

**【ご指摘事項】**

乾式キャスクの除熱評価において、コンクリートの健全性を説明すること。

弊社回答

乾式キャスクの除熱評価において、燃料からの発熱量や放熱条件等を保守的な条件で評価し、乾式キャスクの底部温度が100℃以上となっている。

今回、乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋床面のコンクリート温度が健全性を確保できる65℃以下であることを、以下のとおり確認した。

乾式キャスクを乾式貯蔵建屋の貯蔵エリアに設置する設置状態を踏まえ、コンクリート健全性評価条件は乾式キャスクの除熱評価をベースに下表のとおり、条件を精緻化し、建屋床面に接する乾式キャスク貯蔵架台の底面温度を簡易評価にて算出し、65℃以下（約63℃）であることを確認した。

よって、建屋床面に熱を与える乾式キャスク貯蔵架台の底面温度が65℃以下であるため、建屋床面のコンクリート温度は65℃以下となり、健全であると考えらる。

表. 評価条件の精緻化（乾式キャスク（タイプ2）の例）

項目	乾式キャスク除熱 評価条件		コンクリート健全性 評価条件		理由
周囲温度	50℃		45℃		50℃から設置変更許可で示した建屋除熱評価における平衡温度45℃に変更。
発熱量	18.1kW		15.8kW		設計崩壊熱量から最大崩壊熱量に変更。
放熱範囲	乾式キャスク表面		乾式キャスク表面＋ 貯蔵架台表面		乾式キャスク表面からの放熱に加え、貯蔵架台表面（底部熱逃げ量算出のモデル化範囲を除く）からの放熱を追加。
輻射熱伝達範囲 ・温度	天井	65℃	天井	45℃	設置位置を考慮し、一方向の壁面を乾式キャスクからの輻射熱の伝達範囲に追加し、温度を周囲温度45℃に変更。 なお、床面については、保守的に65℃のままと想定。
	床面	65℃	床面	65℃	
	—	—	壁面	45℃	
底部熱逃げ量	0.76kW		同左		—

以上

【ご指摘事項】

金属キャスク構造規格と設計・建設規格との同等性について説明すること

弊社回答

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則第26条2項第六号ニでは、乾式キャスクが使用される条件に対して適切な材料および構造であることが要求されており、本申請においては金属キャスク構造規格に基づく評価を実施している。

金属キャスク構造規格における強度評価に係る規定については、下表のとおり各評価部位に対して比較した結果、設計・建設規格の規定に対し不足または差異が無いため、同等であることを確認した。(詳細については別紙参照)

表 金属キャスク構造規格と設計・建設規格の同等性

評価部位	金属キャスク構造規格適用分類	設計・建設規格適用分類	比較結果
密封容器 (本体胴、一次蓋、二次蓋、カバープレート、一次蓋ボルト、二次蓋ボルト、カバープレートボルト)	密封容器	クラス1容器	同等である (密封シール部を弾性範囲に抑える等、金属キャスク構造規格が一部保守的)
バスケット	バスケット	炉心支持構造物	同等である (アルミ合金バスケットを採用するため、追加的な評価条件を設けている)
トラニオン	トラニオン	クラス1支持構造物	同等である
外筒、下部端板、蓋部・底部レジンカバー	中間胴	クラス1支持構造物	同等である

表(1/2) 評価基準の比較[金属キャスク構造規格と設計・建設規格]

