

高速炉研究開発における原子力機構の役割

平成30年11月2日

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構

青砥 紀身

1. 今後の高速炉開発の方向性
 - 検討のポイント
 - 開発環境の変化と原子力機構の役割認識
2. 原子力機構のこれまでの成果
3. 原子力機構の役割
 - ① 技術基盤の整備・インフラ強化
 - ② 技術・知見の支援・提供、人材交流・育成拠点
 - ③ 国際協力
4. まとめ

1. 今後の高速炉開発の方向性 – 検討のポイント –

- 高速炉開発会議による「高速炉開発の方針」（2016年12月原子力関係閣僚会議決定）
 - ✓ 「戦略ワーキンググループ」を設置し、2018年を目途に「戦略ロードマップ」策定を目指す
- 第5次エネルギー基本計画（2018年7月閣議決定）
 - ✓ 「戦略ロードマップ」の下、高速炉等の研究開発に取り組む。



- ◆ 戦略ワーキンググループでの議論（2017年3月～） ※ 第12回までの議論
 - ・ 高速炉サイクル技術の性能目標、ミッションは開発環境に~~応じ見直す~~べき（近藤氏、第2回）
 - ・ 国内外の研究開発施設を活用し、海外研究者の参加も含め、高速炉サイクルの裾野の~~広い研究開発を行う~~（山口氏、第2回）
 - ・ 状況の変化に対応できる~~オプションを複数見出すための研究が必要~~。多国的なアプローチは重要（マグウッド氏、第3回）
 - ・ 国立研究開発機関は~~知識基盤を整備提供~~し、今後は民間による技術開発・研究開発を支援する役割を期待（岡氏、第9回）
 - ・ ナトリウム冷却高速炉の実用化技術課題の多くは、技術実証段階にあるか、実証段階に進める状況（事務局資料、第10回）
 - ・ 国内高速炉開発施設、知見の活用が重要。機構は技術基盤を提供、人材交流の拠点となり、原子力分野のイノベーションに寄与（文科省、第11回）



高速炉開発の方向性検討のポイント

- a. 開発環境変化/多様な社会的要請への対応(高速炉サイクルのミッション、開発計画、蓄積技術の活用)
- b. 原子力機構の役割
- c. 国際協力の戦略的活用

開発環境変化/多様な社会的要請

- **原子力技術イノベーション**：多目的利用（熱利用等）、再生エネルギーとの共存・補完、安全性や経済性の革新的向上技術、等
- **核燃料サイクル政策の推進**：高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減、資源有効利用
- **中長期的な課題への対応**：低廉安定な電力供給、国際情勢の不確実性、産業構造変化、エネルギー供給システム見直し、地球温暖化、等



原子力技術イノベーション(プロセスイノベーションを含む)を踏まえた核燃料サイクルの開発計画

原子力機構の役割：

- 国の開発**計画立案/推進に技術面で参画**、貢献
- 高度な**技術基盤整備・インフラ強化**の実施
- 国際協力を通じた**多国的な研究アプローチ主導と国際標準化**の推進
- **技術基盤・研究開発インフラ及び蓄積技術・知見の民間等の活動への提供**
- 開発体制の裾野拡大に貢献する**人材交流・育成拠点としての活動**

地球温暖化対策やエネルギーセキュリティの確保等、原子力エネルギーの持続性確保の観点から長期的視点をもって開発に貢献

2. 原子力機構のこれまでの成果：高速炉プラント開発

□ FaCT凍結後の研究開発

- 安全性向上技術
- ✓ 苛酷事故対策技術
- ✓ 自然循環崩壊熱除去技術
- 規格・基準類の高度化、等

Na冷却高速炉の実用化技術の多くは技術実証段階

高速増殖炉サイクル実用化研究開発（FaCT）

- 経済性等の開発目標を達成可能なNa冷却・MOX高速炉、サイクルシステムの概念の創出

高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究（FS）

- 高速炉・サイクル概念について広く調査・評価・選定
- Na冷却・MOX高速炉・湿式再処理を選定

□ 国際協力(進展中)

多国間協力、2 国間協力を活用し合理的にNa冷却高速炉の開発を実施

- 日仏協力(ASTRID)：炉の安全性向上など、**国際標準技術の共同開発**
- 日米協力：金属燃料を含む基盤技術の共同開発
- GIF：**安全設計クライテリアの国際的整備**
- カザフスタン：安全性炉内試験(EAGLE)による実環境試験データ取得

