

# 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 設置許可基準規則への適合性について (第十六条関連)

2022.12.5  
日立造船株式会社

# 目次

---

1. 設置許可基準規則への適合性の概要
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）
3. 指摘事項（コメント）リスト
4. 今後のスケジュール

# 1. 設置許可基準規則への適合性の概要

# 1. 設置許可基準規則への適合性の概要

## ● 設置許可基準規則での要求事項に対する評価項目概要

設置許可基準規則		特定兼用キャスク安全機能				長期健全性	構造強度	波及的影響
		臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め			
第三条								
第四条	地震による損傷の防止	—	—	—	—	—	◎	—
第五条	津波による損傷の防止	—	—	—	—	—	◎	—
第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	—	—	—	—	—	◎	—
第七条～第十五条								
第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	◎	◎	◎	◎	◎	◎	—
第十七条～第三十六条								

◎：設計方針及び安全評価を説明する項目

□：申請の範囲外

◻：本資料で説明する事項

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

- ◆ 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（第十六条第2項第一号八）（臨界防止機能）
- 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則<sup>(注1)</sup>の要求事項に対するHitz-B69型の臨界防止設計の方針を下表に示す。

規則等	要求事項	臨界防止設計の方針	特記事項
設置許可基準規則 <sup>(注1)</sup> 第十六条第2項第一号八	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。	Hitz-B52型 <sup>(注3)</sup> 、MSF-24P(S)型 <sup>(注4)</sup> 、HDP-69BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様。⇒ 評価結果 P.12
貯蔵事業許可基準規則解釈 <sup>(注2)</sup> 第3条	使用済燃料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設計であること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・格子状のバスケットを設け、使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持する。</li> <li>・中性子吸収能力を有するほう素を添加した中性子吸収材をバスケットの構成部材に使用する。</li> <li>・貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及び使用済燃料集合体を収納する際の冠水状態でも臨界を防止する。</li> </ul>	Hitz-B52型 <sup>(注3)</sup> 、MSF-24P(S)型 <sup>(注4)</sup> 、HDP-69BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様。 ⇒ バスケットの構造 P.9 ⇒ 収納物の条件 P.10
	設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計であること。	設計貯蔵期間中の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定することで、構造健全性を維持する設計とする。	Hitz-B52型 <sup>(注3)</sup> 、MSF-24P(S)型 <sup>(注4)</sup> 、HDP-69BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様。
	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対策が講じられていること。	キャスク（Hitz-B69型）が無限に配列した体系（完全反射）とすることでキャスク相互の中性子干渉を考慮。	Hitz-B52型 <sup>(注3)</sup> 、MSF-24P(S)型 <sup>(注4)</sup> 、HDP-69BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様。⇒ 解析モデル P.11

(注1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

(注2) 「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」

(注3) 使用済燃料貯蔵施設の特定期間として型式証明を受けたHitz-B52型（M-DPC20002）を示す。

(注4) 発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたMSF-24P(S)型（C-SE-2110271）を示す。

(注5) 発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたHDP-69BCH(B)型（C-SE-2201261）を示す。  
ただし、MSF-24P(S)型及びHDP-69BCH(B)型に関する記載は公開情報に基づくものである。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

### ● 設置許可基準規則の要求事項（続き）

規則等	要求事項	臨界防止設計の方針	特記事項
貯蔵事業 許可基準 規則解釈 (注2)第3 条	未臨界性に有意な影響を 与える因子が考慮されている こと。 ①配置・形状 <ul style="list-style-type: none"> <li>• キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の燃料集合体の配置等</li> <li>• 滑動等によるキャスクの配置の変化に伴う中性子実効増倍率の増加</li> <li>• 事故時にバスケット及び使用済燃料集合体の変形(破損)</li> </ul>	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、Hitz-B69型は基礎等に固定しない設置方法のため滑動等の可能性があるが、キャスクが無限に配列した体系（完全反射）を評価することで、キャスクの配置の変化を考慮する場合を包絡する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitz-B69型が無限に配列した体系（完全反射）</li> <li>• バスケット格子内のり等の寸法公差</li> <li>• バスケット格子内の使用済燃料の配置</li> </ul>	Hitz-B52型(注3)、MSF-24P(S)型(注4)、HDP-69BCH(B)型(注5)と個別の構造に応じて中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用するという考え方は同様。 ⇒ 解析モデル P.11
		設計上考慮すべき自然現象（地震、津波及び竜巻）によってバスケットに塑性変形は生じないため、バスケットの変形を考慮しない。	MSF-24P(S)型(注4)、HDP-69BCH(B)型(注5)と同様。 ただし、HDP-69BCH(B)型において参考として提示されている輸送時の評価ではバスケットの塑性変形を考慮。
	②中性子吸収材の効果 <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 製造公差(濃度、非均質性、寸法等)</li> <li>b) 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少</li> </ul>	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、ほう素の均質性は製造管理により担保。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 中性子吸収材の濃度（ほう素添加量）</li> <li>• 中性子吸収材の寸法公差</li> </ul> 設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は、保守的に評価しても $10^{-5}$ 程度であるため無視。	Hitz-B52型(注3)、MSF-24P(S)型(注4)、HDP-69BCH(B)型(注5)と同様。

(注2) 「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」

(注3) 使用済燃料貯蔵施設の特定期間として型式証明を受けたHitz-B52型（M-DPC20002）を示す。

(注4) 発電用原子炉施設に係る特定期間として型式証明を受けたMSF-24P(S)型（C-SE-2110271）を示す。

(注5) 発電用原子炉施設に係る特定期間として型式証明を受けたHDP-69BCH(B)型（C-SE-2201261）を示す。

ただし、MSF-24P(S)型及びHDP-69BCH(B)型に関する記載は公開情報に基づくものである。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

### ● 設置許可基準規則の要求事項（続き）

規則等	要求事項	臨界防止設計の方針	特記事項
貯蔵事業許可基準規則解釈（注2）第3条	③減速材(水)の影響	冠水状態（水密度1.0g/cm <sup>3</sup> ）を考慮。	Hitz-B52型（注3）、MSF-24P(S)型（注4）、HDP-69BCH(B)型（注5）と同様。
	④燃焼度クレジット	採用しない。	Hitz-B52型（注3）、MSF-24P(S)型（注4）、HDP-69BCH(B)型（注5）と同様。
	使用済燃料をキャスクに収納するにあたっては、臨界評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること。	型式証明申請の範囲外とする。	—
設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項（注6）	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計貯蔵期間を明確にしていること。</li> <li>設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計貯蔵期間は60年とする。</li> <li>Hitz-P24型は、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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を確保する設計とする。</li> </ul>	HHitz-B52型（注3）、MSF-24P(S)型（注4）、HDP-69BCH(B)型（注5）と同様。

（注2）「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」

（注3）使用済燃料貯蔵施設の特定容器として型式証明を受けたHitz-B52型（M-DPC20002）を示す。

（注4）発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたMSF-24P(S)型（C-SE-2110271）を示す。

（注5）発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたHDP-69BCH(B)型（C-SE-2201261）を示す。

ただし、MSF-24P(S)型及びHDP-69BCH(B)型に関する記載は公開情報に基づくものである。

（注6）「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

### ● 審査ガイドの確認内容

審査ガイド<sup>(注)</sup>の確認内容に対するHitz-B69型の臨界防止設計の方針を下表に示す。

確認内容		臨界防止設計の方針	新規性
配置・形状	特定兼用キャスクの配置	・無限配列（完全反射境界）	なし
	バスケットの形状	・実効増倍率が最大となるようバスケット（格子内のり等）の製造公差を考慮	なし
	バスケット格子内の燃料集合体配置	・実効増倍率が最大となる使用済燃料の偏りを考慮	なし
中性子吸収材の効果	製造公差	・実効増倍率が最大となるよう、ほう素添加量を仕様上の下限値に設定 ・実効増倍率が最大となるよう寸法に製造公差を考慮	なし
	原子個数密度の減少	・ほう素の減損が無視できることを確認	なし
減速材（水）の影響		・乾燥状態から冠水状態までを考慮 ・容器内・外の水密度の影響を考慮	なし
解析コード及びデータライブラリ	臨界計算コード	・SCALE4.4a (KENO-V.a)	なし
	断面積ライブラリ	・ENDF/B-Vに基づく238群ライブラリ	

(注) 「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

- Hitz-B69型の臨界防止機能に関する構造

- バasketは燃料集合体を使用済燃料を所定の配置に維持できる**角チューブ（コンパートメント）**とコンパートメントを束ね径方向の荷重を支持するためのサポートプレートを組み合わせた構造
- Basketには**中性子吸収材**であるほう素添加アルミニウム合金を配置する



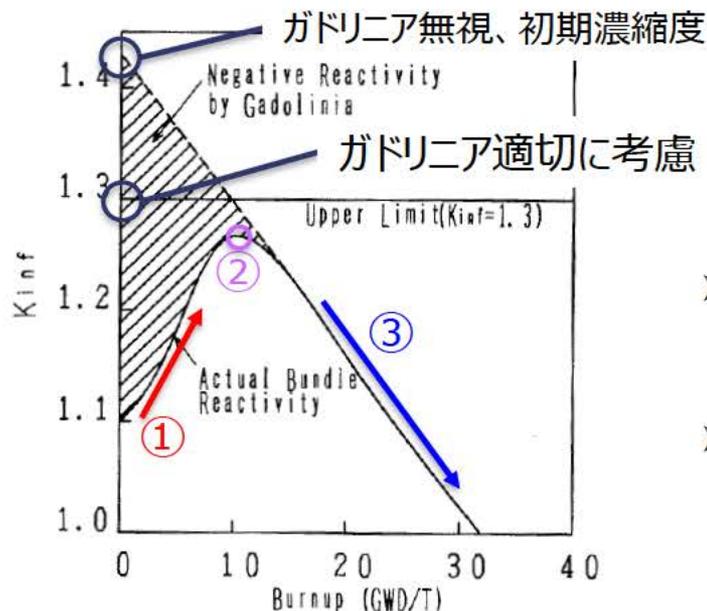
Basketの構造

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

### ● Hitz-B69型の臨界防止機能の評価に関する収納物の条件

- Hitz-B69型には8×8燃料、新型8×8燃料、新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料が4つの配置条件に基づき収納される(P.37 参考1)。臨界防止機能の評価条件としては、上記型式の燃料集合体のうち、初期濃縮度が高く反応度の大きい高燃焼度8×8燃料※1を69体装荷した条件とする。

※1:初期濃縮度3.66wt%以下（申請書記載の収納対象とする燃料仕様では約3.7wt%としているが補正予定）

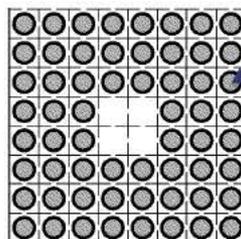


- 実際の燃料集合体の反応度特性は、燃焼に伴い次のように推移
  - ① ガドリニアの燃焼に伴い反応度上昇
  - ② 反応度のピーク（炉心装荷冷温状態の無限増倍率 < 1.3）
  - ③ <sup>235</sup>Uの減損に伴い反応度が単調に下降（使用済燃料は通常この領域）

