

Hitz-B52 型核燃料輸送物の適合性評価について (参考)

1.概要

Hitz-B52 型は、BWR 型使用済燃料（新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料）を原子力発電所、中間貯蔵施設、再処理工場のそれぞれの事業者間での輸送に用いるため、BM 型核分裂性輸送物としても設計されている。

輸送容器は輸送中には輸送架台に横置き状態に保持され、固縛装置で固定される。落下衝撃を緩和するため、容器の上部及び下部に緩衝体に取り付けられている。輸送荷姿を、図 1 に示す。

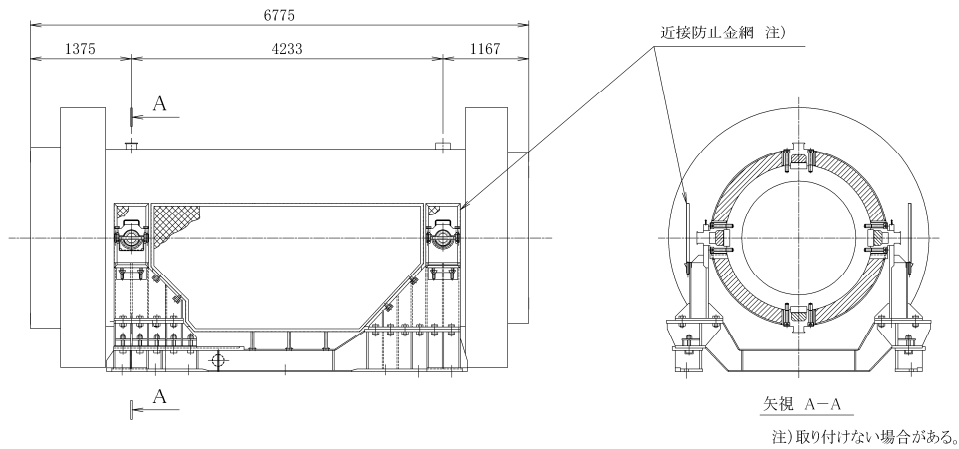


図 1 輸送荷姿

2.評価

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（以下、「外運搬規則」という。）及び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技術上の基準に係る細目等を定める告示（以下、「外運搬告示」という。）に基づいて評価を行う。

表 1 外運搬規則の適合性

外運搬規則	乾式キャスクの適合性
第三条 核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬	核燃料物質の区分 BM 型輸送物
第六条 BM 型輸送物に係る技術上の基準 →第四条、第五条も引用	遮蔽、密封、除熱、構造強度
第十一条 核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準	臨界防止

臨界防止、遮蔽、密封、除熱及び構造強度において、各評価を次頁以降に示す。

なお、評価結果の概要に示した数値は輸送条件での成立性の確認で実施したものであり、参考値として取り扱うものとする。

表 2 臨界防止に関する評価

項目		設計承認における評価内容	
		特別の試験条件 (輸送時・一般の試験条件を 包絡)	取扱時
解析 方法	解析コード	SCALE コードシステム (SCALE-4.4a/臨界解析コード KENO-V.a)	
	解析モデル	三次元モデル (中性子遮蔽材、緩衝体、三次蓋を無視)	
解析 条件	濃縮度*2	3.66 wt%	4.9 wt%及び 2.1 wt%の 組合せ (炉心冷温停止状態で無限増 倍率 1.3 となる仮想的な燃料 集合体)
	燃料状態	①健全 ②一部変形考慮	健全
	内部雰囲気	乾燥*1	冠水
	外部境界	無限配列	
判定基準		中性子実効増倍率 ( $k_{eff}+3\sigma$ ) $\leq 0.95$	
評価結果の概要		中性子実効増倍率は許容基準を満足することを確認。 約 0.85 (取扱い時) $\leq 0.95$	

備考\*1: 15m 浸漬試験における浸水量に基づき、安全側に胴内の水量を 5000g とし、この水が均一に分散しているものとして評価を実施。

\*2: 臨界上、最も厳しい高燃焼度 8×8 燃料を対象とする。

表 3 遮蔽に関する評価

項目		設計承認における評価内容		
		輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件
解析 方法	解析コード	DOT3.5		
	解析モデル	二次元軸対称 ①上部モデル ②下部モデル ③トランニオンモデル *燃料の移動に加え、上部ハンドル部(特別)や下部タイプレート変形(一般、特別)による燃料の軸方向移動を考慮。		
解析 条件	緩衝体の有無	あり (距離のみ考慮)	あり (距離のみ考慮)	なし
	緩衝体の変形	なし	あり	—
	中性子遮蔽体	健全 (経年劣化考慮)		外筒・中性子遮蔽材の貫通 密度 50%減損
判定 基準	線量当量率	2 mSv/h (@表面) 100 μSv/h (@1m)	2 mSv/h (@表面) —	— 10 mSv/h (@1m)
評価結果の概要		基準値を下回ることを確認。 約 400mSv/h (@表面) 約 55μSv/h (@1m)	基準値を下回ることを確認。 約 400mSv/h (@表面)	基準値を下回ることを確認。 約 1mSv/h (@1m)

