

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

コメント管理票及びコメント回答 (第十六条関連)

2023年8月29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票

No.	コメント日	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)	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。	—	未	次回以降の審査会合で回答する予定。
2	#22審査会合 (2023/2/7)	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。	—	未	次回以降の審査会合で回答する予定。
3	#22審査会合 (2023/2/7)	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。	—	未	次回以降の審査会合で回答する予定。
4	#22審査会合 (2023/2/7)	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。	—	未	自然現象(津波・竜巻)の説明の際に回答する予定。
5	#26審査会合 (2023/6/22)	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。	—	未	次回以降の審査会合で回答する予定。

ヒアリングにおけるコメント管理票(1/6)



No.	コメント日	資料	区分	コメント内容	回答日	対応状況	コメント回答	備考
1-1	22ヒアリング (2023/3/30)	22-180-1-202 Rev.0 22-180-1-101 Rev.0	全般	39,000MWh/1型燃料の初期濃縮度について、運転機軸に関する補足説明資料と概要PPT資料に記載に漏れがないか確認すること。	2023/5/12	済	両資料の記載に漏れがないことを確認した。なお、39,000MWh/1型燃料の線厚強度計算条件に記載のウラン濃縮度は保守的に低めの設定としたものである。	
1-2	24ヒアリング (2023/5/12)	22-180-1-202 Rev.1 22-180-1-101 Rev.1	同上	390燃料の濃縮度は一部の初装荷燃料も含むとのことであるが、その場合480燃料の初期濃縮度の設定と考え方が異なることになるので、設定の考え方について説明すること。	2023/5/29	済	安全機能設計では480燃料で代表して実施しているが、その設計条件に包摂される範囲で390燃料の初装荷燃料も含めることとした。	
1-3	25ヒアリング (2023/5/29)	22-180-1-103 Rev.1	同上	別紙1-2表(3/3)の濃縮度に関する(注4)の記載が分かり難いので再度見直すこと。	2023/5/22 審査会合用資料に反映	済	運転解析で代表燃料としている17×17燃料の48,000MWh/1型の線厚強度に包摂される範囲で濃縮度を保守的に小さく設定したことを追記した。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.2)
2-1	22ヒアリング (2023/3/30)	22-180-1-103 Rev.0	運転	ピーキングファクター(PF)の設定根拠、保守性等について説明すること。	2023/5/29	済	OECD/NEAのデータと比較してTK-28型のPFが保守的に設定されていることを説明した。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.1)
2-2	25ヒアリング (2023/5/29)	22-180-1-303 Rev.1	運転	コメントNo.2及びNo.19の回答で、ピーキングファクター(PF)設定の保守性について、現状運転の補足説明資料に記載されていないが、今後追記するかどうか検討すること。	2023/5/22 審査会合用資料に反映	済	運転及び炉心の補足説明資料にPF設定の保守性について追記した。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.2) 補足説明資料16-4 (22-180-1-104 Rev.2)
2-3	25ヒアリング (2023/5/29)	22-180-1-303 Rev.1 22-180-1-103 Rev.1	運転	コメントNo.2の回答で、ピーキングファクター(PF)の図の左の領域で、OECD/NEAデータが設計PFを超えている箇所がある。それぞれでノード分割幅が異なることが原因か？そうであれば、その旨説明を追加すること。	2023/5/22 審査会合用資料に反映	済	運転の補足説明資料の別紙5にノード分割幅が異なっていること、全体的なPF設定の保守性に影響するものではないことを追記した。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.2)
3-1	22ヒアリング (2023/3/30)	22-180-1-103 Rev.0	運転	MCNP5による解析条件、評価方法、及び評価結果の妥当性について説明すること。また、評価結果に統計誤差を併記すること。	2023/5/29	済	TK-28型のMCNP5コードによる運転評価の方法をとり説明した。 ・分数減速方法としてウェイト・ウィンドウを使用 ・ウェイト・ウィンドウ・パラメータの設定に補助コードとしてADVANTGコードを使用 ・TK-28型の表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率の分布をFME3Hタリーで確認 ・FME3Hタリーで最大線量当量率となる箇所を確認し、その評価点に半径5cm又は半径10cmの面積出力を設置して再解析 ・MCNPコードの10個の統計指標及び全体的な線量当量率分布の連続性により評価結果が妥当であることを判断	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.1)
3-2	25ヒアリング (2023/5/29)	22-180-1-303 Rev.1	運転	解析結果の妥当性に関する説明で「FME3Hタリーによる線量当量率分布の結果とよく合っている」と記載されているが、定量的な記載ができないか検討すること。	2023/5/22 審査会合用資料に反映	済	面積出力による解析結果が対応するFME3Hタリーの結果と数%以内の範囲で合っていることを記載した。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.2)
3-3	25ヒアリング (2023/5/29)	22-180-1-303 Rev.1	運転	MCNPの解析結果が、MCNPの10個の統計指標を全て満足しない場合、その妥当性をどのように判断しているのか説明を追加すること。	2023/5/22 審査会合用資料に反映	済	tally fluctuation chartsにより、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判断していることを追記した。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev.2)

ヒアリングにおけるコメント管理票(2/6)

No.	コメント日	資料	区分	コメント内容	回答日	対応状況	コメント回答	備考
3-4	#25審査会 (2023/6/22)	22-180-I-P202 Rev. 0 22-180-I-103 Rev. 2	進捗	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。	2023/7/21	済	補足説明資料16-3の別紙1に、別紙1-4図を追加してtally fluctuation charts（最終リ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）による評価例を補足追加した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 2) 補足説明資料16-3 C2-180-I-103 Rev. 3) 2023年6月22日の#25審査 会会で受けたコメント
3-5	#7ヒアリング (2023/7/21)	22-180-I-302 Rev. 2 22-180-I-103 Rev. 3	進捗	上記の説明をグラフを使う等、可能な限り平易な用語を用いて分かりやすく説明すること。	2023/8/29	本日回答	tally fluctuation chartsによる解析結果の妥当性評価について、グラフ等を用いて説明を充実させた。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 3) 補足説明資料16-3 C2-180-I-103 Rev. 4)
4-1	#2ヒアリング (2023/3/30)	22-180-I-103 Rev. 0	進捗	解析モデルで、燃料集合体をバスケット格子内で均質化しているとのことであるが、燃料ピンを均質化することによる計算結果への影響について説明すること。	2023/5/29	済	燃料集合体をバスケット格子内で均質化することにより、側面方向の線量当量率に影響しないことを参考文献により説明した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 1)
4-2	#5ヒアリング (2023/5/29)	22-180-I-303 Rev. 1	進捗	コメントNo. 4-1の回答で、燃料領域を均質化することによる線量当量率への影響について、側面方向だけでなく軸方向への影響の有無についても検討すること。	2023/7/21	済	燃料集合体をバスケット格子内で均質化してモデル化した場合の軸方向の線量当量率は、均質化しない場合のそれより若干保守的な結果となることを参考文献により説明した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 2)
5	#2ヒアリング (2023/3/30)	22-180-I-103 Rev. 0	進捗	MCNP5コードの適用妥当性説明について、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」を参照しているが、その位置づけを明確にし説明ロジックの筋を通すように見直しすること。	2023/8/29	本日回答	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」に示されている4つのエレメントについて、MCNP5コードの開発元であるLANLの文庫等を参照してそれらを満足することを確認した。また、TNI2/2型輸送キャスクの実測値と解析値を比較した文庫からTK-26型への適用が妥当であることを確認した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 3) 補足説明資料16-3 C2-180-I-103 Rev. 4)
6-1	#2ヒアリング (2023/3/30)	22-180-I-103 Rev. 0	進捗	中性子遮蔽材の質量減損の評価方法について試験データ等を含めて説明すること。	2023/5/29	済	参考文献の評価式により質量減損を評価していること、ガス分析結果から特定の成分が選択的に発生しているのではないことから密度全体で質量減損を考慮していることが妥当であることを説明した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 1)
6-2	#5ヒアリング (2023/5/29)	22-180-I-302 Rev. 1	進捗 長期健全性	コメントNo. 6-1の回答で、中性子遮蔽材の質量減損を密度全体に対して考慮しているとのことであるが、その妥当性又は保守性について、ガス分析結果と関連付けた説明を検討すること。（例えば、中性子遮蔽に最も寄与する水素に着目した検討等）	2023/7/21	済	中性子遮蔽機能に最も寄与する水素に着目した場合、遮蔽解析で考慮している水素減損量は、ガス分析の結果から評価した水素減損量よりも大きく、中性子遮蔽材の質量減損を密度全体に保守的に□として考慮していることが保守的な設定であることを確認した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 2)
6-3	#5ヒアリング (2023/5/29)	22-180-I-302 Rev. 1	同上	コメントNo. 6-1の回答で、LMPによる質量減損のグラフが示されているが、TK-26型の中性子遮蔽材のLMPが僅かに外挿になっている可能性がある。質量減損の評価にこの評価式を用いる場合の適用条件の妥当性について説明すること。	2023/7/21	済	TK-26型の使用環境における中性子遮蔽材のLMPは、試験データ範囲から推定に外挿領域にある。これは、TK-26型の使用条件におけるLMPの評価において、初期温度を遮蔽解析で得られる最高温度143℃から評価基準値である150℃に保守的に切り上げて評価しているためである。なお、中性子遮蔽材の初期温度を143℃として評価すると試験データの内挿範囲にあることを確認している。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 2)
6-4	#7ヒアリング (2023/7/21)	22-180-I-302 Rev. 2 22-180-I-103 Rev. 3	同上	No. 6-2のコメント回答の結果を受けて、遮蔽機能に関する補足説明資料に、レジン質量減損についてH元素に着目した評価の結果、保守的に設定されていることを追記すること。	2023/8/29	本日回答	現状のレジン質量減損の考慮の仕方が、H元素に着目して保守的な設定となっていることを遮蔽機能に関する補足説明資料、及び材料・構造健全性（長期健全性）に関する説明資料に追記した。	添付回答資料 C2-180-I-302 Rev. 3) 補足説明資料16-3 C2-180-I-103 Rev. 4) 補足説明資料16-6 C2-180-I-105 Rev. 2)

ヒアリングにおけるコメント管理票(3/6)

