

資料1-1

Doc. No. L5-95KV253 R11

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

2023.2.28

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. 指摘事項リスト	…2
2. 指摘事項への回答	…5

1. 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。	2023/2/16 審査会合で 回答済。

1. 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。	2023/2/16 審査会合で 回答済。
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。	2023/2/16 審査会合で 回答済。
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)	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>(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>	2023/2/16 審査会合で 回答済。

1. 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
7	2023/2/16 審査会合	貯蔵緩衝体とキャスクの接続部の設工認申請者への引き継ぎ条件を申請書上明確にすること。また、貯蔵用緩衝体の必要な緩衝性能と想定事象との関係・考え方について、補足説明資料等に説明を記載すること。	緩衝体性能	<p>設工認申請への引継ぎ条件とする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として、荷重値に加え、特定兼用キャスクの荷重作用範囲を型式指定申請書本文に明記する。 【追加する荷重作用範囲は、指摘事項No.3への回答にも追記】</p> <p>また、型式指定で仮設定した想定事象における貯蔵用緩衝体の必要な緩衝性能として定めた上記荷重を特定兼用キャスクに作用させた場合の構造強度評価においては、保守的に特定兼用キャスクを設置する貯蔵架台及びトラニオンの変形によるエネルギー吸収を無視する条件としている。本設置方法における貯蔵架台の設置目的及び構造強度評価上の位置付けについて、補足説明資料「蓋部が金属部へ衝突しない設置方法における安全機能維持に関する説明資料(L5-95KV277)」に記載した。</p>	本ヒアリングで説明。
8	2023/2/16 審査会合	MCNP5 の適用妥当性については、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していること等について、具体的なデータを用いてMCNP5による評価結果が妥当であることを説明し、補足説明資料等に記載すること。	技術基準規則26条(遮蔽)	<p>使用済燃料輸送・貯蔵容器体系のベンチマーク解析結果を基に、MCNP5コードによるMSF-24P(S)型の中性子遮蔽材のない領域の評価結果が妥当であることの詳細を補足説明資料26-2「26条 燃料取扱設備及び燃料貯蔵設備 遮蔽機能に関する説明資料(L5-95KV262)」に記載した。 【上記は、指摘事項No.6への回答にも追記】</p>	本ヒアリングで説明。

2. 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。
- 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.13~15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 ^(注1)
1) MSF-24P(S)型の水平落下	上部(蓋部)に作用する荷重 4.30 × 10 ⁷ N以下 下部(底部)に作用する荷重 3.76 × 10 ⁷ 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 ⁷ 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 ⁷ N以下

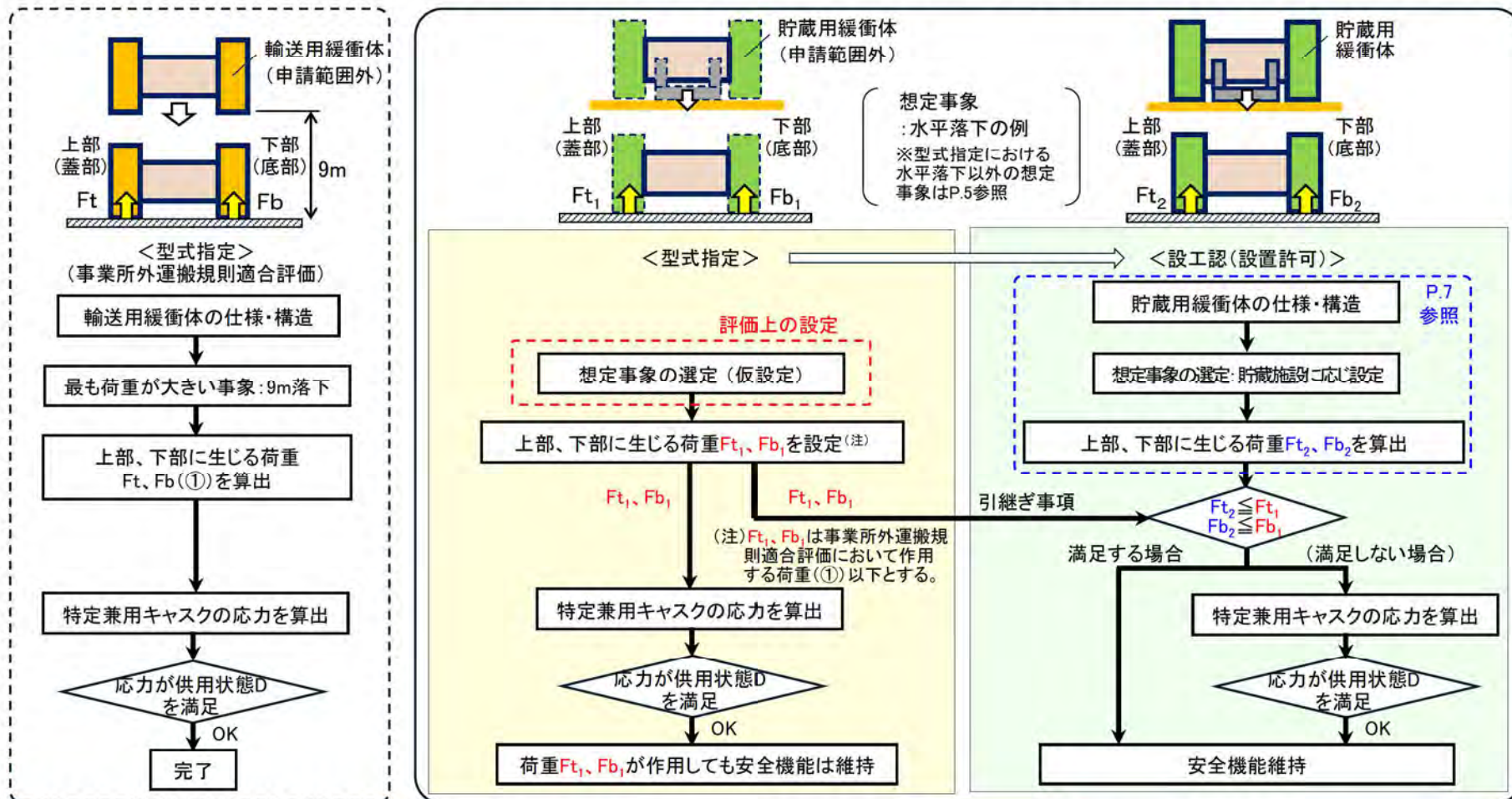
(注1) 表中に示す荷重値は、特定兼用キャスク本体に以下の衝撃加速度が作用した場合に上部(蓋部)又は下部(底部)に作用する荷重である。表中の荷重は、P.10に示す荷重作用範囲と同じ、又はより広い範囲に作用するものとする。

