

核燃料輸送物設計承認申請書の一部補正について

東大安環 第 152 号
令和元年 10 月 3 日

原子力規制委員会 殿

東京都文京区本郷7丁目3番1号
国立大学法人東京大学
学長 五神 真

平成31年4月16日付け東大安環第13号をもって申請しました XXXXXXXXXX 型輸送容器に係る核燃料輸送物設計承認申請書について、下記のとおり一部補正いたします。

記

1. 補正の内容

申請書本文及び別紙記載事項を、別紙-1のとおり補正する。

2. 本補正に係る申請書本文及び別紙記載事項の変更分

別紙-2のとおり

本補正に係る変更箇所

記載事項	変更箇所	変更内容	変更理由
[申請書本文]	・ 5頁 添付表	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
[別紙記載事項]	・ 目次	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(イ)章 核燃料輸送物の説明	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 A. 構造解析	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 B. 熱解析	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 C. 密封解析	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 D. 遮蔽解析	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 E. 臨界解析	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 F. 規則及び告示に対する適合性 の評価	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化
(二)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	・ 全般	・ 詳細は添付のとおり	記載の適正化

本補正に係る申請書本文及び別紙記載事項の変更分

[申請書本文]

1. 変更前
 - (1) 添付表（別紙2-1のとおり）
2. 変更後
 - (1) 第1表（別紙2-2のとおり）

添付表 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量 (FCA 燃料)

種類		照射試験用プルトニウム	照射試験用プルトニウム	照射試験用プルトニウム-ウラン	
性状		固体	固体	固体	
収納物重量		kg 未満	kg 未満	kg 未満	
酸化物重量		-	g 以下	g 以下	
核燃料物質重量		g 以下	g 以下	g 以下	
プルトニウム同位体の重量	²³⁸ Pu	g 以下	g 以下	g 以下	
	²³⁹ Pu	g 以下	g 以下	g 以下	
	²⁴⁰ Pu*1	g 以下	g 以下	g 以下	
	²⁴¹ Pu	g 以下	g 以下	g 以下	
	²⁴² Pu	g 以下	g 以下	g 以下	
²⁴¹ Am と ²⁴¹ Pu の合計重量		g 以下	g 以下	g 以下	
ウラン同位体の重量	²³⁵ U	-	-	g 以下	
	²³⁸ U	-	-	g 以下	
放射能の量	総量*2	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下	
	主要な核種	²³⁸ Pu	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下
		²³⁹ Pu	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下
		²⁴⁰ Pu	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下
		²⁴¹ Pu	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下
		²⁴² Pu	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下
		²⁴¹ Am+ ²⁴¹ Pu	Bq 以下	Bq 以下	Bq 以下
		²³⁵ U	-	-	Bq 以下
	²³⁸ U	-	-	Bq 以下	
	核分裂性プルトニウム同位体濃度		wt%以下	wt%以下	-
プルトニウム富化度		-	-	wt%以下	
核分裂性プルトニウム富化度		-	-	wt%以下	
ウラン濃縮度		-	-	wt%以下	
発熱量		19W 以下	19W 以下	19W 以下	
アクチニド、核分裂生成物、崩壊生成物及び中性子放射化生成物		1000 ppm 未満	1000 ppm 未満	1000 ppm 未満	
型式		燃料	燃料	燃料	
燃焼度		考慮せず*3	考慮せず*3	考慮せず*3	
冷却日数		考慮せず*3	考慮せず*3	考慮せず*3	

*1 : ²⁴⁰Pu の重量は ²⁴¹Pu の重量を超えること。

*2 : 核燃料物質重量が g で最大の放射能の量となる核種組成より算出。

*3 : 極低出力炉 (0~2 kW) の FCA で使用した燃料のため。

・濃縮 ウランを収納する場合は、FCA 燃料との混載はしない。

添付表 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（弥生施設燃料）

種類		濃縮●ウラン	
性状		固体 (●)	
輸送物1基あたりの仕様	収納物重量	●kg 未満	
	核燃料物質重量	●g 以下	
	²³⁵ U 重量	●g 以下	
	放射能の量	総量	●Bq 以下
		²³⁵ U	●Bq 以下
	濃縮度	●wt%以下	
	発熱量	0 ^{*1}	
	アクチニド、核分裂生成物、崩壊生成物及び中性子放射化生成物	100 ppm 未満	
型式	●燃料片		
燃焼度	考慮せず ^{*1}		
冷却日数	考慮せず ^{*1}		

※1：本燃料は未照射燃料相当であるため

・濃縮●ウランを収納する場合は、FCA 燃料との混載はしない。

添付表 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

項目		仕様		
種類		● プルトニウム燃料	● ウラン燃料	
性状		固体 (●)	固体 (●)	
型式		● 燃料	● 燃料 (分割前)	
輸送物1基あたりの仕様	核燃料物質重量 (g)		● 以下	● 以下
	プルトニウム同位体の重量 (g)	^{238}Pu	● 以下	-
		^{239}Pu	● 以下	-
		$^{240}\text{Pu}^{*1}$	● 以下	-
		^{241}Pu	● 以下	-
		^{242}Pu	● 以下	-
	^{241}Am と ^{241}Pu の合計重量 (g)		● 以下	-
	ウラン同位体の重量 (g)	^{235}U	-	● 以下
	核分裂性プルトニウム同位体濃度 (%)		● 以下	-
	ウラン濃縮度 (重量%)		-	● 以下
	放射能の量 (Bq)		● 以下 *2	● 以下
	主要核種の放射能の量 (Bq)	^{238}Pu	● 以下	-
		^{239}Pu	● 以下	-
		^{240}Pu	● 以下	-
		^{241}Pu	● 以下	-
^{242}Pu		● 以下	-	
$^{241}\text{Am}+^{241}\text{Pu}$		● 以下	-	
^{235}U		-	● 以下	
発熱量 (W)		19 以下	0 *4	
燃焼度 (%)		考慮せず *3	考慮せず *4	
冷却日数 (日)		考慮せず *3	考慮せず *4	

※1: ^{240}Pu の重量は ^{241}Pu の重量を超えること。

※2: 核燃料物質重量が ● g で最大の放射能の量となる核種組成より算出。

※3: 極低出力炉 (0~2 kW) の使用した燃料のため。

※4: 未照射燃料相当であるため

[別紙記載事項]

次頁以降に、変更該当頁を添付する。

■ 型核燃料輸送物設計承認申請書

(別紙記載事項)

国立大学法人
東京大学

目 次

(イ) 章 核燃料輸送物の説明	
A. 目的及び条件	(イ) -1
B. 輸送物の種類	(イ) -3
C. 輸送容器	(イ) -4
D. 輸送容器の収納物	(イ) -20
(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ) -1
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.1.2.1 設計の基本	(ロ) -A-2
A.1.2.2 設計の基準	(ロ) -A-4
A.2 重量及び重心	(ロ) -A-14
A.3 材料の機械的性質	(ロ) -A-16
A.4 輸送物の要件	(ロ) -A-22
A.4.1 化学的及び電気的反応	(ロ) -A-22
A.4.2 低温強度	(ロ) -A-22
A.4.3 密封装置	(ロ) -A-24
A.4.4 吊上装置	(ロ) -A-24
A.4.5 固縛装置	(ロ) -A-24
A.4.6 圧 力	(ロ) -A-24
A.4.7 振 動	(ロ) -A-25
A.5 一般の試験条件	(ロ) -A-28
A.5.1 熱的試験	(ロ) -A-28
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ) -A-28
A.5.1.2 熱膨張	(ロ) -A-30
A.5.1.3 応力計算	(ロ) -A-35

A.5.1.4	許容応力との比較	(口)	-A-40
A.5.2	水噴霧	(口)	-A-40
A.5.3	自由落下	(口)	-A-41
A.5.4	積み重ね試験	(口)	-A-42
A.5.5	貫通	(口)	-A-45
A.5.6	角又は縁落下	(口)	-A-45
A.5.7	結果の要約及びその評価	(口)	-A-46
A.6	特別の試験条件	(口)	-A-47
A.6.1	強度試験・落下試験 I (9m 落下時)	(口)	-A-47
A.6.1.1	垂直落下	(口)	-A-48
A.6.1.2	水平落下	(口)	-A-62
A.6.1.3	コーナー落下	(口)	-A-63
A.6.1.4	傾斜落下	(口)	-A-73
A.6.1.5	結果の要約及びその評価	(口)	-A-95
A.6.2	強度試験・落下試験 II (1m 落下時)	(口)	-A-96
A.6.2.1	結果の要約及びその評価	(口)	-A-96
A.6.3	熱的試験	(口)	-A-97
A.6.3.1	温度及び圧力の要約	(口)	-A-97
A.6.3.2	熱膨張	(口)	-A-98
A.6.3.3	許容応力との比較	(口)	-A-99
A.6.4	浸漬	(口)	-A-99
A.6.5	結果の要約及びその評価	(口)	-A-102
A.7	強化浸漬試験	(口)	-A-103
A.8	放射性収納物	(口)	-A-103
A.9	核分裂性輸送物	(口)	-A-104
A.9.1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(口)	-A-104
A.9.2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(口)	-A-105
A.9.2.1	強度試験・落下試験 I (9m 落下時)	(口)	-A-106
A.9.2.2	強度試験・落下試験 II (1m 落下時)	(口)	-A-106
A.9.2.3	熱的試験	(口)	-A-106

A.9.2.4	浸漬	(口)	-A-108
A.9.2.5	結果の要約及びその評価	(口)	-A-108
A.10	付属書類	(口)	-A-109
A.10.1	参考文献	(口)	-A-110
B.	熱解析	(口)	-B-1
B.1	概要	(口)	-B-1
B.1.1	熱設計	(口)	-B-1
B.1.2	熱解析	(口)	-B-1
B.2	材料の熱的性質	(口)	-B-7
B.3	構成要素の仕様	(口)	-B-12
B.3.1	ドラム	(口)	-B-12
B.3.2	断熱材	(口)	-B-12
B.3.3	遮蔽体	(口)	-B-12
B.3.4	PCV、SCV 及びその O リング	(口)	-B-12
B.3.5	衝撃吸収材	(口)	-B-13
B.4	一般の試験条件	(口)	-B-14
B.4.1	熱解析モデル	(口)	-B-14
B.4.1.1	解析モデル	(口)	-B-14
B.4.1.2	試験モデル	(口)	-B-18
B.4.2	最高温度	(口)	-B-18
B.4.3	最低温度	(口)	-B-22
B.4.4	最大内圧	(口)	-B-22
B.4.5	最大熱応力	(口)	-B-24
B.4.6	結果の要約及びその評価	(口)	-B-24
B.5	特別の試験条件	(口)	-B-26
B.5.1	熱解析モデル	(口)	-B-26
B.5.1.1	解析モデル	(口)	-B-26
B.5.1.2	試験モデル	(口)	-B-29
B.5.2	輸送物の評価条件	(口)	-B-29

B.5.3	輸送物温度	(口)	-B-29
B.5.4	最大内圧	(口)	-B-33
B.5.5	最大熱応力	(口)	-B-34
B.5.6	結果の要約及びその評価	(口)	-B-34
B.6	付属書類	(口)	-B-36
B.6.1	参考文献	(口)	-B-37
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-5
C.2.3	密封装置のガスケット及び溶接部	(口)	-C-6
C.2.4	蓋	(口)	-C-7
C.3	一般の試験条件	(口)	-C-8
C.3.1	放射性物質の漏えい	(口)	-C-8
C.3.1.1	密封装置からの漏えい量	(口)	-C-8
C.3.1.2	PCV からの漏えい率	(口)	-C-8
C.3.1.3	SCV からの漏えい率	(口)	-C-15
C.3.1.4	一般の試験条件における放射性物質漏えい量評価	(口)	-C-20
C.3.2	密封装置の加圧	(口)	-C-23
C.3.3	冷却材汚染	(口)	-C-23
C.3.4	冷却材損失	(口)	-C-23
C.4	特別の試験条件	(口)	-C-24
C.4.1	核分裂生成ガス	(口)	-C-24
C.4.2	放射性物質の漏えい	(口)	-C-24
C.4.2.1	密封装置からの漏えい量	(口)	-C-24
C.4.2.2	放射性物質漏えい量評価	(口)	-C-28
C.5	結果の要約及びその評価	(口)	-C-29
C.6	付属書類	(口)	-C-30

C.6.1	■型輸送容器の発送前検査時を圧力上昇法とした場合の 漏えい量評価	(口) - C-31
C.6.2	参考文献	(口) - C-40
D.	遮蔽解析	(口) - D-1
D.1	概 要	(口) - D-1
D.2	線源仕様	(口) - D-2
D.2.1	ガンマ線源	(口) - D-7
D.2.2	中性子源	(口) - D-9
D.3	モデル仕様	(口) - D-12
D.3.1	解析モデル	(口) - D-12
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(口) - D-22
D.4	遮蔽評価	(口) - D-26
D.4.1	方法	(口) - D-26
D.4.2	計算結果	(口) - D-29
D.5	結果の要約及びその評価	(口) - D-31
D.6	付属書類	(口) - D-32
D.6.1	輸送物外部の線量当量率における表面線量結果補足	(口) - D-33
D.6.2	遮蔽解析における安全裕度について	(口) - D-34
D.6.3	各線源毎の線量評価結果	(口) - D-35
D.6.5	参考文献	(口) - D-52
E.	臨界解析	(口) - E-1
E.1	概 要	(口) - E-1
E.2	解析対象	(口) - E-3
E.2.1	収納物	(口) - E-3
E.2.2	輸送容器	(口) - E-8
E.2.3	中性子吸収材	(口) - E-8
E.3	モデル仕様	(口) - E-9
E.3.1	解析モデル	(口) - E-9

E.3.1.1	孤立系	(ロ)	-E-10
E.3.1.2	配列系	(ロ)	-E-10
E.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)	-E-19
E.4	未臨界評価	(ロ)	-E-21
E.4.1	計算条件	(ロ)	-E-21
E.4.2	輸送物への水の浸入等	(ロ)	-E-22
E.4.3	計算方法	(ロ)	-E-22
E.4.4	計算結果	(ロ)	-E-23
E.4.4.1	孤立系	(ロ)	-E-23
E.4.4.2	配列系	(ロ)	-E-24
E.5	ベンチマーク試験	(ロ)	-E-26
E.5.1	ベンチマーク試験	(ロ)	-E-26
E.5.2	臨界判定基準の決定	(ロ)	-E-26
E.6	結果の要約及びその評価	(ロ)	-E-27
E.7	付属書類	(ロ)	-E-28
E.7.1	核分裂性物質の違いによる影響	(ロ)	-E-29
E.7.2	配列系輸送物計算モデルの補足 1	(ロ)	-E-30
E.7.3	配列系輸送物計算モデルの補足 2	(ロ)	-E-31
E.7.4	特別の試験条件モデルの火災及び落下試験データ	(ロ)	-E-34
E.7.5	配列系-クラスタモデルの補足	(ロ)	-E-35
E.7.6	参考文献	(ロ)	-E-37
F.	規則及び告示に対する適合性の評価	(ロ)	-F-1
 (ハ) 章 品質マネジメントの基本方針			
A.	品質マネジメントシステム	(ハ)	-A-1
B.	申請者の責任	(ハ)	-B-1
C.	教育・訓練	(ハ)	-C-1
D.	設計管理	(ハ)	-D-1
E.	輸送容器の製造発注	(ハ)	-E-1

F. 取扱い及び保守 (ハ) -F-1

(ニ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

A. 輸送物の取扱い方法 (ニ) -A-1

A.1 装荷方法 (ニ) -A-1

A.2 輸送物の発送前検査 (ニ) -A-1

A.3 取出し方法 (ニ) -A-4

A.4 空容器の準備 (ニ) -A-4

B. 保守条件 (ニ) -B-1

B.1 外観検査 (ニ) -B-1

B.2 耐圧検査 (ニ) -B-1

B.3 気密漏えい検査 (ニ) -B-1

B.4 遮蔽検査 (ニ) -B-1

B.5 未臨界検査 (ニ) -B-1

B.6 熱検査 (ニ) -B-2

B.7 吊上検査 (ニ) -B-2

B.8 作動確認検査 (ニ) -B-2

B.9 補助系の保守 (ニ) -B-2

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守 (ニ) -B-2

B.11 輸送容器の保管 (ニ) -B-2

B.12 記録の保管 (ニ) -B-2

B.13 その他 (ニ) -B-2

(ホ) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項 (ホ) -1

目 次

(イ) - 第 C.1 図	■ 型輸送容器の概念図	(イ) - 5
(イ) - 第 C.2 図	■ 型輸送容器の断面図	(イ) - 6
(イ) - 第 C.3 図	■ 型輸送容器 (PCV) の密封境界	(イ) - 7
(イ) - 第 C.4 図	■ 型輸送容器荷姿	(イ) - 8
(イ) - 第 C.5 図	PCV 及び SCV の配置	(イ) - 12
(イ) - 第 C.6 図	遮蔽体の断面図	(イ) - 14
(イ) - 第 C.7 図	断熱材の断面図	(イ) - 15
(イ) - 第 D.1 図	■ プルトニウム燃料の収納配置 (その 1)	(イ) - 23
(イ) - 第 D.2 図	■ プルトニウム燃料の収納配置 (その 2)	(イ) - 24
(イ) - 第 D.3 図	収納する核燃料物質の概略構造 (■ プルトニウム燃料)	(イ) - 25
(イ) - 第 D.4 図	■ ウラン燃料の収納配置 (例)	(イ) - 26
(イ) - 第 D.5 図	■ ウラン燃料の切断イメージ図	(イ) - 27
(ロ) - 第 A.1 図	輸送物重心位置	(ロ) - A - 15
(ロ) - 第 A.2 図	繊維板の荷重-たわみデータ	(ロ) - A - 21
(ロ) - 第 A.3 図	振動の解析モデル	(ロ) - A - 27
(ロ) - 第 A.4 図	静水破裂試験前後の PCV	(ロ) - A - 36
(ロ) - 第 A.5-1 図	PCV 及び SCV の境界応力評価箇所	(ロ) - A - 37
(ロ) - 第 A.5-2 図	PCV 及び SCV の境界応力評価モデル図	(ロ) - A - 38
(ロ) - 第 A.6 図	落下姿勢 (9 m 落下試験)	(ロ) - A - 51
(ロ) - 第 A.7 図	試験圧力に加圧するための架台に設置した PCV	(ロ) - A - 56
(ロ) - 第 A.8 図	水平落下前の加圧された PCV を収納した原型容器 1	(ロ) - A - 56
(ロ) - 第 A.9 図	水平落下による変形状態 (原型容器 1 試験)	(ロ) - A - 56
(ロ) - 第 A.10 図	水平落下によるドラムクロージングリングの変形状態 (原型容器 1 試験)	(ロ) - A - 57
(ロ) - 第 A.11 図	下部垂直落下による変形状態 (原型容器 1 試験)	(ロ) - A - 57
(ロ) - 第 A.12 図	下部垂直落下による底部近傍の側部の変形状態 (原型容器 1 試験)	(ロ) - A - 57

(口) - 第 A.13 図	上部垂直落下による上部の変形状態 (原型容器 1 試験)	(口) - A-58
(口) - 第 A.14 図	エアシールドと上部断熱材の分離部分 (原型容器 1 試験)	(口) - A-58
(口) - 第 A.15 図	遮蔽体蓋の内側表面 (原型容器 1 試験)	(口) - A-59
(口) - 第 A.16 図	遮蔽体のステンレス鋼被覆からの鉛の分離と断熱材の 局所的な変形 (原型容器 1 試験)	(口) - A-59
(口) - 第 A.17 図	水平落下前の加圧された SCV を収納した原型容器 2	(口) - A-60
(口) - 第 A.18 図	水平落下による変形状態 (上部側) (原型容器 2 試験)	(口) - A-60
(口) - 第 A.19 図	水平落下による原型容器の損傷状態 (原型容器 2 試験)	(口) - A-60
(口) - 第 A.20 図	下部垂直落下による変形状態 (原型容器 2 試験) ...	(口) - A-61
(口) - 第 A.21 図	上部垂直落下によるフープの変形 (原型容器 2 試験)	(口) - A-61
(口) - 第 A.22 図	上部垂直落下による上部の変形状態 (原型容器 2 試験)	(口) - A-61
(口) - 第 A.23 図	供試体(輸送容器).....	(口) - A-65
(口) - 第 A.24 図	落下姿勢(コーナー落下試験)	(口) - A-67
(口) - 第 A.25 図	コーナー落下試験における寸法測定箇所	(口) - A-68
(口) - 第 A.26 図	コーナー落下試験写真 1	(口) - A-69
(口) - 第 A.27 図	コーナー落下試験写真 2	(口) - A-70
(口) - 第 A.28 図	コーナー落下試験写真 3	(口) - A-71
(口) - 第 A.29 図	落下姿勢 (傾斜落下試験)	(口) - A-75
(口) - 第 A.30 図	供試体 1 1.2 m(4 ft.)落下試験前 (コーナー落下) .	(口) - A-85
(口) - 第 A.31 図	供試体 1 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (コーナー落下) .	(口) - A-85
(口) - 第 A.32 図	供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験前 (傾斜落下:) (口) - A-85	(口) - A-85
(口) - 第 A.33 図	供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下:) (口) - A-86	(口) - A-86
(口) - 第 A.34 図	供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下:) (口) - A-86	(口) - A-86
(口) - 第 A.35 図	供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下:) (口) - A-86	(口) - A-86
(口) - 第 A.36 図	供試体 1 落下試験 II 後	(口) - A-87
(口) - 第 A.37 図	供試体 1 落下試験 II 後	(口) - A-87

(口) - 第 A.38 図	供試体 2 1.2 m(4 ft.)落下試験前 (コーナー落下)	(口) -A-88
(口) - 第 A.39 図	供試体 2 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (コーナー落下)	(口) -A-88
(口) - 第 A.40 図	供試体 2 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (コーナー落下)	(口) -A-88
(口) - 第 A.41 図	供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-89
(口) - 第 A.42 図	供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-89
(口) - 第 A.43 図	供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-89
(口) - 第 A.44 図	供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-90
(口) - 第 A.45 図	供試体 2 落下試験 II 前	(口) -A-90
(口) - 第 A.46 図	供試体 2 落下試験 II 後	(口) -A-90
(口) - 第 A.47 図	供試体 3 1.2 m(4 ft.)落下試験前 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-91
(口) - 第 A.48 図	供試体 3 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-91
(口) - 第 A.49 図	供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験前 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-91
(口) - 第 A.50 図	供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-92
(口) - 第 A.51 図	供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-92
(口) - 第 A.52 図	供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-92
(口) - 第 A.53 図	供試体 3 落下試験 II 前	(口) -A-93
(口) - 第 A.54 図	供試体 3 落下試験 II 後	(口) -A-93
(口) - 第 A.55 図	供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験前 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-93
(口) - 第 A.56 図	供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-94
(口) - 第 A.57 図	供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-94
(口) - 第 A.58 図	供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: ■■■■)	(口) -A-94
(口) - 第 B.1 図	輸送容器の概略図	(口) -B-5
(口) - 第 B.2 図	PCV 内の ■■■■ Pu ボタン収納状況及び収納缶形状	(口) -B-6
(口) - 第 B.3 図	熱解析モデル(収納缶に ■■■■ Pu を収納した輸送容器)	(口) -B-16
(口) - 第 B.4 図	一般の試験条件下における輸送物温度分布(日向)	(口) -B-19
(口) - 第 B.5 図	一般の試験条件下における輸送物の PCV 及び SCV の温度分布(日向)	(口) -B-20
(口) - 第 B.6 図	一般の試験条件下における輸送物の 断熱材温度分布(日向)	(口) -B-20
(口) - 第 B.7 図	火災後の断熱材及び炭化形状	(口) -B-29
(口) - 第 B.8 図	火災後 ■■■■ 時間の輸送物温度	(口) -B-32





(ロ) - 第 B.9 図	特別の試験条件下の収納容器の温度	(ロ) - B-32
(ロ) - 第 C.1 図	収納容器密封境界	(ロ) - C-3
(ロ) - 第 C.2 図	収納容器蓋部密封境界詳細図	(ロ) - C-4
(ロ) - 第 C.3 図	一般の試験条件における漏えいモデル概念図	(ロ) - C-9
(ロ) - 第 C.4 図	特別の試験条件における漏えいモデル概念図	(ロ) - C-27
(ロ) - 第 D.1 図	通常輸送時の輸送容器モデル	(ロ) - D-14
(ロ) - 第 D.2 図	PCV 及び SCV の蓋部詳細	(ロ) - D-16
(ロ) - 第 D.3 図	特別の試験条件下の輸送容器モデル	(ロ) - D-17
(ロ) - 第 D.4 図	通常輸送時の線源モデル	(ロ) - D-20
(ロ) - 第 D.5 図	特別の試験条件下での線源モデル	(ロ) - D-21
(ロ) - 第 D.6 図	輸送容器モデルの材料	(ロ) - D-25
(ロ) - 第 E.1 図	収納する核燃料物質の形状 ( プルトニウム燃料)	(ロ) - E-7
(ロ) - 第 E.2 図	輸送容器解析モデル図 ( プルトニウム燃料)	(ロ) - E-15
(ロ) - 第 E.3 図	輸送容器解析モデル図 ( ウラン燃料)	(ロ) - E-16
(ロ) - 第 E.4 図	収納物底部位置配置時の解析モデル図	(ロ) - E-17
(ロ) - 第 E.5 図	特別の試験条件での配列系モデル、平面図	(ロ) - E-18
(ロ) - 第 E.6 図	一般の試験条件における断熱材領域及び容器間空隙中の 水分量 (wt%) の関数としての中性子実効増倍率(k_{eff})	(ロ) - E-32
(ロ) - 第 E.7 図	特別の試験条件における断熱材領域及び容器間空隙中の 水分量 (wt%) の関数としての中性子実効増倍率(k_{eff})	(ロ) - E-33
(ロ) - 第 E.8 図	5×5×2 配列 4-クラスタモデル、平面図	(ロ) - E-36
(ロ) - 第 E.9 図	5×5×2 配列 4-クラスタモデル、断面図	(ロ) - E-36
(ハ) - 第 A.1 図	文書及び品質記録の体系図	(ハ) - A-3
(ハ) - 第 B.1 図	品質マネジメントに係る原子力専攻の責任体制	(ハ) - B-1
(ハ) - 第 D.1 図	 型の縦断面図	(ハ) - D-1

表 目 次

(イ) - 第 A.1 表	輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様	(イ) - 2
(イ) - 第 C.1 表	輸送容器の構成材料	(イ) - 17
(イ) - 第 C.2 表	輸送容器各部の寸法	(イ) - 19
(イ) - 第 C.3 表	輸送容器重量	(イ) - 19
(イ) - 第 D.1 表	収納する核燃料物質の仕様 (■ プルトニウム燃料)	(イ) - 21
(イ) - 第 D.2 表	収納する核燃料物質の仕様 (■ ウラン燃料)	(イ) - 22
(ロ) - 第 A.1 表	輸送容器の構造設計の条件及び評価方法	(ロ) - A-5
(ロ) - 第 A.2 表	輸送物部品重量	(ロ) - A-14
(ロ) - 第 A.3 表	輸送容器材料仕様	(ロ) - A-17
(ロ) - 第 A.4 表	ドラム (蓋、胴体、底部) の機械的性質	(ロ) - A-18
(ロ) - 第 A.5 表	ドラム閉止部品の機械的性質	(ロ) - A-18
(ロ) - 第 A.6 表	繊維板の機械的性質	(ロ) - A-18
(ロ) - 第 A.7 表	O リングの機械的性質	(ロ) - A-19
(ロ) - 第 A.8 表	一次収納容器及び二次収納容器の機械的性質	(ロ) - A-19
(ロ) - 第 A.9 表	一時収納容器及び二次収納容器の許容応力、降伏及び引張強さ	(ロ) - A-20
(ロ) - 第 A.10 表	輸送容器における構造物の異種接触材料	(ロ) - A-23
(ロ) - 第 A.11 表	一次収納容器内の異種接触材料	(ロ) - A-23
(ロ) - 第 A.12 表	一般の試験条件下における輸送容器設計温度、設計圧力	(ロ) - A-29
(ロ) - 第 A.13 表	PCV 及び SCV に発生する最大熱応力 (■ ■ ■ ■ ■)	(ロ) - A-33
(ロ) - 第 A.14 表	収納容器における 1 次及び 2 次 (熱) 最大応力の組み合わせ	(ロ) - A-39
(ロ) - 第 A.15 表	■ 型及び ■ 型輸送物の構造概要	(ロ) - A-43
(ロ) - 第 A.16 表	■ 型及び ■ 型輸送物の仕様概要	(ロ) - A-44
(ロ) - 第 A.17 表	9 m 落下の原型試験の試験手順	(ロ) - A-50

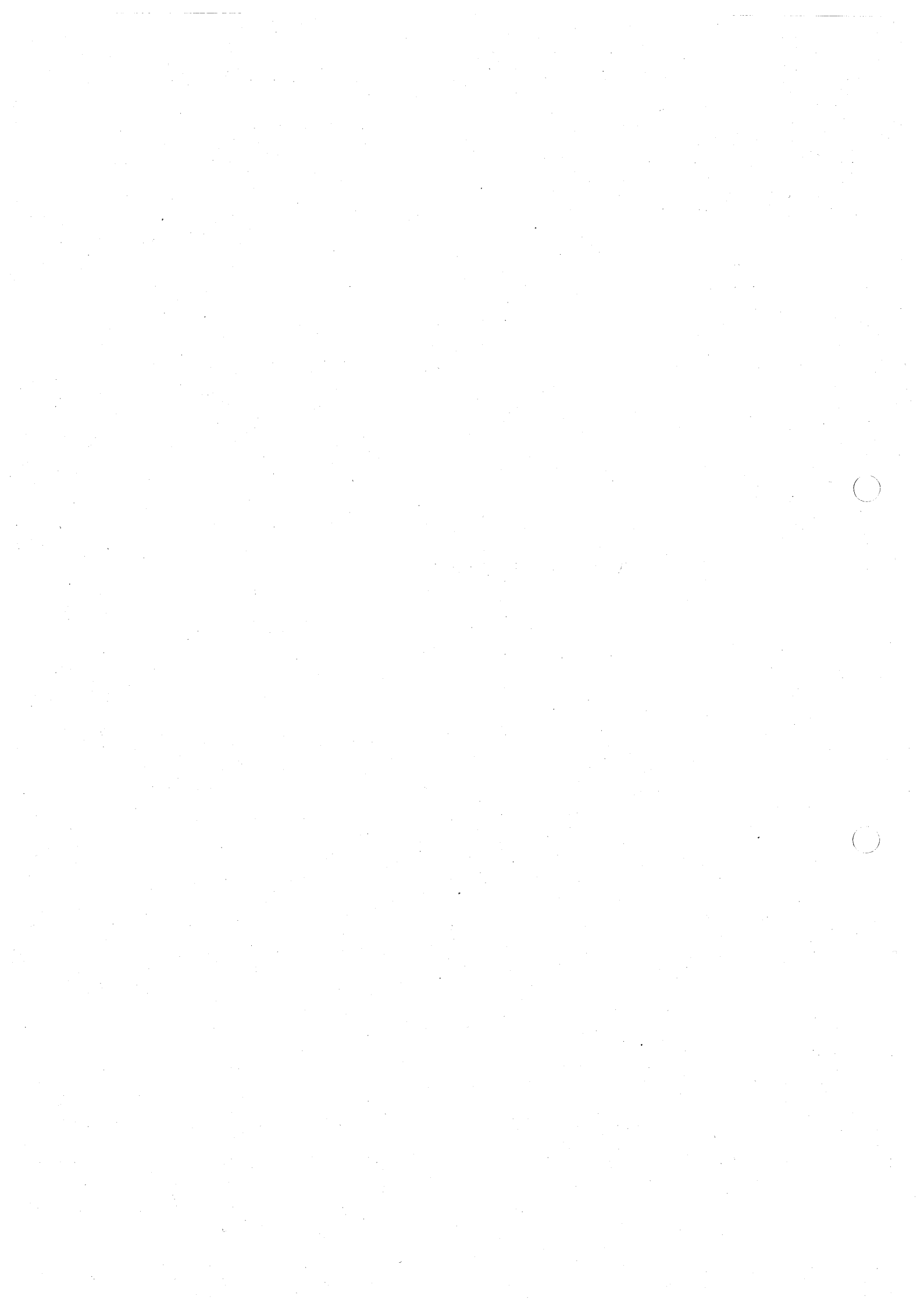
(口) - 第 A.18 表	9 m 落下試験結果	(口) - A-52
(口) - 第 A.19 表	9 m 落下試験前後の収納容器圧力測定結果	(口) - A-53
(口) - 第 A.20 表	9 m 落下試験前後のヘリウムリークテスト結果	(口) - A-53
(口) - 第 A.21 表	コーナー落下の原型試験の試験手順	(口) - A-66
(口) - 第 A.22 表	コーナー落下試験結果	(口) - A-72
(口) - 第 A.23 表	コーナー落下試験前後のヘリウムリークテスト結果	(口) - A-72
(口) - 第 A.24 表	傾斜落下試験の概要	(口) - A-74
(口) - 第 A.25-1 表	傾斜落下試験結果	(口) - A-77
(口) - 第 A.25-2 表	傾斜落下試験前後のヘリウムリークテスト結果	(口) - A-79
(口) - 第 A.26 表	特別の試験条件下における輸送容器設計温度、 試験圧力	(口) - A-97
(口) - 第 A.27 表	特別の試験条件下における応力計算結果	(口) - A-98
(口) - 第 A.28 表	■型及び■型輸送物の構造概要	(口) - A-100
(口) - 第 A.29 表	■型及び■型輸送物の仕様概要	(口) - A-101
(口) - 第 A.30 表	輸送物各部の温度の要約	(口) - A-107
(口) - 第 B.1 表	収納物の最大崩壊熱	(口) - B-2
(口) - 第 B.2 表	熱解析の条件	(口) - B-3
(口) - 第 B.3 表	熱解析の方法	(口) - B-4
(口) - 第 B.4 表	輸送容器材料の熱的性質	(口) - B-8
(口) - 第 B.5 表	熱解析に使用する断熱材（繊維板）の熱的性質	(口) - B-9
(口) - 第 B.6 表	空気（1 気圧）の熱的性質	(口) - B-10
(口) - 第 B.7 表	表面放射率	(口) - B-11
(口) - 第 B.8 表	自然対流熱伝達係数	(口) - B-17
(口) - 第 B.9 表	太陽放射熱	(口) - B-18
(口) - 第 B.10 表	一般の試験条件下における最高温度	(口) - B-19
(口) - 第 B.11 表	自由容積及び充填気体質量	(口) - B-22
(口) - 第 B.12 表	一般の試験条件下における輸送容器最高温度、 最大内圧のまとめ	(口) - B-25
(口) - 第 B.13 表	一般の試験条件下における設計基準	(口) - B-25

(ロ) - 第 B.14 表	一般の試験条件における PCV 及び SCV 設計圧力	… (ロ) -B-25
(ロ) - 第 B.15 表	特別の試験条件下の輸送物温度	… (ロ) -B-31
(ロ) - 第 B.16 表	特別の試験条件下における輸送容器最高温度の要約	… (ロ) -B-33
(ロ) - 第 B.17 表	特別の試験条件下における輸送容器最高温度、 最大内圧のまとめ	… (ロ) -B-35
(ロ) - 第 B.18 表	特別の試験条件における設計基準	… (ロ) -B-35
(ロ) - 第 B.19 表	特別の試験条件における PCV 及び SCV 設計圧力	… (ロ) -B-35
(ロ) - 第 C.1 表	密封装置の最高圧力及び最高温度	… (ロ) -C-2
(ロ) - 第 C.2 表	グランドナット	… (ロ) -C-5
(ロ) - 第 C.3 表	ガスケットの寸法及び材質	… (ロ) -C-6
(ロ) - 第 C.4 表	コーンシールナット	… (ロ) -C-7
(ロ) - 第 C.5 表	PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径	… (ロ) -C-11
(ロ) - 第 C.6 表	PCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の 最大ガス漏えい率	… (ロ) -C-12
(ロ) - 第 C.7 表	PCV リークテストポートプラグ部の仮想漏えい孔径	(ロ) -C-13
(ロ) - 第 C.8 表	PCV リークテストポートプラグ部の一般の 試験条件下の最大ガス漏えい率	… (ロ) -C-14
(ロ) - 第 C.9 表	SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径	… (ロ) -C-16
(ロ) - 第 C.10 表	SCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の 最大ガス漏えい率	… (ロ) -C-17
(ロ) - 第 C.11 表	SCV リークテストポートプラグ部の仮想漏えい孔径	(ロ) -C-18
(ロ) - 第 C.12 表	SCV リークテストポートプラグ部の一般の 試験条件下の最大ガス漏えい率	… (ロ) -C-19
(ロ) - 第 C.13 表	漏えい量評価に使用する核種重量	… (ロ) -C-20
(ロ) - 第 C.14 表	一般の試験条件下における漏えい計算結果	… (ロ) -C-22
(ロ) - 第 C.15 表	PCV 外側 O リング部の特別の試験条件下の 最大ガス漏えい率	… (ロ) -C-25
(ロ) - 第 C.16 表	PCV リークテストポートプラグ部の特別の 試験条件下の最大ガス漏えい率	… (ロ) -C-26

(口) - 第 C.17 表	特別の試験条件下における漏えい計算結果	(口) - C-28
(口) - 第 C.18 表	PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径	(口) - C-32
(口) - 第 C.19 表	PCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の 最大ガス漏えい率	(口) - C-33
(口) - 第 C.20 表	SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径	(口) - C-34
(口) - 第 C.21 表	SCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の 最大ガス漏えい率	(口) - C-35
(口) - 第 C.22 表	一般の試験条件下における漏えい計算結果	(口) - C-37
(口) - 第 C.23 表	PCV 外側 O リング部の特別の試験条件下の 最大ガス漏えい率	(口) - C-38
(口) - 第 C.24 表	特別の試験条件下における漏えい計算結果	(口) - C-39
(口) - 第 D.1 表	輸送容器に収納する核燃料物質の仕様 (プルトニウム燃料及び ウラン燃料)	(口) - D-3
(口) - 第 D.2 表	単位重量当たりの線量当量率 (平均値+3 σ)	(口) - D-4
(口) - 第 D.3 表	単位重量当たりの線量当量率寄与順	(口) - D-5
(口) - 第 D.4 表	線源解析のための核燃料物質の仕様	(口) - D-6
(口) - 第 D.5 表	ガンマ線源核種の崩壊補正時間	(口) - D-7
(口) - 第 D.6 表	ガンマ線源 (同位体毎のガンマ線スペクトルと 1 g あたりのガンマ線強度)	(口) - D-8
(口) - 第 D.7 表	中性子線源 (同位体毎の中性子線スペクトルと 1 g あたりの中性子線強度)	(口) - D-10
(口) - 第 D.8 表	輸送容器モデルの主要寸法	(口) - D-15
(口) - 第 D.9 表	解析モデルにおける線量当量率評価位置	(口) - D-18
(口) - 第 D.10 表	遮蔽材料の密度及び組成	(口) - D-23
(口) - 第 D.11 表	ガンマ線量当量率換算係数	(口) - D-27
(口) - 第 D.12 表	中性子線量当量率換算係数	(口) - D-28
(口) - 第 D.13 表	輸送物外部の線量当量率 (平均値+3 σ)	(口) - D-30
(口) - 第 D.14 表	容器表面線量当量率	(口) - D-33
(口) - 第 D.15 表	²³⁸ Pu (ケース 1) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-36

(口) - 第 D.16 表	^{239}Pu ■■■ (ケース 2) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-37
(口) - 第 D.17 表	^{240}Pu ■■■ (ケース 3) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-38
(口) - 第 D.18 表	^{241}Pu ■■■ (ケース 4) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-39
(口) - 第 D.19 表	^{242}Pu ■■■ (ケース 5) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-40
(口) - 第 D.20 表	^{241}Am ■■■ (ケース 6) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-41
(口) - 第 D.21 表	^{243}Am ■■■ (ケース 7) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-42
(口) - 第 D.22 表	^{244}Cm ■■■ (ケース 8) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-43
(口) - 第 D.23 表	^{237}Np ■■■ (ケース 9) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-44
(口) - 第 D.24 表	^{232}U ■■■ (ケース 10) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-45
(口) - 第 D.25 表	^{233}U ■■■ (ケース 11) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-46
(口) - 第 D.26 表	^{234}U ■■■ (ケース 12) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-47
(口) - 第 D.27 表	^{235}U ■■■ (ケース 13) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-48
(口) - 第 D.28 表	^{236}U ■■■ (ケース 14) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-49
(口) - 第 D.29 表	^{238}U ■■■ (ケース 15) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-50
(口) - 第 D.30 表	^{232}Th ■■■ (ケース 16) の 1 g 当たりの線量当量率	(口) - D-51
(口) - 第 E.1 表	臨界解析条件及び結果	(口) - E-2
(口) - 第 E.2-1 表	核分裂性物質の仕様 (■■■ プルトニウム燃料)	(口) - E-5
(口) - 第 E.2-2 表	核分裂性物質の仕様 (■■■ ウラン燃料)	(口) - E-6
(口) - 第 E.3 表	輸送物モデルのための寸法仕様	(口) - E-12
(口) - 第 E.4 表	通常輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件における ドラム及び断熱材寸法	(口) - E-14
(口) - 第 E.5 表	収納缶の寸法	(口) - E-14
(口) - 第 E.6 表	本核燃料輸送物の材料仕様	(口) - E-20
(口) - 第 E.7 表	配列系輸送物のための臨界評価パラメータ	(口) - E-21
(口) - 第 E.8 表	通常輸送時、一般及び特別の試験条件の 孤立系における臨界解析結果	(口) - E-25
(口) - 第 E.9 表	一般の試験条件の配列系における臨界解析結果	(口) - E-25
(口) - 第 E.10 表	特別の試験条件の配列系における臨界解析結果	(口) - E-25
(口) - 第 E.11 表	バイアス算出結果	(口) - E-26

(ロ) - 第 E.12 表	各計算モデル臨界解析結果	(ロ) - E-27
(ロ) - 第 E.13 表	核分裂性物質の違いによる keff の比較	(ロ) - E-29
(ロ) - 第 E.14 表	特別の試験条件モデルの火災及び落下試験データ ...	(ロ) - E-34
(二) - 第 A.1 表	輸送物発送前検査要領 (プルトニウム燃料装荷時)	(二) - A-2
(二) - 第 A.2 表	輸送物発送前検査要領 (ウラン燃料装荷時) ...	(二) - A-3
(二) - 第 B.1 表	定期自主検査要領	(二) - B-3



(イ) 章 核燃料輸送物の説明

(イ)章 核燃料輸送物の説明

A. 目的及び条件

本輸送物は、研究炉で用いられた■■■■プルトリウム燃料及び■■■■ウラン燃料を輸送するために使用する。

- | | |
|-------------------------|--|
| (1) 輸送容器の型名 | ■■■■型 |
| (2) 輸送物の種類 | BM型核分裂性輸送物 |
| (3) 輸送制限個数 | 25個 |
| (4) 輸送制限配列 | 任意 |
| (5) 輸送指数 | 10未満 |
| (6) 臨界安全指数 (CSI) | 2.0 |
| (7) 輸送物の重量 | 最大 ■■■■ kg (■■■■ lb) |
| (8) 輸送容器の外寸法 | 公称外径 ■■■■ mm (■■■■ in.)
公称高さ ■■■■ mm (■■■■ in.) |
| (9) 輸送容器の重量 | 公称 ■■■■ kg (■■■■ lb)
最大 ■■■■ kg (■■■■ lb) |
| (10) 輸送容器の主要材質 | |
| (a) ドラム | ステンレス鋼 |
| (b) 一次収納容器 | ステンレス鋼 |
| (c) 二次収納容器 | ステンレス鋼 |
| (d) 遮蔽体 | 鉛 |
| (e) 断熱材 | 繊維板 |
| (11) 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 | |
| | (イ)第 A.1 表に示すとおり。 |
| (12) 輸送形態 | |

輸送は専用積載とし、車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送である。

(イ)-第 A.1 表 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様

項目		仕様		
種類		■ プルトニウム燃料	■ ウラン燃料	
性状		固体(■)	固体(■)	
型式		板状燃料	塊状燃料 ^{注)}	
輸送物 1 基あたりの仕様	核燃料物質重量(g)		■ 以下	
	プルトニウム同位体の重量(g)	²³⁸ Pu	■ 以下	—
		²³⁹ Pu	■ 以下	—
		²⁴⁰ Pu ^{※1}	■ 以下	—
		²⁴¹ Pu	■ 以下	—
		²⁴² Pu	■ 以下	—
	²⁴¹ Am と ²⁴¹ Pu の合計重量(g)		■ 以下	—
	ウラン同位体の重量(g)	²³⁵ U	—	■ 以下
	核分裂性プルトニウム同位体濃度(重量%)		■ 以下	—
	ウラン濃縮度(重量%)		—	■ 以下
	放射能の量(Bq)		■ 以下 ^{※2}	■ 以下
	主要核種の放射能の量(Bq)	²³⁸ Pu	■ 以下	—
		²³⁹ Pu	■ 以下	—
		²⁴⁰ Pu	■ 以下	—
		²⁴¹ Pu	■ 以下	—
²⁴² Pu		■ 以下	—	
²⁴¹ Am+ ²⁴¹ Pu		■ 以下	—	
²³⁵ U		—	■ 以下	
発熱量(W)		19 以下	0 ^{※4}	
燃焼度(%)		■	■	
冷却日数(日)		■	■	

注：円盤状燃料をカットしたもの

※1：²⁴⁰Pu の重量は ²⁴¹Pu の重量を超えること。

※2：核燃料物質重量が ■ g で最大の放射能の量となる核種組成より算出。

※3：極低出力炉（0～2 kW）の使用した燃料のため。

※4：未照射燃料相当であるため

B. 輸送物の種類

BM 型核分裂性輸送物

C. 輸送容器

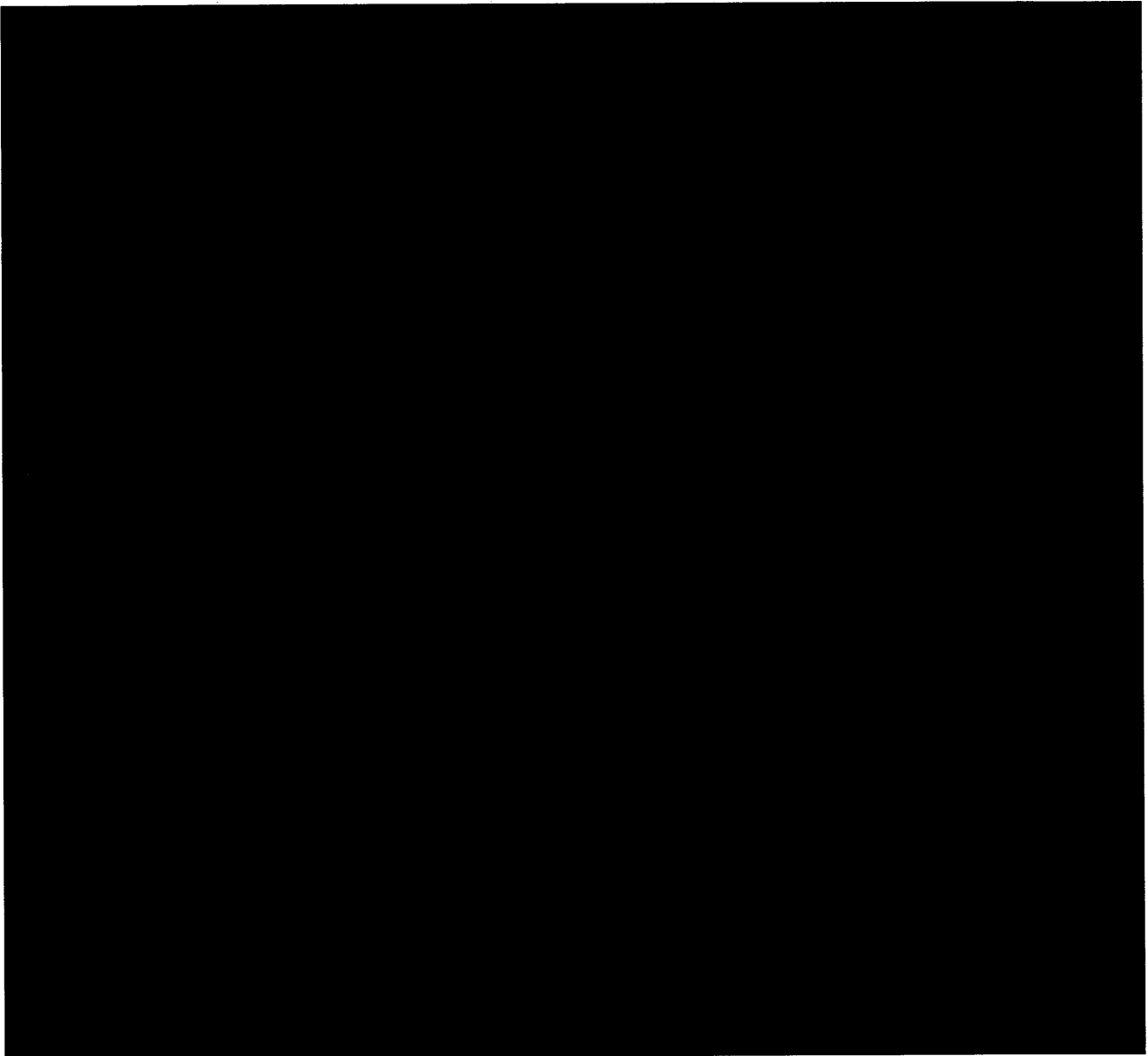
C.1 輸送容器の概要

本輸送容器は円筒形状であり、輸送時及び取扱い時ともに縦置状態で使用される。

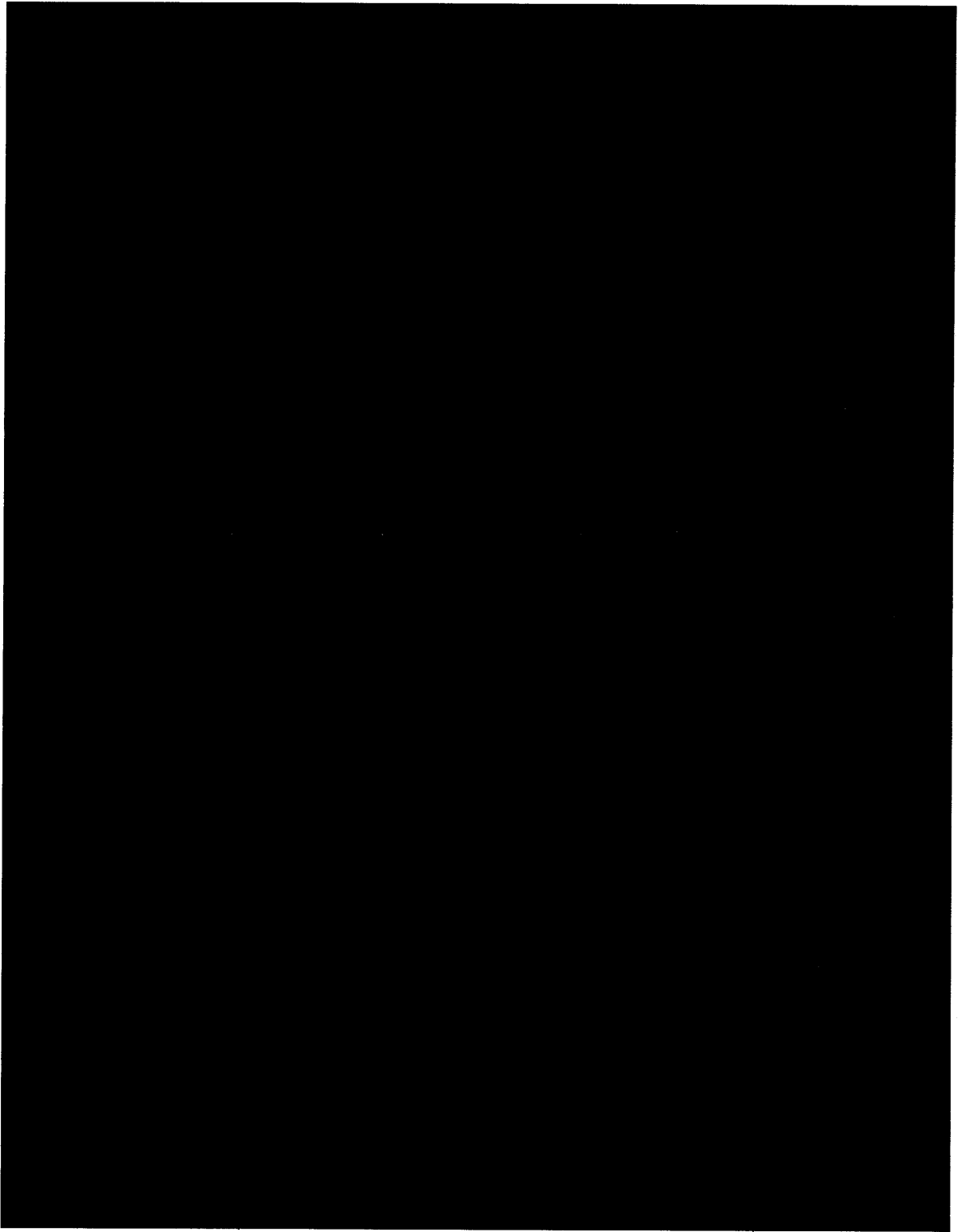
本輸送容器の概念図及び断面図を(イ)第 C.1 図及び(イ)第 C.2 図に示す。

本輸送容器の概要を以下に示す。

- (1) 本輸送容器は、密封機能を有する一次収納容器 (PCV : Primary Containment Vessel) 及び二次収納容器 (SCV : Secondary Containment Vessel) 、並びにそれらを収納するドラムから構成される。SCV はドラムの上部方向から、遮蔽体及び断熱材が組み込まれたドラムに挿入される。PCV は SCV に上部方向から挿入され、PCV には収納物が入られる。
- (2) PCV は設計圧力 \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) 、SCV は設計圧力 \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) の耐圧容器として設計されている。
- (3) 落下等による衝撃の吸収及び火災事故による入熱を防ぐため、輸送容器の側面部、上部及び下部に断熱材が組み込まれている。
- (4) 放射線の遮蔽を目的として、ドラム内部に円筒状の鉛製の遮蔽体が組み込まれている。
- (5) 本輸送容器は PCV 及び SCV から成る 2 重の密封構造から構成される。PCV の密封境界を(イ)第 C.3 図に示す。SCV の密封境界の構造は PCV と同様である。
- (6) 本輸送容器は専用のローディングカート (CRT : Cargo Restraint Transporter) 1 基に 5 基積載され、荷姿となる。荷姿を(イ)第 C.4 図に示す。

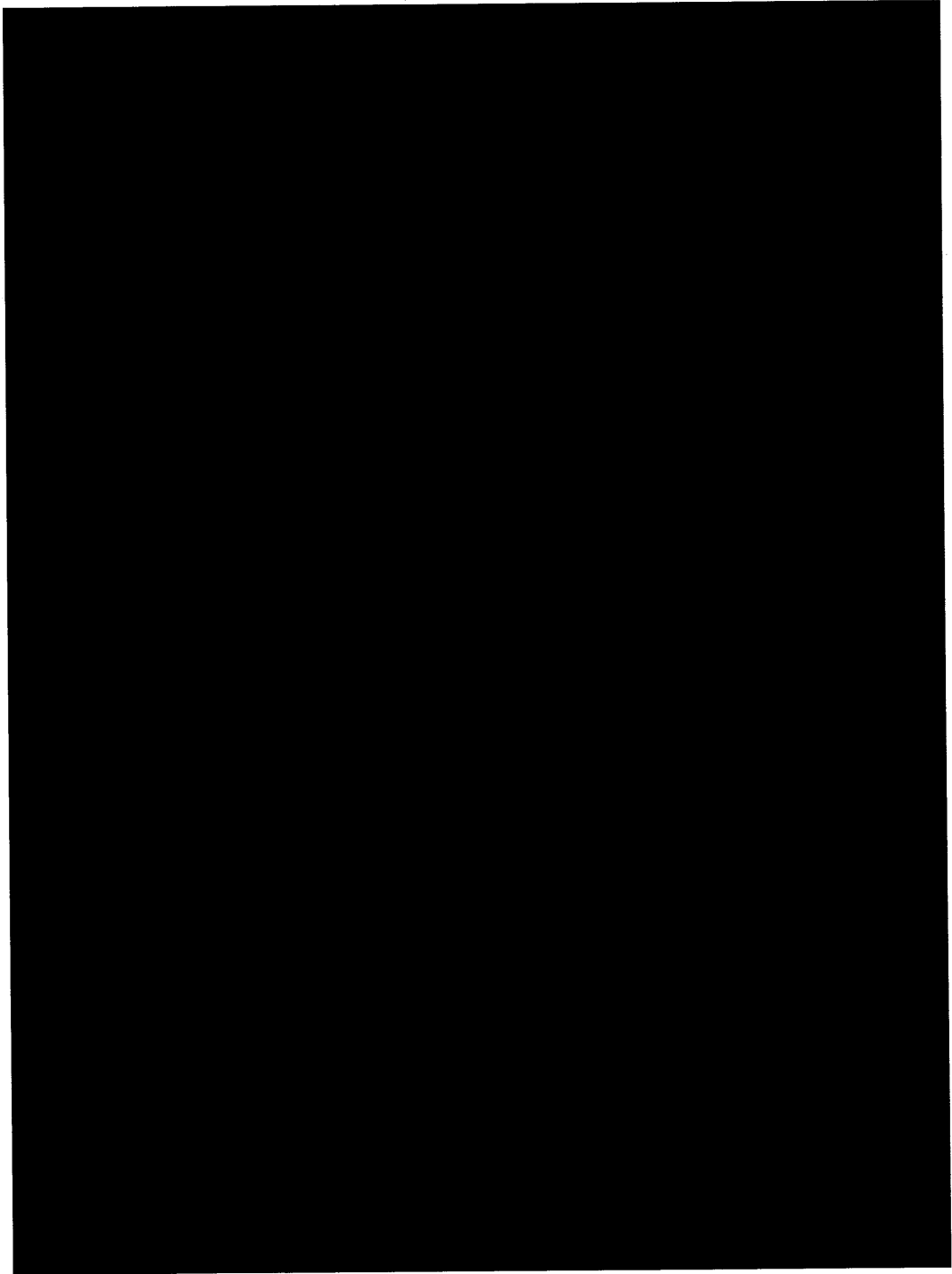



(イ)第 C.1 図  型輸送容器の概念図

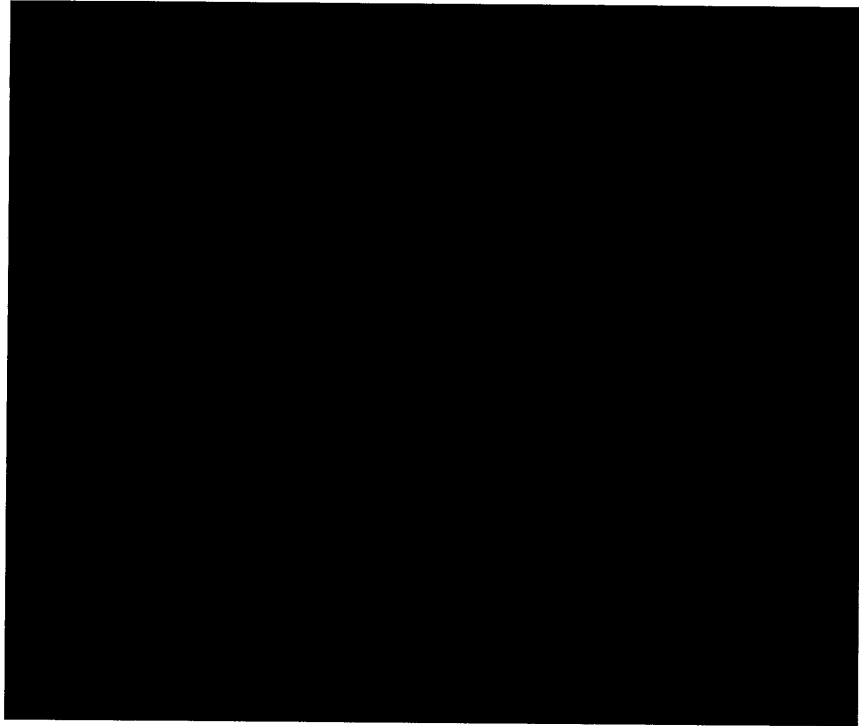


(単位 : mm (in.))

(イ)第 C.2 図  型輸送容器の断面図



(イ)第 C.3 図  型輸送容器 (PCV) の密封境界



(1)-第 C.4 図  型輸送容器荷姿

C.2 輸送容器の構造

本輸送容器は、ドラム、PCV、SCV、遮蔽体及び断熱材の5つの主要部から構成されている。

本輸送容器の構造を上記5つの主要部に分け、以下に示す。

C.2.1 ドラム

ドラムは、厚さ ■ mm (■ in.) のステンレス鋼で製作されたドラム蓋、フランジ付きのドラム胴体及びドラム底板で構成される。

ドラム蓋は、ドラム胴体のフランジにドラム蓋ボルトで取付ける。ドラム蓋を強化するため、ドラム蓋の外側部分にリングを溶接する。また、ドラム蓋の位置決めのため、4本の位置合わせピンが、ドラム蓋円周方向に配置されたドラム蓋ボルトの間に配置されている。ドラム蓋ボルトと位置合わせピンの軸部には、 ■■■■■

ドラム底板は、スキップ溶接でドラム胴体に接合する。

ドラム胴体の円周部には直径 ■ mm (■ in.) のベント孔が ■ 箇所開けられ、プラスチックプラグを挿入する。プラスチックプラグは、通常の輸送時において、水がベント孔を通過してドラム内部に入ることを防止し、また、火災時においては、プラスチックプラグが燃焼又は熔融することによって、断熱材から発生するガスをベント孔から排出する役目をもつ。

C.2.2 一次収納容器 (PCV)

PCVはシームレスパイプ、パイプキャップ、ステイヘッド及びPCV蓋で構成される。

シームレスパイプ及びパイプキャップは外径 ■ mm (■ in.)、厚さ ■ mm (■ in.) の継ぎ目のないステンレス鋼管から製作され、パイプキャップをシームレスパイプ下端部に溶接する。また、PCVを垂直に支持するため、パイプキャップには管状の支持架台(スカート)が溶接されている。PCV蓋の取付け及び取外しの際の容器の回転を防ぐため、スカートの下端には2つの溝を加工する。

ステイヘッドはステンレス鋼棒から機械加工され、シームレスパイプ上端部に溶

接される。ステイヘッドは、外径 [] mm ([] in.) であり、内面には、PCV 蓋部を接合するためのネジの加工とコーンシール面を加工する。PCV 蓋を取り外す際の PCV 内の圧力放出のため、ステイヘッドのネジ下部に直径 [] mm ([] in.) の貫通孔を設ける。

PCV 蓋は、コーンシールプラグ、コーンシールナット及び O リングから構成される。コーンシールプラグには 2 つの O リング用の溝がある。O リングの材質はフッ素ゴムである。リークテストのため、コーンシールプラグには、コーンシールプラグ中央部から 2 本の O リング (外側 O リング、内側 O リング) 溝の間に通じるリークテスト孔を設ける。リークテスト孔は、輸送時にはリークテストポートプラグにより閉じられ密封を保っている。

C.2.3 二次収納容器 (SCV)

SCV の設計概念は、基本的に PCV と同一である。PCV 及び SCV の配置を (i) 第 C.5 図に示す。

SCV はシームレスパイプ、パイプキャップ、ステイヘッド、SCV 蓋、SCV 上部衝撃吸収材及び SCV 底部衝撃吸収材で構成される。

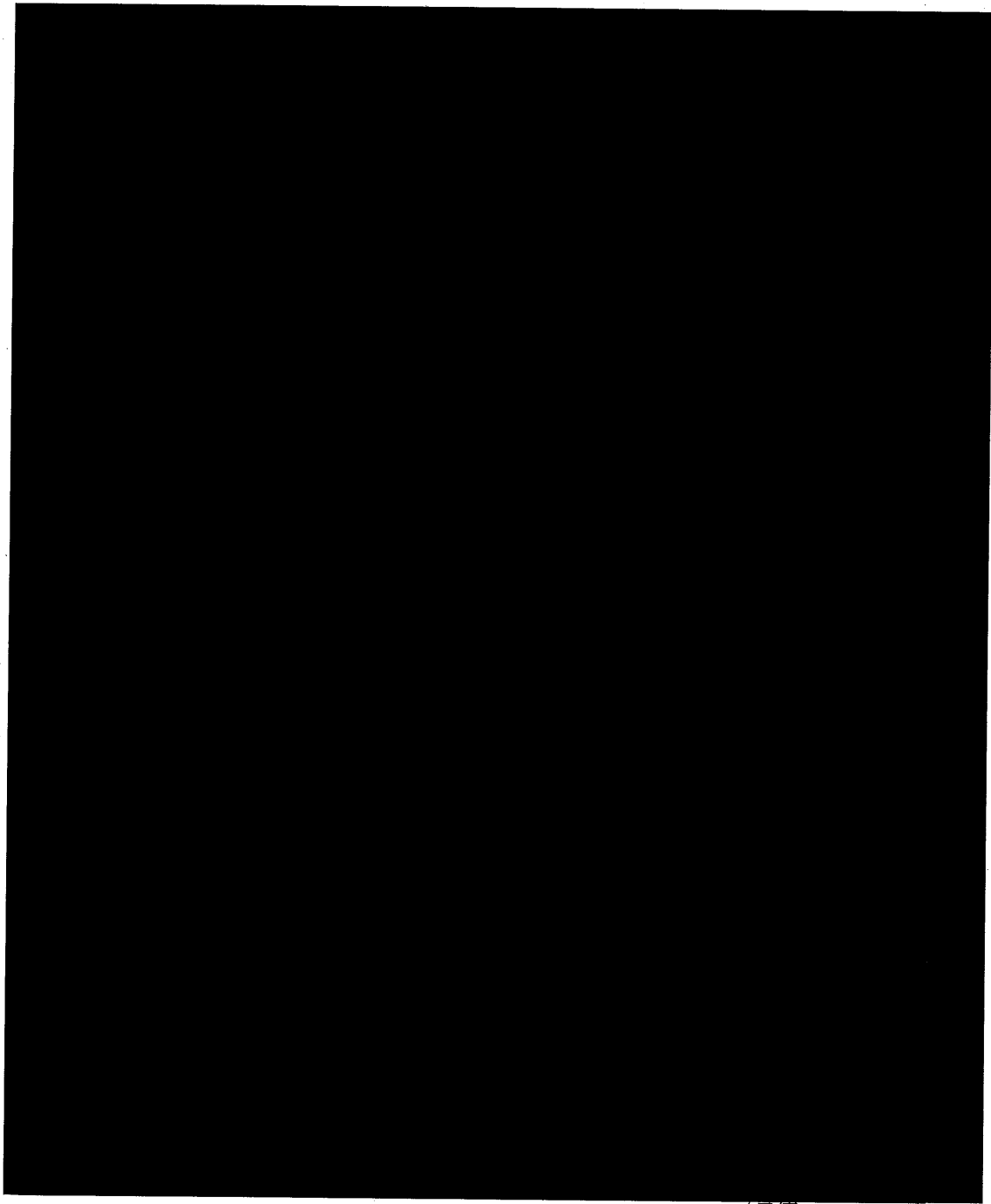
シームレスパイプ及びパイプキャップは外径 [] mm ([] in.)、厚さ [] mm ([] in.) の継ぎ目のないステンレス鋼管から製作され、パイプキャップをシームレスパイプ下端部に溶接する。また、SCV を垂直に支持するため、パイプキャップには管状の支持架台 (スカート) が溶接されている。SCV 蓋の取付け及び取外しの際の容器の回転を防ぐため、スカートの下端には 2 つの溝を加工する。

ステイヘッドはステンレス鋼棒から機械加工され、シームレスパイプ上端部に溶接される。ステイヘッドは、外径 [] mm ([] in.) であり、内面には、SCV 蓋部を接合するためのネジの加工とコーンシール面を加工する。SCV 蓋を取り外す際の SCV 内の圧力放出のため、ステイヘッドのネジ下部に直径 [] mm ([] in.) の貫通孔を設ける。

SCV 蓋は、コーンシールプラグ、コーンシールナット及び O リングから構成される。コーンシールプラグには 2 つの O リング用の溝がある。O リングの材質はフッ素ゴムである。リークテストのため、コーンシールプラグには、コーンシールプラグ

中央部から2本のOリング（外側Oリング、内側Oリング）溝の間に通じるリークテスト孔を設ける。リークテスト孔は、輸送時にはリークテストポートプラグにより閉じられ密封を保っている。

PCVとSCVとの間での衝撃荷重を低減するため、PCV収納時には、SCV上部衝撃吸収材及びSCV底部衝撃吸収材を配置する。SCVのコーンシールプラグとPCVのコーンシールナットとの間には、アルミニウム製のハニカム構造である円筒状のSCV上部衝撃吸収材が収まる。SCV底部衝撃吸収材は、アルミニウム製のハニカム構造であり、SCVの底部の曲面に合うように製作する。



(単位：)

(イ)第 C.5 図 PCV 及び SCV の配置

C.2.4 遮蔽体

遮蔽体は、側部及び底部の内外面をステンレス鋼で被覆した鉛の円筒及びアルミニウム蓋で構成され、SCVの外側に配置される。遮蔽体の断面図を(イ)第C.6図に示す。

遮蔽体内部の高さは [] mm ([] in.)、内径は [] mm ([] in.) である。鉛の円筒の厚さは [] mm ([] in.)、鉛を被覆しているステンレス鋼被覆の厚さは [] mm ([] in.) であり、遮蔽体全体の厚さは [] mm ([] in.) である。円筒上部は厚さ [] mm ([] in.) のアルミニウム蓋で閉じられる。アルミニウム蓋は、4本のステンレス鋼製のボルトにより固定される。

C.2.5 断熱材

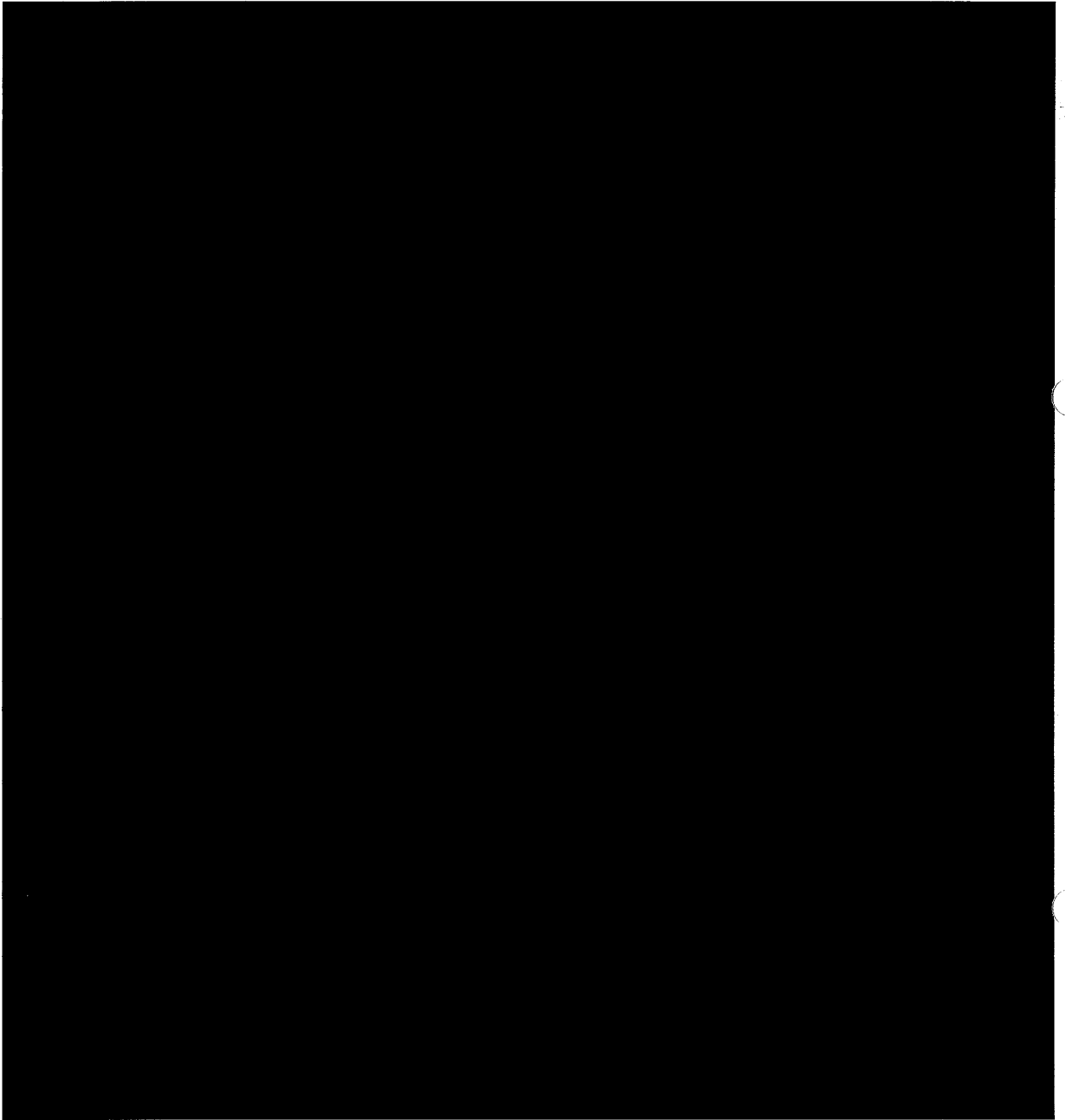
断熱材は、繊維板 (Celotex)、エアシールド、ブランケット及びアルミニウムベアリング板で構成される。断熱材は、上部繊維板及び下部繊維板に分かれており、収納物の収納は、上部繊維板を取り外して行われる。断熱材の断面図を(イ)第C.7図に示す。

繊維板は、木材等の植物繊維質を固めて板状にしたものであり、この繊維板を用いた断熱材厚さは、遮蔽体側面の半径方向が [] mm ([] in.)、遮蔽体上部の軸方向が [] mm ([] in.)、遮蔽体下部の軸方向が [] mm ([] in.) である。ドラムに断熱材を組み込む際は、ドラム断熱材及び断熱材遮蔽体の間の半径方向の隙間が、 [] mm ([] in.) 以下となるよう施工する。

火災時に遮蔽体上部にある繊維板の損傷を軽減するため、上部繊維板の上面及び側面は厚さ [] mm ([] in.) のステンレス鋼製エアシールドで覆う。

ドラム内における繊維板の軸方向のずれを防止するため、ドラム蓋とエアシールドの間にブランケットを入れる。ブランケットは、薄いステンレス鋼により覆われたセラミック繊維 (Kaowool) で形成され、その内部には、火災時の断熱効果を高めるため、断熱材の一種であるファイヤーマスター (Firemaster) 直径 [] mm ([] in.)、厚さ [] mm ([] in.) を入れる。

また、断熱材に加わる遮蔽体の荷重を分散するため、遮蔽体の上下にアルミニウムベアリング板を設置する。アルミニウムベアリング板は、厚さ [] mm ([] in.)、外径 [] mm ([] in.) である。



(イ)第 C.6 図 遮蔽体の断面図



(単位 : mm (in.))

