

- (b) 必要な是正処置を明確にし、実施する。
 - (c) 講じた全ての是正処置の実効性の評価を行う。
 - (d) 必要に応じ、計画において決定した保安活動の改善のために講じた措置（品質方針に影響を与えるおそれのある組織の内外の課題を明確にし、当該課題に取り組むことを含む。）を変更する。
 - (e) 必要に応じ、品質マネジメントシステムを変更する。
 - (f) 原子力の安全に及ぼす影響の程度が大きい不適合（単独の事象では原子力の安全に及ぼす影響の程度は小さいが、同様の事象が繰り返し発生することにより、原子力の安全に及ぼす影響の程度が増大するおそれのあるものを含む。）に関して、根本的な原因を究明するために行う分析（以下「根本原因分析」という。）の手順を確立し、実施する。
 - (g) 講じた全ての是正処置及びその結果の記録を作成し、これを管理する。
- b. 保安に関する組織は、是正処置について社内規定に定める。
 - c. 保安に関する組織は、手順書等に基づき、複数の不適合その他の事象に係る情報から類似する事象に係る情報を抽出し、その分析を行い、当該類似の事象に共通する原因を明確にした上で、適切な措置を講じる。

(2) 未然防止処置

- a. 保安に関する組織は、原子力施設その他の施設の運転経験等の知見を収集し、自らの組織で起こり得る不適合（原子力施設その他の施設における不適合その他の事象が自らの施設で起こる可能性について分析を行った結果、特定した問題を含む。）の重要性に応じて、次に掲げるところにより、適切な未然防止処置を講じる。
 - (a) 起こり得る不適合及びその原因について調査する。
 - (b) 未然防止処置を講ずる必要性について評価する。
 - (c) 必要な未然防止処置を明確にし、実施する。
 - (d) 講じた全ての未然防止処置の実効性の評価を行う。
 - (e) 講じた全ての未然防止処置及びその結果の記録を作成し、これを管理する。
- b. 保安に関する組織は、未然防止処置について社内規定に定める。

(イ) 第B.1図：品質方針

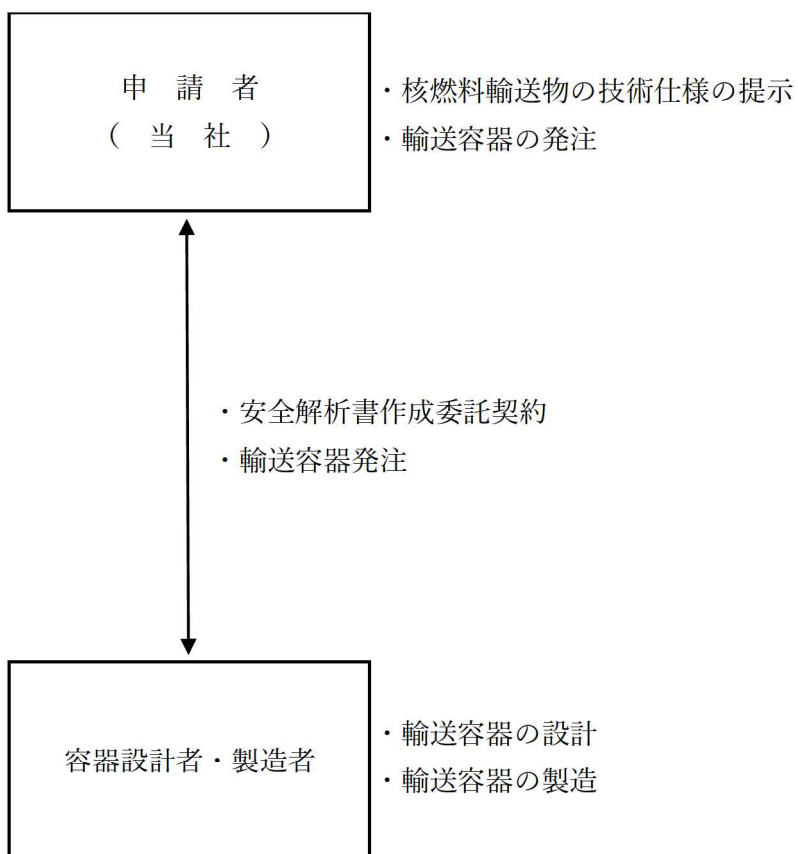
品質方針

原子力安全の取り組みに終わりはない。現状に満足することなく、常に考え問いかける姿勢をもって自ら率先して行動するとともに、誠実かつ高い倫理観をもちコンプライアンスを十分に意識した上で、以下の方針に基づく業務運営に不断に取り組み、更なるパフォーマンス向上を図っていくことにより、地域・社会の皆さまに信頼され、安心され続ける原子力発電所を目指します。

- 1 原子力安全を最優先とする文化を醸成し続けます
- 2 自主的・継続的に安全性・信頼性を向上させます
- 3 原子力発電所のリスクマネジメントを確実に実施します
- 4 積極的な情報公開と対話活動を行い安心・信頼に繋がります
- 5 社内や協力会社との風通しの良い組織風土をつくります

2020年4月1日
九州電力株式会社
代表取締役社長執行役員
池 辺 和 弘

(イ) 第 B.2 図：輸送容器の設計等に係る関係

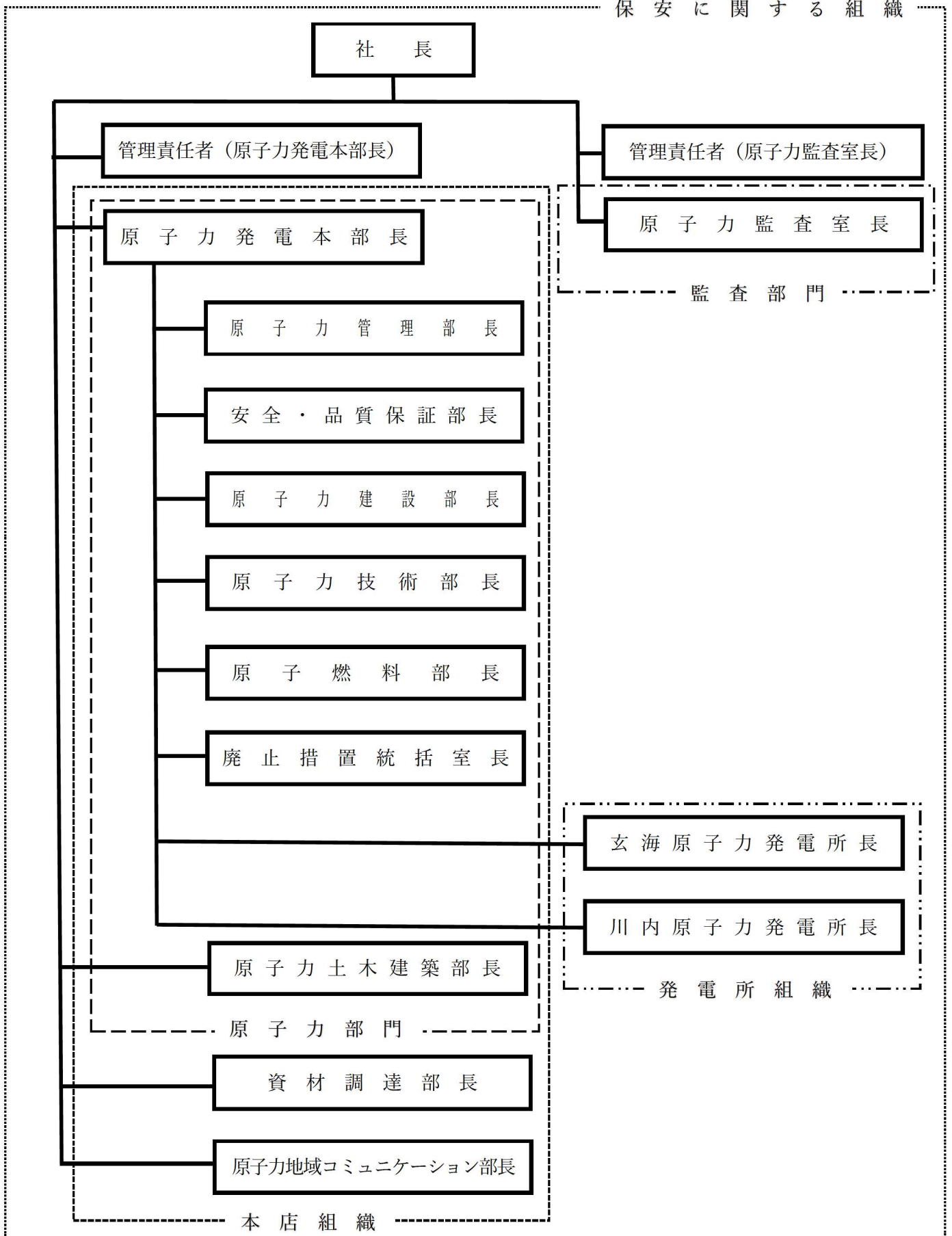


(凡例)

←→ : 契約関係

(イ) 第 B.3 図：品質保証体系図

保安に関する組織



補正内容一覧

(核燃料輸送物設計変更承認申請書の補正箇所一覧)

注) 補正箇所を  で示す。

1 核燃料輸送物の名称

MSF-21P型

2 核燃料輸送物設計承認番号

J/2034/B(M)F-96

3 変更内容

- 原規規発第 20122313 号（令和 2 年 12 月 23 日付）により承認を受けた核燃料輸送物設計承認申請書（平成 31 年 1 月 22 日付原発本第 269 号（令和 2 年 12 月 15 日付原発本第 271 号をもって一部補正））（以下「既承認申請書」という。）記載事項について別記のとおり変更する。
- 既承認申請書別紙 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について以下の変更を行う。
 - ・ (イ) 章「核燃料輸送物の説明」において使用予定年数、輸送容器の使用予定回数及び貯蔵予定期間について追記する。
 - ・ 核燃料輸送物の経年変化に関しては、(ホ) 章「安全設計及び安全輸送に関する特記事項」に自主的に記載していたが、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（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、改め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評価」（従前の(ロ) 章 F）に記載する。なお、(ホ) 章に記載していた経年変化に係る説明は削除する。
 - ・ (ハ) 章「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」において貯蔵期間中検査の実施頻度を明確化する。
 - ・ (ハ) 章「品質マネジメントの基本方針」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。
- 「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。
- 輸送物の取扱い方法を明確化するため。
- 記載を適正化するため。

5 輸送制限個数

- (1) 輸送制限個数：制限なし
- (2) 配列方法：任意
- (3) 臨界安全指数：0

6 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

-20℃ ～ 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

アルミニウム合金製のバスケットプレートから構成された格子構造状のバスケットにより、個々の燃料集合体を輸送容器の所定の位置に収納するとともに、バスケット内に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

輸送容器は浸水及び漏水を防止する特別な措置として、二次蓋及び三次蓋による多重の防水機能を有しているため、臨界安全評価においては微量の浸水のみを考慮して評価している。

なお、防水機能を有する部位の水密性に留意した品質管理を実施する。

9 収納物の密封性に関する事項

輸送容器の密封境界は胴、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートから構成されており、三次蓋と胴の上部フランジとの接合面及びリリーフバルブカバープレートと三次蓋との接合面にはゴムOリングが設けられている。

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の説明

-40℃の周囲の温度において、き裂、破損等の生じるおそれがないことが確認されていない。

11 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

本輸送容器は兼用キャスクであり、貯蔵予定期間における経年変化を考慮した本輸送容器の保守及び本核燃料輸送物の取扱いについては、申請書に係る別紙1のとおり。

また、本核燃料輸送物の運搬は、周囲の温度-20℃以上で専用積載にて実施する。

12 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

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

添付表-1 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量 (1/2)

項目		燃料集合体の種類と形式		中央部 ^(注1)				外周部 ^(注1)			
		17×17 燃料 ^(注2)									
		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型			
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型		
種類		軽水炉 (PWR) 使用済燃料 ^(注3)									
性状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)									
燃料集合体1体の仕様	集合体重量 (kg 以下)	680									
	ウラン重量 (kg 以下)	<input type="text"/>									
	放射能の量 (収納物平均) (PBq 以下)	<input type="text"/>									
	初期濃縮度 (wt%以下)	4.2		3.7		4.2		3.7			
	最高燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>									
	冷却日数 (日以上)	<input type="text"/>									
輸送容器1基当たりの仕様	収納体数 ^(注1) (体以下)	9				12				21	
	平均燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>									
	放射能の量 ^(注4) (PBq 以下)	<input type="text"/>									
	最大崩壊熱量 (kW 以下)	13.9									
	収納物重量 (トン以下)	14.6 ^(注5)									