No.	コメント目	資料	区分	コメント内容	回答日	対応状況	コメント回答	備考
7	22ヒアリング (2023/3/30)	22-180-1-101 Rev. 0 22-180-1-103 Rev. 0 22-180-1-202 Rev. 0	全般	バーナブルポイズンの収納位置の説明が分かりづらいので関連する箇所の記載を見直しすること。	2023/5/12	済	補足説明資料16-1(22-180-1-101)：図9でバーナブルポイズンの収納位置を使用済燃料集合体と分けて記載した。 補足説明資料16-3(22-180-1-103)：表1のバーナブルポイズンの冷却期間の解析条件の欄の表記を見直した。また、別紙1-3表(2/2)の注1の表記を見直した。 概要PPT(22-180-1-202)：貯蔵する使用済燃料集合体の種類の頁からバーナブルポイズンに関する記載を削除した。また、収納物の収納位置でバーナブルポイズンの記載を燃料集合体と別にした。	補足説明資料16-1 (22-180-1-101 Rev. 1) 補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev. 1) 概要PPT (22-180-1-202 Rev. 1)
8-1	22ヒアリング (2023/3/30)	22-180-1-202 Rev. 0	運搬	概要PPT(運搬)の運搬解析条件の欄にはWCPで評価した仕様のみを記載し、その代表性(補強強度の検討による)については注記等で説明した方が分かりやすい。また、バーナブルポイズンの解析条件のうち冷却期間の記載が分かり難いので記載を見直しすること。	2023/5/12	済	当該の運搬解析条件の欄には、運搬解析の対象燃料である17×17燃料の条件のみを記載するように見直した。また、バーナブルポイズン集合体の冷却期間の記載を見直した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 1)
8-2	24ヒアリング (2023/5/12)	22-180-1-202 Rev. 1	同上	解析条件に書かれている燃焼度の不等号は不要ではないか検討すること。	2023/5/29	済	不要なので削除した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 2)
9	22ヒアリング (2023/3/30)	22-180-1-103 Rev. 0	運搬	別紙1-2表(3/3)でピーキングファクターの記載がないので追加すること。	2023/5/29	済	運搬機能に関する説明資料の当該表にピーキングファクターを追加した。なお、当初「その他の条件は別紙1-2表(1/3)及び別紙1-2表(2/3)と同じである。」と注記して省略していたものである。	補足説明資料16-3 (22-180-1-103 Rev. 1)
10	23ヒアリング (2023/4/21)	22-180-1-202 Rev. 0	全般	TK-26型の概要、収納物仕様、運用条件等については、参考資料として、概要PPT資料の後ろに添付すること。	2023/5/12	済	概要PPT資料の後ろに参考資料として添付した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 1)
11	23ヒアリング (2023/4/21)	22-180-1-202 Rev. 0	全般 (閉じ込め)	設置許可基準規則(第十六条)に対する適合性の概要の閉じ込め機能に対する設計方針と設計の妥当性の説明は、型式証明申請書の表現と整合させること。	2023/5/12	済	型式証明申請書の表現に合わせて記載を見直した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 1)
12	23ヒアリング (2023/4/21)	22-180-1-202 Rev. 0	全般 (臨界防止)	臨界防止機能の審査ガイドの内容確認の表の中性子吸収材の効果に対する対応で、非均質性の記載を簡潔書きにして詳細に記載すること。	2023/5/12	済	中性子吸収材の非均質性に関する記載を追加した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 1)
13-1	23ヒアリング (2023/4/21)	22-180-1-202 Rev. 0 22-180-1-102 Rev. 0	全般 (臨界防止)	中性子実効増倍率は、17×17燃料と15×15燃料それぞれを収納した条件で評価されているが、これらの燃料を混載した場合についての評価結果を記載すること。	2023/5/12	済	17×17燃料と15×15燃料それぞれを収納した場合の中性子実効増倍率は同じであり、両者を混載した場合でも同等になる旨追加した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 1)
13-2	24ヒアリング (2023/5/12)	22-180-1-202 Rev. 1	同上	「17×17燃料及び15×15燃料収納時で中性子実効増倍率は同じ」としているが、「同等」等の表現に改めること。	2023/5/29	済	コメント持参して表現を修正した。	概要PPT (22-180-1-202 Rev. 2) 補足説明資料16-2 (22-180-1-102 Rev. 1)
13-3	24ヒアリング (2023/5/12)	同上	同上	17×17燃料と15×15燃料の相互作用について技術的な説明を追加すること。	2023/7/21	済	4体の燃料集合体による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。その結果、これらの燃料間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。	添付回答資料 (22-180-1-302 Rev. 2) 補足説明資料16-2 (22-180-1-102 Rev. 3)
13-4	27ヒアリング (2023/7/21)	22-180-1-302 Rev. 2 22-180-1-102 Rev. 3	同上	No.13-3の回答を受けて、29体収納するTK-29型の体系での中性子実効増倍率にも影響がないと考えられる主旨の説明を臨界防止に関する補足説明資料に追加すること。	2023/9/29	本日回答	今回行った燃料集合体4体の配列組合せによる中性子実効増倍率は、TK-29型の冠水状態の値とほぼ同等であり、29体収納は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。	添付回答資料 (22-180-1-302 Rev. 3) 補足説明資料16-2 (22-180-1-102 Rev. 4)

ヒアリングにおけるコメント管理票(4/6)

No.	コメント日	資料	区分	コメント内容	回答日	対応状況	コメント回答	備考
14-1	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev. 0	全般 (除熱)	除熱機能の設置許可基準規則の要求事項及びその対応の表で、TK-20型の外表面温度を測定できる設計とすることが記載されているが、型式証明申請には記載されていないので表記の整合を図ること。	2023/5/12	済	外表面温度を測定について、除熱機能に関する補足説明資料の別紙4-2表に表面温度測定作業に関して例示されていることを注4に追加した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev. 1)
14-2	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-202 Rev. 1	同上	温度測定作業に関する注4の記載を補正申請時に申請書に追加する等の記載に見直すこと。	2023/5/29	済	注4の記載を補正申請時に申請書に追加することと記載を見直した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev. 2)
14-3	#4ヒアリング (2023/5/12)	同上	同上	温度測定ができる設計について、先行のサイト外貯蔵の型式証明申請書に記載されているか？	2023/5/29	済	表面温度測定をする設計についての直接的な記載はなかった。ただし、外表面側面は凹凸が殆どない円筒形状であり熱電対等の接触式の温度測定装置を設置できる設計対応が可能なることは自明である。 なお、使用済燃料貯蔵施設の前接条件において、「貯蔵庫屋は、金属キャスクを貯蔵する貯蔵区域、金属キャスクの搬入、及び検査等を行う受入れ区域、及び金属キャスクの差圧圧力監視装置、及び表面温度監視装置等の検出器からの情報を表示、記録する表示装置が取り付けられる付帯区域から構成される。」との記載があり表面温度測定することを前提としている。	-
15	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev. 0	全般 (除熱)	除熱機能の審査ガイドの内容確認の表の貯蔵庫屋の除熱評価の補足内容に、型式証明申請書に記載されていない内容が含まれているので削除すること。	2023/5/12	済	コメント採承して応答復旧の体制についての記載を削除した。これに関連して、審査機能の審査ガイドの内容確認についても同様の記載を削除した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev. 1)
16	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev. 0	全般 (除熱)	解析に使用した崩壊熱が軸方向温度分布を考慮して最大崩壊熱量(17.2kW/基)を上回る設計発熱量を適用すると記載されているが、保守的な条件設定としているように読めるので表現を適正化すること。	2023/5/12	済	「上回る」という表現は削除した記載に見直した。なお、温度分布の設定には保守性がある。	概要PPT (22-180-I-202 Rev. 1)
17-1	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev. 0	全般 (除熱)	概要PPTで配置を適切に考慮した旨記載されているが、その内容がないので追加すること。 解析モデルが適切にモデル化されていることを実形状と比較する等により丁寧に記載すること。	2023/5/12	済	配置については、容器の配列ピッチが3.5mであることを追加した。 モデル化については、実形状と解析モデルの比較を参考資料として追加した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev. 1)
17-2	#4ヒアリング (2023/5/12)	同上	同上	実形状と解析モデルを比較した参考資料を補足説明資料16-4にも追加すること。	2023/5/29	済	補足説明資料16-4(16-22-180-I-104_R1)の別紙1の別添3に追加した。	補足説明資料16-4 (22-180-I-104 Rev. 1)
18	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-102 Rev. 0	臨界防止	臨界防止の説明資料の別紙1で、感度解析について記載されているが、定性的に安全側である傾向が予め分かっている安全側の条件設定をしたのか、或いは計算してみないと分からないので感度解析を実施して安全側の条件を設定したのか、説明方針が分かり難いので適宜見直すこと。 また、別紙1-1表で17×17燃料収納時の感度解析結果が記載されているが、15×15燃料について要否含め検討すること。	2023/5/29	済	別紙1の感度解析の説明を充実させ、17×17燃料の感度解析結果をベースにして行った15×15燃料の感度解析について追加した。	補足説明資料16-2 (22-180-I-102 Rev. 1)

ヒアリングにおけるコメント管理票(5/6)

