

# 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12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。

---

はじめに .....	P.2
1. 許認可解析への適用性確認手順と学会標準との対応 .....	P.5
2. 物理現象の抽出と重要現象の特定 .....	P.10
3. モデル化の網羅性確認 .....	P.21
4. まとめ .....	P.29

## はじめに

- ▶ 島根3号炉チャンネルボックス厚変更に伴う許認可解析に対する炉心解析コード（LANCR/AETNA）の適用性に関して、以下の項目を説明する。

- 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

- 解析モデル

- ・LANCR 解析モデル
- ・AETNA 解析モデル

- 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

- 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

# 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.11~14,20
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.18,19
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.12,15~17
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。	後日回答
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

# 1. 許認可解析への適用性確認手順と学会標準との対応 炉心解析コード (LANCR/AETNA) の概要

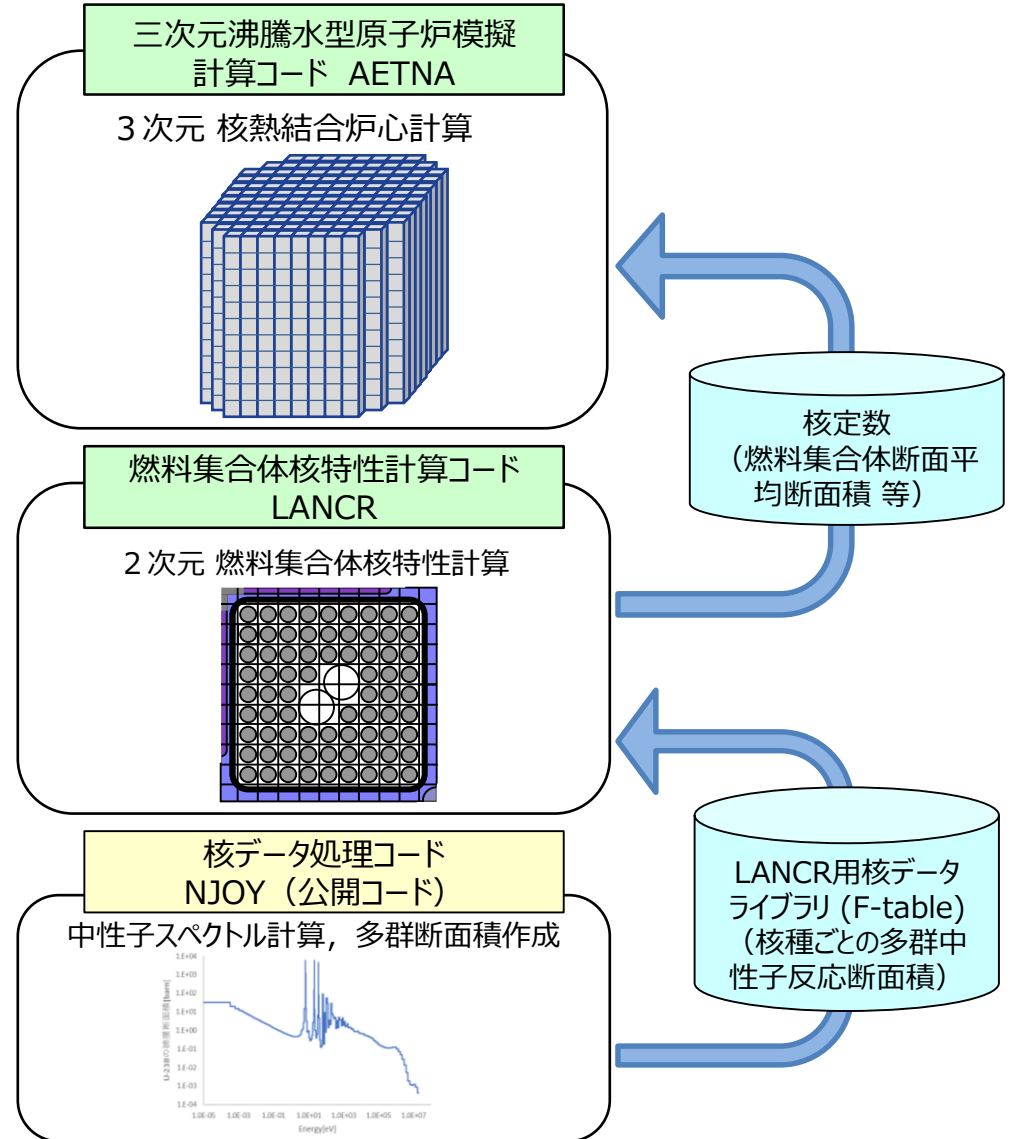
## 解析システムの構成

AETNA : 炉心全体に対して, 燃料集合体単位の特性を用いた3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2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. 許認可解析への適用性確認手順と学会標準との対応

## 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。

LANCR/AETNAの島根 3 号炉許認可解析への適用性確認手順

手 順		使用するツール / 判断方法
①	炉心体系に関する物理現象を抽出し，その中から炉心解析において重要な現象を特定する。	重要度ランキングテーブル（PIRT*，P.22～27） →重要な現象が特定されていること
②	①で特定し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.22～27） →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 →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

