

(別紙集)

「もんじゅ」で行う研究開発の重要度・優先度分類（1/2）

高速増殖炉プラントとしての技術成立性の確認等の高速増殖炉の成果のとりまとめに必要な技術を特定するため、「もんじゅ」の技術体系を整理。その上で、これらを「高速増殖炉開発における技術の重要度」と「もんじゅを利用することの優先度」の2つの軸で表を整理。

「もんじゅ」において研究開発可能な技術

1) 炉心・燃料技術	高次化Pu/Am含有組成燃料で構成された炉心の設計技術 実用規模燃料等の設計技術 等
2) 機器・システム設計技術	ループ型炉プラント系統設計技術・評価技術 ループ型炉の大型機器設計技術・評価技術 等
3) ナトリウム取扱技術	原子炉容器・1次主配管用ISI技術 蒸気発生器伝熱管用ISI技術 等
4) プラント運転・保守技術	トラブル等から得られる知見の集積による運転技術・保守技術の向上 燃料取扱系機器の保守管理技術 等
5) 安全機能確認・評価技術	大規模系統での自然循環除熱設計技術・評価技術 シビアアクシデント発生防止・影響緩和に係る設計対応技術 等

以下の観点で技術をそれぞれ再整理

高速増殖炉開発における技術の重要度の分類基準

A: 高速増殖炉開発において鍵となる技術

- ・高速増殖炉の安全性、信頼性、経済性あるいは資源有効利用性の実現に係る技術成立性の確認において不可欠な技術
- ・国際的に高い評価を得る技術（世界初、有償入手依頼、対等な対価の国際協力の対象となるもの）

B: 高速増殖炉開発において重要又は補強となる技術

- ・高速増殖炉の技術成立性の確認に係る技術であるが、Aに該当しないもの（例えば、上記Aの技術を補強・支援するもの、国際協力のテーマになり得るもの）

C: 高速増殖炉の成果のとりまとめには入らない技術

- ・高速増殖炉特有の技術ではないもの（例えば、タービン設備、発電機設備等の軽水炉や一般産業でも活用されているもの）

「もんじゅ」を利用することの優先度の分類基準

1: 「もんじゅ」でなければ開発できない技術

「もんじゅ」以外では、等価な技術が開発できないもの（「もんじゅ」固有の特徴に依存する技術）

2: 「もんじゅ」で開発することが合理的な技術

等価な技術を「もんじゅ」以外でも開発できる可能性はあるが、「もんじゅ」で開発することが時間的、経済的、技術的な観点で適切な技術

3: 「もんじゅ」以外で開発することが可能な技術

等価な技術を「もんじゅ」以外でも開発することが可能で、かつ、時間的、技術的な観点で適切と考えられる技術

「もんじゅ」で行う研究開発の重要度・優先度分類（2/2）

高速増殖炉プラントとしての技術成立性の確認等の高速増殖炉の成果のとりまとめに必要な技術を特定するため、「もんじゅ」の技術体系を整理。その上で、これらを「高速増殖炉開発における技術の重要度」と「もんじゅ」を利用することの優先度」の2つの軸で表を整理。

