

発電用原子炉施設に係る 特定機器の設計の型式証明申請 審査会合コメント管理表及び回答

2023年11月2日
トランスニュークリア(株)



TN TOKYO

審査会合におけるコメント管理表

No.	コメント日	該当条文	区分	コメント内容	回答日	対応状況	備考
1	#22審査会合 (2023/2/7)	16条	全般	17×17燃料、15×15燃料を混載する場合の解析条件の保守性について説明すること。	#28審査会合 (2023/11/2)	本日回答	
2	#22審査会合 (2023/2/7)	16条	遮蔽	遮蔽の解析コードとして使用しているMCNP5は、実用炉審査においては実績に乏しいので、適用妥当性についての説明すること。	#28審査会合 (2023/11/2)	本日回答	
3	#22審査会合 (2023/2/7)	16条	除熱	中性子遮蔽材の除熱解析結果が基準値に対して余裕代が少ないので、基準値設定の根拠と保守性について説明すること。	#28審査会合 (2023/11/2)	本日回答	
4	#22審査会合 (2023/2/7)	5条, 6条	自然現象 (津波・竜巻)	津波・竜巻の評価の設計基準値に輸送容器としての0.3m落下時の衝撃荷重を設定しているが、設計基準値の設定の考え方について説明すること。	#28審査会合 (2023/11/2)	本日回答	
5	#26審査会合 (2023/6/22)	16条	遮蔽	MCNP5による解析結果の信頼性を確認するために「tally fluctuation charts」で判断しているとのことであるが、具体的な評価内容がわかるように説明を補足すること。	#28審査会合 (2023/11/2)	本日回答	
6	#26審査会合 (2023/6/22)	16条	閉じ込め	閉じ込め監視構造の説明が概要PPT資料に記載されているが、補足説明資料16-5の別紙4にも追加すること。	#28審査会合 (2023/11/2)	本日回答	

(コメントNo.1)

17×17燃料、15×15燃料を混載する場合の解析条件の保守性について説明すること。

(回答)

TK-26型は、17×17燃料及び15×15燃料を混載可能な設計としている。燃料混載が各安全機能設計に及ぼす影響について以下のとおり纏める。

(1)臨界防止設計

臨界防止設計では、17×17燃料、15×15燃料それぞれが26体収納される場合について評価し、冠水状態及び乾燥状態の中性子実効増倍率がほぼ同じであることを確認している。よって、TK-26型の体系ではいずれの燃料であっても反応度は同等であると考えられる。このことを確認するため、4体の燃料集合体(燃料有効部のみモデル化)による6種類の配列について中性子実効増倍率を評価・比較することで、17×17燃料及び15×15燃料の相互作用による反応度への影響の有無を添付-1のとおり評価した。本評価結果のとおり、17×17燃料及び15×15燃料の相互作用が中性子実効増倍率に与える有意な影響はないことを確認した。

(2)遮蔽設計

遮蔽設計では、線源強度が15×15燃料よりも17×17燃料の方が大きいいため、17×17燃料が26体収納される条件について遮蔽解析を行い、表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率が基準値を満足することを確認している。したがって、これらの燃料を混載した場合においても、17×17燃料の遮蔽解析結果に包絡される。

(3)除熱設計

除熱設計では、発熱量が15×15燃料よりも17×17燃料の方が大きいいため、17×17燃料が26体収納される条件について除熱解析を行い、各部材の温度が基準値を満足することを確認している。ただし、燃料被覆管の温度については、両燃料の発熱密度の差が僅かであることから、15×15燃料の燃料集合体モデルの解析を添付-2のとおり評価した。本評価結果のとおり、15×15燃料の燃料被覆管の温度が17×17燃料のそれに包絡されることを確認した。以上の結果から、両燃料を混載した場合であっても、17×17燃料が26体収納される場合の評価結果に包絡される。



(4)閉じ込め設計

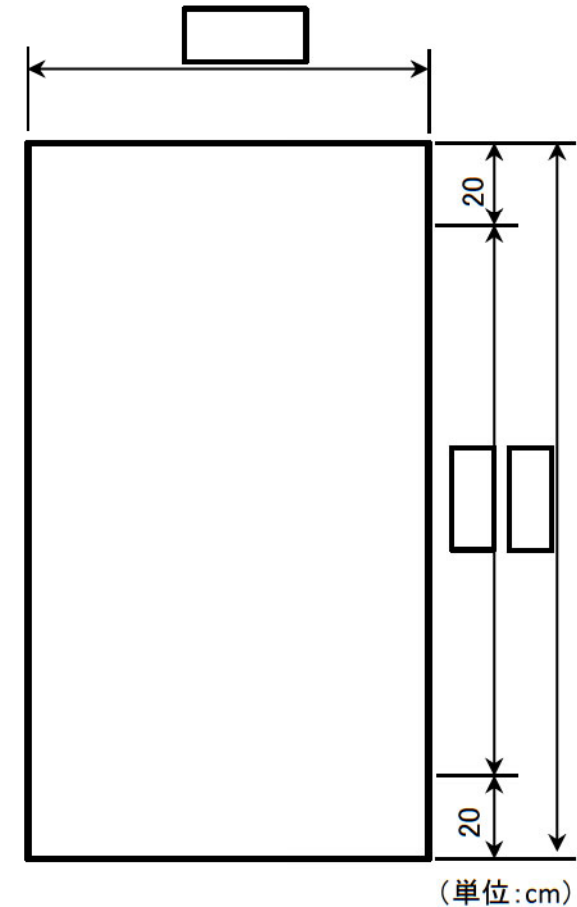
閉じ込め設計では、17×17燃料及び15×15燃料それぞれが26体収納される場合について評価し、設計貯蔵期間中に本体の内部圧力が負圧を維持できる基準漏えい率が、同等であることを確認している。よって、これらの燃料を混載した場合であっても閉じ込め設計に影響はない。

(添付-1) 17×17燃料及び15×15燃料の相互作用による反応度への影響評価

4体の燃料集合体(燃料有効部のみモデル化)による6種類の配列について中性子実効増倍率を評価・比較することで、17×17燃料及び15×15燃料の相互作用による反応度への影響の有無を確認した。評価条件を添付表1-1、評価モデルの縦断面図を添付図1-1に示す。

添付表1-1 評価条件

	評価化条件	備考
燃料有効部長さ	 cm	15×15燃料の燃料有効長は17×17燃料に合わせた
バスケット格子材の幅	 cm	
燃料集合体の配置	中心偏向	
燃料集合体の周囲	1g/cm ³ の水	周囲の水厚さは20cm以上



添付図1-1 評価モデルの縦断面図

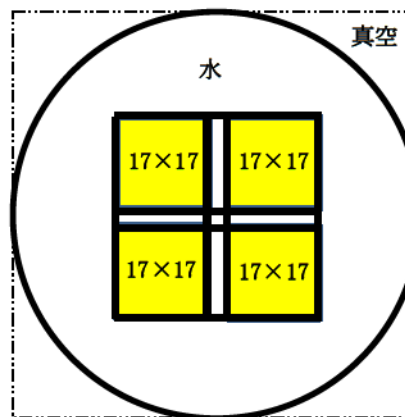
評価した4体の燃料集合体の配列ケースを添付図1-2、評価結果を添付表1-2に示す。4体全てを17×17燃料とした場合のCase 1-1をベースに比較すると、中性子実効増倍率の差は3σの範囲内であり、17×17燃料及び15×15燃料の相互作用により中性子実効増倍率に与える有意な影響はないことを確認した。