(i)-第 C.7 図 断熱材の断面図

C.3 輸送容器の材質

本輸送容器の主な部品の材質については、(イ)第C.1表に示す。

C.4 輸送容器の寸法

本輸送容器の主な部品の寸法については、(イ)第C.2表に示す。

C.5 輸送容器の重量

本輸送容器の主な部品の重量については、(イ)第C.3表に示す。

(イ)第 C.1表 輸送容器の構成材料 (1/2)

部 品 名	材 質	個数	規格又は名称
(1) ドラム			
・ドラム蓋	ステンレス鋼	1	
・ドラム胴体	ステンレス鋼	1	
・ドラム底板	ステンレス鋼	1	
・ドラム蓋ボルト	炭素鋼	24	
・ドラム蓋ナット	ステンレス鋼	24	
・位置合わせピン	ステンレス鋼	4	
・プラスチックプラグ	ポリエチレン	4	
(2) 一次収納容器 (PCV)			
・シームレスパイプ	ステンレス鋼	1	
・パイプキャップ	ステンレス鋼	1	
・ステイヘッド	ステンレス鋼	1	
・コーンシールプラグ	ステンレス鋼	1	
・コーンシールナット	ステンレス鋼	1	
・リークテストポートプラグ	ステンレス鋼	1	
・Oリング	フッ素ゴム	2	
(3) 二次収納容器 (SCV)			
・シームレスパイプ	ステンレス鋼	1	
・パイプキャップ	ステンレス鋼	1	
・ステイヘッド	ステンレス鋼	1	
・コーンシールプラグ	ステンレス鋼	1	
・コーンシールナット	ステンレス鋼	1	
・リークテストポートプラグ	ステンレス鋼	1	
・Oリング	フッ素ゴム	2	
・SCV底部衝撃吸収材	アルミニウム合金	1	
・SCV上部衝撃吸収材	アルミニウム合金	1	

(イ)第 C.1 表 輸送容器の構成材料 (2/2)

部 品 名	材 質	個数	規格又は名称
(4) 遮蔽体 ・遮蔽体 ・アルミニウム蓋 ・遮蔽体蓋ボルト	ステンレス鋼被覆鉛 アルミニウム合金 ステンレス鋼	1 1 4	
(5) 断熱材 ・断熱材	繊維板	1式	
・エアシールド	ステンレス鋼	1	
・ブランケット	ステンレス鋼被覆セ ラミック繊維	1	
・アルミニウムベアリング板	アルミニウム合金	2	

(イ)第 C.2 表 輸送容器各部の寸法

部 品 名	部 位	公称寸法 (mm (in.))	備 考
(1) ドラム	外 径 高 さ 厚 さ		
(2) 一次収納容器 (PCV)	外 径 高 さ 厚 さ		
(3) 二次収納容器 (SCV)	外 径 高 さ 厚 さ		
(4) 遮蔽体	内 径 高 さ 厚 さ		
(5) 断熱材	上部厚さ 底部厚さ 側部厚さ		

(イ)第 C.3 表 輸送容器重量

部品名	公称重量 (kg (lb))	最大重量 (kg (lb))
(1) ドラム		
(2) 一次収納容器 (PCV)		
(3) 二次収納容器 (SCV)		
(4) 遮蔽体		
(5) 断熱材		
合計		

D. 輸送容器の収納物

本輸送容器に収納される収納物は、PCVに収納する全ての物品を指し、収納される核燃料物質は■■■■ プルトニウム燃料の場合と■■■■ ウラン燃料の場合がある。

D.1 ■■■■ プルトニウム燃料

収納物は、■■■■ プルトニウム燃料、収納缶、ホルダー、梱包材、上部スペーサ及びPCV 底部スペーサから構成される。

■■■■ プルトニウム燃料は、極低出力炉で用いられた■■■■ プルトニウムの板状燃料である。

■■■■ プルトニウム燃料の収納配置を(i)-第 D.1 図及び(i)-第 D.2 図に示す。

収納する■■■■ プルトニウム燃料の仕様を(i)-第 D.1 表に示す。また、収納する核燃料物質の概略構造を(i)-第 D.3 図に示す。

D.2 ■■■■ ウラン燃料

収納物は、■■■■ ウラン燃料、収納缶、上部スペーサ及びPCV 底部スペーサから構成される。

■■■■ ウラン燃料は研究炉で用いられた円盤状の燃料をカットしたものであり、■■■■ ウラン燃料の収納配置（例）を(i)-第 D.4 図に示す。

収納する■■■■ ウラン燃料の仕様を(i)-第 D.2 表に示す。また、■■■■ ウラン燃料の切断イメージ図を(i)-第 D.5 図に示す。

(イ)第 D.1 表 収納する核燃料物質の仕様 ([] プルトニウム燃料)

種類	[] プルトニウム燃料	
構造	[]	
被覆を含む寸法(mm)	[]	
核燃料物質の密度 (g/cm ³)	[]	
発熱量 (W)	[]	
アクチニド、核分裂生成物、崩壊生成物及び中性子放射化生成物 ^{*1} (ppm)	[]	
収納物重量 (kg)	[]	
核燃料物質重量 (g)	[]	
組成毎の重量 (g)	²³⁸ Pu	[] 以下
	²³⁹ Pu	[] 以下
	²⁴⁰ Pu	[] 以下
	²⁴¹ Pu	[] 以下
	²⁴² Pu	[] 以下
	²⁴¹ Am+ ²⁴¹ Pu	[] 以下
	²³⁵ U	-
	²³⁸ U	-
放射能の量 ^{*2} (Bq)		[] 以下
主要核種の放射能の量 (Bq)	²³⁸ Pu	[] 以下
	²³⁹ Pu	[] 以下
	²⁴⁰ Pu	[] 以下
	²⁴¹ Pu	[] 以下
	²⁴² Pu	[] 以下
	²⁴¹ Am+ ²⁴¹ Pu	[] 以下
	²³⁵ U	-
	²³⁸ U	-

※1：核燃料物質の運転履歴等に基づき評価し、輸送物発送前検査の収納物検査において、それぞれ [] ppm 未満であることを確認する。

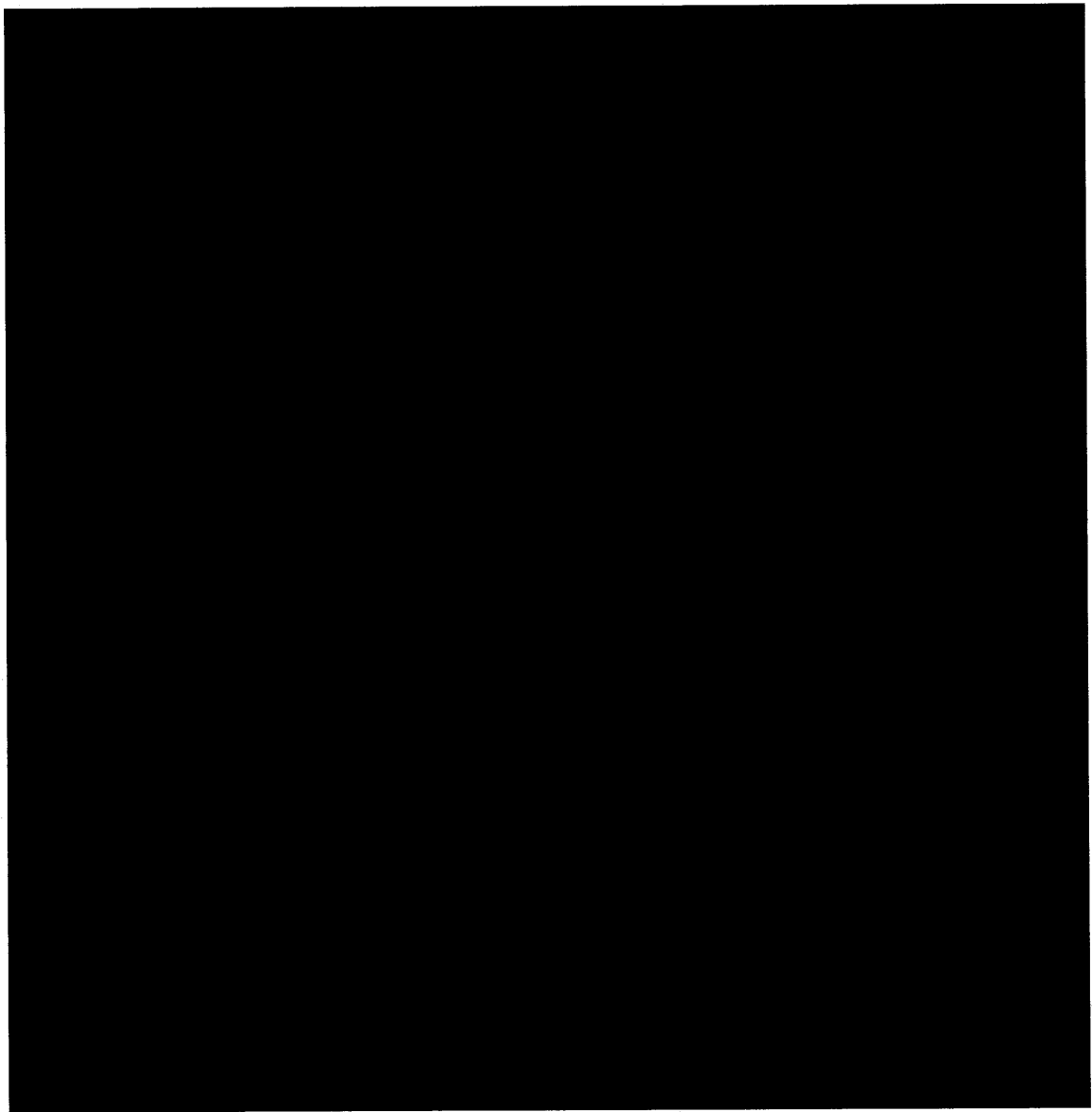
※2：核燃料物質重量が [] g で最大の放射能の量となる核種組成より算出。

(イ)第 D.2 表 収納する核燃料物質の仕様 (濃縮ウラン燃料)

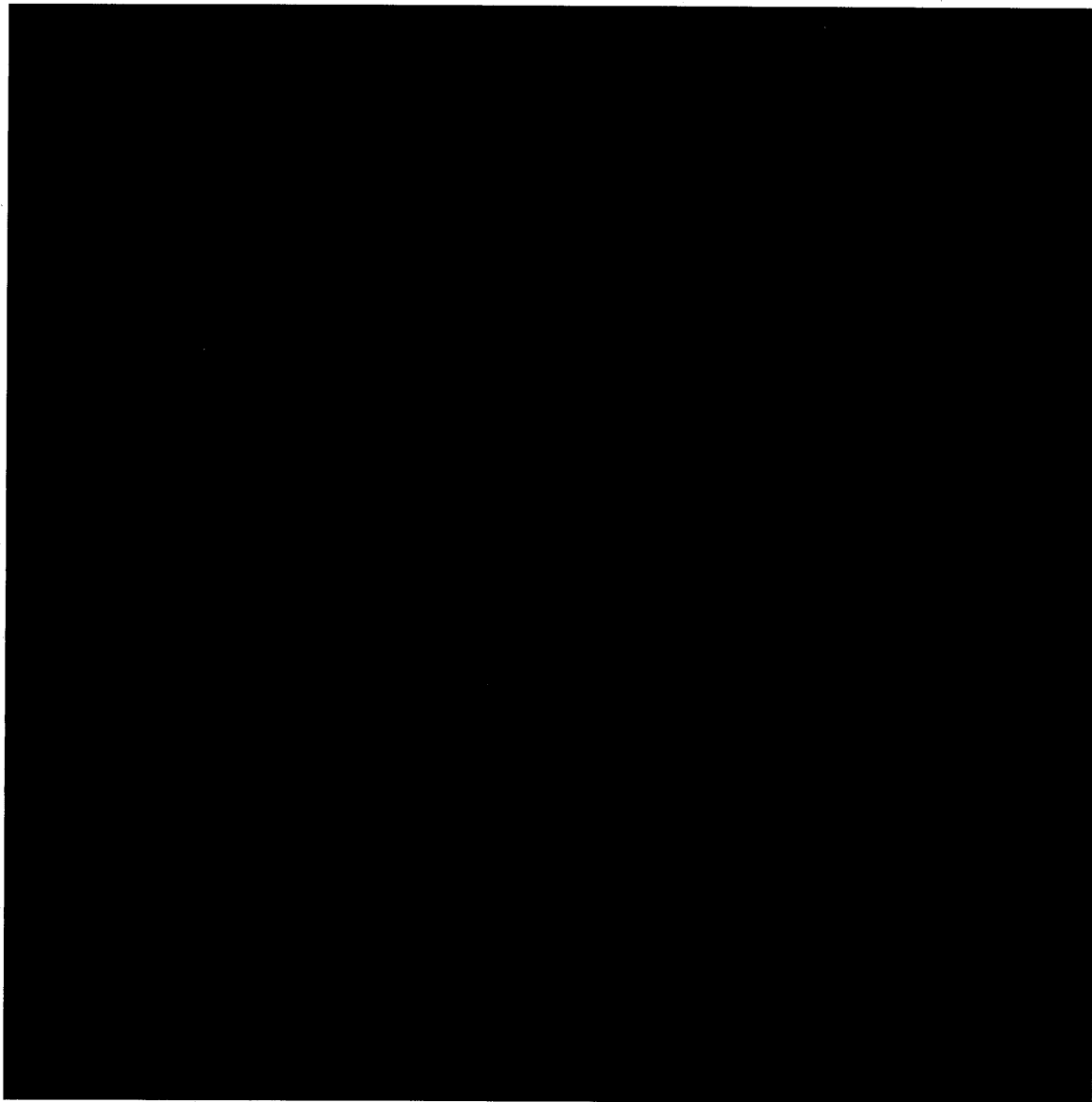
種類	濃縮ウラン	
構造	[Redacted]	
核燃料物質の密度 (g/cm ³)	約 [Redacted]	
発熱量 (W)	考慮せず ^{※2}	
アクチニド、核分裂生成物、崩壊生成物及び中性子放射化生成物 ^{※1} (ppm)	[Redacted] 未満	
収納物重量 (kg)	[Redacted] 未満	
核燃料物質重量 (g/容器)	[Redacted] 以下	
²³⁵ U 重量 (g/容器)	[Redacted] 以下	
濃縮度 (重量%)	[Redacted] 以下	
放射能の量 (Bq)	総量	[Redacted] 以下
	²³⁵ U	[Redacted] 以下


※1：核燃料物質の運転履歴等に基づき評価し、輸送物発送前検査の収納物検査において、それぞれ 100 ppm 未満であることを確認する。

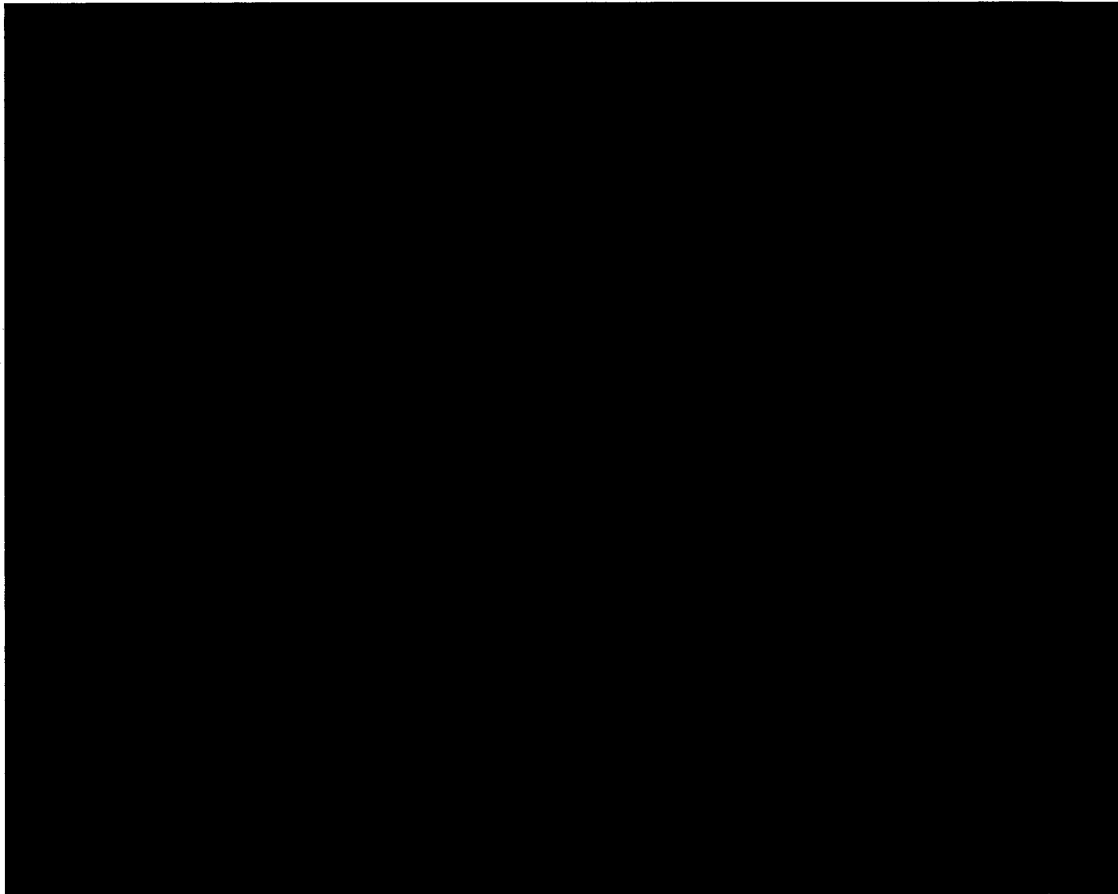
※2：本燃料は未照射燃料相当であるため。



(イ)第 D.1 図 ■ プルトニウム燃料の収納配置 (その 1)



(イ)第 D.2 図  プルトニウム燃料の収納配置 (その 2)

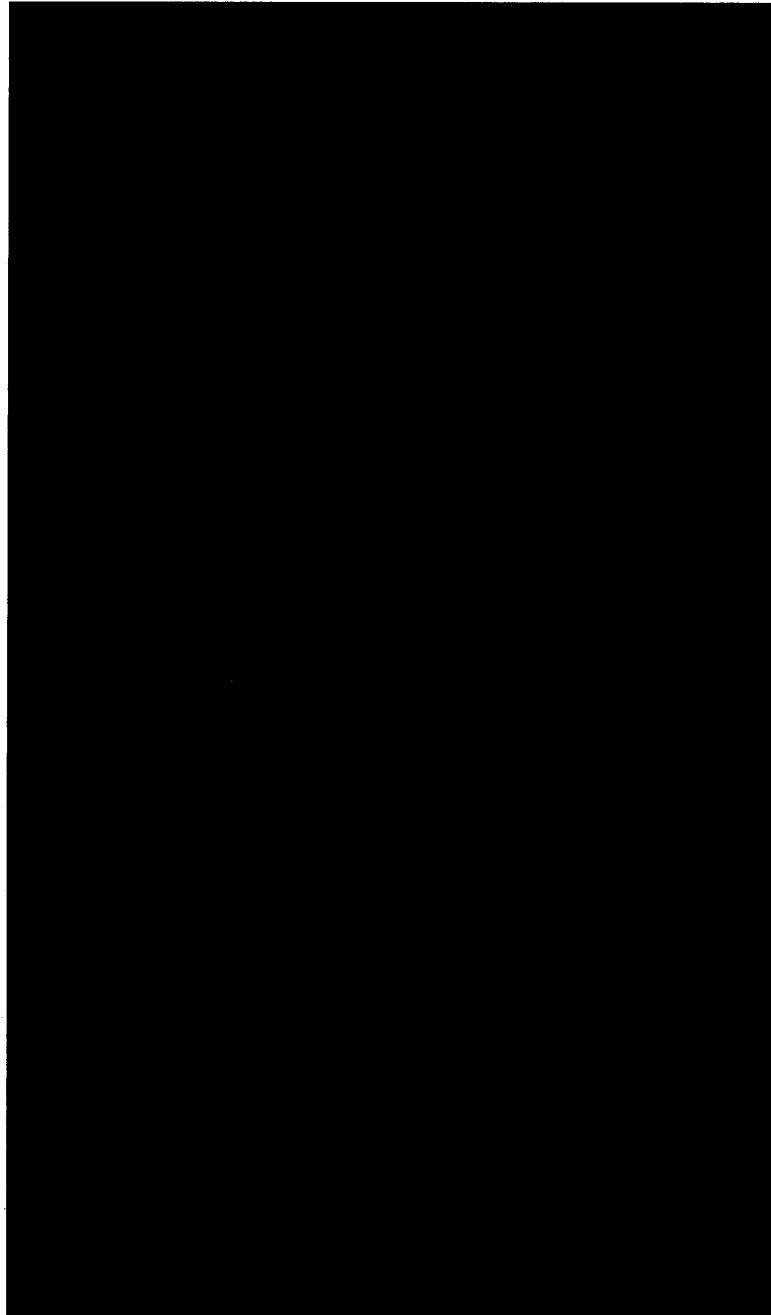


(単位 : mm)

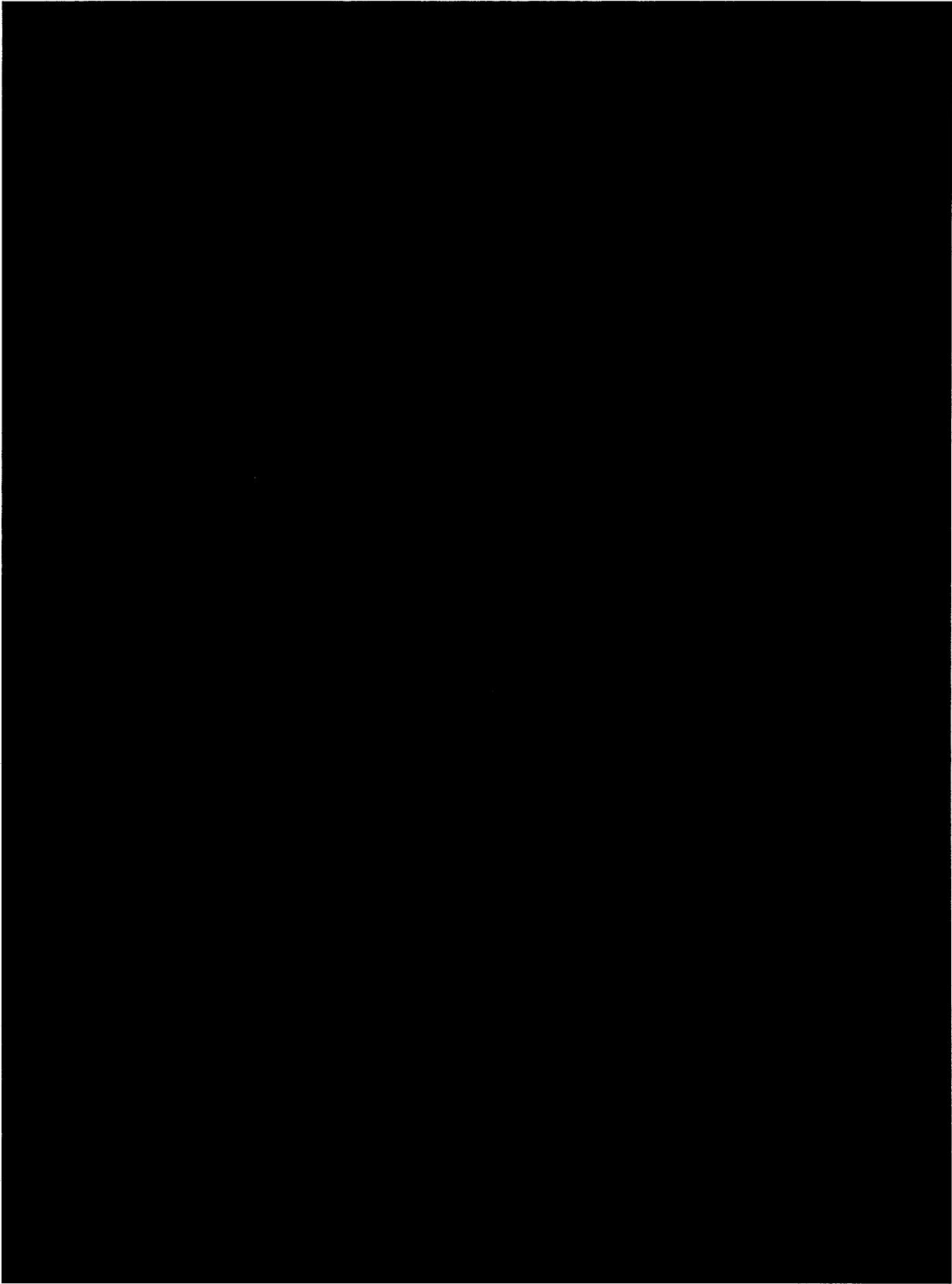
種類	L (mm)	t (mm)	断面形状	備考
■	■	■	断面図①	
■	■	■	断面図①	スプリングなし。一部、燃料中央部に直径 20 mm の孔有。
■	■	■	断面図①	スプリングなし。
■	■	■	断面図②	スプリングなし。

(イ)第 D.3 図 収納する核燃料物質の概略構造

(■ プルトニウム燃料)



(イ)第 D.4 図 ■ ウラン燃料の収納配置 (例)



(イ)第 D.5 図 ■ ウラン燃料の切断イメージ図

D.3 収納缶、ホルダー及び梱包材

収納缶は、ステンレス鋼製の収納缶胴体部及びステンレス鋼製のねじ込み式の蓋から構成される。(イ)第 D.1 図及び(イ)第 D.2 図に示す板状の核燃料物質が、収納缶内で移動することを防止するため、収納缶内部にステンレス鋼製の専用のホルダーをセットする。

また、核燃料物質を収納缶に収納する際、及び収納缶を PCV に収納する際に、梱包のため低密度ポリエチレン袋、ナイロン袋及びポリ塩化ビニールテープを用いる場合は、それらの梱包材の合計重量を 100 g 以下としなければならない。

D.4 上部スペーサ

PCV 蓋下部から収納缶上部までの軸方向の空隙が \blacksquare mm (\blacksquare in.) を超える場合は、隙間を埋めるため収納缶の上部に上部スペーサを挿入する。上部スペーサは、アルミニウム製のハニカム構造で収納缶と同じ外径の円筒形状であり、上下の面に直径 \blacksquare mm (\blacksquare in.) の穴が開けられている。

D.5 PCV 底部スペーサ

PCV 底部スペーサは、アルミニウム製のハニカム構造であり、PCV の底部の曲面を平面にするため、PCV 底部に装着される。

D.6 収納物の要件

核燃料物質収納時の要件を以下に示す。

本要件は、受け入れ施設の受け入れ基準に基づく要求事項である。

D.6.1 \blacksquare プルトニウム燃料を収納する際の要件

\blacksquare プルトニウム燃料を収納缶に収納する際、核燃料物質の重量が輸送容器 1 基当たり \blacksquare kg 以上である場合、以下を満足しなければならない。

- ・ 収納缶の半径方向の壁厚は、 \blacksquare mm (\blacksquare in.) 以下であること。
- ・ 収納缶及び上部スペーサの上部及び底部の厚さの合計は、 \blacksquare mm (\blacksquare in.) 以下であること。
- ・ 収納缶の寸法は、外径 \blacksquare mm (\blacksquare in.)、高さ \blacksquare mm (\blacksquare in.) 以上とす

ること。

D.6.2 ■■■ ウラン燃料を収納する際の要件

■■■ ウラン燃料を収納缶に収納する際、核燃料物質の重量が輸送容器 1 基当たり ■■■ kg 以上である場合、以下の条件を満足しなければならない。

- ・ 収納缶の半径方向の壁厚を ■■■ mm (■■■ in.) 以下とすること。
- ・ 収納缶、上部スペーサの上部及び底部の厚さの合計を ■■■ mm (■■■ in.) 以下とすること。
- ・ 収納缶の寸法は、外径を ■■■ mm (■■■ in.)、高さを ■■■ mm (■■■ in.) 以上とすること。

(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析

(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析

本輸送物に関する安全解析は、本輸送物が「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年12月28日付、総理府令第57号）（以下「規則」という。）及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成2年11月28日付、科学技術庁告示第5号）」（以下「告示」という。）に基づいて核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合することを示すために行う。

本解析の概要は以下のとおりである。

1. 構造解析

構造解析では、通常の輸送時において輸送物の亀裂、破損等の生じないことを確認する他、密封解析の前提となる密封装置の健全性を一般及び特別の試験条件において確認している。

また、熱及び遮蔽解析の評価条件を得るために一般及び特別の試験条件における輸送物の状態及び健全性を評価している。

さらに、本輸送物はBM型核分裂性輸送物であるため、未臨界評価のために核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件における輸送物の状態及び健全性についても評価している。

2. 熱解析

熱解析では、前記の構造解析の結果を考慮して、一般及び特別の試験条件における輸送物各部の温度及び圧力を評価し、構造、密封、遮蔽及び臨界解析の評価条件を与えている。

また、一般の試験条件における輸送物の近接表面温度基準（85℃）に適合することを確認している。

3. 密封解析

密封解析では、上記 1.、2.の条件と発送前検査における気密漏えい試験合格基準に基づいて、一般及び特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を評価し、基準値を満足することを示している。

4. 遮蔽解析

遮蔽解析では、上記 1.、2.の条件を考慮して、通常輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物表面あるいは表面から 1 m 離れた位置の線量当量率を評価し、基準値を満足することを示している。

5. 臨界解析

臨界解析では、上記 1.の結果より核分裂性輸送物に係る一般の試験条件において、臨界評価に影響するような構造物の変形等が生じないことを示し、通常輸送時の他、一般及び特別の試験条件の孤立系及び配列系のいずれの場合にも未臨界であることを示している。

6. 規則及び告示に対する適合性の評価

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

以下、ロ章 A～F に各解析、評価の詳細を示す。

(口) 章A 構造解析

A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概 要

本輸送容器は、(イ)第 C.1 図に示すようにドラム、一次収納容器 (PCV)、二次収納容器 (SCV)、遮蔽体及び断熱材に大別される。収納物は、(イ)第 D.1 図に示すように、収納缶、上部スペーサ及び PCV 底部スペーサから構成されている。■■■■ プルトニウム燃料は、ホルダーに装荷して収納缶に収納される。また、■■■■ ウラン燃料は必要に応じてアルミニウムホイール等と共に収納缶に収納される。

PCV は、(イ)第 C.3 図に示すように密封境界を形成し、かつ、内圧に耐えられる耐圧容器となっている。SCV も同様である。

PCV 蓋は、(イ)第 C.3 図に示すように 2 重の O リングで PCV ステイヘッドとの接合部を密封し、コーンシールナットにより締付けられる。SCV も同様である。

PCV は、SCV 底部衝撃吸収材及び SCV 上部衝撃吸収材とともに SCV に収納される。

遮蔽体は、ステンレス鋼で被覆した鉛の円筒及びアルミニウム蓋で構成され、SCV の外側に配置される。

断熱材は、繊維板、エアシールド、ブランケット及びアルミニウムベアリング板から構成される。断熱材は、上部断熱材及び下部断熱材に分かれており、収納物は上部断熱材を取り外して収納される。

ドラムは、ドラム蓋、ドラム胴体及びドラム底板から構成される。ドラム蓋は■■■■

したがって、SCV の蓋部は、輸送中にドラム蓋でおおわれているため、不用意に開封されることはなく、それに伴い PCV も不用意に開封されることはない。また、■■■■

輸送容器は、ドラムリフターを使用してハンドリングし、PCV や SCV 等は専用の吊り具を使用してハンドリングを行う。また、輸送物は輸送中の加速度に耐えられるように、専用のローディングカートに固縛し、輸送物を固縛したローディングカートを手車へ積載する。このため、輸送容器は吊上装置や固縛装置を有しない。

A.1.2 設計基準

本輸送物に対する構造解析は、以下に述べる設計の基本に基づく設計基準に従って試験及び解析を行った。

A.1.2.1 設計の基本

輸送物の要件として以下の諸条件を考慮した。

- (1) 運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、亀裂、破損等の生じるおそれのないこと。
- (2) 輸送容器の材質相互間及び輸送容器の材質と収納物間において物理的作用及び化学的反応の生じるおそれがないこと。
- (3) 輸送容器の構成部品は、 -40°C から 70°C の温度範囲において、亀裂、破損の生じるおそれがないこと。また、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、亀裂、破損の生じるおそれがないこと。
- (4) 密封装置である収納容器は、次の要件を満たすこと。
 - (a) 周囲の気圧の 60 kPa までの低下に対し、その強度が保たれ健全性が維持されること。
 - (b) 密封装置は、不用意に開かれない構造であること。
- (5) フィルタ又は機械的冷却装置を用いなくとも内部の気体のろ過又は核燃料物質等の冷却が行われる構造であること。
- (6) 輸送物は輸送中に受ける振動に対し、その健全性が保たれること。
- (7) 全ての荷重条件において、ドラム蓋はドラム本体に取り付いたままであること。
- (8) 全ての荷重条件において、一辺 10 cm の立方体が入るようなくぼみがドラムに発生しないこと。
- (9) ドラムの有効径が臨界安全性及び遮蔽性能を維持するために十分であること。
- (10) ドラムは一般の試験条件及び特別の試験条件における収納容器の漏えい基準に適合するために、構造強度及び耐熱性を有すること。
- (11) 一般の試験条件の下に置いた後、次の要件に適合すること。
 - (a) 表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、 2mSv/h を超えないこと。
 - (b) 放射性物質の 1 時間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。
 - (c) 本輸送物は専用積載として運搬するものであり、輸送中に人が容易に近づくこと

ができる表面の温度は日陰において 85 °C を超えないこと。

(d) 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。

(12) 特別の試験条件下に置いた後、次の要件に適合すること。

(a) 表面から 1 m 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。

(b) 放射性物質の 1 週間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。

(13) 核分裂性輸送物として次の要件に適合すること。

(a) -40 °C から 38 °C の周囲の温度範囲において、亀裂、破損の生じるおそれがないこと。

(b) 一般の試験条件下に置いた後、次の要件に適合すること。

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

(イ) 外接する直方体の各辺が 10 cm 以上であること。

(c) 次のいずれの場合にも臨界に達しないこと。

(ア) 輸送中の場合。

(イ) 原子力規制委員会の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合。

(ウ) 原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを原子力規制委員会の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合。

(エ) 原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いたものを原子力規制委員会の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合。

(オ) 当該核分裂性輸送物と同一のものであつて原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを、原子力規制委員会の定める配列系の条件の下で、かつ、当該核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率になるような状態で、当該核分裂性輸送物の輸送制限個数の 5 倍に相当する個数積載することとした場合。

(カ) 当該核分裂性輸送物と同一のものであつて原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いたものを、原子力規制委員会の定める配列系の条件の下で、かつ、当該核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率になるような状態で、輸送制限個数の 2 倍に相当する個数積載する

こととした場合。

A.1.2.2 設計の基準

設計の基本に従い、評価項目に対して材質、温度、負荷条件等の設計条件を考慮して、試験方法及び解析基準を決定した。

設計条件及び試験、解析方法のまとめを(□)-第 A.1 表に示す。なお、応力評価においては、ASME Section III Division 1 Subsection NB を用いる。

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、次に示す余裕率を用いて評価する。

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

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。

(ロ)・第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (1/9)

要件	条件	評価項目	設計条件				評価方法		備考
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷	適用数式または要素		評価基準
						安全係数	要素		
B M 型輸送物	輸送物の要件	4.1 化学的及び電気的反応 ・ 化学的反応 ・ 電気的反応	-	-	-	-	活性	活性の有無	無
			-	-	-	-	電位差	水分の有無	無
輸送物の要件	輸送物の要件	4.2 低温強度 ・ ドラム蓋、ドラム胴体、ドラム底板、位置合わせピン、遮蔽体蓋ボルト、エアシールド ・ ドラム蓋ボルト ・ PCV、SCV ・ Oリング ・ SCV 上部衝撃吸収材、SCV 底部衝撃吸収材 ・ 遮蔽体 ・ 断熱材 ・ アルミニウム蓋、アルミニウムベアリング板	-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C
			-	(ロ)・第 A.3 表	-40 °C	-	低温脆性	最低使用温度	-40 °C

(ロ)第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (2/9)

要件	条件	評価項目	設計条件						評価方法		備考	
			参照図	材質	温度	設計種類	設計負荷	安全係数	要素	通用数式または要素		評価基準
B M 型 輸 送 物	輸 送 物 の 要 件	4.3 密封装置 ・PCVコーンシールプラグ	(イ)第C.3図	—	—	誤操作による開放	—	誤操作の可否	誤操作の可否	否		
		4.4 吊上装置	—	—	—	—	—	—	—	—	該当せず	
		4.5 固縛装置	—	—	—	—	—	—	—	—	—	該当せず
		4.6 圧力 ・PCV及びSCV	—	(ロ)第A.8表	■ °C ■ °F	最大使用圧力 外圧減少	— —	圧力	最大使用圧力と外圧減少によって発する差圧の影響評価	設計圧力を超えないこと		
		4.7 振動 ・PCV及びSCV	(ロ)第A.3図	(ロ)第A.3表	—	振動	—	共振	共振	共振しないこと		

(p)・第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (3/9)

要件	条件	評価項目	設計条件			評価方法		備考			
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷		適用数式または要素	評価基準	
B M 型 輸 送 物	一 般 の 試 験 条 件	5.1 熱的試験 5.1.2 熱膨張 ・PCV・SCV 間及びSCV 遮蔽体間の熱膨張差による干渉	—	—	\square °C \square °F	温度差	—	熱膨張差	$\text{変形量} = \frac{\alpha \times \text{OD} \times \Delta T}{2}$ α: 熱膨張率 OD: 外径寸法 ΔT: 温度差	干渉しないこと	熱応力は、一次二次応力強さの合計値として、基準値(3Sm)と比較し評価
			—	—	\square °C \square °F	温度分布	—	熱応力	$\sigma = \frac{\alpha \times \Delta T \times E}{2(1-\nu) \ln \frac{r_o}{r_i}}$ $\left[\frac{2r_o^2 \ln \frac{r_o}{r_i}}{1 - \frac{r_o^2}{r_i^2}} \right]$ α: 熱膨張率 ΔT: 温度差 ν: ボアソン比 E: 縦弾性係数	3 Sm	
		—	—	\square °C \square °F	内圧	—	応力強さ	構造解析コード (ABAQUS ⁽⁹⁾) による評価	[注1]	[注1] Smを基準とし、応力成分ごとに基準値を設ける	
		5.2 水噴霧	—	(p)・第 A.3 表	—	水噴霧	—	吸水 水切り	原型試験による評価	無 良	

(ロ) 第A.1.1表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (4/9)

要件	条件	評価項目	設計条件						評価方法		備考	
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷	要素	適用数式または要素	評価基準		
B M 型 輸 送 物	一 般 の 試 験 条 件	5.3 自由落下	—	—	—	1.2 m 自由落下	—	密封性能	原型試験による評価	原型試験による評価		
		水平落下	—	—	—	—	—	—	1.2 m 落下試験後の密封装置の密封性検査結果	密封性が保たれること		
		垂直落下 コーナー落下 傾斜落下	(ロ) 第 A.30 図 (ロ) 第 A.38 図 (ロ) 第 A.47 図	—	—	—	—	—	変形量	落下試験後の変形量	変形が密封装置まで達しないこと	
		5.4 積み重ね試験	—	—	—	—	—	変形量	原型試験による評価	原型試験による評価		
		ドラム	(ロ) 第 A.15 表	—	—	輸送物自重の 5 倍の荷重	—	—	—	—	有意な変形がないこと	
		ドラム	—	—	—	—	—	応力評価	軸圧縮応力計算による評価	Sm		
		5.5 貫通	—	—	—	—	—	変形量	原型試験による評価	原型試験による評価		
		輸送容器	—	—	—	軟鋼棒の落下衝撃	—	変形量	試験後の変形量	貫通しないこと		

(ロ)・第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (5/9)

要件	条件	評価項目	設計条件				評価方法		備考	
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	安全係数	要素		適用数式または要素	評価基準
B M 型 輸 送 物	特 別 の 試 験 条 件	6.1 強度試験・落下試験 I 6.1.1 垂直落下 輸送容器	(ロ)・第 A.6 図	-	-	9 m 垂直落下	-	密封性能	原型試験による評価 9 m 垂直落下試験後の密封装置の密封性検査結果 密封性が保たれること	
							-	変形量			変形が密封装置まで達しないこと
		6.1.2 水平落下 輸送容器	(ロ)・第 A.6 図	-	-	9 m 水平落下	-	密封性能	原型試験による評価 9 m 水平落下試験後の密封装置の密封性検査結果 密封性が保たれること	
							-	変形量			変形が密封装置まで達しないこと
		6.1.3 コーナー落下 輸送容器	(ロ)・第 A.24 図	-	-	9 m コーナー落下	-	密封性能	原型試験による評価 9 m コーナー落下試験後の密封装置の密封性検査結果 密封性が保たれること	
							-	変形量			変形が密封装置まで達しないこと

(ロ)第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (6/9)

要件	条件	評価項目	設計条件				評価方法		備考		
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷	適用式または要素		評価基準	
B M 型 輸 送 物	特別の試験条件	6.1.4 傾斜落下輸送容器	(ロ)第A.29図	—	—	9 m 傾斜落下	—	密封性能 変形量	原型試験による評価 9 m 傾斜落下試験後の密封装置の密封性検査結果 9 m 傾斜落下試験後の変形量	密封性が保たれること 変形が密封装置まで達しないこと	
		6.2 強度試験・落下試験Ⅱ	— — (ロ)第A.24図 (ロ)第A.29図	—	—	軟鋼棒上への1 m 落下衝突	—	密封性能 変形量	原型試験による評価 試験後の密封装置の密封性検査結果 試験後の変形量	密封性が保たれること 変形が密封装置まで達しないこと	
		6.3 熱的試験 6.3.2 熱膨張 ・PCV-SCV間及びSCV一遮蔽体間の熱膨張差による干渉 ・PCV及びSCVの応力計算	— — —	— — —	温度差 内圧	— — —	熱膨張差 応力強さ	変形量 = $\frac{\alpha \times OD \times \Delta T}{2}$ α: 熱膨張率 OD: 外径寸法 ΔT: 温度差 構造解析コード (ABAQUS ^(ロ)) による評価	干渉しないこと [注1]	[注1] Smを基準とし、応力成分ごとに基準値を設ける	

(ロ)第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (7/9)

要件	条件	評価項目	設計条件				評価方法		備考	
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	安全係数	要素		適用数式または要素 評価基準
B M	特別の試験条件	6.4 浸漬 輸送容器	(ロ)第 A.28 表	—	—	0.9 m 浸漬試験 外圧(0.009 MPa)	—	変形	原型試験による評価 0.9 m 浸漬より厳しい 15 m 浸漬試験後に目視に よる外観検査	密封性能に影響があるような変形のないこと

(ロ)第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (8/9)

要件	条件	評価項目	設計条件						評価方法		備考
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷	要素	適用款式または要素	評価基準	
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	1. 連続試験 下記 1) ~ 2) の連続試験 1) 水噴霧	-	-	-	水噴霧	-	吸水 水切り性	原型試験による評価	無 良	設計基準は特 にないが、密封 性能と変形量 を確認する
			(ロ)第 A.30 図 (ロ)第 A.38 図 (ロ)第 A.47 図	-	-	1.2 m 自由落下	-	密封性能 変形量	原型試験の 1.2 m 落下 試験の結果を用いて評 価	変形が密封装 置まで達せ ず、密封装置 が健全である こと	
		2. 貫通試験 輸送容器	-	-	軟鋼棒の落下衝撃	-	変形	原型試験による評価	貫通しないこ と		
要件	条件	5.4 積み重ね試験 ドラム	(ロ)第 A.15 表	-	-	輸送物自重の 5 倍 の荷重	-	変形量	原型試験による評価	有意な変形が ないこと	Sm
		ドラム (フランジ部)						軸圧縮応力解析			

(D)・第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び評価方法 (9/9)

要件	条件	評価項目	設計条件				評価方法		備考		
			参照図	材質	温度	設計負荷	適用数式または要素	評価基準			
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件				種類	安全係数	要素				
		1. 一般の試験条件のうち 連続試験 2. 9 m 落下試験	-	-	-	9 m 自由落下	-	密封性能 変形量	原型試験による評価 9 m 落下試験後の密封装置の密封性検査結果 9 m 落下試験後の変形量	密封性が保たれること 変形が密封装置まで達しないこと	設計基準はないが密封性能と変形量を確認する
		3. 1 m 貫通試験 輸送容器	-	-	-	軟鋼棒上への 1 m 落下衝突	-	変形	原型試験による評価 9 m 落下試験に加えて、貫通試験後の変形を重視確認する	貫通しないこと	
		4. 耐火試験 ・PCV-SCV 間及び SCV-遮蔽体間の熱膨張差による干渉 ・PCV 及び SCV の応力計算	-	環境温度 38 °C	-	800 °C で 30 分間 内圧	-	熱膨張差 応力強さ	変形量 = $\frac{\alpha \times OD \times \Delta T}{2}$ α : 熱膨張率 OD: 外径寸法 ΔT : 温度差 構造解析コード (ABAQUS ⁽⁹⁾) による評価	干渉しないこと [注 1]	[注 1] Sm を基準とし、応力成分ごとに基準値を設ける
		5. 0.9 m 浸漬試験 輸送容器	-	-	-	0.9 m 浸漬試験 外圧(0.009 MPa)	-	変形	原型試験による評価 0.9 m 浸漬より厳しい 15 m 浸漬試験後に目視による外観検査	密封性能に影響があるような変形のないこと	

A.2 重量及び重心

本輸送物の各部の重量を、(p)-第 A.2 表に示す。

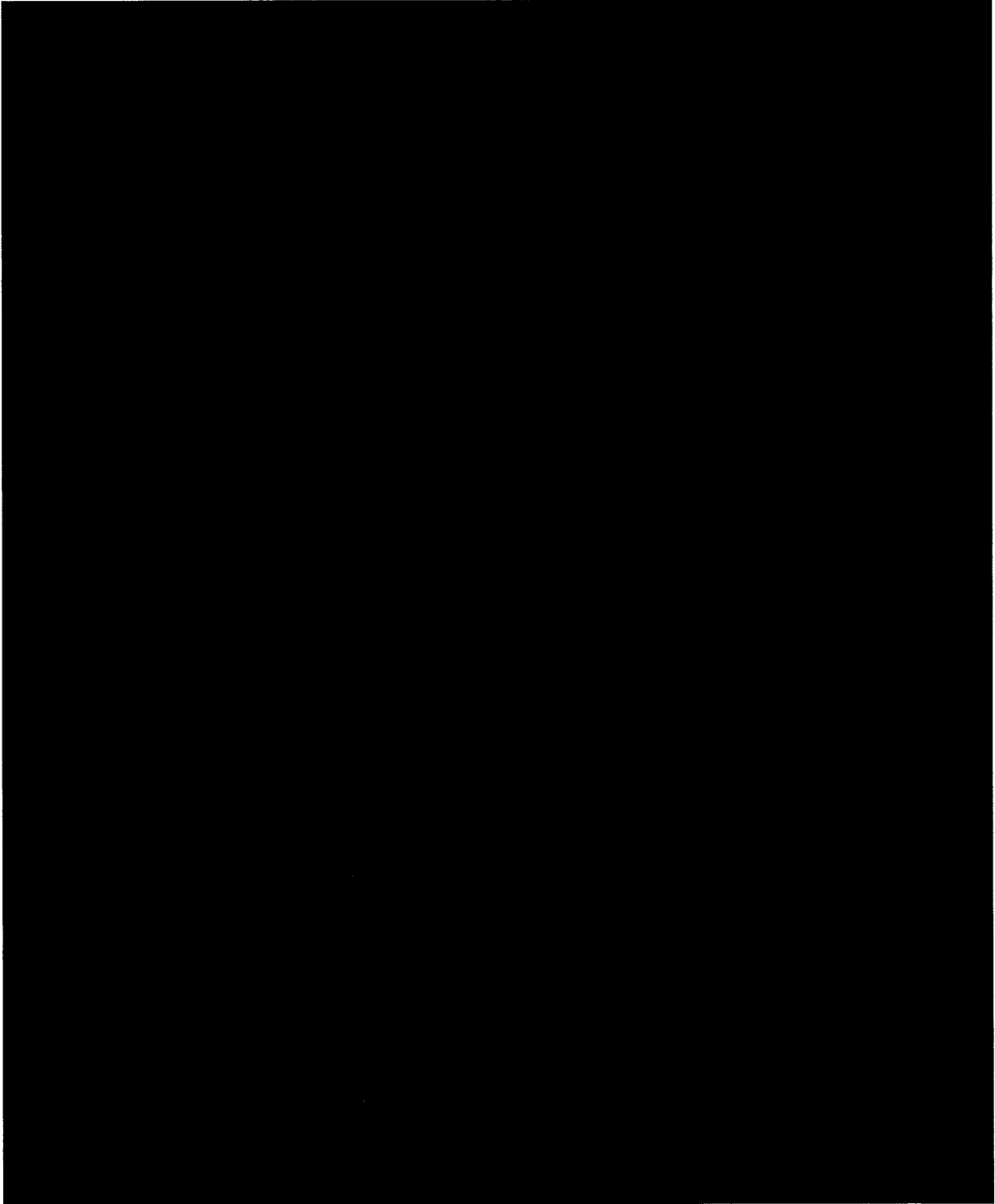
また、輸送物の重心位置は、(p)-第 A.1 図に示すとおりである。

(p)-第 A.2 表 輸送物部品重量

構成要素		重量 kg (lb)	重心 ^{a)} mm (in.)
公称値	ドラム(ボルト、蓋、ドラム胴体)		
	ブランケット		
	上部断熱材及びアルミニウムベアリング板		
	下部断熱材及びアルミニウムベアリング板		
	一次収納容器 (PCV)		
	二次収納容器 (SCV)		
	一次及び二次収納容器の合計		
	アルミニウムハニカム (スペーサ/衝撃吸収材)		
	遮蔽体		
	空輸送容器		
最大値	空輸送容器		
	収納物		
	輸送物総重量 ^{b)}		

a) 指定された部品の底部から測定される重心。輸送物の重心高さは、収納物装荷配置に依存し変化する。

b) 収納物重量と空輸送容器重量の合計重量は、輸送物総重量を超えてはならない。



(㊦)-第 A.1 図 輸送物重心位置

A.3 材料の機械的性質

構造評価に用いる材料について、構造評価に使用する構成部品と材質を(□)第 A.3 表に示す。

また、構造評価に用いる材料の機械的性質及び仕様を(□)第 A.4 表～(□)第 A.9 表及び(□)第 A.2 図に示す。

(ロ)第 A.3 表 輸送容器材料仕様

構成要素	材料	仕様
ドラム (蓋、胴体、 底板)	ステンレス鋼	[REDACTED]
ドラム (フランジ 部)	ステンレス鋼	[REDACTED]
ドラム蓋ボルト	低温用ボルト鋼 材	[REDACTED]
ドラム蓋ナット	ステンレス鋼	[REDACTED]
位置合せピン	ステンレス鋼	[REDACTED]
プラスチックプラグ	ポリエチレン	[REDACTED]
ブランケット	セラミック繊維 ステンレス鋼	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED] (2)
アルミニウム ベアリング板	アルミニウム	[REDACTED]
遮蔽体	鉛	[REDACTED]
アルミニウム蓋	アルミニウム	[REDACTED]
遮蔽体蓋ボルト	ステンレス鋼	[REDACTED]
PCV、SCV (シーム レスパイプ、パイプ キャップ、ステイヘ ッド)	ステンレス鋼	[REDACTED]
コーンシールプラグ	ステンレス鋼	[REDACTED]
コーンシールナット	ステンレス鋼	[REDACTED]
リークテストポート プラグ	ステンレス鋼	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
SCV 上部及び底部 衝撃吸収材	アルミニウム	[REDACTED] 相当品.
PCV 底部スペーサ	アルミニウム	[REDACTED] 相当品.

(ロ)-第 A.4 表 ドラム (蓋、胴体、底部) の機械的性質^{(4),(5)}

項目 ^{a)}	
最小降伏応力	
最小引張強さ	
伸び	
ヤング率	

a) 周囲温度21°C(70°F)の材料特性。

(ロ)-第 A.5 表 ドラム閉止部品の機械的性質⁽⁵⁾

項目 ^{a)}	最小降伏応力, S_y MPa (ksi)	最小引張強さ, S_u MPa (ksi)
ドラム蓋ボルト		
ドラム蓋ナット		
位置合せピン ドラムフランジ部		

a) 周囲温度21°C(70°F)材料特性。 S_y 及び S_u は、保守的に304の代わりに304Lの数値を示す。

(ロ)-第 A.6 表 繊維板の機械的性質

項目	規格 ⁽²⁾
表面被覆引張強さ	
線膨張率, 湿度 (50 - 90%)	
破断係数(平均) ^{a)}	
吸水率 (最大)	
密度	

a) 破断係数とは、ASTM C209 (セルロース系繊維断熱板に対する標準試験方法)、Section 10 に示されている方法で測定される横強度(Transverse Strength)であり、次式で計算される。

$MOR = 6P/t^2$ ここで、MOR: 横強度 MPa (psi)、P: 横荷重 N (lbf)、t: 板厚 mm (in.)

破断係数は、本安全解析書では用いられていないが、セロテックスを用いた全ての輸送容器にASTM C209の要求条件が求められる。

(ロ)第 A.7 表 Oリングの機械的性質

項目	[REDACTED]
温度範囲	[REDACTED] (3)
硬度(シヨア A)	[REDACTED]

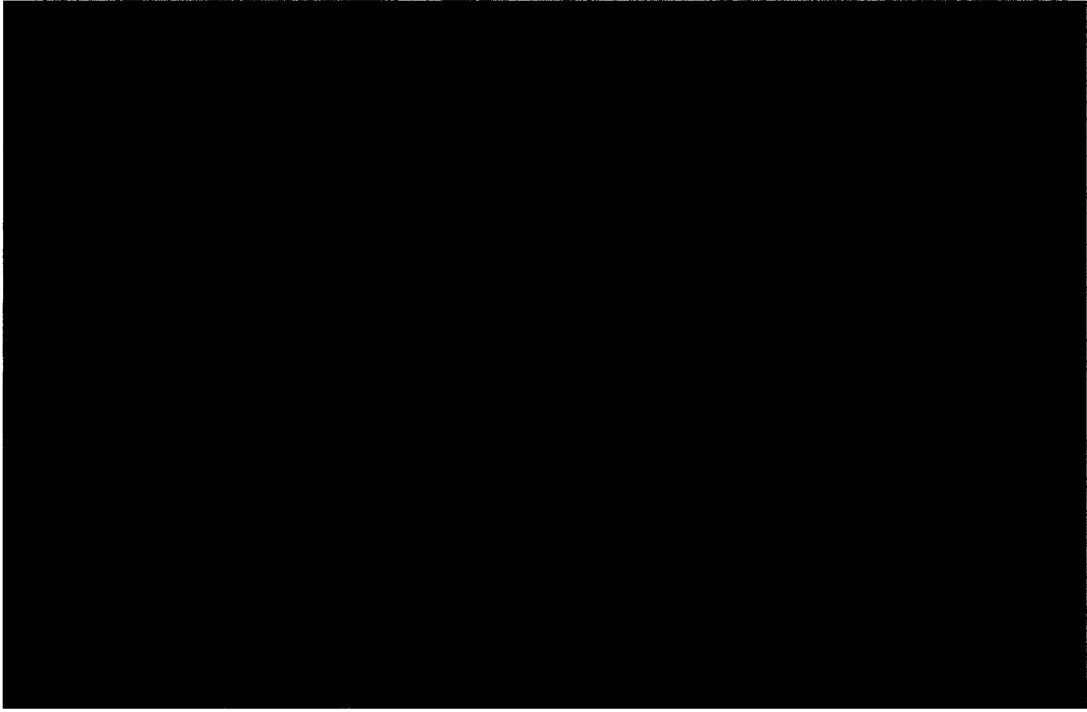
(ロ)第 A.8 表 一次収納容器及び二次収納容器の機械的性質

項目		
シームレスパイプ	[REDACTED]	[REDACTED]
パイプキャップ	[REDACTED]	[REDACTED]
ステイヘッド	[REDACTED]	[REDACTED]
コーンシールプラグ	[REDACTED]	[REDACTED]
コーンシールナット	[REDACTED]	[REDACTED]
伸び ^{a),(4)}	[REDACTED]	[REDACTED]
温度 °C (°F)	平均熱膨張係数 ^{b)} mm/mm/°C (in./in./°F)	ヤング率 ^{c),(5)} GPa (psi)
-40 (-40)	—	[REDACTED]
21 (70)	—	[REDACTED]
93 (200)	[REDACTED]	[REDACTED]
149 (300)	[REDACTED]	[REDACTED]
204 (400)	[REDACTED]	[REDACTED]
260 (500)	[REDACTED]	[REDACTED]

a) ASME規格セクションII、パートA、
b)
c)

(㊦) 第 A.9 表 一次収納容器及び二次収納容器の許容応力、降伏及び引張強さ⁽⁵⁾

温度 °C (°F)	許容応力強さ MPa (ksi)	降伏強さ MPa (ksi)	引張強さ MPa (ksi)



(ロ)・第 A.2 図 繊維板の荷重-たわみデータ(6), (7), (8)

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

本輸送物中の接触する異種材料の一覧を(ロ)・第 A.10 表及び(ロ)・第 A.11 表に示す。

本輸送物の構成材料は、鉛以外の構成材料は空気中で化学的に安定しており、異種材料の接触により化学的及び電氣的に反応することはない。

遮蔽体の鉛はステンレス鋼で被覆されており、腐食のおそれはない。

断熱材繊維板の含水率は低く、接着剤は接着後固化乾燥させるので水分の影響はない。

O リングはフッ素ゴム製であり、(ロ)章 B.5.3 項で示すように特別の試験条件下においても常用使用温度 () を逸脱することはない。このことから、O リングは収納容器 (ステンレス鋼) と相互に影響を及ぼすことはない。

A.4.2 低温強度

本項では、輸送途中で周囲温度が -40°C であり、発熱量が 0 とした場合の影響について、(ロ)・第 A.3 表に示す輸送容器の構成材料が使用に耐え、問題ないことを示す。

ステンレス鋼は -40°C 以下の温度にも非常に強く -40°C の低温で使用上の問題が発生することはない。また、PCV 及び SCV の溶接部はステンレス鋼製の溶材を使用しているため、低温時に使用上の問題が発生することはない。

ボルト鋼材は低温用合金鋼であり、 -40°C の低温で使用上の問題が発生することはない。

鉛の最低使用可能温度は -180°C であり、 -40°C の低温で使用上の問題が発生することはない。

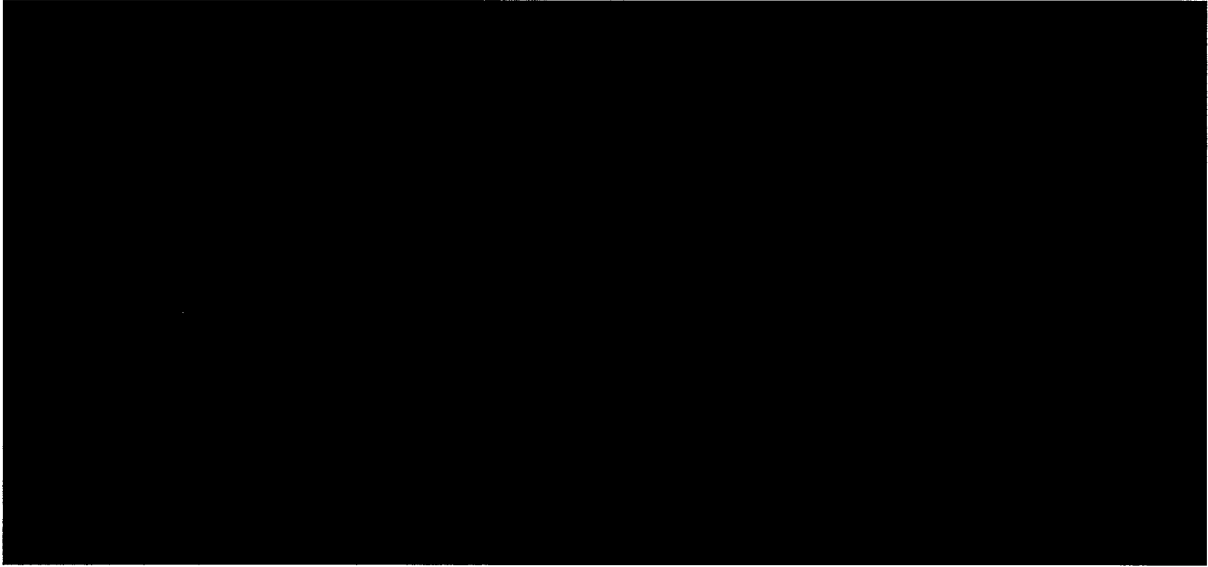
アルミニウムの最低使用可能温度は -196°C であり、 -40°C の低温で使用上の問題が発生することはない。

断熱材繊維板は、(ロ)・第 A.2 図に示すように、 -40°C において試験を実施し、使用上の問題がないことを確認した。

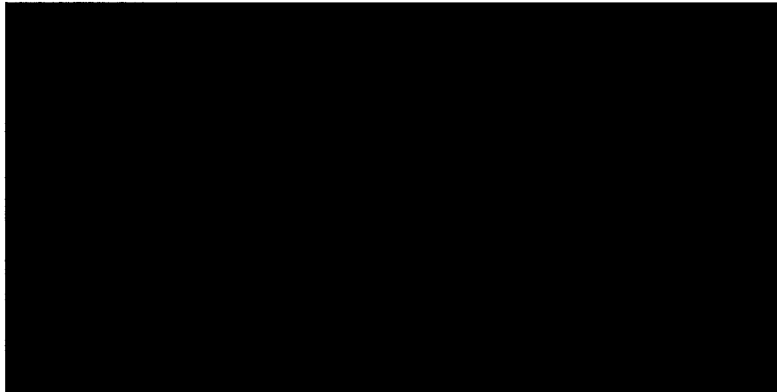
O リングの常用使用温度は () であるため、低温での使用には問題はない。

よって、周囲温度が -40°C になったとしても本輸送容器は、その健全性を保持する。

(㊦)第 A.10 表 輸送容器における構造物の異種接触材料^{(9),(10)}

A large black rectangular redaction box covering the entire content of the table for (㊦)第 A.10 表.

(㊦)第 A.11 表 一次収納容器内の異種接触材料

A black rectangular redaction box covering the content of the table for (㊦)第 A.11 表.

A.4.3 密封装置

本輸送物の密封装置は PCV 及び SCV から構成され、それぞれの蓋部をコーンシールナットによりステイヘッドへ締付けられることにより、密封を保つ構造になっている。

輸送中はドラム蓋が SCV の蓋部全体を完全に覆っており、ドラム蓋はドラム胴体へボルト締めされる。したがって、輸送容器の蓋が不用意にあげられることはない。

A.4.4 吊上装置

本輸送容器の荷役は、専用のドラムリフターを用いて行われる。このため、本輸送容器には吊上装置はなく、本項は該当しない。

A.4.5 固縛装置

本輸送容器は専用のカートに積載し、コンテナに積載する。このため、本輸送容器には固縛装置はなく、本項は該当しない。

A.4.6 圧力

本項では、周囲の気圧が 60 kPa 絶対圧まで低下した場合の密封装置の強度について検討する。

規則及び告示では 60 kPa の外気圧での検討が求められるが、本輸送物では保守的に ■ kPa (■ psi) の外気圧での密封装置の強度について評価を実施する。

ドラムのベント孔はプラスチックプラグで閉じている。また、ドラム蓋に気密シールは採用されていない。このため、外圧が ■ kPa に減少した場合、ドラム内の圧力は外気圧と等しくなり、ドラムには圧力減少による影響はない。

(ロ)章 B.4.4 項で示すとおり、PCV の最大内圧は ■ MPaG (■ psig)、SCV の最大内圧は ■ MPaG (■ psig) である。■ kPa (■ psi) の外気圧の場合、それぞれ ■ MPa (■ psi) を加えて、PCV は ■ MPa (■ psi)、SCV は ■ MPa (■ psi) となり、A.5.1.3 項で示す PCV の設計圧力 ■ MPa (■ psi) 及び SCV の設計圧力 ■ MPa (■ psi) を十分満足する。

A.4.7 振動

本項では、通常の輸送時の振動が本輸送物に与える影響について説明する。

輸送容器を単純な解析モデルに置き換え、輸送容器と積載車両が共振しないことを示す。輸送容器の解析モデルを、(□)-第 A.3 図に示す。SCV への積載車両の振動の伝達及び SCV の振動モードによる荷重の増幅のモデルを考慮する。

(1) SCV への積載車両の振動の伝達

断熱材及び SCV の材料剛性は大きく異なるため、断熱材の応答と SCV の応答は分けて考えることができる。Harris⁽¹¹⁾によれば、固有振動数 f (Hz) は次式で表される。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{d\sigma/d\varepsilon \cdot g \cdot A}{W \cdot t}}$$

ここで、

$d\sigma/d\varepsilon$: 重量(W)に等しい荷重における断熱材の S-S 曲線の傾き⁽¹²⁾

■ N/mm² (■ psi)

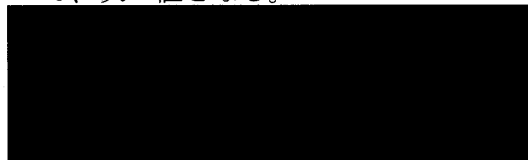
g : 重力加速度 ■ × ■ mm/s² (■ in./s²)

A : 断熱材の断面積 ■ mm² (■ in.²)

W : 輸送物重量—ドラム及び断熱材重量 ■ N (■ lb)

t : 断熱材の厚さ ■ mm (■ in.)

したがって、次の値となる。



(2) SCV の振動モードによる荷重の増幅

固有振動数 f (Hz) は次式で表される。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k \cdot g}{W}}$$

ここで、

k : SCV の軸方向剛性 (N/mm)

$$k = \frac{A \cdot E}{L}$$

A : SCV の断面積 [] mm² ([] in.²)

E : SCV のヤング率 [] N/mm² ([] 10⁶ psi)、 ([] °C ([] °F))

L : SCV の長さ [] mm ([] in.)

$$k = []$$
$$= []$$

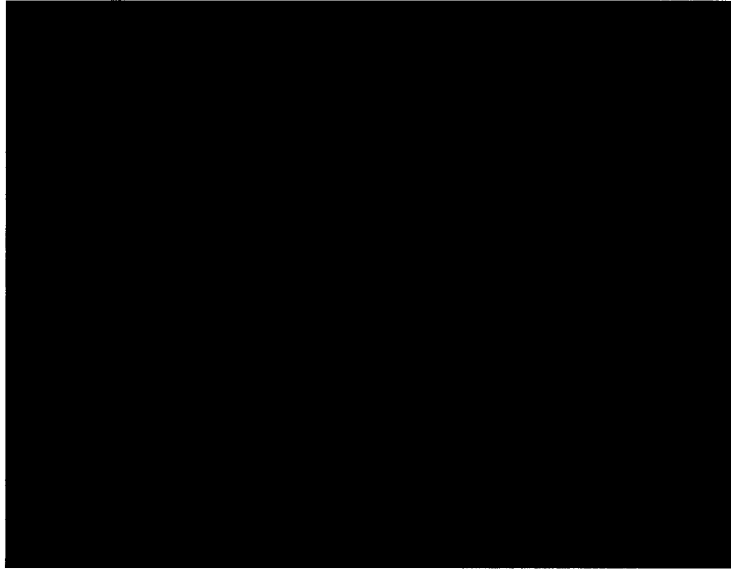
g : 重力加速度 [] × [] mm/s² ([] in./s²)

W : SCV、PCV 及び収納物重量 [] N ([] lb)

したがって、次の値となる。

$$f []$$
$$= []$$

輸送中に想定される振動数は、大部分が 10 Hz 以下であるため、共振することはない。



(ロ)第 A.3 図 振動の解析モデル

A.5 一般の試験条件

本輸送物は BM 型核分裂性輸送物である。したがって、38 °C の条件下に太陽放射熱を負荷し 1 週間置き、次の条件の下に置く。

(1) 水噴霧

(1) の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(2) 自由落下

(3) 積み重ね試験

(4) 貫通

本項においては、上述の試験条件の下での本輸送物へ与える影響について解析し、その解析結果が一般の試験条件の設計基準を満足することを示す。

A.5.1 熱的試験

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

本項では、一般の試験条件の下における設計・解析に使用する温度及び圧力の要約を記述する。

(1) 設計温度

(ロ)章 B.4.2 最高温度で評価した結果、輸送物の最高温度は 38 °C の周囲温度の下で太陽放射熱を受けたとした場合、輸送容器各部の温度は(ロ)第 A.12 表のとおりである。一般の試験条件の下における設計温度として、(ロ)第 A.12 表に示すように、PCV 及び SCV を ■■■ °C (■■■ °F)、O リングを ■■■ °C (■■■ °F) として保守的に評価する。

(2) 設計圧力

(ロ)章 B.4.4 最大内圧で評価したように、PCV 内圧は ■■■ MPaG (■■■ psig)、SCV 内圧は ■■■ MPaG (■■■ psig) である。一般の試験条件の下における設計圧力として、(ロ)第 A.12 表に示すように、PCV 内圧を ■■■ MPaG (■■■ psig)、SCV 内圧を ■■■ MPaG (■■■ psig) として保守的に評価する。

(ロ)第 A.12 表 一般の試験条件の下における輸送容器設計温度、設計圧力

構成機器	設計温度 °C(°F)	設計圧力 MPaG(psig)
PCV	■	—
SCV	■	—
PCV リング	■	—
SCV リング	■	—
断熱材	■	—
遮蔽体	■	—
収納物	—	—
ドラム	■	—
PCV気体	■	—
PCV内圧	—	■
SCV内圧	—	■

A.5.1.2 熱膨張

ドラム、断熱材、エアシールド、ブランケット及びアルミニウムベアリング板については構成材料の熱膨張差による干渉は軽微であるため、輸送物の健全性に影響を及ぼすことはない。このため、本項では PCV、SCV 及び遮蔽体について評価を行う。

(1) PCV—SCV 間の径方向干渉

PCV 及び SCV について公差を考慮した場合、PCV 最大外径(ステイヘッド部)が [] cm ([] in.)、SCV 最小内径が [] cm ([] in.) となる。このため、[] °C ([] °F) における PCV—SCV 間の径方向最小ギャップは [] cm ([] in.) となる。保守的に PCV 温度を [] °C ([] °F) とすると、径方向変形量は次式で与えられる。なお、熱膨張係数は保守的に [] °C ([] °F) の値を使う。

$$\text{PCV 径方向変形量} = \frac{\alpha \times \text{OD} \times \Delta T}{2} \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

ここで、

α : [] °C ([] °F) における熱膨張係数

OD : PCV 最大外径 []

ΔT : []

(A.1) 式より PCV の径方向の変形量は [] cm ([] in.) となり、径方向最小ギャップに比べて小さい。このため、PCV と SCV は SCV の径方向変形量に依らず干渉することはない。

(2) SCV—遮蔽体 間の径方向干渉

SCV 及び遮蔽体について公差を考慮した場合、SCV 最大外径 (ステイヘッド部) が [] cm ([] in.)、遮蔽体最小内径が [] cm ([] in.) となる。このため、[] °C ([] °F) における SCV—遮蔽体間の径方向最小ギャップは [] cm ([] in.) となる。保守的に SCV 温度を [] °C ([] °F) として、(1) と同様に SCV 径方向の変形量を (A.1) 式より計算すると [] cm ([] in.)

となり、径方向最小ギャップに比べて小さい。このため、SCV と遮蔽体は遮蔽体の径方向変形量に依らず干渉することはない。

(3) PCV—SCV 間の軸方向干渉

PCV 及び SCV について公差を考慮した場合、PCV 最大高さが [] cm ([] in.)、SCV 最小空間高さが [] cm ([] in.) となる。また、PCV 上下に配置される SCV 上部衝撃吸収材及び底部衝撃吸収材の合計厚さは [] cm ([] in.) となる。このため、[] °C ([] °F) における PCV—SCV 間の軸方向最小ギャップは [] cm ([] in.) となる。(1) と同様に PCV 軸方向の変形量を (A.1) 式より計算 (ただし、(A.1) 式の分母の 2 は削除する) すると、[] cm ([] in.) となり、軸方向最小ギャップに比べて小さい。このため、PCV と SCV は SCV の軸方向変形量に依らず干渉することはない。

(4) SCV—遮蔽体間の軸方向干渉

SCV 及び遮蔽体について公差を考慮した場合、SCV 最大高さが [] cm ([] in.)、遮蔽体最小キャビティ高さが [] cm ([] in.) となる。このため、[] °C ([] °F) における SCV—遮蔽体間の軸方向最小ギャップは [] cm ([] in.) となる。保守的に SCV 温度を [] °C ([] °F) として、(1) と同様に SCV 軸方向の変形量を (A.1) 式より計算 (ただし、(A.1) 式の分母の 2 は削除する) すると、[] cm ([] in.) となり、軸方向最小ギャップに比べて小さい。このため、SCV と遮蔽体は遮蔽体の軸方向変形量に依らず干渉することはない。

(5) PCV 及び SCV の円筒平行部における内表面と外表面との温度差による熱応力

一般の試験条件における熱解析より、PCV 及び SCV の円筒平行部の内外表面に生じる温度差は約 [] °C ([] °F) 未満であるが、本評価では保守的に PCV 及び SCV の円筒平行部の温度差が [] °C ([] °F) があるものとして評価する。円筒平行部の内表面及び外表面にかかる垂直応力及びせん断応力は次の (A.2) 式及び (A.3) 式で与えられる。

- ・内表面にかかる垂直応力及びせん断応力

$$\sigma_{li} = \sigma_{ti} = \frac{\alpha \times \Delta T \times E}{2(1-\nu) \ln \frac{r_o}{r_i}} \left[1 - \frac{2r_o^2 \ln \frac{r_o}{r_i}}{r_o^2 - r_i^2} \right] \dots\dots\dots (A.2)$$

ここで、

- σ_{li} : 内表面に垂直応力 MPa (psi)
- σ_{ti} : 内表面のせん断応力 MPa (psi)
- α : [] °C ([] °F) 未満における熱膨張係数
 \leq [] cm/cm/°C ([] in./in./°F)
- ΔT : [] °C ([] °F)
- r_i : PCV 内径 [] cm ([] in.)
 SCV 内径 [] cm ([] in.)
- r_o : PCV 外径 [] cm ([] in.)
 SCV 外径 [] cm ([] in.)
- ν : ポワソン比 0.3
- E : [] °C ([] °F) における縦弾性係数
 [] [] []

・外表面にかかる垂直応力及びせん断応力

$$\sigma_{lo} = \sigma_{to} = \frac{\alpha \times \Delta T \times E}{2(1-\nu) \ln \frac{r_o}{r_i}} \left[1 - \frac{2r_i^2 \ln \frac{r_o}{r_i}}{r_o^2 - r_i^2} \right] \dots\dots\dots (A.3)$$

ここで、

- σ_{lo} : 外表面の垂直応力 MPa (psi)
- σ_{to} : 外表面のせん断応力 MPa (psi)

また、蓋中央部及びエンドキャップにかかる曲げ応力は次式で与えられる。

$$\sigma_{li} = \sigma_{ti} = \frac{\alpha \times \Delta T \times E}{2(1-\nu)} \dots\dots\dots (A.4)$$

上記の (A.2) 式～ (A.4) 式に基づき [] °C ([] °F) の温度差における PCV 及び SCV に発生する最大熱応力を計算し、(p)・第 A.13 表に結果を示す。なお、SCV の評価については、保守的に PCV と SCV とが半径方向に一様な円筒と考

え、PCV の内半径と SCV の外半径を用いて SCV 円筒平行部に生じる熱応力を求めた。また、(A.2) 式～ (A.4) 式の値は、安全側に絶対値を評価に用いる。

(ロ)第 A.13 表 PCV 及び SCV に発生する最大熱応力 (■ °C (■ °F))

評価箇所	熱応力	
	PCV	SCV
円筒平行部外表面 (ロ)第A.5-1図 A-A断面)	■	■
円筒平行部内表面 (ロ)第A.5-1図 A-A断面)	■	■
エンドキャップ (ロ)第A.5-1図 D-D断面)	■	■
蓋中央部	■	■

(6) 一般の試験条件における疲労評価

NRC Regulatory Guide 7.6 に従い、密封境界である PCV について、一般の試験条件における疲労評価を行う。

・一次応力強さ (Pm) の算出

米国輸送時に用いる輸送車両である SST(Safe Secure Trailer)の衝撃スペクトル解析より、垂直方向の最大加速度 ■ G が導かれた。また、■ ft 落下試験より、■ G の加速度が作用した場合に ■ MPa(■ ksi)の応力が発生するという計算結果を得た。これらの加速度及び応力の関係から、輸送中の振動及び装荷時の衝撃によって発生する応力は、■ G の時に ■ MPa(■ psi)となるが、安全側に約 ■ MPa (■ psi) ⁽¹³⁾とする。また、内圧によって発生する PCV の最大応力は応力集中係数を適用して ■ MPa (■ psi) となる。

したがって、次の値となる。

$$P_m + P_b = \text{■}$$

$$= \text{■}$$

・一次応力+二次応力強さ (Sn) の算出

A.5.1.3 応力計算

本項では構造及び密封装置の健全性を示すために、構造解析コード ABAQUS を用いて、 \blacksquare °C (\blacksquare °F) における PCV 及び SCV の解析を実施した。

本計算では PCV 及び SCV が、それぞれ \blacksquare N·m (\blacksquare ft·lb) 及び \blacksquare N·m (\blacksquare ft·lb) の最小設計閉止トルク範囲内で取り付けられたときの閉止機能の有効性を確認する試験並びに PCV 及び SCV の内部をそれぞれ \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) 及び \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) に加圧したときの応力評価を行った。なお、製造時に発生する応力は影響が軽微であるため本解析では考慮しない。

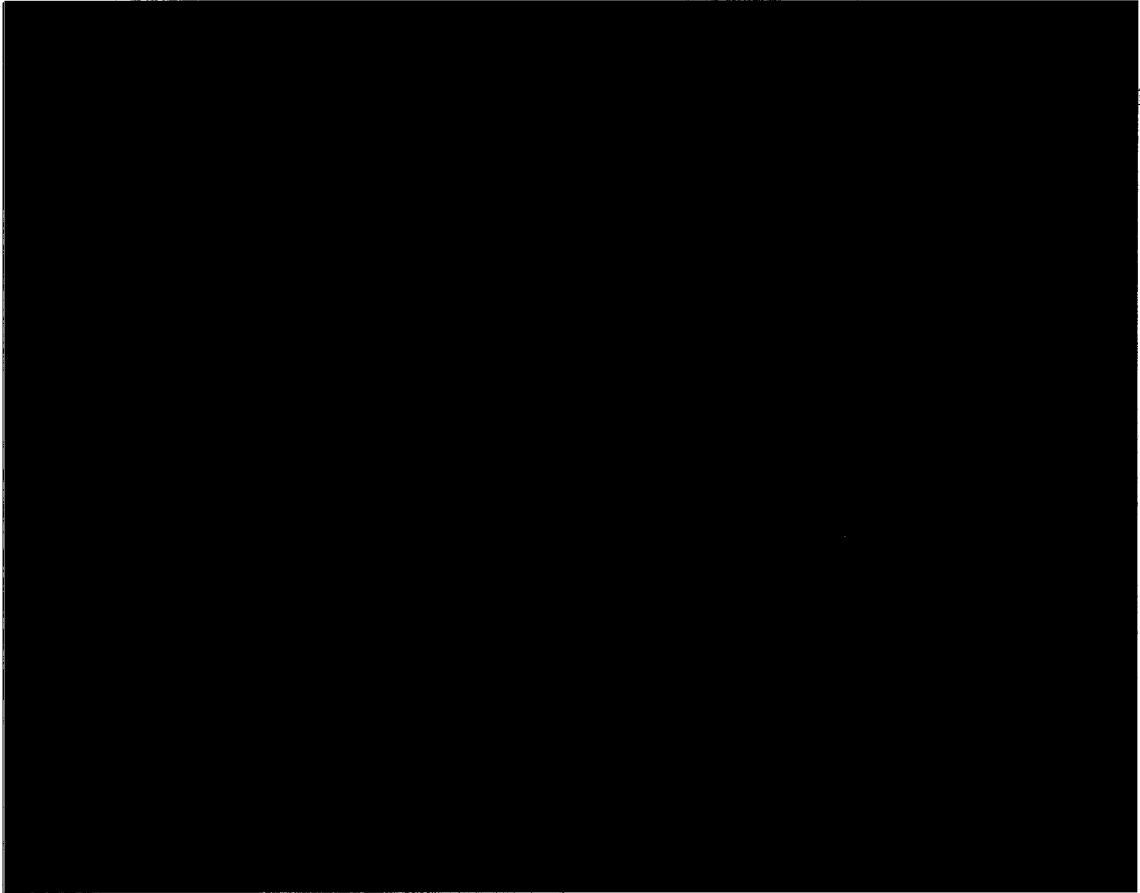
(1) 閉止機能の有効性評価

本評価では、設計に従って収納容器を取付けたとき、コーンシールナットがステイヘッド内表面に対して円すい蓋を保持することを静水破裂試験⁽¹⁶⁾により示す。

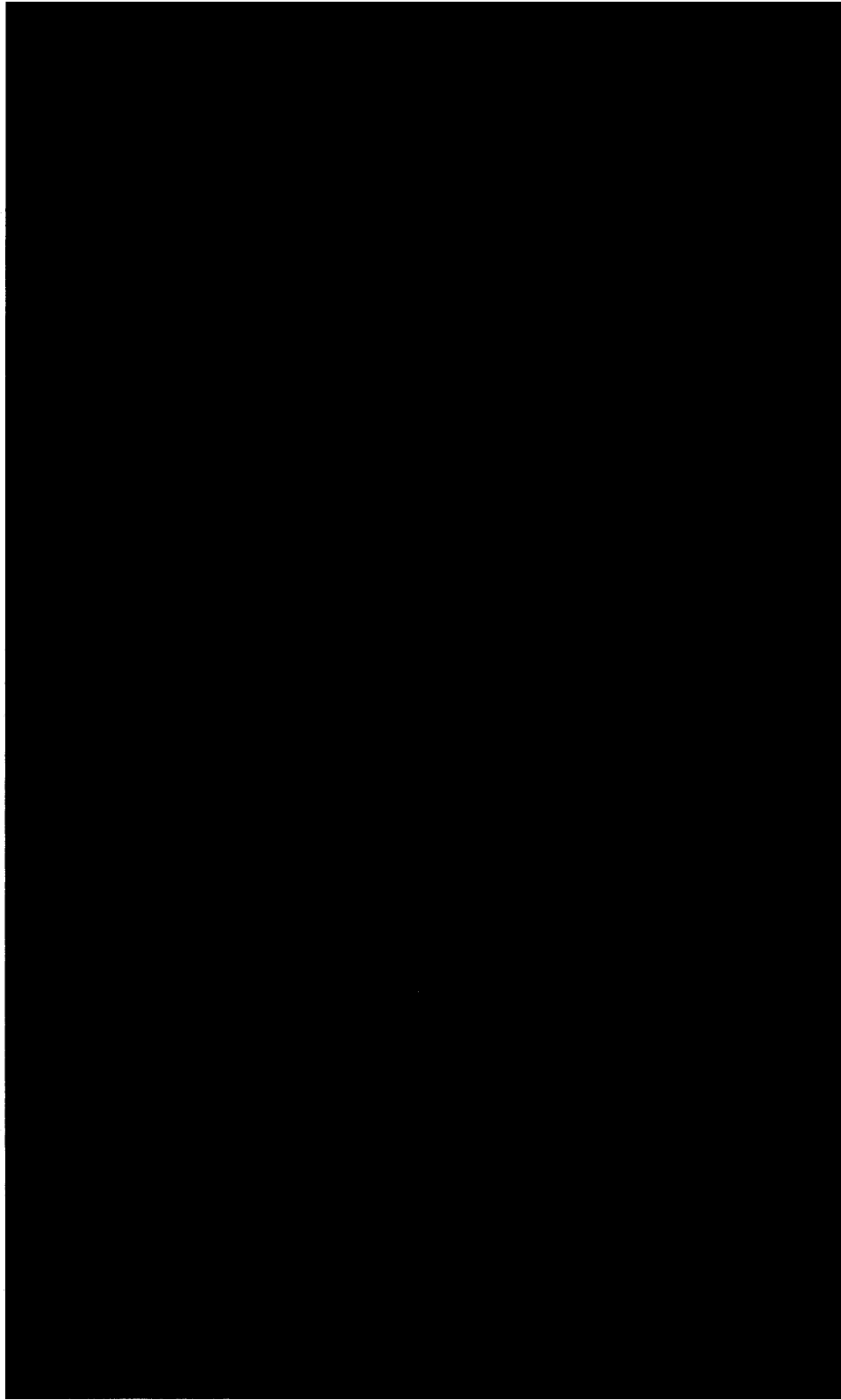
静水破裂試験では、設計に従って取付けた収納容器を加圧して実施した。その結果、容器が \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) を超えて破損する一方で、Oリングはシールを維持した。静水破裂試験の結果を(□)-第 A.4 図に示す。このことから、PCV 及び SCV の Oリングは、 \blacksquare MPa (\blacksquare psi) 及び \blacksquare MPa (\blacksquare psi) の設計圧力に対して健全性を維持する。