添付表-1 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量 (2/2)

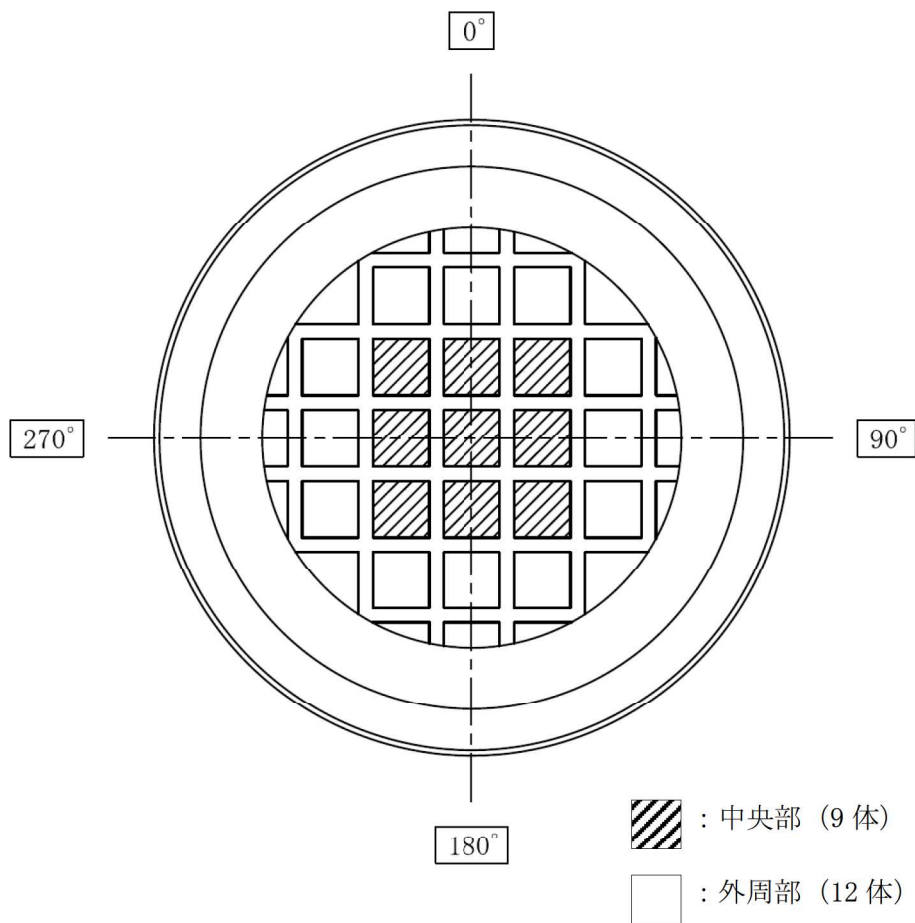
燃料集合体の種類と形式		中央部 ^(注1)						外周部 ^(注1)					
		14×14 燃料 ^(注2)											
項目		55,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		55,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型
種類		軽水炉 (PWR) 使用済燃料 ^(注3)											
性状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)											
燃料集合体1体の仕様	集合体重量 (kg 以下)	600											
	ウラン重量 (kg 以下)	<input type="text"/>											
	放射能の量 (収納物平均) (PBq 以下)	<input type="text"/>											
	初期濃縮度 (wt%以下)	4.9		4.2		3.5		4.9		4.2		3.5	
	最高燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>											
	冷却日数 (日以上)	<input type="text"/>											
輸送容器1基当たりの仕様	収納体数 ^(注1) (体以下)	9						12					
		21											
	平均燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>											
	放射能の量 ^(注4) (PBq 以下)	<input type="text"/>											
	最大崩壊熱量 (kW 以下)	12.0											
収納物重量 (トン以下)	12.6 ^(注6)												

- (注 1) 燃料集合体は添付図-2 に示すとおり収納位置が制限される。また、バーナブルポイズン集合体を挿入した燃料集合体を収納する場合の収納位置は中央部に制限される。
- (注 2) 輸送容器は、17×17 燃料のみを収納、または 14×14 燃料のみを収納するものとし、17×17 燃料と 14×14 燃料を同一容器に収納しない。
- (注 3) 表面から 1 メートルの距離における空気吸収線量率は 1 グレイを超える。
- (注 4) 主要な核種は次のとおりである。

17×17 燃料		14×14 燃料	
主要な核種	放射能強度 (PBq)	主要な核種	放射能強度 (PBq)
Cs-137		Cs-137	
Ba-137m		Ba-137m	
Y-90		Y-90	
Sr-90		Sr-90	
Eu-154		Kr-85	

(注 5) 収納物重量は、燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体 (9 体：約 kg) の合計値である。(バーナブルポイズン集合体：約 kg/体)

(注 6) 収納物重量は、燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体 (9 体：約 kg) の合計値である。(バーナブルポイズン集合体：約 kg/体)



添付図-2 燃料集合体の収納位置

3. 材質

下記(イ)-第C.1表のとおりである。

(イ)-第C.1表 材質

部位	部品	材料	規格 (注1)
キャスク 本体	胴	炭素鋼	[] — — JIS H 3100 C1020P [] 又は JIS H3140 C1020BB [] JIS G 4303 SUS630-H1150 — [] — — — —
	外筒	炭素鋼	
	下部端板	ステンレス鋼	
	側部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	底部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	伝熱フィン	銅	
	トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼	
	トラニオンボルト	炭素鋼	
	底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼	
	膨張吸収材	[]	
ドレンパイプ	ステンレス鋼		
シールパッキン	ゴム		
一次蓋	蓋板	炭素鋼	[] — [] —
	蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼	
	カバープレート	ステンレス鋼	
二次蓋	蓋部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	[] — [] —
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	金属ガスケット	アルミニウム/ニッケル基合金	
三次蓋	蓋板	炭素鋼	[] — [] —
	モニタリングポートカバープレート	ステンレス鋼	
	Oリング	EPDM	
バスケット	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	[] — [] —
	金属ガスケット	アルミニウム/ニッケル基合金	
	Oリング	EPDM	
緩衝体	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	— — — —
	バスケットプレート	アルミニウム合金	
	バスケットサポート	アルミニウム合金	
	バスケットスペーサ (注2)	アルミニウム合金	
緩衝体	緩衝材	木材 [] 木材 [] 木材 []	— — — [] —
	上部緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	下部緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	カバープレート	ステンレス鋼	
	リブ	ステンレス鋼	

(注1) 記載の規格材料又は相当品を使用する。

(注2) 収納される燃料が 14×14 燃料の場合のみ使用される。

(ロ)-第 A. 4 表 輸送容器使用材料の-20 °Cにおける低温特性評価

輸送容器の部品	材質	評価	引用、文献、資料
緩衝体カバープレート 緩衝体リブ ベントバルブ及びドレンバルブ バルブカバープレート モニタリングポートカバープレート 底部中性子遮蔽材カバー 下部端板 リリースバルブ リリースバルブカバープレート	ステンレス鋼 []	-20 °Cにおいて 使用可能	原子力学会標準 AESJ-SC-F006 :2013 ⁵⁾
三次蓋蓋板	ステンレス鋼 []	-20 °Cにおいて 使用可能	同上
胴 一次蓋蓋板 二次蓋蓋板	炭素鋼 []	-20 °Cにおいて 使用可能	同上
蓋部中性子遮蔽材カバー 外筒	炭素鋼 []	-20 °Cにおいて 使用可能	同上
蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 []	-20 °Cにおいて 使用可能	同上
伝熱フィン	銅 (C1020P [] 又は C1020BE [])	-20 °Cにおいて 使用可能	同上
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	-20 °Cにおいて 使用可能	メーカー資料 ⁶⁾
バスケットプレート バスケットサポート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	-20 °Cにおいて 使用可能	A. 10. 4 参照
トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼 (SUS630-H1150)	-20 °Cにおいて 使用可能	材料規格 ³⁾
金属ガスケット	アルミニウム合金/ ニッケル基合金	-20 °Cにおいて き裂、破損なし	メーカー資料 ⁷⁾
中性子遮蔽材	レジン	-20 °Cにおいて き裂、破損なし	原燃輸送株式会社 報告書 ⁸⁾
緩衝体緩衝材	[]	-20 °Cにおいて き裂、破損なし ^(注 1)	木材工業ハンド ブック ⁹⁾
Oリング	EPDM	-20 °Cにおいて き裂、破損なし	複合材料技術集成 ¹⁰⁾

(注 1) 緩衝体緩衝材の [] は、-20°Cでは常温時に対して強度が 16~29%上昇する。A. 10. 4 に示すように、-20°Cの木材強度を用いた場合の自由落下試験時の衝撃加速度は、常温時の木材強度を用いて算出した(ロ)-第 A. 19 表及び(ロ)-第 A. 37 表に示す設計加速度に対して最大 10 %増加するが、各評価部位に発生する応力は低温時の評価基準を満足するため、輸送物の構造上の健全性が損なわれることはない。

2. 許容繰返し回数

設計疲労線図^{1) 12)}より許容繰返し回数 N_a は以下となる。

A-A 断面 : 約 1.0×10^6 回

B-B 断面 : 約 1.0×10^7 回

C-C 断面 : 約 1.0×10^7 回

トラニオン接続部 (トラニオン側) : 約 1.0×10^7 回以上

トラニオン接続部 (胴側) : 約 3.2×10^4 回以上

3. 使用計画回数

本吊上装置の使用計画回数 N_c は次のようになる。

輸送回数 : 10 回

輸送時吊上回数 : 20 回 (輸送ごと)

裕度 : 2 倍

なお、上記の輸送時吊上回数は、(ハ)章「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」の「A. 核燃料輸送物の取扱い方法」に示す標準的な取扱いとして想定される吊上回数であり、燃料装荷、乾式貯蔵施設での貯蔵、再処理工場への輸送における取扱いを含む。

したがって、

$$N_c = 10 \times 20 \times 2 = 400 \text{ 回}$$

以上より、使用計画回数は許容繰返し回数を十分下回っており、トラニオンの疲労強度は十分である。

A. 4. 5 固縛装置

本輸送物は、(イ)-第 C. 3 図に示すように上部及び下部のトラニオンを使用して輸送架台に固定される。

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

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

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(□)-
第 A. 13 表に示す。

(□)-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)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学的及び電氣的反応 <ul style="list-style-type: none"> 化学的反應 電氣的反應 	<ul style="list-style-type: none"> 反応のないこと 反応のないこと 	<ul style="list-style-type: none"> — — 	<ul style="list-style-type: none"> 反応なし 反応なし 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 低温強度 <ul style="list-style-type: none"> 構成部品の低温特性 低温時の強度 	<ul style="list-style-type: none"> -20 ℃でのき裂、破損のないこと 低温脆化温度 	<ul style="list-style-type: none"> — -20 ℃ 	<ul style="list-style-type: none"> き裂、破損なし -20 ℃では低温脆化なし 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 密封装置の誤操作による開放の可能性 <ul style="list-style-type: none"> 三次蓋 	<ul style="list-style-type: none"> 可能性がないこと 	<ul style="list-style-type: none"> — 	<ul style="list-style-type: none"> 可能性なし 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 吊上装置 <ul style="list-style-type: none"> 1. 応力評価 <ul style="list-style-type: none"> トラニオン本体 トラニオン接続部 (一次応力) トラニオン接続部 (一次応力+二次応力) 2. 疲労評価 <ul style="list-style-type: none"> トラニオン本体 トラニオン接続部 	<ul style="list-style-type: none"> S_y 1. 25S_y 1. 5×1. 25S_y 許容繰返し回数以下であること 許容繰返し回数以下であること 	<ul style="list-style-type: none"> 655 MPa 231 MPa 346 MPa 許容繰返し回数 1. 0×10⁶ 回 許容繰返し回数 3. 2×10⁴ 回 	<ul style="list-style-type: none"> 543 MPa 95 MPa 140 MPa 使用計画回数 400 回 使用計画回数 400 回 	<ul style="list-style-type: none"> 0. 20 1. 43 1. 47 基準に合致 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛装置 <ul style="list-style-type: none"> トラニオン本体 トラニオン接続部 (一次応力) トラニオン接続部 (一次応力+二次応力) 	<ul style="list-style-type: none"> S_y 1. 25S_y 1. 5×1. 25S_y 	<ul style="list-style-type: none"> 655 MPa 231 MPa 346 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> 182 MPa 70 MPa 115 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> 2. 59 2. 30 2. 00
<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧力 	<ul style="list-style-type: none"> 密封性 	<ul style="list-style-type: none"> — 	<ul style="list-style-type: none"> 良 	<ul style="list-style-type: none"> 基準に合致
<ul style="list-style-type: none"> ・ 振動 	<ul style="list-style-type: none"> 振動性 	固有振動数 (242 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、輸送中の振動による荷重は、一般の試験条件の 0. 3m 落下事象に包絡されることから、輸送物にき裂、破損等は生じない。		

