

平成22年3月17日

燃料設計（機械設計）トピカルレポート評価要領

原子力安全・保安院
原子力発電安全審査課

「トピカルレポートの技術評価について（内規）」に基づき、燃料設計（機械設計）トピカルレポートに係る評価要領を別添のとおり定める。本要領については、原子力の安全技術等の進展に伴い、適宜、整備及び拡充を図っていくものとする。

記載事項	記載内容	評価基準
レポート	<ul style="list-style-type: none"> ・全般 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本要領に示す全ての書類が網羅されていること 2. 評価するうえで、必要かつ十分に詳細な情報が完備されていること。 3. 非公開とすべき情報がその理由とともに明確に示され、その理由が妥当であること。
1. 目的・概要	<ul style="list-style-type: none"> ・目的 ・概要 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 評価することにより安全審査の実効性の向上に資するものであること。 2. 特定の安全に係る事項を扱っているものであること。
2. 適用範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・使用される原子炉の型式、燃焼度等 ・主な燃料の材料、構造の概要 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用範囲が明確に示されていること 2. 設計評価方法、解析コード、設計評価結果に係る評価を総合して、適用範囲が妥当であること
3. 関連する指針類	<ul style="list-style-type: none"> ・関連する指針類との適合性 ・設計方針等（具体的な判断基準とその根拠は4.3(2)にまとめること） 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安全審査指針等との関連性及び適合性を確認する。
4. 燃料機械設計		
4-1 主要な設備と構造の説明	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料棒の構造の説明と仕様 ・燃料集合体の構造の説明と仕様 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 4-2～4-5 の内容を技術評価するために必要な構造や仕様の説明がなされていること
4-2 材料特性、照射特性	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料ペレット、被覆管その他構成材料の材料特性、照射特性等 ・燃料ペレット（焼きしまり、固体・ガススエリング、リム組織、融点、熱伝導率、FP ガス放出、He ガス放出他） ・被ふく管（クリープ、腐食、機械特性変化他） ・燃料棒（照射成長、ボンディング、SCC破損、外面割れ破損、他） 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 燃料の設計及び健全性を評価するために必要な燃料ペレット、燃料被覆管及びその他の構成材料について、その材料特性及び照射による特性の変化が、炉外試験や炉内試験の結果の技術的根拠に基づき適切に評価されていること <ul style="list-style-type: none"> ※解析コードで考慮する照射特性のモデルは、4-3 及び 4-4 で確認する。 <p>評価にあたっての着眼点は次のとおり。</p> <p>(1) 燃料ペレット</p> <p>密度変化：焼きしまり、固体スエリング、ガスバブルスエリング</p> <p>融点：照射に伴う融点の低下、G d 添加の</p>

記載事項	記載内容	評価基準
		<p>効果、P u の効果</p> <p>熱伝導率：照射に伴う変化、G d、P u の添加による効果</p> <p>F P ガス放出：燃焼度及び経験出力レベルの効果</p> <p>H e ガス放出：照射の効果</p> <p>組織変化：リム組織の成長等とその影響</p> <p>(2) 被ふく管</p> <p>クリープ：熱クリープ、照射クリープ</p> <p>腐食：酸化膜厚さ及び水素吸収量の増加(高燃焼時における加速)、水素吸収率、水素化物の配向、シャドウ腐食</p> <p>機械特性：耐力・引張り強さ・伸びの変化(燃焼度及び水素吸収の影響)、異方性の影響、組成の影響、ライナーの機械特性(ライナーを有する場合)</p> <p>(3) 燃料棒</p> <p>クラッド付着：クラッド厚さ、被ふく管腐食への影響</p> <p>照射成長：照射に伴う伸びの変化、P C M I の影響</p> <p>外径変化：照射に伴う外径変化</p> <p>ボンディング：ボンディング層厚さとその影響</p> <p>S C C 破損：破損のメカニズムと破損条件(出力、出力上昇幅、保持時間、燃焼度等)</p> <p>外面割れ破損：破損のメカニズムと破損条件(出力、出力上昇幅、保持時間、燃焼度、水素吸収量等)</p> <p>その他、材料特性、照射特性に関して考慮すべき事項</p>
4-3 設計評価方法		
(1) 設計評価項目と評価の流れ	<p>【燃料棒】</p> <p>① 燃料中心最高温度</p> <p>② 燃料棒内圧</p> <p>③ 被覆管の応力</p>	<p>1. 「3. 関連する指針類」で示した設計方針を満足するために必要な全ての設計評価項目について、評価手順、解析のフロー及び使用する解析コード等が示されていること</p> <p>※ここは、評価の全体像を把握・理解するものであり、評価の方法や解析コードの詳細</p>

