

核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について

熊原第 22-014 号

令和 4 年 7 月 20 日

原子力規制委員会 殿

住所 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目 33 番 5 号

氏名 原子燃料工業株式会社

代表取締役社長 伊藤 義章

令和 4 年 6 月 20 付熊原第 22-004 号を持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、下記の通り一部補正を致します。

記

核燃料輸送物設計変更承認申請書を次の通り変更する。

1. 核燃料輸送物の名称

GP-01 型

2. 核燃料輸送物設計承認番号

J/2009/AF-96(Rev.1)

3. 変更内容

- 平成 25 年 9 月 9 日付原管廃発 1309042 号(平成 26 年 1 月 24 日付原管廃発 14012216 号をもって記載事項変更、平成 30 年 7 月 17 日付原規規発第 1807175 号(令和 2 年 11 月 10 日付原規規発 2011103 号をもって一部修正)をもって期間更新)により承認を受けた核燃料輸送物設計変更承認申請書(以下「既承認申請書」という。)の記載事項について別記の通り変更する。
- 既承認申請書について、以下の変更を行う。
 - 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(以下、「外運搬規則」という。)及び核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示(以下「外運搬告示」という。)の改正を踏まえて、使用予定期間中の経年変化の評価を行った。その結果を(ロ)

章 F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」(追加)及び(ロ)章 G「外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価」(従前の(ロ)章 F)に記載する。また、経年変化の評価に関連して、(ロ)章 A「構造解析」に吊り上げおよび内圧による疲労評価を追加する。

- ・ (ハ)章「品質マネジメントの基本方針に係る説明」を削除し、「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」を(ハ)章に、「安全設計及び安全輸送に関する特記事項」を(ニ)章に変更する。
- ・ (ハ)章「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」において、(ロ)章 Fの追加に伴い収納物検査にて収納物の使用期間確認に係る検査基準を追加する。
- ・ 「輸送容器に係る品質管理の方法等(設計に係るものに限る。)に関する説明書」を追加する。
- ・ その他記載の見直しを行う。

4. 変更理由

- ・ 外運搬規則及び外運搬告示が改正されたため。
- ・ 記載を適正化するため。

別紙

- 1 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書
- 2 輸送容器に係る品質管理の方法等(設計に係るものに限る。)に関する説明書

[添付]

補正内容一覧

以上

1. 核燃料輸送物の名称

GP-01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

幅 約 83 cm
長さ 約 114 cm
高さ 約 106 cm

(2) 輸送容器の重量：730kg 以下

(3) 核燃料輸送物の総重量：1300kg 以下

(4) 輸送容器の主要材料：表1の通り

(5) 輸送容器の概略を示す図

図1の通り。

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更申請書（令和4年6月20日付熊原第22-004号（令和4年7月20日付熊原第22-014号をもって一部補正）、以下「申請書」という。）に係る別紙1の(イ)－第1図から(イ)－第11図までに示されている。

3. 核燃料輸送物の種類

A型核分裂性輸送物

4. 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

表2の通り

5. 輸送制限個数

(1) 輸送制限個数：制限なし

(2) 配列方法：任意

(3) 臨界安全指数：0

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

-40℃ ～ 38℃

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため、核燃料物質が収納される内容容器により、収納物であるペレット保管箱組立体を所定の位置に収納するとともに、内容容器の幅狭側面に各一枚及び幅広側面に各ペレット保管箱組立体に対応する位置に並列に各2枚、またペレット保管箱組立体間の仕切りとして2枚の合計8枚の中性子吸収材を配置することで臨界を防止する構造としている。

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、輸送物内の全ての領域に水が浸入することを考慮し評価している。

9. 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界である内容容器は、内容容器本体、内容容器蓋及びOリングで構成され、Oリングにはシリコンゴムを用いる。

10. BM型輸送物にあつては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準について説明

該当しない。

11. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

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

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

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、申請書に係る別紙2の通り。

13. その他特記事項

本輸送容器の使用予定期間を80年、使用期間を通しての輸送予定回数を計160回、また1回の輸送期間を通常最長4ヶ月としている。

外運搬規則等の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請書等の手続きを行う。

詳細については申請書に係る別紙1の通り。

(別紙記載事項)

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

- 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い方法 (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

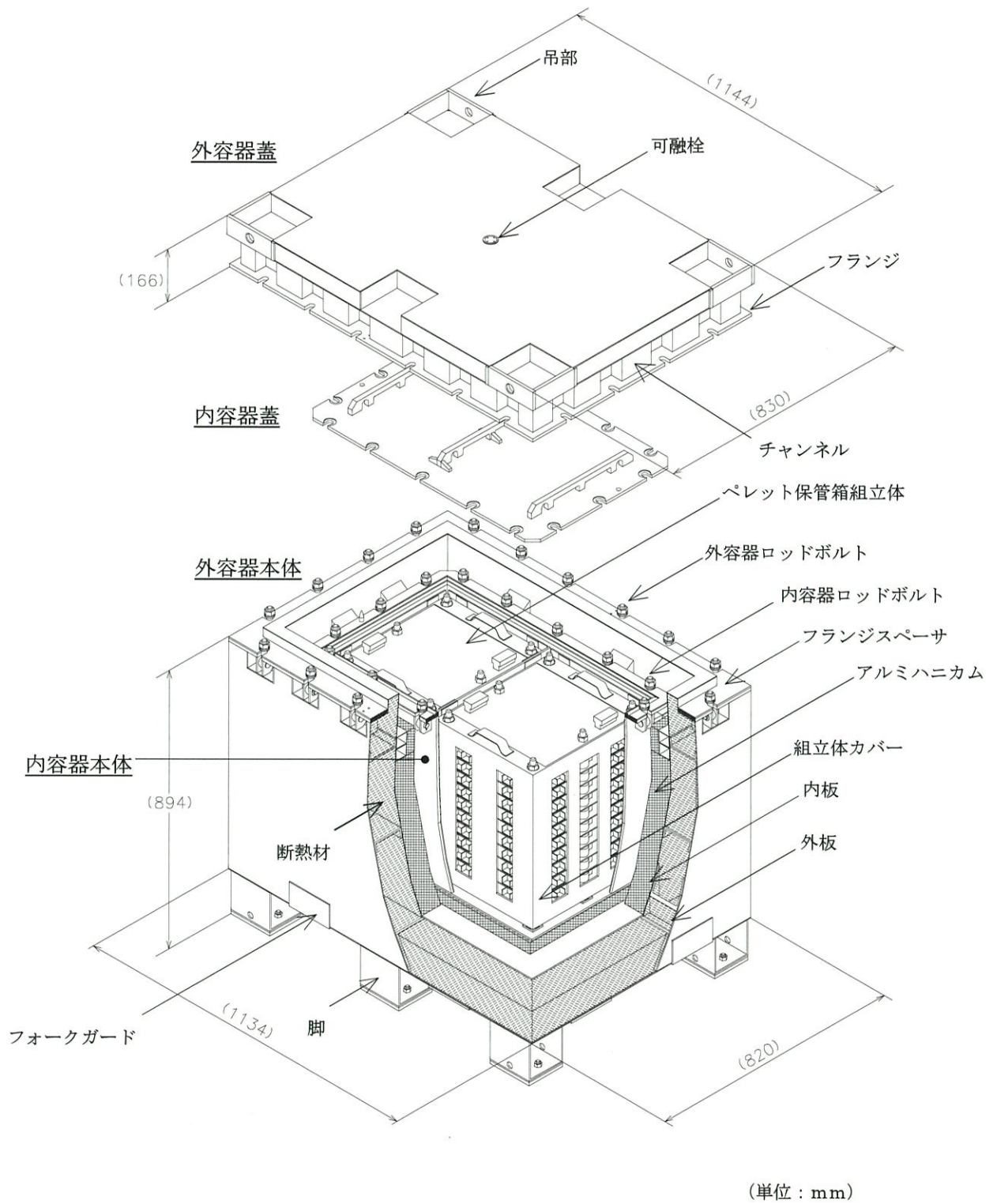


図1 GP-01型輸送物外観図

表 1 輸送容器の主要材料

容 器 部 位	材 質
外容器	ステンレス鋼
内容器	ステンレス鋼
断熱材	セラミックファイバー
中性子吸収材	ボロン入りステンレス鋼
衝撃緩衝材	アルミニウムハニカム
ロッドボルト	クロムモリブデン鋼
ナット	ステンレス鋼

表2 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

(輸送容器1基当たり)

種類	ウラン酸化物 (UO ₂ 、UO ₃ 又はU ₃ O ₈) 又は ガドリニア入りウラン酸化物		
性状	固体 (ペレット)		
重量	ペレット保管箱組立体 (A) 2基: ウラン酸化物264kg以下 ペレット保管箱組立体 (B) 2基: ウラン酸化物200kg以下		
放射能量	総量	3.75×10 ¹⁰ Bq以下	
	主要な核種	²³² U	1.34×10 ⁸ Bq以下
		²³⁴ U	2.70×10 ¹⁰ Bq以下
		²³⁵ U	1.87×10 ⁹ Bq以下
		²³⁶ U	1.40×10 ⁸ Bq以下
		²³⁸ U	8.26×10 ⁹ Bq以下
		⁹⁹ Tc	1.46×10 ⁶ Bq以下
濃縮度	5.0wt%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量	該当しない		
冷却日数	該当しない		
濃縮ウラン中の 不純物仕様	²³² U	≤0.0001 μg/gU	
	²³⁴ U	≤10×10 ³ μg/g ²³⁵ U	
	²³⁶ U	≤250 μg/gU	
	⁹⁹ Tc	≤0.01 μg/gU	
	ただし、 ²³⁶ U<125 μg/gUの場合は、 ²³² U及び ⁹⁹ Tcは適用外		

・ペレット保管箱組立体 (A) と (B) は同梱しない。

以上

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

GP - 01 型

輸送物安全解析書

令和 4 年 7 月

原子燃料工業株式会社

目 次

(イ)章 核燃料輸送物の説明	(イ)-1
(イ)-A 目的及び条件	(イ)-1
(イ)-B 輸送物の種類	(イ)-1
(イ)-C 輸送容器	(イ)-1
(イ)-D 輸送容器の収納物	(イ)-15
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)A-1
(ロ)-A 構造解析	(ロ)A-1
A.1 構造設計	(ロ)A-1
A.1.1 概 要	(ロ)A-1
A.1.2 設計基準	(ロ)A-1
A.2 重量及び重心	(ロ)A-8
A.3 材料の機械的性質	(ロ)A-9
A.4 輸送物の要件	(ロ)A-11
A.4.1 化学的及び電氣的反応	(ロ)A-11
A.4.2 低温強度	(ロ)A-12
A.4.3 密封装置	(ロ)A-12
A.4.4 吊上装置	(ロ)A-13
A.4.5 固縛装置	(ロ)A-32
A.4.6 圧 力	(ロ)A-33
A.4.7 振 動	(ロ)A-38
A.5 一般の試験条件	(ロ)A-39
A.5.1 熱的試験	(ロ)A-39
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)A-39
A.5.1.2 熱 膨 張	(ロ)A-39
A.5.1.3 応力計算	(ロ)A-39
A.5.1.4 許容応力との比較	(ロ)A-42
A.5.2 水 噴 霧	(ロ)A-43
A.5.3 自由落下	(ロ)A-43
(a)解析モデル	(ロ)A-43
(b)原型試験	(ロ)A-43
(c)モデル試験	(ロ)A-44
A.5.4 積み重ね試験	(ロ)A-46
A.5.5 貫 通	(ロ)A-47
A.5.6 角又は縁落下	(ロ)A-47
A.5.7 結果の要約及びその評価	(ロ)A-47
A.6 特別の試験条件	(ロ)A-48

A.7	強化浸漬試験	.....	(ロ)A-48
A.8	放射性収納物	.....	(ロ)A-48
A.9	核分裂性輸送物	.....	(ロ)A-49
A.9.1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	.....	(ロ)A-49
A.9.2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	.....	(ロ)A-50
A.10	構造解析まとめ	.....	(ロ)A-64
(ロ)A	付属資料 1	原型容器落下試験結果	
(ロ)A	付属資料 2	主要材料の低温特性	
(ロ)A	付属資料 3	固有振動数導出に係る補足説明資料	
(ロ)-B	熱解析	.....	(ロ)B-1
B.1	概 要	.....	(ロ)B-1
B.2	材料の熱的性質	.....	(ロ)B-2
B.3	構成要素の仕様	.....	(ロ)B-4
B.4	一般の試験条件	.....	(ロ)B-5
B.4.1	熱解析モデル	.....	(ロ)B-5
B.4.1.1	解析モデル	.....	(ロ)B-5
B.4.1.2	試験モデル	.....	(ロ)B-11
B.4.2	最高温度	.....	(ロ)B-12
B.4.3	最低温度	.....	(ロ)B-14
B.4.4	最大内圧	.....	(ロ)B-14
B.4.5	最大熱応力	.....	(ロ)B-15
B.4.6	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)B-15
B.5	特別の試験条件	.....	(ロ)B-16
B.5.1	熱解析モデル	.....	(ロ)B-16
B.5.1.1	解析モデル	.....	(ロ)B-16
B.5.1.2	試験モデル	.....	(ロ)B-24
B.5.2	輸送物の評価条件	.....	(ロ)B-27
B.5.3	輸送物温度	.....	(ロ)B-27
B.5.4	最大内圧	.....	(ロ)B-32
B.5.5	最大熱応力	.....	(ロ)B-32
B.5.6	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)B-33
(ロ)B	付属資料 1	原型容器耐火試験結果	
(ロ)B	付属資料 2	熱解析モデルの合わせ込み解析結果	
(ロ)-C	密封解析	.....	(ロ)C-1
C.1	概 要	.....	(ロ)C-1
C.2	密封装置	.....	(ロ)C-1
C.2.1	密封装置	.....	(ロ)C-1
C.2.2	密封装置の貫通部	.....	(ロ)C-2

C.2.3	密封装置のガスケット及び溶接部	.....	(ロ)C-2
C.2.4	蓋	.....	(ロ)C-2
C.3	一般の試験条件	.....	(ロ)C-2
C.3.1	放射性物質の漏えい	.....	(ロ)C-3
C.3.2	密封装置の加圧	.....	(ロ)C-3
C.3.3	冷却材汚染	.....	(ロ)C-3
C.3.4	冷却材損失	.....	(ロ)C-3
C.4	特別の試験条件	.....	(ロ)C-3
C.4.1	核分裂生成ガス	.....	(ロ)C-4
C.4.2	放射性物質の漏えい	.....	(ロ)C-4
C.5	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)C-5
(ロ)-D	遮蔽解析	.....	(ロ)D-1
D.1	概要	.....	(ロ)D-1
D.2	線源仕様	.....	(ロ)D-3
D.2.1	ガンマ線源	.....	(ロ)D-3
D.2.2	中性子源	.....	(ロ)D-3
D.3	モデル仕様	.....	(ロ)D-5
D.3.1	解析モデル	.....	(ロ)D-5
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)D-8
D.4	遮蔽評価	.....	(ロ)D-9
D.5	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)D-9
(ロ)D	付属資料1 ORIGEN2 コードの概要		
(ロ)D	付属資料2 QAD-CGGP2R コードの概要		
(ロ)D	付属資料3 最大線量当量率を与える評価地点の検討		
(ロ)-E	臨界解析	.....	(ロ)E-1
E.1	概要	.....	(ロ)E-1
E.2	解析対象	.....	(ロ)E-1
E.2.1	収納物	.....	(ロ)E-1
E.2.2	輸送容器	.....	(ロ)E-2
E.2.3	中性子吸収材	.....	(ロ)E-2
E.3	モデル仕様	.....	(ロ)E-3
E.3.1	解析モデル	.....	(ロ)E-3
E.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)E-9
E.4	未臨界評価	.....	(ロ)E-10
E.4.1	計算条件	.....	(ロ)E-10
E.4.2	輸送物への水の浸入等	.....	(ロ)E-10
E.4.3	計算方法	.....	(ロ)E-10
E.4.4	計算結果	.....	(ロ)E-11

E.5	ベンチマーク試験	.....	(ロ)E-11
E.6	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)E-12
(ロ)E	付属資料1 サーベイ計算の結果		
(ロ)-F	核燃料輸送物の経年変化の考慮	.....	(ロ)F-1
F.1	考慮すべき経年変化要因	.....	(ロ)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	.....	(ロ)F-2
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	.....	(ロ)F-12
(ロ)-G	規則及び告示に対する適合性の評価	.....	(ロ)G-1
(ハ)章	輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	.....	(ハ)A-1
(ハ)-A	輸送物の取扱い方法	.....	(ハ)A-1
A.1	装荷方法	.....	(ハ)A-1
A.2	輸送物の発送前検査	.....	(ハ)A-3
A.3	取出し方法	.....	(ハ)A-4
A.4	空容器の準備	.....	(ハ)A-5
A.5	その他	.....	(ハ)A-5
(ハ)-B	保守条件	.....	(ハ)B-1
B.1	外観検査	.....	(ハ)B-1
B.2	耐圧検査	.....	(ハ)B-1
B.3	気密漏えい検査	.....	(ハ)B-1
B.4	遮蔽検査	.....	(ハ)B-1
B.5	未臨界検査	.....	(ハ)B-1
B.6	熱検査	.....	(ハ)B-2
B.7	吊上検査	.....	(ハ)B-2
B.8	作動確認検査	.....	(ハ)B-2
B.9	補助系の保守	.....	(ハ)B-2
B.10	密封装置の弁、ガスケット等の保守	.....	(ハ)B-2
B.11	輸送容器の保管	.....	(ハ)B-2
B.12	記録の保管	.....	(ハ)B-2
B.13	その他	.....	(ハ)B-2
(ニ)章	安全設計及び安全輸送に関する特記事項	.....	(ニ)-1

(イ)章 核燃料輸送物の説明

(イ)－A 目的及び条件

(1) 使用目的

軽水炉向け燃料等の濃縮度 5wt%以下のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）の国内及び国際輸送に使用する。

(2) 輸送容器の型名 GP-01 型

(3) 輸送物の種類 A 型核分裂性輸送物

(4) 輸送制限個数 無限個

(5) 輸送制限配列 任意

(6) 輸送指数 0.3

(7) 臨界安全指数 0

(イ)－B 輸送物の種類

A 型核分裂性輸送物

(イ)－C 輸送容器

(1) 総重量

- ・ 輸送容器の総重量 730 kg 以下
- ・ 輸送物の総重量 1300 kg 以下

(2) 構造材料

本輸送容器は、外容器及び外容器から取出し可能な内容容器から構成される。外容器の主要構造材はステンレス鋼製のフレームと内外板であり、セラミックファイバー製断熱材、ゴム製スペーサ等を使用している。内容容の主要構造材はステンレス鋼製板であり、ゴム製スペーサや O リングを使用している。各構造材料の詳細を(イ)－第 1 表に示す。

(3) 中性子吸収材

中性子吸収材は、内容器内に配したボロン入りステンレス鋼製板が該当する。(イ)－第 1 表に各構造材料詳細とあわせて示す。

(4) 中性子減速材

該当なし

(5) 遮蔽材

該当なし

(6) 主要部分の寸法及び構造

(a) 概要

本輸送物の全体図を(イ)―第 1 図に示す。本輸送容器は、外容器と外容器から取出し可能な内容器から構成される。外容器は、フレーム及び内板と外板で構成された箱型 2 重構造となっており、内外板間に断熱材を充填することにより耐熱性を確保する。外容器蓋及び本体の内面には、内容器への衝撃を緩和するアルミハニカムを取付けている。外容器外面の各面には火災時の内外板間の圧力上昇を防止するために可融栓を設けている。

外容器蓋は本体と同様の構造であり、その上面には本体底面の脚と嵌合する積重ね時の位置決め用の凹部を 6 箇所設けており、そのうちコーナー部の 4 箇所についてはシャックルやフックが取付け可能な孔を設けた吊部を兼ねている。外容器本体と外蓋は、フランジ面を介して 20 本のロッドボルトで連結固定する。フランジには、封印取付け用の孔を対称位置に合計 2 箇所設けている。

内容器本体及び内容器蓋ともに厚手のステンレス鋼製板からなる箱型 1 重構造となっている。フランジ面には密閉用の O リングを配置し、外容器と同様に内容器蓋と内容器本体は 16 本のロッドボルトで連結固定される。中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製板は内容器内側の幅狭側面に各 1 枚、幅広側面に各 2 枚の合計 6 枚及び収納物である 2 基のペレット保管箱組立体の間に仕切りとして配置している。

(b) 構造

イ. 外容器本体

外容器本体構造図を(イ)―第 2 図に示す。外容器本体は、板厚 \square mm のステンレス鋼製チャンネル骨格部材を格子状に溶接し、箱型に成型したフレームにステンレス鋼製の厚さ \square mm の外板と厚さ \square mm の内板を溶接したものであり、箱型本体の寸法は長さ 1134mm 幅 820mm 高さ 894mm(脚部―フランジ)である。フランジは厚さ \square mm×幅 \square mm のステンレス鋼製棒材を溶接している。フランジ部の内側が一段高くなる形状となっており、本体―蓋の隙間からの雨水の浸入を防止する構造となっている。フランジ直下の外容器本体側面には、全周にわたって凹み形状のロッドボルト取付け用ボルト座を設けており、輸送容器外表面にボルトが突出しない構造となっている。

外板と内板の間には、ブランケット状のセラミックファイバー製断熱材が必要な寸法に裁断して充填される。側面及び底面にはアルミハニカムを厚さ \square mm のアルミニウム製ハニカムカバーで被覆固定している。また、側面には、落下時の衝突に対して内容器フランジ部への衝撃を緩和する目的で \square × \square mm のステンレス鋼製角パイプを溶接している。フランジには厚さ \square mm のシリコンゴム製スペーサを貼付けており、対角位置のコーナー 2 箇所径 \square mm のステンレス鋼製の位置決めピンを 2 本設けている。側面下端から底面にはフォークリフトやパレットトラック等の運搬機器による運搬を想定した板厚 \square mm のステンレス鋼製フォークガードを溶接している。

ロ. 外容器蓋

外容器蓋構造図を(イ)―第 3 図に示す。外容器蓋は、外容器本体同様に板厚□mm のステンレス鋼製チャンネル骨格部材を格子状に溶接したフレームにステンレス鋼製の厚さ□mm の外板と厚さ□mm の内板を溶接したものであり、さらにステンレス鋼製の厚さ□mm の板をフレーム外周に溶接し下端に厚さ□mm×幅□mm のステンレス鋼製棒材を溶接してフランジを形成する。外容器蓋の外寸法は長さ 1144mm 幅 830 高さ 166mm(内部アルミハニカムを除く)である。フランジの強度を確保する目的で、外周に厚さ□mm のチャンネル部材をフランジ上面に溶接している。吊部は厚さ□mm のステンレス鋼製板を溶接して形成する。

外板と内板の間及び外周のチャンネル部材内部には、ブランケット状のセラミックファイバー製断熱材が必要な寸法に裁断して充填される。外容器蓋の下面には、アルミハニカムを厚さ□mm のアルミニウム製ハニカムカバーで被覆固定している。アルミニウム製ハニカムカバーの表面には厚さ□mm のネオプレンゴム製の干渉防止スペーサを 2 個接着している。また、フランジの内周には、厚さ□mm の耐火ゴムが貼付けられる。耐火ゴムは火災時に膨張して隙間を埋める機能を持つ。

ハ. 内容器本体

内容器本体構造図を(イ)―第 4 図に示す。内容器本体は、板厚□mm 及び□mm のステンレス鋼製板を箱型に溶接したもので、上部に厚さ□mm×幅□mm 又は□mm のステンレス鋼製棒材を加工・溶接してフランジを形成する。フランジ下面には、フランジ補強を兼ねたロッドボルト取付け用ボルト座を全周 16 箇所に溶接している。フランジ部には幅□mm の O リング用溝を設けており、直径□mm のシリコンゴム製 O リングを嵌込む。また、フランジの平面部には全周にわたって厚さ□mm シリコンゴム製スペーサを貼付けている。フランジの対称位置 2 箇所に直径□mm のステンレス鋼製の位置決めピンを取付けている。内容器の全内側面に中性子吸収材となるボロン入りステンレス鋼製板を無機系接着材で貼付けている。また中央の仕切板もボロン入りステンレス鋼製板である。

ニ. 内容器蓋

内容器蓋構造図を(イ)―第 5 図に示す。内容器蓋は、板厚□mm のステンレス鋼製板からできており、上面には補強と吊部を兼ねた厚さ□mm のステンレス鋼製バーを 3 本溶接している。外縁には、締付け用ナットが嵌合する受座を座ぐり加工している。内容器蓋裏面にはペレット保管箱組立体の支柱部の保護と固定を目的とした厚さ□mm のネオプレンゴム製の干渉防止スペーサを 12 個接着している。

ホ. 中性子吸収材

中性子吸収材配置図を(イ)―第 6 図に示す。中性子吸収材として板厚□mm のボロン濃度□wt%のボロン入りステンレス鋼製板を内容器の幅狭側面に各 1 枚及び幅広側面に各ペレット保管箱組立体に対応する位置に並列に各 2 枚の合計 6 枚を無機系接着材で接着している。また、ペレット保管箱組立体間の仕切りとして板厚□mm のボロン入りステンレス鋼製板を 2 枚重ねで配置し、その両肩 2 箇所及び下端部 2 箇所を内容器に溶接した留具に

皿ビスで固定している。

側面のボロン入りステンレス鋼製板はペレット保管箱組立体装荷の際の干渉を防止するためステンレス鋼製ガイドを内容器内面に溶接している。また、中央のボロン入りステンレス鋼製板は両肩および中央の留具がガイド形状となっている。また、各ボロン入りステンレス鋼製板表面には運用中の擦過減耗を防ぐため厚さ□mmのネオプレンゴム製の干渉防止スペーサを接着している。

ハ. ロッドボルト

外容器本体及び内容器本体に取付けられるロッドボルトは同一のもので、SCM435材を鍛造及び機械加工によってM16のボルトに仕上げたものである。ロッドボルトは外容器本体もしくは内容器本体に溶接された厚さ□mmのボルト座にヒンジピンにより取付けられる。

蓋との連結固定はステンレス鋼製平ワッシャ、皿バネを介してステンレス鋼製ナットをレンチ等で締付けておこなう。

ト. 脚及びスキッド

脚は板厚□mmのステンレス鋼製板を□×□mmに成型したもので、外容器本体底面に6個溶接で取付けている。スキッドは板厚□mmのステンレス鋼製板に板厚□mmのウレタンゴム製板を焼付けにより取付けたもので、脚裏面にM12ボルトで固定される。

チ. 可融栓

可融栓構造図を(イ)第7図に示す。可融栓は直径□mmのステンレス鋼製棒材から加工した本体にはんだを鋳込んで溶融部を成型し、これを直径□mmのステンレス鋼製棒材から加工した台座にねじ込んで構成される。台座は外容器本体外板に穴あけ加工後溶接によって取付けられる。可融栓は外容器本体及び蓋各面中央に1個ずつ合計6個取付けられる。はんだの溶融温度は約□℃である。

リ. 補助部材

内容器を外容器に装荷する際に、内容器下端角部が干渉してハニカムが損傷することを防止するために、ウレタンゴム製ガイドを各内面に□個ずつ合計□個取付けている。ガイドの先端部には摺動性の高いMCナイロンを取付けている。

輸送中の振動による、収納物への影響を軽減する目的で、輸送容器本体底面のアルミハニカム上面に板厚□mmの防振ゴムを12枚貼付けている。これにより、内容器に伝わる振動を軽減することができる。

(7) 溶接方法

本輸送容器の溶接は全てTig溶接で行われている。

外容器本体のフレームの溶接部の形状は、平板の突合せとなる箇所はI形又はレ形、直角に接合する部位はすみ肉、曲げ部の接合は片フランジ形となっており、フレームと外板はフレームに沿って断続的にすみ肉となっている。また、フレームと内板はプラグ溶接で

接合される。外容器本体のフランジは外板と内板に全周にわたってそれぞれレ形及びすみ肉となっており、各外板同士はレ形となっている。外容器蓋のフレームの溶接部の形状は、平板の突合せとなる箇所はI形又はレ形、直角に接合する部位はすみ肉、曲げ部の接合は片フランジ形となっており、フレームと外板はフレームに沿って断続的にすみ肉となっている。また、フレームと内板はプラグ溶接で接合される。外容器蓋のフランジは外周板とレ形、補強用チャンネル鋼とはすみ肉となっており、外板の外周部はI形、吊部との段差部分はすみ肉溶接となっている。

内容器本体の各側板及び底板はレ形で接合され、フランジはレ形及びすみ肉となる。

内容器蓋の補強と吊部を兼ねたバーはすみ肉で溶接される。

(8) 熱除去の方法

本輸送容器の収納物は未照射のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）であり、その発熱量は無視できるため、熱除去のための機構又は装置を輸送容器に設けていない。

(9) 冷却材の種類及び量

本輸送容器の収納物は未照射のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）であり、その発熱量は無視できるため、輸送容器に冷却材を使用していない。

(10) 弁及び試料採取口等の開口部及び配管

本輸送容器の密封境界である内容器には、弁及び収納物であるウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）を部分採取するための試料採取口等の開口部や配管は設けていない。

(11) 内部及び外部の突出物

外容器外部では、底面に溶接された脚のみである。なお、外容器本体及び蓋を締結するロッドボルトや吊部は輸送容器本体及び蓋に凹部を設けて設置しているため突出部とはならない。

外容器内部では、特に突出物はない。

内容器外部では、蓋バー、フランジ部及びロッドボルトが外表面から突出しているが、突出部が外容器に直接接触しないように外容器蓋の裏面が成形されている。

内容器内部では、特に突出物はない。

(12) 吊上装置

本輸送容器の吊上装置は、外容器蓋の4コーナー部の吊部が該当する。各吊部に設けられた吊上げ孔にシャックルやフック等の吊具を連結してクレーンやチェーンブロックで本輸送容器を容易かつ安全に吊上げることが出来る。また、吊上装置には該当しないが、フォークリフトやパレットトラック等の運搬機器で外容器本体底部の脚間を支持して容易かつ安全に運搬する運用ことも出来る。

内容器は外容器から取出し可能となっており、内容器蓋の補強と吊部を兼ねたバーが吊上装置に該当し、本部位をシャックルやフック等で連結して内容器を容易かつ安全に吊上げることが出来る。また、外容器同様にフォークリフトやパレットトラック等の運搬機器により容易かつ安全に運搬する運用も想定している。

(13) 固縛装置

本輸送容器には固縛装置は設けられていない。運搬する際には車輛や運搬用コンテナにワイヤーや専用の固縛部材等を用いて固縛される。

(14) 圧力逃がし弁

本輸送容器の外容器は気密性が無いため、内圧上昇時の圧力逃がし弁は設けられていない。内容器は、気密構造となっているが、圧力上昇に耐える構造となっており、調圧用の圧力逃がし弁は設けられていない。

(15) ガasket

本輸送容器のガスケットは、内容器本体フランジの直径 \square mm のシリコンゴム製 O リングが相当する。O リングはフランジに加工された幅 \square mm、深さ \square mm の溝に納められ、O リングとの接触面が平滑な内容器蓋を介してロッドボルトにより圧迫され、変形し圧着することでシールとして機能する。

(16) 密封境界

本輸送容器の密封境界は内容器が該当する。内容器は収納物を収納するため上面全てが開口するが、収納後に板厚 \square mm のステンレス鋼製板 1 枚より成型された内容器蓋をロッドボルトで締付けることで、フランジの O リングの密着性により密封境界を形成する。そのほか、内容器の密封境界を構成する板厚 \square mm 及び \square mm のステンレス鋼製側面板、板厚 \square mm のステンレス鋼製底板及びステンレス鋼製フランジの各部材の接合部は全て連続溶接することで、密封境界を形成する。

(17) 浸水の領域

本輸送容器の水密性が担保されるのは、密封境界である内容器より内側であるが、臨界解析においては、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において燃料領域が浸水するものとして評価している。

(18) 密封装置

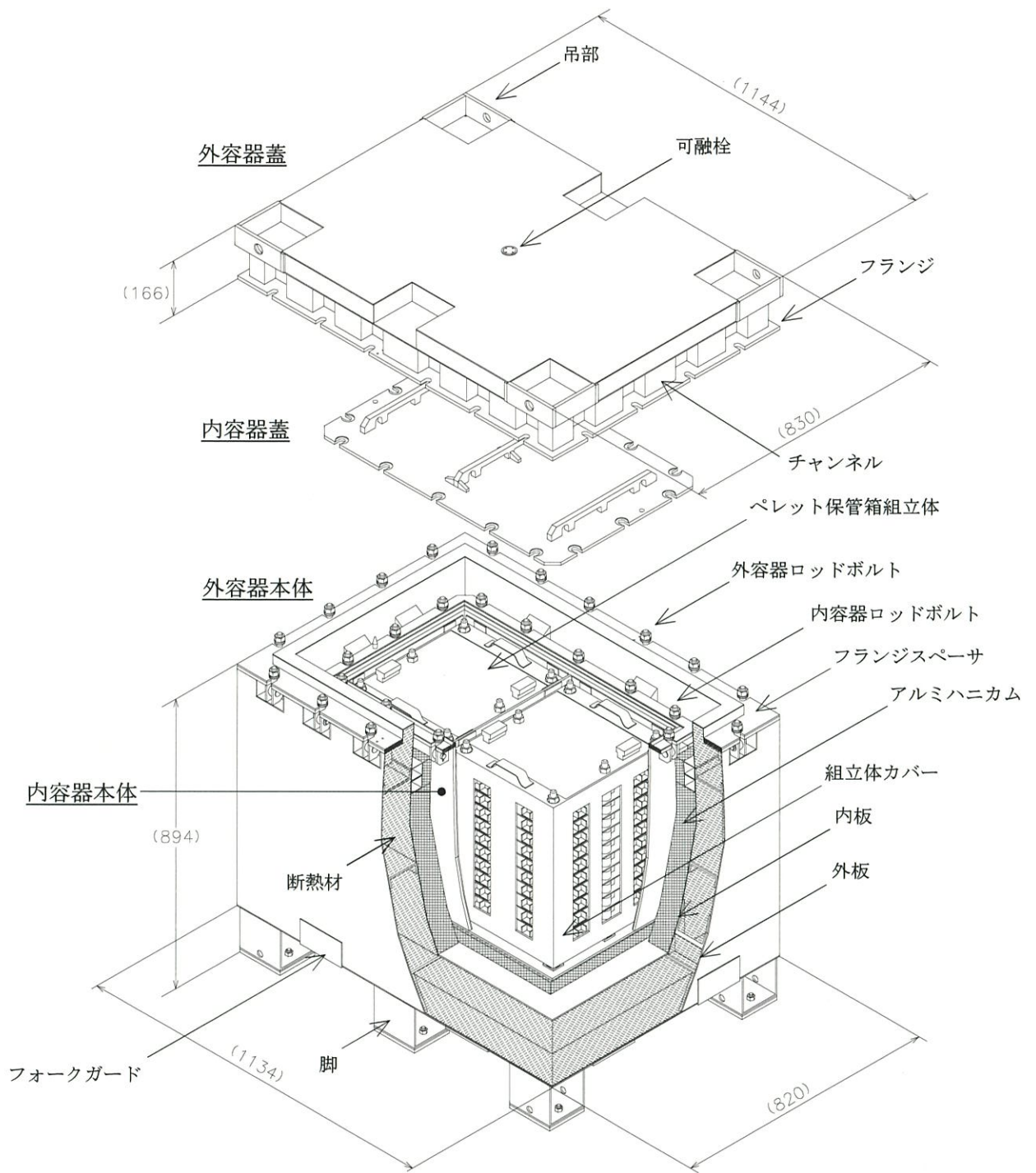
本輸送容器の密封境界は内容器であるが、密封境界は内容器構成部材、構成部材の溶接及び内容器蓋を締付けることによって生じる O リングの圧着によって形成される。このため、密封を維持するための特別な密封装置は持たない。

(イ)-第1表 輸送容器の主要構造材料(1/2)

区分	主要構成要素	材質	適用規格	寸法等(mm)	備考
外 容 器	蓋	外板	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は JIS G 4305	
		内板	ステンレス鋼	同上	
		フレーム	ステンレス鋼	同上	
		フランジ	ステンレス鋼	同上	
		吊部	ステンレス鋼	同上	
		干渉防止スペーサ	ネオプレンゴム (クロロプレンゴム)	-	
		耐火ゴム	エチレンプロピレンゴム	-	
		衝撃緩衝材	アルミハニカム	-	
		断熱材	セラミックファイバー	-	
		外板	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は JIS G 4305	
	本 体	内板	ステンレス鋼	同上	
		フレーム	ステンレス鋼	JIS G 4317、JIS G 4304 又は JIS G 4305	
		フランジ	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は JIS G 4305	
		フランジスペーサ	シリコンゴム	-	
		保護用角パイプ	ステンレス鋼	JIS G 3459、JIS G 3446、 JIS G 4304 又は JIS G 4305	
		脚	ステンレス鋼	同上	
		スキッド	ウレタンゴム	-	
外 容 器	ロットボルト	クロムモリブデン鋼	JIS G 4052		
	ナット	ステンレス鋼	JIS G 4303、JIS G 4308、 JIS G 4315 又は JIS G 4318		
	断熱材	セラミックファイバー	-		
	衝撃緩衝材	アルミハニカム	-		

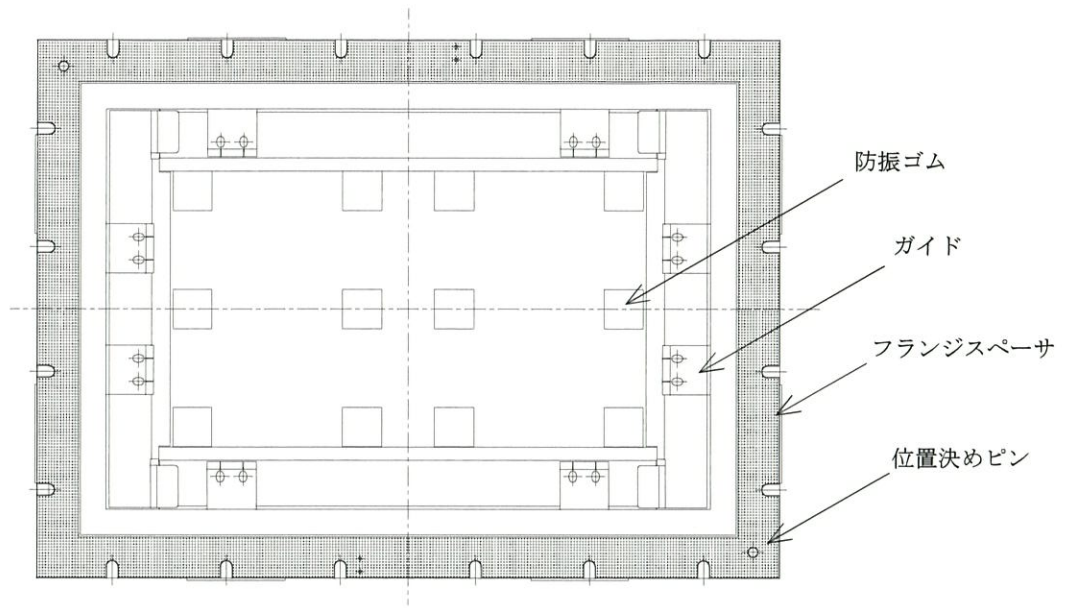
(イ)第一表 輸送容器の主要構造材料(2/2)

区分	主要構成要素	材質	規格等	寸法等(mm)	備考
外 容 器	ガイド	ウレタンゴム	-		一般名称ナイロン6
	ガイド端部	MCナイロン	-		
	防振ゴム	ネオプレンゴム (クロロプレンゴム)	-		
	可融栓本体	ステンレス鋼	JIS G 4303		
	可融栓台座	ステンレス鋼	同上		
	可融栓溶融部	はんだ	JIS Z 3282		
	蓋板	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は JIS G 4305		
	蓋バネ(吊部)	ステンレス鋼	同上		
	干渉防止スペーサ	ネオプレンゴム (クロロプレンゴム)	-		
	側板、底板	ステンレス鋼	JIS G 4304 又は JIS G 4305		
内 容 器	フランジ	ステンレス鋼	同上		
	フランジスペーサ	シリコンゴム	-		
	Oリング	シリコンゴム	-		
	ロッドボルト	クロムモリブデン鋼	JIS G 4052		
	中性子吸収材	ボロン入りステンレス鋼			
	干渉防止スペーサ	ネオプレンゴム (クロロプレンゴム)	-		