A.5.1.4 許容応力との比較

一般の試験条件の熱的試験において輸送容器に発生する応力は、A.5.1.3に示すように解析基準値を満足しており、健全性は維持される。

なお、三次蓋ボルトは三次蓋と異なる材質のため、運搬中に予想される $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の周囲温度の変化により軸力が変化する。仮に周囲温度 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ で三次蓋ボルトを締め付けた後 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ に置かれた場合は、ステンレス鋼製の三次蓋と合金鋼製の三次蓋ボルトの熱膨張係数の差により三次蓋ボルトの軸力が約4%増加するものの余裕率が0.04以上あるため、また周囲温度 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ で締め付けた後 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ に置かれた場合には、軸力が約8%低下するもののOリングを締め付けるために必要な軸力を維持しているため、三次蓋ボルトにゆるみや破損を生じることはない。一方、一次蓋ボルトと二次蓋ボルトは、それぞれ一次蓋と二次蓋との温度の差及び熱膨張係数の差が小さいため、軸力の変化は三次蓋ボルトに比べ軽微であることから、ゆるみや破損を生じることはない。

また、三次蓋とキャスク本体のOリング取付位置での相対口開き変形量は 0.09 mm であり、Oリングの初期締め付け代 $\square\text{ mm}$ より小さく、密封性が損なわれることはない。

次に、疲労強度について評価する。評価は、密封境界を構成する部材で発生応力が比較的高く、複数容器間で共用するため使用計画回数が最も多い三次蓋及び三次蓋ボルトを代表として行う。設計疲労線図^りより、三次蓋の許容繰返し回数は 1×10^{11} 回、三次蓋ボルトの許容繰返し回数は 8.6×10^2 回である。一方で、使用期間中に想定される三次蓋及び三次蓋ボルトの使用計画回数は320回（輸送回数：80回、輸送時使用回数：2回（輸送ごと）、裕度：2倍）であり、許容繰返し回数を十分下回っていることから、三次蓋及び三次蓋ボルトの疲労強度は十分である。

A.5.2 水噴霧

本輸送容器の外側はステンレス鋼又は塗装を施した炭素鋼であり、水噴霧に対して吸水による脆化により密封性が損なわれたり、水溜りによる腐食が発生することがないため線量当量率の増加等を生じることはない。

(ロ)-第B.2表 材料の熱的性質 (固体) (2/3)

材料	密度 (kg/m ³)	放射率 (-)	温度		熱伝導率 (W/(m・K))	比熱 (kJ/(kg・K))
			(K)	(°C)		
二酸化ウラン <small>2)、5)</small>	[] <small>(注1)</small>	-	300	26.85	2.00 <small>(注2)</small>	0.237
			500	226.85		0.286
			800	526.85		0.300
			1300	1026.85		0.322
			1800	1526.85		0.369
ジルカロイ <small>2)、6)</small>	6.55×10 ³	0.8	273	-0.15	12.4	0.275
			300	26.85	12.7	0.281
			400	126.85	14.0	0.302
			600	326.85	16.5	0.326
			1000	726.85	21.6	0.366
インコネル ²⁾	8.25×10 ³	-	300	26.85	12.0	0.425
銅 ²⁾	8.88×10 ³	-	150	-123.15	428	0.322
			250	-23.15	404	0.376
			300	26.85	398	0.386
			600	326.85	383	0.425
			800	526.85	371	0.447
			1000	726.85	357	0.471
1200	926.85	342	0.492			
中性子遮蔽材 (レジン) ⁷⁾	1.67×10 ³	-	常温		0.645	1.00
[] ⁸⁾	[] <small>(注3)</small>	-	300	26.85	[]	[]
			400	126.85		
			500	226.85		
			600	326.85		
			700	426.85		
			800	526.85		
			900	626.85		
			1000	726.85		
[] ⁸⁾	[]	-	300	26.85	[]	[]
			400	126.85		
			500	226.85		
			600	326.85		
			700	426.85		
			800	526.85		
			900	626.85		
			1000	726.85		
			1100	826.85		

(注1) 文献値に理論密度比を乗じた値

(注2) 照射を考慮した値

(注3) [] の値

2. 解析条件

特別の試験条件における熱解析条件を(ロ)-第 B. 13 表に示す。火災時は火炎の放射による入熱が主となる。また、太陽熱放射の条件は(ロ)-第 B. 6 表に示したとおりである。さらに、各モデルにおいて考慮した解析条件は次のとおりである。

- ・特別の試験条件における胴内ガス（ヘリウム及びFP ガス）の熱伝導率は、FP ガス放出後の胴内のヘリウム及びFP ガスのモル分率を考慮して、混合気体の熱伝導率の計算式²⁾を用いて算出した。特別の試験条件における胴内ガスの熱伝導率を(ロ)-第 B. 14 表に示す。
- ・塗装は火災中に焼損するため、火災後の容器表面に鋼の酸化面の放射率を用いるとともに、火災後に延焼しないとした。
- ・各モデルのその他の解析条件は一般の試験条件と同じである。

(ロ)-第 B. 13 表 特別の試験条件における熱解析条件

項目		火災前	火災時	火災後
設計崩壊熱量	全体モデル			
	中央部			
	外周部			
	燃料集合体モデル			
環境条件	周囲温度	38 ℃	800 ℃ (30 分間)	38 ℃
	太陽熱放射	あり	あり	あり
	周囲吸収率	1.0	0.9 (注)	1.0
容器表面	放射率	0.8	0.8	0.64
	吸収率	0.5	0.8 ²⁰⁾	1.0 ²¹⁾
緩衝体、 トラニオン 表面	放射率	0.15	0.8	0.15
	吸収率	0.5 ¹⁹⁾	0.8 ²⁰⁾	1.0 ²¹⁾

(注)火炎の放射率を示す。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

遮蔽解析モデルは二次元 (R-Z) モデルとし、トラニオンのない方向の断面をモデル化した。

各試験条件下におけるモデル化は以下に示す条件を考慮した。

1. 通常輸送時及び一般の試験条件下

通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下において 0.3 m 落下における緩衝体の変形を考慮すること以外は同一とし、以下の条件とした。

解析モデルを (ロ)-第 D.1 図に示す。

- ① 洞内での燃料集合体の軸方向の移動を考慮し、安全側に蓋方向、底部方向に移動したモデルとした。
- ② 緩衝体は、安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮した。
- ③ 各部寸法はノミナル値とし、寸法公差は密度係数として考慮した。
- ④ 蓋部中性子遮蔽材、側部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材については保守側の仮定として、中性子遮蔽材の 2.5 % の質量減損を考慮した。
- ⑤ 燃料はバスケットと均質化した。ただし、上部ノズル部の上側についてはバスケット上端より露出するため、バスケットと均質化しない。
- ⑥ 径方向のバスケットの外周部及び中性子遮蔽材の領域は均質化した。
- ⑦ バーナブルポイズン集合体の物性値は安全側に考慮しないモデルとした。

解析モデルでの均質化モデルの妥当性については、D.6.2 に示す。

本輸送容器では、上部、下部トラニオンが燃料有効部近傍にあり、中性子ストリーミング箇所となっている。この箇所は上述のモデルに含まれないため、頭部及び底部モデルの当該部近傍の線束を用いて、トラニオン部を模擬したモデルとの線束接続計算により解析を行った。トラニオン部モデルを (ロ)-第 D.2 図に示す。

D.6.2 均質化モデルの妥当性について

遮蔽解析における二次元 (R-Z) モデルで採用している均質化モデルの妥当性を示す。

(1) 径方向

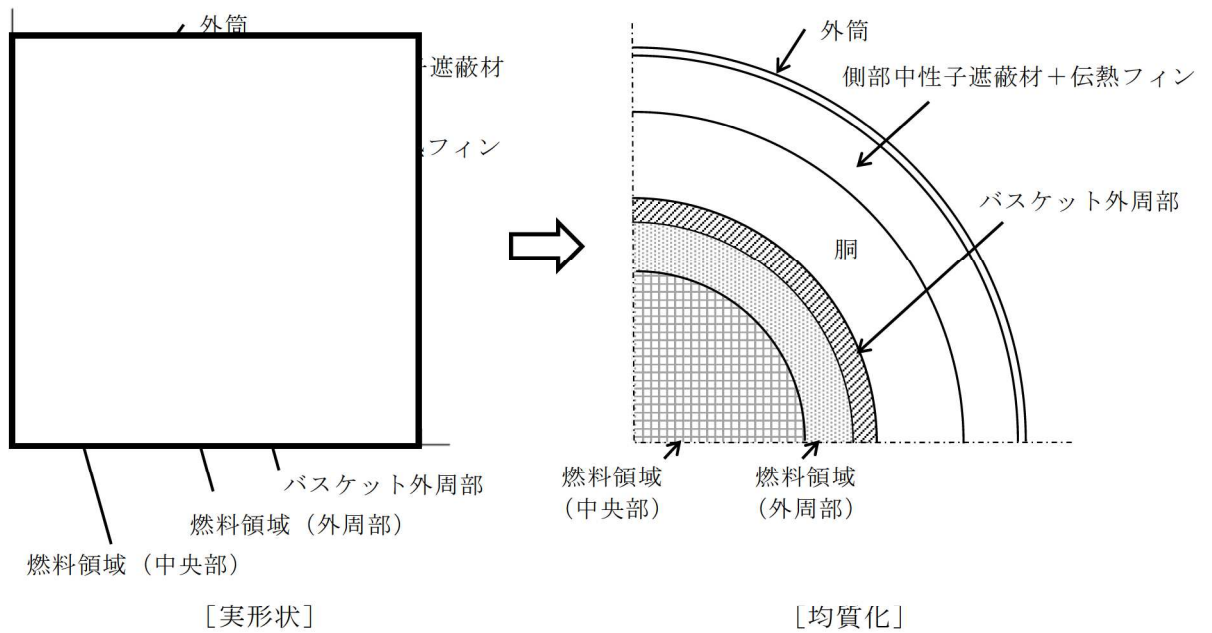
本輸送容器の円筒形状を考慮し、許認可実績のある二次元輸送計算コードでモデル化している。円筒形状での入力として、燃料領域については等価な断面積となる円 (円筒) でモデル化し、使用済燃料集合体とバスケット、側部中性子遮蔽材 (レジン) と伝熱フィン (銅) を均質化した物性値を設定している。側部中性子遮蔽材部は、レジンと伝熱フィンのノミナル値に寸法公差を考慮して遮蔽材密度が小さくなるよう設定している。バスケット外周部は、円周方向に不均一な厚さとなっており、バスケット外周部の密度を密度係数で調整している ((ロ)-第 D. 付 2 図)。

バスケット外周部の円筒形状での均質化にあたって、表面から 1 m 位置の線量当量率が、表面位置に比べ、基準値に対して裕度が小さいため、水平断面 X-Y モデルにて円周方向の表面から 1 m 離れた位置での最大線量当量率を算出し、円周方向の最大線量当量率を包絡するよう、均質化円筒モデルの密度係数を設定している ((ロ)-第 D. 付 3 図)。この密度係数を遮蔽解析で用いることで、実形状の最大線量当量率を包絡する結果を得ている。また、参考文献 6) にて本輸送容器と類似形状の MSF-24P 型に対して MCNP5 での実形状を模擬した三次元モデル解析 (以下、「MCNP 解析」という。) と DOT3.5 での二次元モデル解析 (以下、「DOT3.5 解析」という。) の結果比較が実施されている。側部中央周方向の表面について DOT3.5 解析の解析結果が MCNP 解析の解析結果を包絡していることを確認 ((ロ)-第 D. 付 4 図) しており、径方向に対する均質化モデルは妥当である。

