

| | |
|------------------|--------------------|
| 島根原子力発電所3号炉 審査資料 | |
| 資料番号 | S3-EP-004改02(説1-1) |
| 提出年月日 | 2022年11月22日 |

島根原子力発電所3号炉 炉心解析コード (LANCR/AETNA) (重要現象についてのモデル化と妥当性確認について)

2022年11月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

Energia

| | |
|-----------------------------------|------|
| はじめに | P.2 |
| 1. LANCR/AETNAコードについて | P.3 |
| 1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について | P.4 |
| 2. 審査会合での指摘事項に対する回答 | P.16 |

はじめに

- 島根3号炉チャンネルボックス厚変更に伴う評価で使用する炉心解析コード（LANCR/AETNA）の島根3号炉における許認可解析への適用性に関して、以下の項目を説明する。

1. 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

- ・モデル化と妥当性確認の網羅性について
- ・モデル化の網羅性確認
- ・妥当性確認の網羅性確認

2. 解析モデル

- ・LANCR 解析モデル
- ・AETNA 解析モデル

3. 検証及び妥当性確認

- ・LANCR の検証及び妥当性確認
- ・AETNA の検証及び妥当性確認

4. 許認可解析への適用

- ・妥当性確認の実施条件と不確かさのまとめ
- ・許認可解析へのLANCR/AETNA コード適用

: 本日まで説明範囲

: 今後のご説明範囲

1. LANCR/AETNAコードについて

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

炉心解析コード (LANCR/AETNA) の概要

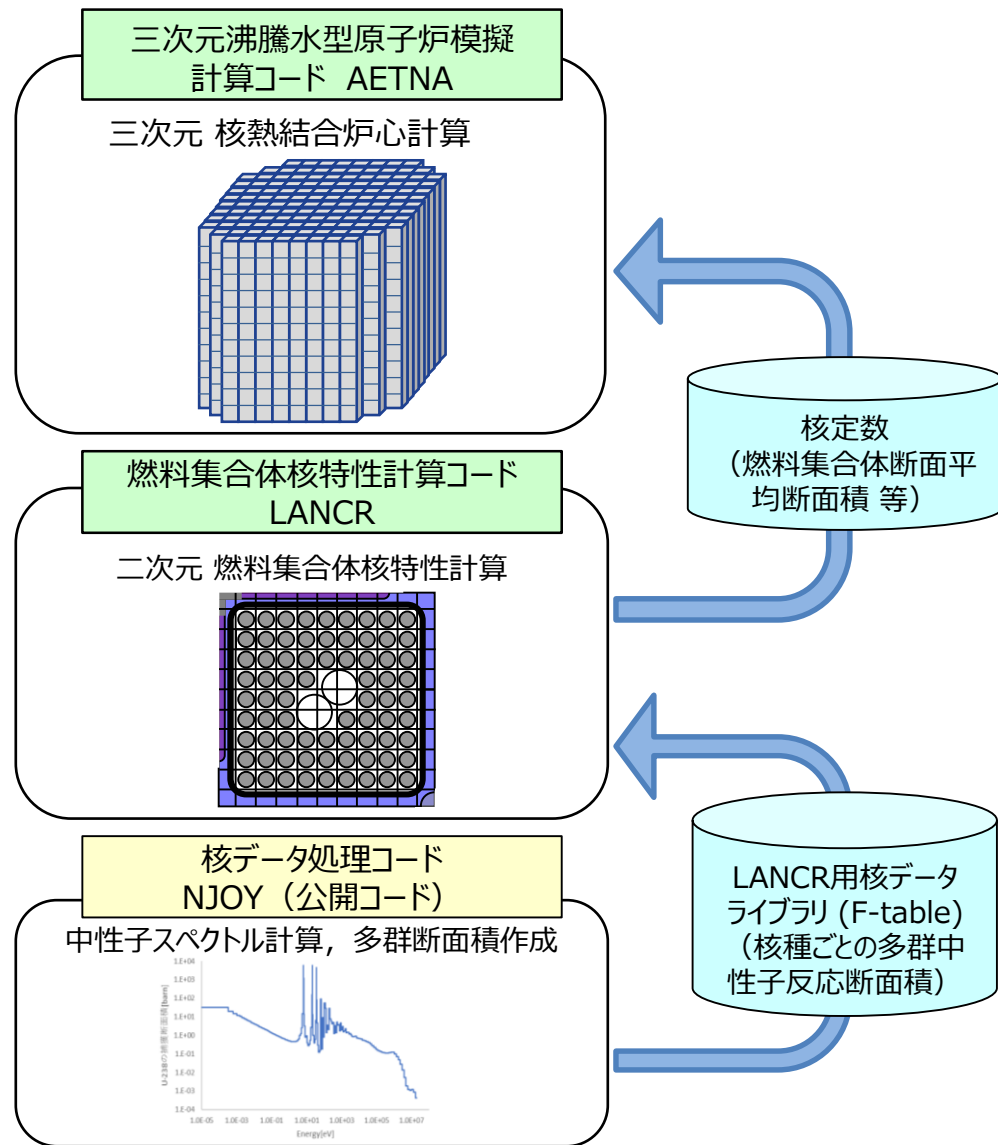
解析システムの構成

AETNA : 炉心全体に対して, 燃料集合体単位の特性を用いた三次元の核熱水力反復計算を行い, 出力分布や炉停止余裕などの各種炉心特性を評価する。

LANCR : 燃料集合体の断面に対して燃料棒単位の詳細な核計算を二次元体系で実施し, AETNAに必要な燃料集合体断面の平均的な核特性を計算する。

LANCRの計算に必要な核データライブラリは, 評価済み核データを公開コードNJOY*1で処理し, F-table形式で作成する。

*1 : NJOYはNJOY99を使用




LANCR/AETNAを用いた炉心解析の流れ

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

適用性確認の手順

島根3号炉の許認可解析に対するLANCR/AETNAの適用性について①～⑤の手順で確認する。

| | 手 順 | 使用するツール / 判断方法 |
|---|---|--|
| ① | 炉心解析で重要な現象を特定する。 | 重要度ランキングテーブル (PIRT, P.8-12) →重要な現象が特定されていること |
| ② | ①で抽出された重要な現象のモデル化の有無を確認し、モデル化されていないものについて取り扱いを説明する。 | モデル性能比較表 (P.8-12) →各現象に対し“○”が一つ以上あること |
| ③ | ②で示された現象に対して、もれなく妥当性確認が実施されていることを確認する。 | モデル性能評価表 (P.14-15) →各現象に対し“○”が一つ以上あること |
| ④ | LANCR/AETNAの適用範囲に対し、上記で示された妥当性確認の試験条件が包絡していることを確認する。 | LANCR/AETNAの適用範囲と妥当性確認範囲の対応表 →適用範囲が妥当性確認範囲に含まれること |
| ⑤ | 妥当性確認を通して整理された不確かさ又はこれらの積算値が、設計における設定値を下回っていることを確認する。 | 不確かさと設計における設定値との比較表 →不確かさが設定値を下回ること |

 : 本日まで説明範囲

 : 今後のご説明範囲

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

手順① 重要な物理現象の特定

手順① 重要度ランキングテーブル（PIRT*）を用いて、炉心解析において重要となる物理現象を特定する。

左側：炉心体系に関する全ての物理現象を列挙

上側：評価指標（主要な評価対象項目）を列挙

両者の関係をI～Hでランク付けする。

→ランクM以上を含む物理現象を重要なものとし、
手順②以降の確認の対象とする。

本資料ではランクM以上を含む物理現象のみを示す。

| | | 重要度ランキングテーブル | | | |
|------|-----|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1 評価指標 | 2 評価指標 | 3 評価指標 | 4 評価指標 |
| 物理現象 | 現象1 | L | H | L | L |
| | 現象2 | H | H | L | H |
| | 現象3 | I | I | L | L |
| | 現象4 | L | L | M | M |

