

参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術

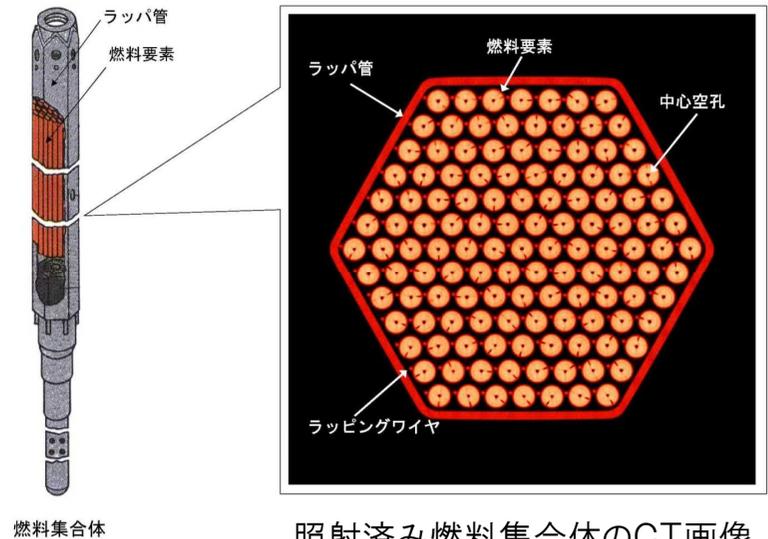
実用規模燃料等の設計技術（1/3）

●照射後試験による設計技術の確認

下表のとおり各燃焼状態での炉心燃料集合体、ブランケット集合体等について、照射後試験を実施し、照射挙動データの取得と同データの評価による設計技術を確認。

燃焼状態	対象集合体	期待される成果
燃焼の初期の段階	炉心燃料集合体 (第1サイクル運転後に取出し)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼初期の照射挙動の確認 ・長期保管燃料の健全性確認 ・燃焼初期のAm挙動確認 *1 (M1-1)
	制御棒集合体 (第2サイクル運転後に取出し)	<ul style="list-style-type: none"> ・健全性確認
燃焼の進んだ段階	炉心燃料集合体 (第4サイクル運転後に取出し) [最大燃焼度: 約64GWd/t]	<ul style="list-style-type: none"> ・高照射量での健全性確認 (燃焼の進んだ定常照射燃料) ・増殖性能評価 ・Am-241の燃焼挙動確認 *1 (M1-2)
	ブランケット燃料集合体 (第5サイクル運転後に取出し)	<ul style="list-style-type: none"> ・増殖性能評価 ・健全性確認

