

対象標準：BWRにおける過渡的な沸騰遷移後の燃料健全性評価基準（案）

No.1
(氏名) 荒井 長利 様
(ご意見)
本燃料健全性評価基準（案）の主旨の理解 本燃料健全性評価基準（案）の附属書3（参考）の冒頭に述べられているように、本基準が適用の対象としている事柄は、“安全評価審査指針”の“運転時の異常な過渡変化”の判断基準、及び“安全設計審査指針”の“燃料の許容設計限界”の合理化・改良を意味する。 現行のBWRの安全設計・安全評価の技術ベースは、原子力安全委員会の安全審査関連資料として公開されている最近の文書類として、「沸騰水型原子炉に用いられる9行9列型の燃料集合体について」（以下、「専門部会報告書」（平成6年3月3日、原子力安全委員会了承）及び「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について」（「専門部会資料」（平成7年5月、原子炉安全基準専門部会）に相当するものが挙げられる。本基準に係わるものはそれらの改訂増補版であり、これらは当文書の参考文献（3）～（8）に該当するものと思われる。筆者はこれら参考文献を現時点で入手していないので、上記公開2文書の内容を参考にして、以下のように本燃料健全性評価基準（案）の主旨を理解している。 本燃料健全性評価基準は1．適用範囲の条件の下で、3．判断基準は2項目を提示している。 a) 燃料健全性の判断基準は、“安全設計審査指針”の“燃料の許容設計限界”の内の「燃料棒が沸騰遷移を起こさない最小限界出力比（MCPR限界値）」を削除し、それに代わる基準である。また、b) 燃料集合体の再使用の判断基準は、“安全評価審査指針”の“運転時の異常な過渡変化”の判断基準のうちの「MCPRが許容限界値以上であること」を削除し、それに代わる基準である。この2種の基準はともに被覆管温度とその継続時間の関係のみを規定していることを特徴としている。 このような従来技術レベルを改善し、設計手法と設備の運転態様を合理化する基準の導入は、関連する研究開発の成果の具体的活用の意味からも極めて望まれるところであると考ええる。そこで重要な事柄は、その根拠となるデータベース及び科学的論証の信頼性である。 本基準については、先ず、適用対象とする過渡変化事象を慎重に限定していると判断される。即ち、類似ないし該当する模擬試験結果により十分に予測信頼性を確認している数値解析手法を用いて、該当する2過渡変化過程における熱水力学的挙動についての詳細な解析評価、分析が前提となっている。また、適用対象とする燃料及び集合体の範囲も、全て個別に確認され、使用の許可を得ている燃焼度までに限定している。従って、適用対象に関する技術的知見の根拠は明快と考える。 次に、判断基準の定量的設定根拠及び沸騰遷移後の燃料被覆管温度の評価における使用すべき解析パラメータ等の設定根拠についてもそれらの妥当性の論証が適切と考える。 以上のようにことから、本文書の解説の記述を理解することにより、標準委員会が策定した本基準の設定根拠とその適用方法の指定は全体的に信頼性の高いものと判断できる。
(回答)
現行の「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」（以下「安全設計審査指針」）においては、「通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料はその許容設計限界を超えることのない設計であること」が求められています。また、燃料の許容設計限界は「燃料の損傷が安全上許容される程度であり、かつ、継続して原子炉の運転をすることができる限界」であり、ここでいう「継続して原子炉の運転をすることができる」とは、「必ずしもそのままの状態から原子炉を運転することを意味するものではなく、故障箇所の修理及び必要な場合における燃料の検査・交換を行った後に運転を再開することを含む」とされています。 これに対し、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（以下「安全評価審査指針」）では、運転時の異常な過渡変化として想定される事象が発生した場合の判断基準の一つとして、「燃料の最小限界出力比が許容限界値以上であること」を要求していますが、仮に燃料が一時的に沸騰遷移を経験しても直ちにそれが燃料破損を生じるわけではないことが種々の知見により確認されていることから、この基準は前述の「安全設計審査指針」の要求と照らし合わせても、極めて保守的なものとなっていると考えられます。 このことから、本基準では、過渡的な沸騰遷移が発生するような場合においても、被覆管温度と沸騰遷移の持続時間で整理された一定の条件を満足すれば、燃料健全性は担保されるとす