重要度ランクの考え方

| ランク | PIRT重要度ランクの定義 | 包絡性確認の考え方 |
|-----|-----------------------------|--|
| H | 評価指標に対する影響が大きいと考えられる現象 | 該当するモデルを実装する。実装されたモデルに対して、試験・実機もしくは連続エネルギーモンテカルロコード等の信頼性の高いモデルによる妥当性確認を実施する。妥当性確認が実施できない場合、それらの取り扱いについて説明する。 |
| M | 評価指標に対する影響が中程度と考えられる現象 | |
| L | 評価指標に対する影響が小さいと考えられる現象 | 物理現象に対するモデルの実装・検証・妥当性確認は実施せず、出力分布・実効増倍率の妥当性確認でもって総合的に確認する。これらの現象は重要度が低いことから、本資料のPIRT等では記載を省略している。 |
| I | 評価指標に対して影響を与えないか、無視できる程度の現象 | |

*PIRT (Phenomena Identification and Ranking Table) : 日本原子力学会標準,
「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン : 2015」, AESJ-SC-A008:2015, 2016年7月

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

手順②モデル化の網羅性確認, 手順③妥当性確認の網羅性確認

手順② モデル性能比較表を用い、コードのモデルが、手順①でランクM以上とした物理現象を考慮していることを確認する。

左側：PIRTで特定された重要な物理現象

上側：コードで考慮されているすべてのモデルを列挙

物理現象に対応するモデルに○，モデルがない場合はN/Aを記載

→モデル化に抜けがないことを確認し，モデル化されていない物理現象がある場合は，その取り扱いを示す。

| | | モデル性能比較表 | | | |
|------|-----|----------|------|------|------|
| | | モデルA | モデルB | モデルC | モデルD |
| 物理現象 | 現象1 | ○ | | ○ | |
| | 現象2 | | ○ | | |
| | 現象4 | | | | ○ |

物理現象と評価指標の関係（手順①）と物理現象とモデルの関係（手順②）のつながりを見やすくするため，本資料では，作成したPIRTとモデル性能比較表をP.8～12に示す。

手順③ 手順②の結果とモデル性能評価表を用い，重要な物理現象を扱うモデルの妥当性確認の状態を把握する。

左側：PIRTで特定された重要な物理現象

上側：妥当性確認の項目を列挙

物理現象に対応する妥当性確認項目に○を記載

→重要な物理現象に対して妥当性確認に抜けがないことを確認し，確認されていないものは取り扱いを示す。

| | | モデル性能評価表 | | | |
|------|-----|----------|-------|-------|-------|
| | | 確認項目Ⅰ | 確認項目Ⅱ | 確認項目Ⅲ | 確認項目Ⅳ |
| 物理現象 | 現象1 | ○ | | | ○ |
| | 現象2 | | ○ | ○ | |
| | 現象4 | | | | ○ |

本資料では，重要な物理現象，関連するモデル及び妥当性確認の関係を見やすくするため，モデル性能比較表とモデル性能評価表を結合し，物理現象の最高ランクを含めた表をP.14～15に示す。

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

モデル化の網羅性確認結果 (a)NJOY(ライブラリの処理方法)(手順①・②)

- NJOYを用いたライブラリ処理において、重要な物理現象（ランクM以上）がモデル化されていることを確認した。
- N/A（モデル無し）の項目の取り扱いについてはP.13で説明する。

ライブラリ処理のPIRT及びモデル性能比較表

| | | | 重要度ランキング (PIRT) | | | | | | モデル性能比較表 “-”：関連しない, “○”：関連する, “N/A”：モデル無し | | | | | | | | | |
|------|-------|------------|-----------------|------------|---------------|------------|--------------|-------|--|---------------|-----------------|----------------|------------------|-------------------|-------------|----------------|-----------------|--|
| | | | 中性子微視的断面積 | 光子生成微視的断面積 | 中性子エネルギースペクトル | 光子反応微視的断面積 | 光子エネルギースペクトル | 最高ランク | 超詳細エネルギー群生成 | 中性子反応 共鳴断面積構築 | 中性子反応 共鳴断面積温度拡張 | 中性子反応 熱領域断面積構築 | 中性子 エネルギースペクトル生成 | 中性子 反応断面積エネルギー多群化 | 光子原子反応断面積構築 | 光子エネルギースペクトル生成 | 光子反応断面積エネルギー多群化 | |
| 核的現象 | 中性子反応 | 核分裂反応 | 臨界性, 核分裂発熱 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | | 捕獲反応 | 臨界性 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | | 散乱反応 | 中性子減速 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | | 遅発中性子 | 遅発中性子割合 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 光子反応 | ガンマ線吸収 | ガンマ線発熱 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | | ガンマ線散乱 | | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | | ガンマ線スペクトル | | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 温度 | ドップラ効果 | 共鳴吸収 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | | 共鳴群の上方散乱効果 | ドップラ係数 | | | | M | | | | | | | | | | | |
| | | 分子結合 | 熱中性子散乱則 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 組成 | 非共鳴核種 | 中性子の減速 | | | | H | | | | | | | | | | | |
| | 空間分布 | 非均質性 | 自己遮蔽 | | | | H | | | | | | | | | | | |

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

モデル化の網羅性確認結果 (b)F-table(テーブル化処理)(手順①・②)

- 核データライブラリのテーブル化に関して重要な物理現象が考慮されていることを確認した。
- N/A (モデル無し) の項目の取り扱いについてはP.13で説明する。

F-tableデータ形式のPIRT及びモデル性能比較表

| | | | | 重要度ランキング (PIRT) | | モデル性能比較表 “-”：関連しない, “○”：関連する, “N/A”：モデル無 | | | | |
|------|-----------|--------|------------|---------------------------|-------|--|-----------------|----------------|--------------|-----------|
| | | | | 中性子反応 実効微視的断面積 (因子) | 最高ランク | 核種・反応 | エネルギー縮約スペクトルモデル | 背景断面積テーブルデータ点数 | 温度点テーブルデータ点数 | 多群エネルギー群数 |
| 核的現象 | 中性子 反応 | 核分裂反応 | 臨界性, 核分裂発熱 | | H | | | | | |
| | | 捕獲反応 | 臨界性 | | H | | | | | |
| | | 散乱反応 | 中性子減速 | | H | | | | | |
| | 温度 | ドップラ効果 | 共鳴吸収 | | H | | | | | |
| | | 分子結合 | 熱中性子散乱則 | | H | | | | | |
| | 組成 | 非共鳴核種 | 中性子の減速 | | H | | | | | |
| | 空間分布 | 非均質性 | 自己遮蔽 | | H | | | | | |

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について モデル化の網羅性確認結果 (c)LANCR(手順①・②)