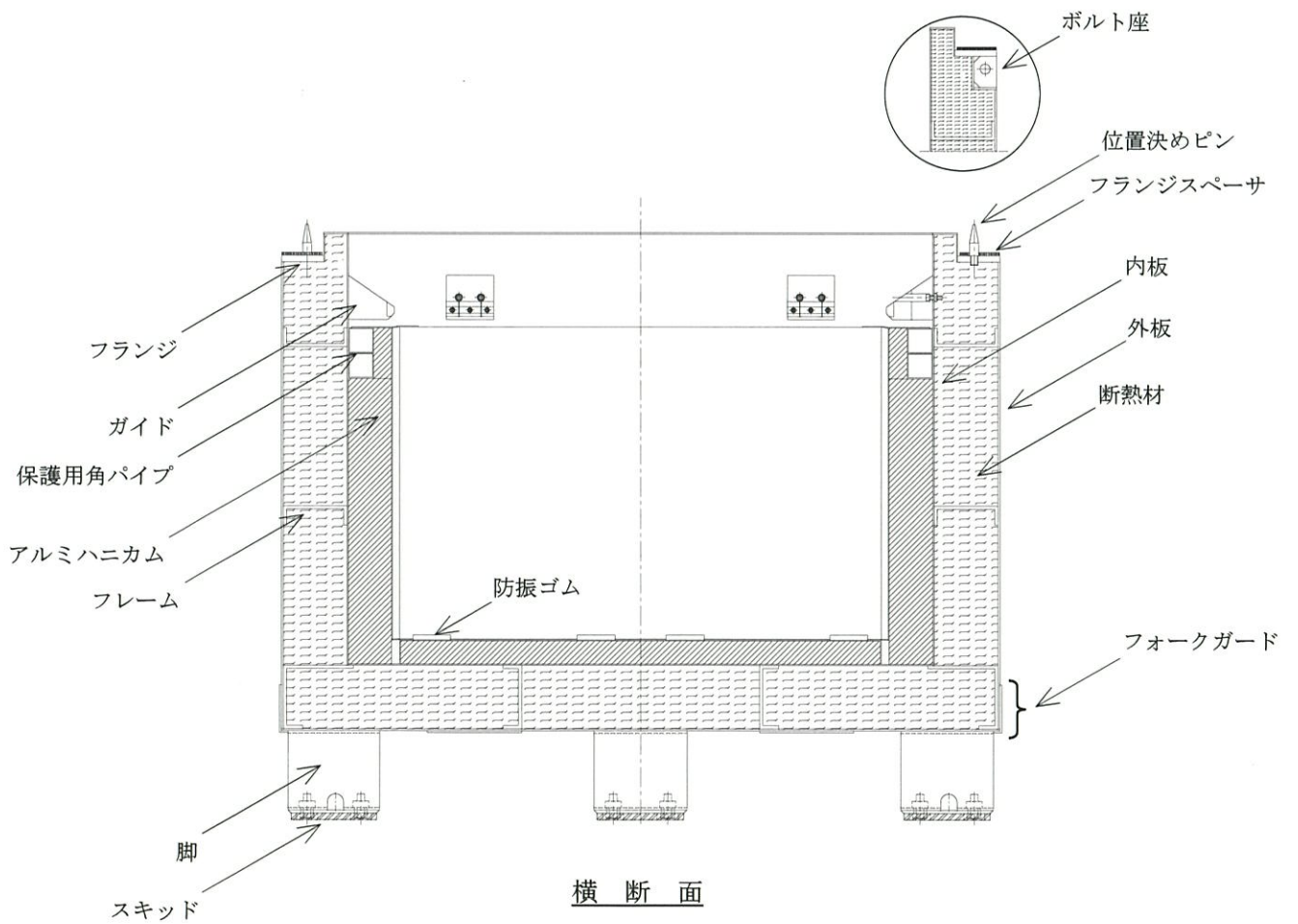


(単位：mm)

(イ)-第1図 GP-01型輸送物外観図

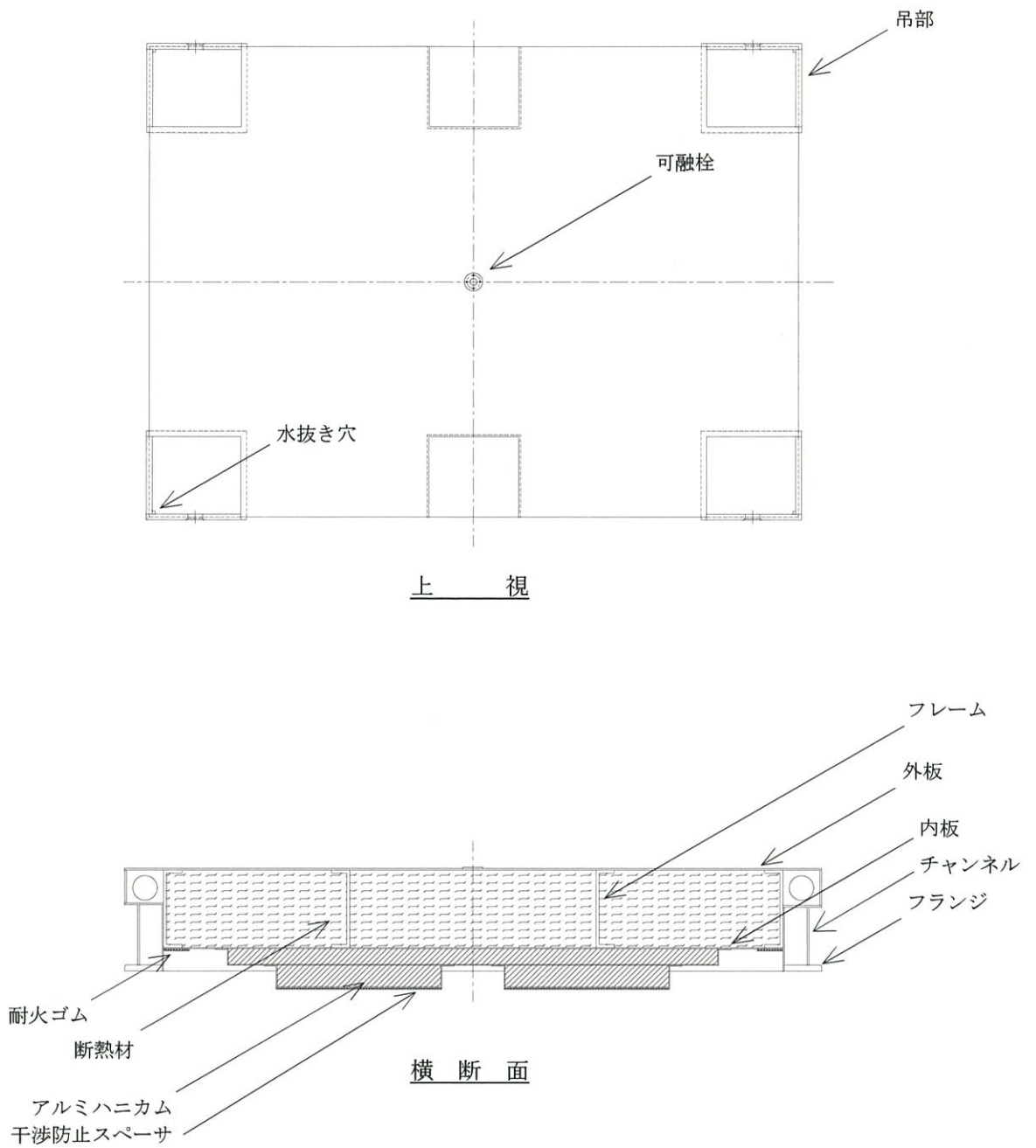


上 視

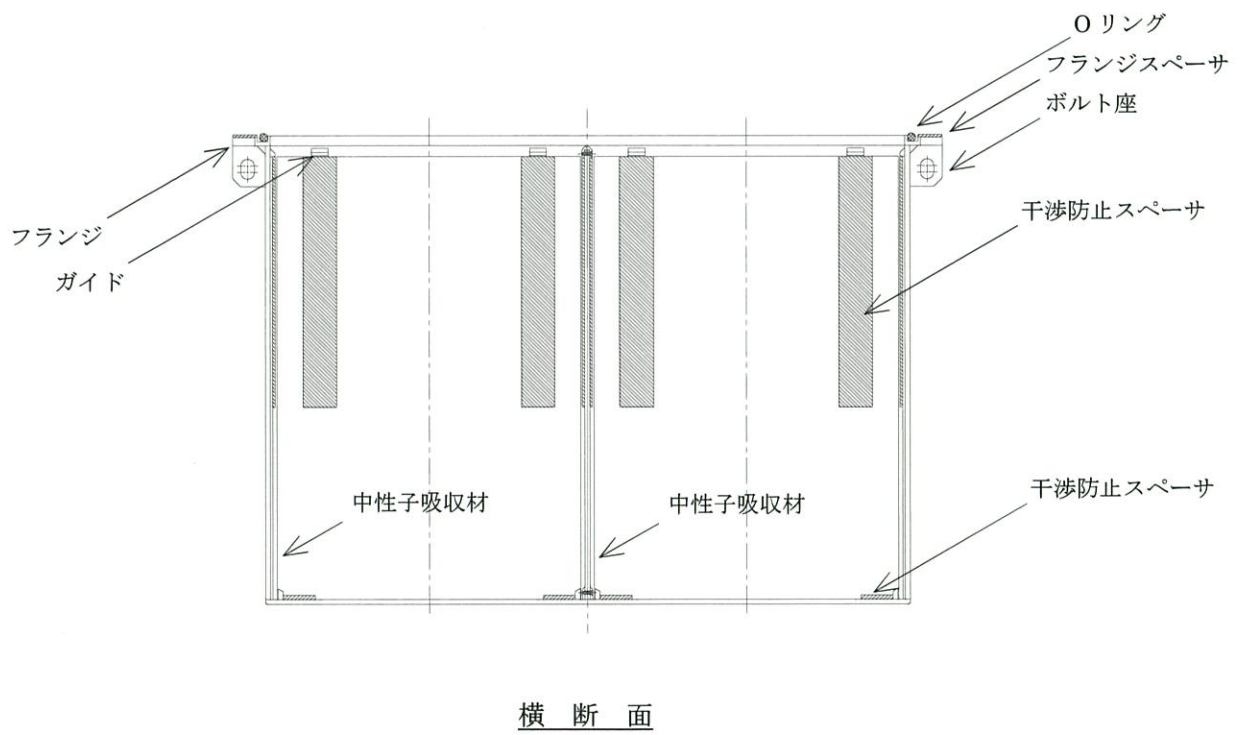
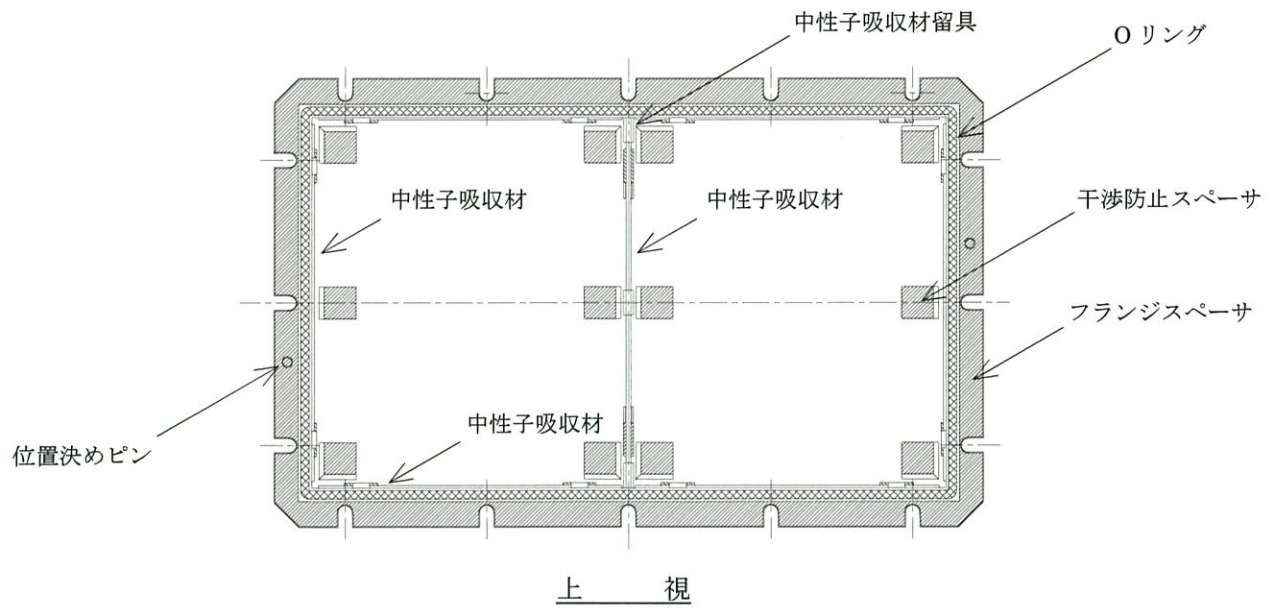


横 断 面

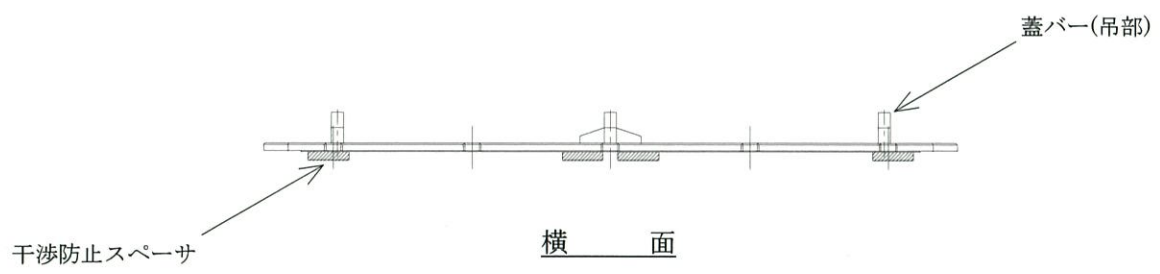
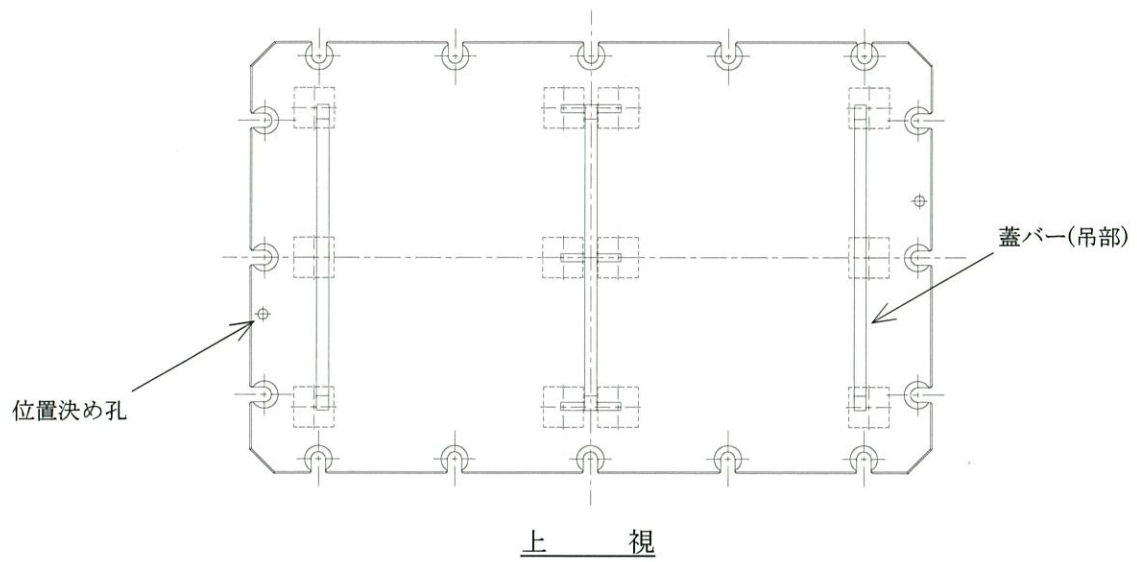
(イ)ー第 2 図 外容器本体構造図



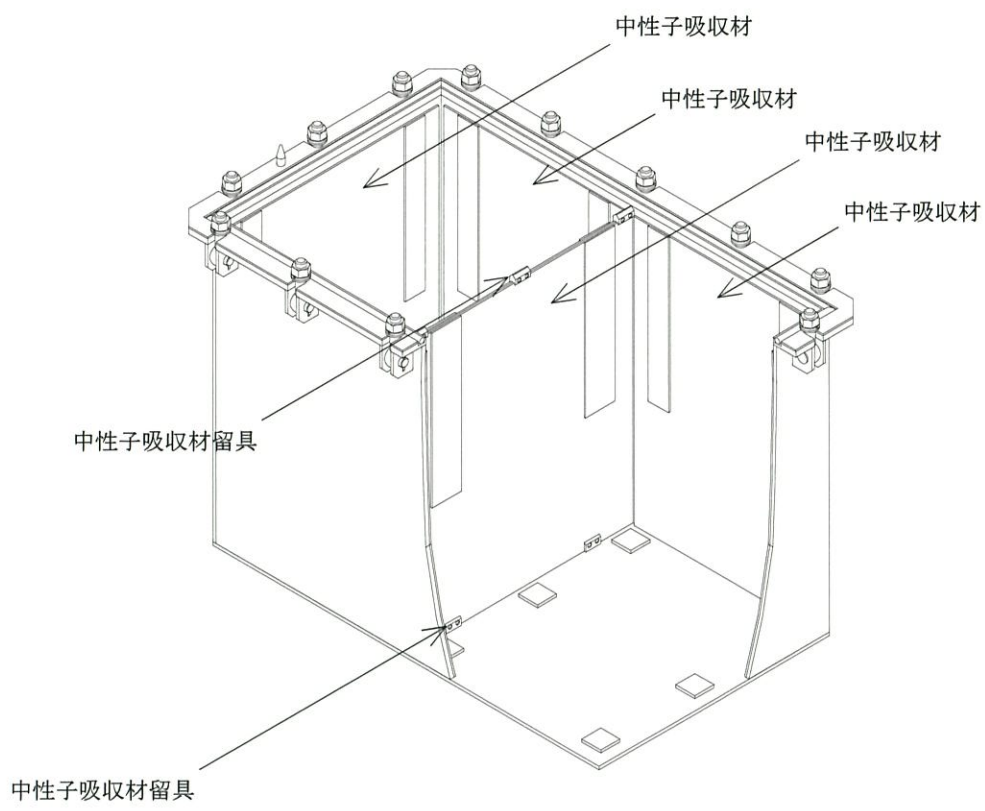
(イ)-第3図 外容器蓋構造図



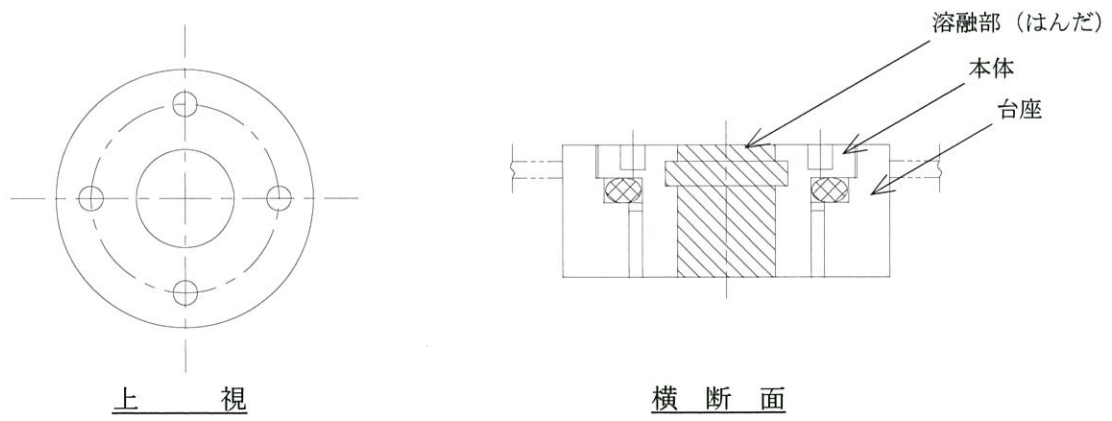
(イ)-第4図 内容器本体構造図



(イ)-第5図 内容器蓋構造図



(イ)-第6図 中性子吸収材配置図



(イ)-第7図 可融栓構造図

(イ)‑D 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は、ウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）を収納したペレット保管箱を 6 本の支柱に通した仕切板と交互に積重ね、支柱頂部のネジ部をナットで締付けて組立てたペレット保管箱組立体 2 基である。1 つのペレット保管箱組立体には、最大濃縮度 5wt% のペレットが最大で 132kg-UO₂ 収納される。ペレットは沸騰水型軽水炉もしくは加圧水型軽水炉用新燃料集合体に使用され、本輸送容器には軽水炉の型式に関わらず直径 8～10mm のペレットを収納する。

組立体は、支柱にアイナットを取付けて内容容器から吊出す場合と、内容容器内で解体しながら取出す場合がある。収納時も同様に、組立後に内容容器に装荷する場合と内容容器内で組立てる場合がある。ペレット保管箱組立体カバーは収納前もしくは収納後にペレット保管箱組立体に装着する。

ペレット保管箱組立体は、ペレット保管箱の型式によって最大 11kg-UO₂/箱を収納するペレット保管箱を 12 箱で組立てたペレット保管箱組立体(A)と最大 20kg-UO₂/箱を収納するペレット保管箱を 5 箱で組立てたペレット保管箱組立体(B)の 2 種類がある。ペレット保管箱組立体(A)の最大 UO₂ 重量は 132kg-UO₂ であり、ペレット保管箱組立体(B)の最大 UO₂ 重量は 100kg-UO₂ である。

(1) 主要な核種及び放射能の量

	²³² U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	⁹⁹ Tc	合計
放射能量 (Bq)	1.34×10 ⁸ 以下	2.70×10 ¹⁰ 以下	1.87×10 ⁹ 以下	1.40×10 ⁸ 以下	8.26×10 ⁹ 以下	1.46×10 ⁶ 以下	3.75×10 ¹⁰ 以下

(2) 物理的性状

ウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）は、酸化ウラン粉末もしくはガドリニアを混入した酸化ウラン粉末を、プレス成型後焼結してセラミックとしたもので、円柱形状をしており物理的性状は固体である。

ステンレス鋼製のペレット保管箱内には、ペレットをステンレス鋼製の波板上に並べ、積重ねて収納する。輸送中の振動による影響を抑える目的で、必要に応じてネオプレンゴムや発泡ウレタンなどの有機高分子系スペーサを波板間に挟みこむことがある。また、ペレット保管箱は、取扱施設の運用上の理由によりポリ袋等に封入することがある。この際ポリ袋はシーラーで溶着されるか、テープ等によって封じられる。ペレット保管箱外観(例)を(イ)‑第 8 図に示す。

ペレット保管箱組立体は、最下部の仕切板とそれに取付けられた 6 本の支柱にペレット保管箱と中間仕切板を交互に積重ね、最上部の仕切板を支柱頂部のネジ部のナットで締付けて組立てられる。最上部の仕切板を除く各仕切板には、ペレット保管箱を保持するためのネオプレンゴム製位置決めブロックが、支持具を介してボルトで仕切板に固定される。また、組立体の積重ね時に必要に応じてペレット保管箱と仕切板間に高さ調整用のネオプレンゴムや発泡ウレタンなどの有機高分子系スペーサを挟込むことがある。なお、ペレット保管箱組立体(B)には、ペレット保管箱固定用のブロック形状のネオプレンゴム製スペーサが最下部仕切板を除く各仕切板下面に接着される。ペレット保管箱組立体外観(例)を(イ)－第 9 図に示す。

ペレット保管箱組立体は、中間仕切板とゴム製部品を除いて全てステンレス鋼製部材で構成される。中間仕切板はボロン入りステンレス鋼製板であり、ペレット保管箱組立体(A)の中間仕切板は板厚 \square mm のボロン入りステンレス鋼製板 1 枚、ペレット保管箱組立体(B)の中間仕切板は板厚 \square mm のボロン入りステンレス鋼製板を 4 枚重ねたものが 1 つの仕切板として構成される。ボロン入りステンレス鋼製板は \square の \square でボロン濃度は \square wt% である。各仕切板の間隔は、支柱が貫通する部位に取付けられた留具によってその間隔が一定に維持される。ペレット保管箱組立体(A)構造図およびペレット保管箱組立体(B)構造図を(イ)－第 10 図及び(イ)－第 11 図に示す。

付属物として最上部仕切板上面には、ペレット保管箱組立体吊上げ用のアイナットを収納するアイナットホルダーを取付ける。

(3) 化学的性質

ウラン酸化物 (ペレット) 及びガドリニア入りウラン酸化物 (ペレット) は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることとはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることとはないので電気化学反応は発生しない。

ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、ネオプレンゴムは、化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることとはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることとはないので電気化学反応は発生しない。

また、ポリ袋及び発泡ウレタン等の有機高分子系材料についても、化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることとはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることとはないので電気化学反応は発生しない。

(4) 材料密度

- ・ペレット 8~11 g/cm³
- ・ステンレス鋼 約 7.9 g/cm³
- ・ボロン入りステンレス鋼 約 \square g/cm³
- ・ネオプレンゴム(クロロプレンゴム) 1.15~1.25g/cm³

(5) 収納物の密封性

ペレットは、酸化ウラン粉末をプレス成型後焼結してセラミックとした固体で、粉末のように飛散することはない。ペレットを収納するペレット保管箱及びペレット保管箱組立体は隙間無く組立てられ内容物である核燃料物質を組立体内に封じ込めるが、シール等の水密性や気密性を目的とした部材は採用されていない。密封性は外容器から取出し可能な内容物の密封境界によって担保される。

(6) 最大崩壊熱量

本輸送容器の収納物は未照射のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）であり、その崩壊熱量は無視できる。

(7) 密封装置の最大圧力

本輸送容器への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 濃縮度

5.0wt%以下

ii) 最大収納量

ペレット保管箱組立体(A)2基収納時・・・264kg-UO₂

ペレット保管箱組立体(B)2基収納時・・・200kg-UO₂

*ペレット保管箱組立体(A)と(B)は同梱しない。

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン（再生濃縮ウランを除く：ASTM C996-04 ECGU に準拠）

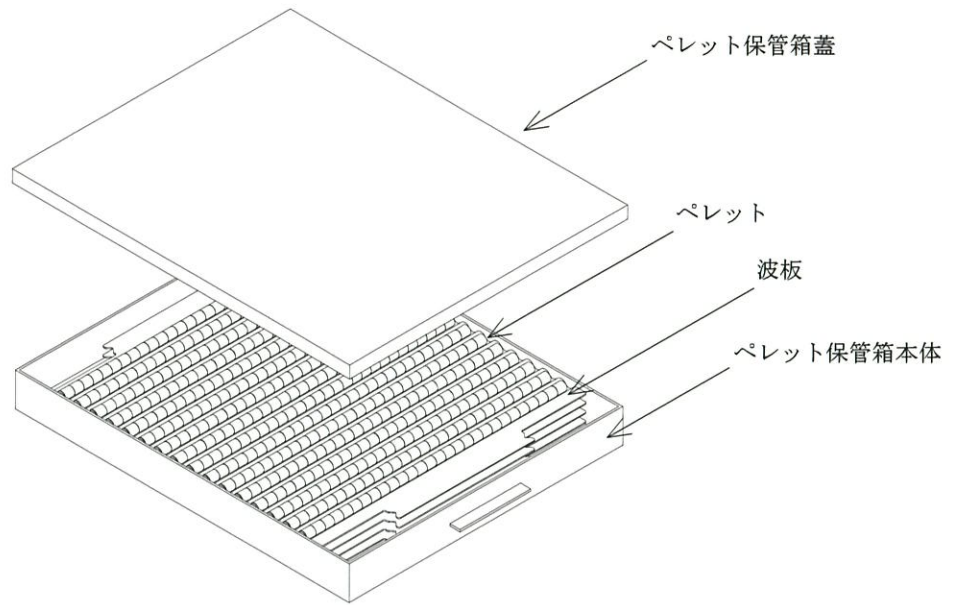
$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$

$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$

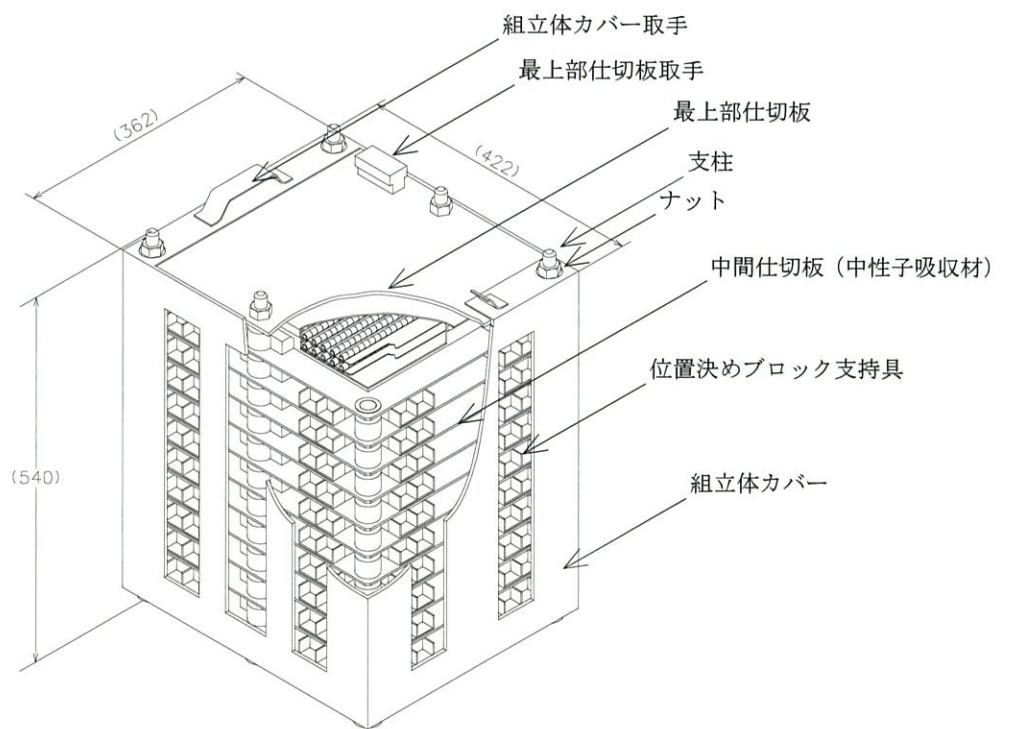
$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$

$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$

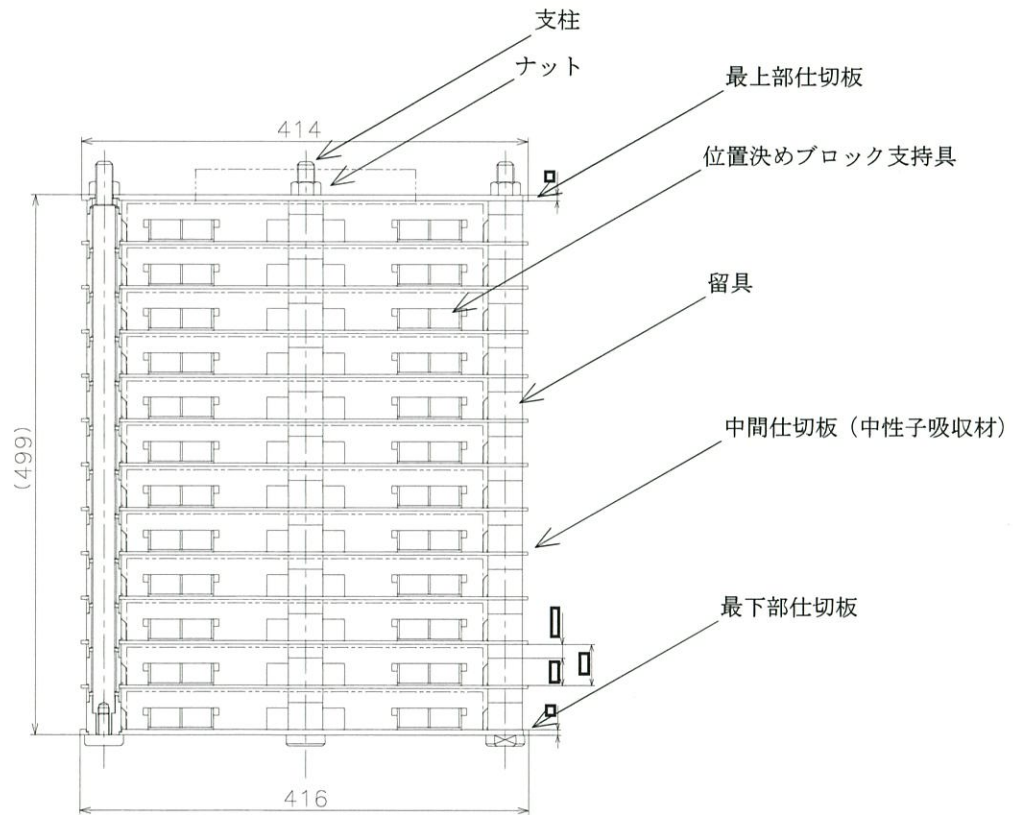
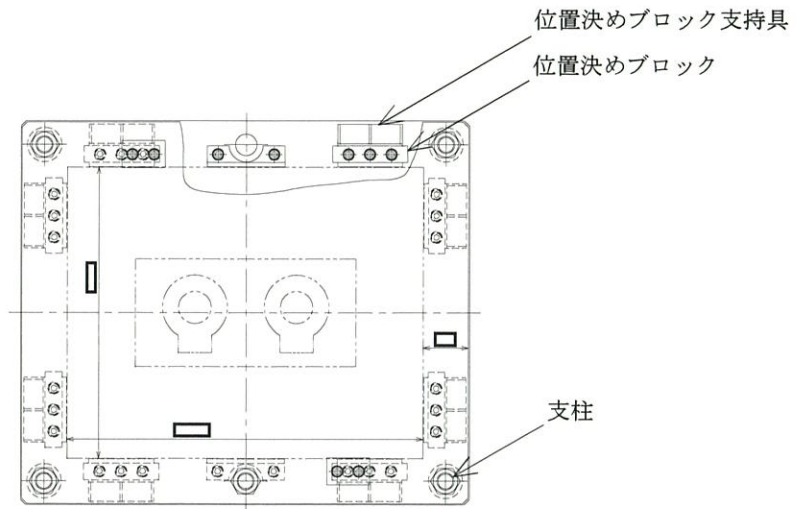
但し、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外



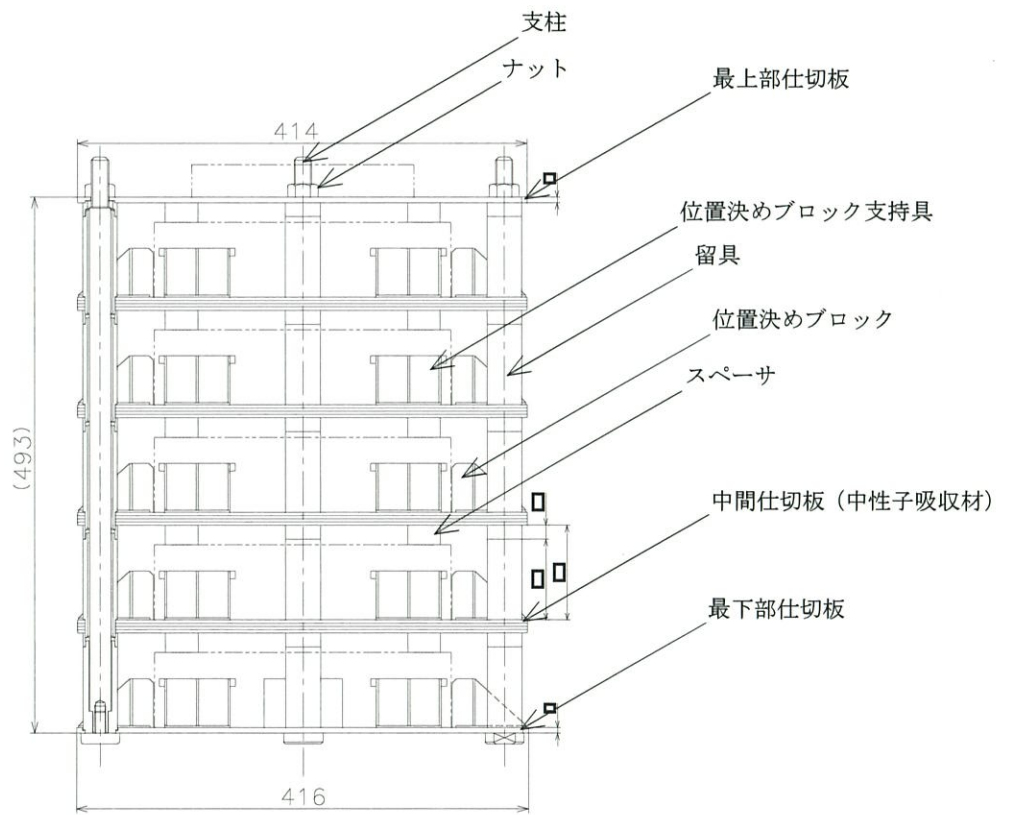
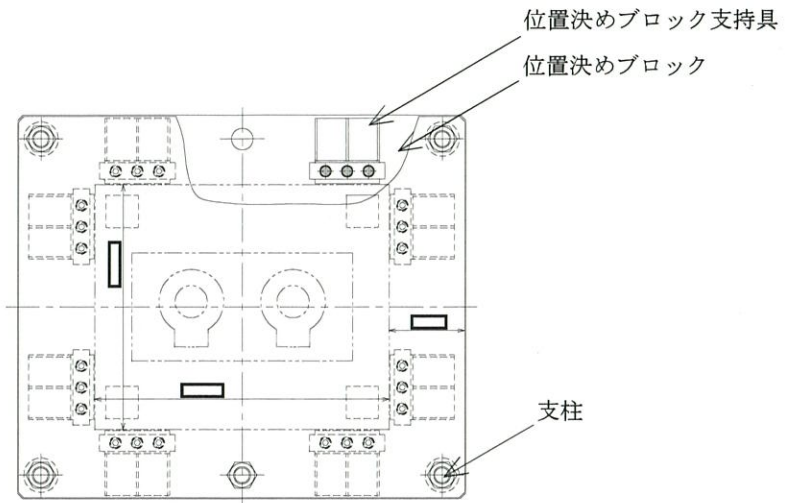
(イ)-第8図 ペレット保管箱外観 (例)



(イ)-第9図 ペレット保管箱組立体外観 (例)



(イ)-第 10 図 ペレット保管箱組立体(A)構造図



(イ)-第 11 図 ペレット保管箱組立体(B)構造図

(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析

本章では、本輸送物の設計が「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和 53 年総理府令第 57 号）」（以下「規則」と呼ぶ）及び「平成 2 年科学技術庁告示第 5 号（核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示）」（以下「告示」と呼ぶ）に定められる A 型核分裂性輸送物の技術基準に適合していることを示す。

(ロ)－A 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

本輸送物の全体図を(イ)－第 1 図に示す。本輸送容器は未照射のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）を輸送するためのものである。輸送容器は外容器と外容器から取り出し可能な内容容器から構成される。内容容器には収納物として、ペレットを収納するペレット保管箱組立体を 2 基収納する。輸送容器各部位の板材、棒材等主要構造材にはステンレス鋼を使用している。

外容器は 2 重構造で外板と内板との間には断熱材（セラミックファイバー）を充填し、耐熱性を確保している。外表面各面中央には可融栓を設けており、高温環境下で内板－外板間の内圧上昇を防ぐ構造となっている。

外容器本体と外容器蓋は、フランジ面を介して 20 本のロッドボルトで締付け固定する。内表面には、内容容器への衝撃緩和を目的としたアルミハニカムを設置している。外容器蓋上面は、本体底面の脚と嵌合する段積み時の位置決め用凹部を 6 箇所設けており、そのうちコーナー部の 4 箇所は吊具を兼ねている。

内容容器は箱型構造で本体と内容容器蓋のフランジ面には密閉用 O リングを設置し 16 本のロッドボルトで締付け固定する。また、本体内面には中性子吸収材としてボロン入りステンレス鋼製板を設置している。中性子吸収材配置を(イ)－第 6 図に示す。

収納物であるペレット保管箱組立体は、ペレット保管箱、6 本の支柱及び仕切板から成り、仕切板とペレット保管箱を交互に積重ねる構造となっている。ペレット保管箱組立体は、ペレット保管箱の型式によってペレット保管箱組立体（A）とペレット保管箱組立体（B）の 2 種類がある。

ペレット保管箱組立体は、支柱にアイナットを取付けて内容容器から吊出す場合と、内容容器内で解体しながら取出す場合がある。収納時も同様に、組立後に内容容器に装荷する場合と内容容器内で組立てる場合がある。組立体カバーは収納前もしくは収納後にペレット保管箱組立体に装着する。

A.1.2 設計基準

本解析では、規則及び告示に規定される A 型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おける輸送容器の構造を解析し、技術上の基準に適合することを示す。

解析の結果は安全率を用いて整理し、安全率が 1 以上になることを確認する。

$$\text{安全率} = \frac{\text{解析基準値}}{\text{解析値}}$$

(ロ)A-第 1 表に示す解析項目では対象となる部分の参照図、材質、設計温度及び対象となる部分に加わる設計負荷について記述している。また、解析方法に関しては、本文中で適用した式や手法を、その解析基準とともに記述している。解析基準値としては、引張応力に対して降伏応力を、せん断応力に対して降伏応力の $1/\sqrt{3}$ 倍の値、溶接部に対して引張応力又はせん断応力の 0.61 倍の値を使用する。

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (1/5)

