

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の改訂に伴う  
HDP-69B(B)型の詳細設計方針

## 臨界防止機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B (B) 型の詳細設計の基本方針	HDP-69B (B) 型の詳細設計における補足説明												
<p>(使用済燃料の臨界防止)</p> <p>第五条 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にするため、核的に安全な形状寸法にすることその他の適切な措置が講じられたものでなければならない。</p>	<p>1. 臨界防止機能に関する設計方針</p> <p><u>技術基準規則第五条において、使用済燃料貯蔵施設について、使用済燃料が臨界に達するおそれがないようにするため、核的に安全な形状寸法にすることその他の適切な措置が講じられたものでなければならないことを要求している。</u></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する。</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、中性子実効増倍率を 0.95 以下となるように設計する。</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する。</p>	<p>1. 使用済燃料の臨界防止に関する設計方針</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、<u>使用済燃料が臨界に達するおそれがないよう</u>、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>2. 使用済燃料の臨界防止に関する説明</p> <p>(1) 臨界防止機能に関する構造</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>(2) 臨界評価</p> <p>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 (<math>k_{eff}</math>) の平均値に統計誤差 (<math>\sigma</math>) の 3 倍 (<math>3\sigma</math>) を加味した値が 0.95 以下 (<math>k_{eff} + 3\sigma \leq 0.95</math>) 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なく、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。</p> <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求めた。</p> <p>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。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。</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寸法条件についても公差を考慮した。</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。</p> <p>(3) 臨界評価結果</p> <p>評価結果を表 1-1-1 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 (<math>3\sigma</math>) を加えたもの) は、<u>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。</u></p> <div style="text-align: center;"> <p>表 1-1-1 臨界評価結果</p> <table border="1" data-bbox="2074 1440 2585 1617"> <thead> <tr> <th></th> <th>乾燥状態</th> <th>冠水状態</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>中性子実効増倍率 (<math>k_{eff} + 3\sigma</math>)</td> <td>0.41</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>統計誤差 (<math>\sigma</math>)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">&lt; 0.001</td> </tr> <tr> <td>判定基準</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0.95 以下</td> </tr> </tbody> </table> </div>		乾燥状態	冠水状態	中性子実効増倍率 ( $k_{eff} + 3\sigma$ )	0.41	0.89	統計誤差 ( $\sigma$ )	< 0.001		判定基準	0.95 以下	
	乾燥状態	冠水状態												
中性子実効増倍率 ( $k_{eff} + 3\sigma$ )	0.41	0.89												
統計誤差 ( $\sigma$ )	< 0.001													
判定基準	0.95 以下													

## 臨界防止機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明																												
		<p style="text-align: right;">別紙 1</p> <p style="text-align: center;">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、使用済燃料を取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、貯蔵中を対象と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. 解析モデル HDP-69B(B)型の乾燥時臨界解析条件を別紙 1-1 表に示す。</p> <p style="text-align: center;">別紙 1-1 表 乾燥時臨界解析条件</p> <table border="1" data-bbox="2053 562 2605 1270"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>乾燥時臨界解析条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>取納物</td> <td>高燃焼度 8×8 燃料</td> </tr> <tr> <td>濃縮度 (wt%)</td> <td>3.66</td> </tr> <tr> <td>取納体数 (体)</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>燃料配置</td> <td>HDP-69B(B)型中心偏向配置</td> </tr> <tr> <td>寸法条件</td> <td>バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型内雰囲気</td> <td>真空</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型外雰囲気</td> <td>真空</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型配列</td> <td>無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料の構造材</td> <td>真空に置換</td> </tr> <tr> <td>ほう素添加量</td> <td>ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値に設定</td> </tr> <tr> <td>チャンネルボックス</td> <td>なし</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材</td> <td>側部、蓋部、底部中性子遮蔽材を真空に置換</td> </tr> <tr> <td>蓋部</td> <td>一次蓋、二次蓋を考慮</td> </tr> </tbody> </table>	項目	乾燥時臨界解析条件	取納物	高燃焼度 8×8 燃料	濃縮度 (wt%)	3.66	取納体数 (体)	69	燃料配置	HDP-69B(B)型中心偏向配置	寸法条件	バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定	HDP-69B(B)型内雰囲気	真空	HDP-69B(B)型外雰囲気	真空	HDP-69B(B)型配列	無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)	使用済燃料の構造材	真空に置換	ほう素添加量	ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値に設定	チャンネルボックス	なし	中性子遮蔽材	側部、蓋部、底部中性子遮蔽材を真空に置換	蓋部	一次蓋、二次蓋を考慮
項目	乾燥時臨界解析条件																													
取納物	高燃焼度 8×8 燃料																													
濃縮度 (wt%)	3.66																													
取納体数 (体)	69																													
燃料配置	HDP-69B(B)型中心偏向配置																													
寸法条件	バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定																													
HDP-69B(B)型内雰囲気	真空																													
HDP-69B(B)型外雰囲気	真空																													
HDP-69B(B)型配列	無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)																													
使用済燃料の構造材	真空に置換																													
ほう素添加量	ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値に設定																													
チャンネルボックス	なし																													
中性子遮蔽材	側部、蓋部、底部中性子遮蔽材を真空に置換																													
蓋部	一次蓋、二次蓋を考慮																													

