



「常陽」の役割と今後の利用計画・ニーズについて



独立行政法人日本原子力研究開発機構

内 容

1. 「常陽」の役割
2. 「常陽」の利用ニーズ
 - (1) FBR開発における技術開発課題
 - (2) 国内のアンケート調査結果
3. 「常陽」の照射性能の高度化
 - (1) FBR開発のための照射能力
 - (2) さらなる照射機能の拡大と多様化
4. まとめ

1. 「常陽」の役割

F B R開発における高速中性子照射場の必要性

- ・ F B Rの特徴：
高中性子束
高出力密度
高燃焼度
高温ナトリウム環境
} 等の厳しい使用環境
- ・ 軽水炉と比較して少ない運転実績

実用化のための研究開発要素が多い



実績の少ないF B Rでは、実機データ（照射、運転）が重要



「常陽」はこれらのニーズに応えることができる照射施設

「常陽」の役割

原子力政策大綱（平成17年10月）

第4章 原子力研究開発の推進

日本原子力研究開発機構は、「常陽」を始めとする国内外の研究開発施設を活用し、海外の優れた研究者の参加を求めて、高速増殖炉サイクル技術の裾野の広い研究開発も行うものとする。

総合科学技術会議（平成20年11月）

基本政策推進専門調査会 分野別推進総合PT エネルギー分野PT

高速実験炉「常陽」：高速増殖炉の実用化に不可欠な高速中性子の照射場として、高速増殖炉用燃料・材料の高燃焼度化など、経済性向上等に係る革新技術の実証を進める。



- FBRの燃料・材料開発のための照射試験
- 革新技術の実機プラントでの実証
（ナトリウム冷却型高速炉の運転・保守技術の確立を含む）
- 多目的利用
- 技術者養成、教育研修、など

