



資料 1-3

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会  
原子力科学技術委員会もんじゅ研究計画作業部会（第2回）

H24. 11. 8

# 「もんじゅ」が達成すべき事項及び具体的な研究計画

平成24年11月8日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

## 今回の研究計画における「もんじゅ」の役割

- ① 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取りまとめに向けた中核的な研究開発の場
- ② 廃棄物の減容及び有害度の低減等を目指した中核的な研究開発の場



「①成果の取りまとめに向けた研究開発計画」について、第1回作業部会で頂いたご意見・論点も踏まえ、以下のように検討を進めている

### □ 技術領域毎に研究開発体系を整理し直した。

従来の「もんじゅ」の研究開発は、プロジェクト進行に伴う時間軸を意識して整理してきた。(性能試験の実施⇒原型炉技術評価 等)

今回、高速増殖炉開発の成果の取りまとめを行うにあたり、「もんじゅ」でなすべき項目を明確にした計画とできるよう、研究開発を技術領域毎に整理し直した。

なお、従来、「もんじゅ」の所期の目的達成後の利活用に向けた検討課題であった「もんじゅ」高度化(炉心・燃料に係る高度化技術開発)は、今回の計画には含めないこととした。

### □ 「東電福島事故を踏まえた安全性関連技術」を新規ミッションとして取り入れた。

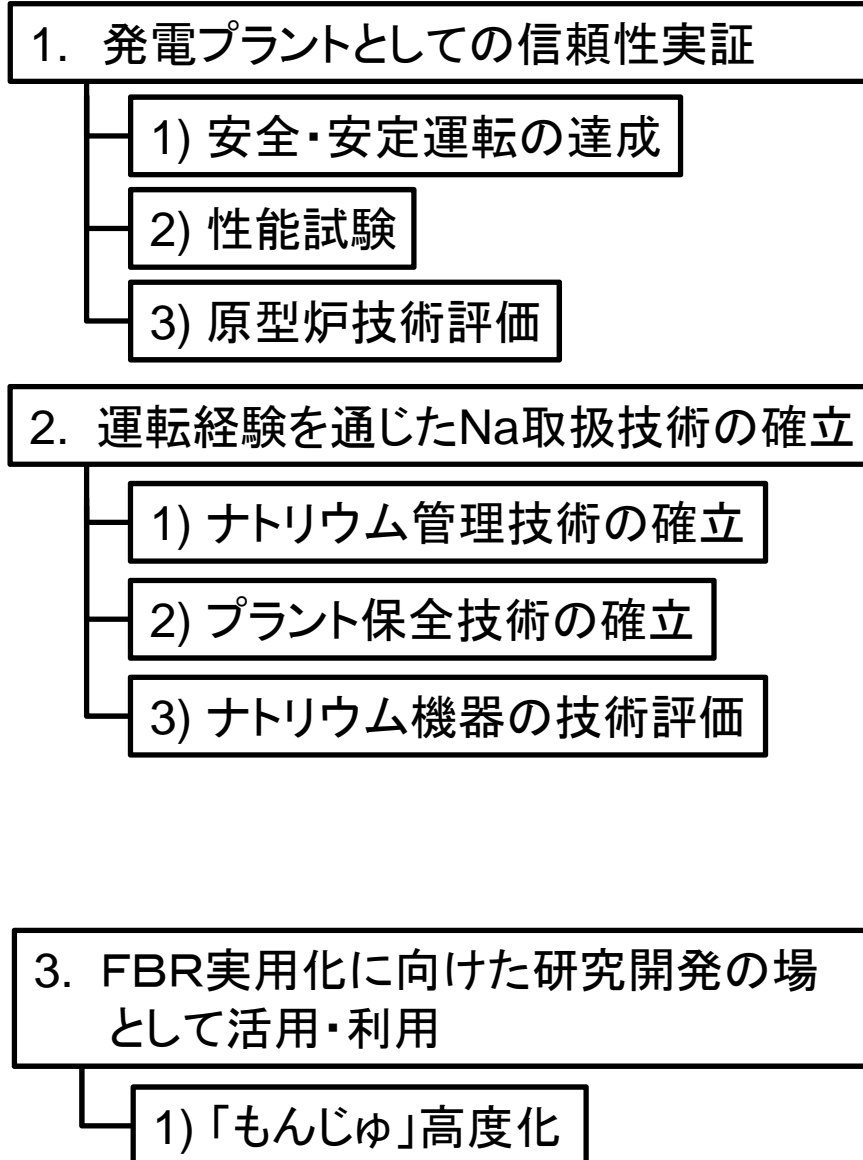
「もんじゅ」の新規ミッション「②廃棄物減容・有害度低減技術」については、本資料の検討対象外とする。

