

核燃料輸送物設計承認申請の概要について (NFT-14P型)

2023年6月
原燃輸送株式会社



目次

- | | |
|----------------------|--------|
| 1. NFT-14P型核燃料輸送物の概要 | P.3～5 |
| 2. 外運搬規則への適合性 | P.6～18 |
| 3. 特記事項 | P.19 |



1. NFT-14P型核燃料輸送物の概要

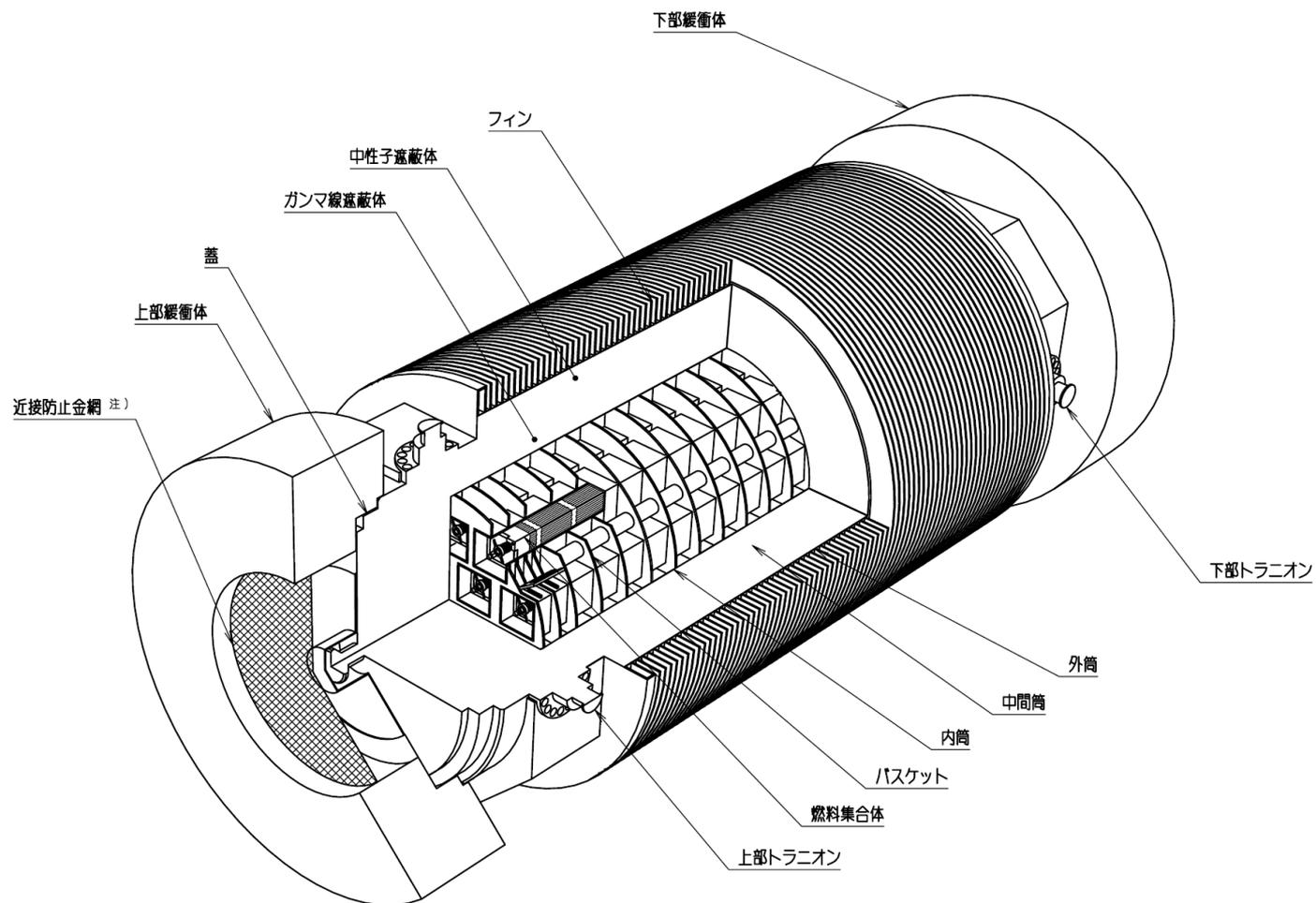
1.1 使用の目的

本核燃料輸送物は、軽水炉型原子力発電所の使用済燃料(PWR型)を再処理工場に輸送することを目的とするものである。

1.2 本核燃料輸送物の主な仕様

核燃料輸送物の名称	NFT-14P型	
核燃料輸送物の種類	BM型輸送物及び核分裂性輸送物	
輸送容器の外形寸法	外径:約2.6m(上・下部緩衝体を含む。)、長さ:約6.3m(上・下部緩衝体を含む。)	
核燃料輸送物の総重量	115.0トン以下(輸送架台は含まず。)(この内、輸送容器の重量は101.2トン以下。)	
輸送容器の主要材料	内筒、底板、蓋、フィン	ステンレス鋼
	中間筒	炭素鋼
	外筒	炭素鋼
	トランニオン	ステンレス鋼
	ガンマ線遮蔽体	鉛
	中性子遮蔽体	レジン
	伝熱フィン	銅
	バスケット	ボロン入りステンレス鋼及びステンレス鋼
	緩衝体	ステンレス鋼及び木材

1. NFT-14P型核燃料輸送物の概要



注) 取り付けない場合がある。

原燃輸送

NUCLEAR FUEL TRANSPORT CO., LTD.



1. NFT-14P型核燃料輸送物の概要

1.3 収納物の主な仕様

燃料集合体の種類と型式		タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5	タイプ6
		14×14配列型 (12フィート)	15×15配列型	17×17配列型	14×14配列型	15×15配列型	17×17配列型
種類		使用済燃料(軽水炉(PWR))					
性状		固体(二酸化ウラン粉末焼結体)					
輸送容器1基当たり	発熱量(kW以下)	54					
	収納体数(体以下)	14					
	収納物重量(トン以下)	10.2					
燃料集合体1体	燃料集合体重量(kg以下)	590	670	680	600	680	690
	ウラン重量(kg以下)	410	470	470	420	470	480
	初期濃縮度(%以下)	4.3	4.3	4.3	4.9	4.7	4.9



2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

本申請では、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。)の改正内容(令和3年1月1日施行分まで)の反映を行うため、使用期間中に想定される経年変化の影響を評価し、技術上の基準に適合していることを確認する上で、その考慮の必要性及び必要な場合に考慮すべき事項について抽出した。