1)及び2): 衝撃加速度650m/s²、3)-1及び3)-2: 衝撃加速度600m/s²

2. 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。



2. 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^(注) (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

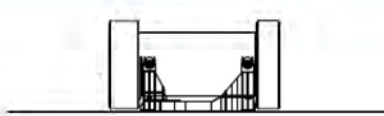
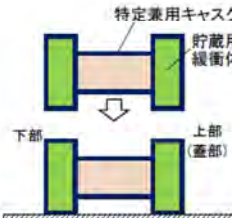
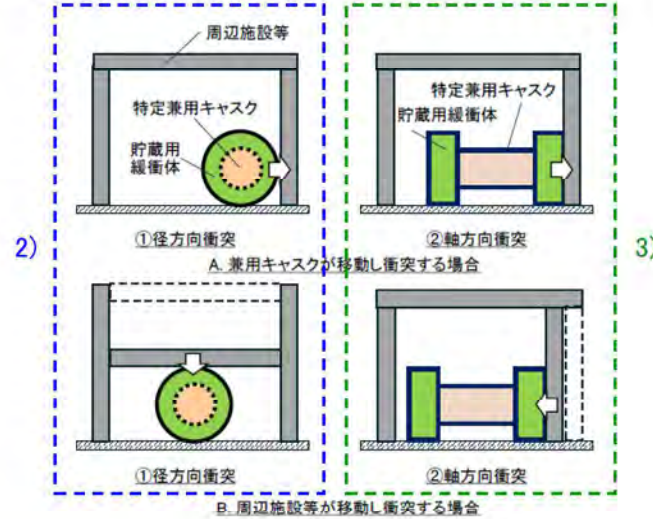
2. 指摘事項への回答

● 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;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>

2. 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)

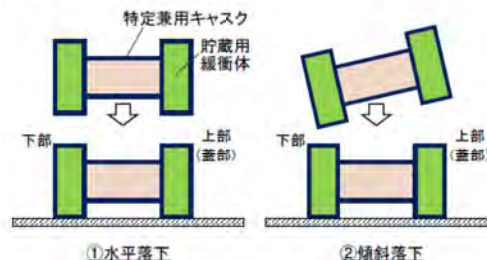
(1)の想定事象のうち、荷重作用位置を考慮し、貯蔵用緩衝体の性能及びMSF-24P(S)型の安全評価(構造強度評価)の評価対象とする事象(代表事象)を選定した。また、各代表事象に対し、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件を設定した。

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.10参照) ^(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。表中の荷重は、P.10に示す荷重作用範囲と同じ、又はより広い範囲に作用するものとする。

1) 水平落下(2) 径方向衝突): 衝撃加速度 650m/s^2 、3)-1, 3)-2 軸方向衝突(上部側、下部側): 衝撃加速度 600m/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し、二次衝撃側に作用する荷重は水平落下時の荷重よりも増加する。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.16~19に示す。



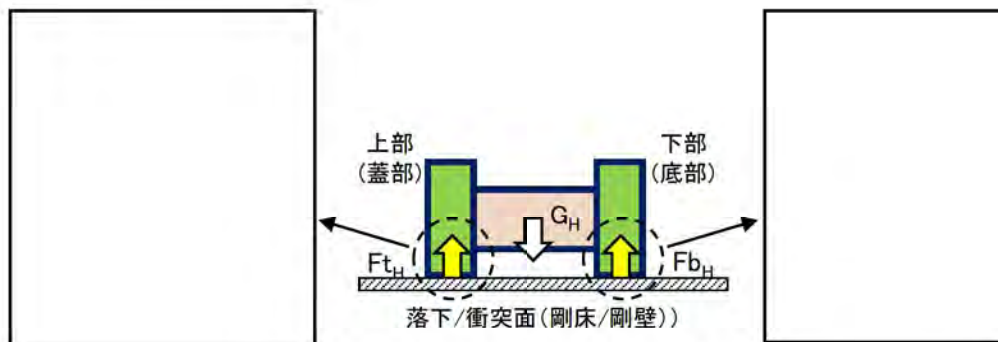
(注3)径方向衝突は、水平落下と荷重作用位置が同一であり、水平落下と同等の事象として水平落下で代表する。