計算書		金属キャスク構造規格に準拠した評価基準				設計・建設規格に準拠した評価基準				備考		
密封容器	ボルト以外	設計条件	一次一般膜応力強さ	MCD-1311.1(1)	$P_m \leq S_m$	ボルト以外	設計条件				不足なし (金属キャスク構造規格では、解説MCD-1100-1に基づき一概に包絡できる機械的荷重の組み合わせが設定できないことから、設計条件は最高使用圧力に対する評価として実施)	
			一次局部膜応力強さ	MCD-1311.1(2)	$P_L \leq 1.5S_m$							
			一次膜+一次曲げ応力強さ	MCD-1311.1(3)	$P_L + P_b \leq \alpha S_m$							
		供用状態 A及びB	一次一般膜応力強さ	MCD-1311.1(1)	$P_m \leq S_m$		A及びB	一次一般膜応力強さ	PVB-3111(1)a.	$P_m \leq S_m$		差異なし (設計・建設規格では、設計条件は最高使用圧力と機械的荷重の組み合わせで評価を実施。)
			一次局部膜応力強さ	MCD-1311.1(2)	$P_L \leq 1.5S_m$			一次局部膜応力強さ	PVB-3111(1)b.	$P_L \leq 1.5S_m$		
			一次膜+一次曲げ応力強さ	MCD-1311.1(3)	$P_L + P_b \leq \alpha S_m$			一次膜+一次曲げ応力強さ	PVB-3111(1)c.	$P_L + P_b \leq \alpha S_m$		
			一次+二次応力強さ	MCD-1312(1)	$P_L + P_b + Q \leq 3S_m$			一次+二次応力強さ	PVB-3112	$P_L + P_b + Q \leq 3S_m$		
			疲労評価	MCD-1314(1) MCD-1332 <sup>(注2)(注3)</sup>	$U_f \leq 1.0$ 疲労評価要否			疲労評価	PVB-3114 PVB-3140 <sup>(注2)</sup>	$U_f \leq 1.0$ 疲労評価要否		
		試験状態	一次一般膜応力強さ	MCD-1311.4(1)	$P_m \leq 0.9S_y$		試験状態	一次一般膜応力強さ	PVB-3111(4)a.	$P_m \leq 0.9S_y$		差異なし
			一次局部膜応力強さ	MCD-1311.4(2)	$P_L \leq 1.35S_y$			一次局部膜応力強さ	PVB-3111(4)b.	$P_L \leq 1.35S_y$		
			一次膜+一次曲げ応力強さ	MCD-1311.4(3)	$P_m + P_b \leq 1.35S_y$			一次膜+一次曲げ応力強さ	PVB-3111(4)c.	$P_m + P_b \leq 1.35S_y$		
		外圧	外圧を受ける密封容器	MCD-1410(1)(胴) MCD-1420(平板)	$P \leq P_a$ MCD-1311による		外圧	外圧を受ける容器	PVB-3210(1)(胴)	$P \leq P_a$		差異なし (金属キャスク構造規格では外面に圧力を受ける平板の評価方法が明確化されている)
	穴の補強		補強要否の評価	MCD-1700	穴の補強	補強要否の評価		PVB-3510	穴周辺部も上記の設計条件、供用状態A及びB、試験状態の基準を満足するか。	差異なし		
	密封シール部	供用状態 A及びB	一次一般膜応力強さ	MCD-1318.1(1)	$P_m \leq S_y$	設計条件	一次一般膜応力強さ	PVB-3111(1)a.	$P_m \leq S_m$	不足なし (金属キャスク構造規格では、一次+二次応力強さも $S_y$ に入るよう、より厳しい基準を設定)		
			一次局部膜応力強さ	MCD-1318.1(2)	$P_L \leq S_y$		一次局部膜応力強さ	PVB-3111(1)b.	$P_L \leq 1.5S_m$			
			一次膜+一次曲げ応力強さ	MCD-1318.1(3)	$P_L + P_b \leq S_y$		一次膜+一次曲げ応力強さ	PVB-3111(1)c.	$P_L + P_b \leq \alpha S_m$			
			一次+二次応力強さ	MCD-1318.1(4)	$P_L + P_b + Q \leq S_y$		一次+二次応力強さ	PVB-3112	$P_L + P_b + Q \leq 3S_m$			
		試験状態	一次一般膜応力強さ	MCD-1318.2(1)	$P_m \leq 0.9S_y$	試験状態	一次一般膜応力強さ	PVB-3111(4)a.	$P_m \leq 0.9S_y$	不足なし (金属キャスク構造規格では、一次局部膜応力や一次膜+一次曲げ応力強さも $S_y$ に入るよう、より厳しい基準を設定)		
			一次局部膜応力強さ	MCD-1318.2(2)	$P_L \leq S_y$		一次局部膜応力強さ	PVB-3111(4)b.	$P_L \leq 1.35S_y$			
			一次膜+一次曲げ応力強さ	MCD-1318.2(3)	$P_L + P_b \leq S_y$		一次膜+一次曲げ応力強さ	PVB-3111(4)c.	$P_L + P_b \leq 1.35S_y$			
			一次+二次応力強さ	MCD-1318.2(4)	$P_L + P_b + Q \leq S_y$							
	ボルト	設計条件	平均引張応力	MCD-1321.1(1)	$\sigma_m \leq S_m$	ボルト	設計条件	平均引張応力	PVB-3121(1)	$\sigma_m \leq S_m$	差異なし	
		供用状態 A及びB	平均引張応力	MCD-1321.1(2)	$\sigma_m \leq 2S_m$		供用状態	平均引張応力	PVB-3121(2)a.	$\sigma_m \leq 2S_m$		
			平均引張応力+曲げ応力	MCD-1321.1(3)	$\sigma_m + \sigma_b \leq 3S_m$		A及びB	平均引張応力+曲げ応力	PVB-3121(2)b.	$\sigma_m + \sigma_b \leq 3S_m$		
疲労評価			MCD-1322(1) MCD-1331(3) <sup>(注4)</sup>	$U_f \leq 1.0$	疲労評価			PVB-3122 PVB-3130(3) <sup>(注4)</sup>	$U_f \leq 1.0$			

