

核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について

原設発第 56 号

令和 5 年 2 月 20 日

原子力規制委員会 殿

住所 東京都港区芝大門一丁目 1 番 3 号

氏名 原燃輸送株式会社

代表取締役社長 宮田 賢司

令和 4 年 10 月 31 日付け原設発第 31 号をもって申請しました核燃料輸送物設計変更承認申請書について、下記のとおり一部補正します。

記

核燃料輸送物設計変更承認申請書を以下のとおり変更する。

1 核燃料輸送物の名称

NFT-M4P 型

2 核燃料輸送物設計承認番号

J/2015/B(M)F-96 (Rev. 1)

3 変更内容

核燃料輸送物設計変更承認申請書 (平成 27 年 12 月 3 日付け原設発第 31 号) の記載事項を別記のとおり変更する。

別紙記載事項の変更内容を以下に示す。

(1) 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則 (以下、「規則」という。) 及び核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示 (以下、「告示」という。) の改正を踏まえて、以下のとおり変更する。

- ・(イ) 章「核燃料輸送物の説明」(従前の B-1) に使用予定年数及び使用予定回数を追加する。
- ・使用予定期間中の経年変化の評価を行い、その結果を (ロ) 章 F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」(追加) 及び (ロ) 章 G「外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性

の評価」(従前のA-1)として記載する。また、経年変化の評価に関連して、(ロ)章A「構造解析」(従前のB-2-A)における疲労評価の評価条件を見直す。

- ・ A-2「品質マネジメントの基本方針」を削除し、「輸送容器に係る品質管理の方法等(設計に係るものに限る。)に関する説明書」を追加する。また、容器所有者が当社(原燃輸送株式会社)から日本原燃株式会社に変更となったことを受け、品質マネジメントシステム遂行に係る責任体制を変更し、「容器所有者」である日本原燃株式会社及び「申請者」である当社(原燃輸送株式会社)の品質マネジメントシステムを併記する。なお、記載する品質マネジメントシステムは、最新のISO9001及びJEAC付属書-4に合致した内容としているが、従前のA-2「品質マネジメントの基本方針」から品質管理の方針に変更はない。

- (2) 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイド(以下、「申請手続ガイド」という。)を踏まえて、章構成及び記載の変更を行う。
- (3) 参考「輸送容器の製作の方法の概要に関する説明」を追加する。
- (4) 輸送容器の保守及び取扱方法に関連する記載の変更を行う。
- (5) その他記載の見直しを行う。

4 変更理由

- (1) 規則及び告示が改正されたため。
- (2) 申請手続ガイドに基づき見直したため。
- (3) 輸送容器の製作の方法を定めたため。
- (4) 輸送容器の保守及び取扱方法を一部見直したため。
- (5) 記載を適正化するため。

(添付)

補正内容一覧

以上

1 核燃料輸送物の名称

NFT-M4P型

2 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料

(1) 輸送容器の外形寸法

外径：約 2.6m (上・下部緩衝体を含む。)

長さ：約 5.9m (上・下部緩衝体を含む。)

(2) 輸送容器の重量

23.4トン以下 (輸送架台は含まず。)

(3) 核燃料輸送物の総重量

26.2トン以下 (輸送架台は含まず。)

(4) 輸送容器の主要材料

内筒、外筒 : ステンレス鋼

蓋、底板、トラニオン : ステンレス鋼

中性子遮蔽材 : プロピレングリコール水溶液及びレジン

バスケット : ボロン入りステンレス鋼、ステンレス鋼及びアルミニウム合金

緩衝体 : ステンレス鋼及び木材

(5) 輸送容器の概略を示す図

第1図及び第2図のとおり

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書 (令和4年10月31日付け原設発第31号 (令和5年2月20日付け原設発第56号をもって一部補正)) に係る別紙1の (イ) - 第C. 1図から (イ) - 第C. 11図まで及び (イ) - 第D. 1図に示されている。

3 核燃料輸送物の種類

BM型輸送物及び核分裂性輸送物

4 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

第1表のとおり

5 輸送制限個数

(1) 輸送制限個数 : 制限なし

(2) 配列方法 : 任意

(3) 臨界安全指数 : 0

6 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

-20℃から 38℃まで

7 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

本輸送容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、輸送中燃料集合体が分散・集合しないようになっている。また、バスケットのロジメントを構成する部材のうち、クロスプレート、ベースプレート及びガイドバーには未臨界維持のために中性子吸収材であるボロンを含むボロン入りステンレス鋼が用いられている。

8 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

臨界計算では本輸送容器の内部に水が存在するものとして、満水状態で評価している。

9 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界は内筒、底板、蓋、フランジ、蓋部内側Oリング、の密封プラグ及び密封プラグOリングから構成されている。また、本収納物の密封境界は燃料被覆管と燃料棒端栓から構成されている。

10 BM型輸送物にあっては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準についての説明
-40℃の周囲温度において、き裂、破損等の生じるおそれがないことが確認されていない。

11 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

本輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原設発第31号（令和5年2月20日付け原設発第56号をもって一部補正））に係る別紙1のとおり。

本核燃料輸送物の運搬は、環境温度が-20℃以上で専用積載にて実施する。

12 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原設発第31号（令和5年2月20日付け原設発第56号をもって一部補正））に係る別紙2のとおり。

13 その他特記事項

(1) 使用予定年数

60年

(2) 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

- ・本核燃料輸送物の中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液は、火災時において圧力が上昇し、外筒を破損させて周囲に噴出するおそれがあるため、輸送に際しては、火災時において人の接近を防止する等の安全上の対策を確立し、遵守する。
- ・安全性向上の観点から、緩衝材として使用する木材の経年変化に関する知見の拡充の取組みの一環として、緩衝体の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏ま

- え、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。
- ・規則及び告示の改正に伴い本核燃料輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

(別紙記載事項)

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

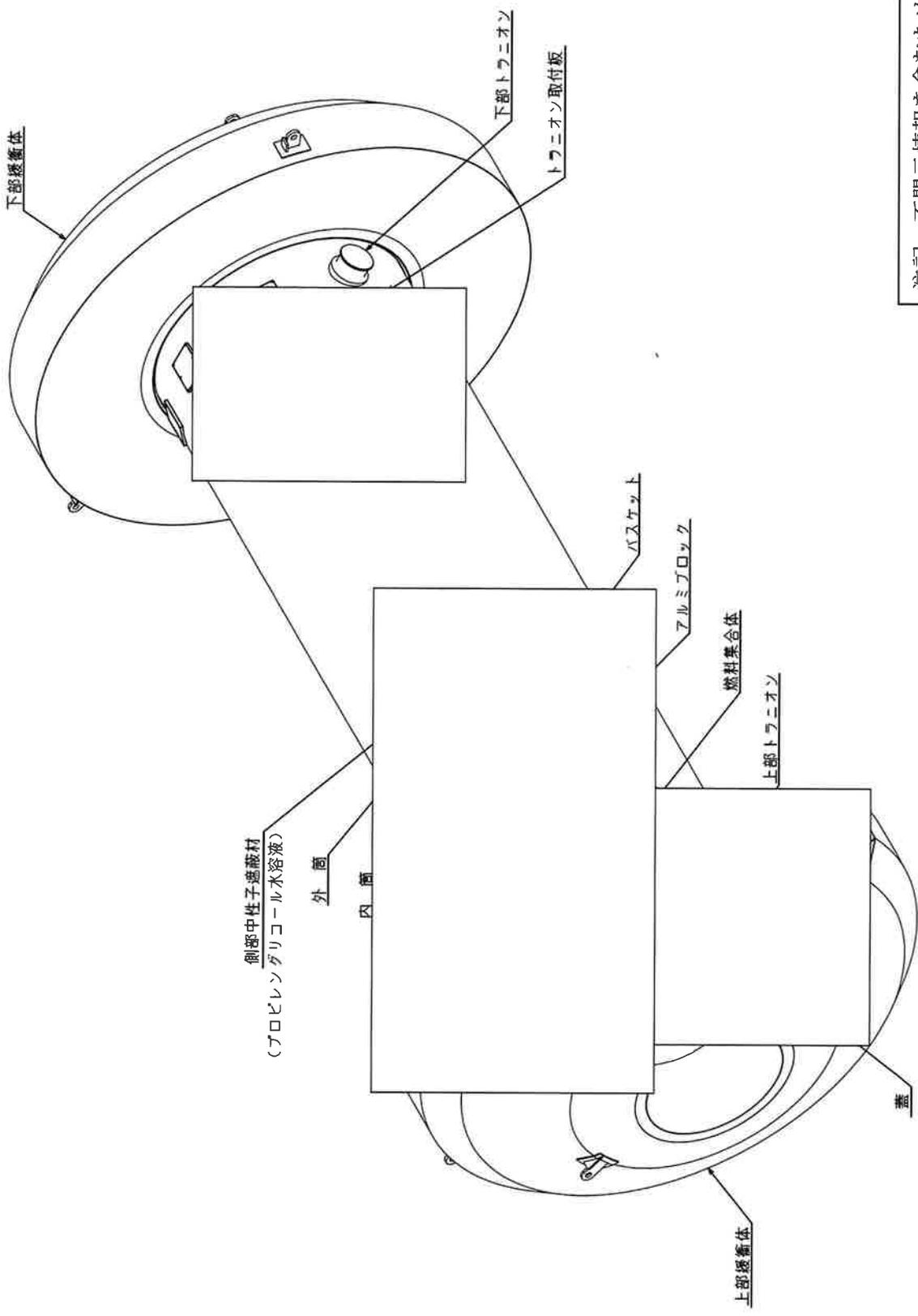
- イ 核燃料輸送物の説明 …………… (イ) 章
- ロ 核燃料輸送物の安全解析 …………… (ロ) 章
- ハ 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法 …………… (ハ) 章
- ニ 安全設計及び安全輸送に関する特記事項 …………… (ニ) 章

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

参考資料 申請及び承認の履歴

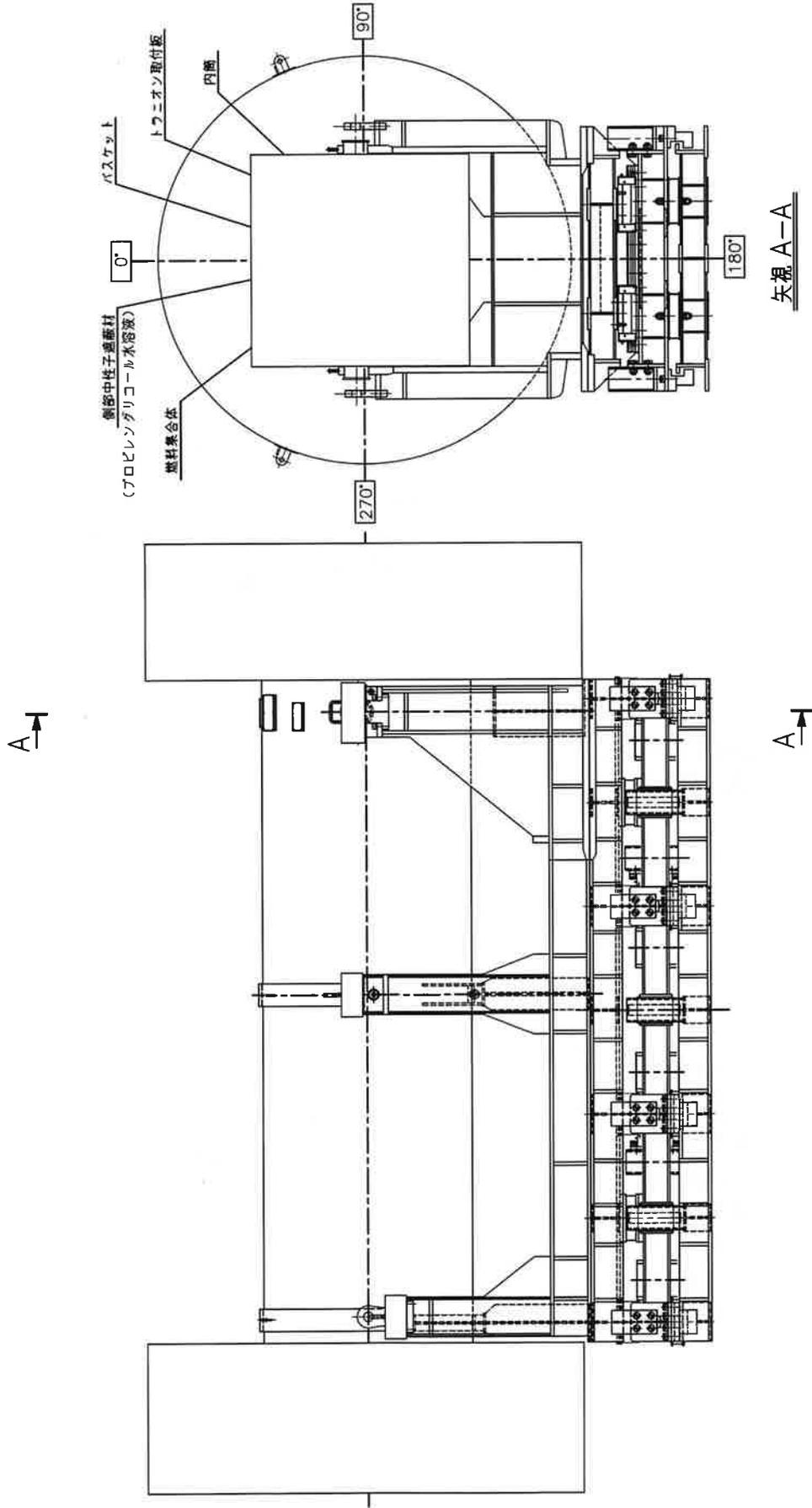
取扱注意

注記：不開示情報を含むため一部削除



第1図 輸送容器の概略を示す図 (核燃料輸送物全体図)

取扱注意



注記：不開示情報を含むため一部削除

第2図 輸送容器の概略を示す図（輸送荷姿）

第1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	新燃料集合体 (PWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)			
性状	<input type="text"/>			
型式	17×17 配列型			
燃料集合体1体の仕様	ウラン・プルトニウム重量 (kg以下) 注1)	<input type="text"/>		
	放射能の量 (PBq 以下) 注2)	<input type="text"/>		
	ウラン濃縮度 (%以下) 注3)	<input type="text"/>		
	発熱量 (kW 以下)	1.91		
	核分裂性プルトニウム 富化度注4)	下表のいずれかのケースを満足すること。		
		ケース	Pu 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)
			Pu f Pu-240 Pu-241 Pu-242	
1		<input type="text"/>		
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
1基当たりの仕様の 輸送容器	収納体数 (体以下)	4		
	収納物重量 (トン以下) 注5)	2.8		
	放射能の量 (PBq 以下)	<input type="text"/>		
	発熱量 (kW 以下)	7.64		

注1) 各プルトニウム同位体の重量 a_i は次の線源核種規定式を満足する。

$$\sum_i \frac{a_i}{A_i} \leq 1.0$$

a_i : 収納物の各プルトニウム同位体重量 (g/燃料集合体)

A_i : 下表に示す各プルトニウム同位体の規定収納量 (g/燃料集合体)

ここで、規定収納量とは、下表に示す各プルトニウム同位体を単独で輸送容器に収納した場合に、線量当量率が基準値を満足する重量である。なお、Am-241 はプルトニウム同位体に含むこととする。

核種 i	規定収納量 A_i (g/燃料集合体)
Pu-238	5.51×10^3
Pu-239	2.21×10^6
Pu-240	1.04×10^5
Pu-241	4.00×10^6
Pu-242	6.80×10^4
Am-241	3.04×10^4

注2) 各プルトニウム同位体の最大放射エネルギーは下表のとおりである。

なお、Am-241 はプルトニウム同位体に含むこととする。

核種 i	最大放射エネルギー (TBq/燃料集合体)
Pu-238	
Pu-239	
Pu-240	
Pu-241	
Pu-242	
Am-241	
合計	

注3) ウラン濃縮度 = $\frac{(U-235) \text{ 重量}}{(U) \text{ 重量}} \times 100\%$

なお、Ut の定義は次のとおりである。

$$U_t (\text{全ウラン}) = (U-235 + U-238)$$

注4) 核分裂性プルトニウム富化度 (Puf 富化度) = $\frac{(Pu-239 + Pu-241) \text{ 重量}}{(U_t + Pu_t) \text{ 重量}} \times 100\%$

なお、Puf 及び Put の定義は以下のとおりである。

$$Puf (\text{核分裂性プルトニウム}) = (Pu-239 + Pu-241)$$

$$Pu_t (\text{全プルトニウム}) = (Pu-238 + Pu-239 + Pu-240 + Pu-241 + Pu-242 + Am-241)$$

注5) 収納物重量とは、燃料集合体の合計重量である。

NFT-M4P型
核燃料輸送物設計変更承認申請書

別紙 1

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

原燃輸送株式会社

目 次

(イ) 章 核燃料輸送物の説明	(イ) - 1
A. 目的及び条件	(イ) - 1
B. 核燃料輸送物の種類	(イ) - 1
C. 輸送容器	(イ) - 5
D. 輸送容器の収納物	(イ) - 12
(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ) - 1
(ロ) 章A 構造解析	(ロ) - A-1
A. 1 構造設計	(ロ) - A-1
A. 1. 1 概 要	(ロ) - A-1
A. 1. 2 設計基準	(ロ) - A-2
A. 2 重量及び重心	(ロ) - A-20
A. 3 材料の機械的性質	(ロ) - A-21
A. 4 核燃料輸送物の要件	(ロ) - A-24
A. 4. 1 化学的及び電気的反応	(ロ) - A-24
A. 4. 2 低温強度	(ロ) - A-26
A. 4. 3 密封装置	(ロ) - A-28
A. 4. 4 吊上装置	(ロ) - A-29
A. 4. 4. 1 応力評価	(ロ) - A-29
A. 4. 4. 2 トラニオンの疲労評価	(ロ) - A-35
A. 4. 5 固縛装置	(ロ) - A-38
A. 4. 6 圧 力	(ロ) - A-43
A. 4. 7 振 動	(ロ) - A-43
A. 4. 8 輸送物の要件に対する評価結果の要約	(ロ) - A-46
A. 5 一般の試験条件	(ロ) - A-47
A. 5. 1 熱的試験	(ロ) - A-47
A. 5. 1. 1 温度及び圧力の要約	(ロ) - A-47
A. 5. 1. 2 熱膨張	(ロ) - A-49

A. 5. 1. 3 応力計算	(口) -A-49
A. 5. 1. 4 許容応力との比較	(口) -A-60
A. 5. 2 水噴霧	(口) -A-61
A. 5. 3 自由落下	(口) -A-62
A. 5. 3. 1 落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度.....	(口) -A-62
A. 5. 3. 2 自由落下時の応力計算	(口) -A-72
A. 5. 4 積み重ね試験	(口) -A-108
A. 5. 5 貫通	(口) -A-111
A. 5. 6 角又は縁落下	(口) -A-112
A. 5. 7 結果の要約及びその評価	(口) -A-112
A. 6 特別の試験条件	(口) -A-116
A. 6. 1 強度試験・落下試験 I (9m落下試験)	(口) -A-116
A. 6. 1. 1 垂直落下	(口) -A-121
A. 6. 1. 2 水平落下	(口) -A-131
A. 6. 1. 3 コーナー落下	(口) -A-138
A. 6. 1. 4 傾斜落下	(口) -A-139
A. 6. 1. 5 結果の要約	(口) -A-140
A. 6. 2 強度試験・落下試験 II (1m貫通試験)	(口) -A-140
A. 6. 2. 1 結果の要約	(口) -A-143
A. 6. 3 熱的試験 (火災試験)	(口) -A-144
A. 6. 3. 1 温度及び圧力の要約	(口) -A-144
A. 6. 3. 2 熱膨張	(口) -A-145
A. 6. 3. 3 許容応力との比較	(口) -A-147
A. 6. 4 浸漬試験	(口) -A-149
A. 6. 5 結果の要約及びその評価	(口) -A-150
A. 7 強化浸漬試験	(口) -A-155
A. 8 放射性収納物	(口) -A-158
A. 9 核分裂性輸送物	(口) -A-159
A. 9. 1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件.....	(口) -A-159
A. 9. 2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件.....	(口) -A-161

A. 10 付属書類	(口) -A-165
A. 10. 1 体積変形法	(口) -A-165
A. 10. 2 1/2 スケールモデルを用いた9m落下試験	(口) -A-166
A. 10. 3 内部収納物の衝撃加速度を考慮した評価	(口) -A-175
A. 10. 4 傾斜落下についての評価	(口) -A-176
A. 10. 5 火災時に外筒に貫通孔が開いた場合の影響	(口) -A-179
A. 10. 6 熱的試験 (火災試験) において 側部中性子遮蔽材が漏出しない場合の影響	(口) -A-185
A. 10. 7 熱的試験 (火災試験) において火災前に 側部中性子遮蔽材が漏出した場合の影響	(口) -A-186
A. 10. 8 部分モデル供試体破断試験	(口) -A-187
A. 10. 9 落下時の容器本体評価における荷重の保守性について	(口) -A-191
A. 10. 10 緩衝材低温時の強度評価	(口) -A-192
A. 10. 11 参考文献	(口) -A-196
 (口) 章B 熱解析	(口) -B-1
B. 1 概 要	(口) -B-1
B. 2 材料の熱的性質	(口) -B-3
B. 3 構成要素の仕様	(口) -B-6
B. 4 一般の試験条件	(口) -B-7
B. 4. 1 熱解析モデル	(口) -B-7
B. 4. 1. 1 解析モデル	(口) -B-7
B. 4. 1. 2 試験モデル	(口) -B-16
B. 4. 2 最高温度	(口) -B-16
B. 4. 3 最低温度	(口) -B-24
B. 4. 4 最大内圧	(口) -B-24
B. 4. 5 最大熱応力	(口) -B-27
B. 4. 6 結果の要約及びその評価	(口) -B-28
B. 5 特別の試験条件	(口) -B-30
B. 5. 1 熱解析モデル	(口) -B-30

B. 5. 1. 1 解析モデル	(口) - B - 3 0
B. 5. 1. 2 試験モデル	(口) - B - 3 4
B. 5. 2 核燃料輸送物の評価条件	(口) - B - 3 4
B. 5. 3 核燃料輸送物温度	(口) - B - 3 4
B. 5. 4 最大内圧	(口) - B - 4 2
B. 5. 5 最大熱応力	(口) - B - 4 4
B. 5. 6 結果の要約及びその評価	(口) - B - 4 4
B. 6 付属書類	(口) - B - 4 6
B. 6. 1 解析に用いた対流熱伝達率	(口) - B - 4 6
B. 6. 1. 1 全体モデルに用いた対流熱伝達率	(口) - B - 4 6
B. 6. 1. 2 輪切りモデルに用いた対流熱伝達率	(口) - B - 5 2
B. 6. 2 特別の試験条件における	
側部中性子遮蔽材部圧力	(口) - B - 5 3
B. 6. 3 火災後もプロピレングリコール水溶液が	
存在する場合の影響	(口) - B - 5 5
B. 6. 4 火災前にプロピレングリコール水溶液が	
漏出した場合の影響	(口) - B - 5 7
B. 6. 5 参考文献	(口) - B - 5 9
 (口) 章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 - 1
C. 2. 3 密封装置のガスケット及び溶接部	(口) - C - 1
C. 2. 4 蓋	(口) - C - 2
C. 3 一般の試験条件	(口) - C - 2
C. 3. 1 放射性物質の漏えい	(口) - C - 2
C. 3. 2 密封装置の加圧	(口) - C - 2
C. 3. 3 冷却材汚染	(口) - C - 2

C. 3. 4 冷却材損失	(口) -C-2
C. 4 特別の試験条件	(口) -C-3
C. 4. 1 核分裂生成ガス	(口) -C-3
C. 4. 2 放射性物質の漏えい	(口) -C-3
C. 5 結果の要約及びその評価	(口) -C-8
C. 6 付属書類	(口) -C-9
C. 6. 1 参考文献	(口) -C-9
(口) 章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-3
D. 2. 2 中性子源	(口) -D-5
D. 3 モデル仕様	(口) -D-8
D. 3. 1 解析モデル	(口) -D-8
D. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度	(口) -D-14
D. 4 遮蔽評価	(口) -D-19
D. 5 結果の要約及びその評価	(口) -D-34
D. 6 付属書類	(口) -D-36
D. 6. 1 主要核種に同伴する核種	(口) -D-36
D. 6. 2 参考文献	(口) -D-37
(口) 章E 臨界解析	(口) -E-1
E. 1 概 要	(口) -E-1
E. 2 解析対象	(口) -E-1
E. 2. 1 収納物	(口) -E-1
E. 2. 2 輸送容器	(口) -E-3
E. 2. 3 中性子吸収材	(口) -E-3
E. 3 モデル仕様	(口) -E-3
E. 3. 1 解析モデル	(口) -E-3

E. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度.....	(口) - E - 7
E. 4 未臨界評価	(口) - E - 1 0
E. 4. 1 計算条件	(口) - E - 1 0
E. 4. 2 核燃料輸送物への水の浸入等.....	(口) - E - 1 0
E. 4. 3 計算方法	(口) - E - 1 0
E. 4. 4 計算結果	(口) - E - 1 4
E. 5 ベンチマーク試験	(口) - E - 1 5
E. 6 結果の要約及びその評価	(口) - E - 1 7
E. 7 付属書類	(口) - E - 1 7
E. 7. 1 参考文献	(口) - E - 1 7
(口) 章F 核燃料輸送物の経年変化の考慮.....	(口) - F - 1
F. 1 考慮すべき経年変化要因	(口) - F - 1
F. 2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価.....	(口) - F - 2
F. 3 安全解析における経年変化の考慮内容.....	(口) - F - 1 7
F. 4 付属書類	(口) - F - 1 8
F. 4. 1 参考文献	(口) - F - 1 8
(口) 章G 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価.....	(口) - G - 1
(ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法.....	(ハ) - A - 1
A. 核燃料輸送物の取扱方法	(ハ) - A - 1
A. 1 装荷方法	(ハ) - A - 1
A. 1. 1 準備作業	(ハ) - A - 1
A. 1. 2 装荷作業	(ハ) - A - 1
A. 1. 3 搬出作業	(ハ) - A - 2
A. 2 核燃料輸送物の発送前検査	(ハ) - A - 2
A. 2. 1 輸送物発送前検査	(ハ) - A - 2
A. 2. 2 輸送物の発電所への輸送	(ハ) - A - 2
A. 3 取出し方法	(ハ) - A - 2

A. 3. 1 発電所での輸送容器受取り・燃料取出準備作業.....	(ハ) - A - 2
A. 3. 2 取出作業	(ハ) - A - 3
A. 3. 3 後作業	(ハ) - A - 3
A. 4 空容器の準備	(ハ) - A - 3
A. 4. 1 空容器搬出前作業	(ハ) - A - 3
A. 4. 2 空容器の保管	(ハ) - A - 3
A. 4. 3 空容器の燃料加工工場への輸送.....	(ハ) - A - 3
B. 保守条件	(ハ) - B - 1
B. 1 外観検査	(ハ) - B - 4
B. 2 耐圧検査	(ハ) - B - 4
B. 3 気密漏えい検査	(ハ) - B - 4
B. 4 遮蔽検査	(ハ) - B - 4
B. 5 未臨界検査	(ハ) - B - 4
B. 6 熱検査	(ハ) - B - 4
B. 7 吊上検査	(ハ) - B - 4
B. 8 作動確認検査	(ハ) - B - 4
B. 9 補助系の保守	(ハ) - B - 5
B. 10 密封装置の弁、ガスケット等の保守.....	(ハ) - B - 5
B. 11 輸送容器の保管	(ハ) - B - 5
B. 11. 1 保管状態の管理	(ハ) - B - 5
B. 11. 2 保管期間終了後の検査・補修.....	(ハ) - B - 5
B. 12 記録の保管	(ハ) - B - 5
B. 13 その他	(ハ) - B - 5
(二) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項.....	(二) - 1
A. 安全輸送上の措置	(二) - 1
B. 緩衝体の取扱いについて	(二) - 1
C. 技術基準が変更となった場合及び 新たな技術的知見が得られた場合の対応について.....	(二) - 1

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明..... (参) - A - 1

(イ) 章 核燃料輸送物の説明

(イ) 章 核燃料輸送物の説明

A. 目的及び条件

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. 使用目的 | 軽水炉型原子力発電所用の未照射のウラン・プルトニウム混合酸化物燃料を国内の原子力発電所（PWR型）に輸送するため。 |
| 2. 輸送容器の型名 | NFT-M4P型 |
| 3. 使用予定年数 | 60年 |
| 4. 使用予定回数 | 10回/年 |
| 5. 核燃料輸送物の種類 | BM型輸送物及び核分裂性輸送物 |
| 6. 輸送制限個数 | 制限なし |
| 7. 輸送指数 | 10以下 |
| 8. 臨界安全指数 | 0 |
| 9. 核燃料輸送物の総重量 | 26.2トン以下（輸送架台は含まず。） |
| 10. 輸送容器の外形寸法 | 外径約2.6m、長さ約5.9m
（上・下部緩衝体を含む。） |
| 11. 輸送容器の重量 | 23.4トン以下（輸送架台は含まず。） |
| 12. 輸送容器の材質 | 内筒— <input type="text"/> ステンレス鋼
外筒— <input type="text"/> ステンレス鋼
フランジ、蓋、底板—ステンレス鋼
中性子遮蔽材—プロピレングリコール水溶液及びレジ
ン
バスケット—ボロン入りステンレス鋼、ステンレス鋼及びアル
ミニウム合金
緩衝体—ステンレス鋼及び木材 <input type="text"/> |
| 13. 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様 | 核燃料物質の仕様を（イ）—第A.1表に示す。 |
| 14. 輸送形態 | 車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送
いずれの場合も専用積載として輸送 |
| 15. 冷却方法 | 自然空気冷却 |

B. 核燃料輸送物の種類

本核燃料輸送物の収納物は、特別形核燃料物質等以外のものに該当し、（イ）—第B.1表に示すように原子力規制委員会の定める量である A_2 値を超える量の放射能を有する核燃料物質等に該当する。また、収納物は核分裂性物質であるU-235、Pu-239、Pu-241を含んでおり、放射性物質の量は A_2 値の十万倍を超える。

したがって、本核燃料輸送物はBM型輸送物及び核分裂性輸送物として輸送する。

(イ) - 第A. 1表 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様

項目		仕様																														
種類		新燃料集合体 (PWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)																														
性状		(<input type="text"/>)																														
型式		17×17 配列型																														
燃料集合体1体の仕様	ウラン・プルトニウム重量 (kg以下) 注1)	<input type="text"/>																														
	放射能の量 (PBq 以下) 注2)																															
	ウラン濃縮度 (%以下) 注3)																															
	発熱量 (kW 以下)	1.91																														
	核分裂性プルトニウム 富化度注4)	下表のいずれかのケースを満足すること。 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ケース</th> <th rowspan="2">Pu 富化度 (%)</th> <th colspan="4">Pu 同位体組成 (%)</th> </tr> <tr> <th>Pu f</th> <th>Pu-240</th> <th>Pu-241</th> <th>Pu-242</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td rowspan="11" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><input type="text"/></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td></tr> <tr><td>3</td></tr> <tr><td>4</td></tr> <tr><td>5</td></tr> <tr><td>6</td></tr> <tr><td>7</td></tr> <tr><td>8</td></tr> <tr><td>9</td></tr> <tr><td>10</td></tr> <tr><td>11</td></tr> </tbody> </table>						ケース	Pu 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)				Pu f	Pu-240	Pu-241	Pu-242	1	<input type="text"/>					2	3	4	5	6	7	8	9	10
ケース	Pu 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)																														
		Pu f	Pu-240	Pu-241	Pu-242																											
1	<input type="text"/>																															
2																																
3																																
4																																
5																																
6																																
7																																
8																																
9																																
10																																
11																																
1基当たりの仕様 輸送容器	収納体数 (体以下)	4																														
	収納物重量 (トン以下) 注5)	2.8																														
	放射能の量 (PBq 以下)	<input type="text"/>																														
	発熱量 (kW 以下)	7.64																														

注1) 各プルトニウム同位体の重量 a_i は次の線源核種規定式を満足する。

$$\sum_i \frac{a_i}{A_i} \leq 1.0$$

a_i : 収納物の各プルトニウム同位体重量 (g/燃料集合体)

A_i : 下表に示す各プルトニウム同位体の規定収納量 (g/燃料集合体)

ここで、規定収納量とは、下表に示す各プルトニウム同位体を単独で輸送容器に収納した場合に、線量当量率が基準値を満足する重量である。なお、Am-241 はプルトニウム同位体を含むこととする。

核種 i	規定収納量 A_i (g/燃料集合体)
Pu-238	5.51×10^3
Pu-239	2.21×10^6
Pu-240	1.04×10^5
Pu-241	4.00×10^6
Pu-242	6.80×10^4
Am-241	3.04×10^4

注2) 各プルトニウム同位体の最大放射エネルギーは下表のとおりである。

なお、Am-241 はプルトニウム同位体を含むこととする。

核種 i	最大放射エネルギー (TBq/燃料集合体)
Pu-238	[Blank]
Pu-239	
Pu-240	
Pu-241	
Pu-242	
Am-241	
合計	

注3) ウラン濃縮度 = $\frac{(U-235) \text{ 重量}}{(U) \text{ 重量}} \times 100\%$

なお、U_t の定義は次のとおりである。

$$U_t \text{ (全ウラン)} = (U-235 + U-238)$$

注4) 核分裂性プルトニウム富化度 (Puf 富化度) = $\frac{(Pu-239 + Pu-241) \text{ 重量}}{(U_t + Pu_t) \text{ 重量}} \times 100\%$

なお、Puf 及び Pu_t の定義は以下のとおりである。

$$Puf \text{ (核分裂性プルトニウム)} = (Pu-239 + Pu-241)$$

$$Pu_t \text{ (全プルトニウム)} = (Pu-238 + Pu-239 + Pu-240 + Pu-241 + Pu-242 + Am-241)$$

注5) 収納物重量とは、燃料集合体の合計重量である。

(イ) - 第B. 1表 輸送容器に収納するプルトニウム同位体の量とA₂値の比較

核種	最大放射能量 (TBq/基)	A ₂ 値 (TBq)	A ₂ 値比
Pu-238		0.001	
Pu-239		0.001	
Pu-240		0.001	
Pu-241		0.06	
Pu-242		0.001	
Am-241		0.001	

C. 輸送容器

1. 設計の概要

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

輸送容器は円筒形状であり、トラニオンがあるが不要な突起物はない。また、輸送容器表面は滑らかに仕上げられており、表面の汚染の除去は容易である。輸送容器は輸送中には、(イ) - 第C. 3 図に示すように専用の輸送架台に水平状態に保持され、固縛装置で固定される。落下等の衝撃を緩和するため、輸送容器は上部及び下部に緩衝体を有している。なお、輸送容器の水平姿勢での吊上げ、吊下しは 容易に行うことができる。また、 車両又は船舶に強固に積み付けられる等、安全に取り扱うことができる。

輸送容器は原子力発電所あるいは燃料加工工場建屋内での取扱い時には垂直状態に保持される。燃料集合体は、垂直状態に保持された容器の上部から出し入れが行われる。輸送容器の取扱いは容器が有するトラニオンを利用し、専用吊具とクレーンを使用して行われる。なお、輸送容器には吊上装置であるトラニオンを除いて輸送容器を吊り上げるおそれのある吊手はない。

輸送容器の密封境界は、(イ) - 第C. 4 図に示すように内筒、底板、蓋、フランジ、蓋部内側Oリング、の密封プラグ及び密封プラグOリングで構成されており、これらを密封装置とする。

輸送容器の主な遮蔽材は、ステンレス鋼、ステンレス鋼、プロピレングリコール水溶液及びレジンである。ステンレス鋼及びステンレス鋼は主にガンマ線遮蔽材、プロピレングリコール水溶液及びレジン は中性子遮蔽材として用いられている。内筒と外筒の間に中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液が充填されている。また、同様にレジンはバスケット下部及び蓋部に設置されている。

輸送容器内部には、輸送中に燃料集合体を所定の位置に保持するためにバスケットが収納されている。バスケットは、未臨界性の維持のために中性子吸収性能を有するボロン入りステンレス鋼を主要部材とし、燃料集合体から発生する崩壊熱を除去するために高い伝熱性能を有するアルミニウム合金を配置している。また、内部雰囲気についても、崩壊熱の除去を容易にするために が約 0.1MPa 充填される。なお、本輸送容器は乾式であり、内部に水が浸入することはないが、臨界安全評価上は内部雰囲気を満水として評価する。

2. 構造

輸送容器は、(イ)－第C. 1 図及び(イ)－第C. 2 図に示すように本体、蓋、バスケット及び緩衝体により構成される。

(1) 本体

本体縦断面図を(イ)－第C. 5 図に、横断面図を(イ)－第C. 6 図に示す。

本体の主要構成物は内筒、外筒、底板、中性子遮蔽体、上部及び下部トラニオンである。輸送容器の密封境界を形成する内筒は□ステンレス鋼製、底板はステンレス鋼製であり、内筒と底板は溶接により組み立てられている。

外筒は、□ステンレス鋼製であり、フランジ、仕切板及び底板を介し内筒に溶接されている。フランジ及び底板は外筒とともに液体の中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液を保持している。また、内筒と外筒の間にはプロピレングリコール水溶液の熱膨張による圧力上昇を抑制するための膨張室が設けられている。

底板底面には、下部緩衝体取付用ボルト穴が設けられている。また、底板とフランジのプロピレングリコール水溶液接触面は□が施されている。

フランジには、上部トラニオンが設けられている。フランジと上部トラニオンは一体鍛造構造である。

□ 上部トラニオンは二対設けられている。外筒下部のトラニオン取付板には、下部トラニオンが取り付けられている。下部トラニオンは、輸送架台上で縦起こし、横倒しの支点として使用される。また、輸送架台上での固縛にも用いられる。上部及び下部トラニオンの構造は(イ)－第C. 7 図に示すとおりである。

なお、トラニオン以外の側部外面は塗装が施される。

(2) 蓋

蓋の構造を(イ)－第C. 8図に示す。蓋は蓋ボルトで本体上部のフランジ面に取り付けられる。この蓋と本体上部フランジ面との接合面には蓋側に二重Oリングが設けられており、この二重のOリングの内側Oリングにより密封性が確保されるようになっている。また、蓋には頭部側の中性子遮蔽のために、中性子遮蔽材であるレジンが配置され、ステンレス鋼製の中性子遮蔽材カバーで覆われている。

蓋上部には上部緩衝体取付用のボルト穴、蓋位置決め用穴及び[]が設けられており、[]は密封プラグ及び密封プラグカバーで覆われている。

また、蓋下部には燃料集合体を軸方向に支持するための軸方向燃料固縛装置が取り付けられる。軸方向燃料固縛装置は1体の燃料集合体につき1基設けられ、燃料集合体をバスケット底部に固縛する。

なお、蓋は外側を[]、不用意にボルトが外されないようになっている。

(3) バスケット

バスケットは個々の燃料集合体を輸送容器に収納するためのものであり、輸送中に燃料集合体を分散・集合させず所定の位置に保持するよう設けられている。また、未臨界性の維持のために中性子吸収性能を有するボロン入りステンレス鋼を主要部材とし、燃料集合体から発生する崩壊熱を除去するため高い伝熱性能を有するアルミニウム合金を使用している。

バスケットの構造を(イ)－第C. 9図に示す。バスケットは、主要構造部としてクロスパー及びボロン入りステンレス鋼のクロスプレートを有し、上部リング及び支持リングをクロスプレートにボルト結合し、ガイドレール及びボロン入りステンレス鋼のガイドバー並びにベースプレートが支持リングにボルト結合することで、燃料集合体を収納する領域である4つのロジメントを構成する構造となっている。

ガイドレール内には、燃料集合体を径方向に固縛するための径方向燃料固縛装置が配置されている。径方向燃料固縛装置は1体の燃料集合体につき2基設けられ、燃料集合体をクロスプレート又はベースプレート側に固縛する。

クロスプレート間にはステンレス鋼のスペーサにより空間が設けられ、クロスプレートの内側には除熱性を高めるためのアルミプレートが取り付けられている。

さらに、ロジメントの外側と容器本体内筒の間には除熱性を高めるためのアルミブロックが取り付けられている。

バスケットの底には、下部中性子遮蔽材としてステンレス鋼製のカバーに覆われたレジンが取り付けられている。また、バスケットは、容器本体底板と底部固定ボルトで固定される。

(4) 緩衝体

上部緩衝体は蓋上面に、下部緩衝体は容器本体の底面に各々ボルトで取り付けられ、落下等により輸送容器に加わる衝撃を吸収して輸送容器を保護する。

上部緩衝体を(イ)－第C.10図に、下部緩衝体を(イ)－第C.11図に示す。

緩衝体は、ステンレス鋼のカバープレートとリップから構成される溶接構造物の内部に緩衝材である木材 を充填したものである。

なお、 は取り付け後に を施すことができるようになっており、蓋が開封されていないことを担保することができる。

3. 材 質

下記 (イ) - 第C. 1表のとおりである。

(イ) - 第C. 1表 材 質

部 位	部 品	材 質	規 格 等 ^{注1)}
本 体	内 筒	ステンレス鋼	
	外 筒	ステンレス鋼	
蓋	フランジ ^{注2)}	ステンレス鋼	プロペラリコール： <input type="text"/>
	底 板	ステンレス鋼	
	トランニオン取付板	ステンレス鋼	
	膨張室仕切板	ステンレス鋼	
	仕 切 板	ステンレス鋼	
	側部中性子遮蔽材	プロペラリコール水溶液	
	下部トランニオン	ステンレス鋼	
	蓋 板	ステンレス鋼	
バスケット	蓋部中性子遮蔽材	レジン	エポキシ系樹脂
	蓋部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304
	蓋ボルト	<input type="text"/>	-
	Oリング	<input type="text"/>	-
	密封プラグ	ステンレス鋼	-
	密封プラグカバー	ステンレス鋼	-
	軸方向燃料固縛装置	ステンレス鋼等	-
	クロスバー	ステンレス鋼	JIS G 3214 SUSF304
	クロスプレート	ボロン入りステンレス鋼	<input type="text"/>
	スペーサ	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304
	ガイドバー	ボロン入りステンレス鋼	<input type="text"/>
	ベースプレート	ボロン入りステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304 又は 3214 SUSF304
ガイドレール	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	
緩 衝 体	上部リング	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304
	支持リング	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304
	下部中性子遮蔽材	レジン	エポキシ系樹脂
	下部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304
	アルミブロック	アルミニウム合金	<input type="text"/>
	アルミプレート	アルミニウム合金	JIS G 4303 SUS630 H1150
	リーマボルト	析出硬化系ステンレス鋼	-
	径方向燃料固縛装置	ステンレス鋼等	JIS G 4303 SUS630 H1150
	底部固定ボルト	析出硬化系ステンレス鋼	<input type="text"/>
	緩衝材	<input type="text"/>	<input type="text"/>
上部緩衝体ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
下部緩衝体ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
カバープレート	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	
リ ブ	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	

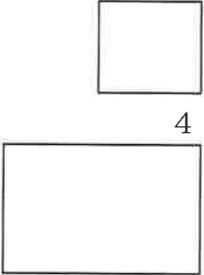
注1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

注2) 上部トランニオンを含む。

4. 寸法 (公称)

下記 (イ) - 第C. 2表のとおりである。

(イ) - 第C. 2表 輸送容器各部の寸法

部 品 名	寸 法 (mm)	参 照 図
<u>本 体</u> 内 筒 内 径 板 厚 外 筒 内 径 板 厚 底 板 厚 さ 仕 切 板 厚 さ 側部中性子遮蔽材厚さ 上部トランニオン外径 下部トランニオン外径 全 長 全 幅 (下部トランニオン)		(イ) - 第C. 5図、 (イ) - 第C. 6図及び (イ) - 第C. 7図
<u>蓋</u> 蓋 外 径 厚 さ 蓋部中性子遮蔽材厚さ 蓋部中性子遮蔽材カバー下板厚さ 蓋 ボ ル ト 径 長 さ 蓋Oリング断面径 密封プラグOリング断面径		(イ) - 第C. 8図
<u>バスケット</u> 外 径 長 さ ロジメント数 ロジメント内幅 下部中性子遮蔽材厚さ 下部中性子遮蔽材カバー下板厚さ	 4	(イ) - 第C. 9図
<u>緩 衝 体</u> 外 径 上部緩衝体ボルト径 下部緩衝体ボルト径 上部緩衝体長さ 下部緩衝体長さ	 2560 830 830	(イ) - 第C. 10図及び (イ) - 第C. 11図

5. 重量

本核燃料輸送物の総重量は 26.2 トン以下であり、その詳細を(イ) - 第C. 3表に示す。

(イ) - 第C. 3表 核燃料輸送物重量

輸送容器各部又は収納物	重量 (トン)
A. 本体	12.7 以下
B. 蓋	1.1 以下
C. バスケット	6.6 以下
D. 緩衝体	
①上部緩衝体	1.5 以下
②下部緩衝体	1.5 以下
E. 燃料集合体	2.8 以下
F. 輸送容器総重量 A+B+C+D	23.4 以下
G. 核燃料輸送物総重量 A+B+C+D+E	26.2 以下

D. 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は PWR 用ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料集合体である。

1. 燃料集合体

本輸送容器に収納可能な燃料集合体の仕様を (イ) - 第D. 1 表に示す。

(イ) - 第D. 1 図は本輸送容器に収納する代表的な燃料集合体の全体図である。これらの図及び表で示されるように、燃料集合体は正方配列された燃料棒で構成され、両端及び中間部数ヶ所が支持格子により保持されている。ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料棒はウラン・プルトニウム混合酸化物のペレットがジルカロイ製の燃料被覆管の中に充填され、両端に端栓を溶接して密封されている。

収納物の主要な放射性核種と放射能の量は (イ) - 第D. 1 表に示すとおりである。

また、輸送容器 1 基当たりの発熱量は (イ) - 第A. 1 表に示すとおり 7.64kW を超えないように制限される。

燃料集合体は容器内のバスケットに収納され、容器内部は が充填される。
 を充填しても容器内の圧力は約 0.1MPa であり、さらに燃料集合体の発熱を考慮しても 0.2MPa 以下であるため、密封装置の健全性に影響はない。

(イ) - 第D. 1表 燃料集合体の仕様例 (その1)

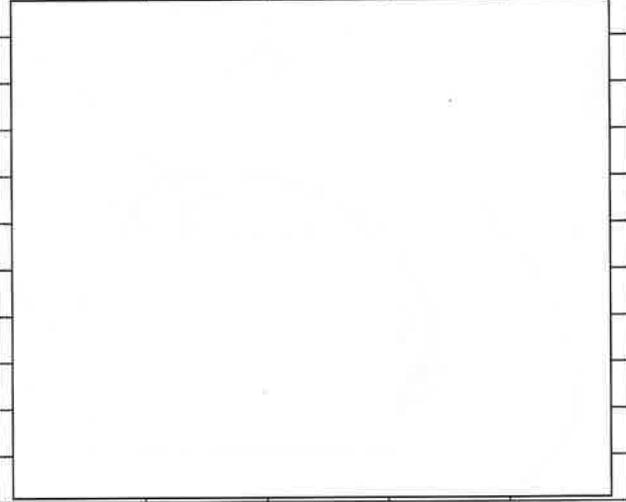
燃料集合体の種類と型式	PWR用MOX新燃料集合体
主な燃料諸元	17×17配列型
形状	
燃料集合体長さ (mm)	約 4100
燃料集合体幅 (mm)	214
燃料棒有効長 (mm)	3648
燃料棒配列	17×17
燃料棒ピッチ (mm)	12.6
燃料棒外径 (mm)	9.5
燃料棒本数 (本)	264
材質	
燃料	ウラン・プルトニウム混合酸化物
燃料密度 (理論密度比)	約 95%TD
ウラン濃縮度 (U-235/Ut)	<input type="text"/>
全プルトニウム富化度 ^{注)}	<input type="text"/>
被覆管	ジルカロイ
重量	
燃料集合体重量 (kg 以下)	<input type="text"/>
U + Pu 重量 (kg 以下)	<input type="text"/>
発熱量 (kW 以下)	1.91
放射能の量 (PBq 以下)	<input type="text"/>

注) 全プルトニウム富化度 (Put 富化度) = $\frac{\text{Put 重量}}{(\text{Ut} + \text{Put}) \text{ 重量}} \times 100\%$

(イ) - 第D. 1表 燃料集合体の仕様例 (その2)

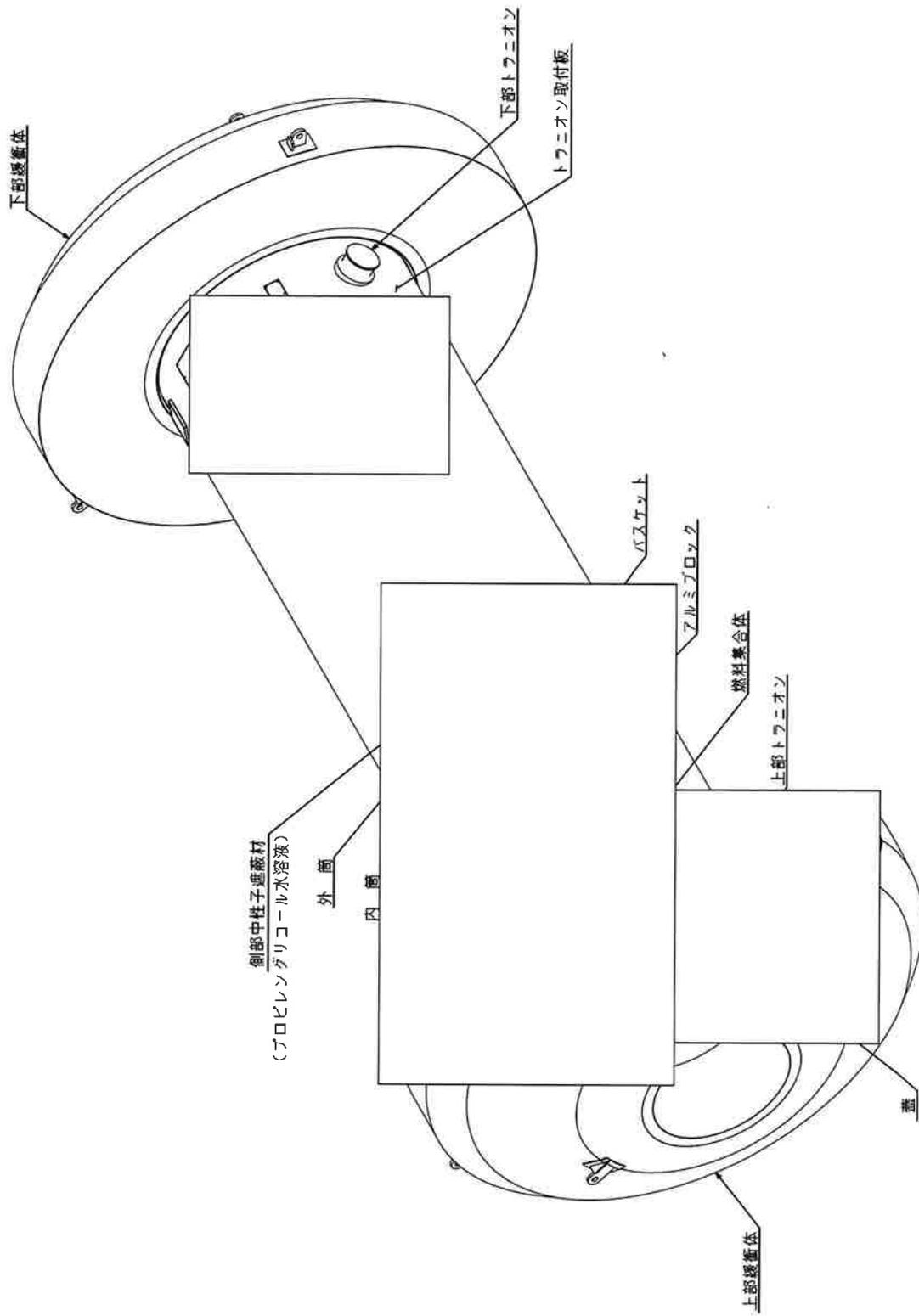
項目	内容														
プルトニウム同位体重量	<p>次の線源核種規定式を満たす各 a_i の重量</p> $\sum_i \frac{a_i}{A_i} \leq 1.0$ <p>a_i : 収納物の各プルトニウム同位体重量 (g) A_i : 下表に示す各プルトニウム同位体の規定収納量 (g) なお、Am-241 はプルトニウム同位体を含むこととする。</p> <table border="1" data-bbox="703 528 1158 857"> <thead> <tr> <th>核種 i</th> <th>規定収納量 A_i (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pu-238</td> <td>5.51×10^3</td> </tr> <tr> <td>Pu-239</td> <td>2.21×10^6</td> </tr> <tr> <td>Pu-240</td> <td>1.04×10^5</td> </tr> <tr> <td>Pu-241</td> <td>4.00×10^6</td> </tr> <tr> <td>Pu-242</td> <td>6.80×10^4</td> </tr> <tr> <td>Am-241</td> <td>3.04×10^4</td> </tr> </tbody> </table>	核種 i	規定収納量 A_i (g)	Pu-238	5.51×10^3	Pu-239	2.21×10^6	Pu-240	1.04×10^5	Pu-241	4.00×10^6	Pu-242	6.80×10^4	Am-241	3.04×10^4
核種 i	規定収納量 A_i (g)														
Pu-238	5.51×10^3														
Pu-239	2.21×10^6														
Pu-240	1.04×10^5														
Pu-241	4.00×10^6														
Pu-242	6.80×10^4														
Am-241	3.04×10^4														
放射能の量	<table border="1" data-bbox="700 925 1155 1299"> <thead> <tr> <th>核種 i</th> <th>最大放射能量 (TBq)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pu-238</td> <td rowspan="7" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> </td> </tr> <tr> <td>Pu-239</td> </tr> <tr> <td>Pu-240</td> </tr> <tr> <td>Pu-241</td> </tr> <tr> <td>Pu-242</td> </tr> <tr> <td>Am-241</td> </tr> <tr> <td>合計</td> </tr> </tbody> </table>	核種 i	最大放射能量 (TBq)	Pu-238	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241	合計				
核種 i	最大放射能量 (TBq)														
Pu-238	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>														
Pu-239															
Pu-240															
Pu-241															
Pu-242															
Am-241															
合計															

(イ) - 第D. 1表 燃料集合体の仕様例 (その3)

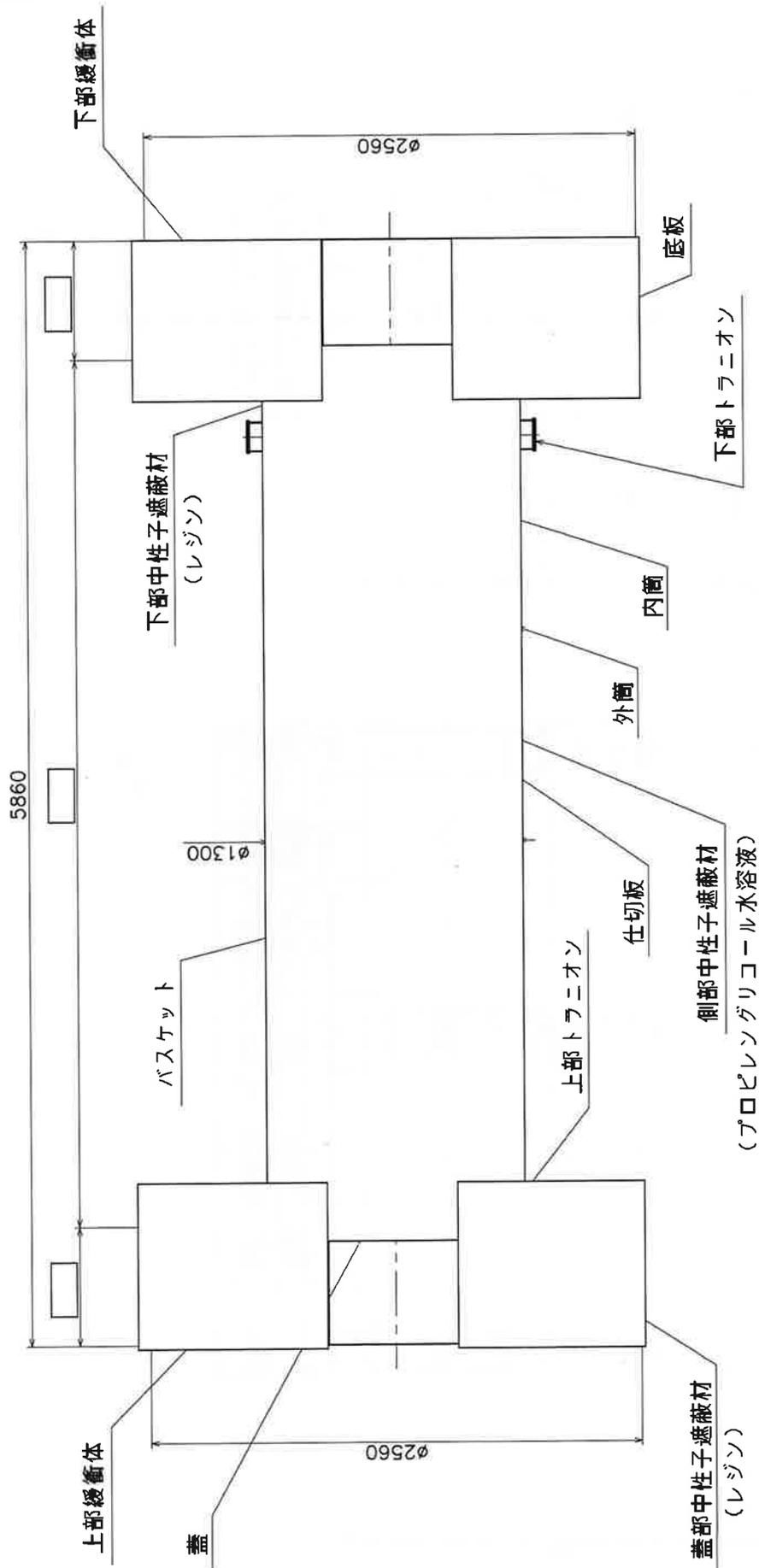
項目	内容					
プルトニウム同位体組成及び核分裂性 プルトニウム富化度	下表のいずれかのケースを満足すること。					
	ケ ー ス	Puf 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)			
			Puf	Pu-240	Pu-241	Pu-242
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

取扱注意

注記：不開示情報を含むため一部削除



(イ) - 第C.1図 核燃料輸送物全体図 (鳥瞰図)

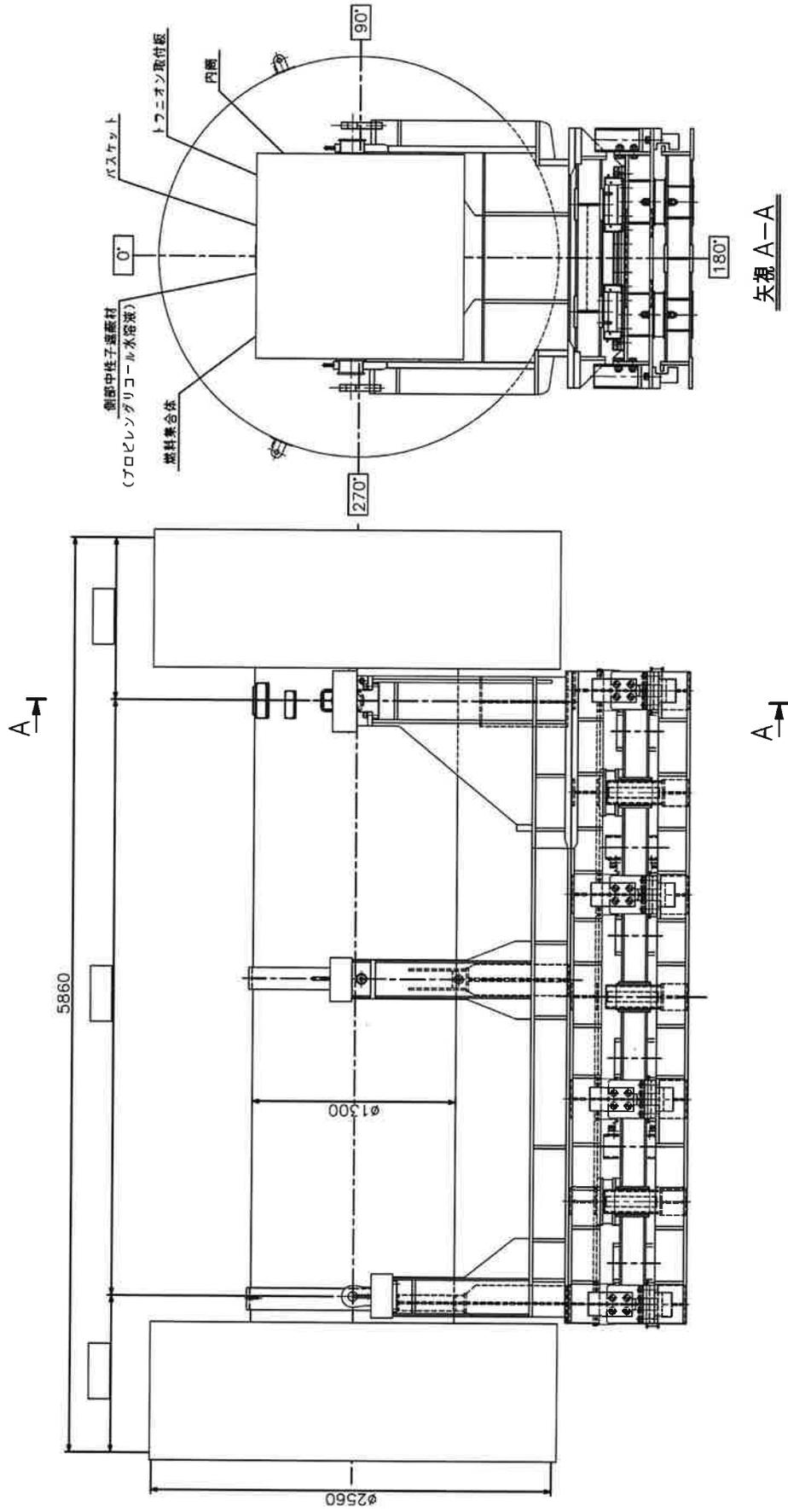


(単位：mm)

注記) 軸方向燃料固縛装置に関しては、表記を省略している。

(イ) - 第C.2図 輸送容器縦断面図

注記：不開示情報を含むため一部削除



取扱注意

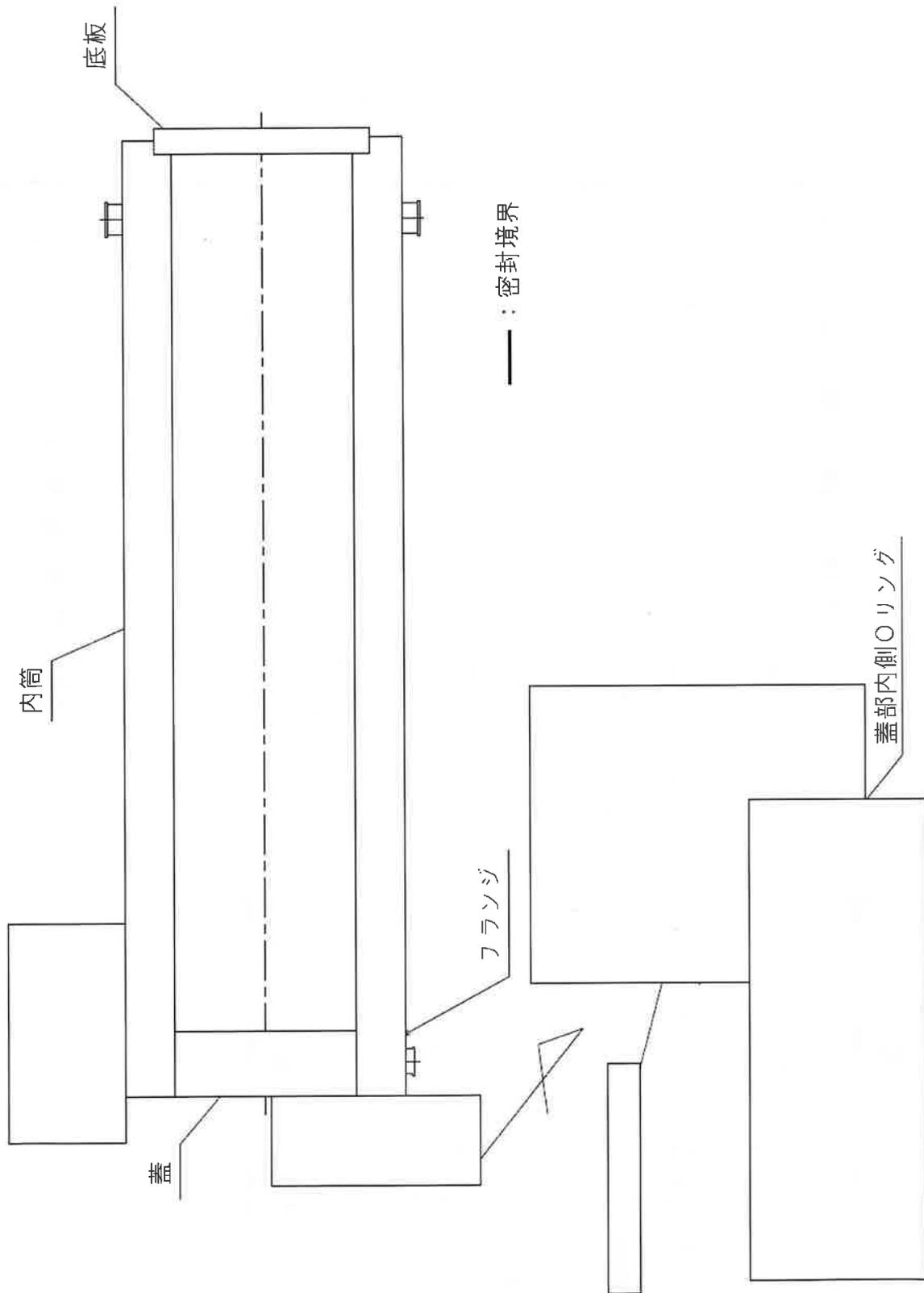
(単位：mm)

矢視 A-A

注記：不開示情報を含むため一部削除

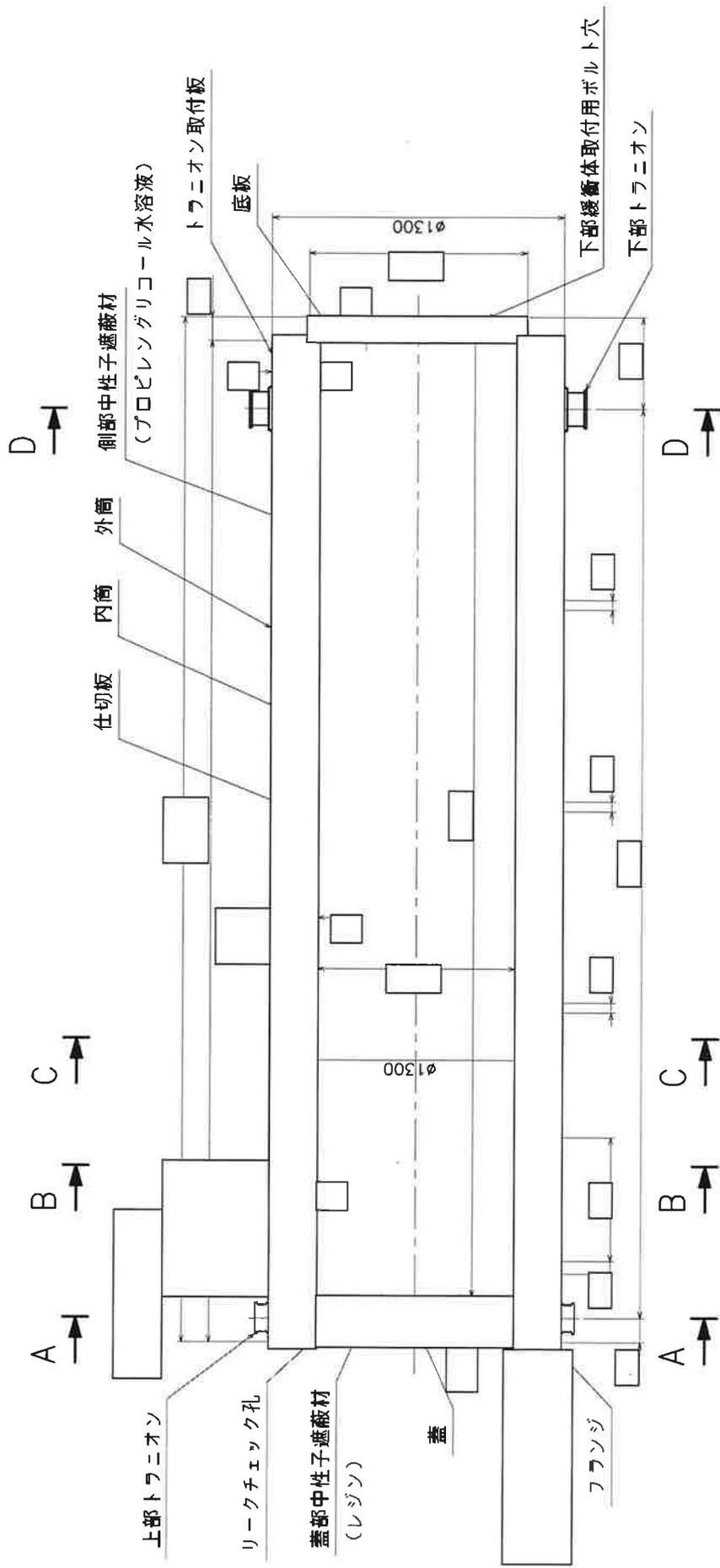
(イ) - 第C.3図 輸送荷姿

取扱注意



注記：不開示情報を含むため一部削除

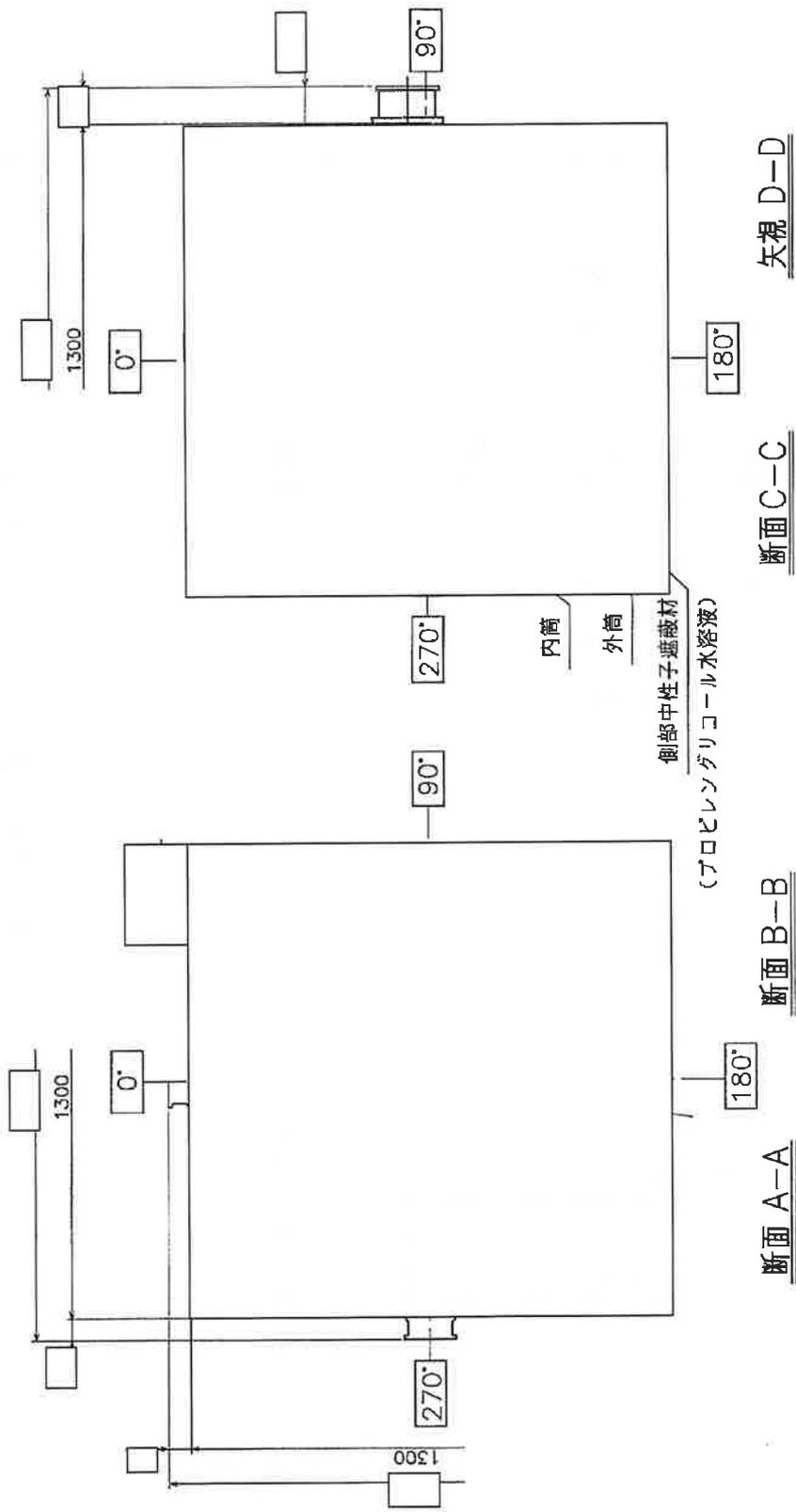
(イ) - 第C.4図 密封境界



(単位：mm)

(イ) - 第C.5図 本体縦断面図

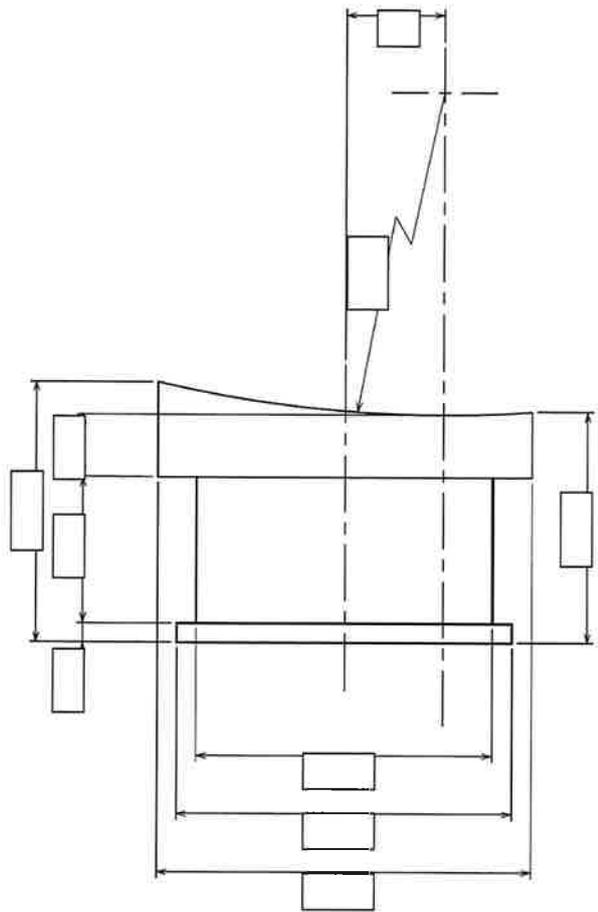
注記：不開示情報を含むため一部削除



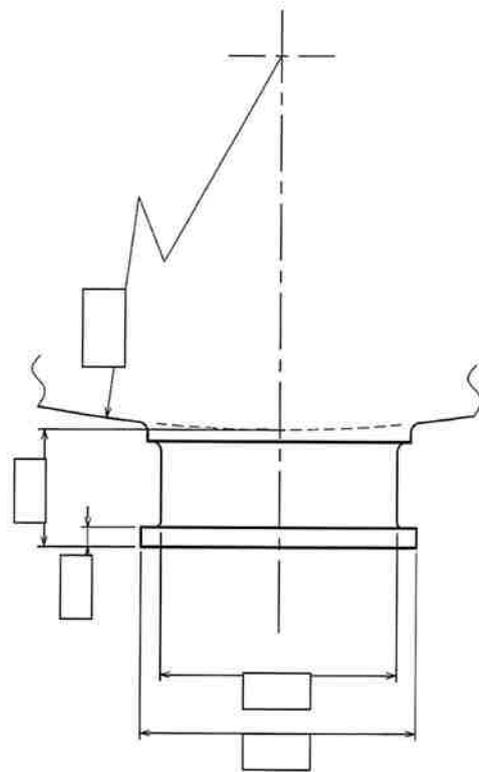
(単位：mm)

(イ) - 第C.6図 本体横断面図

注記：不表示情報を含むため一部削除



下部トラニオン

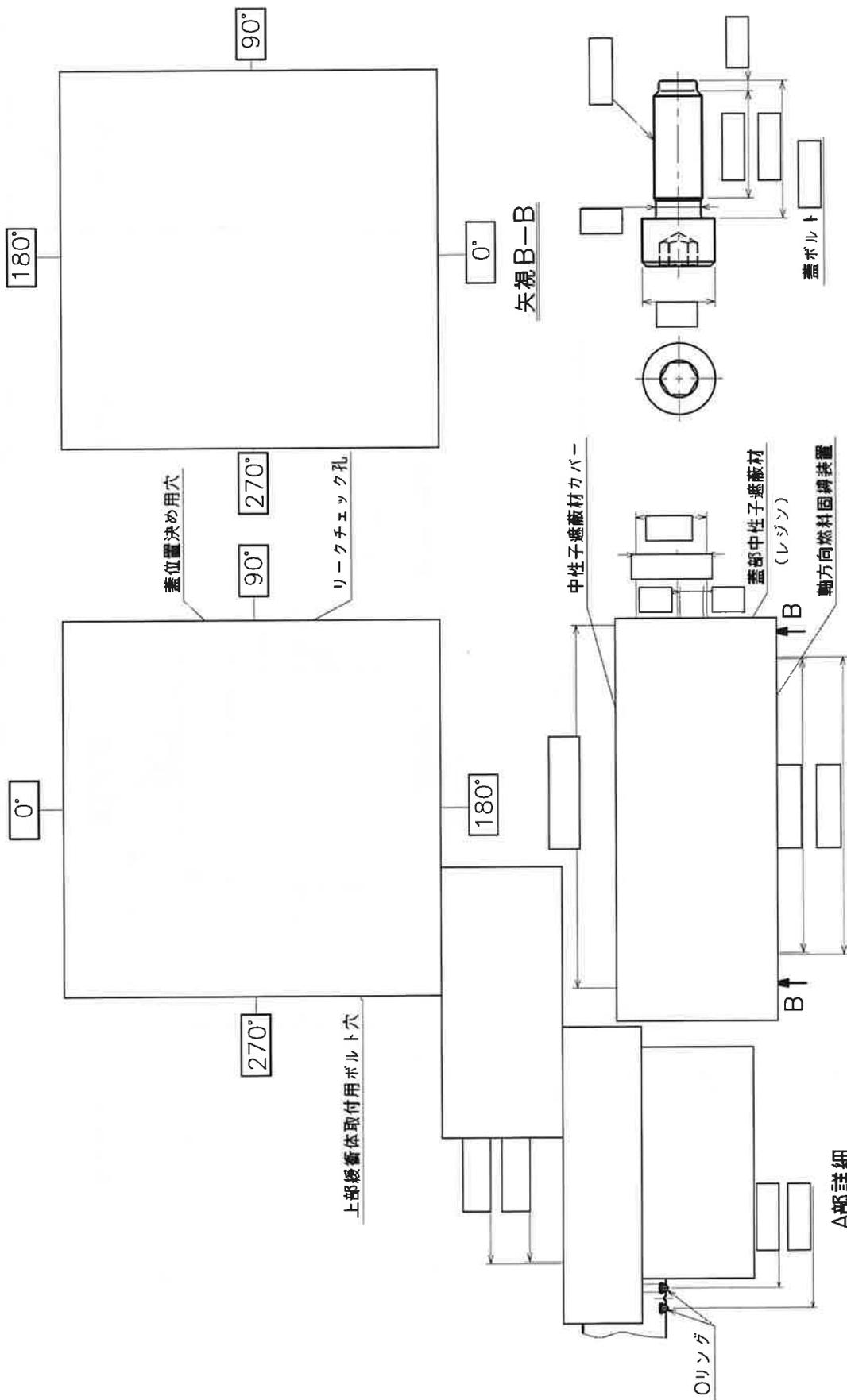


上部トラニオン

(単位：mm)

(イ) - 第C.7図 ト ラ ニ オン

注記：不開示情報を含むため一部削除

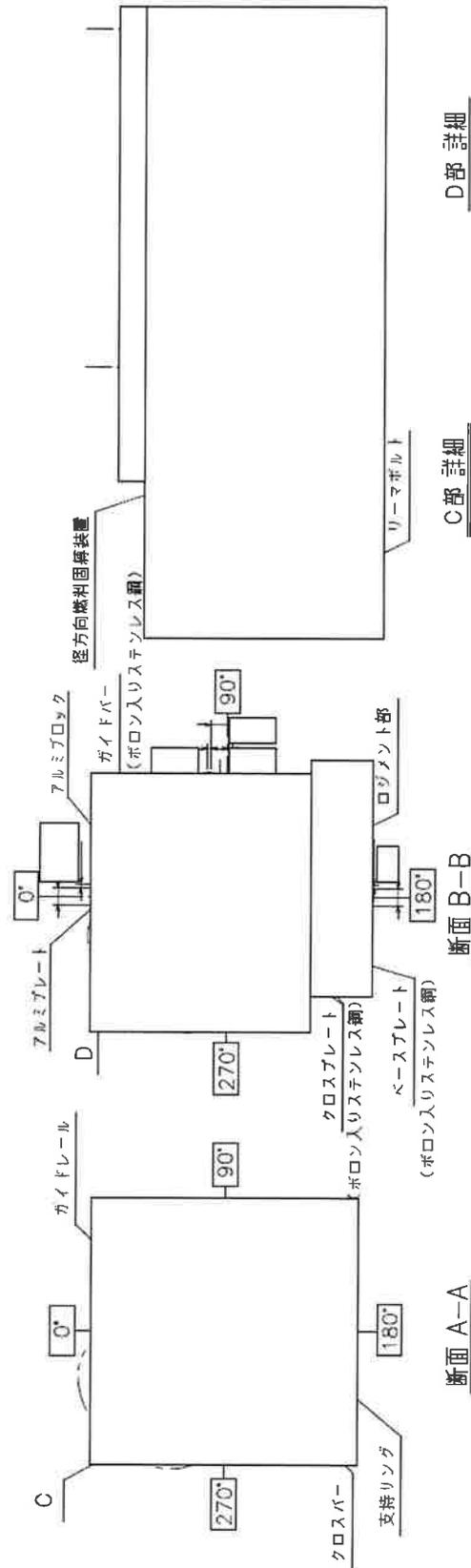
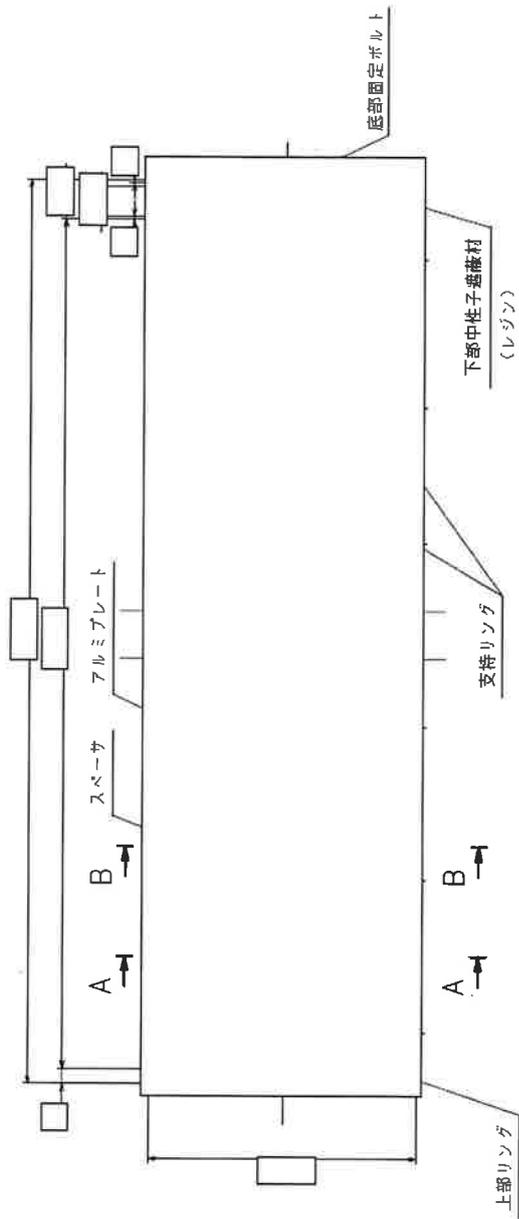


取扱注意

(単位: mm)

注記: 不開示情報を含むため一部削除

(イ) - 第 C. 8 図 蓋

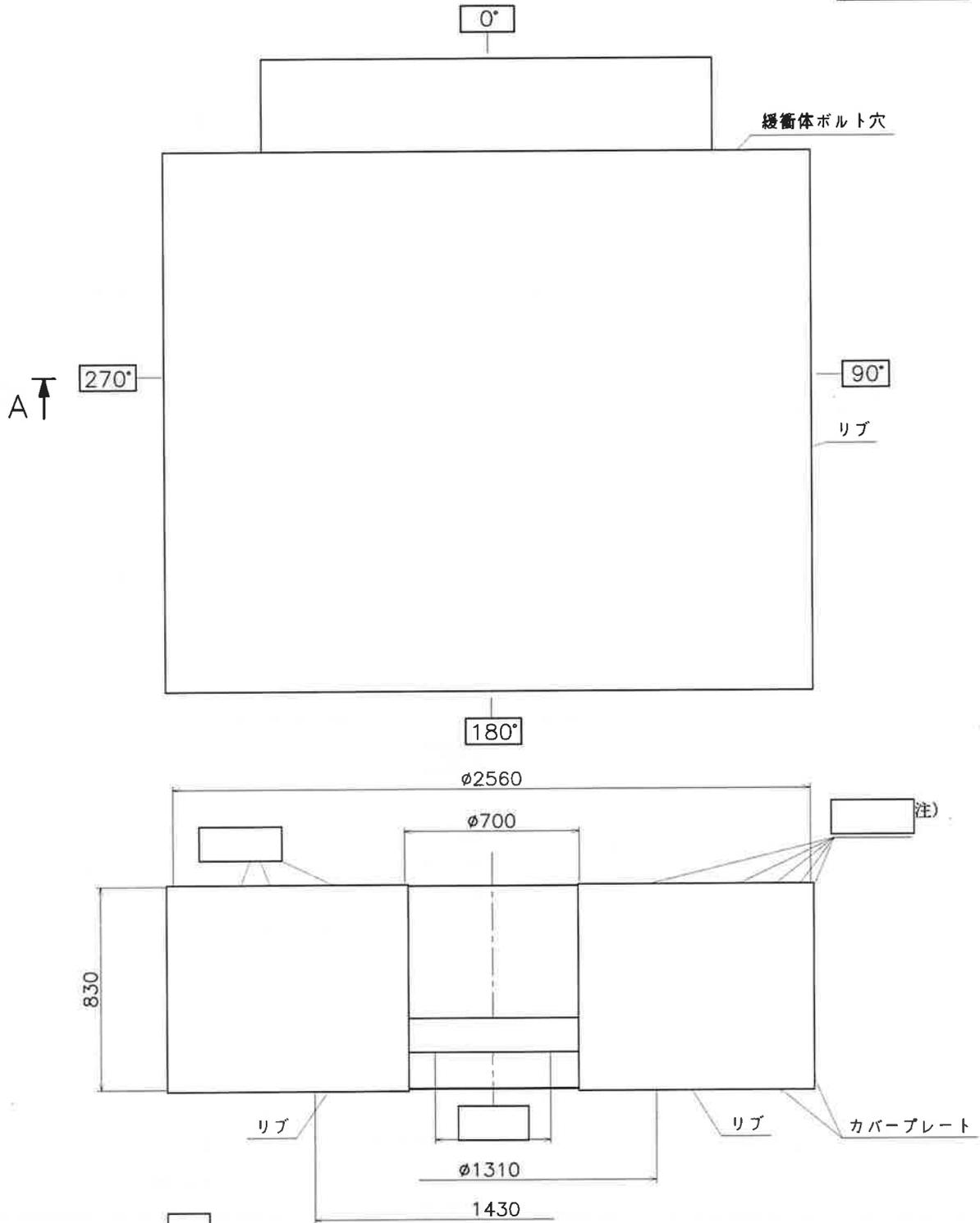


(単位：mm)

注記：不表示情報を含むため一部削除

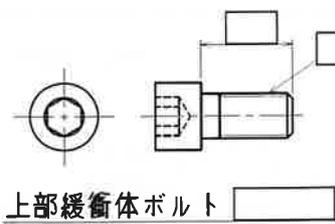
(イ) - 第C.9図 バ ス ケ ッ ト

取扱注意



断面 A-A

(単位：mm)



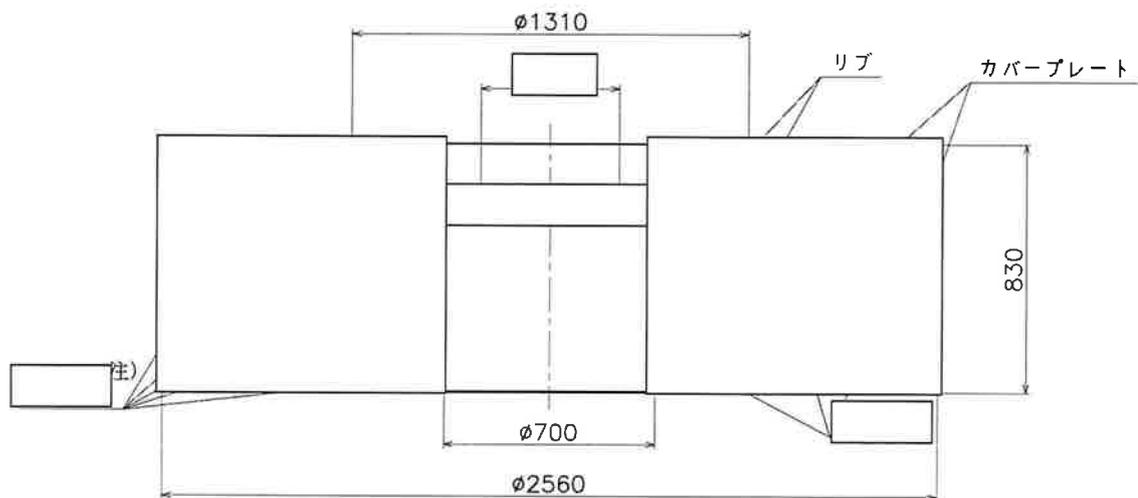
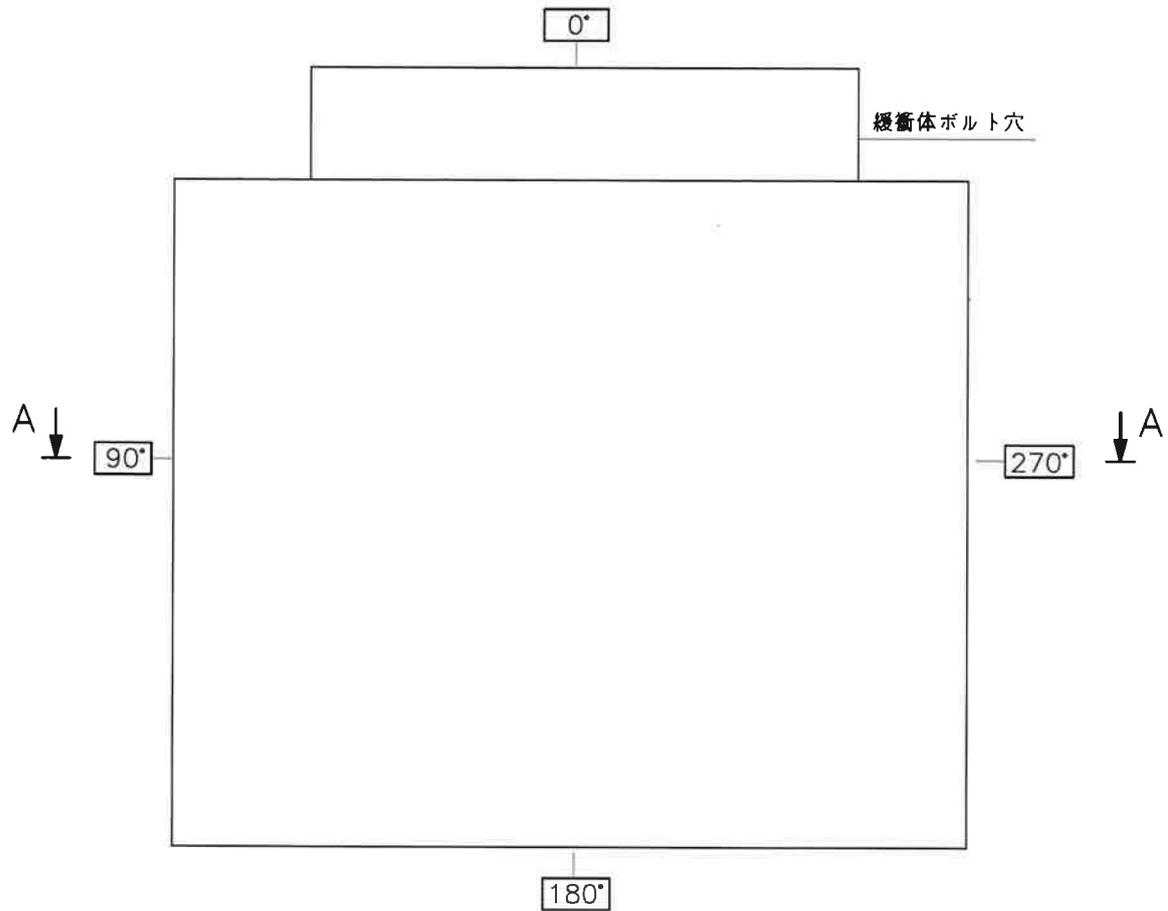
上部緩衝体ボルト

注) 矢印は の木目方向を表し、
 矢印が縦方向の の密度は
 矢印が横方向の の密度は

(イ) - 第C.10図 上部緩衝体

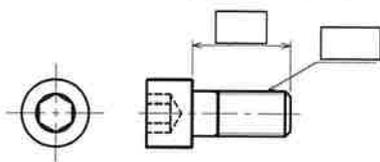
注記：不開示情報を含むため一部削除

取扱注意



(単位: mm)

断面 A-A

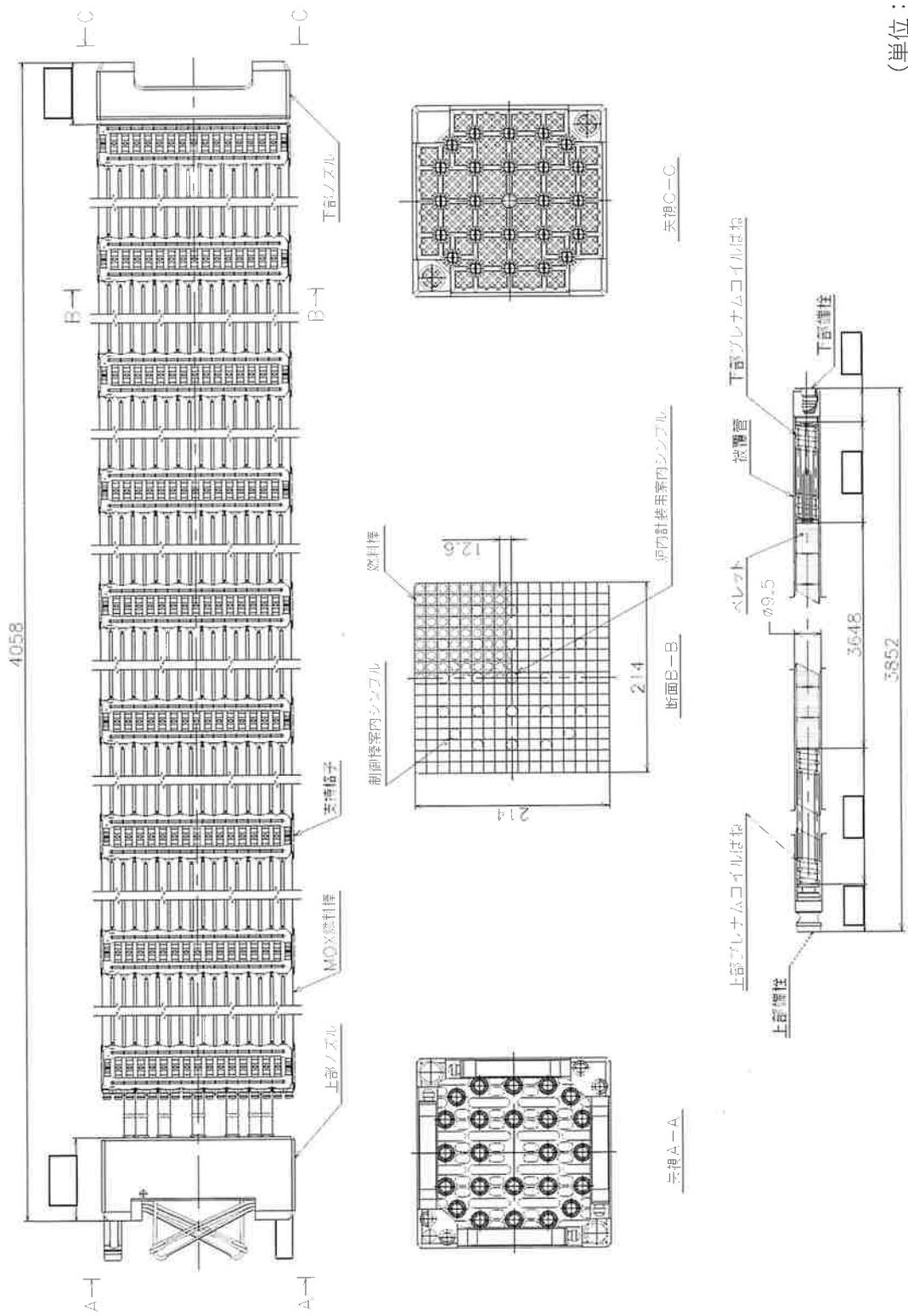


下部緩衝体ボルト

注) 矢印は [] の木目方向を表し、
矢印が縦方向の [] の密度は []
矢印が横方向の [] の密度は []

(イ) - 第C.11図 下部緩衝体

注記: 不開示情報を含むため一部削除



(単位：mm)

注記：不開示情報を含むため一部削除

(イ) - 第D. 1 図 PWR 燃料集合体 (17×17 型)

(口) 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

本核燃料輸送物（以下、「輸送物」という。）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、経年変化を考慮した上でBM型輸送物及び核分裂性輸送物（以下、「BM型核分裂性輸送物」という。）としての技術上の基準に適合することを示している。

本解析の概要は以下のとおりである。

A. 構造解析

構造解析では、通常輸送時において輸送物にき裂、破損等が生じないことを確認する他、一般及び特別の試験条件において密封解析の前提となる密封装置が健全であることを確認した。

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を評価した。

さらに、本輸送物は核分裂性輸送物であるため、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件における輸送物の状態についても評価した。

B. 熱解析

熱解析では、構造解析の評価結果に基づいて、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、構成部品の温度及び圧力が使用可能温度及び圧力を超えないことを評価し、健全であることを確認するとともに、構造、密封、遮蔽及び臨界解析の評価条件を与えた。

また、一般の試験条件の日陰において人が容易に近づくことができる表面における温度基準（85℃）を超えないことを評価し、健全であることを確認した。

C. 密封解析

密封解析では、構造及び熱解析の評価結果並びに発送前検査における気密漏えい検査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確認した。

D. 遮蔽解析

遮蔽解析では、構造及び熱解析の評価結果に基づいて、通常輸送時並びに一般及び特別の試験条件における輸送物表面及び表面から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確認した。

E. 臨界解析

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

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

使用予定期間中に想定される使用状況において、経年変化の要因として熱、放射線、化学的变化による影響を評価した結果、本輸送物の構成部材については技術上の基準に適合していることを確認する上で、その影響は考慮する必要はないことを確認した。

また、吊上げによる荷重、運搬中の内外圧差による荷重、蓋ボルトの締付けによる荷重を繰り返し受ける構成部材については、経年変化の要因として疲労を考慮する必要があることを確認した。

G. 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

以上の結果及び（イ）章の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確認した。

以下、（ロ）章A～G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

輸送容器は、(イ)－第C. 1 図及び(イ)－第C. 2 図に示すように本体、蓋及びバスケット等により構成される。フランジ、内筒及び底板は、(イ)－第C. 4 図に示すように蓋とともに密封境界を構成しており、内筒内の圧力に耐えられる構造になっている。外筒は中性子遮蔽材を保持する構造になっている。輸送容器は、熱応力及び振動に対しても耐えられる構造になっている。

蓋は、(イ)－第C. 8 図に示すように蓋ボルトによって本体に固定される。本体との密封はOリングを用いて行い、密封境界として圧力等の負荷に耐えられる構造になっている。蓋は、(イ)－第C. 2 図に示すように 。

(イ)－第C. 9 図に示すバスケットは、内筒内において燃料集合体を分散・集合させず所定の位置に保持する構造になっている。

(イ)－第C. 10 図及び(イ)－第C. 11 図に示す上部及び下部緩衝体は、本体の上部及び下部にそれぞれボルトによって取り付けられる構造になっており、落下等による機械的衝撃を吸収する。

(イ)－第C. 7 図に示す上部トラニオンは、輸送容器の吊上荷重に耐えられる構造になっている。下部トラニオンは、輸送容器の縦起こし及び横倒し時にかかる荷重に耐えられる構造になっている。また、輸送容器は、(イ)－第C. 3 図に示すように固縛装置である外筒及び下部トラニオンにより輸送架台に固定され、外筒及び下部トラニオンは輸送中の加速度に耐えられる構造になっている。

A. 1. 2 設計基準

1. 設計で考慮する条件

本輸送容器の構造設計では、規則及び告示に基づいて以下の条件等を考慮した。

(1) 通常の輸送条件

- a. 輸送容器の材質間又は輸送容器の材質と収納物間において危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれがないこと。
- b. 密封装置は不用意に開かれないこと。
- c. 輸送容器の吊上装置としてのトラニオンは吊上荷重の2倍に耐えること。
- d. 固縛装置は輸送中発生する上下方向及び前後方向2g並びに左右方向1gの加速度に耐えること。
- e. 輸送容器の構成部品は、運搬中に予想される周囲温度-20℃から38℃の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- f. 輸送容器の振動について考慮すること。

(2) 一般の試験条件

- a. 38℃の条件下に1週間置くこと。(以下、「熱的試験」という。)
- b. 50mm/hの雨量に相当する水を1時間吹き付けること。(以下、「水噴霧試験」という。)
- c. 0.3mの高さから、最大の破損を及ぼすように落下させること。(以下、「自由落下試験」という。)
- d. 自重の5倍に相当する荷重又は鉛直投影面積に13kPaを乗じて得た値に相当する荷重のうち、いずれか大きいものを24時間加えること。(以下、「積み重ね試験」という。)
- e. 重量が6kgであり、直径が3.2cmの容易に破損しない棒であって、その先端が半球形のを1mの高さから当該輸送物の最も弱い部分に落下させること。(以下、「6kg棒貫通試験」という。)

(3) 特別の試験条件

- a. 9mの高さから落下させること。(以下、「9m落下試験」という。)
- b. 垂直に固定した直径が15cmであり、長さが20cmの軟鋼丸棒であって、その上面が滑らかな水平面であり、かつ、その端部の曲率半径が6mm以下のものに1mの高さから落下させること。(以下、「1m貫通試験」という。)
- c. 上記の試験条件に置いた後、800℃で、かつ、平均値が最小で0.9の放射率を有する火炎の放射熱の条件下に30分間置くこと。(以下、「熱的試験(火災試験)」と

いう。)

- d. 深さ 15m の水中に 8 時間浸漬させること。(以下、「15m 浸漬試験」という。)
ただし、a. 及び b. については最大の破損を受けるような順序で連続して行われること。

(4) 原子力規制委員会の定める量を超える放射能を有する核燃料物質等を収納した輸送物に係る追加条件

- a. 深さ 200m の水中に 1 時間浸漬させること。(以下、「200m 強化浸漬試験」という。)

(5) 核分裂性輸送物に係る試験条件

- a. 次の核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。

(a) 以下の連続試験

- i. 水噴霧試験
- ii. 自由落下試験

(b) 積み重ね試験

(c) 6 kg 棒貫通試験

- b. 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件として、以下の (a) 及び (b) のうち、最大の破損を受ける条件の下に置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。

(a) 次の条件の下に順次置くこと。

- i. 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件
- ii. iii. の条件の下で輸送物が最大の破損を受ける順序で次に掲げる条件の下に順次置くこと。
 - ① 9 m 落下試験
 - ② 1 m 貫通試験
- iii. 熱的試験 (火災試験)
- iv. 深さ 0.9m の水中に 8 時間浸漬させること。(以下、「0.9m 浸漬試験」という。)

(b) 次の条件の下に順次置くこと。

- i. 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件
- ii. 15m 浸漬試験

なお、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件の中で機械的(強度)試験においては、本輸送物使用温度範囲の-20℃から 38℃の周囲温度を考慮する。

2. 評価基準

各解析項目に対して材質、温度及び負荷係数等の設計条件を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。この中で応力及び変形量に関する設計基準値は、各試験条件に対して次のように定めた。設計条件及び解析方法の要約を(口)－第A.1表に示す。

(1) 通常の輸送条件（吊上装置及び固縛装置）

- a. 応力強さが設計降伏点以下であること。ここで、応力強さとは主応力の差の絶対値をいう。
- b. 吊上装置については疲労評価を行うこと。

(2) 一般の試験条件（熱的試験及び自由落下試験）

- a. 蓋ボルト以外の輸送容器のフランジ、内筒、底板及び蓋は発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_L \leq 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b \leq 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b + Q \leq 3 S_m$$

ここで、 P_m ：一次一般膜応力強さ

P_L ：一次局部膜応力強さ

P_b ：一次曲げ応力強さ

Q ：二次応力強さ

S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-1（ステンレス鋼の場合）

又はコンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾別表1-2（ステンレス鋼の場合）に示される設計応力強さ

- b. 蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2 S_m$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq 3 S_m$$

ここで、 S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-2に示される設計応力強さ

- c. 蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量が、Oリングの初期締付代より小さいこと。
- d. 外筒、トラニオン取付板及びこれらとの溶接箇所においては、(2) a. に準じて評価するが、設計応力強さ（ S_m 値）を設計・建設規格³⁾付録材料図表 Part 5表5に示される許容引張応力（ S 値）に読み替えて適用する。ただし、

ステンレス鋼は設計・建設規格³⁾ 付録材料図表 Part 5 表 5 に規定されていないため、同じ考え方で許容引張応力を設定する。また、溶接部分は、溶接効率を考慮する。

- e. バスケットのクロスプレート溶接部、ガイドレール及びベースプレートは、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。なお、クロスプレート溶接部は、溶接効率を考慮する。

$$P_m + P_b \leq 1.5 S_m$$

ここで、 S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾ 別表 5-1 (ステンレス鋼の場合)

又は (ボロン入りステンレス鋼の場合) に示される設計応力強さ

- f. バスケットの底部固定ボルトにおいては、引張応力が以下に示す基準値以下であること。

$$(\text{引張応力}) \leq S_m$$

ここで、 S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾ 別表 5-1 に示される設計応力強さ

- g. バスケットのリーマボルトにおいては、せん断応力が以下に示す基準値以下であること。

$$(\text{せん断応力}) \leq S_m / \sqrt{3}$$

ここで、 S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾ 別表 5-1 に示される設計応力強さ

- h. 燃料被覆管については応力強さが降伏応力以下であること。

- i. 熱的試験に対しては輸送容器各部の疲労評価を行うこと。

(3) 一般の試験条件 (積み重ね試験及び 6 kg 棒貫通試験)

- a. 積み重ね試験に対しては外筒及び内筒に発生する応力が設計降伏点を超えないこと。
- b. 6 kg 棒貫通試験に対しては、せん断で破壊しないこと。

(4) 特別の試験条件 (9 m 落下試験、1 m 貫通試験、熱的試験 (火災試験))

- a. 蓋ボルト以外の輸送容器のフランジ、内筒、底板及び蓋は発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

(a) ステンレス鋼

$$P_m \leq 2/3 S_u$$

$$P_L \leq S_u$$

$$P_L + P_b \leq S_u$$

(b) ステンレス鋼

$$P_m \leq \text{MIN} [2.4 S_m, 2/3 S_u]$$

$$P_L \leq \text{MIN} [3.6 S_m, S_u]$$

$$P_L + P_b \leq \text{MIN} [3.6 S_m, S_u]$$

ここで、 S_u ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-9（ステンレス鋼の場合）又はコンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾別表1-10（ステンレス鋼の場合）に示される設計引張強さ

S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-1（ステンレス鋼の場合）又はコンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾別表1-2（ステンレス鋼の場合）に示される設計応力強さ

b. 蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq S_y$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq S_y$$

ここで、 S_y ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-8に示される設計降伏点

c. 蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量が、Oリングの初期締付代より小さいこと。

d. バスケットのクロスプレート、クロスプレート溶接部、ガイドレール及びベースプレートにおいては、以下の基準を適用する。

(a) 各部位の応力強さが以下に示す基準値以下であること。なお、クロスプレート溶接部は、溶接効率を考慮する。

$$P_m + P_b \leq \text{MIN} [3.6 S_m, S_u]$$

ここで、 S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-1（ステンレス鋼の場合）

又は（ボロン入りステンレス鋼の場合）に示される設計応力強さ

S_u ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-9（ステンレス鋼の場合）

又は（ボロン入りステンレス鋼の場合）に示される設計引張強さ

(b) クロスプレートの一次圧縮応力は以下に示す f_c^* の1.5倍を超えないこと。

$$f_c^* = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu}$$

ここで、 λ ：有効細長比

Λ ：限界細長比

$$\nu : \nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

$$F = \text{MIN} [1.35 S_y, 0.7 S_u, 1.2 S_y (RT)]$$

S_y : に示される
設計降伏点

S_u : に示される
設計引張強さ

$S_y(RT)$: に示される
40℃における設計降伏点

- e. バスケットのリーマボルトにおいては、せん断応力が以下に示す基準値以下であること。

$$(\text{せん断応力}) \leq (2/3 S_u) / \sqrt{3}$$

ここで、 S_u : 金属キャスク構造規格¹⁾ 別表5-9に示される設計引張強さ

- f. 1m貫通試験に対しては、内筒、底板及び蓋がせん断で破壊しないこと。

(5) 200m強化浸漬試験

- a. 輸送容器の底板及び蓋部は以下の基準を適用する。

$$P_L + P_b \leq \text{MIN} [3.6 S_m, S_u]$$

ここで、 S_m : 金属キャスク構造規格¹⁾ 別表5-1に示される設計応力強さ

S_u : 金属キャスク構造規格¹⁾ 別表5-9に示される設計引張強さ

- b. 外圧を受ける内筒にあつては、外面に受ける圧力が金属キャスク構造規格¹⁾ に示される内筒の厚さ等によって定まる許容外圧 P_a の1.5倍以下であること。

3. 余裕率

適用数式及び要素による結果のうち、定量的な基準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。

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

したがって、余裕率は0以上あればよいとする。

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準等を記載した。なお、解析基準値は(口)章A. 3に示す材料の機械的性質及び(口)章B. に示す温度等に基づいて決定する。^{注)}

注) 設計降伏点、設計引張強さ及び縦弾性係数等の値は、(口)章A. 3に示す引用文献中で与えられている温度依存データを内挿することによって求める。

(口) - 第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件						解析方法			備考
		参照図表	材質	温度	種類	設計負荷	要素	適用数式又は要素	解基	析準	
通常の輸送条件	<u>化学的及び電気的応</u> 1) 化学的応 2) 電気的応	(口) - 第A. 3表	表による	-	腐食	-	活性	活性の有無	無		
		(口) - 第A. 3表	表による	-	腐食	-	電位差	反応の有無	無		
低温強度	1) 構成部品 2) 低温時の強度	(口) - 第A. 4表	表による	-	材質	-	き裂・破損	-20℃でのき裂・破損の有無	無		
		(口) - 第A. 4表	表による	-	材質	-	脆性破壊	-20℃での脆化の有無	無		
密封装置	1) 蓋 2) <input type="text"/>	(イ) - 第C. 2図	-	-	誤操作による開放	-	誤操作の可否	<input type="text"/> 状態での誤操作の可否	否		
		(イ) - 第C. 2図	-	-	誤操作による開放	-	誤操作の可否	緩衝体等に覆われた状態での誤操作の可否	否		

(口) - 第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (2/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法			備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷		適用数式又は要素	解析基準		
					種類	負荷係数				要素
通常の輸送条件	吊上装置	(口) - 第A. 2 図	ステンレス鋼	100°C	吊上荷重	3	曲げとせん断 疲労評価	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$ N_c	S_y N_a	注1)
		(口) - 第A. 3 図	ステンレス鋼	100°C	吊上荷重	3	曲げとせん断 疲労評価	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$ N_c	S_y N_a	
		(口) - 第A. 4 図	ステンレス鋼	100°C	吊上荷重	3	引張とせん断 疲労評価	$S = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2}$ N_c	S_y N_a	
	固縛装置	(口) - 第A. 3 図 (口) - 第A. 5 図	ステンレス鋼	100°C	上下、前後2g (下方向は自重を 考慮し3g)	1	曲げとせん断	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	S_y	注2)
		(口) - 第A. 4 図 (口) - 第A. 5 図	ステンレス鋼	100°C	上下、前後2g (下方向は自重を 考慮し3g)	1	引張とせん断	$S = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2}$	S_y	
		(口) - 第A. 5 図 (口) - 第A. 6 図	ステンレス鋼	100°C	上下2g、左右1g (下方向は自重を 考慮し3g)	1	支圧	$\sigma_p = \frac{F}{A}$	S_y	
	圧力	-	-	-	周囲圧力の降下	-	内筒内圧及び 側部中性子遮 蔽材部圧力	密封性	良	
	振動	(口) - 第A. 7 図	ステンレス鋼 ステンレス鋼	110°C	振動による力	-	振動 慣性力	固有振動数 蓋ボルトの緩みの有無	加振源 の 振動数 無	

注1) S: 応力強さ、 σ_b : 曲げ応力、 σ_t : 引張応力、 τ : せん断応力、 S_y : 設計降伏点、 N_c : 使用計画回数、 N_a : 許容繰返し回数注2) σ_p : 支圧応力、F: 荷重、A: 支圧面積

(ロ) - 第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (3/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法		備考		
		参照図表	材質	温度	設計負荷		適用数式又は要素		解析基準	
					種類	負荷係数				要素
一般の試験条件	熱的試験 1) 応力計算	(ロ) - 第A. 9図	ステンレス鋼	110℃	内筒内圧、側部中性 子遮蔽材部圧力、 熱膨張及び 初期締付トルク	1	応力強さ 疲労評価	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \\ N_c \end{cases}$	$\begin{cases} S_m \\ 1.5S_m \\ 1.5S_m \\ 3S_m \\ N_a \end{cases}$	注3)
	フランジ			110℃	同上	1	同上	同上	同上	
	内筒	同上	ステンレス鋼	110℃	同上	1	同上	同上	同上	
	底板	同上	ステンレス鋼	110℃	同上	1	同上	同上	同上	
	蓋	同上	ステンレス鋼	90℃	同上	1	同上	同上	同上	
	外筒	同上	ステンレス鋼	100℃	同上	1	応力強さ 疲労評価	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \\ N_c \end{cases}$	$\begin{cases} \eta S \\ \eta 1.5S \\ \eta 1.5S \\ \eta 3S \\ N_a \end{cases}$	
	トラニオン取付板	同上	ステンレス鋼	100℃	同上	1	同上	同上	同上	
	蓋ボルト	同上		90℃	同上	1	引張 引張と曲げ 疲労評価	$\begin{cases} \sigma_m \\ \sigma_m + \sigma_b \\ N_c \end{cases}$	$\begin{cases} 2S_m \\ 3S_m \\ N_a \end{cases}$	注4)
	Oリングの密封性	同上		-	同上	1	変形量	口開き変形量	初期 締付代	
	水噴霧試験	-	ステンレス鋼	-	水噴霧	-	吸水による 脆化、水溜	吸水性 水切	無 良	

注3) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次曲げ応力強さ、 S_m : 設計応力強さ、 S : 許容引張応力、 η : 溶接効率 (溶接部分のみ考慮。非溶接部については $\eta = 1$ とみなす)。

注4) σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

(ロ) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (4/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法		備考		
		参照図表	材質	温度	種類	設計負荷 負荷係数	要素		適用数式又は要素	解析 基準
一般の試験条件	自由落下試験 1) 緩衝体の変形量と 衝撃加速度 垂直落下 水平落下 コーナー落下 2) 垂直落下	(ロ) - 第A.13図	木材	-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	木材エネルギー吸収量	$E_K = mgH$	注5)
		(ロ) - 第A.14図	ステンレス鋼	-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	木材エネルギー吸収量	$E_K = mgH$	
		(ロ) - 第A.15図	木材	-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	木材エネルギー吸収量	$E_K = mgH$	
	フランジ	(ロ) - 第A.23図	ステンレス鋼	110°C	内筒内圧、側部中性 子遮蔽材部圧力、 慣性力、熱膨張及び 初期縮付トルク	1	応力強さ	$\begin{bmatrix} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \end{bmatrix}$	S_m $1.5S_m$ $1.5S_m$ $3S_m$	同上
		(ロ) - 第A.24図	同上	110°C	同上	1	同上	同上	同上	
		同上	同上	110°C	同上	1	同上	同上	同上	
	内筒 底板 蓋	同上	同上	90°C	同上	1	同上	同上	同上	同上
		同上	同上	100°C	同上	1	応力強さ	$\begin{bmatrix} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \end{bmatrix}$	ηS $\eta 1.5S$ $\eta 1.5S$ $\eta 3S$	同上
		同上	同上	100°C	同上	1	同上	同上	同上	
	同上	同上	90°C	同上	1	引張 引張と曲げ	$\sigma_m + \sigma_b$	$2S_m$ $3S_m$		
	外筒 トラニオン取付板 蓋ボルト	同上	同上	-	同上	1	変形量	口開き変形量	初期 縮付代	注6)
		同上	同上	120°C	慣性力	1	引張	σ_t	S_m	
		同上	同上	240°C	内圧及び慣性力	1	応力強さ	S	σ_y	

注5) E_K : 輸送物の落下エネルギー、m: 輸送物最大総重量、g: 重力加速度、H: 落下高さ

注6) σ_y : 降伏応力

(ロ) - 第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (5/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法		備考		
		参照図表	材質	温度	種類	設計負荷	要素		適用数式又は要素	基準
3) 水平落下										
フランジ	(ロ) - 第A. 26 図	ステンレス鋼	110°C	内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力、慣性力、熱膨張及び初期縮付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \end{cases}$	$\begin{cases} S_m \\ 1.5S_m \\ 1.5S_m \\ 3S_m \end{cases}$		
内筒	同上	ステンレス鋼	110°C	同上	1	同上	同上	同上		
底板	同上	ステンレス鋼	110°C	同上	1	同上	同上	同上		
蓋	同上	ステンレス鋼	90°C	同上	1	同上	同上	同上		
外筒	同上	ステンレス鋼	100°C	同上	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \end{cases}$	$\begin{cases} \eta S \\ \eta 1.5S \\ \eta 1.5S \\ \eta 3S \end{cases}$		
トラニオン取付板	同上	ステンレス鋼	100°C	同上	1	同上	同上	同上		
蓋ボルト	同上		90°C	同上	1	引張 引張と曲げ	$\begin{cases} \sigma_m + \sigma_b \\ \sigma_m + \sigma_b \end{cases}$	$\begin{cases} 2S_m \\ 3S_m \end{cases}$		
○リングの密封性	同上		-	同上	1	変形量	口開き変形量	初期縮付代		
バスケット(クローズド レート溶接部、ガイド レール)	(ロ) - 第A. 27 図 (ロ) - 第A. 28 図 (ロ) - 第A. 31 図 (ロ) - 第A. 32 図	ステンレス鋼	160°C	慣性力	1	応力強さ	$P_m + P_b$	$\eta 1.5S_m$		
バスケット(ベースブ レート)	(ロ) - 第A. 29 図 (ロ) - 第A. 30 図	ボロン入り ステンレス鋼	160°C	慣性力	1	応力強さ	$P_m + P_b$	$1.5S_m$		
バスケット(リーマボ ルト)	(ロ) - 第A. 33 図	析出硬化系 ステンレス鋼	120°C	慣性力	1	せん断	τ	$S_m/\sqrt{3}$		
燃料被覆管	-	ジルカロイ	240°C	内圧及び慣性力	1	応力強さ	S	σ_y		
4) コーナー落下				垂直及び水平落下の結果並びに特別の試験条件の結果を引用して評価						

一般の試験条件

(口) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (6/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法		備考		
		参照図表	材質	温度	種類	設計負荷	要素		適用数式又は要素	解析基準
一般の試験条件	積み重ね試験 1) 軸に垂直な方向	(口) - 第A.34 図	ステンレス鋼	110°C	輸送物重量の5倍	1	曲げ	$\sigma_b = \frac{M_{max} d_o}{2 I}$	S _y	注7)
	2) 軸方向	(口) - 第A.35 図	ステンレス鋼	110°C	輸送物重量の5倍	1	圧縮	$\sigma_c = \frac{W}{A}$	S _y	注8)
	(口) - 第A.36 図	ステンレス鋼	100°C	落下エネルギー	1	せん断	$E_s = \frac{\pi}{2} d t^2 S$	せん断エネルギー	注9)	

注7) M_{max}: 最大曲げモーメント、d_o: 円筒外径、I: 断面二次モーメント

注8) σ_c: 圧縮応力、W: 荷重、A: 断面積

注9) E_s: カバープレートのせん断エネルギー、d: 棒の直径、t: 棒の厚さ、S: カバープレートのせん断強さ

(ロ) - 第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (7/12)

条件	解析項目及びその評価	設計				条件			解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	種類	設計負荷 負荷係数	要素	適用数式又は要素	解析基準		
										要素	
特別の試験条件	9m落下試験 1) 緩衝体変形量と衝撃 増加速度 垂直落下	-	木材 ステンレス鋼	-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	木材エネルギー吸収量	$E_k = mgH$	注10) 注11)	
	水平落下	-	木材 ステンレス鋼	-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	木材エネルギー吸収量	$E_k = mgH$		
	コーナー落下 2) 垂直落下	-	木材 ステンレス鋼	-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	木材エネルギー吸収量	$E_k = mgH$		
	フランジ	(ロ) - 第A. 42 図 (ロ) - 第A. 43 図	ステンレス鋼	110°C	内筒内圧、側部中性 子遮蔽材部圧力、 慣性力及び初期 縮付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{cases}$	$\begin{cases} 2/3 S_u \\ S_u \\ S_u \end{cases}$		
	内筒	同上	ステンレス鋼	110°C	同上	1	同上	同上	同上		
	底板	同上	ステンレス鋼	110°C	同上	1	同上	同上	同上		
	蓋	同上	ステンレス鋼	90°C	同上	1	同上	同上	同上		
	外筒	同上	ステンレス鋼	100°C	同上	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{cases}$	$\begin{cases} \eta 2/3 S_u \\ \eta S_u \\ \eta S_u \end{cases}$		
	トラニオン取付板	同上	ステンレス鋼	100°C	同上	1	同上	同上	同上		
	蓋ボルト	同上		90°C	内筒内圧、側部中性 子遮蔽材部圧力、 慣性力、熱膨張及び 初期縮付トルク	1	引張 引張と曲げ	$\begin{cases} \sigma_m + \sigma_b \\ \sigma_m + \sigma_b \end{cases}$	$\begin{cases} S_y \\ S_y \end{cases}$		
	Oリングの密封性	同上		-	同上	1	変形量	口開き変形量	初期 縮付代		
	バスケット (クロスブ レート)	(ロ) - 第A. 44 図	ボロン入り ステンレス鋼	160°C	慣性力	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	1.5 f _c *	注12)	

注10) S_u : 設計引張強さ
 注11) ステンレス鋼に対しては $P_m \leq \text{MIN} [2.4 S_m, 2/3 S_u]$, $P_L \leq \text{MIN} [3.6 S_m, S_u]$, $P_L + P_b \leq \text{MIN} [3.6 S_m, S_u]$
 注12) f_c : 許容圧縮応力

