

9 条

溢水による損傷の防止

第9条：溢水による損傷の防止等

<目次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

- (1) 位置、構造及び設備
- (2) 安全設計方針
- (3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 溢水による損傷の防止等

(別添資料)

伊方発電所3号炉 内部溢水の影響評価について

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

a. 設計基準対象施設

(d) 溢水による損傷の防止

安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。

そのために、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」を参照し、溢水防護に係る設計時に発電用原子炉施設内において発生が想定される溢水の影響を評価（以下「溢水評価」という。）し、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、原子炉を高温停止でき、引き続き低温停止、及び放射性物質の閉じ込め機能を維持できる設計とする。また、停止状態にある場合は、引き続きその状態を維持できる設計とする。さらに使用済燃料ピットにおいては、使用済燃料ピットの冷却機能及び使用済燃料ピットへの給水機能を維持できる設計とする。また、溢水の影響を受けて運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した場合に、それらに対処するために必要な機器の単一故障を考慮しても異常状態を収束できる設計とし、浸水防護や検知機能等によって、これらの機能を維持するために必要な設備（以下「防護対象設備」という。）が、没水、被水及び蒸気の影響を受けて、その安全機能を損なわない設計（多重性又は多様性を有する設備が同時にその安全機能を損なわない設計）とする。

溢水評価では、溢水源として発生要因別に分類した以下の溢水を想定する。また、溢水評価に当たっては、溢水防護区画を設定し、溢水評価が保守的になるように溢水経路を設定する。

- ・ 溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水
- ・ 発電所内で生じる異常状態（火災を含む。）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水
- ・ 地震に起因する機器の破損等により生じる溢水（使用済燃料ピットのスロッシングにより発生する溢水を含む。）
- ・ その他の要因（地下水の流入、地震以外の自然現象、機器の誤作動等）により生じる溢水

溢水評価に当たっては、防護対象設備の機能喪失高さ（溢水の影響を受けて、防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある高さ）及び溢水防護区画を構成する壁、扉、堰等について、設備等の設置状況を踏まえ、評価条件を設定する。

溢水評価において、溢水影響を軽減するための壁、扉、堰等の浸水防護設備、床ドレンライン及び防護カバー等の設備については、必要により保守点検や水

密扉閉止等の運用を適切に実施することにより、防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

また、設計基準対象施設は、発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備（ポンプ、弁、使用済燃料ピット、原子炉キャビティ（燃料取替用チャンネル含む。）等）から放射性物質を含む液体があふれ出た場合において、当該液体が管理区域外へ漏えいしない設計とする。

ヌ その他発電用原子炉の附属施設の構造及び設備

(3) その他の主要な事項

(ii) 浸水防護設備

b. 内部溢水に対する防護設備

安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。そのために、発電用原子炉施設内に設置された機器及び配管の破損（地震起因を含む。）、消火系統等の作動、使用済燃料ピット等のスロッシングその他の事象による溢水が発生した場合においても、発電用原子炉施設内における壁、扉、堰等により、防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。また、使用済燃料ピットの冷却機能及び使用済燃料ピットへの給水機能を維持できる設計とする。

(2) 安全設計方針

1.7 溢水防護に関する基本方針

設置許可基準規則 第九条（溢水による損傷の防止等）の要求事項を踏まえ、安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。

そのために、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、原子炉を高温停止でき、引き続き低温停止、及び放射性物質の閉じ込め機能を維持できる設計とする。また、停止状態にある場合は、引き続きその状態を維持できる設計とする。さらに使用済燃料ピットにおいては、使用済燃料ピットの冷却機能及び使用済燃料ピットへの給水機能を維持できる設計とする。

これらの機能を維持するために必要な設備（以下「防護対象設備」という。）について、設置許可基準規則第九条及び第十二条の要求事項を踏まえ「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（平成 26 年 8 月 6 日原規技発第 1408064 号原子力規制委員会決定）」（以下「評価ガイド」という。）も参照し、以下のとおり選定する。