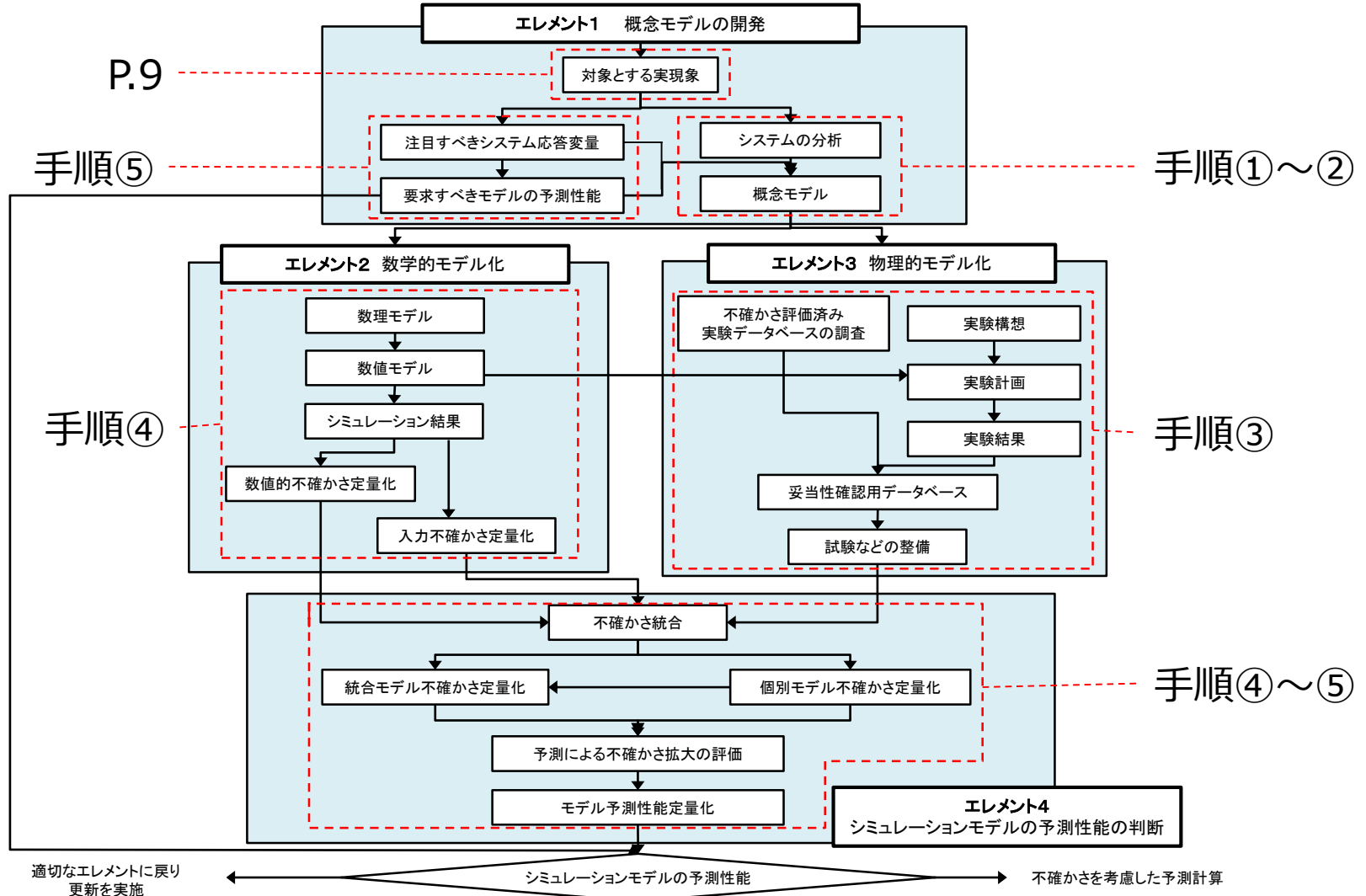
\*:PIRT (Phenomena Identification and Ranking Table) :  : 本日まで説明範囲  : 今後のご説明範囲  
日本原子力学会標準,「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015」(以下,「M&S標準」という。)

適用性確認の手順とM&S標準との対応をP.7,8に，手順①～②の具体的方法をP.10～21に示す。

# 1. 許認可解析への適用性確認手順と学会標準との対応

## 適用性確認の手順とM&S標準との対応① M&S標準実施フローとの対応

適用性確認の手順とM&S標準の対応について，M&S標準に規定されている実施フロー上で整理した。  
図中の手順①～⑤はP.6の適用性確認手順の番号を表す。各エレメントの概要と適用性確認の手順の対応をP.8に示す。



