

## 核燃料輸送物の安全性に関する説明書（抜粋）

## A. 1. 2 設計基準

## 1. 設計で考慮する条件

本輸送容器の構造設計では「規則」及び「告示」に基づいて以下の条件等を考慮した。

## (1) 通常の輸送条件

- a. 輸送容器の材質間又は輸送容器の材質と放射性収納物間において危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれのないこと。
- b. 密封装置は不用意に開かれないこと。
- c. 輸送容器の吊上装置としてのトラニオンは吊上荷重の3倍に耐えること。
- d. 固縛装置は輸送中発生する上下及び輸送方向加速度2g及び左右方向1gの加速度に耐えること。
- e. 輸送容器の構成部品は、運搬中に予想される $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- f. 輸送容器は運搬中に予想される $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- g. 輸送容器の振動について考慮すること。

## (2) 一般の試験条件

- a.  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境に1週間放置の熱的試験に耐えること。
- b. 水噴霧試験に耐えること。
- c. 0.3 m自由落下試験に耐えること。
- d. 自重の5倍の荷重による積み重ね試験に耐えること。
- e. 6 kg棒貫通試験に耐えること。

## (3) 特別の試験条件

- a. 9 m落下試験に耐えること。
- b. 1 m貫通試験に耐えること。
- c. 上記の試験条件に置いた後、火災試験に耐えること。
- d. 15 mの水中浸漬（0.15 MPa Gの外圧）試験に耐えること。

ただし、a及びbについては最大の破損を受けるような順序で連続して行われること。

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

- a. 200 mの水中浸漬（2 MPa Gの水圧）試験（強化浸漬試験）に耐えること。

(5) 核分裂性輸送物に係る試験条件

- a. 次の核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。
  - (a) 以下の連続試験
    - i. 水噴霧試験
    - ii. 0.3 m 自由落下試験
  - (b) 積み重ね試験
  - (c) 6 kg 棒貫通試験
- b. 次の核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下に順次置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。
  - (a) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件
  - (b) 9 m 落下試験
  - (c) 1 m 貫通試験
  - (d) 火災試験
  - (e) 0.9 m の水中浸漬試験

なお、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件の中で機械的（強度）試験においては、本輸送物が使用される $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の周囲温度範囲を考慮する。

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷		適用数式又は要素	解析基準		
					種類	負荷係数			要素	
	<u>化学的及び電気的反応</u> 1) 化学的反応 2) 電気的反応	(ロ)-第 A.3 表	表による	-	腐食	-	活性	活性の有無	無	
		(ロ)-第 A.3 表	表による	-	腐食	-	電位差	反応の有無	無	
	<u>低温強度</u> 1) 構成部品 2) 低温時の強度	(ロ)-第 A.4 表	表による	-	材質	-	き裂・破損	-20℃～70℃でのき裂・破損の有無	無	
		(ロ)-第 A.4 表	表による	-	材質	-	脆性破壊	-20℃での脆化の有無	無	
	<u>密封装置</u> 三次蓋	(イ)-第 C.2 図	-	-	誤操作による開放	-	誤操作の可否	緩衝体等に覆われたの誤操作の可否	否	

#### A.4.2 低温強度

本輸送物は周囲温度-20℃以上で使用する。

##### 1. 構成部品の低温特性

(イ)章Cの3.に示す本輸送容器の使用材料の低温特性を(ロ)-第A.4表に示す。同表より明らかなように、最低温度-20℃～70℃において構成部品はき裂、破損等の生じるおそれはない。また、周囲温度-20℃～38℃の温度範囲において、輸送容器の各部品の熱膨張に伴う寸法変化が、0.1%以下と十分小さく、部品同士の干渉が生じないため、き裂、破損等の生じるおそれはない。

##### 2. 低温時の強度

構造評価に用いる主要材料は、金属キャスク構造規格<sup>1)</sup>のじん性要求を満足するように製造するので、-20℃において低温脆性破壊を起こすことはない。

#### A. 4.3 密封装置

輸送容器の三次蓋、三次蓋ボルト、リリースバルブカバープレート及びそのボルトは、通常の輸送時には(イ)-第 C. 2 図に示すように上部緩衝体で覆われており、かつ、がされているので不用意に開けられることはない。そのため、リリースバルブカバープレート内部のリリースバルブは誤って操作されることはない。

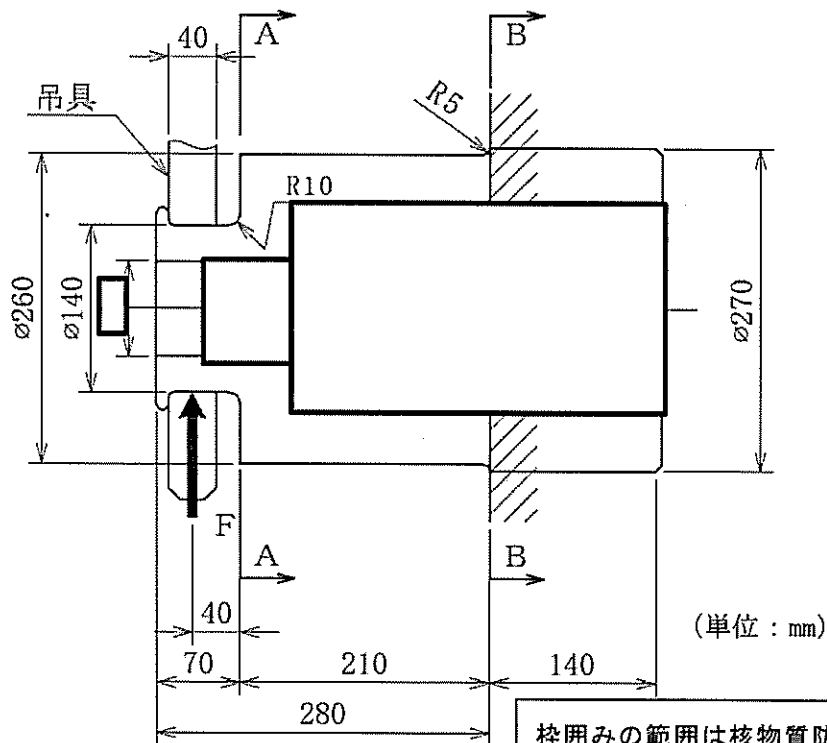
#### A. 4.4 吊上装置

輸送容器の吊上装置は、(イ)-第 C. 5 図及び(イ)-第 C. 6 図に示す位置に取り付けられているトラニオンであり、その構造は(イ)-第 C. 7 図に示すとおりである。トラニオンは、嵌め合いにより容器に取り付けられている。垂直吊りは上部トラニオンにより行われ、90°、270° 側の一对の下部トラニオンは輸送架台上で輸送容器をたて起し又はよこ倒しする際の支点となり、上部トラニオンに作用する以上の荷重が下部トラニオンには作用しない。一方、水平吊りは上部及び下部トラニオンにより行われる。したがって、荷重が最大となる垂直吊りにおける上部トラニオンを対象とし、トラニオン本体及びトラニオン接続部の応力評価を行う。

構造解析では各トラニオンの温度を°Cとして評価する。

##### A. 4.4.1 応力評価

トラニオンの解析モデル図を(ロ)-第 A. 10 図に示す。



ここで、最も振動数の低い一次の固有振動数を計算する。 $\lambda = \pi$ （両端支持の一次固有振動に対する定数）として、計算条件と計算結果を(ロ)-第 A.12 表に示す。一方、輸送中に車両の最大加速度と振動数の関係において、輸送中の振動により輸送物に作用する励振力の振動数域は大部分が 10 Hz 以下であり、十分離れた固有振動数を有しているため、励振力による輸送物の応答増幅の影響はない。

