

第23回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合(2023年2月16日)

資料1-1

Doc. No. L5-95KV253 R10

# 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

2023.2.16

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. 指摘事項リスト	…37
4. 指摘事項への回答	…39
5. 説明スケジュール	…64

# 1. 外運搬規則への適合性概要

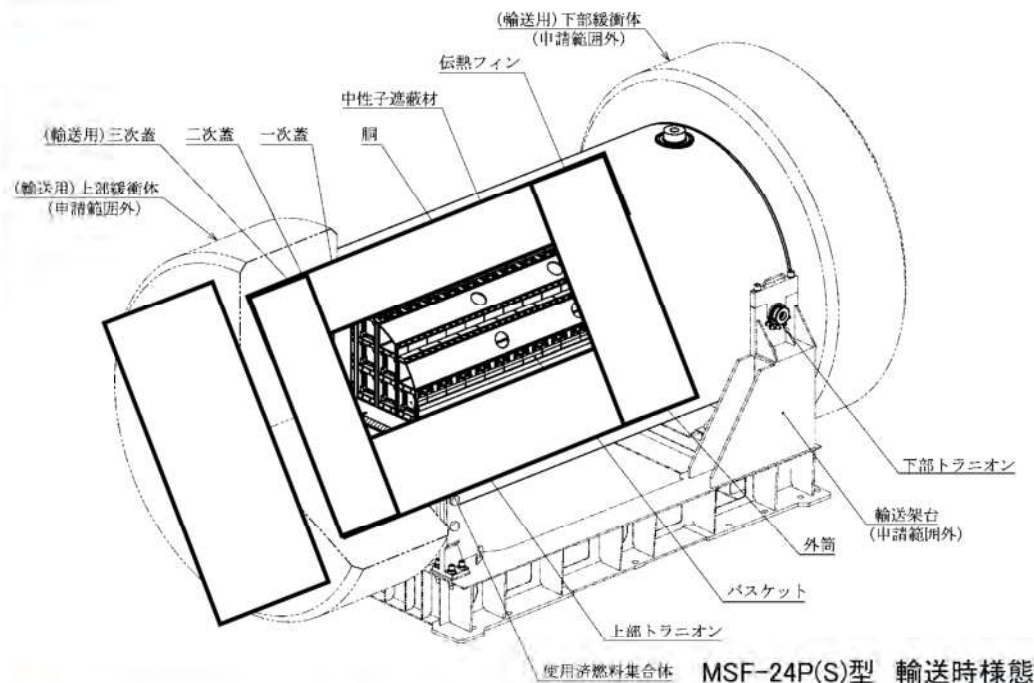
## ● 審査説明事項

BM型輸送物<sup>(注)</sup>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<sup>(注)</sup>。

(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に適合することを示す。
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こと等を示す。



# 1. 外運搬規則への適合性概要

## ● 申請範囲

特定兼用キャスク及び関連部品／設備の申請範囲を下表に示す。(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 <sup>(注1)</sup>			申請範囲 <sup>(注2)</sup>				
	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	□	□	○	○	○	○	○
	モニタリングポートカバープレート	—	□	—	—	—	○	—
	(輸送用)三次蓋	—	□	—	—	—	○	—
	貯蔵用三次蓋	□	—	○	○	○	—	○
—	(輸送用)緩衝体	—	□	—	—	—	△	—
周辺施設	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、申請範囲を示す。

△で示す貯蔵用緩衝体は、申請範囲外の部品であるが、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)。  
<補足>

・モニタリングポートカバープレート及び(輸送用)三次蓋は、輸送時にキャスク本体と共に密封機能を担保する部位であり、設置許可基準規則第2条第2項第41号(\*)の定義を基に、特定兼用キャスクとして分類している。また、(輸送用)緩衝体は外運搬規則適合のために必要な部品であること、貯蔵用緩衝体及びその取付けのために必要な貯蔵用三次蓋は、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法において特定兼用キャスク貯蔵時の安全機能を維持するための前提となることを踏まえ、特定兼用キャスクに分類されるべき部品と考えられるものの、緩衝体(輸送用・貯蔵用)は、「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」の1.4(用語の定義)に基づき、特定兼用キャスクに分類されないことを踏まえ、申請範囲外とし、型式証明を受けている。

(\*抜粋) 兼用キャスクとは、使用済燃料を工場内に貯蔵する乾式キャスクのうち、使用済燃料の工場等外への運搬に使用する容器に兼用することができるものとして、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6条又は第7条及び第11条に定める技術上の基準(容器に係るものに限る。)に適合するものをいう。

# 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、型式指定申請上の参考扱いである。

添付書類13の構成 <sup>(注1)</sup>		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。
ハ章	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い方法を示すもので、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い方法を示すものであり、参考の位置づけである。
ニ章	安全設計及び安全輸送に関する特記事項	参考	イ章～ハ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 <sup>(注1)</sup>
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構造(輸送時)

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

主要構成部材	材質		構造(構造図)	
	MSF-24P(S)型	先行設計承認 (MSF-24P型)	MSF-24P(S)型 <sup>(注1)</sup>	先行設計承認 (MSF-24P型)
胴	炭素鋼	左記と同じ	別紙1-3図	左記と同じ
外筒	炭素鋼		別紙1-5図	
底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼		別紙1-3図	
下部端板	ステンレス鋼		別紙1-6図	
トラニオン	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		別紙1-11図 別紙1-12図	
蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼			
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			
二次蓋	炭素鋼		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			
(輸送用)三次蓋	ステンレス鋼			
(輸送用)三次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼			
(輸送用)緩衝体 <sup>(注2)</sup>	ステンレス鋼 木材			

(注1)構造図番号は、資料1-2 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。	・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。
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) <sup>(注1)</sup>
BM型輸送物に係る技術上の基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・容易に、かつ、安全に取扱うことができること。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・外接する直方体の各辺が10cm以上であること。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと。</li> <li>・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。</li> <li>・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"> <li>－ 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。</li> <li>－ 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。</li> <li>－ 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℃を超えないこと。</li> <li>－ 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。</li> </ul> </li> <li>・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"> <li>－ 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。</li> <li>－ 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。</li> </ul> </li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>

(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られており、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に裕度を見た18.1 kW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温度は127℃であり、使用可能温度149℃より低いいため、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>(口)-A.5.1.2</p> <p>(口)-A.5.1</p> <p>(口)-B.4.4</p> <p>(口)-A.4.7、 (口)-A.5.1、 (口)-C.2.4</p> <p>(口)-A.4.5、 (口)-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>(イ)-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. 熱伝フィンと胴及び外筒の接合部は、異種金属接触による電気的な腐食促進の影響は小さい。</p>	<p>(口)-A.5.1.2</p> <p>(口)-A.4.1</p> <p>(口)-A.4.1</p> <p>(口)-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="788 932 1425 1021"> <thead> <tr> <th>放射性物質の区分</th> <th>密度(Bq/cm<sup>2</sup>)</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 <sup>2</sup> )	アルファ線を放出する放射性物質	0.4	アルファ線を放出しない放射性物質	4	<p>(ロ)-A.4.3</p> <p>(ハ)-A</p>
放射性物質の区分	密度(Bq/cm <sup>2</sup> )							
アルファ線を放出する放射性物質	0.4							
アルファ線を放出しない放射性物質	4							

## 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 <input type="checkbox"/> されるので、開放された場合はそれが明らかとなる。</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>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 <math>\mu</math>Sv/hであり、基準値の2 mSv/hを超えることはない。</p> <p>a. 線源として保守的に中央部に全てバーナブルポイズン集合体を装荷した最高燃焼度の燃料12体を、外周部に全て平均燃焼度の燃料12体を収納するとしている。</p> <p>b. 燃料の燃焼条件を包絡する軸方向燃焼度分布を考慮している。</p> <p>c. 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>(口)-D.4、 (口)-D.5</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>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 <math>\mu</math>Sv/hであり、基準値の100 <math>\mu</math>Sv/hを超えることはない。</p>	<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>(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(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>□ 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>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、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(<sup>3</sup>H及び<sup>85</sup>Kr)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<math>A_2 \times 10^{-6}</math> Bq/hとの比率の合計は、<math>9.68 \times 10^{-5}</math>で、1より小さく、基準値<math>A_2 \times 10^{-6}</math> 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、外筒外面及びトラニオン温度が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>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<b>895.9</b> <math>\mu</math> Sv/hであり、基準値の10 mSv/hを超えることはない。</p>	<p>(ロ)-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>(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>□ 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(<math>^3\text{H}</math>及び<math>^{85}\text{Kr}</math>)の漏えい計算をしても、1週間当りの漏えい量と各核種の基準値<math>A_2</math> Bq/weekとの比率の合計は、<math>2.45 \times 10^{-5}</math>で、1より小さく、基準値<math>A_2</math> Bq/weekを超えることはない。</p> <p>本輸送物は、周囲温度<math>-20^\circ\text{C}</math>以上で使用する。本輸送容器の材料は、<math>-20^\circ\text{C}</math>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<math>38^\circ\text{C}</math>で収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た<math>18.1</math> 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<math>-20^\circ\text{C} \sim 38^\circ\text{C}</math>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<math>A_2</math>値の10万倍を超える。公式を用いた計算により<math>2.101325</math> 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>(□)-C.4</p> <p>(□)-A.4.2、 (□)-A.5.1、 (□)-A.10.4、 (□)-B.4.6</p> <p>(□)-A.7</p>

## 4. 外運搬規則への適合性について

### ● 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)

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、核分裂性物質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)
核分裂性物質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"> <li>・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"> <li>－ 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。</li> <li>－ 外接する直方体の各辺が10cm以上であること。</li> </ul> </li> <li>・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"> <li>－ 孤立系の条件の下に置くこととした場合                   <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> </ul> </li> <li>－ 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</li> <li>－ 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</li> </ul> </li> <li>・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。</li> </ul>

## 2. 外運搬規則への適合性

### ● 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)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、<math>^{235}\text{U}</math>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(P.20)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

### ● 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)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>二 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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・収納物の温度は常温(20 °C)とし、収納物は容器中央に最も近接して配置する。</li> <li>・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。</li> </ul> <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.にて前述するように、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 °C~38 °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>(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

### ● 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)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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> <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)及び金属ガ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>(ロ)-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)<sup>(注)</sup>について、P.22~P.35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: ORIGIN2	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: ORIGIN2	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<sup>(注)</sup>を構造公式(17×17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( $\sigma_c$ )及び内圧により生じる各方向応力( $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$ )から求まる応力強さ(S)が燃料被覆管の設計降伏点( $\sigma_y$ )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( $\sigma_b$ )及び内圧により生じる各方向応力( $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$ )から求まる応力強さ(S)が燃料被覆管の設計降伏点( $\sigma_y$ )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)		$\sigma_c = \frac{WG_v}{A}$ W : 燃料被覆管最下端における質量 (kg) G <sub>v</sub> : 垂直落下時の衝撃加速度 (m/s <sup>2</sup> ) A : 燃料被覆管の断面積 (mm <sup>2</sup> )		$\sigma_b = \frac{Md_0}{2I}$ M : 曲げモーメント (N・mm) d <sub>0</sub> : 燃料被覆管外径 (mm) I : 断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )					
内圧により生じる各方向応力 $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$ (Mpa)		$\sigma_z = \frac{1}{K^2-1} P_0 \quad \sigma_r = -\frac{K^2-1}{K^2-1} P_0 \quad \sigma_\theta = \frac{K^2+1}{K^2-1} P_0$		$\left[ \begin{array}{l} \sigma_z : \text{軸方向応力 (MPa)} \\ \sigma_r : \text{半径方向応力 (MPa)} \\ \sigma_\theta : \text{周方向応力 (MPa)} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} R=r/a, K=b/a \\ r : \text{評価位置 (} a \leq r \leq b \text{)} \text{(mm)} \\ a : \text{燃料被覆管内半径 (mm)} \\ b : \text{燃料被覆管外半径 (mm)} \end{array} \right.$					
応力強さ S(MPa)		$S = \text{Max} \left\{ \left  \sigma_{rL} - \sigma_{\theta L} \right , \left  \sigma_{\theta L} - \sigma_{zL} \right , \left  \sigma_{zL} - \sigma_{rL} \right  \right\}$ $\left[ \begin{array}{l} \sigma_{rL} = \sigma_r \\ \sigma_{\theta L} = \sigma_\theta \\ \sigma_{zL} = \sigma_c + \sigma_z \end{array} \right.$		$S = \text{Max} \left\{ \left  \sigma_{rL} - \sigma_{\theta L} \right , \left  \sigma_{\theta L} - \sigma_{zL} \right , \left  \sigma_{zL} - \sigma_{rL} \right  \right\}$ $\left[ \begin{array}{l} \sigma_{rL} = \sigma_r \\ \sigma_{\theta L} = \sigma_\theta \\ \sigma_{zL} = -\sigma_b + \sigma_z \end{array} \right.$					
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)<sup>(注1)</sup>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 $\square$ 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 $\square$ の崩壊熱量24体分(18.1kW)<sup>(注2)</sup>となるように調整した崩壊熱量 $\square$ 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) <sup>(注1)</sup>					
	初期濃縮度	17×17燃料収納時	≤4.2wt%		$\square$				
		15×15燃料収納時	≤4.1wt%						
	燃焼度	最高	$\square$						
		特定兼用キャスク 1基あたり平均							
冷却期間	$\square$								
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							$\square$		

(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。



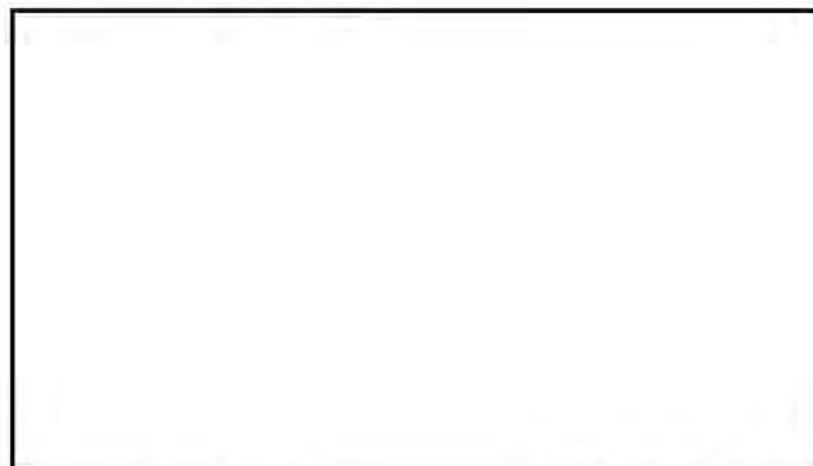
## 2. 外運搬規則への適合性

### ● 15×15燃料収納時の除熱解析

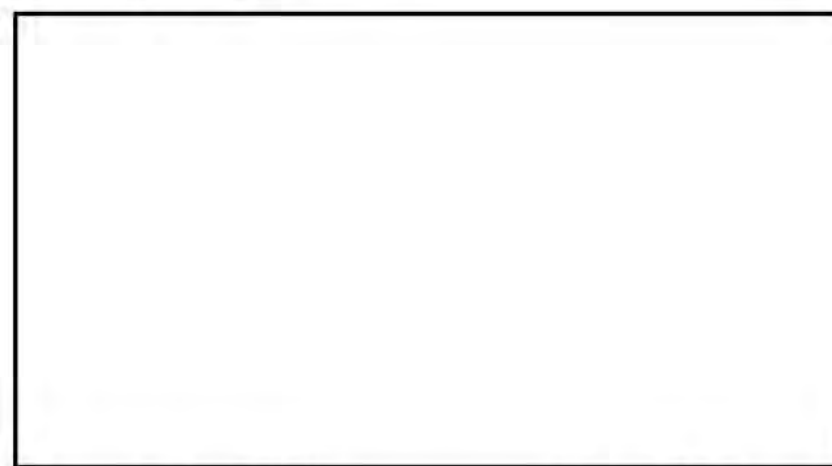
#### (2) 除熱解析評価条件(解析モデル)