る判断基準を新たに定めています。ただし、この判断基準は、現状の最小限界出力比に基づく判断基準を削除し、それに代わる基準として設定しているわけではありません。すなわち、事象中の燃料の最小限界出力比が許容限界値以上であれば、本基準を適用する必要はなく、一部の事象において最小限界出力比が許容限界値を下回るような場合は、本基準に照らし合わせて燃料の健全性を判断することになります。

以上、確認の意味を含めて回答させて頂きました。

No.2
(氏名) 荒井 長利 様
(ご意見) 若干の指摘事項 前記 (No.1) のように、当文書の参考文献 (3) ～ (8) は現時点で公開文書と理解するが、通常の入手方法で可能であるか。
(対応) 参考文献 (3) ～ (8) は、いずれも原子力メーカーあるいは原子燃料の成型加工メーカーのライセンシングレポートであり、国会図書館で閲覧が可能です。

No.3
(氏名) 荒井 長利 様
(ご意見) 当文書の参考文献 (3) ～ (8) により理解できることと思われるが、本基準では結局のところ、“安全評価審査指針”の“運転時の異常な過渡変化”の判断基準、及び“安全設計審査指針”の“燃料の許容設計限界”の一部について、それを削除し、通常運転の継続を保証する判断基準を2種規定している。また、沸騰遷移後の燃料被覆管温度の評価における使用すべき熱伝達係数のしても2種である。やや煩雑に思われる。文書としての利便性もあるが、分割又は構成上の工夫はできないものか。
(対応) やや煩雑とのご意見ではありますが、以下のような理由から、複数の判断基準や相関式が列挙される構成もやむをえないと考えます。 本基準での「燃料健全性の判断基準」と、「燃料集合体の再使用の判断基準」は、技術的に独立した意味を有しています。すなわち、本基準における「燃料健全性の判断基準」は、燃料被覆管温度の急激な上昇による被覆管の過度の酸化による脆化破損に対して、保守的に定められたものであり、事象収束後の燃料の再使用には直接関係しない基準です。一方、「燃料健全性の判断基準」よりも、さらに燃料被覆管温度の上昇が小さく、沸騰遷移の持続時間が短時間であれば、燃料健全性に係わる燃料棒の諸特性に有意な変化は見られず、事象収束後、当該燃料集合体を再使用することが可能であるとの見地から、本基準では、「燃料健全性の判断基準」とは別に、過渡的な沸騰遷移を経験した「燃料集合体の再使用の判断基準」を定めています。 また、沸騰遷移後の燃料被覆管と冷却材間の熱伝達係数として、修正Dougall-Rohsenow 式およびGroenevald式の2つを示しておりますが、どちらも妥当との判断に基づいて列挙したものです。リウエット相関式についても、同様の考え方に基いて2種類の式を提示しています。 将来の改訂時にはさらに多くの知見が反映されることも予想され、その編集に際しては、ご指摘の主旨を十分考慮して対応したく考えます。

No.4
(氏名) 荒井 長利 様
(ご意見) 上記と関連して、特別に思われることは、解説の2. 判断基準の記述における判断基準の考え方、判断の根拠となる試験データの等における検討事項の項目の相違である。本基準は限定された沸騰遷移を経験した燃料棒ないし燃料集合体の一種の維持基準であり、この後の通常運転荷重及び過渡変化荷重を予定して繰り返し荷重に対する本基準による健全性評価が必要である。この点に関し、2種の判断基準に関する解説には検討事項の項目の相違がある。同時に、本基準が温度－継続時間関係特性にて表記されるものであるが、物理的機構は本質的に熱機械特性であり、例えば、円周方向平均塑性歪み、燃料棒内圧、燃料被覆管応力など

の検討においても間接的定量評価となっている。

(対応)

ご意見No. 3の回答にありますように、「燃料健全性の判断基準」は、燃料破損に焦点をあてたものであり、また、「燃料集合体の再使用の判断基準」は、燃料破損がなく、且つ当該燃料を再使用することが可能と判断されるか否かに対する基準ですので、両基準の検討項目は必ずしも一致したものとはなりません。

両基準の燃料健全性については熱機械特性の観点から検討を行っています。後者の「燃料の再使用の判断基準」については、一時的な過渡沸騰遷移を一度経験したことによる再使用時の燃料健全性への影響を定量評価も含めて検討しており、主として燃料被覆管の変形量に着目し、かつ、その他の要因を含めて燃料設計上のすべての因子に有意な影響が認められないことを確認したものです。