

リサイクル燃料備蓄センター設工認
設 2-参-002 改 1
2021 年 12 月 27 日

リサイクル燃料備蓄センター
設計及び工事の計画の変更認可申請書
(参考資料)

基本的安全機能の説明事項に関する
型式指定申請書との比較について

令和 3 年 1 2 月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

目次

1. 目的	1
2. <u>比較対象</u>	1
3. 設工認申請資料の記載の基本的考え方	1
4. 型式指定申請書との記載事項の比較	2
第 4-1 表 (1/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の解析の比較 (使用済燃料の臨界防止に関する説明事項)	
第 4-1 表 (2/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の解析の比較 (放射線の遮蔽に関する説明事項)	
第 4-1 表 (3/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の解析の比較 (使用済燃料等の閉じ込めに関する説明事項)	
第 4-1 表 (4/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の解析の比較 (使用済燃料等の除熱に関する説明事項)	
第 4-1 表 (5/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の解析の比較 (主要な容器の強度及び耐食性に関する説明事項)	
第 4-2 表 (1/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の記載の比較 (使用済燃料の臨界防止に関する説明事項)	
第 4-2 表 (2/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の記載の比較 (放射線の遮蔽に関する説明事項)	
第 4-2 表 (3/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の記載の比較 (使用済燃料等の閉じ込めに関する説明事項)	
第 4-2 表 (4/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の記載の比較 (使用済燃料の除熱に関する説明事項)	
第 4-2 表 (5/5) 「型式指定申請書」と「R F S 設工認申請書」の記載の比較 (主要な容器の強度及び耐食性に関する説明事項)	

1. はじめに

本資料は、使用済燃料備蓄センター（以下「RFS」という。）の基本的な安全機能及びこれを確保・維持する材料及び構造に関する技術基準適合性の説明について、型式指定申請書との相違を明確化するものである。

2. 比較対象

2.1 型式指定申請書の比較対象

比較対象は、原規規発第2107065号（令和3年7月6日付け）にて、特定容器等の型式について指定（T-DPC21001）された日立GEニュークリア・エナジー株式会社「使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式指定申請書」（令和元年5月8日付け Doc No. FRO-TA-0024/REV.0（令和3年6月24日付け Doc No. FRO-TA-0084/REV.0をもって一部補正）、以下「型式指定申請書」という。）の申請書本文及び申請書添付書類2, 3, 4, 5, 8とする。

2.2 RFS設工認申請の比較対象

比較対象は、申請書本文、申請書添付書類3の添付1, 2, 3, 4, 10及びこれらの補足説明資料（以下「RFS設工認申請資料」という。）とする。

3. 型式指定申請書との相違の概要

型式指定申請書とRFS設工認申請の金属キャスクは、同じ基準、規格に基づく同一材料及び構造で設計した金属キャスクであるが、収納する使用済燃料の仕様に違いがあること及び事業の変更許可に基づくRFS固有の安全設計があるため、申請書の一部表現に相違がある。

3.1 収納する使用済燃料仕様の違い

(1) 収納する使用済燃料仕様の比較

型式指定申請書とRFS申請書で申請する金属キャスクに収納する使用済燃料仕様の比較については、第3-1表の通り。

第3-1表 収納する使用済燃料仕様の主な比較

項目	型式指定			R F S 設工認		
	新型 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 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
濃縮度 (wt%)	3.1	3.1	3.66	3.1	3.1	3.66
最高燃焼度 (MWd/t)	34,000	40,000	48,000	34,000	40,000	40,000
最低冷却期間 (年)	28	18	18	24	18	18

(2) 解析の比較

型式指定申請書に対するRFSの設工認申請書の記載は、型式指定申請書で申請する特定容器等とRFSの設工認申請書で申請する金属キャスクについて、収納する使用済燃料の仕様に相違があるため、安全性を確認する解析について以下の相違がある。

a. 使用済燃料の臨界防止

収納燃料に違いはあるが、解析対象とする最大の反応度を有する使用済燃料集合体（入力）は変わらないため、解析結果は同じである。

b. 放射線による被ばくの防止

収納燃料の違いによる線源強度（入力）に違いがあるが、解析結果の端数処理により、解析結果は同じである。

なお、RFSの設工認申請書には、事業の変更許可に基づく使用済燃料貯蔵建屋による放射線の遮蔽（3.2 b.）の解析が追加となる。

c. 使用済燃料等の閉じ込め

収納燃料の違いによるFPガス生成量に違いがあるが、端数処理の結果、解析結果は同じである。

d. 使用済燃料の除熱

収納燃料の違いにより解析結果（金属キャスク各部の最高温度）に違いがある。

なお、RFSの設工認申請書には、事業の変更許可に基づく使用済燃料貯蔵建屋による使用済燃料の除熱（3.2 a.）の解析が追加となる。

e. 耐圧強度及び耐食性

使用済燃料等の除熱性の評価結果を使って解析を行うため、解析結果は同じである。

3.2 RFS事業の変更許可に基づく安全設計の違い

燃料貯蔵規則に基づき、RFSの設工認申請書では、型式指定申請書に対して、以下の項目を追加で記載している。

- a. 使用済燃料貯蔵建屋による使用済燃料の除熱に関する説明事項
- b. 使用済燃料貯蔵建屋による放射線の遮蔽に関する説明事項
- c. 申請する金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納に関する説明事項
- d. 申請する金属キャスクの搬出への備えに関する説明事項

4. 型式指定申請書との記載事項の比較

「3. 型式指定申請書との相違の概要」を踏まえて型式指定申請書とR F S設工認申請の基本的安全機能に関する記載の相違を明確化するため、以下に示す二つの観点で申請資料の記載事項を整理し相違を明確化した。

4.1 解析の比較

型式指定申請書とR F Sの設工認申請資料の基本的安全機能等の解析について、入力、解析条件、解析方法及び解析結果の項目毎に整理し相違を明確化した。

- 第 4-1 表 (1/5) 「型式指定申請書」と「R F S設工認申請書」の解析の比較 (使用済燃料の臨界防止に関する説明事項)
- 第 4-1 表 (2/5) 「型式指定申請書」と「R F S設工認申請書」の解析の比較 (放射線の遮蔽に関する説明事項)
- 第 4-1 表 (3/5) 「型式指定申請書」と「R F S設工認申請書」の解析の比較 (使用済燃料等の閉じ込めに関する説明事項)
- 第 4-1 表 (4/5) 「型式指定申請書」と「R F S設工認申請書」の解析の比較 (使用済燃料等の除熱に関する説明事項)
- 第 4-1 表 (5/5) 「型式指定申請書」と「R F S設工認申請書」の解析の比較 (主要な容器の強度及び耐食性に関する説明事項)

4.2 申請書の記載の比較

型式指定申請書とR F S設工認申請資料の記載を整理し相違を明確化した。

- (1) 基本的安全機能：第 4-2 表 (1/5) から同表 (4/5) まで
- (2) 耐圧強度及び耐食性 (主要な容器の構造及び耐食性)：第 4-2 表 (5/5)

なお、「3.2 R F S事業の変更許可に基づく追加の記載事項」に示す c. 項及び d. 項については、型式指定申請書に記載事項が無いため、以下の通り R F S設工認申請資料で新たに記載している。

- c. 申請する金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納に関する説明事項
 - ・(設 2-補-005) 金属キャスクへの使用済燃料の収納及び搬出への備え
「2. 金属キャスクへの使用済燃料集合体の収納に関する補足説明」に記載。
- d. 申請する金属キャスクの搬出への備えに関する説明事項
 - ・別添 I 2.1 使用済燃料貯蔵設備本体
「(2) 基本設計方針 b. 金属キャスク」に記載。
 - ・別添 III 2 工事の方法 (金属キャスク)
「3. 工事上の留意事項」に記載。

- ・(設2-補-005) 金属キャスクへの使用済燃料の収納及び搬出への備え
「3. BWR用大型キャスク(タイプ2A)の搬出への備えに関する補足説明」に記載。

5. まとめ

型式指定申請書とRFS設工認申請書の基本的安全機能に関する記載を比較した結果, 収納する使用済燃料の仕様の違いにより申請書の一部表現に相違があるが, 技術基準適合性の説明事項に不足はない。

以 上

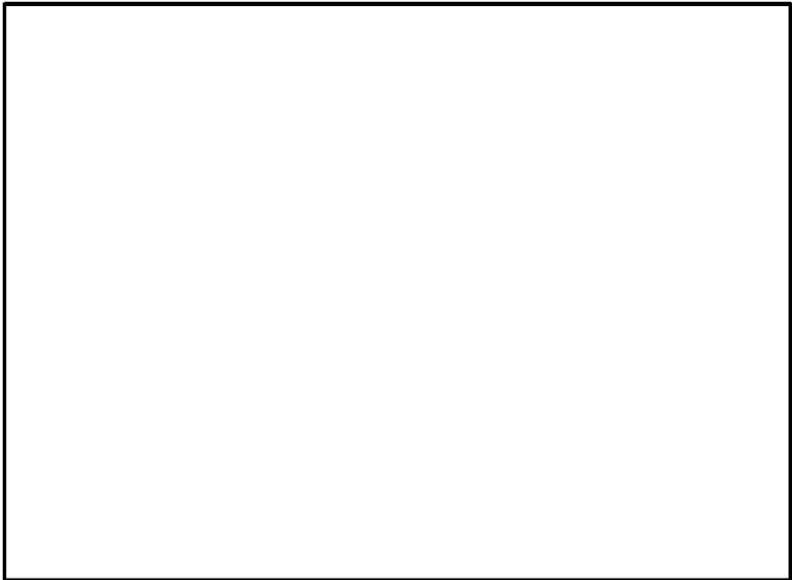
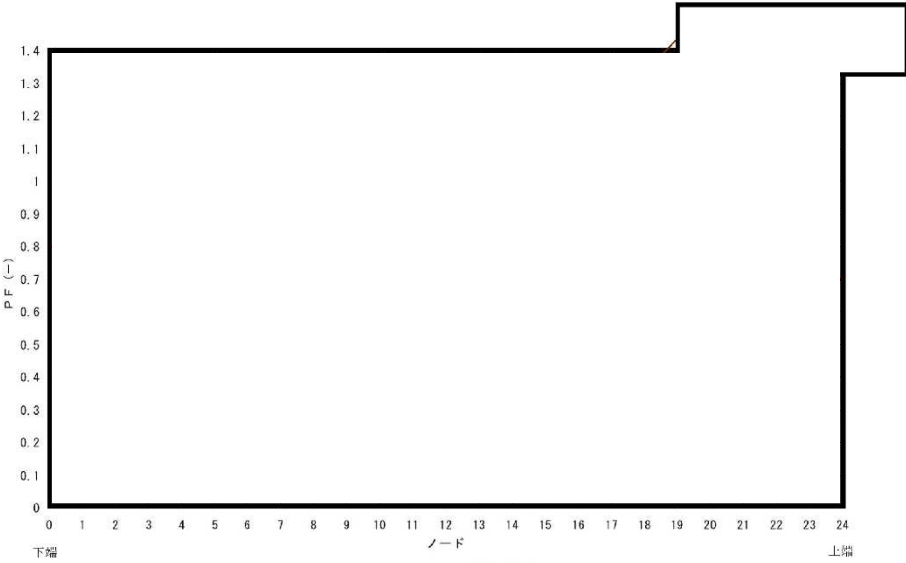
第4-1表 (1/5) 型式指定申請書との解析の比較 (使用済燃料の臨界防止)

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																																																																						
1	入 力	<p>1. 収納する使用済燃料</p> <p>1. 収納物 (資料2 別紙1)</p> <p>収納する使用済燃料は照射済みのものであるが、濃縮度は未照射のままの減損していない値とし、安全側の仮定とした。また、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、熱中性子吸収効果のあるガドリニアの存在を無視した。臨界解析の対象は、代表として最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料とする。</p>	<p>1. 収納する使用済燃料</p> <p>乾燥状態における臨界解析について (添付1-1-1 別添2)</p> <p>保守的に可燃性毒物の反応度抑制効果は無視した初期濃縮度の燃料集合体を金属キャスクに全数収納した状態を設定する。</p> <p>(中略) BWR用大型キャスク (タイプ2A) では3種類の燃料集合体を収納するが反応度が最も高くなる高燃焼度8×8燃料を代表とし、濃縮度は燃料の初期濃縮度の新燃料を仮定している。</p>	1. 相違なし																																																																						
2	解析条件 (1/2)	<p>(資料2 別添3)</p> <p>別紙3-1表 (1/2) 臨界解析条件及び設定根拠</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>乾燥時臨界解析</th> <th>冠水時臨界解析</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>収納物</td> <td colspan="2">濃縮度が高く、燃料ペレットの理論密度や直径が大きくなり、反応度が最も高い高燃焼度8×8燃料を対象とした。</td> </tr> <tr> <td>濃縮度</td> <td>ガドリニアの存在を無視し、平均初期濃縮度の最大値である3.66 wt%とした。</td> <td>炉心装荷冷温状態における無限増倍率が1.3となるモデルバンドルとした。</td> </tr> <tr> <td>燃料配置</td> <td colspan="2">中性子実効増倍率が最大となるHDP-69B(B)型中心偏向配置とした。</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">寸法条件</td> <td colspan="2">バスケットプレート板厚：バスケットプレート材に含まれる中性子吸収材 (天然ほう素) の量が少なくなり、かつ隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。</td> </tr> <tr> <td colspan="2">伝熱プレート板厚：隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。</td> </tr> <tr> <td colspan="2">バスケット格子内のり：隣接する使用済燃料までの距離が短くなるバスケット格子内のり最小とした。</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型内雰囲気</td> <td>雰囲気ガスの中性子吸収効果は無視する真空とした。</td> <td>中性子減速効果が最大となる水密度最大の1.0 g/cm³とした。</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型外雰囲気</td> <td colspan="2">解析モデルを完全反射境界とし、HDP-69B(B)型の外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく反射してHDP-69B(B)型へ戻る真空とした。</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型配列</td> <td colspan="2">解析モデルをHDP-69B(B)型に外接する四角柱表面で完全反射とした。(HDP-69B(B)型が無限に並ぶ配列と等価)</td> </tr> <tr> <td>ほう素添加量</td> <td colspan="2">中性子吸収材に含まれる天然ほう素量は、仕様上の下限値とした。(ほう素の減損については、「添付書類8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」参照)</td> </tr> </tbody> </table>	項目	乾燥時臨界解析	冠水時臨界解析	収納物	濃縮度が高く、燃料ペレットの理論密度や直径が大きくなり、反応度が最も高い高燃焼度8×8燃料を対象とした。		濃縮度	ガドリニアの存在を無視し、平均初期濃縮度の最大値である3.66 wt%とした。	炉心装荷冷温状態における無限増倍率が1.3となるモデルバンドルとした。	燃料配置	中性子実効増倍率が最大となるHDP-69B(B)型中心偏向配置とした。		寸法条件	バスケットプレート板厚：バスケットプレート材に含まれる中性子吸収材 (天然ほう素) の量が少なくなり、かつ隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。		伝熱プレート板厚：隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。		バスケット格子内のり：隣接する使用済燃料までの距離が短くなるバスケット格子内のり最小とした。		HDP-69B(B)型内雰囲気	雰囲気ガスの中性子吸収効果は無視する真空とした。	中性子減速効果が最大となる水密度最大の1.0 g/cm ³ とした。	HDP-69B(B)型外雰囲気	解析モデルを完全反射境界とし、HDP-69B(B)型の外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく反射してHDP-69B(B)型へ戻る真空とした。		HDP-69B(B)型配列	解析モデルをHDP-69B(B)型に外接する四角柱表面で完全反射とした。(HDP-69B(B)型が無限に並ぶ配列と等価)		ほう素添加量	中性子吸収材に含まれる天然ほう素量は、仕様上の下限値とした。(ほう素の減損については、「添付書類8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」参照)		<p>(添付1-1-1)</p> <p>第3表 臨界解析条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>乾燥状態</th> <th>冠水状態</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>金属キャスク内雰囲気</td> <td>真空</td> <td>冠水 (水密度 1.0 g/cm³)</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク外雰囲気</td> <td colspan="2">真空</td> </tr> <tr> <td>収納物</td> <td>可燃性毒物の反応度抑制効果は無視した初期濃縮度の燃料集合体 高燃焼度8×8燃料、濃縮度3.66 wt%</td> <td>濃縮度の異なる2種類の燃料棒を用いた炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3となる燃料集合体モデル</td> </tr> <tr> <td>収納体数 (体)</td> <td colspan="2">69 (金属キャスクの最大収納体数)</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの配列</td> <td colspan="2">無限配列 (金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射)</td> </tr> <tr> <td>バスケット部材中の中性子吸収材含有量</td> <td colspan="2">ボロン添加ステンレス鋼のボロン含有率と密度を仕様上の下限から設定したボロン原子個数密度</td> </tr> <tr> <td>バスケット寸法</td> <td colspan="2">格子板厚：最小 格子内のり：最小</td> </tr> <tr> <td>バスケット格子内の燃料配置</td> <td colspan="2">中心偏向配置</td> </tr> <tr> <td>チャンネルボックス</td> <td>なし</td> <td>あり</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体の上・下タイププレート及びプレナム部</td> <td>上・下タイププレート及びプレナム部を真空に置換</td> <td>上・下タイププレート及びプレナム部を水 (密度 1.0 g/cm³) に置換</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの中性子遮蔽材</td> <td colspan="2">中性子遮蔽材であるレジンを真空に置換</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td colspan="2">SCALEシステム4.4a ・燃料棒単位セル計算：輸送計算コードXSDRNPM ・臨界解析：臨界解析コードKENO-V. a (中性子ヒストリー数100万) ・断面積ライブラリ：SCALEシステム4.4aの内蔵ライブラリデータの1つである238群ライブラリデータ</td> </tr> </tbody> </table>	項目	乾燥状態	冠水状態	金属キャスク内雰囲気	真空	冠水 (水密度 1.0 g/cm ³)	金属キャスク外雰囲気	真空		収納物	可燃性毒物の反応度抑制効果は無視した初期濃縮度の燃料集合体 高燃焼度8×8燃料、濃縮度3.66 wt%	濃縮度の異なる2種類の燃料棒を用いた炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3となる燃料集合体モデル	収納体数 (体)	69 (金属キャスクの最大収納体数)		金属キャスクの配列	無限配列 (金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射)		バスケット部材中の中性子吸収材含有量	ボロン添加ステンレス鋼のボロン含有率と密度を仕様上の下限から設定したボロン原子個数密度		バスケット寸法	格子板厚：最小 格子内のり：最小		バスケット格子内の燃料配置	中心偏向配置		チャンネルボックス	なし	あり	燃料集合体の上・下タイププレート及びプレナム部	上・下タイププレート及びプレナム部を真空に置換	上・下タイププレート及びプレナム部を水 (密度 1.0 g/cm ³) に置換	金属キャスクの中性子遮蔽材	中性子遮蔽材であるレジンを真空に置換		解析コード	SCALEシステム4.4a ・燃料棒単位セル計算：輸送計算コードXSDRNPM ・臨界解析：臨界解析コードKENO-V. a (中性子ヒストリー数100万) ・断面積ライブラリ：SCALEシステム4.4aの内蔵ライブラリデータの1つである238群ライブラリデータ		項目、収納物等の整理や表現の差はあるが、解析条件は相違なし
項目	乾燥時臨界解析	冠水時臨界解析																																																																								
収納物	濃縮度が高く、燃料ペレットの理論密度や直径が大きくなり、反応度が最も高い高燃焼度8×8燃料を対象とした。																																																																									
濃縮度	ガドリニアの存在を無視し、平均初期濃縮度の最大値である3.66 wt%とした。	炉心装荷冷温状態における無限増倍率が1.3となるモデルバンドルとした。																																																																								
燃料配置	中性子実効増倍率が最大となるHDP-69B(B)型中心偏向配置とした。																																																																									
寸法条件	バスケットプレート板厚：バスケットプレート材に含まれる中性子吸収材 (天然ほう素) の量が少なくなり、かつ隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。																																																																									
	伝熱プレート板厚：隣接する使用済燃料までの距離が短くなる板厚最小とした。																																																																									
	バスケット格子内のり：隣接する使用済燃料までの距離が短くなるバスケット格子内のり最小とした。																																																																									
HDP-69B(B)型内雰囲気	雰囲気ガスの中性子吸収効果は無視する真空とした。	中性子減速効果が最大となる水密度最大の1.0 g/cm ³ とした。																																																																								
HDP-69B(B)型外雰囲気	解析モデルを完全反射境界とし、HDP-69B(B)型の外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく反射してHDP-69B(B)型へ戻る真空とした。																																																																									
HDP-69B(B)型配列	解析モデルをHDP-69B(B)型に外接する四角柱表面で完全反射とした。(HDP-69B(B)型が無限に並ぶ配列と等価)																																																																									
ほう素添加量	中性子吸収材に含まれる天然ほう素量は、仕様上の下限値とした。(ほう素の減損については、「添付書類8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」参照)																																																																									
項目	乾燥状態	冠水状態																																																																								
金属キャスク内雰囲気	真空	冠水 (水密度 1.0 g/cm ³)																																																																								
金属キャスク外雰囲気	真空																																																																									
収納物	可燃性毒物の反応度抑制効果は無視した初期濃縮度の燃料集合体 高燃焼度8×8燃料、濃縮度3.66 wt%	濃縮度の異なる2種類の燃料棒を用いた炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3となる燃料集合体モデル																																																																								
収納体数 (体)	69 (金属キャスクの最大収納体数)																																																																									
金属キャスクの配列	無限配列 (金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射)																																																																									
バスケット部材中の中性子吸収材含有量	ボロン添加ステンレス鋼のボロン含有率と密度を仕様上の下限から設定したボロン原子個数密度																																																																									
バスケット寸法	格子板厚：最小 格子内のり：最小																																																																									
バスケット格子内の燃料配置	中心偏向配置																																																																									
チャンネルボックス	なし	あり																																																																								
燃料集合体の上・下タイププレート及びプレナム部	上・下タイププレート及びプレナム部を真空に置換	上・下タイププレート及びプレナム部を水 (密度 1.0 g/cm ³) に置換																																																																								
金属キャスクの中性子遮蔽材	中性子遮蔽材であるレジンを真空に置換																																																																									
解析コード	SCALEシステム4.4a ・燃料棒単位セル計算：輸送計算コードXSDRNPM ・臨界解析：臨界解析コードKENO-V. a (中性子ヒストリー数100万) ・断面積ライブラリ：SCALEシステム4.4aの内蔵ライブラリデータの1つである238群ライブラリデータ																																																																									

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																																																			
3	解析条件 (2/2)	<p style="text-align: center;">別紙 3-1 表 (2/2) 臨界解析条件及び設定根拠</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">項目</th> <th style="width: 35%;">乾燥時臨界解析</th> <th style="width: 50%;">冠水時臨界解析</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>使用済燃料の構造材</td> <td>ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子吸収効果が小さい真空中に置換した。</td> <td>ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子減速効果がある水に置換した。</td> </tr> <tr> <td>チャンネルボックス</td> <td>隣接する使用済燃料までの距離が短くなるチャンネルボックスなしとした。</td> <td>水からチャンネルボックスに置換することで、減速効果及び中性子吸収効果がともに小さくなる。しかし、吸収効果の減少の影響が減速効果の減少の影響より大きいいため、チャンネルボックスありとした。</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材</td> <td>中性子吸収効果のある側部、蓋部、及び底部中性子遮蔽材は真空中とした。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>蓋部</td> <td>貯蔵中は、一次蓋及び二次蓋により密封されるため蓋部をモデル化した。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	項目	乾燥時臨界解析	冠水時臨界解析	使用済燃料の構造材	ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子吸収効果が小さい真空中に置換した。	ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子減速効果がある水に置換した。	チャンネルボックス	隣接する使用済燃料までの距離が短くなるチャンネルボックスなしとした。	水からチャンネルボックスに置換することで、減速効果及び中性子吸収効果がともに小さくなる。しかし、吸収効果の減少の影響が減速効果の減少の影響より大きいいため、チャンネルボックスありとした。	中性子遮蔽材	中性子吸収効果のある側部、蓋部、及び底部中性子遮蔽材は真空中とした。		蓋部	貯蔵中は、一次蓋及び二次蓋により密封されるため蓋部をモデル化した。		<p style="text-align: center;">第 4 表 臨界解析条件の設定根拠</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">項目</th> <th style="width: 35%;">乾燥状態</th> <th style="width: 50%;">冠水状態</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>金属キャスク内雰囲気</td> <td>雰囲気ガスの中性子吸収効果を見捨てる真空中として設定</td> <td>中性子減速効果が最大となる水密度 1.0 g/cm³ として設定 (別添 6 参照)</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク外雰囲気</td> <td>金属キャスク外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく金属キャスクに向かうように真空中として設定</td> <td></td> </tr> <tr> <td>収納物</td> <td>ガドリニアの存在を見捨てる、濃縮度は平均初期濃縮度の最大値とした燃料</td> <td>炉心装荷冷温状態で無限増倍率は 1.3 未満であるが、無限増倍率が 1.3 となるようなモデルバンドル</td> </tr> <tr> <td>収納体数</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">金属キャスクの最大収納体数である 69 体</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの配列</td> <td colspan="2">体系計算における境界条件は金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射とすることにより、金属キャスクの無限配列を模擬</td> </tr> <tr> <td>バスケット部材中の中性子吸収材含有量</td> <td colspan="2">中性子吸収材を少なくするように仕様上の下限から設定 設計貯蔵期間 (50 年) に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間の ¹⁰B の減損割合は、保守的に全中性子束を用いて評価しても 10⁻⁶~10⁻⁹ 程度であり影響は無視できる (JNES 金属キャスク貯蔵技術確証試験 H15 最終報告では、熱中性子束で評価して 10⁻¹¹ 程度)</td> </tr> <tr> <td>バスケット寸法</td> <td colspan="2">格子板厚 : 最小の方が隣接する使用済燃料集合体までの距離が短く、ボロン量も最小となり、厳しい評価 格子内のり : 格子内のり最小のモデルは、使用済燃料集合体の離隔距離が最小になり、厳しい評価</td> </tr> <tr> <td>バスケット格子内の燃料配置</td> <td colspan="2">チャンネルボックスの有無を含めサーベイ計算を行い、中性子実効増倍率が最大となる金属キャスク中心偏向配置</td> </tr> <tr> <td>チャンネルボックス</td> <td>隣接する使用済燃料集合体までの距離が短くなる (燃料集合体が密集する)、チャンネルボックスなしの場合の中性子実効増倍率が高い</td> <td>中性子減速材である水の効果が大きくなる、チャンネルボックスありの場合の中性子実効増倍率が高い</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体の上・下タイププレート及びプレナム部</td> <td>ステンレス鋼製の上・下タイププレート及びプレナム部は、鋼材の中性子吸収を見捨てる真空中として設定</td> <td>ステンレス鋼製の上・下タイププレート及びプレナム部は、中性子減速材である水として設定</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの中性子遮蔽材</td> <td colspan="2">中性子遮蔽材は中性子を吸収するので、中性子遮蔽材がないと想定した方が保守的の評価となるため、中性子遮蔽材 (レジン) を見捨てる (真空中)</td> </tr> </tbody> </table>	項目	乾燥状態	冠水状態	金属キャスク内雰囲気	雰囲気ガスの中性子吸収効果を見捨てる真空中として設定	中性子減速効果が最大となる水密度 1.0 g/cm ³ として設定 (別添 6 参照)	金属キャスク外雰囲気	金属キャスク外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく金属キャスクに向かうように真空中として設定		収納物	ガドリニアの存在を見捨てる、濃縮度は平均初期濃縮度の最大値とした燃料	炉心装荷冷温状態で無限増倍率は 1.3 未満であるが、無限増倍率が 1.3 となるようなモデルバンドル	収納体数	金属キャスクの最大収納体数である 69 体		金属キャスクの配列	体系計算における境界条件は金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射とすることにより、金属キャスクの無限配列を模擬		バスケット部材中の中性子吸収材含有量	中性子吸収材を少なくするように仕様上の下限から設定 設計貯蔵期間 (50 年) に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間の ¹⁰ B の減損割合は、保守的に全中性子束を用いて評価しても 10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁹ 程度であり影響は無視できる (JNES 金属キャスク貯蔵技術確証試験 H15 最終報告では、熱中性子束で評価して 10 ⁻¹¹ 程度)		バスケット寸法	格子板厚 : 最小の方が隣接する使用済燃料集合体までの距離が短く、ボロン量も最小となり、厳しい評価 格子内のり : 格子内のり最小のモデルは、使用済燃料集合体の離隔距離が最小になり、厳しい評価		バスケット格子内の燃料配置	チャンネルボックスの有無を含めサーベイ計算を行い、中性子実効増倍率が最大となる金属キャスク中心偏向配置		チャンネルボックス	隣接する使用済燃料集合体までの距離が短くなる (燃料集合体が密集する)、チャンネルボックスなしの場合の中性子実効増倍率が高い	中性子減速材である水の効果が大きくなる、チャンネルボックスありの場合の中性子実効増倍率が高い	燃料集合体の上・下タイププレート及びプレナム部	ステンレス鋼製の上・下タイププレート及びプレナム部は、鋼材の中性子吸収を見捨てる真空中として設定	ステンレス鋼製の上・下タイププレート及びプレナム部は、中性子減速材である水として設定	金属キャスクの中性子遮蔽材	中性子遮蔽材は中性子を吸収するので、中性子遮蔽材がないと想定した方が保守的の評価となるため、中性子遮蔽材 (レジン) を見捨てる (真空中)		相違なし
項目	乾燥時臨界解析	冠水時臨界解析																																																					
使用済燃料の構造材	ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子吸収効果が小さい真空中に置換した。	ステンレス鋼製の上・下部タイププレート部及びプレナム部は、中性子減速効果がある水に置換した。																																																					
チャンネルボックス	隣接する使用済燃料までの距離が短くなるチャンネルボックスなしとした。	水からチャンネルボックスに置換することで、減速効果及び中性子吸収効果がともに小さくなる。しかし、吸収効果の減少の影響が減速効果の減少の影響より大きいいため、チャンネルボックスありとした。																																																					
中性子遮蔽材	中性子吸収効果のある側部、蓋部、及び底部中性子遮蔽材は真空中とした。																																																						
蓋部	貯蔵中は、一次蓋及び二次蓋により密封されるため蓋部をモデル化した。																																																						
項目	乾燥状態	冠水状態																																																					
金属キャスク内雰囲気	雰囲気ガスの中性子吸収効果を見捨てる真空中として設定	中性子減速効果が最大となる水密度 1.0 g/cm ³ として設定 (別添 6 参照)																																																					
金属キャスク外雰囲気	金属キャスク外部に漏れ出た中性子が吸収されることなく金属キャスクに向かうように真空中として設定																																																						
収納物	ガドリニアの存在を見捨てる、濃縮度は平均初期濃縮度の最大値とした燃料	炉心装荷冷温状態で無限増倍率は 1.3 未満であるが、無限増倍率が 1.3 となるようなモデルバンドル																																																					
収納体数	金属キャスクの最大収納体数である 69 体																																																						
金属キャスクの配列	体系計算における境界条件は金属キャスクに外接する四角柱表面で完全反射とすることにより、金属キャスクの無限配列を模擬																																																						
バスケット部材中の中性子吸収材含有量	中性子吸収材を少なくするように仕様上の下限から設定 設計貯蔵期間 (50 年) に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間の ¹⁰ B の減損割合は、保守的に全中性子束を用いて評価しても 10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁹ 程度であり影響は無視できる (JNES 金属キャスク貯蔵技術確証試験 H15 最終報告では、熱中性子束で評価して 10 ⁻¹¹ 程度)																																																						
バスケット寸法	格子板厚 : 最小の方が隣接する使用済燃料集合体までの距離が短く、ボロン量も最小となり、厳しい評価 格子内のり : 格子内のり最小のモデルは、使用済燃料集合体の離隔距離が最小になり、厳しい評価																																																						
バスケット格子内の燃料配置	チャンネルボックスの有無を含めサーベイ計算を行い、中性子実効増倍率が最大となる金属キャスク中心偏向配置																																																						
チャンネルボックス	隣接する使用済燃料集合体までの距離が短くなる (燃料集合体が密集する)、チャンネルボックスなしの場合の中性子実効増倍率が高い	中性子減速材である水の効果が大きくなる、チャンネルボックスありの場合の中性子実効増倍率が高い																																																					
燃料集合体の上・下タイププレート及びプレナム部	ステンレス鋼製の上・下タイププレート及びプレナム部は、鋼材の中性子吸収を見捨てる真空中として設定	ステンレス鋼製の上・下タイププレート及びプレナム部は、中性子減速材である水として設定																																																					
金属キャスクの中性子遮蔽材	中性子遮蔽材は中性子を吸収するので、中性子遮蔽材がないと想定した方が保守的の評価となるため、中性子遮蔽材 (レジン) を見捨てる (真空中)																																																						
4	解析方法	<p>中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用して解析する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・臨界解析で使用するコードシステム : SCALE コードシステム (4. 4a) ・燃料棒単位セル計算 : 輸送計算コード XSDRNPM ・臨界解析 : 臨界解析コード KENO-V. a (中性子ヒストリー数 100 万) 	同左	相違なし																																																			

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
		・断面積ライブラリ：SCALE コードシステム (4.4a) 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		
5	解析結果	1. 乾燥状態：0.410 (別紙 1-3 表) 2. 冠水状態：0.882 (別紙 2-3 表) 3. 統計誤差：<0.001 (判定基準：0.95 以下)	同左	相違なし

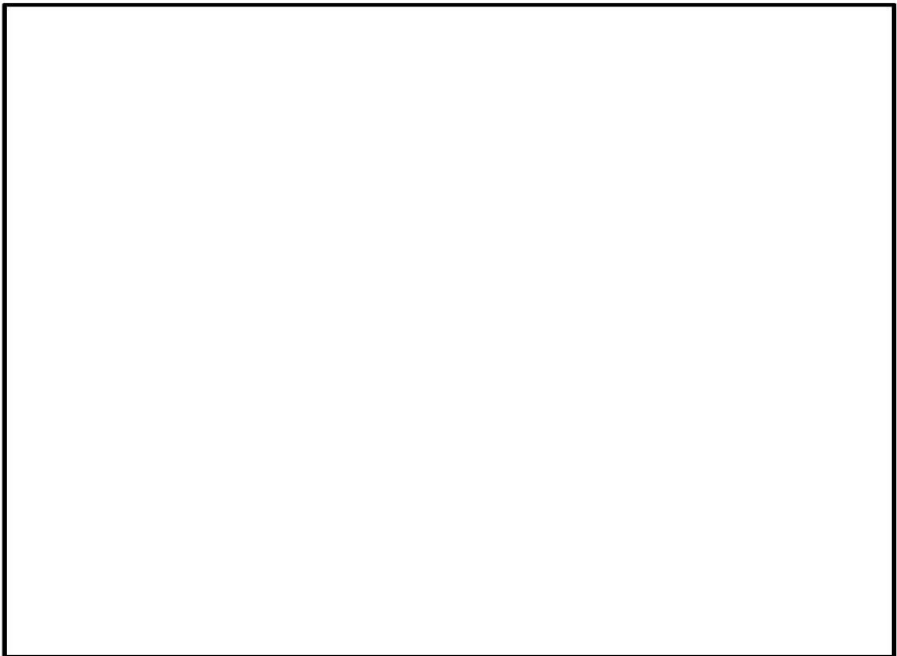
第4-1表 (2/5) 型式指定申請書との解析の比較 (放射線の遮蔽)

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	RFS設工認申請書の解析	比較結果																																																											
1	入力 (1/2)	<p>1. HDP-69B(B)の遮蔽解析の入力条件</p> <p>別紙1-1表 金属キャスク1基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>使用済燃料の種類</th> <th>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</th> <th>新型8×8燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>使用済燃料の 収納配置条件</td> <td>配置(i)</td> <td>配置(iii)</td> </tr> <tr> <td>濃縮度(wt%)</td> <td>2.88(新型8×8ジルコニウムライナ燃料) 3.35(高燃焼度8×8燃料)</td> <td>2.88</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">燃焼度 (MWd/t)</td> <td>外周部</td> <td>34,000</td> <td>40,000</td> <td>29,000</td> </tr> <tr> <td>中央部</td> <td>40,000</td> <td>48,000</td> <td>34,000</td> </tr> <tr> <td>冷却年数(年)</td> <td>18</td> <td>22(外周) 20(中央)</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s)</td> <td>8.9×10^{16}</td> <td>8.9×10^{16}</td> <td>6.0×10^{16}</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料構造材の放射化 によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co:Bq)</td> <td>1.3×10^{14}</td> <td>1.1×10^{14}</td> <td>3.1×10^{13}</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度(n/s)*1</td> <td>1.4×10^{10}</td> <td>1.5×10^{10}</td> <td>5.0×10^9</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: 中性子実効増倍率の効果を考慮した値である。</p>  <p>別紙2-1-1図 使用済燃料のPF(配置(i), (iii))</p>	使用済燃料の種類	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	新型8×8燃料	使用済燃料の 収納配置条件	配置(i)	配置(iii)	濃縮度(wt%)	2.88(新型8×8ジルコニウムライナ燃料) 3.35(高燃焼度8×8燃料)	2.88	燃焼度 (MWd/t)	外周部	34,000	40,000	29,000	中央部	40,000	48,000	34,000	冷却年数(年)	18	22(外周) 20(中央)	28	使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s)	8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	6.0×10^{16}	使用済燃料構造材の放射化 によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co :Bq)	1.3×10^{14}	1.1×10^{14}	3.1×10^{13}	使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度(n/s)*1	1.4×10^{10}	1.5×10^{10}	5.0×10^9	<p>1. BWR用大型キャスク(タイプ2A)の遮蔽解析の入力条件</p> <p>(第1表(抜粋))</p> <p>燃料型式: 新型8×8ジルコニウムライナ燃料^{注)}</p> <p>最高燃焼度: 40,000 (MWd/t)</p> <p>平均燃焼度: 34,000 (MWd/t)</p> <p>比出力: 25.3 (MW/t)</p> <p>濃縮度: 2.88 (%) (最小値)</p> <p>冷却期間: 18 (年)</p> <p>ウラン重量: 177 (kg)</p> <p>ORIGEN2 ライブラリ: BWR-U</p> <p>第2表 BWR用大型キャスク(タイプ2A)の線源強度 (キャスク1基当たり)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>使用済燃料の種類</th> <th>新型8×8ジルコニウムライナ燃料</th> <th>高燃焼度8×8燃料</th> <th>新型8×8ジルコニウムライナ燃料と 新型8×8燃料</th> <th>新型8×8燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料有効部のガンマ線の線源強度(photons/s)</td> <td>8.9×10^{16}</td> <td>8.9×10^{16}</td> <td>7.1×10^{16}</td> <td>5.8×10^{16}</td> </tr> <tr> <td>構造材放射化ガンマ線の線源強度(^{60}Co:Bq)</td> <td>1.3×10^{14}</td> <td>1.3×10^{14}</td> <td>5.5×10^{13}</td> <td>1.6×10^{13}</td> </tr> <tr> <td>全中性子線源強度(n/s)</td> <td>1.4×10^{10}</td> <td>1.0×10^{10}</td> <td>7.5×10^9</td> <td>2.9×10^9</td> </tr> <tr> <td>収納配置(第3表)</td> <td>配置A</td> <td>配置A</td> <td>配置B</td> <td>配置C</td> </tr> </tbody> </table> <p>注: 収納配置の範囲内で、最大の燃焼度の使用済燃料集合体を収納した場合の値。</p>  <p>添付1-2図 軸方向燃焼度分布(新型8×8ジルコニウムライナ燃料)(別添1)</p>	使用済燃料の種類	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と 新型8×8燃料	新型8×8燃料	燃料有効部のガンマ線の線源強度(photons/s)	8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	7.1×10^{16}	5.8×10^{16}	構造材放射化ガンマ線の線源強度(^{60}Co :Bq)	1.3×10^{14}	1.3×10^{14}	5.5×10^{13}	1.6×10^{13}	全中性子線源強度(n/s)	1.4×10^{10}	1.0×10^{10}	7.5×10^9	2.9×10^9	収納配置(第3表)	配置A	配置A	配置B	配置C	<p>1. 収納燃料の違いによる線源強度の相違</p> <p>(「型式指定申請書の解析」の配置(i)と「RFS設工認申請書の解析」の配置Aが同じ条件である。)</p>
使用済燃料の種類	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	新型8×8燃料																																																													
使用済燃料の 収納配置条件	配置(i)	配置(iii)																																																													
濃縮度(wt%)	2.88(新型8×8ジルコニウムライナ燃料) 3.35(高燃焼度8×8燃料)	2.88																																																													
燃焼度 (MWd/t)	外周部	34,000	40,000	29,000																																																											
	中央部	40,000	48,000	34,000																																																											
冷却年数(年)	18	22(外周) 20(中央)	28																																																												
使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s)	8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	6.0×10^{16}																																																												
使用済燃料構造材の放射化 によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co :Bq)	1.3×10^{14}	1.1×10^{14}	3.1×10^{13}																																																												
使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度(n/s)*1	1.4×10^{10}	1.5×10^{10}	5.0×10^9																																																												
使用済燃料の種類	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と 新型8×8燃料	新型8×8燃料																																																											
燃料有効部のガンマ線の線源強度(photons/s)	8.9×10^{16}	8.9×10^{16}	7.1×10^{16}	5.8×10^{16}																																																											
構造材放射化ガンマ線の線源強度(^{60}Co :Bq)	1.3×10^{14}	1.3×10^{14}	5.5×10^{13}	1.6×10^{13}																																																											
全中性子線源強度(n/s)	1.4×10^{10}	1.0×10^{10}	7.5×10^9	2.9×10^9																																																											
収納配置(第3表)	配置A	配置A	配置B	配置C																																																											

6

1

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
2	入力 (2/2)	 <p data-bbox="750 1045 1178 1073">別紙 2-1-2 図 使用済燃料の PF(配置(ii))</p> <p data-bbox="537 1209 1279 1287">2. 金属キャスクの表面エネルギースペクトル及び線量当量率 (なし)</p>	2. 金属キャスクの表面エネルギースペクトル及び線量当量率 (省略)	2. R F S 固有の解析に必要な入力 による相違

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																																
2	解析条件	<p style="text-align: center;">表 2-5 遮蔽解析の保守性</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>金属キャスクのモデル化</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは、バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とした。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとしている。伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また、伝熱フィンの密度をゼロとし、ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している(別紙4参照)。 ・トランニオン部：トランニオン有モデルとトランニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め、トランニオン有モデルが大きい場合は、本体モデルの計算結果にその差分を加算するが、トランニオン有モデルが小さい場合は、その低下は無視している(別紙5参照)。 </td> </tr> <tr> <td>燃料集合体のモデル化</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵時は燃料が底に接し、蓋と燃料の間は接していないが、頭部評価モデルにおいて燃料が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施(別紙1-4図参照)。 ・チャンネルボックスは、放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定。 </td> </tr> <tr> <td>線源強度</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{*1}の燃料、外周部に平均燃焼度^{*2}の燃料を配置している。 ・収納燃料全数の冷却期間は、最短冷却期間^{*3}と仮定。 </td> </tr> <tr> <td>劣化評価</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果等の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの質量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている(別紙1の3項参照)。 </td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1：HDP-69B(B)型に収納可能な使用済燃料の燃焼度の上限。 *2：HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の燃焼度の平均値の上限。 *3：HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の最短の冷却期間。</p> <p style="text-align: center;">表 2-6 遮蔽解析の不確かさの考慮</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法公差</td> <td>・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法/公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮。</td> </tr> <tr> <td>材料密度</td> <td>・ばらつきを考慮して、最小密度を使用して原子個数密度を評価。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	金属キャスクのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは、バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とした。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとしている。伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また、伝熱フィンの密度をゼロとし、ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している(別紙4参照)。 ・トランニオン部：トランニオン有モデルとトランニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め、トランニオン有モデルが大きい場合は、本体モデルの計算結果にその差分を加算するが、トランニオン有モデルが小さい場合は、その低下は無視している(別紙5参照)。 	燃料集合体のモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵時は燃料が底に接し、蓋と燃料の間は接していないが、頭部評価モデルにおいて燃料が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施(別紙1-4図参照)。 ・チャンネルボックスは、放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定。 	線源強度	<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{*1}の燃料、外周部に平均燃焼度^{*2}の燃料を配置している。 ・収納燃料全数の冷却期間は、最短冷却期間^{*3}と仮定。 	劣化評価	<ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果等の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの質量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている(別紙1の3項参照)。 	項目	内容	寸法公差	・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法/公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮。	材料密度	・ばらつきを考慮して、最小密度を使用して原子個数密度を評価。	<p style="text-align: center;">表 2-2 遮蔽解析評価の保守性の考え方</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>使用済燃料集合体の軸方向位置</td> <td>・貯蔵時は使用済燃料集合体が底に接し、蓋-使用済燃料集合体間は接しないが、頭部評価モデルにおいて使用済燃料集合体が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・チャンネルボックス：放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定する。 ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは、バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化し、燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とする。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとする。伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させる。また、伝熱フィンの密度をゼロとし、ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視する。 ・トランニオン部：トランニオン有モデルとトランニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め、トランニオン有モデルが大きい場合は、本体モデルの計算結果にその差分を加算するが、トランニオン有モデルが小さい場合は、その低下は無視する。 </td> </tr> <tr> <td>線源強度</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{注1)}の使用済燃料集合体、外周部に平均燃焼度^{注2)}の使用済燃料集合体を配置する。 ・軸方向燃焼度分布を包絡する燃焼度分布を仮定しており、実際を上回る線源強度で評価する。 ・線源強度は収納燃料集合体全数が貯蔵開始時(収納物最短冷却期間)と仮定する。 </td> </tr> <tr> <td>劣化評価</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととし、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いる。 </td> </tr> </tbody> </table> <p>注1)：金属キャスクに収納可能な使用済燃料集合体の燃焼度の上限 注2)：金属キャスクに収納する使用済燃料集合体の燃焼度の平均値</p> <p style="text-align: center;">表 2-3 遮蔽解析評価の不確かさの考慮</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寸法公差</td> <td>・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法/公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮する。</td> </tr> <tr> <td>材料密度</td> <td>・ばらつきを考慮して、最小密度を使用して原子個数密度を評価する。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	使用済燃料集合体の軸方向位置	・貯蔵時は使用済燃料集合体が底に接し、蓋-使用済燃料集合体間は接しないが、頭部評価モデルにおいて使用済燃料集合体が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施する。	モデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネルボックス：放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定する。 ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは、バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化し、燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とする。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとする。伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させる。また、伝熱フィンの密度をゼロとし、ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視する。 ・トランニオン部：トランニオン有モデルとトランニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め、トランニオン有モデルが大きい場合は、本体モデルの計算結果にその差分を加算するが、トランニオン有モデルが小さい場合は、その低下は無視する。 	線源強度	<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{注1)}の使用済燃料集合体、外周部に平均燃焼度^{注2)}の使用済燃料集合体を配置する。 ・軸方向燃焼度分布を包絡する燃焼度分布を仮定しており、実際を上回る線源強度で評価する。 ・線源強度は収納燃料集合体全数が貯蔵開始時(収納物最短冷却期間)と仮定する。 	劣化評価	<ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととし、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いる。 	項目	内容	寸法公差	・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法/公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮する。	材料密度	・ばらつきを考慮して、最小密度を使用して原子個数密度を評価する。	相違なし
項目	内容																																			
金属キャスクのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは、バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とした。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとしている。伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また、伝熱フィンの密度をゼロとし、ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している(別紙4参照)。 ・トランニオン部：トランニオン有モデルとトランニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め、トランニオン有モデルが大きい場合は、本体モデルの計算結果にその差分を加算するが、トランニオン有モデルが小さい場合は、その低下は無視している(別紙5参照)。 																																			
燃料集合体のモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵時は燃料が底に接し、蓋と燃料の間は接していないが、頭部評価モデルにおいて燃料が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施(別紙1-4図参照)。 ・チャンネルボックスは、放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定。 																																			
線源強度	<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{*1}の燃料、外周部に平均燃焼度^{*2}の燃料を配置している。 ・収納燃料全数の冷却期間は、最短冷却期間^{*3}と仮定。 																																			
劣化評価	<ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果等の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの質量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている(別紙1の3項参照)。 																																			
項目	内容																																			
寸法公差	・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法/公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮。																																			
材料密度	・ばらつきを考慮して、最小密度を使用して原子個数密度を評価。																																			
項目	内容																																			
使用済燃料集合体の軸方向位置	・貯蔵時は使用済燃料集合体が底に接し、蓋-使用済燃料集合体間は接しないが、頭部評価モデルにおいて使用済燃料集合体が蓋に接した位置でモデル化することで頭部の評価を保守的に実施する。																																			
モデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネルボックス：放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果を無視する保守的な組合せを仮定する。 ・バスケット外周領域：燃料領域より外側のバスケットは、バスケット最外周の最小板厚の円環としてモデル化し、燃料領域より外側のバスケットの物量よりも円環としてモデル化したバスケットの物量は少ない設定とする。 ・側部中性子遮蔽体領域：伝熱フィンのような小さいものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとする。伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させる。また、伝熱フィンの密度をゼロとし、ガンマ線遮蔽体としての寄与を無視する。 ・トランニオン部：トランニオン有モデルとトランニオン無モデルで線種ごとに線量当量率を求め、トランニオン有モデルが大きい場合は、本体モデルの計算結果にその差分を加算するが、トランニオン有モデルが小さい場合は、その低下は無視する。 																																			
線源強度	<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に最高燃焼度^{注1)}の使用済燃料集合体、外周部に平均燃焼度^{注2)}の使用済燃料集合体を配置する。 ・軸方向燃焼度分布を包絡する燃焼度分布を仮定しており、実際を上回る線源強度で評価する。 ・線源強度は収納燃料集合体全数が貯蔵開始時(収納物最短冷却期間)と仮定する。 																																			
劣化評価	<ul style="list-style-type: none"> ・レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととし、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いる。 																																			
項目	内容																																			
寸法公差	・解析モデルの各種寸法は公称値でモデル化するが、各遮蔽体の最小厚さを密度係数(最小寸法/公称寸法)としてばらつきの下限値を考慮する。																																			
材料密度	・ばらつきを考慮して、最小密度を使用して原子個数密度を評価する。																																			

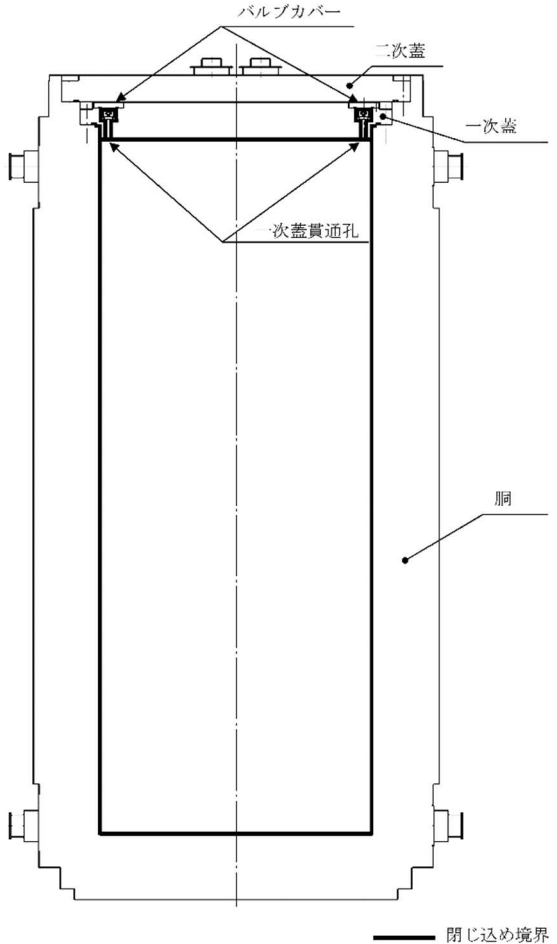
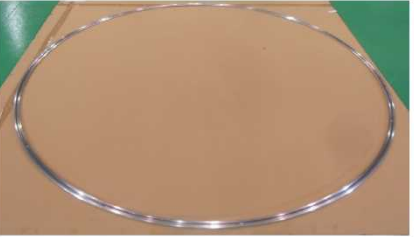
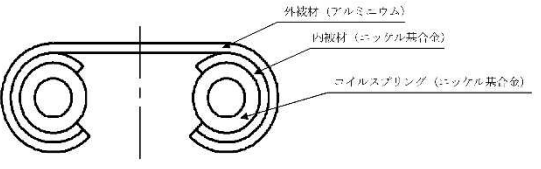
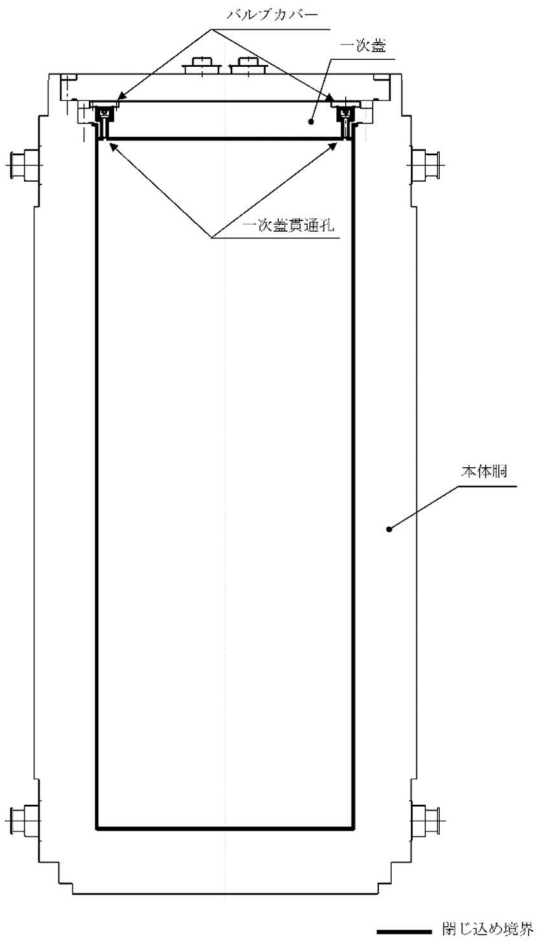

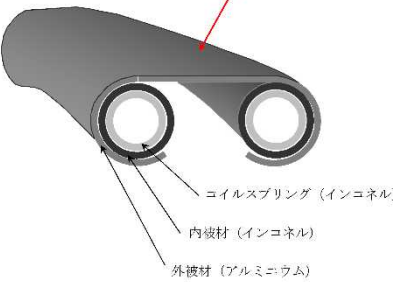
解析方法
(1/3)

