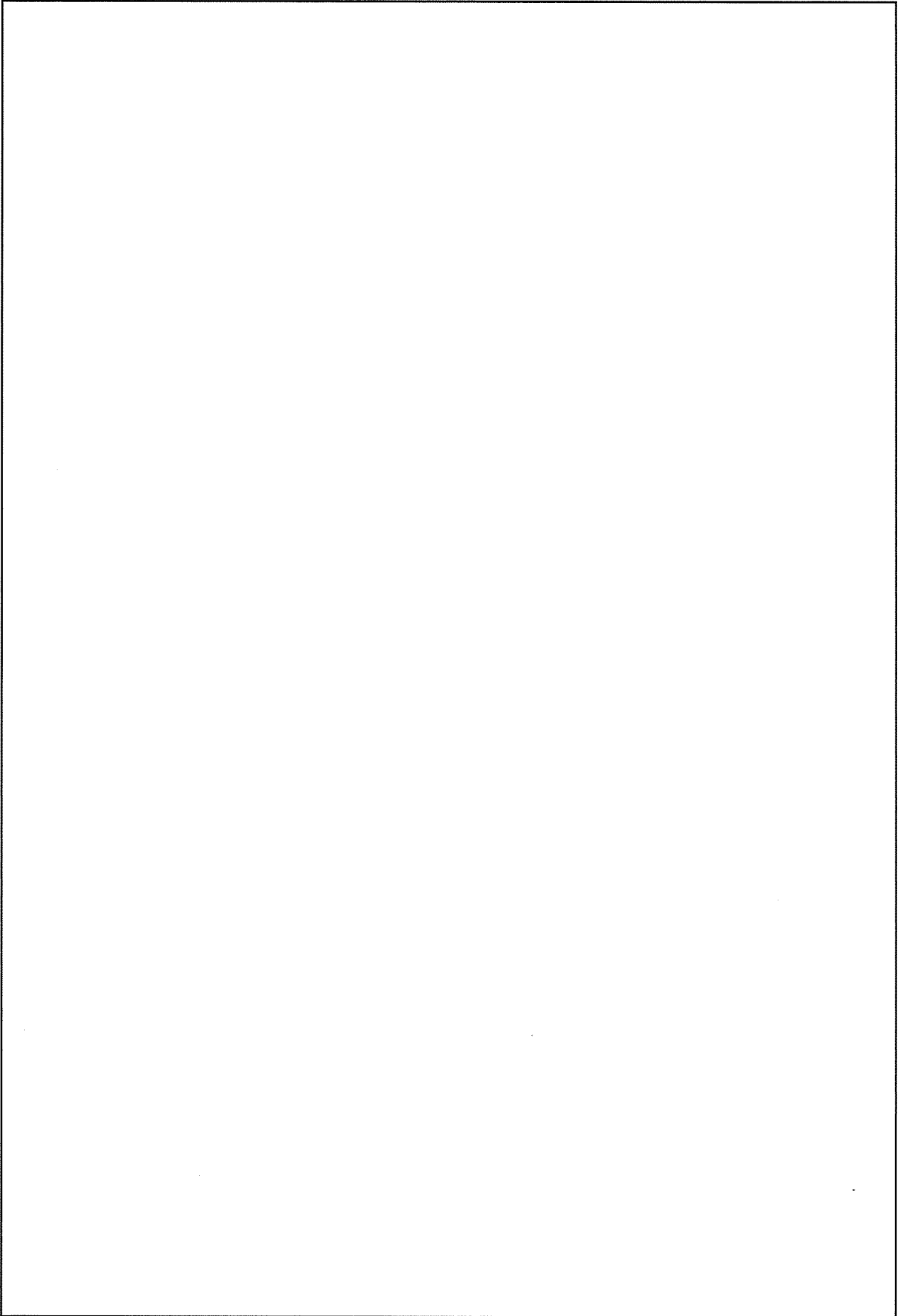
2. 落下試験 II

B-II-1 図 : 水平落下後

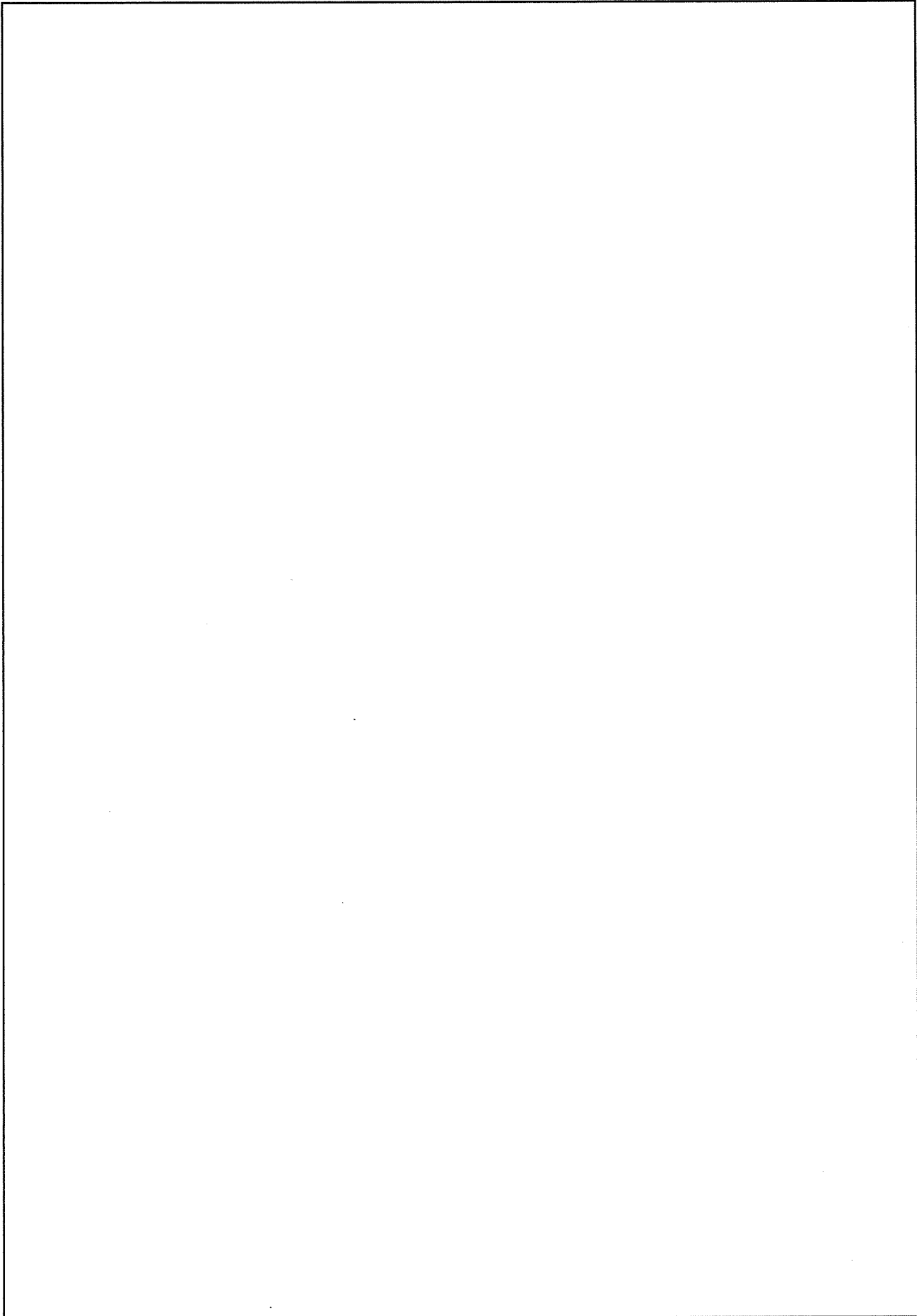
B-II-2 図 : 垂直落下後



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

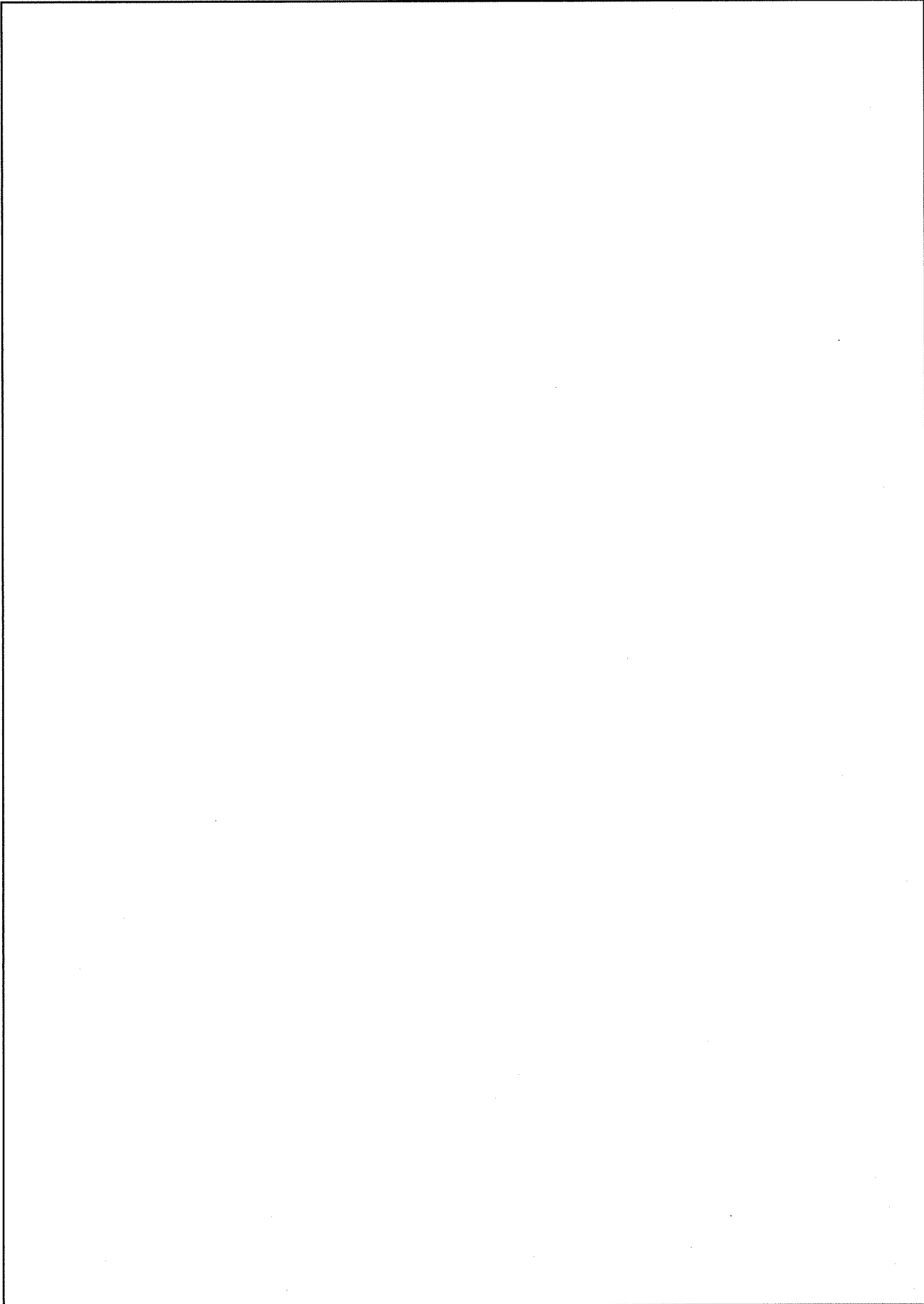


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

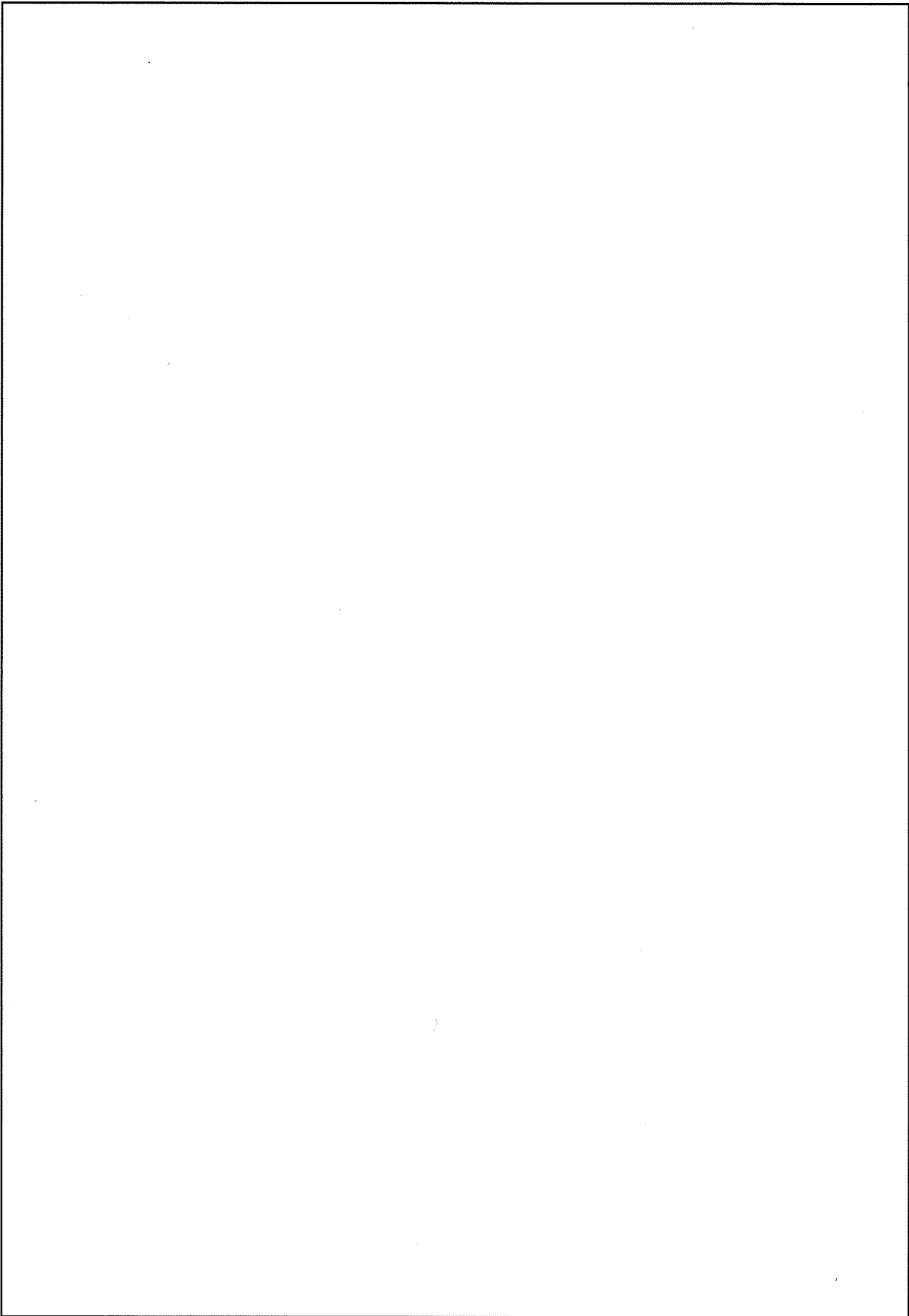


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

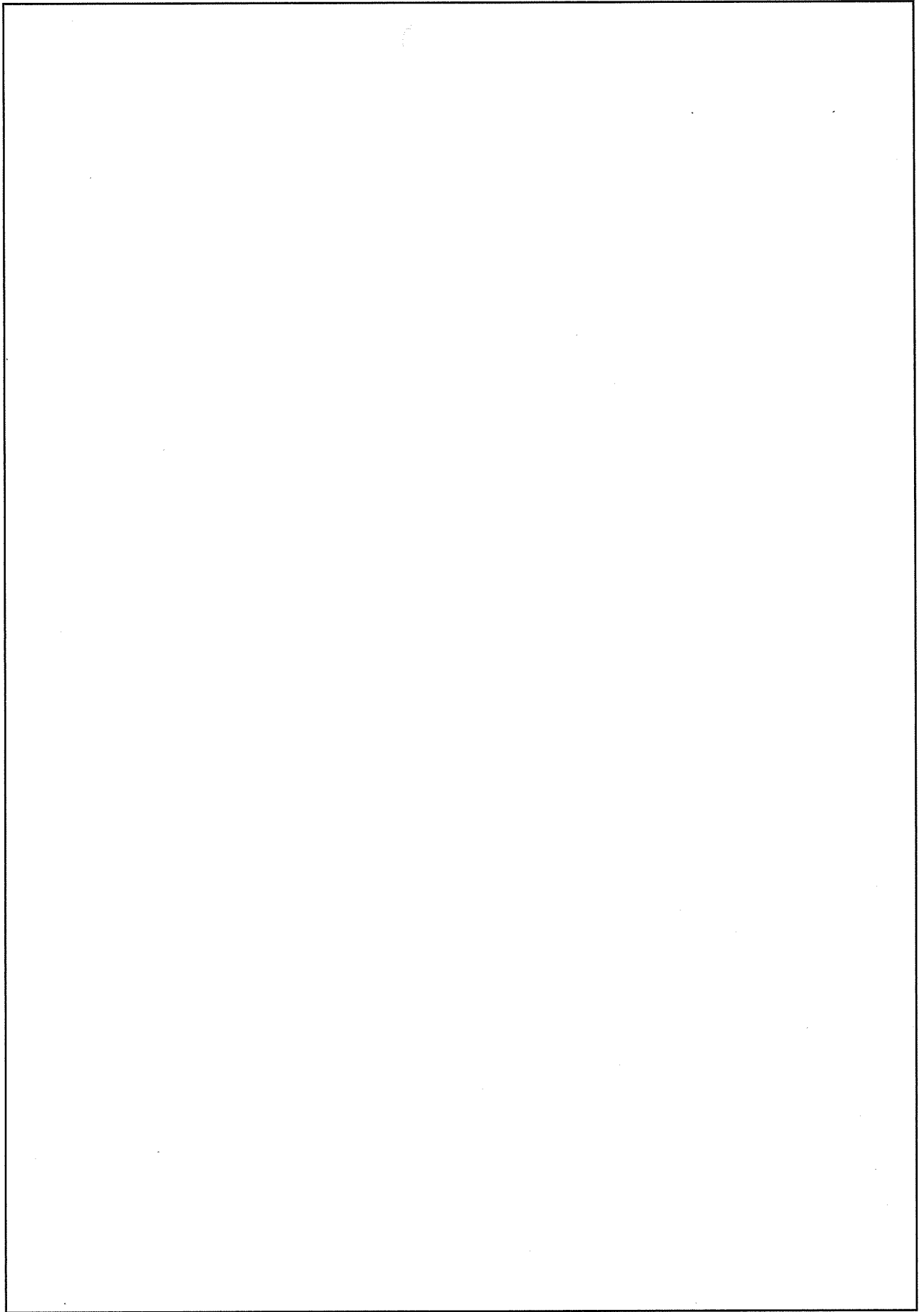
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

Appendix A 落下試験 I の解析結果

1. 概 要

本書では、落下試験 I での緩衝体の衝撃吸収に関し Volumetric Displacement 法により解析を行うものである。

2. 解析仮定

解析にあたっては、次の仮定条件を設定する。

- (1) 緩衝材を覆う軟鋼棒の変形によるエネルギー吸収及び抵抗力は無視する。
- (2) 木材は鋼のように一様に塑性変形しないで、局所的に受圧面のみ変形するものとする。

したがって、緩衝体の損失体積 V と受圧面積 S がわかると、緩衝材のエネルギー吸収特性より（平均圧縮応力 σ_{ca} 、最大圧縮応力 σ_{cp} ）より、エネルギー吸収量 E_d と抵抗力 F は次式で求まる。

$$E_d = V \sigma_{ca}, \quad F = S \sigma_{cp}$$

- (3) 緩衝体のエネルギー吸収は受圧面全面で吸収するものとする。

3. 緩衝材のエネルギー吸収特性

今回の緩衝体には、緩衝材として、米杉とバルサを使用している。これらの緩衝材のエネルギー吸収特性値をA-1表に示す。

A-1表 緩衝材のエネルギー吸収特性

木材の種類	木目の方向	e N/mm ²	σ_{cp} N/mm ²	σ_{ca} N/mm ²	ϵ_l	備考
バルサ	平行 (//)	6.18	10.7	8.24	0.75	
	直角 (⊥)	0.88	3.09	1.23	0.70	
米杉	平行 (//)	12.6	23.5	19.2	0.65	
	直角 (⊥)	8.43	21.1	12.1	0.70	

e : 単位体積当たりのエネルギー吸収量

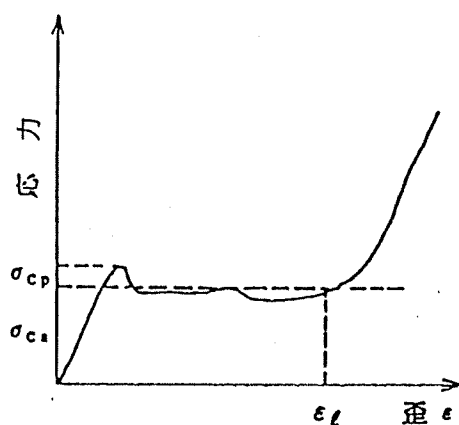
$$e = \int_0^{\epsilon_l} \sigma_d \epsilon$$

σ_{cp} : 最大圧縮応力

σ_{ca} : 平均圧縮応力

$$\sigma_{ca} = \frac{e}{\epsilon_l}$$

ϵ_l : ロックアップ歪



4. 各落下姿勢に対する解析

4.1 水平落下

水平落下では、緩衝体の緩衝材の配置はA-2図に示すように、米杉の木目は落下方向に対し直角に配列され、バルサの木目は平行に配列されている。

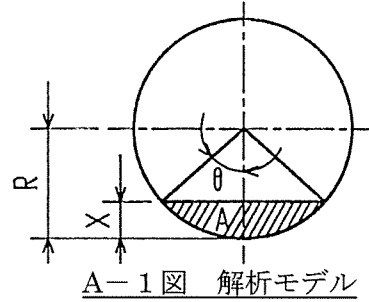
今、A-1図に示すように、緩衝体がXだけ変形した時の着色部Aの面積は次式で求まる。

$$A = R^2 \left[\arccos \left(1 - \frac{X}{R} \right) - \left(1 - \frac{X}{R} \right) \sqrt{\frac{X}{R} \left(2 - \frac{X}{R} \right)} \right] \dots\dots (A-1)$$

ここで、

R : 緩衝体の半径 (mm)

X : 緩衝体の水平落下による
変形量 (mm)

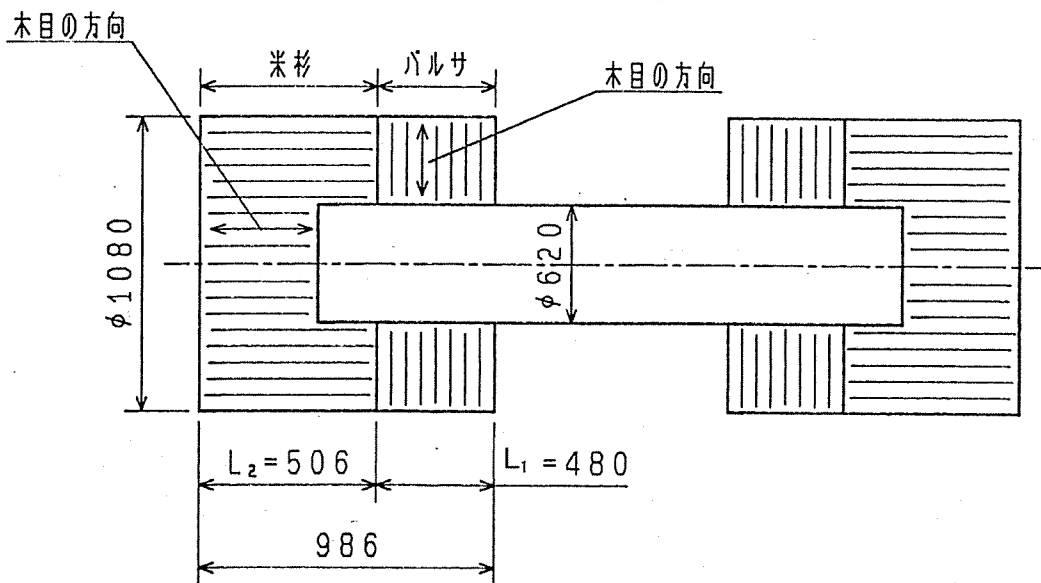


次に緩衝体がXだけ変形した時のエネルギー吸収量Eaは、次式より求まる。

$$Ea = \sigma_{ca} = 2A (\sigma_{ca(//)}^{(1)} L_1 + \sigma_{ca(\perp)}^{(2)} L_2) \dots\dots (A-2)$$

Ea : 緩衝体変形によるエネルギー吸収量 (N・mm)

V : 緩衝体の変形体積 (mm³)



A-2図 緩衝材配置図

$\sigma_{ca(//)}^{(1)}$: バルサの木目平行の場合の平均的圧縮応力 N/mm^2

$\sigma_{ca(\perp)}^{(2)}$: 米杉の木目垂直の場合の平均的圧縮応力 N/mm^2

L_1 : バルサの有効長 (mm)

L_2 : 米杉の有効長 (mm)

また、輸送容器に生ずる加速度 a を求めるために緩衝体の抵抗力 F を求める。

$$F = \sigma_{cp} S = 4R \sqrt{\frac{X}{R} \left(2 - \frac{X}{R}\right) (\sigma_{cp(//)}^{(1)} L_1 + \sigma_{cp(\perp)}^{(2)} L_2)} \dots\dots (A-3)$$

F : 緩衝体の抵抗力 (N)

S : 緩衝体の接地面積 (mm^2)

$\sigma_{cp(//)}^{(1)}$: バルサの木目平行の場合の最大圧縮応力 (N/mm)

$\sigma_{cp(\perp)}^{(2)}$: 米杉の木目垂直の場合の最大圧縮応力 (N/mm^2)

この、抵抗力 F を求めると、輸送容器に生ずる加速度は次式により求まる。

$$a = \left(\frac{F}{W_1} - 1\right) g \dots\dots (A-4)$$

a : 輸送容器に生ずる加速度 (m/s^2)

W_1 : 輸送容器の重量 (kg)

なお、輸送容器が衝突直前にもつ運動エネルギーは次式により求まる。

$$Ed = W_1 H_1 g \dots\dots (A-5)$$

Ed : 輸送容器のもつ運動エネルギー ($N \cdot mm$)

H_1 : 輸送容器の落下高さ (mm)

(A-5) 式を満足するように (A-2) 式の X が変形する。

以上より、次の数値を使用して解析を行うと、結果は A-2 表に示す。

W_1 : 9711kg

H_1 : 9165mm

L_1 : 480mm

L_2 : 506mm

g : 9.8m/s²

$$\sigma_{cp(//)}^{(1)} : 8.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cp(\perp)}^{(2)} : 12.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ca(//)}^{(1)} : 10.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ca(\perp)}^{(2)} : 21.1 \text{ N/mm}^2$$

4.2 垂直落下

垂直落下では、A-2図に示すように、エネルギー吸収は米杉のみで行う。米杉は落下方向に対し、木目は平行に配列されている。

今、緩衝体が軸方向にXだけ変形した時のエネルギー吸収量Eaは仮定2, 3より次式で求まる。

$$Ea = \pi R^2 X \sigma_{ca(//)}^{(2)} \dots\dots (A-6)$$

Ea : 緩衝体のエネルギー吸収量 (N・mm)

X : 緩衝体の変形量 mm

$\sigma_{ca(//)}^{(2)}$: 米杉の木目平行の場合の平均圧縮応力 (N/mm²)

また、緩衝体の抵抗力Fは次式で求まる。

$$F = \pi R^2 \sigma_{cp(//)}^{(2)} \dots\dots (A-7)$$

F : 緩衝体の抵抗力 (N)

$\sigma_{cp(//)}^{(2)}$: 米杉の木目平行の場合の最大圧縮応力 (N/mm²)

以上より、(A-6)、(A-7)、(A-4)、(A-5)式より輸送容器に生ずる加速度及び緩衝体の変形量を次の数値を使用して解析を行うと、A-2表のようになる。

$$W_2 = 9709 \text{ kg}$$

$$H_2 = 9165 \text{ mm}$$

$$\sigma_{cp(//)}^{(2)} = 23.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ca(//)}^{(2)} = 19.2 \text{ N/mm}^2$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

4.3 コーナ落下

コーナ落下では、緩衝体に木目は落下方向に対し、ある角度 θ をもっている。それ故、緩衝材の材料特性が問題となる。

ここでは、次の仮定にもとづく理論式により、緩衝材の斜角の場合のエネルギー吸収特性値を与えるものとする。

すなわち、「木目に対し任意の角度(θ°)での平均圧縮応力(または最大圧縮応力)は、木目に平行な方向の平均圧縮応力(または最大圧縮応力)成分と、木目に垂直な方向での平均圧縮応力(または最大圧縮応力)成分の線形結合により規定される。」

以上より、緩衝材の任意の角度に対するエネルギー吸収特性値は次式のようになる。

$$\sigma_{cp}(\theta) = \left(\frac{\cos^2\theta}{\sigma_{cp//}} + \frac{\sin^2\theta}{\sigma_{cp\perp}} \right)^{-1} \quad \dots\dots (A-8)$$

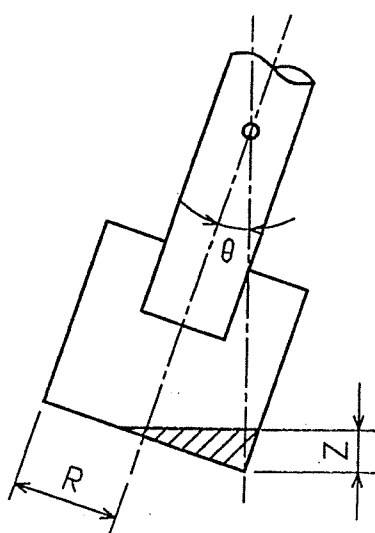
$$\sigma_{ca}(\theta) = \left(\frac{\cos^2\theta}{\sigma_{ca//}} + \frac{\sin^2\theta}{\sigma_{ca\perp}} \right)^{-1} \quad \dots\dots (A-9)$$

次に、A-3図のように緩衝体がZだけ変形した場合の損失体積V及び受圧面積Sは次式より求まる。

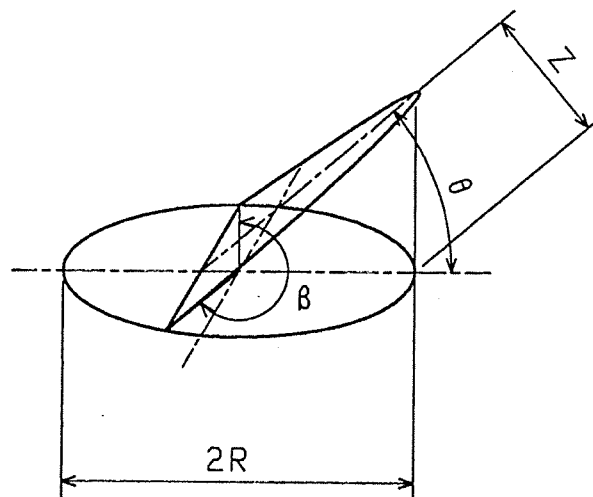
$$V = R^3 \tan \theta \left(\sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right) \quad \dots\dots (A-10)$$

$$S = R^2 \left(\frac{\beta}{\cos \theta} - \frac{\sin \beta \cos \beta}{\cos \theta} \right) \quad \dots\dots (A-11)$$

$$Z = R (1 - \cos \beta) \sin \theta \quad \dots\dots (A-12)$$



A-3図 コーナ落下状態



A-4図 緩衝体の変形量解析モデル

したがって、緩衝体がZだけ変形した時のエネルギー吸収量Eaは、

$$Ea = \sigma_{ca}^{(2)}(\theta) V = \sigma_{ca}^{(2)}(\theta) R^3 \tan \theta \left\{ \sin \beta - \frac{\sin^3 \beta}{3} - \beta \cos \beta \right\} \quad \dots (A-13)$$

または緩衝体の抵抗力Fは、

$$F = \sigma_{ca}(\theta) S = \sigma_{ca}(\theta) R^2 \left(\frac{\beta}{\cos \theta} - \frac{\sin \beta \cos \beta}{\cos \theta} \right) \quad \dots (A-14)$$

となる。よって、(A-8)、(A-9)、(A-13)、(A-14)、(A-4)及び(A-5)式より、輸送容器に生ずる加速度及び緩衝体の変形量を、次の数値を使用して解析すると、結果はA-2表のようになる。

$$W_3 = 9839 \text{kg}$$

$$H_3 = 9070 \text{mm}$$

$$\theta = 18^\circ$$

$$g = 9.8 \text{m/s}^2$$

A-2表 落下試験I, 解析結果

落下姿勢	加速度	変形量	備考
水平落下	208 g	101mm	
垂直落下	225.5g	50mm	
コーナ落下	138.6g	193mm	

Appendix B 落下試験Ⅱの解析結果

1. 概要

本書では、落下試験Ⅱでの輸送容器の貫通限界及び輸送容器に生ずる加速度について解析を行うものである。

2. 貫通限界エネルギー

落下試験Ⅱのφ150の軟鋼棒が輸送容器を貫通する限界エネルギーを水平及び垂直落下のそれぞれの落下姿勢について求める。

2.1 水平落下

鉛が裏打されている場合の円筒殻の貫通限界エネルギーは、次の実験式より求まる。

[1]

$$\bar{E} = 1.8 (1 + y + 46y^2) \times e^2 / x \times x^{1.3} \dots (B-1)$$

$$x = d / t$$

$$y = d / D$$

$$\bar{E} = E / \sigma_B t^3$$

$$\bar{\ell} = \ell / D$$

$$(30y < x < 12, 0.067 < y < 0.2, \bar{\ell} = 2 \sim 3)$$

ここで、

d : 貫通治具軟鋼棒径 = 150mm

t : 輸送容器外筒板厚 = 10mm

D : 輸送容器外径 = 720mm

E : 貫通限界エネルギー N・mm

σ_B : 外筒材の引張強さ = 520 N/mm²

ℓ : 輸送容器全長 2667mm

となり、数値解析を行うと、貫通限界エネルギーは

$$E = 1.17 \times 10^8 \text{ N/mm}^2 \text{ となる。}$$

2.2 垂直落下

鉛が裏打されている場合の平板の貫通限界エネルギーは次の実験式より求まる。

$$\bar{E} = 2.35 x^{1.6} \dots (B-2)$$

$$\bar{E} = E / \sigma_B t^3$$

$$x = d / t$$

$$k = b / d$$

$$\bar{l} = l / b$$

$$(2 \leq x \leq 20, 8 \leq k \leq 13, \bar{l} = 1 \sim 2)$$

l : 板の長さ = 300mm

b : 板の幅 = 300mm

t : 板厚 = 50mm

d : 貫通治具軟鋼棒径 = 150mm

σ_B : 板の引張強さ = 441 N/mm²

$$\bar{E} = E / 441 \times 50^3 = 1.81 \times 10^{-8} E$$

$$x = 150 / 50 = 3$$

となり、数値解析を行うと、貫通限界エネルギーは

$$E = 7.52 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

となる。

3. 輸送容器に生ずる加速度

落下試験Ⅱにより輸送容器に生ずる加速度は、貫通治具軟鋼棒の圧縮変形による最大抵抗力により規定される。

軟鋼棒の最大抵抗力 F は次式で示される。

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_B \quad \cdots (B-3)$$

F : 最大抵抗力 (N)

σ_B : 軟鋼棒の引張強さ = 402 N/mm²

以上より、

$$F = \frac{\pi}{4} \times 150^2 \times 402 = 7.10 \times 10^6 \text{ N}$$

したがって、軟鋼棒の圧縮変形により生ずる加速度 a は、

$$a = \left(\frac{F}{W} - 1 \right) g \quad \cdots (B-4)$$

となる。

(1) 水平落下

水平落下時に輸送容器に生ずる加速度は (B-4) 式より、

$$a = \left(\frac{7.10 \times 10^6}{9.52 \times 10^4} - 1 \right) \times 9806.65 = 7.22 \times 10^5 \text{ mm/S}^2$$

となる。

$$W = 9.52 \times 10^4 \text{ N}$$

(2) 垂直落下

垂直落下時に輸送容器に生ずる加速度は (B-4) 式より、

$$a = \left(\frac{7.10 \times 10^6}{8.99 \times 10^4} - 1 \right) \times 9806.65 = 7.65 \times 10^5 \text{ mm/S}^2$$

となる。

$$W = 8.99 \times 10^4 \text{ N}$$

A.10.7 原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器

実 証 試 験 (浸 漬 試 験)

結 果 報 告 書

目 次

	ページ
1. 概 要	(ロ)－A－278
2. 実証試験用輸送容器仕様	(ロ)－A－278
3. 試 験 要 領	(ロ)－A－279
3.1 試 験 設 備	(ロ)－A－279
3.2 試 験 要 領	(ロ)－A－280
3.3 計測, 確認項目及び測定器	(ロ)－A－281
4. 試 験 結 果	(ロ)－A－284
5. む す び	(ロ)－A－284
添付資料1 「浸漬試験成績書」	(ロ)－A－285
APPENDIX 圧力降下に起因する漏洩量	(ロ)－A－287

1. 概 要

本書は、原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器の事故時試験のうち浸漬試験に関し、原型モデルを使用して行った信頼性実証試験結果を纏めたものである。

なお、本試験は、強度試験（落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱ）及び耐火試験後に行ったものである。

2. 実証試験用輸送容器仕様

2.1 構造概要

この輸送容器本体は円筒形状をなし、本体（内部より、内胴、鉛、外胴、断熱材及び外筒）、蓋、締付けボルト及びOリングより構成される。

内胴、外胴及び外筒は強度材料で、ステンレス鋼製である。ガンマ線遮蔽材は鉛を使用する。外胴と外筒の間には、断熱材を充填している。

また、輸送容器の両端には、米杉及びバルサを収納した鋼板製の緩衝体が取付けられている。

2.2 主要緒元

(1) 内 胴	: 内 径	……	190.9 mm
	板 厚	……	12.7 mm
(2) 外 胴	: 外 径	……	620 mm
	板 厚	……	15 mm
(3) 外 筒	: 外 径	……	720 mm
	板 厚	……	10 mm
(4) 全 長	: 緩衝体あり	……	3301 mm
	緩衝体なし	……	2677 mm
(5) 重 量	: 本 体	……	8700 kg
	上部緩衝体	……	490 kg
	下部緩衝体	……	540 kg
	全 重 量	……	9730 kg

3. 試験要領

3.1 試験設備

本試験は、告示で要求される浸漬試験「深さ15mの水中に8時間浸漬させること」を行うために、水圧試験用耐圧タンクを使用した。

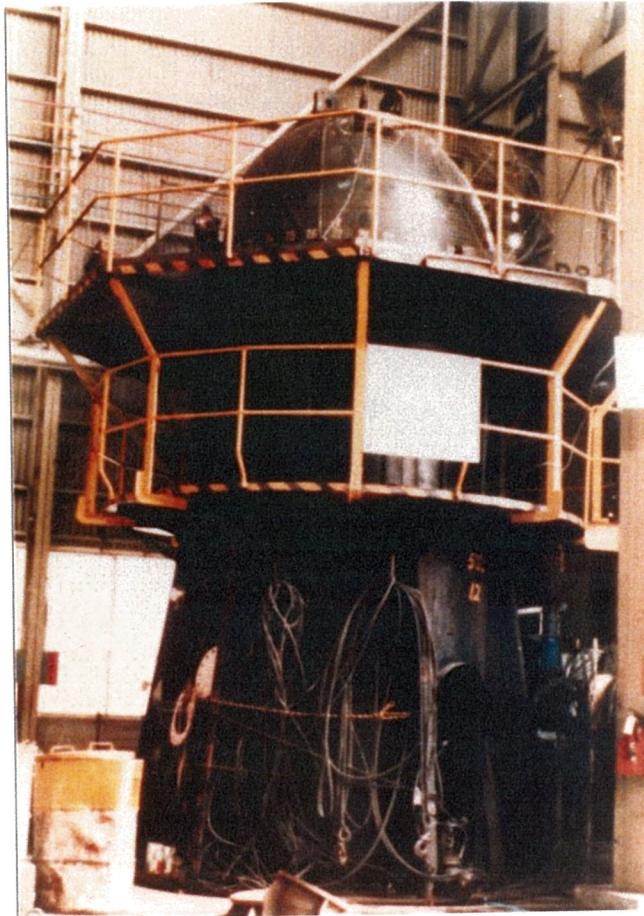
この耐圧タンクは、最大直径約2000mm、最大長さ約3400mmの供試体が収納可能である。

また、このタンクには加圧設備として、9806.65kPaまで昇圧可能な三連プランジャポンプを有している。

なお、本試験では、試験圧力が1.5kg/cm²(G)であるため、このポンプは使用せず、工業用水のヘッドを利用して加圧した。

写真1

耐圧タンク全景



3.2 試験要領

(1) 輸送容器の設備

浸漬試験を行う輸送容器を写真2に示すように、耐圧タンク内に設置し、ワイヤ等で転倒防止のため固縛を行った。

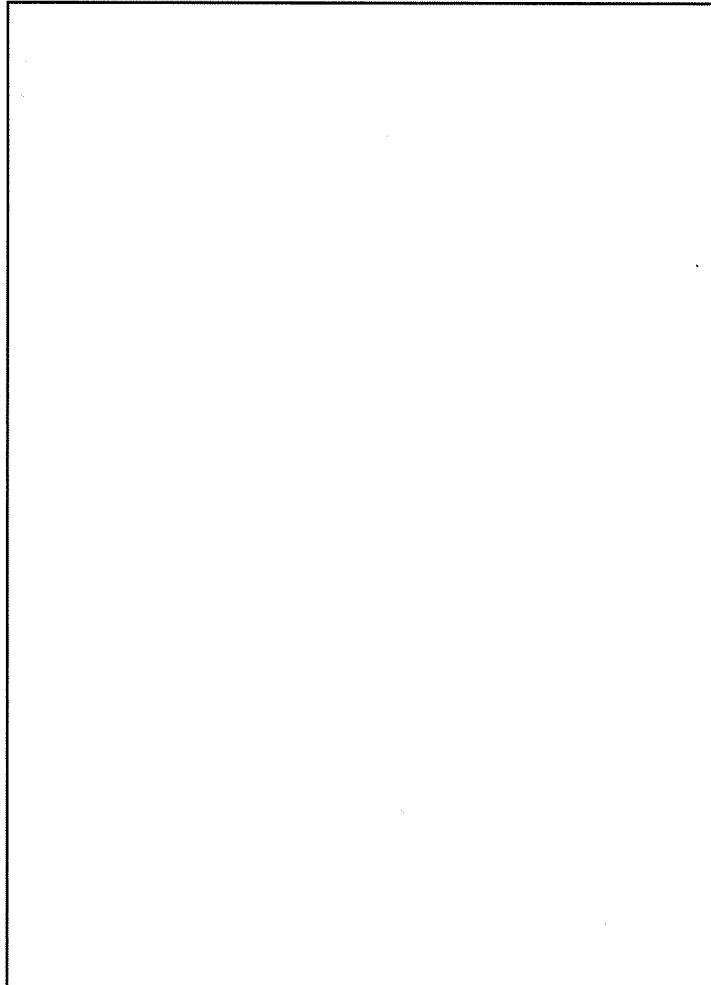


写真2
輸送容器の
耐圧タンク内
設置状況

(2) 耐圧タンク内圧力設定

耐圧タンク内の圧力は、タンクの高さが約6 mあるため、頂部と底部ではヘッド差だけの圧力差を生ずる。それ故、輸送容器が告示で要求される圧力245 kPa(G)の状態に置かれるためにタンク内圧力設定にあたっては圧力指示計及び輸送容器の設置レベル等考慮する必要がある。

以上より、タンクの設定圧力は、 $P_{mm} = 294 \text{ kPa(G)}$ とした。

なお、タンク内圧力の設定状況を写真3に示す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

写真3
耐圧タンク内
圧力設定状況



3.3 計測，確認項目及び測定器

本試験で輸送容器が保持すべき性能は告示によると

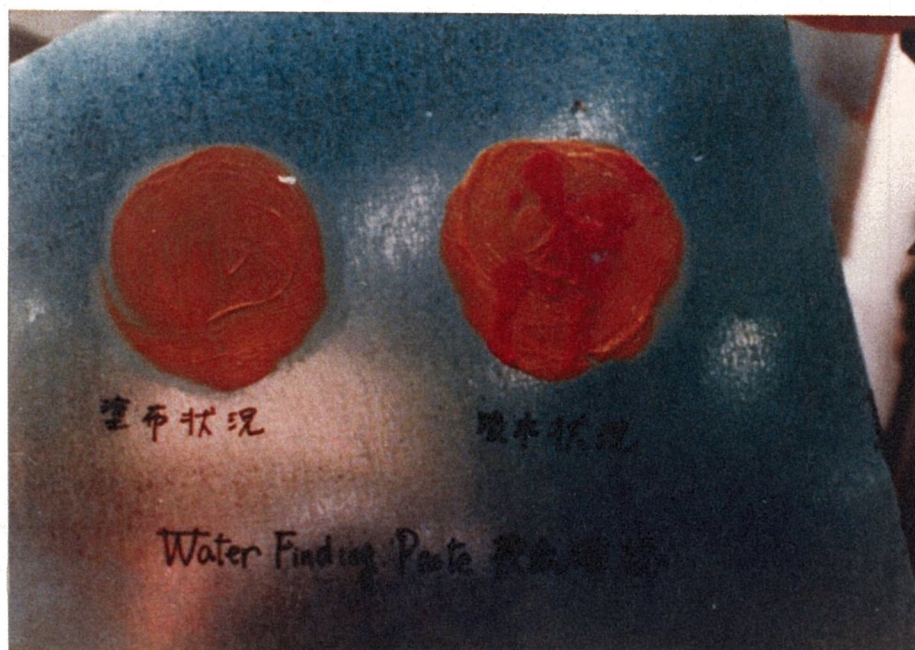
- (a) 表面から1 m離れた位置における最大放射線量率が1 0 0 0ミリレム毎時を越えないこと。
- (b) 放射性物質の1週間当たりの漏洩量が告示で定める量を越えないことである。しかしながら，この輸送容器は浸漬試験圧力9 4 5 kPa(G)に対する外圧強度を十分満足しているため，本体の変形は浸漬試験では生じない。

それ故，本試験ではシール部の性能を確認することを主目的とする。

(1) シール部の漏洩有無確認方法

本試験により，輸送容器の蓋シール部が十分密封性を保有することを確認するため，試験に先立ち，Oリングの内側に吸収着色剤*を塗布する。なお，吸水着色剤の吸収検出状況を写真4に示す。

写真4
吸水着色剤
吸水状況
確認状況



また、本剤の輸送容器シール部塗布状況を写真5，写真6及び写真7に示す。

(2) 耐圧タンク内圧力 …………… ブルドン管式圧力計

(a) F.S : 588kPa

(b) Class : 1.5級

(c) 1 Div : 19.6kPa

(3) 耐圧タンク壁温及び気温 …………… 棒状温度計

* 本剤は、商品名“ウォーターレベル”と称し、油または液剤中の水分の有無を検出するのに使用される。アルカリ土金属の炭酸塩を基材とし、これに接着をよくするためにプラスチック糊を使用し、pHの変化により変色するpH指示薬を含有したものである。

吸水着色剤の塗布状況

浸漬試験前

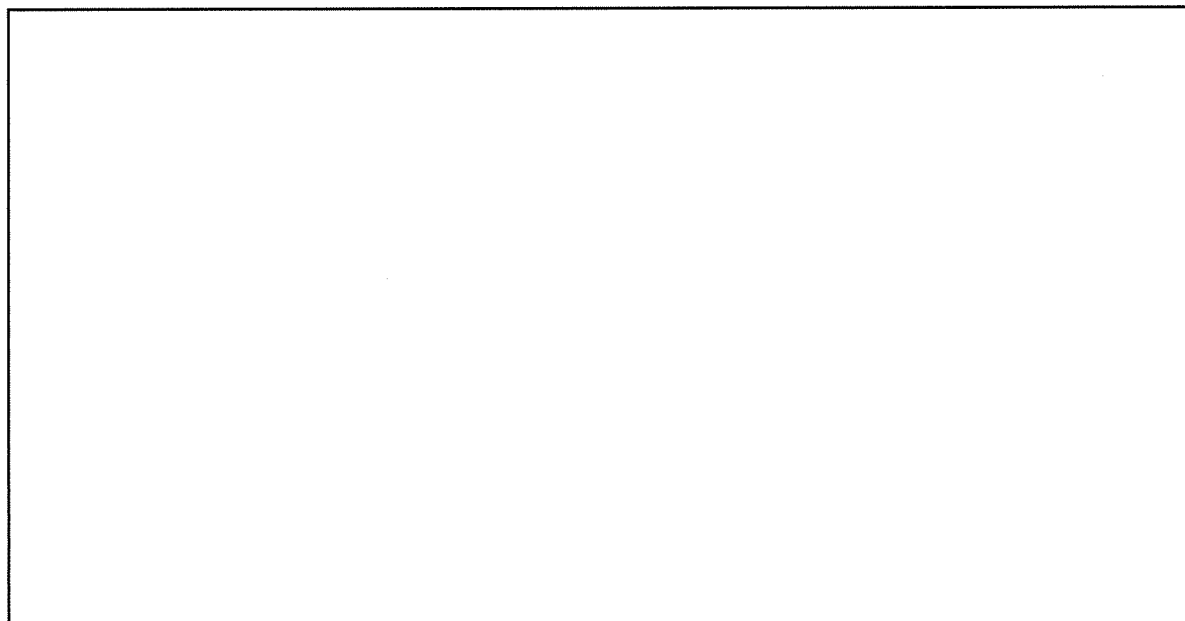


写真 5

下部蓋部

写真 6

シヤッタ蓋部

写真 7

上部蓋部

浸漬試験後

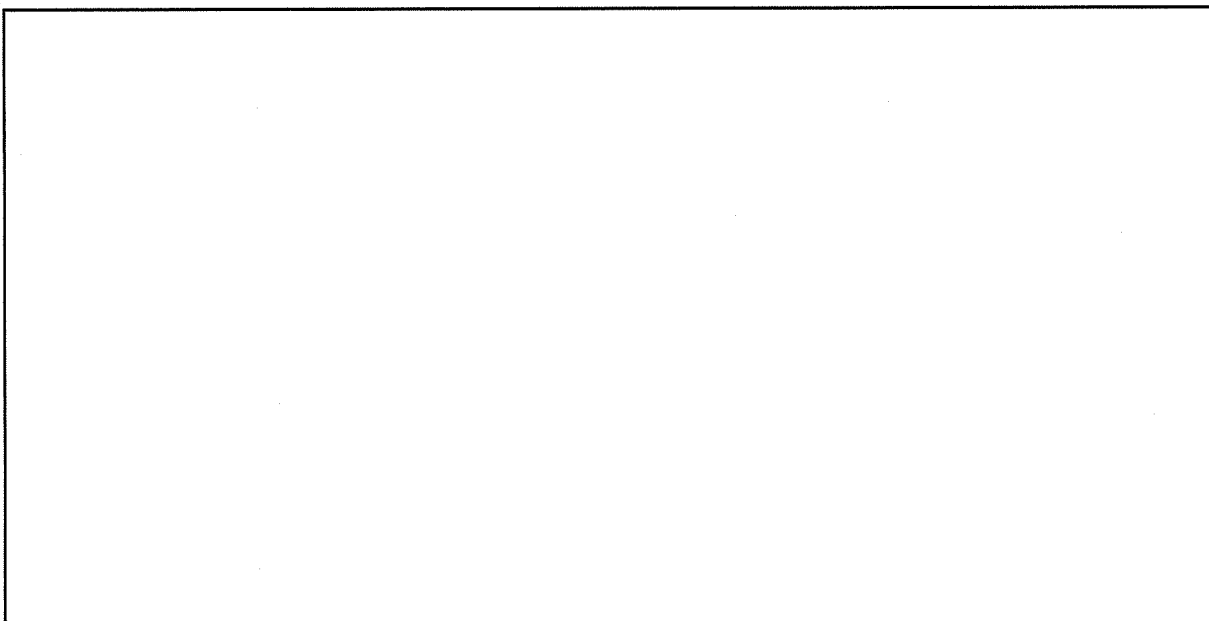


写真 8

下部蓋部

写真 9

シヤッタ蓋部

写真 10

上部蓋部

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

4. 試験結果

(1) シール部の漏洩有無

各シール部に塗布した吸収着色剤の変色を浸漬試験後、蓋を開放して確認した結果（写真8，写真9，写真10に示す。） ， 吸水着色剤の変色は生じなかった。

(2) 耐圧タンク内圧力及び温度記録

耐圧タンク内圧力，壁温及び気温の試験中（8時間）の記録を，添付資料1に示す。

5. むすび

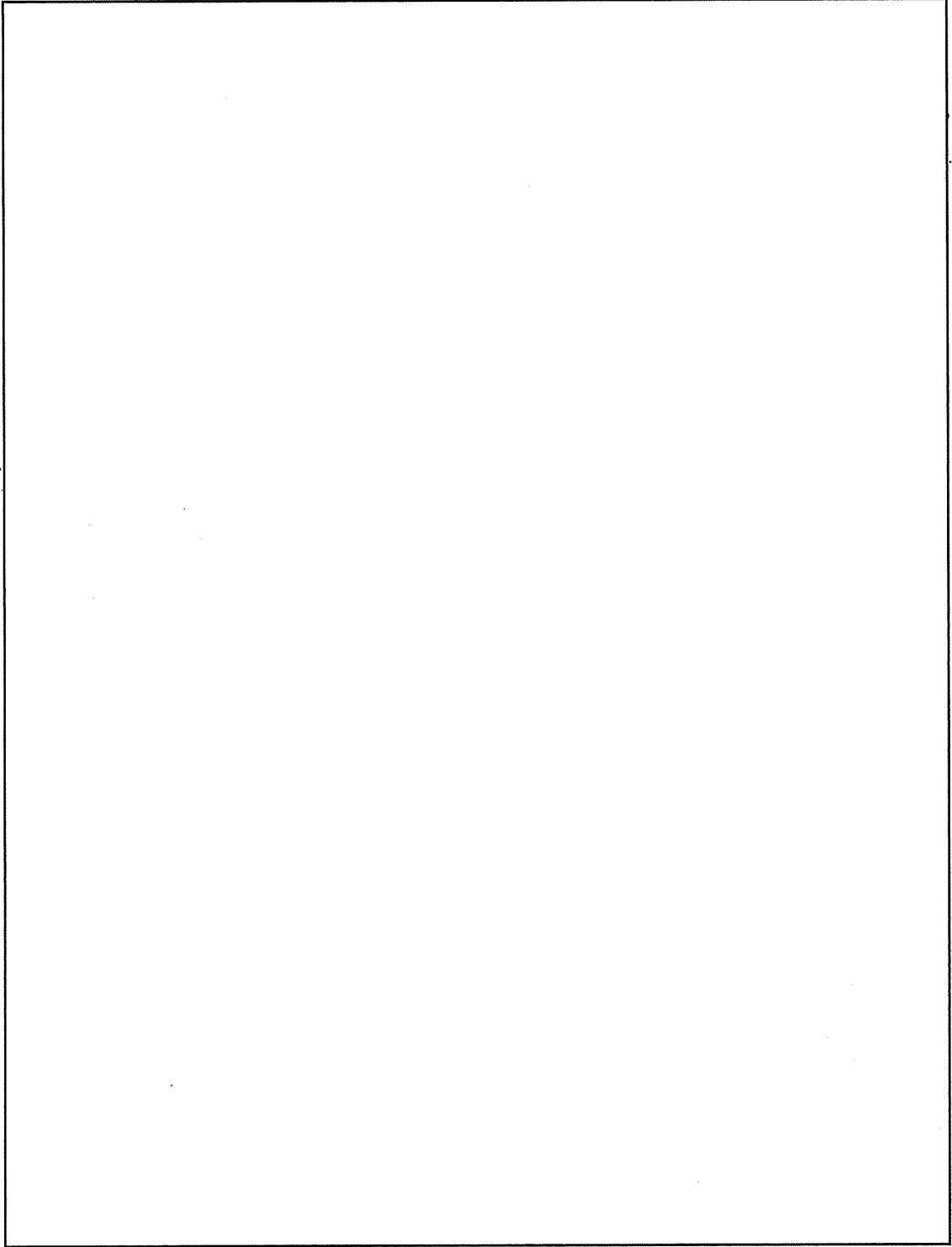
この輸送容器は，強度試験（落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱ）及び耐火試験により累積損傷を受けているにもかかわらず，浸漬試験の結果より，この輸送容器シール部は十分な水密性を保有している。

なお，添付資料1よりタンク内圧力が低下しているが，Appendixに示すように全降下量を積算すると，0.7ℓ程度となる。この原因は，この耐圧タンクには数種類のバルブが付属しており，その部分から漏れて圧力低下を起こしたものと考えられる。