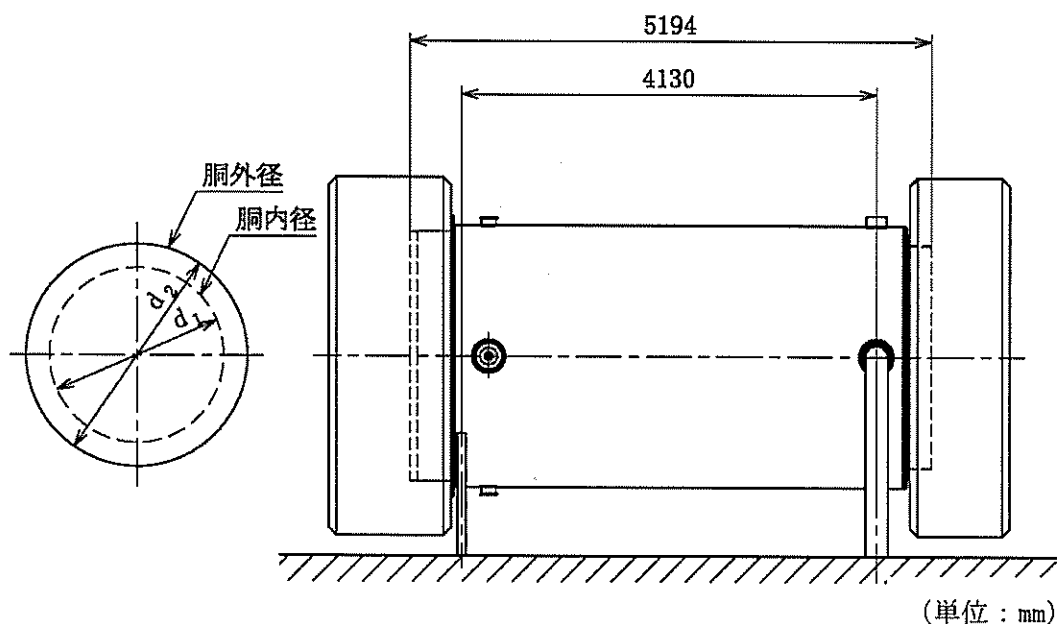
また三次蓋は振動等により緩まないよう、A.4.5 にて考慮した左右方向加速度 1 g と下方向加速度 3 g による三次蓋の慣性力 ( $1.024 \times 10^5$  N) より十分大きい摩擦力 (  ) が生じるようにボルトによって強固に締め付けられており、振動等によって緩むことはない。

輸送容器は通常の見扱い及び自由落下等においても十分な強度を有していることから、振動等によってき裂、破損等の生じるおそれはない。

(ロ)-第 A.12 表 固有振動数計算条件及び計算結果

項目	無次元定数： $\lambda$ (-)	縦弾性係数： E (MPa)	胴外径： $d_2$ (mm)	胴内径： $d_1$ (mm)	輸送容器 支持間長さ： $l$ (mm)
数値等	$\pi$	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	4130

項目	輸送物総質量： W (kg)	重力加速度： g ( $\text{mm/s}^2$ )	輸送容器本体 全長：L (mm)	固有振動数： $f_n$ (Hz)
数値等	$1.344 \times 10^5$	$9.80665 \times 10^3$	5194	215



(ロ)-第 A.15 図 輸送容器振動解析モデル図

A. 4. 8 輸送物の要件に対する評価結果の要約

以上の結果より通常の輸送時における輸送物の要件に対する評価結果の要約を(ロ)-  
第 A. 13 表に示す。

(ロ)-第 A. 13 表 輸送物の要件に対する評価結果の要約

解析及びその詳細	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等 (MS)
・ 化学的及び電気的反応 化学的反応 電気的反応	反応のないこと 反応のないこと	— —	反応なし 反応なし	基準に合致 基準に合致
・ 低温強度 構成部品の低温特性	-20 °C ~ 70 °C での き裂、破損のないこと	—	き裂、破損なし	基準に合致
低温時の強度	低温脆化温度	-20 °C	-20 °C では低 温脆化なし	基準に合致
・ 密封装置の誤操作による開放 の可能性 三次蓋	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致
・ 吊上装置 1. 応力評価				
トラニオン本体	$S_y$	653 MPa	449 MPa	0.45
トラニオン接続部 (一次応力)	$1.25S_y$	231 MPa	174 MPa	0.32
(一次応力+二次応力)	$1.5 \times 1.25S_y$	346 MPa	219 MPa	0.57
2. 疲労評価				
トラニオン本体	許容繰返し回数以 下であること	許容繰返し回数 $6.8 \times 10^6$ 回	使用計画回数 200 回	基準に合致
トラニオン接続部	許容繰返し回数以 下であること	許容繰返し回数 $1.0 \times 10^4$ 回	使用計画回数 200 回	基準に合致
・ 固縛装置				
トラニオン本体	$S_y$	653 MPa	232 MPa	1.81
トラニオン接続部 (一次応力)	$1.25S_y$	231 MPa	151 MPa	0.52
(一次応力+二次応力)	$1.5 \times 1.25S_y$	346 MPa	195 MPa	0.77
・ 圧力	密封性	—	良	基準に合致
・ 振動	振動性	固有振動数 (215 Hz) と輸送による振動数 (10 Hz) の差が大であり、輸送物の応答増 幅の影響はなく、き裂、破損等は生じない。		

## 2. 圧力

(ロ)章 B の熱解析から求まる一般の試験条件における輸送容器各部の圧力及び構造解析で使用する圧力を(ロ)-第 A. 15 表に示す。

(ロ)-第 A. 15 表 一般の試験条件の熱解析の要約と評価

項目	熱解析結果	構造解析使用圧力	圧力設定方法
胴内圧	0.0780 MPa (-0.0233 MPa G)	0 MPa (-0.101325 MPa G)	内外圧力差が最大となるように最低圧(真空)を仮定
一二次蓋間 <sup>(注1)</sup> 圧力	0.390 MPa (0.289 MPa G)	0.411325 MPa (0.31 MPa G)	内外圧力差が最大となるように熱解析に余裕を取った値を使用
二三次蓋間圧力	0.253 MPa (0.152 MPa G)	0.291325 MPa (0.19 MPa G)	三次蓋に対して安全側になるように熱解析結果に余裕を取った値を使用

(注1) 胴、一次蓋及び二次蓋に囲まれた空間をいう。

なお、蓋部中性子遮蔽材充填空間は、長期貯蔵後の中性子遮蔽材の劣化に伴う圧力上昇を考慮して、 MPa G ( MPa) とする。この圧力は製造時の周囲温度によっては最大約 10%増加する可能性があるが、蓋部中性子遮蔽材カバーは強度上十分な余裕を有していることから、室温を基準として圧力を設定している。

側部中性子遮蔽材充填空間は、外筒部を MPa G ( MPa)、端板部を MPa G ( MPa)、底部中性子遮蔽材充填空間は、 MPa G ( MPa) とする。なお、側部中性子遮蔽材充填空間及び底部中性子遮蔽材充填空間の圧力は輸送前の保守により圧力が開放されることを考慮し、当該空間の空気温度の上昇による圧力上昇は無いため、製造時の環境温度による影響は考慮不要である。

枠囲みの範囲は商業機密に係る事項  
ですので公開することはできません。



(ロ)-第 A. 17 表 一般の試験条件下における熱及び圧力による容器本体の  
(一次+二次) 応力及び蓋ボルトの評価 (2/2)

部位	断面 No. (注1)	応力の 種類 (注2)	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) (注3)	余裕率 (MS)
外筒	⑫	引張	—	47	[Redacted]	470	9.00
		せん断	—	6		271	44.1
		曲げ	—	27		470	16.4
	⑬	引張	—	30		470	14.6
		せん断	—	2		271	134
		曲げ	—	5		470	93.0
	⑭	引張	—	82		470	4.73
		せん断	—	17		271	14.9
		曲げ	—	82		470	4.73
下部端板	⑮	引張	—	48		410	7.54
		せん断	—	24		236	8.83
		曲げ	—	109		410	2.76
蓋部中性子 遮蔽材カ バー	⑯	引張	—	2		472	235
		せん断	—	2		272	135
		曲げ	—	3		472	156
	⑰	引張	—	4		472	117
		せん断	—	1		272	271
		曲げ	—	2		472	235
底部中性子 遮蔽材カ バー	⑱	引張	—	34	410	11.0	
		せん断	—	3	236	77.6	
		曲げ	—	10	410	40.0	
	⑲	引張	—	29	410	13.1	
		せん断	—	4	236	58.0	
		曲げ	—	21	410	18.5	
二次蓋 シール部	⑳	—	内	22	186	7.45	
			外	10		17.6	
	㉑	—	内	18	185	9.27	
			外	16		10.5	
一次蓋 シール部	㉒	—	内	27	185	5.85	
			外	60		2.08	
	㉓	—	内	14	185	12.2	
			外	15		11.3	
一次蓋 ボルト	—	$\sigma_m$	—	249	562	1.25	
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	251	843	2.35	
二次蓋 ボルト	—	$\sigma_m$	—	206	564	1.73	
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	219	846	2.86	
三次蓋 ボルト	—	$\sigma_m$	—	229	564	1.46	
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	320	846	1.64	

(注1) (ロ)-第 A. 18 図参照

(注2)  $\sigma_m$ : 平均引張応力、 $\sigma_b$ : 曲げ応力

(注3) 断面⑫~⑱における引張応力に対する基準値は  $3f_t$ 、せん断応力に対する基準値は  $3f_s$ 、曲げ  
応力に対する基準値は  $3f_b$  である。断面㉑~㉓に対する基準値は  $S_y$  である。蓋ボルトの基準  
値は  $\sigma_m$  に対して  $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$  に対して  $3S_m$  である。なお、蓋ボルトの  $2S_m$  及び  $3S_m$  の値は、 $S_y$   
より小さい。