- 乾燥状態の評価では、ガドリニアの中性子吸収効果が期待できないためガドリニアを無視し、最大の初期濃縮度(3.66wt%)で燃焼度0 GWd/tの燃料集合体とする。
- 冠水状態の評価では、可燃性毒物（ガドリニア）の燃焼初期の反応度抑制効果を考慮し、新燃料及びいかなる燃焼度の燃料を貯蔵しても十分安全側の評価を得るように、炉心装荷冷温状態の無限増倍率が1.3となる燃料モデルを仮定し評価に用いる。

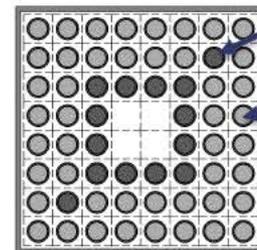
収納するBWR燃料の反応度特性の例[1](説明追記)  
(炉心装荷冷温状態(冠水)における無限増倍率)

[1] K. Kawakami, et.al., "The Use of Gadolinia Credit for Criticality Evaluation of Spent-Fuel Cask", The 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM'95), (1995)



乾燥状態の燃料モデル

濃縮度3.66wt%  
燃料棒



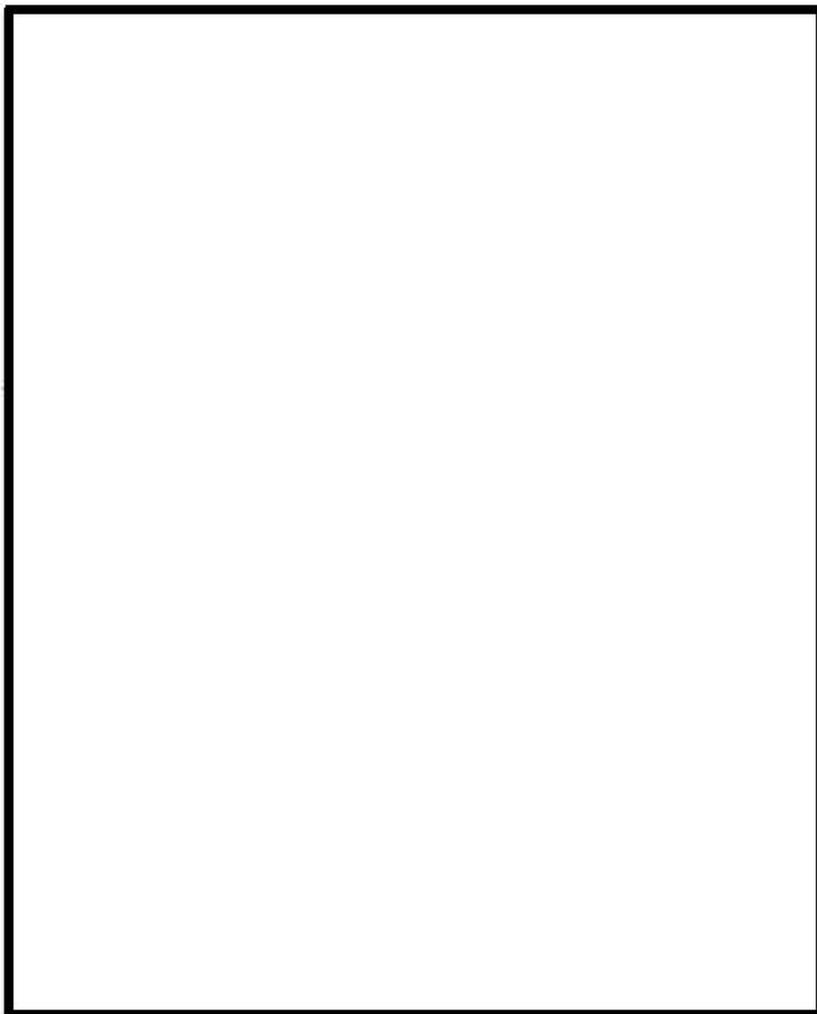
冠水状態の燃料モデル

濃縮度4.9wt%  
燃料棒  
濃縮度2.1wt%  
燃料棒

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

### ● 臨界評価における解析モデル（配置・形状）

解析モデルは以下のとおり、配置・形状等を適切に考慮し、実効増倍率が最大となる保守的な条件とする。



臨界解析モデル（冠水状態・径方向断面）

項目 (太字は申請書記載項目)	寸法条件	
	乾燥状態	冠水状態
<b>バスケット格子板厚 (コンパートメント板厚)</b>	最小	最大
<b>バスケット格子内のり</b>	最小	最小
<b>中性子吸収材板厚 (注1)</b>	最小	最大
中性子吸収材幅	最小	最小
隙間厚さ (スペーサー厚さ)	最小	最小

注1：中性子吸収材（ほう素添加アルミニウム合金）の<sup>10</sup>Bの濃度は面密度で規定するため、<sup>10</sup>B存在量を板厚によらず最少として考慮。

【基本的な考え方】（詳細は資料2-2（補足説明資料16-2）に記載）

乾燥状態：燃料集合体間の距離が近く（密に）なる条件

中性子吸収効果のある部材が少なくなる条件

冠水状態：中性子吸収材が機能しにくい条件（燃料領域外の水が少なくなる条件）

バスケット格子板厚についてはHitz-B69型で特有の傾向を確認

項目	配置条件	
	乾燥状態	冠水状態
キャスクの配置 (注2)	無限配列 (完全反射)	無限配列 (完全反射)
バスケット格子内の 使用済燃料集合体配置	中心偏向	中心偏向

注2：評価条件をキャスク同士が最も近接した条件で無限配列とするため、滑動によりキャスクの配置がどのように変化する場合に対しても保守的。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（臨界防止機能）

### ● 臨界評価結果

Hitz-B69型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHitz-B69型に使用済燃料集合体を収納する際の冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。

項目		評価結果（注1）	評価基準
中性子実効増倍率	乾燥状態	0.396	0.95以下
	冠水状態	0.861	

（注1）統計誤差（ $\sigma$ ）の3倍（ $3\sigma$ ）を加えた値である。

以上のとおり、技術的に想定される状態において、燃料体等が臨界に達するおそれはない。したがって、Hitz-B69型の臨界防止機能に係る設置許可基準規則の要求事項を満足している。

### 設置（変更）許可申請において別途確認を要する条件

- 使用済燃料集合体を収納するに当たり、臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ◆ 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第十六条第4項第二号)（除熱機能）

#### ● 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則<sup>(注1)</sup>の要求事項に対するHitz-B69型の除熱設計の方針を下表に示す。

規則等	要求事項	除熱設計の方針	特記事項
設置許可基準規則 <sup>(注1)</sup> 第16条第4項第二号	使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする	動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とする。	除熱評価の基本的な考え方はHitz-B52型 (M-DPC20002 <sup>(注3)</sup> )、MSF-24P(S)型 (C-SE-2110271 <sup>(注4)</sup> )及びHDP-69BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様であり、除熱評価の詳細はP.17, 24~30で説明。 ⇒P.17, 24~30
貯蔵事業許可基準規則解釈 <sup>(注2)</sup> 第6条	使用済燃料の温度を、被覆管のクリープ破損及び被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持できる設計であること	燃料被覆管の温度に制限値を設定し、燃料被覆管の温度が制限値以下となる設計とする。	除熱評価の基本的な考え方はHitz-B52型 (M-DPC20002 <sup>(注3)</sup> )、MSF-24P(S)型 (C-SE-2110271 <sup>(注4)</sup> )及びHDP-69BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様であり、P.17, 24~30で説明。⇒P.17, 24~30 燃料被覆管制限温度が燃料の種類によって異なることから、各収納配置で評価を実施。燃料被覆管は各配置の結果を、構成部材は最高温度となる配置(4)の結果を示す。⇒P.29, 30
	金属キャスクの温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持される値以下に維持できる設計であること	特定兼用キャスク各部の温度に制限値を設定し、特定兼用キャスク各部の温度が制限値以下となる設計とする。	
	貯蔵建屋は、金属キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の吸排気口は積雪等により閉塞しない設計であること	型式証明申請の範囲外とする。	—

(注1)「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

(注2)「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」

(注3) 使用済燃料貯蔵施設の特定容器として型式証明を受けたHitz-B52型 (M-DPC20002) を示す。

(注4) 発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたMSF-24P(S)型 (C-SE-2110271) を示す。

(注5) 発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたHDP-69BCH(B)型 (C-SE-2201261) を示す。

ただし、MSF-24P(S)型及びHDP-69BCH(B)型に関する記載は公開情報に基づくものである。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 設置許可基準規則の要求事項（続き）

規則等	要求事項	除熱設計の方針	特記事項
貯蔵事業許可基準規則解釈 <sup>(注2)</sup> 第17条第1項	使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たっては、除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること	型式証明申請の範囲外とする。	—
	貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇しないことを監視できること	型式証明申請の範囲外とする。	—
	使用済燃料及び金属キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために必要なデータを測定等により取得できること	特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。	Hitz-B52型（M-DPC20002 <sup>(注3)</sup> ）、MSF-24P(S)型（C-SE-2110271 <sup>(注4)</sup> ）及びHDP-69 BCH(B)型 <sup>(注5)</sup> と同様。
設置許可基準規則解釈 <sup>(注5)</sup> 別記4第16条第5項	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計貯蔵期間を明確にしていること</li> <li>設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計貯蔵期間は60年である。</li> <li>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、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を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。</li> </ul>	詳細は長期健全性の資料で説明する。

(注1)「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

(注2)「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」

(注3) 使用済燃料貯蔵施設の特定容器として型式証明を受けたHitz-B52型（M-DPC20002）を示す。

(注4) 発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたMSF-24P(S)型（C-SE-2110271）を示す。

(注5) 発電用原子炉施設に係る特定機器として型式証明を受けたHDP-69BCH(B)型（C-SE-2201261）を示す。

ただし、MSF-24P(S)型及びHDP-69BCH(B)型に関する記載は公開情報に基づくものである。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 審査ガイドの確認内容

審査ガイド<sup>(注)</sup>の確認内容に対するHitz-B69型の除熱設計の方針を下表に示す。

確認内容	除熱設計の方針	特記事項
<p>1) 使用済燃料の崩壊熱評価 使用済燃料の崩壊熱は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードを使用して求めること。</p>	<p>使用済燃料の崩壊熱量は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードORIGEN2を使用して求める。</p>	<p>崩壊熱量計算の基本的な考え方はHitz-B52型（M-DPC20002（注<sup>3</sup>））、MSF-24P(S)型（C-SE-2110271（注<sup>4</sup>）及びHDP-69BCH(B)型<sup>(注5)</sup>）と同様であり、P.18~23で説明。⇒P.18~23</p>
<p>2) 兼用キャスク各部の温度評価 a. 兼用キャスクの各部の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び兼用キャスク周囲の温度を条件とし、及び兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること。 b. 安全機能及び兼用キャスクの構造強度を維持する観点から、a.で求めた温度は、設計上想定される状態において、兼用キャスクの構成部材が健全性を保つ範囲に収まること。ここで、「健全性を保つ範囲」とは、兼用キャスクの各部の安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度の範囲をいう。</p>	<p>兼用キャスクの各部の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードABAQUSを使用して求める。 動力を用いず使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とする。 特定兼用キャスク各部の温度に制限値を設定し、特定兼用キャスク各部の温度が制限値以下となる設計とする。</p>	<p>除熱評価の基本的な考え方はHitz-B52型（M-DPC20002（注<sup>3</sup>））、MSF-24P(S)型（C-SE-2110271（注<sup>4</sup>）及びHDP-69BCH(B)型<sup>(注5)</sup>）と同様であり、P.17, 24~30で説明。 ⇒P.17, 24~30 燃料被覆管制限温度が燃料の種類によって異なることから、各収納配置で評価を実施。構成部材は最高温度となる配置(4)の結果を示す。 ⇒P.29</p>