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																		
		<p>1. 燃料有効部のガンマ線及び中性子</p> <p>2. 遮蔽設計 (2)遮蔽解析</p> <p>a. 線源条件</p> <p>使用済燃料の線源強度計算条件を表 2-2, 収納配置条件を図 2-2-1 から図 2-2-3 に示す。使用済燃料の線源強度は, 収納する使用済燃料の種類, 燃焼度, 濃縮度, 冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して求める。また, 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ー」という。別紙 2 参照。)を考慮する。</p> <p>使用済燃料の構造材については, 照射期間, 中性子束, 冷却期間等を条件に放射化計算式を用いて線源強度を求める。</p> <p>2. 使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材の放射化によるガンマ線及び ORIGEN のライブラリ</p>	<p>1. 燃料有効部のガンマ線及び中性子</p> <p>添付 4 放射線による被ばくの防止に関する説明書</p> <p>2.2 遮蔽設計の方針 (2) 遮蔽解析</p> <p>a. 線源条件</p> <p>使用済燃料集合体の線源強度は, 燃料型式, 燃焼度, 濃縮度, 冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて求める。</p> <p>使用済燃料集合体の構造材については, 照射期間, 中性子束, 冷却期間等を条件に放射化計算式を用いて求める。</p> <p>2. 使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材の放射化によるガンマ線及び ORIGEN のライブラリ</p>	<p>1. 相違なし</p> <p>2. 相違なし</p>																		
		<p>表 2-3 使用済燃料の線源強度計算方法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>計算方法</th> <th>計算条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料有効部のガンマ線及び中性子</td> <td>燃料計算コード ORIGEN2 を用い, ガンマ線及び中性子線強度を計算。使用済燃料のピーキングファクターを考慮。また, 中性子については実効増倍率を考慮。</td> <td>燃料条件: 表 2-2 参照 図 2-2-1~図 2-2-3 参照 ライブラリ: BWR-U ライブラリ 中性子実効増倍率の考慮 $N_s = N_o / (1 - k_{eff})$ N_s: 全中性子線源強度 N_o: 一次中性子線源強度 k_{eff}: 使用済燃料貯蔵時における実効増倍率</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材の放射化によるガンマ線</td> <td>構造材の ^{60}Co 含有量に従い, 放射化計算式に基づき ^{60}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。</td> <td>放射化計算式 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A: 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o: ターゲット核種 (^{60}Co) の個数 (atoms) σ: 2200 m/s の中性子による ^{60}Co 反応断面積 (cm²) ϕ: 炉内照射熱中性子束 (n/(cm²・s)) λ: ^{60}Co の崩壊定数 (1/日) T_1: 照射期間 (日) (表 2-2 参照) T_2: 冷却期間 (日) (表 2-2 参照)</td> </tr> </tbody> </table>	項目	計算方法	計算条件	燃料有効部のガンマ線及び中性子	燃料計算コード ORIGEN2 を用い, ガンマ線及び中性子線強度を計算。使用済燃料のピーキングファクターを考慮。また, 中性子については実効増倍率を考慮。	燃料条件: 表 2-2 参照 図 2-2-1~図 2-2-3 参照 ライブラリ: BWR-U ライブラリ 中性子実効増倍率の考慮 $N_s = N_o / (1 - k_{eff})$ N_s : 全中性子線源強度 N_o : 一次中性子線源強度 k_{eff} : 使用済燃料貯蔵時における実効増倍率	使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材の放射化によるガンマ線	構造材の ^{60}Co 含有量に従い, 放射化計算式に基づき ^{60}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。	放射化計算式 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o : ターゲット核種 (^{60}Co) の個数 (atoms) σ : 2200 m/s の中性子による ^{60}Co 反応断面積 (cm ²) ϕ : 炉内照射熱中性子束 (n/(cm ² ・s)) λ : ^{60}Co の崩壊定数 (1/日) T_1 : 照射期間 (日) (表 2-2 参照) T_2 : 冷却期間 (日) (表 2-2 参照)	<p>第 1 表 BWR 使用済燃料集合体の線源強度計算手法</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>評価内容</th> <th>評価方法</th> <th>評価条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料有効部のガンマ線及び中性子</td> <td>燃焼計算コード ORIGEN2 を用い, ガンマ線及び中性子線源強度を計算。使用済燃料集合体は, 中央部に最高燃焼度の燃料, 外周部に平均燃焼度の燃料を配置し, 軸方向に階段状の燃焼度分布を持つため, これを考慮。また, 中性子については実効増倍率を考慮。</td> <td>燃料型式: 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料^{注)} 最高燃焼度: 40,000 (MWd/t) 平均燃焼度: 34,000 (MWd/t) 比出力: 25.3 (MW/t) 濃縮度: 2.88 (%) (最小値) 冷却期間: 18 (年) ウラン重量: 177 (kg) ORIGEN2 ライブラリ: BWR-U</td> </tr> <tr> <td>燃料構造材及びチャンネルボックス構造材放射化によるガンマ線</td> <td>構造材の ^{60}Co 含有量に従い, 放射化計算式に基づき ^{60}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。</td> <td>放射化計算式 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A: 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o: ターゲット核種 (^{60}Co) の個数 (atoms) σ: 2,200m/s の中性子による ^{60}Co 反応断面積 (cm²) ϕ: 炉内照射熱中性子束 (n/(cm²・s)) λ: ^{60}Co の崩壊定数 T_1: 照射期間 (日) T_2: 冷却期間 (日)</td> </tr> </tbody> </table>	評価内容	評価方法	評価条件	燃料有効部のガンマ線及び中性子	燃焼計算コード ORIGEN2 を用い, ガンマ線及び中性子線源強度を計算。使用済燃料集合体は, 中央部に最高燃焼度の燃料, 外周部に平均燃焼度の燃料を配置し, 軸方向に階段状の燃焼度分布を持つため, これを考慮。また, 中性子については実効増倍率を考慮。	燃料型式: 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 ^{注)} 最高燃焼度: 40,000 (MWd/t) 平均燃焼度: 34,000 (MWd/t) 比出力: 25.3 (MW/t) 濃縮度: 2.88 (%) (最小値) 冷却期間: 18 (年) ウラン重量: 177 (kg) ORIGEN2 ライブラリ: BWR-U	燃料構造材及びチャンネルボックス構造材放射化によるガンマ線	構造材の ^{60}Co 含有量に従い, 放射化計算式に基づき ^{60}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。	放射化計算式 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o : ターゲット核種 (^{60}Co) の個数 (atoms) σ : 2,200m/s の中性子による ^{60}Co 反応断面積 (cm ²) ϕ : 炉内照射熱中性子束 (n/(cm ² ・s)) λ : ^{60}Co の崩壊定数 T_1 : 照射期間 (日) T_2 : 冷却期間 (日)	
項目	計算方法	計算条件																				
燃料有効部のガンマ線及び中性子	燃料計算コード ORIGEN2 を用い, ガンマ線及び中性子線強度を計算。使用済燃料のピーキングファクターを考慮。また, 中性子については実効増倍率を考慮。	燃料条件: 表 2-2 参照 図 2-2-1~図 2-2-3 参照 ライブラリ: BWR-U ライブラリ 中性子実効増倍率の考慮 $N_s = N_o / (1 - k_{eff})$ N_s : 全中性子線源強度 N_o : 一次中性子線源強度 k_{eff} : 使用済燃料貯蔵時における実効増倍率																				
使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材の放射化によるガンマ線	構造材の ^{60}Co 含有量に従い, 放射化計算式に基づき ^{60}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。	放射化計算式 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o : ターゲット核種 (^{60}Co) の個数 (atoms) σ : 2200 m/s の中性子による ^{60}Co 反応断面積 (cm ²) ϕ : 炉内照射熱中性子束 (n/(cm ² ・s)) λ : ^{60}Co の崩壊定数 (1/日) T_1 : 照射期間 (日) (表 2-2 参照) T_2 : 冷却期間 (日) (表 2-2 参照)																				
評価内容	評価方法	評価条件																				
燃料有効部のガンマ線及び中性子	燃焼計算コード ORIGEN2 を用い, ガンマ線及び中性子線源強度を計算。使用済燃料集合体は, 中央部に最高燃焼度の燃料, 外周部に平均燃焼度の燃料を配置し, 軸方向に階段状の燃焼度分布を持つため, これを考慮。また, 中性子については実効増倍率を考慮。	燃料型式: 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 ^{注)} 最高燃焼度: 40,000 (MWd/t) 平均燃焼度: 34,000 (MWd/t) 比出力: 25.3 (MW/t) 濃縮度: 2.88 (%) (最小値) 冷却期間: 18 (年) ウラン重量: 177 (kg) ORIGEN2 ライブラリ: BWR-U																				
燃料構造材及びチャンネルボックス構造材放射化によるガンマ線	構造材の ^{60}Co 含有量に従い, 放射化計算式に基づき ^{60}Co から ^{60}Co への放射化量を計算。	放射化計算式 $A = N_o \cdot \sigma \cdot \phi \cdot \{1 - \exp(-\lambda \cdot T_1)\} \cdot \exp(-\lambda \cdot T_2)$ A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq) N_o : ターゲット核種 (^{60}Co) の個数 (atoms) σ : 2,200m/s の中性子による ^{60}Co 反応断面積 (cm ²) ϕ : 炉内照射熱中性子束 (n/(cm ² ・s)) λ : ^{60}Co の崩壊定数 T_1 : 照射期間 (日) T_2 : 冷却期間 (日)																				
			<p>注: BWR 用大型キャスク (タイプ 2 A) の遮蔽解析評価において, 線源強度が最も高くなるのは新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料となる。</p>																			

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果			
4	解析方法 (2/3)	<p>3. 解析コード (資料 3)</p> <p>2. 遮蔽設計 (2) 遮蔽解析</p> <p>b. 線量当量率評価方法</p> <p>HDP-69B(B)型の線量当量率は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面で二次元でモデル化し、「a. 線源条件」に示した線源強度に基づき、二次元輸送計算コード DOT3.5 (DLC-23/CASK ライブラリ)を使用して求める。</p> <p>線量当量率の評価位置である金属キャスク表面から1 mの位置までの評価にはレイエフェクトを平準化するためDOT3.5の補助コードであるSPACETRAN-IIIを用いる。</p> <p>4. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について (資料 3 別紙 1)</p> <p>3. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について</p> <p>HDP-69B(B)型の貯蔵期間中に受ける放射線の照射量はわずかであり、遮蔽材の特性を変化させることはない。</p> <p>ただし、中性子遮蔽材であるレジンについては、設計貯蔵期間後の熱による質量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている。</p> <p>中性子遮蔽材であるレジンの長期使用による質量減損は、劣化パラメータにより次式で表される。</p> $\Delta w = 0.83 \times 10^{-3} \times E_p - 11.1^{(1)}$ <p>ここで、</p> <p>Δw : レジンの質量減損率 (%)</p> <p>E_p : 劣化パラメータ = $T \times (24.2 + \ln(t))$</p> <p>T : レジン温度 (K)</p> <p>t : レジン加熱時間 (h)</p> <p>設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過時までのレジンの減損率は約 1 %となる。これを丸めて 2 %の減損があるとして評価する。</p>	<p>3. 解析コード (添付 4)</p> <p>2.2 遮蔽設計の方針 (2) 遮蔽解析</p> <p>b. 金属キャスクの線量当量率評価方法</p> <p>金属キャスクの線量当量率は、金属キャスクの実形状を軸方向断面形状に基づき、蓋部や底部の遮蔽体構造や使用済燃料集合体の軸方向領域に応じ、「a. 線源条件」に示した線源強度に基づき、二次元輸送計算コード DOT3.5 (DLC-23/CASK ライブラリ)を使用して求める。算出に当たっては、金属キャスクの構成材料による減衰等を考慮する。</p> <p>金属キャスク表面から線量当量率の評価位置である 1 mの位置までの評価にはレイエフェクトを平準化するためDOT3.5の補助コードであるSPACETRAN-IIIを用いる。</p> <p>4. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について (添付 4-1-1 別添 1)</p> <p>3. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について</p> <p>金属キャスクの貯蔵期間中に受ける放射線の照射量はわずかであり、遮蔽材の特性を変化させることはない。</p> <p>レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている。</p> <p>別紙 1 金属キャスク及び貯蔵架台の耐食性に関する説明書</p> <p>*2: 劣化パラメータより中性子遮蔽材の重量減損率を評価。</p> <p>Δw : レジンの重量減損率 (%) = $0.83 \times 10^{-3} \times E_p - 11.1$</p> <p>$E_p$: 劣化パラメータ = $T \times (24.2 + \ln(t))$</p> <p>T : レジン温度 (K)</p> <p>t : レジン加熱時間 (h)</p> <p>第 5-3 図 中性子遮蔽材の重量減損データ⁽⁴⁾</p> <p>第 5-1 表 金属キャスク及び貯蔵架台の主要な構成部材の経年変化に対する評価について (2/3)</p> <table border="1" data-bbox="1567 1648 2122 1753"> <tr> <td>中性子遮蔽材 【材質】 樹脂</td> <td>熱 腐食</td> <td>●遮蔽機能: 重量減損の有無</td> </tr> </table> <p>設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過時までのレジンの減損率は約 1 %となる。これを丸めて 2 %の減損があるとして評価する。</p>	中性子遮蔽材 【材質】 樹脂	熱 腐食	●遮蔽機能: 重量減損の有無	<p>3. 相違なし</p> <p>4. 相違なし</p>
中性子遮蔽材 【材質】 樹脂	熱 腐食	●遮蔽機能: 重量減損の有無					

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	RFS設工認申請書の解析	比較結果																																																																																																																																																																																																																																
5	解析方法 (3/3)	5. 直接線及びスカイシャイン線の評価方法（使用済燃料貯蔵建屋の遮蔽解析） (なし)	5. 直接線及びスカイシャイン線の評価方法（使用済燃料貯蔵建屋の遮蔽解析） (省略)	5. RFS固有の解析で使う解析方法による相違																																																																																																																																																																																																																																
5	解析結果	<p>1. 金属キャスクの表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率</p> <p>表 2 7 1 線量当量率評価結果(配置(i)) (単位: $\mu\text{Sv/h}$)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">評価点</th> <th rowspan="3">部位</th> <th colspan="3">頭部</th> <th rowspan="3">側部中央</th> <th colspan="3">底部</th> </tr> <tr> <th>軸方向</th> <th>径方向</th> <th>径方向 (トランゾン部)</th> <th rowspan="2">径方向 (トランゾン部)</th> <th rowspan="2">軸方向</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>③a</th> <th>③b</th> <th>④a</th> <th>④b</th> <th>⑤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">表面</td> <td>燃料有効部</td> <td>0.1</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>95.8</td> <td>1.3</td> <td>24.2</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ガンマ線 構造材放射化</td> <td>4.9</td> <td>132.5</td> <td>110.4</td> <td>< 0.1^注</td> <td>12.8</td> <td>63.2</td> <td>19.1</td> </tr> <tr> <td>二次ガンマ線</td> <td>0.7</td> <td>2.0</td> <td>2.1</td> <td>26.9</td> <td>4.6</td> <td>7.8</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>中性子</td> <td>188.2</td> <td>253.9</td> <td>505.2</td> <td>72.7</td> <td>706.9</td> <td>1012.5</td> <td>265.9</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>193.9</td> <td>388.9</td> <td>618.2</td> <td>195.5</td> <td>725.6</td> <td>1107.7^注</td> <td>290.3</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">表面から 1m</td> <td>燃料有効部</td> <td>0.5</td> <td>12.9</td> <td>12.9</td> <td>40.5</td> <td>21.2</td> <td>21.2</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>ガンマ線 構造材放射化</td> <td>45.6</td> <td>24.0</td> <td>24.0</td> <td>0.7</td> <td>8.1</td> <td>8.1</td> <td>59.3</td> </tr> <tr> <td>二次ガンマ線</td> <td>0.2</td> <td>3.1</td> <td>3.1</td> <td>10.5</td> <td>5.3</td> <td>5.3</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>中性子</td> <td>28.7</td> <td>17.3</td> <td>20.9</td> <td>26.2</td> <td>13.4</td> <td>24.5</td> <td>16.2</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>75.0</td> <td>57.3</td> <td>60.9</td> <td>77.9</td> <td>48.0</td> <td>59.1</td> <td>80.3^注</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: “0.1”の値は, “0.1”として合算値に合算した。 *2: 下線で示す値は, 表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率の最大値である。</p> <p>図 2-4 線量当量率評価位置(配置(i), (ii))</p> <p>2. 直接線及びスカイシャイン線による敷地境界外の実効線量 (なし)</p>	評価点	部位	頭部			側部中央	底部			軸方向	径方向	径方向 (トランゾン部)	径方向 (トランゾン部)	軸方向	①	③a	③b	④a	④b	⑤	表面	燃料有効部	0.1	0.5	0.5	95.8	1.3	24.2	3.0	ガンマ線 構造材放射化	4.9	132.5	110.4	< 0.1 ^注	12.8	63.2	19.1	二次ガンマ線	0.7	2.0	2.1	26.9	4.6	7.8	2.3	中性子	188.2	253.9	505.2	72.7	706.9	1012.5	265.9	合計	193.9	388.9	618.2	195.5	725.6	1107.7 ^注	290.3	表面から 1m	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9	ガンマ線 構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7	8.1	8.1	59.3	二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5	5.3	5.3	0.9	中性子	28.7	17.3	20.9	26.2	13.4	24.5	16.2	合計	75.0	57.3	60.9	77.9	48.0	59.1	80.3 ^注	<p>1. 金属キャスクの表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率</p> <p>第 4 表(1) 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料収納時の線量当量率 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">評価点</th> <th rowspan="3">部位</th> <th colspan="3">頭部</th> <th rowspan="3">側部中央</th> <th colspan="3">底部</th> </tr> <tr> <th>軸方向</th> <th>径方向</th> <th>径方向 (トランゾン部)</th> <th rowspan="2">径方向 (トランゾン部)</th> <th rowspan="2">軸方向</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>③a</th> <th>③b</th> <th>④a</th> <th>④b</th> <th>⑤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">表面</td> <td>燃料有効部</td> <td>7.3</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>11.5</td> <td>95.8</td> <td>1.3</td> <td>24.2</td> <td>9.0</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>ガンマ線 構造材放射化</td> <td>692.8</td> <td>132.5</td> <td>110.4</td> <td>153.9</td> <td>0.1</td> <td>12.8</td> <td>63.2</td> <td>139.9</td> <td>19.1</td> </tr> <tr> <td>二次ガンマ線</td> <td>0.5</td> <td>2.0</td> <td>2.1</td> <td>4.1</td> <td>26.9</td> <td>4.6</td> <td>7.8</td> <td>2.5</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>中性子</td> <td>118.9</td> <td>253.9</td> <td>505.2</td> <td>7.3</td> <td>72.7</td> <td>706.9</td> <td>1012.5</td> <td>51.5</td> <td>265.9</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>819.5</td> <td>388.9</td> <td>618.2</td> <td>176.8</td> <td>195.5</td> <td>725.6</td> <td>1107.7</td> <td>202.9</td> <td>290.3</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">表面から 1mの位置</td> <td>燃料有効部</td> <td>0.5</td> <td>12.9</td> <td>12.9</td> <td>40.5</td> <td>21.2</td> <td>21.2</td> <td>3.9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ガンマ線 構造材放射化</td> <td>45.6</td> <td>24.0</td> <td>24.0</td> <td>0.7</td> <td>8.1</td> <td>8.1</td> <td>59.3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>二次ガンマ線</td> <td>0.2</td> <td>3.1</td> <td>3.1</td> <td>10.5</td> <td>5.3</td> <td>5.3</td> <td>0.9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>中性子</td> <td>28.7</td> <td>17.3</td> <td>20.9</td> <td>26.2</td> <td>13.4</td> <td>24.5</td> <td>16.2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>75.0</td> <td>57.3</td> <td>60.9</td> <td>77.9</td> <td>48.0</td> <td>59.1</td> <td>80.3</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>第 2 図(1) 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料収納時の各位置における線量当量率</p> <p>2. 直接線及びスカイシャイン線による敷地境界外の実効線量 (省略)</p>	評価点	部位	頭部			側部中央	底部			軸方向	径方向	径方向 (トランゾン部)	径方向 (トランゾン部)	軸方向	①	③a	③b	④a	④b	⑤	表面	燃料有効部	7.3	0.5	0.5	11.5	95.8	1.3	24.2	9.0	3.0	ガンマ線 構造材放射化	692.8	132.5	110.4	153.9	0.1	12.8	63.2	139.9	19.1	二次ガンマ線	0.5	2.0	2.1	4.1	26.9	4.6	7.8	2.5	2.3	中性子	118.9	253.9	505.2	7.3	72.7	706.9	1012.5	51.5	265.9	合計	819.5	388.9	618.2	176.8	195.5	725.6	1107.7	202.9	290.3	表面から 1mの位置	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9			ガンマ線 構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7	8.1	8.1	59.3			二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5	5.3	5.3	0.9			中性子	28.7	17.3	20.9	26.2	13.4	24.5	16.2			合計	75.0	57.3	60.9	77.9	48.0	59.1	80.3			<p>1. 収納燃料の違いによる線量当量率の相違 (「型式指定申請書の解析」の配置(i)と「RFS設工認申請書の解析」の配置Aが同じ条件である。なお、頭部軸方向の線量当量率の相違は、監視装置有無による相違)</p> <p>(頭部軸方向の線量当量率の相違は、監視装置のモデル化による相違)</p> <p>2. RFSで必要な解析結果による相違</p>
評価点	部位	頭部			側部中央	底部																																																																																																																																																																																																																														
		軸方向				径方向	径方向 (トランゾン部)		径方向 (トランゾン部)	軸方向																																																																																																																																																																																																																										
		①	③a	③b		④a	④b	⑤																																																																																																																																																																																																																												
表面	燃料有効部	0.1	0.5	0.5	95.8	1.3	24.2	3.0																																																																																																																																																																																																																												
	ガンマ線 構造材放射化	4.9	132.5	110.4	< 0.1 ^注	12.8	63.2	19.1																																																																																																																																																																																																																												
	二次ガンマ線	0.7	2.0	2.1	26.9	4.6	7.8	2.3																																																																																																																																																																																																																												
	中性子	188.2	253.9	505.2	72.7	706.9	1012.5	265.9																																																																																																																																																																																																																												
	合計	193.9	388.9	618.2	195.5	725.6	1107.7 ^注	290.3																																																																																																																																																																																																																												
表面から 1m	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9																																																																																																																																																																																																																												
	ガンマ線 構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7	8.1	8.1	59.3																																																																																																																																																																																																																												
	二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5	5.3	5.3	0.9																																																																																																																																																																																																																												
	中性子	28.7	17.3	20.9	26.2	13.4	24.5	16.2																																																																																																																																																																																																																												
	合計	75.0	57.3	60.9	77.9	48.0	59.1	80.3 ^注																																																																																																																																																																																																																												
評価点	部位	頭部			側部中央	底部																																																																																																																																																																																																																														
		軸方向	径方向	径方向 (トランゾン部)		径方向 (トランゾン部)	軸方向																																																																																																																																																																																																																													
		①	③a	③b				④a	④b	⑤																																																																																																																																																																																																																										
表面	燃料有効部	7.3	0.5	0.5	11.5	95.8	1.3	24.2	9.0	3.0																																																																																																																																																																																																																										
	ガンマ線 構造材放射化	692.8	132.5	110.4	153.9	0.1	12.8	63.2	139.9	19.1																																																																																																																																																																																																																										
	二次ガンマ線	0.5	2.0	2.1	4.1	26.9	4.6	7.8	2.5	2.3																																																																																																																																																																																																																										
	中性子	118.9	253.9	505.2	7.3	72.7	706.9	1012.5	51.5	265.9																																																																																																																																																																																																																										
	合計	819.5	388.9	618.2	176.8	195.5	725.6	1107.7	202.9	290.3																																																																																																																																																																																																																										
表面から 1mの位置	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9																																																																																																																																																																																																																												
	ガンマ線 構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7	8.1	8.1	59.3																																																																																																																																																																																																																												
	二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5	5.3	5.3	0.9																																																																																																																																																																																																																												
	中性子	28.7	17.3	20.9	26.2	13.4	24.5	16.2																																																																																																																																																																																																																												
	合計	75.0	57.3	60.9	77.9	48.0	59.1	80.3																																																																																																																																																																																																																												

第4-1表 (3/5) 型式指定申請書との解析の比較 (使用済燃料等の閉じ込め)

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
1	入力	<p>1. 閉じ込め構造 (資料4)</p>  <p>図 2-1 IIDP-69B(B)型の閉じ込め構造</p>  <p>(a) 外観</p>  <p>(b) 内部構造図</p> <p>図 2-3 金属ガスケット構造 (はね入りメタルCリング、眼鏡型)</p>	<p>1. 閉じ込め構造 (添付2)</p>  <p>第1図 金属キャスクの閉じ込め構造</p>  <p>断面イメージ</p>  <p>第3図 金属ガスケット構造</p>	1. 相違なし

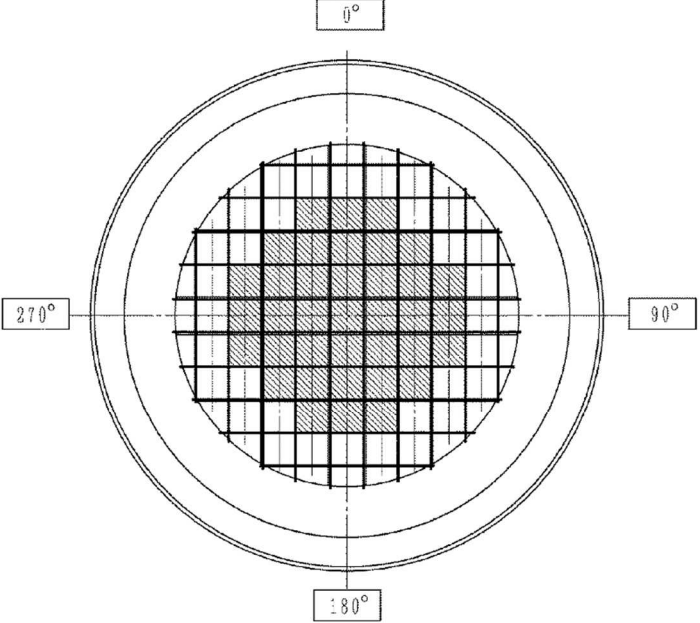
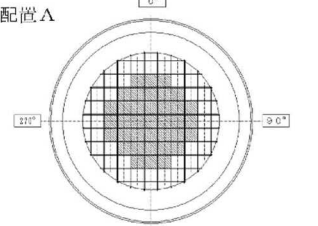
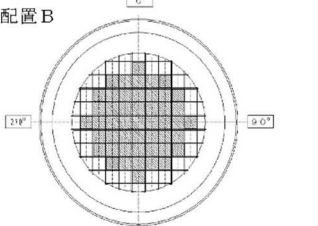
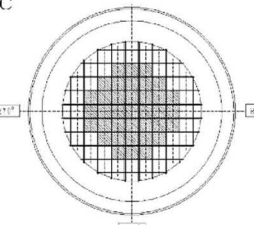
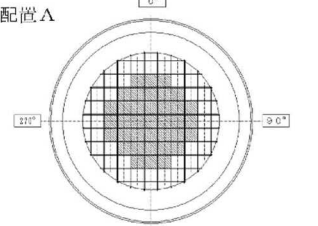
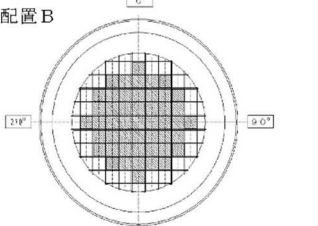
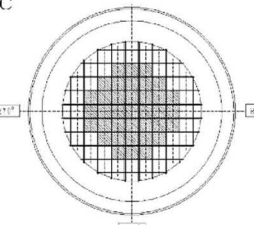
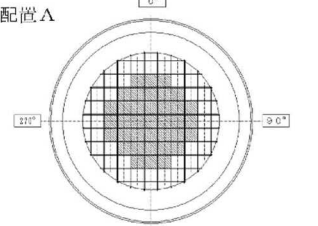
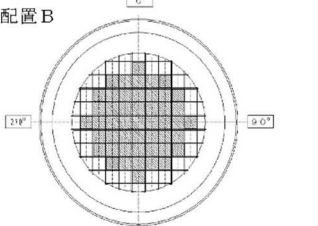
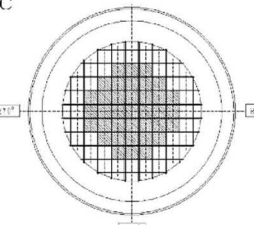
No.	比較項目	型式指定申請書の解析	RFS設工認申請書の解析	比較結果																									
2	解析条件	<p>1. 閉じ込め評価条件</p> <p>1. 評価方法 (資料4 別紙1)</p> <p>Td : 金属キャスク内部代表温度 (K) (535.15 K(262 °C) : 評価値 (内部ガス最高温度))</p> <p>T : シール部の代表温度 (K) (250.75 K(-22.4 °C) : 設計値 (最低気温))</p> <p>Vd : 金属キャスク本体内部空間容積 (m³) (<input type="text"/> m³ : 設計値)</p> <p>Pu : 上流側 (蓋間) の圧力 (Pa) (4.1×10⁵ Pa : 設計値(初期圧力一定))</p> <p>Pd₀ : 下流側 (金属キャスク本体内部) の初期圧力 (Pa) (8.0×10⁴ Pa : 設計値)</p> <p>a : 一次蓋シール部の漏えい孔長 (m) (<input type="text"/> m),</p> $a = 2 \times \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{H}{2}\right)^2}$ (別紙1-3 図参照) <p>D : 一次蓋金属ガスケットの断面径 (mm) (10 mm : 設計値)</p> <p>H : 一次蓋の金属ガスケット溝深さ (mm) (<input type="text"/> mm : 設計値)</p> <p>μ : Heの粘性係数 (Pa・s) (1.77×10⁻⁵ Pa・s : 文献値⁽²⁾ (-22.4 °Cの値))</p> <p>M : Heの分子量 (kg/mol) (4.002602×10⁻³ kg/mol : 文献値⁽³⁾)</p> <p>R₀ : 気体定数 (J/(mol・K)) (8.314472 J/(mol・K) : 文献値⁽³⁾)</p> <p>t : 設計貯蔵期間 (60年=60×365.25×24×60 s=1.893456×10⁹ s)</p> <p>2. 燃料破損の考慮</p> <p>1. 評価方法 (資料4 別紙1)</p> <p>0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇は約 <input type="text"/> kPa (<input type="text"/> Pa を丸め) となる。同様に、高燃焼度8×8燃料で0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇を求めると約 <input type="text"/> kPa (<input type="text"/> Pa を丸め) となる。</p>	<p>1. 閉じ込め評価条件 (添付2-1-1 別添1)</p> <p>別添1-1表 閉じ込め評価条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>評価条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">圧力</td> <td>金属キャスク内部 (初期)</td> <td>8.0×10⁴ Pa abs</td> </tr> <tr> <td>蓋間空間 (初期)</td> <td>4.1×10⁵ Pa abs</td> </tr> <tr> <td>大気圧</td> <td>9.7×10⁴ Pa abs (注1)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">空間容積</td> <td>金属キャスク内部 (注2)</td> <td>約 <input type="text"/> m³</td> </tr> <tr> <td>蓋間空間</td> <td>約 <input type="text"/> m³</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">温度</td> <td>金属キャスク内部 (注3)</td> <td>259 °C</td> </tr> <tr> <td>漏えい気体 (注4)</td> <td>-22.4 °C</td> </tr> <tr> <td colspan="2">内部気体</td> <td>ヘリウム</td> </tr> <tr> <td colspan="2">設計評価期間</td> <td>60年</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注1) 封入された使用済燃料の破損 (0.1%) によるガス放出に伴う圧力上昇分を別途考慮する。</p> <p>(注2) 金属キャスク内部の全空間容積から使用済燃料集合体及びバスケットの体積を除いた空間容積を示す。</p> <p>(注3) 使用済燃料集合体最高温度を保守的に設定した値を示す。</p> <p>(注4) 金属キャスク周囲最低温度を示す。</p> <p>2. 燃料破損の考慮 (添付2-1-1 別添1 添付1)</p> <p>0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇は約 <input type="text"/> kPa (<input type="text"/> Pa を丸め) となる。同様に、高燃焼度8×8燃料で0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇を求めると約 <input type="text"/> kPa (<input type="text"/> Pa を丸め) となる。</p>	項目	評価条件	圧力	金属キャスク内部 (初期)	8.0×10 ⁴ Pa abs	蓋間空間 (初期)	4.1×10 ⁵ Pa abs	大気圧	9.7×10 ⁴ Pa abs (注1)	空間容積	金属キャスク内部 (注2)	約 <input type="text"/> m ³	蓋間空間	約 <input type="text"/> m ³	温度	金属キャスク内部 (注3)	259 °C	漏えい気体 (注4)	-22.4 °C	内部気体		ヘリウム	設計評価期間		60年	<p>1. 収納燃料の違いによる最高温度の相違</p> <p>2. 収納燃料の違いによるガス放出に相違があるが、数値処理により、評価値は相違なし。</p>
項目	評価条件																												
圧力	金属キャスク内部 (初期)	8.0×10 ⁴ Pa abs																											
	蓋間空間 (初期)	4.1×10 ⁵ Pa abs																											
	大気圧	9.7×10 ⁴ Pa abs (注1)																											
空間容積	金属キャスク内部 (注2)	約 <input type="text"/> m ³																											
	蓋間空間	約 <input type="text"/> m ³																											
温度	金属キャスク内部 (注3)	259 °C																											
	漏えい気体 (注4)	-22.4 °C																											
内部気体		ヘリウム																											
設計評価期間		60年																											
3	解析方法 (1/2)	<p>1. 金属キャスク内部圧力の時間変化</p> <p>1. 評価方法 (資料4 別紙1)</p> $\frac{dPd}{dt} = \frac{Q}{Vd} \cdot \frac{Td}{T} \dots\dots\dots \textcircled{1}$	<p>1. 金属キャスク内部圧力の時間変化</p> <p>1. 評価方法 (添付2-1-1 別添1)</p> $\frac{dPd}{dt} = \frac{Q}{Vd} \cdot \frac{Td}{T} \dots\dots\dots \textcircled{2}-1$	<p>1. 相違なし</p>																									

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

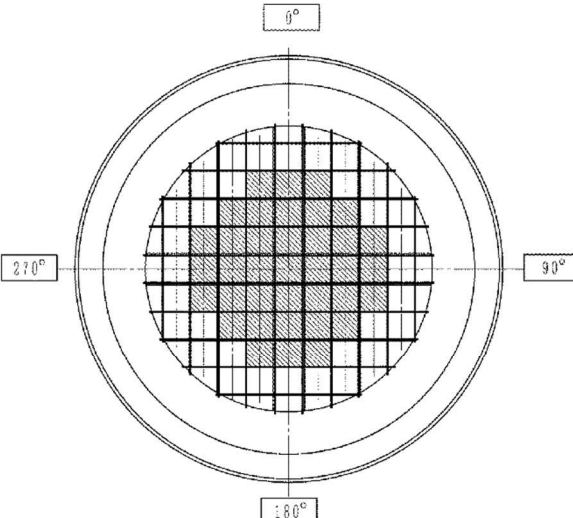
No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
	解析方法 (2/2)	2. 漏えい率 (資料4 別紙1) $Q = L \cdot Pa$ $L = (Fe + Fm) \cdot (Pu - Pd)$ $Fe = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$ $Fm = \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot Pa}$ ②	2. 漏えい率 (添付2-1-1 別添1) $Q = L \cdot Pa$ $L = (Fe + Fm) \cdot (Pu - Pd)$ $Fe = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$ $Fm = \frac{\sqrt{2\pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot Pa}$ ②-2	2. 相違なし
4	解析結果	1. 基準漏えい率 2.3 閉じ込め評価結果 (資料4) 使用環境を考慮して評価した結果、HDP-69B(B)型の基準漏えい率 Q_s は $2.4 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ となる。評価の詳細を別紙1に示す。 2. LMPによる閉じ込め性能評価 2.3 閉じ込め評価結果 (資料4) HDP-69B(B)型の除熱評価の結果から、金属ガスケット部の温度は $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下である。この温度から設計貯蔵期間 (60年間) に相当する LMP を算出すると LMP の定数 $C=20$ の場合は約 9.6×10^3 、(中略) 設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率が維持されると判断される。 <p style="text-align: center;">図2-5 LMPの定数C=20における漏えい率とLMP⁽³⁾</p>	1. 基準漏えい率 3. 閉じ込め性能評価結果 (添付2-1-1) BWR用大型キャスク (タイプ2A) の基準漏えい率を評価した結果、別添1のとおり $2.4 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ となる。 2. LMPによる閉じ込め性能評価 3. 閉じ込め性能評価結果 (添付2-1-1) BWR用大型キャスク (タイプ2A) の基準漏えい率を評価した結果、別添1のとおり $2.4 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ となる。 <p style="text-align: center;">第5図 金属ガスケットの漏えい率とLMP⁽²⁾ (130°C, 60年間の $LMP = 10.4 \times 10^3$)</p>	1. 相違なし 2. 収納燃料の違いによる評価値 (温度) の相違はあるが、基準を満足しているため、解析結果の評価は相違なし (R F S 設工認申請書では、金属ガスケットの制限温度 130°C を評価値とした解析結果を記載している。)

第4-1表 (4/5) 型式指定申請書との解析の比較 (使用済燃料等の除熱)

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	RFS設工認申請書の解析	比較結果																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	入力 (1/4)	<p>1. 収納する使用済燃料の崩壊熱 (資料5)</p> <p>表2-3 使用済燃料の崩壊熱計算条件及び結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">使用済燃料の収納配置条件</th> <th colspan="2">配置(i)</th> <th colspan="2">配置(ii)</th> <th colspan="2">配置(iii)</th> </tr> <tr> <th>種類</th> <th></th> <th>新型8×8 ジルコニウム ライナ燃料</th> <th>高燃焼度 8×8燃料</th> <th>新型8×8 ジルコニウム ライナ燃料</th> <th>高燃焼度 8×8燃料</th> <th>新型 8×8燃料</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">計算条件</td> <td>平均燃焼度^(*) (MWd/t)</td> <td>34,000</td> <td>34,000</td> <td>40,000</td> <td>40,000</td> <td>29,000</td> <td>29,000</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度^(**) (MWd/t)</td> <td>40,000</td> <td>40,000</td> <td>-</td> <td>48,000</td> <td>34,000</td> <td>34,000</td> </tr> <tr> <td>比出力 (MW/t)</td> <td>25.3</td> <td>26.2</td> <td>25.3</td> <td>26.2</td> <td>25.3</td> <td>25.3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">照射期間 (日)</td> <td>燃料集合体 (平均燃焼度^(*))</td> <td>1,344</td> <td>1,298</td> <td>1,582</td> <td>1,527</td> <td>1,147</td> <td>1,147</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体 (最高燃焼度^(**))</td> <td>1,582</td> <td>1,527</td> <td>-</td> <td>1,933</td> <td>1,344</td> <td>1,344</td> </tr> <tr> <td>初期濃縮度^(**) (%)</td> <td>2.88</td> <td>3.35</td> <td>2.88</td> <td>3.35</td> <td>2.88</td> <td>2.88</td> </tr> <tr> <td>冷却期間 (年)</td> <td>18</td> <td>18</td> <td>22</td> <td>22 / 20^(*)</td> <td>28</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>ウラン質量 (kg)</td> <td>177</td> <td>174</td> <td>177</td> <td>174</td> <td>177</td> <td>177</td> </tr> <tr> <td>ピーキングファクター</td> <td>表2-4</td> <td>表2-4</td> <td>表2-5</td> <td>表2-5</td> <td>表2-4</td> <td>表2-4</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">計算結果</td> <td>使用済燃料1体当たりの 崩壊熱量 (PF考慮) (t)</td> <td>平均燃焼度 211.8</td> <td>201.3</td> <td>207.4</td> <td>211.6</td> <td>143.2</td> <td>143.2</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度 266.9</td> <td>251.8</td> <td>275.1</td> <td>174.4</td> <td>174.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>収納体数 (体)</td> <td colspan="6">69</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型1基当たりの設計崩壊熱量^(*) (kW)</td> <td colspan="2">15.34</td> <td colspan="2">15.33</td> <td colspan="2">10.37</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: 平均燃焼度とは、収納する全使用済燃料に対する使用済燃料の種類ごとの燃焼度の平均値を示す。 *2: 最高燃焼度とは、収納する使用済燃料1体の燃焼度の最大値を示す。 *3: 収納される使用済燃料の種類ごとの最小値を用いる。 *4: 燃焼度40,000 MWd/t時の冷却期間は22年、燃焼度48,000 MWd/t時の冷却期間は20年である。 *5: 除熱解析に用いる設計崩壊熱量算出時は、崩壊熱量計算結果に5%の保守性を考慮する。</p> <p>表2-4 使用済燃料の軸方向燃焼度分布 (配置(i)及び(iii))</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">種類</th> <th colspan="4">新型8×8 ジルコニウムライナ燃料</th> <th colspan="4">高燃焼度8×8燃料</th> <th colspan="4">新型8×8燃料</th> </tr> <tr> <th colspan="8">配置(i)</th> <th colspan="8">配置(iii)</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">使用済燃料の 収納配置条件</th> <th colspan="4">34,000</th> <th colspan="4">40,000</th> <th colspan="4">29,000</th> <th colspan="4">34,000</th> </tr> <tr> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> <th>N^(*)</th> <th>PF^(**)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(上部)</td> <td colspan="16">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>(下部)</td> <td colspan="16">[Redacted]</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: ノードは燃料有効長部を軸方向に [Redacted] したものである。 *2: ピーキングファクター</p>	使用済燃料の収納配置条件		配置(i)		配置(ii)		配置(iii)		種類		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	高燃焼度 8×8燃料	新型 8×8燃料		計算条件	平均燃焼度 ^(*) (MWd/t)	34,000	34,000	40,000	40,000	29,000	29,000	最高燃焼度 ^(**) (MWd/t)	40,000	40,000	-	48,000	34,000	34,000	比出力 (MW/t)	25.3	26.2	25.3	26.2	25.3	25.3	照射期間 (日)	燃料集合体 (平均燃焼度 ^(*))	1,344	1,298	1,582	1,527	1,147	1,147	燃料集合体 (最高燃焼度 ^(**))	1,582	1,527	-	1,933	1,344	1,344	初期濃縮度 ^(**) (%)	2.88	3.35	2.88	3.35	2.88	2.88	冷却期間 (年)	18	18	22	22 / 20 ^(*)	28	28	ウラン質量 (kg)	177	174	177	174	177	177	ピーキングファクター	表2-4	表2-4	表2-5	表2-5	表2-4	表2-4	計算結果	使用済燃料1体当たりの 崩壊熱量 (PF考慮) (t)	平均燃焼度 211.8	201.3	207.4	211.6	143.2	143.2	最高燃焼度 266.9	251.8	275.1	174.4	174.4		収納体数 (体)	69							HDP-69B(B)型1基当たりの設計崩壊熱量 ^(*) (kW)	15.34		15.33		10.37			種類	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燃料				配置(i)								配置(iii)								使用済燃料の 収納配置条件	34,000				40,000				29,000				34,000				N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	(上部)	[Redacted]																(下部)	[Redacted]																<p>1. 収納する使用済燃料の崩壊熱 (添付3-1-1 別添2)</p> <p>別添2-1表 崩壊熱計算に用いる計算条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>燃料タイプ</th> <th colspan="2">新型8×8燃料</th> <th>新型8×8ジルコ ニウムライナ燃料</th> <th>高燃焼度 8×8燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均燃焼度 (MWd/t)</td> <td>26000</td> <td>-</td> <td>34000</td> <td>34000</td> </tr> <tr> <td>最高燃焼度 (MWd/t)</td> <td>28500</td> <td>34000</td> <td>40000</td> <td>40000</td> </tr> <tr> <td>比出力 (MW/tU)</td> <td colspan="2">25.3</td> <td>同左</td> <td>26.2</td> </tr> <tr> <td>照射期間 (日) (平均燃焼度)</td> <td colspan="2">1344</td> <td>同左</td> <td>1298</td> </tr> <tr> <td>照射期間 (日) (最高燃焼度)</td> <td colspan="2">1582</td> <td>同左</td> <td>1527</td> </tr> <tr> <td>濃縮度 (%)</td> <td colspan="2">2.88</td> <td>同左</td> <td>3.35</td> </tr> <tr> <td>冷却期間 (年)</td> <td colspan="2">24</td> <td>18</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>U重量 (kg)</td> <td colspan="2">177</td> <td>同左</td> <td>174</td> </tr> <tr> <td>軸方向ピーキングファクタ</td> <td>ノード^(*)</td> <td>PF^(**)</td> <td>ノード^(*)</td> <td>PF^(**)</td> </tr> <tr> <td>上</td> <td colspan="4">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>下</td> <td colspan="4">[Redacted]</td> </tr> <tr> <td>ライブラリ</td> <td colspan="4">BWR-U</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1: 燃料有効長部を軸方向に [Redacted] ノードを示す。 ※2: 軸方向の各ノードに対応する軸方向ピーキングファクタ</p>	燃料タイプ	新型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	平均燃焼度 (MWd/t)	26000	-	34000	34000	最高燃焼度 (MWd/t)	28500	34000	40000	40000	比出力 (MW/tU)	25.3		同左	26.2	照射期間 (日) (平均燃焼度)	1344		同左	1298	照射期間 (日) (最高燃焼度)	1582		同左	1527	濃縮度 (%)	2.88		同左	3.35	冷却期間 (年)	24		18	18	U重量 (kg)	177		同左	174	軸方向ピーキングファクタ	ノード ^(*)	PF ^(**)	ノード ^(*)	PF ^(**)	上	[Redacted]				下	[Redacted]				ライブラリ	BWR-U				<p>1. 収納燃料の違いによる崩壊熱の相違 (「型式指定申請書の解析」の配置(i)と「RFS設工認申請書の解析」の配置Aが同じ条件である。)</p>
使用済燃料の収納配置条件		配置(i)		配置(ii)		配置(iii)																																																																																																																																																																																																																																																																												
種類		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	高燃焼度 8×8燃料	新型 8×8燃料																																																																																																																																																																																																																																																																												
計算条件	平均燃焼度 ^(*) (MWd/t)	34,000	34,000	40,000	40,000	29,000	29,000																																																																																																																																																																																																																																																																											
	最高燃焼度 ^(**) (MWd/t)	40,000	40,000	-	48,000	34,000	34,000																																																																																																																																																																																																																																																																											
	比出力 (MW/t)	25.3	26.2	25.3	26.2	25.3	25.3																																																																																																																																																																																																																																																																											
	照射期間 (日)	燃料集合体 (平均燃焼度 ^(*))	1,344	1,298	1,582	1,527	1,147	1,147																																																																																																																																																																																																																																																																										
		燃料集合体 (最高燃焼度 ^(**))	1,582	1,527	-	1,933	1,344	1,344																																																																																																																																																																																																																																																																										
	初期濃縮度 ^(**) (%)	2.88	3.35	2.88	3.35	2.88	2.88																																																																																																																																																																																																																																																																											
	冷却期間 (年)	18	18	22	22 / 20 ^(*)	28	28																																																																																																																																																																																																																																																																											
	ウラン質量 (kg)	177	174	177	174	177	177																																																																																																																																																																																																																																																																											
	ピーキングファクター	表2-4	表2-4	表2-5	表2-5	表2-4	表2-4																																																																																																																																																																																																																																																																											
	計算結果	使用済燃料1体当たりの 崩壊熱量 (PF考慮) (t)	平均燃焼度 211.8	201.3	207.4	211.6	143.2	143.2																																																																																																																																																																																																																																																																										
最高燃焼度 266.9		251.8	275.1	174.4	174.4																																																																																																																																																																																																																																																																													
収納体数 (体)	69																																																																																																																																																																																																																																																																																	
HDP-69B(B)型1基当たりの設計崩壊熱量 ^(*) (kW)	15.34		15.33		10.37																																																																																																																																																																																																																																																																													
種類	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燃料																																																																																																																																																																																																																																																																									
	配置(i)								配置(iii)																																																																																																																																																																																																																																																																									
使用済燃料の 収納配置条件	34,000				40,000				29,000				34,000																																																																																																																																																																																																																																																																					
	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)	N ^(*)	PF ^(**)																																																																																																																																																																																																																																																																				
(上部)	[Redacted]																																																																																																																																																																																																																																																																																	
(下部)	[Redacted]																																																																																																																																																																																																																																																																																	
燃料タイプ	新型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																																																																																																																																																																																																																																																																														
平均燃焼度 (MWd/t)	26000	-	34000	34000																																																																																																																																																																																																																																																																														
最高燃焼度 (MWd/t)	28500	34000	40000	40000																																																																																																																																																																																																																																																																														
比出力 (MW/tU)	25.3		同左	26.2																																																																																																																																																																																																																																																																														
照射期間 (日) (平均燃焼度)	1344		同左	1298																																																																																																																																																																																																																																																																														
照射期間 (日) (最高燃焼度)	1582		同左	1527																																																																																																																																																																																																																																																																														
濃縮度 (%)	2.88		同左	3.35																																																																																																																																																																																																																																																																														
冷却期間 (年)	24		18	18																																																																																																																																																																																																																																																																														
U重量 (kg)	177		同左	174																																																																																																																																																																																																																																																																														
軸方向ピーキングファクタ	ノード ^(*)	PF ^(**)	ノード ^(*)	PF ^(**)																																																																																																																																																																																																																																																																														
上	[Redacted]																																																																																																																																																																																																																																																																																	
下	[Redacted]																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ライブラリ	BWR-U																																																																																																																																																																																																																																																																																	

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																													
2	入力 (2/4)	<p>2. 使用済燃料の収納配置 (資料 5)</p>  <p> <input type="checkbox"/> 燃料種類 : 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 収納体数 : 32 体 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下 冷却期間 : 18 年以上 </p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> 燃料種類 : 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 収納体数 : 37 体 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下 冷却期間 : 18 年以上 </p> <p> 金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW*1 以下 </p> <p>注記*1 : 使用済燃料 1 体当たりの軸方向燃焼度の平均値を用いた (PF=1 とした) 値。</p> <p>図 2-3 使用済燃料の収納配置条件 (配置 (i)) (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)</p>	<p>2. 使用済燃料の収納配置</p> <p>第 2 表 収納配置に応じた使用済燃料集合体の仕様 (添付 3-1-1)</p> <table border="1" data-bbox="1439 394 2261 1102"> <thead> <tr> <th>収納する使用済燃料集合体</th> <th colspan="2">①新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料, ②高燃焼度 8×8 燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">収納配置</td> <td>①のみ収納 ②のみ収納 ①及び②を収納 配置 A</td> <td>①及び③を収納 配置 B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>収納物平均燃焼度</td> <td>34,000 MWd/t</td> <td>34,000 MWd/t</td> </tr> <tr> <td>収納物最高燃焼度</td> <td>40,000 MWd/t</td> <td>34,000 MWd/t</td> </tr> <tr> <td>冷却期間</td> <td>18 年以上</td> <td>24 年以上</td> </tr> <tr> <td>最大崩壊熱量</td> <td>12.1 kW/基</td> <td>10.9 kW/基</td> </tr> <tr> <td>収納配置と燃料仕様の選定の考え方</td> <td>燃焼度及び冷却期間を制限し, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の最大崩壊熱量と線源強度を超えないような高燃焼度 8×8 燃料を収納する。中央部に最高燃焼度燃料, 外周部に平均燃焼度燃料を配置する。</td> <td>燃焼度, 冷却期間を制限し, 収納配置を管理し, 配置 C よりも高い燃焼度の新型 8×8 燃料の燃料被覆管温度の制限値を満足するように, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料と新型 8×8 燃料を収納する。新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の最高燃焼度を 34,000 MWd/t 以下に制限するとともに, 中央部には新型 8×8 燃料を収納しない配置としている。</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1676 1144 2003 1858"> <thead> <tr> <th>料, ③新型 8×8 燃料</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>③のみ収納</td> </tr> <tr> <td>配置 C</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td> <input checked="" type="checkbox"/> : 平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲 26,000 MWd/t 28,500 MWd/t 24 年以上 8.0 kW/基 </td> </tr> <tr> <td>燃焼度及び冷却期間を制限し, 新型 8×8 燃料をすべて収納しても, 燃料被覆管温度の制限値を満足するような新型 8×8 燃料を収納する。燃料被覆管の温度を安全側に評価するように, 平均燃焼度を超える燃料を中央部に配置している。燃焼度及び冷却期間の条件から配置 A の線量当量率を超えることはない。</td> </tr> </tbody> </table>	収納する使用済燃料集合体	①新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料, ②高燃焼度 8×8 燃料		収納配置	①のみ収納 ②のみ収納 ①及び②を収納 配置 A	①及び③を収納 配置 B			収納物平均燃焼度	34,000 MWd/t	34,000 MWd/t	収納物最高燃焼度	40,000 MWd/t	34,000 MWd/t	冷却期間	18 年以上	24 年以上	最大崩壊熱量	12.1 kW/基	10.9 kW/基	収納配置と燃料仕様の選定の考え方	燃焼度及び冷却期間を制限し, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の最大崩壊熱量と線源強度を超えないような高燃焼度 8×8 燃料を収納する。中央部に最高燃焼度燃料, 外周部に平均燃焼度燃料を配置する。	燃焼度, 冷却期間を制限し, 収納配置を管理し, 配置 C よりも高い燃焼度の新型 8×8 燃料の燃料被覆管温度の制限値を満足するように, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料と新型 8×8 燃料を収納する。新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の最高燃焼度を 34,000 MWd/t 以下に制限するとともに, 中央部には新型 8×8 燃料を収納しない配置としている。	料, ③新型 8×8 燃料	③のみ収納	配置 C		<input checked="" type="checkbox"/> : 平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲 26,000 MWd/t 28,500 MWd/t 24 年以上 8.0 kW/基	燃焼度及び冷却期間を制限し, 新型 8×8 燃料をすべて収納しても, 燃料被覆管温度の制限値を満足するような新型 8×8 燃料を収納する。燃料被覆管の温度を安全側に評価するように, 平均燃焼度を超える燃料を中央部に配置している。燃焼度及び冷却期間の条件から配置 A の線量当量率を超えることはない。	<p>2. 収納燃料の違いによる使用済燃料の収納配置の相違 (「型式指定申請書の解析」の配置 (i) と「R F S 設工認申請書の解析」の配置 A が同じ条件である。)</p>
収納する使用済燃料集合体	①新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料, ②高燃焼度 8×8 燃料																																
収納配置	①のみ収納 ②のみ収納 ①及び②を収納 配置 A	①及び③を収納 配置 B																															
																																	
収納物平均燃焼度	34,000 MWd/t	34,000 MWd/t																															
収納物最高燃焼度	40,000 MWd/t	34,000 MWd/t																															
冷却期間	18 年以上	24 年以上																															
最大崩壊熱量	12.1 kW/基	10.9 kW/基																															
収納配置と燃料仕様の選定の考え方	燃焼度及び冷却期間を制限し, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の最大崩壊熱量と線源強度を超えないような高燃焼度 8×8 燃料を収納する。中央部に最高燃焼度燃料, 外周部に平均燃焼度燃料を配置する。	燃焼度, 冷却期間を制限し, 収納配置を管理し, 配置 C よりも高い燃焼度の新型 8×8 燃料の燃料被覆管温度の制限値を満足するように, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料と新型 8×8 燃料を収納する。新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の最高燃焼度を 34,000 MWd/t 以下に制限するとともに, 中央部には新型 8×8 燃料を収納しない配置としている。																															
料, ③新型 8×8 燃料																																	
③のみ収納																																	
配置 C																																	
																																	
<input checked="" type="checkbox"/> : 平均燃焼度を超える使用済燃料集合体の収納範囲 26,000 MWd/t 28,500 MWd/t 24 年以上 8.0 kW/基																																	
燃焼度及び冷却期間を制限し, 新型 8×8 燃料をすべて収納しても, 燃料被覆管温度の制限値を満足するような新型 8×8 燃料を収納する。燃料被覆管の温度を安全側に評価するように, 平均燃焼度を超える燃料を中央部に配置している。燃焼度及び冷却期間の条件から配置 A の線量当量率を超えることはない。																																	

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
	<p>入力 (3/4)</p>	<div data-bbox="676 331 1270 861" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="652 913 1320 1270" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> 燃料種類 : 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 収納体数 : 32 体 燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下 冷却期間 : 22 年以上 燃料種類 : 高燃焼度 8×8 燃料 収納体数 : 37 体 燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下 冷却期間 : 20 年以上 金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW*1 以下 </div> <div data-bbox="617 1302 1320 1333" data-label="Text"> <p>注記*1: 使用済燃料 1 体当たりの軸方向燃焼度の平均値を用いた。(PF=1 とした) 値。</p> </div> <div data-bbox="647 1365 1299 1423" data-label="Caption"> <p>図 2-4 使用済燃料の収納配置条件 (配置 (ii)) (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)</p> </div>		

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
	<p>入力 (4/4)</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p> <input type="checkbox"/> 燃料種類 : 新型 8×8 燃料 収納体数 : 32 体 燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下 冷却期間 : 28 年以上 </p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> 燃料種類 : 新型 8×8 燃料 収納体数 : 37 体 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下 冷却期間 : 28 年以上 </p> <p> 金属キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下 金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW^{m3} 以下 </p> <p>注記*1: 使用済燃料 1 体当たりの軸方向燃焼度の平均値を用いた (PF=1 とした) 値。</p> <p>図 2-5 使用済燃料の収納配置条件 (配置 (iii)) (新型 8×8 燃料のみを収納する場合)</p> <p>3. 金属キャスク及び使用済燃料貯蔵建屋の解析モデル (使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析) (なし)</p>	<p>3. 金属キャスク及び使用済燃料貯蔵建屋の解析モデル (使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析) (省略)</p>	<p>3. R F S 固有の解析に必要な入力による相違</p>

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																																											
3	解析条件 (1/2)	<p>1. 金属キャスク除熱解析の境界条件 別紙 1-3 表 HDP-69B(B)型外表面の熱伝達率 (資料 5 別紙 1)</p> <p>注記*1: 熱伝達率は下記の式を用いて計算する。</p> $h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3} \quad (\text{垂直円筒})^{(6)}$ $h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3} \quad (\text{上向き水平平板})^{(6)}$ $h = 0.6 \frac{\lambda}{D} \left(\frac{g \beta \Delta T}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5} \quad (\text{下向き水平平板})^{(6)}$ <p>ここで、 h : 熱伝達率 (W/(m²・K)) λ : 熱伝導率 (W/(m・K)) g : 重力加速度 (=9.80665 (m/s²)) β : 体積膨張係数 (1/K) ΔT : 周囲空気と外表面の温度差 (K) ν : 動粘性係数 (m²/s) Pr : プラントル数 (-) D : 代表長さ (m)</p> <p>別紙 1-5 表 全体モデルの境界条件</p> <table border="1" data-bbox="557 1163 1383 1524"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>境界条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>周囲温度 (°C)</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>貯蔵建屋壁面温度 (°C)</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>貯蔵建屋壁面放射率</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面放射率</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数</td> <td>0.232*1</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)</td> <td>別紙 1-3 表による</td> </tr> <tr> <td>底部熱移動</td> <td>断熱</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: 金属キャスク配列ピッチ寸法 3.5 m から算出される値。算出過程は別添 2 参照。</p>	項目	境界条件	周囲温度 (°C)	45	貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65	貯蔵建屋壁面放射率	0.8	金属キャスク表面放射率	0.8	金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.232*1	金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)	別紙 1-3 表による	底部熱移動	断熱	<p>1. 金属キャスク除熱解析の境界条件 (添付 3-1-1)</p> <p>第 4 表 金属キャスク周囲の境界条件</p> <table border="1" data-bbox="1427 390 2273 1310"> <thead> <tr> <th colspan="2">項目</th> <th>入力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">境 界 条 件</td> <td rowspan="2">環境温度 (°C)</td> <td>対流</td> <td>45 (貯蔵区域内の電気品等の使用を考慮)</td> </tr> <tr> <td>輻射</td> <td>65 (コンクリート強度を考慮した制限温度)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>天井及び床面放射率</td> <td>0.8 (コンクリート表面塗装)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>キャスク表面放射率</td> <td>0.8 (外筒を白系塗装)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>キャスク側部 表面熱伝達率</td> <td>Jakob 垂直平面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>キャスク上面 表面熱伝達率</td> <td>加熱水平上面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>キャスク下部 端板表面熱伝達率</td> <td>加熱水平下面の層流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.6 \lambda / D \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>底部熱移動</td> <td>断熱</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ h : 熱伝達率 (W/m²/K), λ : 熱伝導率 (W/m/K), D : 平板の幅 (m), g : 重力加速度 (m/s²), β : 体積膨張係数 (1/K), ν : 動粘性係数 (m²/s), Pr : プラントル数 (-), Δt : 温度差 (K)</p>	項目		入力	境 界 条 件	環境温度 (°C)	対流	45 (貯蔵区域内の電気品等の使用を考慮)	輻射	65 (コンクリート強度を考慮した制限温度)		天井及び床面放射率	0.8 (コンクリート表面塗装)		キャスク表面放射率	0.8 (外筒を白系塗装)		キャスク側部 表面熱伝達率	Jakob 垂直平面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$		キャスク上面 表面熱伝達率	加熱水平上面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$		キャスク下部 端板表面熱伝達率	加熱水平下面の層流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.6 \lambda / D \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5}$		底部熱移動	断熱	1. 相違なし
項目	境界条件																																														
周囲温度 (°C)	45																																														
貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65																																														
貯蔵建屋壁面放射率	0.8																																														
金属キャスク表面放射率	0.8																																														
金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.232*1																																														
金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)	別紙 1-3 表による																																														
底部熱移動	断熱																																														
項目		入力																																													
境 界 条 件	環境温度 (°C)	対流	45 (貯蔵区域内の電気品等の使用を考慮)																																												
		輻射	65 (コンクリート強度を考慮した制限温度)																																												
	天井及び床面放射率	0.8 (コンクリート表面塗装)																																													
	キャスク表面放射率	0.8 (外筒を白系塗装)																																													
	キャスク側部 表面熱伝達率	Jakob 垂直平面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$																																													
	キャスク上面 表面熱伝達率	加熱水平上面の乱流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$																																													
	キャスク下部 端板表面熱伝達率	加熱水平下面の層流自然対流熱伝達の式(※) $h = 0.6 \lambda / D \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2} \times D^3 \times Pr \right)^{1/5}$																																													
	底部熱移動	断熱																																													