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	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(1/2) (一般の試験条件)

15×15燃料収納時においても、輸送物は一般の試験条件の基準を満足した。

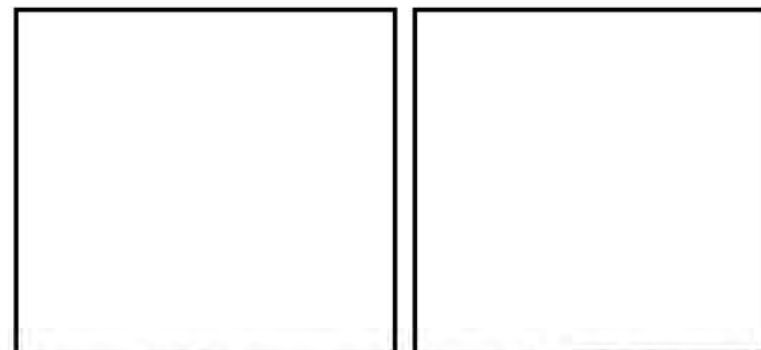
- 最高温度評価条件において、輸送物の温度は、健全性に悪影響を及ぼすような温度には到達しない。
- 人が近づきうる表面の最高温度評価条件において、容易に人が近づきうる部位としての緩衝体表面の最高温度は基準値(85℃)を超えることはない。外筒外面及びトランニオン温度は基準値を超えているが、外筒及びトランニオン部には必要に応じ近接防止金網を取り付けて輸送するため、人が容易に近づきうる表面の温度は基準値以下である。
- 最低温度評価条件において、周囲温度が-20℃で、太陽熱放射がなく崩壊熱量が0 kWであるため、すべての部位が-20℃に達するが、輸送物の健全性に問題はない。

#### (一般の試験条件)

項目	17×17燃料 収納時[℃]	15×15燃料 収納時[℃]	基準値 [℃]
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Oリング	103	103	150
外筒	114	114	350
胴	133	133	350
近接表面 <sup>(注1)</sup>	82 <sup>(注2)</sup>	82 <sup>(注2)</sup>	85
最低温度	輸送物の全部位が-20℃となるが胴内 雰囲気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℃及び103℃であり85℃を超えているが、核燃料輸送物の発送前検査(温度測定検査)により当該部が85℃を超える場合は、近接防止金網(最高温度評価条件における近接防止金網の温度(計算結果)は66℃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℃以下である。

(注2) 緩衝体表面の最高温度。



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)

## 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(2/2) (特別の試験条件)

特別の試験条件における15×15燃料収納時の輸送物の損傷状態は以下のとおりであり、17×17燃料収納時と同様に損傷については他の解析に反映している。その他の構成材料については、輸送物の健全性に対し悪影響を及ぼす温度には到達しない。

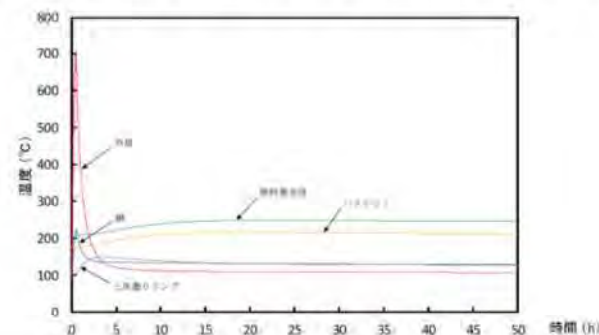
- 蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材の最高温度は、使用可能温度を超えることはない。一方、側部中性子遮蔽材の最高温度は、使用可能温度を超えるが全て失われることはない。遮蔽解析においては、中性子遮蔽材の欠損を密度減少量として考慮する。なお、側部中性子遮蔽材だけでなく、蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材についても密度減少を考慮している。臨界解析においては、外筒までをモデル化し、中性子遮蔽材は全て失われるとしてモデル化しないことにより、中性子吸収効果を見逃し、保守側の解析を行う。

(特別の試験条件)

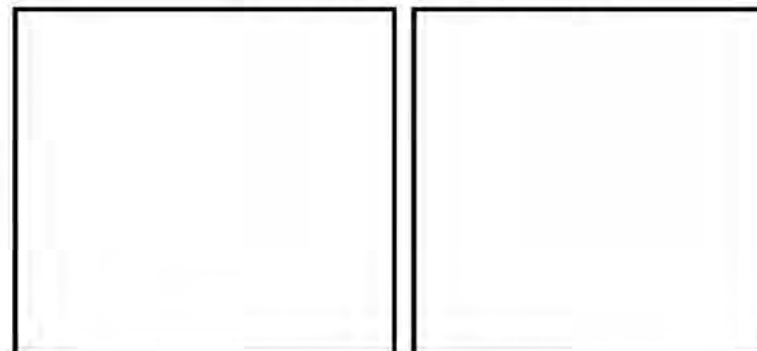
項目	17×17燃料 収納時[°C]	15×15燃料 収納時[°C]	基準値 [°C]
最高温度			
燃料集合体	254	251	—
バスケット	218	217	250
中性子遮蔽材	701 <sup>(注1)</sup>	701 <sup>(注1)</sup>	180 <sup>(注2)</sup>
二次蓋金属ガスケット	137	137	190 <sup>(注2)</sup>
三次蓋Oリング	186	186	300 <sup>(注2)</sup>
胴	224	224	350

(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160 °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、中性子遮蔽材の耐火試験結果(資料1-5 別紙1参照)を基に、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見逃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:  金属ガスケット:  O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%		<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						
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				<input type="text"/>		

(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基あ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.29～P.30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を半分に減少させるとともに、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。

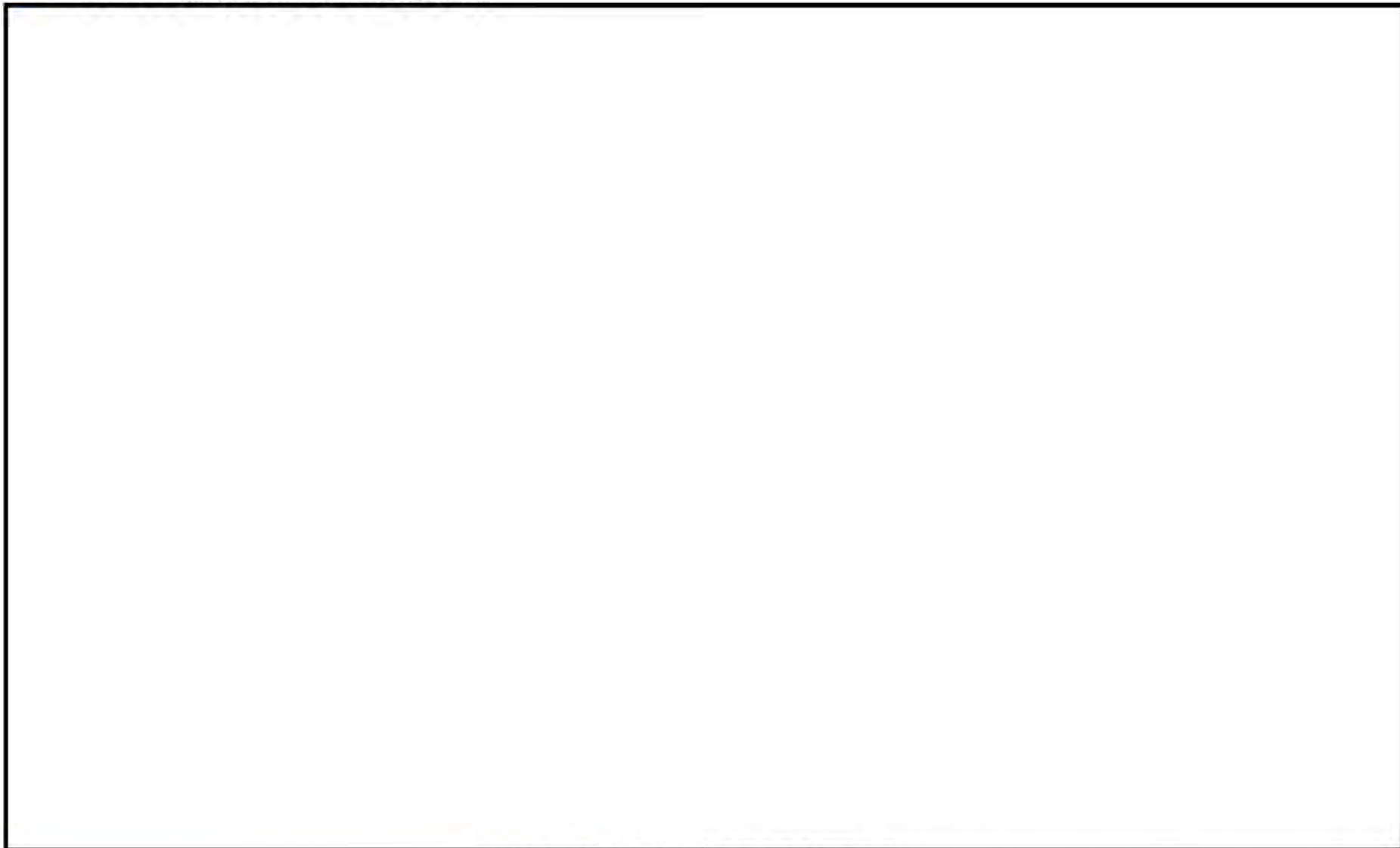
線量当量率評価結果

(単位:  $\mu$  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

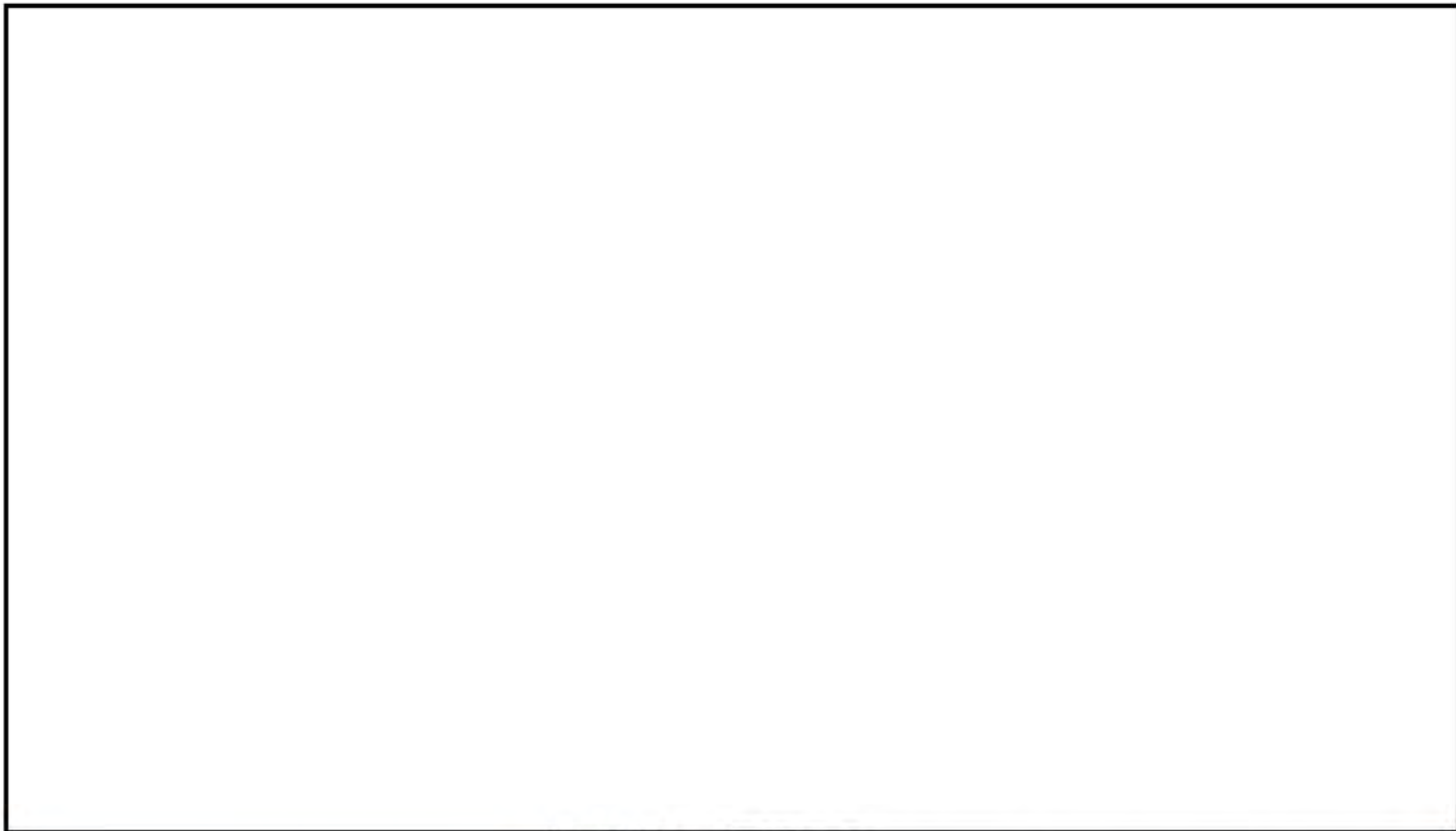
### ● 15×15燃料収納時の遮蔽解析



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)<sup>(注)</sup>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) <sup>(注)</sup>		
	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				
		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

