

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

2024年2月1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)	済	臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込めの各機能設計で両燃料を混載した場合の結果が、それぞれの燃料が26体収納された場合の結果に包絡されることを説明した。
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)	済	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」及びTN12/2型輸送容器の実測値との比較解析に関する参考文献を参考に適用妥当性を説明した。
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)	済	底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裕度があることを説明した。また、中性子遮蔽材の示差熱分析結果から評価基準値の妥当性を説明した。
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)	済	フランジ側面に作用する荷重と作用範囲、及び姿勢の違いによる影響を検討し、設計基準値の妥当性について説明した。
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)	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、その後の統計指標の変動が安定していることを確認し判断していることを説明した。
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)	済	閉じ込め監視構造の説明を補足説明資料16-5の別紙4に追加した。



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
7	#28審査会合 (2023/11/2)	16条	経年変化	被覆管応力が100MPa以下を満足する条件と評価結果を示すこと。その際の評価条件は、除熱解析条件と整合性を図ること。	本日回答	—	15×15燃料を装荷する場合は、収納燃料に崩壊熱量制限を設けることにより、また、被覆管温度を三次元モデルで解析することにより、100MPa以下を満足することを確認した。また、除熱解析における被覆管温度についても三次元モデルを用いた評価とし整合を図った。
8	#28審査会合 (2023/11/2)	—	—	被覆管応力が100MPa以下を満足できないこととなった事象について、原因、QMS上の対策、水平展開等について説明すること。	本日回答	—	本件事象の発生原因、QMS上の対策、水平展開等についてこれらの概要をまとめた。

(審査会合コメント:No.7)

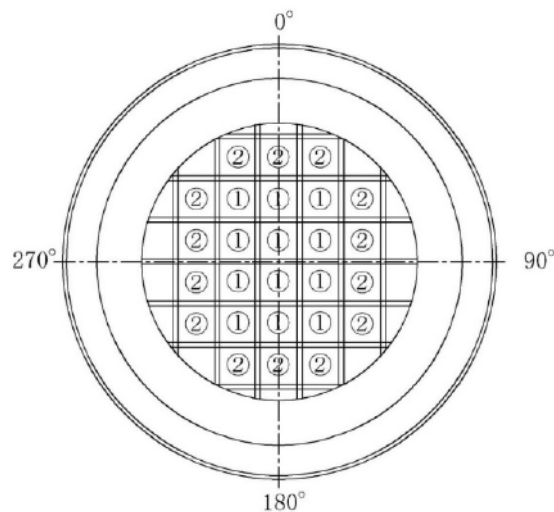
被覆管応力が100MPa以下を満足する条件と評価結果を示すこと。その際の評価条件は、除熱解析条件と整合性を図ること。

(回答1/6)

1. 崩壊熱量制限の設定

使用済燃料集合体をTK-26型に収納するにあたり、15×15燃料のみを収納する場合、又は、17×17燃料及び15×15燃料を混載する場合、使用済燃料集合体の崩壊熱量を以下のとおり制限する。ただし、燃料被覆管(以下、「被覆管」という。)の温度及び内圧評価においては、この制限値に対して5%の保守性を考慮する。なお、17×17燃料のみを収納する場合は、補足説明資料16-4の崩壊熱量と同じである。

- 特定兼用キャスク1基当たりの崩壊熱量 [] 以下
- 中央部(①)に収納する使用済燃料集合体の崩壊熱量 [] 以下
- 外周部(②)に収納する使用済燃料集合体の崩壊熱量 [] 以下



- ①: 燃焼度が48,000MWd/t以下(17×17燃料)、又は、47,000MWd/t以下(15×15燃料)の使用済燃料集合体の収納位置
- ②: 燃焼度が44,000MWd/t以下(17×17燃料)、又は、43,000MWd/t以下(15×15燃料)の使用済燃料集合体の収納位置

図7-1使用済燃料集合体の収納位置条件

(回答2/6)

2. 被覆管の内圧評価

被覆管の内圧は、TK-26型の三次元モデルによる熱解析の結果を用いて以下の方法で評価した。

- (1) 三次元モデルによる熱解析の結果から、最も温度が高くなるバスケット中央部に収納されている使用済燃料集合体の軸方向温度を抽出する。
- (2) 使用済燃料集合体の軸方向①～⑦の断面において(表7-1参照)、その周囲のバスケット格子材の温度を抽出する。
- (3) 上記(2)バスケット格子材の温度を境界条件として、燃料集合体モデルにより被覆管の最高温度を評価する。
- (4) 使用済燃料集合体の各断面における被覆管最高温度を基にして、上記(1)で求めた使用済燃料集合体の軸方向温度分布に合わせて、燃料有効部 及び上部プレナム部 の温度をそれぞれ求める。
- (5) 上記(4)で求めた各領域(i)の温度(T_i)と被覆管内空間体積(V_i)から平均内圧(P_a)を以下の式により求める。