注) 本輸送物の類似設計については、原規規発第1706169号(平成29年6月16日付け)により核燃料輸送物設計承認を受けた実績がある。

2.1 使用予定期間

使用予定期間は60年、使用予定回数は400回を想定。

なお、使用予定期間(60年)のうち、保守や空容器輸送等の期間は収納物が収納されないが、経年変化の評価に当たっては、収納物が収納された際に想定される熱や放射線等の環境に継続的にさらされるものとし、その期間を保守的に60年(以下「評価期間」という。)とした。ただし、リングは実使用期間(燃料装荷期間)の合計で1年に1回以上の頻度で交換するため、評価期間を1年とした。



2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

2.2 考慮すべき経年変化の要因

(1) 熱的劣化

通常使用条件ではなく保守的に一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件の最高温度が60年間(リングについては1年間)継続する際の影響を評価。

(2) 放射線照射による劣化

非金属材料(レジン・木材・ふっ素ゴム)については、中性子とガンマ線に対して影響を評価。

金属材料については、主に原子のはじき出しにより照射脆化が生じるが、ガンマ線に起因するはじき出しが生じる確率は中性子と比較して2桁以上小さいことから、中性子に対しての影響を評価。

(3) 化学的劣化

使用環境における各部材に想定される化学的反応の影響を評価。

(4) 疲労による劣化

吊上げによる荷重、運搬中の内外圧差による荷重、蓋ボルトの締付けによる荷重、熱膨張差による荷重を繰り返し受ける構成部材を評価。



2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

2.3 対象材料

以下に示す輸送物の構成部材を対象に評価した。なお、収納物である燃料集合体については、繰り返し使用されることはなく、また、長期保管後に輸送するものではないため、評価対象から除外している。

部材	部品											
	本体						蓋			緩衝体	収納物	バスケット
	内筒、底板、 トランニオン、 フィン等	中間筒、 外筒	ガンマ線 遮蔽体	中性子 遮蔽体	伝熱 フィン	リング	蓋	蓋 ボルト	リング			
ステンレス鋼	○						○			○	○	
炭素鋼		○										
鉛			○									
レジン (エポキシ系樹脂)				○								
銅					○							
合金鋼								○				
ステンレス鋼及び ボロン入り ステンレス鋼												○
木材										○		
ふっ素ゴム						○			○			