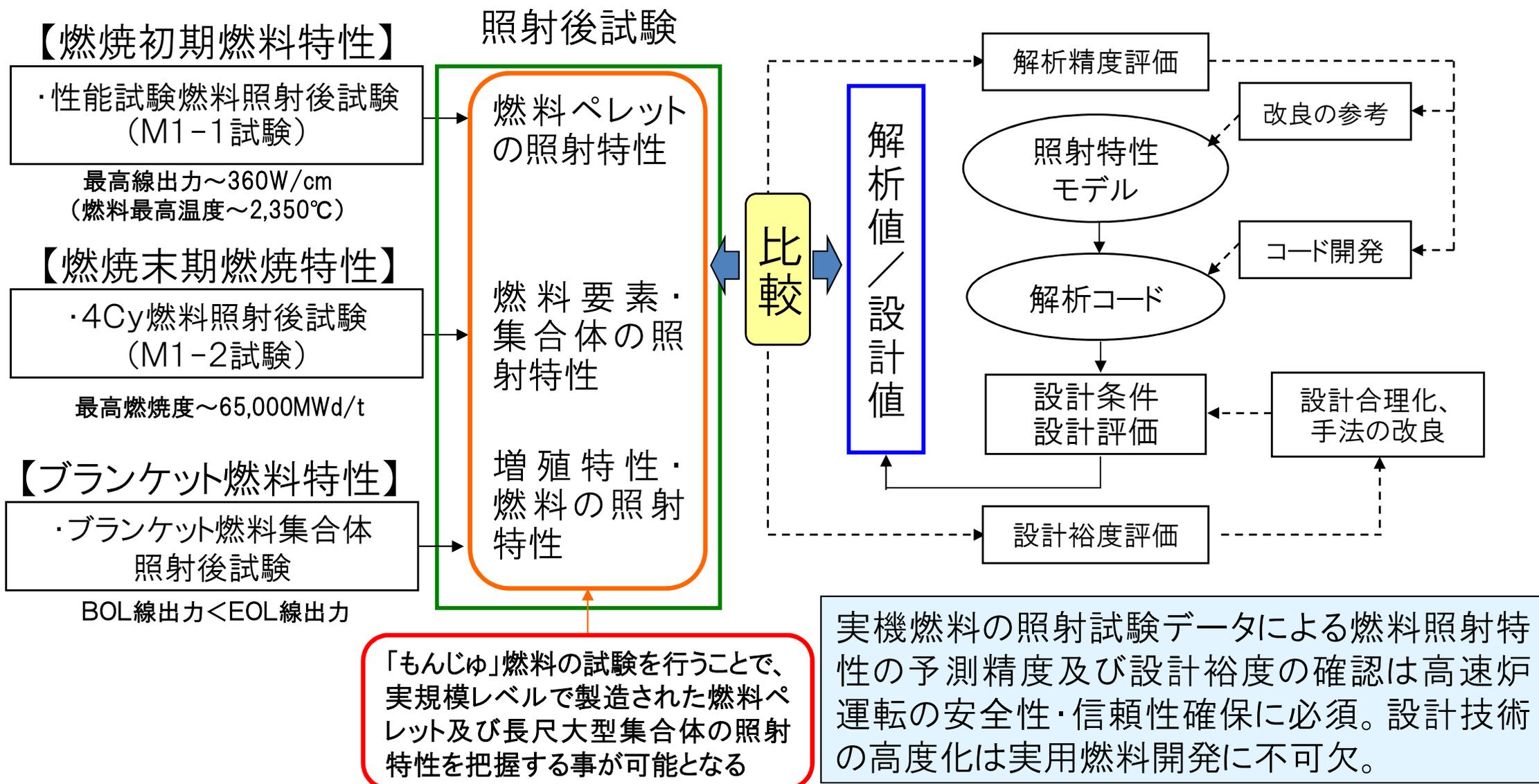
*1)「廃棄物減容・有害度低減技術」に資する成果



照射後試験の例：
高エネルギーX線CT (Computed Tomography) 検査装置を用いた燃料集合体内部の健全性確認

参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術 実用規模燃料等の設計技術（2/3）

●試験データに基づく実用規模燃料等の設計技術の確立・高度化



参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術 実用規模燃料等の設計技術 (3/3)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~9Cy					10Cy以降							
	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験第1サイクル	定期点検	第2サイクル	定期点検	第3サイクル	定期点検	第4サイクル	定期点検	第5点検	定期点検	第6点検	定期点検	第7点検	定期点検	第8点検	定期点検	第9点検	定期点検	第10点検	...
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)																						
	① 照射後試験による設計技術の確認																					
<p>炉心燃料集合体(内側:1体)[M1-1]</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>冷却貯蔵</p> <p>制御棒集合体(1体)</p> <p>照射</p> <p>輸送</p> <p>使用済み燃料輸送(初回)準備(関係自治体との調整他)</p> <p>照射後試験</p> <p>試験データ評価</p> <p>炉心燃料集合体(内側:1体/外側:1体)[M1-2]</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>冷却貯蔵</p> <p>輸送</p> <p>ブランケット燃料集合体(1体)</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射</p> <p>照射後試験</p> <p>試験データ評価</p>																						
期待される 研究開発成果								① 燃焼初期の燃料照射挙動データ、及び同評価結果 ① 制御棒健全性確認結果			① 燃焼後の燃料照射挙動データ、及び同評価結果 ① ブランケット燃料増殖データ、及び同評価結果					① 高燃焼度燃料の照射挙動データ等) 注) 本件は更なる高燃焼度炉心へ移行した場合に実施						