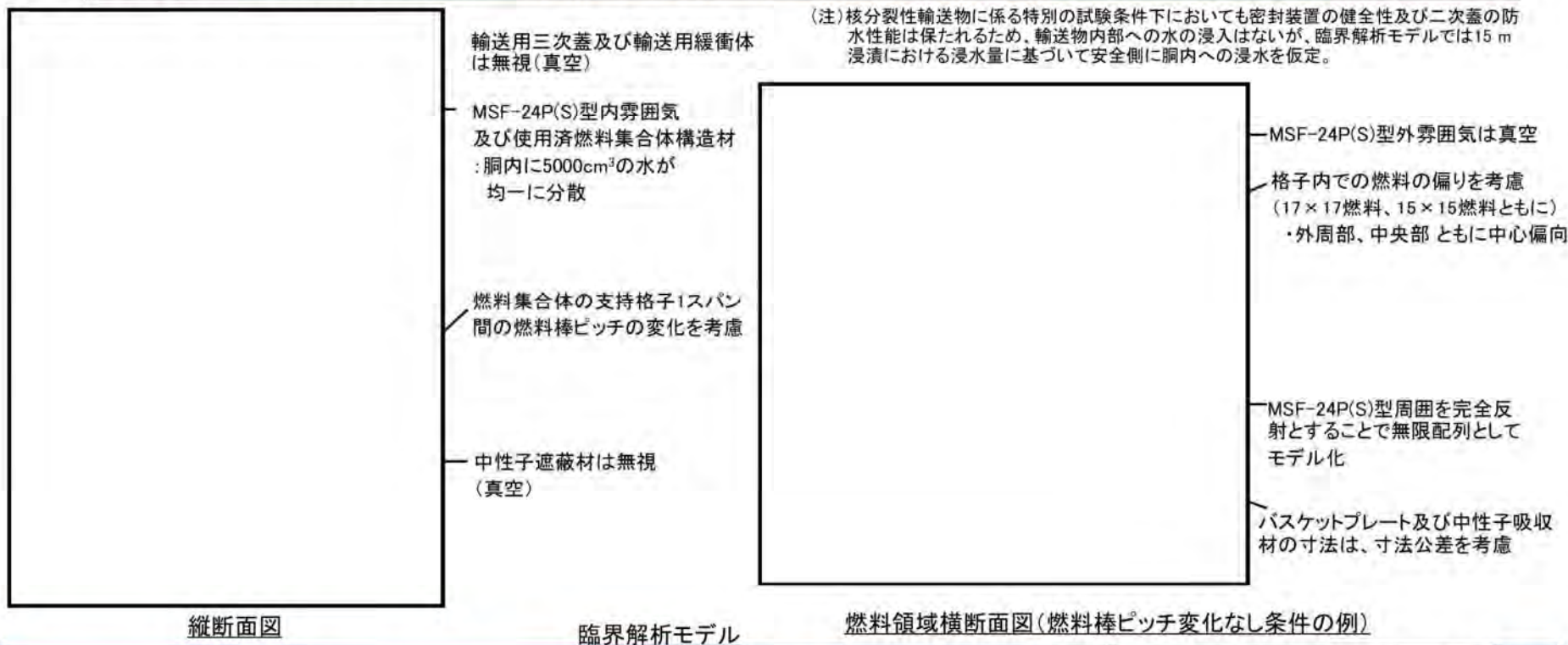
### ● 15×15燃料収納時の臨界解析

#### (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での下限値とする。(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 $5000\text{cm}^3$ の水が均一に分散していると仮定する(注)。

(注)核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても密封装置の健全性及び二次蓋の防水性能は保たれるため、輸送物内部への水の浸入はないが、臨界解析モデルでは15 m 浸漬における浸水量に基づいて安全側に胴内への浸水を仮定。



## 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( $\sigma$ )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( $\sigma$ )の3倍( $3\sigma$ )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 における15×15燃料収納時の経年変化の考慮として、15×15燃料収納時の最高温度、照射量及び燃料被覆管の周方向応力を反映している。これらの設計値は17×17燃料収納時と同様に基準値を満足している。経年変化の考慮の必要性の評価結果は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)。

#### 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

評価に用いる最高温度は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用いている。17×17燃料収納時と15×15燃料収納時の差異は僅かであり、15×15燃料収納時においても基準値以下の温度となっている。

なお、以下の理由により、本申請の最高温度は先行設計承認と差異がある。

- 貯蔵時温度：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)の差異及び15×15燃料の追加収納
- 輸送時温度：15×15燃料の追加収納

主要な評価部材		最高温度(°C)				基準値(°C)
		貯蔵時		輸送時		
		17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	
構成部材	胴、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト	142	左と同じ	133	左と同じ	350
	バスケット(バスケットプレート)	187	188	177	178	250
	トラニオン	127	左と同じ	118	左と同じ	425
	外筒、蓋部中性子遮蔽材カバー	123		114		350
	下部端板、底部中性子遮蔽材カバー	124		117		425
	中性子遮蔽材 <sup>(注1)</sup>	135		127	126	149
	金属ガasket	118		109	左と同じ	130
	伝熱フィン	126		115		200
	(輸送用)三次蓋	/	/	103		425
	(輸送用)三次蓋ボルト			103	350	
	(輸送用)緩衝体(木材)			(注2)		(注2)
	使用済燃料(燃料被覆管)		215	左と同じ	206	左と同じ

(注1)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2)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燃料収納時の経年変化の考慮(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。15×15燃料収納時の照射量は、17×17燃料収納時に比べ、若干増加するが、基準値以下の照射量となっている。なお、本申請では遮蔽解析に用いるコード(本申請:MCNP5コード及びDOT3.5コード、先行設計承認:DOT3.5コード)に差異があること、及び15×15燃料の追加収納により、先行設計承認と照射量に差異がある。

主要な評価部材		中性子照射量(n/cm <sup>2</sup> ) <sup>(注1)</sup>		基準値 (n/cm <sup>2</sup> )
		17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	
構成 部材	胴、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト	6.6×10 <sup>14</sup>	6.9×10 <sup>14</sup>	10 <sup>16</sup>
	バスケット(バスケットプレート)	1.4×10 <sup>15</sup>	1.5×10 <sup>15</sup>	10 <sup>16</sup>
	トラニオン	6.6×10 <sup>14</sup>	6.9×10 <sup>14</sup>	10 <sup>17</sup>
	外筒	3.5×10 <sup>12</sup>	3.7×10 <sup>12</sup>	10 <sup>16</sup>
	蓋部中性子遮蔽材カバー	6.6×10 <sup>14</sup>	6.9×10 <sup>14</sup>	10 <sup>16</sup>
	下部端板、底部中性子遮蔽材カバー	8.0×10 <sup>13</sup>	8.4×10 <sup>13</sup>	10 <sup>17</sup>
	中性子遮蔽材	1.5×10 <sup>14</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>	10 <sup>15</sup>
	金属ガスカート	2.3×10 <sup>14</sup>	2.5×10 <sup>14</sup>	10 <sup>17</sup>
	伝熱フィン	1.5×10 <sup>14</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>	10 <sup>16</sup>
	(輸送用)三次蓋	1.0×10 <sup>15</sup>	1.0×10 <sup>15</sup>	10 <sup>17</sup>
	(輸送用)三次蓋ボルト	1.0×10 <sup>15</sup>	1.0×10 <sup>15</sup>	10 <sup>16</sup>
	(輸送用)緩衝体(木材)	1.0×10 <sup>13</sup>	1.0×10 <sup>13</sup>	10 <sup>16</sup>
	使用済燃料(燃料被覆管)	1.4×10 <sup>15</sup>	1.5×10 <sup>15</sup>	10 <sup>21~22</sup>

(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。17×17燃料に比べ、15×15燃料の方が濃縮度が低く、同一の燃焼度・冷却期間における中性子線源強度は15×15燃料の方が大きくなる。

#### 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 <sup>(注)</sup>	評価基準値
17×17燃料	94MPa	100MPa
15×15燃料	99MPa	

(注)周方向応力( $\sigma_{\theta}$ )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。

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

$\sigma_{\theta}$  : 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、以下とすること。**

	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、使用予定回数は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。	

### 3. 指摘事項リスト

No.	受領日	コメント内容	区分	コメント回答	対応状況
1	2022/9/1 審査会合	型式証明からの変更点(貯蔵用三次蓋の材質・形状)による安全機能の評価への影響について説明すること。	技術基準規則26条(安全機能全般)	型式証明からの貯蔵用三次蓋の構造変更を踏まえ、貯蔵用三次蓋のモデル化の差異、及びその他評価条件の差異による型式証明の各安全機能評価結果への影響を整理した。評価モデル及び評価条件の差異により、遮蔽機能、除熱機能、閉じ込め機能及び長期健全性に係る評価結果への影響がある。除熱機能への影響については、貯蔵用三次蓋の構造変更による影響は僅かであるが、貯蔵場所の差異(型式指定:貯蔵建屋内、型式証明:屋外[代表ケース])に起因する境界条件の差異により、型式証明に対し温度が高くなっている。なお、閉じ込め及び長期健全性への影響は、いずれも除熱評価結果に差異が生じたことによるものである。	2022/12/5 審査会合で 回答済。
2	2022/9/1 審査会合	MCNP5コードの適用妥当性を具体的に説明すること。	技術基準規則26条(遮蔽)	原子力学会標準「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン:2015」(以下「シミュレーションガイドライン」という。)のモデル検証及び妥当性確認方法を参考に、本型式指定と類似の評価条件を用いた使用済燃料輸送・貯蔵容器体系での遮蔽ベンチマーク解析に基づき、MSF-24P(S)型の体系において、保守的な評価ができることの確認を行った。また、この確認に加え、許認可実績が豊富なDOT3.5コードによる既認可値との比較でも同等の結果となっており、DOT3.5コードと同様に妥当な解が得られることを確認した。以上より、線量当量率基準への適合性確認にMCNP5コードを適用することは妥当であると判断した。	2022/12/5 審査会合で 回答済。
3	2022/9/1 審査会合	申請書添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することが申請書本文に明記されていないため記載を検討のこと。また、貯蔵用緩衝体の性能に係る説明に際して、詳細設計ベースでの具体的な緩衝性能について説明すること。	緩衝体性能	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は、型式指定申請書の添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することを型式指定申請書本文に記載する。また、詳細設計ベースでの具体的な貯蔵用緩衝体の緩衝性能については、型式証明申請書に記載している貯蔵用緩衝体の必要性能を踏まえ、MSF-24P(S)型の詳細設計に対する貯蔵用緩衝体の具体的な緩衝性能として、特定兼用キャスク貯蔵施設における想定事象に対して特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための具体的な荷重条件を定める。設工認申請での想定事象において特定兼用キャスクに作用する荷重条件が本荷重条件を満足する場合、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するための緩衝性能を有するものとする。【P.39参照】	本審査会合 で説明。

### 3. 指摘事項リスト

No.	受領日	コメント内容	区分	コメント回答	対応状況
4	2022/12/5 審査会合	品質基準適規則の基準適合性について、実用炉規則111条の要求事項への適合について説明すること。	品質管理	型式指定申請書本文7「申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」及び添付書類14「申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」に記載している規則適合性の確保に必要な設計、製作、試験・検査及び購買に係る品質管理の方法及び組織の説明は、実用炉規則第111条の要求事項に適合している。【P.52参照】	本審査会合で説明。
5	2022/12/5 審査会合	貯蔵用三次蓋の材質及び形状の変更による質量の変化について説明するとともに、貯蔵時や輸送時の取扱いに影響がないか説明すること。	申請概要	型式証明からの貯蔵用三次蓋の材質及び形状の変更による形状及び質量の差異は僅かである。また、貯蔵用三次蓋の胴への取付け及び取外しは、クレーン等の揚重設備により行われ、その際の取扱方法は同じである。さらに、貯蔵用三次蓋を装着した状態でのMSF-24P(S)型の取扱中の質量は、原子炉建屋内の取扱時、貯蔵施設への搬送時及び貯蔵施設内の取扱時における取扱制限内であり、取扱性に問題ない。【P.53参照】	本審査会合で説明。
6	2022/12/5 審査会合	遮蔽解析に使用したMCNP5コードの適用妥当性について、学会標準のガイドラインを参考とした検証作業の方針を明確にし、結論に至るまでの論理展開が適切となるように見直すこと。	技術基準規則26条 (遮蔽)	特定兼用キャスクに対するMCNP5コードの適用性について、MCNP5コードによる線量当量率分布の評価値は測定値の分布の傾向に対して良い一致を示し、許認可で認められたDOT3.5コードによる保守的な手法に基づく線量当量率評価値と同等の結果となることを示すことで説明する。 原子力学会標準「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン:2015」のモデル検証及び妥当性確認方法を参考に、(1)遮蔽解析での確認範囲の整理、(2)数値的解法が検証されていることの確認、(3)MCNP5コードを用いた線量当量率評価値と測定値の比較による評価傾向の確認、(4)既認可で認められたDOT3.5コードを用いた保守的な評価手法に基づく特定兼用キャスクでの線量当量率の評価値との比較による同等性の確認を行った。 (1)から(3)の確認結果に加え、型式指定での遮蔽解析条件は、(4)で確認したMCNP5コードの保守的な条件設定を踏襲しており、保守性を有する解を得ることができる。以上より、本申請の遮蔽解析にMCNP5コードを適用することは妥当であると判断した。【P.54参照】	本審査会合で説明。

# 4. 指摘事項への回答

## 指摘事項(No.3)

申請書添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することが申請書本文に明記されていないため記載を検討のこと。また、貯蔵用緩衝体の性能に係る説明に際して、詳細設計ベースでの具体的な緩衝性能について説明すること。

### (回答)

- 輸送用緩衝体を装着して輸送することについて  
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は、型式指定申請書の添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することを型式指定申請書本文に記載する(P.36参照)。
- 詳細設計ベースでの具体的な貯蔵用緩衝体の緩衝性能について  
型式証明申請書に記載している貯蔵用緩衝体の必要性能を踏まえ、MSF-24P(S)型の詳細設計に対する貯蔵用緩衝体の具体的な緩衝性能として、特定兼用キャスク貯蔵施設における想定事象に対して特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(以下「金属キャスク構造規格」という)に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための具体的な荷重条件を定める。設工認申請での想定事象において特定兼用キャスクに作用する荷重条件が本荷重条件を満足する場合、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するための緩衝性能を有するものとする(設工認申請への引継ぎ事項として型式指定申請書本文に記載)。  
本荷重条件の設定根拠及び本荷重が特定兼用キャスクに作用する場合において特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足することをP.42~47に示す。

#### 型式証明申請

貯蔵用緩衝体の緩衝性能 (型式証明申請書記載事項)
貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法で設置することについて、金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dに対して、貯蔵用緩衝体は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するために必要な緩衝性能を有すること。



#### 型式指定申請での具体的な緩衝性能(設工認申請への引継ぎ事項)

想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件 <sup>(注1)</sup>
1) MSF-24P(S)型の水平落下 <sup>(注2)</sup>	上部(蓋部)に作用する荷重 4.30 × 10 <sup>7</sup> N以下 下部(底部)に作用する荷重 3.76 × 10 <sup>7</sup> N以下
2) MSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突	
3)-1 MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(上部側)	上部(蓋部)に作用する荷重 7.55 × 10 <sup>7</sup> N以下
3)-2 MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(下部側)	下部(底部)に作用する荷重 7.69 × 10 <sup>7</sup> N以下

