

資料1-1

Doc. No. L5-95KV253 R7

発電用原子炉施設に係る型式設計特定機器の 型式指定申請

規則への適合性について

2022.12.22

三菱重工業株式会社

枠囲いの内容は商業機密のため、非公開とします。

1. 外運搬規則への適合性概要	…2
2. 外運搬規則への適合性	…8
3. 説明スケジュール	…36

1. 外運搬規則への適合性概要

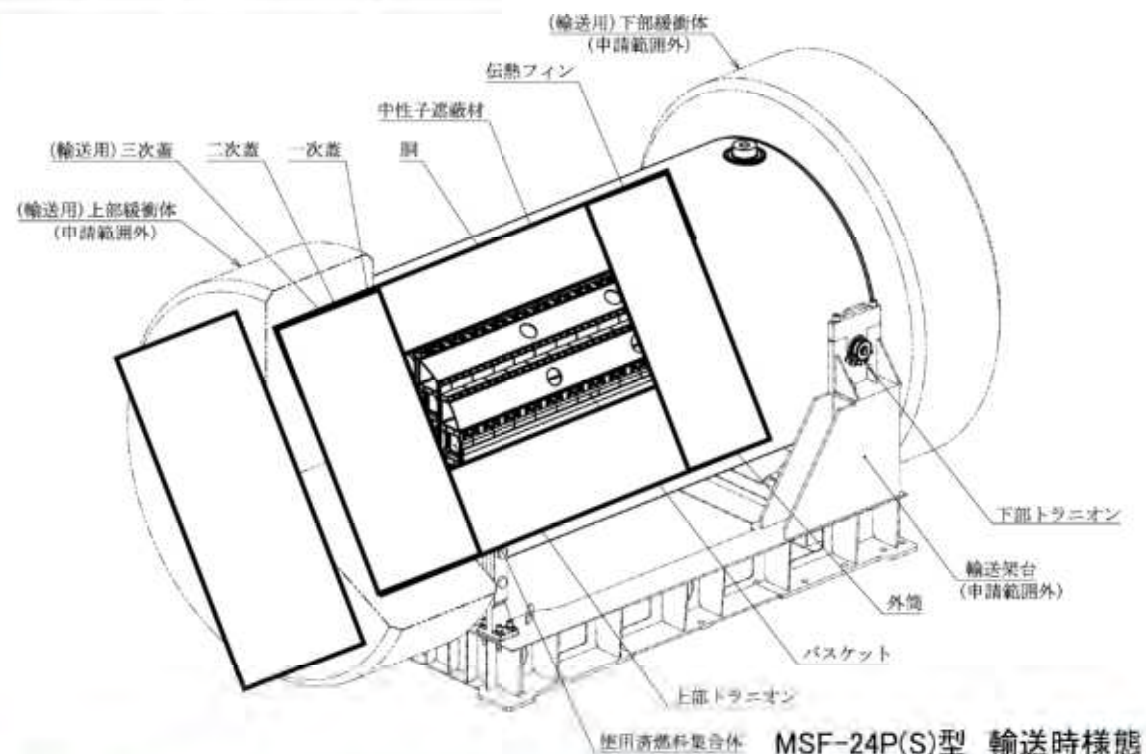
● 審査説明事項

BM型輸送物^(注)であるMSF-24P(S)型の設計が、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(以下「外運搬規則」という。)の第6条及び第11条に適合していることを説明する^(注)。

(注)外運搬規則第3条第1項第2号の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運搬する核燃料輸送物

外運搬規則		安全機能				構造強度	長期健全性
		臨界防止	遮蔽	除熱	密封		
第6条	BM型輸送物に係る技術上の基準	—	○	○	○	○	○
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	○	—	—	—	○	○

項目	適合性説明事項
第6条	核分裂性輸送物の経年変化を考慮した上で、BM型輸送物に係る技術上の基準を満足する設計であることを示す。
第11条	核分裂性輸送物の経年変化を考慮した上で、輸送中において臨界に達しない設計であること等を示す。



1. 外運搬規則への適合性概要

● 審査対象とする部品／設備

特定兼用キャスク及び関連部品／設備の審査対象を下表に示す。(輸送用)緩衝体は申請範囲外であるが、型式指定申請書添付書類13に示す、特定の仕様及び構造の(輸送用)上部緩衝体及び(輸送用)下部緩衝体を装着して輸送することを条件として規則適合性を説明する。

分類	部品/設備 ^(注1)			申請範囲及び審査対象 ^(注2)				
	名称	貯蔵時	輸送時	型式証明	設置(変更)許可	型式指定		設工認
				貯蔵時	貯蔵時	貯蔵時	輸送時	貯蔵時
特定兼用キャスク	キャスク本体/バスケット /一次蓋/二次蓋	□	□	○	○	○	○	○
	モニタリングホートカバープレート	—	□	—	—	—	○	—
	(輸送用)三次蓋	—	□	—	—	—	○	—
	貯蔵用三次蓋	□	—	○	○	○	—	○
周辺施設	(輸送用)緩衝体	—	□	—	—	—	△	—
	貯蔵用緩衝体	□	—	△	○	△	—	○
	貯蔵架台	□	—	—	○	—	—	○
	圧力センサ/温度センサ	□	—	—	○	—	—	○

(注1) 部品/設備の□は、供用中に使用することを示す。

(注2) ○は、審査対象であることを示す。

△で示す貯蔵用緩衝体は、申請範囲外・審査対象外の部品であるが、貯蔵時における特定兼用キャスクの安全機能を維持するための安全設計全般に係る設計方針に関連し、後段の設置(変更)許可申請又は設工認への引継ぎ事項(設計条件)を示すために審査に含める。

△で示す(輸送用)緩衝体は、申請範囲外・審査対象外の部品であるが、輸送時における特定兼用キャスクの安全機能維持するために必要な部品であるため、輸送時の規則に適合するために必要な部品として、審査に含める(型式指定申請書添付書類13に示す特定の仕様・構造の(輸送用)緩衝体を装着して輸送することを条件として、規則適合性を示す)。

1. 外運搬規則への適合性概要

● 型式指定申請書 添付書類13の構成及び審査範囲

添付書類13の構成及び審査範囲を下表に示す。添付書類13の記載事項のうち、八章、二章及び参考については、第1表に示すとおり、型式指定申請上の参考扱いである。

添付書類13の構成 ^(注1)		型式指定審査上の位置付け	
イ章	核燃料輸送物の説明	審査範囲	核燃料輸送物の使用目的、使用条件、仕様、収納物等の核燃料輸送物を説明するもの。安全解析及び安全評価の前提条件を示すものであり、審査範囲内。
ロ章	核燃料輸送物の安全解析	審査範囲	外運搬規則第6条及び第11条への適合性説明のために必要な核燃料輸送物の安全解析及び安全評価を示すものであり、審査範囲内。
ロ章A	構造解析		
ロ章B	熱解析		
ロ章C	密封解析		
ロ章D	遮蔽解析		
ロ章E	臨界解析		
ロ章F	核燃料輸送物の経年変化の考慮		
ロ章G	外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	審査範囲	外運搬規則第6条及び第11条への適合性評価を示すものであり、審査範囲内。
八章	輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	参考	核燃料輸送物の安全設計に合致した輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法を示すもので、原子力事業者等により定められる。本申請上は想定される保守及び取扱方法を示すものであり、参考の位置づけである。
二章	安全設計及び安全輸送に関する特記事項	参考	イ章～八章に該当しない安全設計及び安全輸送に関する特記事項を示すものであり、参考の位置づけである。
参考	輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	参考	輸送容器の製作方法及び試験並びに検査方法の概要(例)を記載するものであり、参考の位置づけである。

(注1)「発電用原子炉施設に使用する特定機器の型式証明及び型式指定運用ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061921号)の規定に基づき、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続きガイド」(令和2年2月26日 原規規発第2002264号)別記第2(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の記載要領)に示される項目及び内容を記載している。

1. 外運搬規則への適合性概要

● 核燃料輸送物の使用目的、使用条件等

本輸送物の使用目的、使用条件等について、核燃料輸送物設計承認変更の承認(原規規発第22061412号 令和4年6月14日承認)(以下「先行設計承認」という。)を受けたMSF-24P型と比較して下表に示す。

項目	核燃料輸送物の使用目的、使用条件等 (添付書類13 イ章記載事項)	先行設計承認(MSF-24P型)
使用目的	軽水炉型原子力発電所(PWR)の使用済燃料を、原子力発電所から再処理工場に輸送するため	左記と同じ
輸送物の種類	BM型核分裂性輸送物	
輸送制限個数	なし	
輸送指数	10以下	
臨界安全指数	0	
輸送物の総重量	134.4トン以下(輸送架台は含まず)	
輸送容器の外形寸法	外径約3.6 m、長さ約6.8 m(上・下部緩衝体を含む)	
輸送容器の重量	117.7トン以下(輸送架台は含まず)	
輸送容器の材質	胴・外筒・一次蓋・二次蓋: 炭素鋼、三次蓋: ステンレス鋼、中性子遮蔽材: レジン、伝熱フィン: 銅、バスケット: ほう素添加アルミニウム合金及びアルミニウム合金、緩衝体: ステンレス鋼及び木材	17×17燃料のみ ^(注1)
輸送容器に収納する核燃料物質の仕様	貯蔵容器の仕様と同じ(17×17燃料及び15×15燃料)	
輸送形態	車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送	左記と同じ
冷却方法	自然空気冷却	
使用予定年数	60年(設計評価期間)	
輸送容器の使用予定回数	10回	
貯蔵予定期間	60年(設計貯蔵期間)	
運搬中に想定する最低温度	-20℃	