M&S標準における実施フローと適用性確認手順の対応



# 1. 許認可解析への適用性確認手順と学会標準との対応

## 適用性確認の手順とM&S標準との対応② 各エレメントの概要との対応

M&S標準における各エレメントの概要と適用性確認の手順との対応を下表に示す。

M&S標準の各エレメントと適用性確認手順の対応

エレメント	M&S標準の内容	手順	適用性確認における対応
エレメント1	対象とする実現象を指定する。	P.9	島根3号炉許認可静特性解析を対象とする。
	数学モデルや物理モデル（実験）を構築するため、シミュレーションを行う対象システムについて分析し、それらを支配する重要な物理プロセスで理想化することで、概念モデルを構築する。	手順① 手順②	手順①において重要度ランキングテーブル（PIRT）を作成し、手順②におけるモデル性能比較表によって重要現象のモデル化の網羅性を示している。
	対象システムの性能を評価する指標を特定し要求すべき予測性能を指定する。	手順⑤	LANCR/AETNAについて達成すべき予測性能の指標と性能を定めている。要求性能の指標と数値は手順⑤における判断時に示す。
エレメント2	概念モデルを数学的表現に変換し、数値モデルとして計算機に実装しコード検証/解検証によってこれらを検証するとともに、数値的不確かさを定量化する。	手順④	数値モデルの適用範囲に渡る確認状況を手順④で示す。数理・数値モデルの一部は3章に、検証及び妥当性確認の詳細は4章で示している。手順④では、数学的モデルの不確かさ（数理モデル段階での近似、数値モデルの打ち切り誤差や離散化誤差など）を示す代わりに物理モデルの不確かさと併せた総括不確かさを妥当性確認を通して評価している。なお、モデル実装/コード検証/解検証はメーカーのQMSにより達成されることを前提としている。
エレメント3	概念モデルに対する不確かさ評価済みの実験データをそろえる。不足する実験について計画を立て実施する。	手順③	手順③におけるモデル性能比較表によって、重要な現象ごとに必要な妥当性確認が網羅されていることを確認する。個々の実験（実機、試験、モンテカルロ計算）の詳細は4章の妥当性確認で示す。
エレメント4	数学モデルに由来する数値的不確かさや入力不確かさと、実験に由来する物理モデルの不確かさを統合する。 実験データの存在しない領域に対する予測の拡大を定量化する。 利用目的に対する可否を判断する。	手順④ 手順⑤	妥当性確認結果から総括不確かさを把握するとともに、手順④における適用範囲に対する妥当性確認範囲の包絡性により、予測による不確かさの拡大がないことを確認する。 手順⑤においてLANCR/AETNAコードが島根3号炉許認可解析を行う上で要求される予測性能を満たすことを確認することにより、その適用性を示す。

# 1. 許認可解析への適用性確認手順と学会標準との対応

## LANCR/AETNAが対象とする実現象の指定

LANCR/AETNAは許認可解析（静特性解析）に利用することを目的にしており，対象とする炉心状態は下表のとおりである。島根3号炉の許認可解析はLANCR/AETNAが対象とする範囲に含まれる。

LANCR/AETNAで対象とする炉心状態と島根3号炉許認可解析の対象範囲

項目	LANCR/AETNAで対象とする炉心状態	島根3号炉許認可解析 (静特性解析)
燃料棒配列	7×7～10×10	9×9
炉型	BWR, ABWR	ABWR
燃料	UO <sub>2</sub> , MOX	UO <sub>2</sub>
減速材温度	低温～出力運転時	低温～出力運転時
炉圧	大気圧～8.6MPa	大気圧～7.17MPa
吸収材	B <sub>4</sub> C, ハフニウム（制御棒） ほう酸水（SLC）	B <sub>4</sub> C, ハフニウム（制御棒） ほう酸水（SLC）

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 概要

手順① 重要現象の特定のための手順として、重要度ランキングテーブル（PIRT）を作成し、炉心解析において重要となる物理現象（手順②以降の確認対象）を特定する。

PIRTの作成は、以下の3要素で構成される。

- 炉心体系に係る物理現象の抽出及び抽出に漏れがないことの確認
  - 各分野の専門家が参加する会議体で物理現象を抽出（P.11,12）
  - 上記とは別の手法（階層構造分析）で物理現象を整理し、両者の対応関係を確認（P.13,14）
- 評価指標（主要な評価対象項目）の選定
  - LANCR/AETNAを用いて行う許認可解析の評価内容を考慮して評価指標を選定（P.15~17）
- 物理現象-評価指標間の重要度のランク付け
  - 抽出／選定した物理現象-評価指標の関係を、あらかじめ定めた重要度の考え方に基づいてランク付け（P.18,19）

重要度ランキングテーブルの構成

		重要度ランキング（PIRT）				
		評価指標1	評価指標2	評価指標3	評価指標4	最高ランク
物理現象	現象1	L	H	L	L	H
	現象2	H	H	L	H	H
	現象3	I	I	L	L	L
	現象4	L	L	M	M	M

物理現象の抽出（P.11,12）及び漏れがないことの確認（P.13,14）

評価指標の選定（P.15~17）

重要度のランク付け（P.18,19）

手順①の結果を手順②と合わせてP.22以降に示すが、ここでは重要な物理現象のみを記載している。

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 炉心体系に係る物理現象の抽出 (1 / 2)