(注1) 表中に示す荷重値は、特定兼用キャスク本体に以下の衝撃加速度が作用した場合に上部(蓋部)又は下部(底部)に作用する荷重である。

1)及び2): 衝撃加速度650m/s<sup>2</sup>、3)-1及び3)-2: 衝撃加速度600m/s<sup>2</sup>

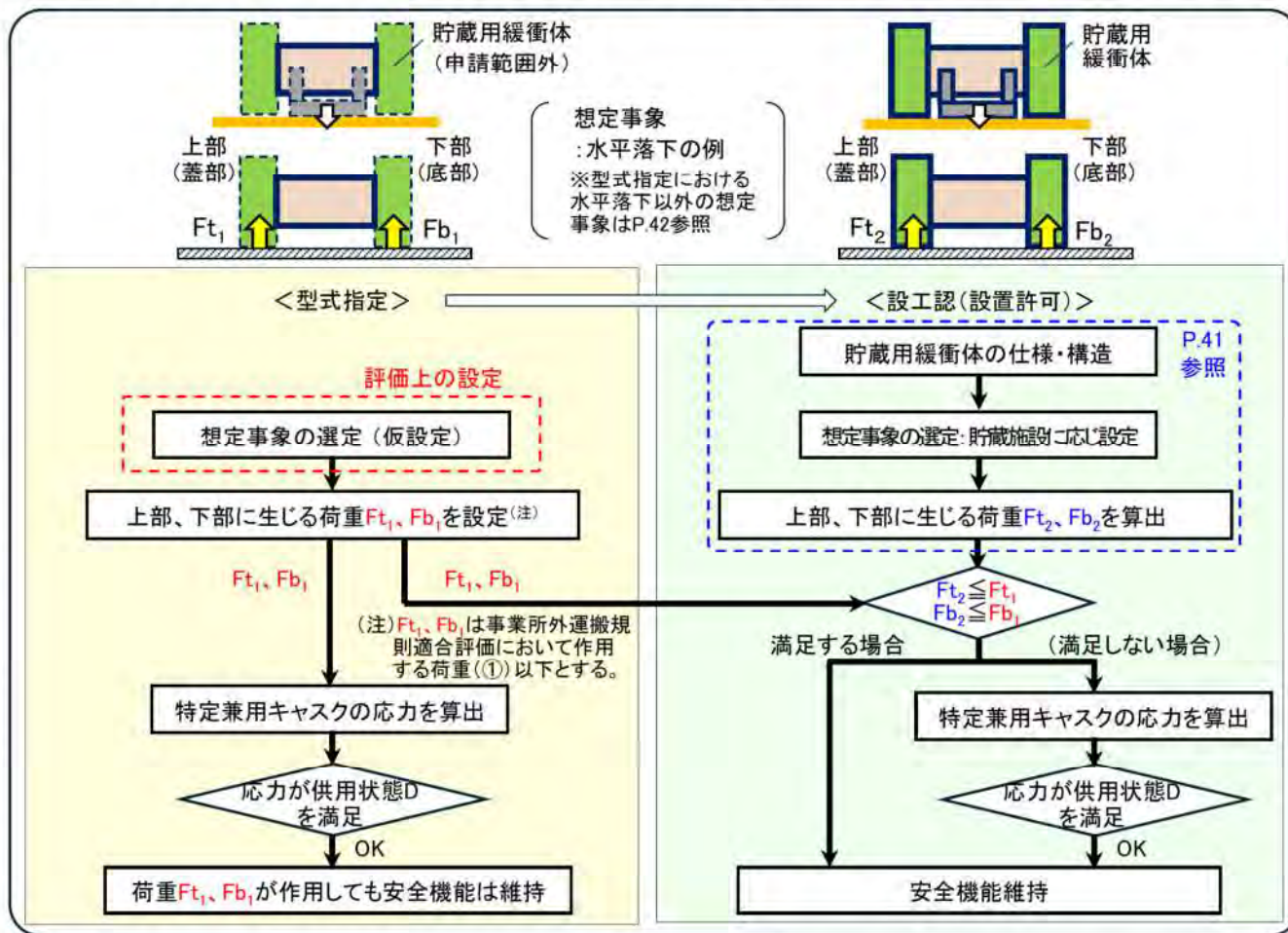
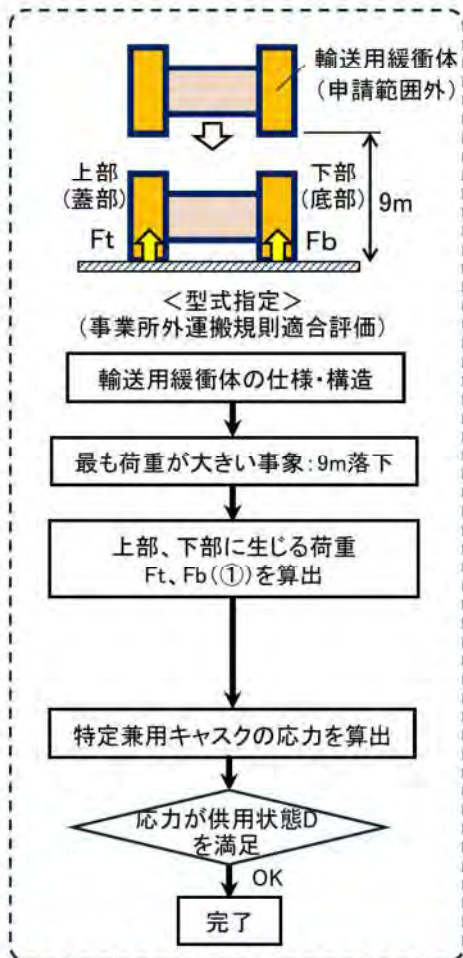
(注2) 水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下(傾斜落下)する場合においても、MSF-24P(S)型の健全性は維持される。



# 4. 指摘事項への回答

## ● 貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型の想定事象における安全評価の全体像

- 型式指定では、貯蔵施設での想定事象を仮設定し、各想定事象においてMSF-24P(S)型の安全機能を担保する強度部材が健全性を維持可能な荷重値( $F_{t1}$ 、 $F_{b1}$ )を定める。
- 貯蔵用緩衝体の詳細設計(仕様・構造)及び貯蔵施設での想定事象時にMSF-24P(S)型が受ける荷重算出は設工認の範囲。
- 設工認では、想定事象時にMSF-24P(S)型が受ける荷重が型式指定で定めた荷重以下であれば、安全機能維持の確認が不要。



# 4. 指摘事項への回答

## ● 貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型の想定事象における安全評価の全体像

<貯蔵用緩衝体の設計・性能評価<sup>(注)</sup> (水平落下の例)>

(注) 設工認での審査事項

(1) 要求性能の整理

- ① 質量・形状制限
- ② 想定される落下高さ
- ③ 制限荷重  
水平落下時に特定兼用キャスクに生じる荷重が、安全機能を維持可能な荷重以下

(2) 貯蔵用緩衝体の設計

- ① 材料  
高温環境下での長期貯蔵を考慮した材質選定
- ② 構造  
要求性能を満足する構造設計

(3) 貯蔵用緩衝体の圧縮特性確認

- ① 要素試験による圧縮特性の確認(要素試験)
- ② 緩衝体形状での圧縮特性の確認(緩衝体圧縮試験)
- ③ 解析による再現性確認(解析モデルの構築)

(4) 貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型の落下解析

- ① (3)で構築した貯蔵用緩衝体モデルによる落下解析 (MSF-24P(S)型に作用する荷重の算出)
- ② 安全機能維持評価 (①の荷重と許容基準荷重との比較)

(5) キャスク落下試験による落下解析の妥当性検証

落下試験による(4)の落下解析モデルの検証 (動的事象に対しても荷重値が妥当であることの確認)

設計・性能評価・検証フロー

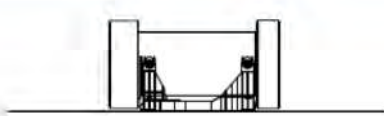
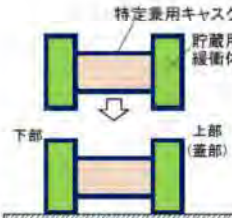
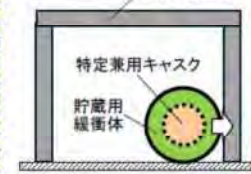
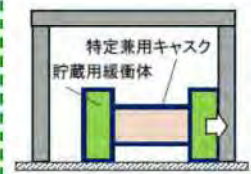
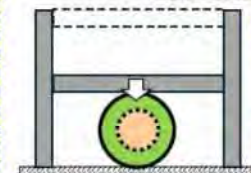
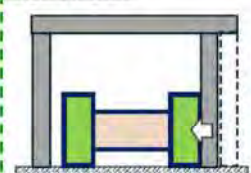
# 4. 指摘事項への回答

## ● 安全機能を担保する強度部材が健全性を維持可能な荷重の設定

特定兼用キャスク貯蔵施設(以下「貯蔵施設」という。)での貯蔵状態における想定事象を仮設定し、各想定事象に対して特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件を定める。

### (1) 想定事象

貯蔵施設内での貯蔵状態における想定事象は次のとおりとする。

状態図	
貯蔵状態	
貯蔵状態における想定事象	<p>1) MSF-24P(S)型の水平落下 (以下「水平落下」という。)</p>
	<p>2) MSF-24P(S)型と周辺施設等との径方向衝突(以下、「径方向衝突」という。) 3) MSF-24P(S)型と周辺施設等との軸方向衝突(以下、「軸方向衝突」という。)</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>特定兼用キャスク 貯蔵用緩衝体</p> <p>下部      上部(蓋部)</p> </div> <div style="border: 1px dashed blue; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">周辺施設等</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>① 径方向衝突</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>② 軸方向衝突</p> </div> </div> <p>A. 兼用キャスクが移動し衝突する場合</p> </div> <div style="border: 1px dashed green; padding: 5px;"> <div style="text-align: center;">  <p>① 径方向衝突</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>② 軸方向衝突</p> </div> <p>B. 周辺施設等が移動し衝突する場合</p> </div> </div>

# 4. 指摘事項への回答

## ● 安全機能を担保する強度部材が健全性を維持可能な荷重の設定

### (2) 代表事象 (1/2)

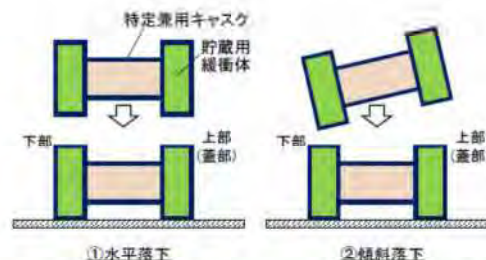
(1)の想定事象のうち、荷重作用位置を考慮し、貯蔵用緩衝体の性能及びMSF-24P(S)型の安全評価(構造強度評価)の評価対象とする事象(代表事象)を選定した。また、各代表事象に対し、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件をP.44参照(注1)を設定した。

代表事象	代表事象と同等として扱う想定事象	特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件(P.44参照)(注1)	(備考) 事業所外運搬規則適合評価における特別の試験条件(9m落下)時の荷重
1) 水平落下(注2)	2) 径方向衝突(注3)	上部(蓋部)に作用する荷重 $4.30 \times 10^7\text{N}$ 以下 下部(底部)に作用する荷重 $3.76 \times 10^7\text{N}$ 以下	<9m水平落下> 上部(蓋部)に作用する荷重 $4.68 \times 10^7\text{N}$ 下部(底部)に作用する荷重 $4.11 \times 10^7\text{N}$
3)-1 軸方向衝突(上部側)	—	上部(蓋部)に作用する荷重 $7.55 \times 10^7\text{N}$ 以下	<9m垂直落下> 上部(蓋部)に作用する荷重 $9.67 \times 10^7\text{N}$ 下部(底部)に作用する荷重 $8.19 \times 10^7\text{N}$
3)-2 軸方向衝突(下部側)	—	下部(底部)に作用する荷重 $7.69 \times 10^7\text{N}$ 以下	

(注1) 表中に示す荷重値は、特定兼用キャスク本体に以下の衝撃加速度が作用した場合に上部(蓋部)又は下部(底部)に作用する荷重である。

1) 水平落下(2) 径方向衝突): 衝撃加速度 $650\text{m/s}^2$ 、3)-1、3)-2 軸方向衝突(上部側、下部側): 衝撃加速度 $600\text{m/s}^2$

(注2) 水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下する場合(以下「傾斜落下」という。)がある。傾斜落下となる場合、細長い輸送物では落下エネルギーの一部が特定兼用キャスクの回転運動エネルギーとなり二次衝撃側の吸収エネルギーが増加する。特に、蓋密封部が二次衝撃側となる場合、密封性能を損なうおそれがあるため、二次衝撃側の衝撃加速度の影響を評価する必要がある。傾斜落下による密封性能への影響がなく、傾斜落下時にMSF-24P(S)型の健全性が維持されることをP.48~51に示す。



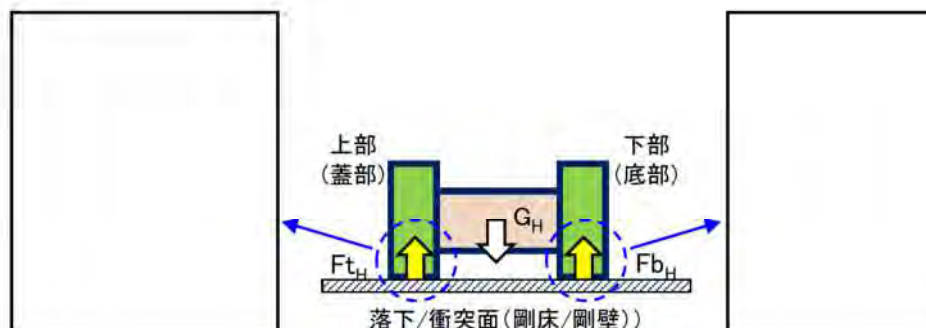
(注3) 径方向衝突は、水平落下と荷重作用位置が同一であり、水平落下と同等の事象として水平落下で代表する。

