

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等
の設計の型式証明に関する審査書
(日立造船株式会社)

令和2年12月18日

原子力規制庁

目次

I	はじめに	2
II	特定容器等を使用できる範囲又は条件	3
III	特定容器等の設計	4
III-1	使用済燃料の臨界防止（第3条関係）	4
III-2	遮蔽等（第4条関係）	5
III-3	閉じ込めの機能（第5条関係）	6
III-4	除熱（第6条関係）	8
III-5	地震による損傷の防止（第9条関係）	9
III-6	金属キャスク（第15条関係）	9
IV	審査結果	11

I はじめに

1. 本審査書の位置付け

本審査書は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和 32 年法律第 166 号。以下「原子炉等規制法」という。）第 4 3 条の 2 6 の 2 第 1 項に基づいて、日立造船株式会社（以下「申請者」という。）が原子力規制委員会に提出した「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」（平成 30 年 8 月 1 日付け Doc No. P 営（原）005 をもって申請、令和 2 年 12 月 9 日付け Doc No. P 営（原）003 をもって一部補正。以下「本申請」という。）の内容が、原子炉等規制法第 4 3 条の 2 6 の 2 第 2 項に規定する第 4 3 条の 5 第 1 項第 3 号の基準（使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備が使用済燃料又は使用済燃料によって汚染された物による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合するものであること。）のうち、技術上の基準に係る部分に適合しているかどうかを審査した結果を取りまとめたものである。

2. 判断基準及び審査方針

本審査では、申請のあった特定容器等の種類が金属製の乾式キャスク（以下「金属キャスク」という。）であることを踏まえ、「II 特定容器等を使用できる範囲又は条件」において、金属キャスクの設計が、「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 12 月 6 日原子力規制委員会規則第 24 号。以下「事業許可基準規則」という。）及び「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の解釈」（原管廃発第 1311272 号（平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定）。以下「事業許可基準規則解釈」という。）のうち、第 3 条（使用済燃料の臨界防止）、第 4 条（遮蔽等）、第 5 条（閉じ込めの機能）、第 6 条（除熱）、第 9 条（地震による損傷の防止）及び第 1 5 条（金属キャスク）に適合しているかどうかを確認した。上記以外の条項については本審査の対象外とした（本審査の対象範囲については表 1 を参照）。

また、本審査においては、その他法令で定める基準、学協会規格、事業許可基準規則解釈に示した審査指針等も参照した。

3. 本審査書の構成

「II 特定容器等を使用できる範囲又は条件」には、申請書に記載された特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件を示した。

「III 特定容器等の設計」には、上記 2. に示した事業許可基準規則第 3 条、第 4 条、第 5 条、第 6 条、第 9 条及び第 1 5 条の規定への適合性に関する審査内容を示した。

「IV 審査結果」には、原子力規制委員会原子力規制庁（以下「規制庁」という。）としての結論を示した。

本審査書においては、法令の規定等や申請書の内容について、必要に応じ、文章の要約や言い換え等を行っている。

本審査書で用いる条番号は、断りのない限り事業許可基準規則のものである。

II 特定容器等を使用できる範囲又は条件

以下に示す条件により設計された金属キャスクを使用することができる使用済燃料貯蔵施設であること。

金属キャスクの設計貯蔵期間	60 年以下
金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き
金属キャスクの固縛方式	下部トラニオン固縛
金属キャスクの全質量（使用済燃料を含む）	118t 以下
金属キャスクの主要寸法	全長 約 5.5m 外径 約 2.4m
金属キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵区域における金属キャスクの周囲温度	最低温度 -22.4°C 最高温度 45°C
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65°C
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.4G 鉛直方向 0.87G
金属キャスクに収納する使用済燃料の種類	
高燃焼度 8 × 8 燃料（BWR 使用済燃料）	
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	50,000MWd/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
新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料（BWR 使用済燃料）	
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	40,000MWd/t 以下
収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度	38,000MWd/t 以下
冷却期間	18 年以上
新型 8 × 8 燃料（BWR 使用済燃料）	
収納する使用済燃料集合体の最高燃焼度	40,000MWd/t 以下

収納する使用済燃料集合体の平均燃焼度	35,000MWd/t 以下
冷却期間	25 年以上
金属キャスク 1 基当たりの最大貯蔵能力	52 体
金属キャスク 1 基当たりの最大崩壊熱量	12.8kW

Ⅲ 特定容器等の設計

Ⅲ-1 使用済燃料の臨界防止（第3条関係）

第3条の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、使用済燃料が臨界に達するおそれがないものであることを要求している。本審査では、当該規定のうち金属キャスクに係る項目として、以下について審査を行った。

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
2. 金属キャスク相互の中性子干渉による臨界を防止するための設計方針