2. 「常陽」の利用ニーズ

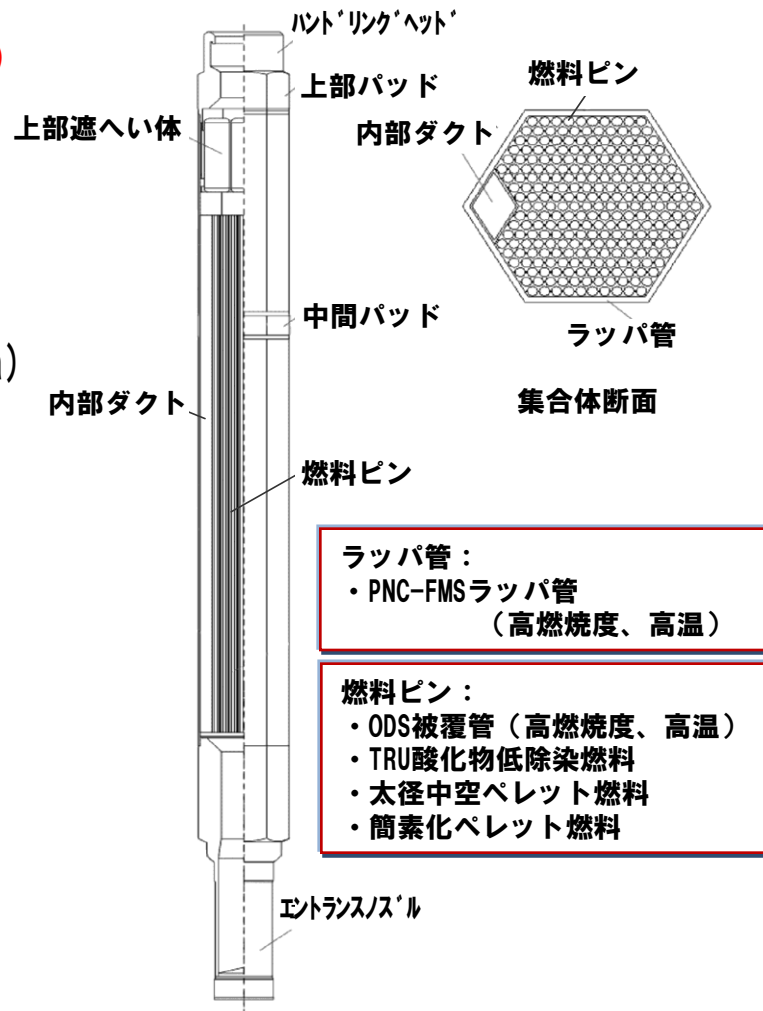
(1) FBR開発における技術開発課題

F B R 開発における技術開発課題の例（1/2）

高速増殖炉サイクル実用化研究開発（F a C Tプロジェクト）における 炉心・燃料技術開発に関する要求課題

FaCT酸化物燃料炉心概念のねらい（照射試験関連）

- 安全性
 - ・改良内部ダクト付集合体構造：再臨界回避
- 経済性
 - ・炉心部取出平均燃焼度：約150GWd/t
(ピーク燃焼度230～250GWd/t, ピーク照射量250dpa)
 - ・被覆管最高温度：700℃ (炉容器出口温度：550℃)
- 持続可能性
 - ・MA含有率：1～5%
 - (U, Pu) 燃料にも対応
 - 多様な燃料同位体組成考慮
- 燃料サイクル技術との整合
 - ・太径中空ペレット燃料：燃料製造費抑制
 - ・簡素化ペレット燃料：燃料製造費抑制
- その他
 - ・ジルコニウム水素化物遮へい体：炉心コンパクト化
 - ・長寿命制御棒：長期運転サイクル
廃棄物低減、経済性向上



改良内部ダクト型燃料集合体の概念図

F B R 開発における技術開発課題の例（2/2）

高速増殖炉サイクル実用化研究開発（F a C Tプロジェクト）における 炉心・燃料技術開発に関する要求課題

F B R 実用化燃料の成立性評価及びデータの拡充等

高燃焼度 燃料開発	• ODS被覆管燃料ピン照射（230～250GWd/t*¹） • ODS被覆管・PNC-FMSラッパ管材料照射（250dpa*¹） • ODS被覆管燃料ピンバンドル照射 • PNC-FMSラッパ管照射
高度化 燃料開発	• 太径中空ヘレット燃料ピン照射（FCMI*²挙動確認） • 太径中空ヘレット燃料ピンのPTM*³照射 • 燃焼燃料のPTM*³照射
MA含有 燃料開発	• Am, Np含有酸化物燃料照射（40GWd/t以上） • Cm含有酸化物燃料照射
FBR技術要素 高度化	• 内部ダクト付集合体構造の健全性確認試験 • 高性能遮へい体用ジルコニウム水素化物照射 • 長寿命制御棒用B₄C照射

*1：ピーク値

*2：燃料-被覆管機械的相互作用（Fuel-Cladding Mechanical Interaction）

*3：溶融限界線出力（Power-to-Melt）

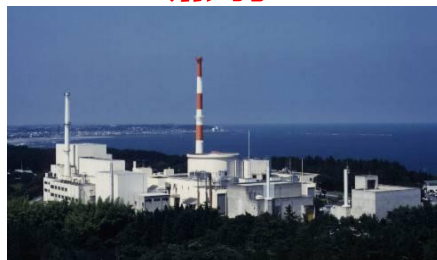
「常陽」で照射試験を実施することのメリット

高速増殖炉サイクルの革新的な技術の実用化のためには、
製造・照射・照射後試験を一元的に実施する必要がある。

製造



照射



照射後試験



「常陽」は照射試料の製造施設や、照射後試験施設が同一サイトにあり、また、先進燃料製造施設が同一地域にあるため、高速増殖炉サイクルの革新的な技術を効率的に開発できる。

世界のFBR開発における「常陽」への期待

- ・ 国際協力における連携の強化
- ・ ナトリウム冷却型高速増殖炉開発への貢献
- ・ マイナーアクチノイド含有燃料、革新燃料開発等の要となる照射試験の実施（日仏米による包括的アクチノイドサイクル国際実証（GACID）計画等）

Nuclear Energy: Policies and Technology for the 21st Century

There is no FSTR (Fast Spectrum Test Reactor) in the United States and few in the world. ... **JOYO** appears to offer the most likely opportunity for conversion to an international FSTR user facility, to irradiate fuel elements and other materials, in partnership with a limited set of countries, including France, Japan, and the UK.