解析項目	条件							備考	
	参照図	材質	設計温度	種類	設計負荷		解析方法		
					要素	種 類	負荷係数		適用式または要素	解析基準
1.化学的及び電気的反応 (1) 化学的反応 (2) 電気的反応	-	-	常温	腐食	-	反応性	反応性の有無	化学反応がないこと	
	-	-	常温	腐食	-	電位性	異種材質間の電位差の有無	異種材質間の電位差がないこと	
2.低温強度 (1) 構造材 (2) 衝撃吸収材 (3) スペーサ、Oリング (4) 断熱材 (5) ロットボルト	-	SUS304	-40℃	最低温度	-	低温強度	性能低下の有無	-	
	-	アルミハニカム	-40℃	最低温度	-	低温強度	性能低下の有無	-	
	-	シリコンゴム	-40℃	最低温度	-	性能低下	性能低下の有無	-	
	-	セラミックファイバーク	-40℃	最低温度	-	性能低下	性能低下の有無	-	
	-	SCM435H	-40℃	最低温度	-	低温強度	性能低下の有無	-	
3.密封装置	(イ)-第4図	-	-	-	-	誤操作	誤操作防止構造の有無	誤操作により密封装置が開かないこと	
4.吊上装置 (1) 外容器吊部A断面 (2) 外容器吊部B断面	(ロ)A-第4図	SUS304	常温	輸送物重量	3	引張応力 せん断応力 せん断応力 曲げ応力 組合せ応力	$\sigma_{AT}=F_z/A_A \times \alpha$ $\tau_{AX}=F_x/A_A$ $\tau_{AY}=F_y/A_A$ $\sigma_{AB}=F_y L/Z_A$ $\sigma_{AC}=\sqrt{\sigma_{AT}^2+\sigma_{AB}^2+\sigma_{AC}^2+3\tau_{AX}^2+3\tau_{AY}^2}$ $\sigma_{BT}=F_z/A_B \times \alpha$ $\tau_{BZ}=F_z/A_B$ $\tau_{BY}=F_y/A_B$	- - - - σ_y - - -	
	(ロ)A-第5図	SUS304	常温	輸送物重量	3	引張応力 せん断応力 せん断応力 組合せ応力	$\sigma_{BC}=\sqrt{\sigma_{BT}^2+3\tau_{BZ}^2+3\tau_{BY}^2}$ $\tau_s=F_z/A_s$	- - - σ_y 0.352 σ_y (=1/√3×0.61)	
(3) 外容器吊部箱形状部溶接部	(ロ)A-第6図	SUS304	常温	輸送物重量	3	せん断応力	-	-	

通常輸送時

(ロ)A-第一 1 表 構造解析設計基準 (2/5)

解析項目	参照図	材質	温度	条 件			解析方法		備考
				種類	設計負荷 負荷係数	要素	適用式または要素		
							種別	種別	
(4) 外容器吊部と蓋の溶接部	(ロ)A-第7図	SUS304	常温	輸送物重量	3	引張応力	$\sigma_L = F_z/A_L$	$0.61 \sigma_y$	
(5) 外容器ロッドボルト	(イ)-第1図	SCM435H	常温	輸送物重量	3	引張応力	$\sigma_R = F_z/(nAR) + T/(KdAR)$	σ_y	
(6) 内容器吊部A断面	(ロ)A-第8図	SUS304	常温	輸送物重量	3	引張応力 せん断応力 せん断応力 曲げ応力	$\sigma_{AT} = F_y/A_A \times \alpha$ $\tau_{AX} = F_y/A_A$ $\tau_{AY} = F_y/A_A$ $\sigma_{AB} = F_y L/Z_A$	— — — —	
(7) 内容器吊部B断面	(ロ)A-第9図	SUS304	常温	輸送物重量	3	組合せ応力 引張応力 せん断応力 せん断応力	$\sigma_{AC} = \sqrt{\sigma_{AT}^2 + \sigma_{BH}^2 - \sigma_{AT}\sigma_{BH} + 3\tau_{AX}^2 + 3\tau_{AT}^2}$ $\sigma_{BT} = F_y/A_B \times \alpha$ $\tau_{BZ} = F_y/A_B$ $\tau_{BX} = F_y/A_B$	σ_y — — —	
(8) 内容器吊部溶接部	(ロ)A-第10図	SUS304	常温	輸送物重量	3	組合せ応力 引張応力 せん断応力 曲げ応力	$\sigma_{BC} = \sqrt{\sigma_{BT}^2 + 3\tau_{BZ}^2 + 3\tau_{BX}^2}$ $\sigma_T = F_z/A \times \alpha$ $\tau_X = F_y/A$ $\sigma_B = F_y L/Z$	σ_y — — —	
(9) 内容器ロッドボルト	(イ)-第1図	SCM435H	常温	輸送物重量	3	組合せ応力 引張応力	$\sigma_C = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_B^2 - \sigma_T\sigma_B + 3\tau_X^2}$ $\sigma_R = F_z/(nAR) + T/(KdAR)$	$0.61 \sigma_y$ σ_y	
5.固縛装置	—	—	—	—	—	—	—	—	該当せず

通常輸送時

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (3/5)

解析項目	条 件					解析方法		備考
	参照図	材 質	温 度	設計負荷		適用式または要素	解析基準	
				種 類	負荷係数				要 素
6. 圧力 (1) 内容器幅狭側面 (2) 内容器幅広側面 (3) 内容器底面 (4) 内容器上面 (5) 内容器ロッドボルト	—	SUS304	常温	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y
	—	SUS304	常温	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y
	—	SUS304	常温	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y
	—	SUS304	常温	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y
	—	SCM435H	常温	内圧	1	引張応力	$\sigma_R = F/(nAR) + T/(KdAR)$	σ_y
7. 振動	—	—	—	—	—	振動	亀裂、破損の有無	—

通常輸送時

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (4/5)

解析項目	条 件						解 析 方 法		備 考
	参照図	材 質	温 度	設 計 負 荷		要 素	解 析 方 法		
				種 類	負 荷 係 数		適 用 式 又 は 要 素	解 析 基 準	
1. 圧力 (1) 内容器幅狭側面 (2) 内容器幅広側面 (3) 内容器底面 (4) 内容器上面 (5) 内容器ロッドボルト	—	SUS304	59°C	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{\max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y	
	—	SUS304	59°C	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{\max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y	
	—	SUS304	59°C	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{\max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y	
	—	SUS304	59°C	内圧	1	曲げ応力	$\sigma_{\max} = \beta pa^2/h^2$	σ_y	
	—	SCM435H	59°C	内圧	1	引張応力	$\sigma_R = F/(nAR) + T/(KdAR)$	σ_y	
2. 水噴霧	—	—	常温	水噴霧	—	水浸透	—	材質劣化 内部浸水	
3. 自由落下 〔蓋下水平 幅狭側面下水平 コーナー〕	—	SUS304	常温	1.2mより落下	1	変形	原型容器試験	変形、破損 収納物漏出	
	(ロ)A-第11図	SUS304	常温	輸送物重量	5	座屈荷重	$W = A\sigma_c \left(1 - \frac{\sigma_c}{4n\pi^2 E} \lambda^2 \right)$	座屈荷重	
5. 貫通	—	SUS304	常温	丸棒の1m から落下	1	容器貫通	原型容器試験	貫通の有無	

一般の試験条件

(ロ)A-1 表 構造解析設計基準 (5/5)

解析項目	条件							備考	
	参照図	材質	温度	設計負荷		解析方法			
				種類	負荷係数	要素	適用式または要素		解析基準
1. 落下試験 I <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> 蓋下水平 幅狭側面下水平 幅広側面下水平 幅狭側面傾斜 コーナ— </div>	—	SUS304	常温	9mより落下	1	変形	原型容器試験	—	
2. 落下試験 II <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> 蓋水平 底脚際水平 幅広側吊部傾斜 幅広中央傾斜 幅広側フランジ傾斜 </div>	—	SUS304	常温	ターゲットへ 1mより落下	1	変形	原型容器試験	—	
3. 耐火試験	—	—	800℃	—	—	—	原型容器試験	—	
4. 浸漬試験	—	—	—	—	—	—	—	—	臨界解析で浸水を考慮

特別の試験条件 (核分裂性輸送物)

A.2 重量及び重心

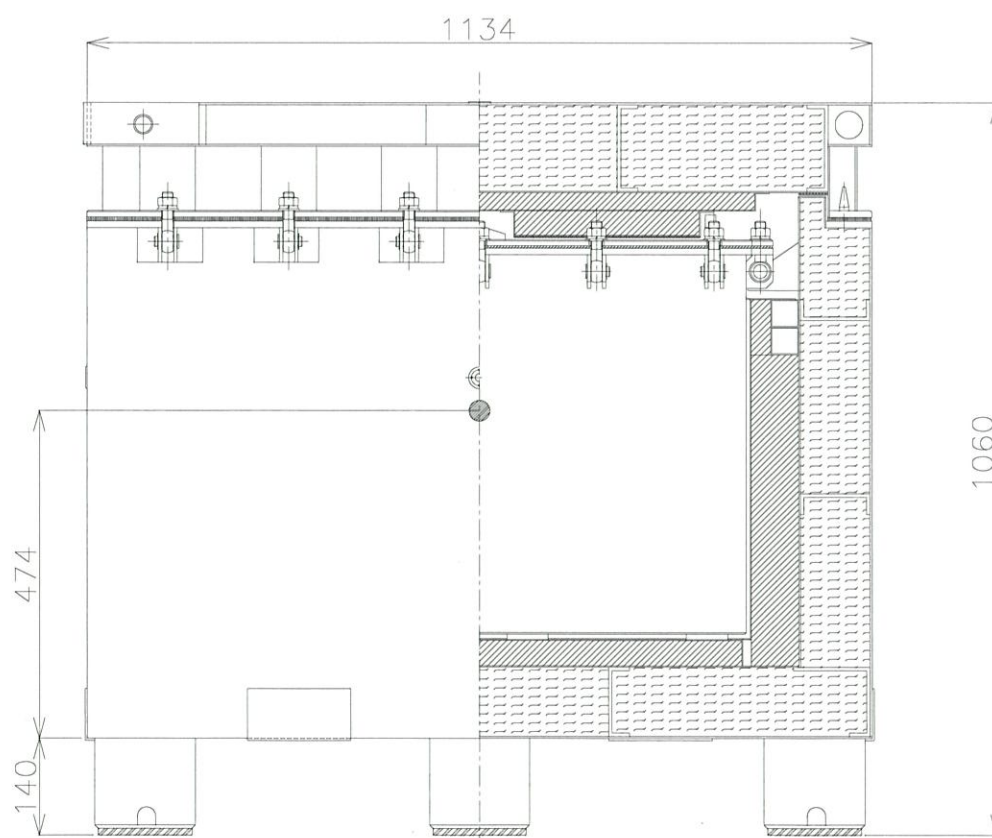
輸送物及びその主な構成物の重量を(ロ)A-第2表に示す。輸送物の重心位置は(ロ)A-第1図に示すとおりである。

(ロ)A-第2表 輸送物の重量 (最大重量)

(単位 : kg)

輸送容器	≦730
外容器 本体	(393)
蓋	(147)
内容器 本体	(150)
蓋	(40)
収納物 (ペレット保管箱組立体)	≦570
総重量	≦1,300

なお、解析計算では、輸送物最大重量 1300kg として評価する。



(ロ)A-第1図 輸送物の重心位置

A.3 材料の機械的性質

輸送容器を構成する主要構造材料の機械的性質を(口)A-第3表に示す。

(ロ)A-第3表 主要構造材料の機械的性質

材料名	種類	密度 (kg/m ³)			降伏応力 (MPa)			引張強さ (MPa)			伸び (%)	ヤング率 (MPa)
		20 °C	75 °C	170 °C	20 °C	75 °C	170 °C	20 °C	75 °C	170 °C		
ステンレス鋼	板材	7930	183	151	520	466	414	40	1.93 × 10 ⁵			
	管材	SUS304TP	7930	183	151	520	466	414	35	1.93 × 10 ⁵		
		SUS304	7930	183	151	520	466	414	40	1.93 × 10 ⁵		
	棒材	7930	183	151	520	466	414	40	1.93 × 10 ⁵			
	アングル	7930	183	151	520	466	414	40	1.93 × 10 ⁵			
クロム モリブデン鋼	棒材	7830	712	643	930	847	847	15	2.05 × 10 ⁵			

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器内及び輸送容器と収納物の相互に接触する異種材料の一覧を(ロ)A-第 4 表に示す。

このように輸送容器に使用されている材料の組合せで、危険な化学的または電氣的反応を生じる恐れはない。

(ロ)A-第 4 表 輸送容器と収納物の接触する異種材料

接触異種材料	主要接触部材
ステンレス鋼-クロムモリブデン鋼	外容器-ロッドボルト 内容器-ロッドボルト
ステンレス鋼-セラミックファイバー	外容器-断熱材
ステンレス鋼-アルミニウム	外容器-衝撃緩衝材 内容器-衝撃緩衝材
ステンレス鋼-ウレタンゴム	外容器-スキッド 外容器-ガイド
ステンレス鋼-シリコンゴム	外容器-フランジスペーサ 内容器-フランジスペーサ、Oリング
ステンレス鋼-ネオプレンゴム	内容器-干渉防止スペーサ 内容器-防振ゴム
ステンレス鋼-エチレンプロピレンゴム	外容器-耐火ゴム
ステンレス鋼-はんだ	可融栓本体-可融栓可融部
ステンレス鋼-ボロン入りステンレス鋼	内容器-中性子吸収材
ボロン入ステンレス鋼-ネオプレンゴム	中性子吸収材-干渉防止スペーサ
アルミニウム-ネオプレンゴム	衝撃緩衝材-防振ゴム 衝撃緩衝材-干渉防止スペーサ
ウレタンゴム-MC ナイロン	ガイド本体-ガイド先端
MC ナイロン-ステンレス鋼	内容器-ガイド先端

A.4.2 低温強度

本輸送容器の金属材料としては、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304 相当）、クロムモリブデン鋼（SCM435 相当）及びアルミニウム合金が使用される。これらは -40°C の環境下でも強度が低下することはない、機能を損なうことはない。（「(ロ)A 付属資料 2 参照」）

本輸送容器の O リング、スペーサとしてはネオプレンゴム及びシリコンゴムが使用される。ネオプレンゴムの脆化温度は $-35\sim-55^{\circ}\text{C}$ の間であるが、ネオプレンゴムは構造評価に使用される部位ではなく脆化により問題が生じることはない。また、密封境界に使用されるシリコンゴムの脆化温度は -50°C 以下であり、低温による性能の低下はない。

本輸送容器の断熱材としてはセラミックファイバーが使用される。本断熱材の機能として -40°C の環境下での断熱を考慮しておらず、低温時における断熱性能の低下が問題になることはない。また、本材料が -40°C において劣化することはない。

A.4.3 密封装置

本輸送容器の密封装置は内容器が該当する。内容器は本体と蓋により構成され、内容器本体のフランジ部に設けられた溝部に O リングをはめ込み、内容器蓋を 16 本のロッドボルトで締め付けることにより、内容器の密封性を確保する構造となっている。これらのボルトは、緩止め用の皿バネワッシャを介して適切に締め付けることにより、輸送中の振動等により緩むことはない。

内容器は外容器内に収納される。外容器の蓋は 20 本のロッドボルトで締め付けられ、内容器同様に輸送中の振動で緩むことはない。

外容器及び内容器の蓋締め付けに使用される適切に締め付けられたロッドボルトを外すためには、レンチ等の汎用工具が必要であり、重量が 100kg 以上ある外容器蓋を開けるためには、揚重機が必要である。また、輸送中はトラックなどの運搬車輛や、コンテナ等の運搬機器により上下方向の異常な振動が発生しないように外容器蓋を押さえて固縛する。

以上のことから、適切に梱包された本輸送物は、開梱する意図がない限り誤操作等により密封装置が開かれることはない。

A.4.4 吊上装置

本輸送容器の吊上装置は、(イ)－第3図に示す外容器の吊部と(イ)－第5図に示す内容物の吊部である。各吊部はステンレス鋼製で、外容器はフレーム部に、内容物は蓋にそれぞれ溶接で固定されている。吊上装置は、輸送物の急激な吊上げに対しても耐えるよう輸送物重量の3倍の荷重がかかった場合でも十分安全な構造になっている。

ここで、外容器及び内容物の吊部において、各板厚部、固定溶接部ならびにロッドボルトにかかる応力が基準値に対して問題ないかどうかを評価する。

外容器、内容物それぞれの吊上作業は(ロ)A－第2図、(ロ)A－第3図に示すように、4本の1m以上のワイヤーを用いて行う。このとき吊上用具である各吊部に発生する応力を求める。

上図に示す吊り角度より、吊部1箇所に加わる荷重は次式で表される。

$$F_z = \frac{3}{4}WG$$

$$F_x = F_z / \tan(90 - \theta_x)$$

$$F_y = F_z / \tan(90 - \theta_y)$$

ここで、

F_z	: 吊部に働く荷重の鉛直成分	N
F_x	: 吊部に働く荷重の水平長手方向成分	N
F_y	: 吊部に働く荷重の水平幅方向成分	N
W	: 輸送物総重量	
	外容器	1300kg
	内容物	760kg
G	: 重力加速度	9.80665m/s
θ_x	: 長手方向面におけるワイヤーと鉛直線のなす角	
	外容器	32.3°
	内容物	19.8°
θ_y	: 幅方向面におけるワイヤーと鉛直線のなす角	
	外容器	28.0°
	内容物	8.5°

以上より、外容器における各成分の荷重は、

$$F_z = 9562\text{N}$$

$$F_x = 6039\text{N}$$

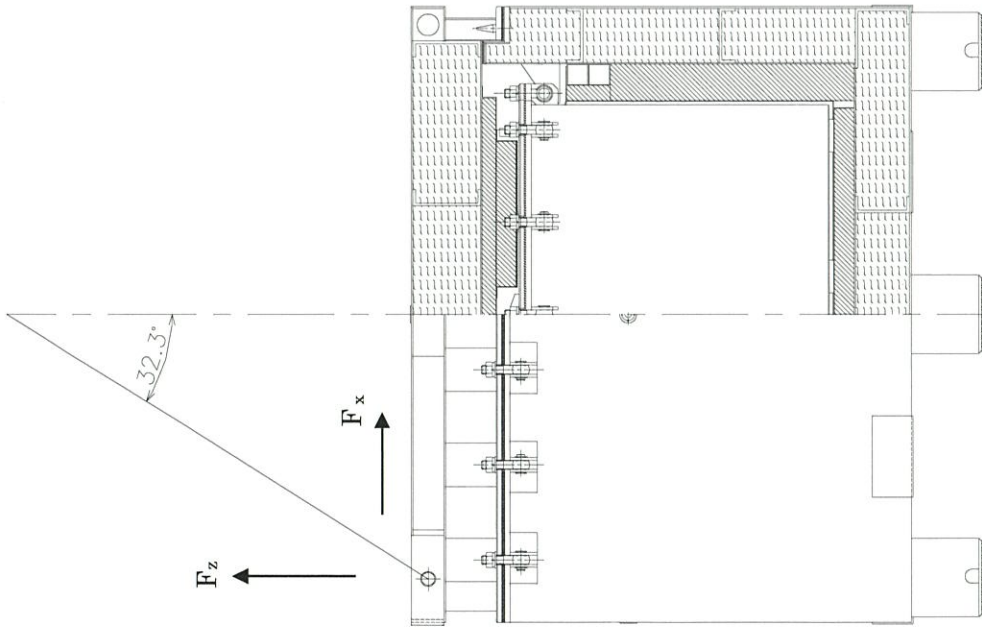
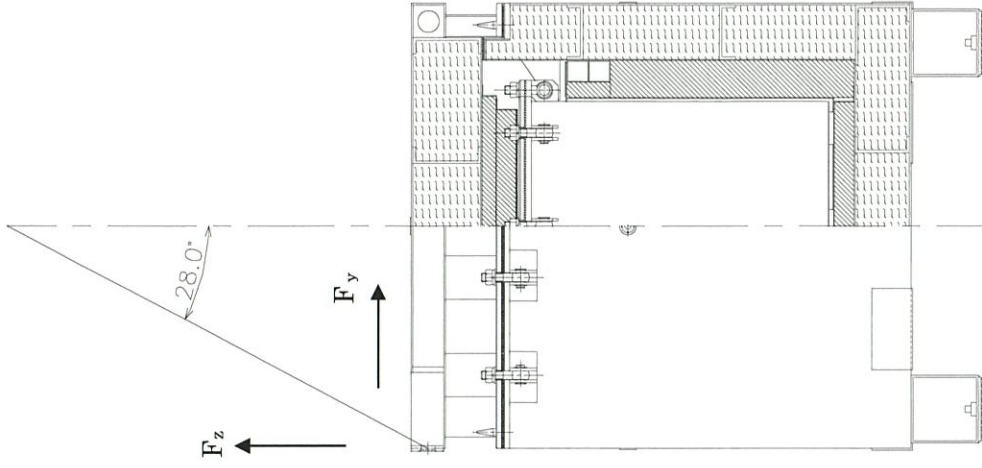
$$F_y = 5084\text{N}$$

また、内容物における各成分の荷重は、

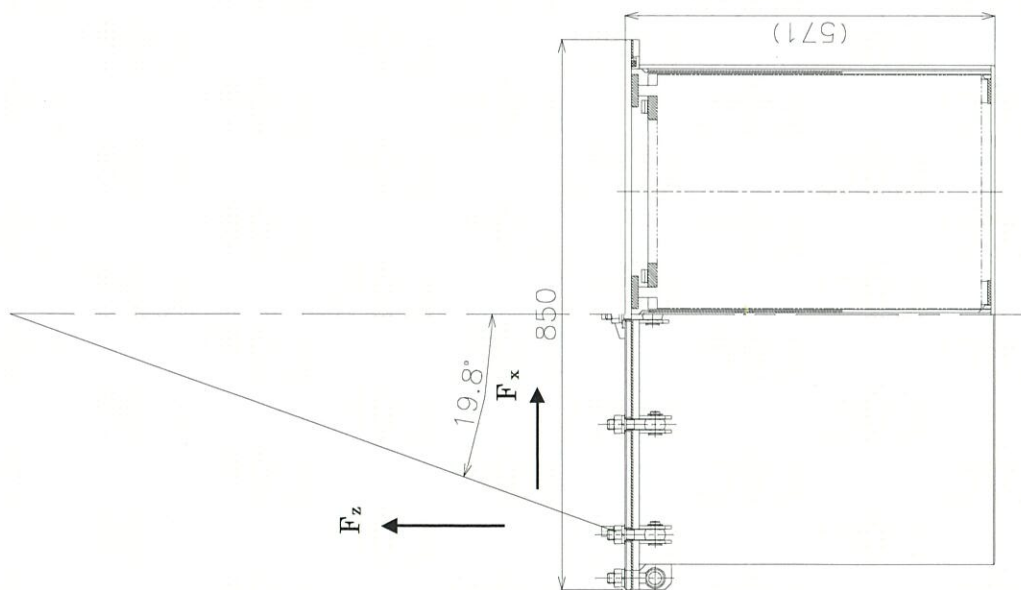
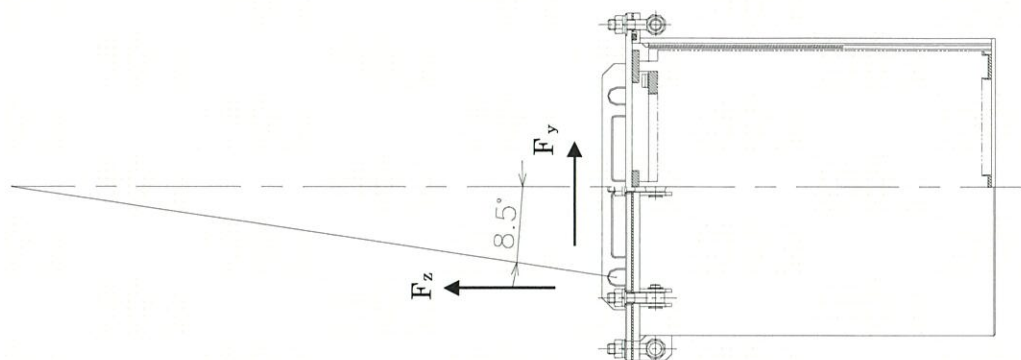
$$F_z = 5590\text{N}$$

$$F_x = 2010\text{N}$$

$$F_y = 840\text{N}$$



(口)A-第2図 外容器の吊上げ作業

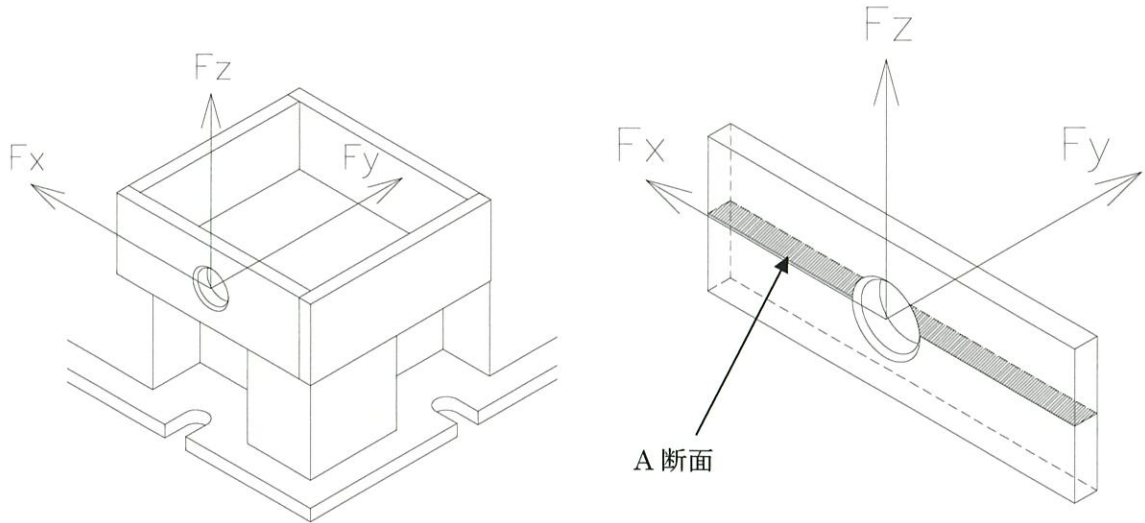


(ロ)A-第3図 内容器の吊上げ作業

A.4.4.1 外容器吊部の A 断面に発生する応力

吊部はステンレス鋼製の板を 5 枚組合せ溶接した箱形状となっている。容器吊上げ時には各ステンレス板に荷重が分配されるが、ここでは保守的に吊り用の円孔をもつ 1 枚の板材に全荷重が集中したものととして発生応力を求める。

(ロ)A-第 4 図に示す A 断面には、鉛直荷重による引張応力、長手方向面荷重によるせん断応力、及び幅方向面荷重による曲げ応力及びせん断応力が発生する。



(ロ)A-第 4 図 外容器吊部の A 断面

(1) 鉛直方向引張応力

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_{AT} = \frac{F_z}{A_A} \times \alpha$$

ここで、

σ_{AT} : A 断面に生じる引張応力 MPa

F_z : 外容器吊部に働く荷重の鉛直成分 9562N

A_A : A 断面の断面積 mm²

α : 応力集中係数 (円孔を有する帯板) 2.6

これらを用いると、

$$\sigma_{AT} = \frac{9562}{\text{}} \times 2.6 = \text{} \text{ MPa}$$

(2) 水平長手方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{AX} = \frac{F_x}{A_A}$$

ここで、

τ_{AX} : A断面に生じる水平長手方向せん断応力 MPa

F_x : 外容器吊部に働く荷重の長手方向成分 6039N

A_A : A断面の断面積 mm²

これらを用いると、

$$\tau_{AX} = \frac{6039}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(3) 水平幅方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{AY} = \frac{F_y}{A_A}$$

ここで、

τ_{AY} : A断面に生じる水平幅方向せん断応力 MPa

F_y : 外容器吊部に働く荷重の幅方向成分 5084N

A_A : A断面の断面積 mm²

これらを用いると、

$$\tau_{AY} = \frac{5084}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(4) 水平幅方向曲げ応力

曲げ応力は次式にて表される。

$$\sigma_{AB} = \frac{F_y L}{Z_A}$$

ここで、

σ_{AB} : A断面に生じる曲げ応力 MPa

F_y : 外容器吊部に働く荷重の幅方向成分 5084N

Z_A : A断面の断面係数 mm²

$$Z_A = (\text{}) / 6 = \text{} \text{ mm}^2$$

L : A断面から荷重作用点までの距離 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{AB} = \frac{5084 \times \text{}}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(5) 組合せ応力

垂直応力とせん断応力が同時に作用するときの組合せ応力は次式にて表される。

$$\sigma_{AC} = \sqrt{\sigma_{AT}^2 + \sigma_{AB}^2 - \sigma_{AT} \sigma_{AB} + 3\tau_{AX}^2 + 3\tau_{AY}^2}$$

ここで、

σ_{AC} : A断面に生じる組合せ応力 MPa

σ_{AT} : A断面に生じる引張応力 MPa

- σ_{AB} : A断面に生じる曲げ応力 MPa
- τ_{AX} : A断面に生じる水平長手方向せん断応力 MPa
- τ_{AY} : A断面に生じる水平幅方向せん断応力 MPa

これらを用いると、

$$\sigma_{AC} = \text{} \text{ MPa}$$

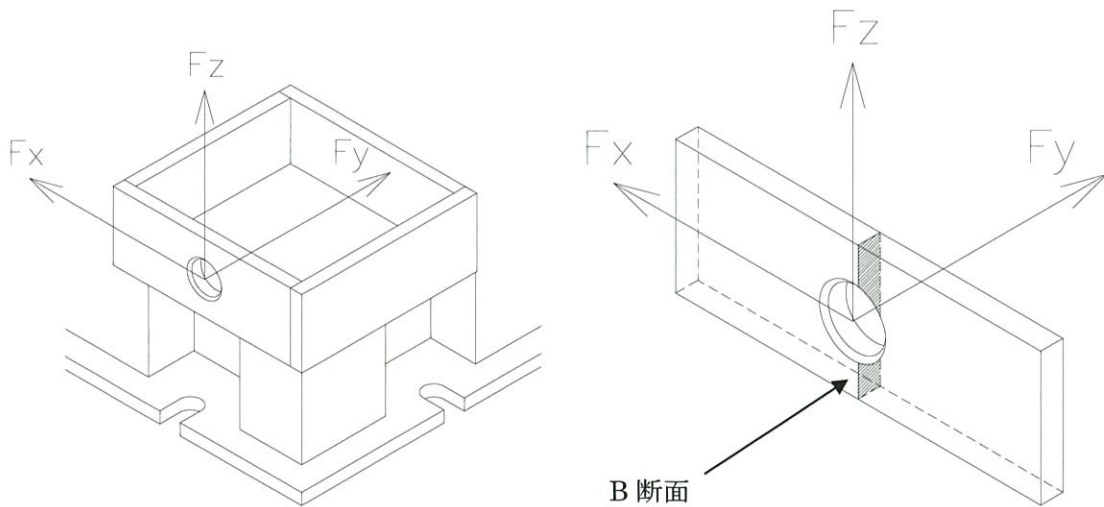
したがって、外容器吊部 A 断面に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 205MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{205}{\text{}} = \text{$$

A.4.4.2 外容器吊部の B 断面に発生する応力

吊部はステンレス鋼製の板を 5 枚組合せ溶接した箱形状となっている。容器吊上げ時には各ステンレス板に荷重が分配されるが、ここでは保守的に吊り用の円孔をもつ 1 枚の板材に全荷重が集中したものとして発生応力を求める。

(ロ)A-第 5 図に示す B 断面には、水平長手方向面荷重による引張応力、鉛直面荷重によるせん断応力、及び幅方向面荷重によるせん断応力が発生する。



(ロ)A-第 5 図 外容器吊部の B 断面

(1) 水平長手方向引張応力

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_{BT} = \frac{F_x}{A_B} \times \alpha$$

ここで、

- σ_{BT} : B断面に生じる引張応力 MPa
- F_x : 外容器吊部に働く荷重の水平長手成分 6039N
- A_B : B断面の断面積 mm²
- α : 応力集中係数 (円孔を有する帯板) 2.2

これらを用いると、

$$\sigma_{BT} = \frac{6039}{\square} \times 2.2 = \square \text{ MPa}$$

(2) 鉛直方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{BZ} = \frac{F_z}{A_B}$$

ここで、

τ_{BZ} : B断面に生じる鉛直方向せん断応力 MPa

F_z : 外容器吊部に働く荷重の鉛直方向成分 9562N

A_B : B断面の断面積 $\square \text{ mm}^2$ (円孔上側のみ考慮)

これらを用いると、

$$\tau_{BZ} = \frac{9562}{\square} = \square \text{ MPa}$$

(3) 水平幅方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{BY} = \frac{F_y}{A_B}$$

ここで、

τ_{BY} : B断面に生じる水平幅方向せん断応力 MPa

F_y : 外容器吊部に働く荷重の幅方向成分 5084N

A_B : B断面の断面積 $\square \text{ mm}^2$

これらを用いると、

$$\tau_{BY} = \frac{5084}{\square} = \square \text{ MPa}$$

(4) 組合せ応力

垂直応力とせん断応力が同時に作用するときの組合せ応力は次式にて表される。

$$\sigma_{BC} = \sqrt{\sigma_{BT}^2 + 3\tau_{BZ}^2 + 3\tau_{BY}^2}$$

ここで、

σ_{BC} : B断面に生じる組合せ応力 MPa

σ_{BT} : B断面に生じる引張応力 $\square \text{ MPa}$

τ_{BZ} : B断面に生じる水平長手方向せん断応力 $\square \text{ MPa}$

τ_{BY} : B断面に生じる水平幅方向せん断応力 $\square \text{ MPa}$

これらを用いると、

$$\sigma_{BC} = \boxed{} \text{ MPa}$$

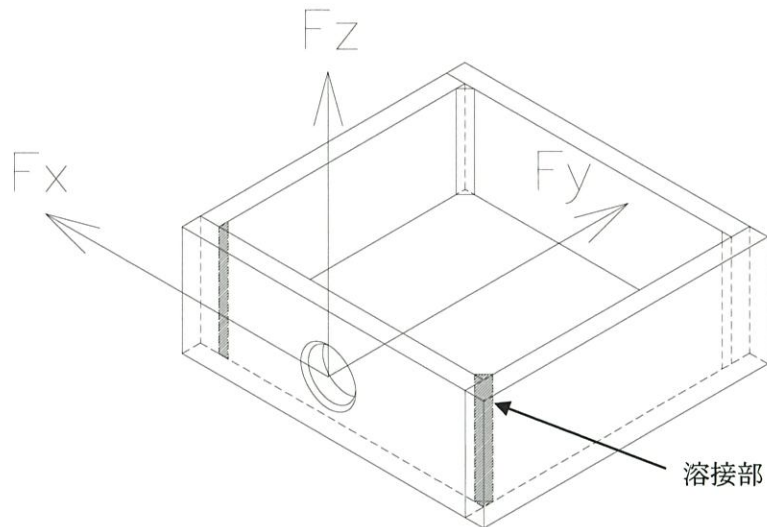
したがって、外容器吊部 B 断面に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 205MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{205}{\boxed{}} = \boxed{}$$

A.4.4.3 外容器吊部箱形状部の溶接部に発生する応力

外容器吊部の箱形状部はステンレス鋼製の板を 5 枚重ねて 8 箇所重ね合わせ部に対して連続溶接している。ここでは、保守的に円孔を持つ板材の側面溶接部に吊上げ時の全荷重が集中したものとして応力評価を行う。

(ロ)A-第 6 図に示す溶接部には、鉛直方向荷重によるせん断応力が発生する。



(ロ)A-第 6 図 箱形状部の側面溶接部

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_s = \frac{F_z}{A_s}$$

ここで、

τ_s : 側面溶接断面に生じる鉛直方向せん断応力 MPa

F_z : 外容器吊部に働く荷重の鉛直方向成分 9562N

A_s : 側面溶接部の有効断面積 $\boxed{} \text{ mm}^2$ (=のど厚×溶接長)

これらを用いると、

$$\tau_s = \frac{9562}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ MPa}$$

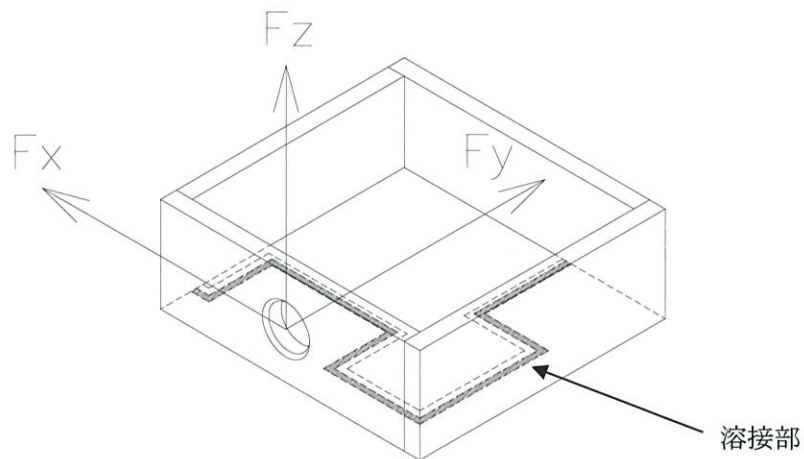
したがって、外容器吊部箱形状部溶接部断面に発生する応力はステンレス鋼の許容せん断応力 118MPa ($\tau = \sigma / \sqrt{3}$) にすみ肉溶接継手による強度低下を考慮した 72MPa (0.61τ) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{72}{\square} = \square$$

A.4.4.4 外容器吊部と蓋の溶接部に発生する応力

外容器吊部の箱形状部は外容器蓋のフレーム部と連続溶接により固定されている。ここでは、保守的に箱形状部底面とフレーム部の溶接部に吊上げ時の全荷重が集中したものとして応力評価を行う。

(ロ)A-第7図に示す溶接部には、鉛直面荷重による引張応力が発生する。



(ロ)A-第7図 箱形状部の底面溶接部

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_L = \frac{F_z}{A_L}$$

ここで、

σ_L : 底面溶接部断面に生じる鉛直方向引張応力 MPa

F_z : 底面溶接部に働く荷重の鉛直方向成分 9562N

A_L : 底面溶接部の有効断面積 \square mm² (=のど厚×溶接長)

これらを用いると、

$$\sigma_L = \frac{9562}{\square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、外容器吊部箱形状部溶接部断面に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力にすみ肉溶接継手による強度低下を考慮した 125MPa (0.61τ) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{125}{\square} = \square$$

A.4.4.5 吊上げ時、ロッドボルトに発生する応力

外容器本体と蓋の締め付けには(イ)―第1図に示すロッドボルトを使用する。吊上げ時にはこのロッドボルトには、輸送物の総重量のうち外容器蓋を除く重量及びロッドボルトの締め付けトルクによる応力がかかるものとして応力評価を行う。

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_R = \frac{F_Z}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

σ_R : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa

F_Z : ロッドボルト部に働く荷重の鉛直成分 33922N

n : ロッドボルトの本数 20本

A_R : ロッドボルト断面の断面積 \square mm²

T : ロッドボルトの締め付けトルク \square N・mm

K : トルク係数 0.1

d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_R = \frac{33922}{20 \times \square} + \frac{\square}{0.1 \times 16 \times \square} = \square \text{ MPa}$$

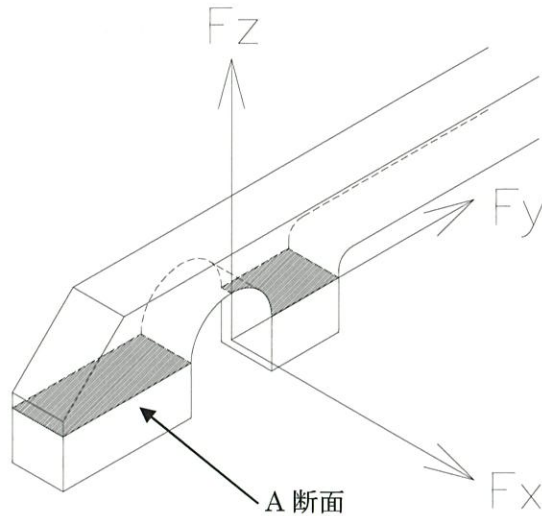
したがって、ロッドボルトに発生する応力はクロムモリブデン鋼の許容引張応力 785MPa よりも小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{785}{\square} = \square$$

A.4.4.6 内容器吊部の A 断面に発生する応力

(イ) 第5図に示す内容器蓋バーはステンレス鋼製の棒材を内容器蓋部に溶接したもので、吊部は逆 U 字形の孔を持たせた部位である。

(ロ) A—第8図に示す A 断面には、鉛直荷重による引張応力、長手方向面荷重による曲げ応力及びせん断応力、及び幅方向面荷重によるせん断応力が発生する。



(ロ)A—第8図 内容器吊部の A 断面

(1) 鉛直方向引張応力

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_{AT} = \frac{F_z}{A_A} \times \alpha$$

ここで、

σ_{AT} : A 断面に生じる引張応力 MPa

F_z : 内容器吊部に働く荷重の鉛直成分 5590N

A_A : A 断面の断面積 mm²

α : 応力集中係数 (円孔を有する帯板) 2.35

これらを用いると、

$$\sigma_{AT} = \frac{5590}{\text{}} \times 2.35 = \text{} \text{ MPa}$$

(2) 水平長手方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{AX} = \frac{F_x}{A_A}$$

ここで、

τ_{AX} : A 断面に生じる水平長手方向せん断応力 MPa

F_x : 内容器吊部に働く荷重の長手方向成分 2010N

A_A : A断面の断面積 mm²

これらを用いると、

$$\tau_{AX} = \frac{2010}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(3) 水平幅方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{AY} = \frac{F_y}{A_A}$$