(注1) 17×17燃料の仕様・収納条件に差異はない。

1. 外運搬規則への適合性概要

● 輸送容器構成部材の材質及び形状(輸送時)

MSF-24P(S)型輸送容器の構成部材の材質及び形状は下表のとおりであり、輸送容器としての材質及び形状は先行設計承認のMSF-24P型と同一である。

主要構成部材	材質		形状(構造図)	
	MSF-24P(S)型	先行設計承認 (MSF-24P型)	MSF-24P(S)型(注1)	先行設計承認 (MSF-24P型)
胴	炭素鋼 <input type="text"/>	左記と同じ	別紙1-3図	左記と同じ
外筒	炭素鋼 <input type="text"/>		別紙1-5図	
底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼 <input type="text"/>		別紙1-3図	
下部端板	ステンレス鋼 <input type="text"/>		別紙1-6図	
トランニオン	ステンレス鋼(SUS630)		別紙1-3図 別紙1-5図	
伝熱フィン	銅(C1020)		別紙1-16図	
中性子遮蔽材 (底部、側部)	レジン(エポキシ系樹脂)			
バスケットプレート	アルミニウム合金(MB-A3004-H112)		別紙1-7図 別紙1-8図	
中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金			
一次蓋	炭素鋼 <input type="text"/>		別紙1-11図 別紙1-12図	
蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 <input type="text"/>			
中性子遮蔽材(蓋部)	レジン(エポキシ系樹脂)		別紙1-14図 別紙1-15図	
一次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 <input type="text"/>			
二次蓋	炭素鋼 <input type="text"/>		別紙1-17図 別紙1-18図	
二次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 <input type="text"/>			
(輸送用)三次蓋	ステンレス鋼 <input type="text"/>			
(輸送用)三次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 <input type="text"/>			
(輸送用)緩衝体(注2)	ステンレス鋼 <input type="text"/> 木材 <input type="text"/>			

(注1)構造図番号は、補足説明資料「型式証明を受けた設計からの変更点及び安全評価への影響に関する説明資料」(L5-95KV260)の別紙1の図番号である。

(注2)本申請では、(輸送用)緩衝体は申請範囲外であるが、特定の仕様及び構造の(輸送用)緩衝体(先行設計承認と同一仕様・構造)を装着して輸送することを条件とする。

1. 外運搬規則への適合性概要

● 先行設計承認申請書との主な記載事項の差異

添付書類13 イ章及びロ章(A~F)記載事項と先行設計承認申請書の主な差異を下表に示す。先行設計承認との主な差異は、15×15燃料の収納に伴う、15×15燃料収納時の安全機能及び構造強度に係る安全評価の追加である。

添付書類13の構成		先行設計承認申請書との主な差異	備考
イ章	核燃料輸送物の説明	・15×15燃料が収納できることの追記。	・先行設計承認では15×15燃料は収納対象外。
ロ章	核燃料輸送物の安全解析	(差異なし)	—
ロ章A	構造解析	・一般の試験条件における自由落下(0.3m落下)時の15×15燃料被覆管応力評価の追加。 ・外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーの設計基準を金属キャスク構造規格 ^(注1) の中間胴の規定を適用。	・15×15燃料被覆管の応力評価方法は17×17燃料被覆管と同じ。 ・先行設計承認では左記部材の設計基準として、設計・建設規格のクラス1支持構造物の規定を適用。金属キャスク構造規格の中間胴の規定は、設計・建設規格のクラス1支持構造物を基に規定されたものであり差異は小さい。
ロ章B	熱解析	・一般の試験条件及び特別の試験条件における15×15燃料収納時の熱解析結果の追加。	・15×15燃料収納時の熱解析方法は17×17燃料収納時と同じ。
ロ章C	密封解析	(差異なし)	・15×15燃料の放射エネルギーは17×17燃料に比べ少ないため、密封評価は17×17燃料収納時に包絡される。
ロ章D	遮蔽解析	・通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における15×15燃料収納時の遮蔽解析結果の追加。	・15×15燃料収納時の遮蔽解析方法は17×17燃料収納時と同じ。
ロ章E	臨界解析	・15×15燃料収納時の輸送時(乾燥)及び取扱時(冠水)における臨界解析結果の追加。	・15×15燃料収納時の臨界解析方法は17×17燃料収納時と同じ。
ロ章F	核燃料輸送物の経年変化の考慮	・容器及び燃料被覆管の最高温度について、15×15燃料収納時の熱解析結果を反映。また、容器及び燃料被覆管の照射量について、15×15燃料収納時の遮蔽解析結果を反映。 ・15×15燃料被覆管の周方向応力値の反映。	・最高温度及び照射量に差異が生じるが、経年変化の必要性評価方法及び評価結果は17×17燃料収納時と同じ。 ・15×15燃料被覆管の周方向応力の評価方法は17×17燃料の評価方法と同じ。
ロ章G	外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	・安全評価結果について、15×15燃料収納時が最大となる結果の反映。	・適合性の評価結果は先行設計承認と同じ。

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)

輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化を考慮した上で、BM型輸送物に係る技術上の基準に適合する設計であることを確認。
適合確認結果をP.9～P.16に示す。

項目	外運搬規則第6条 要求事項(概要) ^(注1)
BM型輸送物に係る技術上の基準	<ul style="list-style-type: none"> ・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、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。 ・表面に不要な突起物がなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること。 ・材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれがないこと。 ・弁が誤って操作されないような措置が講じられていること。 ・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。 ・核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品以外のものが収納されていないこと。 ・外接する直方体の各辺が10cm以上であること。 ・みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールの貼付け等の措置が講じられていること。 ・構成部品は、運搬中に予想される温度の範囲において、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。 ・周囲の圧力を60kPaとした場合に、放射性物質の漏えいがないこと。 ・表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと。 ・表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100μSv/hを超えないこと。 ・一般の試験条件下において次に掲げる要件に適合すること。 <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。 － 輸送中人が容易に近づくことができる表面(近接防止枠の表面)において85$^{\circ}$C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。 ・特別の試験条件下において次に掲げる要件に適合すること。 <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。 ・運搬中に予想される最も低い温度から38$^{\circ}$Cまでの周囲の温度の範囲において、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。 ・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。

