

**MSF-24P型／MSF-32P型  
核燃料輸送物設計変更承認申請に係る  
指摘事項への回答について**

令和4年1月27日  
四国電力株式会社



## 目次

1. 指摘事項への回答	⇒	2
-------------	---	---

# 1. 指摘事項への回答(1/4)

## 指摘事項

バスケットに使用するアルミニウム合金を含め、輸送物の各構成部材について経年変化の考慮の必要性について体系的に整理し、説明すること。

## 回答

- 輸送貯蔵兼用キャスクとして想定される使用状況を踏まえ、経年変化の考慮の必要性について以下の考えで評価する。  
なお、評価結果は、輸送物の各構成部材の温度、放射能強度がより厳しいMSF-24P型輸送物を代表として示す。
    - 【貯蔵時】  
貯蔵および輸送に供する部材については、長期間の貯蔵および貯蔵後の輸送を1回行うケースと、再利用により短期間の貯蔵・輸送を複数回(最大10回)行うケースが想定されるため、両方を包絡するよう、貯蔵時における最高温度・放射能強度が使用予定期間(60年)、減衰せずに継続するとして評価した。
    - 【輸送時】  
輸送のみに供する部材については、温度は太陽熱放射の有無を考慮した最高温度を用い、放射能強度は輸送時における最高放射能強度を用いて、使用予定期間(60年)における輸送期間<sup>※1</sup>、減衰せずに継続するとして評価した。
- ※1 輸送のみに供する部材は、複数容器で共用するため、使用回数を30回とし、1回の輸送当たり要する日数を、60日(3日間は太陽熱放射有、57日間は太陽熱放射無)として評価した。

## <熱的劣化>

構成部材名 (材料名)	評価温度		熱的劣化の考慮の必要性の評価
	貯蔵時	輸送時 (太陽熱放射有)	
バスケット (アルミニウム合金)	191℃	177℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高温環境下では組織変化による強度低下(過時効の効果含む)が考えられる。加えて高温環境下で応力が長期作用する場合はクリープによる変形が考えられる。</li> <li>• 評価温度を踏まえて上記影響を考慮することとし、貯蔵時の温度が60年間継続する際の強度低下を考慮するため、250℃および300℃での長時間の熱処理により得られた材料特性を反映した設計用強度・物性値をもとに、輸送時ならびにBM型輸送物および核分裂性輸送物に係る一般および特別条件の試験条件下での強度評価を行った。</li> <li>• その結果、いずれの条件においてもバスケットは変形しないことを確認した。また、貯蔵時にバスケットに生じる応力は1MPa未満のため、クリープの影響はない。</li> <li>• よって輸送時に、き裂、破損等の生じるおそれはなく、バスケットの変形を考慮しないモデルを用いた熱、遮蔽、臨界の各解析結果よりBM型輸送物および核分裂性輸送物に係る技術基準を満足していることを確認した。</li> </ul>

# 1. 指摘事項への回答(2/4)

## 回答(続き)

構成部材名 (材料名)	評価温度		熱的劣化の考慮の必要性の評価
	貯蔵時	輸送時 (太陽放射有)	
中性子遮蔽材 (レジン)	136℃	127℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温環境下では含有する水分が放出されることによる質量減損が考えられる。</li> <li>評価温度を踏まえて上記影響を考慮することとし、貯蔵時の温度が60年間継続する際の質量減損量を評価した結果、約2.0%となった。</li> <li>遮蔽解析では、保守的に2.5%の質量減損を考慮し、輸送物表面または表面から1m離れた位置における線量当量率を評価した結果、規則第5条第7号および第8号ならびに規則第6条第2号および第3号に示される技術基準を満足していることを確認した。</li> </ul>
金属ガスケット (アルミニウム／ ニッケル基合金)	109℃	109℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温環境下ではニッケル基合金製のコイルスプリングおよびニッケル基合金およびアルミニウム製の被覆材のリラクゼーションに伴う、落下時の密封性能の低下が考えられる。</li> <li>評価温度を踏まえて上記影響を考慮することとし、貯蔵時の温度が60年間継続する際の密封性能低下を考慮した上で、十分な防水機能が得られる基準値(横ずれ量3mm)を設定し、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に対して、構造解析を行った。</li> <li>その結果、二次蓋の横ずれ量が上記の基準値を満足するため、二次蓋の防水機能が健全であることを確認した。</li> <li>臨界解析では、上記の基準値に対応する漏えい率を用いて評価した輸送容器内部への微量の浸水を含め保守的な条件を設定し、実効増倍率を評価した結果、規則第11条第2号に示される技術基準を満足していることを確認した。</li> </ul>