参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術

廃棄物減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験（1/5）

○世界的に高速中性子照射場は限られる

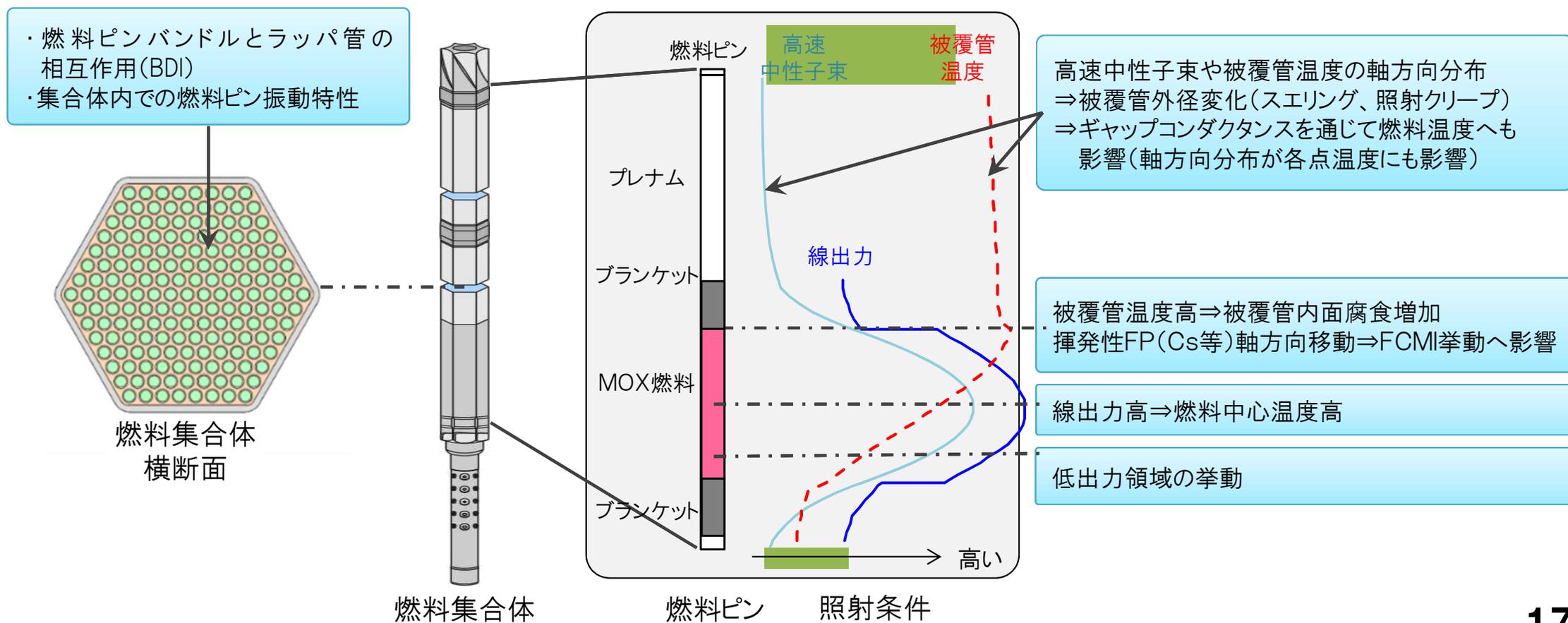
○特に「もんじゅ」は、実規模燃料集合体の照射が可能

国	原子炉	炉種別	熱出力 (MW)	高速中性子束 ($10^{15}n/cm^2s$)	燃料長 (mm)	現状	照射機能の特徴	照射後試験 (PIE)施設
日	常陽	実験炉	140	4.0	500	停止中	燃料・材料各種照射、限界照射、オンライン計測、制御照射	燃料体、燃料、材料試験施設
	もんじゅ	原型炉	714	3.7	930	停止中	実規模燃料照射	燃料検査設備
露	BOR-60	実験炉	60	2.2	450	運転中	燃料・材料各種照射、限界照射、オンライン計測、制御照射	燃料体、燃料、材料試験施設
	BN-600	原型炉	1,470	4.0	1,030	運転中	基本的に材料照射のみ可 解体核処分で燃料照射の実績	燃料体解体・ 検査施設
	MBIR (BOR-60 後継炉)	研究炉	150	6.0	600	2019年 運開予定	燃料・材料各種照射、限界照射、 オンライン計測、制御照射	燃料体、燃料、 材料試験施設
仏	Phenix	原型炉	350	2.6	850	運転終了	実規模燃料照射、限界照射	燃料体解体・ 検査施設
	ASTRID	実証炉	1,500	不明	1,100 or 800/900	2023年 臨界予定	未定	未定