### □ 「もんじゅ」の特徴と研究開発の優先度を考慮して、実施すべき研究開発項目を分類整理する。

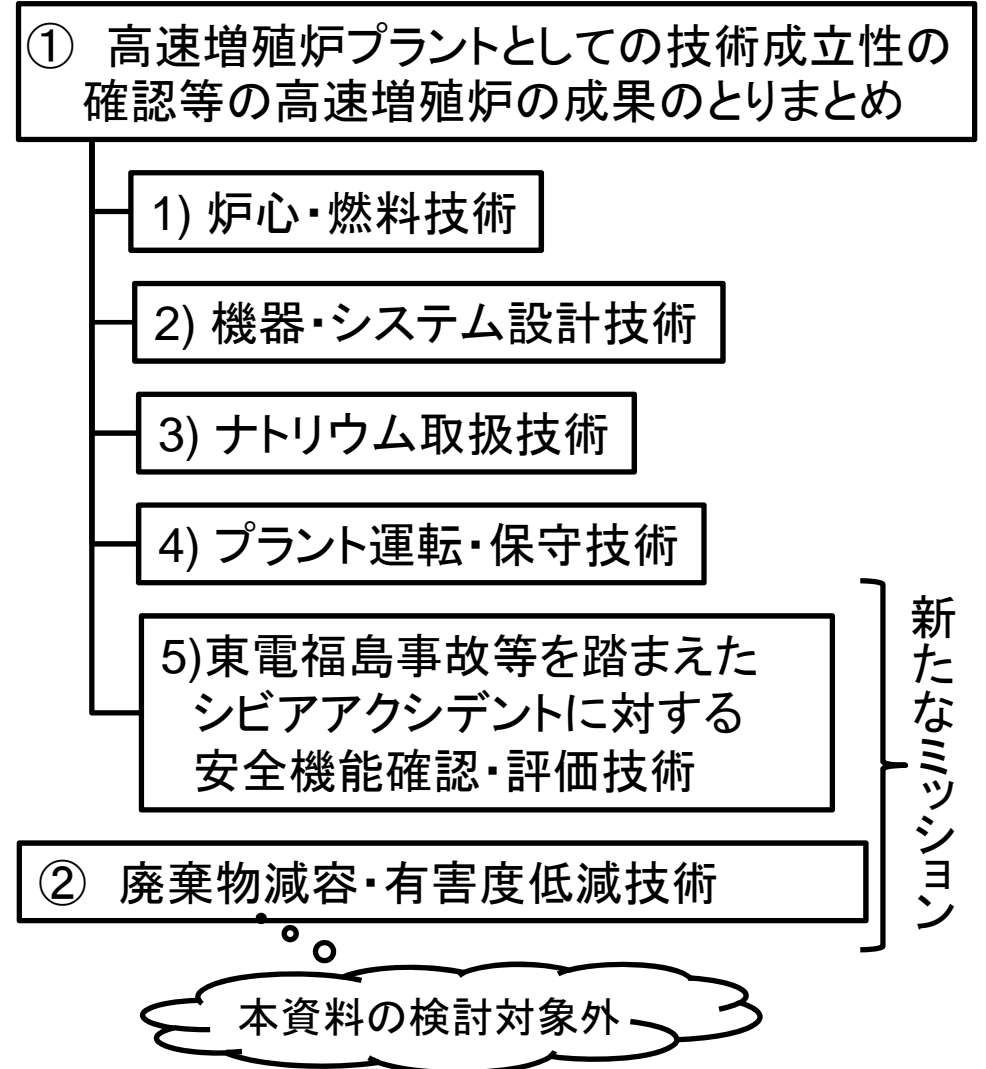
### □ これらの整理に基づき、「もんじゅ」の役割に沿った技術分野毎の研究開発計画を提案する。

# 「もんじゅ」における研究開発体系

## 【従来の研究開発体系】



## 【今後の研究開発体系】



新たなミッション

## 1) 炉心・燃料技術

### 「もんじゅ」の主な特徴

- ① 熱出力714MWの中規模の増殖炉心
  - 炉心領域等価直径約1.8m、炉心燃料領域高さ約0.93m、炉心燃料集合体198体、ブランケット燃料集合体172体
  - 炉心燃料集合体: 集合体全長 約4.2m、燃料要素全長 約2.8m、燃料要素数 169本
  - 炉心燃料領域プルトニウム、アメリシウム241及びウラン量の合計: 約5.7t(取替炉心)
- ② プルトニウムが高次化し、アメリシウム241が蓄積した燃料組成
  - 軽水炉使用済燃料から回収されたプルトニウムと劣化ウランから製造された低密度MOX燃料
  - 長期炉停止中にプルトニウム241の崩壊により蓄積したアメリシウム241を、炉心平均で約1.5wt%含有
- ③ 実用炉燃料サイズの集合体規模の照射試験が可能