表 4 密封に関する評価

項目		設計承認における評価内容	
		一般の試験条件	特別の試験条件
解析 方法	評価対象部位 (密封境界)	三次蓋 ゴム O リング	
	評価内容	放射性物質の漏えい	
	解析方法	評価式による評価	
	評価対象核種	$^3\text{H}$ 、 $^{85}\text{Kr}$	
解析 条件	漏えい経路	三次蓋内部から大気への漏えい	
	燃料破損率 (内部圧力上昇の 考慮条件)	0.1%	100%
判定基準		放射性物質漏えい量 $A_2$ 値 <sup>*1</sup> $\times 10^{-6}/\text{h}$ 以下	放射性物質漏えい量 $A_2$ 値 <sup>*1</sup> /week 以下
評価結果の概要		放射性物質の漏えい率と基準 値との比率は $10^{-4}$ のオーダ ーであり、基準値を十分下回 ることを確認。	放射性物質の漏えい率と基準 値との比率は $10^{-4}$ のオーダ ーであり、基準値を十分下回 ることを確認。

備考\*1 :  $A_2$  値とは、核種ごとに規則で定められる放射エネルギーの制限値。

表 5 除熱に関する評価

項目		設計承認における評価内容		
		輸送時		特別の試験条件 (火災条件)
		最高温度評価	近接表面温度評価	
解析 方法	解析コード	ABAQUS		
	各部温度	全体モデル (二次元軸対称モデル) 輪切りモデル (バスケット、三次元モデル)		
	燃料最高温度	燃料集合体モデル (二次元モデル)		
解析 結果	設計発熱量	収納対象燃料に軸方向燃焼度分布を考慮したもの 高燃焼度 8×8 燃料 : 16.1 kW 新型 8×8 燃料 : 10.2 kW		
	周囲温度	38℃ (太陽熱あり)	38℃ (太陽熱なし)	800℃×30 分 (太陽熱あり)
	姿勢	横置き		
	緩衝体の有無	あり	あり	あり
	緩衝体の変形	なし	なし	あり
判定基準		構成部品が制限温度以下	構成部品が制限温度以下 かつ近接可能表面 85℃以下	構成部品の健全性 への影響を評価
評価結果の概要		貯蔵時の温度と大きく変わらないことを確認。(貯蔵時は燃料被覆管温度を含めた構成部品が制限温度以下であり、裕度があることを確認している。)	左記と同じ。 近接可能表面温度については、必要に応じて近接防止金網を取付けることで、要求は満足できることを確認。	輸送物が健全性を維持できることを確認。

表 6 構造強度に関する評価

項目		設計承認における評価内容
解析方法	容器本体 ・ 胴 ・ 一次蓋 ・ 二次蓋 ・ 三次蓋 ・ 中性子遮蔽材 カバー ・ 外筒 等	解析コードによる評価 ・ 解析コード：ABAQUS ・ 解析モデル：三次元 180° 対称モデル
	バスケット、 トラニオン	評価式による評価
解析条件	評価条件	設計条件：－ 供用状態 A：輸送時 供用状態 B：一般の試験条件 (0.3 m 落下：解析コードによる評価)*1 供用状態 C：－ 供用状態 D：特別の試験条件 (9 m 落下：解析コードによる評価)*1 その他：200m 浸漬
	判定基準	密封部：変形を弾性域に抑えること。 その他：供用状態 A、B において変形を弾性域に抑えること。 供用状態 D において、安全機能に影響がないこと。
	評価結果の概要	各応力は許容基準を満足することを確認。 一般の試験条件：余裕率 0.15 以上*2 特別の試験条件：余裕率 0.25 以上*2

備考\*1：緩衝体を装着した容器の衝撃加速度を用いて、解析コード ABAQUS による静的な評価を実施。

\*2：バスケットの評価を含む。