以 上

浸漬試験成績書

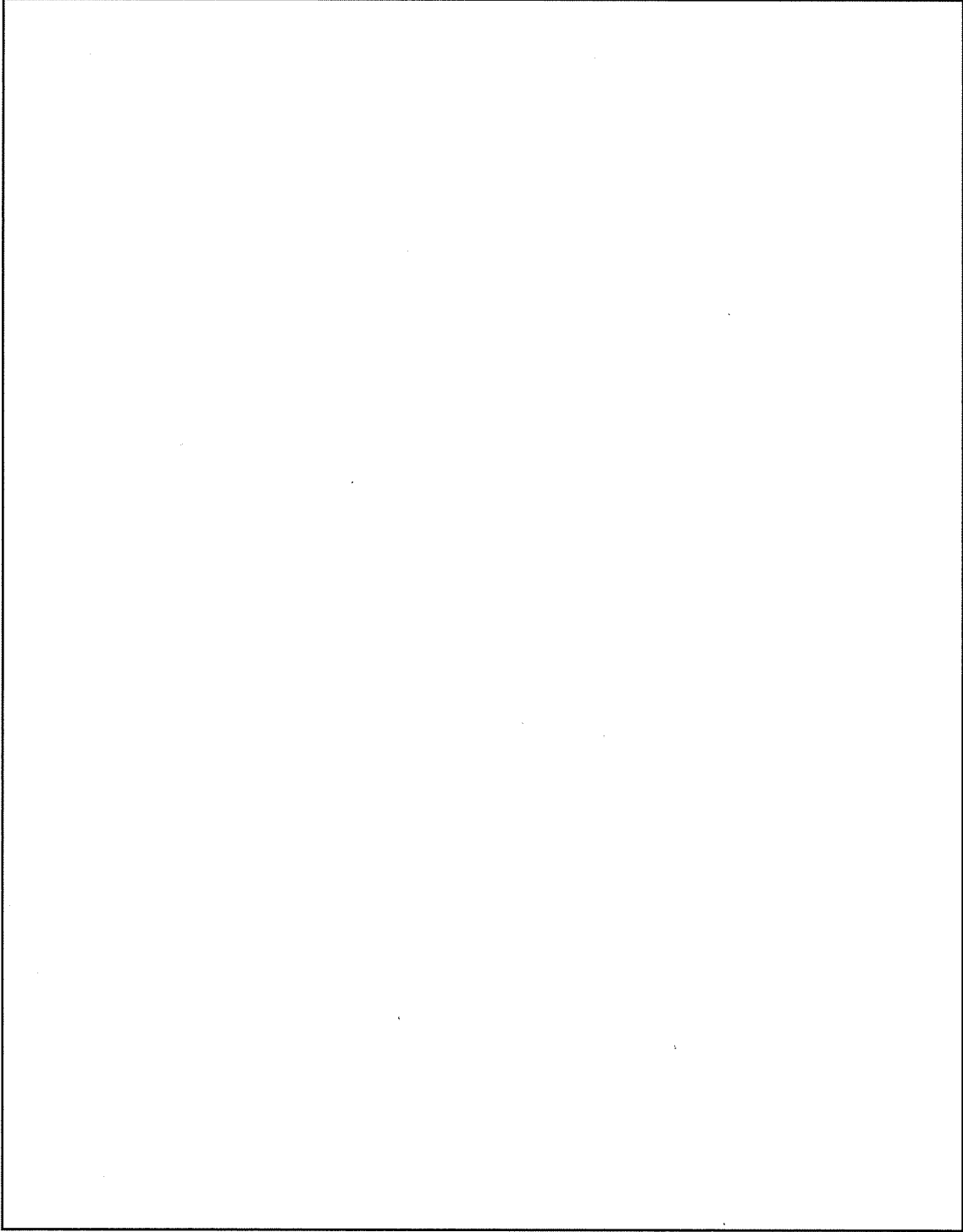
添布資料 1



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

RECORD OF PRESSURE TEST

浸漬試験記録



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

Appendix 圧力降下に起因する漏洩量

漏洩試験中、耐圧タンク内の圧力が時間とともに降下した。(添付資料1) この降下の原因となるタンクからの漏洩量を推定する。

体積 V の液体に働く圧力を ΔP だけ弱めたとき、体積 ΔV だけ減少するがその関係式は次式で示される。

$$\Delta V = \beta V \Delta P \quad - (1)$$

$$\Delta V : \text{漏洩量} \quad (\text{cm}^3)$$

$$\beta : \text{液の圧縮率} \quad (\text{cm}^2/\text{N})$$

$$V : \text{タンク内容液} \quad (\text{cm}^3)$$

$$\Delta P : \text{圧力降下量} \quad (\text{N}/\text{cm}^2)$$

(1)式をこの浸漬試験にあてはめ、 $\Delta P = 0.98 \text{ N}/\text{cm}^2$ の変化を生じる漏洩量 ΔV を求める。

水の圧縮率 β は、機械工学便覧より

$$\beta = 4.94 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{N} \quad (\text{at } 1 \sim 25 \text{ atm}, 10^\circ\text{C})$$

タンク内容積 V は

$$V = V_I - V_{II} = 134.5 \times 10^5 - 9.7 \times 10^5 = 124.8 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

$$V_I : \text{タンク空容量} = 134.5 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

$$V_{II} : \text{輸送容器の排水体積} = 9.7 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

したがって、漏洩量 ΔV は

$$\Delta V = \beta V \Delta P = 4.98 \times 10^{-6} \times 124.8 \times 10^5 \times 0.98 = 60.9 \text{ cm}^3$$

となる。

次に、全試験中降圧を積算すると、 $\Delta P_\tau = 10.8 \text{ N}/\text{cm}^2$ であるから試験中の全漏洩量

ΔV_τ は

$$\Delta V_\tau = \frac{\Delta P_\tau}{\Delta P} \times \Delta V = \frac{10.8}{0.98} \times 60.9 = 671.1 \text{ cm}^3 \doteq 0.7 \ell$$

となる。

口章 B. 熱 解 析

B. 熱 解 析

B. 1 概 要

(1) 熱 設 計

本輸送容器の収納物の総発熱量は、34W（(イ)章D. 5参照）である。

特別の試験条件下で、ガンマ線遮蔽材（鉛）を保護する目的で外胴と外筒の間に断熱材（キャストブル）を充填し、ガンマ線遮蔽材の温度上昇を抑える。また、上部蓋、下部蓋及びシャッタ蓋のOリングは、上部緩衝体並びに下部緩衝体によって入熱を抑えられ保護される。

(2) 熱 解 析

熱解析で規則及び告示に規定された一般の試験条件下並びに、特別の試験条件下における輸送物の熱的条件は次のとおりである。

(a) 一般の試験条件下における熱的条件

(i) 輸送物は 38℃の条件下に 1 週間置くこと。この場合、太陽放射熱を 1 日につき 12 時間負荷すること。

(ii) 輸送物は -20℃の条件下において太陽放射熱を受けない。

(iii) 表面の温度が日陰において 50℃（専用積載としての運搬時の表面（近接防止枠を設置時はその表面）においては 85℃）を超えないこと。

(b) 特別の試験条件下における熱的条件

(i) 火災前の輸送物は、38℃の条件下において、表面温度が一定になるまで置く。

(ii) 輸送物は 800℃で、かつ、平均値が最小で 0.9 の放射率を有する火災の放射熱の条件下に 30 分間置くこと。この場合において、表面吸収率は 0.8 とする。

(iii) 火災後の輸送物は 38℃の条件下において、太陽放射熱を 1 日につき 12 時間負荷すること。

本輸送容器は、(ロ)章A. 構造解析で示したように、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において、緩衝体及び外筒に変形を生ずる。

熱解析において、落下試験 I による緩衝体の変形後落下試験 II として、緩衝体に貫通試験を行った場合及び落下試験 II による外筒の変形が生じた場合の熱的影響についても検討する。

B. 2 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料は、(イ)-第C. 1表に示す通りである。これらの材料のうち熱解析で用いた材料の熱的性質を以下に示す。

(1)

の熱的性質を(ロ)-第B. 1表に示す。このデータは、日本機械学会E P I C C分科会報告書にもとづくものである。

(2) 鉛

鉛の熱的性質を(ロ)-第B. 2表に示す。このデータは、日本機械学会編金属データブックにもとづくものである。

(3) 断熱材

断熱材の熱的性質を(ロ)-第B. 3表に示す。このデータは、メーカーの試験データにもとづくものである。

(4) 空 気

空気の熱的性質を(ロ)-第B. 4表に示す。このデータは、伝熱工学資料にもとづくものである。

(5) バルサ

バルサの熱的性質を(ロ)-第B. 5表に示す。このデータは、三菱重工業㈱試験データにもとづくものである。

(6) 米杉

米杉の熱的性質を(ロ)-第B. 6表に示す。このデータは、木材工業ハンドブックにもとづくものである。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) - 第B. 1表 の熱的性質

		
密 度	7930 kg/m ³	
温 度 ℃	熱 伝 導 率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
20	14.57	0.452
50	14.78	0.469
100	15.62	0.494
200	16.95	0.523
300	18.29	0.540
400	19.67	0.553
500	21.01	0.561
600	22.35	0.578
700	23.73	0.594
800	25.03	0.615

(ロ) - 第B. 2表 鉛の熱的性質

鉛		
密 度	11340 kg/m ³	
温 度 ℃	熱 伝 導 率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
20	34.74	0.130
100	33.49	0.134
200	31.40	0.134
300	29.72	0.138
327	16.33	0.142
400	15.91	—

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)－第B. 3表 断熱材の熱的性質

断 熱 材		
密 度	2480 kg/m ³	
温 度 ℃	熱 伝 導 率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
20	0.935 *	0.879
500	1.233	0.879
800	1.419	0.879

* 500℃及び800℃値より次式により外挿した。

$$\lambda = 6.2022 \times 10^{-4} t + 0.9226$$

t : 温 度 (℃)

λ : 熱伝導率 (W/(m·K))

(ロ)－第B. 4表 空気の熱的性質

空 気 [圧力 0.101MPa]					
温 度 ℃	密 度 kg/m ³	比 熱 kJ/(kg·K)	動粘性係数 m ² /s	熱伝導率 W/(m·K)	プラントル数
40 *	1.091	1.009	0.175×10^{-4}	0.0272	0.71
800 **	0.319	1.155	1.37×10^{-4}	0.0709	0.71

* 800℃×30分後の放冷時(3時間)の解析に使用する。

** 800℃×30分の火災試験の解析に使用する。

(口) - 第B. 5表 バルサの熱的性質

バルサ		
密度	160 kg/m ³	
温度 °C	熱伝導率 mW/(m·K)	比熱 KJ/(kg·K)
0	187.2	1.750
50	187.2	1.695
100	175.6	1.796
150	—	1.988
200	195.5	1.905
250	—	1.955
275	255.8	1.867
320	255.8	1.453
350	255.8	0.917
500	255.8	0.130
900	255.8	0.071

(口) - 第B. 6表 米杉の熱的性質

米杉		
密度	370 kg/m ³	
温度 °C	熱伝導率 mW/(m·K)	比熱 kJ/(kg·K)
20	172.1	1.211
100	273.7	1.599

B.3 構成要素の仕様

本輸送容器の構成要素の仕様を次に示す。

(1) Oリング

上部蓋、下部蓋及びシャッタ蓋に使用するOリング（EPDM）の仕様を(口)－第B.7表に示す。

(2) 弁 類

なし。

(3) 断 熱 材

断熱材（キャストブル）を使用する。断熱材の仕様を(口)－第B.8表に示す。

(4) 塗 装

なし。

(5) 溶 融 栓

外筒には、耐火試験時、断熱材から生ずる水蒸気を逃がすために合成樹脂性

の溶融栓を取付けている。この溶融栓の仕様を(口)－第B.9表に示す。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) - 第B. 7表 Oリング仕様

項目	仕様
材質	エチレンプロピレンゴム (EPDM)
硬度	ショア-70
サイズ	(イ) - C. 「輸送容器」参照
通常使用温度	130 (°C)
最低使用温度	-50 (°C)
短時間許容温度	250 (°C)

(ロ) - 第B. 8表 断熱材の仕様

項目	仕様
化学成分	<input type="text"/> 以下
	<input type="text"/> 以上
密度	<input type="text"/> g/cc
圧縮強さ	<input type="text"/> N/cm ² 以上

(ロ) - 第B. 9表 溶融栓の仕様

項目	仕様
材料	<input type="text"/>
密度	<input type="text"/> g/cc
融点	<input type="text"/> °C

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

B. 4 一般の試験条件

B. 4. 1 熱解析モデル

B. 4. 1. 1 解析モデル

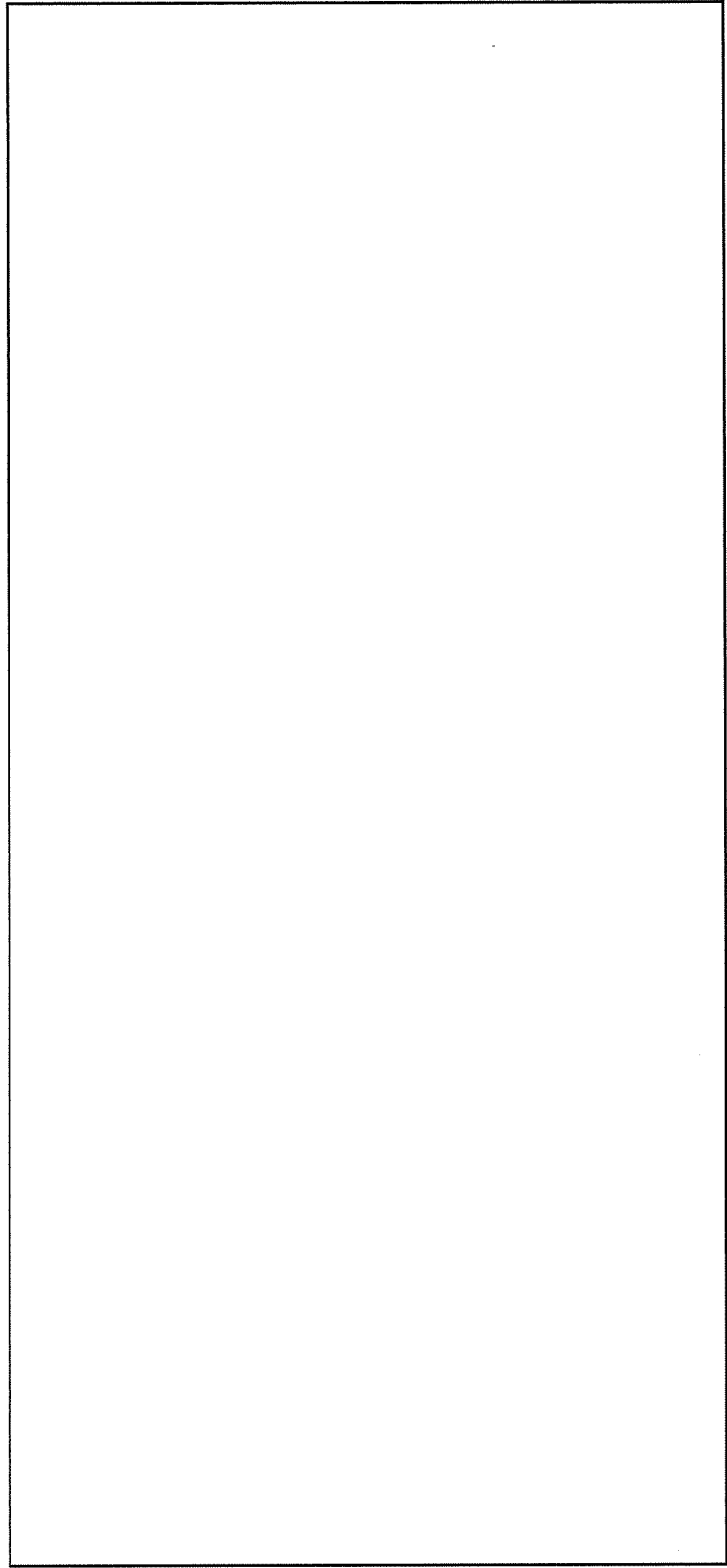
輸送物の熱的評価は、ノード法にもとづく多次元伝熱計算コードTRUMPを用いて求める。以下にTRUMPによる解析モデルについて説明する。

(1) 解析モデル

TRUMPによる熱解析モデルを、(ロ)－第B. 1 図に示す。

これは、両端部断熱（緩衝体に覆われた部分）条件の半径一軸方向モデルとしている。

一般の試験条件下の熱解析方法を(ロ)－第B. 10 表に示す。



(ロ)－第B.1図 一般の試験条件下輸送容器ノード分割図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)－第B.10表 一般の試験条件下における熱解析方法

項 目		内 容	
熱 計 算 方 法	熱解析モデル	二次元軸対称伝熱モデル	
	輸送物温度分布計算	ノード法伝熱計算コードTRUMP	
	TRUMPで用いた 計算式	外筒と大気	自然対流伝熱
			輻射伝熱
		緩衝体で覆われ た部分	断 熱
使用物性値	B.2 材料の熱的性質参照		
最 大 内 圧	内胴内圧	PV/T＝一定	
	外胴と外筒間 内圧		

(2) 解析条件

熱解析に使用した熱的条件は次のとおりである。最大崩壊熱 34wの収納物を収納した輸送容器は、38℃の条件下において、太陽放射熱を輸送容器表面に 400 W/m²、1日につき 12 時間負荷されるものとする。この場合の容器の放射及び吸収率は 0.36、周囲吸収率は 1.0 とし、容器表面から周囲環境への伝熱及び自然対流伝熱とする。

解析条件をまとめたものを(ロ)－第B.11表に示す。

(ロ)－第B.11表 一般の試験条件下の熱的条件

項 目	条 件
崩壊熱量 (W)	34
周 囲 温 度	静止空気 38℃
太 陽 放 射 熱	あり
周 囲 吸 收 率	1.0
容器表面放射 及び吸収率	0.36(注)

(注) 伝熱工学資料第3版より、研磨面とするための仕上げを行ったステンレス鋼表面の吸収率 0.07 または 0.16 に、熱的に保守側な結果となるよう、吸収率 0.36 を採用した。

B. 4. 1. 2 試験モデル

本項目は、B. 5. 1. 2で代用する。

B. 4. 2 最高温度

B. 4. 1の解析モデル及び解析条件に基づいてTRUMPコードを用いて輸送物各部の温度変化を求めた。

各部の最高温度を(ロ)－第B. 12表に示す。

通常時に人が容易に近づきうる表面としては、周囲温度38℃において、輸送物の表面の温度は60℃であり、85℃を超えることはない。

(ロ)－第B. 12表 一般の試験条件下の輸送容器各部最高温度

輸送容器各部の名称	最高温度 (°C)
外筒部	60
外胴部	60
鉛部	60
内胴部	60
容器内空気	65*
バスケット	65
収納缶	125
シャッタ蓋Oリング部相当箇所	60
下部蓋Oリング部相当箇所	60

* 平均温度

B. 4. 3 最低温度

周囲温度が -20°C になっても、本輸送容器の構成材料はオーステナイト系ステンレス鋼であるため脆性破壊の問題を生じない。また、蓋部Oリングの最低使用温度は -50°C である（(ロ)－第B. 7表を参照）ので問題ない。

B. 4. 4 最大内圧

B. 4. 2項で述べた容器内部空気平均温度から、ボイルシャルルの法則により、一般の試験条件下の最大内圧は次式により求まる。

$$P = P_0 \frac{T}{T_0}$$

ここで、

P : 最高温度時の容器内圧 (MPa·a)

P_0 : 常温時の容器内圧 = 1.01×10^{-1} MPa·a

T_0 : 常温 = $273 + 20 = 293$ K

T : 容器内空気平均温度 = $273 + 65 = 338$ K

したがって、

$$P = 1.01 \times 10^{-1} \times \frac{338}{293} = 1.17 \times 10^{-1} \text{ MPa}\cdot\text{a}$$

となる。

B. 4. 5 最大熱応力

一般の試験条件下においては、熱膨張を拘束するものはないので熱応力の発生はない。

B. 4. 6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下で予想される温度変化に対して輸送物に問題を生じない。

また、密封性、脆性に関しても問題なく、輸送物は健全である。

太陽入熱を考慮しても容易に人の近づき得る輸送物の表面の温度は 60°C であり、基準値を越えることはない。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

B.5.1.1 解析モデル

輸送物の熱的評価は、強度試験後の輸送容器について、ノード法にもとづく多次元伝熱計算コードTRUMPを用いて求める。以下にTRUMPによる解析モデルについて説明する。

(1) 解析モデル

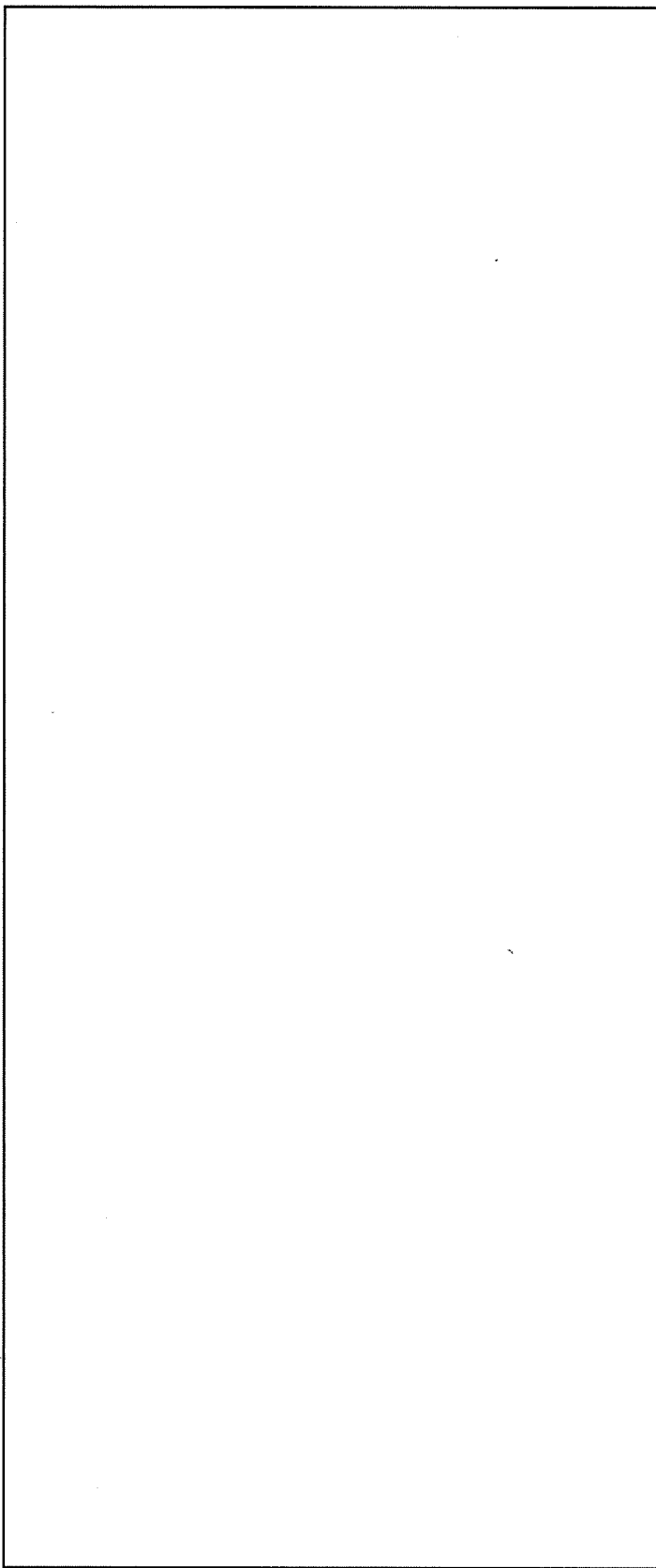
TRUMPによる熱解析モデルを、(ロ)－第B.2図に示す。

落下試験Ⅰによって、緩衝体は、垂直方向に73.4mm、水平方向に99.9mm変形する。特別の試験条件での熱解析では、容器への入熱量を大きく与えるため、緩衝体と緩衝体の変形を考慮するモデルとした。

したがって、緩衝体の木材の厚さを軸方向300mm→220mm、半径方向230mm→130mmに減少させて解析する。

特別の試験条件下の熱解析方法を(ロ)－第B.13表に示す。

落下試験Ⅱによる外筒が変形した場合の影響については付属書類B.6.3に示す。また、緩衝体が落下試験Ⅰ（水平落下）後、落下試験Ⅱにより貫通変形が生じた場合の熱的影響については付属書類B.6.4に示す。



(ロ)－第B.2図 特別の試験条件下輸送容器ノード分割図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機
密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)－第B.13表 特別の試験条件下における熱解析方法

項 目		内 容		
熱 計 算 方 法	熱解析モデル	二次元軸対称伝熱モデル		
	輸送物温度分布計算	ノード法伝熱計算コードTRUMP		
	TRUMPで用いた 計算式	外筒と大気	自然対流伝熱	輻射伝熱
		緩衝体と大気	自然対流伝熱	輻射伝熱
	使用物性値	B.2 材料の熱的性質参照		
最 大 内 圧	内筒内圧	$P V / T = \text{一定}$		
	外筒と外筒間 内圧	溶融栓融点における 水蒸気圧力		

(2) 解析条件

熱解析は、一般の試験条件下に引き続いて、特別の試験条件（強度試験）下におかれるものとする。火災事故時の熱的条件は「告示」に規定されている値即ち、周囲温度 800℃、火災時間 30 分、火災の放射率 0.9、容器表面の吸収率 0.8 とし、太陽放射熱を受けるものとする。

なお、火災から容器への伝熱は、輻射伝熱及び自然対流伝熱を考慮する。

火災事故後の熱的条件は周囲温度 38℃であり、太陽放射熱を受けるものとし、太陽放射熱による伝熱量は安全基準に定められた曲面状表面への放射熱 400W/m²を1日につき12時間負荷すること。この場合の容器の放射及び吸収率は0.5、周囲吸収率は1.0とし、容器表面から周囲環境への伝熱及び自然対流伝熱とする。

解析条件をまとめたものを(ロ)－第B.14表に示す。

(ロ)－第B.14表 特別の試験条件下の熱的条件

条 件 項 目	火災事故前	火災事故時 (30分)	火災事故後 (3時間)
周 囲 温 度	静止空気 38℃	火 災 800℃	静止空気 38℃
太 陽 放 射 熱	あり	あり	あり
周囲放射及び 吸収率	1.0	1.0(注3)	1.0
容器表面放射 及び吸収率	0.36(注1)	0.8	0.5(注2)

(注1) 伝熱工学資料第3版より、研磨面とするための仕上げを行ったステンレス鋼表面の吸収率0.07または0.16に、熱的に保守側な結果となるよう、吸収率0.36を採用した。

(注2) 伝熱工学資料第3版より、ステンレス鋼加熱後の表面の吸収率0.62～0.73に、熱的に保守側な結果となるよう、吸収率0.5を採用した。

(注3) 規則では周囲放射率0.9であるが、保守側に1.0としている。

B.5.1.2 試験モデル

本輸送容器の耐火性能を確認する目的で、原型モデルによる耐火試験を実施した。

実施した試験の試験要領及び試験結果を付属書類B.6.6「原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器実証試験結果報告書」に示す。

原型モデルによる実証試験の概要を以下に述べる。

(1) 試験方法

原型モデルによる耐火試験は、9m落下試験及び1m貫通試験後に実施した。耐火試験は炉内試験法（IAEA炉内試験－方法Ⅱ）によった。試験に用いた加熱炉の寸法は幅8m、高さ8m、奥行き16m、重油燃焼による加熱炉を用いた。あらかじめ、加熱炉を加熱（920℃）しておき、移動台車を炉内より引き出し、原型モデルを移動台車に設置の上、再び移動台車を炉内に押し込む操作を行った。

炉内における原型モデルの加熱温度は800℃で加熱時間は30分とした。

加熱完了後、原型モデルを炉外に取り出し、3時間放置した。

(2) 試験結果

原型モデルの耐火試験時には、CA熱電対を次に示す箇所に取付け、加熱開始より加熱完了30分後に引き続き3時間計測した。

計測箇所	計測点数
容器内空気温度	1
内 洞 温 度	4
外 洞 温 度	4
外 筒 温 度	4
雰 囲 気 温 度	8
下部緩衝体表面	2
外筒と外洞溶接部	2
下部蓋Oリング部	1
シャッタ蓋Oリング部	1

各部温度計測結果は、計測結果と良い一致を示した。

原型モデルによる耐火試験時の最高温度記録結果及びTRUMPコードによる計算結果を(ロ)－第B.15表に示す。

(ロ)－第B.15表 実証試験時の原型モデル各部最高温度

原型モデル 各部名称	経過 時間(分)	最高温度(°C) 実験値	最高温度(°C) 計算値
外 筒	30	650	670
外 洞	30	160	150
内 洞	90	125	130
シャッタ蓋Oリング部	240	90	—
下部蓋Oリング部	240	75	—

B.5.2 核燃料輸送物の評価条件

本輸送容器の特別の試験条件下の強度試験により生ずる主要な破損は、緩衝体の変形である。

緩衝体の変形の影響は、本解析モデルは両端部を断熱条件としているため変形の影響はない。

落下試験Ⅰ後、落下試験Ⅱの貫通試験を緩衝体に行った場合、熱的に厳しくなるのはシャッタ蓋部である。

落下試験Ⅰ及びⅡの緩衝体の変形を考慮したシャッタ蓋Oリングの最高到達温度をTRUMPコードを用いて解析した結果を付属書類B.6.4に示す。

また、落下試験Ⅱにより、外筒に生ずる局部変形による熱的影響については、付属書類B.6.3に示す。

B. 5. 3 核燃料輸送物温度

B. 5. 1. 1 の解析モデル及びB. 5. 1. 2 の解析条件によるTRUMPコードを用いて輸送物各部の温度変化を求めた。

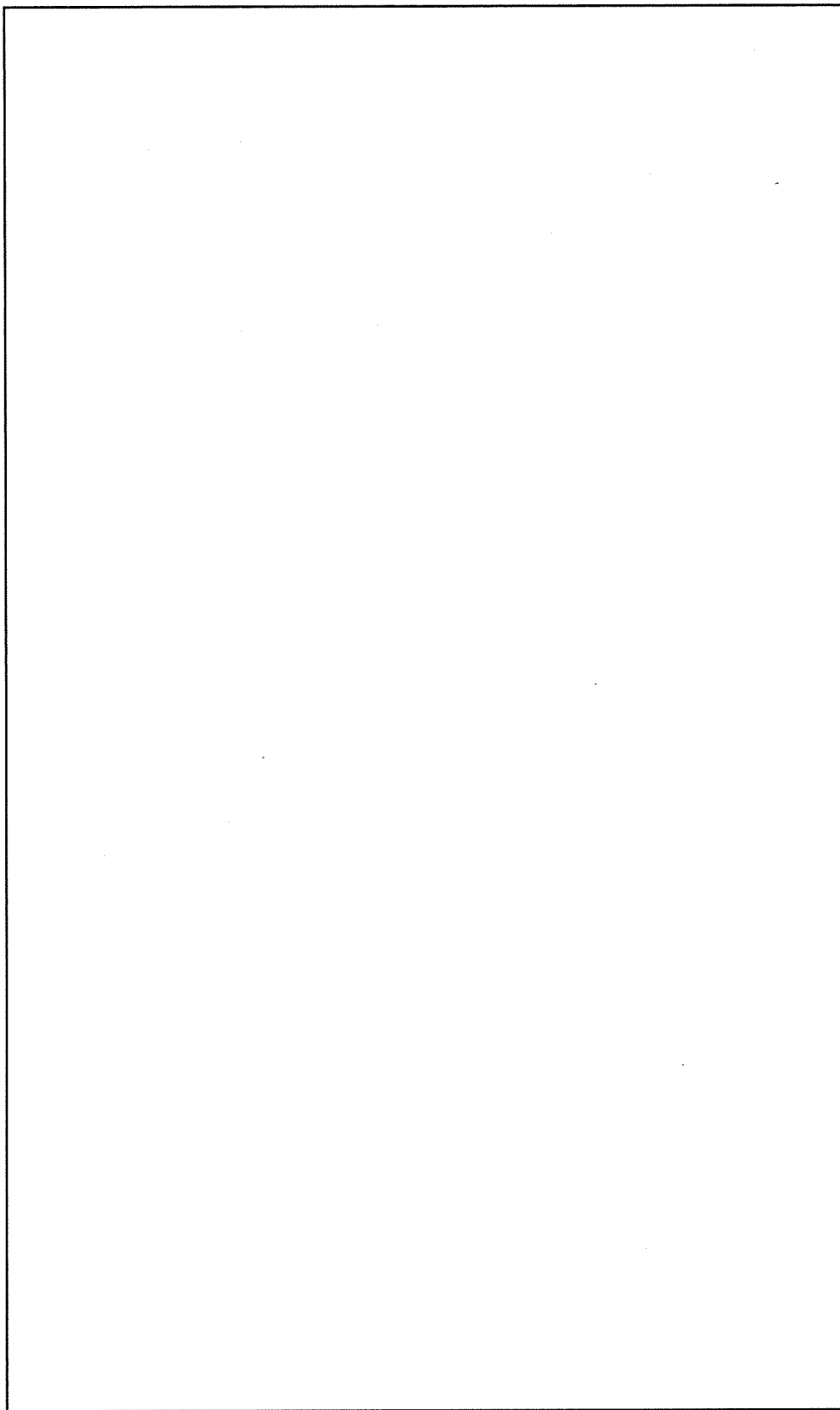
各部の最高温度を(ロ)－第B. 16表に、また各部の時間変化に伴う温度分布を(ロ)－第B. 3図に示す。

(ロ)－第B. 16表 特別の試験条件下の輸送容器各部最高温度

輸送容器各部の名称	経過時間 (分)	最高温度 (°C)
外筒部	30	702
外胴部*	63	187
鉛部	68	184
内胴部	86	180
容器内空気	166	138*
バスケット	139	169
収納缶	302	194
シャッタ蓋Oリング部相当箇所	30	240**
下部蓋Oリング部相当箇所	434	130

* 平均温度

** 落下試験Ⅱによる緩衝体損傷部の温度



温度 (°C)

時間 (h)

□で囲った箇所は核セキユリテイ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) - 第B.3図 特別の試験条件下輸送容器各部温度変化

B. 5. 4 最大内圧

(1) 内 洞 内

輸送物の熱解析から、特別の試験条件下における輸送容器内洞内に生ずる最大内圧は、ボイルシャルルの法則から次式より求まる。

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P V}{T}$$

ここで、

T_1 : 特別の試験条件下の容器内空気平均温度 (K)

P_1 : " 内洞内圧力 (MPa·a)

V_1 : " 容器内容積 (cm³)

T : 収納物収納時の温度 (K)

P : " 内洞内圧力 (MPa·a)

V : " 容器容積 (cm³)

$$V_1 = V$$

$$T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$P = 0.101 \text{ MPa}\cdot\text{a}$$

$$T_1 = 138 + 273 = 411 \text{ K}$$

したがって、

$$P_1 = \frac{411}{293} \times 0.101 = 1.42 \times 10^{-1} \text{ MPa}\cdot\text{a}$$

となる。

上記の圧力は、内洞内の使用済燃料ピット水を考慮しない場合を示す。

特別の試験条件下では、収納物に付着する使用済燃料ピット水 30 cm³ が蒸発することにより圧力上昇を生ずる。

この水の蒸発により生ずる圧力上昇を前記 $P_1 = 1.42 \times 10^{-1} \text{ MPa}\cdot\text{a}$ に補正を加える。水がない時の状態式は次式で示される。

$$P_1 V_1 = \frac{G_1}{M_1} R_1 T \quad \dots\dots\dots (1)$$

水が蒸発した時の状態式は次式で示される。

$$P_2 V_2 = \frac{(G_1 + \Delta G)}{M_2} R_2 T_2 = \frac{G_2}{M_2} R_2 T \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

P_1 : 水が無い時の内胴内圧力 (MPa・a)

P_2 : 水がある時の内胴内圧力 (MPa・a)

V_1, V_2 : 内胴内容積 = m³

G_1 : 内胴内空気重量 = $\gamma_{air} \times V = 1.29 \times$ = kg

ΔG : 水の重量 = kg

R_1 : 空気のガス定数 = 29.27 kg・m / (kg・K)

R_2 : 空気と水蒸気の混合状態でのガス定数 = 29.9 kg・m / (kg・K)

T : 空気温度

M_1 : 空気の分子量 = 29.27 kg / kmol

M_2 : 空気と水蒸気の混合状態での分子量 = 28.36 kg / kmol

γ_{air} : 空気の密度 = 1.29 kg / m³

(1), (2)式より水蒸気がある場合とない場合の内胴内圧力比を求めると次の通りとなる。

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{G_2}{M_2} R_2 T}{\frac{G_1}{M_1} R_1 T} = \frac{\frac{G_2}{M_2} R_2}{\frac{G_1}{M_1} R_1}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\left(\frac{\text{}{28.36}\right)}{\left(\frac{\text{}{29.27}\right)} \times \frac{29.9}{29.27}$$

$$= 1.30$$

したがって、

$$P_2 = 1.30 P_1$$

となる。 $P_1 = 1.42 \times 10^{-1}$ MPa・a であるから水蒸気を考慮した内胴内圧力は、

$$P_2 = 1.84 \times 10^{-1} \text{ MPa} \cdot \text{a} = 8.3 \times 10^{-2} \text{ MPa} \cdot \text{G}$$

となる。

(2) 外胴, 外筒間

外胴, 外筒間には, 断熱材としてのキャストブルが存在する。このキャストブルは半乾きの状態であるため水分を含んでいる。それ故に火災事故時にはキャストブルより水蒸気が発生し, 外胴, 外筒間に蒸気圧力が生じる。

したがって, 蒸気圧力により, 本体が破損せぬように溶融栓を設けている。

溶融栓の溶融温度は186℃である。

外胴、外筒間に生じる最高圧力として溶融栓の溶融温度（186℃）での飽和水蒸気圧を採用する。

186℃の飽和水蒸気圧力は約1.16MPa・aである。

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下において輸送物には熱応力は発生しない。

ただし、外筒及び外胴の圧力差により発生する応力はA.6.3.2に示すように基準値を超えることはない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における輸送物の性能評価を(ロ)－第B.17表に示す。

特別の試験条件下における輸送物の総合的評価を以下に述べる。

- (1) Oリング部の最高温度は、(ロ)－第B.17表に示すように240℃である。
この温度では、Oリング材料EPDMは短時間（短時間使用可能温度250℃）ならば使用可能範囲であるので、密封性能を低下させることはない。
- (2) 遮蔽材である鉛部の温度は、(ロ)－第B.17表に示すように184℃であり、融点327℃に比し十分な余裕のある温度であるため、遮蔽性能を低下させることはない。
- (3) 特別の試験条件下の熱的試験によって、輸送容器に生ずる最大圧力を用いて構造解析を行った結果は基準値以下となっている。

(ロ)－第B.17表 輸送物の性能評価

項目	基準値	結果	評価
<u>最高温度</u>			
鉛遮蔽体	327℃	184℃	基準に合致
Oリング	250℃	240℃	〃
<u>最大応力</u>			
内 胴	410 N/mm ²	0.69 N/mm ²	〃
外 胴	407 N/mm ²	20.9 N/mm ²	〃
外 筒	259 N/mm ²	38.3 N/mm ²	〃
<u>座屈圧力</u>			
外 胴	$P_{CR}=1.77\text{MPa}\cdot\text{G}$	1.06MPa・G	〃

B. 6 付属書類

B. 6. 1 熱伝導汎用プログラム「TRUMP」の概要

(1) 概 要

TRUMPは1968年 Lawrence Radiation Laboratory で開発されたノード法にもとづく伝熱計算プログラムである。((ロ) - 第B. 4図参照)

(2) 機 能

TRUMPは、熱生成、化学反応、相変化及び物質移動を伴う熱伝導を取扱うことができる。また、TRUMPは直交座標、円柱座標、回転座標あるいは極座標を用いて物体を分割することにより、3次元形状の物体を取扱うことができる。物性値のうち熱伝導率、比熱は、温度または時間の関数として表わすことができる。

要素の熱伝導は、伝導、自然対流、強制対流及び輻射による熱伝達を取扱うことができ、境界条件は自然対流、強制対流及び輻射による熱伝達を取扱うことができる。また、境界温度は時間の関数として表わすことができる。初期温度は、空間での位置によって異なってもよい。TRUMPの出力としては、各時間ごとの温度分布のほか、各要素の熱収支等が得られる。

(3) 計算方法

TRUMPは、空間座標と時間について4個の独立変数及び温度と2つの反応物濃度という合計3個の従属変数を持った連立偏微分方程式を解く。熱生成及び化学反応を伴う熱伝導及び物質移動の方程式は、通常3次元の場合は普通のベクトル演算式を用いて次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\frac{DT}{Dt} &= \frac{\partial T}{\partial t} + \underline{V} \cdot \Delta T \\ &= \frac{1}{\rho C} \cdot \Delta \cdot k \cdot \Delta T + G - \frac{Q_a}{C} \cdot \frac{\partial a}{\partial t} - \frac{Q_b}{C} \cdot \frac{\partial b}{\partial t}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{Da}{Dt} &= \frac{\partial a}{\partial t} + \underline{V} \cdot \Delta a \\ &= -a \cdot \exp\left(Z_a - \frac{E_a}{RT}\right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{Db}{Dt} &= \frac{\partial b}{\partial t} + \underline{V} \cdot \Delta b \\ &= -b \cdot \exp\left(Z_b - \frac{E_b}{RT}\right)\end{aligned}$$

ここで,

- T = 絶対温度
t = 時間
C = 比熱
 ρ = 密度
k = 熱伝導率
G = 単位体積当りの熱発生率
 \underline{V} = 流速ベクトル
a, b = 反応物濃度
Qa, Qb = 反応熱
Za, Zb = 対数衝突頻度
Ea, Eb = 活性化エネルギー
R = 気体定数

座標軸 r に垂直な相の界面を持つ相変化の熱効果は、次のように表わされる。

$$\rho \Delta H_m \left(\frac{\partial r_m}{\partial t} \right) = k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial r} \right)_{r_m} - k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right)_{r_m}$$

$$T_1(r_m) = T_2(r_m) = T_m$$

ここで、 ΔH_m = 相 1 から相 2 に相変化するときの潜熱

r_m = 相 1 と相 2 の境界面の位置

T_m = 相変化する時の温度

物質 1 と 2 の間の座標軸 r に垂直な境界面における熱収支は、次のように表わされる。

$$k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial r} \right)_i = h(T_{2,i} - T_{1,i}) = k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right)_i$$

$$h = h_{i,o} + h_{i,o}(T_{2,i} - T_{1,i})^2 P^{1/2} \\ + \sigma F_i(T_{1,i} + T_{2,i})(T_{1,i}^2 + T_{2,i}^2)$$

境界面のコンダクタンス h_i は、接触コンダクタンス、自然対流、強制対流及び輻射の効果を含んだ一般形である。 σ はステファン・ボルツマン定数、 F は総括輻射形態係数である。

座標軸 r に垂直な外表面における熱収支は、次のように表わされる。

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_s = U_s b(T_b - T_s)$$

ここで, T_b =外部温度

$U_{s, b}$ =表面コンダクタンス

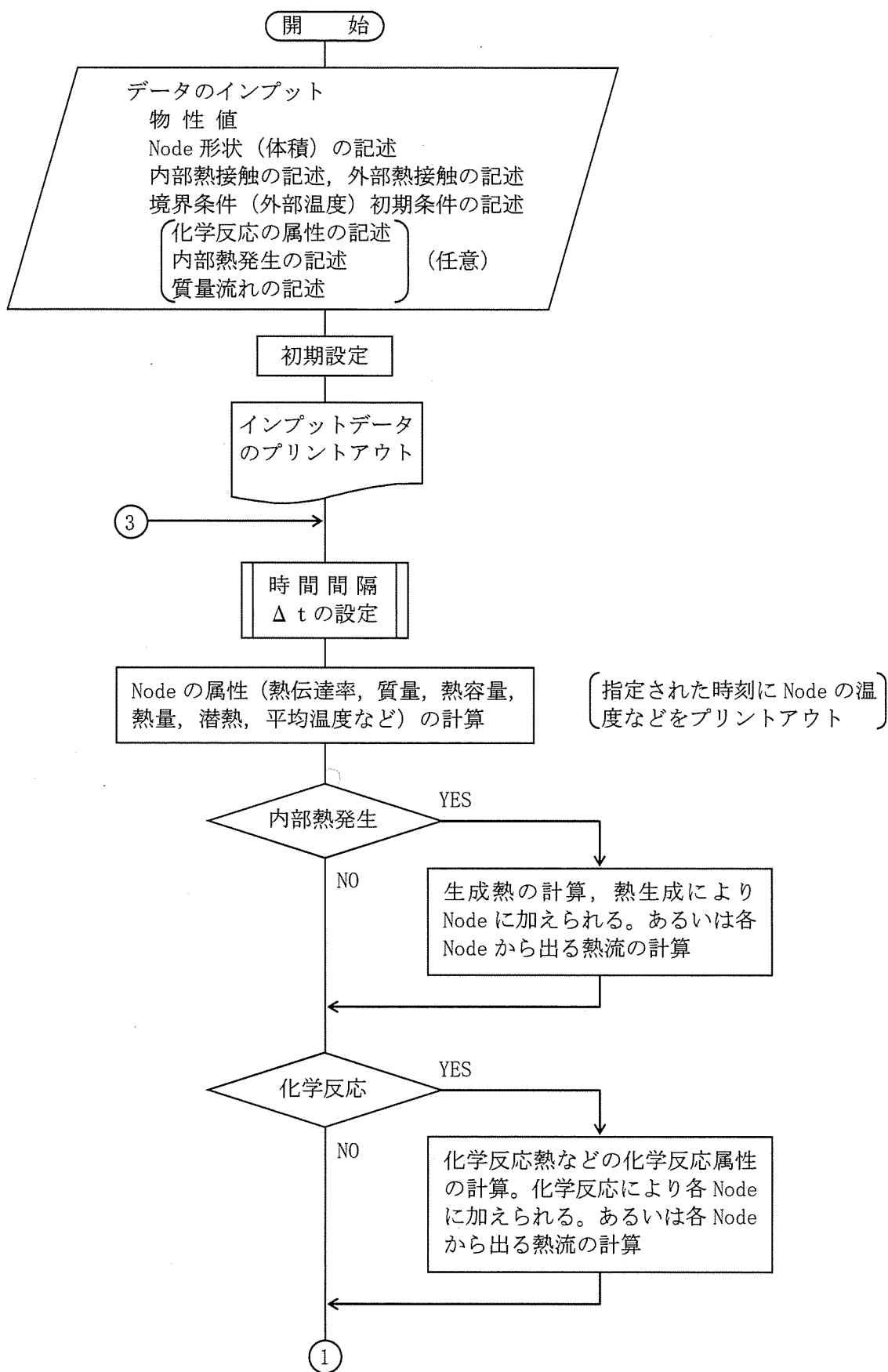
$U_{s, b}$ は, 物質相の場合と同様に, 次のように表わされる。

$$U_{s, b} = h_{s, o} + h_{s, c} \left[(T_b - T_s)^2 \right]^{P_s/2} + \sigma F_b \\ (T_s + T_b) (T_s^2 + T_b^2)$$

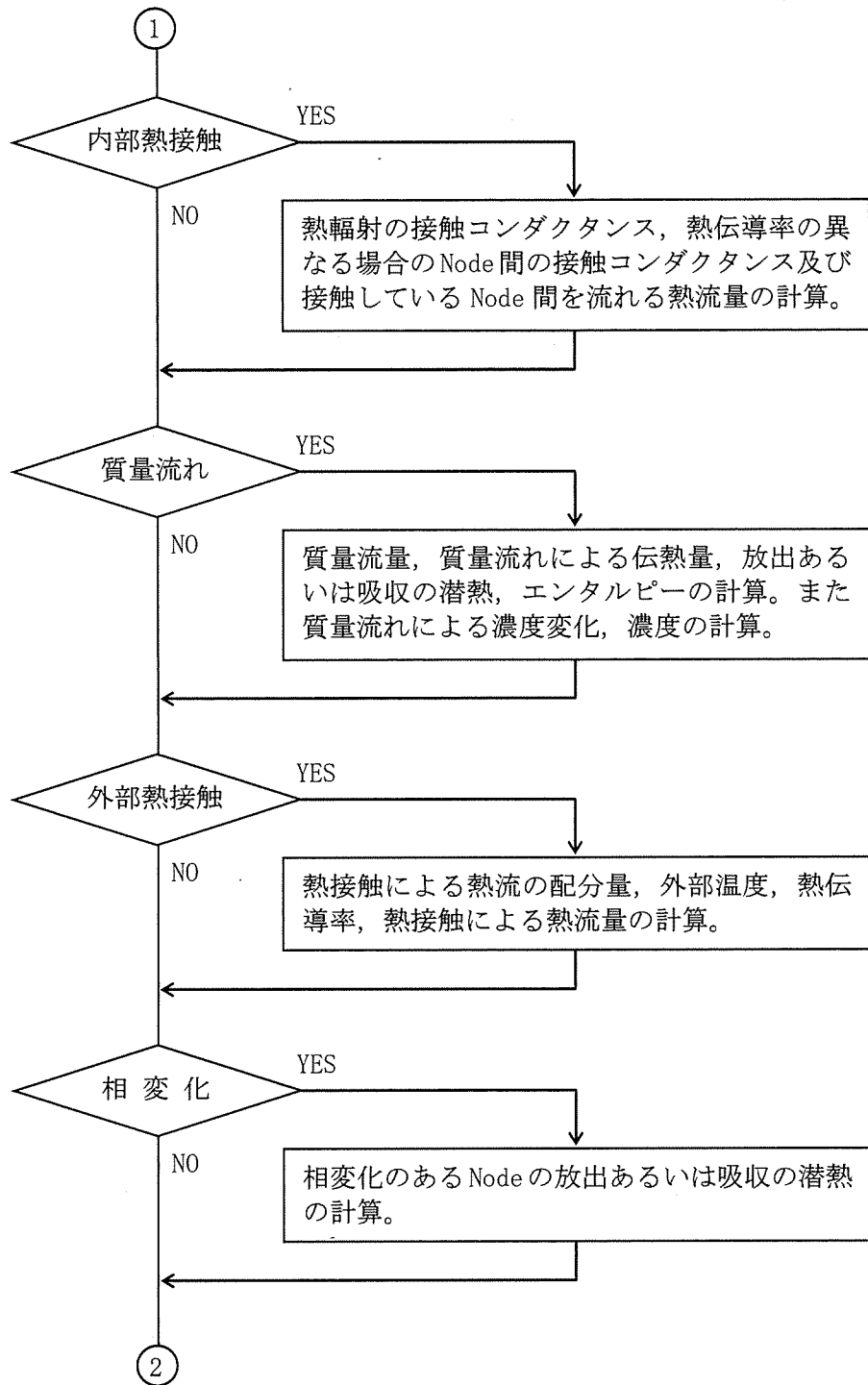
TRUMPで実際に解かれる方程式は, 微小時間間隔に対してであり, 前述の方程式において時間微分 $\partial u / \partial t$ を $(u' - u) / \Delta t$ と置き換えることにより計算される。ここで, u' と u は時間間隔 Δt の始まりと終わりの値である。

(4) 実績

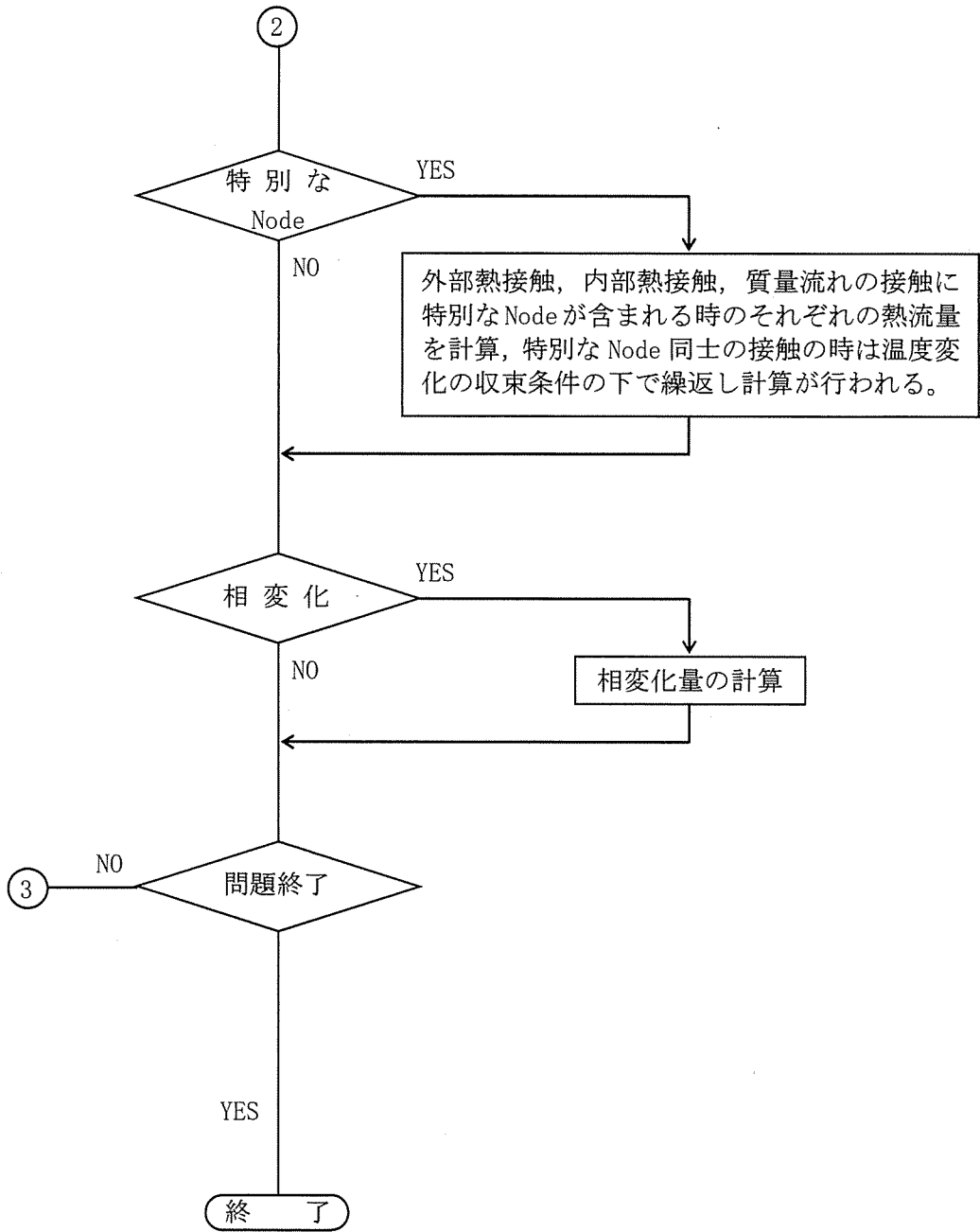
TRUMPプログラムは, Lawrence Radiation Laboratory で開発されたプログラムであり, 現在米国の数多くの研究所等で使用されている。



(ロ) - 第B. 4図 TRUMPフローチャート (1/3)



(ロ) - 第B. 4図 TRUMPフローチャート (2/3)



(ロ) - 第B. 4図 TRUMPフローチャート (3/3)

B. 6. 2 TRUMPのインプットデータについて

輸送容器表面に対する熱伝達は輻射及び対流熱伝達の和となる。

(1) 輻射による熱伝達

輻射による熱伝達は次式より求まる。

$$q_r = \sigma R (T_b^4 - T_s^4) \dots\dots\dots (1)$$

$$R = \frac{F_{ws}}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- q_r : 輸送容器表面での輻射による熱流束 (W/m²)
- T_b : 雰囲気温度 (K)
- T_s : 輸送容器表面温度 (K)
- ϵ_w : 雰囲気輻射率 (-)
- ϵ_s : 輸送容器表面輻射率 (-)
- σ : ステファン-ボルツマン定数 5.67×10^{-8} (W/(m²·K⁴))
- F_{ws} : 輻射の形態係数 $F_{ws} \doteq 1.0$ (-)

(輸送容器表面に比し、炉内空間、大気空間表面積は十分大きいので両者間の輻射形態係数は $F_{ws}=1.0$ である。)

R : 総括輻射形態係数

(a) 一般の試験条件時の総括輻射形態係数

$$\epsilon_w = 1.0$$

$$\epsilon_s = 0.36$$

$$F_{ws} = 1.0$$

より

$$R = \frac{1}{\frac{1}{1.0} + \frac{1}{0.36} - 1} = 0.36$$

(b) 耐火試験時の総括輻射形態係数

$$\varepsilon_w = 1.0$$

$$\varepsilon_s = 0.8$$

$$F_{ws} = 1.0$$

より

$$R = \frac{1}{\frac{1}{1.0} + \frac{1}{0.8} - 1} = 0.8$$

(c) 耐火試験後の総括輻射形態係数

$$\varepsilon_w = 1.0$$

$$\varepsilon_s = 0.5$$

$$F_{ws} = 1.0$$

より

$$R = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{0.5} - 1} = 0.5$$

(2) 自然対流による熱伝達率

自然対流による熱伝達率は、次式により求まる。

$$q_c = hc(T_b - T_s) \dots\dots\dots (3)$$

$$Nu = 0.129(Gr \cdot Pr)^{1/3} \dots\dots\dots (4)$$

$$\begin{aligned} hc &= \frac{k}{D} Nu = 0.129 \frac{k}{D} (Gr \cdot Pr)^{1/3} \\ &= 0.129 k \left(\frac{g \beta Pr}{\nu^2} \right)^{1/3} (T_b - T_s)^{1/3} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここで、

q_c : 輸送容器表面での対流による熱流束 (W/m²)

(外部から輸送容器表面への)

D : 輸送容器外径 (m)