(2) 内圧負荷時の収納容器の応力

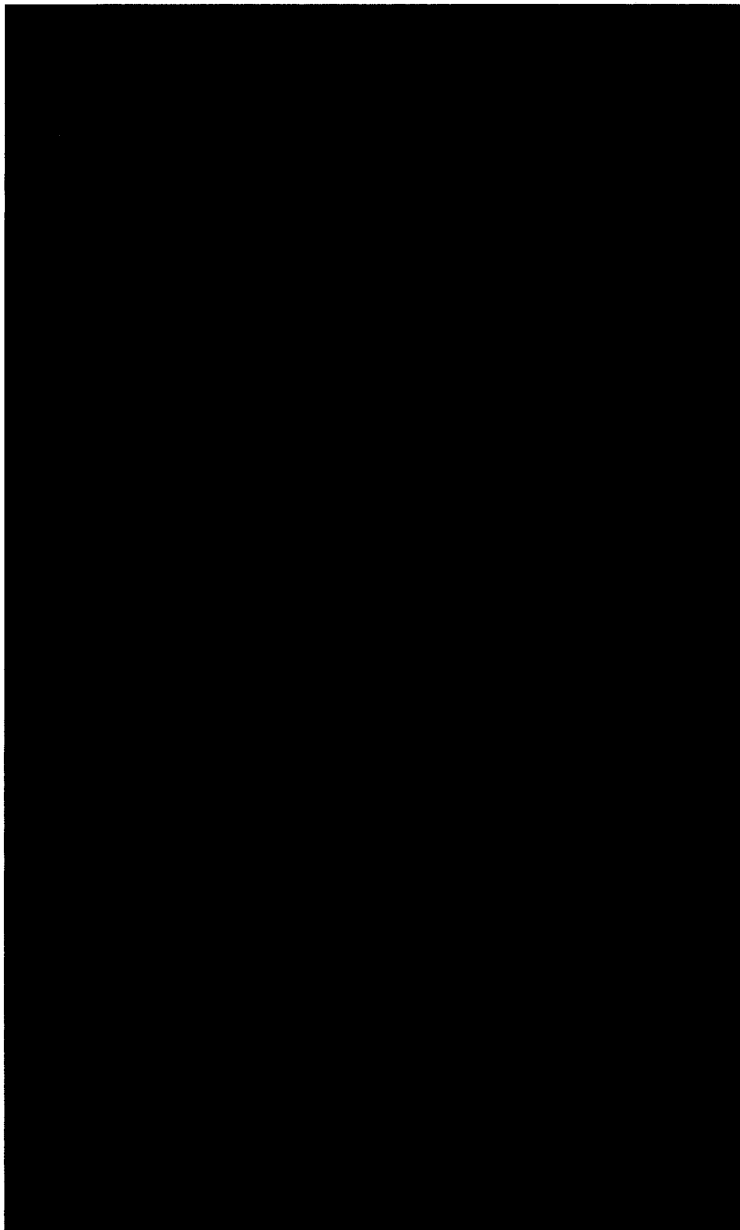
設計圧力に基づく ABAQUS による PCV 及び SCV に発生する応力強さの要約を(□)-第 A.14 表に示す。また、応力強さの評価位置を(□)-第 A.5-1 図に、応力評価モデル図を(□)-第 A.5-2 図に示す。



(□)第 A.4 図 静水破裂試験前後の PCV



(㊦)第 A.5-1 図 PCV 及び SCV の応力評価箇所



(□)第 A.5.2 図 PCV 及び SCV の応力評価モデル図

(v) 第 A.14 表 収納容器における 1 次及び 2 次 (熱) 最大応力の組み合わせ
 PCV における [redacted] MPa ([redacted] psi) 及び SCV における [redacted] MPa ([redacted] psi) での一般の試験条件応力要約

応力限度	内圧による応力 MPa (psi)					熱応力 MPa (psi)	1次+2次の合計 MPa (psi)	合計応力範囲 MPa (psi)	余裕率 % ^h
	P_m $S_m = 115$ (16700)	$P_m + P_h$ $1.5 S_m = 173$ (25050)	$P_m + P_h + Q_{pr}^a$ $3 S_m = 345$ (50100)	$P_m + P_h + Q_{pr}^a + F_{pr}^b$ $2 S_n = 1640$ (238000) ^b	$P_{m, pure-shear}$ $1.2 S_m = 138$ (20040)				
PCV 胴体 断面AA 断面BB 断面CC 断面DD	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
PCV コーンシールプラグ (初期締付けのみ)	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
PCV コーンシールナット	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
PCV テーパーネジ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
PCV テーパー最少断面	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
SCV 胴体 断面AA 断面BB 断面CC 断面DD	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
SCV コーンシールプラグ (初期締付けのみ)	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
SCV コーンシールナット	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
SCV テーパーネジ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
SCV テーパー最少断面	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

a) Q_{pr} : 内圧に起因する二次応力; 内圧により拘束点近傍に生じる曲げ応力による二次応力。

b) F_{pr} : 内圧に起因するピーク応力; 内圧により表面近傍で生じるピーク応力。

c) Q_{total} : 合計二次応力。

d) F_{total} : 合計ピーク応力。

e) [redacted]、図 I-9.2.1^(b) の 1000 負荷サイクルの許容値 ([redacted]) から、 $S_n =$ [redacted]

f) 壁曲げ応力を含んでいるが、熱応力ではない。

g) 最大表面応力を含む。ただし、テーパーネジ部分を除いた有限要素解析で求められたもので熱応力又は応力集中は含まれていない。熱応力は別に計算され、結果を表の 7 列目に表示した。1 次プラス 2 次の合計応力強さ (曲げと熱応力の両方を包含する) は、1 次プラス 2 次応力の合計として 8 列目に表示した。1 次プラス 2 次応力強さは、容器壁の応力成分を線形化する事によって求められるピーク応力を除いて求めるものである。1 次プラス 2 次応力強さは構造変形を引き起こすが、それに対してピーク応力は疲労破壊を引き起こす。そのため、ASME コードに記載の応力基準は、これらの 2 つのストレスカテゴリーでは異なる。

h) A.1.2.2 参照 下線で示す、最も厳しい値の余裕率を記載。

A.5.1.4 許容応力との比較

一般の試験条件における応力評価は構造解析コード ABAQUS を用いて [] °C ([] °F) における PCV 及び SCV の解析を実施した。(註)第 A.14 表に示すように、収納容器の設計圧力によって発生する応力強さは、十分許容応力を満足する。

A.5.2 水噴霧

水噴霧において、ステンレス鋼製のドラムには変形が起きることはない。また、輸送容器の外表面はなめらかに仕上げられているため、水切りが良い。

ドラム蓋はドラムフランジ部にドラム蓋ボルトによって取付けられている。類似の蓋構造を有する輸送容器による水噴霧試験において、ドラムフランジ部から輸送容器内部への水の浸入は確認されなかった。このため、水噴霧試験において、輸送容器内に水が浸入することはない。また、ドラムには4つのベント孔が設けられているが、プラスチックプラグで閉じており、水が浸入することはない。

PCV 及び SCV については、15 m 浸漬試験においても水の浸入はなく、密封性能が維持される。

上記の結果から水噴霧試験において変形がないため、著しい線量の増加及び核燃料物質の漏えいがなく輸送物の健全性は保たれる。

A.5.3 自由落下

輸送物の重量は、■■■■ kg (■■■■ lb) である。規則及び告示に定める自由落下の高さは、重量が 5000 kg 未満のものについて 1.2 m である。輸送物は、A.6.1 項で記述するように、落下試験 I（特別の試験条件）の 9 m の高さからの落下においても健全性が保たれており、落下高さ 1.2 m の試験においても輸送物の健全性は十分保証される。

(a) 解析モデル
採用せず。

(b) 原型試験

原型容器試験の詳細については、A.6.1 項で述べる。一般の試験条件における落下試験において輸送物の健全性が保たれていることを実証するために、■■■■ 型輸送物の落下試験を行った。

A.6.1 項で述べるように、■■■■ 型輸送物の 1.2 m 落下試験はコーナー落下及び傾斜落下を行った。(p)・第 A.22 表及び(p)・第 A.25 表で示すように、1.2 m 落下による変形は軽微であり、輸送容器、PCV、SCV 及び収納物の健全性は維持される。なお、垂直落下及び水平落下では 1.2 m 落下試験は行わず、9 m 落下試験のみを行った。

9 m 落下試験の結果から、各落下姿勢において輸送容器には著しい損傷はなく、落下試験後のヘリウムリークテストによって PCV 及び SCV の密封性能が維持されることを確認した。

このことから■■■■ 輸送容器は一般の試験条件の自由落下において輸送容器、PCV、SCV 及び収納物の健全性は維持される。

(c) モデル試験
採用せず。

A.5.4 積み重ね試験

規則及び告示に従い積み重ね試験による輸送物の影響を試験及び解析によって確認した。

規則及び告示に従い、次の負荷荷重を比較し、使用する荷重を決定する。

輸送物の鉛直投影面積 \blacksquare m² (\blacksquare in.²) に 13 kPa (2 psi) を乗じた荷重を次に示す。

\blacksquare
輸送物総重量の 5 倍荷重は次に示すとおりである。

\blacksquare
従って、積み重ね試験において使用する荷重に輸送物自重の 5 倍荷重を用いた。

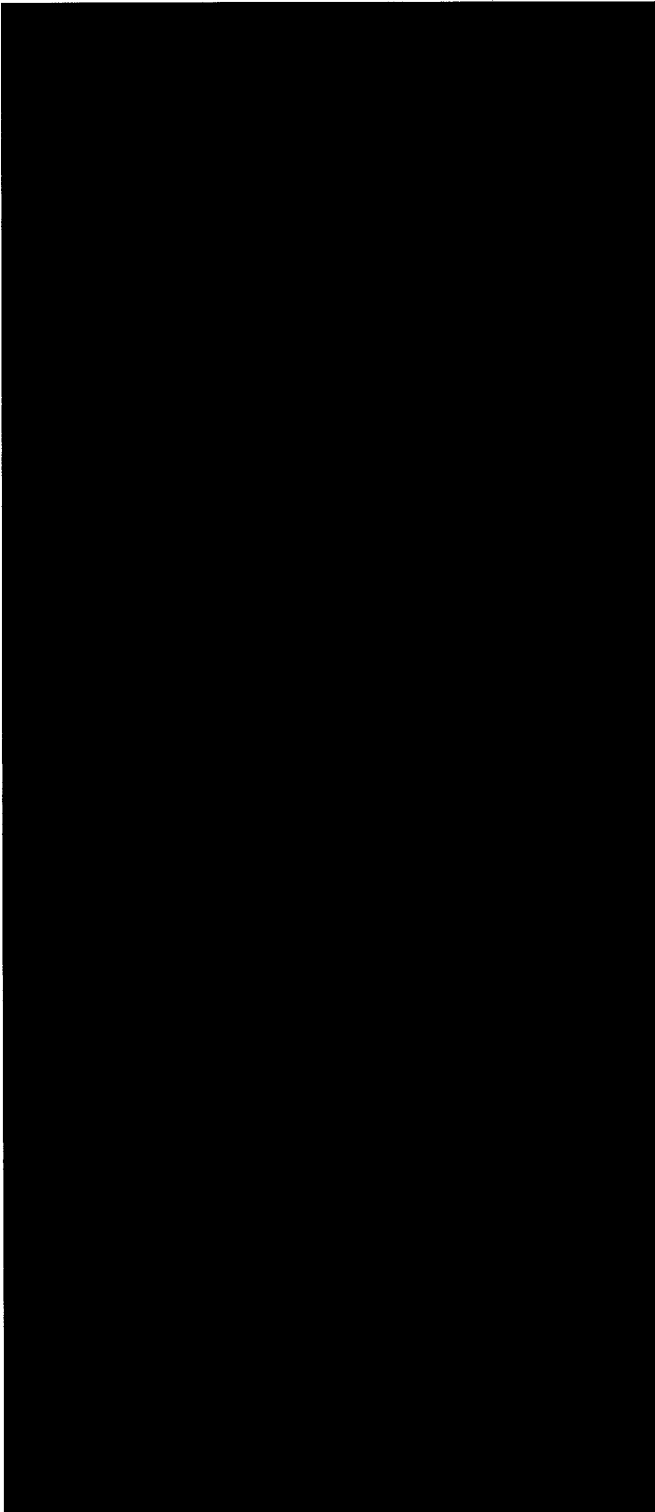
類似輸送物の積み重ね試験⁽¹⁷⁾において使用した輸送物は \blacksquare 型に類似の \blacksquare 型輸送物である。ここで、 \blacksquare 型及び \blacksquare 型輸送物の構造図及び概略仕様を (p)-第 A.15 表、(p)-第 A.16 表に示す⁽¹⁸⁾。 \blacksquare 型輸送物は、 \blacksquare ℓ (\blacksquare gal) ドラム、断熱材、遮蔽体、収納容器 (PCV、SCV) を有する \blacksquare 型輸送物と同じ構造の輸送物である。また、ドラム材と断熱材は接合されていないことから、積み重ね試験では、ドラム材料及び厚さが影響を及ぼす。このため、断熱材の厚さ及びタイロッドの有無は積み重ね試験では影響はない。従って、 \blacksquare 型輸送物の試験結果は \blacksquare 型輸送物に適用できる。

試験荷重は前述の算出荷重より重い \blacksquare kg (\blacksquare lb) を \blacksquare 型輸送物上部に 24 時間負荷した結果、輸送物が健全であることを確認した。

また、軸圧縮応力計算による評価では、積み重ね試験で発生する荷重を構造上最も厳しいドラム底部に発生する応力は次式に示すとおりである。

\blacksquare
 \blacksquare
この結果、ドラム底部に発生する応力は \blacksquare MPa (\blacksquare psi) となる。この応力は許容応力の \blacksquare MPa (\blacksquare ksi) に対して余裕率は \blacksquare % となる。

したがって、類似輸送物の積み重ね試験及び軸圧縮応力計算から、 \blacksquare 型輸送物は積み重ね試験において、変形することなく健全性は維持される。



(□) 第 A.15 表 型及び型輸送物の構造概要

輸送物 Model	輸送物 総重量 kg (lb)	ドラム						遮蔽体 厚さ mm (in.)	収納容器 の員数	断熱材 厚さ mm (in.)			
		容量 ℓ (gal)	板厚 mm (in.)	材 料	直径 mm (in.)	高さ mm (in.)	閉止方法			上部	底部	側部	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

(ロ)第 A.16 表 ■■■ 型及び ■■■ 型輸送物の仕様概要

機構、設計の特徴 及び 材料、重量 及び外形寸法					
	ドラム	エアシールド ベアリング板 スペーサ/衝撃吸収材	断熱材	遮蔽体	収納容器
■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■
■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■	■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■ ■■■

A.5.5 貫通

鋼製円柱（質量 ■ kg、直径 ■ cm 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）を高さ 1 m（40 in.）から輸送物表面へ自由落下させる場合の衝撃による影響について評価した。

■ 型輸送物には、露出した弁や継手はない。

先の試験において、繊維板を有するいくつかの 6M 型ドラムのドラム胴体、継ぎ目表面に軟鋼棒を落下する試験を実施した⁽²⁰⁾。なお、6M 型ドラムは ■ 型と同じ板厚（■ mm（■ in.））をもち、ドラム径（■ mm（■ in.））は ■ 型（■ mm（■ in.））よりも大きく、炭素鋼製であるため、■ 型に比べ貫通強度は小さいと考えられることから、6M 型の評価結果は ■ 型に比べて安全側となる。

試験の測定からドラム胴体の表面に最大 ■ mm（■ in.）変形を生じたが、ドラム胴体の破裂又は断熱材に到る損傷はなく、炭素鋼ドラムの健全性に影響のないことを確認した。

従って、ステンレス鋼ドラムの ■ 型輸送物において、貫通試験によるドラムの健全性に影響はない。

A.5.6 角又は縁落下

輸送物の最大重量は、■ kg（■ lb）であり、規則で定められる 100 kg を超えるため、本項は該当しない。

A.5.7 結果の要約及びその評価

(1) 水噴霧

A.5.2 項で記述したように、輸送容器は、表面が滑らかに仕上げられたステンレス鋼で製作されているため、水切りも良く、吸水性はない。よって、水噴霧試験を受けても形状の変形等は生じない。

(2) 自由落下

A.5.3 項で記述したように、1.2 m の高さからの自由落下試験を行った場合、変形は軽微であり、収納容器の密封性能は維持される。

(3) 積み重ね試験

A.5.4 項で記述したように、積み重ね試験を行っても輸送物が変形する事はない。

(4) 貫通

A.5.5 項で記述したように、貫通試験によりドラム胴体に凹部が生じるが、凹部は局部的であるため、臨界安全性に影響を及ぼす形状の変化はない。

(5) 結果の要約と評価

(1) 水噴霧、(2) 自由落下、(3) 積み重ね試験、(4) 貫通を行っても、一辺 10cm の立方体が入るようなくぼみは生じず、輸送物の健全性を損ねることはない。また、A.5.1 熱的試験に示す評価結果から内部圧力上昇による密封装置の損傷もないため、収納容器の密封性能が損なわれることはない。

A.6 特別の試験条件

本輸送物は、BM 型輸送物である。規則及び告示に基づく特別の試験条件は次のとおりである。

- (1) 強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)
 - (1) の試験に引き続いて次の条件の下に置く。
- (2) 強度試験・落下試験 II (1 m 落下時)
- (3) 熱的試験
- (4) 浸漬

本項においては、上述の試験条件の下での本輸送物へ与える影響について評価し、その評価結果が特別の試験条件の設計基準を満足することを示す。

A.6.1 強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)

輸送物を、各種の落下姿勢で 9 m (30 ft) の高さから落下させた場合の輸送物の評価を行う。評価は、原型試験により行う。

(a) 解析モデル

採用せず。

(b) 原型試験

強度試験・落下試験 I 及び強度試験・落下試験 II について、輸送容器の 1/1 スケールモデルを使用し、一連の試験を実施し、損傷状態の確認及びリークテストにより、試験体の密封性能の健全性を確認する。

落下試験は、[REDACTED] において実施された。

落下試験の標的は、一辺が [REDACTED] の正方形で厚さが [REDACTED] in.) の高張力鋼のプレートを、一辺が [REDACTED] の正方形で厚さが [REDACTED] [REDACTED] の鉄筋コンクリート上に固着したものである。標的の重量は、輸送物重量の [REDACTED] 倍を超える [REDACTED] kg ([REDACTED] lb) である。

原型試験の詳細については、A.6.1.1 項～A.6.1.4 項に示す。

(c) モデル試験

採用せず。

A.6.1.1 垂直落下⁽²¹⁾

9 m 垂直落下後に、収納容器が健全であり、密封性が維持されることを示す。評価は、上部垂直落下と下部垂直落下について行う。

PCV が設計圧力において密封性を維持することを実証するために、PCV に [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig) 以上の内圧を負荷した原型容器 1 を用いた落下試験を実施した（原型容器 1 試験）。原型容器 1 試験は、水平落下、下部垂直落下及び上部垂直落下の順で実施し、各落下試験による変形を重畳させた。一連の落下試験の前後には、ヘリウムリークテストを実施し、密封性能の健全性を確認した。全試験終了後に、原型容器内部を確認した結果、遮蔽体のアルミニウム蓋表面において、落下時の SCV の衝撃により線形の傷跡が確認された。しかし、この傷は表面上に限られており、PCV 及び SCV に損傷は生じなかった。試験の結果、著しい損傷はなくヘリウムリークテストの結果 [REDACTED] std·cm³/s の基準を満足した。

また、SCV が設計圧力において密封性を維持することを実証するために、SCV に [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig) 以上の内圧を負荷した原型容器 2 を用いた落下試験を実施した（原型容器 2 試験）。原型容器 2 は上述の原型容器 1 と別の供試体である。原型容器 2 試験は、水平落下、下部垂直落下及び上部垂直落下の順で実施し、各落下試験による変形を重畳させた。一連の落下試験の前後には、ヘリウムリークテストを実施し、密封性能の健全性を確認した。試験の結果、著しい損傷はなくヘリウムリークテストの結果、 [REDACTED] std·cm³/s の基準を満足した。

以上のことから、特別の試験条件の垂直落下において、輸送物の健全性は維持される。

A.6.1.1.1 供試体

原型試験は試験目的に合わせて 2 基の供試体を用いて実施した。供試体も、申請輸送物と同等の製作仕様にに基づき製作された実寸大の原型容器であり、使用した原型容器 2 基のうち、原型容器 1 は PCV を、原型容器 2 は SCV を加圧することを除いて同じ構造の原型容器である。申請輸送物 ([REDACTED] 型容器) と供試体の仕様の相違を以下に示す。なお、本供試体を用いた試験結果は、ドラム本体及び閉止構造の健全性、並びに収納容器の密封性について設計条件を満足する。また、以下に示す [REDACTED] 型容器との相違点は、安全側又は試験結果に影響を与えるものではないことから、 [REDACTED] 型容器に適用できる。

(1) [REDACTED]

- (2) [REDACTED]
- (3) [REDACTED]
- (4) [REDACTED]
[REDACTED]
- (5) [REDACTED]

A.6.1.1.2 落下試験時の温度及び圧力

落下試験における温度及び圧力は、原型容器 1 試験 (PCV 加圧) で [REDACTED] °C、PCV [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig) 以上、原型容器 2 試験 (SCV 加圧) で [REDACTED] °C、SCV [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig) 以上の内圧であった。

A.6.1.1.3 試験手順及び落下方向

原型試験の試験手順を(ρ)-第 A.17 表に、試験ごとの落下姿勢を(ρ)-第 A.6 図に示す。2 基の供試体を用いて原型容器 1 は PCV を、原型容器 2 は SCV を所定の内圧に加圧した。各々の原型容器について、特別の試験条件の水平落下、下部垂直落下及び上部垂直落下の 9 m 落下試験を実施し、各落下試験による変形を重畳させる原型試験を行った。

試験前に加圧した PCV 又は SCV の内圧測定後、ヘリウムリークテストを実施し、PCV、SCV の密封性能を確認した。

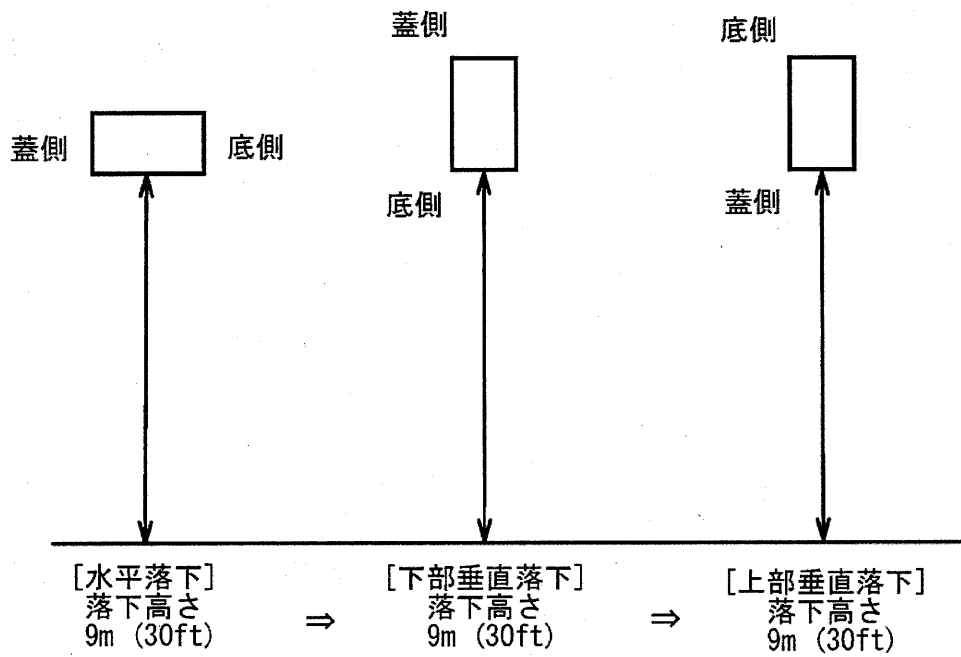
A.6.1.1.4 原型試験の結果の要約及びその評価

水平落下、下部垂直落下及び上部垂直落下の試験後、目視検査(写真撮影含む)を実施した。

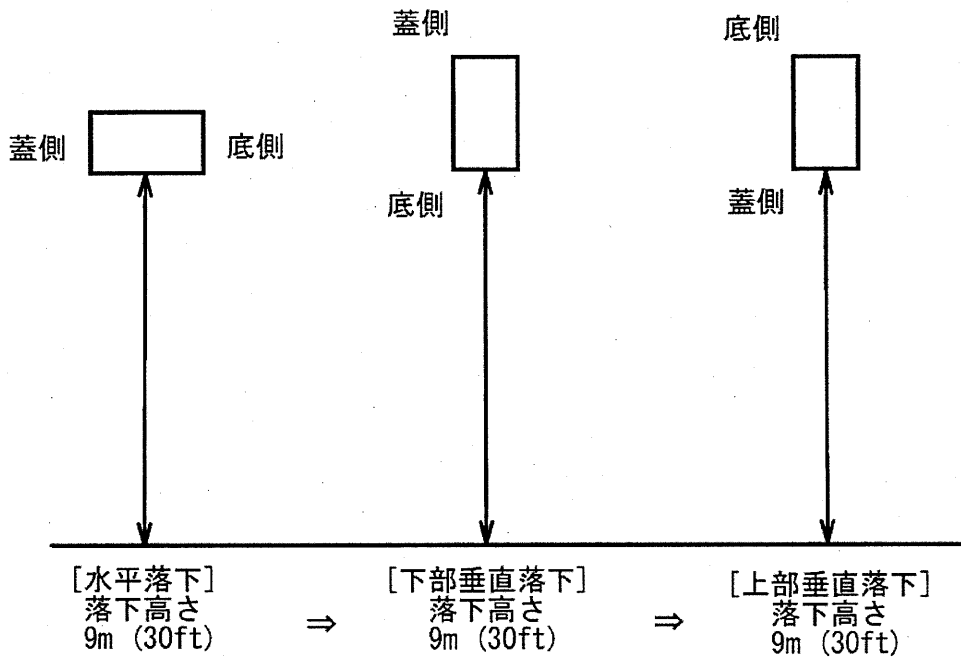
落下試験結果を(ρ)-第 A.18 表に示す。原型試験の PCV 又は SCV の圧力測定結果を(ρ)-第 A.19 表に示す。水平落下試験前及び上部垂直落下試験後には、ヘリウムリークテストを実施した。原型試験のヘリウムリークテスト結果を(ρ)-第 A.20 表に示す。

(ロ)第 A.17 表 9 m 落下の原型試験の試験手順

手順	試 験
1	PCV 又は SCV の加圧、圧力測定 PCV 又は SCV のヘリウムリークテスト
2	9 m 水平落下試験
3	9 m 下部垂直落下試験
4	9 m 上部垂直落下試験
5	PCV 又は SCV の圧力測定 PCV 又は SCV のヘリウムリークテスト



原型容器 1 試験：PCV の内部を加圧



原型容器 2 試験：SCV の内部を加圧

(□)・第 A.6 図 落下姿勢 (9 m 落下試験)

(p)-第 A.18 表 9 m 落下試験結果

	原型容器 1 試験	原型容器 2 試験
9 m (30 ft) 水平落下試験		
ドラム軸方向の変形量	平坦部長さ：約 [redacted] mm ([redacted] in.)	平坦部長さ：約 [redacted] mm ([redacted] in.)
上部側の縁の損傷状態	[redacted]	[redacted]
クロージングリングの損傷状態	緩みは無し	緩みは無し
9 m (30 ft) 下部垂直落下試験		
損傷状態	<ul style="list-style-type: none"> ・約 10°傾いた状態で床面に落下した結果、[redacted] ・下部の輪帯（フープ [redacted] 	<ul style="list-style-type: none"> ・ [redacted] ・ [redacted] ・ [redacted]
9 m (30 ft) 上部垂直落下試験		
損傷状態	<ul style="list-style-type: none"> ・上部の輪帯（フープ [redacted] ・蓋部の開放は無し ・ドラムに亀裂は無し ・ドラム外面に原型容器の機能を損なう損傷は無し 	<ul style="list-style-type: none"> ・上部の輪帯（フープ [redacted] ・蓋部の開放は無し ・ドラムに亀裂は無し ・ドラム外面に原型容器の機能を損なう損傷は無し
内部の状況確認		
損傷状態	<ul style="list-style-type: none"> ・エアシールドと上部断熱材の [redacted] ・エアシールドの外周部の [redacted] ・上端部のエアシールド内周部の [redacted] ・遮蔽体の上部及び底部の変形 ・遮蔽体鉛のステンレス鋼被覆からの [redacted] ・SCV の外部または内部の外観上の損傷は無し ・SCV 底部衝撃吸収材へのスカートと加圧治具の [redacted] ・SCV 上部衝撃吸収材のつぶれ：約 [redacted] mm ([redacted] in.) ・PCV 外部の損傷は無し ・重し（模擬収納物）による PCV 内部上部と下部表面に [redacted] ・PCV 底部スペーサの [redacted] ・PCV 底部に約 [redacted] mm ([redacted] in.)の長さで表面に [redacted]（材料の表面に限定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・エアシールドと上部断熱材の [redacted] ・エアシールドの外周部の [redacted] ・上端部のエアシールド内周部の [redacted] ・遮蔽体の上部及び底部の変形 ・遮蔽体鉛のステンレス鋼被覆からの [redacted] ・SCV の外部または内部の外観上の損傷は無し ・SCV 底部衝撃吸収材へのスカートの [redacted] ・SCV 上部衝撃吸収材のつぶれ：約 [redacted] mm ([redacted] in.) ・PCV 外部の損傷は無し ・重し（模擬収納物）による PCV 内部上部と下部表面に [redacted] ・PCV 底部スペーサの変形 ・PCV 底部に約 [redacted] mm ([redacted] in.)の長さで表面に [redacted]（材料の表面に限定）

(□)-第 A.19 表 9 m 落下試験前後の収納容器圧力測定結果

[MPaG(psig)]

供試体	初期圧力	試験装置 圧力	試験前 圧力	試験後 試験装置 圧力
原型容器 1 PCV 加圧	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
原型容器 2 SCV 加圧	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■

(□)-第 A.20 表 9 m 落下試験前後のヘリウムリークテスト結果

[std·cm³/s]

供試体	試験前		試験後	
	試験(1atm)	試験(使用圧力)	試験(1atm)	試験(使用圧力)
原型容器 1 PCV 加圧	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
原型容器 2 SCV 加圧	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■

判定基準 : 2.0×10^{-7} std·cm³/s

a) ベルジャ法における検出限界値

(1) 落下試験による原型容器への影響

落下試験による原型容器への影響を、原型容器 1 試験については (p)-第 A.7 図～(p)-第 A.16 図に、原型容器 2 試験については (p)-第 A.17 図～(p)-第 A.22 図に示す。

1) 原型容器 1 試験 (PCV加圧)

連続して実施する試験の最初の落下となる水平落下の落下前の状態を、(p)-第 A.8 図に示す。

水平落下により、ドラムに沿った均一な約 [redacted] mm ([redacted] in.) 幅の平坦な領域が生じた。また、上部側の縁には曲がりが生じたが、(p)-第 A.9 図、(p)-第 A.10 図に示すように、[redacted]

(p)-第 A.11 図、(p)-第 A.12 図に下部垂直落下試験の結果を示す。下部垂直落下試験は、垂直ではなく約 10°傾いた状態で床面に落下した。その結果、[redacted] [redacted]。下部の輪帯 (フープ) に [redacted]。その後の上部垂直落下試験において、原型容器は床面に垂直に落下した。原型容器にさらなる [redacted]、特に落下点に最も近い上部のフープ [redacted]。(p)-第 A.13 図に示すように、蓋部の開放は無くドラムの亀裂も生じなかった。これらにより、加圧された PCV を有する原型容器の連続した落下試験が終了した。ドラム外面には、原型容器の機能を損なう損傷は生じなかった。

ドラム蓋の取り外しにより、(p)-第 A.14 図に示すように、原型容器内部のエアシールドと上部断熱材 [redacted]。また、エアシールドの [redacted] [redacted]。上端部のエアシールドの [redacted] [redacted]。SCV による遮蔽体への衝撃は、[redacted]。さらに、(p)-第 A.15 図及び(p)-第 A.16 図に示すように、[redacted] [redacted]。

SCV の外部または内部の外観上の損傷は全くなかった。SCV 底部衝撃吸収材には、スカート及び加圧治具による圧縮痕があった。SCV 上部衝撃吸収材は、約 [redacted] mm ([redacted] in.) 押しつぶされた。PCV の外部に明らかな損傷は全くなかった。PCV 内部は、[redacted] [redacted]。PCV 底部スペーサは、完全に押しつぶされた。

重しは、PCV 底部スペーサを押しつぶし、PCV 底部に約 [redacted] mm ([redacted] in.) の長さで表面に [redacted] が、この損傷は材料の表面に限定された。

2) 原型容器 2 試験 (SCV加圧)

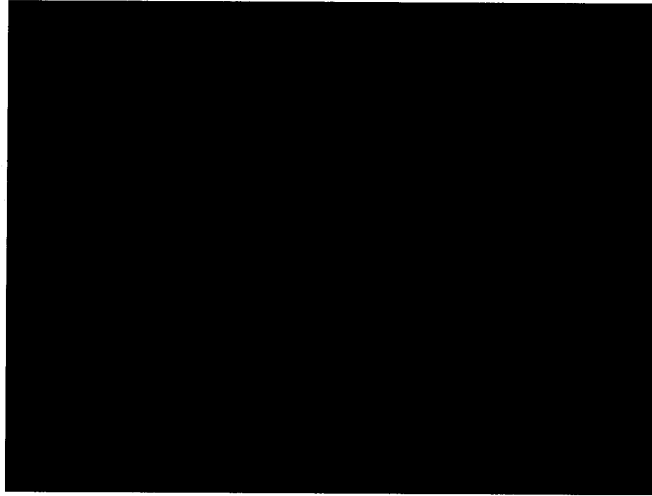
原型容器 2 試験の結果は、原型容器 1 試験の結果と同様であった。

水平落下により、(a)第 A.18 図及び(a)第 A.19 図に示すように、ドラムに沿った [REDACTED]。また、上部側の縁には、前の試験より [REDACTED] がクロージングリングに緩みは生じなかった。

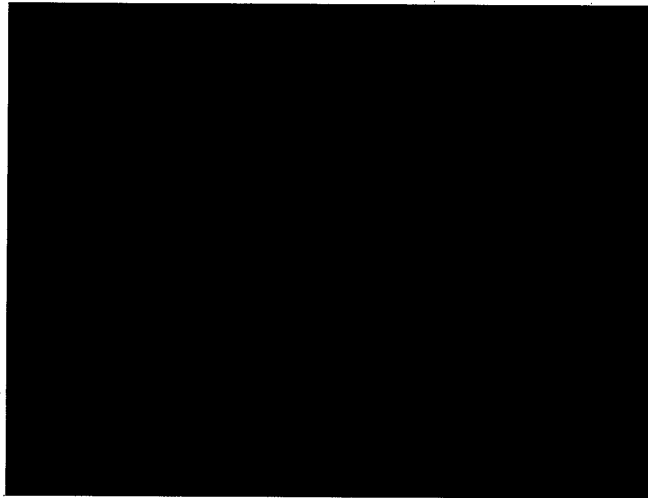
下部垂直落下試験では、ほぼ垂直に落下した。(a)第 A.20 図に示すように、 [REDACTED]。その後の上部垂直落下では、原型容器は床面に垂直に落下した。(a)第 A.21 図に示すように、原型容器にさらなる [REDACTED]、特に落下点に最も近い上部の [REDACTED]。この衝撃により、(a)第 A.22 図に示すように、 [REDACTED]、蓋部の開放は無くドラムの亀裂も生じなかった。これらにより、加圧された SCV を有する原型容器の連続した落下試験が終了し、ドラム外面には、原型容器の機能を損なう損傷は生じなかった。

ドラム蓋の取り外しにより、原型容器 1 試験と [REDACTED]。原型容器内部のエアシールドと上部断熱材 [REDACTED]。また、エアシールドの外周部の [REDACTED]。上端部のエアシールドの内周部には、 [REDACTED]。SCV による遮蔽体への衝撃は、上部及び底部を外側に変形させた。さらに、遮蔽体の鉛は一部の箇所 [REDACTED]。SCV の外部または内部の外観上の損傷は全くなかった。SCV 底部衝撃吸収材には、下部のスカートによる [REDACTED]。SCV 上部衝撃吸収材は、約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) [REDACTED]。

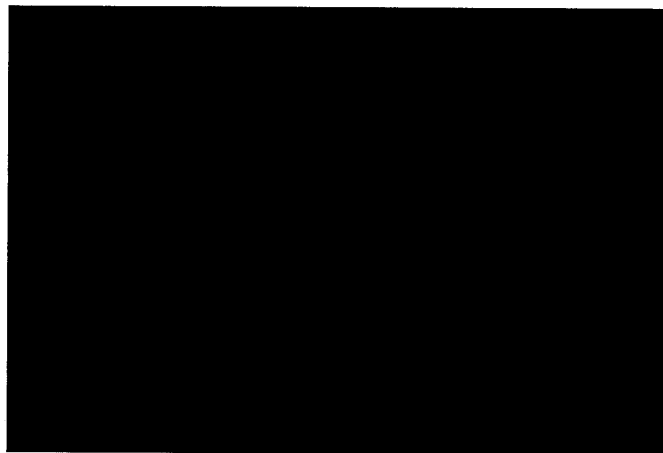
PCV の外部に明らかな損傷は全くなかった。前の試験と同様に、PCV 内部は、重し (模擬収納物) により、上部と下部の表面にいくつかの [REDACTED]。PCV 底部スペーサは、 [REDACTED]。重しは、PCV 底部スペーサを押しつぶし、PCV 底部に約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の長さで [REDACTED] が、この損傷は材料の表面に限定された。



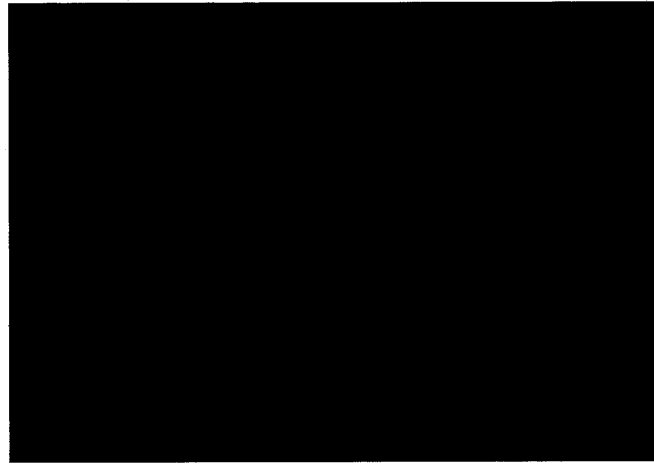
(□)第 A.7 図 試験圧力に加圧するための架台に設置した PCV



(□)第 A.8 図 水平落下前の加圧された PCV を収納した原型容器 1



(□)第 A.9 図 水平落下による変形状態 (原型容器 1 試験)



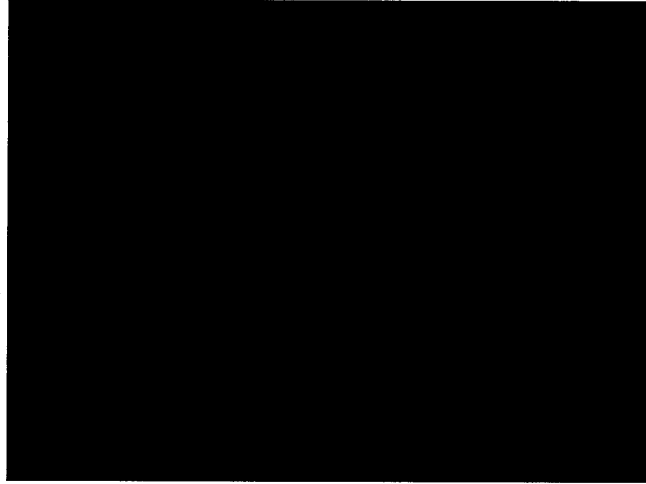
(□)・第 A.10 図 水平落下によるドラムクロージングリングの変形状態 (原型容器 1 試験)



(□)・第 A.11 図 下部垂直落下による変形状態 (原型容器 1 試験)



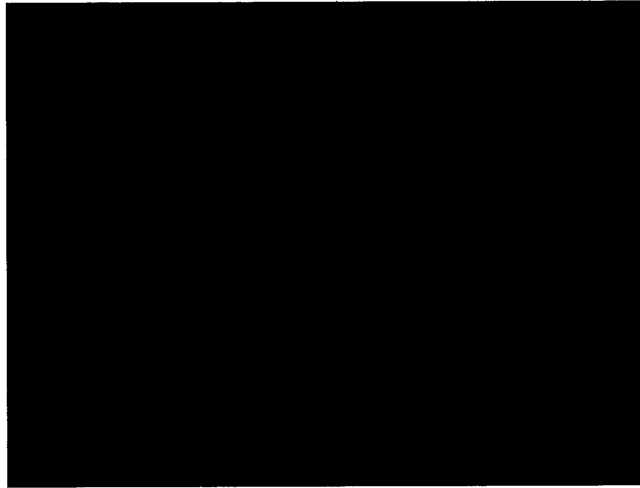
(□)・第 A.12 図 下部垂直落下による底部近傍の側部の変形状態 (原型容器 1 試験)



(p)-第 A.13 図 上部垂直落下による上部の変形状態 (原型容器 1 試験)



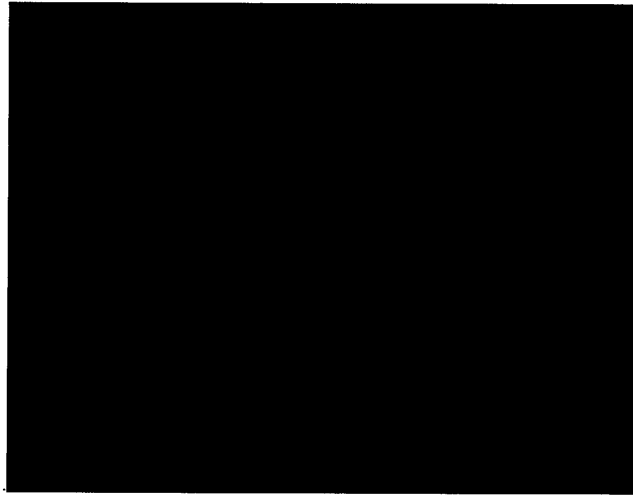
(p)-第 A.14 図 エアシールドと上部断熱材の分離部分 (原型容器 1 試験)



(ロ)第 A.15 図 遮蔽体蓋の内側表面 (原型容器 1 試験)



(ロ)第 A.16 図 遮蔽体のステンレス鋼被覆からの鉛の分離と
断熱材の局所的な変形 (原型容器1試験)



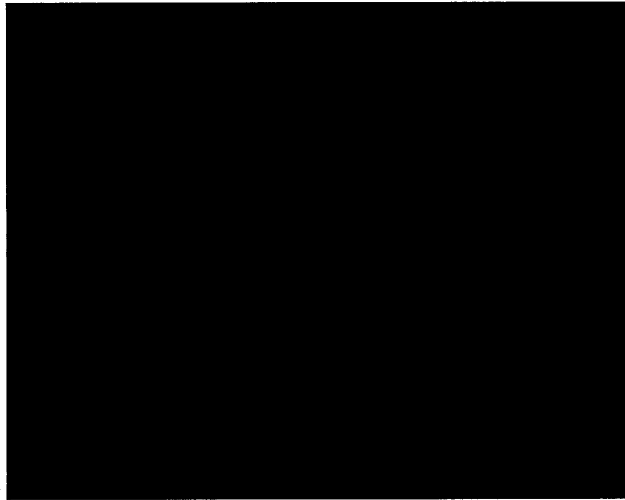
(㊦)第 A.17 図 水平落下前の加圧された SCV を収納した原型容器 2



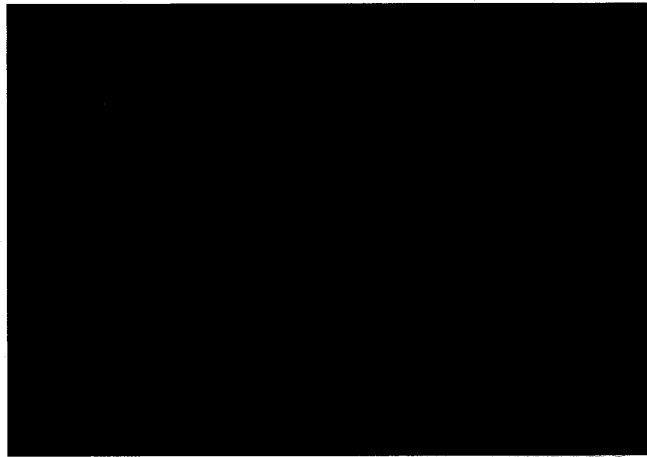
(㊦)第 A.18 図 水平落下による変形状態（上部側）（原型容器 2 試験）



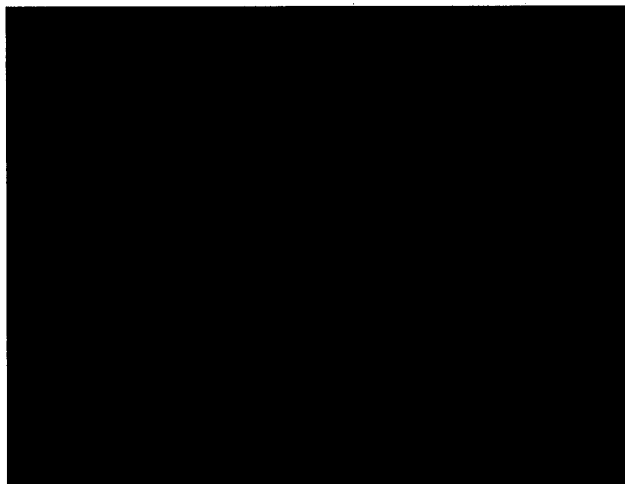
(㊦)第 A.19 図 水平落下による原型容器の損傷状態（原型容器 2 試験）



(□)・第 A.20 図 下部垂直落下による変形状態 (原型容器 2 試験)



(□)・第 A.21 図 上部垂直落下によるフープの変形 (原型容器 2 試験)



(□)・第 A.22 図 上部垂直落下による上部の変形状態 (原型容器 2 試験)

A.6.1.2 水平落下

9 m 水平落下時に、収納容器が健全であり、密封性が維持されることを原型試験により示す。

A.6.1.1 項に記載のとおり、原型容器を用いて、水平落下、下部垂直落下及び上部垂直落下の順で実施し、各落下試験による変形を重畳させた。水平落下試験前及び上部垂直落下試験後には、ヘリウムリークテストを実施し、収納容器の密封性能の健全性を確認した。試験の結果、著しい損傷はなくヘリウムリークテストの結果、XXXXXXXXXX std·cm³/s の基準を満足した。

以上のことから、特別の試験条件の水平落下において、輸送物の健全性は維持される。

[REDACTED]
[REDACTED]
(4) [REDACTED]
[REDACTED]

(5) [REDACTED]
[REDACTED]

(6) [REDACTED]

A.6.1.3.2 落下試験時の温度及び圧力

落下試験における温度及び圧力は、[REDACTED] °C ([REDACTED] °F)、PCV 及び SCV の内圧は [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig) であった。

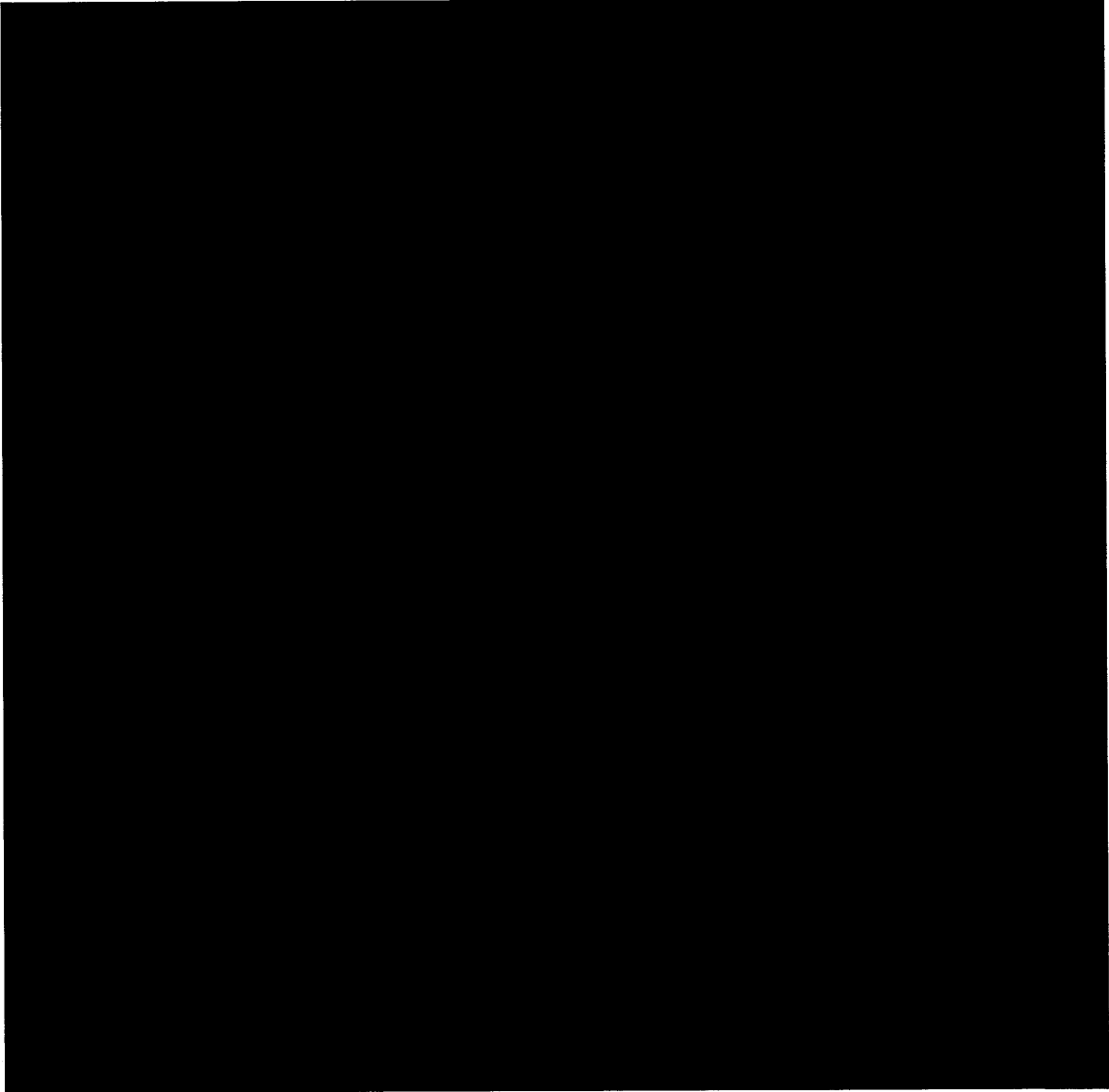
A.6.1.3.3 試験手順及び落下方向

原型試験の試験手順を(□)-第 A.21 表に示す。なお、試験では一般の試験条件の下の原型試験後、同じ供試体を用いて特別の試験条件の下の原型試験を行った。供試体ごとの落下姿勢を(□)-第 A.24 図に、寸法検査の測定箇所を(□)-第 A.25 図に、落下試験の写真を(□)-第 A.26 図～(□)-第 A.28 図示す。

また、供試体に用いる PCV、SCV は、試験前にヘリウムリークテストを実施し、PCV、SCV の密封性能を確認した。

A.6.1.3.4 原型試験の結果の要約及びその評価

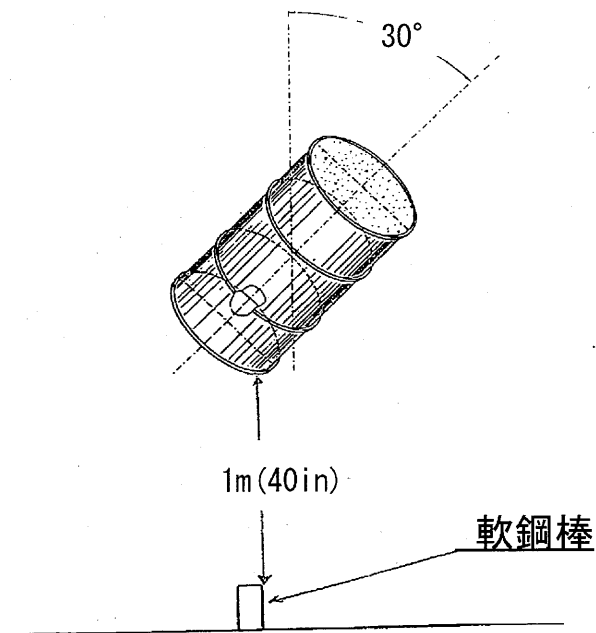
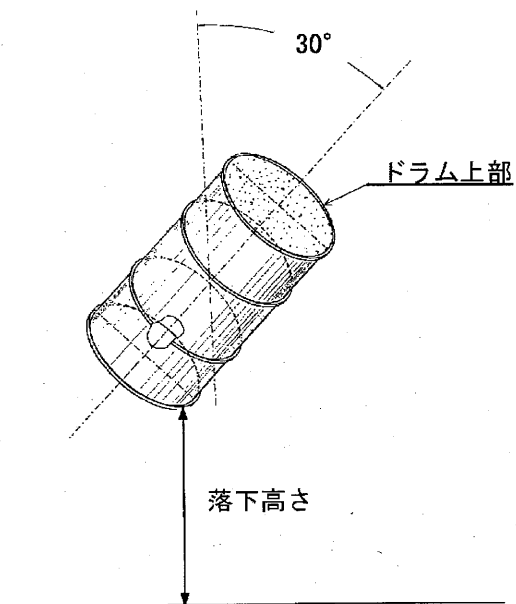
0.3 m 落下試験、1.2 m 落下試験、9 m 落下試験後、目視検査及び(□)-第 A.25 図に示す測定箇所について寸法検査で変形した寸法を測定した。原型試験の落下試験結果を(□)-第 A.22 表に示す。一連の落下試験後、ヘリウムリークテストを実施した。原型試験のヘリウムリークテスト結果を(□)-第 A.23 表に示す。



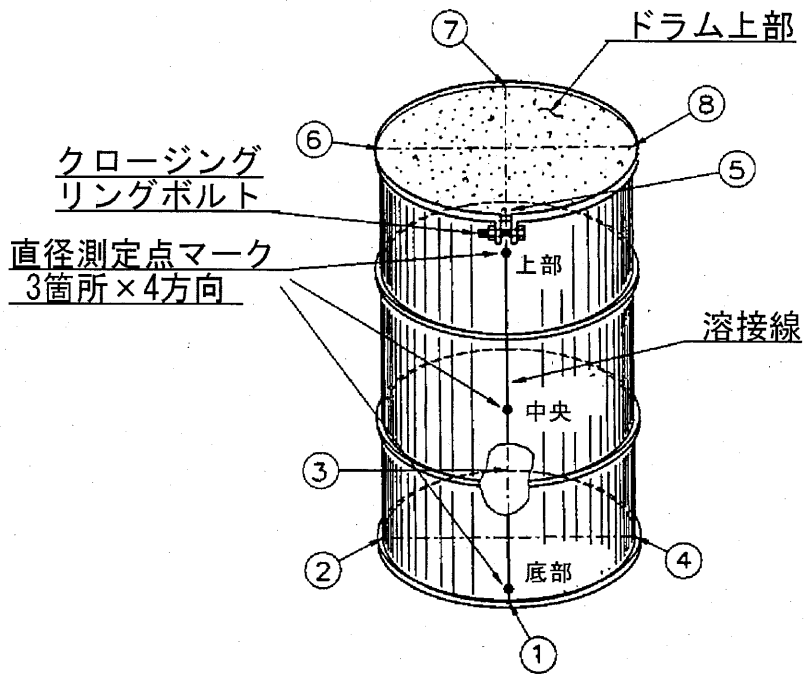
(㉔)第 A.23 図 供試体()輸送容器)

(ロ)第 A.21 表 コーナー落下の原型試験の試験手順

手順	試 験
1	収納容器のヘリウムリークテスト
2	0.3 m コーナー落下試験 ドラム上部 4 回(コーナー①～④) ドラム底部 4 回(コーナー⑤～⑧)
3	1.2 m コーナー落下試験 底部(コーナー①)
4	9 m コーナー落下試験 底部(コーナー①)
5	落下試験Ⅱ 底面(コーナー①内側)
6	PCV 及び SCV のヘリウムリークテスト



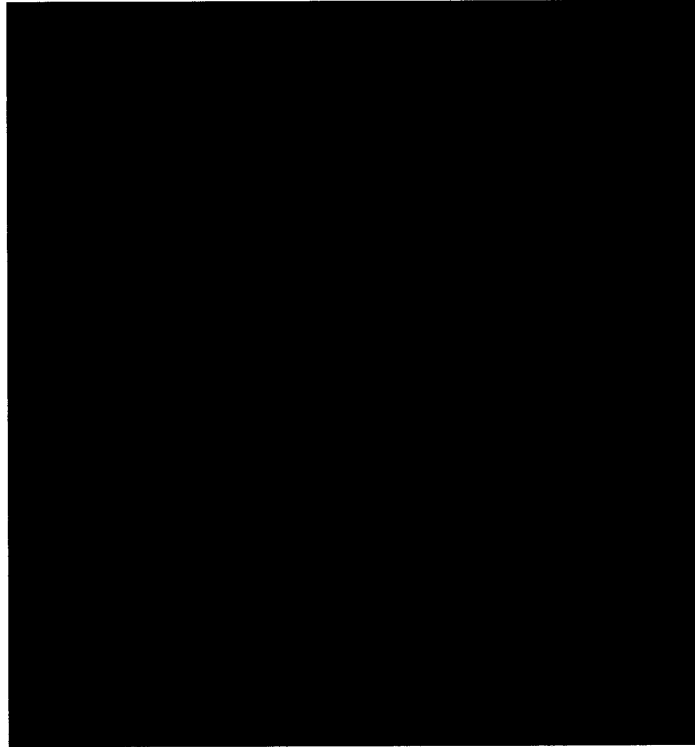
(ロ)第 A.24 図 落下姿勢(コーナー落下試験)



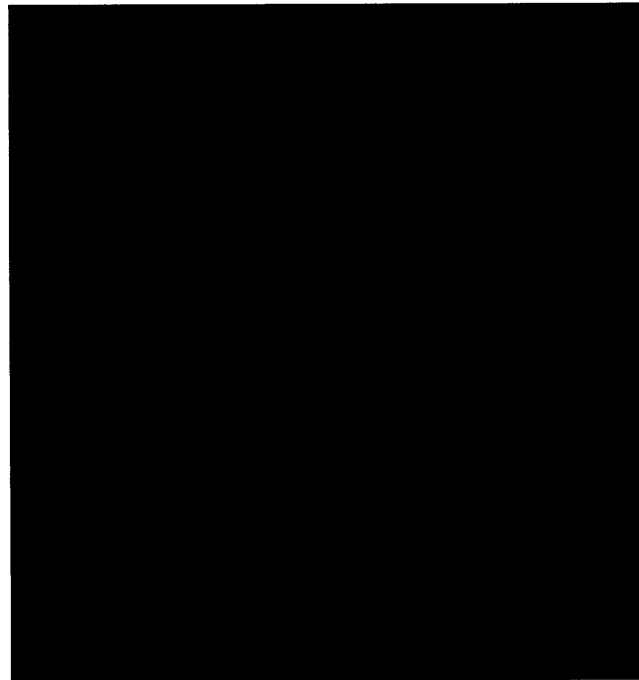
コーナー番号	ドラムの位置
①	底面と溶接線の交点
②	コーナー①から右回り*に 90°の底部表面
③	コーナー②から右回りに 90°の底部表面
④	コーナー③から右回りに 90°の底部表面
⑤	上面と溶接線の交点
⑥	コーナー⑤から右回りに 90°の上部表面
⑦	コーナー⑥から右回りに 90°の上部表面
⑧	コーナー⑦から右回りに 90°の上部表面

*:ドラム上部から見た時の右回り

(B)-第 A.25 図 コーナー落下試験における寸法測定箇所

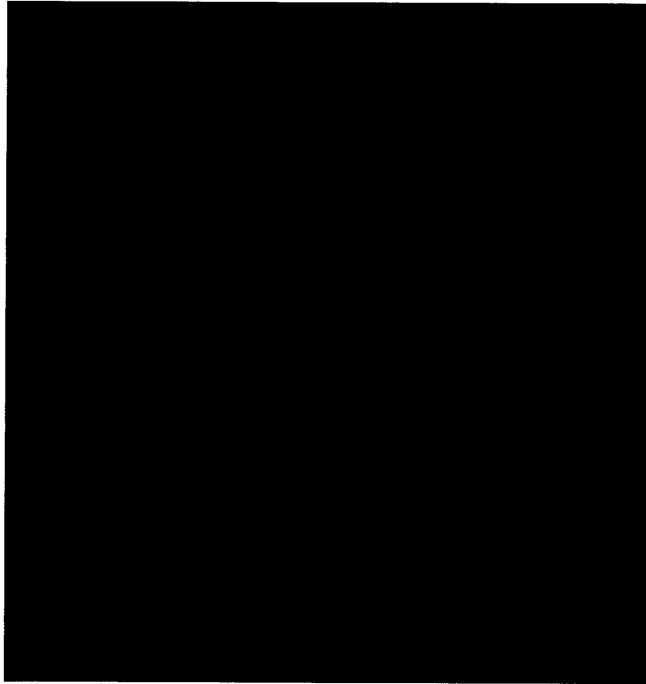


0.3 m 落下試験(底部、コーナー①)

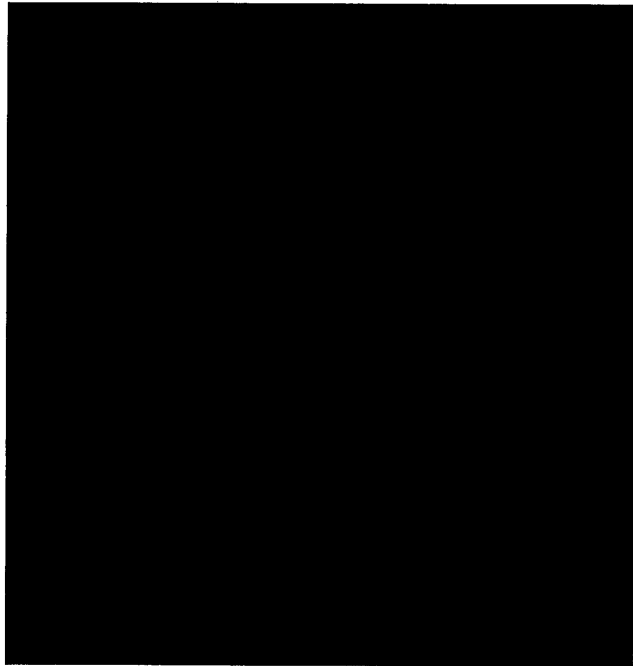


0.3 m 落下試験(上部、コーナー⑥)

(㍀)・第 A.26 図 コーナー落下試験写真 1

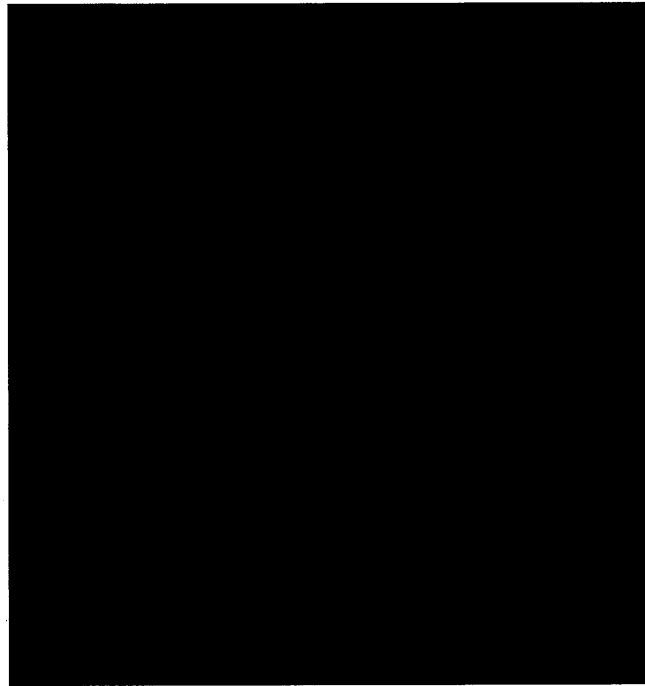


1.2 m 落下試験(底部、コーナー①)



9 m 落下試験(底部、コーナー①)

(□)・第 A.27 図 コーナー落下試験写真 2



1 m 落下試験Ⅱ(底部、コーナー①内側)

(□)第 A.28 図 コーナー落下試験写真 3

A.6.1.4 傾斜落下^{(23),(24)}

9 m 傾斜落下後に、輸送物の健全性が維持されることを示す。傾斜落下は、落下時の非衝撃端の回転による衝撃を評価するため、スラップダウン落下及び浅い角度の傾斜落下の落下姿勢により試験を行う。

本原型試験では、試験目的に合わせて4基の供試体を用いて実施した。4基の供試体のうち供試体1~3において1.2 m (4 ft)、9 m (30 ft)、落下試験Ⅱの順に実施し、輸送物の変形量を確認した。供試体4において9 m (30 ft) 落下試験を実施し、輸送物に有意な開口部が生じないこと、及びPCV及びSCVにおいて落下試験による著しい損傷はなく、ヘリウムリークテスト結果から判定基準 [REDACTED] std·cm³/s を満足し、密封性能が維持されることを確認した。

これらの試験において、輸送物が機能を維持することが示され、輸送物の健全性が維持されることを確認した。

A.6.1.4.1 供試体

本原型試験で用いた4基の供試体は、いずれも申請輸送物 ([REDACTED] 型容器) と同等の製作仕様に基づき作成された実寸大のモデルである。

供試体1~4の収納物は模擬重量体及びアルミニウムスペーサーで構成され、輸送物全体の重量が制限重量である [REDACTED] kg ([REDACTED] lb) 以上となるよう調整された。

したがって、本供試体は傾斜落下において申請輸送物 ([REDACTED] 型容器) を模擬しているものとなる。

A.6.1.4.2 落下試験時の温度及び圧力

落下試験における温度は環境温度であり、圧力は考慮していない。

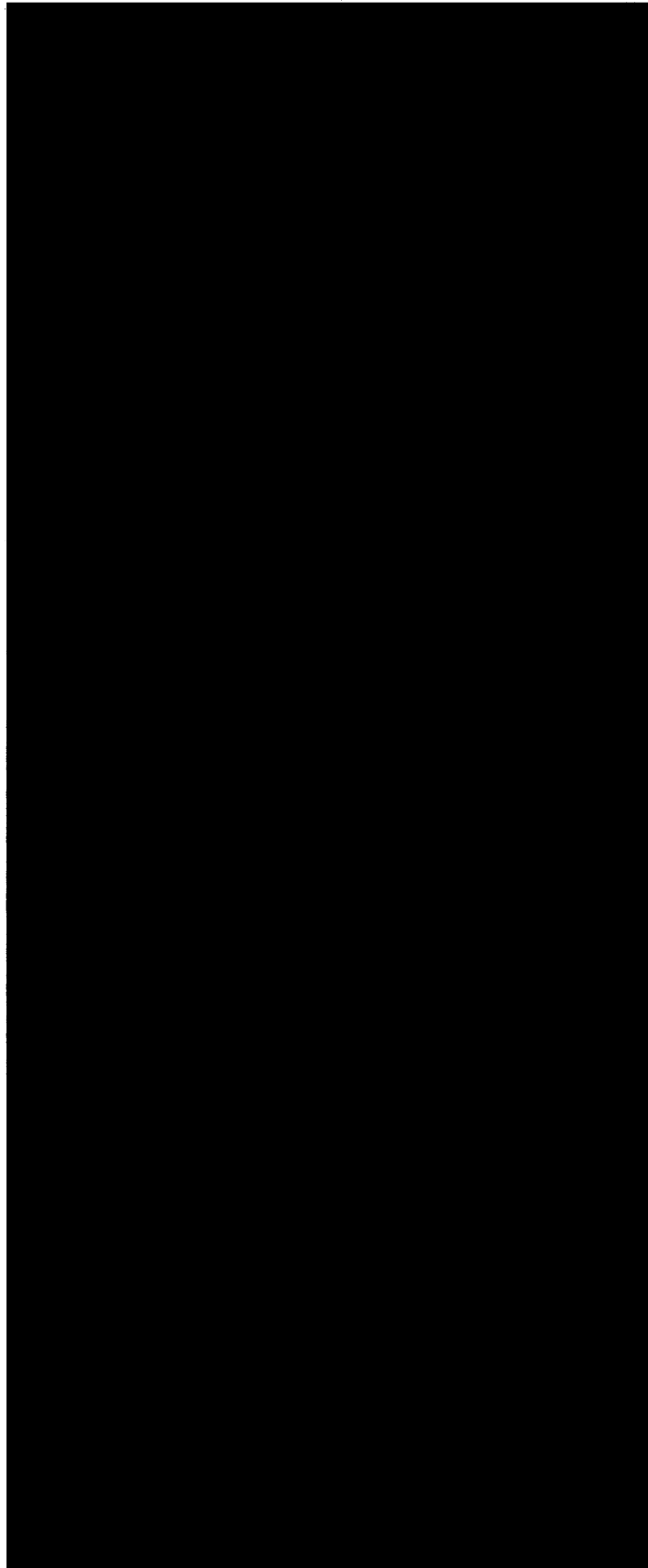
A.6.1.4.3 試験手順及び落下方向

本試験では、供試体1~3において1.2 m (4 ft) 落下、9 m (30 ft) 落下及び落下試験Ⅱを、供試体4において9 m (30 ft) 落下を実施した。供試体1~3では一般の試験条件の下による原型試験後、同じ供試体を用いて特別の試験条件の下の原型試験を行う。試験の概要を(□)・第A.24表に、試験ごとの落下姿勢を(□)・第A.29図に示す。

また、供試体4に用いるPCV、SCVは、試験前後にヘリウムリークテストを実施し、PCV、SCVの密封性能を確認した。

(ロ)第A.24表 傾斜落下試験の概要

試験番号	試験 1	試験 2	試験 3	試験 4
供試体番号	供試体 1	供試体 2	供試体 3	供試体 4
1.2 m (4 ft) 落下試験時の落下角度	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
1.2 m (4 ft) 落下試験時の落下位置	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
9 m (30 ft) 落下試験時の落下角度	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
9 m (30 ft) 落下試験時の落下位置	1.2 m (4 ft) 落下試験時の落下点から [Redacted]	1.2 m (4 ft) 落下試験時の落下点から [Redacted]	1.2 m (4 ft) 落下試験時の落下点から [Redacted]	[Redacted]
ヘリウムリークテスト	無し	無し	無し	有り
落下試験Ⅱ時の落下位置	1.2 m (4 ft) 落下試験時の落下点の [Redacted]	9 m (30 ft) 落下試験時の落下点から [Redacted]	供試体上部側： 9 m (30 ft) 落下試験時の落下点から [Redacted]	—
供試体重量	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
温度	環境温度	環境温度	環境温度	環境温度
ドラム直径	公称値	公称値	公称値	公称値



(□)第 A.29 図 落下姿勢 (傾斜落下試験)

A.6.1.4.4 原型試験の結果の要約及びその評価

落下試験結果を(□)-第 A.25-1 表に、供試体 4 の落下試験前後のヘリウムリークテスト結果を(□)-第 A.25-2 表に示す。試験ごとの結果を以下に示す。

(ロ)第A.25-1表 傾斜落下試験結果 (1/2)

	試験 1 (供試体 1)	試験 2 (供試体 2)	試験 3 (供試体 3)	試験 4 (供試体 4)
	1.2 m (4 ft) 落下試験			
ドラム蓋閉止フランジ部の変形量				—
底部の変形量				—
下部フープの変形量				—
上部フープの変形量				—
ドラム蓋閉止フランジの外径への影響			—	—

(ロ)第A.25-1表 傾斜落下試験結果 (2/2)

	試験 1 (供試体 1)	試験 2 (供試体 2)	試験 3 (供試体 3)	試験 4 (供試体 4)
	9 m (30 ft) 落下試験			
ドラム蓋閉止フランジ部の変形量	平坦部長さ： [Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
底部の変形量	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
下部フープの変形量	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
上部フープの変形量	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
ドラム蓋閉止フランジの外径への影響	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
供試体の高さ寸法	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—
溶接部の損傷	なし	なし	なし	なし
ヘリウムリークテスト	—	—	—	(ロ)第A.25-2表 参照
その他	—	—	[Redacted]	[Redacted]
落下試験 II				
供試体への影響	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	—

(ロ)第 A.25-2 表 傾斜落下試験前後のヘリウムリークテスト結果

Oリングシールのヘリウムリークテスト		
判定基準： █████ std cm ³ /s 未満		
収納容器	落下試験前 std cm ³ /s	落下試験後 std cm ³ /s
PCV	██████████ ██████████ ██████████	██████████
SCV	██████████ ██████████ ██████████	██████████ ██████████ ██████████

A.6.1.4.5 試験1 (供試体1)

落下試験の写真を、(p)・第 A.30 図～(p)・第 A.37 図に、落下試験の結果を(p)・第 A.25-1 表に示すとともに、以下に示す。

1) 1.2 m (4 ft) 落下試験

1.2 m (4 ft) 落下試験は、(p)・第 A.30 図に示すように、供試体を水平線から [REDACTED] 傾けた状態 (コーナー落下) で 1.2 m (4 ft) の高さから蓋側を下方にして落下させる。円周方向の落下位置は、[REDACTED] とした。落下時の角度は、[REDACTED] であった。

落下の結果として、[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

最初の衝撃に続き供試体は回転し、2 番目の打撃は、結果として [REDACTED] [REDACTED]。また、僅かな窪みが [REDACTED]。上部のフープに変形は生じなかった。落下点の位置で測定されたドラム蓋閉止フランジの外径 ([REDACTED] mm ([REDACTED] in.)) の減少は無視できる程度であった。この落下の結果は、(p)・第 A.31 図に示される。

2) 9 m (30 ft) 落下試験

9 m (30 ft) 落下試験は、(p)・第 A.32 図に示すように、水平線から [REDACTED] の傾斜で 9 m (30 ft) の高さから蓋側を下方にして実施した。この落下の結果は、(p)・第 A.33 図～(p)・第 A.35 図に示される。落下点位置は、1.2 m (4 ft) での落下点から [REDACTED] の位置であった ((p)・第 A.33 図参照)。落下時の角度は水平線から [REDACTED] であった。落下により、落下点の閉止フランジ [REDACTED]。そして、ドラムの [REDACTED] [REDACTED]。上部のフープの平坦化された領域は約 [REDACTED] [REDACTED]、下部フープの平坦化された領域は [REDACTED] [REDACTED]。また、底部は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) 幅であった。落下点の位置で測定されたドラム蓋閉止フランジの外径は、[REDACTED] mm ([REDACTED] in.) から [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) まで減少した。ドラム蓋閉止フランジ部には、[REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の幅の平坦部が生じた。

(p)・第 A.34 図に示すように、上部のドラム蓋閉止フランジは、ボルトの間で [REDACTED] [REDACTED]。しかし、(p)・第 A.35 図に示すように、溶接部に損傷は生じなかった。

3) 落下試験Ⅱ

落下試験Ⅱは、供試体を垂直軸から [REDACTED] 傾けた状態で 1 m (40 in.) の高さから落下させる。

軟鋼棒の標的点は、1.2 m (4 ft) 落下試験での落下点であるボルト及びドラム蓋閉止フランジである。軟鋼棒は、ドラムの側部にあたりボルトまで滑った。軟鋼棒がドラム表面を滑ることによって生じるすり傷及び供試体の小さな損傷が生じた ((p)-第 A.36 図及び(p)-第 A.37 図)。

A.6.1.4.6 試験2 (供試体2)

落下試験の写真を、(p)-第 A.38 図～(p)-第 A.46 図に、落下試験の結果を(p)-第 A.25-1 表に示すとともに、以下に示す。

1) 1.2 m (4 ft) 落下試験

1.2 m (4 ft) 落下試験は、供試体を水平線から [REDACTED] 傾けた状態 (コーナー落下) で 1.2 m (4 ft) の高さから蓋側を下方にして落下させる。ボルトで締められたドラム蓋閉止フランジへの損傷が最大となるよう円周方向の落下位置は、(p)-第 A.38 図に示すようにベント孔の位置とした。落下時の角度は [REDACTED] であり、結果は、(p)-第 A.39 図～(p)-第 A.40 図に示される。

落下の結果は、試験 1 (供試体 1) の時と同様であった。

落下点 [REDACTED]

下部フープの平坦部は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の幅であり、底部の平坦部は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の幅であった。上部フープに変形は生じなかった。

落下点の位置で測定されたドラム蓋閉止フランジの外径 ([REDACTED]) の減少は無視できる程度であった。

2) 9 m (30 ft) 落下試験

9 m (30 ft) 落下試験は、水平線から [REDACTED] °の傾斜で 9 m (30 ft) の高さから蓋側を下方にして実施した。この落下の結果は、(p)-第 A.41 図から(p)-第 A.44 図に

示される。落下点の位置は、1.2 m (4 ft) での落下点から [REDACTED] の位置でありベント孔がある位置であった。落下時の角度は水平線から [REDACTED] であった。落下により、

[REDACTED]

そして、ドラムの [REDACTED]。上部フープの平坦化された領域は [REDACTED] であり、下部フープの平坦化された領域は [REDACTED] であった。また、底部は約 [REDACTED] n.) 幅であった。落下点の位置で測定されたドラム蓋閉止フランジの外径は、 [REDACTED] [REDACTED]。ドラム蓋閉止フランジ部には、 [REDACTED]

供試体の落下後の高さ寸法は、約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) に対して約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) となった。また、溶接部に損傷は生じなかった。

3) 落下試験 II

落下試験 II は、(p)-第 A.45 図に示すように、供試体を垂直軸から [REDACTED] 傾けた状態で 1 m (40 in.) の高さから落下させる。

軟鋼棒の標的点は、(p)-第 A.46 図に示すように、ボルト及びドラム蓋閉止フランジの位置決めピンの位置である。この位置は、9 m (30 ft) 落下試験での落下点から約 [REDACTED] の位置である。軟鋼棒はボルト及びドラム蓋閉止フランジの位置決めピンに当たり、この位置のフランジの [REDACTED]

A.6.1.4.7 試験3 (供試体3)

落下試験の写真を、(p)-第 A.47 図～(p)-第 A.54 図に、落下試験の結果を(p)-第 A.25-1 表に示すとともに、以下に示す。

1) 1.2 m (4 ft) 落下試験

1.2 m (4 ft) 落下試験は、供試体を水平線から [REDACTED] 傾けた状態で 1.2 m (4 ft) の高さから蓋側を下方にして落下させる。この落下の結果は、(p)-第 A.48 図に示される。円周方向の落下位置は、 [REDACTED] とした。目的は、ボルトで締められたドラム蓋閉止フランジへの損傷の効果を最大化することであった。

落下時の角度は [REDACTED] であった。浅い角度での落下では、閉止フランジに対する

平坦化の変形は見られなかったが、ドラム側に [REDACTED]。下部フープの平坦部は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の幅であり、底部の平坦部は約 190.5 mm (7.5 in.) の幅であった。上部フープに変形は生じなかった。

2) 9 m (30 ft) 落下試験

9 m (30 ft) 落下試験は、(a)第 A.49 図に示すように、スラップダウン落下として水平線から 10°の傾斜で 9 m (30 ft) の高さから底部側を下方にして実施した。この落下の結果は、(a)第 A.50 図～(a)第 A.52 図に示される。落下点の位置は、1.2 m (4 ft) での落下点から [REDACTED] の位置でありベント孔がある位置であった。落下時の角度は水平線から [REDACTED] であった。落下により、[REDACTED]。損傷は、ドラム蓋閉止フランジの下方への曲がりとして生じ、(a)第 A.52 図に示すように、2本の隣接したボルトの間で最大約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) のフランジ間の分離が生じたが、上部の窪んだ領域により、フランジリングのすぐ内側は、分離の内部の端を閉じる十分な深さがあった。したがって、供試体の内部に通じる開口部はなかった。

ドラム蓋閉止フランジの平坦な領域は、約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の幅であった。落下点の位置で測定されたドラム蓋閉止フランジの外径は [REDACTED]。また、衝撃により、ドラムの長さ方向に沿って [REDACTED]。上部フープの平坦化された領域は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) 幅であり、下部フープの平坦化された領域は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) 幅であった。また、底部は約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) 幅であった。供試体のドラム底部縁の上部からドラム蓋閉止フランジの底部までの軸方向の寸法は、落下側において試験前の約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) に対して約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) となった。また、溶接部に損傷は生じなかった。

3) 落下試験 II

落下試験 II は、(a)第 A.53 図に示すように、供試体の重心が軟鋼棒の真上となるように傾けた状態で 1 m (40 in.) の高さから落下させる。この落下の結果は、(a)第 A.54 図に示される。

軟鋼棒の標的点は、9 m (30 ft) 落下試験で生じたドラム蓋閉止フランジの [REDACTED] から径方向に内側へ [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) の位置である。軟鋼棒は、標的点に当

たり、上部の歪んだ面を平らにし、上部に半円上の [REDACTED]。初期の打撃に続き、供試体に 2 回目のバウンドが生じ [REDACTED]。軟鋼棒の標的点への衝撃を達成するために、供試体は軟鋼棒の上へ 1 m (40 in.) 以上持ち上げられ、 [REDACTED] m ([REDACTED] ft) を超える高さから落下を実施した。これは、1.2 m (4 ft) 落下試験と 9 m (30 ft) 落下試験での損傷の間の箇所において供試体の側部をさらに平坦化する結果となった。この平坦化された領域の幅は、約 [REDACTED] mm ([REDACTED] in.) であった。

A.6.1.4.8 試験4 (供試体4)