表(2/2) 評価基準の比較[金属キャスク構造規格と設計・建設規格]

計算書	金属キャスク構造規格に準拠した評価基準				設計・建設規格に準拠した評価基準				備考	
バスケット	バスケット	供用状態 A (貯蔵時)	一次一般膜応力強さ	原規規発第 1709261 号にて型式設計特定容器等の型式指定において指定を受けた基準	炉心支持構造物	設計条件				不足なし (アルミニウム合金特有の基準)
			一次一般膜+一次曲げ応力強さ				$P_m + P_b \leq K_0 S$			
			せん断応力				$\tau \leq 0.6 S$			
			圧縮応力				$\sigma_c \leq f_c$			
		供用状態 A 及び B (短期荷重が作用する場合)	一次一般膜応力強さ	$P_m \leq S_m$		一次一般膜応力強さ	CSS-3111 (1) a.	$P_m \leq S_m$	差異なし	
			一次一般膜+一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b \leq \alpha S_m$		一次一般膜+一次曲げ応力強さ	CSS-3111 (1) b.	$P_m + P_b \leq 1.5 S_m$		
			せん断応力	$\tau \leq 0.6 S_m$		せん断応力	CSS-3114 (1)	$\tau \leq 0.6 S_m$		
			圧縮応力	$\sigma_c \leq f_c$		圧縮応力	CSS-3116.2	$\sigma_c \leq f_c$		
トラニオン	トラニオン	供用状態 A 及び B	せん断応力 (一次)	MCD-3311.1 (2)	クラス 1 支持構造物	供用状態 A 及び B	せん断応力 (一次)	SSB-3121.1 (2)	せん断応力 (一次) $\leq f_s$	差異なし
			曲げ応力 (一次)	MCD-3311.1 (4)			曲げ応力 (一次) $\leq f_b$	SSB-3121.1 (4)	曲げ応力 (一次) $\leq f_b$	
			支圧応力 (一次)	MCD-3311.1 (5)			支圧応力 (一次) $\leq f_p$	SSB-3121.1 (5)	支圧応力 (一次) $\leq f_p$	
			組合せ応力 (一次)	MCD-3311.1 (6)			組合せ応力 (一次) $\leq f_t$	SSB-3121.1 (6)	組合せ応力 (一次) $\leq f_t$	
			せん断応力 (一次+二次)	MCD-3312.1 (2)			せん断応力 (一次+二次) $\leq 3f_s$	SSB-3122.1 (2)	せん断応力 (一次+二次) $\leq 3f_s$	
			曲げ応力 (一次+二次)	MCD-3312.1 (3)			曲げ応力 (一次+二次) $\leq 3f_b$	SSB-3122.1 (3)	曲げ応力 (一次+二次) $\leq 3f_b$	
			支圧応力 (一次+二次)	MCD-3312.1 (4)			支圧応力 (一次+二次) $\leq 1.5f_p$	SSB-3122.1 (4)	支圧応力 (一次+二次) $\leq 1.5f_p$	
			疲労評価	MCD-3313			$U_f \leq 1.0$			
外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバール、底部中性子遮蔽材カバール	中間胴	供用状態 A 及び B	引張応力 (一次)	MCD-3721.1	クラス 1 支持構造物	供用状態 A 及び B	引張応力 (一次)	SSB-3121.1 (1)	引張応力 (一次) $\leq f_t$	差異なし
			せん断応力 (一次)	MCD-3721.1			せん断応力 (一次) $\leq f_s$	SSB-3121.1 (2)	せん断応力 (一次) $\leq f_s$	
			圧縮応力 (一次)	MCD-3721.1			圧縮応力 (一次) $\leq f_c$	SSB-3121.1 (3)	圧縮応力 (一次) $\leq f_c$	
			曲げ応力 (一次)	MCD-3721.1			曲げ応力 (一次) $\leq f_b$	SSB-3121.1 (4)	曲げ応力 (一次) $\leq f_b$	
			組合せ応力 (一次)	MCD-3721.1			組合せ応力 (一次) $\leq f_t$	SSB-3121.1 (6)	組合せ応力 (一次) $\leq f_t$	
			引張応力及び圧縮応力 (一次+二次)	MCD-3722.1			引張応力及び圧縮応力 (一次+二次) $\leq 3f_t$	SSB-3122.1 (1)	引張応力及び圧縮応力 (一次+二次) $\leq 3f_t$	
			せん断応力 (一次+二次)	MCD-3722.1			せん断応力 (一次+二次) $\leq 3f_s$	SSB-3122.1 (2)	せん断応力 (一次+二次) $\leq 3f_s$	
			曲げ応力 (一次+二次)	MCD-3722.1			曲げ応力 (一次+二次) $\leq 3f_b$	SSB-3122.1 (3)	曲げ応力 (一次+二次) $\leq 3f_b$	