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

(1) 熱的劣化

熱については、高温環境下における組織変化による強度低下、クリープによる変形等の材料への影響が想定される。レジンについては、レジンから放出される水分により中性子遮蔽体部の圧力上昇及び質量減損が発生するため、構造解析及び遮蔽解析においてレジンの熱による経年変化を考慮する。その他部材については、評価期間中における最高温度は、想定される事象が現れる温度を下回るため、技術上の基準に適合していることを確認する上で、熱による経年変化の影響を考慮する必要はない。

部材	(1)熱的劣化		安全解析における経年変化の考慮の必要性
	材料に影響を与える温度	輸送時の各部材の最高温度	
ステンレス鋼	280°C(クリープによる変形)	180°C未満	必要なし
炭素鋼	300°C(クリープによる変形)	170°C未満	必要なし
鉛	327.5°C(融点:変形に伴う遮蔽性能の低下)	180°C未満	必要なし
レジン (エポキシ系樹脂)	温度及び加熱時間に基づく評価により影響を判断 (圧力上昇・質量減損)	160°C未満	考慮が必要
銅	170°C(クリープによる変形)	160°C未満	必要なし
合金鋼	300°C(クリープによる変形)	170°C未満	必要なし
ステンレス鋼及び ボロン入りステンレス鋼	280°C(クリープによる変形)	190°C未満	必要なし
木材	200°C(熱分解による強度低下)	94°C	必要なし
ふっ素ゴム	300°C(復元力の低下)	164°C	必要なし

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

(2) 放射線照射による劣化

放射線については、中性子照射及びガンマ線照射による機械的特性の変化に伴う照射脆化、質量減損による原子個数密度の減少等の材料への影響が想定されるが、評価期間中における中性子及びガンマ線の累積照射量は、想定される事象が現れる照射量を下回る。

よって、技術上の基準に適合していることを確認する上で、放射線による経年変化の影響を考慮する必要はない。

評価した放射線の種類	部材	(2) 放射線照射による劣化		安全解析における経年変化の考慮の必要性
		材料に影響を与える照射量	評価期間中の累積照射量	
中性子	ステンレス鋼	10^{17} n/cm ² オーダー(照射脆化)	5.8×10^{14} n/cm ²	必要なし
	炭素鋼	10^{16} n/cm ² オーダー(照射脆化)	1.1×10^{14} n/cm ²	必要なし
	鉛	中性子吸収断面積が小さいことから、質量減損は無視し得る		必要なし
	レジン(エポキシ系樹脂)	10^{15} n/cm ² オーダー(質量減損)	3.2×10^{13} n/cm ²	必要なし
	銅	10^{16} n/cm ² オーダー(照射脆化)	3.2×10^{13} n/cm ²	必要なし
	合金鋼	10^{16} n/cm ² オーダー(照射脆化)	1.0×10^{13} n/cm ²	必要なし
	ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼	10^{17} n/cm ² オーダー(照射脆化)	5.8×10^{14} n/cm ²	必要なし
ガンマ線	木材	10^{16} n/cm ² オーダー(照射脆化)	3.8×10^{11} n/cm ²	必要なし
	レジン(エポキシ系樹脂)	3.9×10^4 Gy(質量減損)	6.5×10^2 Gy	必要なし
	木材	10^5 Gyオーダー(照射脆化)	2.8×10^2 Gy	必要なし
中性子及びガンマ線	ふっ素ゴム	6×10^4 Gy (機械的特性の変化に伴う密封性能への影響)	2.0×10^4 Gy	必要なし

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

(3) 化学的劣化

化学については、腐食等の化学的反応による影響が想定されるが、以下のことから、技術上の基準に適合していることを確認する上で、化学的要因による経年変化の影響を考慮する必要はない。

部材	(3) 化学的劣化				安全解析における経年変化の考慮の必要性
	①内水による影響	②検査、補修、防錆措置	③皮膜形成、拡散障壁	④密閉環境	
ステンレス鋼	内水による影響なし	○	○	○	必要なし
炭素鋼	内水との接触なし	○	—	○	必要なし
鉛	内水との接触なし	—	—	○	必要なし
レジン(エポキシ系樹脂)	内水との接触なし	—	—	—	必要なし
銅	内水との接触なし	—	○	○	必要なし
合金鋼	内水との接触なし	○	—	—	必要なし
ステンレス鋼及び ボロン入りステンレス鋼	内水による影響なし	—	○	—	必要なし
木材	内水との接触なし	—	—	○	必要なし
ふっ素ゴム	内水による影響なし	—	—	—	必要なし