- LANCRにおいて重要な物理現象がモデル化されていることを確認した。
- N/A（モデル無し）の項目の取り扱いについてはP.13で説明する。

LANCRのPIRT及びモデル性能比較表

| | | | | 重要度ランキング (PIRT) | | | | | | | | | | モデル性能比較表 “-”：関連しない, “○”：関連する, “N/A”：モデル無 | | | | | | | | | | |
|---------|-------|------------|---------------|-----------------|--------|---------|--------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|---|----------------|----------|---------|-----------------|-------------|--------------|--------|---------|------------------|-----------|
| | | | | 無限増倍率 | 局所出力分布 | ガドリニア価値 | ポイド反応度 | トップラ反応度 | ほう素価値 | 制御棒価値 | 減速材温度係数 | 遅発中性子割合 | 燃焼後核種組成 | 最高ランク | ライブラリ(中性子・ガンマ) | エネルギー群構造 | 実効断面積計算 | 詳細エネルギー スペクトル計算 | 2次元 中性子輸送計算 | 2次元 ガンマ線輸送計算 | 出力分布計算 | 均質化定数計算 | 燃焼計算 (チェーン・領域分割) | 燃焼スペクトル調整 |
| 核的現象 | 中性子反応 | 中性子反応断面積 | 核分裂, 吸収, 散乱 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 非均質性 | 自己遮蔽 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 中性子束分布 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 光子反応 | ガンマ線反応断面積 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ガンマ線束分布 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 構造物 | 冷却材 化学組成変化 | SLC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| その他 | 三次元効果 | 燃焼スペクトル | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 熱・水力的現象 | 熱 | 核分裂発熱 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ガンマ線発熱 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 水力 | 冷却材密度分布 | 集合体内ポイド率分布 注1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 材料 | 核反応 | 燃料組成 | Gd燃料棒 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注1 集合体内ポイド率の均一分布の仮定の妥当性は, AETNAの妥当性確認(ガンマスキャン等)を通して実施される。

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

モデル化の網羅性確認結果 (d)核定数(テーブル化処理)(手順①・②)

- 核定数テーブルにおいて重要な物理現象が考慮されていることを確認した。
- N/A (モデル無し) の項目の取り扱いについてはP.13で説明する。

※ グレーハッチング箇所は島根
3号炉許認可解析非適用

核定数テーブルのPIRT及びモデル性能比較表

| (物理現象) (補足説明) | | 重要度ランク (PIRT) | | | | モデル性能比較表 "ー" : 関連しない, "○" : 関連する, "N/A" : モデル無 | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|------------------|-------|---|-------------------|--------------|----------|-------------------|--------|--------------|---------------|
| | | マクロ/ミクロ断面積, 拡散係数, 不連続因子 | 局所出力分布, 核計装応答 | 実効遅発中性子割合, 中性子寿命 | 最高ランク | 燃焼度 依存性 | (スペクトル)履歴ポイド率 依存性 | 瞬時ポイド率変化 依存性 | 制御棒 履歴効果 | 制御棒 瞬時効果(多種類効果含む) | 燃料温度効果 | 減速材温度効果 (冷温) | ほう素混入 (濃度) 効果 |
| (1) 燃料減損 | 組成変化に伴う燃焼度依存性 | | | | H | | | | | | | | |
| (2) スペクトル履歴 | 履歴ポイド効果 | | | | H | | | | | | | | |
| (3) 核分裂生成物反応度 | 長期停止効果 (ミクロ燃焼モデル) 含む | | | | H | | | | | | | | |
| (4) ポイド反応度 | ポイド率 (瞬時) 依存性 | | | | H | | | | | | | | |
| (5) 制御棒価値 | 燃焼度/ポイド/運転条件 (高温/冷温) 依存性 | | | | H | | | | | | | | |
| (6) 制御棒履歴 | CBH効果の燃焼度依存性 | | | | M | | | | | | | | |
| (7) 制御棒多種類効果 | 制御棒タイプ | | | | M | | | | | | | | |
| (8) 制御棒価値の減損 | 照射による吸収材の減損 | | | | M | | | | | | | | |
| (9) ドップラ反応度 | 燃焼度/温度/ポイド依存性 | | | | H | | | | | | | | |
| (11) 減速材温度 | 燃焼度/温度 依存性 (冷温) | | | | H | | | | | | | | |
| (12) ほう素価値 | 燃焼度/ほう素量 依存性 | | | | H | | | | | | | | |
| (13) ほう素価値の減速材温度依存性 | SLC作動時の減速材温度効果 | | | | H | | | | | | | | |
| (14) 過渡時冷温ポイド/温度*1 | 冷温時ポイド及び温度依存性*2 | | | | H | | | | | | | | |

*1 : プラント過渡解析コードで使用 *2 : インチャンネルとアウトチャンネルの独立性を考慮

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

モデル化の網羅性確認結果 (e)AETNA(一部抜粋)(手順①・②)

- AETNAにおいて重要な物理現象がモデル化されていることを確認した。
- N/A (モデル無し) の項目の取り扱いについてはP.13で説明する。

※ グレーハッチング箇所は島根3号炉許認可解析非適用

AETNAのPIRT及びモデル性能比較表 (核的現象)

| (物理現象) (*はLANCRのPIRTにあるもの) | | 重要度ランキング (PIRT) | | | | | | | | | | モデル性能比較表 (“-”: 関連しない, “○”: 関連する, “N/A”: モデル無し) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|-------|---------|------------|------------|--------------|-----------|------|--|-----------|-------------|-------------|---------|----------|-----------|--------|---------|-----------|---------|--------|---------|------------|--------|-------|------|-----------|--------|--------|---------|-------|------------------|--|--|--|--|
| | | 通常運転時 | | | | | | | 過渡時 | | | 核計算 | | | | | | 熱水力計算 | | | | その他 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 核的制限値 | | | | | 熱的制限値 | | 安全性 | 熱的制限値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 余剰反応度 | 炉停止余裕 | 最大制御棒価値 | 反応度係数 | スクラム反応度 | ほう酸注入系停止機能 | 熱機械 (LHGR) | 設計出力履歴 (燃焼度) | 焼損 (MCPR) | 未臨界度 | 表面熱流束 | 焼損 (MCPR) | 中性子束計算 (定常) | 中性子束計算 (過渡) | 高次モード計算 | 燃料棒出力再構築 | 燃料棒燃焼度再構築 | 断面積モデル | 燃焼履歴モデル | マイクロ燃焼モデル | 燃料温度モデル | 反射体モデル | エネルギー計算 | サブクール沸騰モデル | ボイド相関式 | 壁面熱伝達 | 圧力損失 | チャンネル流量配分 | パイプモデル | 熱的余裕計算 | 沸騰遷移相関式 | 核計表応答 | 学習モデル (プロセス計算機編) | | | | |
| 核的現象 | 空間分布 | (1) 中性子増倍特性* | 集合体核設計, 燃料配置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (2) 遅発中性子割合* | スクラム反応度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (3) 3次元 出力分布 (定常) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (4) 3次元 高次モード分布 (定常) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (5) 3次元 出力分布(過渡) | スクラム反応度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (6) 局所出力分布 * | 燃料棒出力再構築, R因子 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (7) 局所燃焼度分布 | 設計出力履歴 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | フィードバック | (8) 制御棒価値 * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (9) ボイド反応度 * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (10) ドップラ反応度 * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (11) ほう酸価値 * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (12) 減速材温度 * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (13) 燃料減損 * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (15) 核分裂生成物反応度 | 毒物効果, 長期停止効果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (17) スクラム時 制御棒価値 | スクラム反応度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (18) スクラム時 ボイド反応度 | スクラム反応度, 断熱仮定 (補正) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 構成体起因 | (20) 制御棒履歴 | CBH効果 (片燃え) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | (21) 多種類制御棒 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (25) 水ロッド形状 | 断面効果はLANCR, 隣接燃料効果はBDF因子 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 計装 | (26) 炉内計装管応答 | | TIP/LPRM学習 (プロセス計算機編) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について