### 高速増殖炉の成果のとりまとめにおける「もんじゅ」の主な役割

- ①②の特徴を持つ炉心の特性を確認
  - a. 性能試験で炉心特性データ(過剰反応度、制御棒価値、等温温度係数、出力係数、炉内熱流力特性等)を取得 → 原型炉の炉心設計手法、炉心管理コードシステム等を検証
  - b. 初期炉心～平衡炉心で、燃焼度依存性のある出力係数等のデータを取得し炉心管理手法を確立
  - c. プルトニウム241(半減期約14年)を含有する炉心の反応度管理 → 適切な燃料交換計画
  - d. 燃料集合体出口温度データ等の監視 → 炉心熱流力特性を把握
  - e. 燃料及びブランケットの燃焼後組成の確認 → 増殖比の検証
  - f. アメリシウムの再分布を含む燃料組織変化挙動の確認 → 燃料健全性の確認
  - g. 崩壊熱等のデータ取得 → 燃料集合体等の取扱い方法に反映

## 2) 機器・システム設計技術

### 「もんじゅ」の主な特徴

- ① メンテナンス性や耐震性で優位な面を持つループ型の発電炉  
【米(CRBR)独(SNR-300)が開発を中止した後、「もんじゅ」がループ型冷却システムの実証に唯一貢献】
- ② 1次系、2次系、3次系(水・蒸気系)から構成され、この3つが連携して制御されるシステム
- ③ 特徴ある機器・システム構成
  - a. 有液面制御及び分離ヘリカルコイル型蒸気発生器
  - b. 配管で接続され独立した大容量の中間熱交換器及び1次系ナトリウムポンプ
  - c. 我が国独自の構成がシンプルな台車型直動式燃料取扱システム
- ④ ループ型炉特有な配置の核計装設備、タグガス方式の破損燃料検出系、高速増殖発電プラント特有な蒸気発生器水リーク検出系、ナトリウム漏えい検出系



### 高速増殖炉の成果のとりまとめにおける「もんじゅ」の主な役割

- ① ループ型炉のプラント応答特性の確認  
性能試験(制御系調整試験、過渡試験)を通じて、1次系、2次系、3次系(水・蒸気系)が連携したプラントの制御特性・応答特性を確認、取得したデータを活用して設計手法の検証を実施
  - 原子炉側からの外乱(出力変更)や発電機側からの外乱(負荷しゃ断)に対し、プラントが安全かつ安定して収束・静定することを確認し、その応答特性データを取得
  - 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。原子炉トリップ時の冷却系の熱輸送遅れを伴う原子炉出力の応答特性、1次系流量の減衰特性、上部プレナム内の成層化状況等を確認

- ② 設計通りの100%出力運転の達成確認
  - 性能試験を通じて、高速増殖原型炉として、設計通りの定格出力(発電)を達成できること確認(発電機、補機冷却系などの発電所補助システムを含めた、プラント全体の動作確認を含む)
  - 定格運転後も安定的な発電が連続的に可能であることを確認
- ③ 冷却系機器の特性確認
  - 有液面制御及び分離ヘリカルコイル型蒸気発生器  
初期の運転を通して蒸気発生器の流動安定性を確認。その後は経年的な熱交換性能等の変化を継続して確認
  - 大容量の中間熱交換器及び1次系ナトリウムポンプ  
初期の運転を通して中間熱交換器の熱交換性能及び1次系ナトリウムポンプの振動特性等を確認。その後は経年的な特性変化を継続して確認
- ④ 台車型直動式燃料取扱システムの性能確認
  - 燃料交換、燃料洗浄、燃料貯蔵等の燃料取扱作業を通じて、燃料取扱システムの性能を確認するとともに、燃料交換作業の信頼性向上、交換期間短縮のための運転ノウハウ、設計改良に資する知見を取得
  - 特に燃焼を経て変形度の大きい燃料の取扱時の運転データ、保守データが重要であり、機器の遠隔自動動作性におけるナトリウム蒸気の影響なども確認
- ⑤ 計測設備の性能確認
  - 炉外設置の核計装設備、タグガス方式破損燃料検出系について、性能試験や本格運転を通じて性能確認を実施  
その後は継続したデータ取得を実施
  - 高速増殖発電プラント特有な蒸気発生器水リーク検出系(SG伝熱管破損検出)、ナトリウム漏えい検出系などの計測設備について、性能試験や本格運転を通じて性能確認を実施  
さらに、運転管理経験を踏まえて、高速増殖炉プラントとして安全運転管理におけるノウハウを蓄積  
検出性能の向上など開発要素を含むものについては、実機での経年データ(検出性能の変化、寿命等)を取得