(2) 軸方向

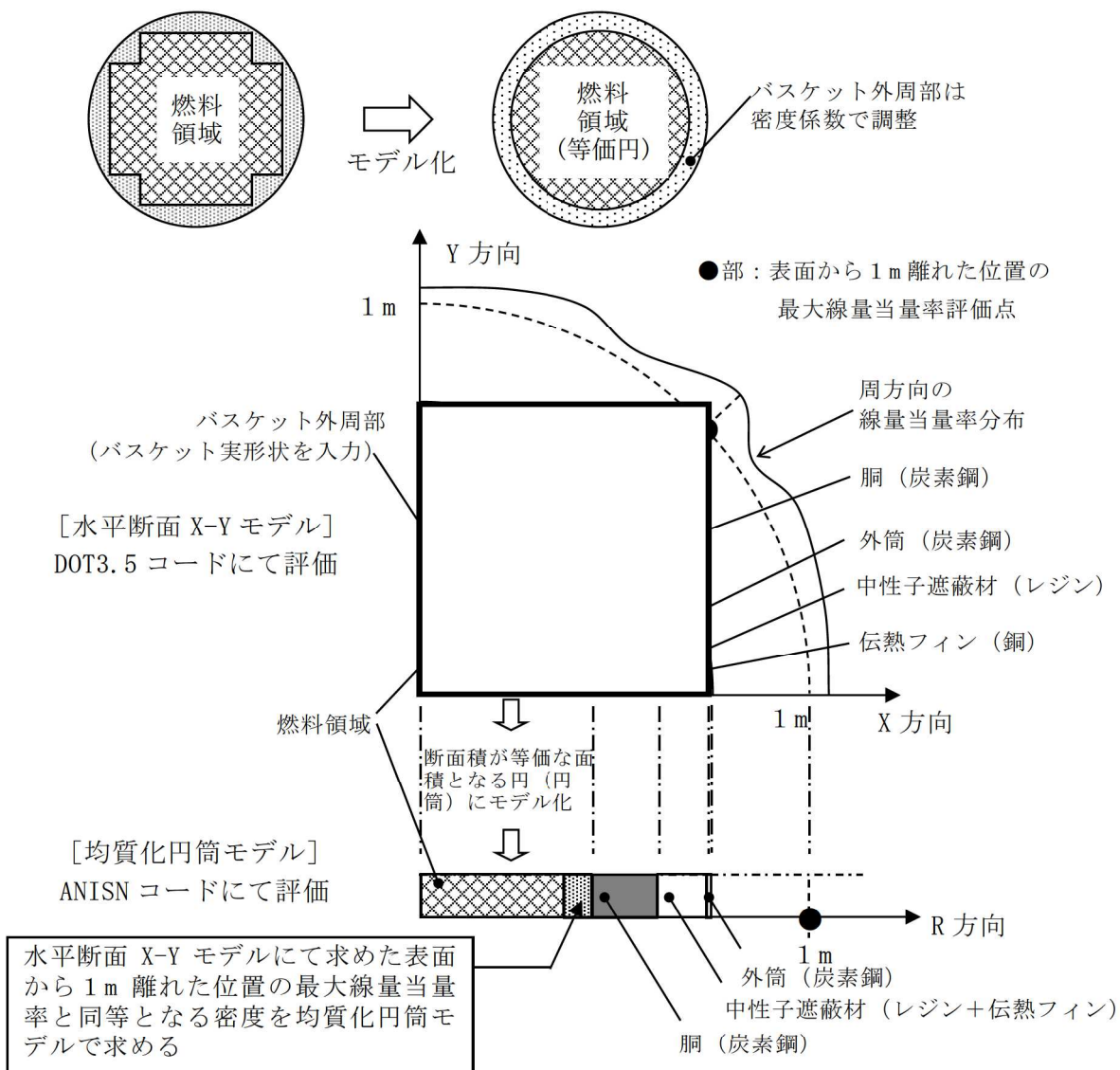
本輸送容器の円筒形状を考慮し、許認可実績のある二次元輸送計算コードでモデル化している。燃料集合体領域は軸方向に複数の領域に分けて均質化している。参考文献 7) では、MSF-24P(S) 型を対象に、燃料集合体ごとにモデル化 (以下、「詳細モデル」という。) し、三次元モンテカルロコード MCNP5 を用いて軸方向の線量当量率を評価した結果と本モデルと同様に均質化モデルに対して二次元輸送計算コードで軸方向の線量当量率を評価した結果の比較が (ロ)-第 D. 付 5 図のとおり示されている。比較の結果、均質化モデルと詳細モデルは同等であり、均質化モデルは妥当である。

なお、本遮蔽解析モデルでは、蓋部方向付近の線源であるバーナブルポイズン集合体は放射化線源強度のみを考慮して、構造材としての遮蔽効果は無視しているため保守的な設定となっており、線源位置についても、(ロ)-第 D. 1 図に示すとおり、使用済燃料集合体は蓋部及び底部に接した状態でのモデルとしており、線源である使用済燃料集合体から線量当量率評価点までの距離が近い保守的なモデルとなっている。



遮蔽解析モデルへの入力
 二次元モデルの解析では、円筒形状での入力となるため、燃料領域の断面積と等価な面積となる円（円筒）にモデル化している。その際、燃料領域は使用済燃料集合体とバスケットを均質化した物性値を設定した。

(D)-第 D. 付 2 図 燃料領域のモデル化（水平断面）



径方向の均質化 (バスケット外周部、中性子遮蔽材部)

バスケット外周部は円周方向に不均一な厚さの構造であり、中性子遮蔽材部はレジンと伝熱フィンが存在する不均質な構造であることから、本体モデルでは下記に示す手法により、径方向の密度を設定している。

中性子遮蔽材部：

レジンと伝熱フィンそれぞれの寸法 (ノミナル値、寸法公差) を考慮して密度を設定する。

バスケット外周部：

(i) 水平断面 X-Y モデル遮蔽解析

水平断面 X-Y モデルによる表面から1m離れた位置での最大線量当量率を算出する。

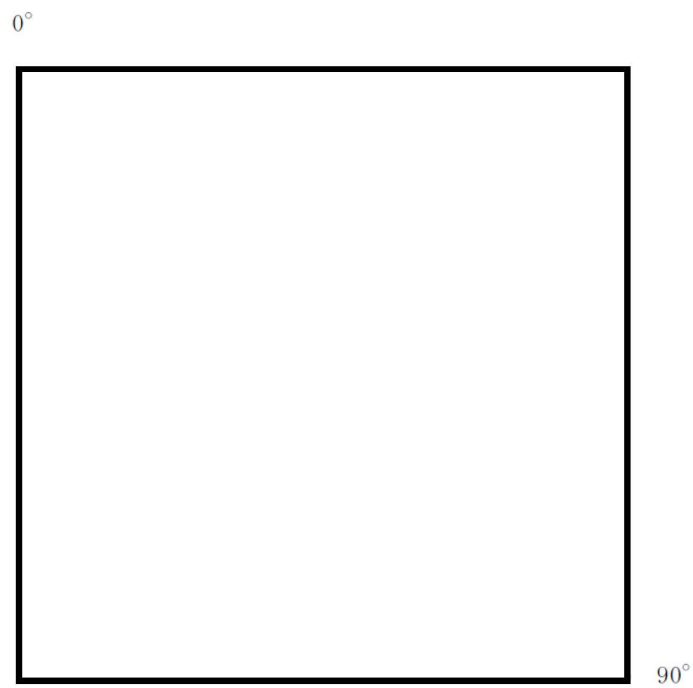
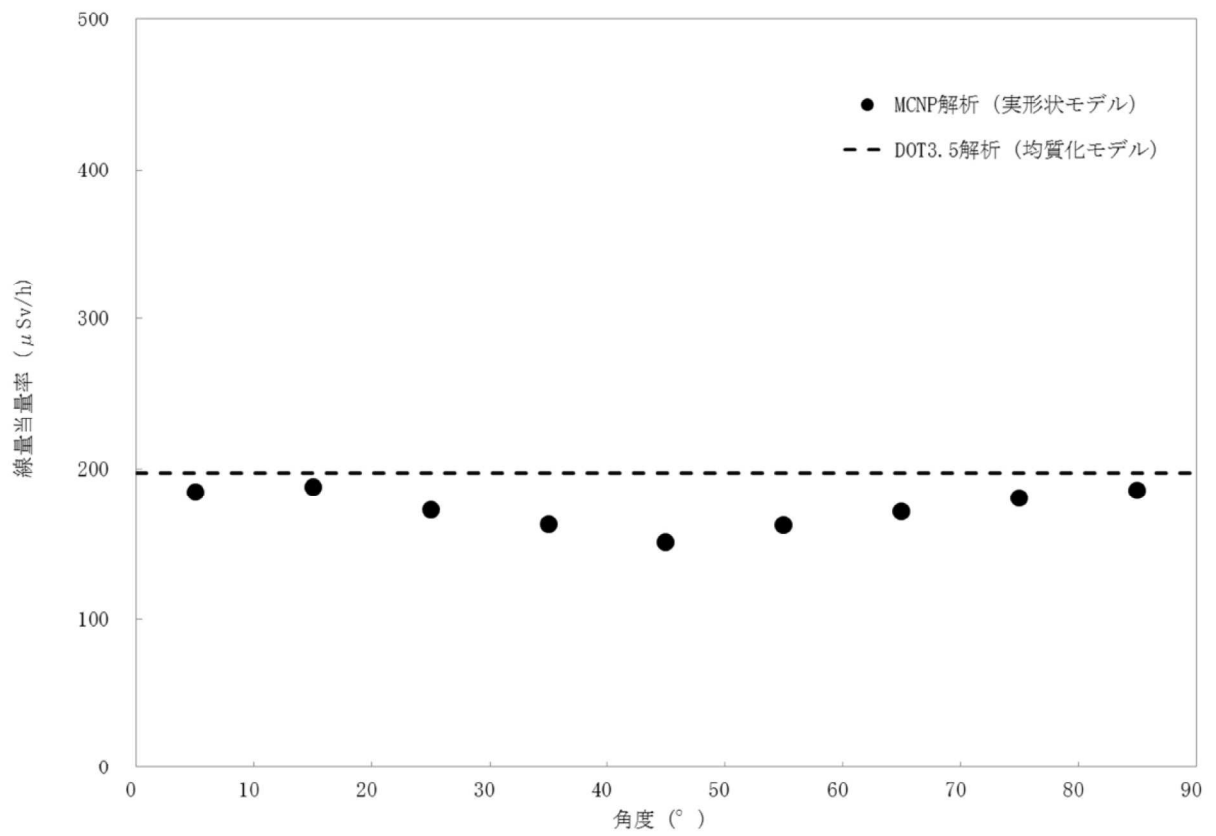
※算出位置を表面から1m離れた位置としているのは、表面位置に比べ、基準線量当量率に対する裕度が少ないためである。