(注4) 三次蓋ボルトは三次蓋と異なる材質のため、輸送中に予想される  $-20\text{ }^\circ\text{C} \sim 38\text{ }^\circ\text{C}$  の周囲温度の

変化により軸力が約10%変化するが、影響はわずかでありゆりみや破損を生じることはない。

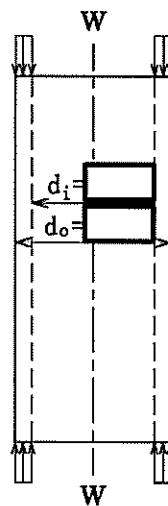
2. 軸方向の荷重の場合

(a)-第 A. 38 図に示すように、円筒をたて置きにし、円筒の軸方向に両端から等分布荷重  $W$  をかけたときに円筒に生じる圧縮応力  $\sigma_c$  (MPa) は、次式で与えられる。

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

ここで、

- $W$  : 荷重 (N)
- $d_i$  : 円筒内径 (mm)
- $d_o$  : 円筒外径 (mm)



(a)-第 A. 38 図 両端より圧縮される容器本体の解析モデル図

ここで、胴部をこの円筒とみなして圧縮応力を計算した場合の計算条件と計算結果を (a)-第 A. 33 表に示す。本輸送物は、軸方向の荷重により圧潰することはない。

(a)-第 A. 33 表 容器本体の軸方向の積み重ね応力計算条件及び計算結果

評価位置	輸送物総質量の 5 倍の荷重 : $W$ (N)	胴外径 : $d_o$ (mm)	胴内径 : $d_i$ (mm)	圧縮応力 : $\sigma_c$ (MPa)	基準値 : $S_y$ (MPa)	余裕率 (-)
容器本体	$6.591 \times 10^6$			5	184	35.8

以上より、容器本体の構造健全性が維持されるので、密封部の健全性が維持される。また、容器本体の健全性が維持されるので、中性子遮蔽材の脱落等遮蔽解析に影響を及ぼすような破損は生じない。

枠囲みの範囲は商業機密に係る事項  
ですので公開することはできません。

#### A.5.5 貫通

本項では、質量 6 kg、直径 3.2 cm の軟鋼棒が 1 m の高さから本輸送物外表面で最も板厚の薄い緩衝体カバープレート（板厚  $\square$  mm）へ落下するとした場合に、緩衝体カバープレートが破断せず軟鋼棒は内部に貫通しないことを示す。

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

$$E = mgH$$

ここで、

$m$  : 軟鋼棒の質量 (kg)

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$H$  : 落下高さ (mm)

一方、軟鋼棒が緩衝体カバープレートへ落下した際、貫通するためには落下エネルギーが (a)-第 A.39 図に示すようにカバープレートのせん断に必要なエネルギーより大きい場合である。この場合のせん断に要するエネルギー  $E_s$  (N·mm) は、次式で与えられる。

$$E_s = \frac{\pi}{2} dt^2 S$$

ここで、

$d$  : 軟鋼棒の直径 (mm)

$t$  : 緩衝体カバープレートの板厚 (mm)

$S$  : カバープレートのせん断強さ (MPa)

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

落下エネルギー  $E$  とせん断エネルギー  $E_s$  を比較すると、計算条件と計算結果は (a)-第 A.34 表に示すように  $E < E_s$  となり、カバープレートは軟鋼棒の落下によりせん断破壊せず、軟鋼棒は緩衝体カバープレートに貫通しない。

その他の箇所のせん断に要するエネルギーは、緩衝体カバープレートより大きいため、せん断破壊はおこらず、密封部の健全性が維持され、また、熱解析及び遮蔽解析への影響は無視できる。

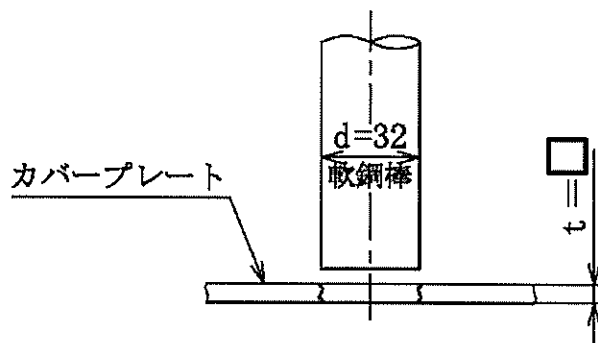
枠囲みの範囲は核物質防護に係る事項  
ですので公開することはできません。

(ロ)-第 A. 34 表 軟鋼棒の落下エネルギー及びカバープレートせん断エネルギー

計算条件及び計算結果

項目	軟鋼棒の質量 : m (kg)	重力加速度 : g (m/s <sup>2</sup> )	落下高さ : H (mm)	落下エネルギー : E (N・mm)
数値等	6	9.80665	1000	5.884×10 <sup>4</sup>

項目	軟鋼棒の直径 : d (mm)	緩衝体 カバープレート の板厚 : t (mm)	カバープレート の設計引張強さ : S <sub>u</sub> (MPa)	カバープレート のせん断強さ : S (MPa)	せん断 エネルギー : E <sub>s</sub> (N・mm)
数値等	32				4.505×10 <sup>5</sup>



(単位 : mm)

(ロ)-第 A. 39 図 せん断による貫通モデル図

A. 5.6 角又は縁落下

本輸送物は、鋼製の円筒形で質量は 134.4 トンであり、角又は縁落下は該当しない。

A. 5.7 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

一般の試験条件における輸送物に対する解析結果の要約を(ロ)-第 A. 35 表に示す。自由落下試験により緩衝体に永久変形が生じるが、表に示すように、各試験条件下において輸送物各部は A. 1.2 に定めた基準を満足し、密封部を含め構造上の健全性が損なわれることはない。

なお、頭部 0.3m 垂直落下時には、一次蓋内面、バスケット及び燃料集合体に、底部 0.3m 垂直落下時には、胴底部内面、バスケット及び燃料集合体に、衝撃加速度を上回る加速度が発生すると考えられるが、それらの部材に加速度割増を考慮しても健全性に影響はない。

(注) A. 10.1 に示す MSF-24P 型輸送容器のプロトタイプである MSF キャスクの 9.3m 頭部垂直落下試験で計測された内部収納物の加速度割増を基に、0.3m 垂直落下時には 1.4 倍程度の加速度割増が生じると考えられるが、輸送物の各部材は 0.4 以上の余裕率を有する。

枠囲みの範囲は核物質防護に係る事項  
ですので公開することはできません。

#### A. 6. 1. 5 結果の要約

##### 1. 結果の要約

9 m 落下試験の衝撃加速度と緩衝体変形量の要約は(□)-第 A. 37 表のとおりである。なお、緩衝体変形量は設計基準変形量以下であり、容器本体に発生する衝撃加速度が急激に上昇することはない。

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

##### 2. 結果の検討

9 m 落下試験による塑性変形は、緩衝体に生じるが、容器本体及びバスケットの構造上の健全性が損なわれることはない。

以上の解析及び評価は周囲温度 38 °C の高温側の環境下に対して行った。低温側の環境下に対しては、A. 4. 2 に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので、輸送物の構造上の健全性は維持される。

#### A. 6. 2 強度試験・落下試験Ⅱ (1 m 落下時)

本項では、9 m 落下試験に引き続いて 1 m 貫通試験が起こるとして輸送物が 1 m 高さから直径 150 mm の軟鋼棒へ落下した場合に対して、輸送物の構造の健全性を解析によって示す。

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

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

解析は垂直方向落下において蓋部及び底部について行う。また、水平方向落下においては胴について行う。

なお、三次蓋のリリーフバルブカバープレート上への垂直方向落下、及び三次蓋シール部への垂直方向落下又は水平方向落下では、過大な圧縮力により塑性変形が生じ、O リングと三次蓋又は胴フランジのシール面との間に生じた隙間が原因で密封性能を損なう恐れがあるが、MSF-24P 型輸送容器のプロトタイプである MSF キャスクの落下試験モデルの緩衝体は、A. 10. 1 に示すとおり当該部への直接的な荷重入力を防止するために緩衝体内部のカバープレートの剛性を高める設計としており、1m 貫通試験で密封性能が維持されることを確認している。MSF-24P 型の緩衝体は落下試験モデルと同じ構造であり、かつ、A. 10. 3 に示すとおり MSF-24P 型は落下試験モデルに比べ高い密封性能を有しているため、密封性能が損なわれることはない。