Gr : グラスホッフ数 (—)

g : 重力加速度 (m/s²)

hc : 熱伝達係数 (W/(m²·K))

k : 雰囲気流体の熱伝導率 (W/(m·K))

Nu : ヌッセルト数 (—)

Pr : プラントル数	(-)
β : 雰囲気流体の体積膨張係数	(1 / K)
ν : 雰囲気流体の動粘性係数	(m ² / s)
Tb : 雰囲気温度	(K)
Ts : 輸送容器表面温度	(K)

(a) 一般の試験条件時の熱伝達係数

$$\begin{aligned}
 g &= 9.8 && \text{m} / \text{s}^2 \\
 \beta &= 1 / (273+38) && 1 / \text{K} \\
 \nu &= 0.175 \times 10^{-4} && \text{m}^2 / \text{s} \\
 k &= 0.0272 && \text{W} / (\text{m} \cdot \text{K}) \\
 \text{Pr} &= 0.71 && - \\
 h_c &= 0.129 \times 0.0272 \times \left\{ \frac{9.8 \times 1 / (273+38) \times 0.71}{(0.175 \times 10^{-4})^2} \right\}^{1/3} \times (T_b - T_s)^{1/3} \\
 &= 1.47 (T_b - T_s)^{1/3} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

(b) 耐火試験時の熱伝達係数

$$\begin{aligned}
 g &= 9.8 && \text{m} / \text{s}^2 \\
 \beta &= 1 / 273 && 1 / \text{K} \\
 \nu &= 1.37 \times 10^{-4} && \text{m}^2 / \text{s} \\
 k &= 0.0709 && \text{W} / (\text{m} \cdot \text{K}) \\
 \text{Pr} &= 0.71 && - \\
 h_c &= 0.129 \times 0.0709 \times \left\{ \frac{9.8 \times 1 / 273 \times 0.71}{(1.37 \times 10^{-4})^2} \right\}^{1/3} \times (T_b - T_s)^{1/3} \\
 &= 1.01 (T_b - T_s)^{1/3} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

(c) 耐火試験後の熱伝達係数

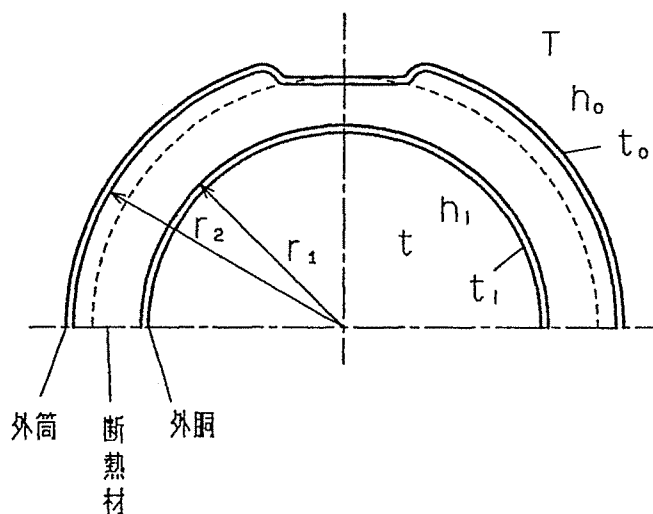
$$\begin{aligned}
 g &= 9.8 && \text{m} / \text{s}^2 \\
 \beta &= 1 / 273 && 1 / \text{K} \\
 \nu &= 0.175 \times 10^{-4} && \text{m}^2 / \text{s} \\
 k &= 0.0272 && \text{W} / (\text{m} \cdot \text{K}) \\
 \text{Pr} &= 0.71 && - \\
 h_c &= 0.129 \times 0.0272 \times \left\{ \frac{9.8 \times 1 / 273 \times 0.71}{(0.175 \times 10^{-4})^2} \right\}^{1/3} \times (T_b - T_s)^{1/3} \\
 &= 1.53 (T_b - T_s)^{1/3} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

B. 6.3 落下試験Ⅱによる外筒変形の影響

落下試験Ⅱで、外筒に変形が生ずる原型試験では約6mmの陥没が生じた。本項では、この変形による熱的影響が誤差範囲程度であることを示す。

1. 解析条件

- (1) 外筒に生じた永久変形は、外胴に影響を及ぼさない。
- (2) 計算には、外筒及び外筒材の板厚を考慮しない。
- (3) 断熱材の変形により、外半径 (r_2) が (ロ)－第B.5図に示すように減少したものとする。本解析モデルにおいては、鉛及び内胴を省略する。
- (4) 雰囲気温度は800℃とし、外胴内温度は38℃とする。
- (5) 解析は、定常熱伝導にて行い、その結果より外半径減少の影響の評価を行う。



(ロ) - 第B. 5 図 外筒変形の影響解析モデル

2. 基本計算式

単一円筒材の定常熱伝導による熱流束は、次式により求まる。

$$Q = k (T - t) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{h_i \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{h_o \cdot r_2} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- Q : 定常熱流束 (W/m²)
- k : 熱抵抗 (W/(m²·K))
- T : 外部雰囲気温度 = 800°C
- t : 外胴内基準温度 = 38°C
- hi : 内側熱伝達係数 = 5.815 W/(m²·K)
- ho : 外側熱伝達係数 (W/(m²·K))
- r1 : 外胴外半径 = 0.31m
- r2 : 外筒内半径 = 0.35~0.33m
- λ : 断熱材の熱伝導率 = 1.42 W/(m·K) (800°C)

また、外筒温度 t_o 及び外胴温度 t_1 は、次式により求まる。

$$t_o = T - \frac{Q}{2\pi r_2 h_o} \dots\dots\dots (3)$$

$$t_1 = t_o - \frac{Q}{2\pi \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots (4)$$

3. 数値解析

外側熱伝達係数 h_o は、対流伝熱及び輻射伝熱より求める。

$$h_o = h_{oc} + h_{or}$$

ここで、

$$h_{oc} : \text{対流熱伝達係数} \quad (W / (m^2 \cdot K))$$

$$h_{or} : \text{輻射熱伝達係数} \quad (W / (m^2 \cdot K))$$

対流熱伝達係数 h_{oc} は、次式により求まる。

$$\begin{aligned} h_{oc} &= 1.01 (T - t_o)^{1/3} \\ &= 1.01 (800 - t_o)^{1/3} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

輻射熱伝達係数 h_{or} は、次式により求まる。

$$\begin{aligned} h_{or} &= \frac{\sigma R [(T + 273)^4 - (t_o + 273)^4]}{T - t_o} \\ &= \frac{5.67 \times 10^{-8} \times 0.80 [1073^4 - (t_o + 273)^4]}{800 - t_o} \\ &= \frac{4.54 \times 10^{-8} [1073^4 - (t_o + 273)^4]}{800 - t_o} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ここで、

$$\sigma : \text{ステファン-ボルツマン定数} = 5.67 \times 10^{-8} W / (m^2 \cdot K^4)$$

$$R : \text{総括形態係数} = 0.8$$

したがって、

$$\begin{aligned} h_o &= h_{oc} + h_{or} \\ &= 1.01 (800 - t_o)^{1/3} + \frac{4.54 \times 10^{-8} \times [1073^4 - (t_o + 273)^4]}{800 - t_o} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

次に熱抵抗 k は、次式によって表わせる。

$$\begin{aligned}
\frac{1}{k} &= \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{h_1 r_1} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{h_2 r_2} \right\} \\
&= \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{5.82 \times 0.31} + \frac{1}{1.42} (\ln r_2 - \ln 0.31) + \frac{1}{h_2 r_2} \right\} \\
&= \frac{1}{2\pi} \left\{ 1.379 + 0.704 \times \ln r_2 + \frac{1}{h_2 r_2} \right\} \dots\dots\dots (8)
\end{aligned}$$

したがって、定常熱流束Qは、次式で表せる。

$$\begin{aligned}
Q &= k \cdot (T - t) = k \cdot (800 - 38) \\
&= \frac{7.62 \times 10^2 \times 2\pi}{1.379 + 0.704 \times \ln r_2 + \frac{1}{h_2 r_2}} \dots\dots\dots (9)
\end{aligned}$$

(9)式を(3)式に代入すると、

$$\begin{aligned}
t_o &= T - \frac{1}{2\pi r_2 h_o} \times \frac{7.62 \times 10^2 \times 2\pi}{1.379 + 0.704 \times \ln r_2 + \frac{1}{h_2 r_2}} \\
&= 800 - \frac{7.62 \times 10^2}{1.379 \times r_2 h_o + 0.704 \times r_2 h_o \times \ln r_2 + 1} \dots\dots\dots (10)
\end{aligned}$$

(10)式を整理すると、

$$(800 - t_o) \times (1.379 r_2 h_o + 0.704 r_2 h_o \ln r_2 + 1) - 7.62 \times 10^2 = 0 \dots\dots (11)$$

(11)式及び(7)式を2分法による求根計算法(初期条件 $t_{1a} = 800$, $t_{1b} = 750$, 精度0.01)で外筒内径 r_2 をパラメータとして、 t_o を求めるとその結果は、(ロ)－第B.18表の通りである。

次の外胴温度 t_1 は、上記で求められた t_o を用いて、(4)式により、(ロ)－第B.18表の通り求まる。

(ロ)－第B.18表 外筒変形状態での代表部の温度分布

外筒内半径 の変化	雰囲気 温度	外筒外 表面温度	外胴内 表面温度	基準温度	外胴温度 上昇率
$r_2(\text{m})$	$T(^{\circ}\text{C})$	$t_o(^{\circ}\text{C})$	$t_i(^{\circ}\text{C})$	$t(^{\circ}\text{C})$	$t_{1,r=r_2} / t_{1,r=0.35}$
0.35 *	800	783.7	684.0	38	1
0.345	800	783.2	694.0	38	1.015
0.340	800	782.7	704.4	38	1.030
0.335	800	782.1	715.3	38	1.046
0.330	800	781.5	726.7	38	1.062

*永久変形のない部分の外半径を示す。

4. 外筒変形の影響の評価

(ロ)－第B.6図に、断熱材厚さ減少による外胴の温度変化の割合を示す。

これによると、断熱材の厚さが10mm減少した場合、健全部に対する温度上昇は約3%程度である。

落下試験Ⅱの結果によると、断熱材の実質厚みは6mm減少しており、その影響については、(ロ)－第B.6図から分かるように、1.7%程度の温度上昇を生ずる。

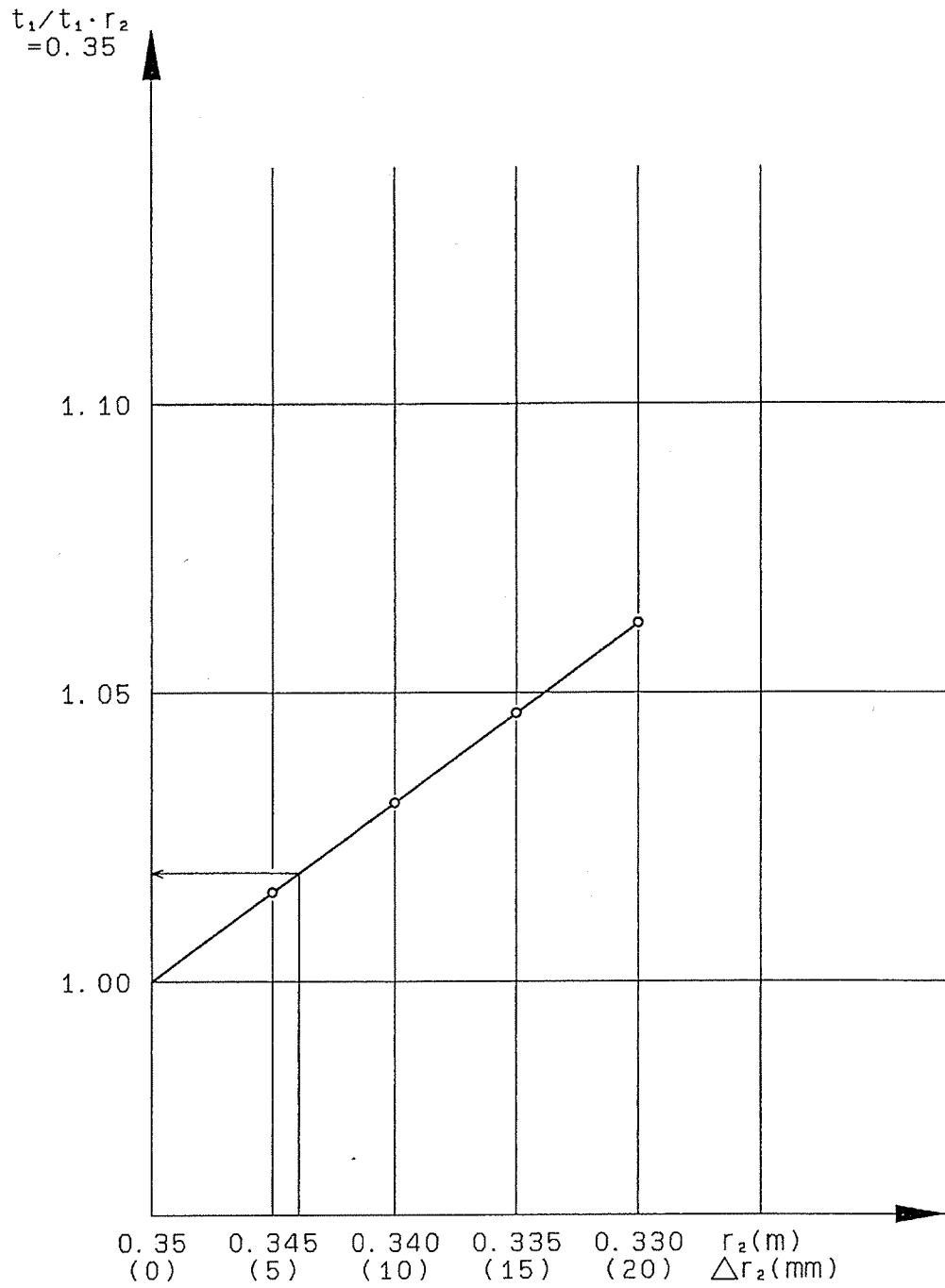
断熱材が40mmある場合の外胴の最高到達温度は182℃であるから、6mm断熱材が薄くなった場合の最大到達温度は、

$$t_{\max} = 182 \times 1.017 = 185.1^{\circ}\text{C}$$

となり温度差は、

$$\Delta t = 185.1 - 182 = 3.1^{\circ}\text{C}$$

となる。したがって、約6mm断熱材が薄くなっても温度上昇は、僅か3℃程度であるので、落下試験Ⅱ（1m貫通試験）による外筒変形の影響を考慮しない。



(口) - 第B. 6 図 断熱材厚さ減少による外胴温度の変化

B. 6. 4 落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱによる緩衝体損傷の熱的影響

落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱで、緩衝体が損傷し、緩衝体の断熱効果が減じ、輸送容器の密封境界に対し、最も熱的影響を与えるのは、(ロ)－第B. 7 図に示すシャッタ蓋コーナ部を下向とする水平落下試験の場合である。

このシャッタ蓋部に生ずる緩衝体損傷部分の耐火性能についてTRUMPコードを用いて3次元解析を行う。

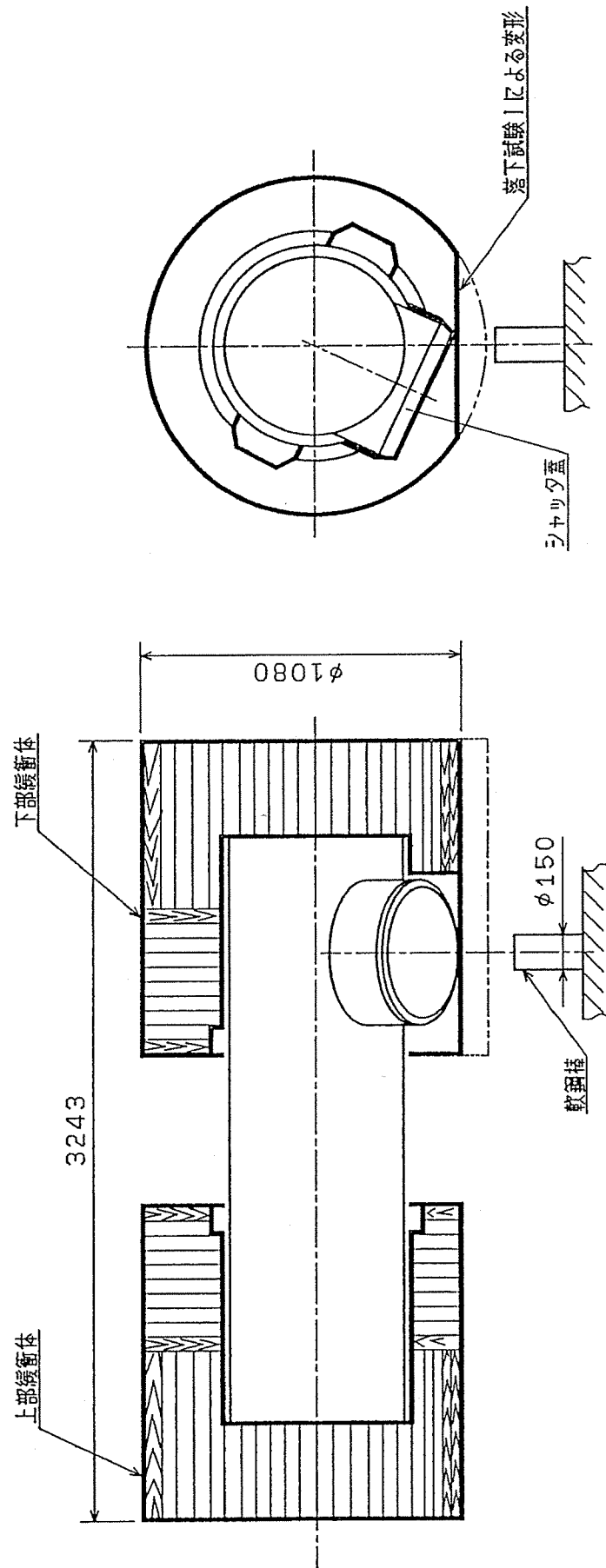
1. 解析モデル

落下試験Ⅰ及びⅡのシャッタ蓋コーナ部下向とする水平落下試験による緩衝体の損傷モデルを(ロ)－第B. 8 図に示す。また、その詳細を(ロ)－第B. 9 図に示す。

落下試験Ⅱで、貫通治具衝突部の緩衝材は消失する。消失する寸法は、接線方向150mm、軸方向200mmの角形にモデル化する。

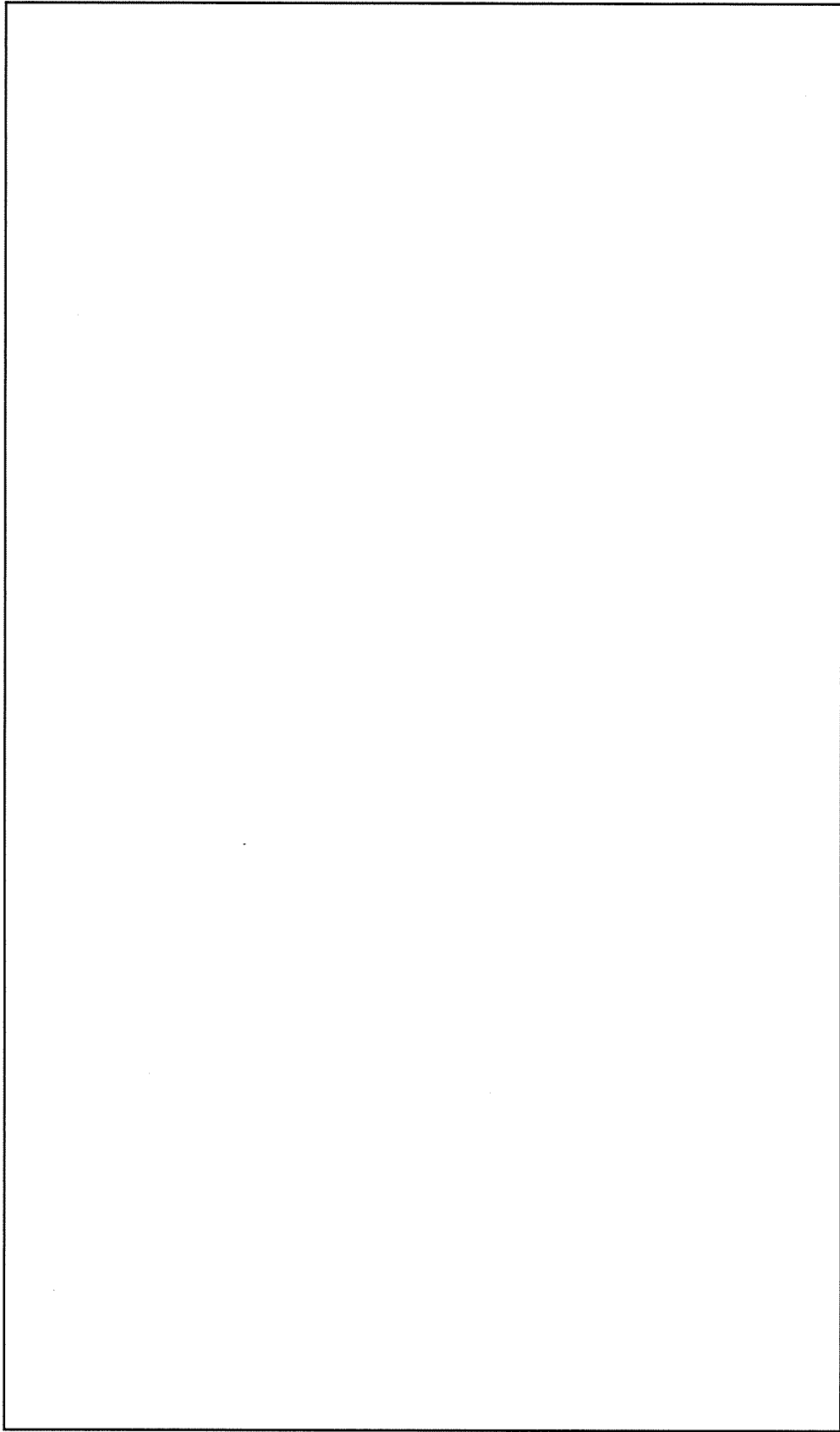
(ロ)－第B. 9 図に示すように、緩衝体を被覆している内側のステンレス鋼板は損失しないものとするが、衝突部のシャッタ蓋とステンレス鋼との間には空気層はないものとする。

(ロ)－第B. 8 図及び(ロ)－B. 9 図に示す緩衝体の損失状態を考慮した熱解析モデルを(ロ)－第B. 10 図に示す。



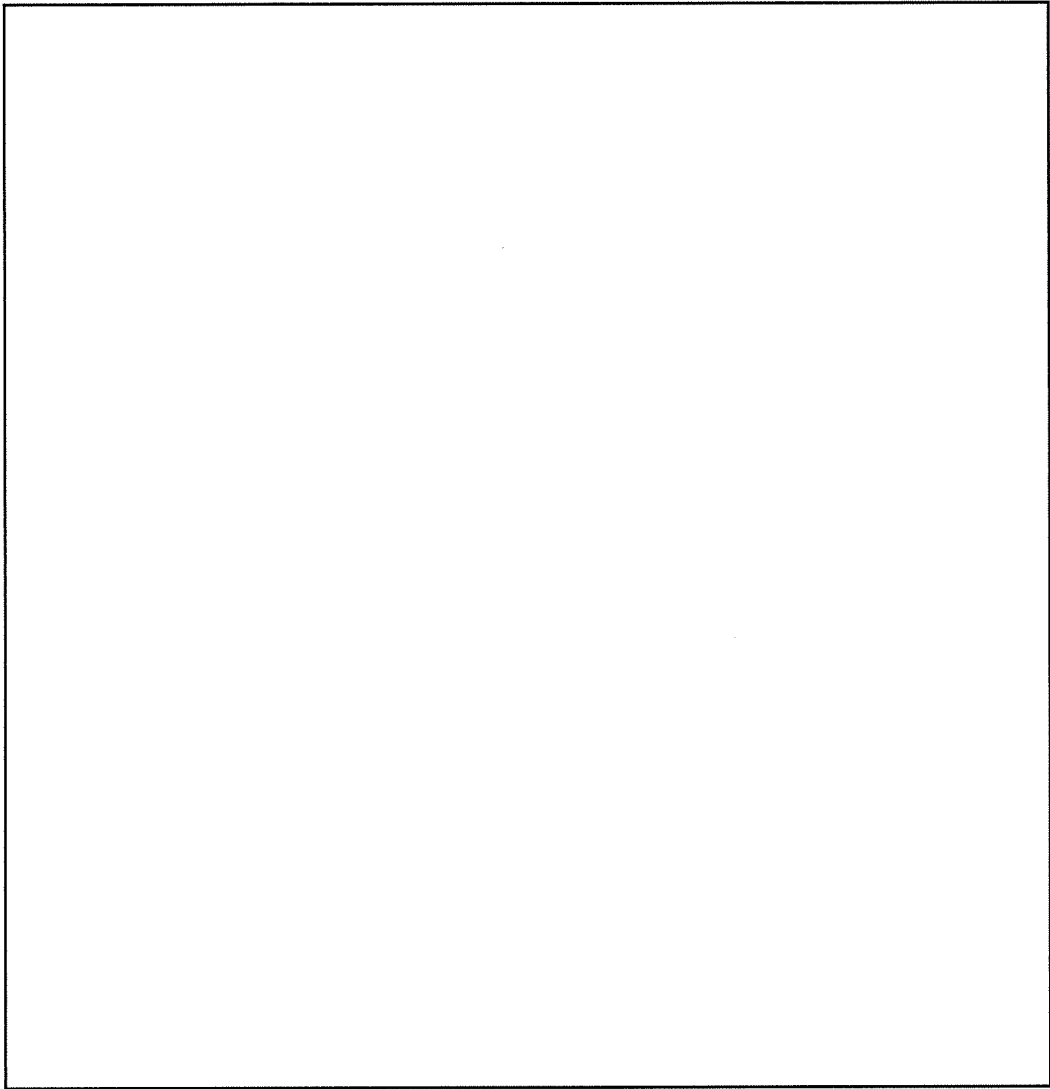
(口) - B - 39

(口) - 第B. 7図 水平落下状態図



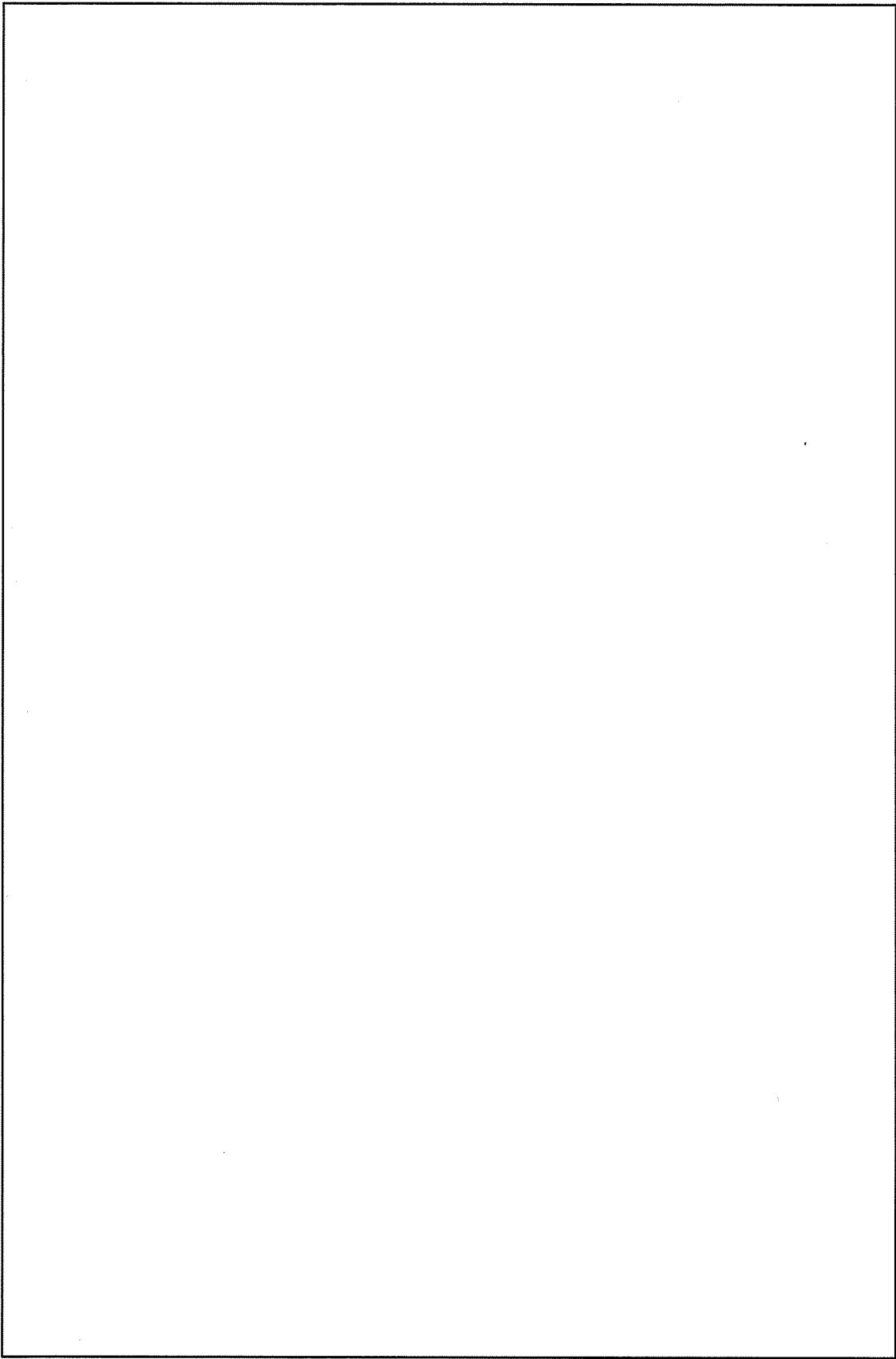
(口)－第B.8図 緩衝体損傷モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(ロ)－第B.9図 緩衝体損傷モデル詳細

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(ロ)一第B.10図 シャッタ蓋部熱解析モデル

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

2. TRUMPコードインプット条件

(ロ)－第B. 8 図に示す受熱範囲に、火災時の対流及び輻射によって、緩衝体内側被覆ステンレス鋼に伝熱し、更に緩衝体内側被覆ステンレス鋼からシャッタ蓋へ伝導により熱の授受が行われる。

(1) 火焰より緩衝体内側被覆ステンレス鋼への輻射熱伝達

火焰より緩衝体内側被覆ステンレス鋼への輻射熱伝達は次式より求まる。

$$q_r = \sigma R (T_b^4 - T_s^4) \dots\dots\dots (1)$$

$$R = \frac{F_{ws}}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

q_r : 火焰より緩衝体内側被覆ステンレス鋼への輻射熱流束 (W/m^2)

T_b : 雰囲気温度 (K)

T_s : 緩衝体内側被覆ステンレス鋼温度 (K)

ϵ_w : 雰囲気輻射率 (-)

ϵ_s : 緩衝体内側被覆ステンレス鋼輻射率 (-)

σ : ステファン-ボルツマン定数 $= 5.67 \times 10^{-8}$ ($W/(m^2 \cdot K^4)$)

F_{ws} : 輻射形態係数 ≈ 1.0

R : 総括輻射形態係数

(a) 耐火試験時の総括輻射形態係数

$$\epsilon_w = 1.0$$

$$\epsilon_s = 0.8$$

$$F_{ws} = 1.0$$

より

$$R = \frac{1}{\frac{1}{1.0} + \frac{1}{0.8} - 1} = 0.8$$

(b) 耐火試験後の総括輻射形態係数

$$\epsilon_w = 1.0$$

$$\epsilon_s = 0.5$$

$$F_{ws} = 1.0$$

より

$$R = \frac{1}{\frac{1}{1.0} + \frac{1}{0.5} - 1} = 0.5$$

(2) 火焰より緩衝体内側被覆ステンレス鋼への対流熱伝達

火焰より緩衝体内側被覆ステンレス鋼への対流熱伝達は次式より求まる。

$$q_c = h_c (T_b - T_s) \dots\dots\dots (3)$$

$$Nu = 0.129 (Gr \cdot Pr)^{1/3}$$

$$= 0.129 \left[\frac{g \ell^3 \beta \cdot Pr}{\nu^2} \right]^{1/3} (T_b - T_s)^{1/3} \dots\dots\dots (4)$$

$$h_c = \frac{k}{\ell} \cdot Nu \dots\dots\dots (5)$$

ここで,

q_c : 火焰より緩衝体内側被覆ステンレス鋼への対流熱流束 (W/m^2)

T_b : 雰囲気温度 (K)

T_s : 緩衝体内側被覆ステンレス鋼温度 (K)

Gr : グラスホッフ数 ($-$)

Pr : プラントル数 ($-$)

g : 重力加速度 (m/s^2)

ℓ : 代表寸法 (m)

β : 雰囲気流体の体積膨張係数 ($1/K$)

ν : 雰囲気流体の動粘性係数 (m^2/s)

h_c : 対流熱伝達係数 ($W/(m^2 \cdot K)$)

k : 雰囲気流体の熱伝導率 ($W/(m \cdot K)$)

(a) 耐火試験時の熱伝達係数

$$g = 9.8 \quad m/s^2$$

$$\beta = 1/273 \quad 1/K$$

$$\nu = 1.37 \times 10^{-4} \quad m^2/s$$

$$k = 0.0709 \quad W/(m \cdot K)$$

$$Pr = 0.71 \quad -$$

$$\ell = 0.20 \quad m$$

$$h_c = \frac{0.0709}{0.20} \times 0.129 \left\{ \frac{9.8 \times 0.20^3 \times \frac{1}{273} \times 0.71}{(1.37 \times 10^{-4})^2} \right\}^{1/3} (T_b - T_s)^{1/3}$$

$$= 1.01 (T_b - T_s)^{1/3} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

(b) 耐火試験後の熱伝達係数

$$g = 9.8 \quad \text{m}/\text{s}^2$$

$$\beta = \frac{1}{273} \quad 1/\text{K}$$

$$\nu = 0.175 \times 10^{-4} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

$$k = 0.0272 \quad \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\text{Pr} = 0.71 \quad -$$

$$l = 0.20 \quad \text{m}$$

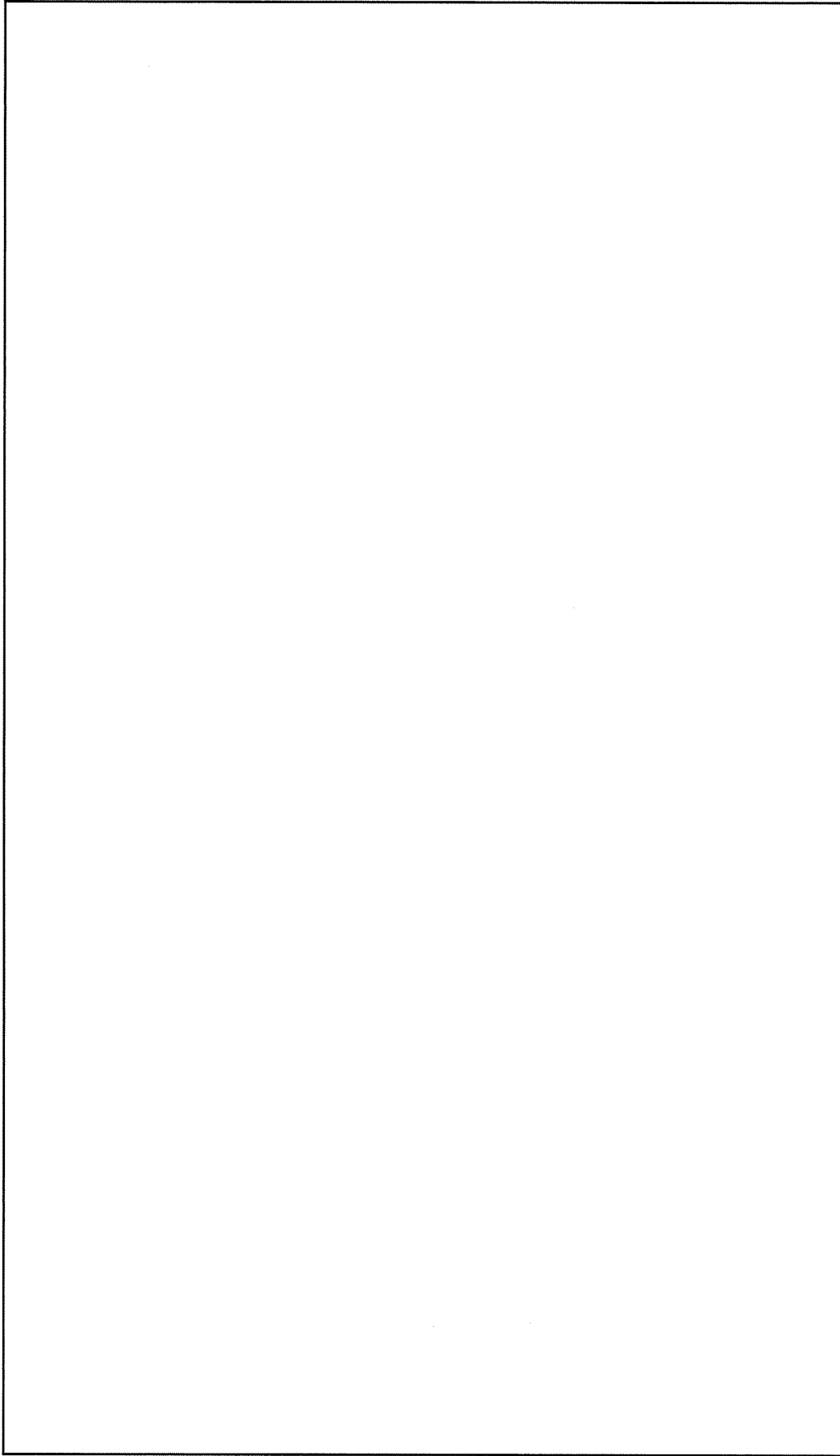
$$h_c = \frac{0.0272}{0.20} \times 0.129 \left\{ \frac{9.8 \times 0.20^3 \times \frac{1}{273} \times 0.71}{(0.175 \times 10^{-4})^2} \right\}^{1/3} (T_b - T_s)^{1/3}$$

$$= 1.53 (T_b - T_s)^{1/3} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

3. 数値解析

(ロ) 第B.10図に示すノード分割及び前項のインプット条件下に、TRUMPコードを用いて3次元数値解析を行った結果を(ロ)第B.11図に示す。

シャッタ蓋外側リング部の最高温度は耐火試験開始より30分後に約240℃となる。



(ロ)－第B.11 図 耐火試験時、シヤッタ蓋Oリング部温度分布計算結果

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

B. 6. 5 参考文献

- (1) Arthur L. Edwards , TRUMP : Computer Program for Transient and Steady-state Temperature Distributions in Multidimensional Systems, Lawrence Laboratory,
UCRL-14754 Rev. II, (1969)
- (2) 「伝熱工学資料」改訂第3版 日本機械学会
- (3) 「金属データブック」 日本材料学会編 丸善
- (4) 「E P I C C分科会報告書」 日本機械学会
- (5) 三菱重工業（株）社内データ
「バルサ材の物性値の測定結果（WRS01502）昭和58年2月」
- (6) 「木材工業ハンドブック」改訂第3版 丸善

B6.6 原子力容器サーベイランスキャプセル輸送容器

実証試験(耐火試験)

結果報告書

目 次

	ページ
1. 概 要	(口) - B - 50
2. 実証試験用輸送容器仕様	(口) - B - 50
2.1 構造概要	(口) - B - 50
2.2 主要緒元	(口) - B - 50
3. 計測及び検査項目	(口) - B - 51
4. 試験設備	(口) - B - 51
5. 試験及び計測要領	(口) - B - 53
5.1 耐火試験	(口) - B - 53
5.2 気密漏洩試験	(口) - B - 57
6. 試験結果	(口) - B - 58
7. 試験結果と計算値の比較	(口) - B - 58
8. む す び	(口) - B - 59
添付資料1. 気密漏洩試験成績書	(口) - B - 68

1. 概 要

本書は、原子炉容器サーベイランスキャプセル輸送容器の特別の試験のうち耐火試験に関し、原型モデルを使用して行った炉内試験（IAEA炉内試験－方法Ⅱ）による実証試験結果を取り纏めたものである。

2. 実証試験用輸送容器仕様

2.1 構造概要

この輸送容器本体は、円筒形状をなし、本体（内部より、内胴、鉛、外胴、耐火材及び外筒）、蓋、締付ボルト及びOリングより構成される。

内胴、外胴及び外筒は強度材料で、ステンレス鋼製である。ガンマ線しゃへい材には鉛を使用する。外胴と外筒の間には、断熱材（キャストブル）を充填している。

また、輸送容器の両端には、米杉及びバルサを収納した鋼板製の緩衝体が取付けられている。この緩衝体は、強度試験の落下衝撃エネルギーを吸収するためと耐火試験時の両端からの入熱を断熱する断熱層の効果を期待するものである。

2.2 主要緒元

(1) 内 胴：内 径	.....	1 9 0 . 9 mm
板 厚	.....	1 2 . 7 mm
(2) 外 胴：外 径	.....	6 2 0 mm
板 厚	.....	1 5 mm
(3) 外 筒：外 径	.....	7 2 0 mm
板 厚	.....	1 0 mm
(4) 全 長：緩衝体あり	.....	3 3 0 1 mm
緩衝体無し	.....	2 6 7 7 mm
(5) 重 量：本 体	.....	8 7 0 0 kg
上部緩衝体	.....	4 9 0 kg
下部緩衝体	.....	5 4 0 kg
全 重 量	.....	9 7 3 0 kg

3. 計測及び検査項目

本試験の計測及び検査項目は次の通りである。

(1) 輸送容器本体温度測定

CA熱電対により測定する。

(2) 炉壁温度測定

CA熱電対により測定する。

(3) 耐火試験後の気密漏洩試験

加圧漏洩法により漏洩の有無を確認する。

4. 試験設備

4.1 加熱炉

本試験に使用した加熱炉は重油燃焼による焼鈍炉である。

この焼鈍炉は、直方体構造でその一面は上下に開閉可能な扉を有し、炉底面には、移動台車が設置されている。写真1及び写真2に加熱炉の概要を示す。

4.2 耐火試験用置台

この置台は、輸送容器を約950℃に加熱された加熱炉台車上に設置する際に使用されるものである。写真1及び写真2に使用状況を示す。

4.3 耐火試験用吊フック

この吊フックは、800℃×30分の耐火試験後、輸送容器を台車上より吊上げ、別の架台へ移送する時に使用するものである。

写真6に使用状況を示す。

写真 1

耐火試験前の
準備状況-1

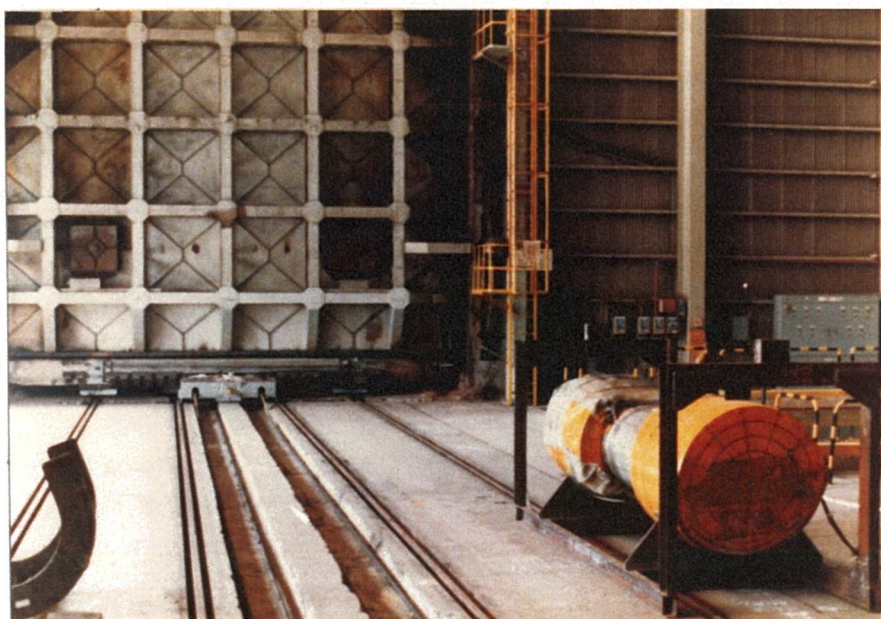
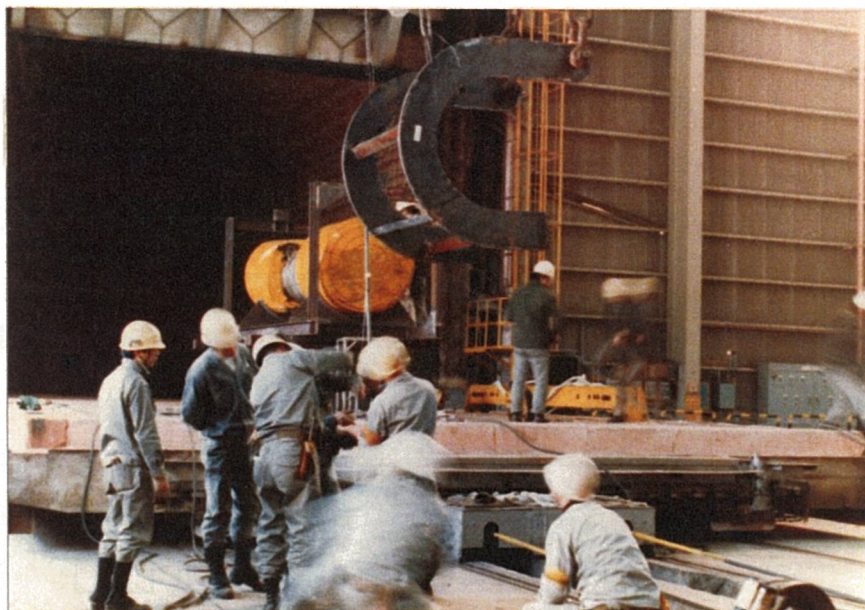


写真 2

耐火試験前の
準備状況-2

5. 試験及び計測要領

5.1 耐火試験

5.1.1 耐火試験要領

規則で要求される800℃の環境に輸送容器を30分放置する事故時試験を満足させるため、次の要領にて行った。

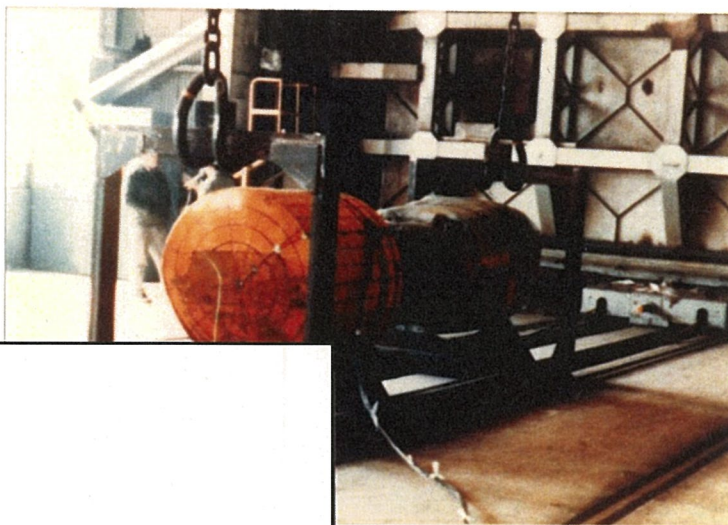
- (1) 加熱炉は、無負荷状態（輸送容器を加熱炉に設置しない状態）で、あらかじめ□℃に加熱炉全体を均一に加熱した。
- (2) 輸送容器を加熱炉内に設置する際は、加熱炉の扉を開にし、台車を所定の位置まで搬出した。
- (3) この台車上に置台に設置された輸送容器を置台ごと設置した。
- (4) 輸送容器設置完了後、台車を加熱炉内に搬入し扉を“閉”にした。
- (5) 炉内温度は上記(1)～(4)の作業の間に□℃から□℃まで降温したため、直ちにバーナにより再加熱を行い、800℃に昇温させた。これに要した時間は12分であった。
- (6) 炉内温度は800℃に到達した後、30分間輸送容器を炉内で加熱した。
(なお、炉内温度は800℃±10℃以内にコントロールした。)
- (7) 30分間の加熱後、加熱炉の扉を“開”にし、台車を搬出し、輸送容器を吊上げ、加熱架台上に移送した。
- (8) 加熱架台上で□放置し、輸送容器各部の温度を測定した。

上記要項にもとづくタイムスケジュールを図1に示す。また、この操作状況を写真3～写真7に示す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

写 真 3

耐火試験前



写 真 4

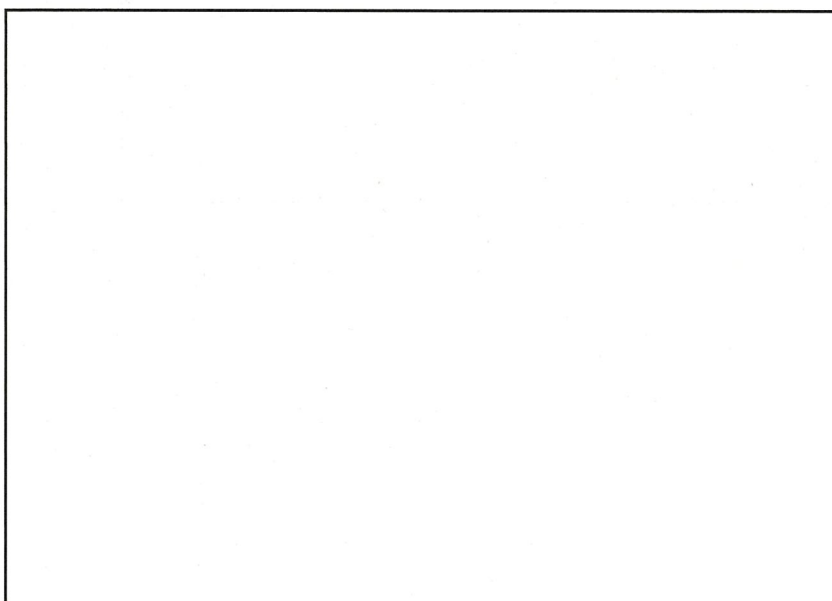
耐火試験 (800°C × 30 分後)

加熱炉扉開

写 真 5

耐火試験 (800°C × 30 分後)

本体吊上げ準備

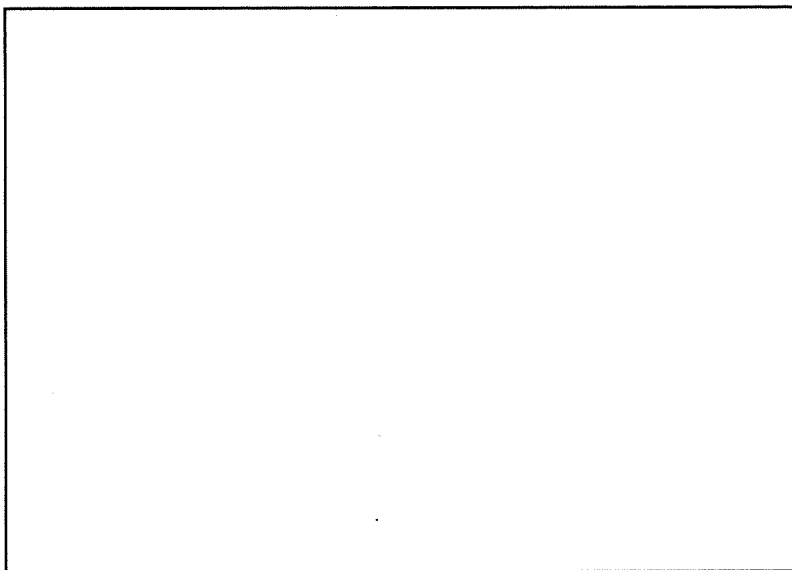


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

写 真 6

耐火試験 (800°C×30 分後)

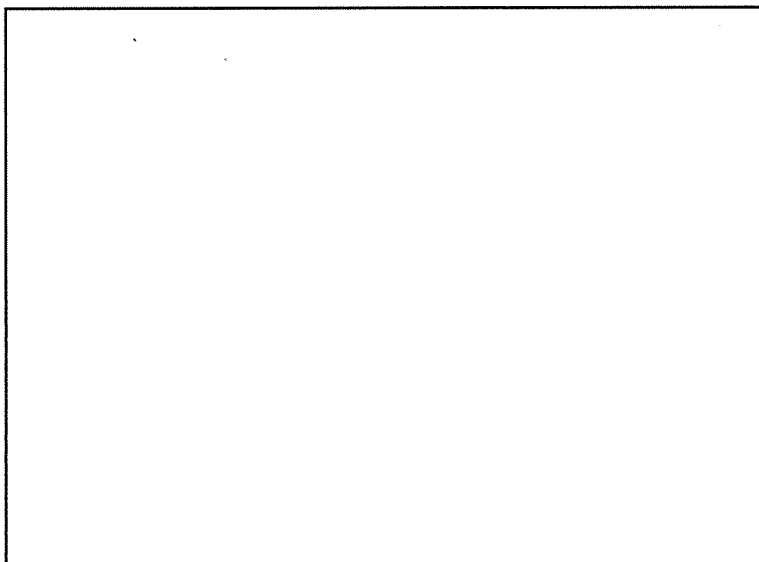
本体吊上げ中



写 真 7

耐火試験 (800°C×30 分後)

本体放熱架台上に設置



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

5.1.2 計測要領

(1) 計測要領

輸送容器本体各部の温度はすべてC A熱電対により検出し、高温側には $\phi 3.2$ 、低温側には $\phi 1.6$ を使用し、その出力をデジタル記録表示及びアナログ連続記録（6-Pen Recorder）を行った。また、炉壁については、加熱炉に設置されている制御用の熱電対により温度を検出し前述のアナログ連続記録計及び打点式記録計に記録を行った。

(2) 輸送容器本体及び炉壁温度測定箇所

輸送容器本体の温度測定点数及び測定箇所を表1及び図2に示す。

また、これらの熱電対取付状況を写真8及び写真9に示す。

炉壁温度は扉を除く、各壁の温度（南壁、北壁及び奥の壁…計3点）を測定した測定位置は輸送容器設置レベルとほぼ同一レベルとした。

写 真 8

輸送容器本体外部
熱電対取付状況

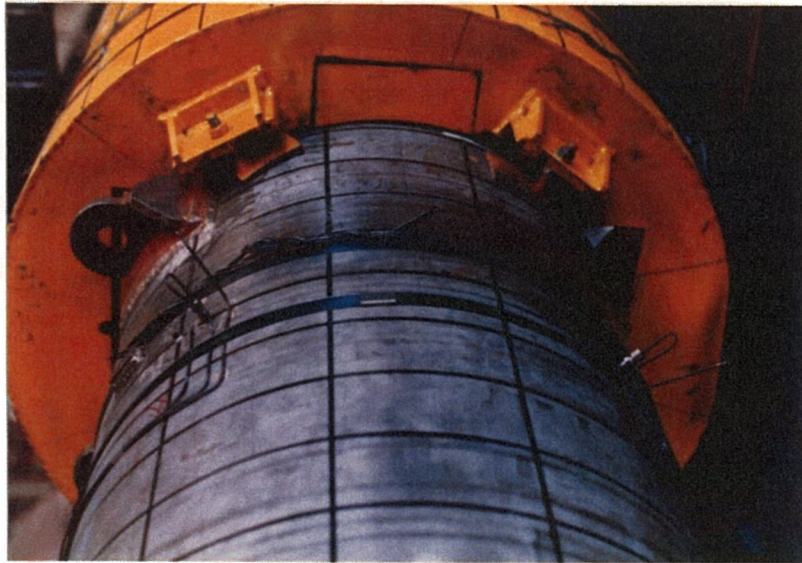
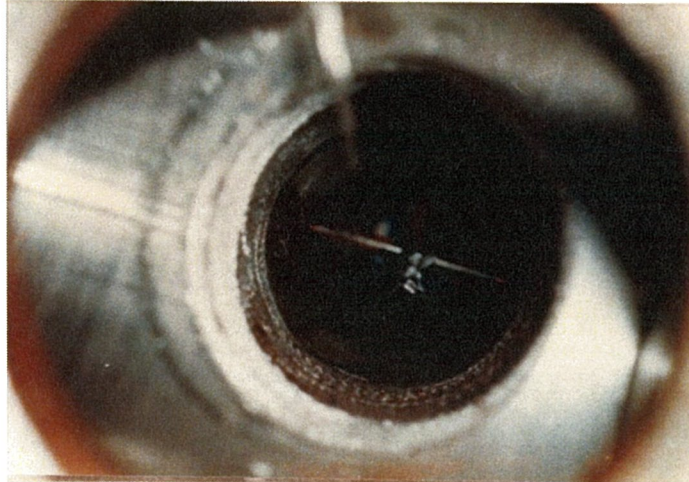


写真 9

輸送容器本体内部
熱電対取付状況



5.2 気密漏洩試験

耐火試験後、加熱漏洩法により気密漏洩試験を次の要領にて実施した。

- (a) 漏洩試験方法：加圧漏洩法（空気）
- (b) 初期設定圧力： $7.35 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{G}$ ($0.75 \text{kg/cm}^2 \cdot \text{G}$)
- (c) 保持時間：2時間
- (d) 測定項目：輸送容器内圧力
輸送容器内温度（≒外筒温度）
- (e) 漏洩量：漏洩量の算式は次式による。

$$L = \frac{V \times T_s}{3600H} \left[\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right]$$