(注 1) 胴、一次蓋、二次蓋で使用する GLF1 については、設計・建設規格におけるクラス 1 容器として適用可能な材料ではないが、金属キャスク構造規格においては密封容器として適用可能な材料であり、クラス 1 容器の材料規定と同様に、材料検査において破壊靱性試験及び非破壊検査が要求されている。その他の部材については設計・建設規格における要求と差異はない。

(注 2) MCD-1332 (PVB-3140) に適合する場合は、MCD-1314 (PVB-3114) に示す疲労解析を行わなくてよい。

(注 3) 密封シール部も含めて、MCD-1332 に示す疲労評価要否を評価する。

(注 4) MCD-1322 (1) (PVB-3122) に示される疲労評価において、MCD-1331 (3) (PVB-3130 (3)) の疲労強度減少係数または応力集中係数を考慮。

【ご指摘事項】

17×17燃料A型15年冷却、B型17年冷却燃料の発熱量、放射線量の同等性を説明すること

弊社回答

17×17燃料のA型15年冷却、B型17年冷却燃料についての発熱量、線源強度及び線量当量率の比較を下表に示す。

発熱量については17×17燃料のA型15年冷却がB型17年冷却より高い。

線源強度については、MSF-24P型外面の線量当量率に支配的な燃料有効部ガンマ線及び中性子の線源強度はA型15年冷却燃料が高い（放射化ガンマ線源強度のみB型が高い）。

線量当量率については、表面及び表面から1m離れた位置においてA型15年燃料が高い。

表 発熱量、線源強度及び線量当量率評価結果の比較

(金属キャスク1基当たり)

		A型15年冷却 燃料	B型17年冷却 燃料	基準値
発熱量 (kw)		15.8	15.2	-
線源強度 <sup>(注1)</sup>	燃料有効部ガンマ線 (photons/s)	$1.073 \times 10^{17}$	$1.007 \times 10^{17}$	-
	構造材放射化ガンマ線 <sup>(注2)</sup> ( <sup>60</sup> Co TBq)	$5.922 \times 10^2$	$6.024 \times 10^2$	-
	燃料有効部中性子 <sup>(注3)</sup> (n/s)	$1.205 \times 10^{10}$	$1.120 \times 10^{10}$	-
線量当量率 最大値 <sup>(注1)</sup>	表面 ( $\mu$ Sv/h)	1825.3	1719.9	2000
	表面から1m離れた位置 ( $\mu$ Sv/h)	86.0	85.7	100

(注1) 中央部12体の燃焼度を48,000MWd/t、外周部12体の燃焼度を44,000MWd/tとした金属キャスク1基当たりの線源強度である。

(注2) バーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値である。

(注3) 記載値は実効増倍率 keff を考慮した全中性子源強度である。

【ご指摘事項】

17×17燃料における20年冷却の回収ウラン燃料と15年冷却のウラン燃料との発熱量、放射線量の同等性を説明すること。

弊社回答

17×17燃料における回収ウラン燃料及び通常のウラン燃料について、それぞれ20年及び15年冷却した際の発熱量の比較を表1に、ともに15年冷却した際の線源強度の比較を表2に示す。また、発熱量及び線源強度の評価条件を表3に示す。

発熱量については、15年冷却の通常のウラン燃料が20年冷却の回収ウラン燃料より高い。線源強度については全線種につき15年冷却のウラン燃料が15年冷却の回収ウラン燃料より高いため線量当量率も15年冷却のウラン燃料が高くなる。