(注1)適用除外・非該当事項を除く。

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(1/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(BM型輸送物に係る技術上の基準) 第6条 BM型輸送物に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。</p> <p>第6条第1号 前条第1号から第8号までに定める基準。ただし、同条第6号イに定める要件は、適用しない。</p> <p>(第5条第1号) 前条第1号から第5号まで、第8号及び第10号に定める基準</p> <p>(第4条第1号) 容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。</p> <p>(第4条第2号) 運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。</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、安全に取り扱うことができる。</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ており、雨水が溜らない構造となっている。</p> <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(-20℃～38℃)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. 運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は一律-20℃とし、最高温度は一般の試験条件の熱的試験と同様に周囲温度38℃及び太陽放射熱を保守的に連続で負荷した条件の下で、軸方向燃焼度分布を考慮した上で、収納物の崩壊熱量の最大値を見たと18.1kWとして輸送物各部の温度を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。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℃であり、使用可能温度149℃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℃であり、金属ガスケットの使用可能温度130℃より低く、三次蓋Oリング温度は103℃であり、Oリングの使用可能温度150℃より低いため、密封性能が低下することはない。</p>	<p>(イ)-C</p> <p>(ロ)-A.4.4</p> <p>(イ)-C</p> <p>(イ)-C</p> <p>(ロ)-B.4.6</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(2/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(第4条第2号)(続き) 運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。</p>	<p>b. 運搬中に予想される温度の変化に対して、輸送物は周囲温度-20℃~38℃の温度の範囲において、各部品の熱膨張に伴う寸法変化は十分小さく、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。また、発生する熱応力に対しても、耐える強度をもつことから、構造健全性は維持される。</p> <p>c. 運搬中に予想される内圧の変化に対して、輸送物の運搬中に予想される最大内圧は胴内圧が0.078MPa、一二次蓋間が0.39MPa、二三次蓋間が0.253MPaであり、構造解析ではその圧力条件を上回る差圧を胴内、一二次蓋空間及び二三次蓋空間に設定した条件で、熱応力を含めた各部の応力をABAQUSコードを用いて解析評価している。また、中性子遮蔽材充填空間においても温度上昇に伴う圧力上昇を考慮している。運搬中の温度変化により予想される容器本体各部の温度差による熱応力や内圧の変化による荷重が負荷されても各部が設計応力強さ等基準値を下回り、構造健全性が維持され、き裂、破損等の生じるおそれはない。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. 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め付けられており、運搬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三次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> <p>f. 固縛装置であるトラニオンは、公式を用いた計算により、輸送物最大重量を考慮したうえで、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、励振力による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0.3m落下事象に包絡される。よって、輸送物は予想される振動等によって、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p>(D)-A.5.1.2</p> <p>(D)-A.5.1</p> <p>(D)-B.4.4</p> <p>(D)-A.4.7、 (D)-A.5.1、 (D)-C.2.4 (D)-A.4.5、 (D)-A.4.7</p>
<p>(第4条第3号) 表面に不要な突起物がなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること。</p>	<p>輸送物表面には、取扱い時に使用するトラニオン以外には不要な突起物がなく、また、輸送物表面はステンレス鋼もしくは塗装を施した炭素鋼面であり、滑らかに仕上げていることから、除染は容易である。</p>	<p>(I)-C</p>
<p>(第4条第4号) 材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれがないこと。</p>	<p>本輸送物には、炭素鋼、ステンレス鋼等化学的に安定した材料を使用しており、以下に示すように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. 構成部品同士の熱膨張による干渉はないことから、材料相互の接触による、き裂、破損等を生じるおそれはない。</p> <p>b. レジンを外筒等に密閉する、また、胴内をヘリウム雰囲気にする等、材料相互で腐食等が生じない設計としている。</p> <p>c. レジン及びOリングは金属と接触しても化学反応を起こすおそれはない。</p> <p>d. 伝熱フィンと胴及び外筒の接合部は、異種金属接触による電氣的な腐食促進の影響は小さい。</p>	<p>(D)-A.5.1.2</p> <p>(D)-A.4.1</p> <p>(D)-A.4.1</p> <p>(D)-A.4.1</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(3/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目						
<p>(第4条第5号) 弁が誤って操作されないような措置が講じられていること。</p> <p>(第4条第6号) 開封されたときに見やすい位置(当該位置に表示を有することが困難である場合は、核燃料輸送物の表面)に「放射性」又は「RADIOACTIVE」の表示を有していること。ただし、原子力規制委員会の定める場合は、この限りでない。</p> <p>(第4条第7号) 表面における原子力規制委員会の定める線量当量率の最大値(以下「最大線量当量率」という。)が五マイクロシーベルト毎時を超えないこと。</p> <p>(第4条第8号) 表面の放射性物質の密度が原子力規制委員会の定める密度(以下「表面密度限度」という。)を超えないこと。</p> <p>(第4条第9号) 核分裂性物質(ウラン二三三、ウラン二三五、プルトニウム二三九、プルトニウム二四一及びこれらの化合物並びにこれらの一又は二以上を含む核燃料物質(原子力規制委員会の定めるものを除く。)をいう。以下同じ。)が収納されている場合には、外接する直方体の各辺が十センチメートル以上であること。</p>	<p>三次蓋に設置されるリリーフバルブにはリリーフバルブカバープレートを設け、運搬中は覆われる設計としており、誤って操作されることはない。</p> <p>該当しない。</p> <p>該当しない。</p> <p>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="927 1038 1621 1139"> <thead> <tr> <th>放射性物質の区分</th> <th>密度(Bq/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アルファ線を放出する放射性物質</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>該当しない</p>	放射性物質の区分	密度(Bq/cm ²)	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	<p>(D)-A.4.3</p> <p>(H)-A</p>
放射性物質の区分	密度(Bq/cm ²)							
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							

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(4/8)

: 先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(第4条第10号) 核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品(核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのないものに限る。)以外のものが収納されていないこと。</p>	<p>本輸送物には、収納物以外のもの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。</p>	<p>(ハ)-A</p>
<p>(第5条第2号) 外接する直方体の各辺が十センチメートル以上であること。</p>	<p>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。</p>	<p>(イ)-C</p>
<p>(第5条第3号) みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールの貼付け等の措置が講じられていること。</p>	<p>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  されるので、開放された場合はそれが明らかとなる。</p>	<p>(ロ)-C.2、 (ハ)-A</p>
<p>(第5条第4号) 構成部品は、摂氏零下四十度から摂氏七十度までの温度の範囲において、亀裂、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温度の範囲が特定できる場合は、この限りでない。</p>	<p>本輸送物は、周囲温度-20℃～38℃で使用する。 本輸送容器の構成部品は、-20℃から運搬中に予想される最高温度の範囲で脆化、著しい強度の低下等、材料強度への影響はなく、構成部品にき裂、破損等を生じるおそれはない。</p>	<p>(ロ)-A.3、 (ロ)-A.4.2、 (ロ)-B.4.6</p>
<p>(第5条第5号) 周囲の圧力を六十キロパスカルとした場合に、放射性物質の漏えいがないこと。</p>	<p>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。</p>	<p>(ロ)-A.4.6</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(5/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(第5条第6号) 液体状の核燃料物質等が収納されている場合には、次に掲げる要件に適合すること。 (後略)</p> <p>(第5条第7号) 表面における最大線量当量率が二ミリシーベルト毎時を超えないこと。ただし、専用積載として運搬する核燃料輸送物であつて、核燃料物質等車両運搬規則(昭和53年運輸省令第72号)第4条第2項並びに第19条第3項第1号及び第2号に規定する運搬の技術上の基準に従うもののうち、安全上支障がない旨の原子力規制委員会の承認を受けたものは、表面における最大線量当量率が十ミリシーベルト毎時を超えないこと。</p> <p>(第5条第8号) 表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率(コンテナ又はタンクを容器として使用する核燃料輸送物であつて、専用積載としないて運搬するものについては、表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率に原子力規制委員会の定める係数を乗じた線量当量率)が百マイクロシーベルト毎時を超えないこと。ただし、核燃料輸送物を専用積載として運搬する場合であつて、安全上支障がない旨の原子力規制委員会の承認を受けたときは、この限りでない。</p>	<p>該当しない。</p> <p>本輸送物は、以下を考慮して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1172.9 μ 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. 燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の放射化を考慮している。</p> <p>d. 解析モデルについては遮蔽材の最小寸法を使用し、中性子遮蔽材については規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性における説明(P.20)のとおり、熱的劣化を考慮し、その質量が2.5%減損したとしている。</p> <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1 m離れた位置における最大線量当量率は86.1 μ Sv/hであり、基準値の100 μ Sv/hを超えることはない。</p>	<p>(口)-D.4, (口)-D.5</p> <p>(口)-D.4, (口)-D.5</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(6/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(第5条第9号) 原子力規制委員会の定めるA型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、次に掲げる要件に適合すること。 イ 放射性物質の漏えいがないこと。 ロ 表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、二ミリシーベルト毎時(第7号ただし書に該当する場合は、十ミリシーベルト毎時)を超えないこと。</p> <p>(第5条第10号) 原子力規制委員会の定める液体状又は気体状の核燃料物質等(気体状のトリチウム及び希ガスを除く。)が収納されているA型輸送物に係る追加の試験条件の下に置くこととした場合に、放射性物質の漏えいがないこと。</p> <p>第6条第2号 原子力規制委員会の定めるBM型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、次に掲げる要件に適合すること。</p> <p>イ 前条第9号ロの要件</p>	<p>該当しない。</p> <p>該当しない。</p> <p>本輸送物を一般の試験条件下に置いた場合、緩衝体に変形が生じることを踏まえ、第5条第7号の通常輸送時の評価条件に基づき、CRUSHコードに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1172.9 μSv/hであり、基準値の2 mSv/hを超えることはない。 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>(D)-D.4, (D)-D.5</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(7/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>第6条第2号(続き)</p> <p>ロ 放射性物質の一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。</p> <p>ハ 表面の温度が日陰において摂氏五十度(専用積載として運搬する核燃料輸送物にあつては、輸送中人が容易に近づくことができる表面(その表面に近接防止枠を設ける核燃料輸送物にあつては、当該近接防止枠の表面)において摂氏八十五度)を超えないこと。</p> <p>ニ 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>	<p>本輸送物は、一般の試験条件下に置いた場合でもABAQUSコードを用いた熱解析で三次蓋Oリングの健全性を、また、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、全燃料棒の0.1%の燃料棒の密封性が失われ、核分裂生成ガスが胴内に放出されたうえで、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仮定して公式を用いた放射性物質(³H及び⁸⁵Kr)の漏えい計算をしても、1時間当りの漏えい量と各核種の基準値$A_2 \times 10^{-6}$ Bq/hとの比率の合計は、9.68×10^{-5}で、1より小さく、基準値$A_2 \times 10^{-6}$ Bq/hを超えることはない。</p> <p>本輸送物は、専用積載として運搬する。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高く評価する条件のもとで周囲温度38℃の日陰に置いた場合の輸送物の表面温度をABAQUSコードを用いて解析した結果、外筒外面及びトリニオン温度が85℃を超えるが、必要に応じて近接防止金網を取り付けて輸送するとともに、上記を除いた部位の最高表面温度は緩衝体表面の82℃となることから、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85℃を超えることはない。(近接防止金網の温度は66℃以下)</p> <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を損なうことはないことをABAQUSコード等を用いた構造解析の結果より確認している。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>	<p>(ロ)-C.3.1</p> <p>(ロ)-B.4.1、 (ロ)-B.4.6</p> <p>(ロ)-A.5.1、 (ロ)-C.3.1、 (ハ)-A</p>
<p>第6条第3号 原子力規制委員会の定めるBM型輸送物に係る特別の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。</p> <p>イ 表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率が十ミリシーベルト毎時を超えないこと。</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、規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性における説明のとおり、熱的劣化を考慮しその質量が2.5%減損したとした上で、さらに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895.9 μ Sv/hであり、基準値の10 mSv/hを超えることはない。</p>	<p>(ロ)-D.4、 (ロ)-D.5</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第6条)への適合性確認結果(8/8)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>第6条第3号(続き)</p> <p>ロ 放射性物質の一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> <p>第6条第4号</p> <p>運搬中に予想される最も低い温度から摂氏三十八度までの周囲の温度の範囲において、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。</p> <p>第6条第5号</p> <p>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つては、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。ただし、安全上支障がないと原子力規制委員会が認める場合は、この限りでない。</p>	<p>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輸送容器の密封性は保持できる。ここで安全側に一次蓋、二次蓋及び全燃料棒の密封性が失われたと仮定し、燃料が有するヘリウム及び核分裂生成ガスが三次蓋一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(^235U及び^{85}Kr)の漏えい計算をしても、1週間当たりの漏えい量と各核種の基準値A_2 Bq/weekとの比率の合計は、2.45×10^{-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> <p>本輸送物は、周囲温度-20°C以上で使用する。本輸送容器の材料は、-20°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 a.の熱解析において、周囲温度38°C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、本輸送物は$-20^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}$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> <p>強化浸漬試験(200 m)</p> <p>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A_2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、底板及び三次蓋は許容外圧や設計引張強さ等の基準を下回るため、密封装置は破損しない。</p>	<p>(ロ)-C.4</p> <p>(ロ)-A.4.2、 (ロ)-A.5.1、 (ロ)-A.10.4、 (ロ)-B.4.6</p> <p>(ロ)-A.7</p>