No.	コメント日	資料	区分	コメント内容	回答日	対応状況	コメント回答	備考
19-1	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev.0 22-180-I-104 Rev.0	耐熱	中性子遮蔽材の評価結果と基準値について、保守性の考え方も含めて説明すること。	2023/5/12	済	中性子遮蔽材の最高温度は定部中性子遮蔽材の結果であること、定部の境界条件を耐熱としていることについて回答した。	添付回答資料 (22-180-I-302 Rev.0) 補足説明資料16-4 (22-180-I-302 Rev.2) 2023年2月7日の審査会で受けたコメント。次回審査会で回答予定。
19-2	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-202 Rev.1	同上	定部耐熱条件とすることによる裕度を定量的に評価できなかつたこと。また、中性子遮蔽材の温度基準値の設定根拠として他の文献等の情報がなく検討すること。	2023/5/29	済	定部中性子遮蔽材の評価温度の保守性に対する定量的な評価として、燃焼度分布の設定の保守性を考慮した検討を行った。また、中性子遮蔽材の示差熱分析結果を追加し評価基準値の妥当性を示した。	添付回答資料 (22-180-I-302 Rev.1)
20	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev.0 22-180-I-104 Rev.0	耐熱	発熱量が最大となる17×17燃料（A型）を代表して耐熱解析を行っているが、燃料被覆管の温度が6×6燃料のそれと比較して高いと言えるか検討すること。	2023/7/21	本日回答	発熱量が最大となる17×17燃料（A型）を収納した場合のバスケット格子材の最高温度を境界条件として16×16燃料（A型）の被覆管温度を評価した結果254℃であり、17×17燃料（A型）の温度（255℃）以下であることを確認した。	添付回答資料 (22-180-I-302 Rev.2) 補足説明資料16-4 (22-180-I-104 Rev.3)
21	#3ヒアリング (2023/4/21)	22-180-I-202 Rev.0 22-180-I-104 Rev.0	耐熱	被覆管の温度が基準値よりも低いと評価されているが、水素化物再配向の観点では被覆管の周方向応力も確認する必要があるため、合わせて確認すること。	次回以降		—	
22	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-202 Rev.1	全般 (耐熱、長期健全性)	温度評価した上で、部位の表記を耐熱（p.24）と長期健全性（p.33）で揃えること。また、各部位の材料を追加すること。	2023/5/29	済	コメント採録して表現を修正した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev.2)
23	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-105 Rev.0	閉じ込め	圧力監視について、必要に応じてHe充填の可能性があるとこのことであるが、その考え方も加味して説明すること。	2023/5/29	済	閉じ込め補足説明資料16-5に記載の別紙4の内容を概要PPTに追加した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev.2)
24	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-105 Rev.0	閉じ込め	圧力監視装置の構造図(例)を追加すること。	2023/5/29	済	閉じ込め補足説明資料16-5に圧力監視装置の構造図(例)を追加した。	補足説明資料16-5 (22-180-I-105 Rev.1)
25	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-202 Rev.1	全般 (耐熱、長期健全性)	「範囲に納める」→「範囲に収める」に修正すること。	2023/5/29	済	コメント採録して表現を修正した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev.2)
26	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-202 Rev.1 22-180-I-106 Rev.0	長期健全性	金属バスケットのL脚に関して、定数0.920又は1.4のどちらが妥当であるかの観点で再検討すること。	2023/5/29	済	添付回答資料参照。	概要PPT (22-180-I-202 Rev.2)
27	#4ヒアリング (2023/5/12)	22-180-I-202 Rev.1 22-180-I-106 Rev.0	長期健全性	中性子遮蔽材の放射線の線量が吸収線量（8y）になっていることについて補足を加えること。	2023/5/29	済	注記を追加した。	概要PPT (22-180-I-202 Rev.2) 補足説明資料16-6 (22-180-I-106 Rev.1)

ヒアリングにおけるコメント管理票(6/6)

No.	コメント日	資料	区分	コメント内容	回答日	対応状況	コメント回答	備考
28	#5ヒアリング (2023/5/29)	22-180-I-202 Rev. 2	除熱	除熱設計に関しては、配列ピッチ3.5mは設計条件となるので、設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件に追記すること。	2023/6/22 審査会合用 資料に反映	済	除熱設計に関しては、配列ピッチ3.5mは設計条件となるので、設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件に追記した。	概要PPT 22-180-I-P202 Rev. 0
29	#5ヒアリング (2023/5/29)	22-180-I-202 Rev. 2	閉じ込め	閉じ込め設計に関して、周囲温度は設計条件となるので、設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件に追記すること。	2023/6/22 審査会合用 資料に反映	済	閉じ込め設計に関して、周囲温度は設計条件となるので、設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件に追記した。	概要PPT 22-180-I-P202 Rev. 0
30	#5ヒアリング (2023/5/29)	22-180-I-102 Rev. 1	臨界防止	別紙1-1(a)表及び別紙1-1(b)表で、バスケット格子材の幅が2種類記載されているが、当該格子材の幅が2種類あることが分からないので、注記等でその旨記載すること。	2023/6/22 審査会合用 資料に反映	済	別紙1-1(a)表及び別紙1-1(b)表で、バスケット格子材の幅が2種類あることを注記に追加した。	補足説明資料16-2 (22-180-I-102 Rev. 2)
31	#6ヒアリング (2023/6/29)	22-180-I-203 Rev. 0 22-180-I-107 Rev. 0	アルミバスケット材	B-L材の概要PPT資料で、TTP線図及びSLP線図の見方について、理解しやすいように説明を補足すること。	2023/8/29	本日回答	当該PPT資料に説明を追加した。	B-L材の概要PPT (22-180-I-203 Rev. 1)
32	#6ヒアリング (2023/6/29)	22-180-I-203 Rev. 0 22-180-I-107 Rev. 0	アルミバスケット材	Wg添加量が上限の1.4mass%の場合、設計作業期間中に析出するかどうか検討し、もし、析出する場合は、析出物が材料特性に及ぼす影響の有無について評価すること。	2023/8/29	本日回答	90年後に析出する可能性のある坩の最大値は、0.1mass%と評価された。坩を過剰に添加した試料の試験結果から、この析出物による機械的特性への影響がないと評価した。	添付回答資料 (22-180-I-302 Rev. 3) 補足説明資料16-7 (22-180-I-107 Rev. 1)

(No.2-1)

ピーキングファクターの設定根拠、保守性等について説明すること。

(回答)

TK-26型の線源強度の計算に使用したピーキングファクター(PF)は電力事業者から開示された条件である。なお、OECD/NEAから提供されているPWR使用済燃料の軸方向燃焼度分布データベース⁽¹⁾より本申請の燃料と同等の燃料型式[]、かつ遮蔽評価の対象とする燃料と同等の集合体平均燃焼度[]の使用済燃料の軸方向燃焼度分布を抽出し、本申請で考慮したPFと比較し、TK-26型に適用したPFが保守的であることを確認した。なお、TK-26型に適用したPFは、**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て平均値は[]であり、燃料有効部全体で[]高く評価している。**

上記の内容を補足説明資料16-3(22-180-I-103 Rev.1)の別紙5に追記した。



(1)R.J.Cacciapouti, S.Van Volkinbourg, "AXIAL BURNUP PROFILE DATABASE FOR PRESSURIZED WATER REACTORS", YAEC-1937, (1997)



(No.3)

MCNP5による解析条件、評価方法、及び評価結果の妥当性について説明すること。また、評価結果に統計誤差を併記すること。

(回答)

TK-26型のMCNP5コードによる遮蔽評価の方法は以下の通りである。

- 分散低減方法としてウェイト・ウィンドウを使用
- ウェイト・ウィンドウ・パラメータの設定に補助コードとしてADVANTGコードを使用
- TK-26型の表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率の分布をFMESHタリーで確認
- FMESHタリーで最大線量当量率となる箇所を確認し、その評価点に半径5cm又は半径10cmの面検出器*を設置して再解析
- MCNPコードの10個の統計指標及び全体的な線量当量率分布の連続性により評価結果が妥当であることを判断

*)線量当量率の変動が僅かである側面中央の表面及び表面から1m離れた位置における評価では半径10cm、それ以外の評価点では半径5cmとした。

上記の内容を補足説明資料16-3(22-180-I-103 Rev.1)に追記すると共に評価結果に統計誤差を併記した。



(No.3-4)

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。

(No.3-5)

上記の説明をグラフを使う等、可能な限り平易な用語を用いて分かりやすく説明すること。

(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3-1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      yes
passed?       yes        yes    no        no              yes     no        no             yes       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。

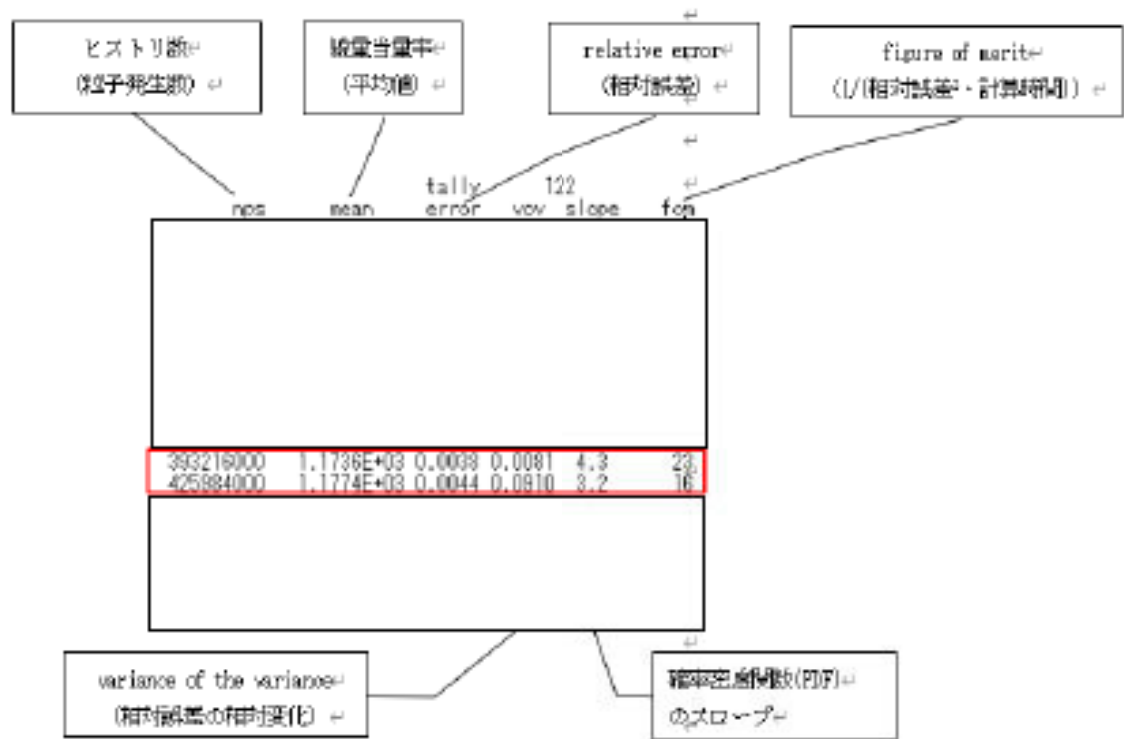
図3-1 10個の統計指標の判定例



(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3-2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3-2 tally fluctuation chartsの例

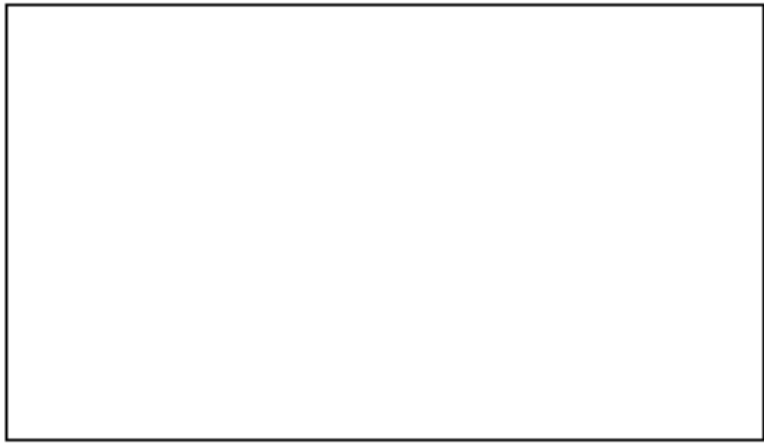
(回答) (3/3)