臨界防止機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明																												
		<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. 解析モデル HDP-69B(B)型の冠水時解析条件を別紙 2-1 表に示す。</p> <p style="text-align: center;">別紙 2-1 表 冠水時臨界解析条件</p> <table border="1" data-bbox="2053 533 2605 1360"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>冠水時臨界解析条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>収納物</td> <td>高燃焼度 8×8 燃料</td> </tr> <tr> <td>濃縮度 (wt%)</td> <td>4.9 及び 2.1 (平均約 2.75) (炉心装荷冷温状態の無限増倍率が 1.3 となるような仮想的なモデルバンドル)</td> </tr> <tr> <td>収納体数 (体)</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>燃料配置</td> <td>HDP-69B(B)型中心偏向配置</td> </tr> <tr> <td>寸法条件</td> <td>バスケットプレート板厚, バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">HDP-69B(B)型 内雰囲気</td> <td>冠水 (水密度: 1.0 g/cm<sup>3</sup>) (HDP-69B(B)型内の水を考慮する場合には、冠水時の中性子実効増倍率が最大となる。)</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型 外雰囲気</td> <td>真空</td> </tr> <tr> <td>HDP-69B(B)型 配列</td> <td>無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料の 構造材</td> <td>水に置換</td> </tr> <tr> <td>ほう素添加量</td> <td>ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値に設定</td> </tr> <tr> <td>チャンネルボックス</td> <td>あり</td> </tr> <tr> <td>中性子遮蔽材</td> <td>側部, 蓋部, 底部中性子遮蔽材を真空に置換</td> </tr> <tr> <td>蓋部</td> <td>一次蓋, 二次蓋を考慮</td> </tr> </tbody> </table>	項目	冠水時臨界解析条件	収納物	高燃焼度 8×8 燃料	濃縮度 (wt%)	4.9 及び 2.1 (平均約 2.75) (炉心装荷冷温状態の無限増倍率が 1.3 となるような仮想的なモデルバンドル)	収納体数 (体)	69	燃料配置	HDP-69B(B)型中心偏向配置	寸法条件	バスケットプレート板厚, バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定	HDP-69B(B)型 内雰囲気	冠水 (水密度: 1.0 g/cm <sup>3</sup> ) (HDP-69B(B)型内の水を考慮する場合には、冠水時の中性子実効増倍率が最大となる。)	HDP-69B(B)型 外雰囲気	真空	HDP-69B(B)型 配列	無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)	使用済燃料の 構造材	水に置換	ほう素添加量	ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値に設定	チャンネルボックス	あり	中性子遮蔽材	側部, 蓋部, 底部中性子遮蔽材を真空に置換	蓋部	一次蓋, 二次蓋を考慮
項目	冠水時臨界解析条件																													
収納物	高燃焼度 8×8 燃料																													
濃縮度 (wt%)	4.9 及び 2.1 (平均約 2.75) (炉心装荷冷温状態の無限増倍率が 1.3 となるような仮想的なモデルバンドル)																													
収納体数 (体)	69																													
燃料配置	HDP-69B(B)型中心偏向配置																													
寸法条件	バスケットプレート板厚, バスケット格子内のり等の寸法は公差を考慮。胴内径はバスケットに接するように設定																													
HDP-69B(B)型 内雰囲気	冠水 (水密度: 1.0 g/cm <sup>3</sup> ) (HDP-69B(B)型内の水を考慮する場合には、冠水時の中性子実効増倍率が最大となる。)																													
	HDP-69B(B)型 外雰囲気	真空																												
HDP-69B(B)型 配列	無限配列 (HDP-69B(B)型周囲は完全反射境界条件)																													
使用済燃料の 構造材	水に置換																													
ほう素添加量	ほう素添加ステンレス鋼に含まれる天然ほう素量を仕様上の下限値に設定																													
チャンネルボックス	あり																													
中性子遮蔽材	側部, 蓋部, 底部中性子遮蔽材を真空に置換																													
蓋部	一次蓋, 二次蓋を考慮																													

