

NFI-XB型核燃料輸送物設計承認申請について

2020年8月6日

日本核燃料開発株式会社

## 目 次

1. 申請の概要	1
2. 核燃料輸送物安全解析	イ-1
イ章 核燃料輸送物の説明	イ-1
ロ章 核燃料輸送物の安全解析	ロ-1
A 構造解析	ロ-A-1
B 熱解析	ロ-B-1
C 密封解析	ロ-C-1
D 遮蔽解析	ロ-D-1
E 臨界解析	ロ-E-1
F 規則及び告示に対する適合性の評価	ロ-F-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-1
添付 輸送容器に係る品質管理の方法等	添付-1

## 1. 申請の概要

### (1) 申請の背景

福島第一原子力発電所1～3号機の事故で損傷した燃料の一部（燃料デブリサンプル）について、化学的及び物理的な調査を行うために照射後試験施設へ輸送することを計画している。

そこで、輸送に使用する輸送容器を事前に準備する必要があるため既存のNFI-XB型輸送容器を選定して燃料デブリサンプルを収納物した「BM型核燃料輸送物」の設計承認申請を行うものである。

ここで、収納物は二酸化ウラン燃料由来の燃料デブリサンプル及びMOX燃料由来の燃料デブリサンプルの両方を対象とする。

### (2) 輸送物の種類

輸送する燃料デブリサンプルは、1回に輸送する量[ ]以下)の放射能から法令に従いB型輸送物となる。また、現時点では燃料デブリサンプルは日本国内のみの輸送を計画していることから「BM型」とする。

ここで、1回で輸送する燃料デブリサンプル量の核分裂性核種の重量は45g以下であるため、法令に従い「核分裂性輸送物とならない核燃料輸送物」となる。

よって、「BM型核燃料輸送物」とする。

また、1回で輸送する燃料デブリサンプル量の放射エネルギー及び崩壊熱量は、燃料デブリサンプルの全てが燃料の組成であると想定した場合が最大となり、それぞれ[ ]及び[ ]である。

詳細は補足説明1に示す。

評価方法の補足説明

1. 核分裂性輸送物とならない輸送物として評価

本輸送容器に収納する燃料デブリサンプル (UO<sub>2</sub> 燃料、MOX 燃料 [ ]) は、核分裂性核種を含むが、その最大重量は以下となる。外運搬規則及び外運搬告示に示すとおり、専用積載の場合、核分裂性核種 (<sup>233</sup>U、<sup>235</sup>U、<sup>239</sup>Pu、<sup>241</sup>Pu) の重量が 45g 以下の輸送物は「核分裂性輸送物とならない核燃料輸送物」となることから、本輸送物は、BM 型核燃料輸送物とする。

- ① 照射前の核分裂性物質 (UO<sub>2</sub> 燃料)
  - ② 照射前の核分裂性物質 (MOX 燃料)
  - ③ 照射後の核分裂性物質 (UO<sub>2</sub> 燃料)
  - ④ 照射後の核分裂性物質 (MOX 燃料)
- 

2. 放射エネルギー及び崩壊熱量

本輸送容器に収納する収納物 ([ ] 当たり) の放射エネルギー及び崩壊熱量は、安全側に最高燃焼度の燃料を仮定して ORIGEN2 コードにより計算している。計算結果を下表に示す。放射エネルギー及び崩壊熱量は、それぞれの種類毎に全量 ([ ]) 収納した場合の値である。下表に示すように、最も放射エネルギー及び崩壊熱量が大きいのは、全量 UO<sub>2</sub> 燃料の場合である。よって、安全解析では安全側に燃料デブリサンプルの全量 ([ ]) を燃料として解析する。

収納物種類	UO <sub>2</sub> 燃料	SUS304	ジルカロイ
放射エネルギー (TBq)	[ ]		
崩壊熱量 (W)			

3. 収納物の確認方法

輸送容器に収納する燃料デブリサンプルの組成は不明であるが、全量が燃料の場合又は構造材を含む場合であっても設計重量以下 ([ ] 以下) であることを確認することで安全解析の仕様を満足できる。

## 2. 核燃料輸送物安全解析

以下の図表番号及び項目番号は、今回申請の「核燃料輸送物設計承認申請書 安全解析書」に従う。

### イ章 核燃料輸送物の説明

#### A. 目的及び条件

(1) 使用目的

原子力発電所の損傷した燃料の一部（燃料デブリサンプル）を輸送するために使用する。

(2) 輸送容器の型名

NFI-XB型

(3) 輸送物の種類

BM型核燃料輸送物

(4) 輸送制限個数

任意

(5) 輸送指数

10以下

(6) 臨界安全指数

0

(7) 輸送物の総重量

(8) 輸送容器の外寸法

形状 円筒形（イ）－第C.1図参照

外径

長さ

(9) 輸送容器の重量

(10) 輸送容器の材質

容器本体

蓋

緩衝体

(11) 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様

核燃料物質等の仕様を(イ)－表A.1に示す。

(イ)－表 A. 1 輸送容器に収納する核燃料物質等の設計仕様

収 納 物	収納物 I	収納物 II 注1)	
	燃料デブリサンプル 収納缶	燃料デブリサンプル収納缶	
イ. 種 類	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン及び 二酸化プルトニウム (照射済み)
ロ. 性 状			
ハ. 重 量			
ニ. 放 射 能 の 量			
ホ. ウ ラ ン 濃 縮 度			
ヘ. 核分裂性 プルトニウム富化度			
ト. 燃 焼 度			
チ. 発 熱 量			
リ. 冷 却 日 数			
ヌ. 収 納 数 量			
ル. 外 寸 法			