		「もんじゅ」を利用することの優先度		
		1 「もんじゅ」でなければ開発できない技術	2 「もんじゅ」で開発することが合理的な技術	3 「もんじゅ」以外で開発することが可能な技術
高速増殖炉開発における技術の重要度	A 高速増殖炉開発において鍵となる技術（成果の取りまとめに不可欠なもの）	A 1 【炉心・燃料技術】 ・高次化Pu/A m含有組成燃料で構成された炉心の設計技術・管理技術 【機器・システム設計技術】 ・ループ型炉プラント系統設計技術・評価技術 ・ホットベッセル原子炉容器の設計・評価技術 ・計測設備設計技術の内、炉外核計装、FFDの設計技術 ・燃料取扱システム設計技術 【ナトリウム取扱技術】 ・原子炉容器／1次主配管用ISI技術 【プラント運転・保守技術】 ・1次系配管・炉容器外配置1次系機器の保守管理技術 ・トラブル対応から得られる知見の集積による運転技術・保守技術の向上 【安全機能確認・評価技術】 ・「もんじゅ」のシビアアクシデント防止／緩和対策・評価技術 ・大規模系統での自然循環除熱設計技術・評価技術 ・安全保護系統（計装、保護動作）の設計技術・評価技術 ・ナトリウム-水反応防止／緩和設備の設計技術・評価技術	A 2 【炉心・燃料技術】 ・実用規模燃料等の設計技術 ・廃棄物減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験 【機器・システム設計技術】 ・ループ型炉の大型機器設計技術・評価技術 ・計測設備設計技術の内、ナトリウム漏えい検出技術、水漏えい検出技術、タグガス式燃料破損位置検出技術 【ナトリウム取扱技術】 ・蒸気発生器伝熱管用ISI技術 ・ナトリウム管理技術（ナトリウム純度管理、放射化物（CP挙動、トリチウム挙動）、ナトリウム蒸気管理、洗浄等） 【プラント運転・保守技術】 ・高速増殖炉発電プラントの運転管理技術 ・高速増殖炉の保守管理技術（2次系機器等） ・燃料取扱系機器の保守管理技術	A 3 【機器・システム設計技術】 ・高温構造設計・評価技術（コールド試験、常陽照射等） ・検出機器類の性能向上技術（コールド試験） 【プラント運転・保守技術】 ・廃炉関連技術*（先行炉、海外炉） *：廃炉時に確認 【安全機能確認・評価技術】 ・シビアアクシデント発生防止・影響緩和に係る設計対応技術（コールド試験、IGR炉） ・自然循環時の詳細温度分布等による解析技術（コールド試験）
	B 高速増殖炉開発において重要又は補強となる技術（成果の取りまとめに有用なもの）	B 1 【機器・システム設計技術】 ・水・蒸気系設備設計技術のうち、制御特性・過渡特性に関する設計技術・評価技術	B 2 【機器・システム設計技術】 ・水・蒸気系設備設計技術の内、蒸気発生器等設計・評価技術 ・発電所補助システム設計技術（換気空調システム、メンテナンス時冷却システム）	B 3 【機器・システム設計技術】 ・2次系ポンプ設計・評価技術（コールド試験、海外炉） ・主循環ポンプ調速用VVVFの設計技術（コールド試験） ・浸漬型純化系コールドトラップ設計技術（海外炉）
	C 高速増殖炉の成果の取りまとめには入らない技術	C 1 【機器・システム設計技術】 ・発電所補助システム設計技術（ユーティリティ消費量、制御用圧縮空気圧力、等） ・タービン／発電機設計技術	C 2	C 3

○運転パターンについて

原型炉としての成果を確実に取得するためには、十全な保全を行うための期間を設け、計画的に運転を継続することが必要。さらに、「もんじゅ」としては故障の克服とその経験蓄積を行うことも重要な役割。

従って、本格運転以降は、1サイクル(4か月)の運転に加え、8か月程度の点検を行う運転パターン*を当面は想定する。

○成果の達成時期の検討に際して考慮した主要な事項

炉心構成

初装荷炉心;性能試験時の炉心

40、75、100%と種々の出力での運転を経験。燃焼の進んでいない初装荷炉心での臨界特性及び出力特性を把握する。

初期炉心;初装荷炉心より移行し、第5サイクルで低燃焼度燃料での炉心へ移行を完了

1/4ずつの燃料交換で、性能試験で使用した燃料を順次取出し、5Cyで全て取替え、燃焼度の異なる4種類の燃料で炉心を構成する。
100%出力×4ヶ月運転を通して炉心の燃焼特性を把握する。5Cyで設計の燃焼度(低燃焼度、取出平均で約5万MWd/t程度)を達成する。

平衡炉心;第5サイクルから第8サイクルを通して低燃焼度の平衡炉心を経験

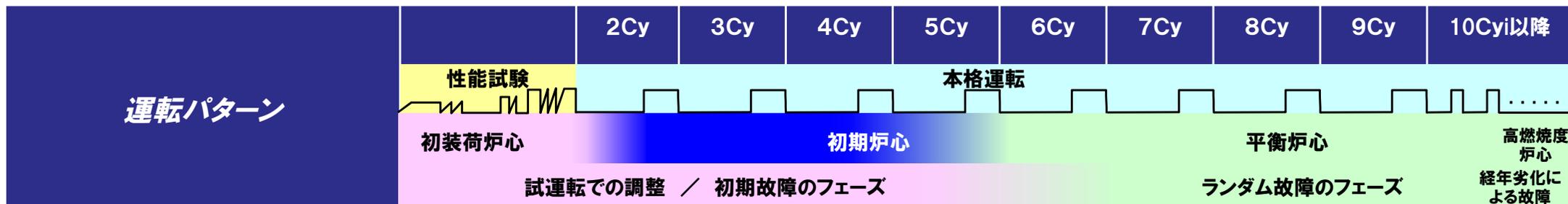
1/4ずつの燃料交換を4回行い、全ての燃料交換パターンでほぼ同等の炉心特性を示すことを確認する。