(注) 「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 審査ガイドの確認内容（続き）

確認内容	除熱設計の方針	特記事項
<p>3) 燃料被覆管の温度評価</p> <p>a. 燃料被覆管の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、1)で求めた使用済燃料の崩壊熱と2)で求めた兼用キャスクの各部の温度を条件とし、使用済燃料集合体、バスケット等の実形状を適切にモデル化すること。</p> <p>b. 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、a.で求めた温度は、設計上想定される状態において、制限される範囲に収まること。ここで、「制限される範囲」とは、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度の範囲をいう。</p>	<p>燃料被覆管の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードABAQUSを使用して求める。</p> <p>動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とする。</p> <p>燃料被覆管の温度に制限値を設定し、燃料被覆管の温度が制限値以下となる設計とする。</p>	<p>除熱評価の基本的な考え方はHitz-B52型（M-DPC20002（注3））、MSF-24P(S)型（C-SE-2110271（注4））及びHDP-69 BCH(B)型（注5））と同様であり、P.17, 24~30で説明。</p> <p>⇒P.17, 24~30</p> <p>燃料被覆管制限温度が燃料の種類によって異なることから、各収納配置で評価を実施。燃料被覆管は各配置の結果を示す。</p> <p>⇒ P.30</p>

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 除熱機能の安全評価手法（概要）

##### 使用済燃料の崩壊熱計算

- 米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発された公開のORIGEN2コードを使用
- ライブラリはORIGENコードに内蔵されているBWR-Uを用いる

⇒ 評価条件の詳細はP.18~23参照

##### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の温度解析

- 上記崩壊熱計算結果を使用
- 米国で開発された有限要素法に基づく汎用の伝熱解析コードABAQUSを使用
- 三次元全体モデル（以下、「全体モデル」）及び燃料集合体モデルを使用

⇒ 除熱解析の詳細はP.24~30参照

#### ・解析コード及び検証

##### <ORIGENコード>

米国原子力学会(ANS)において、ANS標準崩壊熱等との比較により妥当性の確認を行っている。

##### <ABAQUSコード>

学会標準<sup>(注1)</sup>附属書Lにて原子力設備・機器の設計に検証例や使用実績ありと記載。

Hitz-B69型と同等の伝熱形態を有するキャスクの伝熱試験により検証され、適用性を確認している。

また、これらのコードは技術的な特殊性、新規性は無く、許認可で使用実績があるコードである。

(注1)「日本原子力学会標準「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査標準：2013」」

- 除熱機能の安全評価について

### 使用済燃料の崩壊熱計算

- ・使用済燃料の崩壊熱評価方法

#### <最大崩壊熱量>

- ・ 使用済燃料集合体の燃焼度分布を考慮しない場合の崩壊熱量を使用済燃料の収納制限とする。
- ・ 最大崩壊熱量は以下のとおり設定される。

$$\begin{aligned} \text{[最大崩壊熱量]} &= \text{[燃料集合体1体当たりの崩壊熱量 (PF<sup>(注1)</sup>を考慮しない) ]} \\ &\quad \times 1.05^{(注2)} \times \text{[収納体数]} \end{aligned}$$

#### <設計崩壊熱量>

- ・ 除熱解析に使用する崩壊熱量である。
- ・ 収納対象とする使用済燃料集合体の燃焼度を包絡する燃焼度分布を考慮することで、最大崩壊熱量を上回ることになる。
- ・ 設計崩壊熱量は以下のとおり設定される。

$$\begin{aligned} \text{[設計崩壊熱量]} &= \text{[燃料集合体1体当たりの崩壊熱量 (PF<sup>(注1)</sup>考慮有り) ]} \\ &\quad \times 1.05^{(注2)} \times \text{[収納体数]} \end{aligned}$$

(注1) PF（ピーキングファクタ）とは、使用済燃料集合体の軸方向燃焼度の平均値に対する燃焼度の比を包絡する燃焼度分布を示す。

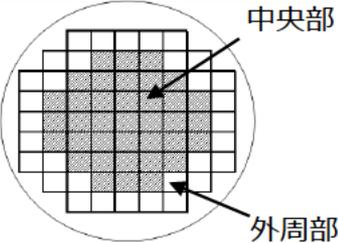
(注2) ORIGEN2コードの計算結果に5%の不確かさを考慮する。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 使用済燃料の崩壊熱計算 <配置(1)>

- 燃焼計算条件は下表のとおり
- ORIGEN2コードの計算結果に5%の不確かさを考慮
- 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(8.8kW)を上回る設計崩壊熱量(11.3kW)を適用

項目		キャスク収納位置制限		解析条件	
		中央部	外周部(注1)	中央部	外周部
収納物仕様	種類	新型8×8燃料	8×8燃料	新型8×8燃料	8×8燃料
	燃料集合体1体の仕様				
	初期濃縮度 (wt%)				
	ウラン重量 (kg)				
	最高燃焼度 (GWd/t)	≤38	≤30	38	30
冷却期間 (年)	≥34	≥34	34	34	
1基当たりの仕様	平均燃焼度 (GWd/t)	≤35		35	
配置				P.23に記載。	

(注1) 新型8×8燃料（燃焼度30GWd/t、冷却期間34年以上）も収納可能とする。なお、崩壊熱量が新型8×8燃料を上回る、8×8燃料を解析条件とする。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 使用済燃料の崩壊熱計算 <配置(2)>

- ・ 燃焼計算条件は下表のとおり
- ・ ORIGEN2コードの計算結果に5%の不確かさを考慮
- ・ 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(10.5kW)を上回る設計崩壊熱量(13.3kW)を適用

項目		キャスク収納位置制限		解析条件	
		中央部	外周部(注1)	中央部	外周部
収納物仕様	種類	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料
	燃料集合体1体の仕様				
	初期濃縮度 (wt%)				
	ウラン重量 (kg)				
	最高燃焼度 (GWd/t)	≤40	≤35	40	35
冷却期間 (年)	≥28	≥30	28	30	
1基当たりの仕様	平均燃焼度 (GWd/t)	≤35		35	
配置				P.23に記載。	

(注1) 新型8×8燃料（燃焼度35GWd/t、冷却期間34年以上）も収納可能とする。なお、崩壊熱量が新型8×8燃料を上回る、新型8×8ジルコニウムライナ燃料を解析条件とする。なお、解析条件としては、外周部に新型8×8ジルコニウムライナ燃料を配置するが、新型8×8燃料の燃料被覆管制限温度を超えないことを確認する。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 使用済燃料の崩壊熱計算 <配置(3)>

- ・ 燃焼計算条件は下表のとおり
- ・ ORIGEN2コードの計算結果に5%の不確かさを考慮
- ・ 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(12.4kW)を上回る設計崩壊熱量(15.7kW)を適用

項目		キャスク収納位置制限			解析条件		
		中央部(注1)	中間部(注2)	外周部	中央部	中間部	外周部
収納物仕様	種類	高燃焼度8×8燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	新型8×8燃料	高燃焼度8×8燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	新型8×8燃料
	燃料集合体1体の仕様						
	初期濃縮度 (wt%)						
	ウラン重量 (kg)						
	最高燃焼度 (GWd/t)	≤48	≤35	≤30	48	35	30
冷却期間 (年)	≥20	≥30	≥34	20	30	34	
1基当たりの仕様	平均燃焼度 (GWd/t)	≤38			38		
配置					P.23に記載。		

(注1) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料（燃焼度40GWd/t、冷却期間28年以上）も収納可能とする。なお、崩壊熱量が新型8×8ジルコニウムライナ燃料を上回る、高燃焼度8×8燃料を解析条件とする。

(注2) 除熱解析の結果、中間部の燃料被覆管温度が新型8×8燃料の制限値を超えたため、燃料被覆管制限温度が高い新型8×8ジルコニウムライナ燃料に置き換える。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 使用済燃料の崩壊熱計算 <配置(4)>

- ・ 燃焼計算条件は下表のとおり
- ・ ORIGEN2コードの計算結果に5%の不確かさを考慮
- ・ 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(12.8kW)を上回る設計崩壊熱量(16.7kW)を適用

項目		キャスク収納位置制限		解析条件	
		中央部(注1)	外周部	中央部	外周部
収納物仕様	種類	高燃焼度8×8燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	高燃焼度8×8燃料	新型8×8ジルコニウムライナ燃料
	燃料集合体1体の仕様				
	初期濃縮度 (wt%)				
	ウラン重量 (kg)				
	最高燃焼度 (GWd/t)	≤48	≤35	48	35
冷却期間 (年)	≥20	≥30	20	30	
1基当たりの仕様	平均燃焼度 (GWd/t)	≤39		39	
配置				P.23に記載。	

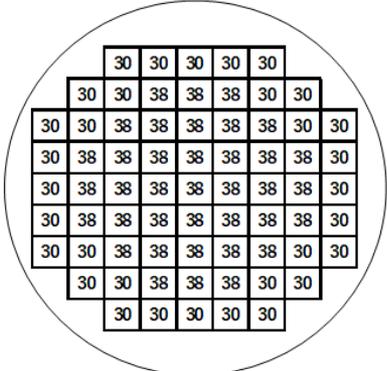
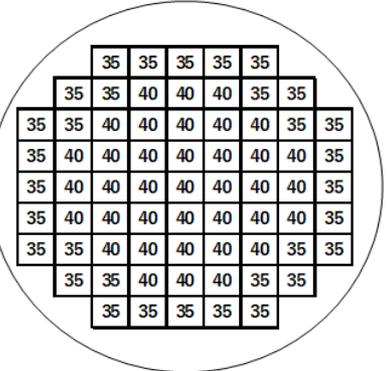
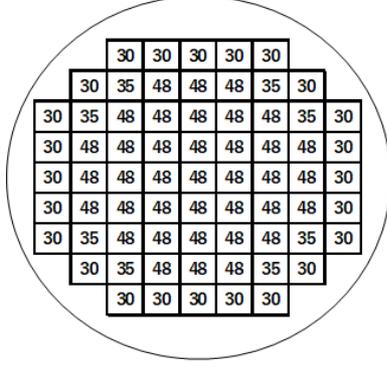
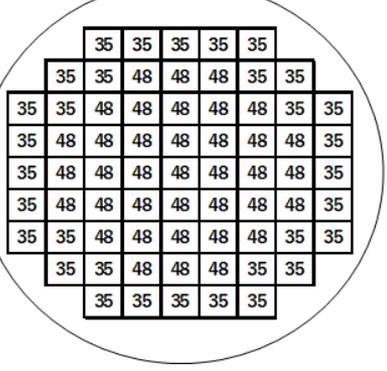
(注1) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料（燃焼度40GWd/t、冷却期間28年以上）も収納可能とする。なお、崩壊熱量が新型8×8ジルコニウムライナ燃料を上回る、高燃焼度8×8燃料を解析条件とする。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 使用済燃料の崩壊熱計算