- ・重要度の特に高い安全機能を有する系統が、その安全機能を適切に維持するために必要な設備
- ・プール冷却及びプールへの給水の機能を適切に維持するために必要な設備

発電用原子炉施設内における溢水として、発電用原子炉施設内に設置された機器及び配管の破損（地震起因を含む。）、消火系統等の作動、使用済燃料ピット等のスロッシングその他の事象により発生した溢水を考慮し、浸水防護や検知機能等によって、防護対象設備が没水、被水及び蒸気の影響を受けて、その安全機能を損なわない設計（多重性又は多様性を有する設備が同時にその安全機能を損なわない設計）とする。さらに、発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針に基づき、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対処するために必要な機器の単一故障を考慮しても事象を収束できる設計とする。

地震、津波、竜巻等の自然現象による波及的影響により発生する溢水に関しては、防護対象設備及び溢水源となる屋外タンク等の配置も踏まえて、最も厳しい条件となる自然現象による溢水の影響を考慮し、防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。また、放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備（ポンプ、弁、使用済燃料ピット、原子炉キャビティ（燃料取替用キャナル含む。）等）から放射性物質を含む液体の漏えいを想定する場合には、溢水が管理区域外へ漏えいしないよう、建屋内の壁、扉、堰等により伝播経路を制限する設計とする。

1.7.1 防護対象設備を抽出するための方針

防護対象設備は、発電用原子炉施設内で発生した溢水に対して、重要度の特に高い安全機能を有する系統が、その安全機能を損なわない設計（原子炉を高温停止で

き、引き続き低温停止、及び放射性物質の閉じ込め機能を維持できる設計。) また、停止状態にある場合は、引き続きその状態を維持できる設計。) とするために必要な設備とする。

さらに、使用済燃料ピットの冷却機能及び使用済燃料ピットへの給水機能を維持するための系統設備も防護対象設備とする。

原子炉の高温停止、低温停止及びその維持に必要な系統設備については、具体的に以下を選定する。

- ・原子炉停止：原子炉停止系（制御棒）
- ・ほう酸添加：原子炉停止系（化学体積制御系のほう酸注入機能）
- ・崩壊熱除去：補助給水系，主蒸気系，余熱除去系
- ・1次系減圧：1次冷却系統の減圧機能
- ・上記系統の関連系（原子炉補機冷却水系，原子炉補機冷却海水系，制御用空気系，換気空調系，非常用電源系，空調用冷水系，電気盤）

以上の系統設備に加え、発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針を参考に、以下の溢水により発生し得る原子炉外乱及び溢水の原因となり得る原子炉外乱に対処する設備を抽出する。

- ・想定破損による溢水（単一機器の破損を想定）
- ・消火水の放水による溢水（単一の溢水源を想定）
- ・地震による耐震B，Cクラス機器からの溢水

抽出に当たっては溢水事象となり得る運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故も考慮する。

また、地震に対しては溢水だけでなく、地震に起因する原子炉外乱（主給水流量喪失，外部電源喪失等）も考慮する。

溢水評価上想定する起因事象として抽出する運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故を第1.7.1表及び第1.7.2表に示す。また、溢水評価上想定する事象とその対処系統を第1.7.3表に示す。

なお、抽出された防護対象設備のうち、以下の設備は溢水影響を受けても、必要とされる安全機能を損なわないことから、溢水による影響評価の対象として抽出しない。

(1) 溢水の影響を受けない静的機器

構造が単純で外部から動力の供給を必要としないことから、溢水の影響を受けて安全機能を損なわない容器，熱交換器，フィルタ，安全弁，逆止弁，手動弁，配管及び没水に対する耐性を有するケーブル。

(2) 原子炉格納容器内に設置されている機器

原子炉格納容器内で想定される溢水である原子炉冷却材喪失（以下「LOCA」という。）及び主蒸気管・主給水管破断時の原子炉格納容器内の状態を考慮しても、没水，被水及び蒸気の影響を受けないことを試験も含めて確認している機器。