## 遮蔽機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明																																																										
<p>(遮蔽)</p> <p>第二十一条 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ラ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。</p> <p>2 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>	<p>1. 遮蔽機能に関する設計方針</p> <p><u>技術基準規則第二十一条において、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ラ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こと、及び、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とを要求している。</u></p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属キャスクであるため、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（平成30年6月8日施行）」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。</li> <li>表面から1 m離れた位置における最大線量当量率が100 μSv/hを超えないこと。</li> </ul> <p>さらに、設計貯蔵期間中におけるHDP-69B(B)型の中性子遮蔽材の遮蔽機能の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。</p> <p>2. 型式設計特定容器等を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあつては、当該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又は条件</p> <p>2.1 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</p> <p>以下に示す条件により設計された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であること。</p> <table border="1" data-bbox="949 903 1617 1323"> <tbody> <tr> <td>金属キャスクの設計貯蔵期間</td> <td>60年以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの貯蔵場所</td> <td>貯蔵建屋内</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの貯蔵姿勢</td> <td>たて置き</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの固定方式</td> <td>下部トランオン固定</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの全質量（使用済燃料を含む。）</td> <td>118.3 t以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスクの主要寸法</td> <td>全長 約5.4 m 外径 約2.5 m</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面における線量当量率</td> <td>2 mSv/h以下</td> </tr> <tr> <td>金属キャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率</td> <td>100 μSv/h以下</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における金属キャスク周囲温度</td> <td>最低温度 -22.4 °C 最高温度 45 °C</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度</td> <td>最高温度 65 °C</td> </tr> <tr> <td>貯蔵区域における地震力</td> <td>水平方向 1.40G 鉛直方向 0.87G</td> </tr> </tbody> </table>	金属キャスクの設計貯蔵期間	60年以下	金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内	金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き	金属キャスクの固定方式	下部トランオン固定	金属キャスクの全質量（使用済燃料を含む。）	118.3 t以下	金属キャスクの主要寸法	全長 約5.4 m 外径 約2.5 m	金属キャスク表面における線量当量率	2 mSv/h以下	金属キャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率	100 μSv/h以下	貯蔵区域における金属キャスク周囲温度	最低温度 -22.4 °C 最高温度 45 °C	貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65 °C	貯蔵区域における地震力	水平方向 1.40G 鉛直方向 0.87G	<p>1. 放射線の遮蔽に関する説明</p> <p>(1) 遮蔽構造</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> <ol style="list-style-type: none"> <li>ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。</li> <li>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。</li> <li>中性子遮蔽材は、水を多く含有する樹脂(以下「レジン」という。)で構成する。</li> </ol> <p>(2) 遮蔽解析</p> <p>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> <ol style="list-style-type: none"> <li>線源条件 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。)を考慮する。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> </li> <li>線量当量率評価方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> </li> </ol> <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評価した結果、それぞれ2 mSv/h及び100 μSv/h以下となることを確認した。配置(i)の評価結果の例を表1-2-1に示す。</p> <p>表 1-2-1 配置(i)の評価結果の例(線量当量率最大の位置)</p> <table border="1" data-bbox="2122 1113 2537 1575"> <thead> <tr> <th colspan="3">評 価 点</th> <th>底部 トランオン部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">表面</td> <td rowspan="3">ガンマ線</td> <td>燃料有効部</td> <td>24.2</td> </tr> <tr> <td>構造材放射化</td> <td>63.2</td> </tr> <tr> <td>二次ガンマ線</td> <td>7.8</td> </tr> <tr> <td colspan="2">中 性 子</td> <td>1012.5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">合 計</td> <td>1107.7</td> </tr> <tr> <th colspan="3">評 価 点</th> <th>底部 軸方向</th> </tr> <tr> <td rowspan="5">表面から 1 m</td> <td rowspan="3">ガンマ線</td> <td>燃料有効部</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>構造材放射化</td> <td>59.3</td> </tr> <tr> <td>二次ガンマ線</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td colspan="2">中 性 子</td> <td>16.2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">合 計</td> <td>80.3</td> </tr> </tbody> </table>	評 価 点			底部 トランオン部	表面	ガンマ線	燃料有効部	24.2	構造材放射化	63.2	二次ガンマ線	7.8	中 性 子		1012.5	合 計		1107.7	評 価 点			底部 軸方向	表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	3.9	構造材放射化	59.3	二次ガンマ線	0.9	中 性 子		16.2	合 計		80.3
金属キャスクの設計貯蔵期間	60年以下																																																											
金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内																																																											
金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き																																																											
金属キャスクの固定方式	下部トランオン固定																																																											
金属キャスクの全質量（使用済燃料を含む。）	118.3 t以下																																																											
金属キャスクの主要寸法	全長 約5.4 m 外径 約2.5 m																																																											
金属キャスク表面における線量当量率	2 mSv/h以下																																																											
金属キャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率	100 μSv/h以下																																																											
貯蔵区域における金属キャスク周囲温度	最低温度 -22.4 °C 最高温度 45 °C																																																											
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65 °C																																																											
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.40G 鉛直方向 0.87G																																																											
評 価 点			底部 トランオン部																																																									
表面	ガンマ線	燃料有効部	24.2																																																									
		構造材放射化	63.2																																																									
		二次ガンマ線	7.8																																																									
	中 性 子		1012.5																																																									
	合 計		1107.7																																																									
評 価 点			底部 軸方向																																																									
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	3.9																																																									
		構造材放射化	59.3																																																									
		二次ガンマ線	0.9																																																									
	中 性 子		16.2																																																									
	合 計		80.3																																																									