各配置での解析条件図を示す。なお、数値は燃焼度（GW/d/t）を示す。

配置(1)	配置(2)
 <p>(中央部) 新型8×8燃料(38GWd/t) (外周部) 8×8燃料(30GWd/t))</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 最大崩壊熱量：8.8 kW</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 設計崩壊熱量：11.3 kW</p>	 <p>(中央部) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (40GWd/t) (外周部) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (35GWd/t))</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 最大崩壊熱量：10.5 kW</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 設計崩壊熱量：13.3 kW</p>
配置(3)	配置(4)
 <p>(中央部) 高燃焼度8×8燃料(48GWd/t) (中間部) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (35GWd/t)) (外周部) 新型8×8燃料(30GWd/t))</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 最大崩壊熱量：12.4 kW</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 設計崩壊熱量：15.7 kW</p>	 <p>(中央部) 高燃焼度8×8燃料(48GWd/t) (外周部) 新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (35GWd/t))</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 最大崩壊熱量：12.8 kW</p> <p>兼用キャスク1基あたりの 設計崩壊熱量：16.7 kW</p>

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

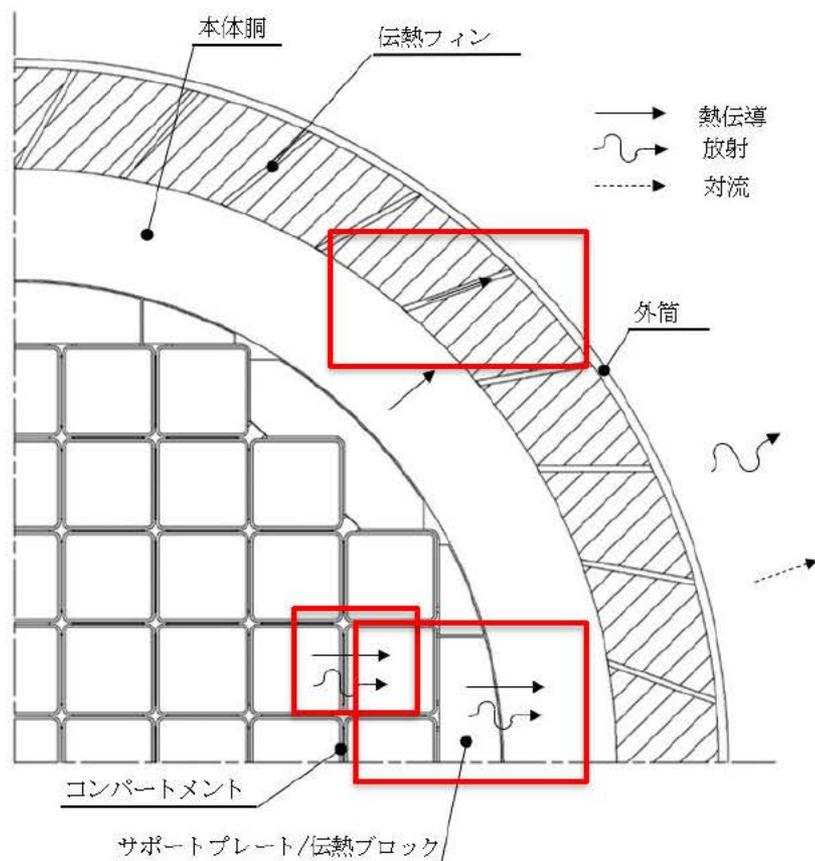
#### 特定兼用カスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

#### <特定兼用カスクの伝熱形態>

・Hitz-B69型は、使用済燃料から発生する崩壊熱を熱伝導及び放射により特定兼用カスクの外表面に伝え、対流及び放射により周囲の空気等に伝達する。

・特定兼用カスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低い樹脂（レジン）が用いられているため、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。

\* 伝熱形態の詳細を次頁に示す。

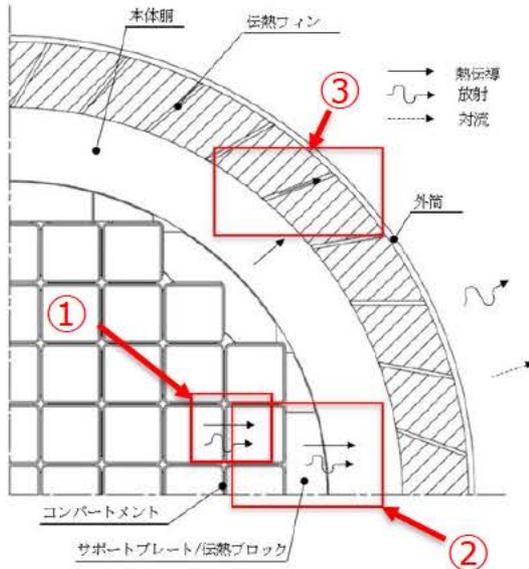


## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

#### <特定兼用キャスクの伝熱形態>



①被覆管表面からヘリウムガスを介した熱伝導及び放射により、バスケット内面に、そして、バスケット内の熱伝導及び放射によりバスケット外周部に崩壊熱が伝えらる。

②バスケット外周部からヘリウムガスを介した熱伝導及び放射により、キャスク胴内面に崩壊熱が伝えられる。

③キャスク胴内面から熱伝導でキャスク胴外面に、そして、キャスク外面から伝熱フィンの熱伝導により外筒内面に崩壊熱が伝えられる。  
→外筒からは外筒外面の対流及び貯蔵施設への放射により外部へ崩壊熱が伝えられる。

※軸方向のみの熱の移動を示す。

\* 軸方向はコンパートメントを介して熱伝導が行われる。サポートプレート、伝熱ブロック間はギャップを設定。熱伝導と放射により崩壊熱が伝えられる。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

- 除熱機能の安全評価について

### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

#### ＜特定兼用キャスク構成部材の各部温度＞

使用済燃料の崩壊熱及び周囲温度等を条件として、Hitz-B69型の実形状を三次元でモデル化し、伝熱解析コードABAQUSを使用して求める。

#### ＜燃料被覆管の温度＞

使用済燃料の崩壊熱とバスケットの温度を条件として、燃料集合体の径方向断面の二次元モデルを用い、伝熱解析コードABAQUSを使用して求める。

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

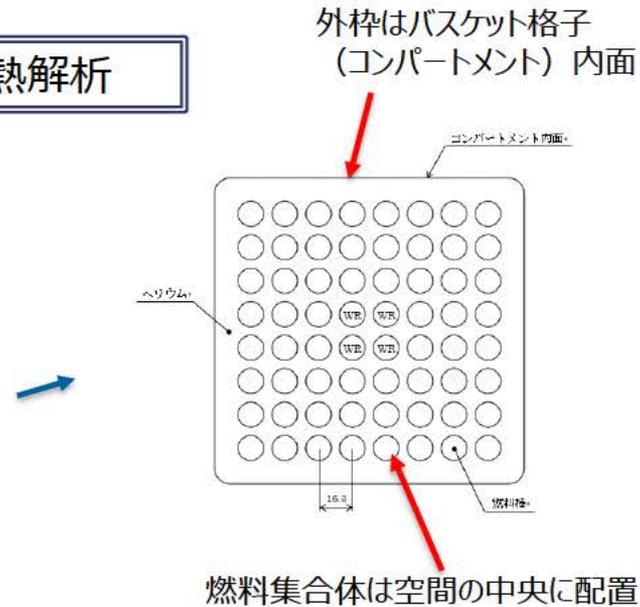
#### ・モデル化の保守性

－ 特定兼用キャスク本体内のバスケット及びバスケット内の使用済燃料は、横置きの場合、コンパートメント下面での使用済燃料とバスケットの接触による熱伝導が行われるが、燃料集合体の温度を高め評価するため、その影響を排除するように、空間の中央に配置する。(右図)

横置きに対する条件設定。保守性を考慮した解析モデル、条件である。

－ 燃料集合体モデルは、軸方向への熱移動を考慮しない二次元モデルとする。

－ 全体モデルにおいて、径方向の熱移動量設定時は保守的に、コンパートメントとスペーサー、コンパートメントと伝熱ブロック等の間のギャップを考慮する。(右図)



部材間にギャップを設定(朱線部)

## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

#### ・モデル化の保守性（続き）

－貯蔵用緩衝体取付部は、熱の移動を無視し、保守的に断熱条件とする。(右図)

- －横置き時において、外筒外表面の熱伝達率に補足説明資料16-4, 別紙1の別添2に示す低減係数0.87を乗じる。
- －Hitz-B69型側面の放射形態係数は周方向に変化するが、その最小値0.650を全周に設定している。

横置きに対する条件設定。保守性を考慮した解析モデル、条件である。

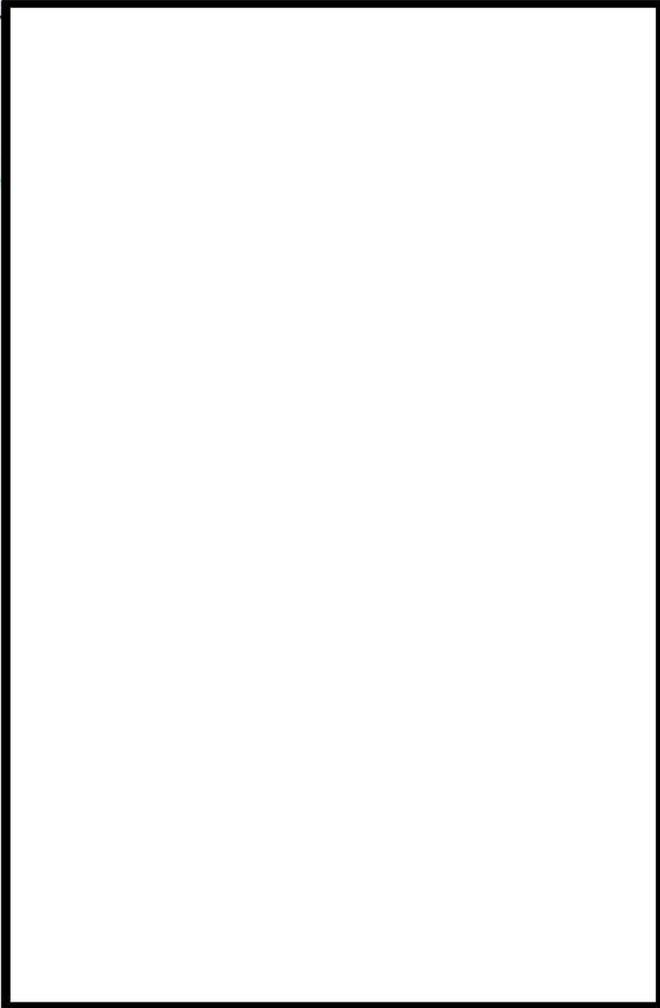
#### ・収納制限に対する解析条件の保守性

－崩壊熱量を保守的高めに算出するためにウラン濃縮度を低めに設定する。(P.19~22の表参照。)

