

Doc No. 18-180-I-031 Rev. 1

2021年6月10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（TK-26型）

設計方針の概要

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。



## 目 次

I	概要	1
II	安全設計に関する説明	1
III	基本設計方針、安全設計及び規則への適合性に関する考え方	7
A.	許可基準規則第3条関係（使用済燃料の臨界防止）	7
B.	許可基準規則第4条関係（遮蔽等）	11
C.	許可基準規則第5条関係（閉じ込めの機能）	13
D.	許可基準規則第6条関係（除熱）	18
E.	許可基準規則第9条関係（地震による損傷の防止）	21
F.	許可基準規則第15条関係（金属キャスク）	23
IV	TK-26型の概要	34
V	貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類毎の最大貯蔵能力	35



## I 概要

本書は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第 43 条の 26 の 2 の規定に基づきトランスニュークリア株式会社が提出した「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書」に係る特定容器等 (TK-26 型) について、「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(平成 25 年原子力規制委員会規則第 24 号。以下「許可基準規則」という。)の要求に対する設計方針をまとめたものである。

## II 安全設計に関する説明

### II-1 使用済燃料の臨界防止(許可基準規則第 3 条関係)

TK-26 型は、使用済燃料が臨界に達するおそれがないよう次の方針に基づき臨界防止設計を行う。

- a. TK-26 型は、その内部のバスケットの幾何学的な配置及び中性子を吸収する材料により、使用済燃料集合体を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるよう設計する。
- b. 臨界防止機能の一部を構成する金属キャスク内部のバスケットは、設計貯蔵期間 60 年間における放射線照射影響、腐食等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界防止上有意な変形を起こさない設計とする。金属キャスク内部のバスケットにより、適切な使用済燃料集合体間隔を保持し、使用済燃料集合体を相互に近接しないよう、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持する構造とし、設計貯蔵期間 60 年間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計とする。
- c. バスケットの格子は、中性子吸収材として中性子を有効に吸収するほう素を偏在することなく添加した材料により構成する。
- d. 使用済燃料集合体を収納した金属キャスクを、使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの全工程において、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるよう設計する。
- e. 未臨界性に有意な影響を与える以下の因子を考慮した設計とする。

#### (a) 配置・形状

貯蔵区域内の金属キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等において適切な安全裕度を考慮する。

金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して完全反射条件(無限配列)としていことから、金属キャスクの滑動は考慮しない。

#### (b) 中性子吸収材の効果

以下の事項等について適切な安全裕度をもって考慮する。

- ・ 製造公差(濃度、非均質性、寸法等)
  - ・ 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少
- (c) 減速材(水)の影響
- 使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するにあたり冠水することを設計上適切に考慮する。
- (d) 燃焼度クレジット
- 使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。

TK-26 型は、使用済燃料の臨界防止に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

1. 金属キャスク単体として臨界を防止するための設計方針

- (1) TK-26 型は、金属キャスクの内部に格子状のバスケットを設け、バスケット格子の中に使用済燃料集合体を収納することにより、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持できる設計とする。
- (2) TK-26 型は、中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した材料をバスケットの構成部材に使用する設計とする。
- (3) TK-26 型のバスケットは、臨界防止上有意な変形を起こさず、設計貯蔵期間 60 年間を通じて構造健全性が保たれる設計とする。
- (4) TK-26 型の臨界評価において、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。この際、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおりとする。
  - ① 乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。
  - ② バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように、乾燥状態では金属キャスク中心側に偏向して配置し、冠水状態では格子中央若しくは金属キャスク中心側に偏向して配置する。
  - ③ 金属キャスク周囲を完全反射条件（無限配列）とする。
  - ④ バスケットの板厚、内りの寸法公差や中性子吸収材の製造公差を考慮する。
  - ⑤ 使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。
- (5) 上記(1)から(4)により、金属キャスク単体として、使用済燃料が冠水状態となること等の技術的に想定されるいかなる場合においても、核燃料物質が臨界に達するおそれのない設計とする。

2. 金属キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止

TK-26 型は、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止について、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。上記における金属キャスク単体による臨界防止評価において、金属キャスクの境界条件を完全反射条件（無限配列）としていることから、金属キャスク相互の中性子干渉による影響は考慮しており、複数の金属キャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも核燃料物質が臨界に達するおそれがない。

## II-2 遮蔽等(許可基準規則第4条関係)

TK-26 型は、使用済燃料貯蔵施設の事業所周辺及び管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所の線量を低減するため、使用済燃料集合体から放出される放射線を遮蔽し、金属キャスクとして輸送されることも考慮した線量以下となるように、使用済燃料集合体からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、設計貯蔵期間 60 年間における中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても、金属キャスク表面及び金属キャスク表面から 1m の位置における線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 以下、100  $\mu$  Sv/h 以下となるよう設計する。

TK-26 型は、放射線の遮蔽に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

TK-26 型が設置される使用済燃料貯蔵施設の事業所周辺及び管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所の線量を低減できるように使用済燃料から放出される放射線を金属キャスクの本体胴及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材にはレジンを用いる。設計貯蔵期間 60 年間における金属キャスクの中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力の低下を考慮しても、金属キャスク表面及び金属キャスク表面から 1m の位置における線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 以下、100  $\mu$  Sv/h 以下となるように設計する。