モデル化の網羅性確認結果（手順②）

- モデル性能比較表においてN/A（モデル無し）となっている項目の取り扱いを以下に示す。
- 以上より、全ての段階について重要な物理現象に対するモデル化（もしくは考慮）が必要な現象が網羅されていることを確認した。

| N/Aの項目 | | 取り扱い |
|------------------|------------------------------|---|
| NJOY | 共鳴吸収の上方散乱 (P.8) | 共鳴群における上方散乱はドップラ係数に影響する。LANCRのドップラ係数の不確かさを定量的に把握し、設計時に設定する裕度を下回ることを確認することで設計に悪影響が無いことを確認する。 |
| NJOY/ F-table | 非均質性 (P.8,9) | この効果はLANCRの実効断面積モデルで考慮する。 |
| LANCR/ AETNA | 集合体内ポイド分布 (P.10) | 現行燃料で安全上の問題となることはない。島根3号炉の許認可解析では集合体内ポイド率は一定として扱う。 |
| 核定数 | 制御棒価値の減損効果 (P.11) | プラント運転管理において、制御棒照射量に対して適切に管理を行うことにより、一定の制御棒価値が維持されている。このため、吸収材の減損をテーブルとして考慮する必要性は低い。 |
| | ほう素価値の 減速材温度依存性 (P.11) | SLC作動時の実効増倍率は、プラントごとに最も厳しい評価結果となる温度点1点で評価を行っている。当該温度のデータを用意すれば核定数において温度依存性をテーブル化する必要がない。 |
| AETNA | 炉心熱出力 | 入力値（解析条件としてユーザーから与えられるためモデル化は不要） |

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について 検証及び妥当性確認の網羅性確認結果(LANCR) (手順③)

➤ LANCRのモデルの検証及び妥当性確認の網羅性を確認した。

LANCRのモデル性能比較表及び評価表

| (物理現象) | | | (補足説明) | | | 重要度ランキング | モデル性能比較表 | モデル性能評価表 | |
|----------|------------|----------|-------------|---|--|--------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|
| | | | | | | | 試験による妥当性確認 | ベンチマーク問題による検証 | 連続エネルギーモンテカルロ計算による妥当性確認 |
| | | | | | | | “-”：関連しない，“○”：関連する，“N/A”：モデル無 | | |
| | | | | | | ライブラリ(中性子・ガンマ) | 燃焼スペクトル調整 | 未燃焼組成燃料集合体に対する妥当性確認 | |
| | | | | | | エネルギー群構造 | Babcock & Wilcox臨界試験 | ウラン濃縮度変化に対する妥当性確認 | |
| | | | | | | 実効断面積計算 | NCA臨界試験 | フルトウム富化度変化に対する妥当性確認 | |
| | | | | | | 詳細エネルギー スペクトル計算 | BASALA臨界試験 | ガドリニウム値 | |
| | | | | | | 2次元 中性子輸送計算 | Hellstrand 実効共鳴積分の実験式 | 減速材ボイド係数 | |
| | | | | | | 2次元 ガンマ線輸送計算 | MISTRAL 臨界試験 | ほう素値 | |
| | | | | | | 出力分布計算 | 福島第二2号炉の照射後試験 (ウラン燃料) | 制御棒値 | |
| | | | | | | 均質化定数計算 | Dodewaard炉の照射後試験 (MOX燃料) | 等温温度係数 | |
| | | | | | | 燃焼計算 (チェーン・領域分割) | ウラン燃料棒セル問題 | トップグラフ係数 | |
| | | | | | | 燃焼スペクトル調整 | MOX燃料棒セル問題 | ガンマ発熱量 | |
| | | | | | | Babcock & Wilcox臨界試験 | BWR-ウラン燃料集合体 | モンテカルロ燃焼計算 | |
| | | | | | | NCA臨界試験 | BWR-MOX燃料集合体 | | |
| | | | | | | BASALA臨界試験 | 4×4体系, ガドリニウム添加ウラン燃料棒2本 | | |
| | | | | | | Hellstrand 実効共鳴積分の実験式 | 未燃焼組成燃料集合体に対する妥当性確認 | | |
| | | | | | | MISTRAL 臨界試験 | ウラン濃縮度変化に対する妥当性確認 | | |
| | | | | | | 福島第二2号炉の照射後試験 (ウラン燃料) | フルトウム富化度変化に対する妥当性確認 | | |
| | | | | | | Dodewaard炉の照射後試験 (MOX燃料) | ガドリニウム値 | | |
| | | | | | | ウラン燃料棒セル問題 | 減速材ボイド係数 | | |
| | | | | | | MOX燃料棒セル問題 | ほう素値 | | |
| | | | | | | BWR-ウラン燃料集合体 | 制御棒値 | | |
| | | | | | | BWR-MOX燃料集合体 | 等温温度係数 | | |
| | | | | | | 4×4体系, ガドリニウム添加ウラン燃料棒2本 | トップグラフ係数 | | |
| | | | | | | 未燃焼組成燃料集合体に対する妥当性確認 | ガンマ発熱量 | | |
| | | | | | | ウラン濃縮度変化に対する妥当性確認 | モンテカルロ燃焼計算 | | |
| | | | | | | フルトウム富化度変化に対する妥当性確認 | | | |
| | | | | | | ガドリニウム値 | | | |
| | | | | | | 減速材ボイド係数 | | | |
| | | | | | | ほう素値 | | | |
| | | | | | | 制御棒値 | | | |
| | | | | | | 等温温度係数 | | | |
| | | | | | | トップグラフ係数 | | | |
| | | | | | | ガンマ発熱量 | | | |
| | | | | | | モンテカルロ燃焼計算 | | | |
| 核的現象 | 中性子反応 | 中性子反応断面積 | 核分裂, 吸収, 散乱 | H | | | | | |
| | | 非均質性 | 自己遮蔽 | H | | | | | |
| | | 中性子束分布 | | H | | | | | |
| 光子反応 | ガンマ線反応断面積 | | M | | | | | | |
| | ガンマ線束分布 | | M | | | | | | |
| 構造物 | 冷却材 化学組成変化 | SLC | H | | | | | | |
| | その他 | 三次元効果 | 燃焼スペクトル | M | | | | | |
| 熱的・水力的現象 | 熱 | 核分裂発熱 | | H | | | | | |
| | | ガンマ線発熱 | | M | | | | | |
| | 水力 | 冷却材密度分布 | 集合体内ボイド率分布 | M | | | | | |
| 材料 | 核反応 | 燃料組成 | Gd燃料棒 | H | | | | | |

注1

注1 集合体内ボイド率の均一分布の仮定の妥当性は, AETNAの妥当性確認(ガンマスキャン等)を通して実施される。

1.1 重要現象についてのモデル化と妥当性確認について 検証及び妥当性確認の網羅性確認結果(AETNA)(一部抜粋) (手順③)

➤ AETNAのモデルの検証及び妥当性確認の網羅性を確認した。

※ グレーハッチング個所は島根3号炉許認可解析非適用

AETNAのモデル性能比較表及び評価表 (核的現象)

