

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1-2)
提出年月日	2022年11月29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.18

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

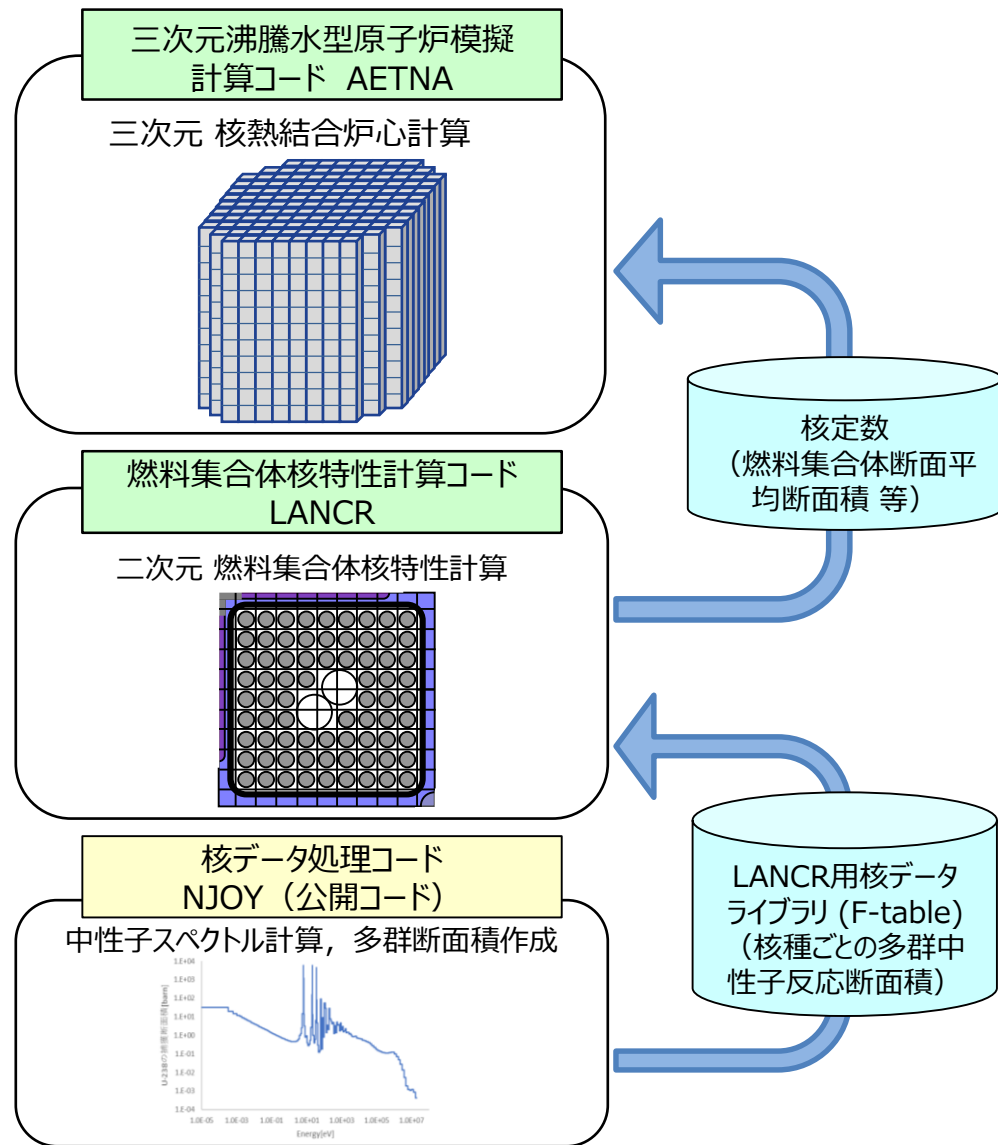
解析システムの構成

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

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）に利用することを目的としており，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。