TK-26 型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、遮蔽評価の結果が厳しくなるような入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。金属キャスクの実形状を三次元でモデル化し、金属キャスク表面及び金属キャスク表面から 1m の位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。

## II-3 閉じ込めの機能(許可基準規則第5条関係)

TK-26 型は、使用済燃料等を限定された区域に適切に閉じ込めるため、次の方針に基づき閉じ込め設計を行う。

- a. TK-26 型は、設計貯蔵期間 60 年間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を不活性雰囲気と保つとともに負圧に維持する設計とする。
- b. TK-26 型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の多重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。また、一次蓋と二次蓋との空間部の圧力を測定することにより、閉じ込め機能について監視できる設計とする。金属キャスクの構造上、漏えいの経路となり得る蓋及び蓋部貫通孔のシール部には金属ガスケットを用いることにより長期にわたって閉じ込め機能を維持する設計とする。
- c. TK-26 型は、貯蔵期間中及び貯蔵終了後において、収納された使用済燃料集合体

の検査等のために一次蓋を開放しないことを前提としているため、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には、二次蓋の金属ガスケットを交換し、一次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には、金属キャスクに蓋を追加装着できる構造を有すること等、閉じ込め機能の修復性を考慮した設計とする。

TK-26 型は、使用済燃料等の閉じ込めに関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

1. 使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持するための設計方針

TK-26 型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、金属キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を不活性雰囲気を保つとともに負圧に維持できるように設計する。

2. 使用済燃料集合体を内封する空間を容器外部から隔離するための設計方針

TK-26 型は、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計として、金属キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。

3. 金属キャスクの閉じ込め機能の修復性に関する考慮

TK-26 型は、万一の金属キャスクの閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋の閉じ込め機能の異常が認められた場合には、一次蓋の金属ガスケットが健全であることを確認のうえ、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復できる設計とする。また、一次蓋の閉じ込め機能に異常があると考えられる場合には、三次蓋を取り付け、使用済燃料貯蔵施設外へ搬出できる設計とする。

II-4 除熱（許可基準規則第 6 条関係）

TK-26 型は、動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するため、次の方針に基づき徐熱設計を行う。

- a. TK-26 型は、使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、燃料被覆管の累積クリープ歪みが 1%を超えない温度、照射硬化の回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下となるように制限する。

- b. TK-26 型は、基本的安全機能を維持する観点から、設計貯蔵期間 60 年間を通じてその構成部材の健全性が保たれる温度範囲にあるよう設計する。

TK-26 型は、使用済燃料等の除熱に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

TK-26 型は、金属キャスクについて動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計とする。

TK-26 型は、以下のとおり使用済燃料集合体の温度及び金属キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。

1. 使用済燃料集合体の温度を制限される値以下に維持するための設計方針

TK-26 型は、金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃料被覆管の温度においては、使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、金属キャスクの周囲温度 50℃、貯蔵建屋壁面温度 65℃とし、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなるような入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行う。除熱評価の結果、当該燃料被覆管の温度について、燃料被覆管の累積クリープ歪みが 1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性が低下しない温度以下となるように金属キャスクを設計する。

2. 金属キャスクの温度を制限される値以下に維持するための設計方針

TK-26 型は、金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から、金属キャスクの周囲温度 50℃、貯蔵建屋壁面温度 65℃とし、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなるような入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行う。除熱評価の結果、金属キャスクの温度を構成部材の健全性が保たれる温度以下となるように設計する。

II-5 地震による損傷の防止（許可基準規則第 9 条関係）

TK-26 型は、貯蔵中はたて置き姿勢であり、TK-26 型が貯蔵中転倒しないように、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台に、下部トラニオン 4 個を固縛することで床面に固定される。

TK-26 型の耐震評価における設計条件として、水平方向 1.5G、鉛直方向 1.0G の地震動を設定する。

TK-26 型は、設計地震動による地震力に対して、弾性状態に留まる範囲で耐え得る設計とする。

TK-26 型は、地震による損傷の防止に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

TK-26 型は、金属キャスクを使用済燃料貯蔵施設の貯蔵建屋内の床等に固定した状態で、水平方向 1.5G 及び鉛直方向 1.0G の加速度により作用する地震力に対して、金属キャスクが転倒しないよう金属キャスクの本体胴等を設計する。またこの場合において、



この金属キャスクの本体胴等の応答が弾性状態に留まるよう設計する。

## II-6 金属キャスク（許可基準規則第 15 条関係）

TK-26 型は、基本的安全機能を維持する上で重要な金属キャスクの構成部材について、設計貯蔵期間 60 年間に於ける温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とすることにより、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。

また、TK-26 型は、金属キャスク本体胴内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食、クリープ、応力腐食割れ等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムとともに封入して貯蔵する設計とする。また、金属キャスク表面の必要な箇所には、塗装による防錆措置を講ずる。