参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術

廃棄物減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験(2/5)

- 照射中の燃料集合体では、照射条件が軸方向に大きく変化し、燃料ピン挙動に影響を与えるとともに、各種の相互作用が発生
- 「もんじゅ」は、このような燃料挙動の確認、データ取得が可能



参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術

廃棄物減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験(3/5)

規模	試験名	燃焼度 & 照射期間		線出力		被覆管温度		O/M比		Pu富化度	
		低	高	低	高	低	高	低	高	低	高
短尺ピン	常陽Am-1(短期)	■	M1~M4	■	■	■	■	■	■	■	■
	常陽B14	■		■		■		■		■	
実規模ピン	仏 SUPERFACT (数本規模)	■		■		■	M2~M4	■	M1~M4	■	

データ充足が必要な領域

従来知見

- ①MA変換データの取得 実機炉心でのMA核変換分析データを取得する必要。
- ②ヘリウム効果 MA含有、高Pu富化度化に伴うHeガス生成量増加による影響を確認する必要。(特に実規模ピン)
- ③破損防止 高燃焼度範囲、高被覆管温度で、O/M比依存性を考慮した被覆管内面腐食挙動を確認する必要。(特に実規模ピン)
- ④燃料溶融防止 MA含有、高Pu富化度による融点、熱伝導度の低下を考慮し、高線出力条件での挙動、溶融有無の確認が必要。Pu、MA再配分挙動、熱伝導度への感度を考慮してO/M比依存性の確認も必要。
- ⑤サイクル技術 MA含有、高Pu富化度MOX燃料の製造技術及び再処理技術並びにMAの分離・回収プロセスについての技術成立性の評価が必要。

参考資料3-1-1 ①炉心・燃料技術

廃棄物減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験（5/5）

細目	性能試験	2Cy	3Cy	4Cy	5Cy ~9Cy	10Cy以降																
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)	40%出力プラント 確認試験	燃料 交換	出力上昇試験 第1サイクル	定期点検	第2 サイクル	定期点検	第3 サイクル	定期点検	第4 サイクル	定期点検	第5 サイクル	定期点検	第6 サイクル	定期点検	第7 サイクル	定期点検	第8 サイクル	定期点検	第9 サイクル	定期点検	第10 サイクル	...
① 高次化Pu-MOX 燃料の照射試験 (照射後試験による 挙動等の確認)	照射試験炉心の特性解析	設工認	燃料製造・輸送	照射	高次化Pu-MOX燃料集合体(1体)[M2]	照射	照射	照射	冷却貯蔵	輸送	照射後試験	試験データ評価	国際協力の 可能性有り									
② MA含有燃料照射 試験 (照射後試験による 挙動等の確認)	照射試験炉心の特性解析	設工認	燃料製造・輸送	照射	GACID/Step-1照射燃料(ピン1本)[M3]	照射	照射	照射	冷却貯蔵	輸送	照射後試験	試験データ評価										
	照射試験炉心の特性解析・許認可(照射試験準備)								燃料ピン製造(仏国) 海上輸送		集合体組立		GACID/Step-1照射燃料(ピン1本)[M4]									
	注) 共同研究相手先国との調整や許認可対応次第で、所要期間の変動はあり得る。																					
期待される 研究開発成果											① 高次化Pu-MOX燃料の照射挙動 データ、及び同評価結果 ② GACID先行照射試験燃料の照射挙 動データ、及び同評価結果										② GACID照射 試験燃料の照 射挙動デー タ、及び同評 価結果	

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術 プラント系統の設計・評価技術（1/5）

- 海外先行炉には前例の無いループ型発電炉の原型炉として、定格運転（発電）を継続できることを確認する。
- 制御系調整試験や過渡試験等を実施して、実炉の特性データを取得する。
- さらに試験データを用いてプラント動特性解析手法の検証を実施する。