注1) 収納物 II は、照射済み二酸化ウランと照射済み二酸化ウラン及び照射済み二酸化プルトニウム混合物を混在または単独で収納する。

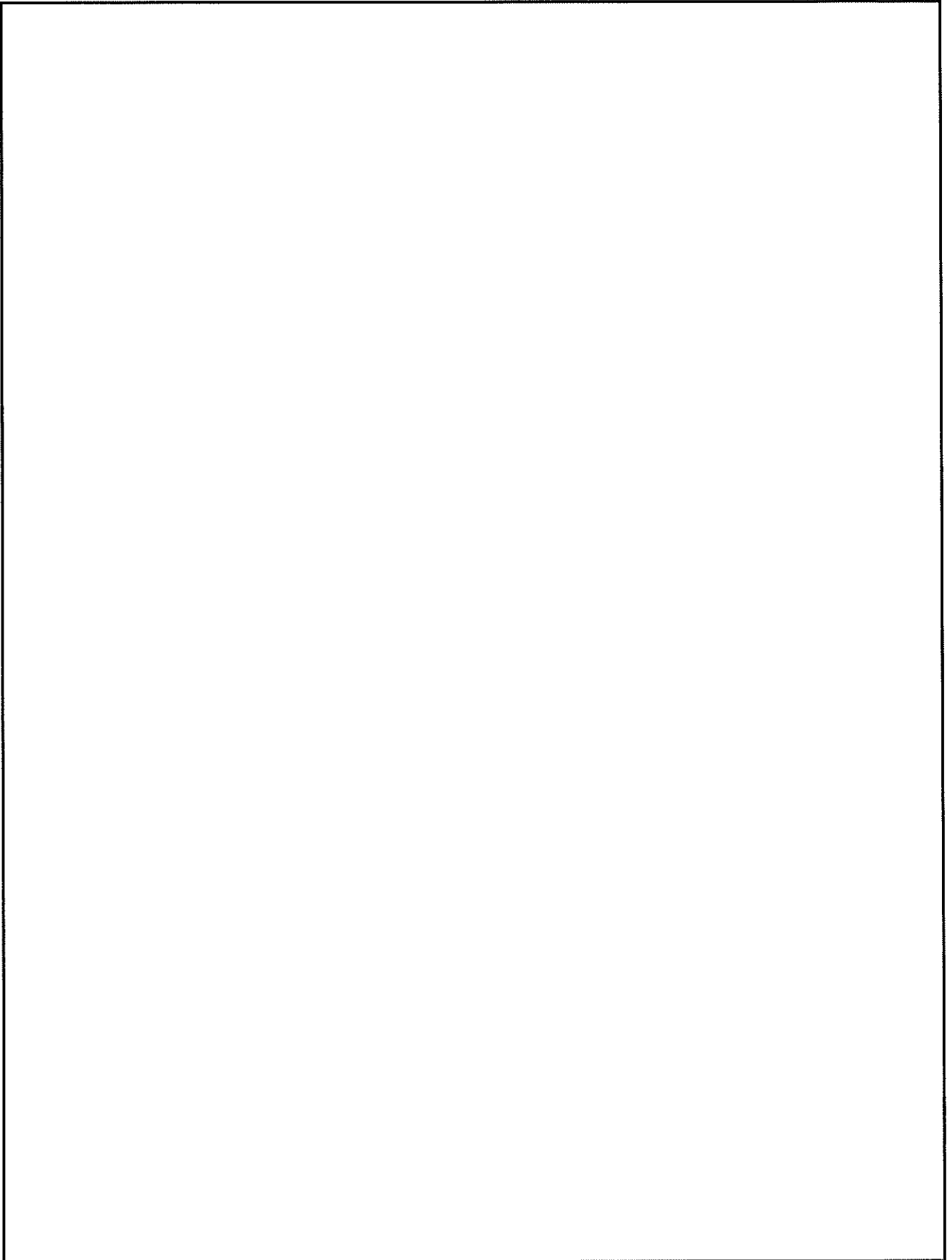
## C. 輸 送 容 器

### 1. 設計の概要

輸送物の全体図を (イ)－第C.1図 に示す。

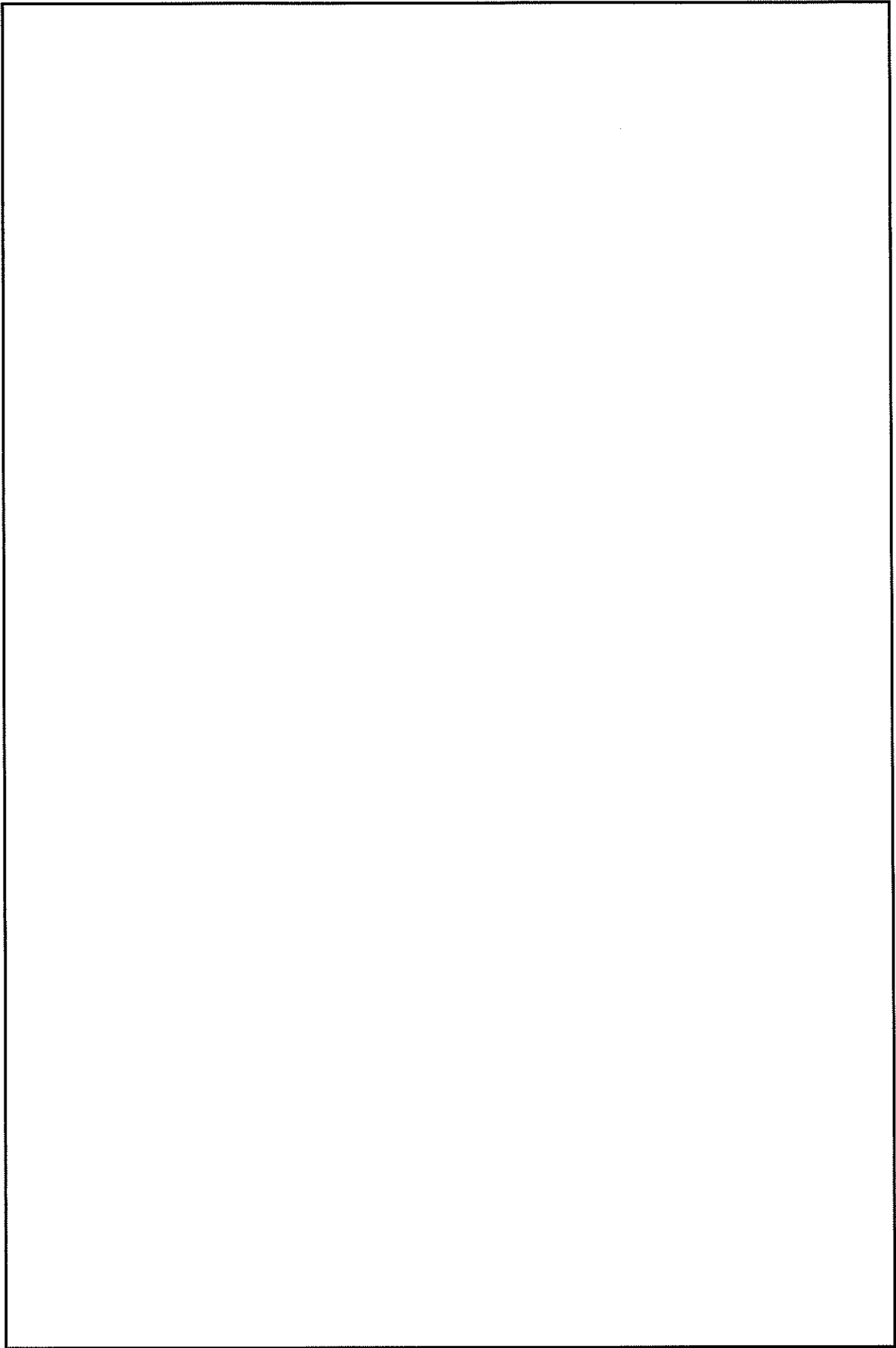
輸送容器は、円筒形状であり、容器本体、蓋、上部緩衝体及び下部緩衝体で構成される。燃料デブリサンプルは、収納缶に収納されて容器内に収納される。