炉心体系に係る物理現象を抽出する。

物理現象の抽出は、各分野の専門家が参加する会議体での検討により実施している。その際、解析の各段階（**NJOY**（ライブラリ処理）、**F-table**（テーブル化）、**LANCR**、**核定数**、**AETNA**）によって対象とする現象の解像度が異なることから、各段階に分けて物理現象を抽出した。

LANCR/AETNA を用いた解析処理の流れと対象とする現象の解像度

コード	時間	空間			中性子エネルギー	主な解析項目（例）	コード間入出力情報
		次元	大きさ	境界			
<b>NJOY</b>	-	ゼロ	原子	-	連続	中性子=原子核反応, 中性子減速, 群縮約, 熱中性子散乱則（分子結合）	評価済み核データ (ENDF/B-VII.0) ← 核種毎の温度・背景 →
<b>LANCR</b>	燃焼（日～年）	2次元	燃料棒 集合体	反射	多群	中性子スペクトル, 領域毎多群断面積, 中性子・ガンマ線輸送計算, 核種毎燃焼計算, 少数群縮約断面積等	← 断面積依存マイクロ断 面積 ( <b>F-table</b> ) ← 断面積, 拡散係数, 局所出力分布 →
<b>AETNA</b>	Xe過渡（時）, 燃焼（日～年）	3次元	集合体 炉心	有限	小数群	マクロ断面積計算, ミクロ燃焼計算, 中性子拡散計算, 局所出力（定常）, 流量配分（定常）, ボイド率計算（定常）	← <b>(核定数)</b>

各コードが対象とする現象の解像度が異なる

⇒コードとコード間処理の各段階でPIRTを別々に作成

また、物理現象の抽出にあたっては大項目（例：核的現象）及び中項目（例：空間分布）のようなカテゴリ（物理現象グルーピング）をまず考え、そこから個別の物理現象（例：中性子増倍特性）に掘り下げる方法をとることにより、関連する物理現象を漏れなく抽出するように留意した。（次頁）

（各PIRTにおける物理現象の抽出結果は「島根原子力発電所3号炉 LANCR/AETNAコード説明書」（以下、「コード説明書」という。）添付資料2に示す。）

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 炉心体系に係る物理現象の抽出 (2 / 2)

物理現象の抽出におけるグルーピングの例として，コード説明書のAETNAに対するPIRTの一部を示す。

AETNAに対するPIRTの物理現象グルーピング例

物理現象グルーピングの大項目 物理現象グルーピングの中項目 抽出した物理現象 (グルーピングの小項目)			重要度ランキング												
			通常運転時								過渡時		最高ランク	CB厚変更の影響	
			核的制限値				熱的制限値				安定性	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	ほう酸水注入系停止機能	熱機械 (MLHGR)	設計出力履歴 (燃焼度)					焼損 (MCPR)
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										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	○
	フィードバック	(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 【履歴】											H	○
	(8) 制御棒価値 *												H	○	
	(9) ボイド反応度 *												H	○	
	(10) ドブプラ反応度 *												H	○	
	(11) ほう酸価値 *												H	○	
	(12) 減速材温度 *												M	○	