落下試験の写真を (p)-第 A.55 図～(p)-第 A.58 図に、落下試験の結果を (p)-第 A.25-1 表に示すとともに、以下に示す。

1) 9 m (30 ft) 落下試験

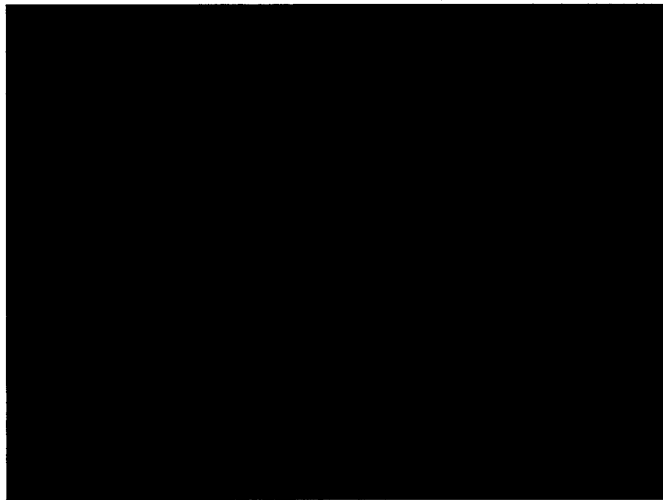
9 m (30 ft) 落下試験は、(p)-第 A.55 図に示すように、スラップダウン落下として水平線から [REDACTED] の傾斜で 9 m (30 ft) の高さから底側を下方にして実施した。この落下の結果は、(p)-第 A.56 図～(p)-第 A.58 図に示される。

落下点の位置は、二次衝撃が [REDACTED] であり、落下時の角度は水平線から [REDACTED] であった。

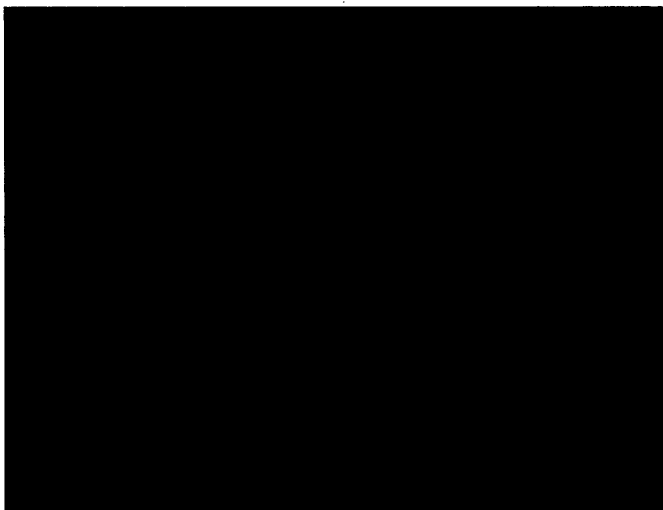
落下により、ドラム底部、上部フープ及び下部フープを含むドラムの長さ方向、ドラム蓋閉止フランジ部に [REDACTED]。これらの損傷の程度は供試体 1～3 の結果と同様である。ドラム蓋閉止フランジに生じた損傷は [REDACTED] [REDACTED]、(p)-第 A.58 図に示すように [REDACTED] に開口は生じなかった。また、[REDACTED] は生じなかった。さらに、落下試験後の PCV 及び SCV の内外部に損傷は生じなかった。




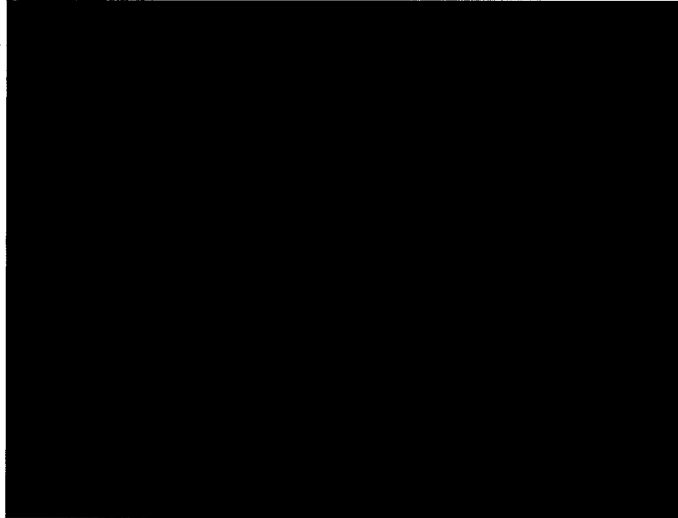
(□)・第 A.30 図 供試体 1 1.2 m(4 ft.)落下試験前 (コーナー落下)




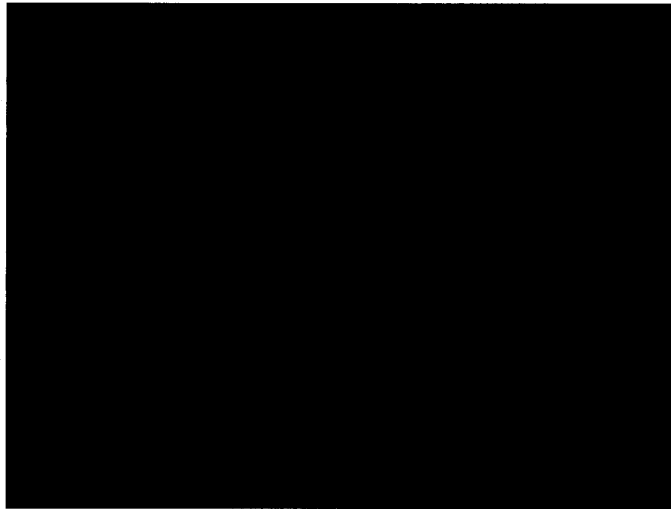
(□)・第 A.31 図 供試体 1 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (コーナー落下)




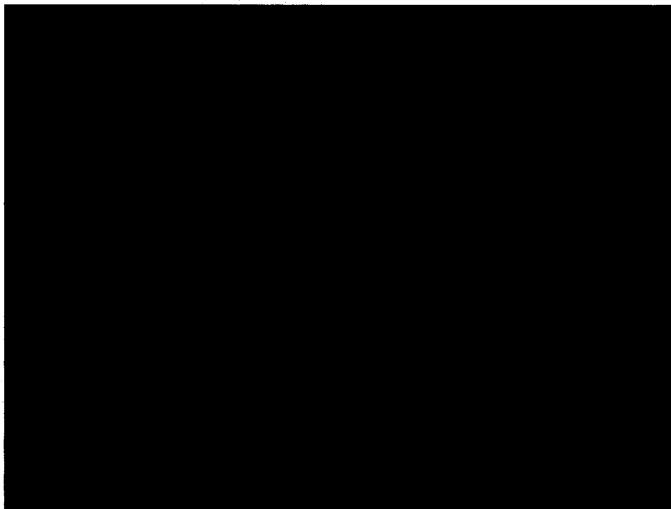
(□)・第 A.32 図 供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験前 (傾斜落下: )




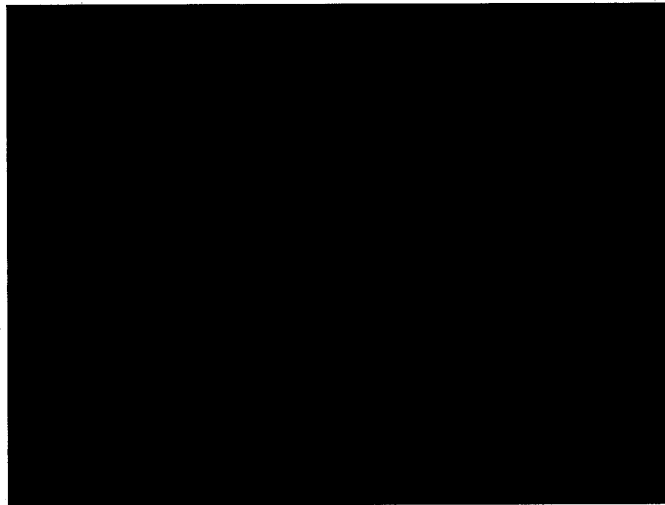
(p)-第 A.33 図 供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )



(p)-第 A.34 図 供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )

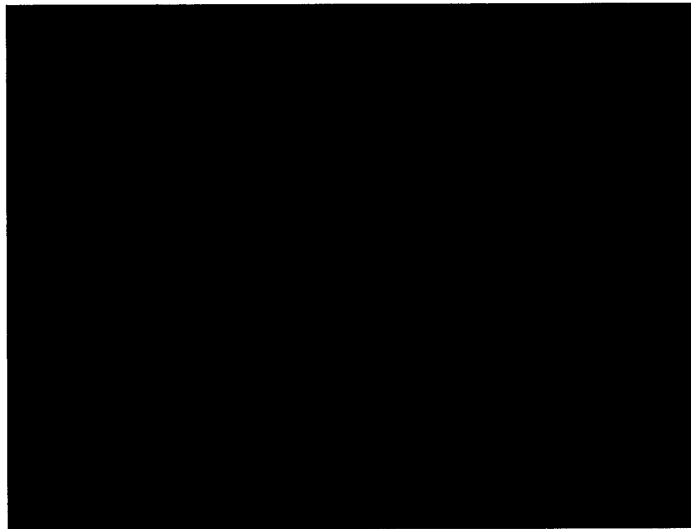


(p)-第 A.35 図 供試体 1 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )



(矢印は軟鋼棒によりボルトに残された塗装痕を示す)

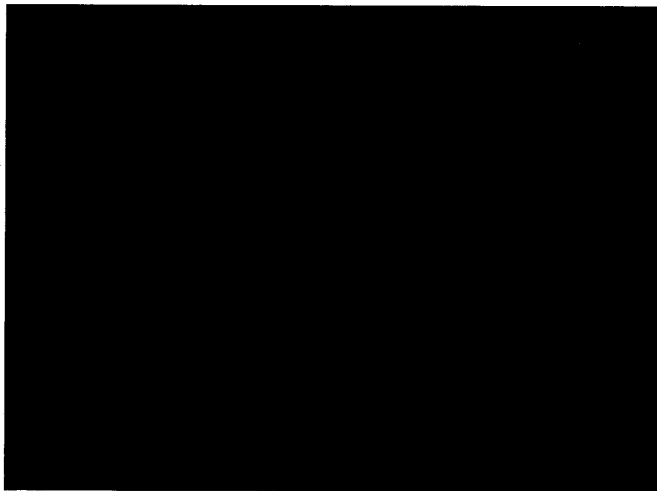
(□)・第 A.36 図 供試体 1 落下試験Ⅱ後



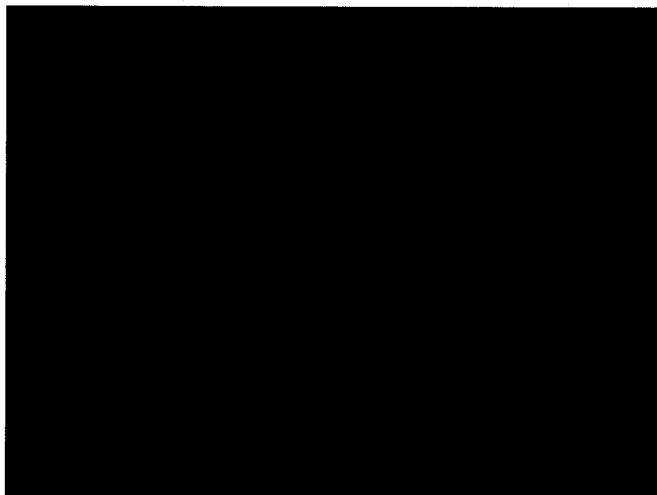
(□)・第 A.37 図 供試体 1 落下試験Ⅱ後



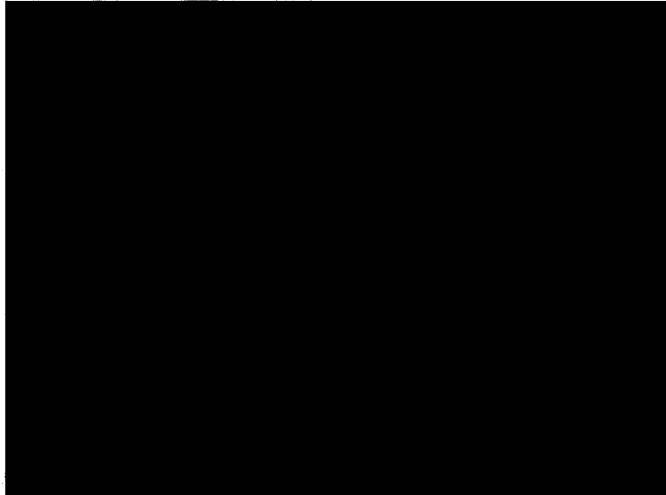
(p)-第 A 図 供試体 落下試験前 (コーナー落下)




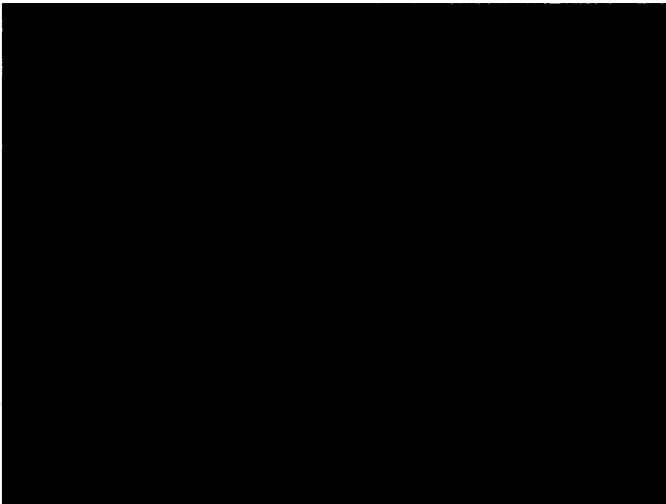
(p)-第 A.39 図 供試体 2 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (コーナー落下)




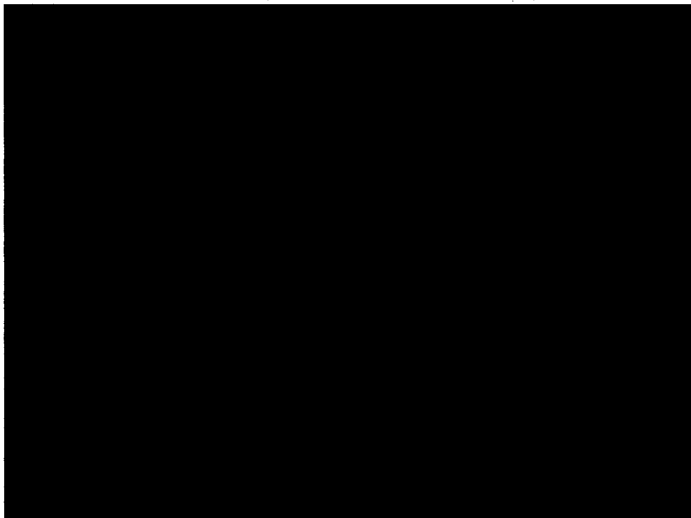
(p)-第 A.40 図 供試体 2 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (コーナー落下)




(p)-第 A.41 図 供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )




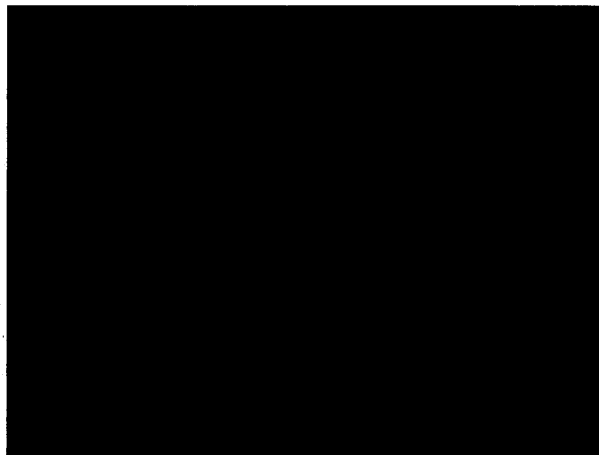
(p)-第 A.42 図 供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )



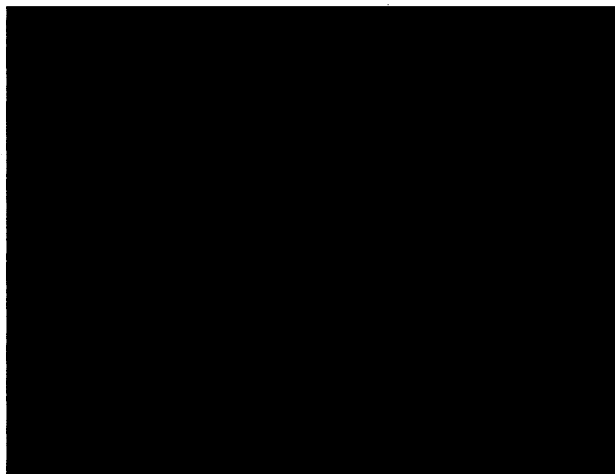
(p)-第 A.43 図 供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )



(p)-第 A.44 図 供試体 2 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: )

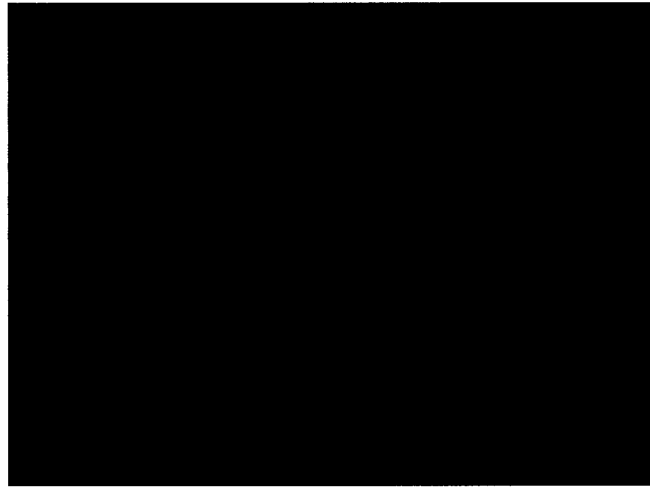


(p)-第 A.45 図 供試体 2 落下試験Ⅱ前

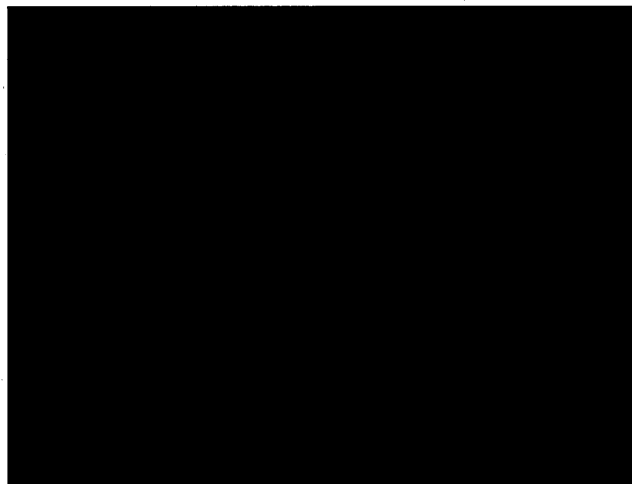


(矢印は塗装された軟鋼棒上部によるフランジ位置決めピンの塗装痕を示す)

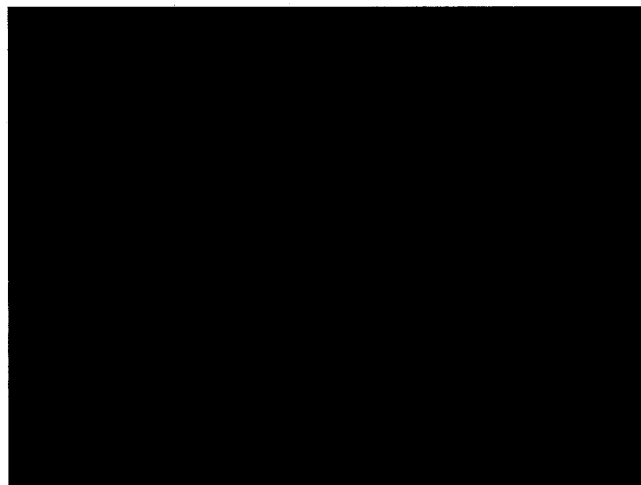
(p)-第 A.46 図 供試体 2 落下試験Ⅱ後



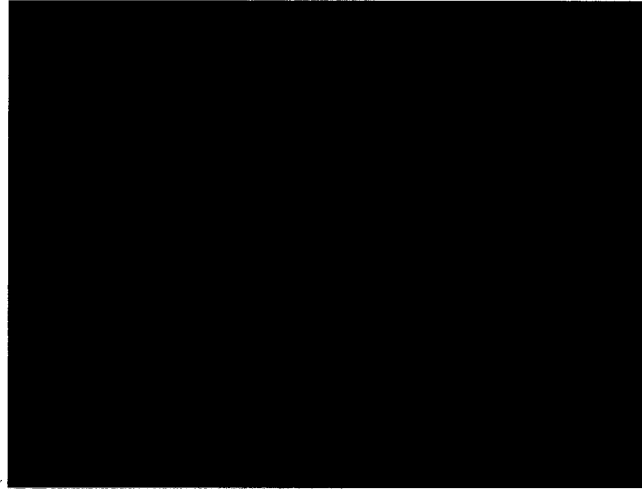
(p)-第 A.47 図 供試体 3 1.2 m(4 ft.)落下試験前 (傾斜落下 :)



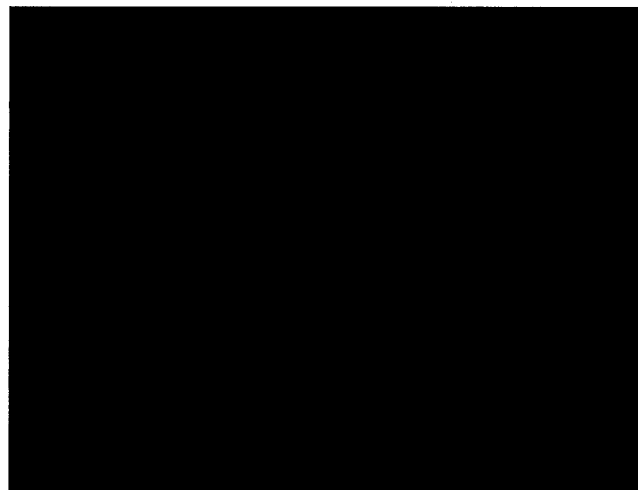
(p)-第 A.48 図 供試体 3 1.2 m(4 ft.)落下試験後 (傾斜落下 :)



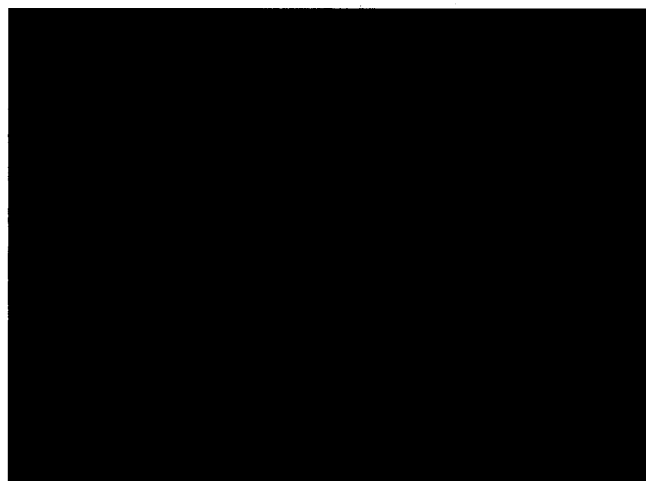
(p)-第 A.49 図 供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験前 (傾斜落下 :)



(p)-第 A.50 図 供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: [redacted])



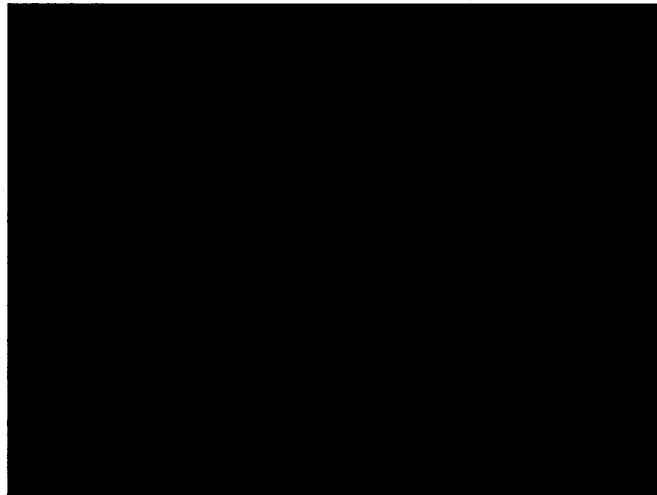
(p)-第 A. 図 供試体 落下試験後 (傾斜落下: [redacted])



(p)-第 A.52 図 供試体 3 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下: [redacted])

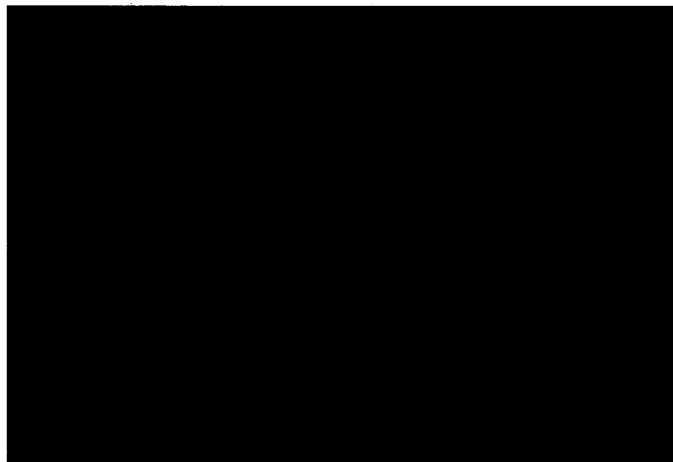



(□)-第 A.53 図 供試体 3 落下試験Ⅱ前

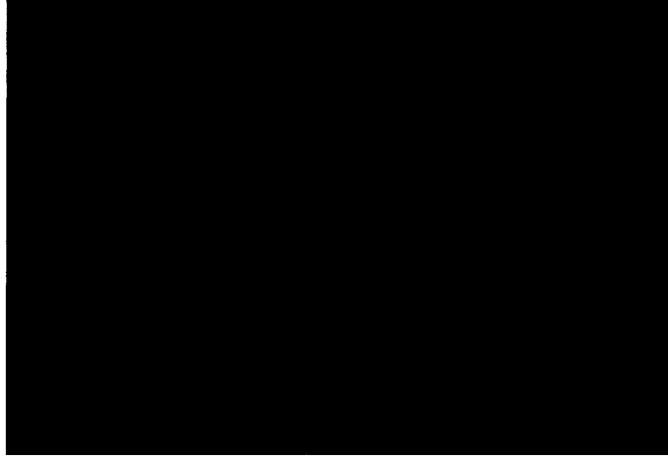



(矢印は供試体への軟鋼棒の2回目の衝撃により生じた損傷を示す)

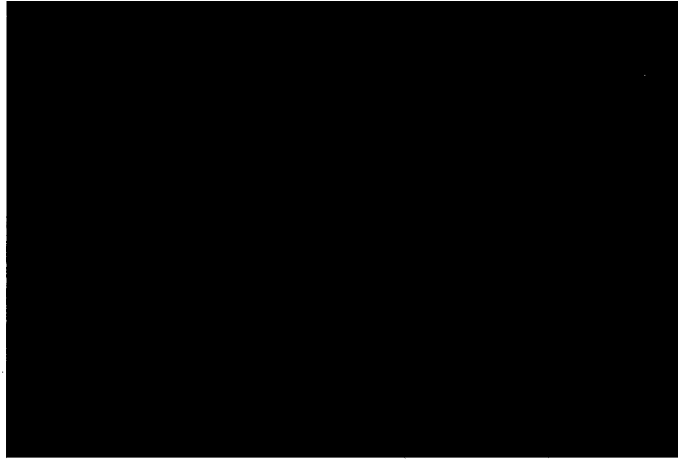
(□)-第 A.54 図 供試体 3 落下試験Ⅱ後




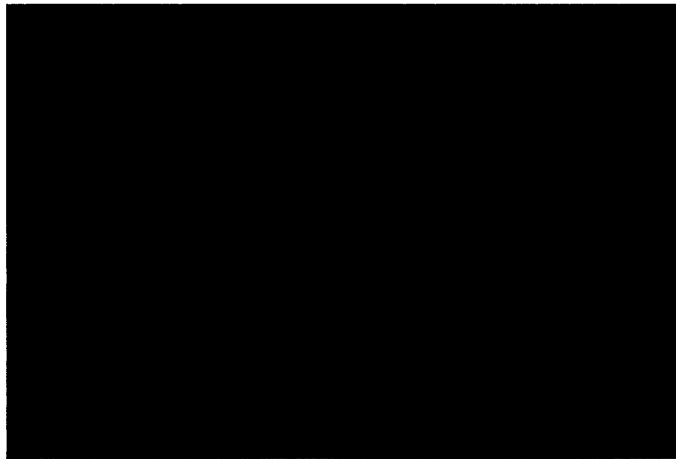
(□)-第 A.55 図 供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験前 (傾斜落下 : )




(□)第 A.56 図 供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )



(□)第 A.57 図 供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )



(□)第 A.58 図 供試体 4 9 m(30 ft.)落下試験後 (傾斜落下 : )

A.6.1.5 結果の要約及びその評価

- (1) ドラムは、各落下姿勢における落下による衝撃に対し[REDACTED]が、収納容器 (PCV 及び SCV) に達することはない。
- (2) 収納容器 (PCV 及び SCV) は、各落下姿勢における落下による衝撃に対し十分な強度を有する。また、落下エネルギーはドラムの[REDACTED]吸収されるため、収納容器に変形は生じない。
- (3) 密封境界を構成する O リングは、各落下姿勢における落下による衝撃に対し機能を損なわないため、密封性は維持される。

A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引き続き落下試験Ⅱが行われるものとして評価を行う。

落下試験Ⅰでは剛平面への落下であり、各落下姿勢とも収納容器にまで変形が達していない。

落下試験Ⅱは直径 150 mm の軟鋼棒上への落下である。ここでは、収納容器の密封境界部が健全であることを示す。

収納容器が密封性を維持することを実証するために、 型輸送物の原型試験による落下試験を実施した。落下姿勢は、コーナー落下及び浅い角度の傾斜落下とした。A.6.1 項に示すとおり、各姿勢における落下試験を行った結果、著しい損傷はなく収納容器の密封性は維持される。

以上のことから、落下試験Ⅱにおいて、輸送物の健全性は維持される。

A.6.2.1 結果の要約及びその評価

収納容器は、落下試験Ⅱの軟鋼棒によって貫通されないことを示した。

落下試験Ⅱの試験及び落下試験Ⅰでの試験により、落下試験Ⅱにおいても輸送容器は健全である。

A.6.3 熱的試験

A.6.3.1 温度及び圧力の要約

本項では、特別の試験条件下における設計・解析に使用する温度及び圧力の要約を記述する。

(1) 設計温度

(ロ)章 B.5.3 輸送物温度で評価した結果、特別の試験条件下における輸送容器各部の温度は(ロ)・第 A.26 表のとおりである。特別の試験条件下における輸送容器各部の設計温度は(ロ)・第 A.26 表に示すように、PCV 及び SCV を [] °C ([] 300 °F)、Oリングを [] °C ([] °F) として保守的に評価する。

(2) 設計圧力

(ロ)章 B.5.4 最大内圧で評価した結果、収納容器内圧は、PCV 内圧は [] MPaG ([] psig)、SCV 内圧は [] MPaG ([] psig) である。特別の試験条件下における応力評価では、落下衝撃及び熱負荷を考慮し、PCV の圧力容器としての設計圧力([] psi)及び SCV の圧力容器としての設計圧力([] psi)の約 1.5 倍の圧力 (PCV で [] MPaG ([] psig)、SCV で [] MPa ([] psi)) を試験圧力として用いる。

(ロ)・第 A.26 表 特別の試験条件下における輸送容器設計温度、試験圧力

構成機器	設計温度 °C (°F)	試験圧力 MPaG (psig)
PCV	[]	—
PCV Oリング	[]	—
SCV	[]	—
SCV Oリング	[]	—
遮蔽体	[]	—
収納物	—	—
ドラム	[]	—
PCV気体	[]	—
PCV内圧	—	[]
SCV内圧	—	[]

A.6.3.2 熱膨張

構成材料の熱膨張差による干渉について、(ロ)第 A.26 表に示すように、特別の試験条件下での設計温度は A.5.1.2 項で評価を行った温度と同じであり、輸送物の健全性に影響を及ぼすことはない。

特別の試験条件下における内圧による応力計算結果を(ロ)第 A.27 表に示す。

(ロ)第 A.27 表 特別の試験条件下における応力計算結果

応力	Pm MPa(psi)	Pm + Pb MPa(psi)	余裕率 (%)
応力限度	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
PCV胴体 断面AA 断面BB 断面CC 断面DD	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
PCVコーンシールプラグ (初期締付けのみ)	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
PCVコーンシールナット	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
PCVテーパネジ	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
PCVテーパ最少断面	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
SCV胴体 断面AA 断面BB 断面CC 断面DD	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
SCVコーンシールプラグ (初期締付けのみ)	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
SCVコーンシールナット	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
SCVテーパネジ	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
SCVテーパ最少断面	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

A.6.3.3 許容応力との比較

特別の試験条件における応力評価は構造解析コード ABAQUS を用いて、 9°C ($^{\circ}\text{F}$) における PCV 及び SCV の解析を実施した。(p)-第 A.27 表に示すように、収納容器の設計圧力によって発生する応力強さは、許容応力を満足する。

A.6.4 浸漬

輸送物を 15 m の水深下に 8 時間置いた場合、密封装置 (PCV、SCV) が健全であることを示す。

供試体を用いて、15 m (50 ft) 以上の水頭下の浸漬試験⁽²⁵⁾により評価した。

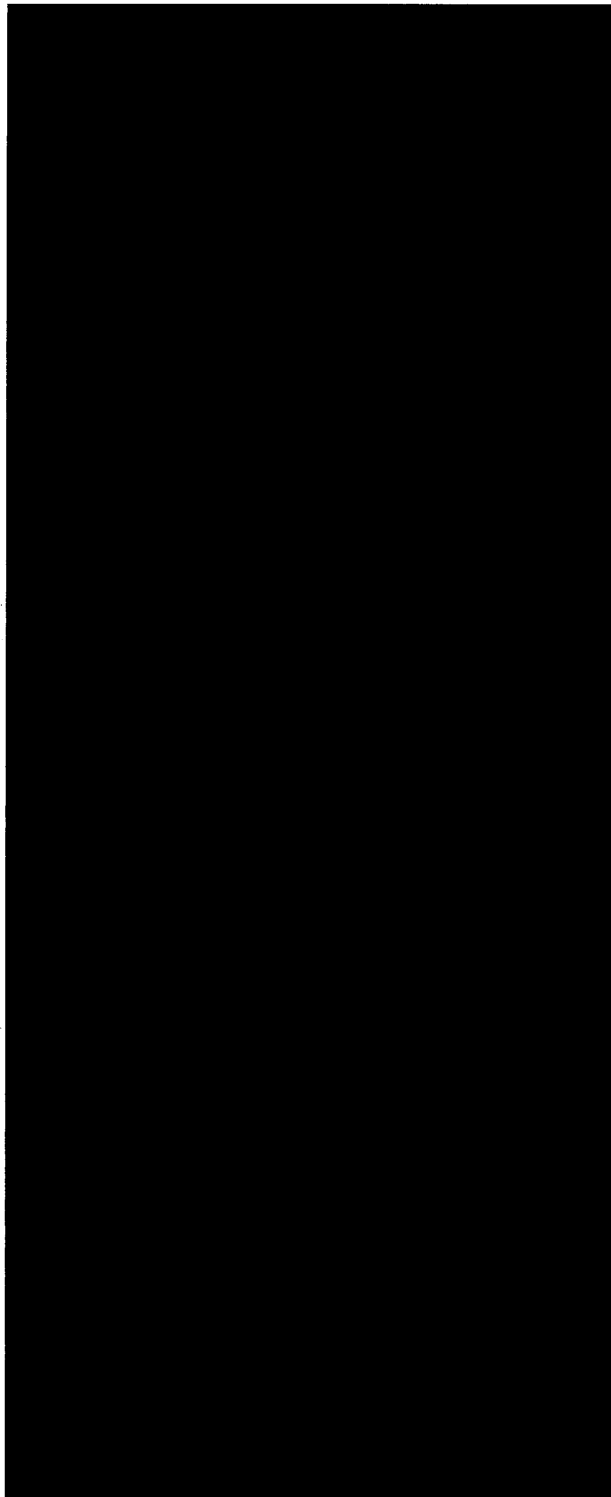
試験に使用した供試体は、 \square 型に類似の収納容器を有する \square 型輸送物である。供試体の構造図及び概略仕様を(p)-第 A.28 表、(p)-第 A.29 表⁽¹⁸⁾に示す。 \square 型輸送物は、 \square l (\square gal) ドラム、断熱材、収納容器 (PCV、SCV) を有する \square 型輸送物と類似の輸送物である。

浸漬試験は、供試体を用いて、24 時間の間、水深 \square m (\square ft) で実施した。

浸漬試験の結果、収納容器の開放検査時に水が内部に浸水していないことを確認した。なお、4 つのプラスチックプラグの 1 つの破損により、少量の水が平衡圧力 \square MPaG (\square psig) になるまで断熱材に浸水した。

浸漬試験において、PCV、SCV の密封装置は健全であることを確認した。

従って、水深 15 m に相当する 0.15 MPaG の浸漬状態に置かれた場合において、密封装置は破損することはなく健全である。



(ロ) 第 A.28 表 型及び 型輸送物の構造概要

輸送物	輸送物 総重量 kg (lb)	ドラム						遮蔽体 厚さ mm (in.)	収納容 器 の 員 数	断熱材 厚さ mm (in.)			
		容 量 ℓ(gal)	板厚 mm (in.)	材 料	直 径 mm (in.)	高 さ mm (in.)	閉止方法			上 部	底 部	側 部	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	1	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	1	■	■	■	■

A.6.5 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への影響について、原型試験及び解析により検討を行った。強度試験では、落下試験Ⅰにおいて、XXXXXXXXXX、PCV 及び SCV は変形せず、密封境界が保たれ、密封性は損なわれない。

落下試験Ⅱにおいて、XXXXXXXXXX、PCV 及び SCV は変形せず密封境界が保たれ、密封性は損なわれない。

引き続き行われる熱的試験でも、PCV 及び SCV に発生する応力は、許容応力以下であり、密封境界が保たれ、密封性は損なわれない。

浸漬試験においても、PCV 及び SCV は XXXX kPaG (XXXX psig) の外圧に耐え、健全である。

ドラム、収納容器及び収納物の評価の結果は、(ロ)章 B 熱解析、(ロ)章 C 密封解析、(ロ)章 D 遮蔽解析及び(ロ)章 E 臨界解析に用いられる。

各解析においては、構造解析の結果を次のように考慮した。

(1) 熱解析

輸送容器の熱解析上重要な箇所は、PCV、SCV、PCV 蓋部及び SCV 蓋部である。

構造評価において、ドラムの損傷は PCV 及び SCV に達せず、輸送容器は健全である。落下試験Ⅱによりドラムには貫通が生じない。また、ドラム蓋は外れることなく、断熱材の配置は維持されることから、断熱材の機能は十分有している。

したがって、熱解析では PCV 及び SCV は変形しないものとし、断熱材の変形に関しては考慮して評価を行う。

(2) 密封解析

構造評価において輸送容器の密封機能は健全性を有する。密封解析では保守的に収納物が破損したものとして放射性物質の漏えい量を評価する。

(3) 遮蔽解析

遮蔽解析では、ドラム、PCV、SCV 及び収納物の破損が解析結果に影響する。

構造解析において、ドラムの損傷は PCV 及び SCV に達せず、輸送容器は健全である。

落下試験Ⅱにより、ドラムは局所的に変形するが、PCV 及び SCV は変形しない。

したがって、遮蔽解析では PCV 及び SCV は変形しないものとする。また、安全

側に評価するためドラム、断熱材はないものとする。

(4) 臨界解析

臨界解析では、遮蔽解析と同様、PCV 及び SCV は変形しないものとする。また、火災による断熱材の焼失を考慮する。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物の最大放射エネルギーは A_2 値の 10 万倍以下であり、該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送容器の放射性収納物は、(イ)第 A.1 表に示すとおりである。これらは PCV 及び SCV に収納される。PCV 及び SCV は、各試験及び解析の結果破損することはない、外部に放射性収納物が放散されることはない。

A.9 核分裂性輸送物

A.4.2 項及び A.6.3.3 項に示されるように $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ までの周囲の温度において、亀裂、破損等が生じるおそれはない。

規則及び告示で定められている試験条件下に、輸送物が置かれた場合の臨界に係わる形状の変化について記述する。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

(1) 水噴霧

A.5.2 項で記述したように、輸送容器は、表面は滑らかに仕上げられたステンレス鋼で製作されているため、水切りも良く、吸水性はない。よって、水噴霧試験を受けても形状の変形等は生じない。

(2) 自由落下

A.5.3 項で示したように、 1.2 m の高さからの自由落下試験を行った場合、ドラムの変形は軽微であり臨界評価に影響を及ぼさない。このため、臨界解析において変形は考慮しない。

(3) 積み重ね試験

A.5.4 項で記述したように、輸送容器は積み重ね試験を行っても輸送容器が変形することはない。

(4) 貫通

A.5.5 項で記述したように、貫通試験を行うとドラムに凹部が生じるが、凹部は局部的であるため、臨界を検討する形状の変化はない。

(5) 結果の要約と評価

(1) 水噴霧、(2) 自由落下、(3) 積み重ね試験、(4) 貫通を行っても、規則及び告示で定める下記 (イ) 及び (ロ) の事項は満足し、臨界解析に係わる評価体系は維持される。

(イ) 構造部に一辺が 10 cm の立方体を包含するような凹みは生じない。

(ロ) 外接する直方体の各辺が 10 cm 以上である。

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

規則及び告示には、次の 2 つの連続試験のうち厳しい方を順次行うよう規定されている。

ケース (1)

一般の試験条件 (A.9.1 項) + 9 m 自由落下試験 + 落下試験 II + 熱的試験
+ 0.9 m 浸漬試験

ケース (2)

一般の試験条件 (A.9.1 項) + 15 m 浸漬試験

上記 2 ケースの内、臨界体系への影響が大きい 9 m 落下試験を含むケース (1) で、臨界形状への影響について評価する。

ケース (1) の内、一般の試験条件の評価は A.9.1 項に示すとおりであり、輸送物の健全性は維持される。

A.9.2.1 強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)

一般の試験条件に続いて、各落下姿勢での 9 m 自由落下による輸送物の評価を行う。

収納容器が密封性を維持することを実証するために、 型輸送物の落下試験を実施した。落下姿勢は、変形等が生じ、臨界解析への影響が大きいと考えられるコーナー落下及び浅い角度の傾斜落下とした。A.6.1 項に示すとおり、各姿勢における落下試験を行った結果、著しい損傷はなく収納容器の密封性は維持される。

以上より、落下試験 I において、ドラムが変形し、臨界解析において変形を考慮し評価を行う。また、変形は収納容器に及ぶことはなく強度を保つので、臨界解析に係わる評価体系は維持される。

A.9.2.2 強度試験・落下試験 II (1 m 落下時)

収納容器が密封性を維持することを実証するために、 型輸送物の落下試験を実施した。落下姿勢は、変形等が生じ、臨界解析への影響が大きいと考えられるコーナー落下及び浅い角度の傾斜落下とした。A.6.1 項に示すとおり、各姿勢における落下試験を行った結果、著しい損傷はなく収納容器の密封性は維持される。

以上より、落下試験 II において、輸送物の健全性は維持される。

A.9.2.3 熱的試験

(ロ)章 B 熱解析の特別の試験条件にて評価した輸送物各部の温度の要約を、(ロ)-第 A.30 表に示す。PCV 及び SCV の最大内圧は、それぞれ MPaG (psig) 及び MPaG (psig) であり、それぞれの設計基準である MPaG (psig) 及び MPaG (psig) 以下である。熱応力についても、A.6.3.2 項に示すとおり設計基準値以下である。

したがって、輸送容器は強度を保ち、臨界解析に係わる評価体系は維持される。

(p)-第 A.30 表 輸送物各部の温度の要約

構成機器	温 度 °C (°F)	設計温度* °C (°F)
PCV/SCV	■■■■■	■■■■■
Oリング	■■■■■	■■■■■
遮蔽体	■■■■■	■■■■■
収納物	■■■■■	—
ドラム	■■■■■	■■■■■
PCV 気体	■■■■■	■■■■■

* : ドラムの設計基準は、ステンレス鋼の溶解温度に基づく

A.9.2.4 浸漬

特別の試験（落下試験Ⅰ、Ⅱ及び熱的試験）後、水深 0.9 m（9 kPa）の浸漬状態に収納容器がおかれた場合でも、A.6.4 項に示すように水深 15 m において耐えられるよう設計されているので、収納容器は強度を保ち、臨界解析に係わる評価体系は維持される。

A.9.2.5 結果の要約及びその評価

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における輸送物の破損の要約を試験項目毎に記述する。

(1) 落下試験Ⅰ（9 m 落下時）

A.9.2.1 項より、落下時の変形はいずれの落下姿勢においても収納容器に達しない。このため、臨界解析ではドラムの変形を考慮し、収納容器の変形は考慮せず評価を行う。

(2) 落下試験Ⅱ（1 m 落下時）

A.9.2.2 項より、落下時の変形は収納容器に達しない。このため、臨界解析ではドラムの変形を考慮し、収納容器の変形は考慮せず評価を行う。

(3) 熱的試験（800 °C、30 分間）

A.9.2.3 項より、収納容器内の圧力が上昇したとしてもその圧力は設計圧力以下であり、収納容器は強度を保ち臨界解析に係わる評価体系は維持される。なお、臨界解析においては、火災による断熱材の焼失を考慮する。

(4) 浸漬（9 kPa、8 時間）

A.9.2.4 項より、水深 0.9 m の浸漬状態におかれても収納容器は強度を保ち、臨界解析に係わる評価体系は維持される。

A.10 付属書類

A.10.1 参考文献

A.10.1 参考文献

(1) ABAQUS Structural Analysis Code, Version 5.3, Hibbitt, Karlsson, and Sorensen, Inc., Pawtucket, Rhode Island.

[REDACTED]

(3) Parker O-ring Handbook, ORD-5700A, The Parker Seal Group, Parker Hannifin Corporation, Cleveland, OH, <http://www.parker.com/o-ring>. (2001).

(4) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II, "Materials," Part A, "Ferrous Material Specifications," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY (2004).

(5) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II, "Materials," Part D, "Properties," American Society of Mechanical Engineers, New York, NY (2004).

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

(9) Metals Handbook® Ninth Edition, Volume 13, Corrosion, ASM International, pp. 84-85, (1989).

- (10) Required Practices to Minimize Chloride Induced Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel, SRS Engineering Standard No. 05952, Rev. 3, P. 4, (September 11, 2003).
- (11) C. M. Harris. Shock and Vibration Handbook. 5th ed., pp 2.3, McGraw Hill, New York, NY, (2002).
- (12) D. R. Leader, Packaging Material Compression Tests, SRT-MTS-93-3119, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC 29802 (November 1993).
- (13) DESIGN CALCULATIONS FOR THE 9975 PACKAGING, M-CLC-F-00894 Rev. 1, SRNL, 2008.
- (14) NRC Regulatory Guide 7.6. Rev. 1, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. (March 1978).
- (15) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III, "Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components," Division 1, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY (2004).
- (16) Burst Test of 5 Inch 2R (U), Rev. 0, M-TSM-A-00003, Rev 1, Savannah River Site, Aiken, SC (October 2003).
- (17) Water Spray and Compression Test of the 9968 Package, M-TSM-A-00004, Rev 0, Savannah River Site, Aiken, SC (October 2003).
- (18) 9975 Packaging Comparisons with the 9966, 9967, 9968, 9974, and 9975 Prototype, Appendix 2.5 in Safety Analysis Report For Packaging Model 9975, S-SARP-G-00003 Rev 2, Savannah River National Laboratory (May 2013).

- (19) Evaluation of 9975 Shipping Container Flange Closure, Appendix 2.4 in Safety Analysis Report For Packaging Model 9975, S-SARP-G-00003 Rev 2, Savannah River National Laboratory (May 2013).
- (20) Gates, A.A., Langhaar, J.W., and McCarthy, P.G., Safety Analysis Report – Packages, Modified 6M Package, DPSPU 75-124-3, Savannah River Plant, Aiken, SC (October 1975).
- (21) Smith, A.C., Drop Tests of 9975 Packages with Pressurized Containment Vessels (U), SRT-PTG-98-0116, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (September 1998).
- (22) Majzlik, E.J. and Leader, D.R., Physical Drop Test Report for 9974 and 9975 Radioactive Material Shipping Packaging Drop and Puncture Tests (U), WSRC-RP-94-587, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (September 1994).
- (23) Smith, A.C., Drop Tests of the Redesigned 9975 Package, WSRC-TR-2000-00236, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (June 2000).
- (24) Test Report 9975 Package Drop Test and Subsequent Leak Testing to Support Package Certificate Validation for Japan, S-TSM-A-0004, SRNL. DOE. GOV., (June 2015).
- (25) Immersion Test of the 9966 Package, M-TSM-A-00005, Rev 0, Savannah River Site, Aiken, SC (October 2003).

(口) 章B 熱解析

B. 熱解析

B.1 概要

本解析では、規則及び告示に規定される BM 型輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件における輸送物の熱的状态を解析し、技術上の基準に適合することを示す。

B.1.1 熱設計

本輸送容器は、(イ)第 C.1 図及び(イ)第 C.2 図に示すように密封機能を有する一次収納容器 (PCV : Primary Containment Vessel) 及び二次収納容器 (SCV : Secondary Containment Vessel)、並びにそれらを収納するドラム等から構成されている。

ドラムには、遮蔽機能を有する鉛製の遮蔽体、入熱抑制機能を有する上部断熱材、下部断熱材を設けている。

その断熱材によって、PCV、SCV、PCV の O リング、及び SCV の O リングは、高温から保護されている。上部断熱材は、緩衝材としての繊維板及びステンレス鋼製の被覆材から成り、下部断熱材は、緩衝材としての繊維板から成っている。ドラムの胴体には、火災時において断熱材が炭化する際に生成するガスを逃し、ドラム内の圧力上昇を抑制する役割を果たすプラスチックプラグ (ポリエチレン製) を 4 個設けている。

輸送物は縦置状態にて輸送される。

B.1.2 熱解析

熱解析は、一般の試験条件及び特別の試験条件における輸送物について行う。

(1) 熱的条件

一般の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

- a. 輸送物は、環境温度 38 °C において太陽放射熱を受け平衡状態にある。
- b. 輸送物は、環境温度 -40 °C において太陽放射熱を受けない。

特別の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

- a. 火災前の輸送物は、38 °C の大気中において太陽放射熱を受け平衡状態にある。

- b. 輸送物は、雰囲気放射率が 0.9 である 800 °C の火災に 30 分間さらされる。この場合、輸送物表面の吸収率は 0.8 又は実証された値である。この間、太陽放射熱を受ける。
- c. 火災後の輸送物は、環境温度 38 °C において太陽放射熱を受け、放置される。

(2) 最大崩壊熱

解析に用いた収納物の最大崩壊熱を、(イ)第 A.1 表に示す最大の崩壊熱量として、以下の(ロ)第 B.1 表に示す。

(ロ)第 B.1 表 収納物の最大崩壊熱

収納物	崩壊熱
■■■■ プルトニウム燃料	19 W
■■■■ ウラン燃料	0 W
最大崩壊熱	19 W

(3) 熱解析の条件と方法

熱解析の条件を(ロ)第 B.2 表に示す。

熱解析の方法を(ロ)第 B.3 表に示す。

(4) 熱解析に用いた輸送容器概略及び収納物

■■■■ 輸送容器の概略図を(ロ)第 B.1 図に示す。

本輸送容器では、■■■■ プルトニウム燃料及び■■■■ ウラン燃料が収納されるが、(イ)第 A.1 表に示すとおり■■■■ ウラン燃料の発熱量は無視できるほど小さいため、■■■■ プルトニウム燃料における評価を実施することで■■■■ ウラン燃料を包含可能となる。

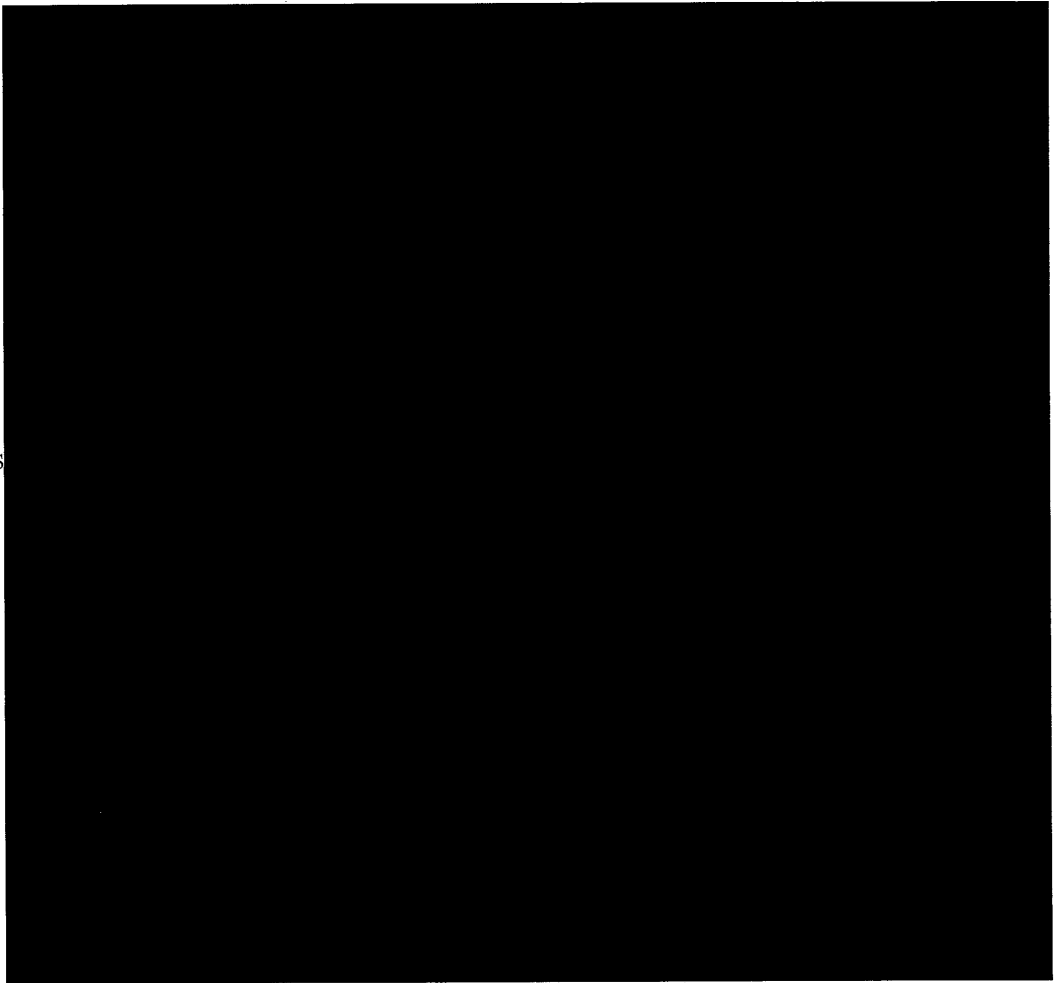
このため、本解析では■■■■ プルトニウム燃料の熱的な特徴を考慮して、収納物として高密度■■■■ プルトニウム (密度 ■■■■ g/cm³) のボタン状の塊を 2 ケ収納し、プルトニウム量は最大崩壊熱である 19W 相当量とする。ここで、PCV 内の収納状況及び収納缶形状を(ロ)第 B.2 図に示す。

(ロ)第 B.2 表 熱解析の条件

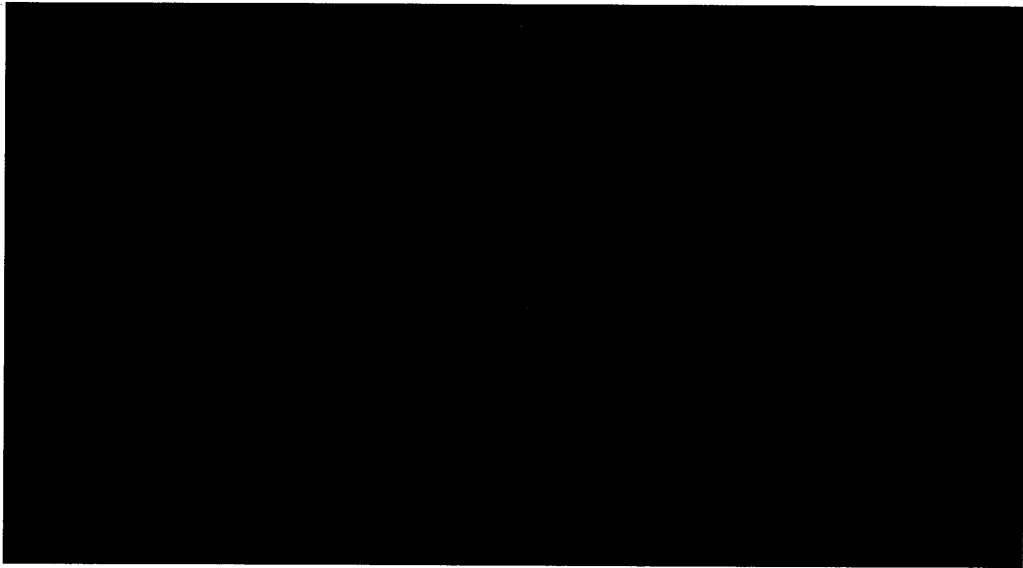
条 件 項 目	一般の試験条件			特別の試験条件		
	日陰における 温度評価	最高温度評価	最低温度評価	火 災 前	火 災 時	火 災 後
崩壊熱 (W)	19		0	19		
環境条件	周囲温度 (°C)	38	-40	38	800 火災30分間	38
	太陽放射熱	なし	あり	あり	あり	あり
周囲放射率		■		■	■	■
容器表面放射率		■		■	■	■
容器表面吸収率	-	■	-	■	■	■
輸送物の姿勢	縦 置			縦 置		

(ロ) 第 B.3 表 熱解析の方法

項目		内容
収納物仕様		崩壊熱19 Wに相当する■プルトリウム
最大崩壊熱 (W)		19
熱解析モデル	輸送容器	軸対称二次元モデル
	収納物	B.1.2 (4) 熱解析に用いた収納物 参照
熱流体計算コード		ANSYS FLUENT Version 6.3 ³⁾
使用物性値		B.2 材料の熱的性質 参照



(㊦)第B.1図 輸送容器の概略図



(㊦)第B.2図 PCV内の■ Pu ボタン収納状況及び収納缶形状 ㊦

B.2 材料の熱的性質

熱解析に用いる各材料の熱的性質を(□)第 B.4 表～(□)第 B.6 表に示す。

PCV、SCV の空洞には、実際には空気が使われるが、熱解析においては、PCV 及び SCV の空間部を空気よりも熱伝導率の小さい二酸化炭素とし、SCV から外側への放熱を低くすることで、PCV、SCV の温度を保守的に高く評価する⁴⁾。

本解析では、(□)第 B.2 図に示すように、内缶の中に■■■■プルトニウムのボタン状の塊 2 ケを収納し、さらにその全体を収納缶の中に収納する。内缶及び収納缶ともに、内部には実際には空気が使われるが、収納缶及び内缶の空間部を空気よりも熱伝導率の大きいヘリウムとした。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下における輸送物の断熱材の熱的性質を、(□)第 B.5 表に示す。

(□)第 B.6 表に自然対流の熱伝達係数を計算するために必要な空気の熱的性質を示す。

(p) 第 B.4 表 輸送容器材料の熱的性質⁴⁾

材 料	密度 kg/m ³ (lb/ft ³)	比 熱		熱伝導率	
		°C (°F)	kJ/(kg·K) (Btu/(lb·°F))	°C (°F)	W/(m·K) (Btu/(h·ft·°F))
タイプ [] ステンレス鋼 ⁵⁾	[]	0(32)	[]	0(32)	[]
		400(752)	[]	100(212)	[]
		—	—	500(932)	[]
[] アルミニウム ⁷⁾ ベアリング板	2712 (169.3)	all	[]	all	[]
[] アルミニウム 衝撃吸収材	259 (16.2)	all	[]	all	[]
カオウール ブランケット ⁸⁾	96 (6.0)	all	1.09(0.26)	37.8(100)	0.0350(0.0201)
				260(500)	0.0682(0.0392)
				537.8(1000)	0.145(0.0833)
				815.6(1500)	0.2510(0.1442)
				982.2(1800)	0.3177(0.1825)
鉛 ⁵⁾	11350 (708.6)	0(32)	0.128(0.0305)	98.3(209)	34.1(19.6)
		100(212)	0.132(0.0315)	204.4(400)	31.9(18.3)
		327.5 (621.5)	0.142(0.0338)	—	—
[] プルトニウム	19199 (1198.6)	100(212)	[]	97.2(207)	[]
		125(257)	[]	117.2(243)	[]
		175(347)	[]	130(266)	[]
		450(842)	[]	600(1112)	[]
空気 ⁵⁾	1.290 (0.08053)	100(212)	0.992(0.237)	0(32)	0.02430(0.01396)
				100(212)	0.03201(0.01839)
				200(392)	0.03895(0.02238)
				300(572)	0.04513(0.02593)
ヘリウム ⁵⁾	0.16814 (0.010497)	all	5.19(1.24)	48.9(120)	0.1584(0.0910)
				100(212)	0.1714(0.0985)
				200(392)	0.2134(0.1226)
二酸化炭素 ¹⁰⁾	1.797 (0.1122)	26.7(80)	0.8720 (2.0823E-01)	26.7(80)	0.0167(0.00958)
		76.7(170)	0.9010 (2.1517E-01)	76.7(170)	0.02059(0.01183)
		126.7(260)	0.9431 (2.2521E-01)	126.7(260)	0.02475(0.01422)
		176.7(350)	0.9811 (2.3429E-01)	176.7(350)	0.02914(0.01674)

(ロ)第 B.5 表 熱解析に使用する断熱材 (繊維板) の熱的性質^{4),11)}

材料	密度 ^a		比熱		熱伝導率		相変化 ^b kJ/kg (Btu/lb)
	°C (°F)	kg/m ³ (lb/ft ³)	°C (°F)	kJ/(kg·K) (Btu/(lb·°F))	°C (°F)	W/(m·K) (Btu/(h·ft·°F))	
断熱材 (径方向)	25 (77)		25 (77)		all	0.126 (0.0723)	
	86.1 (187)		86.1 (187)				
	146.1 (295)		146.1 (295)				
断熱材 (軸方向)	25 (77)		25 (77)		25 (77)		
	86.1 (187)		86.1 (187)		86.1 (187)		
	146.1 (295)		146.1 (295)		146.1 (295)		
断熱材 (非炭化)	26.7 (80)		26.7 (80)		26.7 (80)		
	246.1 (475)		246.1 (475)		76.7 (170)		
	432.2 (810)		432.2 (810)		93.3 (200)		
	815.6 (1500)		815.6 (1500)		98.9 (210)		
	—	—	—	—	260 (500)		
断熱材 (炭化)	all		all	1.05 (0.250)	37.8 (100)		
					60 (140)		
					93.3 (200)		
					260 (500)		
					260 (500)		

a) 中間密度の熱的性質は線形補間による。

b) 気化潜熱

*1 : 一般の試験条件

*2 : 特別の試験条件

(B)第B.6表 空気 (1気圧) の熱的性質⁴⁾

熱伝導率 W/(m·K) (Btu/(h·ft·°F))		密度 kg/m ³	比熱 kJ/(kg·K) (Btu/(lb·°F))	熱膨張係数 1/°C	粘度 Pa·s (lb/(h·ft))	
2.44E-02 (1.40E-02)	0 °C (32 °F)	式(A) T(°C)	1.0069 (0.24044)	式(B) T(°C)	1.98E-05 (4.80E-02)	26.85 °C
2.61E-02 (1.50E-02)	26.7 °C (80 °F)				2.08E-05 (5.02E-02)	76.85 °C
3.20E-02 (1.84E-02)	100 °C (212 °F)				2.29E-05 (5.53E-02)	126.85 °C
3.90E-02 (2.24E-02)	200 °C (392 °F)				2.48E-05 (6.01E-02)	176.85 °C
4.51E-02 (2.59E-02)	300 °C (572 °F)				2.85E-05 (6.89E-02)	276.67 °C
5.10E-02 (2.93E-02)	400 °C (752 °F)				3.33E-05 (8.06E-02)	426.67 °C

$$\text{式A: } \rho = \frac{16.018}{2.5203 \times 10^{-2} ((9/5 \times T + 32) + 459.67)}$$

$$\text{式B: } \beta = \frac{1}{((9/5 \times T + 32) + 459.67)}$$

輸送物の放射を受けた表面の放射率は、(p)-第 B.7 表に示す。

ドラム内表面の放射率に関して用いられる値は、 $\epsilon = 0.7$ 輸送物を含むドラムタイプの輸送容器の管理制御された耐火試験において計測された温度により正しい値であることを確認している。アルミニウム表面は、酸化した表面と想定される。火災時及び火災後のドラム表面の放射率に関して、10CFR71.73¹⁰⁾の指針が用いられる。断熱材表面の放射率 $\epsilon = 0.1$ は $\epsilon = 0.1$ は輸送容器耐火試験の試験結果から合致することが確認された⁴⁾。

(p)-第 B.7 表 表面放射率

表面	放射率		
	一般の試験条件	特別の試験条件	
		火災時	火災後
収納物	0.7	0.7	0.7
PCV/SCV/収納缶&内缶	0.7	0.7	0.7
エアシールド	0.7	0.7	0.7
ドラム内表面	0.7	0.7	0.7
ドラム外表面(火災前)	0.7	0.7	0.7
アルミニウムベアリング板/アルミニウム遮蔽体蓋/PCV 底部スペーサ	0.7	0.7	0.7
衝撃吸収材(アルミニウムハニカム)*	0.7	0.7	0.7
遮蔽体(ステンレス製ライナー含む)	0.7	0.7	0.7
断熱材	0.1	0.1	0.1

* 固体をモデル化している

B.3 構成要素の仕様

熱解析に関わる輸送容器の熱設計、構成機器仕様を下記に示す。

B.3.1 ドラム

輸送容器は、取り外し可能なドラム蓋を備えた [] l ([] gal) のステンレス鋼製のドラムであり、厚さ [] mm の [] ステンレス鋼板から製作されている。ドラムにはフランジ下部に 90°毎に 4 つのベント孔が設けられ、ベント孔は一般の試験条件下において雨水の浸入を防ぐプラスチックプラグで閉止されている。特別の試験条件下の耐火試験においてプラスチックプラグが溶け落ちることによりドラム内部の断熱材の熱分解によって発生するガスを排出する。

B.3.2 断熱材

輸送容器の断熱材は上部断熱材、下部断熱材から構成され、密度 [] [] 使用可能最高温度 [] °C ([] °F) の繊維板を使用している。

特別の試験条件下の耐火試験において、断熱材はドラム表面の近傍において炭化による熱分解を生じ、炭化層が形成される。特別の試験条件下の耐火試験結果から、黒く炭化していない繊維板が十分にあり、これが断熱性能を維持することから、収納容器温度の上昇を抑止することが確認されている。この特性は輸送物の熱性能にとって重要であり、断熱材として熱解析に使用する。ベント孔近傍においては、上部断熱材は、ステンレス鋼製エアシールドにより直接的な炎の接触から保護されている。

B.3.3 遮蔽体

遮蔽体は SCV と断熱材の間にあり、ガンマ線の遮蔽機能を有している。遮蔽体は鉛をステンレス鋼で被覆した底板と溶接された円筒状のステンレス鋼で被覆した鉛の筒から形成され、遮蔽体蓋はアルミニウム製の板で [] のボルトで遮蔽体に取り付けられている。((イ)第 C.6 図参照)

B.3.4 PCV、SCV及びそのOリング

PCV 及び SCV は収納物に対して二重の収納機能を有し、ステンレス鋼を使用して ASME

規格に従い設計、製作及び試験されている。

密封境界は、PCV及びSCVの本体とコーンシールプラグに設置されている外側Oリング、ステンレス鋼のリークテストポートプラグから構成されている。Oリング材料はフッ素ゴムであり、使用温度範囲は[REDACTED]から[REDACTED]である。

B.3.5 衝撃吸収材

PCVは、SCV内にアルミニウム製ハニカム構造のSCV底部衝撃吸収材とSCV上部衝撃吸収材の間に置かれ、落下事故が起きた時に衝撃から保護される。これらの衝撃吸収材は、空気よりも高い熱伝導性を有するため、一般の試験条件下において放熱を高める。

B.4 一般の試験条件

一般の試験条件における輸送物の熱評価は、熱性能要件を満足していることを示す。

熱評価において輸送物温度を決定し、重要な構成部品である PCV及び SCV内の気体、PCV及び SCV、各々のOリング、断熱材、遮蔽体及び輸送物外面の最高温度を算出する。輸送物内の温度がそれぞれの構成材料の使用温度範囲内であることを示すことにより健全性を維持することを解析により示す。

B.4.1 熱解析モデル

B.4.1.1 解析モデル

一般の試験条件下における熱解析モデルは、実際の輸送物形状に合わせて FLUENT 計算プログラムを用いて作成する。■ プルトニウムのボタン状の塊 2 ケの収納物を装荷した輸送物の場合、PCV 内の収納状況及び収納缶形状を(□)-第 B.2 図に示す。また、軸対称の輸送物の解析モデルを、(□)-第 B.3 図に示す。

モデルの境界条件には、一般の試験条件下における規定条件を使用する。熱解析における輸送容器の主要構成部品は、ドラム、PCV、SCV、それらの O リング、遮蔽体及び断熱材である。熱解析モデルは、アルミニウムベアリング板、底部スペーサ、エアシールド及び遮蔽体外面の金属表面を含めてモデル化している。

輸送物は通常、縦置状態で輸送する。

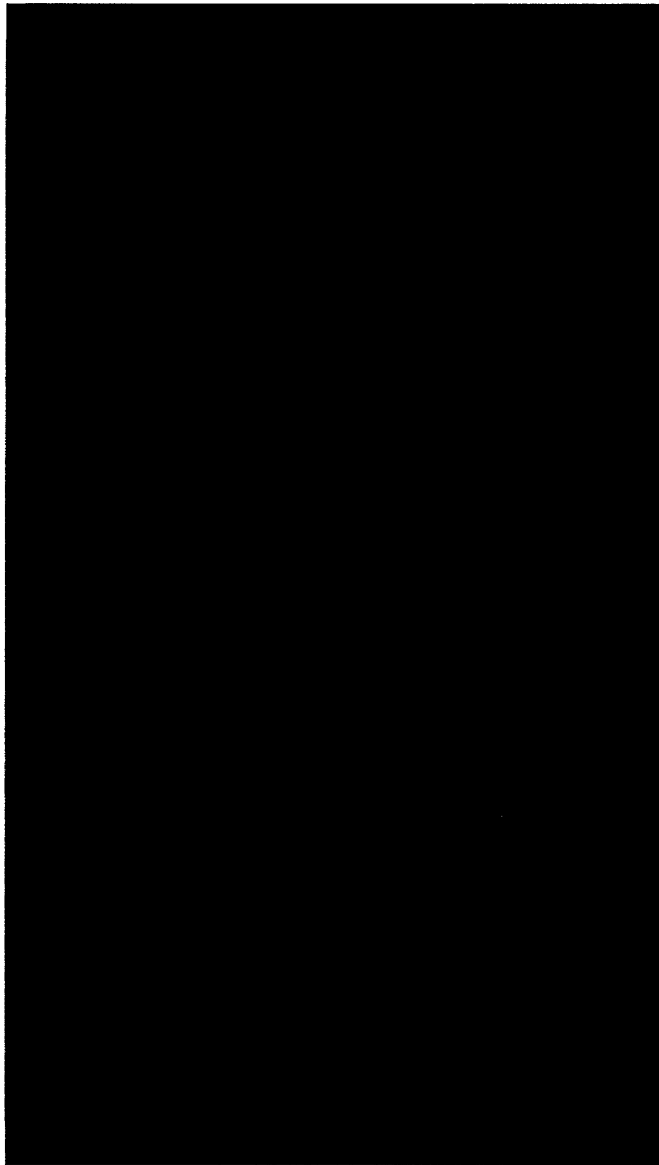
(1) 解析条件


一般の試験条件下における解析条件を以下に示す。

1. ドラムは縦置状態とする。
2. ドラム底表面は断熱面とする。
3. ドラムの側面及び上面から周囲へ放射熱伝達とする。
4. ドラムの側面及び上面から周囲へ自然対流熱伝達とする。(□)-第 B.8 表に示す自然対流の相関関係式を使用する。
5. 周囲温度は、38 °C (100 °F) とする。
6. 12 時間にわたる太陽放射熱量の合計は、ドラム上面において ■ W·h/m² (■ Btu/ft²)、ドラム側面において ■ W·h/m² (■ Btu/ft²) である。それに対応す

る時間平均熱流束は、ドラムの上面において 800 W/m^2 ($253.59 \text{ Btu/ft}^2\text{-hr}$) であり、ドラムの側面では 400 W/m^2 ($126.79 \text{ Btu/ft}^2\text{-hr}$) である。ドラム表面の吸収率を [REDACTED] とするため、太陽からの太陽放射熱流束は、ドラムの上面において [REDACTED] W/m^2 ([REDACTED] $\text{Btu/ft}^2\text{-hr}$)、ドラムの側面において [REDACTED] W/m^2 ([REDACTED] $\text{Btu/ft}^2\text{-hr}$) である。これらの熱流束は、12 時間の間、一定値とする。

7. 収納物は、総発熱量 19 W で均一発熱とする。
8. 輸送物内部の熱伝達は、保守的に評価するため対流による熱伝達を使用せず、放射と熱伝導の定常状態モデルとして解析する。



(㊦)-第B.3 図 熱解析モデル (収納缶に  Pu を収納した輸送容器)

(a) 第 B.8 表 自然対流熱伝達係数⁴⁾

No	モデル方向	適用範囲表面状態	相関関係式 (Btu/hr-ft ² -°F)
V	垂直	$1.0 \times 10^9 < Ra$ 等温板	$h = \left(\frac{k}{L} \right) \left[0.825 + \frac{0.387 \times Ra^{1/6}}{\left[1.0 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$
H1	水平	$2.6 \times 10^4 < Ra < 1.0 \times 10^7$ 加熱等温板上面	$h = \left(\frac{k}{L} \right) 0.54 \times Ra^{0.25}$
H2	水平	$1.0 \times 10^7 < Ra < 3.0 \times 10^{10}$ 加熱等温板上面	$h = \left(\frac{k}{L} \right) 0.15 \times Ra^{1/3}$
H3	水平	$3.0 \times 10^5 < Ra < 3.0 \times 10^{10}$ 加熱等温板下面	$h = \left(\frac{k}{L} \right) 0.27 \times Ra^{0.25}$

上記の数式において

Ra = 板の高さに基づくレイリー数

Pr = 熱伝導に係るプラントル数

h = 対流熱伝達率

k = 空気の熱伝導率

L = 板の代表長さ

垂直板の代表長さ L はドラムの縦置状態の高さ、水平板の代表長さはドラムの表面領域又は周辺長さとしている。

太陽放射熱については、(a) 第 B.9 表に示す値が、法規で定められる要求事項である。

(ロ)第B.9表 太陽放射熱

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 上向きの表面	0 800
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

ただし、本解析では、B.4.1.1 (1)解析条件 6.に示したように、より保守的に評価するためにドラム側面からの太陽放射熱として、400 (W/m²)としている。

B.4.1.2 試験モデル

解析モデルを採用し、試験モデルは採用していない。

B.4.2 最高温度

一般の試験条件における各構成機器の最高温度を (ロ)第B.10表に示す。

日向における温度評価において、輸送物が38 °C (100 °F) の周囲温度条件下で、太陽放射熱にさらされる場合、ドラム温度、PCV温度及びPCVのOリング温度は、それぞれ ■ °C (■ °F)、■ °C (■ °F) 及び ■ °C (■ °F) である。

(ロ)第 B.12 表 一般の試験条件下における輸送容器最高温度、最大内圧のまとめ

構成機器	最高温度 °C (°F)	最大内圧 MPaG (psig)
PCV	[REDACTED]	—
SCV		—
PCV Oリング		—
SCV Oリング		—
断熱材		—
遮蔽体		—
収納物		—
ドラム		—
PCV 気体		—
PCV 内圧		—	[REDACTED]
SCV 内圧	—	[REDACTED]

(ロ)第 B.13 表 一般の試験条件下における設計基準

構成機器	設計基準 °C (°F)
PCV	[REDACTED]
PCV Oリング	
SCV	
SCV Oリング	
断熱材	
ドラム	
収納物	
遮蔽体	
PCV 気体 (平均)	

(ロ)第 B.14 表 一般の試験条件下における PCV 及び SCV 設計圧力

構成機器	設計圧力 MPaG (psig)
PCV	[REDACTED]
SCV	[REDACTED]

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

特別の試験条件下における █████ 輸送物に対する火災前、火災時、火災後の熱解析モデルを作成し、FLUENT 計算プログラムによって解析する。

特別の試験条件下における断熱材の熱的性質を(□)-第 B.5 表に示す。断熱材の特性は、特別の試験条件下における火災時の断熱材の熱分解の効果等を考慮する必要がある。その特性は、耐火試験中に測定された温度を再現するように計算パラメータのサーベイを繰り返すことにより決定された⁴⁾。

特別の試験条件下における周囲温度は、火災時 30 分間は █████ °C (█████ °F)、火災後は 38 °C (100 °F) である。特別の試験条件下における初期状態は、一般の試験条件下における定常状態と同一である。火災時の 30 分間は、ドラムの全側面(底面を含む)は、強制対流及び放射により加熱される。30 分間の火災の後、ドラムは上面及び側面の太陽放射熱(火災時と同様)を受け、38 °C (100 °F) の周囲温度に置かれる。火災後の放冷時において、ドラムの底面は放射により周囲へ熱伝達し、ドラムの上面及び側面は放射及び自然対流により周囲へ熱伝達する。特別の試験条件下における熱解析は、30 分間の火災、及び火災後 8 時間(火災後定常状態含む)の放冷状態から成る。

特別の試験条件における解析条件を以下に示す。

特別の試験条件下における初期条件(火災前)：

1. ドラムは縦置状態である。
2. 底表面は、断熱面とする。
3. ドラムの上面及び側面から周囲へ放射熱伝達とする。
4. ドラムの上面及び側面から周囲へ自然対流熱伝達とする。(□)-第 B.8 表に示す自然対流の相関関係式を使用する。

5. 周囲温度は、38 °C (100 °F) である。
6. 太陽放射熱を受ける。
7. 落下試験損傷の無い断熱材の特性を、ドラムの中の全ての断熱材に適用する。
8. 崩壊熱は 19 W とする。

特別の試験条件下における火災時:

1. 輸送物は、縦置状態である。これは耐火試験において輸送物が、可燃性燃料表面から約 1 m 高くなったところに立っていることを想定している。
2. ドラムの全ての表面からの強制対流とし、対流係数は、下記のとおり ⁴⁾。
 - i. ドラムの上面及び底面 : \blacksquare W/m²-K (\blacksquare Btu/hr-ft²-°F)
 - ii. ドラムの側面 : \blacksquare W/m²-K (\blacksquare Btu/hr-ft²-°F)
3. ドラムの全ての表面から周囲への放射熱伝達がある。
4. 周囲温度は、800 °C 以上の温度として、 \blacksquare °C (\blacksquare °F) とした。
5. 太陽放射熱を受ける。
6. 火災時における断熱材の特性は、ドラムの中の全ての断熱材に適用する。なお、耐火試験の熱解析に使用する断熱材の特性は、Celotex の熱試験によって調査されたものを使用した ¹⁵⁾。
7. 崩壊熱は 19 W とする。

特別の試験条件下における火災後:

1. ドラムは縦置状態である。
2. ドラムの上面、側面及び底面から周囲への熱放射がある。
3. ドラムの上面及び側面から周囲への自然対流がある。(p)-第 B.8 表に示す自然対流の相関関係式を使用する。
4. 周囲温度は、38 °C (100 °F) である。
5. 12 時間にわたる太陽放射熱量の合計が、ドラムの上面において \blacksquare W·h/m² (\blacksquare Btu/ft²)、ドラムの側面において \blacksquare W·h/m² (\blacksquare Btu/ft²) である。ドラムの表面は、火炎に晒され黒化されるので、表面の吸収率は、1.0 とする。対応する時間平均熱流束は、ドラムの上面において 800 W/m² (253.59