－外周部に収納可能な燃料が複数ある場合、外周部に収納する燃料の中で、最も崩壊熱量が高くなる条件（種類、燃焼度、冷却年数）のものを設計条件とする。

－燃料集合体最高温度を高め、中央部には燃焼度の高い燃料の崩壊熱量を設定することで、Hitz-B69型の最大貯蔵能力として規定した最大崩壊熱量に対し、保守的な設定とする。(P.23の表参照。)

(キャスク上部(下部)前面を断熱とすることで、外部への放熱が抑制されることから保守的な条件設定となる。)



緩衝体取り付け部は断熱条件(朱線部)

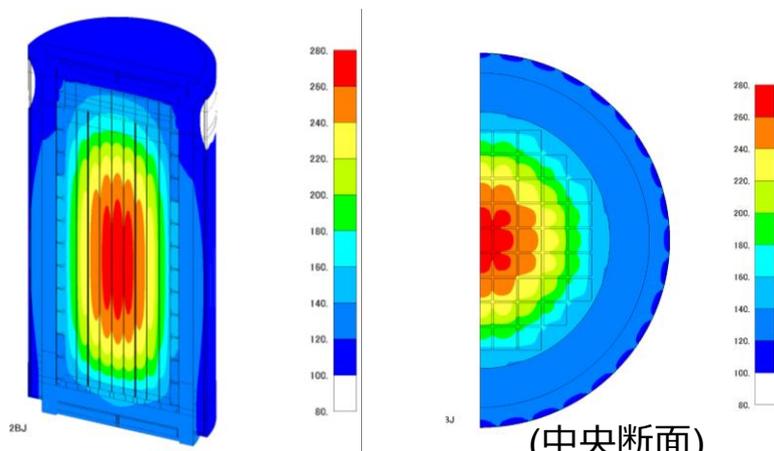
## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

#### ・除熱解析評価結果（構成部材）

貯蔵時における除熱解析結果により、安全機能を担保する主要な部位の最高温度が設計基準値を下回ることを確認した。



(全体)

(中央断面)

配置(4)の解析結果

評価部位	評価温度(°C)	設計基準値(°C)
胴、底板	142	375
一次蓋	118	425
一次蓋ボルト	111	350
中性子遮蔽材	132	149
金属ガスケット	111	130
バスケット	265	350
伝熱フィン	130	200
燃料被覆管	次頁	

(注) 主要な部位の温度は、各配置条件で実施した解析の中で、温度が最も高くなる配置(4)の結果を示している。  
その他の解析結果は、配置(4)の結果を含め、補足説明資料16-4、図10-1～図10-4に示している。

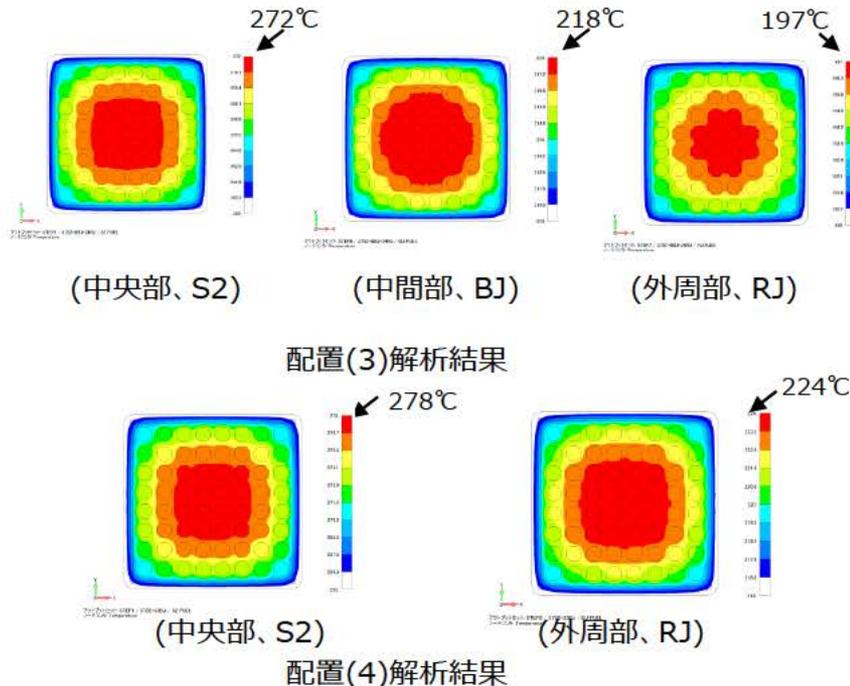
## 2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）（除熱機能）

### ● 除熱機能の安全評価について

#### 特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の除熱解析

#### ● 除熱解析評価結果（燃料被覆管）

貯蔵時における除熱解析結果により、燃料被覆管の最高温度が設計基準値を下回ることを確認した。



備考：S2-高燃焼度8×8燃料、BJ-新型8×8ジルコニウムライナ燃料  
RJ-新型8×8燃料

配置	配置	評価燃料	評価温度(°C)	設計基準値(°C)
配置(1)	外周部	8×8燃料 (STD)	171	200
	中央部	新型8×8燃料 (RJ)	196	200
配置(2)	外周部	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (BJ)	191	200(注)
	中央部	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (BJ)	225	300
配置(3)	外周部	新型8×8燃料 (RJ)	197	200
	中間部	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (BJ)	218	300
	中央部	高燃焼度8×8燃料 (S2)	272	300
配置(4)	外周部	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 (BJ)	224	300
	中央部	高燃焼度8×8燃料 (S2)	278	300

(注) 新型8×8燃料も収納可能としていることから、新型8×8燃料の設計基準値とした。

#### ● 設計方針の妥当性

以上のとおり、燃料被覆管及びHitzi-B69型を構成する部材の健全性を維持できる温度以下であり、Hitzi-B69型は使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計である。したがって、Hitzi-B69型の除熱機能に係る設計方針は妥当である。

---

## 3. 指摘事項に対する回答

### 3.指摘事項に対する回答：指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
1	2022/09/15 審査会合	横置き(Hitz-B69型)と縦置き(Hitz-B52型)の違いによる安全機能の評価の違いについて、審査の中で詳細に説明すること。	全般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・臨界防止機能については、置き方の違いによる影響はない。⇒ P.34で説明</li> <li>・除熱機能については、横置き配置に対し、保守的な条件設定としてある。⇒P.35で説明</li> </ul>	臨界防止機能及び除熱機能については第21回審査会合で説明。その他は今後回答予定。
2	2022/09/15 審査会合	<p>バスケット構造について、上部格子枠の構造にした理由を説明すること。また燃料集合体と格子枠、コンパートメントとの関係を示すこと。</p> <p>クランプとその構成部材に関して、Hitz-B52型と構造が少し異なるが、考え方や構造強度評価上問題ないことを説明すること。</p> <p>JSME金属キャスト構造規格でバスケット材として規定されていないSG295を採用した理由を説明すること。またSG295材に変更することで、遮蔽や構造強度など、安全機能への影響も説明すること。</p>	全般	<p>補足説明資料16-1の別紙2にてバスケット構造(上部格子枠やクランプ構造について)を説明する予定。</p> <p>補足説明資料16-1の別紙3にてSG295材の仕様について説明する予定。</p>	今後回答予定。

### 3.指摘事項に対する回答：指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
3	2022/09/15 審査会合	設計基準値が各安全機能の評価で異なる個所があるが、どのように許容基準を設定しているのか詳細を説明すること。 基本設計方針が示されているが、それと設計基準値との関係、考え方を示すこと。	全般		今後回答予定。（構造関係）
4	2022/09/15 審査会合	使用済燃料の収納配置条件が4つ示されているが、評価条件の代表性の考え方を具体的に説明すること。	全般	基本的安全機能に対して、各配置条件での評価及びその代表性について説明する。 ⇒P36で説明。	臨界防止機能及び除熱機能については第21回審査会合で説明。

#### 指摘事項 No.1

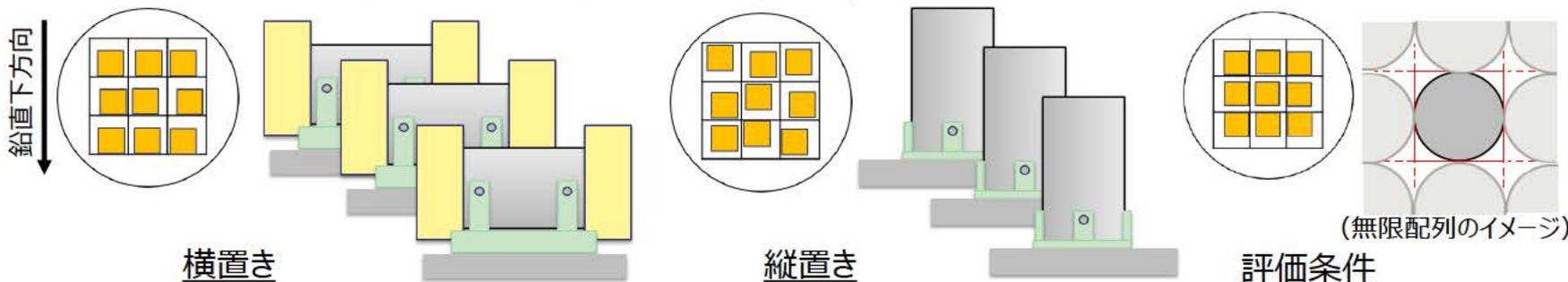
横置き(Hitz-B69型)と縦置き(Hitz-B52型)の違いによる安全機能の評価の違いについて、審査の中で詳細に説明すること。

#### (臨界防止機能に関する回答)

臨界防止機能の評価上影響を与える因子に対して、横置きと縦置きでは次のような違いが想定される。評価条件としてはいずれに対しても保守的に評価する条件を設定するため、臨界防止機能の評価において違いはない。

因子	横置き (Hitz-B69型)	縦置き (Hitz-B52型)	評価条件 (横置き・縦置き共通)
燃料集合体の偏り	鉛直下方向への偏り	特定の方向への偏りなし	中心偏向配置 (保守的な条件)
キャスク相互の中性子干渉	横置き状態で水平方向のみに所定の間隔※1で有限配列	縦置き状態で水平方向のみに所定の間隔で有限配列	キャスク (底板から二次蓋まで) に外接する領域でモデル化し、境界を完全反射とする (キャスク同士が近接した状態で無限配列、周囲からの反射も包絡)
周囲の構造物からの中性子反射	(例) ・キャスク径方向に近接する床からの反射 ・貯蔵用緩衝体からの反射	(例) キャスク底部の貯蔵架台及び床からの反射	