もんじゅ

設計・建設：完了

- 発電炉炉心、機器、システムの**設計技術**
- Na機器の**製作技術**・実績
- プラント**建設技術**・実績

性能試験(40%出力まで)：約6割終了

- 炉心性能検証：（一部）
- Na機器等の**設計技術検証**：（一部）
- プラント運転性：（一部）

もんじゅの成果（発電炉としての技術確認）

常陽

- 高速炉炉心の**基本性能確認**（増殖性能、反応度特性）
- Naループシステム基本性能確認（自然循環等）
- Na機器の運転特性確認、保守・補修（中間熱交換器交換、炉心上部構造交換）

常陽の成果（高速増殖炉の原理確認）

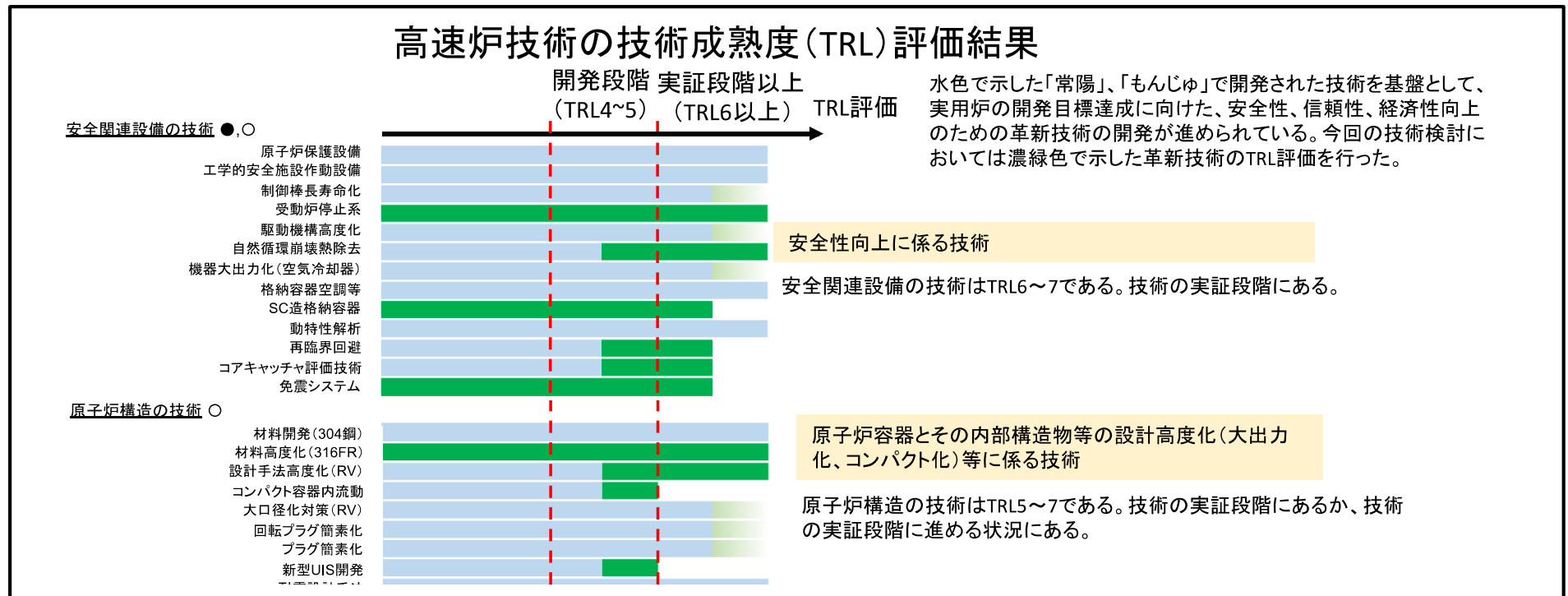
基盤技術開発/基礎研究

炉物理、熱流動、安全、構造・材料（民間規格策定への貢献）、計測、燃料材料など

2. 原子力機構のこれまでの成果：枢要技術の蓄積

□ ナトリウム冷却高速炉及び燃料サイクル技術

第10回戦略WG(資料4) ➡ ナトリウム冷却高速炉は**技術の実証段階にあるか、実証段階に進める状況**と評価



- **安全性向上技術**：受動的炉停止、自然循環崩壊熱除去、再臨界回避と炉内事故終息はそれぞれTRLで**実証段階以上**
- **経済性向上技術**：原子炉容器コンパクト化は**実証段階に進める段階**、等