| 重要度ラシニング | モデル性能比較表 “-”: 関連しない, "○": 関連する, "N/A": モデル無 | | | | | | | | | | モデル性能評価表 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|-----------------|------------------|----------|-----------|--------|---------|-----------|---------|--------|----------|------------|------------------|-------|------|-----------|---------|------------|---------|---------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------|--------------|-----------------|-------|---------|--------|--------|------------------|-----------|---------|--------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|--------|-------------|-----------|
| | 核計算 | | | | | 熱水力計算 | | | | | その他 | | プラント運転実績による妥当性確認 | | | | | 試験による妥当性確認 | | ベンチマーク問題による検証 | | | 連続エネルギーモンテカルロ計算等による妥当性確認 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性子束計算 (定常) | 中性子束計算 (過渡) | 高次モード計算 | 燃料棒出力再構築 | 燃料棒燃焼度再構築 | 断面積モデル | 燃焼履歴モデル | マイクロ燃焼モデル | 燃料温度モデル | 反射体モデル | エネルギー計算 | サブクール沸騰モデル | ボイド相関式 | 壁面熱伝達 | 圧力損失 | チャンネル流量配分 | パイパスモデル | 熱的余裕計算 | 沸騰遷移相関式 | 核計装応答 | 学習モデル (プロセス計算機編) | 冷温時臨界固有値 (制御棒価値) | 出力運転時臨界固有値 | 出力分布 (TIPとの比較) | 出力分布 (Vスキャン) | 燃料棒出力分布 (Vスキャン) | 照射後試験 | MOX装荷炉心 | 長期停止運転 | 部分出力運転 | ボイド率測定 (ボイド率を比較) | チャンネル圧損試験 | SPERT実験 | 安定性試験高次モード分布 | IAEA PWRベンチマーク (定常) | LRA BWRベンチマーク (定常/過渡) | HAFAS BWRベンチマーク (定常) | LMW PWRベンチマーク (過渡) | 均質円筒炉心高次モード問題 | 局所出力 (初装荷多濃縮度炉心) | 局所出力 (MOX燃料部分炉心) | 局所出力 (10X10燃料平衡炉心) | 燃焼履歴問題 | 全炉心体系モンテカルロ | チャンネル流量配分 |
| | 重要度ラシニング | | | | | | | | | | 重要度ラシニング | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 核的現象 | (物理現象) *はLANCR PIRTにあるもの | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 空間分布 | 中性子増倍特性 (ノード) * | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 遅発中性子割合 (ノード) * | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3次元 出力分布 (定常) | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3次元 高次モード分布 (定常) | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3次元 出力分布(過渡) | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 局所出力分布 * | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 局所燃焼度分布 | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | フィードバック | 制御棒価値 * | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ボイド反応度 * | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ドップラ反応度 * | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ほう酸価値 * | | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 減速材温度 * | | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 燃料減損 (ノード) | | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 核分裂生成物反応度 (ノード) | | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | スクラム時 制御棒価値 * | | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | スクラム時 ボイド反応度 * | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 構成体起因 | 制御棒履歴 | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 多種類制御棒効果 | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水ロッド形状 | | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 計装 | 炉内計装管応答 | H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

① (SPERT実験), ② (LRA BWRベンチマーク(過渡)), ③ (LMW PWRベンチマーク(過渡)) では、炉心出力の時間依存応答のみ確認している。

2. 審査会合での指摘事項に対する回答

審査会合での指摘事項一覧（1/2）

| No. | 審査会合日 | 指摘事項の内容 | 回答頁 |
|-----|------------|--|---------|
| 1 | 2022年9月29日 | 重要度ランキングテーブル（PIRT）において、炉心体系に関する全ての物理現象が抽出されているかを確認するため、物理現象の抽出の考え方を整理すること。 | P.19,20 |
| 2 | 2022年9月29日 | 上記物理現象に対する重要度ランク付けが適切になされているかを確認するため、重要度ランキングの決定の考え方を整理すること。 | P.21～23 |
| 3 | 2022年9月29日 | 上記2点の整理にあたっては、PIRT中の物理現象、評価指標及び重要度ランクと、C/B 厚変更により影響を受けるパラメータ及び許認可解析の評価項目に関するパラメータとの関係も含めて整理すること。 | P.24～27 |
| 4 | 2022年9月29日 | 検証及び妥当性確認のプロセスが適切に実施されているかを確認するため、当該プロセスの内容を整理すること。なお、学協会基準等を参照した場合は、参照した基準等を示すこと。 | 後日回答 |
| 5 | 2022年9月29日 | 妥当性確認に採用している試験データ等について、解析結果と比較するにあたって、想定している炉心状態を網羅しているか、信頼性のある試験データかなどを含め、試験データ等の選定の考え方を整理すること。 | 後日回答 |
| 6 | 2022年9月29日 | 試験データ等と比較した結果により、妥当と判断した考え方（どういう観点から、何を満たしていればよいと考えるのか）を整理すること。 | 後日回答 |

審査会合での指摘事項一覧（2/2）

| No. | 審査会合日 | 指摘事項の内容 | 回答頁 |
|-----|------------|---|---------|
| 7 | 2022年9月29日 | 安全解析コード等の入力となるLANCR/AETNAコードの出力を整理し、必要に応じて当該出力から安全解析コード等への入力のための処理プロセスも示すこと。 | P.28~30 |
| 8 | 2022年9月29日 | 妥当性確認プロセスから、どのように解析コードの不確かさの値を算出しているのか整理すること。 | 後日回答 |
| 9 | 2022年9月29日 | 解析コードの不確かさと設計における設定値との比較においては、解析コード以外の不確かさ（取替炉心段階に生じる不確かさ等）の値も示した上で、設計における設定値内であることを示すこと。 | 後日回答 |

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.1) (1/2)

■ 指摘事項 (第1076回審査会合 2022年9月29日)

重要度ランキングテーブル (PIRT) において、炉心体系に関する全ての物理現象が抽出されているかを確認するため、物理現象の抽出の考え方を整理すること。【No.1】