2. 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

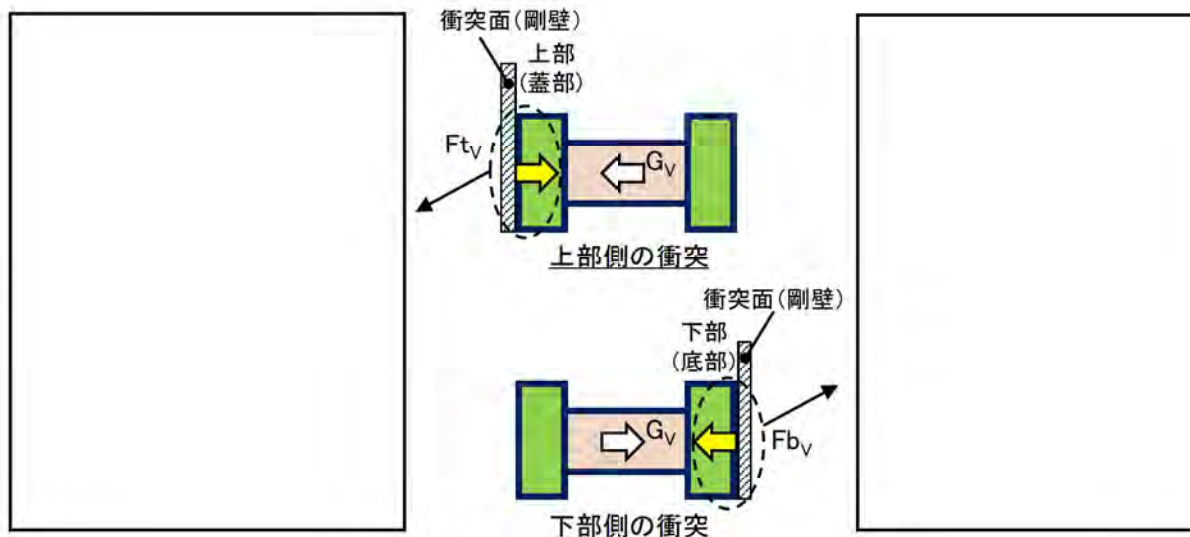
(2) 代表事象 (2/2)

(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 (650m/s^2)
 F_{tH} : 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_{bH} : 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 (600m/s^2)
 F_{tV} : 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_{bV} : 特定兼用キャスク下部(底部)に作用する荷重 ($7.69 \times 10^7\text{N}$)

2. 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

(補足) 貯蔵用緩衝体装着状態図(例)

P.10に示した特定兼用キャスクの荷重作用範囲は、下図の範囲に相当する。この範囲よりも広い範囲で荷重が作用する場合、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材の応力は、P.14～15の構造強度評価結果に比べ小さくなる。



2. 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

(補足) 想定事象において想定される落下及び衝突の対象となる周辺施設等

貯蔵施設における想定事象(水平落下・周辺施設等との衝突)において、想定される落下及び衝突の対象となる周辺施設等は下表のとおりである。これら周辺施設等の形状は、P.10に示す荷重作用範囲に比べ大きいことが基本と考えられるが、施設設計(設工認)において、周辺施設等の具体的な形状がP.10の荷重作用範囲よりも狭い場合は、別途、設工認において個別の確認を行う。

想定事象	起回事象 ^(注1)	落下・衝突の対象となる周辺施設等	備考

2. 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： 650m/s^2 ・軸方向衝突： 600m/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	

2. 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。

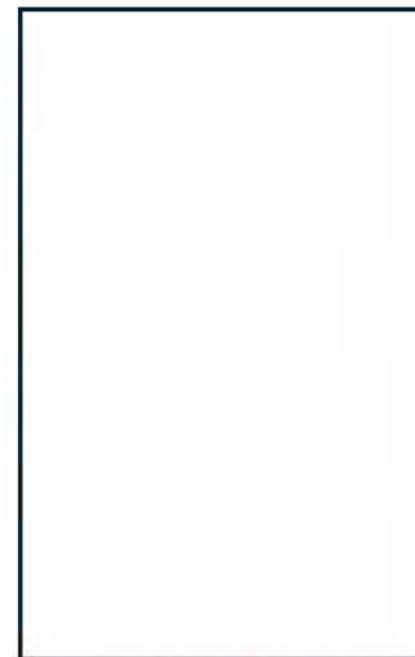
(3) 評価結果 (1/2)

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.16～19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

2. 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.5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。

2. 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.17参照)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