高燃焼度炉心;平衡炉心より移行し、第13サイクル**以降に高燃焼度燃料での炉心へ移行を完了

1/5ずつの燃料交換で高燃焼度燃料(取出平均で約8万MWd/t程度***)に取り換え、高燃焼度炉心特性を確認する。

設備の信頼性(故障の発生段階)・経年特性

試運転(性能試験)での調整を行い、運転開始から5年程度の初期故障フェーズ、10年程度のランダム故障フェーズ、その後の経年的な故障フェーズを想定



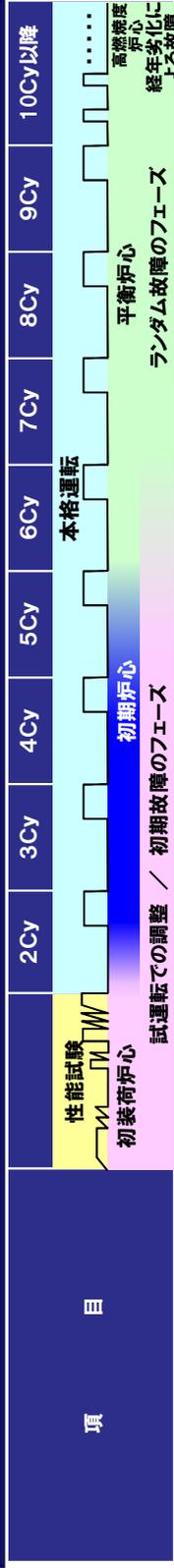
* : 点検期間等の運転パターンは点検項目等により変動がありうる。

** : 高燃焼度炉心への移行完了時期は、照射データ取得、Pu原材料調達等を含めた今後の検討により変わりうる。

*** : 現設置許可における設計値。ただし、低燃焼度燃料から段階的に移行することとしている。

「もんじゅ」における主要な研究開発項目 (2/2)

別紙3



【A2技術】 1. 炉心・燃料技術

1) 実用規模燃料等の設計技術	(取出し) → 初期照射暴動 (初期照射暴動) → (取出し) → 燃料照射暴動 (照射暴動・増殖性能) → (取出し) → 増殖性能
2) 廃棄物減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験	(取出し) → 制御棒照射暴動 → (取出し) → 高次化Pu-MOX燃料照射暴動 (取出し※1) → (取出し※1) → MA含有MOX燃料照射暴動

【A2技術】 2. 機器・システム設計技術

1) 大型機器設計・評価技術	機器の初期性能 (ナトリウムポンプ、中間熱交換器等) → 1次主ポンプ健全性(軸封部分交換) → (経年的な特性確認を継続)
2) ナトリウム炉特有の計測設備の設計・評価技術	ナトリウム炉特有計測設備初期性能 (破損燃料位置検出設備、水漏えい検出設備、ナトリウム漏えい検出設備) → ナトリウム特有計測設備の経年特性 → (経年的な特性確認を継続)
	ナトリウム漏えい検出設備健全性 → 水漏えい検出設備健全性 → (経年的な特性確認を継続)
	ナトリウム漏えい検出設備(SID)の健全性 → 新型計装技術開発(性能試験終了後3年程度) → 放射物挙動評価手法
	ナトリウム特有計測設備の経年特性 → 破損燃料位置検出設備健全性(タグカス法)