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																
4	解析条件 (2/2)	2. 使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析の境界条件 (なし)	(補足説明資料：設 2-補-003) 第 3-5 表 全体モデルの境界条件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>境界条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>周囲温度 (°C)</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>貯蔵建屋壁面温度 (°C)</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>貯蔵建屋壁面放射率</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面放射率</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数</td> <td>0.232*1</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)</td> <td>第 3-3 表による</td> </tr> <tr> <td>底部熱移動</td> <td>断熱</td> </tr> </tbody> </table> 注記*1: 金属キャスク配列ピッチ寸法 3.5 m から算出される値。算出過程は別添 3-2 参照。 2. 使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析の境界条件 (省略)	項目	境界条件	周囲温度 (°C)	45	貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65	貯蔵建屋壁面放射率	0.8	金属キャスク表面放射率	0.8	金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.232*1	金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)	第 3-3 表による	底部熱移動	断熱	2. R F S 固有の解析の解析条件による相違
項目	境界条件																			
周囲温度 (°C)	45																			
貯蔵建屋壁面温度 (°C)	65																			
貯蔵建屋壁面放射率	0.8																			
金属キャスク表面放射率	0.8																			
金属キャスク側面から 貯蔵建屋内壁面への形態係数	0.232*1																			
金属キャスク表面熱伝達率 (側面, 上面, 下部端板)	第 3-3 表による																			
底部熱移動	断熱																			
5	解析方法 (1/2)	1. 使用済燃料の崩壊熱量 2. (3) 解析モデル及び解析条件 (資料 5) 燃料集合体の種類, 燃焼度, 初期濃縮度, 冷却期間等を条件に燃焼計算コード O R I G E N 2 を使用して求める。 (ライブラリは資料 2 表 2-3 に記載) 2. 金属キャスクの除熱解析コード 除熱解析は, HDP-69B(B) 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, 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, 有限要素法による伝熱解析コード (A B A Q U S) を用いて行う。使用した解析モデルは以下の 3 つである。 ・金属キャスク熱解析モデル ① 軸方向全体モデル (以下「全体モデル」という。) ② 径方向輪切りモデル (以下「輪切りモデル」という。) ・燃料被覆管熱解析モデル ③ 燃料集合体モデル	1. 使用済燃料の崩壊熱量 2.2 (3) b. 使用済燃料集合体の崩壊熱評価方法 (添付 3) 使用済燃料集合体の崩壊熱は, 燃料型式, 燃焼度, 濃縮度, 冷却年数等を条件として燃焼計算コード O R I G E N 2 を使用して核種の生成, 崩壊及びそれに基づく発熱量を計算する。 ここで, 金属キャスクに収納できる使用済燃料集合体の崩壊熱量の総量を最大崩壊熱量とし, 除熱設計上, 保守的に使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮した崩壊熱量を設計崩壊熱量とする。 (ライブラリは別添 2-1 に記載) 2. 金属キャスクの除熱解析コード 2.2 (3) 除熱解析の方針 (添付 3) c. 金属キャスク各部の温度評価 金属キャスクの各部の温度は, 使用済燃料集合体の崩壊熱及び金属キャスク周囲温度等を条件として, 金属キャスクの実形状をモデル化し, 有限要素法コード A B A Q U S を使用して求める。 d. 燃料被覆管の温度解析方針 燃料被覆管の温度は, 使用済燃料集合体の崩壊熱と輪切りモデルで求められたチャンネルボックス又はバスケットの温度を条件として, 使用済燃料集合体及びチャンネルボックス又はバスケットの実形状をモデル化し, 有限要素法コード A B A Q U S を使用して求める。	1. 相違なし 2. 相違なし																

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
6	解析方法 (2/2)	<p>各解析モデルで評価する部位は次のとおりである。</p> <p>① 全体モデル：胴（底板）、金属ガスケット、中性子遮蔽材（蓋部、底部）、蓋部、トラニオン</p> <p>② 輪切りモデル：バスケット、胴、中性子遮蔽材（側部）、外筒</p> <p>③ 燃料集合体モデル：燃料被覆管</p> <p>全体モデル解析では、平均燃焼度の使用済燃料が 69 体収納されている条件（発熱量の総量が設計崩壊熱量となる。）とした。輪切りモデル解析では、中央部の 37 体の使用済燃料は最高燃焼度の崩壊熱量とし、発熱量の総量が設計崩壊熱量となるように外周部の発熱量を調整した（さらに、軸方向への熱逃げを考慮した。詳細は別紙 1 に示す。）。燃料集合体モデル解析では最高燃焼度の崩壊熱量を用いた。</p> <p>3. 一次元熱計算及び三次元熱流動解析（使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析） (なし)</p>	<p>2. (4) 除熱解析（添付 3-1-1）</p> <p>添付 3「使用済燃料の除熱に関する説明書」に示す方法により、伝熱形態、使用済燃料集合体の崩壊熱、金属キャスク各部の温度及び燃料被覆管の温度を評価し金属キャスクが使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去する設計であることを解析により確認する。（別添 1 参照）</p> <p>なお、除熱解析時の保守性を第 3 表に示す。</p> <p>また、金属キャスクの各部温度評価に当たっては、以下の 2 種類の熱解析モデルを用いる。</p> <p>(a) 全体モデル：軸方向温度解析（金属キャスク本体、金属ガスケット等の温度評価）（第 2 図参照）</p> <p>(b) 輪切りモデル：半径方向温度解析（金属キャスク本体、バスケット等の温度評価）（第 3 図参照）</p> <p>また、金属キャスク周囲の境界条件を第 4 表に示す。</p> <p>燃料被覆管の温度評価は、燃料集合体モデルで解析を行う（第 4 図参照）。</p> <p>3. 一次元熱計算及び三次元熱流動解析（使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析） (省略)</p>	<p>3. R F S の解析で必要な解析方法による相違</p>

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果																																																																																																	
4	解析結果 (1/2)	<p>1. 燃料被覆管温度及び金属キャスク各部最高温度 (資料 5)</p> <p style="text-align: center;">表 2-6 除熱解析結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">対象となる部位</th> <th colspan="2">評価結果 (°C)</th> <th rowspan="2">設計基準値 (°C)</th> </tr> <tr> <th>最高温度</th> <th>配置 (i) 配置 (ii)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">燃料 被覆管*</td> <td>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度 8×8 燃料</td> <td>262*2</td> <td>259 262</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>新型 8×8 燃料</td> <td>196*3</td> <td>—</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td rowspan="10">金属 キャスク</td> <td>胴</td> <td>135</td> <td>135 134</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>胴 (底板)</td> <td>142</td> <td>142 139</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>外筒</td> <td>113</td> <td>113 113</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> <td>97</td> <td>96 97</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>86</td> <td>85 86</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>一次蓋ボルト</td> <td>90</td> <td>89 90</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>二次蓋ボルト</td> <td>86</td> <td>85 86</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材 (蓋部, 底部, 側部)</td> <td>128*4</td> <td>128*4 128*4</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>金属ガスケット</td> <td>90</td> <td>89 90</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>バスケットプレート (ほう素添加ステンレス鋼)</td> <td>251</td> <td>248 251</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>トランニオン</td> <td>120</td> <td>120 118</td> <td>350</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1: 燃料棒の最高温度とした。なお、燃料棒には二酸化ウラン、ヘリウムガス及びジルコイの体積割合を考慮して均質化した物性値を設定している。 *2: 照射硬化回復試験の結果、BWR 燃料では、約 270 °C では照射硬化の回復の可能性は小さいことが確認されている⁷⁾。 *3: 配置 (iii) における解析結果を示す。 *4: 蓋部、底部、側部中性子遮蔽材のうち、最も高い温度を示す。</p>	対象となる部位		評価結果 (°C)		設計基準値 (°C)	最高温度	配置 (i) 配置 (ii)	燃料 被覆管*	新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度 8×8 燃料	262*2	259 262	300	新型 8×8 燃料	196*3	—	200	金属 キャスク	胴	135	135 134	350	胴 (底板)	142	142 139	350	外筒	113	113 113	350	一次蓋	97	96 97	350	二次蓋	86	85 86	350	一次蓋ボルト	90	89 90	350	二次蓋ボルト	86	85 86	350	中性子遮蔽材 (蓋部, 底部, 側部)	128*4	128*4 128*4	150	金属ガスケット	90	89 90	130	バスケットプレート (ほう素添加ステンレス鋼)	251	248 251	300	トランニオン	120	120 118	350	<p>1. 燃料被覆管温度及び金属キャスク各部最高温度</p> <p style="text-align: center;">第 5 表 金属キャスクの除熱解析結果 (添付 3-1-1)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th>新型 8×8 ジル コニウムライナ 燃料 (ライナあり)</th> <th>高燃焼度 8×8 燃料 (ライナあり)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計崩壊熱量 (kW)</td> <td>15.3 (最大値)</td> <td>14.6</td> </tr> <tr> <td>最大崩壊熱量 (kW)</td> <td colspan="2">12.1</td> </tr> <tr> <td>燃料被覆管温度 (°C)</td> <td>259 (最大値) (ライナあり)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">金属 キャ スク 各 部 最 高 温 度 (°C)</td> <td>本体胴</td> <td>142 (最大値) (炭素鋼)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> <td>96 (最大値) (炭素鋼)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> <td>85 (最大値) (炭素鋼)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材 (レジン)</td> <td>128 (最大値)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td>金属ガスケット</td> <td>89 (最大値)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>バスケット</td> <td>248 (最大値) (ボロン添加 ステンレス鋼)</td> <td>(注)</td> </tr> <tr> <td>収納配置</td> <td>配置 A</td> <td>配置 A</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注): 設計崩壊熱量が最大である新型 8×8 ジルコニウムラ なお、冷却期間は 18 年 (配置 A) 及び 24 年 (配置 B) ※: 安全側に評価するため、ライナなしとして評価とした</p>			新型 8×8 ジル コニウムライナ 燃料 (ライナあり)	高燃焼度 8×8 燃料 (ライナあり)	設計崩壊熱量 (kW)	15.3 (最大値)	14.6	最大崩壊熱量 (kW)	12.1		燃料被覆管温度 (°C)	259 (最大値) (ライナあり)	(注)	金属 キャ スク 各 部 最 高 温 度 (°C)	本体胴	142 (最大値) (炭素鋼)	(注)	一次蓋	96 (最大値) (炭素鋼)	(注)	二次蓋	85 (最大値) (炭素鋼)	(注)	中性子遮蔽材 (レジン)	128 (最大値)	(注)	金属ガスケット	89 (最大値)	(注)		バスケット	248 (最大値) (ボロン添加 ステンレス鋼)	(注)	収納配置	配置 A	配置 A	<p>1. 収納燃料の違いにより各部最高温度に相違がある。 (「型式指定申請書の解析」の配置 (i) と「R F S 設工認申請書の解析」の配置 A が同じ条件である。)</p>
対象となる部位		評価結果 (°C)			設計基準値 (°C)																																																																																																
		最高温度	配置 (i) 配置 (ii)																																																																																																		
燃料 被覆管*	新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度 8×8 燃料	262*2	259 262	300																																																																																																	
	新型 8×8 燃料	196*3	—	200																																																																																																	
金属 キャスク	胴	135	135 134	350																																																																																																	
	胴 (底板)	142	142 139	350																																																																																																	
	外筒	113	113 113	350																																																																																																	
	一次蓋	97	96 97	350																																																																																																	
	二次蓋	86	85 86	350																																																																																																	
	一次蓋ボルト	90	89 90	350																																																																																																	
	二次蓋ボルト	86	85 86	350																																																																																																	
	中性子遮蔽材 (蓋部, 底部, 側部)	128*4	128*4 128*4	150																																																																																																	
	金属ガスケット	90	89 90	130																																																																																																	
	バスケットプレート (ほう素添加ステンレス鋼)	251	248 251	300																																																																																																	
トランニオン	120	120 118	350																																																																																																		
		新型 8×8 ジル コニウムライナ 燃料 (ライナあり)	高燃焼度 8×8 燃料 (ライナあり)																																																																																																		
		設計崩壊熱量 (kW)	15.3 (最大値)	14.6																																																																																																	
最大崩壊熱量 (kW)	12.1																																																																																																				
燃料被覆管温度 (°C)	259 (最大値) (ライナあり)	(注)																																																																																																			
金属 キャ スク 各 部 最 高 温 度 (°C)	本体胴	142 (最大値) (炭素鋼)	(注)																																																																																																		
	一次蓋	96 (最大値) (炭素鋼)	(注)																																																																																																		
	二次蓋	85 (最大値) (炭素鋼)	(注)																																																																																																		
	中性子遮蔽材 (レジン)	128 (最大値)	(注)																																																																																																		
	金属ガスケット	89 (最大値)	(注)																																																																																																		
	バスケット	248 (最大値) (ボロン添加 ステンレス鋼)	(注)																																																																																																		
収納配置	配置 A	配置 A																																																																																																			

No.	比較項目	型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
5	解析結果 (2/2)	2. 使用済燃料貯蔵建屋内雰囲気温度及び建屋コンクリート温度(使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析) (なし)	2. 使用済燃料貯蔵建屋内雰囲気温度及び建屋コンクリート温度(使用済燃料貯蔵建屋の除熱解析) (省略)	2. R F S 固有の解析結果による相違

第4-1表(5/5) 最新の型式指定申請書との解析の比較(耐圧強度及び耐食性)

No.	比較項目	最新の型式指定申請書の解析	RFS設工認申請書の解析	比較結果																												
1	入力	<p>・使用済燃料等の除熱の解析結果に基づく材料温度 添付書類 8-1-1 密封容器の応力解析の方針 4.1 基本仕様 密封容器及び二次蓋に作用する圧力と最高使用温度を以下に示す。</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="4">密封容器</td> <td>貯蔵時圧力</td> <td>-0.101325 MPa</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>1.0 MPa</td> </tr> <tr> <td>試験時圧力</td> <td>1.25 MPa</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>150 °C*1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">二次蓋</td> <td>最高使用圧力</td> <td>0.4 MPa</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>110 °C*1</td> </tr> </table> <p>添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針 4.1 基本仕様 バスケットは、バスケットプレートの組み合わせにより、使用済燃料集合体を収納する格子を形成している。バスケットに関する応力計算の基本仕様を以下に示す。</p> <table border="1"> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>260 °C*1</td> </tr> </table> <p>・トラニオン縦弾性係数 2.00×10⁵ MPa</p>	密封容器	貯蔵時圧力	-0.101325 MPa	最高使用圧力	1.0 MPa	試験時圧力	1.25 MPa	最高使用温度	150 °C*1	二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa	最高使用温度	110 °C*1	最高使用温度	260 °C*1	<p>・同左 添付 10-2-1-1 密封容器の応力解析の方針 (BWR用大型キャスク (タイプ2A)) 第4-1表 密封容器及び二次蓋の最高使用圧力及び最高使用温度</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="2">密封容器</td> <td>最高使用圧力</td> <td>1.0 MPa</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>150 °C</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">二次蓋</td> <td>最高使用圧力</td> <td>0.4 MPa</td> </tr> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>110 °C</td> </tr> </table> <p>添付 10-2-1-2 バスケットの応力解析の方針 (BWR用大型キャスク (タイプ2A)) 第4-1表 バスケットの最高使用温度</p> <table border="1"> <tr> <td>最高使用温度</td> <td>260 °C</td> </tr> </table> <p>・トラニオン縦弾性係数 2.07×10⁵ (MPa)</p>	密封容器	最高使用圧力	1.0 MPa	最高使用温度	150 °C	二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa	最高使用温度	110 °C	最高使用温度	260 °C	<p>トラニオン縦弾性係数※に相違あり ※：設計承認申請書を参考に「金属キャスク構造規格別図 8-1」を引用</p>
密封容器	貯蔵時圧力	-0.101325 MPa																														
	最高使用圧力	1.0 MPa																														
	試験時圧力	1.25 MPa																														
	最高使用温度	150 °C*1																														
二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa																														
	最高使用温度	110 °C*1																														
最高使用温度	260 °C*1																															
密封容器	最高使用圧力	1.0 MPa																														
	最高使用温度	150 °C																														
二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa																														
	最高使用温度	110 °C																														
最高使用温度	260 °C																															
2	解析条件 (1/2)	<p>・荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、解析を実施 ・応力計算に使用する物性値は、温度依存性を考慮する。なお、常温は 20 °Cとする。 ・応力解析の対象は、次のとおり</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 胴 (2) 底板 (3) 一次蓋 (4) 一次蓋ボルト (5) カバープレート (6) カバープレートボルト 	<p>・同左 ・同左 ・応力解析の対象は、次のとおり</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 胴 (2) 底板 (3) 一次蓋 (4) 一次蓋締付けボルト (5) カバープレート (6) カバープレート締付けボルト 	<p>応力解析の対象の記載に相違※がある。 ※：カバープレート (シール部) は、カバープレートで代表。</p>																												

No.	比較項目	最新の型式指定申請書の解析	R F S 設工認申請書の解析	比較結果
3	解析条件 (2/2)	(7) 底部中性子遮蔽材カバー (8) 一次蓋 (シール部) (9) カバープレート (シール部) (10) 二次蓋 (11) 二次蓋ボルト (12) 二次蓋 (シール部)	(7) 底部中性子遮蔽材カバー (8) 密封シール部 (一次蓋) (9) 二次蓋 (10) 二次蓋締付けボルト (11) 密封シール部 (二次蓋)	
4	解析方法	<ul style="list-style-type: none"> 密封容器の応力解析は、想定される内圧、機械的荷重及び熱荷重を基に、密封容器の実形状をモデル化し、解析コードである A B A Q U S 及び応力評価式を用いて行う。 A B A Q U S とは、有限要素法に基づく応力解析の汎用解析コードであり、解析対象を形状、材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することで行う。 バスケット、トラニオン、外筒の応力解析は、想定される内圧、機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。一方、蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析は、想定される圧力に対して応力評価式を用いて行う。 	・同左	・相違なし
5	解析結果	<ul style="list-style-type: none"> 全ての計算値が許容値を下回ることを確認 吊上げ時におけるトラニオンの疲労評価結果 疲労累積係数 $U_f = 0.0022$ ($U_f \leq 1.0$) 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 吊上げ時におけるトラニオンの疲労評価結果 疲労累積係数 $U_f = 0.0133$ ($U_f \leq 1.0$) 	入力 (トラニオン縦弾性係数) の違いによる相違

第4-2表 (1/5) 型式指定申請書の記載の比較 (使用済燃料の臨界防止)

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 2 使用済燃料の臨界防止に関する説明書</p> <p>1. 設計方針</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのバスケット格子構造、及びバスケットプレートに添加された中性子吸収材により、臨界に達することを防止する設計とした。</p> <p>また、HDP-69B(B)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HDP-69B(B)型に使用済燃料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、使用済燃料が臨界に達するおそれがないよう、中性子実効増倍率を0.95以下となるように設計した。</p> <p>バスケットプレートは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料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した。</p>	<p>添付 1-1 使用済燃料が臨界に達しないことに関する説明書 (BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))</p> <p>1. 概要</p> <p>本資料は、使用済燃料貯蔵施設の使用済燃料の臨界防止に関する設計方針が、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第5条(使用済燃料の臨界防止)に適合することを説明するものである。</p> <p>金属キャスクによる使用済燃料の臨界防止に関する設計結果は「添付 1-1 使用済燃料が臨界に達しないことに関する説明書」に示す。</p> <p>2. 基本設計方針</p> <p>使用済燃料貯蔵施設は、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。</p> <p>(1) 金属キャスク単体は、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、中性子実効増倍率を 0.95 以下となるよう設計する。</p> <p>(2) 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 (50 年間) に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 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 (50 年間) に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 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。</p> <p>(3) 使用済燃料集合体を収納した金属キャスクを、使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵容量最大に収納した条件下で、金属キャスク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</p>	<p>設備 2-補-001 使用済燃料の臨界防止について</p> <p>1. 目的</p> <p>本資料は、材料物性や使用済燃料集合体配置の影響及び臨界解析のモデルバンドルの考え方について補足し、今回申請する金属キャスクによる臨界防止についてより詳しく説明するものである。</p>	<p>設計方針の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率を 0.95 以下となるよう設計する。</p> <p>(4) 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。</p> <p>a. 配置・形状</p> <p>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。</p> <p>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を考慮する必要はない。</p> <p>金属キャスク内部が乾燥された状態では、バスケット及び使用済燃料集合体の変形による実効増倍率の変化はわずかであり、未臨界性評価に有意な影響を与えることはない。</p> <p>b. 中性子吸収材の効果</p> <p>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。</p> <p>(a) 製造公差（濃度、非均質性、寸法等）</p> <p>(b) 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少</p> <p>c. 減速材（水）の影響</p> <p>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。</p> <p>d. 燃焼度クレジット</p> <p>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。</p> <p>(5) 使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するに当たっては、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、契約先である原子炉設置者が確認した使用済燃料集合体の収納等の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを、記録により確認する。</p> <p>3. 臨界防止構造の設計方針</p> <p>金属キャスクは、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、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とし、以下の配慮を行う。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>(1) 使用済燃料集合体を収納するバスケットは、格子構造とし、設計貯蔵期間(50年間)に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する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設計とする。</p> <p>(2) バスケットの材料には、中性子を有効に吸収するボロンを偏在することなく添加したステンレス鋼を用いる。</p> <p>4. 臨界解析の方針</p> <p>金属キャスクの臨界解析フローを図4-1に示す。</p> <p>金属キャスク及び燃料集合体の実形状を三次元で適切にモデル化し、これまでの輸送容器と貯蔵容器での臨界解析に使用実績のある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モンテカルロコードKENO-V.a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、解析の裕度を考慮して、0.95以下となることを確認する。</p> <p>金属キャスクは多重の閉じ込め構造を有する蓋部により金属キャスク内部は外部から隔離される構造であり、金属キャスクへの使用済燃料集合体収納後に金属キャスク内部の排水及び真空乾燥が行われることから、貯蔵中の金属キャスク内部は乾燥状態であるが、原子力発電所における金属キャスクへの使用済燃料集合体収納時に冠水することから、乾燥状態及び冠水状態で評価する。</p> <p>BWR燃料集合体には反応度抑制効果のある可燃性毒物が含まれているが、中性子減速材のない乾燥状態では可燃性毒物の反応度抑制効果が低下することから、乾燥状態の解析では保守的に可燃性毒物の反応度抑制効果を見逃した初期濃縮度の燃料集合体を金属キャスクに全数収納した状態を設定する。冠水状態の解析では、燃料集合体の燃焼に伴う反応度の低下は考慮せず、可燃性毒物による燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して、炉心内装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が1.3となる燃料集合体モデルを金属キャスクに全数収</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>納した状態を設定する。</p> <p>また、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して金属キャスク周囲を完全反射条件とし、金属キャスクの無限配列を模擬することにより、使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵容量最大に金属キャスクを配置した条件を包絡した設定とする。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金属キャスク中心側に偏向して配置するとともに、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など、十分な安全裕度を見込む。</p> <p>添付 1-1 使用済燃料が臨界に達しないことに関する説明書 添付 1-1-1 使用済燃料が臨界に達しないことに関する説明書（BWR用大型キャスク（タイプ2 A））</p> <p>1. 設計方針 BWR大型キャスク（タイプ2 A）の使用済燃料の臨界防止に関する設計方針については、添付 1「使用済燃料の臨界防止に関する説明書」のとおりである。</p> <p>2. 臨界防止設計 (1) 臨界防止構造 金属キャスクの仕様を第 1 表に、収納する使用済燃料集合体の仕様を第 2 表に、バスケット構造を第 1 図に示す。</p> <p>(2) 臨界解析 臨界解析モデルを第 2 図に、臨界解析条件を第 3 表に、臨界解析条件の設定根拠を第 4 表に示す。 なお、貯蔵中のように金属キャスク内部が乾燥された状態では、バスケット及び使用済燃料集合体の変形による中性子</p> <p>2. 臨界防止設計 (1) 臨界防止機能に関する構造 HDP-69B(B)型の仕様を表2-1に示す。 HDP-69B(B)型では、臨界に達することを防止するため、以下の設計上の配慮を行っている。 a. 使用済燃料を収納するバスケットは、格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置形状に維持する設計とする。（「添付書類8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」参照） b. バスケットプレートには、中性子吸収材であるほう素を添加したステンレス鋼を使用する（図2-1参照）。</p> <p>(2) 臨界評価 使用済燃料貯蔵施設での貯蔵中において、技術的に想定されるいかなる場合にも臨界に達することを防止する設計とした。また、解析コードがモンテカルロ法であり統計誤差を伴うため、解析コードの精度等を考慮して、中性子実効増倍率</p>	<p>2. ボロン添加ステンレス鋼のボロン濃度の均一性について 2.1 ステンレス鋼に添加したボロンによる中性子増倍率への影響 ボロンの偏在や均質性に関して、バスケット材料の製造プロセスにおいて管理され、中性子吸収性能の低下を無視できると考えられることから、臨界解析において、ボロンは均等に分布し、かつ、均質であるとして評価を行っている。</p>	<p>臨界防止機能に関する構造の記載は同等</p> <p>臨界評価の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(k_{eff}) の平均値に統計誤差 (σ) の3倍 (3σ) を加味した値が0.95以下 ($k_{\text{eff}}+3\sigma \leq 0.95$) であることとした。</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封機能を有した複数の蓋を有しており、HDP-69B(B)型内に水が浸入することはない、貯蔵中はHDP-69B(B)型内は乾燥状態であるが、原子力発電所におけるHDP-69B(B)型への使用済燃料収納時に冠水することから、乾燥状態及び冠水状態の臨界評価を行った(別紙1及び別紙2参照)。</p> <p>HDP-69B(B)型の臨界評価フローを図2-2に示す。中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用して求めた。</p> <p>使用済燃料の仕様を表2-2に示す。臨界評価に用いる使用済燃料の仕様は、代表として最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料とし、乾燥状態の解析では初期濃縮度3.66 wt%とし、熱中性子吸収効果のあるガドリニアを添加した燃料棒の存在を無視した。</p> <p>BWR燃料は、燃料ペレットにガドリニアを含む燃料棒が組み込まれていることから、ガドリニアの燃焼に伴って、燃料の無限増倍率は一旦上昇するが、今回収納する燃料においては、炉心装荷冷温状態で1.3を超えることがない設計となっている(別紙2参照)。このため、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)を仮定した。モデルバンドルについては、新型8×8燃料及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料用のモデルバンドルと高燃焼度8×8燃料用のモデルバンドルの2種類を用いた(別紙5参照)。</p> <p>評価に当たっては、HDP-69B(B)型の周囲を完全反射境界条件とし、HDP-69B(B)型の無限配列を模擬することにより、使用済燃料貯蔵施設の最大貯蔵容量にHDP-69B(B)型を配置した条件を包絡した設定とした。ここで、HDP-69B(B)型内は真空又は水で満たした状態とし、厳しい燃料配置状態を仮定し、また、バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の</p>	<p>実効増倍率の変化は僅かであり、未臨界性評価に有意な影響を与えることはない(別添5参照)。</p>	<p>第2-1表に示すように、バスケット部材のボロン添加ステンレス鋼は、中性子吸収材であるボロン含有量と材料密度を仕様上の下限値から設定したボロンの原子個数密度を解析の入力値として使用している。</p> <p>また、第2-2表に示すように、金属キャスクで使用するボロンを添加したバスケット材料については、ボロン量、ボロンの粒子径や分散性に関して、製造時に製品のボロン量の分析や金属組織観察により確認することから、ストリーミングによる中性子吸収性能の低下を無視できると考えている。</p> <p>米国の乾式キャスク貯蔵システムの「Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems(NUREG-1536)」(以下、SRPという。)では、臨界解析における固定式中性子吸収材の効果の考慮は、その存在や均一性が確認できる試験が行われない場合は、75%までと規定されている。また、このSRPにも適用されるISG-15「MATERIALS EVALUATION」では、吸収材が非均一な材料の場合、吸収材の粒子の自己遮へい、及び中性子が吸収材の粒子間をストリーミングすることで中性子吸収性能が低下するとしている。</p> <p>これは、吸収材の粒子がマトリックス材中に不均一に分散あるいは凝集したり、粒子が大きい(例えば、B_4Cの$80\mu\text{m}$の粒子)のために、同じ量の吸収材を含有する均一な材料に比べて、中性子吸収性能が有意に低下するというBurrus⁽¹⁾とWells⁽²⁾の論文を参考に記載している。</p> <p>一方、独立行政法人原子力安全基盤機構によるボロンクレジットに関する文献調査⁽³⁾においては、Stanley E. Turner⁽⁴⁾による、分離炭化ボロン粒子間のストリーミングの反応度効果に関して、寸法の小さい粒子($10-25\mu\text{m}$)を使う吸収体では、ストリーミングによる反応度への影響は無視できるという調査結果が得られている。以下に文献調査の記載を記す。</p> <p>「湿式又は乾式貯蔵における実際的な利用において、BORAL*などのB_4C粒子が比較的大きい($110-180\mu\text{m}$)吸収体では、ストリーミングの影響は$<0.0020\Delta k$である。一方、金属・セラミック複合体(メタミック)などさらに寸法の小さい粒子($10-25\mu\text{m}$)を使う吸収体では、基本的には無視できる程度のストリーミングによる反応度への影響が示されている。要するに、透</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>寸法条件についても公差を考慮した（別紙3参照）。</p> <p>解析コードとしてSCALE コードシステム（4.4a）を用い、燃料棒単位セル計算には輸送解析コードXSDRNPMを、臨界解析には臨界解析コードKENO-V.aを使用した。断面積ライブラリとしては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た（別紙4参照）。</p> <p>(3) 臨界評価結果</p> <p>評価結果を表2-3に示す。</p> <p>HDP-69B(B)型の中性子実効増倍率（モンテカルロ計算の統計誤差（3σ）を加えたもの）は、技術的に想定されるいかなる場合においても、0.95を下回るため、使用済燃料が臨界に達するおそれがないことを確認した。</p> <p style="text-align: right;">別紙 1</p> <p>乾燥状態でのHDP-69B(B)型の臨界解析について</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封機能を有した複数の蓋を有しており、HDP-69B(B)型内部に水が浸入することなく、HDP-69B(B)型内は乾燥状態である。したがって、貯蔵中を対象にした乾燥状態での臨界解析（以下「乾燥時臨界解析」という。）を行うこととした。</p> <p>1. 収納物</p> <p>HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料は照射済みのものであるが、濃縮度は未照射のままの減損していない値とし、安全側の仮定とした。また、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、熱中性子吸収効果のあるガドリニアの存在を無視した。臨界解析の対象は、代表として最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料とし、別紙1-1表に示す仕様の使用済燃料に対して臨界解析を行った。使用済燃料の燃料棒配置を別紙1-1図に示す。</p> <p>なお、実際にHDP-69B(B)型に収納する使用済燃料が、本解析</p>	<p>(3) 解析結果</p> <p>解析結果を第5表に示す。</p> <p>乾燥状態及び冠水状態での金属キャスクの中性子実効増倍率（モンテカルロ計算の統計誤差（3σ）を加えたもの）は、判定基準である0.95を十分下回ることを確認した。</p> <p style="text-align: right;">別添 2</p> <p>乾燥状態における臨界解析について</p> <p>BWR燃料集合体には反応度抑制効果のある可燃性毒物が含まれているが、中性子減速材のない乾燥状態では可燃性毒物の反応度抑制効果が低下することから、保守的に可燃性毒物の反応度抑制効果は無視した初期濃縮度の燃料集合体を金属キャスクに全数収納した状態を設定する。</p> <p>臨界解析に用いる燃料集合体の仕様を別添2-1表及び別添2-1図に示す。BWR用大型キャスク（タイプ2A）では3種類の燃料集合体を収納するが反応度が最も高くなる高燃焼度8×8燃料を代表とし、濃縮度は燃料の初期濃縮度の新燃料を仮定している。</p>	<p>過率では影響があるが、中性子増倍率では影響は無視できると解釈できる。」</p> <p>* ボロンを用いた中性子吸収材で、アルミニウム板二枚の間にサンドイッチ状に B₄C とアルミニウム粉末を混合した混合粉末焼結体を挟み込み圧延した板状の成形体。海外では、例えば、ステンレスに接合させて、バスケットとして使用している。</p> <p>2.2 ボロン添加ステンレス鋼の製造及び検査について</p> <p>BWR用大型キャスク（タイプ2A）で使用するボロンを添加したバスケット材料については、ボロン量、ボロンの粒子径や分散性に関して、バスケット製造時に製品のボロン量分析や金属組織観察により、ボロンが凝集することなく分散し、粒子径が十分小さいことの確認を行うことから、米国 SRP 等における考え方を適用する必要はないと考える。ボロン添加ステンレス鋼の製造及び検査について、以下に記す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ボロン添加ステンレス鋼の製造について <p>BWR用大型キャスク（タイプ2A）は、ボロン添加ステンレス鋼（JSME S FA-CC-004）を用いる。ボロン添加ステンレス鋼の製造方法は、一般的な鋼板の方法と同様である。製造工程フローを第2-1図に示す。ボロンは、溶解時にフェロボロンの形で必要量混合される。溶解の後、造塊工程を経て圧延を行う場合と、連続鋳造で圧延される場合がある。圧延後は、オーステナイト系ステンレス鋼と同様に固溶化熱処理（約1000～1150℃、急冷）を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ボロン添加ステンレス鋼の検査について <p>ボロン量、ボロンの粒子径や分散性については、製品のボロン量分析及び金属組織観察により確認する。ボロン添加ステンレス鋼の検査内容を第2-2図に示す。試験片は、同一溶解同一熱処理のロット毎にコイルから切り出す。試験片の採取は、圧延での製造工程を考慮し、圧延条件等に不安定要因が介在しやすいと考えられる圧延開始側と、安定した条件で製造される圧延終了側から採取する。</p> <p>なお、BWR用大型キャスク（タイプ2A）で使用するボロン添加ステンレス鋼は、使用済燃料ラックや輸送容器用バスケットとして製造実績が多数あり、ボロンが凝集することなく分</p>	<p>臨界評価結果の記載は同等</p> <p>乾燥状態での臨界解析の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>の条件としている使用済燃料の反応度以下であることは、使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の方法の認可申請時に別途確認されることとする。</p> <p>2. 解析モデル HDP-69B(B)型の乾燥時臨界解析条件を別紙1-2表に示す。また、別紙1-2図に乾燥時臨界解析モデルを示す。</p> <p>3. 解析結果 解析結果を別紙 1-3 表に示す。</p> <p style="text-align: right;">別紙 2</p> <p style="text-align: center;">冠水状態での HDP-69B(B) 型の臨界解析について</p> <p>原子力発電所において、HDP-69B(B)型に使用済燃料を収納するに当たり、使用済燃料が冠水することから冠水状態も考慮し、HDP-69B(B)型内を減速材（純水）で満たした解析（以下「冠水時臨界解析」という。）を行った。</p> <p>1. 収納物 別紙2-1図に示すように、一般的なBWR 燃料では、ガドリニアは、ほぼ1サイクル照射で燃え尽きるように設計されている⁽¹⁾。したがって、燃料としての反応度のピークは10 GWd/t程度の燃焼度で現れる。HDP-69B(B)型は、炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3を超えることがない使用済燃料を収納することを前提とした。</p> <p>この前提に基づきHDP-69B(B)型の冠水時臨界解析においては、炉心装荷冷温状態での無限増倍率が1.3となるような別紙2-1表に示す仕様のモデルバンドルを仮定した。モデルバンドルの燃料棒配置を別紙2-2図に示す。このように、本解析においてはモデルバンドルを用いるため、使用済燃料の平均濃縮度は、実燃料の平均初期濃縮度と異なる。</p> <p>なお、実際にHDP-69B(B)型に収納する使用済燃料が、本解析</p>	<p style="text-align: right;">別添 3</p> <p>冠水状態におけるガドリニアクレジットを考慮した臨界解析について</p> <p>BWR燃料は、余剰反応度の抑制と軸方向出力分布の調整のために、燃料ペレットに可燃性毒物であるガドリニア（Gd₂O₃）を含む設計を採用しており、格子型、濃縮度・ガドリニア設計など、プラントに対応させた多様性がある。多様性のある燃料を包括的に扱う手法として、BWR燃料の実設計を包絡する無限増倍率（k_{∞}）を設定してモデルバンドルを作成し、BWRプラントの燃料貯蔵設備やキャスクの未臨界性設計を保守的かつ合理的に実施する方法がある。</p> <p>BWR燃料は、燃料ペレットにガドリニアを含む燃料棒が組み込まれていることから、ガドリニアの燃焼に伴ってk_{∞}は一旦上昇するが、今回収納する燃料においては、最大となるk_{∞}はいかなる燃料のいかなる軸方向断面においても、炉心装荷冷温状態で 1.3 を超えることがない設計になっている。</p> <p>このため、臨界評価において、炉心装荷冷温状態でk_{∞}が 1.3 となるような仮想的なモデルバンドルを収納して計算を行えば安全側の評価となる。（別添 3-1 図，別添 3-2 図参照）</p>	<p>散し、粒子径が十分小さいことが確認されている⁽⁵⁾。</p> <p>3. ガドリニアクレジットを考慮した臨界解析モデルバンドルについて</p> <p>3.1 モデルバンドルの作成方法</p> <p>BWR燃料は運転期間中において、出力分布及び余剰反応度の制御を濃縮度と可燃性毒物であるガドリニア設計により行えるようになっており、軸方向断面の燃焼特性は各々異なるが、運転期間中のいずれの断面においても k_{∞}が 1.3 を下回るように設計されている。また、燃料集合体は、できるだけ長期かつ高い燃焼度を取り出しながら、局所出力ピークをできるだけ少なく平坦な出力が維持できるように径方向にも濃縮度の違う燃料棒で制御している。このため、実燃料集合体の内側は高い濃縮度の燃料棒、外側には低い濃縮度の燃料棒が配置されている。この実燃料の濃縮度配分を考慮し、かつガドリニアの無い保守的な状態で臨界計算を実施できるように下記のようなモデルバンドルを設定している。なお、モデルバンドルはガドリニアの無い燃料でモデル化しているため、実燃料集合体よりも k_{∞}は大きいですが、平均濃縮度は低くなる特徴がある。</p>	<p>冠水状態での臨界解析の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>の条件としているモデルバンドルの反応度以下であることは、使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の方法の認可申請時に別途確認されることとする。</p> <p>2. 解析モデル HDP-69B(B)型の冠水時解析条件を別紙2-2表に示す。また、別紙2-3図に冠水時臨界解析モデルを示す。</p> <p>3. 解析結果 解析結果を別紙 2-3 表に示す。</p>		<p>モデルバンドルの作成については、k_{∞}が 1.3 となるモデルバンドルは、任意性があるため複数考えられるが、k_{∞}が 1.3 のモデルバンドルでも k_{eff} あるいは平均濃縮度が大きくなるように設定している。参考文献(1)に、このようなガドリニアクレジットモデルバンドル作成の考え方が示されている。</p> <p>第 3-1 表に示すように、炉心装荷冷温状態の場合、内側に高濃縮度燃料棒、外側に低濃縮度燃料棒を配置したモデルバンドル (Case1) と、同一濃縮度の燃料棒を配置したモデルバンドル (Case2) は、ともに k_{∞}が 1.3 であるが、平均濃縮度に差が生じている。これは、k_{∞}の評価では、燃料集合体からの漏えい中性子が強く影響するため、実燃料に近い内側領域の濃縮度を高めた Case1 よりも、Case2 のような低い平均濃縮度でも $k_{\infty}=1.3$ を達成できる。</p> <p>一方、キャスク体系においては、第 3-2 表に示すように、中性子漏えいの大きい同一濃縮度分布の Case2 よりも、内側の濃縮度を高くした Case1 の方が、中性子漏えいが少ないためバスケットの中性子吸収効果が小さく、k_{eff}が高くなる。</p> <p>仮に、高濃縮度と低濃縮度と中間濃縮度の 3 種類の濃縮度を用いて、内側から高濃縮度、中間濃縮度、低濃縮度の燃料棒を配置して k_{∞}が 1.3 のモデルバンドルを作成した場合には、中間の濃縮度の燃料棒により、Case1 に比べて外側領域の濃縮度が高くなり、内側領域の濃縮度が低くなった状態 (低い平均濃縮度、中性子漏えいの大きい状態) で k_{∞}は 1.3 となる。キャスク体系においては、バスケットの中性子吸収効果が増えるため 3 種類の濃縮度を用いたモデルバンドルの方が、k_{eff} は Case1 より低くなる。したがって、濃縮度を 2 種類としたモデルバンドルに包絡される。</p> <p>以下にモデルバンドルの設定方法を示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① まず低濃縮度燃料棒を全体に配置する。 ② 次に高濃縮度燃料棒を配置していくが、バスケットの中性子吸収効果が小さくなるように、バスケットから距離が離れた中央部から置換していき、$k_{\infty} \simeq 1.3$ となるまで繰り返す。 ③ 最外周以外の領域全てに高濃縮度燃料棒を配置してもなお、$k_{\infty} \simeq 1.3$ を下回る場合 (第 3-1 図(a)) には、最外周にも高濃縮度燃料棒を配置する。 	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>④ ③により最外周に高濃縮度燃料棒を配置すると $k_{\infty} \approx 1.3$ を超える場合(第 3.2-1 図(b))には、最外周の領域全てに低濃縮度燃料棒を配置し、それ以外の領域全てに高濃縮度燃料棒を配置した状態(第 3-1 図(a))をベースとして、最外周から 2 列目の高濃縮度燃料棒と最外周の低濃縮度燃料棒を置換することによって $k_{\infty} \approx 1.3$ となる配置をサーベイシモデルバンドルを設定する(第 3-1 図(c))。</p> <p>3.2 BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の冠水状態における臨界解析に用いたモデルバンドル</p> <p>第 3-3 表に示す燃料仕様に基づき、「3.1 モデルバンドルの作成方法」の考え方に基づいて設定したモデルバンドルを第 3-2 図に、このモデルバンドルの無限増倍率を第 3-4 表に示す。</p> <p>モデルバンドルの種類としては、収納する燃料タイプを考慮してモデルバンドルを設定した。BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)として、3 種類の燃料集合体を収納するが反応度が最も高くなる高燃焼度 8×8 燃料をベースとした STEP-II 燃料モデルバンドルを用いて解析を行っている。なお、モデルバンドルは、燃料仕様を考慮した最高濃縮度と最低濃縮度(公称値)の燃料棒にて、k_{∞}が 1.3 となる仮想的なモデルバンドルを設定していることから、U-235 濃縮度の最高、最低の本数比、実際の平均濃縮度は一致しない。</p> <p>モデルバンドルは、第 3-3 図のように、1 断面の濃縮度分布から設定しており、燃料有効部の全長にわたって、濃縮度分布は一様として扱っている。実燃料では、運転時の軸方向出力分布の調整のために、濃縮度及びガドリニアは軸方向に分布*を持たせているが、モデルバンドルでは、実燃料の濃縮度を平均化等の操作をせずに、k_{∞}が 1.3 となる保守的な濃縮度分布を軸方向一様に設定している。実燃料のあらゆる軸方向の断面、運転期間(燃焼度)において、k_{∞}は 1.3 以下であり、軸方向一様に k_{∞}が 1.3 となる濃縮度分布を設定することは、実燃料の k_{∞}を包絡しており、保守的な設定である。</p> <p>なお、炉心装荷冷温状態での燃料集合体ピッチは、炉心内の最小離隔距離である約 152mm としている。キャスク体系では、厚みが約 6 mm のほう素が添加されたバスケット内に収納され</p>	

型式指定申請書	RFS 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>ることから燃料集合体ピッチを炉心装荷状態よりも大きい約 <input type="text"/> としている。また、燃料集合体の変形は想定していない。</p> <p>* : BWR 炉心燃料設計の特徴について</p> <p>BWR 炉心は軸方向にボイド率分布を持つことを特徴としている。炉心下部はボイド率が小さく、炉心上部はボイド率が大きいため、ボイド率の小さい（減速材の多い）炉心下部で出力が高くなり、出力分布が下方へ膨らみ易い傾向にある。炉心燃料設計では、出力が局所的に大きくなるように、軸方向出力分布の平坦化を目的として、上下に濃縮度差をつけた上下 2 領域燃料が広く採用されている。また、ガドリニア設計では、運転期間中の炉心余剰反応度を適切かつ一定に保つように調整され、ガドリニア濃度が低いとガドリニアが早く燃え尽きるため k_{∞} が最大となる燃焼度時期は早くなり、ガドリニア濃度が高いとガドリニアが燃え残るため k_{∞} が最大となる燃焼度時期は遅くなる。</p> <p>3.3 モデルバンドルの妥当性</p> <p>本モデルバンドルをキャスク体系に使用することの保守性については、第 3-4 図に示すようなフローに従い k_{∞} が 1.3 となるモデルバンドルについて、事業許可申請書における解析に用いた KENO コードと炉心設計コードを用いた比較検討を実施している。</p> <p>具体的には、炉心設計コードによる実燃料の炉心装荷冷温状態での無限増倍率 ($k_{\infty 3}$) が 1.3 より小さいことを示し、モデルバンドルの炉心装荷冷温状態での炉心設計コードによる無限増倍率 ($k_{\infty 2}$) と KENO コードによる無限増倍率 ($k_{\infty 1}$) の結果に差がなく、$k_{\infty 1}$、$k_{\infty 2}$ が $k_{\infty 3}$ よりも大きくなることを確認する。また、モデルバンドルのキャスク体系での KENO コードによる実効増倍率 ($k_{\text{eff}1}$)、炉心設計コードによる実効増倍率 ($k_{\text{eff}2}$) が、実燃料のキャスク体系での炉心設計コードによる実効増倍率 ($k_{\text{eff}3}$) より大きくなることを確認する。これらの結果を第 3-5 表、第 3-6 表に示す。第 3-5 表に示すとおり、実燃料の炉心装荷冷温状態での無限増倍率が 1.3 を超えない設計となっており ($1.3 > k_{\infty 3}$)、モデルバンドルに対して計算コードの違いによる結果に差がなく ($k_{\infty 1} \approx k_{\infty 2}$)、モデルバンドルの炉心冷温状態での無限増倍率が、実燃料の炉心装荷冷温状態での無限増</p>	

型式指定申請書	RFS 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>倍率より大きいことを確認している ($k_{\infty 1} > k_{\infty 3}$, $k_{\infty 2} > k_{\infty 3}$)。また、キャスク体系においても、実燃料に対して、KENOコードでも炉心設計コードでも、モデルバンドルが保守性を有することを第 3-6 表に示すとおり確認している ($k_{\text{eff}1} > k_{\text{eff}3}$, $k_{\text{eff}2} > k_{\text{eff}3}$)。</p> <p>以上のように、設定したモデルバンドルによるキャスク体系の k_{eff} は、実燃料の場合よりも大きくなり、モデルバンドルは実際の燃料を包絡するとともに、保守性を有することを確認している。</p> <p>5. 冠水状態の水密度について</p> <p>第 5-1 図に金属キャスク内の水密度と中性子実効増倍率の関係を示す。第 5-1 図に示すように、乾燥状態 (0.0 g/cm^3) から冠水状態 (1.0 g/cm^3) まで、中性子実効増倍率は単調増加であり、冠水状態が臨界評価上最も厳しい条件である。</p> <p>原子力発電所における燃料貯蔵設備においては、中性子吸収材を使用していない新燃料貯蔵庫は、水密度 1.0 g/cm^3 未満が最適減速条件に、また、中性子吸収材を使用している使用済燃料貯蔵ラックは、水密度最大の 1.0 g/cm^3 が最適減速条件になっている例がある。</p> <p>バスケットに中性子吸収材を使用している金属キャスクは、使用済燃料貯蔵ラックと同じ傾向にあり、水密度 1.0 g/cm^3 が臨界評価上最も厳しい条件となるのは、金属キャスク特有の傾向ではない。</p> <p>原子力発電所における燃料貯蔵設備の具体的な例として、第 4 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(平成 25 年 10 月 7 日)において、3 号機燃料貯蔵ラックに対する中性子実効増倍率の検討結果が示されている。第 3.4-2 図は、BWR 用大型キャスク(タイプ 2A)のバスケットと同じように、中性子吸収材である天然ボロンを使用している板材を格子上に組んだもので、中性子吸収材の影響で減速不足状態のために、水密度最大の 1.0 g/cm^3 が最適減速条件になっている。一方で、第 5-3 図は、中性子吸収材を使用していないタイプであり、水密度 1.0 g/cm^3 未満が最適減速条件となっている。</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>別紙 3</p> <p>臨界解析における条件設定根拠について</p> <p>乾燥時臨界解析及び冠水時臨界解析における臨界解析条件及び設定根拠を別紙 3-1 表に示す。</p> <p>なお、臨界解析条件のうち、燃料配置、寸法条件、HDP-69B(B)型外雰囲気及びチャンネルボックスの有無については、別紙 3-2 表（乾燥時臨界解析）及び別紙 3-3 表（冠水時臨界解析）に示す感度解析により設定条件が妥当であることを確認している。</p>	<p>別添 4</p> <p>バスケット及び使用済燃料集合体の変形の影響について</p> <p>使用済燃料貯蔵施設においては、金属キャスク内部は乾燥された状態であり、密封性能を有した多重の蓋を有しており、内部に水が入ることはない。</p> <p>別添 4-1 図（ロ）-第A. 4I 表に示すように本金属キャスクの核燃料輸送物設計変更承認申請書¹⁾において、9m水平落下試験時の衝撃力に対するバスケットの変形量は <input type="text" value=""/> mm と評価されている。バスケット格子内のり（公称寸法 153 mm）と使用済燃料集合体の間隙は 10 mm 程度あり、この程度の使用済燃料集合体の移動量では実効増倍率に殆ど影響しないことが確認されている。</p> <p>また、乾燥状態で使用済燃料集合体の変形した場合の保守的な評価として、燃料棒同士が接した場合（燃料棒ピッチ最小）とバスケット格子内で最大限均一に広がった場合（燃料棒ピッチ均一拡大）の中性子実効増倍率が評価されており、燃料棒ピッチ最小時 0.41372、燃料棒ピッチ均一拡大時 0.41305 と殆ど影響しない（別添 4-1 図（ロ）-第E. 4表）。</p> <p>以上より、使用済燃料貯蔵施設におけるバスケット及び使用済燃料集合体の変形は、臨界評価において有意な影響を与えることはない。</p>	<p>4. バスケット格子内の燃料配置等について</p> <p>第 4-1 図にバスケット格子内の燃料配置と中性子実効増倍率の関係を示す。第 4-1 図に示すように、使用済燃料集合体のバスケット格子内の配置、チャンネルボックスの有と無をパラメータにして評価を行い、キャスク中心側に偏向した方が、中性子実効増倍率が大きくなることを確認している。これは、使用済燃料集合体をキャスク中心側に偏向させることで、燃料体系が稠密になり中性子密度が増加する影響と考えられる。また、チャンネルボックスの有、無によって、使用済燃料集合体とバスケットの距離が変化するため、チャンネルボックス有、無両方の評価を行い、中性子実効増倍率を確認している。</p> <p>なお、第 4-1 図は格子内のり最小の結果を記載している。これは、BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）では、格子内のり最小のモデルは燃料集合体の離隔距離が最小になり中性子実効増倍率が大きくなるためである。第 4-1 図の乾燥状態と冠水状態のそれぞれで最大の中性子実効増倍率を与える条件において、格子内のりを最小から変化させた結果を第 4-2 図に示す。第 4-2 図に示すように、格子内のりが小さい方が中性子実効増倍率が大きいことを確認している。</p> <p>以上のように、最適減速条件と中性子実効増倍率の関係は、バスケット材質、燃料集合体のピッチや配置、燃料集合体周囲の水（減速材）の因子の影響により複雑と考えられるため、バスケット格子内の燃料配置、バスケット格子内の公差等をパラメータとして中性子実効増倍率を確認している。</p> <p>確認結果に基づき、厳しい評価結果を与える条件として、冠水状態は、格子内のり最小、燃料のセル内配置の中心偏向、チャンネルボックス有の条件、乾燥状態は、格子内のり最小、燃料のセル内配置の中心偏向、チャンネルボックス無の条件を採用している。</p>	<p>臨界解析での条件設定根拠の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果									
	申請書添付書類 3	補足説明資料										
<p>別紙 4</p> <p>SCALE コードシステム (4.4a) を使用することの妥当性について</p> <p>1. 概要</p> <p>臨界解析には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開の SCALE (Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation) コードシステム⁽¹⁾を用い、中性子実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれる KENO-V.a コードを用いた。</p> <p>KENO-V.a コードは、モンテカルロ法に基づく臨界解析コードであり、輸送及び貯蔵キャスクの臨界解析等に広く用いられている。</p> <p>2. 臨界解析フロー</p> <p>臨界解析フローを別紙 4-1 図に示す。</p> <p>均質化燃料領域以外の領域の群定数計算には共鳴計算処理コード NITAWL-II⁽¹⁾を、均質化燃料領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI⁽¹⁾、NITAWL-II 及び一次元輸送計算コード XSDRNPM⁽¹⁾を用い、核データライブラリは SCALE コードシステムの内蔵ライブラリデータの一つである 238GROUPNDF5 ライブラリを用いた。</p> <p>燃料領域の均質化の方法としては、単位燃料棒の形状を一次元円柱モデルで近似し、XSDRNPM コードを用いて 238 群の中性子束分布を求め、それを重みとして燃料の均質化領域の 238 群定数を算出した。この 238 群定数及び KENO-V.a コードを用いて臨界解析を行った。</p> <p>なお、KENO-V.a コードは、臨界解析に際して以下の機能を有している。</p> <p>① 実際に中性子が出会う物理現象は、確率理論を用いて模擬するため、どのような体系にも適用できる。なお、統計的な手法を用いるため、計算結果には統計誤差が付随する。</p> <p>② 3次元の複雑な幾何形状の体系を扱うことができる。</p>	<p>添付 18-2 計算機プログラム (解析コード) に関する説明書 (金属キャスク関係)</p> <p>2. 使用済燃料の臨界防止</p> <p>2.1 SCALE コードシステム</p> <p>使用済燃料の臨界防止に関する評価のために使用した解析コード (SCALE) の概要は以下の通りである。</p> <p>第 2.1-1 表 SCALE の概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>コード名</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>開発機関</td> <td>SCALE</td> </tr> <tr> <td>開発時期</td> <td>米国オークリッジ国立研究所(ORNL)</td> </tr> <tr> <td>使用したバージョン</td> <td>2016 年</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4.4</td> </tr> </tbody> </table> <p>コードの概要</p> <p>臨界解析には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開の SCALE コードシステム⁽⁸⁾を用い、実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれる KENO-V.a コードを用いる。</p> <p>KENO-V.a コードは、モンテカルロ法に基づく臨界解析コードであり、輸送キャスクの臨界解析等に広く用いられている。</p> <p>KENO-V.a コードは、臨界解析に際して以下の機能を有している。</p> <p>① 実際に中性子が出会う物理現象について確率理論を用いて模擬するため、どのような体系にも適用できる。なお、統計的な手法を用いるため、計算結果には統計誤差が付随する。</p> <p>② 3次元の複雑な幾何形状の体系を扱うことができる。</p> <p>KENO-V.a コードの解析フローを第 2.1-1 図に示す。</p> <p>コードの検証及び妥当性確認 (新規制基準対応以降のみ)</p> <p>臨界解析で使用した SCALE コードシステムに対しては、軽水炉燃料の輸送及び輸送キャスクを模擬した多数の臨界実験のベンチマーク試験解析が実施され、その妥当性が示されている。</p> <p>表 2-1 (文献(9)の Table B.1 (Appendix B)) に示すように解析 (均質体系の場合の 7 ケースを除き 173 ケース) は実験 (実効増倍率 $k_{eff}=1.0$) を良く再現しており、妥当な結果が得られている。</p> <p>なお、共鳴自己遮蔽処理には BONAMI、NITAWL-II コードが、均質化群定数計算には XSDRNPM コードが用いられ、臨界解析コードとしては KENO-V.a コードが用いられた。</p>	項目	コード名	開発機関	SCALE	開発時期	米国オークリッジ国立研究所(ORNL)	使用したバージョン	2016 年		4.4	<p>S C A L E コードシステム (4.4a) を使用することの妥当性の記載は同等</p>
項目	コード名											
開発機関	SCALE											
開発時期	米国オークリッジ国立研究所(ORNL)											
使用したバージョン	2016 年											
	4.4											

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>3. SCALE コードシステムの検証</p> <p>臨界解析で使用した SCALE コードシステムに対しては、軽水炉燃料の輸送及び貯蔵キャスクを模擬した多数の臨界実験のベンチマーク試験解析が実施され、その妥当性が示されている。</p> <p>米国 PNL で行われた臨界実験⁽²⁾を対象としたベンチマーク解析を実施した。ベンチマーク解析対象とした PNL-3602 臨界実験の体系は、鉄の反射体に挟まれた3つのクラスタ（低濃縮ウラン燃料棒を正方格子に配列した体系）の間に中性子吸収材を設置したものであり、中性子吸収材の種類、板厚、水ギャップ幅及び燃料濃縮度等、輸送及び貯蔵キャスクの臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。</p> <p>実験体系の概要を別紙 4-2 図に示す。この臨界実験体系は周囲を炭素鋼製の厚い胴に囲まれ、各燃料の間にバスケットのほう素添加ステンレス鋼による中性子吸収材を有する HDP-69B(B)型の臨界解析体系と類似している。</p> <p>ベンチマーク解析は 238GROUPNDF5 ライブラリを用い SCALE コードシステムで行った。別紙 4-1 表にベンチマーク臨界計算の結果を示す。ベンチマーク解析の結果、臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な結果を与えるといえる。</p> <p style="text-align: right;">別紙 5</p> <p style="text-align: center;">臨界解析の対象燃料について</p> <p>冠水時臨界解析では、炉心装荷冷温状態での燃料の無限増倍率が 1.3 となる燃料モデル（モデルバンドル）を収納した解析を実施している。モデルバンドルは、別紙 5-1 表に示すとおり HDP-69B(B)型の収納対象燃料の燃料仕様（濃縮度、燃料棒配置等）に応じて 2 種類あるが、最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料のモデルバンドルを代表としている。新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を対象としたウォータロッドが 2 本のモデルバンドル（別紙 5-1 図参照）を対象とした臨界解析結果は、別紙 5-2 表に示すとおりであり、高燃焼度 8×8 燃料のモデルバンドル（別紙 5-2 図参照）を収納した場合の方が、中性子実効増倍率が高くなることを確認している。</p>	<p style="text-align: center;">別添 1</p> <p style="text-align: center;">臨界解析の対象燃料について</p> <p>冠水時臨界解析では、炉心装荷冷温状態での燃料の無限増倍率が 1.3 となる燃料モデル（モデルバンドル）を収納した解析を実施している。モデルバンドルは、別添 1-1 表に示すとおり、収納対象燃料の燃料仕様（濃縮度、燃料棒配置等）に応じて 2 種類あるが、最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料のモデルバンドルを代表としている。新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を対象としたウォータロッドが 2 本のモデルバンドル（別添 1-1 図参照）を対象とした臨界解析結果は、別添 1-2 表に示すとおりであり、高燃焼度 8×8 燃料のモデルバンドル（別添 1-2 図参照）を収納した場合の方が、中性子実効増倍率が高くなることを確認している。</p>	<p>臨界解析の対象燃料の記載は同等</p>	