(p)-第 A. 55 表 特別の試験条件における胴内圧による容器本体に対する

## 一次応力及び蓋ボルトの評価 (2/2)

部位	断面 No. (注 1)	応力 分類 (注 2) 又は 応力の 種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度(°C)	解析 基準値 (MPa) (注 3)	余裕率 (MS)
下部端板	⑮	引張	—	2	[ ]	144	71.0
		圧縮	—	1		144	143
		せん断	—	3		83	26.6
		曲げ	—	12		144	11.0
底部中性 子遮蔽材 カバー	⑱	引張	—	3		201	66.0
		圧縮	—	1		201	200
		せん断	—	6		116	18.3
		曲げ	—	19		201	9.57
	⑲	引張	—	8		201	24.1
		圧縮	—	—		201	—
		せん断	—	11		116	9.54
		曲げ	—	70		201	1.87
二次蓋 シール部	㉔	$P_L+P_b+Q$	内	27		183	5.77
		$P_L+P_b+Q$	外	20			8.15
	㉕	$P_L+P_b+Q$	内	115	174	0.51	
		$P_L+P_b+Q$	外	112		0.55	
二次蓋 ボルト	—	$\sigma_m$	—	307	833	1.71	
		$\sigma_m+\sigma_b$	—	766	833	0.08	
三次蓋 ボルト	—	$\sigma_m$	—	391	825	1.10	
		$\sigma_m+\sigma_b$	—	669	825	0.23	

(注 1) (p)-第 A. 30 図参照

(注 2)  $P_m$  : 一次一般膜応力、 $P_L$  : 一次局部膜応力、 $P_b$  : 一次曲げ応力 $Q$  : 二次応力、 $\sigma_m$  : 平均引張応力、 $\sigma_b$  : 曲げ応力(注 3) 断面⑮、⑱及び⑲における引張応力に対する基準値は  $1.5f_t$ 、圧縮応力に対する基準値は  $1.5f_c$ 、せん断応力に対する基準値は  $1.5f_s$ 、曲げ応力に対する基準値は  $1.5f_b$  である。断面㉔及び㉕に対する基準値は  $S_y$  である。蓋ボルトの基準値は  $S_y$  である。(注 4) 三次蓋ボルトは三次蓋と異なる材質のため、輸送中に予想される  $-20\text{ }^\circ\text{C}\sim 38\text{ }^\circ\text{C}$  の周囲温度の変化により軸力が約 5% 変化するが、影響はわずかでありゆるみや破損を生じることはない。

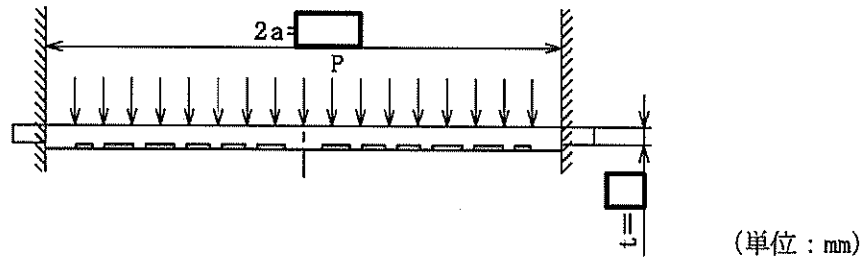
枠囲みの範囲は核物質防護に係る事項  
ですので公開することはできません。

#### A.6.4 浸漬

本輸送物の収納物は、最大放射エネルギーが  $A_2$  値の 10 万倍を超えるので、A.7 において 200 m 浸漬に相当する水頭圧で解析を行い、密封装置の破損のないことを確認している。

特別の試験条件の 15 m 浸漬試験においては、200 m 浸漬試験の負荷条件より厳しくないため密封装置は A.1.2 で定めた基準を満足するが、「規則」及び「告示」に基づいて 15 m 浸漬試験における三次蓋の強度を確認する。

三次蓋の強度解析モデルを (ロ)-第 A.44 図に示す。



(ロ)-第 A.44 図 三次蓋の強度解析モデル図

三次蓋を端部固定の円板としてモデル化すると、その最大曲げ応力  $\sigma_b$  (MPa) は、次式で与えられる。<sup>15)</sup>

$$\sigma_b = 0.75 \frac{Pa^2}{t^2}$$

ここで、

- a : 円板の半径 (mm)
- P : 差圧 (MPa)
- t : 板厚 (mm)

計算条件と計算結果を (ロ)-第 A.56 表に示す。三次蓋は、外圧に対して十分な強度を有する。なお、上記の発生応力値は  °C における三次蓋の材料の設計降伏点 ( $S_y = 166$  MPa) より低く、また、外圧は蓋を胴に押し付けるように作用するので蓋 O リングの密封性能は 15 m 浸漬時において保持される。

(ロ)-第 A.56 表 三次蓋の曲げ応力計算条件及び計算結果

項目	円板の半径 : a (mm)	差圧 : P (MPa)	板厚 : t (mm)	最大 曲げ応力 : $\sigma_b$ (MPa)	三次蓋の 温度 (°C)	基準値 : MIN[3.6 $S_u$ , $S_u$ ] (MPa)	余裕率 (-)
数値	<input type="text"/>	0.251325	<input type="text"/>	41	<input type="text"/>	406	8.90



また、A.7に示す通り容器本体の構造健全性が維持されるので、中性子遮蔽材の脱落等、遮蔽解析に影響を及ぼすような破損は生じない。

#### A.6.5 結果の要約及びその評価

##### 1. 解析結果の要約

特別の試験条件における輸送物に対する評価結果の要約を(□)-第A.57表に示す。表に示すように、各試験条件下において輸送物各部はA.1.2に定めた基準を満足し構造上の健全性が損なわれることはない。

(□)-第A.57表 特別の試験条件における構造解析結果の要約 (1/4)

項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (-)
9 m落下試験				
1. 垂直落下				
(1) 容器本体 (頭部垂直落下)				
二次蓋 (P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> )	S <sub>u</sub>	377	124	2.04
三次蓋 (P <sub>L</sub> )	S <sub>u</sub>	406	86	3.72
胴 (P <sub>L</sub> )	S <sub>u</sub>	377	106	2.55
胴 (底板) (P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> )	S <sub>u</sub>	377	13	28.0
外筒 (引張)	1.5f <sub>t</sub>	282	99	1.84
外筒 (圧縮)	1.5f <sub>c</sub>	282	50	4.64
外筒 (せん断)	1.5f <sub>s</sub>	162	45	2.60
外筒 (曲げ)	1.5f <sub>b</sub>	282	170	0.65
下部端板 (引張)	1.5f <sub>t</sub>	218	3	71.6
下部端板 (圧縮)	1.5f <sub>c</sub>	218	1	217
下部端板 (せん断)	1.5f <sub>s</sub>	126	8	14.7
下部端板 (曲げ)	1.5f <sub>b</sub>	218	26	7.38
底部中性子遮蔽材カバー (引張)	1.5f <sub>t</sub>	217	1	216
底部中性子遮蔽材カバー (圧縮)	1.5f <sub>c</sub>	217	2	107
底部中性子遮蔽材カバー (せん断)	1.5f <sub>s</sub>	125	1	124
底部中性子遮蔽材カバー (曲げ)	1.5f <sub>b</sub>	217	2	107
二次蓋密封シール部 (P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> +Q)	S <sub>y</sub>	185	79	1.34
二次蓋ボルト (σ <sub>m</sub> )	S <sub>y</sub>	848	311	1.72
二次蓋ボルト (σ <sub>m</sub> +σ <sub>b</sub> )	S <sub>y</sub>	848	663	0.27
三次蓋ボルト (σ <sub>m</sub> )	S <sub>y</sub>	848	180	3.71
三次蓋ボルト (σ <sub>m</sub> +σ <sub>b</sub> )	S <sub>y</sub>	848	216	2.92

全体モデルに入力する崩壊熱量は、軸方向の燃焼度分布を考慮する。

燃料集合体の最高温度については、燃料集合体モデルで算出する。燃料集合体モデルでは、燃料棒の領域を構成部材（二酸化ウラン、ジルカロイ）及び封入されていた気体（ヘリウム）の均質化領域としてモデル化する。燃料棒の均質化領域における平均熱伝導率は体積平均値とする。また、制御棒案内シンプル及び炉内計装用案内シンプルについては、燃料棒と同じように均質化領域としてモデル化する。制御棒案内シンプル及び炉内計装用案内シンプルは、燃料棒と同じ形状及び物性値を入力しているが、崩壊熱量は入力しない。