### 3) ナトリウム取扱技術

#### 「もんじゅ」の主な特徴

- ① ループ型高速増殖炉特有な検査技術(原子炉容器・1次系主配管・蒸気発生器伝熱管)を開発
- ② ナトリウム関連の管理データ(純度管理、放射化物挙動)の取得が可能



#### 高速増殖炉の成果のとりまとめにおける「もんじゅ」の主な役割

- ① 実機適用を通じた検査技術の開発
  - 開発整備している原子炉容器・1次系主配管・蒸気発生器伝熱管の検査技術を、定期点検で実機に適用し、信頼性や確実性向上を目指した開発を実施
- ② ナトリウム管理技術の確立
  - 性能試験及び本格運転を通じたデータを取得し、コールドトラップを用いた1次系/2次系のNa中純度管理技術(酸素、水素)を確立(水素等の水蒸気系からの影響は常陽では得られない知見)
  - ナトリウム蒸気による機器(ベーパートラップ、しゃへいプラグ、コールドトラップ等)への影響や設計寿命の検証にかかる経年データを取得
  - 1次系配管・機器に付着する放射化物(CP等)の挙動特性データを取得し、「もんじゅ」の運転、点検・補修時の被ばく評価やしゃへい設計へ反映  
取得したデータを活用して評価手法を検証  
そのためには、主要CP核種(Co-58,60、Mn-54)の半減期から数年以上の運転経験が必要

## 4) プラント運転・保守技術

### 「もんじゅ」の主な特徴

- ① 保守・補修性に優れたループ型の発電炉



### 高速増殖炉の成果のとりまとめにおける「もんじゅ」の主な役割

- ① システムの運転・保守を自ら行い、その経験を通じて成立性確認及び経験蓄積を実施  
自ら行うことで、対応結果に至る検討段階の根拠まで含めて取りまとめることが容易となり、我が国のFBR技術の維持・継承にとって有益
- ② ループ型炉の保守管理技術の構築・確立
  - 劣化メカニズム把握・補修データ蓄積・保全内容の最適化等を行い、保全活動のPDCAを実施
  - 初期故障フェーズの保守経験を反映した保全計画を構築、さらに運転を経ることによりランダム故障フェーズの保守経験を反映した保全計画を構築
- ③ トラブル経験と克服知見の集積
  - 運転初期における初期故障・トラブル(バグ出し)の経験と克服知見。運転継続に必要な最小限の改造を行い設計へも反映  
運転を経たランダム故障・トラブルの経験と克服知見と必要な設計反映
  - 故障克服等の対応を通じて、アルゴンガス環境下で行うナトリウム系機器の保守・補修技術を開発・改良
- ④ 定期点検計画の整備
  - 経験を重ねることにより、軽水炉に比べ、アルゴンガス系や予熱系など多くの系統設備を有する高速増殖炉の合理的な定期点検計画を整備
  - 定期点検の実施結果を元に更なる補修合理化に向けた改善箇所の抽出



- ⑤ 高速増殖炉プラントの運転管理技術体系の整備
  - 実機の性能試験結果や運転経験、さらにシビアアクシデントの検討を通じて、より合理的な運転手法となるよう改善
  - ナトリウム漏えいや水漏えいなど高速増殖炉プラントの特殊性を反映し、我が国の発電プラントとしての規制体系下での保安規定や運転手順書を整備

## 5) 東電福島事故等を踏まえたシビアアクシデントに対する安全機能確認・評価技術

### 「もんじゅ」の主な特徴

- ① ナトリウムの自然循環による、タンク型炉よりも高い崩壊熱除去能力
- ② 東電福島第一原子力発電所事故後において、シビアアクシデント対策を高速増殖炉発電プラントで検討・実践する炉

