

Doc No. 18-180-I-301 Rev. 0

2021年6月1日

トランスニュークリア株式会社

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請（TK-26型）

2021年4月28日の面談時質問に対する回答

（申請書関連）

本資料のうち、枠囲いの内容は、商業機密等に属しますので公開できません。

番号	ページ	対象	コメント内容
1.1	3	3. イ. 使用済燃料の種類	39G 燃料の情報を追記すること。
1.2	3	3. イ. 使用済燃料の種類	17×17 燃料と 15×15 燃料の混載の有無を明記すること。

(回答)

「イ. 使用済燃料の種類」を以下のように変更する（変更箇所を ■ で示す）。17×17 燃料と 15×15 燃料の混載については、表 1-1 に示す理由で混載が可能である。

#### イ. 使用済燃料の種類

##### PWR 使用済燃料集合体

- ・ 17×17 燃料 ■ 48,000MWd/t 型 (A 型)
 

収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	48,000MWd/t 以下
収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度	44,000MWd/t 以下
冷却期間	15 年以上
- ・ 17×17 燃料 ■ 48,000MWd/t 型 (B 型)
 

収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	48,000MWd/t 以下
収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度	44,000MWd/t 以下
冷却期間	20 年以上
- ・ 15×15 燃料 ■ 48,000MWd/t 型 (A 型)
 

収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	47,000MWd/t 以下
収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度	43,000MWd/t 以下
冷却期間	15 年以上
- ・ 15×15 燃料 ■ 48,000MWd/t 型 (B 型)
 

収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	47,000MWd/t 以下
収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度	43,000MWd/t 以下
冷却期間	20 年以上
- ・ 17×17 燃料 ■ 39,000MWd/t 型 (A 型、B 型)
 

収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	39,000MWd/t 以下
冷却期間	20 年以上
- ・ 15×15 燃料 ■ 39,000MWd/t 型 (A 型、B 型)
 

収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	39,000MWd/t 以下
冷却期間	20 年以上

なお、使用済燃料集合体を TK-26 型へ収納するに当たり、使用済燃料集合体の燃焼

度に応じて収納位置が制限される。また、使用済燃料集合体は、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態で TK-26 型へ収納する場合もある。17×17 燃料及び 15×15 燃料は混載が可能である。

表 1-1 燃料の代表性及び混載した場合の影響

安全評価	安全評価で評価の対象とした燃料	燃料の代表性 及び混載した場合の影響
臨界防止設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 17×17 燃料 (48,000MWd/t 型) /A 型・B 型</li> <li>・ 15×15 燃料 (48,000MWd/t 型) /A 型・B 型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 17×17 燃料及び 15×15 燃料の両方を評価しており (補足説明資料 1-1 参照)、その結果 TK-26 型の体系内における 17×17 燃料及び 15×15 燃料の反応度は同等であり、中性子実効増倍率の評価結果は基準値を満足している。</li> <li>・ 混載した場合の体系の中性子実効増倍率は個別に評価した場合と同等となる。</li> </ul>
遮蔽設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 17×17 燃料 (48,000MWd/t 型) /A 型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 線源強度が最も高い燃料タイプ (17×17 燃料 A 型) で代表しており、線量当量率の評価結果は基準値を満足している。(補足説明資料 1-2 参照)</li> <li>・ 混載した場合は代表ケースより線源強度が小さくなり、線量当量率の評価値は小さくなる。</li> </ul>
閉じ込め設計	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 除熱設計の対象とした発熱量が最も高い、かつ遮蔽設計の対象とした放射能が最も大きい燃料タイプ (17×17 燃料 A 型) で代表している。</li> <li>・ 混載した場合でも密封評価で計算される基準漏洩率及びリークテスト判定基準は代表ケースと同等となる。</li> </ul>
除熱設計	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発熱量が最も高い燃料タイプ (17×17 燃料 A 型) で代表しており、各部の最高温度の評価結果は基準値を満足している。(補足説明資料 1-4 参照)</li> <li>・ 混載した場合は代表ケースより発熱量が小さくなり、各部材の最高温度の評価値は低くなる。</li> </ul>
構造設計	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重量が最も大きい燃料タイプ (17×17 燃料 A 型) で代表しており、応力の評価結果は、基準値を満足している。</li> <li>・ 混載した場合は代表ケースより重量が小さくなり、TK-26 型各部の応力の評価値は小さくなる。</li> </ul>

番号	ページ	対象	コメント内容
2	1-17	第 1-4 表	B 型燃料にペレット径が A 型と同じものがある。その燃料が貯蔵対象か確認すること。

(回答)