【A2技術】 3. ナトリウム取扱技術

1) 供用期間中検査技術(蒸気発生器伝熱管用[S]技術)	初期技術の性能実証※2 → 改良技術の確認※2 (もんじゅ[S]経験)
2) ナトリウム管理技術	ナトリウム純度管理技術 (水素濃度移行、純度管理運用基準) → ナトリウム純度管理技術 (2次系コールドトラップ交換※3) → ナトリウム純度管理技術 (1次系コールドトラップ交換※3)
	ナトリウム蒸気等対応設計 → ナトリウム蒸気等対応設計 (1次系・2次系ベーパートラップフィルタ交換※3) → CP移行挙動データ (飽和値、17Cy)
	ナトリウム機器洗浄技術 → ナトリウム機器洗浄技術

【A2技術】 4. プラント運転・保守技術

1) 2次系機器・燃料取扱設備等に係る保守管理技術	2次系機器・燃料取扱設備等に係る第1保全サイクル用保全計画 → 2次系機器・燃料取扱設備等に係る保全計画の最適化 → 2次系機器等に係る予防保全技術の開発
2) 高速増殖炉発電プラントの運転管理技術	性能試験運転経験を通じ整備された運転管理技術 (運転手法、保安規定) → 機器故障一々の蓄積 → 高速増殖炉発電プラントの運転管理技術 (運転手法、保安規定) → 本格運転経験に基づき整備された運転管理技術 (運転手法、保安規定)
	水・蒸気系プラント応答特性 (性能試験一々取得) → 水・蒸気系動特性評価手法検証 (性能試験終了後2年程度) → FBR異常診断技術の開発(性能試験終了後3年程度)

【B1技術】 2. 機器・システム設計技術

1) 水・蒸気系設備に係る系統設計・評価技術	蒸気発生器の初期性能 → 蒸気発生器の経年特性 (経年的な特性確認を継続)
------------------------	---------------------------------------

【B2技術】 2. 機器・システム設計技術

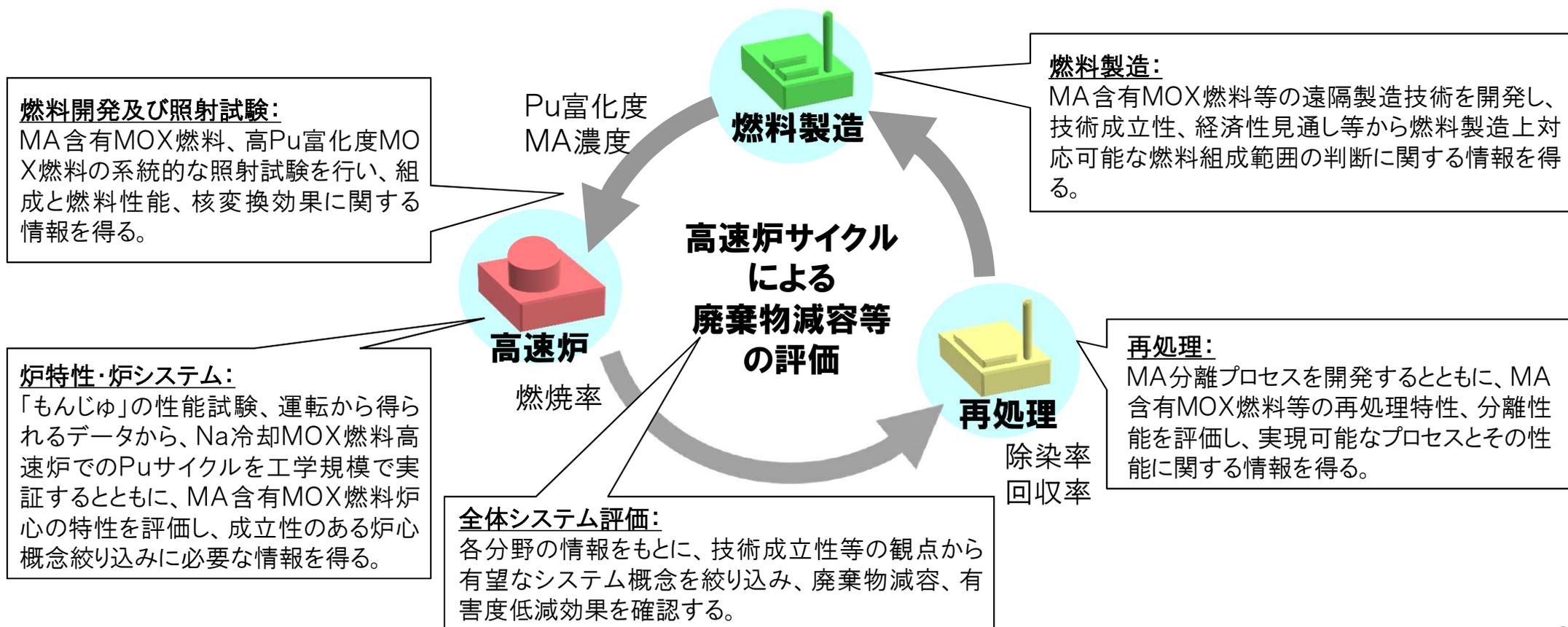
1) 蒸気発生器等設計・評価技術	蒸気発生器の初期性能 → 蒸気発生器伝熱管健全性 (SIS※2, 33%/10年)
2) 発電所補助システム設計技術	初期性能 (換気空調設備、メンテナンス冷却系設備) → 蒸気発生器の経年特性 (経年的な特性確認を継続)

