

BWR 10×10 燃料導入の進め方について

1. はじめに

10×10 燃料は、燃料棒本数を増やし 1 本あたりの熱的負荷を緩和することにより安全性・信頼性を向上し、また、取出燃焼度の増加等により取替体数および使用済燃料発生量を低減できる。しかし、その審査については、新たな技術の導入とともに、型式証明はメーカーが主体であること、前回の新燃料導入から長期間経過していることによるメーカーの経験不足という課題があると考えます。

事業者・メーカーとしては、上記課題の認識のもと、十分なリードタイムを持ち、審査を効率化するため、審査に先立って規制ルールの見直しの要否について NRA と認識を共有し、型式証明・型式指定制度等の活用により、審査の一部を先行実施して、後段の申請の審査の一部が簡略・省略できるような進め方を提案したいと考えています。

本資料では、10×10 燃料導入審査の課題と対応方針、およびスケジュールの案を示す。

2. 対象となる燃料型式、解析コードおよび手法

燃料型式、解析コードについては、燃料メーカーおよびプラントメーカーごとに申請予定であるが、現時点での準備状況について、以下に記載する。

2.1. 燃料型式

- ・ BWR 向け 10×10 燃料

2.2. 新たに導入する解析コードおよび手法

- ・ 燃料棒熱機械解析コード： PRIME03（2010/6 にトピカルレポートの技術評価済み）
- ・ 核炉心解析コード： LANCR/AETNA（先行プラントで審査される予定であり 10×10 燃料審査は軽減されると想定）
- ・ プラント挙動解析コード： TRAC（適用事象：過渡/事故/プラント安定性）
- ・ 統計的安全評価手法を過渡解析に適用

3. 課題と対応方針案

以下では、現状認識している課題の内容、および現時点での対応方針案を示す。

3.1. 統計的安全評価手法導入のための規制手続き

a) 課題内容

- ・ 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針に、「各判断基準ごとに、結果が最も厳しくなるように解析条件を定めなければならない」との記載がある（次頁の表参照）。統計手法にお

いては解析条件の不確かさを統計的に扱うことから、法令上の整理が必要と考える。

統計的評価手法の導入に係る法令の記載

| 法令名 | 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針 | 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 | 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 |
|--------|---|--|--|
| 法令記載事項 | <p>○各判断基準ごとに、結果が最も厳しくなるように解析条件を定めなければならない。</p> <p>○本指針に一部適合しない場合があっても、それが妥当な理由によるものであるときには、これを排除するものではない。また、本指針は、設計の改良、経験の蓄積など新たな知見が得られた場合には、必要に応じて適宜見直しが行なわれるべきものである。</p> | <p>第十三条 設計基準対象施設は、次に掲げる要件を満たすものでなければならない。</p> <p>一 運転時の異常な過渡変化時において次に掲げる要件を満たすものであること。</p> <p>イ 最小限界熱流束比又は最小限界出力比が許容限界値以上であること。</p> <p>ロ 燃料被覆材が破損しないものであること。</p> <p>ハ 燃料材のエンタルピーが燃料要素の許容損傷限界を超えないこと。</p> <p>ニ 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の一・一倍以下となること。</p> <p>二 設計基準事故時において次に掲げる要件を満たすものであること。</p> <p>イ 炉心の著しい損傷が発生するおそれがないものであり、かつ、炉心を十分に冷却できるものであること。</p> <p>ロ 燃料材のエンタルピーが炉心及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性を維持するための制限値を超えないこと。</p> <p>ハ 原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の一・二倍以下となること。</p> <p>ニ 原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力及び原子炉格納容器バウンダリにおける温度が最高使用圧力及び最高使用温度以下となること。</p> <p>ホ 設計基準対象施設が工場等周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであること。</p> | <p>第 13 条（運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止）</p> <p>1 第 1 号に規定する「設計基準対象施設は、次に掲げる要件を満たすものでなければならない」については、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対する解析及び評価を「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定）及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（昭和 57 年 1 月 28 日原子力安全委員会決定）等に基づいて実施すること</p> |