プラントトリップ試験

出力運転中にプラントに異常が発生した場合、原子炉が自動停止し、プラント全体が安全に停止することを確認する。さらに、原子炉トリップ時の1次系温度、流量、原子炉容器上部プレナム内の温度データ等を取得する。

これにより、設計の妥当性評価・裕度評価ができるとともに、解析コードの検証、高度化のための実機データが取得できる。

制御系調整試験（出力変更試験）

出力指令信号回路にステップ信号を印加した時に、原子炉出力制御系、1次主冷却系流量制御系、2次主冷却系流量制御系、給水流量制御系、及び主蒸気温度制御系等が外乱を吸収し、安定して運転継続できることを確認する。

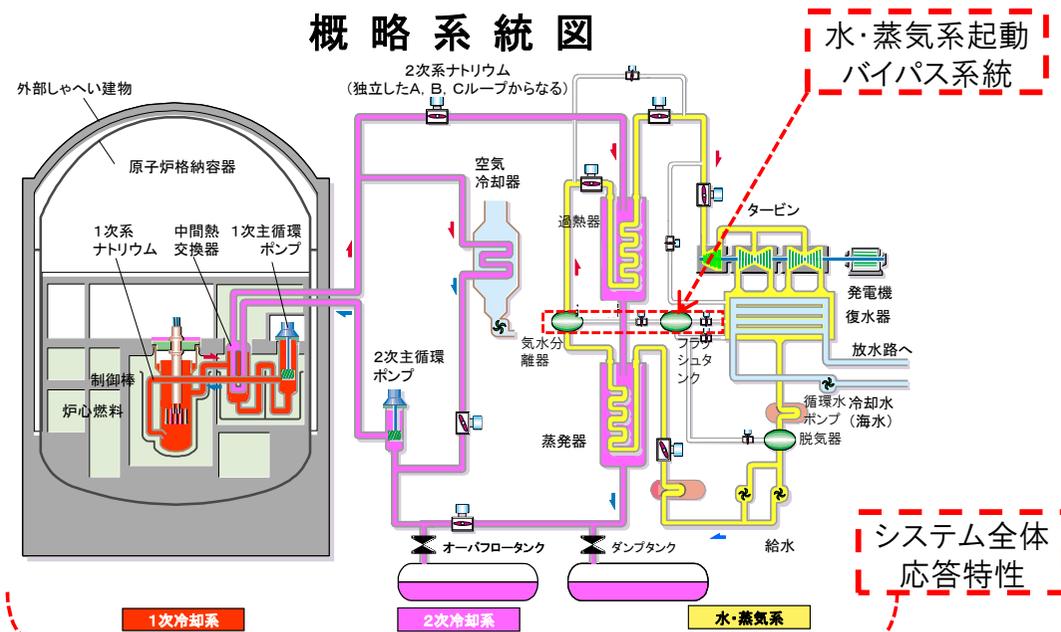
本試験前には、各制御系において流量信号等のゆらぎや、制御目標にステップ信号を印加し、制御性を確認する。

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術 プラント系統の設計・評価技術 (2/5)

水・蒸気系起動バイパス系統などの調整を行い、安全かつ安定してプラント起動ができることを確認するとともに、ループ型発電炉の原型炉として、定格運転(発電)を継続できることを確認する。また、負荷しゃ断試験を実施して、実機ループ型炉の特性データを取得する。

水・蒸気系起動バイパス系統制御特性確認

水・蒸気系起動バイパス系統の運転状態において、気水分離器出口圧力制御系、蒸発器給水流量制御系及びフラッシュタンク出口圧力制御系等の制御信号に外乱印加を行い制御系の過渡応答性を確認するとともに、安全かつ安定な制御が行われプラントが起動できるよう、制御系の調整を実施する。