(ロ) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (8/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法		備考				
		参照図表	材質	温度	種類	設計負荷	適用数式又は要素		解基準			
										要素		
特別の試験条件	3) 水平落下											
	フランジ	(ロ) - 第A.45図	ステンレス鋼	110°C	内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力、慣性力及び初期縮付トルク	1	応力強さ	$\begin{bmatrix} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{bmatrix}$	$\frac{2}{3} S_u$ S_u S_u			
	内筒	同上	ステンレス鋼	110°C	同上	1	同上	同上	同上			
	底板	同上	ステンレス鋼	110°C	同上	1	同上	同上	同上			
	蓋	同上	ステンレス鋼	90°C	同上	1	同上	同上	同上			
	外筒	同上	ステンレス鋼	100°C	同上	1	応力強さ	$\begin{bmatrix} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{bmatrix}$	$\frac{2}{3} S_u$ ηS_u ηS_u			
	トラニオン取付板	同上	ステンレス鋼	100°C	同上	1	同上	同上	同上			
	蓋ボルト	同上		90°C	内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力、慣性力、熱膨張及び初期縮付トルク	1	引張 引張と曲げ	$\sigma_m + \sigma_b$	S_y S_y			
	○リングの密封性	同上		-	同上	1	変形量	口開き変形量	初期縮付代			
	バスケット (クросプ レート溶接部、ガイド レール)	-	ステンレス鋼	160°C	慣性力	1	応力強さ	$P_m + P_b$	ηS_u			
	バスケット (ベース プレート)	-	ボロン入り ステンレス鋼	160°C	慣性力	1	応力強さ	$P_m + P_b$	S_u			
	バスケット (リーマボ ルト))	-	析出硬化系 ステンレス鋼	120°C	慣性力	1	せん断	τ	$\frac{2}{3} S_u$ $\sqrt{3}$			
	4) コーナー落下											
蓋ボルト	-		90°C	垂直及び水平落下の結果を引用して評価 内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力、慣性力、熱膨張及び初期縮付トルク	1	引張	$\sigma_t = \sigma_{t1} + \phi \sigma_{t2}$	S_y	注 13)			
5) 傾斜落下												

注 13) σ_t : 蓋ボルトに生じる引張応力、 σ_{t1} : 蓋ボルトの初期縮付力等により蓋ボルトに生じる引張応力、 ϕ : ボルト内力係数
 σ_{t2} : 慣性力により蓋ボルトに生じる引張応力、

(口) - 第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (9/12)

条 件	解析項目及びその評価	設 計 条 件				解 析 方 法		備 考		
		参照図表	材 質	温 度	設 計 負 荷		適 用 数 式 又 は 要 素		解 析 基 準	
					種 類	負 荷 係 数				要 素
特別の試験条件	1m貫通試験 1) 垂直落下 蓋 底板 2) 水平落下 外筒 内筒	-	ステンレス鋼	90℃	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u A$ $F = \pi d t S$	F	注 14)
			ステンレス鋼	110℃	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u A$ $F = \pi d t S$	F	
			ステンレス鋼	100℃	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u A$ $F = \pi d t S$	F	
			ステンレス鋼	110℃	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u A$ $F = \pi d t S$	F	

注 14) F_{bar} : 軟鋼棒が圧潰することにより輸送容器に加わる最大荷重、 σ_u : SS400 の引張強さ、 A : 軟鋼棒の断面積、 F : 貫通荷重、 d : 軟鋼棒の直径、 t : 板厚、 S : せん断強さ

(口) 一第A. 1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (10/12)

条件	解析項目及びその評価	設計条件				解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷		適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数			
<u>熱的試験 (火災試験)</u>									
	1) 応力計算 フランジ	(口) 一第A. 46 図	ステンレス鋼	350℃	内筒内圧及び 初期締付トルク	1	応力強さ	$\begin{bmatrix} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{bmatrix}$ 2/3 S _u S _u S _u	
	内筒	同上	ステンレス鋼	240℃	同上	1	同上	同上	
	底板	同上	ステンレス鋼	340℃	同上	1	同上	同上	
	蓋	同上	ステンレス鋼	330℃	同上	1	同上	同上	
	外筒	同上	ステンレス鋼	410℃	同上	1	応力強さ	$\begin{bmatrix} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{bmatrix}$ — — —	
	トラニオン取付板	同上	ステンレス鋼	410℃	同上	1	同上	同上	
	蓋ボルト	同上		150℃	内筒内圧、熱膨張 及び初期締付トルク	1	引張 引張と曲げ	S _y S _y	
	○リングの密封性	同上		—	同上	1	変形量	初期 締付代	
	<u>15m浸漬試験</u>								
	外筒	—	ステンレス鋼	100℃	外圧	1	圧力	1.5 P _a	
	内筒、蓋、底板	—			後述の 200m強化浸漬試験に対する解析結果を引用して評価			注 15)	

注 15) P_o: 外圧、P_a: 許容外圧

(口) 一第A. 1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (11/12)

条 件	解析項目及びその評価	設 計 条 件				解 析 方 法		備 考			
		参照図表	材 質	温 度	設 計 負 荷		適 用 数 式 又 は 要 素		解 析 基 準		
					種 類	負 荷 係 数				要 素	
核燃料輸送物の 追加試験条件 200m強化浸漬試験	1) 外筒 2) 内筒 3) 底板 4) 蓋	-	ステンレス鋼	100℃	外 圧	1	圧 力	P_o	1.5P _a		
		-	ステンレス鋼	110℃	外 圧	1	圧 力	応力強さ (曲 び)	P_o	1.5P _a	
		(口) - 第A. 47 図	ステンレス鋼	110℃	外 圧	1	圧 力	応力強さ (曲 び)	$\sigma_b = 0.75 \frac{P a^2}{t^2}$	S _u	注 16)
		(口) - 第A. 48 図	ステンレス鋼	90℃	外 圧	1	圧 力	応力強さ (曲 び)	$\sigma_b = \frac{3(3+\nu) P a^2}{8 t^2}$	S _u	

注 16) P : 外圧 (差圧)、a : 円板の半径、t : 板厚、ν : ポアソン比

(口) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (12/12)

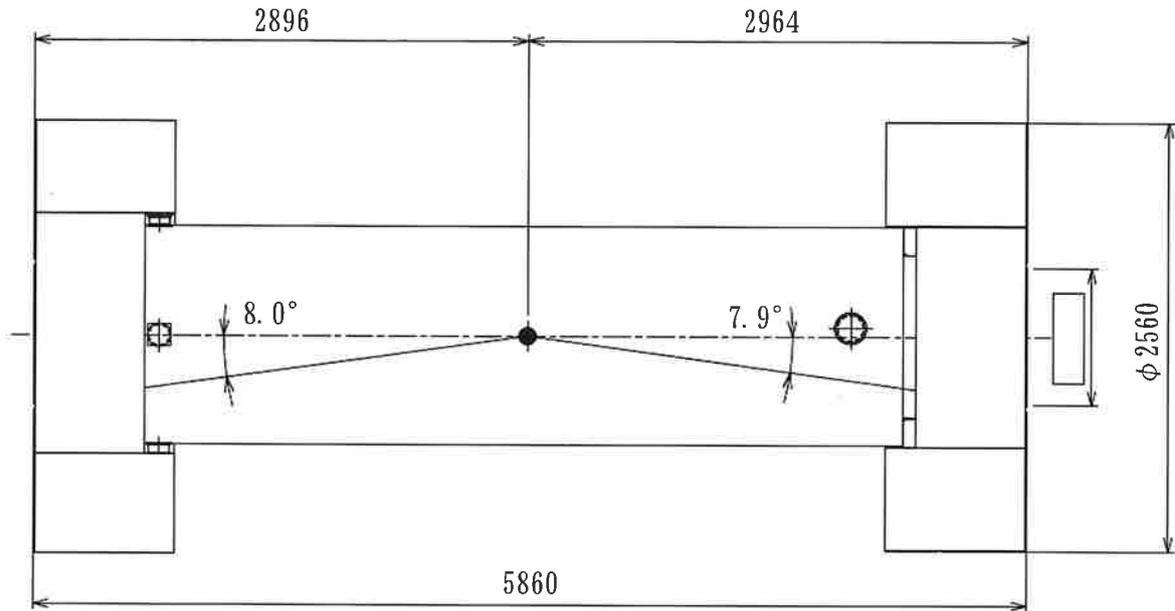
条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷		適用数式又は要素	解析基準		
					種類	負荷係数				要素
核分裂性輸送物に係る試験条件	一般の試験条件									
	1) 水噴霧試験 自由落下試験 積み重ね試験 3) 6 kg 棒貫通試験 特別の試験条件									
	1) i ① 9 m 落下試験 ② 1 m 貫通試験 ii 熱的試験 (火災試験) iii 0.9m 浸漬試験 2) 15m 浸漬試験	(口) - 第A.49 図							前述の一般の試験条件に対する解析結果を引用して評価 自由落下試験と9 m 落下試験における落下姿勢が同一の場合を考慮し 9.3m 落下試験として評価 前述の特別の試験条件に対する解析結果を引用して評価 1) が最大破損条件となるため、評価しない	注17) 注18)

注17) 1) と2) のうち最大の破損を受ける条件の下に置いた後の評価を行う。

注18) ii の条件の下で輸送物が最大の破損を受ける順序で①②の条件の下に置く。

A. 2 重量及び重心

通常時における輸送物の重量は、(イ)章C. 5. に記載したとおり 26.2 トン以下である。
また、輸送物の重心の位置は、(ロ) - 第A. 1 図に示すとおりである。



(単位：mm)

(ロ) - 第A. 1 図 重心の位置

注記：不開示情報を含むため一部削除

A. 3 材料の機械的性質

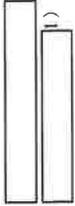
解析に用いる材料の機械的性質を(口) - 第A. 2表に示す。これらは、主に金属キャスク構造規格¹⁾より引用した。なお、緩衝体の材料の機械的性質については、(口) 章A. 5. 3に示す。

(口) - 第A. 2表 材料の機械的性質 (1/2)

材料	部位	S (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	E (MPa)	ν	α (mm/mm°C)
ステンレス鋼 ^{1), 3)}	蓋	-					0.3	
	フランジ							
	底板							
	トラニオン	-						
析出硬化系 ステンレス鋼 ¹⁾	バスケット (クロスプレート 溶接部、 ガイドレール)	-					0.3	
	バスケット (底部固定ボルト、 リーマボルト)	-	311 (20°C) 311 (120°C)	725 (20°C) 655 (120°C)	930 (20°C) 845 (120°C)	1.95 × 10 ⁵ (20°C) 1.90 × 10 ⁵ (100°C) 1.88 × 10 ⁵ (125°C)		
	バスケット (クロスプレート、 ベースプレート)	-						
ポロン入り ステンレス鋼 ⁴⁾							0.3	

注記) S : 許容引張応力、S_m : 設計応力強さ、S_y : 設計降伏点、S_u : 設計引張強さ、E : 縦弾性係数、ν : ポアソン比、α : 熱膨張係数

(口) - 第A.2表 材料の機械的性質 (2/2)

材料	部位	S (MPa)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	E (MPa)	ν	α (mm/mm°C)
 ステンレス鋼 ²⁾	内筒	—					0.3	
	外筒 トランニオン取付板							
 ジルカロイ ⁵⁾	蓋ボルト	—					0.3	
	燃料被覆管	—						

注記) S : 許容引張応力、S_m : 設計応力強さ、S_y : 設計降伏点又は降伏応力 (ジルカロイ)、S_u : 設計引張強さ、E : 縦弾性係数、

ν : ポアソン比、α : 熱膨張係数

A. 4 核燃料輸送物の要件

A. 4. 1 化学的及び電氣的的反應

本輸送物は、(イ) - 第C. 1表に示すとおり化学的に安定した材料を使用している。また、輸送容器構成部品が相互に接触する異種材料の一覧を(ロ) - 第A. 3表に示す。

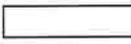
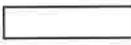
プロピレングリコール水溶液は、ステンレス鋼の内筒及び外筒、並びに
で覆われたフランジ及び底板に密閉されて収納されており、これらの金属と化学的及び電氣的に反応することはない。

レジンは、蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー及び下部中性子遮蔽材カバーに密閉されて収納されており、これらの金属と化学的及び電氣的に反応することはない。

蓋ボルト及びOリングは蓋及びフランジと接触しているが、化学的及び電氣的に作用して問題になるような腐食を起こすことはない。

なお、収納物は内筒内で雰囲気にあるため収納物に対する化学的影響はない。

(ロ) - 第A. 3表 接触する異種材料の一覧表

接触する異種材料			
材 質	部位 (部材)	材 質	部位 (部材)
ステンレス鋼 ^{注)}	フランジ 内 筒 底 板 外 筒 トラニオン取付板	プロピレン グリコール水溶液	側部中性子 遮蔽材
ステンレス鋼 ^{注)}	蓋 蓋部中性子遮蔽材カバー 下部中性子遮蔽材カバー	レジン	蓋部及び下部 中性子遮蔽材
ステンレス鋼 ^{注)}	蓋 フランジ		蓋ボルト
ステンレス鋼 ^{注)}	蓋 フランジ		Oリング
ステンレス鋼 ^{注)}	カバープレート		緩衝材
インコネル	燃料集合体支持格子	硬質クロム (メッキ)	径方向 燃料固縛装置
		ボロン入り ステンレス鋼	バスケット
ステンレス鋼 ^{注)}	バスケット	ボロン入り ステンレス鋼	バスケット
ステンレス鋼 ^{注)}	バスケット	アルミニウム合金	バスケット
ボロン入り ステンレス鋼	バスケット		

注)  ステンレス鋼及び析出硬化系ステンレス鋼を含む。

A. 4. 2 低温強度

本輸送物は周囲温度-20℃以上で使用する。

1. 構成部品の低温特性

(イ) 章C. 3. に示す本輸送容器の使用材料の低温特性を (口) - 第A. 4表 に示す。

同表より明らかなように、最低温度-20℃において構成部品はき裂、破損等の生じるおそれはない。また、プロピレングリコール水溶液が凍結することはない。

(ロ) - 第A. 4表 輸送容器使用材料の-20℃における低温特性評価

輸送容器の部品	材 質	評 価	引用、文献、資料
蓋板 カバープレート リブ 蓋部中性子遮蔽材カバー バスケット フランジ トランニオン 底板 下部中性子遮蔽材カバー 密封プラグ 密封プラグカバー	ステンレス鋼	-20℃において 使用可能	原子力学会標準 AESJ-SC-F006:2006 ⁶⁾
バスケット(底部固定ボルト、リーマボルト)	析出硬化系ステンレス鋼	-20℃において 使用可能	同上
バスケット(クロスプレート)	ボロン入りステンレス鋼	-20℃において 使用可能	同上
バスケット(アルミブロック、アルミプレート)	アルミニウム合金	-20℃において 使用可能	同上
内筒 外筒 トランニオン取付板	□ステンレス鋼	-20℃において 使用可能	コンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格 ²⁾
蓋ボルト	□	-20℃において 使用可能	原子力学会標準 AESJ-SC-F006:2006 ⁶⁾
蓋部中性子遮蔽材 下部中性子遮蔽材	レジン	-20℃において 使用可能	基礎試験結果 ⁷⁾
側部中性子遮蔽材	プロピレングリコール 水溶液	-20℃において 使用可能	メーカー資料 ⁸⁾
緩衝材	□	-20℃において 使用可能 ^{注)}	木材工業ハンドブック ⁹⁾
Oリング	□	-20℃において 使用可能	複合材料技術集成 ¹⁰⁾

注) 緩衝材の□は、-20℃では常温時に対して強度が□上昇する。A. 10. 10 に示すように、-20℃の木材強度を用いた場合の自由落下試験時の衝撃加速度は、常温時の木材強度を用いて算出した(ロ) - 第A. 21 表及び(ロ) - 第A. 42 表に示す設計加速度に対して最大4%増加するが、各評価部位に発生する応力は低温時の評価基準を満足するため、輸送物の構造上の健全性が損なわれることはない。

2. 低温時の強度

構造評価に用いる主要材料のうち析出硬化系ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼及び[]は、原子力学会標準 AESJ-SC-F006:2006⁶⁾ に示されるとおり、金属キャスク構造規格¹⁾のじん性要求等を満足するように製作するので、-20℃において低温脆性破壊を起こすことはない。[]ステンレス鋼はコンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾のじん性要求を満足するように製作するので、-20℃において低温脆性破壊を起こすことはない。また、ステンレス鋼は-20℃において低温脆性破壊を起こすことはない。

A. 4. 3 密封装置

輸送容器の蓋、蓋ボルト及び密封プラグは、通常の輸送時には(イ) - 第C. 2 図に示すように[]、かつ[]がされているので不用意に開けられることはない。

A. 4. 4 吊上装置

輸送容器の吊上装置は、(イ) - 第C. 5 図及び (イ) - 第C. 6 図に示すトラニオンであり、その構造は (イ) - 第C. 7 図に示すとおりである。上部トラニオンはフランジとの一体鍛造構造であり、下部トラニオンは溶接により容器に取り付けられている。[]
[] 行われ、下部トラニオンは輸送架台上で輸送容器を縦起こし又は横倒しする際の支点となり、[] 以上の荷重が下部トラニオンには作用しない。

一方、水平吊りは [] 行われる。したがって、垂直吊りにおいて荷重は最大となるので、[] の評価を行う。下部トラニオンについては、[] 以下の荷重しか作用しないが、安全側に []
[] の荷重が作用するものとして評価する。

構造解析では各トラニオンの温度を 100℃ として評価する。

A. 4. 4. 1 応力評価

1. 上部トラニオン

輸送物吊上重量は (イ) 章 C. 5. に示すように [] (緩衝体なし) は、23.2 トン以下である。[] には [] のトラニオンを使用するので 1 個のトラニオンに作用する最大荷重 F (N) は、次式により求められる。

$$F = \frac{W a g}{n}$$

ここで、 F : [] のトラニオン 1 個に作用する最大荷重 (以下、「最大荷重」という。) (N)

n : トラニオンの数 = []

W : 容器の重量 ([]) = 2.32×10^4 kg

a : 負荷係数 = 3

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

したがって、

$$F = 3.41 \times 10^5 \text{ N}$$

となる。

(1) 曲げ応力

(ロ) - 第A. 2 図に示すトラニオンの断面に発生する曲げ応力 σ_b (MPa) は以下の式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M C}{I}$$

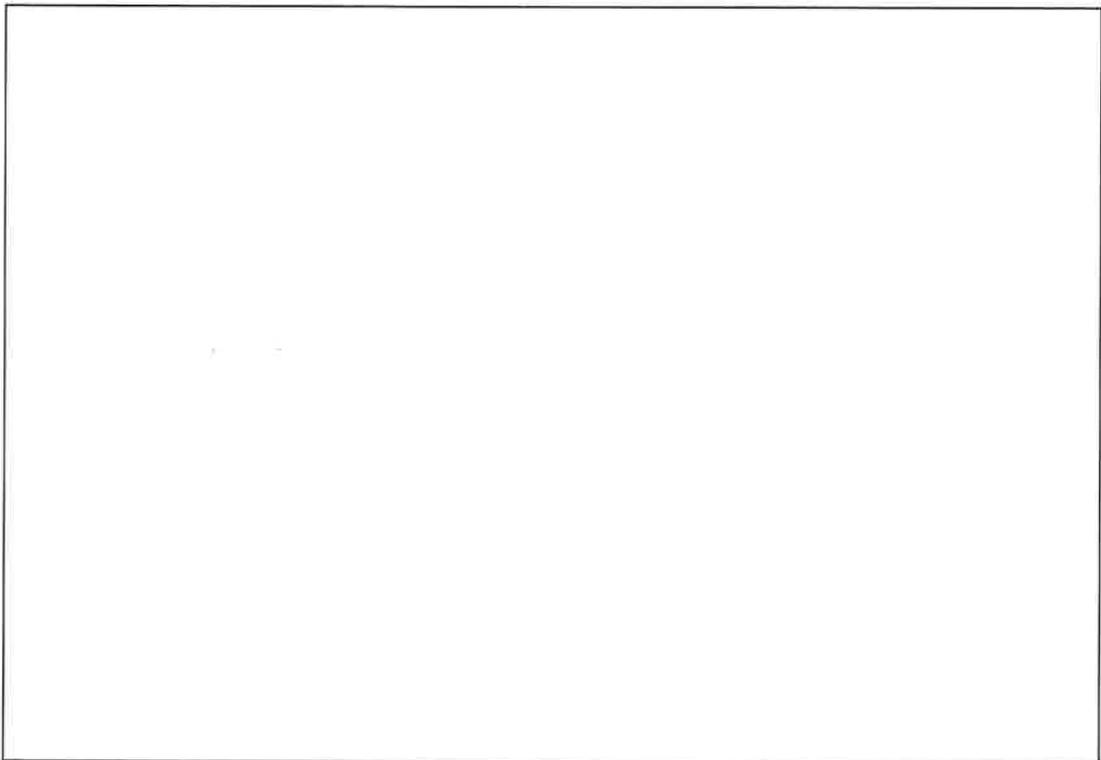
$$M = F X$$

ただし、M：曲げモーメント (N・mm)
F：最大荷重 (N)
X：モーメントアーム (mm)
C：中立軸からの距離 (mm)
I：断面二次モーメント (mm⁴)

ここで、 $C = \frac{d_o}{2}$

$$I = \frac{\pi}{64} d_o^4$$

d_o：外径 (mm)



(口) - 第A. 2図 上部トラニオン解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

(2) せん断応力

(口) - 第A. 2図に示すトラニオンの断面に発生するせん断応力 τ (MPa) は次式で与えられる。

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

ただし、A：せん断断面積 (mm²)

ここで、 $A = \frac{\pi d_o^2}{4}$

(3) 応力強さ

上述の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ による応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

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

上部トラニオンの応力の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 5表に示す。

(口) - 第A. 5表 上部トラニオンの応力計算条件及び計算結果

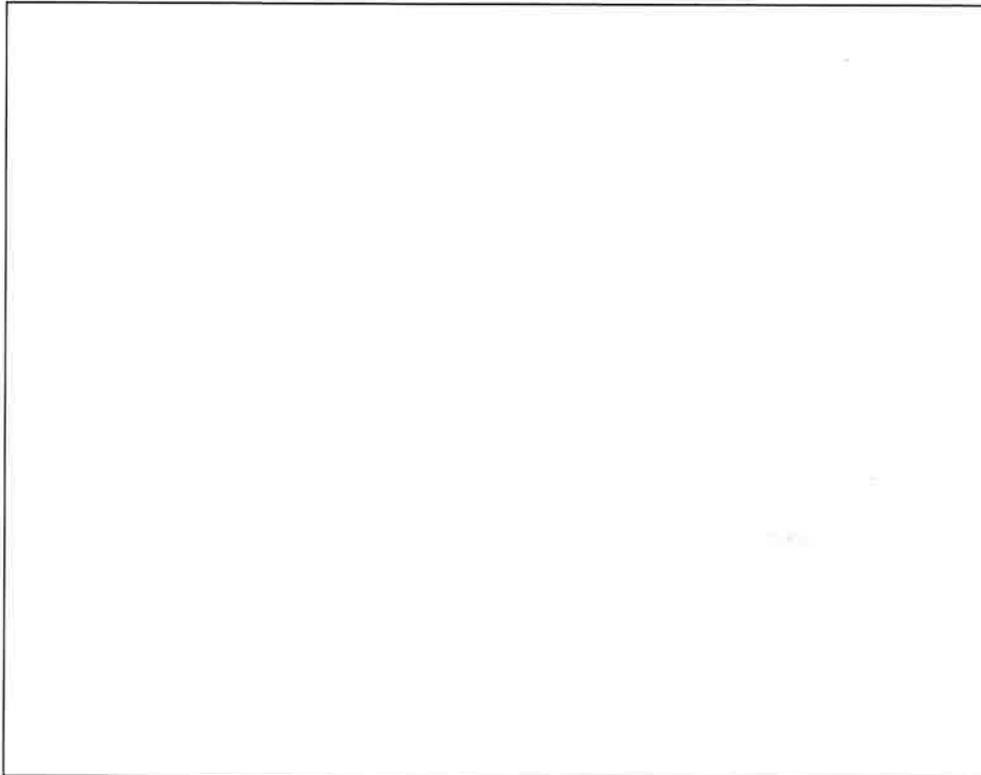
項目	最大荷重 : F (N)	モーメント アーム : X (mm)	中立軸からの 距離 : C (mm)	外径 : d _o (mm)
数値	3.41×10 ⁵			

項目	曲げ応力 : σ_b (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : S _y (MPa)	余裕率 (-)
数値			101		

2. 下部トラニオン

下部トラニオンの評価は、安全側に上部トラニオンと同じ最大荷重 F (N) が作用したものとして行う。

(口) - 第A. 3 図に示す下部トラニオンには断面A-Aにおいて最大曲げ応力が生じる。断面A-Aにおける下部トラニオンに生じる応力強さは、上部トラニオンに対する強度評価と同様に求められる。下部トラニオンの応力の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 6 表に示す。



(口) - 第A. 3 図 下部トラニオン解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

(口) - 第A. 6 表 下部トラニオンの応力計算条件及び計算結果

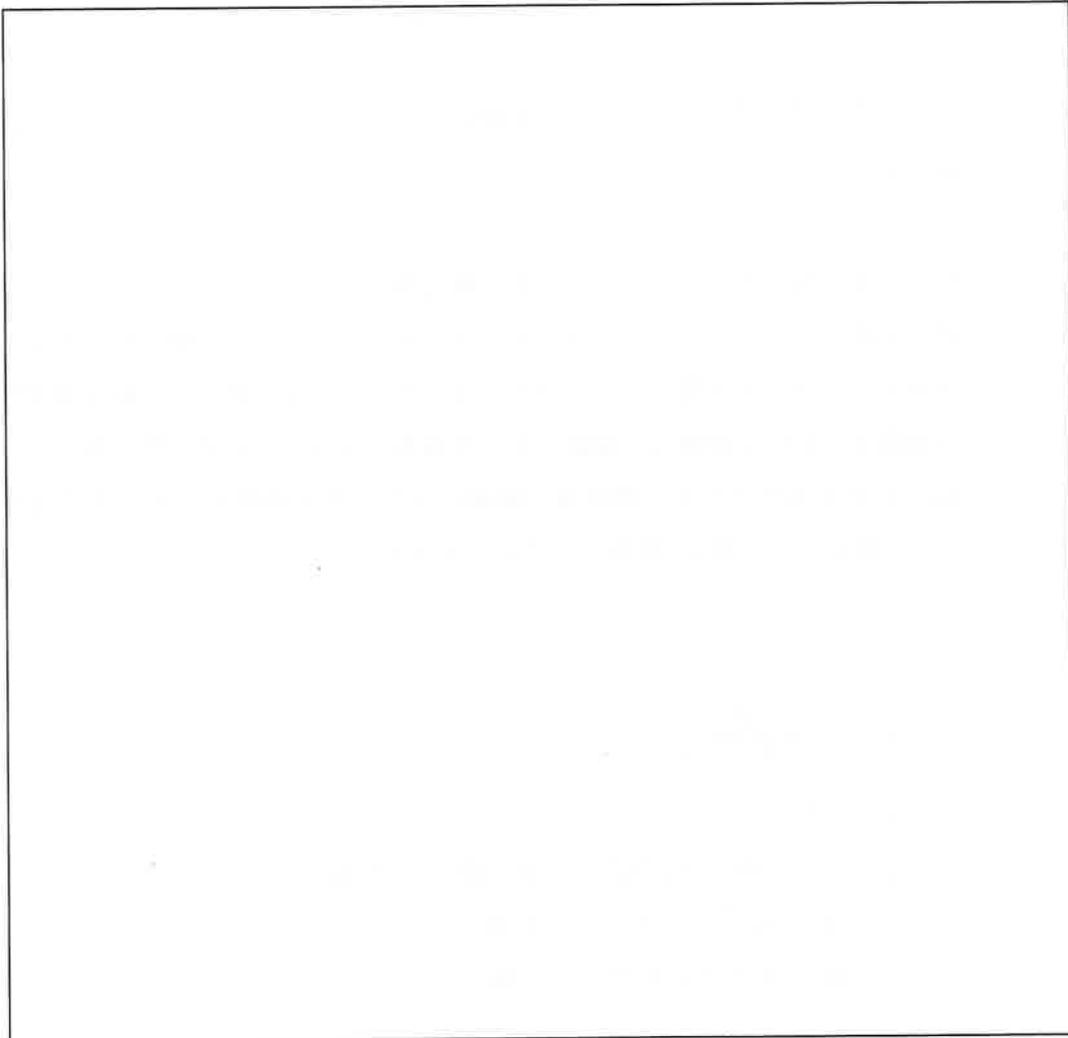
項目	最大荷重 : F (N)	モーメント アーム : X (mm)	中立軸からの 距離 : C (mm)	外径: d_o (mm)	
数値	3.41×10^5				

項目	曲げ応力 : σ_b (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : S_y (MPa)	余裕率 (-)
数値			68.6		

3. 下部トラニオン溶接部

下部トラニオン溶接部の評価も、下部トラニオンの評価と同様に、安全側に上部トラニオンと同じ最大荷重 F (N) が作用したものとして行う。

下部トラニオン溶接部を (ロ) - 第A. 4 図に示す。トラニオンに作用する最大荷重 F (N) により下部トラニオン溶接部に生じる応力は最大荷重作用側の下端部及び反対側の上端部において最大となる。これらの位置において生じる応力は、トラニオン軸直角方向荷重による引張又は圧縮応力 σ_t (MPa) と、トラニオン曲げモーメントによるせん断応力 τ (MPa) である。したがって、引張応力が作用する下端部の最大応力強さ S (MPa) を評価する。



(ロ) - 第A. 4 図 下部トラニオン溶接部解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

(1) トラニオン軸直角方向荷重による引張応力

(ロ) - 第A. 4 図に示す下部トラニオン溶接部の断面に、最大荷重と平行なトラニオン軸直角方向荷重により発生する引張応力 σ_t (MPa) は以下の式で与えられる。

$$\sigma_t = \frac{p_0}{a}$$

$$p_0 = \frac{F}{\pi d_o}$$

ただし、 p_0 : 円周方向単位長さ当たりのトラニオン軸直角方向荷重 (N/mm)

a : 評価断面の厚み (mm)

F : 最大荷重 (N)

d_o : トラニオン外径 (mm)

ここで、 $a =$



なお、は安全側にとして評価する。

(2) トラニオン曲げモーメントによるせん断応力

最大荷重によりトラニオンに曲げモーメントが作用し、この曲げモーメントにより下部トラニオン溶接部にはせん断力が生じる。このせん断力は、最大荷重作用側の下端部及びその反対側の上端部において最大となる。したがって、(口) - 第A. 4 図に示す下部トラニオン溶接部の断面にトラニオン曲げモーメントにより発生するせん断応力 τ (MPa) は以下の式で与えられる。

$$\tau = \frac{f_0}{a}$$

$$f_0 = \frac{M}{\pi d_o^2 / 4}$$

$$M = F X$$

ただし、 f_0 : 単位長さ当たりのせん断力 (N/mm)

M : 曲げモーメント (N・mm)

X : モーメントアーム (mm)

(3) 応力強さ

上述の引張応力 σ_t とせん断応力 τ による応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

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

下部トラニオン溶接部の応力の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 7 表に示す。

(ロ) - 第A. 7表 下部トラニオン溶接部の応力計算条件及び計算結果

項目	最大荷重 : F (N)	トラニオン 外径 : d _o (mm)		評価断面 の厚み : a (mm)	モーメント アーム : X (mm)
数値	3.41×10 ⁵				

項目	引張応力 : σ _t (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : S _y (MPa)	余裕率 (-)
数値	33.6	49.6	105		

A. 4. 4. 2 トラニオンの疲労評価

にのみ荷重が作用するので、垂直吊り時の応力をベースに解析する。下部トラニオンについては、以下の荷重しか作用しないが、安全側にの荷重が作用する場合の応力をベースに解析する。

トラニオン及び溶接部の応力について、応力集中を考慮し繰返しピーク応力強さによる許容繰返し回数と使用計画回数を比較して評価を行う。

1. 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_a (MPa) は次式で求める。

$$S_a = \frac{S K_t}{2} \left(\frac{E_0}{E_t} \right)$$

ここで、S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力強さ (垂直吊り時) (MPa)

K_t : 応力集中係数 (-)

E₀ : 設計疲労線図¹⁾の基準縦弾性係数 =

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 (MPa)

トラニオン及び溶接部の応力集中係数は、金属キャスク構造規格¹⁾より5とする。

(1) トラニオンに作用する荷重

トラニオンに作用する荷重 F (N) は、疲労評価については実際に作用する荷重をベースとし、クレーン構造規格¹⁾より想定される負荷係数を用いて、次式で求める。

$$F = \frac{W a g}{n}$$

ここで、W : 容器の垂直吊り時の重量 = 2.32×10⁴kg

n : トラニオンの数 =

a : 負荷係数 = 1.3

g : 重力加速度 = 9.80665m/s²

したがって、

$$F = 1.48 \times 10^5 \text{N}$$

(2) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ S_a (MPa) は、(ロ) 章 A. 4. 4. 1 と同様に求めた応力強さ S を用いて求める。

上部トラニオン、下部トラニオン及び下部トラニオン溶接部の繰返しピーク応力の計算条件及び評価結果を (ロ) - 第 A. 8 表 に示す。

(ロ) - 第 A. 8 表 上部トラニオン、下部トラニオン及び下部トラニオン溶接部の繰返しピーク応力計算条件及び計算結果

評価位置	最大荷重 : F (N)	モーメント アーム : X (mm)	中立軸 からの 距離 : C (mm)	外径 : d。 (mm)	応力 強さ : S (MPa)	応力 集中 係数 : K _t (-)	縦弾性 係数 : E _t (MPa)	繰返し ピーク 応力強さ : S _a (MPa)
上部 トラニオン	1.48 × 10 ⁵	<input type="text"/>			43.6	5	<input type="text"/>	112
下部 トラニオン	1.48 × 10 ⁵				29.7	5		76.3
評価位置	最大荷重 : F (N)	トラニオン 外径 : d。 (mm)	<input type="text"/>	モーメント アーム : X (mm)	応力 強さ : S (MPa)	応力 集中 係数 : K _t (-)	縦弾性 係数 : E _t (MPa)	繰返し ピーク 応力強さ : S _a (MPa)
下部 トラニオン 溶接部	1.48 × 10 ⁵	<input type="text"/>			45.4	5	<input type="text"/>	117

2. 許容繰返し回数

設計疲労線図¹⁾ より許容繰返し回数 N_a は以下となる。

上部トラニオン : 1.0 × 10¹¹ 回以上

下部トラニオン : 1.0 × 10¹¹ 回以上

下部トラニオン溶接部 : 1.0 × 10⁸ 回

3. 使用計画回数

本吊上装置の使用計画回数 N_c は次のように設定する。

使用予定年数 : 60 年
使用回数 : 20 回/年
輸送時吊上回数 : 20 回 (輸送ごと)

したがって、

$$N_c = 60 \times 20 \times 20 = 24000 \text{ 回}$$

なお、本使用計画回数については、使用予定回数 (10 回/年) を保守的に 2 倍と設定した使用回数により求めており、使用予定期間における現実的な取扱いにおいて想定される繰返し回数を包含している。

4. まとめ

保守的に設定した使用計画回数は許容繰返し回数を十分下回っており、トラニオンは十分な疲労強度を有している。

以上より、トラニオンの疲労破壊が生じるおそれはない。

A. 4. 5 固縛装置

本輸送物は、(イ) - 第C. 3図に示すように上部固縛装置（外筒）、中央部固縛装置（外筒）及び下部トラニオンを使用して輸送架台に固定されるが、中央部固縛装置（外筒）による支持を無視する方が固縛装置に作用する荷重を大きく評価することとなるため、安全側に上部固縛装置（外筒）及び下部トラニオンを利用して輸送架台に固定するとして評価する。

上下方向及び左右方向の荷重は上部固縛装置（外筒）及び下部トラニオンが支え、前後方向の荷重を支持するのは下部トラニオンである。

固縛装置の荷重条件として、前後及び上下に各 $2 g^{1)}$ の加速度が作用し、左右方向に $1 g^{1)}$ の加速度が作用する場合を考える。また、下方向は自重を考慮し $3 g$ の加速度が作用すると考える。

1. 上部固縛装置（外筒）及び下部トラニオンに作用する荷重

上部固縛装置（外筒）及び下部トラニオンに作用する荷重は、(ロ) - 第A. 5図に示す荷重状態図から、次のように与えられる。

$$F_v = \frac{b}{a+b} V$$

$$R_v = \frac{a}{a+b} V$$

$$R_L = H$$

$$F_T = \frac{b}{a+b} L$$

$$R_T = \frac{a}{a+b} L$$

ただし、 F_v ：上部固縛装置（外筒）に作用する上下方向荷重 (N)

R_v ：下部トラニオンに作用する上下方向荷重 (N)

R_L ：下部トラニオンに作用する前後方向荷重 (N)

F_T ：上部固縛装置（外筒）に作用する左右方向荷重 (N)

R_T ：下部トラニオンに作用する左右方向荷重 (N)

V ：上下方向慣性力

$$= 2.62 \times 10^4 \times 2 \times 9.80665 = 5.14 \times 10^5 \text{ N (上方向)}$$

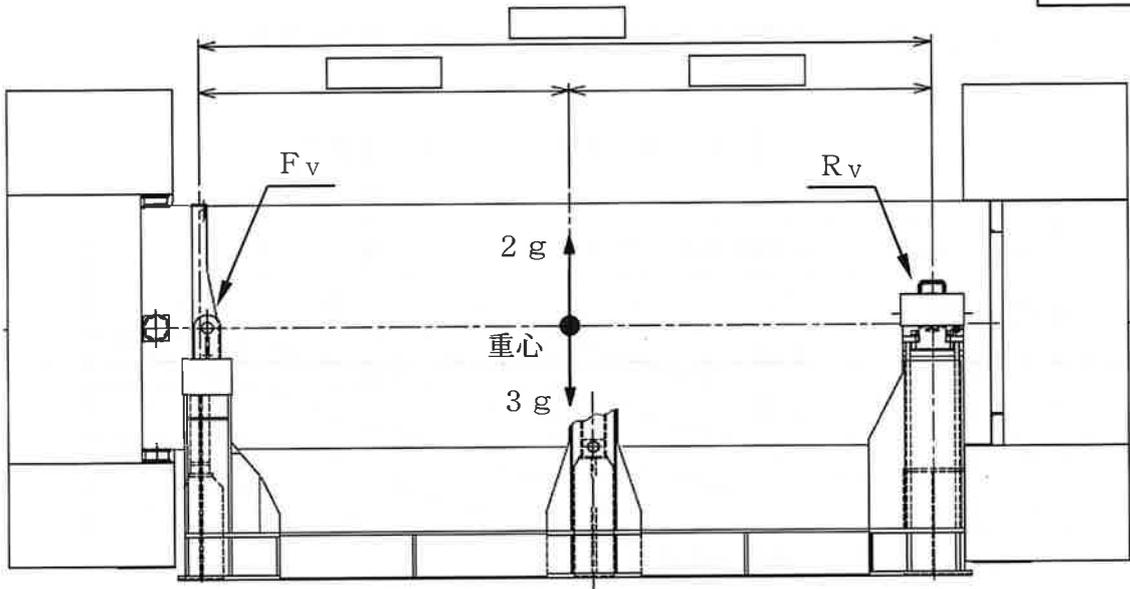
$$= 2.62 \times 10^4 \times 3 \times 9.80665 = 7.71 \times 10^5 \text{ N (下方向)}$$

H ：前後方向慣性力 $= 2.62 \times 10^4 \times 2 \times 9.80665 = 5.14 \times 10^5 \text{ N}$

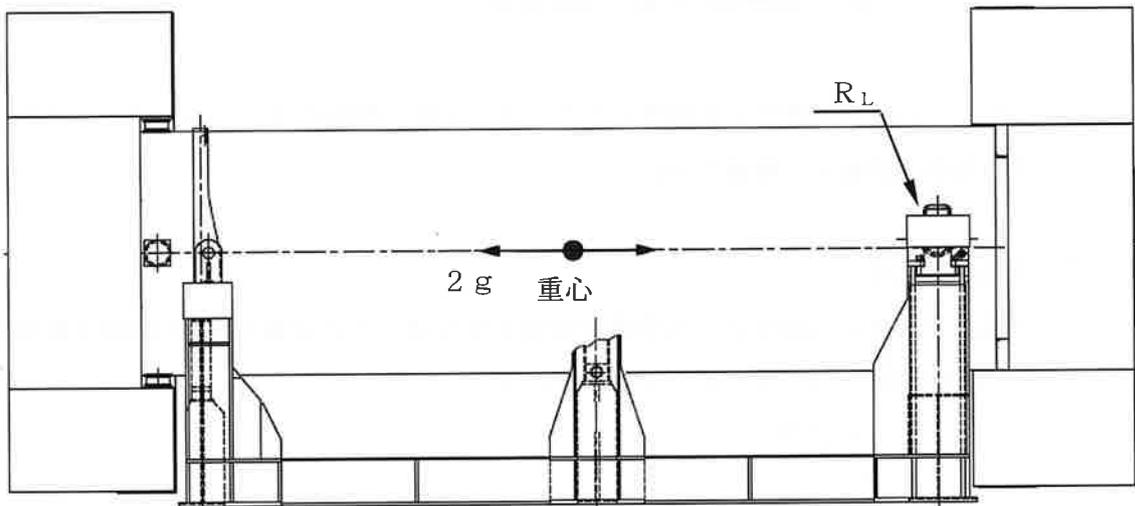
L ：左右方向慣性力 $= 2.62 \times 10^4 \times 1 \times 9.80665 = 2.57 \times 10^5 \text{ N}$

a ：重心より輸送架台支持部中心までの距離 = mm

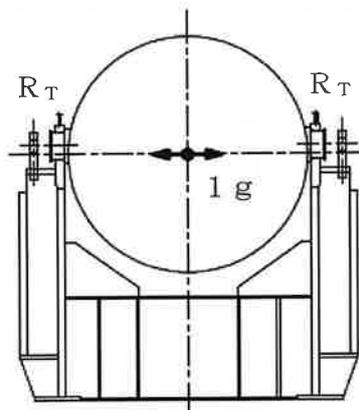
b ：重心より下部トラニオン中心までの距離 = mm



(a) 上下方向に加速度が作用する場合



(b) 前後方向に加速度が作用する場合



(c) 左右方向に加速度が作用する場合

(単位：mm)

(口) - 第A. 5 図 各方向に加速度が作用する場合の固縛装置に作用する荷重

注記：不表示情報を含むため一部削除

(口) - 第A. 9表に以上の式を用いて求めた各方向の荷重を示す。

(口) - 第A. 9表 固縛装置に作用する荷重

(単位：×10⁵ N)

加速度方向	上部固縛装置 (外筒)		下部トラニオン		
	F _V	F _T	R _V	R _L	R _T
上 (2 g)	2.57		2.57		
下 (3 g)	3.85		3.86		
前後 (2 g)				5.14	
左右 (1 g)		1.28			1.29

注) F_V、R_V：垂直方向荷重

R_L：容器軸方向荷重

F_T、R_T：容器軸に直角な方向荷重

なお、左右の加速度による荷重はトラニオン本体に直接作用しないので、下部トラニオンの応力評価では考慮しない。

2. 下部トラニオン

下部トラニオンに最も大きな荷重が作用するのは、下方向荷重R_Vと前後方向荷重R_Lの合成荷重F (N) が作用する場合である。

$$F = \frac{\sqrt{R_V^2 + R_L^2}}{n}$$

$$= 3.21 \times 10^5 \text{ N}$$

ここで、n：荷重を受けもつトラニオンの数 = 2

下部トラニオンに生じる応力強さは、吊上装置に対する強度評価と同様に求められる。下部トラニオンの応力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 10表に示す。

(ロ) - 第A. 10 表 下部トラニオンの応力計算条件及び計算結果

項目	最大荷重 : F (N)	モーメント アーム : X (mm)	中立軸からの 距離 : C (mm)	外径: d _o (mm)
数値	3.21×10 ⁵			

項目	曲げ応力 : σ _b (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : S _y (MPa)	余裕率 (-)
数値			64.6		

3. 下部トラニオン溶接部

下部トラニオン溶接部に発生する応力強さは、吊上装置の溶接部に対する強度評価と同様に求められる。下部トラニオン溶接部の応力の計算条件と計算結果を(ロ) - 第A. 11 表に示す。

(ロ) - 第A. 11 表 下部トラニオン溶接部の応力計算条件及び計算結果

項目	最大荷重 : F (N)	トラニオン 外径 : d _o (mm)		評価断面 の厚み : a (mm)	モーメント アーム : X (mm)
数値	3.21×10 ⁵				

項目	引張応力 : σ _t (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : S _y (MPa)	余裕率 (-)
数値	31.7	46.7	98.6		

4. 上部固縛装置 (外筒)

輸送容器の上部側においては、輸送容器を輸送架台のバンドにより支持台に固縛している。上部固縛装置である外筒に最も大きな荷重が作用するのは、下方向荷重 F_v と左右方向荷重 F_T の合成荷重 F (N) が作用する場合である。

$$F = \sqrt{F_v^2 + F_T^2}$$

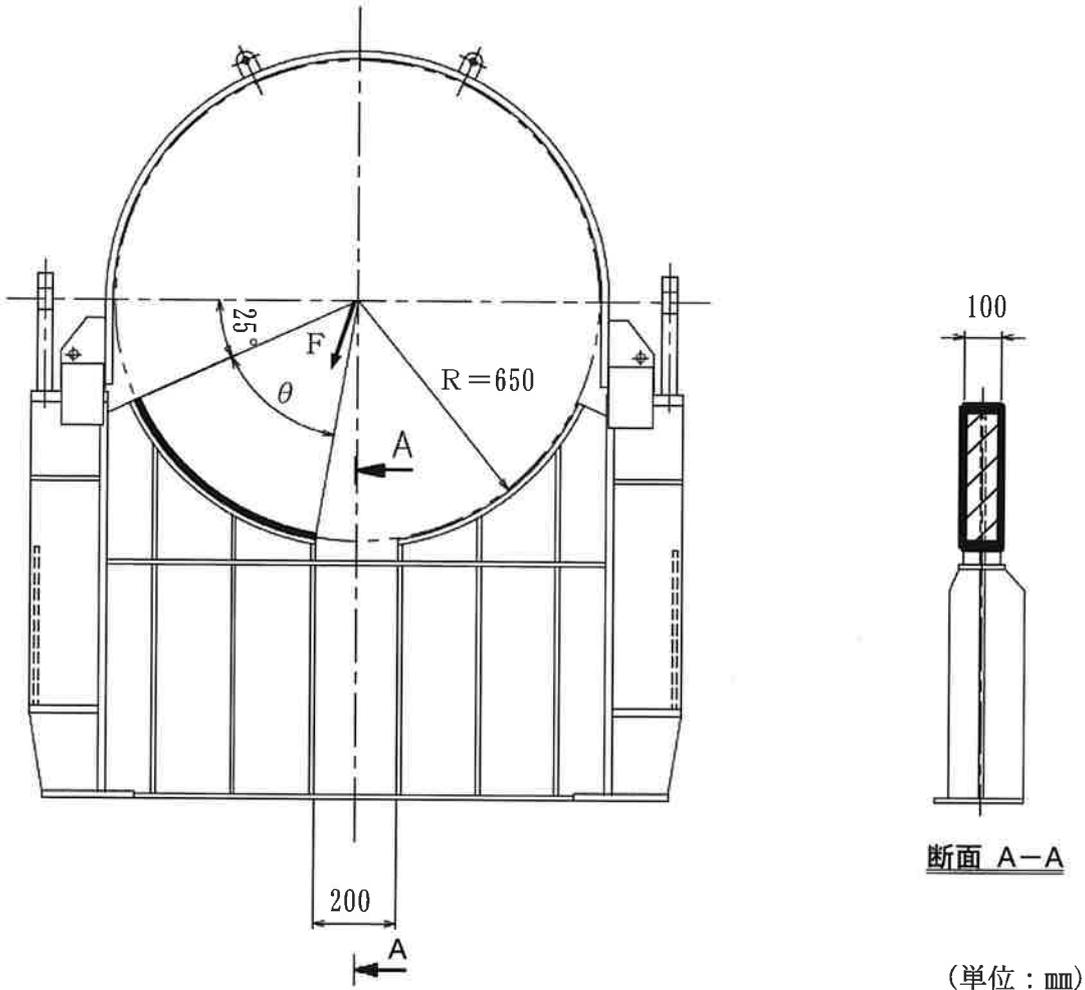
$$= 4.06 \times 10^5 \text{ N}$$

このとき、外筒は(ロ) - 第A. 6 図に示す範囲で支持され、支圧応力 σ_p (MPa) は次式で表される。

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

ただし、A : 支圧面積 (mm²)

取扱注意



(口) - 第A. 6 図 外筒支圧面積範囲

注記：不開示情報を含むため一部削除

支圧面積Aは (口) - 第A. 6 図より、

$$A = 2 \pi R \left(\frac{\theta}{360} \right) t$$

- ここで、R：外筒外半径 (mm)
- θ：接触角度 (°)
- t：接触幅 (mm)

上部固縛装置 (外筒) の応力の計算条件及び計算結果を (口) - 第A. 12 表に示す。
表に示すように発生応力は (口) 章A. 1. 2 で定めた解析基準値を下回っている。

(口) - 第A. 12 表 上部固縛装置 (外筒) の応力計算条件及び計算結果

項目	最大荷重 : F (N)	外筒 外半径 : R (mm)	接触 角度 : θ (°)	接触幅 : t (mm)	支圧 面積 : A (mm ²)	支圧 応力 : σ _p (MPa)	基準値 : S _y (MPa)	余裕率 (-)
数値	4.06 × 10 ⁵	650	56.2	100	6.37 × 10 ⁴	6.37		

5. まとめ

固縛装置は、輸送中発生する上下及び前後方向に2 g並びに左右方向加速度1 gに対して、(口)章A. 1. 2で定めた解析基準値を下回っており、き裂、破損等の生じるおそれはない。

A. 4. 6 圧 力

本輸送物の一般の試験条件での内筒内圧及び側部中性子遮蔽材部の最大内圧はそれぞれ0.169MPa及び0.969MPaであり、外気圧が60kPa(0.060MPa)まで降下した場合には、差圧はそれぞれ0.109MPaG及び0.909MPaGとなる。

後述するように、一般の試験条件の熱的試験において、内筒内圧と外気圧との差圧を0.12MPaG、側部中性子遮蔽材部圧力と外気圧との差圧を1.7MPaGとした条件の下で構造健全性が維持され、き裂、破損等の生じるおそれはないこと及びOリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことを確認していることから、上記の圧力降下が生じた場合にも、本輸送物の密封性が損なわれることはなく、放射性物質の漏えいはない。

A. 4. 7 振 動

本輸送容器は(イ)章C. 1. で述べたように固縛装置によって3ヶ所で輸送架台に固定されている((イ) - 第C. 3図参照)が、安全側に固有振動数を小さく見積もるため、本輸送物を(口) - 第A. 7図のとおり両端支持の梁と考えると、輸送物のn次の固有振動数 f_n は次式で示される¹²⁾。

$$f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EIg}{w}}$$

ただし、 λ : 境界条件と振動形によって定まる無次元定数 (-)

E : 縦弾性係数 (MPa)

I : 振動面に直交する断面主軸に関する断面二次モーメント (mm^4)

ℓ : 輸送容器支持間長さ (mm)

g : 重力加速度 (mm/s^2)

w : 単位長さ当たりの重量 (N/mm)

$$w = W \times \frac{g \times 10^{-3}}{L}$$

W : 輸送物総重量 (kg)

L : 容器本体全長 (mm)

また、断面二次モーメントとしては内筒のみを考えると、

$$I = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$$

ただし、 d_2 : 内筒外径 (mm)

d_1 : 内筒内径 (mm)

ここで、最も振動数の低い一次の固有振動数を計算する。 $\lambda = \pi$ (両端支持の一次固有振動に対する定数) として、固有振動数の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 13 表に示す。一方、輸送中に車両の最大加速度と振動数の関係において輸送物に与える影響の大きな振動数域は大部分が 10Hz 以下であり、十分離れた固有振動数を有しているため、励振力による輸送物の応答増幅の影響はなく、輸送中の振動による荷重は (口) 章A. 5. 3 の一般の試験条件の 0. 3m落下事象に含まれることから、輸送物は予想される振動等によつてき裂、破損等の生じるおそれはない。

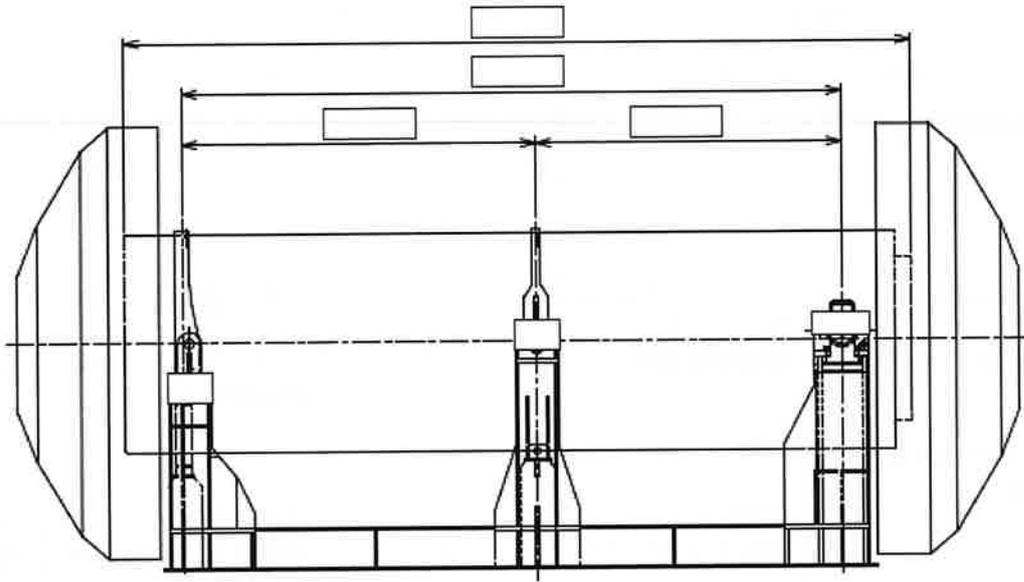
また、蓋を取り付けている蓋ボルトは振動等により緩まないよう、(口) 章A. 4. 5 にて考慮した左右方向加速度 1 g と下方向加速度 3 g による蓋及び上部緩衝体の慣性力 ($8. 063 \times 10^4$ N) より十分大きい摩擦力 ($3. 755 \times 10^5$ N) が生じるように強固に締め付けられており、振動等によって蓋ボルトが緩むことはない。

(口) - 第A. 13 表 固有振動数計算条件及び計算結果

項目	無次元定数 : λ (-)	縦弾性係数 : E (MPa)	内筒外径 : d_2 (mm)	内筒内径 : d_1 (mm)	輸送容器 支持間長さ : l (mm)
数値	π				

項目	輸送物総重量 : W (kg)	重力加速度 : g (mm/s^2)	容器本体全長 : L (mm)	固有振動数 : f_n (Hz)
数値	$2. 62 \times 10^4$	9806. 65		293

取扱注意



(単位：mm)

(口) - 第A. 7 図 輸送容器振動解析モデル図

注記：不開示情報を含むため一部削除

A. 4. 8 輸送物の要件に対する評価結果の要約

以上の結果より通常の輸送時における輸送物の要件に対する評価結果の要約を(口) - 第A. 14表に示す。

(口) - 第A. 14表 輸送物の要件に対する評価結果の要約

解析及びその詳細	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等 (-)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学的及び電氣的反応 <ul style="list-style-type: none"> 化学的反應 電氣的反應 	<ul style="list-style-type: none"> 反応のないこと 反応のないこと 	<ul style="list-style-type: none"> — — 	<ul style="list-style-type: none"> 反応なし 反応なし 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 低温強度 <ul style="list-style-type: none"> 構成部品の低温特性 低温時の強度 	<ul style="list-style-type: none"> -20℃でのき裂、破損のないこと 低温脆化温度 	<ul style="list-style-type: none"> — -20℃ 	<ul style="list-style-type: none"> き裂、破損なし -20℃では低温脆化なし 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 密封装置の誤操作による開放の可能性 <ul style="list-style-type: none"> 蓋 密封プラグ 	<ul style="list-style-type: none"> 可能性がないこと 可能性がないこと 	<ul style="list-style-type: none"> — — 	<ul style="list-style-type: none"> 可能性なし 可能性なし 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 吊上装置 <ul style="list-style-type: none"> 1. 応力評価 <ul style="list-style-type: none"> 1) 上部トラニオン 2) 下部トラニオン 3) 下部トラニオン溶接部 2. 疲労評価 <ul style="list-style-type: none"> 1) 上部トラニオン 2) 下部トラニオン 3) 下部トラニオン溶接部 	<ul style="list-style-type: none"> S_y S_y S_y 許容繰返し回数以下であること 許容繰返し回数以下であること 許容繰返し回数以下であること 	<ul style="list-style-type: none">  1.0×10^{11} 回以上 1.0×10^{11} 回以上 1.0×10^8 回 	<ul style="list-style-type: none"> 101 MPa 68.6 MPa 105 MPa 使用計画回数 24000 回 使用計画回数 24000 回 使用計画回数 24000 回 	<ul style="list-style-type: none">  基準に合致 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛装置 <ul style="list-style-type: none"> 1) 下部トラニオン 2) 下部トラニオン溶接部 3) 上部固縛装置(外筒) 	<ul style="list-style-type: none"> S_y S_y S_y 	<ul style="list-style-type: none">  	<ul style="list-style-type: none"> 64.6 MPa 98.6 MPa 6.37 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> 
<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧 力 	<ul style="list-style-type: none"> 密封性が維持されること 	<ul style="list-style-type: none"> — 	<ul style="list-style-type: none"> 良 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 振 動 	<ul style="list-style-type: none"> 共振しないこと 蓋を取り付けている蓋ボルトが緩まないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 固有振動数(293Hz)と輸送による振動数(10Hz)の差が大であり、輸送物の応答増幅の影響はなく、輸送中の振動による荷重は、一般の試験条件の0.3m落下事象に含まれることから、輸送物にき裂、破損等は生じない。 蓋ボルトは振動等により緩まないよう、強固に締め付けられており、振動等によって蓋ボルトが緩むことはない。 		

A. 5 一般の試験条件

本節では本輸送物が規則及び告示に規定された一般の試験条件下において、(口)章A. 1. 2に示す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

1. 温 度

一般の試験条件における輸送物各部の温度分布は(口)章Bの熱解析から求まる。各部位の最高温度と解析基準値として定める温度を(口) - 第A. 15表に示す。

(口) - 第A. 15表 一般の試験条件における最高温度の要約

(単位：℃)

部 位	熱解析結果	解析基準値設定温度
蓋	86	90
フランジ	—	110 ^{注1)}
内筒	107	110
底板	101	110
蓋ボルト	86	90
外筒	98	100
トラニオン取付板	—	100 ^{注2)}
トラニオン	98	100
バスケット(中央部)	151	160
バスケット(外周部)	118	120
燃料集合体	217	240

注1) 安全側に内筒と同じとした。

注2) 安全側に外筒と同じとした。

2. 圧 力

(口)章Bの熱解析から求まる一般の試験条件における輸送容器各部の圧力及び構造解析で使用する圧力を(口) - 第A. 16 表に示す。

(口) - 第A. 16 表 一般の試験条件の熱解析結果の要約及びその評価

項 目	熱解析結果	構造解析使用圧力	圧力設定方法
内 筒 内 圧	0.169 MPa (0.068 MPaG)	0.12 MPaG	内外差圧が最大となるように熱解析結果に余裕を取った値を使用
側部中性子 遮蔽材部圧力	0.969 MPa (0.868 MPaG)	1.7 MPaG	熱解析結果に余裕を取った値を使用

A. 5. 1. 2 熱膨張

輸送容器には熱膨張により応力が発生する。発生応力の計算は（口）章A. 5. 1. 3に示す。

なお、本輸送物は周囲温度-20℃から38℃の温度範囲において使用するが、当該温度範囲における輸送物の各 부품の熱膨張に伴う寸法変化は十分に小さく、最も熱膨張差の大きいバスケットと内筒においても隙間が□以上あり部品同士の干渉は生じないため、周囲温度の変化によりき裂、破損等の生じるおそれはない。

A. 5. 1. 3 応力計算

1. 容器本体

本項では、一般の試験条件における容器本体（本体（内筒、フランジ、底板及び外筒）、蓋及び蓋ボルトからなる構造体をいう。）各部の応力計算を行う。（口）章B. 4. 2に示す温度分布及び輸送容器に作用する圧力を荷重条件とし、解析は有限要素法によるABAQUSコードを用いて行う。

（1）解析モデル

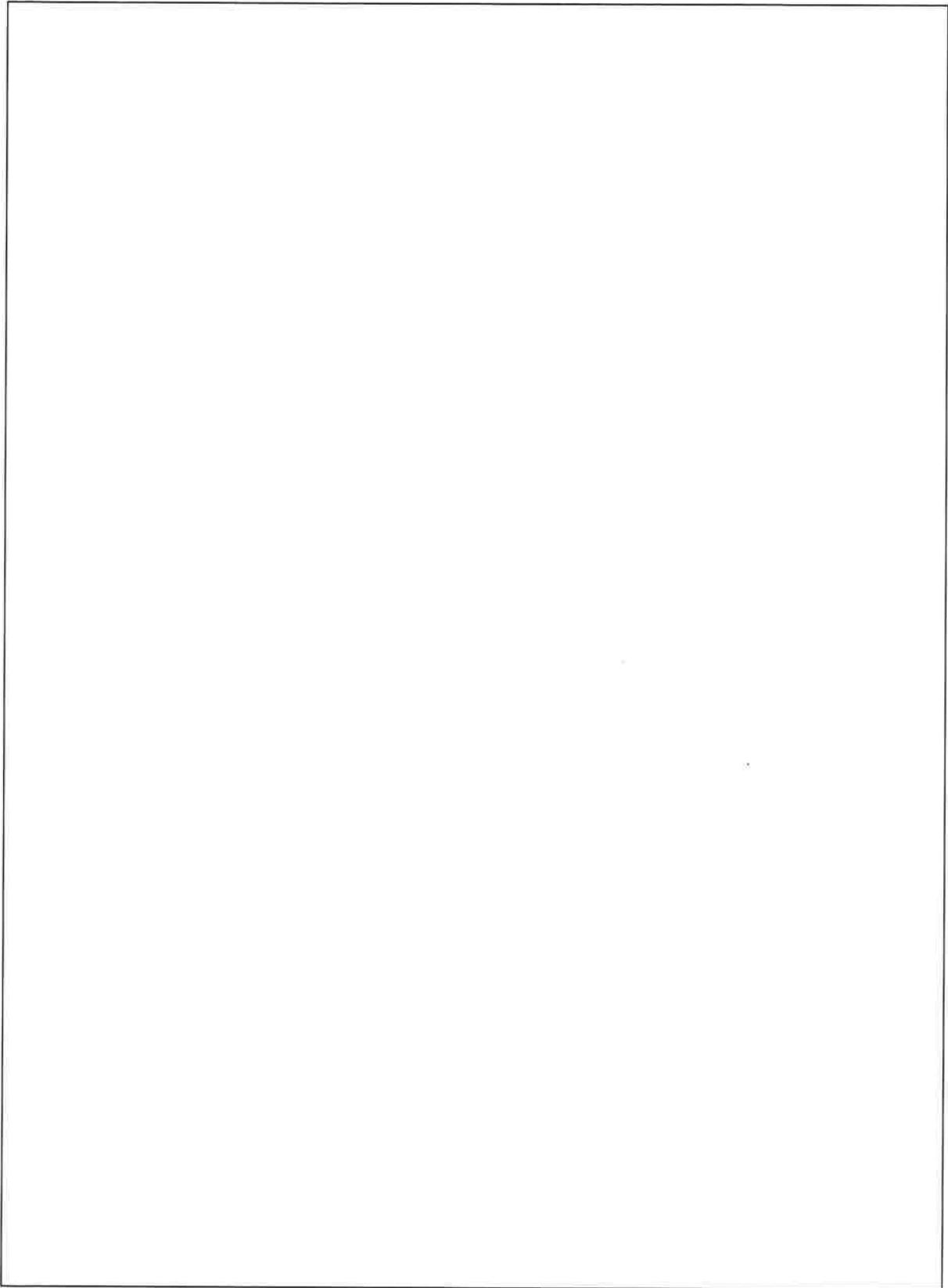
解析モデルとして（イ）－第C. 5図に基づいて作成した（口）－第A. 8図に示す三次元ボルト1ピッチモデルを用いる。本解析モデルは、内筒、フランジ、底板、外筒、蓋及び蓋ボルトより構成される。なお、蓋は蓋ボルトによりフランジに接続され、蓋とフランジとの接触が考慮されている。

（2）荷重条件及び境界条件

荷重条件及び境界条件を（口）－第A. 9図に示す。

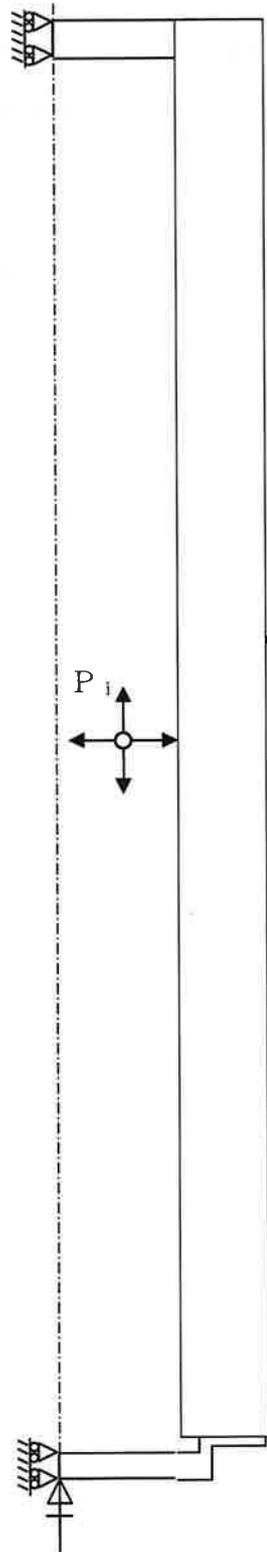
（口）章A. 5. 1. 1で示した（口）章B. 4. 2の温度分布、内筒内圧及び側部中性子遮蔽材部圧力を荷重条件とする。また、蓋ボルトには初期締付トルク□による引張応力を予応力として作用させる。

底部の1ヶ所の軸方向変位及び対称面上の周方向変位を拘束し、他は変位自由とする。

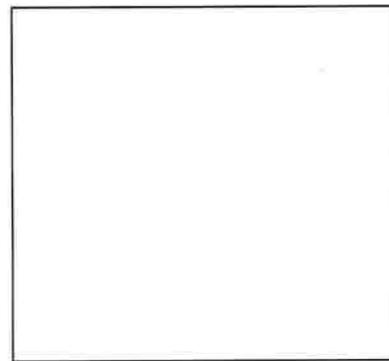


(口) -第A. 8図 三次元ボルト1ピッチモデル

注記：不開示情報を含むため削除



P_i : 内筒内圧 (0.12 MPaG)
 P_w : 側部中性子遮蔽材部圧力
 (1.7 MPaG)
 F_b : 蓋ボルト初期締付力



<蓋ボルト周辺拡大図>

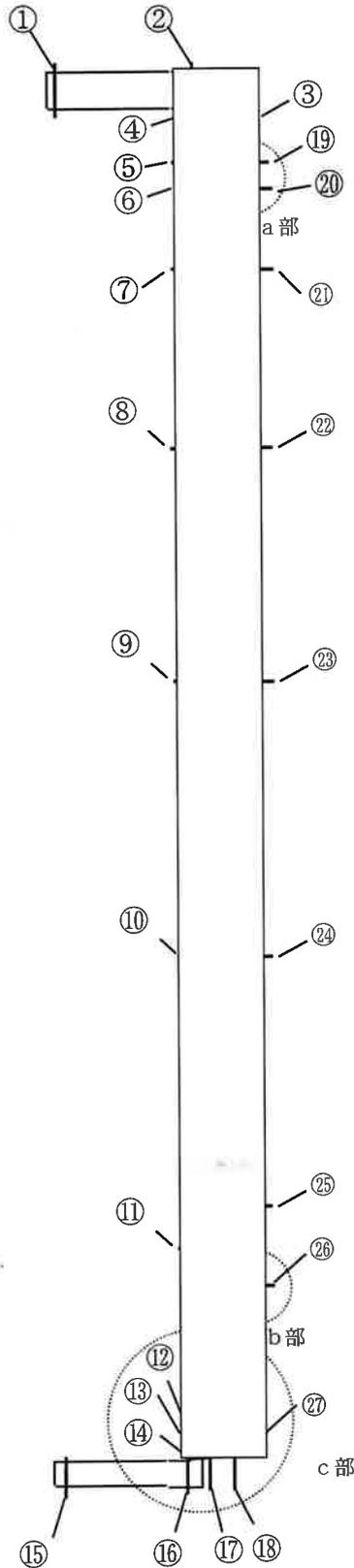
注記：不開示情報を含むため一部削除

(口) - 第A. 9図 一般の試験条件の熱的試験における荷重条件及び境界条件

(3) 解析結果

a. 内筒内圧等による応力解析結果

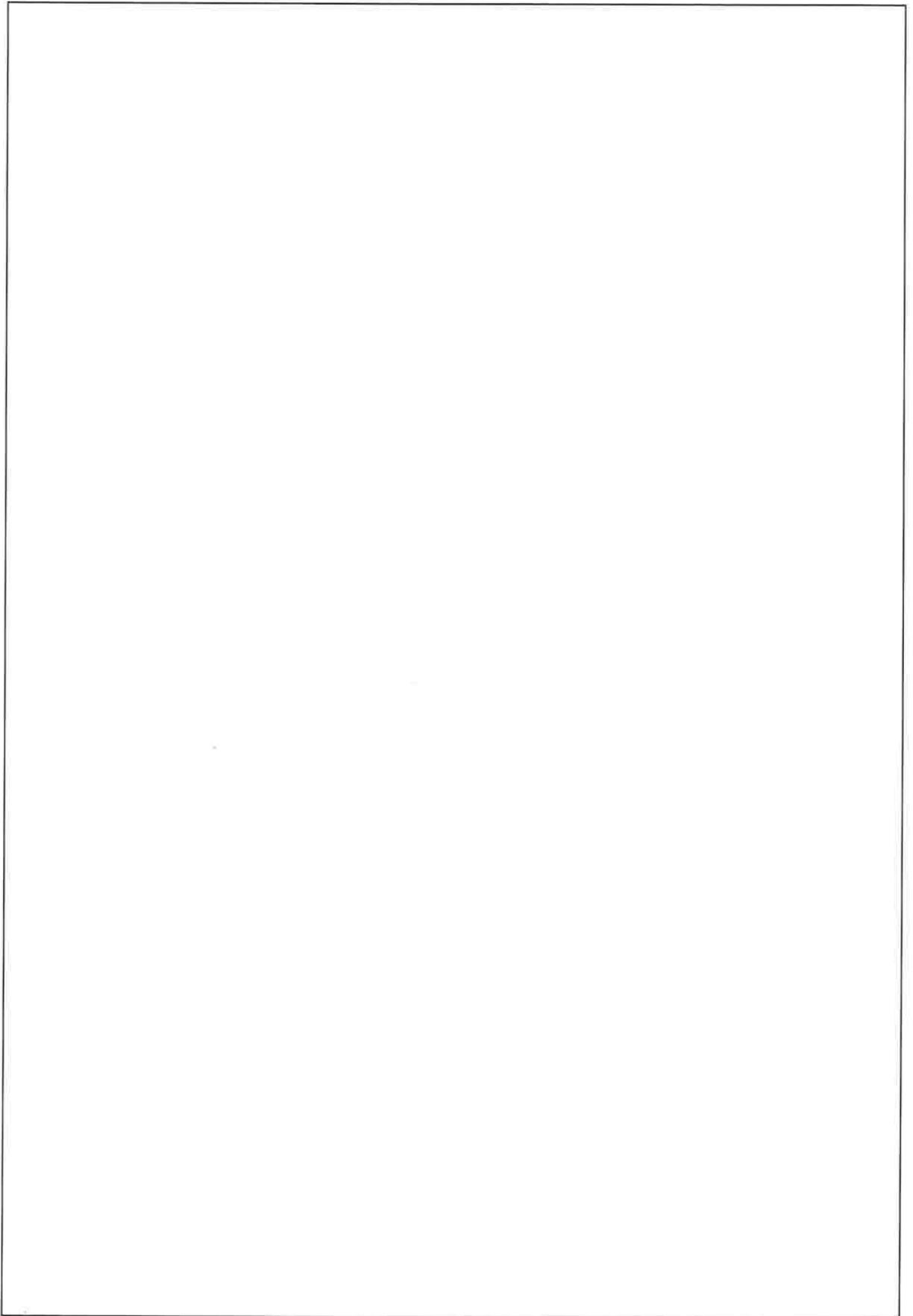
(口) - 第A. 10 図に示す主要な評価位置における内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力及び蓋ボルトの初期締付力による応力の評価結果を(口) - 第A. 17 表に示す。表に示すように、いずれの応力も (口) 章A. 1. 2に定めた解析基準値以下である。



評価断面	部 位
①	蓋中央
②	蓋端部
③	フランジ上部外側
④	フランジ上部内側
⑤	フランジ下部内側
⑥	内筒上部
⑦	内筒上部
⑧	内筒上部
⑨	内筒中央部
⑩	内筒中央部
⑪	内筒下部
⑫	底板上部
⑬	底板上部
⑭	底板下部
⑮	底板中央部
⑯	底板端部
⑰	底板突き出し部
⑱	底板突き出し部
⑲	フランジ下部外側
⑳	外筒上部
㉑	外筒上部
㉒	外筒上部
㉓	外筒中央部
㉔	外筒中央部
㉕	外筒下部
㉖	外筒下部
㉗	トラニオン取付板

注記：不開示情報を含むため一部削除

(口) - 第A. 10 図 一般の試験条件における応力評価位置 (1/2)



(口) - 第A. 10 図 一般の試験条件における応力評価位置 (2/2)

注記：不開示情報を含むため削除

(ロ) - 第A. 17表 一般の試験条件における圧力による容器本体の一次応力の評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	0.42	90		
		$P_L + P_b$	内	3.03			
	外		3.64				
	②	P_L	-	2.06			
フランジ	③	P_L	-	4.94	110		
	④	P_L	-	2.30			
	⑤	P_L	-	5.53			
	⑯	P_L	-	11.4			
内筒	⑥	P_L	-	5.90	110		
	⑦	P_m	-	13.8			
	⑧	P_m	-	13.0			
	⑨	P_m	-	14.2			
	⑩	P_m	-	14.2			
	⑪	P_m	-	13.7			
底板	⑫	P_m	-	7.99	110		
	⑬	P_L	-	4.48			
	⑭	P_L	-	6.40			
	⑮	P_m	-	1.78			
		$P_L + P_b$	内	0.76			
	外		4.20				
	⑰	P_L	-	2.19			
	⑱	P_L	-	6.62			
外筒	⑳	P_L	-	25.8	100		
	㉑	P_m	-	113			
	㉒	P_m	-	115			
	㉓	P_m	-	110			
	㉔	P_m	-	110			
	㉕	P_m	-	111			
	㉖	P_L	-	60.6			
トニオン取付板	㉗	P_L	-	6.06	100		

注1) (ロ) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ

注3) 断面①~⑱の P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S_m$ である。断面⑲~㉗における P_m に対する基準値は S 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S$ である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

b. 圧力による応力と熱応力との組合せに対する容器本体の（一次＋二次）応力と蓋ボルトの評価結果

（口）章A. 5. 1. 3 で求めた圧力による応力と熱応力との組合せに対する容器本体の（一次＋二次）応力と蓋ボルトの評価結果を（口）－第A. 18 表に示す。
この表から明らかなように、容器本体及び蓋ボルトは（口）章A. 1. 2 の解析基準値を満足する。

(口) - 第A. 18 表 一般の試験条件における熱及び圧力による容器本体の

(一次+二次) 応力及び蓋ボルトの評価 (1/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	$P_L + P_b + Q$	内	6.82	90		
			外	7.01			
	②	$P_L + P_b + Q$	内	6.00			
			外	15.4			
フランジ	③	$P_L + P_b + Q$	内	8.84	110		
			外	6.40			
	④	$P_L + P_b + Q$	内	8.80			
			外	8.19			
	⑤	$P_L + P_b + Q$	内	45.4			
			外	33.4			
	⑯	$P_L + P_b + Q$	内	57.0			
			外	27.3			
内筒	⑥	$P_L + P_b + Q$	内	6.97	110		
			外	8.36			
	⑦	$P_L + P_b + Q$	内	17.4			
			外	11.8			
	⑧	$P_L + P_b + Q$	内	17.7			
			外	8.75			
	⑨	$P_L + P_b + Q$	内	19.2			
			外	9.27			
	⑩	$P_L + P_b + Q$	内	19.2			
			外	9.81			
⑪	$P_L + P_b + Q$	内	18.8				
		外	12.3				
底板	⑫	$P_L + P_b + Q$	内	67.1	110		
			外	48.1			
	⑬	$P_L + P_b + Q$	内	37.6			
			外	24.6			
	⑭	$P_L + P_b + Q$	内	23.4			
			外	27.4			
	⑮	$P_L + P_b + Q$	内	19.3			
			外	9.35			
	⑯	$P_L + P_b + Q$	内	6.12			
			外	13.2			
⑰	$P_L + P_b + Q$	内	39.4				
		外	34.6				
⑱	$P_L + P_b + Q$	内	29.9				
		外	21.5				

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ

注3) 断面①~⑰における基準値は $3 S_m$ である。断面⑱、⑲における基準値は $3 S$ である。

断面□は溶接効率 □³⁾ を、断面□は溶接効率 □³⁾ を考慮している。

(口) - 第A. 18 表 一般の試験条件における熱及び圧力による容器本体の

(一次+二次) 応力及び蓋ボルトの評価 (2/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
外筒	⑳	$P_L + P_b + Q$	内	126	100		
			外	63.8			
	㉑	$P_L + P_b + Q$	内	114			
			外	110			
	㉒	$P_L + P_b + Q$	内	116			
			外	113			
	㉓	$P_L + P_b + Q$	内	111			
			外	109			
	㉔	$P_L + P_b + Q$	内	111			
			外	109			
	㉕	$P_L + P_b + Q$	内	112			
			外	109			
	㉖	$P_L + P_b + Q$	内	68.6			
			外	52.1			
トレンチ取付板	㉗	$P_L + P_b + Q$	内	47.3	100		
			外	56.0			
蓋ボルト	-	σ_m	-	151	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	171			

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ、
 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面㉑~㉗における基準値は3Sである。

断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

蓋ボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。

(4) 疲労評価

容器本体各部及び蓋ボルトの繰返しピーク応力強さ S_p (MPa) は疲労強度減少係数を考慮して次のように求められる。

$$S_p = \frac{S}{2} k_f \frac{E_0}{E}$$

ただし、 S : (口) - 第A. 18 表に示される応力強さ (MPa)

k_f : 金属キャスク構造規格¹⁾ に示される疲労強度減少係数の最大値
(容器本体 : $k_f = 5$ 、蓋ボルト : $k_f = 4$)

E_0 : 設計疲労線図^{1), 2)} に示される基準縦弾性係数 (MPa)

E : 最高温度での縦弾性係数 (MPa)

S_p に対する許容繰返し回数は各材料に対して金属キャスク構造規格¹⁾ 及びコンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾ に示される設計疲労線図より与えられる。代表的な箇所における容器本体各部及び蓋ボルトに対する評価結果を (口) - 第A. 19 表に示す。保守的に設定した輸送容器の使用計画回数の 1200 回は表に示すようにいずれの許容繰返し回数より小さく、容器本体各部及び蓋ボルトは十分な疲労強度を有している。

以上より、容器本体各部及び蓋ボルトの疲労破壊が生じるおそれはない。

(口) - 第A. 19 表 一般の試験条件における容器本体各部及び蓋ボルトの疲労評価

部 位	断面 No. ^{注1)}	(一次+二次) 応力強さ (MPa)	温度 (℃)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	許容繰返し 回 数 (回)	使用計画 回 数 (回)
蓋	②	15.4	90	39.5	1.0×10^{11} 以上	1200 ^{注2)}
フランジ	⑱	57.0	110	147	3.1×10^6	
内 筒	⑨	19.2	110	45.2	1.0×10^{11} 以上	
底 板	⑫	67.1	110	173	1.4×10^6	
外 筒	⑳	126	100	296	7.5×10^4	
蓋ボルト	—	171	90	379	3.3×10^3	

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) 使用計画回数 = 使用予定年数 × 使用回数
= 60 年 × 20 回/年
= 1200 回

なお、本使用計画回数については、使用予定回数 (10 回/年) を保守的に 2 倍と設定した使用回数により求めており、使用予定期間における現実的な取扱い及び運搬において想定される繰返し回数を包含している。

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

一般の試験条件の熱的試験において容器本体に発生する応力は、(口)章A. 5. 1. 3に示すように解析基準値を満足しており、健全性は維持され、き裂、破損等の生じるおそれはない。

なお、蓋ボルトは蓋と異なる材質のため、運搬中に予想される-20℃から 38℃の周囲温度の変化により軸力が変化する。仮に周囲温度-20℃で蓋ボルトを締め付けた後 38℃に置かれた場合は、ステンレス鋼製の蓋と[]製の蓋ボルトの熱膨張係数の差により蓋ボルトの軸力が約 21%増加するものの余裕率が 0. 21 以上あるため、また周囲温度 38℃で締め付けた後-20℃に置かれた場合には、軸力が約 37%低下するもののOリングを締め付けるために必要な軸力を維持しているため、蓋ボルトに緩みや破損を生じることはない。

また、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は 0. 01mm 以下であり、Oリングの初期締付代[]より小さく、密封性が損なわれることはない。

A. 5. 2 水噴霧

本輸送容器の外側はステンレス鋼であり、50mm/h の雨量に相当する水を1時間吹き付ける水噴霧に対して、吸水による脆化のために密封性が損なわれたり、水溜りによる腐食が発生したりすることがないため、線量当量率の増加等を生じることはない。

A. 5.3 自由落下

A. 5.3.1 落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

ここでは、(口)章A.1.2のうち、一般の試験条件の自由落下試験において規則及び告示に規定された輸送物の健全性について評価を行う。本輸送物の最大総重量は26.2トンであるため、告示により、落下高さは0.3mとなる。輸送物が0.3m落下した場合、その落下エネルギーは容器本体の上下部に取り付けられた緩衝体の変形によって吸収される。

本項では、自由落下試験時の緩衝体の変形量及び衝撃加速度について評価し、輸送容器の健全性を評価する。

緩衝体の変形量及び衝撃加速度の解析条件を以下に述べる。

1. 解析モデル

(1) 解析する落下姿勢

輸送物の落下姿勢として次の3種類を考える。(口) - 第A.11 図参照)

- ① 垂直落下
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下

(2) 解析方法

- ① 輸送物の落下エネルギーは緩衝体の弾塑性変形によって全て吸収されるものとする。この仮定では、緩衝体を除いた輸送物及び落下試験台を剛体とし、落下エネルギーの振動及び熱等への消費を無視することになるので、落下による緩衝体の変形を大きく評価し安全側の解析となる。
- ② 解析に用いる輸送物の重量に関する数値は、(イ)章C.5.で示した通常輸送時における輸送物最大総重量26.2トンを用いる。

落下エネルギーは次式で与えられる。

$$E_K = m g H$$

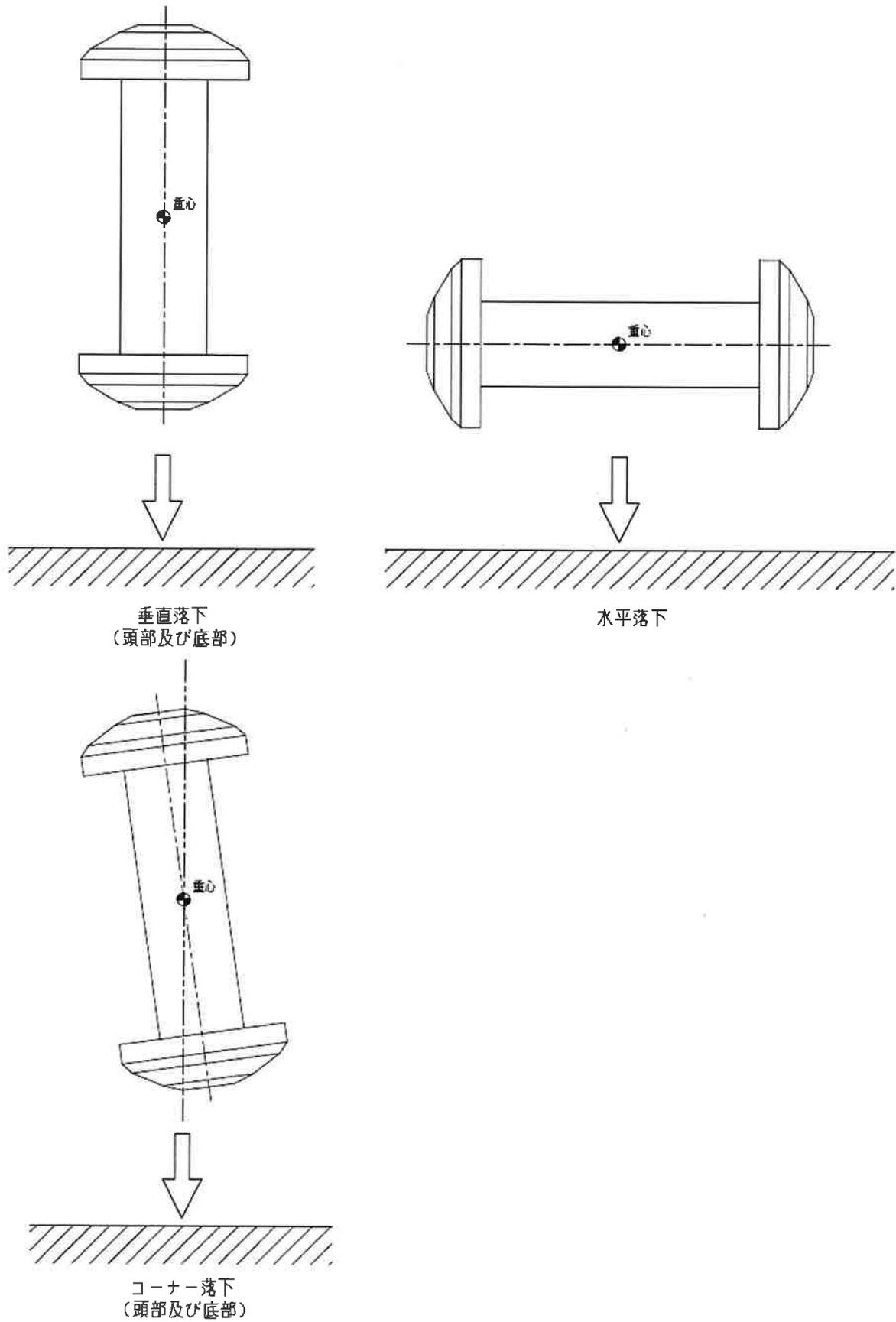
ただし、 E_K : 輸送物の落下エネルギー (N・mm)

m : 輸送物最大総重量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

H : 落下高さ (mm)

輸送物落下エネルギーの計算条件と計算結果を(口) - 第A.20 表に示す。

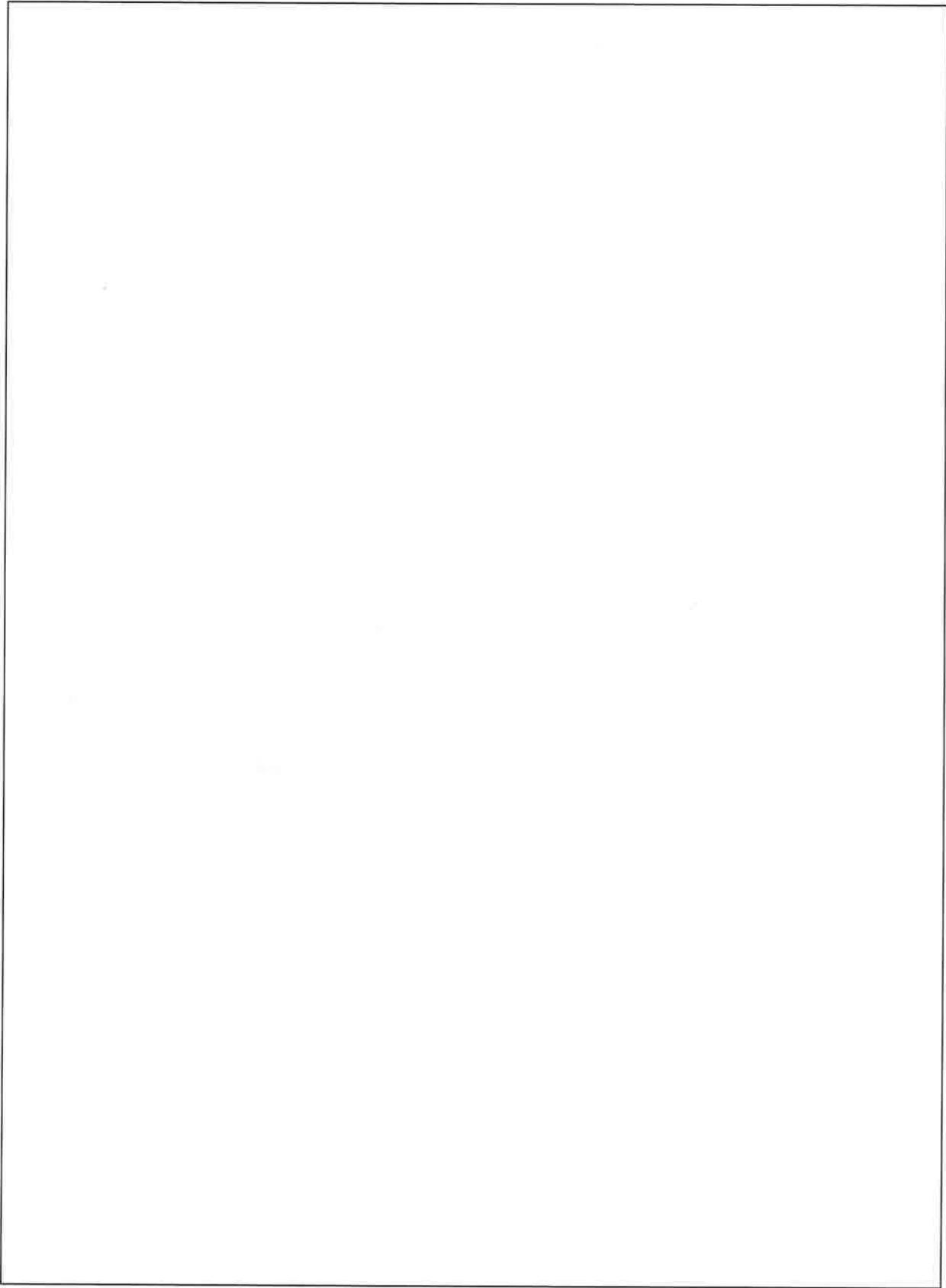


(口) - 第A. 11 図 0.3m落下試験での落下姿勢

(ロ) ー第A. 20表 輸送物落下エネルギー計算条件及び計算結果

項目	輸送物最大 総重量 :m (kg)	重力加速度 :g (m/s ²)	落下高さ :H (mm)	輸送物の 落下エネルギー :E _K (N・mm)
数値	2.62×10 ⁴	9.80665	300	7.71×10 ⁷

- ③ 垂直落下及び水平落下における輸送物の落下エネルギーによる緩衝体の変形量と衝撃力の計算は CRUSH コード¹³⁾を用いて行う。このコードにおいてはエネルギー吸収に寄与する部材は安全側に内部の木材のみとして、緩衝体の変形量を単軸変形法 (UDM) により求めている。また、コーナー落下における輸送物の落下エネルギーによる緩衝体の変形量と衝撃力の計算は体積変形法を用いて行う。体積変形法は CRUSH コード同様、エネルギー吸収に寄与する部材は安全側に内部の木材のみとして、木材の圧潰体積と木材圧潰応力の積から木材のエネルギー吸収量を算出することにより、緩衝体の変形量を求めている。
- ④ 衝撃力については CRUSH コードによる解析と実験との比較検証により得られた誤差±20%を考慮した負荷係数 1.2¹³⁾を③で求められる衝撃力に乗じる。さらに、変形領域内に存在する内部のリブによる衝撃力を加算する。これは内部のリブのステンレス鋼の平均圧潰応力 (降伏応力と引張強さの平均=363MPa) にリブの断面積を乗じて求められる。また、垂直落下時には緩衝体の形状的特性及び木材特性から、と考えられるため、木材を囲む円筒形のカバープレートがの衝撃力を加算する。これは、カバープレートのステンレス鋼のにカバープレートの断面積を乗じて求められる。
- ⑤ 木材は、木目方向と、木目直角方向で圧潰特性が異なる。各々の方向における特性を(ロ) ー第A. 12 図に示す。木目方向とある角度を持つ落下方向に対しては、異方性の影響を考慮する。

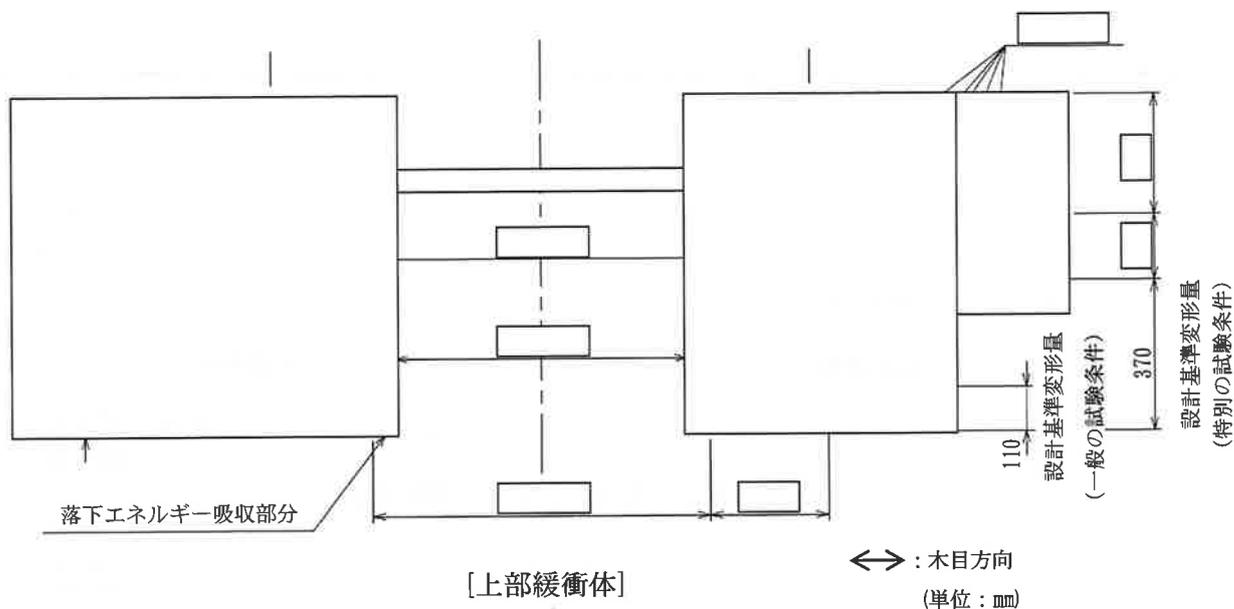


(口) - 第A. 12 図 の圧潰特性

注記：不開示情報を含むため削除

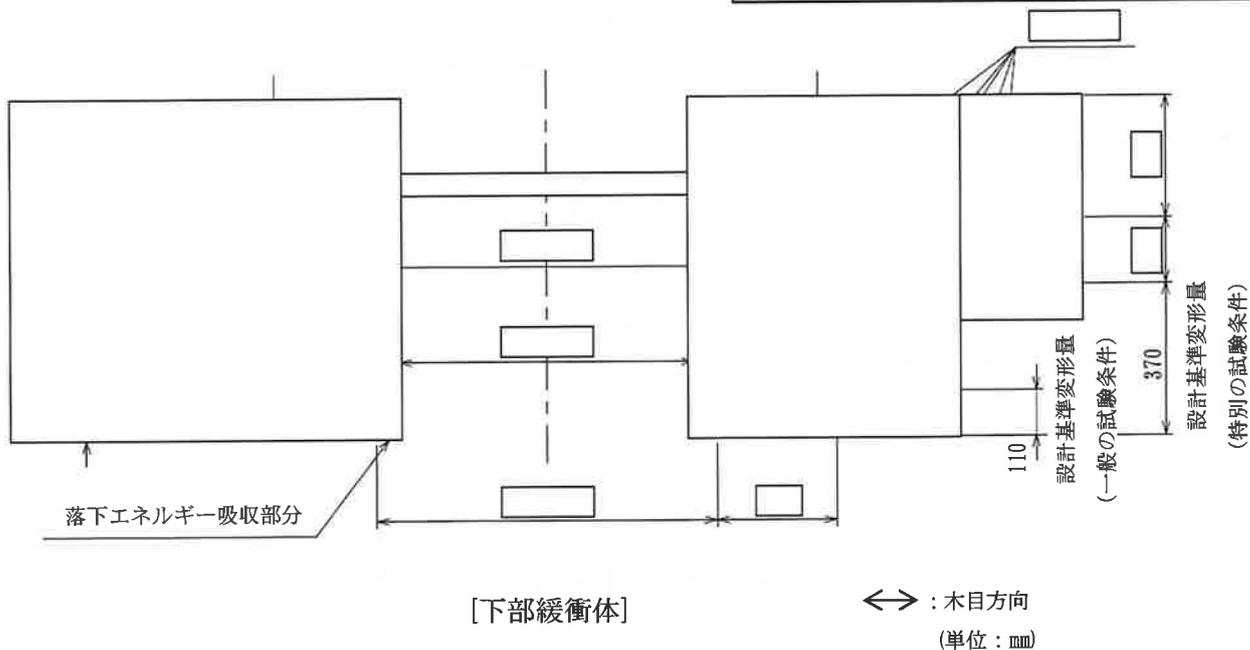
(3) 各落下方向解析モデル

各落下方向の解析モデルを (口) - 第A. 13 図 ~ (口) - 第A. 17 図に示す。斜線を施した部分、すなわち緩衝体内の木材が深さ δ だけ圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。



(口) - 第A. 13 図 頭部垂直落下解析モデル

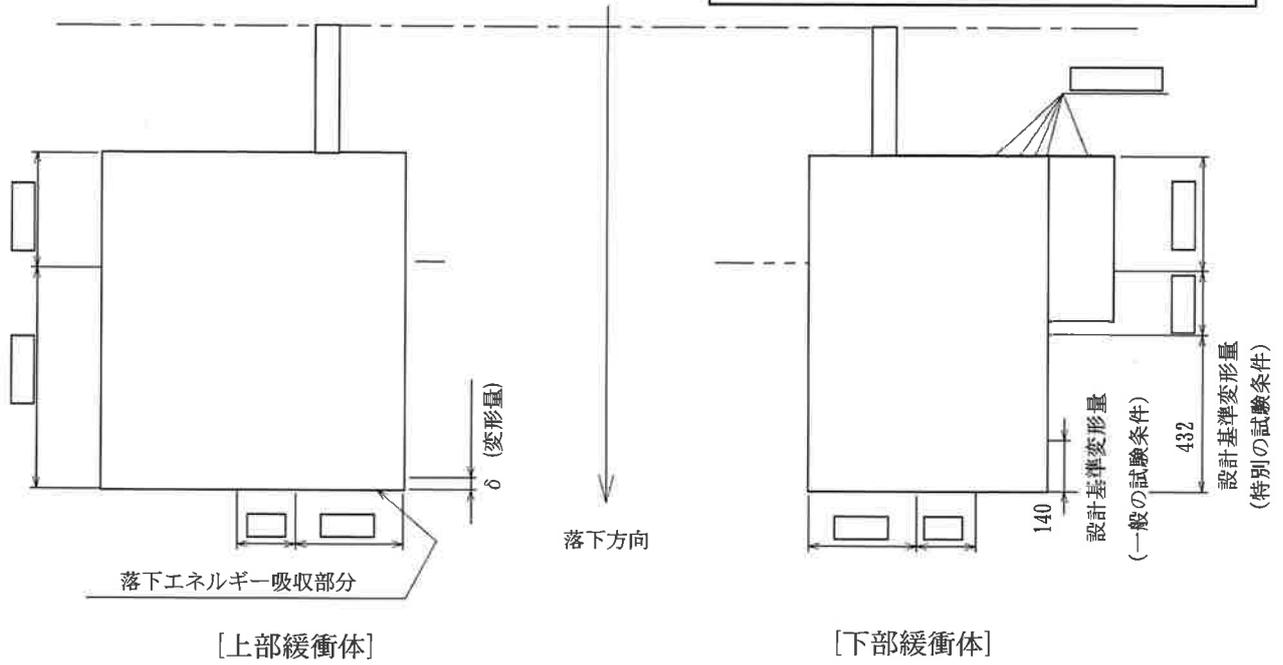
注記：不開示情報を含むため一部削除



(口) - 第A. 14 図 底部垂直落下解析モデル

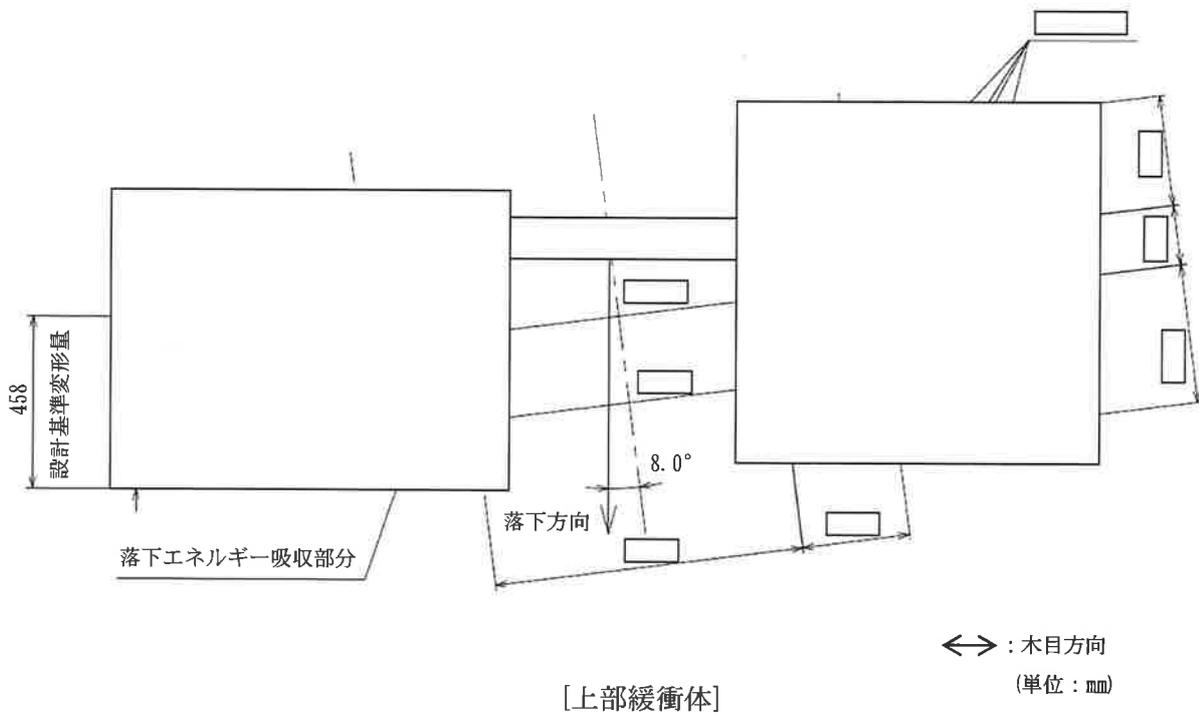
注記：不開示情報を含むため一部削除

注記：不開示情報を含むため一部削除



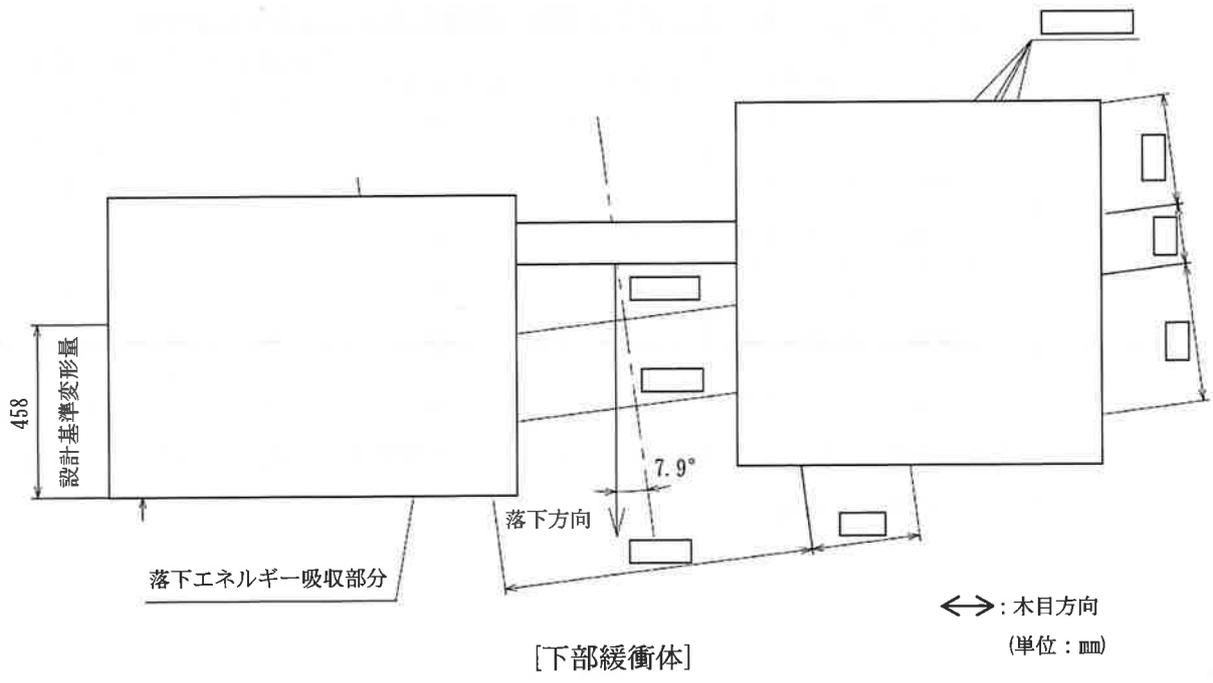
↔：木目方向
(単位：mm)

(口) - 第A. 15 図 水平落下解析モデル



(口) - 第A. 16 図 頭部コーナー落下解析モデル

注記：不開示情報を含むため一部削除



(口) - 第A. 17 図 底部コーナー落下解析モデル

注記：不開示情報を含むため一部削除

2. 落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

各落下方向の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を (口) - 第A. 18 図～ (口) - 第A. 22 図に示す。1. に示した方法により求めた落下エネルギー E_K に対応する変形量 δ と衝撃加速度 G_A を (口) - 第A. 21 表に示す。

ここで、衝撃加速度 G_A は次式で求めている。

$$G_A = \frac{F}{m}$$

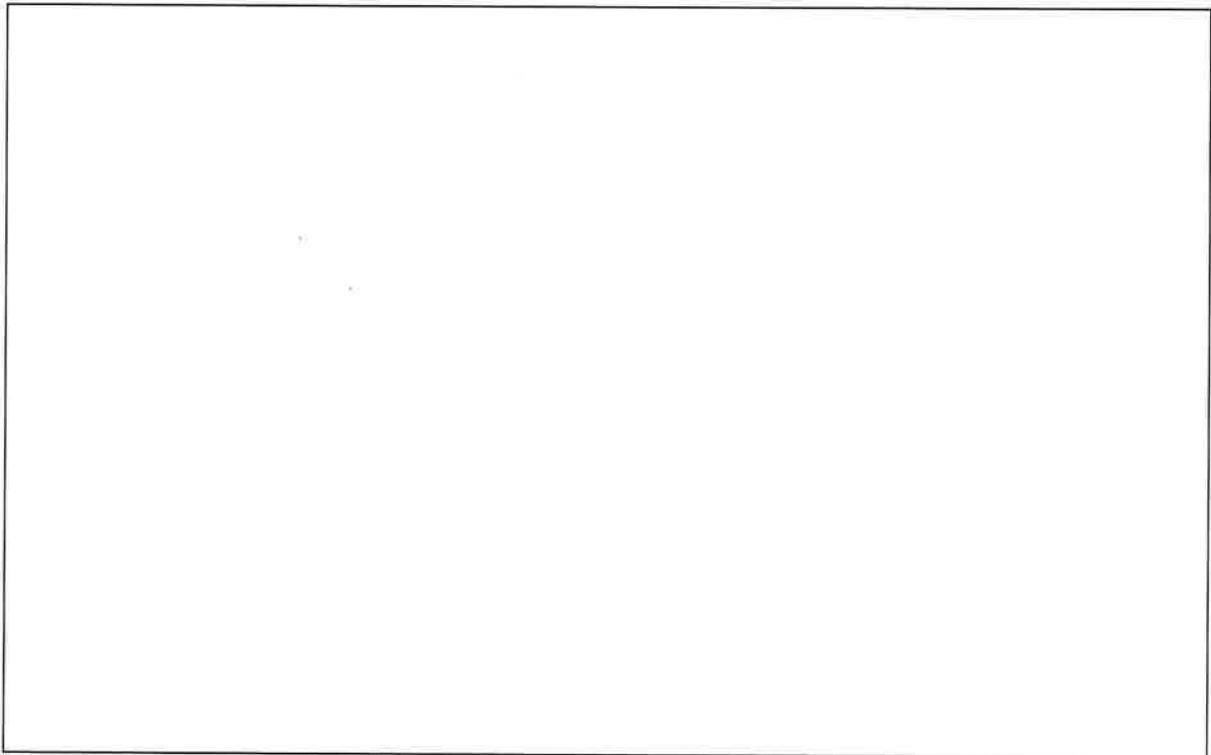
- F：解析で求めた衝撃力 (N)
- m：輸送物重量 (kg)

なお、上記解析で得られた衝撃加速度に余裕を持たせた設計加速度 G_D を設定し、輸送容器の健全性評価のための解析に用いる。設計加速度 G_D を (口) - 第A. 21 表に併せて示す。

(口) - 第A. 21 表 自由落下試験時の衝撃加速度と緩衝体の変形量

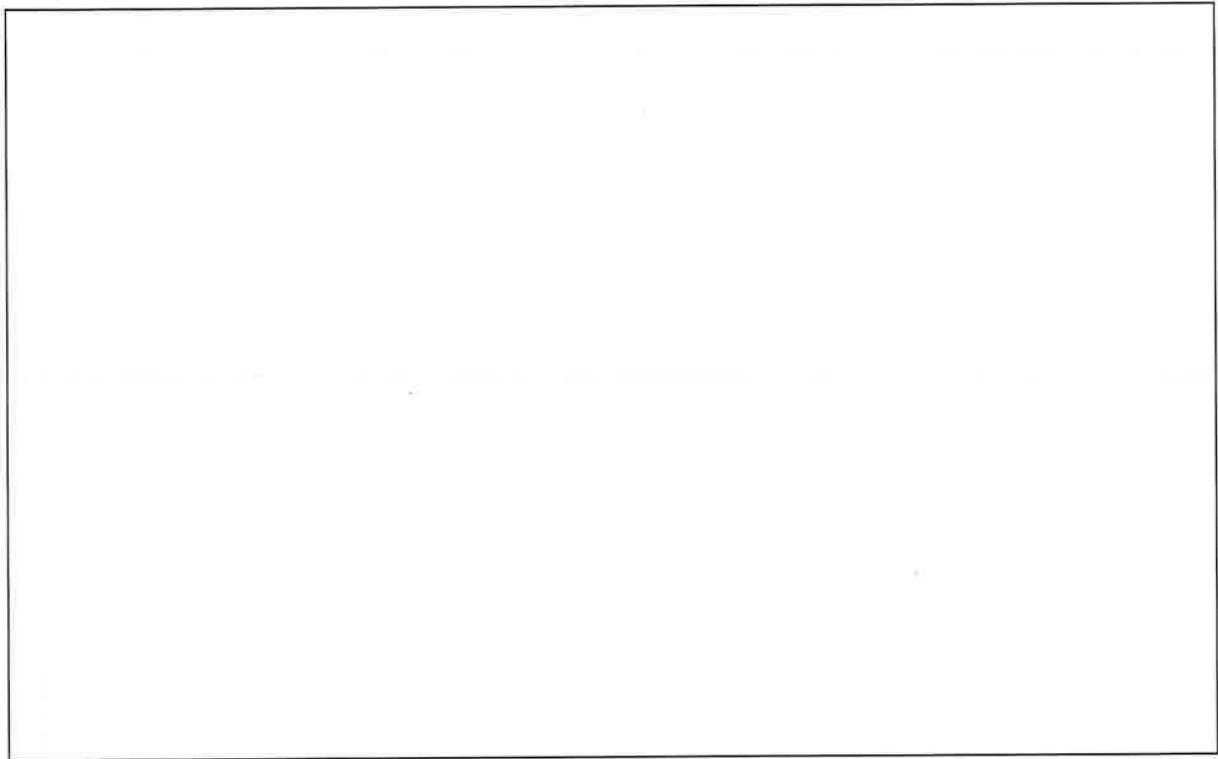
落下姿勢		衝撃力 : F (N)	衝撃加速度 : G_A (m/s ²)	設計加速度 : G_D (m/s ²)	緩衝体の 変形量 : δ (mm)	設計基準 変形量 ^{注)} : δ_{max} (mm)
垂直落下	頭部	3.74×10^6	143	150	48	110
	底部	3.74×10^6	143	150	48	110
水平落下		5.23×10^6	200	220	32	140
コーナー 落下	頭部	3.47×10^6	133	150	91	458
	底部	3.53×10^6	135	150	92	458

注) 設計基準変形量とは、それぞれの落下方向において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値である。



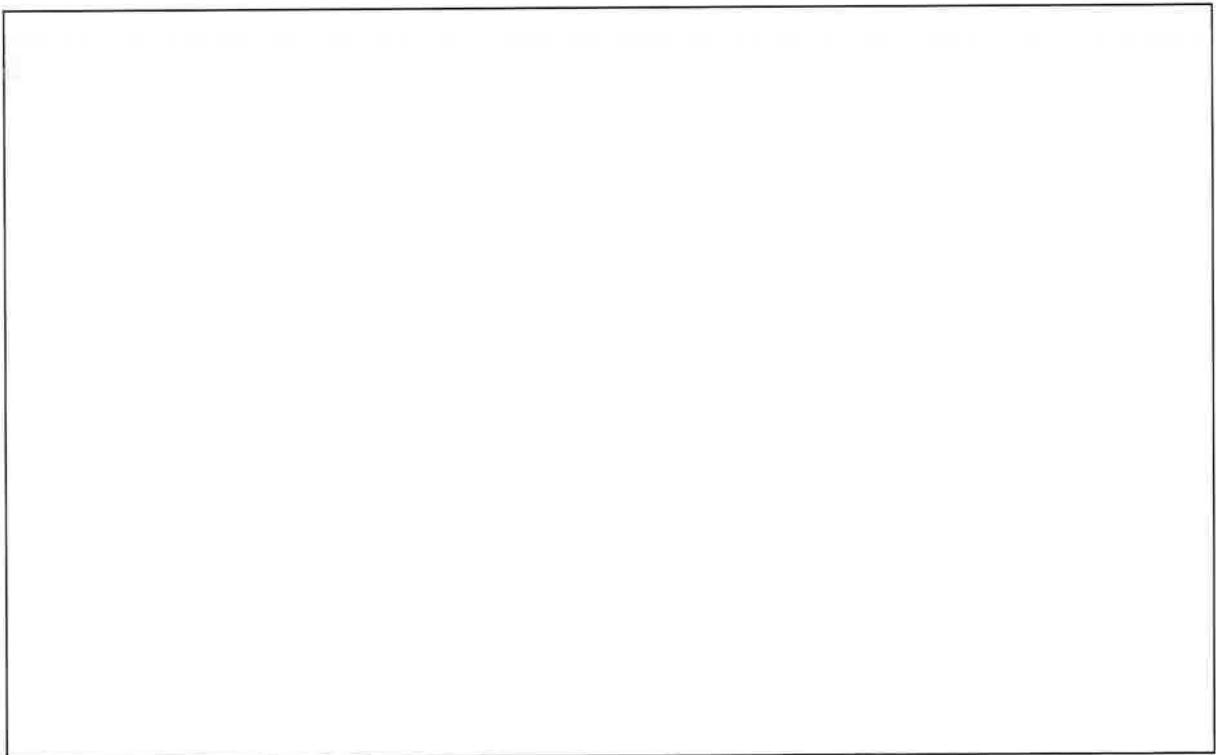
(口) - 第A. 18 図 頭部 0.3m垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

注記：不開示情報を含むため削除



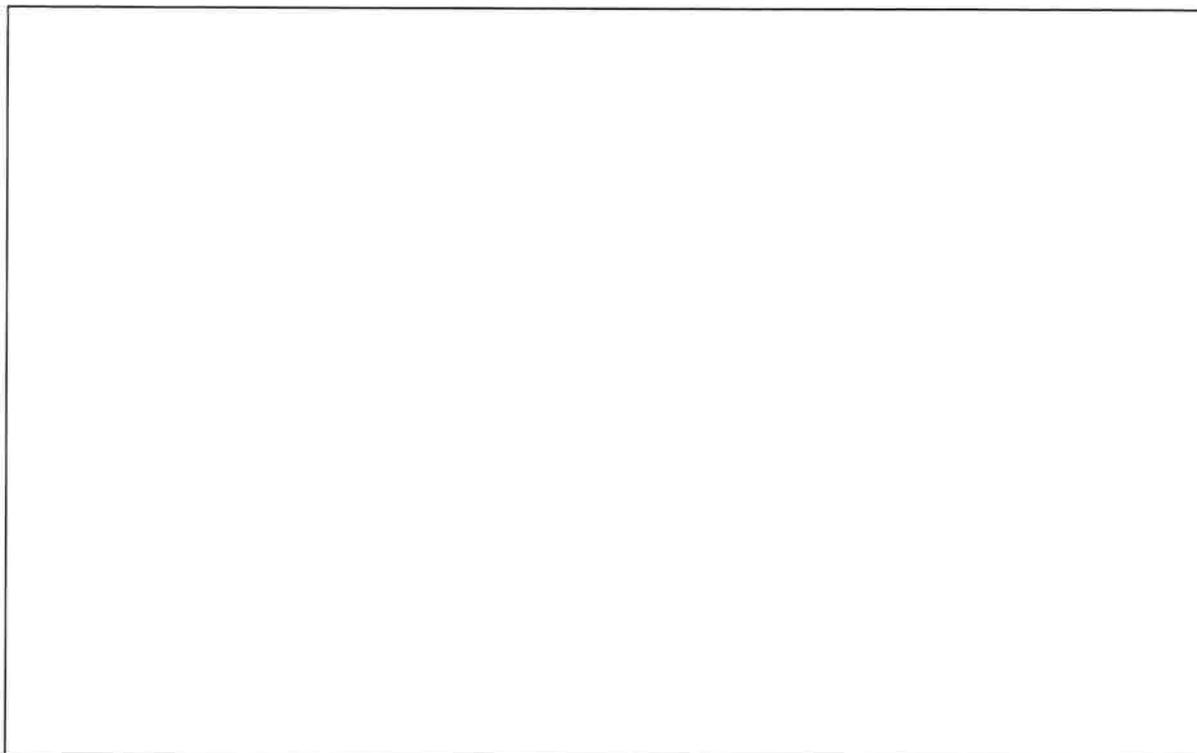
注記：不開示情報を含むため削除

(口) - 第A. 19 図 底部 0.3m 垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



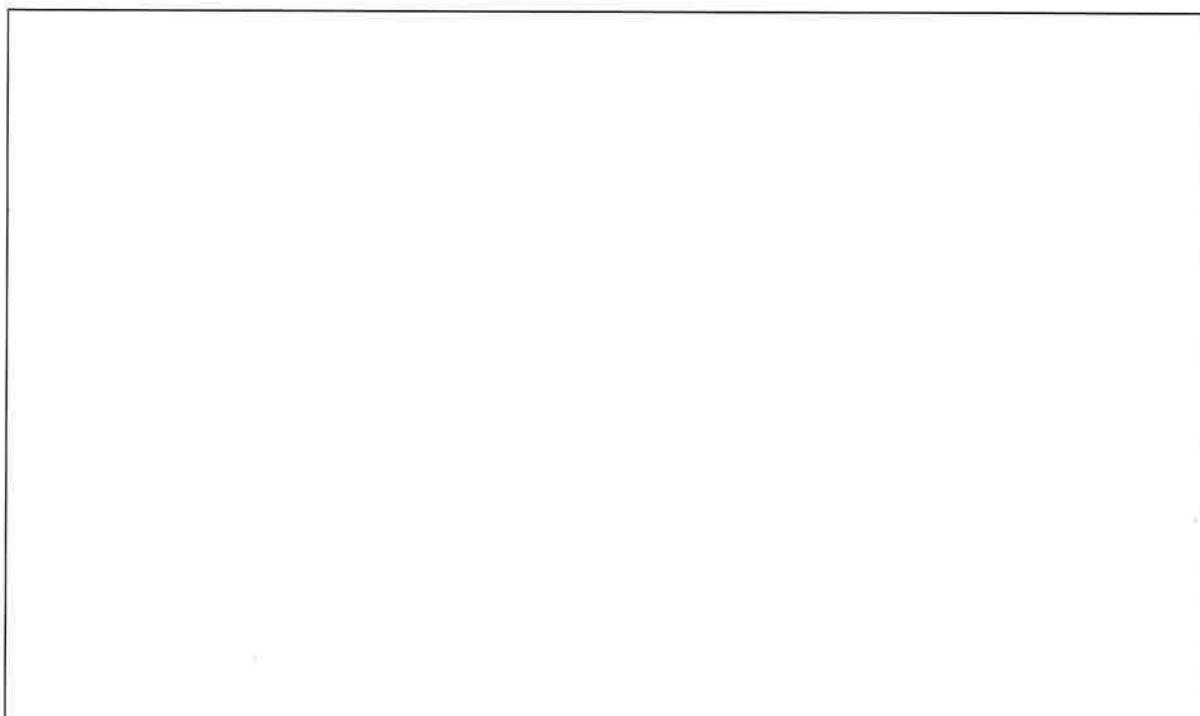
注記：不開示情報を含むため削除

(口) - 第A. 20 図 0.3m 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



注記：不開示情報を含むため削除

(口) - 第A. 21 図 頭部 0.3mコーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



注記：不開示情報を含むため削除

(口) - 第A. 22 図 底部 0.3mコーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

A. 5. 3. 2 自由落下時の応力計算

0. 3m落下時の衝撃力に対して、容器本体は十分な強度で密封性を保持することを示す。
また、容器本体内のバスケットが健全性を維持することを示す。

1. 垂直落下

(1) 容器本体

垂直落下時の衝撃力に対する容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。また、落下方向は頭部及び底部落下とする。

a. 解析モデル

(口) 章A. 5. 1. 3と同様に、三次元有限要素を用いた(口)一第A. 8図に示す三次元ボルト1ピッチモデルを用いる。

b. 荷重条件及び境界条件

①荷重条件

頭部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。

- ・設計加速度 (150m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。
- ・上部緩衝体の木材圧潰応力が蓋外面に働く。
- ・下部緩衝体の自重による慣性力が底板外面に働く。
- ・バスケットの慣性力が底板内面に働く。
- ・蓋部中性子遮蔽材、径方向燃料固縛装置、軸方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力が蓋内面に働く。
- ・側部中性子遮蔽材の慣性力が、その荷重受面に働く。
- ・内筒内圧が内筒内面、フランジ内面、底板内面及び蓋板内面に働く。
- ・側部中性子遮蔽材部圧力が、その荷重受面に働く。