第4-2表 (2/5) 型式指定申請書の記載の比較 (放射線の遮蔽)

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類3	補足説明資料	
<p>添付書類3 放射線の遮蔽に関する説明書</p> <p>1. 設計方針</p> <p>HDP-69B(B)型を用いる使用済燃料貯蔵施設は、遮蔽機能を確保するために「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)に示されている以下の要求事項を満足するように設計される。</p> <ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料貯蔵施設は、当該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が原子力規制委員会の定める線量限度を十分下回るように設置されたものでなければならない。 事業所内における外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場所には、放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有する遮蔽設備が設けられていなければならない。この場合において、当該遮蔽設備に開口部又は配管その他の貫通部がある場合であって放射線障害を防止するために必要がある場合には、放射線の漏えいを防止するための措置が講じられたものでなければならない。 <p>上記のとおり、HDP-69B(B)型は一般公衆、放射線業務従事者等に対して放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう遮蔽することが要求されており、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している。</p> <p>また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の</p>	<p>添付4-1 金属キャスクの放射線の遮蔽に関する説明書</p> <p>1. 概要</p> <p>本資料は、使用済燃料貯蔵施設の遮蔽に関する設計方針が、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第21条(遮蔽)に適合する設計の方針であることを説明するものである。</p> <p>遮蔽に関する設計結果は「添付4-1 金属キャスクの放射線の遮蔽に関する説明書」及び「添付4-2 使用済燃料貯蔵建屋の放射線の遮蔽に関する説明書」に示す。</p> <p>2. 遮蔽(金属キャスク)</p> <p>2.1 基本設計方針</p> <p>使用済燃料貯蔵施設は、平常時において、直接線及びスカイシャイン線により公衆の受ける線量が「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められている線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低く(実効線量で50 μ Sv/年以下)なるよう、金属キャスク及び使用済燃料貯蔵建屋により、十分な放射線遮蔽を講ずる設計とする。</p> <p>金属キャスクは、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(50年間)に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する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十分な遮蔽性能を有する設計とする。</p> <p>使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するに当たっては、遮蔽機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた当該使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないよう、契約先である原子炉設置者が確認した使用済燃料集合体の収納等の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを、記録により確認する。</p>	<p>設2-補-004 放射線による被ばくの防止について</p> <p>1. 目的</p> <p>本資料は、被ばく解析の対象とする使用済燃料集合体の妥当性及び被ばく解析に入力する材料物性値や核反応データセットの妥当性について補足し、今回申請する金属キャスクと貯蔵建屋による被ばくの防止についてより詳しく説明するものである。</p>	<p>設計方針の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>機能を持つ金属製の乾式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」(昭和 53 年 12 月 28 日 総理府令第 57 号) (以下「外運搬規則」という。) に示されている要求事項を踏まえ、本型式設計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から、以下の項目を遮蔽設計の条件とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面における最大線量当量率が 2 mSv/h を超えないこと。 ・表面から 1 m 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。 	<p>2.2 遮蔽設計の方針</p> <p>(1) 遮蔽構造</p> <p>金属キャスクの主要な構成材を表 2-1 に示す。</p> <p>金属キャスクは、遮蔽のために以下の設計上の配慮を行う。</p> <p>a. 金属キャスクは、ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。</p> <p>b. ガンマ線遮蔽材は、金属キャスク構造体(胴、外筒、蓋及び底板)を構成する。</p> <p>c. 中性子遮蔽材は、レジンで構成する。</p> <p>(2) 遮蔽解析</p> <p>金属キャスクの遮蔽解析においては、以下に示す線源条件に基づき、金属キャスクの表面及び表面から 1 m の位置における線量当量率を求め、それぞれの基準値である 2 mSv/h 以下、100 μ Sv/h 以下となることを確認する。</p> <p>金属キャスクの遮蔽解析評価に当たっては、表 2-2 に示す保守性の考え方、表 2-3 に示す不確かさを適切に考慮する。遮蔽解析フローを図 2-1 に示す。</p> <p>a. 線源条件</p> <p>使用済燃料集合体の線源強度は、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード O R I G E N 2 を用いて求める。</p> <p>使用済燃料集合体の構造材については、照射期間、中性子束、冷却期間等を条件に放射化計算式を用いて求める。</p> <p>b. 金属キャスクの線量当量率評価方法</p> <p>金属キャスクの線量当量率は、金属キャスクの実形状を軸方向断面形状に基づき、蓋部や底部の遮蔽体構造や使用済燃</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>料集合体の軸方向領域に応じ、「a. 線源条件」に示した線源強度に基づき、二次元輸送計算コードDOT3.5(DLC-23/CASKライブラリ)を使用して求める。算出に当たっては、金属キャスクの構成材料による減衰等を考慮する。</p> <p>金属キャスク表面から線量当量率の評価位置である1mの位置までの評価にはレイエフェクトを平準化するためDOT3.5の補助コードであるSPACE TRAN-IIIを用いる。</p> <p>3. 遮蔽（使用済燃料貯蔵建屋）</p> <p>3.1 基本設計方針</p> <p>使用済燃料貯蔵施設は、「使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則」に基づいて管理区域を定めるとともに、放射線業務従事者が受ける線量が「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められた線量限度を超えないようにし、さらに、放射線業務従事者及び一時立入者（以下「放射線業務従事者等」という。）の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減できるように、使用済燃料貯蔵建屋に遮蔽壁及び遮蔽ルーバを設け、また、貯蔵区域への入口に迷路又は遮蔽扉を設けて、遮蔽及び機器の配置を行うとともに、各場所への立入頻度、滞在時間及び立入エリアを制限することにより、放射線業務従事者等の被ばくを低減する。（表3-1、図3-1参照）</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋の遮蔽設計に当たっては、放射線業務従事者の立入頻度、滞在時間及び立入エリアを考慮して外部放射線に係る基準線量率を設け、これを満足するようにする。</p> <p>また、事業所内の管理区域以外の人立ち入る場所における線量を合理的に達成できる限り低くし公衆の線量限度以下に低減できるよう、外部放射線に係る線量の測定を行い、必要に応じて区画の実施、作業時間の制限等、適切な措置を講ずる。</p> <p>3.2 遮蔽設計の方針</p> <p>(1) 遮蔽設備</p> <p>a. 遮蔽壁</p> <p>遮蔽壁は、使用済燃料貯蔵建屋側壁、天井、貯蔵区域区画壁及び貯蔵区域仕切壁のコンクリート壁で構造材を兼用する。</p>		R F S 固有の安全設計による相違

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>b. 遮蔽ルーバ 遮蔽ルーバは、使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域における排気口までの経路に設けられたコンクリート製の平板で、排気口からの放射線の漏えいを低減する。</p> <p>c. 解析モデルの寸法 解析モデルの各種寸法は、公称値に施工誤差-5mm を考慮した厚さでモデル化する。</p> <p>(2) 機器の配置 金属キャスクは、使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域に配置し、その入口には迷路又は遮蔽扉を設ける。</p> <p>(3) 遮蔽設備の貫通部の措置 使用済燃料貯蔵建屋には、貯蔵区域から受入れ区域へのケーブル貫通口がある。放射線の漏えいを防止するため、鉛毛マットにより貫通部の隙間を埋める措置を講ずる。ケーブル貫通部を図 2-2 に示す。</p> <p>(4) 公衆の線量 使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域に収容されている金属キャスク 288 基からの直接線及びスカイシャイン線について評価する。</p> <p>(5) 使用済燃料貯蔵建屋内外の線量 受入れ区域は、金属キャスクの搬出入作業のため、最大 8 基の金属キャスクを仮置きするが、保守的に線量を評価するため、使用済燃料貯蔵建屋貯蔵区域に収容されている金属キャスク最大 288 基、受入れ区域に仮置きしている金属キャスク最大 9 基（たて起こし架台 1 基、仮置架台 7 基、検査架台 1 基）を適切に配置して使用済燃料貯蔵建屋内外の線量を評価し、その評価結果が表 3-1 に示す外部放射線に係る基準を満足することを確認する。</p> <p>なお、事業所内の管理区域以外の人が入る場所については、作業場所の外部放射線に係る線量の測定を行い、必要に応じて区画の実施、立入時間の管理、被ばくに対する注意喚起といった線量低減措置を講ずることにより、当該場所に滞在する者の線量を公衆の線量限度以下とする。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2. 遮蔽設計</p> <p>(1) 遮蔽構造</p> <p>HDP-69B(B)型の主要部位の構成部材を表 2-1 に示す。</p> <p>HDP-69B(B)型は、以下の遮蔽構造を有する設計としている。</p> <p>a. ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。</p> <p>b. ガンマ線遮蔽材は、金属キャスク本体(胴及び外筒)、蓋部の炭素鋼等で構成する。</p> <p>c. 中性子遮蔽材は、水素を多く含有する樹脂(以下「レジン」という。)で構成する。</p> <p>(2) 遮蔽解析</p> <p>遮蔽解析においては、以下に示すとおり線源条件を設定し、金属キャスクの表面及び表面から 1 m 離れた位置における線量当量率を求め、それぞれ 2 mSv/h 以下及び 100 μSv/h 以下となることを確認する。</p> <p>遮蔽解析フローを図2-1に示す。解析条件は、別紙1に示す。</p> <p>a. 線源条件</p> <p>使用済燃料の線源強度計算条件を表 2-2、収納配置条件を図 2-2-1 から図 2-2-3 に示す。使用済燃料の線源強度は、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して求める。また、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ー」という。別紙 2 参照。)を考慮する。</p> <p>使用済燃料の構造材については、照射期間、中性子束、冷</p>	<p>添付 4-1 金属キャスクの放射線の遮蔽に関する説明書</p> <p>添付 4-1-1 金属キャスクの放射線の遮蔽に関する説明書 (BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))</p> <p>1. 設計方針</p> <p>金属キャスクの放射線の遮蔽に関する設計方針については、添付 4「放射線による被ばくの防止に関する説明書」のとおりである。</p> <p>2. 遮蔽設計</p> <p>(1) 遮蔽構造</p> <p>金属キャスクは、遮蔽のために以下の設計上の配慮を行う。</p> <p>a. 金属キャスクは、ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。</p> <p>b. ガンマ線遮蔽材は、金属キャスク構造体(胴、外筒、蓋及び底板)の炭素鋼等で構成する。</p> <p>c. 中性子遮蔽材は、レジンで構成する。</p> <p>(2) 遮蔽解析(別添 1~3 参照)</p> <p>金属キャスクのモデル化の概要を第 1 図に示す。</p> <p>a. 線源条件</p> <p>使用済燃料集合体の線源強度計算手法を第 1 表に示す。</p> <p>BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の遮蔽解析評価においては、収納する使用済燃料集合体の燃焼度が高いほど中性子照射や核分裂で放射性核種が生成されるため線源強度が高くなり、また、燃焼度が同じでも、初期濃縮度が低いほど同じ出力が得られるまでにより多くの中性子が照射され中性子源となる超ウラン元素の生成が増加するため、線源強度が最も高くなるのは新型 8 \times 8 ジルコニウムライナ燃料となる。</p>	<p>遮蔽構造は同等</p> <p>遮蔽解析は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>却期間等を条件に放射化計算式を用いて線源強度を求める。</p> <p>使用済燃料の線源強度計算方法を表 2-3 に、表 2-3 の計算方法で評価した金属キャスク 1 基当たりの線源強度を表 2-4 に示す。</p> <p>なお、後述の「b. 線量当量率評価方法」では、線源強度評価の結果(表 2-4 参照)より、線源強度の大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載した収納配置(i), (ii)を対象として評価を実施する。</p> <p>b. 線量当量率評価方法</p> <p>HDP-69B(B)型の線量当量率は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面で二次元でモデル化し、「a. 線源条件」に示した線源強度に基づき、二次元輸送計算コード DOT3.5 (DLC-23/CASK ライブラリ)を使用して求める。</p> <p>線量当量率の評価位置である金属キャスク表面から1 mの位置までの評価にはレイエフェクトを平準化するためDOT3.5の補助コードであるSPACETRAN-IIIを用いる。</p> <p>HDP-69B(B)型のモデル化の概要を図2-3に示す。また、遮蔽解析の保守性を表2-5に、解析における不確かさの考慮を表2-6に示す。</p> <p>(3) 遮蔽解析結果</p> <p>配置(i), (ii)それぞれについて、金属キャスク表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率を表 2-7-1 及び表 2-7-2 に、評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を図 2-4 に示す。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置は、配置(i), (ii)ともに同じ位置である。</p> <p>遮蔽解析結果から金属キャスク表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率は、それぞれ 2 mSv/h 及び 100 μSv/h 以下となることを確認した。</p> <p>各評価方向における線量当量率の分布図は別紙 3 に示す。</p>	<p>BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の線源強度を第 2 表に、各収納配置における使用済燃料集合体の仕様を第 3 表に示す。</p> <p>b. 金属キャスクの線量当量率評価方法</p> <p>金属キャスク表面及び表面から 1mの位置までの線量当量率については、別添 2 のとおり評価する。</p> <p>燃料型式別の金属キャスクの線量当量率を第 4 表、第 2 図に示す。</p> <p>BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の遮蔽解析評価においては、いずれの部位においても高燃焼度 8×8 燃料全数収納時よりも新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料全数収納時の線量当量率が高いことから、BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の遮蔽評価としては、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合が最も厳しくなる。</p> <p>(3) 遮蔽解析結果</p> <p>金属キャスクの遮蔽解析結果を第 5 表に示す。</p> <p>遮蔽解析結果から、金属キャスクの表面及び表面から 1mの位置における線量当量率は、それぞれの基準値である 2 mSv/h 以下、100 μSv/h 以下を満足している。</p> <p>なお、金属キャスクの遮蔽解析に使用する断面積ライブラリとしては、実績のある DLC-23/CASK を用いて評価している。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p style="text-align: right;">別紙 1</p> <p style="text-align: center;"><u>HDP-69B(B)型の遮蔽解析条件について</u></p> <p>1. 使用済燃料の線源強度について 使用済燃料の線源強度は、「燃料有効部からのガンマ線」、「燃料有効部からの中性子」、「使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材からの放射化ガンマ線」に分けて計算する。 金属キャスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度を別紙 1-1 表に示す。 遮蔽解析に用いる使用済燃料の代表配置は、別紙 1-1 表より線源強度の大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載した収納配置 (i), (ii) とした。 配置 (i), (ii) の線源強度条件について、以下に示す。</p> <p>(1) 配置 (i) の線源強度条件 配置 (i) では、金属キャスク中央部、外周部ともに新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度 8×8 燃料どちらの燃料も収納することができる。 別紙 1-2 表及び別紙 1-3 表に新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合と、高燃焼度 8×8 燃料を全数収納した場合の線量当量率評価結果を示す。また、別紙 1-1 図に評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を示す。 いずれの評価位置においても新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合の方が線量当量率が高いため、配置 (i) の遮蔽解析では新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合の線源強度を用いる。</p> <p>(2) 配置 (ii) の線源強度条件 配置 (ii) では、金属キャスク中央部に収納する燃料は高燃焼度 8×8 燃料のみであるが、外周部には新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度 8×8 燃料どちらの燃料も収納することができる。よって、外周部の線源強度は「燃料有効部からのガンマ線」、「燃料有効部からの中性子」、「使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材からの放射化ガンマ線」それぞれについて、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度 8×8 燃料の線源を包絡する、以下の線源強度を用いる。</p>	<p style="text-align: right;">別添 1</p> <p style="text-align: center;">金属キャスクの遮蔽解析について</p> <p>1. 使用済燃料集合体の線源強度について 使用済燃料集合体の線源強度は、「燃料有効部からのガンマ線及び中性子」、「使用済燃料集合体の構造材からの放射化ガンマ線」、「BWR 燃料集合体におけるチャンネルボックスからの構造材ガンマ線」に分けられる。 遮蔽計算においては、別添 1-1 図に示すとおり、使用済燃料集合体を領域分けして、領域ごとに線源強度を計算する。 ガンマ線及び中性子の線源強度(キャスク 1 基当たり)を別添 1-1 表に示す。また、燃料有効部のガンマ線のエネルギーごとの線源強度及び中性子エネルギースペクトルを別添 1-2 表、別添 1-3 表に示す。</p>	<p style="text-align: center;">(金属キャスクの放射線の遮蔽に関する補足説明)</p> <p>2. BWR 用大型キャスク(タイプ 2 A)の遮蔽評価条件等の妥当性について BWR 用大型キャスク(タイプ 2 A)に収納する燃焼度が同じ最高燃焼度 40,000 MWd/t、平均燃焼度 34,000 MWd/t である新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度 8×8 燃料をそれぞれ全数収納した場合の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評価にあたっては、各使用済燃料集合体の軸方向燃焼度分布、中性子実効増倍率、燃料構造材の材質及び質量を考慮している。 いずれの部位においても高燃焼度 8×8 燃料全数収納時よりも新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料全数収納時の線量当量率が高いことから、BWR 用大型キャスク(タイプ 2 A)の遮蔽評価としては、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を全数収納した場合が最も厳しくなる。 線量当量率の評価では、中性子実効増倍率(k_{eff}: 0.259(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料), 0.272(高燃焼度 8×8 燃料))を用いて中性子の増倍効果($1/(1-k_{\text{eff}})$)を考慮しているが、その効果(1.350(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料), 1.374(高燃焼度 8×8 燃料))の差は僅かである。従って、中性子実効増倍率の差異による影響についても、元々の一次中性子線源強度が高燃焼度 8×8 燃料と比較して 4 割程大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の線量当量率に包絡される。</p>	<p>使用済燃料集合体の線源強度の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>・燃料有効部からのガンマ線 各ノードのエネルギー群ごとに線源強度を比較し、包絡値を用いる。</p> <p>・燃料有効部からの中性子 各ノードの線源強度を比較し、包絡値を用いる。</p> <p>・使用済燃料構造材及びチャンネルボックス構造材からの放射化ガンマ線 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の方が照射期間が長い ため、線源強度は大きくなる。よって、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の線源強度を用いる。</p> <p>配置(i), (ii)について、燃料有効部のガンマ線のエネルギーごとの線源強度を別紙 1-2 図に示す。遮蔽解析に用いる中性子線源のエネルギースペクトルは、線源強度に支配的な核分裂線源のうち最もスペクトルが硬い ²³⁹Pu の核分裂スペクトルとする。解析に用いる中性子線源スペクトルを別紙 1-4 表に示す。</p> <p>2. 遮蔽解析のモデル化について 遮蔽解析では、従来の使用済燃料輸送金属キャスクの遮蔽解析で実績のある二次元輸送計算コードDOT3.5により、R-Z体系の有限円筒モデル(以下「本体モデル」という。)で評価している。ただし、有限円筒モデルで直接モデル化できない使用済燃料、バスケット、トラニオン等は、構造上の特徴を考慮して、均質化あるいは線束の引継ぎによって評価している。なお、本体モデルは、金属キャスク中央付近で二分割している。</p> <p>(1) 燃料領域 燃料領域(線源領域)については、燃料とバスケットを均質化したモデルとしている。別紙 1-3 図に示すとおり、中央部燃料、外周部燃料それぞれの占有領域の断面積と等価な面積を持つ二重円(円筒)にモデル化し、線源領域としている。</p> <p>また、使用済燃料の軸方向位置は、頭部側は蓋に、底部側は底板に接したモデルとなっている。モデル化の考え方の概略を以下に示す(別紙 1-4 図参照)。</p> <p>縦置き状態においては、使用済燃料は底板に接した状態(バスケット内にある)となっており、使用済燃料上端と蓋底面との間には隙間が存在する。解析のモデル化においては、燃料有効部</p>	<p>2. 遮蔽解析のモデル化について 遮蔽機能は、従来の輸送容器等で実績のある二次元輸送計算コードDOT3.5により、R-Z体系の円筒型モデルで解析している。そのため、周方向に配置されたバスケットやトラニオンなどは、構造上の特徴を考慮して、均質化あるいは線束引継ぎによって評価している。</p> <p>(1) 燃料領域(添付 1 参照) 燃料領域(線源領域)については、使用済燃料集合体とバスケットを均質化したモデルとしている。別添 1-2 図に示すとおり、使用済燃料集合体は中心に最高燃焼度燃料を、外周部に平均燃焼度燃料を収納するため、それぞれの占有領域と等価な面積を持つ二重円(円筒)にモデル化し、線源領域としている。</p>	<p>3. 解析に使用した基本的なデータについて</p> <p>(1) 遮蔽材の密度について 解析で使用した遮蔽材の密度は、ばらつきを考慮し、最小密度としている。 金属材料の最小密度は、文献値や購入実績を参考にして定めたメーカー設定値である。レジンの最小密度は、メーカーで保証値を定めて、密度測定により保証値を下回らないことを確認している。(第 3-1 表参照)</p> <p>(2) 遮蔽厚さについて 解析モデルの各種寸法は、公称値でモデル化している。遮蔽厚さは、各遮蔽体の最小密度に係数(最小寸法/公称寸法)を乗じることで、解析において最小厚さの評価となるようにしている。</p> <p>(3) 元素組成について ガンマ線の遮蔽能力は、ほぼ密度で決まるため微量元素の影響は無視できる。 中性子の遮蔽能力は、特定の元素である水素の密度で決まり、その他の元素の寄与は少ないため、微量元素の影響は無視できる。また、組成のばらつきの影響は、無視できるレベルである。</p>	<p>遮蔽解析のモデル化の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>中央において燃料を 2 分割し、頭部モデルにおいては安全側に使用済燃料を蓋に接したモデルとしている。この際、バスケットは底に接した状態のまま(バスケットから燃料構造材の先端が飛び出したモデル)とする。したがって、遮蔽解析モデルとしては、使用済燃料上端と蓋底面との隙間分だけ使用済燃料が頭部に近くなるため、保守的な評価である。</p> <p>モデル化において、燃料長さは維持されており、金属キャスク中央部の評価に影響することはない。また、バスケットから燃料構造材の先端が飛び出したモデルであるため、軸方向に燃料構造材のみの領域とバスケットと燃料構造材からなる領域ができることになる(ハンドル部は 2 領域になる。)</p> <p>(2) バスケット外周部</p> <p>燃料領域より外側のバスケット部は、板材を組み合わせる構造であることから、最外周のバスケット板厚と同一の円環としてモデル化している。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも、円環としてモデル化したバスケットの物量の方が少なく、遮蔽体としては安全側の設定である(別紙 1-3 図参照)。</p> <p>(3) 中性子遮蔽体領域</p> <p>伝熱フィンのような小さなものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとし、伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また、伝熱フィンの密度をゼロとしガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している。安全側であることの確認結果を別紙 4 に示す。</p> <p>(4) トラニオン部の評価方法</p> <p>トラニオン部については、実形状を模擬して別途モデル化し、DOT3.5を用いて評価している。</p> <p>トラニオンを無視した本体モデルにて得られたトラニオン付近の線束を、別途モデル化したトラニオンR-Z軸対称モデル(ト</p>	<p>(2) バスケット外周領域</p> <p>燃料領域より外側のバスケット部は、板材を組み合わせる構造であることから、バスケット最外周板厚と同一の円環としてモデル化している。燃料領域より外側のバスケットの物量よりも、円環としてモデル化したバスケットの物量の方が少なく、遮蔽体としては安全側である。(別添 1-2 図参照)</p> <p>(3) 中性子遮蔽体領域</p> <p>伝熱フィンのような小さなものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとし、伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また、伝熱フィンの密度をゼロとしガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している。(別添 1-4 表参照)</p> <p>伝熱フィンをモデル化した場合に、中性子とガンマ線の合計最大値は、ガンマ線の寄与が大きいため、伝熱フィン部よりもレジン部で線量当量率が大きくなっており、中性子は、伝熱フィン部で最大となっている。線量当量率が過小評価とならないことを確認している。(別添1-3図(1), 別添1-3図(2)参照)</p> <p>(4) トラニオン部の評価手法</p> <p>トラニオンのような一部に大きなものが配置された場合には、実形状を模擬したトラニオンを別途モデル化して評価している。</p> <p>トラニオンを無視した本体モデルにて得られた線束を別途モ</p>	<p>主な遮蔽材料である炭素鋼について、微量元素を無視しても線量当量率に有意な影響を与えないことを確認している。(第 3-2 表～第 3-4 表参照)</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>ラニオン有モデル/無モデル)に引継いでいる。概略図を別紙1-5図に示す。トラニオン部は、トラニオン中心を通る断面でトラニオン底面及び金属キャスク本体の一部を含めモデル化している。</p> <p>トラニオン部の線量当量率は、トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの計算結果より線種ごとの計算結果の差を求め、本体モデルの計算結果にその差異を考慮して評価する。トラニオン部の評価の詳細を別紙5に示す。</p> <p>3. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について</p> <p>HDP-69B(B)型の貯蔵期間中に受ける放射線の照射量はわずかであり、遮蔽材の特性を変化させることはない。</p> <p>ただし、中性子遮蔽材であるレジンについては、設計貯蔵期間後の熱による質量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている。</p> <p>中性子遮蔽材であるレジンの長期使用による質量減損は、劣化パラメータにより次式で表される。</p> $\Delta w = 0.83 \times 10^{-3} \times E_p^{-11.1} \quad (1)$ <p>ここで、</p> <p>Δw : レジンの質量減損率 (%)</p> <p>E_p : 劣化パラメータ = $T \times (24.2 + \ln(t))$</p> <p>T : レジン温度 (K)</p> <p>t : レジン加熱時間 (h)</p> <p>設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過時までのレジンの減損率は約 1 % となる。これを丸めて 2 % の減損があるとして評価する。</p>	<p>デル化したトラニオンR-Z軸対称モデルの境界線源として評価する。概略図を別添 1 - 4 図に示す。トラニオン部は、トラニオン中心を通る断面でトラニオン底面及び本体の一部を含めてモデル化し、トラニオンモデルの底面で線束の引継ぎを行っている。</p> <p>トラニオン部の線量当量率は、トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの計算結果より線種ごとの計算結果の差を求め、本体モデルの計算結果にその差異を考慮して評価する。別添 1 - 5 図(1)～別添 1-5 図(4)に線量当量率分布を示す。なお、トラニオンによる線量当量率の増加は、別添 1-5 図(5)に示すように、主にトラニオン周囲で生じており、距離が離れるにしたがって、その影響は減衰するため、表面から 1m の位置における最大線量当量率を示すのは側部中央部となる。なお、本体モデルは、キャスク中央付近で二分割して評価しており、側部中央部の線量当量率には大きな方の値を採用する。(添付 2 参照)</p> <p>3. 貯蔵期間中の遮蔽性能の低下について</p> <p>金属キャスクの貯蔵期間中に受ける放射線の照射量はわずかであり、遮蔽材の特性を変化させることはない。</p> <p>レジン系中性子遮蔽材の経年劣化評価試験結果の知見を踏まえて、加熱に伴う熱分解によるレジンの重量減損分を遮蔽体として考慮しないこととしており、中性子遮蔽材について減損分を含まない原子個数密度を線量当量率計算に用いている。</p>		<p>貯蔵期間中の遮蔽性能の低下の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p style="text-align: center;">別紙 2</p> <p style="text-align: center;"><u>ピーキングファクターについて</u></p> <p>HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の線源強度を算出する際に用いるピーキングファクター(以下「PF」という。)は、HDP-69B(B)型が収納対象とする使用済燃料の軸方向の燃焼度を想定して設定したものである。別紙 2-1 表、別紙 2-1-1 図及び別紙 2-1-2 図に配置(i)、(iii)及び(ii)で収納対象とする使用済燃料それぞれのPFを示す。</p> <p>別紙 2-1 表、別紙 2-1-1 図及び別紙 2-1-2 図に示す PF は、HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の前提条件であり、収納する使用済燃料の軸方向燃焼度が本 PF に包絡されることは、事業許可申請において確認されるものとする。なお、包絡されない使用済燃料については、HDP-69B(B)型の収納対象外とする。</p>	<p>4. 遮蔽解析結果について</p> <p>二次元輸送計算コードDOT3.5 を使用して求めた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別添 1-5 表に、評価点ごとの最大線量当量率を与える位置を別添 1-6 図に示す。</p> <p style="text-align: center;">添付 1</p> <p style="text-align: center;">燃料領域の遮蔽解析の妥当性について</p> <p>1. 金属キャスクの収納条件について</p> <p>キャスクの収納条件では、中央部に平均燃焼度以上の使用済燃料集合体、外周部に平均燃焼度以下の使用済燃料集合体を配置している。この収納条件は、平均燃焼度を超える使用済燃料集合体を側部線量当量率への寄与の小さい中央部に収納することで遮蔽体としての効果を期待している。</p> <p>また、各領域で最大の線源強度を設定していることから、線源強度として保守性を有している。(添付 1-1 図参照)</p> <p>線量率として、外周部の平均燃焼度燃料集合体によって中央部の最高燃焼度燃料集合体の放射線が完全に遮蔽されることはないため、総線源強度として平均燃焼度の使用済燃料集合体をすべて収納した場合の線量当量率を上回る。なお、収納条件の制約から外周部に平均燃焼度以上の使用済燃料集合体を配置することはない。</p> <p>2. 遮蔽解析における収納配置及び軸方向燃焼度分布の妥当性について</p> <p>(1) 収納配置の妥当性について</p> <p>金属キャスクの遮蔽設計では、中央部に最高燃焼度の使用済燃料集合体、外周部に平均燃焼度の使用済燃料集合体を配置しており、軸方向については、階段状の燃焼度分布を設定している。</p> <p>解析においては、最高燃焼度及び平均燃焼度に対して、階段状の分布を掛け合わせて、軸方向の燃焼度分布を考慮している。軸方向領域(ノード)のそれぞれの燃焼度から、軸方向領域(ノード)</p>	<p>ピーキングファクターの記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>線量当量率の分布について</p> <p>本文の表 2-7-1 に対応する各評価方向における線量当量率の分布図を別紙 3-1-1 図から別紙 3-1-6 図に示す。また、本文の表 2-7-2 に対応する各評価方向における線量当量率の分布図を別紙 3-</p>	<p>別紙 3</p> <p>ド) ごとの線源強度を算出している。二次元輸送計算コード D O T 3.5 の解析では、最高燃焼度及び平均燃焼度の使用済燃料集合体に対して、軸方向領域(ノード)ごとに計算した線源強度を入力値にして、収納条件を包絡するように、線源強度を設定している。</p> <p>(2) 軸方向燃焼度分布の妥当性について</p> <p>軸方向燃焼度分布(ピーキングファクタ:PF)は、以下のようにして設定しており、対象とする使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を包絡できるようにしている。</p> <p>a. PF 設定の考え方</p> <ul style="list-style-type: none"> ・キャスク設計においては、燃焼度の高い使用済燃料集合体の線源強度が高く、遮蔽性能の評価で重要であるため、燃焼度の高い取替燃料の PF を調査する。 <p>なお、高いピーキングを示す比較的低い燃焼度の使用済燃料集合体も調査の対象とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵対象となる使用済燃料集合体が装荷されたプラントの炉型毎に代表プラントを選定し、調査を実施した。 <p>b. 調査項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ a で設定したプラントの取出燃料の燃焼度、PF を調査した。 ・ 燃焼度の最も高い上位 10 体及びピーキングの最も高い上位 10 体の軸方向燃焼度を調査した。 <p>c. PF の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ a 及び b で調査したデータから各プロットを線で結び、ピーキングを包絡するように PF を設定した。(添付 1-2 図参照) ・ BWR 用大型キャスク(タイプ 2 A)に収納する新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料の軸方向領域ごとの線源強度の算定結果の例を添付 1-1 表に示す。 <p>(別添 1 金属キャスクの遮蔽解析について「2. 遮蔽解析のモデル化について」(p. 50) に記載)</p>	<p>線量当量率の分布の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2-1 図から別紙 3-2-6 図に示す。</p> <p style="text-align: right;">別紙 4</p> <p style="text-align: center;"><u>中性子遮蔽体領域のモデル化について</u></p> <p>伝熱フィンのような小さなものが比較的多く配置されている中性子遮蔽体領域では、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルとし、伝熱フィンが占有する面積を考慮して、中性子遮蔽体としてのレジンの均質化密度を安全側に低下させている。また、伝熱フィンの密度をゼロとしガンマ線遮蔽体としての寄与を無視している。</p> <p>この手法の保守性を確認するため、HDP-69B(B)型の燃料有効部中心高さでの輪切り断面を対象に、レジンと伝熱フィンを均質化したモデルと、実形状にモデル化した計算を実施し、線量当量率を比較した。計算には二次元輸送計算コード DOT3.5 の R-θ 体系を使用した。レジンと伝熱フィンを実形状としたモデルを別紙 4-1 図に示す。</p> <p>配置(i)を対象としたときのレジンと伝熱フィンを実形状とした計算結果を別紙 4-1 表に示す。</p> <p>伝熱フィンをモデル化した場合、中性子とガンマ線の合計線量当量率は、ガンマ線の寄与が大きいため、伝熱フィン部よりもレジン部で大きくなっており、中性子の線量当量率は、伝熱フィン部で最大となっているが、レジンと伝熱フィンを均質化した本手法の線量当量率より小さく、本手法が過小評価とならないことを確認している（別紙 4-2 図及び別紙 4-3 図参照）。</p> <p style="text-align: right;">別紙 5</p> <p style="text-align: center;"><u>トランニオン部のモデル化について</u></p> <p>1. トランニオン部の評価方法 金属キャスク本体の計算は二次元計算コードの制約から円筒</p>	<p>(別添 1 金属キャスクの遮蔽解析について「2. 遮蔽解析のモデル化について」(p. 50) に記載)</p> <p style="text-align: right;">添付 2</p> <p style="text-align: center;">トランニオン部の遮蔽解析の妥当性について</p> <p>1. トランニオン部の評価方法の妥当性 表面の線量当量率が最も高くなる底部トランニオン表面を、三</p>		<p>中性子遮蔽体領域のモデル化の記載は同等</p> <p>トランニオン部のモデル化の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>モデルを使用しておりトラニオンが模擬できない。このため、トラニオン部を対象にモデル化した別計算で、本体モデルに対するトラニオン有無の影響を評価し、本体モデルの結果を補正することでトラニオン部の線量当量率を評価している。</p> <p>(1) モデル化方法</p> <p>トラニオン部については、実形状を模擬して別途モデル化し、DOT3.5を用いて評価している。別紙 5-1 図に示すとおり、トラニオンを無視した本体モデルにて得られたトラニオン付近の線束を、別途モデル化したトラニオン R-Z 軸対称モデル(トラニオン有モデル/無モデル)に引継いでいる。トラニオン部は、トラニオン中心を通る断面でトラニオン底面及び金属キャスク本体の一部を含めモデル化している。</p> <p>(2) 接続位置の対応</p> <p>接続位置として線束の引継ぎ面は、本体モデルの線量当量率等高線分布から放射線の流れを確認し、本体モデルの分布が保たれるようトラニオンモデルの線束引継ぎを行った。</p> <p>本体モデル、トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの底部側の線量当量率等高線分布((配置(i)の中性子))とトラニオンモデル線束引継ぎ面を別紙 5-2 図に示す。</p> <p>(3) 角度束の扱い</p> <p>引継ぐ線束は、本体モデルの燃料有効部側(金属キャスク側)の Z 方向と R 方向の角度束をトラニオンモデルの底面(R 方向)と側部(Z 方向)の角度束に入れ替えているため、トラニオンモデルでは底部、側部とも全周にわたり線束が高い燃料有効部側の値になっており、トラニオン部の中心軸に対して軸対称に高い線束で評価している(別紙 5-1 図参照)。</p> <p>(4) トラニオン部の線量当量率評価結果の補正</p> <p>トラニオン部の線量当量率は、トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの計算結果より線種ごとの計算結果の差を求め、本体モデルの計算結果にその差異を考慮して評価している。具体的には下式のようなになる。</p> <p>トラニオン部の線種ごとの線量当量率 = (本体モデル) + ((トラニオン有モデル) - (トラニオン無モデル))</p>	<p>次元計算コード M C N P 5 (ライブラリ FSXLIB-J33, MCPLIB02) で計算した結果を添付 2-1 表, 添付 2-1 図, 添付 2-2 図に示す。二次元輸送計算コード D O T 3.5 の二次元円筒モデルをつないで評価した申請値は、三次元計算結果より保守的な値となっている。</p> <p>2. トラニオン部 D O T 3.5 計算モデル範囲外の線量当量率の評価方法</p> <p>(1) 接続位置の対応</p> <p>接続位置として線束の引継ぎ面は、本体モデルの線量当量率等高線分布から放射線の流れを確認し、本体モデルの分布が保たれるようトラニオンモデルの線束引継ぎを行った。(添付 2-3 図参照)</p> <p>(2) 角度束の扱い</p> <p>引き継ぐ線束は、本体モデルの燃料有効部寄り(キャスク中心)の R 方向と Z 方向に平行な面の角度束をトラニオンモデルの底面(R 方向)と側部(Z 方向)の角度束に入れ替えているため、トラニオンモデルでは底部、側部とも全周にわたり線束が高い燃料有効部寄りの値になっており、トラニオン部の中心軸に対して線対称に高い線束で評価している。(添付 2-4 参照)</p> <p>(3) メッシュ分割</p> <p>メッシュ分割の違いの処理に関して、本体モデルに比べてトラニオンの分割は細かく、完全に一致させることができないため、トラニオンモデルのメッシュと同じ領域にある本体モデルの線束を入力値としている。(添付 2-5 図参照)</p> <p>本体モデル、トラニオン有モデルとトラニオン無モデルの底部側の線量当量率等高線分布(中性子)とトラニオンモデル線束引継ぎ面を添付 2-3 図に示す。</p> <p>(4) 範囲外の線量当量率</p> <p>トラニオン部 D O T 計算モデル範囲外の線量当量率については、添付 2-6 図に示すように本体モデルの線量当量率に S P A C E T R A N - III により求めたトラニオンによる線量当量率の増加分を重ね合わせた。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>ただし、(トラニオン有モデル)<(トラニオン無モデル)の場合は、保守的に(本体モデル)の結果をそのまま採用している。</p> <p>2. トラニオン部の評価方法の妥当性確認</p> <p>表面の線量当量率が最も高くなる配置(i)の底部トラニオン表面を、別紙 5-3 図に示す三次元計算モデルを用いて、三次元計算コード MCNP5 で計算した。計算条件を別紙 5-1 表、分散低減手法の妥当性確認内容を別紙 5-2 表に示す。また、計算結果を別紙 5-3 表、線量当量率分布を別紙 5-4 図に示す。二次元円筒モデルの線束引継ぎにより二次元輸送計算コード DOT3.5 で計算した結果は、三次元計算結果より保守的な値となっており、二次元円筒モデルの線束引継ぎによる評価結果は妥当である。</p> <p>なお、二次元計算では、トラニオンモデルに線束を引継ぐ際、保守的となるように本体モデルの燃料有効部側(金属キャスク中心側)の角度束を用いて評価している。このため、トラニオン部の評価では保守的な線束が全周から入射する条件となり、実際の入射線束よりも高い線束で評価していることから、三次元計算コードでの評価結果に比べ高くなっている。</p> <p style="text-align: right;">別紙 6</p> <p>二次元輸送計算コードで使用する断面積ライブラリについて</p> <p>HDP-69B(B)型の線量当量率評価は、最も実績のある手法である二次元輸送計算コード DOT3.5 と断面積ライブラリ DLC-23/CASK の組合せを採用している。しかし、このライブラリは鉄等の共鳴領域の反応を補正する自己遮蔽因子を考慮していないことから、鉄透過の際に中性子線量率を過小評価することが知られている。このため、共鳴領域の自己遮蔽因子を考慮できる新しいライブラリ MATXSLIB-J33 を用いた評価も実施した。</p> <p>1. 遮蔽解析条件</p> <p>ライブラリ以外の計算条件は DLC-23/CASK を使った計算と同一とした。</p>	<p style="text-align: right;">別添 2</p> <p>二次元輸送計算コードで使用する断面積ライブラリについて</p> <p>1. 断面積ライブラリの妥当性</p> <p>金属キャスクの遮蔽解析では、最も実績のある手法である二次元輸送計算コード DOT3.5 及び断面積ライブラリ DLC-23/CASK の組合せで評価をしている。しかし、本断面積ライブラリは、鉄等の共鳴領域の反応を補正する自己遮蔽因子が考慮されていないため、鉄透過の際の中性子線量当量率を過小評価することが文献等で知られている。</p> <p>そこで、鉄の共鳴領域の自己遮蔽因子も考慮でき、中性子線量当量率の評価が向上するとされている断面積ライブラリ MATXSLIB-J33 を用いた BWR 用大型キャスク(タイプ 2 A)の金属キャスク表面及び同表面から 1m 位置の線量当量率による</p>	<p>二次元輸送計算コードで使用する断面積ライブラリの記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>炭素鋼の組成については DLC-23/CASK を使った計算と同様に微量元素を無視したが、DLC-23/CASK ではデータがなかったため無視していたほう素の同位体(B-11)については、MATXSLIB-J33 ではデータが存在するため考慮した。</p> <p>2. 遮蔽解析結果</p> <p>新しいライブラリ MATXSLIB-J33 を用いた場合と、DLC-23/CASK を用いた場合の線量当量率評価結果を別紙 6-1 表及び別紙 6-2 表に示す。別紙 6-1 表、別紙 6-2 表は、それぞれ配置 (i)、配置 (ii) の評価結果である。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を別紙 6-1 図に示す。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置は、配置 (i)、(ii) とともに同じ位置である。</p> <p>以上より、MATXSLIB-J33 を使用した場合でも表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率が、それぞれ 2mSv/h 及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認した。</p>	<p>評価⁽¹⁾を確認・分析した結果、金属キャスク表面における最大線量当量率は 1.811 mSv/h であり 2 mSv/h 以下となること、金属キャスク表面から 1m の位置における最大線量当量率は 98.6 μ Sv/h であり 100 μ Sv/h 以下となること、それぞれ確認されている (第 4-1 表)。</p> <p>添付 4-2 使用済燃料貯蔵建屋の放射線の遮蔽に関する説明書 (省略)</p>	<p>(使用済燃料貯蔵建屋の放射線の遮蔽に関する補足説明) (省略)</p>	<p>R F S 固有の安全設計による相違</p>

第4-2表 (3/5) 型式指定申請書の記載の比較 (使用済燃料等の閉じ込め)