4. 外運搬規則への適合性について

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第11条)

輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化を考慮した上で、核分裂性輸送物に係る核燃料輸送物の技術上の基準に適合する設計であることを確認した。適合確認結果をP.18～P.20に示す。

項目	外運搬規則第11条 要求事項(概要)
核分裂性輸送物に係る核燃料輸送物の技術上の基準	<p>核分裂性輸送物の経年変化を考慮した上で、輸送中において臨界に達しないものであるほか、第5条第3号に適合するものでなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。 <ul style="list-style-type: none"> － 容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。 － 外接する直方体の各辺が10cm以上であること。 ・次のいずれの場合にも臨界に達しないこと。 <ul style="list-style-type: none"> － 孤立系の条件の下に置くこととした場合 － 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場合 － 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場合 － 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、配列系の条件の下に置く場合 － 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、配列系の条件の下に置く場合 ・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、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第11条)への適合性確認結果(1/3)

: 先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(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 核分裂性物質を第3条の規定により核燃料輸送物として運搬する場合には、当該核分裂性物質に係る核燃料輸送物(原子力規制委員会の定めるものを除く。以下「核分裂性輸送物」という。)は、当該核分裂性輸送物の経年変化を考慮した上で、輸送中において臨界に達しないものであるほか、第5条第3号に定める基準に適合するもの(IP-1型輸送物又はIP-2型輸送物として運搬する場合に限る。)及び次の各号に掲げる技術上の基準に適合するもの(原子力規制委員会の定める要件に適合する核分裂性輸送物として運搬する場合を除く。)でなければならない。</p> <p>第11条第1号 原子力規制委員会の定める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、次に掲げる要件に適合すること。 イ 容器の構造部に一辺十センチメートルの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。 ロ 外接する直方体の各辺が十センチメートル以上であること。</p>	<p>本輸送物に収納する核分裂性物質量は、^{235}Uが約 <input type="text"/> kgであり、本輸送物は核分裂性輸送物として輸送する。 輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化を、規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性における説明(P20)のとおり考慮した上で、規則第11条第2号の技術上の基準に対する適合性において後述するように、通常輸送時に比べてより保守的な条件で臨界解析を行った結果においても臨界に達することはないことから、本輸送物は輸送中において臨界に達することはない。また、経年変化を考慮した上で、本条第1号から第3号の技術上の基準に適合していることを確認している。</p> <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落下及び積み重ね試験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、構造部に一辺が10 cmの立方体を包含するようなくぼみを生じることはなく、かつ外接する直方体の各辺は10 cm以上である。</p>	<p>(イ)-A, (イ)-B, (ロ)-E.4.4, (ロ)-F</p> <p>(ロ)-A.9.1</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第11条)への適合性確認結果(2/3)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>第11条第2号 次のいずれの場合にも臨界に達しないこと。</p> <p>イ 原子力規制委員会の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合</p> <p>ロ 原子力規制委員会の定める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原子力規制委員会の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合</p> <p>ハ 原子力規制委員会の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原子力規制委員会の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合</p> <p>ニ 当該核分裂性輸送物と同一のものであつて原子力規制委員会の定める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、原子力規制委員会の定める配列系の条件の下で、かつ、当該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一個の中性子ごとに、次の核分裂によつ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、当該核分裂性輸送物の輸送制限個数(一箇所(集合積載した当該核分裂性輸送物が、他のどの核分裂性輸送物とも六メートル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。)の五倍に相当する個数積載することとした場合</p> <p>ホ 当該核分裂性輸送物と同一のものであつて原子力規制委員会の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、原子力規制委員会の定める配列系の条件の下で、かつ、当該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、輸送制限個数の二倍に相当する個数積載することとした場合</p> <p>第11条第3号 摂氏零下四十度から摂氏三十八度までの周囲の温度の範囲において、亀裂、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>	<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、0.3 m落下後の9 m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より、本輸送容器は、経年変化を考慮した上で、落下試験等においてもバスケットの臨界解析モデルに影響を与えるような物理的・化学的变化はないが、燃料集合体は落下試験において変形する可能性がある。</p> <p>また、水密境界となる二次蓋の金属ガスケットについては規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり経年変化を考慮することとし、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、15 m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。</p> <p>以上を踏まえ、臨界解析ではSCALEコードシステムを用い、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以下の保守的な条件で実効増倍率を求めた結果、0.38745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> <ul style="list-style-type: none"> ・保守的に、三次蓋の存在を無視した上で、胴内への5リットルの水の浸入を考慮する。 ・燃料集合体の下部側支持格子1スパン間の拡大/縮小変形を考慮する。 ・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。 ・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する。 ・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する。 <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 a.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)-E.2.2, (ロ)-E.3.1, (ロ)-E.4.1, (ロ)-E.4.2, (ロ)-E.4.4, (ロ)-E.6</p> <p>(ロ)-A.9, (ロ)-B.4.6, (ロ)-A.5.1, (ロ)-A.10.4</p>

2. 外運搬規則への適合性

● BM型輸送物に係る技術上の基準(第11条)への適合性確認結果(3/3)

先行設計承認申請書との差異

規則要求	適合性評価結果	添付書類13の項目
<p>(第3条 第3項) 前2項に掲げるL型輸送物、A型輸送物、BM型輸送物、BU型輸送物、IP-1型輸送物、IP-2型輸送物及びIP-3型輸送物は、当該核燃料輸送物の経年変化を考慮した上で、それぞれ次条から第10条までに規定する技術上の基準に適合するものでなければならぬ。</p>	<p>輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化を以下のとおり考慮した上で、第6条の技術上の基準に適合していることを確認している。</p> <p>a. 本輸送物に想定される使用状況及びそれに伴い考慮すべき経年変化の要因は以下のとおり。</p> <p>(1) 使用状況 構内輸送、貯蔵(保管)、再処理工場への輸送の用途で、使用予定年数を60年、使用予定回数を10回と想定する。</p> <p>(2) 経年変化の要因 熱的劣化、放射線照射による劣化、化学的劣化及び疲労による劣化とする。</p> <p>b. 「a.」を踏まえ、経年変化の考慮の必要性及び考慮の方法について、以下のとおり評価した。</p> <p>(1) 熱的劣化については、貯蔵又は輸送時における除熱解析結果(最高温度評価結果)を基に評価した結果、安全解析において以下の構成部材の熱的劣化を考慮することとした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バスケット(アルミニウム合金)については、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)が考えられるため、貯蔵開始時の温度が60年間継続する際の材料特性を反映した設計用強度・物性値を基に強度評価を行う。 ・中性子遮蔽材(レジン)については、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年間継続する際の質量減損量を評価した結果、約1.9%となったことから、遮蔽解析では、保守的に2.5%の質量減損を考慮する。 ・金属バスケット(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15 m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>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。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、繰返し荷重の作用による疲労破壊が考えられるが、荷重の作用回数が許容繰返し回数を大きく下回るため安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</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)及び金属バスケットの熱的劣化による影響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>(D)-F</p>

2. 外運搬規則への適合性

● 安全評価の概要

口章(A~F)の安全評価の概要を下表に示す。

- 主要な安全評価(構造解析、熱解析、密封解析、遮蔽解析、臨界解析及び長期健全性)における安全評価方法及び解析コードは先行設計承認と同じである。
- また、15×15燃料収納時の安全評価は17×17燃料収納時の安全評価(先行設計承認と同じ)に対し、燃料集合体のモデル化条件のみが異なるのみである。
- 15×15燃料収納時の安全評価(構造解析、除熱解析、遮蔽解析、臨界解析、長期健全性)^(注)について、P.22~P.34に示す。