原子力：21世紀の政策と技術

高速中性子照射炉は、米国内には存在せず、世界でも数少ない。（中略）「**常陽**」は、フランス、日本、英国等が共用する国際的な燃料・材料の照射施設として、最も有望と考えられる。

（米国エネルギー省原子力諮問委員会報告書（2008年11月12日公表）より抜粋）

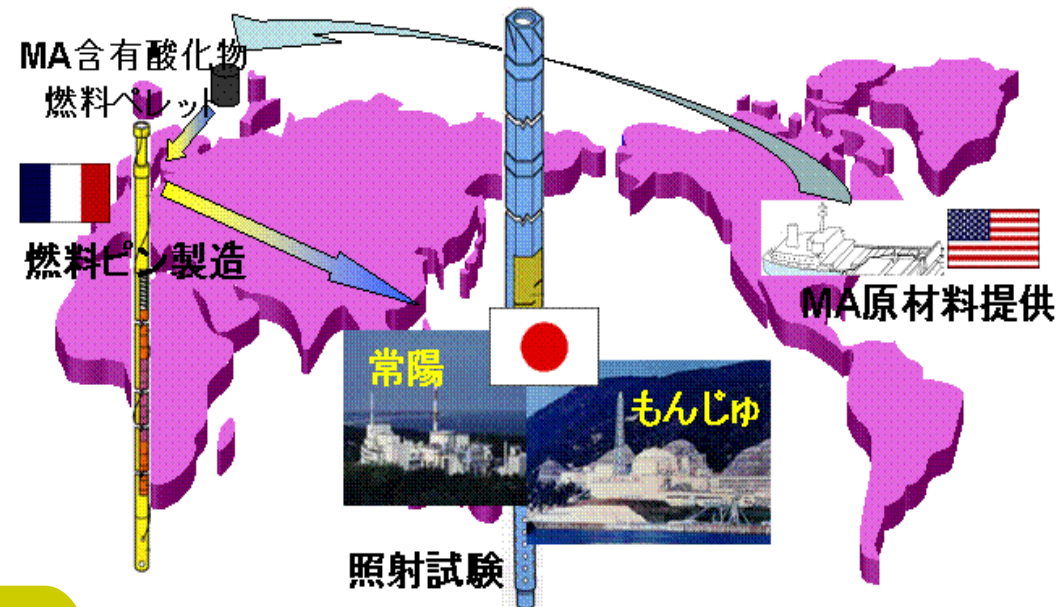
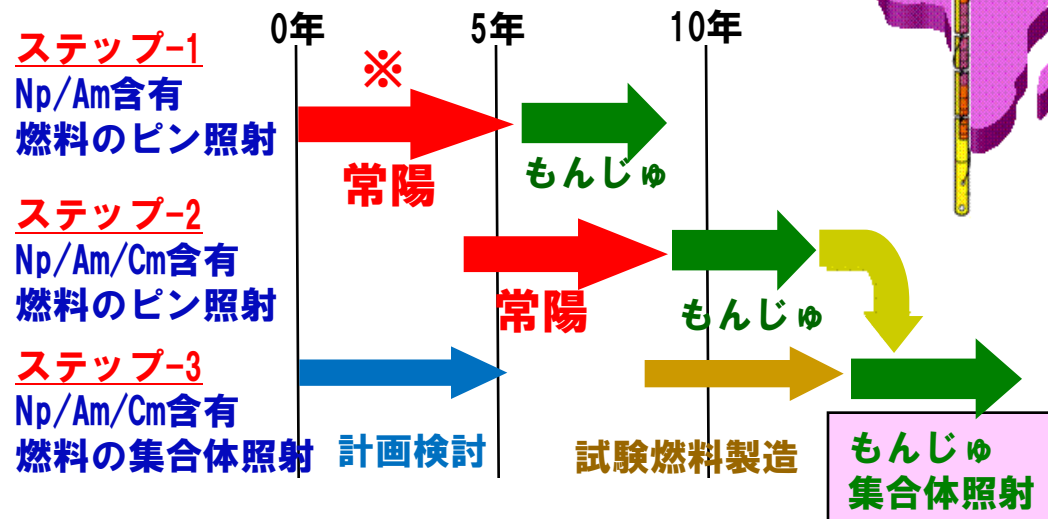
包括的アクチニドサイクルの国際実証

