

MA035A-RC-Z11 Rev. 2
2020年11月24日
日立造船株式会社

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の
型式証明申請書（Hitz-B52型）に関する設計方針概要

目 次

I 概要	1
II 安全設計に関する説明	1
II-1 使用済燃料の臨界防止（許可基準規則第3条関係）	1
II-2 遮蔽等（許可基準規則第4条関係）	3
II-3 閉じ込めの機能（許可基準規則第5条関係）	3
II-4 除熱（許可基準規則第6条関係）	4
II-5 地震による損傷の防止（許可基準規則第9条関係）	5
II-6 金属キャスク（許可基準規則第15条関係）	6

I 適用

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の規定に基づき日立造船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（Hitz-B52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）

Hitz-B52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. Hitz-B52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. バスケットの格子間には、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を配置する。
- 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）としていることから、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。なお、冠水状態の解析では、可燃性毒物による燃焼初期の反応度抑制効果を適切に考慮する。

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) Hitz-B52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) Hitz-B52型は、中性子吸収能力を有するほう素を備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) Hitz-B52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) Hitz-B52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。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、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

Hitz-B52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）

Hitz-B52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 μ Sv/h以下となるよう設計する。

Hitz-B52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 μ Sv/h以下となるように設計する。

Hitz-B52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二次元でモデル化し、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）

Hitz-B52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. Hitz-B52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. Hitz-B52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. Hitz-B52 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。

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

Hitz-B52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

Hitz-B52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

Hitz-B52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、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）

Hitz-B52 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、次の方針に基づき除熱設計を行う。

- a. Hitz-B52 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量が 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合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. Hitz-B52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。

Hitz-B52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。

Hitz-B52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

Hitz-B52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45℃、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合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

Hitz-B52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45℃、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）

Hitz-B52型は、貯蔵中は縦置き姿勢であり、Hitz-B52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。

Hitz-B52 型の耐震評価における設計条件として、水平方向 1.4G、鉛直方向 0.87G の地震動を設定する。

Hitz-B52 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。

Hitz-B52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1.4G及び鉛直方向0.87Gの加速度により発生する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。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）

Hitz-B52 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、Hitz-B52 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、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。

Hitz-B52 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。

また、Hitz-B52 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、塗装による防錆措置を講ずる設計とする。

以上の内容をふまえて、「基本設計方針」「安全設計」及び「規則への適合性」の記載を見直すものとする。

・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

イ. 使用済燃料の臨界防止に関する構造

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) Hitz-B52 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) Hitz-B52 型は、中性子吸収能力を有するほう素を備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) Hitz-B52 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) Hitz-B52 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。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、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

Hitz-B52 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

3.1 臨界防止機能

(2) 臨界解析

臨界解析フローを第 1-4 図に示す。

臨界解析では、Hitz-B52 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輸送計算コード XSDRNPM、中性子実効増倍率の計算を臨界解析コード KENO-V.a⁽⁶⁾で行う SCALE コードシステム (4.4a) 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 238 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の仕様を第 1-3 表に示す。第 1-3 表より、臨界解析の対象とする使用済燃料は最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料を代表とする。臨界解析条件を第 1-4 表に示す。使用済燃料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が、乾燥状態の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。また、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して、濃縮度の異なる 2 種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が 1.3 となる燃料モデル (モデルバンドル) を仮定する。使用済燃料集合体を Hitz-B52 型に 52 体収納した状態を設定し、Hitz-B52 型相互の中性子干渉を考慮して、Hitz-B52 型が無限に配列している体系とする。さらに、バスケット内の使用済燃料は、中性子実効増倍率が最大となるように乾燥状態では Hitz-B52 型の中心側に偏心配置し、冠水状態では格子中央に配置するとともに、バスケットの板厚、内のり等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材はほう素添加量を最低保証値とするなど、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中性子吸収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。

③ 規格への適合性

(4) 当該キャスクは、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. 減速材 (水) の影響

使用済燃料集合体を当該キャスクに収納する際に冠水することから、乾燥状態及び冠水状態を考慮している。

b. 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、貯蔵区域内の当該キャスクの配置、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に配置することで、中性子実効増倍率が最大となるように考慮している。

c. 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。

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。なお、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を適切に考慮している。

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、Hitz-B52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。

・許可基準規則第4条関係（遮蔽等）

① 基本設計方針

ロ. 放射線の遮蔽に関する構造

Hitz-B52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 μ Sv/h 以下となるように設計する。

Hitz-B52 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。金属キャスクの真形状を二次元でモデル化し、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

2.1.2 遮蔽機能に関する設計方針

Hitz-B52 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入る場所の線量を低減できるように使用済燃料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、Hitz-B52 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 μ Sv/h を超えないこと。

さらに、設計貯蔵期間中における Hitz-B52 型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、これらの要求事項を満足するように設計する。

3.2 遮蔽機能

(2) 遮蔽解析

遮蔽解析フローを第 1-5 図に示す。

遮蔽解析では、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⁽⁶⁾を用いて、線量当量率評価に用いる線源強度を求める。