輸送容器の密封境界は、(イ)－第C.4図 に示すように容器本体、蓋、蓋部内側 Oリング、ベントバルブ及びドレンバルブで構成されている。



(イ) - 第C.1図 輸送物全体図 (鳥瞰図)





(イ) - 第C.4図 密封境界

#### D. 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は、燃料デブリサンプル及びその収納缶、並びに収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサーである。

##### (1) 燃料デブリサンプル及びその収納缶

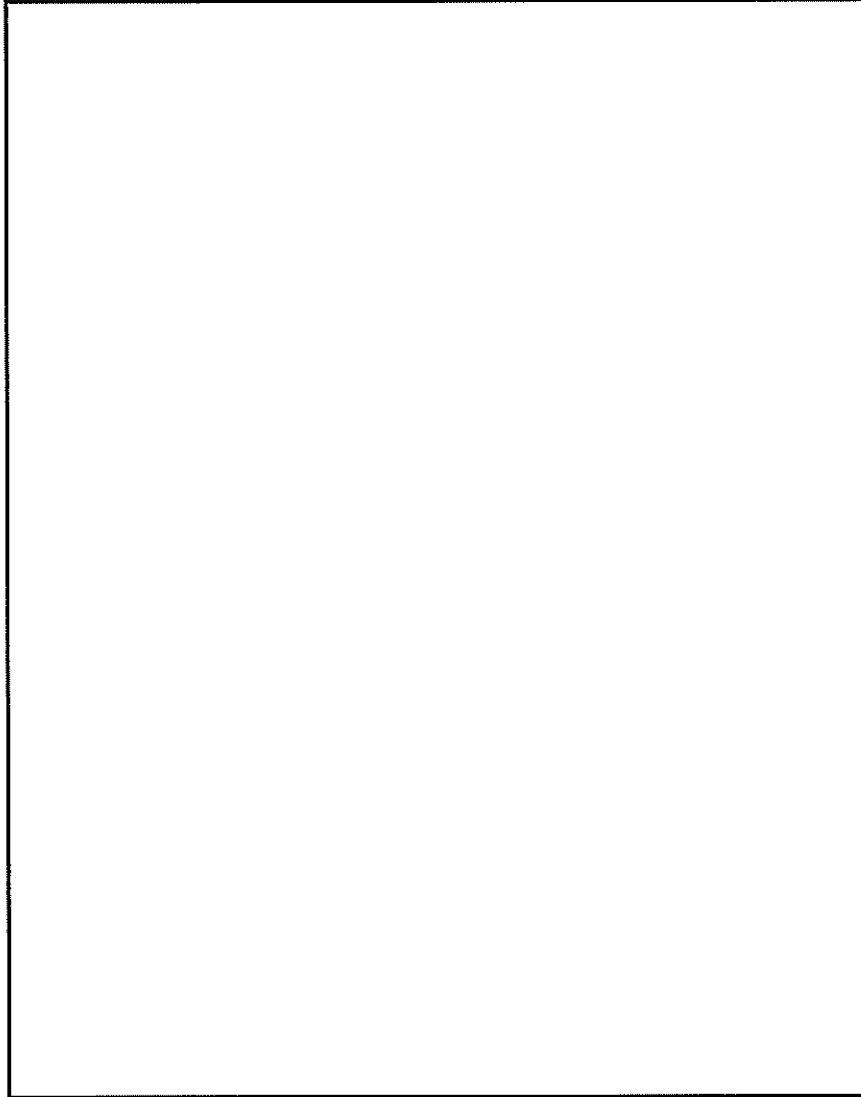
収納物の放射性核種の種類と放射能の量は(イ)－表D. 2に示すとおりである。

燃料デブリサンプル収納缶の形状を(イ)－第D. 1 図に示す。収納缶の形状は円筒状である。

(イ)-表D.2 放射性核種の種類と量\*

放射性核種の種類と量	二酸化ウラン 燃料デブリサンプル	二酸化ウラン及び 二酸化プルトニウム 燃料デブリサンプル
① 燃料デブリサンプル収納量(kg) ② 最大放射能量(TBq) ③ 主要核種の放射能量(TBq) (②を主要核種ごとに分類) 〔核 種〕 <sup>3</sup> H <sup>85</sup> Kr <sup>90</sup> Sr <sup>90</sup> Y <sup>93</sup> Zr <sup>99</sup> Tc <sup>102</sup> Rh <sup>106</sup> Ru <sup>106</sup> Rh <sup>110</sup> Ag <sup>110m</sup> Ag <sup>113m</sup> Cd <sup>119m</sup> Sn <sup>125</sup> Sb <sup>125m</sup> Te <sup>126</sup> Sn <sup>126m</sup> Sb <sup>134</sup> Cs <sup>137</sup> Cs <sup>137m</sup> Ba <sup>144</sup> Ce <sup>144</sup> Pr <sup>144m</sup> Pr <sup>146</sup> Pm <sup>147</sup> Pm <sup>151</sup> Sm <sup>152</sup> Eu <sup>154</sup> Eu <sup>155</sup> Eu (小計) <hr/> <sup>237</sup> U <sup>239</sup> Np <sup>238</sup> Pu <sup>239</sup> Pu <sup>240</sup> Pu <sup>241</sup> Pu <sup>242</sup> Pu <sup>241</sup> Am <sup>242m</sup> Am <sup>242</sup> Am <sup>243</sup> Am <sup>242</sup> Cm <sup>243</sup> Cm <sup>244</sup> Cm <sup>245</sup> Cm <sup>246</sup> Cm (小計) <hr/> 計		

\*ORIGEN2コードにより計算された値



(単位：mm)

(イ) - 第D. 1 図 燃料デブリサンプル収納缶

## ロ章 核燃料輸送物の安全解析

本解析の概要は以下のとおりである。

また、評価はすべて解析に基づいており、モデル試験は行っていない。

### (1) 構造解析

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

### (2) 熱解析

熱解析では、通常の輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物各部の温度及び圧力を評価し、構造及び密封解析の評価条件を与えている。