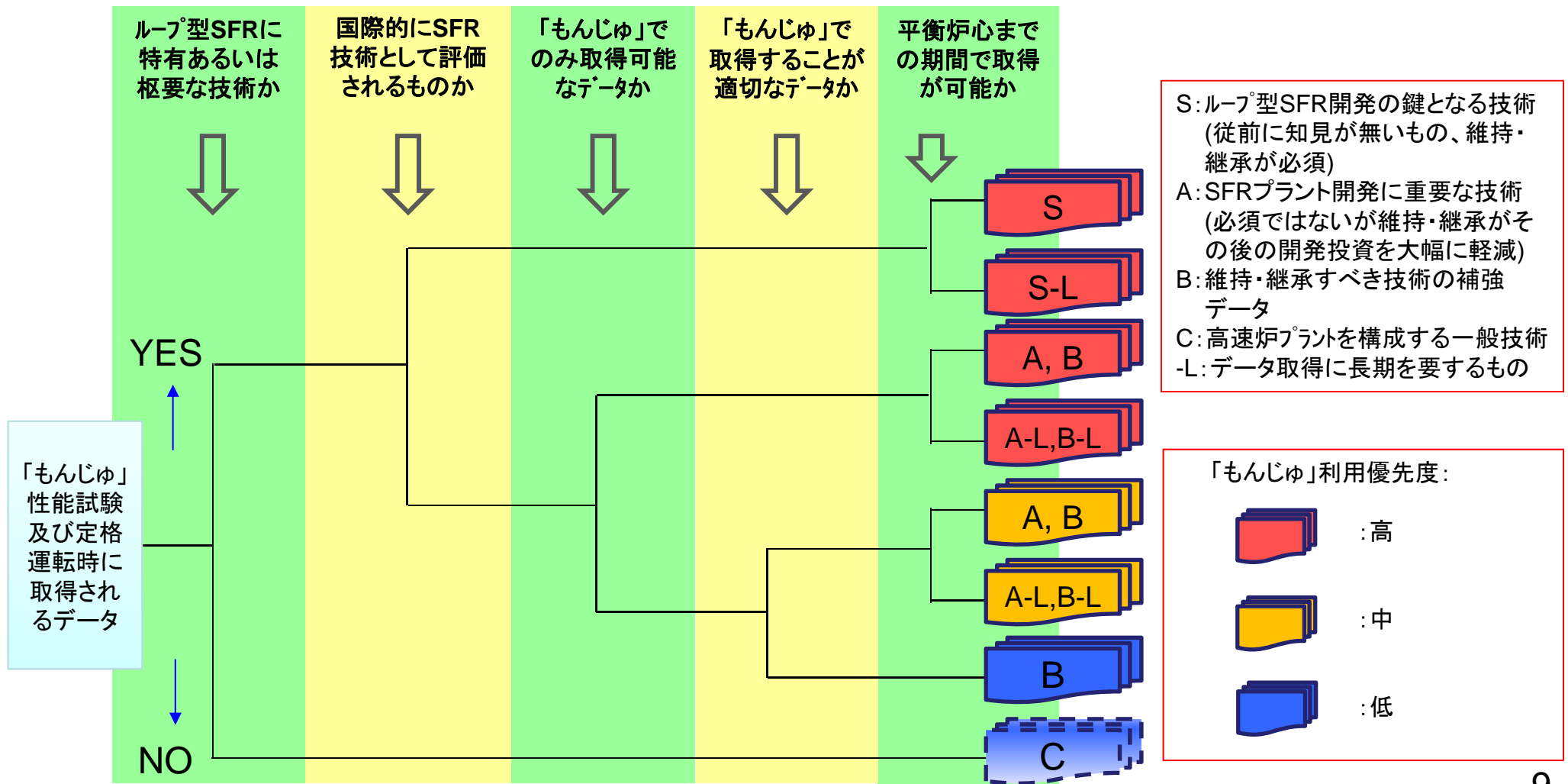


### 高速増殖炉の成果のとりまとめにおける「もんじゅ」の主な役割

- ① SBO発生時の種々の状況を考慮した自然循環除熱性能の実証試験を計画し、実施
- ② シビアアクシデント対策を発電プラント実機で実践
- ③ 安全設計基準(SDC)に記載されている崩壊熱除去系による長時間の自然循環冷却の実現や能力の実証に寄与するデータを提供することが可能
- ④ 「もんじゅ」におけるシビアアクシデント対策の経験と実績を、国外を含む将来炉への参照知見として提供することが可能

# 研究開発項目選定に当たっての分類の考え方

- 「もんじゅ」から得られるデータについて、技術の維持・継承への寄与度、および「もんじゅ」の利用優先度の観点から、分類を行う。分類に際しては、データ取得に必要な時間も考慮する。
- 前記の「もんじゅ」の特徴と役割を用いて、上記観点での分類を行い、成果の取りまとめのための研究開発項目を検討する。