項目	LANCR/AETNAで対象とする炉心状態	島根3号炉許認可解析対象 (静特性解析)
燃料棒配列	7×7～10×10	9×9
炉型	BWR, ABWR	ABWR
燃料	UO ₂ , MOX	UO ₂
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 ₄ C, ハフニウム（制御棒） ほう酸水（SLC）	B ₄ C, ハフニウム（制御棒） ほう酸水（SLC）

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.11-16) →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.11-16) →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

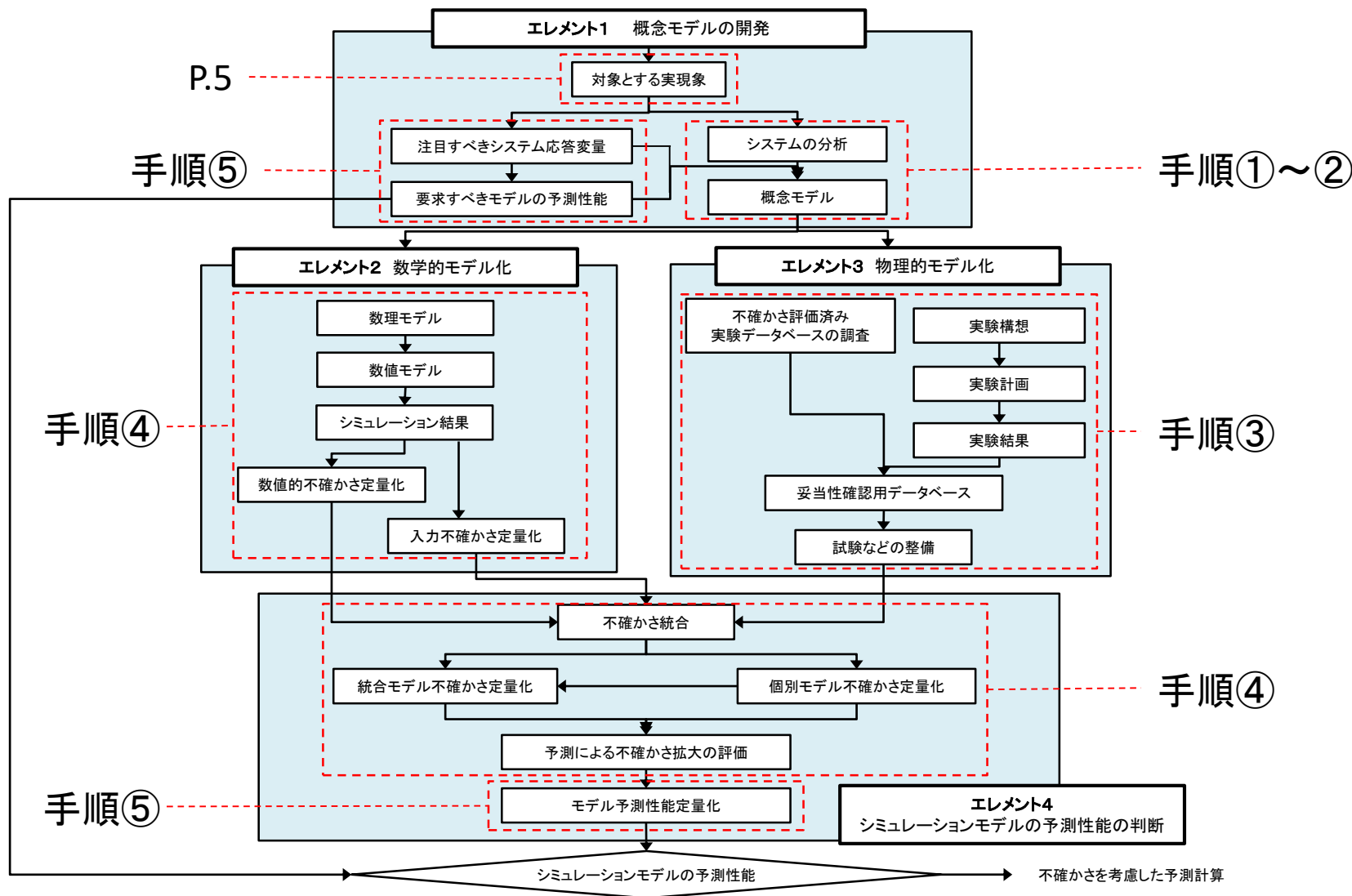
 : 本日まで説明範囲  : 今後のご説明範囲

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。）との対応をP.7～8に、手順①～②の具体的方法をP.9～10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