(注)15×15燃料の放射エネルギーが17×17燃料に比べ少ないため、15×15燃料収納時の密封評価は17×17燃料収納時に包絡される。

添付書類 13	項目	本申請(MSF-24P(S)型)		先行設計承認 (MSF-24P型)
		安全評価説明事項(摘要)	評価方法・解析コード	
(口)-A	構造解析	核燃料輸送物としての基本要件、一般の試験条件、特別の試験条件等における構造強度評価により構造強度上の技術基準を満足することを示す。	ABAQUS、応力評価式、構造公式	左記と同じ
(口)-B	除熱解析	使用済燃料を熱源とした除熱評価により、一般の試験条件及び特別の試験条件下における除熱上の技術基準を満足することを示す。	崩壊熱量:ORIGEN2	左記と同じ
			温度:ABAQUS	
(口)-C	密封解析	密封評価により、一般の試験条件及び特別の試験条件下における密封装置等からの放射性物質の漏えいが技術基準を満足することを示す。	密封評価式	左記と同じ
(口)-D	遮蔽解析	使用済燃料を線源とした遮蔽評価により、通常輸送時、一般の試験条件時及び特別の試験条件下における線量当量率が技術上の基準を満足することを示す。	線源強度:ORIGEN2	左記と同じ
			線量当量率:DOT3.5	
(口)-E	臨界解析	臨界評価により、通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件下における中性子実効増倍率を求め、臨界に達しないことを示す。	SCALE6.2.1(KENO-VI)	左記と同じ
(口)-F	経年変化の考慮(長期健全性)	核燃料輸送物を構成する部材のうち、経年変化の考慮が必要な部材について安全解析における経年変化の影響等を示す。	文献・試験データによる確認	左記と同じ

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の構造解析

15×15燃料の質量は17×17燃料より軽く、15×15燃料収納時の輸送容器の構造解析は17×17燃料収納時の輸送容器の構造解析に包絡される。15×15燃料収納時の構造解析としては、一般の試験条件における自由落下(0.3m落下)時の燃料被覆管の構造健全性評価^(注)を構造公式(17燃料収納時と同じ評価方法)により実施し、燃料被覆管に発生する応力強さが評価基準(設計降伏点)を満足することを確認している。

(注) 特別の試験条件(9m落下)時は評価を省略。特別の試験条件下において、除熱解析及び密封評価では全燃料棒の密封性が失われると仮定する。また、臨界解析では支持格子スパンの燃料棒ピッチ変化を仮定する。なお、燃料棒の変形による温度及び線量当量率への影響は小さいため、除熱解析及び遮蔽解析では変形を無視している。

＜一般の試験条件における自由落下(0.3m落下)時の燃料被覆管の構造健全性評価＞

		0.3m垂直落下		0.3m水平落下					
燃料被覆管の構造健全性評価概要		垂直落下時に生じる圧縮応力(σ _c)及び内圧により生じる各方向応力(σ _z 、σ _r 、σ _θ)から求まる応力強さ(S)が燃料被覆管の設計降伏点(σ _y)以下であることを確認する。		水平落下時に生じる曲げ応力(σ _b)及び内圧により生じる各方向応力(σ _z 、σ _r 、σ _θ)から求まる応力強さ(S)が燃料被覆管の設計降伏点(σ _y)以下であることを確認する。					
落下衝撃により生じる応力(MPa)		$\sigma_c = \frac{WU_v}{A}$ W : 燃料被覆管最下端における質量(kg) G _v : 垂直落下時の衝撃加速度(m/s ²) A : 燃料被覆管の断面積(mm ²)		$\sigma_b = \frac{Md_0}{2I}$ M : 曲げモーメント(N・mm) d ₀ : 燃料被覆管外径(mm) I : 断面二次モーメント(mm ⁴)					
内圧により生じる各方向応力 σ _z 、σ _r 、σ _θ (Mpa)		$\sigma_z = \frac{1}{K^2-1} P_0 \quad \sigma_r = -\frac{K^2-1}{K^2+1} P_0 \quad \sigma_\theta = \frac{K^2+1}{K^2-1} P_0$		$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z : \text{軸方向応力 (MPa)} \\ \sigma_r : \text{半径方向応力 (MPa)} \\ \sigma_\theta : \text{周方向応力 (MPa)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} R=r/a, K=b/a \\ r : \text{評価位置 (} a \leq r \leq b \text{) (mm)} \\ a : \text{燃料被覆管内半径 (mm)} \\ b : \text{燃料被覆管外半径 (mm)} \end{array} \right.$					
応力強さ S(MPa)		$S = \text{Max} \left\{ \left \sigma_{rz} - \sigma_{rz} \right _z, \left \sigma_{rz} - \sigma_{rz} \right _r, \left \sigma_{rz} - \sigma_{rz} \right _\theta \right\}$ $\left[\begin{array}{l} \sigma_{rz} = \sigma_z \\ \sigma_{\theta z} = \sigma_\theta \\ \sigma_{\theta r} = \sigma_r + \sigma_z \end{array} \right.$		$S = \text{Max} \left\{ \left \sigma_{rz} - \sigma_{rz} \right _z, \left \sigma_{rz} - \sigma_{rz} \right _r, \left \sigma_{rz} - \sigma_{rz} \right _\theta \right\}$ $\left[\begin{array}{l} \sigma_{rz} = \sigma_r \\ \sigma_{\theta z} = \sigma_\theta \\ \sigma_{\theta r} = -\sigma_b + \sigma_z \end{array} \right.$					
評価結果	燃料の種類	17×17燃料		15×15燃料		17×17燃料		15×15燃料	
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型
	応力強さS(MPa)	105	102	126	120	141	140	202	190
	降伏応力(MPa)	589							

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の除熱解析

(1) 除熱解析評価条件(収納物仕様)

使用済燃料の崩壊熱量は、崩壊熱量が最も高い17×17燃料48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料48,000MWd/t型(A型)^(注1)とし、下表の初期濃縮度、燃焼度及び冷却期間を基にORIGEN2コードにより算出する。

- ・初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度下限値とする。
- ・温度解析では、燃料集合体最高温度を高め算出するために、中央部(12体)に最高燃焼度 の崩壊熱量を設定し、外周部(12体)には、MSF-24P(S)型1基の総崩壊熱量が平均燃焼度 の崩壊熱量24体分(18.1kW)^(注2)となるように調整した崩壊熱量 を設定する(下表配置図参照)。
- ・温度解析では、伝熱体となるバーナブルポイズン集合体を無視する。

項目		キャスク収納位置制限		除熱解析条件					
		中央部	外周部	中央部	外周部				
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型(A型・B型) 39,000MWd/t型(A型・B型)		48,000MWd/t型(A型) ^(注1)					
	初期濃縮度	17×17燃料収納時	≤4.2wt%		<input type="text"/>				
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%						
	燃焼度	最高	<input type="text"/>						
特定兼用キャスク 1基あたり平均									
冷却期間		<input type="text"/>							
冷却期間									
バーナブル ポイズン集合体 1体の仕様	最高燃焼度	<input type="text"/>							
	冷却期間								
配置				<input type="text"/>					

(注1) A型の方がB型よりも冷却期間が短く崩壊熱量が大きい。

(注2) 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(15.8kW)を上回る設計崩壊熱量(18.1kW)を適用する。

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の除熱解析

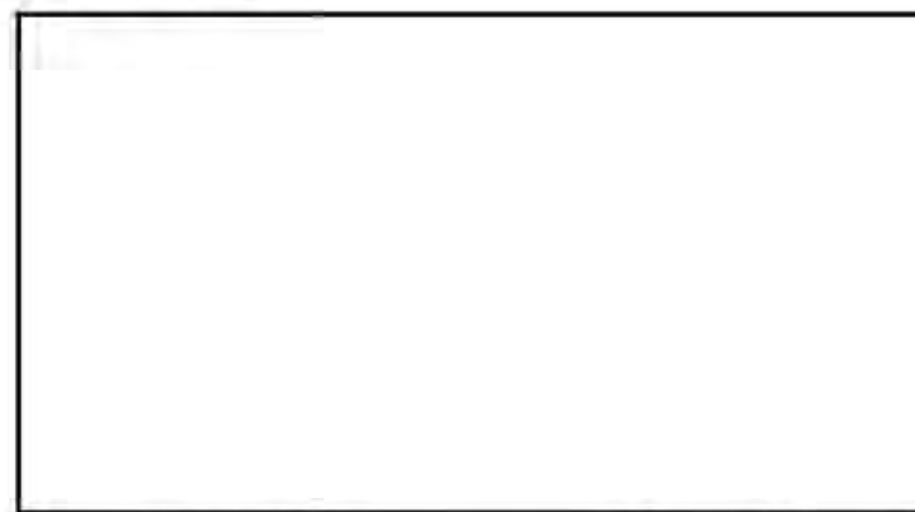
(2) 除熱解析評価条件(解析モデル)

温度解析は、ABAQUSコードにより実施する。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮する。MSF-24P(S)型の各部温度は、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び周囲温度等を条件として、MSF-24P(S)型の実形状を三次元でモデル化した全体モデルにより求める。燃料被覆管の温度は、使用済燃料の崩壊熱とMSF-24P(S)型各部の温度評価で求めたバスケット温度を境界条件として、燃料集合体の径方向の実形状を二次元でモデル化した燃料集合体モデルにより求める。15×15燃料収納時は、17×17燃料収納時に対して燃料集合体のモデル化条件等の差異を除き、同じ条件としている。