## 閉じ込め機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明
<p>(閉じ込めの機能)</p> <p>第十一条 使用済燃料貯蔵施設は、次に掲げるところにより、使用済燃料又は使用済燃料によって汚染された物（以下「使用済燃料等」という。）を限定された区域に閉じ込める機能を保持するように設置されたものでなければならない。</p> <p>一 金属キャスクは、使用済燃料等が外部に漏えいするおそれがない構造であること</p>	<p>1. 閉じ込め機能に関する設計方針</p> <p><u>技術基準規則第十一条において、金属キャスクは、使用済燃料等が外部に漏えいするおそれがない構造であることを要求している。また、それにより、使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料又は使用済燃料によって汚染された物（以下「使用済燃料等」という。）を限定された区域に閉じ込める機能を保持するように設置されたものでなければならないことを要求している。</u></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、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、<u>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、金属ガスケットをシール材とした一次蓋と二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、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。</u></p> <p>なお、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。</p>	<p>1. 使用済燃料等の閉じ込めに関する設計方針</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、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、<u>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。</u></p> <p>2. 使用済燃料等の閉じ込めに関する説明</p> <p>(1) 閉じ込め機能に関する構造</p> <p>HDP-69B(B)型のシール部詳細を図1-3-1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（<u>ベント及びドレン用</u>）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。<u>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ことにより閉じ込め機能を監視する。</u></p> <p>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> <p>(2) 閉じ込め評価</p> <p>HDP-69B(B)型の閉じ込め評価においては、以下の考え方に基づき評価する。</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Qs」という。）を求める。</p> <p>b. 基準漏えい率Qs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<math>9.7 \times 10^4</math> 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%）、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Qn」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Qs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Qt」という。）は、基準漏えい率Qsを下回るように設定する。</p> <p>(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Qsは<math>2.4 \times 10^{-6}</math> Pa・m<sup>3</sup>/sとなる。</p> <p>ここで、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。（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、及び、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の結果を基に、LMPと漏えい率の関係を評価した結果、金属ガスケットのLMPが約<math>8.0 \times 10^3</math>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<math>10^{-10}</math> Pa・m<sup>3</sup>/s以下を確保できることが示される。</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℃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<math>8.0 \times 10^3</math>以下となり、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> <p>また、（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。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<math>10^{-10}</math> Pa・m<sup>3</sup>/s）に維持されているとの知見が得られている。</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Qnは、使用環境を考慮しても基準漏えい率Qs（<math>2.4 \times 10^{-6}</math> Pa・m<sup>3</sup>/s）を満足する。</p>

閉じ込め機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明
		<p>図 1-3-1 HDP-69B(B)型のシール部詳細</p>