(ii) 均質化円筒モデル遮蔽解析

均質化モデルにて、表面から1m離れた位置での線量当量率が(i)で算出した最大線量当量率と同等となるバスケット外周部の密度係数を算出する。

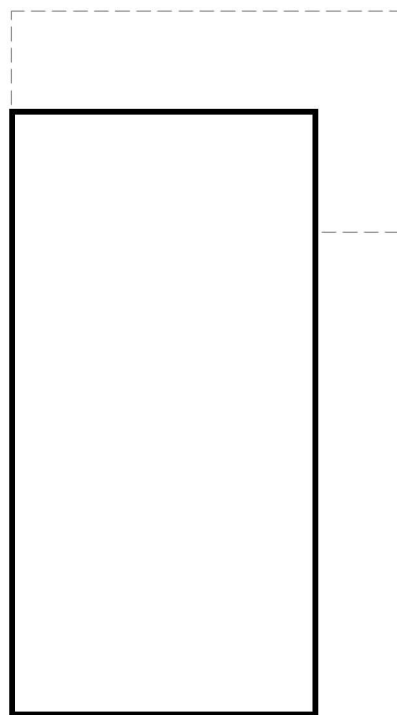
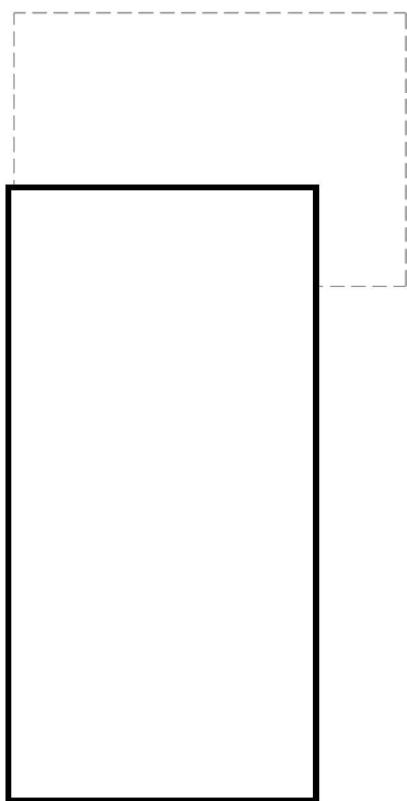
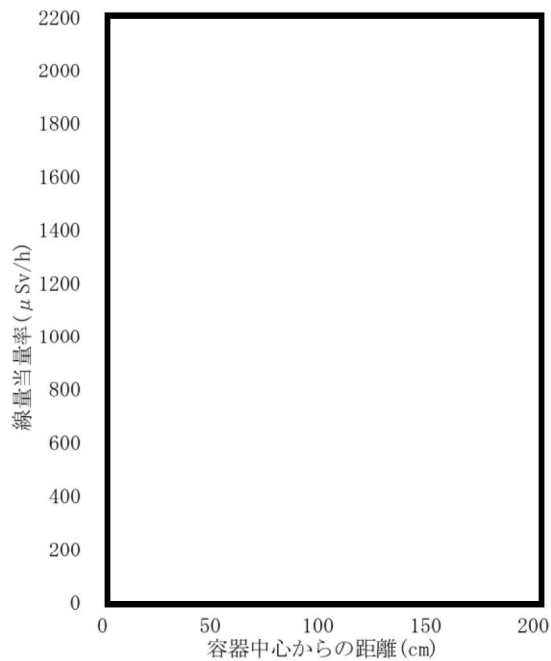
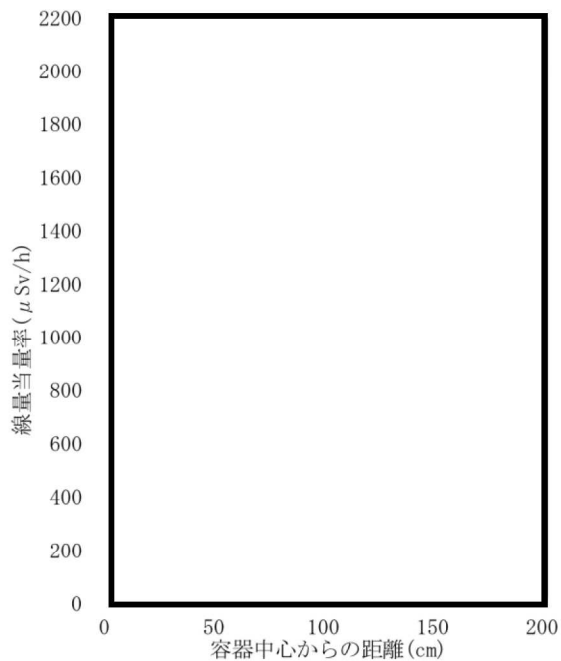
中性子遮蔽材部の密度係数に加え、(ii)にて算出したバスケット外周部の密度係数を用いることで、実形状の最大線量当量率を包絡する結果を得ることができる。

(ロ)-第D.付3図 燃料領域及び側部中性子遮蔽材と伝熱フィン領域のモデル化の詳細



(注) 赤色部は評価点位置を示す。

(D)-第 D. 付 4 図 側部中央周方向の線量当量率分布比較 (MSF-24P 型)



(ロ)-第 D. 付 5 図 均質化モデル (DOT3.5) と詳細モデル (MCNP5) 表面の線量当量率分布の比較

(頭部軸方向・底部軸方向)

D.6.3 中性子遮蔽材の構成元素の原子個数密度と製造時の確認

(ロ)-第 D.8 表に記載の解析に用いる中性子遮蔽材の構成元素の原子個数密度は、中性子遮蔽材の元素組成と、製品仕様としての中性子遮蔽材の密度、水素及び B₄C 含有量の最低値から算出した。

製造時には、中性子遮蔽材の元素組成については、中性子遮蔽材が所定の銘柄又はその相当品であることを確認し、中性子遮蔽材の密度、水素及び B₄C 含有量については、サンプルによる中性子遮蔽材の密度測定記録及び成分分析記録を確認する。

D.6.4 参考文献

- 1) M. Ishikawa, T. Jin, J. Katakura, M. Kataoka, H. Matsumoto, Y. Ohkawachi, S. Ohki, A. Onoue, A. Sasahara, K. Suyama, H. Yanagisawa, “ZZ-ORIGEN2.2-UPJ, A Complete Package of ORIGEN2 Libraries Based on JENDL-3.2 and JENDL-3.3” , OECD/NEA Databank, (2006).
- 2) Oak Ridge National Laboratory, “DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code” , CCC-276, (1977).
- 3) K.Kosako, N.Yamano, T.Fukahori, K.Shibata and A.Hasegawa, “The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3”, JAERI-Data/Code 2003-011, (2003).
- 4) Brookhaven National Laboratory, “Neutron Cross Sections” , BNL-325 Third Edition, (1973).
- 5) ICRP, “Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation” , ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26(3-4), (1996).
- 6) 四国電力株式会社, 「安全解析等に関するコメント回答」, 平成 30 年 10 月 17 日, <https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000114087/000251262.pdf>.
- 7) 三菱重工業株式会社, 「補足説明資料 26-2 26 条 燃料取扱設備及び燃料貯蔵設備 遮蔽機能に関する説明資料」, L5-95KV262R6, 2023 年 4 月 3 日.

- ・三次蓋については、上記の使用予定期間中（60年）継続して使用される輸送物の構成部材と同様に評価した。
- ・緩衝材については、使用済燃料の輸送実績から想定される輸送容器が通常使用される条件での緩衝材の温度評価、及び過去に使用済燃料の輸送に供された輸送容器から採取した木材の試験結果を基に評価した。放射線照射による劣化、化学的劣化については、上記の使用予定期間中（60年）継続して使用される輸送物の構成部材と同様に評価した。

c. ドレンパイプの端部に取り付けるゴム製のシールパッキンは熱及び放射線照射によって貯蔵後の再冠水作業において硬化している可能性があるが、シールパッキンは一次蓋とドレンパイプに挟まれており、ひび割れ等の傷が生じても構造上脱落しない。また、万が一シールパッキンの脱落により閉塞が生じてもベントバルブから注水作業が行え、運用に支障が生じないことから、ドレンパイプとシールパッキンは評価から除外している。

ここで、使用予定期間中（60年）継続して使用される輸送物の各構成部材に係る熱的劣化については、(ロ)-第 F.1 表に示すとおり貯蔵時及び輸送時（一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件）の最高温度のうち高い温度が60年間継続する際の影響を評価する。また、放射線照射、化学変化の評価に対しても、60年の連続使用を考慮する。ここで、累積照射量は、保守的に放射能強度の減衰を考慮しない値を評価に使用する。

一方、疲労の評価において、上部トラニオンの使用計画回数は輸送回数（10回）×吊上回数（20回）の所を保守的に2倍の400回、三次蓋及び三次蓋ボルトの使用計画回数は輸送回数（80回）×輸送時使用回数（2回（輸送ごと））の所を保守的に2倍の320回を考慮する。

(2) 経年変化の考慮の必要性の評価結果

経年変化を考慮する本輸送物の構成部品として、安全機能を担う構成部品とその使用材料を(ロ)-第 F.2 表に示す。

収納物の経年変化考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第 F.3 表に示す。また、輸送容器の構成部材のうち使用予定期間中（60年）継続して使用される輸送容器の構成部材であるキャスク本体、バスケット、一次蓋及び二次蓋の経年変化考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第 F.4 表に、輸送時のみに使用される三次蓋及び緩衝体の経年変化考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第 F.5 表に示す。

(ロ)-第 F.1 表 使用予定期間中 (60 年) 継続して使用される輸送物の各構成部材における

貯蔵時及び輸送時の最高温度の比較

構成部材		最高温度 (°C)	
		貯蔵時	輸送時
燃料被覆管	17×17 燃料 収納時	206	196
	14×14 燃料 収納時	192	183
胴 (本体部)		132	118
胴 (フランジ部)		110	110
胴 (底板)		138	127
一次蓋		107	109
一次蓋ボルト		108	109
二次蓋		98	104
二次蓋ボルト		100	104
外筒		120	109
下部端板		122	111
蓋部中性子遮蔽材カバー		105	107
底部中性子遮蔽材カバー		120	114
トラニオン		126	114
バスケット		175	164
伝熱フィン		125	112
金属ガスケット		107	108
中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)		135	124

(ロ)-第 F.2 表 安全機能を担う構成部品とその使用材料

輸送物の構成部品	材料
燃料被覆管	ジルカロイ
銅 一次蓋 二次蓋 外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバー トラニオンボルト	炭素鋼
一次蓋ボルト 二次蓋ボルト 三次蓋ボルト 緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼
トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼
下部端板 底部中性子遮蔽材カバー 三次蓋	ステンレス鋼
バスケットプレート バスケットサポート バスケットスペーサ	アルミニウム合金
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金
伝熱フィン	銅
中性子遮蔽材	レジン
金属ガスケット	アルミニウム／ニッケル基合金
緩衝材	木材

(ロ)-第 F. 3 表 収納物の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/2)

収納物 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
燃料被覆管 (ジルカロイ)	熱	<p>クリープひずみの進行による燃料被覆管の破損、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下、燃料被覆管中の水素化物再配向による燃料被覆管の脆化、及び応力腐食割れについて評価する必要がある¹⁾。</p> <p>クリープひずみの進行については、予測式に基づく累積クリープひずみが 1 %以下となるよう制限することで防止できる¹⁾ことが示されており、後述する燃料被覆管中の水素化物再配向を防止する基準以内では、クリープひずみが 1 %を超えることはない。</p> <p>照射硬化の回復については、国内の軽水炉で照射された PWR 燃料の燃料被覆管を用いた照射硬化回復試験の結果では、硬化の回復のしきい値は 300 °C 近傍¹⁾であり、しきい値以下であれば照射硬化の回復の可能性は小さく、燃料被覆管の温度を制限することにより防止できる。</p> <p>燃料被覆管中の水素化物再配向については、国内の軽水炉で照射された PWR 燃料の燃料被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械的特性試験の結果、被覆管の周方向機械的特性が低下しない燃料被覆管の温度及び周方向応力は、39,000MWd/t 型及び 48,000MWd/t 型燃料の場合それぞれ 275 °C 以下及び 100 MPa 以下¹⁾、55,000MWd/t 型燃料の場合それぞれ 250 °C 以下及び 90 MPa 以下²⁷⁾と求められており、燃料被覆管温度と周方向応力を上記基準以内に制限することによって、機械的特性の劣化を防止できる。</p> <p>上記に示すとおり、燃料被覆管中の水素化物再配向を防止することにより、他の発生も同時に防ぐことができる。使用予定期間中の燃料被覆管の最高温度及び最高温度における周方向応力は、17×17 燃料で最も厳しい 48,000MWd/t 型の場合それぞれ 206 °C 及び 93 MPa、14×14 燃料で最も厳しい 55,000MWd/t 型の場合それぞれ 192 °C 及び 84 MPa で水素化物再配向を防止する基準以内であることから、燃料被覆管の機械的特性に影響は受けない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化を考慮する必要はない。</p>	無し

(ロ)-第 F. 3 表 収納物の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/2)