2. 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 ³ /s)	落下試験後 (Pa m ³ /s)
一次蓋	< 1 × 10 ⁻¹¹	< 1 × 10 ⁻¹¹

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	



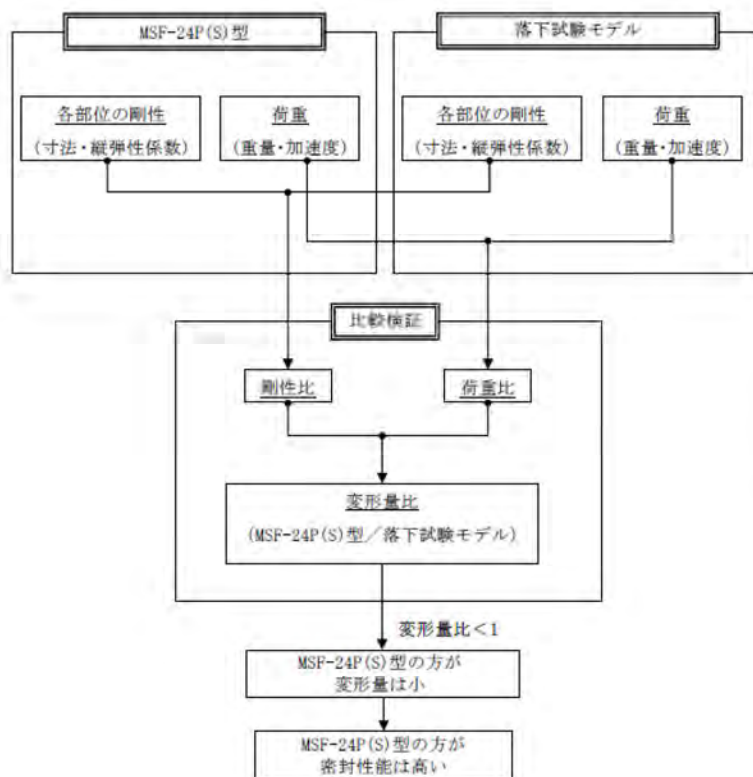
実機大落下試験モデルによる9.3m傾斜落下

2. 指摘事項への回答

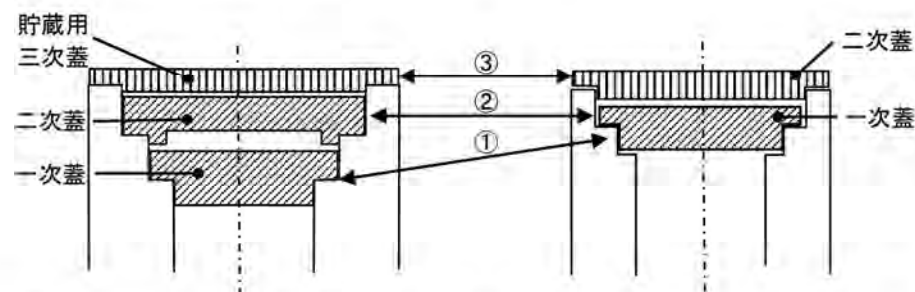
● 傾斜落下時の影響について

(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

2. 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。

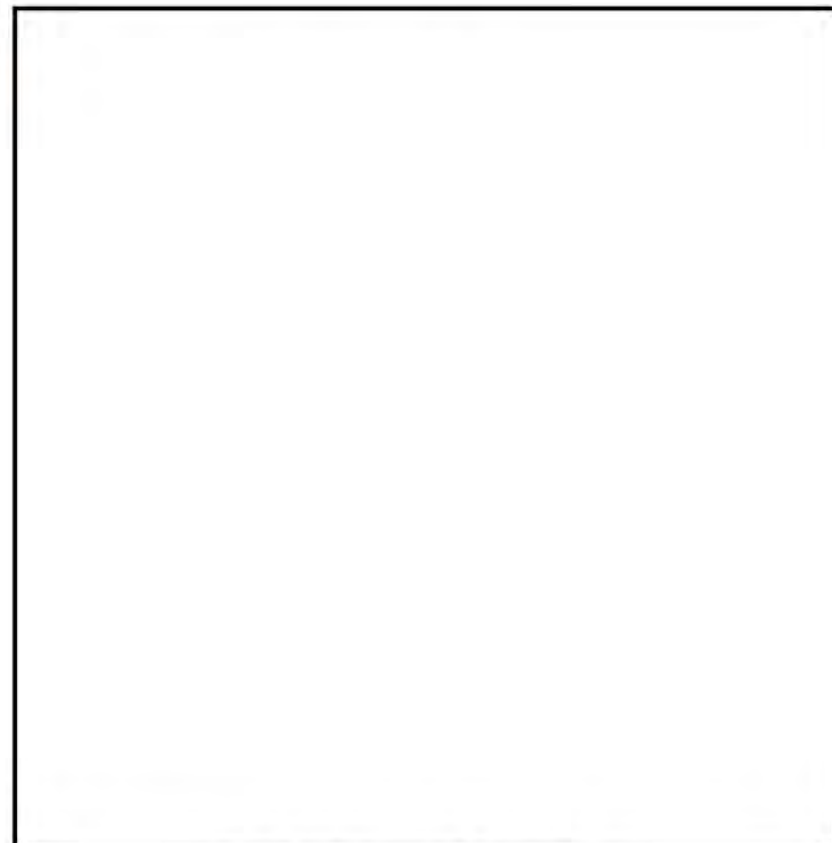
MSF-24P(S)型の傾斜落下時の蓋部の変形量評価結果

部位 (注1)	変形モード	荷重比 (注2)	剛性比 (注2)	変形量比 (注2)
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。