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 4 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書</p> <p>1. 設計方針</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、本型式設計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である金属キャスクの設計貯蔵期間 60 年を評価条件として、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持する設計とする。HDP-69B(B)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、二次蓋及び一次蓋貫通孔シール部には、使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有する金属ガスケットを用いる。なお、一次蓋と二次蓋の間(以下「蓋間」という。)を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納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。</p> <p>また、本型式設計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から、以下の項目を、HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の条件とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクの設計貯蔵期間：60 年以下 	<p>添付 2 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書</p> <p>1. 概要</p> <p>本資料は、使用済燃料貯蔵施設の閉じ込めの機能に関する設計方針が、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第 11 条(閉じ込めの機能)に適合することを説明するものである。</p> <p>閉じ込めの機能に関する設計結果は「添付 2-1 金属キャスクの閉じ込めの機能に関する説明書」に示す。</p> <p>2. 基本設計方針</p> <p>使用済燃料貯蔵施設は、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。</p> <p>(1) 金属キャスクは、放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間(50 年間)に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 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とする。</p> <p>また、使用済燃料集合体及びバスケットの健全性を維持するため、金属キャスクの内部の空間を不活性雰囲気を保つ設計とする。</p> <p>(2) 金属キャスクは、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ができる設計とする。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。</p> <p>(3) 金属キャスクは、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</p>	<p>設 2-補-002 使用済燃料等の閉じ込めについて</p> <p>1. 目的</p> <p>本資料は、今回申請する金属キャスクの基準漏えい率の根拠とした試験結果の妥当性及び閉じ込め異常に対する設計上の考慮や運用方針(設計の実現性)について補足し、今回申請する金属キャスクによる閉じ込めについてより詳しく説明するものである。</p>	<p>設計方針の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2. HDP-69B(B)型の閉じ込め設計</p> <p>2.1 閉じ込め機能に関する構造</p> <p>HDP-69B(B)型の閉じ込め構造を図 2-1 に、シール部詳細を図 2-2 に、金属ガスケット構造（ばね入りメタルCリング、眼鏡型）を図 2-3 に示す。</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、以下の配慮を行う。</p> <p>a. HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体及び蓋部により使用済燃料を収納する空間を金属キャスク外部から隔離し、設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。</p> <p>b. HDP-69B(B)型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、その蓋間をあらかじめ正圧とし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。また、使用済燃料を収納する空間に通じる貫通孔（ベント及びドレン用）のシール部を一次蓋に設ける。</p> <p>c. 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。なお、設計貯蔵期間を通じて金属ガスケットが使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有していることを確認できるよう、蓋及び蓋貫通孔のシール部にリークチェック孔を設ける。金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間を通じて、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を収納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、使用済燃料を収納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ための圧力センサを取り付けることができる貫通孔を二次蓋に設けることにより閉じ込め機能を監視する。</p>	<p>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。</p> <p>3. 閉じ込め構造の設計方針</p> <p>金属キャスクは、放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため、以下の配慮を行う。</p> <p>(1) 金属キャスクは、本体胴及び蓋部により使用済燃料集合体を内封する空間を外部から隔離し、設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて負圧に維持する。</p> <p>(2) 金属キャスクは、蓋部を一次蓋及び二次蓋の多重の閉じ込め構造とし、その蓋間をあらかじめ正圧とし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。また、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。</p> <p>(3) 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。金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 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。</p> <p>なお、蓋間の圧力が徐々に低下する場合には、適宜、蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。その際、累積のヘリウム充填量を管理し、過剰な充填とならないようにする。</p> <p>(4) 金属キャスクは、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、三次蓋を追加装着できる構造を有する。</p>	<p>閉じ込め機能に関する構造の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
d. 一次蓋と二次蓋から成る閉じ込め機能が喪失した場合であっても、三次蓋を取り付けて輸送できる設計とする。	<p>4. 閉じ込め機能の監視の設計方針</p> <p>金属キャスクの閉じ込め機能が確保されていることを適切に監視するため、金属キャスクの蓋間圧力を測定するとともに、監視盤室に表示、記録する。</p> <p>蓋間圧力が基準設定値より低下したときは、監視盤室及び事務建屋に警報を発するようにする。</p> <p>蓋間圧力検出器は、点検中及び不具合時においても蓋間圧力を測定できるよう二系統設ける。</p> <p>5. 閉じ込め機能の異常を考慮した設計の方針</p> <p>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ため、内部の気体が外部に流出することはない。</p> <p>蓋間圧力の監視により蓋間の圧力が急激に低下し、閉じ込め機能に異常が認められた場合、以下のとおり対応する。</p> <p>(1) 圧力監視系の点検を行い、圧力監視系からの漏えいが認められた場合には、漏えい箇所の特定を行い、当該箇所を修復の上貯蔵を継続する。</p> <p>(2) 圧力監視系に漏えいがなく、金属ガスケットの漏えいと考えられる場合には、二次蓋金属ガスケットの漏えい試験を行う。漏えい試験の結果、二次蓋に漏えいが認められた場合には、金属キャスク内部を負圧に維持されていることを間接的に確認し、さらに、蓋間圧力の低下の状況及び測定した二次蓋漏えい率より一次蓋の健全性を確認の上、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復して貯蔵を継続する。</p> <p>(3) 二次蓋金属ガスケットの漏えい試験の結果、二次蓋に漏えいが認められず、一次蓋の閉じ込め機能が異常であると考えられる場合には、契約先である原子炉設置者による搬出に向け、金属キャスクに三次蓋を追加装着した状態で適切に保管する。</p> <p>閉じ込め機能の異常時の対応手順の方針を図 5-1 に示す。</p>	<p>(「3. 閉じ込め機能の異常時の対応について」(p. 72) に補足説明を記載)</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2.2 閉じ込め評価</p> <p>金属キャスクの閉じ込め評価フローを図 2-4 に示す。HDP-69B(B)型の閉じ込め評価においては、以下の考え方にに基づき評価する。</p> <p>a. 閉じ込め評価では、設計貯蔵期間（60 年）にわたって金属キャスク本体内部圧力が負圧を維持できる漏えい率（以下「基準漏えい率 Q_s」という。）を求める。具体的な評価方法を別紙 1 に示す。</p> <p>b. 基準漏えい率 Q_s を求めるに当たっては、蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは金属キャスク本体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。大気圧は、気象変化による圧力変動を考慮した値として 9.7×10^4 Pa とする。また、収納された使用済燃料の破損により発生したガスによる圧力上昇を考慮する。なお、使用済燃料の破損率は、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 %）⁽²⁾、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 0.01 %以下）を考慮し、保守的な値として 0.1 % とする。</p> <p>c. 設計貯蔵期間後の金属キャスク本体内部の圧力は、蓋間圧力と金属キャスク本体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本体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。ここで、漏えい率は、シールされる流体、シール部及び金属キャスク本体内部の温度、シール部の上流側と下流側の圧力等に依存する。</p> <p>d. 使用する金属ガスケットが設計貯蔵期間を通じて確保可能な漏えい率（以下「金属ガスケットの設計漏えい率 Q_n」という。）は HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率 Q_s を満足できるものでなければならない。</p> <p>e. なお、貯蔵開始前の気密漏えい検査で確認される漏えい率の判定基準（以下「リークテスト判定基準 Q_t」という。）は、基準漏えい率 Q_s を下回るように設定する。</p>	<p>6. 閉じ込め性能評価の方針</p> <p>金属キャスクの閉じ込め評価フローを図 6-1 に示す。金属キャスクの閉じ込め性能評価においては、以下の考え方にに基づき評価する。</p> <p>(1) 閉じ込め性能評価では、設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間（以下「設計評価期間」という。）にわたって金属キャスク内部の負圧を維持できる漏えい率（基準漏えい率）を求める。</p> <p>(2) 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、蓋間圧力と金属キャスク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。</p> <p>(3) 金属キャスクの閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計評価期間にわたって金属キャスク内部の負圧が維持できるよう設定され、使用する金属ガスケットが確保可能な閉じ込め性能を満足していることを確認する。</p> <p>(4) 基準漏えい率を求めるに当たっては、金属キャスク内部の圧力を保守的に評価するため、蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは一次蓋から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 9.7×10^4 Pa を用いる。金属キャスク内部空間の圧力の算定においては、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%）及び日本の軽水炉における漏えい燃料発生率（0.01%以下）を考慮し、保守的な値として 0.1% を想定する。</p> <p>(5) なお、発電所搬出前の気密漏えい検査で確認される漏えい率の判定基準（リークテスト判定基準）は、基準漏えい率を下回るように設定する。</p>		<p>閉じ込め評価の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2.3 閉じ込め評価結果</p> <p>使用環境を考慮して評価した結果、HDP-69B(B)型の基準漏えい率 Q_s は $2.4 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ となる。評価の詳細を別紙 1 に示す。</p> <p>次に、金属ガスケットの性能は、金属キャスクのシール部が比較的高温下にあるため、長期貯蔵中のクリープによる応力緩和を考慮した上で評価する必要がある。応力緩和による漏えい率への影響については、ラーソン・ミラー・パラメータ（以下「LMP」という。）の考え方をを用いて評価する。ここで、（一財）電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果においては LMP の定数 C を $20^{(3)}$ 又は $16^{(4)}$ とした場合が報告されている。一方、原子力安全基盤機構における金属ガスケットの密封性能試験等では LMP の定数 C を $14^{(5)}$ とした場合が報告されている。LMP と漏えい率の関係は定数 C が 20 の場合は図 2-5⁽³⁾ に、14 の場合は図 2-6⁽⁶⁾ に示すとおり整理されている。ここで LMP の定数 C を 20 及び 14 とした場合に対し、それぞれの金属ガスケットの LMP が約 11×10^3 及び 8.0×10^3 を超えないように設計すれば、応力緩和を考慮しても初期の漏えい率が維持され、設計貯蔵期間を通じて $10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下を確保できることが示されている。</p> <p>HDP-69B(B)型の除熱評価の結果から、金属ガスケット部の温度は $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下である。この温度から設計貯蔵期間（60 年間）に相当する LMP を算出すると LMP の定数 $C=20$ の場合は約 9.6×10^3、$C=14$ の場合は約 7.4×10^3 となり、設計貯蔵期間を</p>	<p>添付 2-1 金属キャスクの閉じ込めの機能に関する説明書</p> <p>1. 設計方針 閉じ込めの機能に関する設計方針については、添付 2「使用済燃料等の閉じ込めに関する説明書」のとおりである。</p> <p>2. 閉じ込め設計 金属キャスクの閉じ込め構造を第 1 図に、シール部詳細を第 2 図に、金属ガスケット構造を第 3 図に、蓋間圧力監視装置の構成を第 4 図に示す。</p> <p>3. 閉じ込め性能評価結果 BWR 用大型キャスク（タイプ 2 A）の基準漏えい率を評価した結果、別添 1 のとおり $2.4 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ となる。 金属ガスケットの性能は、金属キャスクのシール部は比較的高温下にあるため、長期貯蔵中のクリープによる金属ガスケットの応力緩和を考慮した上で評価する必要がある。応力緩和による漏えい率の影響については、（一財）電力中央研究所で実施の長期密封性能試験結果を通じて、金属ガスケットの漏えい率とラーソンミラーパラメータ（以下「LMP」という。）の関係として第 5 図に整理されている。 金属キャスクの除熱評価における金属ガスケット部の制限温度は $130 \text{ }^\circ\text{C}$ としており、設計評価期間（60 年間）を考慮した LMP は第 5 図（破線）に示す。 第 5 図より、金属ガスケットの LMP が約 11×10^3 を超えないように設計すれば、応力緩和を考慮しても初期の漏えい率が維持でき、設計評価期間を通じて $10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下を確保できるとの結果が得られている。 更に、第 6 図に示す（一財）電力中央研究所で実施の実規模のキャスクの蓋モデルによる長期密封性能試験結果において、試験開始から 19 年以上（平成 2 年 10 月から平成 22 年 1 月）経過した二次蓋閉じ込め部の漏えい率に変化はなく、試験開始時と同等の閉じ込め性能を保持することが確認されている。また、東海第二発電所の乾式貯蔵容器の調査において、約 7 年間経過した金属ガスケットの一次蓋密封性能は、貯蔵初期と同程度</p>	<p>閉じ込め評価結果の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>通じて初期の漏えい率が維持されると判断される。また、図 2-5 及び図 2-6 の LMP 計算式に示すとおり LMP の算出において定数 C に関しては単調増加し、C=16 の場合は C=14 と C=20 に包絡される。</p> <p>また、図 2-7 に示す（一財）電力中央研究所で実施された実規模の金属キャスクの蓋部モデルによる長期密封性能試験結果において、試験開始から 19 年以上（平成 2 年 10 月から平成 22 年 1 月）が経過した二次蓋閉じ込め部の漏えい率に変化はなく、金属ガスケットは試験開始時と同等の閉じ込め性能を保持することが確認されている⁽⁷⁾。なお、（一財）電力中央研究所の長期密封性能試験結果を適用することの妥当性は別紙 2 に示すとおりである。</p> <p>さらに、日本原子力発電株式会社東海第二発電所で行われた乾式貯蔵容器の調査において、約 7 年間経過した金属ガスケットの一次蓋シール部の漏えい率は、貯蔵初期と同程度（約 10^{-10} Pa・m³/s）に維持されているとの知見が得られている⁽⁸⁾。</p> <p>以上より、HDP-69B(B)型で使用する金属ガスケットの設計漏えい率 Q_n は、使用環境を考慮しても基準漏えい率 Q_s (2.4×10^{-6} Pa・m³/s) を満足する。</p> <p style="text-align: right;">別紙 1</p> <p>基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価方法及び評価結果</p> <p>1. 評価方法</p> <p>HDP-69B(B)型の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の計算フローを別紙 1-1 図に示す。また、漏えい率計算の概要を別紙 1-2 図に示す。</p> <p>HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率 Q_s は、設計貯蔵期間（60 年）経過後に金属キャスク本体内部の負圧が維持できるシール部の標準状態（大気圧、25 °C）での漏えい率である。</p> <p>基準漏えい率 Q_s は、貯蔵時における HDP-69B(B)型の温度、本体内部の空間容積及び圧力等を基に、金属キャスク本体内部の圧力が設計貯蔵期間経過後に大気圧となるように求めた漏え</p>	<p>(10^{-10} Pa・m³/s 程度) の知見が得られている¹⁾。</p> <p>BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）で使用する金属ガスケットの設計漏えい率は、使用環境を考慮しても基準漏えい率 (2.4×10^{-6} Pa・m³/s) を満足する。（別添 2 参照）</p> <p>なお、実際に使用する一次蓋、二次蓋の金属ガスケットが所定の漏えい率を満足することについては、発電所搬出前の気密漏えい検査において、基準漏えい率を下回るように設定したりリークテスト判定基準を満足することによって確認する。</p> <p style="text-align: right;">別添 1</p> <p>基準漏えい率の評価方法とその結果</p> <p>1. 評価方法</p> <p>金属キャスクの基準漏えい率計算フローを別添 1-1 図に示す。BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の評価条件を別添 1-1 表に示す。（添付 1 参照）</p> <p>① 金属キャスクの閉じ込め境界の漏えい率 Q_0 を設定する。この漏えい率は、使用済燃料集合体の貯蔵開始時のシール部圧力、温度条件での金属キャスクの閉じ込め境界（一次蓋）全箇所からの漏えい率の合計値として設定する。</p> <p>② 金属キャスク内部圧力の変化は、ボイル・シャルルの法則に基づき、以下のよう求める。</p>	<p>評価方法の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>い孔径 D_0 を用い、標準状態における漏えい率として算出される。HDP-69B(B) 型の蓋間から容器内への漏えい流路は、別紙 1-2 図に示すように、一次蓋の金属ガスケットからの流路と、一次蓋貫通孔のバルブカバー（二か所）の金属ガスケットからの流路がある。この二つの漏えい流路は金属ガスケットの仕様が異なるため、それぞれの金属ガスケット仕様を用いて個別に評価を行い、リークテスト判定基準 Q_t を適切に設定する。</p> <p>基準漏えい率 Q_s の計算過程を以下に示す。</p> <p>漏えい率は、日本原子力学会標準に基づき、以下の式①、②から求めている。時間が dt だけ変化する間に金属キャスク本体内部の圧力が dPd だけ変化する漏えい率を Q とすれば、金属キャスク本体内部空間容積は一定であることから、金属キャスク本体内部圧力の時間変化は、温度の違いを考慮してボイル・シャルルの法則により次式で与えられる。</p> <p>また、漏えい率 Q は以下のクヌッセンの式で求められる。</p> <p>蓋間圧力（上流側の圧力）P_u (Pa) を一定として、式③を時間 t で積分すれば、ある時間 t における金属キャスク本体内部圧力（下流側の圧力）$P_d = P_d(t)$ が得られる。</p> <p>上記を基に、一次蓋シール部で漏えいする場合の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t は、以下のように計算される。</p> <p>式④に、HDP-69B(B) 型の一次蓋シール部について、</p> <p>を代入して、金属キャスク本体内部圧力 P_d が 0.1 % の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇を考慮しても負圧を維持できる圧力となる漏えい孔径を繰り返し計算により求める。</p> <p>ここで、0.1 % の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇 ΔP は、次のとおり求められる。</p> <p>使用済燃料内の初期封入ガス分圧 P_{He}、FP ガス分圧 P_{FP} は次のとおり求められる。</p>	<p>また、ここで漏えい率 Q は以下のクヌッセンの式で求められる。</p> <p>このクヌッセンの式は、次のようにして用いる。</p> <p>金属キャスクの初期内部圧力が P_{d0}、蓋間圧力が P_{u0}、シール部の代表温度が T_0 のときの初期漏えい率が Q_0 であるとし、クヌッセンの式にこれらの値を代入して相当漏えい孔径 D_0 を求める。同じシールにおいて内部圧力が P_{d1}、蓋間圧力が P_{u1}、シール部の代表温度が T_1 に変化したときの漏えい率 Q_1 は、相当漏えい孔径 D_0 が変化しないものとして、クヌッセンの式にこれら圧力、温度を代入して求めることができる。</p> <p>③ 金属キャスク初期内部圧力 P_{d0}、蓋間圧力一定として、②-1 の式を時間 t で積分することにより、ある時間 t における金属キャスク内部圧力 P_d を求める。</p> <p>④ ③により求めた設計評価期間経過後の金属キャスク内部圧力 P_{df} が正圧の場合はより小さな漏えい率 Q_0 を、負圧の場合はより大きい漏えい率 Q_0 を設定して、①～③を繰り返す。設計評価期間経過後の金属キャスク内部圧力が使用済燃料の破損（0.1%）（添付 2 参照）によるガス放出に伴う圧力上昇分を考慮し、大気圧となる相当漏えい孔径 D_0 を求める。なお、大気圧は標準大気圧（101325 Pa（0.101 MPa））から気象変化による圧力変動を考慮した値 9.7×10^4 Pa abs を用いる。</p> <p>⑤ D_0 より②-2 式を用いて、基準漏えい率 Q_s を求める。基準漏えい率は、標準状態における漏えい率に換算する。</p> <p>⑥ リークテスト判定基準としては、設計評価期間経過後にさらに蓋間空間ガスの流入を仮定しても BWR 用大型キャスク（タイプ 2 A）内部圧力が負圧に維持できるように設定する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>0.1 %の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇は約 <input type="text"/> kPa (<input type="text"/> Pa を丸め) となる。同様に、高燃焼度 8 × 8 燃料で 0.1 %の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇を求めると約 <input type="text"/> kPa (<input type="text"/> Pa を丸め) となる。</p> <p>漏えい孔径を繰り返し計算により求めると、漏えい孔径 D_0 は以下のとおりとなる。</p> <p>また、リークテスト判定基準 Q_t としては、0.1 %の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇及び設計貯蔵期間経過後にさらに蓋間空間ガス全量の金属キャスク本体内部への流入を仮定した圧力上昇を考慮した許容圧力 (<input type="text"/> MPa) においても負圧を維持できる値とする。基準漏えい率と同様に計算すると、以下のようになる。</p> <p>次に、標準大気圧における基準漏えい率 Q_s とリークテスト判定基準 Q_t を算出する。標準状態の算出条件を別紙 1-1 表に示す。</p> <p>基準漏えい率 Q_s は、先に得られた漏えい孔径 $D_0 =$ <input type="text"/> <input type="text"/> m の漏えい孔に対して、別紙 1-1 表の条件をクヌッセンの式 (式②) に代入することで求められる。</p> <p>また、リークテスト判定基準 Q_t も同様に、漏えい孔径 $D_0 =$ <input type="text"/> m の漏えい孔に対して、別紙 1-1 表の条件をクヌッセンの式 (式②) に代入することで求められる。</p> <p>一方、バルブカバーシール部で漏えいする場合についても、金属ガスケットの断面径 $D = 5.6$ mm 及び金属ガスケット溝深さ $H =$ <input type="text"/> mm を用いて上記と同じ計算を実施することによって基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t が評価される。</p> <p>2. 評価結果</p> <p>別紙 1-2 表に、一次蓋シール部で漏えいした場合とバルブカバーシール部で漏えいした場合の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の比較を示す。別紙 1-2 表に示すとおり、一次蓋シール部で漏えいした場合とバルブカバーシール部で漏</p>	<p>2. 評価結果</p> <p>「1. 評価方法」に基づき評価した結果、別添 1-2 表のとおり、BWR 用大型キャスク (タイプ 2 A) の基準漏えい率は、2.4×10^{-6} Pa・m³/s、リークテスト判定基準は 1.6×10^{-6} Pa・m³/s となる。</p>	<p>評価結果の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>えいした場合の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t の評価結果は、同程度である。</p> <p>したがって、HDP-69B(B)型の基準漏えい率 Q_s 及びリークテスト判定基準 Q_t としては、より値の小さい一次蓋シール部で漏えいした場合を代表として、それぞれ $Q_s=2.4 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$、$Q_t=1.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ とする。また、これにより、気密漏えい検査においては、三か所の漏えい率の合計がリークテスト判定基準 Q_t を超えないように、それぞれの判定基準を設定することができる。</p>	<p style="text-align: right;">添付 1</p> <p style="text-align: center;">基準漏えい率の評価の詳細</p> <p>BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の基準漏えい率及びリークテスト判定基準の評価の詳細を以下に示す。</p> <p>金属キャスクの閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計評価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る。したがって、設計評価期間後に金属キャスク内部圧力が大気圧となるシール部の漏えい率が基準漏えい率である。</p> <p>漏えい率は、日本原子力学会標準¹⁾に基づき、以下の①、②式から求めている。時間 dt の間に金属キャスク内部の圧力が dPd だけ変化する漏えい率を Q とすれば、金属キャスク内空間容積は一定であることから、金属キャスク内部圧力の時間変化は、温度の違いを考慮してボイル・シャルルの法則により次式で与えられる。</p> <p>また、漏えい率 Q は以下のクヌッセンの式で求められる。</p> <p>②式を①式に代入すると</p> <p>蓋間圧力（上流側の圧力）P_u (Pa) を一定として、③式を時間 t で積分すれば、ある時間 t における金属キャスク内部圧力 $P_d = P_d(t)$ が得られる。つまり、</p> <p>④式に、BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）について</p> <p>を代入して、金属キャスク内部圧力 P_d が 0.1 %の燃料破損¹⁾ によるガス放出を想定した圧力上昇を考慮しても負圧を維持できる圧力となる漏えい孔径を繰り返し計算により求める。</p> <p>使用済燃料内空間の初期封入ガス分圧 P_{He}、FP ガス分圧 P_{FP} は次のとおり求められる。</p> <p>0.1 %の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇は約 0.2 kPa (135 Paを丸め) となる。同様に、高燃焼度 8 × 8 燃料で 0.1%</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇を求めると約0.2 kPa (138 Paを丸め) となる。</p> <p>漏えい孔径を繰り返し計算により求めると、漏えい孔径D_0は以下のとおりとなる。</p> <p>$P_d(t=60年) = 9.7 \times 10^4 - 0.2 \times 10^3 \text{ Pa} = 9.68 \times 10^4 \text{ Pa}$のとき、$D_0 = 5.482 \times 10^{-6} \text{ m}$</p> <p>また、リークテスト判定基準としては、0.1%の燃料破損によるガス放出を想定した圧力上昇及び設計評価期間経過後にさらに蓋間空間ガスの金属キャスク内部への流入を仮定した圧力上昇を考慮した許容圧力 (0.091 MPa) においても負圧を維持できる値とする。基準漏えい率と同様に計算すると、以下のようになる。</p> <p>$P_d(t=60年) = 9.1 \times 10^4 \text{ Pa}$のとき、漏えい孔径：$D_0 = 4.907 \times 10^{-6} \text{ m}$</p> <p>次に、標準大気圧における基準漏えい率とリークテスト判定基準を算出する。標準状態の算出条件を添付 1-1 表に示す。</p> <p>基準漏えい率Q_sは、先に得られた漏えい孔径$D_0 = 5.482 \times 10^{-6} \text{ m}$の漏えい孔に対して、添付 1-1 表の条件をクヌッセンの式 (②式) に代入することで求められる。</p> <p>$Q_s = 2.4 \times 10^{-6} \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s)}$</p> <p>また、リークテスト判定基準$Q_t$も同様に、漏えい孔径$D_0 = 4.907 \times 10^{-6} \text{ m}$の漏えい孔に対して、添付 1-1 表の条件をクヌッセンの式 (②式) に代入することで求められる。</p> <p>$Q_t = 1.6 \times 10^{-6} \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s)}$</p> <p style="text-align: right;">添付2</p> <p style="text-align: center;">使用済燃料の破損の仮定について</p> <p>閉じ込め性能評価での基準漏えい率の算出に当たっては、日本原子力学会標準¹⁾に基づき使用済燃料破損率0.1%を用いている。使用済燃料破損率0.1%は、米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料の発生率 (約0.01%) と日本の軽水炉における漏え</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>い燃料発生率（約0.01%以下）を考慮し保守的な値として定めたものである。</p> <p>1. 米国の漏えい燃料発生率（約0.01%）について¹⁾ 米国にて実施された使用済燃料の長期貯蔵時の健全性試験の結果、通常燃料を貯蔵した場合に2本の燃料棒に漏えいが生じていたとPNNL-11576²⁾により報告されている。試験対象の燃料棒は約16700本であることから、燃料の破損率を約0.01%としている。</p> <p>2. 日本の軽水炉における漏えい燃料発生率（0.01%以下）について¹⁾ 日本においては、発電所内の貯蔵容器の抜取調査では、燃料の漏えいは認められていないが、運転中の漏えい燃料発生確率は、BWR燃料で約0.01%（添付2-1図参照：東京電力ホールディングス株式会社の集計データ）、PWR燃料で約0.002%（添付2-2図参照：関西電力株式会社の集計データ）である。 米国の基準では、NRC発行のInterim Staff Guidance (ISG)-1³⁾「機能に基づく中間貯蔵及び輸送における使用済燃料の状態分類」に規定されているとおり、ピンホールやヘアクラックのある漏えい燃料であっても非損傷燃料として扱っており、このような使用済燃料についてあらかじめ収納されることを考慮している（添付2-3図参照）。</p> <p>一方、我が国においては、金属キャスクで貯蔵する使用済燃料集合体は健全性を確保した使用済燃料集合体であり、金属キャスクに収納する時点において、健全であることを、運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により確認することとしており、漏えい燃料は収納されることはない。</p> <p style="text-align: right;">別添 2</p> <p style="text-align: center;">金属ガスケットの性能について</p> <p>1. 漏えい率とラーソンミラーパラメータとの関係 （一財）電力中央研究所で実施された金属ガスケットの長期密封性能試験の結果として、初期の密封性能が保持できる</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>温度と時間が整理されている。漏えい率とラーソンミラーパラメータ(以下「LMP」という。)の関係は、材料定数C=20として別添2-1図のとおりとなっている。金属キャスクの除熱評価における制限温度は130℃であり、初期温度を130℃として、崩壊熱の減衰を無視して、LMPが11×10^3となる時間を求めると約2,000年となる。</p> <p>2. 金属ガスケットの断面径、直径等の影響</p> <p>(一財) 電力中央研究所での長期密封性能試験の金属ガスケット仕様及びリサイクル燃料備蓄センターで使用する金属ガスケット仕様の比較を別添2-1表に示す。併せて、参考として使用済燃料集合体の所内での乾式貯蔵の実績がある東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所、日本原子力発電(株)東海第二発電所で使用されている金属ガスケットの仕様も示す。</p> <p>以下のとおり一部相違点はあるが、リサイクル燃料備蓄センターで使用する金属ガスケットについては、金属キャスクの使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できる閉じ込め性能を有する。</p> <p>(1) 金属ガスケットのタイプと材質</p> <p>リサイクル燃料備蓄センターで使用する金属キャスクに適用される金属ガスケットのタイプと材質は、(一財) 電力中央研究所の長期密封性能試験^{1), 2), 3)}の金属ガスケットと同じである。</p> <p>(2) 断面径の違い</p> <p>(一財) 電力中央研究所での長期密封性能試験^{1), 2)}によれば、断面径 5.5 mm の金属ガスケットにおいて、初期の閉じ込め性能を保持できる限界のLMPは11.0×10^3とされている。</p> <p>また、(一財) 電力中央研究所での実規模のキャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験³⁾によれば、断面径 6.1 mm の金属ガスケットにおいて、温度が130~140℃一定に保たれた状態で、19年以上にわたって漏えい率がほとんど変化しないことが確認されている。(別添2-2図参照)</p> <p>金属ガスケットによる気密性は、ボルトによる蓋とフランジの締付けで圧縮された金属ガスケットの外被がガスケット内部のコイルスプリングの反力によって蓋及び本体胴フランジに密</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(一財) 電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性</p> <p>2. 妥当性の説明</p>	<p>着することで確保される。コイルスプリングは締め付けにより楕円変形する。したがって、断面径が大きいほどフランジへの外被の密着面積は広範囲に得られる。断面径の違いについては、原子力発電技術機構で行われた断面径 10 mm, 3.3 mm, 2 mm の金属ガスケットの密封性能試験⁴⁾において、断面径が大きいものほど高いLMP値まで漏れにくい傾向があることが報告されている。</p> <p>また、原子力発電技術機構で行った断面径 10 mm の金属ガスケットの密封性能試験⁴⁾では、LMPが 11.9×10^3 までにおいて、この間で漏えいの有意な増加がないことが確認されている。(別添 2-3 図参照)</p> <p>リサイクル燃料備蓄センターで使用する金属ガスケットの断面径は 5.6 mm, 10 mm であり、(一財) 電力中央研究所の試験と同等の閉じ込め性能を有する。</p> <p>(3) 直径 (フープ径) の違い</p> <p>金属ガスケットの直径 (フープ径) においては、ガスケットの周方向に同一の漏えい孔が等間隔に存在すると考えれば、漏えい率はガスケットの周長に比例する。</p> <p>(一財) 電力中央研究所の密封性能試験に関する論文¹⁾には、フープ径を縮尺したガスケット試験の漏えい率及び実機レベルのガスケットの漏えい率の比較から、漏えい率は周長比に比例するとの考えが示され、また、原子力発電技術機構の密封性能試験に関する報告書⁵⁾にも、漏えい率は、試験と実機との相関は周長比で補正する必要があることが示されている。</p> <p>リサイクル備蓄センターで使用する金属ガスケットは漏えい率が周長に比例することを考慮しても、十分な閉じ込め性能を有する。なお、(一財) 電力中央研究所の実規模キャスク蓋部モデル試験の漏えい率を周長比倍した結果を評価例に示す。</p> <p>別紙 2</p>	<p>2. 電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性</p> <p>2.1 妥当性の考え方</p> <p>BWR用大型キャスク (タイプ 2 A) の閉じ込め評価では、第 2-1 図に示す電力中央研究所で実施された長期密封性能試</p>	<p>電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>④-1 HDP-69B(B)型の閉じ込め評価では、図 2-5 に示す（一財）電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果を基に、HDP-69B(B)型に使用する金属ガスケットは長期貯蔵中における応力緩和による漏えい率への影響を考慮しても、設計貯蔵期間（60 年）を通じて初期の漏えい率が維持できることを示している。</p> <p>また、上記に加え、図 2-7 に示す（一財）電力中央研究所で実施された実規模の金属キャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験結果からも金属ガスケットの漏えい率が維持できることを補足的に説明している。</p> <p>これらの試験で使用した金属ガスケットと HDP-69B(B)型の金属ガスケットの仕様比較及び仕様相違点に対する評価を別紙 2-1 表に示す。別紙 2-1 表に示すとおり、仕様の一部（断面径及び内径）について相違点はあるが、HDP-69B(B)型の閉じ込め評価において、（一財）電力中央研究所の試験結果を適用することは妥当である。</p>		<p>試験結果⁽¹⁾を基に、BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）に使用する金属ガスケットは長期貯蔵中における応力緩和による漏えい率への影響を考慮しても、設計貯蔵期間（60 年）を通じて初期の漏えい率が維持できることを示している。</p> <p>また、上記に加え、第 2-2 図に示す電力中央研究所で実施された実規模の金属キャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験結果⁽²⁾からも金属ガスケットの漏えい率が維持できることを補足的に説明している。</p> <p>これらの試験で使用した金属ガスケットと BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の金属ガスケットの仕様比較及び仕様相違点に対する評価を第 2-1 表に示す。第 2-1 表に示すとおり、仕様の一部（断面径及び内径）について相違点はあるが、BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の閉じ込め評価において、電力中央研究所の試験結果を適用することは妥当である。</p> <p>3. 閉じ込め機能の異常時の対応について</p> <p>3.1 蓋間圧力低下時の対応</p> <p>蓋間圧力については、警報の他に圧力の経時的な変化についても監視を行う。</p> <p>「蓋間の圧力が急激に低下する場合」は、蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化が有る状態（基準漏えい率を超える場合）を意味し、蓋間圧力の経時変化（圧力低下）として観測されることになる。その場合には、外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファーマ）により漏えい箇所を調査し、漏えいが認められれば、二次蓋金属ガスケットの交換、蓋間圧力監視装置の継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。</p> <p>「徐々に圧力が低下する場合」とは、通常の状態（基準漏えい率以下）を意味し、蓋間圧力の低下は年単位で非常にゆっくりした変化であることから、運用管理面では蓋間圧力が警報設定値に達すれば、ヘリウムの再充填を行うこととなる。</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>蓋間空間に約 10 回を超える再充填が必要となる可能性が予見される場合は、金属キャスク搬出の検討を行う。</p> <p>(1) 蓋間圧力監視装置からの漏えい時の対応</p> <p>蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図（表示、記録装置を除く。）を第3-1図に示す。</p> <p>蓋間圧力監視装置の圧力検出部で漏えいの可能性がある部位としては、溶接部、継手部及びガスケット部を想定している。外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファーク法））により、漏れ箇所を特定を行う。漏れが認められた場合には、蓋間圧力監視孔の金属ガスケット交換、継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。（添付3-1参照）</p> <p>(2) 蓋部からの漏えい時の対応</p> <p>事業許可基準規則への適合及び貯蔵事業における万全の安全確保のために、閉じ込め機能の修復性を考慮した設計としている。（添付3-2参照）</p> <p>万一、二次蓋金属ガスケットの漏えいが考えられる場合には、二次蓋金属ガスケットの漏えい試験を行う。蓋間にはヘリウムが充填されているため、ヘリウム漏れ試験により、漏れ確認ができる。</p> <p>金属ガスケットは眼鏡型構造になっており、その内側に連通しているリークチェック孔に、ヘリウムリークテスト装置をつなぎ、内部を吸引することで、蓋間側の金属ガスケット（内側）のヘリウム漏れの検出を行う。</p> <p>万一、二次蓋に漏れが認められた場合には、金属キャスク内部が負圧に維持されていること及び一次蓋の健全性を確認の上、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復して貯蔵を継続する。（添付3-3参照）</p> <p>二次蓋に漏れが認められず、一次蓋の閉じ込め機能が異常であると考えられる場合には、金属キャスクに蓋を追加装着し、搬出のために必要な記録とともに、契約先に引き渡す。</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>一次蓋及び二次蓋を貫通する孔については、第3-2図に示す。</p> <p>2. 再充填に係る基準</p> <p>(1) 再充填を行う基準</p> <p>蓋間圧力が警報設定値 (0.27 MPa) まで低下した場合に再充填を行う。</p> <p>蓋部の漏えい率が基準漏えい率程度の漏えいであると仮定した場合の蓋間空間の圧力低下の推移を第3-3図に示す。この場合約 <input type="text"/> 年で警報設定値に達し、圧力障壁を維持するために、蓋間空間にヘリウムを再充填することが必要となる。</p> <p>(2) 再充填の管理基準 (過剰な充填となる基準)</p> <p>キャスク内部圧力が 0.08 MPa (初期圧力: 負圧) から 0.097 MPa (大気圧下限) になるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定すると、蓋間累積圧力低下量は <input type="text"/> MPa と評価出来ることから、</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p>で約 10 回再充填できる。</p> <p>蓋間累積圧力低下量 <input type="text"/> MPa は、以下ようになる。</p> <p>参考までに、第3-4図に東海第二発電所の実績相当 (貯蔵開始時の初期圧力及び貯蔵開始から7年後に調査した際の一次蓋漏えい率 9.0×10^{-11} Pa・m³/s より試算) での評価を示す。実際の運用では、貯蔵期間中の蓋間空間へのヘリウム再充填は不要と考えられる。あわせて、何らかの異常により一次蓋と二次蓋の漏えい率が基準漏えい率の5倍に増加した場合の蓋間圧力の低下挙動を示す。漏えい率の著しい変化は蓋間圧力の経時変化として観測されることになる。</p> <p>3.3 負圧維持管理</p> <p>金属キャスクの蓋部は一次蓋、二次蓋の二重構造としている。金属キャスク内部は負圧とし、蓋間空間はあらかじめ正圧</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>とすることにより、圧力障壁を設ける。</p> <p>使用済燃料集合体は収納条件を満足した燃料であること※1、国内輸送法令に従い安全に輸送が行われた金属キャスクを受け入れるため安全機能への影響は生じないこと、キャスク本体（密封容器）は堅固な構造であり、輸送及び貯蔵期間中に外力により燃料が破損してキャスク内部の圧力が上昇することはないこと、また、キャスク本体（密封容器）は検査にて欠陥がないことを確認しており、漏えいが発生する可能性はないことから、キャスク内部の圧力が上昇する要因は、蓋間空間からの気体の流入のみとなる。従って、蓋間圧力を測定・監視することにより、間接的にキャスク内部の負圧維持を確認することができる。（添付3-4参照）</p> <p>蓋間圧力の経時変化が基準漏えい率を超えない低下である場合は、圧力障壁を維持するために、適宜、蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。金属キャスク内部圧力が、初期圧力0.08 MPaから大気圧下限0.097 MPaになるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定して約10回再充填できる。</p> <p>すなわち、再充填回数を把握し、過剰な充填とならないように管理することで、間接的に負圧維持を確認できる。</p> <p>閉じ込め機能に係る設計及び管理・運用について添付3-5に示す。</p> <p>※1：使用済燃料集合体が収納条件を満たしているかについて、原子炉等規制法第59条に則った事業所外運搬（車両運搬確認）に係る発電所発送前検査の一環として行われる収納物検査の受検記録を確認する。</p> <p>3.4 三次蓋の取付け及び搬出（添付3-6、添付3-7参照）</p> <p>金属キャスクは、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、三次蓋を追加装着できる構造を有する。一次蓋の漏えい率が基準漏えい率を超えると判断される場合は、使用済燃料貯蔵施設</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>では一次蓋を開放しないことから、貯蔵前・後の輸送と同じように三次蓋を装着することで、輸送に必要な放射性物質の密封境界を再形成し、搬出する。</p> <p>搬出に当たっては、三次蓋を取り付け、気密漏えい検査等輸送に必要な検査を行い、構外輸送の基準に適合することを確認し、施設外に搬出する。</p> <p>なお、施設から搬出までの間は、輸送物の状態で貯蔵施設内の受入れ区域に仮置きする。</p> <p style="text-align: right;">添付3-1</p> <p style="text-align: center;">蓋間圧力監視装置のバルブの保守管理について</p> <p>圧力センサの保守管理は校正を1回/年程度とし、蓋間圧力監視装置は二系統の構成になっており、圧力検出部の一次バルブを閉にすることで、一方の蓋間圧力監視装置で蓋間圧力を測定しながら、蓋間圧力を開放することなく、校正や交換等が可能である。</p> <p>蓋間圧力監視装置の圧力検出部で想定される事象として、溶接部、継手部及びガスケット部からの漏えいと、点検等に伴うバルブの開閉操作の繰り返しによる弁座のシートパスがある。漏えい箇所の特長は、外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファークラウド法））により行う。漏れが認められた場合には、蓋間圧力監視装置の金属ガスケット交換、継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。</p> <p>最も漏えいの可能性のある部位は、貯蔵施設内で組み立てる継手部で、蓋間圧力監視装置の一次バルブを閉にすることで蓋間圧力と分離できるため、漏れが認められた場合は、継手部点検（例：増締め）や部品交換を行う。万が一、蓋間圧力監視孔の金属ガスケット部から漏れ出した場合には、二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p>孔の金属ガスケットの交換を行う。</p> <p>バルブ弁座のシートパスについては、二次バルブの場合は一次バルブを閉止して交換作業を行う。一次バルブの場合は二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視孔の金属ガスケットを含め一次バルブの交換を行う。</p> <p style="text-align: right;">添付3-2</p> <p style="text-align: center;">蓋部の閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある 要因と発生防止策</p> <p>事業許可基準規則への適合性及び貯蔵事業における万全の安全確保のために、万一、蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化があるような状態（基準漏えい率を超えているような状態）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とする等、閉じ込め機能の修復性を考慮した設計としている。閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因（添付3-1表）に対しては、発生防止策をとることから、その発生の可能性はきわめて低い。</p> <p>貯蔵期間中は、金属キャスクの蓋間圧力を監視することより長期的な影響が生じたとしても、閉じ込め機能の低下を検知できる構造となっている。</p> <p style="text-align: right;">添付 3-3</p> <p style="text-align: center;">一次蓋の健全性確認の基本的考え方</p> <p>蓋間圧力の低下の状況及び測定した二次蓋漏えい率より一次蓋の健全性を確認する基本的な考え方を添付 3-3-1 図に示す。</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p style="text-align: right;">添付 3-4</p> <p style="text-align: center;">金属キャスクの密封性能維持について</p> <p>金属キャスクは胴本体に一次蓋及び二次蓋が取り付け付いた状態で、内部は不活性雰囲気にし、外面は塗装等の防錆処理を行った上で貯蔵する。金属キャスクは使用材料が炭素鋼であり、十分な肉厚がある構造となっており、外気に晒される閉じ込め境界を形成する溶接部が存在せず、外面は定期的な点検を行うことから、貯蔵している金属キャスクから漏えいする可能性がある経路は蓋部の金属ガスケットのみである。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、蓋間圧力を監視することにより、放射性物質の漏えいがないことが確認できる。(添付 3-4-1 図参照)</p> <p style="text-align: right;">添付 3-5</p> <p style="text-align: center;">閉じ込め機能に係る設計及び管理・運用</p> <p>閉じ込め機能に係る設計方針、設計内容、管理・運用を整理し、添付 3-5-1 表に示す。</p> <p style="text-align: right;">添付 3-6</p> <p style="text-align: center;">三次蓋の構造とシール方法について</p> <p>三次蓋の具体的な設計及び構造としては、三次蓋はボルトで本体上部のフランジに取り付けられ、接合面には蓋側に Oリングの溝が設けられており、Oリングにより輸送物としての密封境界を形成する。三次蓋の構造の例を添付第 3-6-1 図に示す。</p> <p>三次蓋の密封性能は Oリングの耐熱性能⁽¹⁾ から、1 年以上の維持は可能であり、搬出までの間仮置き可能である。</p> <p>輸送時の密封境界 (BWR 用大型キャスク (タイプ 2 A)) は収納物を収納する胴、底板及び三次蓋から構成される。この状態で輸送容器としての承認を得ることになる。</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		<p style="text-align: right;">添付3-7</p> <p style="text-align: center;">三次蓋の取付け及び搬出手順について</p> <p>1. 搬出方法の概要 使用済燃料貯蔵施設からの搬出方法の概要は以下のとおり。 添付 3-7-1 図に搬出方法の概略図を示す。</p> <p>(1) 輸送準備作業</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 金属キャスクに三次蓋を取り付ける。 2) 搬送台車で検査架台から受入れ区域へ移動する。 3) 金属キャスクを受入れ区域天井クレーンで、搬送台車からたて起こし架台へ移動する。 4) 受入れ区域天井クレーンで、金属キャスクに上・下部緩衝体を取り付ける。 <p>(2) 輸送作業</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 金属キャスクを受入れ区域天井クレーンで、たて起こし架台から輸送車両へ積載する。 2) 発送前検査（外観，表面密度，線量当量率，収納物，温度測定，未臨界，気密漏えい等）で，核燃料輸送物設計承認書の記載を満足することを確認する。 3) 金属キャスクに近接防止金網を取り付ける。 <p>(3) 船積み</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 金属キャスクを輸送車両にて岸壁まで輸送する。 2) 近接防止金網を取り外す。 3) 岸壁クレーン及び水平吊具を用いて，金属キャスクを吊り上げ，専用運搬船の指定船倉内に積み込む。 4) 船内にて金属キャスクを固縛する。 5) 近接防止金網を取り付ける。 <p>(4) 発電所への輸送</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 専用運搬船によって，発電所まで輸送する。 <p>2. 搬出手続き 金属キャスクの搬出手続きについては，原子炉設置者による専用運搬船の手配，官庁への申請手続きを行い，準備できしだい速やかに搬出する。また，受入れ先は，現時点では，搬出元</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
		の原子炉設置者であるが契約先と協議することになる。	

第4-2表(4/5) 型式指定申請書の記載の比較(使用済燃料の除熱)

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>使用済燃料の除熱に関する説明書</p> <p>1. 設計方針</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び基本的安全機能を有する金属キャスク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適切に除去する設計とする。具体的な設計方針は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃料被覆管の温度を、設計貯蔵期間を通じて燃料被覆管のクリープ破損及び燃料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とした。 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できる設計とした。 <p>また、本型式設計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から、以下の項目を、HDP-69B(B)型が使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計の条件とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクの貯蔵場所：貯蔵建屋内 貯蔵区域における金属キャスク周囲温度：45℃ 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度：65℃ 	<p>添付3 使用済燃料の除熱に関する説明書</p> <p>1. 概要</p> <p>本資料は、使用済燃料貯蔵施設の除熱に関する設計方針が、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第16条(除熱)に適合することを説明するものである。</p> <p>除熱に関する設計結果は「添付3-1 金属キャスクの除熱に関する説明書」及び「添付3-2 使用済燃料貯蔵建屋の除熱に関する説明書」に示す。</p> <p>2. 除熱(金属キャスク)</p> <p>2.1 基本設計方針</p> <p>使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料貯蔵建屋に給気口及び排気口を設け、通風力を利用した自然換気方式により動力を用いず使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるよう、次の方針に基づき設計を行う。</p> <p>(1) 金属キャスクは、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、使用済燃料貯蔵建屋に伝達することにより除去できる設計とする。</p> <p>燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間(50年間)に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する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。</p> <p>(2) 金属キャスクは、基本的安全機能を維持する観点から、設計貯蔵期間(50年間)に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する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。</p>	<p>設2-補-003 使用済燃料の除熱について</p> <p>1. 目的</p> <p>本資料は、使用済燃料集合体の発熱量の特性、領域に応じた伝熱モデルとその境界のパラメータ設定及び申請書の根拠としている二次元モデルと三次元モデルによる解析結果の違いの考え方について補足し、今回申請する金属キャスクと貯蔵建屋による除熱についてより詳しく説明するものである。</p> <p>(金属キャスクの除熱に関する補足説明)</p> <p>2. 設計で用いる使用済燃料集合体について</p> <p>(1) 「最高燃焼度」及び「平均燃焼度」について</p> <p>燃料集合体は軸方向の燃焼度分布を有しており、個々の燃料集合体の燃焼度を示す場合は、この軸方向の燃焼度分布から求められる平均の値を燃焼度としている。</p> <p>「最高燃焼度」及び「平均燃焼度」についても、これら個々の燃料集合体の燃焼度をもとに設定したものである。</p> <p>(a) 「最高燃焼度」については、金属キャスクに収納している全ての燃料集合体それぞれの燃焼度が「最高燃焼度」を超えていないこと、すなわち、個々の燃料集合体の燃焼度の上限値として「最高燃焼度」を設定している。</p> $\text{MAX(収納する個々の燃料集合体の燃焼度)} \leq \text{最高燃焼度}$ <p>(b) 「平均燃焼度」については、金属キャスクに収納している全ての燃料集合体に対する燃焼度の平均値が「平均燃焼度」を超えていないこと、すなわち、キャスク内の全燃料集合体から求められる燃料集合体1体当たりの燃焼度の平均値の上限値として「平均燃焼度」を設定している。</p> $\frac{\sum \text{収納する個々の燃料集合体の燃焼度}}{\text{キャスク内収納燃料集合体数}} \leq \text{平均燃焼度}$	<p>設計方針の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>(3) 使用済燃料集合体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集合体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、契約先である原子炉設置者が確認した使用済燃料集合体の収納等の状態が貯蔵上必要な条件を満足していることを、記録により確認する。</p> <p>2.2 除熱設計の方針</p> <p>(1) 使用済燃料集合体の収納の考え方</p> <p>除熱機能維持の観点から、設計貯蔵期間（50 年間）に加えて事業所外運搬に係る期間等を考慮した十分な余裕を有する 60 年間を通じて燃料被覆管の温度を低く保つことができる設計とし、使用済燃料集合体の収納条件は以下のとおりである。使用済燃料集合体の収納作業は、契約先である原子炉設置者が実施することから、原子炉設置者に対して、収納条件を満足した作業の実施、作業記録の作成、収納配置の確認を求める。</p> <p>a. 金属キャスクには、原子炉内での運転中のデータ、シッピング検査等により健全であることを確認した使用済燃料集合体を収納する。</p> <p>b. 金属キャスクは、使用済燃料集合体収納時にその内部を真空乾燥し、不活性ガスであるヘリウムガスを封入する。その際、燃料被覆管の制限温度を上回らないように運用管理するとともに乾燥作業時のクリプトンガスのモニタリングにより燃料被覆管から漏えいのないことを確認する。</p> <p>c. 金属キャスクには、貯蔵する燃料仕様、最大崩壊熱量等を満足するように使用済燃料集合体を収納するとともに必要に応じて収納配置等を管理する。</p> <p>(2) 除熱構造の設計方針</p> <p>金属キャスクは、除熱のために以下の設計上の配慮を行う。</p> <p>a. 金属キャスクの内部には、強度部材のバスケットプレート（ボロン添加ステンレス鋼）と熱伝導率の高い伝熱プレート（アルミニウム合金）で構成されたバスケットを設け、その中に使用済燃料集合体を収納する。</p> <p>b. 金属キャスク内における使用済燃料集合体を内封する空間には、熱伝導率の高いヘリウムガスを充填し、熱伝達を高め</p>	<p>(2) 設計で用いる燃料集合体の燃焼度について</p> <p>これら最高燃焼度、平均燃焼度がキャスク本体、使用済燃料貯蔵建屋等の設計解析上どの部分に用いられているかを第 2-1 表にまとめた。</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>る。</p> <p>c. 熱伝導率の低い中性子遮蔽材（レジン）の側部胴体内部には、炭素鋼及び銅からなる伝熱フィンを設け、熱伝導性能を向上させる。</p> <p>d. 除熱機能の監視のため、金属キャスクの表面温度を測定する。</p> <p>(3) 除熱解析の方針</p> <p>金属キャスクが使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去する設計であることを以下の方法により解析する。</p> <p>除熱解析フローを図 2-1 に示す。</p> <p>a. 伝熱形態の考え方</p> <p>使用済燃料集合体から発生した崩壊熱は、バスケットからヘリウムガス等の伝導及び輻射により金属キャスク表面に伝えられ、対流及び輻射により金属キャスク周囲の空気、使用済燃料貯蔵建屋に伝えられる。さらに金属キャスク本体胴の外側には中性子遮蔽材が設けられ、レジンのような熱伝導率の低い中性子遮蔽材を用いる場合は伝熱フィンを設け、伝熱性能を向上させる。なお、ヘリウムガス対流効果による金属キャスク端部付近温度への影響は比較的小さいため、評価上は対流を考慮していない。具体的な伝熱形態の考え方を図 2-2 に示す。</p> <p>b. 使用済燃料集合体の崩壊熱評価方法</p> <p>使用済燃料集合体の崩壊熱は、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件として燃焼計算コード O R I G E N 2 を使用して核種の生成、崩壊及びそれに基づく発熱量を計算する。</p> <p>ここで、金属キャスクに収納できる使用済燃料集合体の崩壊熱量の総量を最大崩壊熱量とし、除熱設計上、保守的に使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮した崩壊熱量を設計崩壊熱量とする。</p> <p>c. 金属キャスク各部の温度評価方針</p> <p>金属キャスクの各部の温度は、使用済燃料集合体の崩壊熱及び金属キャスク周囲温度等を条件として、金属キャスクの実形状をモデル化し、有限要素法コード A B A Q U S を使用して求める。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>d. 燃料被覆管の温度解析方針</p> <p>燃料被覆管の温度は、使用済燃料集合体の崩壊熱と輪切りモデルで求められたチャンネルボックス又はバスケットの温度を条件として、使用済燃料集合体及びチャンネルボックス又はバスケットの実形状をモデル化し、有限要素法コード A B A Q U S を使用して求める。</p> <p>3. 除熱（使用済燃料貯蔵建屋）</p> <p>3.1 基本設計方針</p> <p>使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料貯蔵建屋に給気口及び排気口を設け、通風力を利用した自然換気方式により動力を用いずに使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるよう、次の方針に基づき設計を行う。</p> <p>(1) 使用済燃料貯蔵建屋は、金属キャスクの表面からの除熱を維持する観点から、使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を低く保つことができる設計とする。なお、使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度は計測設備等の電気品の性能維持を考慮するとともに、コンクリート温度はコンクリートの基本特性に影響を及ぼさないよう、また構造材としての健全性を維持するよう考慮する。給気口及び排気口は、積雪及び降下火砕物により閉塞しないよう設計する。</p> <p>3.2 除熱設計の方針</p> <p>(1) 除熱構造の考え方</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋は、金属キャスク表面からの除熱を維持する観点から使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を低く保つこと及び遮蔽機能を担うための健全性を維持することから、以下の設計上の配慮を行う。</p> <p>a. 使用済燃料貯蔵建屋の受入れ区域及び貯蔵区域には、給気口及び排気口を設け、金属キャスク表面から金属キャスク周囲の空気に伝えられた熱を、その熱量に応じて生じる空気の通風力を利用して使用済燃料貯蔵建屋外へ放散できる構造とする。</p> <p>b. 適切な通風力を得るため、貯蔵区域の排気口及び受入れ区域の排気口は十分高所に設ける。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
	<p>c. 給気口及び排気口には、それぞれ温度検出器を配置して使用済燃料貯蔵建屋の給排気温度を測定することにより、除熱機能が維持されていることを監視する。</p> <p>d. 給気口は、むつ特別地域気象観測所の最大積雪量に対し十分裕度のある、地上高さに設ける。</p> <p>e. 貯蔵区域において、金属キャスクが設置されていない区画については、夏季に使用済燃料貯蔵建屋内で発生する結露対策として、給気口を閉止する運用とする。</p> <p>(2) 金属キャスクの配置制限の考え方</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋は、貯蔵区域における計測設備等の電気品の性能維持を考慮し、使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度が、汎用電気品が使用可能なように考慮した温度、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散が生じない温度、構造材としての健全性を維持するための温度を考慮し、使用済燃料貯蔵建屋のコンクリート温度が物性値に大きな影響を与えない温度以下に保たれるよう、金属キャスクを配置する設計とする。</p> <p>(3) 除熱解析の方針</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋は、使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を低く保つことができる設計であること及びコンクリート温度をその遮蔽能力が損なわれない温度以下に保つことができる設計であることを以下の方法により評価する。</p> <p>a. 伝熱形態の考え方</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋における伝熱形態は次のとおりである。</p> <p>(a) 金属キャスク表面に伝えられた崩壊熱の殆どは、伝導及び対流により金属キャスク周囲の空気へ伝えられるが、一部は、輻射及び貯蔵架台を介しての伝導により使用済燃料貯蔵建屋へ伝えられる。</p> <p>(b) 使用済燃料貯蔵建屋へ伝わった熱は、躯体の伝導及び対流により外部（大気あるいは地中）に放出されるか、あるいは伝導及び対流により使用済燃料貯蔵建屋内空気に伝わり、自然換気により大気に放出される。</p> <p>b. 評価方針</p> <p>上記伝熱形態を踏まえ、使用済燃料貯蔵建屋の除熱評価にお</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2. 除熱設計</p> <p>(1) 除熱機能に関する構造</p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料の崩壊熱を熱伝導、対流、ふく射により HDP-69B(B)型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する。HDP-69B(B)型の構造図を図 2-1 に示す。HDP-69B(B)型は、除熱のために以下の設計上の配慮を行っている。</p> <p>金属キャスクの内部には、強度部材のバスケットプレート(ほ</p>	<p>いては、使用済燃料貯蔵建屋及び金属キャスクを一次元又は三次元で適切にモデル化し、一次元熱計算により使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を、三次元熱流動解析コード F L U E N T 6.2 を用いて使用済燃料貯蔵建屋のコンクリート温度を評価する。</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度の評価に当たっては、使用済燃料集合体の崩壊熱が全て金属キャスク周囲の空気に伝わるよう設定し、使用済燃料貯蔵建屋コンクリート温度の評価に当たっては、使用済燃料貯蔵建屋外壁を断熱とする。</p> <p>使用済燃料貯蔵建屋の除熱評価フローを図 3-1 に示す。</p> <p>(a) 一次元熱計算</p> <p>金属キャスク表面に伝えられた崩壊熱のすべてが周囲空気に移行するものとして使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度を算出する方針とする(図 3-2 参照)。</p> <p>(b) 三次元熱流動解析</p> <p>図 3-3 に示した伝熱形態の考え方で模擬するため、三次元熱流動解析コード F L U E N T 6.2 を用いて、伝導、対流、輻射が共存する場の支配方程式を解き使用済燃料貯蔵建屋躯体温度を評価する方針とする。</p> <p>添付 3-1-1 金属キャスクの除熱に関する説明書 (BWR用大型キャスク(タイプ 2A))</p> <p>1. 設計方針</p> <p>金属キャスクによる使用済燃料の除熱に関する設計方針については、添付 3「使用済燃料の除熱に関する説明書」のとおりである。</p> <p>2. 金属キャスクの除熱設計</p> <p>(1) 評価基準</p> <p>金属キャスクの除熱機能の評価基準は、以下のとおりである。(第 1 表参照)</p> <p>a. 燃料被覆管</p> <p>燃料被覆管の温度は、健全性を維持するために定める以下の制限温度を超えないこと。</p>		<p>除熱機能に関する構造の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果							
	申請書添付書類 3	補足説明資料								
<p>う素添加ステンレス鋼) と熱伝導率の高い伝熱プレート (アルミニウム合金) で構成されたバスケットを設け, その中に使用済燃料を収納する。</p> <p>使用済燃料を収納する空間には, 熱伝導率の高いヘリウムガスを充填する。</p> <p>側部の中性子遮蔽材 (熱伝導率の低い樹脂) の内部には, 炭素鋼及び銅からなる伝熱フィンを設け, 熱伝導性能を向上させる。</p> <p>(2) 設計基準 HDP-69B (B) 型の除熱機能の設計基準を表 2-1 に示す。</p> <p>(3) 解析モデル及び解析条件 HDP-69B (B) 型の除熱解析は, 図 2-2 に示す除熱解析フローに従って行う。</p> <p>a. 使用済燃料の収納配置 HDP-69B (B) 型に収納される使用済燃料の収納配置は配置 (i), 配置 (ii) 及び配置 (iii) の 3 つである。これら収納配置における使用済燃料の配置条件をそれぞれ図 2-3, 図 2-4 及び図 2-5 に示す。除熱解析は, 配置 (i), 配置 (ii) 及び配置 (iii) それぞれについて行う。</p> <p>b. 使用済燃料の崩壊熱量設定 HDP-69B (B) 型に収納される使用済燃料の仕様を表 2-2 に示す。使用済燃料の崩壊熱量は, 燃料集合体の種類, 燃焼度, 初</p>	<p>・BWR 使用済燃料集合体の燃料被覆管制限温度 新型 8 × 8 燃料 200 °C ¹⁾ 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料, 高燃焼度 8 × 8 燃料 300 °C ¹⁾</p> <p>b. 金属キャスク構成部材 基本的安全機能及び構造強度を有する部材は, 健全性が維持できる下記の制限温度を超えないこと。</p> <p>・金属キャスク構成部材の制限温度</p> <table border="0"> <tr> <td>胴, 外筒及び蓋部</td> <td>350 °C ²⁾</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材</td> <td>150 °C ³⁾</td> </tr> <tr> <td>金属ガスカート</td> <td>130 °C ⁴⁾</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> <td>300 °C ⁵⁾</td> </tr> </table> <p>(2) 使用済燃料集合体の収納条件 使用済燃料集合体の収納条件の方針については, 添付 3「使用済燃料の除熱に関する説明書」のとおりである。</p> <p>金属キャスクには, 貯蔵する燃料仕様, 最大崩壊熱量等を満足するように使用済燃料集合体を収納するとともに必要に応じて収納配置等を管理する。第 2 表に各収納配置における使用済燃料集合体の仕様を示す。</p> <p>BWR 用大型キャスク (タイプ 2 A) には, 燃料被覆管制限温度が異なる使用済燃料集合体を収納することから, 燃料仕様, 収納配置等を制限した収納管理を行う。</p> <p>なお, 「新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料」と「高燃焼度 8 × 8 燃料」を収納する場合を「配置 A」, 「新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料」と「新型 8 × 8 燃料」を混載する場合を「配置 B」, 「新型 8 × 8 燃料」のみを収納する場合を「配置 C」とした収納配置としている。</p> <p style="text-align: right;">別添 2</p> <p style="text-align: center;">使用済燃料集合体の崩壊熱評価</p> <p>1. 燃焼計算条件 (ORIGEN2) 使用済燃料集合体の崩壊熱の計算に用いる燃料仕様に基づ</p>	胴, 外筒及び蓋部	350 °C ²⁾	中性子遮蔽材	150 °C ³⁾	金属ガスカート	130 °C ⁴⁾	バスケット	300 °C ⁵⁾	<p>設計基準の記載は同等</p> <p>解析モデル及び解析条件の記載は同等</p>
胴, 外筒及び蓋部	350 °C ²⁾									
中性子遮蔽材	150 °C ³⁾									
金属ガスカート	130 °C ⁴⁾									
バスケット	300 °C ⁵⁾									

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>期濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して求められる。使用済燃料の崩壊熱量の計算に用いる計算条件及び計算結果を表 2-3 に示す。</p> <p>除熱解析に使用する金属キャスク 1 基当たりの崩壊熱量（以下「設計崩壊熱量」という。）は、使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して次式のとおり設定した（図 2-6 参照）。</p> <p>表 2-3 より、使用済燃料 1 体当たりの崩壊熱量は配置(i)では新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、配置(ii)では高燃焼度 8×8 燃料の値が大きいため、これらの値を用いて配置(i)及び配置(ii)の設計崩壊熱量を設定した。</p> <p>配置(i)、配置(ii)及び配置(iii)の設計崩壊熱量は、以下のとおり計算した。</p> <p>c. 解析モデル</p> <p>除熱解析は、HDP-69B(B)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、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、有限要素法による伝熱解析コード(ABAQUS)を用いて行った。使用した解析モデルは以下の 3 つである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスク熱解析モデル <ul style="list-style-type: none"> ①軸方向全体モデル（以下「全体モデル」という。） ②径方向輪切りモデル（以下「輪切りモデル」という。） ・燃料被覆管熱解析モデル <ul style="list-style-type: none"> ③燃料集合体モデル <p>各解析モデルの形状図及び要素分割図を図 2-7～図 2-13 に示す。また、モデル化の方法を別紙 1 に示す。</p> <p>各解析モデルで評価する部位は次のとおりである。</p>	<p>く燃焼計算条件を別添 2-1 表に示す。</p> <p>2. 使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布について</p> <p>使用済燃料集合体は、下図の二点鎖線で示すように、軸方向の燃焼度分布により中央領域で高く、両端部では低くなる崩壊熱（発熱）分布を有する。除熱設計では、軸方向の崩壊熱部で崩壊熱分布をほぼ包絡できるよう、別添 2-1 図の太い実線で示すように崩壊熱量を階段状に安全側に設定している。このため、除熱設計で使用している崩壊熱量（以下「設計崩壊熱量」という。）は本来の最大崩壊熱量より大きくなる。</p> <p>なお、除熱解析では、ORIGEN2 コードの計算結果に 5%の裕度を見込んでいる。</p> <p>3. 除熱設計に用いた崩壊熱量</p> <p>別添 2-2 表のとおり、除熱設計上は、使用済燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を考慮して、最大崩壊熱量の約 1.27 倍 (B/A) の崩壊熱量を仮定して設計している。</p> <p>添付 3-1-1 2. 金属キャスクの除熱設計</p> <p>(3) 除熱構造</p> <p>具体的な構造を第 1 図に示す。</p> <p>(4) 除熱解析</p> <p>添付 3「使用済燃料の除熱に関する説明書」に示す方法により、伝熱形態、使用済燃料集合体の崩壊熱、金属キャスク各部の温度及び燃料被覆管の温度を評価し金属キャスクが使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去する設計であることを解析により確認する。（別添 1 参照）</p> <p>なお、除熱解析時の保守性を第 3 表に示す。</p> <p>また、金属キャスクの各部温度評価に当たっては、以下の 2 種類の熱解析モデルを用いる。</p> <p>(a) 全体モデル：軸方向温度解析（金属キャスク本体、金属ガスケット等の温度評価）（第 2 図参照）</p> <p>(b) 輪切りモデル：半径方向温度解析（金属キャスク本体、バ</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>①全体モデル：胴（底板）、金属ガスケット、中性子遮蔽材（蓋部、底部）、蓋部、トランニオン</p> <p>②輪切りモデル：バスケット、胴、中性子遮蔽材（側部）、外筒</p> <p>③燃料集合体モデル：燃料被覆管</p> <p>全体モデル解析では、平均燃焼度の使用済燃料が 69 体収納されている条件（発熱量の総量が設計崩壊熱量となる。）とした。輪切りモデル解析では、中央部の 37 体の使用済燃料は最高燃焼度の崩壊熱量とし、発熱量の総量が設計崩壊熱量となるように外周部の発熱量を調整した（さらに、軸方向への熱逃げを考慮した。詳細は別紙 1 に示す。）。燃料集合体モデル解析では最高燃焼度の崩壊熱量を用いた。</p> <p>d. 境界条件</p> <p>HDP-69B(B)型周囲の環境として、以下の条件を用いる（詳細条件を別紙 1 に示す。）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵姿勢：たて置き ・周囲温度：45 °C ・貯蔵建屋壁面温度：65 °C <p>(4) 除熱解析結果</p> <p>HDP-69B(B)型の除熱解析結果を表 2-6 及び図 2-14～図 2-22 に示す。</p> <p>解析の結果、燃料被覆管の温度及び金属キャスク各部位の温度は表 2-1 に示す設計基準値を満足しており、HDP-69B(B)型は使用済燃料の崩壊熱を適切に除去する設計となっていることを確認した。</p> <p style="text-align: right;">別紙 1</p> <p style="text-align: center;">除熱解析のモデル化及び解析条件について</p> <p>1. 伝熱形態について</p> <p>HDP-69B(B)型の伝熱形態を別紙 1-1 図に示す。</p> <p>使用済燃料から発生した崩壊熱は、主に胴内に充填されたヘリウムガスの熱伝導とふく射によりチャンネルボックスに伝え</p>	<p>スケット等の温度評価）（第 3 図参照）</p> <p>また、金属キャスク周囲の境界条件を第 4 表に示す。</p> <p>燃料被覆管の温度評価は、燃料集合体モデルで解析を行う（第 4 図参照）。</p> <p>3. 評価結果</p> <p>金属キャスクの除熱解析結果を第 5 表及び第 5 図に示す。</p> <p>収納する使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間を制限し、収納配置を管理することで、燃料被覆管温度及び金属キャスクの構成部材の各部温度が評価基準値を満足しており、金属キャスクは、使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去する設計となっていることを確認した。</p> <p style="text-align: right;">別添 1</p> <p style="text-align: center;">金属キャスクの除熱解析モデルについて</p> <p>1. 除熱解析のモデル化</p> <p>金属キャスクの除熱解析は全体モデル→輪切りモデル→燃料集合体モデルのフローで実施する。除熱解析フローの概念図を別添 1-1 図に示す。</p>	<p>3. 除熱解析のモデル化及び解析条件について</p> <p>3.1 伝熱形態について</p> <p>BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の伝熱形態を第 3-1 図に示す。</p>	<p>除熱解析結果の記載は同等</p> <p>伝熱形態の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>られ、さらにチャンネルボックスからバスケットプレート及び伝熱プレートに伝えられる。バスケットプレート及び伝熱プレートに伝えられた熱は、主に熱伝導によりバスケットプレート端部に伝わり、さらにバスケットプレート端部からヘリウムガスの熱伝導とふく射により胴内面に伝えられる。続いて、胴内面に伝えられた熱は、熱伝導により金属キャスク表面に伝えられ、ふく射と空気の自然対流により金属キャスク周囲の大気に拡散される。なお、側部中性子遮蔽材領域では、主に炭素鋼及び銅製の伝熱フィンの熱伝導により熱が伝えられる。</p> <p>2. 除熱解析のモデル化及び解析条件</p> <p>除熱解析は、HDP-69B(B)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、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、有限要素法による伝熱解析コード(ABAQUS)を用いて行った。使用した解析モデルは以下の3つである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスク熱解析モデル <ul style="list-style-type: none"> ①軸方向全体モデル(以下「全体モデル」という。) ②径方向輪切りモデル(以下「輪切りモデル」という。) ・燃料被覆管熱解析モデル <ul style="list-style-type: none"> ③燃料集合体モデル <p>これら3つの解析モデルの入出力フローを別紙1-2図に示す。また、解析に使用する物性値を別紙1-1表及び別紙1-2表に、HDP-69B(B)型外表面の熱伝達率を別紙1-3表に、解析に使用する放射率を別紙1-4表に示す。</p> <p>各解析モデルの概要及び解析条件を以下に示す。</p> <p>(1) 全体モデル</p> <p>全体モデルは、金属キャスク全体を二次元の軸対称体としてモデル化したものであり、蓋部及び底部の温度を評価するためのモデルである。全体モデルの形状図を別紙1-3図に示す。</p> <p>全体モデルは二次元モデルであるため、収納物である使用済燃料及びバスケットは均質化して等価熱伝導率を設定した。側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンに関しても、これらを均質化し</p>	<p>全体モデルでは、キャビティ内領域を均質化して解析をしていることから、燃料被覆管やバスケットの詳細な温度分布を評価することができない。そこで、全体モデルで最も温度が高くなるキャスク中央部断面を抽出して、キャビティ内領域をより詳細にモデル化した輪切りモデルを使った解析を実施する。一方、輪切りモデルは燃料集合体領域を均質化して解析をしていることから、燃料集合体内部の詳細な温度分布評価ができない。そこで、燃料被覆管温度を保守的に評価するために、最も温度の高い燃料集合体領域において、燃料集合体モデルを使った解析を実施して燃料被覆管の最高温度を評価する。</p> <p>3. 解析手法の妥当性</p> <p>金属キャスクの除熱評価に用いている、二次元の全体モデル及び輪切りモデルを組み合わせた解析手法(以下「現手法」という。)の妥当性を確認するため、三次元モデルを用いた除熱解析を実施している。</p> <p>三次元モデル解析では現手法のモデル化とは異なり、個々の燃料集合体を直方体形状としてモデル化し、さらにバスケット領域を均質化することなくモデル化している(輪切りモデルを軸方向へ延長)。これにより軸方向及び径方向への熱移動は実形状に即した評価が可能となるため、三次元モデルと現手法による解析結果を比較することにより、現手法の妥当性が確認できる。</p> <p>三次元モデルによる解析結果と現手法(全体モデル/輪切りモデル)による解析結果の比較を別添1-1表と別添1-3図に示す。</p> <p>三次元モデルを用いた解析の結果、各評価部位の温度は、現手法と同等又は低い温度結果が得られており、現手法が軸方向の熱の逃げを適切に考慮し、保守的な評価をしていることを確認した。</p>	<p>使用済燃料から発生した崩壊熱は、主に胴内に充填されたヘリウムガスの熱伝導とふく射によりチャンネルボックスに伝えられ、さらにチャンネルボックスからバスケットプレート及び伝熱プレートに伝えられる。バスケットプレート及び伝熱プレートに伝えられた熱は、主に熱伝導によりバスケットプレート端部に伝わり、さらにバスケットプレート端部からヘリウムガスの熱伝導とふく射により胴内面に伝えられる。続いて、胴内面に伝えられた熱は、熱伝導により金属キャスク表面に伝えられ、ふく射と空気の自然対流により金属キャスク周囲の大気に拡散される。なお、側部中性子遮蔽材領域では、主に炭素鋼及び銅製の伝熱フィンの熱伝導により熱が伝えられる。</p> <p>3.2 除熱解析のモデル化及び解析条件</p> <p>除熱解析は、BWR用大型キャスク(タイプ2A)の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、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、有限要素法による伝熱解析コード(ABAQUS)を用いて行った。使用した解析モデルは以下の3つである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスク熱解析モデル <ul style="list-style-type: none"> ①軸方向全体モデル(以下「全体モデル」という。) ②径方向輪切りモデル(以下「輪切りモデル」という。) ・燃料被覆管熱解析モデル <ul style="list-style-type: none"> ③燃料集合体モデル <p>これら3つの解析モデルの入出力フローを第3-2図に示す。また、解析に使用する物性値を第3-1表及び第3-2表に、BWR用大型キャスク(タイプ2A)外表面の熱伝達率を第3-3表に、解析に使用する放射率を第3-4表に示す。</p> <p>各解析モデルの概要及び解析条件を以下に示す。</p> <p>(1) 全体モデル</p> <p>全体モデルは、金属キャスク全体を二次元の軸対称体としてモデル化したものであり、蓋部及び底部の温度を評価するためのモデルである。全体モデルの形状図を第3-3図に示す。</p> <p>全体モデルは二次元モデルであるため、収納物である使用済燃料及びバスケットは均質化して等価熱伝導率を設定した。側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンに関しても、これらを均質化し</p>	<p>除熱解析のモデル化及び解析条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>て等価熱伝導率を設定した。以下で、これらモデル化の詳細を述べる。</p> <p>a. 燃料均質化領域の熱伝導率</p> <p>(i) 径方向</p> <p>使用済燃料及びバスケットが収納される領域（以下「燃料均質化領域」という。）の径方向熱伝導率は、内部発熱を伴う円柱の場合の式(1)を用いて計算した⁽¹⁾。</p> <p>(ii) 軸方向</p> <p>燃料均質化領域の軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して式(2)により計算した。</p> <p>このとき、バスケットの軸方向の材料不連続性を以下のように考慮した。</p> <p>バスケットは菓子折り構造で上下のプレート同士は接触する構造だが、燃料均質化領域の軸方向熱伝導率の算出に当たっては、バスケットの製造公差を考慮して製造公差分のギャップによる非接触部を仮定した。具体的には、別紙 1-4 図に示すようにバスケットは直交しているプレートで構成されており、ギャップは軸方向に互い違いに生じることになるため、別紙 1-5 図に示すようにギャップを有した 2 つのプレートが並列にあるとして、製造公差の許容値に相当する最大ギャップを仮定してバスケットの軸方向熱伝導率を計算した⁽²⁾。この値を用いて、式(2)により燃料均質化領域の軸方向熱伝導率を計算した。</p>		<p>て等価熱伝導率を設定した。以下で、これらモデル化の詳細を述べる。</p> <p>a. 燃料均質化領域の熱伝導率</p> <p>(a) 径方向</p> <p>使用済燃料及びバスケットが収納される領域（以下「燃料均質化領域」という。）の径方向熱伝導率は、内部発熱を伴う円柱の場合の式(1)を用いて計算した⁽¹⁾。</p> <p>輪切りモデルで軸方向を断熱条件とし、周囲環境温度を -25 °C, 38 °C, 100 °C とした 3 ケースの予備解析により T_1 及び T_2 を求め、式(1)を用いて温度依存性のある λ_{r1} を設定した。なお、各ケースで求められる λ_{r1} の代表温度は、T_1 と T_2 の平均値とした。</p> <p>(b) 軸方向</p> <p>燃料均質化領域の軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して式(2)により計算した。</p> <p>このとき、バスケットの軸方向の材料不連続性を以下のように考慮した。</p> <p>バスケットは菓子折り構造で上下のプレート同士は接触する構造だが、燃料均質化領域の軸方向熱伝導率の算出に当たっては、バスケットの製造公差を考慮して製造公差分のギャップによる非接触部を仮定した。具体的には、第 3-4 図に示すようにバスケットは直交しているプレートで構成されており、ギャップは軸方向に互い違いに生じることになるため、第 3-5 図に示すようにギャップを有した 2 つのプレートが並列にあるとして、製造公差の許容値に相当する最大ギャップを仮定してバスケットの軸方向熱伝導率を計算した⁽²⁾。この値を用いて、式(2)により燃料均質化領域の軸方向熱伝導率を計算した。</p> <p>b. 側部中性子遮蔽材領域の熱伝導率</p> <p>(a) 径方向</p>	