当該の B 型燃料のペレット径及び燃料被覆管寸法は A 型と同一であり、臨界解析は A 型燃料に包絡される。従って貯蔵対象とする。

なお、第 1-4 表は以下のように変更する（変更箇所を ■ で示す）。

第 1-4 表 臨界解析に用いる使用済燃料集合体の仕様

項目	単位	17×17 燃料 ■ 48,000Mwd/t 型		15×15 燃料 ■ 48,000Mwd/t 型	
		■ A 型	■ B 型	■ A 型	■ B 型
燃料材質	—	二酸化ウラン		二酸化ウラン	
被覆管材質	—	ジルカロイ-4		ジルカロイ-4	
燃料密度	%理論密度				
ペレット直径	mm				
燃料有効長	mm				
燃料棒配列	—	17×17		15×15	
燃料集合体当たりの燃料棒数	本	264		204	
初期濃縮度	wt%	4.2 以下		4.1 以下	

番号	ページ	対象	コメント内容
17	1-10	3.6 長期健全性	補足説明資料 1-5 の内容を踏まえて、申請書の記載内容をもう少し詳細にすること。

(回答)

「3.6 長期健全性」を以下のとおり変更する（変更箇所を ■ で示す）。

### 3.6 長期健全性

(略)

(1) 金属キャスク本体、及び蓋部（金属ガスケットを除く）の長期健全性

(略)

(c) 腐食による劣化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴内面、一次蓋、及び二次蓋内面は、胴内、及び蓋間にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されるため、腐食を考慮する必要はない。さらに、中性子遮蔽材（エチレンプロピレン系ゴム）に接する胴外面及び外筒内面は、中性子遮蔽材の経年変化に伴い生じる水による腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。

また、外筒外面、二次蓋外面、及び蓋ボルトは塗装又はメッキによる防錆処理を施す。

ロ. トラニオン

トラニオンは、使用環境を考慮し、必要に応じて防錆措置を施すことで腐食を防止できる。

ハ. 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材はレジン（エチレンプロピレン系ゴム）であり腐食することはない。なお、熱により化学的に劣化するため、(b) 「熱による劣化」に示すとおりレジンの質量減損量を評価し、質量減損量を考慮した遮蔽計算を行っている。

ニ. 伝熱フィン

伝熱フィンは胴と外筒間の閉鎖空間に取り付けられており腐食環境にないことから、~~いるが~~、胴外面と外筒内面の炭素鋼が中性子遮蔽材の経年変化に伴い生じる水と選択的に結合し腐食することから、銅の腐食が問題となることはない。

番号	ページ	対象	コメント内容
21	1-1 1-12	1. TK-26 型の概要 3.6 長期健全性	バスケット用ほう素添加アルミニウム合金の材料データ取得・評価し、設計貯蔵期間である 60 年後の強度特性を確認したことについて説明をもう少し詳細に行うこと。

(回答)

「1. TK-26 型の概要」及び「3.6 長期健全性」を以下のとおり変更する（変更箇所を示す）。

#### 1. TK-26 型の概要

##### (3) バスケット

TK-26 型のバスケット構造を第 1-2 図に示す。

バスケットは、ほう素添加アルミニウム合金で構成された格子構造であり、個々の使用済燃料集合体が金属キャスク内部の所定の位置に収納される。

なお、本ほう素添加アルミニウム合金は、中性子吸収機能及び構造部材としての機能を有する。

#### 3.6 長期健全性

##### (1) 金属キャスク本体、及び蓋部（金属ガスケットを除く）の長期健全性

(略)

##### (2) 金属ガスケットの長期健全性

(略)

##### (3) バスケットの長期健全性

バスケットの主要な構成部材は、バスケット格子を形成する押出材である。

###### (a) 放射線照射による劣化

バスケット格子に使用する押出材の材質は、ほう素添加アルミニウム合金である。この材料は、中性子照射量が  $10^{19}$  (n/cm<sup>2</sup>) までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており<sup>(14)(15)(19)</sup>、使用環境はその範囲内である。

TK-26 型に収納する使用済燃料集合体の全中性子束は約  $8.0 \times 10^5$  (n/cm<sup>2</sup>/s) である。安全側に全中性子束を用いて評価すると設計貯蔵期間経過後のバスケット格子材に含まれるほう素の減損割合は  $10^{-6}$  程度であり、劣化による臨界防止機能への

影響は無視し得るレベルである。

(b) 熱による劣化

バスケット格子材の温度は 230℃以下であり、以下のとおり規定した材料の最高使用温度を下回っている。

構造強度部材であるバスケット格子材の設計許容応力を別添 1.1 に示す。当該の設計許容応力は、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件に対し保守側に設定された熱処理条件を経験した供試材（以降、「加速試験材」という）の材料試験結果に基づき設定されている。このため、設計貯蔵期間中の熱による劣化により、本材料の強度が当該設計許容応力を下回ることは無い。なお、本バスケット格子材を使用するにあたっては、設計貯蔵期間における設計許容応力を保証するために、別添 1.1 に示す製造管理規定を満足するように製造管理を行う。