# 1. 指摘事項への回答(3/4)

## 回答(続き)

構成部材名 (材料名)	評価温度		熱的劣化の考慮の必要性の評価		
	貯蔵時	輸送時 (太陽熱放射有)			
燃料被覆管 (ジルカロイ)	219℃	206℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温環境下では組織変化、クリープによる変形、照射硬化の回復による強度低下、水素化物再配向による機械的特性の劣化が考えられる。</li> <li>評価温度および本評価温度における周方向応力は、上記の中で最も厳しい条件となる水素化物再配向を考慮する必要のない範囲(温度275℃以下、周方向応力100MPa以下)であるため、熱的劣化による健全性への影響はない。</li> </ul>		
胴、一次蓋、二次蓋、外筒、蓋部中性子遮へい材カバー (炭素鋼)	147℃	133℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温環境下では組織変化による強度低下およびクリープによる変形が考えられる。</li> <li>評価温度は、下表のとおり設計用強度・物性値が規定されている温度範囲かつクリープによる変形を考慮する必要のない温度範囲であるため、熱的劣化による健全性への影響はない。</li> </ul>		
一次蓋ボルト、二次蓋ボルト、三次蓋ボルト (ニッケルクロムモリブデン鋼)	110℃	109℃			
トラニオン(析出硬化系ステンレス鋼)	132℃	118℃	炭素鋼	-30℃～350℃	300℃以下
			ニッケルクロムモリブデン鋼	-30℃～350℃	300℃以下
下部端板、底部中性子遮蔽材カバー、三次蓋 (ステンレス鋼)	129℃	117℃	析出硬化系ステンレス鋼	-30℃～350℃	280℃以下
			ステンレス鋼	-30℃～425℃	280℃以下
伝熱フィン(銅)	131℃	115℃	銅	-30℃～200℃	170℃以下
緩衝材(木材)	—	113℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温環境下では組織変化(熱分解)による強度低下が考えられる。また、熱分解に至らない温度においても長期間の保持による強度低下が考えられる。</li> <li>評価温度は、熱分解を考慮する必要のない温度範囲(200℃以下)である。</li> <li>輸送期間中の強度低下については、温度及び保持時間をパラメータとする熱暴露後の残存強度の予測式をもとに評価しても、強度低下量は十分に小さく、熱的劣化による緩衝材の機能への影響はない。</li> </ul>		

# 1. 指摘事項への回答(4/4)

## 回答(続き)

### <放射線照射による劣化>

- 中性子照射による強度、弾性、脆化等の機械的性質影響が考えられる。
- 貯蔵時または輸送時の中性子照射量に対して、以下の理由により中性子照射による健全性への影響はない。
  - 燃料被覆管については、炉内での中性子照射量に対して十分小さい。
  - 本体胴等の容器を構成する金属部材および緩衝材(木材)については、機械的特性変化を考慮する必要のない照射量である。
  - 中性子遮蔽材(レジン)については、質量減損を考慮する必要のない照射量である。

### <化学的劣化>

- 腐食による強度の低下が考えられる。
- 貯蔵時または輸送時の使用環境に対して、以下の理由により腐食による健全性への影響はない。
  - 燃料被覆管、胴内面、一次蓋、二次蓋内面、バスケット等は不活性ガス雰囲気下にある。
  - 中性子遮蔽材(レジン)、緩衝材(木材)およびこれらと接する各構成部材は遮蔽材カバー等に覆われた閉鎖環境下にある(中性子遮蔽材(レジン)の質量減損は熱的劣化にて考慮する)。
  - トラニオン、三次蓋は耐食性のある材料を使用し、その他の金属材で大気に触れる部分は塗装等の防錆措置を施す。

### <疲労による劣化>

- 繰り返し荷重の作用による疲労破壊が考えられる。
- 吊上装置であるトラニオンについては、貯蔵時または輸送時における使用済燃料乾式貯蔵施設内での取扱いを含めた吊上げ回数は200回としており、許容繰り返し回数(約10,000回)を大きく下回ることから、疲労による健全性への影響はない。

今後の補正手続きにおいて、上記検討結果を(口)章-F(経年変化の考慮)に反映するとともに、(口)章-G(外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の説明)について、規則第3条第3項、第11条第2項等、BM型輸送物および核分裂性輸送物に係る各技術基準を定める条文への適合性について、経年変化の考慮に関する説明を明確化する。