一般の試験条件のうち、水噴霧試験及び積み重ね試験では輸送物は変形しないが、自由落下試験及び貫通試験では緩衝体に変形が生じる。ただし、一般の試験条件では、緩衝体に変形しないものとする方が収納物の温度及び緩衝体最高温度を高く評価できる。したがって、一般の試験条件の熱解析では、輸送物の変形は考慮しない。

各解析モデルの形状及び要素分割図を (p)-第 B. 1 図～(p)-第 B. 4 図 に示す。

### 3. 二三次蓋間圧力

三次蓋取付け時における二三次蓋間の雰囲気は常温、大気圧の空気とし、一般の試験条件における空気の温度は、保守側に二三次蓋間空気の最高温度とする。また、保守側に二次蓋の密封性が失われ一二次蓋間ヘリウムが二三次蓋間に漏えいすると仮定すると、二三次蓋間圧力は以下のとおり求められる。

$$P_2 = \frac{P_{10} V_1 \frac{T_{1nor}}{T_{10}} + P_{20} V_2 \frac{T_{1nor}}{T_{20}}}{V_1 + V_2}$$

ここで、

- $P_2$  : 一般の試験条件における二三次蓋間圧力 (MPa)
- $P_{10}$  : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)
- $P_{20}$  : 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) (MPa)
- $V_1$  : 一二次蓋間体積 (m<sup>3</sup>)
- $V_2$  : 二三次蓋間体積 (m<sup>3</sup>)
- $T_{1nor}$  : 一般の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度  
(一二次蓋間ヘリウムの最高温度) (K)
- $T_{10}$  : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)
- $T_{20}$  : 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 (K)

計算条件と計算結果を(ロ)-第 B. 10 表に示す。なお、この圧力は三次蓋取付け時の周囲温度によっては約 4%増加する可能性があるが、構造評価は保守的にこれを包絡する圧力で評価している。

(ロ)-第 B. 10 表 一般の試験条件における二三次蓋間圧力計算条件及び計算結果

項目	記号	単位	数値等
一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力	$P_{10}$	MPa	0.300
二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧)	$P_{20}$	MPa	0.101325
一二次蓋間体積	$V_1$	m <sup>3</sup>	
二三次蓋間体積	$V_2$	m <sup>3</sup>	
一般の試験条件における 一二次蓋間ヘリウムの温度	$T_{1nor}$	K	381.15 (108 °C)
一二次蓋間ヘリウムの初期温度	$T_{10}$	K	293.15 (20 °C)
三次蓋取付け時における 二三次蓋間空気の初期温度	$T_{20}$	K	293.15 (20 °C)
一般の試験条件における 二三次蓋間圧力	$P_2$	MPa	0.253 (0.152 MPaG)

### 3. 二三次蓋間圧力

特別の試験条件における空気の温度を保守側に二三次蓋間空気の最高温度とする。また、一般の試験条件と同様に、保守側に二次蓋の密封性が失われ一二次蓋間ヘリウムが二三次蓋間に漏えいすると仮定すると、二三次蓋間圧力は以下のとおり求められる。

$$P_2' = \frac{P_{10}V_1 \frac{T_{1acc}}{T_{10}} + P_{20}V_2 \frac{T_{1acc}}{T_{20}}}{V_1 + V_2}$$

ここで、

- $P_2'$  : 特別の試験条件における二三次蓋間圧力 (MPa)
- $P_{10}$  : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)
- $P_{20}$  : 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) (MPa)
- $V_1$  : 一二次蓋間体積 (m<sup>3</sup>)
- $V_2$  : 二三次蓋間体積 (m<sup>3</sup>)
- $T_{1acc}$  : 特別の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度  
(一二次蓋間ヘリウムの最高温度) (K)
- $T_{10}$  : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)
- $T_{20}$  : 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 (K)

計算条件と計算結果を(□)-第 B. 18 表に示す。なお、この圧力は三次蓋取付け時の周囲温度によっては約 4%増加する可能性があるが、構造評価は保守的にこれを包絡する圧力で評価している。

(□)-第 B. 18 表 特別の試験条件における二三次蓋間圧力計算条件及び計算結果

項目	記号	単位	数値等
一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力	$P_{10}$	MPa	0.300
二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧)	$P_{20}$	MPa	0.101325
一二次蓋間体積	$V_1$	m <sup>3</sup>	
二三次蓋間体積	$V_2$	m <sup>3</sup>	
特別の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度	$T_{1acc}$	K	410.15 (137 °C)
一二次蓋間ヘリウムの初期温度	$T_{10}$	K	293.15 (20 °C)
三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度	$T_{20}$	K	293.15 (20 °C)
特別の試験条件における二三次蓋間圧力	$P_2'$	MPa	0.272 (0.171 MPaG)

(ロ)章 F 規則及び告示に対する適合性の評価

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目																																																								
(核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬) 第3条 第1項第1号   第2号   第3号	(L型輸送物として運搬できる核燃料物質等) 第3条   (A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の放射能の量の限度) 第4条	<p>該当しない。</p> <p>該当しない。</p> <p>本輸送物の収納物は下記のとおりであり、原子力規制委員会の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等に該当するのでBM型輸送物として輸送する。</p> <table border="1" data-bbox="643 1048 1254 1899"> <tr> <td rowspan="3" style="width: 50px;"></td> <td colspan="2">中央部</td> <td colspan="2">外周部</td> </tr> <tr> <td colspan="4">17×17燃料</td> </tr> <tr> <td>A型</td> <td>B型</td> <td>A型</td> <td>B型</td> </tr> <tr> <td colspan="2">燃料集合体の種類</td> <td colspan="3">軽水炉(PWR)使用済燃料</td> </tr> <tr> <td colspan="2">性状</td> <td colspan="3">固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ウラン重量 (kg以下)</td> <td colspan="3" rowspan="2" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">放射能の量 (PBq以下)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">初期濃縮度 (wt%以下)</td> <td colspan="3">4.2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">燃 焼 度</td> <td>収納物最高 (MWD/MTU以下)</td> <td colspan="3" rowspan="2" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>収納物平均 (MWD/MTU以下)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">発熱量 (kW以下)</td> <td colspan="3">15.8</td> </tr> <tr> <td colspan="2">冷却日数 (日以上)</td> <td colspan="3" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">収納体数 (体)</td> <td>12</td> <td colspan="2">12</td> </tr> </table>		中央部		外周部		17×17燃料				A型	B型	A型	B型	燃料集合体の種類		軽水炉(PWR)使用済燃料			性状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)			ウラン重量 (kg以下)					放射能の量 (PBq以下)		初期濃縮度 (wt%以下)		4.2			燃 焼 度	収納物最高 (MWD/MTU以下)				収納物平均 (MWD/MTU以下)	発熱量 (kW以下)		15.8			冷却日数 (日以上)					収納体数 (体)		12	12		(イ)-A、 (イ)-D
	中央部			外周部																																																							
	17×17燃料																																																										
	A型	B型	A型	B型																																																							
燃料集合体の種類		軽水炉(PWR)使用済燃料																																																									
性状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)																																																									
ウラン重量 (kg以下)																																																											
放射能の量 (PBq以下)																																																											
初期濃縮度 (wt%以下)		4.2																																																									
燃 焼 度	収納物最高 (MWD/MTU以下)																																																										
	収納物平均 (MWD/MTU以下)																																																										
発熱量 (kW以下)		15.8																																																									
冷却日数 (日以上)																																																											
収納体数 (体)		12	12																																																								

(ロ)-F-1

枠囲みの範囲は核物質防護に係る事項  
 ですので公開することはできません。

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(L型輸送物に係 る技術上の基準) 第4条第1号		<p>本輸送物は、以下に示すように容易に、かつ、安全に取扱うことができる。</p> <p>a. 輸送物は、キャスク本体にトラニオンがあり、吊上げ、吊下しは専用吊具を用い、クレーンを使用して容易に行える。また、輸送物は専用の輸送架台を用いて車輛又は船舶に強固に積付けられる等、安全に取り扱えるものである。</p> <p>b. 輸送物の吊上装置は、公式を用いた計算により安全係数を3としても設計降伏点を下回るよう設計しており、急激な吊上げに耐えられるものである。</p> <p>c. 輸送物には、トラニオンを除いて輸送物を吊上げるおそれのある吊手はない。 また、輸送物は、専用吊具によって容易に、かつ、安全に取り扱うことができる。</p> <p>d. 輸送物の表面は滑らかに仕上げられており、雨水が溜らない構造となっている。</p>	(イ)-C (ロ)-A. 4. 4 (イ)-C (イ)-C
第2号		<p>本輸送物は、以下に示すように運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>a. 軸方向燃焼度分布を考慮し、収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た18.1kWのとき、一般の試験条件の下での輸送物の温度をABAQUSコードを用いて解析評価している。収納物の最高温度は206℃であり、制限温度275℃より低いため、燃料被覆管の機械的特性に影響はない。</p> <p>b. 三次蓋は輸送時の振動等により緩まないよう、三次蓋ボルトにより強固に締付けられており、輸送中の温度及び内圧の変化を考慮しても、開くことはない。また、輸送物のキャスク本体と蓋の接合部の密封境界にはOリングを設けており、密封を保っている。</p>	(ロ)-B. 4. 6 (ロ)-A. 4. 7、 (ロ)-C. 2. 4