(3) フェイル位置で安全機能を損なわない機器

溢水の影響により、動作機能を損なっても要求開度を維持する主蒸気逃がし元弁等の電動弁。動作機能を損なった時にフェイル位置となる加圧器スプレイ弁等の空気作動弁。プラント状態の監視に必要としない機器。

以上の考えに基づき選定された溢水から防護すべき系統設備を第 1.7.4 表に示す。

- 1.7.2 溢水源及び溢水量を設定するための方針
- 1.7.3 溢水防護区画及び溢水経路を設定するための方針
- 1.7.4 防護対象設備を防護するための設計方針
- 1.7.5 溢水防護区画を内包する建屋外からの流入防止に関する設計方針
- 1.7.6 放射性物質を含んだ液体の管理区域外への漏えいを防止するための設計方針
- 1.7.7 手順等

1.7.2 から 1.7.7 については、使用済燃料乾式貯蔵施設設置に伴う「伊方発電所 3 号炉 発電用原子炉設置変更許可申請書」の変更はない。

第 1.7.1 表 溢水評価上想定する起回事象
(運転時の異常な過渡変化)

起回事象	考慮 要否	スクリーンアウトする理由
原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	○	
出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	○	
制御棒の落下及び不整合	○	
原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈	○	
原子炉冷却材流量の部分喪失	○	
原子炉冷却材系の停止ループの誤起動	—	停止ループの低温の冷却材が炉心に注入され、炉心に正の反応度が添加された後の反応度フィードバック効果により原子炉出力は低下し整定する。 このように、本事象では対処設備は不要であるため、溢水評価上考慮不要。
外部電源喪失	—	外部電源喪失により常用電源が喪失することから、「主給水流量喪失」及び「原子炉冷却材流量の喪失」に包絡される。
主給水流量喪失	○	
蒸気負荷の異常な増加	—	蒸気負荷が増加し、炉心に正の反応度が添加された後の反応度フィードバック効果より原子炉出力は抑制され整定する。 このように、本事象では対処設備は不要であるため、溢水評価上考慮不要。
2次冷却系の異常な減圧	○	
蒸気発生器への過剰給水	○	
負荷の喪失	○	
原子炉冷却材系の異常な減圧	○	
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動	○	

第 1.7.2 表 溢水評価上想定する起回事象
(設計基準事故)

起回事象	考慮 要否	スクリーンアウトする理由
原子炉冷却材喪失 (LOCA)	○*	
原子炉冷却材流量の喪失	○	
原子炉冷却材ポンプの軸固着	—	溢水の発生によって1次冷却材ポンプの回転軸は固着しない。
主給水管破断	○*	
主蒸気管破断	○*	
制御棒飛び出し	○*	
蒸気発生器伝熱管破損	—	溢水の発生によって蒸気発生器の伝熱管は損傷しない。

※ 溢水の原因となり得る事象であるため、対策として考慮する。

第 1.7.3 表 溢水評価上想定する事象とその対処系統

溢水評価上想定する事象	左記事象に対する 対処機能	対処系統
①「原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き」「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」「制御棒の落下及び不整合」	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉トリップ ・補助給水 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全保護系 ・原子炉停止系 (制御棒, ほう酸注入系統) ・補助給水系統 *1 主給水バイパス制御弁開 *2 復水ポンプ停止, 主給水制御弁・隔離弁閉 *3 タービントリップ
②原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈 (ほう素濃度制御系異常)		
③「原子炉冷却材流量の部分喪失」及び「原子炉冷却材流量の喪失」 (1次冷却材ポンプの停止)		
④蒸気発生器への過剰給水 (主給水制御弁開他*1)		
⑤主給水流量喪失 (主給水ポンプ停止他*2)		
⑥負荷の喪失 (主蒸気隔離弁閉他*3)		
⑦出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動		
⑧主給水管破断		
⑨2次冷却系の異常な減圧 (主蒸気ダンプ弁開他*4)	上記機能に加え, <ul style="list-style-type: none"> ・高圧注入 	上記機能に加え, <ul style="list-style-type: none"> ・高圧注入系統 *4 主蒸気逃がし弁開 *5 加圧器スプレイ弁開, 加圧器補助スプレイ弁開
⑩原子炉冷却材系の異常な減圧 (加圧器逃がし弁開他*5)		
⑪主蒸気管破断		
⑫「原子炉冷却材喪失 (LOCA)」及び「制御棒飛び出し」	上記機能に加え, <ul style="list-style-type: none"> ・低圧注入 ・格納容器スプレイ ・格納容器隔離 	上記機能に加え, <ul style="list-style-type: none"> ・余熱除去系統 ・格納容器スプレイ系統 ・格納容器隔離弁