なお、荷重比の算定に用いるMSF-24P(S)型の荷重値は、MSF-24P(S)型の水平落下時における特定兼用キャスク本体に作用する衝撃加速度 650m/s^2 を基に、傾斜落下と水平落下の加速度比を考慮して算出している。この衝撃加速度 650m/s^2 は、P.9に示す供用状態Dの許容基準を満足するための水平落下時の荷重条件が生じる場合の衝撃加速度に相当する。



変形比の算出(一次蓋ボルトの例)

2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.6)

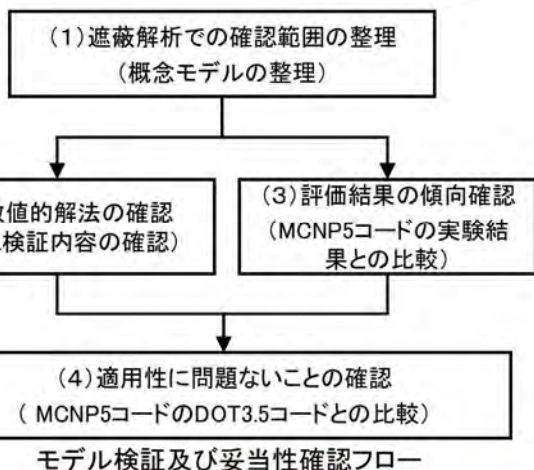
遮蔽解析に使用したMCNP5 コードの適用妥当性について、学会標準のガイドラインを参考とした検証作業の方針を明確にし、結論に至るまでの論理展開が適切となるように見直すこと。

(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.21～23)
- (2) MCNP5は、LANLでのソフトウェア品質保証計画に従って開発されており、LANLで実施した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する解析解及び参照解との比較結果を基に、数値的解法が精度よく実施できていることを確認。(P.24)
- (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.25～27)
- (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.28～29)



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.21～23)	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)	解析コード開発機関(LANL)で実施した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)との比較により、数理モデルへの変換及び数値モデルへの変換は精度良く実施できていることを確認済み。(P.24)	ベンチマークは散乱無し(解析解)と散乱有の条件(MVPコードによる参照解)での比較で良く一致され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.25～27)	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.28～29)	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。

2. 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.25~27)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 ²³⁹ Pu 核分裂スペクトル	スペクトル ・Watt型 ²³⁹ Pu 核分裂スペクトル	スペクトル ・Watt型 ²⁴⁴ Cm 核分裂スペクトル	-
		線源強度 ・ORIGEN2出力(2.2UPJ) ^(注1)	線源強度 ・ORIGEN2出力 ^(注1)	線源強度 ・ORIGEN2出力(2.2UPJ) ^(注1)	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。

2. 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) ^(注1) ・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 ^(注1) ・放射化ガンマ:-	スペクトル ・燃料有効部:ORIGEN2出力 (2.2UPJ) ^(注1) ・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) ^(注1) ・放射化ガンマ: ⁵⁹ Co含有量からの計算値	線源強度 ・燃料有効部:ORIGEN2出力 ^(注1) ・放射化ガンマ:未考慮	線源強度 ・燃料有効部:ORIGEN2出力 (2.2UPJ) ^(注1) ・放射化ガンマ: ⁵⁹ 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。

2. 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"> 使用済PWR燃料24体 1体ごとに均質化 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 バスケット内均質化 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 	<ul style="list-style-type: none"> 使用済PWR燃料14体 1体ごとに均質化 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 使用済PWR燃料1体 1体ごとに均質化 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 バスケット内均質化 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 	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"> 構造材:炭素鋼、ステンレス鋼、レジン、銅等 緩衝体:なし 	<ul style="list-style-type: none"> 構造材:炭素鋼、ステンレス鋼、鉛、レジン、水等(湿式キャスク) 緩衝体:木材 	<ul style="list-style-type: none"> 構造材:炭素鋼、ステンレス鋼、レジン等 緩衝体:なし 	-
	形状	実形状 <ul style="list-style-type: none"> 外径約2.6m 長さ約5.2m 	実形状 <ul style="list-style-type: none"> 外径約2.6m(緩衝体含む) 長さ約6.3m(緩衝体含む) 	実形状 <ul style="list-style-type: none"> 外径約1.7m 長さ約5.2m 	-
	組成/密度	<ul style="list-style-type: none"> 最小密度 レジン組成カタログ値 設計貯蔵期間のレジン質量減損考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 最小密度 レジン組成カタログ値 水組成:発熱量より概算 	<ul style="list-style-type: none"> 最小密度 レジン組成カタログ値 	<ul style="list-style-type: none"> 型式指定評価はレジン減損を考慮。 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。
	寸法公差	<ul style="list-style-type: none"> 密度に考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 考慮しない 	<ul style="list-style-type: none"> 考慮しない 	型式指定評価は寸法公差を密度係数として考慮。

2. 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^(注1)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^(注2)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。
- 以下のLANLでの検証結果より、MCNP5コードの数値的解法に問題無いことを確認した。

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^(注3)^(注4)。

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).