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第4条第2号		<p>c. 収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た18.1 kWのときの一般の試験条件の下での輸送物の温度を ABAQUS コードを用いて解析評価している。本輸送物の主要な中性子遮蔽材であるレジンの温度は127 °Cであり、使用可能温度149 °Cより低いため、遮蔽性能が低下することはない。また、二次蓋金属ガスケット温度は105 °Cであり、金属ガスケットの使用可能温度130 °Cより低く、三次蓋Oリング温度は103°Cであり、Oリングの使用可能温度150°Cより低いため、密封性能が低下することはない。</p> <p>この時の各部の応力を、実条件を上回る差圧を胴内及び二三次蓋空間に設定した条件で、ABAQUS コードを用いて解析評価している。容器本体は、輸送中の温度変化により部品同士の干渉が生じず、また予想される容器本体各部の温度差による熱応力が負荷されても各部が設計応力強さ等基準値を下回る。また、三次蓋の口開き変形量はOリングの初期締め付け代より小さく、密封性を損なうことはない。</p> <p>d. 本輸送物の胴内は、真空置換によりヘリウムを充填するため残留水はなく、水の放射線分解によってガスが発生しないため、内圧を高めることはなく、密封性を損なうことはない。</p> <p>e. 固縛装置は、公式を用いた計算により輸送中発生する上下及び前後方向加速度2g並びに左右方向加速度1gの負荷時にも設計降伏点を下回るように設計されているため、構造健全性は維持される。また、本輸送物は固有振動数(215 Hz)と輸送による振動数(10 Hz)の差が大きく、通常取扱い及び自由落下等に対しても十分な強度を有していることから、輸送物の構造健全性に与える影響はない。</p>	<p>(ロ)-B. 4. 6</p> <p>(ロ)-A. 5. 1</p> <p>(ロ)-B. 4. 4</p> <p>(ロ)-A. 4. 5、 (ロ)-A. 4. 7</p>



規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第4条第3号		輸送物表面には、吊上装置であるトラニオン以外には不要な突起物がなく、また、輸送物表面は滑らかに仕上げており、除染は容易である。	(イ)-C
第4号		<p>本輸送物には、多種の材料が使われているが、以下に示すように安定的な状態にあり、各々の材料相互の間及び収納物との間では、危険な物理的作用又は化学反応を起こすおそれはない。</p> <p>a. レジンは、外筒等に密閉されて収納されており、これらの金属と化学的及び電氣的に反応することはない。</p> <p>b. 一次蓋、二次蓋、三次蓋と各蓋ボルト、金属ガスケット及びOリング等の間では、化学的及び電氣的に作用して問題になるような腐食を起こすことはない。</p> <p>c. 収納物は胴内で不活性ガスであるヘリウム雰囲気にあるため収納物に対する化学的影響はない。</p>	(ロ)-A. 4. 1
第5号		リリーフバルブカバープレート及びそのボルトは上部緩衝体で覆われており、かつ <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> されているので、不用意に開けられることはない。そのため、リリーフバルブカバープレート内部のリリーフバルブは誤って操作されることはない。	(ロ)-A. 4. 3
第6号		該当しない。	
第7号		該当しない。	
	(表面密度限度)		(ニ)-A

(ロ)-F-4

枠囲みの範囲は核物質防護に係る事項  
ですので公開することはできません。

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目						
第 8 号	第 9 条	<p data-bbox="644 322 1256 450">本輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前に表面密度限度以下であることを確認したうえで、発送される。</p> <table border="1" data-bbox="694 461 1219 678"> <thead> <tr> <th data-bbox="694 461 954 533">放射性物質の区分</th> <th data-bbox="954 461 1219 533">密 度 (Bq/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="694 533 954 604">アルファ線を放出する放射性物質</td> <td data-bbox="954 533 1219 604">0.4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="694 604 954 678">アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td data-bbox="954 604 1219 678">4</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="644 689 794 723">該当しない。</p>	放射性物質の区分	密 度 (Bq/cm <sup>2</sup> )	アルファ線を放出する放射性物質	0.4	アルファ線を放出しない放射性物質	4	
放射性物質の区分	密 度 (Bq/cm <sup>2</sup> )								
アルファ線を放出する放射性物質	0.4								
アルファ線を放出しない放射性物質	4								

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第4条第10号  (A型輸送物に係 る技術上の基準)		本輸送物には、所定のもの以外が収納されてい ないことを確認したうえで蓋をするので、本輸送物 の安全性を損なうおそれのあるものを収納する ことはない。	(ニ)-A
第5条第1号		前述のとおり前条(第4条)第1号～第5号、第8 号及び第10号に定める基準に適合している。	
第2号		本輸送容器の仕様は外径 3550mm、長さ 6783mm の 円筒型容器であり、外接する直方体の各辺は 10 cm 以上である。	(イ)-C
第3号		本輸送物の三次蓋は、三次蓋ボルトで強固に締め 付けられており、輸送の際には上部緩衝体で覆わ れるため、不用意に三次蓋ボルトが外されること はない。また、上部緩衝体は取付後 <input type="checkbox"/> されるの で、開放された場合はそれが明らかとなる。	(ロ)-C.2、 (ニ)-A
第4号		本輸送物は、周囲温度-20℃以上で使用する。 本輸送容器の構成部品は、-20℃の温度において もき裂、破損等は生じず、使用可能温度が 70℃ を超える部材を使用している。 したがって、-20℃～70℃の周囲温度において、 構成部品にき裂、破損等を生じるおそれはない。	(ロ)-A.4.2、 (ロ)-B.4.6
第5号		本輸送物の密封装置は、周囲圧力が 60 kPa の場合 を考慮した差圧を胴内及び二三次蓋空間に設定し た解析により、密封装置の健全性を損なうことが ないことを規則第4条第2号c.の熱解析及び構 造解析において ABAQUS コードを用いて確認して いるため、放射性物質の漏えいはない。	(ロ)-A.4.6
第6号		該当しない。	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第7号		<p>本輸送物は、以下に示す保守的な条件を設定し、DOT3.5コードにて解析した結果、通常輸送時の輸送物表面の最大線量当量率は1131.9 <math>\mu</math>Sv/hであり、基準値の2 mSv/hを超えることはない。</p> <p>a. 線源として保守的に中央部に全てバーナブルポイズン集合体を装荷した最高燃焼度の燃料12体を、外周部に全て平均燃焼度の燃料12体を収納するとしている。</p> <p>b. 燃料の燃焼条件を包絡する軸方向燃焼度分布を考慮している。</p> <p>c. 解析モデルとして遮蔽材の最小寸法及び中性子遮蔽材の貯蔵期間中の重量減損を保守的に考慮している。</p>	(a)-D. 4、 (a)-D. 5
第8号		<p>本輸送物は、上記と同じ条件にて解析した結果、通常輸送時の輸送物の表面から1mの距離における最大線量当量率は86.1 <math>\mu</math>Sv/hであり、基準値の100 <math>\mu</math>Sv/hを超えることはない。</p>	(a)-D. 4、 (a)-D. 5
第9号		該当しない。	
第10号		該当しない。	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(BM 型輸送物に 係る技術上の 基準) 第 6 条第 1 号		前述のとおり前条(第 5 条)第 1 号～第 8 号までに定める基準に適合している。ただし、第 6 号に定められる要件は該当しない。	
第 2 号	(BM 型輸送物に係 る一般の試験条 件)		
	第 14 条		
	別記第 4 第 1 号	一般の試験条件の下での本輸送物の各部温度評価として、規則第 4 条第 2 号 c. の熱解析において、周囲温度 38 °C 及び太陽放射熱を保守的に連続で負荷した条件にて定常状態に達した温度を評価し、各部が使用可能温度を超えないことを確認している。続いて、上記で評価した各部の温度分布を引き継いだ構造解析において、各部が設計応力強さ等基準値を下回り、輸送物の構造健全性及び密封性を損なうことはない。	(ロ)-B. 4. 1. 1、 (ロ)-A. 5. 1
	第 2 号	以下のとおり別記第 3 第 1 号の条件の下に置いて評価している。	
	別記第 3 第 1 号	一般の試験条件 4. 水噴霧試験 本輸送物の表面はステンレス鋼もしくは塗装を施した炭素鋼面であり、水切りは極めてよく、本試験の実施によっても輸送物の構造健全性及び密封性を損なうことはない。	(ロ)-A. 5. 2