### (3) 密封解析

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

### (4) 遮蔽解析

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

### (5) 臨界解析

本輸送物は核分裂性輸送物ではないため、未臨界性評価は該当しない。

### (6) 規則及び告示に対する適合性の評価

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

以下、ロ章A～Fに各解析、評価を示す。

## A. 構造解析

### A.1 構造設計

#### A.1.1 概要

輸送容器本体は、(イ)－第C.1図に示すように蓋及び容器本体より構成されている。

#### A.1.2 設計基準

##### 1. 設計の基本

設計の基本としては、「規則」及び「告示」に基づいてBM型輸送物に係る条件（通常の輸送条件、一般の試験条件、特別の試験条件）を考慮した。

##### 2. 設計基準

設計の基本条件にしたがい、解析項目に対して材質、温度、負荷係数等の設計条件を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。

##### 3. 余裕率

定量的な基準のあるものについては次に示す余裕率MSを用いて評価する。

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

したがって、余裕率は0以上あれば良いとする。

通常の輸送における輸送物の要件に対する評価結果の要約を(ロ)－表A.5に示す。

(ロ)一表 A. 5 輸送物の要件に対する評価結果の要約

条 件	項 目	解 析 基 準	解 析 基 準 値	解 析 結 果 等	余 裕 率 等 (MS)	
通 常 の 輸 送 条 件	・ 化学的及び電氣的反応					
	化 学 的 反 応	反応のないこと	—	反 応 な し	基準に合致	
	電 氣 的 反 応	反応のないこと	—	反 応 な し	基準に合致	
	・ 低 温 強 度					
	構成部品の低温特性	-20℃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℃	-20℃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					
	蓋	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致	
	ドレン及びベントバルブ	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致	
	・ 吊 上 装 置					
	1) 吊上げ用金具穴部	$S_y$		73.4MPa		
	2) 吊上げ用金具底部	$S_y$		125MPa		
	・ 固 縛 装 置					
	1) 固縛用金具穴部	$S_y$		101MPa		
	2) 固縛用金具底部	$S_y$		75.3MPa		
	3) 下部緩衝体周辺緩衝材	$\sigma_y$		0.395MPa		
4) 下部緩衝体中央緩衝材	$\sigma_y$	1.46MPa				
・ 圧 力	密 封 性	良		良		基準に合致
・ 振 動	振 動 性 加 速 度	固有振動数(780Hz)と輸送による振動 数(10Hz)の差が大であり、かつ実際の 加速度も2g以下なので基準に合致				

A.5 一般の試験条件

A.5.3 自由落下

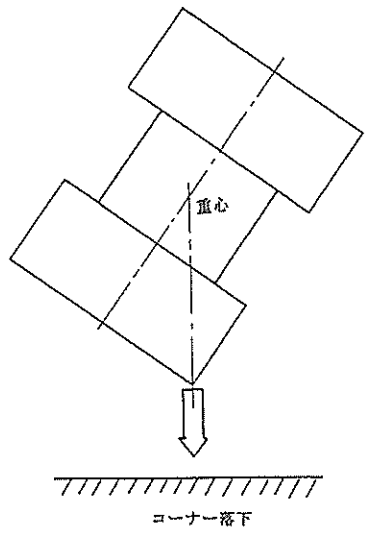
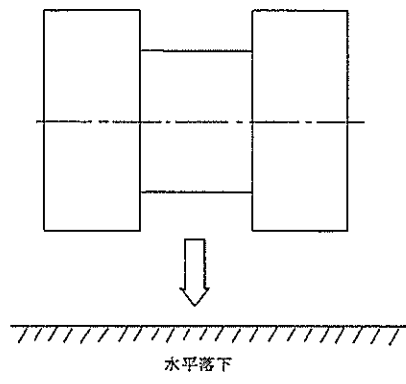
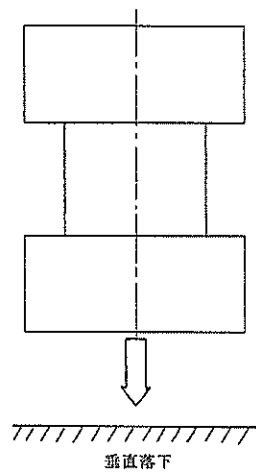
本輸送物の最大総重量は  であるため、告示により、落下高さは0.9mとなる。

(a) 解析モデル

1. 解析する落下姿勢

輸送物の落下姿勢として次の3種類を考える。(ロ)－第A.8図参照)