L：漏洩量	(MPa・cm ³ /s)	T ₁ ：初期温度	(K)
V：輸送容器内容積	(cm ³)	T ₂ ：H時間後の温度	(K)
P ₁ ：初期設定圧力	(MPa)	H：保持時間	(h)
P ₂ ：H時間後の到達圧力	(MPa)	T _s ：基準温度	= 298 K

実地状況を写真10に示す。

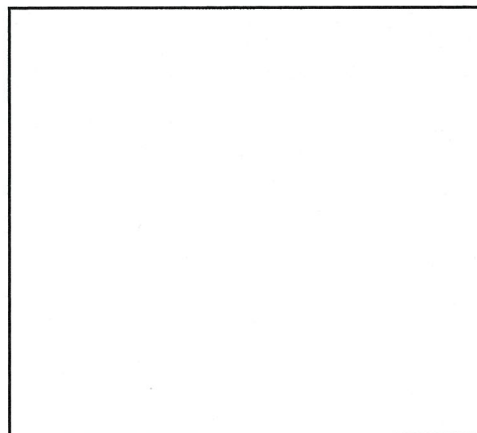


写真 10
気密漏洩試験
実施状況

6. 試験結果

6.1 輸送容器本体及び炉壁温度測定結果

(1) 炉壁温度

炉壁温度の測定結果を図3に示す。

(2) 輸送容器本体温度

輸送容器本体各部の温度測定結果を図4，図5及び図6に示す。

6.2 気密漏洩試験結果

耐火試験後の気密漏洩試験結果を，添付資料1に示す。これよりこの輸送容器には，漏洩は生じていない。

7. 試験結果と計算値の比較

図2に示す本体各部の温度について，実験値と計算値との比較を行うために試験条件にあわせてTRUMP CODEを使用して計算を行った。

計算は次の環境条件より実施した。

境 界 計 算 条 件

項 目		計算条件	備 考
初期温度		10.8℃	
耐試 火験 時	炉 壁 温 度	実測値の直線近似	
	炉 壁 輻 射 率	0.9	
	輸送容器表面輻射率	0.8	
自冷 然却 時	大 気 温 度	実測値 10.8℃	
	大 気 輻 射 率	1.0	
	輸送容器表面輻射率	0.5	

計算結果を図7に示す。この結果より，実験値と計算値は十分な合致を示している。

なお，本計算では断熱材に含まれる水分の潜熱を考慮し，計算を行った。

8. む す び

耐火試験でこの輸送容器が十分な耐火性能を保有していることが、次の通り確認できた。

- (1) ガンマ線しゃへい材である鉛は外胴の耐火試験時の最高温度が、161℃であるから、熔融せずしゃへい性能に影響を与えない。
- (2) 耐火材を有しない両端部は、Oリング部で最高90℃程度の温度上昇であり緩衝体によって十分熱的に保護されている。
- (3) (2)項よりOリング部で最高温度が約90℃であるから、耐火試験によりOリングの損傷はなく、密封性能の低下は生じない。
- (4) (3)項は、気密漏洩試験結果からも明白である。

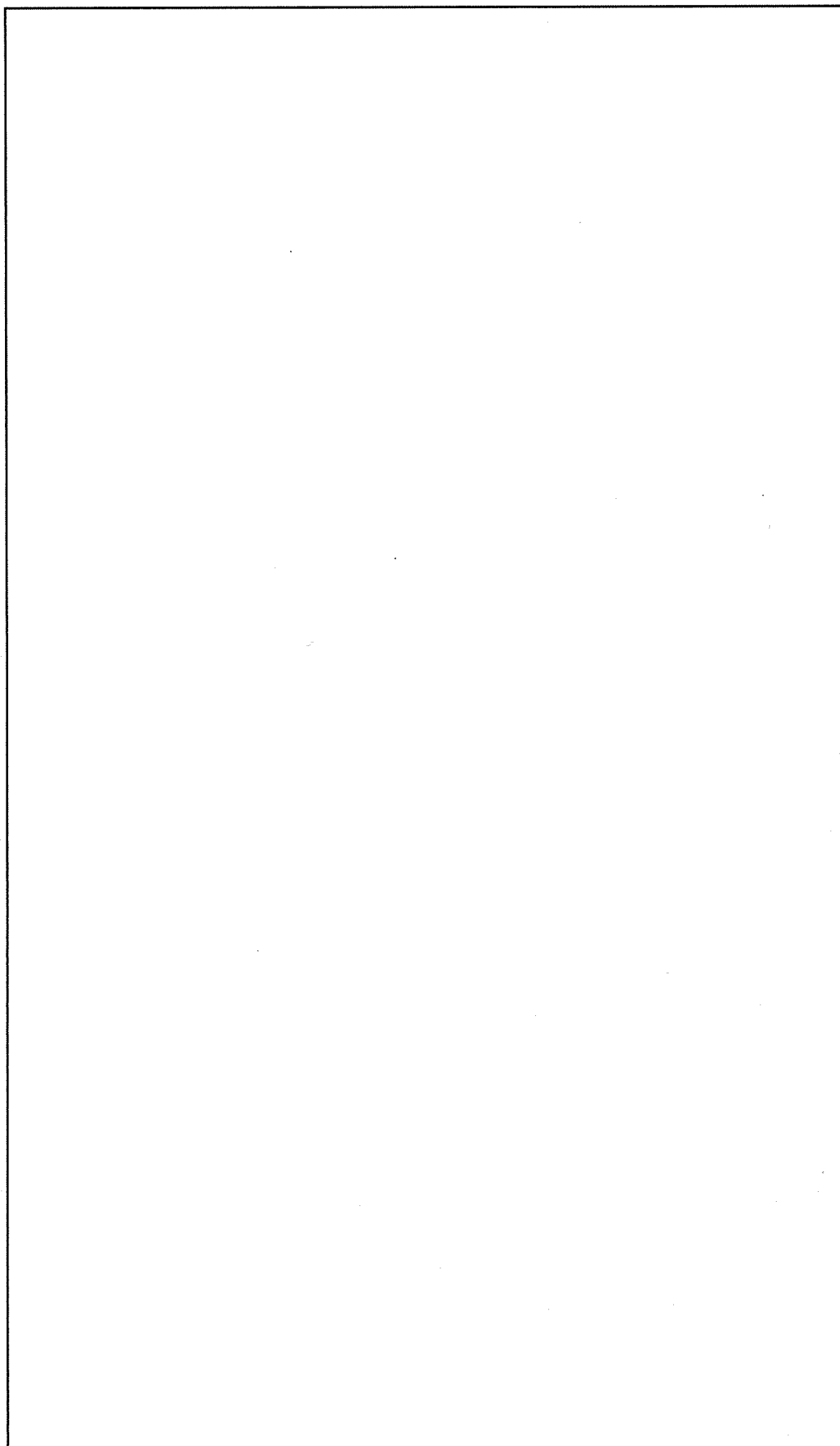
以 上

表 1 輸送容器本体温度測定箇所

計測箇所	計測点数*	使用熱電対	備考	計測箇所	計測点数*	使用熱電対	備考
容器空気温度	TI-01	φ 1.6mm			TA-04		
内 胴 温 度	TIS-01	φ 1.6mm		雰 囲 気 温 度	TA-05	φ 3.2mm	緩衝体まわり
	TIS-02						
	TIS-03						
	TIS-04						
外 胴 温 度	TC-01	φ 3.2mm		下部緩衝体表面温度	TAU-01	φ 3.2mm	
	TC-02				TAU-02		
	TC-03				下部緩衝体側		
	TC-04						
外 筒 温 度	TS-01	φ 3.2mm		下部蓋オリング 取付部外側温度	T0-01	φ 1.6mm	
	TS-02						
	TS-03				シヤッタ蓋オリング 取付部外側温度		
	TS-04						
雰 囲 気 温 度	TA-01	φ 3.2mm	外筒まわり				
	TA-02						
	TA-03						

*測定位置は図2に示す。

図-1 耐火試験実施状況



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

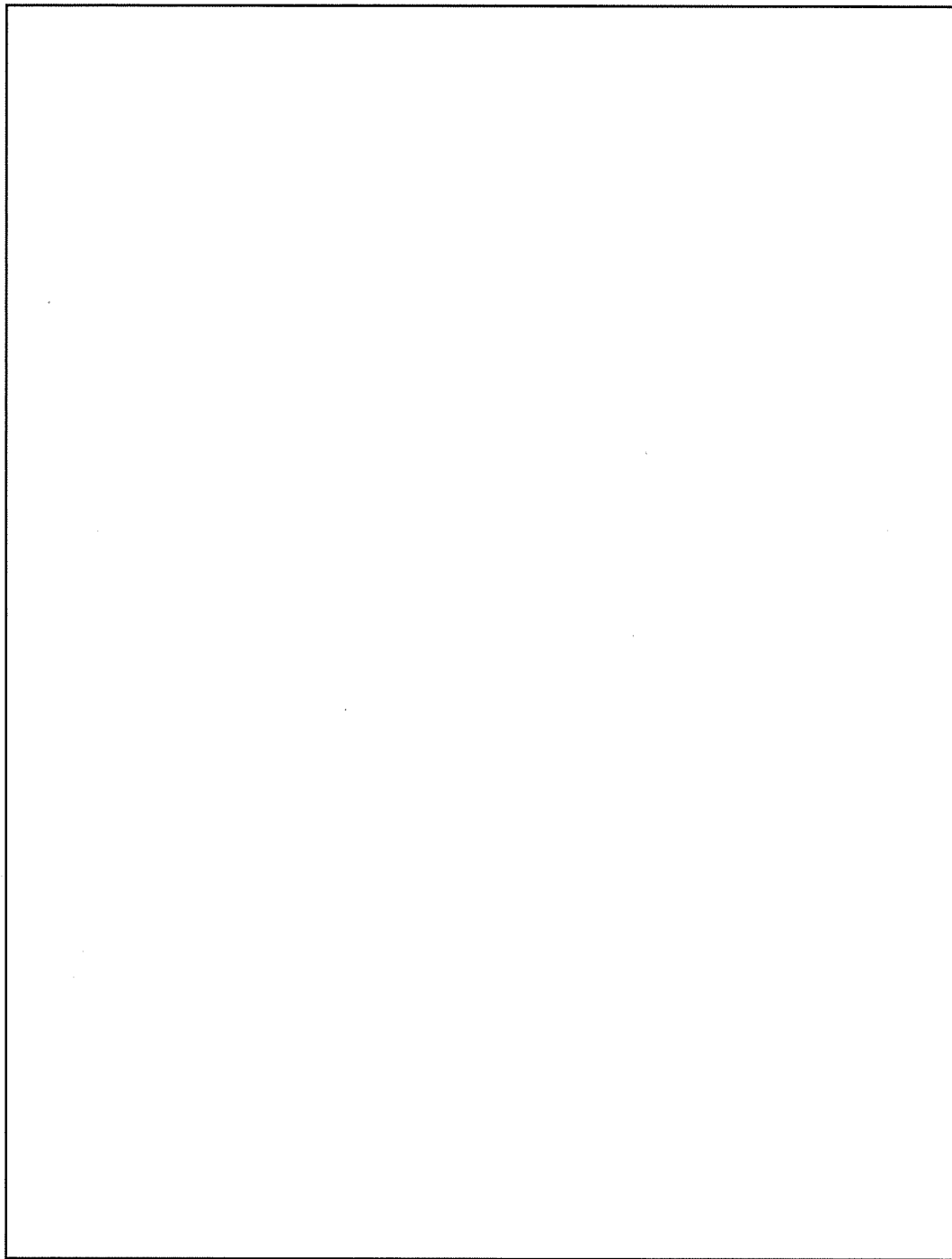
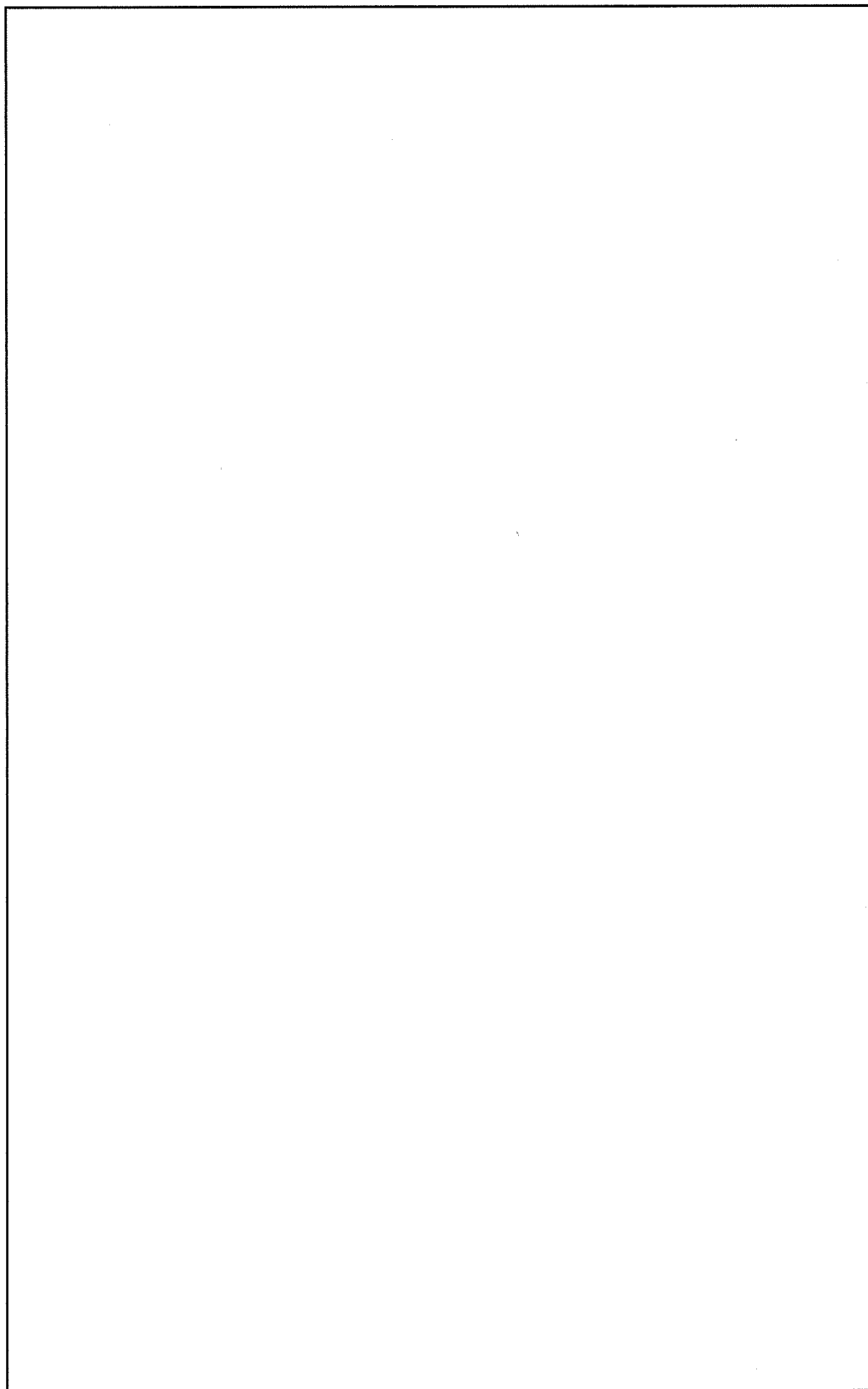


図-2 耐火試験計測位置概略図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

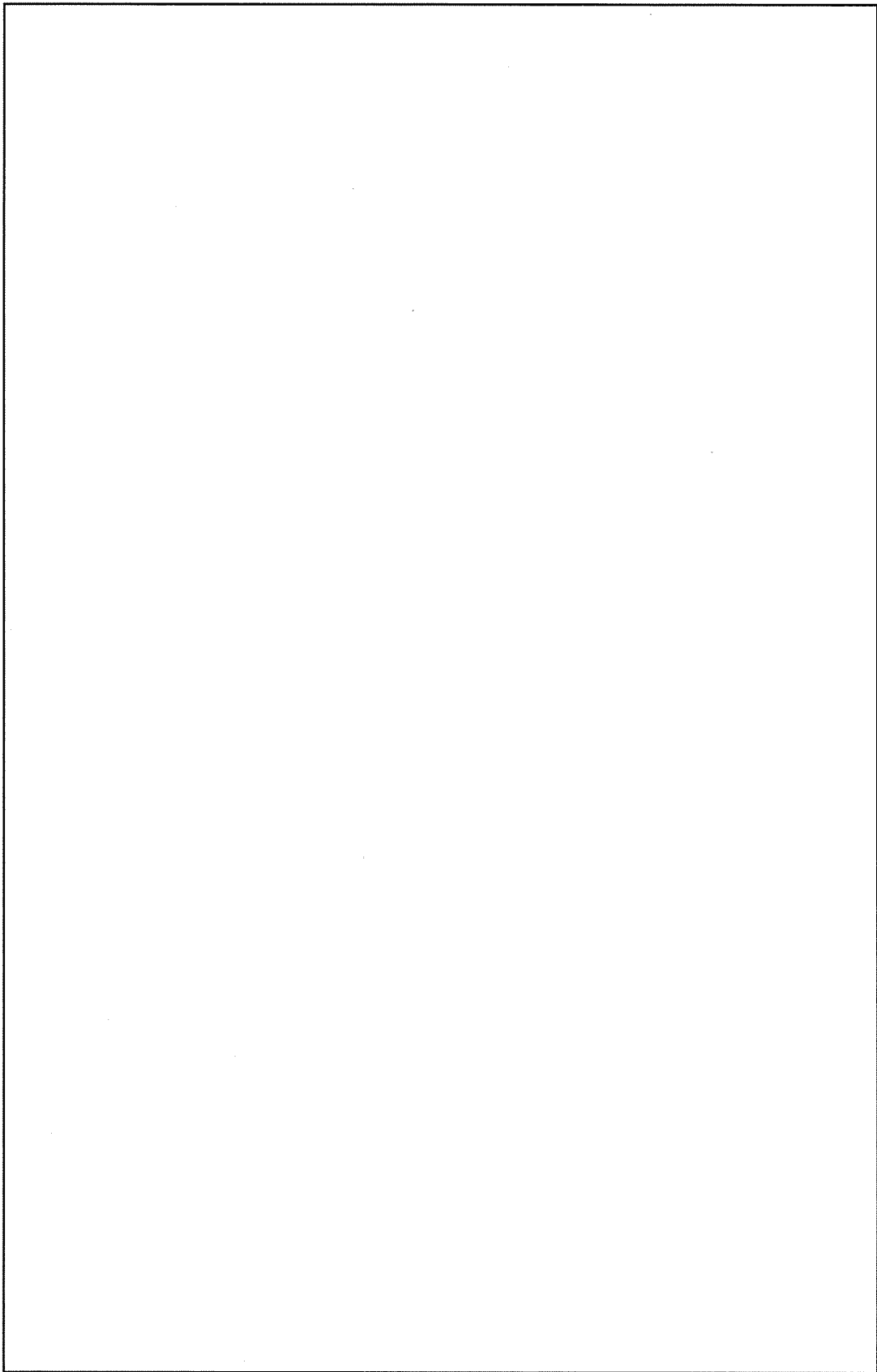
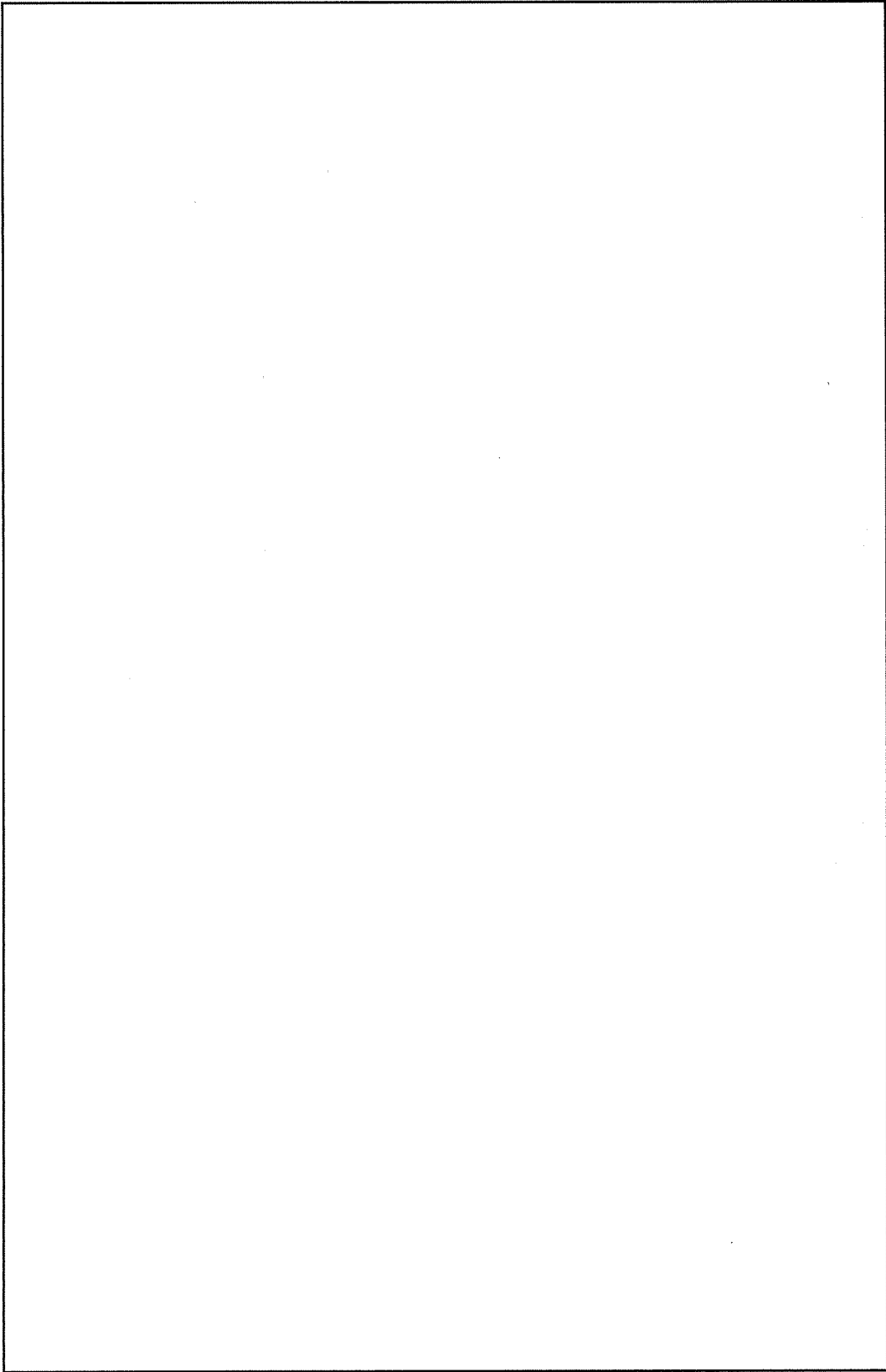


図-4 耐火実証試験結果 (その1)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



図一5 耐火実証試験結果 (その2)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

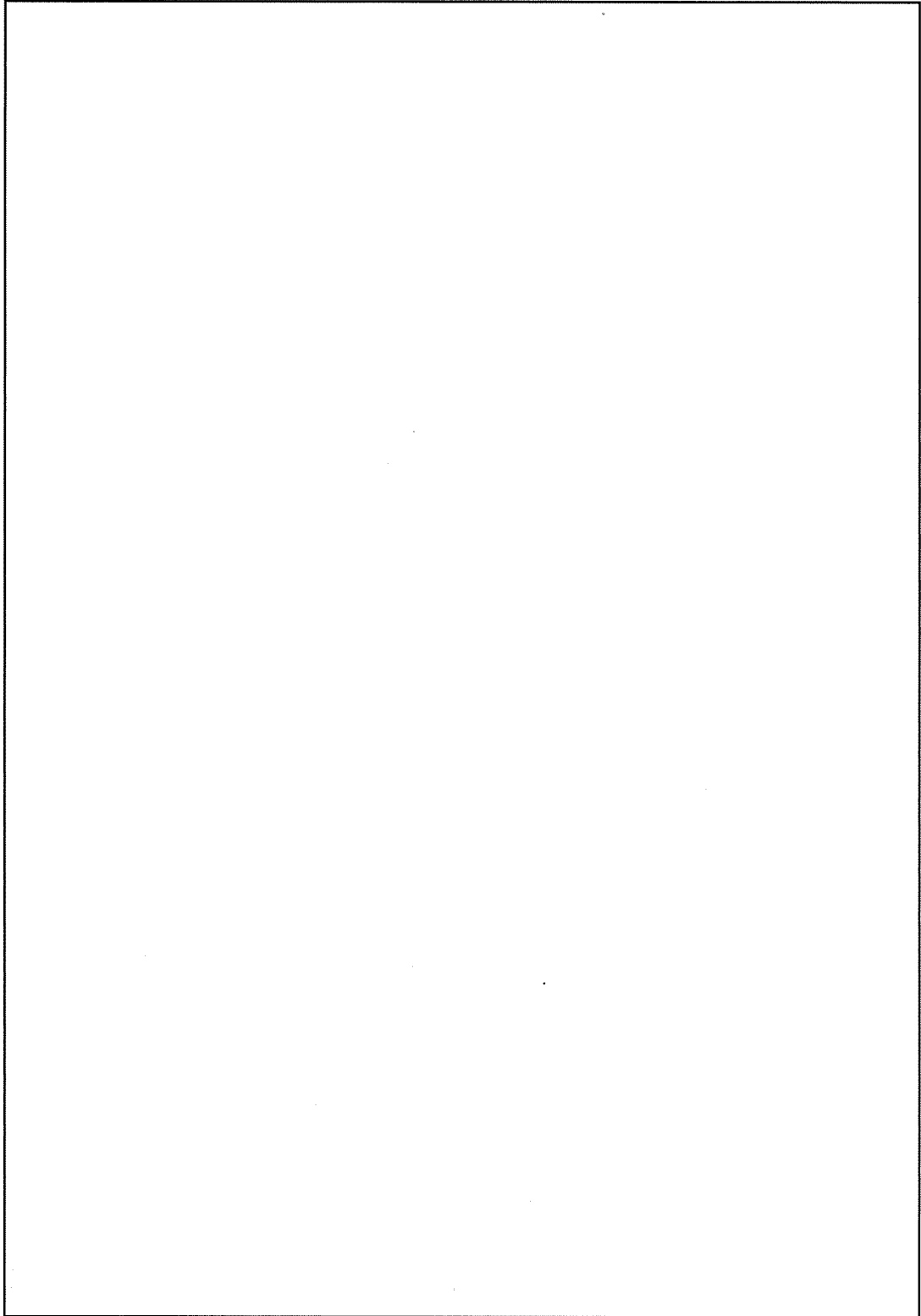
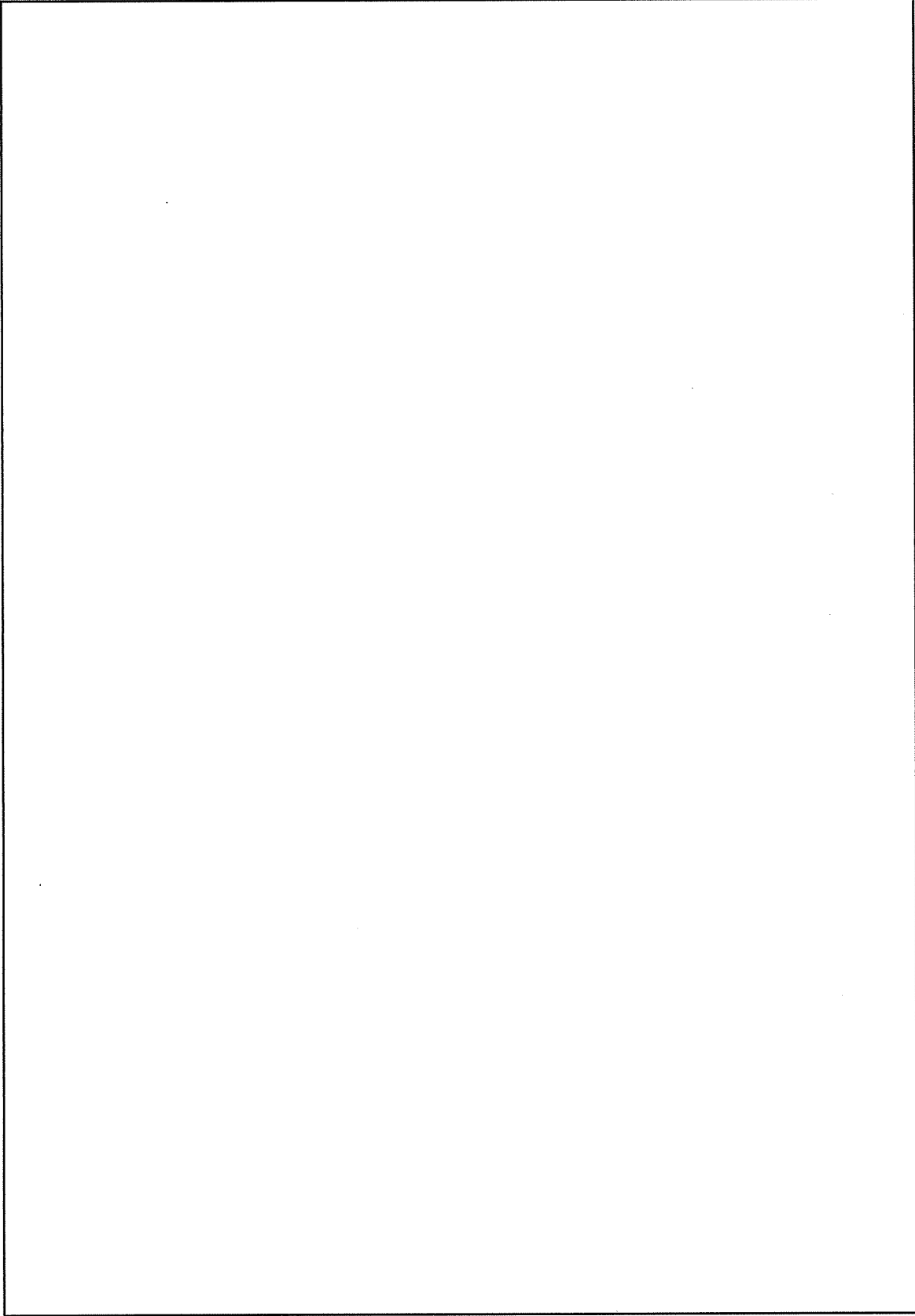


図-6 耐火実証試験結果(その3)

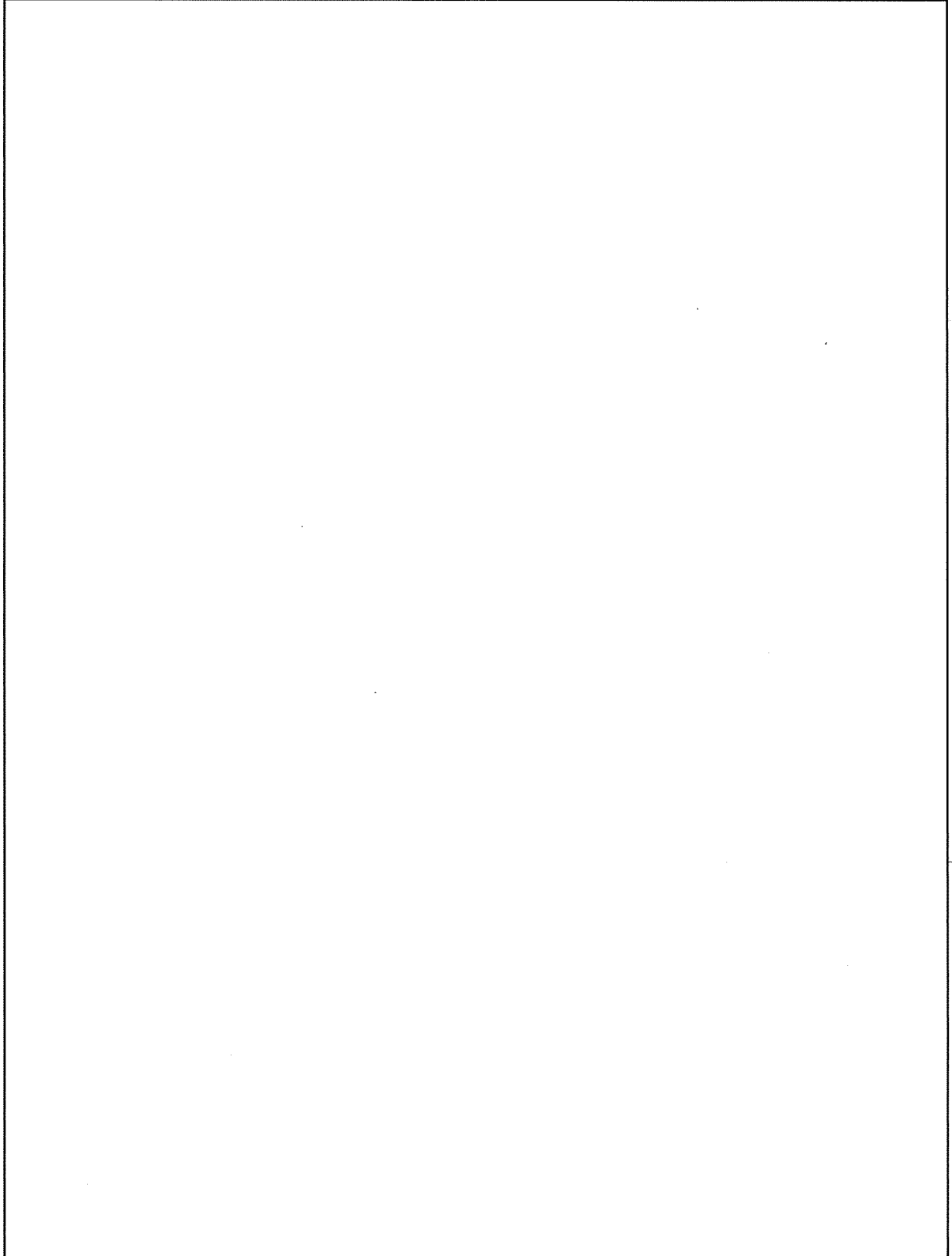
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



図一七 計算値と実験値との比較

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

添付資料1 RECORD OF LEAK TEST
耐火試験リーク試験成績書

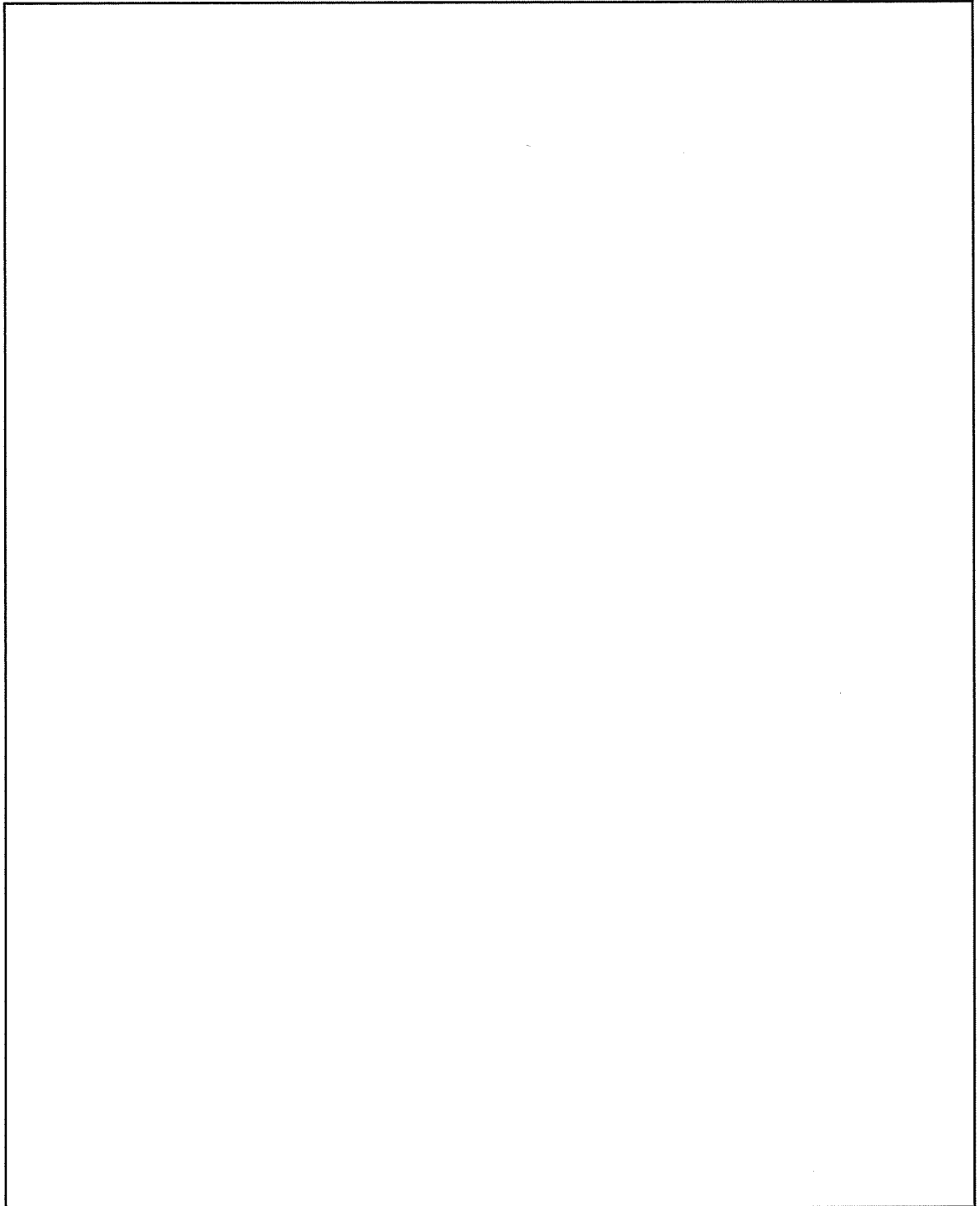


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

RECORD OF PRESSURE TEST

気密漏洩試験記録

耐火試験後



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

口章 C. 密封解析

(ロ)-C 密封解析

C.1 概 要

本章では一般の試験条件下及び特別の試験条件下における本輸送物からの漏えいが、告示に定める基準値以下であり、本輸送物が密封性能を満足していることを示す。

収納物を輸送容器に収納する際は、使用済燃料ピット内でバスケットに収納物を収納するため、収納物及びバスケット表面にはピット水が付着する。

また、収納物外表面においては、原子炉一次冷却材中の□の付着を考慮する。

したがって、密封解析においては上記使用済燃料ピット水及び冷却材中の□
□を用いる。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

(1) 構 成

密封装置は、(イ)-第C.4図に示すように、収納物を収納する内胴、上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び下部蓋に設けた気密漏えい検査孔蓋より構成される容器と、これに付属するOリング並びに締付けボルトより構成される。

(2) 材 質

内胴及び蓋類は、ステンレス鋼製であり、締付けボルトは低合金鋼製である。また、Oリングはエチレンプロピレンゴム (EPDM) 製である。

(3) 設計圧力及び設計温度

(ロ) - 第C.1表に示す設計圧力及び設計温度で漏えい率の評価を行う。

(ロ) - 第C.1表 密封装置の設計圧力及び設計温度

条 件	項 目	密 封 装 置
一般の試験条件	設計圧力 (MPa・G)	0.016
	設計温度 (°C)	65
特別の試験条件	設計圧力 (MPa・G)	0.083
	設計温度 (°C)	138

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

C.2.2 密封装置の貫通部

密封装置の貫通部は、(イ)-第C.4図に示すように、上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び下部蓋に設けた気密漏えい検査孔蓋である。

C.2.3 密封装置ガスケット及び溶接部

(1) ガスケット

蓋のシール部には、EPDM製のOリングが二重に設けられている。

これらのOリングは、一般の試験条件下及び特別の試験条件下で密封装置に生ずる圧力、温度に対し十分なシール性能を有している。

(2) ガスケットの仕様

ガスケットの寸法及び材質を(ロ)-第C.2表に示す。

EPDM製のOリングは、その耐熱性(ロ章B.3構成要素の仕様の項参照)及び耐寒性(ロ章A.4.2低温強度の項参照)により、一般及び特別の試験条件下並びに最低使用温度でも上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び気密漏えい試験部蓋の密封性を保つことができる。

(ロ)-第C.2表 ガスケットの寸法及び材質

(単位：mm)

部 位		寸 法	材 質	備 考
上部蓋	内 側		EPDM	Oリング
	外 側			
シャッタ蓋	内 側		EPDM	Oリング
	外 側			
下部蓋	内 側		EPDM	Oリング
	外 側			
気密漏えい 試験部蓋	内 側		EPDM	Oリング
	外 側			

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(3) 溶接部

密封装置の溶接線位置を(ハ)-第A.2図に示す。

密封装置の溶接は全て突合せ溶接である。溶接施工は、(ハ)章A.3.1の溶接施工要領にしたがって行う。溶接部は浸透探傷検査を実施しその健全性を確認する。密封装置は外胴に溶接し、鉛鋳込前に密封装置の気密試験を実施し健全性を確認する。

C.2.4 蓋

本輸送容器に使用する蓋は、上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び下部蓋に設けた気密漏えい検査孔蓋より構成される。

蓋及びOリングは、(ロ)-Aで述べたように、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における温度、圧力及び衝撃に十分耐える。

蓋部はボルトで本体フランジに締付けられる。これらの締付ボルトは輸送中、上部及び下部緩衝体により覆われているので落下試験時の衝撃力から保護されるとともに、不用意にはずれない構造となっている。また、火災時においても蓋及び締付けボルトに対し密封性に影響を与えるような熱応力は発生しない。

したがって、本輸送容器の蓋部は一般の試験条件下及び特別の試験条件下において密封性を保持できる設計となっている。

C.3 一般の試験条件

輸送容器は収納物からの発熱が少ないため、内圧上昇はほとんどなく密封性に影響を与えない。

輸送容器は水の吹きつけ試験を行っても水の浸入がない。

自由落下試験では緩衝体の変形により衝撃エネルギーを吸収し、容器の密封性を保持できる。

積み重ね試験において、輸送容器本体に生ずる応力は小さく、密封性を損なうような変形は生じない。

貫通試験においては、輸送容器本体の局部変形によってエネルギー吸収し、密封境界を損傷させることはない。

周囲温度38℃あるいは-20℃の環境下にあっても、密封境界を構成している材料の劣化はない。

したがって、本輸送容器は一般の試験条件下において密封性能を保持できるので、本解析では、発送前気密漏えい検査における評価基準にもとづいて密封性能を評価する。

C.3.1 放射性物質の漏えい

本輸送容器に収納される収納物は□であるから漏えいすることはない。

収納物及びバスケットの表面には使用済燃料ピット水が付着する。また、収納物の表面には、□が付着する。したがって、密封性能の検討に考慮する放射性物質は、使用済燃料ピット水及び□に含まれる放射性核種とする。

使用済燃料ピット水の放射能濃度は、□Bq/cm³ (□の使用済燃料ピット水は□Bq/cm³以下に管理されている。)として、放射性物質の漏えいを検討する。解析に当っては次の仮定を行う。

- ① 使用済燃料ピット水の各核種の放射能濃度は使用済燃料中の各核種の放射能強度の全放射能強度に対する比に比例すると仮定する。

全放射能強度に対する各核種の放射能強度の比は、燃焼度及び冷却期間の変動によって異なるが、ここでは□の燃料条件で評価する。

使用済燃料ピット水中の主要核種及びそれらの放射能濃度を(□)-第C.3表に示す。

(ロ)-第C.3表 燃料ピット水中の主要核種と放射能濃度

核 種	放射能濃度 (Bq/cm ³)
Zr - 95	[]
Nb - 95	
Sr - 89	
Sr - 90	
Y - 91	
Ru - 103	
Rh - 103m	
Ru - 106	
Rh - 106	
Cs - 134	
Ba - 137m	
Ba - 140	
La - 140	
Ce - 144	
Pr - 144	
合 計	

注(1) 燃料ピット水中の放射能濃度については、上記核種により約80%であるが、 $\frac{D}{A_2}$ (放射性物質漏えい率) (制限値) では上記核種により約95%が担保される。

注(2) [] Bq/cm³中の各核種が均一に混合していると仮定した場合の放射能濃度であって以下のように求めた。

使用済燃料 1 本あたりの

全放射能強度 : [] Bq *

Sr-90の放射能強度 : [] Bq *

Sr-90の濃度 = [] $\times 3.7 \times 10^3$

= [] Bq / cm³

* [] の使用済燃料の放射能強度。

[]で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

② 収納物表面に付着する [] は、 [] ステンレス鋼に付着する放射能濃度及び放射性核種と同等であるとして評価する。

[] のステンレス鋼に付着する [] の放射能濃度及び放射性核種を (ロ)-第C.4表に示す。

(ロ)-第C.4表 [] ステンレス鋼に付着の [] の核種及び放射能濃度 注(1)

[] の核種	冷却材中の放射能比率	1 m ² 当りの放射能
Mn 54	0.042	[] Bq/m ²
Co 58	0.591	
Co 60	0.082	
Cr 51	0.269	
Fe 59	0.017	

注(1) U. S. Nuclear Regulatory Commission

NUREG/CR-0130 Vol. 2

“TECHNOLOGY、 SAFETY AND COSTS OF DECOMMISSIONING

A REFERENCE PRESSURIZED WATER REACTOR POWER STATION”

収納物表面に付着している [] の量は、以下の値となる。

サーベイトスキップセルの場合： [] m² (表面積) × 8.51 × 10⁹ Bq / m² = [] Bq

RCCロッドの場合： [] m² (表面積) × 8.51 × 10⁹ Bq / m² = [] Bq

NFB C被覆管の場合： [] m² (表面積) × 8.51 × 10⁹ Bq / m² = [] Bq

照射用ロッドの場合： [] m² (表面積) × 8.51 × 10⁹ Bq / m² = [] Bq

シングルチューブの場合： [] m² (表面積) × 8.51 × 10⁹ Bq / m² = [] Bq

よって、密封境界の内容積は0.1m³であるので、 [] 全量が密封境界内に剥離すると仮定すれば [] の放射能濃度は最大で [] Bq/cm³となる。

(ロ)-第C.4表の核種に対して、単位体積当りの放射能を求めた値を (ロ)-第C.5表に示す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)-第C.5表 の放射能濃度

<input type="text"/> の核種	冷却材中の放射能比率	放射能濃度(Bq/cm ³)
Mn 54	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Co 58		
Co 60		
Cr 51		
Fe 59		
	合 計	

(1) 最大許容空気漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容空気漏えい率 L_{Rt} は、輸送容器の被検査部4箇所合計空気漏えい率として(ロ)-第C.6表に示す値とする。

(ロ)-第C.6表 最大許容空気漏えい率

項 目	密 封 境 界 (上部蓋, シャッタ蓋, 下部蓋, 気密漏えい試験検査孔蓋)
L_{Rt} : 最大許容空気漏えい率 (MPa· cm ³ /s)	<input type="text"/>

(2) 空気漏えい試験時の漏えい率と空気漏えい試験条件

(a) 空気漏えい試験時の漏えい率

本密封装置の気密漏えい試験は、「C.2.2密封装置の貫通部」で示した上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び下部蓋に設けた気密漏えい検査孔蓋の4箇の貫通部に対し、二重リング部の中間部へ空気加圧してリング中間部の圧力変動を測定する加圧試験法を行う。4箇の貫通部からの気体の漏えい率は次式⁽¹⁾より求まる。

$$L_R = \frac{V \cdot T_s}{3600 \cdot H} \left\{ \frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right\} \dots\dots\dots (C.3-1)$$

ここで、

L_R : 20°Cにおけるシール部からの質量漏えい率 (MPa·cm³/s)

H : 漏えい試験時間=0.5 h

V : 漏えい試験系の容積= cm³

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

T_s : 基準温度 $20^{\circ}\text{C} = 293\text{K}$

T_1 : 試験開始時の漏えい試験系温度 $= 293\text{K}$

T_2 : 試験終了時の漏えい試験系温度 $= 293\text{K}$

P_1 : 試験開始時の漏えい試験系圧力

$$= \boxed{} \text{MPa} \cdot \text{abs}$$

P_2 : 試験終了時の漏えい試験系圧力

$$= \boxed{} \text{MPa} \cdot \text{abs}$$

(圧力降下を10%として)

したがって、

$$L_R = \frac{115 \times 293}{3600 \times 0.5} \left\{ \frac{\boxed{}}{293} - \frac{\boxed{}}{293} \right\}$$
$$= \boxed{} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3 / \text{s}$$

となる。

(C.3-1)式に上記の空気漏えい試験条件にて漏えい率を求め、設計基準として設定した空気漏えい率以下であることを確認する。

(3) 一般の試験条件における最大気体漏えい率

一般の試験条件における最大気体漏えい率は、漏えい試験における最大許容空気漏えい率 L_{Ri} にもとづいて以下の手順により求める。

(a) 漏えい孔径

漏えい孔としてはシール部を最短で横切る丸孔を仮定する。

漏えい孔中の流体の流れの形態は自由分子流と連続流が考えられ、その漏えい率は次式⁽¹⁾で与えられる。

$$L = (F_c + F_m) \times (P_u - P_d) \times P_a \quad \text{..... (C. 3-2)}$$

ここで、 L : 圧力 P_a における質量漏えい率 ($\text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ at T_a)

P_a : 流れの平均圧力 (MPa)

$$P_a = \frac{1}{2} (P_u + P_d) \quad \text{..... (C. 3-3)}$$

T_a : 流体の平均温度 (K)

P_u : 上流側の圧力 (MPa)

P_d : 下流側の圧力 (MPa)

F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa} \cdot \text{s})$)

F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa} \cdot \text{s})$)

$$F_c = 2.49 \times 10^{-2} \times \frac{D^4}{a \cdot \mu} \quad \text{..... (C. 3-4)}$$

$$F_m = 3.81 \times 10^3 \times \frac{D^3 \times \sqrt{\frac{T}{M}}}{a \cdot P_a} \quad \text{..... (C. 3-5)}$$

ただし、 D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい孔長 (cm)

μ : 粘性係数 ($\text{MPa} \cdot \text{s}$)

T : 空気の温度 (K)

M : 空気の分子量 (g/mol)

漏えい孔径 D は、次式及び(C. 3-2)式から求められる。

$$L = L_{Ri} \cdot \frac{T_a}{T_s} \quad \text{..... (C. 3-6)}$$

ここで、 L_{Ri} : 密封境界一箇所での空気の質量漏えい率 ($\text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ at 20°C)

T_a : 平均温度 (= T_s) (K)

注) ANS I N 1 4. 5 記載式の単位をS I 単位に換算した。

上部・下部及びシャッタ蓋と気密漏えい試験検査孔蓋の内容器蓋部の漏えい試験時の最大漏えい孔径を(ロ)―第C.7表に示す。なおここでは、漏えい孔径を大きく評価するため、上部蓋、シャッタ蓋、下部蓋及び気密漏えい検査孔蓋の密封境界1箇所漏えい率 L_{Ri} を安全側に、最大許容空気漏えい率 L_{Rt} に等しいものとする。

(ロ)―第C.7表 漏えい試験時の最大漏えい孔径

項 目	部 位	上部・下部及び	気密漏えい試験
		シャッタ蓋	検査孔蓋
L_{Ri} : 密封境界1箇所の空気漏えい率	(MPa·cm ³ /s)	<input type="text"/>	
P_u : 上流側圧力	(MPa·abs)	<input type="text"/>	
P_d : 下流側圧力	(MPa·abs)	0.101	
P_a : 流れの平均圧力	(MPa·abs)	0.143	
T_a : 空気の平均温度	(K)	293	
T : 空気の温度	(K)	293	
L : 漏えい試験時の空気の質量漏えい率	(MPa·cm ³ /s at T_a)	<input type="text"/>	
μ : 空気の粘性係数	(MPa·s)	1.85×10 ⁻¹¹	
a : 漏えい孔長	(cm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
M : 空気の分子量	(g/mol)	29.0	
F_c : 連続流の流動伝導係数	($\frac{cm^3}{MPa \cdot s}$)	2.36×10 ⁹ D ⁴	4.34×10 ⁹ D ⁴
F_m : 自由分子流の流動伝導係数	($\frac{cm^3}{MPa \cdot s}$)	1.50×10 ⁵ D ³	2.76×10 ⁵ D ³
D : 漏えい孔径	(cm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(b) 一般の試験条件における最大気体漏えい率

一般の試験条件における気体漏えい率は(C. 3-2)～(C. 3-5)式に一般の試験条件下の圧力条件、気体物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

(C. 3-2)式から求められた気体漏えい率(L)を25℃、0.101MPa abs (1 atm abs)の標準状態における漏えい率 $L_{s,x}$ に換算すると次式となる。

$$L_{s,x} = L \times \left(\frac{1}{0.101} \times \frac{298}{T_{a,x}} \right) \quad \text{..... (C. 3-7)}$$

ここで、

x : 一般の試験条件を表す添字

ただし、 $T_{a,x} = T_{u,x}$ とする。

一般の試験条件における気体漏えい率を(ロ)―第C. 8表に示す。計算は上部・下部及びシャッタ蓋と気密漏えい試験検査孔蓋リング部について行い、より大きい方の漏えい率を最大気体漏えい率とする。

(ロ)―第C. 8表 一般の試験条件下の最大気体漏えい率

項目	部 位	密 封 境 界 (上部・下部及び シャッタ蓋)	密 封 境 界 (気密漏えい試 験検査孔蓋)
D : 漏えい孔径 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
a : 漏えい孔長 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
μ : 気体の粘性係数 (MPa・s)		2.05×10 ⁻¹¹	
$P_{u,x}$: 一般の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa abs)		0.117	
$P_{d,x}$: 一般の試験条件下の外圧 (MPa abs)		0.060	
$T_{u,x}$: 一般の試験条件下の気体温度 (K)		338	
M : 気体の分子量 (g/mol)		29.0	
L_x : 一般の試験条件下の気体漏えい率 (MPa・cm ³ /s at $T_{a,x}$)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
$L_{s,x}$: 一般の試験条件下の気体漏えい率 (cm ³ /s at 25℃, 0.101MPa)		<input type="text"/>	<input type="text"/>

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(4) 一般の試験条件における気体中の放射性物質の漏えい率

一般の試験条件における気体中の放射性物質の漏えい率(剥離腐食生成物を含む空気の漏えい率)及び漏えい率と制限値との比率を(□)-第C.9表に示す。

なお、剥離腐食生成物を含む気体中の放射性物質の漏えい率は(□)-第C.5表に示す放射性物質濃度に前項で求めた漏えい率を乗じて求めた。

(□)-第C.9表 一般の試験条件下の気体中の放射性物質の漏えい率

核 種	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	放射性物質漏えい率 D (Bq/h)	制 限 値 A ₂ × 10 ⁻⁶ (Bq/h)	比 率 (D/A ₂ × 10 ⁻⁶)
Mn- 54	□	2.80 × 10 ⁴	1 × 10 ⁶	□
Co- 58		3.95 × 10 ⁵	1 × 10 ⁶	
Co- 60		5.47 × 10 ⁴	4 × 10 ⁵	
Cr- 51		1.79 × 10 ⁵	3 × 10 ⁷	
Fe- 59		1.14 × 10 ⁴	9 × 10 ⁵	
合 計	—	—	—	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(5) 一般の試験条件における液体の漏えい率

一般の試験条件における液体の漏えい率は(C.3-2)～(C.3-4)式に一般の試験条件の圧力条件、液体(水)の物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。ただし、液体では分子流は存在しないので、(C.3-2)式において $F_m=0$ とする。

一般の試験条件における液体の漏えい率を(ロ)-第C.10表に示す。計算は上部・下部及びシャッタ蓋と気密漏えい試験検査孔蓋Oリング部について行い、より大きい方の漏えい率を液体の漏えい率とする。

(ロ)-第C.10表 一般の試験条件下の最大液体漏えい率

項目	部 位	密 封 境 界 (上部・下部及び シャッタ蓋)	密 封 境 界 (気密漏えい試 験検査孔蓋)
D	: 漏えい孔径 (cm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
a	: 漏えい孔長 (cm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
μ	: 液体の粘性係数 (MPa·s)	4.36 × 10 ⁻¹⁰	
$P_{u,x}$	: 一般の試験条件下の密装置内圧力 (MPa·abs)	0.117	
$P_{d,x}$	: 一般の試験条件下の外圧 (MPa·abs)	0.060	
L_x	: 一般の試験条件下の液体漏えい率 (cm ³ /s)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(6) 一般の試験条件における液体中の放射性物質の漏えい率