内は商業機密のため、非公開とします。

## 除熱機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明
<p>(除熱)</p> <p>第十六条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するように設置されたものでなければならない。</p>	<p>1. 除熱機能に関する設計方針</p> <p><u>技術基準規則第十六条において、使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去するように設置されたものでなければならないことを要求している。</u></p> <p>HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び金属キャスクの基本的安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料の崩壊熱を除去する設計とする。</p> <p>燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料の健全性を維持する観点から、燃料被覆管の累積クリーブ量が1%を超えない温度、照射硬化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するため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに温度制限が設けられる。</p> <p>また、HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度は、基本的安全機能を維持する観点から制限を設ける。</p>	<p>1. 使用済燃料等の除熱に関する説明書</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)型は、除熱のために以下の設計上の配慮を行っている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ol> <p>(2) 解析モデル及び解析条件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料の収納配置 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。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。</li> </ul> </li> <li>使用済燃料の崩壊熱量設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料の崩壊熱量は、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 ORIGEN2 を使用して求められる。</li> <li>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設定した。</li> <li>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。</li> </ul> </li> <li>解析モデル <ul style="list-style-type: none"> <li>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。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・金属キャスク熱解析モデル <ol style="list-style-type: none"> <li>①軸方向全体モデル（以下「全体モデル」という。）</li> <li>②径方向輪切りモデル（以下「輪切りモデル」という。）</li> </ol> </li> <li>・燃料被覆管熱解析モデル <ol style="list-style-type: none"> <li>③燃料集合体モデル</li> </ol> </li> </ul> </li> <li>各解析モデルで評価する部位は次のとおりである。 <ol style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>②輪切りモデル：バスケット、胴、中性子遮蔽材（側部）、外筒</li> <li>③燃料集合体モデル：燃料被覆管</li> </ol> </li> <li>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。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。</li> </ul> </li> <li>境界条件 <ul style="list-style-type: none"> <li>HDP-69B(B)型周囲の環境として、以下の条件を用いる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・貯蔵姿勢：たて置き</li> <li>・周囲温度：45℃</li> <li>・貯蔵建屋壁面温度：65℃</li> </ul> </li> </ul> </li> </ol>



除熱機能

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明																																																													
		<p>(3) 除熱解析結果 HDP-69B(B)型の除熱解析結果を表 1-4-1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1-4-1 除熱解析結果</p> <table border="1" data-bbox="2083 430 2602 1234"> <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*1</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="11">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カロ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。</p> <p>*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。</p> <p>*3: 配置(iii)における解析結果を示す。</p> <p>*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> <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>	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*1	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
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*1	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																																																											