- ① 垂直落下
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下



(ロ)－第A.8図 0.9m落下試験での落下姿勢



A.5.7 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

評価結果の要約を(ロ)表A.8に示す。表に示すように、各試験条件下において輸送容器本体は基準を満足し構造上の健全性が損われることはない。

(ロ)表A.8 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(1/2)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
一般の試験条件	熱的試験				
	1)熱膨張(熱応力)	材料に生じる温度差は1℃以下と微小であり、また [ ] のみで輸送容器は構成されるので熱応力は無視できるほど小さい			
	2)内圧による応力				
	蓋	1.5 S <sub>m</sub>	[ ]	0.676	[ ]
	蓋ボルト	2 S <sub>m</sub>		50.5	
容器本体胴部	S <sub>m</sub>		0.145		
容器本体底部	1.5 S <sub>m</sub>		0.0286		
	水噴霧	吸水性 水切り	無 良	無 良	基準に合致 基準に合致

(ロ)表A.8 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(2/2)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
一般の試験条件	自由落下				
	1)垂直落下				
	蓋	1.5 S <sub>m</sub>	[ ]	63.5	[ ]
	容器本体胴部	S <sub>m</sub>		12.5	
	容器本体底部	1.5 S <sub>m</sub>		5.71	
	収納缶用スペーサー	S <sub>y</sub>		15.9	
	収納缶	S <sub>y</sub>		9.97	
	2)水平落下				
	容器本体胴部	S <sub>m</sub>		13.6	
	収納缶用スペーサー	S <sub>y</sub>		36.9	
	収納缶	S <sub>y</sub>		0.637	
	3)コーナー落下	衝撃加速度が垂直及び水平落下に比べて小さいので、垂直及び水平落下の結果より厳しくなく、問題ない。			
	積み重ね試験				
容器本体胴部	S <sub>y</sub>	[ ]	0.756	[ ]	
下部緩衝体	S <sub>y</sub>		2.13		
貫通					
緩衝体外板	せん断初期	[ ]	5.89×10 <sup>4</sup> N・mm	[ ]	

2. 一般の試験条件における蓋Oリング密封性能の評価（ひずみレベルの評価）

蓋のOリング取付位置での口開き変形量の計算結果とOリングの初期締付代との比較を(ロ)－表A.9に示す。表に示すように、Oリング位置での口開き変形量は基準値より十分小さく、密封性能が損われることはない。

(ロ)－表A.9 一般の試験条件に対する蓋部密封境界のひずみレベル評価

条 件	Oリング位置での蓋と容器本体フランジ部との 相対口開き変形量	基 準 値
熱 的 試 験	$1.63 \times 10^{-3} \text{mm}$	Oリングの 初期締付代 2.0mm
自 由 落 下	条件がより厳しい特別の試験条件にて評価	
6 kg 棒貫通		

A. 6 特別の試験条件

A. 6.1 強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)

輸送物が最大破損を受けるよう平らな降伏しない落下試験台上に 9 m の高さから輸送物を落下させるものである。

A. 6.5 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

特別の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を(ロ)表 A.12 に示す。表に示すように、輸送物各部は基準を満足し構造上の健全性が損われることはない。

(ロ)表 A.12 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約(1/2)

条件	項 目	解 析 基 準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余 裕 率 等 (MS)
特 別 の 試 験 条 件	落 下 試 験 I				
	1. 垂 直 落 下				
	蓋	MIN[3.6S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> ]		63.5	
	容器本体胴部	MIN[2.4S <sub>m</sub> , 2/3S <sub>u</sub> ]		16.9	
	容器本体底部	MIN[3.6S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> ]		5.71	
	収納缶用スペーサー	S <sub>y</sub>		21.5	
	収納缶	S <sub>y</sub>		13.6	
	2. 水 平 落 下				
	容器本体胴部	MIN[2.4S <sub>m</sub> , 2/3S <sub>u</sub> ]		35.1	
	収納缶用スペーサー	S <sub>y</sub>		95.6	
収納缶	S <sub>y</sub>		1.65		
3. コーナー及び傾斜落下		衝撃加速度が垂直及び水平落下時の衝撃加速度に比べて小さいので、1.及び2.の結果より厳しくなく、問題ない。			
	落 下 試 験 II				
	1. 蓋及び容器本体底部	貫 通 荷 重		7.08×10 <sup>6</sup> N	
	2. 容器本体胴部	貫 通 荷 重		7.08×10 <sup>6</sup> N	
	3. バルブ部	貫 通 荷 重		7.08×10 <sup>6</sup> N	

(ロ) 表 A.12 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約 (2/2)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
特別の試験条件	熱的試験				
	1. 歪レベル評価 (熱歪)				
	2. 内圧による応力				
	蓋	MIN[3.6S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> ]		0.676	
	蓋ボルト	S <sub>y</sub>		50.5	
	容器本体胴部	MIN[2.4S <sub>m</sub> , 2/3S <sub>u</sub> ]		0.145	
	容器本体底部	MIN[3.6S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> ]		0.0286	
	浸漬				
	蓋	MIN[3.6S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> ]		1.02	
	容器本体胴部	MIN[2.4S <sub>m</sub> , 2/3S <sub>u</sub> ]		0.367	
	MIN[1.5P <sub>a1</sub> , 1.5P <sub>a2</sub> ]		0.15		
容器本体底部	MIN[3.6S <sub>m</sub> , S <sub>u</sub> ]		0.0428		

2. 蓋Oリングの密封性能の評価（ひずみレベルの評価）

各試験条件において蓋部に作用する荷重に対してOリング位置での蓋の口開き変形量を各項において検討した。その変形量とOリングの初期締付代との比較を(ロ)ー表A.13に示すが、各条件においていずれも基準値の初期締付代より口開き変形量は小さく密封性能が損われることはない。