ここで、

τ_{AY} : A断面に生じる水平幅方向せん断応力 MPa

F_y : 内容器吊部に働く荷重の幅方向成分 840N

A_A : A断面の断面積 mm²

これらを用いると、

$$\tau_{AY} = \frac{840}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(4) 水平長手方向曲げ応力

曲げ応力は次式にて表される。

$$\sigma_{AB} = \frac{F_x L}{Z_A}$$

ここで、

σ_{AB} : A断面に生じる曲げ応力 MPa

F_x : 内容器吊部に働く荷重の長手方向成分 2010N

Z_A : A断面の断面係数 mm²

$$Z_A = (\text{}) / 6 = \text{} \text{ mm}^2$$

L : A断面から荷重作用点までの距離 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{AB} = \frac{2010 \times \text{}}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(5) 組合せ応力

垂直応力とせん断応力が同時に作用するときの組合せ応力は次式にて表される。

$$\sigma_{AC} = \sqrt{\sigma_{AT}^2 + \sigma_{AB}^2 - \sigma_{AT}\sigma_{AB} + 3\tau_{AX}^2 + 3\tau_{AY}^2}$$

ここで、

σ_{AC} : A断面に生じる組合せ応力 MPa

σ_{AT} : A断面に生じる引張応力 MPa

σ_{AB} : A断面に生じる曲げ応力 MPa

τ_{AX} : A断面に生じる水平長手方向せん断応力 MPa

τ_{AY} : A断面に生じる水平幅方向せん断応力 MPa

これらを用いると、

$$\sigma_{AC} = \text{} \text{ MPa}$$

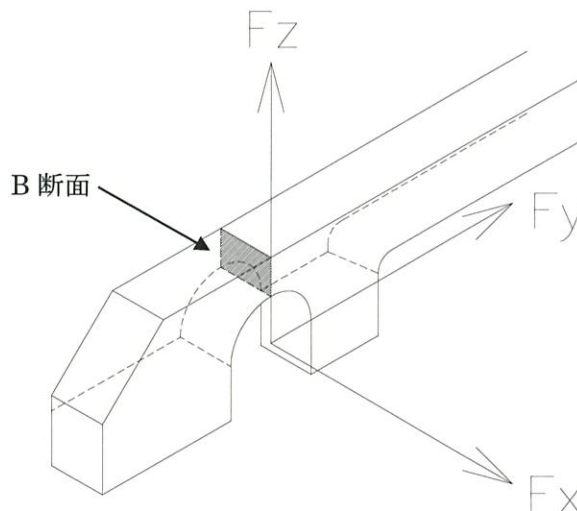
したがって、内容器吊部 A 断面に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 205MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{205}{\text{}} = \text{}$$

A.4.4.7 内容器吊部の B 断面に発生する応力

(イ) 第5図に示す内容器蓋バーはステンレス鋼製の棒材を内容器蓋部に溶接したもので、吊部は逆 U 字形の孔を持たせた部位である。

(ロ) A-第9図に示す B 断面には、幅方向面荷重による引張応力、鉛直荷重によるせん断応力、及び長手方向面荷重によるせん断応力が発生する。



(ロ)A-第9図 内容器吊部の B 断面

(1) 水平幅方向引張応力

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_{BT} = \frac{F_y}{A_B} \times \alpha$$

ここで、

σ_{BT} : B断面に生じる引張応力 MPa

F_y : 内容器吊部に働く荷重の水平幅成分 840N

A_B : B断面の断面積 mm²

α : 応力集中係数 (円孔を有する帯板) 2.1

これらを用いると、

$$\sigma_{BT} = \frac{840}{\square} \times 2.1 = \square \text{ MPa}$$

(2) 鉛直方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{BZ} = \frac{F_z}{A_B}$$

ここで、

τ_{BZ} : B断面に生じる鉛直方向せん断応力 MPa

F_z : 内容器吊部に働く荷重の鉛直方向成分 5590N

A_B : B断面の断面積 $\square \text{ mm}^2$

これらを用いると、

$$\tau_{BZ} = \frac{5590}{\square} = \square \text{ MPa}$$

(3) 水平長手方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_{BX} = \frac{F_x}{A_B}$$

ここで、

τ_{BX} : B断面に生じる水平幅方向せん断応力 MPa

F_x : 内容器吊部に働く荷重の長手方向成分 2010N

A_B : B断面の断面積 $\square \text{ mm}^2$

これらを用いると、

$$\tau_{BX} = \frac{2010}{\square} = \square \text{ MPa}$$

(4) 組合せ応力

垂直応力とせん断応力が同時に作用するときの組合せ応力は次式にて表される。

$$\sigma_{BC} = \sqrt{\sigma_{BT}^2 + 3\tau_{BZ}^2 + 3\tau_{BX}^2}$$

ここで、

σ_{BC} : B断面に生じる組合せ応力 MPa

σ_{BT} : B断面に生じる引張応力 $\square \text{ MPa}$

τ_{BZ} : B断面に生じる鉛直方向せん断応力 $\square \text{ MPa}$

τ_{BX} : B断面に生じる水平長手方向せん断応力 $\square \text{ MPa}$

これらを用いると、

$$\sigma_{BC} = \square \text{ MPa}$$

したがって、内容器吊部 B断面に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力

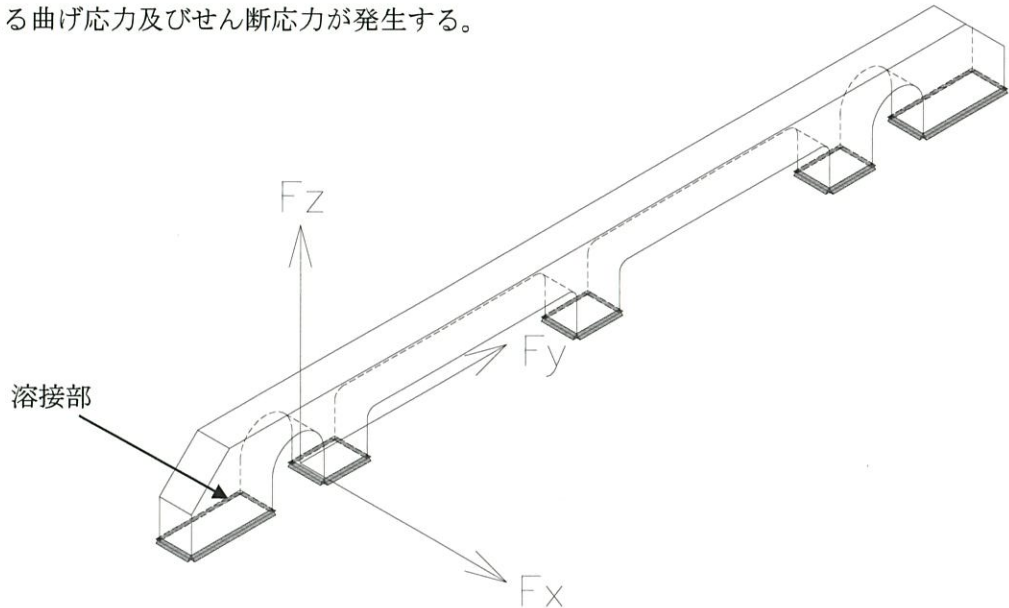
205MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{205}{\square} = \square$$

A.4.4.8 内容器吊部の溶接部に発生する応力

(イ) 第5図に示す内容器蓋バーはステンレス鋼製の棒材を内容器蓋部に接触部の全周に渡り溶接している。

(ロ) A-第10図に示す本溶接部には、鉛直荷重による引張応力、長手方向面荷重による曲げ応力及びせん断応力が発生する。



(ロ)A-第10図 内容器吊部の溶接部

(1) 鉛直方向引張応力

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_T = \frac{F_z}{A}$$

ここで、

σ_T : 内容器蓋バー溶接部に生じる鉛直方向せん断応力 MPa

F_z : 内容器蓋バー溶接部に働く荷重の鉛直方向成分 11180N

(内容器蓋バーは内容器に 2 箇所設けられているため、鉛直方向の荷重成分は全荷重の 1/2 の 11180N となる。なお、吊部は 4 箇所あるため荷重成分は全荷重の 1/4 の 5590N である)

A : 内容器蓋バー溶接部の全周に対する有効断面積 $\square \text{ mm}^2$

(=のど厚×溶接長)

これらを用いると、

$$\sigma_T = \frac{11180}{\square} = \square \text{ MPa}$$

(2) 水平長手方向せん断応力

せん断応力は次式にて表される。

$$\tau_x = \frac{F_x}{A_x}$$

ここで、

τ_x : 内容器蓋バー溶接部に生じる水平長手方向せん断応力 MPa

F_x : 内容器蓋バー溶接部に働く荷重の長手方向成分 4020N

(内容器蓋バーは内容器に 2 箇所設けられているため、長手方向の荷重成分は全荷重の 1/2 の 4020N となる。なお、吊部は 4 箇所あるため荷重成分は全荷重の 1/4 の 2010N である)

A_x : 内容器蓋バー溶接部の長手方向に直交する有効断面積 mm²
(保守的に幅方向に直行する溶接部は考慮しない)

これらを用いると、

$$\tau_x = \frac{4020}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(3) 水平長手方向曲げ応力

曲げ応力は次式にて表される。

$$\sigma_B = \frac{F_x L}{Z}$$

ここで、

σ_B : 内容器蓋バー溶接部に生じる曲げ応力 MPa

F_x : 内容器蓋バー溶接部に働く荷重の幅方向成分 4020N

(内容器蓋バーは内容器に 2 箇所設けられているため、長手方向の荷重成分は全荷重の 1/2 の 4020N となる。なお、吊部は 4 箇所あるため荷重成分は全荷重の 1/4 の 2010N である)

Z : 内容器蓋バー溶接部の断面係数 mm²

$$Z_A = (\text{} \times \text{}^2) / 6 = \text{} \text{ mm}^2$$

L : 溶接部から荷重作用点までの距離 mm

これらを用いると、

$$\sigma_B = \frac{4020 \times \text{}}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

(4) 組合せ応力

垂直応力とせん断応力が同時に作用するときの組合せ応力は次式にて表される。

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_B^2 - \sigma_T \sigma_B + 3\tau_x^2}$$

ここで、

σ_C : 内容器蓋バー溶接部に生じる組合せ応力 MPa

σ_T : 内容器蓋バー溶接部に生じる引張応力 MPa

σ_B : 内容器蓋バー溶接部に生じる曲げ応力 MPa

τ_X : 内容器蓋バー溶接部に生じる水平長手方向せん断応力 MPa

これらを用いると、

$$\sigma_C = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、内容器蓋バー溶接部に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力にすみ肉溶接継手による強度低下を考慮した 125MPa (0.61 σ) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{125}{\text{}} = \text{}$$

A.4.4.9 吊上げ時、ロッドボルトに発生する応力

内容器本体と内容器蓋の締付けには(イ)―第1図に示すロッドボルトを使用する。吊上げ時にはこのロッドボルトには、輸送物の総重量のうち内容器蓋を除く重量、ロッドボルトの締め付けトルクによる応力がかかるものとして応力評価を行う。

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_R = \frac{F_Z}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

σ_R : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa

F_Z : ロッドボルト部に働く荷重の鉛直成分 22360N

n : ロッドボルトの本数 16本

A_R : ロッドボルト断面の断面積 mm²

T : ロッドボルトの締め付けトルク N・mm

K : トルク係数 0.1

d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_R = \frac{22360}{16 \times \text{}} + \frac{\text{}}{0.1 \times 16 \times \text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、ロッドボルトに発生する応力はクロムモリブデン鋼の許容引張応力 785MPa よりも小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{785}{\text{}} = \text{}$$

A.4.4.10 吊り上げによる繰返し応力の評価

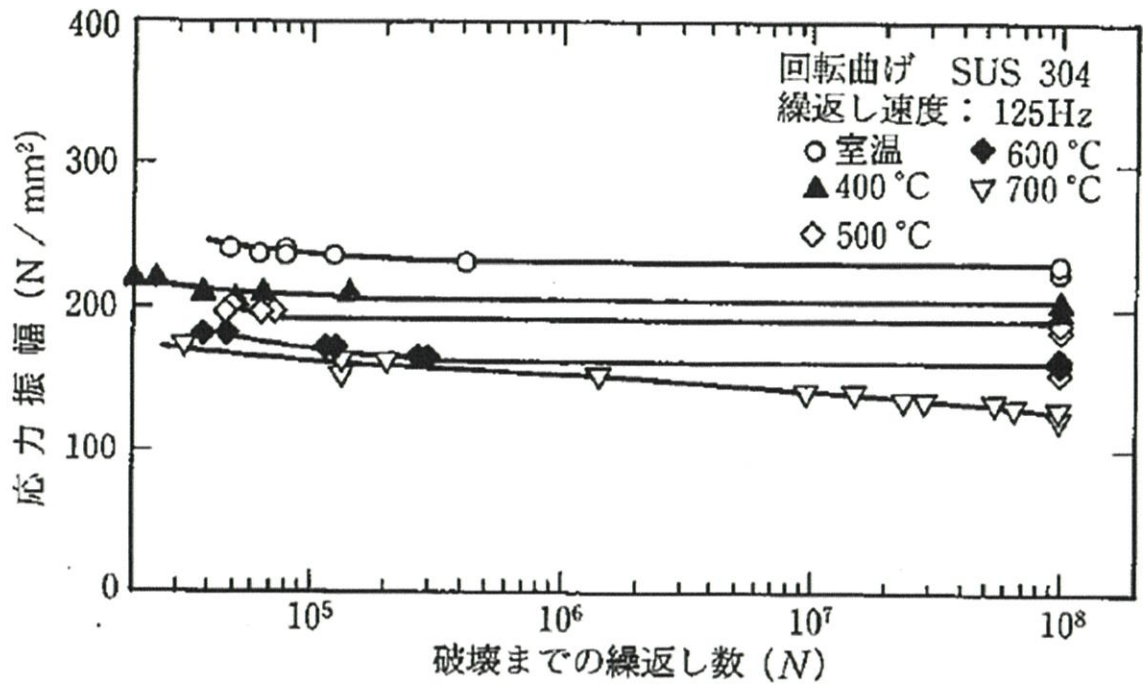
A.4.4.1~A.4.4.8 にてステンレス鋼製の吊り部に及ぼす応力を評価した結果、応力は最大 \square MPa であり、応力振幅は $\square \div 2$ より \square MPa である。本輸送容器の使用予定期間は 80 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計 160 回である。また、輸送容器の吊り上げ予定回数は輸送 1 回あたり 10 回、輸送とは別に年間 20 回であり、使用期間を通しての吊り上げ予定回数は計 3,200 回 ($=160 \times 10 + 80 \times 20$) である。繰返し応力評価においては、使用予定より保守的な条件として、使用期間を通じた輸送回数として予定の 2 倍 ($160 \times 2 = 320$ 回)、輸送以外の年間吊り上げ回数として予定の 2 倍 ($20 \times 2 = 40$ 回) と想定し、計 6,400 回 ($=320 \times 10 + 80 \times 40$) の応力発生を考慮する。

(ロ)A-第 11 図のステンレス鋼の疲労曲線によると、少なくとも 100 MPa 以下の応力振幅では室温から 700°C の環境下において 10^7 回以上繰返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。

また、A.4.4.9 にてクロムモリブデン鋼製のロッドボルトに及ぼす応力を評価した結果、応力は \square MPa であり、応力振幅は $\square \div 2$ より \square MPa である。繰返し応力を評価するにあたり考慮する応力の発生回数はステンレス鋼と同様に 6,400 回である。

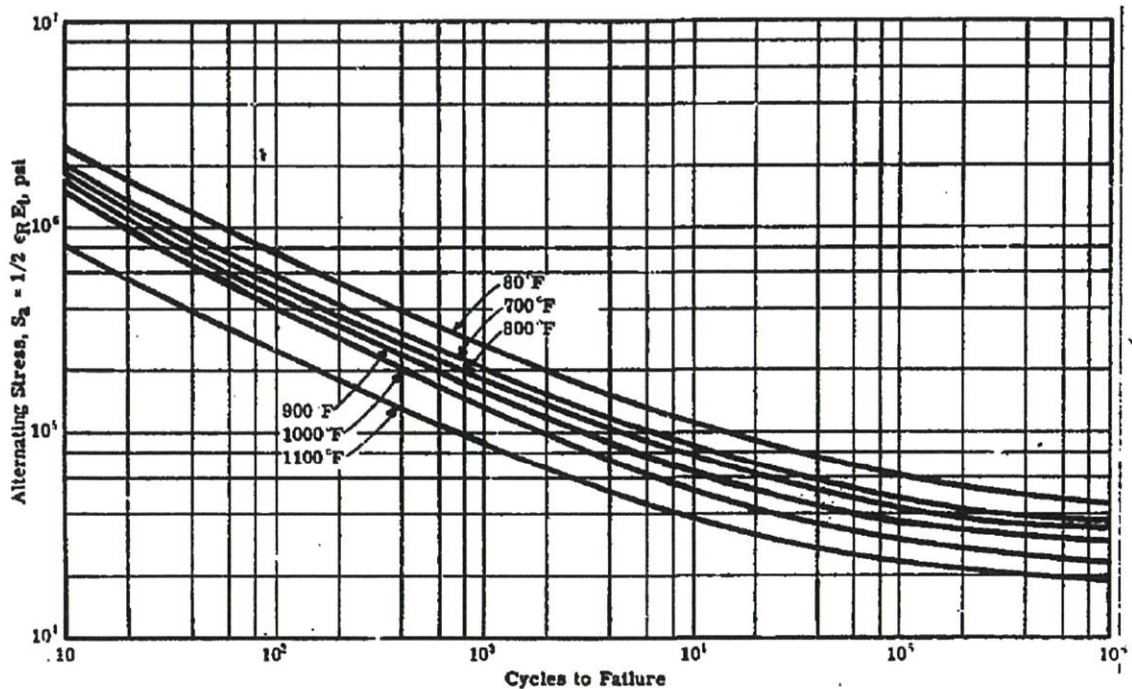
(ロ)A-第 12 図のクロムモリブデン鋼の疲労曲線によると、少なくとも 206 MPa (3.0×10^4 psi) 以下の応力振幅では室温から 371°C (700° F) の環境下において 10^6 回以上繰返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。

以上のことから、吊り上げによる繰返し応力によって疲労破壊が生じることはない。



(ロ)A-第 11 図 ステンレス鋼疲労曲線

(出典) ステンレス鋼便覧-第 3 版-ステンレス協会(1995 年 1 月)



(ロ)A-第 12 図 クロムモリブデン鋼疲労曲線

(出典) 多目的高温ガス実験炉用 2 1/4 Cr-Mo 鋼の機械的性質に関するデータの調査 (1978 年 11 月) 奥 達雄、菊山 紀彦、深谷 清、古平 恒夫著

A.4.5 固縛装置

運搬するには運搬車輛荷台や海上輸送コンテナにワイヤー等の汎用固縛機材やスペーサ等の専用固縛部材等を用いて固縛される。このため、本輸送容器に固縛装置は装備されていない。

A.4.6 圧力

周囲の圧力が絶対圧で 60kPa まで低下した場合の輸送物の健全性について評価する。収納物の梱包は屋内で実施されることから初期条件を 0°C とし、評価時の温度は (ロ)B 項に示す解析結果より一般の試験条件下における内容容器内平均温度 59°C とする。0°C で梱包し、内容容器温度が 59°C まで達した際の内容容器内圧を求めると絶対圧 123kPa となる。周囲の圧力が絶対圧で 60kPa まで低下すると、内容容器内圧との差圧である 63kPa のゲージ圧が内容容器に作用することになる。

A.4.6.1 最大内外圧差により内容容器胴体部に発生する応力

内容容器は幅 760mm、奥行 443mm、高さ 555mm の内寸をもつ直方体形状である。ここでは、最大内外圧差により内容容器胴体の内壁に発生する応力を幅狭側面、幅広側面、底面及び上面について評価する。

(1) 内容器内壁（幅狭側面：443×555mm）に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁（幅狭側面）に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁（幅狭側面）に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.35（長方形の両辺の比より求める）

p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.35 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\text{}} = \text{} \text{MPa}$$

したがって、内容器内壁（幅狭側面）に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 183MPa(75°C)より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\text{}} = \text{}$$

(2) 内容器内壁（幅広側面：555×760mm）に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁（幅広側面）に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁（幅広側面）に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.45（長方形の両辺の比より求める）

- p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa
 a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 555mm
 h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{max} = 0.45 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 555^2}{\text{}} = \text{} \text{MPa}$$

したがって、内容器内壁（幅広側面）に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 183MPa(75°C)より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\text{}} = \text{}$$

(3) 内容器内壁（底面：443×760mm）に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁（底面）に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

- σ_{max} : 内容器内壁（底面）に発生する最大曲げ応力
 β : 長方形板の応力係数 0.49（長方形の両辺の比より求める）
 p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa
 a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm
 h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{max} = 0.49 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\text{}} = \text{} \text{MPa}$$

したがって、内容器内壁（底面）に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 183MPa(75°C)より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\text{}} = \text{}$$

(4) 内容器内壁（上面：443×760mm）に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁（上面）に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

- σ_{max} : 内容器内壁（上面）に発生する最大曲げ応力
 β : 長方形板の応力係数 0.49（長方形の両辺の比より求める）
 p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{max} = 0.49 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\text{}} = \text{} \text{MPa}$$

したがって、内容器内壁（上面）に発生する応力はステンレス鋼の許容引張応力 183MPa(75°C)より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\text{}} = \text{}$$

A.4.6.2 最大内外圧差により内容器ロッドボルトに発生する応力

内容器本体と内容器蓋の締付けには(イ)―第1図に示すロッドボルトを使用する。ロッドボルトには、最大内外圧差により内容器蓋を通して作用する応力及びロッドボルトの締め付けトルクによる応力がかかるものとして応力評価を行う。引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_R = \frac{F}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

σ_R : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa

F : 最大内外圧差により内容器蓋に働く荷重 21211N
(=6.3×10⁻²MPa×(443×760mm²))

n : ロッドボルトの本数 16本

A_R : ロッドボルト断面の断面積 mm²

T : ロッドボルトの締め付けトルク N・mm

K : トルク係数 0.1

d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_R = \frac{21211}{16 \times \text{}} + \frac{\text{}}{0.1 \times 16 \times \text{}} = \text{} \text{MPa}$$

したがって、ロッドボルトに発生する応力はクロムモリブデン鋼の許容引張応力 712MPa(75°C)よりも小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{712}{\text{}} = \text{}$$

以上より、周囲の圧力が 60kPa まで低下した場合、密封境界である内容器の健全性は維持され、放射性物質の漏えいは生じない。

A.4.6.3 内圧による繰り返し応力の評価

A.4.6.1 にてステンレス鋼の容器胴体部に及ぼす応力を評価した結果、応力は最大 MPa であり、応力振幅は ÷2 より MPa である。本輸送容器の使用予定期間は 80 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計 160 回である。使用予定より保守的な条件として 80 年間毎日 1 日 1 回の輸送を実施すると想定し、 $80 \times 365 = 29,200$ 回発生すると考慮する。(ロ)A-第 11 図のステンレス鋼の疲労曲線によると、少なくとも 100 MPa 以下の応力振幅では室温から 700°C の環境下において 10^7 回以上繰り返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。

A.4.6.2 にてクロムモリブデン鋼製のロッドボルトに及ぼす応力を評価した結果、応力は最大 MPa であり、応力振幅は ÷2 より MPa である。ステンレス鋼と同様に応力が 29,200 回発生すると考慮する。(ロ)A-第 12 図のクロムモリブデン鋼の疲労曲線によると、少なくとも 206MPa(3.0×10⁴psi) 以下の応力振幅では室温から 371°C (700° F) の環境下において 10^6 回以上繰り返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。

以上のことから、内圧による繰り返し応力によって疲労破壊が生じることはない。

A.4.6.4 許容応力との比較

許容応力と解析値の比較を(ロ)-A-第5表に示す。いずれの解析結果も許容応力を満足しており安全である。

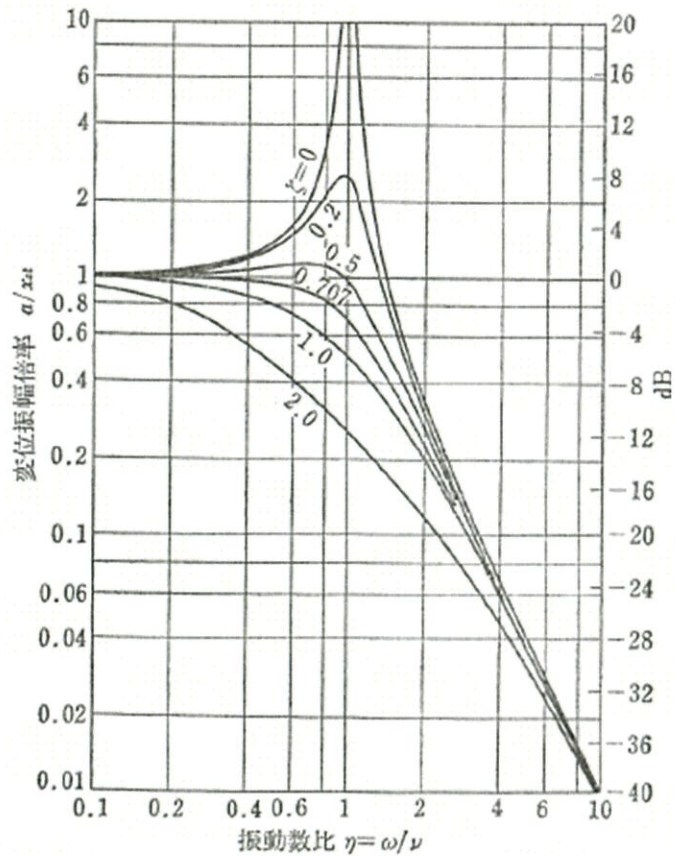
(ロ)A-第5表 許容応力と解析値の比較

項目	許容応力	解析評価値	安全率
1. 内容器内壁に発生する応力			
幅狭側面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
幅広側面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
底面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
上面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
2. 内容器ロッドボルトに発生する応力	712MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>

A.4.7 振動

固有振動数解析の結果、本輸送物の固有振動数は \square Hz である（詳細は、「(ロ)A 付属資料 3」参照）。一般的に運搬中にトラック、トレーラー等から受ける励振力の周波数は最大でも \square Hz 未満であり、本輸送物の固有振動数と差がある。(ロ)A-第 13 図に示すように、振動数比 \square の場合、減衰を保守的に考慮しない場合でも変位振幅倍率は \square % 程度である。一般的に輸送中にトラック、トレーラーに発生する振動の加速度は、段差等の通過を考慮しても \square G 未満であることから、増幅を保守的に \square % 考慮しても輸送容器に負荷される荷重は輸送物の \square 倍未満である。

一般の試験条件における積み重ね評価 ((ロ)-A.5.4) において自重の 5 倍荷重がかかった評価においても輸送容器に変形は生じないことを考慮しても、輸送中に発生する振動によって輸送容器に破損、亀裂が生じるおそれはない。



(ロ)A-第 13 図 力による強制振動の共振曲線

(出典) 実用 機械振動学, 國枝正春著, 1984

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

本輸送物は A 型核分裂性輸送物であるため、B 型輸送物に要求される一般の試験条件下の熱的試験は該当しない。ただし、核分裂性輸送物に要求される特別の試験条件下の耐火試験に供する前の条件として、環境温度 38℃ 太陽ふく射下で輸送物表面温度が一定になるまで置くことが求められるため、「(ロ)B 章 B.4 一般の試験条件」で環境温度 38℃ 太陽ふく射下で 1 週間置くとした条件で評価している。

本輸送物は内容器に密封境界を設定しており、太陽ふく射条件下に 1 週間置いた際に内容器の密封性が維持されることを評価により確認する。

「(ロ)B 章 B.4 一般の試験条件」で得た内容器内平均温度 59℃から最低温度 -40℃までを考慮する。

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件における温度及び圧力は、太陽ふく射熱による輸送物の最高温度とその温度上昇による最高圧力から求める。

「(ロ)B 章 B.4 一般の試験条件」に示す解析結果より内容器内平均温度が 59℃であるため、初期条件を -40℃、1 気圧(101kPa)としたときの本輸送物の密封境界である内容器内圧は絶対圧 144kPa であり、内容器の最大内外圧差を求めるとゲージ圧 43kPa となる。

A.5.1.2 熱膨張

輸送物の温度上昇は小さく、また構造材が金属で熱伝導が良いので、輸送容器各部の温度差は小さく、温度差による熱膨張差は発生しない。また、外容器本体、外容器蓋、内容器本体および内容器蓋の主要の構造材料や収納物であるペレット保管箱組立体はいずれもステンレス鋼から成るため、異種材料による熱膨張差は発生しない。

以上のことから、熱膨張による顕著な応力は発生せず、亀裂・破損の生じるおそれはない。

A.5.1.3 応力計算

内容器の初期圧力は -40℃のもとで絶対圧 101kPa であるとする、太陽ふく射熱により内容器内平均温度が 59℃まで上昇した（「(ロ)B.4.4 最大内圧」参照）時の内容器内圧は、

$$P = \frac{273+59}{273-40} \times 101 = 144 \text{ kPa}$$

となる。したがって、内容器には内外圧力差分のゲージ圧 43kPa(=144-101)が作用することになる。

以下に、内容器に及ぶ応力について記述する。

A.5.1.3.1 内容器胴体部

内容器は幅 760mm、奥行 443mm、高さ 555mm の寸法をもつ直方体形状である。ここでは、最大内外圧差により内容器胴体の内壁に発生する応力を幅狭側面、幅広側面、底面及び上面について評価する。

(1) 内容器内壁(幅狭側面：443×555mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(幅狭側面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

- σ_{\max} : 内容器内壁(幅狭側面)に発生する最大曲げ応力
- β : 長方形板の応力係数 0.35(長方形の両辺の比より求める)
- p : 等分布荷重 4.3×10^{-2} MPa
- a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm
- h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.35 \times \frac{4.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(幅狭側面)に発生する応力は 59℃のときのステンレス鋼の許容引張応力 183MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\square} = \square$$

(2) 内容器内壁(幅広側面：555×760mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(幅広側面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

- σ_{\max} : 内容器内壁(幅広側面)に発生する最大曲げ応力
- β : 長方形板の応力係数 0.45(長方形の両辺の比より求める)
- p : 等分布荷重 4.3×10^{-2} MPa
- a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 555mm
- h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.45 \times \frac{4.3 \times 10^{-2} \times 555^2}{\square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(幅広側面)に発生する応力は 59℃のときのステンレス鋼の許容引張応力 183MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\square} = \square$$

(3) 内容器内壁(底面：443×760mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(底面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁(底面)に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.49(長方形の両辺の比より求める)

p : 等分布荷重 4.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.49 \times \frac{4.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(底面)に発生する応力は 59℃のときのステンレス鋼の許容引張応力 183MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\square} = \square$$

(4) 内容器内壁(上面：443×760mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(上面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁(上面)に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.49(長方形の両辺の比より求める)

p : 等分布荷重 4.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.49 \times \frac{4.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(上面)に発生する応力は 59℃のときのステンレス鋼の許容引張応力 183MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{183}{\square} = \square$$

A.5.1.3.2 内容器ロッドボルト

ロッドボルトには、最大内外圧差により内容器蓋を介して作用する応力及びロッドボルトの締め付けトルクによる応力がかかるものとして応力評価を行う。

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_R = \frac{F}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

σ_R : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa

F : 最大内外圧差により内容器蓋に働く荷重 14478N
(=4.3×10⁻²MPa×(443×760mm²))

n : ロッドボルトの本数 16本

A_R : ロッドボルト断面の断面積 mm²

T : ロッドボルトの締め付けトルク N・mm

K : トルク係数 0.1

d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_R = \frac{14478}{16 \times \text{}} + \frac{\text{}}{0.1 \times 16 \times \text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、ロッドボルトに発生する応力は 59℃のときのクロムモリブデン鋼の許容引張応力 712MPa (75℃) よりも小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{712}{\text{}} = \text{}$$

A.5.1.4 許容応力との比較

許容応力と解析値の比較を(ロ)A-第6表に示す。いずれの解析結果も許容応力を満足しており安全である。

(ロ)A-第6表 許容応力と解析値の比較

項目	許容応力	解析評価値	安全率
1. 内容器内壁に発生する応力			
幅狭側面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
幅広側面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
底面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
上面	183MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
2. 内容器ロッドボルトに発生する応力	712MPa	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>

A.5.2 水噴霧

本輸送容器は耐食性の高いステンレス鋼製板で覆われ、接合部は全て連続溶接されている。また、可融栓のねじ部はOリングで水密性を確保している。このため、水噴霧による外表面の材料劣化はなく、また、断熱材領域への浸水もない。加えて断熱材はセラミックファイバー製であるため、水分による劣化は生じない。外容器本体のフランジ部はその内側が1段高くなる形状となっており、本体と蓋の隙間からの雨水の浸入を防止する構造となっている。したがって、水噴霧による輸送物内への浸水はなく、輸送物内部の材料劣化及び浸水による重量増加は生じない。なお、臨界解析においては内容器への水の浸入を考慮している。

A.5.3 自由落下

本輸送物は、総重量が5000kg以下であるので、告示別記第三第一号ロ(1)に基づき、落下の高さは1.2mとして、原型試験を実施しその結果と解析評価により安全性を示す。

(a) 解析モデル

落下試験を実施しており、解析は実施していない。

(b) 原型試験

原型試験の詳細を「(ロ)A 付属資料1」に示す。原型試験では原型容器2基を準備し、1号機を一般の試験条件及び特別の試験条件における一連の落下試験の落下姿勢検討用とし、2号機を本試験用とした。原型試験では、本項において説明する自由落下に引き続き、貫通試験及び落下試験I(9m落下)及びII(1mターゲット)において同一の原型容器を連続して使用している。

原型容器は、落下試験に使用するために実用機と以下の点で異なっているが、試験時の損傷を軽減する等の非保守的な作用は生じない。

- ・重量模擬鉛棒を代替収納物に使用
- ・重量調整用ウェイトの追加
- ・加速度測定用の加速度計を取付け
- ・加速度計を取付けるためアルミハニカムを一部取外し、外容器には貫通孔を設置
- ・通常のステンレス鋼でボロン入りステンレス鋼を代用

試験は[]試験台で実施した。本試験台は、深さ[]m重量約[]tのコンクリートの上に厚さ[]mm 広さ[]m×[]mの鉄板を敷いたものである。試験台の詳細は「(ロ)A 付属資料1」を参照。

落下姿勢検討試験で実施する原型容器の落下姿勢を検討し、蓋下向き水平落下、幅狭側面下向き水平落下及びコーナー落下の3つの姿勢を選択した。検討結果は「(ロ)A 付属資料1」を参照。

選択した3姿勢で1.2m落下試験を実施したところ、水平の2姿勢では外観上の有意な変形はなく、寸法測定では最大変形量は最大で[]mm程度であった。一方、コーナー落下姿勢では、外容器蓋の吊部が[]mm変形したが、その範囲は吊部周辺の局部的なものであった。

1.2m 落下における姿勢検討に引き続き実施した 9m 落下における姿勢検討でも、コーナー落下姿勢が最も大きい変形であったことから、2号機を用いた本試験では、コーナー落下姿勢を選択している。本試験においても姿勢検討試験同様に外容器蓋の吊部が局所的な変形をした。試験結果を(ロ)A-第7表に示す。

(ロ)A-第7表 1.2m 落下試験結果まとめ

	落下姿勢	試験結果
1号機	蓋下向き水平落下 幅狭側面下向き水平落下	外観上の有意な変形はない。 変形量 <input type="text"/> mm 体積減少率約 <input type="text"/> %
	コーナー落下	外容器蓋吊部周辺が局所的に変形 変形量 <input type="text"/> mm 体積減少率約 <input type="text"/> %
2号機	コーナー落下	外容器蓋吊部周辺が局所的に変形 変形量 <input type="text"/> mm 体積減少率約 <input type="text"/> %

落下試験は、連続で落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱも実施しており、1号機及び2号機とも全試験ケース終了後に内部確認((ロ)A 付属資料1 参照)をしたところ、内容器や収納物であるペレット保管箱組立体に変形が認められたが、内容器本体及び蓋を構成するステンレス鋼製板に亀裂はなく、溶接部の破損もなかった。また、内容器本体と蓋を連結するボルトの破断もない。さらに、ペレット保管箱組立体も形状・機能を維持しており、ペレット保管箱にウランペレットが漏出可能な開口部は生じていない。また、内容器内面に取付けた中性子吸収材を模擬したステンレス鋼板に脱落及び変形はなかった。2基のペレット保管箱組立体間を仕切った中性子吸収材を模擬したステンレス鋼板は、留具が外れていたが、大きな変形や亀裂等の破損はなく、2基のペレット保管箱組立体と内容器蓋によって制限された有効領域からの移動はない。

(c) モデル試験

モデル試験は実施していない。

A.5.3.1 密封境界の健全性

当該輸送容器には、核燃料物質を封じ込める内容器の密封性を維持するために以下の構造的な配慮がなされている。

- ・内容器は、外容器に固定されないため、落下衝撃が生じた際には、内容器は外容器内を移動し、内部に設けられたアルミハニカムと衝突してそのエネルギーが吸収される構造となっている。アルミハニカムは、1.2m 高さからの落下エネルギーを全て吸収できる容量をもっている。

- ・内容器ロッドボルトは、吊上げ時を除いてあらゆる姿勢下で内容器とペレット保管箱組立体 2 体分の荷重により発生する負荷を受けない構造となっている。
- ・内容器ロッドボルトは、仮に外容器蓋内板(板厚□mm)とロッドボルト頂部が衝突しても、フレームとは干渉しない位置に配置されており、致命的な損傷を負うことはない。

以上の構造的な特徴があるが、内容器については、特別の試験条件における落下試験 I 及び II を含む全試験ケース終了後に内部確認していることから、1.2m 落下のみの影響については未確認である。

したがって、原型容器 1 号機及び 2 号機を用いて実施した 4 回の 1.2m 落下試験のうち最も高い加速度が生じた、蓋下向き水平落下の加速度 □G が収納物に発生し、その時の収納物の荷重を全てロッドボルトで受けたとする保守的な仮定に基づきボルトの発生応力を評価することで問題がないことを確認する。

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_R = \frac{F \times G}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

- σ_R : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa
- F : 収納物重量 5590N
- G : 発生加速度 □G
- n : ロッドボルトの本数 16 本
- A_R : ロッドボルト断面の断面積 □mm²
- T : ロッドボルトの締付けトルク □N・mm
- K : トルク係数 0.1
- d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_R = \frac{5590 \times \square}{16 \times \square} + \frac{\square}{0.1 \times 16 \times \square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、ロッドボルトに発生する応力はクロムモリブデン鋼の許容引張応力 785MPa よりも小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{785}{\square} = \square$$

となり、保守的な設定における評価でも密封境界の健全性は維持され、収納物が漏出することは無い。

A.5.4 積み重ね試験

告示別記第三第一号ロ(3)で要求されている圧縮試験については、計算により評価した。輸送物の自重の5倍荷重又は輸送物の鉛直投影面積に13kPaを乗じた荷重のいずれか大きいほうの荷重に等しい圧縮力を供試物に均一に加える場合を考える。ここで、輸送物の5倍の荷重を W_a 、13kPa×鉛直投影面積の荷重を W_b とすると、

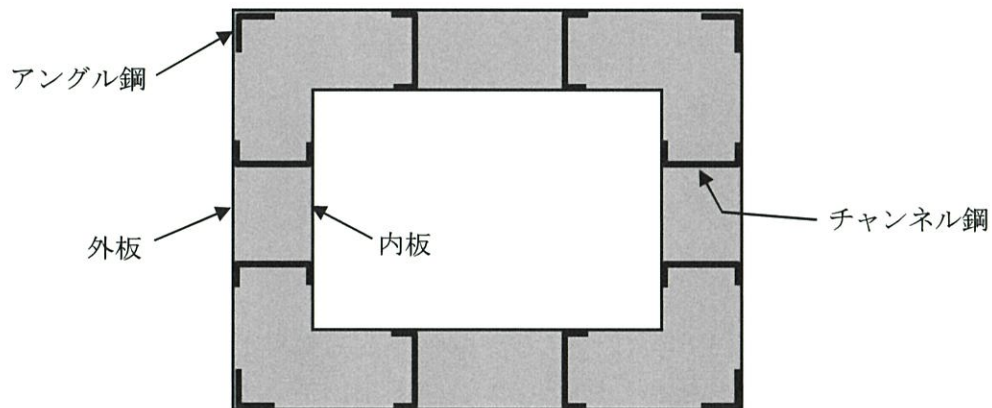
$$W_a = 5 \times 1300 \times 9.81 = 63765N$$

$$W_b = 13000 \times 0.83 \times 1.144 = 12344N$$

$W_a > W_b$ であるので、 $W_a = 63765N$ の荷重を用いて、以下の解析を行った。

本輸送容器は外容器、内容器から構成されるが、上部からの圧縮荷重による負荷が与えられるのは外容器のみで、内容器には荷重は負荷されない。したがって、ここでは外容器についてのみ評価を行う。