□ : 国際協力で実施またはその可能性あり

※1 共同研究相手先国との調整や許認可対応による時期の変動はある。 ※2 IS実施時期、実施頻度は今後決定される。 ※3 設計上の交換時期

●高速炉サイクルによる廃棄物減容、有害度低減の技術見通しと有効性の評価のために確認すべき事項

- 高速炉プラント概念の技術成立性 → Na冷却MOX燃料高速炉プラントでのPuリサイクルの技術成立性確認
- Pu利用柔軟性向上 → 高次化Pu利用、Pu燃焼の確認
- MAの利用、燃焼 → MA含有MOX燃料利用の確認
- MA分離・変換関連サイクル技術 → MA分離、遠隔燃料製造技術等の開発、見直し確認



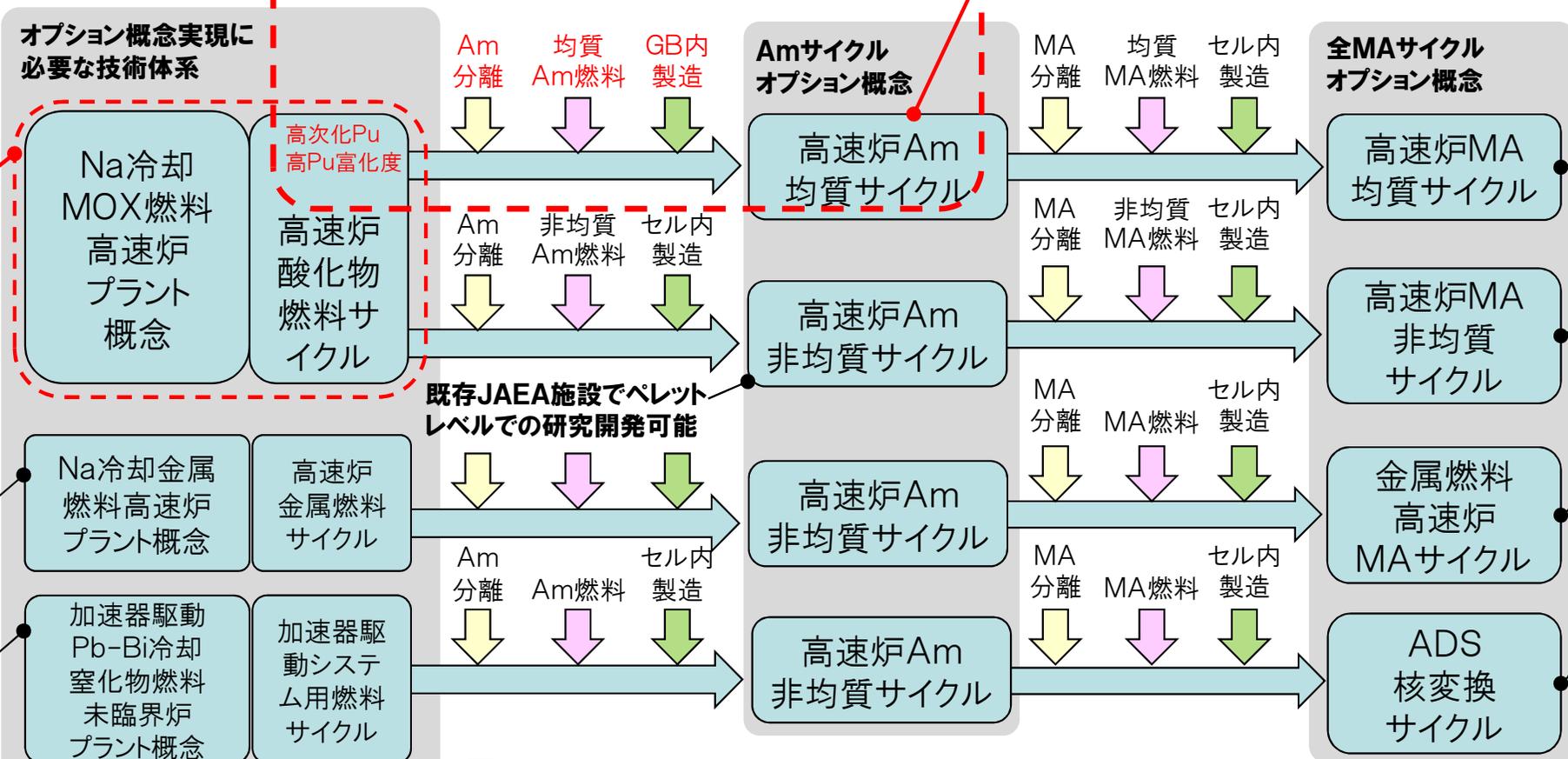
基礎研究