(ロ)ー表A.13 特別の試験条件に対する蓋部密封境界のひずみレベル評価

条 件		Oリング位置での蓋と容器本体フランジ部との相対口開き変形量	基 準 値
9 m 落 下 試 験	頭 部 垂 直	緩衝体の反力が蓋を容器本体に押付ける方向に作用するので口開き変形は生じない。	Oリングの 初期締付代 2.0mm
	底 部 垂 直	蓋が容器本体に押付けられ、口開き変形は生じない。	
	水 平	衝撃力の方向が口開き変形を生じる方向ではないので、口開き変形は生じない。	
	コ ー ナ ー	垂直、水平に比べて条件が厳しくない。	
1 m 貫通 試験	頭 部 垂 直	蓋が容器本体に押付けられ、口開き変形は生じない。	
火 災 試 験		熱的試験時の口開き変形量は0.518mmである。	
1.5 m浸漬試験		蓋が容器本体に押付けられ、口開き変形は生じない。	

## B. 熱 解 析

### B.1 概 要

#### 1. 熱 設 計

本輸送容器の熱設計の要点は、容器内部の収納物により発生する崩壊熱を外部に放散するシステムである。容器本体に伝えられた熱は、容器本体外表面より大気に放散される。また、容器内は空気の温度上昇により圧力上昇を生じる。

#### 2. 熱 解 析

一般の試験条件下及び特別の試験条件下の熱解析は、有限要素法による A B A Q U S コードを用いて行った。

#### 3. 最大崩壊熱量

収納物の崩壊熱は、O R I G E N 2 コードを用いて計算した。

B.4.6 結果の要約及びその評価

緩衝体及び容器本体胴部外表面の最高温度は太陽放射熱なしの通常時において38.8℃であり、基準温度の85℃をこえることはない。

熱解析結果の要約及びその評価を(ロ)表B.14に示す。

(ロ)表B.14 通常時及び一般の試験条件下における熱解析結果の要約及びその評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度			
近接表面 <sup>注)</sup>	85℃	38.8℃	基準に合致
Oリング	150℃	52.6℃	基準に合致
蓋	—	52.2℃	] 構造解析に使用
容器本体胴部	—	52.6℃	
容器本体底部	—	52.8℃	
最大内圧	—	0.1146MPa  (0.0133MPaG)	構造解析では 安全側に0.100 MPaGを使用
最大熱応力	—	熱応力は無視でき るほど小さい。	—
最低温度	-20℃における健全 性の維持	-20℃において材 料は健全性を維持	基準に合致

注) 太陽放射熱無しの通常時に対する評価である。

B.5 特別の試験条件

2. 解析条件

解析条件のまとめを(ロ)－表B.15に示す。

(ロ)－表B.15 特別の試験条件下の熱解析条件

事 象		火 災 事 故 前	火 災 事 故 時 ( 3 0 分 間 )	火 災 事 故 後
崩 壊 熱 量		□		
環 境 条 件	周 囲 温 度	静 止 空 気 38℃	火 災 800℃	静 止 空 気 38℃
	太 陽 放 射 熱	照 射	な し	照 射
	周 囲 吸 収 率	1.0	0.9※	1.0
容 器 表 面 の 放 射 率		□		
容 器 の 姿 勢		立 置 き	横 置 き	横 置 き

※火炎の放射率を示す。

B.5.2 輸送物の評価条件

落下試験 I (9 m 落下)における輸送物の変形は、緩衝体に生じる変形である。解析においては、垂直落下、水平落下及びコーナー落下の変形後の形状を包絡するような形状に緩衝体をモデル化する。



(ロ)－表 B.17 特別の試験条件下における輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度 ○リング 蓋 容器本体胴部 容器本体底部	150℃ — — —	127℃ 247℃ 368℃ 129℃	基準に合致 構造解析に使用
最大内圧	—	0.1415MPa (0.0402MPaG)	構造解析では 安全側に0.100 MPaGを使用
最大熱応力 容器本体胴部熱ひずみ	—	0.321%	ひずみ量が小さ く構造健全性を 維持

## C. 密 封 解 析

### C. 1 概 要

密封境界は、容器本体と蓋の内側、ベントバルブ、ドレンバルブ、及び各密封装置を結ぶリング等で構成されている。本解析では空気漏えい試験等によって求めた各密封境界からの漏えい率に基づいて放射性物質の密封境界外への漏えい率を評価し、その漏えい率が一般の試験条件及び特別の試験条件における放射性物質漏えい率の基準を満足することを示す。

### C. 3 一般の試験条件

#### C. 3. 1 放射性物質の漏えい

ここではガス中の放射性物質濃度と漏えい率から、放射性物質の漏えい率を求める。

##### 1. 密封装置内の放射能濃度

燃料が有する放射性物質が(ロ)ー表C. 3に示す割合及び量でキャビティ雰囲気中に放出されると仮定する。このとき、燃料デブリサンプル収納缶の蓋部のリングによる密封性は安全側に無視する。

(ロ)ー表C. 3 輸送容器キャビティ内の放射性物質濃度

主要核種	収納放射能量 (TBq)	放出率 (%)	A <sub>2</sub> 値 (TBq)	放出放射能量 (A <sub>2</sub> 値比)	放射性物質濃度 <sup>注1)</sup> (Bq/ref cm <sup>3</sup> )
<sup>3</sup> H	3.52×10 <sup>-2</sup>	30	40	2.64×10 <sup>-4</sup>	2.69×10 <sup>5</sup>
<sup>85</sup> Kr	3.45×10 <sup>-1</sup>		10	1.04×10 <sup>-2</sup>	2.63×10 <sup>6</sup>
合計	3.80×10 <sup>-1</sup>	—	—	1.06×10 <sup>-2</sup>	2.90×10 <sup>6</sup>

注1) キャビティ内ガス体積は  ref cm<sup>3</sup>である。

## 2. 最大許容漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容空気漏えい率 $L_{rt}$ は、輸送容器の被検査部3箇所合計漏えい率として(ロ)表C.4に示す値とする。

(ロ)表C.4 最大許容漏えい率

項 目	全 密 封 境 界 (蓋部及びバルブ2箇所)
$L_{rt}$ : 最大許容漏えい率 (ref cm <sup>3</sup> /s)	$3.0 \times 10^{-2}$