(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3-3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(22-180-I-103 Rev.4)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3-3 統計指標の変動の例

(No.4-1)

解析モデルで、燃料集合体をバスケット格子内で均質化しているとのことであるが、燃料ピンを均質化することによる計算結果への影響について説明すること。

(回答)

TK-26型の遮蔽解析ではバスケット格子内の燃料集合体を均質化している。参考文献(1)で、燃料集合体を詳細にモデル化する場合と均質化する場合の比較計算が行われており、バスケット格子内で燃料集合体を均質化した場合(Homogeneous model-2)と、燃料集合体を詳細にモデル化した場合(Detailed model)で、容器側面の表面から1mにおける中性子及びガンマ線の線量当量率に殆ど差がないことが確認されている。よって、TK-26型の遮蔽解析でバスケット格子内で燃料集合体を均質化することに問題はない。

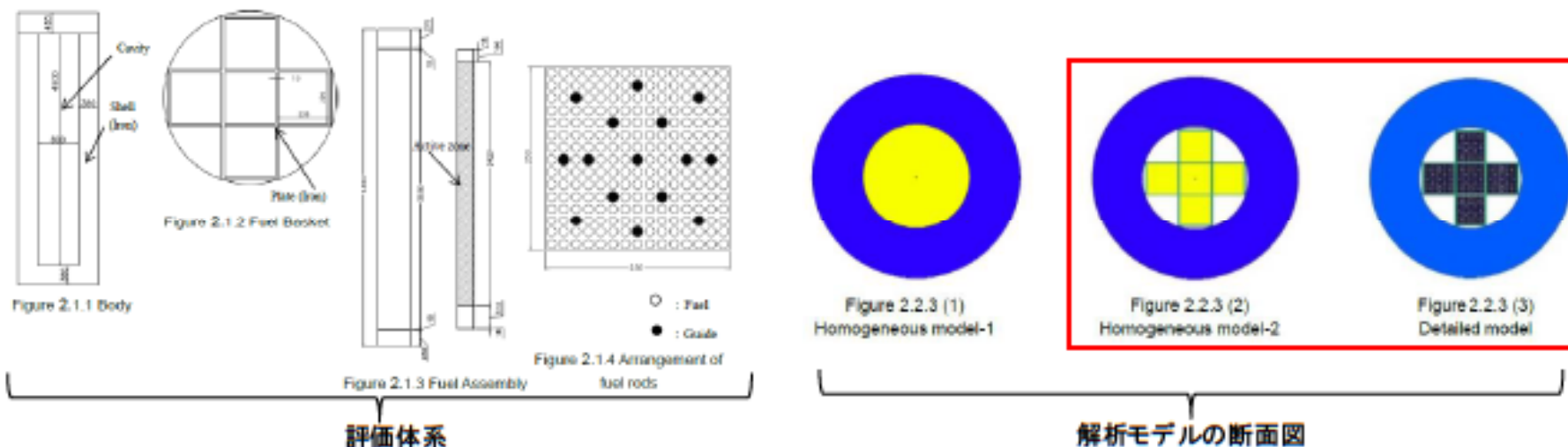


Table 2.2.4 Calculation result

Dose rate [μ Sv/h]	①Homogeneous model-1	②Homogeneous model-2	③Detail model	Ratio	
				②/①	③/①
Neutron MCNP	367	373	376	0.96	0.97
Gamma MCNP	31	27	26	0.87	0.84
Gamma QAD-CGGP2R	42	39	—	0.93	—

(1) A. Saito, et al., "Study of Analysis Methods of Shielding Calculation Codes for Casks" The 18th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2016, September 18-23, 2016, Kobe, Japan.

(No.4-2)

コメントNo.41の回答で、燃料領域を均質化することによる線量当量率への影響について、側面方向だけではなく軸方向への影響の有無についても検討すること。

(回答)

参考文献(2)で、模擬的な燃料集合体を詳細にモデル化(pin-by-pin)する場合とバスケット格子内で均質化する場合の比較計算がMCNPコードで行われており、容器側面方向及び軸方向共に均質化した場合の方が保守的な結果(Table 3で比率が1.0以上)となることが確認されている。よって、TK-26型の遮蔽解析でバスケット格子内で燃料集合体を均質化することに問題はない。

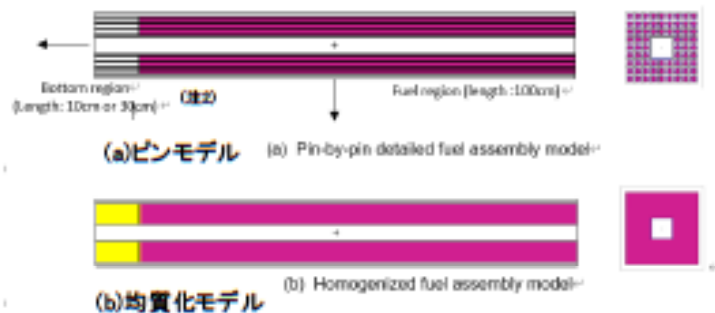


Figure 1. Comparison of fuel assembly model
Fig.1 燃料集合体モデル



Figure 3. homogenized cask geometry model
Fig.3 均質化キャスクモデル

Table 3 pin-by-pinモデルに対する均質化モデルの線量率の比(ガンマ線注1)
比(=均質化/pin-by-pin)

Table 3 Ratio of dose rate by homogenized model against pin-by-pin model for bundle of FAs calculation (Gamma)

Distance from FA (cm)	AL basket plate			SS basket plate		
	side	Bottom (注2)		side	Bottom (注2)	
		10cm	30cm		10cm	30cm
1	1.03	1.04	1.07	1.03	1.07	1.09
3	1.03	1.04	1.07	1.03	1.06	1.09
10	1.03	1.05	1.08	1.04	1.06	1.09
30	1.03	1.08	1.09	1.04	1.08	1.10
100	1.05	1.10	1.10	1.05	1.11	1.11
300	1.05	-	-	1.06	-	-

(注1)ガンマ線は⁶⁰Coの線源として設定。
(注2)10cm、30cmは、軸方向底部の構造材領域の長さ。

(注3) Fig.3で燃料集合体が均質化された場合の解析モデルのみ示されているが、pin-by-pinモデルの場合は、Fig.1(a)の燃料モデルを使って評価される。

(2) B. Lee, H. Taniuchi, et al., "Study of Appropriate of Contents of Casks for Monte Carlo Calculation", The 20th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM, 11-15 June 2023, Juan-les-Pins, France.

(No.5)

MCNP5コードの適用妥当性説明について、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」を参照しているが、その位置づけを明確にし説明ロジックの筋を通すように見直すこと。

(審査会合コメント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つのエレメントについて確認を実施した。これらの各エレメントについては、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)

- ✓ MCNP5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)}。
- ✓ 最新バージョンのリリースの際には、物理的モデル化の有効性並びに検証を含むリグレーションテスト^(注)及び、以前のバージョンにおける問題(バグ、出力形式、エラーチェック等)の修正が行われている⁽⁶⁾。

(注)機能追加やバグ修正などで解析コードの一部が改修された際に、それまでの動作に意図しない変更や問題が生じていないか確かめるテスト。

(3) 物理的モデル化(エレメント3)

- ✓ 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、パルス式中性子源からの検出器時間応答実測値、D-T核融合炉の遮蔽実験について、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)}。
- ✓ 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

(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)

- ✓ MCNP5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。なお、物理現象の試行には、信頼性の高い断面積ライブラリが必要であり、シミュレーションの予測性能を判断する上で重要なものとなる。
- ✓ 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と、可能な範囲で保守性を排除し実測値を再現する解を算出するための解析条件の2条件で、MCNP4Aコード^(注1)及びSAS4Mコード^(注2)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。2つの解析条件を表5-11に示す。両者の解析条件は、ほぼ同等である。

(注1) 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2) 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5-1 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) (5/8)

(5) TK-26型への適用妥当性の確認(つづき)