2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

(4) 疲労による劣化

疲労については、輸送物の構成部材のうち、吊上げ、運搬中の内外圧差、ボルト締付け、熱膨張差による繰返し荷重を受ける部材であるステンレス鋼、炭素鋼、銅、合金鋼については、疲労による経年変化についての考慮が必要となる。このため、使用予定期間中に想定される最も厳しい荷重条件かつ使用予定回数を踏まえた上で、疲労を評価し、疲労破壊が生じるおそれはないことを確認する。なお、Oリングについては、輸送容器の使用回数は年10回程度であり、定期点検及び輸送物発送前検査において交換が必要となった場合には、その都度新品と取り替えることから評価の対象外とした。

部材	(4) 疲労による劣化		安全解析における経年変化の考慮の必要性
	運搬中の内外圧差や熱膨張差による繰返し荷重	輸送物の取扱いによる繰返し荷重	
ステンレス鋼	蓋、フランジ、内筒、底板、仕切板及びレジンカバーについては、運搬中の内外圧差による荷重を繰返し受ける。	トランニオンについては、吊上げによる荷重を繰返し受ける。	考慮が必要
炭素鋼	中間筒及び外筒については、運搬中の内外圧差による荷重を繰返し受ける。	—	考慮が必要
銅	伝熱フィンについては、熱膨張差による応力を繰返し受ける。	—	考慮が必要
合金鋼	蓋ボルトについては、運搬中の内外圧差による荷重を繰返し受ける。	蓋ボルトについては、ボルト締付けによる荷重を繰返し受ける。	考慮が必要
上記以外の部材	吊上げ、運搬中の内外圧差、ボルト締付け、熱膨張差による繰返し荷重を受けることはない。		必要なし

2. 外運搬規則への適合性 (安全解析について)

- 本輸送物に関する安全解析は、本輸送物が外運搬規則及び外運搬告示に基づいて、経年変化を考慮した上でBM型輸送物及び核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合することを示している。
- 使用予定期間中に想定される使用状況において、経年変化の要因として熱的劣化、放射線照射による劣化、化学的劣化による影響を評価した結果、熱による経年変化として、レジンから放出される水分が中性子遮蔽体部の圧力上昇へ寄与する影響を考慮する必要がある(⇒構造解析)。また、レジンからの水分の放出に伴う質量減損による原子個数密度の減少の影響を考慮する必要がある(⇒遮蔽解析)。その他の部材については、技術上の基準に適合していることを確認する上で、その影響を考慮する必要はないことを確認した。
- また、吊上げ、運搬中の内外圧差、蓋ボルト締付け、熱膨張差による荷重を繰り返し受けることから、疲労による経年変化を考慮する必要がある(⇒構造解析)。



2. 外運搬規則への適合性 (安全解析について)

項目	内容
構造解析	<p>構造解析では、経年変化の影響として中性子遮蔽体部の圧力上昇を考慮しても、通常輸送時において輸送物にき裂、破損等の生じるおそれがないことを確認した他、落下試験等により一般及び特別の試験条件において密封解析の前提となる密封装置が健全であることを確認した。また、各構造部材が使用予定回数(400回)に対して疲労によりき裂、破損等の生じるおそれがないことを確認した。</p> <p>また、熱及び遮蔽解析の評価条件を得るために一般及び特別の試験条件における輸送物の状態を評価した。さらに、本輸送物は核分裂性輸送物であるため、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件における輸送物の状態についても評価した。</p>
熱解析	<p>熱解析では、構造解析の評価結果に基づいて、一般及び特別の試験条件における輸送物各部の温度及び圧力を評価し、構成部品の温度及び圧力が使用可能温度及び圧力を超えないことを評価し、健全であることを確認するとともに、構造、密封、遮蔽及び臨界解析の評価条件を与えた。</p> <p>また、一般の試験条件の日陰において人が容易に近づくことができる表面における温度基準(85℃)を超えないことを評価し、健全であることを確認した。</p>
密封解析	<p>密封解析では、構造及び熱解析の評価結果並びに発送前検査における気密漏えい検査合格基準に基づいて、一般及び特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を評価し、基準値を満足することを確認した。</p>
遮蔽解析	<p>遮蔽解析では、経年変化の影響として中性子遮蔽材の質量減損による原子個数密度の減少を考慮した上で、構造及び熱解析の評価結果に基づいて、通常輸送時並びに一般及び特別の試験条件における輸送物表面及び表面から1m離れた位置の線量当量率を評価し、基準値を満足することを確認した。</p>
臨界解析	<p>臨界解析では、構造解析の評価結果に基づいて、通常輸送時、孤立系並びに核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件下に置かれた輸送物の孤立系及び配列系の各状態のいずれの場合にも未臨界であることを確認した。</p>