TK-26 型は、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) TK-26 型は、金属キャスクの基本的安全機能を維持する上で重要な構成部材には、設計貯蔵期間 60 年間に於ける温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定することにより、その必要とされる強度、性能を維持し、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。
- (2) TK-26 型は、金属キャスク本体胴内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、金属キャスク表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を講ずる設計とする。
- (3) TK-26 型は、三次蓋を取り付けて輸送できる構造を有する設計とする。
- (4) TK-26 型は、使用済燃料貯蔵施設への搬入、貯蔵、及び搬出にかかる金属キャスクの移動の際に想定される金属キャスクの転倒事象、落下事象、及び金属キャスクへの重量物の落下事象に対して、基本的安全機能を維持できる設計とする。

以上の内容を踏まえて、基本設計方針、安全設計及び規則への適合性に関する考え方を次項以降に示す。

### Ⅲ 基本設計方針、安全設計及び規則への適合性に関する考え方

#### A. 許可基準規則第3条関係（使用済燃料の臨界防止）

##### ① 基本設計方針

##### ○ 使用済燃料の臨界防止に関する構造

TK-26 型は、使用済燃料の臨界防止に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

##### 1. 金属キャスク単体として臨界を防止するための設計方針

- (1) TK-26 型は、金属キャスクの内部に格子状のバスケットを設け、バスケットの格子の中に使用済燃料集合体を収納することにより、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持できる設計とする。
- (2) TK-26 型は、中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した材料をバスケットの構成部材に使用する設計とする。
- (3) TK-26 型のバスケットは、臨界防止上有意な変形を起こさず、設計貯蔵期間 60 年間を通じて構造健全性が保たれる設計とする。
- (4) TK-26 型の臨界評価において、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。この際、未臨界性に有意な影響を与える因子については以下のとおりとする。
  - ① 乾燥状態及び冠水状態で臨界評価を実施する。
  - ② バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように、乾燥状態では金属キャスク中心側に偏向して配置し、冠水状態では格子中央若しくは金属キャスク中心側に偏向して配置する。
  - ③ 金属キャスク周囲を完全反射条件（無限配列）とする。
  - ④ バスケットの板厚、内のりの寸法公差や中性子吸収材の製造公差を考慮する。
  - ⑤ 使用済燃料集合体の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。
- (5) 上記(1)から(4)により、金属キャスク単体として、使用済燃料が冠水状態となること等の技術的に想定されるいかなる場合においても、核燃料物質が臨界に達するおそれのない設計とする。

##### 2. 金属キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止

TK-26 型は、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界防止について、中性子実効増倍率が 0.95 以下となるように設計する。上記における金属キャスク単体による臨界防止評価において、金属キャスクの境界条件を完全反射条件（無限配列）としていることから、金属キャスク相互の中性子干渉による影響は考慮しており、複数の金属キャスクが接近する等の技術的に想定されるいかなる場合でも核燃料物質が臨界に達するおそれがない。

## ② 安全設計

### ○ 臨界防止機能に関する設計方針

TK-26 型は、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための中性子吸収機能を有するバスケット格子により臨界を防止する設計とする。

バスケット格子は、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とする。

また、使用済燃料集合体を貯蔵容量最大に収納した条件下で、TK-26 型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及び TK-26 型に使用済燃料集合体を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率を 0.95 以下となるように設計する。

### ○ 臨界防止機能

#### (1) 臨界防止機能に関する構造

TK-26 型の内部には、格子状のバスケットを設け、バスケット格子の中に使用済燃料集合体を収納することにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持できる設計とする。

また、バスケット格子として、中性子吸収材であるほう素を偏在することなく添加したアルミニウム合金を使用することで臨界を防止する。

#### (2) 臨界解析

臨界解析フローを第 1-5 図に示す。

臨界解析では、TK-26 型、及び燃料集合体の実形状を三次元でモデル化し、燃料棒単位セル計算を XSPROC モジュール、中性子実効増倍率の計算を臨界解析コード KENO-VI で行う SCALE コードシステム (6.2.1) を用いる。断面積ライブラリには、SCALE コードシステムの内蔵ライブラリデータのひとつである 252 群ライブラリデータを使用して中性子実効増倍率を求め、その値が解析コードの精度等を考慮して、0.95 以下となることを確認する。

臨界解析に用いる使用済燃料集合体の仕様を第 1-4 表に、臨界解析条件を第 1-5 表に示す。使用済燃料集合体には可燃性毒物としてガドリニアを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、中性子実効増倍率の評価に当たってはガドリニアの存在を無視する。使用済燃料集合体を TK-26 型に 26 体収納した状態を設定し、TK-26 型相互の中性子干渉を考慮して、TK-26 型が無限に配列している体系とする。さらに、バスケット格子内の使用済燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように、乾燥状態では TK-26 型の中心側に偏向して配置し、冠水状態では格子中央若しくは TK-26 型の中心側に偏向して配置するとともに (第 1-6 図)、バスケット格子材の厚さ、内のり等の寸法条件について公差を考慮し、バスケット格子材のほう素添加量を仕様上の下限値とするなど、安全裕度を見込むこととする。なお、設計貯蔵期間経過後のバスケット格子材中のほう素の減損割合は非常に小さいため、これを無