ナトリウム冷却系と水・蒸気、タービン・発電機システム全体での応答特性確認

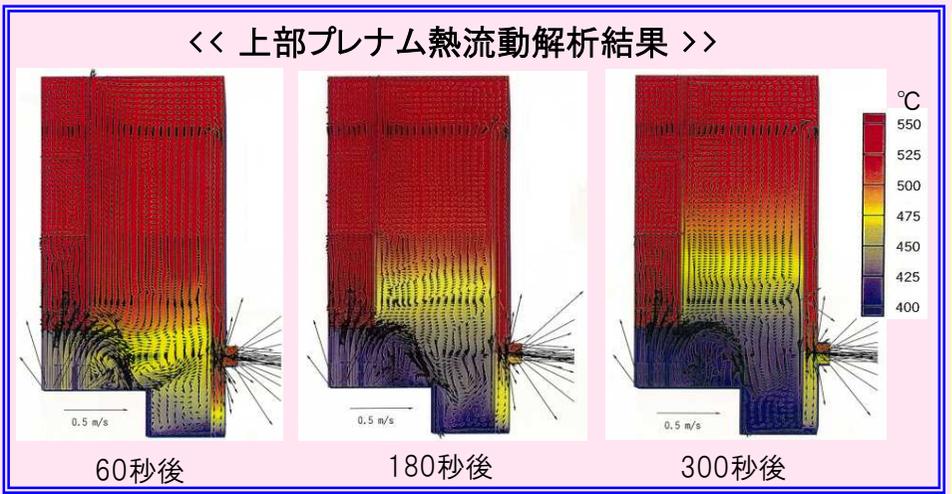
プラントの起動・停止、過渡試験を通じて発電プラントとして、ナトリウム系(1次・2次冷却系)と水・蒸気系の相互の運転、制御安定性を確認する。

発電機側からの外乱(50%出力以下の負荷をしゃ断)によっても、蒸気をタービンバイパスさせることにより、タービン発電機が安定して制御され運転を継続するとともに、原子炉側もトリップすることなく安定して運転継続することを確認するとともに、その応答特性データを取得する。

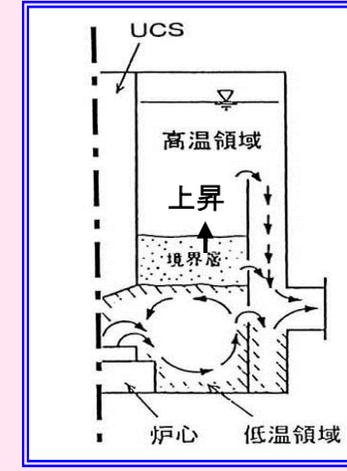
参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

プラント系統の設計・評価技術 (3/5)

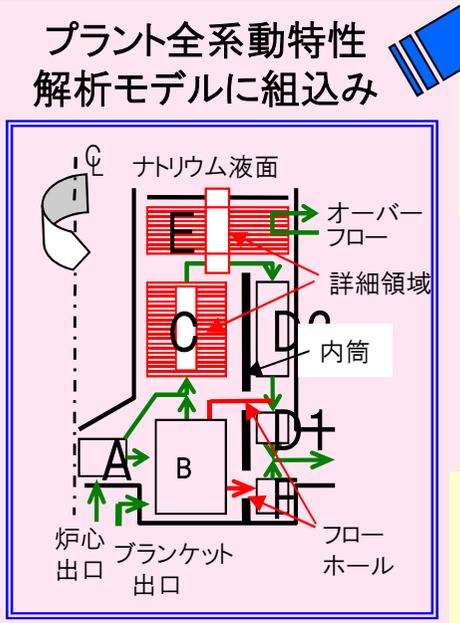
性能試験データを用いて運転制御特性を評価するコードの検証を行い、高速増殖炉プラントの技術成立基盤を確立