<p>b. 側部中性子遮蔽材領域の熱伝導率</p> <p>(i) 径方向</p> <p>側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンのある領域（以下「側部中性子遮蔽材領域」という。）の径方向熱伝導率は、熱通過を伴う円筒の場合の式(3)を用いて計算した⁽¹⁾。</p> <p>輪切りモデルで軸方向を断熱条件とし、周囲環境温度を－25℃、38℃、100℃とした3ケースの予備解析によりT_3及びT_4を求め、式(3)から温度依存性のあるλ_{r2}を設定した。なお、各ケースで求められるλ_{r2}の代表温度は、T_3とT_4の平均値とした。</p> <p>(ii) 軸方向</p> <p>側部中性子遮蔽材領域の軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して式(2)により計算した。</p> <p>c. 解析条件</p> <p>発熱条件として、軸方向の発熱分布を考慮した設計崩壊熱量となるように燃料有効部の発熱密度を設定した。</p> <p>全体モデルの外部境界条件を別紙1-5表に示す。周囲温度を45℃、貯蔵建屋壁面温度を65℃とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮した。なお、金属キャスク底面から貯蔵架台への伝熱は保守側に断熱とした。</p> <p>(2) 輪切りモデル</p> <p>輪切りモデルは、燃料集合体が最高温度となる金属キャスクの径方向断面を二次元でモデル化したものであり、中性子遮蔽材（側部）、胴、バスケット等の温度を評価するためのモデルである。輪切りモデルの形状図を別紙1-6図に示す。</p> <p>燃料集合体は均質化して等価熱伝導率を設定した。バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部に関しても、均質化して等価熱伝導率を設定した。以下で、これらモデル化の詳細を述べる。</p> <p>a. 燃料集合体領域の熱伝導率</p> <p>燃料集合体が収納されるチャンネルボックス内面より内側の領域（以下「燃料集合体領域」という。）の熱伝導率は、円柱</p>		<p>側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンのある領域（以下「側部中性子遮蔽材領域」という。）の径方向熱伝導率は、熱通過を伴う円筒の場合の式(3)を用いて計算した⁽¹⁾。</p> <p>輪切りモデルで軸方向を断熱条件とし、周囲環境温度を－25℃、38℃、100℃とした3ケースの予備解析によりT_3及びT_4を求め、式(3)から温度依存性のあるλ_{r2}を設定した。なお、各ケースで求められるλ_{r2}の代表温度は、T_3とT_4の平均値とした。</p> <p>(b) 軸方向</p> <p>側部中性子遮蔽材領域の軸方向熱伝導率は、構成部材の体積割合を考慮して式(2)により計算した。</p> <p>c. 解析条件</p> <p>発熱条件として、軸方向の発熱分布を考慮した設計崩壊熱量となるように燃料有効部の発熱密度を設定した。</p> <p>全体モデルの外部境界条件を第3-5表に示す。周囲温度を45℃、貯蔵建屋壁面温度を65℃とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮した。なお、金属キャスク底面から貯蔵架台への伝熱は保守側に断熱とした。</p> <p>(2) 輪切りモデル</p> <p>輪切りモデルは、燃料集合体が最高温度となる金属キャスクの径方向断面を二次元でモデル化したものであり、中性子遮蔽材（側部）、胴、バスケット等の温度を評価するためのモデルである。輪切りモデルの形状図を第3-6図に示す。</p> <p>燃料集合体は均質化して等価熱伝導率を設定した。バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部に関しても、均質化して等価熱伝導率を設定した。以下で、これらモデル化の詳細を述べる。</p> <p>a. 燃料集合体領域の熱伝導率</p> <p>燃料集合体が収納されるチャンネルボックス内面より内側の領域（以下「燃料集合体領域」という。）の熱伝導率は、円柱形状の内部発熱体の伝熱基礎式を基に正方形角柱形状に当てはめた以下の式(4)を用いて計算した。</p>	
--	--	--	--

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>形状の内部発熱体の伝熱基礎式を基に正方形角柱形状に当てはめた以下の式(4)を用いて計算した。</p> <p>燃料集合体モデルで軸方向を断熱条件とし、チャンネルボックス温度を 27 °C, 127 °C, 327 °C とした 3 ケースの予備解析により T_5 及び T_6 を求め、式(4)から温度依存性のある λ_f を設定した。なお、各ケースで求められる λ_f の代表温度は、T_5 と T_6 の平均値とした。</p> <p>b. バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部の熱伝導率</p> <p>バスケットプレート及び伝熱プレートは菓子折り構造により格子状となるように配置され、その交差部には切欠きを有する。バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部の熱伝導率には、この切欠きを考慮してモデル化したバスケットモデルによる予備解析から求められる等価熱伝導率を設定した。</p> <p>c. 軸方向への熱移動</p> <p>輪切りモデルでは、軸方向への熱移動がモデル化されないため実際より高温の結果を与える。そこで、全体モデルによる解析結果を用いて、以下の方法で軸方向への熱移動を考慮した。</p> <p>(i) 外周部燃料領域の軸方向熱移動</p> <p>外周部の 32 体の燃料集合体領域では、全体モデル解析における燃料均質化領域での軸方向熱移動量を差し引いた発熱密度を設定した。なお、中央部の 37 体の燃料集合体領域では、最高燃焼度の軸方向燃焼度最大領域の崩壊熱量に相当する発熱密度を設定し、軸方向熱移動は考慮しない。</p> <p>(ii) 胴内面～外筒外面の軸方向熱移動</p> <p>全体モデル解析における胴内面から外筒外面の軸方向への熱移動量と一致するように、胴内面及び外筒外面に吸熱を与えた。このとき、胴内面及び外筒外面の温度が全体モデルの温度と一致するように吸熱量を調整した。</p>	<p>2. 輪切りモデルの軸方向への熱移動</p> <p>輪切りモデルの解析では、全体モデルの解析結果に基づいて軸方向への熱の移動を考慮している。すなわち、全体モデルで最も温度が高くなる中央部断面を抽出して輪切りモデルによる評価を実施している。この場合、輪切りモデルの軸方向への熱移動を考慮することにより全体モデルの結果と等価となるような調整を実施している。調整方法は以下のとおり。(別添 1-2 図参照)</p> <p>全体モデルの胴内の軸方向への熱の移動量と一致するように、輪切りモデルの燃料領域外周部の発熱密度を調整する。また、輪切りモデルの胴内面と外筒外面の温度が、全体モデルの胴内面と外筒外面の温度と一致するように、輪切りモデルの熱流束を低減するよう調整する。</p> <p>なお、燃料領域において、発熱密度を調整する領域を平均燃焼度以下の燃料がある外周部領域のみとすることで、最高燃焼度燃料がある中心部燃料領域の最高温度が高くなるよう保守的に評価するモデルとしている。</p>	<p>燃料集合体モデルで軸方向を断熱条件とし、チャンネルボックス温度を 27°C, 127°C, 327°C とした 3 ケースの予備解析により T_5 及び T_6 を求め、式(4)から温度依存性のある λ_f を設定した。なお、各ケースで求められる λ_f の代表温度は、T_5 と T_6 の平均値とした。</p> <p>b. バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部の熱伝導率</p> <p>バスケットプレート及び伝熱プレートは菓子折り構造により格子状となるように配置され、その交差部には切欠きを有する。バスケットプレート、伝熱プレート及びこれら交差部の熱伝導率には、この切欠きを考慮してモデル化したバスケットモデルによる予備解析から求められる等価熱伝導率を設定した。</p> <p>c. 軸方向への熱移動</p> <p>輪切りモデルでは、軸方向への熱移動がモデル化されないため実際より高温の結果を与える。そこで、全体モデルによる解析結果を用いて、以下の方法で軸方向への熱移動を考慮した。</p> <p>(a) 外周部燃料領域の軸方向熱移動</p> <p>外周部の 32 体の燃料集合体領域では、全体モデル解析における燃料均質化領域での軸方向熱移動量を差し引いた発熱密度を設定した。なお、中央部の 37 体の燃料集合体領域では、最高燃焼度の軸方向燃焼度最大領域の崩壊熱量に相当する発熱密度を設定し、軸方向熱移動は考慮しない。</p> <p>(b) 胴内面～外筒外面の軸方向熱移動</p> <p>全体モデル解析における胴内面から外筒外面の軸方向への熱移動量と一致するように、胴内面及び外筒外面に吸熱を与えた。このとき、胴内面及び外筒外面の温度が全体モデルの温度と一致するように吸熱量を調整した。</p> <p>軸方向への熱移動に関する概念を第 3-7 図に示す。また、輪切りモデルの軸方向熱移動量の設定方法と温度分布の関係を第 3-8 図に示す。輪切りモデルにおける胴内面より内側の軸方向</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>軸方向への熱移動に関する概念を別紙 1-7 図に示す。また、輪切りモデルの軸方向熱移動量の設定方法と温度分布の関係を別紙 1-8 図に示す。輪切りモデルにおける胴内面より内側の軸方向熱移動量は全体モデルを上回り、また、輪切りモデルの温度は全体モデルより保守的な温度となる。</p> <p>輪切りモデルに設定した発熱条件を別紙 1-6 表、別紙 1-7 表及び別紙 1-8 表に、熱移動量を別紙 1-9 表、別紙 1-10 表及び別紙 1-11 表に示す。</p> <p>d. 解析条件</p> <p>輪切りモデルの外部環境条件を別紙 1-12 表に示す。周囲温度を 45℃、貯蔵建屋壁面温度を 65℃とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮した。</p> <p>(3) 燃料集合体モデル</p> <p>燃料集合体モデルは、燃料集合体の軸方向中央断面を二次元でモデル化したものであり、燃料被覆管の温度を評価するためのモデルである。燃料棒は正八角形でモデル化し、断面積等価となるように寸法を設定した。燃料集合体モデルの形状図を別紙 1-9 図及び別紙 1-10 図に示す。</p> <p>a. 燃料棒の熱伝導率</p> <p>燃料棒の熱伝導率は、二酸化ウラン、ヘリウムガス及びジルカロイの体積割合を考慮して式(2)により計算した。</p> <p>b. 解析条件</p> <p>発熱条件として、最高燃焼度燃料の PF 最大領域の崩壊熱量に相当する発熱密度を設定した。また、伝熱形態として熱伝導及びふく射を考慮し、軸方向への伝熱を無視し断熱とした。境界条件は、輪切りモデル解析で最高温度となるチャンネルボックスの温度を設定した。</p> <p>c. ふく射計算の手法</p> <p>燃料棒の中心節点及びチャンネルボックスの節点に別紙 1-11 図に示すとおりふく射接続要素を設定し、6 種類のふく射接</p>		<p>熱移動量は全体モデルを上回り、また、輪切りモデルの温度は全体モデルより保守的な温度となる。</p> <p>輪切りモデルに設定した発熱条件を第 3-6 表、第 3-7 表及び第 3-8 表に、熱移動量を第 3-9 表、第 3-10 表及び第 3-11 表に示す。</p> <p>d. 解析条件</p> <p>輪切りモデルの外部環境条件を第 3-12 表に示す。周囲温度を 45℃、貯蔵建屋壁面温度を 65℃とし、周囲空気への自然対流熱伝達及び貯蔵建屋壁面へのふく射による放熱を考慮した。</p> <p>(3) 燃料集合体モデル</p> <p>燃料集合体モデルは、燃料集合体の軸方向中央断面を二次元でモデル化したものであり、燃料被覆管の温度を評価するためのモデルである。燃料棒は正八角形でモデル化し、断面積等価となるように寸法を設定した。燃料集合体モデルの形状図を第 3-9 図及び第 3-10 図に示す。</p> <p>a. 燃料棒の熱伝導率</p> <p>燃料棒の熱伝導率は、二酸化ウラン、ヘリウムガス及びジルカロイの体積割合を考慮して式(2)により計算した。</p> <p>b. 解析条件</p> <p>発熱条件として、最高燃焼度燃料の PF 最大領域の崩壊熱量に相当する発熱密度を設定した。また、伝熱形態として熱伝導及びふく射を考慮し、軸方向への伝熱を無視し断熱とした。境界条件は、輪切りモデル解析で最高温度となるチャンネルボックスの温度を設定した。</p> <p>c. 輻射計算の手法</p> <p>燃料棒の中心節点及びチャンネルボックスの節点に第 3-11 図に示すとおりふく射接続要素を設定し、6 種類のふく射接続を考慮した(第 3-12 図、第 3-13 図、第 3-14 図)。この 6 ケースのふく射接続におけるふく射移動量は、伝熱解析コード(A B A Q U S) コードにより下式にて考慮される。この式の入力</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>続を考慮した（別紙 1-12 図，別紙 1-13 図，別紙 1-14 図）。この 6 ケースのふく射接続におけるふく射移動量は，伝熱解析コード (ABAQUS) コードにより下式にて考慮される。この式の入力条件となる燃料棒表面積，形態係数及び放射率は，別紙 1-13 表に示す値を用いた。なお，同表に示すとおりふく射計算に使用する燃料棒の表面積は，解析モデルとは異なり実燃料棒の表面積を設定した。</p> <p style="text-align: right;">別添 1</p> <p style="text-align: center;">塗装の放射率設定根拠</p> <p>「別紙 1-4 表 材料の放射率」において塗装に適用した放射率 0.8 は，参考文献(3)に示された塗料の放射率 0.7~0.9 の平均値である。その設定の根拠を以下に示す。</p> <p>「別紙 1-4 表 材料の放射率」のうち，放射率 0.8 が設定されている構成部材は，外筒（外表面），胴（外表面），二次蓋（外表面）並びに貯蔵建屋壁面である。これら構成部材の放射率に係る文献値及び解析入力値を別添 1-1 表に示す。また，HDP-69B(B)型の表面の塗装に使用予定である [] の塗装の放射率の実測値を別添 1-1 表に併せて示す。解析に適用した放射率（解析入力値）は，貯蔵建屋壁面の仕様が制約とならないように，コンクリートに比べて放射率がより小さい塗装を代表して適用することとし，塗料の放射率 0.7~0.9 の平均値 0.8 とした。解析入力値は放射率の実測値より小さく，HDP-69B(B)型の内部の温度をより高く評価する観点から保守的な設定である。</p> <p style="text-align: right;">別添 2</p> <p style="text-align: center;">形態係数の算出過程</p> <p>「別紙 1-5 表 全体モデルの境界条件」及び「別紙 1-12 表 輪切りモデルの境界条件」において設定している金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数は，金属キャスク側面から貯蔵</p>	<p>条件となる燃料棒表面積，形態係数及び放射率は，別紙 1-13 表に示す値を用いた。なお，同表に示すとおりふく射計算に使用する燃料棒の表面積は，解析モデルとは異なり実燃料棒の表面積を設定した。</p> <p style="text-align: right;">別添 3-1</p> <p style="text-align: center;">塗装の放射率設定根拠</p> <p>「別紙 1-4 表 材料の放射率」において塗装に適用した放射率 0.8 は，参考文献(3)に示された塗料の放射率 0.7~0.9 の平均値である。その設定の根拠を以下に示す。</p> <p>「別紙 1-4 表 材料の放射率」のうち，放射率 0.8 が設定されている構成部材は，外筒（外表面），胴（外表面），二次蓋（外表面）並びに貯蔵建屋壁面である。これら構成部材の放射率に係る文献値及び解析入力値を別添 3-1-1 表に示す。また，BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の表面の塗装に使用予定である [] の塗装の放射率の実測値を別添 1-1 表に併せて示す。解析に適用した放射率（解析入力値）は，貯蔵建屋壁面の仕様が制約とならないように，コンクリートに比べて放射率がより小さい塗装を代表して適用することとし，塗料の放射率 0.7~0.9 の平均値 0.8 とした。解析入力値は放射率の実測値より小さく，BWR用大型キャスク（タイプ 2 A）の内部の温度をより高く評価する観点から保守的な設定である。</p> <p style="text-align: right;">別添 3-2</p> <p style="text-align: center;">形態係数の算出過程</p> <p>「第 3-5 表 全体モデルの境界条件」及び「第 3-12 表 輪切りモデルの境界条件」において設定している金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数は，金属キャスク側面から貯蔵建屋</p>	<p>形態係数の算出過程の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>建屋の天井及び床面への形態係数として求めた。以下に、この形態係数の算出過程を示す。</p> <p>はじめに、別添 2-1 図の金属キャスクの貯蔵配置に示すように、中心に配置された対象金属キャスクの周囲の金属キャスクで囲まれた空間（一辺が 2W の正方形の空間）のうち、周囲の金属キャスクを除く面積（別添 2-1 図の灰色のエリア）の等価断面半径 R_2 を式(1)で求めた。</p> <p>金属キャスク表面から貯蔵建屋内壁面への形態係数は、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基準：2013」の附属書 AT に基づき、円環フィン形状の形態係数を求める式から算出した。算出式及び各ふく射面の定義をそれぞれ式(2)から式(5)及び別添 2-2 図に示す。ここで、金属キャスク長さを L とし、b に R_3 を、a に R_2 を、c に L を代入して、2 面から 3 面への形態係数 F_{23} を求めた。形態係数の算出条件及び結果を別添 2-1 表に示す。</p> <p>以上より、「別紙 1-5 表 全体モデルの境界条件」及び「別紙 1-12 表 輪切りモデルの境界条件」において設定している金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数は、別添 2-1 表の 2 面から 3 面への形態係数 F_{23} の 0.232 である。</p> <p style="text-align: right;">別添 3</p> <p>燃料集合体領域の等価熱伝導率算出式中の係数 K について</p> <p>燃料集合体領域の等価熱伝導率 λ_f は、以下の式(1)を用いて計算する。</p> <p>以下で、式(1)中の係数 K についてその算出過程を示す。</p> <p>矩形内部が一様の熱伝導率 k、発熱密度 q で、境界温度が 0 K の場合（別添 3-1 図）の理論解は、式(2)で得られる*1。</p> <p>$\theta(x=0, y=0) = T_5 - T_6$, $u''' = q$, $2L = W$, $k = \lambda_f$ とすると、</p>		<p>の天井及び床面への形態係数として求めた。以下に、この形態係数の算出過程を示す。</p> <p>はじめに、別添 3-2-1 図の金属キャスクの貯蔵配置に示すように、中心に配置された対象金属キャスクの周囲の金属キャスクで囲まれた空間（一辺が 2W の正方形の空間）のうち、周囲の金属キャスクを除く面積（別添 3-2-1 図の灰色のエリア）の等価断面半径 R_2 を式(1)で求めた。</p> <p>金属キャスク表面から貯蔵建屋内壁面への形態係数は、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基準：2013」の附属書 AT に基づき、円環フィン形状の形態係数を求める式から算出した。算出式及び各ふく射面の定義をそれぞれ式(2)から式(5)及び別添 2-2 図に示す。ここで、金属キャスク長さを L とし、b に R_3 を、a に R_2 を、c に L を代入して、2 面から 3 面への形態係数 F_{23} を求めた。形態係数の算出条件及び結果を別添 3-2-1 表に示す。</p> <p>以上より、「第 3-5 表 全体モデルの境界条件」及び「第 3-12 表 輪切りモデルの境界条件」において設定している金属キャスク表面から貯蔵建屋壁面への形態係数は、別添 2-1 表の 2 面から 3 面への形態係数 F_{23} の 0.232 である。</p>	<p>理論式の解説の記載であるため、設 1-補-003 に基づき、申請書記載対象外（設 2-参-001 にて説明済み。）</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>したがって、$K=4/0.29469=13.57$ となる。</p> <p style="text-align: right;">別紙 2</p> <p style="text-align: center;">二次元除熱解析モデルの妥当性について</p> <p>HDP-69B(B)型の除熱解析で用いた二次元の輪切りモデルと全体モデルを組み合わせた解析手法（以下「2Dモデル」という。）の妥当性を確認するため、HDP-69B(B)型の三次元モデル（以下「3Dモデル」という。）を用いた除熱解析を行い、2Dモデルと3Dモデルの除熱解析結果を比較する。</p> <p>3. 3Dモデルの概要</p> <p>3Dモデル図を別紙2-1図に示す。3Dモデルは、バスケットプレート及び伝熱プレートを均質化することなくモデル化し、燃料集合体は1体ずつ燃料集合体領域（チャンネルボックス内面より内側の領域）を直方体形状で均質化してモデル化している。このため、3Dモデルは実形状に即した軸方向及び径方向への熱移動を評価できるモデルとなっている。ただし、トラニオンや蓋ボルト等の除熱解析の評価結果に大きな影響を与えないと考えられる部位はモデル化を省略している。3Dモデルと2Dモデルの各部位のモデル化方針の比較を別紙2-1表に示す。また、3Dモデルによる2Dモデルの妥当性確認フロー図を別紙2-2図に示す。</p> <p>4. 解析条件</p> <p>3Dモデル及び2Dモデルを用いた除熱解析の条件の比較を別紙2-2表に示す。発熱条件は2Dモデルの配置(i)の条件とする。</p>		<p>4. 二次元除熱解析モデルの妥当性について</p> <p>4.1 概要</p> <p>BWR用大型キャスク（タイプ2A）の除熱解析で用いた二次元の輪切りモデルと全体モデルを組み合わせた解析手法（以下「2Dモデル」という。）の妥当性を確認するため、BWR用大型キャスク（タイプ2A）の三次元モデル（以下「3Dモデル」という。）を用いた除熱解析を行い、2Dモデルと3Dモデルの除熱解析結果を比較する。</p> <p>4.2 3Dモデルの概要</p> <p>3Dモデル図を第4-1図に示す。3Dモデルは、バスケットプレート及び伝熱プレートを均質化することなくモデル化し、燃料集合体は1体ずつ燃料集合体領域（チャンネルボックス内面より内側の領域）を直方体形状で均質化してモデル化している。このため、3Dモデルは実形状に即した軸方向及び径方向への熱移動を評価できるモデルとなっている。ただし、トラニオンや蓋ボルト等の除熱解析の評価結果に大きな影響を与えないと考えられる部位はモデル化を省略している。3Dモデルと2Dモデルの各部位のモデル化方針の比較を第4-1表に示す。また、3Dモデルによる2Dモデルの妥当性確認フロー図を第4-2図に示す。</p> <p>4.3 解析条件</p> <p>3Dモデル及び2Dモデルを用いた除熱解析の条件の比較を第4-2表に示す。発熱条件は2Dモデルの配置A*¹の条件とする。</p> <p>*1：申請書添付書類3 添付3-1-1 第2表に基づく配置Aを</p>	<p>二次元除熱解析モデルの妥当性の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>5. 解析結果</p> <p>3D モデルと 2D モデル（全体モデル，輪切りモデル）の除熱解析結果の比較を別紙 2-3 表に示す。また，温度分布の比較を別紙 2-3 図及び別紙 2-4 図に示す。</p> <p>別紙 2-3 表より，中性子遮蔽材，胴及び蓋部，金属ガスケット，バスケット並びに燃料集合体の温度は，すべての部位において 2D モデルの方が 3D モデルよりも高い結果となった。また，燃料集合体領域で最高温度となる金属キャスク径方向断面における，軸方向及び径方向の熱移動量の割合を別紙 2-4 表に示す。別紙 2-4 表より，軸方向及び径方向の熱移動量の割合は 3D モデルと 2D モデル（全体モデル）で同等である。</p> <p>6. まとめ</p> <p>2D モデルを用いた除熱解析で得られている評価部位の最高温度は，3D モデルを用いた除熱解析で得られた評価部位の最高温度よりもすべての評価部位において高い結果となり，2D モデルは保守的な除熱解析モデルといえる。また，軸方向及び径方向の熱移動量の割合は，3D モデルと 2D モデル（全体モデル）で同等の結果となり，2D モデル（全体モデル）における均質化領域の物性値と軸方向熱移動の設定方法は妥当であるといえる。</p> <p>以上より，2D モデルによる HDP-69B(B) 型の除熱解析手法は妥当である。</p>	<p>添付 3-2 使用済燃料貯蔵建屋の除熱に関する説明書（省略）</p>	<p>示す。</p> <p>4.4 解析結果</p> <p>3D モデルと 2D モデル（全体モデル，輪切りモデル）の除熱解析結果の比較を第 4-3 表に示す。また，温度分布の比較を第 4-3 図及び第 4-4 図に示す。</p> <p>第 4-3 表より，中性子遮蔽材，胴及び蓋部，金属ガスケット，バスケット並びに燃料集合体の温度は，すべての部位において 2D モデルの方が 3D モデルよりも高い結果となった。また，燃料集合体領域で最高温度となる金属キャスク径方向断面における，軸方向及び径方向の熱移動量の割合を第 4-4 表に示す。第 4-4 表より，軸方向及び径方向の熱移動量の割合は 3D モデルと 2D モデル（全体モデル）で同等である。</p> <p>4.5 まとめ</p> <p>2D モデルを用いた除熱解析で得られている評価部位の最高温度は，3D モデルを用いた除熱解析で得られた評価部位の最高温度よりもすべての評価部位において高い結果となり，2D モデルは保守的な除熱解析モデルといえる。また，軸方向及び径方向の熱移動量の割合は，3D モデルと 2D モデル（全体モデル）で同等の結果となり，2D モデル（全体モデル）における均質化領域の物性値と軸方向熱移動の設定方法は妥当であるといえる。</p> <p>以上より，2D モデルによる BWR 用大型キャスク（タイプ 2 A）の除熱解析手法は妥当である。</p> <p>（使用済燃料貯蔵建屋の除熱に関する補足説明） （省略）</p>	<p>R F S 固有の安全設計による相違</p>

第4-2表 (5/5) 先行事業者の型式指定申請書の記載事項との比較 (耐圧強度及び耐食性)

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書</p> <p>1. 概要 使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。 本書は、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で十分な構造、強度及び耐食性を有することを説明するものである。</p> <p>2. 適用部材の分類 HDP-69B(B)型の構造図を図2-1に示す。これら構成部材のうち、技術基準規則第14条に規定される基本的安全機能を確保する上で必要な強度部材として、密封容器を評価対象とする。また、(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 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)に規定されるバスケット及びトラニオン、加えて、一次蓋と同様に金属ガスケットを用いて金属キャスクの閉じ込め機能を有する二次蓋、中性子遮蔽材を支持する外筒(端板を含む。)及び圧力監視のために圧力に対して十分な強度が求められる蓋部中性子遮蔽材カバーを評価対象とする。適用部材の分類を表2-1に示す。</p> <p>3. 強度評価の基本方針 表2-1に従い、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の解釈」(令和2年2月5日制定 原規規発第2002054号-3)、金属キャスク構造規格及び(社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005(2007年追補版含む。)」(以下「設計・建設規格」という。)による評価を実施する。</p>	<p>添付 10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針</p> <p>1. 概要 キャスク本体その他のキャスクを構成する部材の材料及び構造については、技術基準規則第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。 本資料は、金属キャスク及び貯蔵架台が、十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。</p> <p>2. 適用部材の分類 使用済燃料貯蔵設備本体は、金属キャスク及び金属キャスクを床面に固定するための貯蔵架台で構成する。金属キャスク及び貯蔵架台の構造図を第2-1図に示す。これら機器等のうち、技術基準規則第14条に規定される基本的安全機能を確保するために必要な強度部材として、密封容器及び貯蔵架台を評価対象とする。 また、(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(2007年版) JSME S FA1-2007(以下「構造規格」という。)に規定されるバスケット及びトラニオンに加えて、一次蓋と同様に金属ガスケットを用いて金属キャスクの閉じ込め機能を有する二次蓋、中性子遮蔽材を支持する外筒(上下部端板を含む。)及び圧力監視のために圧力に対して十分な強度が求められる蓋部中性子遮蔽材カバーを評価対象とする。適用部材の分類を第2-1表に示す。</p> <p>3. 材料及び構造に関する評価の基本方針 第2-1表に従い、「構造規格」及び(一社)日本機械学会「発電用原子力設備規格(設計・建設規格 JSME S NC1-2005)(日本機械学会 2005年9月)(2007年追補版を含む。)」(以下「設計・建設規格」という。)による評価を実施する。</p>	<p>(該当なし)</p>	<p>概要の記載は同等</p> <p>適用部材の分類の記載は同等</p> <p>強度評価の基本方針の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>4. HDP-69B(B)型の耐圧強度及び耐食性に対する設計</p> <p>基本的安全機能を維持する上で重要となる HDP-69B(B)型の構成部材は、密封容器（二次蓋を含む。）、バスケット及びトランオン、加えて、中性子遮蔽材を支持する外筒（端板を含む。）及び蓋部中性子遮蔽材カバーである。これらの構成部材について応力評価を行い、当該部材に発生する応力が許容応力以下となり、HDP-69B(B)型が基本的安全機能を維持するために必要な耐圧強度を有することを示す。また、HDP-69B(B)型の主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使用済燃料を不活性ガスとともに封入し、金属キャスク表面の必要な個所に塗装等の防錆処置を施すことにより、金属キャスク及び使用済燃料の腐食等を防止するよう設計していることを示す。なお、HDP-69B(B)型を構成する部材のうち中性子遮蔽材、金属バスケット及び伝熱フィン、HDP-69B(B)型の耐圧強度を担保する部材ではないことから、耐食性についてのみ評価する。</p> <p>4.1 材料について</p> <p>(1) 機械的強度及び化学的組成</p> <p>a. 密封容器は、その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的組成（使用中の応力その他の使用条件に対する適切な耐食性を含む。）を有する材料を使用する。機械的強度及び化学的組成は、「添付書類 9 当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」表 8-1 材料検査にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 密封容器に使用する材料は、金属キャスク構造規格 MCM-1110 に従い別表 1-1 に示される材料の規格に適合するものを選定し、MCM-1200 で規定される機械試験によって、適切な機械的強度及び化学的組成を有する材料であることを確認する。 規定に基づく機械的強度を用いて、使用する圧力及び荷重に対して適切な強度を有することを「添付書類 8 耐圧強度 	<p>3.1 機械的強度及び化学的組成</p> <p>密封容器及び貯蔵架台の材料はその使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的組成を有する。</p> <p>(1) 機械的強度及び化学的組成は、使用前事業者検査の材料検査において「構造規格」の規定を満足することを確認する。規定に基づく機械的強度を用いて、使用する圧力及び荷重に対して適切な強度を有することを各種応力計算書に示す。</p> <p>(2) 使用中の応力その他の使用条件に対する適切な耐食性については、「別紙 1 金属キャスク及び貯蔵架台の耐食性に関する説明書」に示す。</p> <p>(3) バスケットに使用するボロン添加ステンレス鋼板が「構造規格」を使用して評価できることの説明を「別紙 2 ボロン添加ステンレス鋼板の材料特性について」に示す。</p> <p>(4) 金属キャスク取扱中の衝撃で使用済燃料が破損しないことは密封評価における前提となることから、取扱中の使用済燃料の強度評価を「別紙 3 使用済燃料被覆管の応力計算について（BWR用大型キャスク（タイプ 2 A））」に示す。</p> <p>(5) 二次蓋は、内圧を受ける容器となることから、クラス 3 容器としての構造評価を「別紙 4 二次蓋のクラス 3 容器評価」に示す。</p>	<p>金属キャスクの耐圧強度及び耐食性に対する設計の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>及び耐食性に関する説明書」における強度評価によって確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 密封容器に使用する材料は、「添付書類 8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書」にて温度、水質及び放射線に対して適切な耐食性を有することを確認する。 <p>(2) 破壊じん性</p> <p>a. 密封容器に使用する材料にあつては、当該密封容器が使用される圧力、温度、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な破壊じん性を有することを機械試験その他の評価方法により確認する。破壊じん性は、「添付書類 9 当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」表 8-1 材料検査にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 密封容器に使用する材料は、金属キャスク構造規格 MCM-1334 で規定される破壊じん性試験を行い、MCM-1334.2 の判定基準を満足することで適切な破壊じん性を有することを確認する。 密封容器に使用するボルト材料は、金属キャスク構造規格 MCM-1331 で規定される破壊じん性試験を行い、表 MCM-1331-1 の判定基準を満足することで適切な破壊じん性を有することを確認する。 <p>(3) 非破壊試験</p> <p>a. 密封容器に使用する材料は、有害な欠陥がないことを非破壊試験により確認する。「添付書類 9 当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」表 8-1 材料検査にて金属キャスク構造規格の非破壊試験の規定を満足することを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 密封容器に使用する材料は、金属キャスク構造規格 MCM-1410 で規定される非破壊試験を行い、MCM-1440 の判定基準を満足することで有害な欠陥がないことを確認する。 	<p>3.2 破壊じん性</p> <p>密封容器に使用する材料にあつては、その使用条件に対して適切な破壊じん性を有することを使用前事業者検査の材料検査において「構造規格」の判定基準を満足することにより確認する。</p> <p>貯蔵架台に使用する材料にあつては、その最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有することを使用前事業者検査の材料検査において「構造規格」又は「設計・建設規格」の規定を満足することにより確認する。</p> <p>3.3 非破壊試験</p> <p>密封容器及び貯蔵架台に使用する材料に、有害な欠陥がないことを、使用前事業者検査において「構造規格」又は「設計・建設規格」の非破壊試験の規定を満足することにより確認する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>4.2 構造及び強度について</p> <p>(1) 延性破断の防止</p> <p>a. 密封容器, バスケット, トラニオン, 外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーは, 取扱い時及び貯蔵時において, 全体的な変形を弾性域に抑える設計とする。「補添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを評価する。</p> <p>取扱い時及び貯蔵時の評価条件は以下のとおりである。</p> <p>(a) 貯蔵時</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの姿勢: たて姿勢 ・金属キャスクの固定方式: 下部トラニオン固定 ・鉛直方向加速度: 自重 (1 G) <p>(b) 取扱い時 (吊上げ時)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの姿勢: たて姿勢 ・金属キャスクの固定方式: 上部トラニオンで吊上げ ・鉛直方向加速度: 1.3 G ・密封容器は, 取扱い時及び貯蔵時において, 一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-1311.1, MCD-1318.1 及び MCD-1321.1 の規定を満足し, 全体的な変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。 ・バスケットは, 取扱い時及び貯蔵時において, 一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-2311 の規定を満足し, 全体的な変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。 ・トラニオンは, 取扱い時及び貯蔵時において, 一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-3311.1 の規定を満足し, 全体的な変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。 ・外筒は, 取扱い時及び貯蔵時において, 一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-3721.1 の規定を満足し, 全体的な変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。 ・蓋部中性子遮蔽材カバーは, 取扱い時及び貯蔵時において, 一次応力評価結果が設計・建設規格 PVD-3310 の考 	<p>3.4 延性破断の防止</p> <p>(1) 密封容器, バスケット, トラニオン, 外筒, 中性子遮蔽材カバー及び貯蔵架台は, 取扱い時及び貯蔵時において, 一次応力評価結果が「構造規格」又は「設計・建設規格」の規定を満足し, 全体的な変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。確認結果を各種応力計算書に示す。</p> <p>(2) 密封容器, バスケット, トラニオン, 外筒, 中性子遮蔽材カバー及び貯蔵架台は, 一次応力評価結果が「構造規格」又は「設計・建設規格」の規定を満足し, 破断延性限界に十分な余裕を有し, 金属キャスクに要求される機能に影響を及ぼさない設計であることを確認する。また, 密封シール部は, 一次応力評価結果が「構造規格」の規定を満足し, 変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。確認結果を各種応力計算書に示す。</p> <p>(3) 密封容器は, 試験状態において, 一次応力評価結果が「構造規格」の規定を満足し, 全体的な塑性変形が生じない設計であることを確認する。また, 密封シール部は, 試験状態において, 一次応力評価結果が「構造規格」の規定を満足し, 変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。確認結果を密封容器の応力計算書に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>え方に基づいた許容応力を満足し、全体的な変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。</p> <p>b. 密封容器は、破断延性限界に十分な余裕を有し、金属キャスクに要求される機能に影響を及ぼさない設計とする。また、閉じ込め機能を担保する密封シール部については、変形を弾性域に抑える設計とする。「添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを評価する。</p> <p>評価条件は、貯蔵架台への衝突時である。</p> <p>(a) 貯蔵架台への衝突時</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの姿勢：たて姿勢 ・鉛直方向加速度：5 G ・密封容器は、一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-1311.3 及び MCD-1321.2 の規定を満足し、破断延性限界に十分な余裕を有し、金属キャスクに要求される機能に影響を及ぼさない設計であることを確認する。 ・密封シール部は、一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-1318.1 の規定を満足し、変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。 <p>c. 密封容器は、試験状態において、全体的な塑性変形が生じない設計とする。また、密封シール部については、変形を弾性域に抑える設計とする。「添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを評価する。</p> <p>試験時の評価条件は以下のとおりである。</p> <p>(a) 試験時</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの姿勢：たて姿勢 ・鉛直方向加速度：自重 (1 G) ・密封容器は、試験状態において、一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-1311.4 の規定を満足し、全体的な塑性変形が生じない設計であることを確認する。 ・密封シール部は、試験状態において、一次応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-1318.2 の規定を満足し、変形を弾性域に抑える設計であることを確認する。 			

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(2) 疲労破壊の防止</p> <p>a. 密封容器，バスケット，トラニオン及び外筒は，取扱い時及び貯蔵時において，疲労破壊が生じない設計とする。「添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 密封容器（ボルトを除く。）は，金属キャスク構造規格 MCD-1314 の疲労評価を実施し，金属キャスク構造規格 MCD-1332 の規定により，取扱い時及び貯蔵時において疲労解析不要であることを確認する。 密封容器のボルトは，金属キャスク構造規格 MCD-1322 の規定により，疲労評価を行い，取扱い時及び貯蔵時において疲労破壊が生じない設計であることを確認する。 バスケットは，取扱い時及び貯蔵時において，一次応力と二次応力を加えた評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-2312 の規定を満足し，疲労破壊が生じない設計であることを確認する。 トラニオンは，取扱い時及び貯蔵時において，金属キャスク構造規格 MCD-3313 の規定により疲労評価を行い，疲労破壊が生じない設計であることを確認する。 外筒は，取扱い時及び貯蔵時において，一次応力と二次応力を加えた評価結果が 金属キャスク構造規格 MCD-3722.1 の規定を満足し，疲労破壊が生じない設計であることを確認する。 蓋部中性子遮蔽材カバーは，設計・建設規格のクラス 3 容器にて評価要求がないため評価を省略する。 <p>(3) 座屈による破壊の防止</p> <p>a. 密封容器，バスケット，トラニオン，外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーは，取扱い時及び貯蔵時において，座屈が生じない設計とする。「添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 密封容器は，取扱い時及び貯蔵時において圧縮応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-1317 の規定を満足し，座屈が生じない設計であることを確認する。 	<p>3.5 疲労破壊の防止</p> <p>密封容器，バスケット，トラニオン，外筒及び貯蔵架台は，取扱い時及び貯蔵時において，「構造規格」又は「設計・建設規格」の規定により疲労評価を行い，取扱い時及び貯蔵時において疲労破壊が生じない設計であることを確認する。ただし，疲労評価は，疲労評価が要求される密封容器及びトラニオンにて実施する。確認結果を各種応力計算書に示す。</p> <p>3.6 座屈による破壊の防止</p> <p>密封容器，バスケット，トラニオン，外筒，中性子遮蔽材カバー及び貯蔵架台は，座屈が生じないよう「構造規格」又は「設計・建設規格」の規定により圧縮応力評価を行い，規定を満足することを確認する。ただし，評価すべき圧縮応力が発生しないか，又は評価上厳しくない場合は評価を省略する。確認結果を各種応力計算書に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>・バスケットは、取扱い時及び貯蔵時において圧縮応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-2317 の規定を満足し、座屈が生じない設計であることを確認する。</p> <p>・外筒は、取扱い時及び貯蔵時において圧縮応力評価結果が金属キャスク構造規格 MCD-3721.1 の規定を満足し、座屈が生じない設計であることを確認する。</p> <p>・トランニオン及び蓋部中性子遮蔽材カバーは、取扱い時及び貯蔵時において圧縮応力が作用するような評価事象はなく、座屈が生じないことを確認する。</p> <p>4.3 密封容器の主要な耐圧部の溶接部について</p> <p>密封容器の主要な耐圧部の溶接部は、次のとおりとし、各種検査により、適用基準及び適用規格に適合していることを確認する。「添付書類 9 当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」表 8-3、表 8-4 及び表 8-5 の検査を行う。</p> <p>・密封容器の主要な耐圧部の溶接部は、不連続で特異な形状でない設計であることを確認する。</p> <p>・密封容器の主要な耐圧部の溶接部は、金属キャスク構造規格 MCN-2300 の規定に従い表 MCN-2300-1 の非破壊試験を行い、溶接による割れが生ずるおそれがなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを確認する。</p> <p>・密封容器の主要な耐圧部の溶接部は、金属キャスク構造規格 MCN-2320 の規定により、母材の強度と同等以上の適切な強度を有することを確認する。</p> <p>・溶接施工法及び溶接設備並びに適切な技能を有する溶接士であることの確認を行う。</p> <p>4.4 耐圧試験について</p> <p>密封容器は、適切な耐圧試験を行ったとき、これに耐え、かつ、著しい漏えいがないことを確認する。「添付書類 9 当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書」表 8-1 耐圧・漏えい検査にて金属キャスク構造規格の規定を満足することを確認する。</p>	<p>3.7 密封容器の主要な耐圧部の溶接部について</p> <p>密封容器の主要な耐圧部の溶接部は、使用前事業者検査により適用基準及び適用規格に適合していることを確認する。</p> <p>3.8 耐圧試験について</p> <p>密封容器は、適切な耐圧試験を行ったとき、これに耐え、かつ、著しい漏えいがないことを使用前事業者検査にて「構造規格」の耐圧・漏えい検査の規定を満足することにより確認する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<ul style="list-style-type: none"> ・密封容器は、金属キャスク構造規格 MCT-1200 に規定される耐圧試験を行い、耐圧試験に耐え、かつ、著しい漏えいがないことを確認する。 			