本評価結果は、燃料集合体4体の配列についてパラメータサーベイした結果であるが、中性子実効増倍率の値が、TK-26型の冠水状態の値とほぼ同じであること、26体収納時の配列もこれらの組合せであると言えることから、TK-26型においてもこれらの燃料の相互作用による有意な影響はないと考えられる。

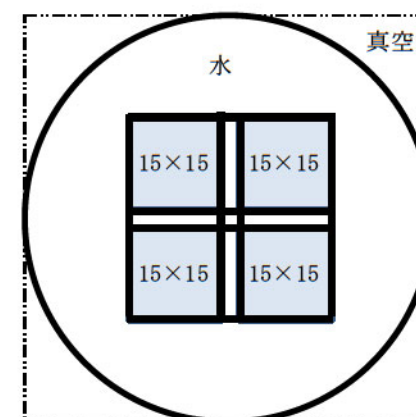
本評価結果を、補足説明資料16-2臨界防止機能に関する説明資料の別紙5に追加した。

添付表1-2 評価結果

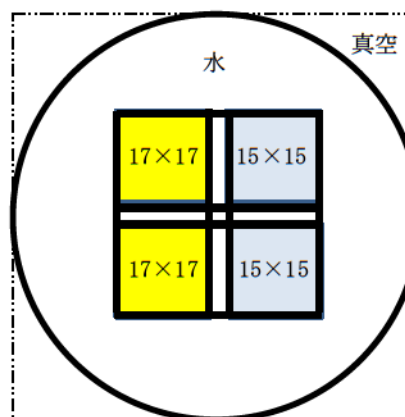
燃料配列 ケース	解析結果			keffの比較	
	keff	σ	keff+3σ	Case 1-1 との差	Case 1-1 との比
Case 1-1				—	—
Case 1-2				-0.00075	0.9992
Case 2-1				-0.00102	0.9989
Case 2-2				-0.00067	0.9993
Case 3-1				0.00062	1.0007
Case 3-2				-0.00073	0.9992



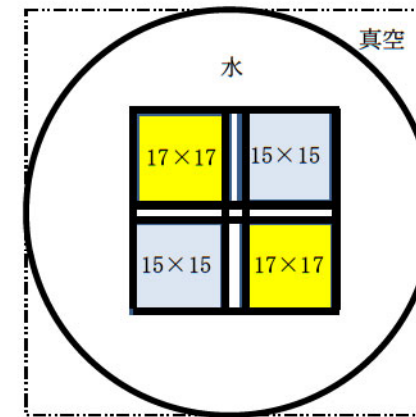
Case 1-1



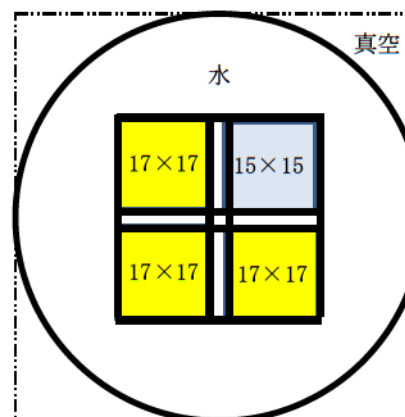
Case 1-2



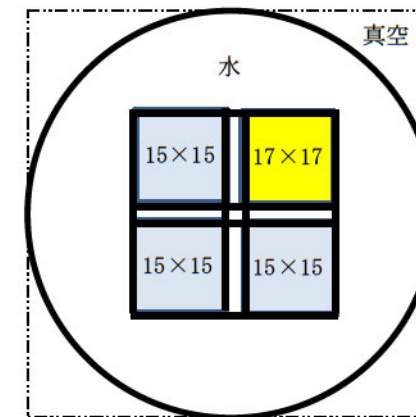
Case 2-1



Case 2-2



Case 3-1



Case 3-2

(添付-2) 15×15燃料の燃料被覆管温度の評価

発熱量が最大となる17×17燃料(A型)を対象とした燃料集合体モデルによる除熱解析では、バスケット格子材の最高温度225°Cを境界条件として解析した結果、燃料被覆管の最高温度は255°Cとなっている。ただし、燃料被覆管の温度については、両燃料の発熱密度の差が僅かであることから(添付表2-1参照)、15×15燃料の燃料集合体モデルの解析を行い、その温度を評価した。ここで、保守的にバスケット格子材の最高温度225°Cを境界条件として、15×15燃料(A型)について除熱解析を行った。その結果、添付図2-1に示すとおり、燃料被覆管の最高温度は254°Cとなり、17×17燃料の最高温度に包絡されることを確認した。

本検討結果は、補足説明資料16-4 除熱機能に関する説明資料の別紙6に追記した。

添付表2-1 燃料集合体モデルの発熱密度

燃料タイプ	発熱密度(W/mm ³)
17×17燃料(A) 48,000MWd/t型	
17×17燃料(B) 48,000MWd/t型	
15×15燃料(A) 48,000MWd/t型	
15×15燃料(B) 48,000MWd/t型	

燃料被覆管の
最高温度: 254°C

添付図2-1 15×15燃料の燃料被覆管温度の評価結果

(コメントNo.2)

遮蔽の解析コードとして使用しているMCNP5は、実用炉審査においては実績に乏しいので、適用妥当性についての説明すること。

(回答)(1/8)

MCNP5コードをTK-26型の遮蔽解析に適用することの妥当性について、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」⁽¹⁾に示されている以下の4つのエレメントを参考に、MCNP5コードの開発元である米国のLos Alamos National Laboratory(以下「LANL」という。)の文献を参考にして確認した。ただし、LANLでは使用済燃料用キャスクへの適用妥当性について直接評価されていないため、参考文献(2)を用いてTK-26型への適用妥当性を確認した。

- エレメント1 概念モデルの開発
- エレメント2 数学的モデル化
- エレメント3 物理的モデル化
- エレメント4 シミュレーションモデルの予測性能の判断
- TK-26型への適用妥当性の確認

(1) 概念モデルの開発(エレメント1)

- ✓ MCNPコードは、放射線粒子の吸収・散乱等、放射線と物質との相互作用等のミクロ的現象について、ボルツマンの輸送方程式をモンテカルロ法を用いて放射線を伴う物理現象をほぼ近似なしで解く解析コードである。よって、物質透過やストリーミング等を含む一般的な放射線挙動を評価することが可能である。
- ✓ MCNPコードでの概念モデルは、中性子やガンマ線等の吸収・散乱反応等のミクロ的現象のシミュレーションに対して開発が行われており⁽³⁾、その結果は、原子炉や使用済燃料の輸送・貯蔵容器等の個々の遮蔽解析で考慮が必要となる放射線と物質との相互作用等のミクロ的現象に対するシミュレーションの概念モデルを包含し、物質透過やストリーミング等の物理的現象に対するシミュレーションの概念モデルも包含する。



(回答)(2/8)

(2) 数学的モデル化(エレメント2)

- ✓ MCNPコードでは、中性子やガンマ線等の放射線挙動について、ボルツマンの輸送方程式を疑似乱数を用いた統計学的手法であるモンテカルロ法によりシミュレーションを行っている。
- ✓ この数学的モデル化は、本解析コードの開発元であるLANLにて長年に渡り検討されており、概念モデルに対し、どれだけ忠実に数学的モデル化が行われているかを、数理モデルへの変換に関する検証が、検証プロセスも含めた観点から繰り返し検討されている^{(3),(4),(5)}。

(3) 物理的モデル化(エレメント3)^(注)