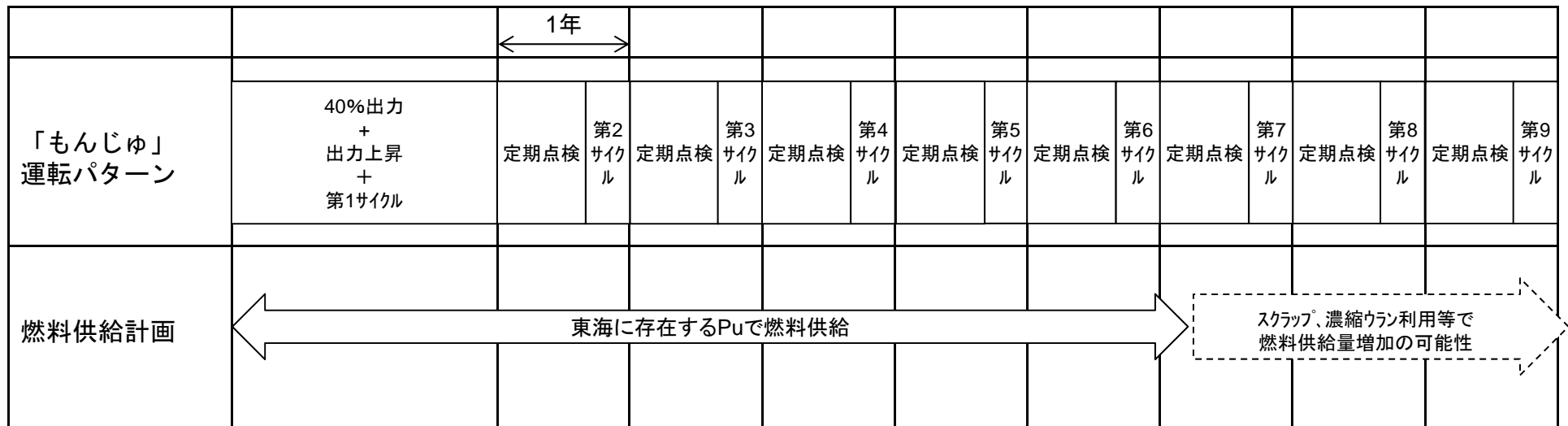


○ 運転パターンについて

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。

○ 「もんじゅ」の運転に必要な原料プルトニウムは、東海に存在する分離済プルトニウムを優先して用いる。

\* : 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。

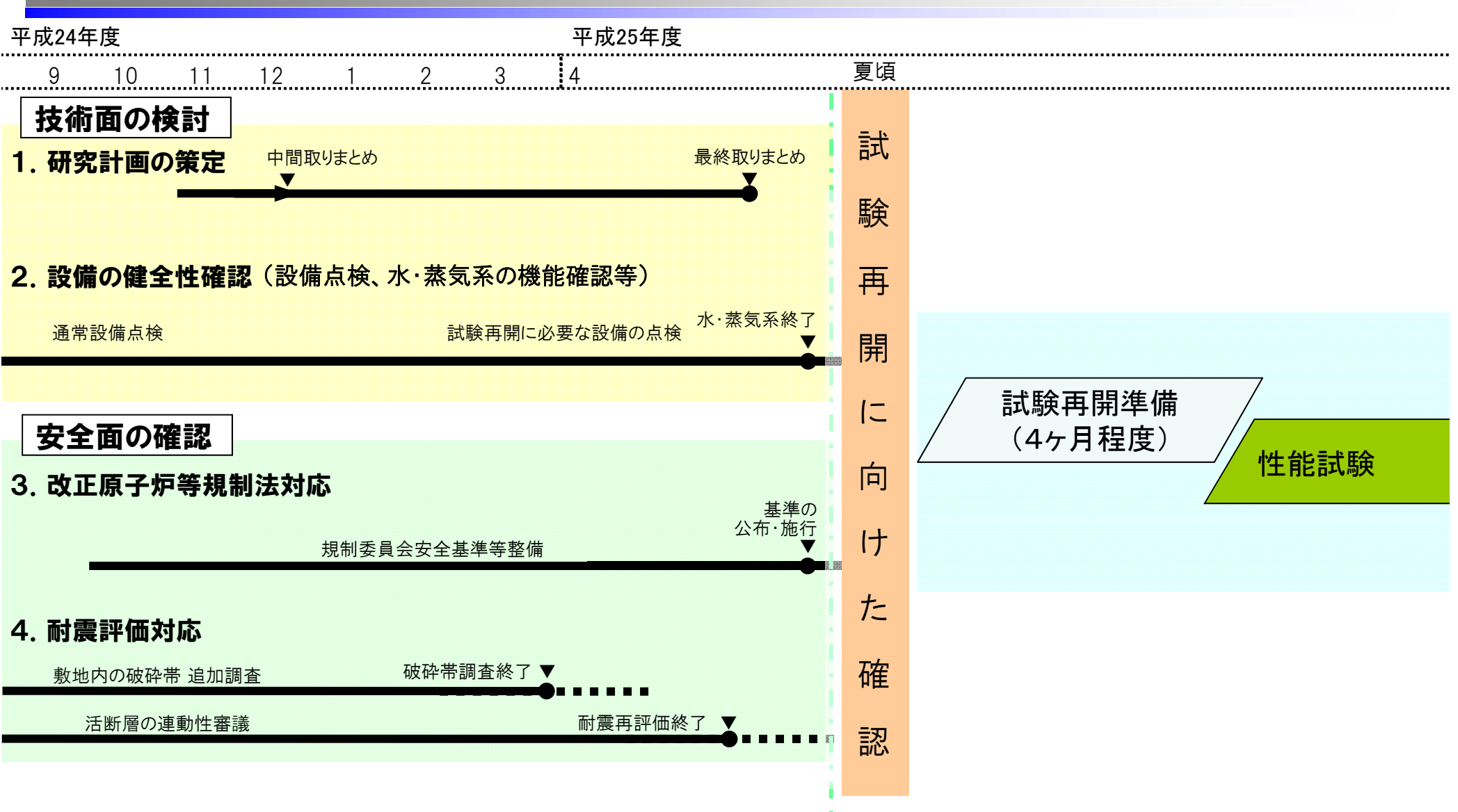


○ 許認可について

成果取りまとめは年限を区切って行うこととされていることから、成果取りまとめのための研究開発計画の策定にあたっては、現行許可範囲内で実施することを原則とする。



# 「もんじゅ」の試験再開に向けて検討・確認すべき事項について



但し、規制委員会が新たに定める安全基準への対応等の状況によって、確認の時期の変更はあり得る。

## 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

### 1) 炉心・燃料技術

- ① 高次化したPu組成の炉心特性確認、炉心設計手法・炉心管理技術の確立
- ② 燃料等の照射挙動確認(照射後試験)

### 2) 機器・システム設計技術

- ① ループ型炉プラント・機器性能確認  
(プラント制御性能、プラント過渡性能、水・蒸気系設備の運転制御性能、100%出力運転特性、ループ型Na炉特有な計測系設計技術)
- ② 性能試験データを用いた設計手法検証  
(プラント動特性解析手法(制御特性、過渡特性等))
- ③ 台車型直動式燃料取扱システム性能確認
- ④ 発電所補助システム性能確認

### 3) ナトリウム取扱技術

- ① ループ型炉検査技術の開発
- ② ナトリウム管理技術(実環境下での特性確認; Na純度管理技術、トリチウム、放射化物(CP)の移行挙動特性)

### 4) プラント運転・保守技術

- ① ループ型炉の保守管理技術の構築・確立  
(点検・補修経験、継続的に見直しを行う保全計画)
- ② トラブル対応から得られる知見の集積
- ③ 高速増殖炉プラントの運転管理技術の体系化  
(保安規定、運転手順書類)