Btu/ft²-hr) であり、ドラムの側面で 400 W/m² (126.79 Btu/ft²-hr) である。

6. “炭化層”の特性は、ドラム内の断熱材の上面、底面及び側面の外層厚さ ■ mm (■ in.) に適用する。特別の試験条件下の火災後における ■ mm (■ in.) の炭化層及び断熱材の領域を(□)-第 B.7 図に示す。

7. 火災時の特性は、外層 ■ mm (■ in.) 以外の断熱材に適用する。

なお、耐火試験の熱解析に使用する断熱材の特性は、Celotex の熱試験によって調査されたものを使用した。

8. 崩壊熱は 19 W とする。

火災後定常状態:

火災後定常状態の解析において、炭化した断熱材(繊維板)の熱的特性については、放射伝熱及び対流伝熱のない空気と同程度の熱伝導特性と仮定する。さらに、ほとんど影響を受けていない断熱材の熱的性質は、未使用の断熱材とおおよそ同じであると仮定する。これらの条件で火災後の定常計算を行う。

5. 周囲温度は、38 °C (100 °F) である。
6. 太陽放射熱を受ける。
7. 落下試験損傷の無い断熱材の特性を、ドラムの中の全ての断熱材に適用する。
8. 崩壊熱は 19 W とする。

特別の試験条件下における火災時:

1. 輸送物は、縦置状態である。これは耐火試験において輸送物が、可燃性燃料表面から約 1 m 高くなったところに立っていることを想定している。
2. ドラムの全ての表面からの強制対流とし、対流係数は、下記のとおり⁴⁾。
 - i. ドラムの上面及び底面: $\blacksquare \text{ W/m}^2\text{-K}$ ($\blacksquare \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$)
 - ii. ドラムの側面: $\blacksquare \text{ W/m}^2\text{-K}$ ($\blacksquare \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$)
3. ドラムの全ての表面から周囲への放射熱伝達がある。
4. 周囲温度は、800 °C 以上の温度として、 $\blacksquare \text{ }^\circ\text{C}$ ($\blacksquare \text{ }^\circ\text{F}$) とした。
5. 太陽放射熱を受ける。
6. 火災時における断熱材の特性は、ドラムの中の全ての断熱材に適用する。なお、耐火試験の熱解析に使用する断熱材の特性は、Celotex の熱試験によって調査されたものを使用した¹⁵⁾。
7. 崩壊熱は 19 W とする。

特別の試験条件下における火災後:

1. ドラムは縦置状態である。
2. ドラムの上面、側面及び底面から周囲への熱放射がある。
3. ドラムの上面及び側面から周囲への自然対流がある。(B)-第 B.8 表に示す自然対流の相関関係式を使用する。
4. 周囲温度は、38 °C (100 °F) である。
5. 12 時間にわたる太陽放射熱量の合計が、ドラムの上面において $\blacksquare \text{ W}\cdot\text{h/m}^2$ ($\blacksquare \text{ Btu/ft}^2$)、ドラムの側面において $\blacksquare \text{ W}\cdot\text{h/m}^2$ ($\blacksquare \text{ Btu/ft}^2$) である。ドラムの表面は、火炎に晒され黒化されるので、表面の吸収率は \blacksquare とする。対応する時間平均熱流束は、ドラムの上面において $\blacksquare \text{ W/m}^2$ (\blacksquare)

Btu/ft²-hr) であり、ドラムの側面で ■ W/m² (■ Btu/ft²-hr) である。

6. “炭化層”の特性は、ドラム内の断熱材の上面、底面及び側面の外層厚さ ■ mm (■ in.) に適用する。特別の試験条件下の火災後における ■ mm (■ in.) の炭化層及び断熱材の領域を(□)-第 B.7 図に示す。

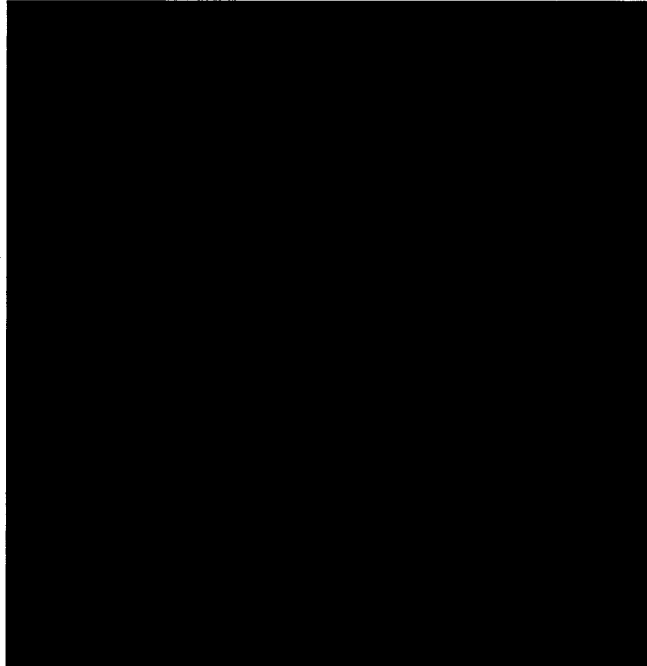
7. 火災時の特性は、外層 ■ mm (■ in.) 以外の断熱材に適用する。

なお、耐火試験の熱解析に使用する断熱材の特性は、Celotex の熱試験によって調査されたものを使用した。

8. 崩壊熱は 19 W とする。

火災後定常状態:

火災後定常状態の解析において、炭化した断熱材(繊維板)の熱的特性については、放射伝熱及び対流伝熱のない空気と同程度の熱伝導特性と仮定する。さらに、ほとんど影響を受けていない断熱材の熱的性質は、未使用の断熱材とおおよそ同じであると仮定する。これらの条件で火災後の定常計算を行う。



[単位：mm]

(ロ)第 B.7 図 火災後の断熱材及び炭化形状

B.5.1.2 試験モデル

試験モデルは採用していない。

B.5.2 輸送物の評価条件

一般の試験条件との相違として、特別の試験条件においては輸送容器底面からも火災による入熱を考慮する。この際、火災前の温度分布は一般の試験条件後の温度分布を使用する。火災中及び火災後の熱解析の条件は、(ロ)第 B.2 表のとおりに与えられ、太陽放射熱については、(ロ)第 B.9 表に与えられる要求事項よりも保守側の値として、ドラム側面に()を設定した。

B.5.3 輸送物温度

特別の試験条件下における熱解析は、FLUENT を用いて実施した。

特別の試験条件下における耐火試験は、火災前、火災時、火災後について行う。熱解析の火災前温度は、一般の試験条件下における日向の結果を使用し、火災時

■■■■ °C (■■■■ °F)、30 分間の熱解析を行う。火災終了後、火災後の■■■■ 輸送物の最高温度を算出するために、引き続き熱解析を行う。

30 分間の火災終了時を時間のゼロとした場合の温度変化として、火災後の特別の試験条件下の結果を(□)第 B.15 表に示す。非定常時の PCV、SCV、及び各々の O リング温度を火災後に続く時間経過毎に表形式にして示している。非定常時における最高温度を下線で示す。

火災後に定常状態(SS)に到達した PCV、SCV 及び各々の O リングの最高温度を(□)第 B.15 表の最下部に示す。

PCV は、火災後の約 2 時間後に最高温度に到達する。また、収納物は約 2.5 時間に最高温度に到達する。(□)第 B.8 図は、収納物が最高温度に到達した時の輸送物全体の温度分布を示している。PCV の O リングは、(□)第 B.9 図に示すように火災後の約 3 時間後に最高温度に到達する。

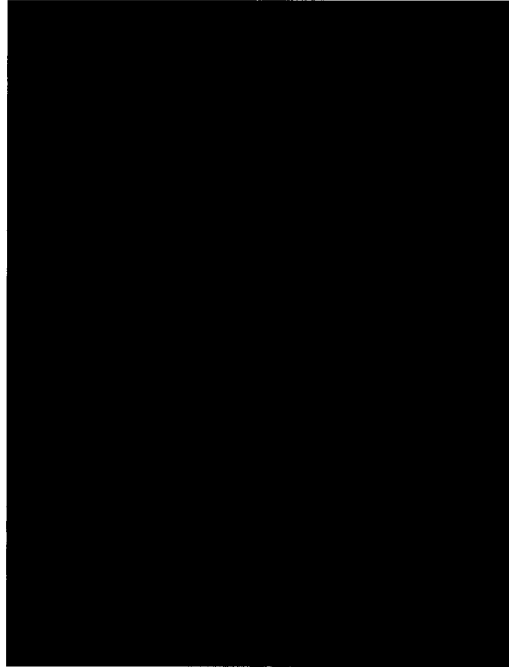
(□)第 B.9 図に示す SCV の最高温度■■■■ °C (■■■■ °F) は、特別の試験条件下における火災後の最初の■■■■ 時間経過後に、SCV 底部に生じた。

(p)-第 B.15 表 特別の試験条件下の輸送物温度

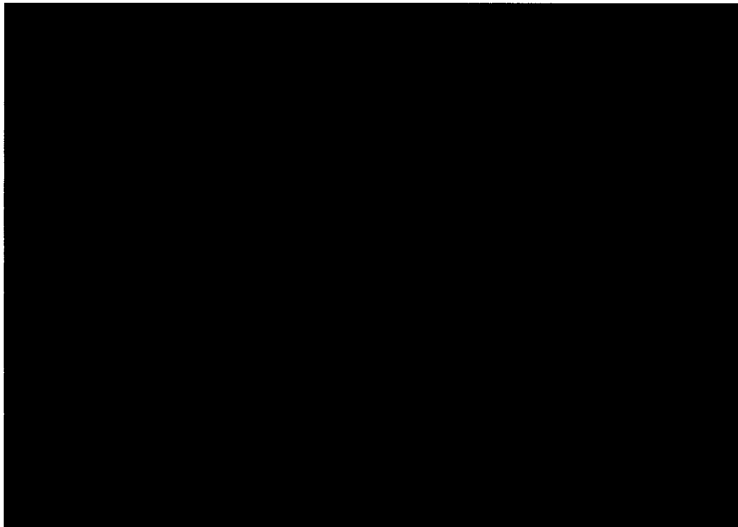
時間 (hr)	PCV °C(°F)	PCV Oリング °C(°F)	SCV °C(°F)	SCV Oリング °C(°F)	遮蔽体 °C(°F)	収納物 °C(°F)	PCV 気体** °C(°F)

* 炭化部は空気(伝導のみ)、非炭化部は正常な断熱材の熱的性質を使用。

** 容積平均値



(㊦)-第B.8図 火災後 時間の輸送物温度



30分間火災終了後の経過時間（時間）

(㊦)-第 B.9 図 特別の試験条件下の収納容器の温度

以上、特別の試験条件下における輸送物最高温度について、(p)-第 B.16 表に示す。

(p)-第 B.16 表 特別の試験条件下における輸送容器最高温度の要約

構成機器	最高温度 °C (°F)
PCV/ SCV	████████
Oリング	████████
遮蔽体	████████
収納物	████████
ドラム	████████
PCV 気体	████████

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件下における圧力計算は、B.4.4 項と同じ手順で行う。一般の試験条件下と同じ充填気体モル数があるとする。一般の試験条件下における日向の定常状態温度を火災時の初期温度として使用した特別の試験条件下における PCV 気体の温度は、(p)-第 B.16 表に示すとおり ██████ °C (██████ °F) となる。

PCV、SCV の圧力評価を以下のとおり一般の試験条件下と同様に計算する。ここで $T_{final} = \text{██████ } ^\circ\text{C (██████ } ^\circ\text{F)} = \text{██████ K (██████ R)}$ とする。

$$P_{(pcv)} = \text{████████}$$

$$P_{(scv)} = \text{████████}$$

よって、耐火試験における PCV 及び SCV の最大内圧は、それぞれ、 \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) 及び \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) である。収納容器に係る強度評価等を行う場合には、上記圧力に対し余裕をもたせ、PCV で \blacksquare MPaG (\blacksquare psig)、SCV で \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) の設計圧力を使用する。

B.5.5 最大熱応力

(ロ)章A.6.3項 (A.9.2.3項) に記載されている熱応力解析の評価は、収納容器壁の温度勾配が小さく、収納容器に生じる応力が、設計基準を満足する応力であることを示している。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下で評価すべき重要な構成部品は、Oリング、PCV、SCV、遮蔽体及びドラムである。(ロ)第B.17表に特別の試験条件の結果を示す。また、特別の試験条件下における輸送容器の各構成機器の設計基準及び設計圧力を、(ロ)第B.18表及び(ロ)第B.19表に示す。

(ロ)第B.17表に示されるように、これらの構成部品の温度及び最大内圧は、(ロ)第B.18表及び(ロ)第B.19表に示すそれぞれの設計基準の範囲内であるため、健全性は維持される。

また、PCV内の最大内圧は、 \blacksquare MPaG (\blacksquare psig)、SCV内の最大内圧は、 \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) であるが、構造解析等においてはPCVの設計圧力を \blacksquare MPaG (\blacksquare psig)、SCVの設計圧力を \blacksquare MPaG (\blacksquare psig) として保守的に評価する。

以上より、特別の試験条件において、輸送物の健全性は維持される。

(a)-第 B.17 表 特別の試験条件下における輸送容器最高温度、最大内圧のまとめ

構成機器	最高温度 °C (°F)	最大内圧 MPaG (psig)
PCV		—
PCV Oリング		—
SCV		—
SCV Oリング		—
遮蔽体		—
収納物		—
ドラム		—
PCV 気体		—
PCV 内圧	—	
SCV 内圧	—	

(a)-第 B.18 表 特別の試験条件における設計基準

構成機器	設計基準 °C (°F)
PCV	
PCV Oリング	
SCV	
SCV Oリング	
遮蔽体	
収納物	—
ドラム	
PCV 気体 (平均)	

(a)-第 B.19 表 特別の試験条件における PCV 及び SCV 設計圧力

構成機器	設計圧力 MPaG (psig)
PCV	
SCV	

B.6 付属書類

B.6.1 参考文献

B.6.1 参考文献

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

2. Solar Absorptance and Thermal Emittance of Some Common Spacecraft Control-Surface Coatings, John H. Henninger, NASA Reference Publication 1121, page 11, April 1984.

3. ANSYS FLUENT 6.3 ANSYS, Inc. (2011).

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]

6. Drawings

- [REDACTED], Rev. 5, Drum with Flange Closure Assembly
- [REDACTED], Rev. 6, Flange Closure Subassembly Details
- [REDACTED], Rev. 8, Insulation Assembly details
- [REDACTED], Rev. 6, Air Shield Weldment
- [REDACTED], Rev. 10, Containment Vessel Subassemblies
- [REDACTED], Rev. 13, Containment Vessel Weldments
- [REDACTED], Rev. 13, Containment Vessel Component Details
- [REDACTED], Rev. 11, Shielding
- [REDACTED], Rev. 5, 3013 Top Spacer

- [REDACTED], Rev. 0, 3013 Outer Can
- [REDACTED], Rev. 0, Rocky Flats Inner Can
- [REDACTED], Rev. 0, Rocky Flats Convenience Can

7. J. Davis, et al., *Metals Handbook, Vol. 2, 10th ed.*, ASM International (1990).

8. Kaowool Blanket, Thermal Ceramics Datasheet – www.thermalceramics.com,
Kaowool Bulk Fiber, Foundry Services & Supplies, Santa Fe Springs, CA.

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

10. Theory and Problems of Heat Transfer, by D. R. Pitts and L. E. Sissom,
Schaum's Outline Series, McGraw-Hill Book Co., 1977

11. S. J. Hensel and R. J. Gromada, "Development of A Simulation
(Thermophysical Property) Model For Cane Fiberboard Packages Subjected To
A Hypothetical Accident Condition Fire", 1994 DOE Defense Programs
Packaging Workshop, Knoxville, TN.

12. Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, by E. A. Avallone and T.
Baumeister III, 9th Edition, Table 4.3.2, McGraw-Hill Co., (1987).

13. Heat Transfer, by D. R. by Pitts and L. E. Sissom, Schaum Outline Series,
McGraw-Hill Co., (1977).

[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]

16. *Packaging and Transportation of Radioactive Material*, Code of Federal Regulations, Title 10, Part 71, Washington, DC (January 2010).

(口) 章C 密封解析

C. 密封解析

C.1 概要

本解析では、一般の試験条件及び特別の試験条件における本輸送容器の密封性について述べる。本輸送容器は PCV 及び SCV の 2 つの収納容器から成る 2 重の密封構造から構成され、放射性物質の漏えいが規則及び告示に定める基準値以下であることを示す。

PCV 及び SCV は同様の構造をもつ収納容器であり、本体及び蓋部により構成される。本体はシームレスパイプ、パイプキャップ、ステイヘッドで構成され、蓋部はコーンシールプラグ、コーンシールナット及び O リングから構成される。また、コーンシールプラグにはリークテストのためリークテスト孔を設けている。コーンシールプラグとステイヘッドの接触部は、フッ素ゴム製 O リング 2 本（内側 O リング及び外側 O リング）で密封され、リークテスト孔はリークテストポートプラグで密封される。

密封装置は一般及び特別の試験条件における原型試験により漏えい率が判定基準を満足することが確認されている。また、コーンシールプラグ O リング部及びリークテストポートプラグは輸送物の発送前に実施される気密漏えい検査により漏えい率が判定基準を満足することが確認される。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

(1) 構成

本輸送容器の密封装置は(p)-第 C.1 図及び(p)-第 C.2 図に示すとおり、本体、コーンシールプラグ、内側 O リング、外側 O リング及びリークテストポートプラグにより構成される。

(2) 材質

密封装置を構成する PCV 本体、SCV 本体、PCV コーンシールプラグ及び SCV コーンシールプラグはステンレス鋼、コーンシールプラグのシール部にはフッ素ゴム製 O リングが使用されている。

(3) 最高圧力及び最高温度

(a) 第 C.1 表に示す最高圧力及び最高温度での漏えい率の評価を行う。

(a) 第 C.1 表 密封装置の最高圧力及び最高温度

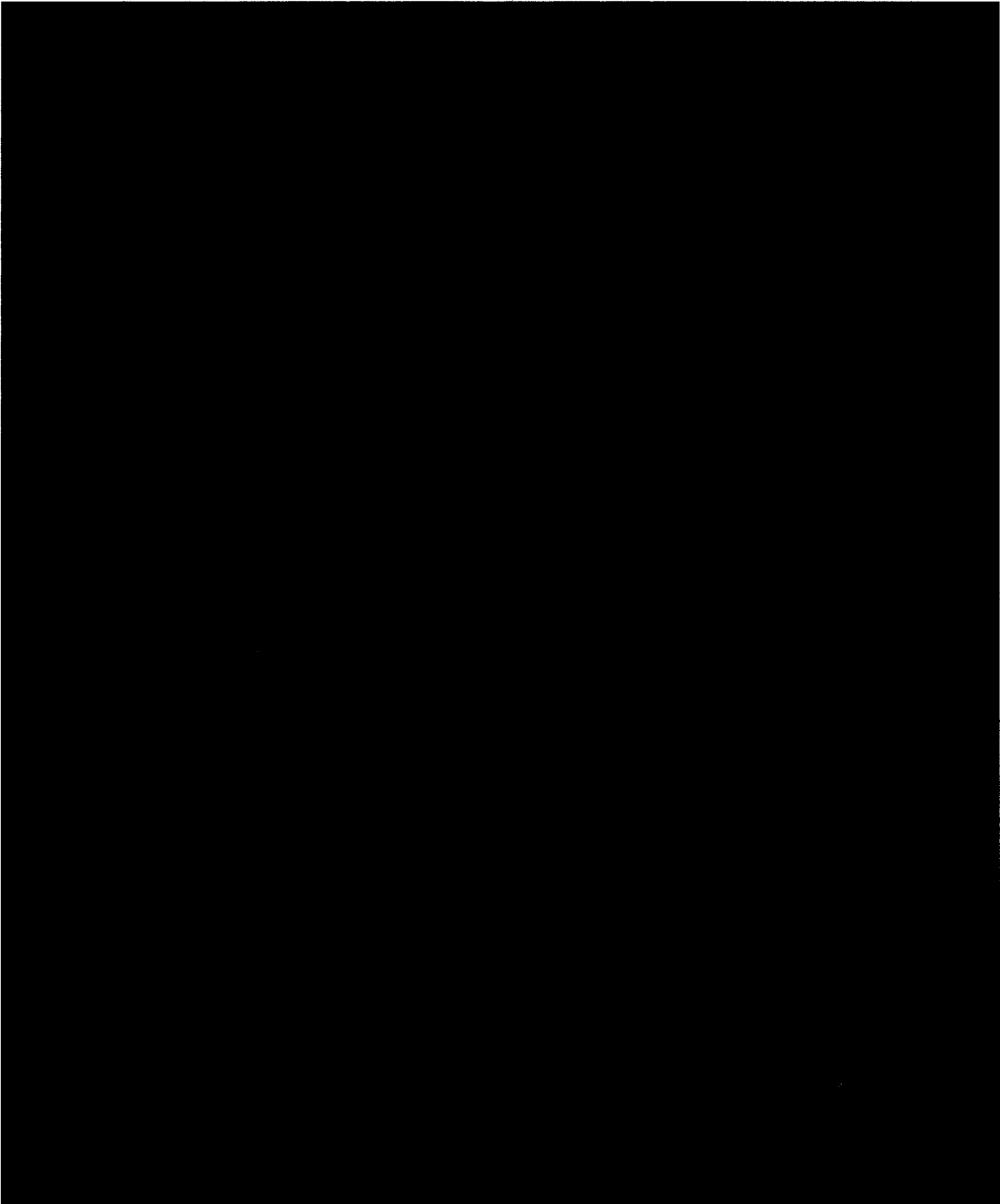
条 件	密封装置	項 目	
一般の試験条件	PCV	最高圧力	██████████
		最高温度	██████████
	SCV	最高圧力	██████████
		最高温度	██████████
特別の試験条件	PCV ^{※3}	最高圧力	██████████
		最高温度	██████████

※1：本解析では、一般の試験条件の最高圧力として熱解析で算出した最高圧力を基に差圧が高くなるよう保守的に設定した値を用いて評価する。

※2：本解析では、最高温度として熱解析で設定した設計温度 ██████████ を用いて評価する。

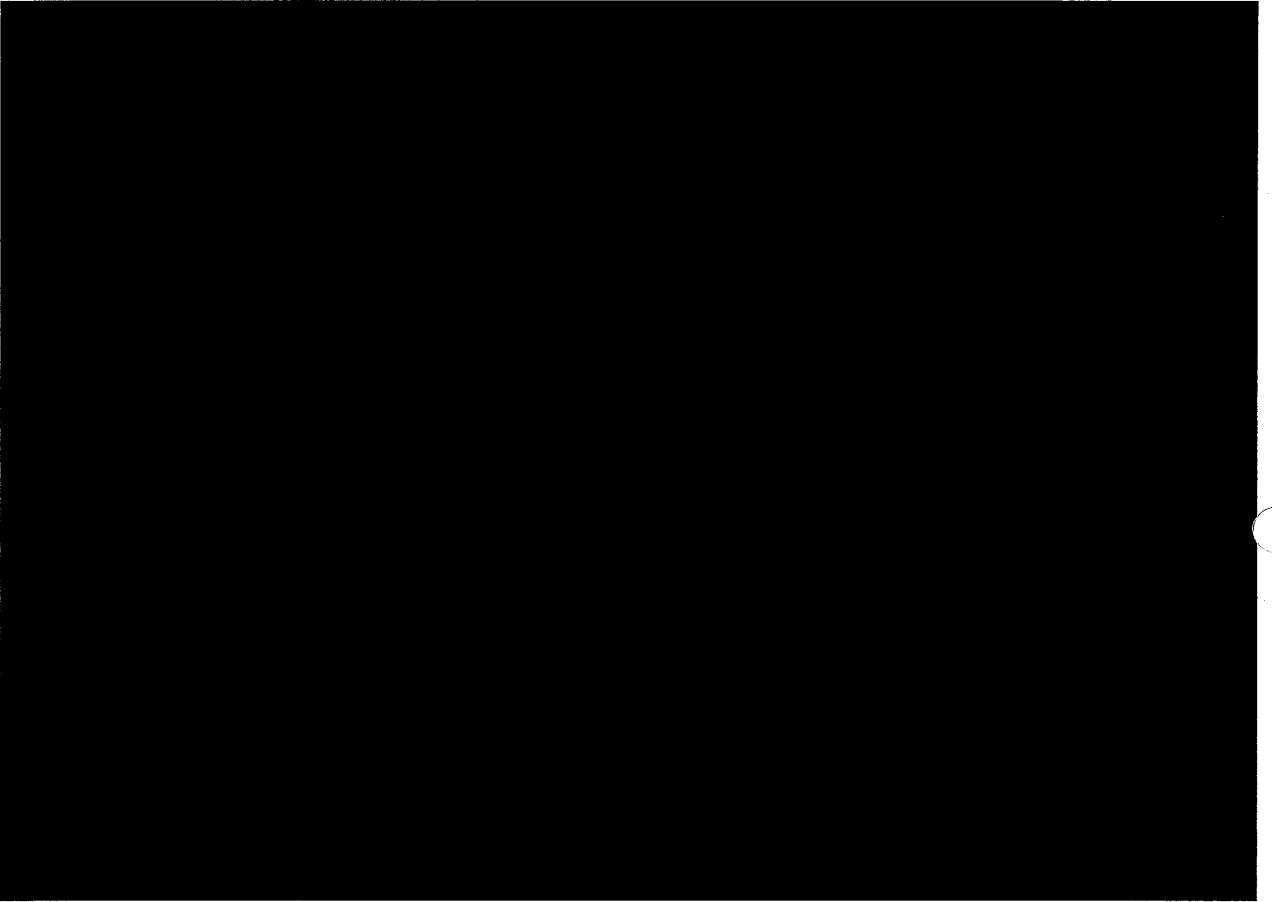
※3：特別の試験条件では保守的に PCV のみで漏えい量の評価する。

※4：本解析では、特別の試験条件の最高圧力として PCV の設計圧力 ████████ MPaG (██████ psig) を用いて評価する。



破線部 (-----) は、密封境界を示す

(㊦)第 C.1 図 収納容器密封境界



破線部 (-----) は、密封境界を示す

(㊦)第 C.2 図 収納容器蓋部密封境界詳細図

(4) 封印

PCV コーンシールプラグは PCV コーンシールナットで PCV 本体に取付けられる。PCV 蓋部は SCV に覆われており、PCV コーンシールナット及び PCV リークテストポートプラグが不用意に外されることはない。また、SCV コーンシールプラグは SCV コーンシールナットで SCV 本体に取付けられる。SCV 蓋部は遮蔽体、上部断熱材及びドラム蓋に覆われており、遮蔽体蓋とドラム蓋はそれぞれボルト締めされる。このため、SCV コーンシールナット及び SCV リークテストポートプラグが不用意に外されることはない。また、ドラム蓋はドラム胴体フランジにドラム蓋ボルトで取付けられた後、封印及び施錠される。

(5) 製作・検査

密封装置の構成部品の製作及び検査は、密封性を確保するために適した方法で行われる。

C.2.2 密封装置の貫通部

収納容器のコーンシールプラグには、密封装置の密封性能を確認するために、コーンシールプラグ中央部から 2 本の O リング（外側 O リング、内側 O リング）溝の間に通じる直径 [REDACTED] のリークテスト孔が設けられており、リークテスト孔はリークテストポートプラグで密封される。リークテストポートプラグは、収納容器の密封性を保つため、(a)第 C.2 表に示すステンレス鋼製のグラウンドナットにより適正なトルクで締付けられる。

(a)第 C.2 表 グラウンドナット

名 称	型 番	締付けトルク
グラウンドナット	[REDACTED]	[REDACTED]

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

(1) 密封装置のガスケット

密封装置のガスケットにはフッ素ゴム製 O リングが使用される。この O リングは (ロ) 章 A.4.1 項で示したように化学的及び電氣的反応を起こさない。また、一般及び特別の試験条件における圧力、温度に対し十分な密封性能を有している。

(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.3 表に示す。

フッ素ゴム製 O リングは、耐熱性 ((ロ) 章 B.3 項参照) 及び耐寒性 ((ロ) 章 A.4.2 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において、O リングの機能を保持するので、コーンシールプラグ O リング部の密封性を保つことができる。

(ロ)第 C.3 表 ガスケットの寸法及び材質

ガスケット	寸 法	材 質	部 位
PCV 内側 O リング		フッ素ゴム	PCV コーン シールプラグ
PCV 外側 O リング			
SCV 内側 O リング		フッ素ゴム	SCV コーン シールプラグ
SCV 外側 O リング			

(3) 溶 接 部

PCV 本体及び SCV 本体のステイヘッド、シームレスパイプ及びパイプキャップは溶接される。溶接部は製作中に適切な非破壊検査を行い、その健全性を確認し、さらに、耐圧検査を行い漏えいのないことを確認する。

C.2.4 蓋

コーンシールプラグには(□)第 C.1 図及び(□)第 C.2 図に示すとおり、コーンシールプラグ外周面上の 2 本の溝中に各々 1 本のフッ素ゴム製 O リングが取付けられている。

また、コーンシールプラグは一般及び特別の試験条件においても十分耐え得る強度を備え、かつ、密封性を保持できる構造となっている。

コーンシールプラグは、輸送容器の密封性を保つため、(□)第 C.4 表に示すコーンシールナットにより適正なトルクで締付けられる。

(□)第 C.4 表 コーンシールナット

名 称	規 格	締付けトルク
PCV コーンシールナット	■■■■■	■■■■■
SCV コーンシールナット	■■■■■	■■■■■

C.3 一般の試験条件

(ロ) 章 C.2 項で示したように、(ロ) 章 A 構造解析の原型試験結果及び (ロ) 章 B 熱解析の解析結果から、一般の試験条件において密封装置の性能が損なわれることはないが、本解析では保守的に収納する放射性物質がエアロゾル化するものとして外側 O リング及びリークテストポートプラグからの漏えい量をそれぞれ算出し、一般の試験条件における放射性物質の漏えい率が規則及び告示に定める基準値以下であることを示す。

なお、リークテストポートプラグ部及びコーンシールプラグ外側 O リング（以下、「外側 O リング」という）部については、製造時及び定期検査時にリーク試験を行うことにより密封性能の確認を行っている。

C.3.1 放射性物質の漏えい

C.3.1.1 密封装置からの漏えい量

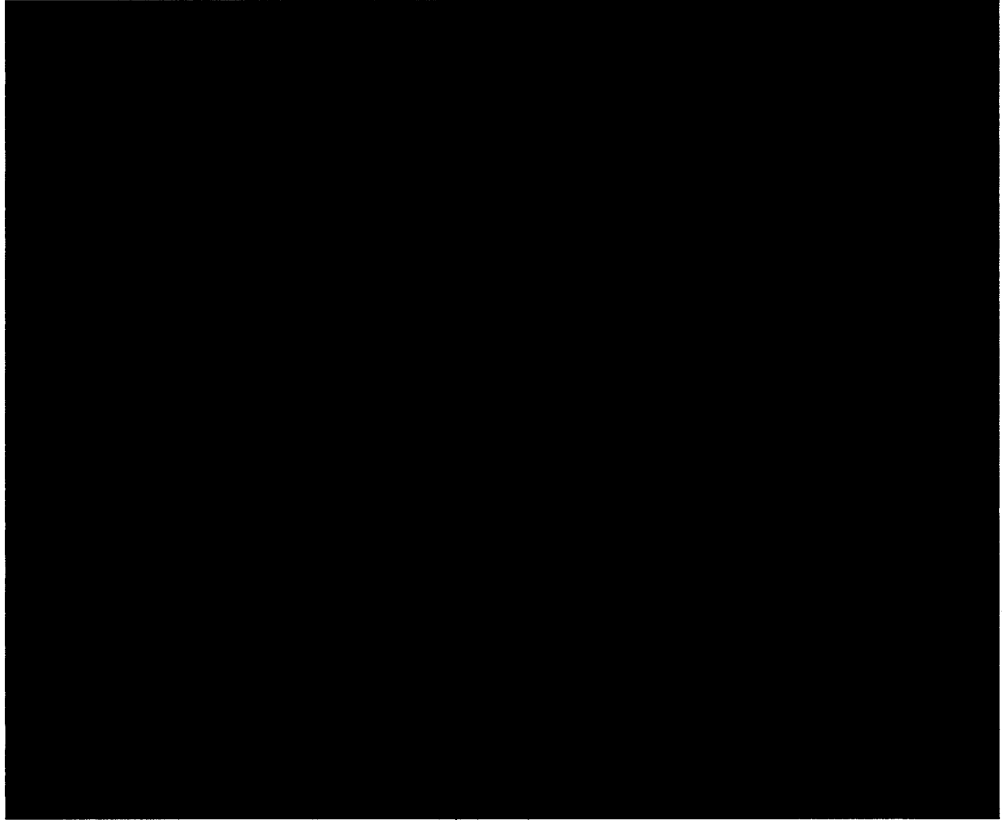
輸送に際し、発送前検査として PCV 及び SCV の気密漏えい試験を行い、コーンシールプラグ O リング部及びリークテストポートプラグ部の漏えい率がそれぞれ \blacksquare std cm³/s 以下であることを確認する。コーンシールプラグ O リング部は圧力降下法を用いて気密漏えい試験を行う。コーンシールプラグ O リング部の気密漏えい試験後、リークテストポートプラグ部は圧力上昇法による気密漏えい試験を行う。

このため、本解析では、外側 O リング部及びリークテストポートプラグ部にそれぞれ 1 個の円直管の仮想漏えい孔があるとし、仮想漏えい孔から漏えい率基準値の \blacksquare std cm³/s が漏えいするものとして評価する。

一般の試験条件における漏えいモデル概念図を(ロ)・第 C.3 図に示す。

C.3.1.2 PCV からの漏えい率

仮想漏えい孔を算出する際、PCV 外側 O リング部は圧力降下法を適用するため、上流側圧力を気密漏えい試験時圧力 \blacksquare MPa[abs] (\blacksquare psig) とし、下流側圧力を大気圧とする。また、PCV リークテストポートプラグ部は圧力上昇法を適用するため、上流側圧力を大気圧、下流側圧力を真空として算出する。なお、本項では特に記載のない限り圧力は絶対圧力とする。



(p)・第 C.3 図 一般の試験条件における漏えいモデル概念図

(1) PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔の算出

気体漏えい率と漏えい孔の直径の関係式は、以下の C.3-1 式～C.3-5 式で表される¹⁾。

$$L=(F_c+F_m)(P_u \cdot P_d) \dots\dots\dots(C.3-1)$$

ここで、L : 圧力 P_aにおける体積漏えい率(cm³/s at P_a, T_a)

P_a : 流れの平均圧力

$$P_a = (P_u + P_d)/2 \dots\dots\dots(C.3-2)$$

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 : 連続流の流動熱伝導係数 (cm³/ (MPa・s))

F_m : 自由分子流の流動熱伝導係数 (cm³/ (MPa・s))

$$F_c = 2.49 \times 10^{-2} \times \frac{D^4}{a\mu} \dots\dots\dots(C.3-3)$$

$$F_m = 3.81 \times 10^3 \times \frac{D^3 \sqrt{T}}{a P_a} \dots\dots\dots(C.3-4)$$

ただし、D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい孔長 (cm)

μ : 空気の粘度 (MPa・s)

T : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量 (g/mol)

漏えい孔径 (D) は、次式及び(C.3-1)式から求められる。

$$L = L_s \cdot \frac{P_s}{P_a} \cdot \frac{T_s}{T_a} \dots\dots\dots(C.3-5)$$

ここで、L_s : 密封境界の空気漏えい率 (std cm³/s)

P_s : (=P_d) (MPa)

T_a : 平均温度 (=T_s) (K)

外側 O リング部の漏えい率試験時の仮想漏えい孔径を(φ)-第 C.5 表に示す。

注) ANSI N14.5 記載式の単位を SI 単位に単位換算した。

(ロ)第 C.5 表 PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径

項 目	部 位	PCV 外側 O リング部
L_s : 漏えい試験時の空気漏えい率		■■■■■■■■■■
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (at 298 K, 3.21 MPa)		■■■■■■■■■■
P_u : 上流側圧力		■■■■■■■■■■
P_d : 下流側圧力		■■■■■■■■■■
P_a : 流れの平均圧力		■■■■■■■■■■
T_a, T : 空気の温度		■■■■
μ : 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25 °C) ※1		$1.85 \times 10^{-11} \text{ MPa} \cdot \text{s}$
a : 漏えい孔長		■■■■■■■■■■
M : 空気の分子量		29.0 g/mol
F_c : 連続流の流動伝導係数		$3.81 \times 10^9 D^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
F_m : 自由分子流の流動伝導係数		$2.27 \times 10^5 D^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
D : 漏えい孔径		■■■■■■■■■■

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : O リング断面直径を採用する。

(2) 一般の試験条件下の PCV 外側 O リング部からの最大ガス漏えい率

一般の試験条件下の PCV 外側 O リング部のガス漏えい率は(C.3-1)式～(C.3-4)式に一般の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

一般の試験条件下の PCV 外側 O リング部のガス漏えい率を(□)-第 C.6 表に示す。計算は外側 O リング部の漏えい率を最大ガス漏えい率とする。

(□)-第 C.6 表 PCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	PCV 外側 O リング部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
$P_{u,N}$ ※2 : 一般の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
$P_{d,N}$ ※2 : 一般の試験条件下の外圧		██████████
$T_{u,N}$ ※2 : 一般の試験条件下のガス温度		██████████
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
$L_{PO,N}$ ※2 : 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 1.90 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

N : 一般の試験条件, PO : PCV 外側 O リング部

※3 : (□)-第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

(3) PCV リークテストポートプラグ部の最大ガス漏えい率

PCV リークテストポートプラグ部の最大ガス漏えい率は C.3.1.2 項 (1) と同様の手法で算出する。算出したリークテストポートプラグ部の仮想漏えい孔径を(□)第 C.7 表に、最大ガス漏えい率を(□)第 C.8 表に示す。

(□)第 C.7 表 PCV リークテストポートプラグ部の仮想漏えい孔径

項 目	部 位	PCV リークテストポートプラグ部
L _s	: 漏えい試験時の空気漏えい率	██████████
L	: 漏えい試験時の空気漏えい率 (at 298 K, 3.21 MPa)	██████████
P _u	: 上流側圧力	██████████
P _d	: 下流側圧力	██████
P _a	: 流れの平均圧力	██████████
T _a , T	: 空気の温度	██████
μ	: 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25 °C) ※1	1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
a	: 漏えい孔長	██████████
M	: 空気の分子量	29.0 g/mol
F _c	: 連続流の流動伝導係数	6.53×10 ⁹ D ⁴ $\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa}\cdot\text{s}}$
F _m	: 自由分子流の流動伝導係数	1.17×10 ⁶ D ³ $\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa}\cdot\text{s}}$
D	: 漏えい孔径	██████████

※1: 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2: リークテストポートプラグとリークテスト孔の接触部高さ (0.081 in.) を採用する。

(ロ)第 C.8 表 PCV リークテストポートプラグ部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	PCV リークテストポートプラグ部
D	: 漏えい孔径	██████████
a	: 漏えい孔長さ	██████████
μ	: ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1	1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
P _{u,N}	: 一般の試験条件下の密封装置内圧力	██████████
P _{a,N}	: 一般の試験条件下の外圧	██████████
T _{u,N}	: 一般の試験条件下のガス温度	██████████
M	: ガスの分子量	29.0 g/mol
L _{PL,N} ※2	: 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 1.90 MPa)	██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

N : 一般の試験条件, PL : PCV リークテストポートプラグ部

※3 : (ロ)第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

C.3.1.3 SCVからの漏えい率

仮想漏えい孔を算出する際、SCV 外側 O リング部は圧力降下法を適用するため、上流側圧力を気密漏えい試験時圧力 [] MPa[abs] ([] psig) とし、下流側圧力を大気圧とする。また、SCV リークテストポートプラグ部は圧力上昇法を適用するため、上流側圧力を大気圧、下流側圧力を真空として算出する。なお、本項では特に記載のない限り圧力は絶対圧力とする。

SCV 外側 O リング部及びリークテストポートプラグ部の最大ガス漏えい率は C.3.1.2 項と同様の手法で算出する。

算出した SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径を(□)-第 C.9 表に、最大ガス漏えい率を(□)-第 C.10 表に、SCV リークテストポートプラグ部の仮想漏えい孔径を(□)-第 C.11 表に、最大ガス漏えい率を(□)-第 C.12 表に示す。

(p)-第 C.9 表 SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径

項 目	部 位	SCV 外側 O リング部
L_s : 漏えい試験時の空気漏えい率		██████████
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (at 298 K, 3.21 MPa)		██████████
P_u : 上流側圧力		██████████
P_d : 下流側圧力		██████████
P_a : 流れの平均圧力		██████████
T_a, T : 空気の温度		██████
μ : 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25 °C) ※1		$1.85 \times 10^{-11} \text{ MPa} \cdot \text{s}$
a : 漏えい孔長		██████████
M : 空気の分子量		29.0 g/mol
F_c : 連続流の流動伝導係数		$3.81 \times 10^9 D^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
F_m : 自由分子流の流動伝導係数		$2.27 \times 10^5 D^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
D : 漏えい孔径		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : O リング断面直径を採用する。

(a) 第 C.10 表 SCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	SCV 外側 O リング部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
P _{u,N} ※2 : 一般の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
P _{d,N} ※2 : 一般の試験条件下の外圧		██████████
T _{u,N} ※2 : 一般の試験条件下のガス温度		██████████
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
L _{SO,N} ※2 : 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 0.617 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

N : 一般の試験条件, SO : SCV 外側 O リング部

※3 : (a) 第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

※4 : 米国法令 31,41) に基づく最小外圧 0.0241 MPa (3.5 psia) を使用する。

(ロ)第 C.11 表 SCV リークテストポートプラグ部の仮想漏えい孔径

項目	部 位	SCV リークテストポートプラグ部
L _s : 漏えい試験時の空気漏えい率		■■■■■■■■■■
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (at 298 K, 3.21 MPa)		■■■■■■■■■■
P _u : 上流側圧力		■■■■■■■■
P _d : 下流側圧力		■■■■
P _a : 流れの平均圧力		■■■■■■■■
T _a , T : 空気の温度		■■■■
μ : 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
a : 漏えい孔長		■■■■■■■■
M : 空気の分子量		29.0 g/mol
F _c : 連続流の流動伝導係数		6.53×10 ⁹ D ⁴ $\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa}\cdot\text{s}}$
F _m : 自由分子流の流動伝導係数		1.17×10 ⁶ D ³ $\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa}\cdot\text{s}}$
D : 漏えい孔径		■■■■■■■■

※1: 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2: リークテストポートプラグとリークテスト孔の接触部高さ (0.081 in.) を採用する。

(ロ)第 C.12 表 SCV リークテストポートプラグ部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	SCV リークテストポートプラグ部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
P _{u,N} : 一般の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
P _{d,N} : 一般の試験条件下の外圧		██████████
T _{u,N} : 一般の試験条件下のガス温度		██████████
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
L _{SL,N} ※2 : 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 0.617 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

N : 一般の試験条件, SL : SCV リークテストポートプラグ部

※3 : (ロ)第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

※4 : 米国法令 31,41)に基づき最小外圧 0.0241 MPa (3.5 psia) を使用する。

C.3.1.4 一般の試験条件における放射性物質漏えい量評価

(1) 漏えい量評価を行う放射性物質

本輸送容器に収納される放射性物質は、(i)章において規定されているように \blacksquare プルトニウム燃料及び \blacksquare ウラン燃料である。このため、本解析では収納される可能性のある核種の比放射能と A_2 値の比を求め、比が高い順に収納限度まで収納し、合計 \blacksquare g となるように核種を設定する。設定した核種重量を(ロ)第 C.13 表に示す。

(ロ)第 C.13 表 漏えい量評価に使用する核種重量

核種	比放射能 (TBq/g)	A_2 値 (TBq)	比放射能と A_2 値の比 (-)	収納限度 (g)	評価に用い る核種重量 (g)	重量比 (-)
^{238}Pu	0.63	1.00×10^{-3}	6.30×10^2	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{241}Am	1.30×10^{-1}	1.00×10^{-3}	1.30×10^2	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{241}Pu	3.8	6.00×10^{-2}	6.33×10^1	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{240}Pu	8.40×10^{-3}	1.00×10^{-3}	8.40	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{239}Pu	2.30×10^{-3}	1.00×10^{-3}	2.30	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{242}Pu	1.50×10^{-4}	1.00×10^{-3}	1.50×10^{-1}	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{235}U	8.00×10^{-8}	制限なし	0	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
^{238}U	1.20×10^{-8}	制限なし	0	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare
				合計	\blacksquare	1.00

※1： $^{241}\text{Pu}+^{241}\text{Am}$ の重量は合計で \blacksquare g の収納限度となるが、保守的にそれぞれ \blacksquare g 収納されるものと仮定する。

(2) 一般の試験条件における放射性物質の漏えい量評価

本輸送容器に収納する放射性物質は固体であるが、保守的に粉状であると仮定する。この粉状放射性物質から発生するエアロゾルが PCV の空气中に均一に分散していると仮定し、このエアロゾルが PCV から SCV へ漏えいし、SCV の空气中に均一に分散し、SCV から外部へ漏えいするものとして漏えい率の評価を行う。なお、漏えいした放射性物質は(四)第 C.13 表に示した核種の重量比が維持されるものとする。

(a) PCV から SCV への放射性物質の漏えい

PCV から SCV への放射性物質の漏えい量は、C.3.1.2 項で求めた外側 O リング部最大ガス漏えい率 ($L_{PO,N}$) とリークテストポートプラグ部最大ガス漏えい率 ($L_{PL,N}$)を用いて次式で表される。

$$R_P = (L_{PO,N} + L_{PL,N}) \times \rho_P \times t \dots\dots\dots(C.3-6)$$

ここで、 R_P : PCV から漏えいする放射性物質の総量(g)

$L_{PO,N}$: 3.11×10^1 (cm³/h)

$L_{PL,N}$: 8.79×10^1 (cm³/h)

ρ_P : PCV 内エアロゾル最大密度⁵⁾ (= \blacksquare g/cm³)

t : 漏えい時間 (= \blacksquare h)

(C.3-6)式より PCV から SCV へ漏えいする 1 時間当たりの放射性物質の総量 (R_P) は \blacksquare g となる。この放射性物質の総量が SCV 内に均一に分布し、SCV から外部へ漏えいするものとして評価する。

このため、SCV 空気内の放射性物質の密度は SCV の自由容積を用いて次式で表される

$$\rho_S = \frac{R_P}{V_S} \dots\dots\dots(C.3-7)$$
$$= \blacksquare \text{ g/cm}^3$$

ここで、 ρ_S : SCV 内空気の放射性物質密度 (g/cm³)

V_S : SCV 自由容積 (= \blacksquare cm³ (\blacksquare in³))

(b) SCV から外部への放射性物質の漏えい

SCV から外部への放射性物質の漏えい量は、C.3.1.3 項で求めた外側 O リング部最大ガス漏えい率 ($L_{SO,N}$) とリークテストポートプラグ部最大ガス漏えい率 ($L_{SL,N}$) の合計に、(a) で算出した SCV 内空気の放射性物質の密度を乗じ、(p) 第 C.13 表に示した重量比によって求められる。

(p) 第 C.14 表に一般の試験条件における放射性物質の漏えい率を示す。

(p) 第 C.14 表に示すように一般の試験条件における放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 より小さい。

(p) 第 C.14 表 一般の試験条件下における漏えい計算結果

核種	重量比 (-)	比放射能 (TBq/g)	放射能 漏えい量 (TBq/h)	漏えい 基準値 (TBq/h)	基準値 との比 (-)
^{238}Pu	████████	0.63	████████	████████	████████
^{239}Pu	████████	2.30×10^{-3}	████████	████████	████████
^{240}Pu	████████	8.40×10^{-3}	████████	████████	████████
^{241}Pu	████████	3.8	████████	████████	████████ ²
^{241}Am	████████	1.30×10^{-1}	████████	████████	████████
合計	1.00	—	—	—	████████

C.3.2 密封装置の加圧

本輸送物はドライ状態で輸送されるため、放射線又は熱により圧力が上昇する要因となる水分は含まれていない。

したがって、輸送物内部の加圧要因となるのは、温度上昇による空気の熱膨張である。これによる内圧は(ロ)章 B.4.4 項で述べたとおりであり、PCV の設計圧力を満足する。

したがって、密封性能が損なわれるような加圧状態になることはない。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送容器には冷却材を使用していないので、本項は該当しない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送容器には冷却材を使用していないので、本項は該当しない。

C.4 特別の試験条件

本輸送物の密封装置は、(ロ)章 A 構造解析の結果から BM 型輸送物の要件としての特別の試験条件において健全性は損なわれない。また、(ロ)章 B 熱解析の結果から特別の試験条件下での温度及び圧力に対しても健全性は損なわれない。

本解析では保守的に SCV を考慮せず、収納する放射性物質がエアロゾル化するものとして PCV 外側 O リング及び PCV リークテストポートプラグからの漏えい量をそれぞれ算出し、特別の試験条件における放射性物質の漏えい率が規則及び告示に定める基準値以下であることを示す。

C.4.1 核分裂生成ガス

本輸送物の収納物は極低出力炉 (0~2 kW) で使用した燃料もしくは未照射燃料相当であるため、核分裂生成ガスは発生しない。

C.4.2 放射性物質の漏えい

C.4.2.1 密封装置からの漏えい量

特別の試験条件下のガス漏えい率は(C.3-1)式~(C.3-4)式に特別の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

特別の試験条件下の外側 O リング部の最大ガス漏えい率を(ロ)・第 C.15 表に、リークテストポートプラグ部の最大ガス漏えい率を(ロ)・第 C.16 表に示す。

また、特別の試験条件における漏えいモデル概念図を(ロ)・第 C.4 図に示す。

(ロ)第 C.15 表 PCV 外側 O リング部の特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	PCV 外側 O リング部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
$P_{u,A}$ ※2 : 特別の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
$P_{d,A}$ ※2 : 特別の試験条件下の外圧		██████████
$T_{u,A}$ ※2 : 特別の試験条件下のガス温度		██████████
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
$L_{PO,A}$ ※2 : 特別の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 3.16 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

A : 特別の試験条件, PO : PCV 外側 O リング部

※3 : (ロ)第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

※4 : 米国法令^{3),4)}に基づく最小外圧 0.0241 MPa (3.5 psia) を使用する。

(□)・第 C.16 表 PCV リークテストポートプラグ部の特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	PCV リークテストポートプラグ部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
P _{u,A} : 特別の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
P _{d,A} : 特別の試験条件下の外圧		2.41×10 ⁻² MPa (3.5 psi) ※4
T _{u,A} : 特別の試験条件下のガス温度		433.15 K (320 °F)
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
L _{PLA} ※2 : 特別の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 3.16 MPa)		██████████

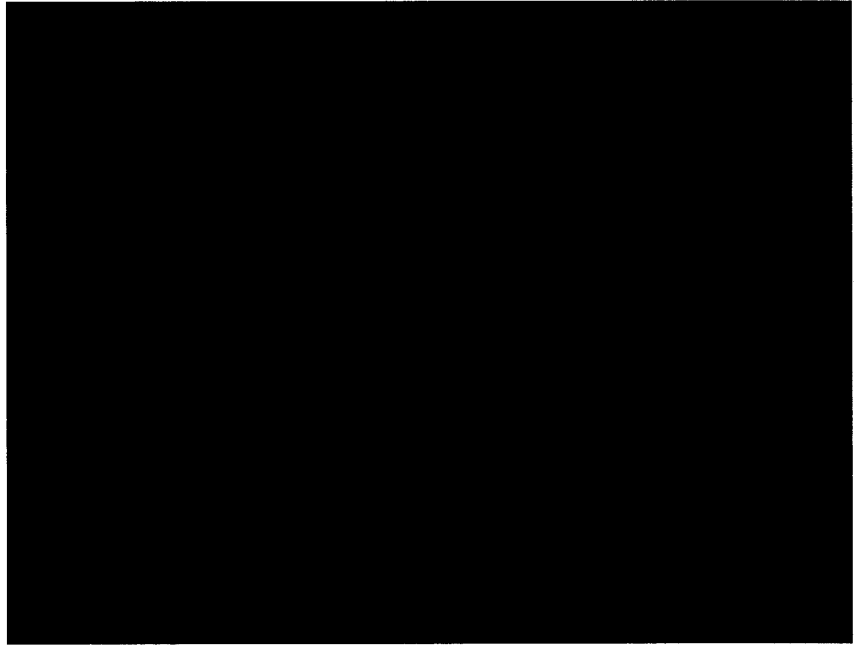
※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

A : 特別の試験条件, SL : SCV リークテストポートプラグ部

※3 : (□)・第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

※4 : 米国法令^{3),4)}に基づく最小外圧 0.0241 MPa (3.5 psia) を使用する。



- ①:粉状の放射性物質から発生するエアロゾル
- ②:PCV 外側 O リングから漏えいする PCV 内エアロゾル
- ③:PCV リークテストポートプラグから漏えいする PCV 内エアロゾル

(ロ)第 C.4 図 特別の試験条件における漏えいモデル概念図

C.4.2.2 放射性物質漏えい量評価

本輸送容器に収納する放射性物質は固体であるが、保守的に粉状であると仮定する。この粉状放射性物質から発生するエアロゾルが収納容器の空气中に均一に分散していると仮定し、漏えい率の評価を行う。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、C.4.2.項で求めた外側 O リング部最大ガス漏えい率 ($L_{PO,A}$) とリークテストポートプラグ部最大ガス漏えい率 ($L_{PL,A}$) の合計に PCV 内の空气中に存在するエアロゾル最大密度⁵⁾ ([REDACTED] (g/cm^3)) を乗じ、(p)-第 C.13 表に示した重量比によって求められる。

(p)-第 C.17 表に特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を示す。

(p)-第 C.17 表に示すように特別の試験条件における放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 より小さい。

(p)-第 C.17 表 特別の試験条件下における漏えい計算結果

核種	重量比 (-)	比放射能 (TBq/g)	放射能 漏えい量 (TBq/week)	漏えい 基準値 (TBq/week)	基準値 との比 (-)
^{238}Pu	[REDACTED]	0.63	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
^{239}Pu	[REDACTED]	2.30×10^{-3}	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
^{240}Pu	[REDACTED]	8.40×10^{-3}	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
^{241}Pu	[REDACTED]	3.8	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
^{241}Am	[REDACTED]	1.30×10^{-1}	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
合計	1.00	—	—	—	[REDACTED]

C.5 結果の要約及びその評価

一般の試験条件において輸送容器の密封装置は破損せず、健全性が保たれるが、保守的に収納する放射性物質がエアロゾル化場合を想定して評価をした。漏えい量を評価する放射性物質は、(ロ)第 C.13 表に示すように収納される核種の比放射能と A2 値の比を求め、比が高い順に収納限度まで収納し、合計 g となるように核種を設定し、全て粉状であると仮定する。この粉状放射性物質からエアロゾルが PCV の空气中に均一に分散し、PCV から SCV へ漏えいしたと仮定する。また、SCV 内でエアロゾルが均一に分散した後、外部へ漏えいすると仮定し、一般の試験条件の漏えい率評価を行うと、(ロ)第 C.14 表に示すように放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 よりも小さい。したがって、一般の試験条件における放射性物質の漏えい率は基準を満足する。

特別の試験条件においても輸送容器の密封装置は破損せず、健全性が保たれるが、保守的に収納する放射性物質がエアロゾル化が発生した場合を想定して評価をした。漏えいに係る放射性物質は、一般の試験条件下と同様とした。この粉状放射性物質から発生するエアロゾルが PCV の空气中に均一に分散し、PCV から外部へ漏えいすると仮定し、特別の試験条件の漏えい率評価を行うと、(ロ)第 C.17 表に示すように放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 よりも小さい。したがって、特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は基準を満足する。

C.6 付属書類

C.6.1 ■■■型輸送容器の発送前検査時を圧力上昇法とした場合の漏えい量評価

C.6.2 参考文献

C.6.1 ■■■型輸送容器の発送前検査時を圧力上昇法とした場合の漏えい量評価

C.6.1.1 目的

■■■型輸送容器の発送前検査時の気密漏えい検査として、PCV 外側 O リング部及び SCV 外側 O リング部に圧力降下法、PCV リークテストポートプラグ部及び SCV リークテストポートプラグ部に圧力上昇法を適用するとして、本安全解析書では密封解析を行った。

米国では本輸送容器の発送前検査時の気密漏えい検査として PCV 外側 O リング部及び SCV 外側 O リング部に圧力上昇法を適用可能としているため、圧力上昇法を用いた場合の漏えい量評価を行った。この際、PCV 及び SCV リークテストポートプラグ部の漏えい量は前項までの評価と変わらない。なお、計算手法は、安全解析書 C 章に用いたものと同様とし、計算結果を以降に示す。

C.6.1.2 PCV 外側 O リング部の漏えい量評価

(1) PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔

PCV 外側 O リング部に圧力上昇法を適用した場合には、上流側圧力が大気圧、下流側圧力が真空となる。本条件に基づき PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔を計算した結果を(□)第 C.18 表に示す。

(2) PCV 外側 O リング部の最大ガス漏えい率

(1)の計算結果に基づき、PCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率を計算した結果を(□)第 C.19 表に示す。

C.6.1.3 SCV 外側 O リング部の漏えい量評価

(1) SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔

SCV 外側 O リング部に圧力上昇法を適用した場合には、上流側圧力が大気圧、下流側圧力が真空となる。本条件に基づき SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔を計算した結果を(□)第 C.20 表に示す。

(2) SCV 外側 O リング部の最大ガス漏えい率

(1)の計算結果に基づき、SCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率を計算した結果を(□)第 C.21 表に示す。

(p)-第 C.18 表 PCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径

項 目	部 位	PCV 外側 O リング部
L_s : 漏えい試験時の空気漏えい率		■■■■■■■■■■
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (at 298 K, 0.0505 MPa)		■■■■■■■■■■
P_u : 上流側圧力		■■■■■■■■
P_d : 下流側圧力		■■■■
P_a : 流れの平均圧力		■■■■■■■■■■
T_a, T : 空気の温度		■■■■
μ : 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25 °C) ※1		$1.85 \times 10^{-11} \text{ MPa} \cdot \text{s}$
a : 漏えい孔長		■■■■■■■■
M : 空気の分子量		29.0 g/mol
F_c : 連続流の流動伝導係数		$3.81 \times 10^9 D^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
F_m : 自由分子流の流動伝導係数		$6.85 \times 10^5 D^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
D : 漏えい孔径		■■■■■■■■■■

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : O リング断面直径を採用する。

(ロ)第 C.19 表 PCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	PCV 外側 O リング部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
$P_{u,N}^{※2}$: 一般の試験条件下の密封装置内圧力		██████████ ³
$P_{d,N}^{※2}$: 一般の試験条件下の外圧		██████████
$T_{u,N}^{※2}$: 一般の試験条件下のガス温度		██████████
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
$L_{PO,N}^{※2}$: 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 1.90 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

N : 一般の試験条件, PO : PCV 外側 O リング部

※3 : (ロ)第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

(ロ)第 C.20 表 SCV 外側 O リング部の仮想漏えい孔径

項 目	部 位	SCV 外側 O リング部
L_s : 漏えい試験時の空気漏えい率		■■■■■■■■■■
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (at 298 K, 0.0505 MPa)		■■■■■■■■■■
P_u : 上流側圧力		■■■■■■■■
P_d : 下流側圧力		■■■■
P_a : 流れの平均圧力		■■■■■■■■■■
T_a, T : 空気の温度		■■■■
μ : 空気の粘性係数 ²⁾ (at 25 °C) ※1		$1.85 \times 10^{-11} \text{ MPa} \cdot \text{s}$
a : 漏えい孔長		■■■■■■■■
M : 空気の分子量		29.0 g/mol
F_c : 連続流の流動伝導係数		$3.81 \times 10^9 D^4 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
F_m : 自由分子流の流動伝導係数		$6.85 \times 10^5 D^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$
D : 漏えい孔径		■■■■■■■■■■

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : O リング断面直径を採用する。

(p)-第 C.21 表 SCV 外側 O リング部の一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	SCV 外側 O リング部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10^{-11} MPa·s
$P_{u,N}^{*2}$: 一般の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
$P_{d,N}^{*2}$: 一般の試験条件下の外圧		██████████
$T_{u,N}^{*2}$: 一般の試験条件下のガス温度		██████████
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
$L_{SO,N}^{*2}$: 一般の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 0.617 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

N : 一般の試験条件, SO : SCV 外側 O リング部

※3 : (p)-第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

※4 : 米国法令 3),4)に基づく最小外圧 0.0241 MPa (3.5 psia) を使用する。

C.6.1.4 一般の試験条件における放射性物質の漏えい量評価

(a) PCV から SCV への放射性物質の漏えい

PCV から SCV への放射性物質の漏えい量は、(a)-第 C.19 表に示す外側 O リング部最大ガス漏えい率 ($L_{PO,N}$) と C.3.1.2 項で求めたリークテストポートプラグ部最大ガス漏えい率($L_{PL,N}$)を用いて次式で表される。

$$R_P = (L_{PO,N} + L_{PL,N}) \times \rho_P \times t \dots\dots\dots(C.6-1)$$

ここで、 R_P : PCV から漏えいする放射性物質の総量(g)

$L_{PO,N}$: \blacksquare (cm^3/h)

$L_{PL,N}$: \blacksquare (cm^3/h)

ρ_P : PCV 内エアロゾル最大密度⁵⁾ (= \blacksquare g/cm^3)

t : 漏えい時間 (= \blacksquare h)

(付-1)式より PCV から SCV へ漏えいする 1 時間当たりの放射性物質の総量(R_P)は \blacksquare g となる。この放射性物質の総量が SCV 内に均一に分布し、SCV から外部へ漏えいするものとして評価する。

このため、SCV 空気内の放射性物質の密度は SCV の自由容積を用いて次式で表される。

$$\rho_S = \frac{R_P}{V_S} \dots\dots\dots(C.6-2)$$

$$= \blacksquare \text{ g}/\text{cm}^3$$

ここで、 ρ_S : SCV 内空気の放射性物質密度 (g/cm^3)

V_S : SCV 自由容積 (= \blacksquare cm^3 ($3 \blacksquare$ in^3))

(b) SCV から外部への放射性物質の漏えい

SCV から外部への放射性物質の漏えい量は、(ロ)第 C.21 表に示す外側 O リング部最大ガス漏えい率 ($L_{SO,N}$) と C.3.1.3 項で求めたリークテストポートプラグ部最大ガス漏えい率 ($L_{SL,N}$) の合計に、(a) で算出した SCV 内空気の放射性物質の密度を乗じ、(ロ)第 C.13 表に示した重量比によって求められる。

(ロ)第 C.22 表に一般の試験条件における放射性物質の漏えい率を示す。

(ロ)第 C.22 表に示すように一般の試験条件における放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 より小さい。

(ロ)第 C.22 表 一般の試験条件下における漏えい計算結果

核種	重量比 (-)	比放射能 (TBq/g)	放射能 漏えい量 (TBq/h)	漏えい 基準値 (TBq/h)	基準値 との比 (-)
^{238}Pu	████████	0.63	████████	████████	████████
^{239}Pu	████████	2.30×10^{-3}	████████	████████	████████
^{240}Pu	████████	8.40×10^{-3}	████████	████████	████████
^{241}Pu	████████	3.8	████████	████████	████████
^{241}Am	████████	1.30×10^{-1}	████████	████████	████████
合計	1.00	—	—	—	████████

C.6.1.5 特別の試験条件下における放射性物質の漏えい量評価

(1) PCV 外側 O リング部の最大ガス漏えい率

(a) 第 C.19 表の計算結果に基づき、PCV 外側 O リング部の特別の試験条件下の最大ガス漏えい率を計算した結果を (a) 第 C.23 表に示す。

(a) 第 C.23 表 PCV 外側 O リング部の特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

項目	部位	PCV 外側 O リング部
D : 漏えい孔径		██████████
a : 漏えい孔長さ		██████████
μ : ガスの粘性係数 (at 25 °C) ※1		1.85×10 ⁻¹¹ MPa·s
P _{u,A} ※2 : 特別の試験条件下の密封装置内圧力		██████████
P _{d,A} ※2 : 特別の試験条件下の外圧		2.41×10 ⁻² MPa (3.5 psi) ※4
T _{u,A} ※2 : 特別の試験条件下のガス温度		433.15 K (320 °F)
M : ガスの分子量		29.0 g/mol
L _{PO,A} ※2 : 特別の試験条件下のガス漏えい率 (at 433.15 K, 3.16 MPa)		██████████

※1 : 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので、低い温度を設定することは保守的である。

※2 : 添え字は下記に示すとおりとする。

A : 特別の試験条件, PO : PCV 外側 O リング部

※3 : (a) 第 C.1 表に示す圧力を絶対圧に変換し、保守的に切り上げた値を使用する。

※4 : 米国法令 3),4)に基づく最小外圧 0.0241 MPa (3.5 psia) を使用する。

(2) 特別の試験条件下における放射性物質の漏えい量評価

C.6.1.4 項と同様に(□)-第 C.23 表の計算結果に基づき、PCV 外側 O リング部の特別の試験条件下の放射性物質漏えい量を計算した結果を(□)-第 C.24 表に示す。

(□)-第 C.24 表に示すように特別の試験条件下における放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 より小さい。

(□)-第 C.24 表 特別の試験条件下における漏えい計算結果

核種	重量比 (-)	比放射能 (TBq/g)	放射能 漏えい量 (TBq/week)	漏えい 基準値 (TBq/week)	基準値 との比 (-)
²³⁸ Pu	■	0.63	■	■	■
²³⁹ Pu	■	2.30×10^{-3}	■	■	■
²⁴⁰ Pu	■	8.40×10^{-3}	■	■	■
²⁴¹ Pu	■	3.8	■	■	■
²⁴¹ Am	■	1.30×10^{-1}	■	■	■
合計	1.00	—	—	—	■

C.6.1.6 結果の要約

本輸送容器の発送前検査時の気密漏えい検査として PCV 外側 O リング部及び SCV 外側 O リング部に圧力上昇法を適用した場合の漏えい量評価は一般の試験条件及び特別の試験条件において、いずれも放射性物質の基準値と漏えい率の比の合計は 1 よりも小さい。したがって、圧力上昇法による検査の場合においても、一般及び特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準を満足する。なお、一般の試験条件下における漏えい量と基準値の比は ■ と裕度は少ないが、漏えい量評価を行っている核種は漏えい評価上厳しい核種を設定しているため、安全評価上問題はない。

C.6.2 参考文献

- 1) *American National Standard for Radioactive Material - Leakage Tests on Packages for Shipment*, ANSI N14.5, American National Standards Institute, Inc. (1997).
- 2) 伝熱工学資料第5版 日本機械学会(2009)
- 3) 10 CFR 71, *Packaging and Transportation of Radioactive Material*, January 2012.
- 4) 49 CFR, *Transportation*, October 2011.
- 5) NRC Regulatory Guide (NUREG/CR-6487) *Containment Analysis for Type B Packages Used to Transport Various Contents*, U.S, NRC (1996)

(口) 章D 遮蔽解析

D. 遮蔽解析

D.1 概要

本申請に係る輸送では、(イ)第 A.1 表に示す [] プルトニウム燃料及び [] ウラン燃料を取扱う。

本輸送容器は、輸送容器あたり最大で核燃料物質を [] g まで収納する設計である。本章において、収納する燃料を収納物、収納物を収納した輸送容器を輸送物と言う。

遮蔽解析における線源条件として、本輸送容器に収納できる最大限の核燃料物質を想定する。なお、遮蔽解析に影響を及ぼす不純物は、 [] プルトニウム燃料及び [] ウラン燃料に混入していないため、解析では不純物を考慮しない。

遮蔽解析コードは、モンテカルロコード MCNP¹⁾を用いた。線源のエネルギー群毎のガンマ線及び中性子線源の算出には ORIGEN-S²⁾及び RASTA コード³⁾を使用した。

通常の輸送時における解析モデルでは、収納物、PCV、SCV、アルミニウムベアリング板、アルミニウムハニカム (SCV 上部衝撃吸収材、SCV 下部衝撃吸収材及び PCV 底部スペーサ)、遮蔽体、断熱材及びドラムを考慮した。その他の輸送容器の材料は、遮蔽として安全側の評価となるよう無視した。

一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下における落下試験等の機械試験後も、輸送容器の遮蔽性能に影響を及ぼす損傷は生じないため、通常輸送時と同一のものとした。

特別の試験条件下においては、PCV、SCV 及び収納物は損傷の無い状態のまま、その他の構成材料は燃焼や破壊により喪失したと仮定し、保守的に収納物と PCV 及び SCV のみでの評価を実施した。

D.2 線源仕様

本輸送容器に収納する核燃料物質の仕様を(□)-第 D.1 表に示す。線源仕様は、(□)-第 D.1 表の核燃料物質の仕様に基づき、本輸送容器に収納できる最大限の核燃料物質を想定する。

線源仕様を決定するにあたり、収納物に含まれる各同位体 1 g あたりの線量当量率を算出した。算出結果を(□)-第 D.2 表、線量当量率寄与順に記載したものを(□)-第 D.3 表に示す。ここで、(□)-第 D.1 表に示すとおり収納する核燃料物質の合計重量は [] g 以内としているため、(□)-第 D.2 表に示す線量当量率の高い同位体から順に、各同位体の最大許容重量となるよう重量を加算し、合計重量が [] g に達するよう重量を設定する。上記の手順で定めた線量評価に用いる同位体組成を(□)-第 D.4 表に示す。上記手順で定めた同位体組成は [] プルトニウム燃料及び [] ウラン燃料を包含した保守的な値となる。

ガンマ線源は、本線源仕様で定義した同位体から崩壊によって生成される娘核種も考慮し計算する。中性子線源は、崩壊を考慮しない初期組成が線源評価上最大となるため、娘核種の考慮は実施しない。

(□)-第 D.3 表に示すとおり、「通常輸送時及び一般の試験条件」と「特別の試験条件」において核種毎の線量当量率寄与は異なる。これは、D.3 項に後述するように特別の試験条件における解析モデルでは鉛遮蔽体を考慮しないため、輸送容器のガンマ線の遮蔽効果が低下し、60keV を超えるガンマ線を多く有する ^{237}Np 、 ^{243}Am 及び ^{241}Pu の線量当量率への寄与が著しい影響を及ぼす。このため、「通常輸送時及び一般の試験条件」と「特別の試験条件」において、それぞれの条件において寄与の高い核種を用いて評価するため、線源仕様は異なる。

(㊦)第 D.1 表 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様

(プルトニウム燃料及び ウラン燃料)

核 種	収納物 (g)	
	 プルトニウム燃料	 ウラン燃料
²³⁶ Pu	 	
²³⁸ Pu	 	
²³⁹ Pu	 	
²⁴⁰ Pu	 	
²⁴¹ Pu	 	
²⁴² Pu	 	
²⁴¹ Am	 	
²⁴³ Am	 	
²⁴⁴ Cm	 	
²³⁷ Np	 	
²³² U	 	
²³³ U	 	
²³⁴ U	 	
²³⁵ U	 	
²³⁶ U	 	
²³⁸ U	 	
²³² Th	 	
合計重量	 	

(D)・第 D.2 表 単位重量当たりの線量当量率 (平均値+3σ)

ケース	物質	通常輸送時及び一般の試験条件下 (輸送容器表面)	特別の試験条件下 (SCV 表面から 1 m の位置)
		■ プルトニウム燃料及び ■ ウラン燃料	
		mSv/h	mSv/h
1	1 g of ²³⁸ Pu	2.10E-03	8.59E-05
2	1 g of ²³⁹ Pu	5.33E-07	2.82E-07
3	1 g of ²⁴⁰ Pu	8.15E-04	3.24E-05
4	1 g of ²⁴¹ Pu	3.96E-08	1.31E-06
5	1 g of ²⁴² Pu	1.37E-03	5.39E-05
6	1 g of ²⁴¹ Am	2.95E-05	8.90E-06
7	1 g of ²⁴³ Am	6.76E-06	2.76E-05
8	1 g of ²⁴⁴ Cm	8.60E+00	3.38E-01
9	1 g of ²³⁷ Np	8.33E-06	1.25E-05
10	1 g of ²³² U	2.78E+02	2.16E+01
11	1 g of ²³³ U	6.86E-08	1.43E-07
12	1 g of ²³⁴ U	6.07E-09	5.45E-09
13	1 g of ²³⁵ U	2.91E-09	7.52E-09
14	1 g of ²³⁶ U	8.72E-09	1.93E-10
15	1 g of ²³⁸ U	1.08E-08	4.25E-10
16	1 g of ²³² Th	9.59E-14	9.40E-14

(p)-第 D.3 表 単位重量当たりの線量当量率寄与順

	通常輸送時及び一般の試験条件下 (輸送容器表面)	特別の試験条件下 (SCV 表面から 1 m の位置)
線量評価結果 寄与順	■ プルトニウム燃料 及び ■ ウラン燃料	■ プルトニウム燃料 及び ■ ウラン燃料
1	^{232}U	^{232}U
2	^{244}Cm	^{244}Cm
3	^{238}Pu	^{238}Pu
4	^{242}Pu	^{242}Pu
5	^{240}Pu	^{240}Pu
6	^{241}Am	^{243}Am
7	^{237}Np	^{237}Np
8	^{243}Am	^{241}Am
9	^{239}Pu	^{241}Pu
10	^{233}U	^{239}Pu
11	^{241}Pu	^{233}U
12	^{238}U	^{235}U
13	^{236}U	^{234}U
14	^{234}U	^{238}U
15	^{235}U	^{236}U
16	^{232}Th	^{232}Th

(ロ)第 D.4 表 線源解析のための核燃料物質の仕様

核種	重量 (g)	
	通常輸送時 及び 一般の試験条件下	特別の 試験条件下
^{238}Pu		
^{239}Pu		
^{240}Pu		
$^{241}\text{Am}+^{241}\text{Pu}$		
^{242}Pu		
^{243}Am		
^{244}Cm		
^{237}Np		
^{232}U		
合計重量		

- a 合計重量が [] g となるように調整した
- b ^{238}Pu を [] g 収納した場合、 ^{238}Pu のみで発熱量は 19W 近い値となるため、 ^{238}Pu と同時に発熱量の高い ^{241}Am を収納することはできない。このため、「通常輸送時」及び「一般の試験条件下」では、 ^{241}Am 及び親核種である ^{241}Pu は線源仕様から除外する。

D.2.1 ガンマ線源

線源計算は、ORIGEN-S 及び RASTA コードを使用した。

ORIGEN-S によって、線源仕様で定義した同位体の崩壊及び生成される娘核種の量を算出し、それらの同位体量を基に RASTA コードでガンマ線の線源スペクトルを 20 群構造で計算した。

娘核種については、ガンマ線評価時に寄与の大きい娘核種 (^{237}Np の娘核種 ^{233}Pa 、 ^{232}U 及び ^{232}Th の娘核種 ^{208}Tl) が平衡状態となるまでの崩壊時間を考慮した。各核種の崩壊補正時間を (p) 第 D.5 表に示す。

(p) 第 D.4 表に示す各同位体 1 g 当たりのガンマ線源強度を算出した。スペクトルについては、全エネルギー範囲におけるスペクトルの総和を 1 で規格化し、エネルギー範囲毎の比を求めた。その結果を、(p) 第 D.6 表に示す。

なお、二次ガンマ線及び制動放射線については、遮蔽評価時に解析によって求めるために、本表には含まない。

(p) 第 D.5 表 ガンマ線源核種の崩壊補正時間

核種	初期組成からの経過時間
^{237}Np	年
^{232}U	年
^{232}Th a	年

a (p) 第 D.2 表中の評価に使用

(D)第D.6表 ガンマ線源

(同位体毎のガンマ線スペクトルと1gあたりのガンマ線強度)

エネルギー範囲 (MeV)		規格化したスペクトル				
≤上限	下限<	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴² Pu
1.40 × 10 ¹	1.00 × 10 ¹	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰
1.00 × 10 ¹	8.00 × 10 ⁰	3.23 × 10 ⁻¹¹	1.13 × 10 ⁻¹³	1.04 × 10 ⁻⁹	1.36 × 10 ⁻¹³	1.21 × 10 ⁻⁷
8.00 × 10 ⁰	7.00 × 10 ⁰	1.63 × 10 ⁻¹¹	5.71 × 10 ⁻¹⁴	5.25 × 10 ⁻¹⁰	6.89 × 10 ⁻¹⁴	6.11 × 10 ⁻⁸
7.00 × 10 ⁰	6.00 × 10 ⁰	1.83 × 10 ⁻¹⁰	1.21 × 10 ⁻¹²	5.90 × 10 ⁻⁹	7.73 × 10 ⁻¹³	6.86 × 10 ⁻⁷
6.00 × 10 ⁰	5.00 × 10 ⁰	4.27 × 10 ⁻¹⁰	3.27 × 10 ⁻¹²	1.38 × 10 ⁻⁸	1.80 × 10 ⁻¹²	1.60 × 10 ⁻⁶
5.00 × 10 ⁰	4.00 × 10 ⁰	1.22 × 10 ⁻⁹	9.63 × 10 ⁻¹²	3.93 × 10 ⁻⁸	5.15 × 10 ⁻¹²	4.57 × 10 ⁻⁶
4.00 × 10 ⁰	3.00 × 10 ⁰	4.57 × 10 ⁻⁹	2.85 × 10 ⁻¹¹	1.47 × 10 ⁻⁷	1.93 × 10 ⁻¹¹	1.71 × 10 ⁻⁵
3.00 × 10 ⁰	2.00 × 10 ⁰	1.51 × 10 ⁻⁸	8.58 × 10 ⁻¹¹	4.89 × 10 ⁻⁷	6.41 × 10 ⁻¹¹	5.68 × 10 ⁻⁵
2.00 × 10 ⁰	1.50 × 10 ⁰	1.61 × 10 ⁻⁸	9.22 × 10 ⁻¹¹	5.20 × 10 ⁻⁷	6.82 × 10 ⁻¹¹	6.05 × 10 ⁻⁵
1.50 × 10 ⁰	1.00 × 10 ⁰	1.62 × 10 ⁻⁷	1.14 × 10 ⁻⁸	1.13 × 10 ⁻⁶	1.49 × 10 ⁻¹⁰	1.32 × 10 ⁻⁴
1.00 × 10 ⁰	8.00 × 10 ⁻¹	8.22 × 10 ⁻⁷	2.12 × 10 ⁻⁷	9.40 × 10 ⁻⁷	1.16 × 10 ⁻¹⁰	1.03 × 10 ⁻⁴
8.00 × 10 ⁻¹	7.00 × 10 ⁻¹	4.19 × 10 ⁻⁶	5.35 × 10 ⁻⁶	5.21 × 10 ⁻⁷	6.83 × 10 ⁻¹¹	6.06 × 10 ⁻⁵
7.00 × 10 ⁻¹	6.00 × 10 ⁻¹	1.96 × 10 ⁻⁸	1.48 × 10 ⁻⁵	2.17 × 10 ⁻⁶	8.30 × 10 ⁻¹¹	7.36 × 10 ⁻⁵
6.00 × 10 ⁻¹	4.00 × 10 ⁻¹	4.50 × 10 ⁻⁸	3.71 × 10 ⁻⁴	1.47 × 10 ⁻⁶	1.90 × 10 ⁻¹⁰	1.69 × 10 ⁻⁴
4.00 × 10 ⁻¹	2.00 × 10 ⁻¹	3.03 × 10 ⁻⁷	1.46 × 10 ⁻³	3.30 × 10 ⁻⁶	1.83 × 10 ⁻¹⁰	1.62 × 10 ⁻⁴
2.00 × 10 ⁻¹	1.00 × 10 ⁻¹	9.46 × 10 ⁻⁵	2.13 × 10 ⁻³	4.96 × 10 ⁻⁴	5.50 × 10 ⁻²	7.41 × 10 ⁻⁴
1.00 × 10 ⁻¹	6.00 × 10 ⁻²	8.49 × 10 ⁻⁴	2.48 × 10 ⁻³	8.05 × 10 ⁻⁶	1.27 × 10 ⁻¹	3.11 × 10 ⁻⁵
6.00 × 10 ⁻²	3.00 × 10 ⁻²	3.33 × 10 ⁻³	7.26 × 10 ⁻³	4.20 × 10 ⁻³	2.12 × 10 ⁻³	4.04 × 10 ⁻³
3.00 × 10 ⁻²	2.00 × 10 ⁻²	9.21 × 10 ⁻²	9.24 × 10 ⁻²	9.24 × 10 ⁻²	6.94 × 10 ⁻²	9.22 × 10 ⁻²
2.00 × 10 ⁻²	1.00 × 10 ⁻²	9.04 × 10 ⁻¹	8.94 × 10 ⁻¹	9.03 × 10 ⁻¹	7.46 × 10 ⁻¹	9.02 × 10 ⁻¹
ガンマ線強度 (光子/s/g)		7.15 × 10 ¹⁰	9.79 × 10 ⁷	9.04 × 10 ⁸	3.19 × 10 ⁸	1.31 × 10 ⁷
エネルギー範囲 (MeV)		規格化したスペクトル				
≤上限	下限<	²⁴¹ Am	²⁴³ Am	²⁴⁴ Cm	²³⁷ Np	²³² U
1.40 × 10 ¹	1.00 × 10 ¹	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰
1.00 × 10 ¹	8.00 × 10 ⁰	7.01 × 10 ⁻¹⁵	4.95 × 10 ⁻¹³	2.51 × 10 ⁻⁸	1.77 × 10 ⁻¹⁵	6.34 × 10 ⁻¹⁶
8.00 × 10 ⁰	7.00 × 10 ⁰	3.54 × 10 ⁻¹⁵	2.50 × 10 ⁻¹³	1.27 × 10 ⁻⁸	8.93 × 10 ⁻¹⁶	3.20 × 10 ⁻¹⁶
7.00 × 10 ⁰	6.00 × 10 ⁰	3.97 × 10 ⁻¹⁴	2.81 × 10 ⁻¹²	1.42 × 10 ⁻⁷	1.00 × 10 ⁻¹⁴	3.59 × 10 ⁻¹⁵
6.00 × 10 ⁰	5.00 × 10 ⁰	9.27 × 10 ⁻¹⁴	6.55 × 10 ⁻¹²	3.32 × 10 ⁻⁷	2.34 × 10 ⁻¹⁴	8.39 × 10 ⁻¹⁵
5.00 × 10 ⁰	4.00 × 10 ⁰	2.65 × 10 ⁻¹³	1.87 × 10 ⁻¹¹	9.48 × 10 ⁻⁷	6.69 × 10 ⁻¹⁴	2.40 × 10 ⁻¹⁴
4.00 × 10 ⁰	3.00 × 10 ⁰	9.92 × 10 ⁻¹³	7.02 × 10 ⁻¹¹	3.55 × 10 ⁻⁶	2.51 × 10 ⁻¹³	8.98 × 10 ⁻¹⁴
3.00 × 10 ⁰	2.00 × 10 ⁰	3.29 × 10 ⁻¹²	2.33 × 10 ⁻¹⁰	1.18 × 10 ⁻⁵	8.31 × 10 ⁻¹³	1.37 × 10 ⁻¹
2.00 × 10 ⁰	1.50 × 10 ⁰	3.50 × 10 ⁻¹²	2.48 × 10 ⁻¹⁰	1.25 × 10 ⁻⁵	8.84 × 10 ⁻¹³	1.24 × 10 ⁻²
1.50 × 10 ⁰	1.00 × 10 ⁰	7.64 × 10 ⁻¹²	5.40 × 10 ⁻¹⁰	2.73 × 10 ⁻⁵	1.93 × 10 ⁻¹²	3.84 × 10 ⁻³
1.00 × 10 ⁰	8.00 × 10 ⁻¹	5.23 × 10 ⁻⁸	4.23 × 10 ⁻¹⁰	2.14 × 10 ⁻⁵	1.51 × 10 ⁻¹²	1.95 × 10 ⁻²
8.00 × 10 ⁻¹	7.00 × 10 ⁻¹	1.90 × 10 ⁻⁶	2.48 × 10 ⁻¹⁰	1.26 × 10 ⁻⁵	8.86 × 10 ⁻¹³	5.25 × 10 ⁻²
7.00 × 10 ⁻¹	6.00 × 10 ⁻¹	1.16 × 10 ⁻⁶	1.47 × 10 ⁻⁵	1.53 × 10 ⁻⁵	4.07 × 10 ⁻¹²	6.34 × 10 ⁻⁴
6.00 × 10 ⁻¹	4.00 × 10 ⁻¹	1.51 × 10 ⁻⁶	6.91 × 10 ⁻¹⁰	3.50 × 10 ⁻⁵	5.25 × 10 ⁻³	1.65 × 10 ⁻¹
4.00 × 10 ⁻¹	2.00 × 10 ⁻¹	1.94 × 10 ⁻⁵	6.63 × 10 ⁻¹⁰	3.36 × 10 ⁻⁵	2.14 × 10 ⁻¹	1.74 × 10 ⁻¹
2.00 × 10 ⁻¹	1.00 × 10 ⁻¹	1.79 × 10 ⁻⁴	6.45 × 10 ⁻³	1.65 × 10 ⁻⁵	3.85 × 10 ⁻²	1.85 × 10 ⁻²
1.00 × 10 ⁻¹	6.00 × 10 ⁻²	4.13 × 10 ⁻⁴	7.06 × 10 ⁻¹	4.42 × 10 ⁻⁶	2.31 × 10 ⁻¹	1.67 × 10 ⁻¹
6.00 × 10 ⁻²	3.00 × 10 ⁻²	4.09 × 10 ⁻¹	6.24 × 10 ⁻²	2.33 × 10 ⁻³	4.54 × 10 ⁻³	3.50 × 10 ⁻²
3.00 × 10 ⁻²	2.00 × 10 ⁻²	7.47 × 10 ⁻²	2.14 × 10 ⁻²	8.84 × 10 ⁻²	9.28 × 10 ⁻²	2.26 × 10 ⁻²
2.00 × 10 ⁻²	1.00 × 10 ⁻²	5.15 × 10 ⁻¹	2.04 × 10 ⁻¹	9.09 × 10 ⁻¹	4.14 × 10 ⁻¹	1.91 × 10 ⁻¹
ガンマ線強度 (光子/s/g)		1.47 × 10 ¹¹	6.48 × 10 ⁹	3.18 × 10 ¹¹	6.25 × 10 ⁷	2.02 × 10 ¹²