一般の試験条件における液体中の放射性物質（使用済燃料ピット水及び

の漏えい率及びその漏えい率と制限値との比率を (ロ)-第C.11表に示す。

なお、放射性物質の漏えい率は、(ロ)-第C.3表及び(ロ)-第C.5表に示す放射能濃度に前記体積漏えい率を乗じて求めた。

(ロ)-第C.11表 一般の試験条件下の液体中の放射性物質の漏えい率

核種	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	放射性物質漏えい率 D (Bq/h)	制限値 A ₂ × 10 ⁻⁶ (Bq/h)	比率 (D/A ₂ × 10 ⁻⁶)
Zr-95	<input type="text"/>	<input type="text"/>	8.0 × 10 ⁵	<input type="text"/>
Nb-95			1.0 × 10 ⁶	
Sr-89			6.0 × 10 ⁵	
Sr-90			3.0 × 10 ⁵	
Y-91			6.0 × 10 ⁵	
Ru-103			2.0 × 10 ⁶	
Rh-103m			4.0 × 10 ⁷	
Ru-106			2.0 × 10 ⁵	
Rh-106			2.0 × 10 ⁵	
Cs-134			7.0 × 10 ⁵	
Ba-137m			6.0 × 10 ⁵	
Ba-140			3.0 × 10 ⁵	
La-140			4.0 × 10 ⁵	
Ce-144			2.0 × 10 ⁵	
Pr-144			2.0 × 10 ⁵	
Mn-54			1.0 × 10 ⁶	
Co-58			1.0 × 10 ⁶	
Co-60			4.0 × 10 ⁵	
Cr-51			3.0 × 10 ⁷	
Fe-59			9.0 × 10 ⁵	
合計	—	—	—	

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(7) 放射性物質の漏えい率

前記(4)及び(6)の気体中の放射性物質及び液体中の放射性物質の漏えい率の合計が一般の試験条件における密封装置からの放射性物質の漏えい率になる。

一般の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率のまとめを

(㊦)-第C.12表に示す。

(㊦)-第C.12表 一般の試験条件下の放射性物質の漏えい率と基準値との比率

項 目	比 率
気体中の放射性物質	
液体中の放射性物質	
合 計	

(㊦)-第C.12表に示すように放射性物質の漏えい率と基準値との比率は□であり、1より小さい。

したがって、密封装置からの放射性物質の1時間当りの漏えい率は基準値よりも小さい。

C.3.2 密封装置の加圧

収納物からの発熱は□W以下と小さいので密封装置内の圧力上昇は極めて小さい。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送物は冷却材を使用しないで輸送する。

なお、収納物装荷時には、使用済燃料ピット水が付着する。また、収納物表面には、□が付着している。

したがって、□Bq/cm³ (使用済燃料ピット水による汚染) 及び□
□Bq/cm³ (□による汚染) の汚染があるとして密封解析を行う。

C.3.4 冷却材損失

本輸送物は、冷却材を使用しない。なお、収納時付着している使用済燃料ピット水については、C.3.1で述べたように、空気加圧法で換算すると、その漏えい率は□である。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

C.4 特別の試験条件

特別の試験条件において、密封性能に影響を与える試験条件は落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ及び熱的試験である。

「A.6.1強度試験、落下試験Ⅰ（9 m落下時）」で述べたように、9 m高さから本輸送容器に最大の破損を及ぼすように落下させたとしても緩衝体に変形するのみで、密封装置を構成している部材が変形することはない。

「A.6.2強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）」で述べたように、密封装置が破損することはない。

「B.5.6特別の試験条件（事故時試験条件）における輸送物性能の総合評価」で述べたように、密封装置の使用材料は全て、使用温度範囲内である。

また、耐火試験後、38℃の環境に1週間放置しても、密封性能が損なわれることはない。

以上から特別の試験条件において、密封境界が、気密漏えい試験時の状態から変化することはない。

したがって、一般の試験条件と同様な密封評価を行う。

C.4.1 核分裂生成ガス

収納物は、(イ)章Dで示したとおりであり、収納物に付着する使用済燃料ピット水及びの付着物に含まれる核分裂生成ガスは微量であり問題とならないので、特別の試験条件での核分裂生成ガスの評価は行わない。

C.4.2 放射性物質の漏えい

特別の試験条件における放射性物質の漏えいの解析は、「C.3.1放射性物質の漏えい」で仮定した項目を同様に考慮する。ただし、耐火試験時、容器内空気平均温度は℃となるので使用済燃料ピット水は水蒸気となる。

特別の試験条件における放射性物質の漏えいは、気体及び水蒸気について評価する。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(1) 特別の試験条件における気体漏えい率

特別の試験条件における気体漏えい率は(C. 3-2)～(C. 3-5)及び(C. 3-7)式に特別の試験条件下の圧力条件、気体物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

特別の試験条件における気体漏えい率を(ロ)―第C. 13表に示す。計算は上部・下部及びシャッタ蓋と気密漏えい試験検査孔蓋Oリング部について行い、より大きい方の漏えい率を最大気体漏えい率とする。

(ロ)―第C. 13表 特別の試験条件下の最大気体漏えい率

項目	部位	密封境界 (上部・下部及び シャッタ蓋)	密封境界 (気密漏えい試 験検査孔蓋)
D : 漏えい孔径 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
a : 漏えい孔長 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
μ : 気体の粘性係数 (MPa・s)		2.38×10^{-11}	
$P_{u,x}$: 特別の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa, abs)		0.184	
$P_{d,x}$: 特別の試験条件下の外圧 (MPa abs)		0.060	
$T_{u,x}$: 特別の試験条件下の気体温度 (K)		411	
M : 気体の分子量 (g/mol)		29.0	
L_x : 特別の試験条件下の気体漏えい率 (MPa・cm ³ /s at $T_{a,x}$)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
$L_{s,x}$: 特別の試験条件下の気体漏えい率 (cm ³ /s at 25°C, 0.101MPa)			

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(2) 特別の試験条件における気体中の放射性物質の漏えい率

特別の試験条件における、気体中の腐食生成物の放射性物質漏えい率及び漏えい率と制限値との比率を(□)-第C.14表に示す。

なお、放射性物質の漏えい率は、(□)-第C.5表に示す放射性物質濃度に前記の漏えい率を乗じて求めた。

(□)-第C.14表 特別の試験条件下の気体中の放射性物質の漏えい率

核 種	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	放射性物質漏えい率 D (Bq/week)	制 限 値 A ₂ (Bq/week)	比 率 (D/A ₂)
Mn- 54	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.0×10 ¹²	<input type="text"/>
Co- 58			1.0×10 ¹²	
Co- 60			4.0×10 ¹¹	
Cr- 51			3.0×10 ¹³	
Fe- 59			9.0×10 ¹¹	
合 計	—	—	—	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(3) 特別の試験条件における水蒸気漏えい率

特別の試験条件における水蒸気漏えい率は(C. 3-2)～(C. 3-5)及び(C. 3-7)式に特別の試験条件下の圧力条件、水蒸気物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

特別の試験条件における水蒸気漏えい率を(ロ)―第C. 15表に示す。計算は上部・下部及びシャッタ蓋と気密漏えい試験検査孔蓋Oリング部について行い、より大きい方の漏えい率を最大水蒸気漏えい率とする。

(ロ)―第C. 15表 特別の試験条件下の最大水蒸気漏えい率

項目	部 位	密 封 境 界 (上部・下部及び シャッタ蓋)	密 封 境 界 (気密漏えい試 験検査孔蓋)
D : 漏えい孔径 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
a : 漏えい孔長 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
μ : 水蒸気の粘性係数 (MPa·s)		1.37×10^{-11}	
$P_{u,x}$: 特別の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa abs)		0.184	
$P_{d,x}$: 特別の試験条件下の外圧 (MPa abs)		0.060	
$T_{u,x}$: 特別の試験条件下の水蒸気温度 (K)		411	
M : 水蒸気の分子量 (g/mol)		18	
L_x : 特別の試験条件下の水蒸気漏えい率 (MPa·cm ³ /s at $T_{a,x}$)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
$L_{s,x}$: 特別の試験条件下の水蒸気漏えい率 (cm ³ /s at 25°C, 0.101MPa)			

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(4) 特別の試験条件における水蒸気中の放射性物質の漏えい率

特別の試験条件における、を含む水蒸気中の放射性物質漏えい率及び漏えい率と制限値との比率を(ロ)-第C.16表に示す。

なお、水蒸気中の放射性物質の漏えい率は、(ロ)-第C.3表及び(ロ)-第C.5表に示す放射物質濃度に、前記の漏えい率を乗じて求めた。

(ロ)-第C.16表 特別の試験条件下の水蒸気中の放射性物質の漏えい率

核 種	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	放射性物質漏えい率 D (Bq/week)	制 限 値 A ₂ (Bq/week)	比 率 D/A ₂
Zr- 95	<input type="text"/>	<input type="text"/>	8.0×10 ¹¹	<input type="text"/>
Nb- 95			1.0×10 ¹²	
Sr- 89			6.0×10 ¹¹	
Sr- 90			3.0×10 ¹¹	
Y - 91			6.0×10 ¹¹	
Ru-103			2.0×10 ¹²	
Rh-103m			4.0×10 ¹³	
Ru-106			2.0×10 ¹¹	
Rh-106			2.0×10 ¹¹	
Cs-134			7.0×10 ¹¹	
Ba-137m			6.0×10 ¹¹	
Ba-140			3.0×10 ¹¹	
La-140			4.0×10 ¹¹	
Ce-144			2.0×10 ¹¹	
Pr-144			2.0×10 ¹¹	
Mn- 54	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1.0×10 ¹²	<input type="text"/>
Co- 58			1.0×10 ¹²	
Co- 60			4.0×10 ¹¹	
Cr- 51			3.0×10 ¹³	
Fe- 59			9.0×10 ¹¹	
合 計	—	—	—	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(5) 放射性物質の漏えい率

前記(2)及び(4)の気体中の放射性物質及び水蒸気中の放射性物質の漏えい率の合計が特別の試験条件における密封装置からの放射性物質の漏えい率になる。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率のまとめを

(ロ)-第C.17表に示す。

(ロ)-第C.17表 特別の試験条件下の放射性物質の漏えい率と基準値との比率

項目	比率
気体中の放射性物質	
水蒸気中の放射性物質	
合計	

(ロ)-第C.17表に示すように放射性物質の漏えい率と基準値との比率は であり、1より小さい。

したがって、密封装置からの放射性物質の1週間当りの漏えい率は基準値よりも小さい。

C.5 結果の要約及びその評価

(1) 一般の試験条件における漏えい率の評価

一般の試験条件における漏えい率は、気体及び液体の漏えい率の和で示され、

(ロ)-第C.12表の結果より、漏えい率の比率の合計は、 であり、1以下であるので基準値を満足する。

(2) 特別の試験条件における漏えい率の評価

特別の試験条件における漏えい率は、気体及び水蒸気の漏えい率の和で示され、

(ロ)-第C.17表の結果より、漏えい率の比率の合計は、 であり、1以下であるので基準値を満足する。

C.6 付属書類

C.6.1 参考文献

- (1) ANSI-N14.5 “American National Standard for Radioactive Materials Leakage Tests on Packages for Shipment” (1997)
- (2) 日本機械学会 “伝熱工学資料” (改訂第4版又は改訂第2版)

C.6.2 放射性物質の漏えい率評価における安全裕度について

密封解析では収納物に使用済燃料ピット水及び[]が付着しているため、評価に際しては使用済燃料ピット水が容器内に均一に存在すると同時に[]が容器内に剥離するものとして漏えい率を求めている。

これらの解析条件は以下の安全裕度を持っている。

(1) 使用済燃料ピット水

MS-1型輸送容器は乾式キャスクであり、収納物の装荷にあたっては使用済燃料ピット上で収納物の水切りを十分行った後容器内に収納するので、収納物に付着している使用済燃料ピット水の量は極めて少ない。

また、容器内の放射性物質濃度条件として、発電所における管理基準の[]倍の濃度（[]Bq/cm³）を設定しているので使用済燃料ピット水の漏えい放射性物質質量としては[]倍の裕度がある。

(2) []

[]の付着量は、廃炉関係文献であるNUREG/CR-0130から寿命末期における付着放射エネルギーを用いており、この全量が気中に剥離するものとしている。

ステンレス鋼表面に付着する放射能は一様に沈着するのではなく、表面にルーズに付着しているものから強固な酸化被膜内に取り込まれているものまで種々の形態で存在している。

水中でステンレス鋼表面に形成される[]は、水側から

[]の3層となっており、[]については電解分離、化学除染等によらなければ容易に除去することはできない。

文献^(*)によると、[]に存在する放射エネルギーは全体の50～97%であることが分かってきており、よって容器内で気中に剥離する[]は最大でも1/2程度である。

したがって、一般の試験条件における漏えい率の評価結果は[]であるが、

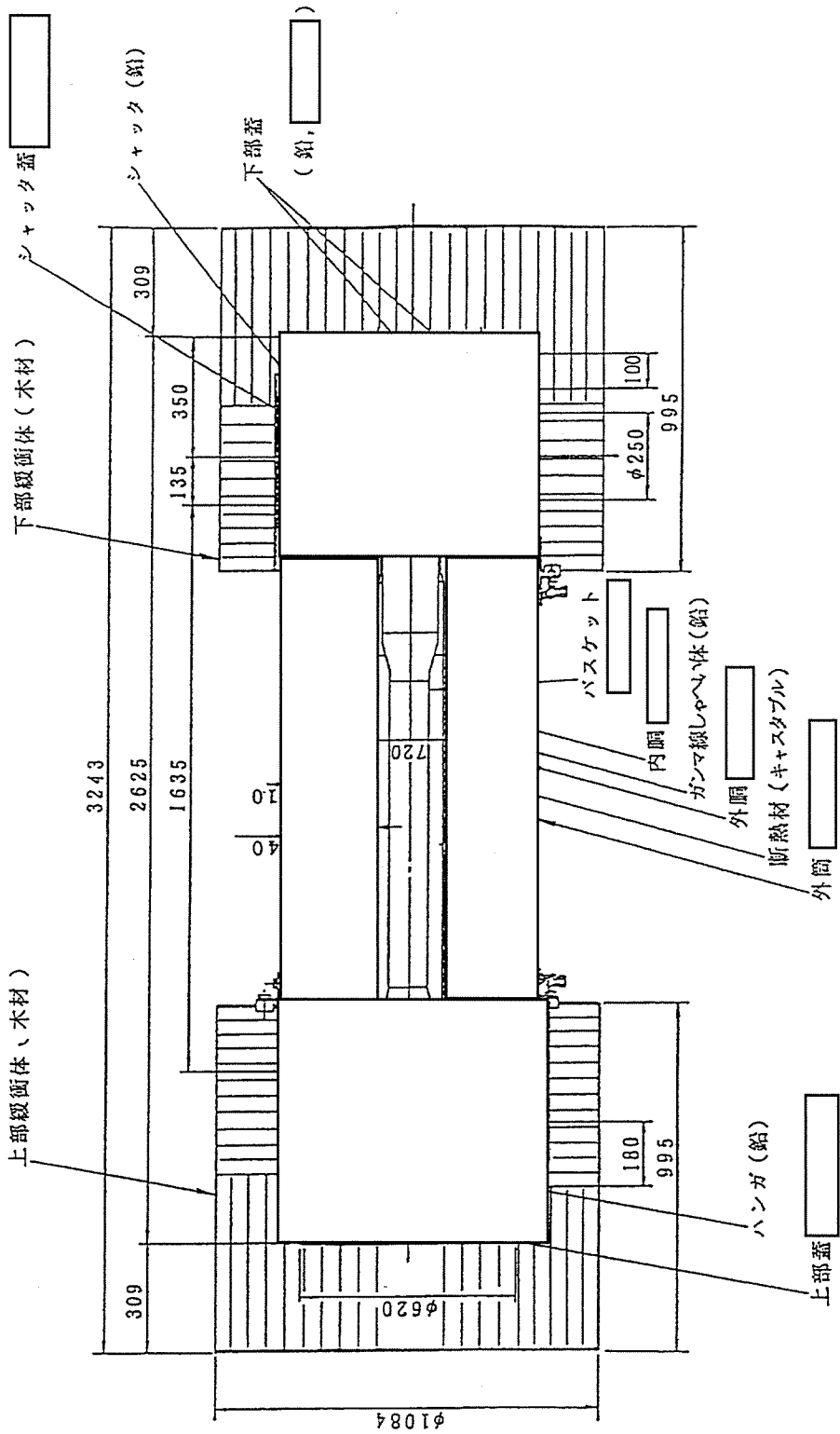
上述の裕度を評価上考慮すると評価結果は□となり、約□の安全裕度を有している。

なお、特別の試験条件における漏えい率の評価結果は□と、基準に対して充分小さい。

(*) “Characteristics of CRUD deposit on primary system surfaces”, 1991 JAIF International Conference on Water Chemistry in Nuclear Power Plants

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

口章 D. 遮 蔽 解 析



(ロ)一第D.1図 輸送容器概略形状図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.2 線源仕様

輸送容器に収納されるサーベイランスキャプセルの仕様を(ロ)–第 D.1 表及び(ロ)–第 D.2 表に、RCC ロッド及び NFBC 被覆管の仕様を(ロ)–第 D.3 表及び(ロ)–第 D.4 表に、SS ロッドの仕様を(ロ)–第 D.5 表及び(ロ)–第 D.6 表に、バッフルフォーマボルトの仕様を(ロ)–第 D.7 表及び(ロ)–第 D.8 表に、照射サンプル及び照射用ロッドの仕様を(ロ)–第 D.9 表及び(ロ)–第 D.10 表、並びにシンプルチューブの仕様を(ロ)–第 D.11 表及び(ロ)–第 D.12 表にそれぞれ示す。

D.2.1 ガンマ線源

サーベイランスキャプセル、RCC ロッド、SS ロッド、NFBC 被覆管、バッフルフォーマボルト、照射サンプル及び照射用ロッド、並びにシンプルチューブは原子炉容器内で中性子照射を受け放射化する。この放射化されたサーベイランスキャプセル、RCC ロッド、SS ロッド、NFBC 被覆管、バッフルフォーマボルト、照射サンプル及び照射用ロッド、並びにシンプルチューブのガンマ線源強度は次式の誘導放射能より求める。

$$I = \Sigma \phi [1 - \exp(-\lambda \cdot t)] \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau) \quad (\text{D.2.1})$$

ここで、

I : 誘導放射能(dis/cm³・s)

Σ : マクロ放射化断面積(cm⁻¹)

φ : 中性子束(n/cm²・s)

λ : 生成核種の崩壊定数(s⁻¹)

t : 中性子照射時間(s)

τ : 運転停止後の冷却時間(s)

ただし、RCC ロッドの構成材のうち、吸収体 の誘導放射能量は、 の吸収断面積が大きいので、標的核の中性子吸収を考慮して次式により求める。

$$I = \frac{\lambda \Sigma \phi}{\lambda - \sigma \phi} [\exp(-\sigma \phi \cdot t) - \exp(-\lambda \cdot t)] \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau) \quad (\text{D.2.2})$$

ここで、

σ : 生成核のミクロ中性子吸収断面積(cm²)

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)ー第 D.1 表 サーベイランスキャプセル仕様(収納物タイプ I-2*)

構成材料	材 質	重 量 (g/本)

*最大寸法、重量の収納物

(ロ)ー第 D.2 表 サーベイランスキャプセル構成材料の化学成分

材 料	化学成分 (重量パーセント)										合計
	C	Mn	P	S	Si	Mo	Ni	Cr	Co	Fe	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)－第 D.3 表 RCC ロッド及び NFBC 被覆管仕様*

構成材料	材 質	重 量 (g/ロッド ²)		
		RCC ロッド A	RCC ロッド B	NFBC 被覆管

*最大重量の収納物()

(ロ)－第 D.4 表 RCC ロッド及び NFBC 被覆管構成材料の化学成分

構成材料	化学成分 (重量パーセント)							
	Fe	Cr	Ni	Mn	Co	Ag	In	Cd

*化学成分の合計値が 100%を越えるが、これは の重量%として、それぞれの最大値を用いたためである。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)–第 D.5 表 SS ロッド仕様

構成材料	材質	重量 (g/本)

(ロ)–第 D.6 表 SS ロッドの構成材料の化学成分

構成材料	化学成分 (重量パーセント)						
	Fe	Cr	Ni	Mn	Co	Sb	Be

*化学成分の合計値が 100%を越えるが、これは の重量%として、それぞれの最大値を用いたためである。

(ロ)–第 D.7 表 バッフルフォーマボルト仕様

構成材料	材質	重量(g/本)
バッフルフォーマボルト		

(ロ)–第 D.8 表 バッフルフォーマボルト構成材料の化学成分

構成材料	化学成分(重量パーセント)					
	Fe	Cr	Ni	Mn	Co	Mo
バッフルフォーマボルト <input type="checkbox"/>						
バッフルフォーマボルト <input type="checkbox"/>						

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)–第 D.9 表 照射サンプル及び照射用ロッド仕様

構成材料	材質	重量 (kg/本)
照射サンプル	<input type="text"/>	<input type="text"/>
照射用ロッド	<input type="text"/>	

(ロ)–第 D.10 表 照射サンプル及び照射用ロッド構成材料の化学成分

構成材料	化学成分 (重量パーセント)				
	Fe	Cr	Ni	Mn	Co
ステンレス鋼	<input type="text"/>				

(ロ)–第 D.11 表 シンプルチューブ仕様

構成材料	材質	重量 (kg/本)
シンプルチューブ	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ)–第 D.12 表 シンプルチューブの化学成分

構成材料	化学成分 (重量パーセント)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	Fe
ステンレス鋼	<input type="text"/>									

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(D.2.1)、(D.2.2)式の計算は、次の条件にて行う。

(1) 中性子束

サーベイランスキャプセルはキャプセル取出しまでの期間、原子炉容器内の に挿入されている。該当部の中性子束として、2 ループ、3 ループ、4 ループ原子炉を包括する値を使用するものとし、サーベイランスキャプセルの全長に亘ってこの中性子束で一様に照射されるものとする。

RCC ロッド、NFBC 被覆管並びにシンプルチューブは 中性子束で一様に照射されるものとする。これは、RCC ロッド、被覆管並びにシンプルチューブが炉心内に常時挿入されているものではないため、安全側のモデルである。

SS ロッド、バッフルフォーマボルト並びに照射サンプル及び照射用ロッドは に挿入されているので、 中性子束で一様に照射されるものとする。

中性子束は2 ループ、3 ループ、4 ループ原子炉のうち最大となる4 ループ原子炉の値を使用するものとする。

4 群構造で表した中性子束を(ロ)―第 D.13 表に示す。

(ロ)―第 D.13 表 中 性 子 束

(単位 : n/cm²・s)

エ ネ ル ギ レ ベ ル	サーベイランス キャプセル 位置の中性子束	<input type="text"/> 中性子束
ϕ_1 (1MeV 以上)	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
ϕ_2 (1MeV~5.53keV)		
ϕ_3 (5.53keV~0.414eV)		
ϕ_4 (0.414eV 以下)		

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(2) 照射・冷却条件

原子炉内での中性子照射時間及び取出し後の冷却時間は、(ロ)一第 D.14 表のとおりとする。照射サンプル及び照射用ロッドについては、2 サイクル照射(照射時間)及び6 サイクル照射(照射時間)の場合とする。

(ロ)一第 D.14 表 照射・冷却条件

収 納 物	サーベイランス キャプセル	RCC ロッド 及び NFBC 被覆管	SS ロッド	バッフル フォーマボルト	照射サンプル及び 照射用ロッド	シングル チューブ
中 性 子 照 射 時 間						
冷 却 時 間						

以上の条件より求めた各収納物の誘導放射能を主要核反応の諸元と共に(ロ)一第 D.15 表に、各収納物のエネルギー群ごとの線源強度を(ロ)一第 D.16 表にそれぞれ示す。

さらに収納物タイプごとの全線源強度を(ロ)一第 D.17 表に示す。

(ロ)一第 D.17 表より遮蔽解析は、遮蔽上一番厳しい線源強度を与える RCC ロッド B を 体収納時で実施する。

RCC ロッド B を 体収納時がサーベイランスキャプセル収納時、バッフルフォーマボルト 体収納時、照射サンプル及び照射用ロッド 体又は 体収納時、並びにシングルチューブ 体収納時よりも遮蔽上厳しくなることを D.6.1、D.6.2、D.6.3 及び D.6.4 に示す。

D.2.2 中性子源

この線源に中性子の発生はない。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) 第D.15表 誘導放射能量

生成核種	核反応	崩壊定数 (s ⁻¹)	誘導放射能(Bq/体)						シールド チェーブ
			サハライソ キヤセル	RCCポット ^ス		NFBC 被覆管	照射サブル 及び照射用ポット ^ス		
			ポット ^ス A	ポット ^ス B	SSポット ^ス	ホルト ^ス □	ホルト ^ス □	2サイクル照射	6サイクル照射
Mn ⁵⁴	Fe ⁵⁴ (n, p) Mn ⁵⁴								
Co ⁵⁸	Ni ⁵⁸ (n, p) Co ⁵⁸								
Co ⁶⁰	Co ⁵⁹ (n, γ) Co ⁶⁰								
	Ni ⁶⁰ (n, p) Co ⁶⁰								
Fe ⁵⁹	Fe ⁵⁸ (n, γ) Fe ⁵⁹								
Cr ⁵¹	Cr ⁵⁰ (n, γ) Cr ⁵¹								
	Fe ⁵⁴ (n, α) Cr ⁵¹								
Mo ⁹⁹	Mo ⁹⁸ (n, γ) Mo ⁹⁹								
Ag ^{108m}	Ag ¹⁰⁷ (n, γ) Ag ^{108m}								
Ag ^{109m}	(Cd ¹⁰⁹ の娘核種(EC))								
Ag ^{110m}	Ag ¹⁰⁹ (n, γ) Ag ^{110m}								
Cd ¹⁰⁹	Ag ¹⁰⁷ (n, γ) Ag ¹⁰⁸								
	β								
	Cd ¹⁰⁸ (n, γ) Cd ¹⁰⁹								
Cd ¹¹⁵	Cd ¹⁰⁸ (n, γ) Cd ¹⁰⁹								
	Cd ¹¹⁴ (n, γ) Cd ¹¹⁵								
Cd ^{115m}	Cd ¹¹⁴ (n, γ) Cd ^{115m}								
In ^{114m}	In ¹¹³ (n, γ) In ^{114m}								
In ¹¹⁴	(In ^{114m} の娘核種(EC))								
合計誘導放射能量(Bq/ロッド)									

□で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ)ー第 D.16 表 各収納物 1 体当たりのガンマ線源強度

(単位 : MeV / s 体)

種類		エネルギー	0.4MeV	0.8MeV	1.3MeV	1.7MeV	2.2MeV	合計
サーベイランス キャプセル								
R C C ド	ロッド A							
	ロッド B							
SS ロッド								
NFBC 被覆管								
バッフル フォーム ボルト	ボルト 1							
	ボルト 2							
照射 サンプ ル及び	2 サイクル 照射							
	6 サイクル 照射							
シンプルチューブ								

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) 第 D.17 表 収納物タイプごとのガンマ線源強度

(単位 MeV/s)

収納物タイプ	収納物の種類	線源強度
タイプ I	サーベイランス キャプセル	
タイプ II	RCC ロッド A <input type="text"/>	
	RCC ロッド B <input type="text"/>	
タイプ III	SS ロッド <input type="text"/>	
タイプ IV	NFBC 被覆管 <input type="text"/>	
タイプ V	バッフルフォーマ ボルト <input type="text"/>	
	バッフルフォーマ ボルト <input type="text"/>	
タイプ VI	バッフルフォーマ ボルト <input type="text"/>	
タイプ VII	照射サンプル 及び 照射用ロッド	2 サイクル照射 <input type="text"/>
		6 サイクル照射 <input type="text"/>
タイプ VIII	シングルチューブ <input type="text"/>	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

D.2.1 で示したように遮蔽解析は、最大線源強度を与える RCC ロッド B を□体（収納物タイプⅡ）を収納した状態で実施する。

RCC ロッドは、(ロ)―第 D.2 図に示すように収納缶に収納された後、輸送容器のバスケットに収納される。

遮蔽解析モデルにおいては、RCC ロッド B を□本入れた収納缶がバスケット内に□個収納された状態で検討する。半径方向の遮蔽解析モデルを(ロ)―第 D.3 図に示す。収納缶は、輸送容器の横置き状態を考え、バスケットに接する位置にあるとした。ガンマ線遮蔽材は、ステンレス鋼、鉛及び断熱材とする。特別の試験条件下においては、断熱材及び外筒の一部が損傷するため断熱材及び外筒は無いものとした。

軸方向の遮蔽解析モデルを(ロ)―第 D.4 図に示す。軸方向のモデル化に当たっては、鉛及びステンレス鋼を遮蔽材と考え、緩衝体は遮蔽材として考慮していない。輸送容器の上・下に取り付けられた緩衝材は、特別の試験条件下においても外れることはなく、一部変形するのみであるが、特別の試験条件下は、安全側に緩衝体がない状態でモデル化した。

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

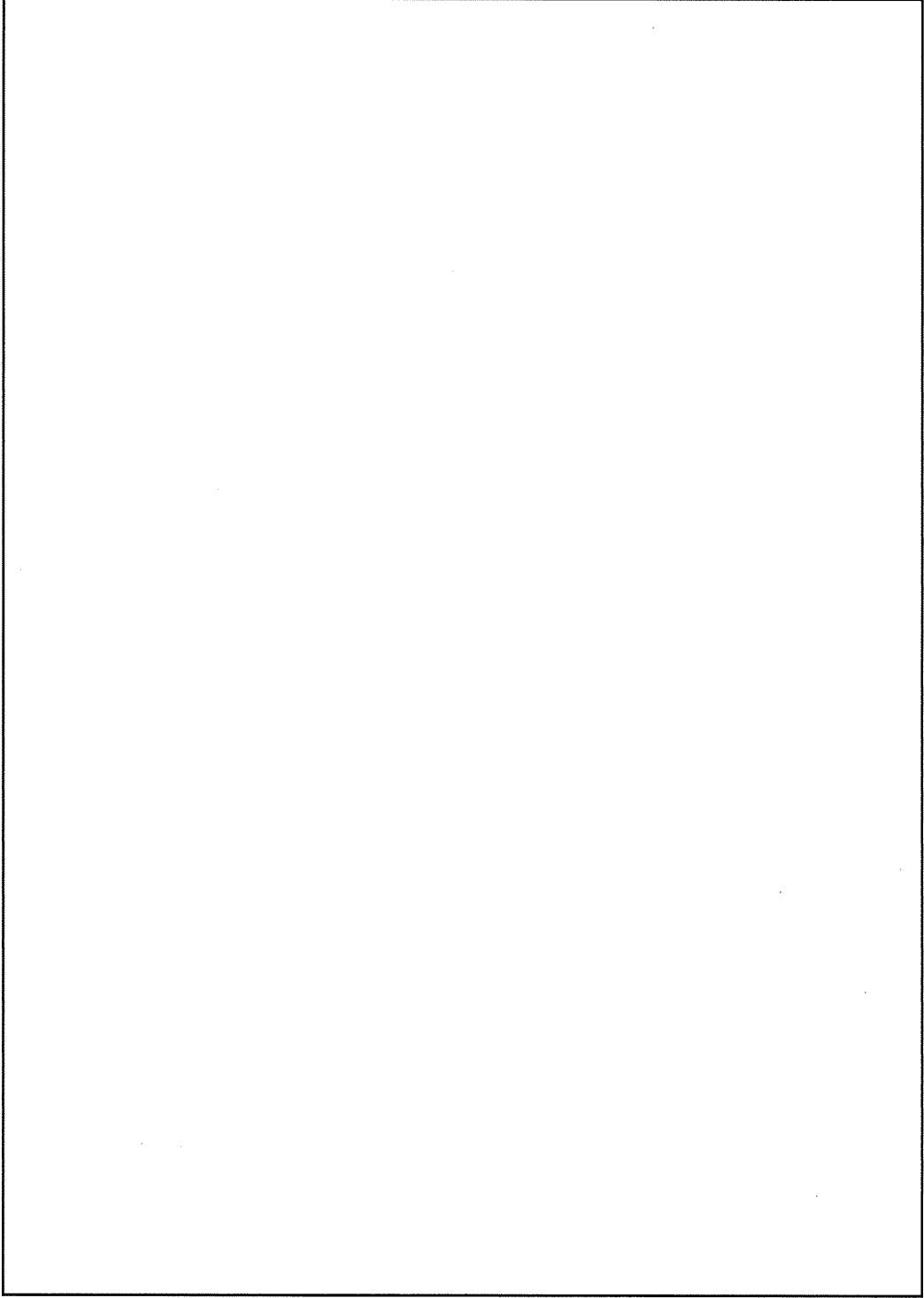
ガンマ線遮蔽解析に使用する遮蔽材は鉛、ステンレス鋼及び断熱材である。解析に使用した各々の密度は、以下のとおりとした。

鉛 ; 11.30g/cm³

ステンレス鋼 ; 7.85g/cm³

断熱材 ; 2.15g/cm³

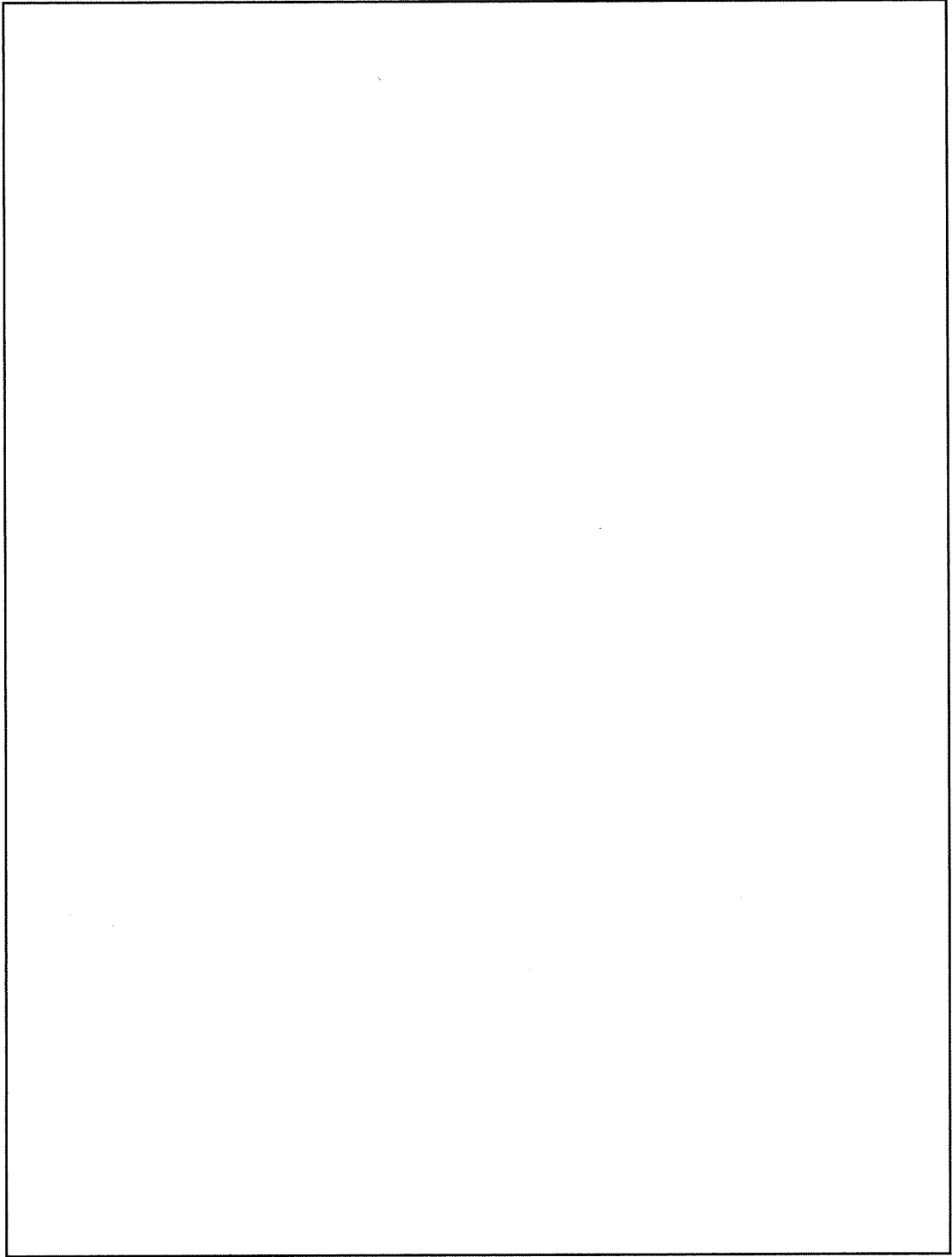
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(ロ)一第D.2図 RCCロッド

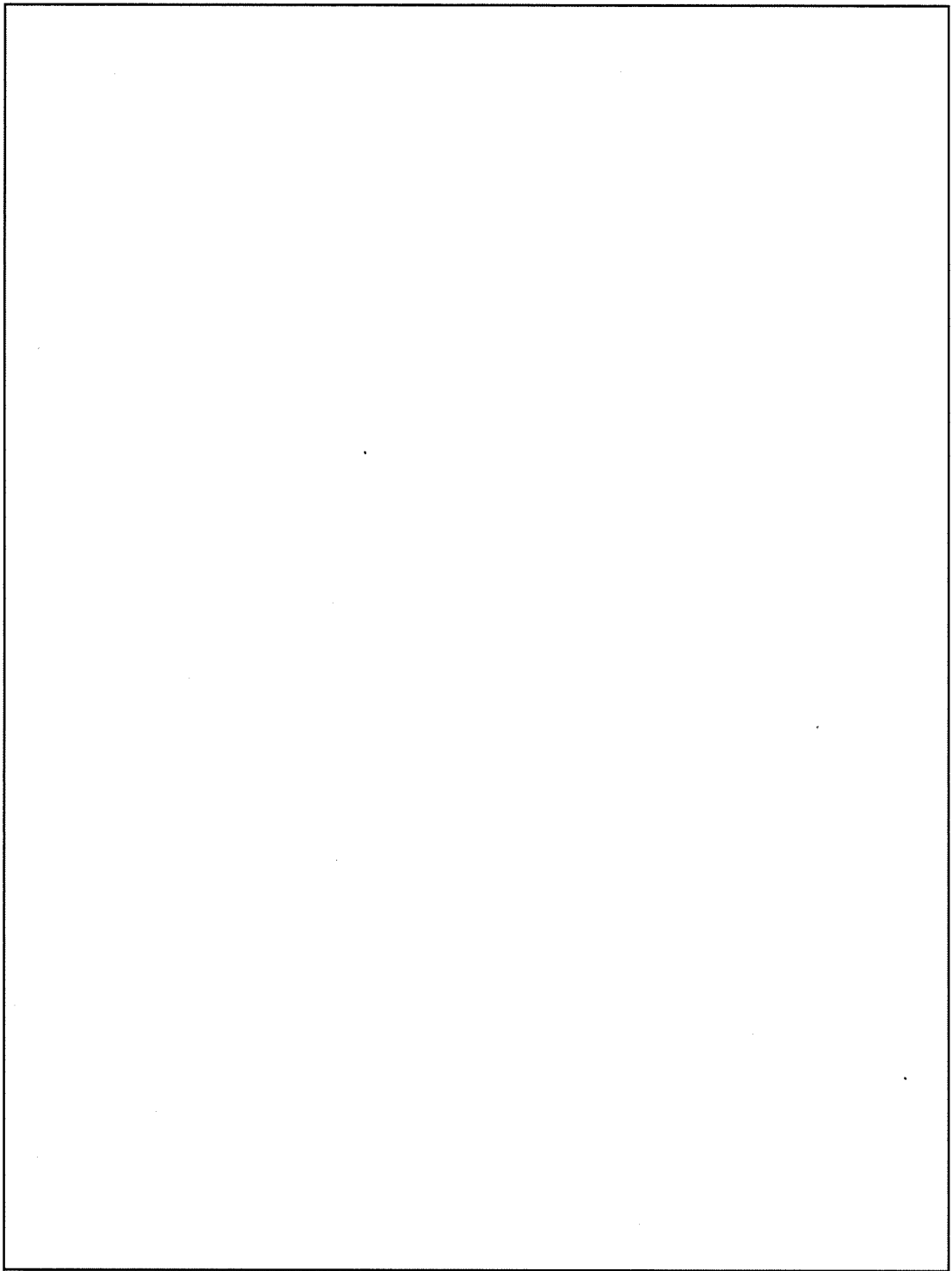


□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(ロ) 第D.3図 半径方向遮蔽解析モデル (円筒形状)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(ロ)－第D.4図 軸方向遮蔽解析モデル (円筒形状)

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.4 遮蔽評価

D.4.1 ガンマ線遮蔽評価

ガンマ線遮蔽評価は、ガンマ線のエネルギーを 5 群として、点減衰核積分コード QAD(QADCGGP2R¹⁾)で行った。線量当量率の算出は、ICRP Publication74 の空気カーマから線量当量への換算係数に基づき、同コードに導入された実効換算係数²⁾を用いる手法により行った。

QAD コードの計算では支配的遮蔽体である鉛のビルドアップファクタを用いた。ただし、鉛遮蔽体の外側には断熱材及び鋼板があるため、次の手法を用いて線量当量率を評価した。

半径方向の遮蔽計算では、鉛遮蔽体の外側の断熱材をボイドとして、QAD コードで計算した結果に、一次元輸送計算コード ANISN³⁾で求めた断熱材 4cm の線量当量率減衰比を乗じて線量当量率を求めた。

また、軸方向の遮蔽計算では、鉛の外側に厚さ 5cm のステンレス鋼板があるため、鋼板透過に対するビルトアップの補正を行い、線量当量率を求めた。

以上の手法で評価した輸送容器各部の最大線量当量率は次のとおりである。

通常輸送時における半径方向表面では(ロ)―第 D.3 図の a 点で最大となり 0.82mSv/h、表面から 1 m 位置では(ロ)―第 D.3 図の b 点で最大となり 0.079mSv/h である。また軸方向表面では(ロ)―第 D.4 図の a 点で最大となり 0.10mSv/h、表面から 1m 位置では(ロ)―第 D.4 図の b 点で最大となり 0.025mSv/h である。

一般の試験条件下における半径方向表面は通常輸送時と同一、軸方向表面では(ロ)―第 D.4 図の a 点で最大となり 0.11mSv/h である。特別の試験条件下における半径方向表面から 1m 位置では(ロ)―第 D.3 図の c 点で最大となり 0.14mSv/h、軸方向表面から 1m 位置では(ロ)―第 D.4 図の c 点で最大となり 0.036mSv/h である。

一般の試験条件下における線量当量率は通常輸送時における線量当量率と比較して、著しく増加することはない。

D.5 結果の要約及びその評価

本輸送物の遮蔽解析で得られた線量当量率の結果を(ロ)―第 D.18 表に示す。

(ロ)―第 D.18 表は以下の点で安全側の評価結果を与えている。

- i. 線源評価に当っては、最大重量・寸法の材料で代表させうえて、2 ループ・3 ループ・4 ループ原子炉を包絡する中性子束を用いている。
- ii. 線量当量率を支配する Ag-110m の高エネルギー崩壊ガンマ線(1.384MeV、1.505MeV)を 1.7MeV で代表させている。
- iii. 遮蔽評価に当たっては、コードの信頼性が幅広く認められている遮蔽計算コード QAD を用いている。
- iv. 解析モデルは次に示すように安全側に設定している。
 - a) 半径方向の遮蔽解析においては、線源をバスケットに接する位置に設定している。
 - b) 遮蔽厚さは製作誤差を考慮した最小厚としている。

(ロ)―第 D.18 表の結果より、本解析で得られた線量当量率はいずれも基準値を十分満足している。

(ロ)―第 D.18 表 最大線量当量率の要約

(単位：mSv/h)

位置 試験条件		輸送物表面		輸送物表面 より 1m	
		半径方向	軸方向	半径方向	軸方向
通常輸送時		0.82	0.10	0.079	0.025
一般の試験条件下		0.82	0.11	—	—
特別の試験条件下		—	—	0.14	0.036
基準 値	通常輸送時	2		0.1	
	一般の試験条件下	2		—	
	特別の試験条件下	—		10	

D.6 付属書類

D.6.1 サーベイランスキャプセル収納時の遮蔽評価

サーベイランスキャプセルは で、これを中央部を にしてバスケットに収納する。

このサーベイランスキャプセル収納時の遮蔽評価を、(ロ)–第 D.16 表の線源強度を用いて RCC ロッド収納時と同様の解析モデルを用いて評価した結果は、(ロ)–第 D.19 表のとおりになる。ただし、評価は通常輸送時に対してのみ行った。

比較のため()内に RCC ロッド収納時の線量当量率を示した。

(ロ)–第 D.19 表 サーベイランスキャプセル収納時の最大線量当量率(通常輸送時)

(単位：mSv/h)

輸送物表面	半径方向	0.047 (0.82)
	軸 方向	0.009 (0.10)
輸送物表面より 1 m	半径方向	0.011 (0.079)
	軸 方向	0.002 (0.025)

(注) () 内は RCC ロッド収納時

(ロ)–第 D.19 表よりサーベイランスキャプセル収納時の線量当量率は RCC ロッド収納時に比較して十分小さいことがわかる。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.6.2 バッフルフォーマボルト収納時の遮蔽評価

バッフルフォーマボルトは RCC ロッドと同様、収納缶に収納された後、輸送容器のバスケットに収納する。

このバッフルフォーマボルト[□]体収納時の遮蔽評価を(ロ)ー第 D.16 表の線源強度を用いて RCC ロッド収納時と同様の解析モデルを用いて評価した結果は、(ロ)ー第 D.20 表のとおりとなる。ただし、評価は通常輸送時に対してのみ行った。比較のため()内に RCC ロッド収納時の線量当量率を示した。

(ロ)ー第 D.20 表 バッフルフォーマボルト収納時の最大線量当量率(通常輸送時)

(単位 : mSv/h)

輸送物表面	半径方向	0.68	(0.82)
	軸 方向	0.093	(0.10)
輸送物表面より 1 m	半径方向	0.056	(0.079)
	軸 方向	0.022	(0.025)

(注) () 内は RCC ロッド収納時

(ロ)ー第 D.20 表よりバッフルフォーマボルト収納時の線量当量率は RCC ロッド収納時に比較して十分小さいことがわかる。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.6.3 照射サンプル及び照射用ロッド収納時の遮蔽評価

照射サンプル及び照射用ロッドは□で、これを□したものを□(2 サイクル照射) 又は□(6 サイクル照射)バスケットに収納する。

この照射サンプル及び照射用ロッド収納時の遮蔽評価を(ロ)―第 D.16 表の線源強度を用いて RCC ロッド収納時と同様の解析モデルを用いて評価した結果は、(ロ)―第 D.21 表のとおりとなる。ただし、評価は通常輸送時に対してのみ行った。比較のため()内に RCC ロッド収納時の線量当量率を示した。

(ロ)―第 D.21 表 照射サンプル及び照射用ロッド収納時の最大線量当量率(通常輸送時)

(単位 : mSv/h)

		□体分(2 サイクル照射)		□体分(6 サイクル照射)	
			()		()
輸送物表面	半径方向	0.41	(0.82)	0.46	(0.82)
	軸 方向	0.025	(0.10)	0.027	(0.10)
輸送物表面より 1 m	半径方向	0.063	(0.079)	0.070	(0.079)
	軸 方向	0.009	(0.025)	0.010	(0.025)

(注) () 内は RCC ロッド収納時

(ロ)―第 D.21 表より照射サンプル及び照射用ロッド収納時の線量当量率は RCC ロッド収納時に比較して十分小さいことがわかる。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.6.4 シンプルチューブ収納時の遮蔽評価

シンプルチューブは RCC ロッドと同様、収納缶に収納された後、輸送容器のバスケットに収納する。

このシンプルチューブ 体収納時の遮蔽評価を(ロ)–第 D.16 表の線源強度を用いて RCC ロッド収納時と同様の解析モデルを用いて評価した結果は、(ロ)–第 D.22 表のとおりとなる。ただし、評価は通常輸送時に対してのみ行った。比較のため()内に RCC ロッド収納時の線量当量率を示した。

(ロ)–第 D.22 表 シンプルチューブ収納時の最大線量当量率(通常輸送時)

(単位 : mSv/h)

輸送物表面	半径方向	0.33	(0.82)
	軸 方向	0.085	(0.10)
輸送物表面より 1 m	半径方向	0.062	(0.079)
	軸 方向	0.022	(0.025)

(注) () 内は RCC ロッド収納時

(ロ)–第 D.22 表よりシンプルチューブ収納時の線量当量率は RCC ロッド収納時に比較して十分小さいことがわかる。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

D.6.5 引用文献

- 1) Y.Sakamoto and S.Tanaka, "QAD-CGGP2 and G33-GP2 :Revised Versions of QAD-CGGP and G33-GP", JAERI-M 90-110 (July 1990)
- 2) 坂本幸夫、遠藤章他、「実効線量評価のための光子・中性子・ベータ線制動輻射線に対する遮へい計算定数」, JAERI-Data/Code2000-044, (2001年1月)
- 3) R. G. Soltesz and R. K. Disney, "Revised WANL ANISN Program User's Mannual, WANL-TMI-1967 (April 1969)

口 章 E. 臨 界 解 析

(ロ)－E 臨界解析

E. 1 概 要

本輸送容器の収納物中には、中性子照射量検出器としての役目をもった

と が含まれている。

仮にこれらの元素が、中性子照射により核分裂性物質に変化してもその量は、上記親物質の量を超えることはなく極く微量である。また、サーベイランスキャプセルに付着する使用済燃料ピット水 中、あるいは、サーベイランスキャプセル自身に付着する核分裂性物質が存在するとしても、これら核分裂性物質の量は、極く微量と推定される。

従って、本輸送容器収納物中の核分裂性物質量は、基準値 g 以下で、核分裂性輸送物に該当しないため、本項該当せず。

E. 2 解析対象

該当せず

E. 2. 1 収 納 物

該当せず

E. 2. 2 輸送容器

該当せず

E. 2. 3 中性子吸収材

該当せず

E. 3 モデル仕様

該当せず

E. 3. 1 解析モデル

該当せず

E. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度

該当せず

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

E. 4 未臨界評価

該当せず

E. 4. 1 計算条件

該当せず

E. 4. 2 核燃料輸送物への水の侵入等

該当せず

E. 4. 3 計算方法

該当せず

E. 4. 4 計算結果

該当せず

E. 5 ベンチマーク試験

該当せず

E. 6 結果の要約と評価

該当せず

口章 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60年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計300回、また1回の輸送期間は通常最長1ヶ月である。また、輸送容器の吊り上げ予定回数は輸送1回あたり4回であることから、保守・点検等を含め保守的に20回以下を想定すると、使用期間を通しての吊り上げ予定回数は計6000回(=300×20)である。

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、容器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り返し応力が生じることによる疲労が考えられる。そこで、これらの経年変化を生じさせる要因について、本輸送容器の構成部品に関して評価を実施する。

熱、放射線、化学変化の評価においては、使用予定より保守的な条件として60年の連続使用を考慮する。また、疲労の評価においては、トラニオンについては使用期間を通して保守的に考慮した吊り上げ予定回数6000回を、その他の部位については内圧による応力を考慮して保守的に輸送回数を上回る500回の応力発生を考慮する。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

経年変化を考慮する本輸送容器の構成部品として、安全機能を担う構成部品とその使用材料を下記に示す。

輸送容器の構成部品	材料
外筒部・トラニオン	ステンレス鋼
外胴部	
上部蓋・下部蓋・シャッタ蓋	
蓋ボルト	低合金鋼
鉛部	鉛
内胴部	ステンレス鋼及びキャストブル
バスケット	ステンレス鋼
緩衝体	木材

Oリング及び収納缶については輸送実施前に新しいものと取替えるため、経年変化は考慮しない。

以上より、輸送容器において経年変化を考慮する材料は下記の5つである。

- ・ステンレス鋼
- ・低合金鋼
- ・鉛
- ・キャストブル
- ・木材

以下に、各材料の経年変化の考慮について、熱、放射線、化学変化及び疲労の観点から示す。

(1) ステンレス鋼

ステンレス鋼の経年変化の考慮について、(ロ) - 第 F.1 表に示す。

(ロ) - 第 F.1 表 ステンレス鋼の経年変化の考慮 (1/2)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の有無
ステンレス鋼	熱	使用期間中に想定されるステンレス鋼の温度範囲である -20℃から 65℃((ロ)B.4.2 参照)までを考慮する。クリープの影響を受ける温度はステンレス鋼の融点(K)の三分の一である 280℃であり、運搬中に予想される最高温度(65℃)と比較して十分に高いことから、仮にステンレス鋼を使用期間中、継続して上記温度環境下に置いた場合でも、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	収納物には中性子線源は含まれないことから照射による経年劣化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	ステンレス鋼は材料の表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくい。また、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面又は内面に腐食が確認された場合は補修し、バスケットに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外表面の外観に異常がないことを確認している。このため、使用期間内に腐食等の経年変化の影響は受けない。 以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(ロ) - 第 F.1 表 ステンレス鋼の経年変化の考慮 (2/2)

材料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化 の有無
ステンレ ス鋼	疲労	<p>輸送容器構造材において、吊り上げと内外圧力差の 2 つの要因により繰り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となる。</p> <p>「付属資料 トラニオンの疲労評価」に示す通り、吊り上げによりトラニオンに発生する応力を考慮したところ、B 断面に発生する繰返しピーク応力強さが最も高く 285MPa となった。設計・建設規格に示される設計疲労線図よりこの繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は 9.2×10^4 回であることから、吊上げ回数 6000 回に対し、十分に大きい。そのため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>「(ロ) A.5.1.4 許容応力との比較」に示す通り、常温から最高温度における内外圧力差により内胴等に発生する応力を考慮したところ、上部蓋に発生する繰返しピーク応力強さが最も高く 0.30MPa となった。ASME Sec. III Subsec. NB に基づきこの繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は 1×10^6 回であることから、使用回数 500 回に対し、十分に大きい。なお、-20°C から 38°C の周囲温度の変化によっては内胴内圧力が $1.17 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{abs}$ より増加し、$1.35 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{abs}$ となる可能性があるが、内圧により部材に発生する応力自体が応力基準値 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) に比べ十分小さいことから、この増加分を考慮しても荷重の繰返しが容器の健全性に影響することはない。そのため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し

(2) 低合金鋼

低合金鋼の経年変化の考慮について、(ロ) - 第 F.2 表に示す。

(ロ) - 第 F.2 表 低合金鋼の経年変化の考慮 (1/2)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の有無
低合金鋼	熱	使用期間中に想定される低合金鋼の温度範囲である-20℃から 60℃((ロ)B. 4.2 参照)までを考慮する。クリープの影響を受ける温度は低合金鋼の融点(K)の三分の一である 300℃であり、運搬中に予想される最高温度(60℃)と比較して十分に高いことから、仮に低合金鋼を使用期間中、継続して上記温度環境下に置いた場合でも、使用期間に想定される温度範囲においては組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	収納物には中性子線源は含まれないことから照射による経年劣化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	低合金鋼は防錆処置としてメッキを施すことから腐食は発生しにくい。また、定期自主検査の外観検査で腐食が確認された場合には補修又は交換する。さらに、発送前検査で外観に異常がないことを確認している。 このため、使用期間内に腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(ロ) ー第 F.2 表 低合金鋼の経年変化の考慮 (2/2)

材料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化 の有無
低合金鋼	疲労	<p>低合金鋼のボルトにおいて、内外圧力差に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となる。</p> <p>「(ロ) A.5.1.4 許容応力との比較」に示す通り、常温から最高温度における内外圧力差によりボルトに発生する応力を考慮したところ、下部蓋締付けボルトに発生する繰返しピーク応力強さが最も高く 882MPa となった。ASME Sec. III Subsec. NB に基づきこの繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数は 700 回であることから、使用回数 500 回に比べて大きく、損傷することはない。なお、-20℃から 38℃の周囲温度の変化によっては内胴内圧力が $1.17 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{abs}$ より増加し、$1.35 \times 10^{-1} \text{MPa} \cdot \text{abs}$ となる可能性があるが、内圧によりボルト材に発生する応力自体が応力基準値 ($S_y = 875 \text{N/mm}^2$) に比べ十分小さいことから、この増加分を考慮しても荷重の繰返しが容器の健全性に影響することはない。そのため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し

(3)鉛

鉛の経年変化の考慮について、(ロ) - 第 F.3 表に示す。

(ロ) - 第 F.3 表 鉛の経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の有無
鉛	熱	使用期間中に想定される鉛の温度範囲である-20℃から 60℃ ((ロ)B.4.2 参照)までを考慮する。遮蔽能力を維持する必要があるため、変形が生じないよう融点に対して十分に余裕のある温度で使用する必要があり、鉛の融点 (327.5℃ ⁽¹⁾) に対して、運搬中に予想される最高温度は60℃と十分に低いいため、経年変化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	収納物には中性子線源は含まれないことから照射による経年劣化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	鉛は空気中では安定な酸化被膜を表面に形成し、下地の鉛を保護する ⁽²⁾ 。また、本材料はステンレス鋼に覆われており、密閉空間にあることから、経年変化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	疲労	鉛の使用箇所には、内外圧差や取扱いに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(4) キャスタブル

キャスタブル（アルミナセメント）の経年変化の考慮について、(ロ) - 第 F.4 表に示す。

(ロ) - 第 F.4 表 キャスタブルの経年変化の考慮 (1/2)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の有無
キャスタブル	熱	使用期間中に想定されるキャスタブルの温度範囲である 20°C から 60°C ((ロ) B. 4.2 参照) までを考慮する。温度変化に伴い重量減損が生じる可能性があるが、100°C 以下では有意な変化は見られない ⁽³⁾ ことが確認されており、最高温度 (60°C) は安定した状態の範囲であることから経年劣化の影響は受けない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	ガンマ線に対する累積照射量が 2×10^8 Gy までは顕著な強度の低下がみられない ⁽⁴⁾ ことが示されており、照射量が最大となる収納物を収納した場合にも 1×10^3 Gy 未満であることから、ガンマ線照射による経年劣化の影響は受けない。また、収納物には中性子線源は含まれないことから中性子照射による経年劣化の影響は受けない。 以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	アルミナセメントの水和物が、時間の経過に伴って安定な結晶構造へと転移し、その転移によって強度が低下する傾向がある ⁽⁵⁾ が、キャスタブルは構造強度部材ではないこと、及び形状変化を生じないことから、経年変化による断熱性能への影響を受けない。以上のことから、経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(ロ) - 第F.4表 キャスタブルの経年変化の考慮(2/2)

材料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化 の有無
キャスタ ブル	疲労	キャスタブルの使用箇所には、内外圧差や取扱いに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(5) 木材

木材の経年変化の考慮について、(ロ) - 第 F.5 表に示す。

(ロ) - 第 F.5 表 木材の経年変化の考慮 (1/2)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の有無
木材	熱	<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 °C に達すると木材の熱分解が進む⁽⁶⁾との文献が確認できたものの、直接参照できる文献は乏しい状況にある。一方で、緩衝材として木材が広く使用されていることを踏まえ、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件をもとに収納物による設計上の最大入熱を考慮した輸送容器の緩衝材の平均温度を評価した結果、約 40~70 °C 程度であること、使用済燃料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^(注) こと、また収納物の発熱量は 34 W 以下と僅かであることから、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じない。</p> <p>なお、輸送に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。</p> <p>以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し

(注) 参考資料：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」

(ロ) - 第 F.5 表 木材の経年変化の考慮の必要性の評価 (2/2)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の有無
木材	放射線	<p>ガンマ線に対する累積照射量が 10^5 Gy までは顕著な強度の低下がみられない⁽⁷⁾ことが示されており、照射量が最大となる収納物を収納した場合にも 1×10^3 Gy 未満であることから、ガンマ線照射による経年劣化の影響は受けない。また、収納物には中性子線源は含まれないことから中性子照射による経年劣化の影響は受けない。</p> <p>以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し
	化学	<p>緩衝材の充填空間はステンレス鋼製のカバープレートに覆われた閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽による経年変化の影響は受けない。</p> <p>以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し
	疲労	<p>木材の使用箇所には、内外圧差や取扱いに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

前節に示した通り、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、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。

ステンレス鋼、低合金鋼、鉛、キャストアル、木材については熱、放射線、化学変化における経年変化要因においては使用期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。

ステンレス鋼製のトラニオンと内胴部、及び低合金鋼製のボルトについては、吊り上げや内外圧力差によって繰り返し応力が発生するため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用期間中に想定される最も厳しい応力条件、かつ、保守的な繰り返し回数を考慮した上で吊り上げと内外圧力差による疲労を評価したところ、使用期間において疲労による経年変化は発生せず、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はないことを確認した。

付属資料 トラニオンの疲労評価

ロ章 A (構造解析) A. 4. 4 「吊上装置」に示した、輸送容器の吊上げ用トラニオンの応力評価結果をもとに、当該部位の疲労評価を実施する。

トラニオンの応力について、疲労評価上厳しい不連続である評価断面 (B-B 断面、C-C 断面) における応力集中を考慮し繰返しピーク応力強さによる許容繰返し回数と使用計画回数を比較して検討を行う。

(1) 繰返しピーク応力強さ、 S_a

$$S_a = S \cdot K_t \cdot (E_0 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 評価位置における応力強さ (MPa)

K_t : 応力集中係数=4

E_0 : 材料の基本縦弾性係数=1.95×10⁵ (MPa)

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数=1.92×10⁵ (MPa) (60°C)

a. 応力強さ、 S

疲労評価において使用する応力強さは、ロ章 A (構造解析) A. 4. 4 「吊上装置」にて算出した計算結果を用いる。

① B-B 断面

応力強さ : $S = 140$ (MPa)

② C-C 断面

応力強さ : $S = 58$ (MPa)

b. 繰返しピーク応力強さ、 S_a

トラニオンの形状による応力集中係数を考慮して求めた繰返しピーク応力強さを (ロ) ー第付 F. 1 表に示す。

(ロ)－第付F.1表 トラニオンに生じる繰返しピーク応力強さ

項	目	B－B断面	C－C断面
S	(MPa)	140	58
S _a	(MPa)	285	118

(2) 許容繰返し回数、N_a

設計・建設規格⁽⁸⁾添付4-2 図 添付 4-2-2 に示される設計疲労線図より許容繰返し回数N_aは以下となる。

B－B断面：9.2×10⁴ (回)

C－C断面：1.0×10¹¹ (回)

(3) 使用計画回数、N_u

本吊上装置の使用計画回数N_uは次のようになる。

輸送容器使用期間：60年

輸送回数：5回/年

吊上回数：20回(輸送毎)

なお、上記の吊上回数は、(ハ)章「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」に示す収納物装荷、輸送及び収納物取り出しにおける標準的な取扱いとして想定される吊上回数を保守的に考慮した回数である。

したがって、

$$N_u = 60 \times 5 \times 20 = 6000 \text{ 回}$$

以上より、使用計画回数は許容繰返し回数を十分下回っており、トラニオンの疲労強度は十分である。

参考文献

- (1) 自然科学研究機構 国立天文台編、“理科年表 2019”、丸善出版(2019).
- (2) 日本鉛亜鉛需要研究協会、「鉛ハンドブック」(1992) .
- (3) 「アルミナセメント硬化体の高温性状について」窯業協会 69[2], p. 24-28 (1961).
- (4) Hilsdorf, Kropp, and Koch, "The Effects of Nuclear Radiation on The Mechanical Properties of Concrete" American Concrete Institute Publication, SP 55-10. (1978) .
- (5) 長滝重義、“アルミナセメントコンクリートの強度について”、コンクリートジャーナル、 Vol. 6, No. 11, P16-24(1968)
- (6) 岡野健, 祖父江信夫, 「木材科学ハンドブック」, 朝倉書店, (2006).
- (7) Tsutomu Aoki, Misato Norimoto, Tadashi Yamada , “Some Physical Properties of Wood and Cellulose Irradiated with Gamma Rays” , Wood research : bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University, vol. 62, p. 19-28 (1977).
- (8) (一社) 日本機械学会、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版) <第 I 編 軽水炉規格> (JSME S NC1-2005 (2007 年追補版含む))」(2007).