### 5) 東電福島事故等を踏まえた シビアアクシデントに対する 安全機能確認・評価技術

- ① 自然循環除熱性能実証(SBO発生時の種々の状況を考慮した試験を計画、試験データを用いた評価手法検証)
- ② 安全性向上評価(シビアアクシデント対策、PSA、ナトリウム安全)



# 「もんじゅ」における主要な研究開発項目(2/4)

区分	項目	2Cy	3Cy	4Cy	5Cy	6Cy	7Cy	8Cy	9Cy	
		性能試験	本格運転							
		初装荷炉心	初期炉心				平衡炉心			
炉心・燃料技術 【A:初期炉心特性】 【A-L:平衡炉心特性】	◎ 高次化したPu組成の炉心特性確認 臨界特性、温度係数、燃焼係数、出力係数、熱流力特性など ◎ 炉心設計手法検証・炉心管理技術確立(炉心特性データを用いた評価検証)	★ 初装荷炉心特性 (炉心設計手法検証)			★ 初期炉心燃焼特性 (炉心設計手法検証) (炉心管理技術確立)			★ 平衡炉心特性 (炉心設計手法検証) (炉心管理技術確立)		
炉心・燃料技術 【A】	◎ 燃料等の照射挙動確認(照射後試験) 燃料・制御棒健全性、照射挙動、増殖性能、照射データ			(取出し) → ★ 初期照射挙動データ (初期健全性・照射挙動)		(取出し) → ★ 燃焼照射挙動データ (照射挙動・増殖性能)				
機器・システム 設計技術 【S】	◎ ループ型炉プラント運転特性・制御特性・過渡特性確認 プラントトリップ試験、プラント制御系調整試験(出力変更特性)、100%出力運転、熱交換器等の経年特性 ◎ 試験データを用いたプラント動特性解析手法検証	★ プラント性能確認 (データ取得)			★ 5Cy程度運転後 健全性確認 (経年的な特性確認を継続)					
機器・システム 設計技術 【A】	水・蒸気系、タービン・発電機性能確認 水・蒸気系起動バイパス制御系調整、負荷しゃ断時特性	★ プラント性能確認 (データ取得)			★ 5Cy程度運転後 健全性確認 (経年的な特性確認を継続)					
機器・システム 設計技術 【A:破損燃料検出】 【B:中性子他】	ループ型炉計測設備信頼性確認 水漏えい検出器特性試験、中性子検出器特性試験、破損燃料検出装置特性確認、ナトリウム漏えい検出器特性確認	★ 機器性能確認 (データ取得)			★ 5Cy程度運転後 信頼性確認 (経年的な特性確認を継続)					