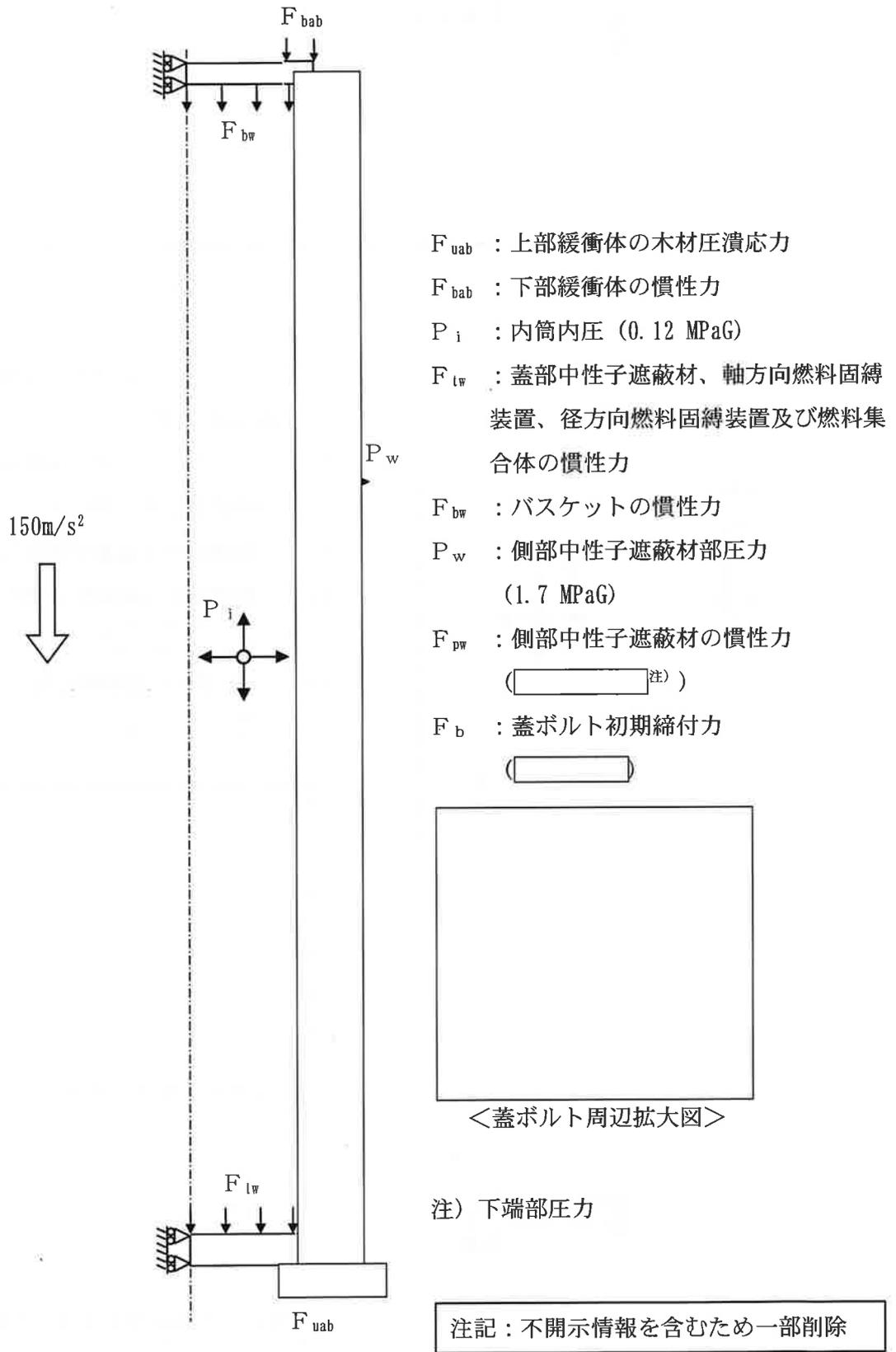
底部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。

- ・設計加速度 (150m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。
- ・上部緩衝体の自重による慣性力がフランジ外面及び蓋外面に働く。
- ・バスケット、径方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力が底板内面に働く。
- ・蓋部中性子遮蔽材及び軸方向燃料固縛装置の慣性力が蓋内面に働く。
- ・側部中性子遮蔽材の慣性力が、その荷重受面に働く。
- ・内筒内圧が内筒内面、フランジ内面、底板内面及び蓋板内面に働く。
- ・側部中性子遮蔽材部圧力が、その荷重受面に働く。

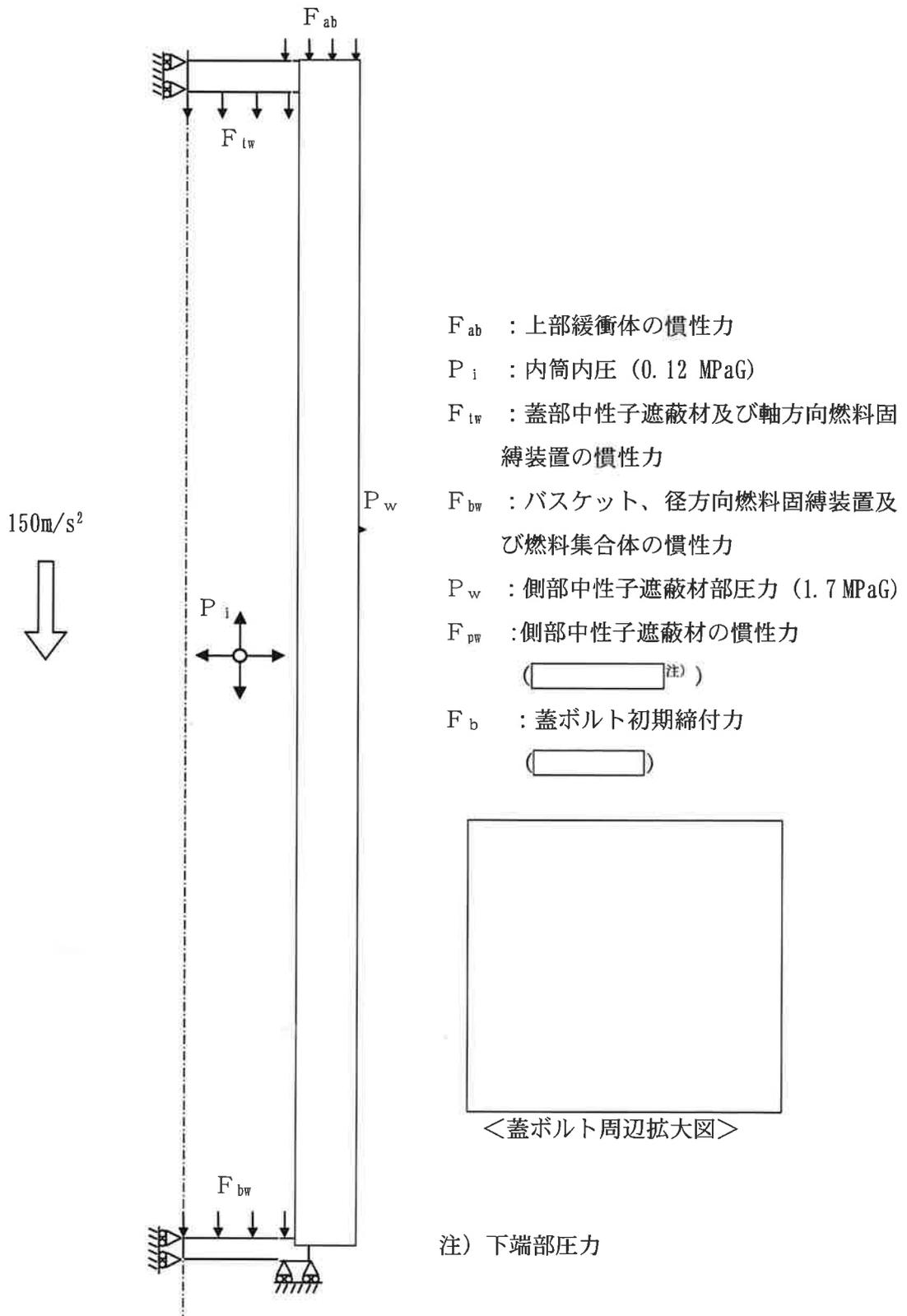
②境界条件

境界条件は緩衝体の衝撃力を受ける面の軸方向変位及び周方向境界面の周方向変位を拘束し、他は変位自由とした。

それぞれの落下方向に対する荷重条件及び境界条件を (口) - 第A. 23 図及び (口) - 第A. 24 図に示す。



(口) - 第A. 23 図 頭部 0.3m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件



注記：不開示情報を含むため一部削除

(口) - 第A. 24 図 底部 0.3m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

c. 解析結果

頭部垂直落下時の主要な位置（（口）－第A. 10 図参照）に対する頭部垂直落下時の一次応力強さの評価結果を（口）－第A. 22 表に、（一次＋二次）応力強さ及び蓋ボルトの評価結果を（口）－第A. 23 表に、また底部垂直落下時の主要な位置（（口）－第A. 10 図参照）に対する底部垂直落下時の一次応力強さの評価結果を（口）－第A. 24 表に、（一次＋二次）応力強さ及び蓋ボルトの評価結果を（口）－第A. 25 表に示す。

それぞれの表に示すように、全ての評価位置において（口）章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足する。

また、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は0.01mm 以下であり、Oリングの初期締付代 \square より小さく、密封性が損なわれることはない。

(口) - 第A. 22表 頭部0.3m垂直落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	1.90	90		
		$P_L + P_b$	内	12.9			
	外		15.3				
	②	P_L	-	6.75			
フランジ	③	P_L	-	6.85	110		
	④	P_L	-	8.14			
	⑤	P_L	-	17.6			
	⑨	P_L	-	9.54			
内筒	⑥	P_L	-	12.8	110		
	⑦	P_m	-	18.4			
	⑧	P_m	-	17.0			
	⑩	P_m	-	17.4			
	⑪	P_m	-	16.2			
	⑫	P_m	-	14.4			
底板	⑬	P_m	-	7.56	110		
	⑭	P_L	-	12.4			
	⑮	$P_L + P_b$	-	4.66			
	内		31.8				
	外	35.8					
	⑯	P_L	-	10.8			
	⑰	P_L	-	8.39			
	⑱	P_L	-	9.95			
外筒	⑳	P_L	-	26.4	100		
	㉑	P_m	-	151			
	㉒	P_m	-	147			
	㉓	P_m	-	134			
	㉔	P_m	-	125			
	㉕	P_m	-	118			
	㉖	P_L	-	63.7			
トコわ取付板	㉗	P_L	-	6.62	100		

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ注3) 断面①~⑱の P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S_m$ である。断面⑲~㉗における P_m に対する基準値は S 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S$ である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□、□は溶接効率□³⁾を考慮している。

(ロ) - 第A. 23表 頭部0.3m垂直落下時の容器本体に対する(一次+二次)応力
及び蓋ボルトの評価(1/2)

部位	断面 No. ^{注1)}	応力分類 ^{注2)}	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) ^{注3)}	余裕率 (-)
蓋	①	$P_L + P_b + Q$	内	16.0	90		
			外	17.8			
	②	$P_L + P_b + Q$	内	5.75			
			外	13.2			
フランジ	③	$P_L + P_b + Q$	内	10.5	110		
			外	10.1			
	④	$P_L + P_b + Q$	内	12.0			
			外	12.1			
	⑤	$P_L + P_b + Q$	内	43.9			
			外	35.0			
	⑯	$P_L + P_b + Q$	内	57.7			
			外	21.8			
内筒	⑥	$P_L + P_b + Q$	内	19.5	110		
			外	15.9			
	⑦	$P_L + P_b + Q$	内	22.1			
			外	16.4			
	⑧	$P_L + P_b + Q$	内	22.0			
			外	13.8			
	⑨	$P_L + P_b + Q$	内	22.8			
			外	11.0			
	⑩	$P_L + P_b + Q$	内	21.5			
			外	9.88			
⑪	$P_L + P_b + Q$	内	19.7				
		外	9.40				
底板	⑫	$P_L + P_b + Q$	内	52.2	110		
			外	40.3			
	⑬	$P_L + P_b + Q$	内	24.9			
			外	15.3			
	⑭	$P_L + P_b + Q$	内	70.5			
			外	61.1			
	⑮	$P_L + P_b + Q$	内	13.3			
			外	30.7			
	⑯	$P_L + P_b + Q$	内	30.0			
			外	23.9			
⑰	$P_L + P_b + Q$	内	45.0				
		外	28.2				
⑱	$P_L + P_b + Q$	内	19.8				
		外	24.1				

注1) (ロ) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ

注3) 断面①~⑰における基準値は $3S_m$ である。断面⑱、⑲における基準値は $3S$ である。
断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

(口) - 第A. 23表 頭部0.3m垂直落下時の容器本体に対する(一次+二次)応力
及び蓋ボルトの評価(2/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
外筒	㉔	$P_L + P_b + Q$	内	159	100		
			外	103			
	㉕	$P_L + P_b + Q$	内	153			
			外	147			
	㉖	$P_L + P_b + Q$	内	149			
			外	144			
	㉗	$P_L + P_b + Q$	内	135			
			外	132			
	㉘	$P_L + P_b + Q$	内	126			
			外	124			
	㉙	$P_L + P_b + Q$	内	120			
			外	116			
	㉚	$P_L + P_b + Q$	内	70.8			
			外	58.8			
トニワ取付板	㉛	$P_L + P_b + Q$	内	53.9	100		
			外	60.2			
蓋ボルト	-	σ_m	-	149	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	170			

注1) (口) - 第A. 10図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ、
 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面㉔~㉚における基準値は3Sである。

断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

蓋ボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。

(口) - 第A. 24表 底部0.3m垂直落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	0.42	90		
		$P_L + P_b$	内	0.72			
			外	0.12			
	②	P_L	-	3.23	110		
フランジ	③	P_L	-	5.09			
	④	P_L	-	3.27			
	⑤	P_L	-	7.78			
	⑬	P_L	-	11.1	110		
内筒	⑥	P_L	-	5.84			
	⑦	P_m	-	14.2			
	⑧	P_m	-	14.2			
	⑨	P_m	-	16.5			
	⑩	P_m	-	17.7			
	⑪	P_m	-	18.3	110		
底板	⑫	P_m	-	10.9			
	⑬	P_L	-	14.9			
	⑭	P_L	-	17.0			
	⑮	P_m	-	4.89			
		$P_L + P_b$	内	28.9			
	外		33.3				
		⑯	P_L	-	14.5		
	⑰	P_L	-	5.86			
	⑱	P_L	-	7.93	100		
外筒	⑳	P_L	-	26.4			
	㉑	P_m	-	118			
	㉒	P_m	-	125			
	㉓	P_m	-	127			
	㉔	P_m	-	135			
	㉕	P_m	-	144			
	㉖	P_L	-	81.4			
トニオン取付板	㉗	P_L	-	5.53	100		

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ

注3) 断面①~⑱の P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5 S_m$ である。断面⑲~㉗における P_m に対する基準値は S 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5 S$ である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

(口) - 第A. 25 表 底部0.3m垂直落下時の容器本体に対する(一次+二次)応力
及び蓋ボルトの評価(1/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	$P_L + P_b + Q$	内	3.05	90		
			外	3.48			
	②	$P_L + P_b + Q$	内	5.99			
			外	17.6			
フランジ	③	$P_L + P_b + Q$	内	9.53	110		
			外	5.58			
	④	$P_L + P_b + Q$	内	8.80			
			外	9.61			
	⑤	$P_L + P_b + Q$	内	45.0			
			外	33.7			
	⑯	$P_L + P_b + Q$	内	54.6			
			外	28.1			
内筒	⑥	$P_L + P_b + Q$	内	8.05	110		
			外	11.6			
	⑦	$P_L + P_b + Q$	内	18.0			
			外	12.3			
	⑧	$P_L + P_b + Q$	内	19.1			
			外	10.1			
	⑨	$P_L + P_b + Q$	内	21.8			
			外	10.2			
	⑩	$P_L + P_b + Q$	内	23.1			
			外	11.2			
	⑪	$P_L + P_b + Q$	内	24.1			
			外	12.9			
底板	⑫	$P_L + P_b + Q$	内	51.3	110		
			外	42.0			
	⑬	$P_L + P_b + Q$	内	28.0			
			外	14.4			
	⑭	$P_L + P_b + Q$	内	58.2			
			外	30.1			
	⑮	$P_L + P_b + Q$	内	40.3			
			外	28.1			
	⑰	$P_L + P_b + Q$	内	41.8			
			外	8.65			
⑱	$P_L + P_b + Q$	内	25.7				
		外	14.8				
⑲	$P_L + P_b + Q$	内	15.5				
		外	17.7				

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ

注3) 断面①~⑰における基準値は $3S_m$ である。断面⑱、⑲における基準値は $3S$ である。

断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

(口) - 第A. 25 表 底部 0.3m 垂直落下時の容器本体に対する (一次+二次) 応力

及び蓋ボルトの評価 (2/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
外筒	⑳	$P_L + P_b + Q$	内	130	100		
			外	66.1			
	㉑	$P_L + P_b + Q$	内	119			
			外	115			
	㉒	$P_L + P_b + Q$	内	127			
			外	123			
	㉓	$P_L + P_b + Q$	内	128			
			外	126			
	㉔	$P_L + P_b + Q$	内	137			
			外	134			
	㉕	$P_L + P_b + Q$	内	146			
			外	141			
	㉖	$P_L + P_b + Q$	内	90.7			
			外	76.5			
トリアン取付板	㉗	$P_L + P_b + Q$	内	54.2	100		
			外	56.2			
蓋ボルト	-	σ_m	-	151	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	172			

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ、
 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面㉑~㉗における基準値は3Sである。

断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

蓋ボルトの基準値は σ_m に対して2S_m、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して3S_mである。

(2) バスケット

頭部垂直落下時には底部固定ボルトに、バスケットの慣性力による引張応力 σ_t (MPa)が生じる。底部固定ボルトに生じる引張応力 σ_t は以下の式で計算される。

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

$$F = W_b G_v$$

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

- ただし、 F : 底部固定ボルト負担荷重 (N)
 A : 底部固定ボルト断面積 (mm²)
 W_b : バスケット重量 (kg)
 G_v : 頭部 0.3m垂直落下時の設計加速度 (m/s²)
 N_b : 底部固定ボルト本数 (本)
 D : 底部固定ボルト軸径 (mm)

底部固定ボルトに生じる引張応力の計算条件と計算結果を(口)－第A. 26表に示す。表に示すとおり、底部固定ボルトは(口)章A. 1. 2に示す解析基準値を満足している。

(口)－第A. 26表 底部固定ボルトの応力計算条件及び計算結果

項目	バスケット重量 : W_b (kg)	垂直落下時の設計加速度 : G_v (m/s ²)	底部固定ボルト負担荷重 : F (N)
数値	6.60×10^3	150	9.90×10^5

項目	底部固定ボルト本数 : N_b (本)	底部固定ボルト軸径 : D (mm)	底部固定ボルト断面積 : A (mm ²)	引張応力 : σ_t (MPa)	基準値 : S_m (MPa)	余裕率 (-)
数値			3.62×10^3	274	311	0.13

(3) 燃料集合体

垂直落下時に燃料被覆管に生じる応力は、落下衝撃による圧縮応力 σ_c (MPa)と内圧による各方向応力 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ (MPa)である。垂直落下時において応力強さ S (MPa)の最大値は、燃料被覆管内面に生じるので燃料被覆管内面のみ評価する。

a. 落下衝撃により生じる圧縮応力

落下衝撃により生じる圧縮応力 σ_c は、次式で与えられる。

$$\sigma_c = -\frac{W G_v}{A}$$

ここで、W : 燃料被覆管最下端における重量 (kg)

G_v : 垂直落下時の設計加速度 (m/s^2)

A : 燃料被覆管の断面積 = $\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)$ (mm^2)

d_o : 燃料被覆管の外径 (mm)

d_i : 燃料被覆管の内径 (mm)

b. 内圧による各方向応力

内圧 P_0 により生じる各方向応力は、以下の式で与えられる。

$$\sigma_z = \frac{P_0}{K^2 - 1}$$

$$\sigma_r = \frac{-(K^2/R^2 - 1)P_0}{K^2 - 1}$$

$$\sigma_\theta = \frac{(K^2/R^2 + 1)P_0}{K^2 - 1}$$

ここで、 σ_z : 軸方向応力 (MPa)

σ_r : 半径方向応力 (MPa)

σ_θ : 周方向応力 (MPa)

$$K = \frac{b}{a}$$

a : 燃料被覆管内半径 = $\frac{d_i}{2}$ (mm)

b : 燃料被覆管外半径 = $\frac{d_o}{2}$ (mm)

P_0 : 内圧 (MPaG)

$R = \frac{r}{a}$ (内面においては $R = 1$)

r : 評価位置 ($a \leq r \leq b$)

c. 応力強さ

垂直落下時に生じる圧縮応力及び内圧により生じる各方向応力から求まる応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \text{Max} \{ |\sigma_{rL} - \sigma_{\theta L}|, |\sigma_{\theta L} - \sigma_{zL}|, |\sigma_{zL} - \sigma_{rL}| \}$$

ここで、 $\sigma_{rL} = \sigma_r$

$\sigma_{\theta L} = \sigma_\theta$

$\sigma_{zL} = \sigma_c + \sigma_z$

燃料被覆管に生じる応力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 27 表に示す。表に示すとおり燃料被覆管は解析基準値である燃料被覆管材料(ジルカロイ)の240℃における未照射の降伏応力 σ_y (417MPa⁵⁾) を満足している。

(口) - 第A. 27 表 垂直落下時の燃料被覆管の強度評価結果

a) 頭部垂直落下

燃料被覆管最下端における重量: W (kg)	0.42
設計加速度: G_v (m/s ²)	150
燃料被覆管外径: d_o (mm)	9.5
燃料被覆管内径: d_i (mm)	8.36
内圧: P_o (MPaG)	5.5
応力強さ: S (MPa)	49
降伏応力: σ_y (MPa)	417
余裕率 (-)	7.51

b) 底部垂直落下

燃料被覆管最下端における重量: W (kg)	0.42
設計加速度: G_v (m/s ²)	150
燃料被覆管外径: d_o (mm)	9.5
燃料被覆管内径: d_i (mm)	8.36
内圧: P_o (MPaG)	5.5
応力強さ: S (MPa)	49
降伏応力: σ_y (MPa)	417
余裕率 (-)	7.51

2. 水平落下

(1) 容器本体

水平落下時の衝撃力に対する容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。

a. 解析モデル

解析モデルとして (イ) - 第 C. 5 図に基づいて作成した (ロ) - 第 A. 25 図 に示す三次元解析モデルを用いる。

b. 荷重条件及び境界条件

① 荷重条件

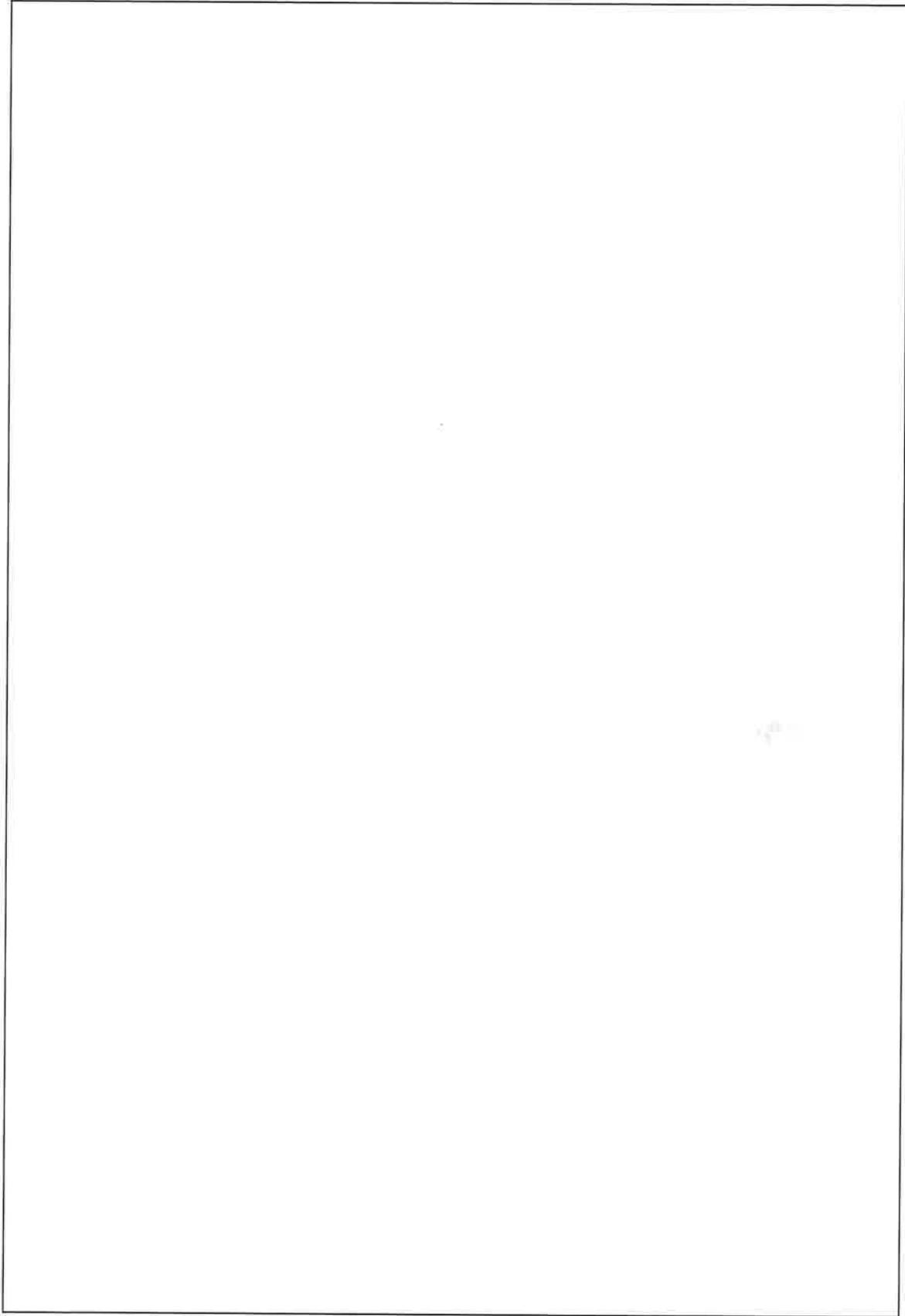
水平落下時に作用する荷重は次のとおりである。

- ・ 設計加速度 (220m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。
- ・ バスケット、径方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力が内筒内面へ働く。
- ・ 蓋部中性子遮蔽材及び軸方向燃料固縛装置の重量は蓋重量に加算する。
- ・ 側部中性子遮蔽材の慣性力が、その荷重受面に働く。
- ・ 落下時の上部及び下部緩衝体の反力が、フランジ外面、底板外面及びトラニオン取付板外面に働く。
- ・ 内筒内圧が内筒内面、フランジ内面、底板内面及び蓋板内面に働く。
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力が、その荷重受面に働く。

② 境界条件

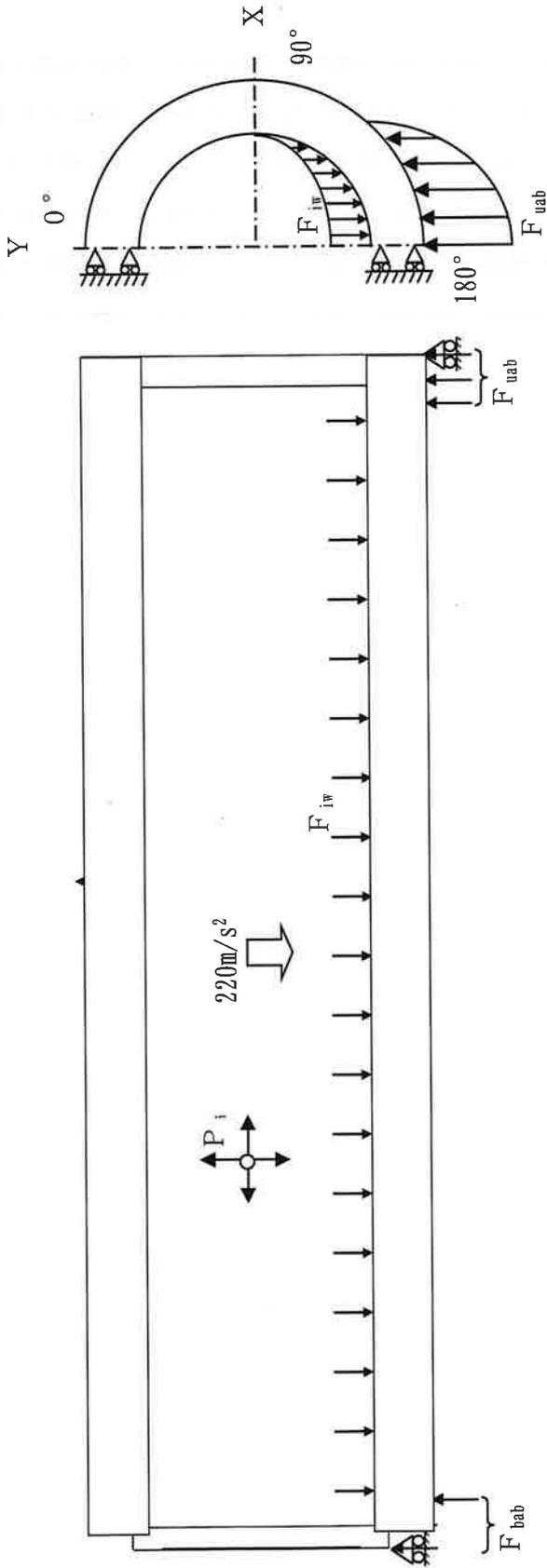
上部及び下部緩衝体に取り付けられる面 (反力を受ける面) の上下1ヶ所ずつについてY方向変位を拘束した。また、 $0^\circ - 180^\circ$ 面の対称面においてX方向の変位を拘束した。

水平落下時に作用する荷重条件及び境界条件を (ロ) - 第 A. 26 図 に示す。



(口) - 第A.25 図 水平落下時の三次元解析モデル

注記：不開示情報を含むため削除



P_i : 内筒内圧 (0.12 MPaG)

P_w : 側部中性子遮蔽材部圧力 (1.7 MPaG)

F_{uab} : 上部緩衝体反力

F_{bab} : 下部緩衝体反力

F_{iw} : バスケット、径方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力

F_{pw} : 側部中性子遮蔽材の慣性力 (注)

注) 下端部圧力

F_b : 蓋ボルト初期締付力

注記：不開示情報を含むため一部削除

<蓋ボルト周辺拡大図>

(口) - 第A.26 図 0.3m水平落下時の荷重条件及び境界条件

c. 解析結果

水平落下時の主要な位置（(口) - 第A. 10 図参照）に対する一次応力強さの評価結果を (口) - 第A. 28 表に、（一次+二次）応力強さ及び蓋ボルトの評価結果を (口) - 第A. 29 表に示す。表に示すように、全ての評価位置において (口) 章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足する。また、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は 0.01mm であり、Oリングの初期締付代 より小さく、密封性が損なわれることはない。

(口) - 第A. 28 表 0.3m水平落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	3.78	90		
		$P_L + P_b$	内	2.65			
	外		8.21				
	②	P_L	-	9.37			
フランジ	③	P_L	-	30.0	110		
	④	P_L	-	37.0			
	⑤	P_L	-	35.4			
	⑯	P_L	-	40.2			
内筒	⑥	P_L	-	39.9	110		
	⑦	P_m	-	32.8			
	⑧	P_m	-	45.7			
	⑨	P_m	-	56.5			
	⑩	P_m	-	54.1			
	⑪	P_m	-	34.6			
底板	⑫	P_m	-	38.2	110		
	⑬	P_L	-	38.6			
	⑭	P_L	-	35.8			
	⑮	P_m	-	14.7			
		$P_L + P_b$	内	13.3			
	外		18.0				
	⑯	P_L	-	18.6			
	⑰	P_L	-	29.9			
⑱	P_L	-	33.3				
外筒	⑳	P_L	-	65.0	100		
	㉑	P_m	-	133			
	㉒	P_m	-	134			
	㉓	P_m	-	135			
	㉔	P_m	-	134			
	㉕	P_m	-	131			
	㉖	P_L	-	82.1			
トニオ取付板	㉗	P_L	-	22.6	100		

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ注3) 断面①~⑱の P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S_m$ である。断面⑲~㉗における P_m に対する基準値は S 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S$ である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

(口) - 第A. 29表 0.3m水平落下時の容器本体に対する(一次+二次)応力

及び蓋ボルトの評価(1/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類注2)	表面	応力強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	$P_L + P_b + Q$	内	6.16	90		
			外	9.06			
②	$P_L + P_b + Q$	内	17.6				
		外	22.2				
フランジ	③	$P_L + P_b + Q$	内	30.2	110		
			外	33.0			
	④	$P_L + P_b + Q$	内	46.2			
			外	37.4			
	⑤	$P_L + P_b + Q$	内	68.7			
			外	43.5			
⑯	$P_L + P_b + Q$	内	65.2				
外	75.4						
内筒	⑥	$P_L + P_b + Q$	内	34.6	110		
			外	41.3			
	⑦	$P_L + P_b + Q$	内	39.6			
			外	24.3			
	⑧	$P_L + P_b + Q$	内	46.8			
			外	40.7			
	⑨	$P_L + P_b + Q$	内	58.5			
			外	54.3			
⑩	$P_L + P_b + Q$	内	57.2				
		外	52.3				
⑪	$P_L + P_b + Q$	内	36.6				
		外	32.7				
底板	⑫	$P_L + P_b + Q$	内	88.5	110		
			外	59.4			
	⑬	$P_L + P_b + Q$	内	71.8			
			外	43.5			
	⑭	$P_L + P_b + Q$	内	46.8			
			外	34.7			
	⑮	$P_L + P_b + Q$	内	31.4			
			外	18.0			
	⑰	$P_L + P_b + Q$	内	20.1			
			外	31.7			
⑱	$P_L + P_b + Q$	内	76.2				
		外	63.7				
⑲	$P_L + P_b + Q$	内	58.1				
		外	33.1				

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ

注3) 断面①~⑰における基準値は $3S_m$ である。断面⑱、⑲における基準値は $3S$ である。

断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

(口) - 第A. 29 表 0.3m水平落下時の容器本体に対する (一次+二次) 応力

及び蓋ボルトの評価 (2/2)

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
外筒	㉔	$P_L + P_b + Q$	内	196	100		
			外	56.2			
	㉕	$P_L + P_b + Q$	内	134			
			外	130			
	㉖	$P_L + P_b + Q$	内	135			
			外	132			
	㉗	$P_L + P_b + Q$	内	130			
			外	128			
	㉘	$P_L + P_b + Q$	内	130			
			外	128			
	㉙	$P_L + P_b + Q$	内	133			
			外	129			
	㉚	$P_L + P_b + Q$	内	124			
			外	47.8			
トコナ取付板	㉛	$P_L + P_b + Q$	内	57.9	100		
			外	61.8			
蓋ボルト	-	σ_m	-	152	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	229			

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 Q : 二次応力強さ、
 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面㉔~㉚における基準値は3Sである。

断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。

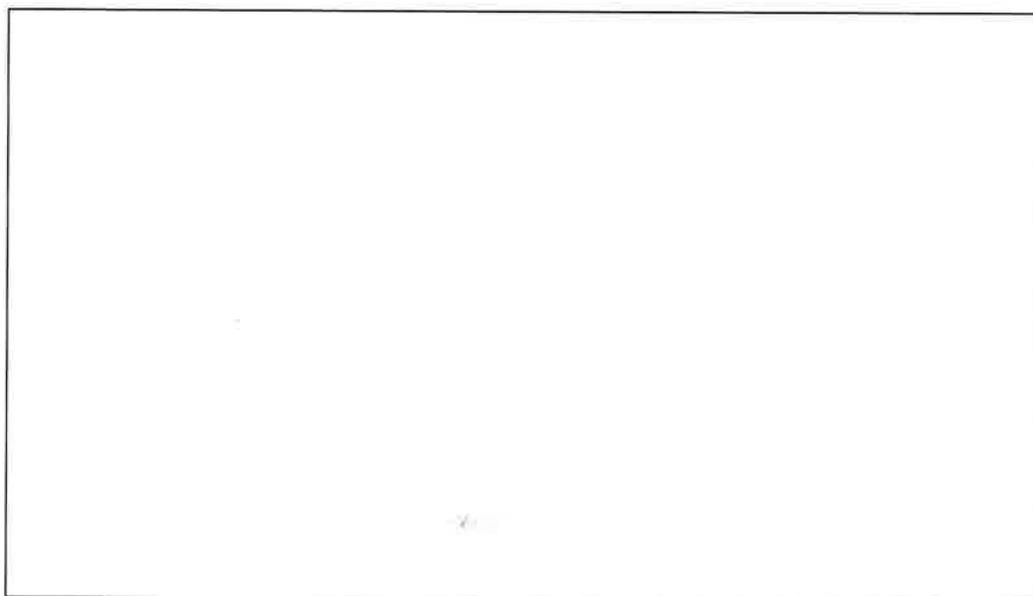
蓋ボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。

(2) バスケット

本項では、0.3m水平落下時の衝撃力に対して、内筒内のバスケットは十分な強度で解析基準値を満足することを示す。

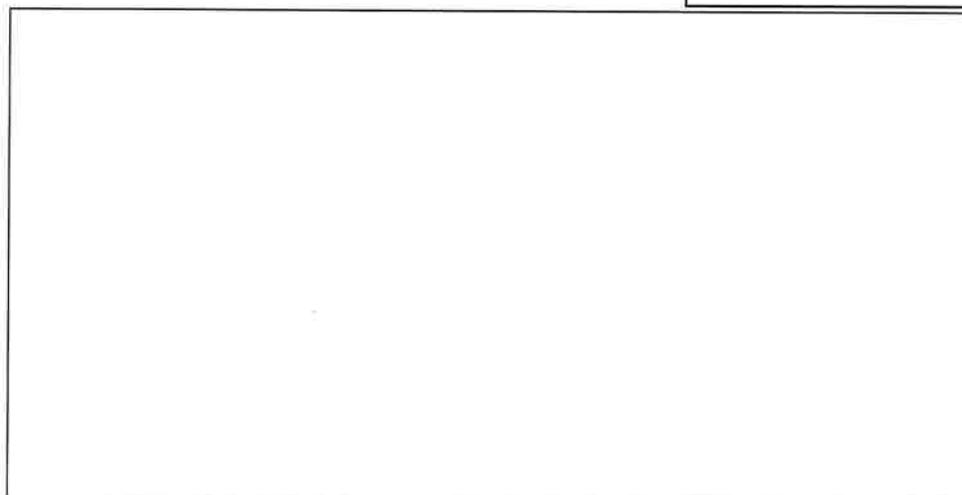
a. クロスプレート

水平落下時のクロスプレートには、(口) - 第A. 27 図に示すように燃料集合体、径方向燃料固縛装置及びクロスプレート自体の慣性力により曲げ応力及びせん断応力が生じる。(口) - 第A. 28 図に示すように、90° 方向を下とした水平落下の際に 180° 方向クロスプレートは、支持リングにより端部支持され、クロスバーとの溶接部により固定された一端ピン他端固定梁として計算を行う。



(口) - 第A. 27 図 クロスプレートに作用する荷重 (90° 方向落下)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 28 図 クロスプレートの水平落下時解析モデル

注記：不開示情報を含むため削除

曲げ応力最大値は固定端側で生じる。燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力により生じる曲げモーメントは以下の式で計算される。

$$M_1 = w_1 L_1 \left(\frac{L_1}{2} + L_2 \right) - R_{A1} L_4$$

$$w_1 = \frac{(W_f + W_{ff}) G_H}{L \times L_1}$$

$$R_{A1} = \frac{w_1 L_1}{8 L_4^3} [4 L_4 \{3 L_2 (L_1 + L_2) + L_1^2\} - 2 L_2^2 (3 L_1 + 2 L_2) - L_1^2 (L_1 + 4 L_2)]$$

ここで、 M_1 ：燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント (N・mm)/mm)

R_{A1} ：燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による支持点における単位長さ当たりの反力 (N/mm)

w_1 ：燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 (N/mm)/mm)

W_f ：燃料集合体重量 (kg)

W_{ff} ：径方向燃料固縛装置重量 (kg)

G_H ：水平落下時の設計加速度 (m/s²)

L ：荷重作用部の軸方向長さ (mm)

L_1 ：燃料集合体重量作用幅 (mm)

L_2 ：固定端から燃料集合体荷重作用位置までの距離 (mm)

L_3 ：支持点から燃料集合体荷重作用位置までの距離 (mm)

L_4 ：梁全長 (mm)

クロスプレート及びスペーサの慣性力により生じる曲げモーメントは以下の式で計算される。

$$M_2 = \frac{w_2 L_4^2}{8}$$

$$w_2 = \frac{(W_{cp} + W_{sp}) G_H}{L \times L_4}$$

ここで、 M_2 ：クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント (N・mm)/mm)

w_2 ：クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 (N/mm)/mm)

W_{cp} ：クロスプレート重量 (180° 側 2 枚) (kg)

W_{sp} : スペーサ重量 (180° 側合計) (kg)

このとき曲げ応力 σ_b (MPa) は以下の式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{(M_1 + M_2)}{Z}$$

$$Z = \frac{b (h_2^3 - h_1^3)}{6 h_2}$$

ここで、 Z : 断面係数 (mm^3/mm)

h_1 : クロスプレート内幅 (mm)

h_2 : クロスプレート外幅 (mm)

b : クロスプレートの単位長さ (= 1 mm)

クロスプレートに生じる曲げ応力の計算条件及び計算結果を (ロ) - 第A. 30 表に示す。

(ロ) - 第A. 30 表 クロスプレートに生じる曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	燃料集合体重量 : W_f (kg)	径方向燃料固縛装置重量 : W_{ff} (kg)	荷重作用部の軸方向長さ : L (mm)	燃料集合体重量作用幅 : L_1 (mm)	固定端から燃料集合体荷重作用位置までの距離 : L_2 (mm)	支持点から燃料集合体荷重作用位置までの距離 : L_3 (mm)	梁全長 : L_4 (mm)
数値		91					

項目	水平落下時の設計加速度 : G_H (m/s^2)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_1 ($\text{N/mm}/\text{mm}$)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による支持点における単位長さ当たりの反力 : R_{A1} (N/mm)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント : M_1 ($\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$)
数値	220	1.94×10^{-1}	9.45	2.81×10^3

項目	クロスプレート重量 : W_{cp} (kg)	スペーサ重量 : W_{sp} (kg)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_2 ($\text{N/mm}/\text{mm}$)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント : M_2 ($\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$)
数値	340	220		1.51×10^3

項目	クロスプレートの単位長さ : b (mm)	クロスプレート内幅 : h_1 (mm)	クロスプレート外幅 : h_2 (mm)	断面係数 : Z (mm^3/mm)	曲げ応力 : σ_b (MPa)
数値	1			7.81×10^2	5.53

また、クロスプレートの溶接部には、同時にせん断応力が生じる。この部分に生じるせん断応力 τ (MPa) は以下の式により求められる。

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

$$F = R_{B1} + R_{B2}$$

$$A = 2 t_s$$

$$R_{B1} = w_1 L_1 - R_{A1}$$

$$R_{B2} = \frac{5}{8} w_2 L_4$$

ここで、 F : 溶接部に作用する単位長さ当たりのせん断力 (N/mm)

R_{B1} : 燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの拘束点反力 (N/mm)

R_{B2} : クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの拘束点反力 (N/mm)

A : 単位長さ当たりの溶接部断面積 (mm^2/mm)

t_s : 溶接深さ (mm)

クロスプレートに生じるせん断応力の計算条件及び計算結果を (口) - 第A. 31 表に示す。

(口) - 第A. 31 表 クロスプレートに生じるせん断応力計算条件及び計算結果

項目	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_1 (N/mm/mm)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_2 (N/mm/mm)	燃料集合体重量作用幅 : L_1 (mm)	梁全長 : L_4 (mm)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による支持点における単位長さ当たりの反力 : R_{A1} (N/mm)
数値	1.94×10^{-1}				9.45

項目	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの拘束点反力 : R_{B1} (N/mm)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの拘束点反力 : R_{B2} (N/mm)	溶接部に作用する単位長さ当たりのせん断力 : F (N/mm)	溶接深さ : t_s (mm)	単位長さ当たりの溶接部断面積 : A (mm^2/mm)	せん断応力 : τ (MPa)
数値		19.2				2.09

よって、クロスプレート溶接部には次式で計算される応力強さ S (MPa) が作用する。

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

クロスプレートに生じる応力強さの計算条件と計算結果を、(口) - 第A. 32 表に示す。表に示すとおり、クロスプレート溶接部は (口) 章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足している。

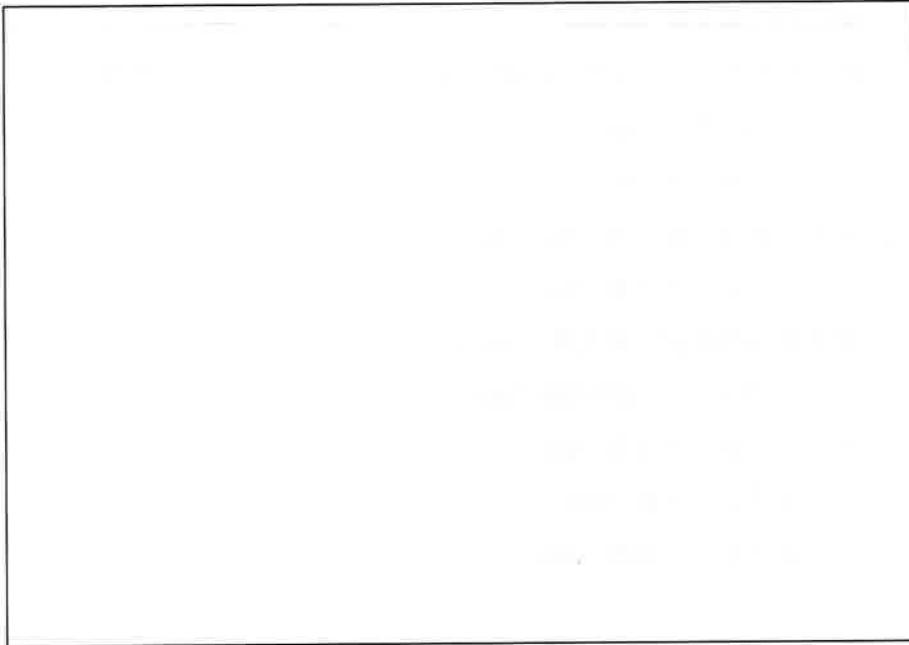
(ロ) - 第A.32表 クロスプレートに生じる応力強さ計算条件及び計算結果

項目	曲げ応力 : σ_b (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 ^{注)} : $\eta 1.5 S_m$ (MPa)	余裕率 (-)
数値	5.53	2.09	6.93		

注) クロスプレート材料はボロン入りステンレス鋼であるが、クロスバー材料はステンレス鋼であるので、溶接部は強度の低いステンレス鋼として評価する。溶接効率 ¹⁾ を考慮。

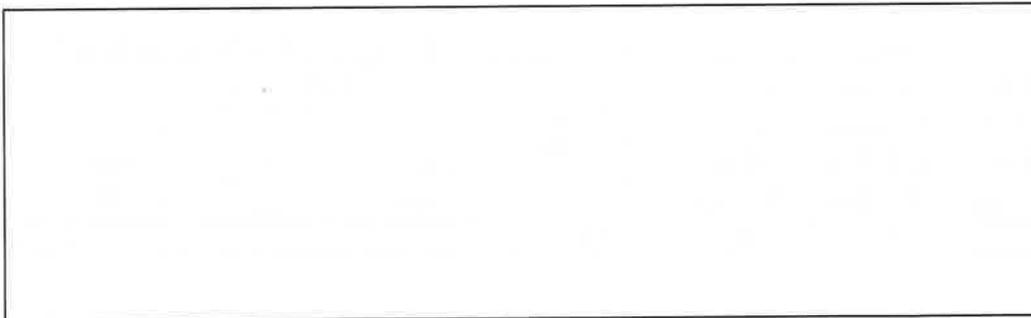
b. ベースプレート

水平落下時にベースプレートには、(口) - 第A. 29 図に示すように下側燃料集合体、径方向燃料固縛装置及びベースプレート自体の慣性力による分布荷重により曲げ応力が生じる。(口) - 第A. 30 図に示すように 180° 方向水平落下の際に両端を固定する梁を考える。



(口) - 第A. 29 図 ベースプレートに作用する荷重 (180° 方向落下)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 30 図 ベースプレートの水平落下時解析モデル

注記：不開示情報を含むため削除

このとき曲げ応力 σ_b (MPa) は以下の式で与えられる。

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

$$Z = \frac{b h^2}{6}$$

$$M = \frac{wL_1^2}{12}$$

$$w = \frac{(W_f + W_{ff} + W_B) G_H}{L}$$

ここで、Z : 断面係数 (mm³)

M : 曲げモーメント (N・mm)

w : 燃料集合体、径方向燃料固縛装置及びベースプレートの慣性力による分布荷重 (N/mm)

W_f : 燃料集合体重量 (kg)

W_{ff} : 径方向燃料固縛装置重量 (kg)

W_B : ベースプレート重量 (kg)

G_H : 水平落下時の設計加速度 (m/s²)

L₁ : ベースプレート支持間隔 (mm)

L : ベースプレート全長 (mm)

b : ベースプレート幅 (mm)

h : ベースプレート板厚 (mm)

ベースプレートに生じる曲げ応力の計算条件と計算結果を、(口) - 第A. 33 表に示す。表に示すとおり、ベースプレートは (口) 章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足している。

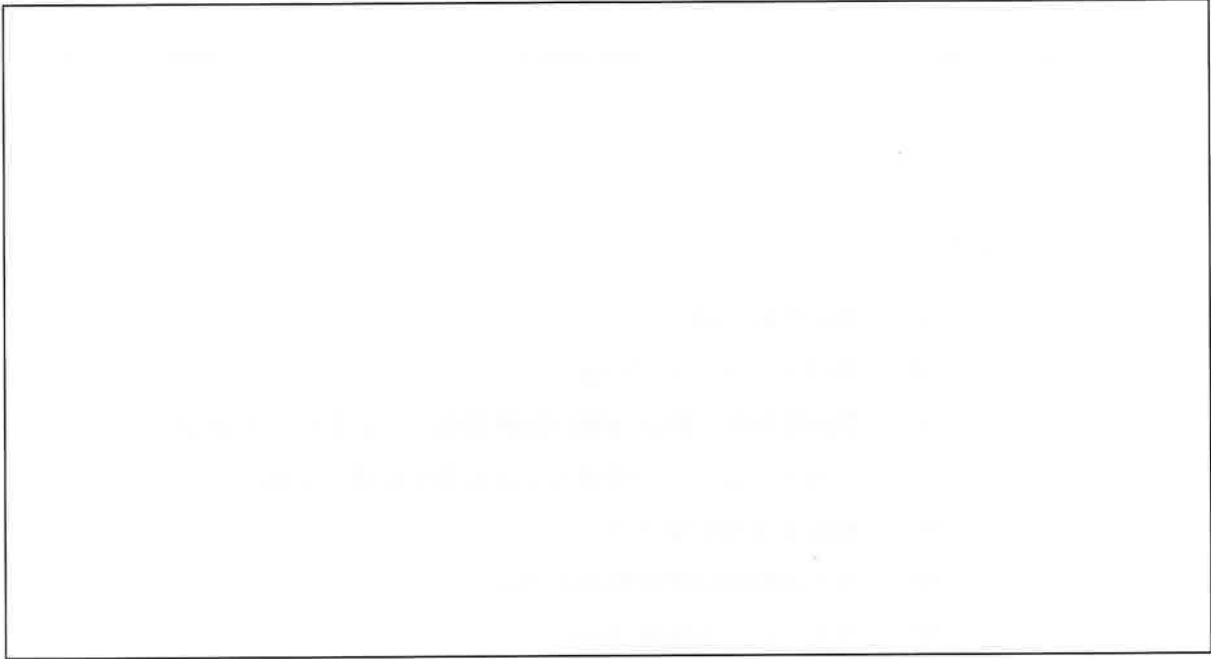
(口) - 第A. 33 表 ベースプレートに生じる曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	燃料集合体重量 : W _f (kg)	径方向燃料固縛装置重量 : W _{ff} (kg)	ベースプレート重量 : W _B (kg)	水平落下時の設計加速度 : G _H (m/s ²)	ベースプレート全長 : L (mm)	燃料集合体、径方向燃料固縛装置及びベースプレートの慣性力による分布荷重 : w (N/mm)	ベースプレート支持間隔 : L ₁ (mm)	曲げモーメント : M (N・mm)
数値		91	96	220				2.59 × 10 ⁵

項目	ベースプレート板厚 : h (mm)	ベースプレート幅 : b (mm)	断面係数 : Z (mm ³)	曲げ応力 : σ _b (MPa)	基準値 : 1.5 S _m (MPa)	余裕率 (-)
数値			5.65 × 10 ³	45.9		

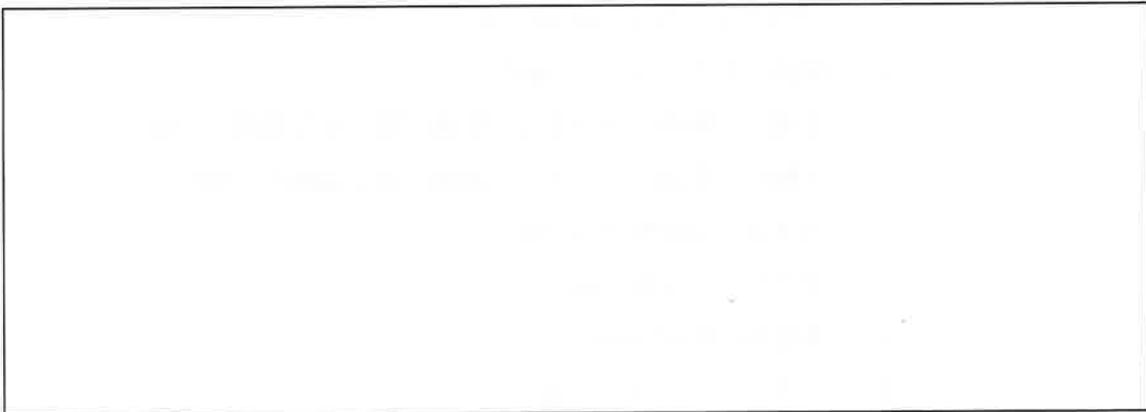
c. ガイドレール

水平落下時のガイドレールには、(口) - 第A. 31 図に示すように燃料集合体、径方向燃料固縛装置及びガイドレール自体の慣性力により曲げ応力が生じる。(口) - 第A. 32 図に示すように、0° 方向を下とした水平落下の際には両端を固定する梁と考える。



(口) - 第A. 31 図 ガイドレールに作用する荷重 (0° 方向落下)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 32 図 ガイドレールの水平落下時解析モデル

注記：不開示情報を含むため削除

このとき曲げ応力 σ_b (MPa) は以下の式で与えられる。

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

$$M = \frac{w L_1^2}{12}$$

$$w = \frac{(W_f + W_{ff} + W_G + W_A) G_H}{L}$$

$$Z = \text{MIN} \left[\frac{I}{e_1}, \frac{I}{e_2} \right]$$

$$I = \frac{1}{3} \{ t e_1^3 + b e_2^3 - (b - t) \times (e_2 - s)^3 \}$$

$$e_1 = d - e_2$$

$$e_2 = \frac{d^2 \times t + s^2 \times (b - t)}{2 \times (b s + h t)}$$

ここで、Z : 断面係数 (mm³)

M : 曲げモーメント (N・mm)

w : 燃料集合体、径方向燃料固縛装置、ガイドレール及び
アルミブロックの慣性力による分布荷重 (N/mm)

W_f : 燃料集合体重量 (kg)

W_{ff} : 径方向燃料固縛装置重量 (kg)

W_G : ガイドレール重量 (kg)

W_A : アルミブロック重量 (1列全長分) (kg)

G_H : 水平落下時の設計加速度 (m/s²)

L : ガイドレール全長 (mm)

L₁ : ガイドレール支持間隔 (mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

e₁ : 主軸から断面のへりまでの距離 (突き出し部側) (mm)

e₂ : 主軸から断面のへりまでの距離 (基底部側) (mm)

t : 突き出し部板厚合計 (mm)

b : ガイドレール幅 (mm)

s : 基底部の板厚 (mm)

d : ガイドレール高さ (mm)

h : 突き出し部高さ (mm)

ガイドレールに生じる曲げ応力の計算条件と計算結果を、(口) - 第A. 34 表に示す。表に示すとおり、ガイドレールは (口) 章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足している。

(ロ) - 第A. 34 表 ガイドレールに生じる曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	燃料 集合体 重量 : W_f (kg)	径方向 燃料固縛 装置重量 : W_{ff} (kg)	ガイド レール 重量 : W_G (kg)	アルミ ブロック 重量 : W_A (kg)	水平落下時の 設計加速度 : G_H (m/s ²)	ガイド レール 全長 : L (mm)	燃料集合体、径方 向燃料固縛装置、 ガイドレール及び アルミブロックの 慣性力による 分布荷重 : w (N/mm)
数値		91	110	100	220		

項目	ガイド レール 支持間隔 : L_1 (mm)	突き出し部 板厚合計 : t (mm)	ガイド レール 幅 : b (mm)	基底部の 板厚 : s (mm)	ガイド レール 高さ : d (mm)	突き出し部 高さ : h (mm)	断面二次 モーメント : I (mm ⁴)
数値							6.22×10^5

項目	主軸から断面の へりまでの距離 (突き出し部側) : e_1 (mm)	主軸から断面の へりまでの距離 (基底部側) : e_2 (mm)	曲げ モーメント : M (N·mm)	断面係数 : Z (mm ³)	曲げ応力 : σ_b (MPa)	基準値 : $1.5 S_m$ (MPa)	余裕率 (-)
数値			2.93×10^5	1.54×10^4	19.1	203	9.62

d. リーマボルト

クロスプレート端部外径と支持リング外径は一致するため、支持リング、ガイドレール、ベースプレート、アルミブロック、径方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力は、支持リングを介して内筒に伝達される。また、クロスパー、クロスプレート及びスパーサの慣性力は、クロスプレートを介して内筒に伝達される。水平落下時のリーマボルトには、ほとんど荷重が作用しないが、(ロ) - 第A. 33 図に示すようにここでは安全側に 180° 側の支持リング、ガイドレール、ベースプレート、アルミブロック、径方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力のうち半分をリーマボルトが負担するものとする。180° 方向を下とした水平落下の際には、リーマボルトにはクロスプレートとの接触面においてせん断応力が生じる。

(口) - 第A. 33 図 リーマボルトに作用する荷重 (180° 方向落下)

注記：不開示情報を含むため削除

このときにリーマボルトに生じるせん断応力 τ (MPa) は以下の式で与えられる。

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

$$F = \left\{ \frac{L_1}{L} (W_f + 2 W_{f1} + 2 W_G + W_B) + W_R + 2 W_{A1} \right\} \frac{G_H}{2}$$

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

ここで、F : せん断力 (N)

W_f : 燃料集合体重量 (kg)

W_{f1} : 径方向燃料固縛装置重量 (kg)

W_R : 支持リング重量 (kg)

W_G : ガイドレール重量 (kg)

W_B : ベースプレート重量 (kg)

W_{A1} : アルミブロック重量 (1個) (kg)

G_H : 水平落下時の設計加速度 (m/s^2)

A : ボルト断面積 (せん断作用部) (mm^2)

n : ボルト本数 (支持リング1枚当たりでせん断力を負担する本数) (本)

D : ボルト直径 (せん断作用部) (mm)

L : 全長 (mm)

L_1 : 荷重負担範囲 (mm)

リーマボルトに生じる応力強さの計算条件と計算結果を、(口) - 第A. 35 表に示す。
表に示すとおり、リーマボルトは (口) 章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足している。

(口) - 第A. 35 表 リーマボルトに生じる応力強さ計算条件及び計算結果

項目	燃料 集合体 重量 : W_f (kg)	径方向 燃料固縛 装置重量 : W_{ff} (kg)	支持 リング 重量 : W_R (kg)	ガイド レール 重量 : W_G (kg)	ベース プレート 重量 : W_B (kg)	アルミ ブロック 重量 : W_{Al} (kg)	水平落下時の 設計加速度 : G_H (m/s^2)
数値		91	28	110	96	8	220

項目	全長 : L (mm)	荷重 負担範囲 : L_1 (mm)	せん断力 : F (N)	ボルト 本数 : n (本)	ボルト 直径 : D (mm)	ボルト 断面積 : A (mm^2)
数値			1.26×10^4			4.02×10^2

項目	せん断応力 : τ (MPa)	基準値 : $S_m / \sqrt{3}$ (MPa)	余裕率 (-)
数値	31.3	179	4.71

(3) 燃料集合体

水平落下時に生じる応力は、落下衝撃による曲げ応力 σ_b (MPa) と内圧による各方向応力 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ (MPa) である。水平落下時において最大応力強さ S (MPa) は、外面に生じるので外面のみ評価する。

a. 落下衝撃により生じる曲げ応力

燃料被覆管は支持格子により支持される連続梁とみなすことができ、1つの支持スパン内の部分を考えると両端固定梁となる。したがって、落下衝撃により生じる最大曲げ応力 σ_b (MPa) は、以下の式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M d_o}{2 I}$$

$$M = \frac{1}{12} (W_f + W_c) \ell^2 G_H$$

$$I = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

ここで、 M : 曲げモーメント (N・mm)

G_H : 水平落下時の設計加速度 (m/s^2)

I : 断面二次モーメント (mm^4)

W_f : ペレット単位長さ当たり重量 (kg/mm)

W_c : 燃料被覆管単位長さ当たり重量 (kg/mm)

ℓ : 支持スパン (mm)

d_o : 燃料被覆管外径 (mm)

d_i : 燃料被覆管内径 (mm)

b. 内圧による各方向応力

内圧 P_0 により生じる各方向応力は、(口)章A. 5. 3. 2の1. (3) b. と同じである。

c. 応力強さ

水平落下時に生じる曲げ応力及び内圧により生じる各方向応力から求まる応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \text{Max} (| \sigma_{rL} - \sigma_{\theta L} | , | \sigma_{\theta L} - \sigma_{zL} | , | \sigma_{zL} - \sigma_{rL} |)$$

ここで、 $\sigma_{rL} = \sigma_r$

$\sigma_{\theta L} = \sigma_\theta$

$\sigma_{zL} = -\sigma_b + \sigma_z$

燃料被覆管に生じる応力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 36 表に示す。表に示すとおり燃料被覆管は解析基準値である燃料被覆管材料(ジルカロイ)の240℃における未照射の降伏応力 σ_y (417MPa^5) を満足している。

(ロ) ー第A. 36表 水平落下時の燃料被覆管の強度評価結果

ペレット単位長さ当たり重量: W_f (kg/mm)	5.74×10^{-4}
燃料被覆管単位長さ当たり重量: W_c (kg/mm)	1.05×10^{-4}
設計加速度: G_H (m/s^2)	220
支持スパン: ℓ (mm)	508
燃料被覆管外径: d_o (mm)	9.5
燃料被覆管内径: d_i (mm)	8.36
内圧: P_o (MPaG)	5.5
応力強さ: S (MPa)	120
降伏応力: σ_y (MPa)	417
余裕率 (-)	2.47

3. コーナー落下

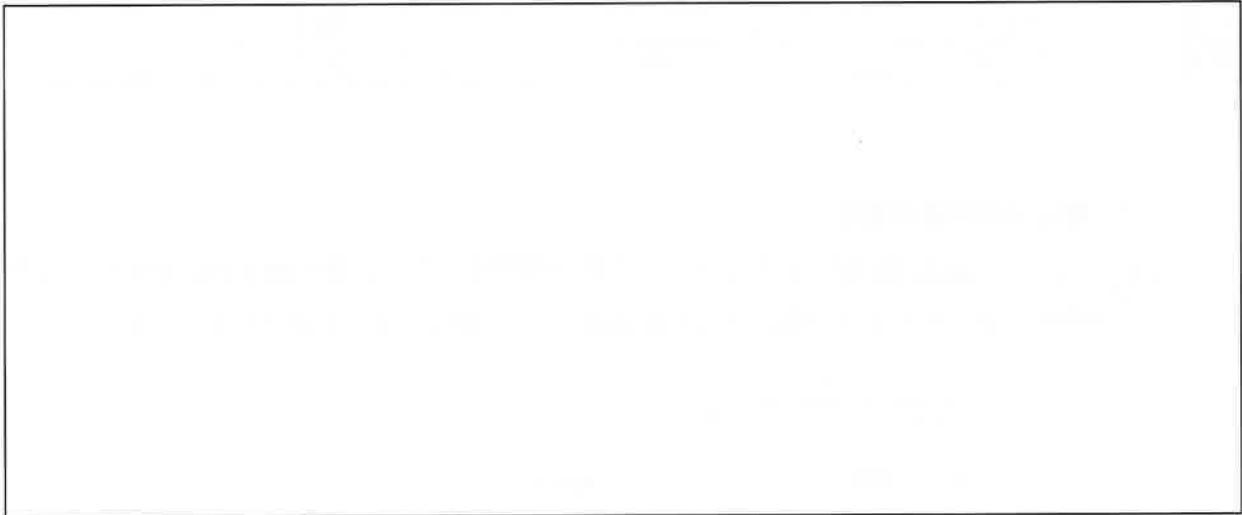
(ロ) ー第A. 21 表に示すように、コーナー落下時の設計加速度の垂直方向の分力及び水平方向の分力は垂直落下時及び水平落下時の設計加速度以下である。ただし、頭部コーナー落下時は、頭部垂直落下時と違い蓋部に作用する緩衝体の圧潰力が蓋全面に作用せず内部の収納物等による慣性力が蓋を介して蓋ボルトに作用する。この蓋ボルトへの荷重については、より設計加速度の大きい特別の試験条件で評価し、蓋ボルトの応力が設計降伏点より低いことを確認している。したがって、コーナー落下時に輸送容器及び収納物の構造健全性が損なわれることはない。

A. 5. 4 積み重ね試験

本項の条件として、輸送物の5倍に相当する荷重又は鉛直投影面積に 1.3×10^{-2} MPa を乗じて得た値のいずれか厳しい方を24時間負荷することになっている。本輸送物の場合、輸送物の総重量 2.62×10^4 kg の5倍に相当する 1.31×10^5 kg (1.28×10^6 N) の荷重の方が、本輸送容器の鉛直投影面積に 1.3×10^{-2} MPa を乗じて得た値に相当する荷重(軸に垂直な方向の場合：)、軸方向の場合： 1.73×10^4 N) より大きいので、 1.31×10^5 kg (1.28×10^6 N) の荷重が連続して輸送容器の軸に垂直な方向にかかる場合及び軸方向にかかる場合について評価を行う。

1. 軸に垂直な方向の荷重の場合

本輸送物では、容器本体を円筒構造とみなして、最も厳しい条件として(口)－第A. 34 図に示すようにし、内筒及び外筒を対象に、長さL、外径 d_o 、内径 d_i の円筒を横置きにして両端を単純支持し、鉛直方向に 1.28×10^6 N の等分布荷重が負荷する場合について解析する。



(口)－第A. 34 図 両端単純支持された容器本体の解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

この場合荷重を受けるのは容器本体であり、緩衝体が両端支持として働く。容器本体を梁と仮定すれば、生じる最大曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M_{\max} d_o}{2 I}$$

ただし、 M_{\max} ：最大曲げモーメント (N・mm) $= \frac{1}{8} WL$

L：円筒の長さ (mm)

I : 円筒の中心軸に垂直な断面における Z 軸に関する断面二次
モーメント (mm⁴)

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)$$

d_o : 円筒外径 (mm)

d_i : 円筒内径 (mm)

W : 荷 重 (N)

ここで、内筒及び外筒をこの円筒とみなして曲げ応力を計算した場合の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 37 表に示す。本輸送物は、軸に垂直な方向の荷重により圧潰することはない。

(口) - 第A. 37 表 容器本体の軸に垂直な方向の積み重ね応力計算条件及び計算結果

評価位置	輸送物総重量 の5倍の荷重 : W (N)	長さ : L (mm)	外径 : d _o (mm)	内径 : d _i (mm)	最 大 曲げ応力 : σ _b (MPa)	基準値 : S _y (MPa)	余裕率 (-)
内筒	1.28×10 ⁶				20.8		
外筒	1.28×10 ⁶		1300		51.2		

2. 軸方向の荷重の場合

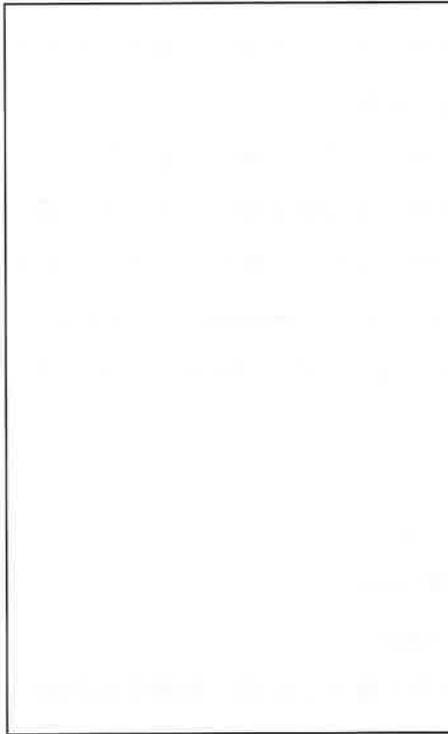
(口) - 第A. 35 図に示すように、円筒を縦置きにし、円筒の軸方向に両端から等分布荷重Wをかけたとき円筒に生じる圧縮応力σ_c (MPa) は、次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W}{\pi (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

ただし、W : 荷重 (N)

d_o : 円筒外径 (mm)

d_i : 円筒内径 (mm)



(口) - 第A. 35 図 両端より圧縮される容器本体の解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

ここで、内筒及び外筒をこの円筒とみなして圧縮応力を計算した場合の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 38 表 に示す。本輸送物は、軸方向の荷重により圧潰することはない。

(口) - 第A. 38 表 容器本体の軸方向の積み重ね応力計算条件及び計算結果

評価位置	輸送物総重量 の5倍の荷重 : W (N)	外径 : d_o (mm)	内径 : d_i (mm)	圧縮応力 : σ_c (MPa)	基準値 : S_y (MPa)	余裕率 (-)
内筒	1.28×10^6			7.97		
外筒	1.28×10^6	1300		31.7		

以上より、容器本体の構造健全性が維持されるので、密封部の健全性が維持される。なお、実際に輸送物を積み重ねた場合には緩衝体部分が積み重なり、外筒や蓋及び底板には荷重が作用しないため、遮蔽解析に影響を及ぼすような破損は生じない。一方、緩衝体は、最大5mm程度変形する可能性があるが、(口) 章Dの遮蔽解析で考慮している0.3m落下で想定される変形量に包含される。

A. 5. 5 貫 通

本項では、重量 6 kg、直径 3. 2cm で先端が半球形である容易に破損しない棒が 1 m の高さから本輸送物外表面で最も板厚の薄いカバープレート へ落下するとした場合に、カバープレートが破断せずこの棒は内部に貫通しないことを示す。棒は先端が半球形であるので板の曲げ変形とせん断変形でエネルギー吸収するが、安全側に板の曲げ変形によるエネルギー吸収を無視してせん断変形のみでエネルギー吸収することとなる円柱形として評価する。

6 kg の棒が 1 m の高さから落下したときの落下エネルギー E (N・mm) は、次式で与えられる。

$$E = m g H$$

ただし、 m : 棒の重量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

H : 落下高さ (mm)

一方、棒がカバープレートへ落下した際、貫通するためには落下エネルギーが (口) - 第A. 36 図 に示すようにカバープレートのせん断に必要なエネルギーより大きい必要がある。この場合のせん断に要するエネルギー E_s (N・mm) は、次式で与えられる。

$$E_s = \frac{\pi}{2} d t^2 S$$

ただし、 d : 棒の直径 (mm)

t : カバープレートの板厚 (mm)

S : カバープレートのせん断強さ (MPa) (せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき、カバープレートの設計引張強さの $1/\sqrt{3}$ とする。)

棒の落下エネルギー及びカバープレートのせん断エネルギーの計算条件と計算結果を (口) - 第A. 39 表 に示す。落下エネルギー E とせん断エネルギー E_s を比較すると、 $E < E_s$ となり、カバープレートは棒の落下によりせん断破壊せず、棒はカバープレートを貫通しない。

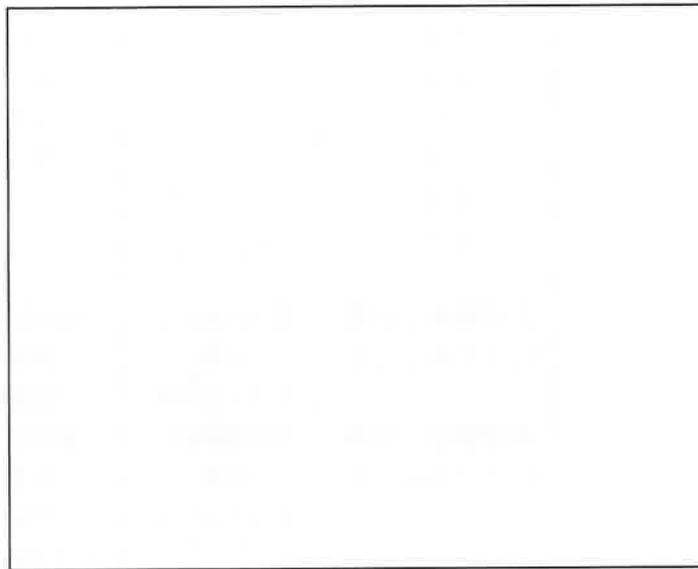
その他の箇所は板厚が 以上であり、せん断に要するエネルギーはカバープレートより大きいため、せん断破壊は起こらず、密封部の健全性が維持され、また、熱解析及び遮蔽解析への影響は無視できる。

(ロ) - 第A. 39 表 棒の落下エネルギー及びカバープレートせん断エネルギー

計算条件及び計算結果

項目	棒の重量 :m (kg)	重力加速度 :g (m/s ²)	棒の 落下高さ :H (mm)	棒の落下 エネルギー :E (N・mm)
数値	6	9. 80665	1000	5. 88×10 ⁴

項目	棒の直径 :d (mm)	カバー プレート の板厚 :t (mm)	カバー プレート の設計 引張強さ :S _u (MPa)	カバー プレート のせん断 強さ :S (MPa)	カバー プレート のせん断 エネルギー :E _s (N・mm)
数値	32		441	254	



(ロ) - 第A. 36 図 せん断による貫通モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

A. 5. 6 角又は縁落下

本輸送物は、鋼製の円筒形で重量は 26. 2 トンであり、角又は縁落下は該当しない。

A. 5. 7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件における輸送物に対する解析結果の要約を (ロ) - 第A. 40 表に示す。表に示すように、自由落下試験及び積み重ね試験により緩衝体に変形が生じるが、各試験条件において輸送物各部は (ロ) 章A. 1. 2 に定めた基準を満足し、構造上の健全性が損なわれることはない。また、蓋の口開き変形が基準を満足していることから、密封性能も維持される。

(口) - 第A. 40表 一般の試験条件における構造解析結果の要約 (1/3)

項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)
熱 的 試 験				
一次応力				
蓋 (P _L +P _b)	1.5 S _m	□	3.64	□
フランジ (P _L)	η 1.5 S		11.4	
内 筒 (P _m)	S _m		14.2	
底 板 (P _L)	η 1.5 S		11.0	
外 筒 (P _m)	S		115	
トラニオン取付板 (P _L)	1.5 S		6.06	
(一次+二次) 応力				
蓋	3 S _m	□	15.4	□
フランジ	η 3 S		57.0	
内 筒	3 S _m		19.2	
底 板	3 S _m		67.1	
外 筒	η 3 S		126	
トラニオン取付板	3 S		56.0	
蓋ボルト (σ _m)	2 S _m		151	
蓋ボルト (σ _m +σ _b)	3 S _m		171	
疲労評価				
容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し 回数 7.5×10 ⁴ 回	使用計画 回数 1200回	基準に合致
蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し 回数 3.3×10 ³ 回	使用計画 回数 1200回	基準に合致
口開き変形量	-	□	0.01mm以下	基準に合致
水 噴 霧 試 験				
	吸水性	無	無	基準に合致
	水切り	有	有	基準に合致

(口) - 第A. 40表 一般の試験条件における構造解析結果の要約 (2/3)

項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)	
自由落下試験					
1. 垂直落下					
(1) 容器本体 (頭部垂直落下)					
一次応力					
蓋 (P _L +P _b)	1.5 S _m		15.3		
フランジ (P _L)	1.5 S _m		17.6		
内 筒 (P _m)	S _m		18.4		
底 板 (P _L +P _b)	1.5 S _m		35.8		
外 筒 (P _m)	S		151		
トラニオン取付板 (P _L)	1.5 S		6.62		
(一次+二次) 応力					
蓋	3 S _m		17.8		
フランジ	η 3 S		57.7		
内 筒	3 S _m		22.8		
底 板	3 S _m		70.5		
外 筒	η 3 S		159		
トラニオン取付板	3 S		60.2		
蓋ボルト (σ _m)	2 S _m		149		
蓋ボルト (σ _m +σ _b)	3 S _m		170		
口開き変形量	-		0.01mm以下		基準に合致
(2) 容器本体 (底部垂直落下)					
一次応力					
蓋 (P _L)	1.5 S _m		3.23		
フランジ (P _L)	η 1.5 S		11.1		
内 筒 (P _m)	S _m		18.3		
底 板 (P _L +P _b)	1.5 S _m		33.3		
外 筒 (P _m)	S		144		
トラニオン取付板 (P _L)	1.5 S		5.53		
(一次+二次) 応力					
蓋	3 S _m		17.6		
フランジ	η 3 S		54.6		
内 筒	3 S _m		24.1		
底 板	3 S _m		58.2		
外 筒	η 3 S		130		
トラニオン取付板	3 S		56.2		
蓋ボルト (σ _m)	2 S _m		151		
蓋ボルト (σ _m +σ _b)	3 S _m		172		
口開き変形量	-		0.01mm以下		基準に合致
(3) バスケット					
底部固定ボルト (σ _t)	S _m	311	274	0.13	

(口) - 第A. 40 表 一般の試験条件における構造解析結果の要約 (3/3)

項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)
(4) 燃料集合体 燃料被覆管	σ_y	417	49	7.51
2. 水平落下				
(1) 容器本体				
一次応力				
蓋 (P _L)	1.5 S _m	□	9.37	□
フランジ (P _L)	η 1.5 S		40.2	
内筒 (P _m)	S _m		56.5	
底板 (P _L)	η 1.5 S		33.3	
外筒 (P _m)	S		135	
トランニオン取付板 (P _L)	1.5 S		22.6	
(一次+二次) 応力				
蓋	3 S _m	□	22.2	□
フランジ	η 3 S		75.4	
内筒	3 S _m		58.5	
底板	η 3 S		58.1	
外筒	η 3 S		196	
トランニオン取付板	3 S		61.8	
蓋ボルト (σ_m)	2 S _m		152	
蓋ボルト ($\sigma_m + \sigma_b$)	3 S _m		229	
口開き変形量	-		0.01mm	基準に合致
(2) バスケット				
クロスプレート (P _m +P _b)	η 1.5 S _m	□	6.93	□
ベースプレート (P _m +P _b)	1.5 S _m		45.9	
ガイドレール (P _m +P _b)	1.5 S _m	203	19.1	9.62
リーマボルト (τ)	S _m /√3	179	31.3	4.71
(3) 燃料集合体 燃料被覆管	σ_y	417	120	2.47
3. コーナー落下	設計加速度の垂直方向の分力及び水平方向の分力が垂直及び水平落下の設計加速度に比べて小さいので、垂直落下及び水平落下の結果より厳しくない。			
積み重ね試験				
軸に垂直な方向				
内筒	S _y	□	20.8	□
外筒	S _y		51.2	
軸方向				
内筒	S _y	□	7.97	□
外筒	S _y		31.7	
6 kg棒貫通				
緩衝体	せん断 エネルギー	(貫通エネルギー) □	(棒落下エネルギー) 5.88×10 ⁴ N・mm	基準に合致

A. 6 特別の試験条件

本節では本輸送物が規則及び告示に規定された特別の試験条件下において、(ロ)章A. 1. 2に示す基準を満足することを示す。

特別の試験は強度試験に引き続いて熱的試験(火災試験)が行われるとする。熱的試験(火災試験)に影響を及ぼす強度試験による変形は、輸送物の熱的性能に関係する緩衝体の変形である。9 m落下試験と1 m貫通試験の試験順序の違いによってこれらの破損又は変形に有意な差は生じないので、これらに引き続く熱的試験(火災試験)においては、強度試験の順序の違いは輸送物に影響を与えない。したがって、強度試験は9 m落下試験に続いて1 m貫通試験が行われるとして解析する。

A. 6. 1 強度試験・落下試験 I (9 m落下試験)

連続して行われる特別の試験条件の第1番目は、輸送物が最大破損を受けるよう、平らな降伏しない落下試験台上に9 mの高さから輸送物を落下させるものである。

本項では輸送物が9 m落下した場合、その落下エネルギーが、容器本体端部に取り付けられた緩衝体の変形によって吸収され、輸送物に加わる衝撃力が十分緩和されることを示し、それに対する輸送物の健全性を評価する。

1. 解析モデル

(1) 解析する落下姿勢

輸送物が最大破損を受ける落下方向としては次の4種類を考える。

- ① 垂直落下
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下(輸送物の重心から緩衝体の角に向けて結ぶ直線が落下方向と一致する場合)
- ④ 傾斜落下

ここで、傾斜落下については、落下試験及び水平落下の結果に基づいて評価する。

(2) 解析方法

緩衝体の変形量と衝撃力の計算方法は(ロ)章A. 5. 3. 1の1. に示す方法と同様である。

輸送物落下エネルギーの計算条件と計算結果を(ロ) - 第A. 41表に示す。

(口) - 第A. 41 表 輸送物落下エネルギー計算条件及び計算結果

項目	輸送物最大 総重量 : m (kg)	重力加速度 : g (m/s ²)	落下高さ : H (mm)	輸送物の落下 エネルギー : E _K (N·mm)
数値	2.62×10 ⁴	9.80665	9000	2.31×10 ⁹

(3) 各落下方向解析モデル

各落下方向の解析モデルは(口) - 第A. 13 図～(口) - 第A. 17 図に示したとおりである。

2. 落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

各落下方向の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を(口) - 第A. 37 図～(口) - 第A. 41 図に示す。落下エネルギーE_Kに対応する変形量δと衝撃加速度G_Aは(口) - 第A. 42 表に示すようになる。

ここで、衝撃加速度G_Aは次式で与えられる。

$$G_A = \frac{F}{m}$$

F : 解析で求めた衝撃力 (N)

m : 輸送物重量 (kg)

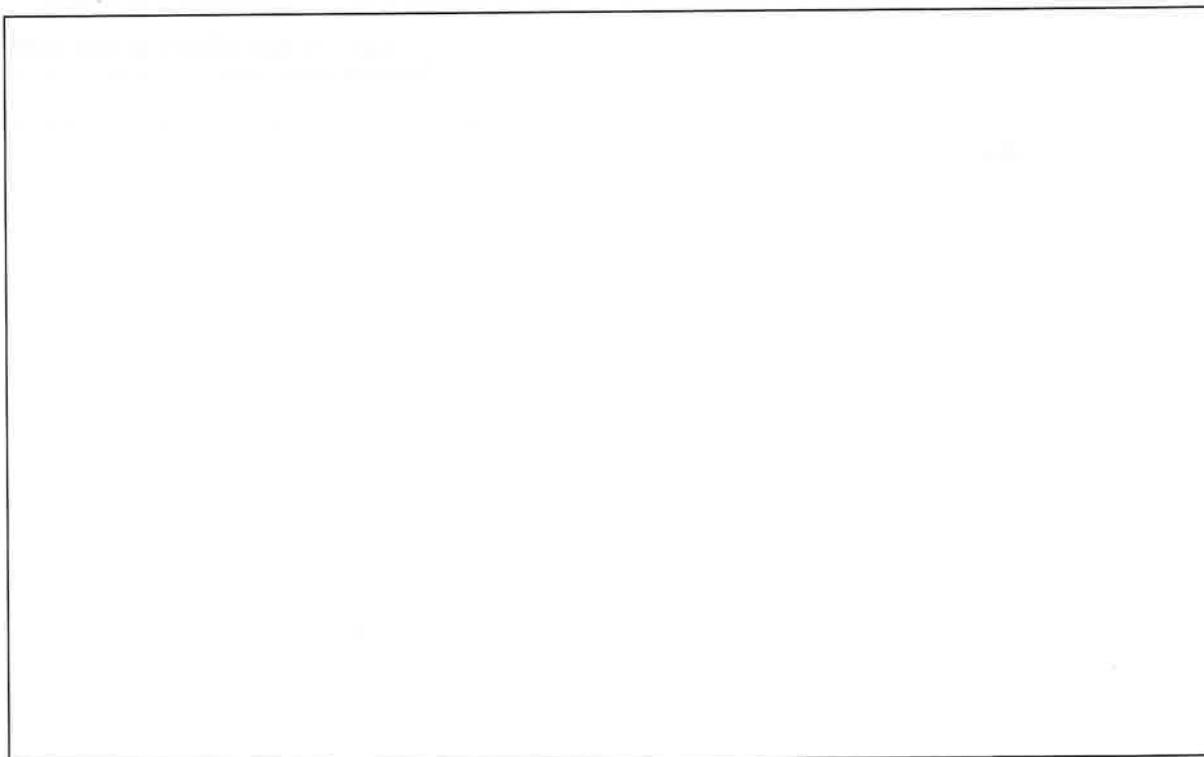
(口) - 第A. 42 表に示すとおり、9 m落下試験時において輸送物の緩衝体に圧潰変形が生じる。

なお、上記解析で得られた衝撃加速度に余裕を持たせた設計加速度G_Dを設定し、輸送容器の健全性評価のための解析に用いる。設計加速度G_Dを(口) - 第A. 42 表にあわせて示す。

(口) - 第A. 42表 9m落下試験時の衝撃加速度と緩衝体の変形量

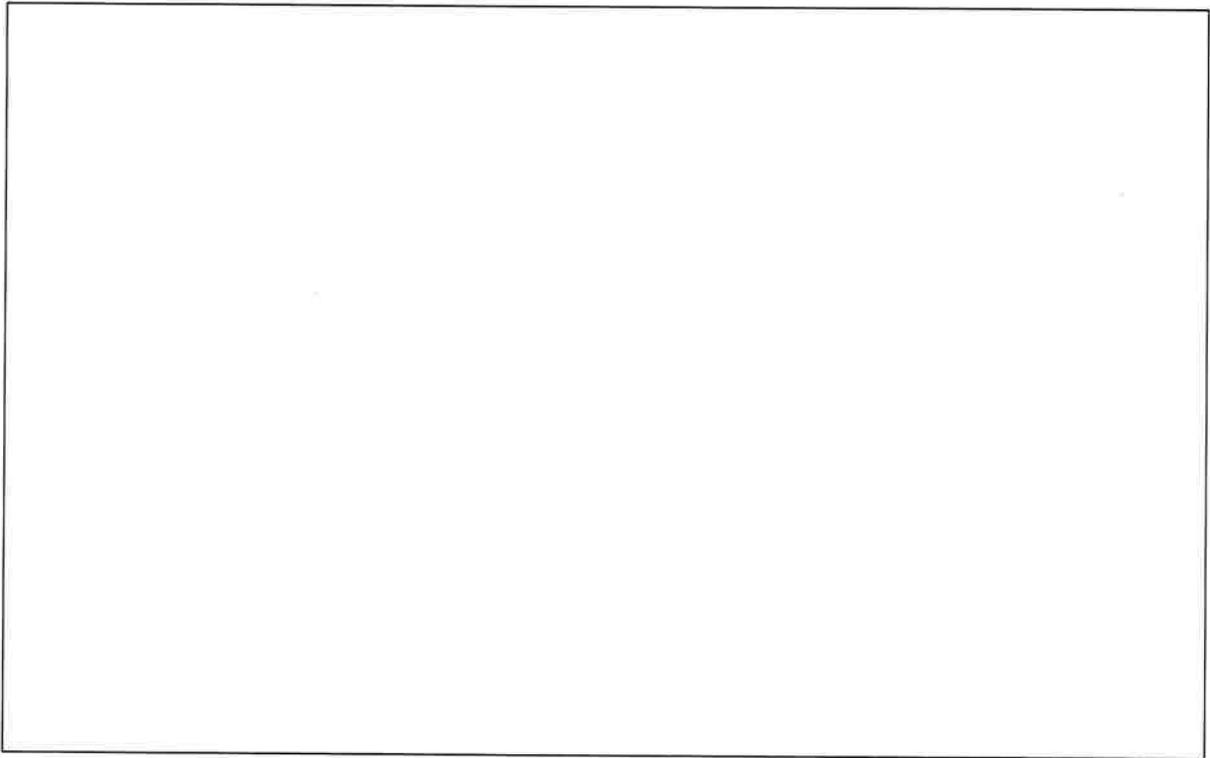
落下姿勢		衝撃力 : F (N)	衝撃加速度 : G_A (m/s ²)	設計加速度 : G_D (m/s ²)	緩衝体の 変形量 : δ (mm)	設計基準 変形量 ^{注)} : δ_{max} (mm)
垂直落下	頭部	2.16×10^7	824	840	263	370
	底部	2.16×10^7	824	840	263	370
水平落下		1.59×10^7	609	630	286	432
コーナー 落下	頭部	2.10×10^7	803	820	308	458
	底部	2.10×10^7	803	820	308	458

注) 設計基準変形量とは、それぞれの落下方向において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値である。



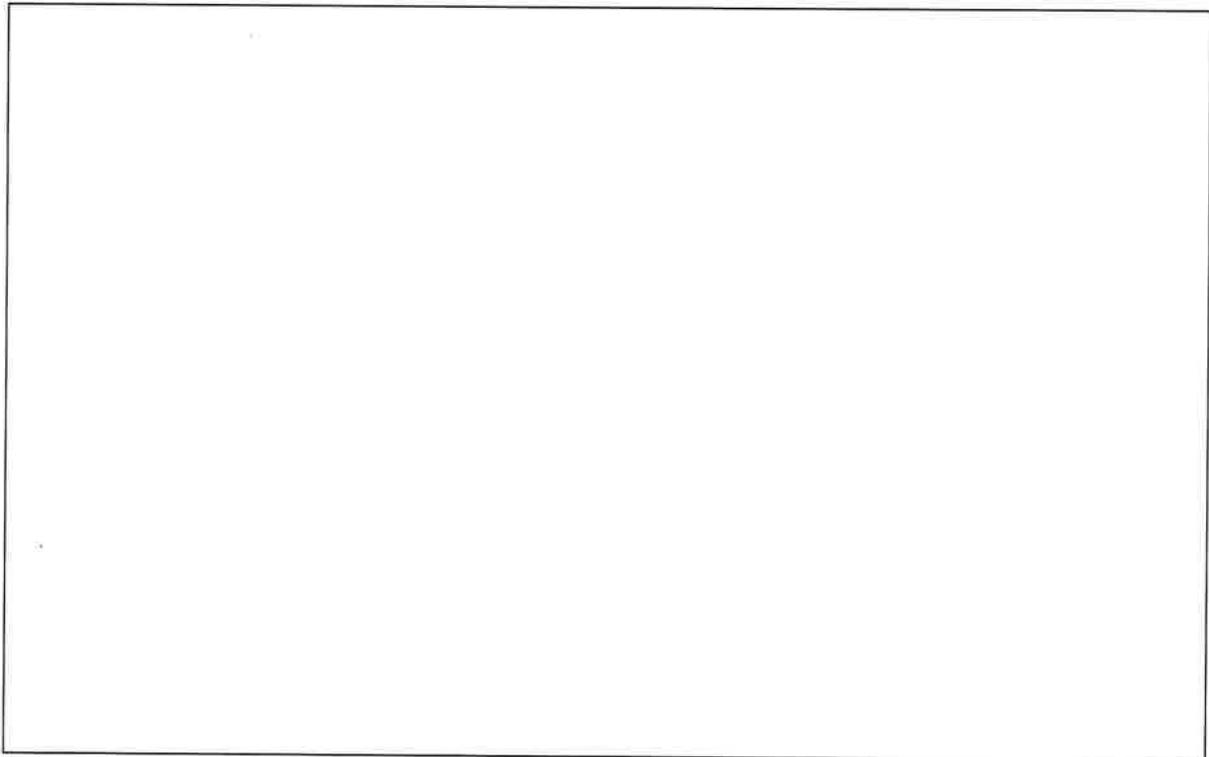
(口) - 第A. 37図 頭部9m垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

注記：不開示情報を含むため削除



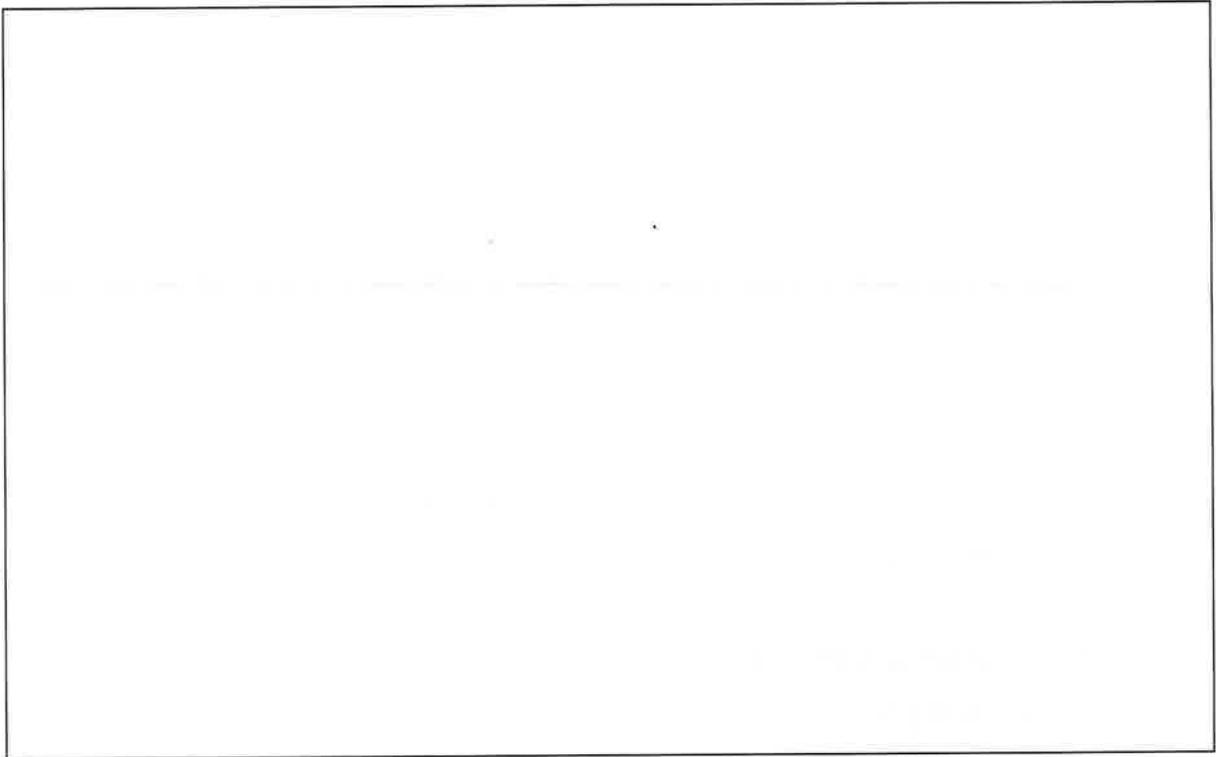
(口) - 第A. 38 図 底部 9 m 垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

注記：不開示情報を含むため削除



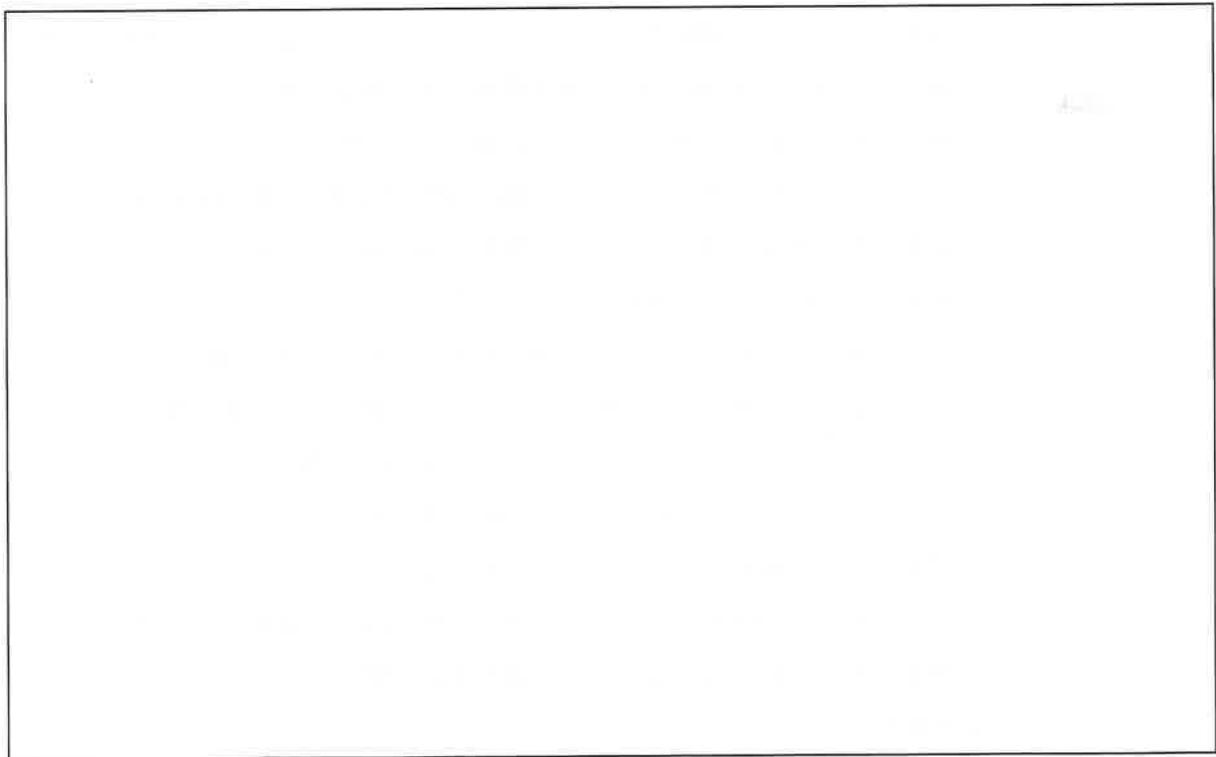
(口) - 第A. 39 図 9 m 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 40 図 頭部 9 m コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 41 図 底部 9 m コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

注記：不開示情報を含むため削除

A. 6. 1. 1 垂直落下

9 m垂直落下時の衝撃力に対して、容器本体は十分な強度で密封性を保持し、内筒内のバスケットは破損することなく、かつ遮蔽評価に影響を及ぼすような塑性変形が生じないことを示す。

1. 容器本体

垂直落下時の衝撃力に対する容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。また、落下方向は頭部及び底部落下とする。

(1) 解析モデル

(ロ) 章A. 5. 1. 3と同様に、三次元有限要素を用いた三次元ボルト1ピッチモデルを用いる。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

頭部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。

- ・ 設計加速度 (840m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。
- ・ 上部緩衝体の木材圧潰応力が蓋外面に働く。
- ・ 下部緩衝体の自重による慣性力が底板外面に働く。
- ・ 底部固定ボルトが破断するものとし、バスケット、蓋部中性子遮蔽材、軸方向燃料固縛装置及び燃料集合体の慣性力が蓋内面に働く。
- ・ 側部中性子遮蔽材の慣性力が、その荷重受面に働く。
- ・ 内筒内圧が内筒内面、フランジ内面、底板内面及び蓋板内面に働く。
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力が、その荷重受面に働く。

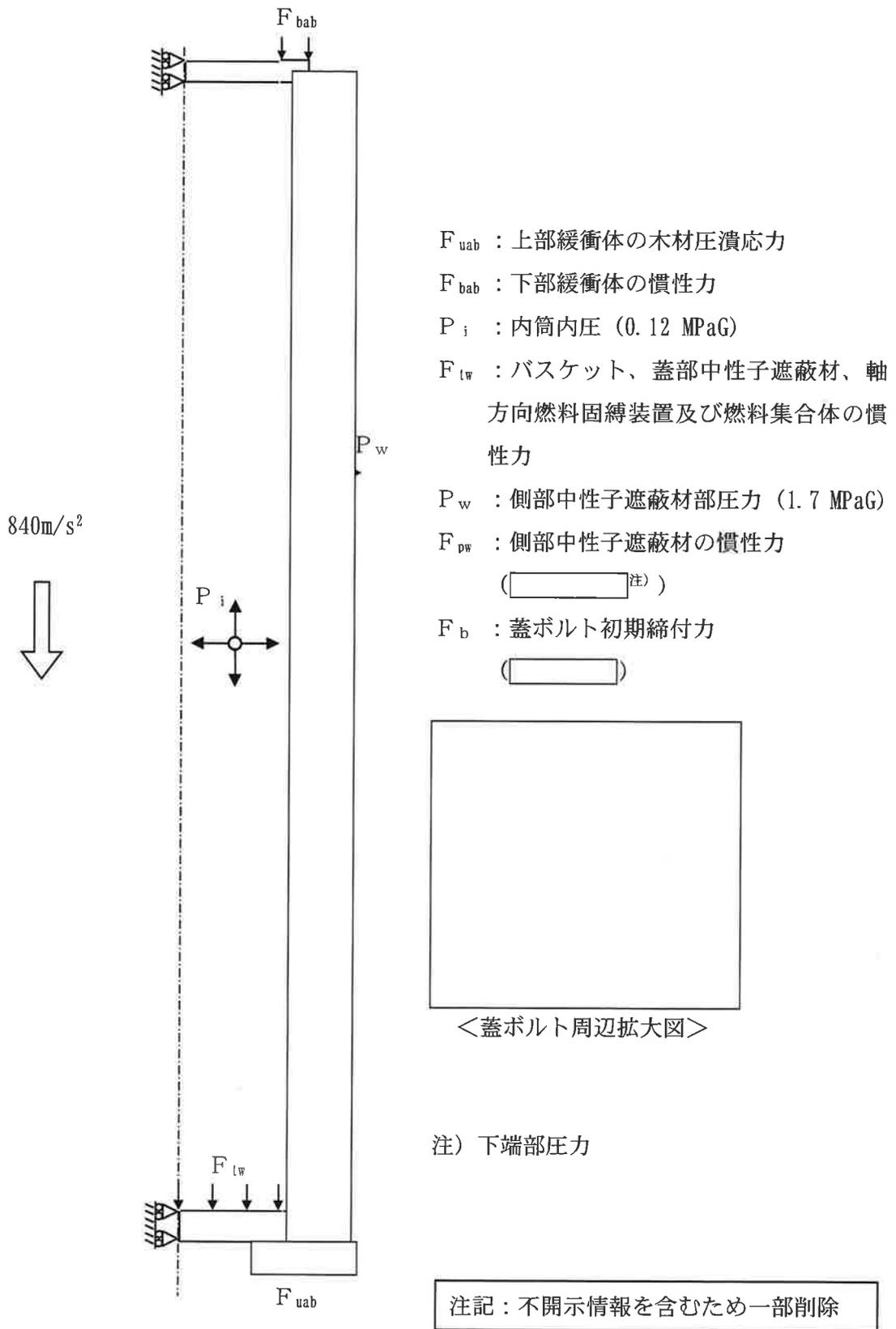
底部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。

- ・ 設計加速度 (840m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。
- ・ 上部緩衝体の自重による慣性力がフランジ外面及び蓋外面に働く。
- ・ バスケット及び燃料集合体の慣性力が底板内面に働く。
- ・ 蓋部中性子遮蔽材及び軸方向燃料固縛装置の慣性力が蓋内面に働く。
- ・ 側部中性子遮蔽材の慣性力が、その荷重受面に働く。
- ・ 内筒内圧が内筒内面、フランジ内面、底板内面及び蓋板内面に働く。
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力が、その荷重受面に働く。

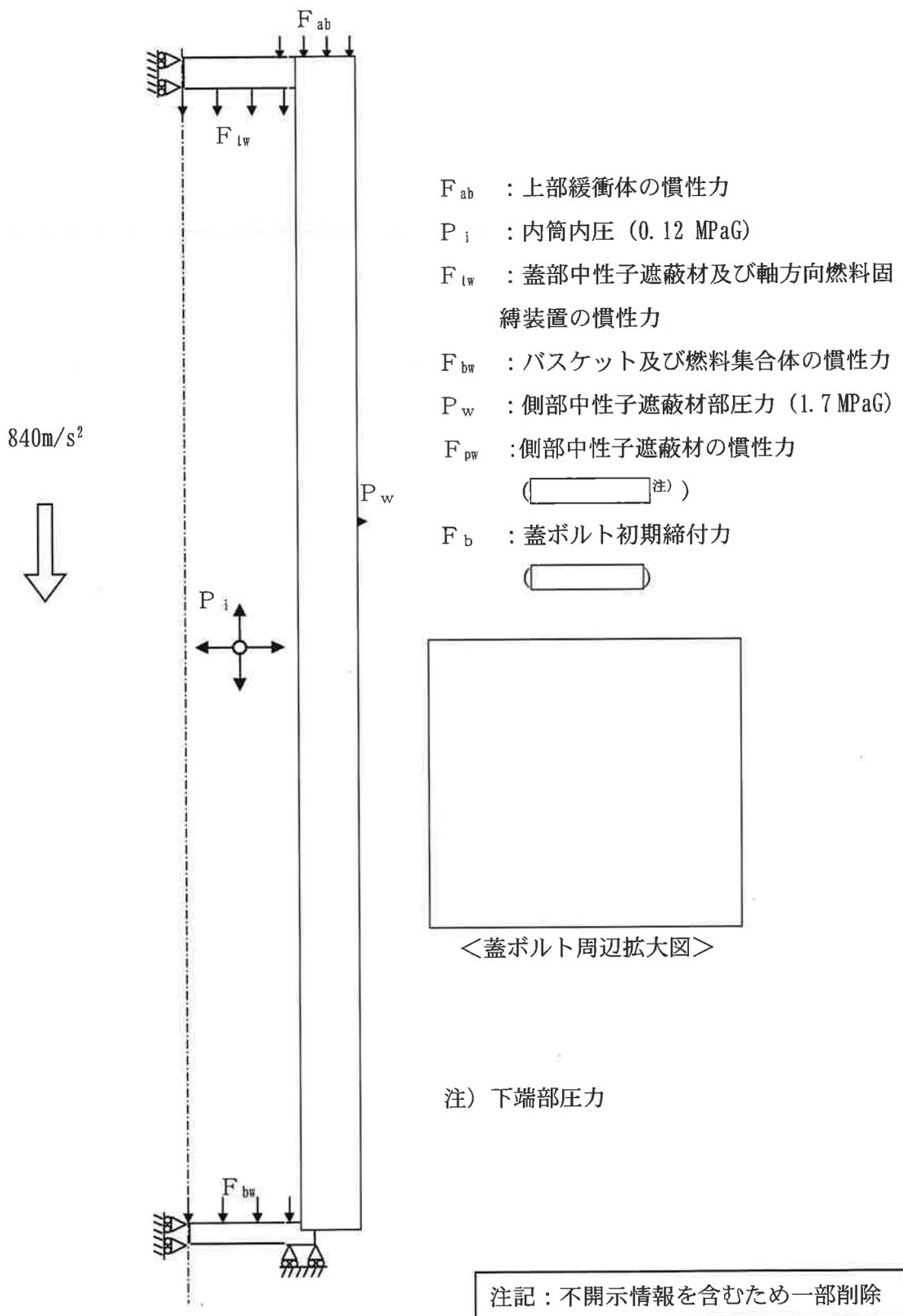
b. 境界条件

境界条件は緩衝体の衝撃力を受ける面の軸方向変位及び周方向境界面の周方向変位を拘束し、他は変位自由とした。

それぞれの落下方向に対する荷重条件及び境界条件を (口) - 第A. 42 図 及び (口) - 第A. 43 図 に示す。



(口) - 第A.42 図 頭部9m垂直落下時の荷重条件及び境界条件



(口) - 第A. 43 図 底部9 m垂直落下時の荷重条件及び境界条件

(3) 解析結果

a. 容器本体

主要な位置（(口) - 第A. 10 図参照）に対する頭部垂直落下時の一次応力強さ及び蓋ボルトの評価結果を（口） - 第A. 43 表に、また、主要な位置（(口) - 第A. 10 図参照）に対する底部垂直落下時の一次応力強さ及び蓋ボルトの評価結果を（口） - 第A. 44 表に示す。

それぞれの表に示すように、全ての評価位置において（口）章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足する。

また、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は頭部垂直落下時に0.26mm、底部垂直落下時に0.01mm以下であり、Oリングの初期締付代 \square より小さく、密封性が損なわれることはない。

(口) - 第A. 43 表 頭部 9 m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	24.3	90		
		$P_L + P_b$	内	240			
			外	255			
	②	P_L	-	109	110		
フランジ	③	P_L	-	28.5			
	④	P_L	-	23.7			
	⑤	P_L	-	66.0			
	⑯	P_L	-	30.7			
内筒	⑥	P_L	-	33.1	110		
	⑦	P_m	-	40.6			
	⑧	P_m	-	39.6			
	⑨	P_m	-	34.8			
	⑩	P_m	-	27.1			
	⑪	P_m	-	17.8			
底板	⑫	P_m	-	14.5	110		
	⑬	P_L	-	11.5			
	⑭	P_L	-	16.2			
	⑮	P_m	-	2.29			
		$P_L + P_b$	内	17.1			
	外		14.4				
	⑰	P_L	-	12.9			
	⑱	P_L	-	14.7			
外筒	⑳	P_L	-	58.2	100		
	㉑	P_m	-	323			
	㉒	P_m	-	296			
	㉓	P_m	-	244			
	㉔	P_m	-	196			
	㉕	P_m	-	154			
	㉖	P_L	-	77.5			
トニオ取付板	㉗	P_L	-	7.29	100		
蓋ボルト	-	σ_m	-	292	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	536			

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、
 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面①~⑤及び⑫~⑱の P_m に対する基準値は $\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ である。断面⑥~⑪及び⑳~㉗の P_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L に対する基準値は S_u である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。蓋ボルトの基準値は S_y である。

(口) - 第A. 44 表 底部9m垂直落下時の容器本体に対する一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	1.88	90		
		$P_L + P_b$	内	18.0			
			外	16.2			
	②	P_L	-	12.0	110		
フランジ	③	P_L	-	5.76			
	④	P_L	-	10.3			
	⑤	P_L	-	22.9			
	⑯	P_L	-	10.1	110		
内筒	⑥	P_L	-	18.4			
	⑦	P_m	-	21.4			
	⑧	P_m	-	28.5			
	⑨	P_m	-	36.4			
	⑩	P_m	-	45.6			
	⑪	P_m	-	56.1			
底板	⑫	P_m	-	61.3	110		
	⑬	P_L	-	84.4			
	⑭	P_L	-	92.9			
	⑮	P_m	-	24.0			
		$P_L + P_b$	内	163			
	外		173				
	⑯	P_L	-	75.8			
	⑰	P_L	-	40.9			
⑱	P_L	-	14.1				
外筒	⑳	P_L	-	29.1	100		
	㉑	P_m	-	140			
	㉒	P_m	-	174			
	㉓	P_m	-	205			
	㉔	P_m	-	253			
	㉕	P_m	-	298			
	㉖	P_L	-	178			
トコワ取付板	㉗	P_L	-	23.1	100		
蓋ボルト	-	σ_m	-	150	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	179			

注1) (口) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面①～⑤及び⑯～⑱の P_m に対する基準値は $\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ である。断面⑥～⑪及び⑳～㉗の P_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L に対する基準値は S_u である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。蓋ボルトの基準値は S_y である。

2. バスケット

(1) クロスプレート

垂直落下時には底部固定ボルトが破断し、蓋とバスケットが衝突するものとして評価を行う。

垂直落下時の設計加速度は頭部垂直落下と底部垂直落下で同値であるが、接触面積は頭部側のほうが小さい。よって、頭部垂直落下時の評価を行う。なお、このときクロスプレートのみが蓋と接触するものとして (口) - 第A. 44 図 に示す評価断面で検討を行う。

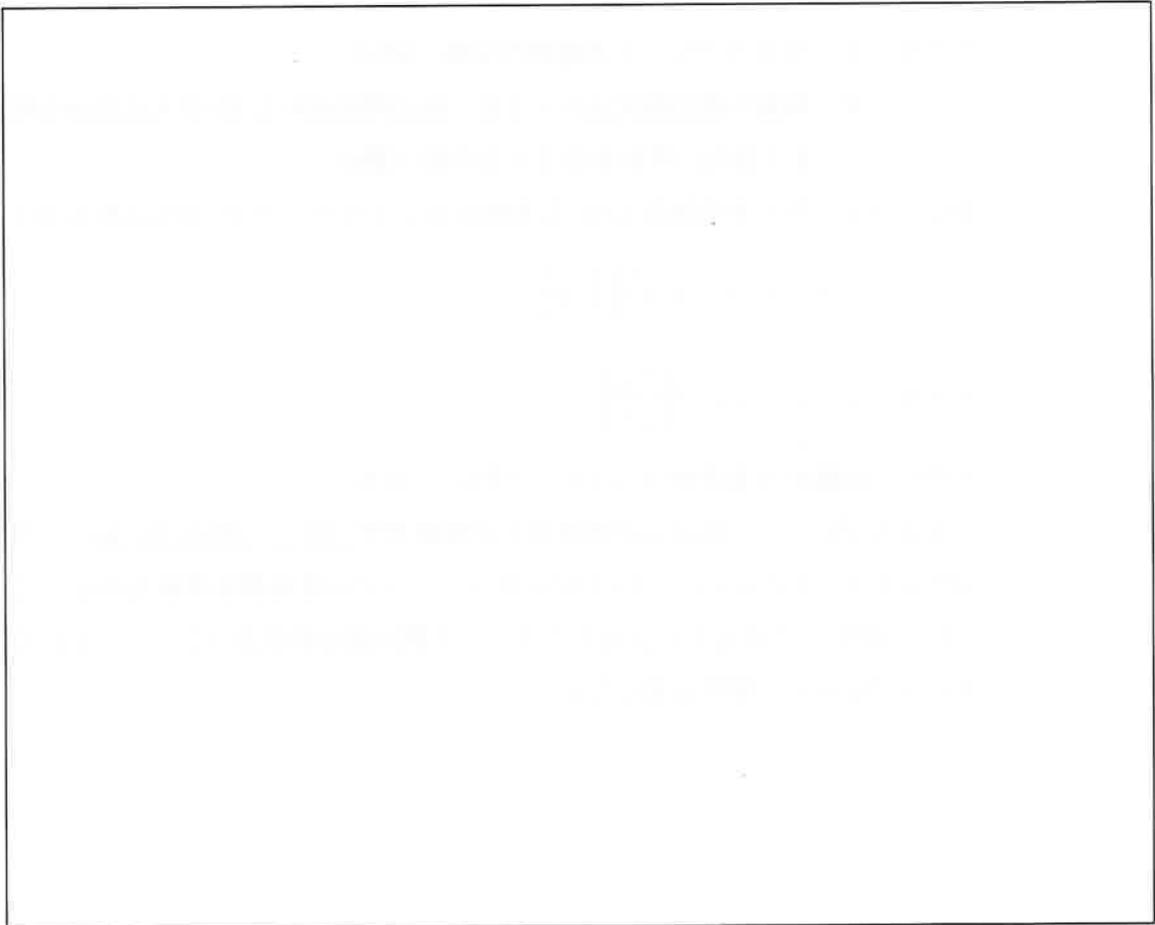
頭部垂直落下においてクロスプレートにはバスケットの慣性力が作用し、圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{W_b G_v}{A}$$

ただし、 W_b : バスケット重量 (kg)

G_v : 垂直落下時の設計加速度 (m/s^2)

A : クロスプレートの断面積 (mm^2)



(口) - 第A. 44 図 クロスプレート評価断面

注記：不開示情報を含むため削除

次に、許容圧縮応力について示す。

バスケットの有効細長比 λ は、次式により与えられる。

$$\lambda = \frac{\ell k}{i}$$

ここで、 ℓk : 座屈長さ (両端固定) (mm)

$$i : \text{座屈軸についての断面二次半径 (mm)} \quad \left(i = \sqrt{\frac{I}{A_2}} \right)$$

$$I : \text{断面二次モーメント (mm}^4) \quad \left(I = \frac{b (h_2^3 - h_1^3)}{12} \right)$$

$$A_2 : \text{座屈評価用断面積 (mm}^2) \quad (A_2 = b (h_2 - h_1))$$

$$b : \text{クロスプレートの単位長さ (= 1 mm)}$$

$$h_1 : \text{クロスプレート内幅 (mm)}$$

$$h_2 : \text{クロスプレート外幅 (mm)}$$

また、バスケットの限界細長比 Λ は、次式により与えられる。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}}$$

ここで、 E : クロスプレートの縦弾性係数 (MPa)

F : 常温の設計降伏点の 1.2 倍、設計降伏点の 1.35 倍又は設計引張強さの 0.7 倍のいずれか小さい方の値 (MPa)

クロスプレートの有効細長比は、限界細長比より小さいので、許容圧縮応力 f_{c^*} は、

$$f_{c^*} = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu}$$

$$\text{ここで、} \nu : \nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

であり、圧縮応力基準値は $1.5 f_{c^*}$ (MPa) である。

クロスプレートの応力の計算条件と計算結果を (口) - 第 A. 45 表に示す。表に示すとおり、クロスプレートは (口) 章 A. 1. 2 に示す解析基準値を満足している。

なお、160℃におけるポロン入りステンレス鋼の設計降伏点は であるため、クロスプレートは塑性変形しない。

(ロ) - 第A. 45 表 クロスプレートの応力計算条件及び計算結果

項目	バスケット重量 : W_b (kg)	垂直落下の設計加速度 : G_v (m/s ²)	クロスプレート断面積 : A (mm ²)	座屈長さ : l_k (mm)	F 値 (MPa)	クロスプレートの縦弾性係数 : E (MPa)
数値	6.60×10^3	840	3.45×10^4			

項目	クロスプレートの単位長さ : b (mm)	クロスプレート内幅 : h_1 (mm)	クロスプレート外幅 : h_2 (mm)	断面二次モーメント : I (mm ⁴)	座屈評価用断面積 : A_2 (mm ²)	断面二次半径 : i (mm)
数値	1			3.32×10^4		

項目	有効細長比 : λ (-)	限界細長比 : Λ (-)	ν	許容圧縮応力 : f_{c^*} (MPa)	圧縮応力 : σ_c (MPa)	基準値 : $1.5 f_{c^*}$ (MPa)	余裕率 (-)
数値	7.01	109	1.50		161		

A. 6. 1. 2 水平落下

9 m水平落下時の衝撃力に対して、容器本体は十分な強度で密封性を保持することを示す。また、内筒内のバスケットは破損することはない、かつ遮蔽評価に影響を及ぼすような塑性変形が生じないことを示す。

1. 容器本体

水平落下時の衝撃力に対する容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。

(1) 解析モデル

(口) 章A. 5. 3. 2の2. と同様に、三次元有限要素を用いた三次元解析モデルを用いる。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

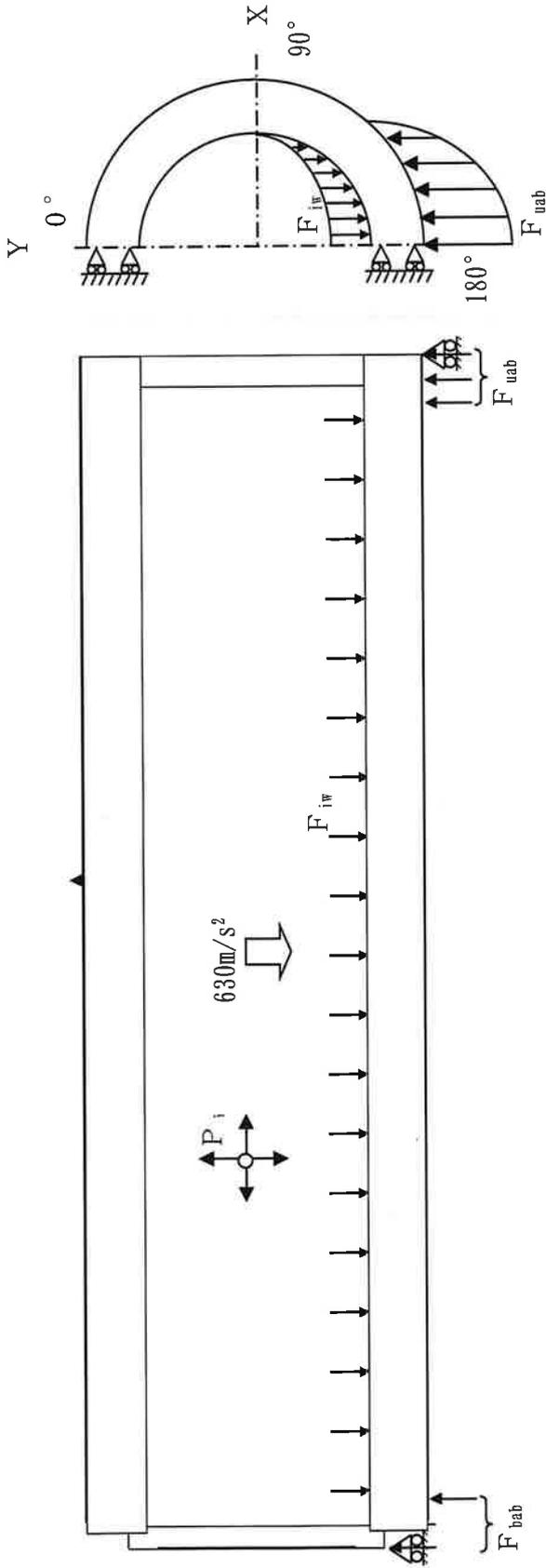
水平落下時に作用する荷重は次のとおりである。

- ・ 設計加速度 (630m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。
- ・ バスケット及び燃料集合体の慣性力が内筒内面に働く。
- ・ 蓋部中性子遮蔽材及び軸方向燃料固縛装置の重量は蓋重量に加算する。
- ・ 側部中性子遮蔽材の慣性力が、その荷重受面に働く。
- ・ 落下時の上部及び下部緩衝体の反力が、フランジ外面、底板外面及びトラニオン取付板外面に働く。
- ・ 内筒内圧が内筒内面、フランジ内面、底板内面及び蓋板内面に働く。
- ・ 側部中性子遮蔽材部圧力が、その荷重受面に働く。

b. 境界条件

上部及び下部緩衝体に取り付けられる面（反力を受ける面）の上下1ヶ所ずつについてY方向変位を拘束した。また、 $0^\circ - 180^\circ$ 面の対称面においてX方向の変位を拘束した。

水平落下時に作用する荷重条件及び境界条件を (口) - 第A. 45 図 に示す。



P_i : 内筒内圧 (0.12 MPaG)

P_w : 側部中性子遮蔽材部圧力 (1.7 MPaG)

F_{uab} : 上部緩衝体反力

F_{bab} : 下部緩衝体反力

F_{ir} : バスケット及び燃料集合体の慣性力

F_{pr} : 側部中性子遮蔽材の慣性力 ((注))

注) 下端部圧力

F_b : 蓋ボルト初期縮付力 ()

注記：不開示情報を含むため一部削除

<蓋ボルト周辺拡大図>

(口) - 第A.45 図 9 m水平落下時の荷重条件及び境界条件

(3) 解析結果

a. 容器本体

水平落下時の主要な位置（(口) - 第A. 10 図参照）に対する一次応力強さ及び蓋ボルトの評価結果を (口) - 第A. 46 表に示す。表に示すように、全ての評価位置において (口) 章A. 1. 2 に示す解析基準値を満足する。

また、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は 0.02mm であり、Oリングの初期締付代 より小さく、密封性が損なわれることはない。

(ロ) - 第A. 46 表 9m水平落下時の容器本体に対する一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	11.6	90		
		$P_L + P_b$	内	5.11			
	外		23.2				
	②	P_L	-	10.3			
フランジ	③	P_L	-	57.7	110		
	④	P_L	-	93.2			
	⑤	P_L	-	96.9			
	⑯	P_L	-	97.2			
内筒	⑥	P_L	-	106	110		
	⑦	P_m	-	85.2			
	⑧	P_m	-	106			
	⑨	P_m	-	136			
	⑩	P_m	-	129			
	⑪	P_m	-	79.8			
底板	⑫	P_m	-	102	110		
	⑬	P_L	-	107			
	⑭	P_L	-	93.3			
	⑮	P_m	-	32.5			
		$P_L + P_b$	内	30.8			
	外		41.1				
	⑰	P_L	-	47.2			
	⑱	P_L	-	67.1			
外筒	⑳	P_L	-	123	100		
	㉑	P_m	-	169			
	㉒	P_m	-	206			
	㉓	P_m	-	237			
	㉔	P_m	-	234			
	㉕	P_m	-	192			
	㉖	P_L	-	145			
トコナ取付板	㉗	P_L	-	49.0	100		
蓋ボルト	-	σ_m	-	154	90		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	236			