- ✓ 物理的モデル化については、開発元のLANLにおける検証で、評価済みの実験データを用いて計算を実行し、本コードが解くように設計された方程式(数学的モデル)が、物理的モデルを忠実に解けることを確認するために、ベンチマークテスト及び他の解析コードによる解析結果との比較が多数実施されている。
- ✓ 中性子に関する検証は、以下のベンチマーク解析結果が示されており、中性子束の実測値と解析値が良く一致することが示されている^{(6),(7)}。また、MCNPコードと同様にモンテカルロ法を用いている三次元輸送計算コードMVPとの比較結果も示されており、類似の解析コードによる計算結果が共に良く一致することが示されている^{(6),(7)}。

- 1)パルス式中性子源からの検出器時間応答実測値
- 2)D-T核融合炉の遮蔽実験

(注)参考にした学会標準では、ベンチマークテストに用いる実験データ等の整備までで、ベンチマークテスト結果等による不確かさの定量評価はエレメント4での確認事項とされているが、本説明資料における物理的モデル化の説明では、ベンチマークテスト結果等も併せて記載した。

- ✓ ガンマ線に関する検証は、LANLからガンマ線のベンチマーク問題として、以下に示す6種類の検証結果が報告されている⁽⁸⁾。LANLは、この検証により、MCNPコードがモンテカルロ法に固有の統計誤差の範囲内で、6種類全てのシミュレーションが実験結果を予測でき、MCNPコードが広範囲の光子輸送問題を正確にモデル化できると結論付けている。

- 1)無限媒質中における等方散乱と断面積に関する問題
- 2)単純な球体での散乱に関する問題
- 3)無限媒質中におけるガンマ線源に関する問題
- 4)スカイシャイン実験
- 5)放射性物質降下場における実験
- 6) HUPMOBILE TLDの実験



(回答)(3/8)

(4) シミュレーションモデルの予測性能の判断(エレメント4)

- ✓ MCNPコードで採用されているモンテカルロ法は、ランダムサンプリングを使用して確率論的問題を解決する手法であり、コンピュータ上で数値的に実行される物理実験(シミュレーション)と言え、このシステムは、個々の物理現象に対する多数の試行を行い、平均値又は確率を算出するように構築されている。
- ✓ MCNPコードのシミュレーションの予測性能については、1983年までは主に米国内で、1983年以降はコードが配布された国々における検証結果等も踏まえた検討が行われるようになり、MCNP5コードが公開されるまでに、シミュレーションの予測性能に関する膨大な知見が蓄積され、プログラムに反映されている⁽⁹⁾。
- ✓ その結果、MCNPコードは、保健物理、原子炉、臨界安全性、核保障措置、高エネルギー物理学、荷電粒子輸送、遮蔽、複雑な実験の計画など、幅広い分野に適用されており、TK-26型の遮蔽評価を行う上で、十分な信頼に足るシミュレーションの予測性能を持つものと判断している。

(5) TK-26型への適用妥当性の確認

- ✓ TK-26型の遮蔽評価では、前述のとおり適用妥当であると判断したMCNP5コードを用いて遮蔽解析を行っている。ただし、LANLでは使用済燃料用キャスクに対するベンチマーク解析が直接行われていないため、参考文献(2)を用いてTK-26型への適用妥当性及び解析条件における保守性について確認した。
- ✓ TN-12/2型^(注1)の遮蔽解析では、TK-26型の遮蔽評価と同様の保守的な結果を得るための安全解析条件について、MCNP4Aコード^(注2)及びSAS4Mコード^(注3)の2つのモンテカルロ解析コードを用いて行われている。なお、本項における検討は、測定点が多く線量当量率の分布が確認できる側部方向の測定値とその比較解析結果について主に着目して行った。TN-12/2型とTK-26型の解析条件を表2-1に示す。両者の解析条件は、ほぼ同等である。

(注1) 国内の原子力発電所の使用済燃料を仏国で再処理するための輸送に用いられた輸送容器である。

(注2) MCNP5コードの旧バージョンであるが、主な変更点はプログラム言語の変更であり、物理・数学モデルは同じである。

(注3) 米国ORNLにて開発されたSCALEコードシステムの一部であり、放射線輸送計算はMORSEコードで行われる。MORSEコードの解法は、MCNP同様の三次元モンテカルロ法である。



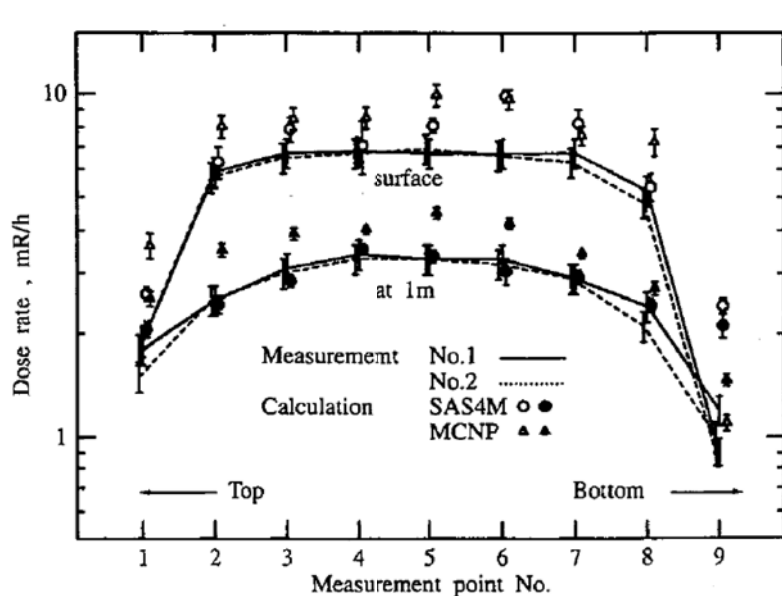
表2-1 TN-12/2型とTK-26型の遮蔽解析条件の比較

項目		TN-12/2型 ⁽²⁾	TK-26型 (特定兼用キャスク)	備考
解析コード		MCNP4A	MCNP5	解析コードのバージョンが異なるが、主な変更点はプログラム言語の変更であり、物理・数学モデルは同じである。
ライブラリ	中性子	ENDF5T	ENDF70	ENDF70: ENDF/B-VIIを基にLANLで整備
	ガンマ線	MCPLIB02	MCPLIB84	MCPLIB84: EPDL97を基にLANLで整備
線源条件	中性子	ORIGEN2の出力	ORIGEN2の出力	同一
	燃料有効部ガンマ線	ORIGEN2の出力	ORIGEN2の出力	
	放射化ガンマ線	⁵⁹ Coの放射化	⁵⁹ Coの放射化	
線源スペクトル	中性子	SCALE SAS2の出力	Watt型 ²³⁹ Puの核分裂スペクトル	²³⁹ Puの核分裂スペクトルの方が保守側
	燃料有効部ガンマ線	ORIGEN2の出力	ORIGEN2の出力	同一
	放射化ガンマ線	1.17MeV:50% 1.33MeV:50%	1.17MeV:50% 1.33MeV:50%	
本体遮蔽構造	ガンマ線遮蔽材	炭素鋼	炭素鋼	遮蔽に用いられる材料厚さや材質は異なるが、ガンマ線及び中性子を遮蔽することにおいて、同等の機能を有する。
	中性子遮蔽材	レジン	レジン (エチレンプロピレン系ゴム)	
燃料集合体		PWR使用済燃料	PWR使用済燃料	同一
検出器(タリー)		面検出器(F2)	面検出器(F2)	同一