(ロ)A-第14図に上方からみた外容器のフレーム概念図を示す。外容器の外壁と内壁の間には各コーナーのアンクル鋼及び各側面につき2本のチャンネル鋼を設けており、これらが上方からの荷重を支える構造となっている。ここでは保守的にチャンネル鋼8本(=2本×4面)にのみ W_a 荷重が付与されたものとしてのチャンネル鋼1本あたりの座屈評価を行う。



(ロ)A-第14図 外容器のフレーム概念図(上視図)

両端固定の柱の座屈荷重は以下のジョンソンの式によって求められる。

$$W = A\sigma_c \left(1 - \frac{\sigma_c}{4n\pi^2 E} \lambda^2 \right)$$

ここで、

A : mm² 断面積

E : 193000MPa ヤング率

λ : l/k チャンネル鋼の細長比 (l は座屈長さ)

n : 両端固定の係数

σ_c : MPa 限界圧縮応力

また、断面二次半径 k は次式にて求められる。

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

ここで、

I : mm⁴ チャンネル鋼の断面二次モーメント
したがって、

$$k = \sqrt{\frac{\text{}}{\text{}} = \text{} \text{ mm}$$

となる。よって、細長比 λ は、

$$\lambda = \frac{\text{}}{\text{}} = \text{}$$

となる。よって、チャンネル鋼 1 本の座屈荷重は

$$W = \text{} \text{ N}$$

したがって、外容器の座屈荷重は輸送物重量の 5 倍荷重によりチャンネル鋼 1 本に生じる $W_a/8$ 荷重($63765\text{N}/8=7971\text{N}$)よりも大きく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \frac{\text{}}{7971} = \text{}$$

A.5.5 貫 通

「(ロ)A 付属資料 1」に示すように、告示別記第三第一号(ロ)(4)で要求されている貫通試験については、原型試験において実施している。フレームによる支持がない輸送物側面中央部、締付け用ロッドボルト、可融栓に対して行ったが、大きな損傷は見られず外容器表面が若干の窪みを生じた程度であった。

A.5.6 角又は縁落下

告示別記第三第一号(ロ)(2)で要求されている角又は縁落下については、当該輸送物は主要構造物がステンレス鋼製でその重量は最大で 1300kg であるので該当しない。

A.5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件について評価をした結果、「A.5.1 熱的試験」「A.5.2 水噴霧」「A.5.4 積み重ね試験」に示したように熱的試験、水噴霧及び積み重ね試験により、外容器および内容器に変形等の損傷は生じないため、収納物に影響を及ぼすことがない。また、「A.5.3 自由落下」「A.5.5 貫通」に示したように自由落下及び貫通試験では、輸送物に局所的な変形を及ぼすが内容器の密封性は維持されるため、放射性物質の漏出はない。

これら評価結果に基づき、遮蔽評価では、下記を考慮する。

- ・外容器の変形量は保守的に一律 mm 減少したとする。コーナー落下による変形は、局部的かつ、最大線量当量率位置を包含しないことから無視する。
- ・収納物は、内容器内に留まり、ペレット保管箱組立体の形状・機能も維持されるが、保守的かつモデル簡素化の観点から、内容器内を均質化したモデルとする。
- ・外容器内アルミハニカムは保守的に完全に圧潰したものとし、線源である内容器は外容器内を自由に移動する。

A.6 特別の試験条件

本輸送物は核燃料物質の収納量が A_2 値以下となる A 型輸送物であるため、B 型輸送物としての特別の試験条件は該当しない。核分裂性物質(ウラン 235)を 15 グラム以上収納するため、核分裂性輸送物として要求される特別の試験条件に該当するが、これについては「A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件」で述べる。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物は核燃料物質の収納量が A_2 値以下となる A 型輸送物であり、 A_2 値の十万倍を越える量の放射能を収納しないため該当しない。

A.8 放射性収納物

A.8.1 収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

- i) 主要な核種 . . . ^{232}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{99}Tc
- ii) 放射能の量 . . . 37.5GBq 以下

(2) 物理的性状

本輸送物の収納物の物理的性状は「(イ)-D 輸送容器の収納物 (2) 物理的性状」に示したように、ウラン酸化物(ペレット)又はガドリニア入りウラン酸化物(ペレット)をステンレス鋼製の波板上に並べて積重ねて収納したペレット保管箱を6本の支柱に通した仕切板と交互に積重ねて組立てたペレット保管箱組立体である。ペレット保管箱組立体はペレット保管箱の種類によってペレット保管箱組立体(A)とペレット保管箱組立体(B)とがある。構造を(イ)-第8図から(イ)-第11図に示す。

(3) 装荷制限

i) 濃縮度

5.0wt%以下

ii) 最大収納量

ペレット保管箱組立体(A)2基収納時 264kg- UO_2

ペレット保管箱組立体(B)2基収納時 200kg- UO_2

*ペレット保管箱組立体(A)と(B)は同梱しない。

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン(再生濃縮ウランを除く: ASTM C996-04 ECGU に準拠)

$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$

$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$

$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$

$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$

但し、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外

A.8.2 一般の試験条件下における放射性収納物の挙動

一般の試験条件として、熱的試験、水噴霧、自由落下、積み重ね試験および貫通の各試験条件に対して評価した結果、収納物であるペレット保管箱組立体の形状・機能及び密封境界である内容物の健全性も維持され、放射性収納物が漏出することは無い。

A.8.3 特別の試験条件下における放射性収納物の挙動

本輸送物はA型核分裂性輸送物であるため、核分裂性輸送物として実施した特別の試験条件下の9m落下試験、1mターゲット試験及び耐火試験の各試験条件下においた状態で、収納物であるペレット保管箱組立体の形状・機能は維持され、密封境界である内容物は変形するが、放射性収納物の漏出を許容するような亀裂、破損及び開口は生じない。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性物質(ウラン235)を15グラム以上収納するため、核分裂性輸送物に該当する。本輸送物は、輸送中において臨界に達しないものであるほか、以下に記述するように規則第11条に規定される技術基準に適合しているものである。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

告示の別記第十一に示す核分裂性輸送物に係る一般条件の下において、以下に記述する要件に適合している。

A.9.1.1 水噴霧

「A.5.2 水噴霧」に示すように、本輸送物には材料劣化、水の浸透及び内部への浸水は無いが、臨界解析においては孤立系、配列系に関係なく、全ての評価体系において保守的な外容器内及び内容物内への水の存在を考慮している。

A.9.1.2 自由落下

「A.5.3 自由落下」に示すように、自由落下では、輸送物に局所的な変形を及ぼすが内容物への密封性は維持される。コーナー落下姿勢の変形(局部的に最大□mm)に比べて水平姿勢の変形(最大□mm)は輸送物の外寸(幅:830mm 長さ:1144mm 高さ:1060mm)に対して外観上有意な変形ではなかったが、臨界解析では配列系において輸送物間距離が短くなるほうが条件的に厳しい。また、内容物の移動を考慮した方が同じ理由で厳しくなる。

以上のことから、臨界解析においては、外容器の一律変形及びアルミハニカムが完全に圧潰したとする内容物の移動の保守的な条件を考慮するが、より条件の厳しい特別の試験条件下における影響が、一般の試験条件下における影響を包含することが明白なため、臨界解析では特別の試験条件の評価結果を持って、一般の試験条件の評価結果を包絡するものとする。

A.9.1.3 積み重ね試験及び貫通試験

A.5.4 及び A.5.5 に示すように、積み重ね試験は輸送物に発生する応力が許容応力の基準値を十分下回っており、また、6 kg 棒貫通試験においても、輸送物外板を貫通しないことが確かめられた。

よって、積み重ね試験及び貫通試験においては構造部に損傷は見られず臨界解析に影響を及ぼすような変形はない。

A.9.1.4 結果

以上の結果より、核分裂性輸送物に関わる一般の試験条件下における本輸送物の状態と臨界解析への影響を(ロ)A-第8表に示す。一般の試験条件下では、輸送物構造部に1辺10 cmの立方体を包含するようなくぼみは生じないこと及び輸送容器に外接する直方体の各辺の長さは10cm以上であることが確かめられた。また、臨界解析条件としては、輸送物内の浸水及び外寸の一律変形を考慮するが、より条件の厳しい特別の試験条件下における臨界解析条件に包絡される。

(ロ)A-第8表 一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	臨界解析への影響	備考
水噴霧	損傷なし	浸水を考慮	—
1.2 m 落下	外寸が <input type="text"/> mm 変形	一律変形を考慮	水平落下姿勢
積み重ね	損傷なし	影響なし	—
6 kg 棒貫通	外表面に若干のくぼみ	影響なし	—

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

告示の別記第十二では、第一号（落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ、耐火試験及び0.9m浸漬試験）と第二号（15m浸漬試験）のうち最大の破損を受ける条件下に置くこととなっている。

第二号の15m浸漬試験下では1.5気圧(約152kPa)の差圧が輸送物に発生し、本輸送物の密封境界である容器には、耐力を超える応力が発生し変形する。容器の水密性はOリングの僅かな接触面で保持されることから、容器フランジに若干の変形が生じた時点で、大きな外圧によって水密性が維持できなくなり、浸水する。しかし、浸水孔が収納物であるペレット保管箱組立体を容器外に放出するような大きな開口部になることはない。更に、ペレット保管箱組立体系は水密性がないことから、高水圧下でも変形することなく、ペレットがペレット保管箱組立体外へ漏出することはない。このことから、容器外に核燃料物質が大量に移動することは無い。また、水密性のない外容器に変形はなく、容器の移動を制限するアルミハニカムも水密構造ではないことから変形しない。したがって、外容器及びアルミハニカムが変形し、配列系において燃料領域間距離が近くなる告示の別記第十二第一号の条件下に輸送物を置くことが、二号の条件下に置くことより厳しくなる。

A.9.2.1 強度試験・落下試験 I (9m落下時)

本輸送物の総重量は 1300kg であり、その比重は約 1.5 であるので落下試験Ⅲは該当しない。したがって、原型容器を用いて落下試験 I を実施した。原型試験では原型容器 2 基を準備し、1 号機を一般の試験条件及び特別の試験条件における一連の落下試験の落下姿勢検討用とし、2 号機を本試験用とした。原型試験では、本項において説明する落下試験 I および落下試験 II を実施する前に、「A.5.3 自由落下」及び「A.5.5 貫通試験」において同一の原型容器を連続して使用している。原型試験結果の詳細を「(ロ)A 付属資料 1」に示す。

原型容器は「A.5.3 自由落下」に示すように、試験用計装のため若干実用機と異なる箇所があるが、試験時の損傷を軽減する等の非安全側な作用は生じない。なお、自由落下に引続き落下試験 I を実施しており、原型容器に追加の計装等は施していない。

- ・重量模擬鉛棒を代替収納物に使用
- ・重量調整用ウェイトの追加
- ・加速度測定用の加速度計を取付け
- ・加速度計を取付けるためアルミハニカムを一部取外し、外容器には貫通孔を設置
- ・通常のステンレス鋼でボロン入りステンレス鋼を代用

試験は [] に常設されている試験台で実施した。本試験台は、深さ [] m 重量約 [] t のコンクリートの上に厚さ [] mm 広さ [] m × [] m の鉄板を敷いたものである。試験台の詳細は「(ロ)A 付属資料 1」を参照。

別記第十二に従って輸送物が耐火試験で最大の破損を受けるように落下試験を実施するため、落下試験では、耐火試験時の影響が大きくなる落下姿勢を選択した。事前の検討と原型容器 1 号機の試験結果から、熱の進入経路となるフランジ部がある輸送物上部側のコーナー部を落下対象部とする姿勢で落下試験 I と II を 2 号機で実施することとした。(ロ)A-第 9 表に原型容器 1,2 号機の試験順序を示す。

なお、コーナー落下姿勢は臨界評価条件として重要な核燃料領域移動の観点からは厳しいとは言えないことから、臨界評価に必要な評価条件は、複数姿勢で落下試験 I 及び II を実施した 1 号機の確認結果から引用する。原型試験結果の詳細は「(ロ)A 付属資料 1」を参照。

(ロ)A-第9表 原型容器試験順序

試験条件	試験項目	原型容器1号機	原型容器2号機
一般	自由落下 (1.2m)	蓋 水平	コーナー
		幅狭側面 水平	—
		コーナー	—
	貫通試験	鋼棒貫通試験	—
特別	落下試験 I (9m)	蓋 水平	コーナー
		幅狭側面 水平	—
		幅広側面 水平	—
		幅狭側面 傾斜	—
		コーナー	—
	落下試験 II (1m ターゲット)	蓋吊部際 水平	—
		底脚際 水平	—
		幅広側面吊部際 傾斜	コーナー
		幅広側面中央 傾斜	—
	耐火試験	—	(800 °C, 30 分)
	0.9 m 浸漬試験	—	—

A.9.2.1.1 垂直落下（蓋下向き水平落下）

蓋下向き水平落下では、落下時の衝撃により外表面の側面に高さ □mm 程度の膨らみが生じ、落下面である蓋上面板はフレームとフレームの間で若干たわんだが、輸送物本体の外観上には際立った変形はなく、輸送容器の剛性が高いことが確認できた。落下時に若干傾いて接地したことから、寸法測定結果では、□mm と偏った高さ方向の変形となった。その他の部位では有意な変形はなかった。外容器本体と蓋を連結するロッドボルトに緩みはなかった。

A.9.2.1.2 水平落下（幅狭側面下向き水平落下、幅広側面下向き水平落下）

(1) 幅狭側面下向き水平落下

幅狭側面下向き水平落下では、先の試験と同様に落下時の衝撃により蓋面に □mm の膨らみが生じた。輸送物の外観上には際立った変形はない。落下時に若干蓋側に傾いて接地したことから、寸法測定結果では、外容器蓋の長さが □mm 減少したが、外容器本体の長さは □mm 程度であった。外容器本体と蓋を連結するロッドボルトに緩みはなかった。

(2) 幅広側面下向き水平落下

幅広側面下向き水平落下では、先の試験と同様に落下時の衝撃により蓋面に [] mm の膨らみが生じた。輸送物本体の外観上には際立った変形はない。落下時に若干蓋側に傾いて接地したことから、寸法測定結果では、外容器蓋の幅が [] mm 減少したが、外容器本体の幅は [] mm 程度であった。外容器本体と蓋を連結するロッドボルトに緩みはなかった。

A.9.2.1.3 コーナー落下

コーナー落下は事前に 4 ケースの落下試験 I を実施した 1 号機と本試験の 2 号機について実施している。ともに重畳効果を与えるために同一姿勢で自由落下(1.2m)を同一箇所に対して実施している。

(1) 1号機

変形はフランジにまで及んだが、火炎の進入経路となるような開口は生じなかった。また、変形箇所近辺のボルト座も変形したが、外容器ロッドボルトの外れや破断はなかった。変形部周辺で溶接箇所の割れが発生したが、セラミックファイバー製の断熱材の喪失はなかった。落下箇所は [] mm の不等辺三角錐状に変形し、周辺は [] mm 程度の膨らみが生じた。

(2) 2号機

ほぼ 1 号機と同じ挙動を示した。変形部周辺で溶接箇所の割れが発生したが、セラミックファイバー製の断熱材の喪失はなかった。落下箇所は [] mm の不等辺三角錐状に変形し、周辺は [] mm 程度の膨らみが生じた。

A.9.2.1.4 傾斜落下

先に接地した側の縁が潰れて滑るような挙動を示し、激しい反転動は起きなかった。先に接地した側はほぼ均等に接地していたにも関わらず、変形量は大きな差が生じた。これは、事前に実施した 3 ケースの落下試験 I によってアルミハニカムが変形し、内容器位置が偏ったことが原因と考えられる。縁部のつぶれは [] mm であった。蓋吊部と外板の溶接部に亀裂が生じ、内部の断熱材であるセラミックファイバーが見えたが、喪失は無かった。

A.9.2.1.5 落下試験 I の結果の要約

(1) 輸送物外側の損傷状況

本輸送容器は、落下時のエネルギー吸収を目的に蓋縁部の剛性が低くなるように設計されている。落下試験 I で、外容器蓋側の変形量が本体側より大きい結果となっている原因は、多少傾いて接地したことに加えて剛性が低いことがある。

原型容器 1 号機では、3 回の自由落下に続いて 5 回の落下試験 I を実施したため、各部位が変形したが、全ての試験において内部に通じる亀裂、破損及び貫通孔等は無く、蓋も所定の位置から動くことはなかった。

傾斜及びコーナー落下姿勢で部分的に溶接部が割れたが、断熱材であるセラミックファイバーの喪失はない。また、フランジ部が開口するような変形はなく、外容器ロッドボルトの破断や外れは一切なかった。

原型容器 2 号機の結果は 1 号機とほぼ同等か、包絡されるものであった。

(2) 輸送物内部の損傷状況

自由落下、落下試験 I 及び落下試験 II の全試験ケース終了後に蓋を開けて内部確認した。

(a) 1 号機

落下方向のアルミハニカムは大きく変形し一部脱落していた。また、側面及び側面に取付けた内容容器フランジ保護用角パイプも変形し、内容容器の移動可能領域となったが、内容容器の蓋に収納物が漏出するような開口部はなく、内容容器本体も側面が膨らむ程度で亀裂や溶接部の割れなどは無かった。内容容器ロッドボルトは、複数ケースの相乗効果により、外容器蓋裏面に衝突した際の打痕及び貫通孔を残し、ボルトも一部変形したが破断したものはなく内容容器蓋は初期位置に留まっている。

内容容器内面の中性子吸収材模擬ステンレス鋼製板は初期位置からの移動や脱落はなく、変形や破損もなかった。収納物である 2 基のペレット保管箱組立体の間に配置している中性子吸収材模擬ステンレス鋼製板は全ての留具が外れて取付け箇所付近が若干変形したが、有意な変形や亀裂等の破損はなく、内容容器とペレット保管箱組立体の間に有効な形で位置していた。

ペレット保管箱組立体は、歪んだが当初の形状・機能を維持しており、支柱及び締付けナットの破断はなく、中性子吸収材である仕切り板の間隔は維持されていた。また、各仕切り板に割れは無く、変形したが有効領域から逸脱するようなものではなかった。ペレット保管箱の位置決め用ゴムブロック及び固定用ボルトに損傷はなく、ペレット保管箱は初期位置で維持されており、放射性物質が漏出可能な開口は発生しなかった。

(b) 2 号機

外容器内部はアルミハニカムが部分的に変形していたが、内容容器ロッドボルトの打痕はない。内容容器はウレタンゴムガイドによりほぼ初期位置に留まっていた。コーナー部も外部の変形から想像するほど大きなものではなかった。内容容器に有意な変形は一切無く、ロッドボルトの外れや破断及び変形は見られなかった。

内容容器内面の中性子吸収材模擬ステンレス鋼製板は 1 号機同様に位置ずれや変形、破損はない。ペレット保管箱組立体間のものについては一部留具が破損したが、1 号機同様に有意な変形や破損はなく、有効な領域に留まる。

ペレット保管箱組立体もほぼ健全な形状・機能を維持しており、ペレット保管箱及び保管箱の位置決め用ゴムブロック及び固定用ボルトにも変形や破損はない。

A.9.2.1.6 内容物の収納物保持機能性

「A.5.3.2」に記載した当該輸送容器の構造的特徴は、特別の試験条件における内容物の収納物保持機能の維持にも有効である。

- ・ 内容物は、外容器に固定されないため、落下衝撃が生じた際には、内容物は外容器内を移動し、内部に設けられたアルミハニカムと衝突してそのエネルギーを吸収する構造となっている。
- ・ 内容物ロッドボルトは、吊上げ時を除いてあらゆる輸送物の姿勢下で内容物とペレット保管箱組立体 2 体分の荷重により発生する荷重を受けない構造となっている。
- ・ 内容物ロッドボルトは、仮に外容器蓋内板(板厚□mm)とロッドボルト頂部が衝突しても、フレームとは干渉しない位置に配置されており、致命的な損傷を負うことはない。

原型容器 1 号機では、蓋下向き水平 9m 落下時に□Gの加速度が内容物に発生している。この加速度は、ロッドボルトの軸方向と一致するので、このときの収納物に生じた荷重をロッドボルトで受けたとする保守的な仮定に基づきボルトの発生応力を評価した。

引張応力は次式にて表される。

$$\sigma_R = \frac{F \times G}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

σ_R : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa

F : 収納物重量 5590N

G : 発生加速度 □G

n : ロッドボルトの本数 16 本

A_R : ロッドボルト断面の断面積 □mm²

T : ロッドボルトの締付けトルク □N・mm

K : トルク係数 0.1

d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_R = \frac{5590 \times \square}{16 \times \square} + \frac{\square}{0.1 \times 16 \times \square} = \square \text{ MPa}$$

したがって、ロッドボルトに発生する応力はクロムモリブデン鋼の引張強さ 930MPa よりも小さく、保守的に評価した場合でも、ロッドボルトに破断は無く、内容物蓋は初期位置に維持され、収納物が内容物外部に放出されることはない。

A.9.2.1.7 落下試験Ⅰによる臨界解析への影響

「A.9.2.1.5 落下試験Ⅰの結果の要約」に示したように、外容器には内部に通じる亀裂、破損及び貫通孔等はなく、蓋も所定の位置から動くことはなかった。またフランジ部も開口することはなかったことから、臨界解析では、外容器の外形寸法の変化を保守的に補正し一律に変形するものとする。

高さ方向:最大で□mmの変形が生じたため、一律に□mm減少するものとする。

長さ方向:外容器本体に最大で□mmの変形が生じたため片側に一律□mm(両側で□mm減少)するものとする。

幅方向 : 外容器本体に最大で□mmの変形が生じたため、片側に一律□mm(両側で□mm減少)するものとする。

輸送物内部は、アルミハニカムが完全に圧潰し脱落するものとして、圧潰後の厚み(約□mm)を無視した内容物の移動を仮定し、さらに外容器表面から近接可能な距離を外容器内部の変形を保守的に補正した臨界解析の条件とする。

幅狭方向:近接可能距離は□mmであったため、□mmとする。

幅広方向:近接可能距離は□mmであったため、□mmとする。

内容物内の中性子吸収材に亀裂や有意な変形はなく有効な領域に存在する。

収納物であるペレット保管箱組立体は内容物内に留まり、ペレット保管箱は初期位置からずれるはなく、ペレット保管箱からのウランペレットの漏出はない。内容物及びペレット保管箱組立体に生じた膨らみや歪みは、損傷配列系において燃料領域間の距離を遠ざける方向に作用するため無視する。

A.9.2.2 強度試験・落下試験Ⅱ(1mターゲット)

落下試験Ⅱの原型試験は、原型容器2基を使用して、自由落下および落下試験Ⅰに引き続いて実施した。原型試験結果の詳細を「(ロ)A 付属資料1」に示す。

原型容器は、自由落下及び落下試験Ⅰに引き続き使用しており、落下試験Ⅱを実施するにあたって、追加の計装等は施していない。

ターゲットは、上面が滑らかな水平で直径が□cmの軟鋼製丸棒を落下試験台に垂直に溶接したものである。長さは□cmとし外容器を貫通した場合に十分内部に到達できるものである。ターゲットの詳細は「(ロ)A 付属資料1」を参照。

原型容器の試験順序は(ロ)A-第8表に示すとおりである。1号機では、落下試験Ⅱで最も変形量が大きくなると考えられる面中央への傾斜落下、強度が低い蓋縁部、締結部材であるボルトを含むフランジ部、溶接接合部である蓋吊部際や底脚際について試験をおこなった。2号機では、最大の損傷を受けるように、自由落下および落下試験Ⅰと同一の箇所を落下対象とした。

A.9.2.2.1 落下試験Ⅱの結果の要約

試験時の変形量を(ロ)A-第10表に示す。

蓋吊部際の落下では、ターゲットがフレームに衝突したため、変形量が小さくなった。溶接部に割れは発生していないが、断熱材であるセラミックファイバーは、各区画に合わせて大きくブロック状に裁断され、内外板間に充填されるため、割れが生じたとしても、他の試験で生じた溶接部割れと同様に、断熱材が喪失することは無い。

底脚部は□mm変形したが脚が溶接された周囲の外板に亀裂はなかった。

最も変形が大きいと考えられた傾斜姿勢における幅広側面では表面から□mm変形したが、外板に亀裂等はなかった。

自由落下、落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱ終了後に原型容器1号機及び2号の内部確認をしたが、外容器外板に生じた変形で内板に影響を与えているものはなく、落下試験Ⅱが内容器及び収納物に与える影響はない。

幅広フランジ部では、外板及びフランジに打痕が生じたが、火炎の進入経路となるような開口は発生しなかった。

幅広吊部は、強度が低いため、外観上では大きく変形し、溶接部が裂けたが断熱材を充填しない部位である。蓋の位置ずれや、フランジの開口などは生じなかった。

落下試験Ⅱで実施した、5ケースの試験では、一部溶接部の割れが生じたが、断熱材の喪失はなく、その他外板の亀裂や貫通は生じなかった。また、ボルトの破断や外れはなかった。

(ロ)A-第10表 落下試験Ⅱ変形量

単位(mm)

	姿勢	箇所	変形量	備考	
1号機	水平	蓋吊部際	□		
		底脚際			
	傾斜	幅広側面吊部際			
		幅広側面中央			フランジ打痕は□mm
		幅広側面フランジ			
2号機	—	コーナー			

A.9.2.2.2 落下試験Ⅱによる臨界解析への影響

落下試験Ⅱでは、外容器外表面に凹みが生じたが、貫通や外表面の亀裂、開口は生じなかった。外容器内部には本試験の影響による変形や損傷はなく、内容器及び収納物に与える影響もない。以上のことから、臨界解析に与える影響は「A.9.2.1 強度試験・落下試験Ⅰ(9m落下時)」に包含される。

A.9.2.3 熱的試験

熱的試験は落下試験に続いて実施するものとして輸送物の損傷を考慮する。評価は原型試験の結果をもとに合わせ込み解析を実施して信頼性を確認した解析モデルにより行う。解析は規則に従って、環境温度 38℃ 太陽ふく射下で輸送物表面温度が一定になるまで置いてから、800℃ 30 分の耐火試験条件に置き、その後環境温度 38℃で冷却するものとし、耐火試験条件下及び冷却期間中も太陽ふく射を考慮している。「(ロ)B 章 B.5」参照。

A.9.2.3.1 内容器内壁に発生する応力

「B.5.3 輸送物温度」で評価した特別の試験条件における当該輸送物の最高温度を (ロ)A-第 11 表に示す。

「B.5.4 最大内圧」で評価したように、内容器内が保守的に O リングで得た最高温度 170℃に均一になるとした場合、内容器に気密性が維持されているとして内容器の最大内圧は、保守的に熱膨張を無視した場合ゲージ圧 63kPa (絶対圧 164kPa) となる。

(ロ)A-第 11 表 特別の試験条件下における各部位の最高温度

部位	最高温度 (°C)	
	耐火試験前	耐火試験中後
外容器頂部		
外容器コーナー		
外容器側面幅広		
外容器側面幅狭		
内容器 O リングコーナー		
内容器 O リング幅広		
内容器 O リング幅狭		

原型試験の結果から、落下試験 I 及び II の条件下では、密封境界である内容器から収納物は漏出しない。収納物のウラン酸化物 (ペレット) 又はガドリニア入りウラン酸化物 (ペレット) は低散逸性の固体であることから、本輸送物にとって、密封境界の気密性を特別の試験条件下で維持する必要はないが、ここでは内圧がかかったものとして内容器に生じる応力について評価し、構造材料の引張強さと比較することによって、内圧により内容器に亀裂や破断等の開口は発生せず、収納物が内容器内に封じ込められることを確認する。

(1) 内容器内壁(幅狭側面：443×555mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(幅狭側面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁(幅狭側面)に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.35(長方形の両辺の比より求める)

p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.35 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(幅狭側面)に発生する応力は 170℃のときのステンレス鋼の引張強さ 414MPa より小さい。

(2) 内容器内壁(幅広側面：555×760mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(幅広側面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁(幅広側面)に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.45(長方形の両辺の比より求める)

p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 555mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.45 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 555^2}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(幅広側面)に発生する応力は 170℃のときのステンレス鋼の引張強さ 414MPa より小さい。

(3) 内容器内壁(底面：443×760mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(底面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁(底面)に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.49(長方形の両辺の比より求める)

p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.49 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(底面)に発生する応力は 170℃のときのステンレス鋼の引張強さ 414MPa より小さい。

(4) 内容器内壁(上面：443×760mm)に発生する応力

最大内外圧差により、内容器内壁(上面)に発生する最大曲げ応力は次式にて与えられる。

$$\sigma_{\max} = \beta \frac{pa^2}{h^2}$$

ここで、

σ_{\max} : 内容器内壁(上面)に発生する最大曲げ応力

β : 長方形板の応力係数 0.49(長方形の両辺の比より求める)

p : 等分布荷重 6.3×10^{-2} MPa

a : 長方形の両辺のうち短辺寸法 443mm

h : 内壁の板厚 mm

これらを用いると、

$$\sigma_{\max} = 0.49 \times \frac{6.3 \times 10^{-2} \times 443^2}{\text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

したがって、内容器内壁(上面)に発生する応力は 170℃のときのステンレス鋼の引張強さ 414MPa より小さい。

A.9.2.3.2 内容器ロッドボルトに発生する応力

内容器ロッドボルトの材質であるクロムモリブデン鋼の熱膨張率は、ステンレス鋼の熱膨張率より小さいため、温度が上昇した場合にロッドボルトに対して引張応力が生じる。ここでは、保守的にロッドボルトの熱膨張は無視し、ステンレス鋼の熱膨張が全てロッドボルトの引張りによる歪になると仮定してロッドボルトに生じる応力を求める。

内容器にゲージ圧 63kPa が作用している場合のロッドボルトに生じる引張応力は次式で表される。

$$\sigma_{R1} = \frac{F}{n \times A_R} + \frac{T}{K \times d \times A_R}$$

ここで、

- σ_{R1} : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa
- F : 最大内外圧差により内容器蓋に働く荷重 21211N
(=6.3×10⁻²MPa×(443×760mm²))
- n : ロッドボルトの本数 16本
- A_R : ロッドボルト断面の断面積 mm²
- T : ロッドボルトの締付けトルク N・mm
- K : トルク係数 0.1
- d : ロッドボルトの呼び径 16mm

これらを用いると、

$$\sigma_{R1} = \frac{21211}{16 \times \text{}} + \frac{\text{}}{0.1 \times 16 \times \text{}} = \text{} \text{ MPa}$$

一方熱膨張差による応力は、ロッドボルトの熱膨張を無視し、ステンレス鋼の熱膨張がロッドボルトの歪に作用したと仮定して、応力は歪にヤング率を乗じて求まる。

$$\sigma_{R2} = \varepsilon \times E$$

ここで

- σ_{R2} : ロッドボルト断面に生じる引張応力 MPa
- ε : 170℃(443K)のとき熱膨張によりロッドボルトに生じる歪 15.71×10⁻⁶
(ステンレス鋼の熱膨張率 15.30×10⁻⁶ K⁻¹(400K)と 16.25×10⁻⁶ K⁻¹(500K)から補完して算出)
- E : クロムモリブデン鋼のヤング率 2.05×10⁵ MPa
(保守的に常温の値を使用)

これらを用いると、

$$\sigma_{R2} = 15.71 \times 10^{-6} \times 2.05 \times 10^5 = 3.3 \text{ MPa}$$

ロッドボルトに生じる応力の合計は

$$\sigma_R = \sigma_{R1} + \sigma_{R2} = \boxed{} + 3.3 = \boxed{} \text{ MPa}$$

したがって、ロッドボルトに発生する応力は 170℃のときのクロムモリブデン鋼の引張強さ 847MPa よりも小さく、問題となることはない。

A.9.2.3.3 許容応力との比較

許容応力と解析値の比較を(ロ)A-第 12 表に示す。いずれの解析結果も解析基準値以下であり、内容器に開口部は発生せず、収納物は内容器から漏出することは無い。

(ロ)A-第 12 表 特許容応力と解析値の比較

項目	解析基準値	解析評価値
1. 内容器内壁に発生する応力		
幅狭側面	414MPa	<input type="text"/> MPa
幅広側面	414MPa	<input type="text"/> MPa
底面	414MPa	<input type="text"/> MPa
上面	414MPa	<input type="text"/> MPa
2. 内容器ロッドボルトに発生する応力	847MPa	<input type="text"/> MPa

A.9.2.3.4 熱的試験による臨界解析への影響

耐火試験により外容器のゴム類が焼失したが、試験前後で外形に有意な変化ない。また、内容器も変色した以外に形状に変化はなく、内容器の O リングの温度上昇も常用最高使用温度以下である。内容器内部の中性子吸収材も試験前後で変化がなく、収納物にも移動、変形、破損等は一切生じなかった。以上のことから、臨界解析に与える影響は「A.9.2.1 強度試験・落下試験 I (9m落下時)」に包含される。

A.9.2.4 浸漬

臨界安全解析は内容器内部への水の浸入を考慮に入れているため、規則に基づく 0.9 m の水頭下の浸漬試験は実施していない。臨界解析では、保守的となるように水密度をサーベイしている。

A.9.2.5 特別の試験条件まとめ

試験の結果、落下試験Ⅰ及びⅡでは落下姿勢検討用として複数姿勢の落下試験を実施した1号機に外容器内部に通じる亀裂、破損及び貫通孔はなく、蓋も所定の位置から動くことも無かった。2号機についても同様であり、内容器が外部に露呈することはない。

内容器は外容器内を移動するが、内容器内部に通じる亀裂、破損及び貫通孔はなく、蓋も所定の位置から動くことも無かった。内容器の中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製板を模擬したステンレス鋼製板にも有意な損傷はなく、有効な領域に留まる。収納物であるペレット保管箱組立体は初期の形状・機能を維持しており、ペレット保管箱にウランペレットが漏出可能な開口は発生しなかった。

耐火試験の結果、外容器外部のゴム類の焼失を除き、試験前の原型をとどめていた。内部は、温度上昇により、変色したが有機物の燃焼はない。内容器Oリングの最高温度は保守的な解析結果でも170℃であり、試験後の確認でも弾力性を十分に有していた。中性子吸収材についても、位置ずれや変形及び亀裂等はなかった。収納物であるペレット保管箱組立体の温度は170℃以下であり、試験前後での有意な熱的な影響は見あたらない。

これら評価結果に基づき、特別の試験条件下では外容器は、複数の落下ケースを実施した原型容器1号機の変形量を保守的に設定し、一律に変形したとする。

内容器についても、条件の厳しい原型容器1号機の試験結果から、外容器内の移動を保守的に設定した条件とする。

核燃料物質であるウランペレットはペレット保管箱内に留まり、ペレット保管箱組立体の形状・機能は維持されるものとする。また、収納物は内容器内に留まるものとする。

核分裂性輸送物に関わる特別の試験条件下における本輸送物の状態と臨界解析への影響を(ロ)A-第13表に示す。特別の試験条件下の臨界解析条件としては、輸送物内の浸水及び外寸の一律変形を考慮する。

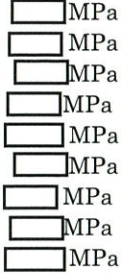

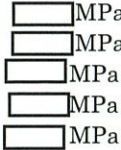

(ロ)A-第 13 表 特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	臨界解析への影響	備考
落下試験 I	外形寸法が減少 —変形量 高さ：最大 <input type="text"/> mm 長さ：最大 <input type="text"/> mm 幅：最大 <input type="text"/> mm	外形寸法の減少を考慮 —変形量 高さ：一律 <input type="text"/> mm 長さ：一律 <input type="text"/> mm 幅：一律 <input type="text"/> mm	—
	内容器が移動 —近接可能距離 幅狭方向： <input type="text"/> mm 幅広方向： <input type="text"/> mm	内容器の移動を考慮 —近接可能距離 幅狭方向： <input type="text"/> mm 幅広方向： <input type="text"/> mm	
	中性子吸収材は有効領域に留まる。	有効領域に配置を考慮。	
	内容器内の燃料領域移動は無い。	移動は考慮しない。	
	内容器、収納物に変形	保守的に無視	
落下試験 II	局所的な変形 内容器及び収納物への影響は無い。	影響なし	—
耐火試験	臨界評価に与える変化はない。	影響なし	—
浸漬試験	—	浸水を考慮	—

A.10 構造解析まとめ

通常輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件における構造解析を実施した結果、各評価項目において要件を満足するものである。また、各条件において輸送物に生じる影響については、他の解析において保守的に考慮する。解析結果のまとめを(ロ)A-第 14 表に示す。

(ロ)A-第14表 構造解析結果 (1/2)

条件	項目	解析項目	解析基準	解析結果	安全率
通常輸送時	1.化学的及び電気的反応 (1)化学的反応 (2)電気的反応	反応性 電位性	化学反応が無いこと 異種材質間の電位差が無いこと	化学反応無し 電位差無し	— —
	2.低温強度 (1)構造材 (2)衝撃吸収材 (3)スペーサ、Oリング (4)断熱材 (5)ロッドボルト	低温強度 低温強度 性能低下 性能低下 低温強度	性能低下が無いこと 性能低下が無いこと 性能低下が無いこと 性能低下が無いこと 性能低下が無いこと	性能低下無し 性能低下無し 性能低下無し 性能低下無し 性能低下無し	— — — — —
	3.密封装置	誤操作	誤操作で密封装置が開かないこと	誤操作で密封装置は開かない	—
	4.吊上装置 (1) 外容器吊部 A 断面 (2) 外容器吊部 B 断面 (3) 外容器吊部箱形状部溶接部 (4) 外容器吊部と蓋の溶接部 (5) 外容器ロッドボルト (6) 内容器吊部 A 断面 (7) 内容器吊部 B 断面 (8) 内容器吊部溶接部 (9) 内容器ロッドボルト	組合せ応力 組合せ応力 せん断応力 引張応力 引張応力 組合せ応力 組合せ応力 組合せ応力 引張応力	205 MPa 205 MPa 72 MPa 125 MPa 785 MPa 205 MPa 205 MPa 125 MPa 785 MPa		
	5.固縛装置	—	—	該当せず	—
	6. 圧力 (1) 内容器幅狭側面 (2) 内容器幅広側面 (3) 内容器底面 (4) 内容器上面 (5) 内容器ロッドボルト	曲げ応力 曲げ応力 曲げ応力 曲げ応力 引張応力	183 MPa 183 MPa 183 MPa 183 MPa 712 MPa		
	7. 振動	変形、破損	変形、破損が無いこと	変形、破損無し	—

(ロ)A-第14表 構造解析結果 (2/2)

条件	項目	解析項目	解析基準	解析結果	安全率
一般の試験条件	1. 圧力 (1) 内容器幅狭側面 (2) 内容器幅広側面 (3) 内容器底面 (4) 内容器上面 (5) 内容器ロッドボルト	曲げ応力 曲げ応力 曲げ応力 曲げ応力 引張応力	183 MPa 183 MPa 183 MPa 183 MPa 712 MPa	<input type="text"/> MPa <input type="text"/> MPa <input type="text"/> MPa <input type="text"/> MPa <input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	2. 水噴霧	材質劣化 内部浸水	材質劣化が無いこと 内部浸水が無いこと	材質劣化無し 内部浸水無し	— —
	3. 自由落下 (蓋下水平 幅狭側面下水平 コーナー)	変形、破損	変形量 破損状況	本体 : <input type="text"/> mm コーナー : <input type="text"/> mm 局部変形を除き有意な変形はない。	— —
		収納物漏出	収納物漏出が無いこと	収納物漏出無し	—
	4. 積み重ね	座屈荷重	101988 N	<input type="text"/> N	<input type="text"/>
5. 貫通	貫通	貫通が無いこと	貫通無し	—	
特別の試験条件	1. 落下試験 I (蓋下水平 幅狭側面下水平 幅広側面下水平 幅狭側面傾斜 コーナー)	変形、破損	変形量 破損状況	高さ : <input type="text"/> mm 本体長さ : <input type="text"/> mm 本体幅 : <input type="text"/> mm コーナー : <input type="text"/> <input type="text"/> mm ・内部に通じる亀裂、破損、貫通孔等無し ・蓋は所定位置から動かない ・断熱材喪失無し ・フランジ部開口、ロッドボルト破断、外れ無し	— —
	2. 落下試験 II (蓋水平 底脚際水平 幅広側吊部傾斜 幅広中央傾斜 幅広側フランジ傾斜)	収納物影響	—	・内容器の移動可能領域が発生 ・内容器に収納物漏出可能な開口部無し ・収納物は当初形状を維持する ・中性子吸収材は有効	—
	3. 耐火試験	変形、破損 収納物影響	変形量 破損状況 —	変形なし 著しい劣化や変形無し 収納物の移動、漏出無し 中性子吸収材影響無し	— — —
	4. 浸漬試験	—	—	臨界解析で浸水を考慮	—

参考文献

- ・ステンレス鋼データブック（ステンレス協会 編）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2001（日本機械学会）
- ・新版機械工学便覧（日本機械学会編）
- ・改訂 3 版金属データブック（日本金属学会編）
- ・再入門材料力学（日経 BP 社）
- ・U.S.NRC Regulations(10FCR) Part71.45 Lifting and tie-down standards for all packages
- ・改訂 3 版溶接便覧（溶接学会編）
- ・IAEA Safety Standards Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2005 Edition Safety Requirements No. TS-R-1
- ・IAEA Safety Standards Series Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material Safety Guide No. TS-G-1.1
- ・ねじ締付機構設計のポイント改訂 3 版（日本規格協会）
- ・伝熱工学資料改訂第 4 版（日本機械学会）