視する。

上記条件に基づく解析の結果、第 1-6 表に示すように、統計誤差として標準偏差の 3 倍を考慮した中性子実効増倍率は 0.95 以下を満足している。

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	

1

③ 規則への適合性

- (1) TK-26 型は、その内部のバスケットの幾何学的な配置、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した材料により、使用済燃料集合体を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する機能を有する。
- (2) バスケット格子は、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するために、臨界防止上有意な変形を起こさず、必要な構造健全性を保つ設計である。
- (3) 使用済燃料集合体を収納した TK-26 型を、貯蔵建屋の貯蔵容量最大に収納した条件下で、TK-26 型の搬入から搬出までの全工程において、TK-26 型相互の中性子干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも、TK-26 型は臨界を防止する設計である。
- (4) TK-26 型は、未臨界性に有意な影響を与える以下の因子を考慮した設計である。
  - a. 配置・形状

バスケットの板厚、内のり寸法公差を考慮するなど、貯蔵区域内の TK-26 型の配置、バスケット格子の形状、バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等において安全裕度を考慮している。なお、バスケット格子内の使用済燃料集

合体は、乾燥状態では金属キャスク中心側に偏向して配置し、冠水状態では格子中央若しくは金属キャスク中心側に偏向して配置することで、中性子実効増倍率が最大となるように考慮している。

b. 中性子吸収材の効果

製造公差(濃度、非均質性、寸法等)、及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少について適切に考慮している。

c. 減速材(水)の影響

使用済燃料集合体を TK-26 型に収納するにあたり冠水することから、乾燥状態、及び冠水状態を考慮している。

d. 燃焼度クレジット

使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。

e. 金属キャスク相互の中性子干渉

金属キャスクの境界条件を完全反射条件(無限配列)とすることで、金属キャスク相互の中性子干渉による影響を考慮している。

以上より、TK-26 型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の臨界防止機能に影響を与えることはない。

## B. 許可基準規則第4条関係（遮蔽等）

### ① 基本設計方針

#### ○ 放射線の遮蔽に関する構造

TK-26型は、放射線の遮蔽に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

TK-26型が設置される使用済燃料貯蔵施設の事業所周辺及び管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所の線量を低減できるように使用済燃料から放出される放射線を金属キャスクの本体胴及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材には十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材にはレジンを用いる。設計貯蔵期間60年間における金属キャスクの中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力の低下を考慮しても、金属キャスク表面及び金属キャスク表面から1mの位置における線量当量率は、それぞれ2mSv/h以下、100 $\mu$ Sv/h以下となるように設計する。

TK-26型の遮蔽機能に関する評価は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、遮蔽評価の結果が厳しくなるような入力条件を設定したうえで、線源強度を求める。金属キャスクの実形状を三次元でモデル化し、金属キャスク表面及び金属キャスク表面から1mの位置における線量当量率を求め、上記に示す線量当量率の基準を満足することを確認する。

### ② 安全設計

#### ○ 遮蔽機能に関する設計方針

TK-26型は、設置される使用済燃料貯蔵施設の事業所周辺及び管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所の線量を低減できるように使用済燃料集合体からの放射線をガンマ線遮蔽材、及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、TK-26型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属キャスクであるため、「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（令和2年4月1日施行）」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。

- ・表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと。
- ・表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100 $\mu$ Sv/hを超えないこと。

さらに、設計貯蔵期間60年間におけるTK-26型の中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。

#### ○ 遮蔽機能

##### (1) 遮蔽機能に関する構造

TK-26型は、使用済燃料集合体からの放射線を金属キャスクの本体胴、及び蓋部により遮蔽する。ガンマ線遮蔽材には、鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には、水を多く含有するレジンを用いる。

## (2) 遮蔽解析

遮蔽解析フローを第 1-7 図に示す。

遮蔽解析では、三次元モンテカルロコード MCNP5 を用いて線量当量率を評価する。線量当量率評価に用いる線源強度は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を考慮し、遮蔽評価が厳しくなるような条件を設定し、燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて求める。

使用済燃料集合体、及びバーナブルポイズン集合体の線源強度計算条件を第 1-7 表に示す。線源強度の計算には、平均燃焼度に対する軸方向の燃焼度の比を包含する燃焼度分布（以下「ピーキングファクター」という。）を考慮する。なお、バーナブルポイズン集合体は、構造材としての遮蔽効果は無視し、線源強度のみを考慮する。線源強度の計算結果を第 1-8 表に示す。

線量当量率の評価は、第 1-8 表より、線源強度の高い 17×17 燃料（A 型）を対象として実施する。

線量当量率の評価に当たっては、第 1-8 図に示す使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納位置を考慮する。また、設計貯蔵期間中における TK-26 型の中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮する。

上記条件に基づく解析の結果、第 1-6 表に示すように、表面、及び表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 以下、及び 100  $\mu$ Sv/h 以下を満足している。

## ③ 規則への適合性

### ・第 1 項について

使用済燃料集合体から放出される放射線は、金属キャスクの本体胴及び蓋部により遮蔽する設計とし、ガンマ線遮蔽材は十分な厚みを有する鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材にはレジンを用いている。

TK-26 型の遮蔽評価においては、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を考慮した厳しい条件を設定し、実績のある燃焼計算コードを用いて線源強度を求め、TK-26 型の実形状を軸方向断面で三次元モデル化し、算出した線源強度に基づき、三次元モンテカルロコードを用いて、TK-26 型の線量当量率を評価している。