表7-1 バスケット格子材の温度抽出位置

$$P_a = (P_0 \cdot V_0 / T_0) / \sum (V_i / T_i)$$

ここで、

- P_0 : 初期内圧 (MPa)
- V_0 : 被覆管内空間体積 (mm^3)
- T_0 : 初期温度 (K)
- V_i : 領域iの被覆管内空間体積 (mm^3)
- T_i : 領域iの被覆管温度 (K)

評価位置

(回答3/6)

3. 被覆管の周方向応力評価

(1)公称応力

燃料被覆管の周方向応力(σ)は、以下に示す薄肉円筒の周方向応力評価式を用いて公称応力条件^(注)で評価した。また、保守的に被覆管の肉厚が小さいA型燃料で代表して評価した。

$$\sigma = P_a \cdot D_a / 2t$$

ここで、

P_a : 被覆管内圧(MPa)

D_a : 被覆管平均径(mm)

t : 被覆管厚さ(mm)

公称応力条件における被覆管の平均内圧(P_a) の評価条件及び結果、被覆管周方向応力(σ)の評価条件及び結果を、表7-2及び表7-3にそれぞれ示す。表7-3に示すとおり、被覆管周方向応力は100MPa以下であることを確認した。

(注)公称応力とは、被覆管の腐食を考慮しない初期厚さで評価した周方向応力のことであり、参考文献(1)で水素化物再配向による機械的特性が低下しない条件として、周方向応力が公称応力で100MPa以下と評価されている。

(回答4/6)
 (1)公称応力(続き)

表7-2 被覆管内圧の評価条件及び結果(公称応力)

項目	記号(単位)	17×17燃料	15×15燃料	備考
崩壊熱量				17×17燃料:PFを考慮したA型燃料の崩壊熱量
初期内圧				15×15燃料:PFを考慮した制限崩壊熱量
初期温度				供用中のサイクル末期における燃料棒内圧
被覆管内空間体積				供用中定格出力時の被覆管表面温度
初期条件による定数				上部プレナム部及び燃料有効部の合計
$\Sigma(V_i/T_i)$				$P_0 \cdot V_0 = nRT_0$ より、 $nR = P_0 \cdot V_0 / T_0$
被覆管内圧				$P_a = nR / \Sigma(V_i/T_i)$

表7-3 被覆管の周方向応力の評価条件及び結果(公称応力)

	記号(単位)	17×17燃料	15×15燃料	備考
被覆管内圧	P_a (MPa)			A型燃料の条件
被覆管最高温度(参考)	T_{max} (°C)			
被覆管厚さ	t (mm)			
被覆管外径	D_o (mm)			
被覆管内径	D_i (mm)			
被覆管平均径	D_a (mm)			
被覆管周方向応力	σ (MPa)	88.4	94.6	$\sigma = P_a \cdot D_a / 2t$
制限値	(MPa)	100以下		参考文献(1)による設定値

(回答5/6)

(2)現実的な応力(参考)

前記(1)の公称応力に加えて、現実的な条件として被覆管の腐食減肉を考慮した場合の被覆管周方向応力についても参考に評価した。この評価で用いる被覆管の内圧は、使用済燃料集合体の崩壊熱量としてピーキングファクターの保守性を考慮内しない条件で評価した。また、燃料ペレット(UO_2)、被覆管(ジルカロイ4)及びプレナムスプリング(ステンレス鋼)の熱膨張^{(2), (3), (4)}についても考慮した。

被覆管の腐食量については、被覆管の機械的健全性の観点から目安とされている10%と設定した。

現実的な条件における被覆管の平均内圧の評価条件及び結果、被覆管の周方向応力の評価条件及び結果を、表7-4及び表7-5にそれぞれ示す。表7-5に示すとおり、被覆管の周方向応力が100MPa以下を満足していることを確認した。

<参考文献>

- (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)
- (2)(国研)産業技術総合研究所、「分散型熱物性データベース」、(2006)
- (3)ATI corporate,「Zirconium Alloys Technical Data Sheet」, (2015)
- (4)(一社)日本機械学会、「伝熱工学資料 改訂第4版」、(1986)