流速分布・
温度分布
把握

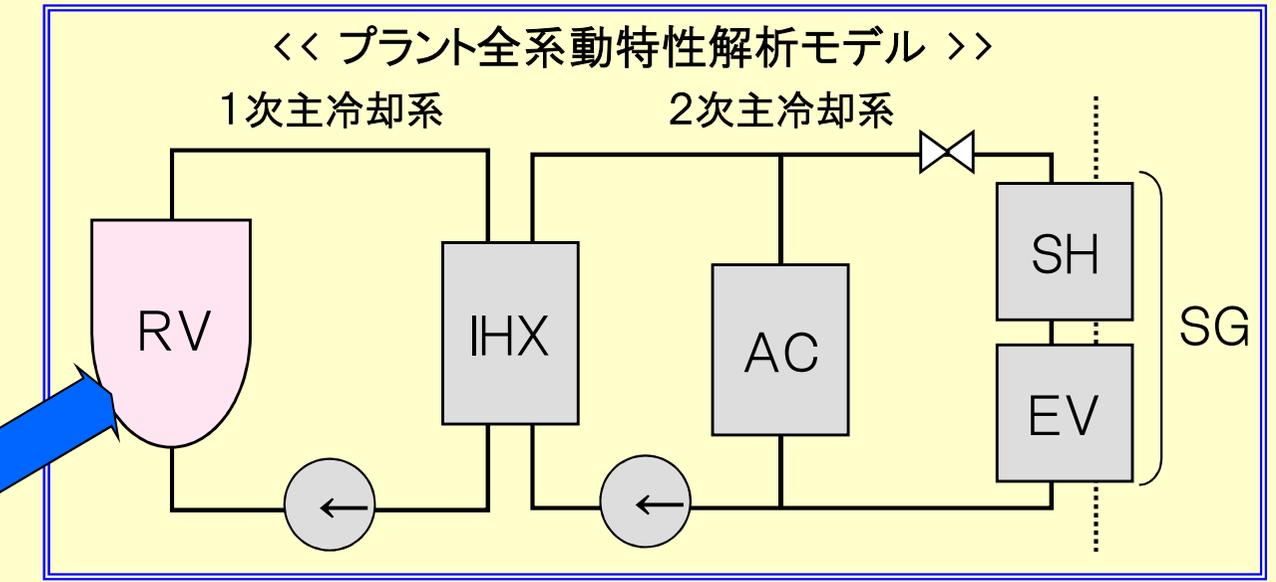


FNM構築



(2) 詳細熱流動解析結果からフローネットワークモデル(FNM)の構築

(1) 原子炉容器(RV)上部プレナム詳細熱流動解析



(3) その他主要機器のFNMの構築

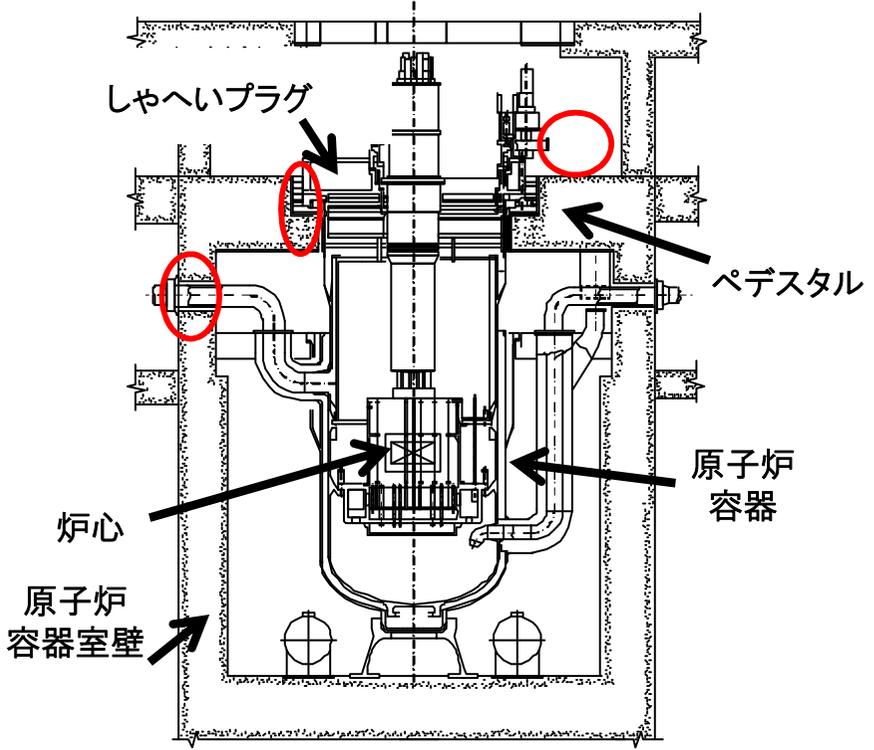
- ・中間熱交換器(IHX),空気冷却器(AC), 蒸気発生器(SG)(蒸発器(EV), 過熱器(SH))についても、詳細熱流動解析を実施し、FNMを構築