2. 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する等、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.26)	乾式貯蔵容器体系 (P.27)
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"> 中性子スペクトル: 239Pu核分裂スペクトル 燃料有効部ガンマ線スペクトル: ORIGIN2出力 構造材ガンマ線スペクトル: - (注1) 	<ul style="list-style-type: none"> 中性子スペクトル: 244Cm核分裂スペクトル 燃料有効部ガンマ線スペクトル: ORIGIN2出力 (2.2UPJ) 構造材ガンマ線スペクトル: 1.17MeV-50%、1.33MeV-50%
	燃焼度	<ul style="list-style-type: none"> 集合体燃焼度: 実績燃焼度 軸方向分布: 実績燃焼度を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 集合体燃焼度: 実績燃焼度 軸方向分布: 実績燃焼度を考慮
線源形状	燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> 燃料集合体を1体ごとに均質化 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 軸方向の燃料位置は底部側寄せ配置 バスケット内の左右方向は中央配置 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料集合体を均質化 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 軸方向の燃料位置は底部側寄せ配置 バスケット内の燃料集合体は均質化
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"> 鋼材、鉛: 最小密度 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) 水密度: 水温を発熱量より換算して設定 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材: 最小密度 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)
寸法公差	考慮しない	考慮しない	

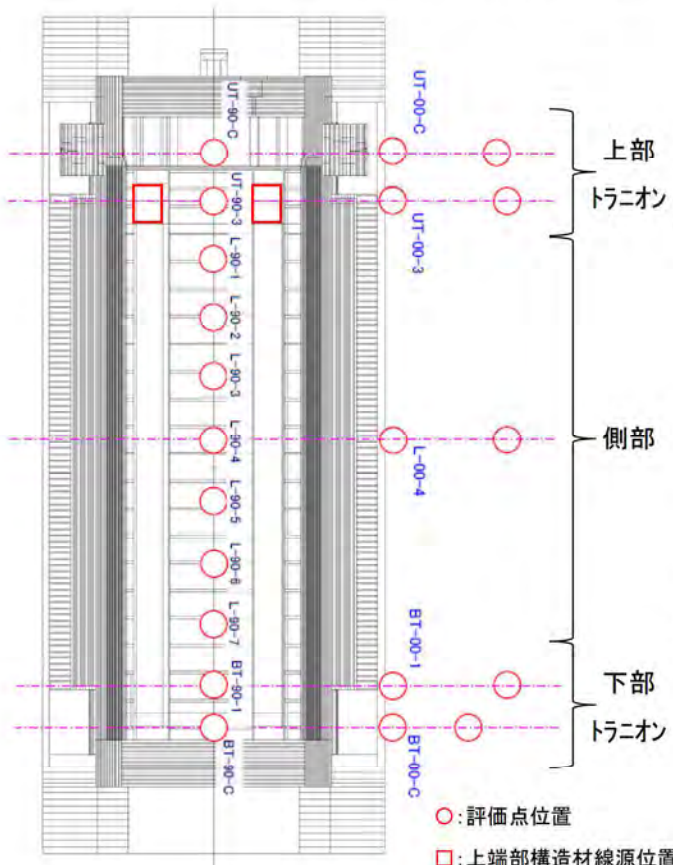
(注1) 使用済燃料輸送容器体系ではベンチマーク解析において構造材ガンマ線を考慮していない。

2. 指摘事項への回答

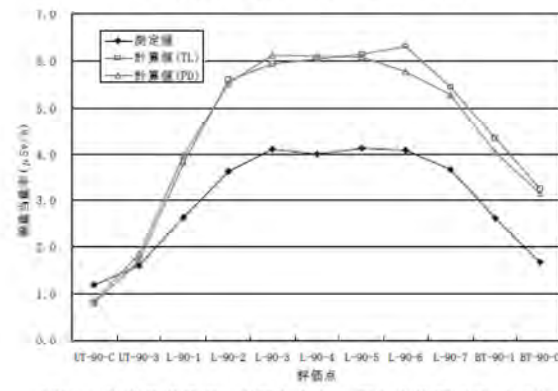
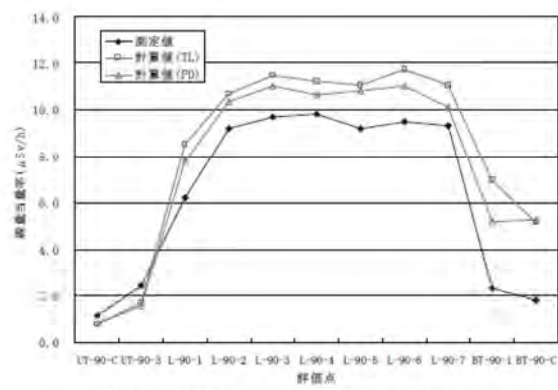
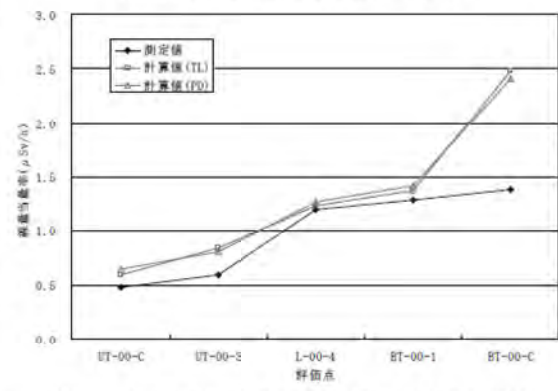
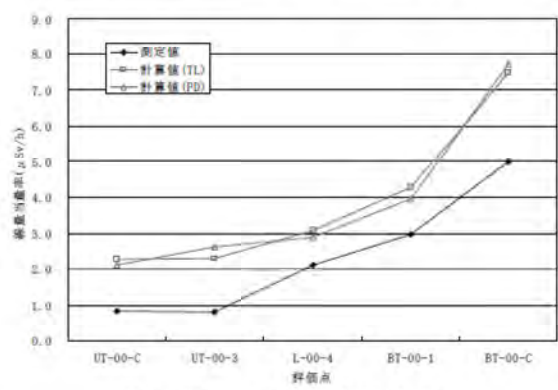
(3) 評価結果の傾向確認 (MCNP5コードの実験結果との比較) (2/3)