◎: 国際協力の実績がある又は有望な項目、○: 国際協力の可能性がある項目





# 「もんじゅ」における主要な研究開発項目(3/4)

区分	項目	性能試験	2Cy	3Cy	4Cy	5Cy	6Cy	7Cy	8Cy	9Cy
		本格運転								
		初装荷炉心	初期炉心			平衡炉心				
機器・システム 設計技術 【S: 初期炉心燃料】 【S-L: 平衡炉心燃料】	◎ 台車型直動式燃料取扱システム性能確認 燃料交換・洗浄・貯蔵等を通じた台車型直動式燃料取扱システム性能確認 運転・保守データの取得	★ 初期性能確認 (初装荷燃料)				★ 燃焼後性能確認 (初期炉心燃焼燃料)			★ 燃焼後性能確認 (平衡炉心燃焼燃料)	
機器・システム 設計技術 【C】	発電所補助システム性能確認 換気空調設備特性確認 ユーティリティ消費量確認 制御用圧縮空気圧力確認	★ プラント性能確認 (データ取得)			(経年的な特性確認を継続)					
ナトリウム取扱 技術 【S: 初期経験】 【S-L: 高度化】	○ ループ型炉検査技術の開発(ISI技術) 原子炉容器、1次主冷却系配管、蒸気発生器伝熱管の検査技術の定期点検での実機適用を通じた開発(改良、高度化含む)	★ SST後定期点検で ISI技術実機適用			★ 4Cy程度後定期点検で 初期経験反映 (改良・高度化着手)				★ 8Cy程度後 定期点検で ISI技術高度化	
ナトリウム取扱 技術 【B: 初期～燃焼後】 【B-L: 長期】	ナトリウム管理技術(実環境下での特性確認) ナトリウム純度管理技術(燃料交換等による不純物持込量評価等) 放射化物(トリチウム、CP)移行挙動データ取得とデータを用いた評価手法検証	★ 初期データ取得 (性能試験時)				★ 5Cy程度運転 データ取得			★ 長期データ取得 (特にCP蓄積挙動*)	

\*) 主要CP核種のひとつであるCo-60の半減期は約5.3年と長く、放射平衡(生成蓄積速度と崩壊消滅速度が等しくなる平衡状態)に達するのに20年以上を要する(他の主要核種: Mn-54の半減期は約312日、Co-58の半減期は約71日で、数年程度で放射平衡に達する)。

◎: 国際協力の実績がある又は有望な項目、○: 国際協力の可能性がある項目



# 「もんじゅ」における主要な研究開発項目(4/4)

区分	項目	2Cy	3Cy	4Cy	5Cy	6Cy	7Cy	8Cy	9Cy	
		性能試験	本格運転							
		初装荷炉心	初期炉心			平衡炉心				
プラント運転・保守技術 【A:初期故障】 【A-L:ランダム故障】	ループ型炉の保守管理技術の構築・確立 試運転・本格運転を通じ、劣化メカニズム把握・補修データ蓄積等に基づく保全内容のPDCAを実施 ループ型ナトリウム炉の保全技術を確立					★ 5Cy程度後定期点検初期故障フェーズ経た構築		★ 8Cy程度後定期点検ランダム故障フェーズ経た構築		
プラント運転・保守技術 【A:初期運転経験】 【A-L:長期運転経験】	高速増殖炉プラントの運転管理技術の体系化 保安規定(運転管理)、運転手順書類 本格運転・定期点検・燃料交換における手順合理化等運転経験、シビアアクシデント検討を反映し、体系構築	★ 性能試験運転経験通じた整備			★ 運転経験に基づく合理化等の整備			★ 長期運転経験に基づく合理化等の整備		
プラント運転・保守技術 【B】	トラブル対応から得られる知見の集積 長期保管、経年劣化、各種トラブルの経験・克服知見	→ 長期保管、経年劣化、各種トラブルの経験・克服								
安全機能確認・評価技術 【S】	◎ 自然循環除熱性能実証 性能試験実施(SBO発生時の種々の状況を考慮した試験を計画、原子炉容器内上部プレナム部等の試験データ取得) 試験データを用いた評価手法の検証	★ 除熱性能確認(データ取得)			★ 評価手法検証・確立(データ取得後3年程度)					
安全機能確認・評価技術 【A】	安全性向上評価 シビアアクシデント対策、PSA、運転経験を踏まえた継続的な見直し、ナトリウム安全	★ 安全性向上評価書届出							(最新知見バック・フィット・見直し継続)	

◎: 国際協力の実績がある又は有望な項目、○: 国際協力の可能性がある項目