使用済燃料の線源強度計算条件を第 1-6 表に示す。線源強度の計算には、使用

済燃料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」という。）を考慮する。線源強度の計算結果を第 1-7 表に示す。

線量当量率の評価に当たっては、第 1-2 図に示す使用済燃料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 Hitz-B52 型の中性子遮蔽材の熱による遮蔽性能の低下を考慮する。

上記条件に基づく解析の結果、第 1-5 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線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 及び 100 μ Sv/h 以下を満足している。

③ 規格への適合性

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。

Hitz-B52 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、Hitz-B52 型の実形状を軸方向断面で二次元モデル化し、算出した線源強度に基づき、実績のある核データライブラリを用いて、Hitz-B52 型の線量当量率を評価している。

Hitz-B52 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能力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 2 mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下となるように設計している。

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、Hitz-B52 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。

・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

八、使用済燃料等の閉じ込めに関する構造

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

Hitz-B52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

Hitz-B52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

Hitz-B52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、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。

・許可基準規則第6条関係（除熱）

① 基本設計方針

二、使用済燃料等の除熱に関する構造

Hitz-B52型は、金属キャスクについて動力を用いずに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。

Hitz-B52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

Hitz-B52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45℃、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

Hitz-B52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45℃、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

2.1.4 除熱機能に関する設計方針

Hitz-B52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有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料の崩壊熱を除去する設計とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料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。

- | | |
|----------------------|---------------|
| ・ 新型 8×8 燃料 | 200℃以下(1) (2) |
| ・ 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 | 300℃以下(1) (2) |
| ・ 高燃焼度 8×8 燃料 | 300℃以下(1) (2) |

また、Hitz-B52 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している。Hitz-B52 型の主要な構成部材の温度は、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 | 375℃以下(3) |
| ・ 中性子遮蔽材 | 149℃以下(4) |
| ・ 金属ガスケット | 130℃以下(15) |
| ・ バスケット格子 | 350℃以下(3) |

3.4 除熱機能

(2) 除熱解析

除熱解析フローを第 1-9 図に示す。

除熱解析は、Hitz-B52 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、有限要素法コード ABAQUS⁽⁶⁾を用いて行う。

除熱解析条件を第 1-9 表に示す。収納する使用済燃料の種類、燃焼度、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⁽⁶⁾を用いて求めた使用済燃料集合体の崩壊熱量、及び第 1-10 図に示す使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納配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する。燃料被覆管は貯蔵する使用済燃料の種類ごとに定める制限温度、構成部材はその健全性に影響を与えない温度以下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 1-6 表に示す使用済燃料のピーキングファクタを考慮して、最大崩壊熱量を上回る崩壊熱量を設定するとともに、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 1-5 表に示すように、燃料被覆管は制限温度

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以下である。

・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

ホ. 地震による損傷の防止に関する構造

Hitz-B52 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 1.4G 及び鉛直方向 0.87G の加速度により発生する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。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

2.1.5 構造強度に関する設計方針

Hitz-B52 型は耐震評価における設計条件として設定した、水平方向 1.4G、鉛直方向 0.87G の加速度により発生する地震力を考慮する。

Hitz-B52 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」⁽³⁾（以下「金属キャスク構造規格」という。）に基づき設計する。また、Hitz-B52 型は、設定した加速度による地震力に対して、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。

3.5 構造強度

(1) 構造

Hitz-B52 型の耐震評価における設計条件として設定した、水平方向 1.4G、鉛直方向 0.87G の加速度により発生する地震力を考慮する。

Hitz-B52 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生じる荷重等を考慮しても構造健全性を維持する設計とする。

Hitz-B52 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

Hitz-B52 型の各評価部位に対する構造強度解析フローを第 1-11 図に示す。

Hitz-B52 型に発生する応力は、想定される荷重をもとに Hitz-B52 型の実形状をモデル化し、構造解析コード ABAQUS⁽⁶⁾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、Hitz-B52 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 Hitz-B52 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：1.4G
- ・ 鉛直方向：0.87G

Hitz-B52 は剛体として、設計震度を機器に作用させて地震力を算定し、自重、内圧、外圧、熱荷重及びその設定した加速度により発生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。また、下部トラニオンの評価条件として、第 1-12 図に示すように、4 個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 1-5 表に示すように、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

Hitz-B52 型は、貯蔵中は縦置き姿勢であり、Hitz-B52 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。

Hitz-B52 型は、設計条件として、水平方向 1.4G、鉛直方向 0.87G に設定した加速度により発生する地震力に対して、金属キャスクを剛体としたモデルにその地震力を作用させることで評価を行い、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、当該キャスク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が、当該キャスクの設計条件/として設定す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であることを確認する必要がある。

- 許可基準規則第15条関係（金属キャスク）

① 基本設計方針

へ、その他の主要な構造

Hitz-B52型は、イからニに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。

(1) Hitz-B52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) Hitz-B52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、塗装による防錆措置を講ずる設計とする。

② 規格への適合性

第2項について

Hitz-B52型の基本的安全機能を維持する上で重要な当該キャスクの構成部材は、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。