核反応断面積, 燃料物性等の基礎データ(Pu→Np, Am→Cm)(低濃度→高濃度)(低精度→高精度)

「もんじゅ」等での廃棄物減容等の研究の主たる対象

既存JAEA施設を使用して実規模燃料ピンレベルでの研究開発可能

海外も含め、実験室規模での要素技術の研究開発のみが可能



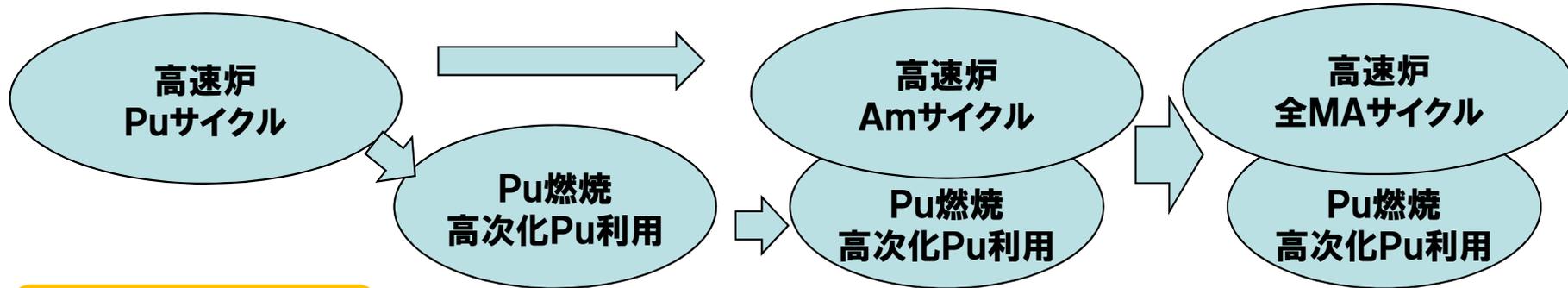
「もんじゅ」成果取りまとめにより工学規模で技術成立性確認可能(海外ではすでに確認済)

米国EBR-IIで工学規模で技術成立性確認

現在は基礎研究段階

- 燃料製造技術(自動化、遠隔化:GB内製造→セル内製造)
- 燃料概念開発、炉心技術(Pu→Np, Am→Cm)(低濃度→高濃度)
- 再処理/MA分離プロセス(燃料サイクルに応じたプロセス選定)(回収率、DFの向上)