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

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 (ロ) - 第G.1表に示すように、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」)、第3条及び第6条に該当する技術上の基準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」)で定める技術基準の該当項目に合致している。

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬報告示に定める技術基準への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考								
第3条 第1項第一号 第二号 第三号	第4条 及び 別表第1	危険性が極めて少ない核燃料物質等 (L型輸送物) 原子力規制委員会の定める量を超えない量の放射能を有する核燃料物質等 (A型輸送物) 原子力規制委員会の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等 (BM型輸送物又はBU型輸送物)	該当しない 該当しない 設計変更において、適合性判断を行う条件となる取納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、本輸送物に取納される核燃料物質の放射能量が別表第1に示す A_0 値を超えるためBM型輸送物の要件に該当することに変更はない。	(イ)-A (イ)-A (イ)-A (イ)-B (イ)-D									
第2項		<table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>核燃料物質等の区分</th> <th>放射能の量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">BM型</td> <td>特別核燃料物質等</td> <td>A_1を超える</td> </tr> <tr> <td>特別形核燃料物質等以外のもの</td> <td>A_0を超える</td> </tr> </tbody> </table> 放射能濃度が低い核燃料物質等であって危険性が少ないもの、核燃料物質等によって表面が汚染された物であって危険性が少ないもの (IP型輸送物)	区分	核燃料物質等の区分	放射能の量	BM型	特別核燃料物質等	A_1 を超える	特別形核燃料物質等以外のもの	A_0 を超える	該当しない	(イ)-A	
区分	核燃料物質等の区分	放射能の量											
BM型	特別核燃料物質等	A_1 を超える											
	特別形核燃料物質等以外のもの	A_0 を超える											

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則等に対する適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考
第3条 第3項		核燃料輸送物の経年変化を考慮した上で、技術上の基準に適合するものでなければならぬ。	<p>本輸送容器の使用予定期間は60年であり、使用期間を通しての輸送予定回数(計300回、1回の輸送期間は通常最長1ヶ月を想定している。輸送物の安全機能を担う構成部品(ステンレス鋼、低合金鋼、鉛、キャスタブル、木材)を対象に、技術上の基準に適合性を確認する上で考慮が必要となる経年変化に係り、その影響について評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステンレス鋼、低合金鋼、鉛、キャスタブルについては、60年間連続して構成部品等が使用中に想定される最高温度であったとした保守側の条件の下で、組織変化、クリープ、割れ、熱分解は発生しない。また、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、本輸送物の取納物の発熱量が34W以下と僅かであることから、経年変化の考慮は必要なく、熱による経年変化の影響は受けない。 ・取納物には中性子線源は含まれないことから中性子照射による経年劣化の影響は受けない。また、保守的な条件として照射量が最大となる取納物を収納した場におけるガンマ線の累積照射量は、キャスタブル及び木材に影響の与える照射量と比較して十分に小さいことから、経年変化の考慮は必要なく、放射線による経年変化の影響は受けない。 ・ステンレス鋼については材料の表面に不動態膜を形成し、低合金鋼が使用されているボルトにはメッキを施すことから腐食は発生しにくく、定期自主検査の外観検査でステンレス鋼製の輸送容器外面又は内面に腐食が確認された場合は補修し、バスケット及び低合金鋼製のボルトに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに発送前検査で輸送容器外面及び低合金製のボルトの外観に異常がないことを確認している。鉛は安定な酸化被膜を表面に形成することから腐食は発生しにくく、木材はステンレス鋼製のカバープレートに覆われた閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽による経年変化の影響は受けない。一方、キャスタブルはアルミナセメントの水和物が低下する傾向があるが、構造強度部材でないこと及び形状変化を生じないことから経年変化による断熱性能への影響を考慮する必要はない。 ・内胴部等及びボルトに用いているステンレス鋼と蓋ボルトに使用される低合金鋼について繰り返し応力が発生することから経年変化の考慮が必要となる。内胴部及びボルトについて使用予定より保守的な条件として、使用期間中に内外圧差の応力が500回、トラニオンについて吊り上げによる応力が6000回発生するとし、想定される最大応力から求めた許容繰返し回数と比較した。その結果、使用期間中に想定される応力の繰返し回数は十分に小さく疲労による経年変化は生じない。鉛、キャスタブル、木材については内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないことから経年変化の考慮は必要なく、疲労による経年変化の影響は受けない。 <p>以上のことから規則に定める技術基準の適合性に影響しない。</p>	(p)-F	

(口) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則と定める技術基準への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考
第6条 第一号		<p>容易に、かつ、安全に取扱うことができること。</p> <p>運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。</p>	<p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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. 本輸送物の取扱いは以下に示すように容易かつ安全に取扱えるように設計されている。</p> <p>1-1 本輸送物の最大重量は約9600kgである。取扱いは輸送容器本体のトラニオン及び専用の吊具を用い、クレーンを利用して容易かつ、安全に行える。また、輸送中は専用の固縛装置を用いて車面等に強固に積載される。</p> <p>1-2 輸送容器の吊上げ用具は輸送物の3倍の負荷係数としており、急激な吊上げに十分耐えるもので、また、操作中不意に外れない構造となっている。</p> <p>1-3 輸送中に使用する固縛装置は輸送物の安全性を損なうものでなく、輸送物の車面等への固定時の設計は各方向2g又は1gの加速度に対して耐えられるようになされている。</p> <p>また、蓋は輸送時の振動等により緩まないようにトルク管理された締付ボルトにより強固に締付けられている。</p> <p>設計変更において、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。そのため、以下に示すように運搬中に予想される輸送容器の温度・内圧の変化及び振動を考慮しても、技術基準が適合することに変更はない。</p> <p>2-1 本輸送物の固有振動数は158及び73.1[Hz]であり、車両輸送時及び船舶輸送時に受ける振動数域0~50[Hz]の範囲外である。よって、輸送物が共振することはない。</p> <p>2-2 輸送容器本体の材料は、ステンレス鋼、低合金鋼、鉛、キヤスタブル、木材であり、輸送中に予想される温度の変化(-20℃から60℃(ステンレス鋼は65℃))に耐えられ、低温脆性破壊に対しても問題ない。また、熱膨張に伴う寸法変化は十分小さく、部品同士の干渉が生じないため、輸送容器にき裂、破損は生じない。</p> <p>2-3 輸送物の輸送中の最大内圧は、通常0.117MPa・absであるが、各部に発生する応力は基準を下回るため、輸送容器にき裂、破損は生じない。仮に最低使用温度-20℃で仕立てた場合0.135MPa・absとなるが安全裕度の範囲である。また、周囲圧力が60kPaに低下した場合にも各部に発生する応力は基準を下回るため、輸送容器にき裂、破損は生じない。</p>	<p>(イ)-C</p> <p>(ロ)-A.4.4</p> <p>(ハ)-A.4.5</p> <p>(ニ)-A.1</p> <p>(ホ)-A.4.7</p> <p>(ヘ)-A.4.2</p> <p>(ヘ)-A.5.1.3</p>	<p>規則第4条 第一号準用</p> <p>同上 第二号準用</p>

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則と定める技術基準への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考						
第6条 第一号		<p>表面に不要な突起物がなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること。</p> <p>材料相互の間及び材料及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれがないこと。</p> <p>弁が誤って操作されないような措置が講じられていること。</p>	<p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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>3. 輸送物の表面は、表面に不要な突起物がないステンレス鋼の滑らかな面であり、雨水がたまることはない。そのため、除染も容易である。</p> <p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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>4. 輸送容器の構成部品は化学的に安定した材料を使用していることから、それぞれその材料間及び燃料要素との材料相互の接触による危険な物理的あるいは化学的に作用することはない。</p> <p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に該当しない。</p> <p>5. 本輸送物は、内容物が輸送物の密封境界となっており、放射性収納物が外に出る可能性のある弁はついていない。</p>	(イ)-C (ロ)-A.5.2	規則第4条 第三号準用						
	第9条	<p>表面の放射性物質の密度が原子力規制委員会の定める密度（以下「表面密度限度」という。）を超えないこと。</p>	<p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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变更はない。</p> <p>6. 本輸送物の発送前検査において容器表面における放射性物質の密度を実測し、告示に定める次表の表面密度限度以下であることを確認する。</p> <table border="1" data-bbox="917 533 1018 1070"> <thead> <tr> <th>放射性物質の区分</th> <th>α線を放出する放射性物質</th> <th>α線を放出しない放射性物質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>許容密度 (Bq/cm²)</td> <td>0.4</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	放射性物質の区分	α線を放出する放射性物質	α線を放出しない放射性物質	許容密度 (Bq/cm ²)	0.4	4	(イ)-C (ロ)-A.4.3	同上 第五号準用
放射性物質の区分	α線を放出する放射性物質	α線を放出しない放射性物質									
許容密度 (Bq/cm ²)	0.4	4									
		<p>核燃料物質の使用等に必要でないものに限る。）以外のものが収納されて安全性を損なうおそれのないこと。</p>	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造及び運用に変更はない。したがって、以下に示すように当該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变更はない。</p> <p>7. 輸送容器に収納物を装荷する場合には、装荷要領にもとづいて行い、しかも、輸送物の発送前検査として収納物検査が行われるので輸送物の安全性を損なう恐れのあるものを装荷することはない。</p>	(イ)-A.1	同上 第十号準用						

(ロ) ー 第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考
		<p>外接する直方体の各辺が 10cm 以上であること。</p> <p>みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールのはり付け等の措置が講じられていること。</p> <p>構成部品は、-40℃から 70℃までの温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。ただし、運輸中に予想される温度の範囲が特定できるときはこの限りではない。</p>	<p>設計変更においては、適合性判断を行う条件となる輸送容器的構造に変更はない、したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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>8. 本輸送物は、外接する直方体の各辺が下記の通り 10cm 以上である。 MS-1 型 長さ 3, 243mm 幅 1, 084mm 高さ 1, 084mm</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器的構造及び封印の運用方法に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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>9. 本輸送容器的上部蓋、下部蓋及びシャッター蓋は、緩衝体によって覆われているので、この緩衝体は、容器本体にボルトにより取り付けられ、更に [] または [] され、みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるよう措置を講じている。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器的材料及び構造に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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>10. 輸送容器本体の材料は、ステンレス鋼、低合金鋼、鉛、キャスタブル及び木材であり、輸送中に予想される温度変化(-20℃から 60℃ (ステンレス鋼は 65℃)) において著しい、強度の低下や脆化等がなく、構造強度部材に必要とされる材料強度等に影響しないため、亀裂・破損が生じるおそれはない。</p>	<p>(イ)-C (イ)-第 C.2 図</p> <p>(ウ)-A. 4. 3</p> <p>(ウ)-A. 4. 2</p>	<p>規則第 5 条 第二号準用</p> <p>同上 第三号準用</p> <p>同上 第四号準用</p>

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則に定める技術基準への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考
		周囲の圧力を 60kPa とした場合に、放射性物質の漏洩がないこと。	設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 11. 周囲の圧力が 60kPa となった場合にも本輸送物の密封境界である内容容器に発生する応力は 0.486MPa であり、基準値 ($S_y = 193 \text{ N/mm}^2$) に対し十分小さいため健全性を維持し、密封性は保持される。また、運搬中に予想される周囲温度及び周囲圧力の変化を考慮しても、容器内外の差圧により部材に発生する応力が基準値に対し十分小さいため、ボルトを含む内容容器は健全性を維持し、密封性は保持される。したがって、本輸送物から放射性物質の漏洩はない。	(p)-A.4.6 (p)-A.5.1.4	規則第5条 第五号準用
		液体状の核燃料物質等が収納されている場合には、次に掲げる要件に適合すること。(後略)	設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、本輸送容器には液体状の核燃料物質等を収納しないため、技術基準に該当しない。	(i)-D	同上 第六号準用
		表面における最大線量当量率が 2mSv/h を超えないこと。(専用積載かつ輸送方法の3条件が満たされ原子力規制委員会の承認を受けたものは 10mSv/h)	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 12-1. 最大の線源強度となる RCC ロッド□体を受納した状態を QAD コードを用いて評価した。表面の最大線量当量率は、 0.82mSv/h であるので、基準値を満足する。	(p)-D.5	同上 第七号準用
		表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ を超えないこと。 (専用積載で原子力規制委員会の承認を受けたときはこの限りでない。)	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 12-2. 最大の線源強度となる RCC ロッド□体を受納した状態を QAD コードを用いて評価した。表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率は、 0.079mSv/h であるので、基準値を満足する。	(p)-D.5	同上 第八号準用

(ロ) 一 第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則に定める技術基準への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応	備考														
第6条 第二号	第14条 別記第四	<p>38℃の条件下に1週間置くこと。 この場合輸送物表面の形状及び位置の区分に応じ、それぞれ次表に掲げる放射熱を1日につき12時間負荷すること。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">表面の形状及び位置の区分</th> <th>放射熱 (w/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">水平に輸送される平面</td> <td>下向きの表面</td> <td>なし</td> </tr> <tr> <td>上向きの表面</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td colspan="2">垂直に輸送される表面及び水平に輸送されない下向きの表面</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td colspan="2">その他の表面</td> <td>400</td> </tr> </tbody> </table> <p>50mm/hの雨量に相当する水を一時間吹き付けること。</p> <p>その重量が、5000kgを超え10000kg未満のものにあつては、0.9mの高さから最大の破損を及ぼすように落下させること。</p>	表面の形状及び位置の区分		放射熱 (w/m ²)	水平に輸送される平面	下向きの表面	なし	上向きの表面	800	垂直に輸送される表面及び水平に輸送されない下向きの表面		200	その他の表面		400	<p>設計変更において、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、以下に示すように当該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>13. 輸送物各部の温度をTRUMPコードを用いて評価した。輸送物を日陰より厳しい本試験条件に置いた場合でも、輸送中人が容易に近づくことができる輸送物の表面温度は60℃であり、専用積載で輸送される場合の制限値85℃を超えることはない。また、輸送容器各部の温度が健全性を維持できる制限温度以下である。</p>	(p)-B.4.2	告示第14条 別記第四
表面の形状及び位置の区分		放射熱 (w/m ²)																	
水平に輸送される平面	下向きの表面	なし																	
	上向きの表面	800																	
垂直に輸送される表面及び水平に輸送されない下向きの表面		200																	
その他の表面		400																	
			<p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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>14. 輸送容器の外表面の構成材料はすべてステンレス鋼であり吸水性はなく、水噴霧により腐食等で構成材が劣化するおそれはないため、吹き付け試験により、輸送容器の健全性は損なわれない。</p>	(p)-A.5.2	別記第三 第一号イ準用														
			<p>設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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>15. 輸送物最大総重量は約9600kgであるから落下高さ0.9mからの自由落下試験の条件における各部の健全性評価を工学式を用いて評価した結果、輸送物の健全性は損なわれない。</p>	(p)-A.5.3	別記第三 第一号ロ(1) 準用														

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則に定める技術基準への適合性の評価
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対 応 項	備 考
第6条 第2号		その重量の5倍に相当する荷重または鉛直投影面積に13kPaを乗じて得た値に相当する荷重のうち、いずれか大きいものを24時間加えること。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造及び総重量に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 16. 輸送物の5倍に相当する荷重での積み重ね試験で輸送物の健全性は損なわれない。	(ロ)-A.5.4	別記第三 第一号ロ(3) 準用
第6条 第2号イ		重量が6kgであり、直径が3.2cmの容易に破損しない棒であって、その先端が半球形のものを1mの高さから当該核燃料輸送物の最も弱い部分に落下させること。	設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 17. 貫通試験において輸送物の健全性は損なわれない。	(ロ)-A.5.5	別記第三 第一号ロ(4) 準用
第6条 第2号イ		一般の試験条件下で表面の最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、2mSv/hを超えないこと。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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.4.1	規則第5条 第九号ロ準用
同上 第2号ロ	第15条	放射性物質の一時間当たりの漏洩量が基準値 $A_2 \times 10^{-6}$ を超えないこと。	18. 一般の試験条件下での表面の最大線量当量率の増加率については、最大の線源強度となつた状態を QAD コードを用いて評価し、通常輸送時における最大線量当量率と比較して、軸方向が10%程度と著しく増加することはない。かつ、その表面の最大線量当量率は0.11mSv/hである。したがって、基準を満足している。	(ロ)-C.3.1	
同上 第2号ハ		表面の温度が日陰において50℃(専用積載として運搬する核燃料輸送物にあつては、輸送中人が容易に近づくことができる表面(近接防止棒を設ける場合はその表面)において85℃)を超えないこと。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 19. 輸送物が一般の試験条件下に置かれた場合、密封性能の低下は生じない。放射性物質の漏洩量の比率は、解析で示したように 6.19×10^{-4} であり、基準値 $A_2 \times 10^{-4}$ Bq/h に対する比率が1以下であるため制限値を超えない。	(ロ)-B.4.2	
同上 第2号ニ	第9条	表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えないこと。	設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 20. 輸送物を日陰より厳しい一般の試験条件下に置いた場合でも、輸送中人が近づくことができる輸送物の表面温度は60℃であり、専用積載で輸送される場合の制限値85℃を超えることはない。 21. 輸送物は一般の試験条件下においても密封性は損なわれたいたいめ、発送前検査にて確認された放射線物質の密度が表面密度限度を超えることはない。	(ロ)-A.2	

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則に対する適合性の比較
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項	備考
第6条 第三号	第16条 別記第5	9mの高さから落下させること。ただし、重量500kg以下、比重が1以下、かつ、収納する核燃料物質等が特別形核燃料物質等以外のものにおいて、当該核燃料物質等の放射能の量がA ₂ 値の1000倍を超えるものにあつては、これに代えて、重量が500kg、縦及び横の底さが1m、下面の端部及び隅角部の曲率半径が6mm以下の軟鋼板を9mの高さから当該核燃料輸送物が最大の破損を受けるよう水平に落下させること。 垂直に固定した直径が15cmであり、長さが20cmの軟鋼丸棒であつて、その上面が滑らかな水平面であり、かつ、その端部の曲率半径が6mm以下のものに1mの高さから落下させること。	設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変わりはない。 22. Volumetric Displacement法を用いて緩衝体の変形及び衝撃加速度を評価した結果、輸送物は9m自由落下試験においても落下エネルギーが緩衝材で十分吸収でき、輸送物各部に生ずる応力も基準値以下であるため、輸送物の健全性は損なわれぬ。また、密封境界の健全性も損なわれぬ。 設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変わりはない。 23. 工學式を用いて評価した結果、軟鋼丸棒上1mの高さから輸送物を落下させても貫通は生じない。また輸送物各部に生ずる応力も基準値以下であるため、輸送物の健全性は損なわれぬ。 設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変わりはない。 24. 輸送物を、温度800℃の条件下に30分間放置した場合に緩衝材及び断熱材が損傷を受けるが、それ以外の材料は健全である。また、容器内の圧力が上昇しても内胴の健全性が維持される。 設計変更において、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、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変わりはない。 25. 輸送物は深さ15mの水中に相当する147kPa・Gの外圧に對しても外筒及び外胴が座屈することはないため、深さ15mの水中に8時間浸漬させても健全性を有する。	(p)-A.6.1	別記第五 第一号イ
				(p)-A.6.2	別記第五 第一号ロ
				(p)-A.6.3	別記第五 第二号 イ及びロ
				(p)-A.6.4	別記第五 第三号

(ロ) 一第G.1表 外運搬規則及び外運搬規則等に対する適合性の比較
BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説 明	申請書記載 対 応 項	備 考
第6条 第三号イ		表面から1m離れた位置における最大線量当量率が10mSv/hを超えないこと。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に变更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 26. 輸送容器は、特別の試験条件下においてもその健全性は損なわれないが、最大の線源強度となるRCCロッド□□体を取納し、緩衝体を無視した条件でQADコードを用いて評価した。表面から1m離れた位置における最大線量当量率は、0.14mSv/hであり、基準値10mSv/hを超えない。	(ロ)-D.5	
同上 第三号ロ	第17条	放射性物質の1週間当たりの漏洩量が基準値A ₂ を超えないこと。ただし、クリプトン85にあってはA ₂ 値の十倍とする。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に变更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 27. 輸送物が特別の試験条件下に置かれた場合、外容器の一部に変形を生じるが、内容器の密封性は保持される。 放射性物質の漏洩量の比率は、解析で示したように6.21×10 ⁻⁴ であり、基準値A ₂ Bq/weekに対する比率が1以下であり、制限値を超えることはない。	(ロ)-C.4.2	
第6条 第四号		運搬中に予想される最も低い温度から38℃までの周囲の温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造に变更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該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。 28. 輸送容器本体の材料は、ステンレス鋼、低合金鋼、鉛、キヤスタブル及び木材であり、輸送中に予想される温度の変化(-20℃から60℃(ステンレス鋼は65℃))において著しい、強度の低下や脆化等がなく、必要とされる材料強度等に影響しない。また、蓋締付けボルトは熱応力が極めて小さいため、周囲温度の変化があってもボルトの軸力は影響されない。さらに、容器内外の差圧により部材に発生する応力自体が基準値に対し十分小さいため、周囲温度の変化があってもボルトを含む内容器は健全性を維持し、密封性は保持される。したがって、亀裂・破損が生じるおそれはない。	(ロ)-A.4.2 (ロ)-A.5.1.4	
第6条 第五号	第18条 別記第6	原子力規制委員会の定めるA ₂ 値の十万倍を超える放射能を有する放射性物質が収納されている核燃料輸送物にあっては、深さ200mの水中に一時間浸漬させた場合に、密封装置の破損がないこと。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の収納物に变更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に該当しない。 29. 本輸送物の収納放射能はA ₂ 値を超えるが、A ₂ 値の300倍程度であり、十万倍以下のため該当しない。	(イ)-B	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ロ) ー 第G.1表 外運搬規則及び外運搬告示に定める技術基準への適合性の評価
 BM型輸送物の規則等に対する適合性の比較

規則の項目	告示の項目	基準	説明	申請書記載 対応項目	備考
第7条		BU型輸送物に係る技術上の基準	該当しない	(イ)-A	
第8条		IP-1型輸送物に係る技術上の基準	該当しない	(イ)-A	
第9条		IP-2型輸送物に係る技術上の基準	該当しない	(イ)-A	
第10条		IP-3型輸送物に係る技術上の基準	該当しない	(イ)-A	
第11条		核燃料輸送物として運搬する場合には、経年変化を考慮した上で、輸送中において臨界に達しないものであるほか、技術上の基準に適合するものでなければならぬ。	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、以下に示すように当該輸送物が規則に定める技術基準に該当しない。 30. 本輸送容器に核分裂性核種を収納しないため、核分裂性輸送物に該当しない。	(イ)-B (ロ)-E	

ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

ハ章 A. 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

(ロ) 章で述べた輸送物の安全設計に合致した主な取扱い手順並びに保守の方法を記述する。

さらに、全ての検査結果は、記録し保管するものとする。

A. 核燃料輸送物の取扱方法

A.1 装荷方法 ((ハ) - 第A.1 図参照)

輸送容器への収納物の装荷方法は、次の手順による。

- (1) 輸送車両と輸送架台の締結具を外す。
- (2) 輸送容器及び輸送架台を車両より吊おろす。
- (3) 表面密度を測定する。
- (4) 輸送架台の上部固縛装置、下部固縛装置及び中央部固縛装置を輸送架台より取除く。
- (5) 上部緩衝体及び下部緩衝体を を外す。
- (6) 各緩衝体の締付ボルトを外し、各緩衝体を輸送容器より取外す。
- (7) 輸送容器の上部蓋、シャッタ蓋及び下部蓋の各締付ボルトを緩め本体より外す。
- (8) 各蓋にアイボルトを取付け、クレーン等により吊上げ、輸送容器より取外す。
- (9) 上部駆動装置を輸送容器上部にボルトにより取付ける。
- (10) 上部駆動装置とハンガとをハンガ接続金具により接続する。
- (11) ハンガが昇降可能なように、ハンガ止め板を外す。
- (12) シャッタ固定ボルトを外す。
- (13) シャッタ駆動装置を輸送容器本体に取付ける。
- (14) シャッタ駆動装置の駆動軸とシャッタとをボルトにより接続する。
- (15) 操作制御盤、上部駆動装置及びシャッタ駆動装置のそれぞれをケーブルにより接続する。
- (16) Vブロックを下部トラニオン側の輸送架台に設置する。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

- (17) 輸送容器を吊具により上部トラニオン側より吊上げる。
- (18) 輸送容器吊上げ状態で、上部トラニオン及び吊具等の吊上げ装置に異常のないことを確認する。
- (19) 輸送容器を収納位置までクレーンにより移動する。
- (20) 収納物を収納する。
- (21) 収納物収納完了後、輸送容器を元の輸送架台の位置まで移動する。
- (22) 輸送容器の下部トラニオンを輸送架台のVブロックにあずけ、輸送容器を水平に倒す。
- (23) Vブロックを輸送架台より取外す。
- (24) シャッタ駆動装置を本体より取外す。
- (25) ハンガ止め板によりハンガを固定する。
- (26) 上部駆動装置を本体より取外す。
- (27) シャッタ固定ボルトによりシャッタを固定する。
- (28) 本体のOリング溝を清浄にし、Oリング溝にキズがないことを確認する。
- (29) Oリングを清浄にし、外観検査を行い、キズ等の異常がないことを確認し、輸送容器本体に取付ける。
- (30) 上部蓋、下部蓋及びシャッタ蓋を輸送容器に取付ける。
- (31) 各締付ボルトの締付トルクを(ハ)－第A.1表に示す。
- (32) 表面線量当量率及び表面より1mの位置の線量当量率を測定する。
- (33) 気密漏えい試験を行う。
- (34) 気密漏えい試験孔をプラグする。
- (35) 輸送容器表面の表面密度を測定する。
- (36) 除染する。
- (37) 上部緩衝体及び下部緩衝体を輸送容器本体に取付ける。
- (38) 各緩衝体を締付ボルトにより固定する。
- (39) 各緩衝体を する。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

- (40) 外観検査を行う。
- (41) 輸送容器を各固縛装置により固縛する。
- (42) 輸送物の総重量を計算する。
- (43) 輸送物及び輸送架台を車両に積載する。
- (44) 輸送架台と車両を締結する。

(ハ) - 第A. 1表 各締付ボルトの締付トルク

締付ボルト	ボルトサイズ	締付トルク	備考
中央部固縛装置用	M24	177 N・m	
上部または下部 固縛装置用	M30	353 N・m	
下部蓋用			N・m
上部蓋用			N・m
シャッタ蓋用			N・m
下部蓋の気密漏洩 検査孔蓋用	M12	9.81 N・m	

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.2 核燃料輸送物の発送前検査

輸送物は毎回発送前に、(ハ) - 第A.2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。

(ハ) - 第A.2表 輸送容器発送前検査要領

No.	検査項目	検査要領	判定基準
1.	外観検査	輸送容器表面を目視検査する。	傷、割れ、形状に異常がないこと。
2.	吊上げ検査	輸送容器吊上げ状態において容器及び吊具を検査する。	輸送容器、トラニオン、吊具等に異常がないこと。
3.	重量検査	計算により確認する。	申請書に記載の重量以下であること。
4.	表面密度検査	スミヤ法により、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 0.4Bq/cm ² 以下 α線を放出しない放射性物質 4 Bq/cm ² 以下
5.	線量当量率検査	収納物を装荷した状態で、ガンマ線量当量率をサーベイメーターで測定する。	表面で2.0mSv/h、表面より1mの点で0.1mSv/h以下であること。
6.	気密漏えい検査	加圧試験法による。試験系容積内での圧力変化、温度変化及び試験時間を測定し、漏えい率を求める。	漏えい率が申請書に記載した値 (1.15×10^{-3} MPa・cm ³ /s)以下であること。
7.	収納物検査	1. 収納物の外観及び数量を検査する。 2. 収納物の運転記録により放射能の量及び冷却日数等について確認する。	申請書（(イ) - 第A.1表）に記載したとおりであること。

A.3 取出し方法（(ハ)－第A.2図及び(ハ)－第A.3図参照）

輸送容器から収納物の取出し方法は次の手順による。

- (1) 輸送車両と輸送架台の締結具を外す。
- (2) 輸送車両上で輸送架台の上部及び下部固縛装置を取外す。
- (3) 上部緩衝体及び下部緩衝体を を外す。
- (4) 各緩衝体の締付ボルトを外し、各緩衝体を輸送容器より取外す。
- (5) 輸送容器及び輸送架台を車両より吊おろす。
- (6) 線量当量率及び表面密度を測定する。
- (7) 輸送架台の中央部固縛装置を取外す。
- (8) 輸送架台の下部トラニオン部にVブロックを取付ける。
- (9) 輸送容器の各蓋の締付ボルトを緩める。
- (10) 各蓋にアイボルトを取付け、クレーン等により吊上げ取外す。
- (11) 上部駆動装置を輸送容器本体上部に取付ける。
- (12) 上部駆動装置とハンガとをハンガ接続金具に接続する。
- (13) ハンガが昇降可能なように、ハンガ止め板を外す。
- (14) シヤッタ固定ボルトを外す。
- (15) シヤッタ駆動装置を輸送容器本体に取付ける。
- (16) シヤッタ駆動装置の駆動軸とシヤッタとをボルトにより接続する。
- (17) 操作制御盤、上部駆動装置及びシヤッタ駆動装置のそれぞれを付属のケーブルにより接続する。
- (18) 輸送容器を吊具により上部トラニオン側より吊上げる。
- (19) 収納物取出し位置までクレーンにより移動する。
- (20) 収納物を取出す。
- (21) 収納物取出し完了後、輸送容器を元の輸送架台の位置まで移動する。
- (22) 輸送容器の下部トラニオンを輸送架台のVブロックにあずけ輸送容器を水平に倒す。
- (23) Vブロックを輸送架台より取外す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

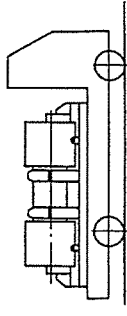
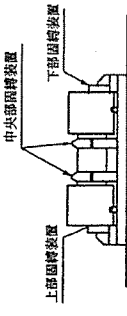
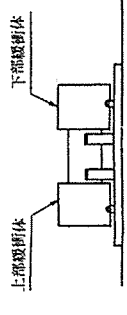
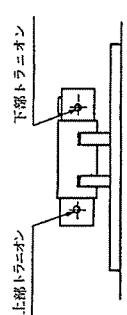
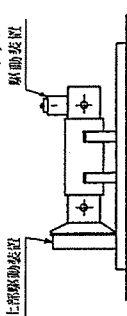

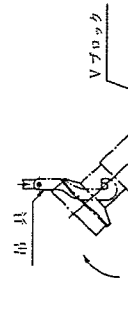
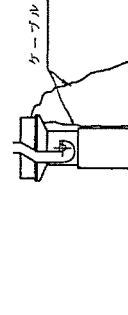
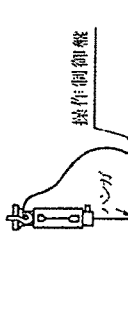
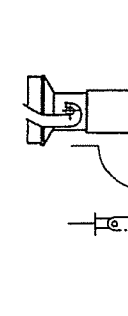
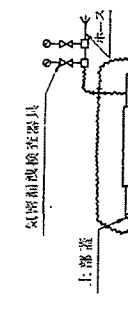
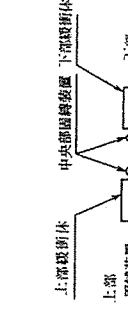
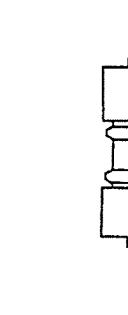
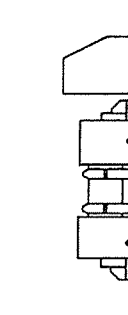
- (24) シャッタ駆動装置を本体より取外す。
- (25) ハンガ止め板によりハンガを固定する。
- (26) 上部駆動装置を本体より取外す。
- (27) シャッタ固定ボルトによりシャッタを固定する。
- (28) 本体のＯリング溝を清浄にし、Ｏリング溝にキズがないことを確認する。
- (29) Ｏリングの外観検査を行う。
- (30) 各蓋を本体に取付ける。
- (31) 各蓋の締付ボルトを取付ける。
- (32) 輸送容器の表面密度を測定する。
- (33) 除染する。
- (34) 上部緩衝体及び下部緩衝体を輸送容器本体に取付ける。
- (35) 各緩衝体を締付ボルトにより固定する。
- (36) 各緩衝体を する。
- (37) 輸送容器を各固縛装置により輸送架台に固縛する。
- (38) 保管場所にクレーンにより移動する。
- (39) 保管する。

A.4 空容器の準備

空容器の準備を行う場合は、(ハ)章A.3(28)～(37)項に記述した手順で行う。
なお、収納物を収納した場合と同じ条件で密封装置の漏えい検査、外観検査、及び吊上げ検査を行い安全取扱いの確認を行うので汚染の拡大は防止される。

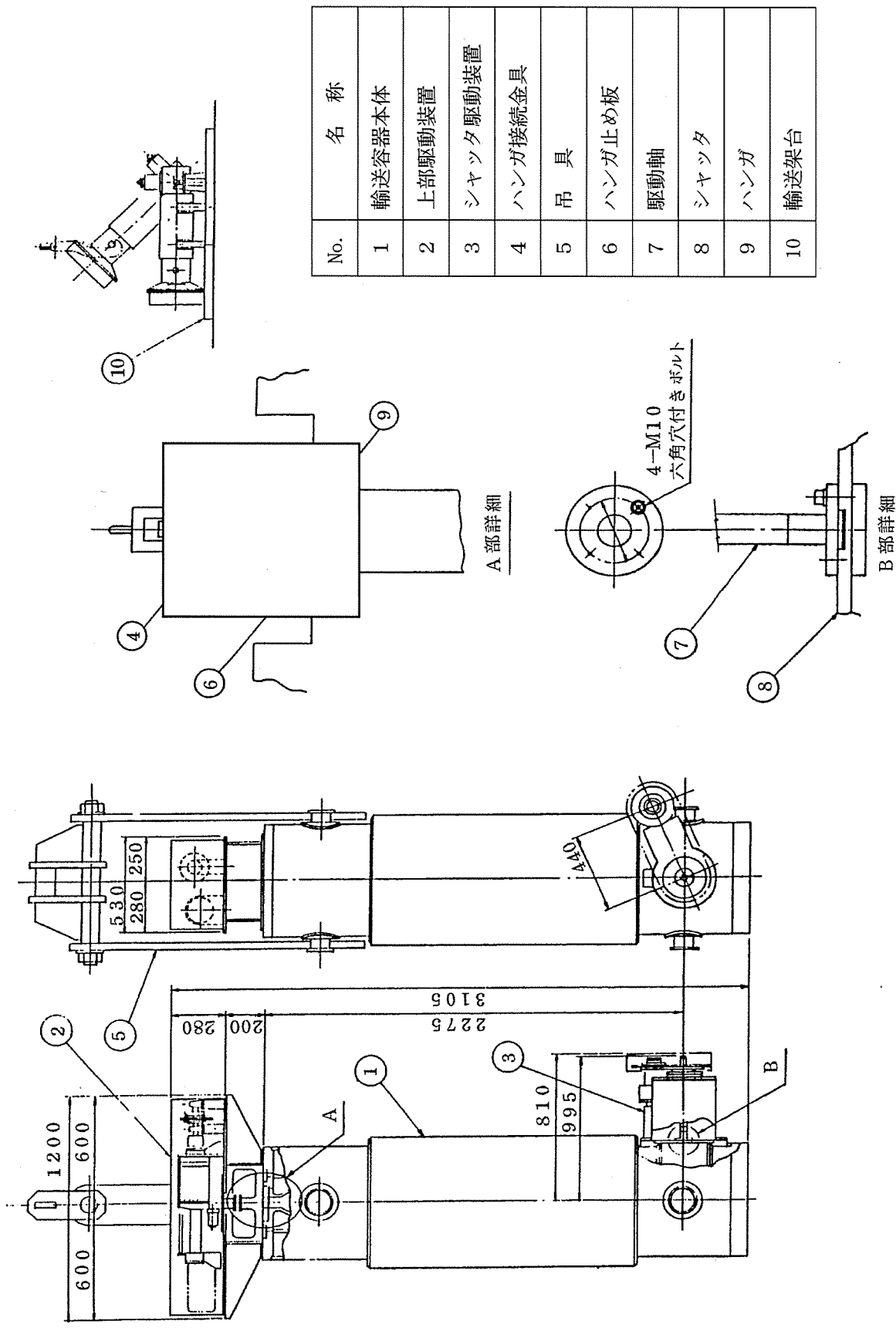
で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ハ) 第一A. 1 図 収納物装荷フローチャート

作業項目	(1) 空輸送容器到着	(2), (3) 吊おろし	(4) 固縛装置取外し	(5), (6) 緩衝体取外し	(7)~(14) 駆動装置取付け
略図					
備考		(1) 表面密度を測定			
作業項目	(15) ケーブル接続	(16)~(18) 吊上げ	(19) 移動	(20) 収納	(21)~(31) 輸送架台へ設置
略図					
備考		(1) 吊上げ状態でトラニオン、吊具に異常のないことを確認する。			
作業項目	(32)~(36) 検査	(37)~(41) 固縛装置及び緩衝体取付け	(42) 重量計算	(43), (44) 積載(輸送準備完了)	
略図					
備考	(1) 表面線量当量率及び表面より 1m の位置の線量当量率を測定する。 (2) 気密漏えい試験を行う。 (3) 表面密度を測定する。	(1) 外観検査を行う。			

(ハ) - 第A. 2 図 収納物取出しフローチャート

作業項目	(1), (2) 上部, 下部固縛装置取外し	(3), (4) 緩衝体取外し	(5), (6) 吊おろし	(7), (8) 中央部締付装置取外し	(9)~(17) 駆動装置取付け及びケーブル接続
略 図					
備 考					
作業項目	(18), (19) 吊上げ	(20) 取出し	(21), (22) 輸送架台への設置	(23)~(33) 駆動装置取外し及び蓋取外し	(34)~(39) 保 管
略 図					
備 考	(1) 表面密度を測定する。				



No.	名称
1	輸送容器本体
2	上部駆動装置
3	シャッタ駆動装置
4	ハンガ接続金具
5	吊具
6	ハンガ止め板
7	駆動軸
8	シャッタ
9	ハンガ
10	輸送架台

口で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(ハ) - 第A. 3図 輸送容器取扱い状態図

八章 B. 保 守 条 件

B. 保守条件

輸送物は、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）、定期自主検査を実施するとともに、その性能が健全に保持できるよう保守点検する。

輸送物の保守点検時に実施する検査項目、検査要領、及び判定基準を(ハ)－第B.1表に示す。

(ハ)－第B.1表 輸送容器保守点検要領 (1/2)

No.	検査項目 (回数)	検査要領	判定基準
B 1.	外観検査 (年1回)	輸送容器表面（外表面、内表面及び蓋ボルト）を目視検査する。	傷、割れ、形状に異常がないこと。
B 2.	耐圧検査 (年1回)	<ul style="list-style-type: none"> ・下部蓋に設けた気密漏洩検査孔蓋を取外し、検査用配管を接続する。 ・空気圧にて108kPa・Gに加圧する。 ・保持時間は30分以上とする。 	圧力の低下がないこと。
B 3.	気密漏えい検査 (年1回)	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧試験法による。 ・試験系容積内での圧力変化、温度変化、及び試験時間を測定し、漏えい率を求める。 	漏えい率が申請書に記載した値 ($1.15 \times 10^{-3} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$) 以下であること。
B 4.	遮蔽検査 (収納物装荷時)	<ul style="list-style-type: none"> ・収納物装荷時にガンマ線量当量率をサーベイメーターで測定する。 ・収納物装荷ごとにガンマ線量当量率を記録する。 	表面で2 mSv/h 以下、表面より1 mの点で0.1mSv/h 以下であること。
B 5.	未臨界検査	該当せず	
B 6.	熱検査	発熱量が34W 以下であるので考慮しない。	
B 7.	吊上検査 (年1回)	輸送容器吊上げ状態において容器及び吊具を検査する。	輸送容器、トラニオン、吊具等に異常がないこと。
B 8.	作動確認検査 (年1回)	該当せず	
B 9.	補助系の保守	該当せず	

(ハ) - 第B.1表 輸送容器保守点検要領 (2/2)

No.	検査項目 (回数)	検査要領	判定基準
B 10.	密封装置の弁, ガスケット等の保守 (収納物装荷時)	(1) 密封装置の弁: 該当せず	
		(2) 各蓋部Oリングは収納物装荷時に取替える。	
B 11.	輸送容器の保管	1年に1回以上, 定期自主検査を実施するとともに, その性能が健全に保持できるよう保守点検する。	
B 12.	記録の保管	製造時検査, 定期自主検査及び発送前検査の検査記録は保管中の劣化, 損傷及び紛失防止に適した環境で保管する。	
B 13.	その他	なし	

二章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

(二) 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. 緩衝体の取扱いについて

本輸送物の緩衝体について、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、緩衝体の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。

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に関する説明

参考 輸送容器の製作の方法に関する説明

輸送容器は(ロ)章「核燃料輸送物の安全解析」で述べた、構造、熱、密封及び遮蔽の各解析より決定された寸法及び構造を満足するように参考A. 「輸送容器の製作法」に従って製作し、上記の各設計条件を満足していることを参考B. 「試験、検査方法等」に記述する試験及び検査により確認する。

参考 A. 輸送容器の製作方法

A 輸送容器の製作方法

A.1 概 要

輸送容器は（ロ）章「核燃料輸送物の安全解析」を満足するように以下に述べる手順により製作する。

A.1.1 輸送容器本体

輸送容器本体は（参）－第A.1図に示す手順で製作する。すなわち内胴及び外胴をそれぞれ製作し、これらを組立て、鉛を鑄込み、フランジを取付け最後に外筒を取付ける。

(1) 内胴及び上部ブロック受けの製作

内胴用材料として、ステンレス鋼シームレス鋼管及び一部板材料を使用する。管材料は、材料確認後、切断、開先加工後、板材料に対しては、曲げ加工後長手溶接を行う。

試験及び検査に合格後、材料確認及び機械加工を施工したフランジと組立て溶接を行い浸透探傷検査を実施する。

(2) 外胴の製作

外胴用板材料は材料確認後、切断、開先、曲げ加工を行い、長手継手を溶接し、放射線透過試験、浸透探傷検査及び機械試験を実施する。

試験、検査に合格後、前項内胴組立と同様にフランジに組立溶接を行う。

(3) 内胴と外胴の組立て

内胴とフランジが溶接された後に、外胴をフランジへ溶接し浸透探傷検査、寸法検査を実施する。

検査に合格後、内胴と外胴との間に鉛を鑄込み寸法検査上部フランジを組立、溶接し浸透探傷検査を実施する。

検査に合格後、ガンマ線源を使用し、鉛遮蔽体の厚さ測定を行う。

(4) 外筒の製作及び組立て

外筒用板材料の材料確認後、切断、開先、曲げ加工を行う。外筒の組立は断熱材を鑄込みながら本体に組立溶接を行い、完了後液体浸透探傷検査を実施する。

(5) 蓋 類

下部蓋、上部ブロック、ハンガ及びシャッタのうち板材料は材料確認後、切断、曲げ加工、長手溶接し、放射線検査及び液体探傷検査を実施する。鉛鑄込み作業後、最終溶接部の溶接を行って、ブロックに仕上げる。

最終溶接部は浸透探傷検査を実施する。

A.1.2 緩衝体

緩衝体は、上部及び下部緩衝体よりなる。

緩衝体用材料は、材料確認後、各部材に切断され必要に応じて機械、開先及び曲げ加工を施工し、内輪、端板及び外輪との組立溶接を施工し、寸法検査を実施する。

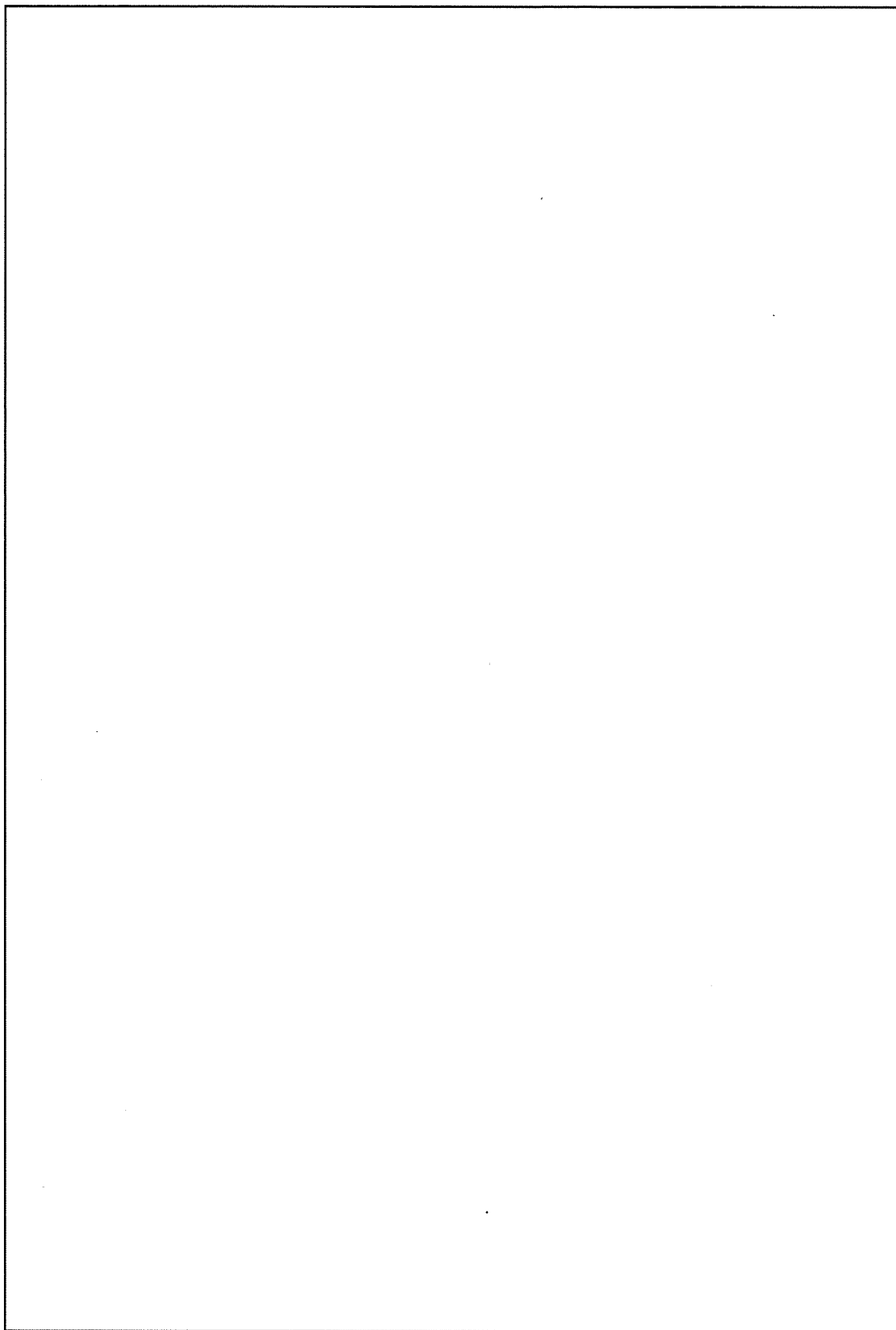
一方充填する米杉及びバルサは木目をあわせて、ブロックを製作し、接着剤で成型し、緩衝体容器開口部より充填する。開口部は端板で密封する。

A.1.3 バスケット

バスケット用材料として、ステンレス鋼シームレス鋼管及び一部板材料を使用する。それぞれ材料確認後、管材料は切断、開先加工を行い、円周溶接を行う。

溶接完了後、浸透探傷検査を実施する。

バスケット底部は板材料を機械加工して完成させた後にバスケットにピンを利用して組立てる。



□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.2 材料の説明

A.2.1 板材料

輸送容器の製作に使用する板材料は、(ロ)章の「核燃料輸送物の安全解析」で記述した設計条件を満足するように(参)一第A.1表に示す規格の材料を使用する。又、適用規格で規定された試験、検査項目を実施することにより、(参)一第A.2表に示す、材料特性を満足していることを確認する。本材料は、オーステナイト系ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

又、切断、穴あけ、曲げ及び溶接等の製法は、オーステナイト系ステンレス鋼に対して従来から使用されている方法(参考A.2.8, A.2.9及びA.3)を使用し、材料特性を損なうような特殊な加工法は使用しない。

A.2.2 管材料類

使用材料の適用規格を(参)一第A.1表に示す。材料特性の確認方法、腐食性及び加工性については、前述A.2.1板材料と同様である。

A.2.3 鍛造品、ボルト・ナット類

使用材料の適用規格を(参)一第A.1表に示す。材料特性の確認方法、腐食性については、前述A.2.1板材料と同様である。

但し、蓋締付用ボルトは、を使用する。この材料は、合金鋼であるため、腐食を生じない。

A.2.4 溶接用電極・棒・線類

輸送容器製作の使用材料に対して良好な溶接を得るため(参)一第A.3表に示す規格の電極・棒及び線を使用する。

これらの電極・棒及び線等は、適用規格で規定された試験、検査を実施し、溶接部が母材と同等以上の諸特性が得られることを確認する。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.2.5 特殊材料

輸送容器製作に関し、前述の一般材料の他に、(ロ)章の「核燃料輸送物の安全解析」の構造、熱、遮蔽及び密封の各解析で述べた設計条件を満足するために(参)－第A.4表に示す特殊材料を使用する。

(1) ガンマ線遮蔽材

ガンマ線遮蔽材として鉛を使用する。鉛の仕様は99.9%以上、密度は(ロ)章の「核燃料輸送物の安全解析」に使用された数値を下まわらないことを確認し使用する。この鉛を輸送容器の内胴と外胴の間及び蓋部の鑄込みに使用する。

(2) 断熱材

断熱材として、アルミナセメントのキャストブルを使用する。この断熱材の熱伝導率、比熱、比重は、(ロ)章の「核燃料輸送物の安全解析」に使用された数値と比較し、危険側の値とならないことを確認し、使用する。

この材料は、外筒と外胴間に鑄込み使用される。

(3) 緩衝材

落下衝撃力の緩衝材として、米杉とバルサを使用する。

(4) 蓋部シール材

密封性を保持するため、エチレンプロピレンゴム製のOリングを蓋部シール材として使用する。

(5) 熔融栓

火災時に、断熱材中より生じた水蒸気を逃すため、の熔融栓を使用する。

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参) ー第A.1表 使用材料の適用範囲

使用部位	材 質	適用規格	材料区分
1. 本 体 外 胴 外 筒 上部フランジ 下部フランジ シャッタフランジ 内 胴 上部ブロック受け 下部ブロック受け シャッタハウジング トラニオン	<input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼	<input type="checkbox"/>	板 材 板 材 鍛 造 材 鍛 造 材 鍛 造 材 管 材 板 材 鍛 造 材 板 材 鍛 造 材
2. 蓋 類 上 部 蓋 シャッタ部蓋 下 部 蓋 下部ブロック シャッタ 締付ボルト	<input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 特殊用途合金鋼 ボルト用 棒鋼	<input type="checkbox"/>	鍛 造 材 鍛 造 材 鍛 造 材 板 材 板 材 ボルト材
3. 緩 衝 体 ケ ー ス 緩 衝 材	<input type="checkbox"/> ステンレス鋼 木 材	<input type="checkbox"/> —	板 材 —
4. バスケット 本 体 底 板	<input type="checkbox"/> ステンレス鋼 <input type="checkbox"/> ステンレス鋼	<input type="checkbox"/>	管 材 板 材
5. Oリング	エチレンプロピレンゴム	メーカー標準	ゴ ム 材