2. 外運搬規則への適合性 (第6条、第11条への適合について)

前頁までの経年変化の考慮した安全解析を踏まえ、本輸送物に適用される「第6条 BM型輸送物に係る技術上の基準」及び「第11条 核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準」に適合していることを確認した。

【第6条 BM型輸送物に係る技術上の基準】

規則	技術基準に適合していることの説明												
<p>第6条第1号</p> <ul style="list-style-type: none"> 輸送物は容易に、かつ、安全に取扱うことができること、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がないこと 表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと 	<p>① 運搬中に予想される温度及び内圧の変化並びに振動等に対する輸送物の耐性 取扱い中において輸送物の吊上げ、吊下ろしにより生じる荷重が輸送容器本体に負荷されること及び運搬中において輸送物の周囲の温度が運搬中に予想される最も低い温度である-20℃から38℃に変化することに伴う輸送容器本体の内圧変化により生じる荷重が輸送容器本体に負荷されることから、これらの荷重が使用予定期間中に繰り返し受けるとした場合の疲労評価において、繰り返し受ける負荷を保守的に設定して評価した結果、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p>												
<p>第6条第2号</p> <p>告示第14条に定める一般の試験条件の下に置くこととした場合に、</p> <ul style="list-style-type: none"> 表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、2mSv/hを超えないこと 放射性物質の1時間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと 日陰における表面の温度について、輸送中人が容易に近づくことができる表面の温度が85℃を超えないこと 表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えないこと 	<p>② 最大線量当量率</p> <table border="1" data-bbox="794 925 1789 1125"> <thead> <tr> <th></th> <th>表面</th> <th>表面から1m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>通常輸送時</td> <td>1,297.3 μ Sv/h</td> <td>79.0 μ Sv/h</td> </tr> <tr> <td>一般の試験条件</td> <td>1,297.3 μ Sv/h</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>特別の試験条件</td> <td>—</td> <td>2,422.1 μ Sv/h</td> </tr> </tbody> </table> <p>③ 放射性物質の漏えい率と基準値との比率…一般の試験条件: 6.10×10^{-1}(1時間当たり)、特別の試験条件: 4.25×10^{-4}(1週間当たり)</p>		表面	表面から1m	通常輸送時	1,297.3 μ Sv/h	79.0 μ Sv/h	一般の試験条件	1,297.3 μ Sv/h	—	特別の試験条件	—	2,422.1 μ Sv/h
	表面	表面から1m											
通常輸送時	1,297.3 μ Sv/h	79.0 μ Sv/h											
一般の試験条件	1,297.3 μ Sv/h	—											
特別の試験条件	—	2,422.1 μ Sv/h											
<p>第6条第3号</p> <p>告示第16条に定める特別の試験条件の下に置くこととした場合に、</p> <ul style="list-style-type: none"> 表面から1m離れた位置における最大線量当量率が10mSv/hを超えないこと 放射性物質の1週間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと 	<p>④ 一般の試験条件下に置いた場合の輸送物の表面温度…78℃</p> <p>⑤ 表面密度限度…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、輸送物の表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えることはない。</p>												

2. 外運搬規則への適合性 (第6条、第11条への適合について)