GACID (Global Actinide Cycle International Demonstration)

目的：高速増殖炉の実用炉用燃料として有力なマイナーアクチニド（MA）含有燃料（TRU燃料とも言う）を、「常陽」及び「もんじゅ」を利用して実証

- 高速増殖炉で燃焼させることにより
MA全量リサイクルの可能性を実証
- 3ステップで段階的に実施
- 第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）／ナトリウム冷却型高速炉プロジェクトの一つ

GACID全体スケジュール



※ 計画された短期照射試験（2回）を終了（長期照射試験を今後実施予定）

2. 「常陽」の利用ニーズ

(2) 国内のアンケート調査結果

外部からの「常陽」照射利用ニーズに関する具体例

◆ 軽水炉:	材料照射損傷に対する照射速度の影響 高照射量(30年以上相当)での材料強度変化 等
◆ 基礎、基盤研究:	原子炉用耐熱材料開発(セラミック、高融点金属等) 高放射線下での材料の腐食・防食機能 等
◆ 高速炉、革新炉:	燃料の過渡照射 等
◆ 核融合炉:	超電導磁石材料の高照射時挙動評価 等
◆ 核変換研究:	長寿命核分裂生成物の消滅 等
◆ RI製造:	医療用RI製造 人工衛星用電池材料の照射損傷 等
◆ その他:	中性子検出器の開発 原子炉起因ニュートリノの研究 等

日本原子力学会の核燃料部会、材料部会の部会委員並びに原子力開発に携わる研究者に加え、宇宙開発、医療関係者、約830名を対象としたアンケートをJAEAにおいて実施（回答者：182名）

3. 「常陽」の照射性能の高度化

(1) FBR開発のための照射能力

F B R 開発に必要な高速中性子照射場

高速炉の照射試験では、以下の項目が必要

- ・ 定常照射 → 多種多様な燃料・材料照射
 - (1) 広範な種類の燃料・材料照射
 - (2) 広範な照射条件（中性子束、温度、圧力）
- ・ 限界照射 → 通常運転を超える条件を模擬した燃料・材料照射
 - (1) 燃料溶融・被覆管破損に至る過酷な条件での照射
 - (2) 連続かつ迅速な出力上昇
- ・ 照射後試験 → 照射試験と密接に連携した照射後試験施設