第 1.7.4 表 溢水から防護すべき系統設備

補助給水系統
化学体積制御系統
高圧注入系統
主蒸気系統
余熱除去系統
原子炉補機冷却水系統
原子炉補機冷却海水系統
制御用空気系統
換気空調系統
非常用電源系統（ディーゼル発電機含む。）
格納容器スプレイ系統
空調用冷水系統
電気盤（原子炉停止系，原子炉保護系含む。）
使用済燃料ピット冷却系統
燃料取替用水系統

(3) 適合性説明

(溢水による損傷の防止等)

第九条 安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

1.2 気象等

該当なし

1.3 設備等

10.6 津波及び内部溢水に対する浸水防護設備

10.6.2 内部溢水に対する防護設備

10.6.2.1 概要

発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、施設内に設ける壁、扉、堰等の浸水防護設備により、防護対象設備が、その安全機能を損なわない設計とする。

10.6.2.2 設計方針

10.6.2.3 試験検査

10.6.2.2 及び 10.6.2.3 については、使用済燃料乾式貯蔵施設設置に伴う「伊方発電所3号炉 発電用原子炉設置変更許可申請書」の変更は無い。

2. 溢水による損傷の防止等

(別添資料)

伊方発電所3号炉 内部溢水の影響評価について

伊方発電所 3 号炉

内部溢水の影響評価について

目 次

- 1 溢水防護に関する基本方針
- 2 防護対象設備を抽出するための方針
 - 2.1 設置許可基準規則第九条の要求事項について
 - 2.2 防護対象設備の抽出
 - 2.3 防護対象設備のうち溢水影響評価対象の選定について

参考資料 溢水時の使用済燃料乾式貯蔵容器の健全性について

- ※：「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」
(以下「設置許可基準規則」という。)
「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵
に関する審査ガイド」(以下「兼用キャスクガイド」という。)

1 溢水防護に関する基本方針

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とするために、溢水が発生した場合でも、放射性物質の閉じ込め機能を維持できる設計とする。

2 防護対象設備を抽出するための方針

設置許可基準規則第九条の要求事項を踏まえ、溢水から防護すべき対象設備（以下「防護対象設備」という。）を抽出する。

2.1 設置許可基準規則第九条の要求事項について

- 設置許可基準規則第九条及びその解釈は、安全施設が内部溢水により安全機能を損なわないことを求めている。

設置許可基準規則 第九条	設置許可基準規則の解釈
(溢水による損傷の防止等) 第九条 安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても、 <u>安全機能を損なわないもの</u> でなければならない。	第9条 (溢水による損傷の防止等) 3 第1項に規定する「安全機能を損なわないもの」とは、発電用原子炉施設内部で発生が想定される溢水に対し、原子炉を高温停止でき、引き続き低温停止、及び <u>放射性物質の閉じ込め機能を維持できること</u> 、また、停止状態にある場合は、引き続きその状態を維持できることをいう。さらに、使用済燃料貯蔵槽においては、プール冷却機能及びプールへの給水機能を維持できることをいう。