注1) (ロ) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注3) 断面①~⑤及び⑫~⑱の P_m に対する基準値は $\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ である。断面⑥~⑪及び⑳~㉗の P_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L に対する基準値は S_u である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。蓋ボルトの基準値は S_y である。

2. バスケット

(1) クロスプレート

(ロ) 章A. 5. 3. 2の2. (2) a. と同様の式で計算される。

(ロ) -第A. 47表~ (ロ) -第A. 49表にクロスプレートに生じる応力の計算条件と計算結果を示す。なお、160℃におけるステンレス鋼の設計降伏点は 152MPa であるため、クロスプレートは塑性変形しない。

(ロ) -第A. 47表 クロスプレートに生じる曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	燃料集合体重量 : W_f (kg)	径方向燃料固縛装置重量 : W_{rf} (kg)	荷重作用部の軸方向長さ : L (mm)	燃料集合体重量作用幅 : L_1 (mm)	固定端から燃料集合体荷重作用位置までの距離 : L_2 (mm)	支持点から燃料集合体荷重作用位置までの距離 : L_3 (mm)	梁全長 : L_4 (mm)
数値		91					

項目	水平落下時の設計加速度 : G_H (m/s^2)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_1 ($N/mm/mm$)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による支持点における単位長さ当たりの反力 : R_{d1} (N/mm)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント : M_1 ($N\cdot mm/mm$)
数値	630	5.56×10^{-1}	27.1	8.04×10^3

項目	クロスプレート重量 : W_{cp} (kg)	スペーサ重量 : W_{sp} (kg)	荷重作用部の軸方向長さ : L (mm)	梁全長 : L_4 (mm)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_2 ($N/mm/mm$)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント : M_2 ($N\cdot mm/mm$)
数値	340	220				4.32×10^3

項目	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント : M_1 ($N\cdot mm/mm$)	クロスプレート及びスペーサの慣性力による単位長さ当たりの曲げモーメント : M_2 ($N\cdot mm/mm$)	クロスプレートの単位長さ : b (mm)	クロスプレート内幅 : h_1 (mm)	クロスプレート外幅 : h_2 (mm)	断面係数 : Z (mm^3/mm)	曲げ応力 : σ_b (MPa)
数値	8.04×10^3	4.32×10^3	1			7.81×10^2	15.8

(ロ) - 第A. 48 表 クロスプレートに生じるせん断応力計算条件及び計算結果

項目	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_1 (N/mm/mm)	クロスプレート及びスパーサの慣性力による単位長さ当たりの分布荷重 : w_2 (N/mm/mm)	燃料集合体重量作用幅 : L_1 (mm)	梁全長 : L_4 (mm)	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの支持点における反力 : R_{A1} (N/mm)
数値	5.56×10^{-1}				27.1

項目	燃料集合体及び径方向燃料固縛装置の慣性力による単位長さ当たりの拘束点反力 : R_{B1} (N/mm)	クロスプレート及びスパーサの慣性力による単位長さ当たりの拘束点反力 : R_{B2} (N/mm)	溶接部に作用する単位長さ当たりのせん断力 : F (N/mm)	溶接深さ : t_s (mm)	単位長さ当たりの溶接部断面積 : A (mm ² /mm)	せん断応力 : τ (MPa)
数値		54.9				5.98

(ロ) - 第A. 49 表 クロスプレートに生じる応力強さ計算条件及び計算結果

項目	曲げ応力 : σ_b (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 ^{注)} : ηS_u (MPa)	余裕率 (-)
数値	15.8	5.98	19.9		

注) クロスプレート材料はボロン入りステンレス鋼であるが、クロスバー材料はステンレス鋼であるため、溶接部は強度の低いステンレス鋼として評価する。溶接効率 \square ¹⁾を考慮。

(2) ベースプレート

(ロ) 章A. 5. 3. 2の2. (2) b. と同様の式で計算される。

ベースプレートに生じる曲げ応力の計算条件と計算結果を、(ロ) - 第A. 50 表に示す。また、160℃におけるボロン入りステンレス鋼の設計降伏点は \square であるため、ベースプレートは塑性変形しない。

(ロ) - 第A. 50 表 ベースプレートに生じる曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	燃料集合体重量 : W_f (kg)	径方向燃料固縛装置重量 : W_{ff} (kg)	ベースプレート重量 : W_B (kg)	水平落下時の設計加速度 : G_H (m/s ²)	ベースプレート全長 : L (mm)	燃料集合体、径方向燃料固縛装置及びベースプレートの慣性力による分布荷重 : w (N/mm)	ベースプレート支持間隔 : L_1 (mm)	曲げモーメント : M (N·mm)
数値		91	96	630				7.42×10^5

項目	ベースプレート板厚 : h (mm)	ベースプレート幅 : b (mm)	断面係数 : Z (mm ³)	曲げ応力 : σ_b (MPa)	基準値 : S_u (MPa)	余裕率 (-)
数値			5.65×10^3	132		

(3) ガイドレール

(ロ) 章A. 5. 3. 2の2. (2) c. と同様の式で計算される。

ガイドレールに生じる曲げ応力の計算条件と計算結果を、(ロ) - 第A. 51表に示す。なお、160℃におけるステンレス鋼の設計降伏点は 152MPa であるため、ガイドレールは塑性変形しない。

(ロ) - 第A. 51表 ガイドレールに生じる曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	燃料 集合体 重量 : W_f (kg)	径方向 燃料固縛 装置重量 : W_{ff} (kg)	ガイド レール 重量 : W_G (kg)	アルミ ブロック 重量 : W_A (kg)	水平落下時の 設計加速度 : G_H (m/s^2)	ガイド レール 全長 : L (mm)	燃料集合体、径方 向燃料固縛装置、 ガイドレール及び アルミブロックの 慣性力による 分布荷重 : w (N/mm)	ガイド レール 支持間隔 : L_1 (mm)
数値		91	110	100	630			

項目	曲げ モーメント : M ($N \cdot mm$)	断面係数 : Z (mm^3)	曲げ応力 : σ_b (MPa)	基準値 : S_u (MPa)	余裕率 (-)
数値	8.39×10^5	1.54×10^4	54.5	418	6.66

(4) リーマボルト

(ロ) 章A. 5. 3. 2の2. (2) d. と同様の式で計算される。

リーマボルトに生じるせん断応力の計算条件と計算結果を、(ロ) - 第A. 52表に示す。なお、120℃における析出硬化系ステンレス鋼の設計降伏点を $\sqrt{3}$ で割った値は 378MPa であるため、リーマボルトは塑性変形しない。

(ロ) - 第A. 52表 リーマボルトに生じるせん断応力計算条件及び計算結果

項目	燃料 集合体 重量 : W_f (kg)	径方向 燃料固縛 装置重量 : W_{ff} (kg)	支持 リング 重量 : W_R (kg)	ガイド レール 重量 : W_G (kg)	ベース プレート 重量 : W_B (kg)	アルミ ブロック 重量 : W_{Al} (kg)	水平落下時の 設計加速度 : G_H (m/s^2)
数値		91	28	110	96	8	630

項目	全長 : L (mm)	荷重 負担範囲 : L_1 (mm)	せん断力 : F (N)	ボルト 本数 : n (本)	ボルト 直径 : D (mm)	ボルト 断面積 : A (mm^2)
数値			3.60×10^4			4.02×10^2

項目	せん断応力 : τ (MPa)	基準値 : $(2/3 S_u) / \sqrt{3}$ (MPa)	余裕率 (-)
数値	89.5	325	2.63

A. 6. 1. 3 コーナー落下

(ロ) ー第A. 42 表に示すように、コーナー落下時の設計加速度の垂直方向の分力及び水平方向の分力は垂直落下時及び水平落下時の設計加速度以下である。

したがって、コーナー落下時の輸送容器の各部の応力は垂直及び水平落下時の結果よりも厳しくなることはない。ただし、頭部コーナー落下時は、頭部垂直落下時と違い、蓋部に作用する緩衝体の圧潰力が蓋全面に作用せず、内部の収納物（バスケット及び燃料集合体）による慣性力が蓋を介して蓋ボルトに作用するため、蓋ボルトの健全性を評価する。

1. 蓋ボルト

頭部コーナー落下時に蓋ボルトには、蓋及び内部の収納物の慣性力並びに内筒内圧による引張応力が生じる。ここで、初期締付トルク、熱応力及び内筒内圧によって蓋ボルトとフランジ部とはつり合った状態になっているが、コーナー落下時、蓋ボルトには、蓋と内部の収納物の慣性力が外力としてボルトに加わる。

(1) 内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力、蓋ボルトの初期締付力及び熱応力により生じる引張応力

内筒内圧、側部中性子遮蔽材部圧力、蓋ボルトの初期締付力及び熱応力により蓋ボルトに生じる引張応力 σ_{11} (MPa) は、(ロ) ー第A. 18 表より 151MPa である。

(2) 慣性力により生じる引張応力

慣性力によりボルトに生じる引張応力 σ_{12} (MPa) は、次式で与えられる。

$$\sigma_{12} = \frac{WG_c \cos \theta}{n \pi d^2 / 4}$$

ここで、W : 蓋及び内部の収納物の重量 (kg)

G_c : 設計加速度 (m/s^2)

θ : 落下角度 ($^\circ$)

d : ボルト軸径 (mm)

n : ボルト本数 (本)

慣性力によりボルトに生じる引張応力の計算条件と計算結果を(ロ) ー第A. 53 表に示す。

(ロ) ー第A. 53表 慣性力によりボルトに生じる引張応力計算条件及び計算結果

項目	蓋及び内部の 収納物の重量 :W (kg)	設計加速度 :G _c (m/s ²)	落下角度 :θ (°)	ボルト軸径 :d (mm)	ボルト本数 :n (本)	引張応力 :σ _{t2} (MPa)
数値	1.05×10 ⁴	820	8.0			402

(3) ボルトに生じる引張応力

各荷重によりボルトに生じる引張応力σ_t (MPa) の合計は、以下の式で与えられる。

$$\sigma_t = \sigma_{t1} + \phi \sigma_{t2} \quad (\sigma_{t1} \geq (1 - \phi) \sigma_{t2} \text{ の場合})$$

$$\sigma_t = \sigma_{t2} \quad (\sigma_{t1} < (1 - \phi) \sigma_{t2} \text{ の場合})$$

ここで、φ : ボルト内力係数 (ー)

ボルトに生じる引張応力の計算条件と計算結果を(ロ) ー第A. 54表に示す。ボルトに生じる応力は(ロ) 章A. 1. 2に定めた解析基準値以下である。

(ロ) ー第A. 54表 ボルトに生じる引張応力計算条件及び計算結果

項目	内筒内圧、側部中性子 遮蔽材部圧力、蓋ボルト の初期締付力及び 熱応力により生じる 引張応力 :σ _{t1} (MPa)	ボルト 内力 係数 :φ (ー)	慣性力に より生じる 引張応力 :σ _{t2} (MPa)	ボルトに 生じる 引張応力 :σ _t (MPa)	解析 基準値 :S _y (MPa)	余裕率 (ー)
数値	151	0.20	402	402		

A. 6. 1. 4 傾斜落下

傾斜落下時については、(ロ) 章A. 10. 2に示すように落下試験において部分的に水平落下よりも高い加速度が計測されている。そこで、本輸送物の傾斜落下時の二次衝撃側の加速度を試験結果に基づいて評価した結果、(ロ) 章A. 10. 4に示すように傾斜落下における最大加速度は水平落下の□倍である□であった。

水平落下時における余裕率の最も小さい箇所は底板であり、余裕率は□である。傾斜落下時に高い加速度が生じるのは部分的であるが、水平落下時の設計加速度の□倍の加速度が輸送容器全体に生じたとして評価を行ったとしても余裕率は□となることから、傾斜落下時にも輸送物の健全性が損なわれることはない。

また、(ロ) 章A. 10. 2に示すように落下試験後も漏えい率の有意な増加はなく、漏えい率は基準値を十分下回っていることから、蓋部の密封性能が損なわれることはない。

A. 6. 1. 5 結果の要約

1. 結果の要約

9 m落下試験の衝撃加速度と緩衝体変形量の要約は（口）－第A. 42表のとおりである。なお、緩衝体変形量は設計基準変形量以下であり、容器本体に発生する衝撃加速度が急激に上昇することはない。

また、本試験では、緩衝体は変形するが、緩衝体は容器本体から外れることはない。

2. 結果の検討

9 m落下試験による塑性変形は、緩衝体に生じるが、容器本体及びバスケットの構造上の健全性が損なわれることはない。また、蓋の口開き変形が基準を満足していることから、密封性能も維持される。

以上の解析及び評価は周囲温度 38℃の高温側の環境下に対して行った。低温側の環境下に対しては、（口）章A. 4. 2に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないため、また、（口）章A. 10. 10に示すように応力は基準値を満足するため、輸送物の構造上の健全性は維持される。

A. 6. 2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m貫通試験）

本項では、9 m落下試験に引き続いて1 m貫通試験が行われるとして輸送物が1 m高さから垂直に固定した直径 15cm であり、その上面が滑らかな水平面であり、かつ、その端部の曲率半径が 6 mm 以下の軟鋼棒へ落下した場合に、密封装置である蓋、内筒及び底板がせん断で破壊しないことを解析によって示す。

ここで、輸送物が軟鋼棒に衝突するよう軟鋼棒の長さは告示に定められている 20cm よりも長いものとし、軟鋼棒の端部の曲率はないものとする。

1 m貫通試験は、輸送物が最大破損を受けるよう垂直又は水平方向に落下し、衝突時に輸送物の重心の真下に軟鋼棒があるとして解析した。

これ以外の落下は、落下エネルギーが回転モーメントとして作用するので輸送物に対して上記落下より大きな破損を生じることはない。

解析は垂直方向落下においては蓋部及び底部について行う。また、水平方向落下においては外筒及び内筒について行う。

なお、密封境界を構成する蓋及びフランジ周辺が軟鋼棒上へ垂直又は水平方向に落下する場合は、当該部は 、軟鋼棒からの荷重が直接作用することはないため、密封性能が損なわれることはない。

1. 垂直落下

(1) 蓋部の貫通強度

落下時に軟鋼棒が圧潰することにより輸送容器に加わる最大荷重 F_{bar} (N) は以下のとおり求められる。

$$F_{\text{bar}} = \sigma_u A$$

ただし、 σ_u : 軟鋼棒の設計引張強さ (MPa)

A : 軟鋼棒の断面積 (mm^2)

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

d : 軟鋼棒の直径 (mm)

輸送容器に加わる最大荷重の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 55 表に示す。

(口) - 第A. 55 表 輸送容器に加わる最大荷重計算条件及び計算結果

項目	軟鋼棒直径 : d (mm)	軟鋼棒の設計引張強さ : σ_u (MPa)	最大荷重: F_{bar} (N)
数値	150	400	7.07×10^6

押抜きせん断によって板にせん断破壊を引き起こすのに必要な力 F (N) は次式で与えられる。

$$F = \pi d t S$$

ただし、d : 軟鋼棒直径 (mm)

t : 板厚 (mm)

S : せん断強さ (MPa)

せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件と計算結果を (口) - 第A. 56 表に示す。蓋部が貫通されることはない。また、蓋はフランジ部に押し付けられ、リング取付位置での口開きは生じない。

(口) - 第A. 56 表 せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件及び計算結果

項目	軟鋼棒直径 : d (mm)	板厚 : t (mm)	せん断強さ: S (MPa)	せん断破壊に 必要な力: F (N)	最大荷重 : F_{bar} (N)	余裕率 (-)
数値	150	<input type="text"/>	<input type="text"/> 注)	<input type="text"/>	7.07×10^6	<input type="text"/>

注) せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき設計引張強さ S_u の $1/\sqrt{3}$ とする。蓋部の材料 の 90℃ における設計引張強さは であるので、せん断強さ S は、
 $S = \frac{\text{材料}}{\sqrt{3}} = \text{材料}$

(2) 底部の貫通強度

底部が貫通しないことを蓋部と同様に示す。

せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 57表に示す。底部が貫通されることはない。

(口) - 第A. 57表 せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件及び計算結果

項目	軟鋼棒直径 : d (mm)	板厚 : t (mm)	せん断強さ: S (MPa)	せん断破壊に 必要な力: F (N)	最大荷重 : F _{bar} (N)	余裕率 (-)
数値	150	<input type="text"/>	<input type="text"/> 注)	<input type="text"/>	7.07×10 ⁶	<input type="text"/>

注) 底部の材料 の 110℃における設計引張強さは であるので、せん断強さ

Sは、 $S = \frac{\text{}}{\sqrt{3}} = \text{$

2. 水平落下

(1) 外筒の貫通強度

押抜きせん断によって外筒がせん断破壊を引き起こすのに必要な力 F (N) は、1. の(1)と同様の式で与えられる。せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 58表に示す。最大荷重 F_{bar} は外筒のせん断破壊に必要な力を上回る。

(口) - 第A. 58表 せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件及び計算結果

項目	軟鋼棒直径 : d (mm)	板厚 : t (mm)	せん断強さ: S (MPa)	せん断破壊に 必要な力: F (N)	最大荷重 : F _{bar} (N)	余裕率 (-)
数値	150	<input type="text"/>	<input type="text"/> 注)	<input type="text"/>	7.07×10 ⁶	-

注) 外筒の材料 の 100℃における設計引張強さは であるので、せん断強

さ S は、 $S = \frac{\text{}}{\sqrt{3}} = \text{$

(2) 内筒の貫通強度

押抜きせん断によって内筒がせん断破壊を引き起こすのに必要な力 F (N) は、1. の(1)と同様の式で与えられる。せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 59表に示す。内筒が貫通されることはない。

(口) - 第A. 59 表 せん断破壊を引き起こすのに必要な力の計算条件及び計算結果

項目	軟鋼棒直径 : d (mm)	板厚 : t (mm)	せん断強さ: S (MPa)	せん断破壊に 必要な力: F (N)	最大荷重 : F _{bar} (N)	余裕率 (-)
数値	150	<input type="text"/>	<input type="text"/> 注)	<input type="text"/>	7.07×10 ⁶	<input type="text"/>

注) 内筒の材料 の 110℃における設計引張強さは であるので、せん断強

さ S は、 $S = \frac{\text{}}{\sqrt{3}} = \text{$

A. 6. 2. 1 結果の要約

1 m 貫通試験においては緩衝体及び外筒に貫通又は変形が生じるおそれがあり、側部中性子遮蔽材が漏出する可能性があるが、密封装置である蓋、内筒及び底板が貫通することはない。

A. 6. 3 熱的試験（火災試験）

A. 6. 3. 1 温度及び圧力の要約

1. 温度

輸送物各部の最高温度は（ロ）章Bの熱解析から求まる。各部位の最高温度と解析基準値を定める温度を（ロ）－第A. 60表に示す。

（ロ）－第A. 60表 特別の試験条件（熱的試験（火災試験））における最高温度の要約
（単位：℃）

部 位	熱解析結果	解析基準値設定温度
蓋	321	330
フランジ	345	350
内筒	232	240
底板	331	340
蓋ボルト	147	150
外筒	401	410
トラニオン取付板	—	410 ^{注)}
バスケット	270	280

注) 外筒と同じとした。

2. 圧 力

（ロ）章Bの熱解析から求まる特別の試験条件における輸送容器各部の圧力及び構造解析で使用する圧力を（ロ）－第A. 61表に示す。

（ロ）－第A. 61表 特別の試験条件の熱解析結果の要約及びその評価

項 目	熱解析結果	構造解析使用圧力	圧力設定方法
内 筒 内 圧	0.301 MPa (0.199 MPaG)	0.30 MPaG	熱解析結果に余裕を取った値を使用

A. 6. 3. 2 熱膨張

1. 応力計算

本項では、特別の試験条件における容器本体各部の熱応力と内筒内圧による応力の計算を行う。(口)章B. 5. 3に示す温度分布と内筒内圧を荷重条件とし、解析は有限要素法によるABAQUSコードを用いて行う。

(1) 解析モデル

(口)章A. 5. 1. 3と同様に、三次元有限要素を用いた(口)一第A. 8図に示す三次元ボルト1ピッチモデルを用いる。

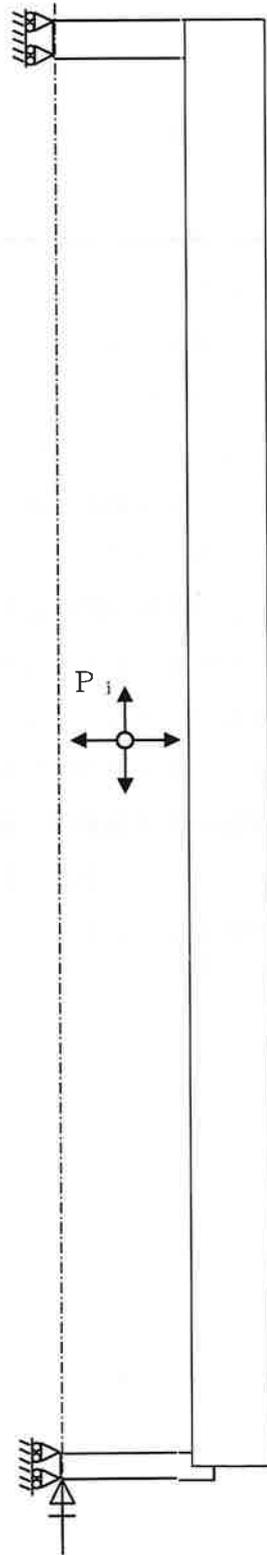
(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

(口)章B. 5. 3に示される容器本体の温度差が一番大きくなる火災発生30分後における温度分布(口)一第B. 15図参照)、内筒内圧(0.30 MPaG)を荷重条件とする。

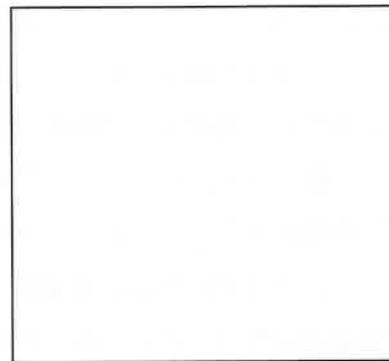
b. 境界条件

(口)一第A. 46図に示すように、底部の1ヶ所の軸方向変位及び周方向境界面の周方向変位を拘束し、他は変位自由とする。



P_i : 内筒内圧 (0.30 MPaG)

F_b : 蓋ボルト初期締付力



<蓋ボルト周辺拡大図>

注記：不開示情報を含むため一部削除

(口) - 第A. 46 図 特別の試験条件の熱的試験 (火災試験) における荷重条件及び境界条件

A. 6. 3. 3 許容応力との比較

(口) 一第A. 10 図に示す容器本体の主要な評価位置における一次応力及び蓋ボルトの評価結果を(口)一第A. 62 表に示す。表に示すように、いずれの応力も(口)章A. 1. 2に定めた解析基準値以下である。なお、1 m貫通試験により外筒が貫通し、側部中性子遮蔽材部のプロピレングリコール水溶液が漏出したものとしているため、外筒及びトランニオン取付板に解析基準値は設けていない。

なお、蓋ボルトは蓋と異なる材質のため、運搬中に予想される-20℃から 38℃の周囲温度の変化により軸力が変化する。仮に周囲温度-20℃で蓋ボルトを締め付けた後、特別の試験条件下に置かれた場合は、ステンレス鋼製の蓋と[]製の蓋ボルトの熱膨張係数の差により蓋ボルトの軸力が約9%増加するものの余裕率が0.09以上あるため、また、周囲温度38℃で締め付けた後、特別の試験条件下に置かれた場合には、軸力が約4%低下するもののOリングを締め付けるために必要な軸力を維持しているため、蓋ボルトに緩みや破損を生じることはない。

また、蓋とフランジのOリング取付位置での相対口開き変形量は0.38mmであり、Oリングの初期締付代[]より小さく、密封性が損なわれることはない。

さらに、火災時に外筒に貫通孔が開いた場合、(口)章A. 10. 5に示すように側部中性子遮蔽材の噴出に伴い容器に作用する荷重により密封性が損なわれることはない。

なお、熱的試験(火災試験)において側部中性子遮蔽材が漏出しない場合及び火災前に側部中性子遮蔽材が漏出した場合について、(口)章A. 10. 6及び(口)章A. 10. 7に示すように密封性が損なわれないことを確認している。

(ロ) - 第A. 62 表 特別の試験条件 (熱的試験 (火災試験)) における容器内圧による

容器本体の一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類 又は 応力の種類注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) 注3)	余裕率 (-)
蓋	①	P_m	-	0.51	330		
		$P_L + P_b$	内	5.44			
			外	5.49			
②	P_L	-	2.68				
フランジ	③	P_L	-	0.51	350		
	④	P_L	-	1.75			
	⑤	P_L	-	1.62			
	⑯	P_L	-	0.99			
内筒	⑥	P_L	-	1.91	240		
	⑦	P_m	-	2.54			
	⑧	P_m	-	2.52			
	⑨	P_m	-	2.58			
	⑩	P_m	-	2.58			
	⑪	P_m	-	2.57			
底板	⑫	P_m	-	1.23	340		
	⑬	P_L	-	1.81			
	⑭	P_L	-	2.91			
	⑮	P_m	-	1.18			
		$P_L + P_b$	内	5.46			
	外		7.17				
	⑰	P_L	-	1.68			
	⑱	P_L	-	1.13			
外筒	⑳	P_L	-	0.87	410		
	㉑	P_m	-	0.34			
	㉒	P_m	-	0.52			
	㉓	P_m	-	0.47			
	㉔	P_m	-	0.48			
	㉕	P_m	-	0.52			
	㉖	P_L	-	0.54			
トリアン取付板	㉗	P_L	-	0.64	410		
蓋ボルト	-	σ_m	-	360	150		
		$\sigma_m + \sigma_b$	-	733			

注1) (ロ) - 第A. 10 図参照

注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力注3) 断面①~⑤及び⑫~⑱の P_m に対する基準値は $\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ である。断面⑥~⑪の P_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L に対する基準値は S_u である。断面□は溶接効率□³⁾を、断面□は溶接効率□³⁾を考慮している。蓋ボルトの基準値は S_y である。

A. 6. 4 浸漬試験

本輸送物の収納物は、最大放射エネルギーがA₂値の10万倍を超えるので、(ロ)章A. 7において200m浸漬に相当する水頭圧で解析を行い、内筒、底板及び蓋に破損のないことを確認している。

特別の試験条件の15m浸漬試験においては、200m強化浸漬試験の負荷条件より厳しくないため内筒、底板及び蓋は(ロ)章A. 1. 2で定めた基準を満足するとともに、遮蔽解析に影響を及ぼすような破損は生じない。

また、外圧は蓋をフランジに押し付けるように作用するので蓋Oリングの密封性能は15m浸漬試験において保持される。

本項では外筒について15m浸漬に相当する水頭圧(0.15MPaG)で解析を行う。

ここで、内圧を大気圧(0MPaG)とし、水頭圧と内圧の差圧(0.15MPa)を外圧とする。

1. 外圧に対する外筒の耐圧強度

金属キャスク構造規格¹⁾においては、本試験条件における円筒の周方向応力の座屈に対する許容外圧 $1.5P_a$ (MPa)は、次式で与えられる。

$$1.5P_a = 1.5 \times \frac{4 B t}{3 D_o}$$

ただし、t : 外筒板厚 (mm)

D_o : 外筒外径 (mm)

B : L/D_o、D_o/t及び温度で定まる値 (MPa)

L : 外筒支持間隔(仕切板間の最大寸法) (mm)

円筒の許容外圧の計算条件と計算結果を(ロ) - 第A. 63表に示す。外筒は外圧P_oに対して座屈することはないため、遮蔽解析に影響を及ぼすような破損は生じない。

(ロ) - 第A. 63表 外筒の許容外圧計算条件及び計算結果

項目	外筒板厚 : t (mm)	外筒外径 : D _o (mm)	L/D _o 、 D _o /t及び 温度で定まる値 : B (MPa)	外筒支持 間隔 : L (mm)	許容外圧 : 1.5P _a (MPa)	外圧 (差圧) : P _o (MPa)	余裕率 (-)
数値	<input type="text"/>	1300	118 ^{注)}	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0.15	<input type="text"/>

注) コンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾別図1-5とにより、100℃におけるステンレス鋼に対するB値は、L/D_o=、D_o/t=であるから、B=118MPa

A. 6. 5 結果の要約及びその評価

特別の試験条件における構造解析結果の要約を (口) - 第A. 64 表に示す。表に示すように、各試験条件において輸送物各部は (口) 章A. 1. 2 に定めた基準を満足し構造上の健全性が損なわれることはない。また、外筒は 1 m 貫通試験で軟鋼棒の衝突により貫通又は変形が生じる。

特別の試験条件における輸送物の主な損傷状態及び各安全解析での前提条件の要約を (口) - 第A. 65 表に示す。

(口) - 第A.64表 特別の試験条件における構造解析結果の要約 (1/3)

項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)
9m落下試験				
1. 垂直落下				
(1) 容器本体 (頭部垂直落下)				
蓋 (P _L +P _b)	S _u		255	
フランジ (P _L)	S _u		66.0	
内筒 (P _m)	2/3S _u		40.6	
底板 (P _L)	S _u		17.9	
外筒 (P _m)	2/3S _u		323	
トランオン取付板 (P _L)	S _u		7.29	
蓋ボルト (σ _m)	S _y		292	
蓋ボルト (σ _m +σ _b)	S _y		536	
口開き変形量	-		0.26mm	基準に合致
(2) 容器本体 (底部垂直落下)				
蓋 (P _L +P _b)	S _u		18.0	
フランジ (P _L)	S _u		22.9	
内筒 (P _m)	2/3S _u		56.1	
底板 (P _L +P _b)	S _u		173	
外筒 (P _m)	2/3S _u		298	
トランオン取付板 (P _L)	S _u		23.1	
蓋ボルト (σ _m)	S _y		150	
蓋ボルト (σ _m +σ _b)	S _y		179	
口開き変形量	-		0.01mm以下	基準に合致
(3) バスケット				
クロスプレート (σ _c)	1.5f _c *		161	

(口) - 第A. 64表 特別の試験条件における構造解析結果の要約 (2/3)

項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)	
2. 水平落下					
(1) 容器本体					
蓋	$(P_L + P_b)$	S_u	23.2	基準に合致	
フランジ	(P_L)	ηS_u	97.2		
内筒	(P_m)	$2/3 S_u$	136		
底板	(P_m)	$2/3 S_u$	102		
外筒	(P_m)	$2/3 S_u$	237		
トラニオン取付板	(P_L)	S_u	49.0		
蓋ボルト	(σ_m)	S_y	154		
蓋ボルト	$(\sigma_m + \sigma_b)$	S_y	236		
口開き変形量	-	-	0.02mm		
(2) バスケット					
クロスプレート	$(P_m + P_b)$	ηS_u	19.9	6.66	
ベースプレート	$(P_m + P_b)$	S_u	132		
ガイドレール	$(P_m + P_b)$	S_u	418	54.5	
リーマボルト	(τ)	$\frac{2/3 S_u}{\sqrt{3}}$	325	89.5	2.63
3. コーナー落下					
蓋ボルト	(σ_m)	S_y	402		
4. 傾斜落下					
底板	傾斜落下における最大加速度が輸送容器全体に生じたとして評価を行ったとしても余裕率は□となることから、輸送物の健全性が損なわれることはない。				
蓋部	落下試験後も漏えい率の有意な増加はなく、漏えい率は基準値を十分下回っていることから、蓋部の密封性能が損なわれることはない。				
1m貫通試験					
1. 垂直落下					
蓋	貫通強度		$7.07 \times 10^6 \text{N}$		
底板	貫通強度		$7.07 \times 10^6 \text{N}$		
2. 水平落下					
外筒	貫通強度		$7.07 \times 10^6 \text{N}$	-	
内筒	貫通強度		$7.07 \times 10^6 \text{N}$		

(口) - 第A. 64 表 特別の試験条件における構造解析結果の要約 (3/3)

項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)
熱的試験 (火災試験)				
蓋 (P _L +P _b)	S _u	<input type="text"/>	5.49	<input type="text"/>
フランジ (P _L)	S _u	<input type="text"/>	1.75	<input type="text"/>
内筒 (P _m)	2/3 S _u	<input type="text"/>	2.58	<input type="text"/>
底板 (P _L +P _b)	S _u	<input type="text"/>	7.17	<input type="text"/>
外筒 (P _L)	-	-	0.87	-
トラニオン取付板 (P _L)	-	-	0.64	-
蓋ボルト (σ _m)	S _y	<input type="text"/>	360	<input type="text"/>
蓋ボルト (σ _m +σ _b)	S _y	<input type="text"/>	733	<input type="text"/>
口開き変形量	-	<input type="text"/>	0.38mm	基準に合致
15m浸漬試験				
外筒	許容外圧	<input type="text"/>	0.15	<input type="text"/>
内筒	後述の200m強化浸漬試験に対する解析結果より構造健全性は維持される。			
底板				
蓋				

(口) - 第A. 65 表 特別の試験条件における輸送物損傷の評価及び各安全解析における前提条件

部位 試験	本体	緩衝体	バスケット	損傷状態	各安全解析における前提条件			
					熱解析	密封解析	遮蔽解析	臨界解析
9 m 落下 試験	-	○	-	<ul style="list-style-type: none"> 緩衝体に変形する。最大変形は頭部コーナー落下時に上部緩衝体に生じ、最大308mm圧潰する。 	<ul style="list-style-type: none"> 緩衝体の変形を考慮。(口) 章A. 9の変形量よりも安全側に設定。 	<ul style="list-style-type: none"> これらの損傷は解析に影響しない。 	<ul style="list-style-type: none"> 緩衝体の変形を考慮し、緩衝体の存在を無視。 	<ul style="list-style-type: none"> (口) 章A. 9で説明。
					<ul style="list-style-type: none"> 緩衝体の貫通及び変形は局所的で影響が小さいため貫通及び変形がないものとして模擬。 外筒の貫通孔及び変形は影響が小さいため貫通孔及び変形がないものとして模擬。 外筒は貫通する可能性があるため、火災中は内筒内への入熱を大きくするために側部中性子遮蔽材が存在するものとし、火災後は大気への熱放散を少なくするために側部中性子遮蔽材が存在しないものとして仮定。 	<ul style="list-style-type: none"> 外筒に貫通孔を模擬。 側部中性子遮蔽材は漏出したものとして無視。 	<ul style="list-style-type: none"> 蓋部及び下部中性子遮蔽材は焼損することは無いが、安全側に[]と仮定。(熱解析結果より) 	
熱的試験 (火災試験)	-	-	-	-	-	-	-	-
15m浸漬試験	-	-	-	-	-	-	-	-

注記) ○印は損傷あり、-印は損傷なし。

A. 7 強化浸漬試験

本輸送物の収納物は、最大放射エネルギーがA₂値の10万倍を超えるので、200m浸漬に相当する水頭圧（2MPaG）で解析を行う。

ここで、内圧を大気圧（0MPaG）とし、水頭圧と内圧の差圧（2MPa）を外圧とする。

なお、外圧は蓋をフランジに押し付けるように作用するので蓋Oリングの密封性能は強化浸漬試験において保持される。

1. 外圧に対する外筒及び内筒の耐圧強度

(1) 外筒の耐圧強度

外圧に対する外筒の許容外圧は(□)章A. 6. 4の1.と同様の式で与えられる。外筒の許容外圧の計算条件と計算結果を(□) - 第A. 66表に示す。外圧P_oは外筒の許容外圧を上回る。

(□) - 第A. 66表 外筒の許容外圧計算条件及び計算結果

項目	外筒板厚 : t (mm)	外筒外径 : D _o (mm)	L/D _o 、 D _o /t 及び 温度で定まる値 : B (MPa)	外筒支持 間隔 : L (mm)	許容外圧 : 1.5P _a (MPa)	外圧 (差圧) : P _o (MPa)	余裕率 (-)
数値	□	1300	118 ^{注)}	□	□	2	-

注) コンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾ 別図1-5と□により、100℃における□ステンレス鋼に対するB値は、L/D_o=□、D_o/t=□であるから、B=118MPa

(2) 内筒の耐圧強度

外圧に対する内筒の許容外圧は(□)章A. 6. 4の1.と同様の式で与えられる。内筒の許容外圧の計算条件と計算結果を(□) - 第A. 67表に示す。内筒は外圧P_oに対して座屈することはない。

(□) - 第A. 67表 内筒の許容外圧計算条件及び計算結果

項目	内筒板厚 : t (mm)	内筒外径 : D _o (mm)	L/D _o 、 D _o /t 及び 温度で定まる値 : B (MPa)	内筒支持 間隔 : L (mm)	許容外圧 : 1.5P _a (MPa)	外圧 (差圧) : P _o (MPa)	余裕率 (-)
数値	□	□	188 ^{注)}	□	□	2	□

注) コンクリートキャスク、キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格²⁾ 別図1-5と□により、110℃における□ステンレス鋼に対するB値は、L/D_o=□、D_o/t=□であるから、B=188MPa

2. 外圧に対する底板の強度

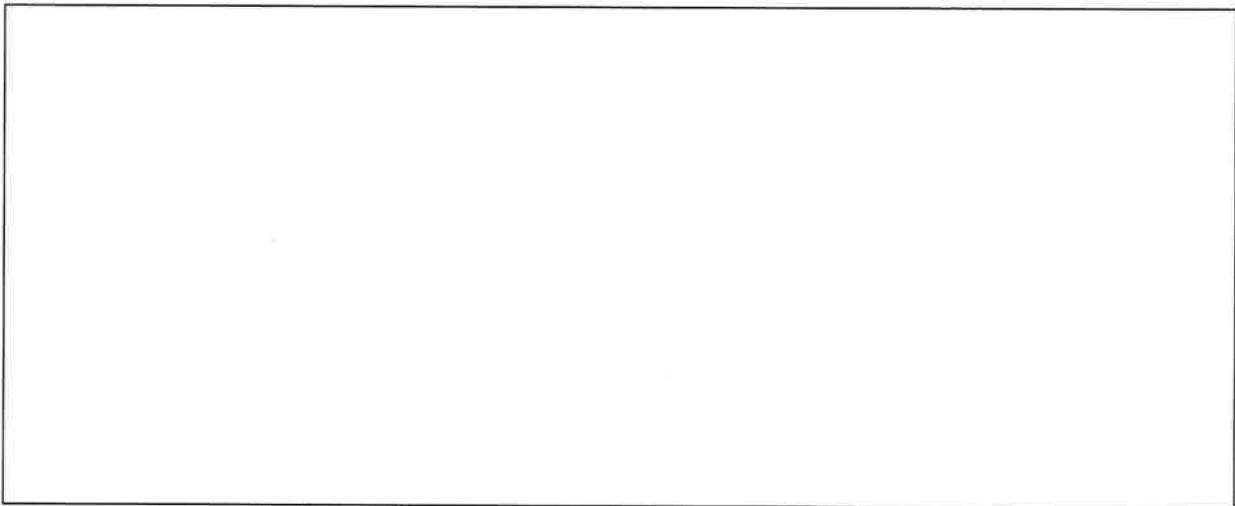
底板を(□)－第A. 47 図に示すように端部固定の円板としてモデル化すると、その最大曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で与えられる¹²⁾。

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

ただし、 a : 円板の半径 (mm)

P : 外圧 (差圧) (MPa)

t : 板厚 (mm)



(□)－第A. 47 図 外圧に対する底板の解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

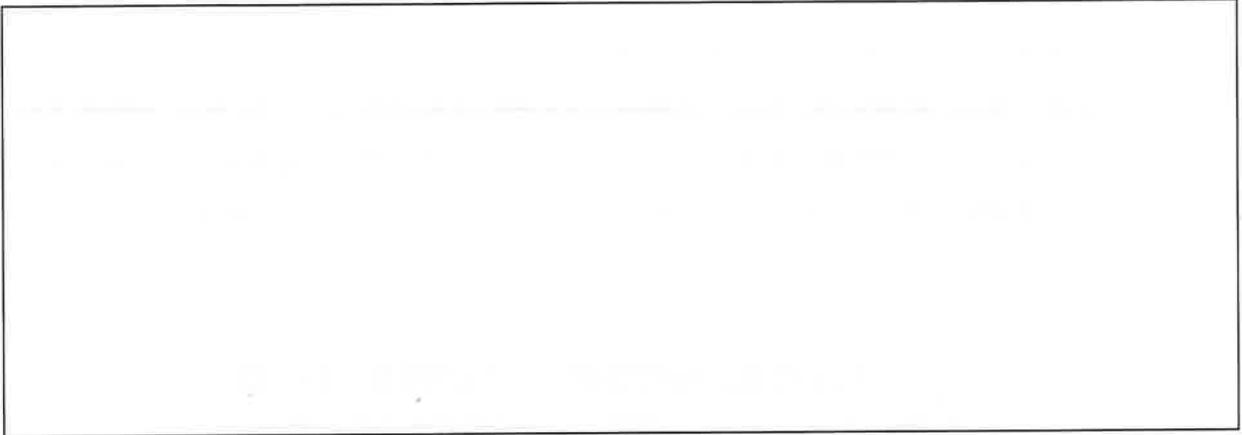
底板の曲げ応力の計算条件と計算結果を(□)－第A. 68 表に示す。底板は、外圧に対して十分な強度を有する。

(□)－第A. 68 表 底板の曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	円板の半径 : a (mm)	外圧 (差圧) : P (MPa)	板厚 : t (mm)	最大 曲げ応力 : σ_b (MPa)	底板の温度 (°C)	設計 引張強さ : S_u (MPa)	余裕率 (-)
数値	□	2	□	45.2	110	□	□

3. 外圧に対する蓋の強度

蓋を端部支持の円板としてモデル化する。蓋の強度解析モデルを(口) - 第A. 48 図に示す。



(口) - 第A. 48 図 外圧に対する蓋の解析モデル図

注記：不開示情報を含むため削除

蓋の最大曲げ応力は蓋中央部に生じる。この半径方向曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる¹²⁾。

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

- ただし、a : 蓋半径 (mm)
- P : 外圧 (差圧) (MPa)
- t : 板厚 (mm)
- ν : ポアソン比

蓋部の曲げ応力の計算条件と計算結果を(口) - 第A. 69 表に示す。蓋は、外圧に対して十分な強度を有する。

(口) - 第A. 69 表 蓋部の曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	蓋半径 : a (mm)	外圧 (差圧) : P (MPa)	板厚 : t (mm)	ポアソン比 : ν (-)	最大 曲げ応力 : σ_b (MPa)	蓋の温度 (°C)	設計 引張強さ : S_u (MPa)	余裕率 (-)
数値	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	0.3	33.3	90	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A. 8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物は、PWR 用ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料集合体であり、構造図を（イ）－第D. 1 図に、また、仕様例を（イ）－第D. 1 表に示す。

燃料集合体の強度解析については、一般の試験条件である 0.3m 落下時に輸送容器と等しく落下衝撃を受けるものとして行っている。その結果、燃料被覆管の強度上の余裕は十分あり、燃料被覆管内の核分裂性物質は、外部に拡散することはない。

なお、特別の試験条件において燃料集合体の強度評価は行っていないが、9 m 落下時には上・下部ノズルや燃料棒の変形が想定される¹⁴⁾ ことから、特別の試験条件では各安全解析における燃料集合体の状態を（ロ）－第A. 70 表に示すように設定して評価を行う。

（ロ）－第A. 70 表 各安全解析における燃料集合体の設定

解析項目	解析における燃料集合体の設定
熱解析	燃料棒ピッチの変化を仮定しても、輸送容器及び燃料棒の温度に与える影響は小さいので、変形は考慮しない。 安全側に全燃料棒の密封機能が失われたと仮定。
密封解析	特別の試験条件においては、安全側に全燃料棒の被覆管がないものと仮定。
遮蔽解析	<input type="checkbox"/> 線源が軸方向に移動すると仮定。
臨界解析	（ロ）章A. 9 参照。

A. 9 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性輸送物に該当する。したがって本項では、(口)章E. 臨界解析において想定する輸送物の損傷状態を、以下の試験条件に対して評価する。

なお、本輸送物は周囲温度-20℃以上で使用し、(口)章A. 4. 2に示すとおり-20℃において、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、本項では周囲温度が38℃以上の状態で強度解析を行っている。したがって、-20℃から38℃の周囲温度の範囲においてき裂、破損等の生じるおそれはない。また、プロピレングリコール水溶液が凍結することはない。

A. 9. 1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件は、告示により次の3種類が定められており、(a)については連続条件となる。

(a) 水噴霧・落下試験

i. 水噴霧試験

ii. 自由落下試験

(b) 積み重ね試験

(c) 6 kg 棒貫通試験

(口)章E. 臨界解析の前提条件として影響する輸送物の損傷状態を(口)章A. 5の解析結果をもとに評価すると次のようになる。

1. 水噴霧・落下試験

(1) 水噴霧試験

(口)章A. 5. 2と同一であり、輸送物に損傷はない。

(2) 自由落下試験

(口)章A. 5. 3と同一であり、緩衝体に変形が生じるがそれ以外の部位に損傷はない。

2. 積み重ね試験

(口)章A. 5. 4と同一であり、緩衝体に変形が生じるがそれ以外の部位に損傷はない。

3. 6 kg 棒貫通試験

(口)章A. 5. 5と同一であり、輸送容器に損傷はない。

以上の結果より、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における輸送物の損傷状態は

(口) - 第A. 71表のようにまとめられる。本輸送物は、(口) - 第A. 72表に示すように、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件において、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物としての要件を満足する。

(口) - 第A. 71表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における輸送物の損傷状態

試験条件		輸送物の損傷状態	備考
水噴霧・落下試験	水噴霧試験	損傷なし	—
	自由落下試験	緩衝体の変形	緩衝体は臨界解析では無視する。
積み重ね試験		緩衝体の変形	緩衝体は臨界解析では無視する。
6 kg棒貫通試験		損傷なし	—

(口) - 第A. 72表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価

核分裂性輸送物としての要件	評価
容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと及び外接する直方体の各辺が10cm以上であること。	緩衝体の変形するが、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く、外接する直方体の各辺は10cm以上である。

A. 9. 2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

(口) 章A. 9. 1の核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に続いて15m浸漬試験が実施される場合には、(口) 章A. 6. 4に示すように本輸送物の損傷が拡大することなく、9m落下試験及び1m貫通試験に引き続き実施される熱的試験(火災試験)において、9m落下試験と1m貫通試験の順序の違いは結果に影響を与えないので、本輸送物に関する核分裂性輸送物に係る特別の試験条件は最大破損条件となる以下の順序で実施する。

- ① (口) 章A. 9. 1の核分裂性輸送物に係る一般の試験条件
- ② 9m落下試験
- ③ 1m貫通試験
- ④ 熱的試験(火災試験)
- ⑤ 0.9m浸漬試験

(口) 章E. 臨界解析の前提条件として影響する輸送物の損傷状態を評価すると次のようになる。

1. 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

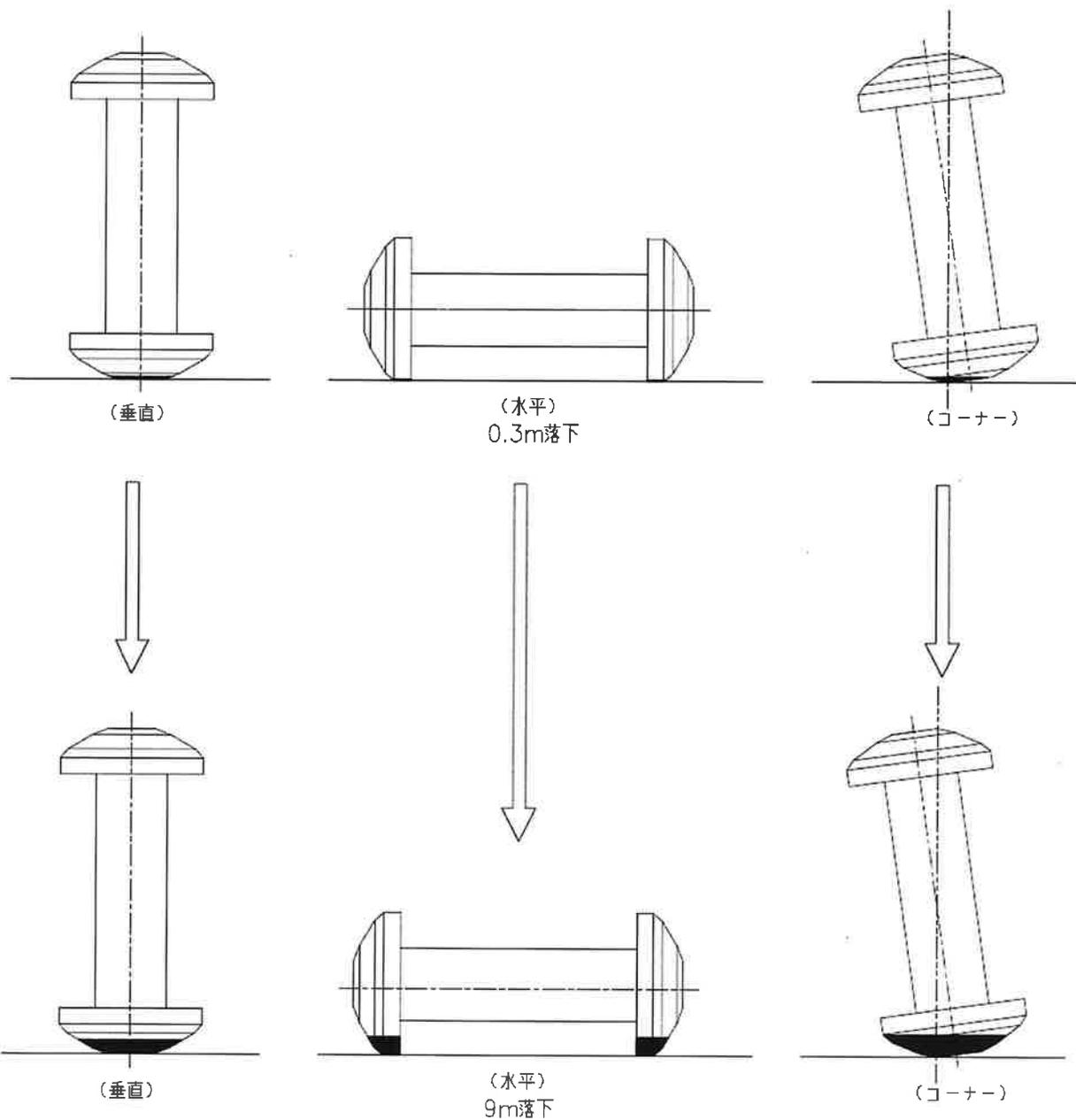
本試験条件における輸送物の損傷状態は(口) 一第A. 71表に示すとおりであり、緩衝体の変形のみを考慮する必要がある。

2. 9m落下試験

(1) 落下姿勢と落下試験の順序

(口) 一第A. 49図に落下姿勢と落下試験の順序を示す。

(口) 章A. 9. 1の自由落下試験と9m落下試験の落下姿勢が同一の場合に緩衝体の変形量が最大になると考えられるので、より厳しい条件として、0.3mと9mの合計である9.3mから落下した場合(以下、「9.3m落下試験」という。)について検討を行う。



(口) - 第A. 49 図 落下姿勢と試験の順序

(2) 9.3m落下試験時の変形量と衝撃加速度

落下高さとしては、0.3m落下と9m落下の合計9.3mを与える。落下エネルギー E_K は、(口)章A.6.1の1.と同様に与えられる。輸送物落下エネルギーの計算条件と計算結果を(口) - 第A.73表に示す。

(口) - 第A.73表 輸送物落下エネルギー計算条件及び計算結果

項目	輸送物最大 総重量 :m (kg)	重力加速度 :g (m/s^2)	落下高さ :H (mm)	輸送物の落下 エネルギー : E_K (N·mm)
数値	2.62×10^4	9.80665	9300	2.39×10^9

(口)章A.6.1の1.に示す手法を用いて、変形量 δ 及び衝撃加速度 G_A を求める。評価結果の緩衝体の変形量及び最大衝撃加速度は(口) - 第A.74表に示すとおりである。

本落下試験時の衝撃加速度は、(口)章A.6.1に示す9m落下試験の各落下姿勢において想定した設計加速度を上回らない。したがって、(口)章A.6.1の評価に包含される。

(口) - 第A.74表 9.3m落下試験における緩衝体の変形量と衝撃加速度

落下姿勢		緩衝体の 変形量 : δ (mm)	設計基準 変形量 ^{注)} : δ_{max} (mm)	衝撃加速度 : G_A (m/s^2)	9m落下試験時 設計加速度 : G_D (m/s^2)
垂直 落下	頭部	268	370	826	840
	底部	268	370	826	840
水平落下		292	432	615	630
コーナー 落下	頭部	313	458	807	820
	底部	313	458	806	820

注) 設計基準変形量とは、それぞれの落下方向において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値である。

3. 1m貫通試験

本試験における輸送物の損傷状態は(口)章A.6.2の結果((口)章A.6.5に示す要約参照)と同一である。

4. 熱的試験（火災試験）

1及び2の落下試験における緩衝体の変形量は、（口）章A. 6. 1に示す9m落下試験の各落下姿勢の変形量に対して若干増加しているが、熱解析において緩衝体の変形量は9.3m落下試験の変形量よりも安全側に設定しており温度分布は同じとなる。したがって、本試験における輸送物の損傷評価は（口）章A. 6. 5と同一となる。

5. 0.9m浸漬試験

（口）章A. 6. 4の15m浸漬試験の結果から明らかなように、0.9m浸漬試験において密封装置は健全であり、内筒内に浸水することはないが、臨界解析では孤立系の条件の下に置くことを考慮し、浸水を仮定する。

6. 輸送物の損傷状態の要約

（口）－第A. 75表に特別の試験条件における輸送物の損傷状態の要約を示す。なお、特別の試験条件において燃料集合体の強度評価は行っていないが、9m落下時には上・下部ノズルの変形が想定される¹⁴⁾ことから、燃料集合体については、臨界解析において（口）－第A. 76表に示すように条件を設定する。

（口）－第A. 75表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における容器の損傷状態

条 件	輸送物の損傷状態	臨界解析の前提条件
9.3m落下試験	緩衝体の変形。	緩衝体は臨界解析では無視。
1m貫通試験	緩衝体及び外筒の変形及び貫通並びに側部中性子遮蔽材の漏出の可能性。	緩衝体及び側部中性子遮蔽材は臨界解析では無視。
熱的試験 (火災試験)	各部位の温度が上昇。	蓋部及び下部中性子遮蔽材は使用可能温度範囲内であるが安全側に無視。 核的物性値温度は20℃。
0.9m浸漬試験	損傷なし。	密封装置は健全であり、内筒内に浸水することはないが、臨界解析では孤立系の条件の下に置くことを考慮し、浸水を仮定。

（口）－第A. 76表 臨界解析における燃料集合体の状態

解析項目	解析における燃料集合体の状態
臨界解析	支持格子1スパン間の燃料棒ピッチの拡大を仮定。

A. 10 付属書類

A. 10. 1 体積変形法

1. 概要

体積変形法は、衝突により圧潰して減少した緩衝体の体積が衝突エネルギーを吸収したものである。緩衝体の変形量、衝撃力を求めるものである。

2. 計算手法

体積変形法の計算式について、考え方を以下に示す。

緩衝材の圧潰応力がひずみ量に関係なく一定の場合、衝撃力は次式で表すことができる。

$$F(\delta) = K\sigma A(\delta)$$

ここで、 δ ：緩衝体の変形量 (mm)

σ ：緩衝材圧潰応力 (MPa)

A ：衝突面における緩衝材断面積 (mm²)

K ：端面拘束係数 (-)

F ：衝撃力 (N)

なお、端面拘束係数は以下の範囲にある。

$$0 \leq K \leq 1$$

緩衝材の吸収エネルギーは次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} E(\delta) &= \int F(\delta) d\delta \\ &= \int K\sigma A(\delta) d\delta \\ &= K\sigma \int A(\delta) d\delta \\ &= K\sigma V \end{aligned}$$

ここで、 E ：吸収エネルギー (N・mm)

V ：緩衝材圧潰体積 (mm³) ($= \int A(\delta) d\delta$)

3. 本輸送物への適用性

本輸送物で緩衝材として用いている は、(口) - 第A. 12 図に示すように、

となる特性を有する。また、

(口) - 第A. 16 図及び (口) - 第A. 17 図に示すように、

。

したがって、本輸送物のコーナー落下評価において体積変形法は適用可能である。

4. 負荷係数の考慮

垂直落下及び水平落下時の衝撃力の計算に用いる CRUSH コードについては、解析と実験との比較検証により得られた誤差±20%を考慮した負荷係数 1.2¹³⁾ を計算で得られた衝撃力に乗じる手法を用いている。体積変形法についても、緩衝材の圧潰のみによる衝撃力及び吸収エネルギーを考慮して計算を行っており、衝撃力の算出の考え方が CRUSH コードと同じであることから、計算で得られた衝撃力には負荷係数 1.2 を考慮することとする。

A. 10. 2 1/2 スケールモデルを用いた 9 m 落下試験

1. 概要

プロピレングリコール水溶液遮蔽——緩衝体タイプの輸送容器について、1/2 スケールモデルによる 9 m 落下試験を実施した。本落下試験では、垂直、水平及び傾斜の 3 つの落下姿勢について実施し、落下時の容器及びバスケットの加速度、並びに緩衝体の変形量についてデータを取得した。また、蓋二重 O リング部の漏えい率を測定した。

垂直及び水平落下については、容器及びバスケットの加速度、並びに緩衝体の変形量を解析により評価し、容器の加速度及び緩衝体の変形量は解析結果が落下試験結果を上回ることを確認した。バスケットの加速度については容器の加速度に比べて高いことを確認した。また、傾斜落下試験では水平落下試験に比べて加速度が高いことを確認した。いずれの落下姿勢においても、蓋二重 O リング部漏えい率測定結果から、試験後も密封性が損なわれないことを確認した。

2. 試験条件

(1) 落下姿勢

落下姿勢を (口) - 第 A. 付 1 表 に示す。

(2) 試験装置

a. 試験体

試験体は、プロピレングリコール水溶液遮蔽——緩衝体タイプの輸送容器の 1/2 スケールモデルである。モデル形状を (口) - 第 A. 付 1 図 に、モデル寸法を (口) - 第 A. 付 2 表 に示す。

容器は二重円筒構造であり、内筒、外筒、フランジ、蓋、底板及び仕切板により構成されている。なお、実輸送物ではプロピレングリコール水溶液が充填される内筒と外筒間の領域に、試験体では水を充填している。

バスケットは角管から構成される 12 個のロジメントをバスケット上板及び支持リングにより支持する構造である。ただし、実輸送物のバスケットを構成する部材の

うち、アルミブロックなどの強度部材でないものについては、重量を模擬した重量物とした。なお、バスケットの底では底板と底部固定ボルトで固定している。バスケットへは燃料集合体の重量を模擬した重量物を格納した燃料ホルダーを12体収納した。なお、燃料ホルダーは燃料ホルダー固定板とバスケット上板により固定している。

緩衝体は、形状であり、缶体とリブ構造の空間部に緩衝材であるを充填したものである。ただし、頭部垂直落下時には下部緩衝体は重量を模擬した重量物とした。

b. 測定項目

容器及びバスケットに加速度計、蓋ボルト及び蓋板にひずみゲージを設置し、落下時に容器及びバスケットに発生する加速度、蓋ボルト及び蓋板のひずみを測定するとともに、試験後には、緩衝体の変形量を測定した。加速度の測定位置を(口)－第A.付2図に示す。

また、試験前及び試験後に容器の蓋部の蓋二重Oリング部の漏えい率を測定した。落下試験における主な測定項目、測定部位及び測定器等を(口)－第A.付3表に示す。

(口)－第A.付1表 落下姿勢

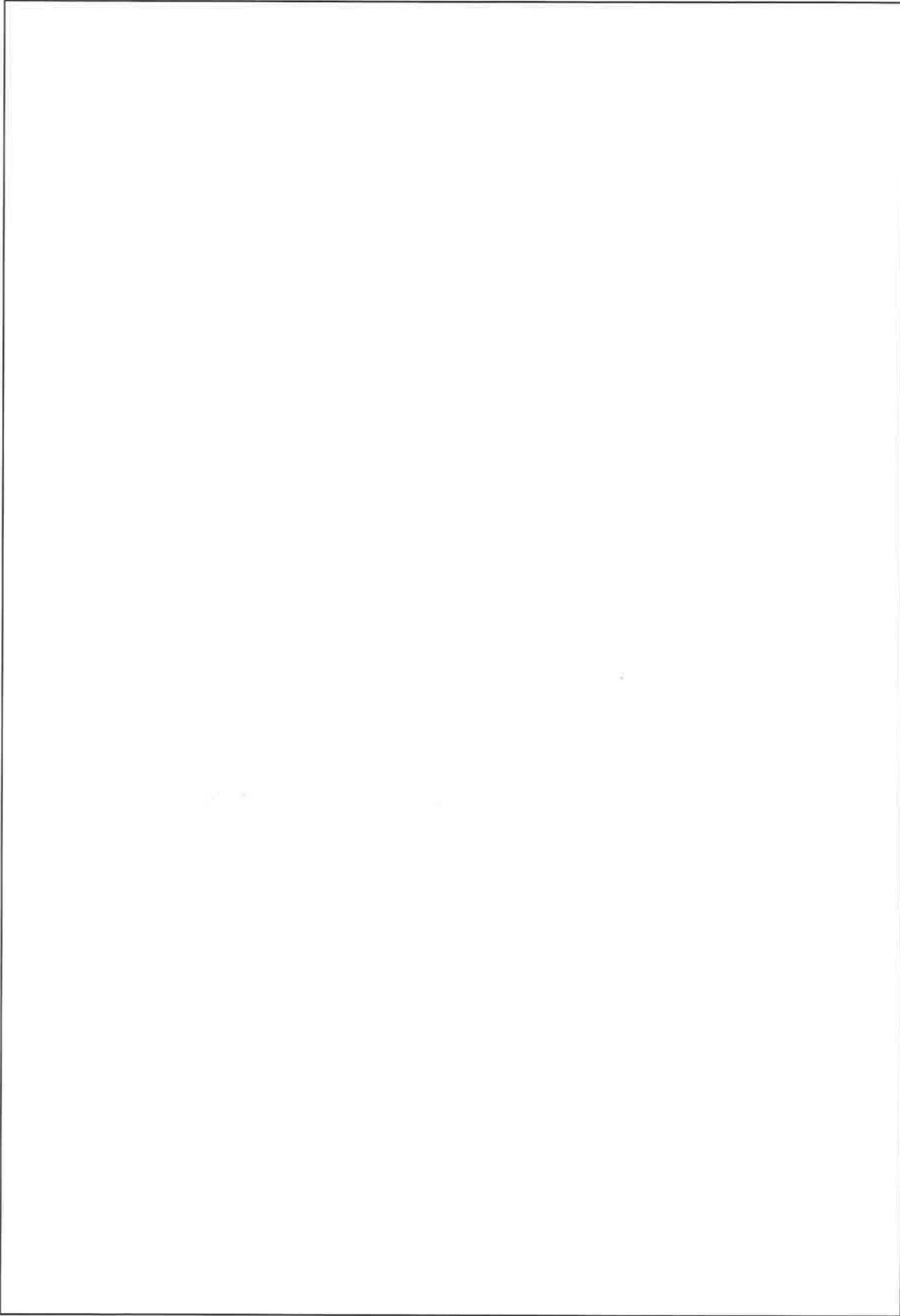
落下姿勢	落下高さ	備考
頭部垂直落下	9 m	—
水平落下	9 m	—
傾斜落下	9 m	傾斜角度 <input type="text"/>

(口)－第A.付2表 1/2スケールモデル寸法

	寸法 (mm)
容器 全長 (緩衝体除く。) 外径 (緩衝体除く。)	
上・下部緩衝体 外径 長さ カバープレート板厚	

(口)－第A.付3表 落下試験における主な測定項目

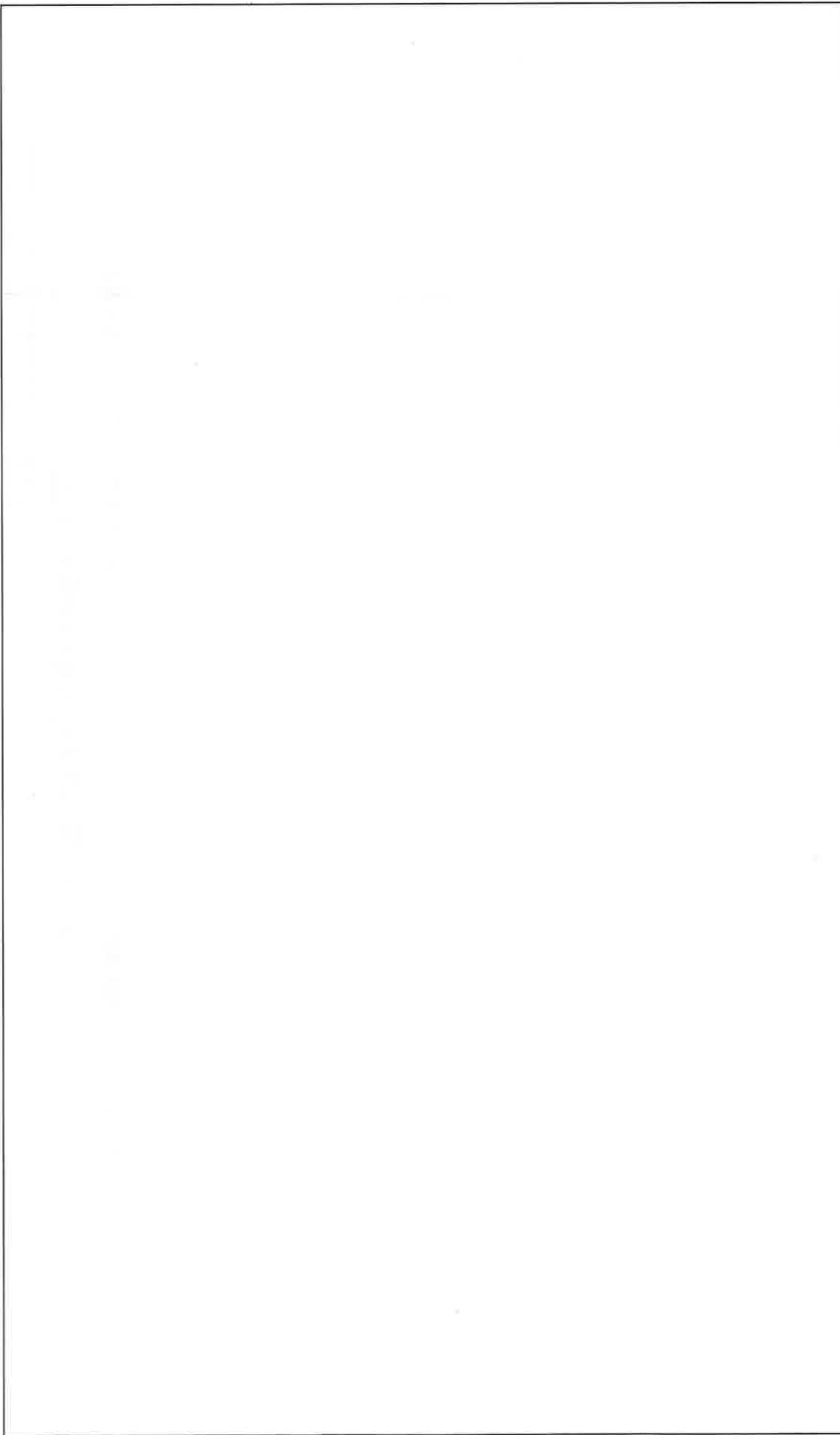
測定項目	測定部位	測定器等
緩衝体変形量	上・下部緩衝体	スケール
加速度	容器、バスケット	加速度計
ひずみ	蓋ボルト及び蓋板	ひずみゲージ
漏えい率	蓋部	圧力計



<1/2スケールモデル容器>

(口) - 第A. 付 1 図 1/2スケールモデル形状図 (1/3)

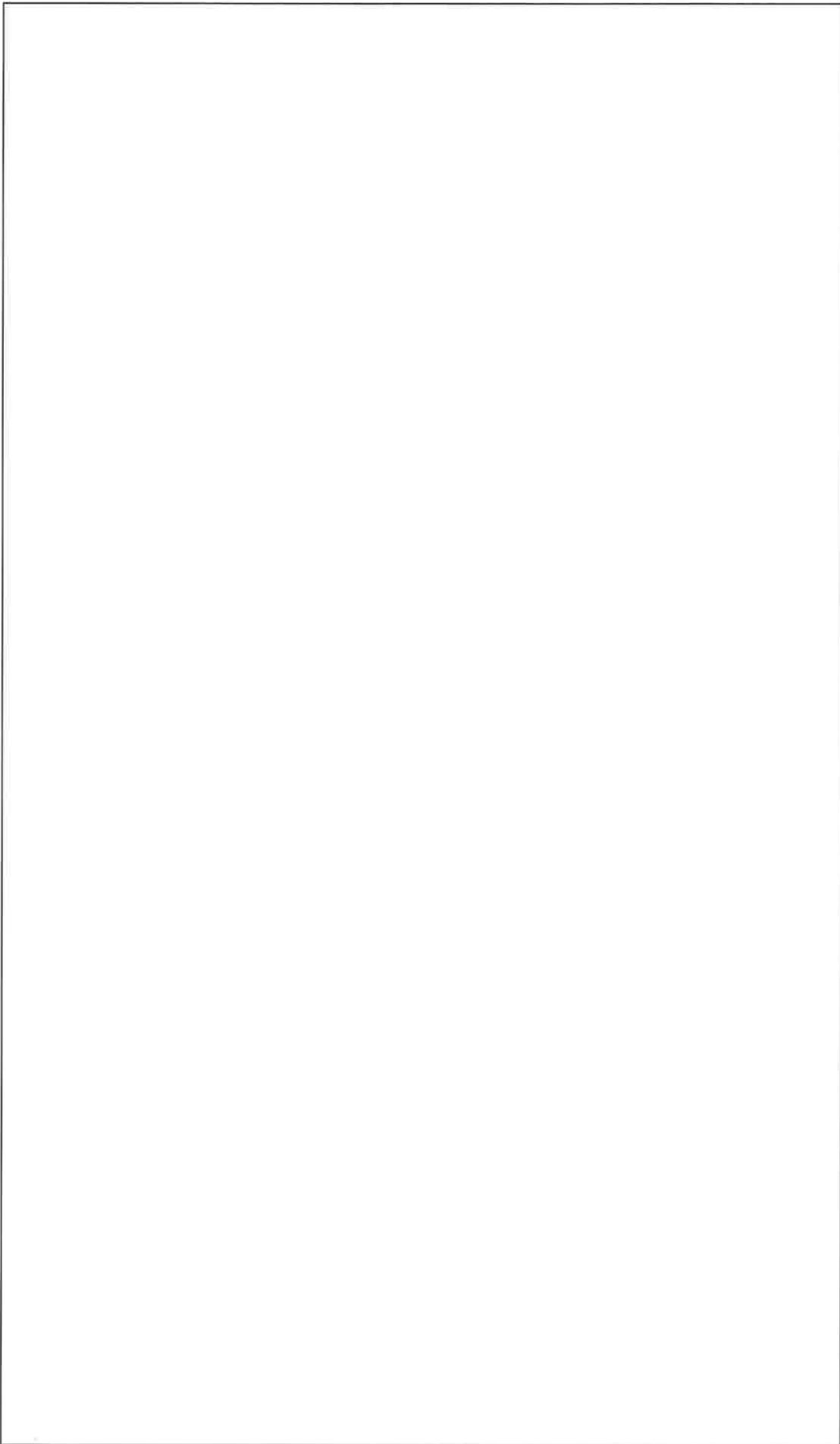
注記：不開示情報を含むため一部削除



<1/2スケールモデルバスケット>

(ロ) - 第A. 付1図 1/2スケールモデル形状図 (2/3)

注記：不開示情報を含むため一部削除

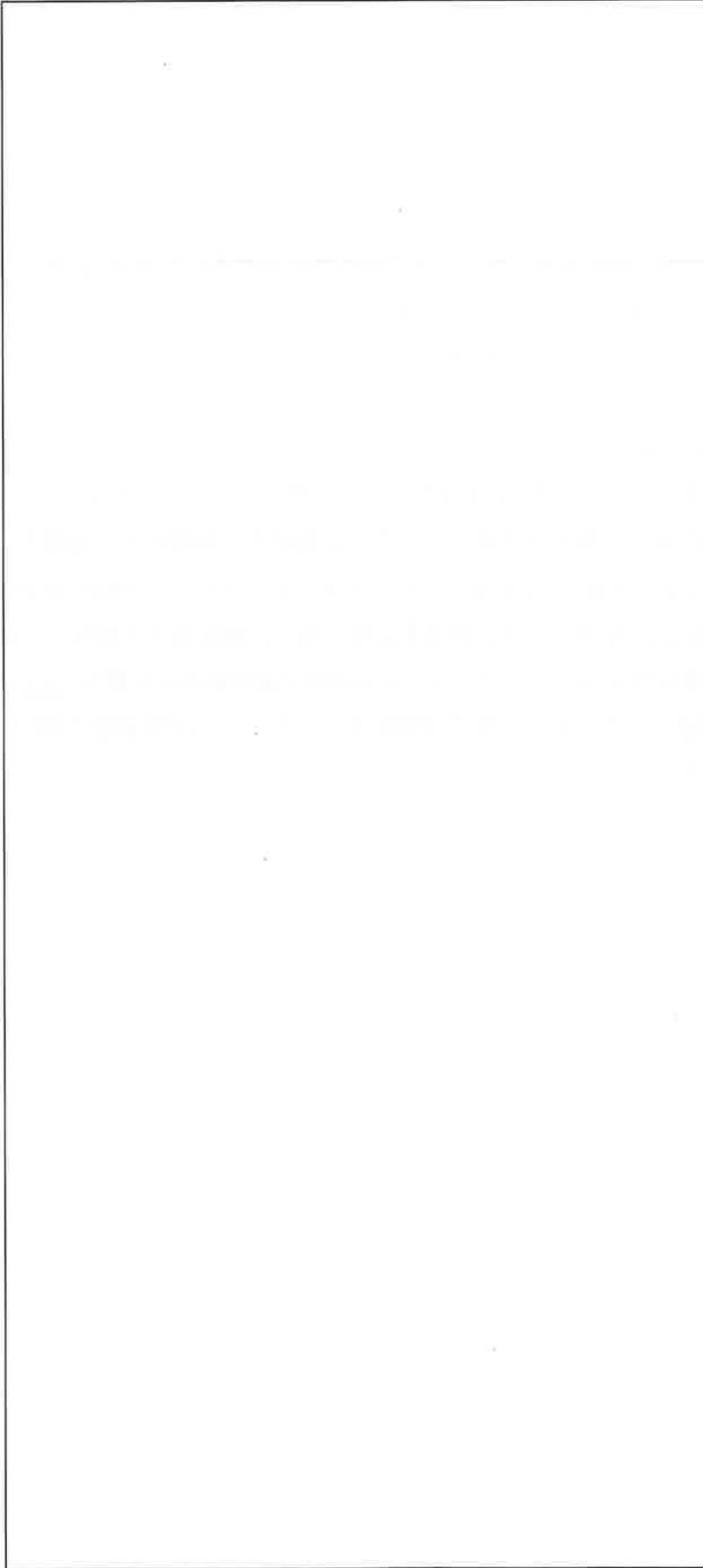


<1/2スケールモデル上部緩衝体>

<1/2スケールモデル下部緩衝体>

(口) - 第A.付1図 1/2スケールモデル形状図 (3/3)

注記：不開示情報を含むため一部削除



●：加速度計設置位置

注記) 蓋ボルト及び蓋板にひずみゲージを設置

(口) - 第A. 付2図 1/2 スケールモデル計測機器配置図

注記：不開示情報を含むため一部削除

3. 試験結果

試験で得られた容器及びバスケットの加速度、並びに緩衝体の変形量を(口)－第A.付4表に、蓋ボルト及び蓋板のひずみから算出した応力を(口)－第A.付5表に示す。バスケットの加速度は容器の加速度より高いことを確認した。また、傾斜落下の加速度は水平落下の加速度より高いことを確認した。なお、加速度は350Hzのローパスフィルター処理を行ったものである。

また、試験の前後における蓋二重Oリング部の漏えい率を(口)－第A.付6表に示す。試験後も漏えい率の有意な増加はなく、漏えい率は十分基準値を下回っており、蓋部の密封性能が保持されていることを確認した。

4. 試験結果と解析結果の比較

1/2スケールモデルに対して、本輸送物の構造解析で用いている手法により、落下時の変形量及び衝撃加速度の解析を実施した。落下試験結果と解析結果の比較を(口)－第A.付7表及び(口)－第A.付8表に示す。同表に示すとおり、容器の加速度、緩衝体の変形量及び蓋ボルト応力のいずれも解析結果が落下試験結果を上回ることを確認した。

次に、落下試験結果のうち、バスケットの加速度と解析結果の比較を(口)－第A.付9表に示す。同表に示すとおり、落下試験結果のバスケットの加速度は解析結果を上回ることを確認した。

(ロ) - 第A. 付4表 1/2 スケールモデルの落下試験結果 (衝撃加速度及び緩衝体の変形量)

落下姿勢	衝撃加速度 (m/s ²) 注1)		緩衝体の 変形量 (mm) 注1)	許容変形量 (mm)
	容器	バスケット		
頭部垂直落下	[]		[]	150
水平落下			上部: [] 下部: []	上部: 207 下部: 187
傾斜落下注2)			(上部: []) (下部: [])	(上部: 207) (下部: 187)

注1) 表中の衝撃加速度及び緩衝体の変形量は、1/2 スケールモデルの落下試験における実測データである。複数ヶ所で測定したうちの最大値を示す。

注2) 傾斜落下試験の衝撃加速度については(ロ)章A. 10. 4を参照

(ロ) - 第A. 付5表 1/2 スケールモデルの落下試験結果

(蓋ボルト及び蓋板のひずみから算出した応力)

落下姿勢	応力の種類	応力 (MPa) 注1)	基準値 (MPa)
頭部垂直落下	平均引張応力	[]	
水平落下	平均引張応力		
傾斜落下	平均引張応力		

注1) 表中の応力は、1/2 スケールモデルの落下試験で得られたひずみから算出した値である。複数ヶ所で測定したうちの最大値を示す。

注2) 頭部垂直落下では蓋ボルトのひずみの測定データが不良であったため、蓋板のひずみの測定データ等から推定した値である。

(ロ) - 第A. 付6表 1/2 スケールモデルの落下試験前後の漏えい率

落下姿勢	漏えい率 (ref・cm ³ /s)		基準値 (ref・cm ³ /s)
	試験前	試験後	
頭部垂直落下	[]		3.0×10 ⁻²
水平落下			
傾斜落下			

(ロ) - 第A. 付7表 1/2 スケールモデルの落下試験結果と試験解析結果の比較

落下姿勢	1/2 スケールモデル 落下試験結果 [A]		1/2 スケールモデル 解析結果 ^{注1)} [B]		[B]/[A]	
	容器 衝撃加速度 ^{注2)} (m/s ²)	緩衝体の 変形量 (mm)	衝撃加速度 (m/s ²)	緩衝体の 変形量 (mm)	衝撃加速度	緩衝体の 変形量
頭部垂直落下	□		1700	138	□	
水平落下			856	229		

注1) (ロ) 章A. 6. 1と同様の評価方法により 1/2 スケールモデルを評価した結果

注2) 測定された容器本体の衝撃加速度の最大値

(ロ) - 第A. 付8表 落下時の蓋ボルトの応力評価結果

落下姿勢	応力の種類	試験結果より算 出した応力 (MPa)	ABAQUS 解析結果 (MPa)	基準値 (MPa)
頭部垂直落下	平均引張応力	□	213	□
水平落下	平均引張応力	□	151	□

(ロ) - 第A. 付9表 1/2 スケールモデルの落下試験結果における

容器とバスケットの衝撃加速度比較

落下姿勢	落下試験結果 (m/s ²)		1/2 スケール モデル 解析結果 ^{注2)} (m/s ²) [B]	[A]/[B]
	容器 ^{注1)}	バスケット ^{注1)} [A]		
頭部垂直落下	□		1700	□ ^{注3)}
水平落下	□		856	□ ^{注3)}

注1) 測定された最大の値

注2) (ロ) 章A. 6. 1と同様の評価方法により 1/2 スケールモデルを評価した結果

注3) 小数点第2位を切り上げた値

A. 10. 3 内部収納物の衝撃加速度を考慮した評価

(口) 章A. 10. 2の4. で示したように、解析結果に対して落下試験結果のバスケットの衝撃加速度は垂直落下時に□倍、水平落下時には□倍であった。そこで、特別の試験条件の垂直落下及び水平落下時のバスケット応力評価において、余裕率の最も小さい部材についてバスケットの衝撃加速度を考慮した評価により、解析の裕度の確認を行う。

垂直落下時に余裕率の最も小さいクロスプレートについて、解析と試験の衝撃加速度の比率□倍を考慮して、(口) - 第A. 45表で示した評価と同じように応力を評価した。評価結果としては、(口) - 第A. 付10表に示すようになり、基準値を満足する。

水平落下時に余裕率の最も小さいベースプレートについても同様に、解析と試験の衝撃加速度の比率□倍を考慮して、(口) - 第A. 50表で示した評価と同じように応力を評価した。評価結果としては、(口) - 第A. 付11表に示すようになり、基準値を満足する。

(口) - 第A. 付10表 垂直落下時に衝撃加速度の増倍が生じた場合の

クロスプレートの応力評価結果

応力 : σ_c (MPa)	衝撃加速度を□倍し た場合の応力 : σ_c (MPa)	基準値 : $1.5 f_c^*$ (MPa)	余裕率 (-)
161			

(口) - 第A. 付11表 水平落下時に衝撃加速度の増倍が生じた場合の

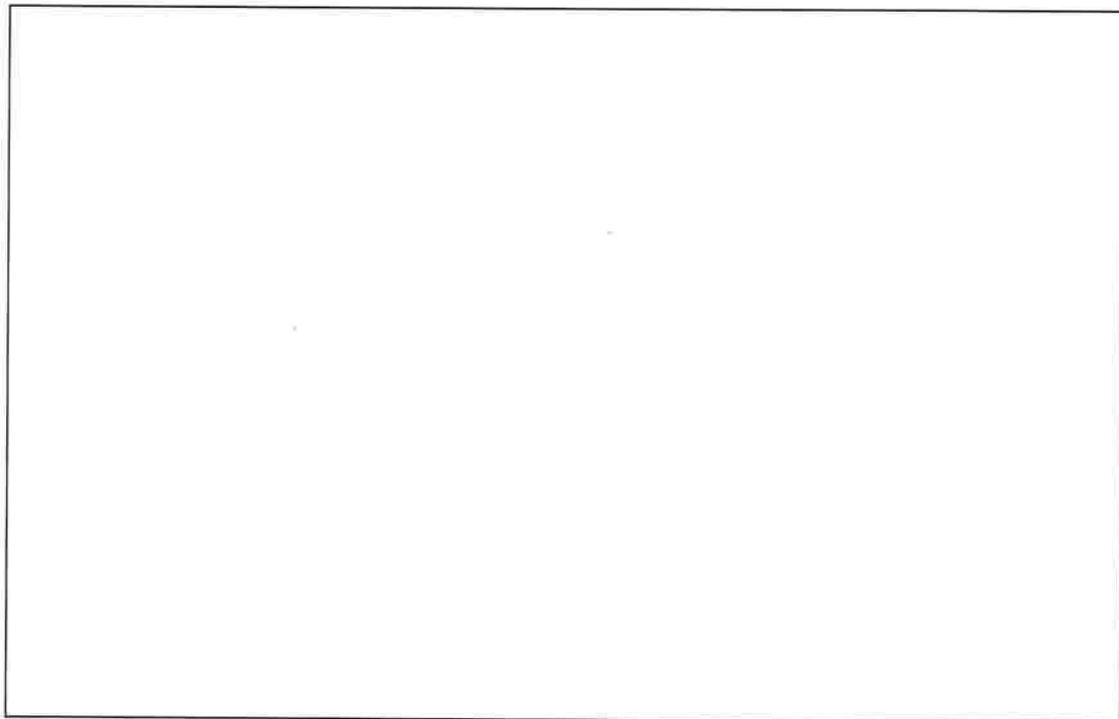
ベースプレートの応力評価結果

応力 : σ_b (MPa)	衝撃加速度を□倍し た場合の応力 : σ_b (MPa)	基準値 : S_u (MPa)	余裕率 (-)
132			

A. 10. 4 傾斜落下についての評価

1. 傾斜落下試験の加速度履歴

(口) - 第A. 付4表から、傾斜落下では水平落下に比べて約□倍と高い衝撃加速度が測定された。この原因について検討するため、(口) - 第A. 付3図に傾斜落下試験における本体頭部側の加速度履歴を示す。(口) - 第A. 付3図に示すように、落下の後半において衝撃加速度の急上昇が生じたことが確認できる。これは、落下の後半において、□
□
□ 衝撃
加速度が上昇したためである(以下、この事象を□
□ という。)。そのため、実輸送物では、□
□ 設計変更を行っている。



(口) - 第A. 付3図 傾斜落下における本体蓋部の加速度履歴

注記：不開示情報を含むため削除

2. [] 最大加速度

本項では、実輸送物に生じる加速度について検討するため、(口) - 第A. 付 3 図に示す試験結果から、[] 最大加速度について評価を行う。

(口) - 第A. 付 4 図に傾斜落下試験の加速度履歴 []

[] を示す。 []

[] 加速度履歴については、以下の 2 点から設定した。

① []

② []

[] 最大加速度を求めた場合、[] であった。ここで、水平落下の加速度との比較を (口) - 第A. 付 12 表に示す。

(口) - 第A. 付 12 表より、傾斜落下時の加速度は水平落下の解析結果の [] 倍程度であることが確認された。そこで、実輸送物における傾斜落下時の加速度を落下試験で求められた水平落下の解析結果との比率を用いて算出した。結果を (口) - 第A. 付 13 表に示す。

(口) - 第A. 付 4 図 [] 加速度履歴

注記：不開示情報を含むため削除

(口) - 第A. 付 12 表

最大加速度			
落下試験 水平落下加速度 ^{注1)} (m/s ²)	1/2 スケールモデル 水平落下解析結果 ^{注2)} (m/s ²) [A]	傾斜落下加速度 ^{注3)} (m/s ²) [B]	[B]/[A]
□	856	□	□ ^{注4)}

注 1) 測定された容器の加速度の最大の値

注 2) (口) 章A. 6. 1 と同様の評価方法により 1/2 スケールモデルを評価した結果

注 3) □ 最大加速度

注 4) 小数点第 2 位を切り上げた値

(口) - 第A. 付 13 表 実輸送物における傾斜落下時の最大加速度

9 m 水平落下加速度 (m/s ²)	9 m 傾斜落下加速度 (m/s ²)
609	□

A. 10. 5 火災時に外筒に貫通孔が開いた場合の影響

本項では、火災時の側部中性子遮蔽材部圧力が最大の時点において、フランジ部近傍の外筒に1m貫通試験の影響を考慮した開口部（直径15cmの円の面積）が瞬時に発生して側部中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液が噴出する場合の密封性への影響について確認する。なお、実際には外筒に小さな孔が開いた時点で側部中性子遮蔽材部圧力は低下するため、開口部が大きくなることは考えにくい。

1. プロピレングリコール水溶液噴出時の荷重

(1) ジェット力

プロピレングリコール水溶液がジェット状に噴出する場合、このジェットは容器外に対して荷重を与える。この荷重をジェット力とする。ジェット力 F_j (N) は、配管破損防護設計規格¹⁵⁾より次式で求められる。

$$F_j = C_T P_w A_E$$

ここで、 C_T ：定常スラスト係数

P_w ：側部中性子遮蔽材部圧力 (MPa)

A_E ：開口部の面積 (mm²)

(2) ジェット反力

プロピレングリコール水溶液がジェット状に噴出する場合、容器にはジェット力と反対方向の加速度が生じる。この際、容器に加速度を与えているのはプロピレングリコール水溶液接液部に負荷された側部中性子遮蔽材部圧力であり、これをジェット反力とする。

日本原子力研究所にて実施された配管破断を模擬したジェット衝突試験¹⁶⁾により、ジェット力及び配管反力（ジェット反力）がほぼ等しいこと及び定常スラスト係数 C_T が約0.95となったことが報告されている。

ここで、保守的に定常スラスト係数 C_T を1、側部中性子遮蔽材部圧力 P_w を12MPaG (12.1MPa)、開口部の面積 A_E を直径15cmの円の面積とすると、(1)に示す式より、ジェット力及びジェット反力は 2.14×10^5 (N) となる。

なお、この場合のジェット反力の大きさは、(ロ)章A. 5. 3に示す0.3m落下時の衝撃力の1/10程度であり、収納物に悪影響を及ぼす事象にならない。

2. 解析条件

開口部の変形状態やジェット反力の大小による影響について以下の4ケースにより確認する。

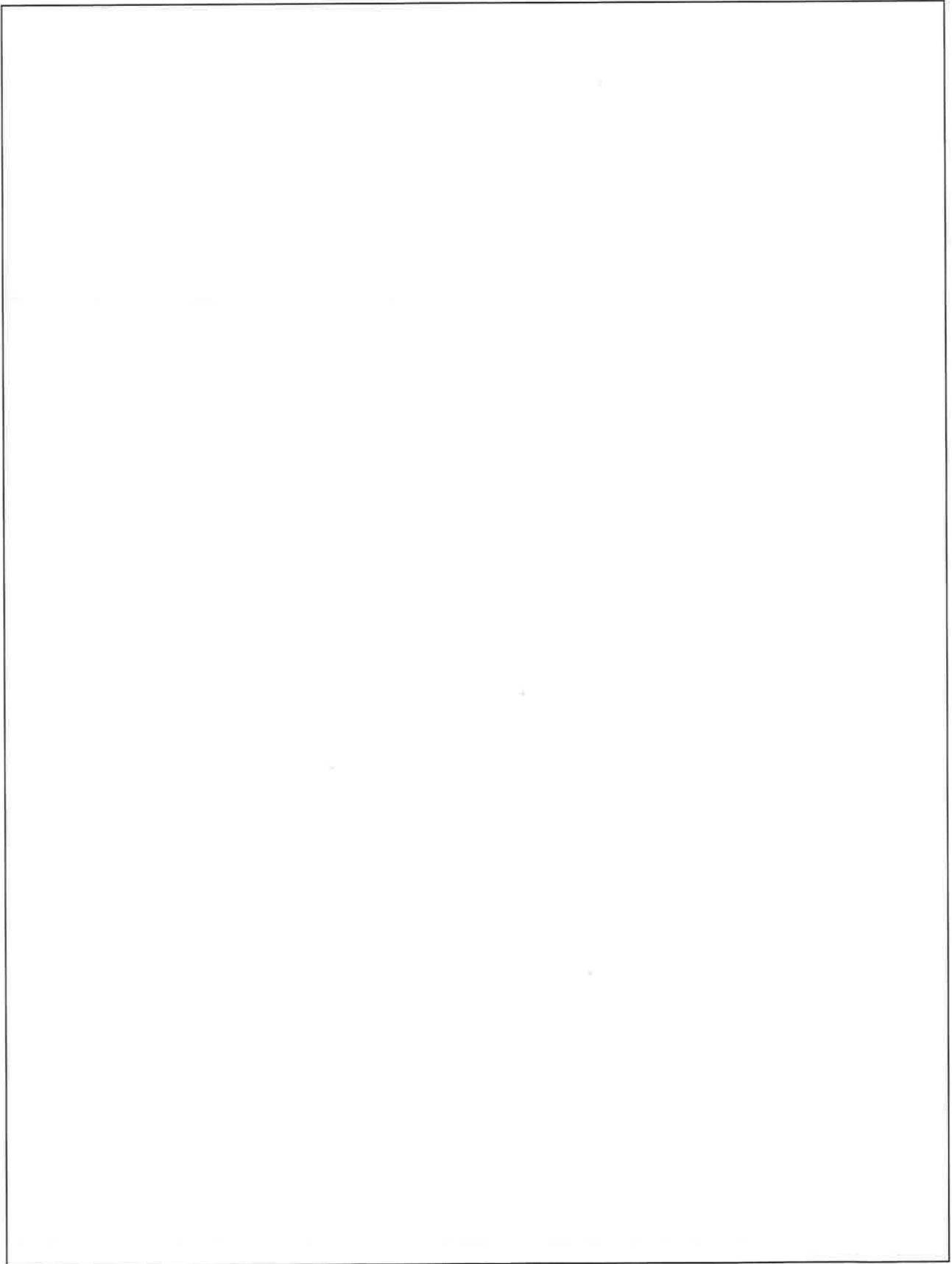
・ケース①：開口部をモデル化しジェット反力を考慮するケース

・ケース②：


・ケース③：

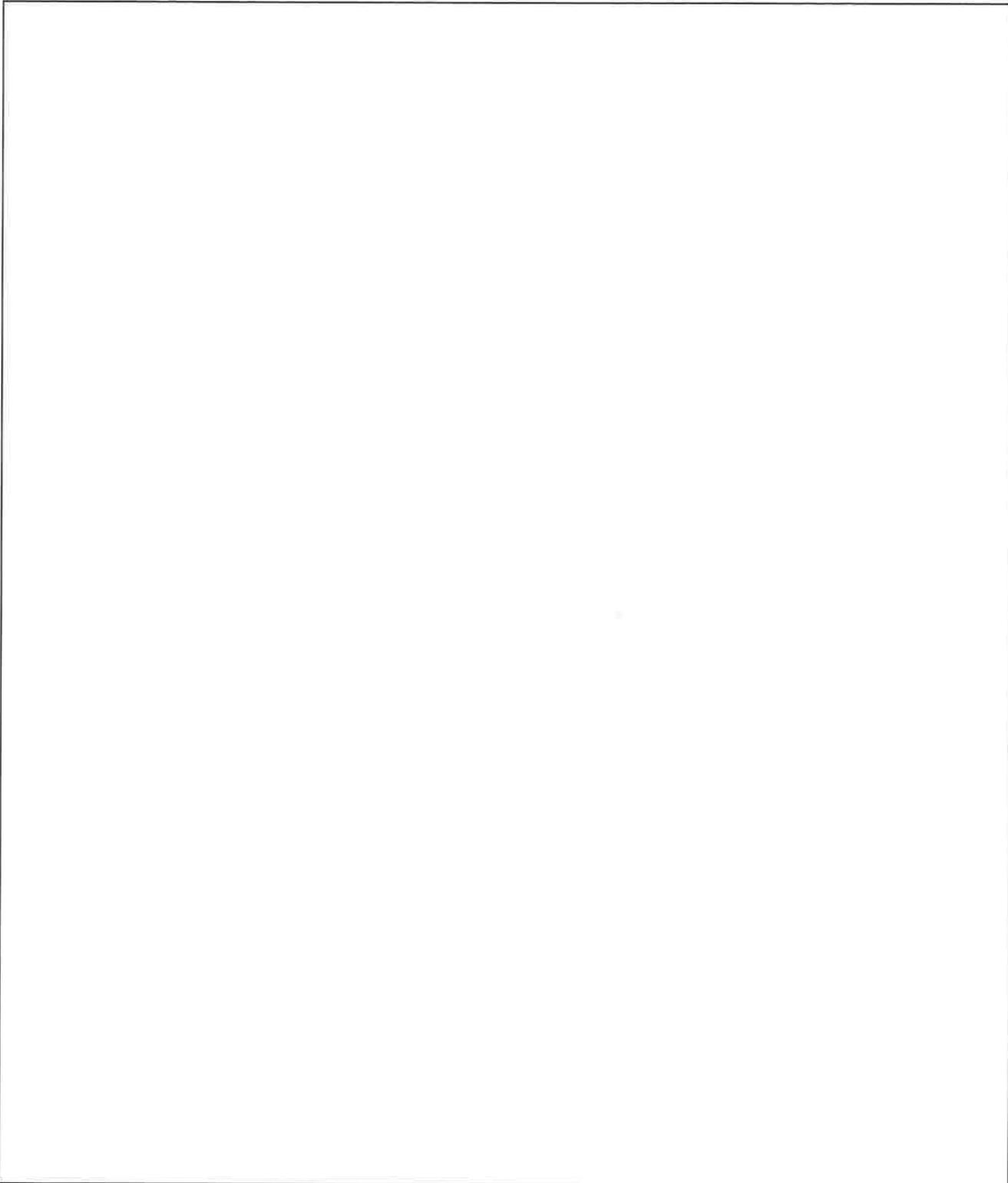

・ケース④：

解析モデルを(口) - 第A. 付5図に示す。本解析モデルは、(口) - 第A. 25図に示す水平落下時の三次元解析モデルと同等であり、相違点は、最上部の仕切板について溶接部形状を詳細に模擬した点と、開口部の有無である。また、荷重条件及び境界条件を(口) - 第A. 付6図に示す。



(口) - 第A. 付5図 火災時に外筒に貫通孔が開いた場合の三次元解析モデル

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 付6図 荷重条件及び境界条件

注記：不開示情報を含むため削除

3. 解析結果

開口部周辺の変形状態は各ケースにより異なるが、それ以外の部位の変形状態については同等である。変形状態図を(口) - 第A. 付7図に示す。

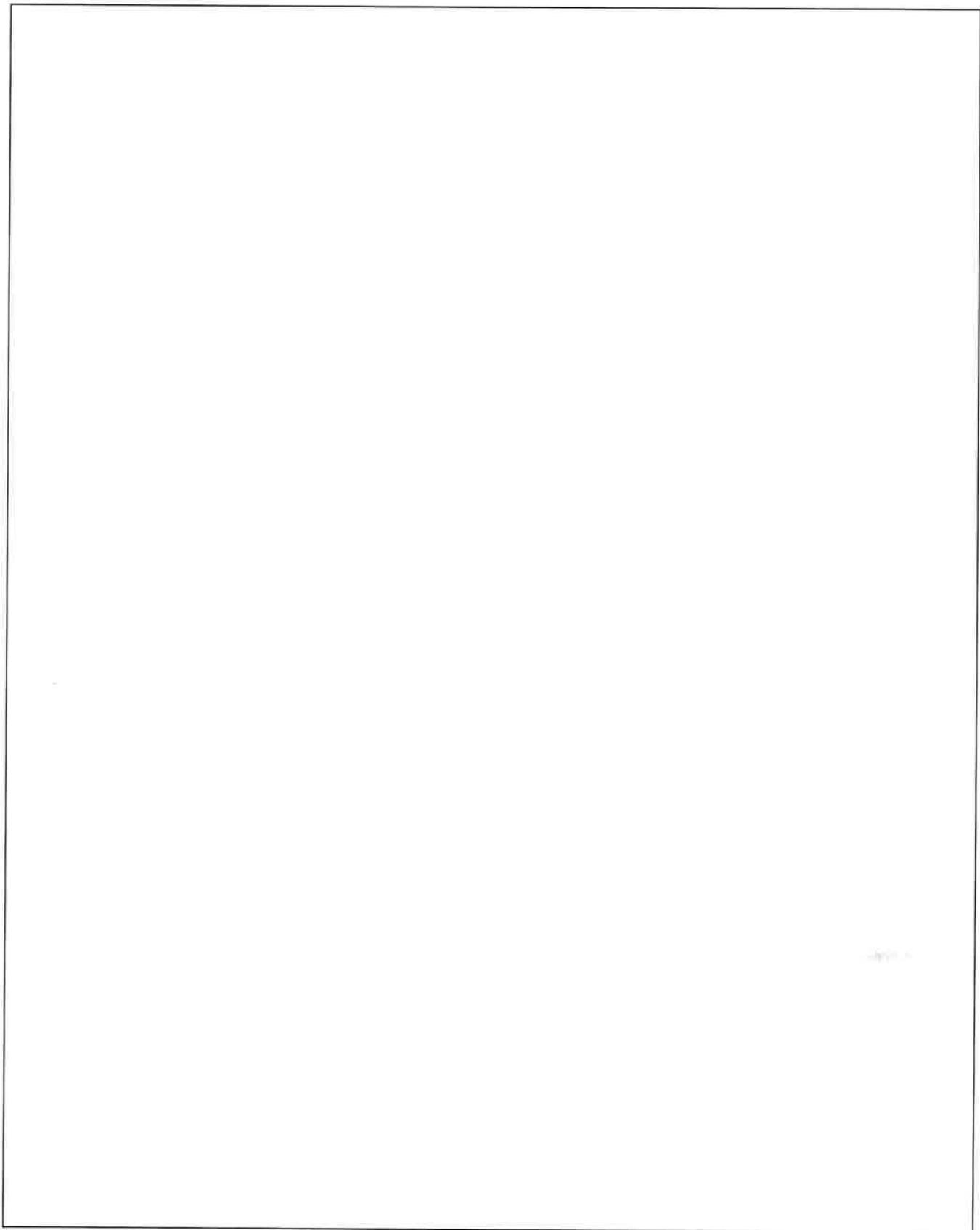
蓋ボルト応力及び蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量を(口) - 第A. 付14表に示す。表に示すように、いずれのケースにおいても蓋ボルト応力及び口開き変形量は解析基準値を満足する。

また、ケース③

の結果から、外筒の変形による密封部への影響はほとんどなく、外筒に開口部が生じる際に外筒に生じる衝撃により密封部が損なわれることはない。さらに、側部中性子遮蔽材部圧力が急減する際に内筒の弾性変形が戻るが、側部中性子遮蔽材部圧力による内筒の変形はわずかであり、内筒に生じる衝撃により密封性が損なわれることはない。

(口) - 第A. 付14表 ケース①から④における蓋ボルト応力及び口開き変形量

		蓋ボルト応力 (MPa)			口開き変形量 (mm)	
		解析結果		解析基準値	解析結果	解析基準値
		σ_m	$\sigma_m + \sigma_b$			
ケース①	開口部をモデル化し ジェット反力を考慮する ケース	335	678		0.35	
ケース②		336	680		0.35	
ケース③		334	676		0.34	
ケース④		334	675		0.34	



(口) - 第A. 付7図 変形状態図 (変形倍率10倍)

注記：不開示情報を含むため削除

A. 10. 6 熱的試験（火災試験）において側部中性子遮蔽材が漏出しない場合の影響

本項では、側部中性子遮蔽材が漏出せず、熱的試験（火災試験）において側部中性子遮蔽材部圧力が負荷された状態における密封性への影響及び外筒の変形について確認する。

1. 密封性への影響

輸送容器各部の温度は、(口)章B. 6. 3の熱解析から求まる。火災発生30分後における温度分布及び(口) - 第A. 付15表に示す圧力を荷重条件とし、(口) - 第A. 8図に示す三次元ボルト1ピッチモデルを用いてABAQUSコードによる解析を行った結果、容器本体の一次応力の評価において最小の余裕率は内筒の□であり、基準を満足する。また、蓋ボルトの平均引張応力は339MPa、平均引張応力+曲げ応力は686MPaであり160℃における解析基準値□より小さい。

さらに、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は0.35mmであり、Oリングの初期締付代□より小さく、密封性が損なわれることはない。

(口) - 第A. 付15表 側部中性子遮蔽材が漏出しない場合の最大圧力の要約

項目	熱解析結果	構造解析使用圧力	圧力設定方法
内筒内圧	0.301 MPa (0.199 MPaG)	0.30 MPaG	熱解析結果に余裕を取った値を使用
側部中性子遮蔽材部圧力	9.51 MPa (9.41 MPaG)	12.0 MPaG	熱解析結果に余裕を取った値を使用

2. 外筒の変形

(口)章B. 6. 3に示すとおり、側部中性子遮蔽材部の圧力が最大のときに、外筒は仕切板間隔が最長となる容器中央部の仕切板間中央において半径が最大40mm膨張するが、1.に示すとおり輸送物の密封性が損なわれることはない。

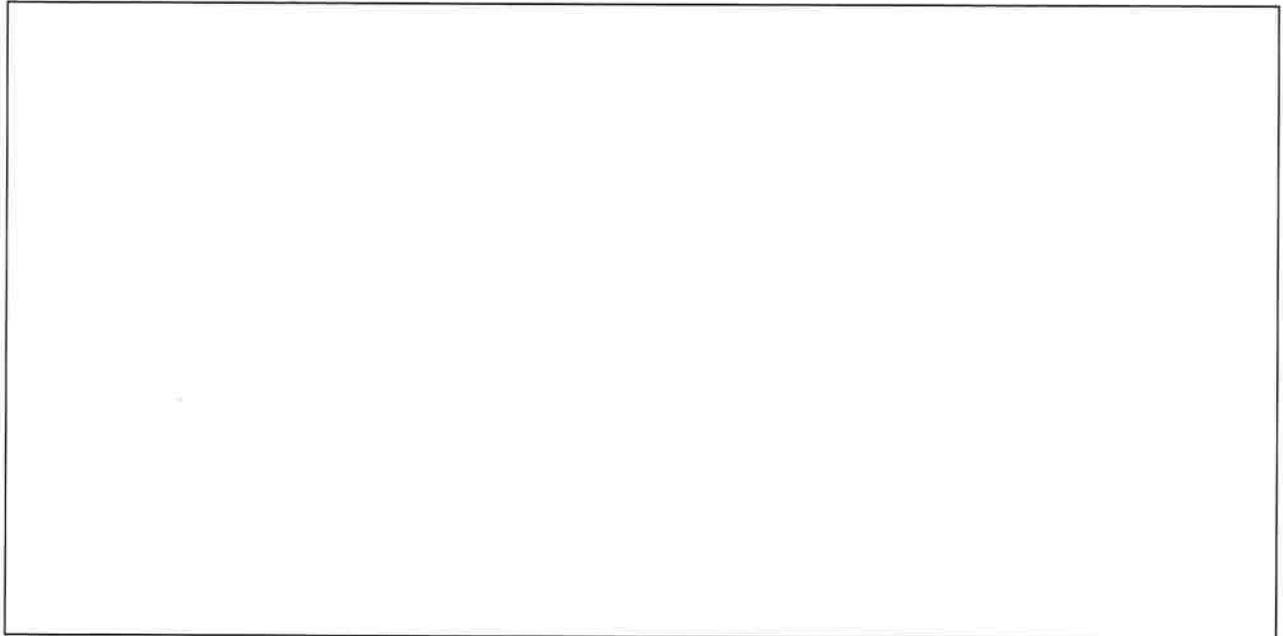
A. 10. 7 熱的試験（火災試験）において火災前に側部中性子遮蔽材が漏出した場合の影響

本項では、火災前に側部中性子遮蔽材が漏出した場合における密封性への影響について確認する。

輸送容器各部の温度は、(口)章B. 6. 4の熱解析から求まる。火災発生30分後における温度分布及び内筒内圧(0.30 MPaG)を荷重条件とし、(口) - 第A. 付8図に示す周方向1/8解析モデルを用いてABAQUSコードによる弾塑性解析を行った結果、蓋ボルトの平均引張応力は297MPa、平均引張応力+曲げ応力は628MPaであり160℃における解析基準値□より小さい。

また、蓋と本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は0.35mmであり、Oリングの初期締付代□より小さいことから、密封性が損なわれることはない。

なお、(口)章A. 6. 3に示す火災発生30分後に側部中性子遮蔽材が漏出した場合の評価と荷重条件が同等となるため、容器本体の一次応力は(口) - 第A. 62表に示す結果と同等であり、いずれの応力も(口)章A. 1. 2に定めた基準を満足する。



(口) - 第A. 付8図 周方向1/8解析モデル

注記：不開示情報を含むため削除

A. 10. 8 部分モデル供試体破断試験

1. 概要

外筒健全時の側部中性子遮蔽材部圧力に対する外筒等の変形挙動を確認し、再現解析により変形挙動模擬の妥当性を確認した。

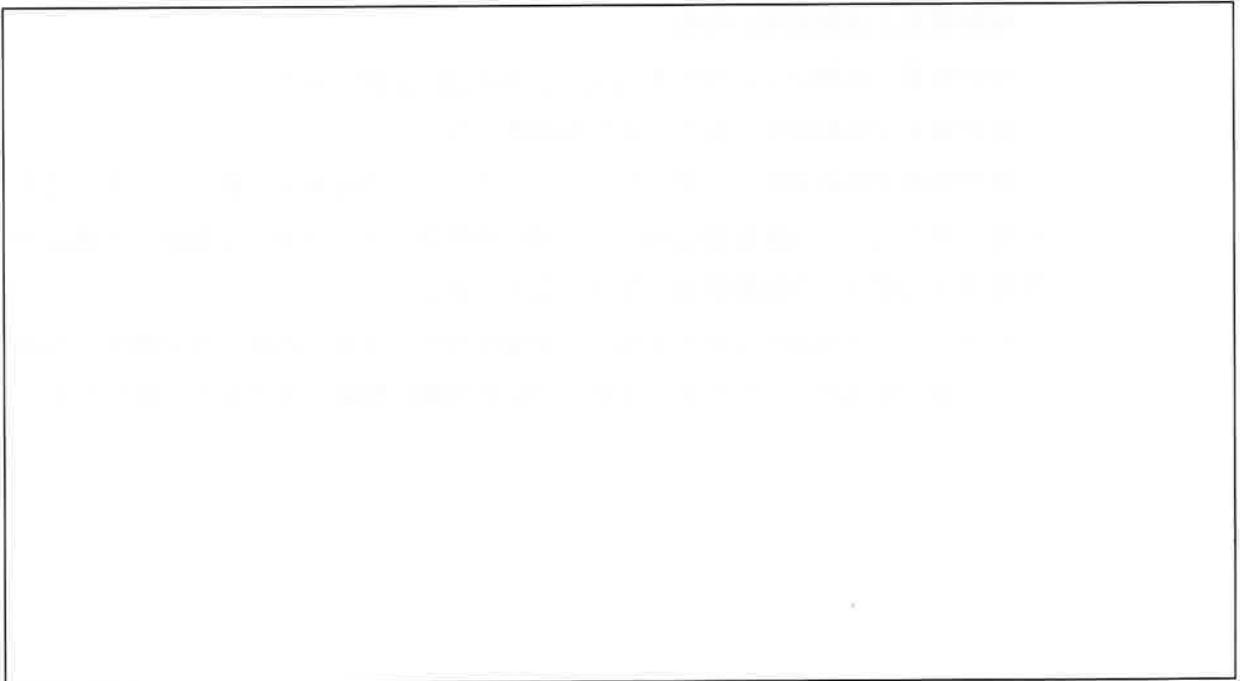
2. 試験条件

(1) 供試体

試験に用いた供試体形状図を(口) - 第A. 付9図に示す。内筒、外筒は軸方向寸法を約半分とした部分モデルとし、上部及び中間部仕切板における外筒及び内筒との溶接部は実機を模擬した。

(2) 試験方法

供試体を横置き状態で、側部中性子遮蔽材部を満水状態とし常温にてポンプにより加圧し、側部中性子遮蔽材部圧力を測定するとともに、主要部位の変位及びひずみ量を測定した。



(口) - 第A. 付9図 供試体形状図

注記：不開示情報を含むため削除

3. 試験結果

側部中性子遮蔽材部圧力が [] で外筒と下部仕切板の [] 溶接部の 180° 位置で割れが生じ、水が噴出した。また、このときの外筒の径方向の変位は []
[] であった。

4. 試験結果と解析結果の比較

(1) 解析モデル

再現解析モデル図を (口) - 第A. 付 10 図に示す。

外筒の変形挙動を模擬するため、外筒及び内筒と仕切板の溶接部分の形状を詳細に模擬した三次元解析モデルを用いて弾塑性解析を行う。

(2) 荷重条件及び境界条件

荷重条件及び境界条件を (口) - 第A. 付 11 図に示す。

側部中性子遮蔽材部接液部に均等な圧力を負荷する。

[] 位置における全方向の変位及び回転を拘束した。また、0° - 180° 面の対称面において対称面法線方向の変位を拘束し、他は変位自由とした。

(3) 解析結果と試験結果の比較

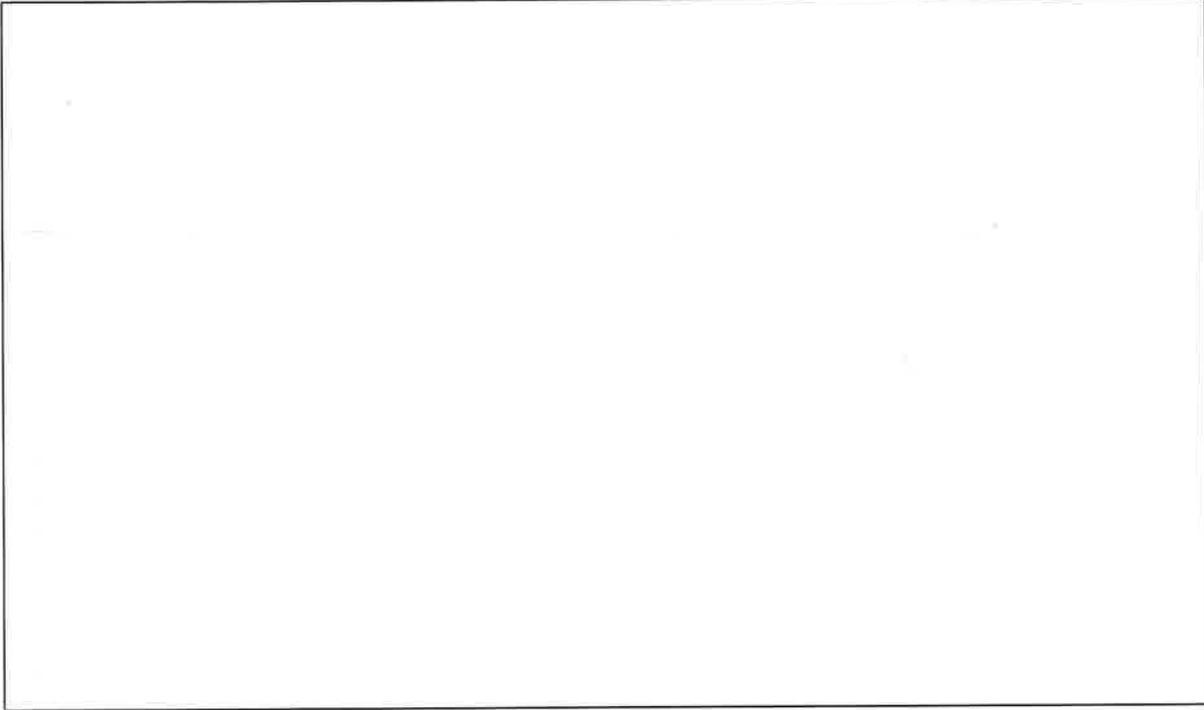
解析結果と試験結果の比較を (口) - 第A. 付 12 図に示す。

解析結果が試験結果とよく一致する結果となった。

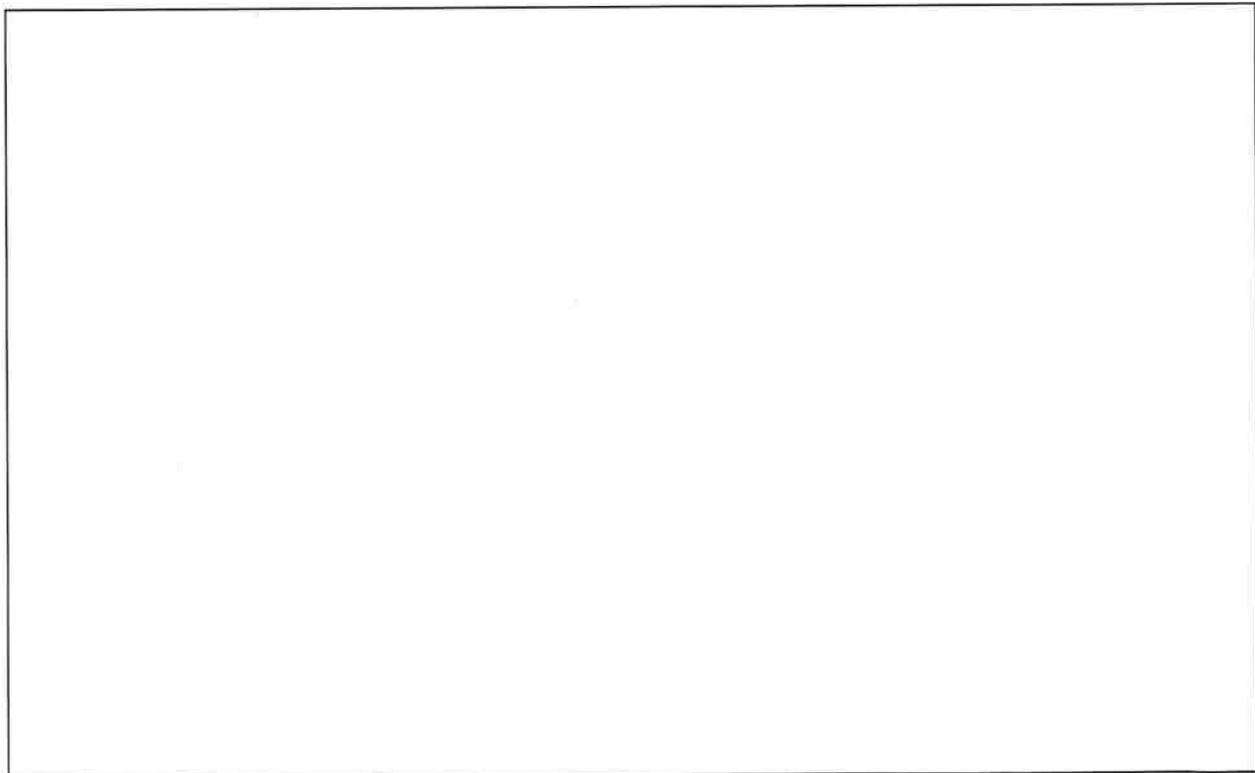
変形挙動が試験結果と一致していることから、応力分布も一致していると考えられる。また、[] 溶接部に向かって高い塑性ひずみが分布しており、下部仕切板溶接部から漏水した試験結果と比べて妥当である。

以上より、再現解析モデルを用いた弾塑性解析は外筒・内筒・仕切板等が溶接され、内筒・外筒間に圧力が生じる場合の変形挙動を模擬できており、妥当である。

注記：不開示情報を含むため削除

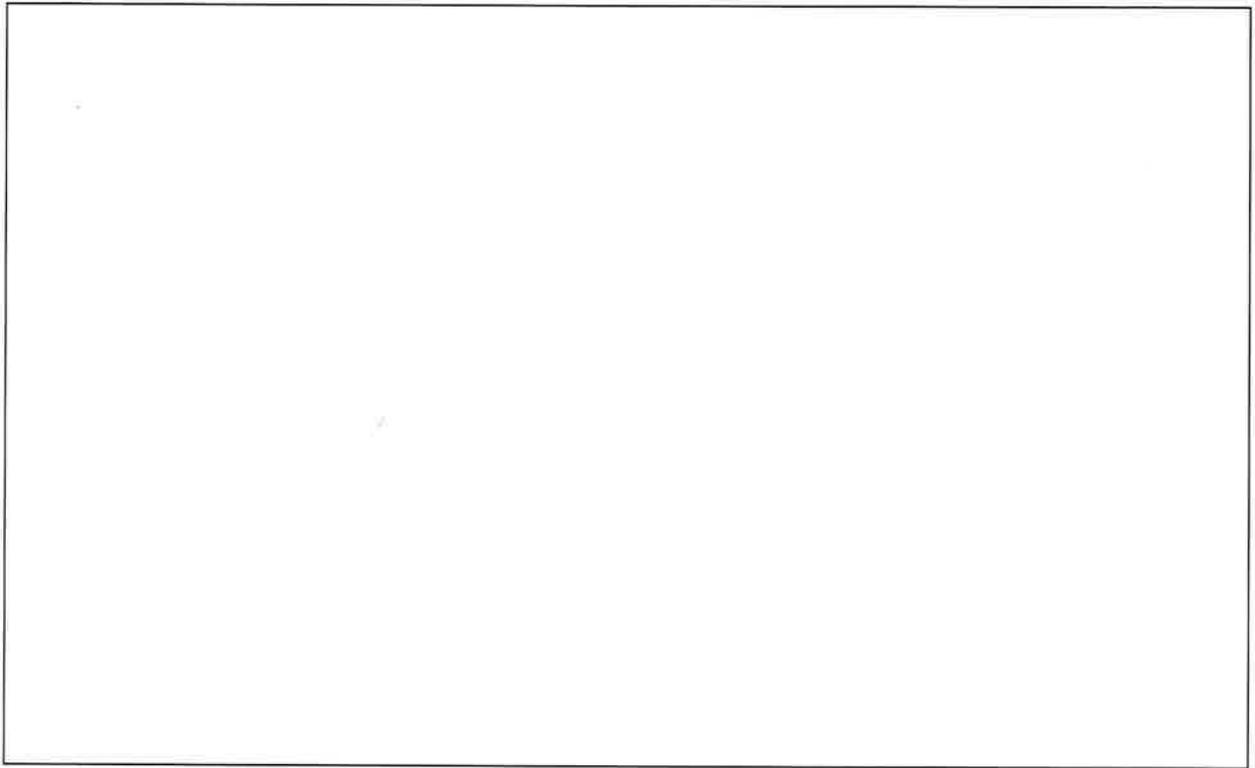


(口) - 第A. 付 10 図 再現解析モデル



(口) - 第A. 付 11 図 荷重条件及び境界条件

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第A. 付 12 図 解析結果と試験結果の比較 (圧力-変位関係)

注記：不開示情報を含むため削除

A. 10. 9 落下時の容器本体評価における荷重の保守性について

容器本体の応力計算の荷重条件の内、バスケット及び燃料集合体の慣性力の保守性について示す。

1. 垂直落下

バスケットは、(イ)章C. 2. に記載したとおり、容器本体底板と底部固定ボルトで固定されている。

これらを模擬した(ロ)章A. 10. 2に示した1/2スケールモデルを用いた頭部9m垂直落下において、バスケットを容器本体に固定している底部固定ボルト等は、変形は見られたが破断せず、蓋部に大きな荷重が生じるような挙動は見られなかった。

燃料集合体は、(イ)章C. 2. に記載したとおり、蓋下部に取り付けられた燃料集合体を軸方向に支持するための軸方向燃料固縛装置により固縛されているため、燃料集合体の慣性力が蓋内面に生じる。

以上より、(ロ)章A. 5. 3. 2では、燃料集合体の慣性力を蓋内面に負荷しており、妥当な荷重条件による評価となっている。なお、(ロ)章A. 6. 1. 1では、底部固定ボルト等によるバスケットの支持を保守的に無視して、バスケット及び燃料集合体の慣性力を蓋内面に負荷していることから、保守的な評価となっている。

2. 水平落下

1. に記載したとおり、バスケットは底部固定ボルトにより固定されている。また、燃料集合体は、軸方向燃料固縛装置及び径方向燃料固縛装置により固縛されているため、バスケットと燃料集合体に輸送物径方向の隙間は生じず、燃料集合体はバスケットと一体として挙動する。

以上より、(ロ)章A. 5. 3. 2及び(ロ)章A. 6. 1. 2では、バスケット及び燃料集合体の慣性力を内筒内面に負荷しており、(ロ)一第A. 付8表に示すように、(ロ)章A. 6. 1. 2の評価結果が落下試験結果を包含していることから、保守的な評価となっている。

A. 10. 10 緩衝材低温時の強度評価

NFT-M4P型輸送容器の緩衝体緩衝材には木材 () を適用している。緩衝材である各木材は、使用最低温度である-20℃では常温時に対して強度が 上昇する。-20℃の木材強度を用いて評価を行った場合に輸送物に発生する衝撃加速度は、(口) -第A. 21 表及び(口) -第A. 42 表に示す衝撃加速度に対して増加する。本項では、その衝撃加速度の増加を考慮しても、輸送物の各部位に発生する応力は解析基準値を満足することを確認した。

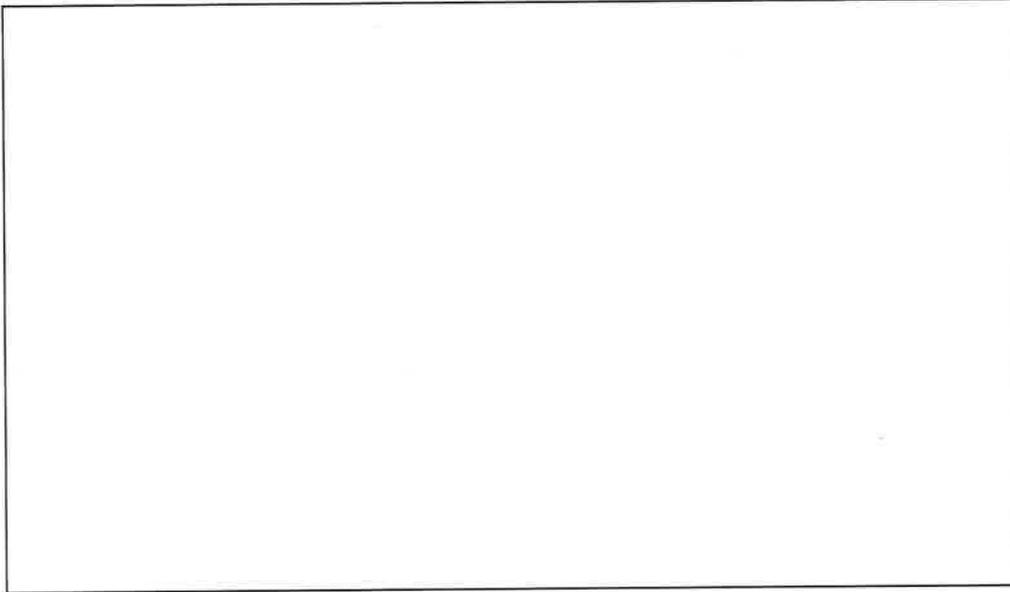
1. -20℃における木材強度の上昇割合

木材は温度が低くなると強度が上昇する。その特性を衝撃加速度評価で考慮するために、温度係数として木材の応力-ひずみ特性に考慮する。各圧潰方向に対する温度と温度係数の関係を (口) -第A. 付 13 図及び(口) -第A. 付 14 図に示す。

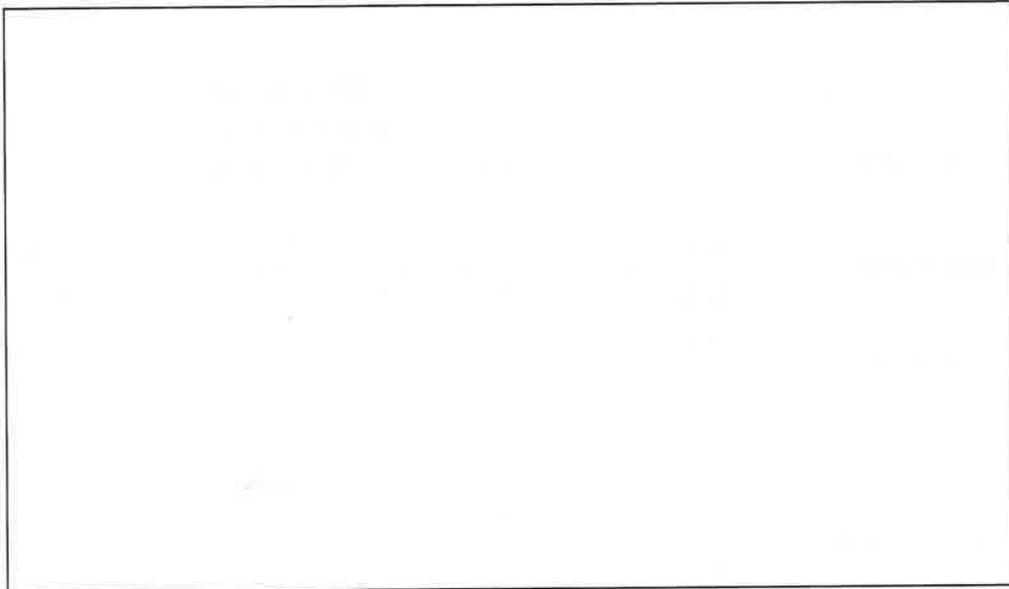
その関係から、木材の温度を本輸送物の周囲温度である-20℃とした場合の温度係数を求めた。木材低温時に木材の応力-ひずみ特性に考慮する温度係数を (口) -第A. 付 16 表に示す。

(口) -第A. 付 16 表 木材の応力-ひずみ特性に考慮する温度係数 (低温時：-20℃)

木材種	圧潰方向	温度係数
<input type="text"/>	木目方向	<input type="text"/>
	木目直角方向	<input type="text"/>



(口) - 第A. 付 13 図 温度と温度係数の関係 (/木目方向)



(口) - 第A. 付 14 図 温度と温度係数の関係 (/木目直角方向)

2. -20℃における衝撃加速度

1. に示す木材強度の上昇割合を考慮して衝撃加速度評価を行った結果を (口) - 第A. 付 17 表 (0.3m落下時) 及び (口) - 第A. 付 18 表 (9m落下時) に示す。その他の解析方法は (口) 章A. 5. 3. 1 及び (口) 章A. 6. 1 に示す方法と同様である。

木材温度が低くなると木材の強度は上昇するため、(口) - 第A. 付 17 表及び (口) - 第A. 付 18 表に示すとおり、落下時の衝撃加速度は常温時に比べて大きくなる。ただし、0.3m落下時における木材低温時の衝撃加速度は (口) - 第A. 21 表に示す設計加速度より小さく、(口) 章A. 5. 3 に示す応力評価に包含されるため、構造強度への影響はない。

(口) - 第A. 付 17 表 0.3m落下時の衝撃加速度計算結果

落下姿勢	木材温度	衝撃加速度 (m/s ²)		
		計算結果 ^{注)} [A]	設計加速度 ^{注)} [B]	[A]/[B]
頭部垂直落下	常温	143	150	0.96
	低温	148		0.99
底部垂直落下	常温	143	150	0.96
	低温	148		0.99
水平落下	常温	200	220	0.91
	低温	208		0.95
頭部コーナー落下	常温	133	-	-
	低温	135		-
底部コーナー落下	常温	135	-	-
	低温	133		-

注) 計算結果 (常温) と設計加速度は、(口) - 第A. 21 表に記載する値

(口) - 第A. 付 18 表 9m落下時の衝撃加速度計算結果

落下姿勢	木材温度	衝撃加速度 (m/s ²)		
		計算結果 ^{注)} [A]	設計加速度 ^{注)} [B]	[A]/[B]
頭部垂直落下	常温	826	840	0.99
	低温	867		1.04
底部垂直落下	常温	826	840	0.99
	低温	867		1.04
水平落下	常温	615	630	0.98
	低温	638		1.02
頭部コーナー落下	常温	807	820	0.99
	低温	842		1.03
底部コーナー落下	常温	806	-	-
	低温	842		-

注) 計算結果 (常温) と設計加速度は、(口) - 第A. 74 表に記載する値 (落下高さを 0.3m落下と 9m落下の合計 9.3mとした場合の解析結果)。また、計算結果 (低温) は、落下高さを 0.3m落下と 9m落下の合計 9.3mとした場合の解析結果

3. 衝撃加速度の上昇が構造強度に与える影響

木材常温時に対する木材低温時における衝撃加速度の上昇が構造評価に与える影響について以下に示す。

(口) - 第A. 付 17 表及び (口) - 第A. 付 18 表に示すとおり、9 m落下時の木材低温時における衝撃加速度は、(口) - 第A. 42 表に示す設計加速度（構造評価に代入する加速度）から増加する。ここで、木材常温時の応力評価において余裕率が最も小さい部位について、木材低温時の衝撃加速度において発生する応力を評価する。評価式を以下に示す。

$$\sigma_1 = (\sigma_2 - \sigma_f) \times \frac{\alpha_1}{\alpha_2} + \sigma_f \quad (\text{蓋ボルトの評価式})$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 \times \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (\text{蓋ボルト以外の評価式})$$

- ここで、
- σ_1 : 木材低温時の 9 m落下時に評価部位に発生する応力 (MPa)
 - σ_2 : 9 m落下時の設計加速度において評価部位に発生する応力 (MPa)
 - σ_f : 蓋ボルトの初期締付応力 (MPa)
 - α_1 : 木材低温時の衝撃加速度 (m/s^2)
 - α_2 : 9 m落下時の設計加速度 (m/s^2)

評価条件及び評価結果を (口) - 第A. 付 19 表に示す。(口) - 第A. 付 19 表に示すとおり評価部位に発生する応力は評価基準を満足する。

(口) - 第A. 付 19 表 9 m落下時の強度評価

落下姿勢	頭部垂直落下		底部垂直落下		水平落下		コーナー 落下
	外筒	蓋 ボルト	外筒	蓋 ボルト	外筒	蓋 ボルト	蓋ボルト
σ_2	323 MPa	536 MPa	298 MPa	179 MPa	237 MPa	236 MPa	402 MPa
σ_f	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>
α_1	867 m/s^2		867 m/s^2		638 m/s^2		842 m/s^2
α_2	840 m/s^2		840 m/s^2		630 m/s^2		820 m/s^2
σ_1	334 MPa	550 MPa	308 MPa	181 MPa	241 MPa	238 MPa	410 MPa
解析 基準値 ^{注)}	<input type="text"/>						

注) 解析基準値を設定する温度（輸送物各部位の低温時温度）は、木材温度と同程度低下（木材温度：38℃から-20℃へ約 60℃低下）するものとし、「低温時温度＝（設計温度）-60℃」とした。

A. 10. 11 参考文献

- 1) (社)日本機械学会, “使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)” JSME S FA1-2007, (2007).
- 2) (社)日本機械学会, “使用済燃料貯蔵施設規格 コンクリートキャスク, キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格” JSME S FB1-2003, (2003).
- 3) (社)日本機械学会, “発電用原子力設備規格 設計・建設規格<第I編 軽水炉規格>” JSME S NC1-2005 (2007年追補版含む), (2007).
- 4)

--

--

--

.
- 5) (財)原子力発電技術機構, “平成13年度高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書(PWR高燃焼度燃料 総合評価編)”, (2002).
- 6) (社)日本原子力学会, “使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準” AESJ-SC-F006:2006, (2006).
- 7) 原燃輸送株式会社, “レジンに関する基礎試験結果”, (1991).
- 8) 旭硝子株式会社, “旭硝子のプロピレングリコール”, (1995).
- 9) (独)森林総合研究所, “木材工業ハンドブック(改訂4版)”, (2004).
- 10) 産業技術センター, “複合材料技術集成”, (1976).
- 11) クレーン構造規格(平成7年労働省告示第134号).
- 12) 日本機械学会編, “機械工学便覧”, (2007).
- 13) 幾島, 浅田, “放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発、(I)緩衝体付き輸送容器衝突計算コード CRUSH”, 日本原子力学会誌 Vol. 33 No4, (1991).
- 14) International Atomic Energy Agency, “Spent Fuel Performance Assessment and Research: Final Report of a Coordinated Research Project on Spent Fuel Performance Assessment and Research (SPAR-III) 2009-2014”, IAEA-TECDOC-1771, (2015).
- 15) (社)日本機械学会, “発電用原子力設備規格 配管破損防護設計規格” JSME S ND1-2002, (2002).
- 16) 日本原子力研究所, “配管信頼性実証試験技術報告書” JAERI-M 93-076, (1993).