※1：Hitz-B69型は基礎等に固定しない設置方法とするため、設置後に間隔が変わる可能性がある。



### 3. 指摘事項に対する回答

#### 指摘事項 No.1

横置き(Hitz-B69型)と縦置き(Hitz-B52型)の違いによる安全機能の評価の違いについて、審査の中で詳細に説明すること。

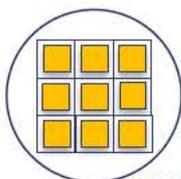
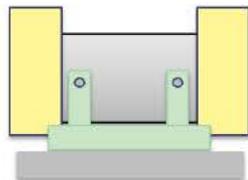
#### (除熱機能に関する回答)

除熱機能の評価上影響を与える因子に対して、横置きと縦置きでは次のような違いが想定される。  
評価条件としては保守的に評価する条件を設定している。

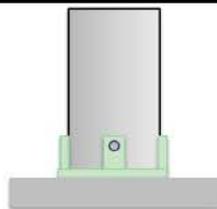
因子	横置き (Hitz-B69型)	縦置き (Hitz-B52型)	評価条件
解析モデル	・三次元全体モデル	・二次元全体モデルと三次元輪切りモデル	・横置きでは、縦置きのように軸対称でないことを考慮して三次元全体モデルを使用
燃料集合体の位置	・格子下面と接触	・特定の方向への偏りなし	・横置き、縦置きともに、燃料格子中央に配置 (保守的な条件)
外筒外表面の熱伝達係数	・水平円筒の自然熱対流熱伝達式により求めた熱伝達係数を適用 ・水平円筒外表面の周方向分布を考慮した低減係数0.87を適用	・垂直平面の自然熱対流熱伝達式により求めた熱伝達係数を適用	・外表面の熱伝達条件として、キャスクの姿勢に合わせた熱伝達係数を適用 ・横置きでは、低減係数0.87を考慮 (保守的な条件)
側面の放射形態係数	・キャスクから施設壁面の放射形態係数を考慮 ・横置きでは放射形態係数が周方向に変化するが、その最小値0.650を全周に設定	・キャスクから施設壁面の放射形態係数を考慮	・キャスクから施設壁面の放射形態係数を考慮 ・横置きでは形態係数が周方向に変化するが、その最小値0.650を全周に設定 (保守的な条件)



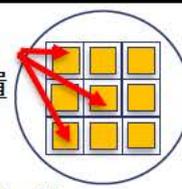
横置き



縦置き



燃料格子  
中央に配置



評価条件

#### 指摘事項 No. 4

使用済燃料の収納配置条件が4つ示されているが、評価条件の代表性の考え方を具体的に説明すること。

#### (回答)

基本的安全機能に対して、各収納配置での評価及びその代表性を下表に示す。

項目	配置(1)	配置(2)	配置(3)	配置(4)
臨界防止	全数69体を初期濃縮度が高い高燃焼度8×8燃料とした保守的な条件で評価を実施			
遮蔽	配置(4)で代表	配置(4)で代表	配置(4)で代表	線源強度が最高となることから評価条件とする
除熱 (構成部材)	解析を実施、 評価は配置(4)で代表	解析を実施、 評価は配置(4)で代表	解析を実施、 評価は配置(4)で代表	発熱量が最大となることから評価条件とする
除熱 (燃料被覆管)	評価を実施	評価を実施	評価を実施 新型8×8燃料が全配置 中、最高温度となったため 結果を記載	評価を実施 高燃焼度8×8燃料が全 配置中、最高温度となっ たため結果を記載
閉じ込め	配置(4)で代表	配置(4)で代表	配置(4)で代表	構成部材温度が全配置 中、最高となることから、評 価条件とする

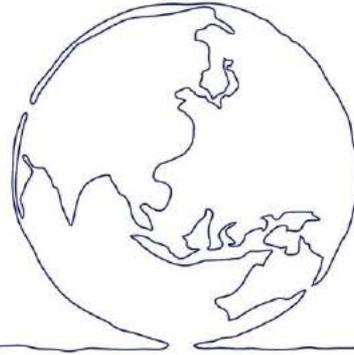
---

## 4. 今後の説明スケジュール

## 4. 今後の説明スケジュール

- 審査での説明スケジュールを以下に示す。

条項	2022年度			2023年度
	6月～9月	10月～12月	1月～3月	4月～6月
全般	▼7/29 申請			▽補正
型式証明申請の概要				
		▼ 9/15審査会合		
4条 地震による損傷の防止				
5条 津波による損傷の防止				
6条 外部からの衝撃による 損傷の防止				
16条 燃料体等の取扱施設 及び貯蔵施設				
		(概要) (臨界、除熱)		
		▼ 12/5審査会合		



# 地球と人のための技術をこれからも

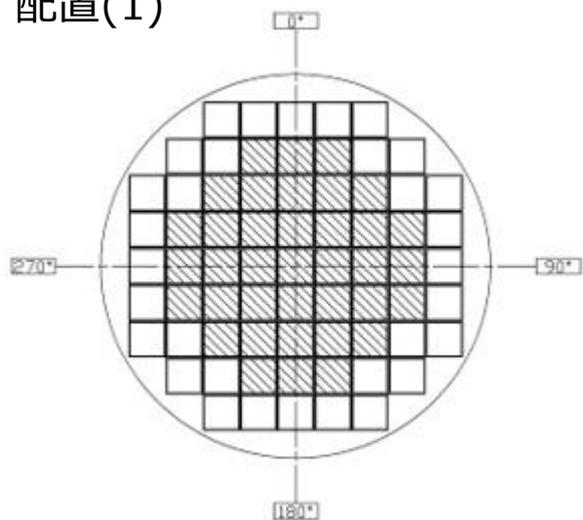
日立造船はつないでいきます。かけがえのない自然と私たちの未来を。

**Hitz**  
Hitachi Zosen

日立造船株式会社 <https://www.hitachizosen.co.jp/>

## 参考1. 使用済燃料の配置制限の考え方

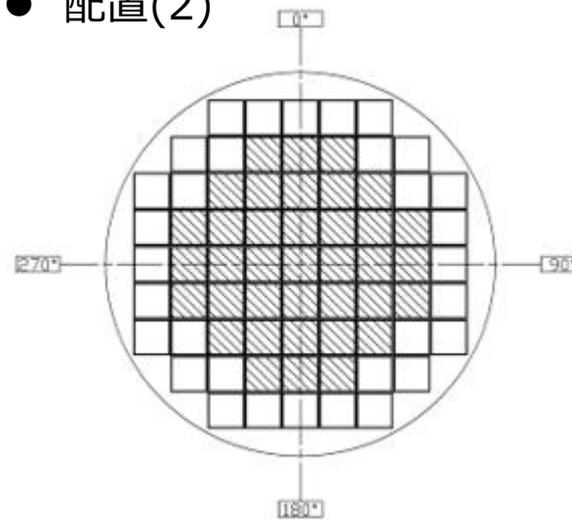
## ● 配置(1)



- 燃料種類 : 新型 8×8 燃料  
 収納体数 : 37 体  
 燃焼度 : 38,000MWd/t 以下  
 冷却期間 : 34 年以上
- 燃料種類 : 8×8 燃料又は新型 8×8 燃料  
 収納体数 : 32 体  
 燃焼度 : 30,000MWd/t 以下  
 冷却期間 : 34 年以上

・効率的な運用のため、燃料被覆管制限温度の低い新型8×8燃料及び8×8燃料のみ収納できる配置とする。

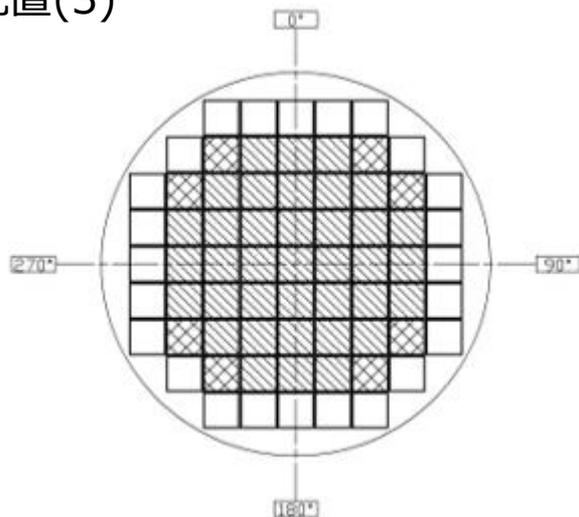
## ● 配置(2)



- 燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料  
 収納体数 : 37 体  
 燃焼度 : 40,000MWd/t 以下  
 冷却期間 : 28 年以上
- 燃料種類 : 新型 8×8 燃料又は新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料  
 収納体数 : 32 体  
 燃焼度 : 35,000MWd/t 以下  
 冷却期間 : 34 年以上 (新型 8×8 燃料)  
 30 年以上 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)

・キャスク中央部のほうがキャスク周辺部に比べて温度が高くなるため、燃料被覆管制限温度が高い新型8×8ジルコニウムライナ燃料を中央部に収納し、燃料被覆管制限温度が低い新型8×8燃料を外周部に配置できるようにする。なお、解析条件としては、外周部に新型8×8ジルコニウムライナ燃料を配置するが、新型8×8燃料の燃料被覆管制限温度を超えないことを確認する。

## ● 配置(3)



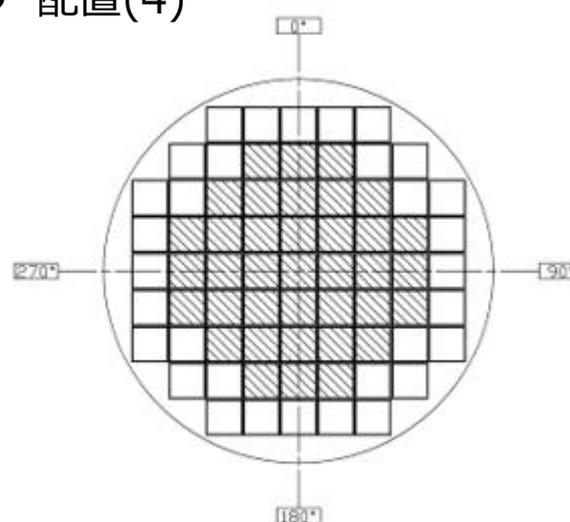
- 燃料種類** : 新型 8×8 シルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料  
**収納体数** : 37 体  
**燃焼度** : 40,000MWd/t 以下 (新型 8×8 シルコニウムライナ燃料)  
           48,000MWd/t 以下 (高燃焼度 8×8 燃料)  
**冷却期間** : 28 年以上 (新型 8×8 シルコニウムライナ燃料)  
           20 年以上 (高燃焼度 8×8 燃料)

- 燃料種類** : 新型 8×8 シルコニウムライナ燃料  
**収納体数** : 8 体  
**燃焼度** : 35,000MWd/t 以下  
**冷却期間** : 30 年以上

- 燃料種類** : 新型 8×8 燃料  
**収納体数** : 24 体  
**燃焼度** : 30,000MWd/t 以下  
**冷却期間** : 34 年以上

・配置(4)と同様、中央部に高燃焼度 8×8 燃料を可能な限り収納する配置だが、新型 8×8 燃料を外周部に配置する場合において、除熱解析の結果、部分的に燃料被覆管温度が制限値を超えるものは、燃料被覆管制限温度が高い新型 8×8 シルコニウムライナ燃料に置き換える。(置き換えたのは中間部  の燃料。)