システム像

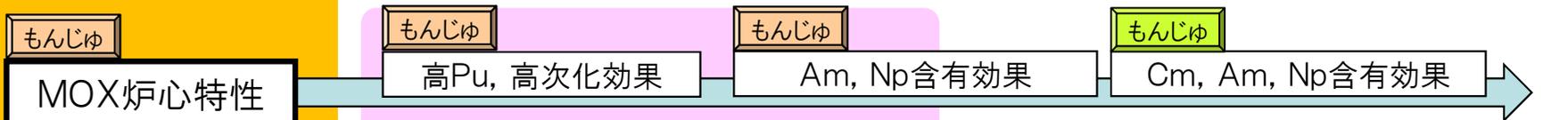


必要技術

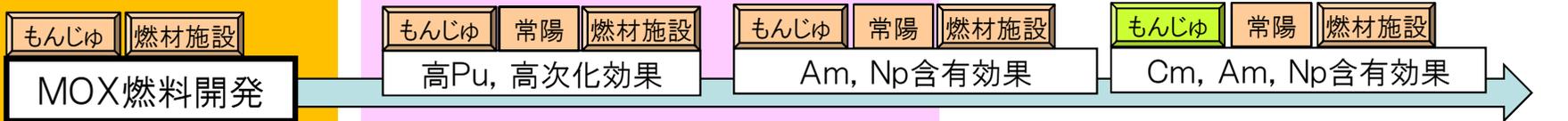
炉システム



炉心



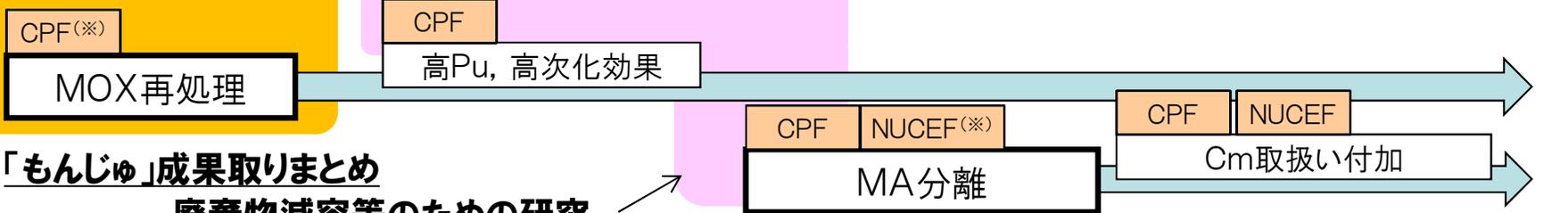
燃料開発



燃料製造



再処理



「もんじゅ」成果取りまとめ
廃棄物減容等のための研究

研究開発施設
 工学規模施設 小規模施設

利用可能*	利用可能*
改造必要	改造必要

* 試験設備整備は必要

(※) Pu-3: プルトニウム燃料第三開発室, AGF: 照射燃料試験施設
 CPF: 高レベル放射性物質研究施設, NUCEF: 燃料サイクル安全工学研究施設

東電福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえた高速増殖炉/高速炉の安全技術体系を構築するため、「もんじゅ」でシビアアクシデント(SA)対策に関する実践的な研究開発を実施するとともに、SAを模擬した試験やシミュレーションコードを含むSA評価技術の開発を実施することを検討。

東電福島事故を踏まえ実施する安全性強化のための研究開発

シビアアクシデントマネジメント(SAM)策の充実とその実証的な確認や訓練・運用

- SAM策の整備(外部事象(地震、津波等)及び全電源喪失事故への対策強化等)
- 高速増殖炉の安全裕度の実証(自然循環試験等)、SAMの訓練・運用と改良

「もんじゅ」
で実施

確率論的安全評価等による総合的な安全評価の実施とSA評価技術の構築

- 地震・津波等を含むSA事象についてPSA(確率論的安全評価)の実施と安全向上策の抽出
- 「もんじゅ」の安全性に関する総合評価と活用

「もんじゅ」の
設計・建設・許認可を
通して構築してきた
高速増殖炉の安全性確保
のための技術体系

高速増殖炉/高速炉の安全技術体系を構築

第4世代炉の国際標準SDC、
SDGにも国際協力の取組の
一環として反映を目指す

これまで実証炉等
に向けて実施してきた
安全研究の成果

「もんじゅ」
以外で実施

炉心損傷時の再臨界の防止と事象の炉容器内終息を図るための研究

- 炉心溶融時の挙動分析のための試験(EAGLE)の実施とSA評価技術の確立

損傷炉心燃料等を安定に冷却できる手段の多様化を行う研究

- SA後の炉心冷却性に関するナトリウム試験(AtheNa)の実施とSA評価技術の確立

SA対策強化の具体化

- 「もんじゅ」の実機経験・知見取得及びSA研究成果に基づくSA対策の確立(最適化)
- 国際標準の安全設計クライテリア(SDC)・安全設計ガイドライン(SDG)の構築とこれに必要なSAに関わる安全設計・評価の具体的要求事項の整備