TK-26 型は、設計貯蔵期間中における中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても、表面及び表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率がそれぞれ 2mSv/h 以下及び 100  $\mu$ Sv/h 以下となる設計である。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業（変更）許可申請時には、使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能に関する評価で使用するエネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率が、TK-26 型の表面エネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率に対して同等以上であることを確認する必要がある。

## C. 許可基準規則第5条関係（閉じ込めの機能）

### ① 基本設計方針

#### ○ 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造

TK-26 型は、使用済燃料等の閉じ込めに関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

#### 1. 使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持するための設計方針

TK-26 型は、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、金属キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を不活性雰囲気にとともに負圧に維持できるように設計する。

#### 2. 使用済燃料集合体を内封する空間を容器外部から隔離するための設計方針

TK-26 型は、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計として、金属キャスクの蓋部を一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。

#### 3. 金属キャスクの閉じ込め機能の修復性に関する考慮

TK-26 型は、万一の金属キャスクの閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋の閉じ込め機能の異常が認められた場合には、一次蓋の金属ガスケットが健全であることを確認のうえ、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復できる設計とする。また、一次蓋の閉じ込め機能に異常があると考えられる場合には、三次蓋を取り付け、使用済燃料貯蔵施設外へ搬出できる設計とする。

### ② 安全設計

#### ○ 閉じ込め機能に関する設計方針

TK-26 型は、使用済燃料集合体を限定された区域に閉じ込めるため、金属キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持する設計とする。また TK-26 型は、一次蓋、及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、蓋間の圧力を測定することにより、閉じ込め機能について監視ができる設計とする。

なお、二次蓋の閉じ込め機能の異常が認められた場合には、一次蓋の金属ガスケットが健全であることを確認のうえ、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復できる設計とする。また、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。

○ 閉じ込め機能

(1) 閉じ込め機能に関する構造

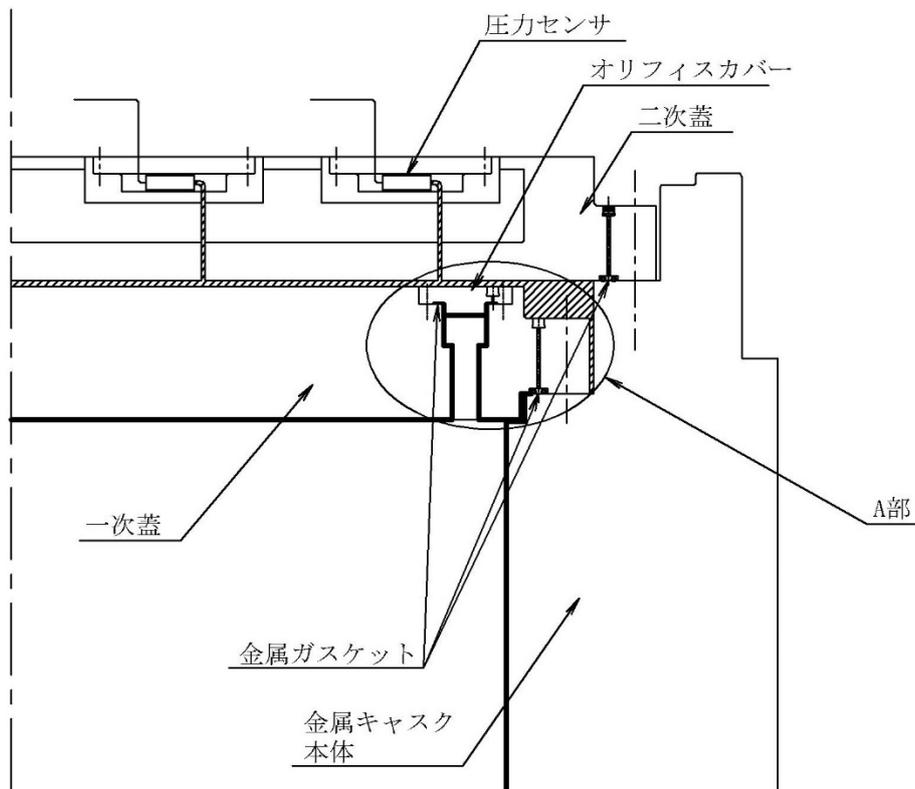
TK-26 型の閉じ込め構造を第 1-9 図に、シール部詳細を第 1-10 図に示す。

TK-26 型は、金属キャスク本体、及び蓋部により使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離し、設計貯蔵期間 60 年間を通じて負圧に維持する。