収納物 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
燃料被覆管 (ジルカロイ)	照射	使用予定期間中の累積中性子照射量が 1.5×10^{15} n/cm ² であり、炉内の中性子照射量 ($10^{21} \sim 10^{22}$ n/cm ²) に対して十分低いことから、放射線照射による影響は無視し得る ¹⁾ 。 よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	化学	応力腐食割れについては、燃料ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガスの放出はなく、また、原子炉運転中に燃料ペレットから放出されたよう素はヨウ化セシウムとして安定に存在することから応力腐食割れが発生する化学的雰囲気となっていない ¹⁾ 。なお、腐食性雰囲気の整った条件下での応力腐食割れ試験でジルコニウム合金の応力腐食割れのしきい応力は 200 MPa であり、使用済燃料貯蔵時の応力はこれに比べて十分低い ¹⁾ 。 また、残留水分が 10 wt% 以下の不活性ガス雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視し得るほど小さい ²⁾ ため、燃料被覆管の健全性に影響はない。 以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	疲労	内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないか又は発生しても変動が小さいため、疲労による経年変化は発生しない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
胴 一次蓋 二次蓋 トラニオンボ ルト	熱	高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、使用予定期間中の最高温度 (138℃) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点(K)の三分の一である 300 °C以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。	無し
(炭素鋼) 一次蓋ボルト 二次蓋ボルト (ニッケルクロ ムモリブデン 鋼)	照射	中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁵⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 6.5×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
胴 一次蓋 二次蓋 トラニオンボ ルト (炭素鋼) 一次蓋ボルト 二次蓋ボルト (ニッケルクロ ムモリブデン 鋼)	化学	<p>輸送容器の使用済燃料を閉じ込める空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料を貯蔵する設計としている。一方で、炭素鋼は、淡水に完全に浸漬した条件においても腐食速度は十分に小さいことが示されている⁶⁾。したがって、残留水分 (10 wt%) を考慮しても腐食の影響はない。また、使用済燃料貯蔵時の温度条件において、仮に燃料破損率 1 % 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、腐食の影響はない⁷⁾。</p> <p>一次蓋と二次蓋の間の空間部 (以下「蓋間空間」という。) には不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。また、中性子遮蔽材 (レジン) に接する部材には中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。なお、大気に触れる部分については、塗装等の防錆措置により腐食を防止する。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないか又は発生しても変動が小さいため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (3/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
バスケットプレート バスケットサポート バスケットス	熱	アルミニウム合金は、高温環境下では組織変化による強度低下（過時効の効果含む）が考えられる。加えて、高温環境下で応力が長期作用する場合はクリープによる変形が考えられる。このため、上記影響を考慮することとし、貯蔵開始時の温度（175 °C）が 60 年間継続する際の材料特性を反映した設計用強度・物性値 ⁸⁾ を基に、構造解析を実施する。なお、貯蔵時にバスケットプレートに発生する応力は 1 MPa 未満と小さく、使用予定期間中のバスケットプレートのクリープ変形量は無視し得る。	有り
ペーサ (アルミニウム合金) 中性子吸収材 (ほう素添加アルミニウム合金)	照射	アルミニウム合金は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁸⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.5×10^{15} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。また、ほう素添加アルミニウム合金については、中性子吸収材中のほう素の使用予定期間中の減損割合は 10^{-5} 程度であり、無視し得るほど小さいため、臨界防止機能への影響はない。 以上のことから技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	化学	バスケットが置かれた空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入する設計としている。したがって、不活性雰囲気は維持されるため、残留水分（10 wt%）を考慮しても腐食の影響はない ^{2)、7)} 。 以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	疲労	内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化は発生しない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
トラニオン (析出硬化系ス テンレス鋼)	熱	<p>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、使用予定期間中の最高温度 (126 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点 (K) の三分の一である 280 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定^{3)、4)}されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{17} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない⁹⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 6.5×10^{14} n/cm² であることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	化学	<p>トラニオンの内面は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じる。ここで、淡水中におけるステンレス鋼は不動態膜を形成するため、全面腐食の程度が不動態膜のない炭素鋼と比較して小さく、また、塩化物を含む環境であれば局部腐食が問題となるが¹⁰⁾、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素及び塩化物が連続的に供給されないため腐食の影響はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>取扱時に荷重が負荷され繰り返し応力が発生するため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>上部トラニオンに発生する繰り返し応力を、F. 2 で示したとおり保守側に設定した使用回数に基づいて疲労評価を行う ((ロ) 章 A 「構造解析」 の A. 4. 4. 2 参照)。</p>	有り

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (5/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
外筒及び蓋部 中性子遮蔽材 カバー (炭素鋼)	熱	<p>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、使用予定期間中の最高温度 (120 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点 (K) の三分の一である 300 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定^{3)、4)}されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{16} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない⁵⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は外筒では 3.5×10^{12} n/cm²、また、蓋部中性子遮蔽材カバーでは 6.5×10^{14} n/cm² であることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	化学	<p>外筒の内面及び蓋部中性子遮蔽材カバーの内面は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じる。一方、炭素鋼の腐食速度は、水中に溶存した酸素濃度に比例して増大するが¹⁰⁾、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。また、蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを封入し、蓋部中性子遮蔽材カバーの外表面は不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。</p> <p>なお、外筒の外表面については、塗装等の防錆措置により腐食を防止する。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>内外圧差や取扱いに起因する応力は発生しても変動が小さいため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (6/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
下部端板 底部中性子遮 蔽材カバー (ステンレス 鋼)	熱	<p>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、使用予定期間中の最高温度 (122 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点 (K) の三分之一である 280 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定³⁾、⁴⁾されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{17} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない⁹⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.5×10^{13} n/cm² であることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	化学	<p>内面は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じる。ここで、淡水中におけるステンレス鋼は不動態膜を形成するため、全面腐食の程度が不動態膜のない炭素鋼と比較して小さく、また、塩化物を含む環境であれば局部腐食が問題となるが¹⁰⁾、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>内外圧差や取扱いに起因する応力は発生しても変動が小さいため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (7/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
中性子遮蔽材 (レジン)	熱	高温環境下では含有する水分が放出されることによる質量減損が生じることが考えられる。このため、上記影響を考慮することとし、貯蔵開始時の温度 (135 °C) が 60 年間継続する際の質量減損量を基に遮蔽解析を実施する。	有り
	照射	中性子照射量が 10^{15} n/cm ² オーダーまでは、顕著な質量減損は見られないことが示されており ^{11)、12)} 、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.5×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	化学	熱的影響に併せて記載	有り
	疲労	内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化は発生しない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (8/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
金属ガスケット (アルミニウム /ニッケル基 合金)	熱	高温環境下ではニッケル基合金製のコイルスプリング並びにニッケル基合金及びアルミニウム製の被覆材のリラクゼーションに伴う、落下時の密封性能の低下が考えられる。このため、上記影響を考慮することとし、貯蔵開始時の温度 (107 °C) が 60 年間継続する際の密封性能の低下を考慮しても保証できる漏えい率 ¹³⁾ 、 ¹⁴⁾ を用いて、15 m 浸漬における 1 か月間の浸水量を基に臨界解析を実施する。	有り
	照射	アルミニウム/ニッケル基合金は、中性子照射量がそれぞれ 10^{19} n/cm ² オーダー又は 10^{21} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ¹⁵⁾ 、 ¹⁶⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 2.0×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	化学	蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、その圧力を監視する設計としている。一次蓋の金属ガスケット及び二次蓋の金属ガスケットの内側は不活性雰囲気であり、腐食を考慮する必要はない。大気と接触する二次蓋金属ガスケットの外側については、約 3 年間の塩水噴霧試験を実施し、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化のないことが示されている ¹⁷⁾ 。また、10 年間海浜条件で大気ばく露させた際の平均浸食深さ及び最大孔食深さが示されており、使用予定期間中の浸食深さ及び孔食深さを評価した結果、それぞれ約 0.025 mm 及び約 0.33 mm であり ⁶⁾ 、外被材の製造公差 ^(注) を含めても、板厚 0.5 mm より小さいため、閉じ込め機能に影響はない。 (注) 製造公差の例 (ノミナル寸法 : 0.5 mm、製造公差 :) 以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	疲労	内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化は発生しない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。	無し

(ロ)-第 F. 4 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (9/9)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
伝熱フィン (銅)	熱	<p>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、使用予定期間中の最高温度 (125 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点 (K) の三分の一である 170 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定¹⁸⁾されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{16} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない¹⁹⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.5×10^{14} n/cm² であることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	化学	<p>銅の電極電位は炭素鋼に比べて高く、イオン化傾向の低い金属である¹⁰⁾ことから、銅は腐食することではなく、炭素鋼が選択的に腐食される。また、中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じるが、酸化鉄の生成により酸素の拡散障壁が形成されること、及び中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないことから、腐食の影響はない。</p> <p>伝熱フィン並びに胴及び外筒の接合部において、異種金属接触により胴及び外筒の腐食が促進される可能性があるが、閉鎖環境かつ淡水環境では、銅が接続された鋼の腐食速度が鋼単独の場合と同程度になる²⁰⁾ことが示されている。また、中性子遮蔽材の熱的劣化により生じる水分量は限定的であることに加え、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、異種金属接触による接合部への腐食促進の影響は小さく、腐食の影響はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>内外圧差や取扱いに起因する応力は発生しても変動が小さいため、疲労による経年変化は発生しない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し

(ロ)-第 F. 5 表 輸送時のみに使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(1/4)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
三次蓋 (ステンレス 鋼)	熱	<p>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、運搬中の最高温度 (103 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点 (K) の三分の一である 280 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定^{3)、4)}されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{17} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない⁹⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1×10^{14} n/cm² を下回ることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	化学	<p>耐食性に優れたステンレス鋼を使用するため、実用上問題となる腐食は生じない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>内外圧力差により繰り返し応力が発生するため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>内圧変化による荷重が負荷される三次蓋に発生する繰り返し応力を、F. 2 で示したとおり保守側に設定した使用回数に基づいて疲労評価を行う ((ロ)章 A「構造解析」の A. 5. 1. 4 参照)。</p>	有り

(ロ)-第 F. 5 表 輸送時のみに使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/4)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
三次蓋ボルト 緩衝体ボルト (ニッケルクロ ムモリブデン 鋼)	熱	<p>高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、運搬中の最高温度 (102 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (融点 (K) の三分の一である 300 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定^{3), 4)}されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{16} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない⁵⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1×10^{14} n/cm² を下回ることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	化学	<p>メッキ処理等の防錆措置を実施するため、実用上問題となる腐食は生じない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し
	疲労	<p>内外圧力差により繰り返し応力が発生するため、経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>内圧変化による荷重が負荷される三次蓋ボルトに発生する繰り返し応力を、F. 2 で示したとおり保守側に設定した使用回数に基づいて疲労評価を行う ((ロ)章 A「構造解析」の A. 5. 1. 4 参照)。</p>	有り

(ロ)-第 F. 5 表 輸送時のみに使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(3/4)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
緩衝材 (木材)	熱	<p>高温環境下では熱による強度低下が考えられ、木材温度が 200 °C に達すると木材の熱分解が進む²¹⁾との文献が確認できたものの、直接参照できる文献は乏しい状況にある。一方で、緩衝材として木材が広く使用されていることを踏まえ、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件をもとに収納物による設計上の最大入熱を考慮した輸送容器の緩衝材の平均温度を評価した結果、約 40～70 °C 程度であること、使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の圧潰強度及び密度測定の結果、木材の衝撃吸収性能は健全であり、性能劣化はなかったことから、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる^(注)。</p> <p>以上のことから技術基準への適合性を評価する上で熱による経年変化の考慮は必要ない。</p> <p>なお、輸送に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。</p>	無し
	照射	<p>中性子照射量が 10^{16} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない²²⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1×10^{13} n/cm² を下回ることから照射脆化の影響はない。</p> <p>よって、技術基準への適合性を評価する上で放射線による経年変化の考慮は必要ない。</p>	無し

(注) 参考資料：第 12 回輸送容器及び使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器に関する審査会合（令和 4 年 4 月 25 日） 資料 1 別紙「緩衝材（木材）の熱的劣化について」

(ロ)-第 F. 5 表 輸送時のみに使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/4)

構成部材 (材料)	経年変化 要因	経年変化の考慮の必要性の評価	経年変化 の考慮の 必要性
緩衝材 (木材)	化学	緩衝材の充填空間はステンレス鋼製のカバースプレートの覆われた閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽しない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で化学的要因による経年変化の考慮は必要ない。	無し
	疲労	内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化は発生しない。 よって、技術基準への適合性を評価する上で疲労による経年変化の考慮は必要ない。	無し

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

(ロ)-第 F.3 表から(ロ)-第 F.5 表に示す経年劣化の考慮の必要性の評価結果に基づき、(ロ)章では、バスケット（アルミニウム合金）、中性子遮蔽材（レジン）、金属ガスケット、上部トラニオン、三次蓋及び三次蓋ボルトの経年変化を考慮する。

取扱時に荷重が負荷される上部トラニオンの疲労評価については(ロ)章 A「構造解析」の A.4.4.2 において、内圧変化による荷重が負荷される三次蓋及び三次蓋ボルトの疲労評価については A.5.1.4 において実施している。