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。



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

適用性確認の手順とM&S標準との対応② 各エレメントの概要と適用性確認の対応

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。

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.5	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において重要現象を特定（PIRT）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、数値モデルの不確かさ（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。利用目的に対する合否を判断する。	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コードの要求された予測性能を満たすことで島根3号炉許認可解析への適用性を示す。

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

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。

→最高ランクがM以上の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。

本資料では最高ランクがM以上の物理現象のみを示す。

		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

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.11～16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				○

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(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.17で説明する。

NJOY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
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(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.17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				
				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 (d)核定数(手順①・②)

- 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.17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)		重要度ラキダク [※] (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(1/2)(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.17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																										
		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 (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)	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	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	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)					
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										H																											
	フィードバック	(8) 制御棒価値 *											H																											
		(9) ポイド反応度 *											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 *											H																											
		(15) 核分裂生成物反応度	毒物効果, 長期停止効果										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)										M																										
			(21) 多種類制御棒											M																										
(22) 制御棒減損											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																													
計表	(26) 炉内計装管応答	TIP/LPRM学習 (プロセス計算機編)										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（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。

N/Aの項目	取り扱い
共鳴吸収の上方散乱 (P.11)	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。
非均質性 (P.11,12)	この効果はLANCRの実効断面積モデルで考慮するため、NJOY/F-tableの段階では考慮不要。
集合体内ポイド分布 (P.13,16)	現行燃料においては集合体内のポイド率分布の影響が大き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ポイド率は一定として扱う。
冷却材物性変化 (P.13)	LANCRではポイド率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）下での飽和水および飽和蒸気密度を対象とし、過熱蒸気は対象としないため、これらを変化させる必要はない。
制御棒価値の減損効果 (P.13,14,15)	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.14)	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.16)	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）

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.21～22
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.23～25
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.26～29
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.30~32
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】