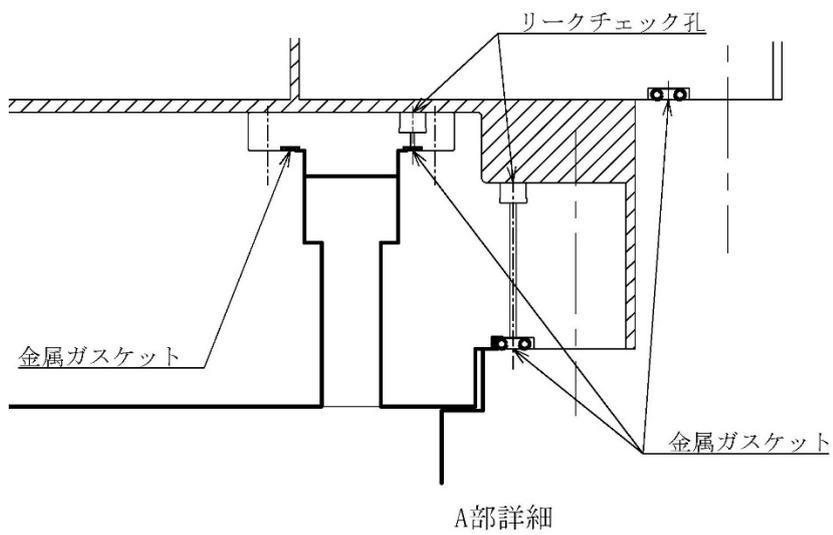
使用済燃料集合体を内封する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。蓋、及び蓋貫通孔のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを用いる。

TK-26 型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧に維持することで圧力障壁を形成することにより、放射性物質を金属キャスク内部に閉じ込める。

金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間 60 年間を通じて、蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが蓋間の圧力を一定とした条件下で使用済燃料集合体を内封する空間側に漏えいし、かつ、燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できるように設定し、その漏えい率を満足していることを気密漏えい検査により確認する。さらに、その蓋間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視する。蓋間の圧力に異常が生じた場合でも、あらかじめ金属キャスク内部を負圧に維持するとともに、蓋間の圧力を正圧としているので、内部の気体が外部に漏えいすることはない。



1



- 閉じ込め境界 (負圧)
-  閉じ込め監視圧力空間 (正圧)

第 1-10 図 TK-26 型のシール部詳細

## (2) 閉じ込め評価

閉じ込め評価フローを第 1-11 図に示す。

閉じ込め評価では、設計貯蔵期間中に TK-26 型内部の負圧を維持できる漏えい率を求める。

漏えい率は、シールされる流体、シール部温度、及び漏えいの上流側と下流側の圧力に依存する。したがって、金属キャスク内部圧力変化は、蓋間圧力と内部圧力の圧力差のもとで、ある漏えい率をもつシール部を通して金属キャスク内部へ流入する気体の漏えい量を積分することによって求められる。

TK-26 型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計貯蔵期間中に金属キャスク内部の負圧が維持できる漏えい率として定義され、使用する金属ガスケットが確保可能な閉じ込め機能、及び搬出前の漏えい検査の判定基準として確認可能な漏えい率（リークテスト判定基準）を上回るものでなければならない。

基準漏えい率を求めるに当たり設定した評価条件を第 1-9 表に示す。蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは金属キャスク内部側にのみ漏えいするものとして漏えい率の計算を行う。また、大気圧は、気象変化による圧力変動を考慮した値として  $9.7 \times 10^4 \text{Pa}$  とする。金属キャスク内部空間の圧力の算定に当たっては、使用済燃料の破損率として、米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率（約 0.01%）<sup>(5)</sup>、及び日本の軽水炉における運転中の漏えい燃料発生率（約 0.002%以下）を考慮し<sup>(5)</sup>、保守的な値として 0.1%とする。

閉じ込め評価の結果、第 1-6 表に示すように、金属ガスケットの漏えい率は基準漏えい率以下を満足している。

## ③ 規則への適合性

- (1) TK-26 型は、使用済燃料を限定された区域に閉じ込めるため、金属キャスクの蓋部、及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できる設計である。
- (2) TK-26 型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重の閉じ込め構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持することにより、使用済燃料集合体を内封する空間を金属キャスク外部から隔離する設計である。
- (3) TK-26 型は、蓋間の圧力を測定することにより、閉じ込め機能について監視ができる設計である。

以上より、TK-26 型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の閉じ込め機能に影響を与えることはない。

なお、二次蓋の閉じ込め機能の異常が認められた場合には、一次蓋の金属ガスケットが健全であることを確認のうえ、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能

を修復できる設計とする。また、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できる設計である。

## D. 許可基準規則第6条関係（除熱）

### ① 基本設計方針

#### ○ 使用済燃料等の除熱に関する構造

TK-26 型は、使用済燃料等の除熱に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

TK-26 型は、金属キャスクについて動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計とする。

TK-26 型は、以下のとおり使用済燃料集合体の温度及び金属キャスクの温度を制限される値以下に維持する方針とする。

#### 1. 使用済燃料集合体の温度を制限される値以下に維持するための設計方針

TK-26 型は、金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃料被覆管の温度においては、使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、金属キャスクの周囲温度 50℃、貯蔵建屋壁面温度 65℃とし、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなるような入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行う。除熱評価の結果、当該燃料被覆管の温度について、燃料被覆管の累積クリープ歪みが 1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向により燃料被覆管の機械的特性が低下しない温度以下となるように金属キャスクを設計する。

#### 2. 金属キャスクの温度を制限される値以下に維持するための設計方針

TK-26 型は、金属キャスク基本的安全機能を維持する観点から、金属キャスクの周囲温度 50℃、貯蔵建屋壁面温度 65℃とし、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、冷却期間等の条件から、除熱評価の結果が厳しくなるような入力条件を設定したうえで求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量及び使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮した除熱評価を行う。除熱評価の結果、金属キャスクの温度を構成部材の健全性が保たれる温度以下となるように設計する。