## 材料及び構造

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B (B) 型の詳細設計の基本方針	HDP-69B (B) 型の詳細設計における補足説明																																				
<p>(材料及び構造)</p> <p>第十四条 使用済燃料貯蔵施設に属する容器、管及びこれらの支持構造物のうち、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もの(以下この項において「容器等」という。)の材料及び構造は、次に掲げるところによらなければならない。この場合において、第一号及び第三号の規定については、法第四十三条の九第二項に規定する使用前事業者検査の確認を行うまでの間適用する。</p> <p>一 容器等に使用する材料は、次に掲げるところによるものであること。</p> <p>イ 容器等が、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。</p> <p>ロ 使用済燃料等を閉じ込めるための容器(以下この項において「密封容器」という。)に使用する材料にあっては、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したものであること。</p> <p>ハ 管及び支持構造物に使用する材料にあっては、当該管及び支持構造物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機械試験その他の評価方法により確認したものであること。</p> <p>ニ 有害な欠陥がないことを非破壊試験により確認したものであること。</p> <p>二 容器等の構造及び強度は、次に掲げるところによるものであること。</p> <p>イ 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こと。</p> <p>ロ 密封容器にあっては、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こと。また、閉じ込め機能(事業許可基準規則第二条第二項第三号ハに規定する閉じ込め機能をいう。)を担保する部位(ハにおいて「密封シール部」という。)については、変形を弾性域に抑えること。</p> <p>ハ 密封容器にあっては、試験状態において、全体的な塑性変形が生じないこと。また、密封シール部については、変形を弾性域に抑えること。</p> <p>ニ 密封容器及び支持構造物にあっては、取扱い時及び貯蔵時において、疲労破壊が生じないこと。</p> <p>ホ 取扱い時及び貯蔵時において、座屈が生じないこと。</p> <p>三 密封容器の主要な耐圧部の溶接部(溶接金属部及び熱影響部をいう。以下この号において同じ。)は、次に掲げるところによるものであること。</p> <p>イ 不連続で特異な形状でないものであること。</p> <p>ロ 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、非破壊試験により確認したものであること。</p> <p>ハ 適切な強度を有するものであること。</p> <p>ニ 機械試験その他の評価方法により適切な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をあらかじめ確認したのものにより溶接したものであること。</p> <p>2 使用済燃料貯蔵施設に属する容器及び管のうち、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で重要なものは、適切な耐圧試験又は漏えい試験を行ったとき、これに耐え、かつ、著しい漏えいがないように設置されたものでなければならない。</p>	<p>1 材料及び構造等</p> <p>1.1 材料について</p> <p>(1) 機械的強度及び化学的成分</p> <p>a. 密封容器、バスケット、トラニオン、外筒及び中性子遮蔽材カバーは、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。)を有する材料を使用する。</p> <p>(2) 破壊じん性</p> <p>a. 密封容器に使用する材料にあっては、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。</p> <p>b. バスケット、トラニオン、外筒及び中性子遮蔽材カバーに使用する材料にあっては、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機械試験その他の評価方法により確認する。</p> <p>(3) 非破壊試験</p> <p>a. 密封容器、バスケット、トラニオン、外筒及び中性子遮蔽材カバーに使用する材料は、有害な欠陥がないことを非破壊試験により確認する。</p> <p>1.2 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。</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。</p> <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。</p> <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、外筒及び中性子遮蔽材カバーは、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。</p> <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。</p> <p>1.3 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。</p> <p>・不連続で特異な形状でない設計とする。</p> <p>・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、非破壊試験により確認する。</p> <p>・適切な強度を有する設計とする。</p> <p>・機械試験その他の評価方法により適切な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をあらかじめ確認したのものにより溶接する。</p> <p>1.4 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。</p>	<p>1. 耐圧強度及び耐食性に関する説明書</p> <p>1.1 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4月1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>1.2 適用部材の分類</p> <p>HDP-69B(B)型の構成部材のうち、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(二次蓋を含む。)、バスケット及びトラニオン、加えて、中性子遮蔽材を支持する外筒(端板を含む。))及び中性子遮蔽材カバーを評価対象とし、(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。))に基づく適用部材の分類を表1-5-1に示す。</p> <p>1.3 強度評価の基本方針</p> <p>表1-5-1に従い、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 FA1-2005 (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>1.4 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ニオン、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共に封入し、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、金属ガ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 style="text-align: center;">表1-5-1 HDP-69B(B)型の適用部材の分類</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">機器名</th> <th rowspan="2">部材名</th> <th rowspan="2">構造規格 適用部材の分類</th> <th colspan="2">技術基準規則第14条の分類</th> </tr> <tr> <th>容器</th> <th>支持構造物</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">金属キャスク</td> <td>胴</td> <td rowspan="4">密封容器</td> <td rowspan="4">容器</td> <td rowspan="4">密封容器</td> </tr> <tr> <td>底板</td> </tr> <tr> <td>底部中性子遮蔽材カバー</td> </tr> <tr> <td>一次蓋</td> </tr> <tr> <td>一次蓋締付けボルト</td> <td rowspan="2">—*1</td> <td rowspan="2">容器等</td> <td rowspan="2">—</td> </tr> <tr> <td>二次蓋</td> </tr> <tr> <td>二次蓋締付けボルト</td> <td rowspan="2">密封容器</td> <td rowspan="2">密封容器</td> </tr> <tr> <td>カバープレート</td> </tr> <tr> <td>カバープレート締付けボルト</td> <td rowspan="4">バスケット</td> <td rowspan="4">支持構造物</td> </tr> <tr> <td>バスケット</td> </tr> <tr> <td>トラニオン</td> </tr> <tr> <td>外筒(端板含む。)</td> </tr> <tr> <td>蓋部遮蔽材遮蔽材カバー</td> <td>中間胴*2</td> <td rowspan="2">容器</td> <td rowspan="2">—</td> </tr> <tr> <td></td> <td>—*3</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 *1: 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基準を用いる。</p> <p>*2: 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、金属キャスク構造規格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>*3: 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設計・建設規格のクラス3容器の規定を用いる。</p>	機器名	部材名	構造規格 適用部材の分類	技術基準規則第14条の分類		容器	支持構造物	金属キャスク	胴	密封容器	容器	密封容器	底板	底部中性子遮蔽材カバー	一次蓋	一次蓋締付けボルト	—*1	容器等	—	二次蓋	二次蓋締付けボルト	密封容器	密封容器	カバープレート	カバープレート締付けボルト	バスケット	支持構造物	バスケット	トラニオン	外筒(端板含む。)	蓋部遮蔽材遮蔽材カバー	中間胴*2	容器	—		—*3
機器名	部材名	構造規格 適用部材の分類				技術基準規則第14条の分類																																
			容器	支持構造物																																		
金属キャスク	胴	密封容器	容器	密封容器																																		
	底板																																					
	底部中性子遮蔽材カバー																																					
	一次蓋																																					
	一次蓋締付けボルト	—*1	容器等	—																																		
	二次蓋																																					
	二次蓋締付けボルト	密封容器	密封容器																																			
	カバープレート																																					
	カバープレート締付けボルト	バスケット	支持構造物																																			
	バスケット																																					
トラニオン																																						
外筒(端板含む。)																																						
蓋部遮蔽材遮蔽材カバー	中間胴*2	容器	—																																			
	—*3																																					

