

## PCI破損しきい値の見直しに関するトピカルレポートについて

### 1. はじめに

原子力安全・保安院（NISA）の「トピカルレポートの技術評価について（内規）（平成20・12・08原院第5号）」および、「燃料設計（機械設計）トピカルレポート評価要領」を踏まえ、平成22年に、三菱原子燃料株式会社（MNF）および、原子燃料工業株式会社（NFI）から、それぞれPCI破損しきい値の見直しに関するトピカルレポート(\*)（以下、PCIトピカルレポートという）の提出を行った。その後、NISAおよび原子力安全基盤機構（JNES）関係者による評価が進められてきたが、平成23年に発生した東日本大震災により評価作業は中断した状態となっている。本資料では、PCIトピカルレポートの申請の経緯、概要、構成等について以下の通りまとめた。

\* MNF：「三菱PWR燃料におけるPCI破損しきい値について」MNF-TR-1001

NFI：「PWR燃料におけるPCI破損しきい値について」NFK-LTR-001

### 2. 経緯

PWRでは、耐PCI性能向上の観点から被覆管開発を進め性能向上した被覆管を実用化してきた。このような背景の下、PWR高燃焼度化ステップ2燃料（55GWd/t燃料）の安全審査において、一部のプラントにおいて現行のPCI破損しきい値と評価値が近接しているケースがあり、安全性の説明の観点から、被覆管性能を適切に考慮したPCI破損しきい値に見直すニーズがあった。

また、当時、安全性を維持しつつ原子力発電を効率的に運用していく観点から、運転期間の延長（長期サイクル炉心）の検討も並行して行われていた。長期サイクル炉心化に伴う軸方向出力分布の変化によりPCI評価が厳しくなることも予想されたことから、被覆管性能を適切に反映したPCI破損しきい値を設定するニーズがあった。

このようなニーズを踏まえ、PCI破損しきい値の見直しについて、高浜1、2号機のステップ2燃料導入に関する安全審査にて審査していただくようNISAに対して要請した。これに対し、当該案件は各プラント共通事項として審査できるトピカルレポート制度を活用し、個別プラントの審査とは切り離れた評価とすべきとのNISAの考えが示されたことから、PCIトピカルレポートを提出することとした。（平成22年12月27日）

### 3. PCIトピカルレポートの概要

PCI (Pellet Cladding Interaction) による被覆管破損は、運転時の異常な過渡変化時において燃料出力が上昇した場合に、ペレットの熱膨張に伴いペレットと被覆管の機械的相互作用 (PCM I) により発生する引張応力と、ペレットから放出された腐食性の核分裂生成物 (Fission Product: FP) による化学的作用（被覆管内面へのき裂の生成）が重畳して応力腐食割れ (Stress Corrosion

Cracking: SCC)が発生し被覆管が破損に至る事象として知られており、上述した応力と腐食性雰囲気形成の2つの要因が同時に重なった場合発生すると考えられている。

上述したSCCによる破損メカニズムを踏まえ、PCI破損の発生しきい値は、試験炉における燃料棒の出力急昇試験結果に基づき経験的に以下の因子で整理されている。

- ・ 出力急昇時の燃焼度
- ・ 出力急昇時の最高到達線出力 ( $P_{max}$ )
- ・ 出力急昇幅 ( $\Delta P$ )

これらのうち、 $P_{max}$ はペレットから放出されるFPの影響を、 $\Delta P$ は、PCMIにより被覆管に発生する応力の程度をそれぞれ表すものと解釈されている。現在のPCI評価は、異常な過渡変化時における $P_{max}$ 、 $\Delta P$ がしきい値を同時に超えないことを確認している。PCIトピカルレポートは、このPCI評価に用いるしきい値について、耐PCI性能が向上した被覆管による出力急昇試験データ等、新しい知見を反映し見直すことを目的としている。

#### ○参考

設置(変更)許可におけるPWR燃料の機械設計に係わる評価では、従来、原子炉安全基準専門部会報告書「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について(昭和63年5月12日)」、原子炉安全専門審査会内規「加圧水型原子炉に用いられる17行17列型の燃料集合体について(昭和51年2月16日)」に基づき、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、燃料中心最高温度、燃料棒内圧、被覆管応力、被覆管引張歪及び被覆管累積疲労の5つの設計基準を満足することを確認している。高燃焼度化ステップ2燃料の審査では、被覆管の腐食と水素吸収量、及びPCI評価についてこれらの5基準に加え、考慮事項として評価している。

#### 4. PCIトピカルレポートの構成

「トピカルレポートの技術評価について(内規)(平成20・12・08原院第5号)」について、PCIトピカルレポートが内規の要件を満足する構成としている。詳細は別紙1の通り。

また、「燃料設計(機械設計)トピカルレポート評価要領」について、PCIトピカルレポートが評価要領に適切に対応する構成としている。詳細は別紙2の通り。

#### 5. 評価の状況

##### (1) MNF

トピカルレポート提出	平成22年	12月27日
第1回ヒアリング	平成23年	1月5日
第2回ヒアリング	平成23年	2月2日
品証保証に関するヒアリング	平成23年	2月7日
第3回ヒアリング	平成23年	3月2日

(第4回ヒアリングを3月15日に開催する方向で調整していたが震災により実施されなかった。)