項目	条件	一般の試験条件			特別の試験条件		
		最高温度 評価条件	人の近づきうる表 面の最高温度評 価条件	最低温度 評価条件	火災前	火災時	火災後
設計 崩壊熱量	17×17燃料	18.1 kW	18.1 kW	0 kW	18.1 kW	18.1 kW	18.1 kW
	15×15燃料	18.1 kW	18.1 kW	0 kW	18.1 kW	18.1 kW	18.1 kW
環境条件	周囲温度	静止空気38℃	静止空気38℃	静止空気-20℃	静止空気38℃	火災30分 800℃	静止空気38℃
	太陽熱放射	あり	なし	なし	あり	あり	あり
	周囲吸収率	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9 ^(注)	1.0
計算モデル	輸送物	三次元180° 対称全体モデル					
	燃料集合体	燃料集合体モデル					



(一般の試験条件) (特別の試験条件)
全体モデル(三次元モデル)



(17×17燃料) (15×15燃料)
燃料集合体モデル(二次元モデル)

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の除熱解析

(3) 除熱解析評価結果

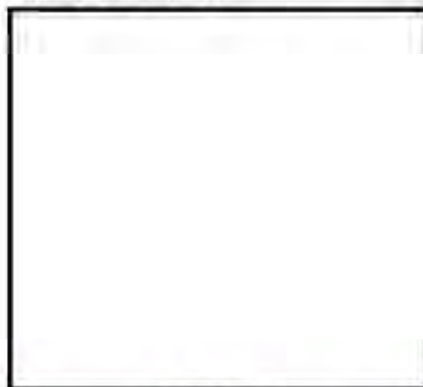
15×15燃料収納時においても、輸送物は一般の試験条件及び特別の試験条件の基準を満足することを確認した。

(一般の試験条件)

項目	17×17燃料 収納時[°C]	15×15燃料 収納時[°C]	基準値 [°C]
最高温度			
燃料集合体	206	206	275
バスケット	177	178	250
中性子遮蔽材	127	126	149
一次蓋金属ガスケット	110	110	130
二次蓋金属ガスケット	105	105	130
三次蓋リング	103	103	150
外筒	114	114	350
胴	133	133	350
近接表面 (注1)	82 (注2)	82 (注2)	85
最低温度	輸送物の全部位が-20°Cとなるが胴内 雰囲気はヘリウムであるため凍結しない		胴内の凍 結なし

(注1) 一般の試験条件のうち、人が近づきうる表面の最高温度評価条件における評価結果である。なお、外筒外面及びトランニオン温度はそれぞれ90°C及び103°Cであり85°Cを超えているが、外筒及びトランニオン部には必要に応じ近接防止金網(66°C以下)を取り付けて輸送するため、人が容易に近づきうる表面の温度は85°C以下である。

(注2) 縦断体表面の最高温度。



全体モデル



燃料集合体モデル

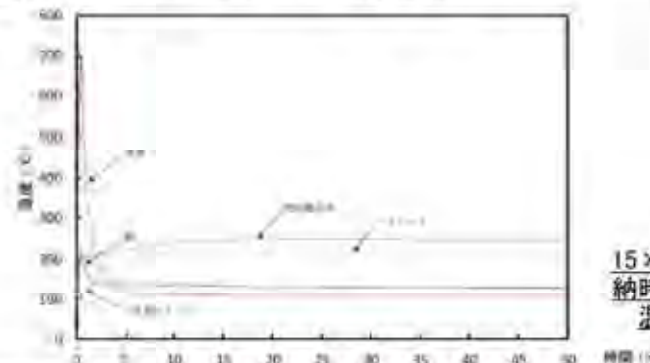
15×15燃料収納時の温度分布(一般の試験条件のうち、最高温度評価条件)

(特別の試験条件)

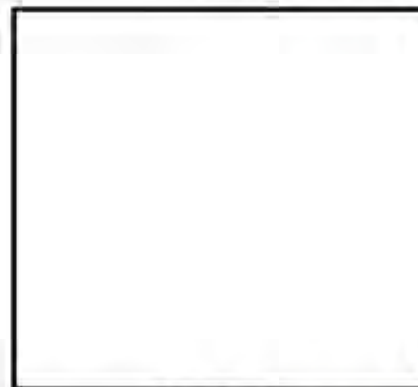
項目	17×17燃料 収納時[°C]	15×15燃料 収納時[°C]	基準値 [°C]
最高温度			
燃料集合体	254	251	—
バスケット	218	217	250
中性子遮蔽材	701(注1)	701(注1)	180 (注2)
二次蓋金属ガスケット	137	137	190 (注2)
三次蓋リング	186	186	300 (注2)
胴	224	224	350

(注1) 蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材の最高温度はそれぞれ138°C及び180°Cであり、使用可能温度180°Cを超えることはない。一方、側部中性子遮蔽材の最高温度は701°Cであり、使用可能温度を超えるが全て失われることはない。遮蔽解析では、保守的に全中性子遮蔽材の密度を半分に減少するものとし、臨界解析では中性子遮蔽材を無視して評価を行っている。

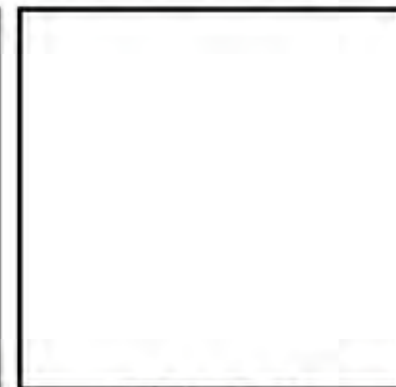
(注2) 特別の試験条件における事象継続時間を超える期間(中性子遮蔽材: 蓋金属ガスケット: リング: 48時間)性能が維持可能な温度。



15×15燃料収納時の時刻歴温度変化



全体モデル



燃料集合体モデル

15×15燃料収納時の温度分布(特別の試験条件、火災事故発生から23.1時間後)

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の遮蔽解析

(1) 遮蔽解析評価条件(収納物仕様)

使用済燃料の放射線源強度は、収納物のうち線量当量率への寄与の大きい中性子及び燃料有効部ガンマ線の放射線源強度の高い17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)とし、下表の初期濃縮度、燃焼度及び冷却期間を基にORIGEN2コードにより算出する。

- ・初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度下限値とする。
- ・遮蔽解析では、中央部、外周部ともに最高燃焼度を設定する。
- ・使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、放射線源強度を計算する。
- ・バーナブルポイズン集合体は放射化による放射線源強度については考慮するが、構造材の遮蔽効果は無視する。

項目		キャスク収納位置制限		遮蔽解析条件	
		中央部	外周部	中央部	外周部
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型(A型・B型) 39,000MWd/t型(A型・B型)		48,000MWd/t型 (A型)	
	初期濃縮度	17×17燃料収納時	≤4.2wt%		
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%		
	燃焼度	最高			
特定兼用キャスク 1基あたり平均					
冷却期間					
バーナブル ポイズン集合体 1体の仕様	最高燃焼度				
	冷却期間				
配置					

(注)本値は、中央部及び外周部に最高燃焼度を設定した場合における特定兼用キャスク1基当たり平均の相当値である。

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の遮蔽解析

(2) 遮蔽解析評価条件(解析モデル)

遮蔽解析は、DOT3.5コードを用いる。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。15×15燃料収納時は、17×17燃料収納時に対して燃料集合体のモデル化条件等の差異を除き、同じ条件としている。遮蔽解析モデルをP.28～P.29に示す。

- ・特定兼用キャスク及び使用済燃料集合体の実形状を二次元でモデル化する。
- ・通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルでは、輸送用緩衝体は空気に置き換え、距離のみ考慮する。一般の試験条件下の解析モデルでは0.3m落下における緩衝体の変形を考慮する。特別の試験条件下の解析モデルでは、緩衝体は大幅に変形することを考慮し、無視する。
- ・燃料集合体の移動を考慮するため、軸方向については燃料各領域の高さ寸法は固定して一次蓋及び胴底部へ接した状態となるようキャスク全長を短縮し、径方向についてはバスケットセル内に均質化している。
- ・各部寸法はノミナル値とするが、各構成部材のマイナス側の寸法公差を原子個数密度の設定で考慮する。
- ・通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルでは、設計使用期間中の熱影響による中性子遮蔽材(レジン)の質量減損(2.5%)を考慮する。特別の試験条件下の解析モデルでは、中性子遮蔽材の密度が半分に減少するとともに、側部中性子遮蔽材に貫通孔を模擬する。

(3) 遮蔽解析評価結果

遮蔽評価により、15×15燃料収納時における特定兼用キャスク表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率は、評価基準を下回ることを確認した。

線量当量率評価結果

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

項目	通常輸送時			一般の試験条件下			特別の試験条件下		
	17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	評価基準	17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	評価基準	17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	評価基準
表面線量当量率	1131.9	1172.9	2000	1131.9	1172.9	2000			
表面から1m離れた位置における線量当量率	86.1	83.9	100				876.6	895.9	10000