審査指針上は、結果が最も厳しくなるように解析条件を定めることが明記されている。一方、**除外条件および必要に応じた指針見直しにも言及されている。**

規則上は、**結果が最も厳しくなるように解析条件を定めるとの規定はない。**

b) 対応方針案

対応方針案を以下に示す。

A 案： 審査指針の除外規定における「妥当な理由」の根拠として、原子力学会規格(「統計的安全評価の実施基準:2021(AESJ-SC-S001:2021)」)を参照文書とし、統計的安全評価を活用できるよう NRA ガイドラインを整備して頂く。もしくはトピカルレポート等で統計的安全評価手法の妥当性確認を受ける。

検討の中で抽出されたその他の案を以下に示す。ただし、これらは上記 A 案より時間がかかると考える。

B 案： 規則の解釈の参照指針に上記原子力学会規格を追記する（エンドースが必要と考えられる）。

C 案： 統計的安全評価の技術的妥当性を確認の上、安全審査指針を改定し、「各判断基準ごとに、結果が最も厳しくなるように解析条件を定めなければならない。」との要求事項に加え統計的な扱いを許容する表現に見直す。

また、統計的安全評価手法の内容、および妥当性等については、ATENA より NRA に原子力学会規格「統計的安全評価の実施基準:2021」を用いて説明する。次頁に、当該規格の概要を示す。

原子力学会規格「統計的安全評価の実施基準:2021」の概要

統計的安全評価手法の妥当性に関する記載内容：

- ・ 米国 CSAU 手法を参考とし、また多国間プロジェクト等の海外の最新知見を調査した上で、実施手順を定めていること（解説 2.）
- ・ 従来の保守的条件と本標準で採用する不確かさ（95%信頼度/95%確率等）の関係の説明（附属書 H）
- ・ 95%信頼度/95%確率を採用することにより高い信頼性をもって判断基準を超える確率を十分低く抑えられること、これについて国内外のコンセンサスがあること（附属書 I）

統計的安全評価手法の内容および規定に関する記載内容：

- ・ 統計的安全評価手法の手順および内容（本文、附属書 B/D/F、解説等）
- ・ 統計的安全評価手法に用いる最適評価コードの要件（附属書 A/E、解説等）
- ・ 統計的安全評価の適用例（PWR の LOCA、ABWR の負荷遮断）（附属書 C）

構成：

本文

附属書 A（規定） 最適評価コードの要件及び管理

附属書 B（規定） 重要度ランクテーブル（PIRT）の作成

附属書 C（参考） 統計的安全評価の適用例

附属書 D（参考） 統計的安全評価の具体的手順の説明

附属書 E（参考） 最適評価コードの要件及び管理，並びにスケール則に関する補足

附属書 F（参考） 重要度ランクテーブル（PIRT）の作成に関する補足

附属書 G（参考） 最適評価コードの適格性評価の考え方

附属書 H（参考） 統計的安全評価手法における不確かさの拡大及び保守性について

附属書 I（参考） 統計的安全評価に用いる確信度についての考え方

附属書 J（参考） 安全評価の実施方針についての考え方

解説

3.2. 各審査のスキープの仕分け

a) 課題内容

- ・ 新燃料導入には、設置許可および設工認の個別プラント審査が必要であり、これらを効率化するため、その前段で、必要に応じて型式証明・指定およびトピカルレポートの制度を活用できる。事業者・メーカーの基本スタンス(燃料導入プロセスを合理的に進めたい+新コードおよび統計的安全評価手法を導入したい)を踏まえ、これら審査のスキープをどう仕分けるか。
- ・ 型式証明においては、プラントによらない共通条件を使用する燃料の機械設計に関する箇所が提示・審査可能である。一方、安全解析は、型式証明の段階でオーソライズするためには全プラントを対象とした包絡的な解析条件を用いる必要があり、非現実的な結果となるため、複数プラントを対象とした結果の提示は困難。

b) 対応方針案

- ・ 型式証明では以下を示す。

①機械設計

- ②安全解析（添付書類事項、核設計/過渡解析/事故解析等）の代表例（手法の妥当性を示す観点から提示）

型式証明の審査では、①の手法/結果と②の手法（新コードおよび統計的安全評価手法）について認可をいただくことにより、これらについて後段の設置許可の審査の簡略化・省略が可能になる。

（個別項目の具体的な内容は申請時に NRA に提示予定。また、新コード/統計手法に関しては、トピカルレポート制度ではなく型式証明の中で審査いただく提案）

c) 関連する論点

- ・ 型式証明において、安全解析（核設計/過渡解析/事故解析等）はプラントユニークのため複数プラントを対象とした結果の提示が困難のため、これら解析結果の代表例により、設置許可規則の適合性の見込み（手法の妥当性の観点）を示す予定。