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-1-1 密封容器の応力解析の方針</p> <p>1. 概要</p> <p>使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。</p> <p>本書は、HDP-69B(B)型の密封容器及び二次蓋に関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>なお、HDP-69B(B)型は一次蓋と二次蓋で多重の閉じ込め構造を形成し、二次蓋には一次蓋と同等の閉じ込め性能を要求するため、二次蓋は一次蓋と同様の応力評価を行う。</p> <p>2. 適用基準</p> <p>密封容器の強度評価基準については、(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 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)を適用する。</p> <p>ただし、二次蓋は一次蓋と同様に金属ガスケットを用いて金属キャスクの閉じ込め機能を有していることから、応力評価手法としては一次蓋と同様、金属キャスク構造規格の密封容器の規定を用いる。</p> <p>3. 記号</p> <p>3.1 記号の説明</p> <p>本書及び「添付書類 8-1-2 密封容器の応力計算書」(以下「応力計算書」という。)において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。</p> <p>なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件</p> <p>密封容器及び二次蓋は以下の設計条件に耐えるように設計する。</p>	<p>添付 10-2-1-1 密封容器の応力解析の方針 (BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))</p> <p>1. 概要</p> <p>本書は、「添付 10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針」に基づき、金属キャスクの密封容器及び二次蓋に関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>なお、金属キャスクは一次蓋と二次蓋で多重の閉じ込め構造を形成し、二次蓋には一次蓋と同等の閉じ込め性能を要求するため、二次蓋は一次蓋と同様の応力評価を行う。</p> <p>2. 適用基準</p> <p>密封容器の強度評価については、使用済燃料貯蔵施設規格 (金属キャスク構造規格 J S M E S F A 1 - 2007) (日本機械学会 2007年12月) (以下「構造規格」という。)を適用する。</p> <p>ただし、二次蓋は一次蓋と同様に金属ガスケットを用いて金属キャスクの閉じ込め機能を有していることから、応力評価手法としては一次蓋と同様、「構造規格」の密封容器の規定を用いる。</p> <p>3. 記号</p> <p>3.1 記号の説明</p> <p>本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。</p> <p>なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件</p> <p>密封容器及び二次蓋は以下の設計条件に耐えるように設計する。</p>	<p>2. 金属キャスクの強度について</p> <p>2.1 密封容器の強度について</p> <p>使用済燃料貯蔵施設規格 (金属キャスク構造規格 J S M E S F A 1 - 2007) については、以下「構造規格」という。</p> <p>2.1.1 基本仕様について</p> <p>金属キャスクの最高使用温度及び最高使用圧力の算出方法を以下に示す。</p> <p>(1) 最高使用温度</p> <p>最高使用温度については、貯蔵時の熱解析結果から</p>	<p>概要の記載は同等</p> <p>適用基準の記載は同等</p> <p>記号の記載は同等</p> <p>設計条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>4.1 基本仕様 密封容器及び二次蓋に作用する圧力と最高使用温度を以下に示す。</p> <p>4.2 設計事象 設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内及び試験時における選定事象を以下に示す。</p> <p>4.3 荷重の種類とその組合せ 密封容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-1 に示す。 応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件 5.1 解析対象とする事象 4.2 節で示した使用済燃料貯蔵施設内及び試験時における選定事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p> <p>5.2 解析対象 応力解析の対象は、次のとおりである（図 5-1 参照）。 (1) 胴 (2) 底板 (3) 一次蓋 (4) 一次蓋ボルト (5) カバープレート</p>	<p>4.1 基本仕様 密封容器及び二次蓋の最高使用圧力及び最高使用温度を第 4-1 表に示す。</p> <p>4.2 燃料及び環境条件 燃料及び環境条件として、金属キャスクの収納物（使用済燃料集合体）、姿勢及び周囲温度の条件を第 4-2 表に示す。</p> <p>4.3 設計事象 設計上考慮する事象として、リサイクル燃料備蓄センター内及び試験時における選定事象を第 4-3 表に示し、供用状態 A 及び供用状態 B の状態図を第 4-1 図に示す。 使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）第 14 条第 2 項では密封容器に対する耐圧試験の規定があるが、試験状態における密封容器の強度評価は「構造規格」MCD-1311.4 及び MCD-1318.2 に規定される部位を評価対象とし、一次蓋締付けボルト、カバープレート締付けボルト、二次蓋及び二次蓋締付けボルトは評価対象外とする。</p> <p>4.4 荷重の種類とその組合せ 密封容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを第 4-4 表に示す。 応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件 5.1 解析対象とする事象 4.3 節で示したリサイクル燃料備蓄センター内及び試験時における選定事象のうち、第 5-1 表に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p> <p>5.2 解析箇所 密封容器の応力解析を行う箇所は、次のとおりである。（第 5-1 図参照） (1) 胴 (2) 底板 (3) 一次蓋 (4) 一次蓋締付けボルト (5) カバープレート</p>	<p>10℃～20℃単位程度の余裕を持って設定する。設計値を第 2-1-1 表に示す。</p> <p>(2) 最高使用圧力 最高使用圧力については、密封容器の内外差圧と加圧排水時の圧力との比較で大きい値から余裕を持って設定する。設計値を第 2-1-2 表に示す。</p> <p>2.1.2 荷重の種類とその組合せについて 構造規格 3-解説 MCD-1, 2 を参考に選定注 1) した。「その他の付加荷重」とは、内圧、熱荷重、自重、衝撃力を除いた荷重で、地震による荷重、ボルト初期締付け力、吊上げ荷重、固縛力を示している。構造規格では、応力の分類として大きく熱荷重とそれ以外（内圧、外荷重、ボルト締付け力等）に分けている。構造規格は、構造規格 1-解説 MGB-13 のように構造部位によって各荷重の種類で生じる応力の分類が変わる規格となっているため、このような記載としている。</p> <p>2.1.3 代表事象の選定について 代表事象と包絡される事象の関係を第 2-1-3 表に示す。 供用状態 A について、密封容器に作用する加速度が大きく、吊上げ時が台車搬送時及び準備作業時よりも荷重条件が厳しいため、代表事象とする。</p>	<p>計算条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(6) カバープレートボルト (7) 底部中性子遮蔽材カバー (8) 一次蓋 (シール部) (9) カバープレート (シール部)</p> <p>また、一次蓋と同様に金属ガスケットを用いて金属キャスクの閉じ込め機能を有する二次蓋についても、以下の部位について併せて応力解析を行う (図 5-1 参照)。</p> <p>(10) 二次蓋 (11) 二次蓋ボルト (12) 二次蓋 (シール部)</p> <p>5.3 形状及び寸法 応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 物性値 応力計算及び疲労解析の必要性検討に使用する材料の物性値を表 5-2 に示す。応力計算に使用する物性値は、「添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に記載する除熱解析で得られた温度を基に、その温度依存性を考慮する。なお、常温は 20 °C とする。</p>	<p>(6) カバープレート締付けボルト (7) 底部中性子遮蔽材カバー (8) 密封シール部 (一次蓋)</p> <p>また、一次蓋と同様に金属ガスケットを用いて金属キャスクの閉じ込め機能を有する二次蓋についても、以下の部位についてあわせて応力解析を行う。(第 5-1 図参照)</p> <p>(9) 二次蓋 (10) 二次蓋締付けボルト (11) 密封シール部 (二次蓋)</p> <p>5.3 形状及び寸法 応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 物性値 温度分布計算、応力計算及び疲労解析の必要性検討に使用する材料の物性値は以下のとおりである。</p> <p>(1) 温度分布計算に使用する物性値を第 5-2 表及び第 5-3 表に示す。</p> <p>なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。</p> <p>(2) 熱応力計算に使用する物性値を第 5-4 表に示す。</p> <p>なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。</p> <p>(3) 内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、温度分布計算で得られた温度を</p> <p>各部ごとに設定し、これに対応した値を用いる。なお、常温は 20 °C とする。</p> <p>(4) 物性値を温度補正して使用する場合には、補正方法を応力計算書に示す。</p>	<p>供用状態 B について、作用する加速度が大きく、貯蔵架台への衝突時が搬送中の急停止時よりも荷重条件が厳しいため、代表事象とする。</p> <p>2.1.4 金属キャスクに作用する加速度について 受入れ区域天井クレーンにおける巻上定格速度 1.5m/分 で吊上げあるいは支持脚、貯蔵架台に衝突した場合を想定して算出した値から余裕を持って設定する。第 2-1-4 表に加速度を示す。</p> <p>(1) 吊上げ時 負荷係数 = 衝撃係数 × 作業係数 で求められる。 クレーン構造規格第十一条のその他のクレーンの場合より、 衝撃係数：$\Psi = 1 + 0.6v$ ただし 1.10 未満の場合 は 1.10 作業係数：1.08 ・荷重を受ける回数：6.3×10^4 回未満 回数については、 ① 車両から仮置架台への移動 ② 仮置架台からたて起こし架台への移動 ③ たて起こし ④ たて起こし架台から貯蔵架台への移動 $4 \text{ 回} \times 2 \text{ (搬出入)} \times 300 \text{ (基)} = 2.4 \times 10^3$ 回 輸送回数が仮に 10 回としても 2.4×10^4 回となり 6.3×10^4 回を下回る。 ・常態として定格荷重の 80% 以上の荷重の荷を吊るクレーン ・巻上定格速度 $v : 1.5 \text{ m/min} = 0.025 \text{ m/s}$ よって、負荷係数 = 1.188</p> <p>(2) 支持脚への衝突時 加速度は、金属キャスクを剛体とし、金属キャスクの運動エネルギー及び位置エネルギーが支持脚に弾性変形エネルギーとして全て吸収されるとすると、以下のように求められる。 垂直方向にキャスクが速度 v で衝突し、支持</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>5.5 許容応力</p> <p>(1) 密封容器</p> <p>密封容器の許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-1300 及び MCD-1400 による。</p> <p>許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>(2) 二次蓋</p> <p>二次蓋は、通常貯蔵時において密封境界を構成する部材ではないが、圧力監視境界としての耐圧機能に加え、一次蓋に加え多重の閉じ込め機能を有する部材として設けられたものである。閉じ込め機能に係る部位について一次蓋と同様の基準を用いて評価する。したがって、二次蓋の許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-1300 によるものとする。</p> <p>6. 応力解析の手順</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p>密封容器の応力解析フローを図 6-1 に示す。</p> <p>密封容器の応力解析は、想定される内圧、機械的荷重及び熱荷重を基</p>	<p>5.5 許容応力</p> <p>(1) 密封容器</p> <p>密封容器の許容基準は、「構造規格」MCD-1300, MCD-1400 及び MCD-1700 による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>(2) 二次蓋</p> <p>二次蓋は、通常貯蔵時において密封境界を構成する部材ではないが、圧力監視境界としての耐圧機能に加え、一次蓋に加え多重の閉じ込め機能を有する部材として設けられたものである。閉じ込め機能にかかわる部位について一次蓋と同様の基準を用いて評価する。したがって、二次蓋の許容基準は、「構造規格」MCD-1300 によるものとする。また、二次蓋の圧力と貫通孔の影響に対する許容基準は、「設計・建設規格」PVD-3310 及び PVD-3322 によるものとする。</p> <p>6. 応力解析の手順</p> <p>応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p>密封容器の応力解析フローを第 6-1 図に示す。</p> <p>密封容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基</p>	<p>脚が変形して運動が停止したときの金属キャスクのエネルギーと支持脚の変形エネルギーは次式で表される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ばね定数については支持脚の縦弾性係数から算出。上式について、支持脚の変形量 δ について解くと、以下となる。 <p>また、金属キャスクに作用する加速度は次式で表される。</p> <p>(3) 貯蔵架台への衝突時</p> <p>加速度は、金属キャスクを剛体とし、金属キャスクの運動エネルギー及び位置エネルギーが貯蔵架台に弾性変形エネルギーとして全て吸収されるとすると、(2)と同様に以下の式で求められる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ばね定数については貯蔵架台のたわみ計算から算出 <p>2.1.5 評価応力の種類及び許容値基準について</p> <p>評価応力の種類及び許容値基準については構造規格 3-解説 MCD-5, 6 より設定した。(許容応力値については構造規格別表参照)</p> <p>2.1.6 密封容器の解析モデルについて</p> <p>各モデルの補足説明を次頁以降に示す。</p> <p>2.1.7 貯蔵時と吊上げ時の金属キャスクの質量について</p> <p>貯蔵時と吊上げ時の金属キャスクの質量の比較を第 2-1-5 表に示す。</p>	<p>応力解析の手順の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>に、密封容器の実形状をモデル化し、解析コードである A B A Q U S 及び応力評価式を用いて行う。</p> <p>A B A Q U S とは、有限要素法に基づく応力解析の汎用解析コードであり、解析対象を形状、材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することで行う。</p> <p>なお、二次蓋についても密封容器と同様に評価を行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p>荷重条件は 4 章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。</p>	<p>に、密封容器の実形状をモデル化し、解析コードである A B A Q U S 及び応力評価式を用いて行う。</p> <p>A B A Q U S とは、有限要素法に基づく伝熱解析、応力解析の汎用解析コードである。</p> <p>温度分布計算は、領域を小さなメッシュに分割し、各メッシュについての熱平衡方程式を立て、温度分布を求める方式によっている。</p> <p>応力計算は、解析しようとする箇所を形状、材料等の不連続部で小さなメッシュに分割することによって行う。</p> <p>なお、二次蓋についても密封容器と同様に評価を行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p>荷重条件は 4.章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 温度分布計算</p> <p>6.3.1 温度分布計算の方法</p> <p>(1) 計算を行う設計事象は、金属キャスクの姿勢が、たて置き貯蔵時とする。</p> <p>(2) 解析モデルは次の方針に従う。</p> <p>a. 温度分布計算では、軸対称要素による解析モデル（以下「軸方向断面モデル」という。）を用いる。軸方向断面モデルは、密封容器、蓋部中性子遮蔽材カバー、底部中性子遮蔽材カバー、二次蓋及び外筒の形状について対称性を考慮する。密封容器内面に伝わる熱流束の対称性を考慮し、バスケット及び使用済燃料集合体を均質化して燃料有効長の部分を発熱させる。</p> <p>中性子遮蔽材及び伝熱フィンについては均質体として扱うため、二次元平面要素によるモデルにより密封容器外面と外筒内面の温度を求め伝熱抵抗が等価となるような熱伝導率を与える。</p> <p>b. 形状及び材料の不連続性を考慮して、温度計算のためのメッシュ分割を行う。</p> <p>c. 外表面からの放熱は自然対流及びふく射とする。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p>(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。</p> <p>a. 内圧</p> <p>b. 機械的荷重 機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含む HDP-69B(B) 型（吊上げ時、支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時においては三次蓋を含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。</p> <p>c. 熱荷重 熱荷重は、密封容器及び二次蓋に生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、「添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に記載する温度分布計算の結果から得られるものをいう。</p> <p>(2) 解析モデルは次の方針に従う。</p> <p>a. モデル化に当たっては、密封容器、蓋部中性子遮蔽材カバー、底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋の形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。</p> <p>b. 解析モデルは三次元の 180° 対称モデルとし、固体要素及びはり要素による解析モデルとする。 また、モデル化に当たり対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。</p> <p>(3) 構造及び材料の不連続性を考慮して、応力評価位置をとる。応力評価位置は、応力計算書に示す。</p>	<p>d. モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。 なお、境界には計算で求めた熱伝達率を考慮する。</p> <p>(3) 解析コードを用いて、温度分布を計算する。</p> <p>(4) 境界における熱伝達率、温度分布の計算結果を応力計算書に示す。</p> <p>6.4 応力計算と評価</p> <p>6.4.1 応力計算の方法</p> <p>(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。</p> <p>a. 内圧</p> <p>b. 機械的荷重 自重（燃料集合体を含む金属キャスク（二次蓋を含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。</p> <p>c. 熱荷重 密封容器及び二次蓋に生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温度分布計算の結果から得られるものをいう。</p> <p>(2) 解析モデルは次の方針に従う。</p> <p>a. モデル化に当たっては、密封容器、蓋部中性子遮蔽材カバー、底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋の形状の対称性及び荷重の対称性を考慮する。</p> <p>b. 解析モデルは三次元 1/2 モデルとし、固体要素及びはり要素による解析モデルとする。 また、モデル化に当たり対称性を考慮して境界条件を設定する。モデル図及び境界条件を応力計算書に示す。</p> <p>(3) 構造及び材料の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(4) 応力評価は、この応力評価位置について行う。</p> <p>6.3.2 応力の評価 応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。 なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。</p> <p>σ_r : 半径方向の応力 σ_θ : 円周方向の応力 σ_z : 軸方向の応力 $\tau_{r\theta}$: せん断応力 $\tau_{\theta z}$: せん断応力 τ_{zr} : せん断応力</p> <p>密封容器用材料の許容応力を表 6-1 及び表 6-2 に、二次蓋用材料の許容応力を表 6-3 及び表 6-4 に示す。</p> <p>(1) 密封容器（ボルトを除く。）の応力評価 密封容器の応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力強さ b. 一次+二次応力強さ c. 繰返し荷重の評価 d. 特別な応力の検討 (a) 平均せん断応力 (b) 平均支圧応力 (c) 圧縮応力</p> <p>(2) 二次蓋の応力評価 二次蓋の応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1310 を用いて、以下の項目を評価する。</p>	<p>(4) 応力評価は、この応力評価点（面）について行う。</p> <p>(5) 溶接部については、母材と同等の物性値及び機械的性質を用いる。</p> <p>6.4.2 応力の評価 応力の計算結果は、「構造規格」MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。 なお、応力の記号とその方向は下記のとおりである。</p> <p>σ_r : 半径方向の応力 σ_θ : 円周方向の応力 σ_z : 軸方向の応力 $\tau_{r\theta}$: せん断応力 $\tau_{\theta z}$: せん断応力 τ_{zr} : せん断応力</p> <p>密封容器用材料の許容応力値を第 6-1 表及び第 6-2 表に、二次蓋用材料の許容応力値を第 6-3 表及び第 6-4 表に示す。</p> <p>(1) 密封容器（ボルトを除く。）の応力評価 密封容器の応力評価は、「構造規格」MCD-1310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力強さ b. 一次+二次応力強さ c. 繰返し荷重の評価 d. 特別な応力の検討 (a) 平均せん断応力の評価 (b) 平均支圧応力の評価 (c) 圧縮応力の評価</p> <p>密封容器には外圧が作用するので、「構造規格」MCD-1410 に従い外圧に対する評価を行う。また、密封容器の一次蓋には貫通孔があるので、「構造規格」MCD-1700 に従い穴の補強の評価を行う。</p> <p>(2) 二次蓋の応力評価 二次蓋の応力評価は、「構造規格」MCD-1310 を用いて、以下の項目を評価する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>a. 一次応力強さ</p> <p>b. 一次+二次応力強さ</p> <p>c. 繰返し荷重の評価</p> <p>d. 特別な応力の検討</p> <p>(a) 平均せん断応力</p> <p>(b) 平均支圧応力</p> <p>(3) ボルトの応力評価</p> <p>一次蓋ボルト及びカバープレートボルトの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1320 に従い評価する。</p> <p>二次蓋ボルトの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-1320 を用いて評価する。</p> <p>6.3.3 数値の丸め方</p> <p>数値は原則として安全側に丸めて使用する。</p> <p>また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。</p> <p>表示する数値の丸め方を表 6-5 に示す。</p> <p>7. 引用文献</p> <p>文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。</p> <p>(1) (社) 日本機械学会, 「機械工学便覧 新版」, 丸善株式会社 (1987)</p> <p>(2) 西田正孝, 「応力集中 増補版」, 森北出版 (株) (1973)</p>	<p>a. 一次応力強さ</p> <p>b. 一次+二次応力強さ</p> <p>c. 繰返し荷重の評価</p> <p>d. 特別な応力の検討</p> <p>(a) 平均せん断応力の評価</p> <p>(b) 平均支圧応力の評価</p> <p>また、二次蓋の圧力と貫通孔に対する影響について、「設計・建設規格」PVD-3310 及び PVD-3322 に従い、必要板厚の評価を行う。</p> <p>(3) ボルトの応力評価</p> <p>一次蓋締付けボルト及びカバープレート締付けボルトの応力評価は、「構造規格」MCD-1320 に従い評価する。</p> <p>二次蓋締付けボルトの応力評価は、「構造規格」MCD-1320 を用いて評価する。</p> <p>6.4.3 数値の丸め方</p> <p>数値は原則として安全側に丸めて使用する。</p> <p>また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。</p> <p>表示する数値の丸め方を第 6-5 表に示す。</p> <p>7. 引用文献</p> <p>文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。</p> <p>(1) 日本機械学会, 伝熱工学資料 改訂第 4 版, 丸善株式会社, 1986 年</p> <p>(2) N. Kumagai, M. Kamoshida, K. Fujimura et al., Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin, 15th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM2007), Miami, Florida, USA, October 21-26, 2007</p> <p>(3) 日本機械学会, 伝熱工学資料 改訂第 3 版, 丸善株式会社, 1975 年</p> <p>(4) Jakob, M., Heat Transfer, Volume I, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962</p> <p>(5) 西田正孝, 応力集中 増補版, 森北出版, 1973 年</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-1-2 密封容器の応力計算書</p> <p>1. 概要 本書は、HDP-69B(B)型の密封容器及び二次蓋に関する応力計算書である。 なお、HDP-69B(B)型は一次蓋と二次蓋で多重の閉じ込め構造を形成し、二次蓋には一次蓋と同等の閉じ込め性能を要求するため、二次蓋は一次蓋と同様の応力評価を行う。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本書で評価する密封容器の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。また、二次蓋の形状・寸法・材料を図 1-2 に示す。</p> <p>1.2 計算結果 計算結果を表 3-1 から表 3-5 に示す。なお、応力評価位置については、評価上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため評価を省略している。</p> <p>2. 応力計算 2.1 応力評価位置 密封容器及び二次蓋の応力評価位置を図2-1に示す。</p> <p>2.2 設計時</p>	<p>添付 10-2-2-1 密封容器の応力計算書（BWR用大型キャスク（タイプ 2 A））</p> <p>1. 概要 本計算書は、密封容器及び二次蓋に関する応力計算書である。 なお、金属キャスクは一次蓋と二次蓋で多重の閉じ込め構造を形成し、二次蓋には一次蓋と同等の閉じ込め性能を要求するため、二次蓋は一次蓋と同様の応力評価を行う。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本計算書で解析する密封容器の形状・寸法・材料を第 1-1 図に示す。また、二次蓋の形状・寸法・材料を第 1-2 図に示す。</p> <p>1.2 計算結果の概要 計算結果の概要を第 1-1 表に示す。 なお、応力評価点については、解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価点（面）として本計算書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。</p> <p>2. 温度分布計算 2.1 計算方法 温度分布計算は、解析コード ABAQUS により行う。軸対称固体（連続体）要素による解析モデルを第 2-1 図に示す。 温度分布計算に使用する外表面の熱伝達率の計算条件と計算結果を第 2-1 表に示す。</p> <p>2.2 温度分布図 2.1 節の計算により得られた温度分布を第 2-2 図に示す。</p> <p>3. 応力計算 3.1 応力評価点 密封容器及び二次蓋の応力評価点（面）を第 3-1 図に示す。</p> <p>3.2 設計時</p>		<p>概要の記載は同等</p> <p>応力計算の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2.2.1 荷重条件</p> <p>設計時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 最高使用圧力 (1.0 MPa) ・ ボルト初期締付け力 ・ 貯蔵架台への衝突時荷重 (自重を含む。) <p>2.2.2 応力計算</p> <p>(1) 一次蓋, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋</p> <p>応力計算は, 解析コードABAQUSにより行う。三次元固体 (連続体) 要素及び三次元はり要素による解析モデルを図2-2 に示す。</p> <p>(2) 一次蓋ボルト, カバープレート, カバープレートボルト及び二次蓋ボルト</p> <p>一次蓋ボルト, カバープレート, カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの応力計算は以下に示すとおりである。</p> <p>a. 一次蓋ボルト及び二次蓋ボルト</p> <p>最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付け時のボルト荷重による平均引張応力 (σ_{n1}) は次式で計算する。</p> <p>b. カバープレート</p> <p>内圧により発生する一次膜+一次曲げ応力 ($\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$) は, カバープレートを周辺支持の円板にモデル化し, 次式 (1) で計算する。カバープレートの最大応力は図2-1⑰に発生する。また, カバープレート (シール部) に発生する応力はカバープレートの最大応力より小さいが, カバープレートに発生する応力と同じ値とする。</p> <p>2.2.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を表3-1に示す。なお, 表3-1には各評価位置のそれぞれにおいて計算値が最大となる解析ケースでの値を示している。</p> <p>2.3 貯蔵時</p> <p>2.3.1 荷重条件</p> <p>貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。</p>	<p>3.2.1 荷重条件</p> <p>設計時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>最高使用圧力+ボルト初期締付け力+貯蔵架台への衝突時荷重 (自重を含む。)</p> <p>3.2.2 計算方法</p> <p>(1) 一次蓋, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋</p> <p>応力計算は, 解析コードABAQUSにより行う。三次元固体 (連続体) 要素及び三次元はり要素による解析モデルを第3-2図に示す。</p> <p>(2) 一次蓋締付けボルト, カバープレート, カバープレート締付けボルト及び二次蓋締付けボルト</p> <p>一次蓋締付けボルト, カバープレート, カバープレート締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの応力計算は以下に示すとおりである。</p> <p>a. 一次蓋締付けボルト及び二次蓋締付けボルト</p> <p>最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付け時のボルト荷重による平均引張応力 (σ_{n1}) は次式で計算する。</p> <p>b. カバープレート</p> <p>内圧により発生する一次膜+一次曲げ応力 ($\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$) は, 次式で計算する。最大応力が発生するのは第3-1図⑰である。</p> <p>c. カバープレート締付けボルト</p> <p>最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付け時のボルト荷重による平均引張応力 (σ_{n1}) は (3.1) 式により同様に計算する。</p> <p>3.2.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を第3-1表に示す。なお, 第3-1表には各評価点 (面) のそれぞれにおいて計算値が最大となる解析ケースでの値を示している。</p> <p>3.3 貯蔵時</p> <p>3.3.1 荷重条件</p> <p>貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>・ 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa)</p> <p>・ 蓋間圧力 (0.4 MPa)</p> <p>・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ ボルト初期締付け力</p> <p>・ 自重</p> <p>・ トラニオン固定ボルトによる押付け力</p> <p>・ 熱荷重</p> <p>2.3.2 応力計算</p> <p>(1) 一次+二次応力</p> <p>a. 一次蓋, 一次蓋ボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋ボルト</p> <p>応力計算方法は, 2.2.2(1)と同様である。解析モデルを図2-3に示す。</p> <p>b. カバープレート及びカバープレートボルト</p> <p>カバープレート及びカバープレートボルトについては, 2.2節の設計時より圧力が低いことより本項以降, 試験時まで評価を省略する。</p> <p>(2) 平均支圧応力</p> <p>バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。</p> <p>(3) 圧縮応力</p> <p>胴に生じる圧縮応力 (σ_c) は2.2.2(1)の計算方法と同様である。</p> <p>2.3.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を表3-2に示す。</p> <p>2.4 吊上げ時</p> <p>2.4.1 荷重条件</p> <p>吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>・ 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa)</p> <p>・ 蓋間圧力 (0.4 MPa)</p>	<p>密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + 蓋部レジジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 側部レジジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 底部レジジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + ボルト初期締付け力 + 自重 + 熱荷重</p> <p>3.3.2 計算方法</p> <p>(1) 一次+二次応力</p> <p>a. 一次蓋, 一次蓋締付けボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋締付けボルト</p> <p>応力計算方法は, 3.2.2(1)と同様である。解析モデルを第3-3図に示す。</p> <p>b. カバープレート及びカバープレート締付けボルト</p> <p>カバープレート及びカバープレート締付けボルトについては, 3.2節の設計時より圧力が低いことより本項以降, 試験時まで評価を省略する。</p> <p>(2) 平均支圧応力</p> <p>バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。</p> <p>(3) 圧縮応力</p> <p>胴に生じる圧縮応力 (σ_c) は3.2.2(1)の計算方法と同様である。</p> <p>3.3.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を第3-2表に示す。</p> <p>3.4 吊上げ時</p> <p>3.4.1 荷重条件</p> <p>吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + 蓋部レジジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 側部レジジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) +</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ ボルト初期締付け力</p> <p>・ 吊上げ荷重 (自重を含む。)</p> <p>・ 熱荷重</p> <p>2.4.2 応力計算</p> <p>(1) 一次+二次応力 一次蓋, 一次蓋ボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋ボルトの応力計算方法は, 2.2.2(1)と同様である。解析モデルを図2-4 に示す。</p> <p>(2) 平均支圧応力 バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力 (σ_p) の計算方法は, 2.3.2(2)と同様である。ただし, $G_2 = 1.3G$とする。 計算条件及び計算結果を表2-5 に示す。</p> <p>(3) 圧縮応力 胴に生じる圧縮応力 (σ_c) の計算方法は2.2.2(1)と同様である。</p> <p>2.4.3 計算結果 応力計算結果を表3-2に示す。</p> <p>2.5 支持脚への衝突時</p> <p>2.5.1 荷重条件 支持脚への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>・ 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa)</p> <p>・ 蓋間圧力 (0.4 MPa)</p> <p>・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa)</p> <p>・ ボルト初期締付け力</p> <p>・ 支持脚への衝突時荷重 (自重を含む。)</p> <p>・ 熱荷重</p>	<p>底部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + ボルト初期締付け力 + 吊上げ荷重 (自重を含む。)+ 熱荷重</p> <p>3.4.2 計算方法</p> <p>(1) 一次+二次応力 一次蓋, 一次蓋締付けボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算方法は, 3.2.2(1)と同様である。解析モデルを第3-4 図に示す。</p> <p>(2) 平均支圧応力 底板とバスケット底面との接触部に発生する平均支圧応力 (σ_p) は, 3.3.2(2)と同様である。ただし, $G_2 = 1.3 G$とする。</p> <p>(3) 圧縮応力 胴に生じる圧縮応力 (σ_c) は3.2.2(1)の計算方法と同様である。</p> <p>3.4.3 計算結果 応力計算結果を第3-2 表に示す。</p> <p>3.5 支持脚への衝突時</p> <p>3.5.1 荷重条件 支持脚への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + 蓋部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 側部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 底部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + ボルト初期締付け力 + 支持脚への衝突時荷重 (自重を含む。)+ 熱荷重</p>		

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2.5.2 応力計算</p> <p>(1) 一次+二次応力 一次蓋, 一次蓋ボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋ボルトの応力計算方法は, 2.2.2(1)と同様である。解析モデルを図2-5 に示す。</p> <p>(2) 平均支圧応力 バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力 (σ_p) の計算方法は, 2.3.2(2)と同様である。ここで, $G_2 = 2.5G$とする。 計算条件及び計算結果を表2-6 に示す。</p> <p>(3) 圧縮応力 胴に生じる圧縮応力 (σ_c) の計算方法は2.2.2(1)と同様である。</p> <p>2.5.3 計算結果 応力計算結果を表3-2に示す。</p> <p>2.6 貯蔵架台への衝突時</p> <p>2.6.1 荷重条件 貯蔵架台への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) ・ 蓋間圧力 (0.4 MPa) ・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa) ・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa) ・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa) ・ ボルト初期締付け力 ・ 貯蔵架台への衝突時荷重 (自重を含む。) ・ 熱荷重 <p>2.6.2 応力計算</p> <p>(1) 一次+二次応力 一次蓋, 一次蓋ボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋ボルトの応力計算方法は, 2.2.2(1)と同様である。解析モデルを図2-6 に示す。</p>	<p>3.5.2 計算方法</p> <p>(1) 一次+二次応力 一次蓋, 一次蓋締付けボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算方法は, 3.2.2(1)と同様である。解析モデルを第3-5 図に示す。</p> <p>(2) 平均支圧応力 底板とバスケット底面との接触部に発生する平均支圧応力 (σ_p) は, 3.3.2(2)と同様である。ここで, $G_2 = 2.5G$とする。</p> <p>(3) 圧縮応力 胴に生じる圧縮応力 (σ_c) は3.2.2(1)の計算方法と同様である。</p> <p>3.5.3 計算結果 応力計算結果を第3-2 表に示す。</p> <p>3.6 貯蔵架台への衝突時</p> <p>3.6.1 荷重条件 貯蔵架台への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) + 蓋間圧力 (0.4 MPa) + 蓋部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 側部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + 底部レジン充填部圧力 (<input type="text"/> MPa) + ボルト初期締付け力 + 貯蔵架台への衝突時荷重 (自重を含む。) + 熱荷重</p> <p>3.6.2 計算方法</p> <p>(1) 一次+二次応力 一次蓋, 一次蓋締付けボルト, 胴, 底板, 底部中性子遮蔽材カバー, 二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算方法は, 3.2.2(1)と同様である。解析モデルを第3-6 図に示す。</p>		







型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(2) 平均支圧応力 バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力 (σ_p) の計算方法は、2.3.2(2)と同様である。ここで、$G_2=5G$とする。 計算条件及び計算結果を表2-7 に示す。</p> <p>(3) 圧縮応力 胴に生じる圧縮応力 (σ_c) の計算方法は2.2.2(1)と同様である。</p> <p>2.6.3 計算結果 応力計算結果を表3-2に示す。</p> <p>2.7 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)</p> <p>2.7.1 荷重条件 貯蔵時において S_d*地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 密封容器内圧力 (-0.101325 MPa) ・ 蓋間圧力 (0.4 MPa) ・ 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa) ・ 側部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa) ・ 底部中性子遮蔽材部圧力 (<input type="text"/> MPa) ・ ボルト初期締付け力 ・ 自重 ・ 地震力 ・ 熱荷重 <p>2.7.2 応力計算 (1) 一次応力 一次蓋，一次蓋ボルト，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー，二次蓋及び二次蓋ボルトの応力計算方法は、2.2.2(1)と同様である。 解析モデルを図2-7 に示す。 水平方向加速度 (G_1) 及び鉛直方向加速度 (G_2) として次の値を用いる。鉛直方向加速度については、プラスの方向とマイナスの方向を自重の加速度と組み合わせて考慮する。</p>	<p>(2) 平均支圧応力 底板とバスケット底面との接触部に発生する平均支圧応力 (σ_p) は、3.3.2(2)と同様である。ここで、$G_2=5G$とする。</p> <p>(3) 圧縮応力 胴に生じる圧縮応力 (σ_c) は3.2.2(1)の計算方法と同様である。</p> <p>3.6.3 計算結果 応力計算結果を第3-2表に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(2) 一次+二次応力</p> <p>a. シール部を除く，一次蓋，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋</p> <p>応力計算の方法は，(1)と同様である。ただし，荷重条件は地震力のみとして計算を行い，振幅を考慮して応力強さの最大値を2倍して求める。</p> <p>b. シール部，一次蓋ボルト及び二次蓋ボルト</p> <p>応力計算の方法は，(1)と同様である。ただし，荷重条件として熱荷重を含める。</p> <p>(3) 平均支圧応力</p> <p>バスケット底面との接触部である底板に発生する平均支圧応力 (σ_p) の計算方法は，2.3.2(2)と同様である。</p> <p>計算条件及び計算結果を表2-8に示す。</p> <p>2.7.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を表3-3に示す。</p> <p>2.8 貯蔵時 (S_s地震力が作用する場合)</p> <p>2.8.1 荷重条件</p> <p>貯蔵時において S_s地震力が作用する場合の荷重条件は，S_s地震力と S_d^*地震力を同じとしているため2.7.1項と同様である。</p> <p>2.8.2 応力計算</p> <p>計算方法及び計算結果は2.7.2項と同様である。</p> <p>2.8.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を表3-4に示す。</p> <p>2.9 試験時</p> <p>2.9.1 荷重条件</p> <p>試験時における荷重条件は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 密封容器内圧力 (最高使用圧力の1.25倍の圧力) ・ ボルト初期締付け力 	<p>3.7 試験時</p> <p>3.7.1 荷重条件</p> <p>試験時における荷重条件は次に示す組合せとする。</p> <p>密封容器内圧力 (最高使用圧力の1.25倍の圧力) + ボルト初期締付け力 + 自重</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>・ 自重</p> <p>2.9.2 応力計算</p> <p>(1) 一次蓋, 胴, 底板及び底部中性子遮蔽材カバー 一次蓋, 胴, 底板及び底部中性子遮蔽材カバーの応力計算方法は, 2.2.2(1)と同様である。解析モデルを図2-8 に示す。</p> <p>(2) カバープレート カバープレートの応力計算方法は2.2.2(2)b.と同様である。ただし, $P=1.25$ MPaとする。 計算条件及び計算結果を表2-9 に示す。</p> <p>2.9.3 計算結果 応力計算結果を表3-5に示す。</p> <p>3. 応力評価</p> <p>3.1 密封容器 (ボルトを除く。) 及び二次蓋の応力評価 各供用状態における応力計算結果と許容応力を表3-1から表3-5に示す。 表3-1から表3-5に示すように, 各供用状態の一次一般膜応力強さ (P_m), 一次局部膜応力強さ (P_L), 一次膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) 及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ ($P_L + P_b + Q$) は, 金属キャスク構造規格MCD-1311, MCD-1312及びMCD-1318における各規定を満足する。</p> <p>3.2 ボルトの応力評価 表3-1から表3-4に示すように, 各供用状態における平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力は, 金属キャスク構造規格MCD-1321における規定を満足する。</p> <p>3.3 特別な応力の評価</p> <p>(1) 平均せん断応力 各供用状態において純せん断荷重を受ける箇所がないため, 評価を省略する。</p> <p>(2) 平均支圧応力 表3-2 から表3-4 に示すように, 各供用状態の平均支圧応力 (σ</p>	<p>3.7.2 計算方法</p> <p>(1) 一次蓋, 胴, 底板及び底部中性子遮蔽材カバー 一次蓋, 胴, 底板及び底部中性子遮蔽材カバーの応力計算方法は, 3.2.2(1)と同様である。解析モデルを第3-7図に示す。</p> <p>(2) カバープレート カバープレートの応力計算は 3.2.2(2)b.と同様である。ただし, $P=1.25$ MPa とする。</p> <p>3.7.3 計算結果 応力計算結果を第3-3表に示す。</p> <p>4. 応力評価</p> <p>4.1 密封容器 (ボルトを除く。) 及び二次蓋の応力評価 第3-1表から第3-3表に示すように, 各供用状態の一次一般膜応力強さ (P_m), 一次局部膜応力強さ (P_L), 一次膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) 及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ ($P_L + P_b + Q$) は, 「構造規格」MCD-1311, MCD-1312 及び MCD-1318 の各規定を満足する。</p> <p>4.2 ボルトの応力評価 第3-1表から第3-2表に示すように, 各供用状態における平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力は, 「構造規格」MCD-1321の規定を満足する。</p> <p>4.3 特別な応力の評価</p> <p>(1) 平均せん断応力 各供用状態において純せん断荷重を受ける箇所がないため, 評価を省略する。</p> <p>(2) 平均支圧応力 第3-2表に示すように, 各供用状態の平均支圧応力 (σ_p) は, 「構</p>		<p>応力評価の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>p) は、金属キャスク構造規格MCD-1316 における規定を満足する。</p> <p>(3) 圧縮応力 表3-2 に示すように、各供用状態の圧縮応力 (σ_c) は、金属キャスク構造規格MCD-1317 における規定を満足する。</p>	<p>造規格」MCD-1316 の規定を満足する。</p> <p>(3) 圧縮応力 第3-2 表に示すように、各供用状態の圧縮応力 (σ_c) は、「構造規格」MCD-1317 の規定を満足する。</p> <p>4. 応力評価</p> <p>4.1 密封容器（ボルトを除く。）及び二次蓋の応力評価 第3-1 表から第3-3 表に示すように、各供用状態の一次一般膜応力強さ (P_m)、一次局部膜応力強さ (P_L)、一次膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) 及び一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さ ($P_L + P_b + Q$) は、「構造規格」MCD-1311, MCD-1312 及び MCD-1318 の各規定を満足する。</p> <p>4.2 ボルトの応力評価 第3-1 表から第3-2 表に示すように、各供用状態における平均引張応力及び平均引張応力+曲げ応力は、「構造規格」MCD-1321 の規定を満足する。</p> <p>4.3 特別な応力の評価</p> <p>(1) 平均せん断応力 各供用状態において純せん断荷重を受ける箇所がないため、評価を省略する。</p> <p>(2) 平均支圧応力 第3-2 表に示すように、各供用状態の平均支圧応力 (σ_p) は、「構造規格」MCD-1316 の規定を満足する。</p> <p>(3) 圧縮応力 第3-2 表に示すように、各供用状態の圧縮応力 (σ_c) は、「構造規格」MCD-1317 の規定を満足する。</p>		
<p>4. 繰返し荷重の評価</p> <p>4.1 密封容器（ボルトを除く。）及び二次蓋の評価 金属キャスク構造規格MCD-1332により、疲労解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を以下の(1)から(6)に示し、表4-1にその評価結果のまとめを示す。なお、燃料装荷及び取出しサイクルは通常1回であるが、本評価においては10回に想定しても、その条件を満足する</p>	<p>5. 繰返し荷重の評価</p> <p>5.1 密封容器（ボルトを除く。）及び二次蓋の評価 「構造規格」MCD-1332 により、疲労解析が不要となる条件を満足する評価の詳細を以下の(1)から(6)に示し、第5-1 表にその評価結果のまとめを示す。なお、燃料装荷・取出しサイクルは通常1 回であるが、本評価においては10 回に想定しても条件を満足することを示す。</p>		繰返し荷重の評価の記載は同等

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>ことを示す。</p> <p>(1) 金属キャスク構造規格MCD-1332(1) (大気圧-使用圧力-大気圧の変動)</p> <p>(2) 金属キャスク構造規格MCD-1332(2) (燃料装荷時及び燃料取出し時並びに耐圧試験時を除く供用状態A及びBにおける圧力変動)</p> <p>(3) 金属キャスク構造規格MCD-1332(3) (燃料装荷時及び燃料取出し時の温度差)</p> <p>(4) 金属キャスク構造規格MCD-1332(4) (燃料装荷時及び燃料取出し時を除く供用状態A及びBの温度差変動)</p> <p>(5) 金属キャスク構造規格MCD-1332(5) (異なる材料で作られた部分の温度変動)</p> <p>(6) 金属キャスク構造規格MCD-1332(6) (機械的荷重により生じる応力の全振幅)</p> <p>(7) 検討結果 以上の(1)から(6)の評価結果のまとめを表4-1に示す。表4-1に示すとおり、金属キャスク構造規格MCD-1332の規定にすべて適合しているので、疲労解析を必要としない。</p> <p>4.2 ボルトの評価 金属キャスク構造規格MCD-1322に従って疲労解析を行う。なお、本項においても燃料装荷及び取出しサイクルの回数を10回に想定しても規定を満足することを示す。</p> <p>4.2.1 金属キャスク構造規格MCD-1322 及び金属キャスク構造規格別図8-4 に対する検討</p> <p>(1) 一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの最小引張強さは1000MPa であり、金属キャスク構造規格MCD-1322 に従い、設計疲労曲線として金属キャスク構造規格別図8-4 を使用する。</p> <p>(2) 一次蓋ボルト、カバープレートボルト及び二次蓋ボルトの平均引張応力+曲げ応力は、358 MPa、142 MPa 及び277 MPa であり、この値は2.7Sm以下であるため、設計疲労曲線として金属キャスク構造規格別図8-4 の“曲線1”を使用する。</p> <p>(3) ねじは三角ねじであり、ねじ底部の半径は一次蓋ボルトが <input type="text"/> mm、カバープレートボルトが <input type="text"/> mm、二次蓋ボルトが <input type="text"/> mm、</p>	<p>(1) 「構造規格」MCD-1332(1) (大気圧-使用圧力-大気圧の変動)</p> <p>(2) 「構造規格」MCD-1332(2) (燃料装荷・取出し及び耐圧試験等を除く供用状態A及びBにおける圧力変動)</p> <p>(3) 「構造規格」MCD-1332(3) (燃料装荷・取出し時の温度差)</p> <p>(4) 「構造規格」MCD-1332(4) (燃料装荷・取出し時を除く供用状態A及びBの温度差変動)</p> <p>(5) 「構造規格」MCD-1332(5) (異なる材料によりなる部分の温度変動)</p> <p>(6) 「構造規格」MCD-1332(6) (機械的荷重の変動)</p> <p>(7) 検討結果 以上の(1)から(6)より、「構造規格」MCD-1332の規定に全て適合しているので、疲労解析を必要としない。</p> <p>5.2 ボルトの評価 「構造規格」MCD-1322 の規定に従って疲労解析を行う。なお、本項においても燃料装荷・取出しサイクルの回数を10回に想定しても規定を満足することを示す。</p> <p>5.2.1 「構造規格」MCD-1322 及び「構造規格」別図8-4 に対する検討</p> <p>(1) 一次蓋締付けボルト、カバープレート締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの最小引張強さは1000 MPa であり、「構造規格」MCD-1322 に従い、設計疲労曲線として「構造規格」別図8-4 を使用する。</p> <p>(2) 一次蓋締付けボルト、カバープレート締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの平均引張応力+曲げ応力は、358 MPa、142 MPa 及び277 MPa であり、この値は2.7Sm以下であるため、設計疲労曲線として「構造規格」別図8-4 の“曲線1”を使用する。</p> <p>(3) ねじは三角ねじであり、ねじ底部の半径は一次蓋締付けボルトが <input type="text"/> mm、カバープレート締付けボルトが <input type="text"/> mm、二次蓋締付けボルトが <input type="text"/> mm であって 0.07 mm より大である。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>mmであって 0.07 mm 以上である。</p> <p>(4) シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比 (小数点以下第4 位を切捨て) は以下に示されるとおり</p> <p>一次蓋締付けボルト :  =0.062</p> <p>カバープレート締付けボルト :  =0.065</p> <p>二次蓋締付けボルト :  =0.062</p> <p>であって、0.06 以上である。したがって金属キャスク構造規格別図 8-4 の適合条件を満足する。</p> <p>4.2.2 一次蓋ボルトの疲労解析</p> <p>疲労解析で考慮する事象は以下とする。</p> <p>① 一次蓋ボルトの取付け・取外し時</p> <p>② 吊上げ時</p> <p>③ 衝突時 (支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時)</p> <p>④ 地震時 (S_d*地震力又は S_s地震力が作用する場合)</p> <p>①の事象において、一次蓋ボルトの取付け・取外し時におけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さは、ボルト初期締付け時の垂直応力 (σ_{b1}) とボルト初期締付け時のねじり応力 (τ_{b1}) を合成した応力にボルトねじ部の応力集中係数 (K) を考慮した値で求める。計算式を以下に示す。</p> <p>①の事象における一次蓋ボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-2に示す。</p> <p>②及び③の事象において、一次蓋ボルトのピーク応力強さ (S) は、①で求めたボルト締付け時に発生する応力強さ (S_b) に一次蓋の慣性力により一次蓋ボルトへ作用する荷重 (ボルトの初期締付け力と反対方向の荷重) を考慮し、次式により計算する。</p> <p>②及び③の事象における一次蓋ボルトのピーク応力強さ (S)</p>	<p>(4) シャンク部の直径に対するシャンク部の端の丸みの半径の比は、</p> <p>一次蓋締付けボルト :  =0.062</p> <p>カバープレート締付けボルト :  =0.065</p> <p>二次蓋締付けボルト :  =0.062</p> <p>であって、0.06 以上である。</p> <p>5.2.2 一次蓋締付けボルトの疲労解析</p> <p>疲労解析で考慮する事象は以下とする。</p> <p>① 一次蓋締付けボルトの取付け・取外し時</p> <p>② 吊上げ時</p> <p>③ 衝突時 (支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時)</p> <p>①の事象において、一次蓋締付けボルトの取付け・取外し時におけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さは、次式で計算する。</p> <p>②及び③の事象において、一次蓋締付けボルトのピーク応力強さは、次式により計算する。</p> <p>(5.9)式 及び(5.10)式で求めたボルトのピーク応力強さ (S) と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲 (S_p) 並びに各事象の繰返し回数を第 5-2 表に示す。</p> <p>各応力サイクルに対応したピーク応力強さの範囲 (S_p) から、次式により繰返しピーク応力強さ (S_0, S_0') を求める。ここで、繰返しピーク応力強さ (S_0) は、「構造規格」別図 8-4 に示されている縦弾性係数 ($E_0=2.07 \times 10^5$ MPa) と解析に用いる縦弾性係数 ($E=1.84 \times 10^5$ MPa) との比を考慮し補正する。</p> <p>「構造規格」別図 8-4 より、補正した繰返しピーク応力強さ (S_0') に対する許容繰返し回数 (N_a) を求める。各サイクルの繰返し回数 (N_c) と許容繰返し回数 (N_a) との比は第 5-3 表に示すとおりとなり、供用状態 A 及び B による疲労累積係数は 1.0 以下であり、</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>の計算条件及び計算結果を表4-3に示す。</p> <p>④の事象においては、地震動のみによる疲労解析を行うため、一次蓋の慣性力により一次蓋ボルトへ作用する荷重のみを考慮し、一次蓋ボルトのピーク応力強さ（S）は、次式により計算する。</p> <p>④の事象における一次蓋ボルトのピーク応力強さ（S）の計算条件及び計算結果を表4-4に示す。</p> <p>(4.9)式、(4.10)式及び(4.11)式で求めたボルトのピーク応力強さ（S）と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲（S_p）並びに各事象の繰返し回数を表4-5に示す。</p> <p>各応力サイクルに対応したピーク応力強さの範囲（S_p）から、次式により繰返しピーク応力強さ（S₀、S₀'）を求める。ここで、繰返しピーク応力強さ（S₀）は、金属キャスク構造規格別図8-4に使用されている設計疲労線図の縦弾性係数（E₀ = 2.07 × 10⁵ MPa）と解析に用いる縦弾性係数（E = 1.84 × 10⁵ Pa）との比を考慮し補正する。</p> <p>繰返しピーク応力強さ（S₀、S₀'）の計算条件及び計算結果を表4-6に示す。</p> <p>金属キャスク構造規格別図8-4より、補正した繰返しピーク応力強さ（S₀'）に対する許容繰返し回数（N_a）を求める。各サイクルの繰返し回数（N_c）と許容繰返し回数（N_a）との比は表4-7に示すとおりとなり、供用状態A及びBによる疲労累積係数は1.0以下であり、地震時における疲労累積係数との和も1.0以下となるため、金属キャスク構造規格MCD-1322の規定を満足する。</p> <p>4.2.3 カバープレートボルトの疲労解析 疲労解析で考慮する事象は以下とする。</p> <p>①カバープレートボルトの取付け・取外し時 ②吊上げ時 ③衝突時（支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時）</p>	<p>「構造規格」MCD-1322の規定を満足する。</p> <p>5.2.3 カバープレート締付けボルトの疲労解析 疲労解析で考慮する事象は以下とする。</p> <p>① カバープレート締付けボルトの取付け・取外し時 ② 吊上げ時</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>④地震時 (S_d*地震力又はS_s地震力が作用する場合)</p> <p>①の事象において、カバープレートボルトの取付け・取外し時におけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さ (S) は(4.9)式により同様に求める。また、②及び③の事象におけるボルトのピーク応力強さ (S) の計算は(4.10)式、④の事象におけるボルトのピーク応力強さ (S) の計算は(4.11)式により同様に求める。</p> <p>①の事象におけるカバープレートボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-8に、②及び③の事象におけるカバープレートボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-9に、④の事象におけるカバープレートボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-10に示す。</p> <p>ボルトのピーク応力強さ (S) と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲 (S_p) 並びに各事象の繰返し回数を表4-11に示す。</p> <p>繰返しピーク応力強さ (S_e, S_e') は、(4.12)式により同様に求める。</p> <p>繰返しピーク応力強さ (S_e, S_e') の計算条件及び計算結果を表4-12に示す。</p> <p>各サイクルの繰返し回数 (N_c) と許容繰返し回数 (N_a) との比は表4-13に示すとおりとなり、供用状態A及びBによる疲労累積係数は1.0以下であり、地震時における疲労累積係数との和も1.0以下となるため、金属キャスク構造規格MCD-1322の規定を満足する。</p> <p>4.2.4 二次蓋ボルトの疲労解析 疲労解析で考慮する事象は以下とする。</p> <p>①二次蓋ボルトの取付け・取外し時 ②吊上げ時 ③衝突時 (支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時) ④地震時 (S_d*地震力又はS_s地震力が作用する場合)</p>	<p>③ 衝突時 (支持架台への衝突時及び貯蔵架台への衝突時)</p> <p>①の事象において、カバープレート締付けボルトの取付け・取外し時におけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さ (S) は(5.9)式により同様に求める。また、②及び③の事象におけるボルトのピーク応力強さ (S) の計算は(5.10)式により同様に求める。</p> <p>ボルトのピーク応力強さ (S) と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲 (S_p) 並びに各事象の繰返し回数を第5-4表に示す。</p> <p>繰返しピーク応力強さ (S_e, S_e') は、(5.11)式により同様に求める。</p> <p>各サイクルの繰返し回数 (N_c) と許容繰返し回数 (N_a) との比は第5-5表に示すとおりとなり、供用状態A及びBによる疲労累積係数は1.0以下であり、「構造規格」MCD-1322の規定を満足する。</p> <p>5.2.4 二次蓋締付けボルトの疲労解析 疲労解析で考慮する事象は以下とする。</p> <p>①二次蓋締付けボルトの取付け・取外し時 ②吊上げ時 ③衝突時 (支持架台への衝突時及び貯蔵架台への衝突時)</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>①の事象において、二次蓋ボルトの取付け・取外し時におけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さ (S) は(4.9)式により同様に求める。また、②及び③の事象におけるボルトのピーク応力強さ (S) の計算は(4.10)式、④の事象におけるボルトのピーク応力強さ (S) の計算は(4.11)式により同様に求める。</p> <p>①の事象における二次蓋ボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-14に、②及び③の事象における二次蓋ボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-15に、④の事象における二次蓋ボルトのピーク応力強さ (S) の計算条件及び計算結果を表4-16に示す。</p> <p>ボルトのピーク応力強さ (S) と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲 (S_p) 並びに各事象の繰返し回数を表4-17に示す。</p> <p>繰返しピーク応力強さ (S_e, S_e') は、(4.12)式により同様に求める。なお、縦弾性係数EはE=1.86×10⁵ MPaに読み替える。</p> <p>繰返しピーク応力強さ (S_e, S_e') の計算条件及び計算結果を表4-18に示す。</p> <p>各サイクルの繰返し回数 (N_c) と許容繰返し回数 (N_a) との比は表4-19に示すとおりとなり、供用状態A及びBによる疲労累積係数は1.0以下であり、地震時における疲労累積係数との和も1.0以下となるため、金属キャスク構造規格MCD-1322の規定を満足する。</p> <p>5. 穴の補強</p> <p>金属キャスク構造規格MCD-1700により、一次蓋貫通孔の補強が不要となることを示す。</p> <p>一次蓋貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で計算する。</p> <p>一次蓋貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S) と一次蓋貫通孔部の応力強さ (S_c) は表5-1に示すとおりとなり、すべて許容応力を満足するため、一次蓋貫通孔の補強は不要となる。</p>	<p>①の事象において、二次蓋締付けボルトの取付け・取外し時におけるボルト締付け力によるボルトのピーク応力強さ (S) は(5.9)式により同様に求める。また、②及び③の事象におけるボルトのピーク応力強さ (S) の計算は(5.10)式により同様に求める。</p> <p>ボルトのピーク応力強さ (S) と各事象の回数を考慮して定めた応力サイクル及びそれに対応するピーク応力強さの範囲 (S_p) 並びに各事象の繰返し回数を第5-6表に示す。</p> <p>繰返しピーク応力強さ (S_e, S_e') は、(5.11)式により同様に求める。なお、縦弾性係数EはE=1.86×10⁵ MPaに読み替える。</p> <p>各サイクルの繰返し回数 (N_c) と許容繰返し回数 (N_a) との比は第5-7表に示すとおりとなり、供用状態A及びBによる疲労累積係数は1.0以下となるため、「構造規格」MCD-1322の規定を満足する。</p> <p>6. 穴の補強</p> <p>「構造規格」MCD-1700により一次蓋貫通孔の補強が不要となることを示す。</p> <p>一次蓋貫通孔部の応力強さは、応力集中係数を用いて次式で計算する。</p> <p>一次蓋貫通孔を無視した場合の一次蓋の応力強さ (S) と一次蓋貫通孔部の応力強さ (S_c) は第6-1表に示すとおりとなり、すべて許容応力を満足するため、一次蓋貫通孔の補強は不要となる。</p>	<p>穴の補強の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>6. 外圧の評価</p> <p>供用状態A及びBの場合に、密封容器の内圧は負圧であり、最高使用圧力（外圧）（P_{d0}）は0.65 MPaである。許容外圧（P_a）は「添付書類8-1-1 密封容器の応力解析の方針」表6-1（1/2）より15 MPaであるので、金属キャスク構造規格MCD-1410(1)の規定を満足する。</p> <p>7. 二次蓋の厚さの評価</p> <p>ここでは、設計・建設規格クラス3容器の規定である、平板の必要板厚の計算を行い、二次蓋の板厚が基準を満足していることを示す。</p> <p>7.1 応力計算</p> <p>二次蓋の計算上必要な厚さ（t_{21}）は設計・建設規格PVD-3310の規定中（PVD-5）式から、次式で表される。</p> <p>であり、計算上必要な厚さは$t_{21}=48.68$ mmである。</p> <p>設計・建設規格PVD-3322による、直径が$1/2 d$以下の穴を設けた場合の計算上必要な厚さ（t_{22}）は（PVD-6）式から</p> <p>であり、計算上必要な厚さは$t_{22}=68.85$ mm である。</p> <p>二次蓋の計算上必要な厚さの計算条件及び計算結果を表7-1に示す。</p> <p>7.2 計算結果</p> <p>以上の計算から、図1-2に示す穴を除く二次蓋の最小厚さ（=90 mm）は二次蓋の計算上必要な厚さt_{21}及びt_{22}を上回っており、設計・建設規格PVD-3310及びPVD-3322の規定を満足する。 _</p>	<p>7. 外圧の評価</p> <p>供用状態A及びBの場合に、密封容器の内圧は負圧であり、最高使用圧力（外圧）（P_{d0}）は0.65 MPaである。許容外圧（P_a）は「添付10-2-1-1 密封容器の応力解析の方針（BWR用大型キャスク（タイプ2A）」表6-1（1/2）より15 MPa であるので、「構造規格」MCD-1410(1)の規定を満足する。</p> <p>添付10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針 別紙4 二次蓋のクラス3 容器評価</p> <p>1. 二次蓋の計算上必要な厚さの評価</p> <p>本書は、「設計・建設規格」クラス3 容器の規定である、平板の必要板厚の計算を行い、二次蓋の板厚が基準を満足していることを示す。</p> <p>1.1 計算方法</p> <p>二次蓋の計算上必要な厚さは「設計・建設規格」PVD-3310 の規定中（PVD-5）式から、次式で表される。</p> <p>であり、計算上必要な厚さは$t=48.68$ mm である。</p> <p>「設計・建設規格」PVD-3322 による、直径が$1/2 d$以下の穴を設けた場合の計算上必要な厚さは（PVD-6）式から、</p> <p>であり、計算上必要な厚さは$t=68.85$ mm である。</p> <p>1.2 計算結果</p> <p>以上の計算から、第1-1 図に示す穴を除く二次蓋の最小厚さ（=90 mm）は二次蓋の計算上必要な厚さ$t=68.85$ mm を上回っており、「設計・建設規格」PVD-3310 及びPVD-3322 の規定を満足する。</p>	<p>二次蓋の厚さの評価の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針</p> <p>1. 概要</p> <p>使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。</p> <p>本書は、金属キャスクのバスケットに関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>2. 適用基準</p> <p>バスケットの強度評価基準については、(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 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)(事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 に関する規定 (FA-CC-004) を含む。)を適用する。</p> <p>なお、バスケットプレート用ほう素添加ステンレス鋼 B-SUS304P-1 の材料特性を「添付書類 8-2-3 ほう素添加ステンレス鋼に関する説明書」に示す。</p> <p>3. 記号</p> <p>3.1 記号の説明</p> <p>本書及び「添付書類 8-2-2 バスケットの応力計算書」(以下「応力計算書」という。)において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。</p> <p>なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件</p> <p>バスケットは以下の設計条件に耐えるように設計する。</p> <p>4.1 基本仕様</p>	<p>添付 10-2-1-2 バスケットの応力解析の方針 (BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))</p> <p>1. 概要</p> <p>本書は、「添付 10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針」に基づき、金属キャスクのバスケットに関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>2. 適用基準</p> <p>バスケットの強度評価については、使用済燃料貯蔵施設規格 (金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007) (日本機械学会 2007年12月) (以下「構造規格」という。)</p> <p>(事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 に関する規定 (JSME S FA-CC-004) を含む。)を適用する。なお、バスケットプレート用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 の材料特性を「別紙 2 ボロン添加ステンレス鋼板の材料特性について」に示す。</p> <p>3. 記号</p> <p>3.1 記号の説明</p> <p>本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。</p> <p>なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件</p> <p>バスケットは以下の荷重条件に耐えるように設計する。</p> <p>4.1 基本仕様</p>	<p>2.2 バスケットの強度について</p> <p>発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 JSME S N C 1-2005) (2007 追補版を含む。)については、以下「設計・建設規格」という。</p>	<p>概要の記載は同等</p> <p>適用基準の記載は同等</p> <p>記号の記載は同等</p> <p>設計条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>バスケットは、バスケットプレートの組み合わせにより、使用済燃料集合体を収納する格子を形成している。バスケットに関する応力計算の基本仕様を以下に示す。</p> <p>4.2 設計事象 設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内における選定事象を以下に示す。</p> <p>4.3 荷重の種類とその組合せ バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-1 に示す。応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件</p> <p>5.1 解析対象とする事象 4.2 節で示した使用済燃料貯蔵施設内における選定事象のうち、表 5-1 に示すように 荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p> <p>5.2 解析対象 応力解析の対象は、次のとおりである（図 5-1 参照）。 (1) バスケットプレート</p> <p>5.3 形状及び寸法 応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p>	<p>バスケットの最高使用温度を第 4-1 表に示す。</p> <p>4.2 燃料及び環境条件 燃料及び環境条件として、金属キャスクの収納物（使用済燃料集合体）、姿勢及び周囲温度の条件を第 4-2 表に示す。</p> <p>4.3 設計事象 設計上考慮する事象として、リサイクル燃料備蓄センター内における選定事象を第 4-3 表に示す。なお、バスケットは耐圧試験がないため、試験状態における評価は不要である。 供用状態 A 及び供用状態 B の選定事象の様態は「添付 10-2-1 金属キャスクの応力解析の方針（BWR 用大型キャスク（タイプ 2 A）」と同じである。</p> <p>4.4 荷重の種類とその組合せ バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを第 4-4 表に示す。応力解析に用いる荷重は応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件</p> <p>5.1 解析対象とする事象 4.3 節で示したリサイクル燃料備蓄センター内における選定事象のうち、第 5-1 表に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p> <p>5.2 解析箇所 バスケットの応力解析を行う箇所は、次のとおりである。（第 5-1 図参照） (1) バスケットプレート</p> <p>5.3 形状及び寸法 応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 物性値 温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値は以下のとおりである。</p>	<p>2.2.1 最高使用温度等基本仕様について 最高使用温度については、貯蔵時の熱解析結果から 20℃単位程度の余裕を持って設定する。設計値を第 2-2-1 表に示す。その他バスケットに関する応力計算の基本仕様を第 2-2-2 表に示す。</p> <p>2.2.2 荷重の種類とその組合せについて 構造規格 3-解説 MCD-8 を参考に選定注 1) した。</p> <p>2.2.3 代表事象の選定について 代表事象と包絡される事象の関係を第 2-2-3 表に示す。 供用状態 A 及び B について、作用する加速度が大きく、貯蔵架台への衝突時が他の事象よりも荷重条件が厳しいため、代表事象とする。</p> <p>2.2.4 金属キャスクに作用する加速度について 作用する加速度の考え方は「添付 10-2-2-1 密封容器の応力計算書（BWR 用大型キャスク（タイプ 2 A）」と同様である。</p>	<p>計算条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>5.4 許容応力</p> <p> バスケットの許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-2300（事例規格を含む。）による。</p> <p> 許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>6. 応力解析の手順</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p> バスケットの応力解析フローを図 6-1 に示す。</p> <p> バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p> 荷重条件は 4 章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p> 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。</p> <p> a. 機械的荷重</p> <p> 機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含む HDP-69B(B) 型（吊上げ時、支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時においては三次蓋を含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。</p>	<p>(1) 温度分布計算に使用する物性値を第 5-2 表及び第 5-3 表に示す。</p> <p> なお、熱伝導率はその温度依存性を考慮する。</p> <p>(2) 熱応力計算に使用する物性値を第 5-4 表に示す。</p> <p> なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。</p> <p>(3) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p> なお、常温は 20 °C とする。</p> <p>5.5 許容応力</p> <p> バスケットの許容基準は、「構造規格」MCD-2300（事例規格を含む。）による。</p> <p> 許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>6. 応力解析の手順</p> <p> 応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p> バスケットの応力解析フローを第 6-1 図に示す。</p> <p> バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p> 荷重条件は 4. 章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p>(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。</p> <p> a. 機械的荷重</p> <p> 自重（使用済燃料集合体を含む金属キャスクの貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。</p> <p> b. 熱荷重</p> <p> バスケットに生じる温度変化、温度勾配による荷重であって、温</p>	<p>2.2.5 評価応力の種類及び許容値基準について</p> <p> 評価応力の種類及び許容値基準については、構造規格 3-解 MCD-10, 11 より設定した。許容応力値については構造規格別表及び事例規格参照。</p> <p>2.2.6 材料の S_u 値の算出について</p> <p> 強度部材の S_u 値については構造規格に基づき、設計・建設規格 2005/2007 年版の付録材料図表を参照している。</p> <p> バスケットに使用する材料については、「添付 10-1 別紙 2 ポロン添加ステンレス鋼板の材料特性について」による。</p> <p>2.2.7 熱応力について</p> <p> バスケットプレート間及びバスケットプレートと胴の嵌合部には、熱膨張を考慮してギャップを設けている。また、バスケットプレートには熱衝撃に代表される過酷な温度勾配は生じない。以上より、著しい熱応力は発生しないと考える。</p> <p>2.2.8 応力評価点の選定について</p> <p> 鉛直方向荷重を考慮すると、応力評価点①に最大の圧縮応力が発生するため、評価点①を選定している。</p> <p> バスケットは対称形になっているため、以上の評価点で評価する。</p>	<p>応力解析の手順の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>b. 熱荷重</p> <p>伝熱プレートは非構造強度部材として評価対象より除外する。構造の不連続性を考慮して、応力評価位置をとる。応力評価位置は、応力計算書に示す。</p> <p>応力評価は、この応力評価位置について行う。</p> <p>6.3.2 応力の評価</p> <p>応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。</p> <p>なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。</p> <p>σ_x : バスケットの鉛直方向の応力 (x 方向)</p> <p>σ_y : バスケットの水平方向の応力 (y 方向)</p> <p>σ_z : バスケットの面に垂直な方向の応力 (z 方向)</p> <p>τ_{xy} : せん断応力</p> <p>τ_{yz} : せん断応力</p> <p>τ_{zx} : せん断応力</p> <p>バスケット用材料の許容応力を表 6-1 に示す。</p> <p>(1) バスケット (ボルトを除く。) の応力評価</p> <p>バスケットの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-2310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力強さ</p> <p>b. 一次+二次応力強さ</p> <p>c. 特別な応力の検討</p> <p>(a) 平均せん断応力</p> <p>(b) 平均支圧応力</p> <p>(c) 圧縮応力</p> <p>(2) ボルトの応力評価</p> <p>バスケットにボルトを使用していないのでボルトの応力評価は不要である。</p> <p>6.3.3 数値の丸め方</p> <p>数値は原則として安全側に丸めて使用する。</p>	<p>度分布計算の結果から得られるものをいう。</p> <p>(2) 伝熱プレートは非構造強度部材として評価対象より除外する。</p> <p>(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点(面)をとる。評価点(面)は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。</p> <p>(4) 応力評価は、この応力評価点(面)について行う。</p> <p>6.3.2 応力の評価</p> <p>応力の計算結果は、「構造規格」MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。</p> <p>なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。</p> <p>σ_x : バスケットの鉛直方向の応力 (x 方向)</p> <p>σ_y : バスケットの水平方向の応力 (y 方向)</p> <p>σ_z : バスケットの面に垂直な方向の応力 (z 方向)</p> <p>τ_{xy} : せん断応力</p> <p>τ_{yz} : せん断応力</p> <p>τ_{zx} : せん断応力</p> <p>バスケット用材料の許容応力値を第 6-1 表に示す。</p> <p>(1) バスケット (ボルトを除く。) の応力評価</p> <p>バスケットの応力評価は、「構造規格」MCD-2310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力強さ</p> <p>b. 一次+二次応力強さ</p> <p>c. 特別な応力の検討</p> <p>(a) 平均支圧応力</p> <p>(b) 圧縮応力</p> <p>(2) ボルトの応力評価</p> <p>バスケットにボルトを使用していないのでボルトの応力評価は不要である。</p> <p>6.3.3 数値の丸め方</p> <p>数値は原則として安全側に丸めて使用する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。</p>	<p>また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。表示する数値の丸め方を第 6-2 表に示す。</p> <p>7. 引用文献 文献番号は、本書において共通である。</p> <p>(1) 日本機械学会, 伝熱工学資料 改訂第 4 版, 丸善株式会社, 1986 年</p> <p>(2) N. Kumagai, et al., Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin, 15th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM2007), Miami, Florida, USA, October 21-26, 2007</p> <p>(3) 日本機械学会, 伝熱工学資料 改訂第 3 版, 丸善株式会社, 1975 年</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-2-2 バスケットの応力計算書</p> <p>1. 概要 本書は、HDP-69B(B)型のバスケットに関する応力計算書である。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本書で評価するバスケットの形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。</p> <p>1.2 計算結果 計算結果を表 3-1, 表 3-2, 表 3-3 に示す。 なお、応力評価位置については、解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため、評価を省略している。</p> <p>2. 応力計算</p> <p>2.1 応力評価位置 バスケットの応力評価位置を図 2-1 に示す。</p> <p>2.2 設計時</p> <p>2.2.1 荷重条件 設計時における荷重は貯蔵架台への衝突時荷重（自重を含む。）とする。荷重の方向を図 2-2 に示す。</p> <p>2.2.2 応力計算 (1) 一次一般膜応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部（図 2-1③部）である。鉛直方向加速度により発生する応力（σ_x）は、次式</p>	<p>添付 10-2-2-2 バスケットの応力計算書（BWR用大型キャスク（タイプ 2 A））</p> <p>1. 概要 本計算書は、バスケットに関する応力計算書である。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を第 1-1 図に示す。</p> <p>1.2 計算結果の概要 計算結果の概要を第 1-1 表に示す。 なお、応力評価点については、解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価点（面）として本計算書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。</p> <p>2. 温度分布計算 バスケットプレート間及びバスケットプレートと胴間の嵌合部にはギャップを設けており、熱膨張による拘束が生じないため著しい熱応力は発生しない。 また、バスケットには、著しい熱応力が発生するような温度分布が生じないため温度分布計算は行わない。</p> <p>3. 応力計算</p> <p>3.1 応力評価点 バスケットの応力評価点（面）を第 3-1 図に示す。</p> <p>3.2 設計時</p> <p>3.2.1 荷重条件 設計時における荷重は貯蔵架台への衝突時荷重（自重を含む。）とする。荷重の方向を第 3-2 図に示す。</p> <p>3.2.2 計算方法 (1) 一次一般膜応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部（第 3-1 図①部）である。</p>		<p>概要の記載は同等</p> <p>応力計算の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-1 に示す。 上記以外の応力成分は零である。</p> <p>(2) 一次一般膜+一次曲げ応力 バスケットプレート下端部 (図 2-1③部) には、衝突によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜+一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。</p> <p>2.3 貯蔵架台への衝突時 2.3.1 荷重条件 貯蔵架台への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。 荷重の方向を図 2-2 に示す。 ・貯蔵架台への衝突時荷重 (自重を含む。) ・熱荷重 なお、熱応力については、バスケットプレート間及びバスケットプレートと胴間のはめ合部にはギャップを設けており熱膨張による拘束が生じないことから、著しい熱応力は発生しないため考慮しない。以下、本章において同様である。</p> <p>2.3.2 応力計算 (1) 一次+二次応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部 (図 2-1③部) である。貯蔵架台への衝突により発生する一次+二次応力 (σ_x) は、(2.1) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-1 に示す。 (2) 平均せん断応力 鉛直方向加速度により、バスケットプレート下端部 (図 2-1③部) に平均せん断応力 (σ_s) は発生しないため、評価を省略する。 (3) 平均支圧応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部 (図 2-1③部) である。鉛直方向加速度により発生する平均支圧応力 (σ_p)</p>	<p>下方向加速度により発生する応力 (σ_x) は、次式で計算する。 他の応力成分は零である。</p> <p>(2) 一次一般膜+一次曲げ応力 バスケットプレート格子端部 (第 3-1 図①部) には、衝突によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜+一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。</p> <p>3.2.3 計算結果 応力計算結果を第 3-1 表に示す。</p> <p>3.3 貯蔵架台への衝突時 3.3.1 荷重条件 貯蔵架台への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。荷重の方向を第 3-2 図に示す。 貯蔵架台への衝突時荷重 (自重を含む。) + 熱荷重</p> <p>3.3.2 計算方法 (1) 一次+二次応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部 (第 3-1 図①部) である。 貯蔵架台への衝突により発生する一次+二次応力 (σ_x) は、(3.1) 式で計算する。 なお、熱応力については、2. 章で述べたように著しい熱応力が生じないため考慮しない。以下、本項において同様である。 (2) 平均支圧応力 バスケットプレート下端部 (第 3-1 図①部) に発生する平均支圧応力 (σ_p) は、(3.1) 式で計算する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>は、(2.1) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-1 に示す。</p> <p>(4) 圧縮応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部 (図 2-1③部) である。鉛直方向加速度により発生する圧縮応力 (σ_c) は、(2.1) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-1 に示す。</p> <p>2.4 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)</p> <p>2.4.1 荷重条件 貯蔵時において S_d*地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。荷重の方向を図 2-2 に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震力 ・自重 ・熱荷重 <p>なお、熱応力については 2.3.1 項で述べたように著しい熱応力が発生しないため考慮しない。</p> <p>2.4.2 応力計算</p> <p>(1) 一次一般膜応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (図 2-1①部) の下端部である。</p> <p>a. 鉛直方向加速度により発生する応力 鉛直方向加速度により発生する応力 (σ_x) は、(2.1) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-2 に示す。</p> <p>b. 水平方向加速度により発生する応力 水平方向加速度により発生する応力 (σ_y) は、次式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-3 に示す。 上記 a. 及び b. 以外の応力成分は零である。</p> <p>(2) 一次一般膜+一次曲げ応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (図 2-1②部) の下端部である。</p>	<p>(3) 圧縮応力 バスケットプレート下端部 (第 3-1 図①部) に発生する圧縮応力 (σ_c) は、(3.1) 式で計算する。</p> <p>3.3.3 計算結果 応力計算結果を第 3-1 表に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>a. 鉛直方向加速度により発生する応力 鉛直方向加速度により、バスケットプレートに一次曲げ応力は発生しないため、(1)a.と同様である。</p> <p>b. 水平方向加速度により発生する応力 水平方向加速度により発生する応力 (σ_y) は、バスケットプレートを両端固定梁としてモデル化し、次式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-4 に示す。 水平方向加速度により発生するせん断応力 (τ_{yz}) は、次式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-5 に示す。 上記 a. 及び b. 以外の応力成分は零である。</p> <p>(3) 平均せん断応力 a. 鉛直方向加速度により発生する応力 鉛直方向加速度により、バスケットプレートにせん断応力は発生しないため、評価を省略する。 b. 水平方向加速度により発生する応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (図 2-1②部) である。水平方向加速度により発生する平均せん断応力 (σ_s) は、(2.4)式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-5 に示す。</p> <p>(4) 平均支圧応力 a. 鉛直方向加速度により発生する応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部 (図 2-1③部) である。鉛直方向加速度により発生する平均支圧応力 (σ_p) は、(2.1) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-2 に示す。 b. 水平方向加速度により発生する応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (図 2-1①部) である。水平方向加速度により発生する平均支圧応力 (σ_p) は、(2.2) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-3 に示す。</p> <p>(5) 圧縮応力</p>			