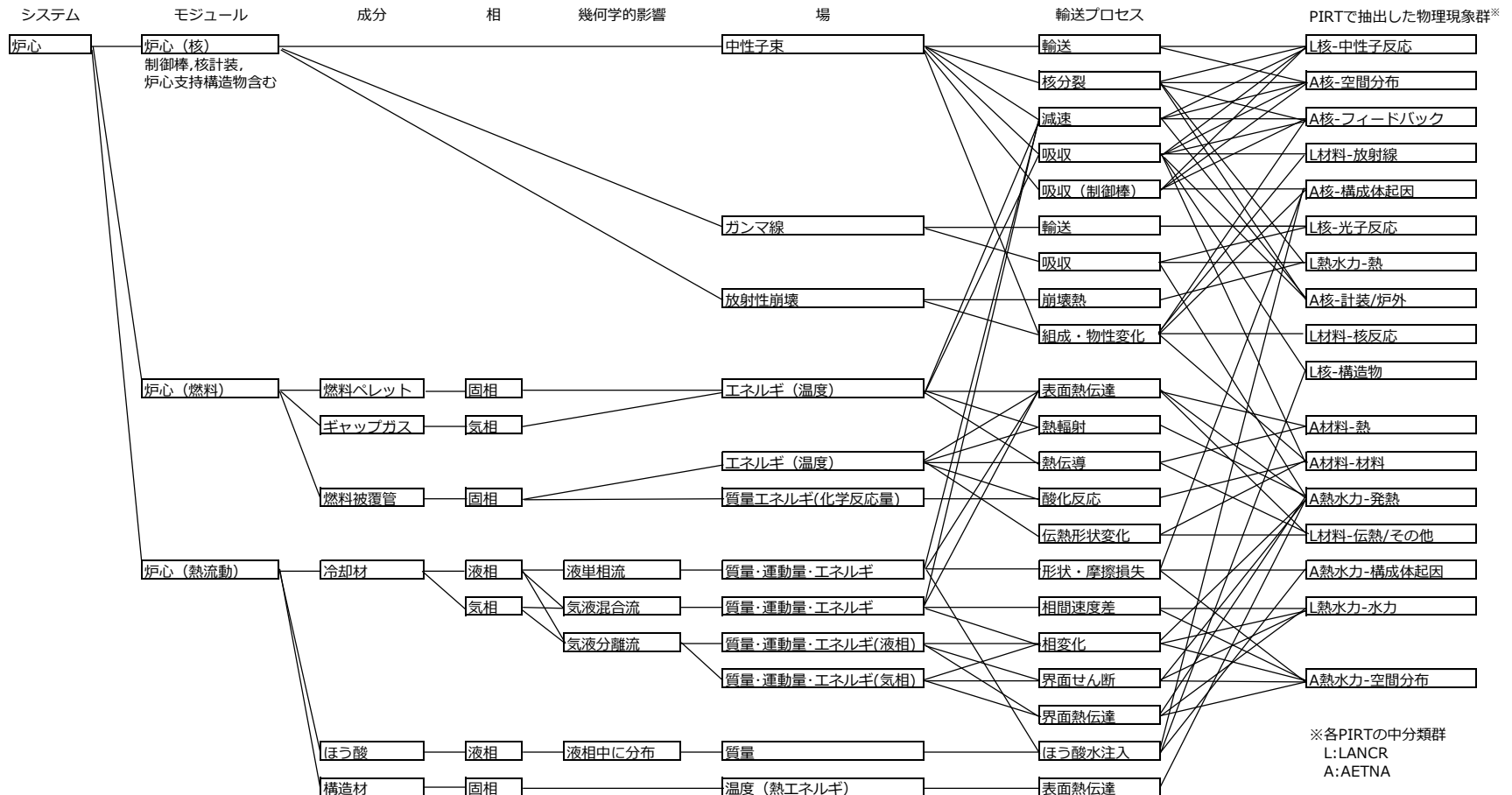
■ 回答

作成したPIRTの妥当性を確認することを目的に、PIRT作成プロセスについて「統計的安全評価の実施基準：2021」附属書Fに示されるPIRT作成にかかるa)～g)の実施ステップとの対応を整理するとともに、PIRTにおいて抽出した物理現象と階層構造分析結果との対応を確認した。

| 実施ステップ | 本書での実施方針 | 各実施段階での詳細 | | | | |
|----------------------|--|---|----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | NJOY処理 | F-table化 | LANCR | 核定数 テーブル化 | AETNA |
| a) 目的及び対象とする原子炉施設の確認 | LANCR/AETNAの適用範囲と運転状態を対象とする。 | 運転状態および冷温時（静定時）のBWR/ABWR (UO ₂ /MOX燃料) | | | | |
| b) 注目パラメータの設定 | 個々の処理において重要な項目もしくは下流段階に引き渡す情報に注目する。AETNAでは設置許可変更申請書記載項目との関連で評価指標を確認する。 | 核データ処理において考慮すべき事項に注目 | LANCRが参照する上で重要な情報に注目 | AETNAに引き渡す核定数として重要な情報に注目 | LANCR解析結果を再現する上で、重要な依存性に注目 | 設置変更許可申請書記載項目を考慮し重要パラメータに注目 |
| c) 時間領域の分割 | 各実施段階において対象とする時間スケールに注目 | 原子核と中性子の相互作用 (時間の概念は考慮せず) | | 燃焼 (日～年) | Xe過渡(時), 燃焼(日～年) | |
| d) 物理領域の設定 | 各実施段階において対象とする空間スケールに注目 | 中性子～原子核 | | 燃料棒～集合体 | 集合体～炉心 | |
| e) 現象の同定 | 専門家による検討と階層構造分析との比較 | - 専門家の検討 | | - 専門家の検討 - 階層構造分析との比較 | - 専門家の検討 - 階層構造分析との比較 | |
| f) 重要度のランク付け | 「島根原子力発電所3号炉 LANCR/AETNA説明書」の表2.1-2に示すランキングの考えに従う。ランクM/Lで判断が分かれたものをLとする場合は、引用可能な文献など客観的な根拠を元に判断する。 | | | | | |
| g) 文章化 | 詳細は「島根原子力発電所3号炉 LANCR/AETNA説明書」の添付資料2「LANCR/AETNAの重要度ランキングテーブルについて」に示す。 | | | | | |

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.1) (2/2)

LANCR/AETNAが対象とするBWR炉心に対して、日本原子力学会標準「統計的安全評価の実施基準：2021」に示される階層構造分析を実施することで得られた輸送プロセスの個別要素と、PIRTで抽出した物理現象群との対応を確認することにより、抽出した物理現象に不足がない（輸送プロセスの個別要素について、対応する物理現象が存在する）ことを確認した。



審査会合での指摘事項に対する回答 (No.2) (1/3)

■ 指摘事項 (第1076回審査会合 2022年9月29日)

上記物理現象に対する重要度ランク付けが適切になされているかを確認するため、重要度ランキングの決定の考え方を整理すること。【No.2】

■ 回答

重要度ランキング (下表) はI~Hに分けている。ランクM以上はモデルの実装や妥当性確認の対象になり、ランクL以下は対象にならない。ランキング評価時に関係者間でランクMとLの判断が分かれたものはランクMに分類することを基本方針とし、ランクLにする場合には引用可能な文献や感度に関する評価結果を明らかにすることを原則とした。

重要度ランク

| ランク | PIRT重要度ランクの定義 | モデルの実装 妥当性確認 |
|-----|-----------------------------|-----------------|
| H | 評価指標に対する影響が大きいと考えられる現象 | 有 |
| M | 評価指標に対する影響が中程度と考えられる現象 | 有 |
| L | 評価指標に対する影響が小さいと考えられる現象 | 無 |
| I | 評価指標に対して影響を与えないか、無視できる程度の現象 | 無 |

ランクMとLの判断

- ランクMとLの判断が分かれたものはランクMに分類することを基本とする
- ランクLにする場合には引用可能な文献や感度に関する評価結果を明らかにする

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.2) (2/3)

PIRT全体でLとした項目とその考え方を以下に示す。(ライブラリ処理/ F-table / LANCR / 核定数)

| PIRT | ランキングLの項目 | 考え方 |
|---------|--------------------|--|
| ライブラリ処理 | (12) 共鳴核種 | 参考文献をもとにLとした |
| F-table | (12) 共鳴核種 | 参考文献をもとにLとした |
| LANCR | (7) 炉内構造物 (スペーサ等) | スペーサ等が集合体核特性解析に与える影響は十分に小さいためLとした |
| | (11) 減速材, 構造材の直接発熱 | 放射線による減速材の直接発熱の影響は核分裂片による付与エネルギーに比べ十分に小さいためLとした |
| | (17) 制御棒組成 | プラントの運転管理において減損量が一定以下に制限されることから制御棒価値は維持されることとなるためランクはLとした。 |
| | (22) 伝熱による温度分布 | 参考文献をもとにLとした |
| | (23) 伝熱による熱膨張 | 熱膨張等が2次元集合体核特性解析に与える影響は十分に小さいためLとした |
| | (24) 伝熱による物性変化 | 物性変化が集合体核特性解析に与える影響は十分に小さいためLとした |
| | (25) 外力・公差による形状の変化 | 製造公差等による形状変化による集合体核特性解析への影響は十分に小さいためLとした |
| 核定数 | (10) 燃料温度履歴 | 参考文献をもとにLとした |

PIRT全体でLとした項目とその考え方を以下に示す。(AETNA (核 / 熱的・水力的 / 材料・熱機械))

| PIRT | ランキングLの項目 | 考え方 |
|----------------|-----------------------|---|
| AETNA (核) | (14) 燃料減損 (副次効果) | 燃料燃焼に伴う核種組成変化に起因した効果のうち、燃料棒内の燃料組成分布に起因する副次的効果が炉心解析に与える影響は十分に小さいためLとした |
| | (16) 核分裂生成物反応度 (副次効果) | 参考文献をもとにLとした |
| | (23) ほう素拡散 | ほう酸注入系作動後に発生する炉内減速材内での時間依存のほう素拡散現象に起因した反応度効果が炉心静特性解析に及ぼす影響は十分に小さいためLとした |
| | (28) 反射体節約 | 発生個所が炉心表面付近に限られるため核的・熱的制限値に対する影響は十分に小さいためLとした |
| | (29) 炉外構造物 | 炉心下端部の中性子束レベルが小さい領域で起きる現象であることから影響は十分に小さいためLとした |
| AETNA (熱的・水力的) | (37) クラッド付着 | 被覆管表面などにクラッドが付着することで摩擦圧損に影響を及ぼす効果は十分に小さいためLとした |
| | (46) バイパス熱伝達 | チャンネルボックスを介したバイパス領域へのエンタルピ付与の影響は十分に小さいためLとした |
| | (49) 炉心流量 | 許認可静特性解析時には入力として与えられるためLとした |
| AETNA (材料・熱機械) | (なし) | — |