## C.4 特別の試験条件

### C.4.1 核分裂生成ガス

燃料が有する放射性物質が(ロ)表C.9に示す割合及び量でキャビティ雰囲気中に放出されると仮定する。このとき、燃料デブリサンプル収納缶の蓋部のOリングによる密封性は無視する。

(ロ)表C.9 輸送容器キャビティ内の放射性物質濃度

主要核種	収納放射エネルギー (TBq)	放出率 (%)	A <sub>2</sub> 値 <sup>注1)</sup> (TBq)	放出放射エネルギー (A <sub>2</sub> 値比)	放射性物質濃度 <sup>注2)</sup> (Bq/ref cm <sup>3</sup> )
<sup>3</sup> H	$3.52 \times 10^{-2}$	30	40	$2.64 \times 10^{-4}$	$2.68 \times 10^5$
<sup>85</sup> Kr	$3.45 \times 10^{-1}$		100	$1.04 \times 10^{-3}$	$2.63 \times 10^6$
合計	$3.80 \times 10^{-1}$	—	—	$1.30 \times 10^{-3}$	$2.89 \times 10^6$

注1) <sup>85</sup>KrについてはA<sub>2</sub>値の10倍である。

注2) キャビティ内ガス体積は  ref cm<sup>3</sup>である。

## C.5 結果の要約及びその評価

### 1. 密封装置

密封装置は容器とバルブであり、密封境界は容器本体、蓋、ベントバルブ、ドレンバルブ及び各密封装置を結ぶゴムリングで構成されている。これらの密封装置は、一般の試験条件及び特別の試験条件に対して十分な強度を有し、また、ゴムリングの密封性能が損われることはない。

### 2. 一般の試験条件

#### (1) 放射性物質の漏えい

放射性物質の漏えい率と基準値との比率は $4.71 \times 10^{-1}$ であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

#### (2) 密封装置の加圧

空気の温度上昇及び燃料デブリサンプルから放出される核分裂生成ガスによる。ロ章A構造解析に示したようにこの加圧により密封性能が損われるような変形は生じない。

### 3. 特別の試験条件

#### (1) 核分裂生成ガス

燃料デブリサンプルからの放出放射エネルギーは、最大でも $1.30 \times 10^{-3}$  (A<sub>2</sub>値比) である。

#### (2) 放射性物質の漏えい

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率は $1.16 \times 10^{-5}$ であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

## D. 遮 蔽 解 析

### D. 1 概 要

本解析の基盤とした遮蔽体の概略形状、主要部寸法及び材料を(ロ)－第D. 1 図に示す。

線量当量率評価位置としては、通常輸送時及び一般の試験条件下では側部方向は容器本体の外表面、蓋部及び底部方向は緩衝体の表面をそれぞれ輸送物表面とした。一方、特別の試験条件下においては、緩衝体は大幅に変形するので、全ての方向に対して容器本体表面を輸送物表面とした。

線源強度は、ORIGEN2.2 コードにより連続照射を仮定して求めた。

線量当量率の計算には、DOT3.5 コードを用いた。

### D. 3 モデル仕様

緩衝体は、安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮する。

燃料デブリサンプル収納缶及び収納缶用スペーサーは、遮蔽材としては無視し、距離のみ考慮する。

特別の試験条件下における落下試験によって大幅に変形するので、無いものとしてモデル化する。

D.5 結果の要約及びその評価

最大線量当量率の要約は(ロ)－表D.8に示すとおりであり、規則で定められた基準を満足している。

(ロ)－表D.8 最大線量当量率の要約

(単位：μSv/h)

部 位 項 目	輸 送 物 表 面			表 面 より 1 m		
	頭 部	側 部	底 部	頭 部	側 部	底 部
通常輸送時						
ガンマ線	24.4	453.9	86.0	13.6	28.4	19.6
二次ガンマ線	0.3	2.1	0.5	0.1	0.1	0.1
中性子	140.5	1053.5	229.1	34.5	57.8	37.8
合 計	165.2	1509.5	315.6	48.2	86.3	57.5
一般の試験条件下						
ガンマ線	24.9	453.9	93.5			
二次ガンマ線	0.3	2.1	0.5			
中性子	148.0	1053.5	248.3			
合 計	173.2	1509.5	342.3			
特別の試験条件下						
ガンマ線				6.2	28.4	10.7
二次ガンマ線				0.1	0.1	0.1
中性子				26.5	57.8	33.4
合 計				32.8	86.3	44.2
基準値						
通常輸送時		2000			100	
一般の試験条件下		2000			—	
特別の試験条件下		—			10000	

#### E. 臨界解析

本輸送容器に収納する収納物は、核分裂性核種を含むが、その最大重量は以下となる。告示に示すとおり、専用積載の場合、核分裂性核種重量が 45g 以下の輸送物は核分裂性輸送物とならないことから、本輸送物における未臨界性評価は該当しない。

- (1) 照射前 核分裂性核種重量：
- (2) 照射後 核分裂性核種重量：

F 規則及び告示に対する適合性の評価

本輸送物に関する安全解析の結果、本輸送物が「規則」及び「告示」の各項に適合することの説明及び安全解析書箇所を示した。



## ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

### A. 輸送物の取扱い方法

#### A.1 装荷方法

輸送容器への収納物装荷は、施設に合わせて3種類の方法（水中での装荷、気中での装荷、セルでの装荷）により行われる。

輸送物を発送する前に(ハ)－表A.1に示す発送前検査を行う。

(ハ)－表A.1 輸送物発送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (1/2)

No.	検査項目	検査方法	合格基準
1	外観検査	輸送物の外観を目視で検査する。	表面状況（傷、割れ等）及び形態に性能上の異常がないこと。
2	吊上げ検査	容器を吊上げた後の状態において、吊上げ用金具部の外観を目視で検査する。	吊上げ用金具部に異常がないこと。
3	重量検査	容器重量及び収納物重量の和を書類により確認する。	輸送物としての重量が <input type="text"/> 以下であること。
4	表面密度検査	スミヤ法により輸送物の表面密度を検査する。	α核種：0.4Bq/cm <sup>2</sup> 以下、 β、γ核種：4Bq/cm <sup>2</sup> 以下、 であること。
5	線量当量率検査	輸送物の表面及び表面から1 mの距離におけるガンマ線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで検査する。	線量当量率が表面において2mSv/h以下、1 mの距離において100μSv/h以下であること。
6	未臨界検査	該当しない。	—