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第2号	第14条 別記第3第1号	<p>ロ. (1) 自由落下</p> <p>本輸送物の重量は 134.4 トン以下であるため、落下高さは 0.3 メートルであり、落下時に輸送物が最大損傷を受けるよう、垂直、水平及びコーナーの各姿勢について CRUSH コードを用いて、緩衝体を除いた輸送物と落下試験台を剛体とし、また、落下試験との比較検証により得られた負荷係数 1.2 を考慮して衝撃荷重を解析し、保守的な設計加速度を設定している。</p> <p>緩衝体の最大変形量は底部コーナー落下時における 324 mm である。また、この時の容器本体各部の応力を ABAQUS コードを用いて解析評価し、バスケットについては公式を用いた計算により評価している。容器本体及びバスケットは、自由落下による衝撃力が負荷されても各部が設計応力強さ等基準値を下回り、容器本体及びバスケットの構造健全性及び容器本体の密封性を損なうことはない。</p> <p>(2) 該当しない。</p> <p>(3) 積み重ね試験</p> <p>自重の 5 倍に相当する荷重は <math>6.591 \times 10^6</math> N であり、鉛直投影面積に 13 kPa を乗じて得た値に相当する荷重より大きいので、これを解析している。</p> <p>解析は、公式を用いた計算により、輸送物の垂直方向の圧縮強度及び水平方向の曲げ強度について行っており、本試験の実施によっても設計降伏点を下回り、容器本体の構造健全性を損なうことはない。</p> <p>また、中性子遮蔽材の脱落等遮蔽解析に影響する破損も生じない。</p>	<p>(ロ)-A. 5. 3</p> <p>(ロ)-A. 5. 4</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>第6条第2号</p> <p style="text-align: center;">イ</p>	<p>第14条 別記第3第1号</p> <p style="text-align: center;">第2号</p>	<p>(4) 貫通試験</p> <p>貫通試験は重量 6 kg、直径 3.2 cm の棒を輸送物の最も弱い部分に 1 m の高さから落下させたとしている。試験棒は軟鋼とし、衝撃荷重は輸送物が受け持つものとして公式を用いた計算を行った結果、本試験の実施によっても棒の落下エネルギーは本輸送物外表面で最も板厚の薄い緩衝体カバープレートのせん断エネルギーよりも小さいため、容器本体の構造健全性を損なうことはない。</p> <p>また、中性子遮蔽材の脱落等遮蔽解析に影響する破損も生じない。</p> <p>該当しない。</p> <p>本輸送物は、第5条第7号の通常輸送時の評価条件に加え、構造解析の結果より得られた緩衝体の各落下方向の変形を重畳させた保守的なモデルを用い、最大放射エネルギーの収納物を収納した条件を設定して DOT3.5 コードにて解析した結果、一般の試験条件下の輸送物表面の最大線量当量率は 1131.9 <math>\mu\text{Sv/h}</math> であり、基準値の 2 mSv/h を超えることはない。</p> <p>なお、この緩衝体の変形を考慮しても、通常輸送時に比べ本輸送物の最大線量当量率の著しい増加はない。</p>	<p>(p)-A. 5. 5</p> <p>(p)-D. 4、 (p)-D. 5</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第2号	(BM型輸送物に係る一般の試験条件の下における漏えい量)		
	□ 第15条	<p>本輸送物は、一般の試験条件下に置いた場合でも規則第6条第2号の熱解析で三次蓋Oリングの健全性を、また、同号の構造解析で蓋密封部の健全性が確認されており、密封性を損なうことはない。本輸送物は、一般の試験条件下では負圧を維持するため、放射性物質の環境への漏えいはないが、胴内圧が大気圧上限値まで上昇し、その後大気圧下限値の環境下に置かれたとして公式を用いた放射性物質 (<math>^3\text{H}</math> 及び <math>^{85}\text{Kr}</math>) の漏えい計算をしても、各核種の <math>A_2</math> 値より求められる混合物に対する基準値 <math>A_2 \times 10^{-6} \text{ Bq/h}</math> との比率の合計は、<math>9.68 \times 10^{-5}</math> で、1より小さく、基準値 <math>A_2 \times 10^{-6} \text{ Bq/h}</math> を超えることはない。</p>	(□)-C. 3. 1
	ハ	<p>本輸送物は、専用積載として運搬するが、収納物の最大崩壊熱量に余裕をみた 18.1 kW を収納したとして、一般の試験条件下に置いた場合の輸送物の温度を ABAQUS コードを用いて解析した結果、外筒外面及びトランニオン温度が <math>85^\circ\text{C}</math> を超えるが、必要に応じて近接防止金網 (<math>66^\circ\text{C}</math> 以下) を取り付けて輸送するため、輸送中に人が容易に接近し得る部分の最高温度は日陰において基準値の温度 <math>85^\circ\text{C}</math> を超えることはない。</p>	(□)-B. 4. 1、 (□)-B. 4. 6
ニ	第9条	<p>本輸送物は、一般の試験条件下に置いた場合でも密封性が低下することはないことを規則第6条第2号の構造解析において ABAQUS コードを用いて確認している。また、輸送物表面の放射性物質の密度を発送前検査においても測定により確認するため、表面密度限度を超えることはない。</p>	(□)-A. 5. 1、 (□)-C. 3. 1



規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第3号	(BM型輸送物に係る特別の試験条件) 第16条 別記第5第1号	<p>強度試験</p> <p>4. 落下試験 I</p> <p>本輸送物は、一般の試験条件と同様の方法で最大損傷を受けよう、垂直、水平及びコーナー方向に剛体平面である落下試験台上に 9 m 高さから落下するとして解析又は評価している。また、この時の容器本体各部の応力を ABAQUS コードを用いて解析評価し、バスケットについては公式を用いた計算により評価している。容器本体及びバスケットは、落下試験 I による衝撃力（内部収納物には、加速度割増係数として垂直落下時 2.6、水平落下時 1.2 を考慮）が負荷されても容器本体各部が設計引張強さ等基準値を下回り、バスケットが塑性変形することはないことから、容器本体は破損せず密封性を損なうことはなく、バスケットは構造健全性を損なうことはない。</p> <p>さらに、本輸送物が傾斜落下するとして、蓋密封部が二次衝撃側となる場合について評価している。落下試験結果を基にした密封性能の評価を行った結果、本輸送物の蓋部の変形量は落下試験で密封健全性維持が確認された落下試験モデルに比べて小さいことから、傾斜落下時に容器本体の密封性を損なうことはない。</p>	(p)-A. 6. 1、 (p)-A. 10. 3

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第3号	第16条 別記第5第1号	<p>ロ. 落下試験Ⅱ</p> <p>9m 落下試験に引き続いて、以下のように1m 貫通試験が起こるとして、公式を用いた計算により、蓋部、底部及び胴にせん断が生じないことを確認しているため、容器本体に破損が生じることはなく、密封性を損なうことはない。</p> <p>i. 本輸送物は、最大損傷を受けるよう、垂直方向及び水平方向に輸送物の重心が軟鋼棒直上となる1mの高さから落下するとして解析している。</p> <p>ii. 軟鋼棒の長さは、輸送物に最大の破損を与えるように十分長いものとして解析している。</p> <p>また、三次蓋のリリーフバルブカバープレート及び三次蓋シール部への垂直方向又は水平方向落下に対しても、密封性能維持が確認された落下試験モデルと同じ緩衝体内部構造を適用しており、密封性を損なうことはない。</p>	(ロ)-A. 6. 2

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第3号	第16条 別記第5第2号	<p>熱的試験(火災試験)</p> <p>i. 本輸送物は、落下試験Ⅰ、Ⅱの落下順序を考慮して火災による入熱量を大きく評価するように、落下試験Ⅰの緩衝体の各落下方向の変形を重畳させた保守的なモデルで解析している。</p> <p>ii. これらの試験は、最大崩壊熱量に余裕をみた18.1kWの設計崩壊熱量があるという条件でABAQUSコードを用いて輸送物各部の温度を解析している。</p> <p>iii. 解析の結果、一部の側部中性子遮蔽材は使用可能温度を超えるが著しく焼損することはない。また、密封境界の三次蓋Oリングやその他の構成部材の温度は、使用可能温度を下回り、熱的健全性及び密封性を損なうことはない。</p> <p>iv. また、この時の各部の応力をABAQUSコードを用いて解析評価している。容器本体は火災による胴内圧及び熱応力が負荷されても各部が設計引張強さ等基準値を下回り、容器本体は破損しない。</p>	(□)-A. 6. 3、 (□)-B. 5