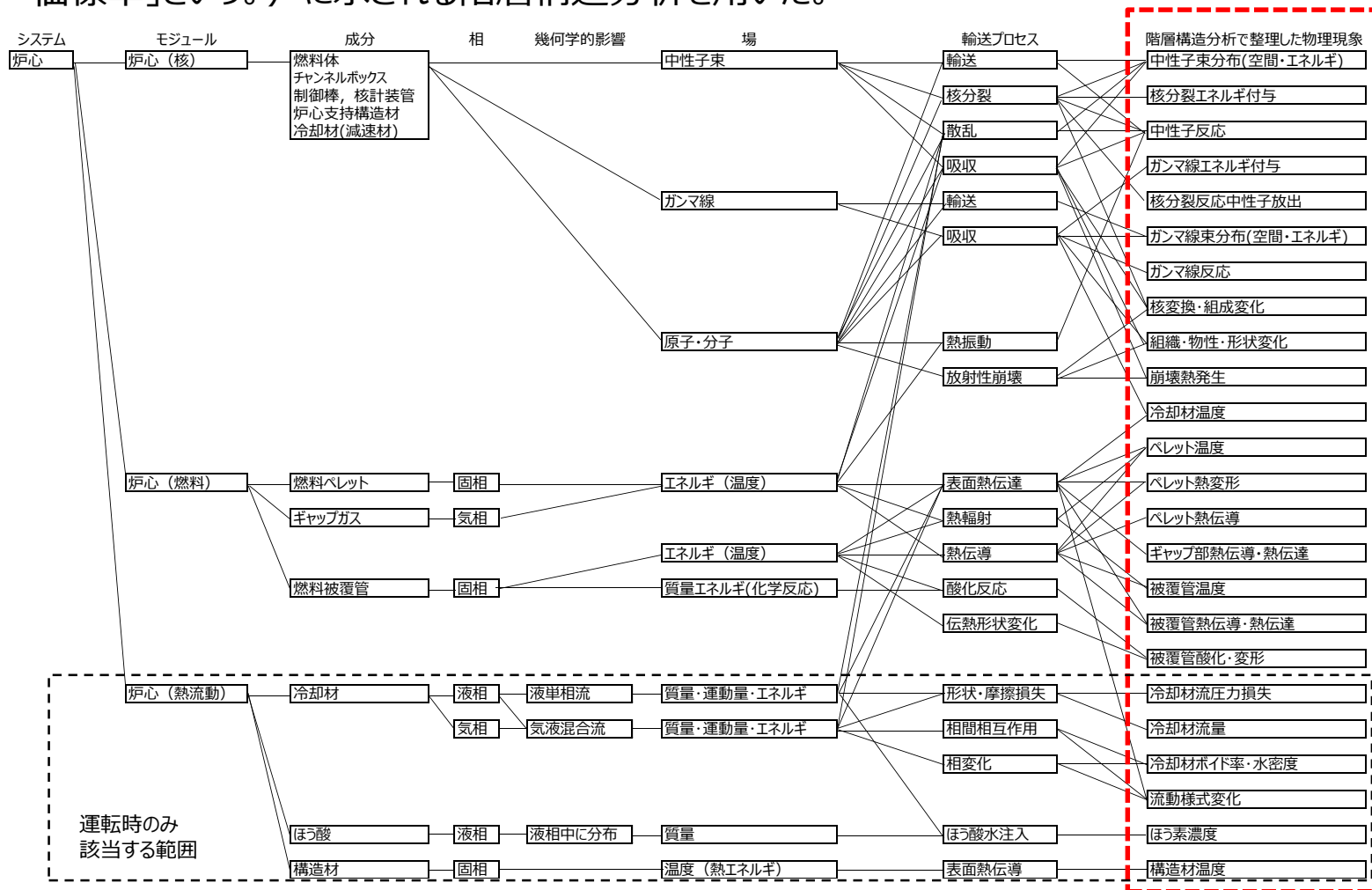
物理現象のうちチャンネルボックス厚変更の影響があるものを○で示している。

グレーハッチングは島根3号炉許認可解析に非適用の項目。

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 階層構造分析による物理現象の整理

抽出した物理現象に漏れがないことを確認するため、P.11,12に示す方法とは別の手法で対象を整理した。別の手法としては、原子力学会標準「統計的安全評価の実施基準：2021」（以下、「統計的安全評価標準」という。）に示される階層構造分析を用いた。



階層構造分析で整理した物理現象

これらの物理現象とP.11,12の方法で抽出した物理現象との対応を確認(次頁)