本バスケット格子材は、加速試験材の材料試験により、脆性破壊することなく、且つ、衝撃特性、及び破壊靱性値（ $J_q$  値）が低下しないことを確認している。さらに、TK-26 型では、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」（以降、「外運搬規則」という）で定められている特別の試験条件においても、バスケットに塑性変形が生じないようにバスケット格子材の発生応力が設計降伏点以下となるように設計している。また、外運搬規則で規定されている特別の試験条件に対応する衝撃荷重が作用した場合においても延性き裂進展に対して裕度を有していることを確認しており、破壊靱性に対する特別の配慮は不要である。

また、アルミニウム合金、及びほう素添加アルミニウム合金のクリープひずみが 0.1%から 1.0%程度の範囲において、クリープひずみが材料の機械的特性に影響を与えないことが示されている<sup>(20)</sup>。構造強度部材であるバスケット格子材について、設計貯蔵期間経過後のクリープひずみが 0.1%となるための応力は TK-26 型のバスケット格子材よりも低強度の純アルミニウム系合金である A1100-O でも 4MPa 程度の応力であるが、バスケット格子材に発生する応力は 1MPa 未満であり、熱による材料の機械的特性への影響はない。

(c) 腐食による劣化

バスケット格子材が設置される胴内にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されるため、腐食を考慮する必要はない。



バスケット用ほう素添加アルミニウム合金（1B-A3J04-O）の材料規定、及び製造管理規定

1. 概要

TK-26 型のバスケットに適用するバスケット用材料 アルミニウム合金（1B-A3J04-O）の材料規定、及び製造管理規定について説明する。

2. 適用範囲

本材料をTK-26型のバスケットに適用するにあたり、本材料及びこれを使用するバスケットは以下の事項に適合すること。

- (1) 設計貯蔵期間（供用期間）は60年以下であること。
- (2) バスケットが収納されるキャスク本体内部には、供用期間中ヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されていること。
- (3) バスケットは耐圧構造でないこと。
- (4) バスケットは溶接部がない構造であること。
- (5) 本材料はボルト材として使用しないこと。

3. 材料規定

本規定は、供用期間における熱劣化を考慮した設計評価に適用する材料規定である。本規定を適用する材料は、4.に示す製造管理規定を満足しなければならない。

3.1 材料名称

材料の規定名称は別添 1.1-1 表に示すものであること。

3.2 化学成分

化学成分は別添 1.1-2 表に示す百分率の値の範囲内にあること。

3.3 設計応力強さ

設計応力強さは別添 1.1-3 表の規定によること。

3.4 許容引張応力

許容引張応力は別添 1.1-4 表の規定によること。

3.5 設計降伏点

設計降伏点は別添 1.1-5 表の規定によること。

### 3.6 設計引張強さ

設計引張強さは別添 1.1-6 表の規定によること。

### 3.7 縦弾性係数

縦弾性係数は別添 1.1-7 表の規定によること。

### 3.8 線膨張係数

線膨張係数は別添 1.1-8 表の規定によること。

## 4. 製造管理規定

本規定は、製造管理に係る規定である。

- (1) 化学成分は、別添 1.1-2 表に示す百分率の値の範囲内にあること。この場合において、化学成分は溶湯の取りべ分析（レードル分析）によること。化学成分の分析試験は、JIS H 4100「アルミニウム及びアルミニウム合金の押出型材」（以下「JIS H 4100」という。）によること。
  - (2) 材料の製造は別添 1.1-1 図に示す製造フローに従い、熱間押出成形加工されたものであること。
  - (3) 引張矯正後、焼なましを行い最も軟らかい状態とすること。質別 O は、JIS H 0001「アルミニウム、マグネシウム及びそれらの合金—質別記号」によること。
  - (4) 機械的性質は、別添 1.1-9 表に掲げる値に適合すること。
  - (5) 製品の寸法の許容差は、以下及び JIS H 4100 によること。これを逸脱する寸法を適用する場合、機械的性質が別添 1.1-9 表を満足することを確認すること。
    - ・ 押出比<sup>※</sup> : 20 以上
- ※ピレットの押出方向に垂直な断面積と押出材の押出方向に垂直な断面積の比
- (6) 材料は、別添 1.1-1 図の製造フローの各段階において、別添 1.1-10 表に示す品質管理を行う。
  - (7) 上記規定以外の規定については、JIS H 4100 によること。