2.2 防護対象設備の抽出

使用済燃料乾式貯蔵施設内の設備、並びに使用済燃料乾式貯蔵施設の防護対象設備の抽出結果を表1に示す。

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、放射性物質の閉じ込め機能を持つ使用済燃料乾式貯蔵容器*を防護対象設備として抽出した。

*: 支持部及び基礎を含む。

表1 使用済燃料乾式貯蔵施設の防護対象設備の抽出結果

設備	兼用キャスクガイドでの設備分類	防護対象設備
使用済燃料乾式貯蔵容器*	兼用キャスク, 周辺施設 (支持部及び基礎)	○
計装設備	周辺施設	
クレーン類	周辺施設	
使用済燃料乾式貯蔵建屋等 (貯蔵建屋 (遮蔽壁含む))	周辺施設	

*: 支持部及び基礎を含む。

2.3 防護対象設備のうち溢水影響評価対象の選定について

防護対象設備として抽出した設備のうち、既許可では以下に示す静的機器は、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能を損なわないことから、溢水影響評価の対象として抽出していない。

○ 静的機器 (溢水の影響を受けないもの)

構造が単純で外部から動力の供給を必要としないことから、溢水の影響を受けても安全機能を損なわない機器。

(例: 容器、熱交換器、フィルタ、安全弁、逆止弁、手動弁、配管、没水に対する耐性を有するケーブル)

使用済燃料乾式貯蔵容器は単純で頑丈な構造の金属製の静的機器 (容器) であり、外部から動力の供給を必要としないため、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能を損なわないことから、溢水影響評価の対象とする防護対象設備に該当しない。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能は、金属製のガスケットを頑丈な胴と一次蓋で挟んで圧縮することで維持しており、輸送状態で200mの水中に

浸漬させても問題ない設計となっている。使用済燃料乾式貯蔵容器は溢水影響評価の対象とする防護対象設備に該当しないものの、設置許可基準規則第九条及びその解釈の要求事項を踏まえ、貯蔵状態（三次蓋及び緩衝体が無い状態）で200mの水圧を想定しても、一次蓋に発生する応力はおおむね弾性範囲内であり、閉じ込め機能を担保できることを確認した。

(参考資料)

溢水時の使用済燃料乾式貯蔵容器の健全性について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、輸送状態で200mの水中に浸漬させても問題ない設計としている。使用済燃料乾式貯蔵容器は溢水影響評価の対象とする防護対象設備に該当しないものの、設置許可基準規則第九条及びその解釈の要求事項を踏まえ、貯蔵状態（三次蓋及び緩衝体が無い状態）で200mの水圧を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能を担保する一次蓋部に変形が生じないことを以下のように確認している。

1. 評価方法

使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能は、金属製のガスケットを頑丈な胴と一次蓋で挟んで圧縮することで維持しており、一次蓋に発生する応力が設計降伏点以下であることを確認する。

蓋の最大応力は蓋端部に生じる。この半径方向曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_b = 0.75 \frac{Pa^2}{t^2}$$

ここで、

a : 蓋半径 (mm)

P : 差圧 (MPa)

t : 板厚 (mm)

2. 評価結果

評価は、一次蓋半径が大きいいため蓋上面に加わる水圧による曲げ応力が大きい使用済燃料乾式貯蔵容器 (MSF-32P型) を代表とする。図1に使用済燃料乾式貯蔵容器 (MSF-32P型) 概略図を示す。