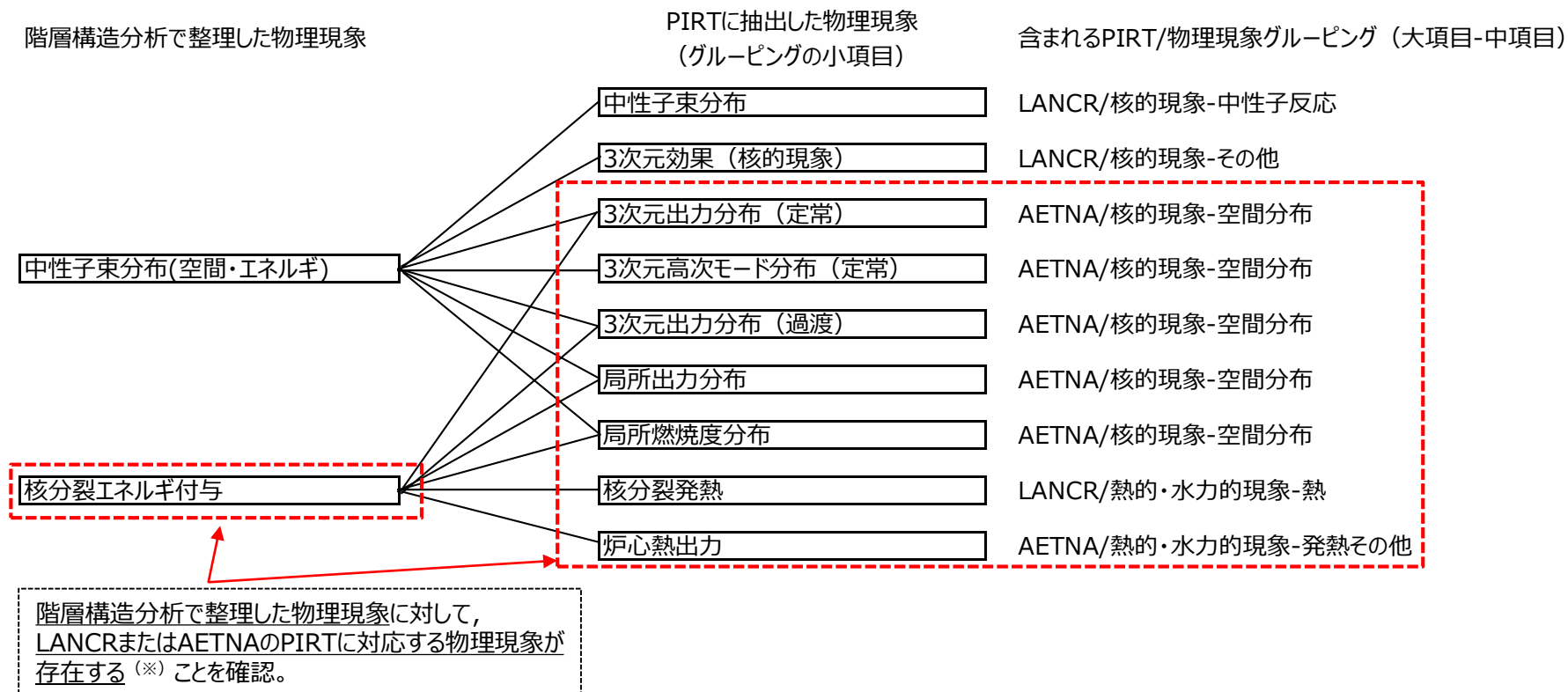
階層構造分析による物理現象の整理結果

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 物理現象の対応確認

P.11,12の方法でLANCRとAETNAのPIRTに抽出した物理現象と、階層構造分析（P.13）で整理した物理現象との対応を確認した。結果の一部を下図に示す。（詳細はコード説明書 添付資料2に示す。）  
階層構造分析で整理した物理現象が、LANCRとAETNAのPIRTに抽出した物理現象に含まれていることを確認した。

これにより、PIRTに抽出した物理現象に漏れがないと判断できる。



#### 物理現象の対応の確認結果 (一部)

※LANCRのPIRTでは、製造公差など、炉心装荷前のプロセスによる燃料の形状変化も考慮しており、階層構造分析で整理されない物理現象も存在する。

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 評価指標の選定 (1 / 3)

物理現象の重要度を検討するための評価指標を選定する。

選定にあたっては、LANCR/AETNAが対象とする許認可解析での評価内容を考慮している。  
AETNAにおける評価指標の例を下に示す。P.16,17に示すとおり、選定した評価指標は原子炉設置  
変更許可申請書 添付書類の炉心解析に関する記載項目を網羅している。

AETNAにおける評価指標の例 (赤枠部)

(物理現象) (*はLANCRのPIRTにあるもの)		(補足説明)		重要度ランキング							最高ランク					
				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						
				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	ほう酸水注入系停止機能	熱機械 (MLHGR)	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	【履歴】												H

原子炉設置変更許可申請書 添付書類の炉心解析に関する記載項目を考慮して  
選定した評価指標 (P.16,17参照)



# 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

## 手順① PIRTの作成 評価指標の選定 (2 / 3)

LANCR/AETNAのPIRTの評価指標と原子炉設置変更許可申請書 添付書類の炉心解析に関する記載項目との対応を示す。(核特性)

LANCR/AETNAのPIRT評価指標と原子炉設置変更許可申請書記載項目の関係

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	LANCR/AETNA評価指標																備考								
			LANCR評価指標											AETNA評価指標													
			まとめ	無限増倍率	局所出力分布	ガドリニア価値	ボイド反応度	ドップラ反応度	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	余剰反応度 * 1	炉停止余裕	最大制御棒価値	反応度係数	スクラム反応度		ほう酸水注入系停止機能	熱機械 (MLHGR)	設計出力履歴 (燃焼度)	焼損 (MCPR)	未臨界度 * 2	表面熱流束	焼損 (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																									
	3.3.1 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	○	○	-	○	-	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		制御棒価値	○	○	-	○	-	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	幾何形状で決定
		平均中性子束	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
中性子平均寿命	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
実効遅発中性子割合	○	○	-	○	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

「まとめ」欄に○があるものが評価指標と関係がある。

評価指標が記載項目と関係があれば○をつける。

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

「まとめ」欄の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。

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 評価指標の選定 (3 / 3)

LANCR/AETNAのPIRTの評価指標と原子炉設置変更許可申請書 添付書類の炉心解析に関する記載項目との対応を示す。(核特性以外)

LANCR/AETNAのPIRT評価指標と原子炉設置変更許可申請書記載項目の関係

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						
			LANCR評価指標										AETNA評価指標													
			まとめ	無限増倍率	局所出力分布	ガドリニア値	ポイド反応度	トプアラ反応度	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	ほう酸水注入系停止機能		熱機械 (MLHGR)	設計出力履歴 (燃焼度)	焼損 (MCPR)	未臨界度 * 2	表面熱流束	焼損 (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	炉心平均ポイド率	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	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	平衡炉心のポ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

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 重要度のランク付け（1 / 2）

物理現象と評価指標との関係をランク付けする。ランク付けは以下の考え方で実施している。

重要度ランクは下表に示す定義に従ってI～Hに分けている。このうち、ランクM以上と判定した物理現象をモデルの実装や妥当性確認（＝手順②以降の確認手順）の対象とする。ランキング評価時に専門家間でランク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ている。