別添 1.1-1 表 材料の規定名称

材料の名称	記号	質別
ほう素添加アルミニウム合金	1B-A3J04-O	O

別添 1.1-2 表 化学成分規定

記号	化学成分 (mass%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	B	その他		Al
								個々	合計	
1B-A3J04-O	0.25 以下	0.25 以下	0.05 以下	1.2 以上 1.6 以下	1.0 以上 1.4 以下	0.05 以下	0.8 以上 1.3 以下	0.05 以下	0.15 以下	残部

別添 1.1-3 表 材料の各温度における設計応力強さ  $S_m$  ※1、※2

(単位：MPa)

記号	温 度 (°C)								
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250
1B-A3J04-O	44	44	44	43	42	40	34	29	25

※1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

※2) 加速試験材で設定した値である。

別添 1.1-4 表 材料の各温度における許容引張応力  $S$  ※1、※2

(単位：MPa)

記号	温 度 (°C)								
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250
1B-A3J04-O	44	44	44	42	12	8.7	6.7	5.4	4.1

※1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

※2) 加速試験材で設定した値である。

別添 1.1-5 表 材料の各温度における設計降伏点  $S_y$  ※1、※2

(単位：MPa)

記号	温 度 (°C)								
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250
1B-A3J04-O	66	66	66	65	63	60	56	51	45

※1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

※2) 加速試験材で設定した値である。

別添 1.1-6 表 材料の各温度における設計引張強さ  $S_u$  ※1、※2

(単位：MPa)

記号	温 度 (°C)								
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250
1B-A3J04-O	155	149	144	135	123	109	94	81	70

※1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

※2) 加速試験材で設定した値である。

別添 1.1-7 表 材料の各温度における縦弾性係数<sup>※1</sup>

(単位：GPa)

記号	温 度 (°C)								
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250
1B-A3J04-O	77.7	76.5	75.8	75.1	74.3	73.5	72.6	71.7	70.3

※1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

別添 1.1-8 表 材料の各温度における線膨張係数<sup>※1</sup>

(単位： $\times 10^{-6}$  mm/mm°C)

記号	区分 ※2	温 度 (°C)									
		20	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1B-A3J04-O	A	22.3	22.4	22.6	23.1	23.8	24.6	25.4	25.9	26.3	26.4
	B	22.3	22.3	22.4	22.5	22.8	23.0	23.4	23.7	24.0	24.2

※1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

※2) 区分 A は瞬時線膨張係数、区分 B は室温から当該温度までの平均線膨張係数を表す。

別添 1.1-9 表 機械的性質※1

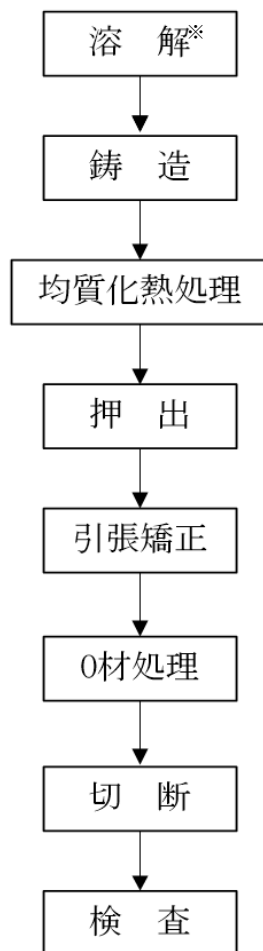
記号	引張試験 (試験温度：室温)		
	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)
1B-A3J04-O	155 以上	70 以上	10 以上

※1) 加速試験をしない供用開始前の製造管理値である。

別添 1.1-10 表 1B-A3J04-Oの製造管理項目

工程			製造管理項目	管理程度※		
概要	細目			材料保証	製造管理	
①	合金溶解	溶解／検査	化学組成	○	—	
②	ビレット成型 (鋳造)	鋳造	外観、寸法	—	○	
③	均質化熱処理	均質化熱処理	温度、保持時間	—	○	
④	熱間押出	製造条件	押出条件	—	○	
			引張矯正			矯正量
⑤	焼鈍	○材熱処理	温度、保持時間	—	○	
⑥	切断・加工	切断	長さ	—	○	
		試験片採取	採取位置と採取数	—	○	
⑦	検査	製品検査	寸法、外観	○	—	
		材料特性 (初期材)	材料試験	引張試験 (0.2%耐力、引張強さ、伸び)	○	—
				組織観察 (必要に応じ)	○	—
⑧	梱包	梱包	員数・荷姿	—	○	

※) メーカー自主管理項目を含む。



※) この溶解工程で Al-B 母合金を所定量加えることにより、ほう素添加量を調整する。その他の成分についても、溶解工程で調整する。

別添 1.1-1 図 製造フロー