# 4. 指摘事項への回答

## ● 安全機能を担保する強度部材が健全性を維持可能な荷重の設定

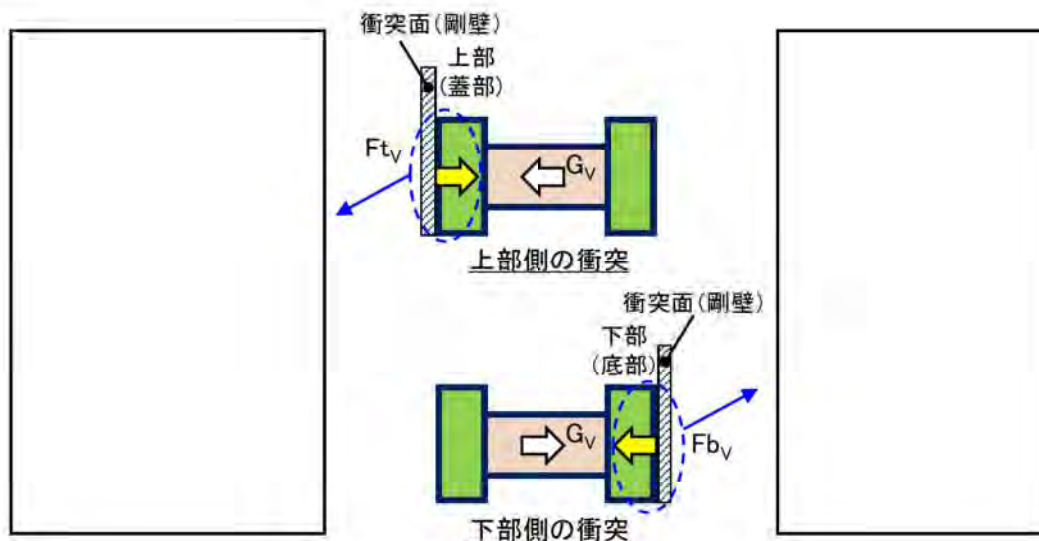
(2) 代表事象 (2/2)

(1) 水平落下



$G_H$ : 特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 ( $650\text{m/s}^2$ )  
 $F_{t_H}$ : 特定兼用キャスク上部(蓋部)に作用する荷重 ( $4.30 \times 10^7\text{N}$ )  
 $F_{b_H}$ : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 ( $3.76 \times 10^7\text{N}$ )

(2) 軸方向衝突



$G_V$ : 特定兼用キャスク本体に生じる衝撃加速度 ( $600\text{m/s}^2$ )  
 $F_{t_V}$ : 特定兼用キャスク上部(蓋部)に作用する荷重 ( $7.55 \times 10^7\text{N}$ )  
 $F_{b_V}$ : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 ( $7.69 \times 10^7\text{N}$ )

# 4. 指摘事項への回答

## ● 安全機能を担保する部材の構造強度評価

代表事象及びそれらの荷重条件に対して、構造強度評価を行い、特定兼用キャスクの安全機能を担保する強度部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足することを示す。

### (1) 水平落下及び軸方向衝突による衝撃荷重に対する安全評価方法

特定兼用キャスクの安全機能を担保する強度部材の構造強度評価は、落下・衝突時の衝撃荷重及び設計上考慮すべき荷重の組合せを考慮して実施した。

評価部位	衝撃荷重	衝撃荷重以外の荷重	適用規格等		評価方法	許容限界
胴・一次蓋・カバープレート・ 一次蓋ボルト・カバープレート ボルト・二次蓋・二次蓋ボルト	落下又は衝突により特定兼用キャスクに生じる衝撃加速度による自重の慣性力として落下又は衝突方向に作用させる  ・水平落下： $650\text{m/s}^2$ ・軸方向衝突： $600\text{m/s}^2$	貯蔵施設での特定兼用キャスクの貯蔵状態に作用する荷重(自重、圧力荷重、機械的荷重、熱荷重)	金属キャスク 構造規格	密封容器	ABAQUSコード及び応力評価式	供用状態Dの許容基準
中間胴				ABAQUSコード		
バスケットプレート			使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式の指定(指定の番号:T-DPC17001)を受けた評価方法	応力評価式	供用状態Dの許容基準及び弾性範囲内	

## 4. 指摘事項への回答

### ● 安全機能を担保する部材の構造強度評価

#### (2) 応力解析に用いる解析コード

落下・衝突時の衝撃荷重に対する構造強度評価では、密封容器のうち、胴、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋及び二次蓋ボルト、並びに中間胴として評価する外筒、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応力解析にABAQUSを使用している。ABAQUSは、MSF-24P(S)型のプロトタイプであるMSFキャスクの落下試験モデルを用いた落下試験により検証され適用性を確認している。また、このコードは、技術的な特殊性、新規性はなく、許認可で実績があるコードである。

#### (3) 評価結果 (1/2)

水平落下時及び軸方向衝突時に生じる各部位の応力は、金属キャスク構造規格等に規定される許容基準を満足していることを確認した。また、P.48～51に示すとおり、水平落下時に傾斜して落下する場合において、MSF-24P(S)型の健全性が損なわれることはないことを確認している。

水平落下時の強度評価結果

部位(注)	応力分類	計算値 (MPa)	許容基準値 (MPa)
一次蓋	膜(一次)	9	251
二次蓋	膜(一次)	54	377
胴(シール部)	一次+二次応力	121	185
胴	膜(一次)	152	377
一次蓋(シール部)	一次+二次応力	83	185
一次蓋ボルト	引張+曲げ	634	842
二次蓋ボルト	引張+曲げ	841	844
カバープレート	膜+曲げ(一次)	4	431
カバープレートボルト	引張+曲げ	228	842
外筒	曲げ(一次)	189	284
下部端板	曲げ(一次)	167	286
蓋部中性子遮蔽材カバー	組合せ(一次)	28	284
底部中性子遮蔽材カバー	圧縮(一次)	137	214
バスケットプレート	圧縮	35	66

(注)各部位のうち許容応力に対し最も余裕が少ないものを示している。



密封容器及び外筒等の  
応力解析モデル

## 4. 指摘事項への回答

### ● 安全機能を担保する部材の構造強度評価

#### (3) 評価結果 (2/2)

軸方向衝突時(上部側)の強度評価結果

部位(注)	応力分類	計算値 (MPa)	許容基準値 (MPa)
一次蓋	膜+曲げ(一次)	152	377
二次蓋	膜+曲げ(一次)	76	377
胴(シール部)	一次+二次応力	32	185
胴	膜(一次)	91	377
一次蓋(シール部)	一次+二次応力	180	185
一次蓋ボルト	引張+曲げ	557	842
二次蓋ボルト	引張+曲げ	504	844
カバープレート	膜+曲げ(一次)	6	431
カバープレートボルト	引張+曲げ	172	842
外筒	組合せ(一次)	69	284
下部端板	曲げ(一次)	14	286
蓋部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	125	284
底部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	10	286
バスケットプレート	圧縮	15	66

(注)各部位のうち許容応力に対し最も余裕が少ないものを示している。

軸方向衝突時(下部側)の強度評価結果

部位(注)	応力分類	計算値 (MPa)	許容基準値 (MPa)
一次蓋	膜+曲げ(一次)	28	377
二次蓋	膜+曲げ(一次)	63	377
胴(シール部)	一次+二次応力	42	185
胴	膜+曲げ(一次)	68	377
一次蓋(シール部)	一次+二次応力	69	185
一次蓋ボルト	引張+曲げ	288	842
二次蓋ボルト	引張+曲げ	265	844
カバープレート	膜+曲げ(一次)	6	431
カバープレートボルト	引張+曲げ	172	842
外筒	曲げ(一次)	93	284
下部端板	曲げ(一次)	125	286
蓋部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	27	284
底部中性子遮蔽材カバー	曲げ(一次)	85	286
バスケットプレート	圧縮	15	66

(注)各部位のうち許容応力に対し最も余裕が少ないものを示している。

### ● 後段審査(設工認)で別途確認される事項

設工認において本回答で示した想定事象が存在する場合、貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型が落下・衝突する際に特定兼用キャスクに作用する荷重がP.39に示す条件を満足するかどうかの確認を行う。本条件を満足する場合、貯蔵用緩衝体の性能は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するための緩衝性能を有することとなり、その場合において、当該想定事象に対するMSF-24P(S)型の安全機能は維持されるものとする。



## 4. 指摘事項への回答

### ● 傾斜落下時の影響について

水平落下において、MSF-24P(S)型が床面に対して傾斜して落下する場合(傾斜落下)がある。傾斜落下となる場合、細長い輸送物では落下エネルギーの一部が特定兼用キャスクの回転運動エネルギーとなり二次衝撃側の吸収エネルギーが増加する。特に、蓋密封部が二次衝撃側となる場合、密封性能を損なうおそれがあるため、二次衝撃側の衝撃加速度の影響を評価する必要がある。落下試験結果を基にした密封性能の評価の結果、傾斜落下時にMSF-24P(S)型の健全性が維持されることを以下に示す。

#### (1) MSF-24P(S)型の密封設計(蓋部構造)

MSF-24P(S)型の蓋部構造は、MSF-24P(S)型のプロトタイプであるMSFキャスクの落下試験モデル(実機大モデル)による落下試験(傾斜落下、P.49参照)により密封性能が実証されている蓋部構造を基に、胴フランジ、一次蓋及び二次蓋の剛性を落下試験モデルよりも高め、蓋部の変形量を低減させる等し、落下試験モデルよりも密封性能を向上させた設計としている。

蓋部構造の比較

# 4. 指摘事項への回答

## ● 傾斜落下時の影響について

### (2) 実機大落下モデル落下試験(傾斜落下)

9.3mの高さから傾斜させた状態で水平方向に落下(底部側が一次衝突、蓋部側が二次衝突)させた。一次蓋の漏えい率は、落下試験前後で変化はなかった。また、落下時に最も影響を受ける蓋ボルトに生じた応力は、基準値(設計降伏点)に対し余裕があり、蓋ボルトは弾性範囲に留まる。以上より、傾斜落下時に密封性能が維持されることを確認している。

<落下試験による主な確認項目>

- 密封性能維持(蓋部漏えい率)
- 構造健全性(各部応力)

<主な落下試験結果>

蓋部漏えい率

部位	落下試験前 (Pa m <sup>3</sup> /s)	落下試験後 (Pa m <sup>3</sup> /s)
一次蓋	< 1 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>

蓋ボルトの最大応力

部位	応力成分	最大応力 (MPa)	基準値 (MPa)
一次蓋ボルト	膜	462	890 (設計降伏点)
	曲げ	470	
二次蓋ボルト	膜	560	
	曲げ	625	



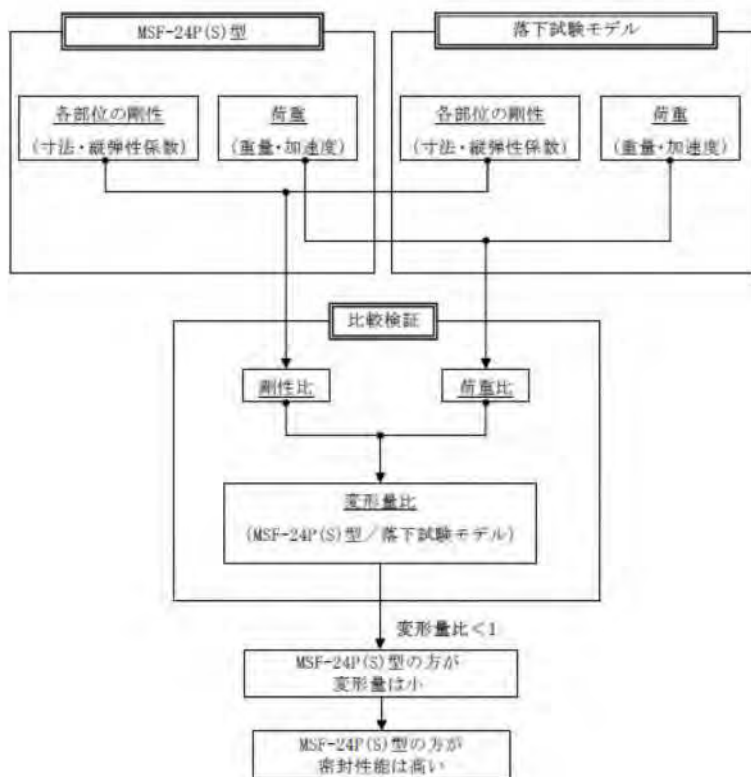
実機大落下試験モデルによる9.3m傾斜落下

# 4. 指摘事項への回答

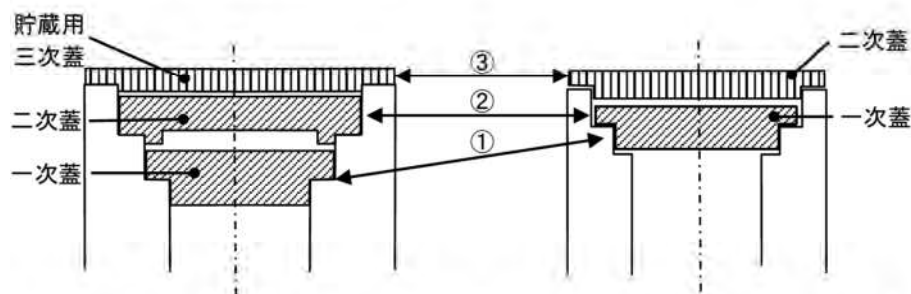
## ● 傾斜落下時の影響について

### (3) MSF-24P(S)型の傾斜落下時における密封性能評価方法

傾斜落下においてMSF-24P(S)型の密封性能が維持されることを、落下試験により密封性能が維持されることが実証されている落下試験結果を用いて評価した。落下後の漏えい率の増加は、蓋に取り付けられた金属ガスケットと胴フランジ面との口開き量の増加、金属ガスケットの相対横ずれ量の増加、金属ガスケットの圧縮量の増加及び蓋ボルトの締付力の低下に起因するリークパスの発生とガスケット線力の低下が原因で、蓋部の変形量を抑えることが密封性能の維持につながる。そこで、MSF-24P(S)型の蓋、胴フランジ及び蓋ボルトの変形量が落下試験モデルに比べて小さいことを構造公式により求め、MSF-24P(S)型の密封性能を検証した。



MSF-24P(S)型の密封性能評価手順



	MSF-24P(S)型	落下試験モデル
①	蓋密封部(一次蓋:内側の蓋)	蓋密封部(一次蓋:内側の蓋)
②	蓋密封部(二次蓋:内側の蓋)	蓋密封部(一次蓋:内側の蓋)
③	蓋密封部(貯蔵用三次蓋:最外の蓋)	蓋密封部(二次蓋:最外の蓋)

- MSF-24P(S)型の三次蓋構造に対して落下試験モデルは二次蓋構造であるが、荷重の伝達経路と蓋密封部の構造について、MSF-24P(S)型の貯蔵用三次蓋周辺部(最外の蓋)と落下試験モデルの二次蓋周辺部(最外の蓋)は同様であり、MSF-24P(S)型の二次蓋周辺部及び一次蓋周辺部(内側の蓋)と落下試験モデルの一次蓋周辺部(内側の蓋)で同様である。したがって、MSF-24P(S)型の蓋密封部(二次蓋及び一次蓋)は落下試験モデルの蓋密封部(一次蓋)と比較する。
- MSF-24P(S)型の貯蔵用三次蓋は密封境界ではないが、MSF-24P(S)型の蓋部を構成する部材であることから、落下試験モデルの蓋密封部(二次蓋)と比較する。