#### 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により総合的に確認する。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	

上記に従いランクLとした現象と、判断根拠の例を次ページに示す。

（全ての現象に対するI～Hのランク付けとその判断根拠は、コード説明書 添付資料2に示す。）

#### 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

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定

### 手順① PIRTの作成 重要度のランク付け (2 / 2)

各PIRTでランクLとした項目と判断根拠の例を示す。(詳細はコード説明書 添付資料 2 に示す。)

#### 重要度ランクLと判定した物理現象

PIRT		ランキングLの項目
(c)LANCR		(7) 炉内構造物 (スペーサ)
		(22) 物性変化 (放射線)
		(23) 温度分布 (伝熱)
		(24) 形状変化 (伝熱)
		(25) 物性変化 (伝熱)
		(26) 形状変化 (外力・公差)
(d)核定数		(10) 燃料温度履歴
(e)AETNA	核	(14) 燃料減損(副次効果)
		(16) 核分裂生成物反応度 (副次効果)
		(23) ほう素拡散
		(26) スペーサ
		(29) 反射体節約
		(30) 炉外構造物
	材料・熱機械	(53) 燃料温度分布

#### 例 1) AETNA 核 (29) 反射体節約 (判断理由説明)

(29) 反射体節約

炉外に燃料要素が存在しないことで熱化された中性子が炉内に反射されて境界付近で起こる正の反応度効果。通常の炉心は中性子経済の観点から低漏洩炉心を実現しており、本現象の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低く、ランク L と判定した。AETNA では炉心表面に1層設けられる反射体ノードの3群定数として適切な入力値を設定することで考慮する。

#### 例 2) AETNA 材料・熱機械 (53)燃料温度分布 (参考文献引用)

(53) 燃料温度分布

燃料棒における発熱と熱伝導、熱伝達の結果、燃料ペレット内に発生する温度分布と、燃料棒ごとの出力の違いにより発生する燃料棒間の温度分布がある。定常核計算のドップラ反応度係数に対するペレット内温度分布の影響は限定的<sup>3</sup>であることが報告されており、燃料棒ごとの温度分布の影響も小さい<sup>4</sup>ことが報告されているため、ランク L と判定した。LANCR の解析では全燃料棒に対して棒内、棒間に対してすべて均一の平均温度で計算されその結果が核定数として AETNA に渡される。

## 2. 物理現象の抽出と重要現象の特定 PIRT作成プロセスの学会標準との対応

P.10~P.19に示すPIRT作成プロセスは、統計的安全評価標準の附属書Fに示されるPIRT作成に関するa)~g)の実施ステップに、下表のとおり対応している。

統計的安全評価標準 附属書FにおけるPIRT作成の実施ステップとの対応関係

実施ステップ	本書での実施方針	各実施段階での詳細				
		(a)NJOY	(b)F-table	(c)LANCR	(d)核定数	(e)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 <sub>2</sub> /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では原子炉設置変更許可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	原子炉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	- 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	コード説明書の表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) 文書化	コード説明書の添付資料2「LANCR/AETNAの重要度ランキングテーブルについて」に示す。					

### 3. モデル化の網羅性確認

#### 手順② モデル化の網羅性確認 概要

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結合したものをP.22～27に示す。

		重要度ランキング (PIRT)					モデル性能比較表			
		評価 事象1	評価 事象2	評価 事象3	評価 事象4	最高 ランク	モデルA	モデルB	モデルC	モデルD
物理現象	現象1	L	H	L	L	H	○		○	
	現象2	H	H	L	H	H		○		
	現象4	L	L	M	M	M				○

### 3. モデル化の網羅性確認

## モデル化の網羅性確認結果 (a)NJOY (手順①・②確認結果)

- NJOYを用いたライブラリ処理において、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.28で説明する。

NJOY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ヒン生成	中性子反応 共鳴断面積構築	中性子反応 共鳴断面積温度拡幅	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
核的現象	中性子反応	核分裂反応	臨界性, 核分裂発熱														
		捕獲反応	臨界性														
		散乱反応	中性子減速														
		遅発中性子	遅発中性子割合														
	光子反応	ガンマ線吸収	ガンマ線発熱														
		ガンマ線散乱															
		ガンマ線スペクトル															
	温度	ドップラ効果	共鳴吸収														
		共鳴群の上方散乱効果	ドップラ係数														
		分子結合	熱中性子散乱則														
	組成	非共鳴核種	中性子の減速														
		共鳴干渉効果	-														

### 3. モデル化の網羅性確認

## モデル化の網羅性確認結果 (b)F-table (手順①・②確認結果)

- 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.28で説明する。

F-table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				
				中性子反応 実効微視的断面積 (f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					
		共鳴干渉効果	-		M					