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>第6条第3号</p> <p style="text-align: center;">イ</p>	<p>第16条 別記第5第3号</p>	<p>浸漬試験(15 m)</p> <p>本輸送物は、より厳しい強化浸漬試験に対して評価し、胴に破損はないことを確認している。また、三次蓋については、公式を用いた計算により0.251325 MPaの差圧を負荷しても発生する応力は設計降伏点を下回ることを確認するとともに、外圧が蓋を押し付ける方向に作用することからOリングの密封性能は維持されることから、本輸送物の密封性を損なうことはない。</p> <p>また、中性子遮蔽材の脱落等遮蔽解析に影響する破損も生じない。</p> <p>本輸送物は、特別の試験条件下に置いた場合、構造解析の結果から緩衝体に変形、中性子遮蔽材に貫通変形及び、燃料集合体に変形が生じる可能性がある。そのため、緩衝体の全部及び中性子遮蔽材の一部をモデルから除いてDOT3.5コードにて遮蔽解析を行っている。また、熱解析で一部の中性子遮蔽材が使用可能温度を超えることから、その密度が保守的に半減するものとしている。なお、燃料集合体の変形は遮蔽解析結果に有意な影響を与えないため考慮していない。その場合でも輸送物の表面から1 m離れた位置での最大線量当量率は876.6 <math>\mu</math>Sv/hであり、基準値の10 mSv/hを超えることはない。</p>	<p>(ロ)-A.6.4</p> <p>(ロ)-D.4、 (ロ)-D.5</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第6条第3号 □	(BM型輸送物に係る特別の試験条件の下における漏えい量) 第17条	本輸送物は、特別の試験条件下に置いた場合、緩衝体及び中性子遮蔽材に変形が生じるが、密封装置は健全であり、火災試験を経た後も密封性は保持できる。ここで安全側に全燃料棒の密封性が失われたと仮定し、燃料が有する放射性ガスが三次蓋-胴内雰囲気中に放出されると仮定している。この条件で、公式を用いた放射性物質 ( $^3\text{H}$ 及び $^{85}\text{Kr}$ ) の漏えい計算をしても、各核種の $A_2$ 値より求められる混合物に対する基準値 $A_2$ Bq/week との比率の合計は、 $2.45 \times 10^{-5}$ で、1 より小さく、基準値 $A_2$ Bq/week を超えることはない。	(p)-C. 4
第4号		本輸送物は、周囲温度 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 以上で使用する。本輸送容器の材料は、 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ の低温下においても機械的性能が低下することはない。また、規則第4条第2号 c. の熱解析において、周囲温度 $38\text{ }^\circ\text{C}$ で収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た $18.1\text{ kW}$ のときの輸送物の各部温度を評価している。続いて、上記で評価した各部の温度分布を引き継いだ構造解析において、各部が設計応力強さ等基準値を下回り、輸送物の構造健全性を損なうことがないことを確認している。なお、落下解析においては、低温時の木材の強度上昇及び高温時の木材の強度低下の影響を考慮している。したがって、本輸送容器は $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $38\text{ }^\circ\text{C}$ までの運搬中に予想される温度変化に対してもき裂、破損等の生じるおそれはない。	(p)-A. 4. 2、 (p)-A. 5. 1、 (p)-A. 10. 4、 (p)-B. 4. 6

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p data-bbox="256 640 344 674">第 5 号</p> <p data-bbox="172 1010 384 1043">第 7 条～第 10 条</p>	<p data-bbox="403 322 630 629">(原子力規制委員会の定める量を超える放射能を有する核燃料物質等を収納した核燃料輸送物に係る試験条件)</p> <p data-bbox="403 645 504 723">第 18 条 別記第 6</p>	<p data-bbox="644 689 906 723">強化浸漬試験(200 m)</p> <p data-bbox="644 739 1254 954">本輸送物の収納物は、使用済燃料であり、最大放射能量は <math>A_2</math> 値の 10 万倍を超える。公式を用いた計算により 2.101325 MPa の水圧下に置かれたとしても、胴及び蓋は許容外圧や設計引張強さ等の基準を下回るので、密封装置は破損しない。</p> <p data-bbox="644 1010 794 1043">該当しない。</p>	<p data-bbox="1272 689 1369 723">(ア)-A. 7</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
(核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準) 第 11 条	第 23 条第 1 号	<p>本輸送物に収納する核分裂性物質量は、<math>^{235}\text{U}</math> が約 470 kg であり、本輸送物は核分裂性輸送物として輸送する。</p> <p>本輸送物は、規則第 11 条第 2 号で後述するように SCALE コードシステムを用い、収納する燃料の条件として新燃料条件の初期濃縮度の適用、及び、三次蓋、緩衝体、中性子遮蔽材を無視する等、核的に安全側のモデルを仮定し、無限個の任意配列の場合にも中性子実効増倍率は 0.38704 となり未臨界である。なお、上記の解析では、中性子実効増倍率が最も大きく評価できるよう、バスケット格子内のり寸法の公差及び燃料集合体の配置を設定している。</p>	(イ)-A、 (イ)-B、 (ロ)-E. 4. 4
第 1 号	(核分裂性輸送物に係る一般の試験条件) 第 24 条 別記第 11	<p>本輸送物は、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた場合、規則第 6 条第 2 号の構造解析により 0.3 m 落下では緩衝体の変形が生じるが、一辺が 10 cm の立方体を包含するようなくぼみが生じるような変形ではない。また、他の試験条件も含めそれ以外の部位に損傷はない。以上より、構造部に 10 cm 立方を包含するようなくぼみを生じることなく、かつ外接する直方体の各辺は 10 cm 以上である。</p>	(ロ)-A. 9. 1

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第 11 条第 2 号 イ、ロ、ハ、ニ、ホ	(核分裂性輸送物に係る孤立系の条件) 第 25 条 第 1、2、3 号 (核分裂性輸送物に係る特別の試験条件) 第 26 条 別記第 12 (核分裂性輸送物に係る配列系の条件) 第 27 条	<p>規則第 6 条第 2 号の熱解析及び、負荷係数 1.2 を考慮した衝撃加速度に対し保守的な設計加速度を設定することで、0.3m 落下後の 9m 落下の衝撃力をも考慮できている規則第 6 条第 3 号の構造解析の結果から本輸送容器は、落下試験等においても臨界解析モデルに影響を与えるような物理的・化学的変化はなく、胴内への浸水もないが、燃料集合体は落下試験において変形する可能性がある。臨界解析では、保守的に、三次蓋の存在を無視した上で、特別の試験条件の影響を考慮した二次蓋からの微量の浸水を考慮するとともに、燃料集合体の下部側支持格子 1 スパン間の拡大/縮小変形を考慮したモデルで解析を行った。また、燃料のウラン濃縮度は保守的に減損していない未照射の値とし、一部の燃料に添加されているガドリニウムや収納する可能性のあるバーナブルポイズンの効果は考慮しない条件で評価している。収納物の温度は常温(20℃)とし、収納物は容器中央に最も近接して配置した。また、中性子遮蔽材、三次蓋及び上・下部緩衝体が存在しない保守的なモデルで、周囲が完全反射の条件で評価している。</p> <p>以上のモデルは規則第 11 条第 2 号のイ、ロ、ハ、ニ及びホに要求される評価条件のいずれよりも厳しい条件とした保守的なモデルであり、SCALE コードシステムを用いた解析の結果、中性子実効増倍率は 0.38745 で未臨界である。したがって、いずれの評価条件に置かれた場合にも臨界に達しない。</p>	(ロ)-E. 2. 2、 (ロ)-E. 3. 1、 (ロ)-E. 4. 1、 (ロ)-E. 4. 2、 (ロ)-E. 4. 4、 (ロ)-E. 6



規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第 11 条第 3 号		<p>本輸送物は、周囲温度-20℃以上で使用する。本輸送容器の材料は、-20℃の低温下においても機械的性能が低下することはない。また、規則第 4 条第 2 号 c. にて前述するように、周囲温度 38℃で収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た 18.1 kW のときの輸送物の各部温度の評価結果及び、同じく前述する構造解析において、各部が設計応力強さ等基準値を下回り、輸送物の構造健全性及び密封性を損なうことはない。なお、落下解析においては、低温時の木材の強度上昇及び高温時の木材の強度低下の影響を考慮している。したがって、本輸送物は、-20℃～38℃までの運搬中に予想される温度変化に対してもき裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p>(ロ)-A. 9、 (ロ)-B. 4. 6、 (ロ)-A. 5. 1、 (ロ)-A. 10. 4</p>