✓ TN12/2型輸送容器及び遮蔽解析モデルを図5-1及び図5-2にそれぞれ示す。

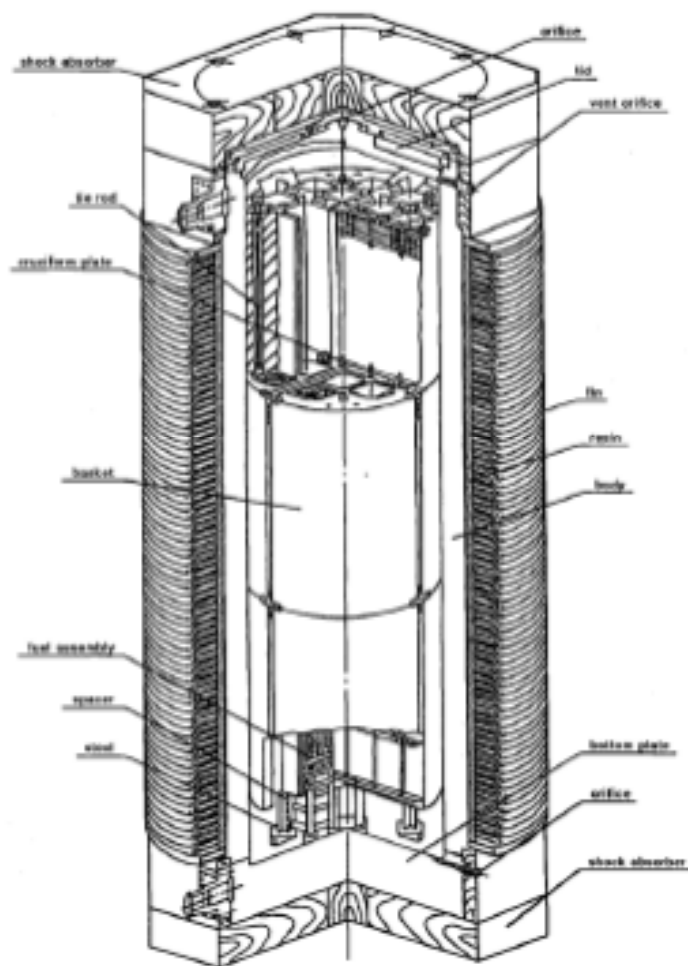


図5-1 TN12/2型輸送容器

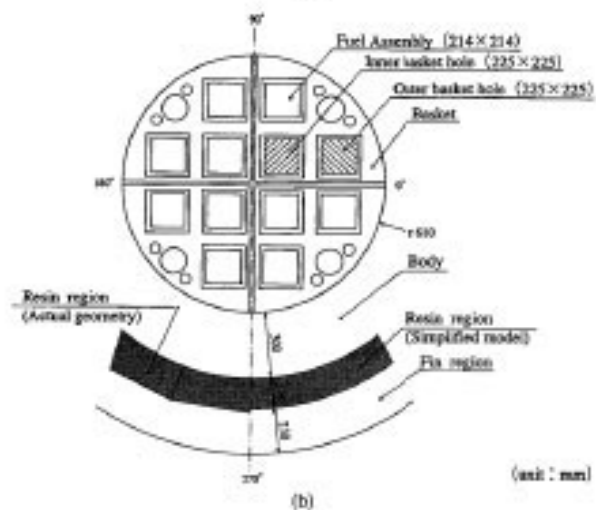
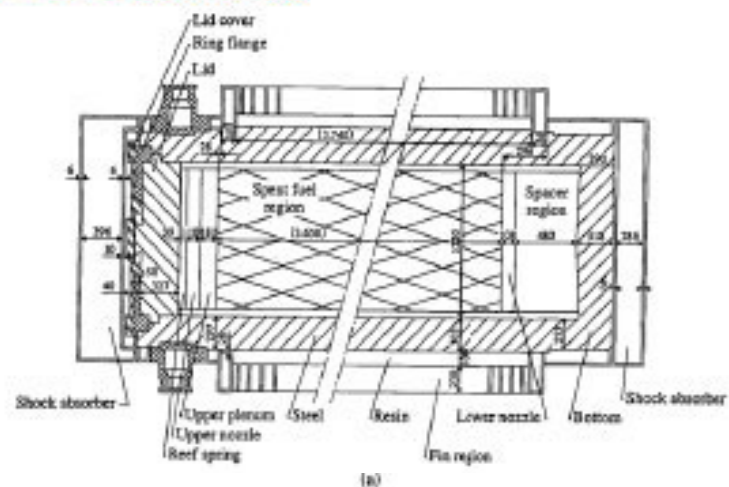
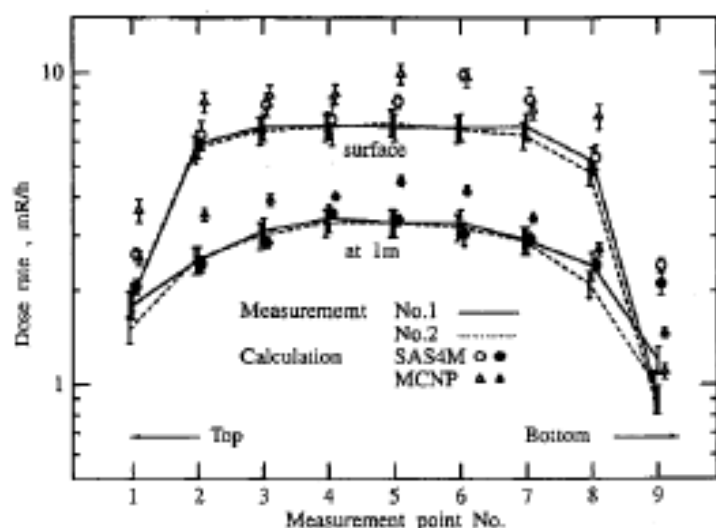


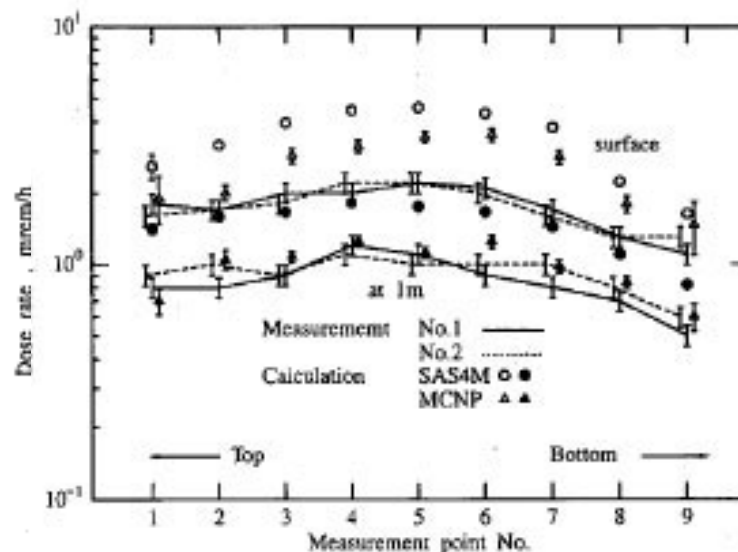
図5-2 TN12/2型輸送容器の遮蔽解析モデル

(5) TK-26型への適用妥当性の確認(つづき)

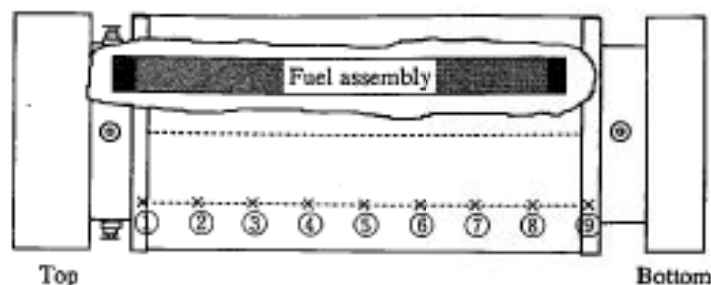
- ✓ 図5-3に示すとおり、輸送カスクの安全解析条件で解析が行われており、実測値との比較において全体的な線量当量率の分布傾向が概ね一致していることが確認されている。



(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5-3 TN-12/2型ベンチマーク解析評価結果

(5) TK-26型への適用妥当性の確認(つづき)

- ✓ 図5-3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。参考文献における実測値と解析結果(安全解析条件)との比較を表5-2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、緩衝体のパルサ材の密度、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⁶⁰Co不純物の設定等が考えられる。

表5-2 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)

(5) TK-26型への適用妥当性の確認(つづき)

- ✓ 以上のおり、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、測定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ことが確認されている。
- ✓ 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。
- ✓ なお、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、 ^{60}Co 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、本論文と同等の保守性を有していると考えられる。

[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)

(No.6-1)

中性子遮蔽材の質量減損の評価方法について試験データ等を含めて説明すること。

(回答) (1/2)

TK-26型に使用している中性子遮蔽材(以下、「本材料」という。)は、エチレンプロピレン系ゴム(EPDM)を主材にしたものである。参考文献(1)により、本材料は、10,000hまでの加熱試験(図6-1)により、ラーソン・ミラー・パラメータ(LMP)を劣化パラメータとした場合、質量減損率との間に直線的な関係があることが評価されている(図6-2)。この評価式を用いて設計貯蔵期間(60年)における中性子遮蔽材の質量減損を評価した。

なお、本材料の示差熱分析の結果(図6-3)から、本材料は250℃程度までは熱的変化が殆ど生じないことが確認されている。

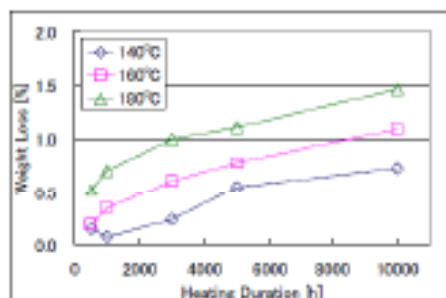


図6-1 長時間加熱による質量減損⁽¹⁾

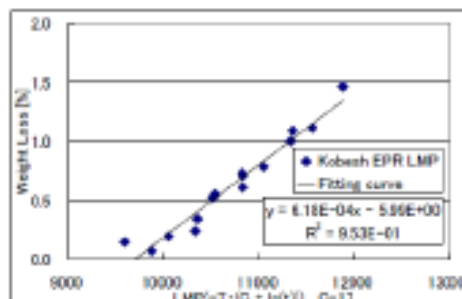


図6-2 LMPによる質量減損評価⁽¹⁾



図6-3 示差熱分析結果

(1) A. Oishi, et al., "Evaluation of Neutron Shielding Materials, TN VYAL B™ and KOBESH EPR™ Resin for Interim Storage Casks" The 17th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2013, August 18-23, 2013, San Francisco, CA, USA.

(回答) (2/2)

本材料を140℃で加熱した際の発生ガス分析結果を表6-1及び表6-2に示す。この結果のとおり発生ガスは一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素系のガスが主たる発生ガスである。本材料は、エチレンプロピレン系ゴム (EPDM) を主材にしたものであることから、前頁で評価した質量減損は本材料の密度全体に対して考慮している。

表6-1 GCによる発生ガス分析結果

--

表6-2 GC/MSによる発生ガスの半定量分析結果

--

(No.6-2)コメントNo.6-1の回答で、中性子遮蔽材の質量減損を密度全体に対して考慮しているとのことであるが、その妥当性又は保守性について、ガス分析結果と関連付けた説明を検討すること。
 (No.6-4)No.6-2のコメント回答の結果を受けて、遮蔽機能に関する補足説明資料に、レジンの質量減損についてH元素に着目した評価の結果、保守的に設定されていることを追記すること。

(回答)

本材料を140℃で加熱した際のGCによる発生ガス分析結果をベースに、中性子遮蔽機能に最も寄与するH元素に着目してその減損量を以下のとおり評価した。評価結果を表6-3に示す。なお、本評価では、発生ガスをGCにより測定されたガス成分(表6-1)のみを対象としているが、これは比較的低分子の炭化水素ガスの方がHの含有率が比較的高いことから保守的な評価条件になっていると考えられる。

$$H減損量(g/cm^3) = \square (g/cm^3) \times \square \% \times (\text{発生ガス成分の比率}) \times (\text{ガス成分中のH含有率})$$

ここで、 $\square (g/cm^3)$: 中性子遮蔽材の最低保証密度

$\square \%$: 熱による中性子遮蔽材の質量減損率

一方、TK-26の遮蔽解析では中性子遮蔽材の質量減損率を保守的に $\square \%$ に切り上げて、密度全体に対して考慮しているが、その場合のH減損量は、 $\square (g/cm^3)$ である。