<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)



(評価結果例)

NFT-14P型輸送容器によるMCNP5コードの検証

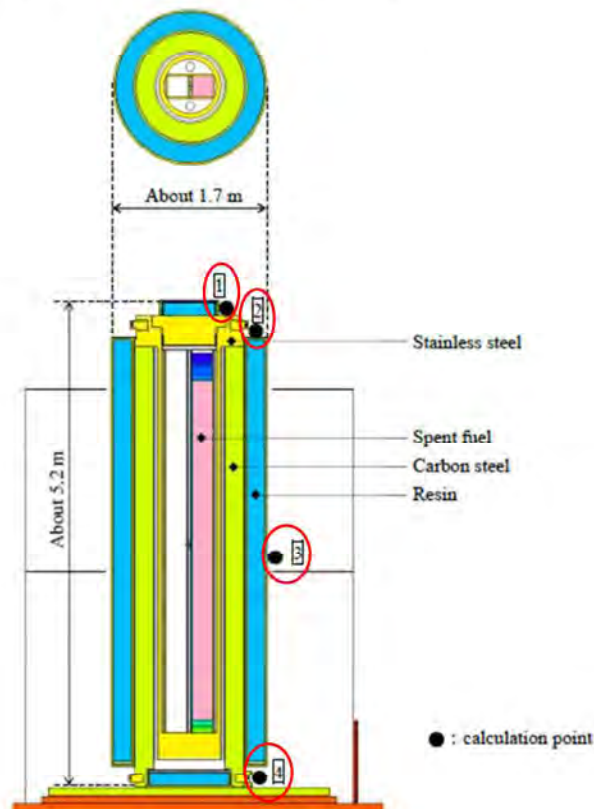
(出典) 一般社団法人日本原子力学会「モンテカルロ法による放射性物質輸送容器の遮蔽安全評価手法の高度化 平成23年度報告書」(2012).

2. 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).

2. 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)^(注1)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^(注2)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.29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(トランニオン部近傍)において線量当量率評価値に差異が生じる^(注3)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).

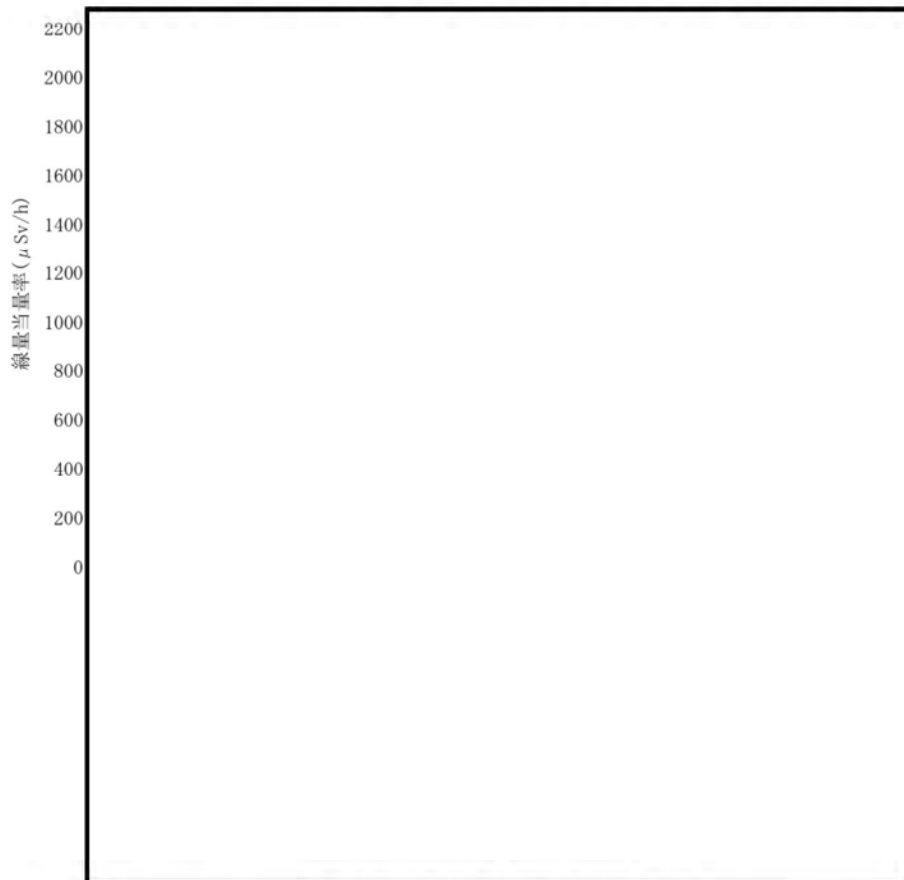
(注3)DOT3.5コードでは取り扱えるモデル形状が二次元円筒形状であるため保守的なモデルを設定して計算しており、DOT3.5コード計算値はMCNP5コード計算値より高い。MSF-24P(S)型と同等の体系である使用済燃料輸送・貯蔵容器体系のベンチマーク解析でトランニオン近傍のMCNP評価結果と測定値の傾向がよく一致することを確認している。したがって、DOT3.5の解析結果は保守的なものであり、MCNP5コードによる評価結果は妥当である。