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の遮蔽解析



通常輸送時及び一般の試験条件下の遮蔽解析モデル

2. 外運搬規則への適合性

- 15×15燃料収納時の遮蔽解析



特別の試験条件下の遮蔽解析モデル

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の臨界解析

(1) 臨界解析評価条件(収納物仕様)

解析に用いる収納物仕様は、収納物のうち反応度の高い17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)^(注)とし、以下のとおりとする。

- ・収納する使用済燃料のウラン濃縮度は照射により減損しているが、新燃料(燃焼度クレジット無し: 燃焼度0GWd/t)とする。
- ・初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度上限値とする。
- ・中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体を無視する。

項目		キャスク収納位置制限		臨界解析条件		
		中央部	外周部	中央部	外周部	
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型(A型・B型) 39,000MWd/t型(A型・B型)		48,000MWd/t型(A型) ^(注)		
	初期濃縮度	17×17燃料収納時	≤4.2wt%		4.2wt%	
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%		4.1wt%	
	燃焼度	最高	[Redacted]			
		特定兼用キャスク 1基あたり平均				
冷却期間						
バーナブル ポイズン集合体 1体の仕様	最高燃焼度					
	冷却期間					
配置						

(注) 17×17燃料については、A型、B型ともに臨界解析で考慮する条件は同じである。
15×15燃料については、A型の方がB型よりもペレット直径が大きく反応度が高い。

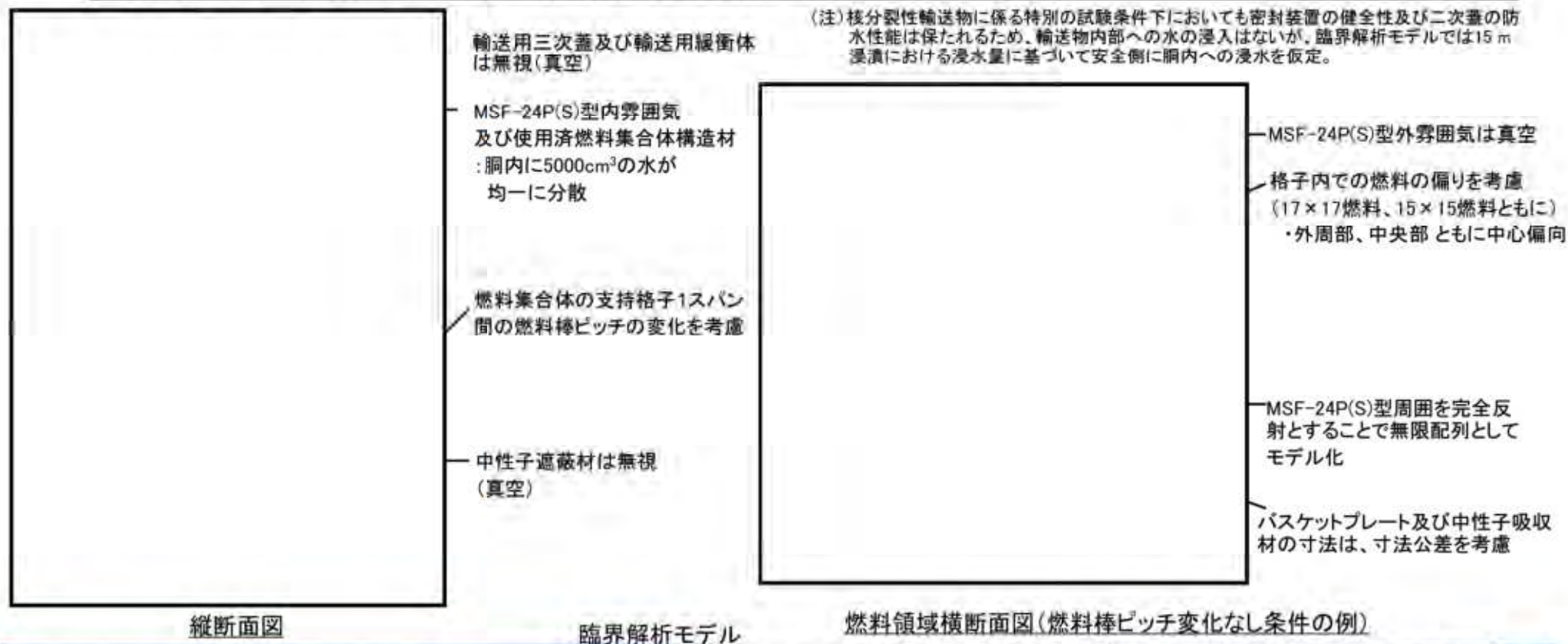
2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の臨界解析

(2) 臨界解析評価条件(解析モデル)(1/2)

臨界解析には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開のSCALEコードシステムを用い、中性子実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれるKENO-VIコードを用いる。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。15×15燃料収納時は、17×17燃料収納時に対して燃料集合体のモデル化条件等の差異を除き、同じ条件としている。

- ・特定兼用キャスク及び使用済燃料集合体の実形状を三次元でモデル化する(輸送用三次蓋及び輸送用緩衝体は無視)。
- ・MSF-24P(S)型が無限に配列した体系(完全反射)とする。
- ・バスケット格子内での燃料の偏りを考慮し、中性子実効増倍率が最も大きくなる配置とする。
- ・バスケットプレート及び中性子吸収材は寸法公差を考慮し中性子実効増倍率が最も大きくなる寸法とする。
- ・中性子吸収材のほう素添加量は仕様上の下限値とする。(設計使用期間経過後のほう素の減損割合は10⁻⁵程度であり、無視し得る)
- ・中性子遮蔽材(側部・蓋部・底部)は無視する。
- ・9m落下時における燃料棒の変形を考慮し、支持格子1スパン間の燃料棒ピッチの変化を考慮する。
- ・安全側に胴内には5000cm³の水が均一に分散していると仮定する(注)。



2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の臨界解析

(2) 臨界解析評価条件(解析モデル)(2/2)



(3) 臨界解析評価結果

本計算は通常輸送時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と比較して安全側の計算である。15×15燃料収納時における中性子実効増倍率(k_{eff})は標準偏差(σ)の3倍を加えても十分未臨界である。

項目		17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	評価基準
中性子実効増倍率※	燃料棒ピッチ最小	0.38745	0.38186	0.95以下
	燃料棒ピッチ変化なし	0.38704	0.38145	
	燃料棒ピッチ拡大	0.38689	0.38122	

※統計誤差(σ)の3倍(3σ)を加味した値である。

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の経年変化の考慮(長期健全性)

添付書類13 (D)~F では、先行設計承認に対し、以下の差異がある。先行設計承認に対し、最高温度及び照射量に差異は生じているが、経年変化の考慮の必要性の評価に係る評価方法及び評価結果は17×17燃料収納時と同じである(評価結果はP.20の外運搬規則第3条第3項への適合性評価結果(b.及びc.)参照)。

＜先行設計承認に対する差異＞

- 構成部材及び使用済燃料の最高温度(除熱解析結果)【①】及び照射量(遮蔽解析結果)【②】
- 燃料の経年変化要因(熱)における燃料被覆管の周方向応力算定結果【③】

①使用予定期間(60年)中継続して使用される輸送物各構成部材の最高温度

本申請の最高温度は17×17燃料収納時、15×15燃料収納時について、貯蔵時と輸送時の最大値を記載している。なお、本申請では、15×15燃料が収納されていることに加え、貯蔵時の様態(本申請:横置き貯蔵、先行設計承認:たて置き貯蔵)に差異があり、貯蔵時の温度に差異がある。

主要な評価部材		最高温度(°C) ^(注1)		基準値(°C)
		本申請	先行設計承認	
構成 部材	胴、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト	142	147	350
	バスケット(バスケットプレート)	188	191	250
	トラニオン	127	132	425
	外筒、蓋部中性子遮蔽材カバー	123	129	350
	下部端板、底部中性子遮蔽材カバー	124	129	425
	中性子遮蔽材 ^(注2)	135	136	149
	金属ガスケツト	118	109	130
	伝熱フィン	126	131	200
	(輸送用)三次蓋	103	左と同じ	425
	(輸送用)三次蓋ボルト	103	左と同じ	350
	(輸送用)緩衝体(木材)	(注3)	(注3)	(注3)
	使用済燃料(燃料被覆管)	215	219	275

(注1) 主要な評価部材のうち最大値を記載。

(注2) 設計貯蔵期間中の熱影響により質量減損が生じるため、遮蔽評価において中性子遮蔽材の質量減損(2.5%)を考慮し遮蔽機能が維持されることを確認している。

(注3) 高温環境下では熱による強度低下が考えられるが、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した輸送容器の緩衝材の平均温度評価結果(約40~70°C程度)は強度低下が考えられる温度に比べ低いこと、及び使用済燃料輸送実績のある輸送容器廃棄時の木材に性能劣化はなかったことを踏まえ、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。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、緩衝材温度が、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。

2. 外運搬規則への適合性

● 15×15燃料収納時の長期健全性

②使用予定期間(60年)中継続して使用される輸送物各構成部材の照射量

照射量は遮蔽解析により算出される。本申請の照射量は17×17燃料収納時、15×15燃料収納時について、貯蔵時と輸送時の最大値を記載している。本申請では貯蔵時にMCNP5コードを、輸送時にDOT3.5コードを適用しているが、先行設計承認では17×17燃料収納時について、貯蔵時、輸送時ともにDOT3.5コードを適用しており、照射量に差異が生じている。