以上より、本材料の質量減損の考慮の仕方は妥当であり、保守的に設定されている。

本評価結果の概要を補足説明資料16-3及び16-6に追記した。

表6-3 H減損量の評価結果

Table content is missing from the image

No.6-3

コメントNo.6-1の回答で、LMPによる質量減損のグラフが示されているが、TK-26型の中性子遮蔽材のLMPが僅かに外挿になっている可能性がある。質量減損の評価にこの評価式を用いる場合の適用条件の妥当性について説明すること。

(回答)

図6-1及び図6-2で評価された中性子遮蔽材の質量減損に関するデータのLMPの最大値は、試験温度180℃、試験時間10,000hより、 $11,877(=(180+273.15) \times (17+\ln 10,000))$ である。一方、TK-26の使用条件における温度低下を考慮した場合の中性子遮蔽材のLMPは約[](詳細には[])であることから、試験データの範囲から極僅かに外挿域にある。これは、TK-26型の使用条件における中性子遮蔽材のLMPの評価では、本材料の最高温度が143℃であるところを、基準値である150℃に切り上げて保守的に評価し、更に数値を切り上げて丸めたためである。この温度を143℃としてLMPを評価すると[]となり試験データの内挿範囲となることを確認している。これらの評価点と試験データとの関係を図6-3に示す。なお、上記外挿域は、試験データ範囲の上限LMP値に対して、LMPが[]の場合に[]程度、LMPが[]の場合に[]と極僅かであり、評価式を適用することに問題ないと考えられる。

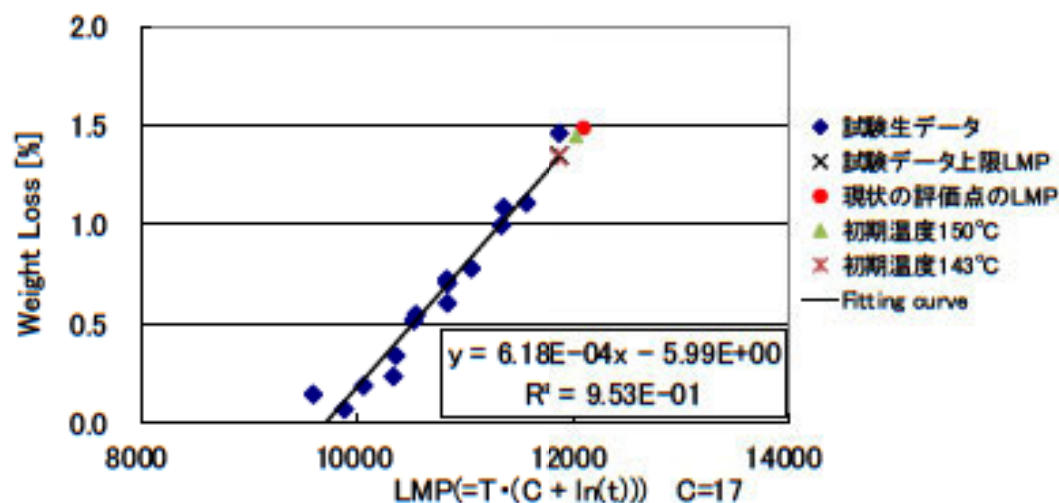


図6-3 LMPによる質量減損評価

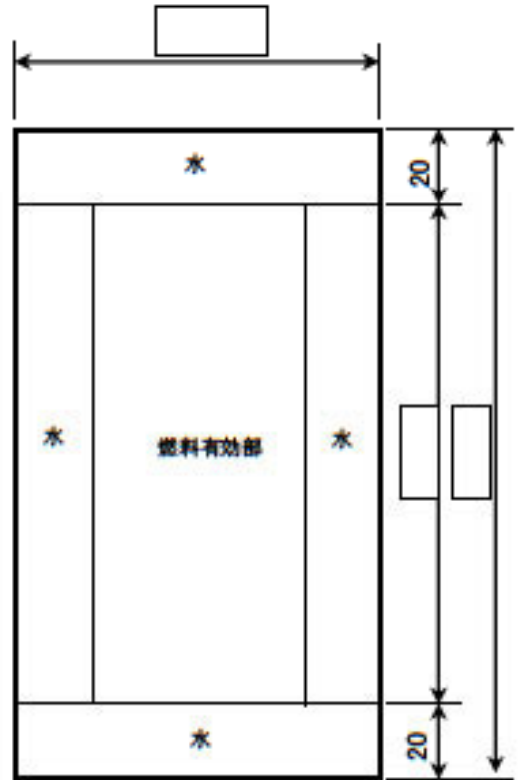
(No.13-3)
 17×17燃料と15×15燃料の相互作用について技術的な説明を追加すること。
 (No.13-4)
 No.13-3の回答を受けて、26体収納するTK-26型の体系での中性子実効増倍率にも影響がないと考えられる
 主旨の説明を臨界防止に関する補足説明資料に追記すること。

(回答) (1/2)

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。評価条件を表
 13-1、評価モデルの縦断面図を図13-1に示す。

表13-1 評価条件

	評価化条件	備考
燃料有効部長さ	<input type="text"/> 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	<input type="text"/> 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



(単位: cm)

図13-1 評価モデルの縦断面図

(回答) (2/2)

評価した4体の燃料集合体の配列ケースを図13-2、評価結果を表13-2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が確認された。

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の別紙5に追加した。

表13-2 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

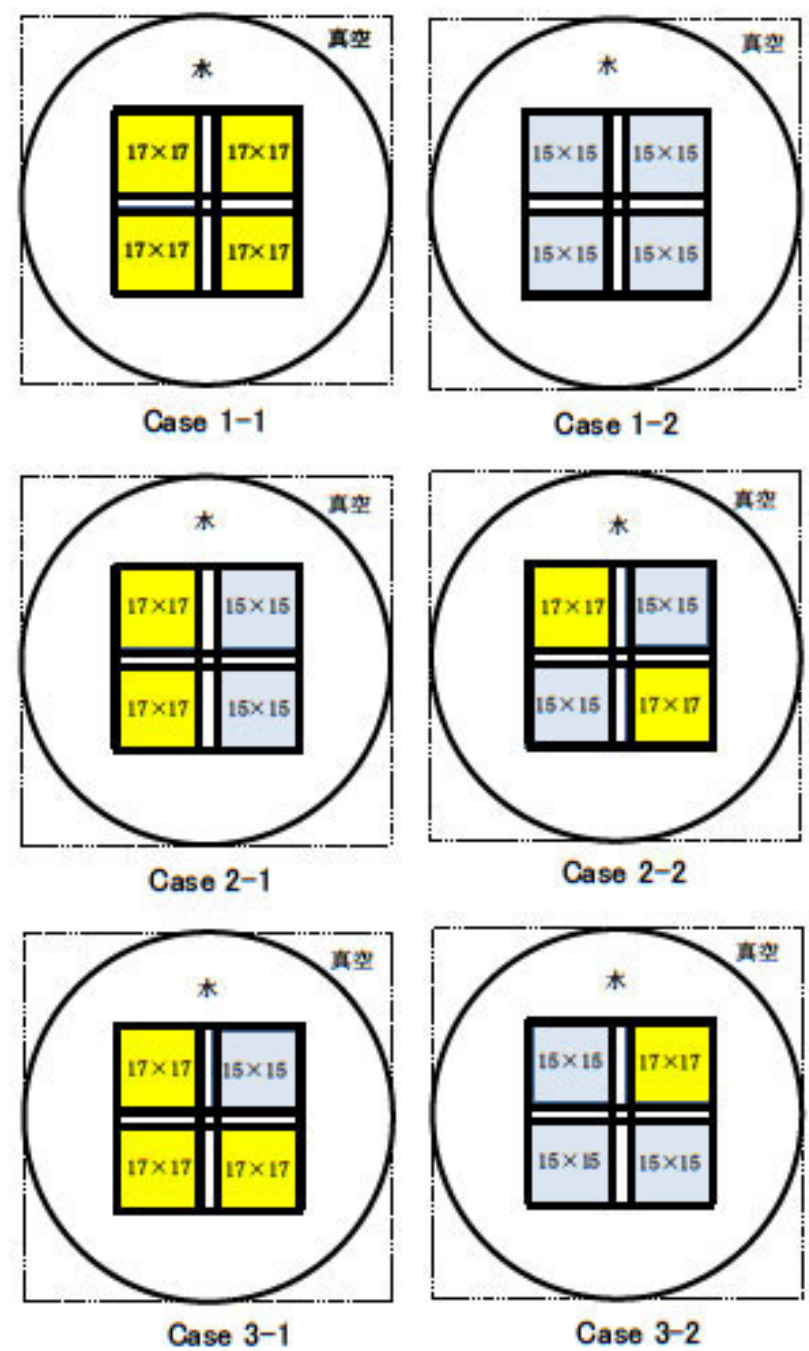


図13-2 燃料集合体の配列ケース p.29

(No.19)

中性子遮蔽材の評価結果と基準値について、保守性の考え方も含めて説明すること。

(審査会合コメント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19-1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19-1に示すように、燃烧度の平均値を1として規格化された軸方向燃烧度分布に対し、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°C)を基準にして推定すると、□°C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、軸方向燃烧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19-1 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°C	150°C ⁽¹⁾
	蓋部	102°C	
	底部	143°C	

(回答) (2/3)