## 材料及び構造

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明																																																																	
		<p>1.5 HDP-69B(B)型の耐圧強度評価</p> <p>各供用状態における応力計算結果と許容応力の例を表 1-5-2 に示す。</p> <p>表 1-5-2 に示すように、各供用状態における応力は金属キャスク構造規格の規定を満足する。</p> <p style="text-align: center;">表 1-5-2 各供用状態における応力計算結果と許容応力の例（供用状態A及びB）</p> <p style="text-align: right;">（単位：MPa）</p> <table border="1" data-bbox="1923 520 2718 926"> <thead> <tr> <th rowspan="2">部 位</th> <th rowspan="2">応力の種類</th> <th>貯蔵時</th> <th>吊上げ時</th> <th>支持脚への 衝突時</th> <th rowspan="2">許容 応力</th> </tr> <tr> <th>計算値</th> <th>計算値</th> <th>計算値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">上部 トラニオン</td> <td rowspan="3">一次応力</td> <td>せん断応力</td> <td>—</td> <td>51</td> <td>—</td> <td>227</td> </tr> <tr> <td>曲げ応力</td> <td>—</td> <td>201</td> <td>—</td> <td>394</td> </tr> <tr> <td>組合せ応力</td> <td>—</td> <td>219</td> <td>—</td> <td>394</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">一次+二次応力</td> <td>せん断応力</td> <td>—</td> <td>51</td> <td>—</td> <td>682</td> </tr> <tr> <td>曲げ応力</td> <td>—</td> <td>201</td> <td>—</td> <td>1182</td> </tr> <tr> <td>せん断応力</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>98</td> <td>227</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">下部 トラニオン</td> <td rowspan="3">一次応力</td> <td>曲げ応力</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>190</td> <td>394</td> </tr> <tr> <td>組合せ応力</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>224</td> <td>394</td> </tr> <tr> <td>せん断応力</td> <td>86</td> <td>—</td> <td>98</td> <td>682</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">一次+二次応力</td> <td>曲げ応力</td> <td>204</td> <td>—</td> <td>190</td> <td>1182</td> </tr> </tbody> </table>	部 位	応力の種類	貯蔵時	吊上げ時	支持脚への 衝突時	許容 応力	計算値	計算値	計算値	上部 トラニオン	一次応力	せん断応力	—	51	—	227	曲げ応力	—	201	—	394	組合せ応力	—	219	—	394	一次+二次応力	せん断応力	—	51	—	682	曲げ応力	—	201	—	1182	せん断応力	—	—	98	227	下部 トラニオン	一次応力	曲げ応力	—	—	190	394	組合せ応力	—	—	224	394	せん断応力	86	—	98	682	一次+二次応力	曲げ応力	204	—	190	1182
部 位	応力の種類	貯蔵時			吊上げ時	支持脚への 衝突時	許容 応力																																																												
		計算値	計算値	計算値																																																															
上部 トラニオン	一次応力	せん断応力	—	51	—	227																																																													
		曲げ応力	—	201	—	394																																																													
		組合せ応力	—	219	—	394																																																													
	一次+二次応力	せん断応力	—	51	—	682																																																													
		曲げ応力	—	201	—	1182																																																													
		せん断応力	—	—	98	227																																																													
下部 トラニオン	一次応力	曲げ応力	—	—	190	394																																																													
		組合せ応力	—	—	224	394																																																													
		せん断応力	86	—	98	682																																																													
	一次+二次応力	曲げ応力	204	—	190	1182																																																													