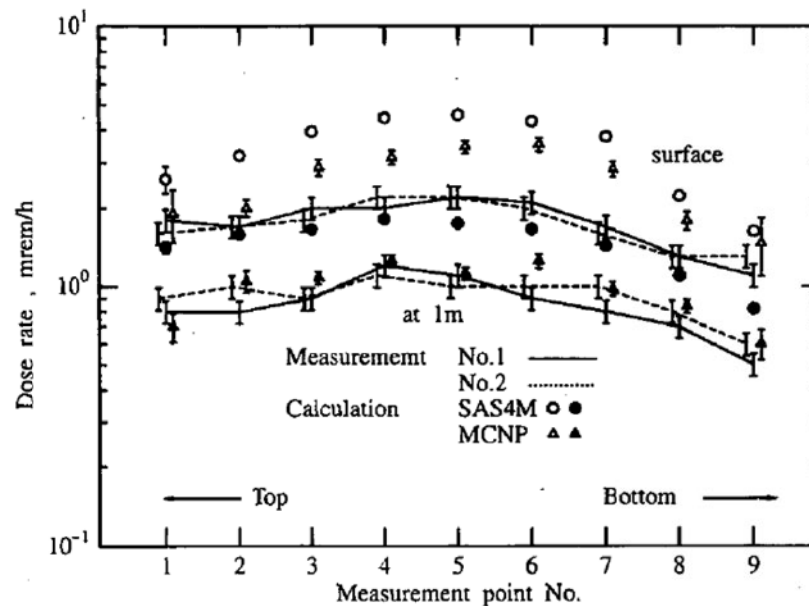
(回答) (6/8)

(5) TK-26型への適用妥当性の確認(つづき)

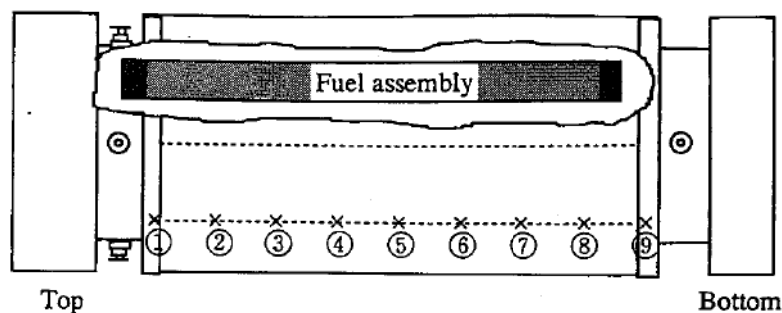
- ✓ 図2-3に示すとおり、輸送キャスクの安全解析条件で解析が行われており、実測値との比較において全体的な線量当量率の分布傾向が概ね一致していることが確認されている。



(a) ガンマ線線量率



(b) 中性子線量率



(c) 線量率の測定位置

図2-3 TN-12/2型ベンチマーク解析評価結果

(回答)(7/8)

(5) TK-26型への適用妥当性の確認(つづき)

- ✓ 図2-3に示すとおり、安全解析条件で解析しているため、実測値を上回る線量当量率が得られている。参考文献(2)における実測値と解析結果(安全解析条件)との比較を表2-2にまとめた。なお、本表は、実測値の最大線量率の評価点を代表してまとめたものである。
- ✓ この解析結果は、保守的な安全解析条件で行っているため、実測値に対して裕度のある結果となっている。その主な理由としては、レジン厚さ、緩衝体のバルサ材の密度、ピーキングファクターの設定、構造材放射化線源に寄与する⁵⁹Co不純物の設定等が考えられる。
- ✓ 以上のとおり、TN-12/2型使用済燃料輸送容器の測定値と比較解析の結果から、MCNPコードの解析結果は、実測値の線量当量率分布の傾向と概ね一致しており、安全解析条件では実測値よりも保守的に評価されている。
- ✓ 以上より、MCNP5コードをTK-26型の遮蔽解析に適用可能であると判断した。
- ✓ TK-26型の遮蔽評価では、参考文献(2)における評価と同様に保守的な結果を得るために、収納する使用済燃料集合体の燃焼度分布を考慮した線源強度、⁶⁰Coによる放射化線源強度、遮蔽材の寸法及び密度等の条件を保守的に設定したうえで、TK-26型の表面及び表面から1mの位置における線量当量率を評価している。したがって、TK-26型の解析結果は、本参考文献と同等の保守性を有していると考えられる。

上記の内容を補足説明資料16-3遮蔽機能に関する説明資料の別紙4に追記した。

表2-2 実測値の最大線量率の評価位置における解析結果と実測値との比率(安全解析条件)

	中性子線量率		ガンマ線線量率	
	表面	表面から1m	表面	表面から1m
MCNP4A	約1.6倍(評価点⑤)	約1.1倍(評価点④)	約1.5倍(評価点⑤)	約1.2倍(評価点④)
SAS4M	約2.1倍(評価点⑤)	約1.6倍(評価点④)	約1.2倍(評価点⑤)	約1.1倍(評価点④)



(回答) (8/8)

[参考文献]

- (1) 一社)日本原子力学会,「日本原子力学会標準 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」, AESJ-SC-A008:2015, (2016)
- (2) H. Taniuchi, and F. Matsuda, “Dose rate measurements and calculation of TN-12/2 packages”, Nuclear Technology, Vol.127, pp.88-101, (1999)
- (3) Gregg C. Giesler, CIC-12, “MCNP SOFTWARE QUALITY: THEN AND NOW ”, LA-UR-00-2532, (2000)
- (4) Hilary M. Abhold, John S. Hendricks, “MCNP™ Software Quality Assurance Plan”, LA-13138, (1996)
- (5) Forrest Brown, Brian Kiedrowski, Jeffrey Bull, “MCNP5-1.60 Release Notes”, LA-UR-10-06235, (2010)
- (6) Forrest Brown, Brian Kiedrowski, Jeffrey Bull, Matthew Gonzales, Nathan Gibson, “Verification of MCNP5-1.60”, LA-UR-10-05611, (2010)
- (7) Daniel J. Whalen, David A. Cardon, Jennifer L. Uhle, John S. Hendricks, “MCNP: Neutron Benchmark Problems”, LA-12212, (1991)
- (8) Daniel J. Whalen, David E. Hollowell, John S. Hendricks, “MCNP: Photon Benchmark Problems”, LA-12196, (1991)
- (9) Avneet Sood, R.Arthur Forster, B.J.Archer and R.C. Little, “Neutronics Calculation Advances at Los Alamos: Manhattan Project to Monte Carlo”, Nuclear Technology, Vol.207, S100-S133, Supplement 1, (2021)

(コメントNo.3)

中性子遮蔽材の除熱解析結果が基準値に対して余裕代が少ないので、基準値設定の根拠と保守性について説明すること。

(回答)(1/3)

TK-26型の中性子遮蔽材の温度評価結果を表3-1に示す。この表に示すとおり、中性子遮蔽材の最高温度は底部中性子遮蔽材である。

図3-1に示すように、燃焼度の平均値を1として規格化された軸方向燃焼度分布に対し、熱解析で設定しているピーキングファクターの平均値は□である。これを発熱量に換算すると、設計発熱量に対して□以上高く評価している。設計発熱量における底部中性子遮蔽材の温度を周囲温度(50℃)を基準にして推定すると、□℃となる。

なお、TK-26型は貯蔵架台の上に縦置きで貯蔵されるが、除熱解析では底部から貯蔵架台への熱の移動を安全側に無視し断熱条件としているために、軸方向燃焼度分布の設定に加えて底部断熱条件により、底部中性子遮蔽材の温度が保守的に高く評価されている。