(口) 章B 熱解析

B. 熱解析

B.1 概要

1. 輸送物の熱設計及びその取扱い

本輸送物の熱放散システムは次のとおりであり、自然冷却にて輸送を行う。

- ・内筒内に収納された燃料集合体より発生する崩壊熱は、主に輸送容器内に充填された□の熱伝導と放射によりバスケットに伝えられる。
- ・バスケットに伝えられた熱は主に熱伝導によってバスケット外面に伝わり、□の熱伝導と放射により内筒内面に伝えられる。
- ・内筒内面に伝えられた熱は、熱伝導によって内筒外面に伝えられる。
- ・内筒外面に伝えられた熱は、主として側部中性子遮蔽材のプロピレングリコール水溶液の自然対流によって外筒に伝えられる。
- ・外筒に伝えられた熱は、放射と空気による自然対流により大気に放散される。
- ・プロピレングリコール水溶液の熱膨張による圧力上昇を抑制するため、内筒と外筒の間には膨張室を設けている。プロピレングリコール水溶液は膨張室に設けられた小孔より膨張室に出入りし、特別な取扱いは必要としない。

熱解析は、一般の試験条件における輸送物各部の温度を求め、構成部品の温度が使用可能温度を超えないことを示すとともに、他の解析への条件を示す。また、一般の試験条件の日陰において人が容易に近づくことができる表面（以下、「近接表面」という。）の最高温度が85℃以下であることを示す。

特別の試験条件においては輸送物各部の温度を求め、構成部品の健全性への影響を示すとともに、他の解析への条件を示す。

さらに、一般及び特別の試験条件における輸送物各部の圧力を求め、他の解析への条件を示す。

2. 熱解析の条件

熱解析は、(口) - 第 B. 1 表に示す条件で行う。

(ロ) - 第 B.1 表 熱解析の主な条件及び方法

項目	条件	一般の試験条件			特別の試験条件		
		最低温度評価条件	近接表面温度評価条件	最高温度評価条件	火災前	火災時	火災後
発熱量		0 kW	7.64kW	7.64kW	7.64kW	7.64kW	7.64kW
環境条件	周囲温度	-20℃	38℃	38℃	38℃	火災 30 分間 800℃	38℃
	太陽熱放射	なし	なし	あり	あり	あり	あり
	周囲吸収率	—	1.0	1.0	1.0	0.9 ^{注1)}	1.0
容器表面	放射率 ^{注2)}	—		0.8		—	0.45
	吸収率 ^{注2)}	—			0.5 ¹⁾	0.8 ³⁾	0.37 ¹⁾
緩衝体表面	放射率	—		0.15		—	0.15
	吸収率	—			0.37 ¹⁾	0.8 ³⁾	0.37 ¹⁾
計算モデル	輸送物	—					
	燃料集合体	—					
温度分布計算プログラム		—					

注 1) 火災の放射率を示す。

注 2) 火災により容器表面の塗装が燃え尽きるものとして、火災前は 塗布面の、火災後はステンレス鋼表面の放射率又は吸収率を示す。

B. 2 材料の熱的性質

熱解析で用いた材料の熱的性質を (口) - 第 B. 2 表、(口) - 第 B. 3 表及び (口) - 第 B. 4 表に示す。

(口) - 第 B. 2 表 材料の熱的性質 (口)

材料	密度 (kg/m ³)	放射率	温 度 (K (°C))	熱伝導率 (W/(m·K))	比 熱 (kJ/(kg·K))
ステンレス鋼 ⁴⁾	口	0.15 (ロール後 の面: 0.45)	300 (26.85)	口	口
			400 (126.85)		
			600 (326.85)		
			800 (526.85)		
			1000 (726.85)		
アルミニウム 合金 (アルミプ レート) ^{4), 5), 6)}	口	0.055	293.15 (20)	口	口
			323.15 (50)		
			348.15 (75)		
			373.15 (100)		
			398.15 (125)		
			423.15 (150)		
			448.15 (175)		
473.15 (200)					
アルミニウム 合金 (アルミブ ロック) ^{4), 5), 6)}	口	0.055	293.15 (20)	口	口
			323.15 (50)		
			348.15 (75)		
			373.15 (100)		
			398.15 (125)		
			423.15 (150)		
			448.15 (175)		
473.15 (200)					
口 口 口 ^{4), 7)}	10.41×10 ³ 注)	-	300 (26.85)	8.8	0.237
			400 (126.85)	7.5	0.262
			600 (326.85)	5.5	0.291
			800 (526.85)	4.2	0.300
ジルカロイ ⁸⁾	6.55×10 ³	0.325	300 (26.85)	12.7	0.281
			400 (126.85)	14.0	0.302
			500 (226.85)	15.3	0.314
			600 (326.85)	16.5	0.326
800 (526.85)	18.9	0.347			
インコネル ⁴⁾	8.25×10 ³	-	300 (26.85)	12.0	0.425
レジン ⁹⁾	口	-	293.15 (20)	口	口
口 ¹⁰⁾	口	-	300 (26.85)	口	口
			400 (126.85)		
		-	300 (26.85)		
			400 (126.85)		

注) 文献値に理論密度比を乗じた値である。

(ロ) - 第 B. 3 表 材料の熱的性質 (気体及び液体) (1/2)

材料	温度 (K (°C))	密度 (kg/m ³)	熱伝導率 (W/(m·K))	比熱 ^{注)} (kJ/(kg·K))	動粘性係数 (mm ² /s)	プラントル数 (-)
4)	200 (-73.15)				-	-
	300 (26.85)				-	-
	400 (126.85)				-	-
	500 (226.85)				-	-
	600 (326.85)				-	-
	700 (426.85)				-	-
空気 ⁴⁾	200 (-73.15)	1.7679	0.01810	0.7220	7.58	0.747
	300 (26.85)	1.1763	0.02614	0.7200	15.83	0.717
	400 (126.85)	0.8818	0.03305	0.7280	26.39	0.715
	500 (226.85)	0.7053	0.03951	0.7440	38.58	0.710
	600 (326.85)	0.5878	0.0456	0.7650	52.36	0.710
	700 (426.85)	0.5038	0.0513	0.7890	67.7	0.715
	800 (526.85)	0.4408	0.0569	0.8120	84.5	0.719
	900 (626.85)	0.3918	0.0625	0.8350	102.7	0.722
	1000 (726.85)	0.3527	0.0672	0.8550	122.1	0.732
	1100 (826.85)	0.3206	0.0717	0.8730	143.0	0.742
4)	200 (-73.15)					
	300 (26.85)					
	400 (126.85)					
	500 (226.85)					
	600 (326.85)					

注) 文献記載の定圧比熱を定積比熱に換算して求めた値である。

(口) - 第 B. 3 表 材料の熱的性質 (気体及び液体) (2/2)

材料	温度 (K (°C))	密度 (kg/m ³)	熱伝導率 (W/(m·K))	比熱 (kJ/(kg·K))	粘性係数 (Pa·s)	プラントル数 (-)	体積膨張係数 (K ⁻¹)	蒸気圧 (kPa)
プロピレングリコール水溶液 ¹⁾	293.15 (20)							
	313.15 (40)							
	333.15 (60)							
	353.15 (80)							
	373.15 (100)							
	393.15 (120)							
	413.15 (140)							
	433.15 (160)							
	453.15 (180)							

(口) - 第 B. 4 表 材料の熱的性質 (その他)

材料	放射率 ⁴⁾	吸収率 ¹⁾
	0.8	0.5

B. 3 構成要素の仕様

1. 蓋部シール

製Oリング

- 使用可能温度 : $-60\sim 150^{\circ}\text{C}$ ¹²⁾ /一般の試験条件
: $-60\sim 300^{\circ}\text{C}$ (48 時間以内)¹³⁾ /特別の試験条件
使用可能圧力 : 6.9MPa 以下¹⁴⁾

2. 中性子遮蔽材

レジン

使用可能温度 : 170°C 以下¹⁵⁾

プロピレングリコール水溶液

使用可能温度 : -42°C ¹⁶⁾ $\sim 140^{\circ}\text{C}$ ¹⁷⁾

3. 塗 装

使用可能温度 : 120°C 以下¹⁸⁾

B. 4 一般の試験条件

B. 4. 1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、有限要素法による ABAQUS コードを用いて行った。

B. 4. 1. 1 解析モデル

1. 解析に用いる各モデル

本輸送物の一般の試験条件における各部温度を評価するために解析モデルとして以下の3つのモデルを用いた。

- ① 軸方向二次元軸対称全体モデル（以下、「全体モデル」という。）
- ② 半径方向輪切りモデル（以下、「輪切りモデル」という。）
- ③ 燃料集合体モデル

各モデルにおいて評価する輸送物部位は次のとおりである。

- ①全体モデル …………… 上・下部緩衝体表面、底板、蓋、蓋Oリング、密封プラグOリング、蓋ボルト、蓋部中性子遮蔽材、下部中性子遮蔽材、蓋部中性子遮蔽材カバー、下部中性子遮蔽材カバー
- ②輪切りモデル …………… 内筒、バスケット、側部中性子遮蔽材、外筒
- ③燃料集合体モデル …… 燃料被覆管

なお、全体モデルではトランニオンはモデル化せず、トランニオン温度は外筒温度とする。

全体モデルにおいては、バスケット外面より内側の領域（以下、「燃料集合体領域」という。）は燃料集合体及びバスケットの均質な領域であると近似し、ジルカロイ、ウラン・プルトニウム混合酸化物、 ステンレス鋼、インコネル及びアルミニウム合金が均一に混合されていると仮定する。均質化する燃料集合体領域の平均密度及び平均熱伝導率（軸方向）は体積均質化した値とし、平均比熱は重量均質化した値とする。また、平均熱伝導率（径方向）に関しては輪切りモデルと等価になるように値を定める。発熱部は燃料有効部とし、均一に発熱するものとする。

緩衝体も同様に、緩衝材部に対して内部リブを考慮し均質化する。均質化する緩衝材部の平均密度及び平均熱伝導率は体積均質化した値とし、平均比熱は重量均質化した値とする。

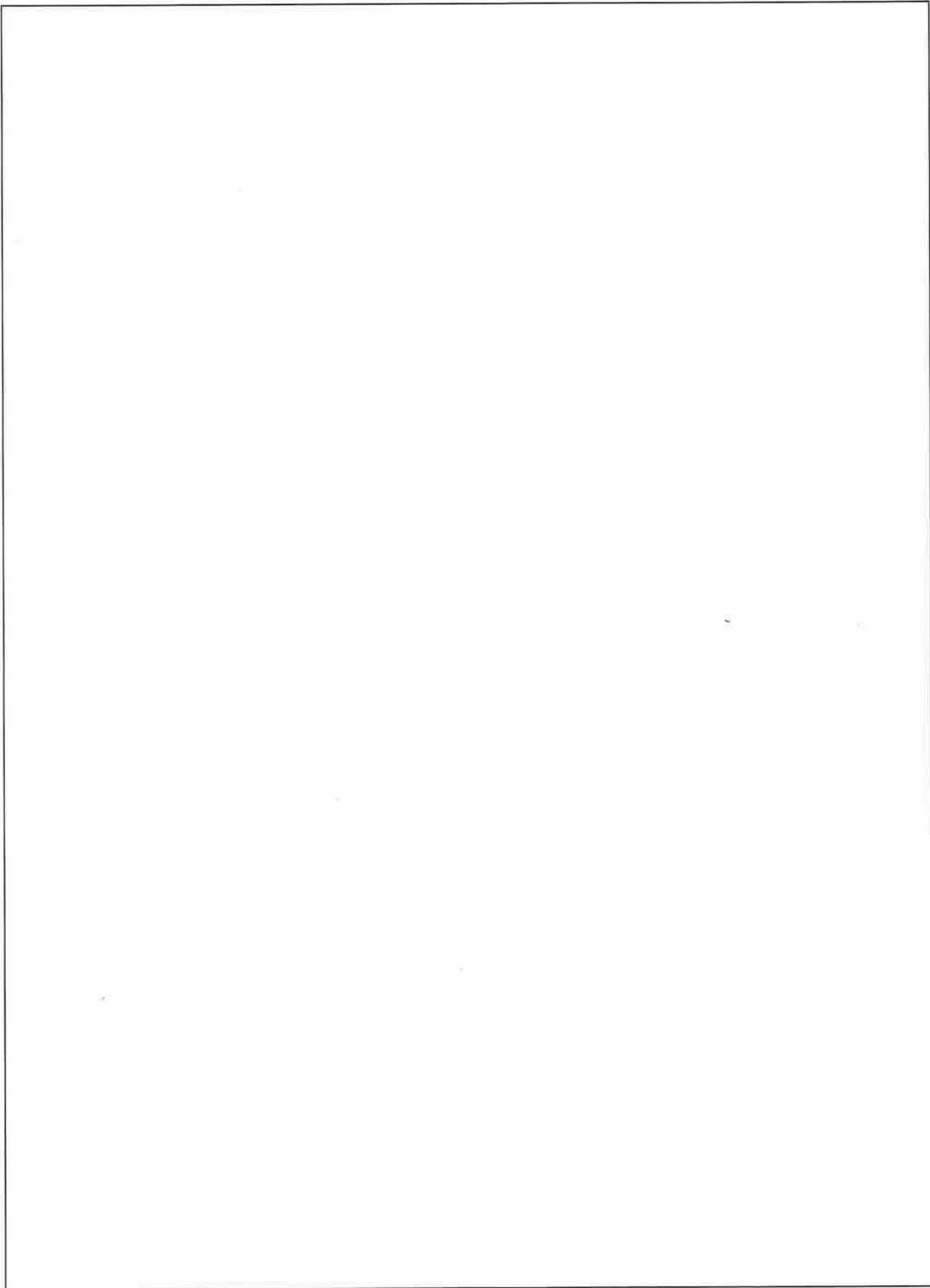
また、蓋部及び下部中性子遮蔽材部も同様に中性子遮蔽材と内部リブを考慮し均質化する。均質化する中性子遮蔽材部の平均密度及び平均熱伝導率は体積均質化した値とし、平均比熱は重量均質化した値とする。

全体モデルで均質化している内筒より内側の評価部位については、輪切りモデルで評価する。輪切りモデルにおいては、燃料集合体は一体ずつの独立した均質な領域であると近似し、ウラン・プルトニウム混合酸化物、ジルカロイ、インコネル及び□が均一に混合されていると仮定する。均質化する燃料集合体の平均密度は体積均質化した値とし、平均比熱は重量均質化した値とする。また、平均熱伝導率に関しては、燃料集合体モデルと等価になるように値を定める。

輪切りモデルで均質化している燃料被覆管の最高温度については、燃料集合体モデルで評価する。燃料集合体モデルにおいては、燃料棒の内部は一本ずつの独立した均質な領域であると近似し、ウラン・プルトニウム混合酸化物、ジルカロイ及び燃料棒内のヘリウムが均一に混合されていると仮定する。均質化する燃料棒の平均熱伝導率は体積均質化した値とする。また、制御棒案内シンプル及び炉内計装用案内シンプルについては、燃料棒と同じように均質化領域としてモデル化する。制御棒案内シンプル及び炉内計装用案内シンプルは、燃料棒と同じ形状及び物性値を入力するが、崩壊熱量は入力しない。

(ロ) 章A. 5. 7に示すように、一般の試験条件では自由落下試験により緩衝体に変形を生じる。しかしながら、一般の試験条件では、緩衝体に変形しないものとする方が緩衝体木材の断熱効果により収納物の温度を高く評価できる。したがって、一般の試験条件の熱解析では輸送物は変形及び破損はしていないものとする。

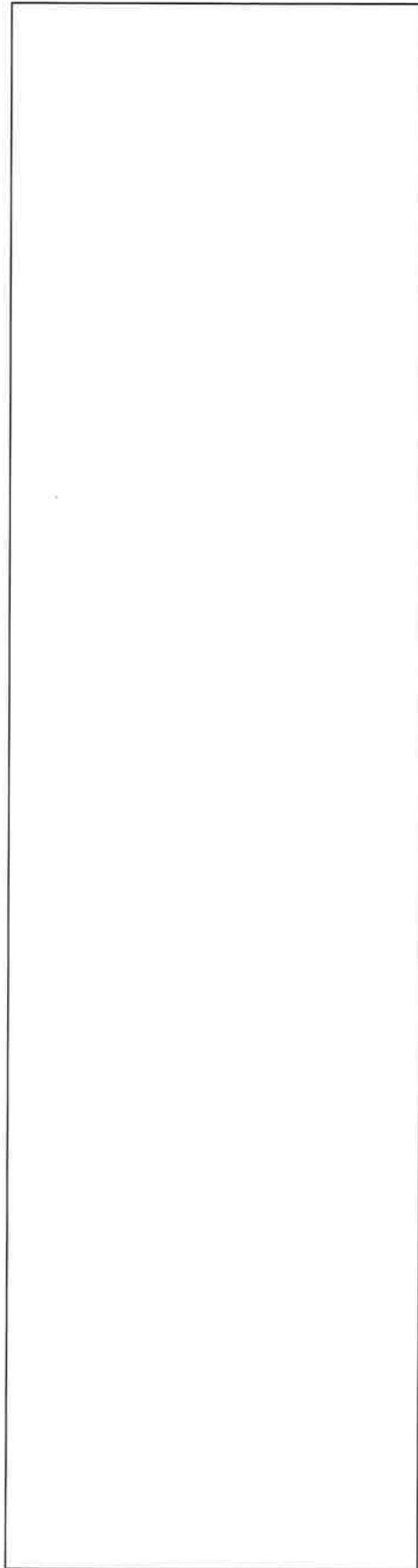
各解析モデルの形状及び要素分割図を (ロ) - 第 B. 1 図 ~ (ロ) - 第 B. 6 図 に示す。



(口) - 第 B. 1 図 一般の試験条件の全体モデル形状図

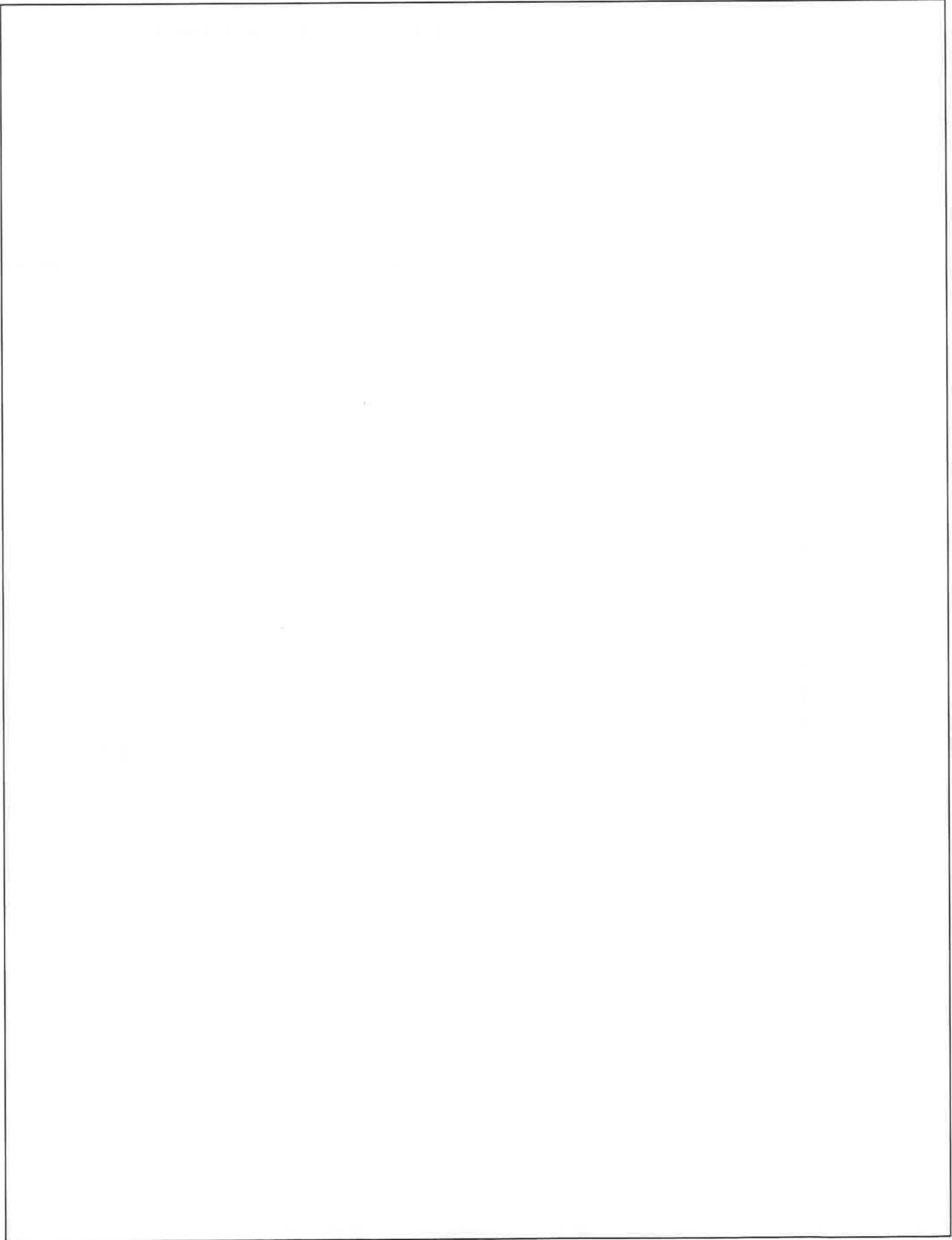
(口) - B - 9

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 2 図 一般の試験条件の全体モデル要素分割図

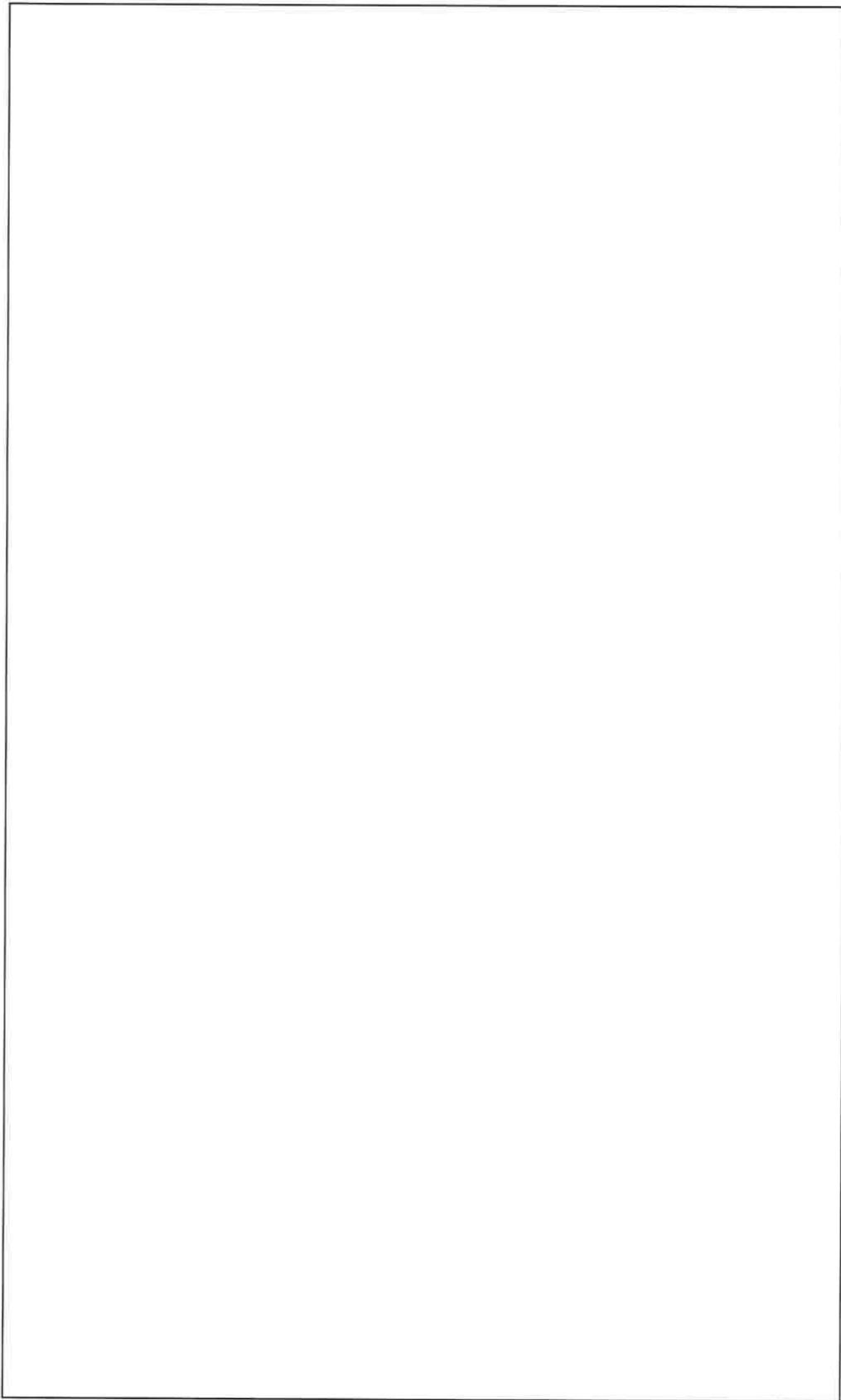
注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 3 図 輪切りモデル形状図

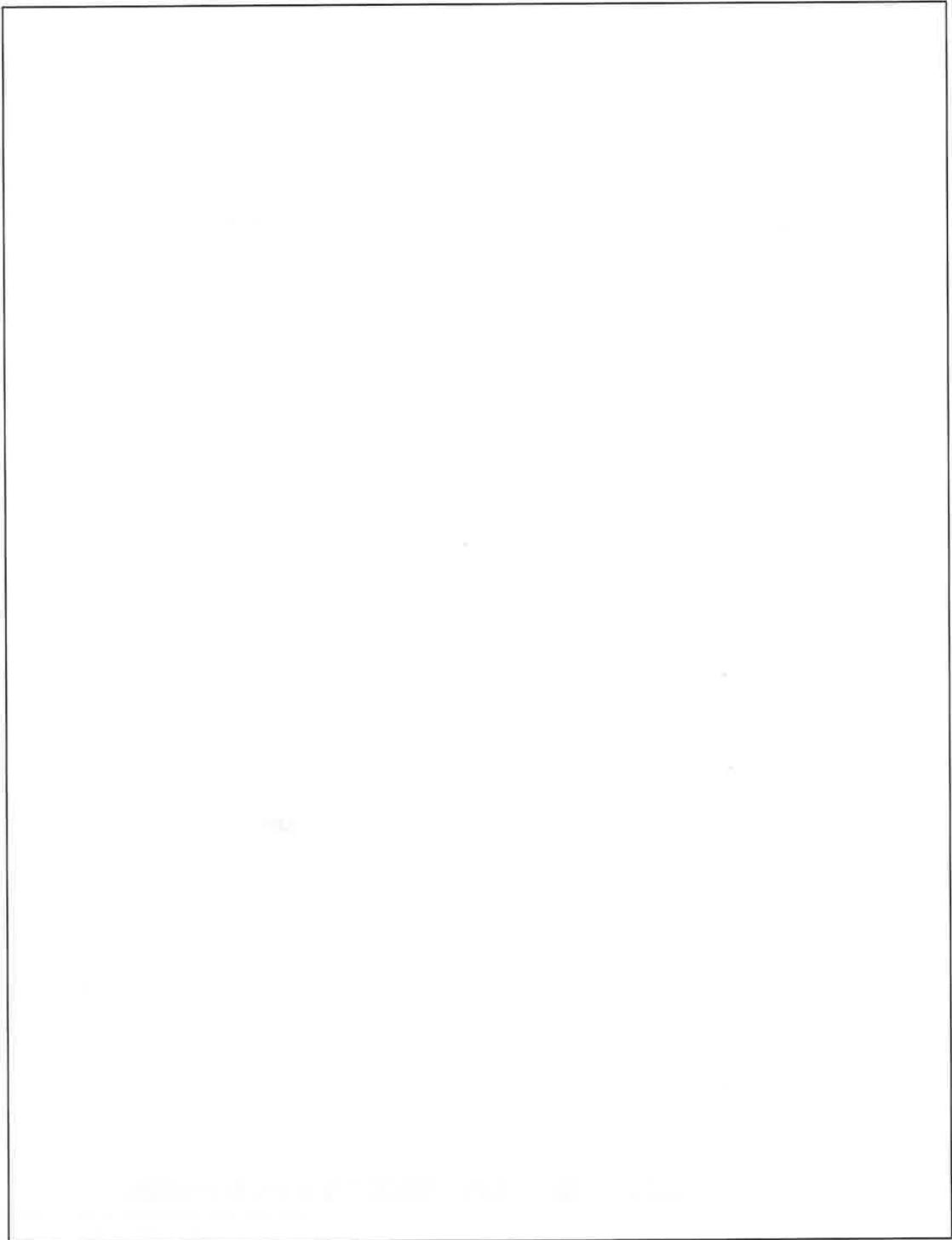
(口) - B - 1 1

注記：不開示情報を含むため削除



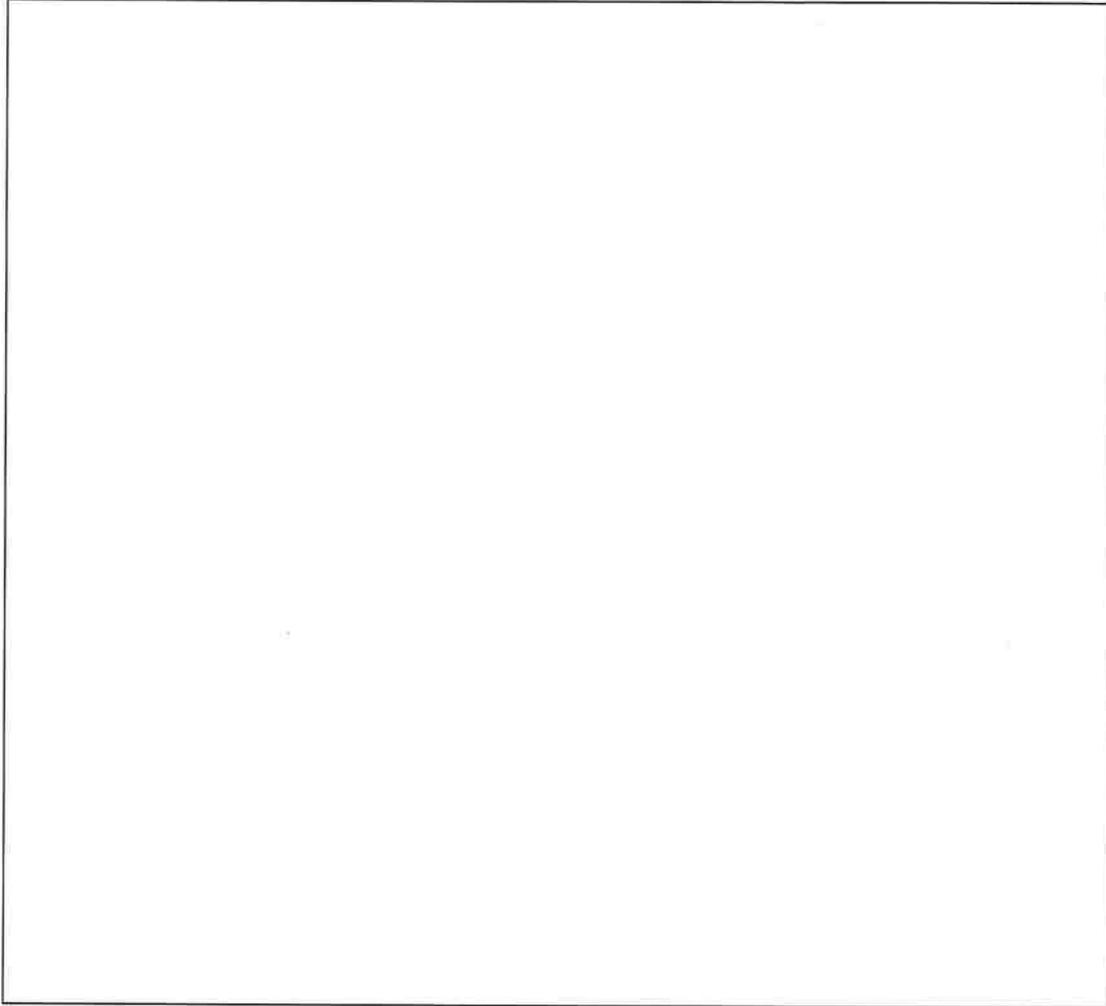
(口) - 第 B. 4 図 輪切りモデル要素分割図

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 5 図 燃料集合体モデル形状図

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 6 図 燃料集合体モデル要素分割図

注記：不開示情報を含むため削除

2. 解析条件

一般の試験条件における解析条件は（ロ）－第 B. 1 表に、太陽熱放射は（ロ）－第 B. 5 表に示すとおりである。

各モデルにおいて考慮した解析条件は次のとおり。

・ 輪切りモデルにおいては、

の温度分布に対し保守的な評価結果を与えるモデルとなっている。

- ・ 全体モデル及び輪切りモデルにおいては、周囲温度を境界条件として、自然対流熱伝達と放射による放熱を考慮する。
- ・ 燃料集合体モデルにおいては、輪切りモデルで最高温度となるバスケットの最高温度を境界条件とする。
- ・ プロピレングリコール水溶液の自然対流熱伝達を考慮する。
- ・ 太陽熱放射なし、ありそれぞれの場合について定常状態に至るまでの計算を行う。

（ロ）－第 B. 5 表 太陽熱放射データ

表面の形状及び位置の区分	太陽の放射熱 ^{注1)} (W/m ²)
垂直に輸送される表面	200
その他の表面（曲面） ^{注2)}	400

注1) 規則及び告示に定める技術基準上は一日につき 12 時間の負荷であるが、解析上は連続照射とする。

注2) 規則及び告示に定める技術基準上は「水平に輸送されない下向きの表面」に対しては 200W/m² であるが、解析上は安全側に全ての曲面に対して 400W/m² とする。

B. 4. 1. 2 試験モデル

該当しない。

B. 4. 2 最高温度

一般の試験条件における、(口) 章 B. 4. 1 に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた輸送物各部の最高温度の結果を(口) - 第 B. 6 表に示す。

ABAQUS コードで解析して得られた輸送物とその収納物の各部の温度分布を(口) - 第 B. 7 図～(口) - 第 B. 9 図に、また、太陽熱放射のない場合の温度分布を(口) - 第 B. 10 図～(口) - 第 B. 12 図に示す。

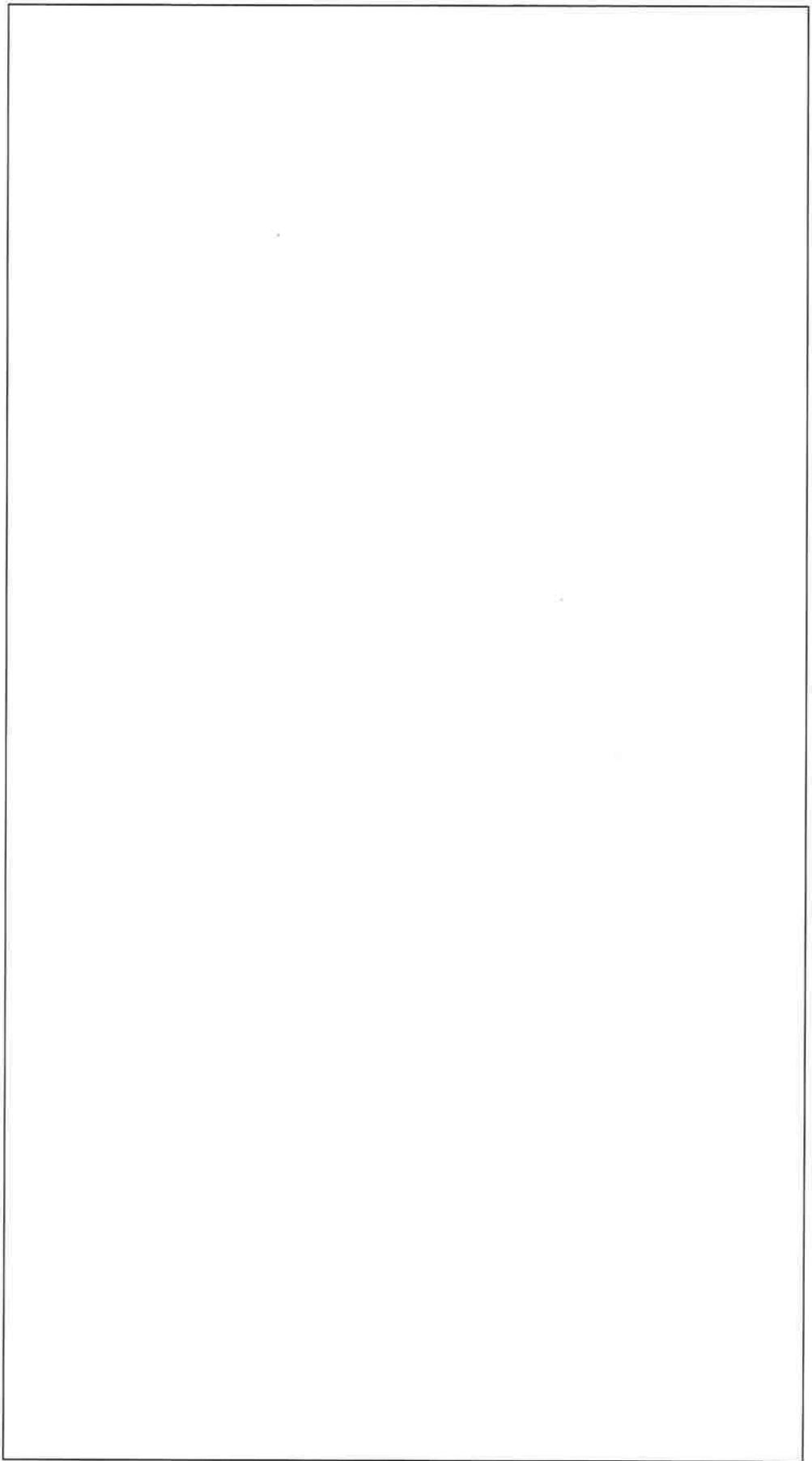
一般の試験条件において、各部の温度は使用可能温度を超えることはない。

一般の試験条件の日陰において近接表面の最高温度は(口) - 第 B. 6 表に示すように、外筒表面の 83℃であり、基準値の 85℃を超えることはない。

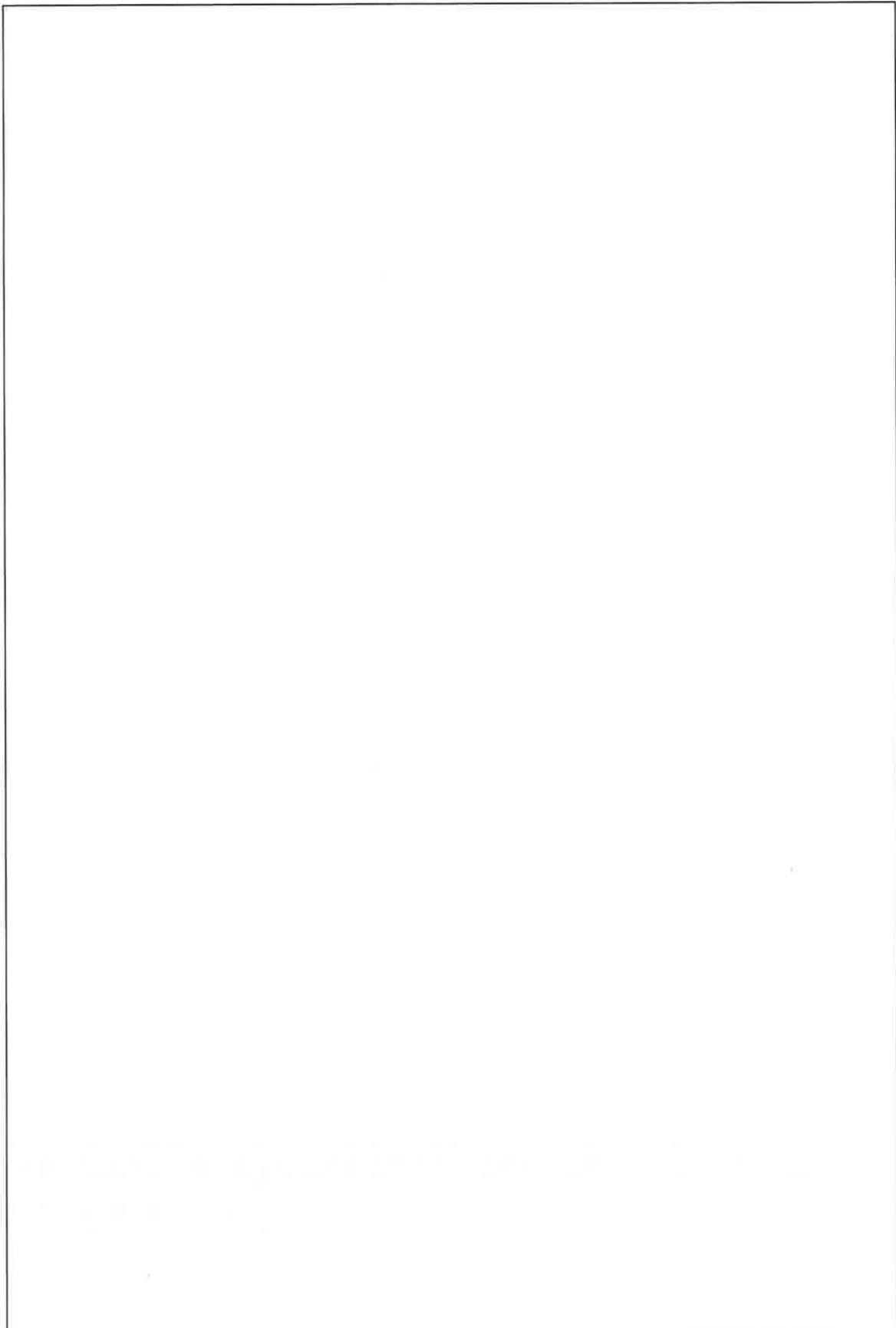
(ロ) - 第 B. 6 表 一般の試験条件の最高温度

部 位	条 件	最高温度評価条件 (太陽熱放射あり)	近接表面温度評価条件 (太陽熱放射なし)
		温度 (°C)	温度 (°C)
緩衝体表面		94	79
外筒		98	84
外筒表面 ^{注)}		98	83
側部中性子遮蔽材		104	90
蓋部中性子遮蔽材		89	73
下部中性子遮蔽材		110	95
底板		101	86
内筒		107	93
蓋		86	70
蓋ボルト		86	70
蓋リング		85	70
密封プラグリング		85	69
蓋部中性子遮蔽材カバー		89	74
下部中性子遮蔽材カバー		110	96
トラニオン		98	84
バスケット (中央部)		151	137
バスケット (外周部)		118	104
燃料被覆管		217	205

注) 近接表面

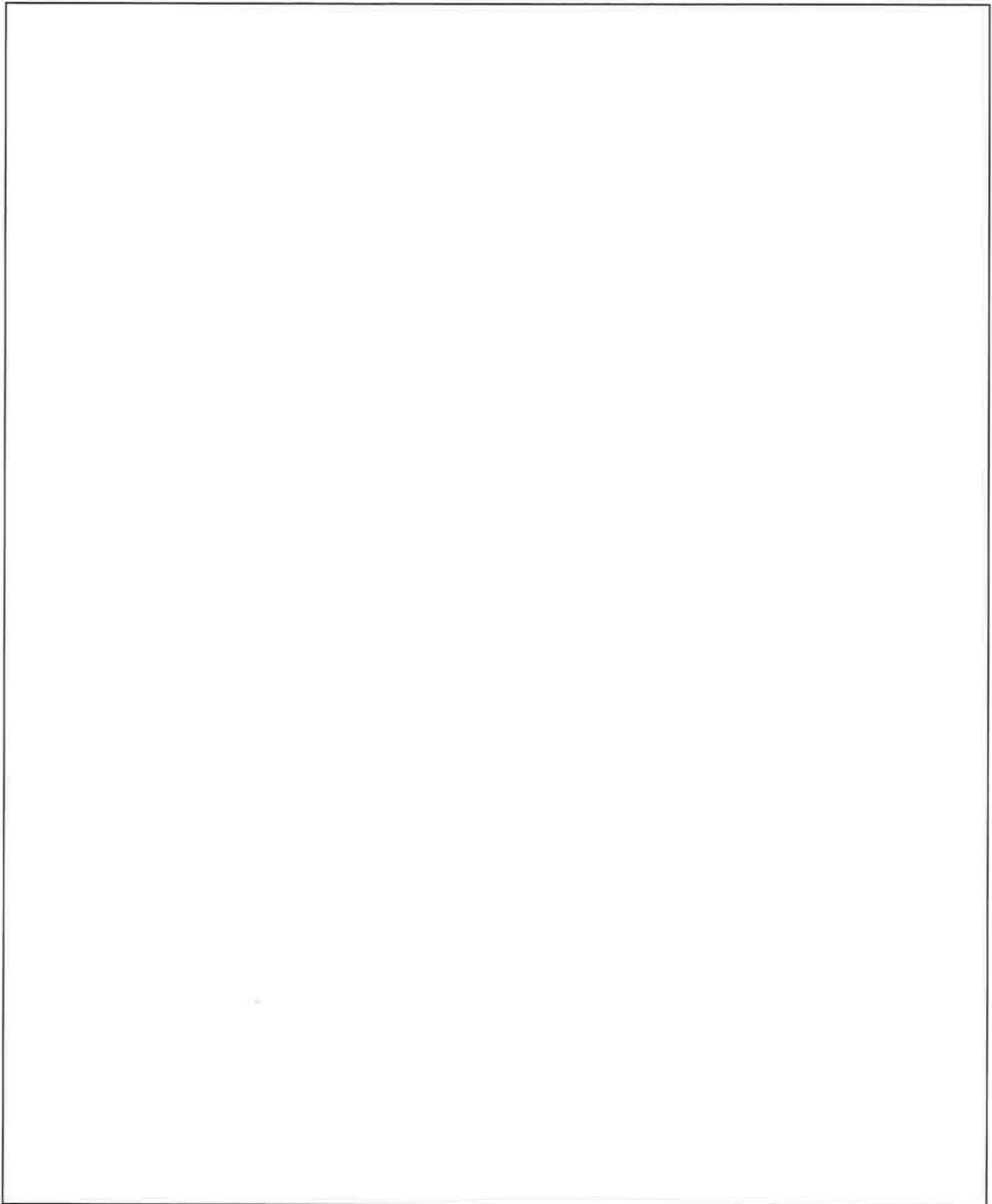


(口) - 第 B. 7 図 一般の試験条件の全体モデル温度分布 (最高温度評価条件)



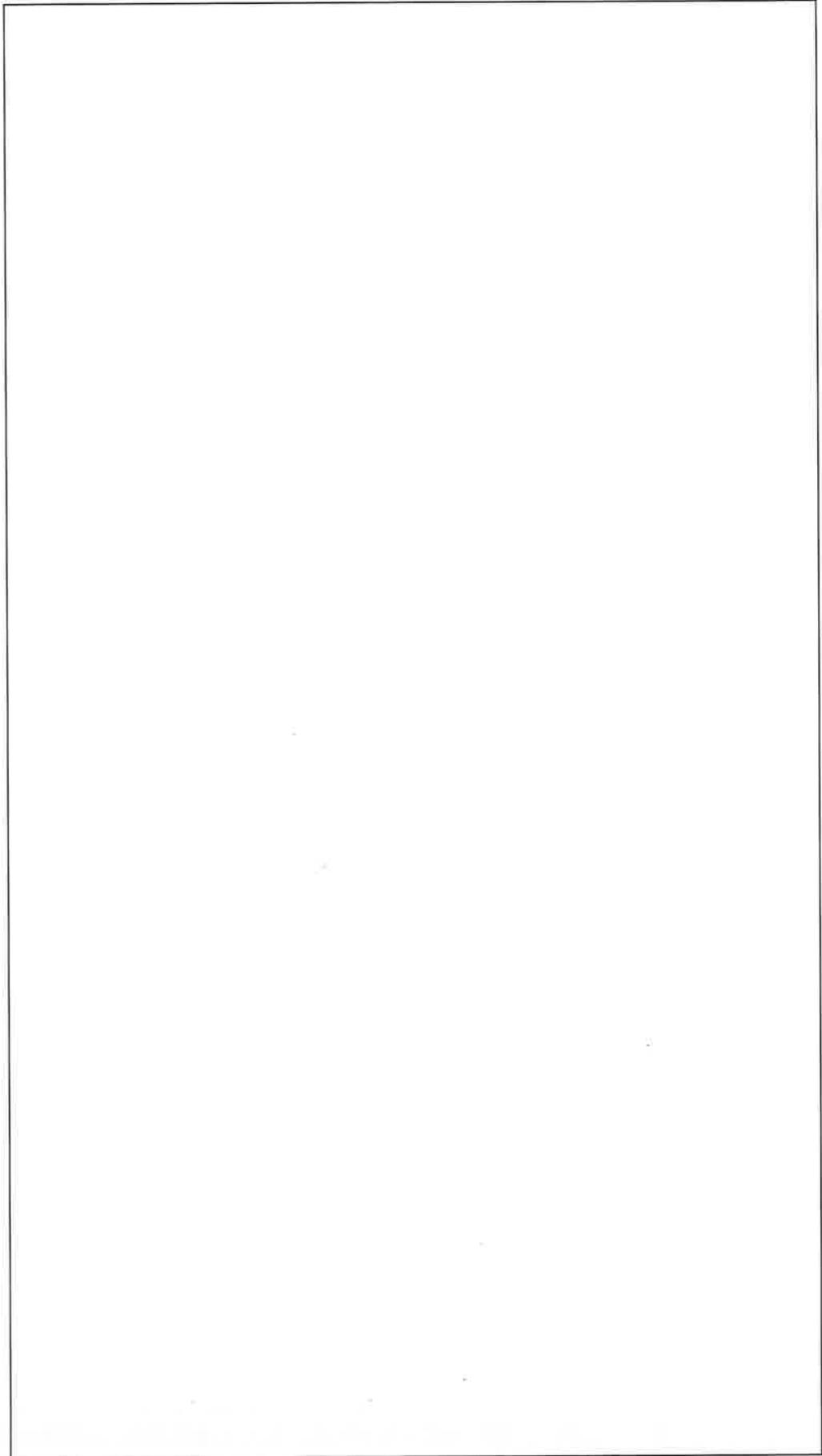
(口) - 第 B. 8 図 一般の試験条件の輪切りモデル温度分布 (最高温度評価条件)

注記：不開示情報を含むため削除

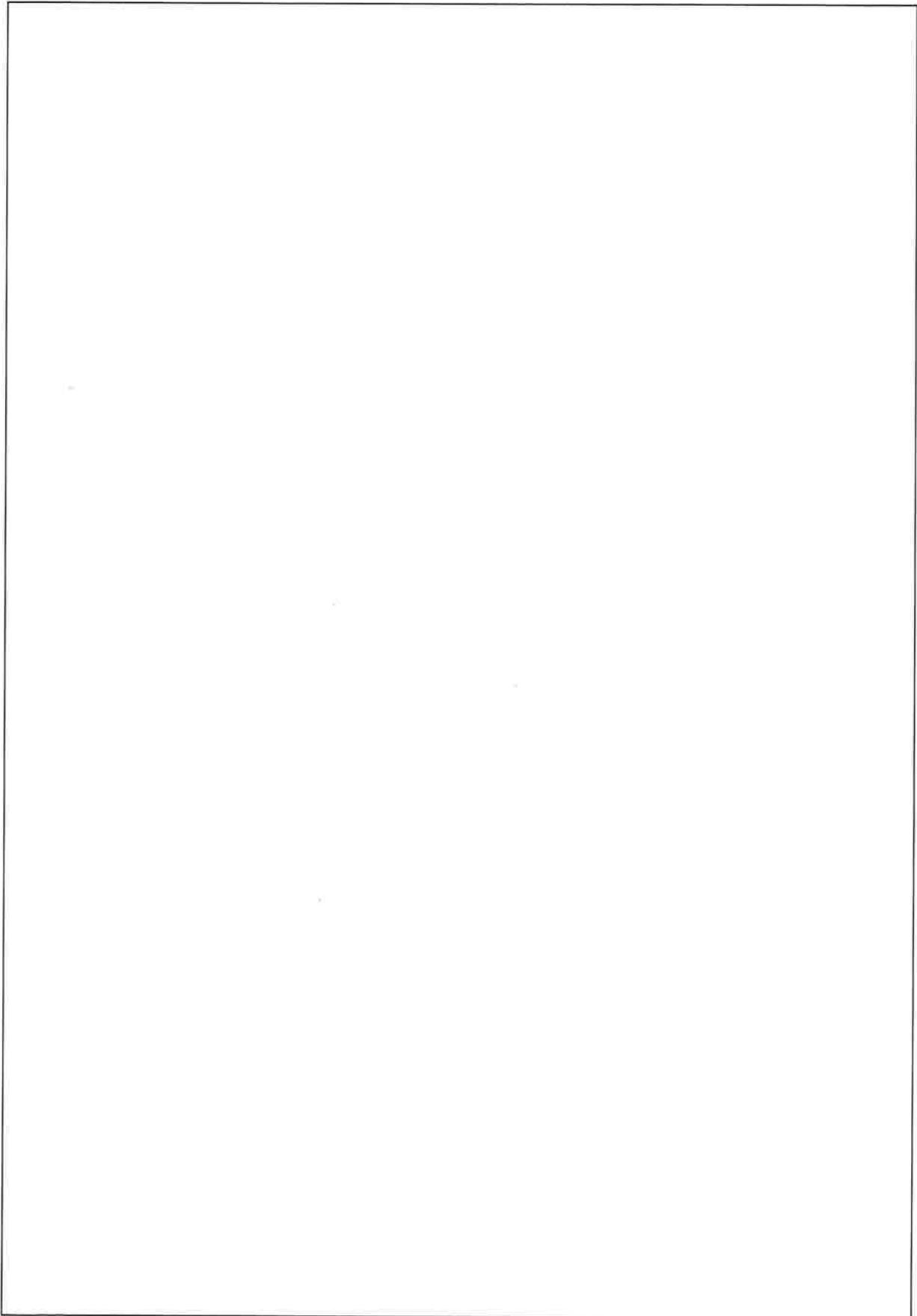


(口) - 第 B. 9 図 一般の試験条件の燃料集合体モデル温度分布 (最高温度評価条件)

注記：不開示情報を含むため削除

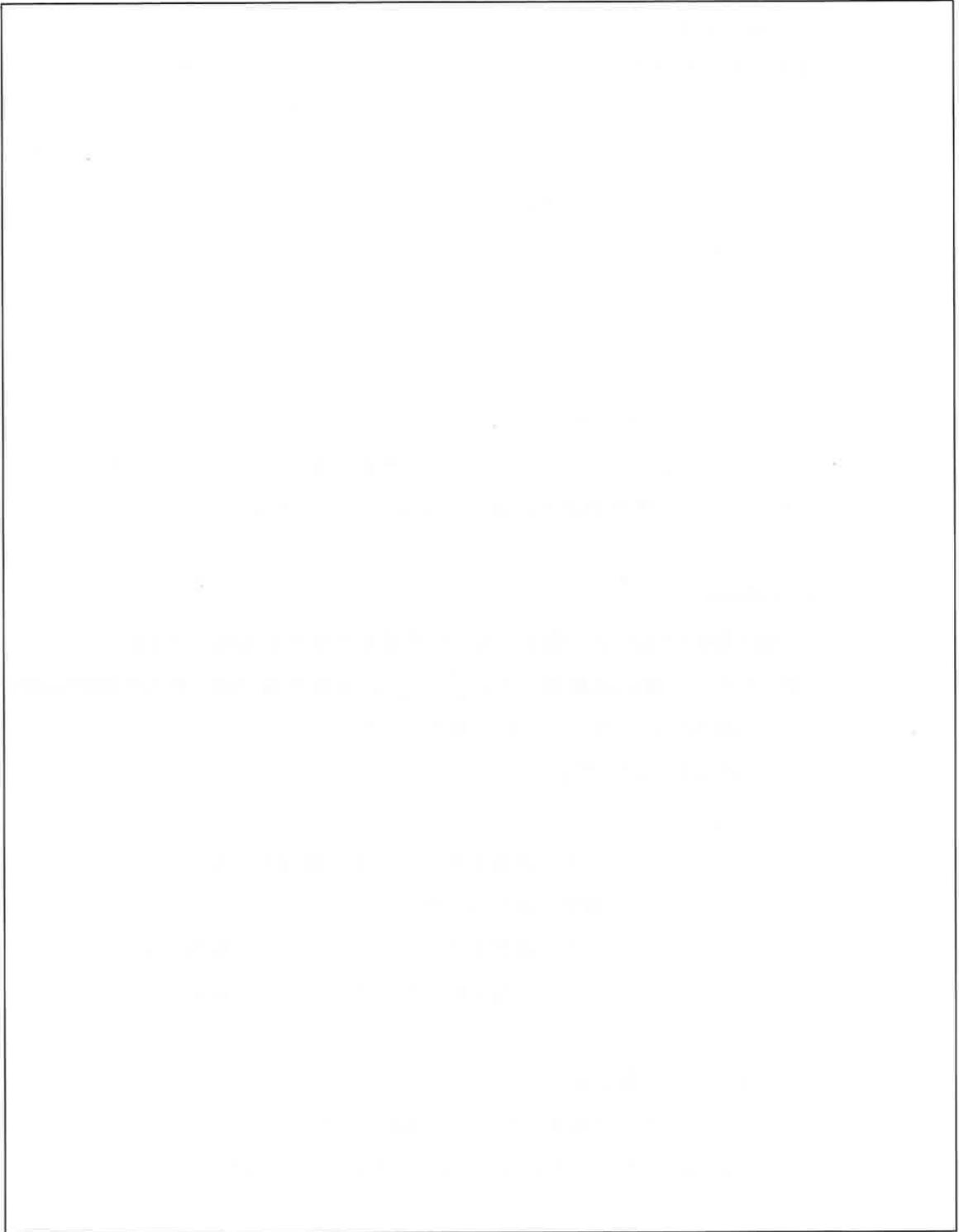


(口) - 第 B.10 図 一般の試験条件の全体モデル温度分布 (近接表面温度評価条件)



(口) - 第 B. 11 図 一般の試験条件の輪切りモデル温度分布 (近接表面温度評価条件)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B.12 図 一般の試験条件の燃料集合体モデル温度分布 (近接表面温度評価条件)

注記：不開示情報を含むため削除

B. 4.3 最低温度

本輸送物の最低使用温度条件は、(口) - 第 B. 1 表に記載したように-20℃の大気中において、太陽熱放射を受けない場合である。この際に安全側に燃料集合体の発熱量を 0 kW とすると、輸送物の最低温度は-20℃である。(口) 章 A. 4. 2 に示したように、この温度において、構成材料に悪影響を及ぼすような要因は生じない。また、本輸送物は乾式であり、内筒内は[]が充填されるため凍結することはない。

B. 4.4 最大内圧

一般の試験条件における密封装置で構成される密封容器の内圧（以下、「内筒内圧」という。）及び側部中性子遮蔽材部圧力を示す。

なお、(口) 章 A. 5 に述べたように、燃料被覆管は一般の試験条件において破損することはないので、燃料被覆管の破損による圧力上昇はない。

1. 内筒内圧

輸送物の内部には、輸送に先立ち燃料集合体を装荷後、所定の圧力の[]が充填される。一般の試験条件での[]の温度を保守側に燃料被覆管最高温度とすると、内筒内圧は、以下のとおり求められる。

$$P = P_0 \times T / T_0$$

ここで、

P : 一般の試験条件における内筒内圧 (MPa)

P₀ : 初期充填圧力 (MPa)

T : 一般の試験条件における[]の温度 (K)

T₀ : []充填時における[]の温度 (K)

計算条件と計算結果を(口) - 第 B. 7 表に示す。

なお、この圧力は蓋取付け時の周囲温度が仮に-20℃であった場合には約 16% 増加する可能性があるが、構造解析では保守的にこれを包含する圧力で評価している。

(ロ) - 第 B. 7 表 一般の試験条件における内筒内圧計算条件及び計算結果

項 目	記 号	単 位	数 値 等
初期充填圧力 (絶対圧)	P_0	MPa	0.101325
一般の試験条件における <input type="text"/> の温度	T	K	490.15 (217°C)
<input type="text"/> 充填時における <input type="text"/> の温度	T_0	K	293.15 (20°C)
一般の試験条件における内筒内圧 (絶対圧)	P	MPa	0.169 (0.068MPaG)

2. 側部中性子遮蔽材部圧力

側部中性子遮蔽材部は、内筒、外筒、フランジ、側部中性子遮蔽材（プロピレングリコール水溶液）及び膨張室によって構成されている。

製造時において、プロピレングリコール水溶液は膨張室を除く部位に充填され、膨張室にも一定量充填される。

一般の試験条件においては、プロピレングリコール水溶液は膨張して膨張室に流入し、膨張室内のガス容積が減少する。側部中性子遮蔽材部圧力は、以下のとおり求められる。

20°Cにおけるプロピレングリコール水溶液の体積を V_w 、20°Cにおける膨張室内の の体積を V_n とすると、側部中性子遮蔽材部の全容積 V_t は、

$$V_t = V_w + V_n \quad \text{--- (1)}$$

一般の試験条件のプロピレングリコール水溶液の平均温度を t_{ave} とすると、 t_{ave} におけるプロピレングリコール水溶液の体積 V_{wt} は、

$$V_{wt} = \frac{\rho_{20}}{\rho_t} \times V_w \quad \text{--- (2)}$$

ただし、

ρ_{20} : 20°Cにおけるプロピレングリコール水溶液の密度 (kg/m³)

ρ_t : t_{ave} °Cにおけるプロピレングリコール水溶液の密度 (kg/m³)

(1) 式より、一般の試験条件における膨張室内の の体積 V_{nt} は、

$$V_{nt} = V_t - V_{wt} \quad \text{--- (3)}$$

また、このときの 分圧 P_1 は、

$$P_1 = P_0 \times \frac{V_n}{V_{nt}} \times \frac{T_1}{T_0} \quad \text{--- (4)}$$

ただし、

P_0 : 初期圧力 (MPa)

T_0 : 初期温度 (K)

T_1 : $t_{ave} + 273.15$ (K)

したがって、側部中性子遮蔽材部圧力は、

$$P = P_1 + P_s \quad \text{--- (5)}$$

ただし、

P : 一般の試験条件における側部中性子遮蔽材部圧力 (MPa)

P_s : 一般の試験条件のプロピレングリコール水溶液の最高温度 t_{max} におけるプロピレングリコール水溶液の蒸気圧 (MPa)

上記 (1) 式から (5) 式により求めた輸送物の側部中性子遮蔽材部圧力の計算条件と計算結果を (口) - 第 B. 8 表 に示す。

(ロ) - 第 B. 8 表 一般の試験条件下における側部中性子遮蔽材部圧力

項 目	記 号	単 位	式	数 値 等
20℃におけるプロピレングリコール水溶液の体積	V_w	m^3	—	□
20℃における膨張室内の□の体積	V_n	m^3	—	
側部中性子遮蔽材部の全容積	V_t	m^3	(1)	
一般の試験条件下のプロピレングリコール水溶液の最高温度	t_{max}	℃	—	104
一般の試験条件下のプロピレングリコール水溶液の平均温度	t_{ave}	℃	—	98
20℃におけるプロピレングリコール水溶液の密度	ρ_{20}	kg/m^3	—	□
温度 t_{ave} におけるプロピレングリコール水溶液の密度	ρ_t	kg/m^3	—	
一般の試験条件下のプロピレングリコール水溶液の体積	V_{wt}	m^3	(2)	
一般の試験条件下における膨張室内の□の体積	V_{nt}	m^3	(3)	
初期圧力 (絶対圧)	P_0	MPa	—	0.101325
一般の試験条件下の□分圧 (絶対圧)	P_1	MPa	(4)	0.878
温度 t_{max} におけるプロピレングリコール水溶液の蒸気圧 (絶対圧)	P_s	MPa	—	0.091
側部中性子遮蔽材部圧力 (絶対圧)	P	MPa	(5)	0.969 (0.868MPaG)

B. 4. 5 最大熱応力

一般の試験条件においては輸送物に熱応力が生じるが、(ロ) 章 A. 5. 1 に示すようにいずれも評価基準を下回る。

B. 4. 6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件における熱解析結果の要約と評価を（ロ）－第 B. 9 表に示す。本輸送物は以下のとおり一般の試験条件の基準を満足している。

- ・近接表面温度評価条件において、近接表面の最高温度は外筒表面の 83℃であり、基準値の 85℃を超えることはない。
- ・最高温度評価条件において、蓋リング及び密封プラグリングは使用可能温度上限値である 150℃を超えることはない。
- ・最高温度評価条件において、蓋部及び下部中性子遮蔽材（レジン）は使用可能温度上限値である 170℃を超えることはない。
- ・最高温度評価条件において、側部中性子遮蔽材（プロピレングリコール水溶液）は使用可能温度上限値である 140℃を超えることはない。
- ・その他の構成材料についても、最高温度評価条件において、輸送物の健全性に対し悪影響を及ぼすような温度にはならないことから、き裂、破損等の生じるおそれはない。
- ・最低温度評価条件において、周囲温度が-20℃で太陽熱放射なし、発熱量が 0 kW であるため、全ての部位が-20℃に達するが、輸送物の健全性に問題はないことから、き裂、破損等の生じるおそれはない。

(ロ) - 第 B. 9 表 一般の試験条件の熱解析結果の要約と評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価 結 果	他解析への条件
最高温度				
燃料被覆管	385℃ ¹⁹⁾	217℃	基準値以下	構造解析に使用
バスケット	300℃ ²⁰⁾	151℃	基準値以下	構造解析に使用
蓋部及び下部中性子遮蔽材 (レジン)	170℃ ¹⁵⁾	110℃	基準値以下	—
側部中性子遮蔽材 (7°ピニングリコル水溶液)	140℃ ¹⁷⁾	104℃	基準値以下	—
蓋Oリング	150℃ ¹²⁾	85℃	基準値以下	—
密封プラグOリング	150℃ ¹²⁾	85℃	基準値以下	—
外筒	□℃ ²¹⁾	98℃	基準値以下	構造解析に使用
内筒	□℃ ²¹⁾	107℃	基準値以下	構造解析に使用
近接表面 (外筒表面)	85℃	83℃	基準値以下	—
最低温度	構成材料が使用 可能温度の範囲 内であること	全ての部位が -20℃	基準に合致	—
最大内圧				
内筒内圧	—	0.169 MPa (0.068 MPaG)	—	構造解析では 0.12 MPaG を使用
側部中性子遮蔽材部圧力	—	0.969 MPa (0.868 MPaG)	—	構造解析では 1.7 MPaG を使用
蓋Oリング 密封プラグOリング	6.9 MPa ¹⁴⁾	0.169 MPa ^{注)}	基準値以下	—

注) 内筒内圧と同じとした。

B. 5 特別の試験条件

B. 5. 1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、有限要素法による ABAQUS コードを用いて行った。

B. 5. 1. 1 解析モデル

1. 解析に用いる各モデル

一般の試験条件と同様に、各部温度を算出するために解析モデルとして以下の3つのモデルを用いた。

- ① 全体モデル
- ② 輪切りモデル
- ③ 燃料集合体モデル

各モデルにおいて評価する輸送物部位は次のとおりである。

- ①全体モデル …………… 上・下部緩衝体、底板、蓋、蓋Oリング、密封プラグOリング、蓋ボルト、蓋部中性子遮蔽材、下部中性子遮蔽材、蓋部中性子遮蔽材カバー、下部中性子遮蔽材カバー、外筒、フランジ
- ②輪切りモデル …………… 内筒、バスケット
- ③燃料集合体モデル …… 燃料被覆管

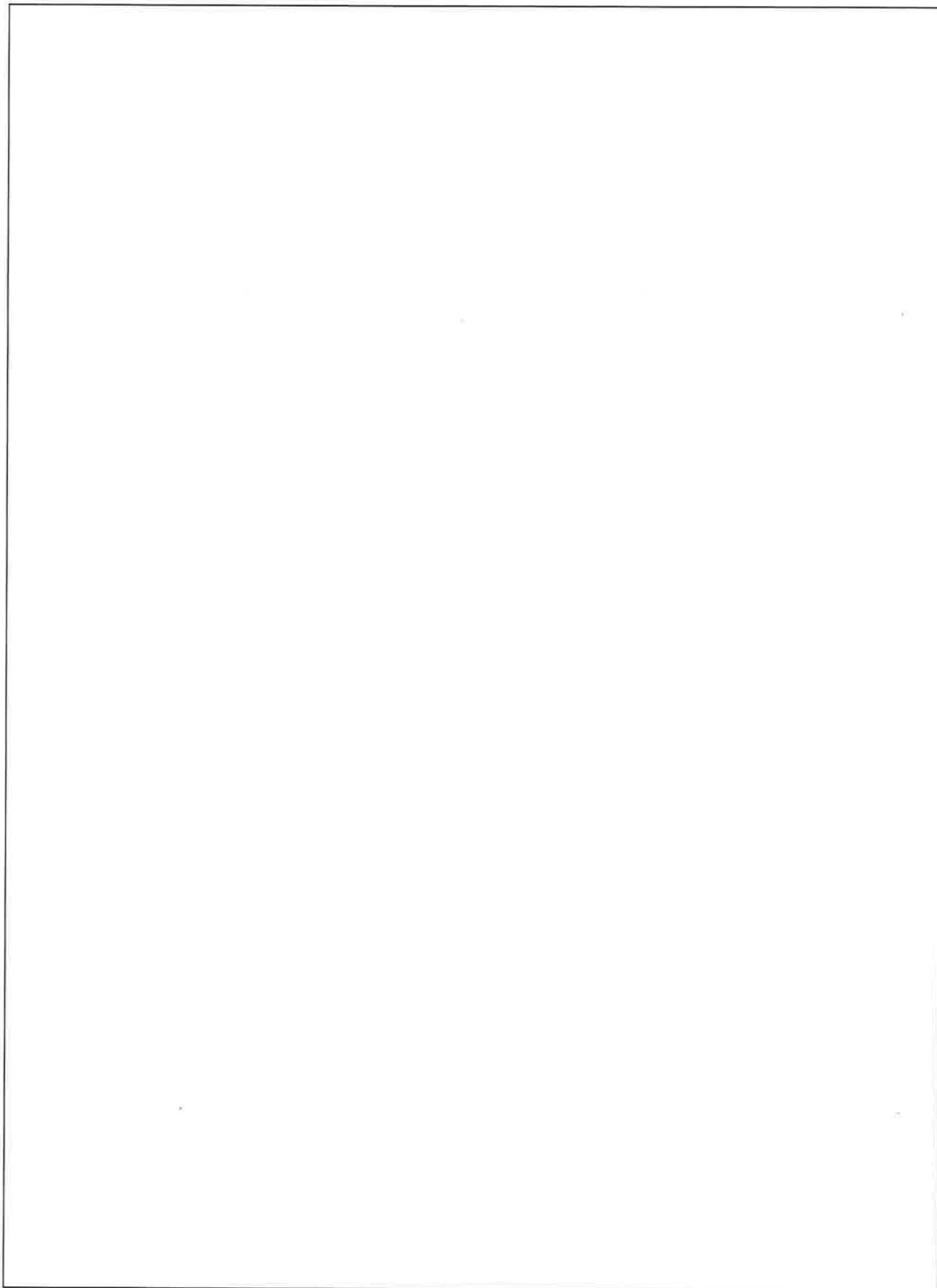
各モデルにおける均質化は一般の試験条件と同じである。

特別の試験条件の熱解析は、強度試験（9 m落下試験及び1 m貫通試験）条件に引き続いて、火災試験条件下に置かれるものとし、落下試験等の影響を以下のように解析モデルに考慮した。

- ・ 9 m落下試験により緩衝体が変形するため、変形後の形状をモデルに考慮した。また、1 m貫通試験により緩衝体に変形が生じる可能性があるが、局所的であり断熱効果への影響は無視しうるものであることから、解析モデルでは1 m貫通試験による緩衝体の変形は考慮しないものとした。
- ・ 1 m貫通試験により外筒には直径 15cm の範囲の変形が生じるが、熱解析結果への影響は無視しうるものであることから、解析モデルでは外筒が変形していないものとした。ただし、1 m貫通試験により外筒が貫通し、側部中性子遮蔽材部のプロピレングリコール水溶液が漏出する可能性があるため、火災時には内筒内への入熱を大きくするためにプロピレングリコール水溶液が存在するものとし、火災後は大気への熱放散を少なくするためにプロピレングリコール水溶液が存在しないものとした。

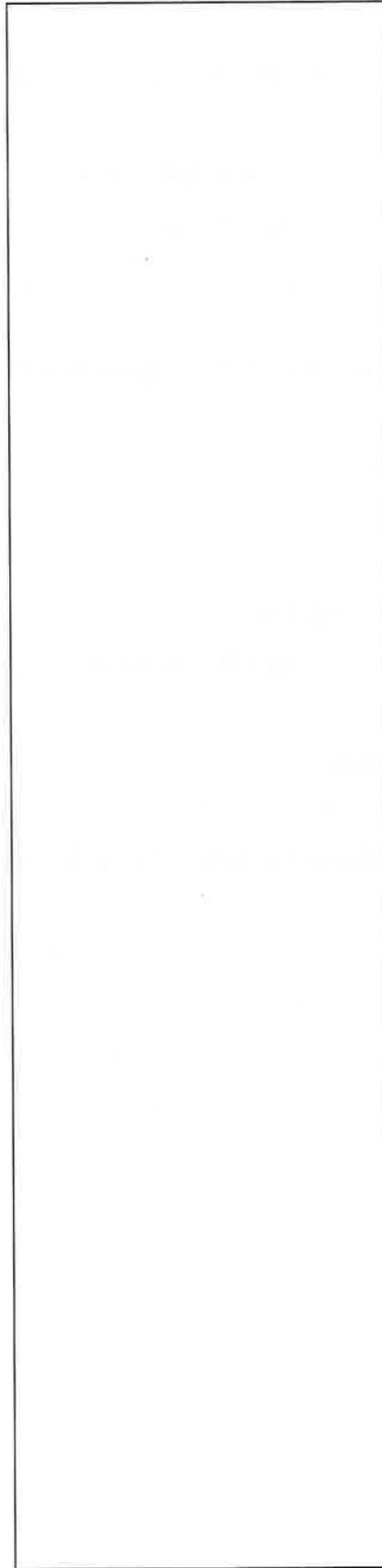
- ・燃料集合体については、(口) 章 A. 8 に示したように 9 m 落下時の燃料棒ピッチの変化を仮定しても、輸送容器及び燃料棒の温度に与える影響は小さいので、燃料集合体の変形はないものとしてモデル化した。

以上の条件を考慮した特別の試験条件に対する全体モデルの形状を (口) - 第 B. 13 図に、要素分割図を (口) - 第 B. 14 図に示す。また、輪切りモデルの形状及び要素分割図は (口) - 第 B. 3 図及び (口) - 第 B. 4 図に示すとおりである。また、燃料集合体モデルの形状及び要素分割図は (口) - 第 B. 5 図及び (口) - 第 B. 6 図に示すとおりである。



(口) - 第 B. 13 図 特別の試験条件の全体モデル形状図

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 14 図 特別の試験条件の全体モデル要素分割図

注記：不開示情報を含むため削除

2. 解析条件

特別の試験条件における解析条件は（口）－第 B. 1 表に、太陽熱放射は（口）－第 B. 5 表に示したとおりである。

各モデルにおいて考慮した解析条件は次のとおり。

- ・ 輪切りモデルでは、火災前後において

・ 各モデルのその他の解析条件は一般の試験条件と同様である。

B. 5. 1. 2 試験モデル

該当しない。

B. 5. 2 核燃料輸送物の評価条件

特別の試験条件下における輸送物の評価条件は、（口）章 B. 5. 1. 1 解析モデルに示す。

B. 5. 3 核燃料輸送物温度

特別の試験条件における（口）章 B. 5. 1 に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた輸送物各部の最高温度の結果とそのときの火災発生後からの時間を（口）－第 B. 10 表に示す。

ABAQUS コードで解析して得られた火災発生 30 分後の輸送物各部の温度分布を（口）－第 B. 15 図及び（口）－第 B. 16 図に、また、プロピレングリコール水溶液が漏出し燃料被覆管温度が最も高くなる火災後定常状態における温度分布を（口）－第 B. 17 図、（口）－第 B. 18 図及び（口）－第 B. 19 図に、さらに、時刻歴温度変化を（口）－第 B. 20 図に示す。

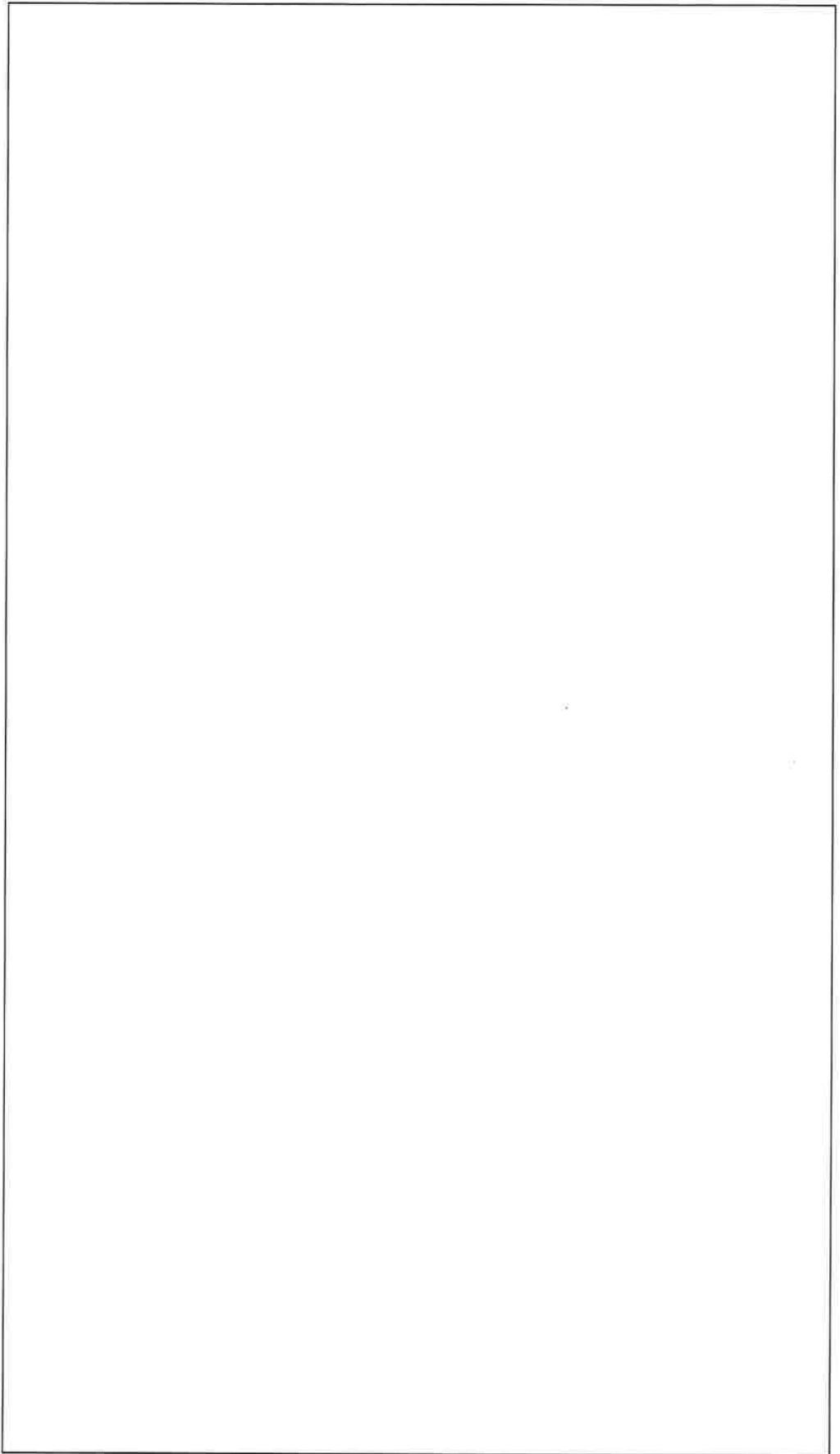
なお、密封境界となる蓋リング及び密封プラグリングの最高温度は使用可能温度上限値である 300℃を超えることはない。

(ロ) - 第 B. 10 表 特別の試験条件の最高温度

部 位	条 件	特別の試験条件	
		温度 (°C)	火災発生後の 時間 (h)
緩衝体		796	0.50
外筒		401	0.50
側部中性子遮蔽材		229 ^{注1)}	0.50
蓋部中性子遮蔽材		154	0.87
下部中性子遮蔽材		168	8.2
底板		331	0.50
内筒		232	—注2)
フランジ		345	0.50
蓋		321	0.50
蓋ボルト		147	3.3
蓋Oリング		146	3.3
		105	—注2)
密封プラグOリング		177	0.56
		104	—注2)
蓋部中性子遮蔽材カバー		145	3.3
下部中性子遮蔽材カバー		168	8.2
バスケット		270	—注2)
燃料被覆管		322	—注2)

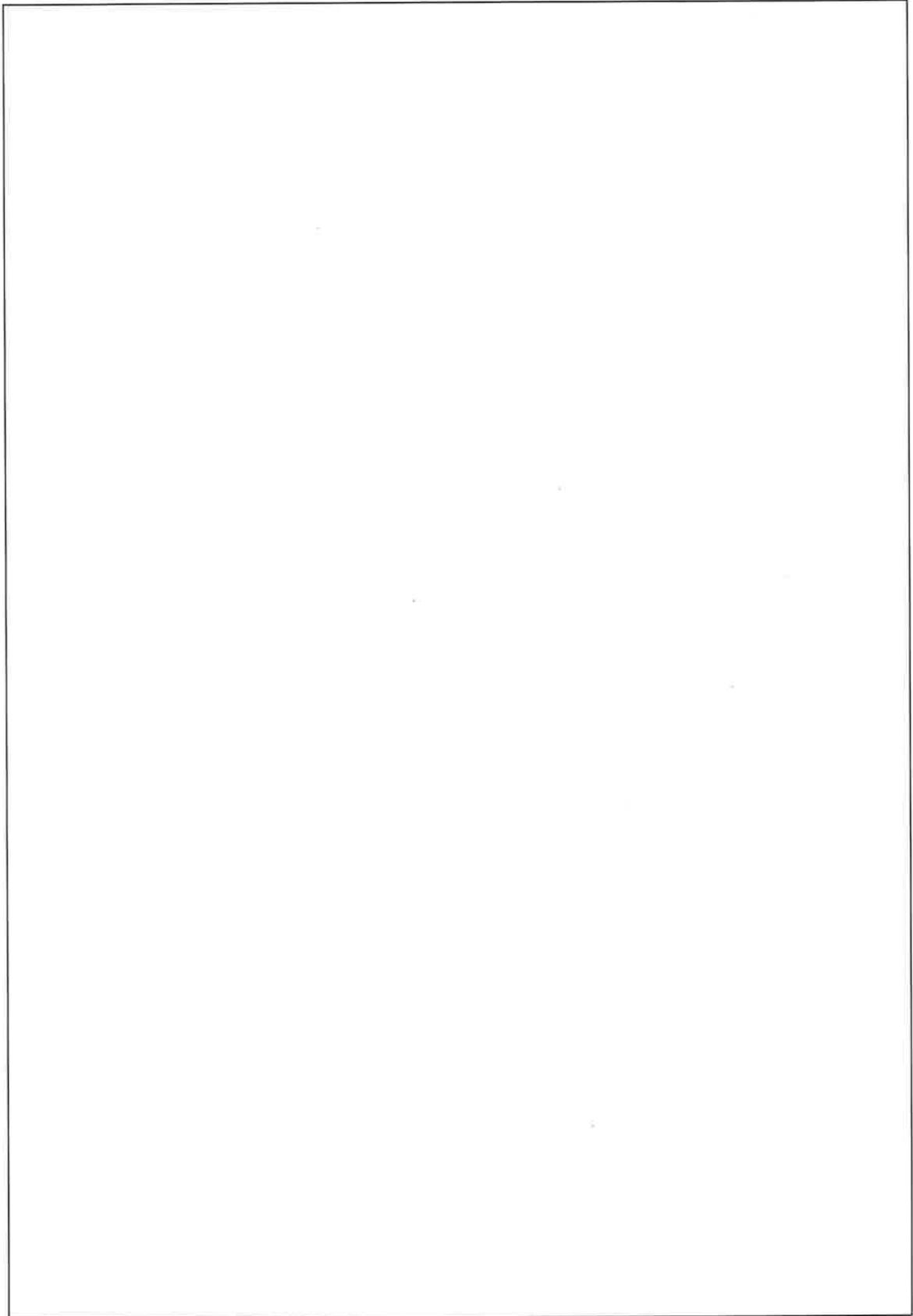
注1) 平均温度

注2) 火災終了後、温度が定常状態になる時間



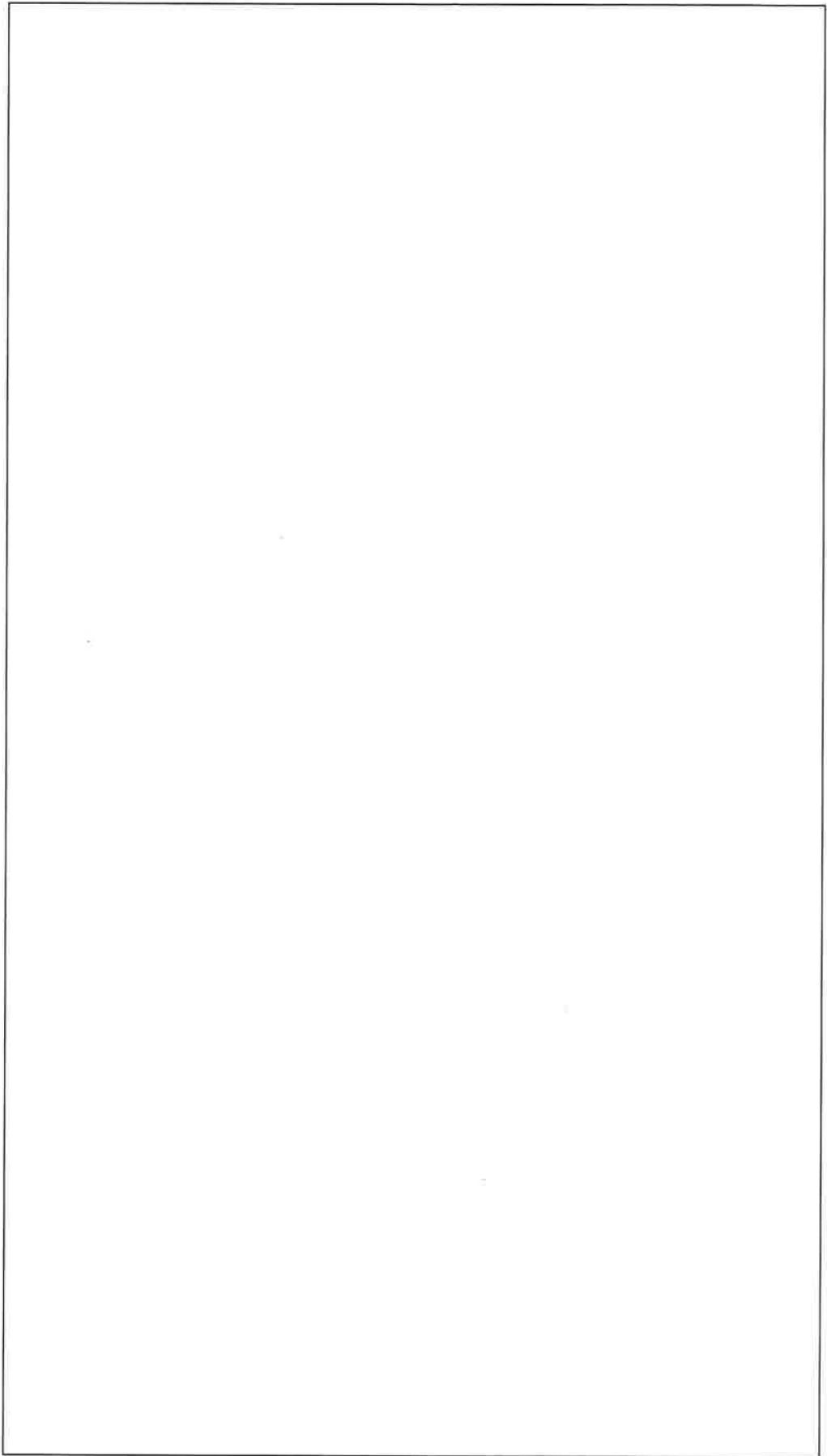
(口) - 第 B. 15 図 特別の試験条件の全体モデルの温度分布 (火災発生 30 分後)

注記：不開示情報を含むため削除



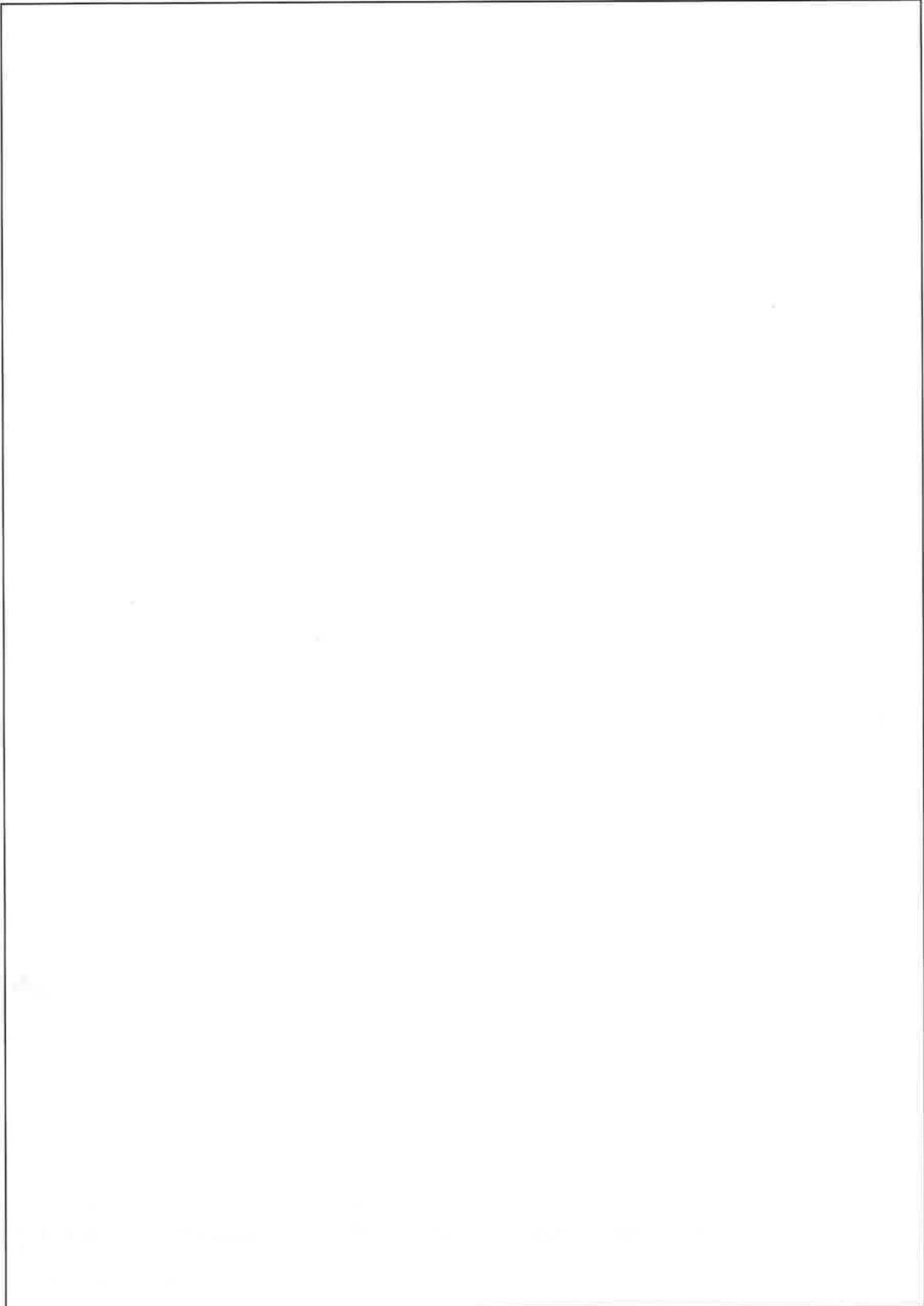
(口) - 第 B. 16 図 特別の試験条件の輪切りモデルの温度分布 (火災発生 30 分後)

注記：不開示情報を含むため削除



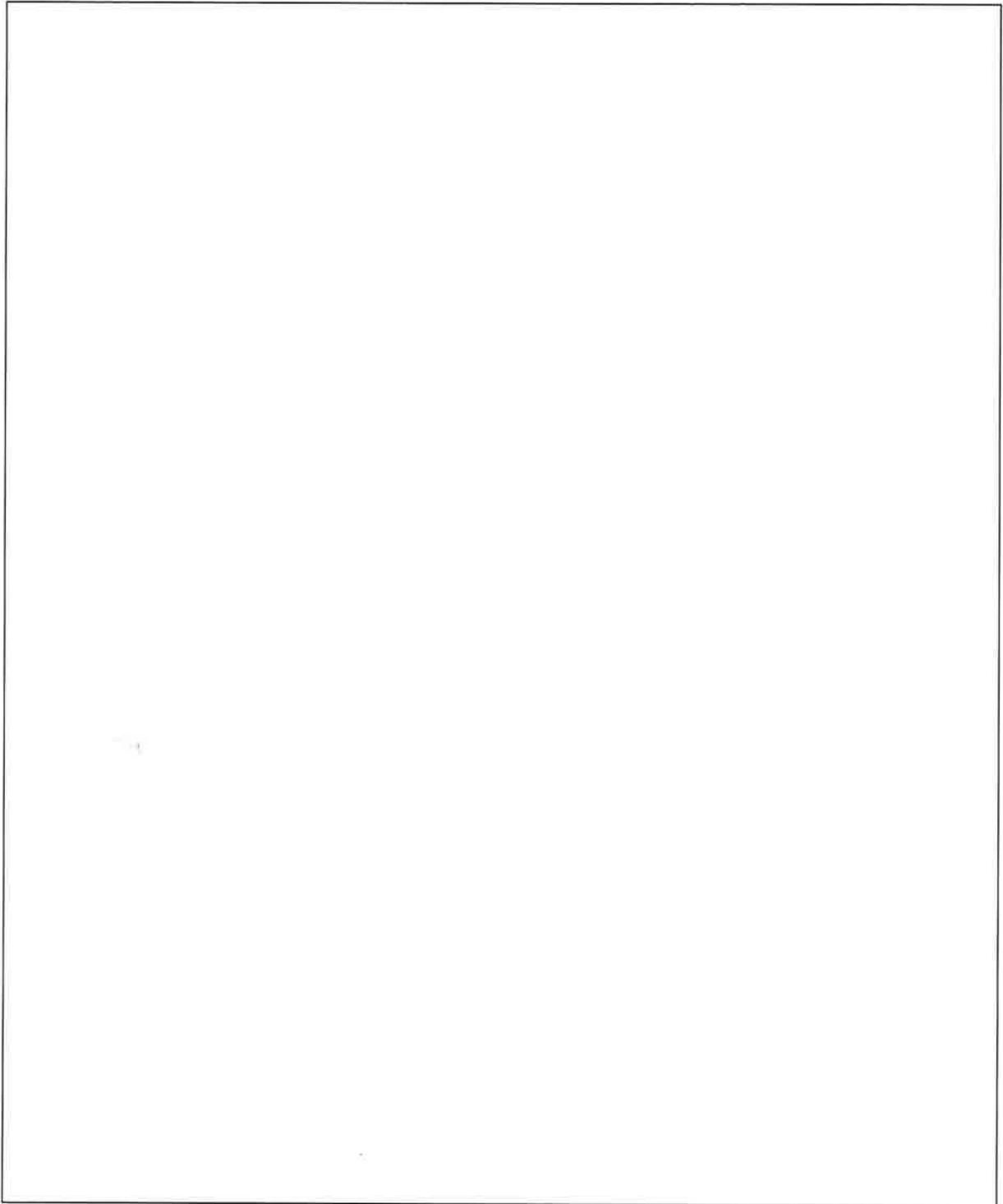
(口) - 第 B. 17 図 特別の試験条件の全体モデルの温度分布 (火災後定常状態)

注記：不開示情報を含むため削除



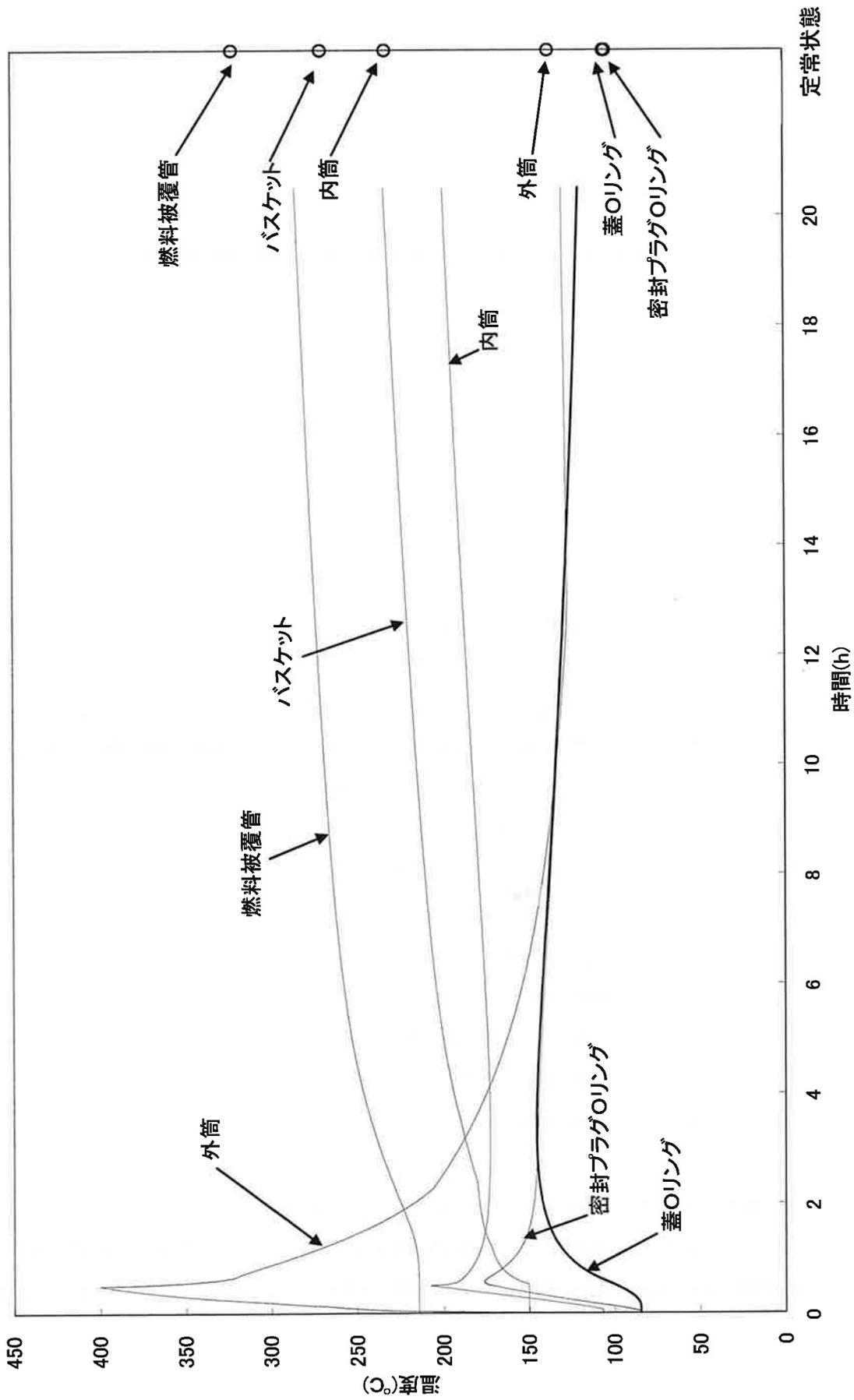
(口) - 第 B. 18 図 特別の試験条件の輪切りモデルの温度分布 (火災後定常状態)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 19 図 特別の試験条件の燃料集合体モデルの温度分布 (火災後定常状態)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 B. 20 図 特別の試験条件の時刻歴温度変化

B. 5. 4 最大内圧

1. 内筒内圧

輸送物の熱解析から、特別の試験条件において輸送物の内筒内圧は、内筒内の□□の温度が最高となるとき、つまり燃料被覆管の温度が最高となる火災後定常状態のときに最大となる。

特別の試験条件においては安全側に全燃料棒の密封機能が失われたと仮定し、燃料棒からのヘリウムの放出による圧力上昇を考慮する。特別の試験条件での□□の温度を保守側に燃料集合体最高温度とすると、内筒内圧は、以下のとおり求められる。

$$P = P_0 \times \frac{V_C}{V_C + V_P} \times \frac{T}{T_0} + P_{HE}$$

$$P_{HE} = P_{R0} \times \frac{V_P}{V_C + V_P} \times \frac{T}{T_{R0}}$$

ここで、

- P : 特別の試験条件における内筒内圧 (MPa)
- P₀ : 初期充填圧力 (MPa)
- T : 特別の試験条件における□□の温度 (K)
- T₀ : 内筒内□□充填時における内筒内□□の温度 (K)
- P_{HE} : 全燃料棒の密封機能が失われたときの燃料棒内に封入されていたヘリウムによる圧力上昇 (MPa)
- P_{R0} : 燃料棒初期内圧 (MPa)
- V_P : 燃料棒内の放出ガス体積 (m³)
 $V_P = V_{P0} \times n \times N$
- V_C : 内筒内体積 (m³)
- T_{R0} : 燃料棒初期封入温度 (K)
- V_{P0} : プレナム体積 (m³/本)
- n : 燃料棒本数 (本)
- N : 収納体数 (体)

計算条件と計算結果を(□) - 第 B. 11 表に示す。

なお、この圧力は蓋取付け時の周囲温度が仮に-20℃であった場合には約 16%増加する可能性があるが、構造解析及び密封解析では保守的にこれを包含する圧力で評価している。

(ロ) - 第 B. 11 表 特別の試験条件における内筒内圧計算条件及び計算結果

項 目	記 号	単 位	数 値 等
初期充填圧力 (絶対圧)	P_0	MPa	0.101325
特別の試験条件における <input type="text"/> の温度	T	K	595.15 (322°C)
<input type="text"/> 充填時における <input type="text"/> の温度	T_0	K	293.15 (20°C)
全燃料棒の密封機能が失われたときの燃料棒内に封入されていたヘリウムによる圧力上昇 (絶対圧)	P_{HE}	MPa	0.098
燃料棒初期内圧 (絶対圧)	P_{R0}	MPa	3.101325
内筒内体積	V_c	m^3	1.267
燃料棒初期封入温度	T_{R0}	K	293.15 (20°C)
プレナム体積	V_{P0}	$m^3/本$	<input type="text"/>
燃料棒本数	n	本	264
収納体数	N	体	4
特別の試験条件における内筒内圧 (絶対圧)	P	MPa	0.301 (0.199MPaG)

2. 側部中性子遮蔽材部圧力

プロピレングリコール水溶液の温度上昇により側部中性子遮蔽材部圧力が高くなるため、外筒に変形が生じ、側部中性子遮蔽材部の全容積が増加する。側部中性子遮蔽材部圧力は、(ロ)章B. 6. 2に示すように圧力と体積のつりあいから最大9.41MPaGとなり、このとき外筒は仕切板間隔が最長となる容器中央部の仕切板間中央において半径が最大40mm膨張するが、(ロ)章A. 10. 6に示すとおり輸送物の密封性が損なわれることはない。

なお、プロピレングリコール水溶液が漏出する場合、漏出後の側部中性子遮蔽材部圧力は大気圧と同等である。

B. 5.5 最大熱応力

特別の試験条件における輸送物各部の温度分布は（口）章 B. 5. 3 に記載したとおりである。特別の試験条件において輸送物に生じる熱応力については、（口）章 A. 6. 3 で説明したように、温度差が最大になる火災発生 30 分後に最大熱応力が生じる。

最大熱応力は（口）章 A. 6. 3 に示すようにいずれも評価基準を下回る。

B. 5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件における熱解析結果の要約と評価を（口） - 第 B. 12 表に示す。本輸送物の状態は以下のとおりであり、損傷については各解析に反映している。

- ・密封境界となる蓋 O リング及び密封プラグ O リングの温度は使用可能温度上限値である 300℃ を超えることはなく、また、圧力についても使用可能圧力上限値を超えることはないため、特別の試験条件で密封性能が損なわれることはない。
- ・蓋部及び下部中性子遮蔽材（レジン）は使用可能温度上限値である 170℃ を超えることはない。ただし、遮蔽解析では安全側に蓋部及び下部中性子遮蔽材の を考慮し、臨界解析では蓋部及び下部中性子遮蔽材は全て無視して、安全側の解析を行っている。
- ・側部中性子遮蔽材（プロピレングリコール水溶液）の平均温度は最高で 229℃ となり、使用可能温度上限値である 140℃ を超えるが、遮蔽解析及び臨界解析では 1 m 貫通試験により漏出したものとして安全側に無視している。
- ・その他の構成材料については、輸送物の健全性に対し悪影響を及ぼす温度にはならない。
- ・側部中性子遮蔽材部の圧力と体積のつりあいから側部中性子遮蔽材部圧力は最大 9.41MPaG となり、このとき外筒は仕切板間隔が最長となる容器中央部の仕切板間中央において半径が最大 40mm 膨張するが、（口）章 A. 10. 6 に示すとおり輸送物の密封性が損なわれることはない。

なお、火災後もプロピレングリコール水溶液が存在する場合及び火災前にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合について問題のないことを、（口）章 B. 6. 3 及び（口）章 B. 6. 4 に示すとおり確認している。

(口) - 第 B. 12 表 特別の試験条件の輸送物の総合的評価

項目	基準値	結果	評価結果	他解析への条件
最高温度				
蓋部及び下部中性子遮蔽材 (レジン)	170℃ ¹⁵⁾	168℃	基準値以下	遮蔽解析で <input type="checkbox"/> 考慮、臨界解析 で無視
側部中性子遮蔽材 (7°ピレンガリコール水溶液)	140℃ ¹⁷⁾	229℃ ^{注1)}	基準値を 超える	遮蔽解析及び臨界 解析で無視
蓋Oリング	300℃ ¹³⁾	146℃	基準値以下	—
密封プラグOリング	300℃ ¹³⁾	177℃	基準値以下	—
外筒	<input type="checkbox"/> ℃ ²²⁾	401℃	基準値以下	構造解析に使用
内筒	<input type="checkbox"/> ℃ ²¹⁾	232℃	基準値以下	構造解析に使用
最大内圧				
内筒内圧	—	0.301 MPa (0.199 MPaG)	—	構造解析では 0.30 MPaG を使用 密封解析では 0.45 MPa を使用
側部中性子遮蔽材部圧力	—	9.51 MPa (9.41 MPaG)	—	構造解析では 大気圧を使用
蓋Oリング	6.9 MPa ¹⁴⁾	0.301 MPa ^{注2)}	基準値以下	—
密封プラグOリング				

注1) 平均温度の最高値

注2) 内筒内圧と同じとした。

B. 6 付属書類

B. 6. 1 解析に用いた対流熱伝達率

B. 6. 1. 1 全体モデルに用いた対流熱伝達率

1. 輸送物表面と周囲の熱伝達率

(1) 外筒表面の自然対流熱伝達率

外筒表面の自然対流熱伝達率は、水平円筒表面の自然対流熱伝達率を表す次の Schutz の式⁴⁾ を用いる。

$$h = 0.1 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times P r \right)^{1/3}$$

ただし、

- h : 熱伝達率 (W/(m²·K))
- λ : 熱伝導率 (W/(m·K))
- g : 重力加速度 (9.80665m/s²)
- β : 体積膨張係数 (K⁻¹)
- ν : 動粘性係数 (m²/s)
- P r : プラントル数
- Δ t : 温度差 (K)

各温度に対して求めた熱伝達率を (口) - 第 B. 付 1 表 に示す。

(口) - 第 B. 付 1 表 外筒表面の自然対流熱伝達率

温度 (°C)	熱伝達率 (W/(m ² ·K))
-20	1.33 Δ t ^{1/3}
0	1.26 Δ t ^{1/3}
20	1.20 Δ t ^{1/3}
100	1.02 Δ t ^{1/3}
200	0.864 Δ t ^{1/3}
300	0.760 Δ t ^{1/3}
400	0.682 Δ t ^{1/3}
600	0.577 Δ t ^{1/3}
800	0.500 Δ t ^{1/3}

(2) 緩衝体円筒表面の自然対流熱伝達率

緩衝体円筒表面に対しては外筒表面の自然対流熱伝達率にて使用した Schutz の式を用いる。なお、緩衝体円錐面の自然対流熱伝達率は安全側に緩衝体円筒表面と同様とする。

(3) 緩衝体垂直表面の自然対流熱伝達率

緩衝体垂直表面の自然対流熱伝達率は、垂直平板に対する次の Jakob の式²³⁾を用いる。

$$h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$$

ただし、

- h : 熱伝達率 (W/(m²·K))
- λ : 熱伝導率 (W/(m·K))
- g : 重力加速度 (9.80665m/s²)
- β : 体積膨張係数 (K⁻¹)
- ν : 動粘性係数 (m²/s)
- Pr : プラントル数
- Δt : 温度差 (K)

各温度に対して求めた熱伝達率を (口) - 第 B. 付 2 表 に示す。

(口) - 第 B. 付 2 表 緩衝体垂直表面の自然対流熱伝達率

温度 (°C)	熱伝達率 (W/(m ² ·K))
-20	1.72 Δt ^{1/3}
0	1.63 Δt ^{1/3}
20	1.55 Δt ^{1/3}
100	1.31 Δt ^{1/3}
200	1.11 Δt ^{1/3}
300	0.980 Δt ^{1/3}
400	0.880 Δt ^{1/3}
600	0.744 Δt ^{1/3}
800	0.646 Δt ^{1/3}

(4) 緩衝体と輸送容器本体との間の熱伝達

緩衝体と輸送容器本体の間には取合いの関係上ギャップがあり、この間の熱伝達は空気の熱伝導及び放射によるとした。

2. 側部中性子遮蔽材部の自然対流熱伝達率

(1) 一般の試験条件

側部中性子遮蔽材部のプロピレングリコール水溶液の自然対流熱伝達率は、水平同心円筒間の自然対流熱伝達式⁴⁾を用いる。

$$h = 0.2 \frac{\lambda}{D} \left\{ \frac{\sqrt{R_a}}{R_a - 1} \ln(R_a) \right\}^{3/4} \left(\frac{g \beta D^3}{\nu^2} \times Pr \times \Delta t \right)^{1/4}$$

ただし、

h : 熱伝達率 (W/(m²·K))

R_a : (r_2/r_1) の値

r_1 : 内側円筒の外半径 (m)

r_2 : 外側円筒の内半径 (m)

λ : 熱伝導率 (W/(m·K))

D : 流体層の幅 (m)

g : 重力加速度 (9.80665m/s²)

β : 体積膨張係数 (K⁻¹)

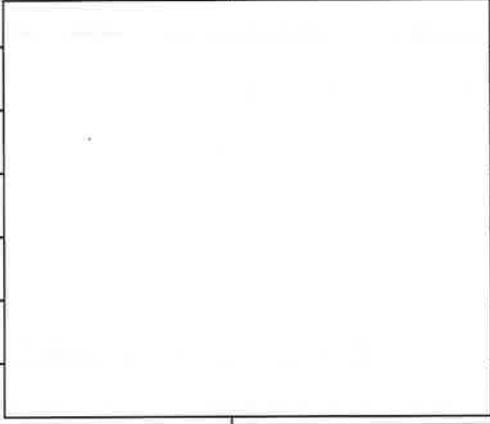
ν : 動粘性係数 (m²/s)

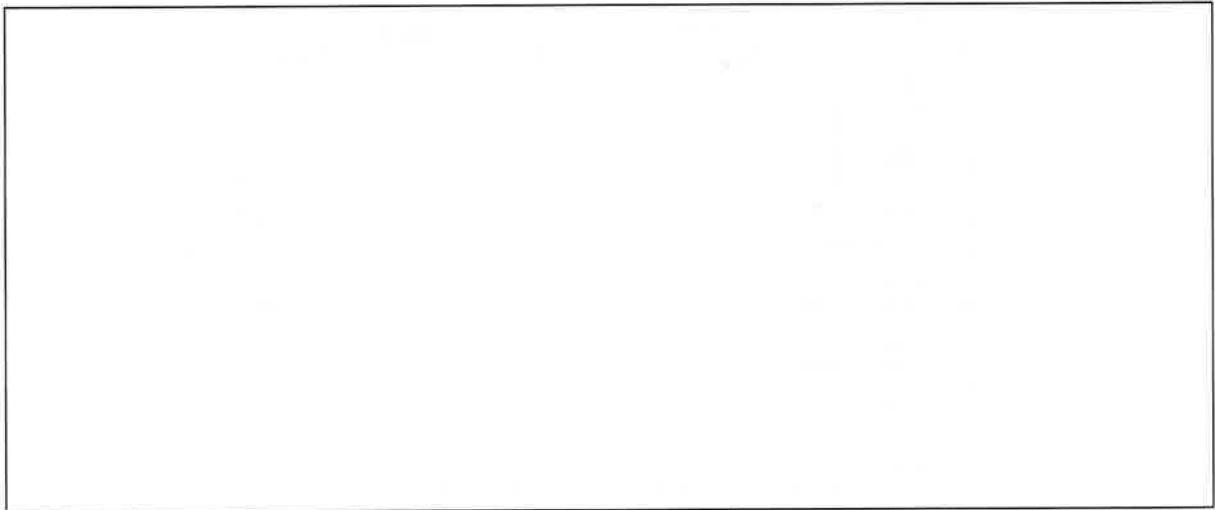
Pr : プラントル数

Δt : 温度差 (K)

上式の適用部位は、(口) - 第 B. 付 1 図に示す①~②である。各温度に対して求めた熱伝達率を (口) - 第 B. 付 3 表に示す。

(口) - 第 B. 付 3 表 側部中性子遮蔽材部のプロピレングリコール水溶液の自然対流熱伝達率

温度 (℃)	熱伝達率 (W/(m ² ·K))	
	領域①	領域②
20		
60		
100		
140		
180		
240		
300		



(口) - 第 B. 付 1 図 側部中性子遮蔽材部における自然対流熱伝達式の適用部位

注記：不開示情報を含むため削除

(2) 特別の試験条件 (火災時)

特別の試験条件 (火災時) に対しては、一般の試験条件にて使用した自然対流熱伝達率を用いる。各温度に対する熱伝達率は (口) - 第 B. 付 3 表に示すとおりである。

(3) 特別の試験条件 (火災後)

1 m 貫通試験により外筒が貫通し、側部中性子遮蔽材部のプロピレングリコール水溶液は漏出する可能性があるため、(口) - 第 B. 付 1 図に示す領域①及び領域②には空気自然対流及び放射を考慮する。空気自然対流熱伝達率は、一般の試験条件にて使用した水平同心円筒間の自然対流熱伝達式を用いる。

各温度に対して求めた熱伝達率を (口) - 第 B. 付 4 表に示す。

(口) - 第 B. 付 4 表 特別の試験条件 (火災後) の
側部中性子遮蔽材部の空気自然対流熱伝達率

温度 (°C)	熱伝達率 (W/(m ² ·K))	
	領域①	領域②
20	[Blank area for data entry]	
60		
100		
140		
180		
240		
300		

3. 膨張室内の熱伝達率

膨張室内は、一般の試験条件（火災前）においては□とプロピレングリコール水溶液の混合雰囲気、特別の試験条件（火災時）においてはプロピレングリコール水溶液、特別の試験条件（火災後）においては空気雰囲気であるとする。

各温度に対して求めた熱伝達率を（ロ）－第 B. 付 5 表に示す。

（ロ）－第 B. 付 5 表 膨張室内における流体の熱伝達率

温度 (°C)	一般の試験条件 (火災前)	特別の試験条件	
	□とプロピレングリコール水溶液の混合流体の熱伝達率 (W/(m ² ·K))	火災時	火災後
20	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	プロピレングリコール水溶液の熱伝達率 (W/(m ² ·K))	空気の熱伝達率 (W/(m ² ·K))
60			
100			
140			
180			
240			
300			

B. 6. 1. 2 輪切りモデルに用いた対流熱伝達率

1. 外筒表面と周囲の熱伝達率

外筒表面の自然対流熱伝達率に対しては全体モデルにて使用した Schutz の式を用いる。

2. 側部中性子遮蔽材部の熱伝達率

(1) 一般の試験条件

一般の試験条件におけるプロピレングリコール水溶液の自然対流熱伝達率は、全体モデルにて使用した水平同心円筒間の自然対流熱伝達式を用いることとし、(ロ) - 第 B. 付 3 表に示す値を設定した。

(2) 特別の試験条件 (火災時)

特別の試験条件 (火災時) に対しては、一般の試験条件にて使用した自然対流熱伝達率を用いる。各温度に対する熱伝達率は (ロ) - 第 B. 付 3 表に示すとおりである。

(3) 特別の試験条件 (火災後)

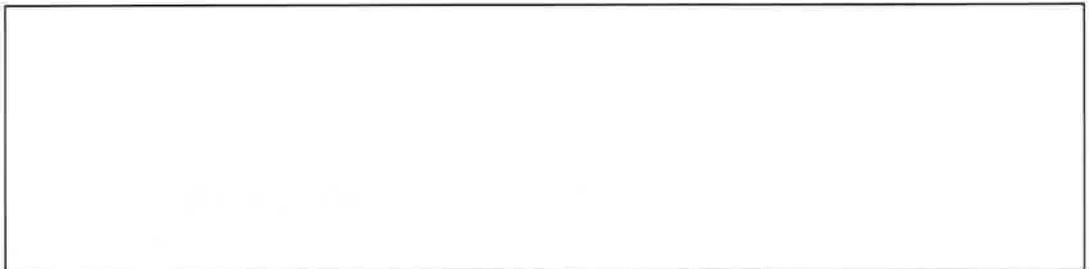
1 m 貫通試験により外筒が貫通し、側部中性子遮蔽材部のプロピレングリコール水溶液は漏出する可能性があるため、側部中性子遮蔽材部には空気自然対流及び放射を考慮する。空気自然対流熱伝達率は、全体モデルにて使用した水平同心円筒間の自然対流熱伝達式を用いることとし、(ロ) - 第 B. 付 4 表に示す値を設定した。

B. 6. 2 特別の試験条件における側部中性子遮蔽材部圧力

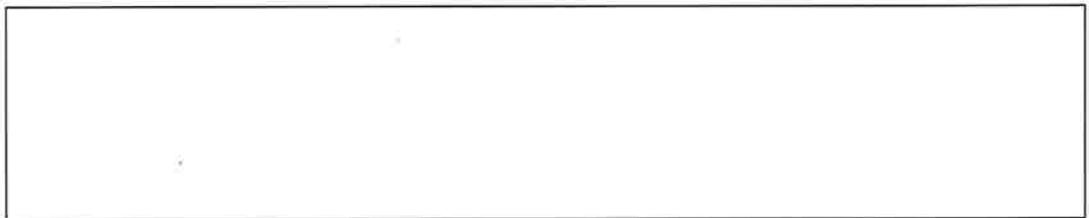
火災の入熱に伴いプロピレングリコール水溶液が熱膨張して側部中性子遮蔽材部（以下、この項においては「充填部」という。）の圧力が上昇し、プロピレングリコール水溶液の蒸気圧が上昇すると、主に外筒が変形し充填部の体積が増加する。一方、充填部の体積が増加すると、充填部の圧力は低下する。この圧力と体積の関係がつかぬ時点の圧力が充填部の想定される最大圧力となる。

この関係を考慮し、以下に示す2つの関係を個別に算出し、両者の関係がつかぬ点から充填部の最大圧力を算出した。

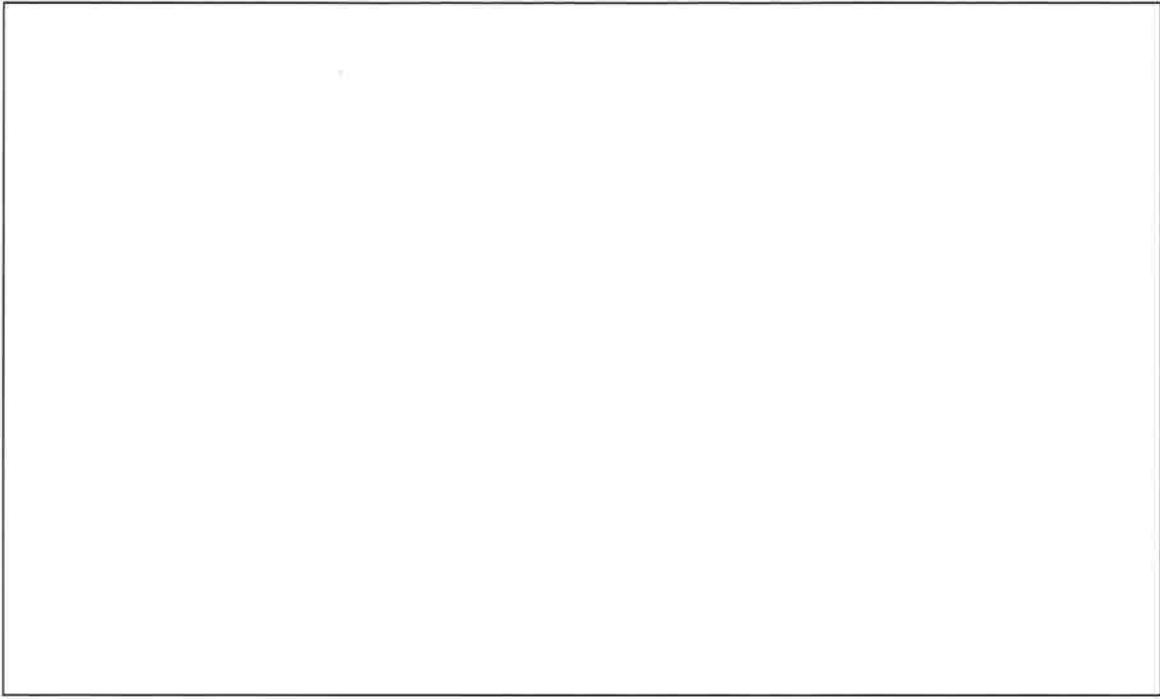
① 容器の挙動に着目した場合の圧力と体積の関係



② プロピレングリコール水溶液の挙動に着目した場合の圧力と体積の関係



評価の結果、(口) - 第 B. 付 2 図に示すとおり、充填部圧力は 9.41MPaG となる。また、このとき外筒は仕切板間隔が最長となる容器中央部の仕切板間中央において半径が最大 40mm 膨張する。



(口) - 第 B. 付 2 図 充填部の圧力評価

注記：不開示情報を含むため削除

B. 6. 3 火災後もプロピレングリコール水溶液が存在する場合の影響

本項では、火災後もプロピレングリコール水溶液が存在する場合について問題のないことを確認する。

1. 解析に用いる各モデル

火災発生 30 分後にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合と同様に、各部温度を算出するために全体モデル、輪切りモデル及び燃料集合体モデルを用いた。

2. 輸送物温度

特別の試験条件において、火災後もプロピレングリコール水溶液が存在する場合の輸送物各部の最高温度の結果とそのときの火災発生後からの時間を(ロ) - 第 B. 付 6 表に示す。

本輸送物の状態は(ロ) 章 B. 5. 6 に示す火災発生 30 分後にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合と同様である。

なお、下部中性子遮蔽材(レジン)の最高温度は 181℃となり、使用可能温度上限値である 170℃を超えるが、レジンに対して 180℃、5000 時間の加熱試験を行った後の重量減損率は 4 wt%未満²⁴⁾であり、蓋部及び下部中性子遮蔽材(レジン)の□を考慮した遮蔽解析並びに蓋部及び下部中性子遮蔽材を全て無視している臨界解析は十分に安全側である。

3. 最大内圧

燃料被覆管の温度は火災発生 30 分後にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合より低いため、内筒内圧が(ロ) - 第 B. 11 表に示す圧力よりも大きくなることはない。

また、側部中性子遮蔽材部の圧力は、(ロ) 章 B. 5. 4 に示すように 9.41MPaG となり、このとき外筒は仕切板間隔が最長となる容器中央部の仕切板間中央において半径が最大 40mm 膨張する。

4. 最大熱応力

最大熱応力は(ロ) 章 A. 10. 6 に示すようにいずれも評価基準を下回る。

(ロ) - 第 B. 付 6 表 火災後もプロピレングリコール水溶液が存在する場合の最高温度

部 位	条 件	特別の試験条件	
		温度 (°C)	火災発生後からの時間 (h)
緩衝体		796	0.50
外筒		401	0.50
側部中性子遮蔽材		232 ^{注1)}	0.52
蓋部中性子遮蔽材		156	5.4
下部中性子遮蔽材		181	6.7
底板		331	0.50
内筒		221	0.74
フランジ		345	0.50
蓋		321	0.50
蓋ボルト		158	4.4
蓋Oリング		156	4.7
		91	—注2)
密封プラグOリング		177	0.56
		91	—注2)
蓋部中性子遮蔽材カバー		156	5.4
下部中性子遮蔽材カバー		182	6.9
バスケット		228	7.1
燃料被覆管		283	7.9

注 1) 平均温度

注 2) 火災終了後、温度が定常状態になる時間

B. 6. 4 火災前にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合の影響

本項では、火災前にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合について問題のないことを確認する。

1. 解析に用いる各モデル

火災発生 30 分後にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合と同様に、各部温度を算出するために全体モデル、輪切りモデル及び燃料集合体モデルを用いた。

2. 輸送物温度

特別の試験条件において、火災前にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合の輸送物各部の最高温度の結果とそのときの火災発生後からの時間を (口) - 第 B. 付 7 表 に示す。

本輸送物の状態は (口) 章 B. 5. 6 に示す火災発生 30 分後にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合と同様である。

3. 最大内圧

燃料被覆管の最高温度は火災発生 30 分後にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合と同じであるため、内筒内圧は (口) - 第 B. 11 表に示す圧力と同等である。

また、側部中性子遮蔽材部の圧力は大気圧と同等である。

4. 最大熱応力

最大熱応力は (口) 章 A. 10. 7 に示すようにいずれも評価基準を下回る。

(ロ) - 第 B. 付 7 表 火災前にプロピレングリコール水溶液が漏出した場合の最高温度

部 位	条 件	特別の試験条件	
		温度 (°C)	火災発生後からの時間 (h)
緩衝体		796	0.50
外筒		761	0.50
蓋部中性子遮蔽材		154	0.86
下部中性子遮蔽材		170	9.2
底板		331	0.50
内筒		235	0.89
フランジ		503	0.50
蓋		321	0.50
蓋ボルト		158	2.8
蓋Oリング		155	3.3
		105	—注)
密封プラグOリング		177	0.56
		104	—注)
蓋部中性子遮蔽材カバー		151	3.7
下部中性子遮蔽材カバー		170	9.2
バスケット		270	—注)
燃料被覆管		322	—注)

注) 火災終了後、温度が定常状態になる時間

B. 6. 5 参考文献

- 1) Siegel R., Howell. J. R, “Thermal Radiation Heat Transfer”, Hemisphere Publishing Corp., (1981).
- 2) ABAQUS, Inc., “ABAQUS Theory Manual (Version 6.5)”.
- 3) “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 1996 Edition”, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- 4) (社) 日本機械学会, “伝熱工学資料 (改訂第4版又は改訂第3版)”, (1986, 1975).
- 5) (社) 日本アルミニウム協会, “アルミニウムハンドブック (第7版)”, (2007).
- 6) ASME, “2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code II Part D Properties (Metric) MATERIALS”, (2009).
- 7)
- 8) Hagrman, D. L., Reymann, G. A., “MATPRO-VERSION 11 (Rev. 2) A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior”, NUREG/CR-0497, TREE-1280, REV. 2, EG&G Idaho Inc., (1981).
- 9) 原燃輸送株式会社, “高性能使用済燃料輸送容器の安全性に関する技術調査 (BWR) 最終報告書”, (1993).
- 10) 木材工業ハンドブック編集委員会, “木材工業ハンドブック (改訂3版)”, (1982).
- 11) Robert W. Gallant, “Physical Properties of Hydrocarbons (vol. 1)”, The Dow Chemical Company Plaquemine, Louisiana.
- 12) 産業技術センター, “複合材料技術集成”, (1976).
- 13) (財) 電力中央研究所, “輸送キャスク密封装置の耐熱限界性能の評価”, (1998).
- 14) 日本バルカー工業株式会社, “VALQUA HAND BOOK 技術編”, (2010).
- 15)
- 16) 旭硝子株式会社, “旭硝子のプロピレングリコール”, (1995).
- 17) (独) 原子力安全基盤機構, “平成15年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書 最終報告”, (2004).
- 18) 日本ペイント株式会社, “各種塗膜の耐熱性について”.
<<https://www.nipponpaint.co.jp/biz1/large/pdf/tech20.pdf>>
- 19) (財) 原子力発電技術機構, “平成13年度 高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書 (PWR 高燃焼度燃料 総合評価編)”, (2002).
- 20)

- 21) (社)日本機械学会, “使用済燃料貯蔵施設規格 コンクリートキャスク, キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格” JSME S FB1-2003, (2003).
- 22) (独)原子力安全基盤機構, “平成 20 年度 中間貯蔵施設基準体系整備報告書 (中間貯蔵施設基準体系整備)”, (2010).
- 23) Jakob M., “Heat Transfer”, Volume I. John Wiley & Sons, Inc., New York (1962).
- 24) Y. Momma, M. Matsumoto, etc., “EVALUATION TEST ON THE THERMAL STABILITY OF RESIN AS NEUTRON SHIELDING MATERIAL FOR SPENT FUEL TRANSPORT CASK”, The 12th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, May 10-15, 1998, Session 10.1 and 11.1, 1645-1652, (1998).