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参) 一第A.2表 材料特性

適用規格	機械的性質						化学成分							備考	
	引張強さ (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	びじり (%)	硬 度 (H _B)	度	C (%)	max S (%)	max P (%)	max Mn (%)	max Si (%)	max Ni (%)	Cr (%)		Mo (%)
	以上	以上	40	—	187										板 材
	520 (53.0)	205 (21.0)	40	—	187										板 材
	520 (53.0)	205 (21.0)	45	—	187										鑄 造 材
	520 (53.0)	205 (21.0)	35	—	—										管 材
	1000 (102.0)	890 (91.0)	12	以上 40	293										ボ ル 材
使 用 材 料															
溶 接 材 料															

() は kg/mm² を示す。

口で囲った箇所は核セキユリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参) - 第A.3表 溶接材料

溶接法	区分	材質	適用規格	備考
被覆アーク溶接	溶接棒			
タングステン・イ ナートガス溶接	溶接棒			
	電極			

(参) - 第A.4表 特殊材料

使用目的	材質	適用規格	備考
ガンマ線 遮蔽材	鉛	JIS H 2105	純度 99.9%以上
蓋部 シール材	エチレンプロピレ ンゴム (EPDM)	メーカー標準	連続使用可能温度範囲：-50℃~130℃ 短時間使用可能温度（1日）：250℃
断熱材	キャストブル	メーカー標準	化学成分：□以下，□以上 比重：□ g/cc 圧縮強さ：□ N/mm ² 以上
熔融性	□	メーカー標準	比重：約□ g/cm ³ 融点：□℃
緩衝材	木材	メーカー標準	バルサ 比重：□ g/cm ³ 含水率：□%以下
			米杉 比重：□ g/cm ³ 含水率：□%以下

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.2.6 ミルシート

ミルシートの記載事項は、原則としては下記の通りである。

- (1) 製造者名
- (2) ミルシート発行日
- (3) ミルシート番号
- (4) 仕様又は、適用規格
- (5) 材料の種類
- (6) チャージ番号又はロット番号
- (7) 寸法、重量
- (8) 化学分析表
- (9) 機械試験結果
- (10) 熱処理条件
- (11) その他要求された事項

材料受入時に、各材料の適用規格で要求される諸特性とミルシートの記載事項を比較照合し、材料確認を行う。

A.2.7 材料の欠陥部の修理

使用材料確認時に、有害な欠陥が発見された場合、代替するか、チッピング又はグラインダ施工等によって、欠陥を除去し、溶接補修を行う。

A.2.8 材料の切断

使用材料の切断は、機械切断、シャリング、プラズマ切断及び砥石による拘束切断とし、プラズマ切断を行った場合は、必ず切断面をグラインダで滑らかに仕上げる。又、熱影響部はグラインダ又は機械加工で除去する。

A.2.9 材料の成型

使用材料の成型曲げ加工は、原則としてプレス又はベンディングローラ等、機械によって施工する。

鋼製ハンマによる直接加工は極力避けることとし、歪矯正作業等でハンマ加工を避け得ない場合は、当て金による養生又は、木製ハンマを用いる等、素材に打痕をつけないように細心の注意をはらう。

また、鋼製ハンマは、炭素鋼がステンレス鋼と直接接触することのないよう、ステンレス鋼にて肉盛溶接したハンマを使用する。

A.3 溶 接

A.3.1 溶接方法及び材料

輸送容器の製作過程での溶接は、ステンレス鋼ーステンレス鋼である。

溶接に採用する溶接施行法は、通商産業省令第81号（以下「省令81号」という）によって定められた溶接施行法により実施する。

溶接施行法の詳細は (参)ー第A.5表 に示す。各継手の溶接施行法を (参)ー第A.4図 に示す。

A.3.2 溶接機の管理及び作業員資格

溶接機は、1年を越えない期間毎に検査を実施し、溶接作業には検査有効期限内の溶接機のみ使用する。

また、溶接作業は、通商産業省の溶接士技量認定試験に合格した溶接士のみが従事する。

A.3.3 溶接の主要事項に関する説明

- (1) ステンレス鋼溶接時の層間温度は最高 °C とする。
- (2) 溶接ビードは、機械加工する部分を除き、原則として仕上げを行わず、ビードを残したままとする。次の事項にあてはまる場合に限って、グラインダを使用して部分的に表面を仕上げる。
 - a) ビードの継ぎ目やクレータ部などの部分で、ビードの不揃い箇所があった場合。
 - b) 浸透探傷検査を行う場合に、部分的に仕上げた方が判定が容易と考えられる場合。
 - c) 輸送容器及びバスケットの溶接継手詳細図を (参)ー第A.2図 及び (参)ー第A.3図 に示す。各継手の継手番号に対応する開先形状を (参)ー第A.4図 に示す。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.3.4 溶接欠陥の修理

検査の結果、割れ、ピンホール、ブローホール及びスラグ巻き込み等の欠陥が発見され、不合格と判定された溶接部は、グラインダ及び機械加工等の機械的方法又は、アークエアガウジングにより欠陥部を除去する。

補修溶接は、通商産業省の技量認定有資格者が行い補修後、再検査を実施する。

A.3.5 溶接後の熱処理

該当なし。

A.3.6 特殊溶接

該当なし。

A.3.7 溶接の品質保証計画・その他

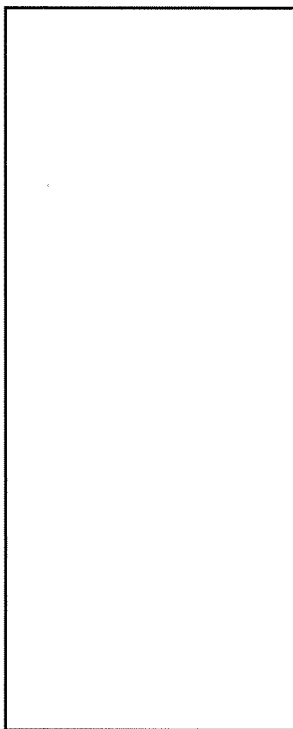
輸送容器の溶接は、省令第81号に定められた施行法により、通商産業省の技量認定試験に合格した溶接士が、管理された溶接機及び溶接棒を用いて施行する。

溶接施行時には、溶接継手番号、施行法、作業内容及び溶接士名簿を記録し、溶接作業を管理する。

(参) 一第A.5表 溶接施行法一覽表

溶接法	施行法	姿勢	溶接材料		電流 (A)	電圧 (V)	極性	予熱温度 (°C)	層間温度 (°C)	シールドガス 流量 (ℓ/min)	バックシールド (ℓ/min)	PWHT	備考
			銘	柄										棒径(mm)
		全姿勢											
		全姿勢											
		全姿勢											

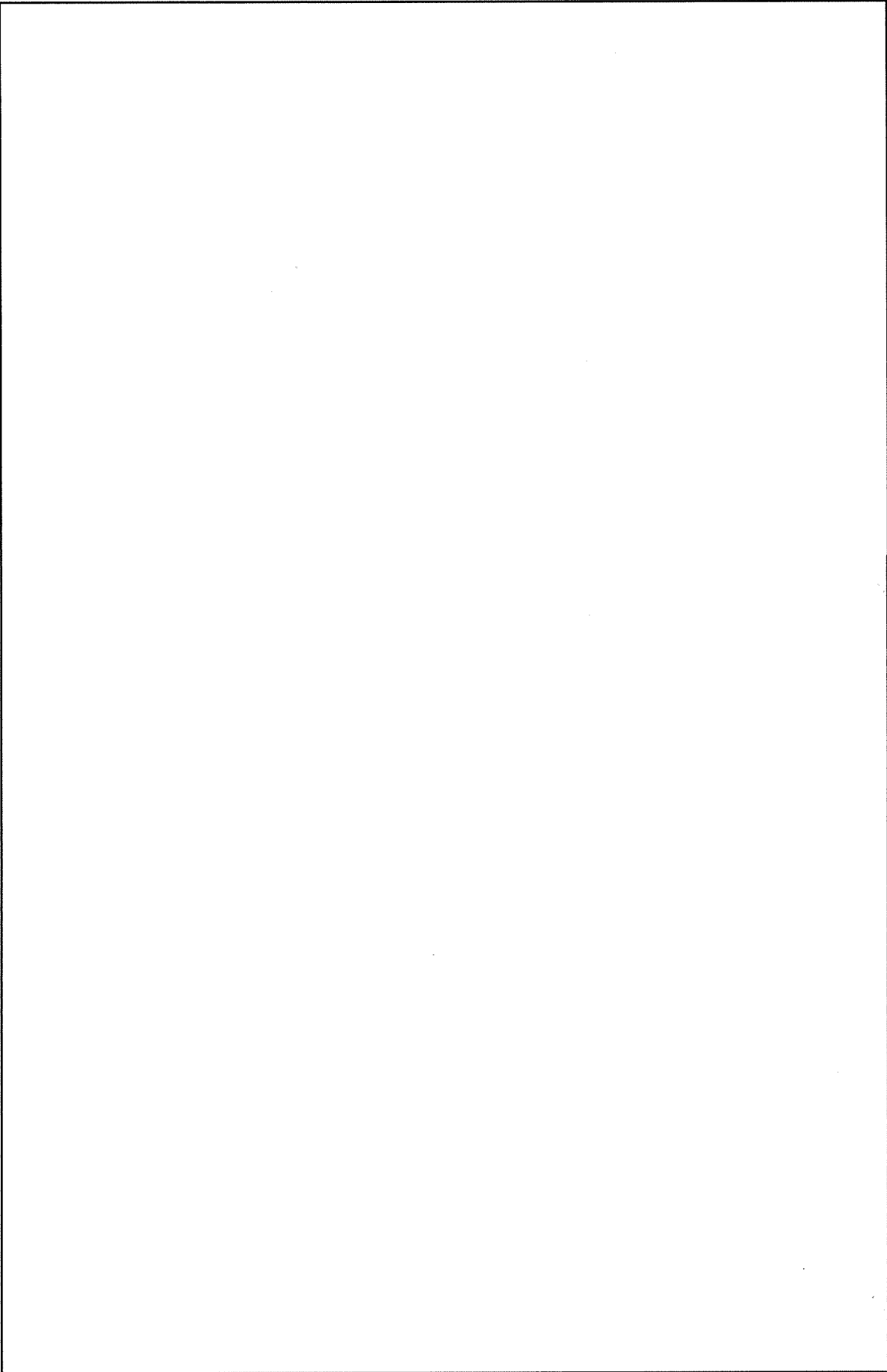
記号の説明



DCSP : 直流正極性
AC : 交流

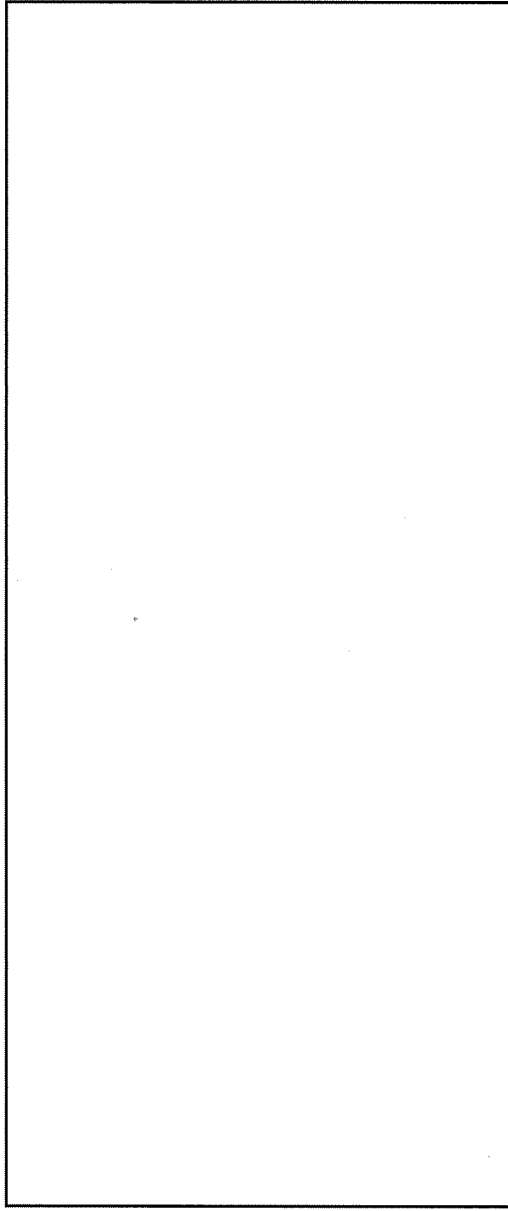
PWHT : 応力除去焼鈍

口で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(参) - 第A. 2 図 輸送容器本体詳細図

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。



(参) - 第A.3図 バスケット詳細図

口で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参) - 第A.4図 継手形状図 (1/7)

接 溶 番 号	WC-064-2	WC-065-1a/b	WC-065-2, 4
継 手 形 状			
接 溶 施 行 法 番 号			
接 溶 番 号	WC-065-3	WC-063-19	
継 手 形 状			
接 溶 施 行 法 番 号			

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参)一第A.4図 継手形状図(2/7)

溶接番号	WC-063-9	WC-063-12	WC-063-15 WC-064-4, 6
継手形状			
接法番号 溶接番号			
継手形状			
接法番号 溶接番号			

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参)一第A.4図 継手形状図 (3/7)

溶接番号	WC-063-1, 2	WC-063-3, 10, 13, 14	WC-063-4, 11 WC-064-1, 6
継手形状			
溶接施行番号			
溶接番号	WC-063-5, 8	WC-063-6	WC-063-7
継手形状			
溶接施行番号			

口で囲った箇所は核セキユリテリ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参) - 第A.4図 継手形状図 (4/7)

溶接番号	WA-063-1a/d	WA-063-2a/d	WA-063-3a/d
継手形状			
接法番号 溶接番号			
継手形状			
接法番号 溶接番号			

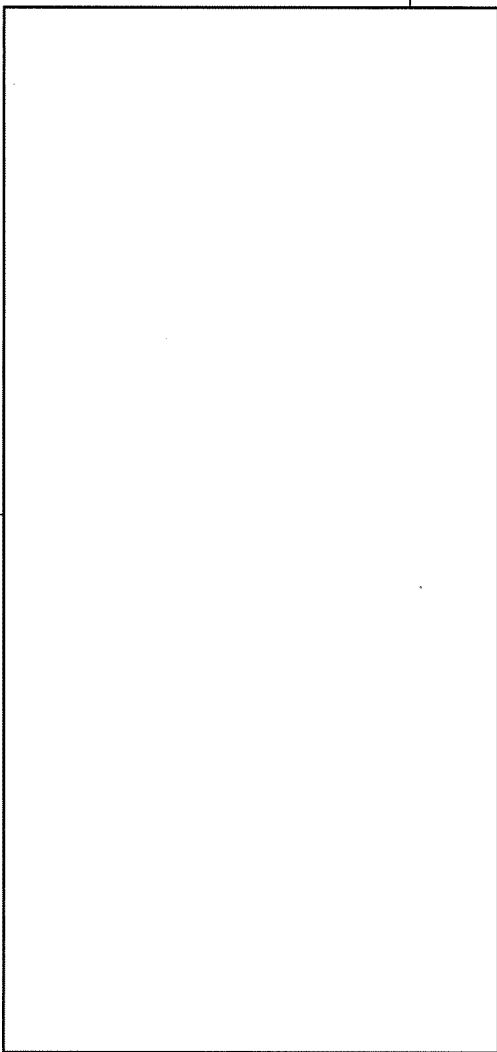
□で囲った箇所は核セキユリテイ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参) 第一A.4図 継手形状図 (5/7)

溶接番号	WA-064-3	WA-064-4	WA-064-5 a / b
継手形状			
接手法番号 溶接番号			
溶接番号	WA-065-1 a / b		
継手形状			
接手法番号 溶接番号			

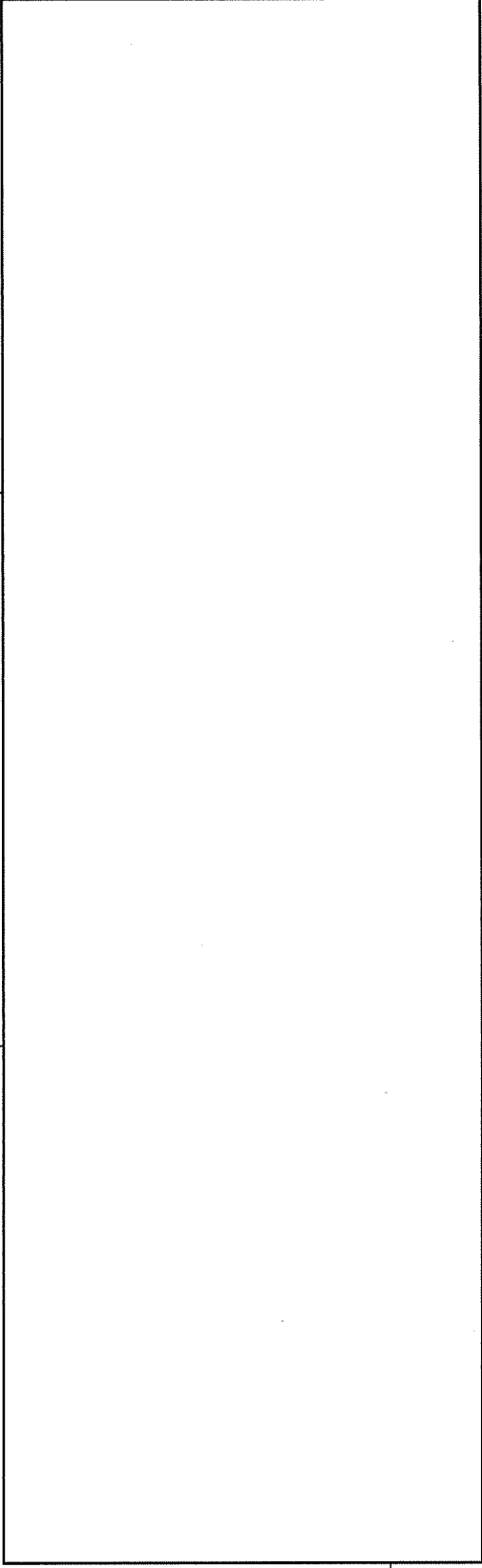
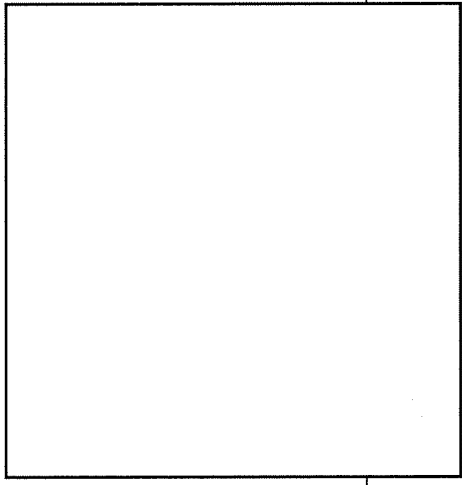
□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参)一第A.4図 継手形状図 (6/7)

接号	WC-068-1, 4	WC-068-2, 3	
溶番			
継手形状			
接号			
溶番			
継手形状			
接号			
溶番			

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(参)一第A.4図 継手形状図(7/7)

溶接番号	WL-063-1	WL-068-2a/b, 3a/b, 4a/b WL-064-2a/b, 3a/b	WL-065-1
継手形状			
接法施行番号			
溶接番号	WL-065-2a/b		
継手形状			
接法施行番号			

□で囲った箇所はセキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.4 遮蔽体の製作法

A.4.1 鉛遮蔽材の鋳込み

(1) 全体の概括的製作工程

鉛遮蔽材の鋳込み作業の工程を(参)－第A.5図に示す。

(2) 鉛の純度

鋳込みに使用する鉛の純度は99.9%以上のJIS H 2105鉛地金一種を使用する。

(3) 予備メッキ材の組成又は純度

該当なし。

(4) 加熱方法

鋳込鉛の急激な凝固収縮を防止するため、缶体を予熱炉で□℃に均一に加熱する。

(5) 冷却方法

鋳込みが進行し、熔融鉛が鋳込部に充満すると、鋳込部下部より徐々に冷却し熔融鉛を固化させる。

その際、固化による鉛の体積減少分を上部熔融鉛部より補給できるように冷却する。

(6) 鋳込方法及び鋳込速度 ((参)－第A.5図参照)

鋳込み準備作業が終了後、輸送容器缶体を予熱炉にて加熱を行う。この予熱炉において、缶体を□℃に均一になるように加熱する。加熱速度は□℃/hとする。

加熱完了後、缶体を下部蓋側を下にして、注湯ピット内に立上げ、注湯口と導湯管とを接続する。

注湯は、押上げ方式により注湯する。注湯速度は、約□ton/minとする。注湯は熔融鉛をオーバフローさせることにより完了する。

(7) 鋳込作業の順序

鉛の鋳込作業の順序は、(参)－第A.5図によるものとする。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(8) 予備メッキ材又は予備洗浄

缶体内部の汚れ、塵埃等を清浄空気のプロロー及び清潔な布による清拭等により除去する。

予備メッキは行わない。

(9) 予備加熱及び冷却の制御方法

予熱炉にて、缶体を °C に均一に加熱するが、その際、缶体に取り付けられた熱電対により缶体の温度を監視する。

又、冷却時は、冷却水の温度を調整する。

(10) 温度制御及び測定

加熱時の予熱炉における温度制御は、予熱炉内の熱電対により、自動温度制御がなされる。

冷却時は、鉛の固化速度が mm/min 程度になるように冷却水の水量を調整する。

(11) 鋳込みイベントの結合

鋳込完了後、外気温度まで冷却された容器の鉛露出部を所定の寸法、形状に仕上げた後、上部フランジを溶接する。

A. 4. 2 ウラン遮蔽材の製作法

該当なし

A. 4. 3 その他の遮蔽材料の製作法

該当なし

で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

A.5 弁等の付属機品の製作法

該当なし

A.6 組立等その他の製作法

A.6.1 断熱材の鑄込工事

耐火試験時の鉛遮蔽材の保護のために、外筒と外胴管に断熱材を鑄込む。

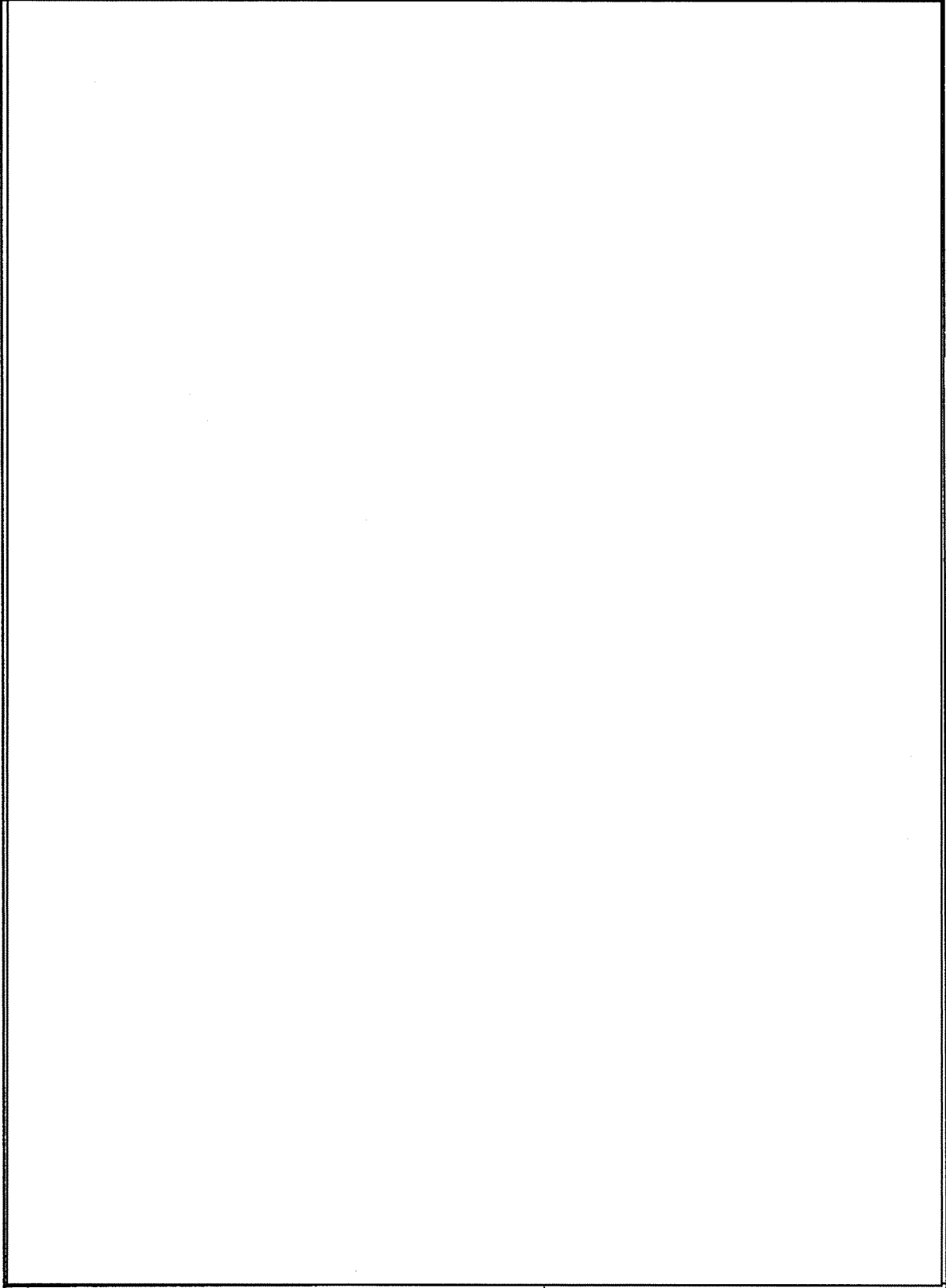
この断熱材は、 Al_2O_3 を主成分とするキャストブルである。以下その工所要領を記載する。

- (1) 外筒, 外胴間の輸送容器, 断熱材鑄込部を圧縮空気にてゴミ等を除去する。
- (2) モルタルミキサにキャストブルを入れ, 規定量の純水にて混練する。
- (3) 混練されたキャストブルを鑄込部に流し込み, 「巣」ができないように棒で突いたり, バイブレータを使用し, 隅々まで充填する。
- (4) 流し込み完了後, 自然乾燥を3~4日間行う。

A.6.2 組立等その他の製作法

輸送容器製作完了後, (参) - B.4により容器外面の外観検査を行い, 溶接ビードの不揃い, 機械加工による切削部の返り, 外観上の傷等がある場合は, グラインダにてなめらかに加工し, 必要な場合には, バフ仕上げを行う。

組立手順及び方法については, A.1を参照のこと。

<p style="text-align: center;">輸送容器本体</p>	<p style="text-align: center;">蓋 類</p>
	

(参) - 第A. 5 図 輸送容器鉛充填作業及び検査フローチャート

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

参考 B. 試験, 検査方法等

B. 試験，検査方法等

輸送容器の製作中及び製作完了後，（ロ）章で述べられた各解析と，その要求値を満たすように製造されていることを確認するために試験，検査を実施する。

輸送容器完成時に行う検査要領及び判定基準を（参）－第B.1表に示す。

（参）－第B.1表 輸送容器完成時検査要領

No.	検査項目	検査要領	判定基準
1.	外観検査	輸送容器表面を目視検査する。	傷，割れ，形状に異常がないこと。
2.	吊上げ荷重検査	上部及び下部トラニオンに輸送容器重量の2倍の荷重を負荷する。	トラニオン溶接部を浸透探傷検査，吊り具を磁粉探傷検査し，割れがないこと。
3.	重量検査	本体各蓋，シャッタ，ハンガ，バスケット，上部緩衝体及び下部緩衝体の重量を測定し，その合計を総重量とする。	輸送容器設計承認申請書に記載の重量以下であること。
4.	取扱検査	各蓋の取付け取外し，緩衝体の取付け取外し，バスケットの収納要領を検査する。	異常がないこと。
5.	気密漏えい検査	加圧試験法による。試験系容積内での圧力変化，温度変化及び試験時間を測定し漏えい率を求める。	漏えい率が申請書に記載した値 ($1.15 \times 10^{-3} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$)以下であること。

また，輸送容器の製作中及び製作完了時に実施する試験検査項目を（参）－第B.2表に示す。以下各試験，検査の方法等について記述する。

(参) - 第B.2表 試験検査項目一覧表

PT : 浸透探傷検査

RT : 放射線透過試験

項目	機器名	A. 内 胴 (上部ブロック受)		B. 外 胴		C. 蓋(含シヤック)		D. 外 筒		E. 輸送容器完成		F. パ ス ケ ッ ト		G. 緩 衝 体	
		実施 区分	備 考	実施 区分	備 考	実施 区分	備 考	実施 区分	備 考	実施 区分	備 考	実施 区分	備 考	実施 区分	備 考
1. 構造	①材料検査														木材の材料検査は下記項目とする。 ・比重 ・含水率
	a. 組成元素	○		○		○		○		-		○		○	
	b. 引張強さ	○		○		○		○		-		○		○	
	c. 降伏応力	○		○		○		○		-		○		○	
	d. 板 厚	○		○		○		○		-		○		○	
	②寸法検査	○	鉛鋳込前	○	鉛鋳込前	○	鉛鋳込前	○	本体完成時	○		○		○	
	③耐圧強度試験														
	a. 耐圧試験	○	鉛鋳込前	○	鉛鋳込前	-		-		○		-		-	
	④重量検査	-		-		○		-		○		○		○	
	⑤性能試験														
a. 取扱検査	-		-		-		-		○		○		○		
b. 吊上荷重試験	-		-		-		-		○		-		-		
2. 熱	①伝熱試験														
3. 密封	①溶接検査														
	a. 開先検査	○		○		○		○		-		-		-	
	b. 溶接部 PT (初層又は裏ツツ部)	○		○		○		○		-		-		-	
	c. 溶接部 PT (最終層)	○		○		○		○		-		-		-	
	d. 溶接部 PT	○	長手継手	○	長手継手	-		-		-		-		-	
	e. 機械試験	-		○	長手継手	-		-		-		-		-	
	②耐圧試験	-		-		-		-		○		-		-	
③気密漏えい試験	-		-		-		-		○		-		-		
4. 臨界	①材料試験														
②臨界寸法検査															
5. しゃへい	ガンマ線遮蔽														
	①材料検査														
	a. 鉛 比 重	○		○		○		-		-		-		-	
	②鉛遮蔽体検査														
a. ガンマロープ試験	○		○		○		-		○		-		-		
③寸法検査	○		○		○		-		○		-		-		

B.1 材料検査

主要構造材料はミルシートにより規格に示す所定の性能を満足していることを確認する。

材料検査項目一覧表を(参) - 第B.3表に示す。

B.2 寸法検査

測定は管理されている巻尺、ノギス、マイクロメータその他計測治具を用いて検査を行う。

輸送容器本体主要部の寸法については、(参) - 第A.2図及び(参) - 第A.3図に図示された公差内であること。

図示無き場合は、下記無記号寸法公差表によって判定する。

製缶無記号公差 (単位 : mm)			削り加工無記号公差 (単位 : mm)		
呼び寸法の区分		寸法差	呼び寸法の区分		寸法差
0.5 以上	100 以下	± 1.5	0.5 以上	6 以下	± 0.1
100 をこえ	250 以下	± 2.0	6 をこえ	30 以下	± 0.2
250 をこえ	1000 以下	± 3.0	30 をこえ	120 以下	± 0.3
1000 をこえ	2000 以下	± 5.0	120 をこえ	315 以下	± 0.5
2000 をこえ	4000 以下	± 7.0	315 をこえ	1000 以下	± 0.8
4000 をこえ	8000 以下	± 10.0	1000 をこえ	2000 以下	± 1.2
8000 をこえ	16000 以下	± 15.0	2000 をこえ	4000 以下	± 1.6

(参) - 第B.3表 材料試験検査項目一覧表

No. 名称	使用材質	試験検査項目							備考
		化学分析	引張試験	硬度試験	外観・寸法検査	超音波探傷試験	浸透探傷検査	磁粉探傷検査		衝撃試験
1. 輸送容器本体									
1.1 内 胴	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○		○				
1.2 上部フランジ		○	○	○	○	○	○		
1.3 シャッタフランジ		○	○	○	○	○	○		
1.4 下部フランジ		○	○	○	○	○	○		
1.5 シャッタハウジング		○	○	○	○		○		
1.6 外 胴		○	○	○	○		○		
1.7 外 筒		○	○	○	○		○		
1.8 上部トレオン		○	○	○	○	○	○		
1.9 下部トレオン		○	○	○	○	○	○		
1.10 下部ブロック受け		○	○	○	○	○	○		
1.11 ガンマ線遮蔽材		○							
1.12 断熱材		キャストブル	○						
1.13 上部ブロック受け		<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○			
2. 蓋(シャッタ等を含む)									
2.1 蓋 板	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○	○			
2.2 下部蓋ハウジング	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○				
2.3 ガンマ線遮蔽材	鉛 (JIS H 2105)	○							
2.4 蓋締付ボルト	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○		○	○	
2.5 Oリング	EPDM		○	○	○				
2.6 ハンガ	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○	○	○		
2.7 上部ブロック	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○	○	○		
2.8 シャッタ胴	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○				
3. 上部及び下部緩衝体									
3.1 緩衝体ケース	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○				
3.2 緩衝体ケース	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○				
4. バスケット									
4.1 バスケット本体	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○		○				
4.2 底 板	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	○	○	○	○				

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

B.3 溶接検査

輸送容器製作中、(ロ)章A.1に示す、溶接の健全性を確保するため(参)一第B.5表に示す溶接検査を行う。

溶接検査要領及び判定基準を以下に示す。

B.3.1 仮付検査

- (1) 開先の形状は図示通り加工され、開先及びその付近には、塗料、油分、錆などのないことを確認する。
- (2) 開先寸法の許容値(仮付状態にて)
 - a) 開先角度 : $\pm 5^\circ$
 - b) ルート間隔 : $\pm 1 \text{ mm}$
 - c) 板のくい違い : (参)一第B.4表の許容値内であること

(参)一第B.4表 溶接継手の板の許容くい違い

長手継手		周継手	
板厚	くい違い	板厚	くい違い
20mm以下	1mm以下	20mm以下	1.5mm以下
20~60mm	板厚の5%以下	20~60mm	板厚の10%以下
20mm以上	3mm以下	20mm以上	6mm以下

B.3.2 溶接外観検査

溶接完了後、目視により外観検査を行い、割れ、アンダカット及びオーバーラップ等の有害な欠陥がないことを確認する。

- (1) 割れ : ないこと
- (2) アンダカット : 深さ0.5mm以下
- (3) オーバーラップ : 0.5mm以下

(参) - 第B.5表 溶接検査一覧表

溶接番号	溶接施工法番号	溶 接 検 査					備 考
		ED	1st	BC	FT	FT	
WL-063-1							継手機械試験
WL-063 -2a/b }							
WL-063 -4a/b							
WC-063 -1 }							*WC-063-9 WC-063-17 のみ
WC-063 -19							
WA-063 -1a/d							
WA-063 -2a/d }							*WA-063- 2a/dのみ
WA-063 -4a/d							
WL-064 -2a/b }							
WL-064 -3a/b							
WC-064 -1 }							WC-064-3 は欠番
WC-064 -6							
WA-064 -1a/b WA-064 -2 }							
WA-064 -4 WA-064 -5a/b							
WL-065 -1 }							
WL-065 -2a/b							
WC-065 -1a/b WC-065 -2 }							
WC-065 -4							
WA-065 -1a/b							
WC-068 -1 }							
WC-068 -4							

ED : 開先検査 BC : 裏ハツリ後検査 PT : 浸透探傷検査 DT : 寸法検査

1st : 初層検査 FT : 最終検査 VI : 外観検査 RT : 放射線透過試験

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

B.3.3 浸透探傷検査

検査方法は、ASME Sec. V Article 6にしたがって実施する。判定基準は次の通りとする。

- (1) 線形指示が現れないこと。
- (2) 円形指示であって、長さが4.5mmをこえるものが現れないこと。
- (3) 4コ以上の円形指示が直線上に並んでいる場合は、隣接する円形指示の間に距離が1.5mmをこえていること。
- (4) 面積が3750mm²の長方形（短辺の長さは25mm以上とする）内に円形指示が10個以上含まれてないこと。

B.3.4 放射線透過試験

検査方法は、ASME Sec. V Article 2にしたがって実施する。判定基準は次の通りとする。

- (1) 割れ，融合不良，溶込み不足がないこと。
- (2) ポロシティは最も悪い条件で一視野内で欠陥点数が次表の値を超えないこと。

タングステンも同様とする。

一視野の範囲	10×10		10×20		10×30	備考
	10以下	10～25	25～50	50～100	100以上	
板厚 (mm)						
許容欠陥点数	1	2	4	5	6	

- (3) スラッグのような長いインクルージョンは次表の値を超えないこと。

単位：mm

板厚	12以下	12～48	48以上
許容欠陥長さ	3	1/4 t	12

t：板厚

(4) 線状にならんだインクルージョンで長さ $12t$ の間に欠陥の合計長さが t を超えないこと。ただし、欠陥相互間の距離が $6L$ を超える場合は除く (L : 最大欠陥長)。

(5) ポロシティ及びインクルージョンが混在する場合、ポロシティについては(2)の許容欠陥点数の $1/2$ を超えないこと。インクルージョンについては(3)項の許容欠陥長さの $1/2$ を超えないこと。

但し、この場合の視野は(2)項と同様とする。

なお、放射線透過試験を行う溶接部の余盛の高さは、次の通りとする。

母材厚さの区分	余盛り高さ
12mm 以下	1.5mm 以下
12mm をこえ 25mm 以下	2.5mm 以下
25mm をこえ 50mm 以下	3 mm 以下
50mm をこえるもの	4 mm 以下

B.3.5 機械試験

外胴長手溶接部に対しては、機械試験片を作成し、次の検査を実施する。

- ① 継手引張試験
- ② 自由曲げ試験
- ③ 側曲げ試験

なお、判定は次による。

(1) 継手引張試験

試験片の引張強さが母材の規格による引張強さの最小値以上であること。

(2) 自由曲げ試験

試験片の溶接部の広い側が外側になるようにあらかじめ試験片の両端各3分の1を約30度曲げた後、試験片の両端を徐々に圧して溶接部の標点距離の伸びが20%以上になるまで曲げた場合に溶接部の外側に長さ1.5mmをこえる割れが生じないこと。

(3) 側曲げ試験

試験片の厚さの2倍の内半径を有する案内に沿って180度曲げた場合に外側にした溶接部が次の条件に適合すること。

- (イ) 長さ3mmをこえる割れがないこと。
- (ロ) 長さ3mm以下の割れの長さの合計が7mmをこえないこと。
- (ハ) 割れ及びブローホールの個数の合計が10個をこえないこと。

B.4 外観検査

全部品について、目視により次の項目の検査を行うこと。

- (1) 形状が製作図通りであること。
- (2) 外観上の傷、切断部の返り等がないこと。
- (3) 仕上面の状態が製作図通りであること。
- (4) 腐食等がないこと。
- (5) 油脂分の汚れが除かれていること。

B.5 耐圧検査

輸送容器本体の製作途中、及び製作完了後、耐圧検査を実施し、耐圧性能を有することを確認する。

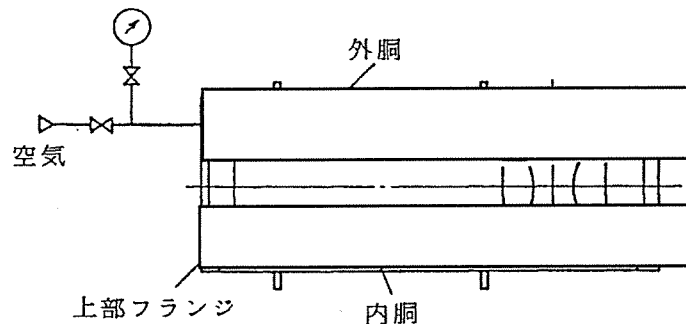
(1) 検査対象箇所及び検査圧力

検査対象箇所	検査時期	検査圧力	備考
外 洞 内 洞	鉛鋳込み前	363kPa・G	鉛鋳込み時圧力 ×1.25
内 洞	輸送容器 完成時	113kPa・G	90kPa・G ×1.25

(2) 検査方法及び判定基準

a) 外洞及び内洞

外洞及び内洞溶接完了後、鉛鋳込み前に内洞及び外洞に対して空気圧 363kPa・Gにて加圧する。耐圧検査概要を (参) - 第B.1 図 に示す。



(参) - 第B.1 図 鉛鋳込み前外洞耐圧検査概要

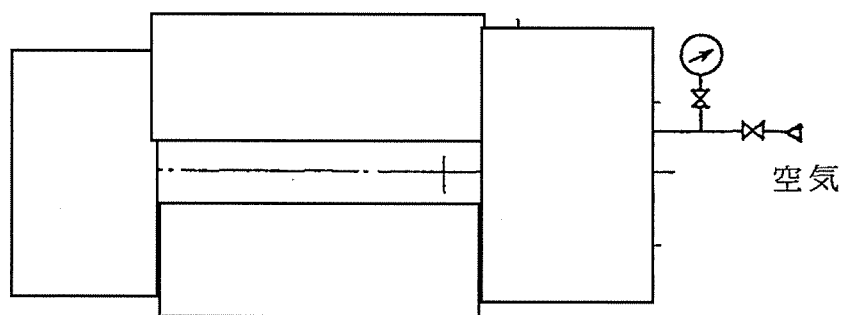
上部フランジの鉛鋳込み穴を利用して、空気加圧配管を設け工場空気にて 363kPa・Gまで加圧し、30 分間以上保持する。

加圧した状態において、圧力降下を生じないことを確認すること。また、外観検査を目視により行い異常がないことを確認する。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

b) 内 洞

輸送容器本体完成後、内洞に対して空気圧 113kPa・Gにて加圧する。耐圧検査概要を(参) - 第B.2 図に示す。



(参) - 第B.2 図 輸送容器本体完成後内洞耐圧検査概要

下記蓋に設けた気密漏洩検査孔蓋の検査孔を利用して、空気加圧配管を設け工場空気にて、113kPa・Gまで加圧し、30 分間以上保持する。

加圧した状態において圧力降下を生じないことを確認する。また、外観検査を目視により行い異常がないことを確認する。

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

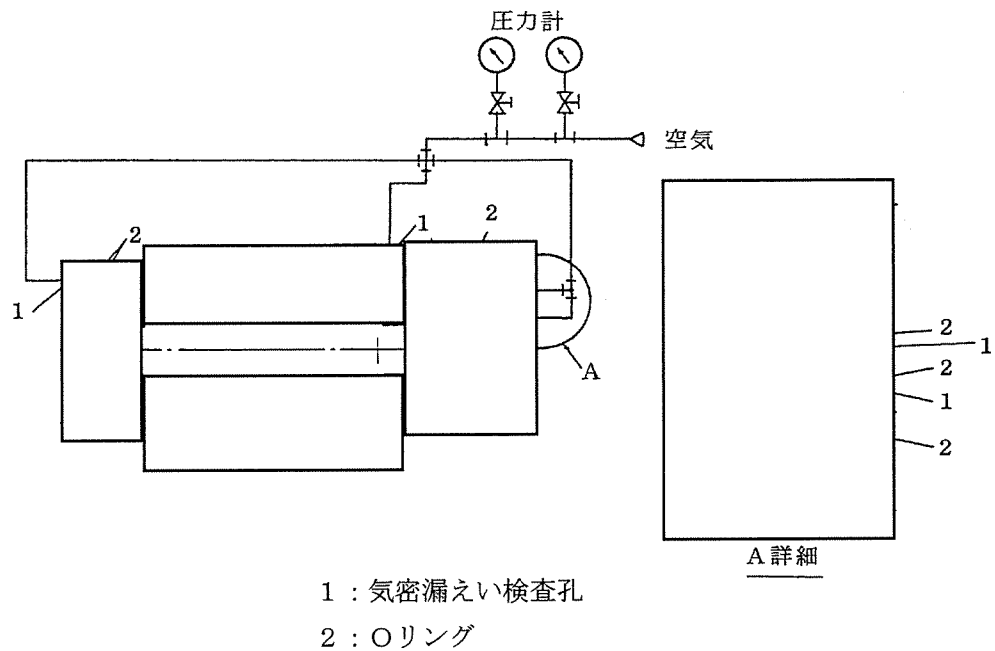
B.6 気密漏えい検査

輸送容器製作完了後、気密漏えい検査を実施し輸送容器本体の気密性能を確認する。

(1) 空気加圧法による気密漏えい検査

輸送容器各蓋部Oリングに設けられた気密漏えい検査孔を用いて、空気加圧法により各蓋部Oリングの気密漏えい検査を行う。

検査概要を(参) - 第B.3図に示す。



(参) - 第B.3図 蓋部Oリング気密漏えい検査概要

空気加圧法による気密漏えい検査条件は次の通りとする。

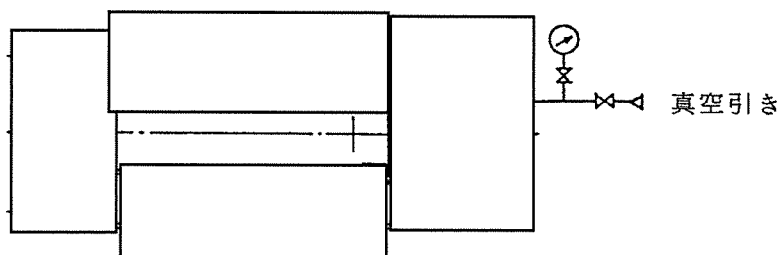
- a) 試験方法 : 空気加圧法
- b) 加圧圧力 : 90kPa・G
- c) 保持時間 : 0.5h
- d) 許容漏えい率 : $1.15 \times 10^{-3} \text{MPa cm}^3/\text{s}$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(2) 真空漏えい法による気密漏えい検査

輸送容器の内胴の密封性を確認するため輸送容器完成後、下部蓋に設けられた気密漏えい検査孔蓋の検査孔を用いて、真空法により検査を行う。

検査概要を(参) - 第B.4図に示す。



(参) - 第B.4図 輸送容器内胴の気密漏えい検査概要

真空法による気密漏えい検査条件は次の通りとする。

- a) 試験方法：真空法
- b) 真空試験時上流側圧力：101kPa
- c) 真空試験時下流側圧力：13.2 (0.1mmHg)

判定基準は、漏えい率が $5.9 \times 10^{-4} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 注(1)以下であること。

注(1) 真空法による気密漏えい試験時の漏えい率は、加圧法による気密漏えい試験時の漏えい率から次式より換算する。

$$L_x = \frac{L_y \cdot \eta_y (P_{u^2} - P_{d^2})_x}{\eta_x (P_{u^2} - P_{d^2})_y}$$

ここで

L_x : 真空漏えい試験時の許容漏えい率 = $\text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$

L_y : 加圧漏えい試験時の許容漏えい率 = $1.15 \times 10^{-3} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$

η_x : 真空漏えい試験時の空気の粘性係数 = $1.48 \times 10^{-11} \text{MPa} \cdot \text{s}$

η_y : 加圧漏えい試験時の空気の粘性係数 = $1.82 \times 10^{-11} \text{MPa} \cdot \text{s}$

P_{u^2} : 真空漏えい試験時の上流側圧力 = $101 \text{kPa} \cdot \text{abs.}$

P_{d^2} : 真空漏えい試験時の下流側圧力 = $13.2 \text{kPa} \cdot \text{abs.}$

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

P_{uy} : 加圧漏えい試験時の上流側圧力=185kPa・abs.

P_{dy} : 加圧漏えい試験時の下流側圧力=101kPa・abs.

したがって,

$$L_x = \frac{1.15 \times 10^{-3} \times 1.82 \times 10^{-11} \times (0.101^2 - 0.0132^2)}{1.48 \times 10^{-11} \times (0.185^2 - 0.101^2)}$$
$$= 5.9 \times 10^{-4} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$$

となる。

B.7 遮蔽性能検査

遮蔽性能検査は次の検査よりなる。

(1) 鉛遮蔽厚さ確認試験

輸送容器本体の鉛鑄込後の放射線源 (^{60}Co 約 6 Ci) を輸送容器内部に挿入し、輸送容器表面での透過ガンマ線を測定し、その結果と前もって遮蔽厚さを確認した標準試験片での透過ガンマ線についてこの測定結果と比較し鉛遮蔽厚さを確認する。

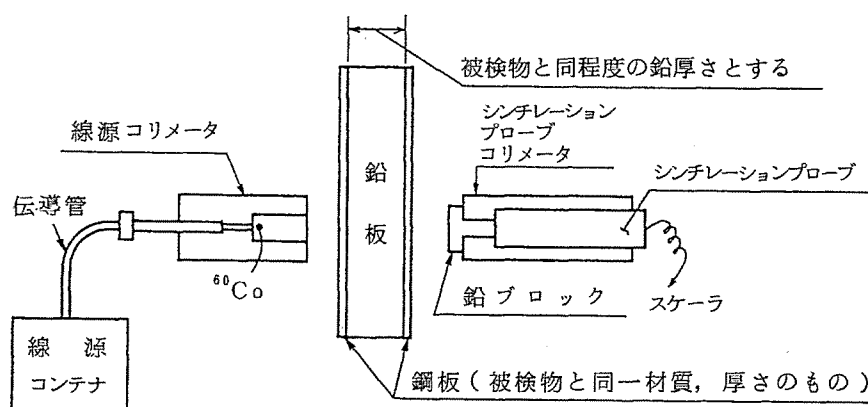
(2) 透過線量当量率測定試験

容器完成後、前項と同様な方法で輸送容器内に放射線源を挿入し、容器表面の透過線量当量率を測定し基準値以下であることを確認する。

B.7.1 鉛遮蔽厚さ確認試験

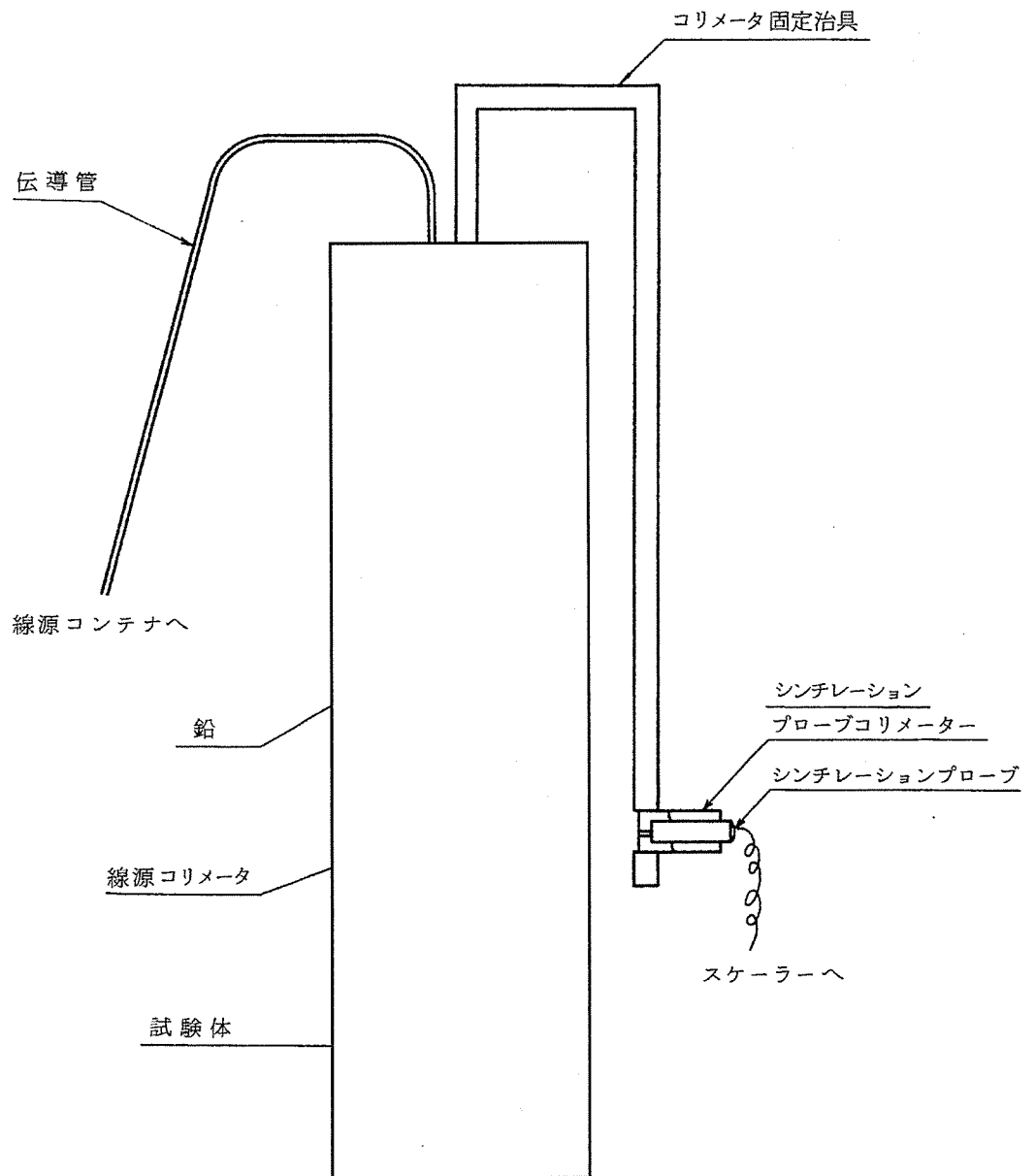
(1) 試験要領

- a) 標準試験片により鉛遮蔽厚さと透過ガンマ線の間係を (参) - 第B.5 図 にて示す要領にて測定し、較正曲線を求める。



(参) - 第B.5 図 標準試験片による遮蔽厚さ確認試験

- b) 輸送容器本体鉛鑄込後、(外筒溶接前) (参) - 第B.6 図 に示す機器配置により、輸送容器内に放射線源を挿入し、容器表面の透過ガンマ線を測定する。
- c) b) 項で得られた結果より a) 項で求めた較正曲線を用いて鉛厚さを求める。



(参) - 第B.6図 試験体の測定配置

□で囲った箇所は核セキュリティ情報及び商業機密等が含まれているため、非公開とします。

(2) 判定基準

遮蔽厚さ 180mm 以上であることをもって合格とする。

B.7.2 透過線量当量率測定試験

(1) 試験要領

輸送容器完成後，輸送容器内に放射線源を挿入し，輸送容器表面の透過線量当量率をサーベイメーターを使用して測定する。

(2) 判定基準

透過線量当量率が基準値以下であること。

B.8 遮蔽寸法検査

ガンマ線遮蔽部の鉛鑄込部の寸法を測定し次に示す値以上であることを確認する。

- (1) 内胴と外胴間 : 180mm 以上
- (2) シャッタ内径 : 250mm 以上
- (3) 下部蓋鉛鑄込部高さ : 100mm 以上
- (4) ハンガー鉛部高さ : 180mm 以上