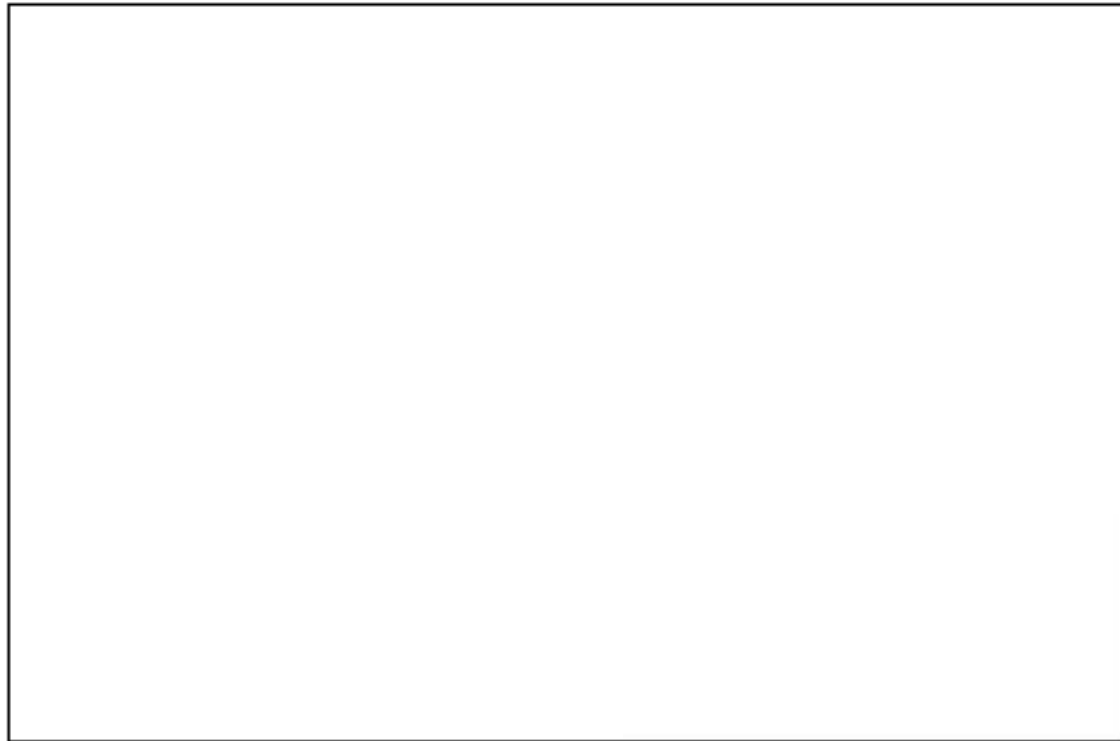


図19-1 軸方向燃焼度分布及び熱解析で考慮したピーキングファクター

(回答) (3/3)

基準値の温度(150℃)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。本文の抜粋を参考に示す。また、図19-2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℃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℃)	40~100
配合ゴムの物理	可能なJIS硬さ範囲	90~90
	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	○
耐屈曲さ裂性	○	
使用可能温度範囲(℃)		-50~150



図19-2 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)

(No.20)

発熱量が最大となる17×17燃料(A型)を代表して除熱解析を行っているが、燃料被覆管の温度が15×15燃料のそれと比較して高いと言えるか検討すること。

(回答)

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℃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℃となっている。保守的にバスケット格子材の最高温度225℃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結果、燃料被覆管の最高温度は254℃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 除熱機能に関する補足説明資料の別紙6に追記した。

燃料被覆管の
最高温度：
254℃

(単位:℃)



(No.26)

金属ガスケットのLMPに関して、定数Cが20又は14のどちらが妥当であるかの観点で再検討すること。

(回答)

金属ガスケットのLMPの定数Cは材料によって決まる定数である。金属ガスケットはニッケル基合金であるコイルスプリング及び内被材、アルミニウム合金である外被材で構成されており、これらの構成材料全体で最適化し設定された定数Cが20であるとされている⁽¹⁾。よって、本型式申請では定数Cが20の場合のLMPによる評価に統一し、型式証明申請書の添付書類一の記載については今後補正申請で補正することとする。

なお、材料・構造健全性(長期健全性)に関する補足説明資料16-6においては、複数の文献による異なる定数Cを用いたLMPの評価例も示すこととし、定数Cが14の場合の記載もそのまま残すこととする。

<参考文献>

(1) (一社)日本原子力学会、「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2021 (AESJ-SC-F002:2021)」、(2021)

(No.32)

Mg添加量が上限の1.4mass%の場合、設計貯蔵期間中に析出するかどうか検討し、もし、析出する場合は、析出物が材料特性に及ぼす影響の有無について評価すること。

(回答1/6)



1. 概要

- 60年基準線のMg添加量に対する感受性解析を行った結果、Mg添加量約1.3mass%が、60年後にMg化合物が析出する、又は、析出しないのしきい値となった。
- このため、Mg添加量が規定範囲上限値の1.4mass%である場合は、最大で0.1mass%(=1.4-1.3)の固溶Mgが減少し、その分のMg化合物が析出する可能性がある。
- このような組織変化が材料特性に及ぼす影響を、本材料に過剰にMgを添加した試料を時効処理し、Mg化合物を析出させた試料により評価した。
- 当該試料に対し実施した引張試験の結果は、想定し得るMg化合物の析出が材料特性に及ぼす影響を無視できることを示している。

(回答2/6)

2. 60年基準線のMg添加量に対する感受性解析

- 本材料に対する60年基準線について、Mg添加量に対する感受性解析を行った。この結果を、図32-1に示す。
- この図より、60年後にMg化合物が「析出する、又は、析出しない」のしきい値は、約1.3mass%であることが分かる。即ち、約1.3mass%以下では、Mg化合物は60年後でも析出しない。
- したがって、Mg添加量1.4mass%(規定範囲の上限値)では、最大で約0.1mass%(=1.4-1.3)に対応するMg化合物が析出する可能性がある。
- なお、許容応力は、Mg添加量を1.0mass%とした機械試験用供試材を用いて設定しているため、1.3mass%分の固溶強化が維持されていれば、材料強度が許容応力を下回ることはない。

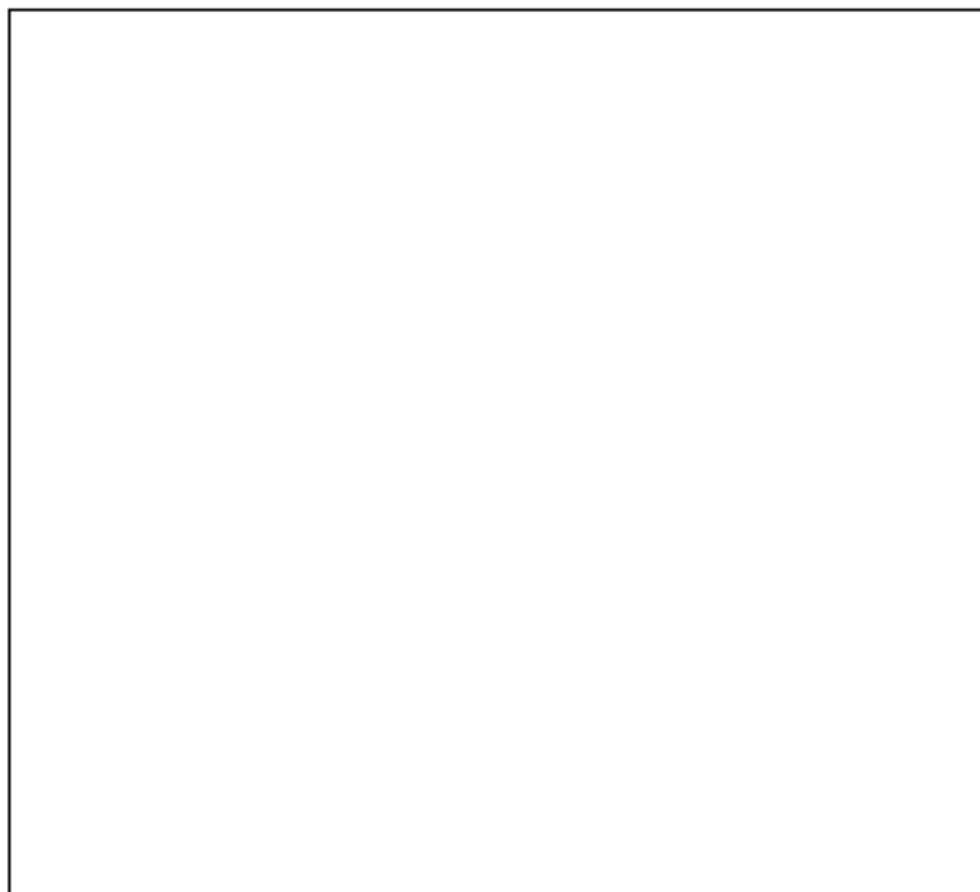


図32-1 60年基準線のMg添加量に対する感受性解析の結果

3. Mg化合物の析出が材料特性に及ぼす影響の評価(1/2)

- 前頁の検討結果より、0.1mass%Mgに相当するMg化合物の析出が材料特性に及ぼす影響を評価すればよいことがわかった。ただし、実機相当のMg添加量(1.0~1.4mass%)では、0.1mass%Mg分のMg化合物を析出させることは現実的ではない^{※1}。このため、本材料に過剰にMgを添加した材料(約3mass%)を時効処理し、Mg化合物を析出させた試料を用いて実施した引張試験の結果を用いて評価した。
- 比抵抗を測定した結果、3温度条件(125、150、175℃)で固溶Mg量の低下が認められた。ここでは、一例として、150℃で時効処理した試料について実施した引張試験の結果を図32-2に示す。この図には、Johnson-Mehl-Avramiの式^{※2}から評価した析出Mg量(=固溶Mgの減少量)と、これより評価される強度低下予測値(0.2%耐力及び引張強さのみ)^{※3}を合わせて示す。

(1)0.2%耐力及び引張強さについて

- いずれの温度条件においても、析出Mg量0.1mass%に相当する時点での0.2%耐力及び引張強さは、強度低下予測値を上回る結果となった。これは、Mg化合物による分散強化が影響している可能性がある。

(2)伸び及び絞りについて

- 伸び及び絞りは、いずれの温度条件においても、初期材の値と比較して、析出Mg量0.1mass%に相当する時点での有意な変化は認められなかった。なお、鉄鋼材料において、絞りは、シャルピー衝撃試験から得られる吸収エネルギー(靱性の指標)と相関関係があることが知られている^{3),4)}。したがって、60年後に0.1mass%のMgが析出した場合においても、靱性に及ぼす影響は無視できる。

※1 本材料及びAl-Mn-Mg合金に過剰にMgを添加した供試材について、Mg添加量が2mass%程度では、10,000時間の時効処理でもMg化合物は析出しないという結果が得られている^{1),2)}。この試験結果は、Mg添加量が2mass%程度以下の場合、Mg化合物を析出させるために、より長時間の時効処理が必要であることを示している。このことを踏まえれば、より過飽和度が低下する実機材相当のMg添加量でMg化合物を析出させる熱処理は、現実的に実施可能な試験条件の範囲では不可能と判断される。

※2 参照:補足説明資料16-7 別紙3。

※3 固溶強化による影響のみを考慮した。すなわち、Mg化合物の分散強化については考慮していない。



(回答4/6)