(4) プラント全系動特性解析

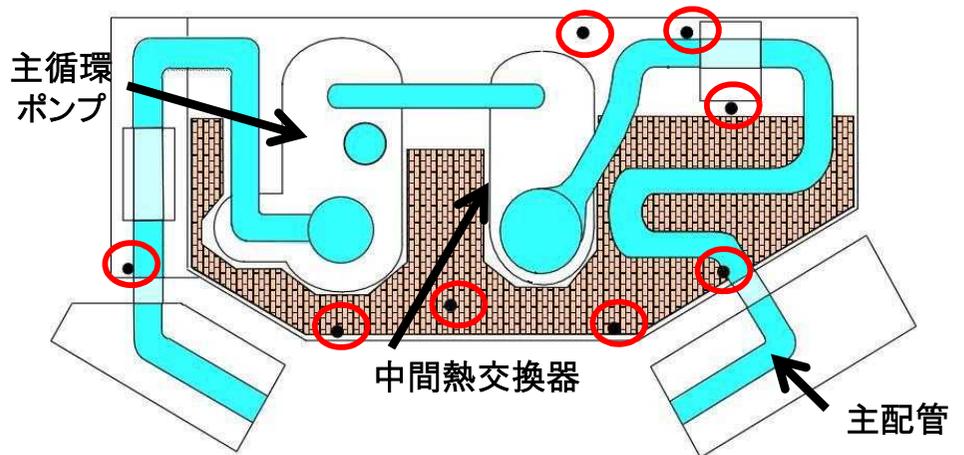
- ・構築したFNMを用いて、プラント全系の動特性解析を実施
- ・「もんじゅ」性能試験により検証
(主要機器の出入口温度変化・流量化、フローコーストダウン特性データ、プラント運転制御特性データ)

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術 プラント系統の設計・評価技術 (4/5)

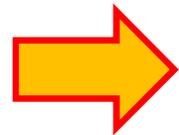
原子炉まわりしゃへい構造 ○ 中性子測定点例



1次主冷却系室 ● γ線測定点例



実測データ(性能試験データ)



設計の妥当性確認



最新設計手法の検証
(解析精度の確認)

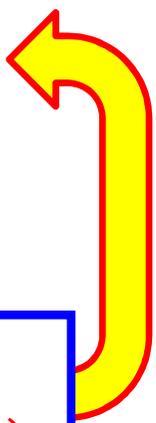
比較



設計手法の高度化
(核データ、解析コードの改良)



しゃへい設計の合理化
(裕度低減、経済性向上)



参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術 プラント系統の設計・評価技術 (5/5)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~9Cy					10Cy以降	
	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験第1サイクル	定期点検	第2サイクル	定期点検	第3サイクル	定期点検	第4サイクル	定期点検5	定期点検6	定期点検7	定期点検8	定期点検9	定期点検10	...
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)																
①システム設計評価																
②プラント動特性評価																
③しゃへい設計評価																
期待される 研究開発成果	<ul style="list-style-type: none"> ① 定格出力運転での発電効率。各熱交換器伝熱性能、所内負荷率等のヒートバランス評価結果、プラント応答過渡特性 ② 主要機器内のフローネットワークモデル、統計的手法を用いた評価手法 ③ 性能試験データにより検証された内部熱流動挙動解析に基づいたプラント全系のフローネットワークモデル、統計的手法による設計及び安全裕度評価 ④ しゃへい設計の妥当性、設計裕度の確認 ⑤ 所期の性能の長期的劣化評価、異常事象への進展可能性の動的評価手法 ⑥ 最新しゃへい設計手法の精度確認(1次主冷却系室等) ⑦ 発電効率。各熱交換器伝熱性能等の経年特性 ⑧ 最新しゃへい設計手法の精度確認(原子炉廻り等)核データ、しゃへい定数の改良に資するデータの提供。解析精度向上によるしゃへい設計の合理化 ⑨ CP挙動評価による被ばく低減化 															