(ハ)－表 A. 1 輸送物発送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (2/2)

No.	検査項目	検査方法	合格基準
7	収納物検査	①収納物の外観、数量等を目視等により検査する。 ②照射済燃料についての運転記録等により放射能の量、燃焼度、発熱量、冷却日数等を確認する。	①外観、数量に異常がないこと。 ②設計承認条件のとおりであること。
8	温度測定検査	輸送物の表面温度を測定する。	日陰において輸送中人が容易に近づくことができる表面で85℃以下であること。
9	気密漏えい検査	0.64MPaG (6.5kg/cm <sup>2</sup> G)以上の圧力を加え、容器密封部における圧力降下を測定し、漏えい率が基準値以下であることを確認する。	各部の漏えい率の合計が3×10 <sup>-2</sup> ref cm <sup>3</sup> /sを超えないこと。
10	圧力測定検査	輸送物の外筒表面温度を測定し、内圧に換算して設計基準値以下であることを確認する。	設計基準値(0.1MPaG)以下であること。

## 添付 輸送容器に係る品質管理の方法等

核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等全般的な品質マネジメントの基本方針及び輸送容器の製作に係る品質マネジメントについて示した。

### (イ)－A 品質マネジメントシステム

当社は、製品が顧客及び適用される規格、指針、法規の要求事項並びに社内管理基準に適合することを確実にするための手段として、ISO9001 及び JEAG4121 に基づく品質マネジメントシステムを確立し、維持する。

### (イ)－B 申請者の責任

品質保証は、全ての部門・全ての人々が機能的に緊密に連帯して活動することにより達成されると同時に、所要の品質を達成する基本的責任は業務を実行する者にあることを基本とする。社長は、当社の核燃料物質等の輸送業務に関する品質保証を統括し、技術管理本部長に品質保証の推進を徹底させる。

当社の組織及び容器製造者等の組織例を図 2 に示す。

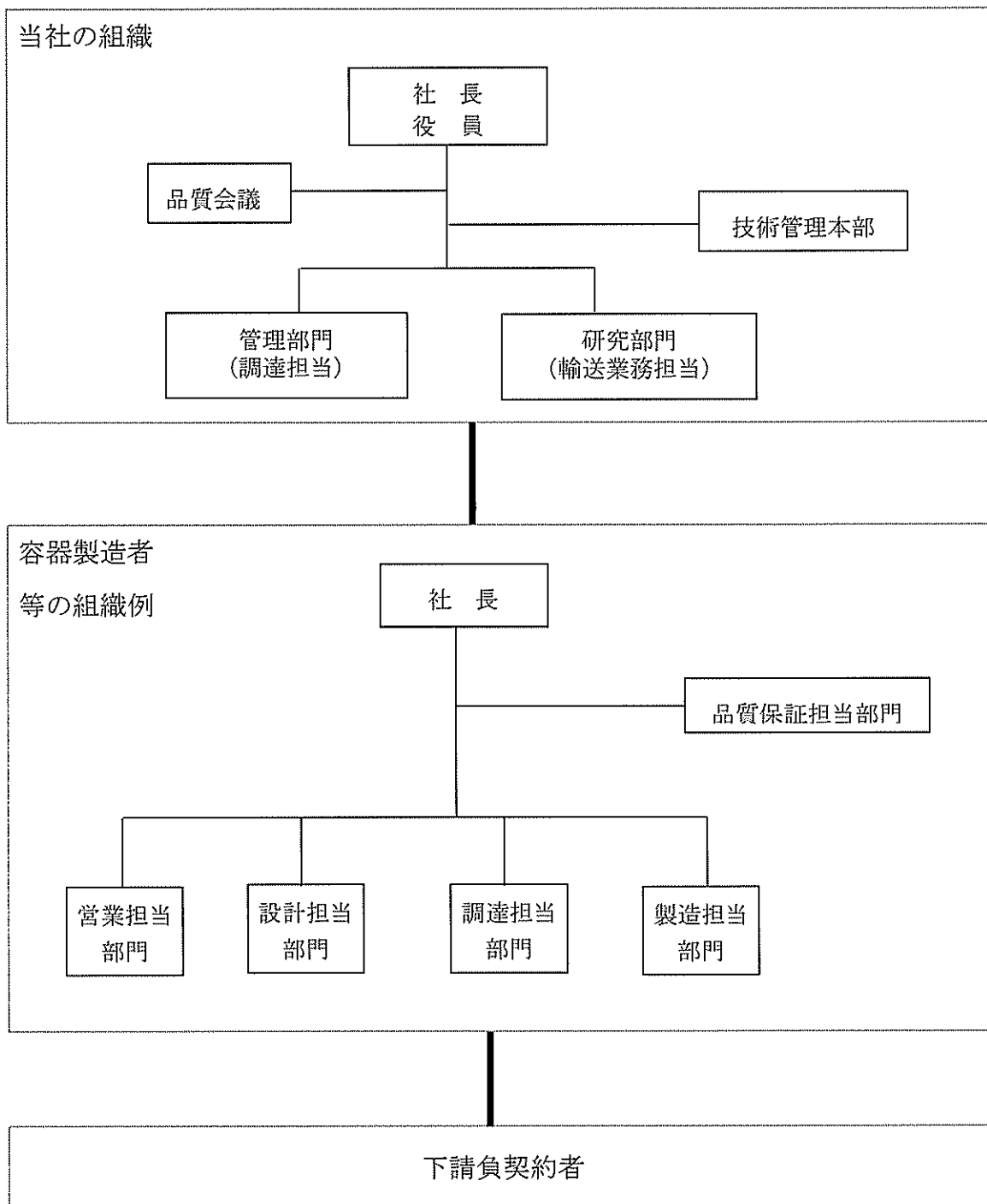


図2 当社の組織及び容器製造者等の組織例