表3-1 中性子遮蔽材の温度評価結果

		評価結果	基準値
中性子遮蔽材	側部	137℃	150℃ ⁽¹⁾
	蓋部	102℃	
	底部	143℃	



(回答) (2/3)

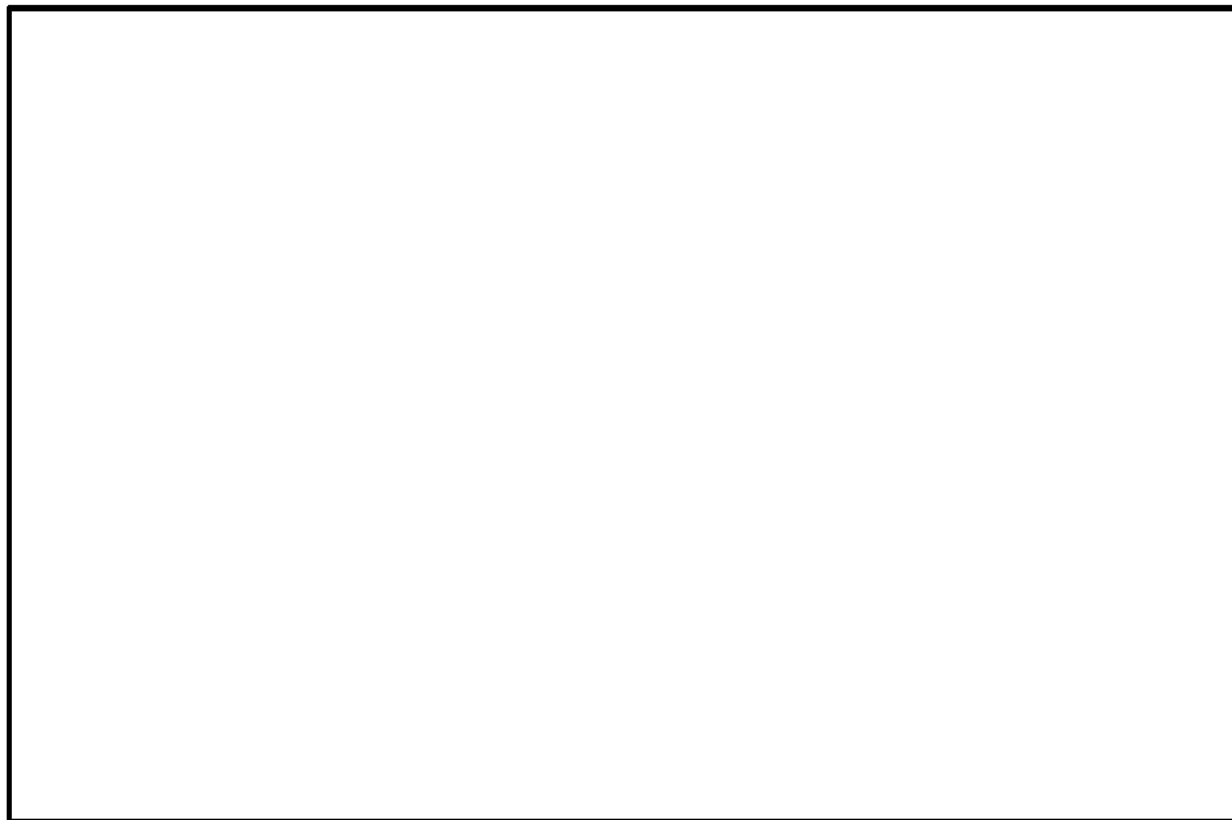


図3-1 軸方向燃焼度分布及び熱解析で考慮したピーキングファクター

(回答)(3/3)

基準値の温度(150°C)は、参考文献(1)に記載されているエチレンプロピレン系ゴムの使用可能温度の上限値である。本文献の抜粋を参考に示す。また、図3-2に本中性子遮蔽材の示差熱分析の結果を示す。この結果から、本材料は250°C程度までは熱的変化が殆ど生じないことが確認されており、基準温度の設定は妥当である。

ゴムの種類 (ASTMによる略称)		エチレン・プロピレンゴム (EPM, EPDM)
化学構造		エチレン・プロピレン・共重合体 (三元共重合体)
主な特徴		耐老化性, 耐オゾン性, 極性液体に対する抵抗性, 電気的性質が良い。
の純ゴムの性質	比重	0.86~0.87
	ムーニー粘度 ML ₁₊₁₀ (100°C)	40~100
配合ゴムの物理	可能なJIS硬さ範囲	30~90
	引張強さ (kgf/cm ²)	50~200
	伸び (%)	800~100
	反発弾性	○
	引裂き強さ	△
	耐摩耗性	○
耐屈曲き裂性	○	
使用可能温度範囲(°C)		-60~150

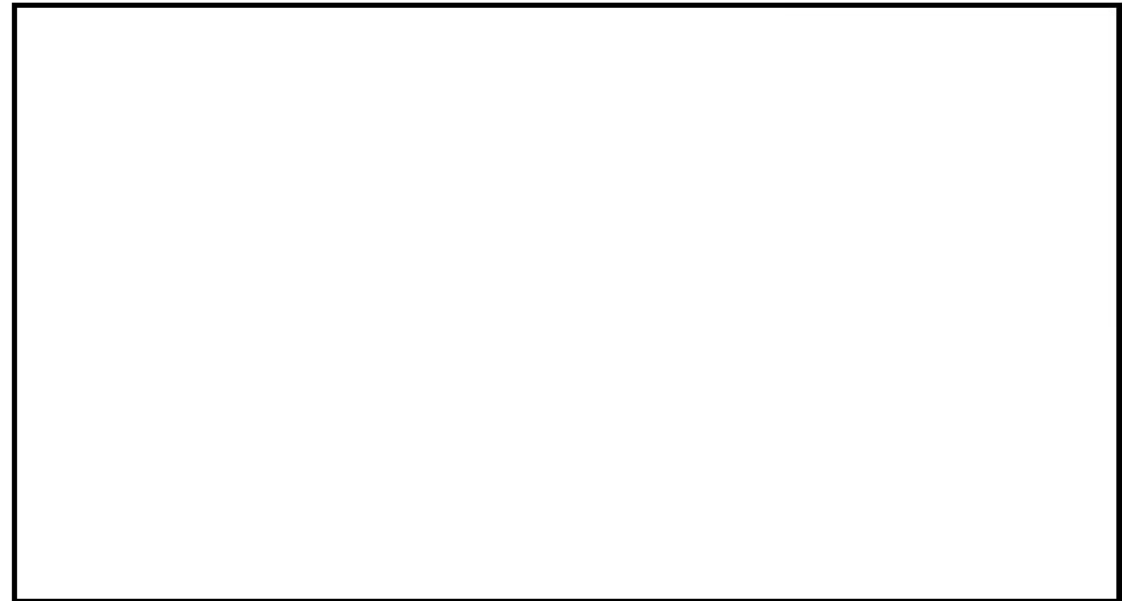


図3-2 示差熱分析結果

<参考文献>

(1) (一社)日本ゴム協会編、「新版 ゴム技術の基礎 改訂版」、(2014)

(コメントNo.4)

津波・竜巻の評価の設計基準値に輸送容器としての0.3m落下時の衝撃荷重を設定しているが、設計基準値の設定の考え方について説明すること。

(回答)(1/3)