蓋部変形量の比較対象

## 4. 指摘事項への回答

### ● 傾斜落下時の影響について

#### (4) MSF-24P(S)型の傾斜落下時における密封性能評価結果

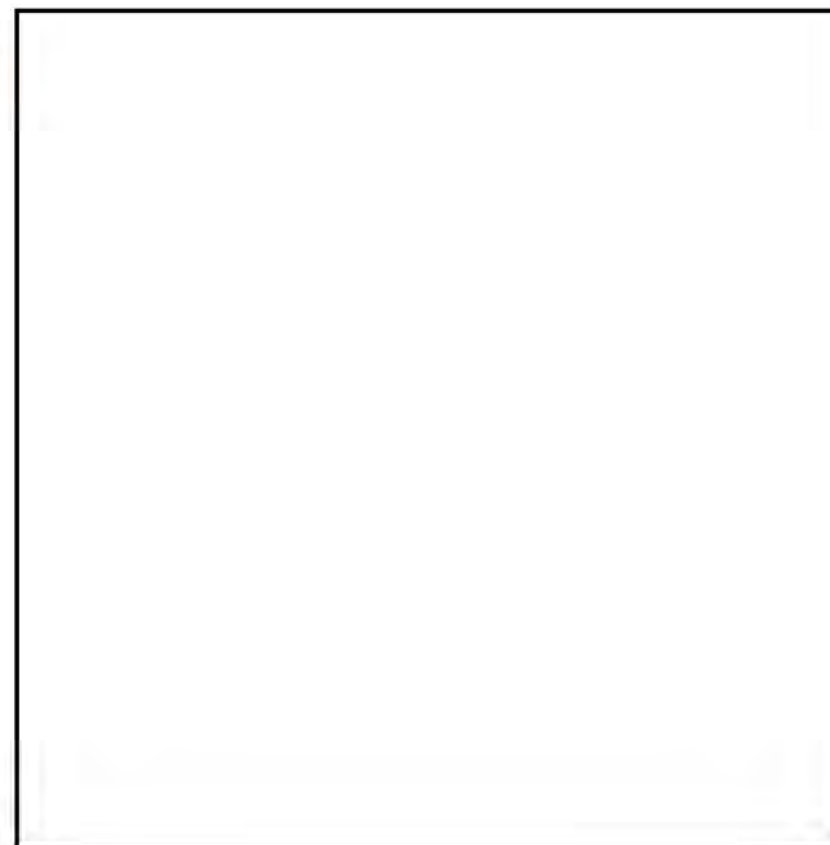
傾斜落下時の蓋部の変形量比較結果を下表に示す。全ての評価部位において変形量比は1以下であり、MSF-24P(S)型の蓋部の変形量は落下試験モデルに比べ小さい。したがって、MSF-24P(S)型は、落下試験モデルに比べて高い密封性能を有している。

MSF-24P(S)型の傾斜落下時の蓋部の変形量評価結果

部位 <sup>(注1)</sup>	変形モード	荷重比 <sup>(注2)</sup>	剛性比 <sup>(注2)</sup>	変形量比 <sup>(注2)</sup>
一次蓋	曲げ	0.51	1.58	0.32
一次蓋ボルト	引張	0.51	0.98	0.52
	曲げ	0.51	0.98	0.52
二次蓋	曲げ	0.41	3.86	0.11
二次蓋ボルト	引張	0.41	0.86	0.48
	曲げ	0.41	0.86	0.48
貯蔵用三次蓋	曲げ	0.50	0.55	0.90
貯蔵用三次蓋ボルト	引張	0.50	1.00	0.50
	曲げ	0.50	1.41	0.35
胴フランジ (二次蓋側)	曲げ	0.76	1.16	0.65
胴フランジ (貯蔵用三次蓋側)	曲げ	0.76	1.25	0.61

(注1)部位は、MSF-24P(S)型の各部位を示す。

(注2)荷重比、剛性比及び変形量比は全て、落下試験モデルに対するMSF-24P(S)型の比を示す。



変形比の算出(一次蓋ボルトの例)

## 4. 指摘事項への回答

### 指摘事項(No.4)

品質基準適規則の基準適合性について、実用炉規則111条の要求事項への適合について説明すること。

#### (回答)

型式指定申請書本文7「申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」及び添付書類14「申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」に記載している規則適合性の確保に必要な設計、製作、試験・検査及び購買に係る品質管理の方法及び組織の説明は、以下に示すとおり、実用炉規則第111条の要求事項に適合している。

実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則	型式指定申請書 本文 7 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項	備考
<p>(品質管理の実施の記録の保存) 第百十一条 指定製造者等は、当該型式設計特定機器が型式指定を受けた型式としての設計の内容を有するようにならなければならない。この場合において、指定製造者等は、当該型式設計特定機器が均一性を有するようにするために行う検査の結果その他品質管理の実施の記録を五年間保存しなければならない。</p>	<p>7.4.2.4 記録の管理 関連部門は、次の事項を確実に実行し、要求事項への適合及びQMSの効果的運用の証拠を示すために各プロセスで作成する記録の管理対象を明確にし、維持管理する。 (1)図面、仕様書、試験・検査・補修記録、トレーサビリティに関する記録及び継続して保持する必要がある各種計画書等を含む管理すべき記録を明確にし、識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に関する方法等必要な管理を規定するために“文書化された手順”を確立し実行する。</p>	<p>検査の結果その他品質管理の実施の記録を五年間保存するための手順( )部について、型式指定申請書 添付書類-14の第3-1表に示す「品質記録管理要領」に定めている。 具体的には、設計アウトプットを含む設計図書、各種承認図書、購買品を含む試験・検査の成績書や試験・検査設備の校正記録等、一連の活動の証拠について、品質記録として永久保管することを定めている。</p>

## 4. 指摘事項への回答

### 指摘事項(No.5)

貯蔵用三次蓋の材質及び形状の変更による質量の変化について説明するとともに、貯蔵時や輸送時の取扱いに影響がないか説明すること。

#### (回答)

型式証明からの貯蔵用三次蓋の材質及び形状の変更による形状及び質量の差異は僅かである。また、貯蔵用三次蓋の胴への取付け及び取外しは、クレーン等の揚重設備により行われ、その際の取扱方法は同じである。さらに、貯蔵用三次蓋を装着した状態でのMSF-24P(S)型の取扱中の質量は、原子炉建屋内の取扱時、貯蔵施設への搬送時及び貯蔵施設内の取扱時における取扱制限内であり、取扱性に問題ない。

貯蔵用三次蓋の形状及び質量の比較

項目		型式指定申請	型式証明申請
形状	外径(mm)	□	□
	厚さ(mm)		
質量(ton)			

貯蔵用三次蓋を装着した状態での取扱いに対する成立性

取扱様態における重量制限	質量 (ton)		制限値 (ton)
	型式指定申請		
原子炉建屋内の取扱時 <sup>(注1)</sup>	□		□
貯蔵施設への搬送時 <sup>(注2)</sup>			
貯蔵施設内の取扱時 <sup>(注3)</sup>			
□			

# 4. 指摘事項への回答

## 指摘事項(No.6)

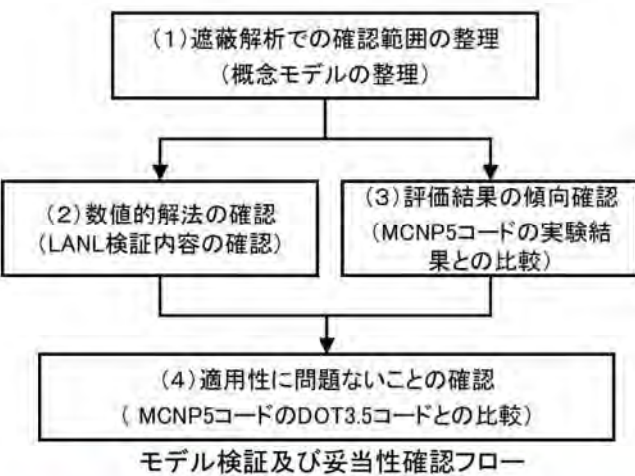
遮蔽解析に使用したMCNP5 コードの適用妥当性について、学会標準のガイドラインを参考とした検証作業の方針を明確にし、結論に至るまでの論理展開が適切となるように見直すこと。

(回答) 特定兼用キャスクに対するMCNP5コードの適用性について、MCNP5コードによる線量当量率分布の評価値は測定値の分布の傾向に対して良い一致を示し、許認可で認められたDOT3.5コードを用いた保守的な手法に基づく線量当量率評価値と同等の結果となることを示すことで説明する。

原子力学会標準「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン:2015」のモデル検証及び妥当性確認方法を参考に、(1)遮蔽解析での確認範囲の整理、(2)数値的解法が検証されていることの確認、(3)MCNP5コードを用いた線量当量率評価値と測定値の比較による評価傾向の確認、(4)既認可で認められたDOT3.5コードを用いた保守的な評価手法に基づく特定兼用キャスクでの線量当量率の評価値との比較による同等性の確認を行った。

(1)から(3)の確認結果に加え、型式指定での遮蔽解析条件は、(4)で確認したMCNP5コードの保守的な条件設定を踏襲しており、保守性を有する解を得ることができる。以上より、本申請の遮蔽解析にMCNP5コードを適用することは妥当であると判断した。

- (1) 本申請の遮蔽解析での確認範囲を考慮すべき概念モデル要素として整理。(P.55～57)
- (2) 数値的解法の確認は、LANLでのソフトウェア品質保証計画に従って開発されたものであり、検証としてリグレッションテスト、実験値との比較、三次元輸送計算コードの精度確認のためのベンチマーク問題に対して解析解及び参照解との比較で精度良く実施できることを確認。(P.58)
- (3) MSF-24P(S)型の遮蔽解析と(1)で整理した概念モデル要素が類似した使用済燃料輸送・貯蔵容器体系でのベンチマーク解析により線量当量率分布の傾向を確認し、MCNP5コードによる評価値と測定値の分布の傾向が良い一致を示すことを確認。(P.59～61)
- (4) DOT3.5コードによる保守的な手法に基づく既認可評価値と、DOT3.5コードと同様の条件で実施したMCNP5コードによる評価値は同等の結果であり、DOT3.5コードと同様の条件とすることで、保守性を有する解が得られることを確認。(P.62～63)



No.	確認結果	備考
(1)	MSF-24P(S)型の遮蔽解析での確認範囲を考慮すべき概念モデル要素として整理。(P.55～57)	考慮すべき概念モデル要素としてミクロ的な物理現象(散乱、吸収等)、マクロ的物理現象(構造材透過、ストリーミング効果、線源の相互遮蔽)を整理。
(2)	数理モデルへの変換及び数値モデルへの変換は解析コード開発機関(LANL)でリグレッションテスト、実験値との比較や三次元輸送計算コード精度確認のためのベンチマーク(解析解及び参照解)との比較で精度良く実施できることを確認済み。(P.58)	ベンチマークは散乱無し(解析解)と散乱有りの条件(MVPコードによる参照解)での比較で良く一致していると検証されていることを確認。
(3)	使用済燃料輸送・貯蔵容器体系におけるベンチマーク解析より、評価値の傾向が良い一致を示すことを確認。(P.59～61)	使用済燃料輸送・貯蔵容器体系におけるベンチマーク解析は、(1)で整理した概念モデル要素の内容がMSF-24P(S)型と類似したものを選定。
(4)	MSF-24P(S)型を対象とした認可済のDOT3.5コードを用いた解析結果との比較により、同等の結果が得られることを確認。(P.62～63)	DOT3.5コードを用いた解析は実形状を二次元でモデル化したものとして認可されたものである。なお、MSF-24P(S)型の評価条件は、使用済燃料の収納条件や評価モデルの不確かさを保守的に設定。

# 4. 指摘事項への回答

## (1) 遮蔽解析での確認範囲の整理(1/3)

- MSF-24P(S)型の線量当量率の評価結果に影響を与える要素として、確認が必要な項目を整理した。
- 収納される使用済燃料のミクロ的な物理現象(散乱・吸収)に基づく遮蔽材の透過、遮蔽材欠損部でのストリーミング効果及び使用済燃料が複数収納されることによる相互遮蔽といったマクロ的な物理現象の考慮が必要。これら物理現象を考慮するにあたり、使用済燃料の線源条件、線源形状、遮蔽材質及び形状が必要。
- (3)(P.59～61)のMCNP5コードによる評価値と線量率測定値を比較するベンチマーク解析の選定では、各要素が類似のものを選定した。

MSF-24P(S)型型式指定の遮蔽解析で考慮すべき概念モデル要素	評価に影響のある因子	評価条件			MSF-24P(S)型型式指定遮蔽解析条件の不確かさの扱い
		MSF-24P(S)型型式指定の遮蔽解析	ベンチマーク (使用済燃料輸送容器体系)	ベンチマーク (乾式貯蔵容器体系)	
【物理現象】 ミクロ ・散乱・吸収 マクロ ・遮蔽材の透過 ・遮蔽材欠損部でのストリーミング ・相互遮蔽	計算コード	MCNP5 ver.1.60コードを用いて評価	MCNP5コードを用いて評価	MCNP5 ver.1.60コードを用いて評価	-
	断面積 ライブラリ	中性子 ・FSXLIB-J33	中性子 ・FSXLIB-J33	中性子 ・FSXLIB-J33	-
		ガンマ線 ・MCPLIB84	ガンマ線 ・MCPLIB02	ガンマ線 ・MCPLIB84	-
【線源】 PWR使用済燃料	中性子 線源条件	スペクトル ・Watt型 <sup>239</sup> Pu 核分裂スペクトル	スペクトル ・Watt型 <sup>239</sup> Pu 核分裂スペクトル	スペクトル ・Watt型 <sup>244</sup> Cm 核分裂スペクトル	-
		線源強度 ・ORIGEN2出力(2.2UPJ) <sup>(注1)</sup>	線源強度 ・ORIGEN2出力 <sup>(注1)</sup>	線源強度 ・ORIGEN2出力(2.2UPJ) <sup>(注1)</sup>	型式指定評価はウラン初期濃縮度を保守的に設定。
		燃焼度 ・軸方向分布考慮 ・燃焼度最大値	燃焼度 ・軸方向分布考慮 ・実績燃焼度	燃焼度 ・軸方向分布考慮 ・実績燃焼度	型式指定評価は収納燃料燃焼度を各領域の最高燃焼度に設定。
		冷却期間 ・最短冷却期間	冷却期間 ・実績考慮	冷却期間 ・実績考慮	-

(注1) 1991年にORIGEN2.1がリリース(高燃焼度化に合わせて作成されたライブラリ追加及び計算出力方法改良)され、2002年に内容変更は殆どないORIGEN2.2がリリースされた。ORIGEN2.2UPJは2006年にORLIBJ32及びORLIBJ33に対応するようORIGEN2.2をアップデートしたものであり、コードバージョンの違いによる線源強度への影響は軽微であることを確認している。