また、バスケット、中性子遮蔽材及び金属ガスケットについては、以下の通り経年変化を考慮した上で、安全解析を実施している。

(1) バスケット

バスケットに使用されるアルミニウム合金については、構造解析において、(ロ)章 A「A.10.5 MSF-21P 型輸送容器のバスケットプレート用材料アルミニウム合金（MB-A3004-H112）に関する説明書」に示す、高温での 60 年間の熱ばく露後の材料特性を反映した設計用強度・物性値を使用する。

(2) 中性子遮蔽材

a. 構造解析における中性子遮蔽材部の圧力上昇

蓋部、側部及び底部中性子遮蔽材部には、レジンが充填されており、その空間部には空気が大気圧で封入されている。側部中性子遮蔽材部及び底部中性子遮蔽材部には可溶栓が設置されており、輸送前にはそれらの交換などの容器保守で一時的に圧力が開放されるが、通常は大気と遮断された環境にある。また、蓋部中性子遮蔽材部は、圧力が解放されることはなく、常時閉鎖されている。

中性子遮蔽材に用いるエポキシ系レジンについて、貯蔵期間を考慮した経年劣化評価試験が実施されており^{12)、23)~25)}、長期貯蔵後の中性子遮蔽材部の気相部分の成分は主に水、二酸化炭素及び窒素と考えられる。

水については、水の存在による圧力上昇を飽和水蒸気圧として考慮する。二酸化炭素については、初期に空間部分に存在する酸素によるレジンの酸化反応により発生するため、二酸化炭素は初期に存在した酸素と同量の物質質量に設定する。また、窒素は、不活性ガスであることからレジンへの吸収がないものとし、初期に存在した物質質量とする。したがって、空間部分の水を除くガスの物質質量は変化しないものとし、初期に存在する空気として評価する。

構造解析では中性子遮蔽材部の気相部分の圧力上昇として、空気温度の上昇、レジンの熱膨張による空気体積の減少及び飽和水蒸気圧を考慮した。

中性子遮蔽材部の圧力 P (MPa) は、以下のとおり求められる。なお、外筒内面の

膨張吸収材 が取り付けられる面には以下式によって求めた中性子遮蔽材部圧力に、膨張吸収材の圧縮による圧力 を加えて圧力を設定した。

$$P = P_W + P_G$$

ここで、

P_W : 温度 t の飽和水蒸気圧 (MPa)

P_G : 温度 t の空気の分圧 (MPa)

$$P_G = P_0 \times \frac{t + 273.15}{20 + 273.15} \times \frac{V - V_{R0}}{V_V}$$

P_0 : 大気圧 (0.101325 MPa)

t : 一般または特別の試験条件における中性子遮蔽材温度 (°C)

V : 中性子遮蔽材部の全容積 (m³)

V_{R0} : 初期の中性子遮蔽材の体積 (m³)

V_V : 温度 t の空気の体積 (m³)

$$V_V = V - V_{R0} \times (1 + \alpha(t - 20))^3$$

α : 温度 t の中性子遮蔽材の熱膨張係数 (m/m°C)

一般の試験条件及び特別の試験条件における中性子遮蔽材部圧力の計算条件及び計算結果を(Ⅱ)-第 F. 6 表に示す。なお、特別の試験条件において、側部中性子遮蔽材部の圧力は可溶栓によって開放される。

(ロ)-第 F. 6 表 中性子遮蔽材充填部圧力の計算条件及び計算結果

部位	試験条件	中性子遮蔽材部の全容積 : V (m ³)	初期の中性子遮蔽材の体積 : V _{R0} (m ³)	中性子遮蔽材温度 : t (°C) (注 1)	温度 t の空気の体積 : V _v (m ³)	温度 t の空気の分圧 : P _G (MPa)	温度 t の飽和水蒸気圧 : P _w (MPa)	中性子遮蔽材部圧力 : P (MPa)
蓋部	一般							
	特別							
側部	一般 (注 3)							
	特別 (注 4)							
底部	一般 (注 3)							
	特別 (注 5)							

(注 1) 一般の試験条件又は特別の試験条件における平均温度

(注 2) 20 °Cにおける体積

(注 3)

(注 4) 特別の試験条件において、下部端板に設けられた可溶栓が熱により溶融し、側部中性子遮蔽材部は大気圧となるが、一般の試験条件と同じ圧力とする。

(注 5) 底部中性子遮蔽材部の特別の試験条件における計算においては、飽和水蒸気圧に加え、一般の試験条件における圧力に対し、空気温度の上昇及びレジンの熱膨脹による空气体積の減少による圧力上昇を考慮する。

(注 6) 一般の試験条件での中性子遮蔽材温度（平均温度）における体積

(注 7) 外筒内側の膨張吸収材 () が取り付けられている面には、表中に記載の圧力に加えて膨張吸収材の圧縮による圧力 () を考慮する。

b. 遮蔽解析における質量減損

使用予定期間経過後の中性子遮蔽材の質量減損率の評価を行い、経年劣化を考慮した原子個数密度を遮蔽解析に用いている。

質量減損率は、劣化パラメータにより次式で表される。

$$\Delta w = 5.69 \times 10^{-4} \times E_p - 19.2 \quad (11)$$

ここで、

Δw : 中性子遮蔽材の質量減損率 (%)

E_p : 劣化パラメータ

$$E_p = T \times (77.6 + \ln(t))$$

T : 中性子遮蔽材温度 (K)

t : 中性子遮蔽材加熱時間 (h)

貯蔵中は、使用済燃料の崩壊熱量の低下に伴い、中性子遮蔽材の温度も低下するが、使用予定期間経過後の中性子遮蔽材の質量減損率算定においては、保守的に貯蔵開始直後の中性子遮蔽材の最高温度が使用予定期間にわたり一定として質量減損率を算定する。使用予定期間初期の中性子遮蔽材の最高温度を(ロ)-第F.7表に示す。

上記を基にすれば、使用予定期間経過後の劣化パラメータは、温度の高い底部中性子遮蔽材で約 38000 となり、質量減損率は約 1.9 %と算定される。遮蔽解析ではこれを切り上げて 2.5 %の質量減損があるとして評価する。

なお、中性子遮蔽材から放出される成分は水が支配的であり、水よりも水素含有率が高いガス成分はわずかである^{12)、23)~25)}。したがって、遮蔽解析においては、中性子の遮蔽性能を安全側に設定するため、中性子遮蔽材の質量減損の成分を全て水とし、この質量減損分を遮蔽体として無視している。

(ロ)-第F.7表 使用予定期間初期の中性子遮蔽材の最高温度^(注1)

蓋部 (°C)	側部 (°C)	底部 (°C)
107 ^(注2)	129 ^(注2)	135 ^(注2)

(注1)最高温度の主な算出条件を以下に示す。

- ・キャスクの貯蔵方式：縦置き貯蔵
- ・環境温度：50°C
- ・キャスクのピッチ：3.5 m

(注2)14×14 燃料 55,000MWd/t 型よりも温度が高い 17×17 燃料 48,000MWd/t 型の温度である。

- 15) H. Yoshida, et al., “Reactor Irradiation Effects on Al 1100”, Proc. Jpn. Congr. Mater. Res., Vol.24, (1981).
- 16) T. T. Claudson, “Cladding and Structural Materials Semi-Annual Progress Report”, HEDL-TME 75-77, (1975).
- 17) 小崎明朗, 「使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他」, (株) 日本原子力情報センター主催セミナー「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」, (1998).
- 18) (一財)日本規格協会, 「圧力容器の設計 (JIS B 8267 : 2015)」, (2015).
- 19) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, ASTM STP888, (1986).
- 20) 能登谷武紀, 「密閉系淡水における鋼-銅系のガルバニック腐食」, 伸銅技術研究会誌 33 巻, (1994).
- 21) 岡野健, 祖父江信夫, 「木材科学ハンドブック」, 朝倉書店, (2006).
- 22) 三菱重工業(株), 「発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請書(特定兼用キャスク) 本文及び添付書類の一部補正について」, (2021).
- 23) 原燃輸送(株), 「使用済燃料等の輸送容器に用いられる中性子しゃへい材(NS-4-FR)の連続加熱評価試験」, NFT-TR-97001, (1997).
- 24) (財)原子力発電技術機構, 「平成 13 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2002).
- 25) (財)原子力発電技術機構, 「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2003).
- 26) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 16 年度 中間貯蔵施設健全性評価手法等調査報告書(1/2) 最終報告」, (2005).
- 27) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 20 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(中間貯蔵設備等長期健全性等試験のうち貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」, (2009).

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
第3条 第3項		<p>・金属ガスケット（アルミニウム／ニッケル基合金）については、高温環境下ではリラクゼーションによる落下時の密封性能低下が考えられるため、貯蔵開始時の温度が60年間継続する際の密封性能の低下を考慮しても保証できる漏えい率を用いて15m浸漬における1か月間の浸水量を評価した結果、約2リットルとなったことから、臨界解析では、保守的に5リットルの浸水を考慮する。</p> <p>また、緩衝材として用いる木材については、実輸送時における緩衝材の温度及び使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の試験結果より、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる。</p> <p>その他の部材については、最高温度がクリープによる変形を考慮する必要のない温度以下である等の理由により安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> <p>(2) 放射線照射による劣化については、中性子照射による強度、弾性、脆化等の機械的性質への影響が考えられるが、使用予定期間中の累積照射量が機械的特性変化を考慮する必要のない照射量に比べて小さい等の理由により安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> <p>(3) 化学的劣化に関しては、腐食による強度の低下が考えられるが、不活性ガス雰囲気下にある、又は酸素が連続的に供給されない閉鎖環境下にある等の理由により安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> <p>(4) 疲労による劣化に関しては、上部トラニオン、三次蓋及び三次蓋ボルトに繰返し荷重が作用することによる疲労破壊が考えられるため、構造解析において影響を評価する。</p>	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
<p>(BM 型輸送物に係る技術上の基準) 第 6 条第 1 号</p> <p>(第 5 条第 1 号)</p> <p>(第 4 条第 1 号)</p>		<p>c. 以上より、安全解析においては、上記で抽出されたバスケット（アルミニウム合金）、中性子遮蔽材（レジン）及び金属ガスケットの熱的劣化による影響並びに上部トラニオン、三次蓋及び三次蓋ボルトの疲労を考慮した評価を実施し、第 6 条の技術上の基準に適合していることを確認した。</p> <p>後述のとおり第 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。</p> <p>後述のとおり第 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。</p> <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. 輸送物の吊上装置であるトラニオンは、公式を用いた計算により、取扱時を考慮して安全係数を 3 とし、収納物の最大収納体数を考慮した輸送物の吊上げ荷重の負荷時にも設計降伏点を下回るよう設計しており、急激な吊上げに耐えられるものである。</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>	<p>(イ)-C</p> <p>(ロ)-A. 4. 4</p> <p>(イ)-C</p> <p>(イ)-C</p>

(ハ)-第 A.1 表 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。	基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。 輸送物の <input type="checkbox"/> が施されていること。
2	吊上検査	輸送物を吊り上げた後の状態において、トラニオン部の外観を目視で検査する。	トラニオン部の性能に影響を与えるような傷、変形又は損傷のないこと。
3	重量検査	輸送容器及び収納物の合計重量を、製造時の重量検査記録及び構内輸送前検査の収納物検査記録により確認する。	131.2 トン以下であること。
4	表面密度検査	スミヤ法により輸送物の表面密度を測定する。	α 線を放出する放射性物質：0.4 Bq/cm ² α 線を放出しない放射性物質：4 Bq/cm ² をそれぞれ超えないこと。
5	線量当量率検査	輸送物の表面及び表面から 1 m の距離におけるガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定する。	ガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の合計が 表面：2 mSv/h 表面から 1 m の距離：100 μ Sv/h をそれぞれ超えないこと。
6	未臨界検査	構内輸送前検査及び貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の未臨界検査 ^(注1) 記録並びに発送前検査の外観検査記録を確認する。	① 貯蔵期間中に臨界防止機能が維持されていること ^(注1) 。 ② 臨界防止機能に影響する輸送容器の変形又は破損がないこと。
7	収納物検査	構内輸送前検査及び貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の収納物検査 ^(注2、3) 記録並びに発送前検査の外観検査記録を確認する。	① 使用済燃料集合体の仕様、数量及び収納配置が、輸送認可条件のとおりであること ^(注2) 。 ② 貯蔵期間中に使用済燃料集合体の健全性が維持されていること ^(注3) 。 ③ 使用済燃料集合体の健全性に影響する輸送容器の変形又は破損がないこと。
8	温度測定検査	温度計により輸送物の表面温度を測定し、周囲温度 38 °C での値に補正する。	輸送中人が容易に近づくことができる表面の温度が日陰において 85 °C を超えないこと。
9	気密漏えい検査	① 三次蓋密封部の漏えい率を加圧法又は真空法により測定する。 ② 二次蓋密封部の漏えい率をヘリウムリーク試験、加圧法又は真空法により測定する。	① 三次蓋密封部の漏えい率が 2×10^{-3} ref cm ³ /s を超えないこと。 ② 二次蓋金属ガスケット密封部の漏えい率が 17×17 燃料装荷時： 2.32×10^{-6} Pa・m ³ /s、14×14 燃料装荷時： 2.41×10^{-6} Pa・m ³ /s、O リング密封部の漏洩率が 2×10^{-3} ref cm ³ /s を超えないこと。