*TRL：概念の提案段階から商用利用まで、技術の成熟度を表す

3. 原子力機構の役割 ①技術基盤整備・インフラ強化（高速炉）

これまでのナトリウム冷却高速炉の開発の知見を活かし、既存の試験施設(ハード)機能、及び設計のための評価手法(ソフト)を活用して、今後の高速炉開発を支援する。

- ◆ 「**知識ベース**」：ナトリウム冷却高速炉に係る過去の知見を今後の高速炉開発に活用するため、必要不可欠なシステム
⇒ 散逸しつつある従来知見を「知識」として活用するため、最優先で整備すべき
- ◆ 「**仮想空間上のプラントシステム**」、「**AIによる設計最適化システム**」：ナトリウム冷却高速炉の実証段階の開発を大幅に合理化するシステム
⇒ これら3つのシステムを統合し「解析による設計」、ナトリウム冷却高速炉技術の集約・利用拡大に貢献
- ◆ これらの技術は、**ナトリウム冷却高速炉以外の炉型への応用も可能な領域も存在**しており、将来の社会環境の変化を踏まえた**より柔軟なアプローチにも対応可能**
- ◆ 開発した**技術の民間等への提供と産業化**が最終目標

■ 設計支援・評価手法の整備

各種試験による知見



大洗・AtheNa



大洗・MELT



敦賀・SERF

解析ツール開発知見

- ・設計ツール
- ・安全評価ツール、等

AIによる設計最適化システム

- ・**知識ベース、仮想空間プラントと連携**する評価により最適設計を探索
- ・設計者の知見・経験に頼らず設計最適化

仮想空間上のプラントシステム

- ・バーチャルプラントによる性能評価
- ・**実験式・実証試験を代替**

知識ベース

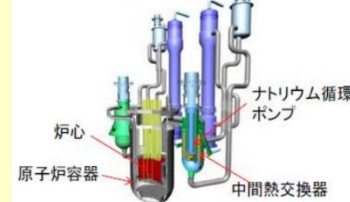
- ・先行炉、FaCT、国際協力での知見を**設計に活用可能な知識化**
- ・解析との連携、AIの活用により知見を**補完・拡張**（設計可能窓の拡大に貢献）