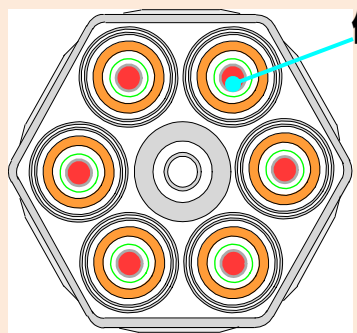


「常陽」はこれらの要件を満足する照射施設

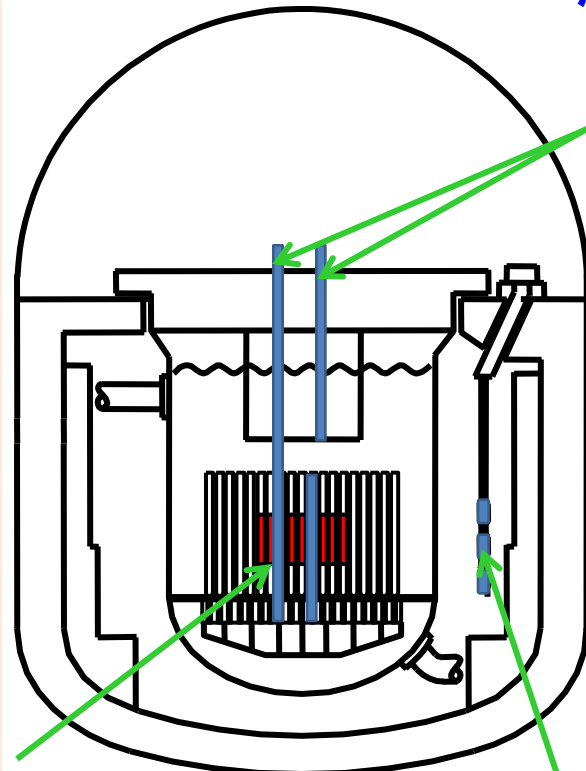
多種多様な照射試験に対応した照射技術の高度化の例

キャプセル照射

・頑丈なキャプセルによる実績の少ない燃料の照射

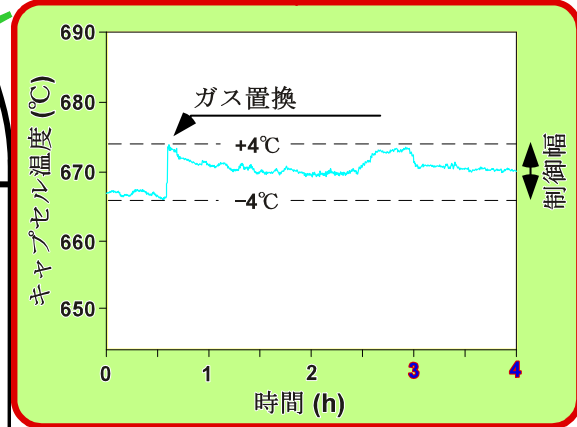


- 例:
- ・マイナーアクチニド (MA) 含有燃料
 - ・金属燃料
 - ・炭化物燃料
 - ・窒化物燃料 など



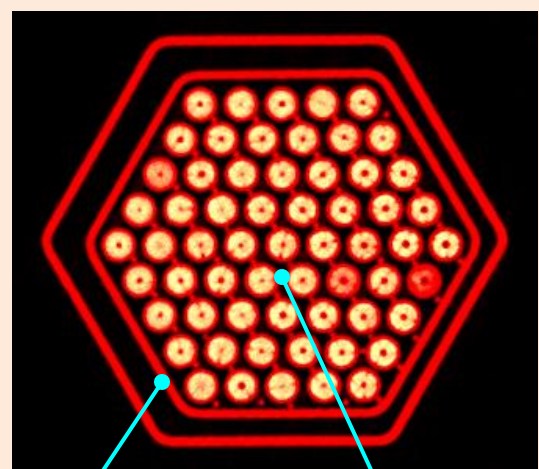
温度をリアルタイムで計測・制御

- ・燃料中心温度の測定
- ・材料温度の制御 ($\pm 4^{\circ}\text{C}$)