記載事項	記載内容	評価基準
	④ 被覆管の歪 ⑤ 疲労サイクル ⑥ 被覆管表面酸化及びクラッド付着、水素吸収量 ⑦ 被覆管のコラプス ⑧ 被覆管照射成長(伸び) ⑨ SCC破損 ⑩ 外面割れ破損 ⑪ フレッチング磨耗 上記の評価項目について、設計評価手順、解析フロー、解析コード等を記載する。	等については、4-3(3)及び4-4で確認する。
(2) 判断基準とその根拠	3. に述べた設計方針について、ここでは具体的判断基準と根拠を示す。 【燃料棒】 ① 燃料中心最高温度 ② 燃料棒内圧 ③ 被覆管の応力 ④ 被覆管の歪 ⑤ 疲労サイクル ⑥ 被覆管表面酸化及びクラッド付着、水素吸収 ⑦ 被覆管のコラプス ⑧ 被覆管照射成長(伸び) ⑨ SCC破損 ⑩ 外面割れ破損 ⑪ フレッチング磨耗	1. 4-3(1)に述べた設計評価項目について、具体的な判断基準の設定方法、判断基準及びその根拠が妥当性なものであること 評価にあたっての着眼点は次のとおり。 ① 燃料中心最高温度：照射に伴う融点低下、GdやPuの添加による効果の考慮 ② 燃料棒内圧：制限値設定の考え方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮 ③ 被覆管の応力：照射の効果、温度の効果、水素吸収の効果、ばらつきの考慮 ④ 被覆管の歪：照射の効果、温度の効果、水素吸収の効果、ばらつきの考慮 ⑤ 疲労サイクル：照射の効果、温度の効果、水素吸収の効果、ばらつきの考慮 ⑥ 被覆管表面酸化及びクラッド付着、水素吸収：制限値設定の考え方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮 ⑦ 被覆管のコラプス：制限値設定の考え方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮 ⑧ 被覆管照射成長(伸び)：制限値設定の考え方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮 ⑨ SCC破損：制限値設定の考え方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮 ⑩ 外面割れ破損：制限値設定の考え方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮 ⑪ フレッチング磨耗：制限値設定の考慮

記載事項	記載内容	評価基準
		方と設定の方法、制限値、不確かさの考慮
(3) 設計評価方法	<p>(1) で述べた評価項目ごとに評価方法を記載する。評価方法が解析コードによる場合は</p> <p>①入力設定の考え方</p> <p>②不確かさの考慮とその根拠を記載する。</p> <p>評価方法が試験による場合は、試験方法の説明と適用範囲を満足することを示す。</p>	<p>1. 設計評価方法が、判断基準に対して適切に評価できるものであること</p> <p>2. 解析コードによる場合は、入力設定の考え方、評価方法及び評価における解析の不確かさの考慮が妥当なものであること</p> <p>評価にあたっての着眼点は次のとおり。</p> <p>(1) 解析コードによる評価（燃料中心温度、内圧、応力、歪、疲労等）</p> <p>① 出力、熱水力条件等の入力設定の考え方、入力作成方法、保守性の考慮</p> <p>② 不確かさの考慮：評価すべき項目ごとに、考慮すべき事項（コードの予測精度、燃料の寸法仕様の公差等）、不確かさ、各不確かさの効果の処理方法</p> <p>(2) 試験、実績等による評価（被覆管表面酸化及びクラッド付着、水素吸収、被覆管のコラプス、被覆管照射成長(伸び)、S C C破損、外面割れ破損、フレットイング磨耗等）</p> <p>① 試験、実績等：試験及び実績データの適用性、保守性、不確かさの考慮、試験条件と設計対象炉の条件との違いの考慮等</p> <p>② 実炉における出力変化の算出方法：解析の方法、仮定する条件、不確かさの考慮等</p>
4-4 解析コード		
(1) 解析コードの概要	解析コード各要素の構成：入力データ読み込み、線出力履歴設定、冷却材温度解析、時間増分設定、構造解析、温度解析、計算結果の出力	1. 前記(2)以降の内容を審査するにあたり、解析コードの全体概要が理解されやすいよう適切に記述されていること
(2) 解析コードの適用範囲	対象及びその使用範囲	1. 適用範囲が明確に示されていること ※「4-4 (4) 解析コードの評価」において、解析コードの適用範囲の妥当性を確認する
(3) 解析モデルの評価	解析コードで使用されているモデルの記述と検証結果	1. 解析コードでは、燃料の物性、照射挙動が適切にモデル化され、適用範囲が評価されていること