各解析コードの計算方法及び条件設定概要

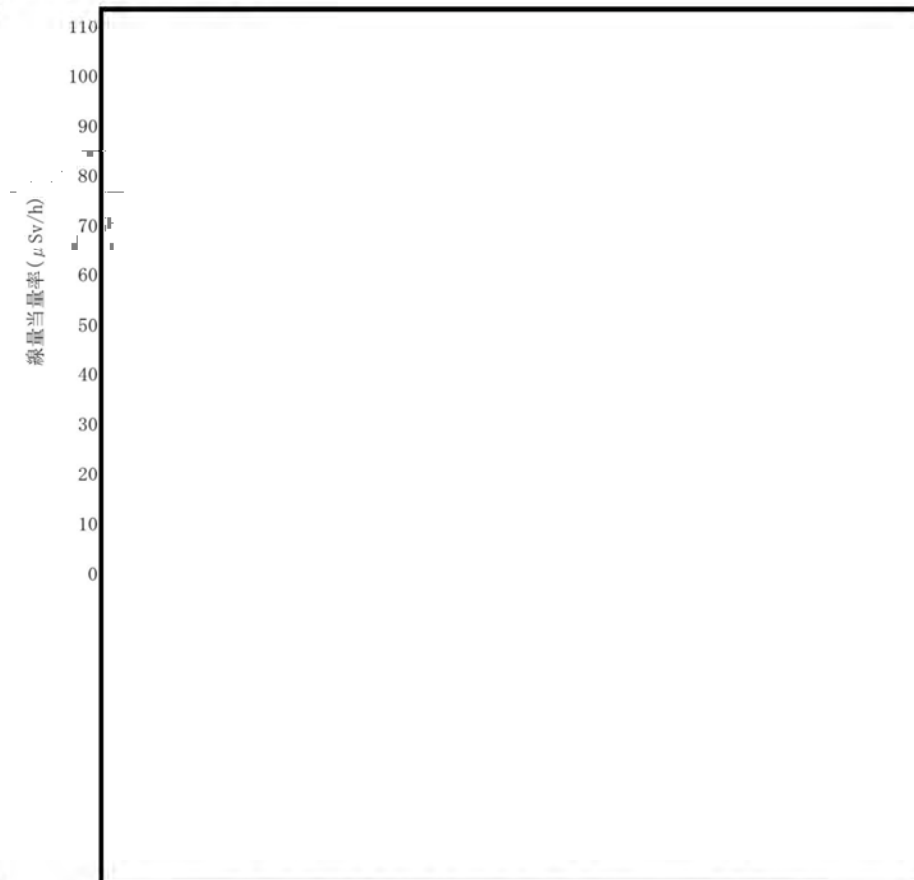
項目	MCNP5コード	DOT3.5コード	備考
計算方法	放射線の衝突や散乱等を再現。評価位置に対する放射線情報を統計的に処理するため、計算値に対して統計誤差を持つ。	ガンマ線や中性子に対するボルツマン輸送方程式をSn法により解く。放射線の挙動を追跡するのに重要な非等方性を表現。	—
線源強度設定	ORIGEN2.2UPJコードにより評価した線源強度(17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)収納時)を設定	左記と同じ	線源強度は同一
モデル化設定	MSF-24P型全体を三次元でモデル化。バスケットプレートは中性子吸収材及びポイド層を含めた格子形状を均質化	二次元円筒体系でモデル化。本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

2. 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、(3)で使用済燃料輸送・貯蔵容器体系のベンチマーク解析でトリニオン近傍の領域も測定値と傾向がよく一致することを確認している。
 したがって、DOT3.5の評価結果は保守的なものであり、MCNP5による評価結果は妥当である。
- 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。

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