燃料バンドル照射

多数のデータ取得、改良燃料の実証



試験用ラッパ管 試験燃料ピン束

炉内の照射条件の実測



中性子モニタ



温度モニタ

オンラインでの材料破断試験



試験片
加圧したヘリウムを封入

標識ガスにより、破断した試験片を特定

炉容器外における温度可変の材料強度試験

通常運転を超える条件を模擬した照射試験技術

幅広い許認可と、20年を超える照射実績と運転・炉心管理技術により、FBR燃料の設計合理化(高出力、長寿命化)のための限界照射試験が高精度かつ高い信頼性で実施可能

計画的に、燃料を溶融、破損させる試験を実施



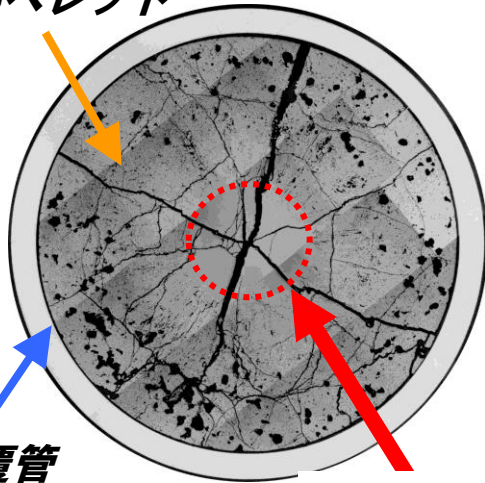
燃料の限界性能を精度よく把握



燃料の安全性・経済性の向上

過渡時に温度が最高となる照射初期の燃料温度を評価するため、連続的かつ迅速な出力上昇を実施