D.2.2 中性子源

中性子源もガンマ線源同様に RASTA コードを使用して 27 群構造で中性子源を算出した。

遮蔽評価結果への主要な寄与は、初期設定核種の ^{237}Np 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{242}Pu 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm であるため、ガンマ線源のように時間経過による娘核種生成の補正は実施しない。

中性子を発生する反応は、超ウラン元素の自発核分裂、及び α 崩壊核種から発生した α 線と燃料中の軽元素との (α, n) 反応である。

ガンマ線源強度と同様に、(p) 第 D.4 表に示す同位体 1 g 当たりの自発核分裂により発生する中性子の収率を評価した。その結果を、(p) 第 D.7 表に示す。

中性子の増倍は、遮蔽計算実行時に中性子の増倍を考慮した計算を実施するために、本表では中性子の増倍は考慮していない。

(p)・第D.7表 中性子線源 (1/2)

(同位体毎の中性子線スペクトルと1gあたりの中性子線強度)

エネルギー範囲 (MeV)		規格化したスペクトル				
≦上限	下限<	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴² Pu
2.00×10^1	6.43×10^0	1.63×10^{-2}	1.90×10^{-2}	1.25×10^{-2}	1.55×10^{-2}	1.38×10^{-2}
6.43×10^0	3.00×10^0	1.99×10^{-1}	2.08×10^{-1}	1.83×10^{-1}	1.95×10^{-1}	1.88×10^{-1}
3.00×10^0	1.85×10^0	2.33×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.31×10^{-1}	2.32×10^{-1}	2.31×10^{-1}
1.85×10^0	1.40×10^0	1.30×10^{-1}	1.28×10^{-1}	1.33×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.32×10^{-1}
1.40×10^0	9.00×10^{-1}	1.65×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.67×10^{-1}	1.69×10^{-1}
9.00×10^{-1}	4.00×10^{-1}	1.67×10^{-1}	1.63×10^{-1}	1.75×10^{-1}	1.69×10^{-1}	1.73×10^{-1}
4.00×10^{-1}	1.00×10^{-1}	7.70×10^{-2}	7.52×10^{-2}	8.09×10^{-2}	7.83×10^{-2}	8.00×10^{-2}
1.00×10^{-1}	1.70×10^{-2}	1.13×10^{-2}	1.11×10^{-2}	1.19×10^{-2}	1.16×10^{-2}	1.18×10^{-2}
1.70×10^{-2}	3.00×10^{-3}	8.13×10^{-4}	7.95×10^{-4}	8.53×10^{-4}	8.28×10^{-4}	8.47×10^{-4}
3.00×10^{-3}	5.50×10^{-4}	6.02×10^{-5}	5.89×10^{-5}	6.32×10^{-5}	6.14×10^{-5}	6.28×10^{-5}
5.50×10^{-4}	1.00×10^{-4}	4.74×10^{-6}	4.63×10^{-6}	4.97×10^{-6}	4.83×10^{-6}	4.94×10^{-6}
1.00×10^{-4}	3.00×10^{-5}	3.33×10^{-7}	3.25×10^{-7}	3.49×10^{-7}	3.39×10^{-7}	3.47×10^{-7}
3.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}	5.28×10^{-8}	5.17×10^{-8}	5.55×10^{-8}	5.38×10^{-8}	5.51×10^{-8}
1.00×10^{-5}	3.05×10^{-6}	1.05×10^{-8}	1.02×10^{-8}	1.10×10^{-8}	1.07×10^{-8}	1.09×10^{-8}
3.05×10^{-6}	1.77×10^{-6}	1.18×10^{-9}	1.16×10^{-9}	1.24×10^{-9}	1.21×10^{-9}	1.23×10^{-9}
1.77×10^{-6}	1.30×10^{-6}	3.47×10^{-10}	3.40×10^{-10}	3.65×10^{-10}	3.54×10^{-10}	3.62×10^{-10}
1.30×10^{-6}	1.13×10^{-6}	1.12×10^{-10}	1.09×10^{-10}	1.17×10^{-10}	1.14×10^{-10}	1.17×10^{-10}
1.13×10^{-6}	1.00×10^{-6}	8.01×10^{-11}	7.83×10^{-11}	8.41×10^{-11}	8.16×10^{-11}	8.35×10^{-11}
1.00×10^{-6}	8.00×10^{-7}	1.13×10^{-10}	1.11×10^{-10}	1.19×10^{-10}	1.15×10^{-10}	1.18×10^{-10}
8.00×10^{-7}	4.00×10^{-7}	1.84×10^{-10}	1.80×10^{-10}	1.93×10^{-10}	1.88×10^{-10}	1.92×10^{-10}
4.00×10^{-7}	3.25×10^{-7}	2.70×10^{-11}	2.64×10^{-11}	2.83×10^{-11}	2.75×10^{-11}	2.81×10^{-11}
3.25×10^{-7}	2.25×10^{-7}	3.13×10^{-11}	3.06×10^{-11}	3.28×10^{-11}	3.19×10^{-11}	3.26×10^{-11}
2.25×10^{-7}	1.00×10^{-7}	2.99×10^{-11}	2.92×10^{-11}	3.14×10^{-11}	3.05×10^{-11}	3.12×10^{-11}
1.00×10^{-7}	5.00×10^{-8}	8.14×10^{-12}	7.96×10^{-12}	8.54×10^{-12}	8.30×10^{-12}	8.48×10^{-12}
5.00×10^{-8}	3.00×10^{-8}	2.38×10^{-12}	2.33×10^{-12}	2.50×10^{-12}	2.43×10^{-12}	2.48×10^{-12}
3.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	1.67×10^{-12}	1.63×10^{-12}	1.75×10^{-12}	1.70×10^{-12}	1.74×10^{-12}
1.00×10^{-8}	1.00×10^{-11}	3.98×10^{-13}	3.89×10^{-13}	4.18×10^{-13}	4.06×10^{-13}	4.15×10^{-13}
中性子線源強度 (n/s/g)		2.59×10^3	2.18×10^2	1.03×10^3	4.94×10^2	1.72×10^3

(ロ)第 D.7 表 中性子線源 (2/2)

(同位体毎の中性子線スペクトルと1gあたりの中性子線強度)

エネルギー範囲 (MeV)		規格化したスペクトル				
≤上限	下限<	²⁴¹ Am	²⁴³ Am	²⁴⁴ Cm	²³⁷ Np	²³² U
2.00×10^1	6.43×10^0	2.32×10^{-2}	1.74×10^{-2}	2.08×10^{-2}	1.49×10^{-2}	1.94×10^{-2}
6.43×10^0	3.00×10^0	2.21×10^{-1}	2.03×10^{-1}	2.14×10^{-1}	1.93×10^{-1}	2.09×10^{-1}
3.00×10^0	1.85×10^0	2.33×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.32×10^{-1}	2.32×10^{-1}
1.85×10^0	1.40×10^0	1.26×10^{-1}	1.29×10^{-1}	1.27×10^{-1}	1.31×10^{-1}	1.28×10^{-1}
1.40×10^0	9.00×10^{-1}	1.57×10^{-1}	1.64×10^{-1}	1.60×10^{-1}	1.68×10^{-1}	1.62×10^{-1}
9.00×10^{-1}	4.00×10^{-1}	1.57×10^{-1}	1.66×10^{-1}	1.60×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.63×10^{-1}
4.00×10^{-1}	1.00×10^{-1}	7.20×10^{-2}	7.64×10^{-2}	7.34×10^{-2}	7.88×10^{-2}	7.51×10^{-2}
1.00×10^{-1}	1.70×10^{-2}	1.06×10^{-2}	1.13×10^{-2}	1.08×10^{-2}	1.16×10^{-2}	1.11×10^{-2}
1.70×10^{-2}	3.00×10^{-3}	7.60×10^{-4}	8.07×10^{-4}	7.74×10^{-4}	8.34×10^{-4}	7.94×10^{-4}
3.00×10^{-3}	5.50×10^{-4}	5.63×10^{-5}	5.98×10^{-5}	5.73×10^{-5}	6.18×10^{-5}	5.89×10^{-5}
5.50×10^{-4}	1.00×10^{-4}	4.43×10^{-6}	4.70×10^{-6}	4.51×10^{-6}	4.86×10^{-6}	4.63×10^{-6}
1.00×10^{-4}	3.00×10^{-5}	3.11×10^{-7}	3.30×10^{-7}	3.17×10^{-7}	3.41×10^{-7}	3.25×10^{-7}
3.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}	4.94×10^{-8}	5.25×10^{-8}	5.03×10^{-8}	5.42×10^{-8}	5.16×10^{-8}
1.00×10^{-5}	3.05×10^{-6}	9.79×10^{-9}	1.04×10^{-8}	9.97×10^{-9}	1.07×10^{-8}	1.02×10^{-8}
3.05×10^{-6}	1.77×10^{-6}	1.11×10^{-9}	1.17×10^{-9}	1.13×10^{-9}	1.21×10^{-9}	1.16×10^{-9}
1.77×10^{-6}	1.30×10^{-6}	3.25×10^{-10}	3.45×10^{-10}	3.31×10^{-10}	3.57×10^{-10}	3.40×10^{-10}
1.30×10^{-6}	1.13×10^{-6}	1.05×10^{-10}	1.11×10^{-10}	1.07×10^{-10}	1.15×10^{-10}	1.09×10^{-10}
1.13×10^{-6}	1.00×10^{-6}	7.49×10^{-11}	7.96×10^{-11}	7.63×10^{-11}	8.22×10^{-11}	7.83×10^{-11}
1.00×10^{-6}	8.00×10^{-7}	1.06×10^{-10}	1.12×10^{-10}	1.08×10^{-10}	1.16×10^{-10}	1.11×10^{-10}
8.00×10^{-7}	4.00×10^{-7}	1.72×10^{-10}	1.83×10^{-10}	1.75×10^{-10}	1.89×10^{-10}	1.80×10^{-10}
4.00×10^{-7}	3.25×10^{-7}	2.52×10^{-11}	2.68×10^{-11}	2.57×10^{-11}	2.77×10^{-11}	2.63×10^{-11}
3.25×10^{-7}	2.25×10^{-7}	2.92×10^{-11}	3.11×10^{-11}	2.98×10^{-11}	3.21×10^{-11}	3.06×10^{-11}
2.25×10^{-7}	1.00×10^{-7}	2.80×10^{-11}	2.97×10^{-11}	2.85×10^{-11}	3.07×10^{-11}	2.92×10^{-11}
1.00×10^{-7}	5.00×10^{-8}	7.61×10^{-12}	8.08×10^{-12}	7.75×10^{-12}	8.35×10^{-12}	7.95×10^{-12}
5.00×10^{-8}	3.00×10^{-8}	2.23×10^{-12}	2.37×10^{-12}	2.27×10^{-12}	2.44×10^{-12}	2.33×10^{-12}
3.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	1.56×10^{-12}	1.66×10^{-12}	1.59×10^{-12}	1.71×10^{-12}	1.63×10^{-12}
1.00×10^{-8}	1.00×10^{-11}	3.72×10^{-13}	3.95×10^{-13}	3.79×10^{-13}	4.09×10^{-13}	3.89×10^{-13}
中性線源強度 (n/s/g)		1.18×10^0	3.93×10^0	1.08×10^7	1.14×10^4	1.11×10^0
1.00×10^{-5}	3.05×10^{-6}	3.55×10^{-9}	2.77×10^{-9}	9.92×10^{-9}	3.59×10^{-9}	2.35×10^{-9}
3.05×10^{-6}	1.77×10^{-6}	4.28×10^{-10}	3.88×10^{-10}	1.12×10^{-9}	5.17×10^{-10}	3.01×10^{-10}
1.77×10^{-6}	1.30×10^{-6}	1.45×10^{-10}	8.58×10^{-11}	3.29×10^{-10}	1.16×10^{-10}	7.43×10^{-11}
1.30×10^{-6}	1.13×10^{-6}	3.75×10^{-11}	2.99×10^{-11}	1.06×10^{-10}	3.65×10^{-11}	1.26×10^{-11}
1.13×10^{-6}	1.00×10^{-6}	2.70×10^{-11}	2.27×10^{-11}	7.59×10^{-11}	2.79×10^{-11}	8.43×10^{-12}
1.00×10^{-6}	8.00×10^{-7}	3.73×10^{-11}	3.47×10^{-11}	1.07×10^{-10}	4.27×10^{-11}	1.29×10^{-11}
8.00×10^{-7}	4.00×10^{-7}	5.18×10^{-11}	3.69×10^{-11}	1.74×10^{-10}	7.85×10^{-11}	2.34×10^{-11}
4.00×10^{-7}	3.25×10^{-7}	8.46×10^{-12}	4.32×10^{-12}	2.55×10^{-11}	6.52×10^{-12}	4.03×10^{-12}
3.25×10^{-7}	2.25×10^{-7}	1.08×10^{-11}	5.39×10^{-12}	2.96×10^{-11}	6.90×10^{-14}	1.71×10^{-12}
2.25×10^{-7}	1.00×10^{-7}	1.28×10^{-11}	5.43×10^{-12}	2.83×10^{-11}	9.98×10^{-15}	1.15×10^{-13}
1.00×10^{-7}	5.00×10^{-8}	5.14×10^{-12}	2.07×10^{-12}	7.71×10^{-12}	2.72×10^{-15}	2.16×10^{-14}
5.00×10^{-8}	3.00×10^{-8}	1.44×10^{-12}	4.82×10^{-13}	2.26×10^{-12}	7.95×10^{-16}	8.58×10^{-15}
3.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	6.69×10^{-16}	4.57×10^{-14}	1.59×10^{-12}	5.58×10^{-16}	8.41×10^{-15}
1.00×10^{-8}	1.00×10^{-11}	1.59×10^{-16}	1.09×10^{-14}	3.79×10^{-13}	1.33×10^{-16}	1.30×10^{-15}
中性子線源強度 (n/s/g)		2.76×10^3	1.42×10^2	1.09×10^7	3.52×10^1	1.65×10^6

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

本輸送容器における遮蔽解析は、モンテカルロコード MCNP を使用して実施した。輸送容器の解析モデルでは、収納物、PCV、SCV、アルミニウムベアリング板、アルミニウムハニカム（SCV 上部衝撃吸収材、SCV 下部衝撃吸収材及び PCV 底部スペーサ）、遮蔽体、断熱材及びドラムを考慮した。その他の輸送容器中の物質については、遮蔽評価として安全側の評価となるよう、解析上は存在しないものとして扱った。

通常輸送時の解析に使用した解析モデルを(図)第 D.1 図及び(図)第 D.8 表に示す。

(図)第 D.2 図は、PCV 及び SCV の蓋部の詳細を示す。

線源及び輸送容器の構造は底部及び側面部では開口部がなく、上部は PCV 及び SCV のコーンシールプラグで閉止されているため、線源からの輸送容器外部へのストリーミングによる影響は無い。一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下における落下試験等の機械試験後も、輸送容器の遮蔽性能に影響を及ぼす損傷は生じないため、通常輸送時と同一のものとした。

特別の試験条件下においては、(図)第 D.3 図に示すように PCV、SCV 及び収納物は完全な状態のままであるが、その他のすべての物質が存在しないものと仮定し、収納物と PCV 及び SCV のみでの評価を実施した。

解析モデルが保守的になるように、輸送容器の寸法公差は、モデル寸法を決めるうえで遮蔽材料の存在量が最小となるように考慮し、収納缶、燃料の被覆のような主要でない部品は全て省略して評価している。

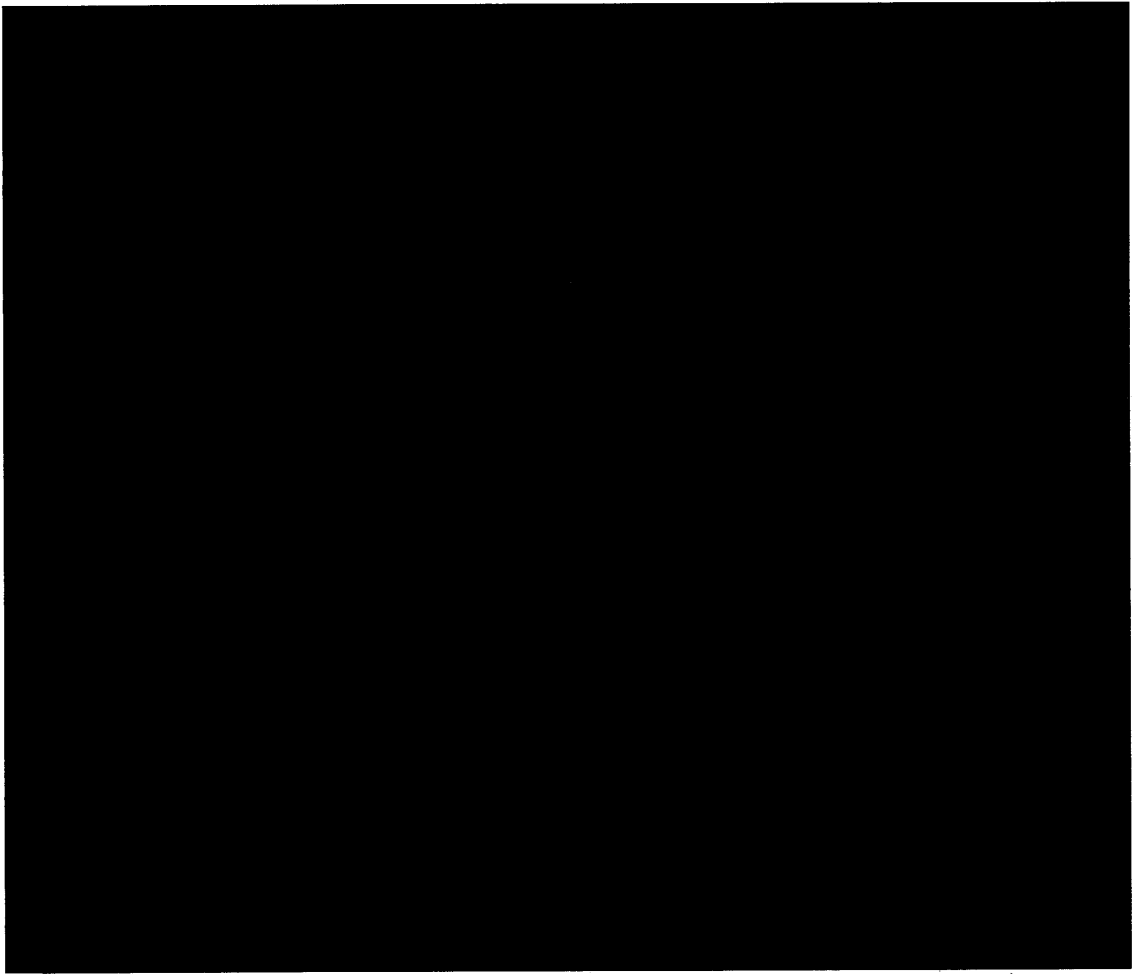
また、輸送容器のモデル化にあたっては、以下の簡素化を行った。

- (1) PCV 及び SCV の壁厚は均一とし、上端部の厚みの増加を無視する。
- (2) PCV 及び SCV の底面の形状は、各々内半径が \blacksquare cm (\blacksquare in.) の球体として近似する。
- (3) PCV 及び SCV の底部に取り付けられる支持架台(スカート)を無視する。
- (4) リークテストポートプラグの六角形の外面は、等価断面積をもつ円筒としてモデル化する。
- (5) 異なる断熱材のブロック間に存在する継ぎ目を無視し、断熱材を単一の構造

物としてモデル化する。

(6) ドラムのフープ及び閉止するためのボルト締めフランジを無視する。

線量当量率の評価位置の代表例を(ロ)第 D.9 表に示す。通常輸送時における線量当量率は、ドラムの外表面の位置及びドラムの表面から 1 m の位置で計算した。特別の試験条件下における線量当量率は、SCV の表面から 1 m の位置で計算した。

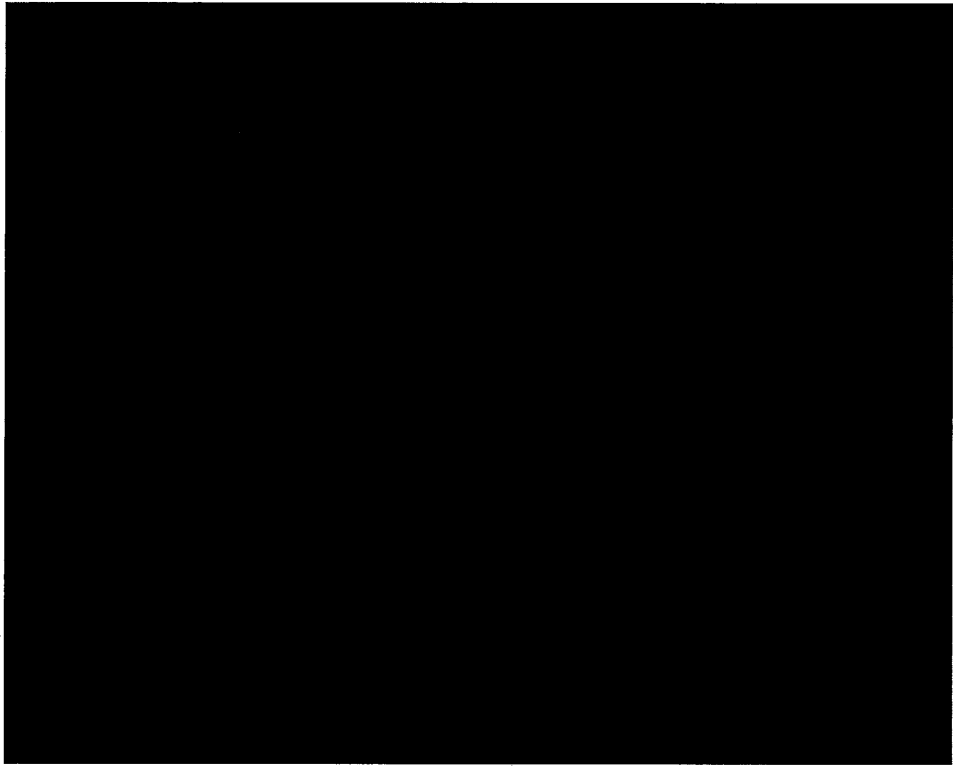


(cm)

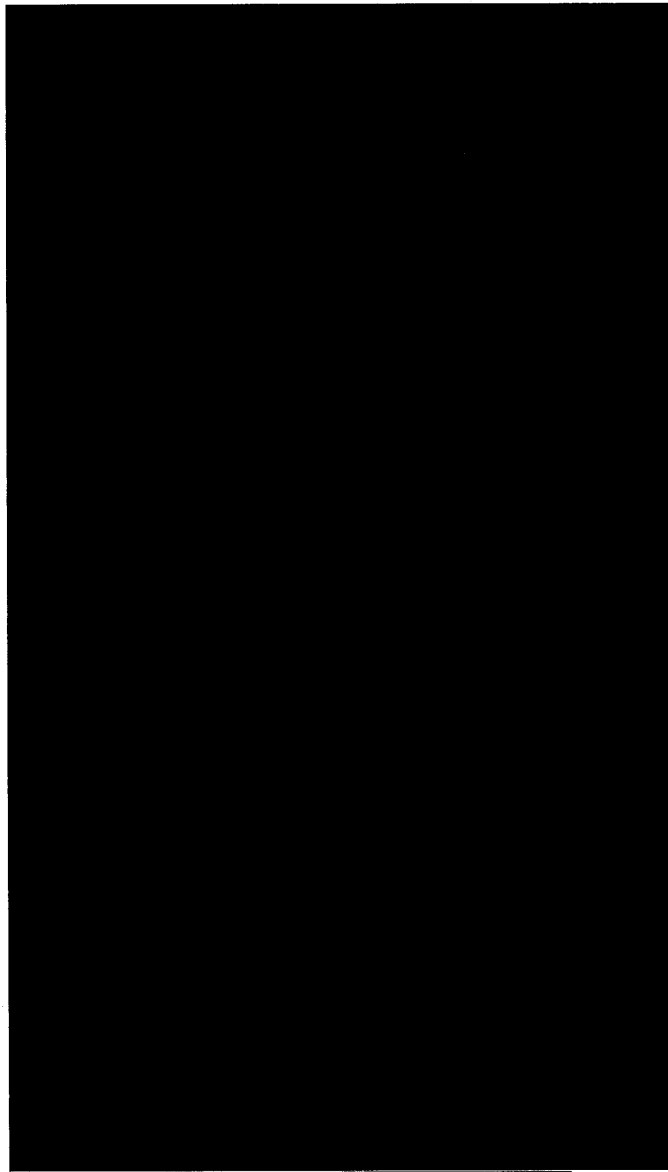
(ロ)第 D.1 図 通常輸送時の輸送容器モデル

(ロ)第D.8表 輸送容器モデルの主要寸法

部品	寸法
PCV	[Redacted dimensions]
SCV	[Redacted dimensions]
SCV 上部衝撃吸収材 (アルミニウムハニカム)	[Redacted dimensions]
遮蔽体ライナ	[Redacted dimensions]
遮蔽体	[Redacted dimensions]
アルミニウムベアリング板 (下部)	[Redacted dimensions]
遮蔽体アルミニウム蓋	[Redacted dimensions]
アルミニウムベアリング板 (上部)	[Redacted dimensions]
断熱材	[Redacted dimensions]
ドラム	[Redacted dimensions]

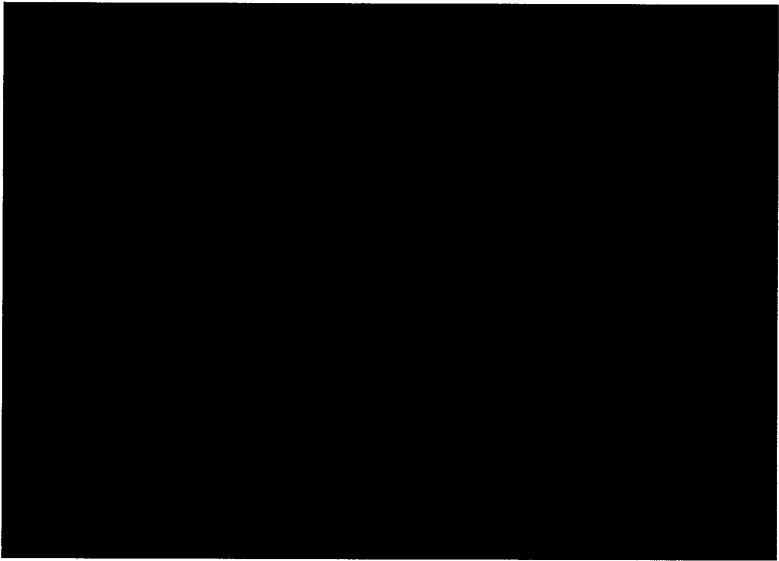


(㊦)第 D.2 図 PCV 及び SCV の蓋部詳細



(㊦)第 D.3 図 特別の試験条件下の輸送容器モデル

(p)-第 D.9 表 解析モデルにおける線量当量率評価位置

	X 軸方向 ^a (cm)	Z 軸(高さ) 方向 ^b (cm)	備 考
(通常輸送時)			
(特別の試験条件)			

a Y軸方向の距離は、0とする

b ドラム下面を基準とした高さ方向の距離

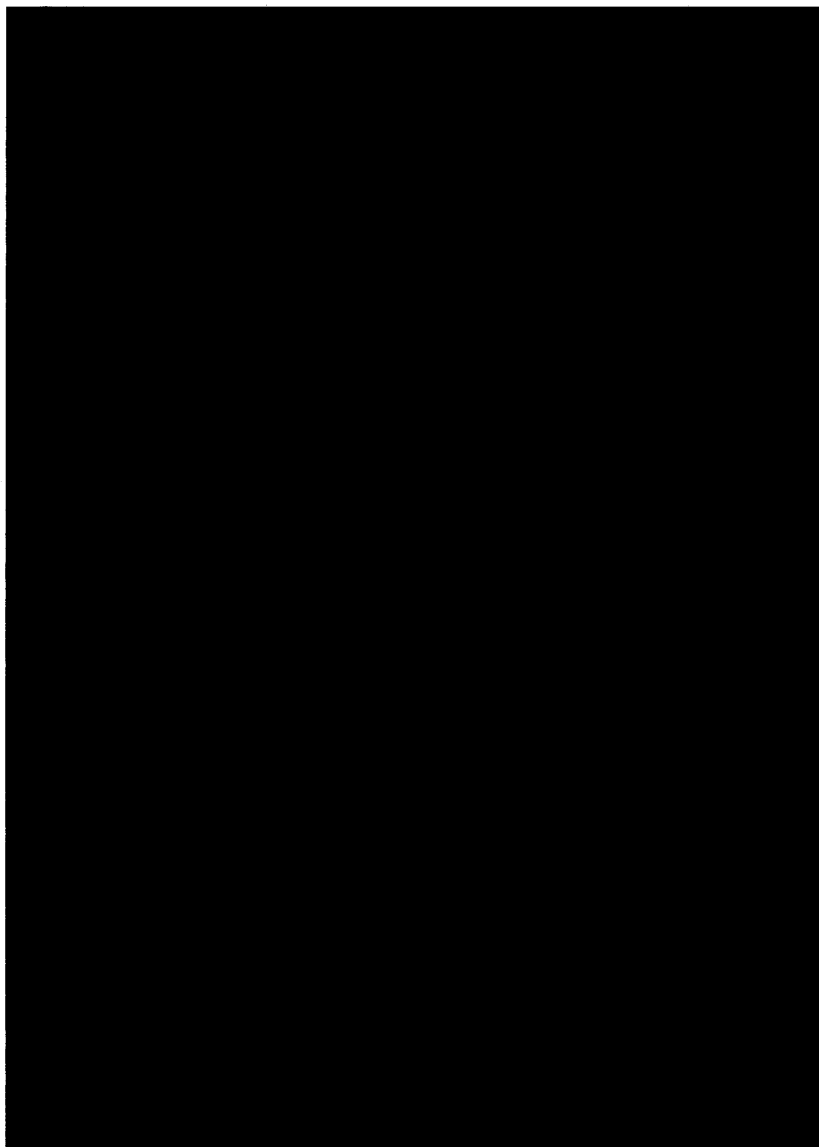
※ 本表における原点は、(p)-第 D.1 図のドラム下端中央

■ プルトニウム燃料は、(イ)第 D.1 図及び(イ)第 D.2 図に示すように PCV 内にホルダーを設置して配置され、また■ ウラン燃料は(イ)第 D.4 図に示すように PCV 内に収納缶を設置して配置されるが、ホルダー及び収納缶は特別の試験条件下での配置形状を担保するものではない。従って、評価結果が最も保守的となるようなモデルを用いて解析を実施した。

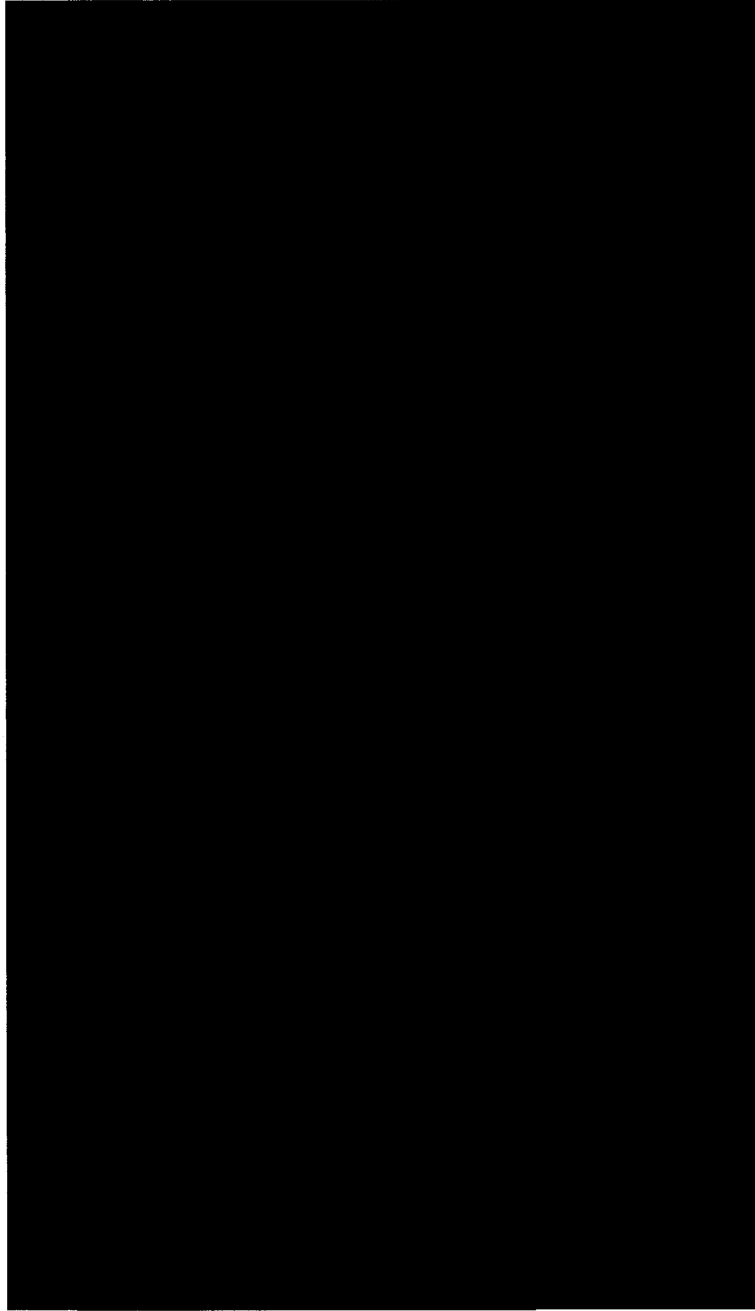
なお、縦軸方向の最大線量当量率が、輸送容器の下面で生じることが予備解析から想定されたため、すべての線源は、収納容器の下面に接触するようにモデル化する。また、線源は、輸送容器側部における線量当量率を最大とするために、PCV の側面に接するようにモデル化する。

通常輸送時のガンマ線遮蔽解析モデル及び中性子線遮蔽解析モデルを(ロ)第 D.4 図に示す。特別の試験条件下のガンマ線遮蔽解析モデル及び中性子線遮蔽解析モデルを(ロ)第 D.5 図に示す。

線源のモデルは、 ^{239}Pu の■ 球体を仮定し、重量は最大許容重量の■ g、密度は最大密度となる理論密度($\rho = \text{■ g/cm}^3$)を用いる。最も反応度が高い ^{239}Pu の■ 球と仮定することによって中性子増倍の効果を最大とする。球体の半径は、重量と理論密度から体積を求めて算出した。線量評価では、線源物質の球体中に各同位体 1 g 分のガンマ線源及び中性子線源が均一に存在するとして線量当量率を評価し、(ロ)第 D.4 表に示した同位体重量を考慮して各同位体の寄与を合算する。



(□)第 D.4 図 通常輸送時の線源モデル



(□)第 D.5 図 特別の試験条件下での線源モデル

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

解析モデルで考慮される材料は、ステンレス鋼、アルミニウム、鉛及び断熱材から構成される。解析モデルのための遮蔽材料の密度及び組成を(ρ)-第 D.10 表、解析モデルとの対応を(ρ)-第 D.6 図に示す。

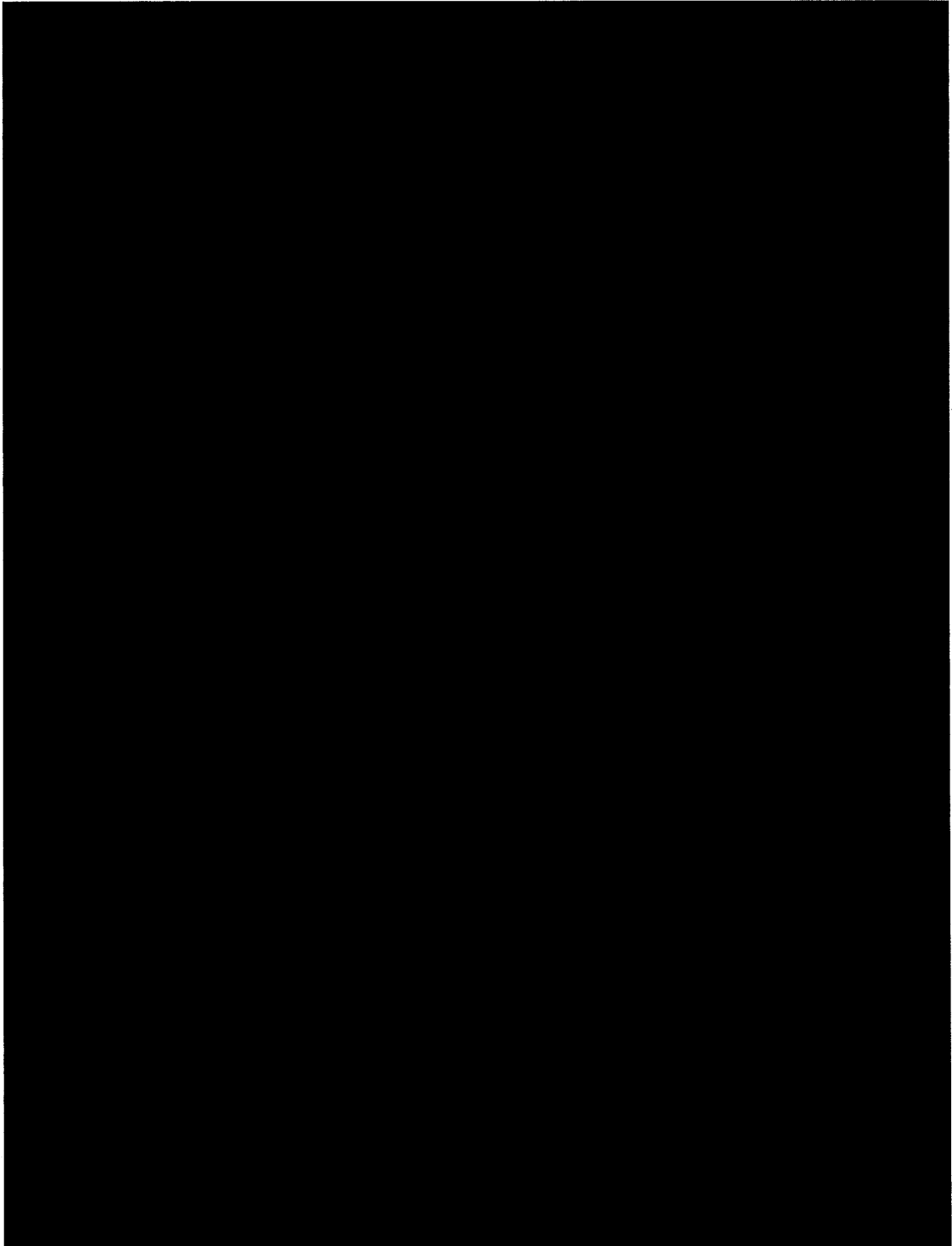
線源領域の材料組成は、収納物に依存する。中性子線量は、プルトニウム収納物の寄与が大きいため、線源領域の組成は最大の中性子増倍能力を有するように最も中性子増倍率の大きい ^{239}Pu を保守的に選定する。

(甲)第 D.10 表 遮蔽材料の密度及び組成 (1/2)

	遮蔽体 (鉛)	SCV 上部 衝撃吸収材, PCV 底部 スペーサ SCV 下部 衝撃吸収材 (アルミニウム ハニカム)	リークテスト プラグ	リークテスト 孔	PCV, SCV, ドラム, 鉛遮蔽 体被覆, コーンシール プラグ	コーンシールナット	アルミニウム ヘアリング板 遮蔽体蓋 (アルミニウム)	断熱材 C ₆ H ₁₀ O ₅
密度 (g/cm ³)	■	■	■	■	■	■	■	■
核種	重量比							原子数比
H	—	—	—	—	—	—	—	10
Be	—	—	—	—	—	—	—	—
C	—	—	0.0008	0.0015	0.0008	0.001	—	6
O	—	—	—	—	—	—	—	5
F	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	—	1.0	—	—	—	—	1.0	—
Si	—	—	0.0075	0.0075	0.0075	0.035	—	—
P	—	—	—	0.0004	—	—	—	—
S	—	—	—	0.0003	—	—	—	—
Cr	—	—	0.16	0.115	0.18	0.16	—	—
Mn	—	—	0.02	0.01	0.02	0.07	—	—
Fe	—	—	0.6917	0.8603	0.7117	0.655	—	—
Ni	—	—	0.1	0.005	0.08	0.08	—	—
Mo	—	—	0.02	—	—	—	—	—
Pb	1.0	—	—	—	—	—	—	—

(ロ)第 D.10 表 遮蔽材料の密度及び組成 (2/2)

	遮蔽体 (鉛)	SCV 上部 衝撃吸収材, PCV 底部 スペーサ SCV 下部 衝撃吸収材 (アルミニウム ハニカム)	リークテスト プラグ	リークテスト 孔	PCV, SCV, ドラム, 鉛遮蔽 体被覆, コーンシル プラグ	コーンシルナット	アルミニウム ベアリング板 遮蔽体蓋 (アルミニウム)	断熱材 C ₆ H ₁₀ O ₅
密度 (g/cm ³)	■	■	■	■	■	■	■	■
核種	原子個数密度 (atoms/barn-cm)							
H	—	—	—	—	—	—	—	7.426 × 10 ⁻³
Be	—	—	—	—	—	—	—	—
C	—	—	3.166 × 10 ⁻⁴	5.936 × 10 ⁻⁴	3.166 × 10 ⁻⁴	3.957 × 10 ⁻⁴	—	4.455 × 10 ⁻³
O	—	—	—	—	—	—	—	3.713 × 10 ⁻³
F	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	—	6.248 × 10 ⁻³	—	—	—	—	6.024 × 10 ⁻²	—
Si	—	—	1.269 × 10 ⁻³	1.269 × 10 ⁻³	1.269 × 10 ⁻³	5.922 × 10 ⁻³	—	—
P	—	—	—	6.139 × 10 ⁻⁵	—	—	—	—
S	—	—	—	4.446 × 10 ⁻⁵	—	—	—	—
Cr	—	—	1.462 × 10 ⁻²	1.051 × 10 ⁻²	1.645 × 10 ⁻²	1.462 × 10 ⁻²	—	—
Mn	—	—	1.730 × 10 ⁻³	8.651 × 10 ⁻⁴	1.730 × 10 ⁻³	6.056 × 10 ⁻³	—	—
Fe	—	—	5.886 × 10 ⁻²	7.321 × 10 ⁻²	6.054 × 10 ⁻²	5.574 × 10 ⁻²	—	—
Ni	—	—	8.097 × 10 ⁻³	4.048 × 10 ⁻⁴	6.477 × 10 ⁻³	6.477 × 10 ⁻³	—	—
Mo	—	—	9.908 × 10 ⁻⁴	—	—	—	—	—
Pb	3.280 × 10 ⁻²	—	—	—	—	—	—	—



(ロ)-第 D.6 図 輸送容器モデルの材料

D.4 遮蔽評価

D.4.1 方法

収納物の線源計算は、ORIGEN-S 及び RASTA コードを使用する。また、ガンマ線及び中性子線量当量率の計算は、モンテカルロコード MCNP と核データライブラリ ENDF/B-VI を使用する。

ORIGEN-S は一般的な核種崩壊生成を計算するコードで、初期同位体組成に対して時間依存の崩壊や燃焼による組成の変化を計算する。

RASTA コードは、 (α, n) 反応、自発核分裂、制動放射および崩壊に起因するエネルギー群毎のガンマ線及び中性子線源を計算する。

モンテカルロコード MCNP は、中性子、ガンマ線モンテカルロ解析コードである。

RASTA コードで得られたエネルギー群毎のガンマ線及び中性子線源を輸送モデルに適用し、線量当量率を算出する。評価点における線量当量率は、ANSI/ANS 換算係数(ANSI/ANS-6.1.1)^(p)を用いてガンマ線及び中性子束から換算した。使用したエネルギー群の換算係数を(p)-第 D.11 表及び(p)-第 D.12 表に示す。

(ロ)第 D.11 表 ガンマ線量当量率換算係数

エネルギー (MeV)	換算係数 (rem/h)/(photons/s/cm ²)
0.01	3.96×10^{-6}
0.03	5.82×10^{-7}
0.05	2.90×10^{-7}
0.07	2.58×10^{-7}
0.10	2.83×10^{-7}
0.15	3.79×10^{-7}
0.20	5.01×10^{-7}
0.25	6.31×10^{-7}
0.30	7.59×10^{-7}
0.35	8.78×10^{-7}
0.40	9.85×10^{-7}
0.45	1.08×10^{-6}
0.50	1.17×10^{-6}
0.55	1.27×10^{-6}
0.60	1.36×10^{-6}
0.65	1.44×10^{-6}
0.70	1.52×10^{-6}
0.80	1.68×10^{-6}
1.00	1.98×10^{-6}
1.40	2.51×10^{-6}
1.80	2.99×10^{-6}
2.20	3.42×10^{-6}
2.60	3.82×10^{-6}
2.80	4.01×10^{-6}
3.25	4.41×10^{-6}
3.75	4.83×10^{-6}
4.25	5.23×10^{-6}
4.75	5.60×10^{-6}
5.00	5.80×10^{-6}
5.25	6.01×10^{-6}
5.75	6.37×10^{-6}
6.25	6.74×10^{-6}
6.75	7.11×10^{-6}
7.50	7.66×10^{-6}
9.00	8.77×10^{-6}
11.00	1.03×10^{-5}
13.00	1.18×10^{-5}
15.00	1.33×10^{-5}

(D) 第 D.12 表 中性子線量当量率換算係数

エネルギー (MeV)	換算係数 (rem/h)/(neutrons/s/cm ²)
2.5×10^{-8}	3.67×10^{-6}
1.0×10^{-7}	3.67×10^{-6}
1.0×10^{-6}	4.46×10^{-6}
1.0×10^{-5}	4.54×10^{-6}
1.0×10^{-4}	4.18×10^{-6}
1.0×10^{-3}	3.76×10^{-6}
1.0×10^{-2}	3.56×10^{-6}
1.0×10^{-1}	2.17×10^{-5}
5.0×10^{-1}	9.26×10^{-5}
1.0	1.32×10^{-4}
2.5	1.25×10^{-4}
5.0	1.56×10^{-4}
7.0	1.47×10^{-4}
10.0	1.47×10^{-4}
14.0	2.08×10^{-4}
20.0	2.27×10^{-4}

D.4.2 計算結果

通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における輸送物の表面線量当量率および表面から 1 m 離れた点での線量当量率の評価結果を(□)-第 D.13 表に示す。

本評価結果は、核種毎に実施した線量評価結果に 3σ を加えた値の総和である。

通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における線量当量率評価において、輸送物の表面及び表面から 1 m 離れた点両方の線量当量率基準を満足することを示す。なお、一般の試験条件下における評価については、一般の試験条件下における落下試験等の機械試験後も、輸送容器の遮蔽性能に影響を及ぼす損傷は生じないため、通常輸送時と同一の評価値を採用する。

(ロ) 第 D.13 表 輸送物外部の線量当量率 (平均値+3σ)

収納物	●●● プルトニウム燃料 及び●●● ウラン燃料	基準値
重量限度 (g)	●●●	
通常輸送時及び一般の試験条件下 / 表面 (mSv/h)		
側部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
上部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
底部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
通常輸送時 / 表面から 1 m の位置 (μSv/h)		
側部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
上部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
底部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
特別の試験条件下 / 表面から 1 m の位置 (mSv/h)		
側部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
上部 中性子 ガンマ線 合計		●●●
底部 中性子 ガンマ線 合計		●●●

D.5 結果の要約及びその評価

(ロ) 第 D.13 表に示す通り、通常輸送時の輸送物の表面線量当量率の最高は ■■■ mSv/h であり、また表面から 1 m 離れた点での線量当量率の最高は ■■■ μ Sv/h である。それぞれ基準値の 2.0 mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下を満足している。また、一般の試験条件下での輸送物の表面線量当量率の最高は ■■■ mSv/h であり、基準値の 2.0 mSv/h 以下を満足している。さらに、特別の試験条件下での輸送物の表面から 1 m の点での線量当量率の最高は ■■■ mSv/h であり、これも基準値の 10.0 mSv/h 以下を満足している。

(ロ) 第 D.13 表において、容器表面の線量当量率は 2.00 mSv/h の基準に対して ■■■ mSv/h (平均値+3 σ) と基準値に近い値となっている。

基準値に近い理由は、核燃料物質の収納仕様を、本解析の結果から最大限収納できる量を逆算して決定しているためである。そのため、収納仕様上の安全裕度は取っておらず、安全裕度は、実際の収納物の同位体組成を保守的に設定し、計算に使用した同位体仕様の差で担保している。

本評価における安全裕度について付属図書 D.6.2 において、実際の収納物を想定した評価値を用いて説明する。

D.6 付属書類

D.6.1 輸送物外部の線量当量率における表面線量結果補足

D.6.2 遮蔽解析における安全裕度について

D.6.3 各線源毎の線量評価結果

D.6.4 参考文献

D.6.1 輸送物外部の線量当量率における表面線量結果補足

(ロ)第 D.13 表において、容器表面の線量当量率は 2.00 mSv/h の基準に対して [redacted] mSv/h (平均値+3σ) と基準値に近い値となっている。

基準値に近い理由は、[redacted] プルトニウム燃料及び [redacted] ウラン燃料の収納仕様を、本遮蔽解析の結果から最大限収納できる量を逆算して決定しているためである。そのため、収納仕様上の安全裕度は取っていない。実際の収納物と収納仕様の安全裕度については、後述 D.6.3 の核種毎の計算結果から、実際の収納物と収納使用には、十分な安全裕度を有していることが判る。

また、本解析における線量当量率は、各計算で求められた平均値に、標準偏差の 3 倍を加えたものを示している [redacted] プルトニウム燃料及び [redacted] ウラン燃料の容器表面における平均値は(ロ)第 D.14 表のとおり [redacted] mSv/h であり、統計誤差を含めても [redacted] mSv/h までに収まるという評価となっている。

(ロ)第 D.14 表 容器表面線量当量率

ケース	物質	通常輸送時及び一般の試験条件下 (輸送容器表面)		重量(g)	通常輸送時及び一般の試験条件下 (輸送容器表面)	
		各元素 1g			合計	
		mSv/h (平均値+3σ)	mSv/h (平均値)		mSv/h (平均値+3σ)	mSv/h (平均値)
10	²³² U	2.78E+02	2.75E+02	[redacted]	1.22E-01	1.21E-01
8	²⁴⁴ Cm	8.60E+00	8.48E+00	[redacted]	3.78E-02	3.73E-02
1	²³⁸ Pu	2.10E-03	2.07E-03	[redacted]	7.14E-02	7.04E-02
5	²⁴² Pu	1.37E-03	1.35E-03	[redacted]	5.48E-01	5.39E-01
3	²⁴⁰ Pu	8.15E-04	8.04E-04	[redacted]	1.18E+00	1.17E+00
6	²⁴¹ Am	2.95E-05	2.86E-05	..	..	..
9	²³⁷ Np	8.33E-06	7.28E-06	..	..	..
7	²⁴³ Am	6.76E-06	6.52E-06	[redacted]	6.76E-06	6.52E-06
2	²³⁹ Pu	5.33E-07	5.04E-07	[redacted]	1.22E-03	1.16E-03
11	²³³ U	6.86E-08	5.68E-08	..	..	..
4	²⁴¹ Pu	3.96E-08	3.90E-08	..	..	..
15	²³⁸ U	1.08E-08	1.07E-08	..	..	..
14	²³⁶ U	8.72E-09	8.60E-09	..	..	..
12	²³⁴ U	6.07E-09	5.95E-09	..	..	..
13	²³⁵ U	2.91E-09	1.76E-09	..	..	..
16	²³² Th	9.59E-14	9.47E-14	..	..	..
..	合計	---	---	---	1.96	1.93

D.6.2 遮蔽解析における安全裕度について

容器表面線量当量率の安全裕度は、実際の収納物の同位体組成と、線源仕様の差で担保される。

実際の輸送物の[]プルトニウム燃料における容器表面の線量当量率 A は次式で求められる。なお、[]ウラン燃料は[]プルトニウム燃料に比べ線量当量率が低くなると考えられるため、ここでは[]プルトニウム燃料のみを考慮する。

$$A (\mu\text{Sv/h}) = \frac{[] \times [] + [] \times [] + [] \times [] + [] \times []}{[]}$$

ここで、

P238 : 輸送物内 ^{238}Pu 量 (g)

P240 : 輸送物内 ^{240}Pu 量 (g)

P241 : 輸送物内 ^{241}Pu と ^{241}Am の合計量 (g)

P242 : 輸送物内 ^{242}Pu 量 (g)

算出式は、(a)-第 D.14 表の核種の内、本輸送物で輸送する収納物に含まれる核種を表面線量当量率の寄与順に加算する。なお、 ^{232}U 、 ^{244}Cm 、 ^{237}Np 、 ^{243}Am は、本輸送物で輸送する収納物中に含まれる重量が少なく、線量当量率への寄与が低いため考慮しない。

^{238}Pu は積載制限にて低い収納量となるので、 ^{240}Pu と ^{242}Pu の重量が支配的となる。

本輸送に係る燃料では、

輸送物内 ^{238}Pu 最大収納量 (g) : [] g 以下

輸送物内 ^{240}Pu 最大収納量 (g) : [] g 以下

輸送物内 ^{241}Pu と ^{241}Am の最大合計収納量 (g) : [] g 以下

輸送物内 ^{242}Pu 最大収納量 (g) : [] g 以下

での収納の予定で、本式での線量当量率計算結果は [] $\mu\text{Sv/h}$ 以下であり、

2 mSv/h の制限値に対し、十分な安全裕度を持つ。

D.6.3 各線源毎の線量評価結果

(v)-第 D.15 表～(v)-第 D.30 表に本書に使用した核種毎の計算結果を示す。

(p)第D.15表 ^{238}Pu (ケース1) の1g当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	1.52E-03	0.48E-03	6.14E-06	8.30E-03	2.13E-05	1.23E-02	1.57E-03
上部表面	8.22E-05	2.22E-02	3.95E-07	4.58E-02	5.00E-07	4.57E-02	8.87E-05
線源位置での側部表面	2.03E-03	4.60E-03	8.24E-06	6.50E-03	3.23E-05	9.80E-03	2.10E-03
上部での側部表面	4.94E-05	1.26E-02	1.93E-07	2.64E-02	2.62E-07	2.12E-01	5.19E-05
底部での側部表面	5.77E-04	7.20E-03	2.29E-06	1.20E-02	6.02E-06	2.39E-02	5.98E-04
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	4.54E-05	2.60E-03	1.83E-07	3.70E-03	7.24E-07	7.10E-03	4.67E-05
上部表面から1mの位置	5.79E-06	3.10E-03	2.73E-08	5.80E-03	5.16E-08	8.80E-03	5.92E-06
線源位置での側部表面から1mの位置	5.81E-05	2.60E-03	2.45E-07	3.10E-03	9.31E-07	4.30E-03	5.98E-05
上部での側部表面から1mの位置	4.21E-05	2.60E-03	1.73E-07	3.40E-03	6.01E-07	1.26E-02	4.33E-05
底部での側部表面から1mの位置	5.46E-05	2.60E-03	2.31E-07	3.20E-03	8.64E-07	4.90E-03	5.61E-05
特別の試験条件下でのSCV表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	6.47E-05	1.70E-03	3.89E-07	2.10E-03	3.81E-06	1.35E-02	6.93E-05
上部表面から1mの位置	6.62E-06	1.90E-03	2.22E-08	5.60E-03	7.24E-08	7.40E-03	6.76E-06
線源位置での側部表面から1mの位置	8.01E-05	1.70E-03	5.21E-07	2.00E-03	4.80E-06	5.90E-03	8.59E-05
上部での側部表面から1mの位置	6.47E-05	1.70E-03	4.16E-07	2.00E-03	3.72E-06	6.50E-03	6.93E-05
底部での側部表面から1mの位置	7.93E-05	1.70E-03	5.15E-07	2.00E-03	4.76E-06	6.30E-03	8.51E-05

(p)・第 D.16 表 ^{239}Pu (ケース 2) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	1.29E-08	5.40E-03	5.19E-11	8.50E-03	3.34E-07	3.60E-02	3.83E-07
上部表面	6.96E-10	2.00E-02	3.27E-12	4.97E-02	8.92E-09	6.15E-02	1.13E-08
線源位置での側部表面	1.69E-08	4.40E-03	7.00E-11	6.20E-03	4.87E-07	1.94E-02	5.33E-07
上部での側部表面	4.27E-10	1.64E-02	1.58E-12	1.68E-02	1.82E-09	5.78E-02	2.59E-09
底部での側部表面	4.85E-09	7.00E-03	1.90E-11	1.06E-02	6.63E-08	6.27E-02	8.37E-08
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	3.82E-10	2.60E-03	1.53E-12	3.30E-03	1.08E-08	1.48E-02	1.17E-08
上部表面から 1 m の位置	4.86E-11	3.10E-03	2.28E-13	5.50E-03	8.30E-10	3.54E-02	9.67E-10
線源位置での側部表面から 1 m の位置	4.88E-10	2.60E-03	2.07E-12	3.20E-03	1.44E-08	1.49E-02	1.56E-08
上部での側部表面から 1 m の位置	3.54E-10	2.60E-03	1.46E-12	3.40E-03	8.07E-09	1.28E-02	8.74E-09
底部での側部表面から 1 m の位置	4.58E-10	2.60E-03	1.95E-12	3.20E-03	1.30E-08	1.02E-02	1.39E-08
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	5.43E-10	1.70E-03	3.27E-12	2.10E-03	2.10E-07	5.60E-03	2.14E-07
上部表面から 1 m の位置	5.57E-11	1.90E-03	1.87E-13	5.70E-03	1.40E-09	2.67E-02	1.57E-09
線源位置での側部表面から 1 m の位置	6.74E-10	1.70E-03	4.38E-12	2.00E-03	2.78E-07	4.20E-03	2.82E-07
上部での側部表面から 1 m の位置	5.44E-10	1.70E-03	3.51E-12	2.10E-03	2.12E-07	3.90E-03	2.15E-07
底部での側部表面から 1 m の位置	6.67E-10	1.70E-03	4.34E-12	2.00E-03	2.74E-07	3.20E-03	2.78E-07

(p)・第 D.17 表 ^{240}Pu (ケース 3) の 1g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	6.03E-04	4.80E-03	2.43E-06	6.70E-03	9.87E-07	1.50E-02	6.15E-04
上部表面	3.26E-05	1.81E-02	1.54E-07	3.29E-02	3.16E-08	1.75E-02	3.46E-05
線源位置での側部表面	7.99E-04	4.50E-03	3.29E-06	6.90E-03	1.43E-06	4.30E-03	8.15E-04
上部での側部表面	2.03E-05	2.07E-02	7.60E-08	2.60E-02	1.70E-08	4.52E-02	2.16E-05
底部での側部表面	2.30E-04	7.20E-03	9.00E-07	1.08E-02	3.68E-07	5.81E-02	2.36E-04
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	1.80E-05	2.60E-03	7.26E-08	3.40E-03	3.42E-08	5.30E-03	1.83E-05
上部表面から 1 m の位置	2.30E-06	3.10E-03	1.08E-08	5.80E-03	3.69E-09	2.20E-03	2.34E-06
線源位置での側部表面から 1 m の位置	2.31E-05	2.60E-03	9.78E-08	3.30E-03	4.19E-08	3.20E-03	2.34E-05
上部での側部表面から 1 m の位置	1.68E-05	2.60E-03	6.87E-08	3.20E-03	2.84E-08	1.70E-03	1.70E-05
底部での側部表面から 1 m の位置	2.17E-05	2.60E-03	9.18E-08	3.30E-03	3.95E-08	2.90E-03	2.20E-05
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	2.57E-05	1.70E-03	1.54E-07	2.10E-03	1.23E-07	5.00E-03	2.61E-05
上部表面から 1 m の位置	2.63E-06	1.90E-03	8.87E-09	6.20E-03	5.16E-09	1.90E-03	2.66E-06
線源位置での側部表面から 1 m の位置	3.18E-05	1.70E-03	2.06E-07	2.00E-03	1.53E-07	5.10E-03	3.24E-05
上部での側部表面から 1 m の位置	2.57E-05	1.70E-03	1.65E-07	2.00E-03	1.19E-07	8.30E-03	2.61E-05
底部での側部表面から 1 m の位置	3.15E-05	1.70E-03	2.04E-07	2.00E-03	1.52E-07	5.70E-03	3.20E-05

(p)-第D.18表 ^{241}Pu (ケース4) の1g当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	2.91E-08	5.20E-03	1.16E-10	6.50E-03	4.43E-11	6.80E-03	2.97E-08
上部表面	1.58E-09	2.24E-02	7.56E-12	4.47E-02	6.36E-11	8.22E-02	1.78E-09
線源位置での側部表面	3.88E-08	5.00E-03	1.57E-10	6.40E-03	6.42E-11	3.60E-03	3.96E-08
上部での側部表面	9.73E-10	2.07E-02	4.06E-12	4.45E-02	7.40E-13	1.67E-02	1.04E-09
底部での側部表面	1.10E-08	6.80E-03	4.47E-11	2.38E-02	1.55E-11	6.80E-03	1.13E-08
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	8.64E-10	2.60E-03	3.50E-12	3.60E-03	1.55E-12	3.40E-03	8.76E-10
上部表面から1mの位置	1.10E-10	3.10E-03	5.20E-13	5.90E-03	2.00E-11	1.06E-01	1.38E-10
線源位置での側部表面から1mの位置	1.11E-09	2.60E-03	4.68E-12	3.20E-03	1.89E-12	2.00E-03	1.12E-09
上部での側部表面から1mの位置	8.02E-10	2.60E-03	3.30E-12	3.40E-03	1.28E-12	2.30E-03	8.13E-10
底部での側部表面から1mの位置	1.04E-09	2.60E-03	4.40E-12	3.20E-03	1.78E-12	2.90E-03	1.05E-09
特別の試験条件下でのSCV表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	1.23E-09	1.70E-03	7.42E-12	2.10E-03	7.70E-07	7.09E-02	9.35E-07
上部表面から1mの位置	1.27E-10	1.90E-03	4.23E-13	5.60E-03	9.22E-11	1.19E-01	2.53E-10
線源位置での側部表面から1mの位置	1.53E-09	1.70E-03	9.94E-12	2.00E-03	1.04E-06	3.60E-02	1.16E-06
上部での側部表面から1mの位置	1.24E-09	1.70E-03	7.95E-12	2.00E-03	7.02E-07	3.51E-02	7.77E-07
底部での側部表面から1mの位置	1.51E-09	1.70E-03	9.83E-12	2.00E-03	1.11E-06	5.93E-02	1.31E-06

(p) 第 D.19 表 ^{242}Pu (ケース 5) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	1.00E-03	4.90E-03	4.10E-06	7.30E-03	1.58E-06	6.20E-03	1.03E-03
上部表面	5.30E-05	1.66E-02	2.49E-07	2.48E-02	5.24E-08	1.71E-02	5.60E-05
線源位置での側部表面	1.34E-03	4.60E-03	5.45E-06	6.00E-03	2.31E-06	4.30E-03	1.37E-03
上部での側部表面	3.30E-05	1.59E-02	1.27E-09	2.27E-02	2.64E-08	1.11E-02	3.48E-05
底部での側部表面	3.81E-04	6.70E-03	1.49E-06	1.11E-02	6.03E-07	5.70E-02	3.90E-04
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	3.00E-05	2.60E-03	1.21E-07	3.40E-03	5.55E-08	5.40E-03	3.05E-05
上部表面から 1 m の位置	3.83E-06	3.10E-03	1.81E-08	6.50E-03	6.14E-09	6.00E-03	3.89E-06
線源位置での側部表面から 1 m の位置	3.85E-05	2.60E-03	1.63E-07	3.20E-03	6.79E-08	2.90E-03	3.90E-05
上部での側部表面から 1 m の位置	2.79E-05	2.60E-03	1.14E-07	3.20E-03	4.63E-08	1.80E-03	2.83E-05
底部での側部表面から 1 m の位置	3.62E-05	2.60E-03	1.53E-07	3.70E-03	6.39E-08	2.70E-03	3.67E-05
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	4.29E-05	1.70E-03	2.58E-07	2.10E-03	1.65E-07	1.80E-03	4.35E-05
上部表面から 1 m の位置	4.40E-06	1.90E-03	1.48E-08	5.70E-03	8.48E-09	1.70E-03	4.45E-06
線源位置での側部表面から 1 m の位置	5.31E-05	1.70E-03	3.45E-07	2.00E-03	1.98E-07	1.10E-03	5.39E-05
上部での側部表面から 1 m の位置	4.29E-05	1.70E-03	2.76E-07	2.00E-03	1.57E-07	1.30E-03	4.36E-05
底部での側部表面から 1 m の位置	5.26E-05	1.70E-03	3.41E-07	2.00E-03	1.96E-07	1.30E-03	5.34E-05

(p)第D.20表 ^{241}Am (ケース6) の1g当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	6.96E-07	5.20E-03	2.84E-09	7.90E-03	1.86E-05	1.42E-02	2.01E-05
上部表面	3.77E-08	2.17E-02	1.71E-10	4.68E-02	4.00E-07	4.31E-02	4.92E-07
線源位置での側部表面	9.20E-07	4.60E-03	3.77E-09	7.50E-03	2.77E-05	9.50E-03	2.95E-05
上部での側部表面	2.22E-08	1.13E-02	8.68E-11	2.13E-02	1.53E-07	1.99E-01	2.68E-07
底部での側部表面	2.62E-07	6.80E-03	1.04E-09	1.30E-02	4.66E-06	2.62E-02	5.29E-06
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	2.06E-08	2.60E-03	8.34E-11	3.40E-03	6.10E-07	5.90E-03	6.42E-07
上部表面から1mの位置	2.63E-09	3.10E-03	1.24E-11	5.60E-03	4.03E-08	9.40E-03	4.41E-08
線源位置での側部表面から1mの位置	2.64E-08	2.60E-03	1.12E-10	3.30E-03	8.18E-07	8.30E-03	8.65E-07
上部での側部表面から1mの位置	1.92E-08	2.60E-03	7.86E-11	3.20E-03	5.02E-07	1.07E-02	5.38E-07
底部での側部表面から1mの位置	2.48E-08	2.60E-03	1.05E-10	3.20E-03	7.49E-07	5.20E-03	7.86E-07
特別の試験条件下でのSCV表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	2.94E-08	1.80E-03	1.77E-10	2.10E-03	6.76E-06	1.60E-02	7.11E-06
上部表面から1mの位置	3.01E-09	2.00E-03	1.01E-11	5.80E-03	6.25E-08	9.80E-03	6.73E-08
線源位置での側部表面から1mの位置	3.64E-08	1.80E-03	2.37E-10	2.00E-03	8.72E-06	5.40E-03	8.90E-06
上部での側部表面から1mの位置	2.94E-08	1.80E-03	1.90E-10	2.00E-03	6.63E-06	7.00E-03	6.80E-06
底部での側部表面から1mの位置	3.60E-08	1.80E-03	2.35E-10	2.00E-03	8.67E-06	6.90E-03	8.88E-06

(p) 第 D.21 表 ^{243}Am (ケース 7) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	2.34E-06	5.10E-03	9.51E-09	9.60E-03	2.22E-06	1.97E-02	4.73E-06
上部表面	1.27E-07	2.46E-02	5.66E-10	3.86E-02	4.98E-08	9.95E-02	2.01E-07
線源位置での側部表面	3.07E-06	4.60E-03	1.26E-08	6.50E-03	3.44E-06	1.94E-02	6.76E-06
上部での側部表面	7.56E-08	1.91E-02	2.87E-10	2.26E-02	1.42E-08	1.20E-01	9.95E-08
底部での側部表面	8.80E-07	7.70E-03	3.52E-09	1.47E-02	5.25E-07	4.49E-02	1.50E-06
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	6.91E-08	2.60E-03	2.80E-10	3.60E-03	7.31E-08	6.70E-03	1.44E-07
上部表面から 1 m の位置	8.81E-09	3.10E-03	4.13E-11	5.60E-03	4.62E-09	1.03E-02	1.37E-08
線源位置での側部表面から 1 m の位置	8.83E-08	2.60E-03	3.74E-10	3.10E-03	1.00E-07	1.58E-02	1.94E-07
上部での側部表面から 1 m の位置	6.41E-08	2.60E-03	2.63E-10	3.20E-03	5.96E-08	1.13E-02	1.27E-07
底部での側部表面から 1 m の位置	8.30E-08	2.60E-03	3.52E-10	3.20E-03	9.03E-08	8.90E-03	1.77E-07
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	9.79E-08	1.70E-03	5.90E-10	2.10E-03	9.45E-06	2.11E-01	1.55E-05
上部表面から 1 m の位置	1.00E-08	1.90E-03	3.34E-11	4.30E-03	7.06E-09	9.00E-03	1.74E-08
線源位置での側部表面から 1 m の位置	1.21E-07	1.70E-03	7.90E-10	2.00E-03	1.23E-05	2.47E-01	2.14E-05
上部での側部表面から 1 m の位置	9.81E-08	1.70E-03	6.32E-10	2.00E-03	6.70E-06	1.41E-01	9.63E-06
底部での側部表面から 1 m の位置	1.20E-07	1.70E-03	7.82E-10	2.00E-03	1.36E-05	3.39E-01	2.76E-05

(ロ)第 D.22 表 ^{244}Cm (ケース 8) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計 平均+3 σ
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	
底部表面	6.36E+00	5.00E-03	2.57E-02	7.40E-03	7.95E-03	6.20E-03	6.49E+00
上部表面	3.50E-01	2.21E-02	1.57E-03	3.08E-02	2.64E-04	1.71E-02	3.75E-01
線源位置での側部表面	8.43E+00	4.50E-03	3.50E-02	7.20E-03	1.16E-02	4.20E-03	8.60E+00
上部での側部表面	2.14E-01	2.43E-02	7.84E-04	2.15E-02	1.33E-04	1.11E-02	2.31E-01
底部での側部表面	2.40E+00	7.10E-03	9.56E-03	1.47E-02	3.03E-03	5.69E-02	2.46E+00
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計 平均+3 σ
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	
底部表面から 1 m の位置	1.89E-01	2.60E-03	7.63E-04	3.40E-03	2.79E-04	5.40E-03	1.92E-01
上部表面から 1 m の位置	2.42E-02	3.10E-03	1.14E-04	5.90E-03	3.09E-05	6.00E-03	2.46E-02
線源位置での側部表面から 1 m の位置	2.42E-01	2.60E-03	1.03E-03	3.40E-03	3.42E-04	2.80E-03	2.46E-01
上部での側部表面から 1 m の位置	1.76E-01	2.60E-03	7.23E-04	3.30E-03	2.33E-04	1.70E-03	1.78E-01
底部での側部表面から 1 m の位置	2.28E-01	2.60E-03	9.67E-04	3.20E-03	3.22E-04	2.60E-03	2.31E-01
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計 平均+3 σ
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	
底部表面から 1 m の位置	2.69E-01	1.80E-03	1.62E-03	2.10E-03	8.26E-04	1.80E-03	2.73E-01
上部表面から 1 m の位置	2.75E-02	1.90E-03	9.30E-05	6.70E-03	4.27E-05	1.70E-03	2.78E-02
線源位置での側部表面から 1 m の位置	3.33E-01	1.80E-03	2.17E-03	2.00E-03	9.95E-04	1.10E-03	3.38E-01
上部での側部表面から 1 m の位置	2.69E-01	1.70E-03	1.74E-03	2.00E-03	7.89E-04	1.30E-03	2.73E-01
底部での側部表面から 1 m の位置	3.30E-01	1.80E-03	2.15E-03	2.10E-03	9.82E-04	1.30E-03	3.35E-01

(p)第D.23表 ^{237}Np (ケース9) の1g当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	6.70E-11	5.10E-03	2.70E-13	7.00E-03	4.16E-06	3.12E-02	4.55E-06
上部表面	3.60E-12	1.67E-02	1.63E-14	3.16E-02	2.23E-07	1.40E-01	3.17E-07
線源位置での側部表面	8.90E-11	4.80E-03	3.64E-13	6.80E-03	7.28E-06	4.81E-02	8.33E-06
上部での側部表面	2.22E-12	2.49E-02	8.75E-15	3.60E-02	2.56E-08	1.41E-01	3.65E-08
底部での側部表面	2.53E-11	6.90E-03	9.88E-14	1.18E-02	7.40E-07	8.41E-02	9.27E-07
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	1.99E-12	2.60E-03	8.08E-15	4.00E-03	1.51E-07	2.31E-02	1.61E-07
上部表面から1mの位置	2.54E-13	3.10E-03	1.19E-15	5.70E-03	1.80E-08	5.52E-02	2.10E-08
線源位置での側部表面から1mの位置	2.55E-12	2.50E-03	1.08E-14	3.10E-03	2.42E-07	9.92E-02	3.14E-07
上部での側部表面から1mの位置	1.85E-12	2.50E-03	7.58E-15	3.40E-03	1.10E-07	3.10E-02	1.21E-07
底部での側部表面から1mの位置	2.40E-12	2.50E-03	1.01E-14	3.10E-03	1.87E-07	2.19E-02	1.99E-07
特別の試験条件下でのSCV表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	2.84E-12	1.70E-03	1.71E-14	2.10E-03	9.07E-06	5.80E-03	9.23E-06
上部表面から1mの位置	2.91E-13	1.90E-03	9.79E-16	5.70E-03	3.68E-08	5.13E-02	4.25E-08
線源位置での側部表面から1mの位置	3.52E-12	1.70E-03	2.29E-14	2.00E-03	1.23E-05	5.80E-03	1.25E-05
上部での側部表面から1mの位置	2.84E-12	1.70E-03	1.83E-14	2.10E-03	9.34E-06	6.10E-03	9.51E-06
底部での側部表面から1mの位置	3.48E-12	1.70E-03	2.26E-14	2.00E-03	1.21E-05	4.70E-03	1.23E-05

(p)・第 D.24 表 ^{232}U (ケース 10) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	6.57E-07	5.20E-03	2.62E-09	7.20E-03	1.92E+02	9.80E-03	1.98E+02
上部表面	3.46E-08	2.08E-02	1.54E-10	2.49E-02	6.94E+00	1.20E-02	7.19E+00
線源位置での側部表面	8.64E-07	4.50E-03	3.54E-09	6.20E-03	2.75E+02	4.00E-03	2.78E+02
上部での側部表面	2.19E-08	2.02E-02	9.72E-11	1.18E-01	3.69E+00	1.78E-02	3.89E+00
底部での側部表面	2.48E-07	7.70E-03	9.84E-10	1.17E-02	7.24E+01	1.52E-02	7.57E+01
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	1.94E-08	2.60E-03	7.80E-11	3.30E-03	6.73E+00	1.90E-03	6.76E+00
上部表面から 1 m の位置	2.46E-09	3.10E-03	1.15E-11	5.40E-03	8.23E-01	3.10E-03	8.31E-01
線源位置での側部表面から 1 m の位置	2.48E-08	2.60E-03	1.05E-10	3.20E-03	8.20E+00	7.30E-03	8.38E+00
上部での側部表面から 1 m の位置	1.80E-08	2.60E-03	7.39E-11	3.20E-03	5.67E+00	2.60E-03	5.72E+00
底部での側部表面から 1 m の位置	2.33E-08	2.60E-03	9.91E-11	3.30E-03	7.71E+00	2.60E-03	7.77E+00
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	2.76E-08	1.70E-03	1.66E-10	2.10E-03	1.80E+01	1.40E-03	1.81E+01
上部表面から 1 m の位置	2.83E-09	1.90E-03	9.55E-12	5.90E-03	1.14E+00	2.50E-03	1.15E+00
線源位置での側部表面から 1 m の位置	3.42E-08	1.70E-03	2.23E-10	2.00E-03	2.15E+01	1.40E-03	2.16E+01
上部での側部表面から 1 m の位置	2.77E-08	1.70E-03	1.78E-10	2.00E-03	1.71E+01	1.70E-03	1.72E+01
底部での側部表面から 1 m の位置	3.39E-08	1.70E-03	2.21E-10	2.10E-03	2.12E+01	1.50E-03	2.13E+01