よって、回収ウラン燃料は20年冷却することで、発熱量、放射線量ともに15年冷却の通常のウラン燃料の評価条件に包絡することができる。

表1 発熱量評価結果

	20年冷却 回収ウラン燃料	15年冷却 ウラン燃料
発熱量 (watt/体)	$7.017 \times 10^2$	$7.044 \times 10^2$

表2 線源強度評価結果

		15年冷却 回収ウラン燃料	15年冷却 ウラン燃料
線源 強度	ガンマ線 <sup>(注1)</sup> (Mev/s/体)	$1.322 \times 10^{15}$	$1.323 \times 10^{15}$
	中性子 (n/s/体)	$2.588 \times 10^8$	$2.598 \times 10^8$

(注1) 燃料有効部ガンマ線について評価。構造材放射化ガンマ線源強度は、燃料集合体構造材のCo59初期含有量が回収ウラン燃料とウラン燃料で同等である。

表3 発熱量及び線源強度の評価条件

項目	回収ウラン燃料	ウラン燃料
燃焼度 (MWd/t)	46,500 <sup>(注1)</sup>	48,000
ウラン組成 (wt%)		
ウラン重量 (kg)		
ピーキングファクター	1.0	1.0

(注1) 集合体燃焼度の最大値を包絡するように保守的に設定。

(注2) 同位体組成比は保守的となるようサーベイ計算で確認し、とした。それぞれの組成比については、設定。

内は商業機密のため、非公開とします。

**【ご指摘事項】**

金属ガスケットの漏えい率について、メーカカタログ値とは何か。また、このメーカカタログ値を使用する妥当性を説明すること。

**弊社回答**

本申請における乾式キャスクに採用を予定している金属ガスケットのメーカカタログ「“METAL SEALS TECHNICAL CATALOG”, Technetics Group. , (2017).」に記載されている、当該金属ガスケットの性能の目安となる漏えい率である。

当該金属ガスケットと同型の金属ガスケットを用いた長期密封性能試験において、カタログ値と同等の性能が長期間維持できる結果が得られており、本申請における乾式キャスク（タイプ1及びタイプ2）での使用条件を踏まえると、設計貯蔵期間において同等の性能が維持できると考えている。

また、密封境界部の金属ガスケットについては、使用時に気密漏えい試験を実施し、漏えい率が資料11に示すリークテスト判定基準を下回ることを確認するとともに、貯蔵中は定期的に蓋間圧力を監視することで、金属ガスケットを用いた密封機能の健全性が維持されていることを確認する。

#### 【ご指摘事項】

キャスク底部熱逃げ量の算出について、当該評価は過去に実績のある評価なのか。ある場合、その実績を示すとともに、実績がない場合、当該評価が本申請において妥当であることを説明すること。

#### 弊社回答

キャスク底部の熱逃げ量は、キャスク底部から貯蔵架台に熱が伝わり、貯蔵架台から自然対流により放熱される系を考慮して設定したものであり、除熱設計に対し、“キャスク底部から架台等を介して間接的に自然対流により放熱される系の考慮”は、以下のとおり実績があり、新規性はない。

また、“キャスク底部熱逃げ量の設定値”は、以下のとおり保守側の値であり、乾式キャスクの除熱設計に対する適用は妥当であると考えている。

#### < “キャスク底部から間接的に自然対流により放熱される系の考慮” の実績 >

- ・既承認済の使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ 1 及びタイプ 2）の核燃料輸送物設計承認申請において、キャスクの底部に緩衝体を取り付けたモデルにて除熱評価を行っており、キャスク底部から下部緩衝体に熱が伝わり、下部緩衝体から自然対流により放熱される系が模擬されている。

#### < キャスク底部熱逃げ量の設定値の保守性 >

キャスク底部熱逃げ量の設定値は全放熱量のわずかに約 4%であり、設計承認における下部緩衝体（断熱効果の高い木材が充填されている）からの放熱割合と同程度と少ない放熱条件となるモデル化である。

貯蔵架台の材質は伝熱性能が高い炭素鋼であり、実際には乾式キャスク底部から貯蔵架台に積極的に熱が伝わり、放熱されると考えられるが、本評価では、文献式による計算の段階で補足説明資料に示す通り少ない放熱面積を仮定する保守的な条件を設定し、さらに、解析モデルの設定値に文献式による計算値を下回る値を設定している。以上のことから、キャスク底部熱逃げ量の設定値は保守的な値である。