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>a. 鉛直方向加速度により発生する応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート下端部（図 2-1③部）である。鉛直方向加速度により発生する圧縮応力（σ_c）は、(2.1) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-2 に示す。</p> <p>b. 水平方向加速度により発生する応力 最大応力が発生するのはバスケットプレート端部（図 2-1①部）である。水平方向加速度により発生する圧縮応力（σ_c）は、(2.2) 式で計算する。 計算条件及び計算結果を表 2-3 に示す。</p> <p>2.5 貯蔵時（S_s地震力が作用する場合）</p> <p>2.5.1 荷重条件 貯蔵時において S_s地震力が作用する場合の荷重条件は、S_s地震力と S_d^*地震力を同じとしているため 2.4.1 項と同様である。</p> <p>2.5.2 応力計算 計算方法及び計算結果は 2.4.2 項と同様である。</p> <p>3. 応力の評価</p> <p>3.1 応力強さの評価 各供用状態において、応力成分から算出した応力強さの計算結果と許容応力を表 3-1、表 3-2 及び表 3-3 に示す。 表 3-1、表 3-2 及び表 3-3 より、各供用状態における一次一般膜応力強さ（P_m）、一次一般膜＋一次曲げ応力強さ（$P_m + P_b$）及び一次＋二次応力強さ（$P_m + P_b + Q$）は、金属キャスク構造規格 MCD-2311、MCD-2312、MCD-2313 及び MCD-2314 の各規定を満足する。</p> <p>3.2 特別な応力の評価</p> <p>3.2.1 平均せん断応力 各供用状態における応力計算結果と許容応力を表 3-2 及び表 3-3 に示す。 表 3-2 及び表 3-3 より、各供用状態の平均せん断応力（σ_s）は、金属キャスク構造規格 MCD-2315 の各規定を満足する。</p>	<p>4. 応力の評価</p> <p>4.1 応力強さの評価 各供用状態における応力強さの計算結果と許容応力を第 3-1 表に示す。 第 3-1 表より、各供用状態の一次一般膜応力強さ（P_m）、一次一般膜＋一次曲げ応力強さ（$P_m + P_b$）及び一次＋二次応力強さ（$P_m + P_b + Q$）は、「構造規格」MCD-2311 及び MCD-2312 の各規定を満足する。</p> <p>4.2 特別な応力の評価</p> <p>4.2.1 平均支圧応力 各供用状態における応力計算結果と許容応力を第 3-1 表に示す。 第 3-1 表より、各供用状態の平均支圧応力（σ_p）は、「構造規格」MCD-2316 の各規定を満足する。</p>	<p>応力の評価の記載は同等</p> <p>適用する設計疲労線図の相違</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>3.2.2 平均支圧応力</p> <p>各供用状態における応力計算結果と許容応力を表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 に示す。なお, 表 3-2 及び表 3-3 においては, 計算結果が許容応力に対して最も厳しくなる評価位置での計算結果を示している。</p> <p>表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 より, 各供用状態の平均支圧応力 (σ_p) は, 金属キャスク構造規格 MCD-2316 の各規定を満足する。</p> <p>3.2.3 圧縮応力</p> <p>各供用状態における応力計算結果と許容応力を表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 に示す。なお, 表 3-2 及び表 3-3 においては, 計算結果が許容応力に対して最も厳しくなる評価位置での計算結果を示している。</p> <p>表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 より, 各供用状態の圧縮応力 (σ_c) は, 金属キャスク構造規格 MCD-2317 の各規定を満足する。</p>	<p>4.2.2 圧縮応力</p> <p>各供用状態における応力計算結果と許容応力を第 3-1 表に示す。</p> <p>第 3-1 表より, 各供用状態の圧縮応力 (σ_c) は, 「構造規格」MCD-2317 の各規定を満足する。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-3-1 トラニオンの応力解析の方針</p> <p>1. 概要 使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。 本書は、HDP-69B(B)型のトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>2. 適用基準 トラニオンの強度評価基準については、(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 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)を適用する。</p> <p>3. 記号 3.1 記号の説明 本書及び「添付書類 8-3-2 トラニオンの応力計算書」(以下「応力計算書」という。)において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。 なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件 トラニオンは以下の設計条件に耐えるように設計する。</p> <p>4.1 基本仕様 HDP-69B(B)型には、上部に2対、下部に2対のトラニオンが取り付けられている。トラニオンに関する応力計算の基本条件を以下に示す。</p> <p>4.2 設計事象 設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内における選定事象を以下に示す。</p>	<p>添付 10-2-1-3 トラニオンの応力解析の方針 (BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))</p> <p>1. 概要 本書は、「添付 10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針」に基づき、金属キャスクのトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>2. 適用基準 トラニオンの強度評価については、使用済燃料貯蔵施設規格 (金属キャスク構造規格 J S M E S F A 1 - 2007) (日本機械学会 2007 年 12 月) (以下「構造規格」という。)を適用する。</p> <p>3. 記号 3.1 記号の説明 本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。 なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件 トラニオンは以下の荷重条件に耐えるように設計する。</p> <p>4.1 基本仕様 トラニオンの最高使用温度を第 4-1 表に示す。</p> <p>4.2 設計事象 設計上考慮する事象として、リサイクル燃料備蓄センターにおける選定事象を第 4-2 表に示す。なお、トラニオンは耐圧試験がないため、試</p>	<p>2.3 トラニオンの強度について</p> <p>2.3.1 最高使用温度について 最高使用温度については、貯蔵時の熱解析結果から 10℃単位程度の余裕を持って設定する。設計値を第 2-3-1 表に示す。</p> <p>2.3.2 荷重の種類とその組合せについて 構造規格 3-解説 MCD-14 を参考に選定注 1) した。吊上げ時は他の強度計算書と同様に、供用状態 A の通常取扱い時とする。</p> <p>2.3.3 代表事象の選定について</p>	<p>概要の記載は同等</p> <p>適用基準の記載は同等</p> <p>記号の記載は同等</p> <p>設計条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>4.3 荷重の種類とその組合せ</p> <p>トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-1 に示す。応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件</p> <p>5.1 解析対象とする事象</p> <p>4.2 節で示した使用済燃料貯蔵施設内における選定事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p> <p>5.2 解析対象</p> <p>応力解析の対象は、次のとおりである（図 5-1 参照）。</p> <p>(1) トラニオン</p> <p>5.3 形状及び寸法</p> <p>応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 許容応力</p> <p>各供用状態における許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-3300 による。</p> <p>許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p>	<p>験状態における評価は不要である。</p> <p>供用状態 A 及び供用状態 B の選定事象の様態は「添付 10-2-1 金属キャスクの応力解析の方針（BWR 用大型キャスク（タイプ 2 A）」と同じである。</p> <p>4.3 荷重の種類とその組合せ</p> <p>トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを第 4-3 表に示す。応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件</p> <p>5.1 解析対象とする事象</p> <p>4.2 節で示したリサイクル燃料備蓄センター内における選定事象のうち、第 5-1 表に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p> <p>5.2 解析箇所</p> <p>トラニオンの応力解析を行う箇所は、次のとおりである。（第 5-1 図参照）</p> <p>(1) トラニオン</p> <p>5.3 形状及び寸法</p> <p>応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 物性値</p> <p>応力計算に使用する材料の物性値は以下のとおりである。</p> <p>(1) 熱応力計算に使用する物性値を第 5-2 表に示す。</p> <p>(2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>なお、常温は 20 °C とする。</p> <p>5.5 許容応力</p> <p>各供用状態における許容応力は、「構造規格」MCD-3300 による。</p> <p>許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p>	<p>代表事象と包絡される事象の関係を第 2-3-2 表に示す。</p> <p>供用状態 A について、台車搬送時には 0.04G 以下の加速度が作用するが、(1) に示すように、慣性力による荷重は初期締付け力 (1.3×10^6 N) と比較して小さく、また、貯蔵時は供用状態 A の事象の中で大半の期間を占めるため、ここでは貯蔵時を代表事象とする。</p> <p>供用状態 B について、(2) 及び (3) に示すように、支持脚への衝突時は、貯蔵架台への衝突時よりもトラニオンに作用する荷重が大きくなるため、支持脚への衝突時を代表事象とする。</p> <p>(1) 台車搬送時における慣性力による荷重</p> <p>トラニオンの質量による慣性力をトラニオンで受けることから、トラニオン 1 本あたりに作用する荷重 F を概算すると</p> <p>よって、$F = 2.75 \times 10^4$ N</p> <p>(2) 支持脚への衝突時</p> <p>金属キャスクの質量をトラニオン 2 本で受けることから、トラニオン 1 本あたりに作用する荷重 F を概算すると</p> <p>よって、$F = 1.47 \times 10^6$ N</p> <p>(3) 貯蔵架台への衝突時</p> <p>トラニオンの質量による慣性力をトラニオンで受けることから、トラニオン 1 本あたりに作用する荷重 F を概算すると</p> <p>よって、$F = 3.43 \times 10^3$ N</p> <p>2.3.4 金属キャスクに作用する加速度について</p> <p>作用する加速度の考え方は「2.1 密封容器の強度について」と同様である。</p> <p>2.3.5 評価応力の種類及び許容値基準について</p> <p>評価応力の種類及び許容値基準のまとめについ</p>	<p>計算条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>6. 応力解析の手順</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p>トラニオンの応力解析フローを図 6-1 に示す。</p> <p>トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p>荷重条件は 4 章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p>(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。</p> <p>a. 機械的荷重</p> <p>機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含む HDP-69B(B)型（吊上げ時、支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時においては三次蓋を含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。</p> <p>b. 熱荷重</p> <p>(2) 上部トラニオン 2 個には、吊上げ時において吊上げ荷重が作用する。また、下部トラニオン 2 個には、支持脚への衝突時において鉛直方向加速度による荷重が作用する。下部トラニオン 4 個には、貯蔵時において地震力が作用する場合の鉛直方向荷重及び水平方向荷重が作用する。</p> <p>なお、荷重作用位置は荷重支持面の中央部とする。</p> <p>(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価位置をとる。応力評価位置は、応力計算書に示す。</p> <p>(4) 応力評価は、この応力評価位置について行う。</p> <p>6.3.2 応力の評価</p> <p>応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に</p>	<p>6. 応力解析の手順</p> <p>応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p>トラニオンの応力解析フローを第 6-1 図に示す。</p> <p>トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p>荷重条件は 4 章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p>(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。</p> <p>a. 機械的荷重</p> <p>b. 熱荷重</p> <p>(2) トラニオンは、固縛状態を考慮し、支点間距離が長くなるようにモデル化する。</p> <p>(3) 上部トラニオン 2 個は、吊上げ時において吊上げ荷重を支持する。また、下部トラニオン 2 個は、支持脚への衝突時において上下方向加速度による荷重の半分をそれぞれ支持する。貯蔵時においては、地震力が作用する場合の鉛直方向及び水平方向荷重は、下部トラニオン 4 個で支持する。</p> <p>なお、荷重作用点位置は荷重支持面の中央部とする。</p> <p>(4) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点（面）をとる。評価点（面）は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。</p> <p>(5) 応力評価は、この応力評価点（面）について行う。</p> <p>6.3.2 応力の評価</p> <p>応力の計算結果は、「構造規格」MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。</p>	<p>ては構造規格 3-解説 MCD-16, 17 参照。許容応力値については構造規格別表参照。</p>	<p>応力解析の手順の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>示す。</p> <p>なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。</p> <p>σ : 評価断面に垂直な方向の応力</p> <p>τ : せん断応力</p> <p>トラニオン用材料の許容応力を表 6-1 に示す。</p> <p>(1) トラニオンの応力評価</p> <p>トラニオンの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-3310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力</p> <p>b. 一次+二次応力</p> <p>c. 繰返し荷重の評価</p> <p>6.3.3 数値の丸め方</p> <p>数値は原則として安全側に丸めて使用する。</p> <p>また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。</p> <p>表示する数値の丸め方を表 6-2 に示す。</p> <p>7. 引用文献</p> <p>文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。</p> <p>(1) The American Society of Mechanical Engineers, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2015 Edition", Section VIII Division3 (2015)</p> <p>(2) 西田正孝, 「応力集中 増補版」, 森北出版(株) (1973)</p>	<p>なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。</p> <p>σ : 評価断面に垂直な方向の応力</p> <p>τ : せん断応力</p> <p>トラニオン用材料の許容応力値を第 6-1 表に示す。</p> <p>(1) トラニオンの応力評価</p> <p>トラニオンの応力評価は、「構造規格」MCD-3310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力</p> <p>b. 一次+二次応力</p> <p>c. 繰返し荷重の評価</p> <p>6.3.3 数値の丸め方</p> <p>数値は原則として安全側に丸めて使用する。</p> <p>また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。</p> <p>表示する数値の丸め方を第 6-2 表に示す。</p> <p>7. 引用文献</p> <p>文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。</p> <p>(1) 西田正孝, 応力集中 増補版, 森北出版, 1973 年</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-3-2 トラニオンの応力計算書</p> <p>1. 概要 本書は、HDP-69B(B)型のトラニオンに関する応力計算書である。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本書で評価するトラニオンの形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。</p> <p>1.2 計算結果 計算結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。 なお、応力評価位置については、評価上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため、評価を省略している。</p> <p>2. 応力計算</p> <p>2.1 応力評価位置 トラニオンの応力評価位置を図 1-1 に示す。</p> <p>2.2 貯蔵時</p> <p>2.2.1 荷重条件 貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・下部トラニオン固定装置の初期締付け力 ・熱荷重 <p>2.2.2 応力計算 (1) 下部トラニオン</p> <p>a. 一次応力 一次応力として評価すべき荷重(自重)の影響は無視できるため、評価を省略する。</p> <p>b. 一次+二次応力 密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、熱荷重の考慮は不要である。</p>	<p>添付 10-2-2-3 トラニオンの応力計算書 (BWR用大型キャスク (タイプ 2 A))</p> <p>1. 概要 本計算書は、トラニオンに関する応力計算書である。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を第 1-1 図に示す。</p> <p>1.2 計算結果の概要 計算結果の概要を第 1-1 表に示す。 なお、応力評価点については、解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価点(面)として本計算書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。</p> <p>2. 応力計算</p> <p>2.1 応力評価点 トラニオンの応力評価点(面)を第 1-1 図に示す。</p> <p>2.2 貯蔵時</p> <p>2.2.1 荷重条件 貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。 自重+トラニオン固定ボルトの初期締付け力+熱荷重</p> <p>2.2.2 計算方法 (1) トラニオン</p> <p>a. 一次応力 一次応力として評価すべき荷重(自重)の影響は無視できるため、評価を省略する。</p> <p>b. 一次+二次応力 キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、熱荷重の考慮は不要である。</p>		<p>概要の記載は同等</p> <p>応力計算の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(a) せん断応力 最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置②である。 下部トラニオン固定装置の初期締付け力により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。</p> <p>(b) 曲げ応力 最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置②である。 下部トラニオン固定装置の初期締付け力により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。</p> <p>2.3 吊上げ時</p> <p>2.3.1 荷重条件 吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。 ・吊上げ荷重 (自重を含む。) ・熱荷重</p> <p>2.3.2 応力計算</p> <p>(1) 上部トラニオン</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) せん断応力 最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置①である。 吊上げ荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。</p> <p>(b) 曲げ応力 最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置①である。 吊上げ荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力 最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置①である。 曲げ応力 (σ_b) とせん断応力 (τ) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力</p>	<p>(a) せん断応力 最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す下部トラニオンの評価点②である。 トラニオン固定ボルトの初期締付け力により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。</p> <p>(b) 曲げ応力 最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す下部トラニオンの評価点②である。 トラニオン固定ボルトの初期締付け力により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。</p> <p>2.2.3 計算結果 応力計算結果を第 2-1 表に示す。</p> <p>2.3 吊上げ時</p> <p>2.3.1 荷重条件 吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。 吊上げ荷重 (自重を含む。) + 熱荷重</p> <p>2.3.2 計算方法</p> <p>(1) トラニオン</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) せん断応力 最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す上部トラニオンの評価点①である。吊上げ荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。</p> <p>(b) 曲げ応力 最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す上部トラニオンの評価点①である。 吊上げ荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力</p> <p>イ. せん断応力と曲げ応力 最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す上部トラニオンの評価点①である。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、2.3.2(1)a.と同様である。</p> <p>2.4 支持脚への衝突時</p> <p>2.4.1 荷重条件</p> <p>支持脚への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・衝撃荷重（自重を含む。） ・熱荷重 <p>2.4.2 応力計算</p> <p>(1) 下部トラニオン</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) せん断応力</p> <p>最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置②である。衝撃荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。</p> <p>(b) 曲げ応力</p> <p>最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置③である。衝撃荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力</p> <p>最大応力が発生する位置は、図 1-1 に示す評価位置②である。衝撃荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。曲げ応力 (σ_b) とせん断応力 (τ) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力</p> <p>密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、2.4.2(1)a.と同様である。</p>	<p>せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力</p> <p>キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、a.と同様である。</p> <p>2.3.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を第 2-1 表に示す。</p> <p>2.4 支持脚への衝突時</p> <p>2.4.1 荷重条件</p> <p>支持脚への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。</p> <p>衝撃荷重（自重を含む。） + 熱荷重</p> <p>2.4.2 計算方法</p> <p>(1) トラニオン</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) せん断応力</p> <p>最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す下部トラニオンの評価点②である。衝撃荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。</p> <p>(b) 曲げ応力</p> <p>最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す下部トラニオンの評価点③である。衝撃荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力</p> <p>イ. せん断応力と曲げ応力</p> <p>最大応力が発生する箇所は第 1-1 図に示す下部トラニオンの評価点②である。</p> <p>せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、(2.5) 式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力</p> <p>キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、a.と同様である。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>2.5 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)</p> <p>2.5.1 荷重条件</p> <p>貯蔵時において S_d*地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震力 ・自重 ・下部トラニオン固定装置の初期締付け力 <p>2.5.2 応力計算</p> <p>(1) 下部トラニオン</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) せん断応力</p> <p>最大応力が発生する位置は, 図 1-1 に示す評価位置②である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力 (τ) は, 次式で計算する。なお, 地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (F_m) は, 図 2-1 に示すように支点Oを回転中心とする回転モーメントの釣合いより求める。</p> <p>(b) 曲げ応力</p> <p>最大応力が発生する位置は, 図 1-1 に示す評価位置②である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力 (σ_b) は, 次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力</p> <p>最大応力が発生する位置は, 図 1-1 に示す評価位置②である。曲げ応力 (σ_b) とせん断応力 (τ) との組合せ応力 (σ_T) は, 次式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力</p> <p>(a) せん断応力</p> <p>地震力によるせん断応力 (τ) の全振幅は, (2.10)式で計算したせん断応力 (τ) の2倍とする。</p> <p>(b) 曲げ応力</p>	<p>2.4.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を第 2-1 表に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>地震力による曲げ応力 (σ_b) の全振幅は, (2.11)式で計算した曲げ応力 (σ_b) の2倍とする。</p> <p>計算条件及び計算結果を表 2-13 に示す。</p> <p>2.6 貯蔵時 (S_s地震力が作用する場合)</p> <p>2.6.1 荷重条件 貯蔵時において S_s地震力が作用する場合の荷重条件は S_s地震力と S_d*地震力を同じとしているため, 2.5.1 項と同様である。</p> <p>2.6.2 応力計算 計算方法及び計算結果は, 2.5.2 項と同様である。</p> <p>3. 応力の評価</p> <p>3.1 一次応力の評価 各供用状態における応力計算結果と許容応力を表 3-1 及び表 3-2 に示す。 表 3-1 及び表 3-2 に示すように, 各供用状態における一次応力は金属キャスク構造規格 MCD-3311 の規定を満足する。</p> <p>3.2 一次+二次応力の評価 各供用状態における応力計算結果と許容応力を表 3-1 及び表 3-2 に示す。 表 3-1 及び表 3-2 に示すように, 各供用状態における一次+二次応力は金属キャスク構造規格 MCD-3312 の規定を満足する。</p> <p>4. 繰返し荷重の評価 金属キャスク構造規格 MCD-3313 に従い, 吊上げ時における疲労評価を行う。吊上げ事象の繰返し回数は, 200 回とする。設計疲労線図は, ASME の Figure KD-320.4M を適用する。 上部トラニオンの評価位置①に生じる繰返しピーク応力強さ (S_0) は以下で計算する。</p>	<p>3. 応力の評価</p> <p>3.1 一次応力の評価 各供用状態における評価を第 2-1 表に示す。 第 2-1 表より, 各供用状態の一次応力は「構造規格」MCD-3311 の各規定を満足する。</p> <p>3.2 一次+二次応力の評価 各供用状態における評価を第 2-1 表に示す。 第 2-1 表より, 各供用状態の一次+二次応力は「構造規格」MCD-3312 の各規定を満足する。</p> <p>4. 繰返し荷重の評価 「構造規格」MCD-3313 に従い, 吊上げ時における疲労評価を行う。吊上げ事象の繰返し回数は 200 回とする。 上部トラニオンの評価点①に生じる繰返しピーク応力強さ (S_0) は以下で計算する。</p>	<p>応力の評価の記載は同等</p> <p>繰返し荷重の評価の記載は同等</p>	

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
$S_e = \frac{1}{2} \cdot K_t \cdot K_r \cdot S \cdot \frac{E_0}{E}$ <p>..... (4.1)</p> $S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau^2}$ <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> K_t : 評価位置の段付き部の応力集中係数 (=2.1⁽²⁾) K_r : 表面粗さによる応力集中係数 (=1.3⁽¹⁾) S : ピーク応力強さ (MPa) τ : (2.3)式と同じ σ_b : (2.4)式と同じ E_0 : 設計疲労線図の縦弾性係数 (=2.00×10⁵ MPa⁽¹⁾) E : 縦弾性係数 (=1.88×10⁵ MPa) <p>繰返しピーク応力強さの計算条件及び計算結果を表 4-1 に示す。 次に、ASME の Figure KD-320.4M より、繰返しピーク応力強さ (S_e) に対する許容繰返し回数 (N_a) を求める。吊上げ事象の繰返し回数 (N_{c1}) と許容繰返し回数 (N_a) との比は表 4-2 に示すとおりとなり、疲労累積係数 (U_f) は 1.0 以下となるため、金属キャスク構造規格 MCD-3313 の規定を満足する。</p>	$S_e = \frac{1}{2} \cdot K_t \cdot S \cdot \frac{E_0}{E}$ $S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau^2}$ <p>..... (4.1)</p> <p>ここで、 K_t : 評価点①の段付き部の応力集中係数 (=2.1 引用文献(1)より)</p> <ul style="list-style-type: none"> S : 応力強さ (MPa) τ : (2.3) 式と同じ σ_b : (2.4) 式と同じ E_0 : 「構造規格」別図 8-1 に示されている縦弾性係数 (=2.07×10⁵ MPa) E : 解析に用いる縦弾性係数 (=1.88×10⁵ MPa) <p>「構造規格」別図 8-1 より、繰返しピーク応力強さ (S_e) に対する許容繰返し回数 (N_a) を求める。吊上げ事象の繰返し回数 (N_c) と許容繰返し回数 (N_a) との比は第 4-1 表に示すとおりとなり、吊上げ時における疲労累積係数 U_f は 1.0 以下となるため、「構造規格」MCD-3313 の規定を満足する。</p>		適用する設計疲労線図の相違

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-4-1 外筒及び中性子遮蔽材カバーの応力解析の方針</p> <p>1. 概要</p> <p>使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。</p> <p>本書は、HDP-69B(B)型の外筒(端板含む。)及び中性子遮蔽材カバーに関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>なお、HDP-69B(B)型の中性子遮蔽材カバーのうち、本書は蓋部中性子遮蔽材カバーを対象とし、底部中性子遮蔽材カバーの応力解析の方針については、「添付書類 8-1-1 密封容器の応力解析の方針」に示す。</p> <p>2. 適用基準</p> <p>(1) 外筒</p> <p>HDP-69B(B)型の外筒(端板を含む。)は、放射性物質の閉じ込め境界ではないが、自らが遮蔽体であると同時に、外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能が求められる。類似の機能を持つ部材として、(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 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)に示される中間胴があり、外筒の構造強度評価手法としては中間胴の規定を用いる。ただし、中間胴は密封容器を支持し、その損壊を防止する機能が要求されるため、密封容器との溶接部近接部分に対する特別な規定が設けられている(金属キャスク構造規格 MCD-3710)が、外筒においてはこの機能は要求されないため、当該規定は適用しない。</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>HDP-69B(B)型の蓋部中性子遮蔽材カバーは、一次蓋の中性子遮蔽材を覆うカバーであり、一次蓋と二次蓋の間にヘリウムガスを封入して圧力を監視することから、圧力に対して十分な強度が求められる。このため、蓋部中性子遮蔽材カバーの構造強度評価手法としては、圧力荷重に対する評価要求が定められている(社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005(2007年追補版含む。)」(以下「設計・建設規格」という。)のクラス3容器の規定を用いる。</p>	<p>添付 10-2-1-4 外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析の方針(BWR用大型キャスク(タイプ2A))</p> <p>1. 概要</p> <p>本書は、「添付 10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針」に基づき、金属キャスクの外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに関する応力解析の方針を述べるものである。</p> <p>2. 適用基準</p> <p>(1) 外筒</p> <p>外筒は、放射性物質の閉じ込め境界ではないが、自らが遮蔽体であると同時に、外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能が求められる。類似の機能を持つ部材として、使用済燃料貯蔵施設規格(金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007)(日本機械学会 2007年12月)(以下「構造規格」という。)に示される中間胴があり、外筒の構造強度評価手法としては中間胴の規定を用いる。ただし、中間胴は密封容器を支持し、その損壊を防止する機能が要求されるため、密封容器との溶接部近接部分に対する特別な規定が設けられている(MCD-3710)が、外筒においてはこの機能は要求されないため、当該規定は参考としない。</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーは、一次蓋の中性子遮蔽材を覆うカバーであり、一次蓋と二次蓋の間にヘリウムガスを封入して圧力を監視することから、圧力に対して十分な強度が求められる。このため、蓋部中性子遮蔽材カバーの構造強度評価手法としては、圧力荷重に対する評価要求が定められている、発電用原子力設備規格(設計・建設規格 JSME S NC1-2005)(日本機械学会 2005年9月)(2007年追補版を含む。)(以下「設計・建設規格」という。)のクラス3容器の規定を用いる。</p>	<p>使用済燃料貯蔵設備本体の強度及び耐食性について(BWR用大型キャスク(タイプ2A))</p>	<p>概要の記載は同等</p> <p>適用基準の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>3. 記号</p> <p>3.1 記号の説明</p> <p>本書及び「添付書類 8-4-2 外筒及び中性子遮蔽材カバーの応力計算書」(以下「応力計算書」という。)において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りではない。</p> <p>なお、応力計算書の字体及び大きさは、本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件</p> <p>外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーは、以下の設計条件に耐えるように設計する。</p> <p>4.1 基本仕様</p> <p>HDP-69B(B)型の外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに関する応力計算の基本条件を以下に示す。</p> <p>4.2 設計事象</p> <p>設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内における選定事象を以下に示す。</p> <p>4.3 荷重の種類とその組合せ</p> <p>外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-1 に示す。応力評価に用いる荷重は、応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件</p> <p>5.1 解析対象とする事象</p> <p>4.2 節で示した使用済燃料貯蔵施設内における選定事象のうち、表 5-1 に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p>	<p>3. 記号</p> <p>3.1 記号の説明</p> <p>本書及び応力計算書において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。</p> <p>なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。</p> <p>4. 設計条件</p> <p>外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーは以下の荷重条件に耐えるように設計する。</p> <p>4.1 基本仕様</p> <p>外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの材料、最高使用圧力及び最高使用温度を第 4-1 表に示す。</p> <p>4.2 設計事象</p> <p>設計上考慮する事象として、リサイクル燃料備蓄センター内における選定事象を第 4-2 表に示す。なお、外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーは耐圧試験がないため、試験状態における評価は不要である。</p> <p>供用状態 A 及び供用状態 B の選定事象の様態は「添付 10-2-1 金属キャスクの応力解析の方針 (BWR 用大型キャスク (タイプ 2 A))」と同じである。</p> <p>4.3 荷重の種類とその組合せ</p> <p>外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを第 4-3 表に示す。応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。</p> <p>5. 計算条件</p> <p>5.1 解析対象とする事象</p> <p>4.2 節で示したリサイクル燃料備蓄センター内における選定事象のうち、第 5-1 表に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。</p>	<p>2.4 外筒及び中性子遮蔽材カバーの強度について</p> <p>2.4.1 最高使用温度について</p> <p>最高使用温度については、貯蔵時の熱解析結果から 10℃～20℃単位程度の余裕を持って設定する。設計値を第 2-4-1 表及び第 2-4-2 表に示す。</p> <p>2.4.2 最高使用圧力について</p> <p>設計値を第 2-4-3 表及び第 2-4-4 表に示す。</p> <p>2.4.3 荷重条件について</p> <p>(1) 外筒</p> <p>外筒に生じる加速度が比較的大きい事象での慣性力を考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵架台への衝突時 <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>蓋間圧力に余裕をみて定めた最高使用圧力を考慮する。</p> <p>(3) 底部中性子遮蔽材カバー</p> <p>底部中性子遮蔽材カバーに生じる加速度が比較</p>	<p>記号の記載は同等</p> <p>設計条件の記載は同等</p> <p>計算条件の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>5.2 解析対象</p> <p>応力解析の対象は、次のとおりである。</p> <p>(1) 外筒 (図 5-1 参照)</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー (図 5-2 参照)</p> <p>5.3 形状及び寸法</p> <p>応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 許容応力</p> <p>(1) 外筒</p> <p>各供用状態における許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-3720 による。</p> <p>許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーの形状は平板である。設計・建設規格 クラス 3 容器の規定において、PVD-3310 に最高使用圧力に対する平板の最小必要厚さを定める規定がある。この規定は、平板に圧力が作用した場合の最大曲げ応力値を $1.5S$ (S : 許容引張応力) に制限するという考え方に基づいているので、この規定の考え方を準用する。溶接部においては、設計・建設規格 クラス 3 容器の規定を参考にして継手効率を考慮する。</p> <p>許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>6. 応力解析の手順</p> <p>6.1 解析手順の概要</p> <p>外筒の応力解析フローを図 6-1 に示す。</p>	<p>5.2 解析箇所</p> <p>外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析を行う箇所は、次のとおりである。(第 5-1 図及び第 5-2 図参照)</p> <p>(1) 外筒</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>5.3 形状及び寸法</p> <p>応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。</p> <p>5.4 物性値</p> <p>応力計算に使用する材料の物性値は以下のとおりである。</p> <p>(1) 熱応力計算に使用する物性値は、応力計算書に示す。</p> <p>(2) 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>なお、常温は $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ とする。</p> <p>5.5 許容応力</p> <p>(1) 外筒</p> <p>各供用状態における許容値基準は、「構造規格」MCD-3720 による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーの形状は平板である。「設計・建設規格」のクラス 3 容器の規定において、PVD-3310 に最高使用圧力に対する平板の最小必要厚さを定める規定がある。この規定は、平板に圧力が作用した場合の最大曲げ応力値を $1.5S$ (S : 許容引張応力) に制限するという考え方に基づいているので、この規定の考え方を準用する。溶接部においては、「設計・建設規格」クラス 3 容器の規定を参考にして継手効率を考慮する。</p> <p>許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。</p> <p>6. 応力解析の手順</p> <p>応力解析を行う場合の手順について一般的な事項を述べる。</p>	<p>的大きい事象での慣性力を考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵架台への衝突時 <p>なお、タイプ 2 A における、底部中性子遮蔽材カバーは、「2.1 密封容器の強度について」のなかで評価している。</p> <p>2.4.4 上部端板の評価について</p> <p>貯蔵時の金属キャスクは縦姿勢であり、外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に生じた慣性力は、主に下部端板に支えているため、上部端板の荷重は小さい。このため、上部端板の評価は省略する。</p>	<p>応力解析の手順の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>外筒の応力解析は、想定される内圧、機械的荷重及び熱荷重を基に 応力評価式を用いて行う。一方、蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析 は、想定される圧力に対して応力評価式を用いて行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p>荷重条件は4章に示しているが、各部の計算においては、その部分 について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分につ いて考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p>応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは 次の3つである。</p> <p>a. 内圧</p> <p>b. 機械的荷重</p> <p>機械的荷重は、自重(使用済燃料集合体を含むHDP-69B(B)型(吊 上げ時、支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時においては三 次蓋を含む。)の貯蔵時の設計質量を用いる。)、衝撃荷重及びその 他の付加荷重をいう。</p> <p>c. 熱荷重</p> <p>熱荷重は、各部に生じる温度変化及び温度勾配による荷重であ り、「添付書類5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に記載する 除熱解析の結果から得られるものをいう。</p> <p>6.3.2 応力の評価</p> <p>応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200 による定 義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に 示す。</p> <p>なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、 計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。</p> <p>σ : 評価断面に垂直な方向の応力 τ : せん断応力</p>	<p>6.1 解析手順の概要</p> <p>外筒の応力解析フローを第6-1図に示す。</p> <p>外筒の応力解析は、想定される内圧、機械的荷重及び熱荷重を基に 応力評価式を用いて行う。一方、蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析は、 想定される圧力に対して応力評価式を用いて行う。</p> <p>6.2 荷重条件の選定</p> <p>荷重条件は4章に示しているが、各部の計算においては、その部分 について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分につ いて考慮した荷重は応力計算書に示す。</p> <p>6.3 応力計算と評価</p> <p>6.3.1 応力計算の方法</p> <p>(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次 の3つである。</p> <p>a. 内圧</p> <p>b. 機械的荷重</p> <p>機械的荷重は、自重(燃料集合体を含む金属キャスク(二次蓋を 含む。)の貯蔵時の設計質量を用いる。)、衝撃荷重及びその他の付加 荷重をいう。</p> <p>c. 熱荷重</p> <p>熱荷重は、各部に生じる温度変化及び温度勾配による荷重であ り、温度分布計算の結果から得られるものをいう。</p> <p>(2) 構造の不連続性を考慮して、応力評価点(面)をとる。評価点(面) は、計算書の形状図中に、番号〔例①〕で示す。</p> <p>(3) 応力評価は、この応力評価点(面)について行う。</p> <p>6.3.2 応力の評価</p> <p>応力の計算結果は、「構造規格」MGB-1200 による定義に従い、応力 の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。</p> <p>なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。</p> <p>σ : 評価断面に垂直な方向の応力 τ : せん断応力</p> <p>外筒の許容応力を第6-1表に、蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応 力を第6-2表に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>外筒の許容応力を表 6-1 に、蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力を表 6-2 に示す。</p> <p>(1) 外筒の応力評価 外筒の応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-3720 を準用し、以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力 b. 一次+二次応力</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価は、設計・建設規格 PVD-3310 を準用し、以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力</p> <p>6.3.3 数値の丸め方 数値は原則として安全側に丸めて使用する。 また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。 表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。</p> <p>7. 引用文献 文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。</p> <p>(1) (社)日本機械学会、「機械工学便覧 新版」、丸善株式会社 (1987 年)</p>	<p>(1) 外筒の応力評価 外筒の応力評価は、「構造規格」MCD-3720 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力 b. 一次+二次応力</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価は、「設計・建設規格」PVD-3310 に従い以下の項目を評価する。</p> <p>a. 一次応力</p> <p>6.3.3 数値の丸め方 数値は原則として安全側に丸めて使用する。 また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。 表示する数値の丸め方を第 6-3 表に示す。</p> <p>7. 引用文献 文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。</p> <p>(1) 日本機械学会、機械工学便覧、新版、丸善株式会社、1987 年</p>		引用文献の記載は同等

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付書類 8-4-2 外筒及び中性子遮蔽材カバーの応力計算書</p> <p>1. 概要 本書は、HDP-69B(B)型の外筒（端板含む。）及び中性子遮蔽材カバーに関する応力計算書である。 なお、HDP-69B(B)型の中性子遮蔽材カバーのうち、本書は蓋部中性子遮蔽材カバーを対象とし、底部中性子遮蔽材カバーの応力計算は、「添付書類 8-1-2 密封容器の応力計算書」に示す。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本書で評価する部位の形状・寸法・材料を図 1-1 及び図 1-2 に示す。</p> <p>1.2 計算結果 計算結果を表 3-1、表 3-2、表 3-3 及び表 3-4 に示す。 なお、応力の計算位置は、評価上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しないか、又は評価上厳しくないため、評価を省略していることを表す。</p> <p>2. 応力計算</p> <p>2.1 応力評価位置 (1) 外筒 外筒は、金属キャスク容器外周部に円筒形で配置され、内部には中性子遮蔽材が充填される。外筒は板厚が 20 mm の炭素鋼であり、端板及び伝熱フィンを介し、厚肉で強固な胴に溶接で固定される。外筒の応力評価位置を図 1-1 に示す。 貯蔵架台への衝突時においては、金属キャスクは縦姿勢であり、衝突時に発生する加速度に応じて、外筒や中性子遮蔽材等の慣性力が下部端板付け根に作用するので、ここを評価部位（図 1-1 応力評価位置①）とする。 貯蔵時（S_d*地震力が作用する場合、又はS_s地震力が作用する場合）においては、水平地震力により外筒内面に中性子遮蔽材の質量に応じた慣性力と中性子遮蔽材充填部内圧が作用する。この場合、外筒と伝熱フィンとの結合部には曲げ応力が発生するので、ここを</p>	<p>添付 10-2-2-4 外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの応力計算書（BWR用大型キャスク（タイプ 2 A））</p> <p>1. 概要 本計算書は、金属キャスクの外筒（上下部端板含む。）及び蓋部中性子遮蔽材カバーに関する応力計算書である。</p> <p>1.1 形状・寸法・材料 本計算書で解析する外筒（上下部端板含む。）及び蓋部中性子遮蔽材カバーの形状・寸法・材料を第 1-1 図及び第 1-2 図に示す。</p> <p>1.2 計算結果の概要 計算結果の概要を第 1-1 表に示す。 なお、応力評価点については、解析上最も厳しい部位を選定し、代表評価点（面）として本計算書に記載している。 表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため評価を省略している。以下、本計算書において同様である。</p> <p>2. 応力計算</p> <p>2.1 応力評価点 (1) 外筒 外筒は、金属キャスク容器外周部に円筒形で配置され、内部には中性子遮蔽材が充填される。外筒は板厚が 20 mm の炭素鋼であり、上下部端板及び伝熱フィンを介し、厚肉で強固な胴に溶接で固定される。外筒の応力評価点を第 1-1 図に示す。 貯蔵架台への衝突時においては、金属キャスクは縦姿勢であり、衝突時に発生する加速度に応じて、外筒や中性子遮蔽材等の慣性力が下部端板付け根に作用するので、ここを評価部位（第 1-1 図 評価点（面）①）とする。 また、外筒内面に中性子遮蔽材充填部内圧が作用する。この場合、外筒と伝熱フィンとの結合部には曲げ応力が発生するので、ここを評価部位（第 1-1 図 評価点（面）②）とする。</p>		<p>概要の記載は同等</p> <p>応力計算の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>評価部位とする（図 1-1 応力評価位置②）。</p> <p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価位置を図 1-2 に示す。 蓋部中性子遮蔽材カバーに蓋間圧力が作用する場合に最大応力が発生するのは蓋部中性子遮蔽材カバーの周辺固定部であるので、ここを評価部位（図 1-2 応力評価位置③）とする。</p> <p>2.2 外筒の応力計算</p> <p>2.2.1 貯蔵架台への衝突時</p> <p>(1) 荷重条件 貯蔵架台への衝突時における荷重は、次に示す組合せとする。 荷重の方向を図 2-1 に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧 ・貯蔵架台への衝突時荷重（自重を含む。） ・熱荷重 <p>(2) 計算方法</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) 鉛直方向衝撃荷重によるせん断応力 貯蔵架台への衝突時は、金属キャスクが縦姿勢での事象であるので、外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に生じた慣性力は、それぞれ胴との結合部で支持される。 慣性力の考慮においては、簡単化のため、伝熱フィンや端板の結合部がないものとして、外筒部に生じた慣性力がすべて下部端板と胴の接合部に生じた場合の応力を評価する。 外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に、貯蔵架台への衝突時の衝撃加速度が作用し、これを下部端板の付け根（胴結合部）においてせん断力として受ける場合の応力評価位置①に生じるせん断応力は、次式で計算する。</p> <p>(b) 中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力 外筒は伝熱フィンで区切られて伝熱フィン及び端板に溶接される。また、下部端板も伝熱フィンで区切られて胴、外筒、及び伝熱フィンに溶接される。このため、外筒及び下部端板は、四辺を固定された板とみなすことができる。外筒及び下部端板には、中性子遮蔽材充填部内圧が作用する。外筒及び下部端板内面に内圧が作用すると、図 1-1 に示す応力評価位置①及び②</p>	<p>(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価点を第 1-2 図に示す。 蓋部中性子遮蔽材カバーに蓋間圧力が作用する場合に最大応力が発生するのは蓋部中性子遮蔽材カバーの周辺固定部であるので、ここを評価部位（第 1-2 図 評価点（面）③）とする。</p> <p>2.2 貯蔵架台への衝突時</p> <p>2.2.1 荷重条件 貯蔵架台への衝突時における荷重は、次に示す組合せとする。荷重の方向を第 2-1 図に示す。 内圧＋貯蔵架台への衝突時荷重（自重を含む。）＋熱荷重</p> <p>2.2.2 計算方法</p> <p>(1) 外筒</p> <p>a. 一次応力</p> <p>(a) 鉛直方向衝撃荷重によるせん断応力 貯蔵架台への衝突時は、金属キャスクが縦姿勢での事象であるので、外筒、上下部端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に生じた慣性力は、それぞれ胴との結合部で支持される。 慣性力の考慮においては、簡単化のため、伝熱フィンや上下部端板の結合部がないものとして、外筒部に生じた慣性力がすべて下部端板と胴の接合部に生じた場合の応力を評価する。 外筒、上下部端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に、貯蔵架台への衝突時の衝撃加速度が作用し、これを下部端板の付け根（胴結合部）においてせん断力として受ける場合の応力評価点①に生じるせん断応力は、次式で計算する。</p> <p>(b) 中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力 外筒は伝熱フィンで区切られて伝熱フィン及び上下部端板に溶接される。また、下部端板も伝熱フィンで区切られて胴、外筒、及び伝熱フィンに溶接される。このため、外筒及び下部端板は、四辺を固定された板とみなすことができる。外筒及び下部端板には、中性子遮蔽材充填部内圧が作用する。外筒及び下部端板内面に内圧が作用する</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>には曲げ応力が発生し、その値を次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力 応力評価位置①には、曲げ応力とせん断応力が同時に作用するため、組合せ応力を評価する。組合せ応力は次式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力 (a) 下部端板と胴の径方向熱膨張差による応力 下部端板と胴の径方向熱膨張差に基づく熱荷重により下部端板の周方向及び径方向に発生する応力は、下部端板及び胴を組合せ円筒として各々下式で計算する。</p> <p>(b) 外筒と胴の軸方向熱膨張差による端板のせん断応力 外筒は、端板及び伝熱フィンを介し、厚肉で強固な胴に溶接で固定されており、胴と外筒の軸方向熱膨張差により軸方向の熱荷重が発生する。当該熱荷重は、伝熱フィンを見做し、胴と外筒を一様断面の組合せ棒として計算する。当該熱荷重に基づき下部端板に発生するせん断応力は、次式で計算する。</p> <p>なお、当該せん断応力は、(2.1)式で計算する貯蔵架台への衝突時に下部端板に発生するせん断応力とは逆向きとなるため、便宜的に負符号をつけて表している。</p> <p>(c) 外筒と胴の軸方向熱膨張差による外筒の引張応力 外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重に基づき外筒の軸方向に引張応力が発生する。当該引張応力は、次式で計算する。</p> <p>(3) 計算結果 貯蔵架台への衝突時における外筒に発生する応力の計算条件及び計算結果を表 2-1、表 2-2 及び表 2-3 に示す。</p> <p>2.2.2 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合) (1) 荷重条件 貯蔵時において、S_d*地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。</p> <p>荷重の方向を図 2-1 に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧 ・地震力 ・自重 <p>(2) 計算方法</p>	<p>と、第 1-1 図に示す応力評価点①及び②には曲げ応力が発生し、その値を次式で計算する。</p> <p>(c) 組合せ応力 応力評価点①には、曲げ応力とせん断応力が同時に作用するため、組合せ応力を評価する。組合せ応力は次式で計算する。</p> <p>b. 一次+二次応力 (a) 下部端板と胴の径方向熱膨張差による応力 下部端板と胴の径方向熱膨張差に基づく熱荷重により下部端板の周方向及び径方向に発生する応力は、下部端板及び胴を組合せ円筒として各々下式で計算する。</p> <p>(b) 外筒と胴の軸方向熱膨張差による下部端板のせん断応力 外筒は、上下部端板及び伝熱フィンを介し、厚肉で強固な胴に溶接で固定されており、胴と外筒の軸方向熱膨張差により軸方向の熱荷重が発生する。当該熱荷重は、伝熱フィンを見做し、胴と外筒を一様断面の組合せ棒として計算する。当該熱荷重に基づき下部端板に発生するせん断応力は、次式で計算する。</p> <p>なお、当該せん断応力は、(2.1)式で計算する貯蔵架台への衝突時に下部端板に発生するせん断応力とは逆向きとなるため、便宜的に負符号をつけて表している。</p> <p>(c) 外筒と胴の軸方向熱膨張差による外筒の引張応力 外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重に基づき外筒の軸方向に引張応力が発生する。当該引張応力は、次式で計算する。</p> <p>2.2.3 計算結果 応力計算結果を第 2-1 表に示す。</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>a. 一次応力</p> <p>(a) 鉛直方向地震荷重によるせん断応力 鉛直方向地震荷重による応力評価位置①のせん断応力は、(2.1) 式で計算する。</p> <p>(b) 中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力 中性子遮蔽材充填部内圧による応力評価位置①の曲げ応力は、(2.2) 式で計算する。</p> <p>(c) 中性子遮蔽材充填部内圧及び水平方向地震荷重による曲げ応力 外筒を伝熱フィンに区切られる幅ごとに考えると、外筒内面には水平方向地震力による中性子遮蔽材の慣性力が作用する。また、中性子遮蔽材充填部内圧も同時に作用する。このとき、外筒の伝熱フィン結合部の端点（応力評価位置②）には曲げ応力が作用するので、(2.2) 式で計算する。</p> <p>b. 一次＋二次応力</p> <p>(a) せん断応力 短期繰返し荷重（S_d*地震力）のみによる応力評価位置①におけるせん断応力の全振幅は、(2.1) 式で求まるせん断応力の2倍とする。</p> <p>(b) 曲げ応力 短期繰返し荷重（S_d*地震力）のみによる応力評価位置②における曲げ応力の全振幅は、(2.2) 式で求まる曲げ応力の2倍とする。</p> <p>(3) 計算結果 貯蔵時（S_d*地震力が作用する場合）における外筒の一次応力及び一次＋二次応力の計算条件と計算結果を各々表 2-4 及び表 2-5 に示す。</p> <p>2.2.3 貯蔵時（S_s地震力が作用する場合）</p> <p>(1) 荷重条件 貯蔵時において、S_s地震力が作用する場合の荷重条件は、S_s地震力とS_d*地震力を同じとしているため、2.2.2(1)項と同じである。</p> <p>(2) 計算方法 計算方法は、2.2.2(2)項と同じである。</p>			

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>(3) 計算結果</p> <p>貯蔵時 (S_s地震力が作用する場合) における外筒の一次応力及び一次+二次応力の計算条件と計算結果は、2.2.2(3)項と同じである。</p>			
<p>2.3 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力計算</p> <p>2.3.1 最高使用圧力時</p> <p>(1) 荷重条件</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーの最高使用圧力時の荷重は、次に示す組合せとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圧力 ・自重 <p>(2) 計算方法</p> <p>a. 一次応力</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーには、一次蓋と二次蓋間に封入されるヘリウムガスの圧力が作用するので、この最高使用圧力に対する応力を評価する。一次蓋の中性子遮蔽材充填部には、図 1-2 に示すようにリブが設けられており、蓋間圧力が作用する場合には、このリブと周辺固定部（溶接部）で蓋部中性子遮蔽材カバーの荷重を支持する構造となっている。</p>	<p>2.3 最高使用圧力時</p> <p>2.3.1 荷重条件</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーの最高使用圧力時の荷重は、次に示す組合せとする。</p> <p>圧力+自重</p> <p>2.3.2 計算方法</p> <p>(1) 蓋部中性子遮蔽材カバー</p> <p>a. 一次応力</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーには、一次蓋と二次蓋間に封入されるヘリウムガスの圧力が作用するので、この最高使用圧力に対する応力を評価する。一次蓋の中性子遮蔽材充填部には、第 1-2 図に示すようにリブが設けられており、蓋間圧力が作用する場合には、このリブと周辺固定部（溶接部）で蓋部中性子遮蔽材カバーの荷重を支</p>		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>ここでは、十字に交差するリブと周辺固定部で形成される四半円形状に着目し、蓋部中性子遮蔽材カバーの半径を一辺とする正方形の板に圧力が作用するモデルを考える。四辺は対称条件もしくは溶接により固定されるため、四辺固定条件となる。四辺固定の正方形の板において、等分布荷重が作用するときの最大曲げ応力は固定辺中央に生じ、(2.2)式で計算する。</p> <p>(3) 計算結果</p> <p>最高使用圧力時の蓋部中性子遮蔽材カバーにおける一次応力の計算条件と計算結果を表 2-6 に示す。</p> <p>3. 応力の評価</p> <p>3.1 外筒の応力評価</p> <p>3.1.1 一次応力の評価</p> <p>各供用状態における一次応力の評価を表 3-1、表 3-2 及び表 3-3 に示す。</p> <p>表 3-1、表 3-2 及び表 3-3 により、各供用状態の一次応力は、金属キャスク構造規格 MCD-3721 の規定を満足する。</p> <p>3.1.2 一次+二次応力の評価</p> <p>各供用状態における一次+二次応力の評価を表 3-1、表 3-2 及び表 3-3 に示す。</p> <p>表 3-1、表 3-2 及び表 3-3 により、各供用状態の一次+二次応力は、金属キャスク構造規格 MCD-3722 の規定を満足する。</p> <p>3.2 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価を表 3-4 に示す。</p> <p>表 3-4 により、最高使用圧力時の応力計算値は許容応力を満足し、想定する圧力に対して十分な強度を有する。</p>	<p>持する構造となっている。</p> <p>ここでは、十字に交差するリブと周辺固定部で形成される四半円形状に着目し、蓋部中性子遮蔽材カバーの半径を一辺とする正方形の板に圧力が作用するモデルを考える。四辺は対称条件もしくは溶接により固定されるため、四辺固定条件となる。四辺固定の正方形の板において、等分布荷重が作用するときの最大曲げ応力は固定辺中央に生じ、(2.2)式で計算する。</p> <p>2.3.3 計算結果</p> <p>応力計算結果を第 2-2 表に示す。</p> <p>3. 応力の評価</p> <p>3.1 外筒の応力評価</p> <p>3.1.1 一次応力の評価</p> <p>一次応力の評価を第 2-1 表に示す。</p> <p>第 2-1 表により、一次応力は、「構造規格」MCD-3721 の規定を満足する。</p> <p>3.1.2 一次+二次応力の評価</p> <p>一次+二次応力の評価を第 2-1 表に示す。</p> <p>第 2-1 表により、一次+二次応力は、「構造規格」MCD-3722 の規定を満足する。</p> <p>3.2 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価</p> <p>蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価を第 2-2 表に示す。</p> <p>第 2-2 表により、最高使用圧力時の応力計算値は許容応力を満足し、想定する圧力に対して十分な強度を有する。</p>		<p>応力の評価の記載は同等</p>

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>添付資料 8-5 金属キャスクの耐食性に関する説明書</p> <p>1. 設計方針</p> <p>HDP-69B(B)型は、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、性能を維持できる設計とした。また、HDP-69B(B)型は、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とともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を施す。</p> <p>2. HDP-69B(B)型の構成部材</p> <p>HDP-69B(B)型の主要な構成部材の材質を表 2-1 に示す。HDP-69B(B)型は、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ている。</p> <p>3. 経年変化に関する評価条件</p> <p>HDP-69B(B)型の基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材の経年変化に対する評価条件を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料収納時にその内部空間を真空乾燥し、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料を貯蔵する。 設計貯蔵期間は 60 年間とする。 HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度は、除熱解析結果より表 3-1 	<p>添付 10-1 金属キャスク及び貯蔵架台の強度評価の基本方針 別紙 1 金属キャスク及び貯蔵架台の耐食性に関する説明書</p> <p>1. 概要</p> <p>本説明は、金属キャスク及び貯蔵架台が「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）の第 14 条第 1 項第 1 号イに基づき、その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分（使用中の応力その他の使用条件に対する適切な耐食性を含む。）を有することを説明するものである。</p> <p>2. 設計方針</p> <p>「技術基準規則」第 14 条の適用部材は密封容器及び貯蔵架台であるが、ここでは、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、性能を維持できる設計とする。また、金属キャスクは、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とともに封入して貯蔵する設計とする。なお、金属キャスク本体、蓋部表面及び貯蔵架台の必要な箇所には、塗装による防錆処理を施す。</p> <p>3. 金属キャスク及び貯蔵架台の構成部材</p> <p>金属キャスク及び貯蔵架台の主要な構成部材の材質を第 3-1 表に示す。金属キャスクは、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ている。</p> <p>4. 経年変化に関する評価条件</p> <p>金属キャスク及び貯蔵架台の基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材の経年変化に対する評価条件を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料収納時にその内部空間を真空乾燥し、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料を貯蔵する。 設計評価期間は 60 年間とする。 金属キャスク及び貯蔵架台の主要な構成部材の温度は、除熱解析結果 		

型式指定申請書	R F S 設工認		比較結果
	申請書添付書類 3	補足説明資料	
<p>に示す条件とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ HDP-69B(B)型の主要な構成部材の中性子照射量は、遮蔽解析結果より表 3-2 に示す条件とする。 <p>4. 経年変化に関する評価結果</p> <p>HDP-69B(B)型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、設計貯蔵期間における環境条件（熱、放射線、腐食）の影響を考慮して、文献や試験データに基づき、経年変化の影響を評価した。HDP-69B(B)型の主要な構成部材ごとに評価した具体的内容を表 4-1 に示す。</p> <p>評価結果より、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</p> <p>経年変化に対して、主要な構成部材の健全性を維持できることを確認した。</p>	<p>より第 4-1 表に示す条件とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 金属キャスクの主要な構成部材の中性子照射量は、遮蔽解析結果より第 4-2 表に示す条件とする。 <p>5. 経年変化に関する評価結果</p> <p>金属キャスク及び貯蔵架台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、設計貯蔵期間における環境条件（熱、放射線、腐食）の影響を考慮して、文献や試験データに基づき、経年変化の影響を評価した。金属キャスクの主要な構成部材ごとに評価した具体的内容を第 5-1 表に示す。</p> <p>評価結果より、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</p> <p>経年変化に対して、主要な構成部材の健全性を維持できることを確認した。</p>		<p>経年変化に関する評価の記載は同等</p>