TK-26型は輸送貯蔵兼用容器であるため、輸送容器の一般の試験条件の評価条件である0.3m落下において、各構成部材に生じる応力が基準値を満足するように設計している。よって、TK-26型が緩衝体を装着した状態で落下した場合にフランジ側面に作用する反力を設計荷重(基準値)とし、津波及び竜巻による荷重がフランジ側面に集中した場合であっても、設計荷重よりも小さいことを確認することにより、TK-26型の構造健全性が維持されることを確認した。上記設計荷重を用いることの妥当性については以下のとおりである。

(1) フランジ側面に作用する荷重値

- ✓ 図4-1に示すように設計荷重(2.88×10^4 kN)のうちフランジ側面に作用する荷重は 1.50×10^4 kNである。
- ✓ 一方、津波荷重は 5.77×10^3 kN、竜巻荷重は 8.55×10^3 kNであり、設計荷重はこれらを包絡している。

(2) フランジ側面に作用する荷重と作用範囲

- ✓ 兼用キャスク告示より、漂流物として質量100t級の船舶を想定するが、漂流物の大きさに関する規定はない。一方、竜巻による設計飛来物となるトラック(4.75t)の寸法が規定されている。
- ✓ 津波荷重については、船舶(100t)からの荷重作用範囲は、図4-2に示すようにトラック(4.75t)の作用幅(1.9m)及び設計荷重の作用幅()mより十分大きいと考えられる。荷重が同じ場合でも作用範囲が小さい方が厳しくなることから、ここでは安全側に船舶(100t)からの荷重作用幅を設計荷重作用幅と同じと仮定すると、津波荷重は 5.77×10^3 kNとなり、フランジ側面に作用する設計荷重(1.50×10^4 kN)に包絡される。
- ✓ 竜巻荷重については、トラック(4.75t)の作用幅1.9m分に対応する設計荷重は 1.45×10^4 kNであり、竜巻荷重(8.55×10^3 kN)は、この設計荷重に包絡される。



(回答) (2/3)

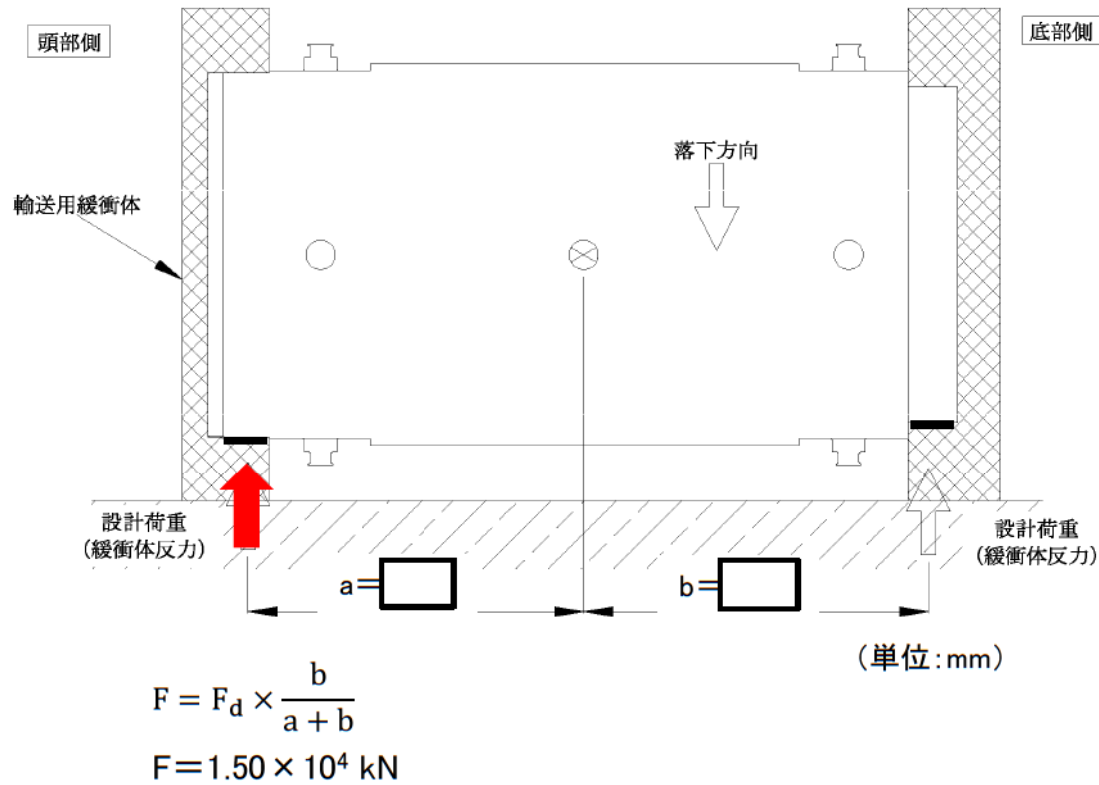


図4-1 設計荷重の作用状態

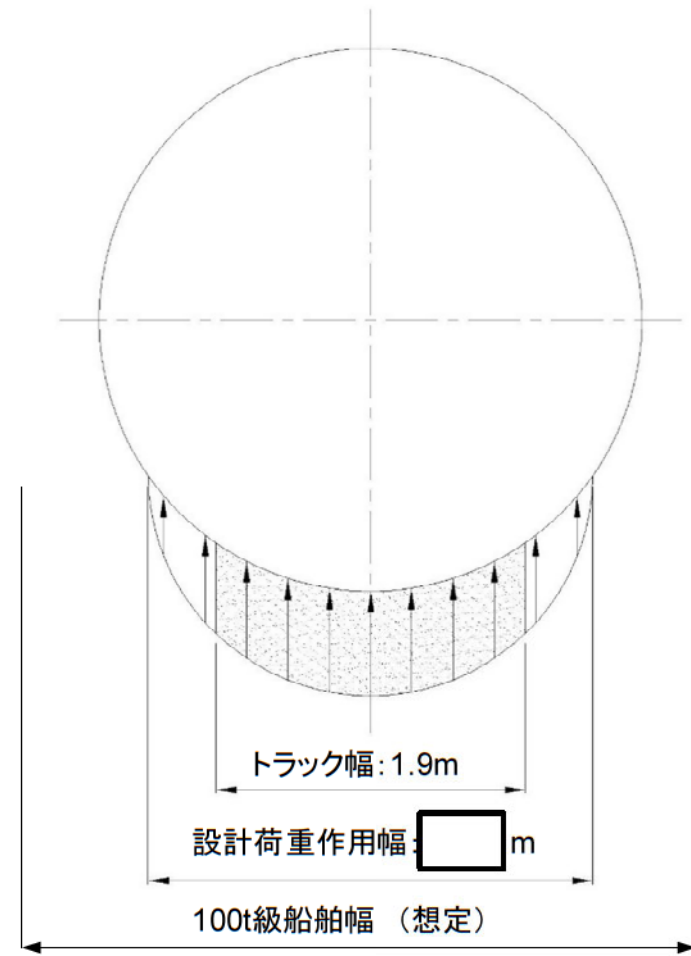
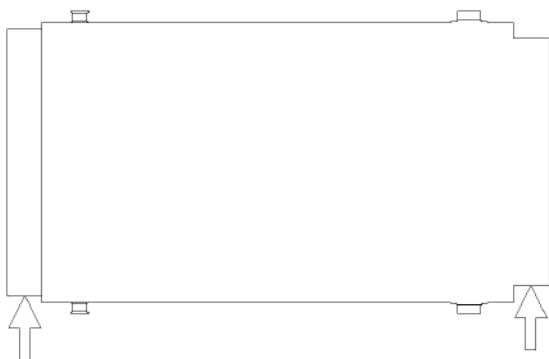