# 4. 指摘事項への回答

## (1) 遮蔽解析での確認範囲の整理 (2/3)

MSF-24P(S)型型式指定の遮蔽解析で考慮すべき概念モデル要素	評価に影響のある因子	評価条件			MSF-24P(S)型型式指定遮蔽解析条件の不確かさの扱い
		MSF-24P(S)型型式指定の遮蔽解析	ベンチマーク (使用済燃料輸送容器体系)	ベンチマーク (乾式貯蔵容器体系)	
【線源】 PWR使用済燃料	ガンマ線線源条件	スペクトル ・燃料有効部:ORIGEN2出力 (2.2UPJ) <sup>(注1)</sup> ・放射化ガンマ: 1.17MeV-50% 1.33MeV-50%	スペクトル ・燃料有効部:ORIGEN2出力 <sup>(注1)</sup> ・放射化ガンマ:-	スペクトル ・燃料有効部:ORIGEN2出力 (2.2UPJ) <sup>(注1)</sup> ・放射化ガンマ: 1.17MeV-50% 1.33MeV-50%	-
		線源強度 ・燃料有効部:ORIGEN2出力 (2.2UPJ) <sup>(注1)</sup> ・放射化ガンマ: <sup>59</sup> Co含有量からの計算値	線源強度 ・燃料有効部:ORIGEN2出力 <sup>(注1)</sup> ・放射化ガンマ:未考慮	線源強度 ・燃料有効部:ORIGEN2出力 (2.2UPJ) <sup>(注1)</sup> ・放射化ガンマ: <sup>59</sup> Co含有量からの計算値	型式指定評価はウラン初期濃縮度を保守的に設定。
		燃焼度 ・軸方向分布考慮 ・燃焼度最大値	燃焼度 ・軸方向分布考慮 ・実績燃焼度	燃焼度 ・軸方向分布考慮 ・実績燃焼度	型式指定評価は収納燃料燃焼度を各領域の最高燃焼度に設定。
		冷却期間 ・最短冷却期間	冷却期間 ・実績考慮	冷却期間 ・実績考慮	-

(注1) 1991年にORIGEN2.1がリリース(高燃焼度化に合わせて作成されたライブラリ追加及び計算出力方法改良)され、2002年に内容変更は殆どないORIGEN2.2がリリースされた。ORIGEN2.2UPJは2006年にORLIBJ32及びORLIBJ33に対応するようORIGEN2.2をアップデートしたものであり、コードバージョンの違いによる線源強度への影響は軽微であることを確認している。

# 4. 指摘事項への回答

## (1) 遮蔽解析での確認範囲の整理 (3/3)

MSF-24P(S)型型式指定の遮蔽解析で考慮すべき概念モデル要素	評価に影響のある因子	評価条件			MSF-24P(S)型型式指定遮蔽解析条件の不確実さの扱い
		MSF-24P(S)型型式指定の遮蔽解析	ベンチマーク (使用済燃料輸送容器体系)	ベンチマーク (乾式貯蔵容器体系)	
【線源形状】 PWR使用済燃料	燃料集合体 (線源領域) の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済PWR燃料24体</li> <li>1体ごとに均質化</li> <li>上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部、下部プレナム部に分割</li> <li>バスケット内均質化</li> <li>燃料集合体は一次蓋及び胴(底板)に接し、バスケットセル内中央に配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済PWR燃料14体</li> <li>1体ごとに均質化</li> <li>上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部に分割</li> <li>燃料集合体は胴(底板)に接し、バスケットセル内中央に配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済PWR燃料1体</li> <li>1体ごとに均質化</li> <li>上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部、下部プレナム部に分割</li> <li>バスケット内均質化</li> <li>燃料集合体は胴(底板)に接し、バスケットセル内中央に配置</li> </ul>	型式指定評価は軸方向での燃料集合体の移動を考慮し、一次蓋及び胴(底板)に接した状態となるよう設定。
【遮蔽材質及び形状】 放射性物質輸送・貯蔵容器構造材の材料及び形状、組成、密度、公差	材質	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造材:炭素鋼、ステンレス鋼、レジン、銅等</li> <li>緩衝体:なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造材:炭素鋼、ステンレス鋼、鉛、レジン、水等(湿式キャスク)</li> <li>緩衝体:木材</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造材:炭素鋼、ステンレス鋼、レジン等</li> <li>緩衝体:なし</li> </ul>	-
	形状	実形状 <ul style="list-style-type: none"> <li>外径約2.6m</li> <li>長さ約5.2m</li> </ul>	実形状 <ul style="list-style-type: none"> <li>外径約2.6m(緩衝体含む)</li> <li>長さ約6.3m(緩衝体含む)</li> </ul>	実形状 <ul style="list-style-type: none"> <li>外径約1.7m</li> <li>長さ約5.2m</li> </ul>	-
	組成/密度	<ul style="list-style-type: none"> <li>最小密度</li> <li>レジン組成カタログ値</li> <li>設計貯蔵期間のレジン質量減損考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最小密度</li> <li>レジン組成カタログ値</li> <li>水組成:発熱量より概算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最小密度</li> <li>レジン組成カタログ値</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>型式指定評価はレジン減損を考慮。</li> <li>型式指定評価はバーナブルポイズン集合体の遮蔽効果を無視。</li> </ul>
	寸法公差	<ul style="list-style-type: none"> <li>密度に考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>考慮しない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>考慮しない</li> </ul>	型式指定評価は寸法公差を密度係数として考慮。

## 4. 指摘事項への回答

### (2) 数値的解法の確認

- MCNP5コードは、LANLのソフトウェア品質保証計画<sup>(注1)</sup>に従って開発されており、計算コードの検証と妥当性確認がなされたものである。
- LANLでMCNP5コードに対して実施された検証内容<sup>(注2)</sup>を確認した。
- LANLの検証では、リグレッションテスト、中性子及びガンマ線遮蔽に関する遮蔽実験値との比較、3次元輸送計算コードの精度確認のためのベンチマーク問題(Kobayashiベンチマーク)での解析解とMVPコードによる参照解との比較を実施している。

#### ① リグレッションテスト

- ・ リグレッションテストで今回のバージョン(ver1.60)での変更以外に影響がないことを確認。
- ・ なお、リグレッションテストで用いられている計算は、ガンマ線や中性子のベンチマーク問題として整理されたものが含まれており、キャスクの評価に必要なガンマ線や中性子の輸送計算に必要な散乱・吸収といった現象が考慮された実験値や解析値に対して、MCNPコードを用いて精度よく予測できることが確認されている<sup>(注3)</sup><sup>(注4)</sup>。

#### ② 遮蔽実験値との比較

- ・ 中性子スペクトル測定、中性子・ガンマ線遮蔽及びガンマ線スカイシャイン実験値とMCNP5コードでの解析値の比較で良い一致を得ている。

#### ③ Kobayashiベンチマーク

- ・ 3次元輸送ベンチマーク問題として、吸収の強い体系中にボイド領域があるような、ストリーミングのベンチマークとの比較を実施。
- ・ 散乱がない場合は解析解との比較、散乱がある場合はMVPコードを用いた参照解との比較を実施し、良い一致を得ている。

(注1) Hilary, M. Abhold, John. S. Hendricks, "MCNP™ Software Quality Assurance Plan", LA-13138, (1996).

(注2) Forrest Brown, Brain Kiedrowski, Jeffery Bull, Matthew Gonzales, Nathan Gibson, "Verification of MCNP5-1.60", LA-UR-10-05611, (2010).

(注3) Daniel J. Whalen, David E. Hollowell and John S. Hendricks, "MCNP: Photon Benchmark Problems", LA-12196, (1991).

(注4) Daniel J. Whalen, David. A. Cardon, Jennifer L. Uhle and John S. Hendricks, "MCNP: Neutron Benchmark Problems", LA-12212, (1991).

# 4. 指摘事項への回答

## (3) 評価結果の傾向確認 (MCNP5コードの実験結果との比較) (1/3)

<評価条件(使用済燃料輸送容器体系及び乾式貯蔵容器体系)>

- ベンチマーク解析に用いる評価条件は下表に示すとおり、現実的な設定としているが、遮蔽材の密度を最小密度としており、保守的な条件設定も存在する。

項目		使用済燃料輸送容器体系(P.60)	乾式貯蔵容器体系(P.61)
容器名称		NFT-14P型輸送容器(PWR使用済燃料14体収納)	乾式貯蔵試験容器(PWR使用済燃料1体収納)
線源	線源スペクトル	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子スペクトル: 239Pu核分裂スペクトル</li> <li>燃料有効部ガンマ線スペクトル: ORIGEN2出力</li> <li>構造材ガンマ線スペクトル: - (注1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子スペクトル: 244Cm核分裂スペクトル</li> <li>燃料有効部ガンマ線スペクトル: ORIGEN2出力 (2.2UPJ)</li> <li>構造材ガンマ線スペクトル: 1.17MeV-50%、1.33MeV-50%</li> </ul>
	燃焼度	<ul style="list-style-type: none"> <li>集合体燃焼度: 実績燃焼度</li> <li>軸方向分布: 実績燃焼度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>集合体燃焼度: 実績燃焼度</li> <li>軸方向分布: 実績燃焼度を考慮</li> </ul>
線源形状	燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料集合体を1体ごとに均質化</li> <li>上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部に分割</li> <li>軸方向の燃料位置は底部側寄せ配置</li> <li>バスケット内の左右方向は中央配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料集合体を均質化</li> <li>上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部、下部プレナム部に分割</li> <li>軸方向の燃料位置は底部側寄せ配置</li> <li>バスケット内の燃料集合体は均質化</li> </ul>
材質及び形状	バスケット	基本的に形状どおりモデル化 (バスケットガイド部及び吊り具は無視)	基本的に形状どおりモデル化
	本体	基本的に形状どおりモデル化 (内部水位は水膨張無視)	基本的に形状どおりモデル化
	蓋	基本的に形状どおりモデル化 (蓋ボルト部は簡略化)	基本的に形状どおりモデル化 (蓋ボルトは簡略化)
	緩衝体	基本的に形状どおりモデル化 (カバープレート、内部リブは無視(木材に置き換え))	(緩衝体は未装着)
	架台、地面	無視	簡略化してモデル化
	周囲構造物	無視	無視
	組成・密度	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材、鉛: 最小密度</li> <li>レジン組成: カタログ値(密度は公称値に初期収縮1%を考慮)</li> <li>水密度: 水温を発熱量より換算して設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材: 最小密度</li> <li>レジン組成: カタログ値(密度は公称値に初期収縮1%を考慮)</li> </ul>
寸法公差	考慮しない	考慮しない	

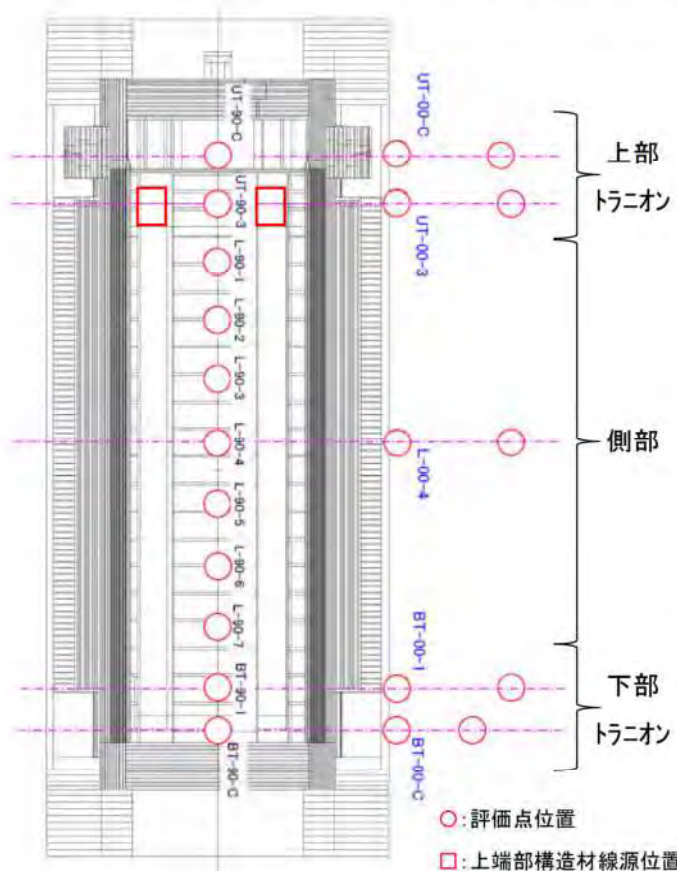
(注1) 使用済燃料輸送容器体系ではベンチマーク解析において構造材ガンマ線を考慮していない。

# 4. 指摘事項への回答

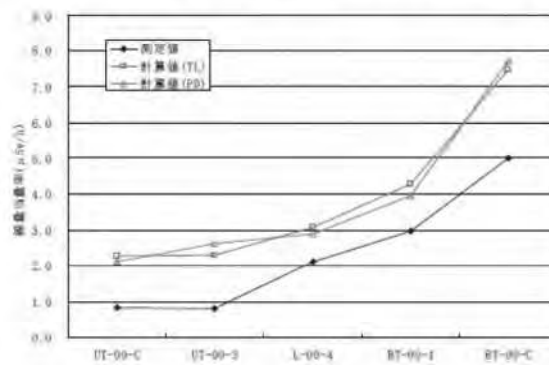
## (3) 評価結果の傾向確認(MCNP5コードの実験結果との比較) (2/3)

### <評価モデル及び評価結果(使用済燃料輸送容器体系)>

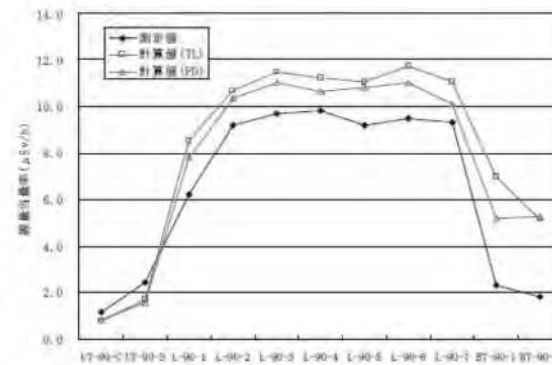
線量当量率の計算値と測定値の比較では、遮蔽材の密度を最小密度としており基本的に測定値を上回るが、分布としては同様の傾向を示していることが確認されている。計算値が測定値を下回る点について、中性子についてはベンチマーク解析では考慮されていない使用済燃料輸送容器近傍の壁による反射の影響により解析結果に対して測定値が高くなったとされている。また、ガンマ線についてはベンチマーク解析において端部線源強度の高い構造材放射化ガンマ線源を考慮していないことが原因と考えられる。