(口)A 付属資料 1

原型容器落下試験結果

1. はじめに

原子燃料工業株式会社が5wt%以下のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）を運搬するために開発したGP-01型輸送容器の原型容器落下試験の結果について示す。落下試験は、原型容器2基を使用してA型輸送物に要求される一般の試験条件下での自由落下試験(1.2m)と貫通試験、核分裂性輸送物に要求される特別の試験条件下での9m落下試験、1mターゲット試験について連続的に実施した。

2. 輸送容器の概要

- | | |
|-------------|--|
| (1) 輸送容器の名称 | GP-01型 |
| (2) 輸送物の種類 | A型核分裂性輸送物 |
| (3) 最大濃縮度 | 5.0wt% |
| (4) 収納物 | ペレット保管箱組立体(A)又は(B)を各2基 |
| (5) 装荷制限 | |
| | ・ペレット保管箱組立体(A)2基収納時・・・264kg-UO ₂ 以下 |
| | ・ペレット保管箱組立体(B)2基収納時・・・200kg-UO ₂ 以下 |
| (6) 寸法 | W : 830 単位(mm) |
| | L : 1144 単位(mm) |
| | H : 1060 単位(mm) |

(注) 脚および容器表面から突出した吊部の一部を含む。

- | | |
|----------|-----------------------------------|
| (7) 重量 | |
| | ・輸送容器の総重量 730 kg 以下 |
| | ・輸送物の総重量 1300 kg 以下 |
| (8) 主要材料 | |
| | ・構造材料 ステンレス鋼 |
| | ・断熱材 セラミックファイバー |
| | ・中性子吸収材 ボロン入りステンレス鋼 |
| | ・衝撃緩衝材 アルミハニカム |
| | ・ロッドボルト クロムモリブデン鋼 |
| | ・ナット ステンレス鋼 |
| | ・スペーサ、スキッド等 シリコンゴム、ネオプレンゴム、ウレタンゴム |

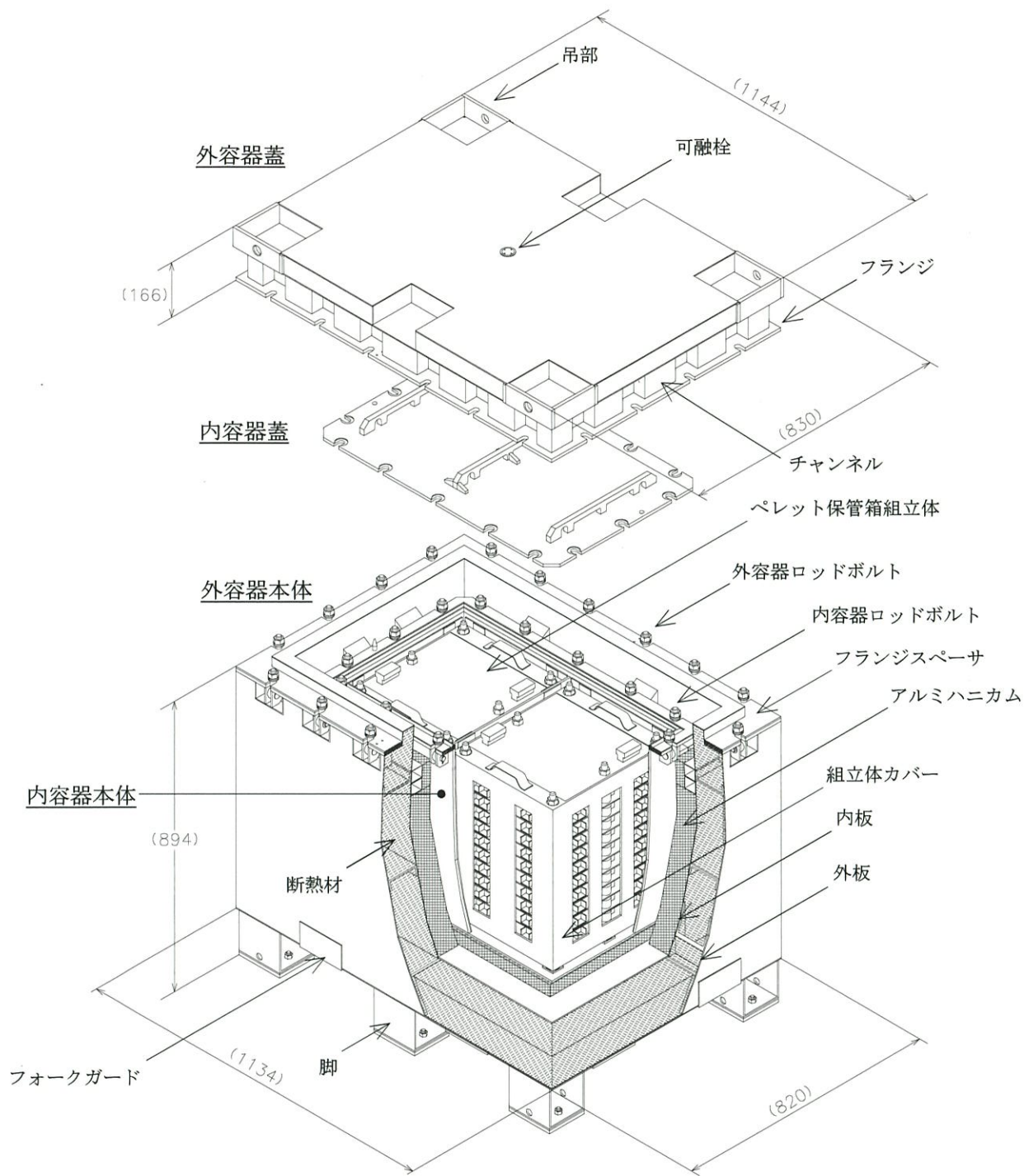
(9) 概要

本輸送物の全体図を(ロ)A付1-第1図に示す。本輸送容器は、外容器と外容器から取出し可能な内容器から構成される。外容器本体は箱型2重構造となっており、内外板間に断熱材を充填する。外容器蓋も本体と同様の構造であり、ロッドボルトで本体と連結固定する。

内容器本体及び内容器蓋ともに厚手のステンレス鋼製板からなる箱型1重構造となっている。フランジ面には密閉用のOリングを配置し、外容器と同様に内容器蓋と内容器本体はロッドボルトで連結固定される。中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製板は内容器内面と収納物である2基のペレット保管箱組立体の間に仕切りとして配置している。

本輸送物の収納物は、ペレットを収納したペレット保管箱を支柱に通した仕切板と交互に積重ね、支柱頂部のネジ部をナットで締付けて組立てたペレット保管箱組立体2基である。組立体の最上部と最下部の仕切板を除いた仕切板は中性子吸収材となるボロン入りステンレス鋼製板としている。

ペレット保管箱組立体は、最大11kg-UO₂/箱を収納するペレット保管箱を12箱で組立てたペレット保管箱組立体(A)と最大20kg-UO₂/箱を収納するペレット保管箱を5箱で組立てたペレット保管箱組立体(B)の2種類がある。ペレット保管箱組立体(A)の最大UO₂重量は132kg-UO₂であり、ペレット保管箱組立体(B)の最大UO₂重量は100kg-UO₂である。



(単位：mm)

(ロ)A付1-第1図 GP-01型輸送物外観図

3. 試験

3.1 原型容器

原型容器は1号機と2号機の2基を準備し、1.2mの自由落下試験、9m落下試験における落下姿勢の確認検討と貫通試験、1mターゲット試験の影響確認に1号機を使用し、2号機を本試験と位置づけ、前試験の結果決定した落下姿勢で自由落下試験、1m落下試験、1mターゲット試験をシリーズで実施した。本試験では、重畳効果を与えるため、連続して同一箇所が衝突するように配慮している。

落下試験に使用した原型容器は、基本的に実用機と同一構造及び同一の製造方法であるが、落下試験に使用するために以下の点で異なっている。なお、収納物は重量が重くなることから、ペレット保管箱組立体(A)2基としている。

原型容器の外観を A付1-写真1～A付1-写真4に示す。

(1) 代替収納物

原型容器には、実物の酸化ウランから加工されたペレットを収納して試験することが出来ないため、ペレット収納時の最大収納量と同等以上となるよう重量を調整した、重量模擬鉛棒をペレット保管箱に収納している。これによりペレット収納時より2%以上、総収納量で5kg以上重い状態としている。この重量増は、落下試時の収納物の挙動に対して保守的に影響すると期待される。

(2) 重量調整用ウェイトの追加

重量模擬鉛棒を満載した状態でも輸送物の公称最大重量である1300kgに達しないことから、原型容器の重量を輸送物の最大重量以上とするために、内容器内のペレット保管箱組立体上部と下部に鉛板を挿入している。これにより、原型容器重量は1300kg以上となっている。この重量調整は内容器内部に対して処置されていることから、落下試験時に外容器及び内容器に対して有効な重量として作用する。重量調整ウェイト取付け状態を A付1-写真5及び A付1-写真6に示す。

(3) 加速度計取付け

落下時の衝撃を計測するために、3軸加速度計を外容器本体側面及び内容器本体側面の非落下対象面に取り付けている。取付けは、溶接で完全固定した加速度計取付け用台座に、メーカー推奨取付け方法であるボルト2本で固定している。ボルトは接着剤で回止め処置しており、運搬中の振動や落下試験の衝撃で緩むことがないように処置している。また加速度計の周囲及びケーブル根元はエポキシ樹脂により補助的に固めている。なお、ケーブルを保護する目的のためのケーブルガイドを加速度計取付け用台座付近に溶接して固定している。また、加速度計は試験間前に、ガムテープ及び若干の梱包材で養生されている。

これらの処置は、原型容器重量に対して殆ど影響を与えないが、僅かながら重量増加に寄与する。加速度計取付け状態を A付1-写真7及び A付1-写真8に示す。

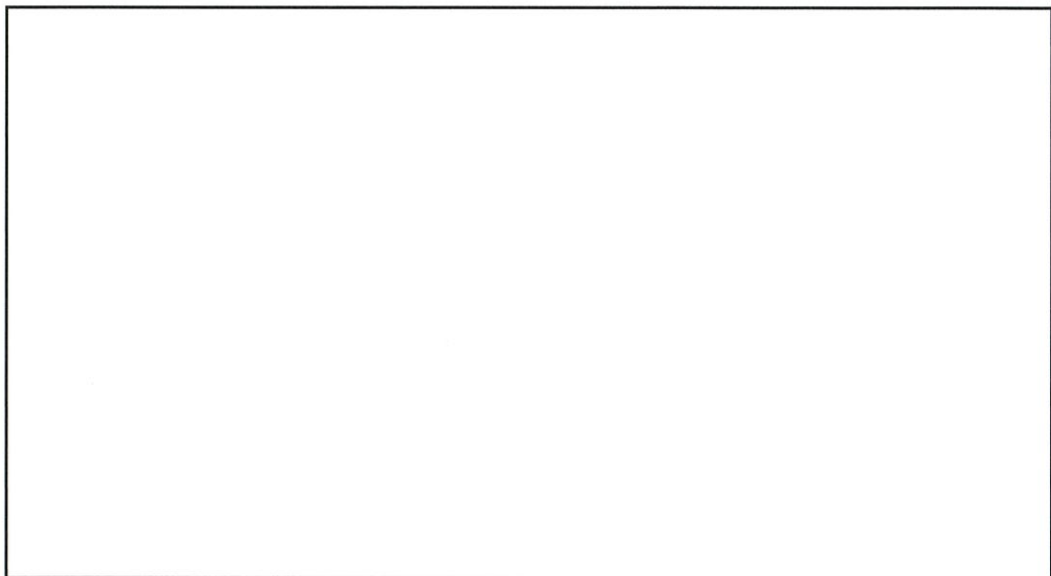
(4) 加速度計取付けのための加工

内容器本体への加速度計取付けのための空間を確保し、落下時の干渉による破損から加速度計及びケーブルを保護するために加速度計取付け面側のアルミハニカムを外している。

また、内容器本体に取付けた加速度計のケーブル取出し用の貫通孔を外容器に追加工している。貫通孔は内径□mmであり、貫通部の断熱材を除去してステンレス鋼製パイプを溶接している。

原型容器1号機は、多種の落下姿勢で試験を行うことから、各姿勢に共通してケーブル破損の可能性が少ない箇所として、非落下対象の幅狭側面に貫通孔を設けている。2号機は後述するように、あらかじめ落下姿勢が特定されるため、外容器脚がガードとして機能することが期待できる底面に貫通孔を設けている。(ロ)A付1-第2図に貫通孔配置図を示す。また、1,2号機の貫通孔をA付1-写真9及びA付1-写真10に示す。

一連の加工は、原型容器の重量調整前に実施しているため、原型容器の重量は公称最大重量(1300kg)以上の状態が維持されている。



(ロ)A付1-第2図 加速度計ケーブル用貫通孔配置図

(5) 中性子吸収材の代用

内容器およびペレット保管箱組立体の中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製板の代用として、同一寸法のステンレス鋼製板を使用した。中性子吸収材は、輸送容器の全ての機械的強度の担保条件として考慮されていない。

(6) 生産型との違い

原型容器製作後に判明した取扱い上の改善事項や、試験の結果から生じた小改善を反映したものを最終生産型とする。変更箇所を(ロ)A付1-第1表に示す。これらの変更は、原型容器を用いた試験結果に非安全側の考慮が必要な強度の低下や重量の増加をもたらすものではない。

(ロ)A付1-第1表 原型容器—生産型変更箇所

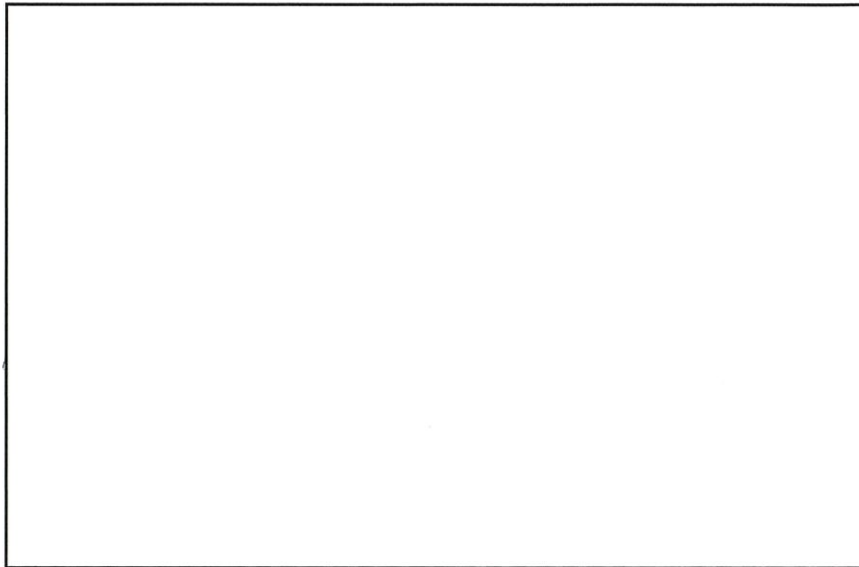
部位	変更箇所	解決した点	影響
外容器フランジ スペーサ	スペーサ幅を減少し、溶接脚上から排除 ロットボルト部付近の寸法を拡大	製造時の接着性の改善 干渉を排除し作業性を改善	外容器フランジスペーサに期待する機能に影響はない。
吊部	コーナー下端鋭利箇所に面取り加工を追加 平面加工追加	作業安全性の向上 締付け時の作業性を改善	強度に影響しない変更。
外容器位置決めピン	フランジ裏面にナットを溶接→フランジに直接ネジ 加工	製造時工作性向上	外容器位置決めピンに期待する機能に影響はない。
外容器位置決めピン 付け方法			外容器位置決めピンに期待する機能に影響はない。
アルミハニカム	アルミハニカム固定を接着剤からアルミ製ハニカム カバナーによるビス固定に変更	メンテナンス性向上 補修性の向上	アルミハニカム本体の仕様に変更はなく落下試験結 果に影響しない。
	固定方法変更により、各ブロック間の隙間を排除。	隙間に異物が混入する可能性を排除	
	固定方法変更によりハニカム両面のアルミ板接着を 排除。	メンテナンス性向上 補修性向上	
	幅狭側面ハニカム幅を変更	機能しない領域を削除	機能しない部位であるため試験結果に影響しない。
ウレタンゴムガイド	ウレタンゴムガイド先端部にMCナイロンを取付け	内容器装荷取出し時の摺動性改善	ウレタンゴムガイドに期待する機能に影響はない。
外容器蓋	中フレーム間隔を変更し、補強板を追加。通気孔間 隔の変更	過酷状況下での強度を向上	外容器蓋フレーム強度が増加する。
フランジ部	フランジ部クリアランスの見直し	製造時の工作性を向上 作業性の向上	強度に影響しない。
脚	下端コーナーを面取り	2段階み時の位置決め性向上	脚に期待する機能に影響はない。
スキッド寸法	長さを短小化	2段階み時の位置決め性向上	スキッドに期待する機能に影響はない。
スキッド取付け方法	脚にナットを溶接→ネジボスを組込み 面取りの追加	メンテナンス性、補修性の向上 作業性向上 作業安全性向上	スキッドに期待する機能に影響はない。 強度に影響しない変更。
内容器蓋縁及び 蓋バー			
内容器外表面	鏡面仕上げを廃止	メンテナンス性向上	強度に影響しない変更
内容器ロットボルト間隔	外容器蓋フレーム間隔変更に伴う変更	衝突時の干渉防止	強度に影響しない変更
内容器ロットボルト座	ボルト座の長穴化	作業性向上	強度に影響しない変更
ペレット保管箱組立支 柱ねじ部	ねじ部を長くする。	締付け時寸法の最適化	組立強度に影響しない変更。
ペレット保管箱組立支 柱固定方法	溶接はめ殺し→脱着可能構造に変更	メンテナンス性向上 補修性向上	組立強度に影響しない変更。
ペレット保管箱組立体吊 上げ方法	専用ネジ穴へのアイボルト挿入を支柱へのアイナット 取付けに変更	構造の簡略化	組立強度に影響しない変更。
アイナットホルダー	組立体上部にアイナットホルダーを追加	作業性の向上	
ペレット保管箱位置決め ゴムブロック	両端に突起を追加	作業性の向上	輸送物総重量に影響しない部品追加。
組立体カバナー	取手幅を狭小化	作業性の向上	ペレット保管箱の保持機能に影響しない変更。 組立体カバナーに期待する機能に影響はない。

* 全ての変更は輸送物総重量 1300kg を増加させるものではないため、試験結果の有効性は維持される。

3.2 落下試験施設

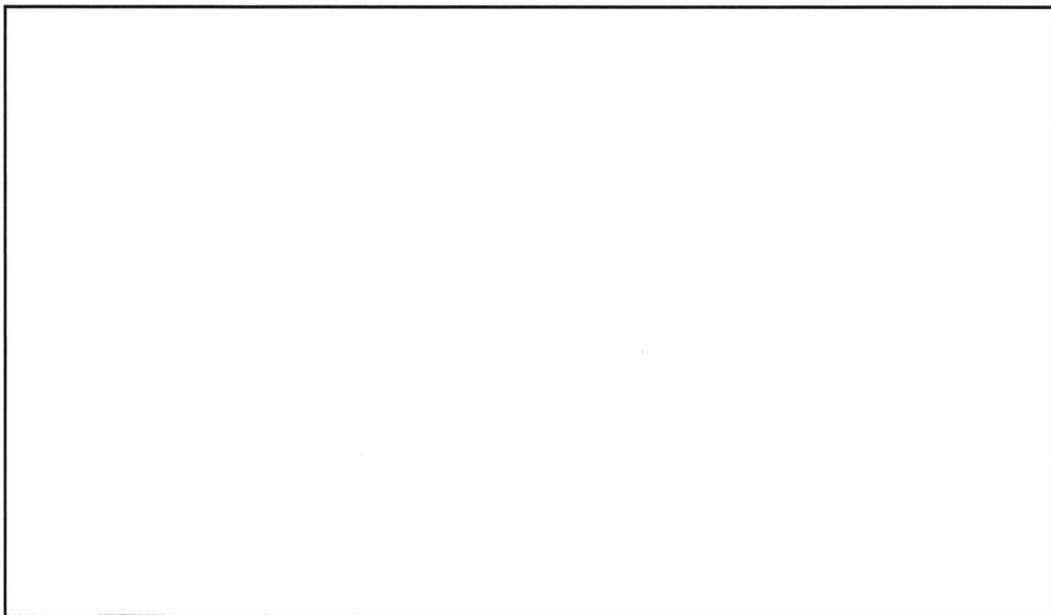
(1) 試験台

本落下試験に用いた落下試験台は、に常設されたものであり、その設備の概要は(ロ)A付1-第3図のとおり。試験台風景をA付1-写真11及びA付1-写真12に示す。



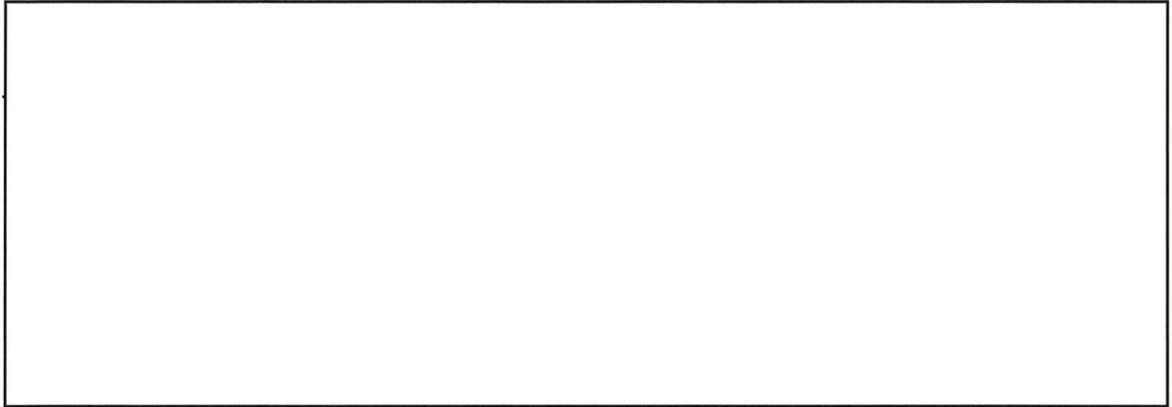
(ロ)A付1-第3図 落下試験設備概要図

落下試験台には、高速度カメラ用ピット、白黒モザイク状のバックボードが用意されている。通常、落下試験は移動式クレーンにて試験体を吊り上げた後、ワイヤーカッターにて吊り上げワイヤーを切断させて試験体を落下させる。試験台の配置は(ロ)A付1-第4図参照



(ロ)A付1-第4図 落下試験台配置図

落下試験台は深さ□m、重量が約□トンのコンクリートブロック上に厚さ□mm、広さ□m×□mの鋼製板を敷いたものから成り、約□トンまでの試験体の落下試験が可能。構造は(□)A付1-第5図参照。



(□)A付1-第5図 落下試験台構造図

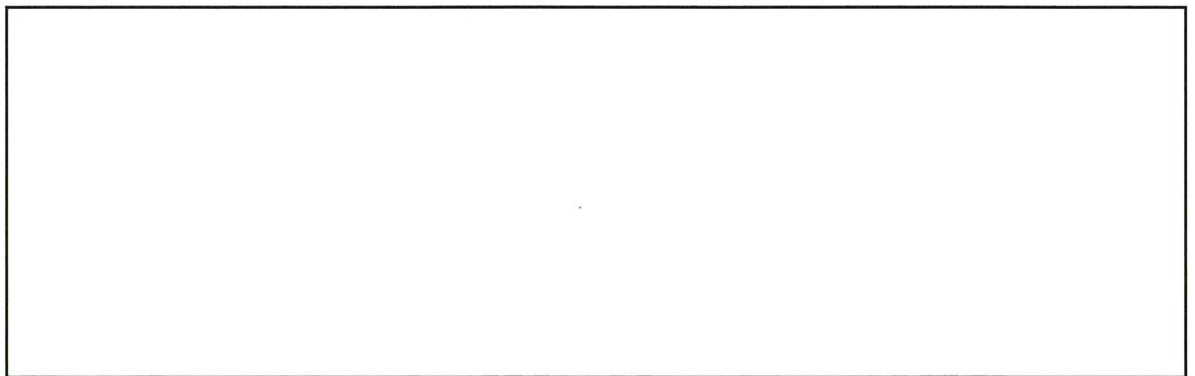
(2) 貫通試験用鋼棒

貫通試験に使用する鋼棒は規則により仕様が定められている。

- ・重量：6kg
- ・寸法：直径3.2cm
- ・形状：先端半球状の棒

今回準備した鋼棒の仕様は以下のとおり。

- ・重量：□kg (実測値)
- ・寸法：直径□cm 長さ□cm
- ・形状：先端半球(半径□cm)状の棒
- ・材質：□ □ 降伏応力□MPa
- ・表面：塗装なし
- ・外観：(□)A付1-第6図参照



(□)A付1-第6図 貫通試験用鋼棒

(3) 1mターゲット試験用ターゲット

1mターゲット落下試験に使用するターゲットは規則により仕様が定められている。

- ・据付：垂直に固定、
- ・材質：軟鋼
- ・寸法：長さ 20cm 直径 15cm
- ・形状：丸棒、上面が滑らかな水平面

今回準備したターゲットの仕様は以下のとおり。

- ・据付：落下試験台に垂直に溶接により固定
- ・形状：丸棒、上面が滑らかな水平面
- ・材質： 降伏応力 MPa
- ・長さ：cm 底側から脚(cm)+外容器内外殻間(cm)を十分に貫通できる長さとした。
- ・表面：接触痕が輸送物に残るように黄色ペンキを全面に塗装
- ・外觀：(ロ)A付1-第7図参照



(ロ)A付1-第7図 落下試験用ターゲット

3.3 試験ケース

原型容器 2 基を原型試験に使用するにあたり、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における実施ケースについて検討した。試験は 1 号機を落下姿勢検討用、2 号機を本試験用とした。規則では、耐火試験で最大の損傷を受けるように落下させる必要がある。本輸送物は箱型であり、各面の交接部はエネルギーが集中し大きく変形しやすい。したがって、コーナーが最初に接地する落下姿勢とすることが、最も輸送物に対して大きな損傷を与える姿勢であると考えられる。また、外容器および内容器とも、耐火試験時の火炎の影響を受けるフランジは上部側にあることから、上部側のコーナーを損傷させる落下姿勢とすることが、落下試験及びその後実施する耐火試験において、最も大きな損傷を生じ且つ熱的影響が大きく現れると考えられる。臨界性に関する影響については、複数の落下姿勢で試験を実施し、その影響が複合的に現れると考えられる 1 号機の結果から引用する。

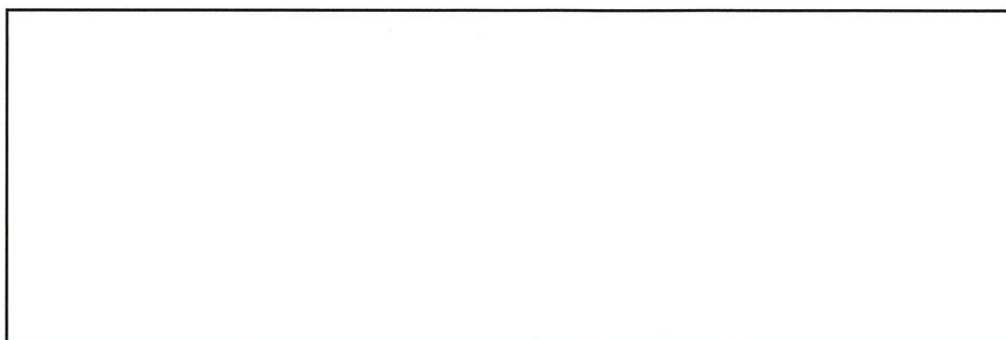
1 号機はコーナー落下が最大の損傷となることを確認するために、コーナー落下姿勢を含む複数の落下姿勢で試験を実施した。2 号機はこの結果を踏まえてコーナー落下姿勢で本試験を実施した。

検討は、本容器の性能上確認が不要なケースや明らかに条件が厳しい他ケースで包絡出来るものを省略することとし、(ロ)A 付 1-第 2 表に示すケースについて実施することとした。

(ロ)A付1-第2表 原型容器試験実施ケース検討表

		試験項目	1号機	2号機	備考	
一般の試験条件 A F	水噴霧		×	×	ステンレス鋼製外板であり、水噴霧の影響は無視可能。	
	1.2 m	蓋	●	×	内容器蓋への影響を確認。	
		底	×	×	脚の緩衝効果及び位置関係から内容器フランジ部への影響は小さい。脚は骨格上に位置するため、めり込む可能性は低い。仮に脚のめり込みにより外板表面に亀裂が生じてもセラミックファイバー製の断熱材の喪失はない。	
		幅狭側面	●	×	内容器フランジ部及び収納物への影響を確認。	
		幅広側面	×	×	幅狭が条件的に厳しいこと、1.2m落下試験では影響が顕著に現れないため対象外。(9mで実施)	
		傾斜	幅狭側面	×	×	反動による影響は1.2m落下試験では影響が顕著に現れないため対象外。(9mで実施)
			幅広側面	×	×	幅狭がより条件的に厳しく、1.2m落下試験では影響が顕著に現れないため不要
	コーナー		●	●	外容器フランジ部への影響がもっとも大きくなる姿勢と考えられる。	
	5倍荷重		×	×	主要鋼材の圧縮応力を計算で評価する。	
	鋼棒貫通		●	×	側面、頂部の弱そうな箇所を数箇所選択して実施	
特別の試験条件 F	9 m	蓋	●	×	内容器蓋への影響を確認	
		底	×	×	脚の緩衝効果及び位置関係から内容器フランジ部への影響は小さい。脚は骨格上に位置するため、めり込む可能性は低い。仮に脚のめり込みにより外板表面に亀裂が生じてもセラミックファイバー製の断熱材の喪失はない。	
		幅狭側面	●	×	内容器フランジ部及び収納物への影響を確認	
		幅広側面	●	×	幅狭が条件的に厳しいが、ペレット収納箱の方向が幅狭方向と異なる。	
		傾斜	幅狭側面	●	×	外容器フランジ部への影響を確認。蓋水平落下と異なる容器で実施。コーナー落下と反対側で実施
			幅広側面	×	×	幅狭が条件的に厳しいため不要
	コーナー		●	●	外容器フランジ部への影響を確認。	
	ターゲット	水平	蓋吊部際	●	×	吊部の溶接箇所の際に実施
			幅広側面中央	×	×	同一箇所傾斜姿勢のほうが厳しい。
			底脚際	●	×	脚溶接部周囲の割れの有無を確認。(脚が干渉するため傾斜は不可能)
		傾斜	幅広側面中央	●	×	ターゲット角部による吊部損傷を確認。外板変形が最も大きいと考えられる。
			幅広側面吊部際	●	×	蓋吊部際のターゲット角部による吊部損傷を確認
			幅広側面フランジ	●	×	フランジ部の変形状況を確認
			幅狭側面角	×	×	フレーム直撃となるため大変形や亀裂が生じにくい。
		コーナー		×	●	コーナー部は骨材直撃となるため大変形や亀裂が生じにくい、フランジに最も影響を与える姿勢であるため、重畳効果を確認する。
	耐火試験		×	●	熱の進入が大きい2号機を対象。最終的評価は熱解析による。	
	0.9m浸漬		×	×	臨界評価で浸水を考慮するため不要。	

9m落下試験では、水平姿勢コーナー姿勢以外に傾斜姿勢を選択している。傾斜姿勢は、先に接地した反動で容器が反対側に叩きつけられる挙動を確認するためのものであり、あらかじめ挙動が正確に予測できないことから、適切な傾斜角を選択することは非常に難しい。当該容器の重心は本文「(ロ)A 構造解析の A.2 重量及び重心」に記載しているように、輸送物のほぼ中央に位置する。傾斜落下は脚の無い蓋側を下向きとするため、位置関係は(ロ)A付1-第8図の水平図のようになる。傾斜角がある程度おおきいほうが、厳しい条件となると考えられるが、過ぎると、エネルギーが縁部の変形に吸収されてしまうことが考えられる。(ロ)A付1-第8図に示すように 傾斜させた場合の重心角度は 以上となり、垂直に近くなることから、重心角度が となる の傾斜角度で試験を実施することとした。



(ロ)A付1-第8図 傾斜姿勢検討図

1mターゲット落下試験では、輸送物の姿勢に傾斜を持たせるほうが、損傷が大きい可能性があることがIAEA輸送規則 TS-G-1.1 の 727.14 に記載されており、 の角度をつけることが推奨されている。新燃料集合体輸送容器のように長尺輸送物の場合、ターゲットに衝突後、輸送物の両端が持つ落下エネルギーにより、ターゲット接触箇所から折れ曲がるような挙動を示すと考えられる。この場合、傾斜角度はより小さい方が、両端が地面に接触するタイミングが遅くなるため、厳しい条件となると考えられる。一方、本輸送物のように四角い箱型の形状のものは、接触箇所に落下エネルギーの殆どが集中するため、より大きい角度の姿勢のほうが輸送物表面に亀裂等の損傷を与える可能性が高くなると考えられる。したがって1mターゲット試験では水平姿勢以外に傾斜をつけた姿勢を実施することとし、その傾斜角は とした。

(ロ)A付1-第3表に試験順序を示す。落下試験工程を短縮するため、輸送物の変形が小さいと考えられた1.2m落下及び鋼棒落下の4ケースについては、試験終了後まとめて変形量測定を実施した。

(ロ)A付1-第3表 試験実施順序

時間帯	対象	ケース	試験実施順序	備考	
1日	AM	1	1.2m 落下試験 蓋 水平		
		2	1.2m 落下試験 幅狭側面 水平		
		3	1.2m 落下試験 コーナー		
	PM	4	鋼棒貫通試験	側面中央、可融栓	
		—	外観確認、寸法測定		
		5	9m 落下試験 蓋 水平		
		—	外観確認、寸法測定		
		6	9m 落下試験 幅狭側面 水平		
		—	外観確認、寸法測定		
2日	AM	1号	7	9m 落下試験 幅広側面 水平	
		—	外観確認、寸法測定		
		8	9m 落下試験 幅狭側面 傾斜	傾斜角 <input type="text"/>	
		—	外観確認、寸法測定		
		9	9m 落下試験 コーナー		
		—	外観確認、寸法測定		
	PM	10	1m ターゲット 蓋吊部際 水平		
		11	1m ターゲット 底脚際 水平		
		12	1m ターゲット 幅広側面吊部際 傾斜	傾斜角 <input type="text"/>	
—	外観確認、寸法測定				
3日	AM	2号	13	1.2m 落下試験 コーナー 又は別姿勢	
			—	外観確認、寸法測定	
		1号	14	9m 落下試験 コーナー 又は別姿勢	
			—	外観確認、寸法測定	
	PM	1号	15	1m ターゲット 幅広側面中央 傾斜	傾斜角 <input type="text"/>
			16	1m ターゲット 幅広側面フランジ 傾斜	傾斜角 <input type="text"/>
		2号	17	1m ターゲット コーナー 又は別姿勢	
		1号 2号	—	外観確認、寸法測定	1,2号機同時に実施

(注)：1号機1.2m落下試験の寸法測定は、1～3ケース後にまとめて実施

3.4 試験状況

(1) 1.2m蓋下向き水平落下 (ケース 1) (A付 1-写真 13,14)

ほぼ水平に落下しており、そのままの姿勢で1回反跳した。落下衝撃をほぼ均一に受け止めており、局所的な変形が生じることはなかった。

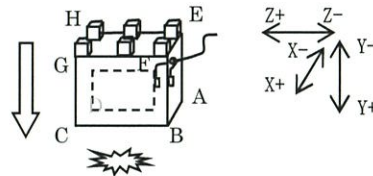
落下面を確認した結果、有意な変形はなかった。1.2m落下試験3ケース終了後の寸法測定の結果では□mm程度の変化が認められた。輸送物表面には、一辺が10cmの立方体を包含するような窪みは生じていなかった。

最大加速度を(ロ)A付 1-第 4表に示す。最大加速の発生方向(Y+)は落下姿勢と一致しており、その他方向では大きな加速度は発生していないこと及び、落下時の接地が均一であったことを裏付けている。

(ロ)A付 1-第 4表 1.2m蓋下向き水平落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+	[Redacted]					
-						



(2) 1.2m幅狭側面下向き水平落下 (ケース 2) (A付 1-写真 15,16)

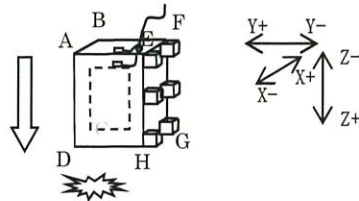
接地直前の姿勢が若干傾いたため、蓋側(CD)から先に接地したが、落下高さが低いためか寸法測定結果では、蓋に本落下が原因と思われる顕著な変形はなかった。輸送物胴部は□mm程度の変形がみとめられた。輸送物表面には、一辺が10cmの立方体を包含するような窪みは生じていなかった。

最大加速度を(ロ)A付 1-第 5表に示す。□容器では落下方向(Z+)で最大加速度(□G)が計測されている。Y+方向に大きな加速度(□G)が発生した直後、反対側の(Y-)方向にも同程度の加速度(□G)が計測されており、Z方向と発生間隔とほぼ一致することから、最初に接地した蓋側と反対の脚側が接地した際のY方向振動が計測されていると考えられる。

内容器では、落下方向(Z+)で大きな加速度(□G)が計測されているが、別方向(Y+)で最大加速度(□G)が計測されている。内容器は、外容器内部で固定されていないため、蓋側接地後外容器内部で激しくY方向に打ち付けられたものと考えられる。

(ロ)A付1-第5表 1.2m幅狭側面下向き水平落下時最大加速度
単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(3) 1.2mコーナー落下 (ケース3) (A付1-写真17~19)

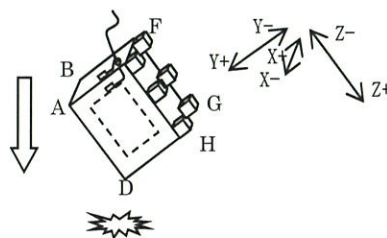
落下後に一度反跳し再度コーナーから接地した後、蓋側を下に転倒した。反跳後に再度同一コーナー部が接地しており、エネルギーがコーナー部に集中した条件となったことがわかる。コーナー部の吊部は有意な変形をしたが、ロッドボルト等の容器本体その他の部位の変形や、フランジ部が開口するような変形はなかった。輸送物表面には、一辺が10cmの立方体を包含するような窪みは生じていなかった。

最大加速度を(ロ)A付1-第6表に示す。落下方向と一致する計測方向はないため、極端に大きな加速度は計測されていない。また、3方向の最大加速度を単純に合成した場合でも、G未満となり、上記2ケースに比較して発生加速度は小さいが、これはコーナー部の変形が衝撃を吸収したことによると考えられる。

(ロ)A付1-第6表 1.2mコーナー落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(ロ)A付1-第7表に1.2m落下の3ケース実施後の寸法測定結果を示す。コーナー落下を除く試験では、mm程度の変形量であり有意な変形とはいえない結果となっている。

体積の減少は、脚、可融栓、フォークガード及び容器表面から突出した吊部の一部を除く輸送物(820mm×1134mm×920mm)を立方体と見立てた場合の体積減少率はもともと面積が広い幅広側面が一律にmm変形したとして約%となる。

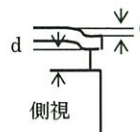
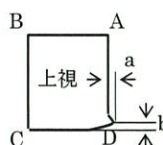
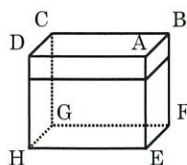
一方コーナー落下姿勢では、吊部を構成するステンレス鋼製板が変形したが、容器本体の体積減少は僅かであった。上と同様に輸送物を立方体と見立て、変形は吊部を構成するステンレス鋼の根元溶接部とフランジコーナー部を結ぶ三角断面を有する三角錐状に変形したとして計算すると約 % となる。



(ロ)A付1-第7表 1.2m ケース実施後寸法測定結果

単位(mm)

	記号	変形前	変形後	変形量	備考												
蓋全長	AD	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	コーナー落下による変形 幅狭下落下の影響はない。												
	BC																
蓋全幅	AB				[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	影響なし									
	CD																
全高	AE							[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	蓋下落下の影響はごく僅か。 有意な変形とはいえない。 コーナー落下による変形						
	BF																
	CG																
	DH																
胴全長	AD										[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	幅狭下落下の影響はごく僅か。 有意な変形とはいえない。			
	EH																
	BC																
	FG																
胴全幅	AB													[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	各種試験の影響。有意な変形 とはいえない。
	EF																
	CD																
	GH																
	a	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]	[Large empty box for data]													コーナー落下の影響で吊部が 変形
	b																
	c																
-	d																



(4) 鋼棒落下 (ケース4) (A付1-写真20~22)

外容器本体幅広側面のフレームによる支持のない中央部、ロッドボルト、可融栓等の突出部や若干強度が異なる部位を選んで鋼棒を m の高さから落下させたが、外表面で若干のくぼみ (深さ mm) を生じた以外は、有意な損傷は認められなかった。

(5) 9m蓋下向き水平落下(ケース5) (A付1-写真23~26)