主要な評価部材		中性子照射量 (n/cm ² ・h)		基準値 (n/cm ²)
		本申請	先行設計承認	
構成部材	胴、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト	6.9 × 10 ¹⁴	5.9 × 10 ¹⁴	10 ¹⁶
	バスケット(バスケットプレート)	1.5 × 10 ¹⁵	左と同じ	10 ¹⁶
	トランニオン	6.9 × 10 ¹⁴	5.9 × 10 ¹⁴	10 ¹⁷
	外筒	3.7 × 10 ¹²	3.3 × 10 ¹²	10 ¹⁶
	蓋部中性子遮蔽材カバー	6.9 × 10 ¹⁴	5.9 × 10 ¹⁴	10 ¹⁶
	下部端板、底部中性子遮蔽材カバー	8.4 × 10 ¹³	8.2 × 10 ¹³	10 ¹⁷
	中性子遮蔽材	1.6 × 10 ¹⁴	左と同じ	10 ¹⁵
	金属ガスカート	2.5 × 10 ¹⁴	2.0 × 10 ¹⁴	10 ¹⁷
	伝熱フィン	1.6 × 10 ¹⁴	左と同じ	10 ¹⁶
	(輸送用)三次蓋	1.0 × 10 ¹⁵	1.0 × 10 ¹⁴	10 ¹⁷
	(輸送用)三次蓋ボルト	1.0 × 10 ¹⁵	1.0 × 10 ¹⁴	10 ¹⁶
	(輸送用)緩衝体(木材)	1.0 × 10 ¹³	左と同じ	10 ¹⁶
	使用済燃料(燃料被覆管)	1.5 × 10 ¹⁵	左と同じ	10 ^{21~22}

(注1) 貯蔵初期の中性子が減衰せず設計使用期間中一定であると仮定して保守的に算出した設計使用期間中の累積値。主要な評価部材のうち最大値を記載。

③燃料の経年変化要因(熱)における燃料被覆管の周方向応力算定結果

燃料被覆管の周方向応力評価方法は、先行設計承認と同じである。15×15燃料の周方向応力評価結果を下表に示す。

燃料の種類	燃料被覆管周方向応力 ^注	評価基準値
17×17燃料	94MPa	100MPa
15×15燃料	99MPa	

(注) 周方向応力(σ_θ)は、燃料棒内圧及び燃料被覆管形状を条件とし、次式(内圧を受ける薄肉円筒の式)により評価している。

$$\sigma_{\theta} = \frac{PD}{2t}$$

σ_{θ} : 燃料被覆管の周方向応力 (MPa)
 P : 燃料棒内圧 (MPa)
 D : 燃料被覆管平均径 (mm)
 t : 燃料被覆管肉厚 (mm)
 ※燃料被覆管平均径及び燃料被覆管肉厚は、照射後の腐食減肉として保守的に10%の腐食減肉を考慮

2. 外運搬規則への適合性

● 設計承認申請への引継事項

型式指定申請(輸送容器に係るもの)から設計承認申請への引継事項として、輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受ける際の確認事項を次のとおりとする。

＜設計承認申請への引継事項＞

8.2 型式設計特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件



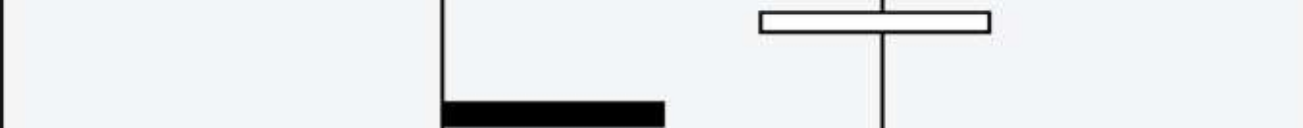


発電用原子炉施設の設計及び工事の計画の認可申請時に別途確認を要する条件は以下のとおりである。

(中略)

- (9) 原子炉等規制法第43条の3の9第1項に基づく設計及び工事の計画の認可の申請までに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第21条第2項の規定に基づく輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受ける際には、以下を確認すること。

	設計承認申請への引継事項	備考
①	核燃料輸送物の運搬は、添付書類13(イ)章に示す輸送用の緩衝体を装着し、専用積載として周囲温度-20℃以上で実施すること。また、輸送容器の使用予定年数は60年、仕様予定回数は10回であること。	外運搬規則適合のために装着が必要となる輸送用の緩衝体(型式指定申請の審査範囲外)を限定とするための記載及び輸送時の使用条件
②	輸送用緩衝体の使用に際しては、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こと。	輸送用緩衝体の経年変化がないことを確認するための使用条件
③	核燃料輸送物の発送前検査(温度測定検査)により、太陽熱放射のない条件において輸送中人が容易に近づくことができる表面温度が85℃を超える場合は、近接防止金網を装着して輸送すること。	核燃料輸送物を運用する原子力事業者等の保守によって外運搬規則に適合することを確認するための事項
④	核燃料輸送物の発送前検査(外観検査)により、核燃料輸送物が <input type="checkbox"/> されていることを確認すること。	
⑤	核燃料輸送物の発送前検査(表面密度検査)により、核燃料輸送物の表面の放射性物質の密度が外運搬規則第4条第1項8号に規定される表面密度限度以下であることを確認すること。	
⑥	輸送物の発送前検査(収納物検査)により、核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品(核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのないものに限る。)以外のものが収納されていないことを確認すること。	

● 審査説明スケジュール

項目	2022年度			
	7-9月	10-12月	1-3月	
型式指定審査 (MSF-24P(S)型横置き)	申請 ▼ 7/13	審査会合 ▼ 9/1	審査会合 ▼ 12/5	認可希望 ▼
概要				
1. 技術基準規則適合性 ・安全機能・長期健全性(26条)				
・構造強度評価(17条・26条)				
・地震/津波/竜巻時評価(5・6・7条)				
2. 外運搬規則適合性				
3. 品質管理基準適合性				
4. 貯蔵用緩衝体装着状態での安全性				
コメント回答 他				

● (輸送用)緩衝体の構造【上部緩衝体】

(輸送用)緩衝体は、型式指定の申請範囲外であるが、型式指定申請書添付書類13に示す、特定の仕様及び構造の(輸送用)上部緩衝体及び(輸送用)下部緩衝体を装着して輸送することを条件とする。



(輸送用)上部緩衝体構造

● (輸送用)緩衝体の構造【下部緩衝体】

(輸送用)緩衝体は、型式指定の申請範囲外であるが、型式指定申請書添付書類13に示す、特定の仕様及び構造の(輸送用)上部緩衝体及び(輸送用)下部緩衝体を装着して輸送することを条件とする。



(輸送用)下部緩衝体構造



(参考) 核燃料輸送物の試験条件

● 核燃料輸送物 (BM型輸送物及び核分裂性輸送物) に課せられる試験条件 (1/2)

一般の試験条件

①水の吹きつけ試験		50mm/hの雨に相当する水を1時間吹き付け
②自由落下試験 (0.3m落下)		$15\text{ton} \leq W$, $h = 0.3\text{m}$ (W: 自重)
③積み重ね試験		5W又は垂直投影面積 1m^2 当たり1300kgを乗じた荷重のいずれか大きいものを24時間付加
④貫通試験		6kg、直径3.2cmの棒を輸送物の最も弱い表面に1mの高さから落下
⑤環境試験		38°Cの環境で一週間放置
試験手順 (国内法令)		

特別の試験条件

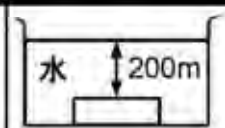
⑥落下試験 I (9m落下)		9mの高さから落下
⑦落下試験 II (1m貫通)		長さ20cm以上、直径15cm 上面が水平面の軟鋼丸棒に1mの高さから落下
⑧耐火試験		800°C
⑨浸漬試験		15mの水中に8時間浸漬
試験手順 (国内法令)	<p>⑥^(*) → ⑦ → ⑧</p> <p>⑨ (独立)</p> <p>(*)最大破損を受ける順序</p>	

● 核燃料輸送物 (BM型輸送物及び核分裂性輸送物) に課せられる試験条件 (2/2)

核分裂性輸送物の試験条件 (注1)

一般の試験条件	
試験手順	①→② ③, ④ (独立)
特別の試験条件	
⑪浸漬試験	0.9mの水中に8時間(臨界の評価において、浸水または漏水が想定されている場合は必要なし)
試験手順 (1)及び (2)の厳しい方 (国内法令)	(1) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件 → ⑥ ^(*) → ⑦ → ⑧ → ⑪ (*)⑧に対して最大破壊を受ける順序
	(2) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件 → ⑨

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の追加試験条件

⑩浸漬試験	 <p>A_2 (注2) の10万倍を超える量の放射エネルギーを有する核燃料物質等が収納されている場合は200mの水中に1時間浸漬</p>
試験手順	⑩ (独立)

(注1) 表中の○付番号は、前頁の試験番号に対応。

(注2) A_2 値は、個々の放射性核種について定められる放射エネルギーの収納限度に関する基準値。(例: ^3H の場合、40TBq)

MOVE THE WORLD FORWARD

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**