3. Mg化合物の析出が材料特性に及ぼす影響の評価(2/2)

- なお、本影響評価では、過剰にMgを添加した材料で時効処理試験を実施した結果を用いて説明しているが、これは、実機材と比較して、強度及び靱性(吸収エネルギー)の評価上、次に述べる理由から保守側となる。
- 実機材相当のMg添加量では、Mgの析出は今回実施した時効処理の温度より低い100°C前後の条件で生じるが、一般に、析出組織は熱処理温度が低い程微細になることが知られている。したがって、今回実施した時効処理条件は、析出組織を実機材より粗大にすると考えられ、強度及び靱性等の機械特性を安全側に評価する組織状態である。

4. 結論

- Mg化合物の析出は、Mg添加量が1.3mass%を超えた場合にのみ生じる可能性がある。ただし、許容応力は、Mg添加量1.0mass%の試料を用いて設定しているため、固溶Mg量の低下による強度低下は問題とならない。
- 60年後における析出Mg量の最大値は、0.1mass%(=1.4-1.3)と評価される。したがって、0.2%耐力と引張強さは、固溶Mg量0.1mass%分だけ低下する可能性がある。
- 本材料に過剰にMgを添加した試料の試験結果より、析出Mg量が0.1mass%(=固溶Mgの減少量が0.1mass%)となる時点における0.2%耐力と引張強さは、固溶Mg量の低下分から評価される値を上回る傾向が確認された。これは、Mg化合物の分散強化が寄与している可能性がある。
- 伸び及び絞りは析出Mg量が0.1mass%となる時点では、初期材からの有意な変化は認められなかった。絞りは、吸収エネルギーと相関関係があると知られていることを踏まえれば、0.1mass%のMgの析出が吸収エネルギーに及ぼす影響は無視できる。
- 以上より、供用期間において生じるMg化合物の析出は、強度及び靱性の指標となる吸収エネルギーの両方で、問題とならない。
- なお、伝熱性能の観点では、固溶Mg量が減少する場合、熱伝導率は増加する方向であるため、これも問題とならない。

<参考文献>

- 1) "Al-Mn-Mg合金における β 相の析出挙動に及ぼすMg添加量の影響とそのモデル化", 軽金属, 第70巻, 第2号, (2020), 43-50.
- 2) "Al-Mn-Mg-B合金における β 相の析出挙動に及ぼすB添加の影響", 軽金属, 第72巻, 第12号, (2022), 691-701.
- 3) 構造用鋼板の伸び能力について, 土木学会論文集, 第1968巻, 第152号, (1968), 34-38.
- 4) 鋼材の延性について, 圧力技術, 第16巻, 第2号, (1978), 102-110.



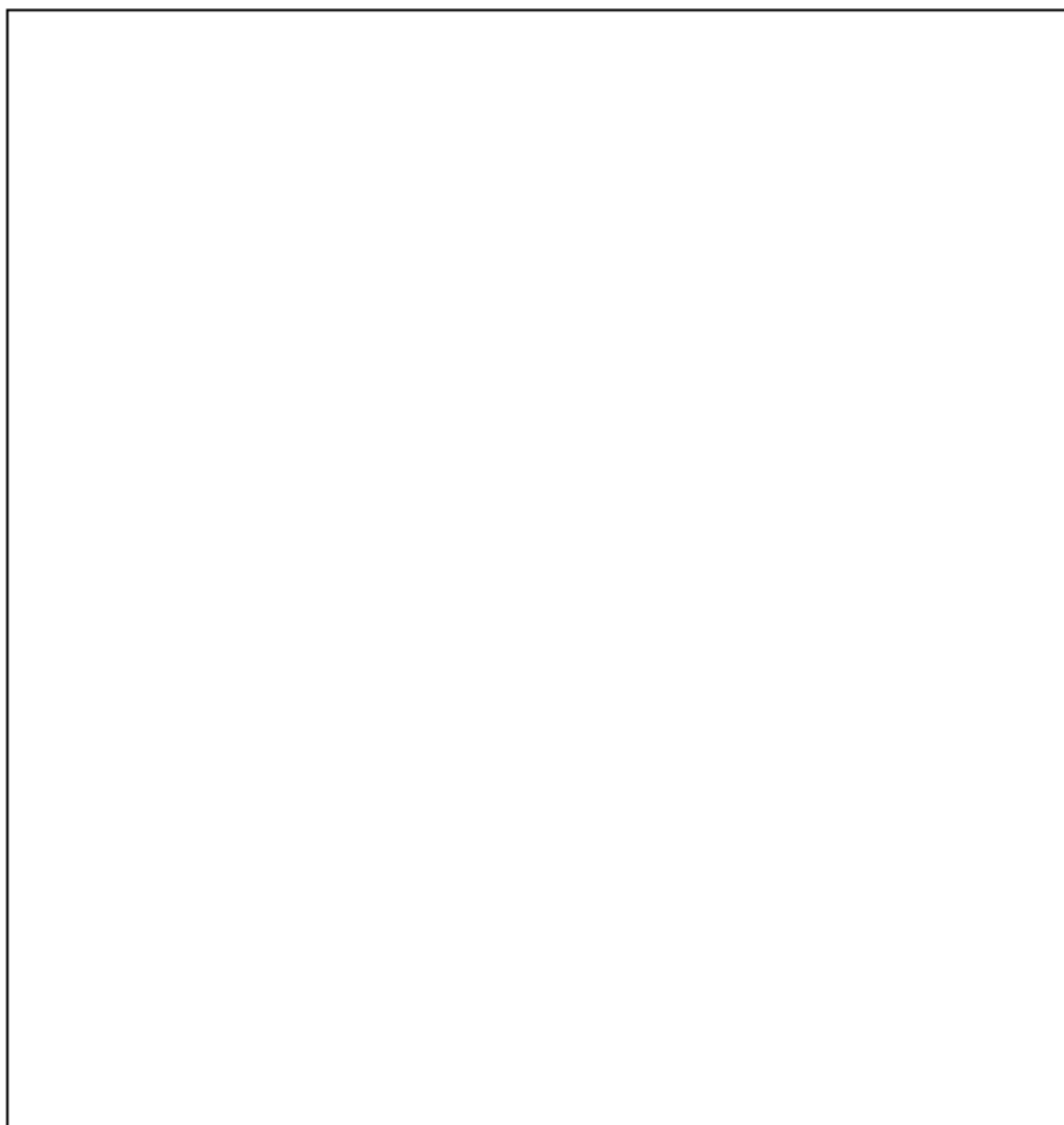


図32-2 供試材No.1-3Bの時効処理における引張特性の変化傾向(1/2)

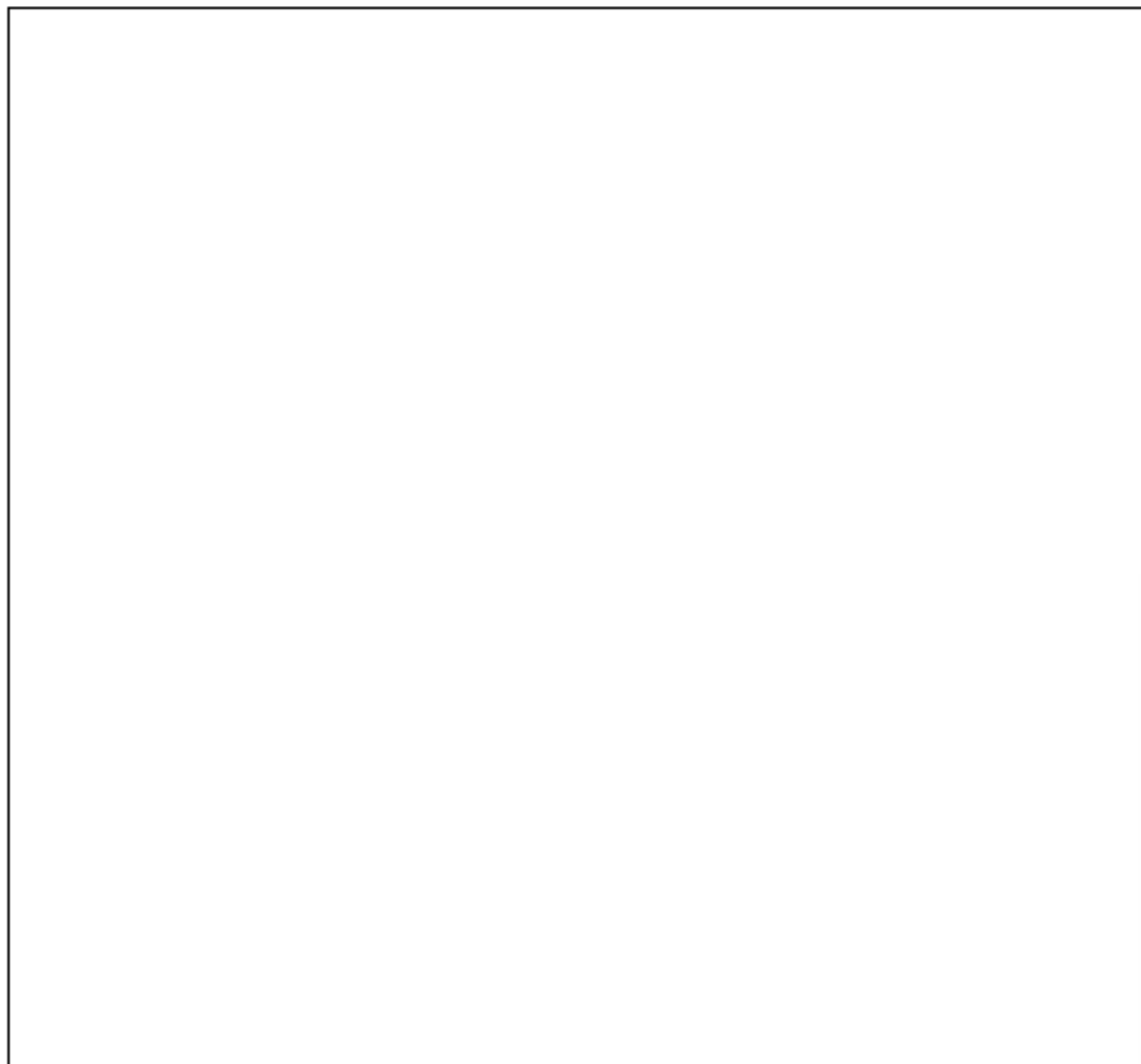


図32-2 供試材No.1-3Bの時効処理における引張特性の変化傾向(2/2)