3.3. その他の課題（技術的課題）

10×10燃料導入に係わるその他の技術的課題（新燃料型式や新コード・統計手法は除く）は、従来の規制ルールに基づき審査可能と考えており、型式証明審査に先立つ論点整理は不要であり、型式証明審査の中で NRA と議論を開始すればよいと考える。

4. スケジュール案

以下にスケジュール案を示す。

- ・ 申請前に、統計的安全評価手法の法令解釈と対応案について意見交換を行う。
- ・ 申請後に、申請書の具体的な内容に基づき、3.2 の各審査スコープの仕分けも含めて本格的な議論を開始する。

| 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 2022 下期 | 2023 | 2024~ |
|---------------------|----|----|----|----|---------|------|-------|
| 事業者内の対応方針検討 | | | | | | | |
| NRA 定例面談 | | | | | | | |
| 実務者意見交換 | | | | | | | |
| CNO 意見交換会（必要に応じて実施） | | | | | | | |
| 型式証明（コード・解析手法を含む） | | | | | | | |
| | | | | | | | 設置許可 |

5. 体制

対応フェーズごとに ATENA/事業者/メーカーの体制を示す。事業者は ATENA-WG メンバーとして参加する。

| 体制 | 対応フェーズ |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">ATENA役員</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">ATENA燃料技術WG (メーカーも参加) ↔ NRA 意見交換</p> </div> <p style="text-align: center; color: red;">ATENAが主体的にNRAと意見交換し、メーカーも参加</p> | <p style="text-align: center; background-color: #0070C0; color: white; padding: 5px;">常時体制維持※</p> <p style="color: red;">▽新型燃料の効率的導入に向けた事業者の考えを表明</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">設置許可と型式の仕分け議論</p> <p>統計手法の内容・妥当性について ATENAより説明し、規制手続きについて議論</p> </div> <div style="width: 45%; border-left: 1px dashed gray; padding-left: 10px;"> <p>申請書を用いて、型式証明段階で提示可能・審査可能な範囲について議論 (申請前に申請書無しで先行議論可能な範囲は限定的か)</p> </div> </div> |
| <p style="text-align: center;">ATENA役員</p> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>ATENA 燃料技術WG (連携) 安全設計WG =</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 0 10px;"> <p style="text-align: center;">メーカー ↔ NRA 審査</p> </div> </div> <p style="text-align: center; color: red;">メーカーがNRAの審査を受け、審査状況を適宜WGに報告</p> | <p style="text-align: center;">仕分け議論の状況を反映</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 10px;"> <p style="color: red;">▽申請</p> <p style="color: red;">▽補正申請</p> </div> <div style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 10px; text-align: center;"> <p>型式証明</p> <div style="border: 1px solid white; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;"> <p>機械設計の審査</p> </div> <div style="border: 1px solid white; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;"> <p>安全解析(代表例)・コード・統計手法の審査</p> </div> </div> |
| <p>ATENA 燃料技術WG/安全設計WG</p> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>メーカー = 申請電力 (連携)</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 0 10px;"> <p style="text-align: center;">申請電力 ↔ NRA 審査</p> </div> </div> <p style="text-align: center; color: red;">申請電力がNRAの審査を受け、審査状況を適宜燃料技術WGに報告</p> | <p style="text-align: right; color: red;">▽申請</p> <div style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 10px; text-align: center; margin-left: auto;"> <p>設置許可</p> </div> |

6. まとめ

10×10 燃料導入の審査を効率的に行うため、以下のとおり進めることが適切と考える。

- ・ 統計的安全評価手法導入のためには、現行の安全評価指針の記載に関連して法令上の整理が必要と考えられる。対応案について申請前に NRA と意見交換したい。
- ・ 型式証明では以下を示す。
 - ①機械設計
 - ②安全解析（添付事項、核設計/過渡解析/事故解析等）の代表例（手法の妥当性を示す観点から提示）

型式証明の審査では、①の手法/結果と②の手法（新コードおよび統計的安全評価手法）について認可をいただき、これらについて後段の設置許可の審査の簡略化を期待している。

以上