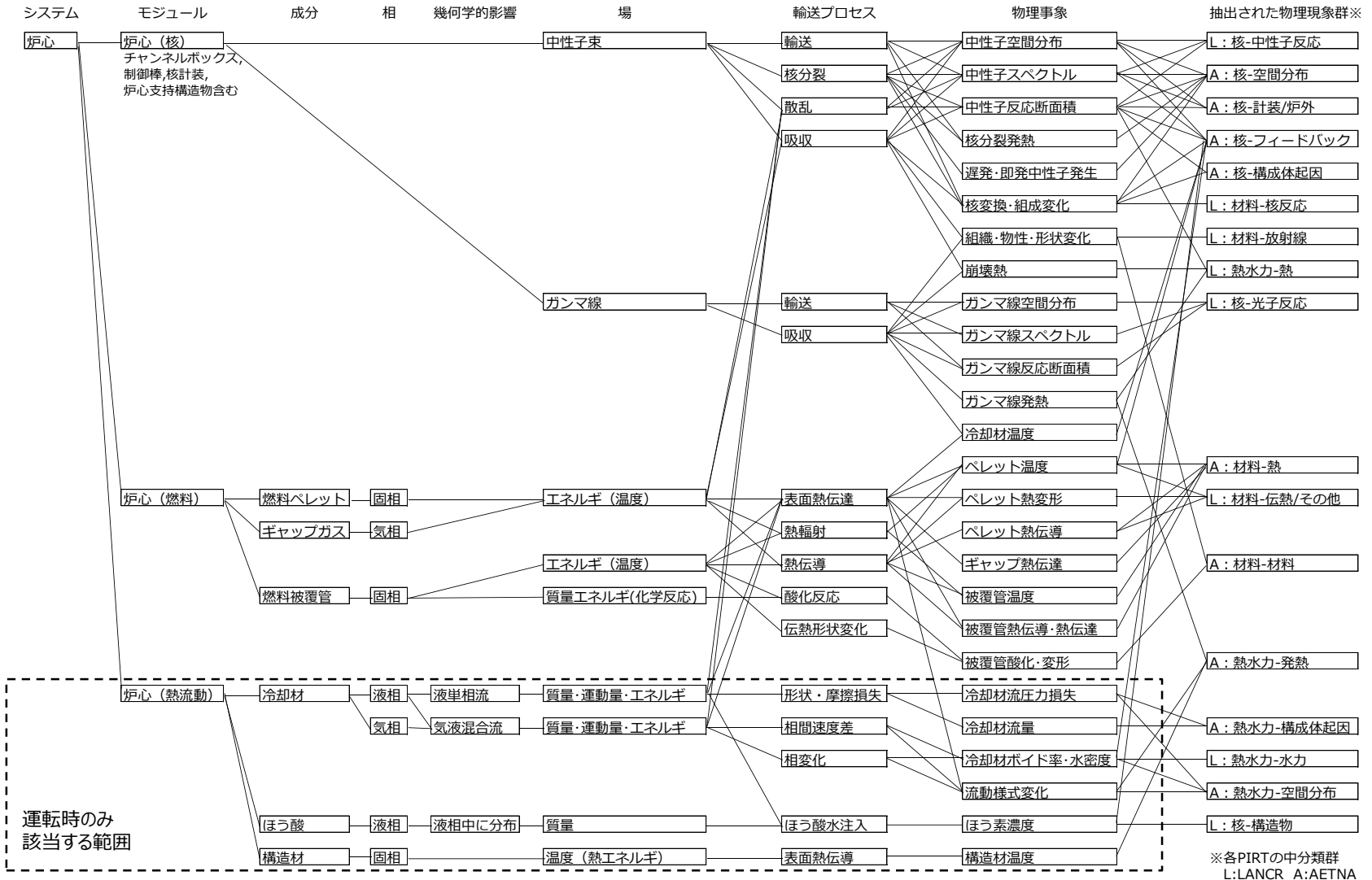
■ 回答

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				
		(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 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	- 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。	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。	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，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物理事象の個別要素と，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（各物理事象に対応する物理現象が抽出されている）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)

各PIRT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
(a)NJOY	(12) 共鳴核種	参考文献をもとにLとした
(b)F-table	(12) 共鳴核種	参考文献をもとにLとした
(c)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
	(22) 放射線による物性変化	参考文献をもとにLとした
	(23) 伝熱による温度分布	参考文献をもとにLとした
	(24) 伝熱による熱膨張	熱膨張等が二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
	(25) 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
(d)核定数	(26) 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
	(10) 燃料温度履歴	参考文献をもとにLとした

各PIRT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
(e)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
	(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
	(材料・熱機械)	(52) 燃料温度分布	参考文献をもとにLとした

■ 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.27参照)。

PIRTの評価指標は、原子炉設置変更許可申請書に記載し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.28,P.29に示す。

島根原子力発電所 3号炉 LANCR/AETNA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
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及びAETNAの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。

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/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							
				無限増倍率	局所出力分布	ガドリニウム値	ボイド反応度	ドブハラ反応度	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)	

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

評価指標が記載項目と関係があれば○をつける。

核特性	初装荷炉心, 平衡炉心の解析	記載項目	評価指標との関係																	備考						
			無限増倍率	局所出力分布	ガドリニウム値	ボイド反応度	ドブハラ反応度	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)	焼損 (MCPR)	未臨界度 * 2	表面熱流束	焼損 (MCPR)	
		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	○	○	-	○	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ドブハラ係数	○	○	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		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

「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。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.3) (4/4)

LANCR及びAETNAの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			
														通常運転時							過渡時				
				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 * 2	表面熱流束
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