## 耐震性

使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	HDP-69B(B)型の詳細設計の基本方針	HDP-69B(B)型の詳細設計における補足説明																														
<p>(地震による損傷の防止)</p> <p>第七条 使用済燃料貯蔵施設は、これに作用する地震力(事業許可基準規則第九条第二項の規定により算定する地震力をいう。)による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないものでなければならない。</p> <p>2 使用済燃料貯蔵施設は、事業許可基準規則第九条第三項の地震力に対してその基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<p>1. 地震による損傷の防止に関する設計方針</p> <p><u>技術基準規則第七条において、使用済燃料貯蔵施設は、これに作用する地震力(事業許可基準規則第九条第二項の規定により算定する地震力をいう。)による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないものでなければならないこと、及び、事業許可基準規則第九条第三項の地震力に対してその基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならないことを要求している。</u></p> <p><u>HDP-69B(B)型は、当該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としている金属キャスクの貯蔵姿勢及び固定方式において、設計条件として設定する地震力に対して、HDP-69B(B)型の構成部材を剛構造とし、発生する応力を弾性状態に留め、基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。</u></p>	<p>1. 耐震性に関する説明書</p> <p>(1) 耐震設計の基本方針</p> <p>HDP-69B(B)型は、(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。)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。)に基づき、設計条件として設定する以下条件に対して概ね弾性状態に留まり得る設計とする。</p> <p>a. 通常貯蔵時に生じる荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組合せた荷重条件</p> <p>b. 通常貯蔵時に生じる荷重と、基準地震動による地震力を組合せた荷重条件</p> <p>(2) 耐震設計条件</p> <p>HDP-69B(B)型の耐震設計に適用する弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力と基準地震動による地震力は、以下のとおり設定する。</p> <p>a. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力</p> <p>弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力には、使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書(以下「型式証明申請書」という。)の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に規定される貯蔵区域における地震力を適用する。この地震力を弾性設計用地震動<math>S_d^*</math>に相当する地震力(以下「<math>S_d^*</math>地震力」という。)とし、表1-5-1に示す。</p> <p>b. 基準地震動による地震力</p> <p>基準地震動による地震力には、型式証明申請書の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に規定される貯蔵区域における地震力を適用する。この地震力を基準地震動<math>S_s</math>に相当する地震力(以下「<math>S_s</math>地震力」という。)とし、表1-5-1に示す。</p> <div style="text-align: center;"> <p>表 1-5-1 耐震設計条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>水平方向</th> <th>鉛直方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>S_d^*</math>地震力*1</td> <td>1.40G</td> <td>0.87G</td> </tr> <tr> <td><math>S_s</math>地震力</td> <td>1.40G</td> <td>0.87G</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記*1：より高い地震力である<math>S_s</math>地震力を保守的に設定する。</p> </div> <p>(3) 耐震評価</p> <p><math>S_d^*</math>地震力及び<math>S_s</math>地震力が作用する場合における応力評価の結果の例を表1-5-2に示す。</p> <div style="text-align: center;"> <p>表 1-5-2 地震力作用時の応力評価結果の例(供用状態<math>C_s</math>)</p> <p>(単位：MPa)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部 位</th> <th>応力分類</th> <th>計算値</th> <th>許容応力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">バスケット</td> <td><math>P_m</math></td> <td>2</td> <td>219</td> </tr> <tr> <td><math>P_m + P_b</math></td> <td>6</td> <td>328</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">プレート</td> <td><math>\sigma_s</math></td> <td>1</td> <td>131</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_p</math></td> <td>2</td> <td>303</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_c</math></td> <td>2</td> <td>176</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>HDP-69B(B)型の各部に発生する応力は金属キャスク構造規格及び設計・建設規格に示す許容応力を満足する。従って、HDP-69B(B)型は設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態に留まる範囲で耐え得ることから、基本的安全機能が損なわれるおそれがない。</p>	区分	水平方向	鉛直方向	$S_d^*$ 地震力*1	1.40G	0.87G	$S_s$ 地震力	1.40G	0.87G	部 位	応力分類	計算値	許容応力	バスケット	$P_m$	2	219	$P_m + P_b$	6	328	プレート	$\sigma_s$	1	131	$\sigma_p$	2	303	$\sigma_c$	2	176
区分	水平方向	鉛直方向																														
$S_d^*$ 地震力*1	1.40G	0.87G																														
$S_s$ 地震力	1.40G	0.87G																														
部 位	応力分類	計算値	許容応力																													
バスケット	$P_m$	2	219																													
	$P_m + P_b$	6	328																													
プレート	$\sigma_s$	1	131																													
	$\sigma_p$	2	303																													
	$\sigma_c$	2	176																													