B.9 伝熱検査

該当せず

B.10 吊上荷重検査

輸送容器完成後，上部及び上部トラニオンに対し吊上げ重量の2倍以上の荷重を加えることにより，吊上げ上，支障のある欠陥が発生しないことを確認する。

なお，吊り上げ重量を(参) - 第B.6表に示す。

(1) 検査対象箇所

上部及び下部トラニオン

(2) 検査方法

吊上げ荷重検査の装置を(参) - 第B.7 図に示す。

吊上げ荷重検査は次の要領で行う。

a) 上部トラニオン

輸送容器の吊上げ重量以上の重錐を下部トラニオンに吊上げ、上部トラニオンをクレーンで吊上げて検査する。荷重はクレーンに設置の荷重計で計測する。

b) 下部トラニオン

下部トラニオンに荷重伝達鋼板及び支持ビームを取付け、支持ビームと輸送容器本体との間に油圧ジャッキを設置して、負荷を加える。

荷重は油圧ジャッキに接続の荷重計で計測する。

(3) 判定基準

トラニオン荷重を解放した後、次の検査を行う。

a) 外観検査

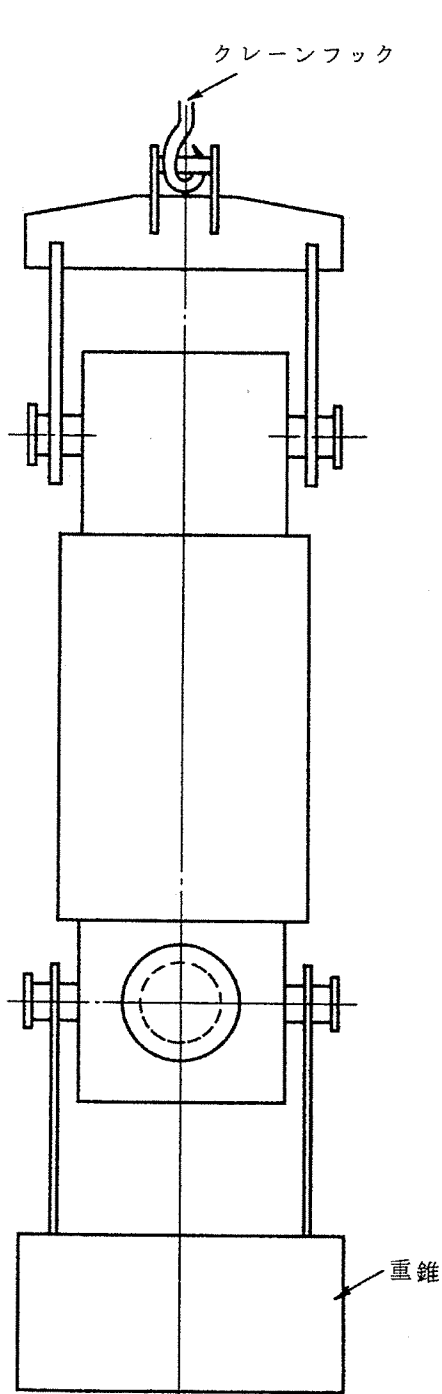
目視により、異常がないこと。

b) 浸透探傷検査

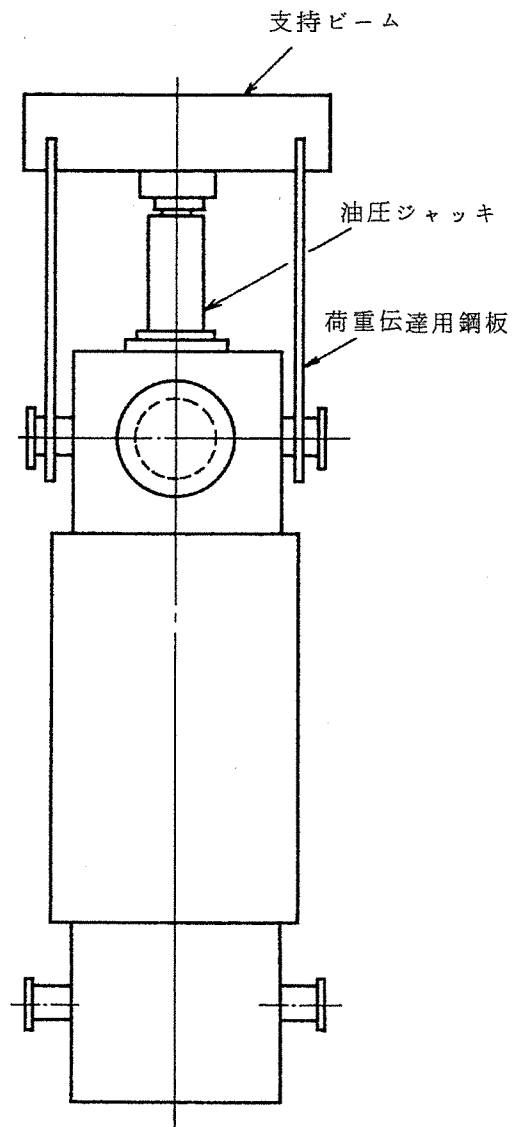
浸透探傷検査により割れ等の欠陥が発生していないこと。

(参) - 第B.6 表 輸送容器吊上げ重量

名 称	重 量 (kg)
本 体	8080
シャッタ	288
バスケット	30
ハ ン ガ	35
上部駆動装置	195
シャッタ駆動装置	128
収 納 物	14
合 計	8770



上部トラニオン吊上げ荷重検査



下部トラニオン吊上げ荷重検査

(参) - 第B.7図 トラニオン吊上げ荷重検査要領

B.11 重量検査

輸送容器の部品の重量及び全体重量を測定し、それらの値が構造解析等の解析内容に適合していることを確認する。

(1) 検査対象箇所

- a) 輸送容器各部品
- b) 輸送容器全体

(2) 検査方法

- a) 輸送容器の各部品
各部品の重量を重量計により測定する。
- b) 輸送容器全体
各部品の重量を合計して全体の総重量を求める。

(3) 判定基準

各部品の重量及び輸送容器総重量に次の表に示す値以下であること。

名 称	重 量 (kg)
本 体	8080
上 部 蓋	120
下 部 蓋	130
シ ャ ッ タ 蓋	66
シ ャ ッ タ	288
バ ス ケ ッ ト	30
ハ ン ガ	35
上 部 緩 衝 体	400
下 部 緩 衝 体	400
輸送容器総重量	9549

B.12 未臨界検査

該当せず

B.13 作動確認検査

該当せず

B.14 取扱検査

蓋の取付け, 取外し, ボルトの締付け, バスケットの収納等, (ハ) 章A.1, A.2
の操作が異常なく行えることを確認する。

参考 C. 輸送容器の製作スケジュール

C 輸送容器の製作スケジュール

輸送容器の製作スケジュールを (参) - 第C.1 図 に示す。

参考 D. 品 質 管 理

D. 品質管理

本輸送容器の安全解析の要件を、物としての容器の形で実現するために、参考A. で述べられた製造方法が採用され、また参考B. で述べられた試験、検査が行われるが、これらの製造中の活動において、解析要件が製造物に適切に反映されることを保証する手段として、品質の確保のために講じられる措置につき以下に述べる。

D.1 組織

MS-1型輸送容器の製作に係わる組織体制は、(参考)-第D.1図に示すとおりであり、申請者は設計製造者が行う設計、製造、品質管理及び、工程管理に対し、本申請に係わる輸送容器の安全確保に必要な範囲において掌握、管理する。なお、MS-1型輸送容器の製作に係わる設計製造者の各部門における責任内容を以下に示す。

(1) 設計部門

設計仕様の決定、製作図面の作成及び製作・検査、要領書作成等の責任をもつ。

(2) 資材部門

購入仕様書、注文仕様書に合致する資材を必要な時期までに購入するなどの調達業務に関して責任をもつ。

(3) 製造部門

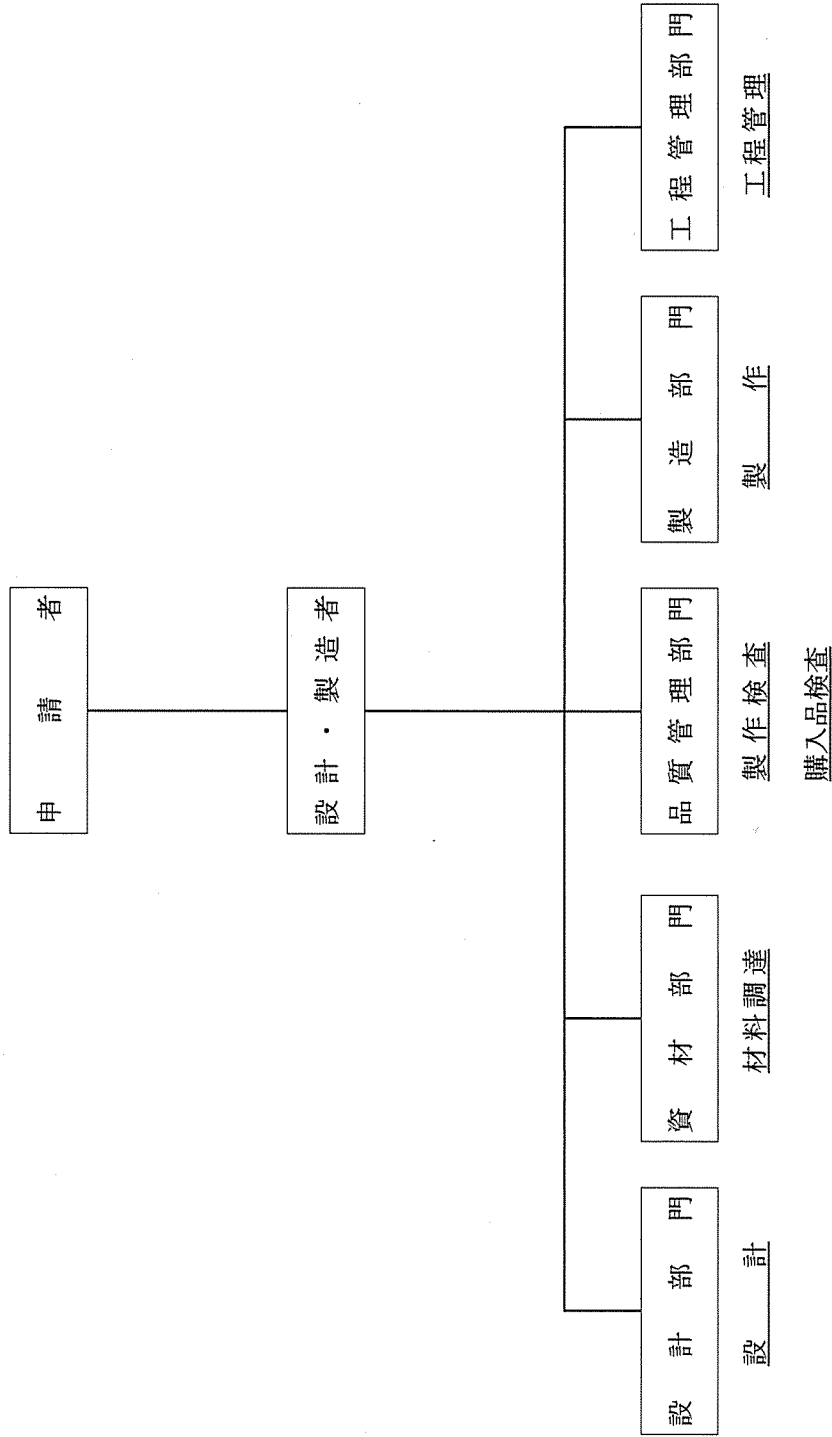
設計仕様及び製作要領書に合致する製作方案の作成と、製作実施などの適正な品質の製品を製作する責任をもつ。

(4) 品質管理部門

品質保証計画の実施に対し全面的な権限を有し製品が設計仕様に合致していることを確認する責任をもつ。

(5) 工程管理部門

製品の製作工程に関する責任をもつ。



(参考) - 第D.1 図 製作・品質管理組織

D.2 品質保証計画

品質保証計画の実施要領に関し、以下項目ごとに内容を記述する。

(1) 機器の機能障害または故障

本輸送容器の中で機能障害を生じる可能性のある部分としてはリングがある。製作段階において寸法精度を厳しく管理し、操作を行う場合は、専用工具等を用いて慎重に取扱うとともに、各輸送物発送前には各シール部に対し外観検査、気密漏洩検査を実施し、その密封性を確認することとしているので機能障害は生じ難い。

(2) 設計と製作の関連

設計・製造者の設計部門は設計上要求される事項を製作に関する図面、仕様書、要領書等の文書に記載し、これらの文書にもとづき、製造部門に対し製作に対する指示を行う。

品質管理部門は、製作途上において（参考）－B.1表、B.2表、B.3表に記載された各種の試験、検査を実施し、設計上要求される事項がすべて満たされていることを確認する。

(3) プロセスと装置に対する管理と監視

本輸送容器の製作にあたっては、設計・製造者の工程管理部門があらかじめ作成した詳細な製作、検査、フローシートにもとづいて、製作、検査等のプロセスを管理する。また、品質管理部門は、計量器、非破壊検査装置等については、定期的に検定を行い、常に正常な使用状態にあることを確認する。

(4) 検査と試験によって実証される機能的適合度合

本輸送容器の製作中に、設計・製造者の品質管理部門によって実施される検査及び試験の方法は、工業的検査、試験手法として広く認められたものである。したがって、（参考）－B.1表、B.2表、B.3表に記載された試験、検査により確認された本容器の機能は設計上の要求事項を満足するとともに、（ハ）章に示した輸送物取扱い上の機能を有することが実証される。

(5) 基準の程度，品質履歴及び標準化の程度

本輸送容器の製作は，原則としてJ I S及びA S M Eに準拠して行われる。

設計・製造者の品質管理部門が製作中に実施する試験，検査の結果は，品質管理記録としてすべて保管されるので，本輸送容器の製作中の品質履歴は容易に把握，追跡できる。

設計・製造者が行うすべての検査及び試験は，設計部門あるいは品質管理部門によって作成された，要領書にもとづいて行われる。

D.3 設計管理

設計・製造者の設計部門は，製作設計段階で本輸送物の安全解析に記載された設計，品質上の要求事項を網羅した設計仕様書及び概念図にもとづき設計仕様書，製作図，製作要領書，製作仕様書等を作成し，品質管理部門の照査を受けるので十分な設計管理が行われる。

D.4 指示及びその方法

製作，使用及び保守において，品質に影響を与えるすべての作業（材料の購入，製作，試験，検査等）については，文書等により指示されるが，その方法等は以下に示すとおりである。

(1) 製 作

設計・製造者の設計部門は，製作に関する要領書を作成し，製造部門に対し指示を行う。

製造部門は，この要領書にもとづいて製作を行う。また，品質管理部門は，試験，検査要領書にもとづき製作が正しく行われていることを確認する。

(2) 使用及び保守

設計・製造者内で部品の受入から製品の出荷までの期間中の部品あるいは製品の品質低下を防止するため、設計部門が作成した要領書にしたがってすべての部品等が取扱われる。

D.5 文書管理

品質に関する指示、要領及び図面等の文書は、設計・製造者の品質管理制度にもとづき管理される。

この制度では、設計・製造者が作成するすべての文書を、その作成部門、及び品質管理部門で照査、承認後、設計・製造者の定めた規定にもとづき配布・管理、される。

これらの文書の改訂も同様の手順で行われ、常に最新版の文書が整備されるとともに、改訂番号の履歴も管理される。

なお、品質に係わるすべての文書は輸送容器完成後も、設計・製造者の品質管理部門によって所定の期間保存される。

D.6 材料、機器及び役務調達

本輸送容器の製作に係わる材料、機器等は設計・製造者の設計部門が作成する購入仕様書に従い、資材部門が調達を行う。材料の納入時には、品質管理部門が受取り検査を実施する。この際、ミルシートとの照合による材料の確認、員数確認及び外観検査が行われ、購入仕様書の要件を満たしていることが確認される。

また、請負業者に対しては、設計・製造者の品質管理部門によって発注前に工場審査が行われ、請負業者の品質管理水準が確認され、また、監査によってその水準が維持されていることをチェックする。

D.7 材料・部品及び機器の確認に関する管理

本輸送容器の材料，部品のうち，鍛造品，鋼材には製造番号（熱処理番号を含む）が材料メーカによって刻印されており，容易に識別あるいはミルシートとの照合ができるようになっている。

また，製作途中で刻印の移替が必要となった場合には，品質管理部門によって，所定の要領にもとづき再刻印される。

その他の部品，機器等は，品質管理部門の受取り検査完了時に同部門により，所定の要領にもとづき刻印等の方法で識別され管理される。

D.8 特殊工程の管理

溶接，鉛鋳込及び非破壊検査等の特殊工程については，下記の基準で管理される。

(1) 溶 接

本輸送容器の溶接は，通商産業省令第81号に準拠して行われる。また，溶接士は，通商産業省の認定資格試験に合格した従事者により実際の溶接作業が実施される。

溶接中は必要に応じ電流及び電圧等が品質管理部門によって管理，確認され，溶接完了後には資格認定された品質管理部門の検査員により溶接部の検査が行われ，健全性が確認される。

(2) 非破壊検査

本輸送容器の放射線透過試験及び浸透探傷検査等の非破壊検査は，SNT-TC-IAに準拠した基準にもとづき，品質管理部門により，資格認定された有資格者により実施される。また，非破壊検査はASME Sec. VまたはJIS Z 3106にもとづき品質管理部門が作成する非破壊検査要領書にしたがって行われる。

とくに気密漏洩検査については，容器全体としての性能を確認するため完成時に実施し，その判定基準は，安全解析の直接の要件を満たすように設定する。

(3) 鉛鑄込み

鉛の鑄込みは、施工に先立って請負業者は鉛鑄込要領及び品質管理要領を提出し、設計・製造者の認定を受けた手順によって施工される。

(4) キャスタブルの充填

キャストブルの充填は、施工に先立って請負業者はキャストブル充填要領及び品質管理要領を提出し、設計・製造者の認定を受けた手順によって施工される。

D.9 検査管理

品質に関するデータシート、検査方法等は次のように管理される。

(1) データシート

各製作工程における検査結果は、品質管理部門によって記録され、文書管理規定に従い管理される。

(2) 検査方法

本申請書（参考）－Bに掲げる項目に関して実施する検査については、設計・製造者が検査要領書を作成し、それにもとづき放射線透過試験、浸透探傷検査、寸法検査、耐圧検査、気密漏えい検査等が行われる。

(3) 検査員の資格

放射線透過試験、及び浸透探傷検査等の非破壊検査に従事する検査員は、SNT-TC-IAに準拠して品質管理部門が作成する非破壊検査員資格認定規定にもとづいて、同部門が資格認定した有資格者である。

(4) 修理、改良及び取り替えに関する検査管理

検査により不具合箇所が見つかった場合には、製造部門は設計部門と協議の上、設計図面や設計仕様書を満足するように、品質管理部門が作成する不具合処置要領にもとづき修理を行い、その部分の再検査が行われる。

D.10 測定機器，試験機器の管理

製造工程で使用される測定機器，試験機器等は，計量法等の基準にもとづいて，品質管理部門が作成する検査装置較正要領書により，一定期間ごとに同部門により検定，較正され，有効期間を表示したラベルが貼付けられる。品質に係わる測定，試験には，有効期間内の装置が使用される。

D.11 取扱い，保管

本輸送容器の材料，部品等については，品質管理部門においてミルシートとの照合，員数確認及び外観検査等の受取り検査を行い，合格したものについてはラベル貼付あるいはマーキングを行い，材料が正しく識別できるようにする。これらの材料，部品等は製造部品により所定の保管場所において保管される。

製造部門による本輸送容器の主要部品の製作は他の一般工事と区分された清浄な作業場所で行われる。なお，特殊材料であるバルサ及び米杉については製造部門により保管中の湿分管理が行われる。

D.12 検査及び製造の進捗状況の管理

検査及び製造の進捗状況は，設計・製造者の設計部門と品質管理部門があらかじめ作成する製作，検査計画書と，これにもとづいて工程管理部門が作成する日程計画表によって管理される。各工程における検査及び製造の管理は，各部品または機器ごとに必要な検査及び製造項目が工程順に記入された製作検査フローシートにより行われる。

D.13 是正管理

設計図面、仕様書等の要求事項からはずれた不具合が発見された場合には品質管理部門により、不具合品に不合格の表示がなされるとともに、不具合報告書が発行される。設計部門において不具合の処置方法が検討され、修理が妥当であると判断された場合は、同部門により不具合処置要領が作成され、製造部門がこれに従い処置することになる。処理された結果は適正な方法で品質管理部門により検査、監査される。

D.14 品質管理記録

品質管理記録は輸送容器完成後、設計・製造者の品質管理部門によって取りまとめられ、特別の記録保管庫に収納されて所定の期間、損傷、紛失のないように管理、保管される。

品質管理記録には次のものが含まれる。

- －設計承認申請書
- －設計仕様書
- －製作図面
- －製作要領書及び検査要領書
- －材料証明書及び検査記録
- －使用材料一覧表

D.15 品質管理監査

品質保証計画の実施状態を確認するために、設計・製造者は監査チームを編成し、品質保証計画に係わる部門を監査する。

監査は社内監査と外注先監査とに分けられる。

(1) 社内監査

監査チームはチェックリストにもとづき、品質保証計画に係わる社内の各部門の事務所及び作業場を定期的に監査する。監査結果は報告書にまとめ品質管理責任者に提出し、必要な場合は是正処置が行われる。

(2) 外注先監査

監査チームはチェックリストにもとづき、材料、機器及び加工の発注前に外注先の設備、作業場及び品質管理の実施状態を監査し、これに合格した業者を外注先認定工場とし品質保証協定を締結した後発注を行う。

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

（記載事項）

1. 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）章

(イ) 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) 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

MHI 原子力研究開発株式会社（以下「当社」という。）は、品質保証活動、環境経営活動及び安全衛生活動（以下、各活動という）を円滑、かつ適切に実施するために必要な要求事項を反映した品質・環境・安全衛生マネジメントシステム（以下、マネジメントシステムという）を確立し、文書化し、実施し、維持する。また、このマネジメントシステムの実効性を維持するため、その改善を継続的に実施する。

当社のマネジメントシステムは、安全文化及び安全のためのリーダーシップによって、原子力利用における 3S（原子力安全、核セキュリティ、保障措置）の「原子力安全」を達成・維持・向上することを目的とする。

当社は、各活動体系（プロセスマネジメント体系）を構築し、品質マニュアル及び関連する文書（社内規定）を制定し、各活動の重要度に応じて、次の事項を実施する。

- (a) マネジメントシステムに必要なプロセス^{*1}を明確にし、各部門への適用を明確にする。
- (b) プロセスの順序及び相互の関係（組織内のプロセス間の相互関係を含む）を明確にし、プロセスに必要なインプット、及びプロセスから期待されるアウトプットを明確にする。
- (c) プロセスを効果的に運用し、管理するために必要な活動指標及び判断基準を明確にする。
- (d) プロセスの運用及び監視を実行するために必要な資源及び情報を明確にし、確実に利用できるようにする。また、各活動の重要度に応じて資源を適切に配分する。
- (e) プロセスを監視し、測定し、分析する。ただし、監視測定することが困難である場合は、この限りでない。
- (f) プロセスに関する責任及び権限を割り当てる。
- (g) プロセスを評価し、計画通りの結果を得、実効性を維持するために必要な処置（計画を達成できないリスク、あるいは超過達成する機会への取り組み及びプロセスの変更を含む）及び継続的な改善を達成するのに必要な処置を実施する。
- (h) 製品^{*2}の要求事項への適合性に影響を与えるプロセスを外部委託する場合には、そのプロセスを確実に管理する。
- (i) マネジメントシステムの運用において、原子力安全（放射線被ばくから個人、社会、環境を守ることを意味する。以下同様）に対する重要度に応じて、マネジメントシステム要求事項の適用を決定する。
- (j) 原子力事業で考慮すべきリスク^{*3}を明確にして活動する。
- (k) 施設、組織又は個別業務の重要度及びこれらの複雑さの程度に応じて、適正なマネジメントシステムの運用を行う。

- (1) 原子力の安全とそれ以外の事項において、意思決定の際に対立が生じた場合には原子力の安全を確保する。
-

※1：プロセス

インプットを使用して意図した結果を生み出す、相互に関連する又は相互に作用する一連の活動。

※2：製品

組織と顧客との間の処理・行為無しに生み出され得る、組織のアウトプット。

※3：原子力事業で考慮すべきリスク

- ・施設若しくは機器等の品質又は品質保証活動に関連する原子力の安全に影響を及ぼす恐れのあるもの及びこれらに関連する潜在的影響の大きさ。
- ・機器等の故障若しくは通常想定されない事象の発生又は各活動が不適切に計画され、もしくは実行されたことにより起こりうる影響。

A. 1 品質マニュアル

当社は、マネジメントシステムの要求事項を満たすため、品質マニュアルとして社共通マニュアル「品質・環境・安全衛生マニュアル」を作成し、マネジメントシステムの最上位文書として位置付け、維持する。社共通マニュアル「品質・環境・安全衛生マニュアル」には次の事項を含める。

- (a) マネジメントシステムの適用範囲
- (b) マネジメントシステムの運用に係る組織に関する事項
- (c) 各活動の計画、実施、評価及び改善に関する事項
- (d) マネジメントシステムに関する文書化された手順、又はそれらを参照する下位文書
- (e) マネジメントシステムのプロセス及び相互関係に関する事項

A. 2 文書管理

当社は、マネジメントシステムで必要とされる文書を管理する。文書の管理には、次の事項を含める。

- (a) 組織として承認されていない文書の使用または適切ではない変更の防止
- (b) 文書の組織外への流出等の防止
- (c) 文書の発行及び改定に係るレビューの結果、当該レビューの結果に基づき講じた処置並びに当該発行及び改定を承認した者に関する情報の維持

当社は、要員が判断及び決定をするに当たり、適切な文書を利用できるよう、各活動に必要な文書の管理を、社内規定に従って実施する。

- (a) 文書の作成に当たっては、審査及び承認に対し責任を有する者を明確にし、発行前に文書の妥当性の審査及び承認を行う。また、必要に応じて更新し、再承認する。
- (b) 文書の変更に当たっては、その変更の必要性について評価するとともに、原則として作成時と同じ手順で変更の妥当性を審査、承認し、発行、配布等の管理を行う。
- (c) 文書の変更の必要性の評価及び変更の妥当性の審査には、対象文書に定められた活動の実施部門の要員を参画させる。

- (d) 変更した文書は識別表示すると共に改定来歴を作成し、現在有効な版を明示する。
- (e) 文書は、正確かつ読みやすく、容易に識別できるように個別の文書番号を採番し、管理する。頁単独での識別のため、文書の全頁に文書番号（改定番号、通し頁を含む）を付す。
- (f) 常に適切かつ最新の文書が必要なときに必要なところで使用されるよう、管理台帳等により発行、配布及び保管の管理を行う。
- (g) 旧文書は、廃棄の要領を定めて確実に廃棄する。なお、旧文書を廃棄しない場合は、旧文書の誤使用を防止するため、旧文書であることを識別表示する。
- (h) 社外から受領した文書（図面等を含む）は、識別し、適正に使用されるよう配布及び保管の管理を行う。
- (i) 機密文書（社外から受領した文書を含む）については、社内標準に従って機密管理を行う。
- (j) 電子的文書についても必要に応じ管理文書として管理する。

A. 3 品質記録の管理（記録管理）

当社は、マネジメントシステムの効果的運用及び要求事項への適合の客観的証拠を残すために作成する品質記録を明確にし、重要度に応じて管理する。

- (a) 品質記録の作成に当たっては、発行に対し責任を有するものを明確にし、発行前に内容に間違いが無いかどうかの観点から確認を行う。
- (b) 品質記録は、正確かつ読み易く、容易に識別、検索できるよう、必要により品質記録番号を採番し、管理する。
- (c) 品質記録の管理は、電子媒体、紙、写真、フィルム等の適切な形態で、必要に応じて管理台帳を設け、分類、識別し、検索が容易で、劣化や損傷を最小にし、紛失・散逸を防止するのに適した方法で行う。
- (d) 保管期限を過ぎた品質記録は、適切な方法で廃棄する。品質記録の廃棄に際しては、必要に応じて顧客へ報告の後、廃棄する。なお、品質記録の保管期間終了後は、PDFファイル保管等の継続保管の要否検討を含めて廃棄を判断する。
- (e) 電子的記録についても必要に応じ品質記録として管理する。

(イ) - B 申請者の責任

B. 1 経営者の責任

B. 1.1 経営者のコミットメント

社長は、マネジメントシステムの構築及び実施、並びにその実効性を継続的に改善することに対するリーダーシップ及びコミットメントを実証するため、以下を行う。

- (a) マネジメントシステムの実効性について説明責任を負う。
- (b) 組織の状況及び戦略的な方向性と両立する品質方針及び品質目標を確立する。
- (c) 組織の意思決定に際し、機器及び個別業務等が要求事項に適合し、かつ、原子力の安全がそれ以外の事由（コスト、納期等）により損なわれないようにする。
- (d) 社共通マニュアル「品質・環境・安全衛生マニュアル」を制改定し、品質目標として、年度毎に社の各活動計画を設定する。
- (e) マネジメントレビューとして、各活動状況を定期的に見直し、マネジメントシステムがその意図した結果を達成するよう、継続的な改善を行う。
- (f) 各活動に必要な資源を提供する。
- (g) 原子力安全を最優先に位置付け、原子力安全文化を醸成するための活動を推進する。
- (h) 各活動に関する担当業務を理解し、遂行する責任を有することを要員に認識させる。
- (i) 関係法令を遵守すること、その他原子力の安全を確保することの重要性を要員に周知する。
- (j) 全ての階層で行われる決定が、原子力の安全の確保について、その優先順位及び説明責任を考慮して確実に実施されるようにする。また、組織全体の安全文化のあるべき姿を明確にする。

B. 2 品質方針

社長は、品質方針として次の事項を満たす品質・環境・安全衛生方針を確立し、実施し、維持するため、以下を行う。

- (a) 品質方針は、社是、社方針に基づく当社の目的及び状況に対して適切なものとし、組織の戦略的な方向性を示すものとする。
- (b) 要求事項への適合及びマネジメントシステムの実効性の継続的改善に対する関与を含める。
- (c) 品質目標（活動計画）の設定及びレビューのための枠組みを作る。
- (d) 社全体に伝達、周知し、理解されるようにする。
- (e) 適切性の持続のためのマネジメントレビューを行う。
- (f) 健全な安全文化を醸成することに関するものを含める。

B. 3 計画

B. 3. 1 品質目標（活動計画）

社長は、品質方針を実現するため、毎年度始めに各活動における当年度の品質目標（活動計画）を設定し、各部門に品質目標達成のための活動計画を策定させる。また、マネジメントレビューを実施し、品質方針、品質目標と各部門の活動計画の整合性を確認する。

- (a) 品質目標には、製品要求事項を満たすために必要な目標を含み、顧客満足の向上に関連しなければならない。
- (b) 品質目標を達成するための計画には、次の事項を含めなければならない。
 - ①実施事項
 - ②必要な資源
 - ③責任者
 - ④実施事項の完了時期
 - ⑤結果の評価方法
- (c) 品質目標は、その達成度が測定可能で品質方針と整合が取れていなければならない。
- (d) 品質目標は、適宜監視し、必要に応じて更新する。
- (e) 品質目標は、社員へ通知、公開し、当社全体の周知を図る。

B. 3. 2 マネジメントシステムの計画

社長は、品質目標に加えてマネジメントシステムの要求事項を満たすため、事業計画を策定し、必要な経営資源、必要なプロセスを確保する等のマネジメントシステムに対する計画を明らかにする。

B. 3. 3 マネジメントシステムの変更

社長は、マネジメントシステム変更（プロセス及び組織等の変更を含む）の計画、実施に当たっては、システムが有効な状態を維持する。この場合において、各活動の重要度に応じて、次の事項を適切に考慮する。

- (a) マネジメントシステムの変更の目的及び当該変更により起こり得る結果
- (b) マネジメントシステムの実効性の継続的な維持
- (c) 資源の利用可能性
- (d) 責任及び権限の割り当て

B. 4 マネジメントレビュー

社長は、トップマネジメントとして当社のマネジメントシステムが、引き続き、適切、妥当、かつ有効であることを確実にするため、予め定められた間隔でマネジメントシステムをレビューする。このレビューでは、マネジメントシステムの改善の機会の評価、並びに品質方針及び品質目標を含むマネジメントシステムの変更の必要性の評価も行う。

B. 5 責任及び権限

B 5. 1 工事品質保証体制

当社の工事品質保証体制を(イ)－第B. 1 図の組織図の通り定める。

- (a) 当社の工事品質保証活動の最高責任者は、社長とする。
- (b) 当社の工事品質保証活動の取り纏め部門を技術推進・品質保証部とし、工事品質保証活動の推進、実務を品質保証室が担当する。
- (c) 当社の工事品質保証活動は、社内全 5 部門（管理部、安全管理部、試験部、研究部、技術推進・品質保証部）により実施し、それぞれの活動を各部門長が統括する。
- (d) 工事品質保証委員会は、工事品質保証活動状況について社長が定期的見直しを行うマネジメントレビューの場として開催する。
- (e) 工事品質保証連絡会は、社内の工事品質保証活動に係わるコミュニケーションを図る情報共有の場として開催する。

なお、申請者、容器製造者等の組織について、責任体制に係る関係を(イ)－第B. 2 図に示す。

B. 5. 2 工事品質保証最高責任者(社長)

社長は、当社の工事品質保証活動における最高責任者として、製品品質に影響する業務を管理、実行、検証するすべての要員の責任と権限及び相互関係を明確にし、社内に伝達する。

- (a) 工事品質保証計画書に定めるすべての活動に関する最終的責任と権限は、工事品質保証最高責任者である社長に帰属する。
- (b) 各部門、各階層間のコミュニケーションを確実にし、自らの責任と権限を行使するため、工事品質保証活動の管理責任者として、技術推進・品質保証部長を工事品質保証責任者に任命し、記録を管理する。なお、工事品質保証責任者には、技術推進・品質保証部長に替えて、管理者層から他の適任者を選任することもある。
- (c) 工事品質保証体制を構築し、工事品質保証活動全体を総括する。
- (d) 工事品質保証計画書を制改定する。
- (e) 品質方針を実現するため、工事品質保証における品質目標として、年度毎の社工事品質保証活動計画を設定する。活動計画の設定では、前年度活動結果を踏まえ、当社の工事品質保証活動の課題を明確にする。工事品質目標は、その達成度が判定可能で、品質方針と整合のとれたものとする。
- (f) マネジメントレビューとして、工事品質保証活動状況を定期的に見直し、工事品質保証活動がその意図した結果を達成するよう、継続的に改善を行う。
- (g) 工事品質保証活動に必要な資源を提供する。
- (h) 原子力安全を最優先に位置付け、原子力安全文化を醸成するための活動を推進する。

B. 5. 3 工事品質保証責任者

工事品質保証責任者は、工事品質保証活動の管理責任者として、与えられている他の責任と関わりなく、コスト及び工程から十分な独立性を持つ立場より、以下に示す責任と権限を有する。

- (a) 各部門長を指揮し、工事品質保証活動に必要なプロセスの確立、実施及び実効性の維持を行う。
- (b) 当社の工事品質保証活動を円滑に推進するため、品質保証室長に工事品質保証活動の実務を実施させる。
- (c) 工事品質保証計画書の維持管理に責任を持ち、工事品質保証活動の企画、推進、フォローを行う。
- (d) 工事品質保証活動の成果を含む実施状況とその実効性を確認するため、内部工事品質保証監査を実施し、その結果と改善の必要性の有無について社長に報告する。
- (e) 不適合の収集、分析及び工事品質保証上の重大な問題について社長に報告する。
- (f) 全社に亘って、顧客要求事項に対する認識を確実に高めるように工事品質保証活動を統括する。
- (g) 健全な安全文化を育成し、維持することにより、原子力の安全の確保についての認識が向上するようにする。
- (h) すべての要員が関係法令を遵守するようにする。
- (i) マネジメントレビューにおける決定事項について、必要な措置を実施する。
- (j) 社内の工事品質保証活動の概要を全社に周知するため、電子掲示板に工事品質保証活動情報を掲載し、適切な更新を行う。

B. 5. 4 品質保証室長

品質保証室長は、工事品質保証責任者を補佐し、当社の工事品質保証活動の実務を取り纏め、推進する。また、工事品質保証活動に係る実務を行うため、品質保証室員から工事品質保証担当者を選任する。

B. 5. 5 工事品質保証担当者

工事品質保証担当者は、品質保証室長を補佐し、当社の工事品質保証活動に係る実務として、以下の活動を実施する。

- (a) 工事品質保証活動に係る各部門との調整・連絡
- (b) マネジメントレビュー記録作成
- (c) 工事品質保証委員会、工事品質保証連絡会開催に係る取りまとめ
- (d) 工事品質保証活動に係る不適合処置状況の管理
- (e) 内部工事品質保証監査実施に係る取りまとめ

B. 5. 6 管理者（部門長）

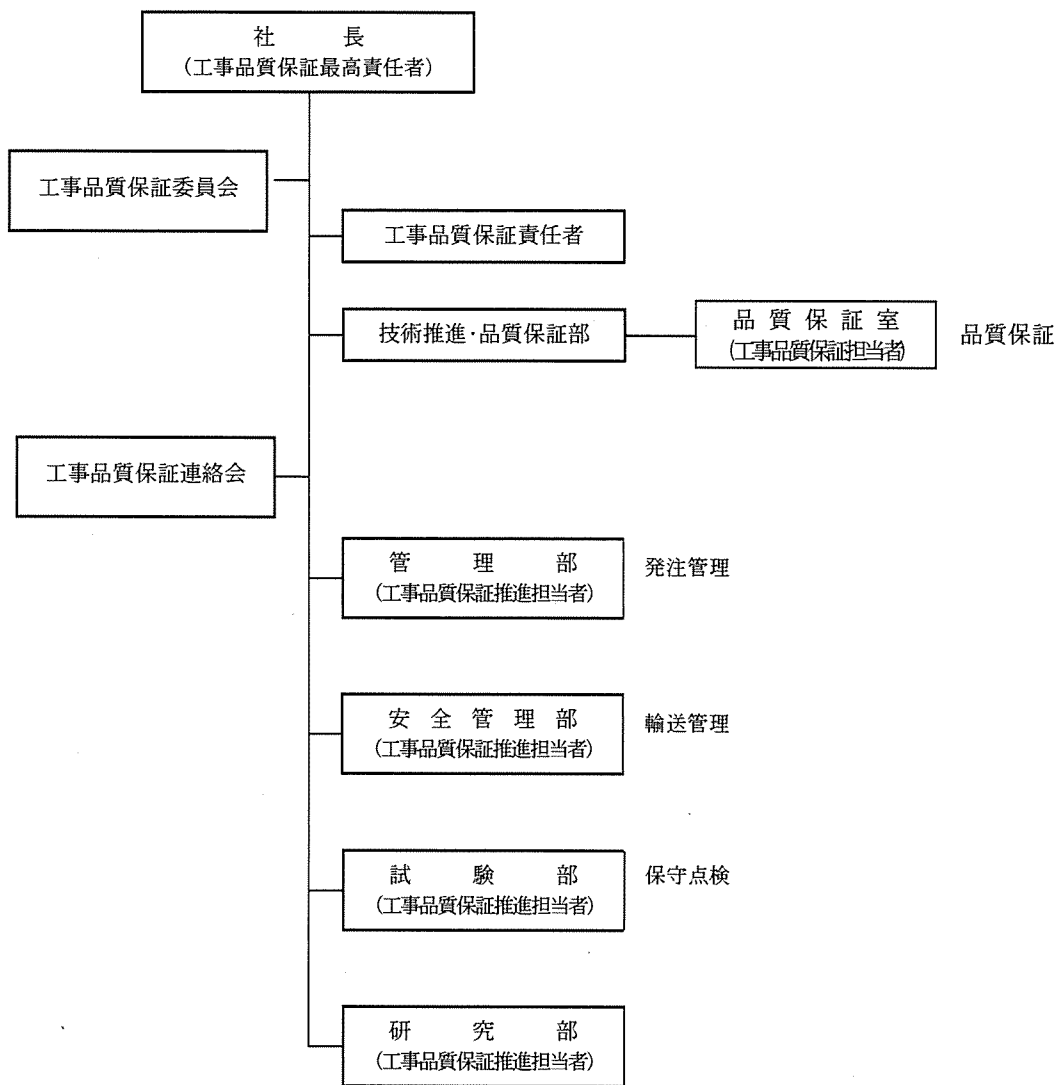
部門長は、(イ)－第B. 1図の工事品質保証体制に示す指揮系列で社長の指揮を受け、

自部門の業務を統括し、以下に示す責任と権限を有する。

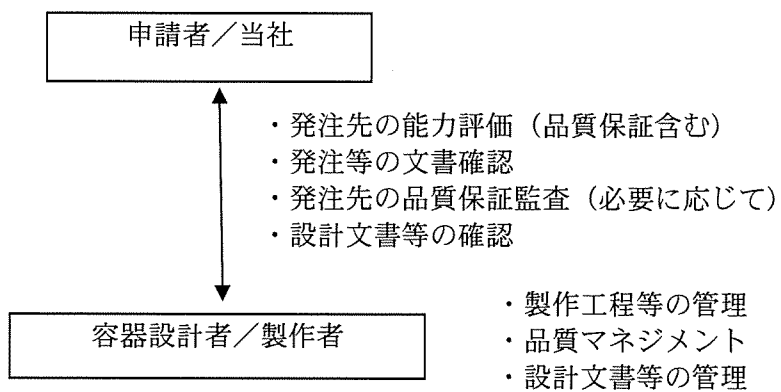
- (a) 担当業務を実施するに当たり、部門長不在時代行者の指名を含む自部門内の業務分担を明確にし、文書化する。
- (b) 担当業務を実施するに当たり、個別業務のプロセスを確立し、実施するとともに、その実効性を維持する。
- (c) 社長の提示する年度毎の品質目標（社工事情質保証活動計画）に従って、各部門の品質目標達成のための活動計画（部工事情質保証活動計画）を設定する。
活動計画の設定では、前年度活動結果を踏まえ、自部門の課題を明確にする。
- (d) 自部門の工事情質保証活動を統括すると共に、活動の実施状況とその実効性を評価し、適宜改善を図る。
- (e) 健全な安全文化を育成し、維持する。
- (f) 関係法令を遵守し、自部門の要員が関係法令を遵守するよう監督・指導する。
- (g) 部門長は、与えられた責任及び権限の範囲において、原子力安全のためのリーダーシップを発揮し、次に掲げる事項を確実に実施する。
 - ①工事情質目標を設定し、その目標の達成状況を確認するため、業務の実施状況を監視測定する。
 - ②要員が、原子力の安全に対する意識を向上し、かつ、原子力の安全への取組を積極的に行えるようにする。
 - ③原子力の安全に係る意思決定の理由及びその内容を、関係する要員に確実に伝達する。
 - ④常に問いかける姿勢及び学習する姿勢を要員に定着させるとともに、要員が、積極的に原子力安全に関する問題の報告を行えるようにする。
 - ⑤要員が、積極的に業務の改善に対する貢献を行えるようにする。
- (h) 部門長は、管理監督する業務に関する自己評価（安全文化についての弱点のある分野及び強化すべき分野に係るものを含む）を、あらかじめ定められた間隔で実施する。
- (i) 自部門の工事情質保証推進担当者を毎年度選任し、自部門の工事情質保証活動の推進、取りまとめに当たらせる。

B. 5. 7 工事情質保証推進担当者

工事情質保証推進担当者は、自部門の工事情質保証活動の推進、取りまとめを行うとともに、工事情質保証委員会及び工事情質保証連絡会の構成員として活動する。



(イ) - 第B. 1図 工事品質保証組織図



(イ) - 第B. 2図 輸送容器の申請者，容器設計・製作に係る関係

(イ) - C 教育・訓練

C. 1 資源の提供

当社は、工物品質保証活動を実行し、維持し、その実効性を継続的に改善し、原子力の安全を確実なものとするため、及び顧客の要求事項を満たし、顧客満足を向上させるために必要な経営資源(要員、インフラストラクチャー、サービス及び適正な作業環境、その他必要な資源等)を、社内規定に従って、提供する。

C. 2 人的資源

(a) 要員

部門長は、製品品質に影響がある業務に要員(協力会社員を含む、以下同じ)を従事させる場合は、必要な力量を明確にし、教育、訓練、技能及び経験から判断して必要な力量を有する要員を従事させる。

(b) 力量及び教育・訓練

部門長は、製品品質に影響がある業務に従事する要員に対し、業務に必要な力量を確保するために教育・訓練その他の措置(必要な力量を有する要員を新たに配属し、又は雇用することを含む)を実施する。

部門長は、要員の業務に必要な力量を習得、維持、向上させることを目的として、対象者の知識、経験、熟練度に応じた教育・訓練を別途定める社内規定に従って実施し(協力会社員の教育・訓練を所属会社に依頼する場合は、その結果についての報告を受ける)、その結果の実効性を評価し、該当する記録を作成して管理する。

C. 3 工物品質保証教育

工物品質保証責任者は、製品品質に影響がある業務に従事する要員に対し、自らの活動が工物品質保証活動の実効性を維持するために持つ意味と重要性、並びに品質目標の達成に向けて自らがどのように貢献できるかを認識させ、原子力の安全に対する当該業務の重要性を認識させることを目的として、以下の項目から適宜選択し、自ら又は適任者に依頼して、工物品質保証教育を年1回以上実施し、その結果の実効性を評価し、該当する記録を作成して管理する。

- (a) 工物品質保証計画書及び当年度の品質目標
- (b) 不適合管理要領及び過去の不適合事例と再発防止対策の確認
- (c) 原子力安全意識と倫理観
- (d) 工物品質保証計画書引用規格の要求事項
- (e) その他工物品質保証に関するトピックス

(イ) -D 設計管理（設計開発）

D. 1 設計・開発の計画

- (a) 設計・開発の実施に当たっては、関連設計、法令・規格・基準、顧客要求事項を考慮して設計・開発計画を策定（不適合及び予期せぬ事象の発生等を未然に防止するための活動を行うことを含む）し、設計・開発を管理する。
- (b) 設計・開発計画の策定に当たっては、次の事項を明確にする。
 - ①設計・開発の段階（プロセス）、性質、期間及び複雑さの程度
 - ②設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認
 - ③設計・開発に関する責任及び権限
 - ④設計・開発に必要な資源
- (c) 効果的なコミュニケーションと責任の明確な割当を確実にするため、関係部門との設計取り合い点（インターフェース）情報を明確にする。これらの情報は、定められた伝達ルートで入手し、文書で確認する。
- (d) 策定した設計・開発計画は、設計・開発の進行に応じて適切に変更する。

※：設計・開発には設備、施設、ソフトウェア及び手順書に関する設計・開発を含む。

D. 2 設計・開発へのインプット

設計要求事項に関連するインプット情報を明確にし、記録を管理する。

- (a) 設計・開発へのインプット情報には次の事項を含める。
 - ①製品の機能及び性能に関する要求事項
 - ②適用される法令・規制要求事項
 - ③適用可能な場合には、以前の類似した設計から得られた情報
 - ④設計に不可欠なその他の要求事項
- (b) 設計要求事項に関連するインプット情報が適切なものであるかどうかをレビューし、承認する。要求事項には、漏れが無く、曖昧でなく、相反しないことを確認する。

D. 3 設計・開発からのアウトプット

設計・開発からのアウトプット（設計図面、設計計算書、技術仕様書等）は、設計・開発へのインプット情報と対比した検証ができるような様式で提示する。また、プロセスの次の段階に進む前に承認を受ける。

- (a) 設計・開発からのアウトプット情報は次の通りとする。
 - ①設計へのインプット情報で与えられた要求事項を満たす。
 - ②調達、機器等の使用及び個別業務の実施に対して適切な情報を提供する。
 - ③製品の可否判定基準を含むか、又は参照している。
 - ④安全な使用及び適正な使用に不可欠な製品の特性を明確にする。
- (b) 設計・開発のアウトプットは、要求事項がすべて満たされていることを確認の上、上位者の審査、承認を受け、正式文書とする。また、必要に応じ、顧客の承認を得る。

D. 4 設計・開発のレビュー

- (a) 設計・開発の適切な段階において、次の事項を目的として、体系的なレビューを行う。
 - ①設計・開発の結果が要求事項を満たすことができるかどうかを評価する。
 - ②問題を明確にし、必要な処置を提案する。
- (b) レビューへの参加者には、レビューの対象となっている設計に関する部門の代表者が含まれていなければならない。
- (c) レビューの結果及び必要な処置があればその記録を管理する。

D. 5 設計・開発の検証

- (a) 設計・開発からのアウトプットが、設計・開発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を確実にするために、設計・開発の計画に従って検証(設計・開発の計画に従って、次のプロセスに移行する前に個別業務等要求事項への適合性の確認を含む)を行う。
- (b) 過去に安全性・信頼性が実証されていない設計は、新設計として必ず検証を行う。
- (c) 検証の結果及び必要な処置があればその記録を管理する。
- (d) 設計・開発の検証は原設計者以外の者又はグループが実施する。

D. 6 設計・開発の妥当性確認

- (a) 結果として得られる製品が、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すことを確実にするために設計・開発の妥当性確認(実証試験等)を行う。
- (b) 製品の引渡し、又は提供の前に妥当性確認を完了する。機器等の設置後でなければ妥当性確認を行うことができない場合は、当該機器等の使用を開始する前に妥当性確認を行う。
- (c) 妥当性確認の結果及び必要な処置があればその記録を管理する。

D. 7 設計・開発の変更管理

- (a) 設計・開発を変更する場合は、変更内容を明確にし、記録を管理する。
- (b) 設計・開発の変更に対し、その変更を実施する前に、原則として原設計の設計者、レビュー者、検証者等の意見を聴取し、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行う。設計変更のレビュー、検証及び妥当性確認には、その変更が製品を構成する要素及び既に引き渡されている製品に及ぼす影響評価を含める。
- (c) 設計・開発の変更に対するレビュー、検証及び妥当性確認結果及び必要な処置があればその記録を管理する。
- (d) 設計の変更は、原設計に適用された方法と同じ設計管理の方法により実施する。
- (e) 設計変更の審査及び承認は、原則として原設計の審査及び承認を実施した組織が実施する。

(イ) 一E 輸送容器の製造発注（調達）

E. 1 容器製造者の評価（調達プロセス）

当社は、調達する製品（物品又は役務等）が規定された要求事項に適合することを確実にするため、以下を実施する。

- (a) 調達部門は、各活動の重要度に応じて、調達物品等の供給者（調達先）及び調達物品等に適用される管理の方法及び程度を定める。この場合において、一般産業用工業品については、調達物品等の供給者等から必要な情報を入手し、当該一般産業用工業品が調達要求事項に適合していることを確認できるよう管理の方法及び程度を定める。
- (b) 調達部門は、調達物品等の要求事項に従い、調達物品等を供給する能力を根拠として、調達先を評価し、選定する。調達先の評価、選定については、社内規定等に従って実施する。
- (c) 調達部門は、調達先の評価、認定、再評価の記録を管理する。
- (d) 調達部門は、偽造品、不正品等を防止するための対策を講じ、偽造品、不正品等を検出した場合には、関係者へ報告する。
- (e) 調達部門は、製品要求事項への適合に影響を与えるような無理な工程となっていないかなど、調達先との連絡調整を円滑に行う。

E. 2 容器製造者への品質マネジメントシステム要求事項（調達情報）

当社は、調達する製品に関する情報を明確にし、調達要求事項が妥当であることを確認する。

- (a) 調達要求部門は、一般的な契約条項及び次に掲げる調達要求事項から該当する事項を含む調達文書を作成し、必要に応じ、発注前に組織内外の第三者のレビューを受け、調達要求事項が妥当であることを確認する。なお、調達文書（購入仕様書）の標準様式は、社内規定を参照する。
 - ①調達製品の供給者の業務プロセス及び設備に係る要求事項
 - ②調達製品の供給者の要員の力量に係る要求事項
 - ③調達製品の供給者のマネジメントシステムに係る要求事項
 - ④調達製品の不適合の報告（偽造品又は模造品等の報告を含む）及び処理に係る要求事項
 - ⑤調達製品の供給者が健全な安全文化を育成し、維持するために必要な要求事項
 - ⑥一般産業用工業品を機器等に使用する場合の調達先への評価に必要な要求事項
 - ⑦調達製品の供給者への立入（試験、検査、監査）に関する要求事項
 - ⑧その他調達製品に必要な要求事項
- (b) 調達要求部門は、調達先が二次調達先を使用する場合、調達要求事項が二次調達先に適用されることを調達文書で指示する。

- (c) 調達要求部門は、調達製品を受領する場合、調達製品に関する要求事項への適合状況を記録した文書を提出させる。

E. 3 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証（調達製品の検証）

当社は、調達製品が規定した調達要求事項を満たしていることを確実に確認する。

- (a) 調達要求部門は、調達製品が調達文書に規定した調達要求事項を満たしていることを立会試験・検査、品質記録確認、受入検査等により確認する。なお、立会検査及び受入検査は、適切な教育・訓練を受けた者で、顧客の要求等の必要に応じて試験・検査員認定基準に基づき予め社内で認定された試験・検査員が、適切な環境下において実施する。
- (b) 調達要求部門は、調達製品の検証を調達先で実施する場合には、その検証の要領及び調達製品のリリースの方法を調達情報において明確にする。
- (c) 調達要求部門は、公的規格が定められていない特殊な材料について、材料メーカーが発行する材料証明書を受領する際、材料メーカーの発行責任者が明確であること及び品質管理部門等の確認を受けたものであることを確認する。
- (d) 市販品を調達する場合は、調達要求事項を満足していることを評価するとともに、調達製品を明確に識別できる情報を提示する。
- (e) 調達文書に従って調達する製品の受入に際しては、調達物品に関する要求事項への適合状況の確認記録を作成し、管理する。
- (f) 管理責任者（工物品質保証責任者）は、調達製品の重要性等を勘案の上、調達部門と協議を行い、調達先監査を計画、実施する。調達先監査の対象は、各活動に係る調達先とする。また、調達先において重大な不適合が発生した場合や大幅な組織変更又は管理要領の変更等調達先のマネジメントシステムに重大な変更がある場合など各活動の管理責任者が必要と判断した場合は、緊急調査又は特別監査を実施する。

(イ) 一F 取扱い及び保守

F. 1 核燃料物質等の輸送容器の管理

- (a) すべての輸送容器は、発送前点検（外観、線量率、表面密度等）を行う。
- (b) 当社で繰り返し使用する輸送容器（L型、A型等）については、社内規定に従って使用の都度、使用前点検を実施し、その記録を管理する。
- (c) 国（監督官庁）の承認を受けた輸送容器は、社内規定に従って定期点検を1年以内
に実施し、その記録を管理する。
- (d) 輸送容器の取扱い（受入、内容物の収納／取出、搬出）は、手順書に基づき実施する。
- (e) 輸送容器の取扱い上重要な工具・検査機器は、定期的又は使用前に校正及び調整を行い、その校正記録を確認して使用する。
- (f) 輸送容器の取扱い上重要な工具・検査機器の使用中有るいは使用後に、工具・検査機器が校正外れとなっていることや、事前に調整した精度等が許容範囲外であることが判明した時は、作業・検査結果の妥当性を再評価し、記録を管理する。妥当性評価の結果、問題があると判断された場合は、その取扱いについて速やかに顧客及び関係部門と協議する。

(イ) -G 測定、分析及び改善

G. 1 内部品質監査（内部監査）

当社は、主要業務のプロセスを含むマネジメントシステムが「品質・環境・安全衛生マニュアル」及び関連規定の要求事項に適合し、効果的に実施、維持されていることを確認するため、予め定められた間隔で内部監査（定期監査）を実施する。

G. 1. 1 内部監査プログラム

当社は、内部監査の計画及び実施、記録の作成及び結果の報告に関する責任、並びに以下の要求事項を含めて、内部監査の実施要領を各活動で別途規定する。

- (a) 内部監査の判定基準、監査範囲、頻度、方法及び責任を定める。
- (b) 内部監査の対象となり得る部門、個別業務、プロセス等の領域の状態及び重要性並びに従前の監査の結果を考慮して内部監査の対象を選定し、内部監査実施計画を策定し、監査を実施することにより、内部監査の実効性を維持する。内部監査の対象には、各活動の管理責任者を含める。
- (c) 内部監査を行う要員（以下、内部監査員という）の選定及び内部監査の実施において、客観性及び公平性を確保する。
- (d) 監査員又は管理者に自らの業務または管理下にある業務に関する監査をさせない。
- (e) 監査及びその結果の記録を作成し、管理する。
- (f) 内部監査の結果は、被監査部門の管理者に通知し、不適合の通知を受けた管理者は、不適合を除去するための措置及び是正処置を実施するとともに、当該措置の有効性を評価する。

G. 2 不適合品の管理（不適合の管理）

不適合とは「要求事項を満たしていないこと」であり、要求事項とは「明示されている、通常、暗黙のうちに了解されているは、義務として要求されている、ニーズ又は期待」のことである。

- (a) 製品要求事項に適合しない製品が誤って使用される、又は顧客に引き渡されることを防ぐため、不適合製品を識別し、管理する。
- (b) 不適合の処理に関する管理（不適合を関連する管理者に報告することを含む）及びそれに関連する責任及び権限を規定する。
- (c) 不適合に係る記録を作成し、関連する管理者に報告する。
- (d) 該当する場合には、次の一つ又はそれ以上の方法で不適合を処理する。
 - ① 検出された不適合を除去するための措置をとる。
 - ② 当該の権限を持つ者又は顧客が不適合製品に対し、特別採用によって合格と判定するか、または、不適合製品の使用、リリースを許可する。
 - ③ 本来の意図された使用又は適用ができないような措置をとる。
 - ④ 引渡し後、又は使用開始後に不適合製品が検出された場合には、その不適合によ

る影響又は起こり得る影響に対して適切な措置をとる。

- (e) 不適合を除去するための措置を実施した場合には、個別業務等要求事項への適合性を実証するための検証を行う。
- (f) 不適合の内容の記録、及び当該不適合に対して実施した特別採用を含む措置に係る記録を作成し、管理する。
- (g) 顧客の要求事項に基づき、顧客への報告を必要とする不適合の範囲及び重大不適合として管理すべき不適合の範囲を規定する。
- (h) 管理責任者は、不適合の報告、不適合措置、是正処置(再発防止対策を含む)等の不適合管理が適正に実施されることを記録を作成して管理する。

当社の不適合管理の実施要領を各活動で別途規定する。

G. 3 是正処置及び予防処置

G. 3. 1 是正処置

当社は、継続的改善の一環として、不適合の再発防止のため、起こった不適合の原因を除去する処置をとり、記録を作成して管理する。

是正処置は、発見された不適合の持つ影響度に応じた適切なものとして、以下の事項を実施する。

- (a) 不適合(顧客からの苦情を含む)の内容確認(情報の収集、整理及び技術的、人的、組織的側面の考慮を含む)
- (b) 不適合の原因の特定(必要に応じて、日常業務のマネジメントや安全文化の弱点のある分野及び強化すべき分野との関係を整理することを含む)
- (c) 不適合の再発防止を確実にするための処置の必要性の評価
- (d) 必要な処置の決定、変更及び実施(必要に応じて、マネジメントシステムの変更を含む。)
- (e) 実施した処置の結果の記録
- (f) 実施した処置の実効性の評価

G. 3. 2 予防処置(未然防止処置)

当社は、継続的改善の一環として、管理者が業務遂行上の情報等から異常を検知、又は予知し、不適合発生可能性を独自に判断/予知した場合には、起こり得る不適合の原因を除去する処置をとり、記録を作成して管理する。未然防止処置は、起こり得る問題の影響度に応じた適切なものとして、以下の事項を実施する。

- (a) 起こり得る不適合及びその原因の特定
- (b) 不適合の発生を未然防止するための処置の必要性の評価
- (c) 必要な処置の決定及び実施
- (d) 実施した処置及びその結果の記録
- (e) 実施した処置の実効性のレビュー