### ② 安全設計

#### ○ 除熱機能に関する設計方針

TK-26 型は、使用済燃料集合体の健全性、及び金属キャスクの基本的安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料集合体の崩壊熱を除去する設計とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間 60 年間を通じて使用済燃料集合体の健全性を維持する観点から、燃料被覆管の累積クリープ歪みが 1%を超えない温度、照射硬化の回復により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度、及び水素化物の再

配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下とするため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下の制限を設ける。

- ・ 17×17 燃料、及び 15×15 燃料 275℃以下<sup>(1)</sup>

また、TK-26 型は、金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から、金属キャスクの温度を構成部材の健全性が保たれる温度以下に制限する設計とする。TK-26 型の主要な構成部材の温度は、金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から以下の制限を設ける。

- ・ 胴、外筒、及び蓋部 350℃以下<sup>(2)</sup>
- ・ 中性子遮蔽材 150℃以下<sup>(3)</sup>
- ・ 金属ガスカート 130℃以下<sup>(4)</sup>
- ・ バスケット格子材 250℃以下<sup>注)</sup>

注) 補足説明資料 1-7 により設定した最高使用温度

## ○ 除熱機能

### (1) 除熱機能に関する構造

TK-26 型は、使用済燃料集合体から発生する崩壊熱を伝導、対流、放射により TK-26 型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する。金属キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低いレジンが用いられているので、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

### (2) 除熱解析

除熱解析フローを第 1-12 図に示す。

除熱解析は、TK-26 型の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、使用済燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、伝熱解析コード ABAQUS を用いて行う。

除熱解析条件を第 1-10 表に示す。収納する使用済燃料集合体の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を考慮し、除熱評価の結果が厳しくなるような条件を設定し、燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量、及び第 1-13 図に示す使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納位置を入力条件として、燃料被覆管、及び金属キャスクの基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材の温度を評価し、燃料被覆管の温度が制限温度以下となること、また、構成部材は、その健全性に影響を与えない温度となることを確認する。

保守的な温度評価を行うために、金属キャスクの蓋部、及び底部の温度は、軸方向断面の二次元モデル、それ以外の構成部材の温度は径方向断面の二次元モデルで評価し、燃料被覆管の温度は、使用済燃料集合体の径方向断面の二次元モデルで評価する。また、構成部材の温度評価に当たっては、第 1-7 表に示す使用済燃料集合体のピーキングファクターを考慮して、最大崩壊熱量を上回る設計発熱量を設定するとともに、金属キャスク本体底部を断熱条件とし、さらに、燃料被覆管の温度評

価に当たっては、軸方向を断熱条件とするなど、十分な保守性を見込むこととする。

上記条件に基づく解析の結果、第 1-6 表に示すように、燃料被覆管の最高温度は制限温度である設計基準値を満足している。また、構成部材の温度は、その健全性に影響を与えない温度である。

### ③ 規則への適合性

- (1) TK-26 型は、使用済燃料の健全性、及び金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から、使用済燃料集合体の崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる設計である。
- (2) TK-26 型は、使用済燃料の健全性を維持する観点から、設計貯蔵期間 60 年間を通じて貯蔵する使用済燃料の制限温度以下となる設計である。
- (3) TK-26 型は、金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から設計貯蔵期間 60 年間を通じてその構成部材の健全性が保たれる温度範囲となる設計である。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業（変更）許可申請時には、TK-26 型を含めた金属キャスク周囲温度、及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、それぞれ 50℃以下、及び 65℃以下であることを確認する必要がある。

E. 許可基準規則第9条関係（地震による損傷の防止）

① 基本設計方針

○ 地震による損傷の防止に関する構造

TK-26 型は、地震による損傷の防止に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

TK-26 型は、金属キャスクを使用済燃料貯蔵施設の貯蔵建屋内の床等に固定した状態で、水平方向 1.5G 及び鉛直方向 1.0G の加速度により作用する地震力に対して、金属キャスクが転倒しないよう金属キャスクの本体胴等を設計する。またこの場合において、この金属キャスクの本体胴等の応答が弾性状態に留まるよう設計する。



② 安全設計

○ 構造強度に関する設計方針

TK-26 型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮し、(一社)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」<sup>(2)</sup>（以下「金属キャスク構造規格」という。）、又は(一社)日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設規格」<sup>(21)</sup>（以下「設計・建設規格」という。）に基づき設計する。また、TK-26 型は、耐震評価において設計条件として設定した、水平方向 1.5G、鉛直方向 1.0G の加速度により作用する地震力に対して、金属キャスクの本体胴等の応答が弾性状態に留まる範囲で耐え得る設計とする。

○ 構造強度

(1) 構造

TK-26 型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮して設計するとともに、使用済燃料貯蔵施設内での取扱時の荷重、及び貯蔵中の地震により作用する地震力等を考慮しても構造健全性を維持する設計とする。

TK-26 型は、貯蔵建屋内においてトラニオンを天井クレーンにより吊り上げて取り扱う。また、貯蔵中はたて置き姿勢であり、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台を介して床面に固定される。