一次蓋の強度評価を実施した。表1の計算結果より、一次蓋は健全であることを確認した。

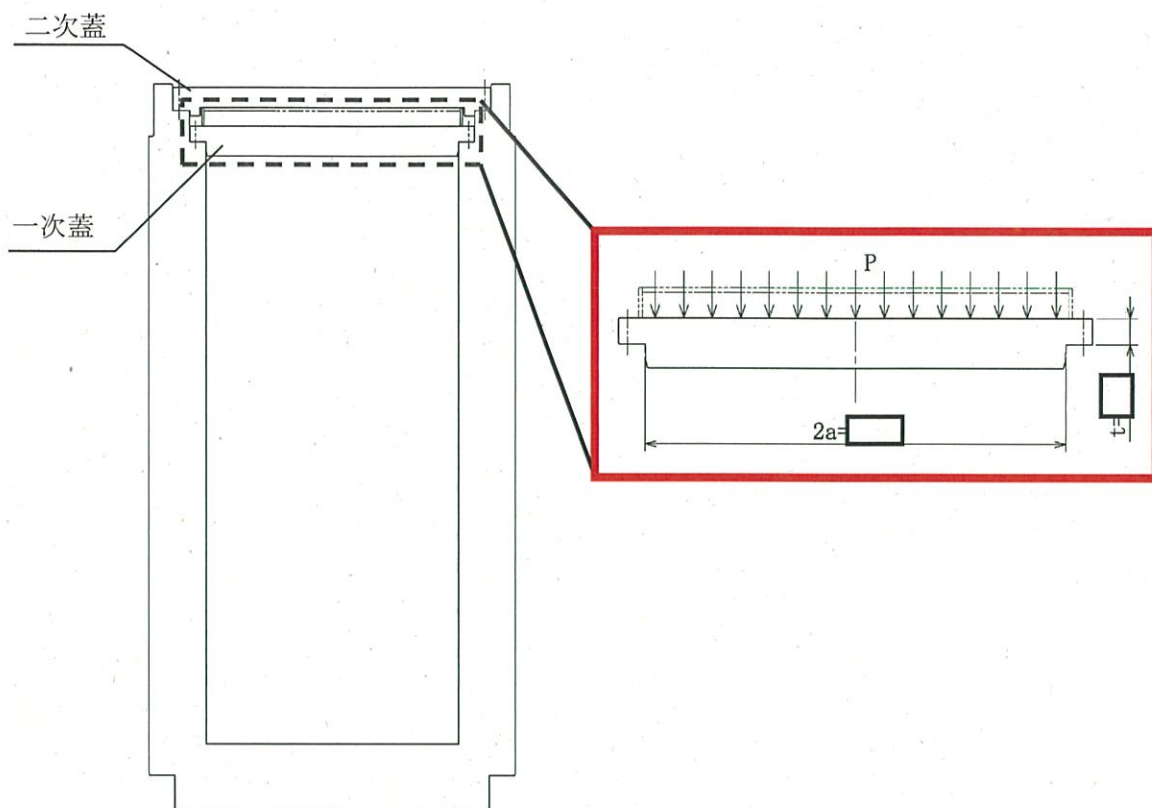


図1 使用済燃料乾式貯蔵容器（MSF-32P型）概略図

表1 一次蓋の曲げ応力計算条件及び計算結果

蓋半径：a (mm)	差圧：P (MPa)	板厚：t (mm)
□	2.1 [※]	□
最大曲げ応力： σ_b (MPa)	蓋の温度 (°C)	基準値： S_y (MPa)
104	115	185

※通常は一次蓋の外側に二次蓋が設置されているが、二次蓋はなく直接一次蓋が加圧される条件で、かつ、差圧が大きくなるよう使用済燃料乾式貯蔵容器内圧を0MPaとして計算した。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器のその他の安全機能(臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能)については、以下のとおり16条の評価結果に包絡される。

- ・臨界防止機能：16条では使用済燃料乾式貯蔵容器を無限に配列した体系（完全反射）で評価しており、水で覆われた場合でも16条の臨界評価結果に包絡される。
- ・遮蔽機能：16条では空気中で覆われた条件で評価しており、水で覆われた場合、使用済燃料乾式貯蔵容器表面から1m地点の線量当量率が、水の遮

蔽効果により小さくなるため、16条の遮蔽評価に包絡される。

- ・除熱機能：16条では使用済燃料乾式貯蔵容器の周囲温度を50℃で評価しており、水で覆われることにより、より冷却されることから、16条の除熱評価に包絡される。