## ● 配置(4)



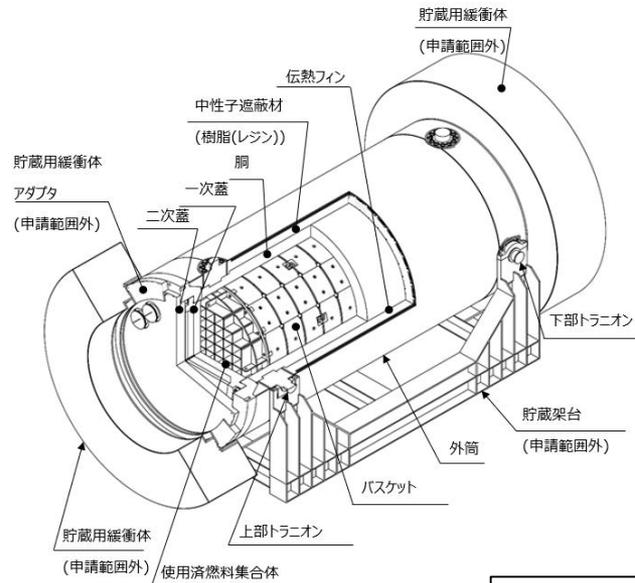
- 燃料種類** : 新型 8×8 シルコニウムライナ燃料又は高燃焼度 8×8 燃料  
**収納体数** : 37 体  
**燃焼度** : 40,000MWd/t 以下 (新型 8×8 シルコニウムライナ燃料)  
           48,000MWd/t 以下 (高燃焼度 8×8 燃料)  
**冷却期間** : 28 年以上 (新型 8×8 シルコニウムライナ燃料)  
           20 年以上 (高燃焼度 8×8 燃料)

- 燃料種類** : 新型 8×8 シルコニウムライナ燃料  
**収納体数** : 32 体  
**燃焼度** : 35,000MWd/t 以下  
**冷却期間** : 30 年以上

・高燃焼度 8×8 燃料 (発熱量の高い燃料) を可能な限り収納するための配置である。収納する 69 体全体を高燃焼度 8×8 燃料とするのが難しいため、外周部には新型 8×8 シルコニウムライナ燃料を配置する。

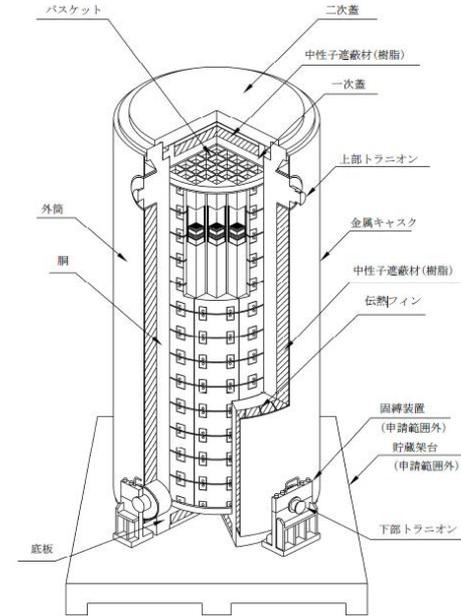
## 参考2. 承認を受けたキャスクとの違い

## ● キャスク本体の構造 (1/2)



Hitz-B69型

相違点を朱書きで示す。  
(以下ページで同様。)



Hitz-B52型

項目	Hitz-B69型	Hitz-B52型
胴/底板	・炭素鋼	・炭素鋼
外筒	・炭素鋼	・炭素鋼
トランニオン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・析出硬化系ステンレス鋼</li> <li>・上下に2対</li> <li>・取付け方法：<input type="text"/></li> <li>・貯蔵姿勢：横置き、上部及び下部トランニオンにて貯蔵架台に設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・析出硬化系ステンレス鋼</li> <li>・上下に2対</li> <li>・取付け方法：<input type="text"/></li> <li>・貯蔵姿勢：縦置き、下部トランニオン固縛</li> </ul>

### ● キャスク本体の構造 (2/2)



Hitz-B69型

Hitz-B52型

項目	Hitz-B69型	Hitz-B52型
中性子遮蔽材	・樹脂 (レジン) ・ <b>スペーサ</b> による中性子遮蔽材の膨張代を設置	・樹脂 (レジン) ・ <b>軸方向端部</b> に中性子遮蔽材の膨張代を確保
伝熱フィン	・銅	・銅

### ● 蓋部構造 (1/2)

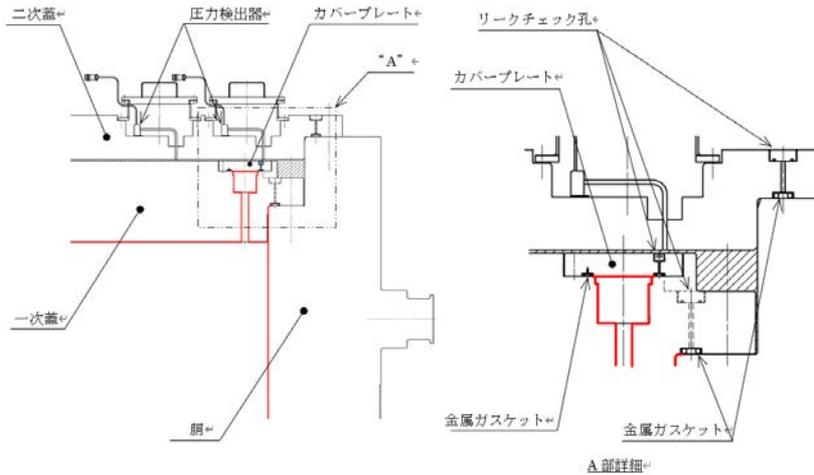


Hitz-B69型

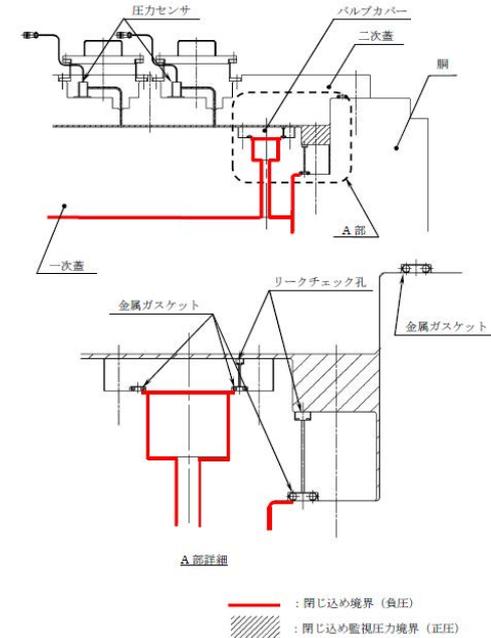
Hitz-B52型

項目	Hitz-B69型	Hitz-B52型
一次蓋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ステンレス鋼</li> <li>・中性子遮蔽材（樹脂（レジ））を設置</li> <li>・シール材：金属ガスケット</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ステンレス鋼</li> <li>・中性子遮蔽材（樹脂（レジ））を設置</li> <li>・シール材：金属ガスケット</li> </ul>
二次蓋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭素鋼</li> <li>・シール材：金属ガスケット</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭素鋼</li> <li>・シール材：金属ガスケット</li> </ul>
蓋ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・合金鋼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・合金鋼</li> </ul>

## ● 蓋部構造 (2/2)



Hitz-B69型



Hitz-B52型

項目	Hitz-B69型	Hitz-B52型
一次蓋	・胴、底板とともに閉じ込め境界を形成	・胴、底板とともに閉じ込め境界を形成
二次蓋	・蓋間へのヘリウム充填及び蓋間圧力測定のための貫通孔（モニタリングポートバルブ）を設置。 ・貯蔵時にはモニタリングポートカバーを設置。	・蓋間へのヘリウム充填及び蓋間圧力測定のための貫通孔（モニタリングポートバルブ）を設置。 ・貯蔵時にはモニタリングポートカバーを設置。

### ● バスケットの構造 (1/2)



Hitz-B69型

Hitz-B52型

項目	Hitz-B69型	Hitz-B52型
バスケット (材質)	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金 (除熱用)</li> <li>中性子吸収材：ほう素添加アルミニウム合金</li> <li>コンパートメントの炭素鋼はSG295を使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金 (除熱用)</li> <li>中性子吸収材：ほう素添加アルミニウム合金</li> <li>コンパートメントの炭素鋼は [ ] を使用</li> </ul>
バスケット (構造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼製のコンパートメント (角チューブ)、スペーサ及びサポートプレートで構成された格子構造</li> <li>バスケットは一体組立構造で容器本体に挿入</li> <li>中性子吸収材 (B-AI) はコンパートメント間に設置されたスペーサによる間隙に配置</li> <li>使用済燃料のハンドル及び上部プレナム部の位置のバスケット格子部分は、コンパートメントでなく支持構造物としての上部格子枠を配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼製のコンパートメント (角チューブ)、スペーサ及びサポートプレートで構成された格子構造</li> <li>バスケットは一体組立構造で容器本体に挿入</li> <li>中性子吸収材 (B-AI) はコンパートメント間に設置されたスペーサによる間隙に配置</li> </ul>

### ● バスケットの構造 (2/2)



Hitz-B69型

Hitz-B52型

項目	Hitz-B69型	Hitz-B52型
クランプ (材質)	・ステンレス鋼	・ステンレス鋼
クランプ (構造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周方向に分割したサポートプレートをクリックで束ねる構造</li> <li>・周方向に分割されたサポートプレート上下に溶接された1組(2個)の [ ] を、サポートプレート上部及び下部からクランプで挟み込み両者を締結する構造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周方向に分割したサポートプレートをクリックで束ねる構造</li> <li>・周方向に分割されたサポートプレート上下に溶接された [ ] を、バスケット外側からクランプで挟み込み両者を締結する構造</li> </ul>

## 参考 2. 承認を受けたキャスクとの違い（臨界防止機能）

### ● 臨界防止設計の方針の比較

確認内容		臨界防止設計の方針		差異
		Hitz-B69型	Hitz-B52型	
配置・形状(※)	特定兼用キャスクの配置	・無限配列 (完全反射境界)	・無限配列 (完全反射境界)	なし
	バスケットの形状	・実効増倍率が最大となるようバスケット（格子内のり等）の製造公差を考慮	・実効増倍率が最大となるようバスケット（格子内のり等）の製造公差を考慮	なし
	バスケット格子内の燃料集合体配置	・実効増倍率が最大となる使用済燃料の偏りを考慮	・実効増倍率が最大となる使用済燃料の偏りを考慮	なし
中性子吸収材の効果	製造公差	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実効増倍率が最大となる、下限値のほう素添加量に設定</li> <li>・実効増倍率が最大となるよう、寸法を設定                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 乾燥状態の評価では幅最小・板厚最小</li> <li>- 冠水状態の評価では幅最小・板厚最大</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実効増倍率が最大となる、下限値のほう素添加量に設定</li> <li>・ほう素存在量が最小となるよう、最小値の寸法に設定</li> </ul>	実効増倍率が保守的な値となるよう設定する考え方は同じ  ただし、Hitz-B69型の評価において、新たに中性子吸収材の板厚をパラメータとして考慮した
	原子個数密度の減少	・ほう素の減損が無視できることを確認	・ほう素の減損が無視できることを確認	なし