接地直前の姿勢が若干傾いたため、CD側から先に接地したのち1回反跳した。傾いて接地した反動で容器が回転するような挙動にはいたらなかったが、これは後述の傾斜落下でも明らかのように蓋縁部の剛性が低く、接地時の衝撃が吸収されてしまうことが理由と考えられる。高速度カメラではCD側接地時に外表面ボルト座付近の変形が生じていることが確認され、その後の外観確認でボルト座付近の外表面が若干膨らむような変形が認められた。高さ方向の寸法測定結果では、傾いて接地した影響が現れている。また、その他に蓋上面板がフレームとフレームの間で若干たわむ様に凹んでおり、深さは大きい箇所では□mm程度であった。ロッドボルトの緩みやはずれはなかった。寸法測定結果を(ロ)A付1-第8表に示す。

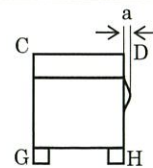
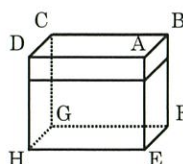
最大加速度を(ロ)A付1-第9表に示す。外容器では落下方向(Y+)で最大加速度(□G)が計測されている。また、(Z+)方向で若干大きな加速度(□G)が発生しており、傾いて接地した際の衝撃が計測されていると考えられる。

内容器でも落下姿勢と一致する方向(Y+)で最大加速度(□G)が計測されているが、傾いて接地した際の(Z+)方向の有意な衝撃は発生していない。

(ロ)A付1-第8表 9m蓋下向き水平落下寸法測定結果

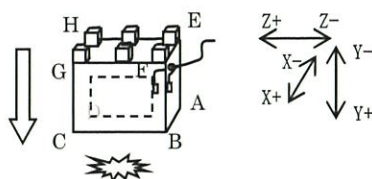
単位(mm)

	記号	変形前	変形後	変形量	備考												
蓋全長	AD				傾いて接地した影響と考えられるが有意な変形ではない。												
	BC																
蓋全幅	AB							落下の影響はない。									
	CD																
全高	AE										傾いて接地した影響が顕著に現れている。						
	BF																
	CG																
	DH																
胴全長	AD													傾いて接地した影響と考えられるが有意な変形ではない。			
	EH																
	BC																
	FG																
胴全幅	AB																有意な変形とはいえない。
	EF																
	CD																
	GH																
-	a																外表面ボルト座付近のふくらみ



(ロ)A付1-第9表 9m蓋下向き水平落下時最大加速度
単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(6) 9m幅狭側面下向き水平落下(ケース6) (A付1-写真27~29)

接地直前の姿勢が若干傾いたため、1.2m落下時と同じく蓋側(CD)から先に接地した。傾いて接地した影響で、容器が横滑りするような挙動を示した。高速度カメラでは接地時に外表面が若干変形したことが確認されたが、試験後の確認では極端な変形はなく、蓋および胴部で若干外表面が膨らむ変形が確認された。寸法測定結果では、先に接地した蓋全長が mm、胴部の蓋側が mm 変形した。寸法測定結果を(ロ)A付1-第10表に示す。

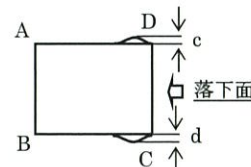
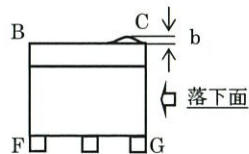
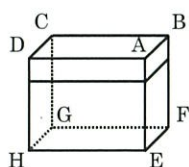
接地面は蓋下向き落下時と同じく、板がフレームとフレームの間で若干たわむ様に凹んでいた。ロッドボルトの緩みやはずれはなく、有意な局所変形も生じていなかった。

最大加速度を(ロ)A付1-第11表に示す。同姿勢の1.2m落下と同じような接地となったことから、計測された加速度もよく似た傾向を持っている。外容器では落下方向(Z+)に最大加速度(G)が計測されているが、同姿勢の1.2m落下時と同様に(Y+)方向にも大きな加速度(G)が発生している。内容器では、(Y+)方向に発生した加速度は落下方向である(Z+)方向に発生した加速度を大きく上回っており、内容器が固定されていないことから、傾いて接地した際に激しく内部で衝突したと推測される。

(口)A付1-第10表 9m幅狭側面下向き水平落下寸法測定結果

単位(mm)

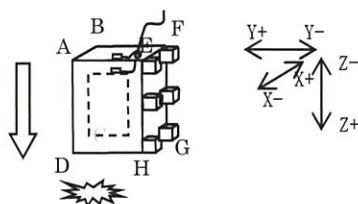
	記号	変形前	変形後	変形量	備考									
蓋全長	AD				蓋が先に接地した影響が顕著に現れている。									
	BC													
蓋全幅	AB							落下の影響はない。						
	CD													
全高	AE										落下により若干膨らんだと考えられるが有意な変形ではない。			
	BF													
	CG													
	DH													
胴全長	AD													傾いて接地した影響が現れている。
	EH													
	BC													
	FG													
胴全幅	AB													有意な変形はない。
	EF													
	CD													
	GH													
-	b							蓋上面に生じた膨らみ						
-	c							容器胴部ボルト座付近外表面						
-	d							に生じた膨らみ						



(口)A付1-第11表 9m幅狭側面下向き水平落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(7) 9m幅広側面下向き水平落下(ケース7) (A付1-写真30)

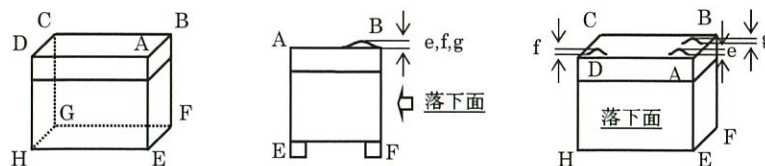
高速度カメラによる確認ではほぼ水平に落下している。試験後の寸法測定結果によると蓋および胴部の蓋側が変形し、胴部の脚側の変形がないことから、蓋側から接地していた(カメラングルでは確認が難しい)と考えられる。ロッドボルトの緩みやはずれはなく、有意な局所変形も生じていなかったが、蓋外表面に若干膨らみが生じた。寸法測定結果を(ロ)A付1-第12表に示す。

最大加速度を(ロ)A付1-第13表に示す。外容器の最大加速度は落下方向(X+)で計測(□)G)されているが、(Y+)方向に(□)G)の加速度が発生しており、蓋側から接地したことを裏付けていると推察される。内容器の最大加速度も落下方向(X+)で計測(□)G)されている。

(ロ)A付1-第12表 9m幅広側面下向き水平落下寸法測定結果

単位(mm)

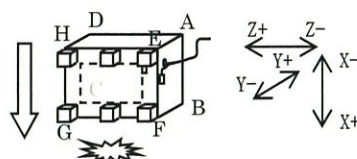
	記号	変形前	変形後	変形量	備考												
蓋全長	AD	[Measurement area]	[Measurement area]	[Measurement area]	幅狭側面下向き落下時の変形が戻された。												
	BC																
蓋全幅	AB				[Measurement area]	[Measurement area]	[Measurement area]	胴部に比べて大きな変形量									
	CD																
全高	AE							[Measurement area]	[Measurement area]	[Measurement area]	有意な変形ではない。						
	BF																
	CG																
	DH																
胴全長	AD										[Measurement area]	[Measurement area]	[Measurement area]	幅狭側面下向き落下時の変形が戻された。			
	EH																
	BC																
	FG																
胴全幅	AB													[Measurement area]	[Measurement area]	[Measurement area]	胴部の蓋側が変形している。
	EF																
	CD																
	GH																
-	e	[Measurement area]	[Measurement area]	[Measurement area]													蓋上面に生じた膨らみ
-	f																
-	g																



(ロ)A付1-第13表 9m幅広側面下向き水平落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(8) 9m傾斜落下(ケース8) (A付1-写真31~34)

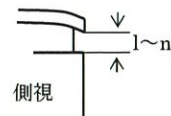
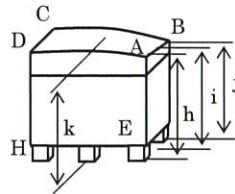
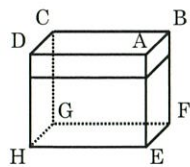
本試験は、傾斜させて落下させた反転動による影響を確認する目的で実施したが、本容器の蓋縁部の剛性が高くなく、先に接地したAB側がある程度変形して衝撃を吸収したため、滑るような挙動を示し、予想していたほど激しい反転動は生じなかった。寸法測定ではBコーナー部の変形量がAコーナーに比べて大きい、高速度カメラによる確認ではほぼ同時に接地している。前の試験(9m幅広側面下向き水平落下)では、BCGF面のハニカムが変形して空隙が生じていると考えられることから、内部で内容器が偏り、接地時にBコーナーに大きな負荷が生じ変形が大きくなったと考えられる。Bコーナー吊部の外表面との接合部には裂け目が生じ、内部の断熱材が覗いていたが喪失はない。ロッドボルトの緩みや外れはなかった。寸法測定結果を(ロ)A付1-第14表に示す。

最大加速度を(ロ)A付1-第15表に示す。外容器の発生加速度は、接地時に(Y+)方向及び(Z-)方向にそれぞれ□Gと□Gが発生し、2回目の接地(約□秒後)に(Y-)方向及び(Z+)方向□Gと□Gが発生している。高速度カメラの確認では激しくないと思われた反転動も外容器に生じた加速度の大きさを比較する限り、2回目の接地でも相当な衝撃が発生していることがわかる。内容器に発生した加速度も、外容器器と同様に接地時に(Y+)方向及び(Z-)方向にそれぞれ□Gと□G生じている。また、2回目の接地でも外容器の挙動に若干時間的遅れを生じながら比較的大きな加速度が発生している。

(ロ)A付1-第14表 9m傾斜落下寸法測定結果

単位(mm)

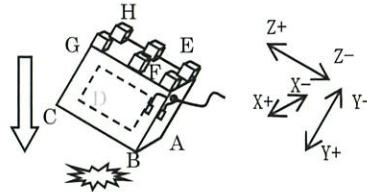
	記号	変形前	変形後	変形量	備考												
蓋全長	AD				縁部の変形により若干の増減が生じた。												
	BC																
蓋全幅	AB							蓋縁部が潰れており、幅方向に押し出した。									
	CD																
全高	AE										Bコーナーに荷重が集中したと考えられる変形						
	BF																
	CG																
	DH																
胴全長	AD													変形が蓋に集中したため有意な変化はない。			
	EH																
	BC																
	FG																
胴全幅	AB																変形が蓋に集中したため有意な変化はない。
	EF																
	CD																
	GH																
-	h				変形後の縁部の高さ												
-	i																
-	j																
-	k				試験後の容器中央の高さ												
-	l				蓋縁部の潰れ												
-	m																
-	n																



(ロ)A付1-第15表 9m傾斜落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(9) 9mコーナー落下(ケース9) (A付1-写真35~37)

重畳効果を与えるために、1.2mコーナー落下時と同じDコーナー側を落下させた。落下後、反跳し反対側のCコーナーが接地して横倒しとなった。

変形はフランジ部にまで及んだが、火炎の進入経路となるような開口は生じなかった。また、変形箇所周辺のボルト座も変形したが、ロッドボルトの外れや破断はなかった。

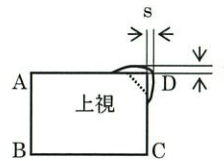
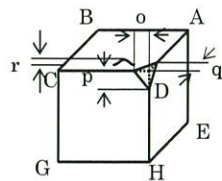
変形部位周辺のフランジ部下側の外板を接合しているコーナー溶接部が若干割れたが、断熱材の喪失はなかった。また、変形箇所の吊部と蓋外板との溶接部も裂けて断熱材が見えたが、断熱材の喪失はなかった。寸法測定結果を(ロ)A付1-第16表に示す。

最大加速度を(ロ)A付1-第17表に示す。落下方向と一致する計測方向はないが、外容器と内容器とも3方向で計測された最大加速度は下向となっており、妥当なものとなっている。内容器の最大加速度が外容器に比較して大きく、試験を繰返し実施したことでハニカムの緩衝機能が喪失したためではなく、後述の2号機の9mコーナー落下試験(緩衝機能が喪失していないと考えられる状態)でも内容器のほうが大きい加速度を記録していることから、内容器が固定されておらず、外容器内部で激しく衝突しているためと考えられる。

(ロ)A付1-第16表 9mコーナー落下時寸法測定結果

単位(mm)

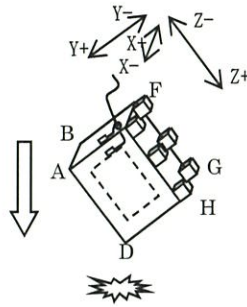
	記号	変形前	変形後	変形量	備考													
蓋全長	AD	[Diagram showing deformed state with points A, B, C, D, E, F, G, H and measurements o, p, q, r, s, t, u]			-													
	BC																	
蓋全幅	AB							-										
	CD																	
全高	AE										コーナーの変形							
	BF																	
	CG																	
	DH																	
胴全長	AD													コーナー変形の影響により胴部が膨らんでいる。				
	EH																	
	BC																	
	FG																	
胴全幅	AB																	
	EF																	
	CD																	
	GH																	
-	o				コーナーの変形量													
-	p																	
-	q																	
-	s				胴部の膨らみ													
-	t																	
-	u																	



(ロ)A付1-第17表 9mコーナー落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(10) 1mターゲット落下 (ケース 10~12, 15, 16) (A付1-写真 38~44, 52~55)

ターゲットは規則に規定された上端が平面な円柱であるため、水平姿勢以外に貫通しやすいように角度(□°)をつけて落下させている。ターゲット高さは□mm以上必要であるが、貫通した場合に収納物に十分影響を与えることが出来るように□mmとした。

試験は溶接部割れの有無を確認するための水平姿勢で蓋吊部際(ケース 10)と底脚際(ケース 11)の2ケースと荷重が集中して最も貫通する可能性が高いと考えられる傾斜姿勢で幅広側面中央(ケース 15)のケース、蓋が開く可能性の有無を確認する傾斜姿勢で幅広側面吊部際(ケース 12)及び幅広側面フランジ(ケース 16)の2ケース合計5ケースについて実施した。

各ケースとも外容器外表面の貫通はなかった。最も変形(凹)したケースは傾斜姿勢で幅広側面中央(ケース 15)であったが、貫通は生じなかった。ケース 12では、蓋縁部の溶接部が変形により割れたが、断熱材が充填されていない区画であることから、断熱材喪失はない。衝突箇所の寸法測定結果を(ロ)A付1-第18表に示す。また、参考に加速度測定結果を(ロ)A付1-第19表に示す。

(ロ)A付1-第18表 1mターゲット落下時変形量

単位(mm)

	変形量	備考
蓋吊部際	□	
底脚際		
幅広側面吊部際		
幅広側面中央		
幅広側面フランジ		フランジ打痕は□mm

(ロ)A 付 1-第 19 表 1mターゲット落下時最大加速度

単位(G)

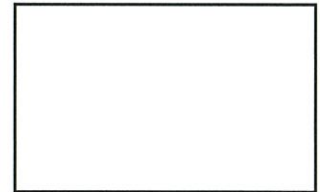
試験ケース		内容器			外容器		
		X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
水平吊部際 (ケース 10)	+						
	-						
水平脚部際 (ケース 11)	+						
	-						
傾斜幅広側面 (ケース 12)	+						
	-						
幅広吊部 (ケース 15)	+						
	-						
幅広フランジ (ケース 16)	+						
	-						

*加速度は参考に採取した。

(11) 1.2mコーナー落下(ケース 13) (A 付 1-写真 45,46)

本試験は原型容器 2 号機で実施している。1 号機同様に落下後に若干反跳し再度コーナーから接地して蓋側を下に転倒。コーナー部の吊部は有意な変形をしたが、ロッドボルト等の容器本体その他の部位の変形や、フランジ部が開くような変形はなかった。コーナー部の変形量は 1 号機に比べて若干小さい。寸法測定結果を(ロ)A 付 1-第 20 表に示す。

ケース 3 と同様に、吊部を構成するステンレス鋼製板が変形したが、容器本体の体積減少は僅かであった。輸送物を立方体と見立て、変形は吊部を構成するステンレス鋼の根元溶接部とフランジコーナー部を結ぶ三角断面を有する三角錐状に変形したとして計算すると約 %となる。

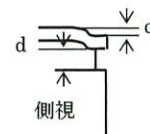
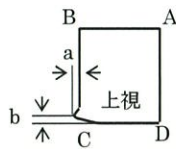
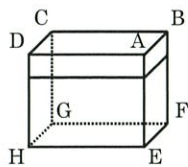


最大加速度を(ロ)A 付 1-第 21 表に示す。落下方向と一致する計測方向がないため、極端に大きな加速度は計測されていない。また、1 号機の同一ケースの試験時と同じく、各方向の最大加速度は 1 号機のお姿勢 2 ケースと比較して発生加速度は小さいが、これはコーナー部の変形が衝撃を吸収したことによると考えられる。

(ロ)A付1-第20表 1.2mコーナー落下時寸法測定結果

単位(mm)

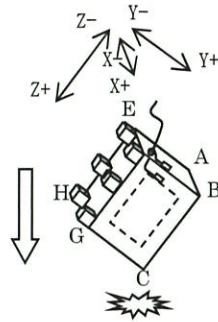
	記号	変形前	変形後	変形量	備考	
蓋全長	AD				コーナーの変形	
	BC					
蓋全幅	AB					
	CD					
全高	AE					
	BF					
	CG					
	DH					
胴全長	AD					有意な変形ではない。
	EH					
	BC					
	FG					
胴全幅	AB					
	EF					
	CD					
	GH					
—	a	吊部の変形量				
—	b					
—	c					
—	d					



(ロ)A 付 1-第 21 表 1.2m コーナー落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
+						
-						



(12) 9m コーナー落下(ケース 14) (A 付 1-写真 47~49)

重畳効果を与えるために、1.2m コーナー落下時と同じ C コーナー側を落下させた。落下後、蓋側に回転し、B コーナーが接地してさらに回転したのち加速度計取付け面を下に停止した。

変形はフランジ部にまで及んだが、火炎の進入経路となるような開口は生じなかった。また、変形箇所周辺のボルト座も変形したが、ロッドボルトの外れや破断はなかった。

1 号機と同様に変形箇所の吊部と外板との溶接部が裂けて断熱材が見えたが、断熱材の喪失はなかった。変形はフランジ部下側の胴部コーナーにまで及んだが、外板を接合しているコーナー溶接部に割れは無く、断熱材の喪失はなかった。寸法測定結果を(ロ)A 付 1-第 22 表に示す。

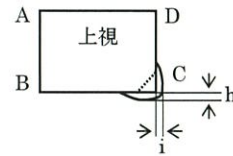
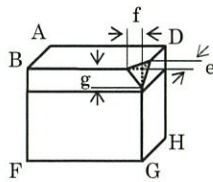
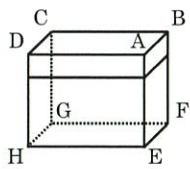
最大加速度を(ロ)A 付 1-第 23 表に示す。落下方向と一致する計測方向はないが、外容器と内容器とも 3 方向で計測された最大加速度は下向となっており、妥当なものとなっている。1 号機と同じく、内容器の最大加速度が外容器に対して比較的大きく、内容器が外容器内で激しく衝突していると考えられる。

波形を確認したところ、外容器では 3 方向ほぼ同時刻に一度ピークが生じた後一旦加速度が小さくなってから大きな加速度が生じている。この傾向は、1 号機と同様であり、コーナー部が潰れることによる緩衝効果であると考えられる。

(口)A 付 1-第 22 表 9m コーナー落下時寸法測定結果

単位(mm)

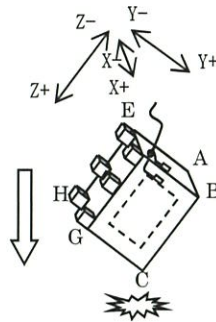
	記号	変形前	変形後	変形量	備考				
蓋全長	AD				コーナーの変形				
	BC								
蓋全幅	AB								
	CD								
全高	AE								
	BF								
	CG								
	DH								
胴全長	AD								有意な変形ではない。
	EH								
	BC								
	FG								
胴全幅	AB								
	EF								
	CD								
	GH								
—	e				吊部の変形量				
—	f								
—	g								
—	h								
—	i								



(ロ)A付1-第23表 9mコーナー落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						



(13) 1mターゲット コーナー落下(ケース17) (A付1-写真50,51)

重畳効果を与えるために、Cコーナー側を落下させた。落下後、滑るように回転し、計測器面を下にして停止した。

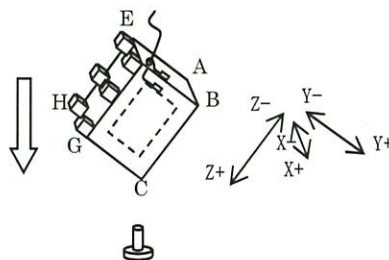
既に、1.2m及び9m落下で同一箇所を落下させていることもあり、衝突箇所には当試験により mm程度のへこみが生じたが、極端な変形はなかった。

最大加速度を(ロ)A付1-第24表に示す。加速度は参考に計測していたが、その大きさは1m落下よりも大きく、9m落下試験時の最大加速度と比較しても落下高さは比較的低いにもかかわらず大きな値を示している。これは、前2ケースの試験でコーナー部が変形しており、緩衝効果がなかったことが原因と考えられる。

(ロ)A付1-第24表 1mターゲット コーナー落下時最大加速度

単位(G)

	内容器			外容器		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
+						
-						

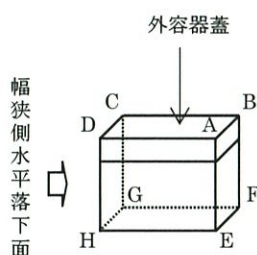


4. 試験後確認

試験終了後、本輸送容器を製作した で蓋開け等を行い、内部の状況確認を実施した。

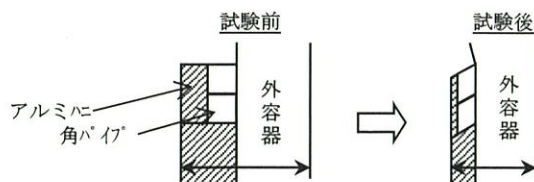
4.1 1号機の状況

- (1) 外容器蓋裏面のハニカムは変形のため完全に外れていた。外容器側面のハニカムについても外れたものが多く、またハニカム表面のアルミ板も剥離もしくは剥離しかかったものが多かった。内容器表面には、固化したハニカム用接着剤がぐちゃぐちゃに散乱していた。(A付1-写真56～58)
- (2) 外容器蓋裏面には、内容器ロッドボルトとの衝突によって生じた打痕と貫通孔とが複数残っており、同じロッドボルトによってそれぞれ別々の試験ケースで生じたと考えられる。
- (3) 貫通孔は主に AB サイドおよび DA サイドに発生しており、AB サイドの貫通孔及び打痕はより激しく外容器蓋裏面に衝突した形跡を示している。打痕の発生位置が幅狭側面水平落下で下向きとなった CDGH 面寄りにシフトしていること、本来ハニカムが接着してあった位置に貫通孔が生じているにも関わらずハニカムには貫通孔がないことから、貫通孔が発生したタイミングは外容器蓋面のハニカムが外れてかつ CDGH 面のハニカムが圧縮変形した後、すなわち幅狭側面水平落下以降であると考えられる。(A付1-写真59～62)



- (4) 外容器蓋裏面の落下コーナーにはコーナー落下時に内容器フランジとの衝突で生じたと考えられる打痕があった。コーナー落下による変形は外部から想像するほど内部に及んでおらず、蓋縁部がつぶれることによる緩衝効果があったと考えられる。(A付1-写真62)
また、その他の打痕は、発生位置から、幅狭側面及び幅広側面落下時に生じていることが明らかであり、蓋下向き水平落下時に生じたといえる有意な痕跡は見当たらない。
- (5) 幅狭側面水平落下時にロッドボルト頭部で擦付けたと考えられる損傷が外容器蓋裏面の CDGH 面側に生じており、外容器蓋裏面フレームと強く干渉したと考えられる打痕が内容器ロッドボルトの頭部に残っていた。(A付1-写真63～65)
- (6) 外容器蓋裏面に発生したロッドボルト頂部の打痕及び貫通孔は、9m 落下試験を連続して実施した相乗効果によるものであり、単一ケースで実施した場合、本来あるべき蓋裏面のアルミハニカムの緩衝効果により、発生しないか発生しても軽微なものであったと推察される。

- (7) ハニカム表面から外容器外表面までの寸法(元寸法 \square mm)は外容器内表面、内容器フランジ保護用角パイプ及びアルミハニカムの変形により縮小しており、幅広側で約 \square mm 幅狭側で約 \square mm である。本寸法には、角パイプ表面の完全に變形したアルミハニカムとアルミ板の厚み約 \square mm も含まれている。部位によってはアルミハニカムが剥離していることから、外表面から最も近接可能な内容器表面までの距離は側面広側で約 \square mm 幅狭側で約 \square mm である。(A付1-写真66)



- (8) 側面の水平落下により、外容器側面内側の内容器フランジ保護用の角パイプは變形し(幅狭側の方が變形は大きい。) 内容器フランジ部も外容器内側に衝突した痕跡があるが、内容器フランジ部は若干の打痕が確認されるものの、外容器側面内側との衝突が原因と考えられる有意な變形はない。

また、内容器ロッドボルトの頭部が衝突した痕跡が外容器本体上部側面に残っているが、本衝突によるロッドボルトの破断はない。(A付1-写真67~69)

- (9) 内容器蓋バーには、幅狭側面落下時または傾斜落下時に外容器蓋フレーム部と衝突したと考えられる打痕が残っていた。(A付1-写真70)

- (10) 内容器蓋バーは蓋下向き水平落下及び傾斜落下時のものと考えられる波状變形をしている。内容器蓋は中央部が膨らむように變形しており、中央部に近い内容器ロッドボルトも引っ張られるように頭部が曲がっていた。(A付1-写真71)

- (11) 内容器のコーナー落下時の該当コーナー部は若干下方に押し曲げられるような變形をしている。これは、事前に実施した複数の試験によりアルミハニカムやフランジ保護用角パイプが變形し緩衝効果が喪失していたためである。(A付1-写真69)

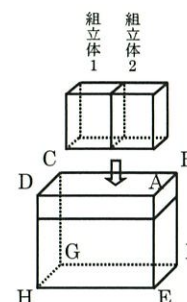
- (12) また、ボルト座が外容器内側のフレーム部位と衝突し、めくれるように變形しており、コーナー落下時に発生したと考えられる。ロッドボルトの取付け状態には特に影響ない。(A付1-写真72)

- (13) 内容器の幅狭側面水平落下対象面は、下部側が膨らんでおり、その高さは約 \square mm である。(A付1-写真73)

- (14) 内容器内側側面のボロン入りステンレス鋼代用板は、全て初期位置のまま移動はなく、有意な破損變形も一切ない。落下対象面に該当する否に関係なくペレット保管箱組立体と内容器との間の非常に限られた空間に位置するため、仮に外れたとしても有効領域からの移動はない。(A付1-写真74)

(15) 内容器中央のペレット保管箱組立体を仕切る 2 枚重ねのボロン入りステンレス鋼代用板については、全ての留具が破損し、片側一枚が約□mm 浮き上がったが、側面のボロン入りステンレス鋼代用板同様に非常に限られた空間に位置しているため有意な移動はない。留具との結合部は留具が破断する際に生じた多少の変形とペレット保管箱組立体に押されたことが原因による両端部の若干の曲げが生じたが、割れ等はなく十分に健全性が保たれていた。(A 付 1-写真 75～77)

(16) 幅狭側水平落下やコーナー落下の対象となった CDGH 面側に位置したペレット保管箱組立体 1 は取り出して自立させると若干歪んで傾いており、上下段仕切り板及びボロン入りステンレス鋼代用板からなる中段仕切り板も変形していたが割れや破断等は無かった。傾きは仕切り板の変形が原因と考えられる。反対側のペレット保管箱組立体 2 は歪みや仕切り板の変形は格段に少ない。(A 付 1-写真 78～79)



(17) ペレット保管箱組立体の各段に位置するペレット保管箱も開口部など発生せず、概ね健全な形状・機能を保っており、収納物である重量模擬鉛棒のこぼれ出しや露出はない。(A 付 1-写真 78～79)

(18) ペレット保管箱組立体 1 の仕切り板(板厚 □mm)は山形に変形しており、上方向の衝撃によるものと考えられる。変形は最も大きなもの(下から 4 段目)で約 □mm である。最上部および最下部の仕切り板は板厚が □mm あり変形はわずかであった。変形自体は CDGH 面側に偏っており、解体確認では割れた仕切り板は無かった。(A 付 1-写真 78)

(19) ペレット保管箱組立体 2 の仕切り板は全体に緩やかな山形変形となっており、ペレット保管箱組立体 1 に比べて変形の程度は小さい。(A 付 1-写真 79)

(20) ペレット保管箱組立体の支柱のナットに緩みはなかった。ネジ頭部は目視では判別できなかったが、ナットを回して外すことは不可能であり、落下時に内容器蓋と強打し若干変形していた模様。

(21) ペレット保管箱組立体解体後、各仕切り板を確認したところ各板に割れやボロン入りステンレス鋼としての有効面を減じるような変形は認められなかった。(A 付 1-写真 80)

(22) また、ペレット保管箱位置決め用ゴムブロックに破損はなく、これを固定するロッドボルトにも有意な変形等は無かった。(A 付 1-写真 80)

(23) ペレット保管箱を確認したところ、仕切り板の変形に合わせて若干変形しているものもあったが、破損、亀裂、割れ等はなく収納物が散乱することなくペレット容器内に維持される。
(A付1-写真 81~83)

(24) 各ペレット保管箱の内部を確認したところ、波板から脱落した重量模擬鉛棒はなかった。また、保管箱四隅の波板位置決め用突起は完全に変形している。(幅広側面水平落下時のもの)(A付1-写真 84~87)

(25) ペレット保管箱組立体支柱は頭部のネジ部が衝撃により変形し、ナットが外れなくなったが有意な変形はない。また、仕切り板間隔を維持する各留具にも有意な変形や破損はなく仕切り板間隔は維持されている。(A付1-写真 78,79)

(26) 1号機のコーナー落下は最後の試験ケースであるため、ハニカムや内容器フランジ保護用角パイプが既に変形していたと考えられることもあり、内容器に対するダメージが大きいと考えられるが、2号機では内容器の変形は皆無であった。

4.2 2号機の状況

- (1) 試験では外容器ロッドボルトの破損はなかったが、容器そのものの変形により、数本のロッドボルトが外れなくなっており、ナット取り外し又はボルトの切断によって蓋を開けた。
- (2) 外容器蓋裏面の2段のハニカムのうち下段(内容器側)は完全に外れており、内容器蓋バーで押されたためと考えられる。その他の外容器側面のハニカムで外れたものはない。内容器表面には、固化したハニカム用接着剤が若干くだけて散乱していた。(A付1-写真 88,90,91)
- (3) 外容器蓋裏面のハニカムは内容器蓋バーの干渉部位(左右及び中央)が若干変形していた。(A付1-写真 89)
- (4) 外容器蓋裏面には1号機で見られたような内容器ロッドボルトによる貫通孔や打痕はない。(A付1-写真 89)
- (5) 外容器蓋裏面の落下コーナー部付近は1号機と同様に外部から想像するほど大きな変形はなく、内容器との衝突を示す痕跡もない。(A付1-写真 92)
- (6) 外容器本体の落下コーナーの上部は若干内側に押し込まれるように変形していた。(A付1-写真 93)
- (7) 外容器内側の内容器フランジ保護用角パイプの変形はなかった。(A付1-写真 90,91)

- (8) 内容器は落下対象となったコーナー付近変形や損傷は見当たらなかった。外観に損傷は見当たらなかった。また、容器全体の膨らみ等の変形も無い。(A付1-写真94~96)
- (9) 内容器ロッドボルトに損傷はなく、緩みや外れもなかった。また、ボルト座にも打痕や変形は無い。(A付1-写真94~96)
- (10) 内容器中央のペレット保管箱組立体を仕切る2枚重ねのボロン入りステンレス鋼代用板については、両肩の留具が若干変形し、皿ボルト2本中1本が破断したが、ボロン入りステンレス鋼代用板の破損や割れはない。下部側の留具については、皿ビスが破断しペレット保管箱組立体1側に多少移動したが、側面のボロン入りステンレス鋼代用板同様に非常に限られた空間に位置しているため有意な移動ではない。(A付1-写真97~102)
- (11) 内容器内側側面のボロン入りステンレス鋼代用板は、落下対象面に該当する否に関係なくペレット保管箱組立体と内容器との間の非常に限られた空間に位置することもあり有効領域からの移動はない。また、有意な破損変形も一切ない。(A付1-写真103,104)
- (12) ペレット保管箱組立体には有意な変形はなく、仕切り板、ペレット保管箱位置決め用ゴムブロック、支柱及び仕切り板間隔を維持する留具に破損、変形はない。(A付1-写真105~109)
- (13) ペレット保管箱に有意な変形はなく、収納物の散乱はなく箱内に維持される。

4.3 試験結果まとめ

4.3.1 1.2m落下試験

外容器の変形はコーナー落下を除いて軽微であり、外観からは有意な変形は認められず、ロッドボルトも外れや有意な損傷はなかった。1号機の内部は、全試験ケース終了後の確認であり、過度に厳しい条件下であったが、内容器の大きな変形、ロッドボルトの破断もなく蓋は固定されていた。収納物であるペレット保管箱組立体も変形したが形状・機能を保っており、ペレット保管箱にウランペレットが漏出するような開口部はない。内容器内の中性子吸収材を模擬したステンレス鋼製板及びペレット保管箱組立体の仕切板も亀裂等はなく、有効性が減少するものではなかった。2号機の内部はアルミハニカムが多少変形したが、内容器には一切目立った損傷はなかった。ペレット保管箱組立体についても、変形は認められなかった。

以上より、放射性物質が漏洩することや、臨界評価に影響する核燃料領域の拡散や移動はない。また、一辺が10cmの立方体を包含するような窪みも生じない。

遮蔽評価においては、外容器の変形量を保守的に設定し、一律に変形したものとする。また、保守的にアルミハニカムが無いものとして内容器の移動を考慮する。また、収納物は、モデル簡素化の観点から、ウラン酸化物のみが内容器内に均質に分布する保守的なモデルとする。

4.3.2 貫通試験

外表面が若干くぼんだ程度であり、輸送物の健全性に全く影響を与えない。

4.3.3 9m落下試験

(1) 1号機

(a) 外容器外部

1号機は各種ケースを試験していることもあり、輸送物外観は相応の変形をしているが、全試験ケースにおいて、内部に通じる亀裂、破損及び貫通孔等は無く、部材脱落も発生しなかった。また、フランジ部に開口やロッドボルトの外れや破断は無く、外容器蓋が所定の位置から動くことはなかった。

外容器蓋は、縁部の強度を衝撃吸収の目的で意図的に弱くしているため、外容器本体に比べて変形が大きくなっているが、局所的な変形であることから、臨界評価では外容器本体の変形量を保守的に設定し、一律に変形したとする条件とする。

フランジ部にまで変形が及ぶコーナー落下では溶接部が若干割れたが、断熱材であるセラミックファイバーの喪失はない。断熱材は充填領域の区画寸法に合わせて裁断したブロック状となっており、隙間から部分的に脱落して喪失するものではないためである。2号機でも同様であるため、熱解析では断熱材の喪失はないものとする。

(b) 外容器内部及び内容器

外容器内部は、各種ケースを試験しているため、外部同様に相応の変形をしている。外容器内側のアルミハニカムで落下方向のものは全て大きく変形し一部脱落していた。また、側面及び側面に取付けた内容器フランジ保護用角パイプも変形していることから、これらを保守的な設定とし内容器の移動可能な領域が増加するとして取扱う。

内容器の蓋に収納物が漏出するような開口部はなく、内容器本体も側面が膨らむ程度で亀裂や溶接部の割れなどは無かった。また、ロッドボルトは、連続して9m落下を実施した相乗効果により、外容器蓋裏面に衝突した際の打痕と貫通孔を残し、ロッドボルトも一部変形したが破断したものはない。このような事象は、単独ケースで実施した場合には本来内容器の移動を制限するアルミハニカムが有効であるため生じないものである。

(c) 内容器内部

内容器内面の中性子吸収材を模擬したステンレス鋼製板は初期位置からの移動や脱落はなく、変形や破損もなかった。収納物である2基のペレット保管箱組立体の間に2枚重ねで配置している中性子吸収材を模擬したステンレス鋼製板は全ての留具が外れており、取付け箇所が若干変形したが、有意な変形や亀裂等の破損はなく、内容器とペレット保管箱組立体の間に有効な形で位置していた。当該箇所の中性子吸収材は、試験時に過度の負荷による破損を防止するため、留具の取付け強度を弱めており、ほぼ期待通りの効果があった。また、曲げ応力による亀裂を防ぐために、薄い板厚のものを2枚重ねとする設計としている。このことから、臨界評価においては、中性子吸収材は有効領域に破損なく留まるものとする。

収納物であるペレット保管箱組立体は、歪んだが当初の形状・機能を維持しており、支柱及び締付けナットの破断はなく、中性子吸収材である仕切り板の間隔は維持されていた。また、各仕切り板に割れは無く、変形したが有効領域から逸脱するようなものではなかった。ペレット保管箱の位置決め用ゴムブロック及び固定用ボルトに損傷はなく、ペレット保管箱は初期位置で維持されていた。ペレット保管箱に放射性物質が漏出可能な開口は発生しなかった。これは上下から仕切り板を介して締付けられているためである。したがって臨界評価では、燃料領域はペレット保管箱の初期位置の領域に存在するものとする。

なお、内容物の膨らみやペレット保管箱組立体の歪みは燃料領域間隔を遠ざける要因となることから評価においては保守的に無視する。

(2) 2号機

(a) 外容器外部

2号機は耐火試験に供する上で、熱的に厳しくなるフランジに重畳効果を与えるために、1.2m落下、9m落下及び1mターゲット落下において同一箇所に対してコーナー落下をさせている。変形は1号機の9mコーナー落下時と大差なく、フランジ部にまで変形が及んだが、フランジ部に開口やロッドボルトの外れや破断は無く、外容器蓋が所定の位置から動くことはなかった。吊部の溶接部が割れて断熱材が見えたが喪失はない。

(b) 外容器内部及び内容物内部

内部はアルミハニカムが部分的に変形していたが、1号機にみられた内容物ロッドボルトの打痕はない。また、ウレタンゴムガイドは健全な状態であり、内容物をほぼ初期位置に留めていた。コーナー部も外部の変形から想像するほど大きなものではなかった。内容物に有意な変形は無く、ロッドボルトの外れや破断及び変形も見られなかった。

内容物内面の中性子吸収材を模擬したステンレス鋼製板は1号機同様に位置ずれ、変形や破損はない。ペレット保管箱組立体間のものについては一部留具が破損したが、1号機同様に有意な変形や破損はなく、有効な領域に留まる。

ペレット保管箱組立体もほぼ健全な形状・機能を維持しており、ペレット保管箱及び保管箱の位置決め用ゴムブロックにも変形や破損はない。

4.3.4 1mターゲット落下試験

幅広側面の傾斜姿勢で最大□mmの凹みを生じたが、各姿勢とも外容器外表面の亀裂や貫通は発生しなかった。容器内部についても、1mターゲット落下試験による外容器内変面のふくらみは無く、局所変形以上の影響を与えるものではない。

5. まとめ

原型容器を用いて1.2m落下、鋼棒落下、9m落下および1mターゲット試験を実施した。当該容器の強度が十分に高く、盛り込んだ機能もほぼ期待通りの作用をしている。試験の結果生じた変形や破損については、原型容器試験の再現性における不確かさを考慮して試験結果に追加の保守的な設定を盛り込んで評価に適用することとする。

以上

A 付 1-写真 1 輸送容器外観		A 付 1-写真 2 外容器蓋開放	
A 付 1-写真 3 内容器外観		A 付 1-写真 4 ペレット保管箱組 立体外観	
A 付 1-写真 5 重量調整用ウェイト (収納容器上部)		A 付 1-写真 6 重量調整用ウェイト (内容器底部)	
A 付 1-写真 7 外容器加速度計取 付け後		A 付 1-写真 8 内容器加速度計取 付け後	
A 付 1-写真 9 1号機貫通孔		A 付 1-写真 10 2号機貫通孔	

<p>A付1-写真11 落下試験台全景</p>		<p>A付1-写真12 試験台&バックホ- ト</p>	
<p>A付1-写真13 (1号機) 1.2m蓋下向き水 平落下試験前</p>		<p>A付1-写真14 (1号機) 1.2m蓋下向き水 平落下試験後</p>	
<p>A付1-写真15 (1号機) 1.2m幅狭側面下 向き水平落下試験 前</p>		<p>A付1-写真16 (1号機) 1.2m幅狭側面下 向き水平落下試験 後</p>	
<p>A付1-写真17 (1号機) 1.2mコ-ナ-落下試 験前</p>		<p>A付1-写真18 (1号機) 1.2mコ-ナ-落下試 験後</p>	
<p>A付1-写真19 (1号機) 1.2mコ-ナ-落下試 験後</p>		<p>A付1-写真20 (1号機) 鋼棒落下試験全景</p>	