(口) 章 C 密封解析

C. 密封解析

C. 1 概要

本輸送物では、(ロ)章A. 5に示すように一般の試験条件において燃料被覆管は破損しない。したがって、一般の試験条件における燃料棒からの放射性物質の漏えいはなく、輸送物からの放射性物質の漏えいもない。

特別の試験条件においては安全側に燃料棒の被覆管がないものと仮定し、漏えい試験における最大許容漏えい率に基づいて放射性物質の密封境界外への漏えい率を評価し、その漏えい率が特別の試験条件における放射性物質漏えい率の基準を満足することを示す。

C. 2 密封装置

C. 2. 1 密封装置

本輸送容器の密封境界を構成する密封装置は、(イ) - 第C. 4図に示すように内筒、底板、蓋、フランジ、蓋部内側Oリング、の密封プラグ及び密封プラグOリングから構成される。また、密封装置の材質は(イ) - 第C. 1表に示すとおりである。なお、本輸送物に弁はない。

C. 2. 2 密封装置の貫通部

本輸送容器には、蓋にを設けるためのが設けられている。

は、燃料装荷時に内部雰囲気に置換するとともに、内圧を規定の圧力に調整するために用いられる。また、燃料取出し時においては内圧を外気圧と平衡にするために用いられる。

C. 2. 3 密封装置のガスケット及び溶接部

1. ガスケット

蓋には、(イ) - 第C. 8図に示すように製のOリングが同心円状に設けられている。また、には、密封プラグと密封プラグカバーを設け、各々製のOリングが設けられている。

ガスケットは輸送前に漏えい試験を行ってその健全性が確認される。

製のOリングは、その耐熱性及び耐寒性((ロ)章B. 3)に適合する温度範囲で使用され((ロ)章B. 4. 6及び(ロ)章B. 5. 6)、さらに一般及び特別の試験条件における口開き変形量が基準値以下となるため((ロ)章A. 5. 7及び(ロ)章A. 6. 5)、蓋の密封性を保つことができる。

2. 溶接部

密封境界に係る溶接部は、内筒の周及び軸方向溶接部並びに内筒と底板との周方向

溶接部である。内筒及び底板は、金属キャスク構造規格等に準拠して実施した溶接施工法確認試験に合格した施工法に従って溶接施工される。

溶接部は製作中に[]等を行ってその健全性が確認される。

溶接部はその耐寒性（(口)章A. 4. 2）により、最低使用温度でも健全であり密封性を保つことができる。

C. 2. 4 蓋

蓋は、一般及び特別の試験条件の温度、圧力に耐える強度を備え、かつ密封性を保つことができるOリングを設けている。蓋の密封性を保つため、蓋ボルトを適切なトルクで締め付ける。

C. 3 一般の試験条件

一般の試験条件において密封装置の構造強度が維持され機能が損なわれないこと及び燃料被覆管が破損しないことは（口）章A. 5により確認している。

C. 3. 1 放射性物質の漏えい

一般の試験条件において燃料被覆管は破損しないため、放射性物質の環境への漏えいはない。したがって、放射性物質の1時間当たりの漏えい量が A_2 値の百万分の1を超えることはない。また、輸送物表面の放射性物質の密度が増加することはなく、表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えることはない。

C. 3. 2 密封装置の加圧

本輸送物は燃料装荷後に[]が封入され、輸送物内部は収納物の発熱による温度上昇により圧力が上昇するが、温度上昇による圧力は（口）-第B. 9表に示すとおりであり、密封装置の耐圧強度及びOリング部の密封性が損なわれないことは（口）章A. 5により確認している。

C. 3. 3 冷却材汚染

本輸送容器は冷却材を用いない乾式タイプであり、冷却材の汚染はない。

C. 3. 4 冷却材損失

本輸送容器は冷却材を用いない乾式タイプであり、冷却材の損失はない。また、密封装置にはベント装置はない。

C. 4 特別の試験条件

特別の試験条件において密封装置の構造強度が維持され密封性が損なわれないことは(口)章A. 6により確認している。また、(口)章B. 5. 6に示すように特別の試験条件における内筒内圧は、0.45MPaとする。

以下の評価では安全側に全燃料棒の被覆管がないものと仮定する。

C. 4. 1 核分裂生成ガス

本輸送容器に収納する燃料は新燃料集合体であるため、核分裂生成ガスは存在しない。

C. 4. 2 放射性物質の漏えい

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、輸送容器から漏えいするガス中の放射性物質濃度と特別の試験条件におけるガス漏えい率を乗じて求められる。

1. 輸送容器から漏えいするガス中の放射性物質濃度

燃料集合体1体当たりの各主要核種の最大収納量は、

とする。各核種の最大収納量より求めた最大放射エネルギーを(口) - 第C. 1表に示す。

(口) - 第C. 1表 燃料集合体1体当たりの放射エネルギー

核種 i	最大放射エネルギー R _i (TBq)
Pu-238	
Pu-239	
Pu-240	
Pu-241	
Pu-242	
Am-241	
合計	

ここで、オリフィスの小さな孔を通して漏えいするヘリウム及びヘリウムに同伴される二酸化プルトニウム粉末量の相関を求めた実験結果¹⁾によると、ヘリウムに同伴される二酸化プルトニウム粉末の最大濃度は $5 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^3$ と示されていることから、輸送容器から漏えいする中のウラン・プルトニウム混合酸化物粉末の濃度を $5 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^3$ と設定する。

この場合、輸送容器から漏えいする核種 i の放射性物質濃度 C_i は次式で表される。

$$C_i = 5 \times 10^{-3} \times 10^{-9} \times \frac{R_i}{M_{HM}} \quad \text{— (1)}$$

ここで、 R_i : 核種 i の最大放射能量 (TBq/燃料集合体)

M_{HM} : (U+Pu) 重量 (/燃料集合体)

上記 (1) 式により求めた核種 i の放射性物質濃度 C_i を (口) - 第 C. 2 表に示す。

(口) - 第 C. 2 表 放射性物質濃度

核種 i	放射性物質濃度 C_i (TBq/cm ³)
Pu-238	<input type="text"/>
Pu-239	
Pu-240	
Pu-241	
Pu-242	
Am-241	

2. 特別の試験条件におけるガス漏えい率

特別の試験条件におけるガス漏えい率は、漏えい試験における最大許容漏えい率に基づいて求める。

(1) 漏えい試験における最大許容漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容漏えい率 L_{Rt} は、輸送容器の蓋及び密封プラグの被検査部の漏えい率として (口) - 第 C. 3 表に示す値とする。

なお、漏えい試験法には加圧法又は真空法が適用されるが、ここでは漏えい孔径が安全側となる真空法における最大許容漏えい率について示す。

(口) - 第 C. 3 表 最大許容漏えい率及び漏えい試験条件

項 目		全 密 封 境 界 (蓋部及び密封プラグ部の合計)
L_{Rt} : 最大許容漏えい率 (ref·cm ³ /s)		3.0×10^{-2}
圧力 条件	P_u : 上流側圧力 (MPa)	0.101 (大気圧)
	P_d : 下流側圧力 (MPa)	0.001
T : 流体の温度 (K)		298.15

(2) 漏えい孔径

密封装置の漏えい孔径は、(口) - 第C. 3表に示す最大許容漏えい率及び漏えい試験条件に基づいて、以下の漏えい計算式により求める。

$$L = (F_c + F_m) (P_u - P_d) \left(\frac{P_a}{P_u} \right)^2 \quad \text{--- (2)}$$

ここで、

L : 圧力 P_u における漏えい率 (cm^3/s at P_u, T)

F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$$F_c = \frac{\pi}{128} \times \frac{D^4}{a \times \mu} \quad \text{--- (3)}$$

F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi R}}{6} \times \frac{D^3 \sqrt{\frac{T}{M}}}{a \times P_a} \quad \text{--- (4)}$$

P_u : 上流側の圧力 (MPa)

P_d : 下流側の圧力 (MPa)

P_a : 流れの平均圧力 (MPa)

$$P_a = \frac{1}{2} (P_u + P_d) \quad \text{--- (5)}$$

ただし、D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい孔長 (cm)

μ : 流体の粘性係数 ($\text{MPa}\cdot\text{s}$)

R : 気体定数 ($8.314472 \times 10^7 \text{erg}/(\text{mol}\cdot\text{K})$)

T : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量 (g/mol)

(ANSI N14.5 記載式の係数を理論式で表した。)

また、漏えい試験条件において、Lは次式で与えられる。

$$L = L_{Rt} \times \frac{P_s}{P_u} \times \frac{T}{T_s} \quad \text{--- (6)}$$

ここで、 L_{Rt} : 最大許容漏えい率 ($\text{ref}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$)

P_s : 基準圧力 (0.101MPa)

T_s : 基準温度 (298.15K)

上記(2)式から(6)式により求めた密封装置の漏えい試験における最大漏えい孔径を(口) - 第C. 4表に示す。

(ロ) - 第C. 4表 漏えい試験における最大漏えい孔径

項目		密封境界	
		蓋 部	密封プラグ部
L _{Rt} : 最大許容漏えい率 (ref・cm ³ /s)		3.0×10 ⁻²	
圧力 条件	P _u : 上流側圧力 (MPa)	0.101 (大気圧)	
	P _d : 下流側圧力 (MPa)	0.001	
T : 空気の温度 (K)		298.15	
M : 空気の分子量 (g/mol)		28.97	
μ : 空気の粘性係数 (MPa・s)		1.85×10 ⁻¹¹	
a : 漏えい孔長 (cm)		<input type="text"/> 注)	<input type="text"/> 注)
D : 漏えい孔径 (cm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>

注) Oリングの断面直径を採用

(3) 特別の試験条件におけるガス漏えい率

特別の試験条件におけるガス漏えい率 $L_{u, x}$ は、漏えい孔が漏えい試験における漏えい孔径を維持するとして、上記の漏えい計算式により求める。

なお、特別の試験条件におけるガス漏えい率 $L_{u, x}$ は、次式により標準状態(25℃、0.101MPa (1 atm))における漏えい率 $L_{s, x}$ に換算する。

$$L_{s, x} = L_{u, x} \times \left(\frac{P_{u, x}}{P_s} \times \frac{T_s}{T_x} \right) \quad \text{— (7)}$$

ここで、

x : 特別の試験条件を表す添字

特別の試験条件における最大ガス漏えい率を(ロ) - 第C. 5表に示す。なお、放射性物質の漏えい率を評価するに当たっては、安全側に密封プラグ部から漏えいするとした場合のガス漏えい率を用いる。

(口) - 第C. 5表 特別の試験条件における最大ガス漏えい率

項 目	部 位	密 封 境 界	
		蓋 部	密封プラグ部
$P_{u, x}$: 上流側圧力 (MPa)		0.45 ^{注1)}	
$P_{d, x}$: 下流側圧力 (MPa)		<input type="text"/> ^{注2)}	
M_x : <input type="text"/> の分子量 (g/mol)		<input type="text"/>	
T_x : <input type="text"/> の温度 (K)		<input type="text"/> ^{注3)}	<input type="text"/> ^{注3)}
μ_x : <input type="text"/> の粘性係数 (MPa·s)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
a : 漏えい孔長 (cm)		<input type="text"/> ^{注4)}	<input type="text"/> ^{注4)}
D : 漏えい孔径 (cm)		<input type="text"/>	
$L_{u, x}$: 特別の試験条件におけるガス漏えい率 (cm^3/s at P_u, T)			
$L_{s, x}$: 特別の試験条件におけるガス漏えい率 (cm^3/s at 25°C, 0.101MPa)			

注1) 内筒内圧 ((口) 章B. 5. 6より)

注2)

注3)

注4) Oリングの断面直径を採用

3. 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

輸送容器から漏えいする放射性物質濃度 C_i に特別の試験条件におけるガス漏えい率 $L_{s, x}$ を乗じて、特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を求めた。

基準値との比率を(口) - 第C. 6表に示す。密封装置からの放射性物質の1週間当たりの漏えい量は基準値よりも小さい。

(口) - 第C. 6表 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

核種	放出されるガス中の放射性物質濃度 (TBq/cm ³)	放射性物質漏えい率 (TBq/week)	基準値 (A_2/week) (TBq/week)	放射性物質漏えい率の基準値との比
Pu-238	<input type="text"/>	4.79×10^{-6}	0.001	4.79×10^{-3}
Pu-239		2.23×10^{-7}	0.001	2.23×10^{-4}
Pu-240		1.96×10^{-6}	0.001	1.96×10^{-3}
Pu-241		7.99×10^{-5}	0.06	1.34×10^{-3}
Pu-242		2.23×10^{-8}	0.001	2.23×10^{-5}
Am-241		4.77×10^{-6}	0.001	4.77×10^{-3}
		合計		1.31×10^{-2}

C. 5 結果の要約及びその評価

密封解析の評価結果は以下に示すとおりであり、本輸送容器の密封性は規則及び告示に定められるBM型輸送物に係る技術上の基準に適合する。

1. 密封装置

本輸送容器の密封境界を構成する密封装置は内筒、底板、蓋、蓋部内側Oリング、
の密封プラグ及び密封プラグOリングから構成されている。この密封装置は、一般及び特別の試験条件に対して十分な強度を有し、また、ガスケットの密封性が損なわれることはない。

2. 一般の試験条件

(1) 放射性物質の漏えい

本輸送物では、一般の試験条件では燃料被覆管は破損しないため、放射性物質の環境への漏えいはない。

(2) 密封装置の加圧

密封装置の加圧は、主に内部ガスの温度上昇による。(ロ)章A. 5に示したようにこの加圧により密封性が損なわれるような変形は生じない。

3. 特別の試験条件

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率の合計は 1.31×10^{-2} であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

C. 6 付属書類

C. 6. 1 参考文献

- 1) J. D. Yesso, W. J. Madia, G. H. Beatty, et. al., "Study of Plutonium Oxide Powder Emissions from Simulated Shipping Container Leaks", NUREG/CR-1302, USNRC, (1980).
- 2) American National Standards Institute, Inc., "American National Standard for radioactive materials - leakage tests on packages for shipment", ANSI N14. 5-1997, (1998).

(口) 章D 遮蔽解析

D. 遮蔽解析

D.1 概要

本輸送物の主要なガンマ線遮蔽材は、(イ) - 第 C. 5 図及び (イ) - 第 C. 6 図に示すとおり、側部方向は内筒及び外筒の ステンレス鋼であり、軸方向は底板及び蓋のステンレス鋼等である。主要な中性子遮蔽材は、側部方向は内筒と外筒間のプロピレングリコール水溶液であり、軸方向は蓋部及びバスケット下部のレジンである。また、側部方向の内筒及び外筒の ステンレス鋼、軸方向の底板及び蓋のステンレス鋼等もその役目をする。

線源としてはアクチノイド及び核分裂生成物による線源を考慮した。線源強度は、ORIGEN2-82 コード¹⁾により求めた。

一般及び特別の試験条件下においては想定される輸送容器及び収納物の状態を考慮して線量当量率を評価する。線量当量率の計算には、DOT3.5 コード²⁾を用いた。また、線量当量率評価で用いる断面積ライブラリーは、DLC-23/CASK ライブラリー³⁾を使用した。

これらの計算から、燃料集合体に含まれる線源核種重量が線源核種規定式を満足する場合、線量当量率は規則及び告示で定められた基準を満足する。

D. 2 線源仕様

本輸送容器に収納する燃料集合体については、(イ) - 第D. 1表に示した。この燃料集合体の主要核種であるプルトニウム同位体を単独で輸送容器に収納した場合に、線量当量率が基準値と一致する重量（規定収納量）を(ロ) - 第D. 1表に示す。

なお、線量当量率を評価するに当たって、主要核種に同伴するウラン同位体として、U-232、U-234、U-235、U-236、U-238、プルトニウム同位体として、Pu-236、Pu-244、核分裂生成物（FP）核種として、Ru-106 による線量当量率への寄与を考慮した。

(ロ) - 第D. 1表 主要核種の規定収納量

(燃料集合体 1 体当たり)

核種	各プルトニウム同位体の規定収納量 (A_i)	備考
Pu-238	5.51×10^3 g	収納物の各プルトニウム同位体重量 a_i (g) は、次の線源核種規定式を満たす。 $\sum_i \frac{a_i}{A_i} \leq 1.0$
Pu-239	2.21×10^6 g	
Pu-240	1.04×10^5 g	
Pu-241	4.00×10^6 g	
Pu-242	6.80×10^4 g	
Am-241	3.04×10^4 g	

D. 2. 1 ガンマ線源

ガンマ線源強度の計算は、ORIGEN2-82 コードを用いて行った。

ORIGEN2-82 コードにより求めた主要核種の規定収納量に対応するガンマ線のエネルギーごとの線源強度を (口) - 第 D. 2 表に示す。

主要核種より生成される子孫核種については、次のとおりとした。

- ・ プルトニウム同位体のうち Pu-241 以外については、
の値を用いた。
- ・ Pu-241 からは、Am-241 及び U-237 が主要な子孫核種として生成される。このうち Am-241 については、Pu-241 とは別に主要核種として規定収納量を設定しているため、 ORIGEN2-82 コードにより計算した。一方、Pu-241 から生成される U-237 については、Pu-241 の冷却期間によって含有量が増減するため、 ORIGEN2-82 コードで線源計算を行い、 ガンマ線源強度を計算した。また、子孫核種を含まない Pu-241 については、
の値を用いた。Pu-241 のガンマ線源強度としては、子孫核種を含まない Pu-241 と U-237 のガンマ線源強度を合計した。

(ロ) - 第D. 2表 主要核種のガンマ線のエネルギーごとの線源強度

(輸送容器1基当たり)

エネルギー 群数	平均エネルギー (MeV)	Pu-238 (photons/s)	Pu-239 (photons/s)	Pu-240 (photons/s)	Pu-241 (photons/s)	Pu-242 (photons/s)	Am-241 (photons/s)
1	0.01						
2	0.025						
3	0.0375						
4	0.0575						
5	0.085						
6	0.125						
7	0.225						
8	0.375						
9	0.575						
10	0.85						
11	1.25						
12	1.75						
13	2.25						
14	2.75						
15	3.5						
16	5.0						
17	7.0						
18	9.5						
合	計						

D. 2. 2 中性子源

燃料中には中性子源となるアクチノイド核種が含まれる。これらの核種から中性子が生成する反応は、自発核分裂及び (α, n) 反応である。一次中性子源強度は冷却期間 0 のときに最大となるため、このときの一次中性子源強度を ORIGEN2-82 コードにより計算し、その結果に体系の増倍効果を考慮して全中性子源強度を求める。

体系の増倍効果を考慮した全中性子源強度 (N_s) は次式で求められる。

$$N_s = N_o / (1 - keff)$$

ここで、 N_o : 輸送容器 1 基当たりの一次中性子源強度

$keff$: 輸送物の実効増倍率

ここでは [] 輸送物の $keff$ を臨界解析に示す手法と同一手法 (KENO-V. a コード) により求めた。

ORIGEN2-82 コードにより求めた主要核種の規定収納量に対応する一次中性子源強度計算結果及び体系の増倍効果を考慮した全中性子源強度を (口) - 第 D. 3 表に示す。なお、 []

[] ことから、Pu-241 の中性子源強度は無視した。

計算に使用する線源のエネルギースペクトルのうち自発核分裂中性子については、燃料中の含有量が多く自発核分裂中性子発生割合が大きい [] [] とする⁴⁾。

また、 (α, n) 反応中性子については、 []

[] とする⁵⁾。

計算に使用する線源のエネルギースペクトルを (口) - 第 D. 4 表に示す。

(口) - 第D.3表 主要核種の中性子源強度

(輸送容器1基当たり)

核種		Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-242	Am-241
一次中性子源強度 N_0 (n/s)	(α, n) 反応	[Blank]				
	自発核分裂					
	計					
輸送物の 実効増倍率 (keff)		[Blank]				
全中性子源強度 N_s (n/s)		[Blank]				

(ロ) - 第D. 4表 中性子エネルギースペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	自発核分裂 ^{注1)}	(α, n) 反応 ^{注2)}
1	1.492×10^7	[Redacted]	[Redacted]
2	1.220×10^7		
3	1.000×10^7		
4	8.180×10^6		
5	6.360×10^6		
6	4.960×10^6		
7	4.060×10^6		
8	3.010×10^6		
9	2.460×10^6		
10	2.350×10^6		
11	1.830×10^6		
12	1.110×10^6		
13	5.500×10^5		
14	1.110×10^5		
15	3.350×10^3		
16	5.830×10^2		
17	1.010×10^2		
18	2.900×10^1		
19	1.070×10^1		
20	3.060×10^0		
21	1.120×10^0		
22	4.140×10^{-1}		
合 計		1.0	1.0

注1) [Redacted]を DLC-23/CASK ライブラリーの中性子 22 群構造に振り分けたものである。

注2) [Redacted]を DLC-23/CASK ライブラリーの中性子 22 群構造に振り分けたものである。

D. 3 モデル仕様

D. 3. 1 解析モデル

遮蔽解析モデルは二次元 (R-Z) モデルを設定する。

各試験条件におけるモデル化は以下に示す条件を考慮する。

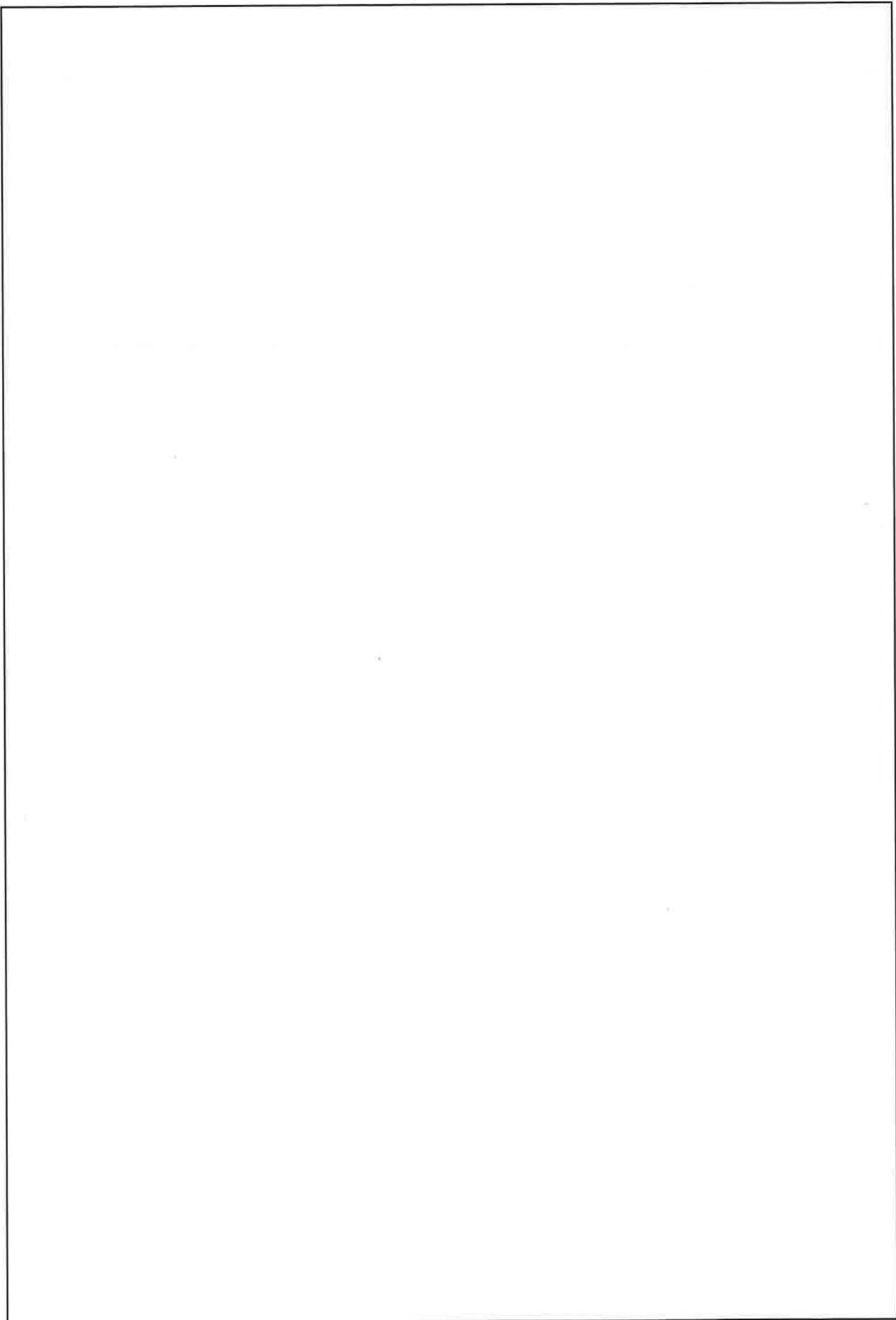
1. 通常輸送時及び一般の試験条件下

通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下において自由落下試験における緩衝体の変形を考慮すること以外は同一とし、以下の条件とする。

解析モデルを (口) - 第 D. 1 図及び (口) - 第 D. 2 図に示す。

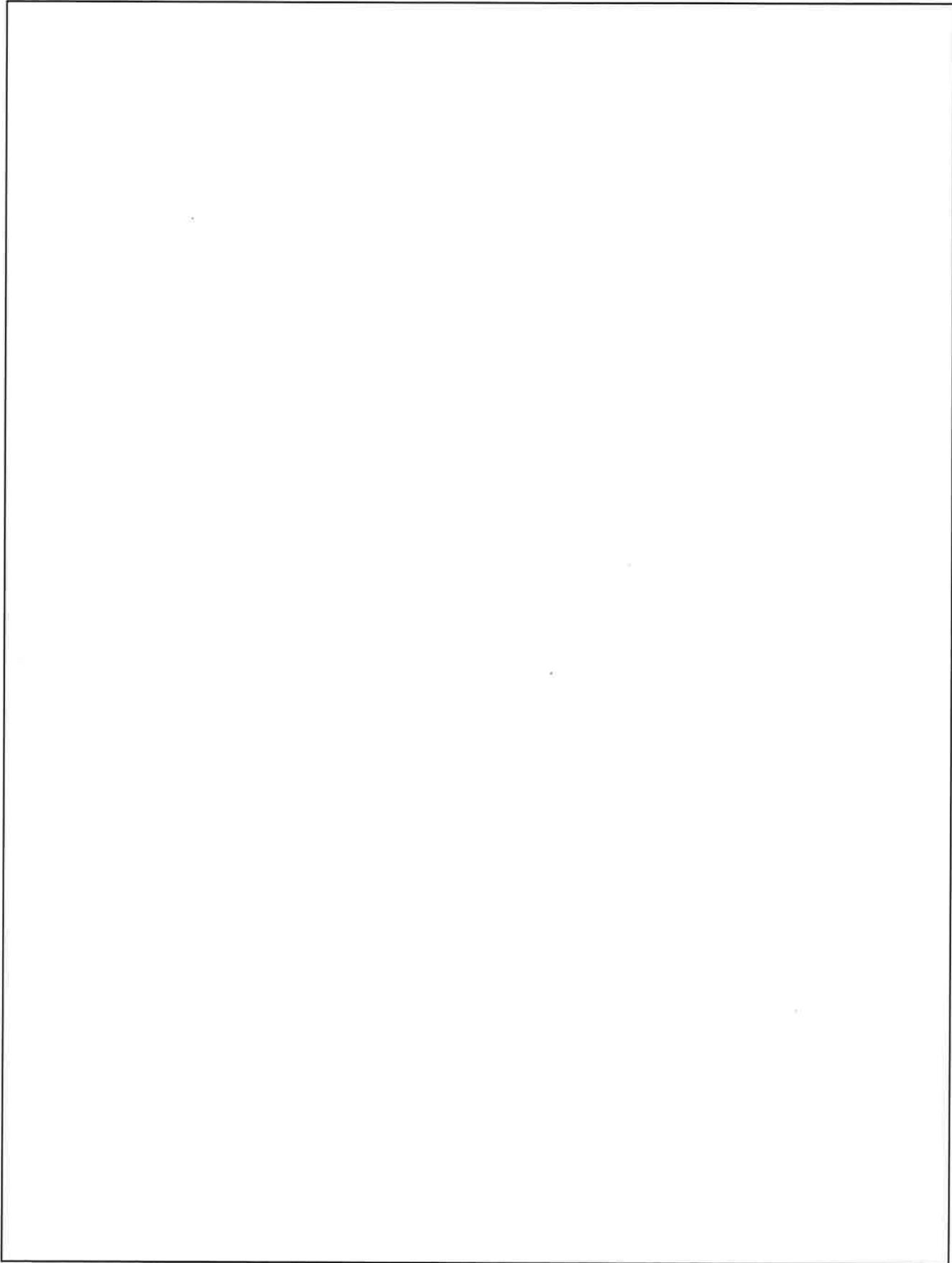
- ・ 内筒内での燃料集合体の軸方向の移動を安全側に考慮し、頭部方向評価モデルでは蓋方向に、底部方向評価モデルでは底方向に移動したモデルとする。
- ・ 緩衝体は安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮する。
- ・ 各部寸法はノミナル値とし、寸法公差は密度係数として考慮する。
- ・ 燃料領域は [] の構造材を均質化する。
- ・ バスケットの [] ガイドレール、ガイドバー及びベースプレートはステンレス鋼の遮蔽材として考慮し、バスケット [] [] については燃料領域の均質化において安全側にボイドに置き換える。
- ・ バスケット [] は遮蔽材として考慮する。
- ・ プロピレングリコール水溶液の温度は、安全側に (口) 章 B の熱解析で求めた一般の試験条件下における温度 (104℃) より高い [] に設定する。

なお、蓋に設けられている [] []、当該部からのストリーミングによる影響を考慮しても最大点となることはない。さらに、線量当量率の最大点となる側部への影響も無視できる程度である。



(口) - 第D.1図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル (頭部)

注記：不開示情報を含むため削除



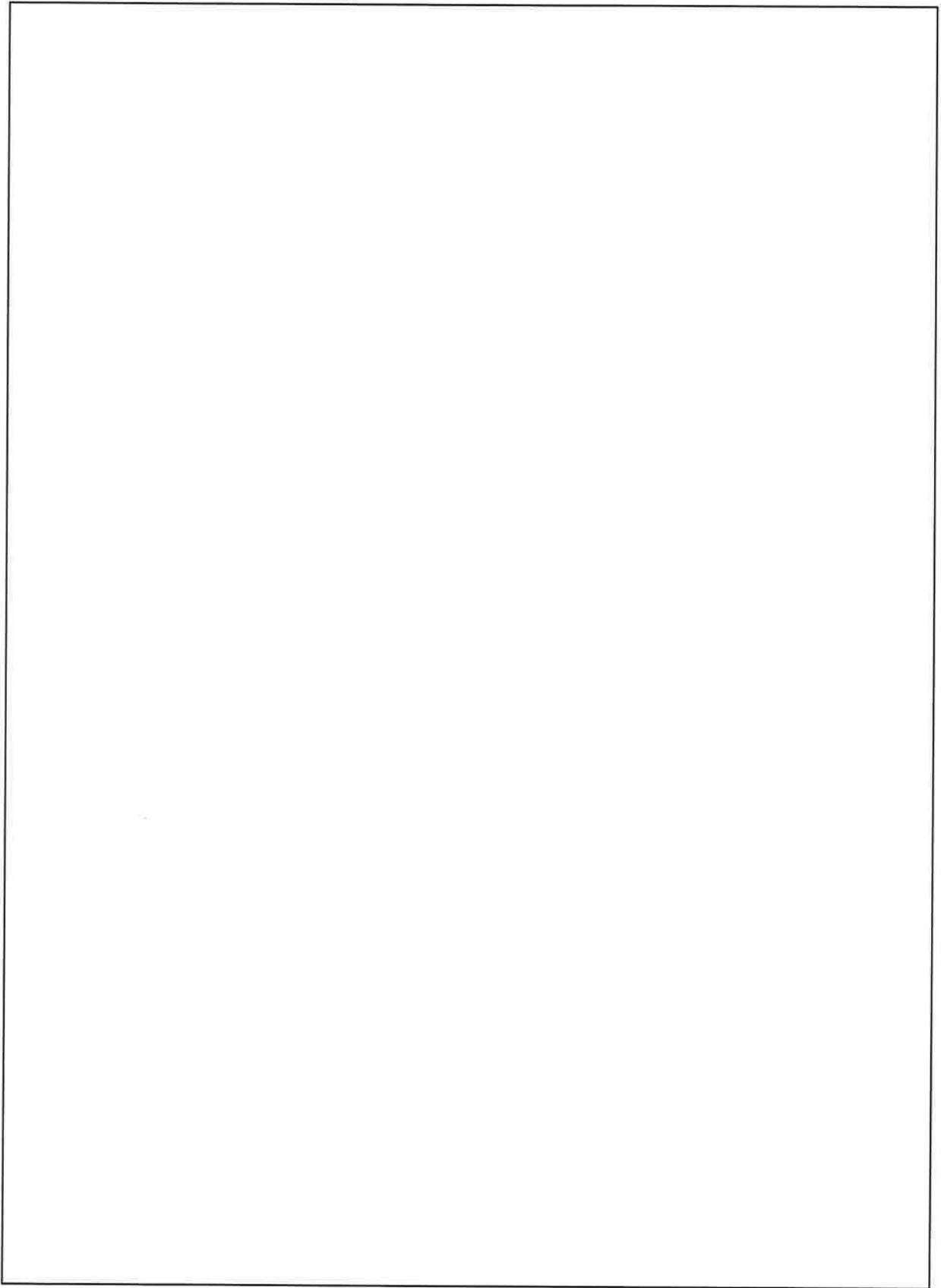
(口) - 第D.2図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル (底部)

注記：不開示情報を含むため削除

2. 特別の試験条件下

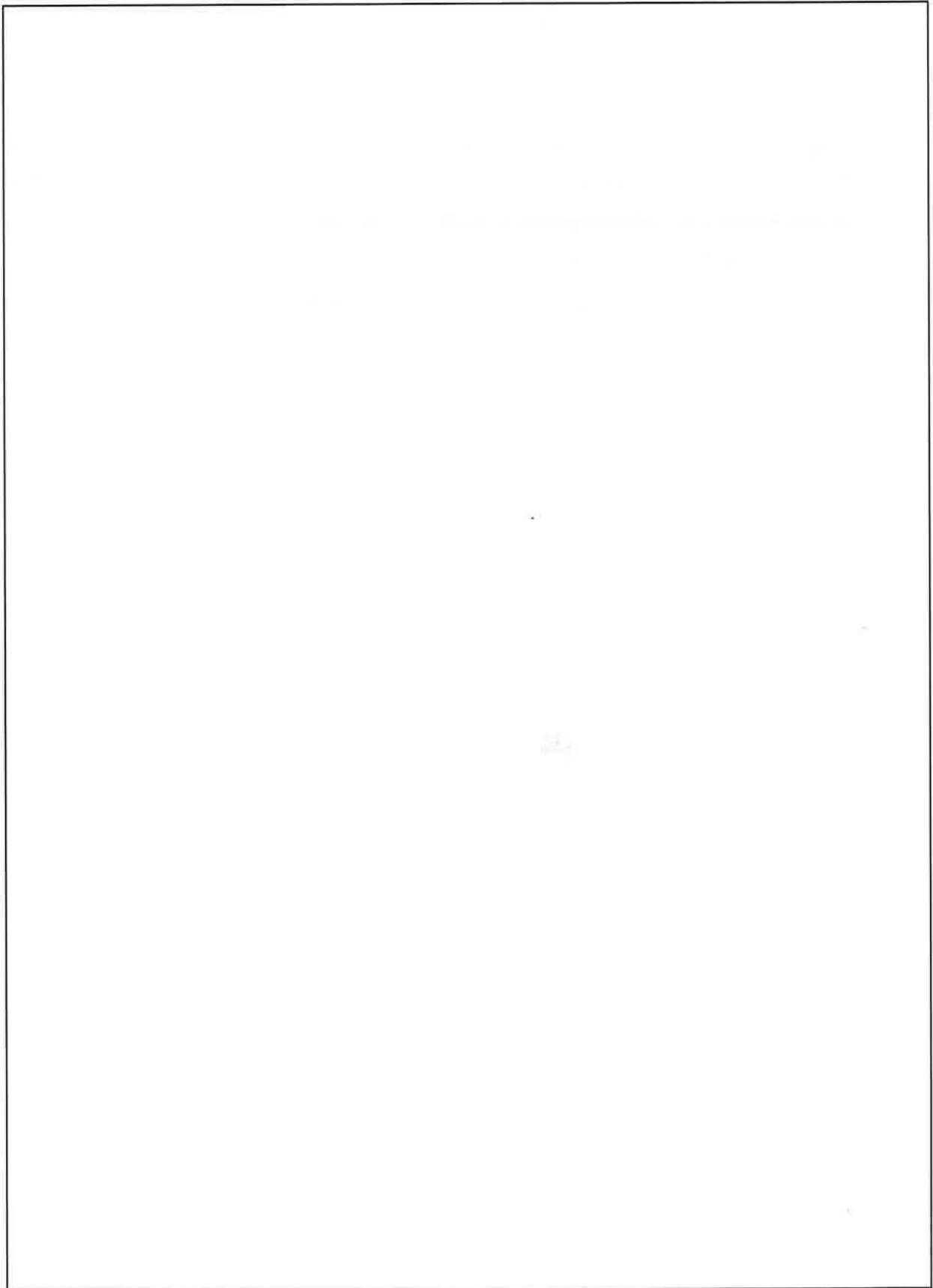
特別の試験条件下における解析モデルは一般の試験条件下の場合と次の点で異なる。解析モデルを(口) - 第D. 3図及び(口) - 第D. 4図に示す。

- ・ 熱解析の結果では火災試験により蓋部及び下部中性子遮蔽材（レジン）は使用可能温度範囲内であるが、安全側に[]に減少するものとする。
- ・ 1 m貫通試験により外筒が貫通する可能性があるため外筒に貫通孔を模擬する。また、それに伴い、側部中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液は漏出したものとし、空気に置き換える。
- ・ 落下試験により緩衝体は大幅に変形するので、空気に置き換える。
- ・ 落下試験による燃料集合体の[]の変形を考慮し、変形による線源の移動を考慮する。



(口) - 第 D. 3 図 特別の試験条件下の解析モデル (頭部)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第 D. 4 図 特別の試験条件下の解析モデル (底部)

注記：不開示情報を含むため削除

D. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度

通常輸送時及び一般の試験条件下の遮蔽解析に用いる燃料均質化領域の構成物質体積比を(口)－第D. 5表に示す。また、遮蔽解析に用いる燃料均質化領域及び各材質の原子個数密度を(口)－第D. 6表に、各部位の材料密度と密度係数を(口)－第D. 7表に示す。原子個数密度の算出に用いたプロピレングリコール水溶液の温度は、(口)章Bの熱解析結果に安全裕度を見込んで、プロピレングリコール水溶液の存在を考慮する一般の試験条件下では□とした。

特別の試験条件下では、中性子遮蔽材(レジン)の□に減少するものとするを除いて通常輸送時及び一般の試験条件下の遮蔽解析に用いるものと同様である。

(ロ) - 第D. 5表 遮蔽解析に用いる燃料均質化領域の構成物質体積比

領域 構成物質		燃料均質化領域			
		上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部	下部ノズル部
	UO ₂ (注)	-	-	0.1697	-
	Zr	0.0187	0.0594	0.0647	0.0466
	ステンレス鋼	0.1032	0.0252	<0.0001	0.0775
	インコネル	0.0136	0.0065	0.0026	0.0240
ボ イ ド		0.8645	0.9089	0.7630	0.8519
合 計		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

注) 燃料ペレットの材質としてはUO₂の方がPuO₂よりも密度が小さく遮蔽性能が低いため、安全側に全てUO₂として均質化した。

(ロ) - 第D. 6表 遮蔽解析に用いる燃料均質化領域の原子個数密度 (1/2)
 (単位: 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	燃料均質化領域				
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部	下部ノズル部	
0	-	-	7.76×10^{-3}	-	-
Cr	2.03×10^{-3}	5.52×10^{-4}	4.57×10^{-5}	1.77×10^{-3}	
Fe	6.54×10^{-3}	1.65×10^{-3}	4.31×10^{-5}	5.13×10^{-3}	
Ni	1.47×10^{-3}	5.28×10^{-4}	1.36×10^{-4}	1.83×10^{-3}	
Zr	8.09×10^{-4}	2.57×10^{-3}	2.80×10^{-3}	2.02×10^{-3}	
U-235	-	-	1.77×10^{-5}	-	
U-238	-	-	3.86×10^{-3}	-	

(ロ) - 第D.6表 遮蔽解析に用いる各材質の原子個数密度 (2/2) (単位: 10^{24} atoms/cm³)

材質 元素	ステンレス鋼	ステンレス鋼	アルミニウム合金	中性子遮蔽材 ^{注1)}		空気
		側部 ^{注2)}	蓋部・下部			
H	-	-	-			-
B-10	-	-	-			
C	-	-	-			
N	-	-	-			
O	-	-	-			
Al	-	-	-			
Cr	-	-	-			
Fe	-	-	-			
Ni	-	-	-			

注1) ()内は特別の試験条件下の値である。
 注2) 特別の試験条件下では側部中性子遮蔽材は安全側に無視する。

(口) - 第D.7表 各部位の材料密度と密度係数

部 位	材 質	材料密度 (g/cm ³)	密 度 係 数
底 板	ステンレス鋼	[]	[]
蓋			
蓋部中性子遮蔽材カバー			
下部中性子遮蔽材カバー			
バスケット燃料格子 ロジメント			
内 筒	[] ステンレス鋼		
外 筒			
膨 張 室			
側部中性子遮蔽材	プロピレングリコール 水 溶 液		
蓋部中性子遮蔽材	レ ジ ン		
下部中性子遮蔽材			
バ ス ケ ッ ト []	アルミニウム合金		

D. 4 遮蔽評価

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

1. 基本手法

遮蔽計算はガンマ線、中性子共に DOT3.5 コードを用いて行った。

断面積は、DLC-23/CASK ライブラリーのデータを使用した。

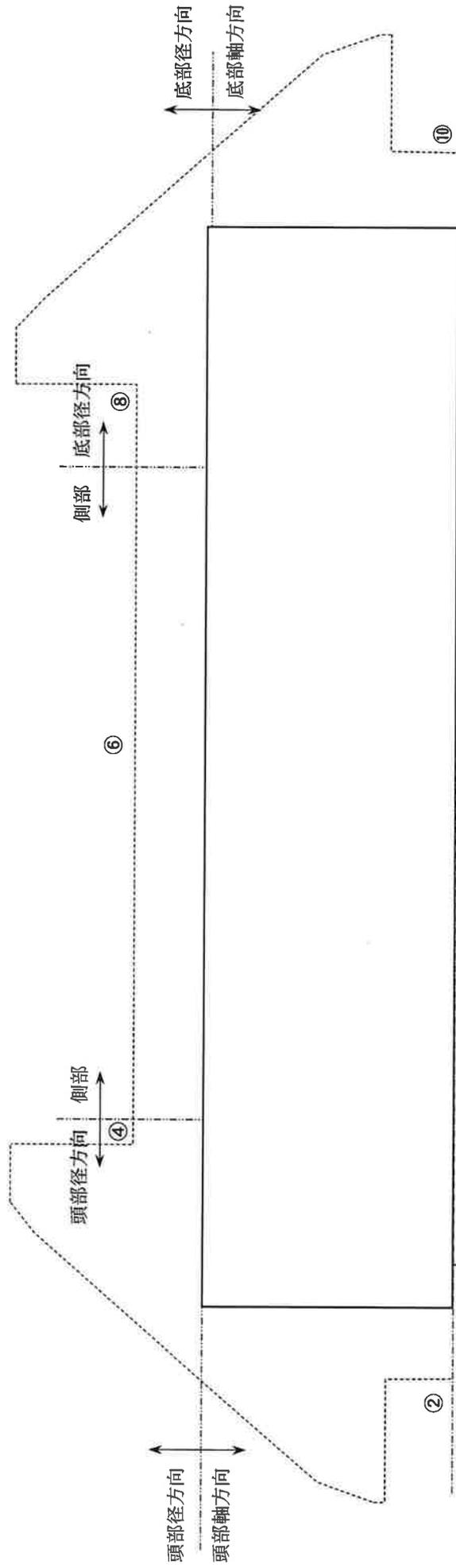
線束から線量当量率への変換係数は ICRP Publ. 74⁶⁾ の 1 cm 線量当量率変換係数を用いた。

2. 計算結果

通常輸送時及び一般の試験条件下において、主要核種であるプルトニウム同位体の規定収納量に対応して、各モデルにおける主要部位でのガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果を (口) - 第D. 5 図及び (口) - 第D. 8 表に示す。また、同様に特別の試験条件下の各モデルにおける主要部位でのガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果を (口) - 第D. 6 図及び (口) - 第D. 9 表に示す。

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

また、(口) - 第D. 8 表に示すように一般の試験条件下に置かれた輸送物表面の最大線量当量率は、通常輸送時と同値であり、著しく増加することはない。



自由落下試験における緩衝体変形を考慮

(口) - 第D.5図 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率評価領域

注記：不開示情報を含むため一部削除

(ロ) - 第D. 8表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率 (1/6)

(Pu-238 5.51×10³g/集合体 収納時)

(単位：μSv/h)

部 位	頭 部		側 部 中 央	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
表 面	評 価 点	①	⑤	⑦	⑨
	ガンマ線	一次ガンマ線	37.4	28.1	16.5
		二次ガンマ線	17.7	6.7	5.0
	中 性 子	458.8	654.7	175.9	815.7
合 計	464.7	709.8	210.7	837.2	
表 面 から 1 m	評 価 点	②	⑥	⑧	⑩
	ガンマ線	一次ガンマ線	11.7	7.3	2.1
		二次ガンマ線	3.6	3.9	0.6
	中 性 子	58.1	84.7	35.6	81.1
	合 計	58.9	100 ^{注)}	46.8	83.8

注) 合計による線量当量率が100μSv/hとなるようにしている。

(ロ) - 第D. 8 表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率 (2/6)

(Pu-239 2.21×10⁶g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部位	頭部		側中	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
評価点	①	③	⑤	⑦	⑨
ガンマ線	一次ガンマ線	3.8	48.4	30.2	19.3
	二次ガンマ線	2.1	16.9	6.7	4.7
中性子	448.1	618.2	637.8	171.5	797.5
合計	454.0	629.2	703.1	208.4	821.5
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩
ガンマ線	一次ガンマ線	0.5	14.1	10.0	2.4
	二次ガンマ線	0.3	3.5	3.8	0.6
中性子	56.6	74.3	82.4	34.7	79.2
合計	57.4	84.5	100 ^{注)}	48.5	82.2

注) 合計による線量当量率が 100 μSv/h となるようにしている。

(口) - 第D. 8表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率 (3/6)

(Pu-240 1.04×10⁵g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部位	頭部		側部中央	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
評価点	①	③	⑤	⑦	⑨
ガンマ線	一次ガンマ線	8.2	37.4	28.3	16.7
	二次ガンマ線	2.4	19.6	7.7	5.6
中性子	448.5	659.7	648.6	170.9	793.2
合計	454.7	670.7	705.6	206.9	815.5
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩
ガンマ線	一次ガンマ線	5.4	11.7	7.3	2.1
	二次ガンマ線	0.3	3.2	4.3	0.7
中性子	57.6	76.1	84.3	35.3	79.5
合計	58.4	84.7	100 ^(注)	46.9	82.3

注) 合計による線量当量率が100μSv/hとなるようにしている。

(ロ) - 第D. 8 表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率 (4/6)

(Pu-241 4.00×10⁶g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部位	頭部		側中央	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
表面	評価点	①	⑤	⑦	⑨
	ガンマ線	一次ガンマ線	343.1	236.9	60.4
		二次ガンマ線	<0.1	<0.1	<0.1
	中性子	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
合計	6.2	48.0	343.1	236.9	60.5
表面から1m	評価点	②	⑥	⑧	⑩
	ガンマ線	一次ガンマ線	100.0	57.9	7.2
		二次ガンマ線	<0.1	<0.1	<0.1
	中性子	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
合計	0.8	41.9	100 ^{注)}	57.9	7.2

注) 合計による線量当量率が100μSv/hとなるようにしている。

(口) - 第D. 8表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率 (5/6)

(Pu-242 6.80×10⁴g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部位	頭部		側中央	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
表面	評価点	①	⑤	⑦	⑨
	ガンマ線	一次ガンマ線	37.6	28.4	16.9
		二次ガンマ線	19.9	7.9	5.8
	中性子	446.0	647.0	169.6	786.8
合計	452.3	704.5	205.9	809.5	
表面から1m	評価点	②	⑥	⑧	⑩
	ガンマ線	一次ガンマ線	11.7	7.4	2.1
		二次ガンマ線	4.1	4.4	0.7
	中性子	57.5	84.2	35.1	79.0
	合計	58.3	100 ^{注)}	46.9	81.8

注) 合計による線量当量率が100μSv/hとなるようにしている。

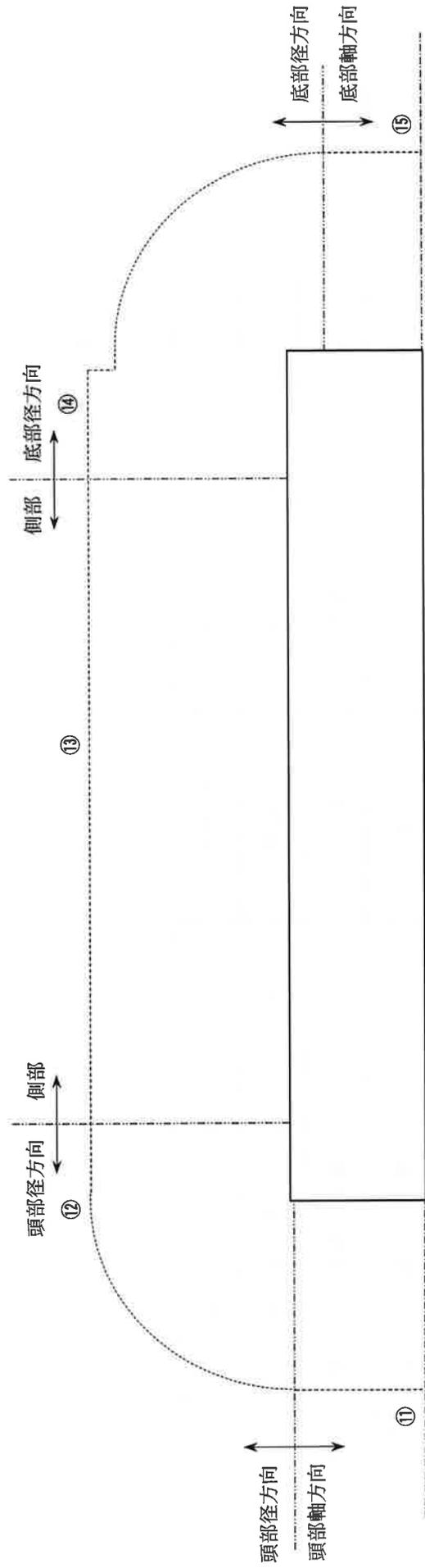
(ロ) - 第D. 8 表 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率 (6/6)

(Am-241 3.04×10⁴g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部位	頭部		側中央	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
表面	評価点	①	⑤	⑦	⑨
	ガンマ線	一次ガンマ線	47.9	30.7	20.1
		二次ガンマ線	2.1	17.0	4.7
	中性子	448.7	638.7	171.7	798.6
合計	454.8	703.6	209.1	823.4	
表面から1m	評価点	②	⑥	⑧	⑩
	ガンマ線	一次ガンマ線	14.0	9.9	2.5
		二次ガンマ線	0.3	3.5	0.6
	中性子	56.7	82.6	34.8	79.3
合計	57.5	100 ^{注)}	48.5	82.4	

注) 合計による線量当量率が100μSv/hとなるようにしている。



(口) - D - 27

(口) - 第D. 6 図 特別の試験条件下の線量当量率評価領域

注記：不開示情報を含むため一部削除

(口) 一第D. 9表 特別の試験条件下の線量当量率 (1/6)

(Pu-238 5.51×10³g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部 位	頭 部		側 部 中 央	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
評 価 点	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ガンマ線	0.9	9.1	22.7	13.4	3.7
	1.0	2.3	4.9	3.2	1.9
中 性 子	252.8	1376.2	2897.4	1908.5	464.9
合 計	254.7	1387.6	2925.0	1925.1	470.5

表面から1m

(口) - 第D.9表 特別の試験条件下の線量当量率 (2/6)

(Pu-239 2.21 × 10⁶g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部 位	頭 部		側 中 部	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
評 価 点	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ガンマ線	0.9	13.9	37.3	21.1	4.7
	0.9	2.2	4.7	3.1	1.8
中 性 子	245.7	1329.4	2797.1	1842.8	451.7
合 計	247.5	1345.5	2839.1	1867.0	458.2

表面から1m

(口) - 第D. 9表 特別の試験条件下の線量当量率 (3/6)

(Pu-240 1.04×10^5 g/集合体 収納時)

(単位: μ Sv/h)

部 位	頭 部		側 部 中 央	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
評 価 点	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ガンマ線	0.9	9.0	22.3	13.2	3.7
	1.1	2.7	5.6	3.7	2.2
中 性 子	255.1	1436.7	3022.6	1989.2	468.5
合 計	257.1	1448.4	3050.5	2006.1	474.4

表面から 1 m

(口) - 第D.9表 特別の試験条件下の線量当量率 (4/6)

(Pu-241 4.00×10^6 g/集合体 収納時)

(単位: μ SV/h)

部 位	頭 部		側 部 中 央	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
評 価 点	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ガンマ線	1.8	101.9	324.8	169.9	20.3
	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
中 性 子	<0.1	0.1	0.3	0.2	<0.1
合 計	1.8	102.0	325.1	170.1	20.3

表面から1 m

(口) - 第D. 9 表 特別の試験条件下の線量当量率 (5/6)

(Pu-242 6.80×10⁴g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部 位	頭 部		側 部 中 央	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
評 価 点	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ガンマ線	0.9	9.1	22.5	13.3	3.8
	1.1	2.7	5.7	3.8	2.3
中 性 子	255.9	1452.7	3057.8	2012.0	470.1
合 計	257.9	1464.5	3086.0	2029.1	476.2

表面から 1 m

(ロ) - 第D.9表 特別の試験条件下の線量当量率 (6/6)

(Am-241 3.04×10⁴g/集合体 収納時)

(単位: μSv/h)

部 位	頭 部		側 部 央	底 部	
	軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向
評 価 点	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ガンマ線 一次ガンマ線	1.0	13.3	34.8	20.0	4.8
	0.9	2.2	4.7	3.1	1.8
中 性 子	245.7	1329.2	2796.7	1842.5	451.7
合 計	247.6	1344.7	2836.2	1865.6	458.3

表面から1 m

D. 5 結果の要約及びその評価

通常輸送時、一般及び特別の試験条件下の遮蔽解析条件の要約を(口) - 第D. 10表に示す。

計算から得られた最大線量当量率は(口) - 第D. 8表及び(口) - 第D. 9表に示されている。これらの結果の最大線量当量率の要約は(口) - 第D. 11表に示すとおりであり、規則及び告示で定められた基準を満足する。

(口) - 第D. 10表 遮蔽解析条件の要約

項目		条件	通常輸送時	一般の試験条件下	特別の試験条件下
線源			軸方向の移動を考慮し、頭部方向評価モデルでは蓋方向に、底部方向評価モデルでは底方向に移動した状態を模擬。	同左	燃料集合体の[]が変形するとして、線源の移動を考慮。
遮蔽体	本体		内筒、底板、蓋、外筒、中性子遮蔽材	同左	同左 ただし、外筒の貫通孔及び側部中性子遮蔽材の流出を考慮。 また、蓋部及び下部中性子遮蔽材[]として評価。
	緩衝体		緩衝体の遮蔽性能は安全側に無視。	同左 (変形を考慮)	無視

(口) - 第D.11表 最大線量当量率の要約

部 位 項 目	輸 送 物 表 面 ($\mu\text{Sv/h}$)					表 面 か ら 1 m ($\mu\text{Sv/h}$)				
	頭 部		側部 中央	底 部		頭 部		側部 中央	底 部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
通常輸送時	464.7	675.1	709.8	236.9	837.2	58.9	84.8	100.0	57.9	83.8
一般の試験条件下	464.7	675.1	709.8	236.9	837.2	—	—	—	—	—
特別の試験条件下	—	—	—	—	—	257.9	1464.5	3086.0	2029.1	476.2
基 準 値										
通常輸送時	2000					100				
一般の試験条件下	2000					—				
特別の試験条件下	—					10000				

D. 6 付属書類

D. 6. 1 主要核種に同伴する核種

(口) 章D. 2線源仕様における主要核種に同伴する核種は、燃料加工工場の許認可条件との整合を考慮した上で、MOX 新燃料に含まれる最大値として (口) -第D. 付1表に示すとおり安全側に設定した。なお、(口) -第D. 付1表に示す

である。

(口) -第D. 付1表 主要核種に同伴する核種含有量
(燃料集合体1体当たり)

核種	主要核種に同伴する核種含有量
U-232	3.40×10^{-4} g
U-234	5.40×10^1 g
U-235	2.14×10^3 g
U-236	5.66×10^2 g
U-238	4.75×10^5 g
Pu-236	5.60×10^{-3} g
Pu-244	5.90×10^{-1} g
Ru-106	2.52×10^{-4} g

D. 6. 2 参考文献

- 1) A. G. Croff, "ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621, (1980).
- 2) ORNL-RSIC, "DOT3. 5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", CCC-276, (1976).
- 3) ORNL-RSIC, "CASK-40 Group Coupled Neutron and Gamma-ray Cross-section Data", DLC-23, (1973).
- 4) A. B. Chilton, J. K. Shultis, R. E. Faw, "Principles of Radiation Shielding" PRENTICE-HALL, Inc, Englewood Cliffs, NJ07632 (1984).
- 5) 松延, 奥, 「(α , n) 反応と自発核分裂による中性子吸収率を計算するためのデータブック」JAERI 1324, (1992).
- 6) ICRP, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", Publication 74, (1996).

(口) 章E 臨界解析

E. 臨界解析

E. 1 概要

本輸送容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、輸送中燃料集合体が分散・集合しないようになっている。ロジメントを構成する部材のうち、クロスプレート、ベースプレート及びガイドバーには未臨界維持のために中性子吸収材であるボロンを含むボロン入りステンレス鋼が用いられている。

本臨界解析では、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における輸送容器及び燃料集合体の変形等の影響を考慮した上で、孤立系及び配列系の条件を考慮して、容器の内部を満水とし、境界条件として完全反射を仮定することにより、以下のいずれの条件よりも厳しい条件とする。

- ① 通常輸送時
- ② 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ③ 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ④ 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ⑤ 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合
- ⑥ 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

臨界解析には、SCALE¹⁾コードシステムを用い、実効増倍率 (k_{eff}) の計算は多群モンテカルロ法による KENO-V. a¹⁾コードを用いて行った。その結果、実効増倍率は標準偏差の3倍を加えても十分未臨界である。

したがって、本輸送物は上記①～⑥のいずれの条件においても未臨界である。

E. 2 解析対象

E. 2. 1 収納物

本輸送容器に収納する燃料集合体の型式と仕様は(イ)－第D. 1表に示したとおりである。解析では、全ての燃料棒のPuf富化度が集合体で平均化したPuf富化度に等しいものとした。

本臨界解析で使用した燃料仕様を(ロ)－第E. 1表及び(ロ)－第E. 2表に示す。本輸送容器には燃料集合体を最大で4体収納する。

また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、輸送容器に収納される全燃料集合体について、支持格子1スパン間の燃料棒ピッチがロジメント内で拡大した場合を仮定する。

(口) - 第E. 1表 臨界解析の対象とした燃料集合体の仕様

燃料集合体の種類		17×17 配列型 PWR 燃料集合体
項目		
燃料材質	—	ウラン・プルトニウム混合酸化物
被覆管材質	—	ジルカロイ
被覆管外径	mm	9.5
被覆管肉厚	mm	0.57
燃料ペレット直径	mm	8.19
燃料有効長	mm	3648
燃料棒配列	—	17×17
集合体当たり燃料棒数	本	264
燃料棒ピッチ	mm	12.6
集合体の幅	mm	<input type="text"/> 注)
集合体当たり (U + Pu) 重量	kg	<input type="text"/>

注) を臨界解析上の集合体の幅とする。

(口) - 第E. 2表 Puf 富化度及びウラン・プルトニウム同位体組成 (単位: wt%)

ケース	Puf 富化度	U 同位体組成		Pu 同位体組成			
		U-235	U-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

E. 2.2 輸送容器

輸送容器本体の構造は、(イ) 一第C. 2 図等に示すとおりである。

本輸送容器は (ロ) 章A. 9 に示すとおり、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下において、自由落下試験により緩衝体に変形が生じる。

また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においては以下の変形等が生じる。

- ・自由落下試験、9 m落下試験及び1 m貫通試験により緩衝体に変形する。
- ・1 m貫通試験により外筒が貫通し、側部中性子遮蔽材のプロピレングリコール水溶液が失われる可能性がある。

E. 2.3 中性子吸収材

バスケットの構造は、(イ) 一第C. 9 図に示すとおりである。

ロジメントを構成する部材のうち、クロスプレート、ベースプレート及びガイドバーにはボロン入りステンレス鋼が用いられている。ボロン入りステンレス鋼の原子個数密度をE. 3. 2 に示す。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件においても、バスケットは変形せず、ボロン入りステンレス鋼の配置に変化はない。

E. 3 モデル仕様

E. 3.1 解析モデル

臨界解析モデルを (ロ) 一第E. 1 図から (ロ) 一第E. 3 図に示す。

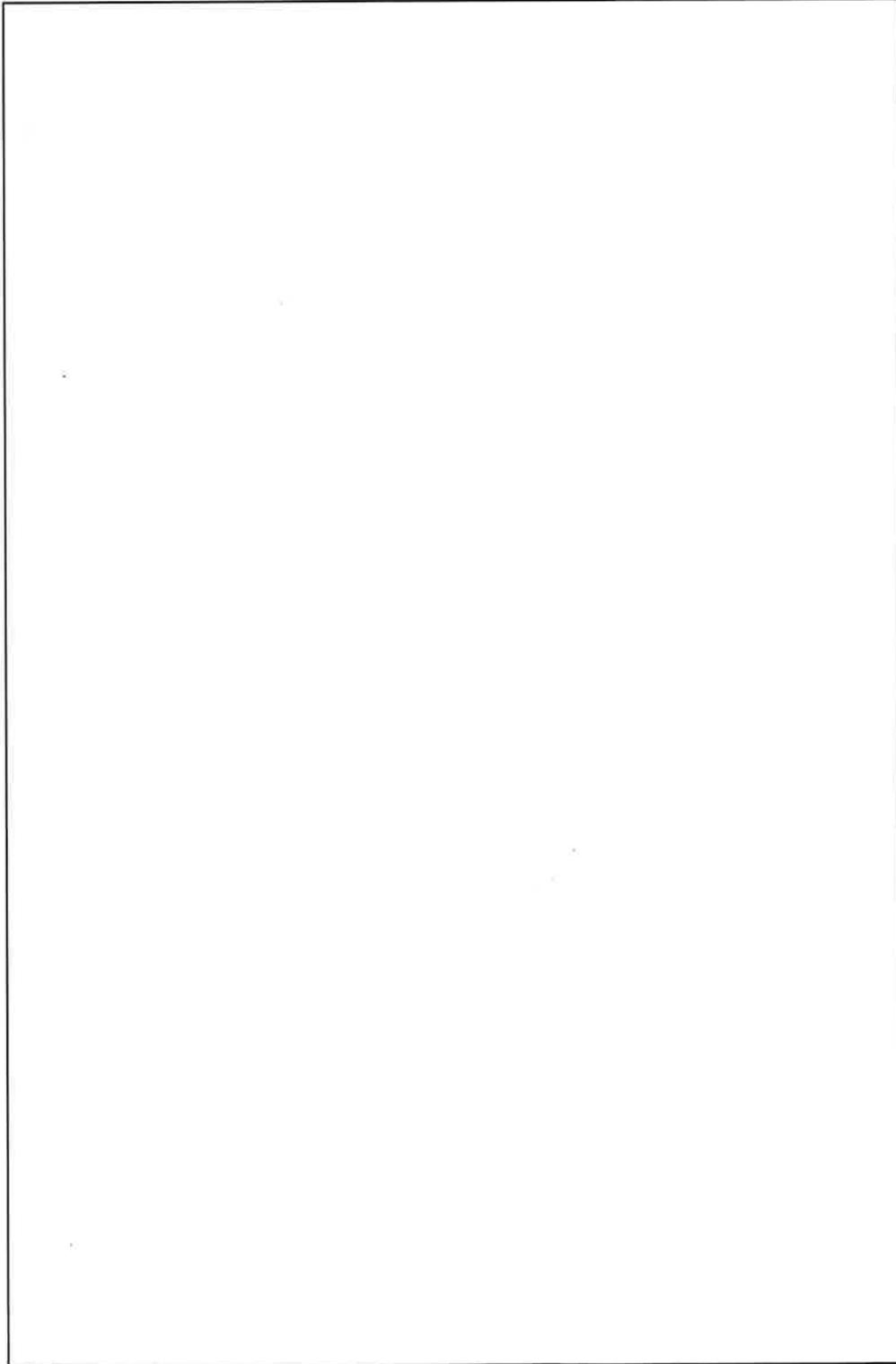
本臨界解析では、通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下の輸送物に対して共通して適用できる安全側のモデルとなるよう、以下の点を考慮した。

- ・側部中性子遮蔽材、蓋部及び下部中性子遮蔽材は真空に置き換え。
- ・緩衝体を無視。
- ・ロジメントの幅公差を安全側に考慮。
- ・支持格子1スパン間の燃料棒ピッチの変化を考慮。
- ・燃料集合体は燃料有効長に相当する部分のみモデル化し、上・下部ノズル部等は水に置き換え。
- ・バスケット及び径方向燃料固縛装置のうち、燃料有効長の上側、下側に存在する部分は水に置き換え。
- ・径方向燃料固縛装置について、構成物質を考慮して均質化。
- ・燃料集合体は、各ロジメント内で 配置。
- ・孤立系の条件を考慮して、輸送容器内は満水状態を仮定。
- ・本輸送容器の輸送制限個数は無制限であるため、無限配列を仮定し境界条件に完全反射を仮定。これにより積載個数並びに中性子の反射に係る孤立系及び配列系の条件を安全側に考慮。



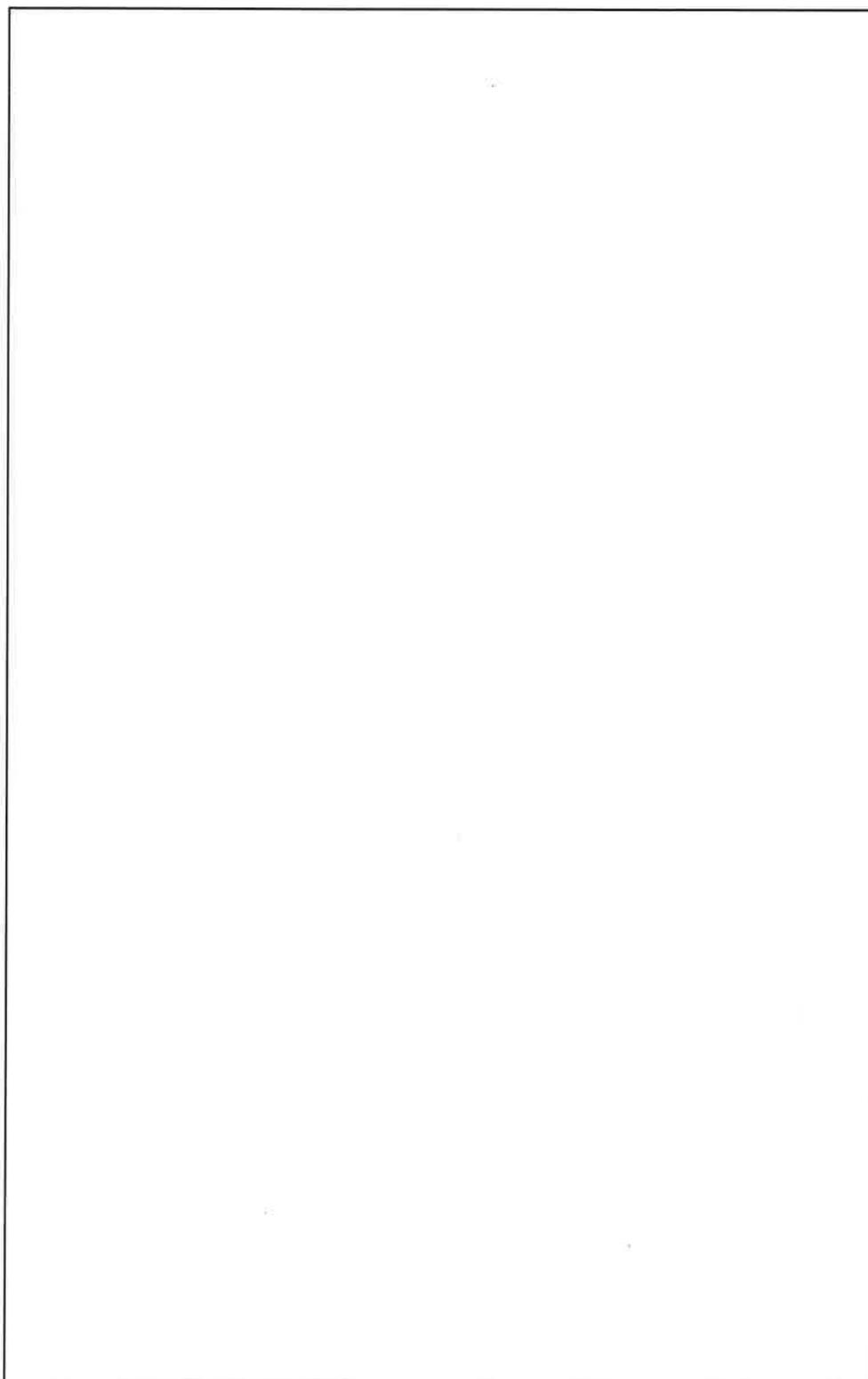
(口) - 第E. 1 図 解析モデル(縦断面図)

注記：不開示情報を含むため削除



(口) - 第E. 2 図 解析モデル (横断面図 : 燃料棒ピッチ変化なし)

注記 : 不開示情報を含むため削除



(口) - 第E. 3図 解析モデル(横断面図：燃料棒ピッチ拡大)

注記：不開示情報を含むため削除

E. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度

本臨界解析で用いた均質化領域の構成物質の体積比を(口)－第E. 3表に、また、輸送物各領域の構成物質の原子個数密度を(口)－第E. 4表、(口)－第E. 5表及び(口)－第E. 6表に示す。なお、臨界解析では各領域の温度は常温(20℃)とした。

(口)－第E. 3表 均質化領域の体積比

領域	部材・材質	燃料棒ピッチ 変化なし	燃料棒ピッチ 拡大
燃料均質化 領域	MOX ペレット	0. 303	0. 285
	ジルカロイ	0. 105	0. 099
	水	0. 592	0. 616
	合計	1. 000	1. 000
径方向燃料 固縛装置 均質化領域	径方向 燃料固縛 装置	アルミニウム合金	0. 504
		ステンレス鋼	
		二相系ステンレス鋼	
		析出硬化系ステンレス鋼	
		合計	
	水	0. 496	
	合計	1. 000	

(口) - 第E. 4表 解析モデル各領域の原子個数密度

領域	密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³)
燃料均質化領域	MOX ペレット : 95%TD ジルカロイ : 6.55 水 : <input type="text"/>		(口) - 第E. 5 表及び (口) - 第E. 6 表参照
水	<input type="text"/>	H	<input type="text"/>
		O	
ボロン入りステンレス鋼		B-10	
		B-11	
		Cr	
		Fe	
		Ni	
ステンレス鋼		Cr	
		Fe	
		Ni	
<input type="text"/> ステンレス鋼		Cr	
		Fe	
		Ni	
アルミニウム合金 (アルミプレート)		Al	
アルミニウム合金 (アルミブロック)	Al		
径方向燃料固縛 装置均質化領域	アルミニウム合金 : <input type="text"/>	H	
	ステンレス鋼 : <input type="text"/>	O	
	二相系ステンレス鋼 : <input type="text"/>	Cr	
	析出硬化系ステンレス鋼 : <input type="text"/>	Fe	
	水 : <input type="text"/>	Ni	
		Al	
		Cu	

(ロ) - 第E. 5表 燃料均質化領域の原子個数密度 (燃料棒ピッチ変化なし) (10²⁴atoms/cm³)

元素	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10	ケース11
U-235											
U-238											
Pu-239											
Pu-240											
Pu-241											
Pu-242											
Zr	3.980×10 ⁻³										
H	3.958×10 ⁻²										
0	3.392×10 ⁻²	3.393×10 ⁻²	3.393×10 ⁻²	3.393×10 ⁻²	3.394×10 ⁻²	3.394×10 ⁻²	3.394×10 ⁻²	3.393×10 ⁻²	3.394×10 ⁻²	3.394×10 ⁻²	3.394×10 ⁻²

(ロ) - 第E. 6表 燃料均質化領域の原子個数密度 (燃料棒ピッチ拡大) (10²⁴atoms/cm³)

元素	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10	ケース11
U-235											
U-238											
Pu-239											
Pu-240											
Pu-241											
Pu-242											
Zr	3.744×10 ⁻³										
H	4.120×10 ⁻²										
0	3.389×10 ⁻²	3.390×10 ⁻²	3.390×10 ⁻²	3.390×10 ⁻²	3.391×10 ⁻²	3.391×10 ⁻²	3.391×10 ⁻²	3.390×10 ⁻²	3.391×10 ⁻²	3.391×10 ⁻²	3.391×10 ⁻²

E. 4 未臨界評価

E. 4. 1 計算条件

1. 収納物

本輸送物の最大収納体数は燃料集合体 4 体であり、本臨界解析は最大収納体数の場合を想定している。

(口) 一第 E. 1 表及び (口) 一第 E. 2 表に示す 11 ケースの Puf 富化度及びウラン・プルトニウム同位体組成を解析の対象として設定した。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、支持格子 1 スパン間の燃料棒ピッチを拡大させている。

2. 輸送容器

本臨界解析では、安全側に緩衝体が存在しないモデルとし、輸送容器の外側で完全反射境界条件とした。(口) 章 A. 9 で述べたように、バスケットは核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても変形しない。また、ロジメントの幅公差を安全側に考慮している。

3. 中性子吸収材

(口) 章 F. 2 に示すように、輸送容器内の中性子束に対して、ボロン入りステンレス鋼は使用期間中に有意な性能低下はない。

E. 4. 2 核燃料輸送物への水の浸入等

(口) 章 A. 9 に示したように、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても密封装置の健全性は保たれるので、輸送容器内部への浸水はない。しかしながら、核分裂性輸送物に係る孤立系の法令要件に従って、臨界解析モデルでは容器内を満水と仮定した。

本臨界解析では緩衝体を無視し、輸送容器の外側で完全反射境界条件としているので、輸送物の配列変化による接近により実効増倍率が本評価値より大きくなることはない。また、容器からの漏えい中性子が全て反射されて容器内に戻るものとしているので、水中又は雪中への浸漬によって実効増倍率が本評価値より大きくなることはない。

燃料集合体は最も実効増倍率が大きくなるように [] 配置しているので、収納物の再配列により実効増倍率が大きくなることはない。

本臨界解析では実効増倍率が最大となるように水の密度を [] と仮定した。したがって、温度変化により水の密度は [] より大きくならないため、実効増倍率が本評価値より大きくなることはない。

E. 4. 3 計算方法

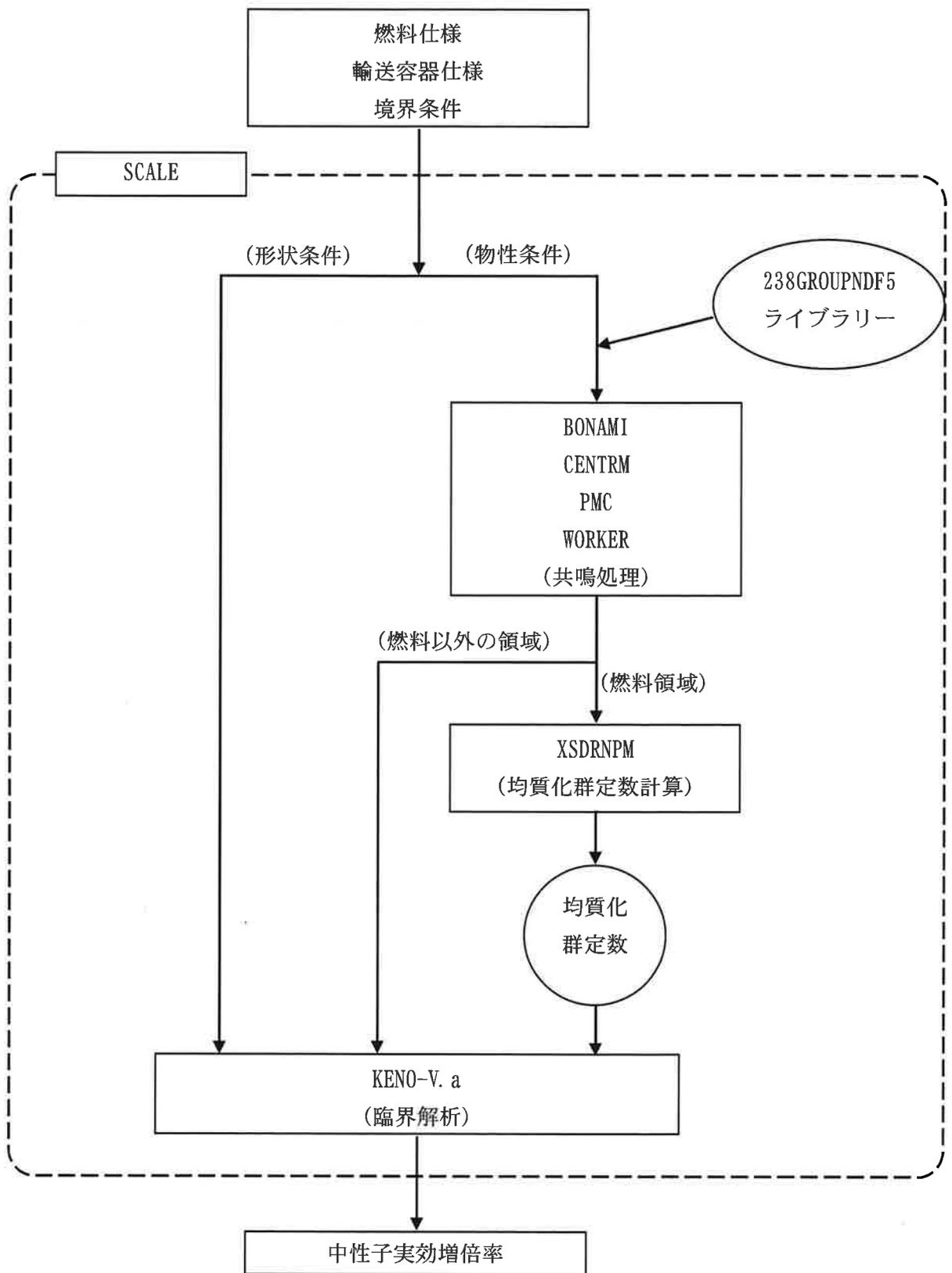
臨界計算には、米国オークリッジ国立研究所で、原子力関連許認可評価用に開発された SCALE (Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation) コードシステムを用いた。実効増倍率の計算には、KENO-V. a コードを用いた。各領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI¹⁾、CENTRM/PMC/WORKER¹⁾ 及び一次元輸送計算コード XSDRNPM¹⁾ を用い、核デー

タライブラリーは SCALE コードシステムの内蔵ライブラリーデータの一つである 238 群ライブラリーデータ (238GROUPNDF5 ライブラリー) を用いた。計算の流れを (口) - 第 E. 4 図に示す。

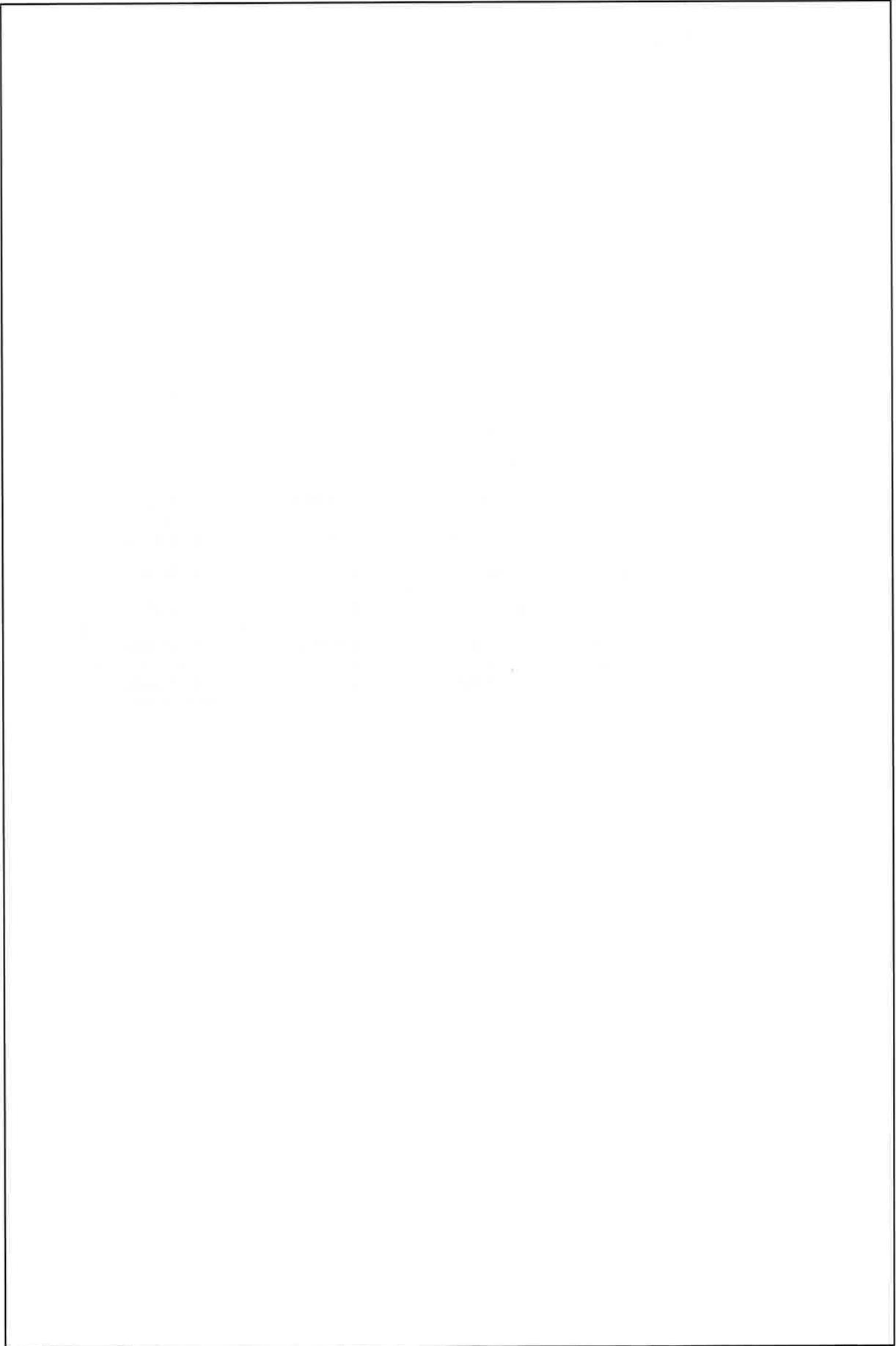
まず、各領域について、共鳴領域を持つ核種の自己遮蔽効果を考慮した 238 群の群定数を BONAMI コード、CENTRM/PMC/WORKER コードにより作成する。

その後、燃料集合体領域について、1 本の燃料棒及び周囲の水を (口) - 第 E. 5 図に示すように一次元円柱としてモデル化し、中性子束及び各領域 (ペレット、被覆管及び水) の中性子反応断面積に基づく 238 群の均質化群定数を XSDRNPM コードにより作成する。

これらの群定数を物性条件とし、(口) - 第 E. 1 図から (口) - 第 E. 3 図の解析モデル (形状) を用いて KENO-V. a コードにより臨界計算を行った。



(口) - 第E. 4図 臨界計算の流れ



(口) - 第E. 5 図 一次元円柱モデル (燃料棒ピッチ変化なし)

E. 4. 4 計算結果

臨界解析結果を(口)－第E. 7表に示す。本計算は通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下に置かれた輸送物の孤立系及び配列系の各状態と比較して安全側の計算であり、実効増倍率は標準偏差(σ)の3倍を加えても十分未臨界である。

(口)－第E. 7表 解析結果

	keff	σ	keff+ 3 σ
ケース 1	0. 88778	0. 00100	0. 89078
ケース 2	0. 88433	0. 00093	0. 88712
ケース 3	0. 88607	0. 00074	0. 88829
ケース 4	0. 88455	0. 00086	0. 88713
ケース 5	0. 88417	0. 00081	0. 88660
ケース 6	0. 88171	0. 00078	0. 88405
ケース 7	0. 88389	0. 00078	0. 88623
ケース 8	0. 88177	0. 00088	0. 88441
ケース 9	0. 87794	0. 00083	0. 88043
ケース 10	0. 87633	0. 00081	0. 87876
ケース 11	0. 87627	0. 00073	0. 87846

E. 5 ベンチマーク試験

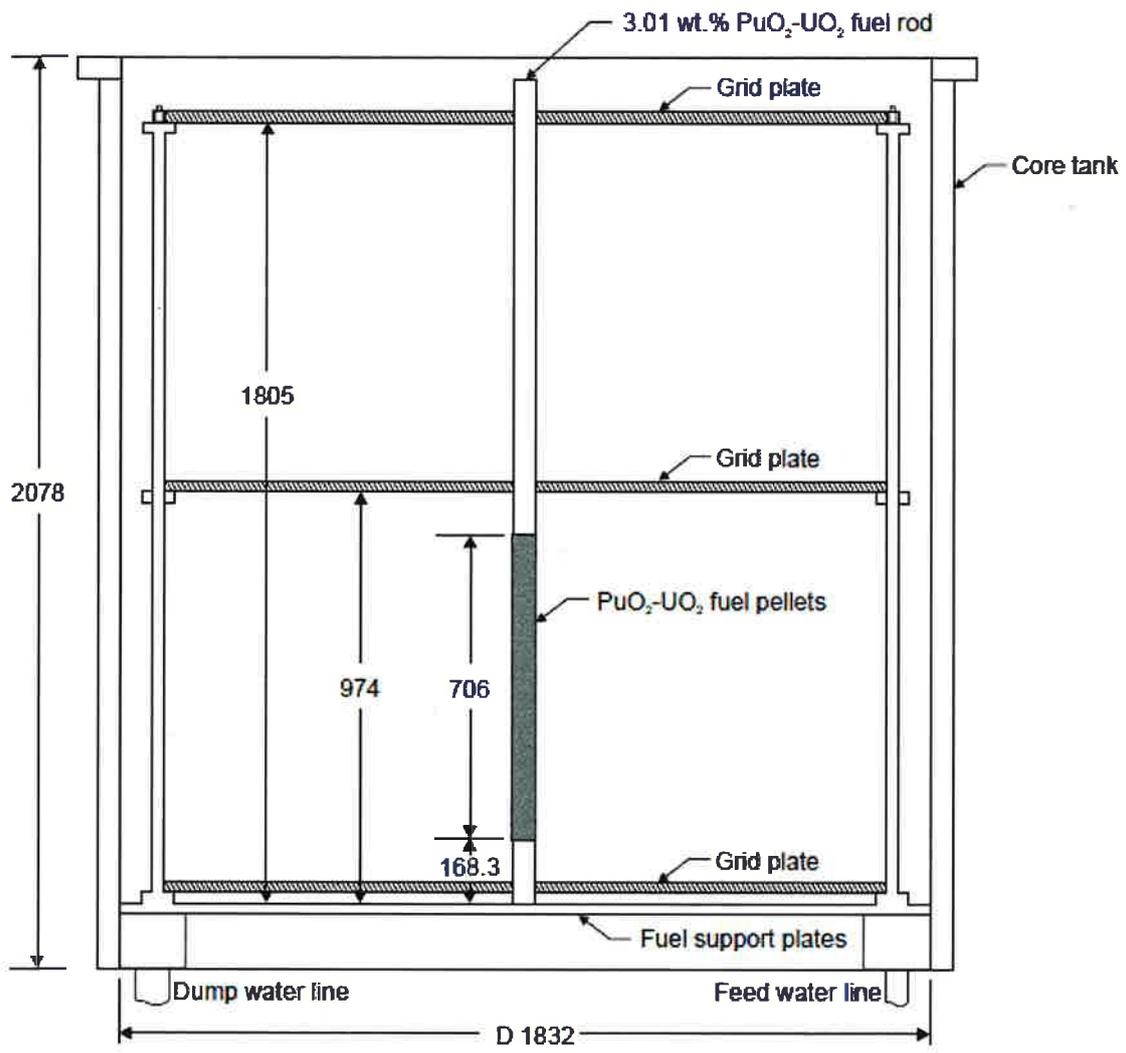
日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）の TCA 臨界集合体で行われた MOX 燃料棒配列実験²⁾を対象としたベンチマーク解析を実施した。

ベンチマーク解析対象とした TCA-MOX 燃料棒水中配列臨界実験の体系は、(口) - 第 E. 6 図に示す容器内に入れられた軽水中に MOX 燃料棒を配置したものである。燃料棒配列数又は燃料棒ピッチの異なる 4 種類の燃料棒配置に関して、実施月日を変えて臨界水位測定が実施されている。Pu-241 の崩壊と Am-241 の生成のために、測定実施年月日により臨界水位は変化しており、計 11 ケースの測定結果が得られている。

ベンチマーク解析は 238 群ライブラリーを用い SCALE コードシステムで行った。(口) - 第 E. 8 表にベンチマーク解析の結果を示す。ベンチマーク解析の結果は実験値 ($k_{eff}=1.0$) とよく一致しており、本輸送容器の臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な計算結果を与えるといえる。

(口) - 第 E. 8 表 ベンチマーク解析結果

項目	解析結果等
解析ケース数	11
平均値	1.00130
標準偏差	0.00281
最小値	0.99630
最大値	1.00518



Dimensions in mm

(口) - 第E. 6 図 TCA-MOX 燃料棒水中配列臨界実験の体系

E. 6 結果の要約及びその評価

本輸送容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、輸送中燃料集合体が分散・集合しないようになっている。ロジメントを構成する部材のうち、クロスプレート、ベースプレート及びガイドバーには、未臨界維持のために中性子吸収材であるボロンを含むボロン入りステンレス鋼が用いられている。

本輸送容器の臨界解析は 11 ケースの Puf 富化度及びウラン・プルトニウム同位体組成に対し、①通常輸送時、②輸送物を孤立系の条件に置く場合、③核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合、④核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合、⑤核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合、⑥核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合のいずれの条件よりも厳しい条件で行い、結果は十分未臨界であった。したがって、上記①～⑥のいずれの条件においても未臨界が維持される。

E. 7 付属書類

E. 7. 1 参考文献

- 1) “SCALE : A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation”, Vols. 1-3, ORNL/TM-2005/39 Version 6, (2009).
- 2) “International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments”, NEA/NSC/DOC (95) 03, OECD NEA Nuclear Science Committee, (2009).

(口) 章 F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

ここでは、使用予定期間（60年）中の輸送容器の構成部材及び繰返し使用される収納物の経年変化について、(ロ)章の安全解析で考慮する事項について示す。

F.1 考慮すべき経年変化要因

本輸送物において想定される使用状況（使用予定年数60年及び使用予定回数10回/年）を踏まえ、輸送容器の構成部材及び繰返し使用される収納物に対して考慮すべき経年変化の要因については、以下を抽出する。

- ・熱的劣化

高温での材料組成・材料組織の変化、強度・延性・脆性・クリープ・その他物性値の変化及び質量減損

- ・放射線照射による劣化

中性子照射・ガンマ線照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・弾性・延性・脆性・その他物性値の変化

- ・化学的劣化

全面腐食、応力腐食割れ及び異種材料接触部の化学的反応

- ・疲労による劣化

繰返し荷重の作用による疲労破壊

F. 2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

1. 経年変化の影響について評価する対象

経年変化の影響について評価する本輸送物の構成部材を(口)－第F. 1表に示す。なお、収納物である燃料集合体については、繰返し使用されることはなく、また、長期保管後に輸送するものではないため、評価対象から除外している。

(ロ) - 第F. 1表 経年変化の影響について評価する本輸送物の構成部材

輸送物の構成部材	評価対象材料
本体 内筒 外筒 フランジ（上部トラニオンを含む。） 底板 トラニオン取付板 膨張室仕切板 仕切板 下部トラニオン	ステンレス鋼 ^{注)}
蓋 蓋板 蓋部中性子遮蔽材カバー 密封プラグ 密封プラグカバー 軸方向燃料固縛装置	
緩衝体 上部緩衝体ボルト 下部緩衝体ボルト カバープレート リブ	
蓋 蓋ボルト	<input type="text"/>
バスケット クロスバー クロスプレート スペーサ ガイドバー ベースプレート ガイドレール 上部リング 支持リング 下部中性子遮蔽材カバー リーマボルト 径方向燃料固縛装置 底部固定ボルト	ステンレス鋼 ^{注)} 及び ボロン入りステンレス鋼
バスケット アルミブロック アルミプレート	アルミニウム合金
蓋 蓋部中性子遮蔽材	レジン（エポキシ系樹脂）
バスケット 下部中性子遮蔽材	
本体 側部中性子遮蔽材	プロピレングリコール水溶液
緩衝体 緩衝材	木材
蓋 Oリング	<input type="text"/>

注) ステンレス鋼及び析出硬化系ステンレス鋼を含む。

2. 経年変化の考慮の必要性に関する評価条件

(ロ) 章F. 1において抽出した経年変化要因を踏まえ、経年変化の考慮の必要性について以下の条件で評価した。

- ・ 輸送容器の使用予定期間（60年）のうち、保守や空容器輸送等の期間は収納物が収納されないが、経年変化の評価に当たっては、収納物が収納された際に想定される熱や放射線等の環境に継続的に晒されるものとし、その期間を保守的に60年（以下、「評価期間」という。）として経年変化の影響を評価した。
- ・ 放射線照射による劣化は、非金属材料（レジン・プロピレングリコール水溶液・木材・）については、中性子とガンマ線に対して影響を評価した。一方、金属材料については、主に原子のはじき出しにより照射脆化が生じるが、ガンマ線に起因するはじき出しが生じる確率は中性子と比較して2桁以上小さいため¹⁾、ガンマ線に起因する照射脆化への影響は中性子と比較して十分小さくなる。このため、金属材料の放射線照射による劣化の影響は中性子に対して評価した。
- ・ 疲労については、吊上げによる荷重、運搬中の内外圧差による荷重、蓋ボルトの締付けによる荷重を繰り返し受ける構成部材を評価した。
- ・ 緩衝材については、使用済燃料の輸送実績から想定される輸送容器が通常使用される条件での緩衝材の温度評価及び過去に使用済燃料の輸送に供された輸送容器から採取した木材の試験結果を基に評価した。放射線照射による劣化、化学的劣化については、その他の部材と同様に評価期間の間使用されるものとして影響を評価した。
- ・ Oリングについては、定期点検及び輸送物発送前検査において交換が必要となった場合には、その都度新品と取り替え、また、前述の検査等の結果にかかわらず、実使用期間（燃料装荷期間）の合計で1年に1回以上の頻度で交換を実施するため、最長使用期間を1年として経年変化の影響を評価した。なお、疲労については、輸送容器の使用予定回数は10回/年に限られており、また、定期点検及び輸送物発送前検査において交換が必要となった場合には、その都度新品と取り替えることから、評価の対象外とした。

ここで、各構成部材に係る熱的劣化については、通常使用条件ではなく保守的に一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度が60年間（Oリングについては1年間）継続する際の影響を評価する。

3. 経年変化の考慮の必要性に関する評価結果

(口) - 第F. 1表にて整理した本輸送物の構成部材の材料に対して、経年変化の考慮の必要性を評価した結果を(口) - 第F. 2表に示す。

(口) - 第F. 2表に示す評価結果に基づき、構造評価で疲労破壊が生じるおそれはないことを確認する。

(口) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
本体・蓋・緩衝体	熱	ステンレス鋼は、熱による経年変化として、高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。本輸送物では、輸送時の各部材の最高温度 (110℃未満) は、上記の中で最も厳しい温度条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (280℃以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ²⁾ 、 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。
ステンレス鋼	放射線 照射	ステンレス鋼は、放射線による経年変化として、中性子照射量が 10^{17} n/cm ² オーダーを上回る環境における機械的特性の変化に伴う照射脆化 ⁵⁾ 、 ⁶⁾ 、 ⁷⁾ が考えられる。 本輸送物では、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、評価期間中の累積中性子照射量は 10^{15} n/cm ² 未満であり、照射脆化が生じるおそれがある中性子照射量を下回る。 以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。

(口) - 第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
ステンレス鋼	化学	<p>ステンレス鋼は、化学的要因による経年変化として、腐食に伴う表面の性状の変化が考えられる。本輸送物では、輸送容器内部は日光や雨水に晒されることはない。また、定期点検及び輸送物発送前検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修する。さらに、ステンレス鋼は表面に不動態皮膜が形成された状態が維持されるため、腐食は発生しにくい。</p> <p>中性子遮蔽材であるレジジンに接する部材は、充填空間が密閉環境であり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。</p> <p>同じく中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液に接する部材は、プロピレングリコール水溶液の熱分解に起因した腐食が考えられるが、プロピオンアルデヒド等の分解生成物が酸素と反応することで生じる有機酸⁸⁾による腐食の影響は、140℃の加熱条件で実施された試験結果に基づくと、ステンレス鋼の腐食量は60年間でも0.1mm以下と微少であり⁹⁾、無視し得るほど小さい。加えて、プロピレングリコール水溶液の最高温度は104℃であり、160℃の加熱条件で実施されたプロピレングリコール水溶液の試験結果に基づくと、ステンレス鋼製の容器内部の接液面と気相面の表面状態に有意な差異が生じていない⁸⁾ことから、気相部に存在する水蒸気が腐食状況に与える影響はない。</p> <p>また、プロピレングリコール水溶液に接する部材は、プロピレングリコール水溶液の放射線分解に起因した腐食が考えられるが、プロピレングリコール水溶液の評価期間中の累積中性子照射量は5×10^{13} n/cm²未満、累積ガンマ線照射量は2×10^3 Gy未満であり、腐食に影響を与える有機酸の生成が確認されていない照射量（中性子：10^{14} n/cm²オーダー、ガンマ線：10^4 Gyオーダー）⁸⁾を更に下回るため、腐食に影響を与える有機酸の生成はない。加えて、水の放射線分解の影響として、8.7×10^1 Gy/hの照射環境下のNaCl溶液中においてステンレス鋼に対する腐食の影響が未照射の場合と比較して有意ではないことが示されており¹⁰⁾、最もガンマ線照射量が高くなる箇所においても、ガンマ線照射率は3×10^{-3} Gy/h未満であることから、水の放射線分解により生成するラジカルがステンレス鋼に与える腐食の影響はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>

本体・蓋・緩衝体

(口) ー第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (3/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
<p>本体・蓋・緩衝体</p>	<p>疲労</p>	<p>輸送物の構成部材において、吊上げと内外圧差の2つの要因による繰返し荷重を受けるため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>トラニオンについては、使用予定期間中において吊上げによる荷重を繰返し受け起こることになる。</p> <p>このため、繰返し回数を保守的に設定した上でトラニオンの疲労を評価し、疲労破壊が生じおそれないことを確認する (A. 4. 4. 2)。</p> <p>内筒、外筒、フランジ、底板及び蓋板については、使用予定期間中において運搬中の内外圧差による荷重を繰返し受け起こることになる。</p> <p>このため、繰返し回数を保守的に設定した上で内筒、外筒、フランジ、底板及び蓋板の疲労を評価し、疲労破壊が生じおそれないことを確認する (A. 5. 1. 3)。</p>

(口) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋	熱	<p>□は、熱による経年変化として、高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。</p> <p>本輸送物では、輸送時の最高温度(90℃未満)は、上記の中で最も厳しい温度条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(300℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定^{(2),(4)}されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	放射線 照射	<p>□は、放射線による経年変化として、中性子照射量が10^{16} n/cm²オーダーを上回る環境における機械的特性の変化に伴う照射脆化⁽¹⁾が考えられる。</p> <p>本輸送物では、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、評価期間中の累積中性子照射量は10^{15} n/cm²未満であり、照射脆化が生じるおそれがある中性子照射量を下回る。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	化学	<p>□は、化学的要因による経年変化として、腐食に伴う表面の性状の変化が考えられる。</p> <p>本輸送物では、□により防錆措置を施していることから、腐食は発生しにくい。また、定期点検及び輸送物発送前検査において外観に異常がないことを確認している。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	疲労	<p>□が使用される蓋ボルトは、内外圧差とボルト締付けの2つの要因による繰返し荷重を受けるため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>このため、繰返し回数を保守的に設定した上で蓋ボルトの疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認する(A. 5. 1. 3)。</p>

(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (5/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
バスケット ステンレス鋼及び ボロン入りステンレス鋼	熱	<p>ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は、熱による経年変化として、高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。</p> <p>本輸送物では、輸送時の各部材の最高温度（160℃未満）は、上記の中で最も厳しい温度条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲（280℃以下）である。また、設計用強度・物性値が規定^{2), 4), 12)} されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	放射線 照射	<p>ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は、放射線による経年変化として、中性子照射量が 10^{17} n/cm² オーダーを上回る環境における機械的特性の変化に伴う照射脆化^{5), 6), 7), 10)} が考えられる。</p> <p>本輸送物では、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、評価期間中の累積中性子照射量は 10^{15} n/cm² 未満であり、照射脆化が生じるおそれがある中性子照射量を下回る。</p> <p>また、ボロン入りステンレス鋼については、B-10の減損に伴う中性子吸収性能の低下が考えられるが、B-10の評価期間中の減損割合は 10^{-6} 未満であり、無視し得るほど小さい。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	化学	<p>ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は、化学的要因による経年変化として、腐食に伴う表面の性状の変化が考えられる。</p> <p>本輸送物では、ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は輸送容器内部に使用され、日光や雨水に晒されることはない。さらに、ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は表面に不動態皮膜が形成された状態が維持されるため、腐食は発生しにくい。</p> <p>また、中性子遮蔽材であるレジンに接する部材は、充填空間が密閉環境であり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>

(口) - 第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (6/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
バスケット	熱	<p>アルミニウム合金は、熱による経年変化として、高温環境下では過時効による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。</p> <p>ただし、本輸送物は構造強度部材にアルミニウム合金を使用していないため、強度低下の影響はない。また、アルミニウム合金製の部材には自重による応力がかかるが、クリープによる変形量は無視し得る。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	放射線 照射	<p>アルミニウム合金は、放射線による経年変化として、中性子照射量が 10^{19} n/cm² オーダーを上回る環境における機械的特性の変化に伴う照射脆化が考えられる¹⁴⁾。</p> <p>本輸送物では、評価期間中のアルミニウム合金の累積中性子照射量は 10^{15} n/cm² 未満であり、照射脆化が生じるおそれがある中性子照射量を下回る。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	化学	<p>アルミニウム合金は、化学的要因による経年変化として、腐食に伴う表面の性状の変化が考えられる。</p> <p>本輸送物では、アルミニウム合金は輸送容器内部にのみ使用されることから日光や雨水に晒されることはない。さらに、アルミニウム合金は表面に酸化皮膜が形成された状態が維持されるため、腐食は発生しにくい。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>

(口) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (7/10)

材 料	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋・バスケット	<p>経年変化の考慮の必要性の評価</p> <p>レジンは、熱による経年変化としては含有する水分の放出に伴う質量減損による原子個数密度の減少が考えられるが、一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度 (120℃未満) 及び評価期間 (60年) の条件におけるレジンの質量減損率は蓋部で0.1%以下、バスケット下部で約1.0%と微少であることに加え、レジンは蓋部及びバスケット下部のみに配置されており、線量当量率が最大となる側部方向への影響は無視し得るほど小さい (詳細はF. 2の4. に示す。)。以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
レジン (エポキシ系樹脂)	<p>レジンは、放射線による経年変化として、中性子照射量が 10^{15} n/cm² オーダー、ガンマ線照射量が 3.9×10^4 Gy を上回る環境における質量減損による原子個数密度の減少が考えられる⁸⁾。</p> <p>本輸送物では、最も照射量が高くなる箇所においても、評価期間中の累積中性子照射量は 10^{14} n/cm² 未満、累積ガンマ線照射量は 3.6×10^4 Gy 未満であり、質量減損が生じるおそれがある照射量を下回る。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
化学	<p>レジンは、遮蔽性能に影響を与える化学的要因による経年変化は生じないため、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>

(ロ) - 第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (8/10)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
<p>本体</p> <p>プロピレングリコール 水溶液</p>	<p>熱</p> <p>放射線 照射</p>	<p>プロピレングリコール水溶液は、熱による経年変化として、熱分解に伴う質量減損による原子個数密度の減少が考えられる。一般に、高温環境下ではプロピレングリコール水溶液に含まれるプロピレングリコールの熱分解（脱水反応）により、主にプロピオンアルデヒドが生成することが知られている⁸⁾。</p> <p>本輸送物では、プロピレングリコール水溶液の充填空間は密閉環境であり、熱分解により生じた物質はプロピレングリコール水溶液の充填空間に保持されるため、外部への流出はない。また、プロピレングリコール水溶液の充填空間は液相部と気相部に分かれており、プロピレングリコールの熱分解による分解生成物の一部は、気体として充填空間内の気相部に放出されることになるが、プロピレングリコール水溶液の加熱試験後ににおける気相部と液相部の分析結果に基づくと⁸⁾、気相部へ放出される構成元素は0.1%未満となる。そのため、プロピレングリコール水溶液の熱分解による分解生成物が気相部に放出されたとしても、プロピレングリコール水溶液の原子個数密度の減少は0.1%未満であり、無視し得るほど小さい。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p> <p>プロピレングリコール水溶液は、放射線による経年変化として、放射線分解に伴う質量減損による原子個数密度の減少が考えられる。</p> <p>プロピレングリコール水溶液は、放射線照射により水の放射線分解が生じ、種々のラジカルが生成される。また、プロピレングリコールについては放射線分解に加え、水の放射線分解により生成されたラジカルに起因する分解も生じる。この結果として、水の分解により水素及び酸素、プロピレングリコールの分解により二酸化炭素、アセトン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド等の分解生成物が生じることが知られている。</p> <p>これらの分解生成物の一部は、気体として充填空間内の気相部に放出されることになるが、プロピレングリコール水溶液の評価期間中の累積中性子照射量は5×10^{13} n/cm²未満、累積ガンマ線照射量は2×10^3 Gy未満であり、これらと同等の照射条件で実施されたプロピレングリコール水溶液の放射線照射試験後ににおける気相部における分析結果に基づくと⁸⁾、気相部へ放出される構成元素は0.1%未満となる。そのため、プロピレングリコール水溶液の放射線分解による分解生成物が気相部に放出されたとしても、プロピレングリコール水溶液の原子個数密度の減少は0.1%未満であり、無視し得るほど小さい。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p> <p>プロピレングリコール水溶液は、遮蔽性能に影響を与える化学的要因による経年変化は生じないため、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	<p>化学</p>	

(口) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (9/10)

材 料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価
緩衝体	熱	<p>木材は、熱による経年変化として、高温環境下での強度低下が考えられる。本輸送物では、緩衝材よりも高い緩衝体表面の最高温度は、通常輸送条件よりも保守的な一般の試験条件下(環境温度 38℃、太陽熱放射あり)であって 94℃である。</p> <p>木材温度が 200℃に達すると木材の熱分解が進む¹⁵⁾との文献が確認できたものの、直接参照できる文献は乏しい状況にある。一方で、緩衝材として木材が広く使用されていることを踏まえ、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用中又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件を基に収納物による設計上の最大入熱を考慮した輸送容器の緩衝材の平均温度を評価した結果、約 40～70℃程度(本輸送物は約 40℃程度)であること、使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の圧潰強度及び密度測定の結果、木材の衝撃吸収性能は健全であり、性能劣化はなかったことから、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる¹⁶⁾。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。なお、輸送に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。</p>
木材	放射線照射	<p>木材は、放射線による経年変化として、中性子照射量が 10^{16} n/cm² オードー、ガンマ線照射量が 10^5 Gy オードーを上回る環境における機械的特性の変化に伴う照射脆化^{16)・17)}が考えられる。</p> <p>本輸送物では、最も照射量が高くなる箇所においても、評価期間中の累積中性子照射量は 10^{15} n/cm² 未満、累積ガンマ線照射量は 10^2 Gy 未満であり、照射脆化が生じるおそれがある照射量を下回る。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	化学	<p>木材は、化学的要因による経年変化として、腐朽に伴う材料の強度低下や脆化等の影響が考えられる。</p> <p>本輸送物では、木材の充填空間はステンレス鋼製のカバープレートに覆われた密閉環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽しない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>

注) 参考資料：第 12 回輸送容器及び使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器に関する審査会合 (令和 4 年 4 月 25 日) 資料 1 別紙「緩衝材 (木材)

の熱的劣化について」

(ロ) - 第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (10/10)

材 料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋 (リング)	熱	<p>リングは、熱による経年変化として、高温環境下では圧縮変位に対する復元力の低下が考えられる。本輸送物では、輸送時のリングの最高温度は85℃であり、使用可能温度である150℃¹⁸⁾を大きく下回る。また、150℃の温度条件で使用したとしても1年以上密封性能が維持されることが示されているため¹⁹⁾、最長使用期間である1年間使用したとしてもリングの密封性能に影響はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	放射線照射	<p>リングは、放射線による経年変化として、放射線照射により機械的特性の変化が生じることが考えられる。また、その影響は吸収線量が同じであれば、放射線の種類によらないことが知られている²⁰⁾。</p> <p>本輸送物では、リングの最長使用期間である1年間の累積ガンマ線及び中性子の照射量は10^3 Gy未満であり、リングがシール材として使用可能であることが示されている4.4×10^5 Gy²¹⁾を下回るため、リングの密封性能に影響はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>
	化学	<p>本輸送物において使用しているリングの材質には、高い耐水性を示す<input type="checkbox"/>を使用しており、加水分解も生じないため、リングの密封性能への影響はない。</p> <p>以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。</p>

4. レジンの経年変化の考慮の必要性に関する評価の詳細

中性子遮蔽材であるレジンは、一般の試験条件下の最高温度及び評価期間 60 年という保守的な条件を想定しても、質量減損が蓋部で 0.1%以下、バスケット下部で約 1.0%と微小であることに加え、蓋部及びバスケット下部のみに配置されており、線量当量率が最大となる側部方向への影響は無視し得るほど小さいと考えられる。

ここでは、遮蔽評価においてレジンの質量減損を考慮した場合の線量当量率と質量減損がない場合の線量当量率の比較を行い、レジンの質量減損による線量当量率への影響が無視し得る程度であることを確認する。この確認では、レジンの質量減損による影響が大きいのは中性子であることから、(口) 章D. 4の解析対象の主要核種のうち、(口) -第D. 8表において中性子の割合が大きいPu-238を対象核種とする。なお、前述のように、レジンの質量減損は微小であるが、より安全側の設定として、蓋部のレジンに 0.5%、バスケット下部のレジンに 1.5%の質量減損があるものとする。

レジンの質量減損を考慮した場合の線量当量率と質量減損がない場合の線量当量率の比較を(口) -第F. 3表に示す。線量当量率が最大となる側部方向の値に有意な差はなく、レジンの質量減損の有無による線量当量率への影響は無視し得るほど小さいことを確認した。

なお、線量当量率の求め方については、(口) 章D. 4では安全側に []
[]
[] が、ここでは主要核種の規定収納量とそれに同伴する核種含有量による線量当量率の合計値が最大となる値を用いた。

(口) -第F. 3表 線量当量率の比較 (Pu-238)

項目	輸 送 物 表 面 ($\mu\text{Sv/h}$)					表 面 か ら 1 m ($\mu\text{Sv/h}$)				
	頭 部		側部 中央	底 部		頭 部		側部 中央	底 部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
レジンの質量減損を考慮した場合	469.7	644.1	698.8	195.1	867.8	59.4	84.7	94.5	46.9	86.4
レジンの質量減損がない場合 ^{注)}	464.7	643.5	698.8	195.1	837.1	58.9	84.7	94.5	46.8	83.8
基 準 値	2000 (通常輸送時及び一般の試験条件下)					100 (通常輸送時)				

注) 比較のため、レジンの質量減損がない場合の評価についても、質量減損を考慮した場合の評価と同じ評価方法で求めた線量当量率を示す。

F. 3 安全解析における経年変化の考慮内容

前節に示したとおり、輸送物の構成部材を対象に、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。

バスケットに用いられるステンレス鋼、ポロン入りステンレス鋼、アルミニウム合金、蓋部及び下部中性子遮蔽材に用いられるレジン、側部中性子遮蔽材に用いられるプロピレングリコール水溶液、緩衝体に用いられる木材については、使用予定期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。バスケット以外に用いられるステンレス鋼、
については、熱、放射線、化学反応における経年変化要因においては使用予定期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。また、Oリングについては、最長使用期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。

経年変化の考慮が必要なものとしては、ステンレス鋼製の内筒、外筒、フランジ、底板、蓋板、トラニオン及び製の蓋ボルトについては、内外圧差、吊上げ、ボルト締付けによる繰返し荷重を受けるため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用予定期間中に想定される最も厳しい荷重条件かつ保守的な繰返し回数を考慮した上で、内外圧差、吊上げ、ボルト締付けによる疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認する。

疲労評価の条件としては、使用回数1回当たりの吊上げ回数を20回と想定し、使用予定期間を通しての吊上げに関する繰返し回数（使用計画回数）を24000回（=60年×20回/年×20回）と設定する。また、使用回数1回において内外圧差による荷重が発生する回数を1回と想定し、使用予定期間を通しての繰返し回数（使用計画回数）を1200回（=60年×20回/年）と設定する。これらの繰返し回数については、年間の使用予定回数（10回/年）を保守的に2倍（20回/年）に設定しており、使用予定期間における取扱い及び運搬において想定される繰返し回数を包含している。これらの条件を考慮した疲労評価については、(ロ)章A. 4. 4. 2及び(ロ)章A. 5. 1. 3に示す。

F. 4 付属書類

F. 4. 1 参考文献

- 1) D. E. Alexander, L. E. Rehn, "Analysis of Gamma Ray Displacement Damage in Light Water Reactor Pressure Vessels", ANL/MSD/CP-86640, Argonne National Laboratory, (1995).
- 2) (社)日本機械学会, "使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)" JSME S FA1-2007, (2007).
- 3) (社)日本機械学会, "使用済燃料貯蔵施設規格 コンクリートキャスク, キャニスタ詰替装置およびキャニスタ輸送キャスク構造規格" JSME S FB1-2003, (2003).
- 4) (社)日本機械学会, "発電用原子力設備規格 設計・建設規格<第I編 軽水炉規格>" JSME S NC1-2005(2007年追補版含む), (2007).
- 5) R. R. Vandervoort, E. L. Raymond, C. J. Echer, "High-Energy Neutron Irradiation Effects on the Tensile Properties and Microstructure of 316 Stainless Steel", Radiation Effects, vol. 45, p. 191-198, (1980).
- 6) 土肥謙次, 秀耕一郎, 黛正己, 恩地健雄, 大岡紀一, "304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果(その2) - 熱鋭敏化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響 -", 電力中央研究所報告, T96301, (財)電力中央研究所, (1997).
- 7) J. P. Robertson, et al., "Temperature dependence of the deformation behavior of type 316 stainless steel after low temperature neutron irradiation", Effects of Radiation on Materials: 18th International Symposium, ASTM STP 1325, p. 671-688, (1999).
- 8) (独)原子力安全基盤機構, "平成15年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書 最終報告", (2004).
- 9) K. Kawakami, et al., "The Applicability of Liquid Neutron Shield to a Spent Fuel Transportable Storage Cask", Proceedings of the 13th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, (2001).
- 10) S. Muraoka, M. Senoo, Y. Kobayashi, "Progress Report on Safety Research on High-Level Waste Management for the Period April 1990 to March 1991", JAERI-M 92-022, Japan Atomic Energy Research Institute, (1992).
- 11) K. Farrell, S. T. Mahmood, R. E. Stoller, L. K. Mansur, "An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys", Journal of Nuclear Materials, vol. 210, p. 268-281, (1994).
- 12)

--

- [Redacted]
- 13) S. E. Soliman, et al., "Neutron effects on borated stainless steel", Nuclear Technology, vol. 96, p. 346-352, (1991).
 - 14) H. Yoshida, et al., "Reactor irradiation effects on Al 1100", Proceedings of the Japan Congress on Materials Research, vol. 24, p. 1-6, (1981).
 - 15) 岡野健, 祖父江信夫, "木材科学ハンドブック", 朝倉書店, (2006).
 - 16) T. Aoki, M. Norimoto, T. Yamada, "Some Physical Properties of Wood and Cellulose Irradiated with Gamma Rays", Wood research, vol. 62, p. 19-28, (1977).
 - 17) O. Teszler, et al., "The Effect of Nuclear Radiation on Fibrous Materials Part III: Relative Order of Stability of Cellulosic Fibers", Textile Research Journal, vol. 28, p. 456-462, (1958).
 - 18) 産業技術センター, "複合材料技術集成", (1976).
 - 19) (財) 電力中央研究所, "輸送キャスク密封装置の耐熱限界性能の評価", (1998).
 - 20) [Redacted]
 - 21) 圓尾一司, "ゴムシール材の耐放射線性", バルカーレビュー, Vol. 39, No. 10, (1995).