(p)・第 D.25 表 ²³³U (ケース 11) の 1g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3σ
底部表面	4.82E-10	4.90E-03	1.94E-12	8.70E-03	3.88E-08	1.65E-01	5.85E-08
上部表面	2.57E-11	1.77E-02	1.16E-13	2.75E-02	1.89E-09	1.46E-01	2.74E-09
線源位置での側部表面	6.35E-10	4.50E-03	2.59E-12	6.00E-03	5.62E-08	6.98E-02	6.86E-08
上部での側部表面	1.56E-11	1.30E-02	6.29E-14	4.55E-02	2.03E-10	1.81E-01	3.30E-10
底部での側部表面	1.83E-10	7.40E-03	7.09E-13	1.26E-02	5.39E-09	1.27E-01	7.63E-09
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3σ
底部表面から 1 m の位置	1.43E-11	2.60E-03	5.75E-14	3.40E-03	1.17E-09	3.35E-02	1.30E-09
上部表面から 1 m の位置	1.82E-12	3.10E-03	8.53E-15	5.50E-03	1.56E-10	5.45E-02	1.83E-10
線源位置での側部表面から 1 m の位置	1.83E-11	2.60E-03	7.74E-14	3.20E-03	1.88E-09	1.13E-01	2.53E-09
上部での側部表面から 1 m の位置	1.33E-11	2.60E-03	5.45E-14	3.20E-03	8.51E-10	4.56E-02	9.81E-10
底部での側部表面から 1 m の位置	1.72E-11	2.60E-03	7.30E-14	3.40E-03	1.45E-09	3.04E-02	1.60E-09
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3σ
底部表面から 1 m の位置	2.04E-11	1.70E-03	1.23E-13	2.10E-03	1.04E-07	8.10E-03	1.06E-07
上部表面から 1 m の位置	2.09E-12	1.90E-03	6.99E-15	5.80E-03	3.49E-10	4.86E-02	4.02E-10
線源位置での側部表面から 1 m の位置	2.53E-11	1.70E-03	1.64E-13	2.00E-03	1.40E-07	6.20E-03	1.43E-07
上部での側部表面から 1 m の位置	2.04E-11	1.70E-03	1.31E-13	2.00E-03	1.06E-07	6.70E-03	1.08E-07
底部での側部表面から 1 m の位置	2.50E-11	1.70E-03	1.62E-13	2.00E-03	1.39E-07	6.30E-03	1.42E-07

(p)・第D.26表 ^{234}U (ケース12) の1g当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	2.94E-09	5.00E-03	1.18E-11	6.50E-03	1.40E-09	3.01E-02	4.52E-09
上部表面	1.63E-10	2.28E-02	7.23E-13	3.96E-02	3.42E-11	7.82E-02	2.17E-10
線源位置での側部表面	3.91E-09	4.50E-03	1.60E-11	5.90E-03	2.02E-09	1.26E-02	6.07E-09
上部での側部表面	9.79E-11	1.53E-02	3.89E-13	4.34E-02	8.22E-12	6.58E-02	1.13E-10
底部での側部表面	1.11E-09	6.50E-03	4.37E-12	1.22E-02	2.91E-10	4.07E-02	1.46E-09
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	8.77E-11	2.60E-03	3.53E-13	3.40E-03	4.54E-11	9.50E-03	1.35E-10
上部表面から1mの位置	1.12E-11	3.10E-03	5.24E-14	5.40E-03	3.29E-12	4.50E-02	1.51E-11
線源位置での側部表面から1mの位置	1.12E-10	2.50E-03	4.74E-13	3.20E-03	6.01E-11	1.05E-02	1.76E-10
上部での側部表面から1mの位置	8.16E-11	2.50E-03	3.34E-13	3.30E-03	3.50E-11	9.30E-03	1.18E-10
底部での側部表面から1mの位置	1.06E-10	2.60E-03	4.46E-13	3.10E-03	5.51E-11	8.90E-03	1.63E-10
特別の試験条件下でのSCV表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	1.25E-10	1.70E-03	7.49E-13	2.10E-03	3.65E-09	7.48E-02	4.59E-09
上部表面から1mの位置	1.28E-11	1.90E-03	4.28E-14	4.30E-03	5.27E-12	2.49E-02	1.86E-11
線源位置での側部表面から1mの位置	1.55E-10	1.70E-03	1.00E-12	2.00E-03	4.77E-09	2.22E-02	5.24E-09
上部での側部表面から1mの位置	1.25E-10	1.70E-03	8.03E-13	2.00E-03	3.44E-09	3.61E-02	3.94E-09
底部での側部表面から1mの位置	1.53E-10	1.70E-03	9.93E-13	2.00E-03	4.84E-09	3.15E-02	5.45E-09

(p)-第 D.27 表 ²³⁵U (ケース 13) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3σ
底部表面	1.77E-10	5.50E-03	7.05E-13	7.70E-03	8.24E-10	1.92E-01	1.48E-09
上部表面	9.56E-12	2.37E-02	4.18E-14	2.12E-02	1.81E-10	7.72E-01	6.11E-10
線源位置での側部表面	2.33E-10	4.50E-03	9.51E-13	6.70E-03	1.53E-09	2.48E-01	2.91E-09
上部での側部表面	5.71E-12	1.96E-02	2.23E-14	6.25E-02	3.76E-12	2.18E-01	1.23E-11
底部での側部表面	6.65E-11	6.90E-03	2.66E-13	1.61E-02	9.55E-11	1.65E-01	2.11E-10
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3σ
底部表面から 1 m の位置	5.23E-12	2.60E-03	2.11E-14	3.40E-03	2.38E-11	3.94E-02	3.19E-11
上部表面から 1 m の位置	6.67E-13	3.10E-03	3.12E-15	5.40E-03	3.46E-12	5.83E-02	4.74E-12
線源位置での側部表面から 1 m の位置	6.69E-12	2.60E-03	2.82E-14	3.10E-03	3.95E-11	1.33E-01	6.20E-11
上部での側部表面から 1 m の位置	4.86E-12	2.60E-03	1.98E-14	3.20E-03	1.69E-11	5.43E-02	2.45E-11
底部での側部表面から 1 m の位置	6.29E-12	2.60E-03	2.66E-14	3.20E-03	2.94E-11	3.55E-02	3.89E-11
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3σ
底部表面から 1 m の位置	7.46E-12	1.70E-03	4.48E-14	2.10E-03	4.91E-09	4.38E-02	5.56E-09
上部表面から 1 m の位置	7.65E-13	1.90E-03	2.54E-15	4.20E-03	7.90E-12	3.90E-02	9.59E-12
線源位置での側部表面から 1 m の位置	9.25E-12	1.70E-03	6.00E-14	2.00E-03	6.63E-09	1.52E-02	6.94E-09
上部での側部表面から 1 m の位置	7.48E-12	1.70E-03	4.79E-14	2.00E-03	4.83E-09	2.06E-02	5.14E-09
底部での側部表面から 1 m の位置	9.15E-12	1.70E-03	5.94E-14	2.00E-03	6.85E-09	3.24E-02	7.52E-09

(p)-第D.28表 ^{236}U (ケース14) の1g当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	3.23E-09	4.90E-03	1.30E-11	7.80E-03	3.23E-09	4.90E-03	6.58E-09
上部表面	1.67E-10	1.39E-02	8.06E-13	3.83E-02	1.67E-10	1.39E-02	3.49E-10
線源位置での側部表面	4.29E-09	4.50E-03	1.73E-11	6.10E-03	4.29E-09	4.50E-03	8.72E-09
上部での側部表面	1.03E-10	1.08E-02	4.15E-13	3.04E-02	1.03E-10	1.08E-02	2.13E-10
底部での側部表面	1.22E-09	7.40E-03	4.86E-12	1.20E-02	1.22E-09	7.40E-03	2.50E-09
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	9.63E-11	2.60E-03	3.87E-13	3.50E-03	9.63E-11	2.60E-03	1.94E-10
上部表面から1mの位置	1.22E-11	3.10E-03	5.67E-14	5.30E-03	1.22E-11	3.10E-03	2.47E-11
線源位置での側部表面から1mの位置	1.23E-10	2.50E-03	5.17E-13	3.20E-03	1.23E-10	2.50E-03	2.49E-10
上部での側部表面から1mの位置	8.94E-11	2.60E-03	3.63E-13	3.30E-03	8.94E-11	2.60E-03	1.81E-10
底部での側部表面から1mの位置	1.16E-10	2.60E-03	4.86E-13	3.20E-03	1.16E-10	2.60E-03	2.34E-10
特別の試験条件下でのSCV表面から1mにおける線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から1mの位置	1.37E-10	1.70E-03	8.18E-13	2.10E-03	1.57E-11	1.02E-01	1.59E-10
上部表面から1mの位置	1.40E-11	1.90E-03	4.65E-14	4.50E-03	3.24E-14	1.04E-02	1.42E-11
線源位置での側部表面から1mの位置	1.69E-10	1.70E-03	1.09E-12	2.00E-03	2.01E-11	2.83E-02	1.93E-10
上部での側部表面から1mの位置	1.37E-10	1.70E-03	8.74E-13	2.00E-03	1.46E-11	4.87E-02	1.55E-10
底部での側部表面から1mの位置	1.67E-10	1.70E-03	1.08E-12	2.00E-03	2.02E-11	2.88E-02	1.91E-10

(p)-第 D.29 表 ^{238}U (ケース 15) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面	7.95E-09	5.20E-03	3.18E-11	7.30E-03	1.34E-11	6.30E-03	8.12E-09
上部表面	4.35E-10	1.99E-02	1.89E-12	3.56E-02	4.44E-13	1.71E-02	4.63E-10
線源位置での側部表面	1.06E-08	4.70E-03	4.27E-11	6.90E-03	1.96E-11	4.80E-03	1.08E-08
上部での側部表面	2.58E-10	1.47E-02	1.13E-12	1.21E-01	2.23E-13	1.11E-02	2.71E-10
底部での側部表面	3.05E-09	8.20E-03	1.21E-11	1.60E-02	5.10E-12	5.70E-02	3.15E-09
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	2.36E-10	2.60E-03	9.47E-13	3.30E-03	4.69E-13	5.40E-03	2.40E-10
上部表面から 1 m の位置	3.01E-11	3.00E-03	1.39E-13	5.10E-03	5.20E-14	6.00E-03	3.06E-11
線源位置での側部表面から 1 m の位置	3.03E-10	2.50E-03	1.27E-12	3.10E-03	5.75E-13	2.90E-03	3.07E-10
上部での側部表面から 1 m の位置	2.20E-10	2.50E-03	8.90E-13	3.20E-03	3.91E-13	1.70E-03	2.23E-10
底部での側部表面から 1 m の位置	2.85E-10	2.50E-03	1.19E-12	3.20E-03	5.42E-13	2.70E-03	2.88E-10
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	平均+3 σ
底部表面から 1 m の位置	3.37E-10	1.70E-03	2.01E-12	2.10E-03	1.39E-12	1.80E-03	3.42E-10
上部表面から 1 m の位置	3.47E-11	1.90E-03	1.15E-13	4.70E-03	7.18E-14	1.70E-03	3.50E-11
線源位置での側部表面から 1 m の位置	4.18E-10	1.70E-03	2.69E-12	2.00E-03	1.67E-12	1.10E-03	4.25E-10
上部での側部表面から 1 m の位置	3.38E-10	1.70E-03	2.15E-12	2.00E-03	1.33E-12	1.30E-03	3.43E-10
底部での側部表面から 1 m の位置	4.14E-10	1.70E-03	2.67E-12	2.00E-03	1.65E-12	1.30E-03	4.20E-10

(p) 第 D.30 表 ^{232}Th (ケース 16) の 1 g 当たりの線量当量率

通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計 平均+3 σ
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	
底部表面	7.06E-14	5.00E-03	2.80E-16	7.70E-03	1.13E-16	4.50E-03	7.20E-14
上部表面	3.85E-15	2.13E-02	1.70E-17	2.87E-02	1.12E-17	2.13E-01	4.13E-15
線源位置での側部表面	9.41E-14	4.60E-03	3.85E-16	9.80E-03	1.66E-16	4.00E-03	9.59E-14
上部での側部表面	2.33E-15	1.73E-02	8.78E-18	2.22E-02	1.90E-18	1.39E-02	2.46E-15
底部での側部表面	2.68E-14	7.10E-03	1.05E-16	1.23E-02	4.05E-17	7.40E-03	2.75E-14
通常輸送時及び一般の試験条件下での輸送容器表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計 平均+3 σ
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	
底部表面から 1 m の位置	2.10E-15	2.60E-03	8.39E-18	3.30E-03	3.95E-18	2.20E-03	2.13E-15
上部表面から 1 m の位置	2.68E-16	3.10E-03	1.24E-18	5.10E-03	2.21E-18	9.11E-02	2.74E-16
線源位置での側部表面から 1 m の位置	2.70E-15	2.50E-03	1.13E-17	3.20E-03	4.86E-18	2.90E-03	2.74E-15
上部での側部表面から 1 m の位置	1.96E-15	2.50E-03	7.92E-18	3.30E-03	3.34E-18	6.40E-03	1.98E-15
底部での側部表面から 1 m の位置	2.54E-15	2.50E-03	1.06E-17	3.10E-03	4.58E-18	2.70E-03	2.57E-15
特別の試験条件下での SCV 表面から 1 m における線量当量率 (mSv/h)							
計算位置	中性子		二次ガンマ線		一次ガンマ線		合計 平均+3 σ
	平均値	FSD	平均値	FSD	平均値	FSD	
底部表面から 1 m の位置	3.02E-15	1.70E-03	1.81E-17	2.10E-03	6.19E-14	8.11E-02	8.00E-14
上部表面から 1 m の位置	3.11E-16	1.90E-03	1.03E-18	5.00E-03	8.76E-18	1.22E-01	3.25E-16
線源位置での側部表面から 1 m の位置	3.75E-15	1.70E-03	2.41E-17	2.00E-03	8.34E-14	2.73E-02	9.40E-14
上部での側部表面から 1 m の位置	3.03E-15	1.70E-03	1.92E-17	2.00E-03	5.88E-14	3.94E-02	6.88E-14
底部での側部表面から 1 m の位置	3.71E-15	1.70E-03	2.38E-17	2.00E-03	8.94E-14	5.82E-02	1.09E-13

D.6.4 参考文献

1. Briesmeister, J. F., Ed., *MCNP – A General Monte Carlo N Particle Transport Code, Version 4C*, LA 13709 M, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, (March 2000).
2. Hermann, O. W. and Westfall, R. M., *ORIGEN-S: Scale System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms*, NUREG/CR-0200, Revision 6, Volume 2, Section F7, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (March 2000).
3. Barnett, M. H., et al., *Radiation Source Term Analysis Code, RASTA, User Guide (U)*, WSMS-CRT-97-0013, Revision 2, Westinghouse Safety Management Solutions, LLC, Aiken, SC (December 2001).
4. Roussin, R. W., *BUGLE-80: Coupled 47-Neutron, 20-Gamma-Ray, P3, Cross-Section Library for LWR Shielding Calculations*, Informal notes (June 1980).
5. ANSI/ANS-6.1.1-1977, *Neutron and Gamma-Ray Flux-to-Dose Rate Factors*, American Nuclear Society, LeGrange Park, IL (March, 1977).

(口) 章E 臨界解析

E. 臨界解析

E.1 概 要

本輸送物の臨界解析は■■■■ プルトニウム燃料及び■■■■ ウラン燃料を収納物とした場合について行う。

本輸送物は収納物中に含まれる核分裂性物質の重量が■■■■ g を超えるために、核分裂性輸送物に該当する。臨界解析及び評価は通常輸送時、孤立系、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件（以下、本章において「一般の試験条件」という。）下における孤立系及び配列系、並びに核分裂性輸送物に係る特別の試験条件（以下、本章において「特別の試験条件」という。）下における孤立系及び配列系について実施することが規則及び告示で求められている。

本解析においては、一般の試験条件及び特別の試験条件における損傷、焼失、浸水等を考慮した解析モデルにより臨界解析を実施した。本輸送物の臨界解析の条件と結果を(□)・第 E.1 表に示す。

本輸送物は PCV 及び SCV から構成される二重密封装置を有しており、その密封性については浸漬試験により PCV 及び SCV の健全性を確認している (A6.4 参照)。また、O リングは定期自主検査のつど新品に交換するとともに、発送前検査において気密漏えい検査を実施し、健全性を確認している。以上のことから本輸送物の密封装置内へ水が浸入することはない。

解析には、臨界安全解析コードシステム SCALE^①を使用した。

(p)-第 E.1 表 臨界解析条件及び結果

		孤立系			配列系		
		通常輸送時	一般の試験 条件	特別の試 験条件	一般の試験 条件	特別の試験 条件	
解 析 条 件	輸送制限個数	25					
	輸送制限配列	任意					
	密封装置内への水の浸入	なし					
	中性子吸収材・毒物	なし					
	水反射体	輸送物の周囲に厚さ 30 cmの水が存在。			なし	配列系の周 囲に厚さ 30 cmの水が存 在。(ドラ ム間はな し)	
結 果	中性子実効 増倍率 ($k_{eff} + 2\sigma$)	■ プルト ニウム燃料	0.8509	0.8509	0.8509	0.8875	<u>0.9161</u>
		■ ウラン 燃料	0.7843	0.7843	0.7843	0.8366	<u>0.8862</u>

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

本輸送容器に収納される収納物は、核分裂性物質（ \blacksquare プルトニウム燃料、及び \blacksquare ウラン燃料）、収納缶、ホルダー、梱包材、上部スペーサ及び PCV 底部スペーサから構成される。なお、一般の試験条件及び特別の試験条件において、収納物の形状、性質の変化等はない。

(1) 核分裂性物質

本輸送容器に収納する核分裂性物質（ \blacksquare プルトニウム燃料、及び \blacksquare ウラン燃料）の仕様を(□)・第 E.2-1 表及び(□)・第 E.2-2 表に示す。

① \blacksquare プルトニウム燃料

\blacksquare プルトニウム燃料は \blacksquare % のアルミニウムを含むプルトニウム合金の板をステンレスで被覆した \blacksquare 燃料である。輸送容器 1 基あたりの核分裂性物質の総重量が \blacksquare g を超えないように収納する。

② \blacksquare ウラン燃料

^{235}U 同位体組成が約 \blacksquare 重量%の濃縮 \blacksquare ウランから成るステンレス鋼で被覆した中空円筒燃料を分割し、ステンレス被覆を外したものであり、輸送容器 1 基あたりの核分裂性物質の総重量が \blacksquare g を超えないように収納する。

(2) ホルダー、収納缶、梱包材

本輸送容器で輸送する核分裂性物質はステンレス鋼製の専用のホルダーに装荷し、ステンレス鋼製の収納缶に収納する。核燃料物質を収納缶に収納する際、及び収納缶を PCV に収納する際に、梱包のため低密度ポリエチレン袋、ナイロン袋及びポリ塩化ビニールテープを用いる場合は、それらの梱包材の合計重量を \blacksquare g 以下とする。

(3) 上部スペーサ、PCV 底部スペーサ

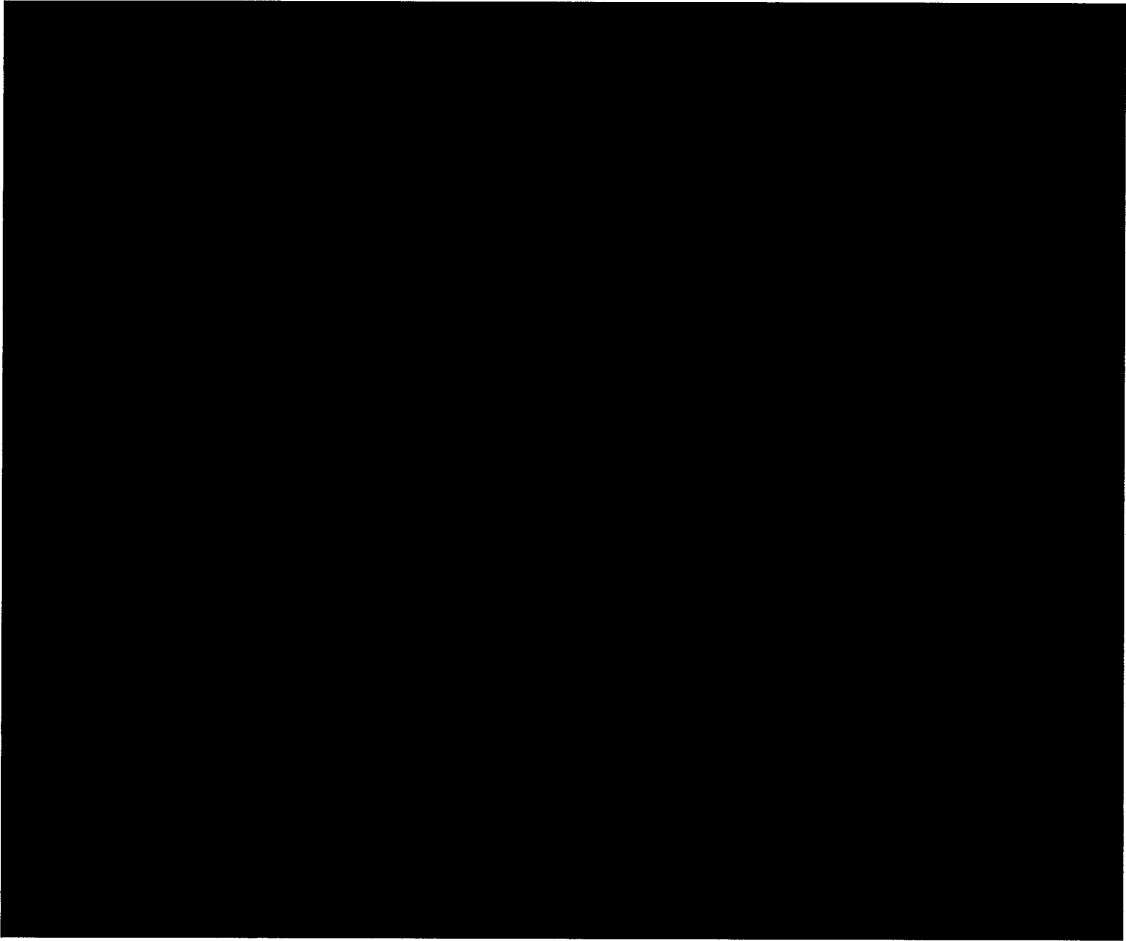
PCV 内部で収納缶を固定するため、収納缶の上下に上部スペーサ及び PCV 底部スペーサを装荷する。上部スペーサ及び PCV 底部スペーサはそれぞれアルミニウム製のハニカム構造である。

(ロ)第 E.2-1 表 核分裂性物質の仕様 (■■■■ プルトニウム燃料)

項目		仕様	
種類		■■■■ プルトニウム	
性状		固体 (■■■■)	
型式		■■■■	
形状		(ロ)第 E.1 図	
寸法(mm)		(縦×横×厚さ) ■■■■ ■■■■ ■■■■	
輸送物 1 基あたりの仕様	収納物重量 (kg)		■■■■ 未満
	核燃料物質重量(g)		■■■■ 以下
	プルトニウム同位体の重量 (g)	²³⁸ Pu	■■■■ 以下
		²³⁹ Pu	■■■■ 以下
		²⁴⁰ Pu	■■■■ 以下
		²⁴¹ Pu	■■■■ 以下
		²⁴² Pu	■■■■ 以下
	²⁴¹ Am と ²⁴¹ Pu の合計重量 (g)		■■■■ 以下
	ウラン同位体の重量 (g)	²³⁵ U	—
		²³⁸ U	—
核分裂性プルトニウム富化度 (重量%)		■■■■ 以下	
ウラン濃縮度 (重量%)		—	

(ロ)第 E.2-2 表 核分裂性物質の仕様 (■ウラン燃料)

項目	仕様	
種類	濃縮■ウラン	
性状	固体 (■)	
型式	■燃料	
輸送時の形状	■ ■ ■ ■	
輸送物 1 基あたりの仕様	収納物重量 (kg)	■ 未満
	核燃料物質重量 (g)	■ 以下
	²³⁵ U 重量 (g)	■ 以下
	濃縮度 (重量%)	■ %以下



種類	L (mm)	t (mm)	断面形状	備考
■	■	■	断面図①	
■	■	■	断面図①	スプリングなし。一部、燃料中央部に直径 ■ mm の孔有。
■	■	■	断面図①	スプリングなし。
■	■	■	断面図②	スプリングなし。

(ロ) 第 E.1 図 収納する核燃料物質の形状 (■ プルトニウム燃料)

E.2.2 輸送容器

輸送容器は PCV、SCV、遮蔽体、断熱材、アルミニウムベアリング板及びドラムから構成されている。

通常輸送時及び一般の試験条件では輸送容器は変形しないモデルとする。

特別の試験条件では、PCV、SCV 遮蔽体及びアルミニウムベアリング板は変形せず、ドラム本体の外壁及び断熱材が変形する。孤立系の解析においては保守的にドラムの変形を考慮せず、断熱材は水に置き換える。配列系の解析において、ドラムは変形により楕円形になると仮定するが、三角配列の最密配列状態を考慮し、面積の等しい円形モデルで近似する。断熱材は、火災による焼失を考慮し充填量を減らすとともに、落下の衝撃により PCV、SCV、遮蔽体及びアルミニウムベアリング板を断熱材中央に固定する機能を喪失したとする。

本輸送容器の特別の試験条件での構造試験結果では、PCV 及び SCV の密封性能が確保されていることを示しているため、本章では浸水を考慮した評価は実施しない。

E.2.3 中性子吸収材

本輸送容器に、中性子吸収材は使用していない。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

本輸送容器には \blacksquare プルトニウム燃料及び \blacksquare ウラン燃料の 2 種類の燃料が収納されるが、一つの容器に複数の種類の燃料が混載されることはなく、核分裂性物質の総重量が \blacksquare g 以下になるように収納される。(p)-第 E.2 図及び(p)-第 E.3 図に評価に使用したモデル図を示す。また、輸送容器モデルの各部の寸法仕様を(p)-第 E.3 表に示す。

臨界解析は、通常輸送時の孤立系と一般の試験条件及び特別の試験条件における孤立系と配列系で評価する。特別の試験条件では PCV、SCV、遮蔽体及びアルミニウムベアリング板には変形はないが、断熱材及びドラムについては変形するため、ドラムの半径方向の減少を考慮する。通常輸送時の孤立系と一般の試験条件及び特別の試験条件におけるドラム及び断熱材の寸法を(p)-第 E.4 表に示す。

(1) 核分裂性物質

本輸送容器に \blacksquare プルトニウム燃料が収納される場合、同位体組成及び重量については保守的に ^{239}Pu が 100%かつ \blacksquare g であると仮定する。

また、本輸送容器に \blacksquare ウラン燃料が収納される場合、同位体組成については保守的に ^{235}U が 100%かつ \blacksquare g (\blacksquare 型輸送物における \blacksquare ウラン収納限度)であると仮定する。

形状については、孤立系及び配列系の解析において k_{eff} が最も大きくなる形状である球形とし、梱包材として密度 \blacksquare g/cm³ のポリエチレン \blacksquare g に内包されていると仮定する。

解析条件の球形が k_{eff} を最大とするため、収納物の変形による影響は考慮しない。

(2) 収納缶

収納缶の有無による影響を考慮するため、収納缶をモデル化した場合と収納缶がない場合のモデルで解析を行う。本輸送において使用する収納缶は一重容器であるが、解析においては保守的に、より核分裂性物質に密着した厚いステンレス

容器を考慮する。収納缶の寸法を(□)第 E.5 表に示す。収納缶モデルはコンビニエンス缶、内缶、外缶で構成される 3 重容器であり、内缶、外缶は密封容器となっている。収納缶の解析モデル図を(□)第 E.4 図に示す。

E.3.1.1 孤立系

(1) 通常輸送時

本解析モデルは、輸送容器が損傷していない状態で収納物を除く輸送容器形状を実際の寸法通りとし、輸送容器の外側を 30 cm 厚の水で囲まれた体系にて評価する。

(2) 一般の試験条件

一般の試験条件では臨界評価に影響を及ぼす変形がないことから、本解析モデルは(1)の通常輸送時と同じである。

(3) 特別の試験条件

本解析モデルは、特別の試験条件におけるドラム及び断熱材の損傷を考慮し、輸送容器の外側を 30 cm 厚の水で囲まれた体系にて評価する。なお、ドラムの損傷を考慮した半径の減少は、水領域の減少により k_{eff} が減少するため、半径の減少を考慮しない保守的なモデルとする (E.4.2 参照)。

なお、本輸送容器は、本書 A.6 に示す落下試験及び浸漬試験の結果から、PCV 及び SCV の密封性が損なわれない 2 重密封構造のため、浸水は考慮しない。

E.3.1.2 配列系

(1) 一般の試験条件

本解析モデルは三角ピッチ配列を考慮し、E.3.1.1(2)で示した一般の試験条件における孤立系と比較し、ドラム半径を 7 %減少させたモデルを使用する (E.7.2 参照)。ドラム半径を 7 %削減するため、臨界解析上の影響を考慮して、ドラムの板厚を増加させることでモデル全体の重量を保持することとする。また、配列は無制限配列とする (E.7.3 参照)。

(2) 特別の試験条件

本解析モデルは特別の試験条件におけるドラムの損傷を考慮し、ドラムの半径及び軸方向の上部と底部がそれぞれ ■■■ cm (■■■ in.) 減少し、かつ、断熱材の焼失を考慮し、断熱材が半径方向に ■■■ cm (■■■ in.)、軸方向に上部と底部それぞれ ■■■ cm (■■■ in.) 減少し、これにより生じた領域は真空とした状態を模擬する (E.7.4 参照)。また、三角ピッチ配列を考慮し、さらにドラムの半径を ■■■ %減少させたモデルとする (E.7.2 参照)。また、配列は 5×5×2 配列で配列間を真空とし、その周囲を 30 cm の水反射体で囲まれている (E.7.3 参照)。PCV 内の収納物の場所が k_{eff} に影響を及ぼすため、(□)・第 E.5 図に示す 4- クラスタモデルについて解析を行う。

クラスタモデル化に伴い、断熱材は、落下の衝撃により PCV、SCV、遮蔽体及びアルミニウムベアリング板を断熱材中央に固定する機能を喪失したものとする。また、PCV、SCV、遮蔽体及びアルミニウムベアリング板は、断熱材領域内で燃料間隔が最も接近するように再配置されるものとする (E.7.5 参照)。

(ロ)第 E.3 表 輸送物モデルのための寸法仕様(1/2)


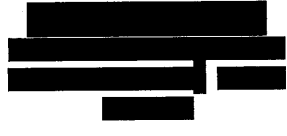
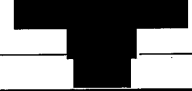





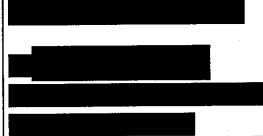
名称	パラメータ	仕様 (in.)	寸法 (cm)
PCV	内側高さ	[REDACTED]	[REDACTED]
PCV	底部厚さ		
PCV	上部厚さ		
PCV	上部ナット高さ (頭部部分)		
SCV	上部アルミニウム スペーサ高さ		
SCV	ボイドスペース 高さ		
SCV	上部厚さ		
SCV	上部ナット高さ (頭部部分)		
蓋 (遮蔽体用)	厚さ		
PCV	スカート高さ		
SCV	底部アルミニウム ハニカムスペーサ 高さ		
SCV	底部厚さ		
SCV	スカート高さ		
遮蔽体	厚さ		
アルミニウム ベアリング板 上部	高さ		
断熱材	上部厚さ		
ドラム	上部ボイド 厚さ (公称値)		
ドラム	上部板厚		
アルミニウム ベアリング板 底部	高さ		

(ロ)第 E.3 表 輸送物モデルのための寸法仕様(2/2)





















名称	パラメータ	仕様 (in.)	寸法 (cm)
断熱材	底部厚さ	[Redacted]	[Redacted]
ドラム	底部ボイド厚さ		
ドラム	底部板厚		
ドラム	内側高さ		
PCV	内半径		
	外半径		
SCV	内半径		
	外半径		
遮蔽体	内半径		
	外半径		
断熱材	外半径		
ドラム	内半径		
ドラム	外半径		
アルミニウム ベアリング板	外半径		
SCV スペーサ	内半径/外半径		


(ロ)第 E.4 表 通常輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件における

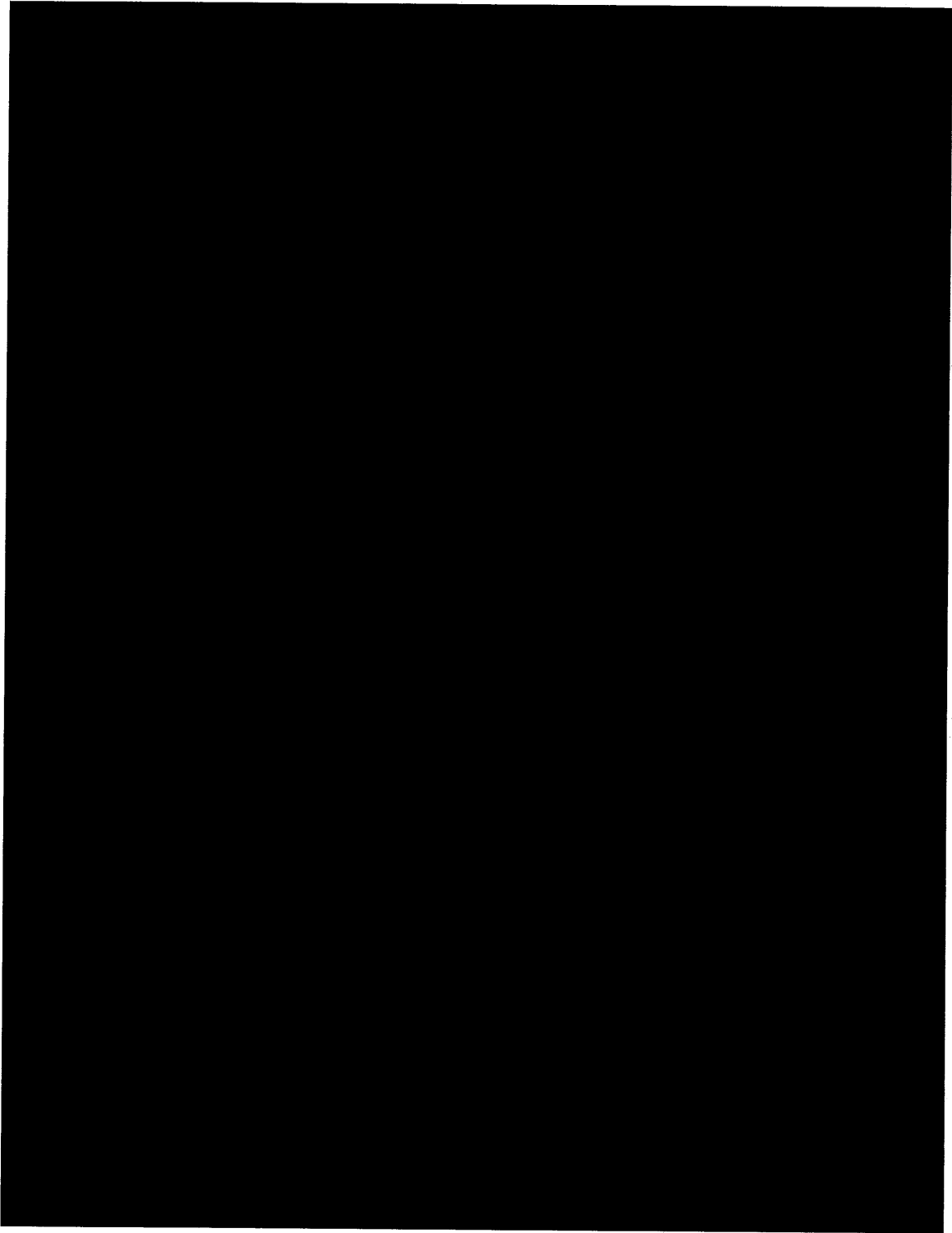
ドラム及び断熱材寸法

名称	仕様 (in.)	孤立系 (通常輸送時) (一般の試験条件) (特別の試験条件) (cm)	配列系	
			一般の試験条件 (cm)	特別の試験条件 (cm)
ドラム 外半径				
ドラム 内半径				
ドラム 板厚				
断熱材 外半径				

(ロ)第 E.5 表 収納缶の寸法

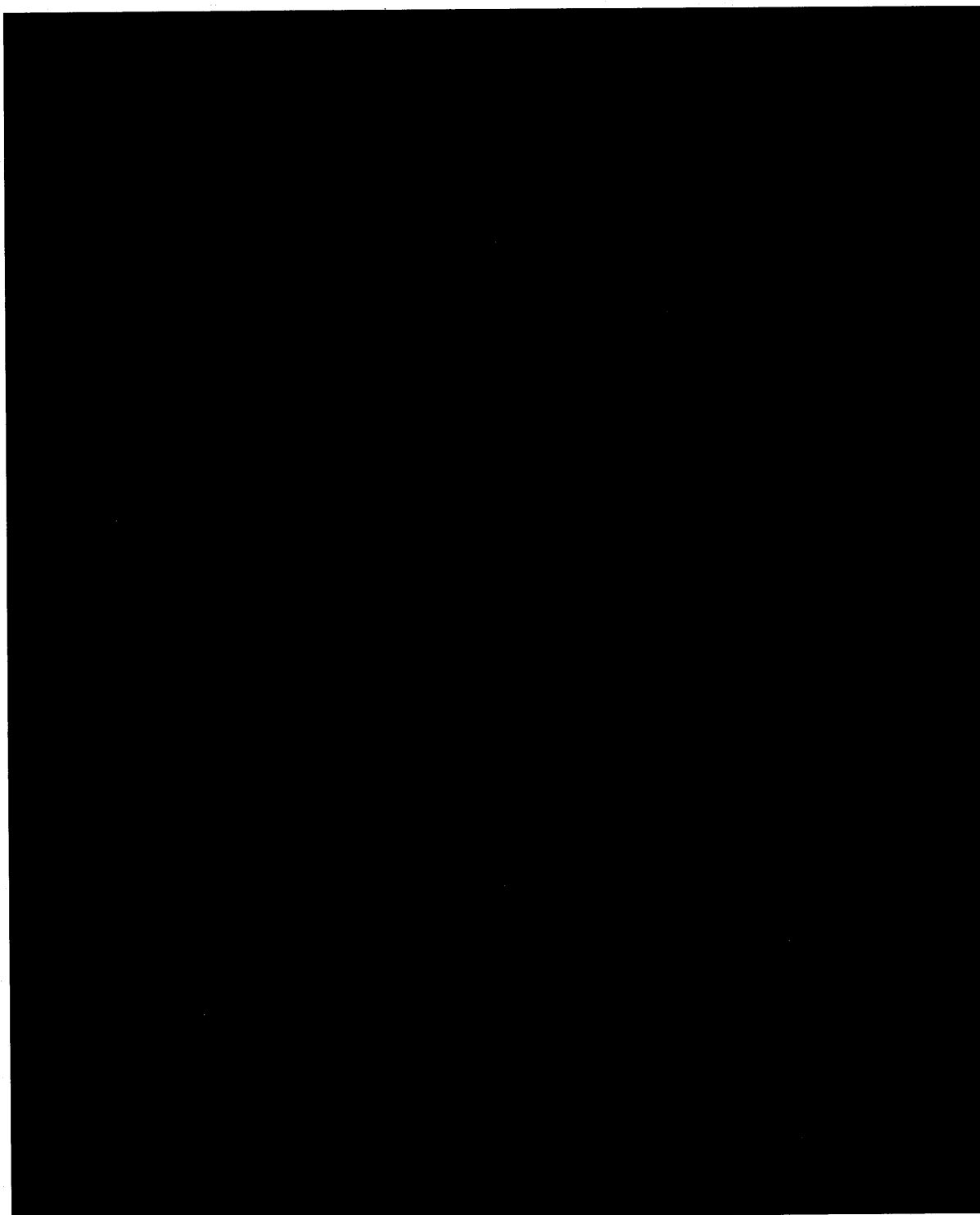
パラメータ	解析モデル 寸法 (cm)			輸送使用容器 寸法 (cm)
	コンビニ エンス缶	内缶	外缶	一重缶
外径				
側壁厚さ				
上部/底部 厚 さ				
外側高さ				
内側高さ				

*輸送に使用される一重容器上部には中央部にφ  cm の空気穴有



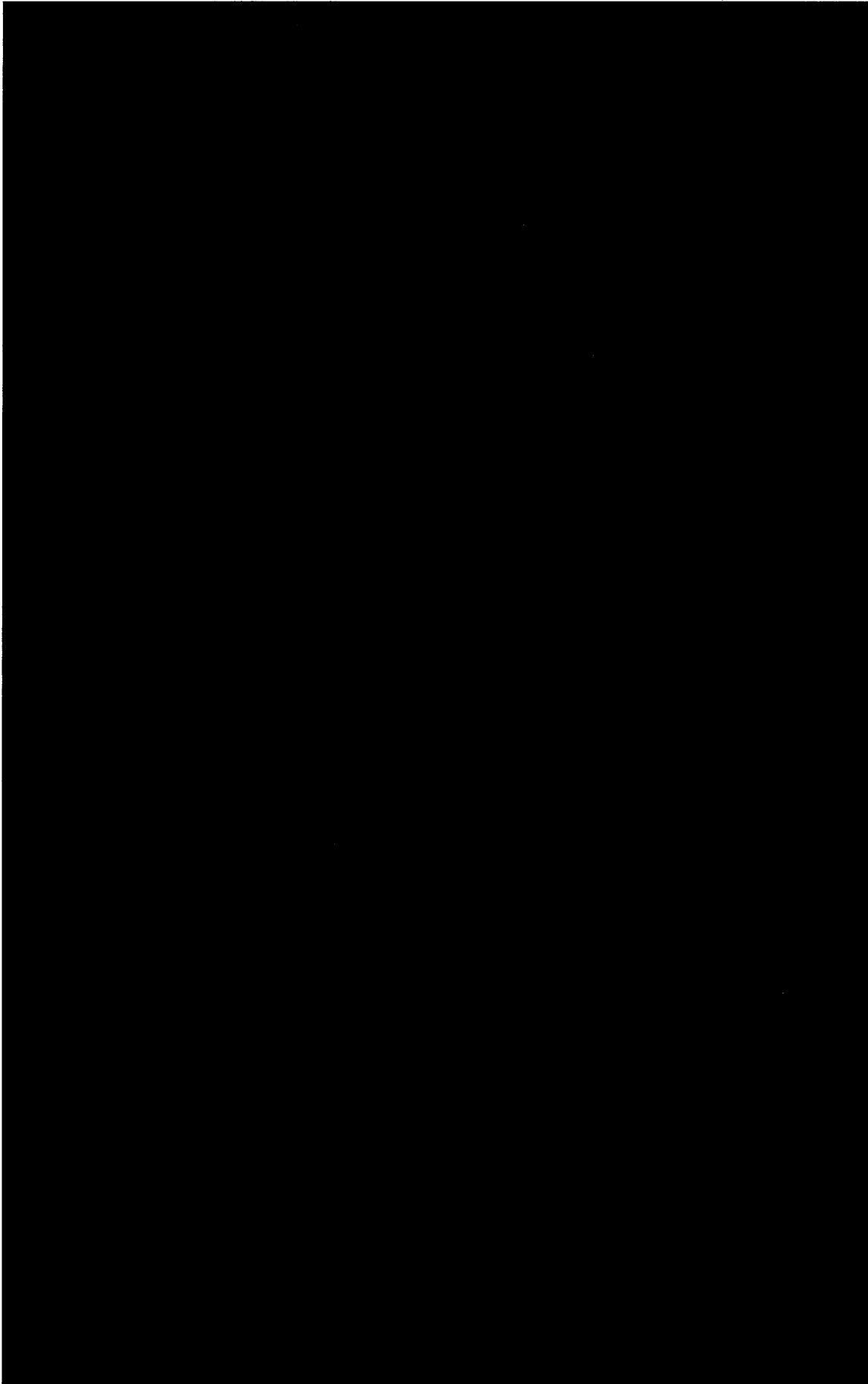
単位: cm (半径cm)

(□)第 E.2 図 輸送容器解析モデル図(■)プルトニウム燃料)

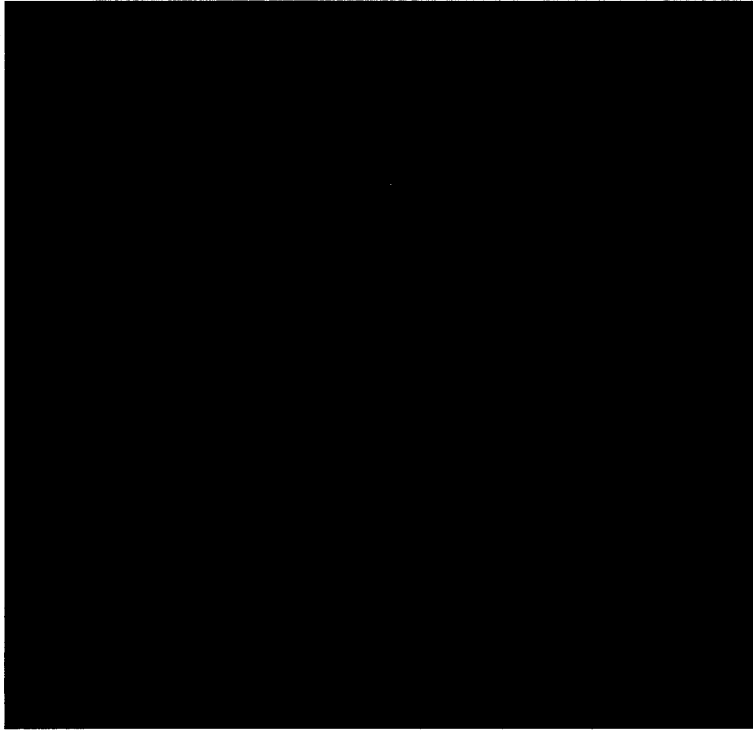


単位: cm (半径cm)

(E)-第 E.3 図 輸送容器解析モデル図(■ウラン燃料)



(㊦)第 E.4 図 収納物底部位置配置時の解析モデル図



4・クラスタモデル

(ロ)第 E.5 図 特別の試験条件での配列系モデル、平面図

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本輸送物に収納する■■■■ プルトニウム燃料は、実際にはアルミニウムとの合金であるが、解析では純粹な■■■■ プルトニウムを仮定する。核分裂性物質の密度については■■■■ プルトニウムの最大理論密度 (■■■■ g/cm³) を仮定し、また同位体組成については保守的に ²³⁹Pu が 100 % であると仮定する。

また、■■■■ ウラン燃料の密度は Scale 4.4a Standard Composition に含まれる密度 (■■■■ g/cm³) を仮定し、同位体組成については保守的に ²³⁵U が 100 % と仮定する。

収納物に含まれる核分裂性物質の合計量は、■■■■ プルトニウム燃料で■■■■ g を超えず、■■■■ ウラン燃料で■■■■ g を超えない。

PCV、SCV 及びドラムは■■■■ ステンレス鋼で製作されるが、解析では■■■■ ステンレス鋼(密度■■■■ g/cm³)を仮定する。■■■■ ステンレス鋼と■■■■ ステンレス鋼の組成の差は小さく、 k_{eff} の計算値への影響は無視できる。

断熱材の仕様では密度が■■■■ g/cm³ であるが、配列系の輸送物の k_{eff} は断熱材の密度が低いほうが大きくなることから、保守的に■■■■ g/cm³ とする。断熱材の組成にはセルロース(C₆H₁₀O₅)を用い、ドラムが浸水した場合を仮定して重量比約■■■■ % の水を含むものと仮定する⁽²⁾。

水密度は 20 °C での公称値 0.9982 g/cm³ に対して保守的に 1.0 g/cm³ とする。

梱包材に使用する種々のプラスチック材料 (低密度ポリエチレン袋、ナイロン袋及びポリ塩化ビニールテープ) は、一般的なプラスチックの中で最も水素密度の高いポリエチレン(C₂H₄)_n を仮定する。ポリエチレンの公称密度は約■■■■ g/cm³ であるが、保守的に■■■■ g/cm³ とする。

アルミニウムのハニカムスペーサ密度は、■■■■ g/cm³ とする。本輸送容器のモデル化における材料データは、(a)・第 E.6 表に示す。

(ロ)-第 E.6 表 本核燃料輸送物の材料仕様

名称	材料	密度 (g/cm ³) (モデル化後)	出典
水	H ₂ O	■	■
PCV 及び SCV	■ ステンレス鋼 ^c	■	■
ドラム	■ ステンレス鋼 ^c	■	■
スペーサ	アルミニウム	■	■
蓋及びプレート	アルミニウム	■	■
遮蔽体	鉛	■	■
断熱材	C ₆ H ₁₀ O ₅	■	■
ポリエチレン	C ₂ H ₄	■	■
核分裂性物質 ^{a, b}	■ プルトニウム	■	■
	■ ウラン	■	■
収納缶 コンビニエンス缶	■ ステンレス鋼 ^c	■	■
収納缶 内缶	■ ステンレス鋼 ^c	■	■
収納缶 外缶	■ ステンレス鋼 ^c	■	■

a. プルトニウムは、²³⁹Puとしてモデル化する。

b. ウランは、²³⁵Uとしてモデル化する。

c. 解析において■ ステンレス鋼とした。

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

解析は、孤立系の輸送物、一般の試験条件下、特別の試験条件下での配列系に対して行う。

(a)第 E.7 表は、輸送物の配列系解析に使用されるパラメータを示す。一般の試験条件では、輸送物の $5N$ ($5 \times 25 = 125$) 配列において未臨界状態であることが求められるため、解析ではより保守的なモデルである輸送物の無限配列を仮定する。

特別の試験条件では、損傷輸送物の $2N$ ($2 \times 25 = 50$) 配列において未臨界状態であることが求められるため、解析では $5 \times 5 \times 2$ の輸送物の配列に対して周囲を 30cm の水で囲む体系を仮定する。

(a)第 E.7 表 配列系輸送物のための臨界評価パラメータ

一般の試験条件下 (N = 25)	
配列系において未臨界を維持する非損傷輸送物の数	要求値： $5 \times N = 125$ 解析値： 無限個
評価に用いた核分裂性物質の物理的、化学的形態	^{235}U または ^{239}Pu
最も中性子実効増倍率の高い減速材条件	乾燥した断熱材* ドラム間に減速材が無い状態
配列の周囲の反射材	無限配列のため適用されない。
特別の試験条件下 (N = 25)	
配列系において未臨界を維持する損傷輸送物の数	要求値： $2 \times N = 50$ 解析値： 50
評価に用いた核分裂性物質の物理的、化学的形態	^{235}U または ^{239}Pu
最も中性子実効増倍率の高い減速材条件	乾燥した断熱材* ドラム間に減速材が無い状態
配列の周囲の反射条件	厚さ 30 cm の水

* 乾燥は、水の含有が無いことを意味する。

E.4.2 輸送物への水の浸入等

当該輸送容器は PCV 及び SCV の二つの収納容器で構成される二重密封容器であり、A.9.2 に示す特別の試験条件においても密封が保持されている。また、輸送容器の製作、保守管理において品質管理を実施しており、輸送物の発送前検査において気密漏えい試験により、PCV 及び SCV で二重の密封性を確認する。これらのことから、内部の浸水は想定されない。このため、当該輸送容器における浸水は考慮しない。

E.4.3 計算方法

臨界解析には、臨界安全解析コードシステム SCALE 内のモンテカルロ計算モジュール KENO-V.a を使用した。断面積ライブラリには、ENDF/B-V に基づく 238 群の断面積ライブラリ⁷⁾を使用した。

E.4.4 計算結果

E.4.4.1 孤立系

(1) 通常輸送時

通常輸送時の孤立系について、臨界解析を実施した結果を(ロ)・第 E.8 表に示す。本解析については、収納物の位置、収納缶のモデル化及び不純物の影響について考慮し、 k_{eff} が最も高い状態においても未臨界 ($k_{\text{eff}} + 2\sigma < 0.93$) であることを確認する。

収納物の位置を PCV の底部として解析を実施した。

次に、収納缶をモデル化して解析を実施したところ、 k_{eff} が増加したことから、当該輸送物については収納缶を使用しないが、より保守的な評価として収納缶をモデル化して以後の解析を実施した。このとき、■■■■ プルトニウム燃料で $k_{\text{eff}} + 2\sigma = 0.8509$ 、■■■■ ウラン燃料で $k_{\text{eff}} + 2\sigma = 0.7843$ が最大値となり、いずれの場合においても 0.93 未満であることを確認した。

以上のことから、通常輸送時の孤立系において未臨界であることを確認した。

(2) 一般の試験条件

一般の試験条件の孤立系の解析モデルについては(1)項の通常輸送時と同じであるため、一般の試験条件の孤立系において未臨界であることを確認した。

(3) 特別の試験条件

特別の試験条件の孤立系の解析モデルについては(1)項の通常輸送時と同じであるため、特別の試験条件の孤立系において未臨界であることを確認した。

E.4.4.2. 配列系

(1) 一般の試験条件

一般の試験条件の配列系について臨界解析を実施した結果を(□)第 E.9 表に示す。解析結果は■プルトリウム燃料で $k_{\text{eff}} + 2\sigma = 0.8875$ 、■ウラン燃料で $k_{\text{eff}} + 2\sigma = 0.8366$ が最大値となり、いずれの場合も 0.93 未満であることを確認した。

以上のことから、一般の試験条件の配列系において未臨界であることを確認した。

(2) 特別の試験条件

特別の試験条件の配列系について臨界解析を実施した結果を(□)第 E.10 表に示す。本解析においては、4- クラスタモデルにより評価した。解析の結果、■プルトリウム燃料で $k_{\text{eff}} + 2\sigma = 0.9161$ 、■ウラン燃料で $k_{\text{eff}} + 2\sigma = 0.8862$ が最大値となり、いずれの場合も 0.93 未満であることを確認した。

以上のことから、特別の試験条件の配列系において未臨界であることを確認した。

(ロ)第 E.8 表 通常輸送時、一般及び特別の試験条件の孤立系における臨界解析結果

核分裂性物質	収納物の位置	収納缶のモデル化	k_{eff}	σ	$k_{\text{eff}} + 2\sigma$
■■■■ プルトニウム燃料 (^{239}Pu ■■■■ kg)	底部	×	0.8332	0.0015	0.8362
		○	0.8477	0.0016	<u>0.8509</u>
■■■■ ウラン燃料 (^{235}U ■■■■ kg)	底部	×	0.7587	0.0014	0.7615
		○	0.7817	0.0013	0.7843

(ロ)第 E.9 表 一般の試験条件の配列系における臨界解析結果

核分裂性物質	配列	収納物の位置	収納缶のモデル化	k_{eff}	σ	$k_{\text{eff}} + 2\sigma$
■■■■ プルトニウム燃料 (^{239}Pu ■■■■ kg)	無限配列	底部	×	0.8734	0.0015	0.8764
			○	0.8849	0.0013	<u>0.8875</u>
■■■■ ウラン燃料 (^{235}U ■■■■ kg)	無限配列	底部	×	0.8167	0.0013	0.8193
			○	0.8342	0.0013	0.8366

(ロ)第 E.10 表 特別の試験条件の配列系における臨界解析結果

核分裂性物質	配列	収納物の位置	収納缶のモデル化	k_{eff}	σ	$k_{\text{eff}} + 2\sigma$
■■■■ プルトニウム燃料 (^{239}Pu ■■■■ kg)	4-クラスタモデル	底部	×	0.9095	0.0014	0.9123
			○	0.9127	0.0017	<u>0.9161</u>
■■■■ ウラン燃料 (^{235}U ■■■■ kg)	4-クラスタモデル	底部	×	0.8730	0.0013	0.8756
			○	0.8838	0.0012	0.8862

E.5 ベンチマーク試験

E.5.1 ベンチマーク試験

解析で用いた SCALE 4.4a 内のモンテカルロ計算モジュール KENO-V.a と 238 群の断面積ライブラリの検証については、米国及びカナダの核データ評価組織である CSEWG (Cross Section Evaluation Working Group) が実施した 28 例 (高速中性子炉 : 10 例、熱中性子炉 : 18 例) のベンチマーク試験との比較検討した結果、実験結果と高い精度で一致していることを確認した⁽⁸⁾。

E.5.2 臨界判定基準の決定

■ プルトニウム、■ ウラン、プルトニウム酸化物、ウラン酸化物についてのベンチマーク解析結果より、試験モデルと本解析手法のバイアスを算出した。結果を (ロ) 第 E.11 表に示す。バイアスの算出においては、中性子実効増倍率を過大評価する正のバイアスについては保守的にゼロとし、中性子実効増倍率を過小評価する負のバイアスのみを考慮した。解析の結果、最大値は■ プルトニウム体系の 0.020 の負のバイアス効果である。従って、本解析手法による臨界判定基準については、未臨界度の判断基準である中性子実効増倍率 0.950 からバイアス分の裕度を差し引き、0.930 を判定基準とすることとした。

(ロ) 第 E.11 表 バイアス算出結果

体系	下方誤差限度	バイアス (不確かさを含 む)	未臨界 余裕	判定基準
■ プルトニウム	0.980	0.020	0.05	0.930
プルトニウム溶液	0.996	0.004	0.05	0.946
乾燥したプルトニウム酸化物	0.992	0.008	0.05	0.942
■ ウラン	0.982	0.018	0.05	0.932
ウラン溶液	0.991	0.009	0.05	0.941
乾燥したウラン酸化物	0.983	0.017	0.05	0.933

E.6 結果の要約及びその評価

本解析の結果を(ロ)第 E.12 表に示す。最大の中性子実効増倍率(k_{eff})は、特別の試験条件の配列系モデルであり、 $k_{\text{eff}} + 2\sigma$ で 0.9161 であり、未臨界である。

(ロ)第 E.12 表 各計算モデル臨界解析結果

解析モデル	$k_{\text{eff}} + 2\sigma$
通常輸送時孤立系	0.8509
一般の試験条件の孤立系	0.8509
特別の試験条件の孤立系	0.8509
一般の試験条件の配列系	0.8875
特別の試験条件の配列系	<u>0.9161</u>

E.7 付属書類

E.7.1 核分裂性物質の違いによる影響

E.7.2 配列系輸送物計算モデルの補足 1

E.7.3 配列系輸送物計算モデルの補足 2

E.7.4 特別の試験条件モデルの火災及び落下試験データ

E.7.5 配列系-クラスタモデルの補足

E.7.6 参考文献

E.7.1 核分裂性物質の違いによる影響

核分裂性物質の違いによる k_{eff} への影響を確認するため、同条件で [] プルトニウム、[] ウラン、プルトニウム酸化物、ウラン酸化物を収納した場合の臨界解析結果を(□)-第 E.14 表に示す。これらの結果から [] プルトニウムが最も k_{eff} が大きくなることから、本解析においては [] プルトニウム及び [] ウランを核分裂性物質とした。

(□)-第 E.13 表 核分裂性物質の違いによる k_{eff} の比較

ケース No.	条 件	核分裂性物質の種類	$k_{\text{eff}} \pm \sigma$
1	PCV の底部に核分裂性物質の球を配置、 核分裂性物質重量： [] g PCV 内部の状態：乾燥 100 g のポリエチレンを考慮、 ドラム缶の外側に厚さ 30 cm の水反射材を考慮	[] プルトニウム	0.8332 ± 0.0015
2		[] ウラン	0.5301 ± 0.0008
3		プルトニウム酸化物	0.6193 ± 0.0010
4		ウラン酸化物	0.3939 ± 0.0006

E.7.2 配列系輸送物計算モデルの補足1

配列系輸送物計算モデルにおいて、孤立系のモデルと比較しドラムの外半径を7%削減している。本計算では正方格子による計算を実施しているが、円形状の配置は三角格子配列の方が密な配列となる。

無限個数の円を配置した場合の円の充填率（範囲面積に占める円面積の割合）は、正方格子が0.7854で三角格子が0.9069となる。この密度の差を考慮し、非保守的な条件での評価を避けるために、正方格子で評価している本評価の配列系の解析については、輸送物の半径を7%減少させたモデルで実施した。

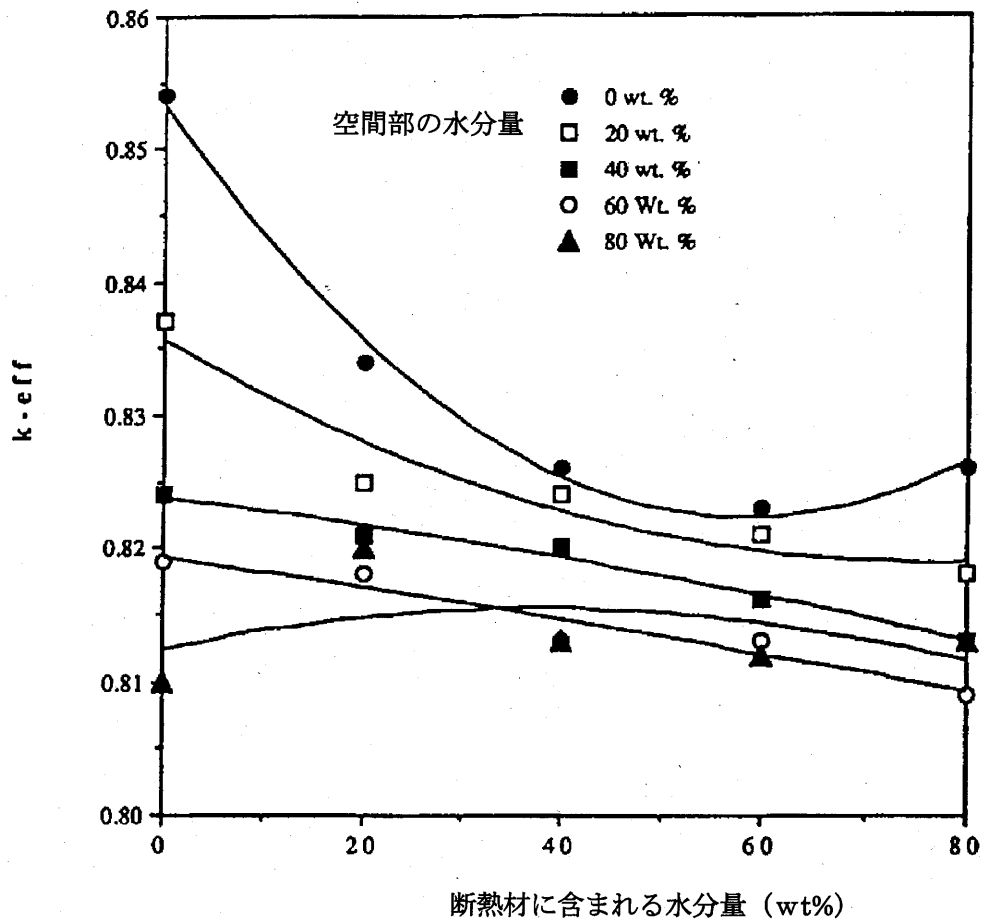
(ロ)第E.4表に示すとおり、ドラムの外半径は、一般の試験条件の配列系ではドラム外径が [] cm から [] cm へ減少する。減少に伴いドラム外壁厚を [] cm から [] cm にし、ドラム外壁の重量を保持させる。孤立系で [] cm あった断熱材はドラム外半径の減少により、 [] cm へ減少させる。減少させた断熱材は重量の調整等を行わず、純粋な減少とする。

特別の試験条件の配列系でのドラムの外半径は [] cm まで減少し、ドラム外壁厚は [] cm とする。断熱材厚さは特別の試験条件下では焼失を仮定し、 [] cm としているため、ドラムの外半径減少に伴う影響はない。

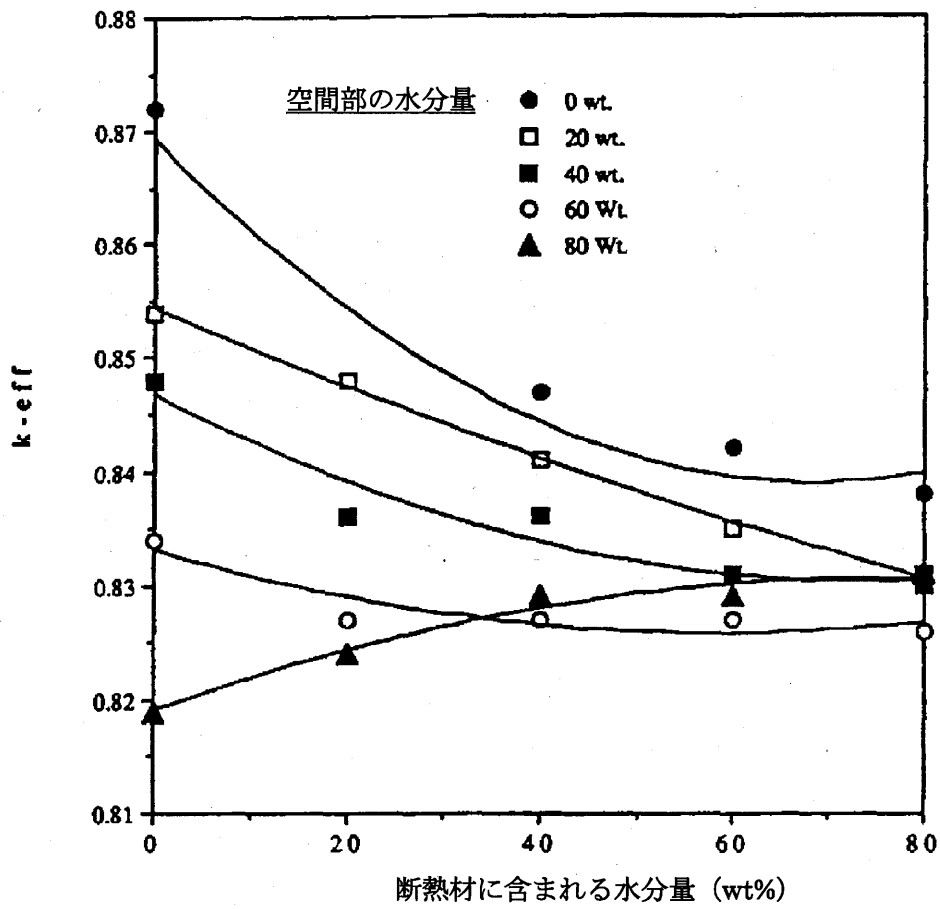
E.7.3 配列系輸送物計算モデルの補足 2

配列系輸送物計算モデルにおいて、配列間の水の影響について記載する。配列系輸送物の最適減速条件は、乾燥状態の収納容器(PCV 及び SCV)、断熱材に水が無いこと、そしてドラム間の空間に水が無いことである。配列系輸送物は、断熱材を無視することにより中性子実効増倍率を高くする減速体系である。一方で、断熱材、SCV、ドラム又は介在する空間での水は輸送物間の分離を高め、中性子実効増倍率を低くする。水を追加することによる中性子実効増倍率への影響は、一般の試験条件、特別の試験条件での配列系にとって共通である((p)-第 E.6 図及び(p)-第 E.7 図)。

配列系輸送物計算モデルにおいて、配列間水を追加することはドラムを一層分離させることにより k_{eff} を減少させるため、配列間の空間及び断熱材に水は無いとした。



(□)-第 E.6 図 一般の試験条件における断熱材領域及び容器間空隙中の水分量 (wt%) の関数としての中性子実効増倍率(k_{eff})



(□)-第 E.7 図 特別の試験条件における断熱材領域及び容器間空隙中の水分量 (wt%) の関数としての中性子実効増倍率(k_{eff})

E.7.5 配列系-クラスタモデルの補足

4-クラスタモデルにおける、4つの輸送容器中央への変位量は部材によって異なる。

4-クラスタモデルの $5 \times 5 \times 2$ 配列におけるモデルの平面図及び断面図を(□)-第 E.8 図及び(□)-第 E.9 図に示す。

A：断熱材

断熱材は、E.7.4 のとおり焼失により、寸法が減少する。減少後の空隙部は断熱材を固定する機能がないため、断熱材は4つのドラム中央部に最接近するドラム部位に隣接させる ((□)-第 E.8 図参照)。

上部及び下部の空隙は、上段のドラムは上部に、下段のドラムは下部に集中するようにモデル化する ((□)-第 E.9 図参照)。

B：アルミニウムベアリング板

アルミニウムベアリング板は断熱材により位置を保持しているが、特別の試験条件における、落下等の影響で断熱材は位置の固定をできず、断熱材同様の4つのドラム中央部に最接近するドラム部位に隣接する。上下の段は、最接近のためアルミニウムベアリング板がドラム下面及び上面に隣接するように配置する ((□)-第 E.9 図参照)。

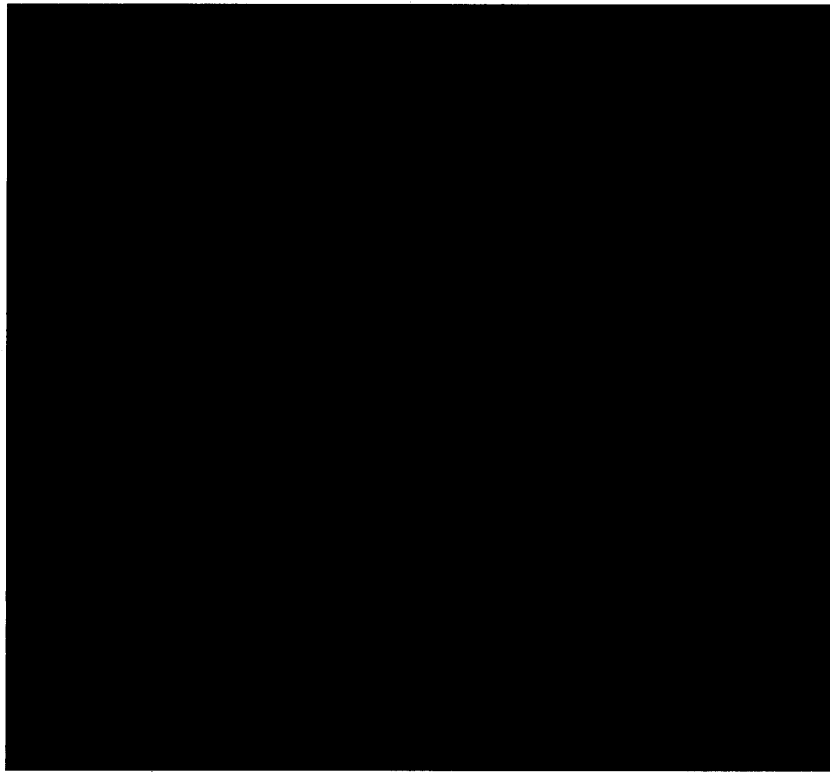
C：遮蔽体、PCV、SCV、内缶、外缶、コンビニエンス缶

遮蔽体内の各パーツは形状により、変形が無ければ距離を担保できる構造であるため、クラスタモデル化に伴う互いの変位は無い。ただし、収納缶の上下位置は保持できないため、(□)-第 E.9 図のとおり上下が接近するように配置される。

遮蔽体は、断熱材及びアルミニウムベアリング板同様、断熱材による位置の保持が無くなり、4つのドラム中央部に最接近するドラム部位に隣接する ((□)-第 E.8 図参照)。

D：核分裂性物質、ポリエチレン外殻

核分裂性物質及びポリエチレン外殻は、コンビニエンス缶の4つのドラム中央部に最接近する部位に設置される ((□)-第 E.8 図及び(□)-第 E.9 図参照)。



(㊦)第 E.8 図 5×5×2 配列 4-クラスタモデル、平面図



(㊦)第 E.9 図 5×5×2 配列 4-クラスタモデル、断面図

E.7.6 参考文献

- (1) RISCC Code Collection, SCALE 4.4a, Modular Code System for Performing Criticality and Shielding Assessment for Licensing Evaluation, CCC-545, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (October 2001).
- (2) A.C. Smith, and P.R. Vormelker, Celotex® Structural Properties Tests (U), WSRC-TR-2000-00444, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (December 2000)
- (3) L.M. Petrie, P.B. Fox, and K. Lucius, *Standard Composition Library*, NUREG/CR-0200, Revision 6, SCALE Computer System, Volume 3, Section M8, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (September 1998).
- (4) CRC Handbook of Chemistry & Physics, 77th Ed., 1996.
- (5) J.A. Schlessler, Standard Materials for Nuclear Criticality Safety Calculations, WSMS-02-0003, Revision 1 (September 2002).
- (6) A.C. Smith, and P.R. Vormelker, Celotex® Structural Properties Tests (U), WSRC-TR-2000-00444, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (December 2000).
- (7) Plutonium Handbook, Volumes I & II, O.J. Wick, Editor, American Nuclear Society, 1980.
- (8) N.M. Green, et. al., The LAW-238 Library – A Multigroup Cross-Section Library for Use in Radioactive Waste Analysis Calculations, ORNL/TM-12370, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (August 1994).
- (9) M.N. Van Alstine, [REDACTED] and [REDACTED] Packaging Thermal Test Report, SRT-PTG-94-0058, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (July 1994).
- (10) A.C. Smith, Drop Tests of the Redesigned [REDACTED] Package, WSRC-TR-2000-00236, Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC (June 2000).