【第6条 BM型輸送物に係る技術上の基準】

規則	技術基準に適合していることの説明
<p>第6条第4号</p> <ul style="list-style-type: none"> 運搬中に予想される最も低い温度から38℃までの周囲の温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 本輸送物は、-20℃から38℃までの周囲温度の範囲において使用する。 本輸送物の構成部品は、最低使用温度-20℃において使用可能であるため、き裂、破損等の生じるおそれはない。 規則第4条第2号の熱解析において、周囲温度38℃で収納物の最大発熱量54kWとした場合の輸送物の各部温度及び圧力を評価しており、このときの温度分布及び圧力条件を引き継いだ構造解析において、各部の応力は設計応力強さ等の基準値を下回り、輸送物の構造健全性を損なうことがないことを確認している。なお、構造解析においては、木材低温時の強度上昇及び木材高温時の強度低下の影響を考慮している。 <p>したがって、-20℃から38℃までの周囲温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p>
<p>第6条第5号</p> <ul style="list-style-type: none"> 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が収納されている核燃料輸送物にあっては、原子力規制委員会の定める試験条件の下に置くこととした場合に、密封装置の破損のないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 本輸送物の収納物は使用済燃料であり、最大放射エネルギーはA₂値の10万倍を超える。 本輸送物は深さ200mの水中に浸漬させた場合の評価として、中間筒、底板及び蓋に対し、水頭圧(2MPa)を負荷した条件で工学式を用いて評価している。 評価の結果、中間筒、底板及び蓋は許容外圧や設計引張強さ等の基準を下回ることを確認していることから、本輸送物の構造健全性が損なわれることはない。また、外圧は蓋を押し付ける方向に作用し、Oリングの密封性能は維持されるため、本輸送物の密封性が損なわれることはない。

2. 外運搬規則への適合性 (第6条、第11条への適合について)

【第11条 核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準】

規則	技術基準に適合していることの説明
<p>第11条第1号</p> <ul style="list-style-type: none"> 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置くこととした場合に容器の構造部に一辺が10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと及び外接する直方体の各辺が10cm以上であること 	<p>核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた場合、構造解析により0.3m落下及び積み重ね試験では緩衝体の変形が生じるが、一辺が10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じる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。なお、臨界解析では緩衝体を無視しているため、臨界防止機能への影響はない。</p> <p>以上より、構造部に一辺が10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じることはなく、かつ、外接する直方体の各辺が10cm以上である。</p>



2. 外運搬規則への適合性 (第6条、第11条への適合について)

【第11条 核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準】

規則	技術基準に適合していることの説明
<p style="text-align: center;">第11条第2号</p> <ul style="list-style-type: none"> • 以下のいずれの場合にも臨界に達しないこと <ol style="list-style-type: none"> ① 告示第25条に定める孤立系の条件の下に置くこととした場合 ② 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを孤立系の条件の下に置くこととした場合 ③ 告示第26条に定める核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いたものを孤立系の条件の下に置くこととした場合 ④ 核分裂性輸送物と同一のものであって核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを、告示第27条に定める配列系の条件の下で、かつ、核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率(原子核分裂の連鎖反応において、核分裂により放出された1個の中性子ごとに、次の核分裂によって放出される中性子の数をいう。以下同じ。)になるような状態で、核分裂性輸送物の輸送制限個数(1箇所(集合積載した核分裂性輸送物が、他のどの核分裂性輸送物とも6m以上離れている状態をいう。)に集合積載する核分裂性輸送物の個数の限度として定められる数をいう。以下同じ。)の5倍に相当する個数積載することとした場合 ⑤ 核分裂性輸送物と同一のものであって核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いたものを、配列系の条件の下で、かつ、核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率になるような状態で、輸送制限個数の2倍に相当する個数積載することとした場合 	<p>左記の条件を全て包含し、臨界評価上厳しい結果を与えるよう収納物を未照射燃料とし、完全反射条件とすること等を条件として評価を行った結果、実効増倍率は0.92301となり、いずれの評価条件に置かれた場合にも臨界に達しない。</p>
<p style="text-align: center;">第11条第3号</p> <ul style="list-style-type: none"> • -40℃から38℃までの周囲の温度の範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと(ただし、運搬中に予想される最も低い温度が特定できる場合は、この限りでない。) 	<p>第6条第4号と同様の説明内容</p>

3. 特記事項

- 緩衝材の経年変化に関する知見が十分でないこと等も踏まえ、今後も経年変化に係る知見の収集に努めるとともに、新たな知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを講じること、緩衝体の使用に際しては、輸送の都度、使用に問題がないことを確認する。
- 疲労評価による許容繰返し回数を考慮して使用予定回数を設定しているが、安全性向上の観点から、本輸送容器の使用回数を管理するものとする。