【具体的研究プロジェクト及び各国の個別研究開発への貢献】

① 2国間協力の強化

- 廃棄物の減容に資する照射試験
－米国の燃料材料を、仏国にて加工し、日本の「もんじゅ」で照射
- 海外高速炉の燃料の先行照射
－仏国は、ASTRIDの初装荷燃料のための照射試験を希望
- シビアアクシデント対応のための研究開発
－「もんじゅ」自然循環に係る詳細データ提供による設計協力

② GIF*等の多国間協力の 更なる深化

※第4世代原子力システム国際フォーラム

【将来の高速炉の安全性向上及び国際基準策定への貢献】

- 高速炉の安全基準、運転・保守ガイドラインの構築
－高速炉に関する国際安全基準(SDC)の策定
－SDCの具体化に向けた国際ガイドライン(SDG)の策定検討

③ IAEAの枠組みを 活用した国際協力

【高速炉開発に係る基盤的データの共有】

- 高速炉の安全に関する公開データに基づく研究協力
－自然循環データ解析など(IAEAの枠組を活用)
- プラント運転経験に関する情報交換
－公開情報レベルでの情報交換

⇒安全性向上や国際基準策定に関する国際協力については、特に積極的に推進

中間評価

全体評価

「もんじゅ」の工程

性能試験(40%~100%出力)	定格運転(初期炉心)
性能試験+第1サイクル運転	第2サイクル~第5サイクル運転

研究
 定格運転(平衡炉心~)
 第6サイクル~

高速増殖炉開発の成果のとりまとめ

- ▶ 発電システム成立性の確認
 - ・100%出力での発電など性能確認
 - ・機器性能等の初期性能確認
 - ・設計手法検証
- ▶ 発電システム信頼性の確認
 - ・安定稼働の実証、プラント運用技術整備
 - ・機器性能等の経年特性
- ▶ 炉心燃料の信頼性実証
 - 増殖比確認、照射変形等挙動確認

- ・長期の本格運転による発電システムの経年特性確認/健全性確認
- ・ナトリウム大型機器の経年特性/健全性確認

目標
 高速増殖炉プラントとしての技術成立性の確認

- ▶ 供用期間中検査(ISI)技術の開発、実機適用準備 ▶ ISI技術の実機適用
- ▶ 設備点検・故障対応経験を通じた保守管理技術の整備

廃棄物減容減有害度低減

- ▶ Amを多く含んだ初期炉心特性の確認(臨界特性、出力特性等)
- ▶ Am含有初期炉心の燃焼特性確認
- ▶ 高次化プルトニウムを含んだ実用燃料の燃焼特性等の確認(プルトニウムの燃焼のための確認)
- ▶ 包括的アクチノイドサイクル国際実証(GACID)試験(Am及びNp含有燃料)

- ・高燃焼度燃料の実証
- ・仏実証炉(ASTRID)初装荷燃料照射試験
- ・包括的アクチノイドサイクル国際実証(GACID)試験(集合体レベルの実証)

目標
 高速増殖炉/高速炉システムによる環境負荷低減の有効性の確認

- ▶ MA含有燃料製造技術開発、MA分離技術開発
- ▶ MA含有燃料ペレットの照射挙動確認(常陽) ▶ 長寿命材料の照射性能確認(常陽)

高速増殖炉の安全性強化

- ▶ SA評価技術の構築と安全性向上策の抽出(自然循環除熱試験) ▶ SAM策の充実とその実証的な確認や訓練・運用

目標
 高速増殖炉/高速炉全体の安全技術体系の構築

- ▶ 国際標準安全設計ガイドライン(SDG)構築
- ▶ SA時の炉心冷却確保及び炉容器内終息技術開発(AtheNa-SA、EAGLE試験等)

まとめ
 作業
 [青枠]: 「もんじゅ」で実施
 赤字: 国際協力で実施またはその可能性あり

※ 定格運転以降は、1サイクルとして4ヶ月の運転+8ヶ月程度の点検を行う運転パターン想定