(ハ)-第 A.1 表 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
10	圧力測定検査	<p>① 残留水分：構内輸送前検査の圧力測定検査記録により確認する。</p> <p>② ガス成分及び充填量：構内輸送前検査の圧力測定検査記録により確認する。</p> <p>③ 圧力：輸送容器内部圧力は構内輸送前検査の圧力測定検査記録により確認する。また、二重蓋間圧力は貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録により確認する。</p> <p>④ 残留水分、ガス成分及び充填量並びに輸送容器内部圧力が維持されていることを貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録により確認する。</p>	<p>① 輸送容器内部は、残留水分が 10 %を超えないこと。二重蓋間については、水分が除去されていること。</p> <p>② 充填ガスが純度 99 %以上のヘリウムであり、内部ガス充填量が検査要領書に規定する充填量範囲にあること。</p> <p>③ 輸送容器内部圧力及び二重蓋間圧力がそれぞれ(ロ)-第 F.1 表に示す貯蔵時最高温度の状態での 0.08 MPa・abs 以下及び 0.41 MPa・abs 以下であること。</p> <p>④ 貯蔵期間中の二重蓋間圧力が 0.105 MPa・abs 以上であること。</p>

(注1) ・ 構内輸送前検査の未臨界検査記録によりバスケットに臨界防止機能に影響する変形又は破損が生じていないこと。

・ 貯蔵前検査の収納物検査記録により収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内であること。
 ・ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録により輸送容器の密封機能が健全であり、バスケットの腐食防止環境が維持されていること。

・ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の表面温度検査記録により輸送容器の表面温度が 120 °C 以下であることで、バスケットの温度がロ章 F の熱影響で評価した範囲内であること。輸送容器の表面温度 120 °C は、輸送物の各々が(ロ)-第 F.1 表に示す貯蔵時最高温度の状態における温度であり、120 °C 以下であれば輸送物の各々は健全性を維持している。

・ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録によりバスケットの形状、寸法及び強度に影響する輸送容器の変形又は破損がないこと。

(注2) ・ 構内輸送前検査の収納物検査記録により使用済燃料集合体の仕様、数量及び収納配置が輸送認可条件のとおりであること。

(注3) ・ 構内輸送前検査の収納物検査記録により使用済燃料集合体の外観に異常がなく、燃料被覆管からの漏えいがないこと。

・ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録により輸送容器の密封機能が健全であり使用済燃料が腐食防止環境にあること。

・ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録により設計仕様書で規定する異常事象を超える外力の作用がないこと。

・ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の表面温度検査記録により輸送容器の表面温度が 120 °C 以下であることで、燃料被覆管の温度及び周方向応力がロ章 F の熱影響で評価した範囲内であること。

(ハ)-第 A. 4 表 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）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
6	表面温度検査	表面温度のモニタリング記録により測定値が検査要領書に規定する温度範囲にあることを確認する。	検査要領書に規定する温度範囲 (120℃ 以下) にあること。
7	収納物検査	<ul style="list-style-type: none"> ① 構内輸送前検査の収納物検査記録を確認する。 ② 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録を確認する。 ③ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録及び表面温度検査記録を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 収納前の使用済燃料が健全であること。 ② 輸送容器の密封機能が健全であり使用済燃料が腐食防止環境にあること。 ③ 設計仕様書で規定する異常事象を超える外力及び外部からの熱の作用がないこと。

(2) 組立溶接

所定の寸法・形状に加工された部材の組立溶接を行う。

(3) 緩衝材の組込み

〔 〕を行う。缶体に緩衝材(〔 〕)を組込む。

(4) 組立溶接

緩衝材の組込みを完了した缶体にカバースプレートの溶接を行う。

(5) 緩衝材の組込み

缶体に緩衝材(〔 〕)を組込む。

(6) 組立溶接

緩衝材の組込みを完了した缶体にカバースプレートの溶接を行う。

(7) 機械加工

容器との当り面等の機械加工を行う。

5. 輸送容器の組立

完成した胴にバスケット及びドレンパイプの組込み、並びにトラニオン、蓋、上・下部緩衝体の取付けを行い、輸送容器を組立てる。

(参)-第 A.1 表 材料適用規格 (板、棒、押出、鍛造及びボルト材)

使用部位	材料区分	適用規格 (注1)	備考
<u>1. キャスク本体</u> 胴 外筒 下部端板 伝熱フィン トラニオン 底部中性子遮蔽材カバー	鍛造材 板材 板材 板材 棒材 板材	[Redacted] JIS H 3100 C1020P [Redacted] 又は JIS H 3140 C1020BB [Redacted] JIS G 4303 SUS630-H1150 (注2) [Redacted]	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 銅 析出硬化系ステンレス鋼 ステンレス鋼
<u>2. 蓋</u> (1) 一次蓋 蓋板 蓋部中性子遮蔽材カバー カバープレート 蓋ボルト	鍛造材 板材 棒材 又は板材 ボルト材	[Redacted]	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼
(2) 二次蓋 蓋板 モニタリングポート カバープレート 蓋ボルト	鍛造材 棒材 又は板材 ボルト材	[Redacted]	炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼
(3) 三次蓋 蓋板 リリーフバルブカバー プレート 蓋ボルト	鍛造材 又は板材 棒材 又は板材 ボルト材	[Redacted]	ステンレス鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼
<u>3. バスケット</u> バスケットプレート バスケットサポート バスケットスペーサ	押出材 押出材 押出材	MB-A3004-H112 (注2) MB-A3004-H112 (注2) MB-A3004-H112	アルミニウム合金 アルミニウム合金 アルミニウム合金
<u>4. 緩衝体</u> カバープレート リブ	板材 板材	[Redacted]	ステンレス鋼 ステンレス鋼

(注1) 記載の規格材料又はその相当品を用いる。

(注2) 破壊靱性試験を行う。

(参)-第 A. 2 表 特殊材料

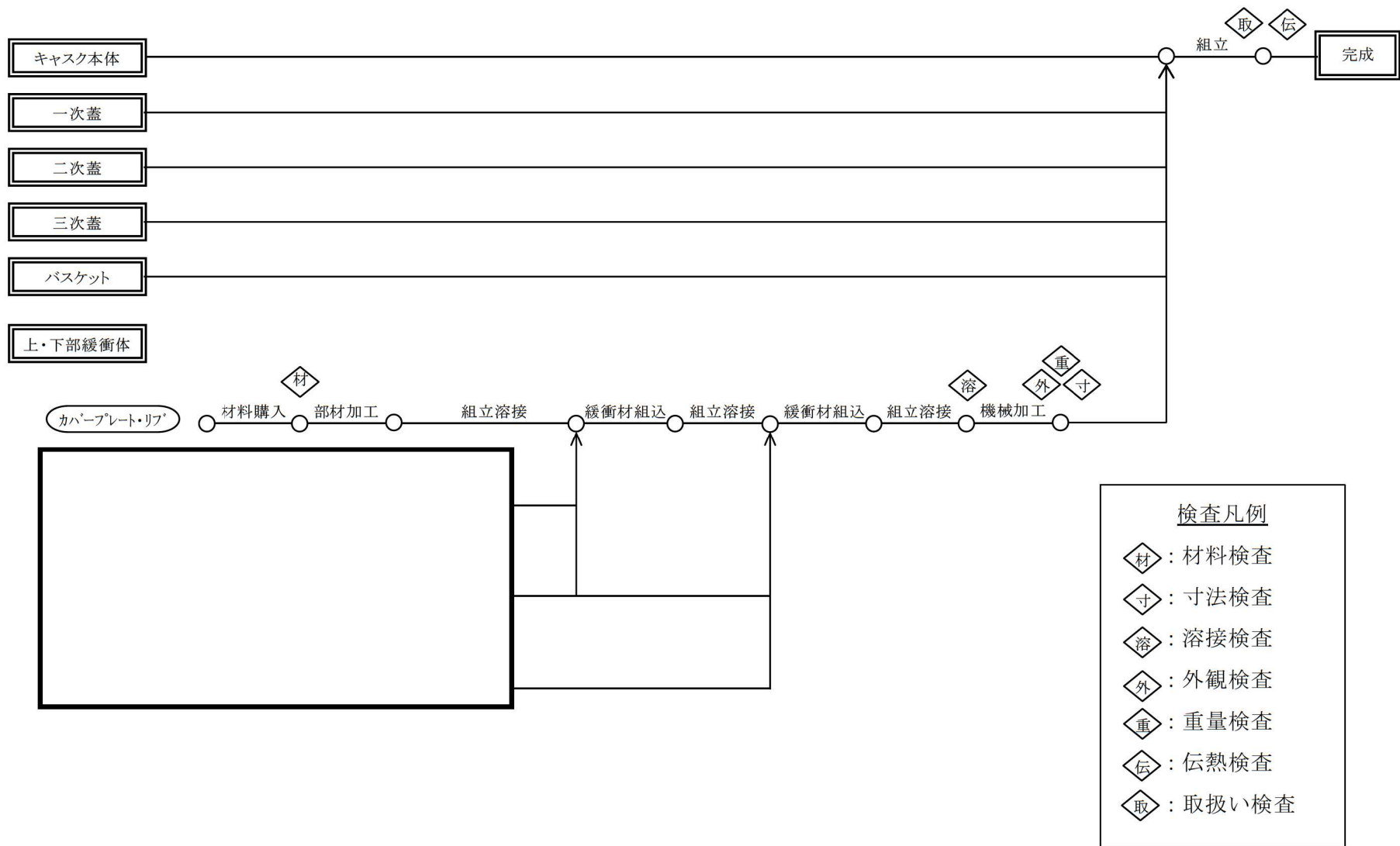
使用目的	材料名	適用規格 ^(注)	備考
中性子遮蔽材	レジン	メーカー標準	
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	メーカー標準	
緩衝材		メーカー標準	
シール材 (Oリング)	EPDM (三次蓋シール部等)	JIS B 2401	硬さ (Hs) : 70 ± 5
金属 ガスケット	ニッケル基合金及び アルミニウム (一次蓋及び二次蓋 シール部)	メーカー標準	ヘリコフレックス又は相当品 コイルス [®] リング [®] : ニッケル基合金 内側被覆 : ニッケル基合金 外側被覆 : アルミニウム 許容漏えい率 (Pa・m ³ /s) : 1.0 × 10 ⁻⁸ 以下

(注) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

(参)-第 B.1 表 検査項目一覧表

検査項目	容器(蓋を含む)		バスケット		緩衝体 ^(注)	
	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期
材料検査	○	製作中(材料受取時)	○	製作中(材料受取時)	○	製作中(材料受取時)
寸法検査	○	製作中及び製作完了時	○	製作中及び製作完了時	○	製作完了時
溶接検査	○	製作中	—	—	○	製作中
外観検査	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作中及び製作完了時
耐圧検査	○	製作中	—	—	—	—
気密漏えい検査	○	製作中及び製作完了時	—	—	—	—
遮蔽性能検査	○	製作中	—	—	—	—
遮蔽寸法検査	○	製作中	—	—	—	—
伝熱検査	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時
吊上荷重検査	○	製作完了時	—	—	—	—
重量検査	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時
未臨界検査	—	—	○	製作中及び製作完了時	—	—
作動確認検査	○	製作完了時	—	—	—	—
取扱い検査	○	製作完了時	○	製作完了時	○	製作完了時

(注) 緩衝体に係る検査実施時期を(参)-第 B-1 図に示す。



(参)-第 B-1 図 緩衝体検査実施時期 (例)