また、規制庁は、バスケットの構造健全性に関する設計方針及び臨界評価における未臨界性に有意な影響を与える因子の考慮について確認した。

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

申請者は、臨界を防止するため、以下の設計方針としている。

- (1) 金属キャスクの内部に格子状のバスケットを設け、その中に使用済燃料集合体を収納することにより、使用済燃料集合体の幾何学的配置を維持できる設計とする。
- (2) 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) バスケットは、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) 臨界評価において、中性子実効増倍率が 0.95 以下に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の考慮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の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、乾燥状態においては金属キャスク中心側に偏向して配置し、冠水状態においては格子中央に配置する。
 - 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、内のりの寸法公差及び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。なお、冠水状態での解析では、可燃性毒物による反応度抑制効果を適切に考慮する。
- (5) 上記(1)から(4)により、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。

規制庁は、申請者の設計方針が、金属キャスク内部のバスケットにより使用済燃料集合体の幾何学的配置を維持すること、中性子吸収能力を有する材料をバスケットの構成部材に使用すること、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性を維持することにより技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計であること、また、臨界評価において未臨界性に有意な影響を与える因子を適切に考慮するものであることを確認した。

2. 金属キャスク相互の中性子干渉による臨界を防止するための設計方針

申請者は、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮した臨界評価において、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計するとしている。上記1.における臨界評価において、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されており、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はないとしている。

規制庁は、申請者の設計方針が、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臨界を防止するものであることを確認した。

規制庁は、上記のとおり、本申請の内容を確認した結果、事業許可基準規則第3条（金属キャスクに係る部分に限る。）に適合するものと判断した。

Ⅲ-2 遮蔽等（第4条関係）

第4条第1項の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じることを要求している。また、同条第2項の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じることを要求している。本審査では、当該規定のうち金属キャスクに係るものとして、金属キャスクに係る遮蔽等の設計方針について

審査を行った。

申請者は、金属キャスクに係る遮蔽等の設計方針について、以下のとおりとしている。

- (1) 使用済燃料集合体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とする。
- (2) 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機能の低下を考慮しても、金属キャスク表面及び表面から 1m の位置における線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 以下、 $100 \mu\text{Sv/h}$ 以下となるように設計する。
- (3) 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上で線源強度を求め、金属キャスクの実形状を二次元でモデル化し、金属キャスク表面及び表面から 1m の位置における線量当量率を求め、上記 (2) に示す線量当量率を満足することを確認する。

規制庁は、申請者の金属キャスクに係る遮蔽等の設計方針が、使用済燃料集合体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こと、設計貯蔵期間 60 年間における熱による中性子遮蔽材の遮蔽機能の低下を考慮しても、金属キャスク表面及び表面から 1m の位置における線量当量率がそれぞれ 2mSv/h 以下、 $100 \mu\text{Sv/h}$ 以下となるよう設計すること、遮蔽評価の結果が厳しくなるように入力条件を設定していることなどから、事業許可基準規則第 4 条（金属キャスクに係る部分に限る。）に適合するものと判断した。

Ⅲ－３ 閉じ込めの機能（第 5 条関係）

第 5 条の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、使用済燃料又は使用済燃料によって汚染された物（以下「使用済燃料等」という。）を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものであることを要求している。本審査では、当該規定のうち金属キャスクに係る項目として、以下について審査を行った。

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
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
3. 金属キャスクの閉じ込め機能の修復性に関する考慮

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

申請者は、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負圧に維持できるように設計するとしている。

規制庁は、申請者の設計方針が、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できるように設計することを確認した。

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

申請者は、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としている。

規制庁は、申請者の設計方針が、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するとともに、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ものであることを確認した。

3. 金属キャスクの閉じ込め機能の修復性に関する考慮

申請者は、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に異常が認められた場合には使用済燃料集合体を内封する空間が負圧に維持されていること及び一次蓋が健全であることを確認の上、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としている。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、三次蓋を取付けて使用済燃料貯蔵施設の外へ搬出できる設計とするとしている。

規制庁は、申請者の設計方針が、二次蓋の金属ガスケットの交換等により閉じ込め機能を修復できるものであることを確認した。

規制庁は、上記のとおり、本申請の内容を確認した結果、事業許可基準規則第 5 条（金属キャスクに係る部分に限る。）に適合するものと判断した。

Ⅲ－４ 除熱（第6条関係）

第6条の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、動力を用いないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるものであることを要求している。本審査では、当該規定のうち金属キャスクに係る項目として、以下について審査を行った。

1. 使用済燃料集合体の温度を制限値以下に維持するための設計方針
2. 金属キャスクの温度を制限値以下に維持するための設計方針

1. 使用済燃料集合体の温度を制限値以下に維持するための設計方針

申請者は、金属キャスクについて、動力を用いないで使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料集合体から発生する崩壊熱を金属キャスク表面に伝え、周囲の空気等に伝達し、除熱する設計ととしている。

燃料被覆管の温度については、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としている。

除熱評価においては、金属キャスクの周囲温度を 45℃、貯蔵建屋壁面温度を 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て使用済燃料集合体の崩壊熱量を求め、金属キャスク内の使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮するとしている。

規制庁は、申請者の設計方針が、使用済燃料集合体から発生する崩壊熱を金属キャスク表面に伝え周囲の空気等に伝達して除熱する設計とすること、使用済燃料集合体の燃料被覆管の温度を燃料被覆管のクリープ破損及び機械的特性の低下を防止する観点から設定される制限温度以下に維持するものであること、除熱評価の結果が厳しくなるように入力条件等を設定するとしていることを確認した。

2. 金属キャスクの温度を制限値以下に維持するための設計方針

申請者は、金属キャスクの温度については、基本的安全機能を維持する観点から、金属キャスクの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としている。

除熱評価においては、上記Ⅲ－４ 1. と同様に使用済燃料集合体の崩壊熱量を求め、金属キャスク内の使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配置を考慮するとしている。

規制庁は、申請者の設計方針が、金属キャスクを構成する各部材の温度を金属キャスクの基本的安全機能を維持する観点から設定される制限温度以下に維持するものであること、除熱評価の結果が厳しくなるように入力条件等を設定するとしていることを確認した。

規制庁は、上記のとおり、本申請の内容を確認した結果、事業許可基準規則第6条（金属キャスクに係る部分に限る。）に適合するものと判断した。

Ⅲ－５ 地震による損傷の防止（第9条関係）

第9条の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、地震の発生によって生ずるおそれがある使用済燃料貯蔵施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定した地震力に十分に耐えることができる設計とすること、その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とすることを要求している。本審査では、当該規定のうち金属キャスクに係るものとして、金属キャスクが「Ⅱ 特定容器等を使用できる範囲又は条件」に示された固縛等の条件における地震力に対して十分に耐えることができる設計とすることについて審査を行った。

申請者は、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 1.4G 及び鉛直方向 0.87G の地震力を作用させた場合において、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としている。また、この場合において、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としている。

規制庁は、申請者の金属キャスクの本体胴等に係る設計方針が、設定した地震力に対して、金属キャスクが転倒しないよう設計すること、応答が弾性状態に留まるよう設計することを確認したことから、事業許可基準規則第9条（金属キャスクに設定された地震力に対する設計に係る部分に限る。）に適合するものと判断した。

Ⅲ－６ 金属キャスク（第15条関係）

第15条の規定は、使用済燃料貯蔵施設について、金属キャスクを設け、当該金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保するものであることを要求している。

申請者は、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としている。また、金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するため、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じる設計とするとしている。

規制庁は、申請者の設計方針が、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、使用済燃料集合体を不活性ガスとともに封入すること、金属キャスク表面の必要な箇所に塗装等による防錆措置を講じ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ものであることを確認したことから、事業許可基準規則第 15 条に適合するものと判断した。

IV 審査結果

日立造船株式会社から原子力規制委員会に申請された「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」（平成30年8月1日付け Doc No. P 営（原）005 をもって申請、令和2年12月9日付け Doc No. P 営（原）003 をもって一部補正。）を審査した結果、当該申請は、原子炉等規制法第43条の26の2第2項に規定する第43条の5第1項第3号の基準のうち技術上の基準に係る第3条（金属キャスクに係る部分に限る。）、第4条（金属キャスクに係る部分に限る。）、第5条（金属キャスクに係る部分に限る。）、第6条（金属キャスクに係る部分に限る。）、第9条（金属キャスクに設定された地震力に対する設計に係る部分に限る。）及び第15条に適合しているものと認められる。

表1 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における本審査の対象範囲

条番号	見出し	審査範囲 ○：審査対象 －：審査対象外	
第1条	適用範囲	－	
第2条	定義	－	
第3条	使用済燃料の臨界防止	○	使用済燃料の金属キャスクへの収納に関する措置に係る事項を除く。
第4条	遮蔽等	○	事業所周辺の線量及び管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量に係る措置並びに使用済燃料の金属キャスクへの収納に関する措置に係る事項を除く。
第5条	閉じ込めの機能	○	放射性固体廃棄物処理施設及び放射性固体廃棄物の貯蔵施設の設計に係る事項を除く。
第6条	除熱	○	使用済燃料貯蔵建屋に係る設計及び使用済燃料の金属キャスクへの収納に関する措置に係る事項を除く。
第7条	火災等による損傷の防止	－	
第8条	使用済燃料貯蔵施設の地盤	－	
第9条	地震による損傷の防止	○	使用済燃料貯蔵建屋の設計に係る事項を除く。
第10条	津波による損傷の防止	－	
第11条	外部からの衝撃による損傷の防止	－	
第12条	使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止	－	
第13条	安全機能を有する施設	－	
第14条	設計最大評価事故時の放射線障害の防止	－	
第15条	金属キャスク	○	
第16条	使用済燃料の受入れ施設	－	
第17条	計測制御系統施設	－	

条番号	見出し	審査範囲 ○：審査対象 －：審査対象外	
第18条	廃棄施設	－	
第19条	放射線管理施設	－	
第20条	予備電源	－	
第21条	通信連絡設備等	－	

※本審査の審査対象は、平成27年8月19日第24回原子力規制委員会において使用済燃料貯蔵施設に係る設計の特定容器等の型式証明の審査対象として示した方針に基づくものである。