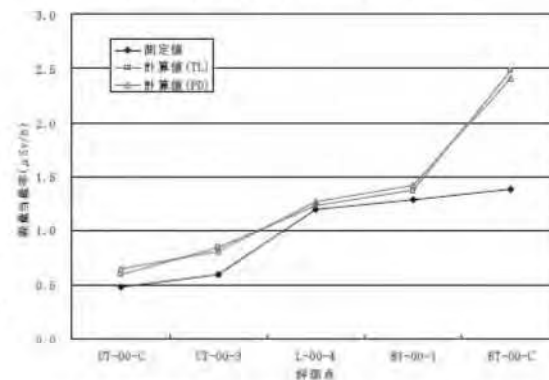
(解析モデル)



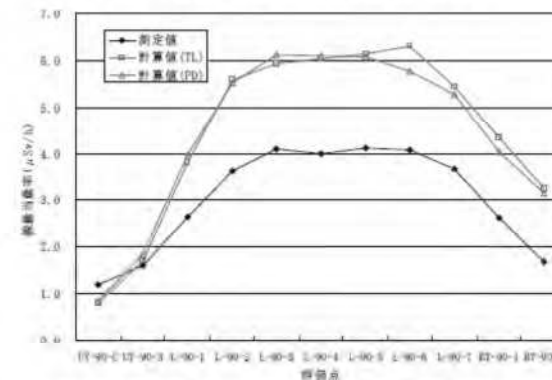
(中性子線量当量率、表面位置 0° 方向)



(ガンマ線線量当量率、表面位置 90° 方向)



(中性子線量当量率、表面から 1 m 離れた位置 0° 方向)



(ガンマ線線量当量率、表面から 1 m 離れた位置 90° 方向)

(評価結果例)

### NFT-14P型輸送容器によるMCNP5コードの検証

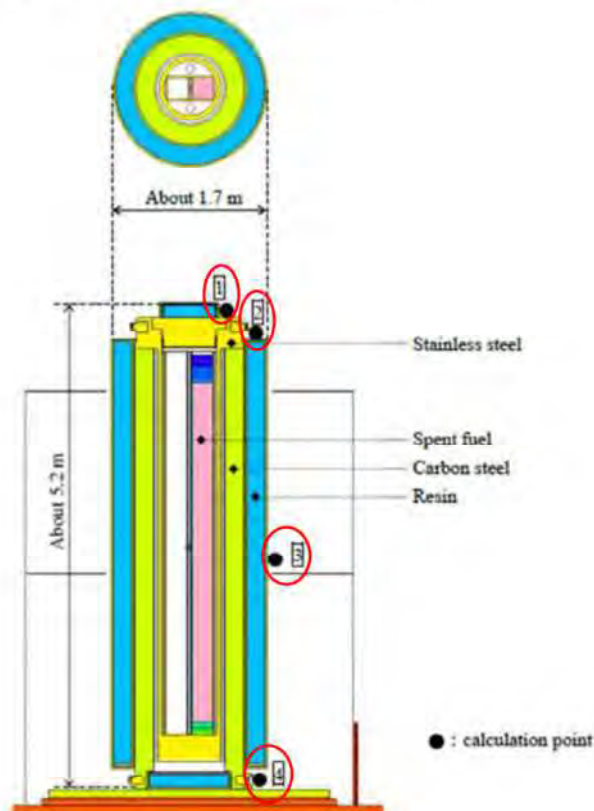
(出典) 一般社団法人日本原子力学会「モンテカルロ法による放射性物質輸送容器の遮蔽安全評価手法の高度化 平成23年度報告書」(2012).

# 4. 指摘事項への回答

## (3) 評価結果の傾向確認 (MCNP5コードの実験結果との比較) (3/3)

<評価モデル及び評価結果(乾式貯蔵容器体系)>

線量当量率の計算値と測定値の比較では、良い一致を示している。なお、測定は建屋内部で実施されたが、ベンチマーク解析では乾式貯蔵容器周辺の周囲構造物はモデル化されておらず、周囲構造物による中性子やガンマ線の反射が考慮されていないため、一部の計算値が測定値を下回っているものと考えられる。



(解析モデル)

Table 3. Experimental and calculated results (neutron dose equivalent rate)

Measurement point	Experimental value (μSv/h)	Calculated value (μSv/h)	Calculated / Experimental
1	9.93±0.17	10.20±1.8E-02	1.03±0.02
2	9.71±0.13	9.01±3.2E-02	0.93±0.01
3	0.47±0.02	0.52±9.8E-03	1.11±0.04
4	9.66±0.18	11.33±3.7E-02	1.17±0.02

Table 4. Experimental and calculated results (gamma-ray dose equivalent rate)

Measurement point	Experimental value (μSv/h)	Calculated value (μSv/h)	Calculated / Experimental
1	N/D*	-	-
2	N/D*	-	-
3	2.5±0	2.25±0.04	0.90±0.02
4	N/D*	-	-

\*below the detection limit 0.5 μSv/h

(評価結果)

### 乾式貯蔵容器によるMCNP5コードの検証

(出典) M. Ueyama M. Osaki, "Dose Equivalent Rate Benchmark Calculations of a Dry Storage Cask for Spent Fuel by 3D Monte Carlo Code", PATRAM 2019, (2019).

# 4. 指摘事項への回答

## (4) DOT3.5による既認可評価値 (MSF-24P型)との同等性の確認(1/2)

- 許認可実績が豊富な二次元輸送計算コードDOT3.5による既認可評価値との比較を実施した。
- 比較対象は、MSF-24P(S)型の輸送様態と同じ仕様・構造であるMSF-24P型での既認可の核燃料輸送物質設計変更承認申請(原規規発第22061412号により令和4年6月14日承認)<sup>(注1)</sup>のうち17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)収納時とした。各解析コードでの計算方法及び条件設定概要を下表に示す。
- DOT3.5コードを用いた評価手法は既認可申請において文献<sup>(注2)</sup>を基に保守性があるものとして妥当であると判断されている。
- 本型式指定でのMCNP5コードによる評価は、DOT3.5コードと同様の条件で実施した。
- MCNP5コード及びDOT3.5コードによるMSF-24P型表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率をP.63に示す。DOT3.5コードの特性上の要因により、頭部及び底部の径方向の一部において線量当量率評価値に差異が生じる<sup>(注3)</sup>ものの、その他の領域では同様の線量当量率及び傾向であり、MCNP5コードを使用済燃料輸送・貯蔵容器体系に適用した場合において、DOT3.5コードと比較して同等の結果が得られている。したがって、MCNP5コードにより、DOT3.5コードと同様に妥当な解が得られることを確認した。

(注1) 四国電力株式会社、「核燃料輸送物設計変更承認申請書」,原子力発21329号, (2021)。

(注2) 一般社団法人 日本原子力学会,「中性子遮蔽設計ハンドブック」, (1993)。

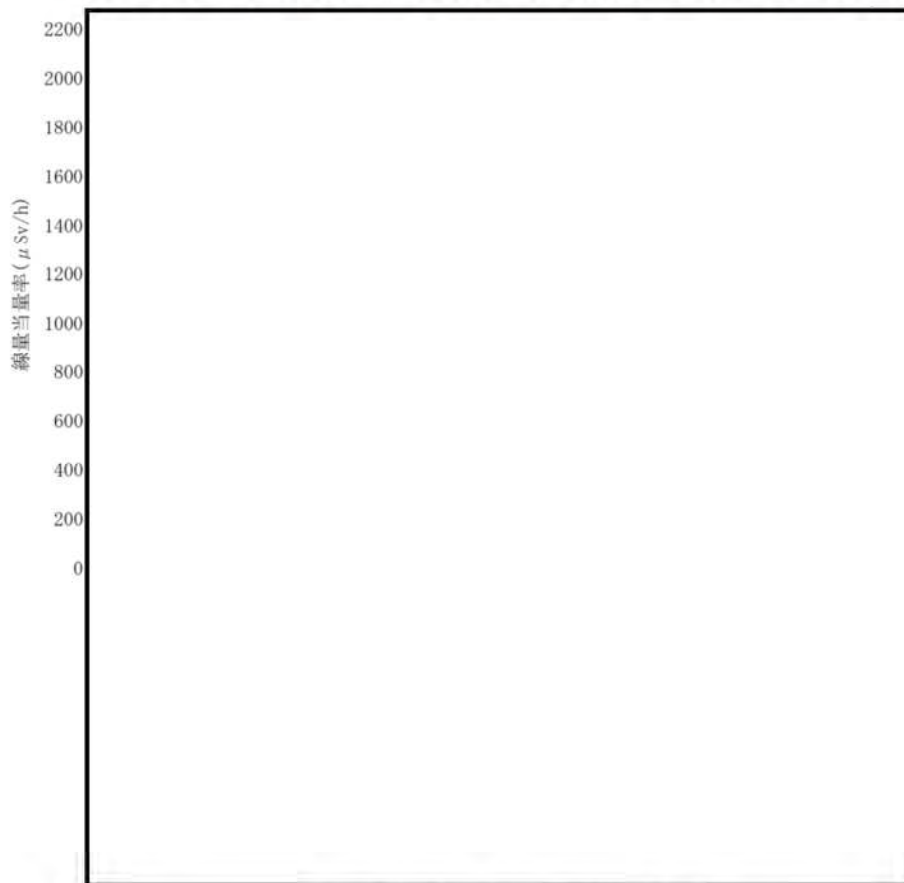
(注3) DOT3.5コードでは取り扱えるモデル形状が二次元円筒形状であるため保守的なモデルを設定して計算しており、DOT3.5コード計算値はMCNP5コード計算値より高い。

各解析コードの計算方法及び条件設定概要

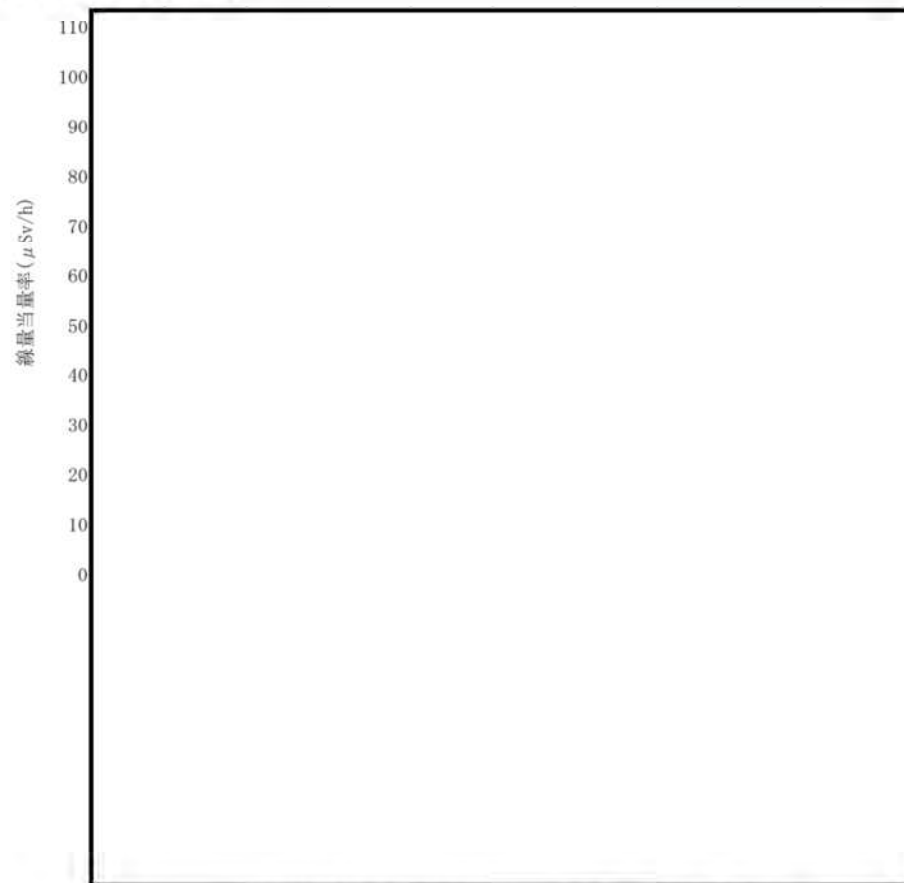
項目	MCNP5コード	DOT3.5コード	備考
計算方法	放射線の衝突や散乱等を再現。評価位置に対する放射線情報を統計的に処理するため、計算値に対して統計誤差を持つ。	ガンマ線や中性子に対するボルツマン輸送方程式をSn法により解く。放射線の挙動を追跡するのに重要な非等方性を表現。	—
線源強度設定	ORIGEN2.2UPJコードにより評価した線源強度(17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)収納時)を設定	左記と同じ	線源強度は同一
モデル化設定	MSF-24P型全体を三次元でモデル化。バスケットプレートは中性子吸収材及びポイド層を含めた格子形状を均質化	二次元円筒体系でモデル化。本体部は有限円筒形状(燃料部等は均質化)でモデル化。トラニオン部は本体モデルと別にモデル化。(異なる中心軸のモデルを同一計算することができない。)	両方で解析コードの特性上モデル化方法が異なる。DOT3.5コードでのトラニオン部評価は線束引継ぎ計算を実施。

# 4. 指摘事項への回答

## (4) DOT3.5による既認可評価値 (MSF-24P型)との同等性の確認 (2/2)



側部方向線量当量率評価結果(表面)



側部方向線量当量率評価結果(表面から1 m離れた位置)

(結果差異の要因)

- ①: DOT3.5のトリニオン部の評価点は、本体モデルとは別に保守的な条件でモデル化するため、MCNP5に比べて線量当量率が高くなる。  
 なお、MCNP5による評価は、使用済燃料輸送・貯蔵容器体系のベンチマーク解析で中性子遮蔽材のない領域も測定値と傾向がよい一致であることを確認。
- ②: ①と同様の設定で評価を行うが、表面から1m離れた位置ではキャスク全体からの線量当量率の寄与が支配的であり、MCNP5とDOT3.5で概ね一致する。
- ③: DOT3.5解析は、燃料領域を均質円筒モデル化するにあたり線量当量率への影響を保守的に考慮できるモデル設定としており、MCNP5に比べ線量当量率が高くなる。



# 5. 説明スケジュール

## ● 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	審査会合 ▼ 2/16      認可希望 ▼
概要	[Redacted]			
1. 技術基準規則適合性 ・安全機能・長期健全性(26条)	[Redacted]			
・構造強度評価(17条・26条)	[Redacted]			
・地震/津波/竜巻時評価(5・6・7条)	[Redacted]			
2. 外運搬規則適合性	[Redacted]			
3. 品質管理基準適合性	[Redacted]			
4. 貯蔵用緩衝体装着状態での安全性	[Redacted]			
コメント回答 他	[Redacted]      〇〇〇			

**MOVE THE WORLD FORWARD**

**MITSUBISHI  
HEAVY  
INDUSTRIES  
GROUP**

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社