(※) Hitz-B69型は横置き・Hitz-B52型は縦置きという違いがあるが、配置・形状の条件設定によって置き方の違いは包絡される。  
(置き方の違いは燃料集合体の偏り方や周囲の構造物からの反射条件に影響するが、いずれに対しても保守的な条件設定としている。)

## 参考 2. 承認を受けたキャスクとの違い（臨界防止機能）

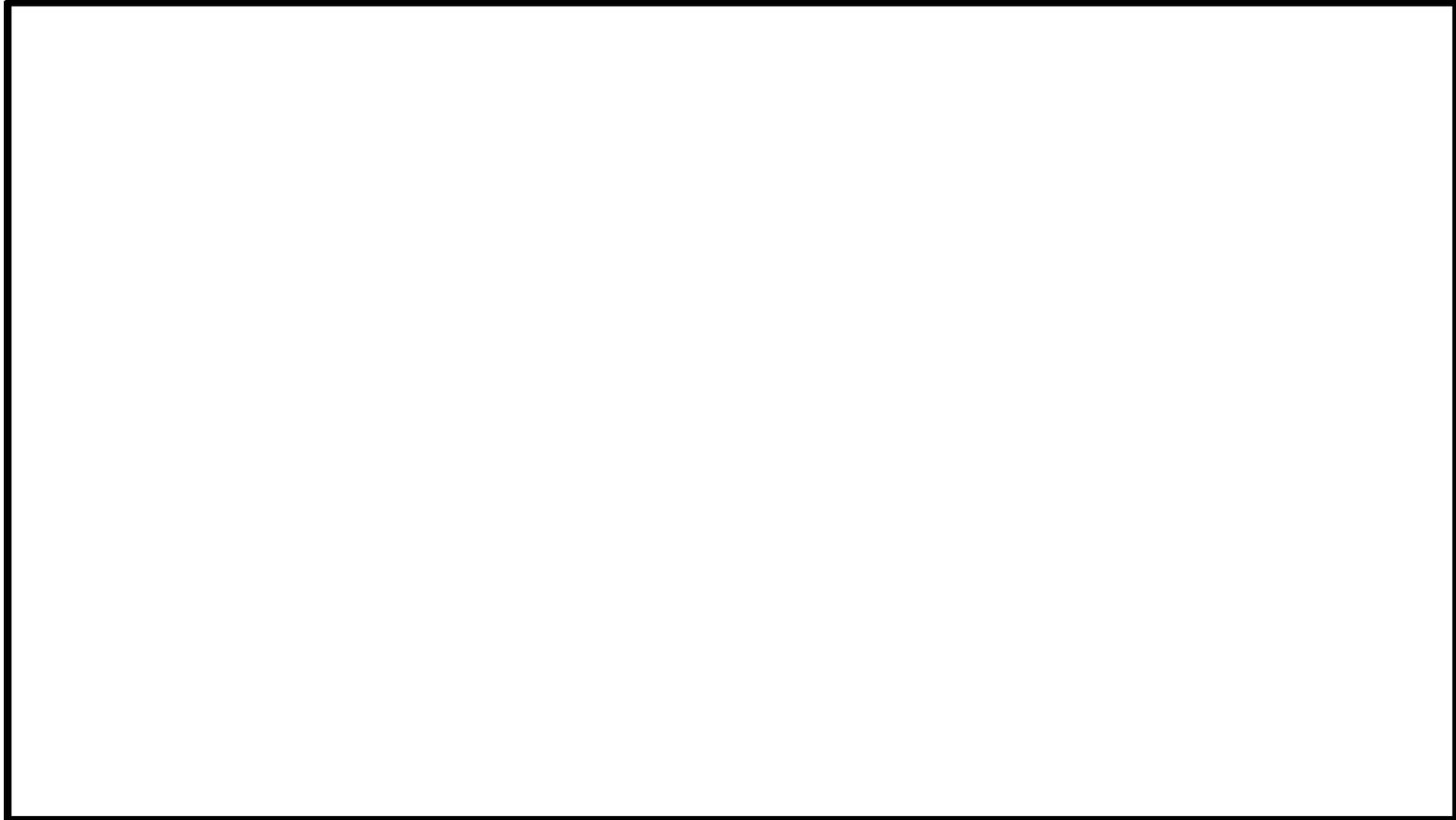
### ● 臨界防止設計の方針の比較

確認内容		臨界防止設計の方針		差異
		Hitz-B69型	Hitz-B52型	
減速材（水）の影響		<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥状態から冠水状態までを考慮</li> <li>容器内・外の水密度の影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥状態から冠水状態までを考慮</li> <li>容器内の水密度の影響を考慮</li> </ul>	なし
解析コード及び データライブラリ	コードシステム	SCALE4.4a	SCALE4.4a	なし
	臨界計算	KENO-V.a	KENO-V.a	なし
	共鳴計算	BONAMI NITAWL- II	BONAMI NITAWL- II	なし
	均質化 群定数計算	XSDRNPM	XSDRNPM	なし
	断面積ライブラリ	238群ライブラリ (ENDF/B-Vベース)	238群ライブラリ (ENDF/B-Vベース)	なし

(注) 解析コード及びライブラリについては、ベンチマーク解析を実施し妥当性を確認している。

- 臨界設計方針の比較

臨界解析モデルの比較



Hitz-B69型

Hitz-B52型

## 参考 2. 承認を受けたキャスクとの違い（除熱機能）

### ● 除熱設計の方針の比較

確認内容		除熱設計の方針		差異
		Hitz-B69型	Hitz-B52型	
使用済燃料の崩壊熱評価	燃焼計算コード	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) (ライブラリ：BWR-U)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ORIGEN2 (ORIGEN2-82) (ライブラリ：BWR-U)</li> </ul>	Hitz-B52型とは同じコードだがバージョンが異なる。ライブラリは同じであり、コードのバージョンの違いによる影響はBWR用 $UO_2$ 燃料に対してほとんどないことを確認している。 なお、特定兼用キャスクとして承認を受けている他のキャスクでは、ORIGEN2.2UPJが用いられている。
	評価条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>•崩壊熱量が保守的になるように燃焼度、濃縮度、冷却期間等を設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•崩壊熱量が保守的になるように燃焼度、濃縮度、冷却期間等を設定</li> </ul>	なし
兼用キャスク各部の温度評価	伝熱解析コード	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ABAQUS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ABAQUS</li> </ul>	なし
	評価条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>•使用済燃料の崩壊熱、周囲温度等を設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•使用済燃料の崩壊熱、周囲温度等を設定</li> </ul>	なし
	モデル化	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hitz-B69型の実形状を適切にモデル化 (三次元全体モデル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hitz-B52型の実形状を適切にモデル化 (二次元全体モデル及び三次元輪切りモデル)</li> </ul>	Hitz-B69型は横置きであることから、縦置きのように軸対象ではないことを考慮して三次元全体モデルとしている。
	安全機能及び構造強度の維持	<ul style="list-style-type: none"> <li>•安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度を制限値に設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度を制限値に設定</li> </ul>	なし

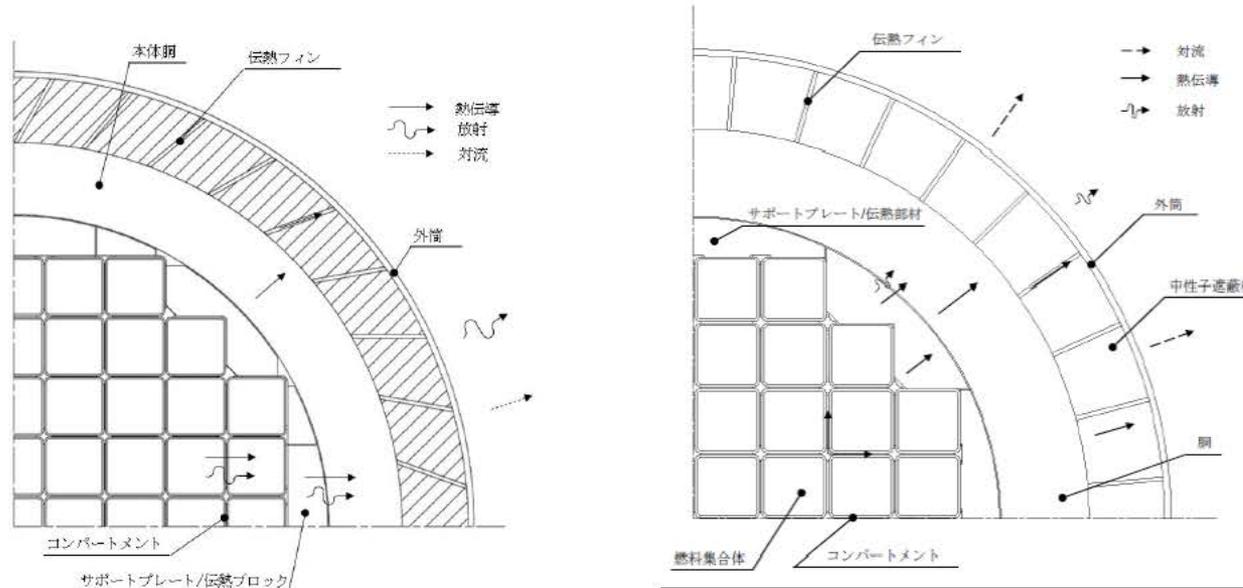
## 参考 2. 承認を受けたキャスクとの違い（除熱機能）

### ● 除熱設計の方針の比較

確認内容		除熱設計の方針		差異
		Hitz-B69型	Hitz-B52型	
燃料被覆管の 温度評価	伝熱解析コード	・ABAQUS	・ABAQUS	なし
	評価条件	・使用済燃料の崩壊熱、境界条件となるバスケットの温度を設定	・使用済燃料の崩壊熱、境界条件となるバスケットの温度を設定	なし
	モデル化	・使用済燃料集合体の実形状を適切にモデル化（径方向断面二次元でモデル化）	・使用済燃料集合体の実形状を適切にモデル化（径方向断面二次元でモデル化）	なし
	クリープ破損及び機械的特性の低下の防止	・燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度を制限値に設定	・燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度を制限値に設定	なし

## ● 除熱設計方針の比較

### 伝熱形態の比較



・径方向の伝熱形態はHitz-B69型とHitz-B52型で同様



Hitz-B69型



Hitz-B52型

- 除熱設計方針の比較

### 輪切りモデルの比較



Hitz-B69型  
(三次元全体モデル)

Hitz-B52型  
(三次元輪切りモデル)

- ・Hitz-B52型は軸方向温度評価のための解析モデルを二次元軸対称モデル (全体モデル) として、全体モデルで均質化している胴より内部の部位の温度評価のための解析モデルを三次元輪切りモデルとしている。
- ・Hitz-B69型は全体モデルを三次元モデルとしており、胴より内部の部位の均質化を行わず、Hitz-B52型の全体モデルと輪切りモデルの両方の評価を、一つのモデルで行う。
- ・燃料集合体モデルはHitz-B52型もHitz-B69型も同様である。