(口) 章 G 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目																																																												
(核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬) 第3条 第1項第1号 第2号 第3号 第2項	(L型輸送物として運搬できる核燃料物質等) 第3条 (A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の放射能の量の限度) 第4条	<p>該当しない。</p> <p>該当しない。</p> <p>本輸送物の収納物は下表のとおりであり、設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。 したがって、既承認と同じく、特別形核燃料物質等以外のものに該当し、原子力規制委員会の定める量であるA₂値を超える量の放射能を有する核燃料物質である。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準におけるBM型輸送物に該当することに変更はない。</p> <table border="1" data-bbox="592 1193 1257 1975"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">17×17 配列型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>集合体の種類</td> <td colspan="4">新燃料集合体 (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)</td> </tr> <tr> <td>性状</td> <td colspan="4"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>ウラン・プルトニウム重量 (kg 以下)</td> <td colspan="4"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>放射能の量 (PBq 以下)</td> <td colspan="4"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>ウラン濃縮度 (%以下)</td> <td colspan="4"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>発熱量 (kW 以下)</td> <td colspan="4">1.91</td> </tr> <tr> <td>収納体数 (体以下)</td> <td colspan="4">4</td> </tr> <tr> <td>輸送容器に収納するプルトニウム同位体の量とA₂値との比較</td> <td>核種</td> <td>最大放射能 (TBq/基)</td> <td>A₂値 (TBq)</td> <td>A₂値比</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pu-238</td> <td colspan="3" rowspan="6"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pu-239</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pu-240</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pu-241</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pu-242</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Am-241</td> </tr> </tbody> </table>			17×17 配列型			集合体の種類	新燃料集合体 (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)				性状	<input type="text"/>				ウラン・プルトニウム重量 (kg 以下)	<input type="text"/>				放射能の量 (PBq 以下)	<input type="text"/>				ウラン濃縮度 (%以下)	<input type="text"/>				発熱量 (kW 以下)	1.91				収納体数 (体以下)	4				輸送容器に収納するプルトニウム同位体の量とA ₂ 値との比較	核種	最大放射能 (TBq/基)	A ₂ 値 (TBq)	A ₂ 値比		Pu-238	<input type="text"/>				Pu-239		Pu-240		Pu-241		Pu-242		Am-241	(I)-A (I)-B
				17×17 配列型																																																											
		集合体の種類	新燃料集合体 (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)																																																												
性状	<input type="text"/>																																																														
ウラン・プルトニウム重量 (kg 以下)	<input type="text"/>																																																														
放射能の量 (PBq 以下)	<input type="text"/>																																																														
ウラン濃縮度 (%以下)	<input type="text"/>																																																														
発熱量 (kW 以下)	1.91																																																														
収納体数 (体以下)	4																																																														
輸送容器に収納するプルトニウム同位体の量とA ₂ 値との比較	核種	最大放射能 (TBq/基)	A ₂ 値 (TBq)	A ₂ 値比																																																											
	Pu-238	<input type="text"/>																																																													
	Pu-239																																																														
	Pu-240																																																														
	Pu-241																																																														
	Pu-242																																																														
	Am-241																																																														
		該当しない。																																																													

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第3条 第3項		<p>本輸送物は、BM型輸送物に該当するため、輸送容器の構成部材及び繰返し使用される収納物の経年変化を以下のとおり考慮した上で、第6条の技術上の基準に適合することを確認している。</p> <p>a. 本輸送物に想定される使用状況及びそれに伴い考慮すべき経年変化の要因は以下のとおり。</p> <p>(1) 使用状況 燃料加工工場から原子力発電所へのMOX新燃料の輸送の用途で、使用予定年数を60年、使用予定回数を10回/年と想定する。ただし、<input type="text"/>製のOリングについては1年に1回以上の頻度で交換を実施することから、最長使用期間を1年と想定する。</p> <p>(2) 経年変化の要因 熱的劣化、放射線照射による劣化、化学的劣化及び疲労による劣化とする。</p> <p>b. 「a.」を踏まえ、輸送物の構成部材の材料（ステンレス鋼、<input type="text"/>、ポロン入りステンレス鋼、アルミニウム合金、レジジン、プロピレングリコール水溶液、木材、<input type="text"/>)を対象に、経年変化の考慮の必要性について、以下のとおり評価した。</p> <p>(1) 熱的劣化については、保守的に一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度が60年間（Oリングについては1年間）継続するとした条件において評価した。 組織変化による強度低下及びクリープによる変形（ステンレス鋼、<input type="text"/>、<input type="text"/>、ポロン入りステンレス鋼）、質量減損による原子個数密度の減少（レジジン、プロピレングリコール水溶液）、還元力の低下による密封性能への影響（<input type="text"/>) が考えられるが、各部材の最高温度がこれらの影響を考慮する必要がない温度範囲である等の理由から、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はないことを確認した。 アルミニウム合金については、過時効による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、構造強度部材として使用しておらず、また、クリープによる変形量は無視し得ることから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はないことを確認した。</p>	(イ)-A (ロ)-A.4.4 (ロ)-A.5.1 (ロ)-F

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第3条 第3項		<p>また、緩衝材として用いる木材については、実輸送時における緩衝材の温度及び使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の試験結果より、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられるため、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はないことを確認した。</p> <p>(2) 放射線照射による劣化については、機械的特性の変化に伴う照射脆化及び密封性能への影響（ステンレス鋼、<input type="text"/>、<input type="text"/>、ボロン入りステンレス鋼、アルミニウム合金、木材、<input type="text"/>）、質量減損による原子個数密度の減少（レジン、プロピレングリコール水溶液）、B-10 の減損による中性子吸収性能の低下（ボロン入りステンレス鋼）が考えられるが、使用予定期間中の累積照射量等が上記の影響を考慮する必要のない照射量に比べてもさらに小さい等の理由から、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はないことを確認した。</p> <p>(3) 化学的劣化については、腐食に伴う表面の性状の変化（ステンレス鋼、<input type="text"/>、<input type="text"/>、ボロン入りステンレス鋼、アルミニウム合金）、腐朽に伴う強度低下や脆化等（木材）、加水分解による密封性能への影響（<input type="text"/>）が考えられる。ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼及びアルミニウム合金は、材料の表面に不動態皮膜あるいは酸化皮膜が形成された状態が維持されるため、腐食は発生しにくい。また、輸送容器内部に使用される部材は日光や雨水に晒されることはないため、腐食の影響はない。さらに、ステンレス鋼は定期点検及び輸送物発送前検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修する。</p> <p>中性子遮蔽材であるレジンに接するステンレス鋼は、充填空間に酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。また、プロピレングリコール水溶液に接するステンレス鋼は、プロピレングリコール水溶液の分解に起因する有機酸による腐食量は無視し得るほど小さい等の理由から、腐食の影響はない。</p>	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>第3条 第3項</p>		<p> <input type="text"/>は<input type="text"/>により腐食は発生しにくい。また、定期点検及び輸送物発送前検査において外観に異常がないことを確認する。 木材の充填空間には酸素が連続的に供給されないため、腐朽しない。 <input type="text"/>は高い耐水性を示し、加水分解を生じないため、密封性能への影響はない。 中性子遮蔽材であるレジン及びプロピレングリコール水溶液は、遮蔽性能に影響を与える化学的要因による経年変化は生じない。 以上のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はないことを確認した。 </p> <p>(4) 疲労による劣化については、内外圧差と吊上げあるいはボルト締付けの繰返し荷重による疲労破壊が考えられるため、経年変化の考慮が必要となる。いずれも、使用予定期間中に想定される現実的な繰返し回数を包含する保守的な使用計画回数を設定した上で疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認する。</p> <p>c. 以上より、安全解析においては、繰返し荷重を受ける部材に対する疲労評価を実施し、疲労破壊が生じるおそれがないことを確認した。その他の材料についても技術上の基準に適合していることへの影響がないことを確認した。</p> <p>以上のことから、規則に定める技術基準への適合に影響しない。</p>	

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
<p>(BM型輸送物に係る技術上の基準)</p> <p>第6条第1号</p> <p>(第5条第1号)</p> <p>(第4条第1号)</p>		<p>後述のとおり第5条第1号から第8号までに定める基準に適合している。ただし、第6号に定められる要件は該当しない。</p> <p>後述のとおり第4条第1号から第5号、第8号及び第10号に定める基準に適合している。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は以下に示すように容易に、かつ、安全に取り扱うことができる。</p> <p>a. 輸送物は、輸送物の容器本体に吊上装置としてトラニオンを有し、専用吊具及びクレーンを介して垂直姿勢での吊上げ、吊下しを容易に行うことができる。</p> <p>b. 輸送物は、専用の輸送架台を用いることで下部トラニオンを回転軸として安全に横倒しすることができ、車両又は船舶に積み付ける際には□ □水平姿勢での吊上げ、吊下しを容易に行うことができる。また、□ □車両又は船舶に強固に積み付けられる等、安全に取り扱うことができる。</p> <p>c. 輸送物は、吊上装置であるトラニオン以外に誤って取り扱われるおそれがある部位はなく、容易に、かつ、安全に取り扱うことができる。</p> <p>d. 輸送物の吊上装置であるトラニオンは、工学式を用いた評価により、負荷係数を3とし、収納物の最大収納体数を考慮した輸送物の吊上げ荷重負荷時にも設計降伏点を下回るよう設計しており、急激な吊上げに耐えられるものである。 なお、規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性に係る説明のとおり、トラニオンは吊上げによる繰返し荷重を受けることから経年変化の考慮が必要となるが、使用予定期間中の現実的な繰返し回数よりも保守的に設定した使用計画回数で疲労評価を実施し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認している。</p> <p>e. 輸送物の表面は滑らかに仕上げられており、雨水が溜らない構造となっている。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p>(イ)-C</p> <p>(イ)-C</p> <p>(イ)-C</p> <p>(ロ)-A.4.4</p> <p>(イ)-C</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(第4条第2号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、本輸送物は以下に示すように、運搬中に予想される温度（-20℃から38℃）及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>a. 運搬中に予想される輸送物各部の最高温度は、一般の試験条件の熱的試験と同様に周囲温度38℃、太陽熱放射を安全側に連続で負荷、崩壊熱量は収納物の最大値7.64kWの条件下で、輸送物の各部の温度をABAQUSコードを用いて評価している。燃料被覆管の最高温度は217℃であり、制限温度385℃より低いため、被覆管の機械的特性に影響はない。中性子遮蔽材であるレジンの最高温度は110℃であり、使用可能温度上限である170℃より低いため、遮蔽性能が低下することはない。また、プロピレングリコール水溶液の最高温度は104℃であり、使用可能温度上限である140℃より低いため、遮蔽性能が低下することはない。リングの最高温度は85℃であり、使用可能温度である150℃より低いため、密封性能が低下することはない。その他の構成部材についても、輸送物の健全性に対して悪影響を及ぼすような温度にはならないことから、き裂、破損等の生じるおそれはない。予想される輸送物の最低温度は、最低使用温度-20℃において一律-20℃とする。構成部品は学会標準等に示されるように-20℃において使用可能であるため、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>b. 運搬中に予想される温度の変化に対して、輸送物は周囲温度-20℃から38℃の温度範囲において、各部品の熱膨張に伴う寸法変化は十分に小さく、部品同士の干渉が生じないため、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、下記のABAQUSコードを用いた評価により、発生する熱応力を含めた各部の応力が設計応力強さ等の基準値を下回ることを確認しており、構造健全性は維持され、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p>(ロ) -A. 4. 2 (ロ) -B. 1 (ロ) -B. 4. 6</p> <p>(ロ) -A. 5. 1</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>(第4条第2号)</p>		<p>c. 運搬中に予想される温度の変化に対して、輸送物の運搬中に想定される最大圧力は、内筒内圧が 0.169MPa、側部中性子遮蔽材部圧力が 0.969MPa であるが、構造解析では、その圧力条件を上回り、さらに蓋取付け時の周囲温度を-20℃とした場合に想定される圧力増加も包含した差圧を内筒内及び側部中性子遮蔽材部に負荷した条件で、熱応力を含めた各部の応力を ABAQUS コードを用いて評価している。運搬中の温度変化により予想される容器本体各部の温度差による熱応力や内圧の変化による荷重が負荷されても、各部が設計応力強さ等の基準値を下回り、構造健全性が維持され、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、蓋の口開き変形量は Oリングの初期締付代より小さく、密封性を損なうことはない。</p> <p>なお、規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性に係る説明のとおり、内筒、外筒、フランジ、底板、蓋板は内外圧差による繰返し荷重を受けることから経年変化の考慮が必要となるが、使用予定期間中の現実的な繰返し回数よりも保守的に設定した使用計画回数で疲労評価を実施し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認している。</p> <p>d. 蓋ボルトは輸送時の振動等により緩まないよう、強固に締め付けられており、運搬中の温度及び内圧の変化を考慮しても、蓋ボルトが緩むことはない。また、容器本体と蓋の接合部の密封境界には Oリングを設けており、密封を保っている。</p> <p>なお、規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性に係る説明のとおり、蓋ボルトは内外圧差とボルト締め付けによる繰返し荷重を受けることから経年変化の考慮が必要となるが、使用予定期間中の現実的な繰返し回数よりも保守的に設定した使用計画回数で疲労評価を実施し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認している。</p> <p>e. 輸送中は輸送架台に固縛装置を固定する。固縛装置であるトラニオンは、工学式を用いた評価により、輸送物最大重量を考慮した上で、輸送中発生する上下及び前後方向加速度 2 g 並びに左右方向加速度 1 g の負荷時にも設計降伏点を下回るように設計されているため、構造健全性は維持され、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、輸送物の固有振動数 (293Hz) と輸送による振動数 (10Hz) には大きな差があり、輸送物の応答増幅の影響はなく、輸送中の振動による荷重は 0.3m 落下事象に包含される。よって、輸送物は予想される振動等によりき裂、破</p>	<p>(D) -A. 5. 1 (D) -B. 4. 4</p> <p>(D) -A. 4. 7 (D) -A. 5. 1 (D) -C. 2. 4</p> <p>(D) -A. 4. 5 (D) -A. 4. 7</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(第4条第2号)		<p>損等の生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	
(第4条第3号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、輸送物表面には吊上装置以外には不要な突起物がなく、また、輸送物表面はステンレス鋼もしくは塗装面であり、滑らかに仕上げていることから、表面の汚染の除去は容易である。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(イ)-C
(第4条第4号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物の材料はステンレス鋼等の化学的に安定した材料を使用しており、以下に示すように各々の材料相互の間及び材料と収納物との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれはない。</p> <p>a. 運搬中に予想される温度範囲において、構成部品同士の熱膨張による干渉はないことから、材料相互の接触による、き裂、破損等を生じるおそれはない。</p> <p>b. プロピレングリコール水溶液及びレジンを外筒等に密閉する、また、内筒内を[]雰囲気にする等、材料相互で腐食等が生じない設計としている。</p> <p>c. プロピレングリコール水溶液、レジン及びオリングは、本輸送物の構成部材に使用されている金属と接触しても化学的反応を起こすおそれはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)-A. 5. 1. 2 (ロ)-A. 4. 1 (ロ)-A. 4. 1
(第4条第5号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、蓋に設置される密封プラグは、通常の輸送時には[] []、かつ[]がされているので誤って操作されることはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)-A. 4. 3
(第4条第6号)		該当しない。	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目						
(第4条第7号) (第4条第8号)	(表面密度限度) 第9条	<p>該当しない。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる取扱手順及び方法に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は発送前に表面の放射性物質の密度が、表面密度限度以下であることを確認した上で、発送される。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <table border="1" data-bbox="655 745 1214 936"> <thead> <tr> <th>放射性物質の区分</th> <th>密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アルファ線を放出する放射性物質</td> <td>0.4 Bq/cm²</td> </tr> <tr> <td>アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td>4 Bq/cm²</td> </tr> </tbody> </table>	放射性物質の区分	密度	アルファ線を放出する放射性物質	0.4 Bq/cm ²	アルファ線を放出しない放射性物質	4 Bq/cm ²	(ハ)-A. 2. 1
放射性物質の区分	密度								
アルファ線を放出する放射性物質	0.4 Bq/cm ²								
アルファ線を放出しない放射性物質	4 Bq/cm ²								
(第4条第9号)		<p>該当しない。</p>							
(第4条第10号)		<p>設計変更においては、既認可と同じく、本輸送物は所定の収納物以外のものが収納されていないことを確認した上で蓋を取り付け、<input type="checkbox"/>した後輸送するので、本輸送物の安全性を損なうおそれがあるものが収納されることはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ハ)-A						
(第5条第2号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物は外径2560mm、長さ5860mmの円筒型容器であり、容器に外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(イ)-C						
(第5条第3号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造及び<input type="checkbox"/>の運用方法に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物の蓋は蓋ボルトで強固に締め付けられており、輸送の際には<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>ため、不用意に蓋ボルトが外されることはなく、みだりに開封されることはない。</p> <p>また、<input type="checkbox"/>を取り付けた後に<input type="checkbox"/>されるので、開封された場合にはそれが明らかとなる。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(イ)-C (ハ)-A						

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(第5条第4号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は周囲温度-20℃から38℃で使用する。そのため、本輸送物の構成部品は、-20℃から運搬中に予想される最高温度の範囲で脆化、著しい強度の低下等、材料強度への影響はなく、構成部品にき裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	(D) -A. 3 (D) -A. 4. 2 (D) -B. 4. 6
(第5条第5号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件における内筒内圧 0.169MPa 及び側部中性子遮蔽材部圧力 0.969MPa と外気圧 60kPa との差圧よりも厳しい条件においても構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはないこと及びOリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことを、規則第4条第2号の ABAQUS コードを用いた評価により確認している。このため、本輸送物の密封性が損なわれることはなく、放射性物質の漏えいはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	(D) -A. 4. 6
(第5条第6号)		該当しない。	
(第5条第7号)		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物は遮蔽材の最小寸法を考慮し、主要核種の収納限度である規定収納量を収納する等の安全側の条件を設定した場合でも、DOT3.5 コードを用いた評価による輸送物の最大表面線量当量率は 837.2μSv/h であり、2mSv/h を超えることはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	(D) -D. 4 (D) -D. 5

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(第5条第8号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は上記と同様の安全側のモデル化条件を設定した上で、輸送物の表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hとなるように主要核種の規定収納量を定めており、線源核種規定式を満たすことを確認した上で輸送するため、表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hを超えることはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(D) -D. 4 (D) -D. 5
(第5条第9号)		該当しない。	
(第5条第10号)		該当しない。	
第6条第2号	(BM型輸送物に係る一般の試験条件)		
	第14条 別記第4第1号	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。 したがって、既認可と同じく、一般の試験条件の下での本輸送物の各部温度評価として、規則第4条第2号a.の熱解析において、周囲温度38 $^{\circ}$ C及び太陽放射熱を連続照射した条件にて定常状態に達した温度を評価し、各部が使用可能温度を超えないことを確認している。また、各部の温度分布及び圧力条件を引き継いだABAQUSコードを用いた評価において、各部の応力が設計応力強さ等の基準値を下回ることを確認しているため、輸送物の構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはない。また、Oリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいため、密封性を損なうことはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(D) -A. 5. 1 (D) -B. 4
	第14条 別記第4第2号	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 したがって、既認可と同じく、以下のとおり別記第3第1号の条件の下に置いて評価している。	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第2号	第14条 別記第3第1号		
	イ	<p>水噴霧</p> <p>本輸送容器の外表面はステンレス鋼もしくは塗装面であり、本輸送物に50mm/hの雨量に相当する水を1時間吹き付けた場合においても吸水による脆化や水溜りによる腐食は発生しないため、構造健全性及び密封性を損なうことはない。</p>	(ロ)-A.5.2
	(1)	<p>自由落下</p> <p>本輸送物の重量は26.2トン以下であるため、0.3mの高さから、輸送物に最大の破損を及ぼすように剛体面に落下させた場合の評価を行うため、垂直、水平及びコーナーの各落下姿勢について、CRUSHコード及び工学式を用いた評価に対して、緩衝体に対する解析と実験との比較検証結果を踏まえて安全側に設定した負荷係数1.2を考慮し、安全側の条件となる設計加速度を設定している。緩衝体の最大変形量は底部コーナー落下時における92mmである。</p> <p>このときの容器本体各部の応力をABAQUSコードを用いて評価しており、バスケット及び燃料被覆管については工学式を用いて評価している。容器本体、バスケット、燃料被覆管は、0.3m落下による衝撃加速度が負荷されても各部に生じる応力が設計応力強さ等の基準値を下回ることから、構造健全性及び密封性を損なうおそれはない。</p>	(ロ)-A.5.3
	(2)	<p>該当しない。</p>	(ロ)-A.5.4
	(3)	<p>積み重ね試験</p> <p>自重の5倍に相当する荷重(1.28×10⁶N)の方が、鉛直投影面積に13kPaを乗じて得た値に相当する荷重より大きいので、これを輸送物の垂直方向及び水平方向に加えた場合について工学式を用いて評価している。垂直方向の圧縮応力及び水平方向の曲げ応力はそれぞれ設計降伏点を下回っており、容器本体の構造健全性を損なうことなく、密封部の健全性が維持される。</p> <p>なお、輸送物を積み重ねた場合には緩衝体部分が積み重なり、外筒や蓋及び底板には荷重が作用しないため、遮蔽解析に影響する破損は生じない。</p> <p>一方、緩衝体は最大5mm程度変形する可能性があるが、(ロ)章Dの遮蔽解析で考慮している0.3m落下で想定される変形量には包含される。</p>	(ロ)-A.5.4

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>第6条第2号</p> <p style="text-align: right;">イ</p>	<p>第14条 別記第3第1号</p> <p style="text-align: center;">ロ</p> <p style="text-align: center;">(4)</p> <p>第14条 別記第3第2号</p>	<p>貫通</p> <p>重量が6kgであり、直径が3.2cmの容易に破損しない棒であって、その先端が半球形のを1mの高さから本輸送物の最も弱い部分である緩衝体カバープレートに落下させた場合の評価を、工学式を用いて行っている。棒の落下エネルギーは緩衝体カバープレートのせん断エネルギーよりも小さいため、構造健全性を損なうことはなく、熱解析及び遮蔽解析に影響する破損は生じない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>該当しない。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、本輸送物を一般の試験条件の下に置いた場合、緩衝体に変形が生じることを踏まえ、規則第5条第7号の通常輸送時の評価条件に基づき、CRUSHコード及び工学式を用いた評価により得られた緩衝材の各落下方向の変形を重畳させた安全側のモデルにおいて、主要核種の収納限度である規定収納量を収納した場合でも、DOT3.5コードを用いた評価による輸送物表面の最大線量当量率は837.2μSv/hであり、2mSv/hを超えることはない。</p> <p>なお、緩衝体の変形を考慮しても、通常輸送時に比べ本輸送物の最大線量当量率の著しい増加はない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p>(ロ)-A.5.5</p> <p>(ロ)-D.4 (ロ)-D.5</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第2号	(BM型輸送物に係る一般の試験条件の下における漏えい量)		
口	第15条	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件の下に置いた場合でも規則第6条第2号の ABAQUS コードを用いた評価において蓋密封部の構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはないこと及びOリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことを確認しており、密封性が損なわれることはない。また、燃料被覆管についても一般の試験条件において破損しないことを工学式を用いた評価により確認しており、放射性物質の漏えいはない。</p> <p>したがって、放射性物質の1時間当たりの漏えい量が A₂ 値の百万分の1を超えることはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(口) -A. 5 (口) -C. 3. 1
ハ		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造、収納物及び運搬方法に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物は専用積載として運搬する。最大発熱量 7.64kW の収納物を収納し、一般の試験条件の下に置いた場合に、周囲温度 38℃ の日陰において輸送中に人が容易に近づくことができる表面の最高温度は、ABAQUS コードを用いて評価した結果 83℃ であり、85℃ を超えることはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(イ) -A (口) -B. 4. 6
ニ		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件の下に置いても構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはないこと及びOリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことを規則第6条第2号の ABAQUS コード等を用いた評価の結果より確認しており、密封性が損なわれることはない。また、同評価において燃料被覆管は破損しないことから放射性物質の漏えいはないため、表面の放射性物質の密度が増加することはない。なお、輸送物表面の放射性物質の密度は発送前検査において測定により確認される。</p> <p>したがって、表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えることはない。</p>	(口) -A. 5 (口) -C. 3. 1 (ハ) -A. 2. 1

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>第6条第2号 二</p> <p>第6条第3号</p>	<p>(BM型輸送物に係る特別の試験条件)</p> <p>第16条 別記第5第1号</p> <p>イ</p>	<p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>強度試験・落下試験Ⅰ（9m落下試験） 設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件と同様の方法で、9mの高さから、輸送物に最大の破損を及ぼすように剛体面に落下させた場合の評価を行うため、垂直、水平及びコーナーの各落下姿勢について、CRUSH コード及び工学式を用いて緩衝体変形量及び衝撃加速度を評価している。また、このときの容器各部の応力を ABAQUS コードを用いて評価し、バスケットについては工学式により評価している。 容器本体及びバスケットは、落下試験Ⅰによる衝撃力が負荷されても容器本体各部及びバスケットに発生する応力が設計引張強さ等の基準値を下回ることから、容器本体及びバスケットの構造健全性を損なうことはない。さらに、Oリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことから、容器本体の密封性を損なうことはない。 また、本輸送物が傾斜落下するとして、落下試験結果に基づき二次衝撃側の最大加速度を評価すると、水平落下時の□倍である□となるが、水平落下時の□倍の加速度が生じたとして評価しても容器本体及びバスケットの構造健全性を損なうことはない。さらに、落下試験後も漏えい率に有意な増加がないことから、容器本体の密封性を損なうことはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p>(ロ)-A. 6. 1 (ロ)-A. 10. 2 (ロ)-A. 10. 3 (ロ)-A. 10. 4</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第3号	第16条 別記第5第1号 □	<p>強度試験・落下試験Ⅱ（1m貫通試験） 設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 したがって、既認可と同じく、落下試験Ⅰに引き続く1m貫通試験では、以下の条件 i. 及び ii. に基づき工学式を用いて評価を行った結果、緩衝体及び外筒に貫通又は変形が生じるおそれがあるが、密封装置である蓋、内筒及び底板にはせん断破壊が生じず、また、蓋はフランジ部に押し付けられることからOリング取付位置での口開きは生じないため、密封性を損なうことはない。</p> <p>i. 本輸送物は、最大の破損を受けるよう、垂直方向及び水平方向に輸送物の重心が軟鋼棒直上となる1mの高さから落下することとして評価している。</p> <p>ii. 軟鋼棒の長さは、輸送物に最大の破損を与えるように十分長いものとして評価している。</p> <p>なお、外筒の貫通又は変形に伴い、側部中性子遮蔽材が漏出する可能性がある。火災時の側部中性子遮蔽材部圧力が最大の時点において、フランジ部近傍の外筒へ1m貫通試験を考慮した開口部（直径15cmの円の面積）が生じた場合、側部中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液が噴出し、開口部の近傍に応力を生じるが、このときの蓋ボルト応力及び口開き変形量は ABAQUS コードを用いた評価により、解析基準値を満足することを確認しており、密封性を損なうことはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ) -A. 6. 2 (ロ) -A. 10. 5

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第6条第3号	第16条 別記第5第2号	<p data-bbox="592 383 1267 927">イ 熱的試験（火災試験） 設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は別記第4第1号に定める放射熱及び収納物の最大発熱量7.64kWを負荷し、周囲温度38℃の条件下において定常状態に達した後、落下試験Ⅰの結果を考慮して各落下方向の緩衝体の変形量を重畳させた安全側のモデルを仮定し、また、落下試験Ⅱの結果を考慮した上で、火炎による入熱量が大きくなるようにプロピレングリコール水溶液があるものと仮定し、800℃で、かつ、平均値が最小で0.9の放射率を有する火炎の放射熱の条件下に30分間置くこととして、ABAQUSコードを用いて評価している。また、本輸送物の表面吸収率は0.8としている。 本条件で、内筒及び外筒の温度はそれぞれ232℃及び401℃、内筒内及び側部中性子遮蔽材部の圧力はそれぞれ0.301MPa及び9.51MPaであり、外筒は仕切板間隔が最長となる容器中央部の仕切板間中央において半径が最大40mm膨張するが、容器本体の温度差が最大となる火災発生から30分後における温度及び内筒内圧(0.30MPaG)を考慮したABAQUSコードを用いた評価により、発生する応力が設計引張強さ等の基準値を下回ることを確認しており、密封境界を構成する構成部材が破断することはない。 また、密封境界のOリングについては、最高温度が177℃、内筒内圧が0.301MPaであり、特別の試験条件の使用可能温度上限である300℃及び使用可能圧力上限である6.9MPaを下回り、さらに、Oリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことから、密封性が損なわれることはない。</p> <p data-bbox="592 1563 1267 1850">ロ 本輸送物は、火炎の放射熱の条件下に30分間置いた後、落下試験Ⅱの結果を考慮した上で、内部からの放熱が小さくなるようプロピレングリコール水溶液がないものと仮定し、38℃の条件下で別記第4第1号に定める放射熱及び収納物の最大発熱量7.64kWを負荷しつつ冷却するものとして、定常状態に達するまでの温度をABAQUSコードを用いて評価している。また、冷却は自然冷却によるものとしている。</p> <p data-bbox="592 1890 1267 1957">以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p data-bbox="1294 383 1417 488">(ロ)-A.6.3 (ロ)-B.1 (ロ)-B.5</p> <p data-bbox="1294 1563 1394 1630">(ロ)-B.1 (ロ)-B.5</p>

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
<p>第6条第3号</p> <p style="text-align: center;">イ</p>	<p>第16条 別記第5第3号</p>	<p>浸漬試験 設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は規則第6条第5号においてより厳しい強化浸漬試験に対して評価し、内筒、底板及び蓋に破損がないことを確認している。外筒については、工学式を用いた評価により、負荷される水頭圧を 0.15MPaG、内筒内を大気圧とした場合の差圧が許容外圧を下回ることを確認している。また、外圧は蓋を押し付ける方向に作用し、Oリングの密封性能は維持されるため、本輸送物の密封性を損なうことはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は特別の試験条件の下に置いた場合、構造解析の結果から、落下試験Ⅰにより緩衝体は大きく変形し、また、落下試験Ⅱにより外筒が貫通する可能性がある。そのため、緩衝体はないものとし、また、外筒の貫通孔を考慮した上で側部中性子遮蔽材は漏出したものとして空気に置き換えた条件で、DOT3.5 コードを用いて評価している。なお、安全側に落下試験による燃料集合体の変形を考慮する。さらに、熱解析の結果から、火災試験においても蓋部及び下部中性子遮蔽材は使用可能温度内であるが、安全側に [] に減少するものとする。 このような条件で主要核種の収納限度である規定収納量を収納した場合でも、輸送物の表面から 1 m 離れた位置での最大線量当量率は 3086.0 μSv/h であり、10mSv/h を超えることはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p>(ロ) -A. 6. 4</p> <p>(ロ) -D. 3 (ロ) -D. 4 (ロ) -D. 5</p>

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第6条第3号	(BM型輸送物に係る特別の試験条件の下における漏えい量) 口 第17条	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物は特別の試験条件の下に置いた場合にも、Oリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期締付代より小さいことなどから、密封性が損なわれることはない。ここで、安全側に全燃料棒の被覆管がないものと仮定し、最大放射エネルギーの主要核種を含む二酸化プルトニウム粉末が[]に同伴して放出されるとして工学式を用いて評価した結果、放射性物質の漏えい率の基準値との核種毎の比の合計は 1.31×10^{-2} であり、放射性物質の一週間当たりの漏えい量はA₂値を超えることはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(D) -A. 6 (D) -C. 4
第6条第4号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は周囲温度-20℃以上で使用する。</p> <p>本輸送物の構成部品は、学会標準等に示されるように最低使用温度-20℃において使用可能であるため、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、規則第4条第2号 a. の熱解析において、周囲温度 38℃で収納物の最大発熱量 7.64kW とした場合の輸送物の各部温度及び圧力を評価しており、このときの温度分布及び圧力条件を引き継いだ構造解析において、各部の応力が設計応力強さ等の基準値を下回り、輸送物の構造健全性を損なうことがないことを確認している。なお、構造解析においては、木材低温時の強度上昇及び木材高温時の強度低下の影響を考慮している。</p> <p>したがって、-20℃から 38℃までの周囲温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(D) -A. 4. 2 (D) -A. 5. 1 (D) -A. 10. 10 (D) -B. 4. 6

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第6条第5号	<p>(原子力規制委員会の定める量を超える放射能を有する核燃料物質等を収納した核燃料輸送物に係る試験条件)</p> <p>第18条 第1項</p> <p>第18条 第2項</p> <p>別記第6</p>	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物の収納物はA₂値の十万倍を超える。 以上のことから、本輸送物が原子力規制委員会の定める量を超える量の放射能を有する核燃料輸送物に該当することに変更はない。</p> <p>強化浸漬試験 (200m) 設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。 したがって、既認可と同じく、本輸送物は深さ 200 mの水中に浸漬させた場合の評価として、外筒、内筒、蓋及び底板に対し、水頭圧 (2 MPaG) を負荷した条件で工学式を用いて評価している。 評価の結果、外筒については外圧が許容外圧 () を上回り座屈するおそれがあるが、密封装置である内筒、蓋及び底板については外圧に対して十分な強度を有している。また、外圧は蓋を押し付ける方向に作用し、Oリングの密封性能は維持されるため、本輸送物の密封性を損なうことはない。 以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p>(イ)-A (イ)-B</p> <p>(ロ)-A.7</p>
第7条から 第10条		該当しない。	

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
(核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準) 第 11 条	第 23 条第 1 号	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物の収納物であるウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（PWR 用 MOX 新燃料集合体）は、核分裂性物質である U-235、Pu-239 及び Pu-241 を含んでおり、また、原子力規制委員会の定めるものには該当しないことから、本輸送物は、核分裂性輸送物に該当する。</p> <p>輸送容器の構成部材の経年変化を、規則第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性における説明のとおり考慮した上で、規則第 11 条第 2 号の技術上の基準に対する適合性において後述するように、通常輸送時に比べてより安全側の条件で臨界解析を行った結果においても臨界に達することはないことから、本輸送物は輸送中において臨界に達することはない。また、経年変化を考慮した上で、本条第 1 号から第 3 号の技術上の基準に適合していることを確認している。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(イ)-A (イ)-B (ロ)-E. 4. 4 (ロ)-F
第 11 条第 1 号 イ、ロ	(核分裂性輸送物に係る一般の試験条件) 第 24 条 別記第 11	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物は核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた場合、規則第 6 条第 2 号の構造解析により 0.3m 落下及び積み重ね試験では緩衝体に変形が生じるが、一辺が 10cm の立方体を包含するようなくぼみが生じる変形ではない。また、他の試験条件も含めそれ以外の部位に損傷はない。なお、規則第 11 条第 2 号に示すように、臨界解析では緩衝体を無視しているため、臨界防止機能への影響はない。</p> <p>以上より、構造部に一辺が 10cm の立方体を包含するようなくぼみが生じることはなく、かつ、外接する直方体の各辺は 10cm 以上であるため、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)-A. 9. 1

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第 11 条第 2 号 イ、ロ、ハ、 ニ、ホ	(核分裂性輸 送物に係る孤 立系の条件) 第 25 条 第 1、2、3 号 (核分裂性輸 送物に係る特 別の試験条 件) 第 26 条 別記第 12 (核分裂性輸 送物に係る配 列系の条件) 第 27 条	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、規則第 6 条第 3 号の熱解析及び、負荷係数 1.2 を考慮して求めた衝撃加速度に対し安全側の設計加速度を設定することで、0.3m 落下後の 9m 落下の衝撃力をも考慮できている規則第 6 条第 3 号の構造解析の結果より、本輸送容器は、落下試験等においてもバスケットの臨界解析モデルに影響を与えるような物理的・化学的变化はないが、燃料集合体は落下試験において変形する可能性がある。</p> <p>また、本輸送物は、規則第 6 条第 5 号においてより厳しい強化浸漬試験に対して評価した結果、内筒、底板及び蓋に破損がなく、また、外圧は蓋を押し付ける方向に作用し、リングの密封性能は維持されるため、密封装置は健全である。</p> <p>以上を踏まえ、臨界解析では SCALE コードシステムを用い、経年変化を考慮した上で、規則第 11 条第 2 号イ、ロ、ハ、ニ及びホにおいて要求される評価条件のいずれよりも厳しい条件とした以下の安全側の条件で評価した結果、実効増倍率は 0.89078 となり、いずれの評価条件に置かれた場合にも臨界に達しない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・孤立系の条件を考慮して容器内部を満水とし、水の密度は [] と仮定する。 ・燃料集合体の支持格子 1 スパン間の燃料棒ピッチの拡大を考慮する。 ・収納物の温度は常温 (20℃) とし、収納物は各ロジメント内で [] 配置する。 ・側部中性子遮蔽材、蓋部及び下部中性子遮蔽材は真空に置き換える。 ・緩衝体は無視し、輸送物の周囲が完全反射の条件で評価する。 <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ) -A. 9. 2 (ロ) -E. 2. 2 (ロ) -E. 3. 1 (ロ) -E. 3. 2 (ロ) -E. 4. 1 (ロ) -E. 4. 2 (ロ) -E. 4. 4 (ロ) -E. 6

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第 11 条第 3 号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び収納物に変更はない。</p> <p>既認可と同じく、本輸送物は周囲温度-20℃以上で使用する。本輸送物の構成部品は、学会標準等に示されるように最低使用温度-20℃において使用可能であるため、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、規則第 4 条第 2 号の熱解析において、周囲温度 38℃で収納物の最大発熱量 7.64kW とした場合の輸送物の各部温度及び圧力を評価しており、このときの温度分布及び圧力条件を引き継いだ構造解析において、各部の応力は設計応力強さ等の基準値を下回り、輸送物の構造健全性を損なうことがないことを確認している。なお、構造解析においては、木材低温時の強度上昇及び木材高温時の強度低下の影響を考慮している。</p> <p>したがって、-20℃から 38℃までの周囲温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	<p>(ロ) -A. 5. 1</p> <p>(ロ) -A. 9</p> <p>(ロ) -A. 10. 10</p> <p>(ロ) -B. 4. 6</p>

(八) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

輸送物の安全設計に合致した標準的な取扱方法について記述するとともに、保守条件を記述する。

A. 核燃料輸送物の取扱方法

輸送物の基本的な扱いは、以下の方法により行われる。輸送物の扱いの流れの例を (ハ) 一第A. 1図に示す。

A. 1 装荷方法

燃料加工工場での輸送容器への燃料装荷は、以下の方法により行われる。

A. 1. 1 準備作業

燃料加工工場に保管されている輸送容器の緩衝体を取り外し、輸送容器を縦起こし後、蓋を取り外して燃料装荷の準備を行う。

1. 容器移動

- ① 輸送容器の上・下部緩衝体を取り外す。
- ② 輸送容器を縦起こし場所へ移動する。

2. 装荷準備

- ① クレーン及び吊具を用いて、輸送架台上で輸送容器を縦起こす。
- ② 輸送容器を吊り上げ、置台に縦置き設置する。
- ③ 蓋を取り外す。
- ④ 輸送容器のフランジ面に異常がないこと及びバスケットに異常がないこと（未臨界性確認）かつ異物がないことを確認する。
- ⑤ 径方向燃料固縛装置を解縛状態にする。

A. 1. 2 装荷作業

燃料集合体を保管設備から取り出して輸送容器に装荷し、収納物を確認した後に蓋を取り付け、輸送容器内部に を充填する。

1. 燃料装荷作業

- ① 燃料集合体を保管設備から取り出し、輸送容器内のバスケットへ1体ずつ装荷する。
- ② 装荷された燃料集合体の配置確認を行う。

2. 燃料集合体の固縛及び蓋取付け

- ① 径方向燃料固縛装置により燃料集合体を固縛する。
- ② 輸送容器本体に蓋を取り付け、蓋ボルトを規定トルクにて取り付ける。
- ③ 輸送容器内の空気を真空排気し、 を規定量充填する。

A. 1. 3 搬出作業

輸送容器を横倒しし、緩衝体を取り付けた後に、輸送車両へ固縛して燃料加工工場から搬出する。

1. 輸送準備

- ① クレーン及び吊具を用いて、輸送容器を置台から輸送架台上に移動し、横倒し・固縛する。
- ② 上・下部緩衝体を取り付ける。
- ③ 輸送容器に□を施す。

2. 輸送車両への固縛・搬出

- ① □輸送容器を輸送車両上に固縛する。
- ② 燃料加工工場から、輸送車両を搬出する。

A. 2 核燃料輸送物の発送前検査

A. 2. 1 輸送物発送前検査

燃料加工工場から発電所へ輸送物を輸送する前に(ハ)－第A. 1表に示す輸送物発送前検査を行う。

A. 2. 2 輸送物の発電所への輸送

本輸送物は、専用運搬船に積み付け、発電所まで輸送される。

1. 船積み

- ① 輸送物を輸送車両にて、岸壁まで輸送する。
- ② 岸壁クレーン及び水平吊具を用いて、輸送物を吊り上げ、指定船倉内に積み込む。
- ③ 船内にて□輸送物を固縛する。

2. 発電所への輸送

- ① 専用運搬船によって、発電所まで輸送する。

A. 3 取出し方法

発電所での輸送容器からの燃料の取出しは、以下の方法により行われる。ただし、発電所によって手順が異なる場合もある。

A. 3. 1 発電所での輸送容器受取り・燃料取出準備作業

本輸送物から□を解き、上・下部緩衝体を取り外した後、蓋を取り外し、燃料集合体を取り出す準備を行う。

1. 水切作業

- ① 岸壁クレーン及び水平吊具を用いて、輸送物を専用運搬船から吊り上げ、輸送車両上に固縛する。

2. 輸送物受入れ・保管

- ① 建屋内に輸送車両により輸送物を搬入する。
- ② 輸送物を所定の保管場所へ移動し、保管する。

3. 燃料取出作業場への移動

- ① 輸送物に取り付けられている□を解く。
- ② 上・下部緩衝体を取り外す。
- ③ クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器を縦起こす。
- ④ 輸送容器を吊り上げ、燃料取出作業場に移動し、所定の位置に設置する。

4. 燃料取出作業場内作業

- ① 蓋を取り外す。
- ② 径方向燃料固縛装置を解縛状態にする。

A. 3. 2 取出作業

クレーン等を用いて輸送容器から燃料集合体を取り出し、所定の場所に収納する。

A. 3. 3 後作業

燃料取出し後、輸送容器に蓋を取り付ける。

1. 後作業

- ① クレーン及び吊具を用いて、蓋を取り付ける。

A. 4 空容器の準備

燃料取出し後の輸送容器は、空容器搬出のために適切に発電所内で保管し、保管終了後、空容器搬出前に適切な発送準備を行い、燃料加工工場まで輸送する。

A. 4. 1 空容器搬出前作業

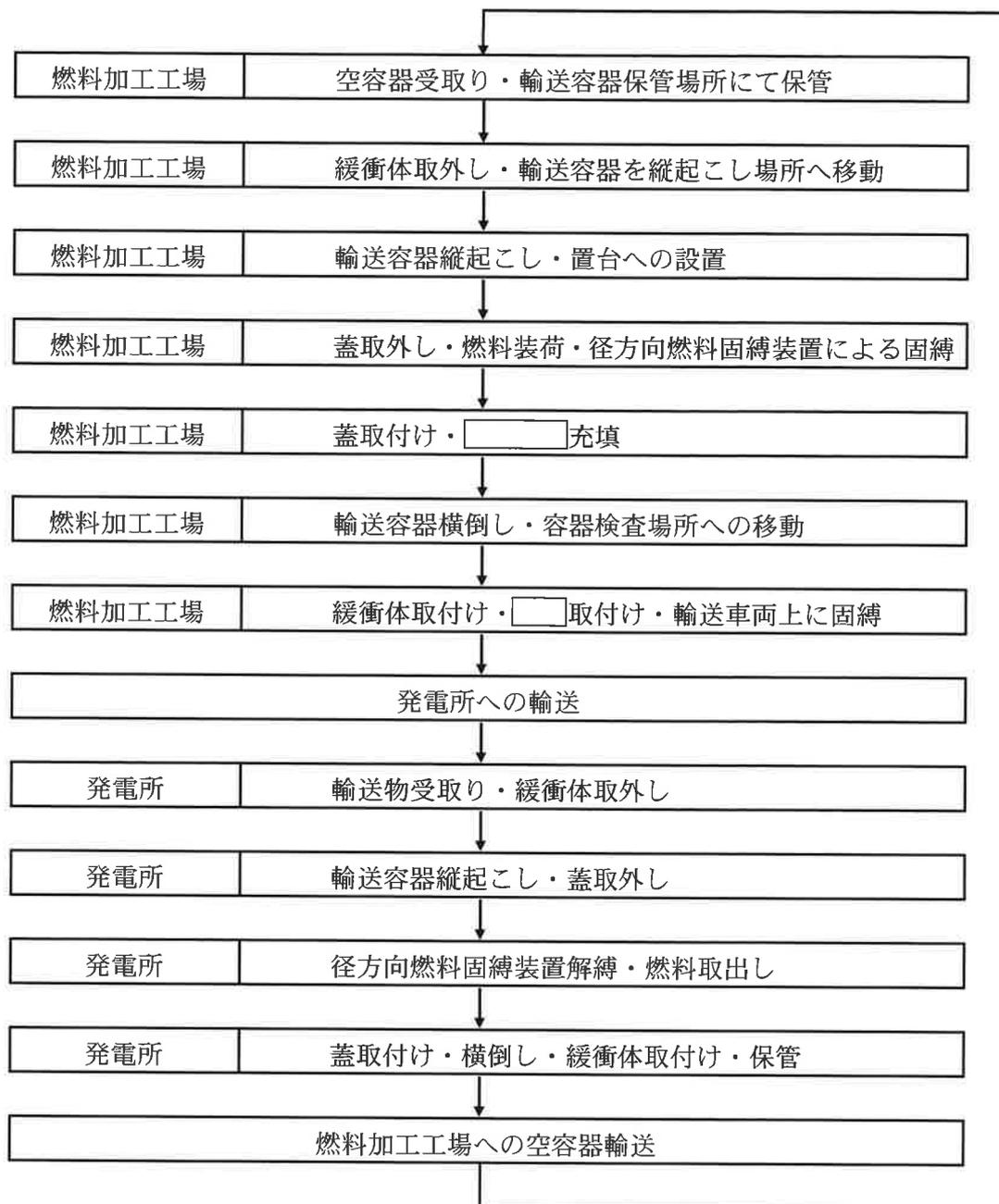
燃料取出し後の空容器を建屋外に搬出する前に、外観に異常がないことを確認し、空容器の汚染チェックを行い、必要に応じて除染する。

A. 4. 2 空容器の保管

空容器は横倒し後、上・下部緩衝体を取り付け、燃料加工工場へ輸送するまで、所定の保管場所に保管する。屋外保管する場合には養生を実施する。

A. 4. 3 空容器の燃料加工工場への輸送

空容器は建屋外に搬出後、専用運搬船又は専用車両に積み付け、燃料加工工場まで輸送される。



注記：不開示情報を含むため一部削除

(ハ) - 第A. 1図 輸送物の取扱いの流れ

(ハ) - 第A. 1表 輸送物発送前検査の項目、検査方法及び合格基準

No.	検査項目	検査方法	合格基準
1	外観検査	輸送物の外観を目視で検査する。	輸送物の形状に異常な傷又は割れがないこと。輸送物の□が施されていること。
2	吊上検査	輸送物を吊り上げた後の状態において、□の外観を目視で検査する。	トラニオン部等に異常な変形又は破損がないこと。
3	重量検査	輸送容器及び収納物の合計重量を計算により確認する。	26.2 トンを超えないこと。
4	表面密度検査	輸送物の表面密度をスミヤ法等により測定する。	α線を放出する放射性物質： 0.4Bq/cm ² α線を放出しない放射性物質： 4 Bq/cm ² をそれぞれ超えないこと。
5	線量当量率検査	輸送物の表面及び表面から1mの距離における、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等で測定する。	ガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の合計が 表面：2mSv/h 表面から1mの距離：100μSv/h をそれぞれ超えないこと。
6	未臨界検査	燃料集合体を装荷する前の状態において、輸送容器内に収納されたバスケットの外観を目視で検査する。	バスケットに異常な変形又は破損がないこと。
7	収納物検査	① 収納物の外観、数量を目視等で検査する。 ② 燃料集合体を装荷する前後の状態において、輸送容器の内部を目視等で検査する。 ③ 燃料集合体について仕様、数量を記録等により確認する。	① 外観に異常な変形又は破損がないこと並びに、数量に異常がないこと。 ② 輸送容器内部に異物のないこと。 ③ 設計承認条件のとおりであること。
8	温度測定検査	温度計により輸送物の表面温度を測定し、周囲温度38℃での値に補正する。	輸送中に人が容易に近づくことができる表面の温度が日陰において85℃を超えないこと。
9	気密漏えい検査	圧力変化を測定し、漏えい率を算出する。	各部の漏えい率の合計が 3.0×10^{-2} ref·cm ³ /sを超えないこと。
10	圧力測定検査	輸送容器内部へ充填された□ □初期充填圧力を作業記録等により確認する。	□初期充填圧力が規定範囲にあること。

B. 保守条件

輸送容器の仕様を長期にわたって保証できる保守条件について定める。

輸送容器は、定期点検として、(ハ) - 第B. 1表の項目に示す定期自主検査、定常検査、基本検査及び総合検査を実施する。また、定期点検の結果、必要に応じて補修を実施する。なお、1年以上使用する計画のない輸送容器については、保管状態に置くことができる。

1. 定期自主検査

外観検査（Ⅰ）、気密漏えい検査、未臨界検査（Ⅰ）及び吊上検査（Ⅰ）を1年に1回以上実施する。なお、保管期間中は、これらを省略し、外観検査（Ⅲ）を実施することができる。

ただし、年間使用回数が10回を超えるものにあつては、使用回数10回に1回以上実施する。

2. 定常検査

外観検査（Ⅰ）、気密漏えい検査、未臨界検査（Ⅰ）及び吊上検査（Ⅰ）を輸送前毎に実施する。

3. 基本検査

外観検査（Ⅰ）・（Ⅱ）、気密漏えい検査、未臨界検査（Ⅰ）及び吊上検査（Ⅰ）・（Ⅱ）を5年に1回実施する。

ただし、前回の検査から使用回数が30回を超えるものにあつては、使用回数30回に1回実施する。

4. 総合検査

総合検査その1として、輸送容器が空の状態を外観検査（Ⅰ）・（Ⅱ）、耐圧検査、気密漏えい検査、未臨界検査（Ⅰ）・（Ⅱ）・（Ⅲ）及び吊上検査（Ⅰ）・（Ⅱ）を、総合検査その2として、輸送容器に収納物を収納した状態で遮蔽検査及び熱検査をそれぞれ10年に1回実施する。

ただし、前回の検査から使用回数が60回を超えるものにあつては、使用回数60回に1回実施する。なお、遮蔽検査及び熱検査については検査期限を過ぎた場合、期限を過ぎた初回の燃料輸送時（燃料装荷から燃料取出し）に実施する。

5. 補修

1. ～4. の検査の結果、補修が必要と判定された部位については、補修を行う。

6. 輸送容器保管状態の管理

輸送容器を保管状態に置くに当たっては、定期自主検査を実施する。輸送容器は、必要に応じて養生等を行った上で保管する。

7. 保管期間終了後の検査・補修

保管期間終了後に輸送容器を再使用する場合、保管期間に応じて定期点検及び補修を行う。

8. 定期点検の期限管理

定期点検の有効期間は、前回の各々の定期点検終了日を起点とし、有効期限内に次の定期点検を開始する。

基本検査、総合検査その1及び総合検査その2の有効期間の期限が輸送容器の保管期間中になる場合は、各々の検査を省略することができる。なお、保管期間終了後に輸送容器を再使用する場合には、定期自主検査に加え、保管期間中に省略した基本検査又は総合検査その1及び総合検査その2を行う。

9. 記録の保管

製作時検査記録、定期自主検査記録、定常検査記録、基本検査記録及び総合検査記録等の定期点検記録（補修記録や部品交換履歴を含む。）は、当該輸送容器存続中保存する。

(ハ) - 第B. 1表 定期点検の項目、検査方法、合格基準及び検査区分

検査項目	検査方法	合格基準	検査区分				
			定期 自主 検査	定常 検査	基本 検査	総合検査	
						その1	その2
外観検査 (Ⅰ)	輸送容器の外表面を目視で検査する。	輸送容器の形状に異常な傷又は割れがないこと。	○	○	○	○	-
外観検査 (Ⅱ)	輸送容器の構成部品である蓋部、プラグ部及びシール面について外観を目視で検査する。	表面の形状に異常な傷又は割れがないこと。	-	-	○	○	-
外観検査 (Ⅲ)	輸送容器の外表面を目視で検査する。	輸送容器の形状に異常な傷又は割れがないこと。	○ ^{注1)}	-	-	-	-
耐圧検査	0.144MPaG (設計最大圧力 ^{注2)} の1.2倍の圧力) 以上の空圧を加え、輸送容器の外表面を目視で検査する。	異常な変形、ひび、割れ等がないこと。	-	-	-	○	-
気密漏えい検査	圧力変化を測定し、漏えい率を算出する。	各部の漏えい率の合計が 3.0×10^{-2} ref·cm ³ /s を超えないこと。	○	○	○	○	-
遮蔽検査	収納物を収納した状態で、輸送容器表面の各部の線量当量率測定を行い、測定結果と収納物仕様相当の線源強度で行った評価結果を比較する。	遮蔽能力に劣化のないこと。	-	-	-	-	○ ^{注3)}
未臨界検査(Ⅰ)	輸送容器内に収納されたバスケットの外観を目視で検査する。	バスケットに異常な変形又は破損がないこと。	○	○	○	○	-
未臨界検査(Ⅱ)	バスケットの格子枠について、寸法確認用スルーゲージを挿入する。	スルーゲージが支障なく挿入できること。	-	-	-	○	-
未臨界検査(Ⅲ)	中性子吸収による中性子吸収材の減損について計算により評価する。	臨界防止機能に影響を及ぼす減損がないこと。	-	-	-	○	-
熱検査	収納物を収納した状態で、輸送容器表面の各部の温度測定を行い、測定結果と収納物仕様相当の発熱量で行った評価結果を比較する。	伝熱性能に劣化のないこと。	-	-	-	-	○ ^{注3)}
吊上検査(Ⅰ)	輸送容器を吊り上げた後の状態において、 の外観を目視で検査する。	トラニオン部等に異常な変形又は破損がないこと。	○	○	○	○	-
吊上検査(Ⅱ)	 について浸透探傷検査を行う。	有害な傷による浸透指示模様のないこと。	-	-	○	○	-

注1) 保管期間中は、外観検査(Ⅰ)、気密漏えい検査、未臨界検査(Ⅰ)及び吊上検査(Ⅰ)を省略し、外観検査(Ⅲ)を実施することができる。

注2) 一般の試験条件における内筒内圧(構造解析使用圧力)を示す。

注3) 有効期間10年を過ぎた場合には、初回の燃料輸送時(燃料装荷から燃料取出し)に実施する。

B. 1 外観検査

外観検査（Ⅰ）は、輸送容器の外表面を目視で検査する。

外観検査（Ⅱ）は、輸送容器の構成部品である蓋部、プラグ部及びシール面について外観を目視で検査する。

外観検査（Ⅲ）は、保管状態の輸送容器の外表面を目視で検査する。

B. 2 耐圧検査

0.144MPaG（設計最大圧力の1.2倍の圧力）以上の空圧を加えて、輸送容器各部の外観等に異常がないことを目視で検査する。

B. 3 気密漏えい検査

輸送容器密封部に所定の圧力を加え、圧力降下を測定し、漏えい率を算出する。又は、輸送容器密封部を真空引き後に圧力上昇を測定し、漏えい率を算出する。

B. 4 遮蔽検査

収納物を収納した状態で、輸送容器表面の各部の線量当量率測定を行い、測定結果と収納物仕様相当の線源強度で行った評価結果を比較する。

B. 5 未臨界検査

未臨界検査（Ⅰ）は、輸送容器内に収納されたバスケットの外観を目視で検査する。

未臨界検査（Ⅱ）は、バスケットの格子枠について、寸法確認用スルーゲージを挿入する。

未臨界検査（Ⅲ）は、中性子吸収による中性子吸収材の減損について計算により評価する。

B. 6 熱検査

収納物を収納した状態で、輸送容器表面の各部の温度測定を行い、測定結果と収納物仕様相当の発熱量で行った評価結果を比較する。

B. 7 吊上検査

吊上検査（Ⅰ）は、輸送容器を吊り上げた後の状態において、の外観を目視で検査する。

吊上検査（Ⅱ）は、について浸透探傷検査を行う。

B. 8 作動確認検査

該当しない。

B. 9 補助系の保守

該当しない。

B. 10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

輸送容器のプラグ部は、分解点検を原則として1年に1回実施する。また、輸送容器のOリング及びボルトは、定期点検及び輸送物発送前検査においても交換が必要となった場合に、その都度新品と取り替える。また、上記にかかわらず、(ハ) - 第B. 2表に示す部品については同表の交換頻度で無条件に交換する。部品交換又は補修後は、当該部位の再検査を行う。定期点検の実績、部品交換や安全機能に係る部位の補修については記録を行い、輸送容器存続中保存する。なお、保管状態の輸送容器及び燃料集合体を装荷したことの無い輸送容器は、輸送容器のプラグ部の保守を省略することができる。

(ハ) - 第B. 2表 部品交換頻度

部品名	交換頻度	備考
Oリング	実使用期間（燃料装荷期間）の合計で1年に1回以上。	密封境界に係る部位とする。

B. 11 輸送容器の保管

B. 11. 1 保管状態の管理

輸送容器を保管状態に置くに当たっては、定期自主検査を実施する。輸送容器は、必要に応じて養生等を行った上で保管する。

B. 11. 2 保管期間終了後の検査・補修

保管期間終了後に輸送容器を再使用する場合は、保管開始前に行った定期点検から再使用までの保管状況に応じて、定期点検及び補修を行う。

B. 12 記録の保管

製作時検査記録、定期自主検査記録、定常検査記録、基本検査記録及び総合検査記録等の定期点検記録（補修記録や部品交換履歴を含む。）は、当該輸送容器存続中保存する。

B. 13 その他

燃料集合体を装荷したことの無い輸送容器については、(ハ) - 第B. 3表に示す定期点検を1年に1回以上実施する。

燃料集合体を装荷する前には、(ハ) - 第B. 1表に示す定期自主検査を行う。

(ハ) ー第B. 3表 燃料集合体を装荷したことのない輸送容器の定期点検の項目、
検査方法及び合格基準

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	輸送容器の外表面を目視で検査する。	輸送容器の形状に異常な傷又は割れがないこと。

(二) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

(二) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

本輸送物の安全設計、安全輸送に関する特記事項は以下のものとする。

A. 安全輸送上の措置

本輸送物の中性子遮蔽材であるプロピレングリコール水溶液は、火災時において圧力が上昇し、外筒を破損させて周囲に噴出するおそれがあるため、輸送に際しては、火災時において人の接近を防止する等の安全上の対策を確立し、遵守する。

なお、プロピレングリコール水溶液の噴出が、安全設計上、問題ないことを確認している。

B. 緩衝体の取扱いについて

安全性向上の観点から、緩衝材として使用する木材の経年変化に関する知見の拡充の取組みの一環として、緩衝体の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。

C. 技術基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合の対応について

規則及び告示の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

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

A. 輸送容器の製作方法

A.1 概要

輸送容器の製作手順例を(参)－第A.1図に示す。

以下、(参)－第A.1図に従い、製作手順及び方法の概要について述べる。

1. 容器本体の製作

(1) 内筒部の製作

内筒部は、内筒の両端にフランジと底板を取り付けることで構成され、下記の手順・方法で製作する。

a. 内筒の製作

内筒は、ステンレス鋼板の切断・開先加工及び曲げ加工を行った後、長手及び周継手溶接を行う。なお、を行う場合がある。

b. フランジ及び底板の組立溶接

フランジと底板は、ステンレス鋼鍛造品より成形、加工後、、機械加工を行い、内筒の両端に組立溶接（周溶接）、機械加工を行う。

(2) 仕切板の製作・組立溶接

仕切板は、ステンレス鋼板の切断・開先加工を行った後、組立溶接、機械加工を行い、内筒部に組立溶接を行う。

(3) 外筒、膨張室仕切板及びトラニオン取付板の製作

外筒、膨張室仕切板及びトラニオン取付板は、ステンレス鋼板の切断・開先加工を行った後、長手溶接を行い、機械加工を行う。

(4) 膨張室仕切板、外筒及びトラニオン取付板の組立溶接

仕切板と膨張室仕切板、仕切板と外筒、外筒同士、外筒とトラニオン取付板及びトラニオン取付板と底板の組立溶接、機械加工を行う。

(5) 下部トラニオンの製作・組立溶接

下部トラニオンは、ステンレス鋼鍛造品より成形、加工を行った後、トラニオン取付板に組立溶接を行う。

(6) 容器本体の仕上げ機械加工

容器本体の仕上げ代を有する箇所等の最終仕上げのために機械加工を行う。

(7) プロピレングリコール水溶液の充填

内筒と外筒間にプロピレングリコール水溶液（以下、「PG 水」という。）を充填する。

(8) 容器本体の塗装

容器本体外面に塗装を施す。

2. 蓋の製作

(1) 蓋板の機械加工

蓋板は、ステンレス鋼板又はステンレス鋼鍛造品より所定の成形、加工を行う。

(2) 蓋部中性子遮蔽材カバーの製作

は、ステンレス鋼板の切断・開先加工を行った後、組立溶接、機械加工を行う。

(3)

(4) の組立溶接

を組立溶接する。

(5) 機械加工

蓋板の溶接部及びネジ穴部等の機械加工を行う。また、仕上げ代を有する箇所等の最終仕上げのために機械加工を行う。

3. バスケットの製作

(1) 部材加工

ボロン入りステンレス鋼板、ステンレス鋼板、鋼棒及びアルミニウム合金を所定の寸法・形状に加工（切断、機械加工等）する。

(2) 組立溶接

所定の寸法・形状に加工された部材の組立溶接・機械加工を行う。

(3) 下部中性子遮蔽材カバーの製作

は、ステンレス鋼板の切断・開先加工を行った後、組立溶接を行う。

(4) レジン充填及び下部中性子遮蔽材カバーの組立て

を組立溶接、機械加工する。

(5) 組立て

所定の寸法・形状に加工された部材等の組立てを行う。

4. 上・下部緩衝体の製作

(1) 部材加工

ステンレス鋼板を所定の寸法・形状に加工（切断、機械加工、曲げ加工等）する。

(2) 缶体の製作

所定の寸法・形状に加工された部材の組立溶接を行う。

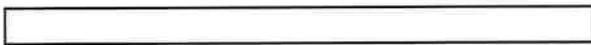
(3) 



(4) 

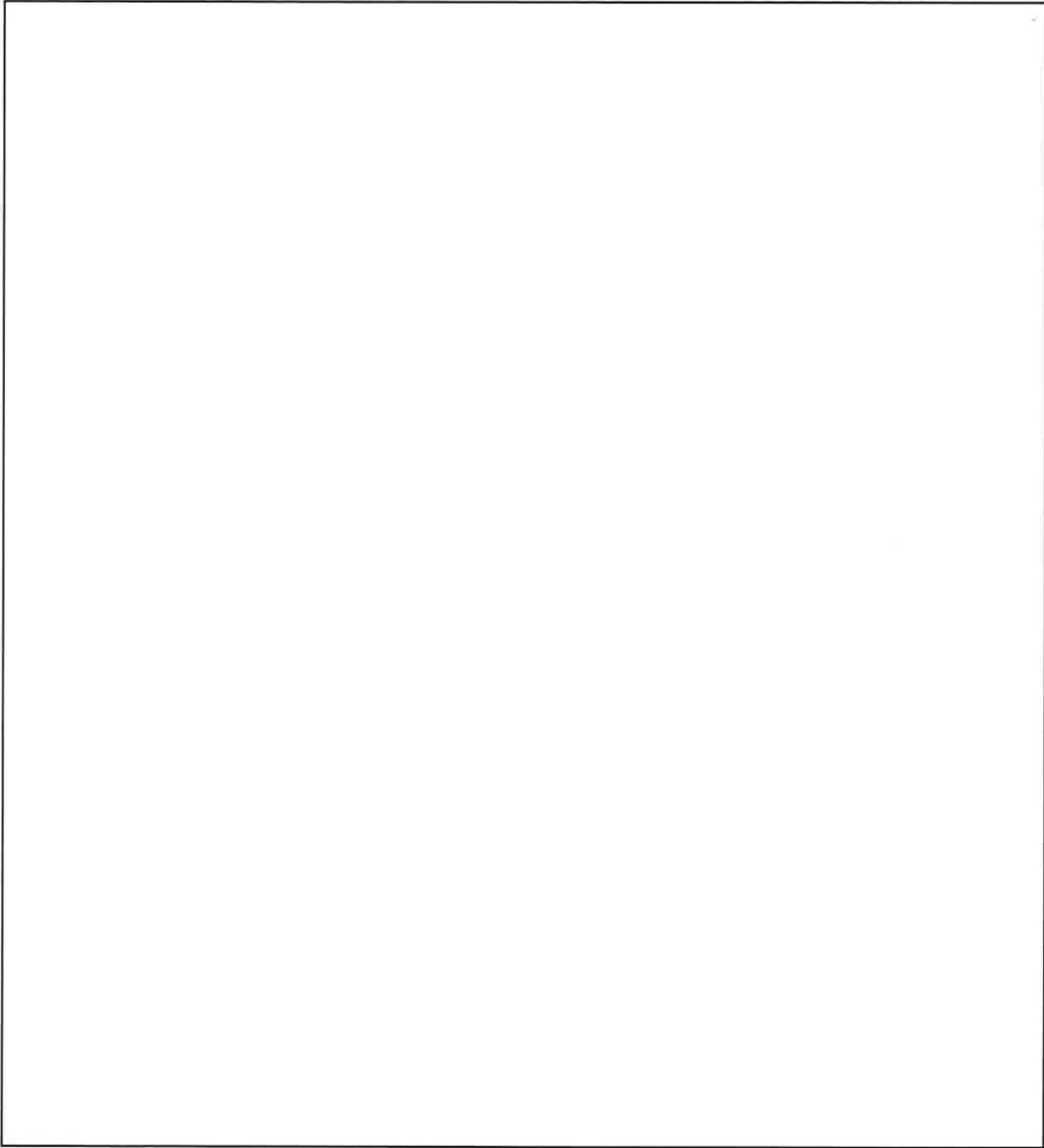


(5) 



5. 輸送容器の組立て

完成した容器本体にバスケットの組込みを行い、蓋、上・下部緩衝体を取り付け、輸送容器を組み立てる。



(参) - 第A.1 図 輸送容器の製作手順例

注記：不開示情報を含むため削除

A. 2 材料の説明

本容器で使用する材料を説明する。なお、については、A. 2. 1にて説明する。

A. 2. 1 板材料

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

内筒、外筒、トラニオン取付板、膨張室仕切板、仕切板、蓋板、蓋部中性子遮蔽材カバー、密封プラグ、密封プラグカバー、バスケットのスペーサ、ガイドレール、上部リング、支持リング、下部中性子遮蔽材カバー、緩衝体のカバープレート及びリブは、ステンレス鋼又はオーステナイト系ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

バスケットのアルミブロック () 及びアルミプレートは、アルミニウム合金であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

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

A. 2. 2 管材類

材料の適用規格を、(参)－第A. 1表に示す。材料諸特性の確認方法については、上記A. 2. 1に同じ。

パイプは、ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

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

A. 2. 3 鍛造品及びボルト・ナット類

材料の適用規格を、(参)－第A. 1表に示す。材料諸特性の確認方法については、上記A. 2. 1に同じ。

フランジ、底板、下部トラニオン、蓋板、密封プラグ、バスケットのクロスバー、ガイドレール、リーマボルト、底部固定ボルト、上部緩衝体ボルト及び下部緩衝体ボルトは、であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

蓋ボルトは、であり、

□。

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

A. 2. 4 溶接用電極・棒・ワイヤ

輸送容器に使用する材料に対し、健全な溶接部を得るために(参) - 第A. 3表に示す規格又は相当品の溶接材料を使用する。

A. 2. 5 特殊材料

前記一般材料の他に、(参) - 第A. 4表に示す特殊材料を使用する。

1. 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材として蓋部及びバスケット下部にレジンを充填する。

また、容器本体の内筒と外筒の間にPG水を充填する。

2. 中性子吸収材

中性子吸収材として、バスケットにボロン入りステンレス鋼を使用する。

3. 緩衝材

緩衝材の材料として、上・下部緩衝体内部に□を充填する。

4. シール材

シール材として蓋及び密封プラグに□製のOリングを使用する。

A. 2. 6 ミルシート

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

A. 2. 7 材料の欠陥部の修理

表面欠陥等については、グラインダ又は機械加工等により欠陥を除去し、滑らかに仕上げた後、目視検査及びその材料に要求される非破壊試験を実施する。

補修溶接が必要な欠陥については、下記に示す手順で修理する。

- ① 欠陥をグラインダ又は機械加工等により除去する。
- ② 欠陥除去部の補修溶接を行う。
- ③ 補修溶接部をグラインダ又は機械加工等により滑らかに仕上げる。
- ④ 欠陥補修部は磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行う。

なお、必要な場合、放射線透過試験（放射線透過試験を行うことが困難な場合は、超音波探傷試験）を行う。

A. 2. 8 材料の切断

材料の切断は、プラズマ切断等の熔融切断又はシャーリング等の機械的方法で行い、開先加工は、機械加工又はグラインダ等で行う。

A. 2. 9 材料の成型

材料の曲げ加工は、ロール加工又はプレス加工により行う。

(参) - 第A. 1表 材料適用規格 (板、棒、管、鍛造、) 及びボルト材) (1/2)

使用部位	材料区分	適用規格 ^{注1)}	備考
<u>1. 本体</u>			
内筒	板材	<input type="text"/>	<input type="text"/> ステンレス鋼
外筒	板材	<input type="text"/>	<input type="text"/> ステンレス鋼
フランジ ^{注2)}	鍛造品	<input type="text"/>	ステンレス鋼
底板	鍛造品	<input type="text"/>	ステンレス鋼
トラニオン取付板	板材	<input type="text"/>	<input type="text"/> ステンレス鋼
膨張室仕切板	板材	<input type="text"/>	<input type="text"/> ステンレス鋼
仕切板	板材	<input type="text"/>	<input type="text"/> ステンレス鋼
下部トラニオン	鍛造品	<input type="text"/>	ステンレス鋼
パイプ	管材	<input type="text"/>	<input type="text"/> ステンレス鋼
<u>2. 蓋</u>			
蓋板	板材又は 鍛造品	<input type="text"/>	ステンレス鋼
蓋部中性子遮蔽材カバー	板材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
蓋ボルト	ボルト材	<input type="text"/>	<input type="text"/>
密封プラグ	板材又は 棒材	<input type="text"/>	ステンレス鋼
密封プラグカバー	板材	<input type="text"/>	ステンレス鋼
軸方向燃料固縛装置	板材又は 棒材	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼

注1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

注2) 上部トラニオンを含む。

(参) - 第A. 1表 材料適用規格 (板、棒、管、鍛造、)及びボルト材) (2/2)

使用部位	材料区分	適用規格 ^{注1)}	備考
3. バスケット			
クロスバー	鍛造品	JIS G 3214 SUSF304	ステンレス鋼
スペーサ	板 材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
ガイドレール	板材又は 鍛造品	JIS G 4304 又は 4305 SUS304 又は 3214 SUSF304	ステンレス鋼
上部リング	板 材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
支持リング	板 材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
下部中性子遮蔽材カバー	板 材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
アルミブロック	<input type="text"/>	<input type="text"/>	アルミニウム合金
アルミプレート	板 材	<input type="text"/>	アルミニウム合金
リーマボルト	棒 材	JIS G 4303 SUS630 H1150	析出硬化系ステンレス鋼
径方向燃料固縛装置	板材又は 棒材	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
	板材又は 棒材	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS329J4L	二相系ステンレス鋼
	板材又は 棒材	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS630 H1075	析出硬化系ステンレス鋼
	板 材	メーカー標準	アルミニウム合金
底部固定ボルト	棒 材	JIS G 4303 SUS630 H1150	析出硬化系ステンレス鋼
4. 緩衝体			
上部緩衝体ボルト	棒 材	<input type="text"/>	<input type="text"/>
下部緩衝体ボルト	棒 材	<input type="text"/>	<input type="text"/>
カバープレート	板 材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼
リ　　ブ	板 材	JIS G 4304 又は 4305 SUS304	ステンレス鋼

注1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

注2) 上部トラニオンを含む。

(参) - 第A.2表 材料諸特性 (板、棒、管、鍛造、及びボルト材)

適用規格	材料区分	降伏点 又は 耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	硬 さ				曲げ	シャルピー 吸収 エネルギー	破壊靱性試験 (JSME規格) ^{注1)}		化 学 成 分 (%)																			
						HB (HBW)	HRB (HRBS 又は HRBW)	HRC	HV			吸収 エネルギー (J/cm ²)	横膨 出量 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Nb	Fe	Mg	N	Zn	Bi	Sn	Ti	その他	
JIS G 4304 SUS630 H1075 JIS G 4305 SUS630 H1075	板 材	860 以上	1000 以上	注2)	-	302 以上	-	31 以上	-	-	-	-	-	0.07 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	3.00 ~ 5.00	15.00 ~ 17.50	3.00 ~ 5.00	-	-	0.15 ~ 0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS G 4303 SUS630 H1075	棒 材	860 以上	1000 以上	13 以上	45 以上	302 以上	-	31 以上	-	-	-	-	-	0.07 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	3.00 ~ 5.00	15.00 ~ 17.50	3.00 ~ 5.00	-	-	0.15 ~ 0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS G 4303 SUS630 H1150	棒 材	725 以上	930 以上	16 以上	50 以上	277 以上	-	28 以上	-	-	-	注3)	注3)	0.07 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	3.00 ~ 5.00	15.00 ~ 17.50	3.00 ~ 5.00	-	-	0.15 ~ 0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JIS G 4304 SUS329J4L JIS G 4305 SUS329J4L	板 材	450 以上	620 以上	18 以上	-	302 以下	-	32 以下	320 以下	-	-	-	-	0.030 以下	1.00 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.030 以下	5.50 ~ 7.50	24.00 ~ 26.00	-	2.50 ~ 3.50	-	-	-	-	0.08 ~ 0.30	-	-	-	-	-	-
JIS G 4303 SUS329J4L	棒 材	450 以上	620 以上	18 以上	40 以上	302 以下	-	32 以下	320 以下	-	-	-	-	0.030 以下	1.00 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.030 以下	5.50 ~ 7.50	24.00 ~ 26.00	-	2.50 ~ 3.50	-	-	-	-	0.08 ~ 0.30	-	-	-	-	-	-
メーカー標準 (アルミニウム合金)	板 材	320 以上	430 以上	厚さ 13mm を超え 25mm 以下 : 8以上 厚さ 25mm を超え 50mm 以下 : 7以上	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30 以下	0.2 ~ 0.4	-	-	-	-	5.8 ~ 6.8	-	0.05 ~ 0.15	-	0.40 以下	0.10 以下	-	0.10 以下	-	-	0.02 ~ 0.10	Zr: 0.10 ~ 0.25 Zr を除 くその 他は 注9)		

注1) 最低使用温度: -20℃

注2) 厚さ 5.0mm 以下: 5 以上、厚さ 5.0mm を超え 15.0mm 以下: 9 以上、厚さ 15.0mm 超えるもの: 13 以上。

注3) 「破壊靱性試験」の欄に示す吸収エネルギー、横膨出量の求め方及び合格基準は、JSME S FA1-2007 MCM-1300、MCM-2300、MCM-3300 のいずれかを用いる。

注4) 径寸法 75mm 以下の場合を示す。なお、シャルピー衝撃試験温度は、-12℃とする。

注5) JSME S FBI-2003 に示されている。原子力発電用規格 に加え を満足する化学成分とする。注6) その他は、。なお、「その他」の定義は、の化学成分の表の注記を参照する。注7) アルミプレート材は、代表例、のみ記載している。その他の材料を使用する場合は、の中から選択する。注8) その他は、。なお、「その他」の定義は、の化学成分の表の注記を参照する。

注9) その他は、個々0.05 以下、合計 0.15 以下。

(参) - 第A. 3表 溶接材料

主要な溶接部	溶 接 法	材料規格又は材料銘柄 ^{注1)}
	被覆アーク溶接 (SMAW)	
の溶接	ティグ溶接 (GTAW)	
	フラックスコアードアーク溶接 (FCAW)	
	サブマージアーク溶接 (SAW)	
	被覆アーク溶接 (SMAW)	
の溶接	ティグ溶接 (GTAW)	
	フラックスコアードアーク溶接 (FCAW)	
	被覆アーク溶接 (SMAW)	
	ティグ溶接 (GTAW)	
	フラックスコアードアーク溶接 (FCAW)	
の溶接	ティグ溶接 (GTAW)	
	フラックスコアードアーク溶接 (FCAW)	

注1) 記載の規格・銘柄又は相当品を用いる。

(参) - 第A. 4表 特殊材料

使用目的	材 料 名	適用規格 ^{注1)}	判定基準		
中性子遮蔽材	レジン (蓋部及びバスケット下部)				
	PG水 (側部)				
中性子吸収材	ボロン入りステンレス鋼				
緩 衝 材	□				
シール材 (Oリング)	□ (蓋シール部等)				

注1) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

注2) 硬さ試験に適用。

A. 3 溶 接

A. 3. 1 溶接方法及び材料

1. 溶接施工法

容器本体の溶接は、社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格 溶接規格（2007年版）」（JSME S NB1-2007）（以下、「溶接規格」という。）第2部 溶接施工法認証標準の規定を用いて実施した溶接施工法試験に合格した溶接施工法により行う。

なお、容器本体以外の溶接は、上記によるか、適切な国内外規格又は製造者規定等に従って実施した溶接施工法試験に合格した溶接施工法により行う。

2. 溶接法

輸送容器の溶接は、サブマージアーク溶接（SAW）、ティグ溶接（GTAW）、被覆アーク溶接（SMAW）、フラックスコアードアーク溶接（FCAW）、ミグ溶接（GMAW）、電子ビーム溶接（EBW）のいずれか、又はそれらの組合せにより行う。以下に各溶接法について述べる。

（1）サブマージアーク溶接（SAW）

フラックス中において、ワイヤと溶接部との間にアークを発生させ、発生させたアークの熱でワイヤを溶かして溶接する方法。

（2）ティグ溶接（GTAW）

非消耗電極と溶接部との間にアークを発生させ、発生させたアークの熱で溶接材料を溶かして溶接する方法で、電極の周囲からアルゴンガス等を流してシールドを行う。

（3）被覆アーク溶接（SMAW）

被覆アーク溶接棒を電極として溶接部との間にアークを発生させ、発生させたアークの熱で溶接棒を溶かして溶接する方法。

（4）フラックスコアードアーク溶接（FCAW）

連続的に供給されるフラックス入りワイヤを電極として、溶接部との間にアークを発生させ、発生させたアークの熱でワイヤを溶かして溶接する方法で、電極の周囲から炭酸ガス等を流してシールドを行う。

（5）ミグ溶接（GMAW）

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

（6）電子ビーム溶接（EBW）

真空中で発生させた高速の電子ビームを当て、その衝撃熱を利用して溶接する方法。

3. 溶接材料

母材と同等以上の諸特性を有する（参）－第A. 3表に示す規格・銘柄又は相当品を用いる。

A. 3. 2 溶接機の管理及び溶接士資格

- ① 溶接機は、定期的に検査等を実施し、適切に維持・管理されたものを使用する。
- ② 容器本体の溶接は、「溶接規格」第3部 溶接士技能認証標準の規定に従って実施した溶接士技能試験に合格した溶接士が行う。
なお、容器本体以外の溶接は、上記によるか、適切な国内外規格又は製造者規定等に従って実施した溶接士技能試験に合格した溶接士が行う。

A. 3. 3 溶接の主要事項に関する説明

- ① ステンレス鋼溶接時の層間温度は、最大□とする。
- ② 主要溶接部の代表的な継手形状例及び溶接法例を（参）－第A. 2図に示す。
- ③ 溶接完了後、溶接部は、容器完成までのいずれかの時期に洗浄し、汚れ、異物等を除去する。
- ④ 放射線透過試験を行う突合せ溶接部の余盛高さは、B. 3. 5に規定される値以下とする。
- ⑤ 溶接完了後、溶接部表面に付着したスパッタ（溶接材料の飛び粉）を除去し、溶接ビードの著しい凹凸は、滑らかに仕上げる。

A. 3. 4 溶接欠陥の修理

検査の結果、割れ、ピンホール、ブローホール、スラグ巻き込み等の欠陥が発見され不具合と判定された溶接部は、グラインダ、機械加工等の機械的方法によるか、又はアークエアガウジングにより欠陥部を除去後、グラインダによる手入れを行い補修溶接する。補修溶接は、溶接士技能試験に合格した溶接士が、溶接施工法試験に合格した溶接施工法により行う。補修後は、再検査を実施し合否を判定する。

A. 3. 5 溶接後の熱処理

該当しない。

A. 3. 6 特殊溶接

径方向燃料固縛装置の一部部品は、ろう付けにより接合する。これら部品のろう付けは、事前に施工法試験を実施し、施工法として妥当性が確認された材料、装置、方法及び要領によって、一般社団法人日本溶接協会により発行された銀ろう付適格性証明書を所持する者が実施する。

A. 3. 7 溶接の施工管理、その他

輸送容器の溶接は、A. 3. 2 の②で技量が確認された溶接士が、A. 3. 1 の1. で合格した溶接施工法により行う。容器本体の溶接時には、対象継手、溶接施工法番号、確認項目、溶接士名等を記録し、その記録を溶接作業及び溶接士の管理に使用する。

継手位置	溶接法例	継手形状例
	SAW GTAW FCAW EBW (単独又は組合せ)	
	SAW GTAW FCAW EBW (単独又は組合せ)	
	SAW GTAW SMAW FCAW EBW (単独又は組合せ)	
	SAW GTAW FCAW EBW (単独又は組合せ)	

(参) - 第A. 2 図 主要溶接部の代表的な継手形状例及び溶接法例 (1/3)

継手位置	溶接法例	継手形状例
	GTAW SMAW FCAW (単独又は組合せ)	

(参) - 第A. 2図 主要溶接部の代表的な継手形状例及び溶接法例 (2/3)

継手位置	溶接法例	継手形状例
	SAW GTAW SMAW FCAW GMAW EBW (単独又は組合せ)	
	GTAW SMAW FCAW (単独又は組合せ)	
	SAW GTAW SMAW FCAW (単独又は組合せ)	
	EBW (単独又は組合せ)	

(参) - 第A. 2 図 主要溶接部の代表的な継手形状例及び溶接法例 (3/3)

A. 4 遮蔽体の製作法

A. 4. 1 蓋部中性子遮蔽材及び下部中性子遮蔽材（レジン）の製作法

中性子遮蔽材として下記に示す手順によりレジンを充填する。

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥

A. 4. 2 側部中性子遮蔽材（PG水）の製作法

中性子遮蔽材として下記に示す手順により、PG水を容器本体の内筒と外筒の間に充填する。

- ①
- ②
- ③
- ④

A. 5 弁等の付属機器の製作法

蓋の の密封プラグ及び密封プラグカバーは、ステンレス鋼板、ステンレス鋼棒等を適切な長さに切断した後、機械加工等により仕上げ加工を行う。

A. 6 組立等その他の製作法

輸送容器本体のガスケットシール面等で、形状及び位置の精度が重要となる部位については、仕上げ代を有する粗仕上げ又は未加工の状態で行い、仕上がり精度に影響を及ぼす溶接を完了した後、最終機械加工により仕上げを行う。

参考B.「輸送容器の試験及び検査方法」で述べる製作完了後に行う検査を実施するために、全ての組立溶接及び仕上げ加工が完了した後、蓋、蓋のカバープレート類、バスケット及び上・下部緩衝体を順次、ボルト等で締め付けて組み立てる。

B. 輸送容器の試験及び検査方法

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

B. 1 材料検査

材料は、材料受入時又は製作中に、ミルシート等により所定の性能を満足していることを確認する。また、輸送容器の主要部材については、(参) - 第B. 2表に示す検査を行う。

B. 2 寸法検査

適切に管理されている巻尺、ノギス、マイクロメータ又はその他計測機器を用いて輸送容器の寸法を計測し、(参) - 第B. 1図～(参) - 第B. 7図に示す合格基準を満足していることを確認する。

(参) - 第B.1表 検査項目一覧表

検査項目	容器本体 (蓋を含む。)		バスケット		緩衝体		備考
	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	
材料検査	○	材料受入時又は製作中	○	材料受入時又は製作中	○	材料受入時又は製作中	(参) - 第B.2表参照
寸法検査	○	製作中及び製作完了時	○	製作中及び製作完了時	○	製作完了時	
溶接検査	○	製作中	○	製作中	○	製作中	(参) - 第B.3表参照
外觀検査	○	製作中及び製作完了時	○	製作中及び製作完了時	○	製作中及び製作完了時	
耐圧検査	○	製作中	-	-	-	-	
気密漏えい検査	○	製作完了時	-	-	-	-	
遮蔽性能検査	○	製作中	○	製作中	-	-	
遮蔽寸法検査	○	製作中	○	製作中	-	-	
伝熱検査 ^{注1)}	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時	
吊上荷重検査	○	製作完了時	-	-	-	-	
重量検査	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時	
未臨界検査	-	-	○	材料受入時、製作中及び製作完了時	-	-	
取扱検査	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時	

注1) 蓋及び上・下部緩衝体は、模擬品を使用する場合がある。

(参) - 第B. 2表 材料検査項目一覧表 (1/2)

機器名称	使用材質 (適用規格)	材料検査項目									備考
		化学 分析	引張 試験	硬度 試験	曲げ 試験	シャルピー 試験	破壊靱性 試験	浸透/磁粉 探傷試験	超音波 探傷試験	密度 計測	
1. 容器本体											
内筒、外筒、トランジオン取付板、膨張室仕切板、仕切板											
フランジ、底板											
下部トランジオン											
パイプ											
側部中性子遮蔽材 (PG 水)	(参) - 第A. 4表による。										
2. 蓋											
蓋板											
蓋部中性子遮蔽材カバー	JIS G 4304 又は 4305 SUS304										
蓋部中性子遮蔽材 (レジン)	(参) - 第A. 4表による。										
蓋ボルト											
密封プラグ											
密封プラグカバー											
Oリング	(参) - 第A. 4表による。										
軸方向燃料固縛装置	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS304										

注1) 試験方法及び判定基準は JSME S FB1-2003 CCM-1300 による。

注2) 試験方法及び判定基準は JSME S FB1-2003 CCM-1400 による。

注3) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1400 による。

注4) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-3400 による。

注5) 適用規格に基づきへん平試験、並びに、水圧試験又は非破壊試験を実施する。

注6) 他の検査項目が要求される。(参) - 第A. 4表参照)

注7) 鍛造材の場合に要求。試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1400 による。

注8) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1300 による。

注9) 棒材の場合に要求。試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1400 による。

注10) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-2400 による。

注11) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 添付 3-4 2.5 項による。

注12) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-2300 による。

(参) - 第B. 2表 材料検査項目一覧表 (2/2)

機器名称	使用材質 (適用規格)	材料検査項目								備考
		化学 分析	引張 試験	硬度 試験	曲げ 試験	シャルピー 試験	破壊靱性 試験	浸透/磁粉 探傷試験	超音波 探傷試験	
3. バスケット										
クロスバー	JIS G 3214 SUSF304									
クロスプレート、ガイドバー、ベースプレート (ボロン入りステンレス鋼)	(参) - 第A. 4表による。									
スペーサ、支持リング、上部リング、下部中性子遮蔽材カバー	JIS G 4304 又は 4305 SUS304									
ガイドレール	JIS G 4304 又は 4305 SUS304 又は 3214 SUSF304									
下部中性子遮蔽材 (レジン)	(参) - 第A. 4表による。									
アルミブロック										
アルミプレート										
リーマボルト、底部固定ボルト	JIS G 4303 SUS630 H1150									
径方向燃料固縛装置	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS304									
	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS329J4L									
	JIS G 4303、4304 又は 4305 SUS630 H1075									
	メーカー標準 (アルミニウム合金)									
4. 緩衝体										
上部緩衝体ボルト、下部緩衝体ボルト										
カバープレート、リブ	JIS G 4304 又は 4305 SUS304									
緩衝材 ()	(参) - 第A. 4表による。									

注1) 試験方法及び判定基準は JSME S FB1-2003 CCM-1300 による。

注2) 試験方法及び判定基準は JSME S FB1-2003 CCM-1400 による。

注3) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1400 による。

注4) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-3400 による。

注5) 適用規格に基づきへん平試験、並びに、水圧試験又は非破壊試験を実施する。

注6) 他の検査項目が要求される。(参) - 第A. 4表参照

注7) 鍛造材の場合に要求。試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1400 による。

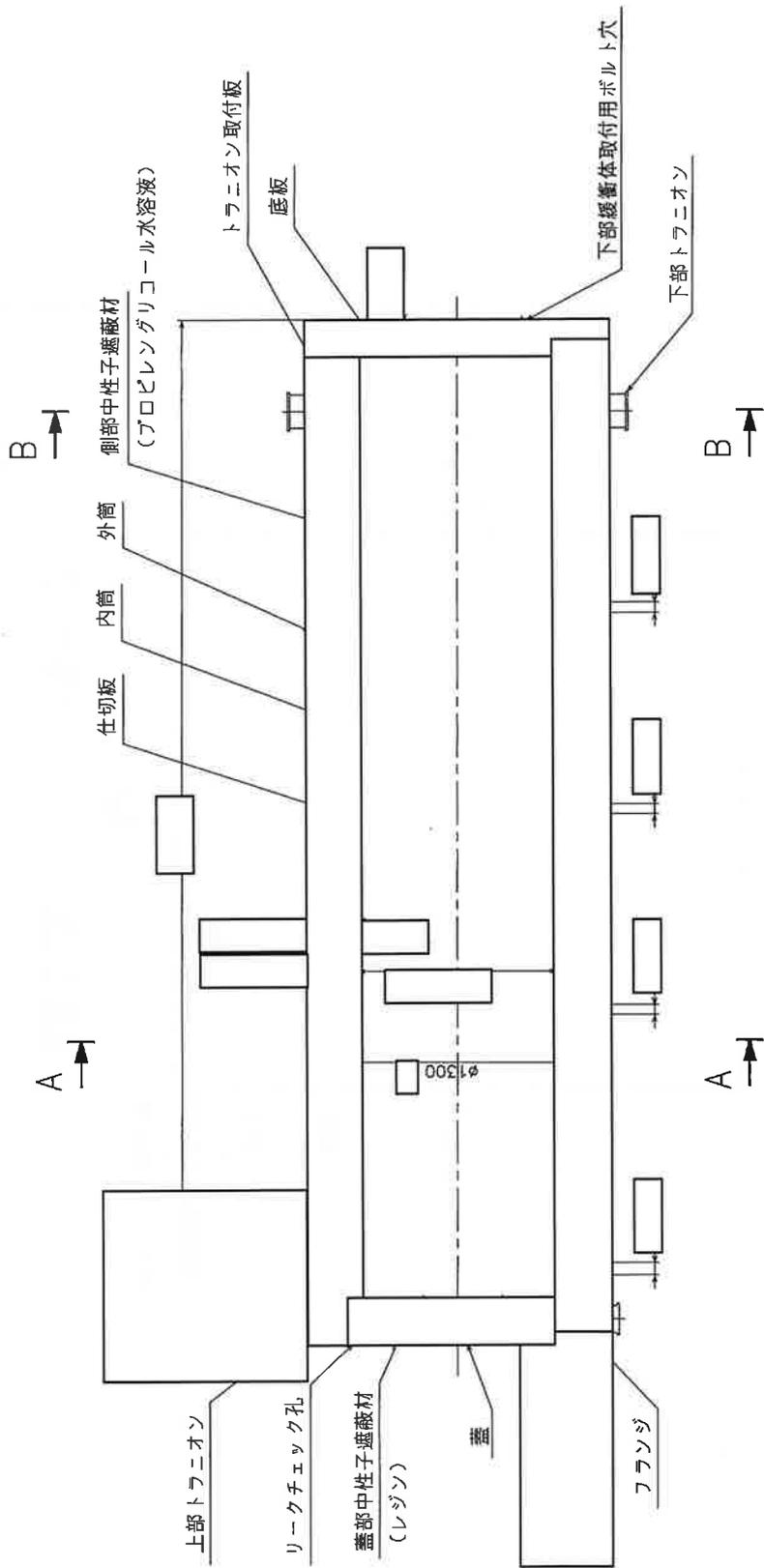
注8) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1300 による。

注9) 棒材の場合に要求。試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-1400 による。

注10) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-2400 による。

注11) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 添付 3-4 2.5 項による。

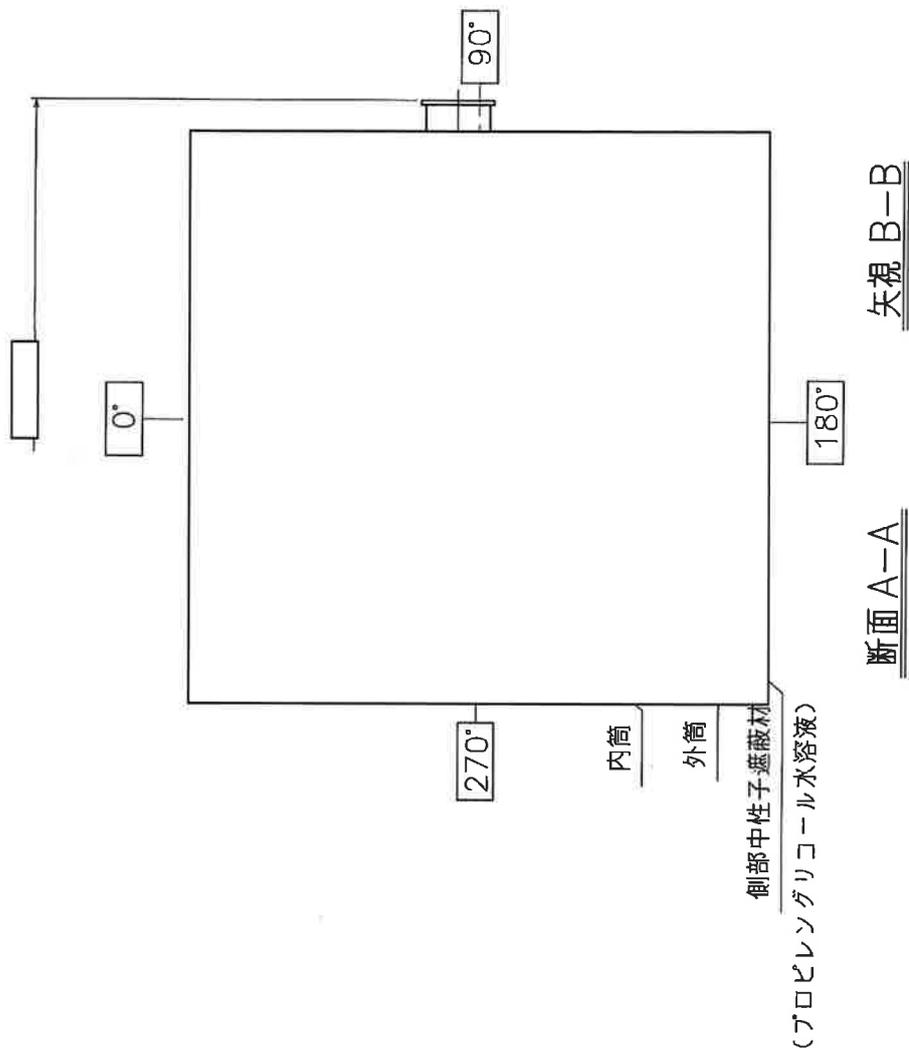
注12) 試験方法及び判定基準は JSME S FA1-2007 MCM-2300 による。



* 1: ガンマ線遮蔽寸法
 * 2: 中性子遮蔽寸法
 (単位: mm)

(参) - 第B. 1図 寸法計測箇所及び合格基準 (容器本体縦断面)

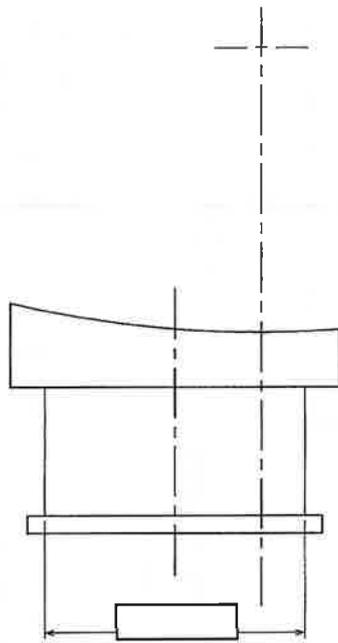
注記: 不表示情報を含むため一部削除



* 2: 中性子遮蔽寸法
(単位: mm)

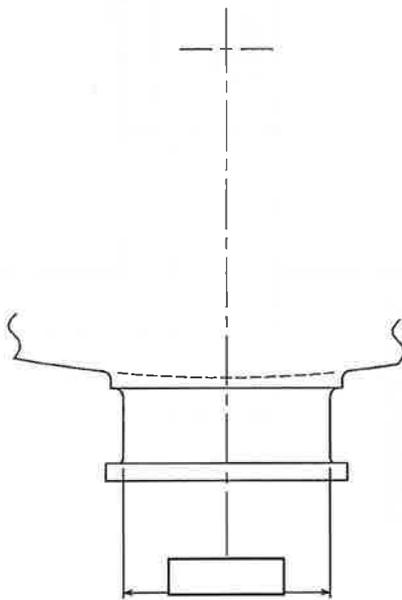
(参) - 第B. 2図 寸法計測箇所及び合格基準 (容器本体横断面)

注記: 不開示情報を含むため一部削除



下部トラニオン

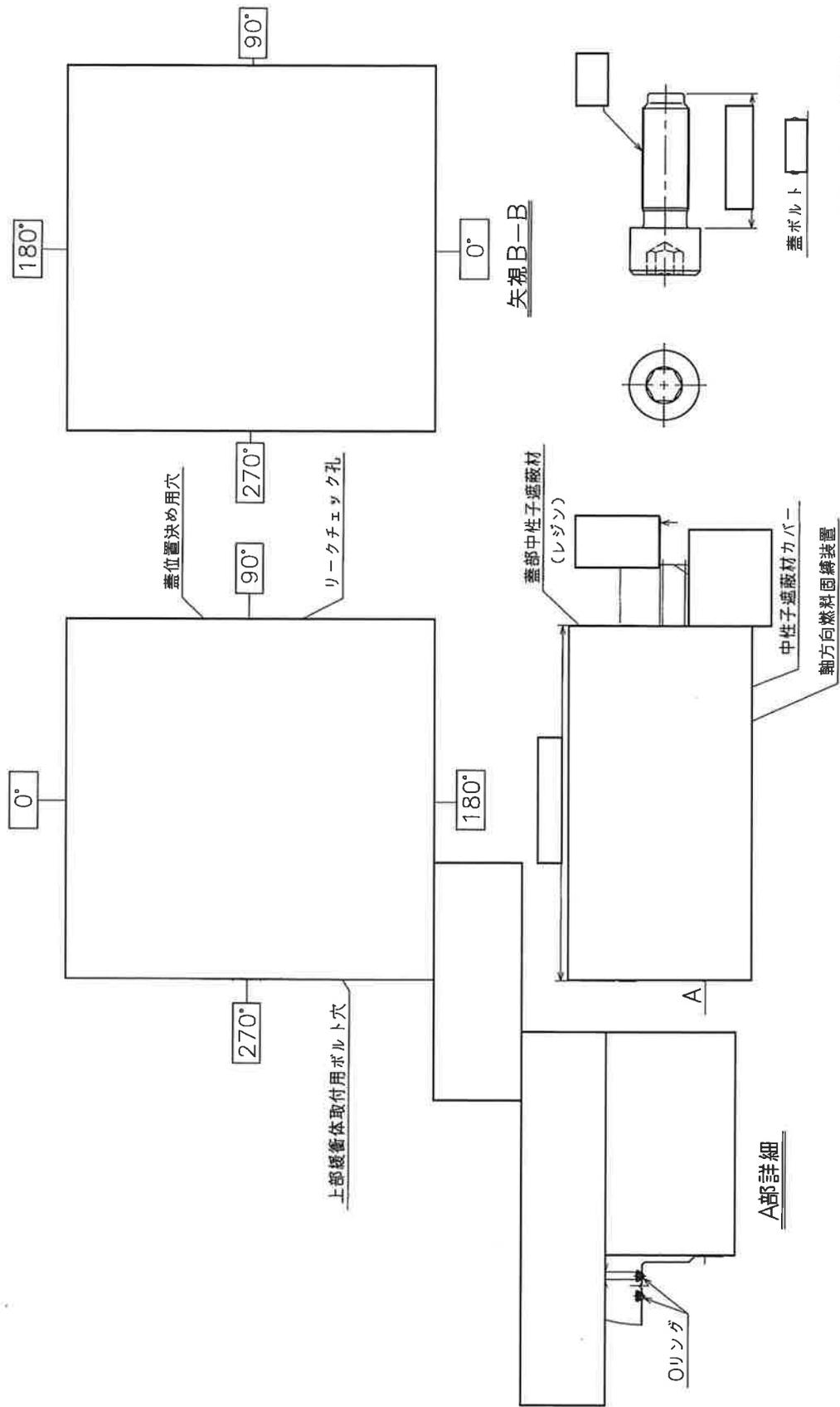
(単位：mm)



上部トラニオン

(参) - 第B. 3図 寸法計測箇所及び合格基準 (トラニオン)

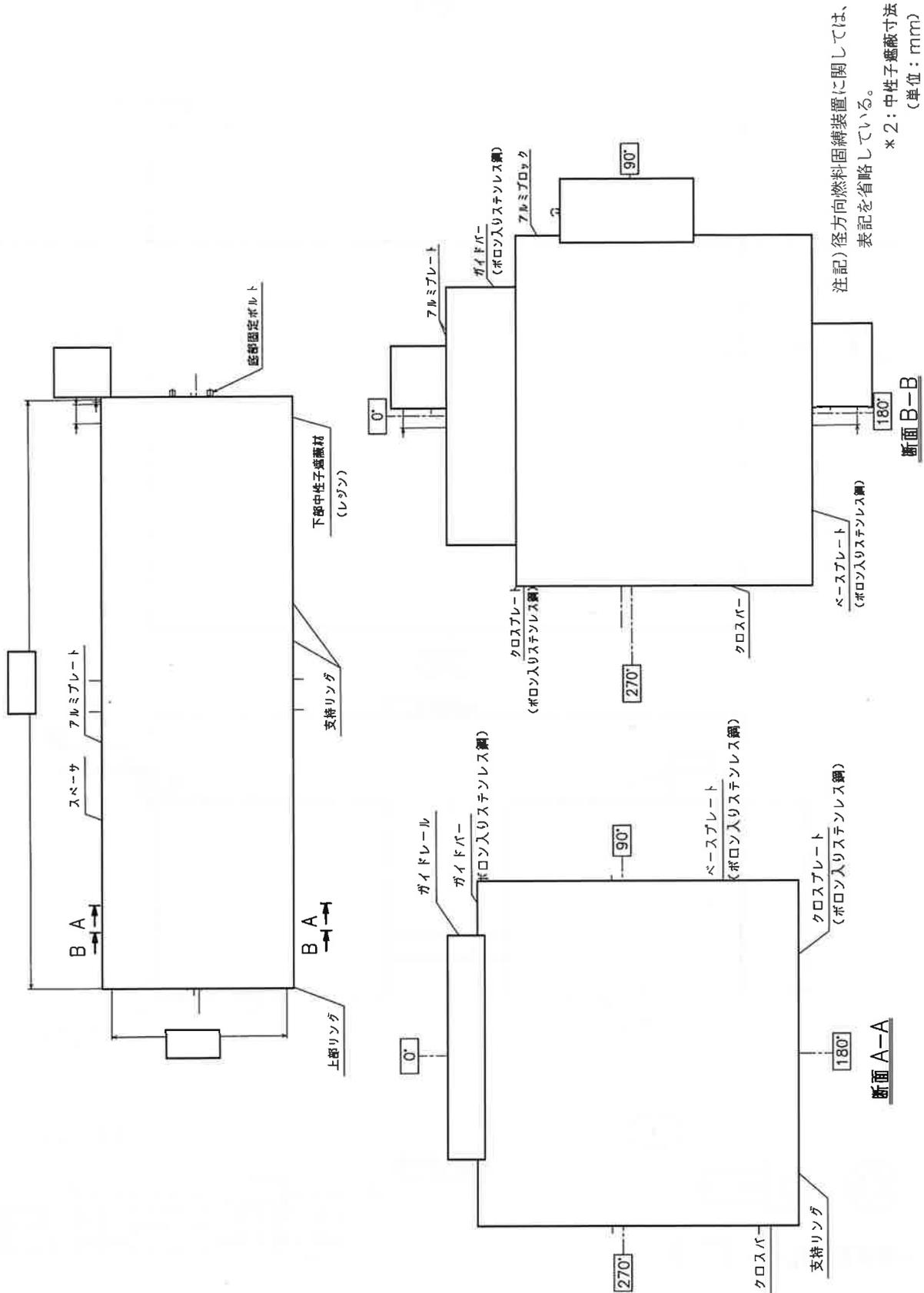
注記：不開示情報を含むため一部削除



* 1: ガンマ線遮蔽寸法
 * 2: 中性子遮蔽寸法
 (単位: mm)

(参) - 第B. 4図 寸法計測箇所及び合格基準 (蓋)

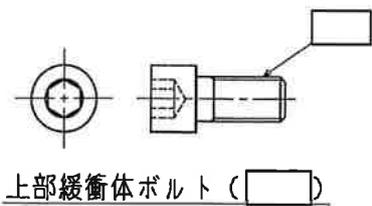
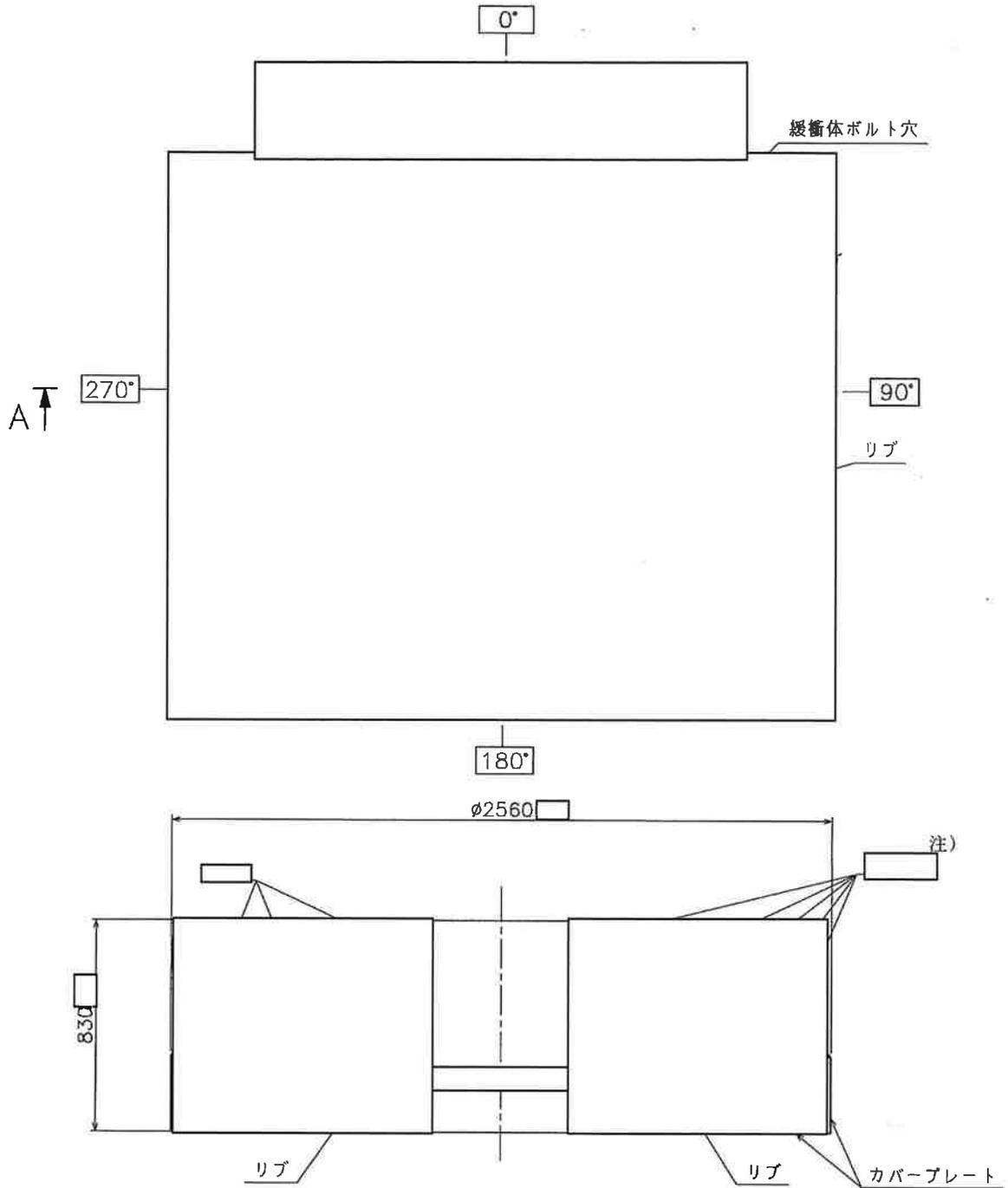
注記: 不開示情報を含むため一部削除



(参) - 第B. 5図 寸法計測箇所及び合格基準 (バスケット)

注記: 不開示情報を含むため一部削除

取扱注意



上部緩衝体ボルト ()

断面 A-A

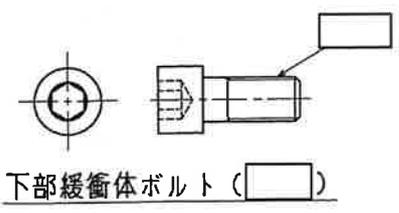
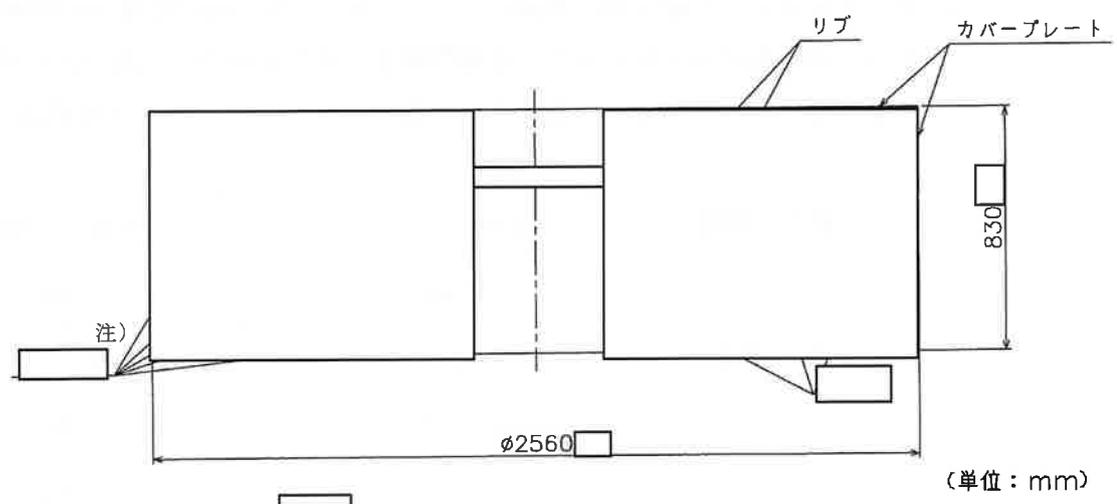
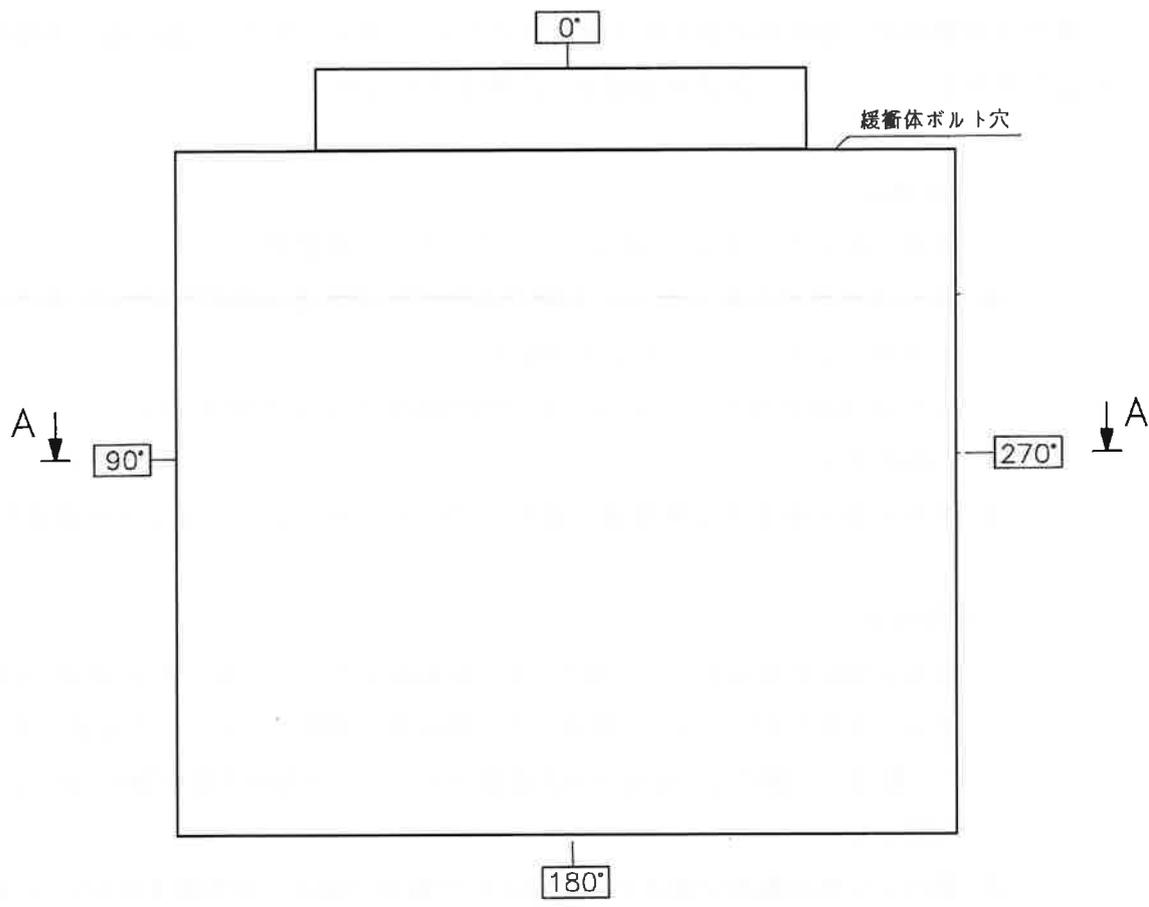
(単位：mm)

注) 矢印は () の木目方向を表し、
矢印が縦方向の () の密度は () g/cm³、
矢印が横方向の () の密度は () g/cm³

(参) - 第B. 6 図 寸法計測箇所及び合格基準 (上部緩衝体)

注記：不開示情報を含むため一部削除

取扱注意



断面 A-A

注) 矢印は [] の木目方向を表し、
 矢印が縦方向の [] の密度は [] g/cm³、
 矢印が横方向の [] の密度は [] g/cm³

(参) - 第B. 7 図 寸法計測箇所及び合格基準 (下部緩衝体)

注記: 不開示情報を含むため一部削除

B. 3 溶接検査

輸送容器製作中、溶接部の健全性を確認するため、(参) - 第B. 3表に従い各溶接部の溶接検査を行う。以下に溶接検査要領と合格基準を示す。

B. 3. 1 材料確認

- ① 母材の炭素含有量が 0.35% 以下であることを確認する。
- ② オーステナイト系ステンレス鋼の溶接に使用する溶接材料のデルタフェライト量が 5% 以上であることを確認する。
- ③ 母材及び溶接材料の化学成分及び機械的性質が規定値を満足していることを確認する。
- ④ 母材区分が適用する溶接施工法の母材区分に適合していることを確認する。

B. 3. 2 開先検査

- ① 開先の形状が図示どおりに加工され、開先面及びその付近に水分、塗料、油脂、ごみ、有害なさび、溶けかす及びその他有害な異物がないことを確認する。また、裏はつり部には、溶込み不良部及びピンホール等の溶接欠陥がないことを確認する。
- ② 裏はつり部の幅及び深さが、図示された幅及び深さ（許容値を含む。）に適合していることを確認する。
- ③ 突合せ溶接による継手面の食違いが、次の表の左項に掲げる継手の種類及び同表の中項に掲げる母材の厚さ（母材の厚さが異なる場合は、薄い方の厚さ）の区分に応じて、それぞれ同表の右項に掲げる値を超えないことを確認する。

継手の種類	母材の厚さの区分	食違いの値
長手継手	20mm 以下	1 mm
	20mm を超え 120mm 以下	母材厚さの 5 %
	120mm を超えるもの	6 mm
周継手	15mm 以下	1.5mm
	15mm を超え 120mm 以下	母材厚さの 10 %
	120mm を超えるもの	12mm

B. 3. 3 開先面検査

(参) - 第B. 3表に示す継手のうち、

の開先面については、浸透探傷試験を行い合格基準を満足していることを確認する。

1. 検査方法

JIS Z 2343-1 (2001)「非破壊試験－浸透探傷試験－第1部：一般通則：浸透探傷試験方法及び浸透指示模様分類」(以下、「JIS Z 2343-1」という。)の「5. 4 装置」、「6. 探傷剤の組合せ、感度及び分類」、「7. 探傷剤及び試験体の適合性」及び「8. 試験手順」による。

なお、試験装置及び探傷剤は、JIS Z 2343-1の「5. 4 装置」及び「6. 探傷剤の組合せ、感度及び分類」による。

2. 合格基準

JIS Z 2343-1の「10. 1 浸透指示模様分類」により分類した結果が、次の①から⑤までに適合すること。

- ① 割れによる浸透指示模様がないこと。
- ② 線状浸透指示模様がある場合は、その長さが次の表の左項に掲げる母材の厚さの区分に応じ、それぞれ同表の右項に掲げる値以下であること。

母材の厚さの区分 (mm)	線状欠陥の長さ (mm)
16 以下	2
16 を超え 50 以下	4
50 を超えるもの	6

- ③ 円形状浸透指示模様がある場合は、その長さが4 mm 以下であること。
- ④ 4 個以上の線状浸透指示模様又は円形状浸透指示模様が直線上に並んでいる場合は、隣接する浸透指示模様間の距離が1.5 mm を超えること。
- ⑤ 面積が3750 mm²の長方形(短辺の長さは、25 mm 以上とする。)内に長さが1.5 mm を超える分散浸透指示模様が10 個以上含まれないこと。

B. 3. 4 溶接作業検査

- ① 対象継手の溶接手順シート（WPS）等が作成され、その元となる溶接施工法番号が記載されていることを確認する。
- ② 適用する溶接施工法試験記録により、溶接金属部の強度が母材の強度と同等以上であることを確認する。
- ③ 溶接手順シート（WPS）等の記載内容が溶接施工法の確認項目の内容を満足していることを確認する。
- ④ 溶接施工記録に記載された内容が溶接手順シート（WPS）等及び溶接要領書の内容と整合していることを確認する。
- ⑤ 溶接士がA. 3. 2の②に従って実施した溶接士技能試験に合格していることを確認する。
- ⑥ 機械試験板の溶接が実機と同一の条件で行われていることを溶接施工記録により確認する。

B. 3. 5 溶接外観検査

- ① 溶接完了後、目視により外観検査を行い、割れ、アンダーカット及びオーバーラップ等の有害な欠陥がないことを確認する。また、表面は滑らかで、母材の表面より低くなく、かつ、母材の表面と段がつかないように仕上げてあることを確認する。
- ② 放射線透過試験を行う突合せ溶接部の余盛り高さは、次の表の左項に掲げる母材の厚さ（母材の厚さが異なる場合は、薄い方の厚さ）の区分に応じて、右項に掲げる値以下であることを確認する。

母材の厚さの区分（mm）	余盛り高さの値（mm）
12以下	1.5
12を超え25以下	2.5
25を超え50以下	3
50を超え100以下	4
100を超えるもの	5

- ③ すみ肉溶接部の脚長が指示どおりであることを確認する。

B. 3. 6 浸透探傷試験

溶接部の最終層について、浸透探傷試験を行い判定する。

1. 試験方法

JIS Z 2343-1の「5. 4 装置」、「6. 探傷剤の組合せ、感度及び分類」、「7. 探傷剤及び試験体の適合性」及び「8. 試験手順」による。

なお、試験装置及び探傷剤は、JIS Z 2343-1の「5. 4 装置」及び「6. 探傷剤の組合せ、感度及び分類」による。

2. 合格基準

JIS Z 2343-1の「10. 1 浸透指示模様分類」により分類した結果、次の①から⑤までに適合すること。

- ① 割れによる浸透指示模様がないこと。
- ② 長さ1mmを超える線状浸透指示模様がないこと。
- ③ 長さ4mmを超える円形状浸透指示模様がないこと。
- ④ 4個以上の円形状浸透指示模様が直線上に並んでいる場合は、隣接する浸透指示模様間の距離が1.5mmを超えること。
- ⑤ 面積が 3750mm^2 の長方形（短辺の長さは、25mm以上とする。）内に円形状浸透指示模様が10個以上含まれないこと。ただし、長さが1.5mm以下の浸透指示模様は算定することを要しない。

B. 3. 7 放射線透過試験

について、放射線透過試験を行い判定する。

1. 試験方法

(1) 増感紙を使用する場合

増感紙については、蛍光性のもの（ にあっては、金属蛍光増感紙を除く。）でないこととする。

(2) 撮影

a. 撮影原則

撮影は、原則として試験部の透過する厚さが最小となる方向に放射線源を置き、かつ、単壁撮影とする（長手継手以外の溶接部の全周を同時に撮影する場合については、放射線源をその中心軸上に置く。）。ただし、長手

継手以外の溶接部であって、単壁撮影が困難な場合は、二重壁撮影することができるものとする。

b. 二重壁撮影

(a) 外径が 90mm を超える場合

撮影は、二重壁片面撮影とし、像が重ならないように照射方向は等間隔に 4 回以上で、かつ、フィルム側の溶接部が観察できるように行う。

(b) 外径が 90mm 以下の場合

次の①及び②に適合させる。

① 撮影は、二重壁両面撮影とし、像が重ならないように互いに 90° 離れた方向から 2 回以上行う。ただし、像が重なる場合は、等間隔に 3 回以上行う。ただし、(a) に準ずる場合は、この限りではない。

② 透過度計は、溶接部の線源側に置く。

c. フィルムの位置

フィルムは、溶接部に対して放射線源と反対の側にできるだけ接近しておく。

(3) 放射線源と溶接部の線源側との距離(全周を同時に撮影する場合を除く。)

a.