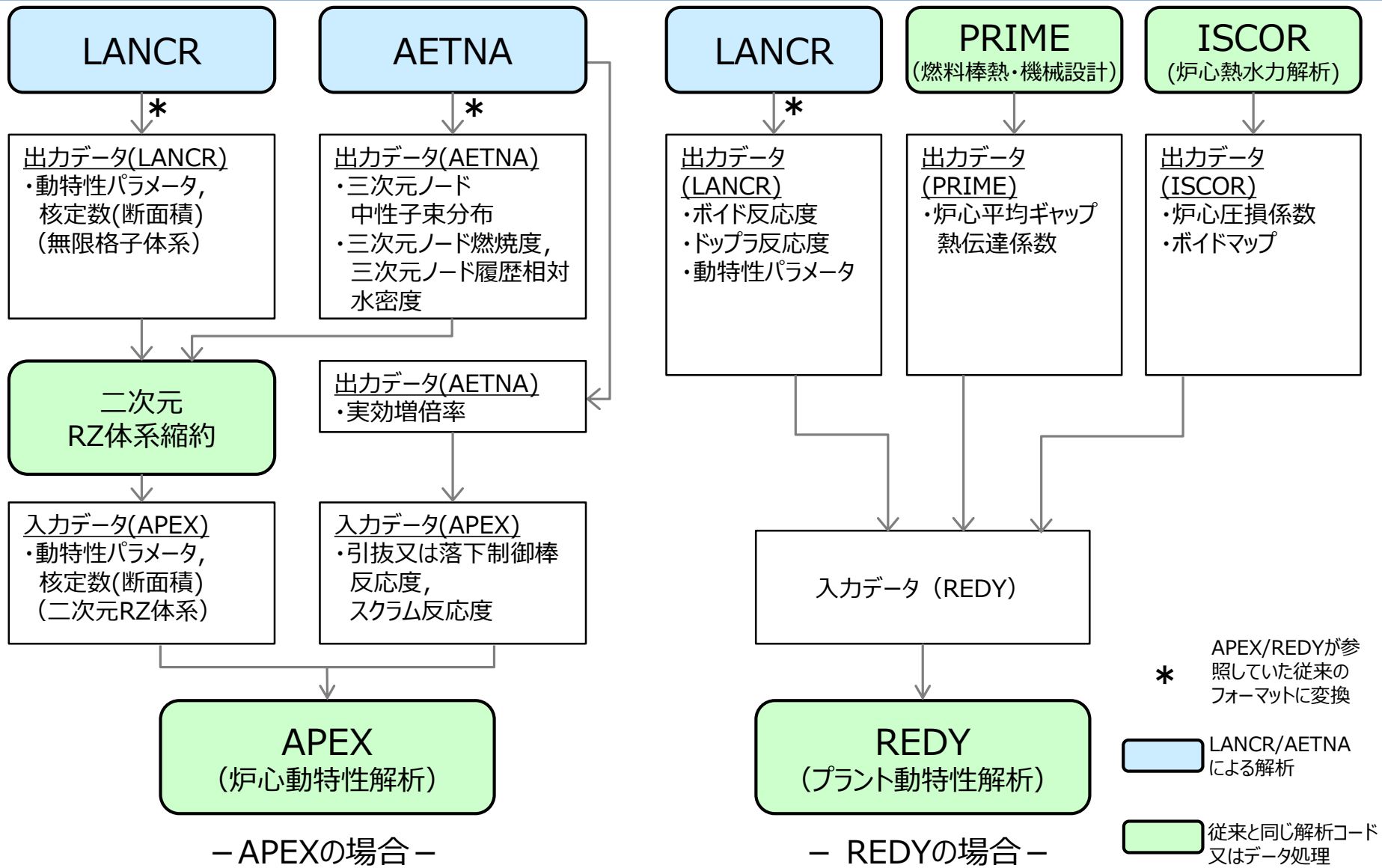
原子炉設置変更許可申請書の添付書類十の安全解析（運転時の異常な過渡変化の解析と設計基準事故解析）について安全解析コードの入力となるLANCR/AETNAコードの出力を整理した結果をP.31に示す。また、LANCR/AETNAから動特性解析コード（APEX, REDY）への主なデータの処理プロセスをP.32に示す。

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	ポイド反応度 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	ポイド反応度 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	ポイド反応度 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