(2) 構造解析

TK-26 型の各評価部位に対する構造強度解析フローを第 1-14 図に示す。

TK-26 型に発生する応力は、想定される荷重をもとに TK-26 型の実形状をモデル化し、構造解析コード ABAQUS、及び応力評価式を使用して求める。

使用済燃料貯蔵施設における取扱時の構造強度評価は、取扱いによって発生する加速度として、TK-26 型を垂直姿勢で吊り上げる事象を想定し、以下に示す加速度を考慮して行う。

・鉛直方向：3G

地震時の構造強度評価は、たて置き姿勢で貯蔵されている TK-26 型に対して、地震によって発生する加速度として以下に示す加速度を考慮して行う。

- ・ 水平方向：1.5G
- ・ 鉛直方向：1.0G

TK-26 型は、自重、内圧、外圧、熱荷重、及びその地震力に対して、金属キャスクの本体胴等の応答が弾性状態に留まる範囲で耐え得る設計とする。

また、下部トラニオンの評価条件として、第 1-15 図に示すように、二対の下部トラニオンを介して貯蔵架台に固定されるものとする。

上記条件に基づく解析の結果、第 1-6 表に示すように、金属キャスク本体、及び蓋部に発生する応力は、金属キャスク構造規格等の各供用状態に定められた許容応力以下である。

### ③ 規則への適合性

- ・ 第 1 項から第 3 項について

TK-26 型は、貯蔵中はたて置き姿勢であり、TK-26 型が貯蔵中転倒しないように、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台に下部トラニオン 4 個を固縛することで床面に固定される。

TK-26 型は、設計条件として、水平方向 1.5G、鉛直方向 1.0G に設定した加速度により作用する地震力に対して、金属キャスクの本体胴等の応答が弾性状態に留まる範囲で耐え得る設計とすることから、TK-26 型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の安全機能に影響を与えることはない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業（変更）許可申請時には、使用済燃料貯蔵施設の貯蔵架台の設計地震力が、TK-26 型の設計条件に包絡されることを確認する必要がある。

## F. 許可基準規則第 15 条関係（金属キャスク）

### ① 基本設計方針

#### ○ その他の主要な構造

TK-26 型は、イからホに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) TK-26 型は、金属キャスクの基本的安全機能を維持する上で重要な構成部材には、設計貯蔵期間 60 年間における温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定することにより、その必要とされる強度、性能を維持し、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。
- (2) TK-26 型は、金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、金属キャスク表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を講ずる設計とする。
- (3) TK-26 型は、三次蓋を取り付けて輸送できる構造を有する設計とする。
- (4) TK-26 型は、使用済燃料貯蔵施設への搬入、貯蔵、及び搬出にかかる金属キャスクの移動の際に想定される金属キャスクの転倒事象、落下事象、及び金属キャスクへの重量物の落下事象に対して、基本的安全機能を維持できる設計とする。

### ② 安全設計

#### ○ 長期健全性に関する設計方針

TK-26 型は、金属キャスクの基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境、及びその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持することで、使用済燃料の健全性を確保するように設計する。また、TK-26 型は、金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入して貯蔵する設計とする。また、金属キャスク本体、及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す。

#### ○ 長期健全性

使用済燃料集合体の貯蔵中に構成部材が劣化する要因としては、放射線照射、熱、及び腐食が考えられるため、これらの要因に対する構成部材の設計貯蔵期間 60 年間における健全性評価を以下に示す。



(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

(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措置を施す。

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、銅の腐食環境にないことから、腐食が問題となることはない。

(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することは無い。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 60 年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形材」（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※ : 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

1

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 <sup>※2</sup>	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

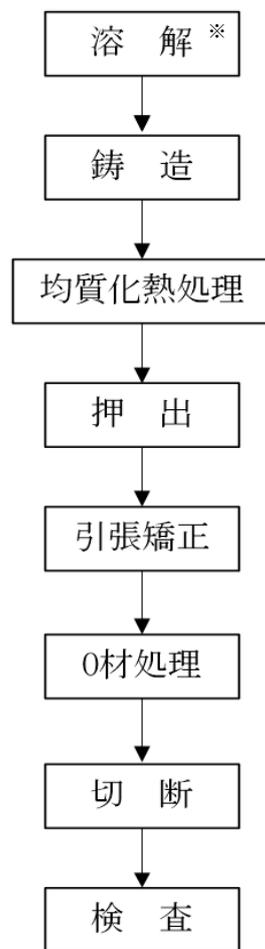
※1) 加速試験をしない供用開始前の製造管理値である。

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)	○	—
ほう素の製品分析		ほう素化学分析	—	○		
⑧	梱包	梱包	員数・荷姿	—	○	

※) メーカー自主管理項目を含む。

1



※) 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

### ③ 規則への適合性

#### ・第2項について

TK-26 型の基本的安全機能を維持する上で重要な TK-26 型の構成部材は、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境、及びその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とすることにより、使用済燃料の健全性を確保している。また、金属キャスク本体内面、バスケット、及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスとともに封入して貯蔵する。

#### IV TK-26 型の概要

##### ○ 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。



V 貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類毎の最大貯蔵能力

○ 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)	
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
・ 17×17 燃料 39,000MWd/t 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)	
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)	
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 燃料は混載ができる設計である。