(2) N F I

トピカルレポート提出	平成 22 年 12 月 27 日
第 1 回ヒアリング	平成 23 年 1 月 12 日
第 2 回ヒアリング	平成 23 年 2 月 4 日
第 3 回ヒアリング	平成 23 年 2 月 25 日
第 4 回ヒアリング	平成 23 年 3 月 8 日

(第 5 回ヒアリングを 3 月 15 日に開催する方向で調整していたが震災により実施されなかった。)

なお、平成 23 年 3 月 22 日には第 1 回の WG を開催する方向で調整していたが、ヒアリング同様に、震災の影響により実施されなかった。

別紙 1 : 「トピカルレポートの技術評価について (内規)」第 2 項における要件について

別紙 2 : 燃料設計 (機械設計) トピカルレポート評価要領と本件トピカルレポートの比較

以 上

## 「トピカルレポートの技術評価について（内規）」第 2 項における要件について

## ① 原子炉施設の特定の安全に係る事項を取り扱っていること。

本トピカルレポートは、PWR プラントの許可申請に記される燃料機械設計において使用されている PCI 破損しきい値の変更を取り扱ったものである。

## ② 当該トピカルレポートに示された技術内容についての妥当性を示すための必要かつ十分に詳細な情報が完備されていること。

本トピカルレポートは、被覆管の耐 PCI 性能指標を考慮して、当社が取得した種々の出力急昇試験データ等を基に、PCI 破損しきい値の変更に関する技術情報をまとめたものであることから、技術内容についての妥当性を示すための必要かつ十分に詳細な情報が完備されている。

## ③ 当該トピカルレポートが許可申請の参考文献として用いられることにより、安全審査の実効性の向上が期待されること。

本トピカルレポートは、PWR プラントの原子炉設置許可申請書に記される燃料機械設計において使用されている PCI 破損しきい値の変更を取り扱ったもので、今後の許可申請において参考文献として引用が期待される。その技術的妥当性の評価が個別の許可申請に先立ってなされることで、安全審査の実効性の向上が期待される。

## ④ 当該トピカルレポートが、複数の許可申請に参考文献として用いられることが期待されるものであること。

本トピカルレポートは、PWR プラントの原子炉設置許可申請書に記される燃料機械設計において使用されている PCI 破損しきい値の変更を取り扱ったものである。トピカルレポートにおいて見直される PCI 破損しきい値は、現在使用されているステップ 1 燃料及びステップ 2 燃料に対して適用される予定であるため、今後の原子炉設置（変更）許可申請時において使用される計画である。したがって、本トピカルレポートは、複数の許可申請に参考文献として用いられることが期待される。

以 上

燃料設計(機械設計)トピカルレポート評価要領と本件トピカルレポートの比較

評価要領[1] 記載事項	MNF トピカルレポート改定案 (H23.3作成 未提出)	NFI トピカルレポート改定案 (H23.3作成 未提出)
1. 目的・概要	1. はじめに	1. はじめに
2. 適用範囲	4. 適用範囲	4. 適用範囲
3. 関連する指針類	2. 2. 1 PCI評価の位置付け 2. 2. 3 従来のPCI破損しきい値について	2. 2. 1 PCI評価の位置付け 2. 2. 3 従来のPCI破損しきい値
4. 燃料機械設計		
4-1 主要な設備と構造の説明	(添付資料4)	(添付資料4)
4-2 材料特性、照射特性	2. PCI破損について 2. 1 PCI特性 2. 1. 1 炉外試験によるSCC特性の検討 2. 1. 2 出力急昇試験によるPCI特性の検討 3. 三菱製燃料の耐PCI性能について 3. 1 耐PCI性能の向上 3. 1. 1 被覆管の耐PCI性能向上対策 3. 1. 2 三菱製燃料の耐PCI性能	2. PCI評価の概要 2. 1 PCI破損 2. 1. 1 腐食性FP及び被覆管応力の影響 2. 1. 2 最大線出力、線出力変化幅及び燃焼度との関係 3. PCI破損しきい値について 3. 1 耐PCI性能の向上 3. 1. 1 PCI破損対策 3. 1. 2 集合組織に関連する指標 3. 1. 3 原燃工製燃料の耐PCI性能
4-3 設計評価方法		
(1) 設計評価項目と評価の流れ	2. 2. 2 PCI評価方法	2. 2. 2 PCI評価方法
(2) 判断基準とその根拠	3. 2 三菱製燃料のPCI破損限界 3. 2. 1 データ整理の考え方 3. 2. 2 PCI破損限界の設定 5. 新たなPCI破損しきい値の設定	3. 2 新たなPCI破損しきい値の設定 3. 2. 1 PCI破損しきい値設定に用いる出力急昇試験データ 3. 2. 2 PCI破損限界の設定 3. 2. 3 PCI破損限界の保守性 3. 2. 4 新たなPCI破損しきい値の設定
(3) 設計評価方法	-	-
4-4 解析コード		
(1) 解析コードの概要	-	-
(2) 解析コードの適用範囲	-	-
(3) 解析モデルの評価	-	-
(4) 解析コードの評価	-	-
(5) 不確かさ	-	-
5. 品質保証計画	6. 品質保証計画	5. 品質保証計画
6. 使用実績	-	-
7. 炉心設計、安全解析への影響	-	-
8. その他、本レポートを説明するために重要な事項	-	-
9. 参考文献	7. 参考文献	6. 参考文献

[1] 「燃料設計(機械設計)トピカルレポート評価要領」平成22年3月17日 原子力安全・保安院 原子力発電安全審査課