図4-2 設計荷重及び設計飛来物(トラック)の作用範囲

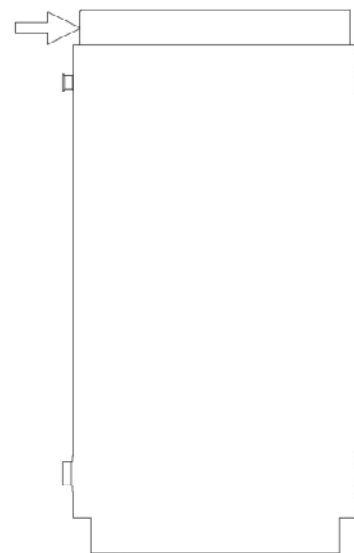
(回答) (3/3)

(3) 姿勢の違いによる設計荷重の適用性

- ✓ 図4-3に示すように設計荷重作用時と、津波荷重／竜巻荷重作用時では姿勢が異なる。
- ✓ TK-26型キャスクに作用する径方向荷重は、(1)に述べたようにフランジ側面に作用する設計荷重が、津波荷重／竜巻荷重を包絡している。
- ✓ 軸方向荷重については、津波荷重／竜巻荷重作用時には自重が作用するのに対して、設計荷重作用時は軸方向荷重は作用しない。しかしながら、自重による荷重は設計荷重の約1/25であり、設計荷重と比べて十分小さいことから、自重による機能維持評価への影響はない。
- ✓ したがって、縦置き姿勢で津波荷重／竜巻荷重が作用する事象に対して、横置き姿勢で設計荷重が作用する状態を評価に用いることの適用性に問題はない。



(a) 設計荷重における荷重条件



(b) 津波荷重／竜巻荷重における荷重条件

図4-3 設計荷重及び津波荷重／竜巻荷重における荷重条件の比較

(コメントNo.5)

MCNP5による解析結果の信頼性を確認するために「tally fluctuation charts」で判断しているとのことであるが、具体的な評価内容がわかるように説明を補足すること。

(回答) (1/3)

tally fluctuation chartsは、MCNP5コードの出力データの1つであり、最終ヒストリに至るまでの、タリーの統計上重要な値の変動チャートである。tally fluctuation chartsにおいて、統計指標が「yes」の範囲から「no」の範囲に変化する前後での線量当量率の値が大きく変化しないこと等を確認して、解析結果は信頼性のあるものと判断している。ここでは、17×17燃料(A型)収納時の底部径方向表面の中性子線量当量率(表面の最大値)の評価例を一例として示す。

(1) 10個の統計指標の判定例

このタリーの10個の統計指標のアウトプットデータを図5-1に示す。このタリーでは、10個の統計指標のうち、以下に示すとおり4個の統計指標が「no」となっている。

```

results of 10 statistical checks for the estimated answer for the tally fluctuation chart (tfc) bin of tally      122
tfc bin      --mean--      -----relative error-----      ----variance of the variance----      --figure of merit--      -pdf-
behavior     behavior      value  decrease  decrease rate  value  decrease  decrease rate  value  behavior  slope
desired      random      <0.10  yes      1/sqrt(nps)    <0.10  yes      1/nps          constant  random      >3.00
observed     random      0.00   no       no             yes     no       no             constant  random     
passed?      yes        yes    no       no             yes     no       no             yes       yes

```

(注) 17×17燃料(A型)収納時の底部径方向表面の中性子線量当量率(表面の最大値)の例(MCNPアウトプットより抜粋)

relative error (相対誤差)	relative errorの値が単調に減少すること。
	relative errorの値が $1/N^{0.5}$ で減少すること。
variance of the variance (相対誤差の相対変化)	variance of the varianceの値が単調に減少すること。
	variance of the varianceの値が $1/N$ で減少すること。

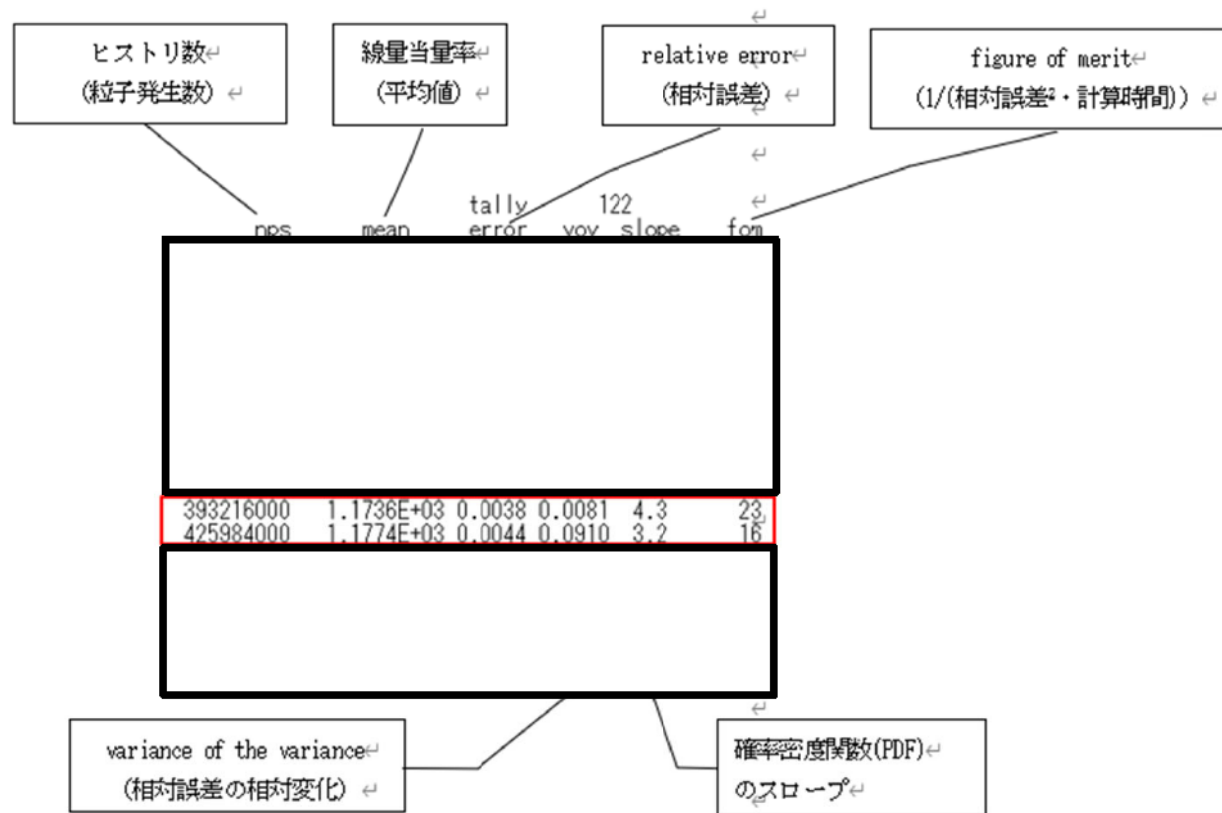
図5-1 10個の統計指標の判定例

(回答) (2/3)

(2) tally fluctuation charts (変動チャート) の例

このタリーのtally fluctuation chartsを図5-2に示す。

- ヒストリ数が393216000から425984000の間にrelative errorが0.0038から0.0044に増加しており、VOVも大きく増加している。(weightの大きな粒子がタリーに到達したためと考えられる。)
- このため、統計指標の4個が「no」と判定されたと考えられるが、この時の線量当量率(mean)の変化は3.8(=1177.4-1173.6)でありerror (relative error × mean=0.0044 × 1177.4=5.2) 程度である。