透過度計(透過度計をフィルム側に置く場合は、溶接部の線源側の表面)とフィルムとの間の距離の 5 倍に線源寸法 (mm) を乗じた値又は試験部の有効長さの 3 倍のうち、いずれか大きい方に等しい距離以上であることとする。ただし、機器等の構造上これによることが著しく困難である場合は、この限りではない。

b.

透過度計(透過度計をフィルム側に置く場合は、溶接部の線源側の表面)とフィルムとの間の距離の 2.5 倍(母材の区分が「溶接規格」の表-16 に掲げる P-21、P-22、P-23 又は P-25 の場合は、5 倍)に線源寸法 (mm) を乗じた値又は試験部の有効長さの 2 倍のうち、いずれか大きい方に等しい距離以上であることとする。ただし、機器等の構造上これによることが著しく困難である場合は、この限りではない。

(4) 散乱線の防止

散乱線の影響のおそれのある場合は、散乱線の影響を防止する措置を講ずる。

(5) 透過度計の使用法

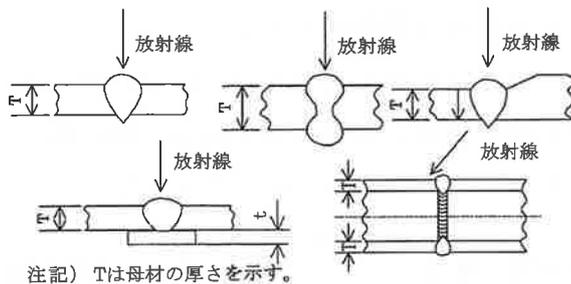
a. 透過度計の使用区分

有孔形透過度計を使用する。

b. 材厚の計測方法

母材の厚さ及び材厚の値は、下図に示す各寸法を計測するものとし、実際の計測が困難な場合には、原則として次の値を用いる。

- ・母材の厚さとしては、使用された板の溶接部の厚さを用いる。
- ・材厚としては、各種溶接継手について次の表に示す値を用いる。



継手の種類	母材の厚さ (mm)	溶接部の形状	材厚 (mm)
突合せ継手	T	余盛なし	T
突合せ継手	T	片面余盛あり	T+2
突合せ継手	T	両面余盛あり	T+4
突合せ継手	T	片面余盛あり	T+2+t
突合せ継手(二重壁撮影)	T	余盛なし	2×T
突合せ継手(二重壁撮影)	T	片面余盛あり	2×T+2
突合せ継手(二重壁撮影)	T	両面余盛あり	2×T+4

備考：母材の厚さは呼び厚さとする。突合せ継手において母材の厚さが異なる場合は、薄い方の厚さT1をTとする。

c. 透過度計の使用法

(a) 配置

透過度計は、溶接部の線源側（溶接部の線源側に置くことが困難な場合は、記号「F」を付してフィルム側）にこれに接近しておく。ただし、溶接部に接近して置くことが困難な場合は、溶接部の上に置くことができるものとする。

(b) 個数

透過度計は、各フィルムに1個（全周を同時に撮影する場合は、等間隔に4個）以上写るように置く。

(c) 厚さの整合

透過度計を置く部分の母材の厚さ（放射線が透過する母材の厚さ（裏当て金を含む。）をいい、二重壁撮影の場合は、それぞれの母材の厚さの合計をいう。）と溶接部の全厚さ（放射線が透過する溶接部の厚さをいい、二重壁撮影の場合は、それぞれ溶接部の厚さの合計をいう。）が同等でない場合は、透過度計と母材との間ではさみ金を置き、母材の全厚さと溶接部の全厚さとが放射線透過に関して同等であるようにする。

d. 使用すべき透過度計

(a) 有孔形透過度計

i. 形状、寸法、寸法の許容差

JIS Z 2306 (2000)「放射線透過試験用透過度計」(以下、「JIS Z 2306」という。)の「5.2 有孔形透過度計」による。

ii. 板厚に応じた使用区分

次の①及び②による。

① 透過度計厚さ及び基準穴の径は、次の表の材質の区分の欄に掲げる材質の区分に応じ、それぞれ同表の透過度計の区分の欄に掲げる厚さ及び基準穴とする。

② 透過度計には、次の表の透過度計の区分の欄に掲げる厚さに応じ、それぞれ同表の透過度計の区分の欄に掲げる呼び番号を試験に影響を及ぼさない位置に表示する。

材厚の区分 (mm)	透過度計の区分					
	放射線源側の場合			フィルム側の場合		
	厚さ (mm)	呼び番号	基準穴	厚さ (mm)	呼び番号	基準穴
6 以下	0.13	X5	4T	0.13	X5	4T
6 を超え 9.5 以下	0.18	X7	4T	0.18	X7	4T
9.5 を超え 13 以下	0.25	X10	4T	0.25	X10	4T
13 を超え 16 以下	0.30	X12	4T	0.30	X12	4T
16 を超え 19 以下	0.38	X15	4T	0.30	X12	4T
19 を超え 22 以下	0.43	X17	4T	0.38	X15	4T
22 を超え 25 以下	0.51	X20	2T	0.38	X15	4T
25 を超え 32 以下	0.64	X25	2T	0.43	X17	2T
32 を超え 38 以下	0.76	X30	2T	0.51	X20	2T
38 を超え 51 以下	0.89	X35	2T	0.64	X25	2T
51 を超え 64 以下	1.02	X40	2T	0.76	X30	2T
64 を超え 76 以下	1.14	X45	2T	0.89	X35	2T
76 を超え 102 以下	1.27	X50	2T	1.02	X40	2T
102 を超え 152 以下	1.52	X60	2T	1.14	X45	2T
152 を超え 203 以下	2.03	X80	2T	1.27	X50	2T
203 を超え 254 以下	2.54	X100	2T	1.52	X60	2T
254 を超え 305 以下	3.05	X120	2T	2.03	X80	2T
305 を超え 406 以下	4.06	X160	2T	2.54	X100	2T
406 を超え 508 以下	5.08	X200	2T	3.05	X120	2T

注記) 呼び番号中の X は、JIS Z 2306 の「表 9 線、板の材質及び表示記号」の材質に対応する表示記号とする。ただし、試験対象物の材質が JIS Z 2306 の表 9 に記載外の場合については、試験対象物の材質に合わせた透過度計を使用してもよいこととする。

(6) 透過写真の具備すべき条件

次の①から③までに適合すること。

- ① 透過度計の記号及び基準穴が明らかに撮影されていること。
- ② 溶接部の位置を示す記号が明らかに撮影されていること。
- ③ 次式により計算した試験部のきず以外の部分の透過写真の濃度が次の表に示す範囲を満足すること。さらに透過度計が置かれた部分の15%以上低いか又は30%以上高い濃度の部分がないように撮影されていること。

$$D = \log_{10} \frac{F_0}{F}$$

材厚 (mm)	写真濃度範囲
50 以下	1.0 以上 3.5 以下
50 を超え 100 以下	1.5 以上 3.5 以下
100 を超えるもの	2.0 以上 3.5 以下

D : 透過写真の濃度

F₀ : 透過写真の濃度を測定する装置から透過写真を取り外した場合の透過光束

F : 透過写真の濃度を測定する装置に透過写真を取り付けた場合の透過光束

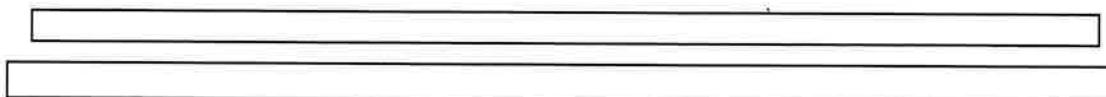
2. 合格基準

次の①から③までに適合すること。

- ① JIS Z 3104 の附属書 4 「透過写真によるきずの像の分類方法」の1類であること。ただし、にあつては、第1種及び第4種のきずについては、試験視野を3倍に拡大してきず点数を求め、その3分の1の値をきず点数とすることができる。
- ② 第1種及び第4種のきずがある場合には、それぞれのきずの隣接するほかの第1種及び第4種のきずとの間の距離が25mm未満の場合については、それぞれのきずの最大径が母材の厚さの0.2倍(3.2mmを超える場合は、3.2mm)、隣接する他の第1種のきずとの間の距離が25mm以上の場合については、それぞれのきずの最大径が母材の厚さの0.3倍(6.4mmを超える場合は6.4mm)の値を超えないこと。この場合において、①においてきず点数として算定しないきずについては、きずとみなさない。

- ③ 母材の厚さの 12 倍の長さの範囲で、隣接する第 2 種のきずの間の距離が長い方の第 2 種のきずの長さの 6 倍未満であり、かつ、これらが連続して直線上に並んでいる場合におけるこれらの長さの合計が母材の厚さを超えないこと。

B. 3. 8 機械試験



については、機械試験（継手引張試験、型曲げ試験及び破壊靱性試験）を行い判定する。

なお、継手が同一条件で溶接される場合は、他の継手の試験片で代表できるものとする。

1. 試験方法

(1) 継手引張試験

a. 試験片

- ① 形状及び寸法は、JIS Z 3121 (1993)「突合せ溶接継手の引張試験方法」(以下、「JIS Z 3121」という。)の「3. 試験片」による。
- ② 試験機の能力が不足で、試験片の厚さのままでは試験できない場合は、これを所要の厚さに分割することができるものとする。その際は、切断時の熱が試験片に悪影響を及ぼさない切断方法を使用する。

b. 試験の方法

JIS Z 3121 の「5. 試験方法」による。

(2) 型曲げ試験

a. 側曲げ試験（厚さが 19mm 以上の場合）

(a) 試験片

- ① 形状及び寸法は、JIS Z 3122 (1990)「突合せ溶接継手の曲げ試験方法」(以下、「JIS Z 3122」という。)の「4. 試験片」のうちの「側曲げ試験片」による。ただし、試験片の厚さは、10mm とする。この場合において試験片の幅は、溶接部の厚さとし、試験片の幅が 50mm を超え試験できない場合は、これを分割（分割された当該試験片の幅は同一とし、かつ、25mm 以上とする。）することができるものとする。
- ② 溶接部の表面は、滑らかで、かつ、試験片の長手方向以外に刃物跡がないこととする。

(b) 試験の方法

JIS Z 3122 の「5.1 型曲げ試験方法」による。

b. 裏曲げ試験（厚さが 19mm 未満の場合）

(a) 試験片

- ① 形状及び寸法は、JIS Z 3122 「4. 試験片」のうちの「裏曲げ試験片」による。ただし、試験片の厚さは、溶接部厚さとし、10mm を超える場合は、10mm とする。
- ② 溶接部の表面は、滑らかで、かつ、試験片の長手方向以外に刃物跡がないこととする。

(b) 試験の方法

JIS Z 3122 「5.1 型曲げ試験方法」による。

c. 縦表曲げ試験及び縦裏曲げ試験（それぞれの母材の伸び又は降伏点が著しく異なる場合若しくは、母材と溶接金属の伸び又は降伏点が著しく異なる場合）

(a) 試験片

- ① 形状及び寸法は、JIS Z 3122 の「4. 試験片」のうちの「縦表曲げ試験片」及び「縦裏曲げ試験片」による。ただし、試験片の厚さは、溶接部厚さとし、10mm を超える場合は、10mm とする。
- ② 溶接部の表面は、滑らかで、かつ、試験片の長手方向以外に刃物跡がないこととする。

(b) 試験の方法

JIS Z 3122 「5.1 型曲げ試験方法」による。

(3) 破壊靱性試験（衝撃試験）

a. 試験片

- ① 試験片の形状及び寸法は、JIS Z 2242 (2005) 「金属材料のシャルピー衝撃試験方法」の「6. 試験片」の V ノッチ試験片によるものとし、かつ、切欠きの深さ方向は、試験板の厚さ方向に直角な方向とする。
- ② 試験片の長手中心軸は、溶接線の方向と直角であることとする。
- ③ 試験片の厚さが 25mm 以下の場合、試験片の長手中心軸が試験板の内外面の中央と一致するようにする。
- ④ 試験片の厚さが 25mm を超える場合は、試験片の長手中心軸が溶接金属部については、試験板の表面から 13mm 以上深い所にあるようにし、熱影響部については、試験板の表面から厚さの 4 分の 1 の所にあるようにする。

b. 試験の方法

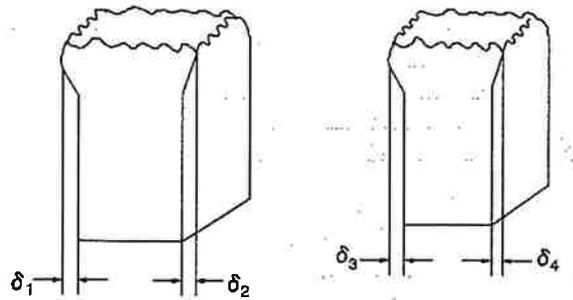
① 試験の方法及び吸収エネルギーの算出は、JIS Z 2242 (2005)「金属材料のシャルピー衝撃試験方法」による。ただし、試験温度は最低使用温度-20℃以下の温度とする。

② 横膨出量は、次式により計算した値とする。

$$\delta = (\delta_1 \text{ 又は } \delta_4 \text{ のうちいずれか大きい値}) + (\delta_2 \text{ 又は } \delta_3 \text{ のうちいずれか大きい値})$$

δ : 横膨出量

δ_1 、 δ_2 、 δ_3 及び δ_4 : 破断の試験片の変形量であって、それぞれ次の図に示す値 (mm)



なお、1回の試験において使用する試験片の数は、次の表のとおりとする。

試験の種類		試験片の数
継手引張試験		1個
型曲げ試験		1個
破壊靱性試験	衝撃試験	溶接金属部について1組(3個)
		熱影響部について1組(3個)

2. 合格基準

(1) 継手引張試験

試験片(試験片を分割した場合は、それぞれの試験片)の引張強さが、母材の規格による引張強さの最小値以上であること。

(2) 型曲げ試験

溶接部が、次の①から③に適合すること。

① 長さ3mmを超える割れ(縁角に発生するものを除く。)がないこと。

- ② 長さ 3 mm 以下の割れの長さの合計（試験片を分割した場合にあっては、それぞれの試験片の長さ 3 mm 以下の割れの長さの合計）が 7 mm を超えないこと。
- ③ 割れ及びブローホールの個数の合計（試験片を分割した場合にあっては、それぞれの試験片の割れ及びブローホールの個数の合計）が 10 個を超えないこと。

(3) 破壊靱性試験

横膨出量及びシャルピー衝撃値は、次の表の値以上であること。

横膨出量 (mm)	シャルピー衝撃値 (J/cm ²)
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>

B. 4 外観検査

容器本体（蓋、軸方向燃料固縛装置を含む。）、バスケット（径方向燃料固縛装置を含む。）及び上・下部緩衝体について目視により外観検査を行い、以下の項目を満足していることを確認する。

- ① 形状が図示どおりであること。
- ② 外観上のきず及び切削部の返り等、不手際な部分がないこと。
- ③ 仕上げ面の状態が良好であること。
- ④ 腐食等がないこと。

B. 5 耐圧検査

B. 5.1 内筒内圧部（その1）

_____以上の試験圧力を10分間以上負荷し、_____溶接継手部を含む外表面の目視検査を実施し、異常がないことを確認する。なお、仮蓋を使用する。

B. 5.2 PG水圧力部

_____以上の試験圧力を10分間以上負荷し、溶接継手部を含む外表面の目視検査を実施し、異常がないことを確認する。

B. 5.3 内筒内圧部（その2）

_____以上の試験圧力を10分間以上負荷し、外表面の目視検査を実施し、異常がないことを確認する。

B. 6 気密漏えい検査

容器本体及び蓋の製作完了後、蓋シール部及び密封プラグシール部の漏えい率を_____により計測する。各シール部の合計漏えい率が 3.0×10^{-2} ref·cm³/s（標準状態）以下であることを確認する。

B.10 吊上荷重検査

容器本体の製作完了後、上・下部トラニオンに、輸送容器の吊上げ重量の2倍以上(46.4トン以上)の検査荷重を付加し、異常がないことを目視により確認する。

B.11 重量検査

各部品の重量を適切な計測機器で計測し、合計重量が(参) - 第B.4表に示す合格基準を満足することを確認する。

(参) - 第B.4表 輸送容器重量

部 品	合格基準
容器本体	左記部品の合計重量が、 23.4トン以下であること。
蓋	
バスケット	
上部緩衝体	
下部緩衝体	

B.12 未臨界検査

① バスケットの製作中及び製作完了後、バスケットの形状が図示どおりであり、かつ、B.2で述べた寸法検査で、下記寸法が合格基準を満足していることを確認する。

- a.
- b.
- c.
- d.
- e.

②
を確認する。

B.13 作動確認検査

該当しない。

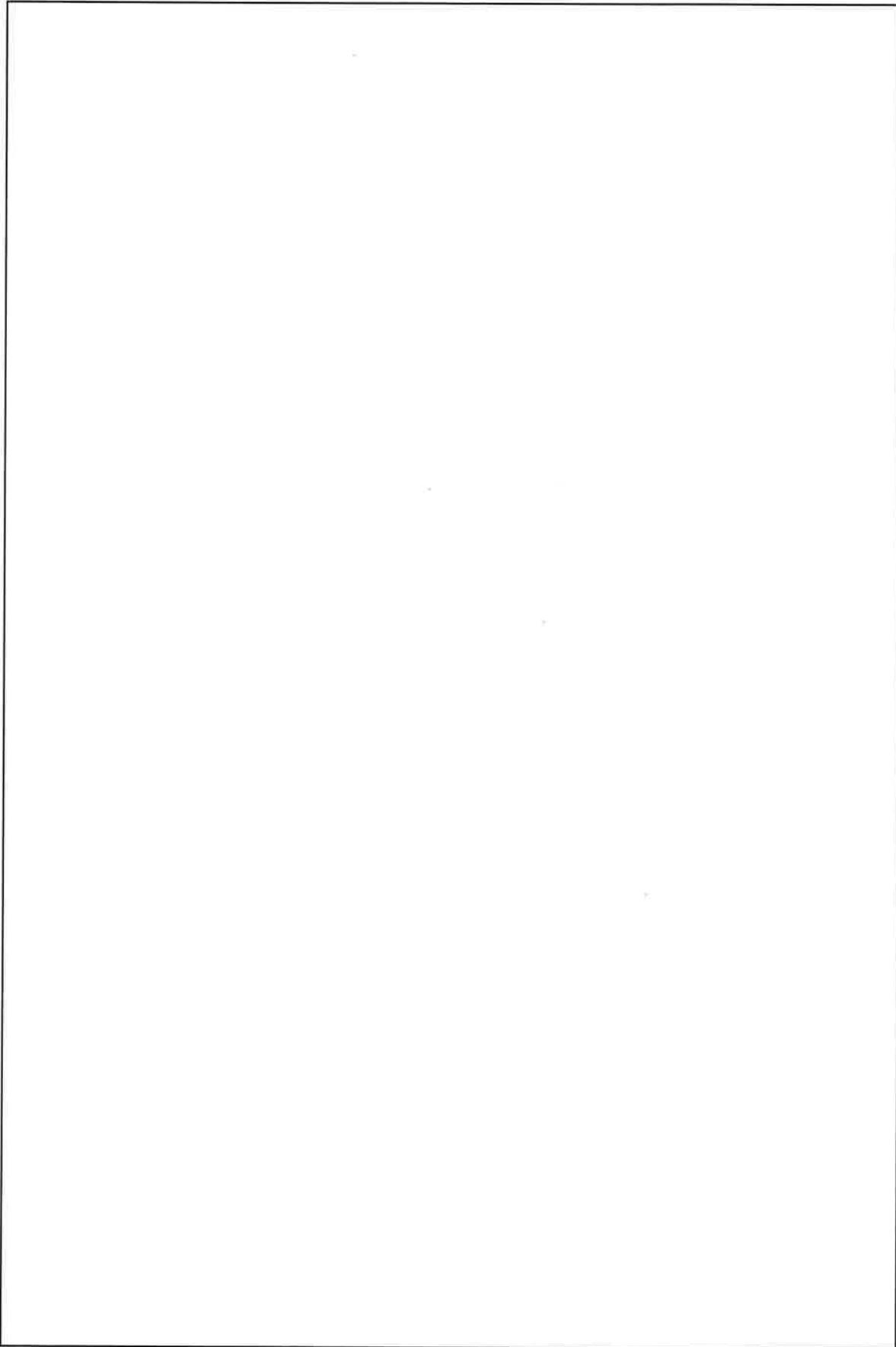
B.14 取扱検査

輸送容器本体に対して蓋及び上・下部緩衝体等の組込み及び取外し並びに吊上げ等の取扱いが正常に行えることを確認する。

また、模擬収納物の装荷及び取出しが正常に行えることを確認する。

C. 輸送容器の製作スケジュール

輸送容器の標準的な製作スケジュール例を (参) - 第C. 1 図 に示す。



(参) - 第C.1 図 輸送容器の標準的な製作スケジュール例

注記：不開示情報を含むため削除

NFT-M4P型
核燃料輸送物設計変更承認申請書

別紙 2

輸送容器に係る品質管理の方法等
(設計に係るものに限る。)に関する説明書

原燃輸送株式会社

目 次

(イ) 章 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明	(イ) - 1
(イ) - A 品質マネジメントシステム	(イ) - 1
A. 1 品質マニュアル	(イ) - 1
A. 2 文書管理	(イ) - 1
A. 3 品質記録の管理	(イ) - 2
(イ) - B 申請者及び容器所有者の責任	(イ) - 3
(イ) - C 教育・訓練	(イ) - 1 3
(イ) - D 設計管理	(イ) - 1 4
(イ) - E 輸送容器の製造発注	(イ) - 1 7
(イ) - F 取扱い及び保守	(イ) - 1 8
(イ) - G 測定、分析及び改善	(イ) - 1 9
G. 1 内部品質監査	(イ) - 1 9
G. 2 不適合及び是正処置の管理	(イ) - 2 0
G. 3 未然防止処置	(イ) - 2 1

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

(イ) - A 品質マネジメントシステム

申請者である原燃輸送株式会社（以下、「申請者」という。）は、原子力安全の確保を最優先に顧客満足並びに製品及び役務の品質を継続的に向上させることを目的として品質マネジメントシステムを確立し、維持し、その有効性を継続的に改善する。本申請に係る品質保証活動は、この品質マネジメントシステムに基づき体制を適切に構築し、実施する。

容器所有者である日本原燃株式会社（以下、「容器所有者」という。）は、社長をトップとした品質マネジメントシステムを確立し、実施し、評価確認し、継続的に改善することを目的として「役務に係る品質マネジメントシステム規程」を定める。

A. 1 品質マニュアル

1. 申請者

申請者は、次の事項を含む「品質保証規程」を品質マニュアルとして作成し、維持する。

- ①品質マネジメントシステムの適用範囲
- ②品質マネジメントシステムについて確立された“文書化された手順”又はそれらを参照できる情報
- ③品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述

2. 容器所有者

容器所有者の社長は次の事項を含む「役務に係る品質マネジメントシステム規程」を作成、維持する。

- ①品質マネジメントシステムの適用範囲
- ②品質マネジメントシステムについて確立された“文書化された手順”又はそれらを参照できる情報
- ③品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述

A. 2 文書管理

1. 申請者

(1) 申請者は、品質マネジメントシステムで要求されている文書化した情報は、次の事項を確実にするために、管理する。

- ①文書化した情報が、必要なときに、必要なところで、入手可能かつ利用に適した状態である。
- ②文書化した情報が十分に保護されている（例えば、機密性の喪失、不適切な使用及び完全性の喪失からの保護）。

(2) 文書化した情報の管理に当たって、申請者の部門長は、該当する場合には、必ず、次の行動に取り組む。

- ①配付、アクセス、検索及び利用
- ②読みやすさが保たれることを含む、保管及び保存
- ③変更の管理（例えば、版の管理）
- ④保持及び廃棄

品質マネジメントシステムの計画及び運用のために申請者の部門長が必要と決定した外部からの文書化した情報は、必要に応じて識別し、管理する。

適合の証拠として保持する文書化した情報（記録）は、意図しない改変から保護する。

2. 容器所有者

申請者の各職位は、品質マネジメントシステム及び適用規格で要求されている文書化した情報を、次の事項を確実にするために管理する。

- ①文書化した情報が、必要なときに、必要なところで、入手可能かつ利用に適した状態である。
- ②文書化した情報が十分に保護されている（例えば、機密性の喪失、不適切な使用及び完全性の喪失からの保護）。

文書化した情報の管理に当たって、各職位は、該当する場合には、必ず、次の行動に取り組む。

- ①配付、アクセス、検索及び利用
- ②読みやすさが保たれることを含む、保管及び保存
- ③変更の管理（例えば、版の管理）
- ④保持及び廃棄

品質マネジメントシステムの計画及び運用のために組織が必要と決定した外部からの文書化した情報は、必要に応じて識別し、管理する。

適合の証拠として保持する文書化した情報（記録）は、意図しない改変から保護する。

A. 3 品質記録の管理

1. 申請者

申請者は、要領書等の文書、作業者の資格、記録及び材料証明書を含む検査記録等の品質管理記録の取りまとめ並びに保存について「A. 2 文書管理 1. 申請者」に従い実施する。

2. 容器所有者

容器所有者は、品質記録の管理について「A. 2 文書管理 2. 容器所有者」に従い実施する。

(イ) - B 申請者及び容器所有者の責任

1. 責任体制

NFT-M型輸送容器の設計承認申請及び容器承認申請に係る申請者、容器所有者及び容器製造者等の組織について、品質マネジメントシステム遂行に係る責任体制を(イ) - 第1図に示す。

また、申請者の体制図を(イ) - 第2図に、容器所有者の体制図を(イ) - 第3図に示す。

(1) 申請者

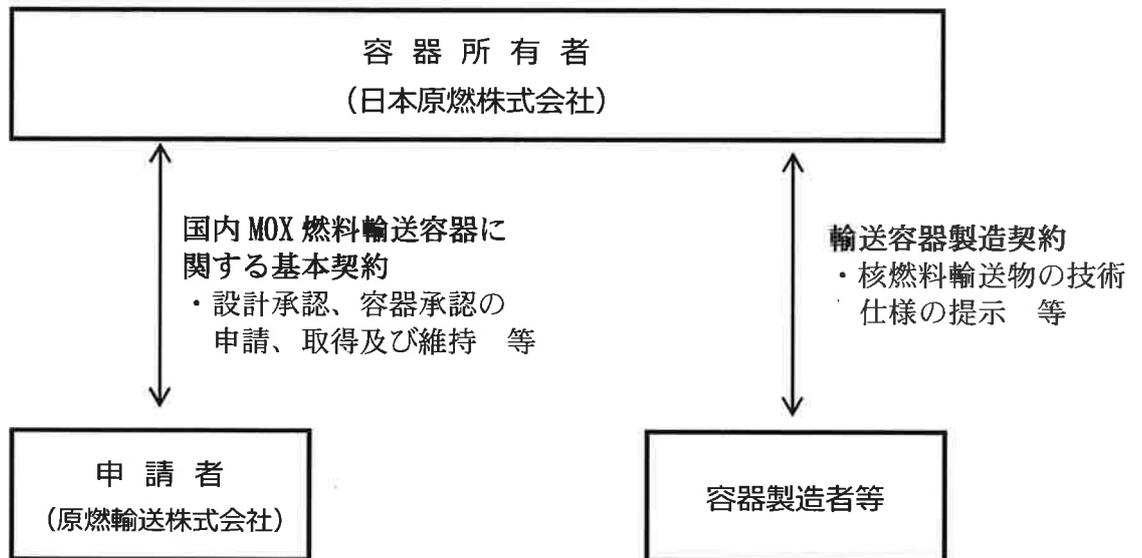
申請者は、容器所有者である国内のMOX燃料加工事業者から運搬を委託された者である原燃輸送株式会社である。

申請者は、輸送容器の設計承認、容器承認の申請等を実施する。

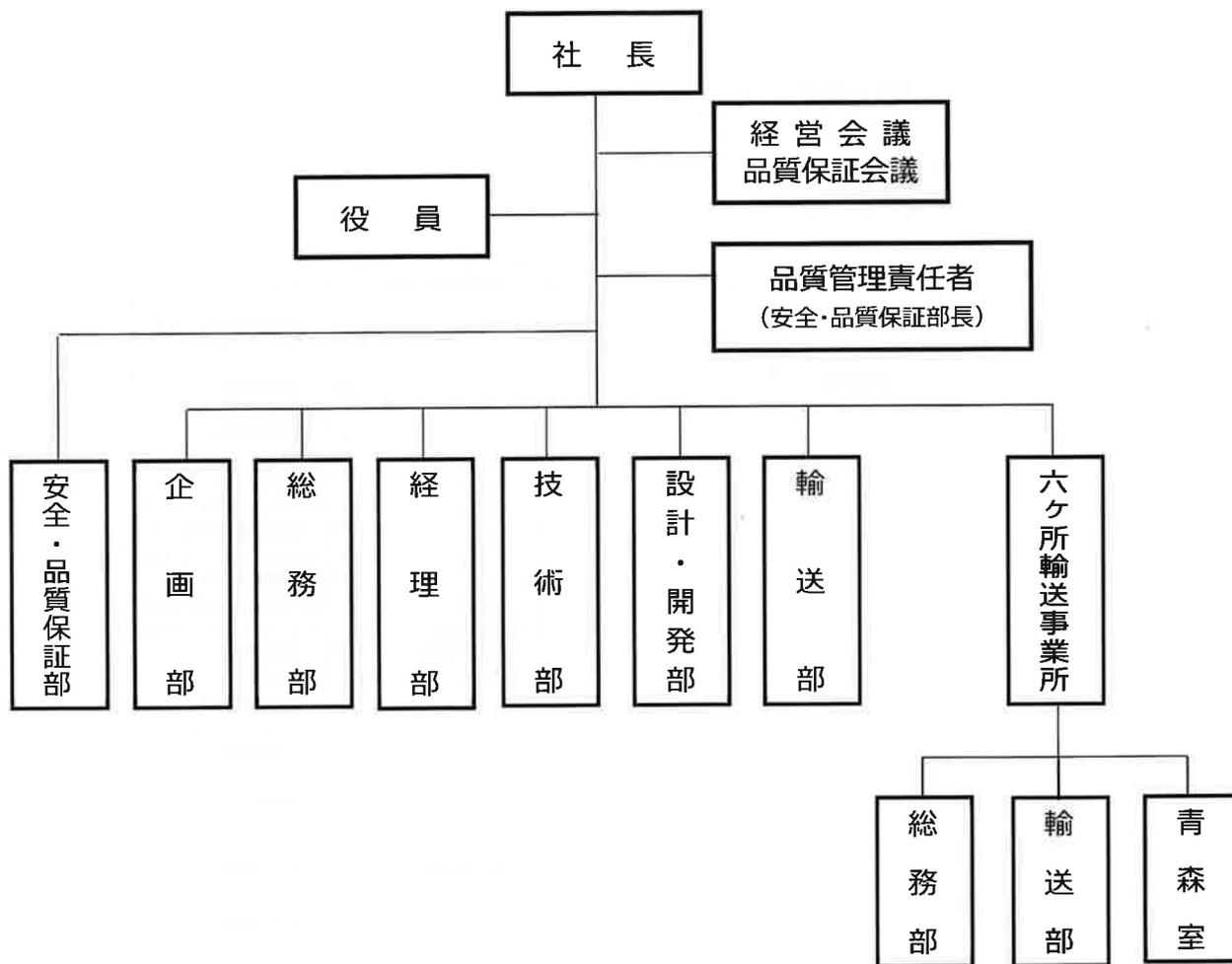
(2) 容器所有者

容器所有者は国内のMOX燃料加工事業者である日本原燃株式会社である。

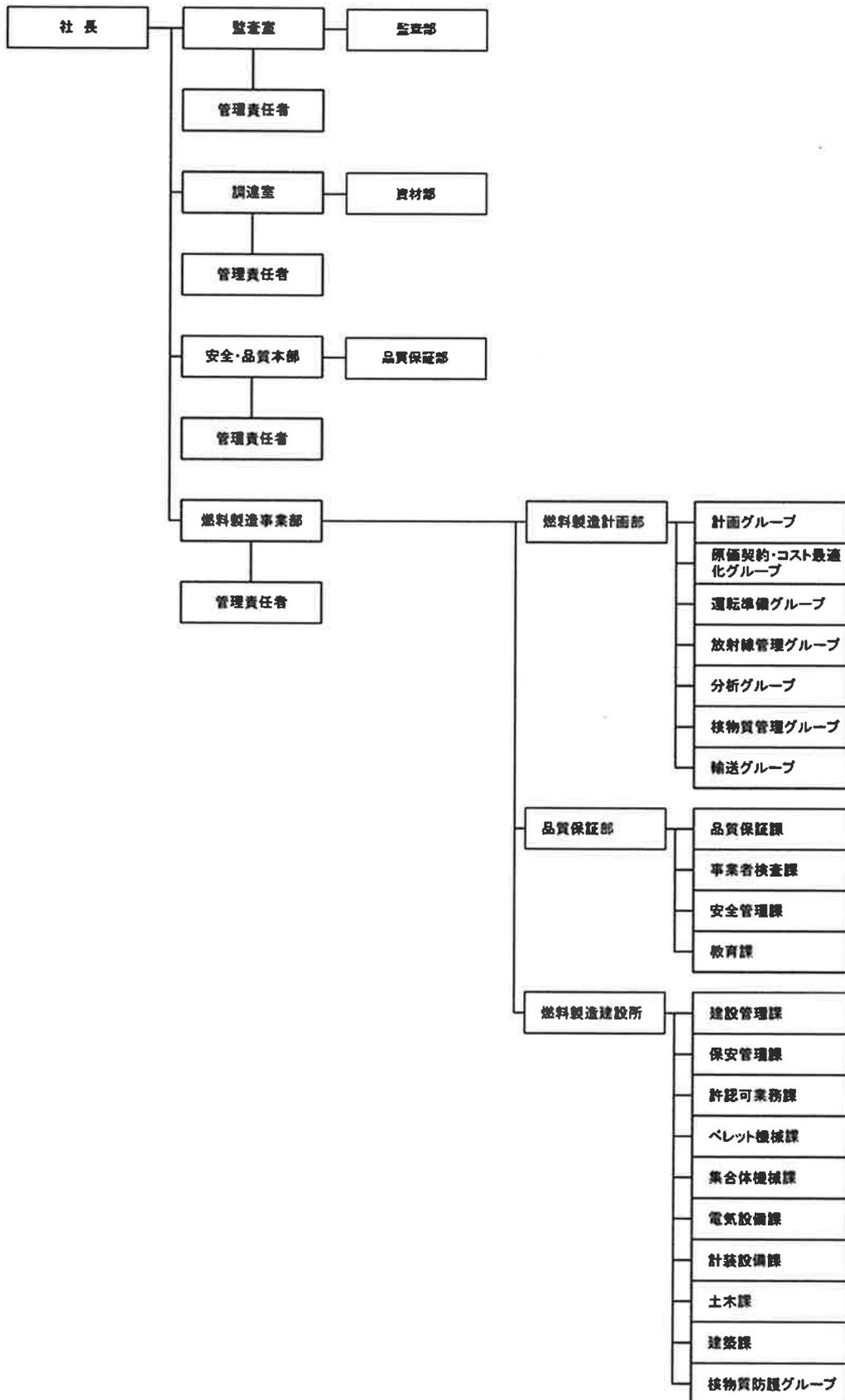
容器所有者は、輸送容器の設計、製作発注及び製作発注後の容器製造者に対する管理、取扱い、保守等を実施する。



(イ) - 第1図 品質マネジメントシステム遂行に係る責任体制



(イ) - 第2図 申請者の体制図



(イ) - 第3図 容器所有者の体制図

2. 品質方針及び品質目標

(1) 申請者の品質方針及び品質目標

申請者の社長は、次の事項を満たす品質方針を確立し、実施し、維持する。

- ①組織の目的及び状況に対して適切であり、組織の戦略的な方向性を支援する。
- ②品質目標の設定のための枠組みを与える。
- ③適用される要求事項を満たすことへのコミットメントを含む。
- ④品質マネジメントシステムの継続的改善へのコミットメントを含む。

また、申請者の部門長は、品質マネジメントシステムに必要な、関連する機能、階層及びプロセスにおいて、品質目標を確立する。

品質目標は、次の事項を満たすものとする。

- ①品質方針と整合している。
- ②測定可能である。
- ③適用される要求事項を考慮に入れる。
- ④製品及び役務の適合、並びに顧客満足の上に関連している。
- ⑤監視する。
- ⑥伝達する。
- ⑦必要に応じて、更新する。

申請者は、品質目標に関する文書化した情報（文書）を維持・管理し、品質保証会議にてレビューする。

(2) 容器所有者の品質方針及び品質目標

容器所有者の社長は、次の事項を満たす品質方針を確立し、実施し、維持する。

- ①組織の目的及び状況に対して適切であり、組織の戦略的な方向性を支援する。
- ②品質目標の設定のための枠組みを与える。
- ③適用される要求事項を満たすことへのコミットメントを含む。
- ④品質マネジメントシステムの継続的改善へのコミットメントを含む。

また、容器所有者の事業部等の長は、品質マネジメントシステムに必要な、関連する機能、階層及びプロセスにおいて、品質目標を確立する。

- ①品質方針と整合している。
- ②測定可能である。
- ③適用される要求事項を考慮に入れる。
- ④製品及び役務の適合、並びに顧客満足の上に関連している。
- ⑤監視する。

⑥伝達する。

⑦必要に応じて、更新する。

容器所有者の事業部等の長は、品質目標に関する文書化した情報（文書）を維持する。

3. 組織の役割、責任及び権限

(1) 申請者の組織

申請者の組織では社長以下全ての要員は、各職責における原子力安全確保の責任を有する。

申請者の社長は、関連する役割に対して、責任及び権限が割り当てられ、組織内に伝達され、理解されることを確実にする。

また、申請者の部門長は、品質マネジメントシステムに共通する文書・記録管理、外部提供者評価、教育計画・実施、不適合・是正処置・未然防止処置に関する責任を有する。

申請者の社長は、与えられている他の業務上の責任と関わりなく、次の事項についての責任と権限を持つ「品質管理責任者」として、安全・品質保証部長を任命する。

- ①品質マネジメントシステムに必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。
- ②品質マネジメントシステムの成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無について、社長へ報告する。
- ③組織全体にわたって顧客要求事項に対する認識を高めることを確実にする。
- ④各部門の品質目標とその展開計画のレビュー、及び実施状況の監視を行う。
- ⑤各部門の不適合の処置、原因特定、是正処置等の実施状況を監視、検証し、品質マネジメントシステムの有効性の継続的改善を確実にする。

申請者の各部門の責任と権限を以下に示す。

a. 社長

組織の業務運営並びに品質マネジメントシステムの確立、実施、維持、及びその有効性の継続的改善に対して最高責任を有する。

b. 安全・品質保証部長

- ①マネジメントレビュー会議（品質保証会議）の運営
- ②原子力安全文化醸成活動の総括
- ③品質保証に関する社外対応
- ④外部提供者の評価（主として能力面）
- ⑤不適合及び是正処置の審査及び承認
- ⑥未然防止処置の審査及び承認
- ⑦品質監査の計画及び実施
- ⑧放射線管理の統括

c. 企画部長

①経営資源の充実（経営計画、設備計画、組織・要員計画）

②マネジメントレビュー会議（経営会議）の運営

d. 総務部長

①経営資源の充実

②安全衛生の統括

③通信機器の維持・管理

④教育・訓練の統括

e. 経理部長

①顧客との契約

②外部提供者の評価（主として財務面）と統括

③外部提供者の選定及び契約

f. 技術部長

①購買文書の作成

②輸送用設備の設計・開発管理（設計・開発部長所管分を除く。）

③輸送容器及び輸送用設備の製造管理

④輸送容器の保守管理

g. 設計・開発部長

①購買文書の作成

②輸送容器の設計・開発管理

③輸送容器の許認可管理

④輸送用設備の設計・開発管理（技術部長所管分を除く。）

h. 輸送部長

①購買文書の作成

②輸送計画の策定

③輸送（六ヶ所輸送事業所長所管分を除く。）

④船舶の保守管理

i. 六ヶ所輸送事業所長

①外部提供者の選定及び契約（権限内での製品及び役務に限る。）

②六ヶ所村、周辺自治体等との折衝

③購買文書の作成

④むつ小川原港における荷役及び陸上輸送

(2) 容器所有者の組織

容器所有者では、社長は、組織内における部門及び要員の責任及び権限を定めさせ、関係する要員が責任を持って業務を遂行できるようにする。

品質マネジメントシステムに係る機構とその分掌業務及び職位についての具体的な事項は、「職制規程」及び「職務権限規程」による。

容器所有者の社長は、(イ) - 第1表に示す職位の者を、品質マネジメントシステムを管理する責任者（以下、「管理責任者」という。）に任命し、次に掲げる業務に係る責任及び権限を与える。

(イ) - 第1表 管理責任者の責任範囲

職位	適用される業務
監査室長	監査室の業務
調達室長	調達室の業務
安全・品質本部長	安全・品質本部の業務
濃縮事業部長	濃縮事業部の業務
埋設事業部長	埋設事業部の業務
再処理事業部長	再処理事業部の業務 技術本部の業務（ただし、技術本部輸送管理部の輸送に係る業務を除く。）
技術本部長	技術本部輸送管理部の輸送に係る業務
燃料製造事業部長	燃料製造事業部の業務

a. 監査部

- ①品質マネジメントシステムに係る内部監査（監査員の召集を含む。）
- ②第三者監査実施の運営
- ③考査（各室部所のセルフチェックの確認を含む。）
- ④CAP システムによるパフォーマンス改善の推進

b. 品質保証部（安全・品質本部）

- ①全社の品質マネジメントシステムに係る活動の推進
- ②品質方針設定の補佐
- ③品質目標策定の総括
- ④品質マネジメントシステム規程に関する総括
- ⑤各事業部の品質マネジメントシステムに係る活動の監視（オーバーサイト）
- ⑥安全文化を向上させる活動の推進
- ⑦全社の品質マネジメントシステムに関する社内重要会議の運営（他室部所の所管事項を除く。）
- ⑧保安規定及び原子力規制検査対応に関する総括（全社の品質マネジメントシステムに関する事項）
- ⑨CAP システムによるパフォーマンス改善の推進

c. 品質保証部（燃料製造事業部）

- ①燃料製造事業に関する品質マネジメントシステムに係る活動の運営・推進の総括

- ②品質マネジメントシステム計画策定、不適合管理、安全文化を向上させる活動の燃料製造事業部内調整
- ③燃料製造事業部の品質マネジメントシステムに係る監査対応（保安に係る監査を除く。）
- ④CAP システムによるパフォーマンス改善の推進
- ⑤燃料製造事業の燃料品質に関する事項
- ⑥部内他課の所管に属さない事項

d. 燃料製造計画部

- ①混合酸化物燃料製造（以下、「燃料製造」という。）事業の運営に係る総括
- ②燃料製造事業に係る事業計画（事業費を含む。）の総括
- ③燃料製造事業部内の要員計画の総括
- ④燃料製造事業部の予算関係業務の総括
- ⑤燃料製造事業及びこれに付帯関連する契約数量の策定、契約交渉及び契約の締結（経営企画本部が行う「再処理・廃棄物管理事業、燃料製造事業及びこれに付帯関連する料金、契約交渉、契約の締結」を除く。）並びに契約の履行管理
- ⑥燃料製造事業の燃料設計（委託）に関する事項
- ⑦燃料製造事業に関する対外対応
- ⑧燃料製造事業に係る燃料製造技術に関する国内外関係機関との情報交換、開発計画・開発（共同研究を含む。）・成果管理
- ⑨燃料製造施設の工場性能確認及び試運転の計画作成並びに取りまとめ
- ⑩燃料製造施設運転準備に係る運転手順（分析技術・方法、放射線管理を含む。）及び保全計画に関する事項
- ⑪燃料製造施設の保障措置対応（計量管理を含む。）の総括
- ⑫燃料製造事業に係る放射性物質の輸送に関する事項（輸送管理部の所管事項を除く。輸送管理部の所管事項は下記のとおり。）
 - ・ウラン・低レベル放射性廃棄物・返還廃棄物・使用済燃料・混合酸化物燃料の輸送に関する諸計画及び電力会社等との対応の総括
 - ・上記輸送物に係る輸送工程の管理
 - ・輸送に係る核物質防護等に関する官庁諸手続き（各事業部の所管事項を除く。）
 - ・安全協定に基づく輸送に関する県市町村等との対応
 - ・輸送に関する諸調査
 - ・上記輸送に関する品質マネジメントシステムに係る活動の運営・推進（不適合管理、安全文化を向上させる活動の本部内調整を含む。）
 - ・上記輸送に関する CAP システムによるパフォーマンス改善の推進
- ⑬燃料製造事業部内他部・所の所管に属さない事項

e. 資材部

- ①調達計画・方針の策定及び調達プロセスの管理
- ②物品の購入・輸送に係る契約
- ③売却・譲渡・賃貸借に係る契約
- ④工事請負契約
- ⑤業務委託契約
- ⑥上記②，④，⑤の契約に基づく調達及び履行管理
- ⑦取引先管理（取引先評価を含む。）
- ⑧貯蔵品管理業務取扱方針の策定、取扱業務の支援
- ⑨「外国為替及び外国貿易法」に基づく輸出・技術導入管理（外国法に基づく用途確認含む。）
- ⑩CAP システムによるパフォーマンス改善の推進

4. マネジメントレビュー

(1) 申請者におけるマネジメントレビュー

申請者の社長は、組織の品質マネジメントシステムが、引き続き、適切、妥当かつ有効で更に組織の戦略的な方向性と一致していることを確実にするために、あらかじめ定めた間隔で、品質マネジメントシステムをレビューする。

(2) 容器所有者におけるマネジメントレビュー

容器所有者の社長は、組織の品質マネジメントシステムが、引き続き、適切、妥当かつ有効で更に組織の戦略的な方向性と一致していることを確実にするために、年1回以上、品質マネジメントシステムをレビューする。

(イ) - C 教育・訓練

1. 申請者における教育・訓練

申請者の部門長は、次の事項を行う。

- ①品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性に影響を与える業務をその管理下で行う要員に必要な力量を明確にする。
- ②適切な教育、訓練又は経験に基づいて、それらの要員が力量を備えていることを確実にする。
- ③該当する場合には（必要な力量が不足している場合等には）、必ず、必要な力量を身に付けるための処置をとり、とった処置の有効性を評価する。
- ④力量の証拠として、適切な文書化した情報（記録）を保持する。

2. 容器所有者における教育・訓練

容器所有者の各職位は、以下の事項を実施する。

- ①品質マネジメントシステムのパフォーマンス及び有効性に影響を与える業務をその管理下で行う人（又は人々）に必要な力量を明確にする。
- ②適切な教育、訓練又は経験に基づいて、それらの人々が力量を備えていることを確実にする。
- ③該当する場合には（必要な力量が不足している場合等には）、必ず、必要な力量を身に付けるための処置をとり、とった処置の有効性を評価する。
- ④力量の証拠として、適切な文書化した情報（記録）を保持する。

(イ) -D 設計管理

(イ) -Bの1. に示すとおり、輸送容器の設計管理は容器所有者が実施する。容器所有者は、以下の事項を実施する。

1. 設計・開発の計画

容器所有者は、設計・開発の段階及び管理を決定するに当たって、次の事項を考慮する。

- ①設計・開発活動の性質、期間及び複雑さ
- ②要求されるプロセス段階。これには適用される設計・開発のレビューを含む。
- ③要求される、設計・開発の検証及び妥当性確認活動
- ④設計・開発プロセスに関する責任及び権限
- ⑤製品及び役務の設計・開発のための内部資源及び外部資源の必要性
- ⑥設計・開発プロセスに関与する人々間のインタフェースの管理の必要性
- ⑦設計・開発プロセスへの顧客及びユーザの参画の必要性
- ⑧以降の製品及び役務の提供に関する要求事項
- ⑨顧客及びその他の密接に関連する利害関係者によって期待される、設計・開発プロセスの管理レベル
- ⑩設計・開発の要求事項を満たしていることを実証するために必要な文書化した情報（記録）

公的規格が定められていない特殊な材料又は新技術を採用する場合には、事業部等の長は、材料仕様などの意味、重要性、技術内容などが十分理解されるよう、十分な検討を行うとともに、必要に応じ、関係者（顧客、外部提供者など）間で一層の情報交換を行う。

2. 設計・開発へのインプット

容器所有者は、設計・開発する特定の種類の製品及び役務に不可欠な要求事項を明確にする。容器所有者は、次の事項を考慮する。

- ①機能及びパフォーマンスに関する要求事項
- ②以前の類似の設計・開発活動から得られた情報
- ③法令・規制要求事項
- ④容器所有者が実施することをコミットメントしている、標準又は規範（codes of practice）
- ⑤製品及び役務の性質に起因する失敗により起こり得る結果

容器所有者は、インプットを、設計・開発の目的に対して適切で、漏れがなく、曖昧でないものとする。

容器所有者は、設計・開発へのインプット間の相反を解決する。

容器所有者は、設計・開発へのインプットに関する文書化した情報（記録）を保持する。

3. 設計・開発の管理

容器所有者は、次の事項を確実にするために、設計・開発プロセスを管理する。

- ①達成すべき結果を定める。
- ②設計・開発の結果の、要求事項を満たす能力を評価するために、レビューを行う。
- ③設計・開発からのアウトプットが、インプットの要求事項を満たすことを確実にするために、検証活動を行う。
- ④結果として得られる製品及び役務が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たすことを確実にするために、妥当性確認活動を行う。
- ⑤レビュー、又は検証及び妥当性確認の活動中に明確になった問題に対して必要な処置をとる。
- ⑥これらの活動についての文書化した情報（記録）を保持する。

(1) 設計・開発のレビュー

容器所有者は、設計・開発の適切な段階において、次の事項を目的として、計画されたとおりに体系的なレビューを行う。

- ①設計・開発の結果が、要求事項を満たせるかどうかを評価する。
- ②問題を明確にし、必要な処置を提案する。

レビューへの参加者には、レビューの対象となっている設計・開発段階に関連する部門を代表する者が含まれていることを確認する。

容器所有者は、このレビューの結果の文書化した情報（記録）、及び必要な処置があればその文書化した情報（記録）を保持する。

(2) 設計・開発の検証

容器所有者は、設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられている要求事項を満たしていることを確実にするために、計画されたとおりに検証を実施する。

容器所有者は、この検証の結果の文書化した情報（記録）、及び必要な処置があればその文書化した情報（記録）を保持する。

容器所有者は、設計・開発の検証を、原設計者以外の者又はグループに実施させる。

(3) 設計・開発の妥当性確認

容器所有者は、結果として得られる製品及び役務が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たすことを確実にするために、計画した方法に従って、設計・開発の妥当性確認を実施する。

容器所有者は、実行可能な場合にはいつでも、「製品及び役務の引渡し又は提供の前」に、妥当性確認を完了する。

容器所有者は、妥当性確認の結果の文書化した情報（記録）、及び必要な処置があればその文書化した情報（記録）を保持する。

4. 設計・開発からのアウトプット

容器所有者は、設計・開発からのアウトプットが、次のとおりであることを確実にする。

- ①インプットで与えられた要求事項を満たす。
- ②製品及び役務の提供に関する以降のプロセスに対して適切である。
- ③必要に応じて、監視及び測定の実施事項、並びに合否判定基準を含むか、又はそれらを参照している。
- ④意図した目的並びに安全で適切な使用及び提供に不可欠な、製品及び役務の特性を規定している。

また、設計・開発からのアウトプットは、リリース前に承認する。

容器所有者は、設計・開発のアウトプットについて、文書化した情報（記録）を保持する。

5. 設計・開発の変更管理

- ①容器所有者は、要求事項への適合に悪影響を及ぼさないことを確実にするために必要な程度まで、製品及び役務の設計・開発の間又はそれ以降に行われた変更を識別し、レビューし、管理する。
- ②容器所有者は、次の事項に関する文書化した情報（記録）を保持する。
 - ・設計・開発の変更
 - ・レビューの結果
 - ・変更の許可
 - ・悪影響を防止するための処置
- ③容器所有者は、設計・開発の変更を、原設計に適用された方法と同じ設計・開発の方法により実施する。
- ④設計・開発の変更のレビューは、原則として原設計のレビューを実施したグループ又は組織が実施する。

(イ) - E 輸送容器の製造発注

(イ) - Bの1. に示すとおり、輸送容器の製造発注は、容器所有者が実施する。容器所有者は、以下の事項を実施する。

1. 容器製造者の評価

容器所有者は、容器製造者の輸送容器を製作する能力について評価し、選定する。能力の評価に当たっては、必要に応じて、品質監査等により次の事項を考慮する。

- ①輸送容器の製作に関する技術・要員及び製作設備
- ②容器製造者の品質方針、品質管理計画及びそれらの実施状況
- ③輸送容器又は類似のものに関する供給実績
- ④輸送容器又は類似のものに関する使用実績及び品質に関する記録
- ⑤試作品、サンプル等の評価

2. 容器製造者への品質マネジメントシステム要求事項

容器所有者は、容器製造者に対して発行する購買技術仕様書において、確立された品質マネジメントシステムのもとに、品質マニュアル及び品質保証計画書を作成し、維持することを要求する。

また、品質管理に係る適用又は準拠規格として以下を要求する。

- ①ISO9001：有効な版
- ②JEAG4121 附属書-1 「品質マネジメントシステムに関する標準品質保証仕様書」又は
JEAC4111 附属書-4 「品質マネジメントシステムに関する標準品質保証仕様書」
- ③核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイド別添「輸送容器の製作の方法に係る品質マネジメント指針」

3. 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証

容器所有者は安全上の重要性などを考慮しつつ、公的規格及び公的資格制度の有無、容器製造者及び供給者の品質管理の状況等を勘案し、立会検査又は記録確認を実施する。

また、(イ) - Eの1. に基づき容器製造者に対する品質監査を実施する。

(イ) - F 取扱い及び保守

容器所有者は、輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いについて、容器所有者の品質マネジメントシステムに基づき、実施する。

(イ) - G 測定、分析及び改善

G. 1 内部品質監査

1. 申請者

(1) 申請者の安全・品質保証部長は、品質マネジメントシステムが次の状況にあるか否かに関する情報を提供するために、あらかじめ定めた間隔で内部監査を実施する。

①次の事項に適合している。

- ・品質マネジメントシステムに関して、申請者自身が規定した要求事項
- ・ISO9001 及び JEAC4111 附属書-4 の要求事項

②有効に実施され、維持されている。

(2) 申請者の安全・品質保証部長及び部門長は、次に示す事項を行う。

①頻度、方法、責任、計画要求事項及び報告を含む、監査プログラムの計画、確立、実施及び維持。

監査プログラムは、関連するプロセスの重要性、組織に影響を及ぼす変更、及び前回までの監査の結果を考慮に入れる。

②各監査について、監査基準及び監査範囲を定める。

③監査プロセスの客観性及び公平性を確保するために、監査員を選定し、監査を実施する。

④監査の結果を申請者の関連する管理層に報告することを確実にする。

⑤遅滞なく、適切な修正を行い、是正処置をとる。

⑥監査プログラムの実施及び監査結果の証拠として、文書化した情報(記録)を保持する。

2. 容器所有者

(1) 容器所有者の監査室長は、品質マネジメントシステムが次の状況にあるか否かに関する情報を提供するために、あらかじめ定めた間隔で内部監査を実施する。

①次の事項に適合している。

- ・品質マネジメントシステムに関して、組織自身が規定した要求事項

②有効に実施され、維持されている。

(2) 容器所有者の各職位は、次に示す事項を実施する。

①頻度、方法、責任、計画要求事項及び報告を含む、監査プログラムの計画、確立、実施及び維持。監査プログラムは、関連するプロセスの重要性、組織に影響を及ぼす変更、及び前回までの監査の結果を考慮に入れる。

②各監査について、監査基準及び監査範囲を定める。

③監査プロセスの客観性及び公平性を確保するために、監査員を選定し、監査を実施する。

④監査の結果を関連する管理層に報告することを確実にする。

⑤遅滞なく、適切な修正を行い、是正処置をとる。

⑥監査プログラムの実施及び監査結果の証拠として、文書化した情報（記録）を保持する。

G. 2 不適合及び是正処置の管理

1. 申請者

苦情から生じたものを含め、不適合が発生した場合、申請者の部門長は、次の事項を行う。

①その不適合に対処し、該当する場合には、必ず、次の事項を行う。

- ・その不適合を管理し、修正するための処置をとる。
- ・その不適合によって起こった結果に対処する。

②その不適合が再発又は他のところで発生しないようにするため、次の事項によって、その不適合の原因を除去するための処置をとる必要性を評価する。

- ・その不適合をレビューし、分析する。
- ・その不適合の原因を明確にする。
- ・類似の不適合の有無、又はそれが発生する可能性を明確にする。

③必要な処置を実施する。

④とった全ての是正処置の有効性をレビューする。

⑤必要な場合には、計画の策定段階で決定したリスク及び機会を更新する。

⑥必要な場合には、品質マネジメントシステムの変更を行う。

是正処置は、検出された不適合のもつ影響に応じたものとする。

申請者の安全・品質保証部長及び部門長は、不適合の性質及びそれに対してとったあらゆる処置並びに是正処置の結果の証拠として、文書化した情報（記録）を保持する。

2. 容器所有者

容器所有者は、苦情から生じたものを含め、不適合が発生した場合、次の事項を規定した「CAP システム要則」に基づき処置を実施する。

①その不適合に対処し、該当する場合には、必ず、次の事項を実施する。

- ・その不適合を管理し、修正するための処置をとる。
- ・その不適合によって起こった結果に対処する。

②その不適合が再発又は他のところで発生しないようにするため、次の事項によって、その不適合の原因を除去するための処置をとる必要性を評価する。

- ・その不適合をレビューし、分析する。
- ・その不適合の原因を明確にする。
- ・類似の不適合の有無、又はそれが発生する可能性を明確にする。

③必要な処置を実施する。

④とった全ての是正処置の有効性をレビューする。

⑤必要な場合には、計画の策定段階で決定したリスク及び機会を更新する。

⑥必要な場合には、品質マネジメントシステムの変更を行う。

是正処置は、検出された不適合のもつ影響に応じたものとする。

製品品質に及ぼす影響の程度が大きい不適合に関して、根本的な原因を究明するために行う分析の手順を定め、実施すること。(製品品質に及ぼす影響の程度が大きい不適合には、単独の事象では製品品質に及ぼす影響の程度は小さいが、同様の事象が繰り返し発生することにより、製品品質に及ぼす影響の程度が増大するおそれのあるものを含む。)

容器所有者の安全・品質本部長は、不適合に係る公開の基準に従い、不適合の内容を公開する。

G. 3 未然防止処置

1. 申請者

申請者の部門長は、起こり得る不適合が発生することを防止するために、その原因を除去する処置を決める。

未然防止処置は、起こり得る不適合の重要性に応じたものとする。

申請者の安全・品質保証部長は、次の事項に関する要求事項を規定するために、“文書化された手順”を確立する。

①起こり得る不適合及びその原因の調査

②不適合の発生を防止するための処置の必要性の評価

③必要な処置の決定及び実施

④とった処置及びその結果の記録

⑤とった処置の有効性のレビュー

2. 容器所有者

容器所有者の各職位は、原子力施設その他の施設（他の事業部を含む）における不適合その他の事象から得られた知見を踏まえて、自らの組織で起こり得る不適合の発生を防止するため、次の事項を規定した「燃料製造事業部 不適合管理要領」に基づき処置を実施する。

①起こり得る不適合が発生しないようにするため、次の事項によって、その不適合の原因を除去するための処置をとる必要性を評価する。

・その不適合をレビューし、分析する。

・その不適合の原因を明確にする。

・類似の不適合の有無、又はそれが発生する可能性を明確にする。

②必要な処置を実施する。

③とった全ての未然防止処置の有効性をレビューする。

④必要な場合には、計画の策定段階で決定したリスク及び機会を更新する。

- ⑤必要な場合には、品質マネジメントシステムの変更を行う。
- ⑥未然防止処置は、起こり得る不適合のもつ影響に応じたものとする。

容器所有者の各職位は、次に示す事項の証拠として、文書化した情報（記録）を保持する。

- ①不適合の性質及びそれに対してとったあらゆる処置
- ②未然防止処置の結果

申請及び承認の履歴

回数	申請の内容 根拠法令 ^{注1)}	差出元記号番号 申請日	設計承認書番号 設計承認書交付日	有効期間 ^{注2)}	備考
1 (初回)	初回申請 告示第41条第1項	原新発第5号 平成24年4月27日	原規発第1406233号 平成26年6月24日	平成26年6月24日から 平成31年6月23日まで	
2	設計変更 告示第41条第1項	原設発第31号 平成27年12月3日	原規発第1601263号 平成28年1月26日	平成28年1月26日から 平成33年1月25日まで	(Rev. 1)
3	有効期間更新 告示第41条第4項	原設発第23号 令和2年12月7日	原規発第20122312号 令和2年12月23日	令和2年12月23日から 令和7年12月22日まで	(Rev. 1)

注1) 根拠法令の条項番号は申請当時の条項番号を示す。

注2) 有効期間は設計承認書に記載された元号にて示す。

添付

補正内容一覧
(別紙記載事項の補正前後比較表)

別紙1

変更箇所	補正前	補正後																																																																																																		
頁番号 (1)-2	変更箇所 表中	補正後																																																																																																		
(1)-第A.1表 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様																																																																																																				
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:15%;">項目</td> <td style="width:45%;">仕様</td> <td style="width:40%;">仕様</td> </tr> <tr> <td>種類</td> <td>新燃料集合体 (BWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)</td> <td>新燃料集合体 (BWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)</td> </tr> <tr> <td>性状</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>型式</td> <td>8×8配列型</td> <td>9×9配列型</td> </tr> <tr> <td>ウラン・プルトニウム重量 (kg以下)^(a)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>燃料棒の量 (PBq以下)^(a)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ウラン濃縮度 (%以下)^(a)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MOX 燃料棒</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>実熱量 (kW以下)</td> <td>0.29</td> <td>0.48</td> </tr> <tr> <td>核分裂性プルトニウム 富化度^(a)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align:center;"> 下表のいずれかのケースを満足すること。 </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>ケース</td> <td>Pu 富化度 (%)</td> <td>Pu 同位体組成 (%)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>8×8 配列型</td> <td>Pu-240 Pu-241 Pu-242</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9×9 配列型</td> <td>Pu-240 Pu-241 Pu-242</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align:center;"> 燃料集合体1体の仕様 </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>取納体数 (体以下)^(a)</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>取納体重量 (トン以下)^(a)</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>燃料棒の量 (PBq以下)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>実熱量 (kW以下)</td> <td>5.76</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> 1 輸送容器 1基当たりの仕様 </td> </tr> </table>			項目	仕様	仕様	種類	新燃料集合体 (BWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)	新燃料集合体 (BWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)	性状			型式	8×8配列型	9×9配列型	ウラン・プルトニウム重量 (kg以下) ^(a)			燃料棒の量 (PBq以下) ^(a)			ウラン濃縮度 (%以下) ^(a)			MOX 燃料棒			実熱量 (kW以下)	0.29	0.48	核分裂性プルトニウム 富化度 ^(a)			下表のいずれかのケースを満足すること。			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>ケース</td> <td>Pu 富化度 (%)</td> <td>Pu 同位体組成 (%)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>8×8 配列型</td> <td>Pu-240 Pu-241 Pu-242</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9×9 配列型</td> <td>Pu-240 Pu-241 Pu-242</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			ケース	Pu 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)	1	8×8 配列型	Pu-240 Pu-241 Pu-242	2	9×9 配列型	Pu-240 Pu-241 Pu-242	3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13			14			燃料集合体1体の仕様			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>取納体数 (体以下)^(a)</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>取納体重量 (トン以下)^(a)</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>燃料棒の量 (PBq以下)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>実熱量 (kW以下)</td> <td>5.76</td> </tr> </table>			取納体数 (体以下) ^(a)	12	取納体重量 (トン以下) ^(a)	4.9	燃料棒の量 (PBq以下)		実熱量 (kW以下)	5.76	1 輸送容器 1基当たりの仕様		
項目	仕様	仕様																																																																																																		
種類	新燃料集合体 (BWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)	新燃料集合体 (BWR) (ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料)																																																																																																		
性状																																																																																																				
型式	8×8配列型	9×9配列型																																																																																																		
ウラン・プルトニウム重量 (kg以下) ^(a)																																																																																																				
燃料棒の量 (PBq以下) ^(a)																																																																																																				
ウラン濃縮度 (%以下) ^(a)																																																																																																				
MOX 燃料棒																																																																																																				
実熱量 (kW以下)	0.29	0.48																																																																																																		
核分裂性プルトニウム 富化度 ^(a)																																																																																																				
下表のいずれかのケースを満足すること。																																																																																																				
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>ケース</td> <td>Pu 富化度 (%)</td> <td>Pu 同位体組成 (%)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>8×8 配列型</td> <td>Pu-240 Pu-241 Pu-242</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9×9 配列型</td> <td>Pu-240 Pu-241 Pu-242</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			ケース	Pu 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)	1	8×8 配列型	Pu-240 Pu-241 Pu-242	2	9×9 配列型	Pu-240 Pu-241 Pu-242	3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13			14																																																							
ケース	Pu 富化度 (%)	Pu 同位体組成 (%)																																																																																																		
1	8×8 配列型	Pu-240 Pu-241 Pu-242																																																																																																		
2	9×9 配列型	Pu-240 Pu-241 Pu-242																																																																																																		
3																																																																																																				
4																																																																																																				
5																																																																																																				
6																																																																																																				
7																																																																																																				
8																																																																																																				
9																																																																																																				
10																																																																																																				
11																																																																																																				
12																																																																																																				
13																																																																																																				
14																																																																																																				
燃料集合体1体の仕様																																																																																																				
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>取納体数 (体以下)^(a)</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>取納体重量 (トン以下)^(a)</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>燃料棒の量 (PBq以下)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>実熱量 (kW以下)</td> <td>5.76</td> </tr> </table>			取納体数 (体以下) ^(a)	12	取納体重量 (トン以下) ^(a)	4.9	燃料棒の量 (PBq以下)		実熱量 (kW以下)	5.76																																																																																										
取納体数 (体以下) ^(a)	12																																																																																																			
取納体重量 (トン以下) ^(a)	4.9																																																																																																			
燃料棒の量 (PBq以下)																																																																																																				
実熱量 (kW以下)	5.76																																																																																																			
1 輸送容器 1基当たりの仕様																																																																																																				

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(イ)-5	上から55行目	<p>輸送容器は円筒形状であり、トラニオンがあるが不要な突起物はない。また、核燃料輸送容器表面は滑らかに仕上げられており、表面の汚染の除去は容易である。輸送容器は輸送中には、(イ) 第一C. 3 図に示すように専用の輸送架台に水平状態で保持され、固縛装置で固定される。落下等の衝撃を緩和するため、輸送容器は上部及び下部に緩衝体を有している。なお、輸送容器の水平姿勢での吊上げ、吊下しは [] 車面又は船舶に強固に積み付けられる等、安全に取り扱うことができる。</p>	<p>輸送容器は円筒形状であり、トラニオンがあるが不要な突起物はない。また、輸送容器表面は滑らかに仕上げられており、表面の汚染の除去は容易である。輸送容器は輸送中には、(イ) 第一C. 3 図に示すように専用の輸送架台に水平状態で保持され、固縛装置で固定される。落下等の衝撃を緩和するため、輸送容器は上部及び下部に緩衝体を有している。なお、輸送容器の水平姿勢での吊上げ、吊下しは [] 車面又は船舶に強固に積み付けられる等、安全に取り扱うことができる。</p>
(イ)-13	表中	放射能の量 (PBq 以下) []	放射能の量 (PBq 以下) []
(ロ)-2	上から16行目	<p>F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮 使用予定期間中に想定される使用状況において、経年変化の要因として熱、放射線、化学的変化による影響を評価した結果、輸送容器の構造部材については技術上の基準に適合していることを確認する上で、その影響は考慮する必要があることを確認した。 また、吊上げによる荷重、運搬中の内外圧差による荷重、蓋ボルトの締付けによる荷重を繰り返し受ける経年変化の要因として疲労を考慮する必要があることを確認した。</p>	<p>F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮 使用予定期間中に想定される使用状況において、経年変化の要因として熱、放射線、化学的変化による影響を評価した結果、輸送容器の構造部材については技術上の基準に適合していることを確認する上で、その影響は考慮する必要があることを確認した。 また、吊上げによる荷重、運搬中の内外圧差による荷重、蓋ボルトの締付けによる荷重を繰り返し受ける経年変化の要因として疲労を考慮する必要があることを確認した。</p>
(ロ)-A-1	上から3行目	<p>A. 1.1 概要 輸送容器は、(イ) 第一C. 1 図及び(イ) 第一C. 2 図に示すように本体、蓋及びバスケット等により構成される。フランジ、内筒及び底板は、(イ) 第一C. 4 図に示すように蓋とともに密封境界を構成しており、内筒内の圧力に耐えられる構造になっている。外筒は中性子遮蔽材を保持する構造になっている。輸送容器は、熱応力及び振動に対しても耐えられる構造になっている。</p>	<p>A. 1.1 概要 輸送容器は、(イ) 第一C. 1 図及び(イ) 第一C. 2 図に示すように本体、蓋及びバスケット等により構成される。フランジ、内筒及び底板は、(イ) 第一C. 4 図に示すように蓋とともに密封境界を構成しており、内筒内の圧力に耐えられる構造になっている。外筒は中性子遮蔽材を保持する構造になっている。輸送容器は、熱応力及び振動に対しても耐えられる構造になっている。</p>

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物施設変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(d)-A-4	上から1行目	<p>2. 評価基準 各解析項目に対して材質、温度、速度負荷係数等の設計条件を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。この中で応力及び変形量に関する設計基準値は、各試験条件に対して次のように定めた。設計条件及び解析方法の要約を「<u>第一A.1表</u>」に示す。</p>	<p>2. 評価基準 各解析項目に対して材質、温度、速度負荷係数等の設計条件を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。この中で応力及び変形量に関する設計基準値は、各試験条件に対して次のように定めた。設計条件及び解析方法の要約を「<u>(口) - 第一A.1表</u>」に示す。</p>
(d)-A-38	上から1行目	<p>3. 使用計画回数 本吊上装置の使用計画回数N。は次のように決定 使用予定年数 : 60年 使用回数 : 20回/年 輸送時吊上回数 : 20回 (輸送ごと) したがって、 $N_c = 60 \times 10 \times 20 = 12000$回</p> <p>なお、本使用計画回数については、使用予定回数(10回/年)を保守的に決定 決定、使用予定期間における現実的な取扱いにおいて想定される繰返し回数を包含している。</p>	<p>3. 使用計画回数 本吊上装置の使用計画回数N。は次のように決定 使用予定年数 : 60年 使用回数 : 20回/年 輸送時吊上回数 : 20回 (輸送ごと) したがって、 $N_c = 60 \times 20 \times 20 = 24000$回</p> <p>なお、本使用計画回数については、使用予定回数(10回/年)を保守的に決定 決定、使用予定期間における現実的な取扱いにおいて想定される繰返し回数を包含している。</p>
(d)-A-47	表中	<p>2. 疲労評価 1) 上部トラニオン 許容繰返し回数 以下であること 許容繰返し回数 以下であること 許容繰返し回数 以下であること 1.0×10⁶回</p> <p>使用計画回数 使用計画回数 使用計画回数 使用計画回数</p> <p>基準に合致 基準に合致 基準に合致</p>	<p>2. 疲労評価 1) 上部トラニオン 許容繰返し回数 以下であること 許容繰返し回数 以下であること 許容繰返し回数 以下であること 1.0×10⁶回</p> <p>使用計画回数 使用計画回数 使用計画回数 使用計画回数</p> <p>基準に合致 基準に合致 基準に合致</p>
(d)-A-60	上から13行目	<p>保守的に設定した輸送容器の使用計画回数の600回は表に示すようにいずれの許容繰返し回数より小さく、容器本体各部及び蓋ボルトは十分な疲労強度を有している。</p>	<p>保守的に設定した輸送容器の使用計画回数の200回は表に示すようにいずれの許容繰返し回数より小さく、容器本体各部及び蓋ボルトは十分な疲労強度を有している。</p>

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所をで示す。

頁番号	変更箇所	補正前		補正後																																																												
		(ロ) 第一A.19表 一般の試験条件における容器本体各部及び蓋ボルトの疲労評価		(ロ) 第一A.19表 一般の試験条件における容器本体各部及び蓋ボルトの疲労評価																																																												
(D)-A-60	上から18行 目	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>断面 No.①</th> <th>(一次+二次) 応力強さ (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> <th>繰返しピーク 応力強さ (MPa)</th> <th>許容繰返し 回数 (回)</th> <th>使用計画 回数 (回)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>蓋</td> <td>②</td> <td>14.0</td> <td>80</td> <td>35.8</td> <td>1.0×10^{11}以上</td> <td></td> </tr> <tr> <td>フランジ</td> <td>③</td> <td>41.9</td> <td>100</td> <td>108</td> <td>1.0×10^{11}以上</td> <td></td> </tr> <tr> <td>内筒</td> <td>④</td> <td>12.1</td> <td>100</td> <td>28.4</td> <td>1.0×10^{11}以上</td> <td>$600^{(注2)}$</td> </tr> <tr> <td>底板</td> <td>⑤</td> <td>47.0</td> <td>100</td> <td>121</td> <td>2.7×10^7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>⑥</td> <td>71.4</td> <td>90</td> <td>168</td> <td>1.6×10^6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>蓋ボルト</td> <td>-</td> <td>163</td> <td>80</td> <td>360</td> <td>3.7×10^3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注1) (ロ) 第一A.10図参照 注2) 使用計画回数=使用予定年数×使用回数 =60年×10回/年 =600回</p> <p>なお、本使用計画回数については、使用予定回数(10回/年)を保守的に設定し、<u>定し、定し、使用予定期間における現実的な取扱い及び適切な取扱い</u>、使用予定回数(10回/年)を保守的に取扱い及び適切な取扱いにおいて想定される繰返し回数を包含している。</p>	部位	断面 No.①	(一次+二次) 応力強さ (MPa)	温度 (°C)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	許容繰返し 回数 (回)	使用計画 回数 (回)	蓋	②	14.0	80	35.8	1.0×10^{11} 以上		フランジ	③	41.9	100	108	1.0×10^{11} 以上		内筒	④	12.1	100	28.4	1.0×10^{11} 以上	$600^{(注2)}$	底板	⑤	47.0	100	121	2.7×10^7		外筒	⑥	71.4	90	168	1.6×10^6		蓋ボルト	-	163	80	360	3.7×10^3		<table border="1"> <thead> <tr> <th>疲労評価 容器本体</th> <th>許容繰返し回数 以下であること</th> <th>許容繰返し回数 以下であること</th> <th>許容繰返し回数 1.6×10⁶回 許容繰返し回数 3.7×10⁶回</th> <th>使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回</th> <th>基準に合致</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>蓋ボルト</td> <td>許容繰返し回数 以下であること</td> <td>許容繰返し回数 以下であること</td> <td>許容繰返し回数 3.7×10⁶回</td> <td>使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回</td> <td>基準に合致</td> </tr> </tbody> </table>	疲労評価 容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 1.6×10 ⁶ 回 許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致	蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致
部位	断面 No.①	(一次+二次) 応力強さ (MPa)	温度 (°C)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	許容繰返し 回数 (回)	使用計画 回数 (回)																																																										
蓋	②	14.0	80	35.8	1.0×10^{11} 以上																																																											
フランジ	③	41.9	100	108	1.0×10^{11} 以上																																																											
内筒	④	12.1	100	28.4	1.0×10^{11} 以上	$600^{(注2)}$																																																										
底板	⑤	47.0	100	121	2.7×10^7																																																											
外筒	⑥	71.4	90	168	1.6×10^6																																																											
蓋ボルト	-	163	80	360	3.7×10^3																																																											
疲労評価 容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 1.6×10 ⁶ 回 許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																																											
蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																																											
(D)-A-114	表中	<table border="1"> <thead> <tr> <th>疲労評価 容器本体</th> <th>許容繰返し回数 以下であること</th> <th>許容繰返し回数 以下であること</th> <th>許容繰返し回数 1.6×10⁶回 許容繰返し回数 3.7×10⁶回</th> <th>使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回</th> <th>基準に合致</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>蓋ボルト</td> <td>許容繰返し回数 以下であること</td> <td>許容繰返し回数 以下であること</td> <td>許容繰返し回数 3.7×10⁶回</td> <td>使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回</td> <td>基準に合致</td> </tr> </tbody> </table>	疲労評価 容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 1.6×10 ⁶ 回 許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致	蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致	<table border="1"> <thead> <tr> <th>疲労評価 容器本体</th> <th>許容繰返し回数 以下であること</th> <th>許容繰返し回数 以下であること</th> <th>許容繰返し回数 1.6×10⁶回 許容繰返し回数 3.7×10⁶回</th> <th>使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回</th> <th>基準に合致</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>蓋ボルト</td> <td>許容繰返し回数 以下であること</td> <td>許容繰返し回数 以下であること</td> <td>許容繰返し回数 3.7×10⁶回</td> <td>使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回</td> <td>基準に合致</td> </tr> </tbody> </table>	疲労評価 容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 1.6×10 ⁶ 回 許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致	蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																					
疲労評価 容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 1.6×10 ⁶ 回 許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																																											
蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																																											
疲労評価 容器本体	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 1.6×10 ⁶ 回 許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																																											
蓋ボルト	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 3.7×10 ⁶ 回	使用計画 回数 600回 使用計画 回数 600回	基準に合致																																																											
(D)-D-19	上から22行 目	<p>なお、蓋部及び下部中性子遮蔽材であるレジンの質量減損を考慮した場合の影響評価については(ロ)章D.6.2に示す。</p>		(記載削除)																																																												

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物施設変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を...で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後											
(0)-D-37	全て	<p>D. 6. 2 レジンの質量減損を考慮した場合の差蔵評価 中性子遮蔽材であるレジンは、一般の試験条件下の最高温度及び評価期間 60 年（(ロ) 章 F. 2 参照）の条件下では質量減損が減少することに加え、蓋部及びバスケット下部のみに配置されており、線量当量率が最大となる側部方向への影響は無視できる程度と考えられる。ここでは、(ロ) 章 F の評価に基づき、レジンの質量減損を考慮した差蔵評価を行い、線量当量率へ与える影響が無視できる程度であるとともに、規則及び告示で定められた基準値を満足することを確認する。</p> <p>なお、特別の試験条件下の評価については、既にレジンの [] に減少するものとして安全解析が行われていることから十分安全側であることが明らかであるため、ここでは通常輸送時及び一般の試験条件下の評価のみ実施する。</p> <p>1. レジンの質量減損 (ロ) 章 F に示すように、一般の試験条件下の最高温度及び評価期間 60 年の条件におけるレジンの質量減損率は、蓋部レジン及び下部レジンで共に 0.1% 以下となる。このように、本輸送容器で生じるレジンの質量減損は減少であるが、差蔵評価ではより安全側の設定として、蓋部レジン及び下部レジンに 0.5% の質量減損があるものとする。</p>	(記載削除)											
(0)-D-38	全て	<p>2. 影響評価条件 ① レジンの質量減損に寄与する物質のほとんどが水分である。したがって、差蔵評価では、中性子の遮蔽性能を安全側に設定するため、レジンの質量減損の成分を全て水とし、この質量減損分を遮蔽体として無視する。</p> <p>② ①以外のモデル仕様については、レジンの質量減損がない場合（(ロ) 章 D. 3）と同様とする。</p> <p>以上より、評価に当たっては、(ロ) 一第 D. 6 表に示す中性子遮蔽材（レジン）の水素及び酸素の原子価数を、(ロ) 一第 D. 付 2 表に示すように変更して実施する。</p> <p style="text-align: center;">(ロ) 一第 D. 付 2 表 原子価数密度の比較 (単位: 10^{21} atoms/cm³)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>元素</th> <th>レジンの質量減損を考慮した場合</th> <th>レジンの質量減損がない場合 ((ロ) 一第 D. 6 表記載)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">蓋部・下部</td> <td>H</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>O</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	部位	元素	レジンの質量減損を考慮した場合	レジンの質量減損がない場合 ((ロ) 一第 D. 6 表記載)	蓋部・下部	H			O			(記載削除)
部位	元素	レジンの質量減損を考慮した場合	レジンの質量減損がない場合 ((ロ) 一第 D. 6 表記載)											
蓋部・下部	H													
	O													

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 4 年 10 月 31 日付け原設発第 30 号）の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																																																		
(D)-D-39	全て	<p>3. 影響評価方法 上記の条件のもと (ロ) 策D. 4 に示す運送評価に従って検討・評価する。ただし、 線量当量率の求め方について、(ロ) 策D. 4 では安全側に [] が、本評価では主要核種の規定収納量とそれに伴う評価含有量による線量当量率の合計値が最大となる値を用いた。 レジンの質量減損による影響が大きいのは中性子であることから、(ロ) 策D. 4 の解析対象の主要核種のうち、(ロ) 策D. 8 表において中性子の割合が大きい Pu-238 に対して評価を行う。</p> <p>4. 影響評価結果 通常輸送時及び一般の試験条件下における線量当量率を (ロ) 策D. 付3表に示す。</p>	(記載削除)																																																																		
(D)-D-40	全て	<p>(ロ) 策D. 付3表 レジンの質量減損を考慮した場合の線量当量率の評価結果 (Pu-238 1.41×10⁴Bq/集合体 投与時) (単位: μSv/h)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">評価部</th> <th rowspan="2">原中</th> <th colspan="2">評価部</th> </tr> <tr> <th>輸方向</th> <th>輸方向</th> <th>輸方向</th> <th>輸方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">評価点¹⁾</td> <td>①</td> <td>②</td> <td>③</td> <td>④</td> <td>⑤</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>3.7</td> <td>5.7</td> <td>2.4</td> <td>11.4</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>1.4</td> <td>2.1</td> <td>1.8</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>中性子</td> <td>486.4</td> <td>485.2</td> <td>706.9</td> <td>309.6</td> <td>631.3</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>490.4</td> <td>490.3</td> <td>716.6</td> <td>313.8</td> <td>646.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">評価点²⁾</td> <td>①</td> <td>②</td> <td>③</td> <td>④</td> <td>⑤</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>3.2</td> <td>13.2</td> <td>8.6</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>1.5</td> <td>5.3</td> <td>3.3</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>中性子</td> <td>53.4</td> <td>61.5</td> <td>80.1</td> <td>58.9</td> <td>71.2</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>53.9</td> <td>66.2</td> <td>96.6</td> <td>70.8</td> <td>71.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) 評価点の位置については (ロ) 策D. 5 図参照</p>	部位	評価部		原中	評価部		輸方向	輸方向	輸方向	輸方向	評価点 ¹⁾	①	②	③	④	⑤	2.5	3.7	5.7	2.4	11.4	1.5	1.4	2.1	1.8	3.3	中性子	486.4	485.2	706.9	309.6	631.3	合計	490.4	490.3	716.6	313.8	646.0	評価点 ²⁾	①	②	③	④	⑤	0.3	3.2	13.2	8.6	1.9	0.2	1.5	5.3	3.3	0.4	中性子	53.4	61.5	80.1	58.9	71.2	合計	53.9	66.2	96.6	70.8	71.5	(記載削除)
部位	評価部			原中	評価部																																																																
	輸方向	輸方向	輸方向		輸方向																																																																
評価点 ¹⁾	①	②	③	④	⑤																																																																
	2.5	3.7	5.7	2.4	11.4																																																																
	1.5	1.4	2.1	1.8	3.3																																																																
中性子	486.4	485.2	706.9	309.6	631.3																																																																
合計	490.4	490.3	716.6	313.8	646.0																																																																
評価点 ²⁾	①	②	③	④	⑤																																																																
	0.3	3.2	13.2	8.6	1.9																																																																
	0.2	1.5	5.3	3.3	0.4																																																																
中性子	53.4	61.5	80.1	58.9	71.2																																																																
合計	53.9	66.2	96.6	70.8	71.5																																																																

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物施設変更承認申請書 (令和4年10月31日付け原設発第30号) の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																																										
(0)-D-4-1	全て	<p>5. 結晶の束約及びその評価</p> <p>(ロ) 一第D.付4表にレジンの質量減損を考慮した場合の質量当量率と質量減損がない場合の質量当量率の比較を示す。</p> <p>(ロ) 一第D.付4表 質量当量率の比較 (Pt-238)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">項目</th> <th rowspan="3">部位</th> <th colspan="4">輸送物表面 (μSv/h)</th> <th colspan="4">表面から1m (μSv/h)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">頭部</th> <th colspan="2">胴部</th> <th colspan="2">胴部</th> <th colspan="2">底部</th> </tr> <tr> <th>中央</th> <th>側部</th> <th>中央</th> <th>側部</th> <th>中央</th> <th>側部</th> <th>中央</th> <th>側部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レジンの質量減損を考慮した場合</td> <td>490.4</td> <td>490.3</td> <td>716.6</td> <td>313.8</td> <td>646.0</td> <td>53.9</td> <td>66.2</td> <td>98.6</td> <td>70.8</td> <td>73.5</td> </tr> <tr> <td>レジンの質量減損がない場合</td> <td>488.4</td> <td>490.1</td> <td>716.4</td> <td>313.4</td> <td>640.1</td> <td>53.7</td> <td>66.1</td> <td>98.6</td> <td>70.8</td> <td>72.9</td> </tr> <tr> <td>基準値</td> <td></td> <td colspan="4">2000 (通常輸送時及び一般の試験条件下)</td> <td colspan="4">100 (通常輸送時)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) 比較のため、レジンの質量減損がない場合の評価についても、質量減損を考慮した場合の評価と同じ評価方法で求めた質量当量率を示す。</p> <p>以上より、レジンの質量減損を安全側に考慮しても質量当量率が最大となる側部方向への影響は無視できる程度である。また、質量当量率の増加率は最大でも1%程度であり、かつ規制及び告示で定められた基準値を満足する。</p>	項目	部位	輸送物表面 (μSv/h)				表面から1m (μSv/h)				頭部		胴部		胴部		底部		中央	側部	中央	側部	中央	側部	中央	側部	レジンの質量減損を考慮した場合	490.4	490.3	716.6	313.8	646.0	53.9	66.2	98.6	70.8	73.5	レジンの質量減損がない場合	488.4	490.1	716.4	313.4	640.1	53.7	66.1	98.6	70.8	72.9	基準値		2000 (通常輸送時及び一般の試験条件下)				100 (通常輸送時)				(記載削除)
項目	部位	輸送物表面 (μSv/h)				表面から1m (μSv/h)																																																							
		頭部			胴部		胴部		底部																																																				
		中央	側部	中央	側部	中央	側部	中央	側部																																																				
レジンの質量減損を考慮した場合	490.4	490.3	716.6	313.8	646.0	53.9	66.2	98.6	70.8	73.5																																																			
レジンの質量減損がない場合	488.4	490.1	716.4	313.4	640.1	53.7	66.1	98.6	70.8	72.9																																																			
基準値		2000 (通常輸送時及び一般の試験条件下)				100 (通常輸送時)																																																							
(0)-D-42	上から1行目	D. 6. 参考文献	D. 6. 参考文献																																																										
(0)-F-1	上から12行目	放射線照射による劣化 中性子照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・弾性・延性・脆性・その他の物性値の変化	放射線照射による劣化 中性子照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・弾性・延性・脆性・その他の物性値の変化																																																										
(0)-F-2	上から2行目	1. 経年変化の影響について評価する対象 経年変化の影響について評価する本輸送物の構成部材を(ロ)一第F.1表に示す。 なお、(ロ)一第F.1表に示す対象部材のうち、長期保管後に輸送されるものは、長期保管後に輸送されるものではないため、評価対象から除外している。	1. 経年変化の影響について評価する対象 経年変化の影響について評価する本輸送物の構成部材を(ロ)一第F.1表に示す。 なお、収納物である燃料集合体については、繰返し使用されることはなく、また、長期保管後に輸送するものではないため、評価対象から除外している。																																																										
(0)-F-3	(ロ)一第F.1表	(記載追加)																																																											

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

頁番号	(D)-F-6	変更箇所	本頁全般							
補正前	(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/2)									
	本体・蓋・緩衝体・収納物	ステンレス鋼	<table border="1"> <thead> <tr> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の考慮の必要性の評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱</td> <td>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定¹⁾、²⁾、³⁾されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</td> </tr> <tr> <td>放射線照射</td> <td>[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>化学</td> <td>[Redacted]</td> </tr> </tbody> </table>	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁾ 、 ²⁾ 、 ³⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。	放射線照射	[Redacted]	化学
経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価									
熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁾ 、 ²⁾ 、 ³⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。									
放射線照射	[Redacted]									
化学	[Redacted]									
補正後	(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/2)									
	本体・蓋・緩衝体・収納物	ステンレス鋼	<table border="1"> <thead> <tr> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の考慮の必要性の評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱</td> <td>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定¹⁾、²⁾、³⁾されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</td> </tr> <tr> <td>放射線照射</td> <td>[Redacted]</td> </tr> </tbody> </table>	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁾ 、 ²⁾ 、 ³⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。	放射線照射	[Redacted]	
経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価									
熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁾ 、 ²⁾ 、 ³⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。									
放射線照射	[Redacted]									

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。

頁番号	(ロ)-F-6	変更箇所	本頁全般									
補正前	(ロ)-第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/3)											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>経年変化 要因</th> <th>経年変化の考慮の必要性の評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">本体・蓋・緩衝体・収納物 ステンレス鋼</td> <td>熱</td> <td>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(230℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定¹⁾、²⁾、³⁾されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</td> </tr> <tr> <td>放射線 照射</td> <td>[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>化学</td> <td>[Redacted]</td> </tr> </tbody> </table>	材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	本体・蓋・緩衝体・収納物 ステンレス鋼	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(230℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁾ 、 ²⁾ 、 ³⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。	放射線 照射	[Redacted]	化学	[Redacted]	
材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価										
本体・蓋・緩衝体・収納物 ステンレス鋼	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(230℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁾ 、 ²⁾ 、 ³⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。										
	放射線 照射	[Redacted]										
	化学	[Redacted]										
補正後	(ロ)-第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/3)											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>経年変化 要因</th> <th>経年変化の考慮の必要性の評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="1">本体・蓋・緩衝体・収納物 ステンレス鋼</td> <td>化学</td> <td>[Redacted]</td> </tr> </tbody> </table>	材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	本体・蓋・緩衝体・収納物 ステンレス鋼	化学	[Redacted]					
材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価										
本体・蓋・緩衝体・収納物 ステンレス鋼	化学	[Redacted]										

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原燃発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を.....で示す。

(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (修正)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
本体・蓋・緩衝体・取納物 ステンレス鋼	疲労	<p>輸送物の構成部材において、吊上げと内外圧差の2つの要因による繰返し荷重を受けるため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>トラニオンについては、使用予定期間中において吊上げによる荷重を繰返し受けることになる。[redacted]</p> <p>繰返し回数を保守的に設定した上でトラニオンの疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認 [redacted] (A. 4. 4. 2)。</p> <p>内筒、外筒、フランジ、底板 [redacted] 蓋板については、使用予定期間中において運搬中の内外圧差による荷重を繰返し受けることになる。[redacted]</p> <p>[redacted] 繰返し回数を保守的に設定した上で内筒、外筒、フランジ、底板 [redacted] 蓋板の疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認 [redacted] (A. 5. 1. 3)。</p>

修正前

(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (修正)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
本体・蓋・緩衝体・取納物 ステンレス鋼	疲労	<p>輸送物の構成部材において、吊上げと内外圧差の2つの要因による繰返し荷重を受けるため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>トラニオンについては、使用予定期間中において吊上げによる荷重を繰返し受けることになる。</p> <p>[redacted] 繰返し回数を保守的に設定した上でトラニオンの疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認 [redacted] (A. 4. 4. 2)。</p> <p>内筒、外筒、フランジ、底板 [redacted] 蓋板については、使用予定期間中において運搬中の内外圧差による荷重を繰返し受けることになる。</p> <p>[redacted] 繰返し回数を保守的に設定した上で内筒、外筒、フランジ、底板 [redacted] 蓋板の疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認 [redacted] (A. 5. 1. 3)。</p>

修正後

修正内容一覧

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原設発第30号）の箇所を示す。また、修正箇所を [redacted] で示す。

頁番号	(D)-F-8	変更箇所	本頁全般
補正前	(ロ) 一第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/4)		
	材料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋		熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の最高温度(80℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(300℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。
		放射線 照射	
		化学	により防錆措置を施していることから、腐食は。また、定期点検及び輸送物発送前検査において外観に異常がないことを確認している。
		疲労	が使用される蓋ボルトは、内外圧差とボルト締付けの2つの要因による繰返し荷重を受けるため、経年変化についての考慮が必要となる。 繰返し回数を保守的に設定した上で蓋ボルトの疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認 (A.5.1.3)。
補正後	(ロ) 一第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/4)		
	材料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋		熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の最高温度(80℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(300℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。
		放射線 照射	
		化学	により防錆措置を施していることから、腐食は。また、定期点検及び輸送物発送前検査において外観に異常がないことを確認している。
		疲労	が使用される蓋ボルトは、内外圧差とボルト締付けの2つの要因による繰返し荷重を受けるため、経年変化についての考慮が必要となる。 繰返し回数を保守的に設定した上で蓋ボルトの疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認 (A.5.1.3)。

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を...で示す。

補正前

(ロ) 一第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (図/欄)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
バスケット ステンレス鋼及び ボロン入りステンレス鋼	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。
	放射線 照射	また、ボロン入りステンレス鋼については、B-10の評価期間中の減損割合は10%未満であり、無視し得るほど小さい。
	化学	ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は輸送容器内部に使用され、日光や雨水に晒されることはない。また、中性子遮蔽材であるレジンに接する部材は、仮にレジンの熱的劣化により水分が生じたとしても、レジンの充填空間が密閉環境であり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。

補正後

(ロ) 一第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (図/欄)

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
バスケット ステンレス鋼及び ボロン入りステンレス鋼	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられる。輸送時の各部材の最高温度(140℃未満)は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲(280℃以下)である。また、設計用強度・物性値が規定されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。
	放射線 照射	また、ボロン入りステンレス鋼については、B-10の評価期間中の減損割合は10%未満であり、無視し得るほど小さい。
	化学	ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼は輸送容器内部に使用され、日光や雨水に晒されることはない。また、中性子遮蔽材であるレジンに接する部材は、充填空間が密閉環境であり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。

補正内容一覧

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。

補正前

(ロ) 第一F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (第4号)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価
バスケット アルミニウム合金及び ボロン入り アルミニウム合金	熱	[Redacted]
	放射線 照射	また、ボロン入りアルミニウム合金については、B-10の評価期間中の減損割合は10%未満であり、無視し得るほど [Redacted]
	化学	[Redacted]

補正後

(ロ) 第一F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (第4号)

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の評価
バスケット アルミニウム合金及び ボロン入り アルミニウム合金	熱	[Redacted]
	放射線 照射	また、ボロン入りアルミニウム合金については、 [Redacted] B-10の評価期 間中の減損割合は10%未満であり、無視し得るほど
	化学	[Redacted]

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原設発第30号）の箇所を示す。また、補正箇所を[Redacted]で示す。

(ロ) 一第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (第10)

材 料		経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋・バスケット	レジン (エポキシ系樹脂)	熱	高温環境下では含有する水分 [] が生じることが考えられる。 [] 一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度 (100℃未満) [] 評価期間 (60年) []
		放射線 照射	[]

補正前

(ロ) 一第F.2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (第10)

材 料		経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
蓋・バスケット	レジン (エポキシ系樹脂)	熱	高温環境下では含有する水分 [] が考 えられる。 [] 一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度 (100℃未満) [] 評価期間 (60年) []
		放射線 照射	[]
		[]	[]

補正後

補正内容一覧

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書 (令和4年10月31日付け原設発第30号) の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

頁番号	(d)-F-12, 13	変更箇所	本頁全般					
補正前	(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (欄/欄)							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>経年変化 要因</th> <th>経年変化の考慮の必要性の評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>本体 プロピレングリコール 水溶液</td> <td>熱</td> <td> <p>プロピレングリコール水溶液に含まれるプロピレングリコールの熱分解（脱水反応）により、主にプロピオンアルデヒドが生成することが知られている。</p> <p>プロピレングリコール水溶液充填空間は密閉環境であり、分解により生じた物質はプロピレングリコール水溶液充填空間に保持されるため外部への流出はない。</p> </td> </tr> </tbody> </table>	材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	本体 プロピレングリコール 水溶液	熱	<p>プロピレングリコール水溶液に含まれるプロピレングリコールの熱分解（脱水反応）により、主にプロピオンアルデヒドが生成することが知られている。</p> <p>プロピレングリコール水溶液充填空間は密閉環境であり、分解により生じた物質はプロピレングリコール水溶液充填空間に保持されるため外部への流出はない。</p>	
材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価						
本体 プロピレングリコール 水溶液	熱	<p>プロピレングリコール水溶液に含まれるプロピレングリコールの熱分解（脱水反応）により、主にプロピオンアルデヒドが生成することが知られている。</p> <p>プロピレングリコール水溶液充填空間は密閉環境であり、分解により生じた物質はプロピレングリコール水溶液充填空間に保持されるため外部への流出はない。</p>						
補正後	(ロ) 一第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (欄/欄)							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>経年変化 要因</th> <th>経年変化の考慮の必要性の評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>本体 プロピレングリコール 水溶液</td> <td>放射線 照射</td> <td> <p>放射線照射により水の放射線分解が生じ、種々のラジカルが生成される。また、プロピレングリコールについては放射線分解に加え、水の放射線分解により生成されたラジカルに起因する分解も生じる。この結果として、水の分解により水素及び酸素、プロピレングリコールの分解により二酸化炭素、アセトン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド等の分解生成物が生じることが知られている。</p> </td> </tr> </tbody> </table>	材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	本体 プロピレングリコール 水溶液	放射線 照射	<p>放射線照射により水の放射線分解が生じ、種々のラジカルが生成される。また、プロピレングリコールについては放射線分解に加え、水の放射線分解により生成されたラジカルに起因する分解も生じる。この結果として、水の分解により水素及び酸素、プロピレングリコールの分解により二酸化炭素、アセトン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド等の分解生成物が生じることが知られている。</p>	
材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価						
本体 プロピレングリコール 水溶液	放射線 照射	<p>放射線照射により水の放射線分解が生じ、種々のラジカルが生成される。また、プロピレングリコールについては放射線分解に加え、水の放射線分解により生成されたラジカルに起因する分解も生じる。この結果として、水の分解により水素及び酸素、プロピレングリコールの分解により二酸化炭素、アセトン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド等の分解生成物が生じることが知られている。</p>						

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原設発第30号）の箇所を示す。また、補正箇所を「」で示す。

(ロ) - 第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (補/補)

補正前

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
緩衝体 木材	熱	<p>木材温度が200℃に達すると木材の熱分解が進む⁽⁴⁾との文献が確認できたものの、直接参照できる文献は乏しい状況にある。一方で、緩衝材として木材が広く使用されていることを踏まえ、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件を基に収納物による設計上の最大入熱を考慮した輸送容器の緩衝材の平均温度を評価した結果、約40～70℃程度であること、使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の圧潰強度及び密度測定の結果、木材の衝撃吸収性能は健全であり、性能劣化はなかったことから、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる⁽⁵⁾。</p> <p>なお、輸送に際しては、湿度、輸送容器の使用履歴を把握し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。</p>
	放射線 照射	
	化学	<p>腐朽に伴う材料の強度低下や酸化等の影響が考えられる。木材の充填空間はステンレス鋼製のカバープレートに覆われた密閉環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽しない。</p>

注) 参考資料：第12回輸送容器及び使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器に関する審査会合（令和4年4月25日） 資料1別紙「緩衝材（木材）の熱的劣化について」

(ロ) - 第F. 2表 輸送物の各材料に対する安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (補/補)

補正後

材 料	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価
緩衝体 木材	熱	<p>木材温度が200℃に達すると木材の熱分解が進む⁽⁴⁾との文献が確認できたものの、直接参照できる文献は乏しい状況にある。一方で、緩衝材として木材が広く使用されていることを踏まえ、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件を基に収納物による設計上の最大入熱を考慮した輸送容器の緩衝材の平均温度を評価した結果、約40～70℃程度であること、使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の圧潰強度及び密度測定の結果、木材の衝撃吸収性能は健全であり、性能劣化はなかったことから、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる⁽⁵⁾。</p> <p>なお、輸送に際しては、湿度、輸送容器の使用履歴を把握し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。</p>
	放射線 照射	
	化学	<p>腐朽に伴う材料の強度低下や酸化等の影響が考えられる。木材の充填空間はステンレス鋼製のカバープレートに覆われた密閉環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽しない。</p>

注) 参考資料：第12回輸送容器及び使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器に関する審査会合（令和4年4月25日） 資料1別紙「緩衝材（木材）の熱的劣化について」

補正内容一覧

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原燃発第30号）の箇所を示す。また、補正箇所を~~〇~~で示す。

頁番号	(0)-F-14	変更箇所	本頁全般											
補正前	(記載追加)													
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="231 1176 454 1220">[Redacted]</td> <td data-bbox="454 1176 534 1220">[Redacted]</td> <td data-bbox="534 1176 1348 1220">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1220 454 1355">[Redacted]</td> <td data-bbox="454 1220 534 1355">[Redacted]</td> <td data-bbox="534 1220 1348 1355">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1355 454 1489">[Redacted]</td> <td data-bbox="454 1355 534 1489">[Redacted]</td> <td data-bbox="534 1355 1348 1489">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td data-bbox="231 1489 454 1579">[Redacted]</td> <td data-bbox="454 1489 534 1579">[Redacted]</td> <td data-bbox="534 1489 1348 1579">[Redacted]</td> </tr> </table>			[Redacted]										
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]												
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]												
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]												
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]												
補正後														

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を [Redacted] で示す。

補正内容一覧

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(0)-F-15	上から1行目	(記載追加)	

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設備変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(0) -F-15	上から1行目	<p>F.3 安全解析における経年変化の考慮内容</p> <p>前節に示したとおり、輸送物の構成部材を対象に、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。</p> <p>バスケットに用いられるステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、アルミニウム合金、ボロン入りアルミニウム合金、鋼管体を用いられる木材については、使用予定期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。バスケット以外に用いられるステンレス鋼、<input type="checkbox"/>については、熱、放射線、化学反応における経年変化を考慮する必要がないことを確認した。レジジン及びアロピレングリコール水溶液については、材料線における経年変化原因においては使用予定期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。</p> <p>経年変化の考慮が必要なものとしては、ステンレス鋼製の内筒、外筒、フランジ、継手、蓋板、トラニオン及び<input type="checkbox"/>製の重ボルトについては、内外圧差、吊上げ、ボルト締付けによる繰返し荷重を受けるため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用予定期間中に想定される最も厳しい荷重条件かつ保守的な繰返し回数を考慮した上で、内外圧差、吊上げ、ボルト締付けによる疲労を評価し、<input type="checkbox"/></p>	<p>F.3 安全解析における経年変化の考慮内容</p> <p>前節に示したとおり、輸送物の構成部材を対象に、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。</p> <p>バスケットに用いられるステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、アルミニウム合金、ボロン入りアルミニウム合金、<input type="checkbox"/>鋼管体を用いられる木材については、使用予定期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。バスケット以外に用いられるステンレス鋼、<input type="checkbox"/>については、熱、放射線、化学反応における経年変化原因においては使用予定期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。</p> <p>経年変化の考慮が必要なものとしては、ステンレス鋼製の内筒、外筒、フランジ、継手、蓋板、トラニオン及び<input type="checkbox"/>製の重ボルトについては、内外圧差、吊上げ、ボルト締付けによる繰返し荷重を受けるため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用予定期間中に想定される最も厳しい荷重条件かつ保守的な繰返し回数を考慮した上で、内外圧差、吊上げ、ボルト締付けによる疲労を</p>
(0) -F-15	上から18行目	<p>また、レジジン及びプロピレングリコール水溶液については、熱、化学反応による経年変化を考慮する必要がある。安全解析における経年変化の考慮方法を以下に示す。</p> <p>1. 連続解析におけるレジジンの質量減損</p> <p>評価期間中の経年変化を考慮し、レジジンの質量減損を評価する。質量減損率は、劣化パラメータにより次式で表される。</p> $\Delta w = 5.69 \times 10^{-4} \times E_p - 19.2^{w_0}$ <p>ここで、</p> $\Delta w : \text{レジジンの質量減損率 (\%)}$ $E_p : \text{劣化パラメータ}$ $E_p = T \times (77.6 + \ln(t))$ $T : \text{レジジン温度 (K)}$	<p>(記載削除)</p>

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け取説第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後				
(0)-F-16	上から1行目	<p>レジン加熱時間 (h)</p> <p>前述のように、経年変化を評価する際の温度については、安全側に一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度とし、この温度が評価期間である60年間継続するものとして、質量減損率を算出する。質量減損率の評価で用いたレジンの最高温度を (ロ) 二章F.3章に示す。</p> <p>上記に基づくと、評価期間経過後の劣化パラメータは、蓋部で約32000、下部で約33000となり、質量減損率は共に0.1%以下と評価される。</p> <p>このように、レジンの質量減損は減少であり、また、レジンは輸送容器の軸方向側部側である蓋部及びバスケット下部のみに配置されているため、質量減損が最大となる側部方向への影響は無視できる程度と考えられる。</p> <p>以上より、使用予定期間において熱、化学反応による経年変化は発生せず、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はないことを確認した。</p> <p>なお、遮熱解析においてレジンの質量減損を考慮した場合の影響評価については、(ロ) 章D.6.2に示す。</p> <p>(ロ) 一表F.3章 質量減損の算出に用いるレジンの最高温度</p> <table border="1" data-bbox="917 1254 997 1668"> <thead> <tr> <th>蓋部 (°C)</th> <th>下部 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>75</td> <td>93</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) 一般の試験条件下における太陽熱放射ありの条件の最高温度</p> <p>2. 遮熱解析におけるプロピレングリコール水溶液の密度低下 プロピレングリコール水溶液の評価期間中における熱的劣化に伴う密度減少は、プロピレングリコール水溶液の長期加熱試験の結果に基づき [] の条件で推定すると、 [] となる。この密度減少の影響を考慮するため、遮熱解析においては、プロピレ</p>	蓋部 (°C)	下部 (°C)	75	93	(記載削除)
蓋部 (°C)	下部 (°C)						
75	93						

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書 (令和4年10月31日付け原設発第30号) の箇所を示す。また、補正箇所を [] で示す。

補正内容一覧

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(0)-F-17	上から1行目	<p>ングリコロール水溶液の濃度として(ロ)章Bの熱解析で求めた一般の試験条件下における最高濃度(95℃)より高い濃度()を設定することで、プロピレングリコロール水溶液の濃度に保守性()を持たせている。</p> <p>以上より、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はないことを確認した。</p>	(記載削除)
(0)-F-18	上から3行目	(記載追加)	<p>19) Damage Mitigation System Arrivals of Commercial Displacement Damage Mitigation System Arrivals of Commercial Displacement Arrivals of Commercial Displacement (1998)</p> <p>(注記：以下、文献番号順送り)</p> <p>19) Damage Mitigation System Arrivals of Commercial Displacement (1998)</p> <p>20) Damage Mitigation System Arrivals of Commercial Displacement (1998)</p> <p>21) Damage Mitigation System Arrivals of Commercial Displacement (1998)</p> <p>22) Damage Mitigation System Arrivals of Commercial Displacement (1998)</p>
(0)-F-19	上から18行目	(記載追加)	<p>放射能の量 (PBq 以下)</p>
(0)-G-1	表中	<p>放射能の量 (PBq 以下)</p>	<p>放射能の量 (PBq 以下)</p>

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を「」で示す。

頁番号	変更箇所	補正前			補正後		
		規則の項目	告示の項目	説明	規則の項目	告示の項目	説明
(0)-0-3	本頁全般	<p>規則の項目 第3条 第3項</p>	<p>告示の項目</p>	<p>説明</p> <p>なお、積層材として用いる木材については、実輸送時における積層材の湿度及び使用済燃料輸送装置のある輸送容器を構築する際に採取した木材の試験結果より、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられるため、技術上の基準に適合していることを確認する上で、</p> <p>(2) 放射線照射による劣化については、機械的特性の変化(ステレンス質、<input type="text"/>)、ボロン入りステレンス質、<input type="text"/>(材)、<input type="text"/>による伝熱性能への影響(アルミニウム合金、ボロン入りアルミニウム合金)、質量減速等による運動性能への影響(レジン)、放射線分解等による運動性能への影響(プロピレングリコール水溶液)、B-10の放射線による<input type="text"/>(ボロン入りステレンス質、ボロン入りアルミニウム合金)が考えられるが、使用予定期間中の累積照射量等が上記の影響を考慮する必要のない照射量に比べてもさらに小さい等の理由から、技術上の基準に適合していることを確認する上で、</p> <p>(3) 化学的劣化については、腐食あるいは腐食による強度低下や酸化等(ステレンス質、<input type="text"/>レス質、木材)、腐食による伝熱性能への影響(アルミニウム合金、ボロン入りアルミニウム合金)、<input type="text"/>が考えられる。ステレンス質、ボロン入りステレンス質、アルミニウム合金及びボロン入りアルミニウム合金は、材料の表面に不動被皮膜あるいは酸化皮膜形成が確認される。また、輸送容器内部に使用される部材は日光や雨水に晒されることはないため、腐食の影響はない。ステレンス質は定期点検及び輸送物輸送前検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修する。</p> <p>腐食は<input type="text"/>は<input type="text"/>より<input type="text"/>ことに加え、定期点検及び輸送物輸送前検査において外観に異常がないことを確認する。</p> <p>レジン及びプロピレングリコール水溶液の充填空間には腐食が直接的に供給されなため、腐食の影響はない。また、プロピレングリコールの分解生成物が腐食に与える影響は</p>	<p>規則の項目 第3条 第3項</p>	<p>告示の項目</p>	<p>説明</p> <p>積層材として用いる木材については、実輸送時における積層材の湿度及び使用済燃料輸送装置のある輸送容器を構築する際に採取した木材の試験結果より、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられるため、技術上の基準に適合していることを確認する上で、</p> <p>(2) 放射線照射による劣化については、機械的特性の変化(ステレンス質、<input type="text"/>)、ボロン入りステレンス質、<input type="text"/>材)、<input type="text"/>による伝熱性能への影響(アルミニウム合金、ボロン入りアルミニウム合金)、質量減速等による運動性能への影響(レジン)、放射線分解等による運動性能への影響(プロピレングリコール水溶液)、B-10の放射線による<input type="text"/>(ボロン入りステレンス質、ボロン入りアルミニウム合金)が考えられるが、使用予定期間中の累積照射量等が上記の影響を考慮する必要のない照射量に比べてもさらに小さい等の理由から、技術上の基準に適合していることを確認する上で、</p> <p>(3) 化学的劣化については、腐食あるいは腐食による強度低下や酸化等(ステレンス質、<input type="text"/>レス質、木材)、腐食による伝熱性能への影響(アルミニウム合金、ボロン入りアルミニウム合金)、<input type="text"/>が考えられる。ステレンス質、ボロン入りステレンス質、アルミニウム合金及びボロン入りアルミニウム合金は、材料の表面に不動被皮膜あるいは酸化皮膜形成が確認される。また、輸送容器内部に使用される部材は日光や雨水に晒されることはないため、腐食の影響はない。ステレンス質は定期点検及び輸送物輸送前検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修する。</p>

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を「」で示す。

頁番号	変更箇所 本頁全般	補正前				補正後			
		規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(0)-G-10		(第5条第4号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料に変更はない。 既認可と同じく、本輸送物は周囲温度 20℃から 38℃で使用される。そのため、本輸送物の構成部品は、-20℃から運転中に予想される最高温度の範囲で腐化、著しい強度の低下等、材料強度への影響はな く、構成部品にき裂、破損等の生じるおそれはない。 以上ことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(0)-A.3 (0)-A.4.2 (0)-B.4.6	(第5条第4号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件における内筒内圧 0.152MPa 及び内筒中性子照射材面圧力 0.581MPa と外筒圧 60kPa との差圧よりも厳しい条件においても構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはないこと及びオリング取付位置での相対口開き変形量がオリングの初期剛付代より小さいことを、規則第4条第2号の AB4QS コードを用いた評価により確認している。このため、本輸送物の脆裂性が満たされることはなく、放射線物質の運送に適合することに変更はない。	(0)-A.4.6
		(第5条第5号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件における内筒内圧 0.152MPa 及び内筒中性子照射材面圧力 0.581MPa と外筒圧 60kPa との差圧よりも厳しい条件においても構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはないこと及びオリング取付位置での相対口開き変形量がオリングの初期剛付代より小さいことを、規則第4条第2号の AB4QS コードを用いた評価により確認している。このため、本輸送物の脆裂性が満たされることはなく、放射線物質の運送に適合することに変更はない。	(0)-A.4.6	(第5条第5号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。 既認可と同じく、本輸送物は一般の試験条件における内筒内圧 0.152MPa 及び内筒中性子照射材面圧力 0.581MPa と外筒圧 60kPa との差圧よりも厳しい条件においても構造健全性が維持され、き裂、破損等が生じるおそれはないこと及びオリング取付位置での相対口開き変形量がオリングの初期剛付代より小さいことを、規則第4条第2号の AB4QS コードを用いた評価により確認している。このため、本輸送物の脆裂性が満たされることはなく、放射線物質の運送に適合することに変更はない。	(0)-A.4.6
		(第5条第6号)		該当しない。	(0)-D.4 (0)-D.5 (0)-D.6.2	(第5条第6号)		該当しない。	(0)-D.4 (0)-D.5
		(第5条第7号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び取付物に変更はない。 既認可と同じく、本輸送物は運搬材の最小寸法を考慮し、主要構造の取付強度である規定取付量を取納する等の安全側の条件を設定した場合でも、DOT3.5 コードを用いた評価による輸送物の最大表面積重量当量率は 796.8 μSv/h であり、2 mSv/h を超えることはない。 以上ことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(0)-D.4 (0)-D.5 (0)-D.6.2	(第5条第7号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び取付物に変更はない。 既認可と同じく、本輸送物は運搬材の最小寸法を考慮し、主要構造の取付強度である規定取付量を取納する等の安全側の条件を設定した場合でも、DOT3.5 コードを用いた評価による輸送物の最大表面積重量当量率は 796.8 μSv/h であり、2 mSv/h を超えることはない。 以上ことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(0)-D.4 (0)-D.5

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け取説発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。

頁番号	変更箇所	補正前				補正後			
		規程の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目	規程の項目	告示の項目	説明	申請書記載対応項目
(D)-G-11	本頁全般	(第5条第8号)		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び取付物に変更はない。輸送物の安全側のモデル化条件を設定した上で、輸送物の表面から1m離れた位置における最大質量当量率が100μSv/hとなるように主要構造の規定取付量を定め、表面から1m離れた位置において、表面から1m離れた位置における最大質量当量率が100μSv/hを超えることはない。	(D)-D.4 (D)-D.5 (D)-D.6.2				
		(第5条第9号)		以上のことから、本輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。	(D)-A.5.1 (D)-R.4				
		(第5条第10号)		該当しない。					
		(第6条第2号)	(BM型輸送物に係る一般の試験条件) 第14条 別記第4第1号	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造及び取付物に変更はない。したがって、既認可と同じく、一般の試験条件の下での本輸送物の各種温度評価として、規則第4条第2号a.の熱解析において、周囲温度38℃及び大面積材料を連続照射した条件にて定常状態に達した温度を評価し、各層が使用可能温度を超えないことを確認している。また、各層の温度分布及び圧力条件を引き継いだANSYSコードを用いた評価において、各部の応力が設計応力値等の基準値を下回ることを確認しているため、輸送物の構造健全性が維持される。また、破損等が生じるおそれはない。また、Oリング取付位置での相対口開き変形量がOリングの初期補付代より小さいため、密封性を損なうことはない。					
		(第14条 別記第4第2号)	第14条 別記第4第2号	設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料及び構造に変更はない。以下のとおり別記第3第1号の条件の下に置いて評価している。					

(注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月31日付け原設発第30号)の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。

補正内容一覧

変更箇所		補正前	補正後
頁番号 (二)-1	上から7行目	<p>B. 安全輸送上の措置 本輸送物の中性子遮蔽材であるプロビレングリコール水溶液は、火災時において圧力が上昇し、外筒を破損させて周囲に噴出するおそれがあるため、輸送に際しては、火災時ににおいて人の接近を防止する等の安全上の対策を確立する。</p>	<p>B. 安全輸送上の措置 本輸送物の中性子遮蔽材であるプロビレングリコール水溶液は、火災時において圧力が上昇し、外筒を破損させて周囲に噴出するおそれがあるため、輸送に際しては、火災時ににおいて人の接近を防止する等の安全上の対策を確立する。</p>

注) 頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月31日付け原設発第30号）の箇所を示す。また、補正箇所を[]で示す。