### 3. モデル化の網羅性確認

## モデル化の網羅性確認結果 (c)LANCR (手順①・②確認結果)

- 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.28で説明する。

※ グレーハッチング箇所は島根  
3号炉許可解析非適用

### LANCRのPIRT及びモデル性能比較表

(物理現象)				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	ガドリニア値	ポイド反応度	ドップラ反応度	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	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	燃焼スペクトル調整
		(補足説明)																						
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	3次元効果	燃焼スペクトル											M											
熱・水力的現象	熱	核分裂発熱												H										
		ガンマ線発熱												M										
		減速材, 構造材直接発熱												M										
	水力	冷却材密度分布	集合体内ポイド率分布											M										
冷却材物性変化		過熱蒸気の水密度変化											H											
材料的現象	核反応	燃料組成 (時間変化)	中性子反応, 放射崩壊											H										
		燃料組成 (分布)	Gd燃料棒											H										
		制御棒組成	制御棒内の組成分布											M										
	放射線	形状変化	チャンネルボックス曲がり											M										

注1

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。

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。

### 3. モデル化の網羅性確認

## モデル化の網羅性確認結果 (d)核定数 (手順①・②確認結果)

- 核定数のテーブル化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.28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 “-” : 関連しない, “○” : 関連する, “N/A” : モデル無し											
		マクロ/ミクロ断面積, 拡散係数, 不連続因子	局所出力分布, 核計装芯答	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	過渡効果 (冷温時ポイド / 温度依存性)*2	
(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 (冷温) 依存性				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

### 3. モデル化の網羅性確認

## モデル化の網羅性確認結果 (e)AETNA(1/2) (手順①・②確認結果)

- 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.28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 (1/2, 核的現象)

(物理現象) (*はLANCRのPIRTにあるもの) (補足説明)		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			安定性	熱的制限値	最高ランク	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	燃料温度モデル	放射体モデル	エネルギー計算	サブクール沸騰モデル	ポイド相関式	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	核計装応答	学習モデル (プロセス計算機編)	
		余裕反応度	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 (MLHGR)																								設計出力履歴 (燃焼度)
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										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 【履歴】										H																			
	フィードバック	(8) 制御棒価値 *											H																			
		(9) ポイド反応度 *	【履歴含む】										H																			
		(10) ドップラ反応度 *											H																			
		(11) ほう酸価値 *											H																			
		(12) 減速材温度 *											M																			
		(13) 燃料減損 *	【履歴】										H																			
		(15) 核分裂生成物反応度	毒物効果, 長期停止効果 【履歴】										M																			
		(17) スクラム時 制御棒価値	スクラム反応度										H																			
		(18) スクラム時 ポイド反応度	スクラム反応度, 断熱仮定 (補正)										M																			
		構成体起因	(20) 制御棒履歴	CBH効果 (片燃え) 【履歴】										M																		
			(21) 多種類制御棒											M																		
(22) 制御棒減損	【履歴】										M																					
(25) 水ロッド形状	断面効果はLANCR, 隣接燃料効果はBDF因子										M																					
計装	(27) 炉内計装管応答		TIP/LPRM学習 (プロセス計算機編)										H																			



### 3. モデル化の網羅性確認

#### モデル化されていない物理現象の扱い（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下表に示す。
- 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。

モデル化されていない項目とその取り扱い

N/Aの項目	取り扱い
共鳴吸収の上方散乱 (P.22)	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。
共鳴干渉効果 (P.22, 23)	他の核種の共鳴による中性子束のゆがみによって、対象としている核種の共鳴吸収に影響する。この影響を考慮していないことによる影響はLANCR/AETNAの妥当性確認で確認する。
集合体内ボイド分布 (P.24,27)	現行燃料においては集合体内のボイド率分布の影響が大きくないことがわかっており、島根3号炉の許認可解析では集合体内ボイド率は一定として扱う。
冷却材物性変化 (P.24)	LANCRではボイド率100%までの一定の圧力条件（大気圧及び運転時定格炉心圧力）下での高温時の飽和水、飽和蒸気の密度と冷温時の複数温度の固定条件で計算を行う。これらの結果を利用した水密度依存性はAETNA（核定数）で考慮される。
制御棒価値の減損効果 (P.24,25,26)	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ない。
ほう素価値の減速材温度依存性 (P.25)	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。
炉心熱出力、炉心流量 (P.27)	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）

島根 3 号炉許認可解析に対するLANCR/AETNAコードの適用性確認の手順（P.6に示す手順①～⑤）とM&S標準との対応を示した。また、手順①,②について以下を説明した。

➤ 手順①（物理現象の抽出と重要現象の特定）

PIRTの作成に関して、炉心体系に係る物理現象を抽出し、統計的安全評価標準に示される階層構造分析の結果との対応を示すことで抽出した物理現象に漏れがないことを示した。また、評価指標については原子炉設置変更許可申請書記載項目を踏まえて選定した。重要度ランク付けはランキングの考え方を明らかにしたうえで実施した。

これらにより、炉心解析に係る重要な現象を特定した。

➤ 手順②（モデル化の網羅性確認）

重要な現象に対するモデル化の網羅性をモデル性能比較表を用いて確認し、モデル化されていない現象についてその取り扱いを説明した。

今後、手順③以降について説明し、島根 3 号炉許認可解析への適用性を示していく。