試験研究による現象評価、データ取得、解析手法検証

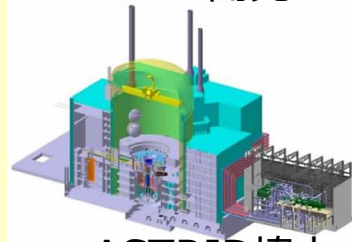
炉開発からの知見



もんじゅ開発



FaCT開発

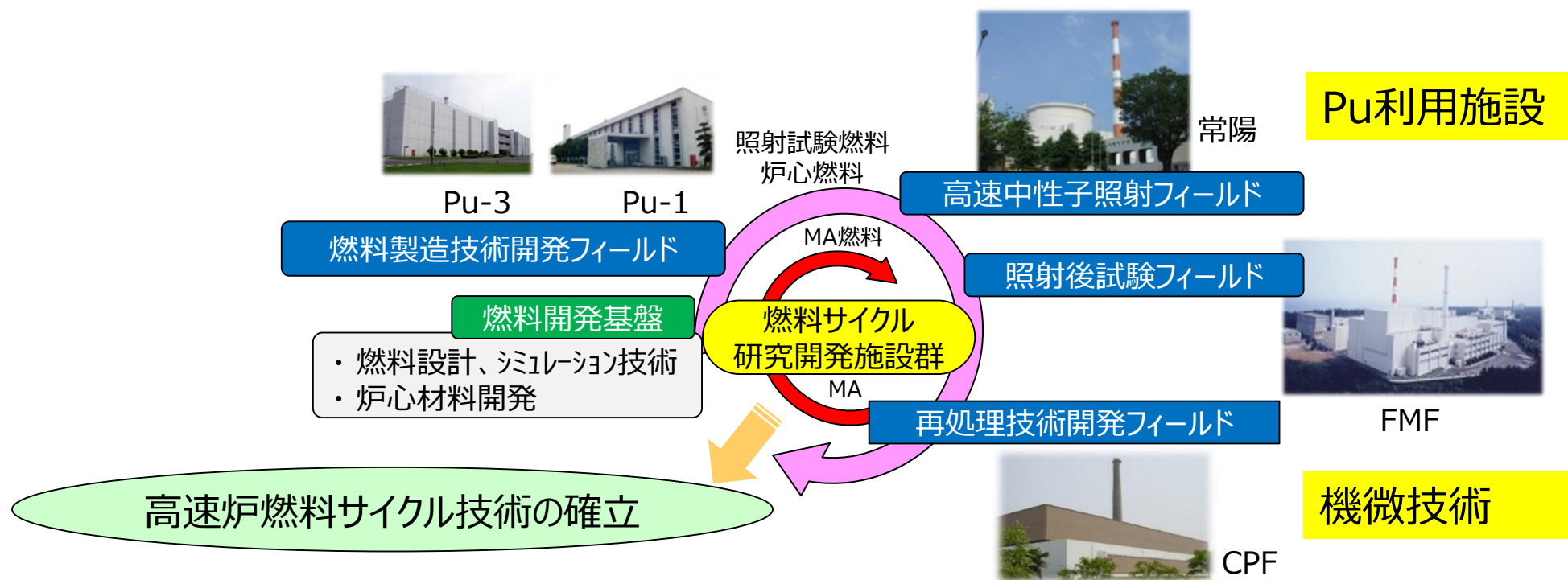


ASTRID協力

設計製作知見等

当面は**原子力機構が主体** → 将来的には民間移転、商用化

- ◆ 高速炉再処理技術へと段階的に進める → **軽水炉サイクルとの共通技術(溶解技術、抽出技術)**を先行
- ◆ 燃料・製造技術 → **研究開発基盤強化(ソフト&ハード)**、高燃焼度化、経済性向上を主眼
- ◆ 技術基盤の維持・強化 → **常陽及びホット試験施設等**の活用
- ◆ MOX以外の**燃料オプション** → **他機関との連携**により進める



研究開発の技術基盤、知見（ハード・ソフト）の提供

- ◆ 機構が有する試験施設・装置や統合評価手法を他機関に提供 → 適切かつ効果的な提供システム検討
- ◆ 利用者の要請に応じた技術基盤、施設機能の高度化 → 原子力技術イノベーション創出、人材交流・育成拠点
- ◆ 規制当局に安全評価に関する実験・解析知見を提供 → 開発初期からの安全技術基盤の共有化

■ 場の提供、人材育成に係る今後の施策案

1. 研究開発の場、手段の他機関への提供

- 試験設備（構造・材料、液体金属流動、化学反応などの試験設備。照射と照射後試験を行う炉と設備）
- 試験技術（高温融体、核燃料・RIの取扱い技術。レーザー、超音波による計測技術）
- 試験計画立案ノウハウ
- 解析手法（統合評価手法。伝熱流動、構造強度、炉物理などの個別現象評価手法）

2. 原子力を担う人材育成、交流の機会

- 共同での試験研究、技術開発、論文投稿
- 高温や液体金属など共通テーマでのフォーラム
- 大学教育支援（実技研修、講座）

機構が保有する試験施設例



**Na機器・系統試験
(AtheNa:大洗)**



**炉心安全性試験
(MELT:大洗)**



**Na伝熱流動試験
(PLANDTL:大洗)**



**Na工学試験
(SERF:敦賀)**

◆ 国際協力の戦略的推進：多国的な研究アプローチ主導と国際標準化の推進

日仏

- ASTRID協力による炉設計技術
- プラントシミュレーション技術と試験検証

日米

- ナトリウム冷却試験炉開発への参画
- 金属燃料・乾式再処理の共同開発

日カザフスタン

- 苛酷事故の共同炉内試験

機構を中心とした国際協力の方針

- 2国間協力（日仏、日米）では、ナトリウム冷却高速炉の枢要技術を国際分担することにより開発の効率化、技術の国際標準化を目指す
- GIF、IAEA等の多国間協力により規格基準類や安全要求・設計の国際標準化を目指す

第四世代原子力システム国際フォーラム GIF

- 国際協働で安全設計基準の原案作成
- 6概念の研究協力

IAEA/NEA

- 安全設計基準の国際標準化
- 規制側とのコミュニケーション促進

ASME - JSME (学協会活動)

- 関連の規格基準類の国際標準化

- 開発環境の変化や多様な社会的要請を踏まえ、高速炉サイクルのミッションや開発計画の見直しなど、柔軟な対応を図る必要がある。
 - 原子力機構は、国・高速炉開発会議の開発計画立案/推進に技術面で参画、貢献
- 「高い安全性の確保、ウラン資源問題解決とエネルギーの準国産化、放射性廃棄物の減容化・有害度低減」の実現が原子力技術のイノベーションである。原子力機構は、ナトリウム冷却高速炉開発を通じて蓄積している技術基盤とインフラを活用し、多様な提案概念にも対応して、高速炉サイクルの確立に向けた責務を果たす。主要なポイントは以下の通り。
 - 蓄積した技術基盤の整備・高度化、インフラ強化
 - ✓ 知識ベースと解析、AI活用による設計支援・評価手法の構築、炉を含む試験施設の整備・強化
 - ✓ 軽水炉サイクルとの共通技術開発からの燃料サイクル研究開発推進（当面原子力機構が主体）
 - 上記の技術基盤・インフラ・知見の民間等の活動への提供・支援、人材交流・育成拠点の提供
 - 国際協力を通じた多国的な研究アプローチ主導と国際標準化の推進