(注) 17×17燃料(A型)収納時の底部径方向表面の中性子線量当量率(表面の最大値)の例(MCNPアウトプットより抜粋)

図5-2 tally fluctuation chartsの例

(回答) (3/3)

(3)統計指標の変動の例

このタリーの統計指標の変動の例を図5-3に示す。
ヒストリ数 425984000以降の統計指標の変動チャートを見ると、meanの値はほぼランダムであり、relative error(相対誤差)及びvariance of the variance(相対誤差の相対変化)は単調に減少している。よって、大きな変動のあったヒストリ数以降においては、「no」になった統計指標についてもその判定条件にほぼ合致した傾向を示していると考えられる。

上記の内容を補足説明資料16-3遮蔽機能に関する説明資料の別紙1に追記した。



(a) mean(平均値)



(b) relative error(相対誤差)



(c) Variance of the variance(相対誤差の相対変化)

(注) 17×17燃料(A型)収納時の底部径方向表面の中性子線量当量率(表面の最大値)の例(MCNPアウトプットより作成)

図5-3 統計指標の変動の例

(コメントNo.6)

閉じ込め監視構造の説明が概要PPT資料に記載されているが、補足説明資料16-5の別紙4にも追加すること。

(回答)

補足説明資料16-5の別紙4の「5.蓋間圧力の監視構造例」の項目を設け、以下の内容を追加した。

- ✓ 蓋間空間の圧力を正圧に維持し、その圧力を監視することにより使用済燃料集合体等を内封する空間と外部とを隔離できる設計であること。
- ✓ 圧力センサ(圧力計)の交換が必要となった場合であってもTK-26型の蓋間空間と圧力センサ(圧力計)の間の一次バルブを閉とすることで、蓋間圧力を維持した状態で圧力センサ及び圧力センサケーブルの保守及び交換が可能であること。

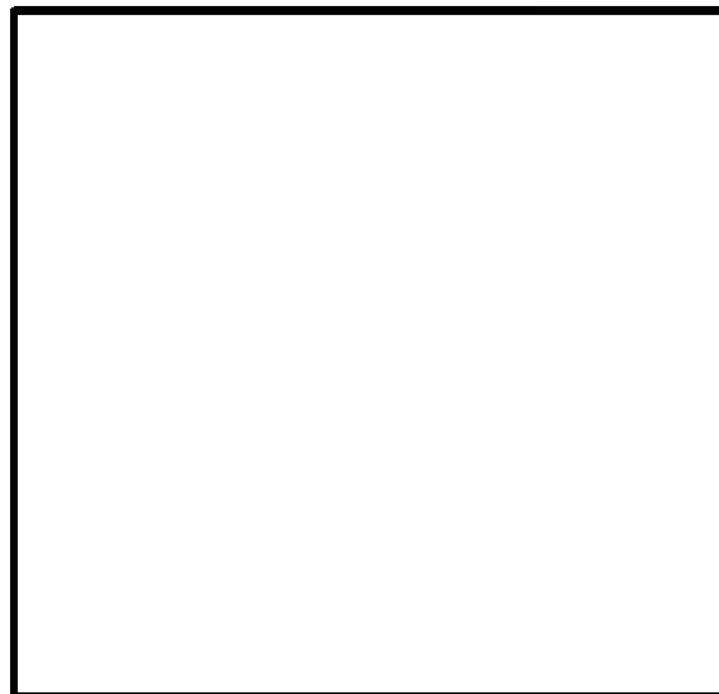
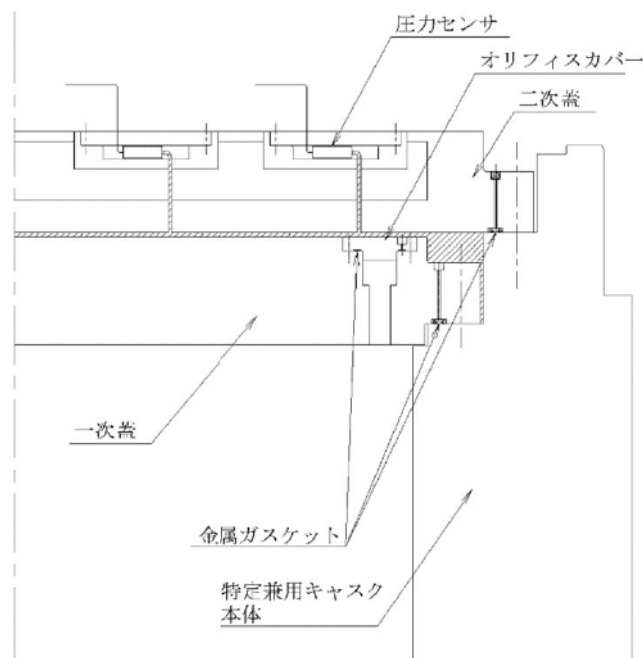


図6-1 蓋間圧力の監視構造例

補正申請における主な変更点について

No.	項目		申請書の記載内容	補正申請における変更内容	変更理由	備考
1	添付書類一第1-2表(1/2)	15×15燃料、39,000MWd/t型の初期濃縮度	3.2wt%以下	3.5wt%以下	誤記修正	ウラン濃縮度の最大値を記載すべきところ最小値を記載していた。
2	添付書類一第1-2表(2/2)	17×17燃料、39,000MWd/t型の初期濃縮度	3.0wt%以下	3.7wt%以下	同上	同上
3	添付書類一第1-3表(2/2)	15×15燃料、バーナブルポイズン集合体の照射期間			同上	17×17燃料のバーナブルポイズン集合体の照射期間を記載していた。
4	添付書類一2.2.3項	除熱機能に係る設計方針	(記載なし)	TK-26型の外表面温度を測定できる設計とすることを追記する。	設計方針の明確化	設置許可基準規則の要求事項に対する対応の明確化。
5	添付書類一第1-6表	竜巻荷重の評価結果	8.45×10^3 kN	8.55×10^3 kN	記載の適正化	飛来物荷重に風圧による荷重を加えた合計値とする。

燃料被覆管の周方向応力について

□ 燃料被覆管周方向応力の制限値

- 燃料被覆管の水素化物再配向による機械特性の低下が生じない条件は、275°C以下、かつ、100MPa以下と評価されている⁽¹⁾。

□ TK-26型収納物の被覆管周方向応力の評価

- 17×17燃料については、制限値(100MPa以下)を満足するが、15×15燃料については、現状のTK-26型の仕様では制限値を満足できないことが判明した。

□ 今回の事象が発生した背景

- 設計当初の評価条件では基準値を満足する結果であった。しかしながら、審査ヒアリングにおけるコメントを受けて評価条件を再確認したところ、被覆管の初期内圧の条件が適切でないことが分かった。これを見直して再評価した結果、15×15燃料については制限値を満足できないことが判明した。

□ 今後の対応方針

- 燃料仕様の見直し、バスケット内の収納位置制限等により、制限値(100MPa以下)を満足する条件設定を検討する。

	評価結果	今後の対応方針
17×17燃料	制限値(100MPa以下)を満足する。	—
15×15燃料	制限値(100MPa以下)を満足しない。	燃料仕様の見直し、バスケット内の収納位置制限等を検討する。

(1) (独)原子力安全基盤機構、“平成18年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)”、(2007)