表7-4 被覆管内圧の評価条件及び結果(現実的な応力(参考))

項目	記号(単位)	17×17燃料	15×15燃料	備考
崩壊熱量	Q(kW/体)			17×17燃料:PF設定の保守性を合理化したA型燃料の崩壊熱量 15×15燃料:PF設定の保守性を合理化した制限崩壊熱量
初期内圧	P_0 (MPa)			供用中のサイクル末期における燃料棒内圧
初期温度	T_0 (°C)			供用中定格出力時の被覆管表面温度
被覆管内空間体積	V_0 (mm ³)			各部材の熱膨張 ^{(2),(3),(4)} を考慮した上部プレナム部及び燃料有効部の合計
初期条件による定数	nR (mJ/K)			$P_0 \cdot V_0 = nRT_0$ より、 $nR = P_0 \cdot V_0 / T_0$
$\Sigma(V_i/T_i)$	$\Sigma(V_i/T_i)$ (mm ³ /K)			
被覆管内圧	P_a (MPa)			10.90

表7-5 被覆管の周方向応力の評価条件及び結果(現実的な応力(参考))

項目	記号(単位)	17×17燃料	15×15燃料	備考
被覆管内圧	P_a (MPa)			A型燃料の条件
被覆管最高温度(参考)	T (°C)			
被覆管初期厚さ	t_0 (mm)			
被覆管初期外径	D_0 (mm)			
被覆管の腐食率	α (%)	10	10	機械的健全性の観点からの設定値
被覆管腐食減肉厚さ	Δt (mm)			$\Delta t = t_0 \times \alpha / 100$
被覆管厚さ(減肉後)	t' (mm)			$t' = t_0 - \Delta t$
被覆管外径(減肉後)	D_o' (mm)			$D_o' = D_0 - 2\Delta t$
被覆管内径	D_i (mm)			$D_i = D_o' - 2t'$
被覆管平均径(減肉後)	D_a (mm)			$D_a = (D_o' + D_i) / 2$
被覆管周方向応力	σ (MPa)			94.3



(審査会合コメント:No.8)

被覆管応力が100MPa以下を満足できないこととなった事象について、原因、QMS上の対策、水平展開について説明すること。

(回答)

(1)発生事象

被覆管応力の計算条件である初期内圧の設定が適切でないことが分かり、正しい条件で評価した結果、15×15燃料について、制限値である100MPa以下を満足できないことが判明した。

(2)発生原因

被覆管の初期内圧条件は外部から提示を受けているが、その条件が当初提示された条件から後に改訂された。本初期内圧条件を設計・開発文書として識別し管理していなかったため、後に初期内圧条件が改訂されたことに気づけず、被覆管応力の評価見直しができなかった。なお、それ以外の設計条件等については、内部の設計・開発文書として識別し管理されていた。

(3)対処

制限値である100MPa以下を満足できるように、15×15燃料を収納する場合の設計条件を見直しする。

(4)水平展開(類似の不適合の有無)

本件以外の評価条件について、外部から提示された設計条件が正しく設定されていることを確認した。なお、TK-26型はサイト外貯蔵容器としての型式証明を取得しているが、設計は本申請容器と全く同じであるため今回の不適合に関する対処をとる。

(5)是正処置

設計管理に関する社内規程に、外部から提示された設計条件を設計・開発文書として発行する等、確実に識別し管理することを明記し改訂する(※)。また、本件事象の不適合報告及び是正処置について、社内関係者に対し周知徹底する。

(※)具体的には以下のとおり管理する。

- 外部から提示された設計条件を設計・開発文書として社内文書と同様に文書番号台帳に登録して管理する。
- 上記文書が改訂された場合は、改訂履歴欄に変更内容を記載すると共に、文書番号台帳に反映して管理する。
- 上記文書の作成及び改訂の際、作成、審査、承認の発行手順をとる。

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	2,344日以下	2,671日以下	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。
6	本文 四 3. 口.	最大崩壊熱量	(記載なし)	15×15燃料を収納する場合の制限崩壊熱量を追記する。	制限値の追加	燃料被覆管周方向応力に係る制限値。
7	本文 五 2. 口.	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	同上	15×15燃料を収納する場合の制限崩壊熱量を逸脱しないことを追記する。	同上	同上
8	添付書類一2.4 (2)	使用済燃料集合体の条件	同上	c.項に崩壊熱量の制限を追記する。	同上	同上
9	添付書類一第1-3図	使用済燃料集合体の収納位置条件	同上	崩壊熱量の制限を追記する。	同上	同上