(ロ) 章F 規則及び告示に対する
適合性の評価

規則及び告示に対する適合性の評価 (1/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
第3条 第1項 第1号	第3条	BM型輸送物であり該当しない。	(イ)A	
第2号	第4条	BM型輸送物であり該当しない。	(イ)A	
第3号	第4条	本輸送物の収納物は■■■■プルトリウム燃料及び■■■■ウラン燃料であり、特別形核燃料物質等以外の核燃料物質である。また、輸送物1基当たりに含まれる放射能の量は最大■■■■■■■■■■Bqであり、原子力規制委員会の定める量(A ₂ 値)を超えるので本輸送物はBM型輸送物に該当する。	(イ)A (イ)D	
第2項	第5条	BM型輸送物であり該当しない。	(イ)A	
第3項		本輸送物はBM型輸送物であるので、規則第6条に定める技術基準の適用を受ける。	(イ)A	
第4条		BM型輸送物であり該当しない。	(イ)A	
第5条		BM型輸送物であり該当しない。	(イ)A	
第6条 第1号		本輸送物(最大重量■■■■ kg(■■■■ lb))は、汎用機器を利用して容易かつ安全に取り扱えるよう設計されている。	(イ)A	規則 第4条第1号 第5条第1号

規則及び告示に対する適合性の評価 (2/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
		<p>本輸送物は、以下に示すように運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、亀裂、破損等の生じるおそれがない。</p> <p>1. 本輸送容器はドラム、収納容器、遮蔽体及び収納物から構成されている。ドラムの主要構成材料はステンレス鋼、繊維板である。収納容器の主要構成材料はステンレス鋼、フッ素ゴム製 Oリングである。遮蔽体の主要構成材料は鉛、ステンレス鋼である。収納物の主要構成材料は、ステンレス鋼、アルミニウムである。輸送中に予想される温度変化や太陽放射熱に対し、いずれの主要構成材料も十分な構造強度、熱的特性、密封性能等を有している。</p> <p>2. 運搬中に予想される収納容器の内圧の変化により、亀裂、破損等は生じない。</p> <p>3. 収納容器及び遮蔽体の熱膨張により生じ得る熱応力は許容応力以下であり、収納容器の密封性が損なわれることはない。</p> <p>4. 輸送中に予想される振動評価により、輸送容器に亀裂及び破損は生じない。</p> <p>本輸送物の表面はステンレス鋼の滑らかな面であるため、表面の汚染の除去は容易である。</p>	<p>(ロ)A.4.2 (ロ)A.5.1.2 (ロ)A.5.1.3</p> <p>(ロ)A.4.6 (ロ)A.5.1.3 (ロ)A.5.1.2</p> <p>(ロ)A.4.7</p> <p>(イ)C</p>	<p>規則 第 5 条第 1 号 第 4 条第 2 号</p> <p>規則 第 5 条第 1 号 第 4 条第 3 号</p>

規則及び告示に対する適合性の評価 (3/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
		<p>本輸送容器に用いる材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応が生じることはない。</p>	(ロ)A.4.1	<p>規則 第5条第1号 第4条第4号</p>
		<p>本輸送容器は、弁を装備していない。</p>	(イ)C	<p>規則 第5条第1号 第4条第5号</p>
	第9条	<p>本輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前検査において以下に記述する値以下であることを確認する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. α線を放出する放射性物質 0.4 Bq/cm² 2. α線を放出しない放射性物質 4.0 Bq/cm² 	(ニ)A.2	<p>規則 第5条第1号 第4条第8号</p>
		<p>本輸送容器に収納物を装荷する場合には、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おそれのあるものを装荷することはない。</p>	(ニ)A.2	<p>規則 第5条第1号 第4条第10号</p>
		<p>本輸送物の外寸法は、高さ■■■■ mm(■■■■ in.)、外径■■■■ mm(■■■■ in.)の円筒形容器であるので、外接する直方体の各辺の長さは10 cm以上である。</p>	(イ)C	<p>規則 第5条第2号</p>

規則及び告示に対する適合性の評価 (4/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
		<p>ドラム蓋が SCV の蓋部全体を完全に覆っており、ドラム蓋はドラム胴体へボルト締めされる。したがって、輸送容器の蓋が不用意にかけられることはなく、ドラム蓋に封印が施される。また、発送前検査において、封印が施されていることを確認する。</p>	<p>(イ)C (ロ)A.4.3 (ニ)A</p>	<p>規則 第 5 条第 3 号</p>
		<p>本輸送容器の構成部品は-40℃から 70℃までの温度の範囲において、亀裂、破損等が生じることはない。</p>	<p>(ロ)A.4.2 (ロ)B.3</p>	<p>規則 第 5 条第 4 号</p>
		<p>周囲の圧力が 60 kPa となった場合にも輸送物の密封装置の健全性は維持され、密封性は保持される。</p>	<p>(ロ)A.4.6</p>	<p>規則 第 5 条第 5 号</p>
		<p>本輸送容器には液体状の核燃料物質等を収納しない。</p>	<p>(イ)D</p>	<p>規則 第 5 条第 6 号</p>
	第 8 条	<p>通常輸送時の輸送物の表面線量当量率の最高は ■■■ mSv/h であり、2 mSv/h を超えない。</p>	<p>(ロ)D.5</p>	<p>規則 第 5 条第 7 号</p>
	第 8 条	<p>また表面から 1 m 離れた点での線量当量率の最高は ■■■ μSv/h であり、100 μSv/h を超えない。</p>	<p>(ロ)D.5</p>	<p>規則 第 5 条第 8 号</p>

規則及び告示に対する適合性の評価 (5/12)

規則の 項目	告示の 項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第6条 第2号	第14条	一般の試験条件		
	別記第4 第1号	周囲温度 38 °C の環境及び太陽放射熱の下においた場合、輸送物が健全であることを解析により示している。	(ロ)A.5 (ロ)B.4.2	
	別記第4 第2号	水噴霧 輸送容器の外表面は滑らかに仕上げられているため、水切りが良い。類似の蓋構造を有する輸送容器による水噴霧試験において、ドラムフランジ部から輸送容器内部への水の浸入は確認されなかった。このため、水噴霧試験において、輸送容器内に水が浸入することはない。	(ロ)A.5.2	告示別記第3 第1号イ
		自由落下 本輸送物の最大重量は ■■■ kg (■■■ lb) であり、自由落下高さは 1.2 m である。 コーナー落下及び傾斜落下で原型試験を実施した。1.2 m 落下による変形は軽微であり、輸送容器、PCV、SCV 及び収納物の健全性は維持される。 本輸送物の最大重量は ■■■ kg (■■■ lb) であり、該当しない。	(ロ)A.5.3 (イ)A	告示別記第3 第1号ロ(1) 告示別記第3 第1号ロ(2)
		積み重ね試験 自重の5倍に相当する荷重 ■■■ kg (■■■	(ロ)A.5.4	告示別記第3 第1号ロ(3)

規則及び告示に対する適合性の評価 (6/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
		<p>lb)、鉛直投影面積に 13 kPa を乗じて得た値に相当する荷重 ■■■ kg (■■■ lb) に対し、保守的に ■■■ kg (■■■ lb) の圧縮荷重で 24 時間、類似の輸送物上部に負荷した結果、輸送物が健全であることを確認した。</p>		
		<p>貫通 重量 6 kg、直径 32 mm の先端が球形の軟鋼棒を 1 m の高さからドラム胴体の最も弱い部分(溶接部)に落下させた結果、ドラム胴体の表面に最大 ■■■ mm (■■■ in.) 変形を生じたが、ドラム胴体の破裂又は断熱材に到る損傷はなく、ステンレス鋼ドラムの健全性に影響のないことを確認した。</p>	(ロ)A.5.5	告示別記第 3 号 第 1 号ロ(4)
	イ 第 8 条	<p>本輸送物が一般の試験条件下に置かれた場合、輸送容器の遮蔽性能に影響を及ぼす損傷は生じないため、表面における最大線量当量率の著しい増加はない。また、その際の輸送物の表面における最大線量当量率は ■■■ mSv/h であり、2 mSv/h を超えない。</p>	(ロ)D.5	規則 第 5 条第 9 号ロ
	ロ 第 15 条	<p>本輸送物が一般の試験条件下に置かれた場合、各種落下試験による変形、環境温度及び太陽放射熱による最大内圧、熱応力の負荷に対して密封装置は健全であるので、密封性は損なわれない。この場合の放射性物質の 1</p>	(ロ)C.3.1	

規則及び告示に対する適合性の評価 (7/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
第6条 第3号	ハ	<p>時間当りの漏えい率は A₂ 値の百万分の一に対する比率が ████████ であるので、規則及び告示に定める技術基準を満足している。</p> <p>日陰における輸送物表面の最高温度は ████████ °C (██████ ° F) であり、規則に定める技術基準(50 °Cを超えないこと)を満足している。</p>	(口)B.4.2	
	ニ 第9条	<p>本輸送物の発送前検査により、表面の放射性物質の密度が基準値を超えないことを確認する。さらに本輸送物は一般の試験条件下に置かれてもその密封性は保持される。したがって表面の放射性物質の密度は規則及び告示の定める基準を満足している。</p>	(口)C.3.1 (ニ)A.2	
	第16条 別記第5 第1号イ	<p>特別の試験条件</p> <p>落下試験 I</p> <p>輸送物が最大損傷を受けるよう垂直、水平、コーナー、傾斜姿勢で9 mの高さから落下させる原型試験を実施した。その結果、変形は緩衝材(ドラム、断熱材)のみで収納容器に達することはなく、本輸送物の熱的性能、密封性能及び遮蔽性能が維持されることを確認している。</p>	(口)A.6 (口)A.6.1	

規則及び告示に対する適合性の評価 (8/12)

規則の 項目	告示の 項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
イ	別記第 5 第 1 号ロ	<p>落下試験Ⅱ</p> <p>落下試験Ⅰに引き続き、垂直に固定した直径 150 mm の軟鋼丸棒に本輸送物を 1 m の高さから落下させる原型試験を実施した。その結果、供試体の側部をさらに平坦化するものの、ドラム胴体を貫通することなく、本輸送物の健全性が損なわれないことを確認している。</p>	(ロ)A.6.2	
	別記第 5 第 2 号イ 及びロ	<p>落下試験Ⅰ及びⅡに引き続き耐火試験を行うとして解析を実施した。解析において、火災前の状態は一般の試験条件下の温度分布とし、火災中は 0.9 の放射率をもつ 800 ° C の環境に 30 分さらされるとともに太陽放射熱を受けるとした。火災後は、38 ° C の条件下で太陽放射熱及び設計上最大となる内部発熱を負荷しつつ自然冷却するものとし、各部の温度がすべて下りはじめ、熱平衡に達するまで評価している。</p>	(ロ)A.6.3 (ロ)B.1.1 (ロ)B.5	
	別記第 5 第 3 号	<p>浸漬試験では、輸送物を用いて、24 時間の間、水深 ■■■ m (■■■ ft) で実施し、浸漬試験において、PCV、SCV の密封装置は健全であることを確認した。</p>	(ロ)A.6.4	
	第 8 条	<p>本輸送物が特別の試験条件下に置かれた場合、輸送物の表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率は ■■■ mSv/h であり、10 mSv/h を超えない。</p>	(ロ)D.5	

規則及び告示に対する適合性の評価 (9/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
	第 17 条	本輸送物が特別の試験条件下に置かれた場合、各種落下試験による変形、耐火試験による最大内圧、熱応力の負荷に対して密封装置は健全であるので、密封性は損なわれない。この場合の放射性物質の 1 週間当りの漏えい率は A_2 値に対する比率が ████████ であり、規則及び告示に定める技術基準を満足している。	(ロ)C.4.2.2	
第 6 条 第 4 号		運搬中に予想される最も低い温度(-40°C)から 38°C までの環境においても亀裂、破損等の生じる恐れはない。	(ロ)A.4.2 (ロ)B.4.6	
第 6 条 第 5 号	第 18 条 別記第 6	本輸送物の最大放射エネルギーは A_2 値の 10 万倍以下であり、該当しない。	(ロ)A.7	
第 7 条		BM 型輸送物であり該当しない。		
第 8 条		BM 型輸送物であり該当しない。		
第 9 条		BM 型輸送物であり該当しない。		
第 10 条		BM 型輸送物であり該当しない。		
第 11 条	第 23 条 第 23 条の 2	本輸送物は、 ^{239}Pu あるいは ^{235}U を █████ g 以上収納するため、核分裂性輸送物であり、輸送	(イ)D (ロ)E	

規則及び告示に対する適合性の評価 (10/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
第11条 第1号	第24条 別記第11 第1号 第2号 第3号 第3号	中において、臨界に達しないことを確認した。 核分裂性物質に係る核燃料輸送物の一般の試験条件及び特別の試験条件における技術上の基準は次のとおりである。		
		核分裂性輸送物に係る一般の試験条件		告示別記第3 第1号イ 第1号ロ(1) 第1号ロ(3) 第1号ロ(4)
イ		構造解析の結果より本輸送物は、一般の試験条件下に置いても、容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じることはない。	(ロ)A.9.1	
ロ		落下等により構造部に変形が生じるが、変形後の構造部の寸法は、外接する直方体の各辺が10cm未満となることはない。	(ロ)A.9.1	
第11条 第2号	第25条	孤立系の条件の下に置くこと。 本輸送物の実効増倍率は0.8509であり、臨界に達しない。	(ロ)E.6	
イ				
ロ	第24条 別記第11 第1号	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを孤立系の条件の下に置くこと。	(ロ)A.9.1 (ロ)E.6	

規則及び告示に対する適合性の評価 (11/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	備考
ハ	第 26 条 別記第 12	本輸送物の実効増倍率は 0.8509 であり、臨 界に達しない。		
		核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の 下に置いたものを孤立系の条件の下に置くこ と。	(ロ)A.9.1 (ロ)E.6	
		核分裂性輸送物に係る特別の試験条件 最大の破損を受ける以下の条件に置く。		告示別記第 11
		イ核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(ロ)A.9.2	告示別記第 3 第 1 号イ ロ(1)(3)(4)
		ロ 落下試験 I	(ロ)A.9.2	告示別記第 5
		落下試験 II	(ロ)A.9.2	第 1 号
		ハ 熱的試験	(ロ)A.9.2	第 2 号
ニ	ニ 浸漬試験	本輸送物の実効増倍率は 0.8509 であり、臨 界に達しない。	(ロ)A.9.2 (ロ)E.6	
		一般の試験条件下の配列系において、無限 配列の輸送物の実効増倍率は 0.8875 であり、 臨界に達しない。	(ロ)A.9.1 (ロ)E	

規則及び告示に対する適合性の評価 (12/12)

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第 11 条 第 3 号	ホ 第 27 条	<p>特別の試験条件下の配列系において、本輸送物の輸送制限個数(■)の2倍に相当する正方格子■■■■配列の輸送物配列下に置いた場合、実効増倍率は0.9161であり、臨界に達しない。</p> <p>本輸送物は-40℃～38℃の周囲の温度の範囲において亀裂、破損等の生じる恐れがない。</p>	<p>(口)A.9.2 (口)E (口)A4.2 (口)B.3</p>	

(ハ)章 品質マネジメントの基本方針

(ハ)章 品質マネジメントの基本方針

A 品質マネジメントシステム

A.1 概要

国立大学法人東京大学大学院工学系研究科原子力専攻（以下、原子力専攻）が、核燃料物質を米国に返還するにあたり、使用される輸送容器が法令に定める技術上の基準並びに運搬に関する確認の申請書又は核燃料輸送物設計承認申請書（以下、設計承認申請書）及び容器承認申請書に記された設計仕様及び製作方法に適合して製作されることを確実にするため、品質マネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し、かつ維持する。また、品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。

なお、本品質マネジメントシステムにおいて使用する輸送容器は [] 型のみとし、これは [] にて指定される専用容器である。使用できる [] 型は、 [] が設計し、 [] から [] 型の製造に係る品質管理システム(Quality Management System: QMS)の認証を受けているメーカーが製造した容器のみであり、また既に製造が完了している容器を使用することも考慮する。

A.2 品質方針及び品質目標

(1) 品質方針

最高責任者は、核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等が、法令に定める技術上の基準並びに設計承認申請書及び容器承認申請書に記された設計仕様及び製作方法に適合して製作されることを確実にするため、品質方針を定め(様式1「品質方針」)、文書化し、関係者への周知を確実に行う。

品質方針は1年に1回以上、見直しを行い、必要に応じて更新する。

(2) 品質目標

管理責任者は品質方針を達成するため、達成度の評価が可能な品質目標を設定し(様式2「品質目標」)、文書化し、関係者への周知を確実に行う。

品質目標は1年に1回以上、及び品質方針が更新された際に見直しを行う。

A.3 品質マニュアル

品質マニュアルは、品質マネジメントが確実に実施されることを目的に、輸送容器の設

計、製作、取扱い、検査、保守等の品質マネジメント業務の実施基準を定めたものである。

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

A.4 文書管理

(1) 適用範囲

輸送容器の品質に係る全ての文書に適用する。これには品質マネジメントシステム、品質マニュアル、品質管理計画書の他、発注仕様書や品質に関わる外部文書等も含む。

(2) 文書管理

文書の承認及び発行、識別、改定、廃棄等の手順及び保管期間は品質マニュアルに文書化し、これに則り適切に文書を管理する。

A.5 品質記録の管理

(1) 適用範囲

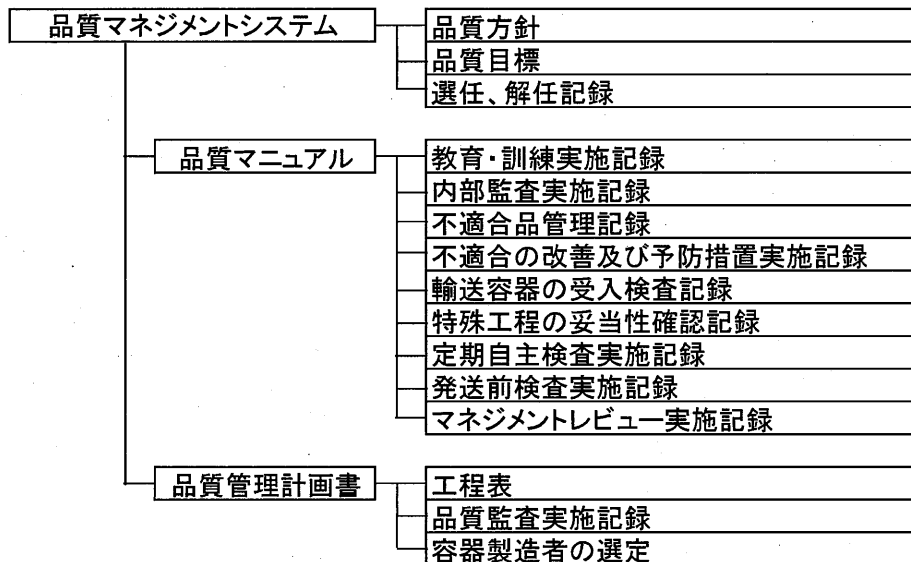
輸送容器の品質に係る記録に適用する。これには容器製造者等から提出される品質記録等も含まれる。

(2) 品質記録の管理

品質記録の識別、保管、保護、検索、廃棄等の手順及び保管期間は品質マニュアルに文書化し、これに則り適切に品質記録を管理する。

A.6 体系図

品質マネジメントシステムに係る文書及び品質記録の体系図を(ハ)第A.1図に示す。

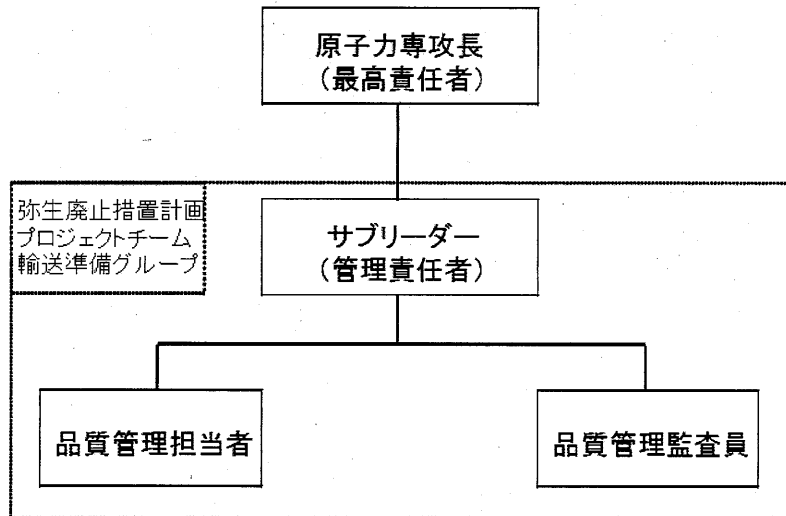


(ハ)第 A.1 図 文書及び品質記録の体系図

B.申請者の責任

B.1 責任体制

品質マネジメントシステムの実施及び維持、向上のための原子力専攻の責任体制を(ハ)第 B.1 図に示す。各々の職位の選任、解任の記録を様式 13「選任、解任記録」に記載する。



(ハ)第 B.1 図 品質マネジメントに係る原子力専攻の責任体制

B.2 最高責任者

原子力専攻長は最高責任者として下記(1)～(4)について責任及び権限を有する。

(1) 品質方針及び品質目標

品質方針を策定し、文書化し、関係者に確実に周知させる。また、管理責任者により品質目標が設定される事を確実にする。

(2) 責任体制の確立及び統括業務

図 1 に示す責任体制を確立し、品質マネジメントに係る統括業務を行う。

(3) 管理責任者の任命

弥生廃止措置計画プロジェクトチーム輸送準備グループのサプリーダーを、品質マネジメントシステムの実施について責任及び権限を持つ管理責任者として任命する。

(4) マネジメントレビュー

品質マネジメントシステムを継続的に改善し、その有効性を維持するため、品質マニュアルに則り、マネジメントレビューを確実に実施する。

B.3 管理責任者

管理責任者は最高責任者より任命され、下記(1)～(4)について責任及び権限を有する。

(1) 品質目標

品質目標を設定し、文書化し、関係者に確実に周知させる。

(2) 品質マネジメント業務

品質マニュアル及び品質管理計画書を策定し、品質に影響する業務を適切に実施させる。

(3) 品質管理担当者及び品質管理監査員の任命

弥生廃止措置計画プロジェクトチーム輸送準備グループの中から、品質管理担当者及び品質管理監査員をそれぞれ任命する。

(4) 資源の運用管理

輸送容器の製作に係る品質に影響のある仕事に従事する職員等に対して、適切に教育・訓練を実施する。

B.4 品質管理担当者

品質管理担当者は管理責任者より任命され、内部監査を除く品質管理に係る業務全般を管理責任者の下遂行する。

B.5 品質管理監査員

品質管理監査員は管理責任者より任命され、内部監査業務のみを行う。

B.6 測定、分析及び改善

(1) 内部監査

品質管理監査員は品質マニュアルに従い、1年に1回以上、内部監査を実施し、品質マネジメントシステムが効果的に実施、改善されるようにする。

内部監査の結果、発見された不適合等に対して、品質管理監査員は確実に是正等の措置を実施させる。また、内部監査の結果及び是正措置等を実施した場合はその内容等についてマネジメントレビューへインプットする。

(2) 不適合品

(a) 識別及び管理

不適合品が発見された場合、品質管理担当者は品質マニュアルに従い、不適合品を確実に識別し、管理する。

(b) 不具合の除去

品質管理担当者は品質マニュアルに則り、発見された不適合品に対して、不具合の除去を行い、再度、通常時の検査等を行う。その結果、不具合が除去され品質に影響がない事が確実である場合に限り、輸送容器を使用する事ができる。不具合が除去されない場合は、品質マニュアルに則り、輸送容器が使用されないよう保管、処理する。

(c) 是正措置

不適合品の再発防止及び不適合が起こりうる要因を除去するため、不適合の原因の特定、再発防止、予防等を行う。この記録は品質記録として品質マニュアルに則り保管、管理する。

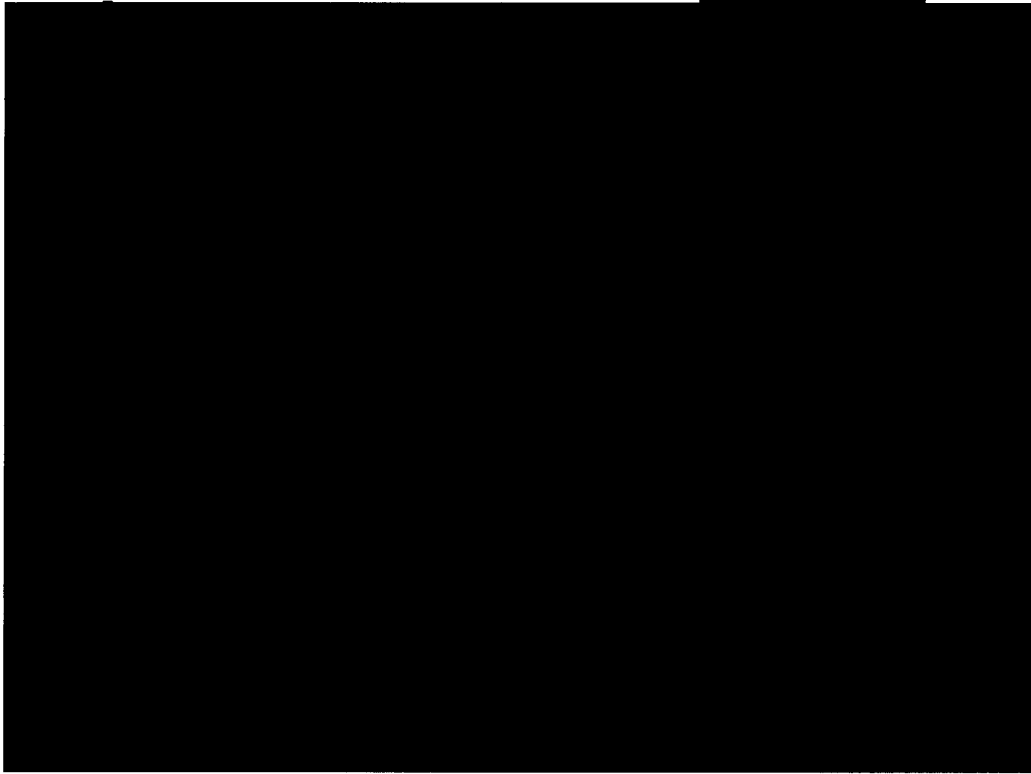
C 教育・訓練

管理責任者は必要な技能の習得又は向上のため、品質マニュアルに従い、教育・訓練を実施する。対象者は輸送容器の品質に影響のある業務に従事する者とし、基本的には品質管理担当者及び品質管理監査員であるが、その他、必要に応じて学内関係者や委託業者らに対しても実施する。

教育・訓練の実施記録は品質記録として、品質マニュアルに従い保管、管理する。

D 設計管理

本品質マネジメントシステムが対象としている █████ 型は、既に米国において BM 型核分裂性輸送物の輸送容器として承認されている（証明書番号：USA █████ /B(M)F-96(DOE)）。また、輸送実績もあり、高い安全性が示されていることから、新たに設計の変更等を行わない。█████ 型の縦断面図を (ハ) 第 D.1 図に示す。



(ハ) 第 D.1 図 █████ 型の縦断面図

E 輸送容器の製造発注

E.1 品質管理計画書

製作される輸送容器が法令に定める技術上の基準並びに設計及び容器承認申請書の設計仕様及び製作方法に適合することを確実にするため、管理責任者は輸送容器の製作に関する品質マネジメント業務を規定する品質管理計画書を策定する。この業務には輸送容器の製造者（以下、容器製造者）への発注業務を含む。

E.2 容器製造者の選定基準

品質管理計画書に従い、容器製造者に対して、容器を製造する能力について評価し、選定する。

E.3 容器製造者への要求事項

品質管理計画書に従い、容器製造者の品質マネジメントに対する要求事項を明確にし、必要に応じて、容器製造者へ提示する。

E.4 輸送容器の製作の検証

品質管理計画書に従い、輸送容器が設計承認申請書及び容器承認申請書の設計仕様及び製作方法に適合している事を検証し確実にする。検査及び検証の結果は様式 7「輸送容器の受入検査記録」に記載し、品質記録として保管、管理する。

E.5 日程管理及び特殊工程

品質管理計画書に従い、輸送容器の発注から受入保管までの工程表を作成、管理する。また、事後の検査では結果が十分検証できない工程を特殊工程として定義し、特殊工程については作業員及び工程の認定及び管理の方法を明確にする。

F 取扱い及び保守

品質マニュアルに従い、輸送容器の維持管理、検査を実施する。検査等の結果は品質記録として保管、管理する。

(二)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の 取扱い方法

(二)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

A. 輸送物の取扱い方法

A.1 装荷方法

本輸送物に係る収納物の装荷は、次の手順により行う。

(1) 収納物の準備

収納物は装荷に先立ち、A.2 の輸送物発送前検査に基づく収納物検査を行う。

(2) 収納物の装荷

- ① [REDACTED]
- ② [REDACTED]
- ③ [REDACTED]
- ④ [REDACTED]
- ⑤ PCV の気密漏えい検査を実施する。(A.2 参照)
- ⑥ [REDACTED]
- ⑦ [REDACTED]
- ⑧ SCV の気密漏えい検査を実施する。(A.2 参照)
- ⑨ [REDACTED]
- ⑩ [REDACTED]
- ⑪ [REDACTED]
- ⑫ 封印をする。

A.2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送する前に(=)第 A.1 表あるいは(=)第 A.2 表に示す発送前検査を実施し、合格基準に適合することを確認する。

(二)第A.1表 輸送物発送前検査要領 (プルトニウム燃料装荷時)

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	ドラム、ドラム蓋、上部断熱材、PCV及びSCVの外観を目視により確認する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないこと。
気密漏えい検査	PCV及びSCVの Oリング部及びリークテストポートプラグ部を規定範囲内に真空引きし、エアリークディテクターを用いた圧力上昇法により漏えい率を規定時間測定する。	漏えい率が std cm ³ /s 以下であること。
圧力測定検査	収納物から発生する崩壊熱は小さく、容器内部は常圧であるため、容器内部の圧力は周囲圧力と同一になる。そのため、本検査は実施しない。	
線量当量率検査	収納物を収納した状態で、輸送物の表面及び表面より 1 m 離れた位置におけるガンマ線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメーターで測定する。	ガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の合計が以下の基準を超えないこと。 表面：2 mSv/h 表面から 1 m の距離：100 µSv/h
未臨界検査	PCV、SCV 及びドラムの外観を目視により確認する。	PCV、SCV 及びドラムの外観に臨界安全性に影響のある有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないこと。
温度測定検査	収納物から発生する崩壊熱は小さく、容器温度は周囲温度と同一になる。そのため、本検査は実施しない。	
吊上検査	本輸送容器は吊上装置を有しないため該当せず。	
重量検査	輸送物の総重量を計量器で測定する。	重量が kg(lb) 以下であること。
収納物検査	収納物の種類、重量及び外観を確認する	1.種類及び重量： 収納条件を満足していること。 2.外観： 核燃料物質、収納缶及びホルダーの外観に異常な変形又は破損がないこと。
表面密度検査	スミヤ法により輸送物表面の放射性物質の密度を測定する。	表面密度が以下の基準を満足すること。 アルファ線を放出する放射性物質： 0.4 Bq/cm ² を超えないこと。 アルファ線を放出しない放射性物質： 4 Bq/cm ² を超えないこと。

(二) 第A.2表 輸送物発送前検査要領 (ウラン燃料装荷時)

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	ドラム、ドラム蓋、上部断熱材、PCV及びSCVの外観を目視により確認する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないこと。
気密漏えい検査	PCV及びSCVのOリング部及びリークテストポートプラグ部を規定範囲内に真空引きし、エアリークディテクターを用いた圧力上昇法により漏えい率を規定時間測定する。	漏えい率が $\text{std cm}^3/\text{s}$ 以下であること。
圧力測定検査	収納物から発生する崩壊熱は小さく、容器内部は常圧であるため、容器内部の圧力は周囲圧力と同一になる。そのため、本検査は実施しない。	
線量当量率検査	収納物を収納した状態で、輸送物の表面及び表面より1m離れた位置におけるガンマ線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメーターで測定する。	ガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の合計が以下の基準を超えないこと。 表面：2 mSv/h 表面から1mの距離：100 $\mu\text{Sv/h}$
未臨界検査	PCV、SCV及びドラムの外観を目視により確認する。	PCV、SCV及びドラムの外観に臨界安全性に影響のある有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないこと。
温度測定検査	収納物から発生する崩壊熱はないため、容器温度は周囲温度と同一となる。そのため、本検査は実施しない。	
吊上検査	本輸送容器は吊上装置を有しないため該当せず。	
重量検査	輸送物の総重量を計量器で測定する。	重量が kg (lb) 以下であること。
収納物検査	収納物の種類、重量及び外観を確認する	1.種類及び重量： 収納条件を満足していること。 2.外観： 収納缶の外観に異常な変形又は破損がないこと。
表面密度検査	スミヤ法により輸送物表面の放射性物質の密度を測定する。	表面密度が以下の基準を満足すること。 アルファ線を放出する放射性物質： 0.4 Bq/cm^2 を超えないこと。 アルファ線を放出しない放射性物質： 4 Bq/cm^2 を超えないこと。

A.3 取出し方法

- ① [REDACTED]
[REDACTED]
- ② [REDACTED]。
- ③ [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]。
- ④ [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
- ⑤ [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
- ⑥ [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
- ⑦ [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]

A.4 空容器の準備

収納物の取り出し後、容器内面の放射線測定を行い、必要に応じ除染を行う。また、輸送容器の外観検査を行い、異常がないことを確認して屋内に保管する。

B. 保守条件

輸送容器の保管は屋内で行う。定期自主検査は、以下に記した方法により、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回毎に1回以上）実施する。検査項目、検査方法及び合格基準を(二)第B.1表に示す。また、定期自主検査の結果、異常が認められた場合は必要に応じて補修を実施する。

B.1 外観検査

ドラム、ドラム蓋、PCV及びSCVの外観に有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないことを目視により検査する。

B.2 耐圧検査

耐圧検査の対象機器はPCV及びSCVであり、製造過程において耐圧強度を有していることを検査する。

輸送容器の供用中は、定期自主検査の外観検査において、PCV及びSCVの外観に有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないことを目視により検査する。

B.3 気密漏えい検査

製造過程において、試験用ガスとしてヘリウムガスを用いて、PCV及びSCVのヘリウムリーク試験を行い漏えい率が \blacksquare std cm³/s 以下であることを検査する。

輸送容器の供用中は、発送前検査時に気密漏えい検査を行う他、Oリング、Oリング溝、PCVシール面及びSCVシール面の外観を目視により検査する。

B.4 遮蔽検査

PCV、SCV及びドラムに有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないことを目視により検査する。

輸送容器の供用中は、定期自主検査の外観検査において、ドラム、PCV及びSCVの外観に有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないことを目視により検査する。

B.5 未臨界検査

PCV、SCV及びドラムに有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないことを目視により検査する。

B.6 熱検査

収納物から発生する崩壊熱は最大19Wと小さく、容器温度は周囲温度と同一になるため該当しない。

B.7 吊上検査

本輸送容器は吊上装置を有しないため該当しない。

B.8 作動確認検査

本輸送容器は弁及び非常用安全装置等の作動装置を有していないため該当しない。

B.9 補助系の保守

本輸送容器は補助系を有していないため該当しない。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

輸送容器の供用中は、発送前検査時に PCV 及び SCV の O リング、O リング溝、PCV シール面及び SCV シール面の外観に密封性能に影響する有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないことを目視により検査する。異常が認められた場合には O リングを交換する。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器は、所定位置のベント穴にプラスチックプラグを装着し、ドラム蓋を取付け、天候の影響を受けない屋内施設で保管する。

B.12 記録の保管

容器の定期自主検査等の記録は、容器登録の有効期限内はこれを保管する。

B.13 その他

補修を行った容器は、補修後検査として(=)第 B.1 表の定期自主検査要領に基づき検査を行う。ただし、補修が収納容器の耐圧性能に影響を及ぼすと考えられる場合、耐圧検査として収納容器の水圧試験（検査圧力 PCV: [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig)、SCV : [REDACTED] MPaG ([REDACTED] psig)) を行い、圧力の低下及び内部からの漏水がないことを確認する。

(二)第 B.1 表 定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	ドラム、ドラム蓋、PCV 及び SCV の外観を目視により確認する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないこと。
未臨界検査	PCV、SCV 及びドラムの外観を目視により確認する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な変形がないこと。

(ホ)章 安全設計及び安全輸送に関する
特記事項

(ホ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項
特記事項なし。

参考 輸送容器の製作の方法の
概要に関する説明



参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

本輸送容器は、(ロ)章の「核燃料輸送物の安全解析」で述べた構造、熱、密封、遮蔽及び臨界の各解析により決定された寸法及び構造を満足するように、参考Aの「輸送容器の製作方法」に従って製作し、参考Bの「試験・検査方法等」に記述する試験及び検査により、上記の各設計条件を満足していることを確認する。

参考 A 輸送容器の製作方法

参考-A 輸送容器の製作方法

A.1 概要

輸送容器は、密封装置を構成する一次収納容器（PCV：Primary Containment Vessel）及び二次収納容器（SCV：Secondary Containment Vessel）、並びにそれらを収納するドラムから構成される。PCVは設計圧力■■■■ MPaG（■■■■ psig）、SCVは設計圧力■■■■ MPaG（■■■■ psig）の耐圧容器として設計されている。輸送容器は、当該核燃料輸送物の安全解析で述べられた各解析及びそれらにより決定される寸法、構造を満足するように、本書に定められた輸送容器の製作方法に従って製作される。それらが上記設計条件を満足していることを、各試験検査により確認する。輸送容器の製作工程を(参)-第 A.1 図に示す。

A.1.1 製作方法及び手順の説明

輸送容器は(参)-第 A.1 図に示す手順及び方法により製作される。以下、(参)-第 A.1 図に従い、製作手順及び方法について述べる。

A.1.1.1 ドラム

ドラムは、ドラム胴体、ドラム胴体のフランジ部、ドラムナット、ドラム底板及びドラム蓋から構成される。ドラム内には、断熱材及び遮蔽体が挿入される。

(1) ドラム胴体

- ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
- ② 鋼材を所定の形状に切断、曲げ加工、機械加工、溶接し成形する。

(2) ドラム胴体のフランジ部

- ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
- ② 鋼材を所定の形状に切断、曲げ加工、機械加工、溶接し成形する。
- ③ フランジ部長手方向を溶接する。

(3) ドラムナット

- ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

- (4) ドラム胴体のフランジ部とドラムナットの接合
 - ① (2)で製作した部材とドラムナットを溶接する。
- (5) ドラム胴体とドラム胴体のフランジ部の接合
 - ① (1)及び(4)で製作した部材を溶接する。
 - ② 溶接後、目視検査にて溶接の健全性を確認する。
- (6) ドラム底板
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工し成形する。
- (7) ドラム胴体とドラム底板の接合
 - ① (5)及び(6)で製作した部材を溶接する。
- (8) 寸法検査
 - ① (7)で製作した部材について、寸法検査を実施する。
- (9) ドラム蓋
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工し成形する。
 - ③ ドラム蓋にドラム蓋補強リングを溶接後、目視検査にて溶接の健全性を確認する。
- (10) 外観検査
 - ① (7)及び(9)で製作した部材について、外観検査を実施する。

A.1.1.2 断熱材

断熱材は、繊維板から成る断熱材、エアシールド、アルミニウムベアリング板及びブランケットから構成される。

- (1) 断熱材
 - ① 購入した断熱材の材料確認を行い、材質及び密度が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 断熱材を所定の形状に切断し成形する。
- (2) エアシールド
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

認する。

② 鋼材を所定の形状に切断、曲げ加工、溶接し成形する。

(3) アルミニウムベアリング板

① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工し成形する。

(4) 断熱材の接着

① (1)、(2)及び(3)で製作した部材を接着する。

(5) 外観検査

① (4)で製作した部材について、目視による外観検査を実施する。

(6) ブランケット

① 購入したブランケットの材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

A.1.1.3 遮蔽体

遮蔽体は、鉛の遮蔽体、遮蔽体内側ライナ、遮蔽体外側ライナ、アルミニウム蓋及びステンレス鋼製ボルトから構成される。

(1) 遮蔽性能検査

① 遮蔽性能検査として、購入した遮蔽体の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

② 遮蔽体を所定の形状に切断、曲げ加工し成形する。

(2) 遮蔽体内側ライナ

① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

② 鋼材を所定の形状に切断、曲げ加工、溶接し成形する。

(3) 遮蔽寸法検査

① (1)及び(2)で製作した部材を接合する。

② 遮蔽寸法検査として、製作した部材の厚さを測定する。

(4) 遮蔽体外側ライナ

① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

- ② 鋼材を所定の形状に切断、曲げ加工、溶接し成形する。
- (5) アルミニウム蓋
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工し成形する。
- (6) ステンレス鋼製ボルト
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
- (7) 遮蔽性能検査
 - ① (3)、(4)、(5)及び(6)で製作した部材を組み合わせる。
 - ② 遮蔽性能検査として遮蔽体の重量を測定する。
- (8) 外観検査
 - ① (7)で製作した部材について、目視による外観検査を実施する。

A.1.1.4 一次収納容器 (PCV)

PCVはPCV本体、PCV蓋で構成される。

A.1.1.4.1 PCV本体

PCV本体はステイヘッド、シームレスパイプ、パイプキャップ及びスカートで構成される。

- (1) ステイヘッド
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (2) シームレスパイプ
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (3) パイプキャップ
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

- ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (4) スカート
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (5) パイプキャップとスカートの接合
 - ① (3)及び(4)で製作した部材を溶接する。
- (6) ステイヘッド、シームレスパイプ、パイプキャップの接合
 - ① (1)、(2)及び(5)で製作した部材を溶接する。
 - ② 溶接後、目視検査及び液体浸透探傷検査にて溶接の健全性を確認する。
- (7) 寸法及び外観検査
 - ① 製作した部材について、寸法及び外観検査を実施する。なお、外観検査として液体浸透探傷検査を実施する。

A.1.1.4.2 PCV 蓋

PCV 蓋はコーンシールプラグ、コーンシールナット、リークテストポートプラグ、Oリング及び外止めリングで構成される。

- (1) コーンシールプラグ
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (2) コーンシールナット
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (3) 寸法及び外観検査
 - ① (1)及び(2)で製作した部材について、寸法及び外観検査を実施する。なお、外観検査として液体浸透探傷検査を実施する。
- (4) リークテストポートプラグ
 - ① 購入した部材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

(5) Oリング

- ① 購入した部材の材料確認を行い、規格が所定の仕様を満足していることを確認する。

(6) 外止めリング

- ① 購入した部材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

A.1.1.4.3 PCVの各種検査

- ① A.1.1.4.1 で製作した PCV 本体、A.1.1.4.2 で製作した PCV 蓋、リークテストポートプラグ、O リング及び外止めリングを組み合わせ、それらが支障なく組立てられることを確認し、耐圧検査を実施する。
- ② ヘリウムによる気密漏えい検査を実施する。

A.1.1.5 二次収納容器 (SCV)

SCVはSCV本体、SCV蓋で構成される。また、SCVの上下にはSCV上部衝撃吸収体及びSCV上部衝撃吸収体が配置される。

A.1.1.5.1 SCV本体

SCV本体はステイヘッド、シームレスパイプ、パイプキャップ及びスカートで構成される。

(1) ステイヘッド

- ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
- ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。

(2) シームレスパイプ

- ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
- ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。

(3) パイプキャップ

- ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

- ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (4) スカート
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (5) パイプキャップとスカートの接合
 - ① (3)及び(4)で製作した部材を溶接する。
- (6) ステイヘッド、シームレスパイプ、パイプキャップの接合
 - ① (1)、(2)及び(5)で製作した部材を溶接する。
 - ② 溶接後、目視検査及び液体浸透探傷検査にて溶接の健全性を確認する。
- (7) 寸法及び外観検査
 - ① 製作した部材について、寸法及び外観検査を実施する。なお、外観検査として液体浸透探傷検査を実施する。

A.1.1.5.2 SCV 蓋

SCV 蓋はコーンシールプラグ、コーンシールナット、リークテストポートプラグ、Oリング及び外止めリングで構成される。

- (1) コーンシールプラグ
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (2) コーンシールナット
 - ① 購入した鋼材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。
 - ② 鋼材を所定の形状に切断、機械加工により製作する。
- (3) 寸法及び外観検査
 - ① (1)及び(2)で製作した部材について、寸法及び外観検査を実施する。なお、外観検査として液体浸透探傷検査を実施する。
- (4) リークテストポートプラグ
 - ① 購入した部材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

(5) Oリング

- ① 購入した部材の材料確認を行い、規格が所定の仕様を満足していることを確認する。

(6) 外止めリング

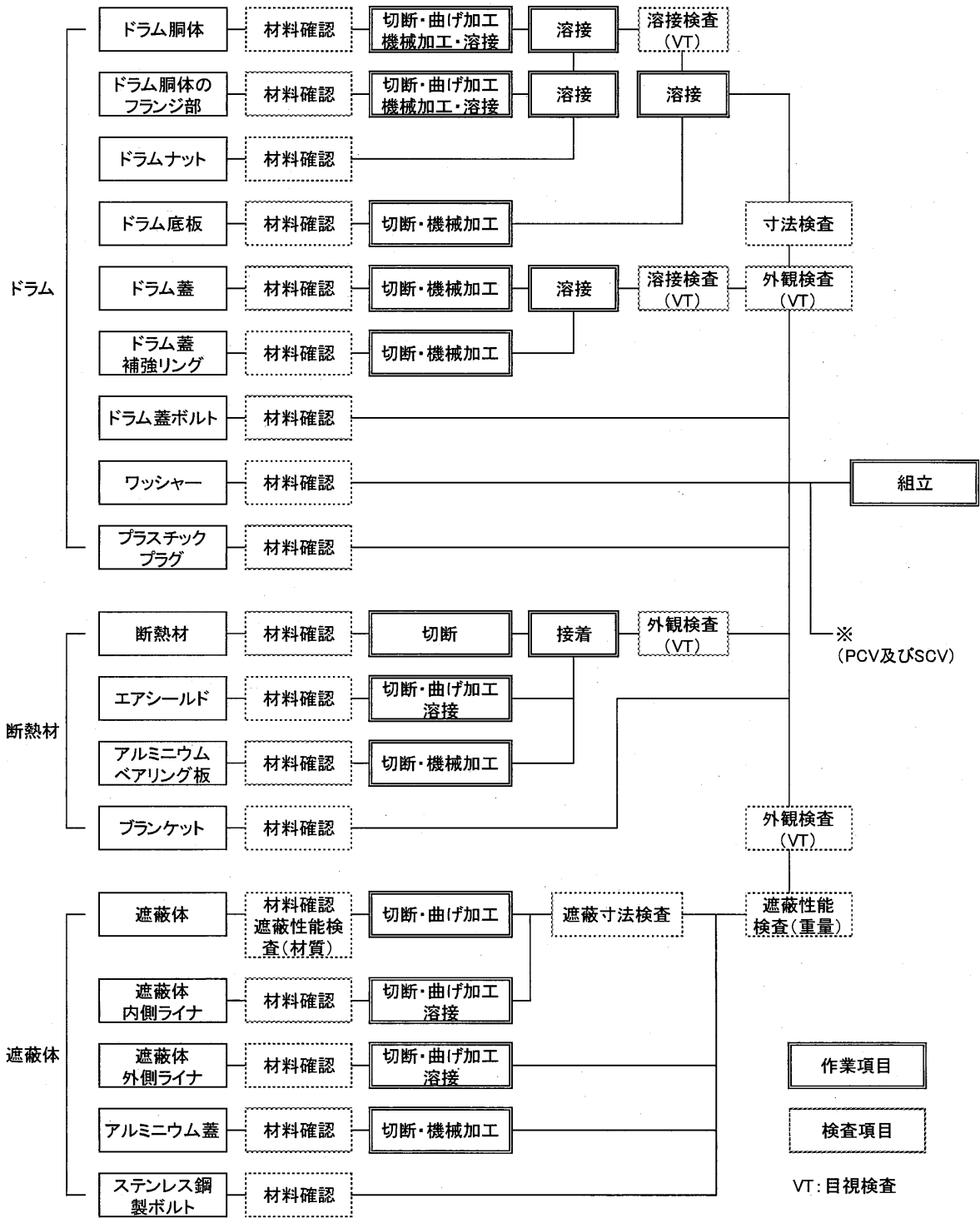
- ① 購入した部材の材料確認を行い、材質が所定の仕様を満足していることを確認する。

A.1.1.5.3 PCV の各種検査

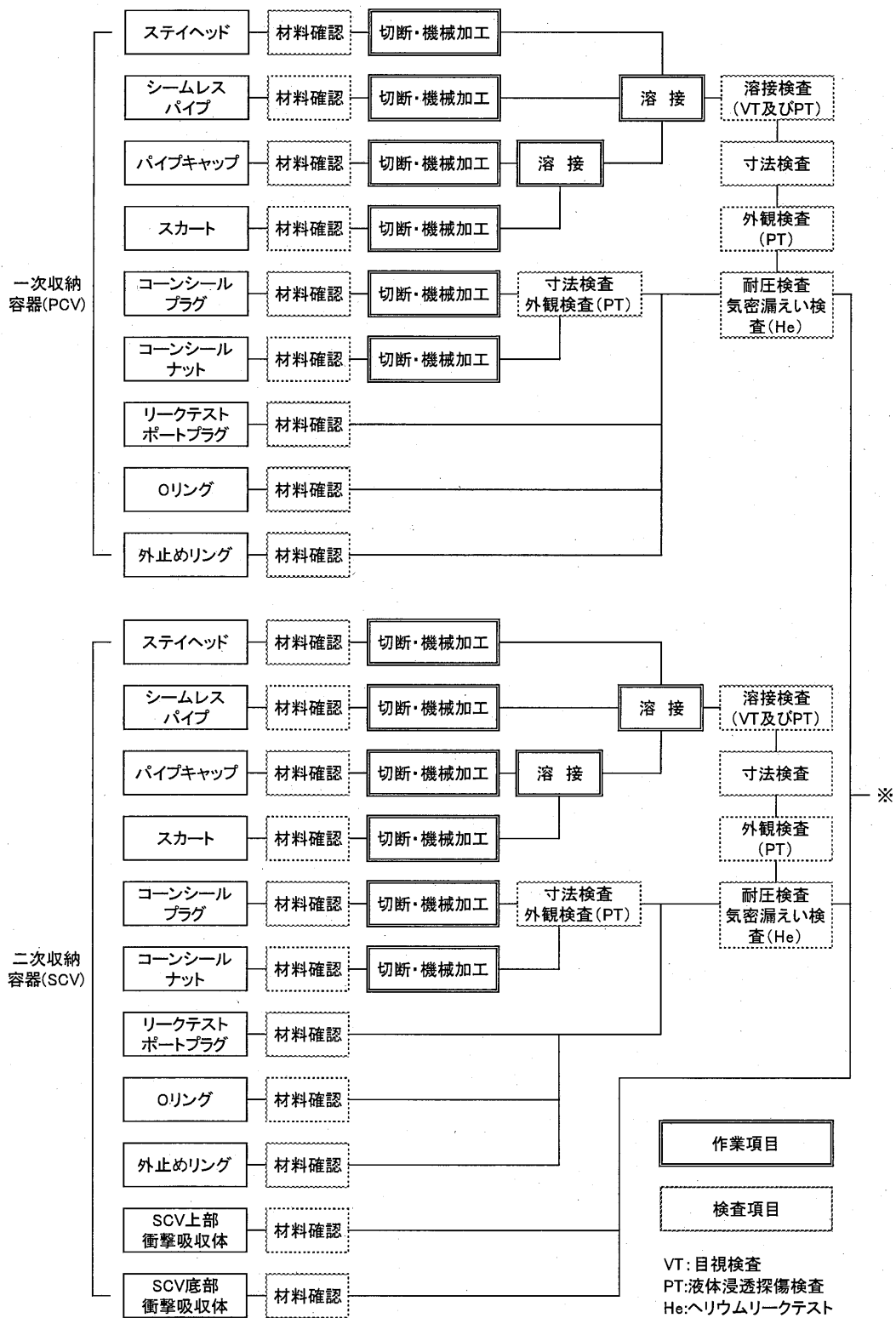
- ① 5.1 で製作した SCV 本体、5.2 で製作した SCV 蓋、リークテストポートプラグ、O リング及び外止めリングを組み合わせ、それらが支障なく組立てられることを確認し、耐圧検査を実施する。
- ② ヘリウムによる気密漏えい検査を実施する。

A.1.1.6 輸送容器

- ① ドラム蓋ボルト、ワッシャー、プラスチックプラグ、SCV 上部衝撃吸収体及び SCV 底部衝撃吸収体の材料確認を行い、所定の仕様を満足していることを確認する。
- ② A.1.1.1～A.1.1.5. で製作した部材及びドラム蓋ボルト、ワッシャー、プラスチックプラグ、SCV 上部衝撃吸収体及び SCV 底部衝撃吸収体を組み合わせ、PCV が SCV に支障なく収納され、SCV がドラムに支障なく挿入され、かつ、取り出せることを確認する。



(参) - 第 A.1 図 輸送容器全体製作工程 (1/2)



(参) - 第 A.1 図 輸送容器全体製作工程 (2/2)

A.2 材料の説明

A.2.1 板材料

輸送容器のドラム、遮蔽体、ブランケット、エアシールド、一次収納容器及び二次収納容器に使用する板材料はステンレス鋼であり、(参)-第 A.1 表に示す規格の材料を使用する。これらの材料は、十分な強度を有し耐食性に優れ、製作においても特性を失うことなく加工可能である。また、(参)-第 A.2 表に適用規格の材料特性を示す。

A.2.2 管材類

PCV 及び SCB に使用するシームレスパイプはステンレス鋼であり、(参)-第 A.1 表に示す規格の材料を使用する。これらの材料は、十分な強度を有し耐食性に優れ、製作においても特性を失うことなく加工可能である。また、(参)-第 A.2 表に適用規格の材料特性を示す。

A.2.3 鍛造品及びボルト・ナット類

本輸送容器に用いる鍛造品としては PCV 及び SCV のパイプキャップであり、ボルト・ナット類としてはドラムに用いるドラム蓋ボルト、ドラムナット及びワッシャー並びに遮蔽体に用いるステンレス鋼製ボルトである。いずれも(イ)-第 B.1 表に示す規格の材料を使用する。これらの材料は、十分な強度を有し耐食性に優れ、製作においても特性を失うことなく加工可能である。(参)-第 A.2 表に適用規格の材料特性を示す。

A.2.4 溶接用電極・棒・ワイヤ

輸送容器に使用する材料に対し、健全な溶接を得るため、(参)-第 A.1 表に示す規格の溶接材料を使用する。

A.2.5 特殊材料

輸送容器の製作に関し、前述の一般材料のほかに、下記に示す特殊材料を使用する。

(1) 断熱材

断熱材として、ASTM C 208 により製作された繊維板（セロテックス）を使用する。

(2) ブランケット

ブランケットは、薄いステンレス鋼により覆われたセラミック繊維（Kaowool）から製造される。火災時の断熱効果を高めるため、ブランケット内部には、断熱材の一種であるファイヤーマスター（Firemaster）を設置する。

(3) Oリング

PCV 及び SCV のコーンシールプラグに設ける O リングには、バイトンを使用する。

(4) 遮蔽体

遮蔽体は、内側、外側及び底部をステンレス鋼で被覆した鉛の円筒及びアルミニウム蓋で構成され、ガンマ線の遮蔽材として鉛が使用される。

(5) プラスチックプラグ

プラスチックプラグは、ドラム胴体の 4 箇所の水蒸気放出穴に挿入する。

(6) SCV 底部衝撃吸収材及び SCV 上部衝撃吸収材

衝撃荷重を低減するため、SCV と PCV の間の上下の空間に衝撃吸収材を装着する。衝撃吸収材は、アルミニウム製のハニカム構造である。

A.2.6 ミルシート

ドラム、PCV 及び SCV に使用している鋼材については、ミルシート付の鋼材を使用する。ミルシートには、適用仕様、コード又は規格により要求される化学成分、機械的性質が記載されている。

A.2.7 材料欠陥部の修理

各材料の製造過程及び加工中に発生した板傷等の小欠陥はグラインダにて滑らかに仕上げ、目視検査により検査する。

A.2.8 材料の切断

ドラム、PCV 及び SCV に使用する鋼材の切断は、シャーリング機、プラズマ切断機、


グラインダ切断機等を用いて行う。

また、棒材の切断もグラインダ切断機、プラズマ切断機、旋盤等を用いて行う。

A.2.9 材料の成型

遮蔽体を取り囲む断熱材は、ASTM C 208 により製作された繊維板（セロテックス）を複数枚重ね合わせ、接着剤で結合し成型する。各材料の製造過程及び加工中に発生した板傷等の小欠陥はグラインダにて滑らかに仕上げ、目視検査により検査する。

(参)-第 A.1 表 材料規格 (1/2)

使用区分		材 料	適用規格
ドラム	ドラム胴体	ステンレス鋼	
	ドラム胴体のフランジ部	ステンレス鋼	
	ドラムナット	ステンレス鋼	
	ドラム底板	ステンレス鋼	
	ドラム蓋	ステンレス鋼	
	ドラム蓋補強リング	ステンレス鋼	
	ドラム蓋ボルト	ステンレス鋼	
	ワッシャー	ステンレス鋼	
	位置合わせピン	ステンレス鋼	
	プラスチックプラグ	Caplug	
断熱材	断熱材	繊維板 (Celotex)	
	エアシールド	ステンレス鋼	
	アルミニウムベアリング板	アルミニウム	
	ブランケット	ステンレス鋼被覆セラミックス繊維	
遮蔽体	遮蔽体	鉛	
	遮蔽体内側ライナ	ステンレス鋼	
	遮蔽体外側ライナ	ステンレス鋼	
	アルミニウム蓋	アルミニウム合金	
	ステンレス鋼製ボルト	ステンレス鋼	

[注] ASME:米国機械学会、ASTM:米国材料試験協会

(参)-第 A.1 表 材料規格 (2/2)

	使用区分	材 料	適用規格
一次 収 納 容 器	ステイヘッド	ステンレス鋼	[Redacted]
	シームレスパイプ	ステンレス鋼	
	パイプキャップ	ステンレス鋼	
	スカート	ステンレス鋼	
	コーンシールプラグ	ステンレス鋼	
	コーンシールナット	ステンレス鋼	
	リークテストポート プラグ	ステンレス鋼	
	O リング	フッ素ゴム	
	外止めリング	炭素鋼	
二次 収 納 容 器	ステイヘッド	ステンレス鋼	
	シームレスパイプ	ステンレス鋼	
	パイプキャップ	ステンレス鋼	
	スカート	ステンレス鋼	
	コーンシールプラグ	ステンレス鋼	
	コーンシールナット	ステンレス鋼	
	リークテストポート プラグ	ステンレス鋼	
	O リング	フッ素ゴム	
	外止めリング	炭素鋼	
SCV 底部衝撃吸収材		アルミニウム合金	
		アルミニウム合金	
SCV 上部衝撃吸収材		アルミニウム合金	
		アルミニウム合金	
溶接材	ガスタンクステン アーク溶接 (GTAW) ガスメタルアーク 溶接 (GMAW)	ステンレス鋼	

[注] ASME:米国機械学会、UNS:ユニファイドナンバリングシステム

(参) - 第A.2表 材料特性(1/4)

適用規格又は材料名	機械的性質				化学成分 %											
	耐力 ksi (MPa)	引張強さ ksi (MPa)	伸び %	絞り %	硬さ HRB	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
██████████ ██████████	30 (205) 以上	75 (515) 以上	40.0 以上	-	92 以下	0.08 以下	0.75 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 10.50	18.00 ~ 20.00	-	-	0.10 以下	-
██████████ ██████████	25 (170) 以上	70 (485) 以上	40.0 以上	-	92 以下	0.030 以下	0.75 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 12.00	18.00 ~ 20.00	-	-	0.10 以下	-
██████████ ██████████	25 (170) 以上	70 (485) 以上	-	-	-	0.035 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 13.0	18.0 ~ 20.0	-	-	-	-
██████████ ██████████	25 (170) 以上	70 (485) 以上	28 以上	-	-	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.0 ~ 12.0	18.0 ~ 20.0	-	-	-	-
██████████ ██████████	25 (170) 以上	70 (485) 以上	30 以上	40 以上	-	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 12.00	18.00 ~ 20.00	-	-	0.10 以下	-
██████████ ██████████	-	-	-	-	-	0.03 以下	0.30 ~ 0.65	1.0 ~ 2.5	0.03 以下	0.03 以下	9.0 ~ 11.0	19.5 ~ 22.0	0.75 以下	0.75 以下	-	-

一：材料規格に記載なし

(参)一第 A.2 表 材料特性(1/4)

適用規格又は材料名	機械的性質				化学成分 %											
	耐力 ksi (MPa)	引張強さ ksi (MPa)	伸び %	絞り %	硬さ HRB	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	その他
■■■■	30 (205) 以上	75 (515) 以上	40.0 以上	-	92 以下	0.08 以下	0.75 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 10.50	18.00 ~ 20.00	-	-	0.10 以下	-
■■■■	25 (170) 以上	70 (485) 以上	40.0 以上	-	92 以下	0.030 以下	0.75 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 12.00	18.00 ~ 20.00	-	-	0.10 以下	-
■■■■	25 (170) 以上	70 (485) 以上	-	-	-	0.035 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 13.0	18.0 ~ 20.0	-	-	-	-
■■■■	25 (170) 以上	70 (485) 以上	28 以上	-	-	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 12.0	18.0 ~ 20.0	-	-	-	-
■■■■	25 (170) 以上	70 (485) 以上	30 以上	40 以上	-	0.030 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00 ~ 12.00	18.00 ~ 20.00	-	-	0.10 以下	-
■■■■	-	-	-	-	-	0.03 以下	0.30 ~ 0.65	1.0 ~ 2.5	0.03 以下	0.03 以下	9.0 ~ 11.0	19.5 ~ 22.0	0.75 以下	0.75 以下	-	-

一：材料規格に記載なし

(参)一第 A.2 表 材料特性(2/4)

適用規格又は材料名	機械的性質		化学成分 %								
	耐力 ksi (MPa)	引張強さ ksi (MPa)	伸び %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
■■■■	50 (345) 以上	95 (655) 以上	50 以上	0.10 以下	3.5 ~ 4.5	7.0 ~ 9.0	0.04 以下	0.010 以下	8.0 ~ 9.0	16.0 ~ 18.0	0.08 ~ 0.18

(参)一第 A.2 表 材料特性(3/4)

適用規格又は材料名	化学成分 %							その他合計
	Al	Si+Fe	Mn	Cu	Zn	その他	その他	
■■■■	99.00 以上	0.95 以下	0.05 以下	0.05 ~ 0.20	0.10 以下	0.05 以下	0.15 以下	

(参)一第 A.2 表 材料特性(4/4)

適用規格又は材料名	化学成分 %										
	Sb+As+Sn	Sb	As	Sn	Cu	Ag	Bi	Zn	Ni	Fe	Pb
■■■■	0.002 以下	0.001 以下	0.001 以下	0.001 以下	0.0015 以下	0.010 以下	0.05 以下	0.001 以下	0.0005 以下	0.001 以下	99.94 以上

(参)一第 A.2 表 材料特性(2/4)

適用規格又は材料名	機械的性質		化学成分 %								
	耐力 ksi (MPa)	引張強さ ksi (MPa)	伸び %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
■■■■	50 (345) 以上	95 (655) 以上	50 以上	0.10 以下	3.5 ~ 4.5	7.0 ~ 9.0	0.04 以下	0.010 以下	8.0 ~ 9.0	16.0 ~ 18.0	0.08 ~ 0.18

(参)一第 A.2 表 材料特性(3/4)

適用規格又は材料名	化学成分 %						其他合計
	Al	Si+Fe	Mn	Cu	Zn	其他	
■■■■	99.00 以上	0.95 以下	0.05 以下	0.05 ~ 0.20	0.10 以下	0.05 以下	0.15 以下

(参)一第 A.2 表 材料特性(4/4)

適用規格又は材料名	化学成分 %										
	Sb+As+Sn	Sb	As	Sn	Cu	Ag	Bi	Zn	Ni	Fe	Pb
■■■■	0.002 以下	0.001 以下	0.001 以下	0.001 以下	0.0015 以下	0.010 以下	0.05 以下	0.001 以下	0.0005 以下	0.001 以下	99.94 以上

A.3. 溶接

A.3.1 溶接方法及び材料

ドラム、PCV 及び SCV の母材の種類は、すべてステンレス鋼である。溶接は、ASME Section III Subsection NB 注 1 により実施される。

A.3.2 溶接機の管理及び溶接士資格

- (1) 溶接機は定期的に点検し管理されたものを使用する。
- (2) 溶接作業は、ASME Section III Subsection NB により実施される。

A.3.3 溶接の主要事項に関する説明

(1) 開先等の主要寸法、形状

輸送容器のドラム及びドラム蓋の溶接部の開先寸法及び形状を(参)－第 A.2 図に、ドラム及びドラム蓋の溶接線配置図を(参)－第 A.3 図に示す。また、PCV 及び SCV の溶接部の開先寸法及び形状を(参)－第 A.4 図に、PCV 及び SCV の溶接線配置図を(参)－第 A.5 図に示す。

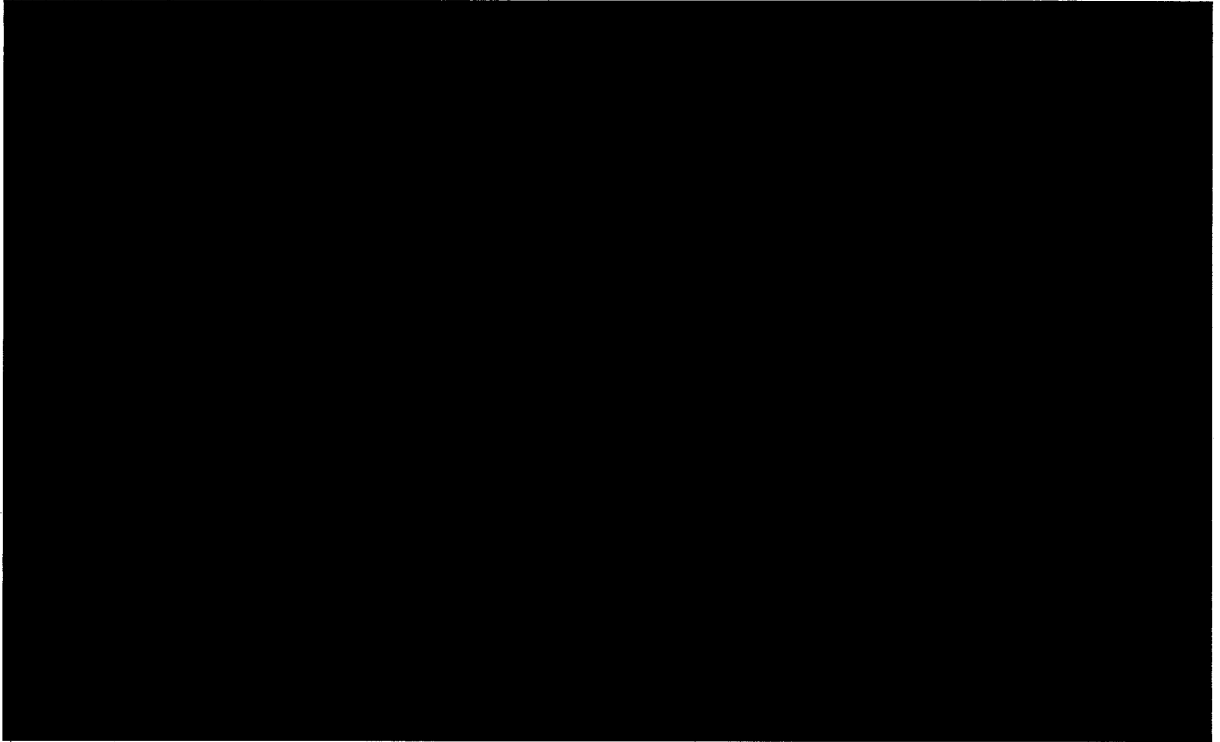
(2) 溶接部表面の洗浄

欠陥の発生を防止するため、溶接部表面の酸化物、油等の異物の除去作業を溶接前に行う。方法は、機械的方法又は化学的方法とする。

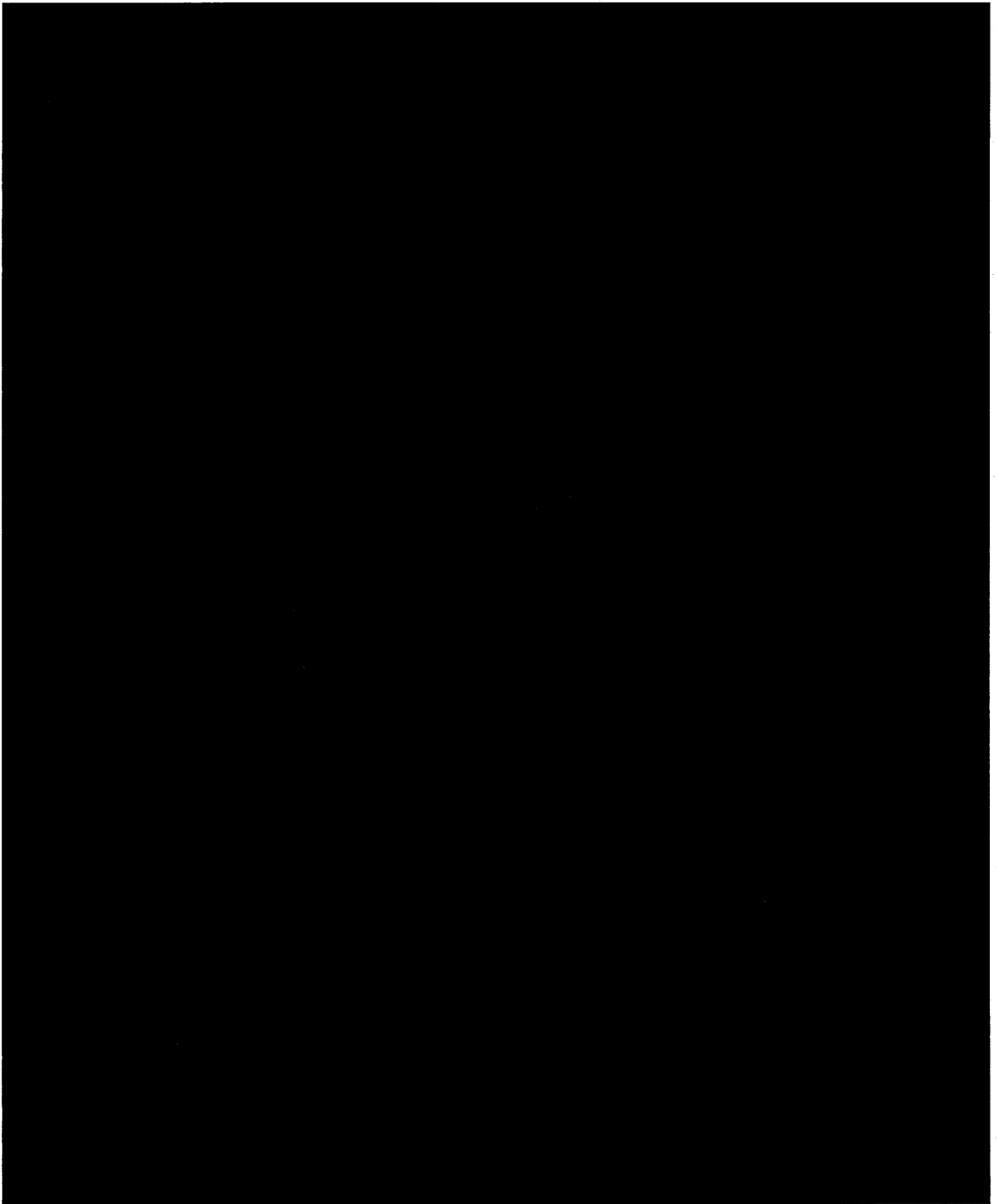
(3) 溶接部の仕上げ

溶接部は、非破壊検査が可能な程度に仕上げる。ただし、他の部分との取合があるなど特に仕上げが要求される場合は、その要求に応じグラインダ仕上げ、機械加工仕上げ等を実施する。

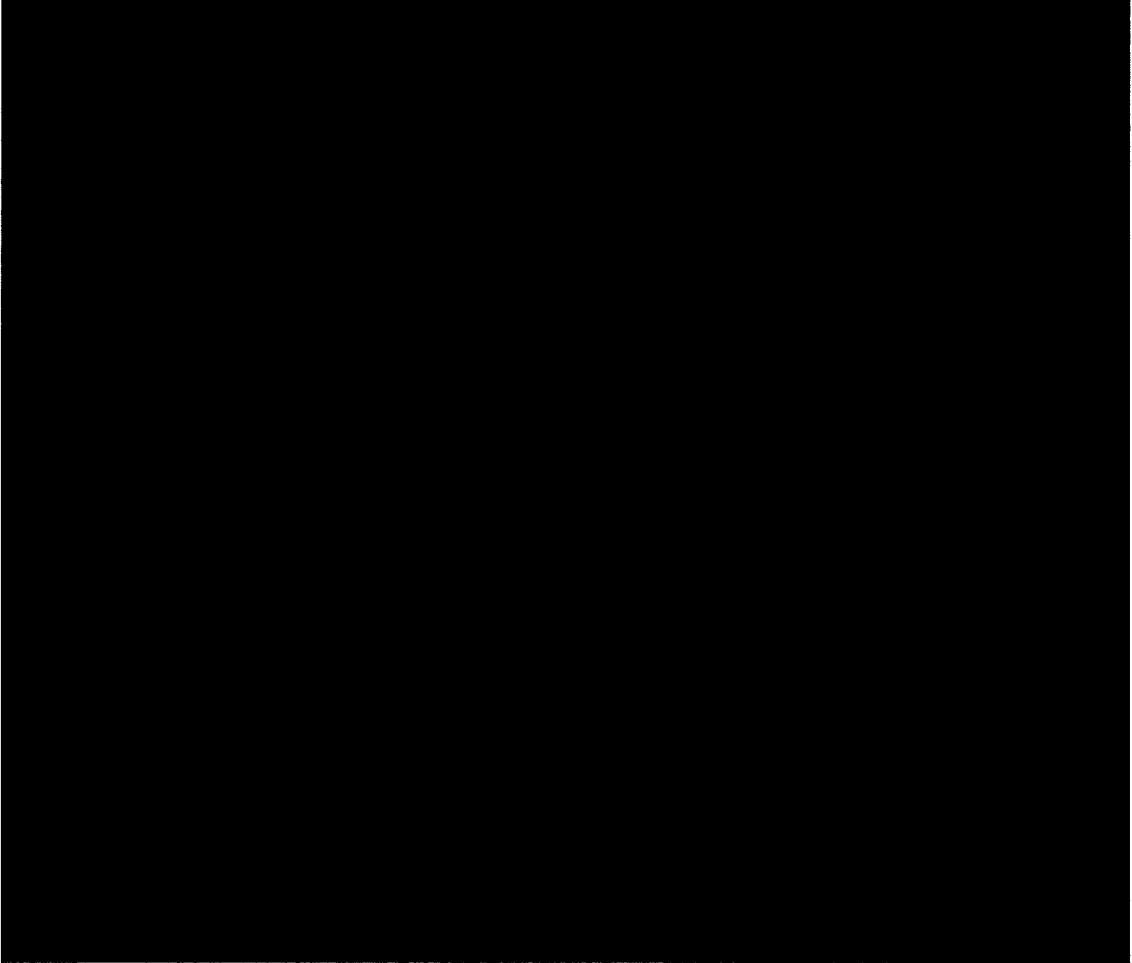
注¹ ASME Section III, Subsections NB and NF, 1992 Edition vs 2004 Edition Comparison, SRNL IES-2007-000092, Rev. 1, Savannah River National Laboratory, Aiken, SC (April 2008).



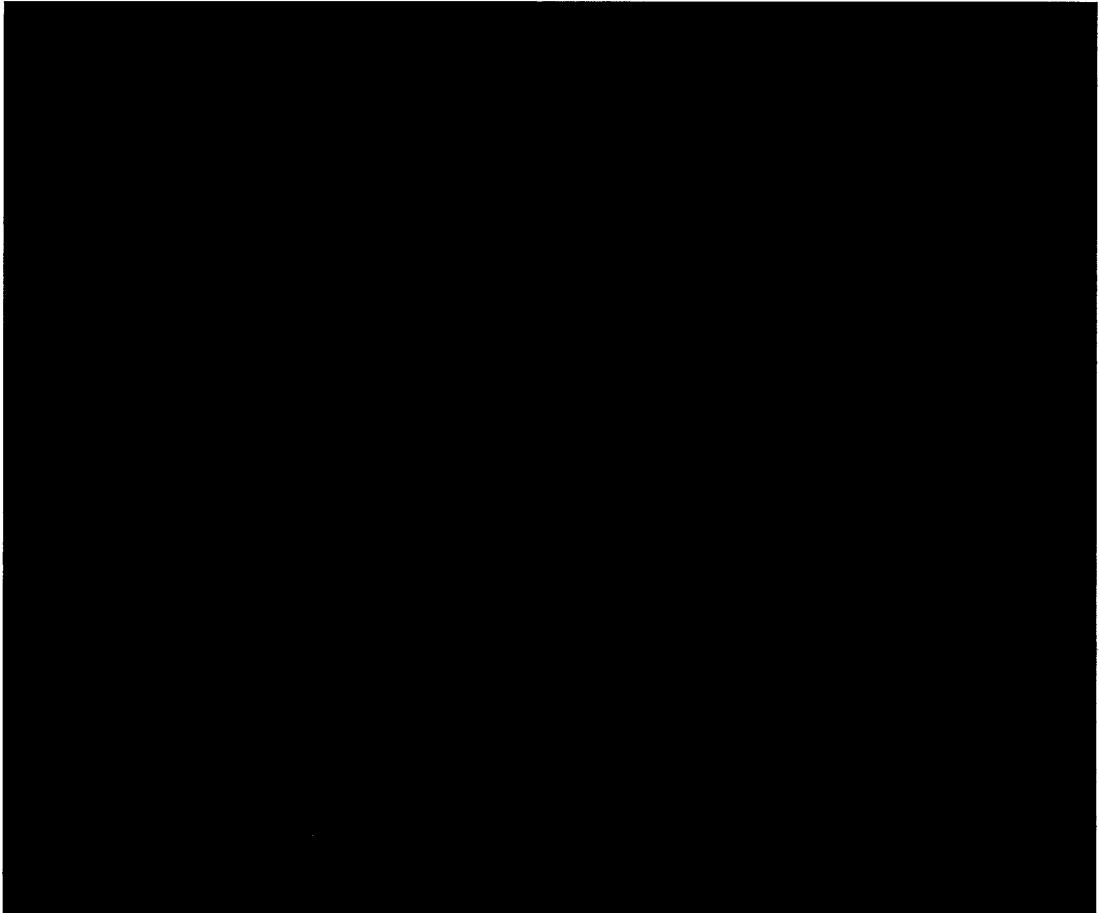
(参)-第 A.2 図 ドラム及びドラム蓋の溶接開先図



(参) - 第 A.3 図 PCV 及び SCV の溶接開先図



(参) - 第 A.4 図 ドラム及びドラム蓋の溶接線位置図



(参) - 第 A.5 図 PCV 及び SCV の溶接線位置図

A.3.4 溶接欠陥の修理

目視検査、液体浸透探傷試験等で発見された溶接部の欠陥は、欠陥の存在箇所をグラインダで除去し、本溶接と同一の条件で補修溶接を行い、本溶接と同様の検査を実施する。

A.3.5 溶接後の熱処理

該当しない。

A.3.6 特殊溶接

該当しない。

A.3.7 溶接の施工管理、その他

品質保証を確立するため、製作者は ASME Section III Subsection NB に基づいて管理する。

A.4. 遮蔽体の製作法

遮蔽体は、内側、外側及び底部をステンレス鋼で被覆した鉛の円筒及びアルミニウム蓋で構成され、SCV の外側に配置される。鉛を所定の形状に切断、曲げ加工した後、遮蔽体内側ライナを組み合わせる。遮蔽寸法検査として、鉛及び遮蔽体内側ライナの厚さを測定した後、遮蔽体外側ライナを組み合わせ、遮蔽体を製作する。また、アルミニウム蓋及び4本のステンレス鋼製ボルトを取り付け後、遮蔽性能検査として遮蔽体の重量を測定する。

A.5. 弁等の付属機器の製作法

輸送容器には、弁及び非常用安全装置等がないため、該当しない。

A.6. 組立等その他の製作法

ドラム蓋ボルト、遮蔽体のアルミニウム蓋閉止用のステンレス鋼製ボルト、PCV 及び SCV のコーンシールナット及びリークテストポートプラグは、トルクレンチを用いて締め付けを実施する。

参考 B 試験・検査方法等

参考-B 試験・検査方法等

本申請に係る輸送容器は、容器製造者により当該核燃料輸送物設計承認書と同一の設計仕様に基づき製作されたものである。国立大学法人東京大学は、製作当時の輸送容器検査記録により、本輸送容器が当該核燃料輸送物設計承認書の諸規定を満足することを確認する。輸送容器製作時の検査要領を(参)-第 B.1 表に示す。

B.1 材料検査

ドラム、断熱材、遮蔽体、PCV 及び SCV の主要鋼材について、規格のミルシートを確認する。ドラムナット、ドラム蓋ボルト、ワッシャー、位置合わせピン、プラスチックプラグ、断熱材、ブランケット、ステンレス鋼製ボルト、リークテストポートプラグ、O リング、外止めリング、SCV 上部衝撃吸収体及び SCV 底部衝撃吸収体については、メーカー証明書を確認する。

B.2 寸法検査

輸送容器の主要寸法が基準寸法内にあることを、製作中又は製作完了時に実施した容器製造者の検査記録で確認する。

B.3 溶接検査

輸送容器の主要な溶接部の検査結果を、容器製造者の検査記録で確認する。

溶接部の検査項目は下記のとおり。

- (1) 溶接前に溶接部材、溶接機を確認する。
- (2) 溶接完了後、目視又は液体浸透探傷検査により、溶接部表面に異常な傷、割れ、変形等がないことを容器製造者の検査記録で確認する。液体浸透探傷検査は、ASME Section III Subsection NB^{注1}の規格に基づく。

^{注1} ASME Section III, Subsections NB and NF, 1992 Edition vs 2004 Edition Comparison, SRNL IES-2007-000092, Rev. 1, Savannah River National Laboratory, Aiken, SC (April 2008).

B.4 外観検査

輸送容器のドラム、断熱材、遮蔽体、PCV及びSCVの外観を目視又は液体浸透探傷検査により検査した結果について、輸送容器の内外面に有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないことを容器製造者の検査記録で確認する。

B.5 耐圧検査

PCV及びSCVの製作完了時に、下記の耐圧試験を行い、漏れのないことを容器製造者の検査記録で確認する。

(1) 耐圧試験圧力 :

・一次収納容器 水圧 [] MPaG ([] psig)

・二次収納容器 水圧 [] MPaG ([] psig)

(2) 耐圧試験温度 : 室温

(3) 保持時間 : 10分

(4) 合格基準 : 内部からの漏水及び容器の変形がないこと。

B.6 気密漏えい検査

PCV及びSCVの製作完了時に、それぞれヘリウムリーク試験による気密漏えい試験を行い、漏えい率が下記基準を満足することを、容器製造者の検査記録で確認する。

(1) PCV : [] std cm³/s 未満

(2) SCV : [] std cm³/s 未満

B.7 遮蔽性能検査

本輸送容器の遮蔽体に使用されている鉛の化学分析が基準値内にあることをミルシートにより確認する。このため、材質の確認については、B.1 材料検査の結果を確認する。また、アルミニウム蓋及びステンレス鋼製ボルトを含む遮蔽体の重量を測定し、下記基準を満足することを、容器製造者の検査記録で確認する。

(1) 遮蔽体重量 : [] kg ([] lb)

B.8 遮蔽寸法検査

本輸送容器の遮蔽体に使用されている鉛について、鉛及び遮蔽体内側ライナの厚さが、基準寸法内にあることを確認する。このため、遮蔽寸法検査については、B.2 寸法検査の結果を確認する。

B.9 伝熱検査

収納物から発生する崩壊熱は小さく、容器温度は周囲温度と同程度となるため本検査は実施しない。

B.10 吊上荷重検査

本輸送容器は、吊上装置を有していないため該当しない。

B.11 重量検査

輸送容器の総重量が当該核燃料輸送物設計承認書に記載の設計を満足することについて、材料検査及び寸法検査により個々の部品の形状を確認する。このため、重量検査については、B.1 材料検査及び B.2 寸法検査の結果を確認する。

B.12 未臨界検査

本輸送容器では、構成部材の材質及び寸法により未臨界性を担保しているため、輸送容器の材質及び寸法が基準を満足することを確認する。このため、未臨界検査については、B.1 材料検査及び B.2 寸法検査の結果を確認する。

B.13 作動確認検査

本輸送容器は、弁及び非常用安全装置等を有していないため該当しない。

B.14 取扱い検査

気密漏えい検査において、PCV 及び SCV を申請書に記載された手順で取扱い、気密漏えい検査に合格していることを容器製造者の検査記録で確認する。

(参) - 第 B.1 表 輸送容器製作時検査要領 (1/2)

No.	検査項目	検査方法	合格基準	実施時期
1	材料検査	①ドラム、断熱材、遮蔽体、PCV 及び SCV の主要鋼材について、規格のミルシートを確認する。 ②ドラムナット、ドラム蓋ボルト、ワッシャー、位置合わせピン、プラスチックプラグ、断熱材、ブラケット、ステンレス鋼製ボルト、リークテスタポートプラグ、Oリング、外止めリング、SCV 上部衝撃吸収体及び SCV 底部衝撃吸収体については、メーカー証明書を確認する。	①(参) 第 A.2 表に示す材料特性を満足していること。 ②(参) 第 A.1 表に示す材料であること。	製作中 (材料受取時)
2	寸法検査	輸送容器の主要寸法が基準寸法内にあることを、容器製造者の検査記録で確認する。	製作図面に記載されている公差内にあること。	製作中及び 製作完了時
3	溶接検査	輸送容器の主要な溶接部の検査結果を、容器製造者の検査記録で確認する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないこと。	製作中及び 製作完了時
4	外観検査	輸送容器のドラム、断熱材、遮蔽体、PCV 及び SCV の外観を目視又は液体浸透探傷検査により検査した結果について、容器製造者の検査記録で確認する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないこと。	製作中及び 製作完了時
5	耐圧検査	PCV 及び SCV の耐圧検査結果を、容器製造者の検査記録で確認する。	水圧検査により、内部からの漏水及び容器の変形がないこと。	製作完了時

(参) - 第 B.1 表 輸送容器製作時検査要領 (2/2)

No.	検査項目	検査方法	合格基準	実施時期
6	気密漏えい検査	PCV及びSCVのヘリウムリーク試験による気密漏えい試験を行った結果を容器製造者の検査記録で確認する。	漏えい率が以下の基準を満足すること。 PCV: [REDACTED] std-cm ³ /s以下 SCV: [REDACTED] std-cm ³ /s以下	製作完了時
7	遮蔽性能検査	①遮蔽体の材料検査結果を確認する。 ②アルミニウム蓋及びステンレス鋼製ボルトを含む遮蔽体の重量が基準値内にあることを、容器製造者の検査記録で確認する。	①材料検査に合格していること。 ②遮蔽体の重量が以下の基準を満足すること。 遮蔽体重量: [REDACTED] kg [REDACTED] lb)	製作中
8	遮蔽寸法検査	鉛及び遮蔽体内側ライナの厚さの寸法検査結果を確認する。	寸法検査に合格していること。	製作中
9	伝熱検査	収納物から発生する崩壊熱は小さく、容器温度は周囲温度と同程度となる。そのため、本検査は実施しない。		
10	吊上荷重検査	本輸送容器は吊上装置を有しないため該当せず。		
11	重量検査	材料検査及び寸法検査結果を確認する。	材料検査及び寸法検査に合格していること。	製作中及び 製作完了時
12	未臨界検査	材料検査及び寸法検査結果を確認する。	材料検査及び寸法検査に合格していること。	製作中及び 製作完了時
13	作動確認検査	弁及び非常用安全装置等を有していないため該当せず。		
14	取扱い検査	輸送容器製作時の気密漏えい検査において、収納容器を申請書に記載された手順で取扱い、気密漏えい検査に合格していることを容器製造者の検査記録で確認する。	申請書に記載されている取扱いを行っても異常のないこと。	製作完了時