<p>A付1-写真21 (1号機) 鋼棒落下後(可融 栓)</p>		<p>A付1-写真22 (1号機) 鋼棒落下後(外容 器^{ロッドホルダ})</p>	
<p>A付1-写真23 (1号機) 9m蓋下向き水平 落下試験前</p>		<p>A付1-写真24 (1号機) 9m蓋下向き水平 落下試験後</p>	
<p>A付1-写真25 (1号機) 9m蓋下向き水平 落下試験後(落下 面)</p>		<p>A付1-写真26 (1号機) 9m蓋下向き水平 落下試験後(側面 変形状況)</p>	
<p>A付1-写真27 (1号機) 9m幅狭側面下向 き水平落下試験前</p>		<p>A付1-写真28 (1号機) 9m幅狭側面下向 き水平落下試験後</p>	
<p>A付1-写真29 (1号機) 9m幅狭側面下向 き水平落下試験 (^{コナ}落下終了後 撮影)</p>		<p>A付1-写真30 (1号機) 9m幅広側面下向 き水平落下試験後 (^{コナ}落下終了後 撮影)</p>	

<p>A付1-写真31 (1号機) 9m 傾斜落下試験 前</p>		<p>A付1-写真32 (1号機) 9m 傾斜落下試験 後</p>	
<p>A付1-写真33 (1号機) 9m 傾斜落下試験 後</p>		<p>A付1-写真34 (1号機) 9m 傾斜落下試験 後</p>	
<p>A付1-写真35 (1号機) 9m コーナ-落下試験 前</p>		<p>A付1-写真36 (1号機) 9m コーナ-落下試験 後</p>	
<p>A付1-写真37 (1号機) 9m コーナ-落下試験 後 (コーナ-変形)</p>		<p>A付1-写真38 (1号機) ターゲット外観</p>	
<p>A付1-写真39 (1号機) 1mターゲット蓋吊部 際水平落下試験前</p>		<p>A付1-写真40 (1号機) 1mターゲット蓋吊部 際水平落下試験後</p>	

<p>A付1-写真41 (1号機) 1mターゲット底脚際 水平落下試験前</p>		<p>A付1-写真42 (1号機) 1mターゲット底脚際 水平落下試験後</p>	
<p>A付1-写真43 (1号機) 1mターゲット幅広側 面吊部際傾斜落下 試験前</p>		<p>A付1-写真44 (1号機) 1mターゲット幅広側 面吊部際傾斜落下 試験後</p>	
<p>A付1-写真45 (2号機) 1.2mコーナー落下試 験前</p>		<p>A付1-写真46 (2号機) 1.2mコーナー落下試 験後(コーナー外観)</p>	
<p>A付1-写真47 (2号機) 9mコーナー落下試験 前</p>		<p>A付1-写真48 (2号機) 9mコーナー落下試験 後</p>	
<p>A付1-写真49 (2号機) 9mコーナー落下試験 後(コーナー部)</p>		<p>A付1-写真50 (2号機) 1mターゲットコーナー落 下試験前</p>	

<p>A付1-写真51 (2号機) 1mターゲットコーナー落 下試験後(コーナー部)</p>		<p>A付1-写真52 (1号機) 1mターゲット幅広側 面中央傾斜落下試 験前</p>	
<p>A付1-写真53 (1号機) 1mターゲット幅広側 面中央傾斜落下試 験後(衝突箇所)</p>		<p>A付1-写真54 (1号機) 1mターゲット幅広側 面フランジ傾斜落下 試験前</p>	
<p>A付1-写真55 (1号機) 1mターゲット幅広側 面フランジ傾斜落下 試験後</p>		<p>A付1-写真56 (1号機) 外容器ロッドホルト切 断状況及び蓋ハニカム 脱落状況</p>	
<p>A付1-写真57 (1号機) 蓋ハニカム脱落状況</p>		<p>A付1-写真58 (1号機) ハニカム状況</p>	
<p>A付1-写真59 (1号機) 上蓋裏Bコーナーホルト 打痕</p>		<p>A付1-写真60 (1号機) 上蓋 裏Aコーナーホルト打痕</p>	

<p>A付1-写真61 (1号機) 上蓋裏Cコーナーボルト 打痕</p>		<p>A付1-写真62 (1号機) 上蓋裏Dコーナーボルト 打痕及びコーナー部内 容器打痕 (○)</p>	
<p>A付1-写真63 (1号機) 幅狭側面落下時に 生じたボルト打痕 最下部の小○は位 置決めピン打痕</p>		<p>A付1-写真64 (1号機) 幅狭側面落下時に 生じたボルト打痕</p>	
<p>A付1-写真65 (1号機) 幅狭側面落下時に 生じたボルト及び位 置決めピンの変形</p>		<p>A付1-写真66 (1号機) 幅狭側面落下時の 内側状況</p>	
<p>A付1-写真67 (1号機) 外容器内側面に生 じた内容器フランジ の打痕</p>		<p>A付1-写真68 (1号機) 外容器内側面に生 じた内容器フランジ の打痕</p>	
<p>A付1-写真69 (1号機) 外容器内側面と衝 突した内容器フラン ジの状況及びコーナー 落下時の変形 (○)</p>		<p>A付1-写真70 (1号機) 内容器蓋ハ-の打 痕</p>	

<p>A付1-写真71 (1号機) 内容器蓋^ハの変 形</p>		<p>A付1-写真72 (1号機) 内容器^{ロッド}ホル ド座 の変形</p>	
<p>A付1-写真73 (1号機) 内容器側面側膨ら み</p>		<p>A付1-写真74 (1号機) 内容器側面及び中 央B-SUS代用板 *底面は重量調整 用鉛板</p>	
<p>A付1-写真75 (1号機) 内容器中央B-SUS 位置ずれ</p>		<p>A付1-写真76 (1号機) 内容器中央仕切り 板上部固定具破損 状況 *B-SUSに有意な 変形なし</p>	
<p>A付1-写真77 (1号機) 内容器中央仕切り 板下部固定具破損 状況 *B-SUSに有意な 変形なし</p>		<p>A付1-写真78 (1号機) ペレット保管箱組立 体1の状況</p>	
<p>A付1-写真79 (1号機) ペレット保管箱組立2 の状況</p>		<p>A付1-写真80 (1号機) B-SUS仕切り板</p>	

<p>A付1-写真81 (1号機) ペレット保管箱外観</p>		<p>A付1-写真82 ペレット保管箱外観</p>	
<p>A付1-写真83 ペレット保管箱外観</p>		<p>A付1-写真84 ペレット保管箱内部</p>	
<p>A付1-写真85 ペレット保管箱内部</p>		<p>A付1-写真86 ペレット保管箱内部</p>	
<p>A付1-写真87 ペレット保管箱内部</p>		<p>A付1-写真88 (2号機) 上蓋裏ハニカム脱落及 び接着剤の散乱状 況</p>	
<p>A付1-写真89 (2号機) 上蓋裏ハニカムの変形</p>		<p>A付1-写真90 (2号機) 落下コーナーハニカム変形 状況</p>	

<p>A 付 1-写真 91 (2 号機) 幅狭側ハニカムの変形 状況</p>		<p>A 付 1-写真 92 (2 号機) 落下コーナー上蓋裏状 況</p>	
<p>A 付 1-写真 93 (2 号機) 落下コーナー本体状況</p>		<p>A 付 1-写真 94 (2 号機) 内容器状況 落下 コーナー</p>	
<p>A 付 1-写真 95 (2 号機) 内容器状況 幅狭側</p>		<p>A 付 1-写真 96 (2 号機) 内容器状況 幅狭側</p>	
<p>A 付 1-写真 97 (2 号機) 内容器中央 B・SUS 固定部</p>		<p>A 付 1-写真 98 (2 号機) 内容器中央 B・SUS 固定部</p>	
<p>A 付 1-写真 99 (2 号機) 内容器中央 B・SUS 状況</p>		<p>A 付 1-写真 100 (2 号機) 内容器中央 B・SUS 状況</p>	

<p>A付1-写真101 (2号機) 内容器中央B・SUS 下部固定部</p>		<p>A付1-写真102 (2号機) 内容器中央B・SUS 下部固定部</p>	
<p>A付1-写真103 (2号機) 内容器B・SUS位 置状況</p>		<p>A付1-写真104 (2号機) 内容器B・SUS位 置状況</p>	
<p>A付1-写真105 (2号機) 組立体か^ハ-状況</p>		<p>A付1-写真106 (2号機) 組立体か^ハ-状況</p>	
<p>A付1-写真107 (2号機) べ^レット保管箱組立 体状況</p>		<p>A付1-写真108 (2号機) べ^レット保管箱組立 体状況</p>	
<p>A付1-写真109 (2号機) べ^レット保管箱組立 体状況</p>			

(口)A 付属資料 2

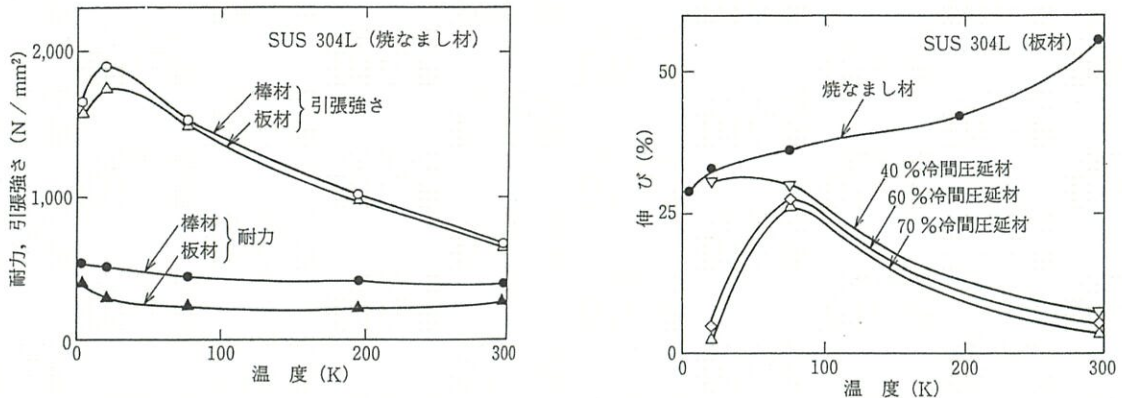
主要材料の低温特性

1. はじめに

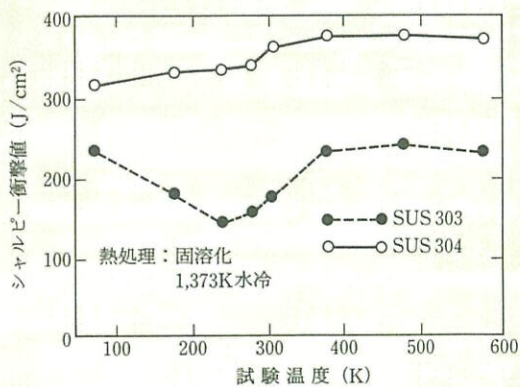
原子燃料工業株式会社が 5wt%以下のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）を運搬するために開発した GP-01 型輸送容器の金属材料としては、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304 相当）、クロムモリブデン鋼（SCM435 相当）及びアルミニウム合金が使用される。ここでは、本輸送容器に使用される各金属材料が-40℃の低温環境下において機能が損なわれないことを確認する。

2. オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）の低温特性

SUS304、SUS316 等のオーステナイト系ステンレス鋼は低温における強さやじん性に優れた特性を持つ材料である。また、(ロ)A付2-第1図及び(ロ)A付2-第2図に示すように、低温における引張特性、衝撃特性の著しい低下はなく、機能を損なうことはない。



(ロ)A付2-第1図 オーステナイト系ステンレス鋼の低温における引張特性



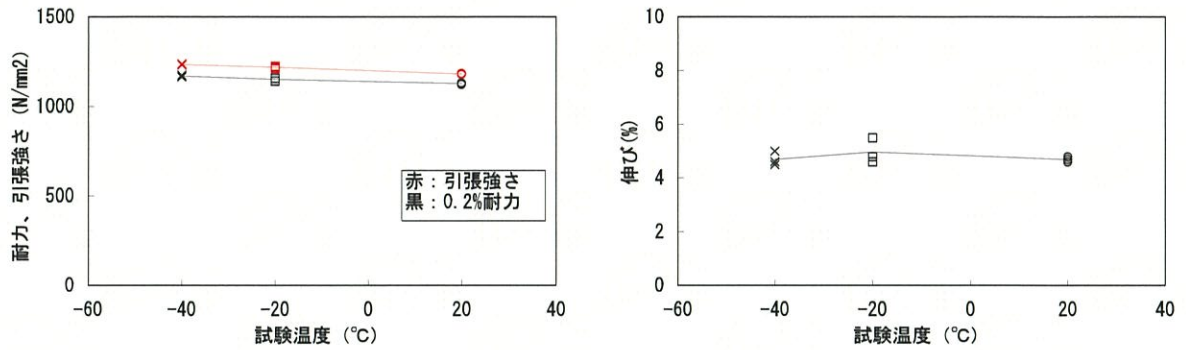
(ロ)A付2-第2図 オーステナイト系ステンレス鋼の低温における衝撃特性

出典：ステンレス鋼データブック（ステンレス協会 編）

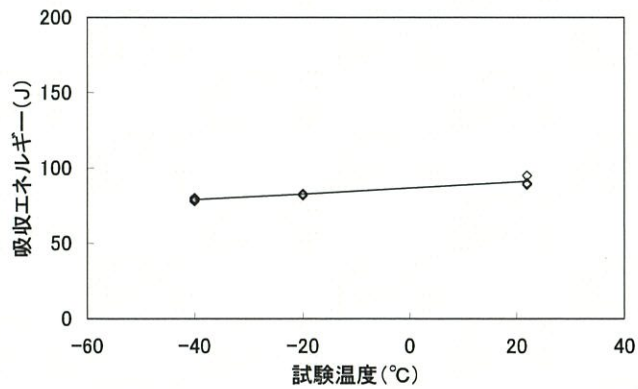
3. クロムモリブデン鋼 (SCM435) の低温特性

クロムモリブデン鋼は鉄にクロム、モリブデンを添加した低合金鋼の一種であり、焼入れ焼戻しを施すことで、高い機械的強度を得ることのできる材料である。

(ロ)A付2-第3図及び(ロ)A付2-第4図に示すように、クロムモリブデン鋼の低温における引張特性、衝撃特性の著しい低下はなく、機能を損なうことはない。



(ロ)A付2-第3図 クロムモリブデン鋼の低温における引張特性

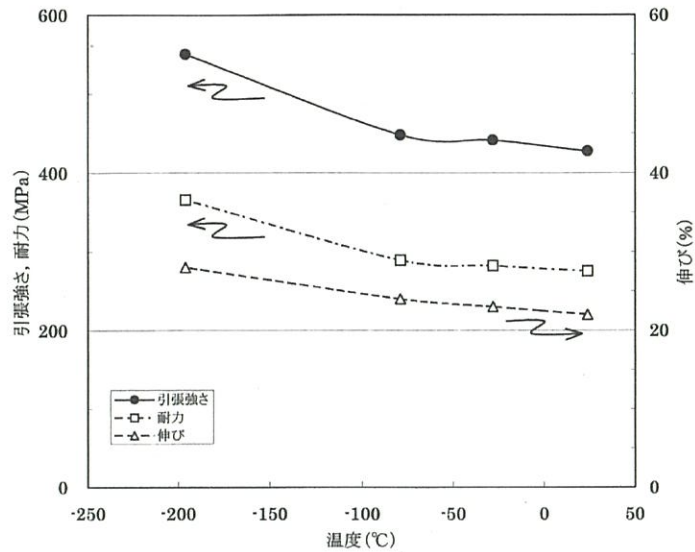


(ロ)A付2-第4図 クロムモリブデン鋼の低温における衝撃特性

出典：原子燃料工業（株）所有データ

4. アルミニウム合金の低温特性

アルミニウム及びその合金の一般的な特徴として、低温における脆性破壊やじん性低下がなく、(ロ)A付2-第5図に示すように温度の低下とともに強度、伸びともに上昇する。したがって、アルミニウム合金は低温において機能を損なうことはない。



(ロ)A付2-第5図 アルミニウム合金の低温における引張特性

出典：アルミニウム技術便覧（第1版）（軽金属出版株式会社）

5. まとめ

GP-01 容器に使用される金属材料の-40℃環境下における低温特性について確認した。いずれの材料も低温における引張特性、衝撃特性に著しい低下はなく、機能を損なうことはなかった。

以上

(口)A 付属資料 3

固有振動数導出に係る補足説明資料

1. 固有振動数の導出

固有振動数を導出するにあたって使用したプログラム(FAP-3)、及び固有振動数評価にて作成した解析モデルについて説明する。

2. FAP-3 について

本評価に用いたプログラム(FAP-3)とは、株式会社構造システムが開発した線材（部材）と平板要素で構成された任意形状構造の弾性応力解析、及び固有振動数解析を行うためのプログラムである。材質、断面情報、拘束条件等のインプットを入力し、立体フレームモデルを作成することで発生する固有振動数や応力を導出することが可能である。

3. 解析モデル

3.1 概要

本解析モデルの概要図を図 3.1 に示す。本モデルでは輸送容器の外容器及び外蓋を一体のものとしてモデル化した。実物と同様の形状を有している。6面の平板要素で構成された外容器の外壁と内壁の平板要素 6面でモデルを構成している。

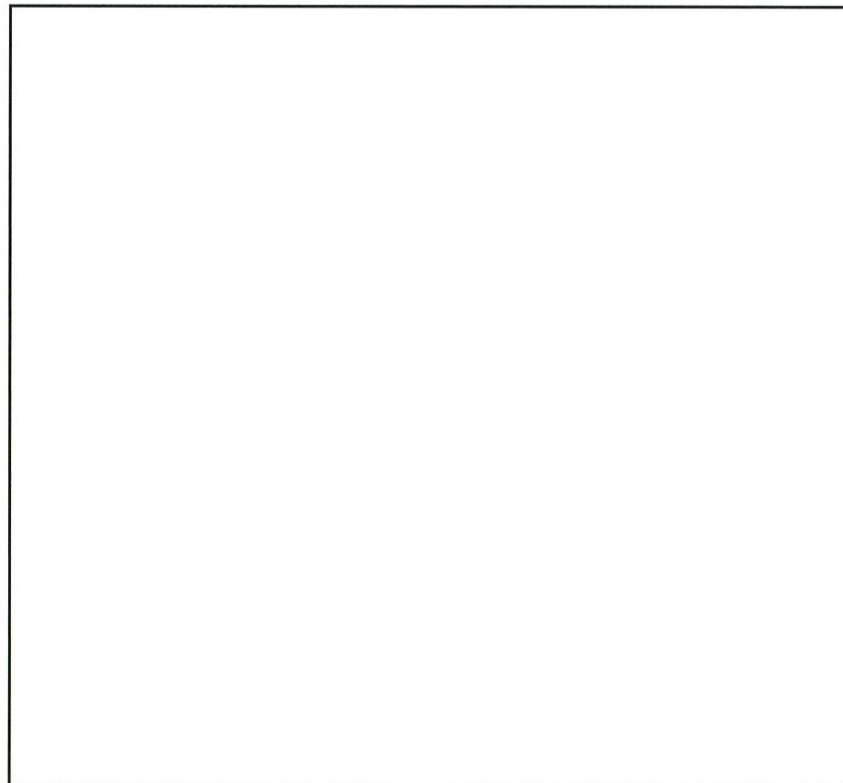


図 3.1 モデル概要図

3.2 拘束条件

本解析モデルの拘束条件を図 3.2 に示す。赤丸で囲った 6 点が拘束点となる。

輸送中の容器は、容器同士、固縛機材やコンテナ等によって 4 辺を面で抑えて固定するが、モデル上における拘束点は下面の脚のみで拘束する形でモデル化した。そのため、本モデルの固有振動数は実体より小さくなっている。拘束点は全て移動拘束のみであり、回転拘束はかけていない。

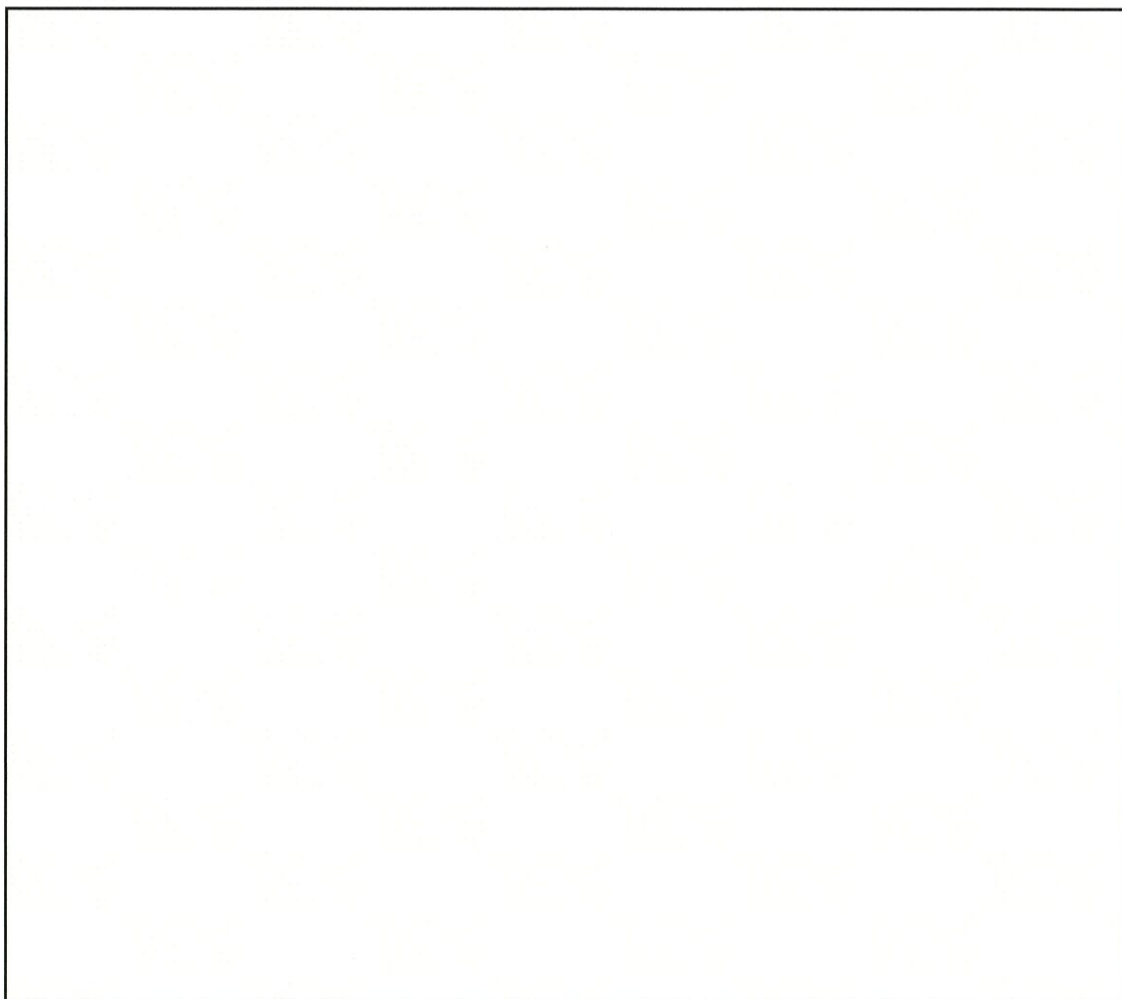


図 3.2 容器内部のモデル化要素

4. 解析結果

3で述べた解析モデルの固有振動数を求めた結果、固有振動数は□Hzとなった。この固有振動数は輸送中のトラックにおける固有振動数(□Hz未満)と比べて大きく、共振する恐れがないことが確認出来た。

(ロ)・B 熱解析

B.1 概要

(1) 熱設計

輸送容器は、外容器と内容器から取出し可能な内容容器から構成される。外容器及び内容容器の主要構造材は全てステンレス鋼材であり、熱膨張率が異なる異種材料は構造材に使用していないため、温度上昇により変形することはない。

外容器はフレームに内外板を溶接した 2 重構造となっており、外板-内板の間には、セラミックファイバー製の断熱材を充填して、収納物を収納する内容容器への熱の伝達を防ぐ構造となっている。本断熱材は、アルミナ・シリカを主成分とした人造鉱物繊維で、最高使用温度は \square °C 以上である。セラミックファイバーは、ブランケット状で軽量且つ必要な寸法への成形が容易であり、圧縮変形しても断熱性能が低下しない特徴がある。外容器表面には可融栓を設けており、高温下では可融部のハンダが溶けて外板-内板の間の圧力上昇を防ぐ。

外容器蓋裏面には、耐火ゴムを取付けている。耐火ゴムは、約 \square °C で膨張を開始し、外容器本体頂部と蓋の隙間を塞ぎ、火炎の進入を防ぐ機能をもつ。

特別な補助冷却装置や膨張タンク等は設けられていない。

(2) 熱解析

本解析では、本輸送物が規則及び告示に規定される A 型核分裂性輸送物に係る技術上の基準に適合することを示す。

(a) 一般の試験条件

本輸送物は A 型輸送物であるため、B 型輸送物の一般の試験条件下で要求される条件「38°C で太陽ふく射を 12 時間ごとに受ける環境下に 1 週間置く」は該当しない。しかし、核分裂性輸送物であるため、特別な試験条件下における耐火試験前に要求される同様の条件「38°C で太陽ふく射を 12 時間ごとに受ける環境下に温度が一定になるまで置く」に該当することから、非損傷モデルを用いて一般の試験条件について評価する。

(b) 特別な試験条件

- イ. 38°C で太陽ふく射を 12 時間ごとに受ける環境下に温度が一定になるまで置いた後、0.9 の周囲放射率を持つ 800 °C の熱放射環境に 30 分間さらされる。この場合、試験中も輸送物は太陽熱ふく射を受ける。この際設計上最大となる内部発熱を考慮する。
- ロ. 試験後の輸送物は、38°C の大気中において 12 時間ごとに太陽熱ふく射を受ける。この際設計上最大となる内部発熱を考慮し、人為的な冷却は行わない。

規則では、耐火試験で最大の破損を受けるよう落下試験Ⅰ及びⅡを実施する必要がある。熱的に厳しくなるのは、容器の構造上熱の進入経路になりやすいフランジ部近傍が損傷を受けるコーナー落下である。原型試験では、落下試験Ⅰ及びⅡで重畳効果を与えるために同一箇所をコーナー落下させているが、さらに保守的となることから、落下試験Ⅰ及びⅡに先立ち、一般の試験条件における自由落下として同一箇所をコーナー落下させている。この原型容器を用いて耐火試験を実施しており、熱解析では、原型容器の変形及び温度測定結果を保守的に包絡したモデルを用いた解析計算により評価を行う。原型容器を用いた耐火試験の結果については「(ロ)B 付属資料 1」に示す。

解析は、非定常の伝熱解析で、非線形材料定数やふく射を取扱う非線形解析の適用となる。解析計算で用いる解析コードは、有限要素法に基づく汎用有限要素法解析コード「ANSYS ver.11」を用いて行う。本解析に先立ち、耐火試験結果を基に解析モデル妥当性確認のための合わせ込み解析を実施している。「(ロ)B 付属資料 2」に妥当性確認結果を示す。

(3) 最大崩壊熱量

本輸送物に収納するウランの崩壊熱量は、極めて微少であり無視する。

B.2 材料の熱的性質

本輸送物の熱解析に使用する材料の熱的性質を(ロ)B-第1表～(ロ)B-第4表に示す。

(ロ)B-第3表 断熱材の熱的物性値

温度 (K)	密度 (g/cm ³)	比熱 (J/kg·K)	熱伝導率 (W/m·K)

(注)メーカー公表値を補完して採用。「(ロ)B 付属資料 2」を参照。

(ロ)B-第4表 熱解析に使用する材料の熱的性質

部品名	材料名	温度 (K)	密度 (g/cm ³)	比熱 (J/kg·K)	熱伝導率 (W/m·K)
外容器 内容器	ステンレス鋼 ⁽¹⁾	300	7.92	449	16.0
		400	7.89	511	16.5
		600	7.81	556	19.0
		800	7.73	620	22.5
		1000	7.64	644	25.7
ゴム類	耐火ゴム ⁽¹⁾⁽²⁾	300	0.86	2200	0.36
	シリコンゴム ⁽¹⁾	293	0.97	1600	0.20
		400	0.97	1500	0.19
	ネオプレンゴム ⁽¹⁾	293	1.23	2200	0.25
		400	1.23	2200	0.23

(1) 伝熱工学資料 改訂第4版 1986年

(2) 主成分であるエチレンプロピレンゴムの物性値で代用。

B.3 構成要素の仕様

本輸送物の収納物は固体でウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）を収納したステンレス鋼製ペレット保管箱を組立てたステンレス鋼製のペレット保管箱組立体であるため、安全解析上想定される温度の範囲では安定的に固体でかつガス等の放出はない。このため、弁及び安全弁は設けられていない。また、収納物を加圧もしくは減圧して収納する必要がないことから、最大使用圧力に関する要件は該当しない。内容器のフランジ部に使用しているOリングの仕様は以下のとおりである。

- ・材 質 シリコンゴム
- ・使用耐寒耐熱温度 □～□℃
- ・耐熱老化性試験 □℃×□時間で著しい劣化がないこと。
- ・引張り強さ □MPa 以上
- ・硬 さ □～□(タイプ A デュロメータ)
- ・伸 び □%以上
- ・線 径 φ□mm

B.4 一般の試験条件

本輸送物は A 型核分裂性輸送物であるため、B 型輸送物に要求される一般の試験条件下の熱的試験は該当しない。ただし、核分裂性輸送物に要求される特別の試験条件下の耐火試験に供する前の条件として、環境温度 38℃ 太陽ふく射下で輸送物表面温度が一定になるまで置くことが求められるため、本項では環境温度 38℃ 太陽ふく射下で 1 週間置くとした条件で評価を行う。

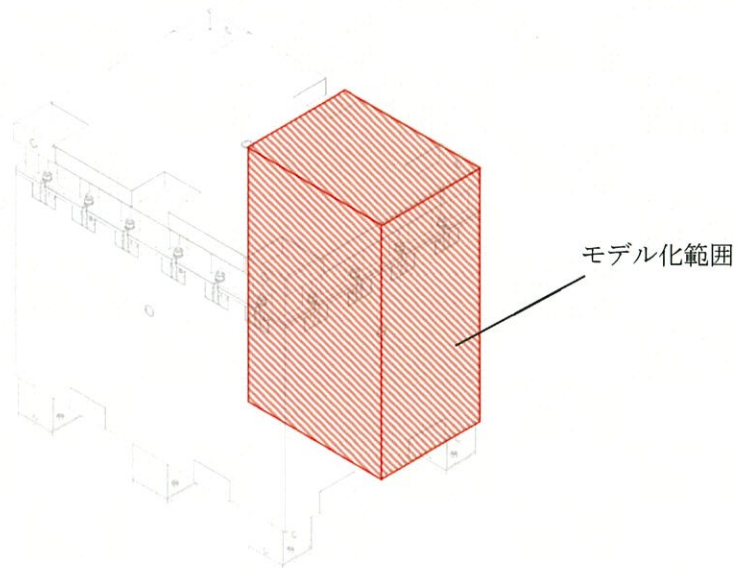
B.4.1 熱解析モデル

B.4.1.1 解析モデル

(1) 形状モデル

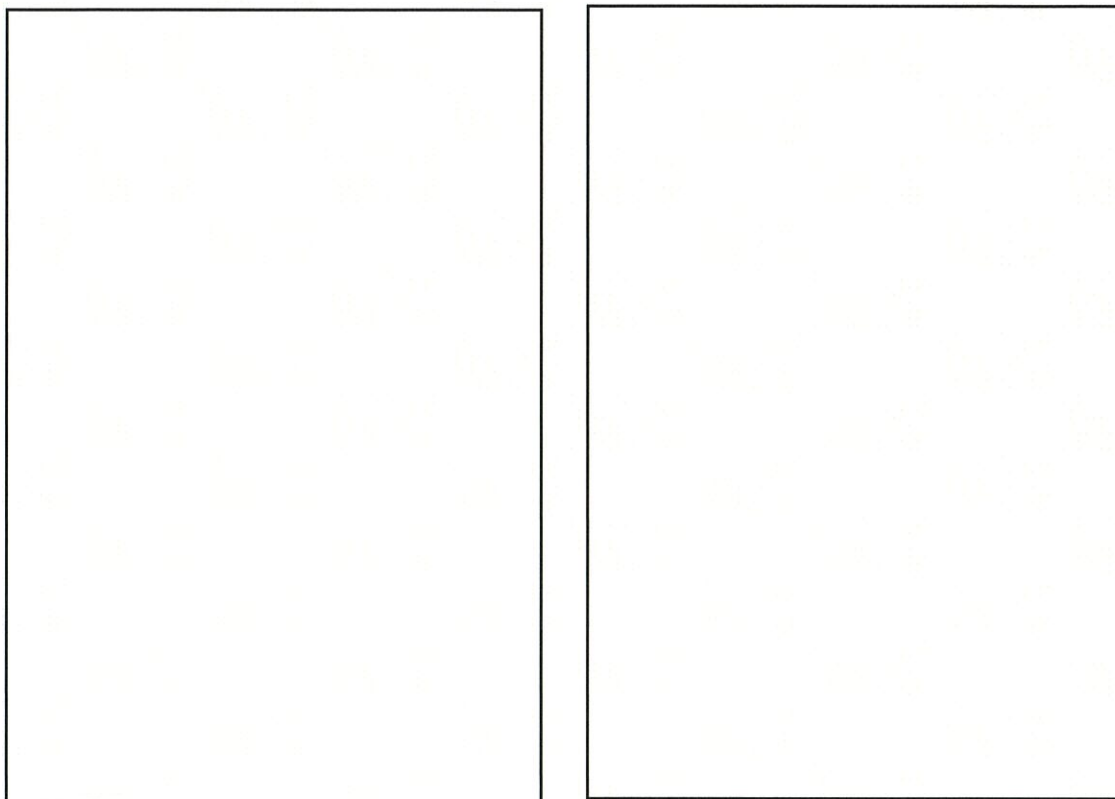
原型容器 2 号機の試験では、一般の試験条件の 1.2m 自由落下としてコーナー部を落下させている。「(ロ)A 付属資料 1」参照。このときの変形はコーナー部の吊部が変形したが、本体にはほとんど変形は生じなかった。事前に実施した合わせ込み解析における解析モデルは、保守的に断熱材領域を限定したもので、さらに特別の試験条件下における変形を考慮したものとなっている。この解析モデルは 1.2m 自由落下による変形を十分に包絡したものとなることから、同様の解析モデルから、特別の試験条件下における変形を除外した解析モデルを使用した。「(ロ)B 付属資料 2」を参照。ただし、合わせ込み解析では、原型容器と条件を整合させるため、収納物を鉛としているが、本解析では、実機の状態を模擬するため、収納物にウランを考慮している。

本解析では対称性を考慮し、(ロ)B-第 1 図に示すハッチング範囲をモデル化(1/4 対称)の対象範囲としている。モデル化にあたっては、微小な部品等は熱的な影響が無視できると考えられることからモデル化から除外している。



(ロ)B-第 1 図 解析モデル化範囲

外容器蓋については、フレームより外側を無視し、積重ね時に脚と嵌合する凹みが連続的に存在する保守的なモデルとなっている。また、外容器の本体のボルト座についても同様にボルト座が連続的に存在するモデルとしている。アルミハニカムは、内容器により多くの熱を伝える伝熱パスとなることから変形が無いものとした。(ロ)B-第 2 図に解析モデル図を示す。



(a)-Y 方向から見た図

(b)+Y 方向から見た図

(ロ)B-第 2 図 解析モデル/全体図

解析モデルでは、構造物外表面を覆うように 3 重の要素を作成しており、それぞれ、空気との熱伝達解析用、自然冷却時のふく射伝熱解析用、火災時の炎とのふく射伝熱解析用とした。また、内部空気と周辺構造物との境界には、ふく射伝熱を考慮している。

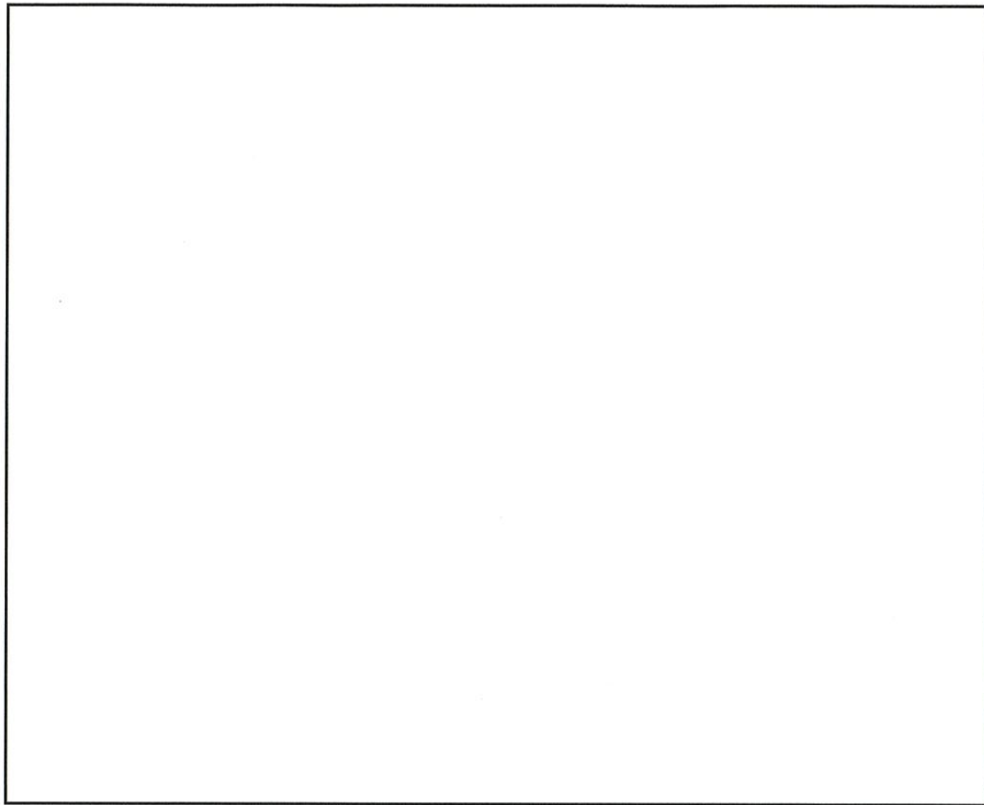
全節点数は 、全要素数は である。(ロ)B-第 3 図~(ロ)B-第 5 図に有限要素モデルを示す。



(ロ)B-第3図 有限要素モデル(全体)



(ロ)B-第4図 有限要素モデル(表面効果要素)



(ロ)B-第5図 有限要素モデル(表面効果要素 容器内部のふく射計算用)

(2) 解析条件

本解析においては、規則に従った熱的境界条件を設定する必要がある。解析条件を以下に整理する。

(a) 部材間の伝熱

幾何学的に接触している各部材間は完全に密着して接しているとする。解析においては、有限要素モデルのモデル作成時に節点を共有化してモデル化しており、伝熱のロスが発生しない。

(b) 告示別記第四第一号による伝熱

以下に示す2つの条件を12時間ごとに繰り返す。繰り返し回数は7日間とした。

イ. 日中相当の条件として、規定の熱流束による入熱及びふく射による放熱を定義

・別記第四第一号に示す表より、容器の外表面のうち

水平な面上向きの面： 800W/m^2

垂直の面： 200W/m^2

を負荷する。これらは容器外表面の該当面に、熱流束として直接定義する。

・外容器外表面から、外部空間へ(雰囲気温度 38°C)のふく射を定義する。外容器はステンレス鋼製であるため、ふく射率は「伝熱工学資料改定第4版(日本機械学会)」P184 図1(a)におけるステンレス鋼のふく射率 ($\square^\circ\text{C}$ において $\square\sim\square$)から、保守的に \square とした。ふく射の定義には ANSYS の表面効果要素を利用する。

ロ. 夜間相当の条件として、ふく射による放熱を定義する

- ・前項と同様に、外容器外表面から、外部空間（雰囲気温度 38℃）へのふく射を定義する。ふく射率は前項と同様に□とする。ふく射の定義には ANSYS の表面効果要素を利用する。

(c) 外部流体の対流による容器外表面への伝熱

38℃の外部流体の対流により、容器外表面では熱の収支が行われるため、これを定義する。熱伝達係数 α はヌセルト数の関数とし、ヌセルト Nu は IAEA 輸送規則 TS-G1.1 728.31 に基づいた。熱伝達の定義には ANSYS の表面効果要素を利用する。熱伝達係数 α 、ヌセルト Nu は下記の式で表される。

熱伝達係数 α

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / l \quad (\lambda: \text{熱伝導率}, l: \text{代表長さ (脚を除く外容器の全高0.915m)})$$

Nu (IAEA 輸送規則 TS-G1.1 728.31 より)

$$Nu = 0.13(PrGr)^{1/3}$$

なお、

プラントル数 $Pr = \nu / \kappa$ (ν : 動粘度、 κ : 熱拡散率($= \lambda / \rho c$), ρ : 密度、 c : 比熱)

グラスホフ数 $Gr = g \times \beta (T_w - T_\infty) l^3 / \nu^2$

(g : 重力加速度、 β : 体積膨張率($= 1/T$), T_w : 壁面温度、 T_∞ : 空気温度)

(ロ)B-第5表に熱伝達係数の計算結果を示す。

(ロ)B-第5表 熱伝達係数

温 度 (K)	熱伝達係数 (W/m ² ·K)	温 度 (K)	熱伝達係数 (W/m ² ·K)