■ 指摘事項 (第1076回審査会合 2022年9月29日)

上記2点の整理にあたっては、PIRT中の物理現象、評価指標及び重要度ランクと、C/B厚変更により影響を受けるパラメータ及び許認可解析の評価項目に関するパラメータとの関係も含めて整理すること。

【No.3】

■ 回答

各PIRTにおいて、抽出したすべての物理現象とC/B厚変更との関係を整理した (P.25参照)。

PIRTの評価指標は、原子炉設置変更許可申請書に記載されている核特性や熱水力特性を考慮して選択している。許認可解析における評価項目がPIRTに取り上げた評価指標に含まれていることを、P.26に示す。

コード説明書の添付資料 2 AETNAのPIRTの抜粋

表 2.5 AETNA で考慮すべき物理現象 (核的現象)

PIRTの表にCB厚変更の影響を追加

| (物理現象) (*はLANCRのPIRTにあるもの) | | | 重要度ランキング | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------------|---------------|---------|------------|------------|-------------|-----------|------|-------|-----------|-------|-------|----------|
| | | | 通常運転時 | | | | | | | | | | 過渡時 | |
| | | | 核的制限値 | | | | | 熱的制限値 | | | 安定性 | 熱的制限値 | 最高ランク | CB厚変更の影響 |
| 余剰反応度 | 炉停止余裕 | 最大制御棒価値 | 反応度係数 | スクラム反応度 | ほう酸注入系停止機能 | 熱機械 (LHGR) | 設計出力履歴(燃焼度) | 焼損 (MCPR) | 未臨界度 | 表面熱流束 | 焼損 (MCPR) | | | |
| 空間分布 | (1) | 中性子増倍特性* | 集合体核設計, 燃料配置 | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (2) | 遅発中性子割合* | スクラム反応度 | | | | | | | | | | H | - |
| | (3) | 3次元 出力分布(定常) | | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (4) | 3次元 高次モード分布(定常) | | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (5) | 3次元 出力分布(過渡) | スクラム反応度 | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (6) | 局所出力分布 * | 燃料棒出力再構築, R因子 | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (7) | 局所燃焼度分布 | 設計出力履歴 | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (8) | 制御棒価値 * | | | | | | | | | | | H | ○ |
| | (9) | ポイド反応度 * | | | | | | | | | | | H | ○ |

原子炉設置変更許可申請書に記載されている項目を考慮して選定
 設置許可記載項目が評価指標によって網羅されることを次頁に示す

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.3) (3/4)

LANCRとAETNA PIRTにおいて設置変更許可申請の記載項目（核特性）が評価指標によって網羅されることを確認した。

「まとめ」欄に○があるものが評価指標と関係がある。

| 記載箇所 | 解析 | 記載項目 | LANCR/AETNA評価指標と設置変更許可申請書の記載項目との関係 (○:関係有り) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 備考 |
|------|----|------|---|-----------|--------|-------|--------|---------|------|------|---------|---------|---------|-----------|-----------|--------|-------|---------|------------|------------|--------------|----|
| | | | まとめ | LANCR評価指標 | | | | | | | | | | | AETNA評価指標 | | | | | | | |
| | | | | 無限増倍率 | 局所出力分布 | カドニア値 | ボイド反応度 | トップラ反応度 | ほう素値 | 制御棒値 | 減速材温度係数 | 遅発中性子割合 | 燃焼後核種組成 | 余剰反応度 * 1 | 炉停止余裕 | 最大制御棒値 | 反応度係数 | スクラム反応度 | ほう酸注入系停止機能 | 熱機械 (LHGR) | 設計出力履歴 (燃焼度) | |

評価指標が記載項目と関係があれば○をつける。

| 添付書類八 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3. 発電用原子炉及び炉心 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 核設計, 熱水力設計及び動特性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3.1 核設計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 核特性 | 初装荷炉心, 平衡炉心の解析 | 過剰増倍率 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | ○ | - | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 全制御棒の反応度制御能力 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | ○ | - | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 炉停止余裕 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | ○ | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 制御棒値 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | スクラム反応度 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | ○ | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | ドップラ係数 | ○ | ○ | - | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 減速材ボイド係数 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 減速材温度係数 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | ○ | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 出力反応度係数 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | ○ | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 半径方向ピーキング係数 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - |
| | | 軸方向ピーキング係数 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | |
| | | 局所ピーキング係数 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | |
| | | 初装荷燃料集合体の取出平均燃焼度 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | |
| | | 減速材対燃料体積比 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 平均中性子束 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 中性子平均寿命 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | 実効遅発中性子割合 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | |

幾何形状で決定

設置変更許可申請書の項目以外に追加した評価指標

- *1 余剰反応度 取替炉心設計では重要なパラメータであるため評価指標に加えている。
- *2 未臨界度 解析条件の担保として確認。

※ グレーハッチング箇所は島根3号炉許認可解析非適用

右欄の評価指標との関係で一つでも○があれば、「まとめ」欄に○をつける。○が無い場合は備考欄に理由を記載。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.3) (4/4)

LANCRとAETNA PIRTにおいて設置変更許可申請の記載項目（核特性以外）が評価指標によって網羅されることを確認した。

| | | | LANCR/AETNA評価指標と設置変更許可申請書の記載項目との関係（○：関係有り） | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|-----------------|--|-----------|--------|---------|--------|----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|-----------|---------|------------|------------|--------------|----|-----------|--------|-------|-----------|-----|
| 記載箇所 | 解析 | 記載項目 | まとめ | LANCR評価指標 | | | | | | | | | | | | | AETNA評価指標 | | | | | 備考 | | | | | |
| | | | | 無限増倍率 | 局所出力分布 | ガドリニア価値 | ボイド反応度 | トップラフ反応度 | ほう素価値 | 制御棒価値 | 減速材温度係数 | 遅発中性子割合 | 燃焼後核種組成 | 余剰反応度*1 | 炉停止余裕 | 最大制御棒価値 | 反応度係数 | 通常運転時 | | | | | 過渡時 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | スクラム反応度 | ほう酸注入系停止機能 | 熱機械 (LHGR) | 設計出力履歴 (燃焼度) | | 熱損 (MCPR) | 未臨界度*2 | 表面熱流束 | 熱損 (MCPR) | |
| 添付書類八 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 発電用原子炉及び炉心 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 核設計, 熱水力設計及び動特性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3.2 熱水力設計 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 熱水力設計上の燃料の許容設計限界 | 安全限界MCPR(SLMCPR)の解析 | SLMCPR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 別解析 |
| 通常運転時の熱的制限値 | MCPR運転制限値の評価 | MCPR運転制限値 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 別解析 |
| 熱水力特性 | 初装荷炉心, 平衡炉心の解析 | 最大線出力密度 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | |
| | | MCPR | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - |
| | 熱水力特性の解析 | 炉心平均ボイド率 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 別解析 |
| 3.3.3 動特性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 動特性 | 核熱水力安定性の解析 | 減幅比 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 別解析 |
| | プラント安定性の解析 | 減幅比 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 別解析 |
| | キセノン空間振動の安定性の解析 | キセノンの空間振動の安定性 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 別解析 |
| 6. 計測制御系統施設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 原子炉制御系 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1.2 原子炉停止系 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ほう酸水注入系 | 平衡炉心の解析 | 平衡炉心のボロン反応度添加速度 | ○ | ○ | - | ○ | - | - | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - |

設置変更許可申請書の項目以外に追加した評価指標
 *1 余剰反応度 取替炉心設計では重要なパラメータであるため評価指標に加えている。
 *2 未臨界度 解析条件の担保として確認。
 ※ グレーハッチング箇所は島根3号炉許認可解析非適用

■ 指摘事項 (第1076回審査会合 2022年9月29日)

安全解析コード等の入力となるLANCR/AETNAコードの出力を整理し、必要に応じて当該出力から安全解析コード等への入力のための処理プロセスも示すこと。【No.7】

■ 回答

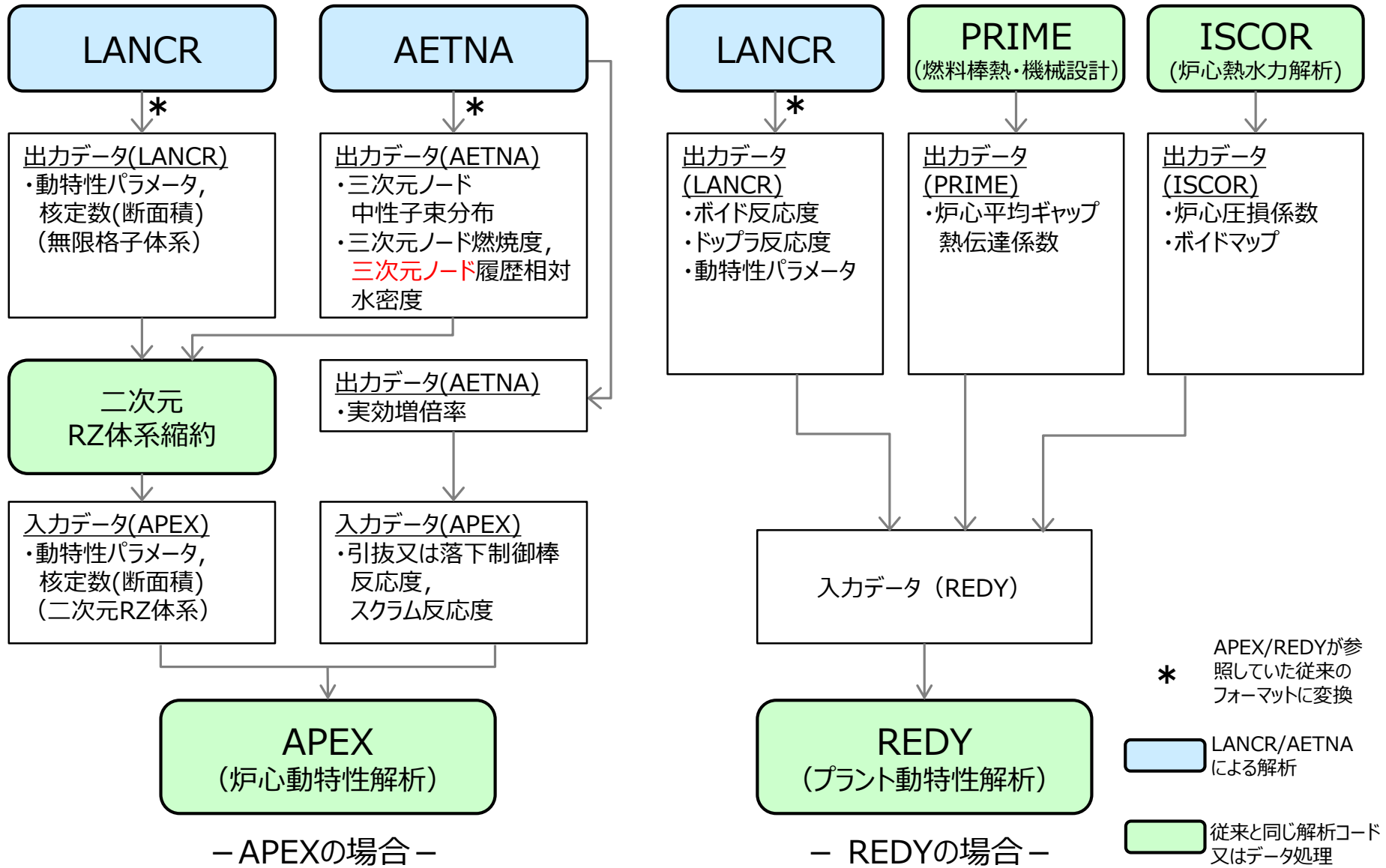
原子炉設置変更許可申請書の添付書類十の安全解析（運転時の異常な過渡変化の解析と設計基準事故解析）について安全解析コードの入力となるLANCR/AETNAコードの出力を整理した結果をP.29に示す。また、LANCR/AETNAから動特性解析コード（APEX, REDY）への主なデータの処理プロセスをP.30に示す。

なお、LANCR/AETNA出力のうち、安全解析の初期条件を担保する項目は最大線出力密度と最小限界出力比のみである。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.7) (2/3)

安全解析コードで使用されるLANCR/AETNAの出力データ

| 解析 | | 安全解析コード | 安全解析コードで使用されるLANCR/AETNAの出力データ | |
|----------------|-----------------------|-----------------|---|---|
| | | | LANCR | AETNA |
| 運転時の異常な過渡変化の解析 | 原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き | APEX/SCAT | 拡散定数 核分裂断面積 生成断面積 吸収断面積 減速断面積 ドップラ係数 中性子速度 遅発中性子割合 遅発中性子先行核崩壊定数 局所出力ピーキング係数 R因子 | 引抜制御棒反応度 スクラム反応度 (安全解析コードの入力作成過程で使用されるデータ) 実効増倍率 三次元ノード中性子束分布 三次元ノード燃焼度 三次元ノード履歴相対水密度 |
| | 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き | AETNA | (AETNAで解析する) | |
| | 給水加熱喪失 | REDY/ISCOR | ボイド反応度 ドップラ反応度 遅発中性子割合 中性子平均寿命 遅発中性子先行核崩壊定数 R因子 | (安全解析コードの入力作成過程で使用されるデータ) 三次元出力分布 三次元ノード燃焼度 |
| | 上記以外の運転時の異常な過渡変化の解析 | REDY/SCAT | ボイド反応度 ドップラ反応度 遅発中性子割合 中性子平均寿命 遅発中性子先行核崩壊定数 R因子 | (安全解析コードの入力作成過程で使用されるデータ) 三次元出力分布 三次元ノード燃焼度 |
| 設計基準事故解析 | 原子炉冷却材喪失 | LAMB/SCAT/SAFER | - | - |
| | 原子炉冷却材流量の喪失 | REDY/SCAT/SAFER | ボイド反応度 ドップラ反応度 遅発中性子割合 中性子平均寿命 遅発中性子先行核崩壊定数 | (安全解析コードの入力作成過程で使用されるデータ) 三次元出力分布 三次元ノード燃焼度 |
| | 制御棒落下 | APEX/SCAT | 拡散定数 核分裂断面積 生成断面積 吸収断面積 減速断面積 ドップラ係数 中性子速度 遅発中性子割合 遅発中性子先行核崩壊定数 局所出力ピーキング係数 R因子 | 落下制御棒反応度 スクラム反応度 (安全解析コードの入力作成過程で使用されるデータ) 実効増倍率 三次元ノード中性子束分布 三次元ノード燃焼度 三次元ノード履歴相対水密度 |
| | 主蒸気管破断 | LAMB/SCAT/SAFER | - | - |



- APEXの場合 -

- REDYの場合 -

解析コード間での主なデータの処理プロセス