記載事項	記載内容	評価基準
	①物性値（燃料、被覆管） <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料の融点 ・ 熱伝導率 ・ 熱膨張率 ・ ヤング率 ・ ポアソン比 ・ クリープ速度 ・ 歪硬化曲線 ・ 希ガスの熱伝導率 等 ②照射挙動（燃料、被覆管） <ul style="list-style-type: none"> ・ 径方向核分裂密度分布 ・ 焼きしまり ・ 割れとリロケーション ・ スエリング ・ FP ガス放出率 ・ He ガス放出量 ・ Xe/Kr 比 ・ ギャップ熱伝達率 ・ 被覆管の腐食と水素吸収 ・ 被覆管照射成長 ・ 組織変化 等 	2. 物性値の測定データ、照射挙動データ等との比較により、モデルの妥当性が検証されていること
(4) 解析コードの評価	解析コードの熱的・機械的挙動の解析手法、解析コードの予測精度を検証するための炉外試験・照射試験データ及び照射後試験（PIE）データの記述と検証結果	1. 解析コードが各評価項目に対して適切に評価する能力があること、また、解析コードの検証がなされていること 2. 適用範囲（出力、燃焼度等）がコードの検証結果に基づき適切に設定されていること。 3. 熱的、機械的挙動解析の基礎方程式、構成方程式、数値解析方法等が妥当なものであること、また、計算条件、体系のノーディング（分割数）等が適切な設定になっていること 4. 炉外試験、照射試験データ及び照射後試験（PIE）データとの比較により、解析コードの燃料の照射挙動に対する予測精度が検証されていること。必要に応じて、異なる解析コードの結果との比較により妥当性を確認する。
(5) 不確かさ	(4) に基づく各挙動の解析誤差、設計評価（燃料温度、	1. 「(4) 解析コードの評価」に基づく解析の不確かさの算定及び 4-3(3) の設計評価方法へ

記載事項	記載内容	評価基準
	燃料棒内圧等) での考慮	の反映が妥当であること
5. 品質保証計画	<ul style="list-style-type: none"> 品質保証計画、解析コードのデザインレビューの記録が残され継続的に実施されることを記述 新しい知見の設計・評価への反映等、本トピカルレポートを更新する要件の記述 	<ol style="list-style-type: none"> トピカルレポートが、品質保証計画の下で品質が維持されること。 品質保証計画において、設計管理、文書管理、入出力データ管理、ソフトウェア管理及びこれらの是正措置が適切に規定されること。 新たな知見が評価され、設計や設計評価手法に反映される仕組みが記載されること。
6. 使用実績	燃料の使用実績 (海外プラントを含む)	1. 本トピカルレポートの内容に反するような実績がないこと
7. 炉心設計、安全解析への影響	新燃料設計の炉心設計及び安全解析への影響	1. 他の関連するトピカルレポートの整備や個別プラントの設計において配慮すべき事項が明確に示されていること。
8. その他、本レポートを説明するために重要な事項	適宜	適宜
9. 参考文献	<ul style="list-style-type: none"> 参考とした文献の名称及び参考とした内容 	1. 参考文献がある場合は、その文献の名称及び参考とした内容が詳細かつ適正に記載されていること。

(略語、用語の説明)

解析コード：モデル等より構成する計算手順

モデル：特定の物理現象を記述する数式またはこれを計算するためのアルゴリズム

基礎方程式：系統内の質量、エネルギー、運動量の輸送量を解く方程式

構成方程式：基礎方程式を解くため必要となる方程式