燃料ペレット



溶融した部分

被覆管

溶融限界出力試験

燃料が溶融する出力の確認

- ・ 試験目的に応じた柔軟・きめ細かい原子炉運転
- ・ 高精度な出力評価及び照射後試験技術

出力増加 → 発電単価削減

燃料破損限界試験

被覆管が破損する燃焼度(使用期間)の確認

- ・ 高精度かつ迅速な燃料破損検出技術
- ・ 試験条件等をパラメータにした試験が可能

燃焼度増加 → 燃料費削減

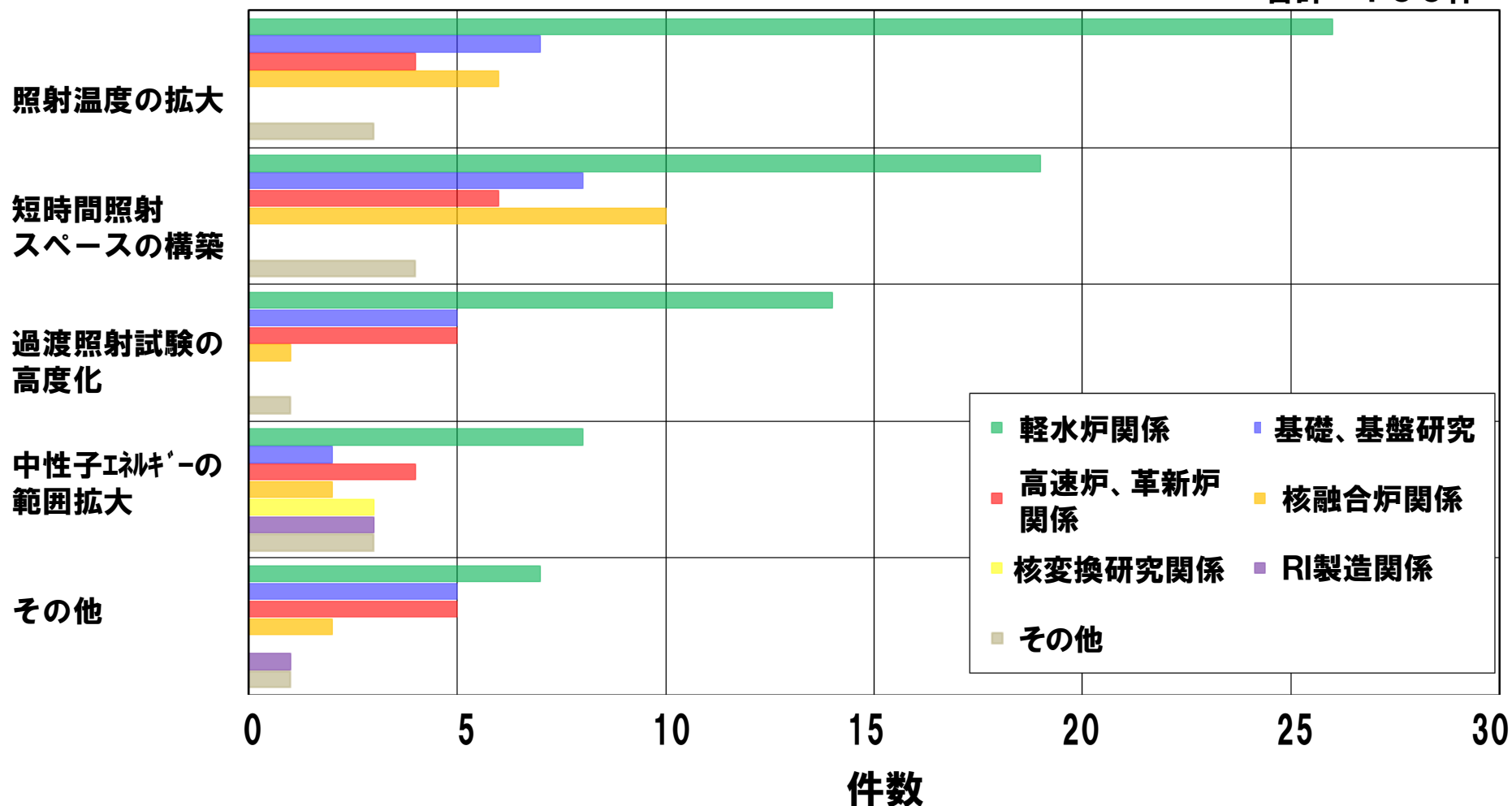
溶融限界出力試験の燃料の断面

3. 「常陽」の照射性能の高度化

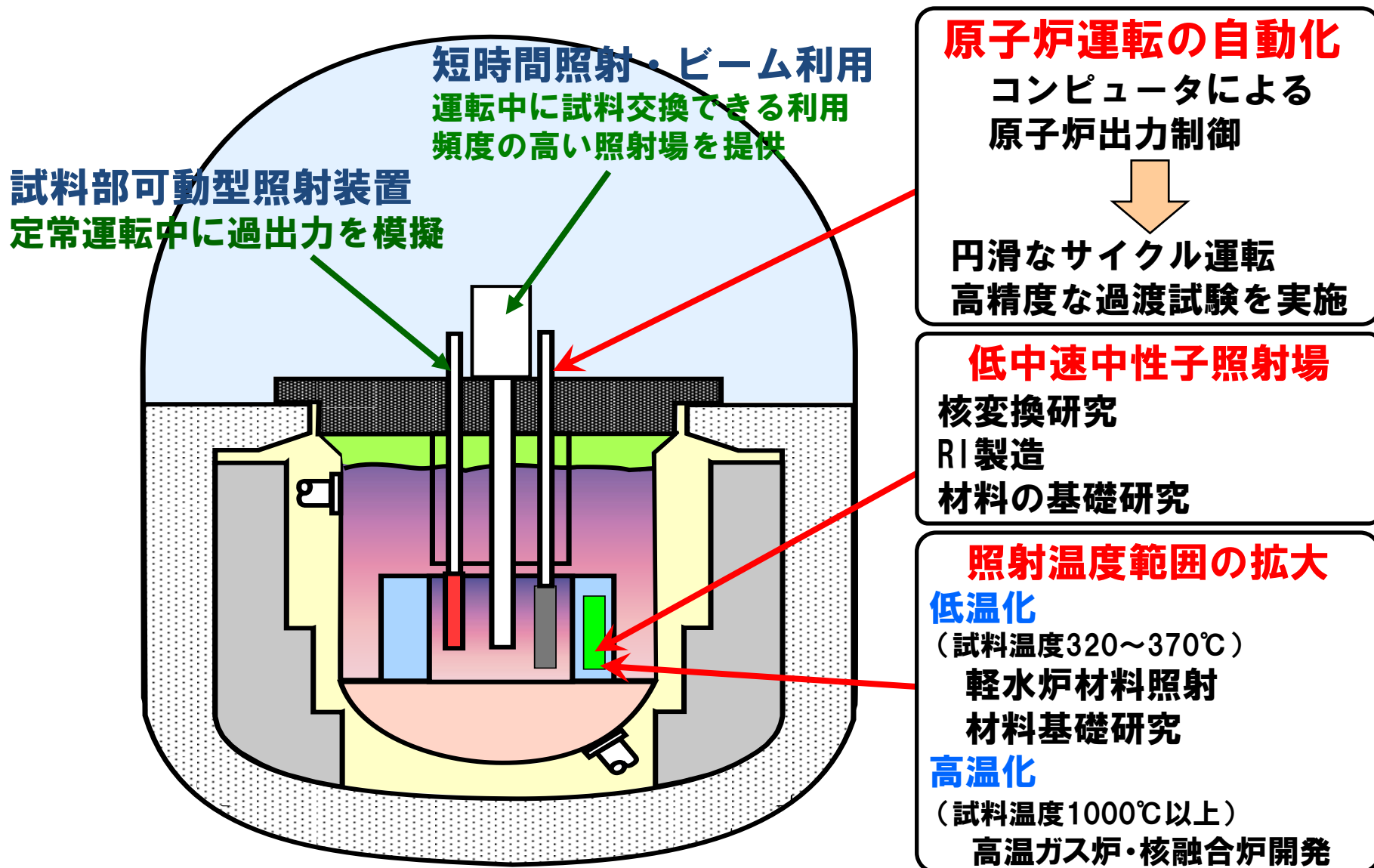
(2) さらなる照射機能の拡大と多様化

外部からの多目的利用へのニーズ - アンケート結果 -

合計：165件



「常陽」の照射機能の拡大と多様化

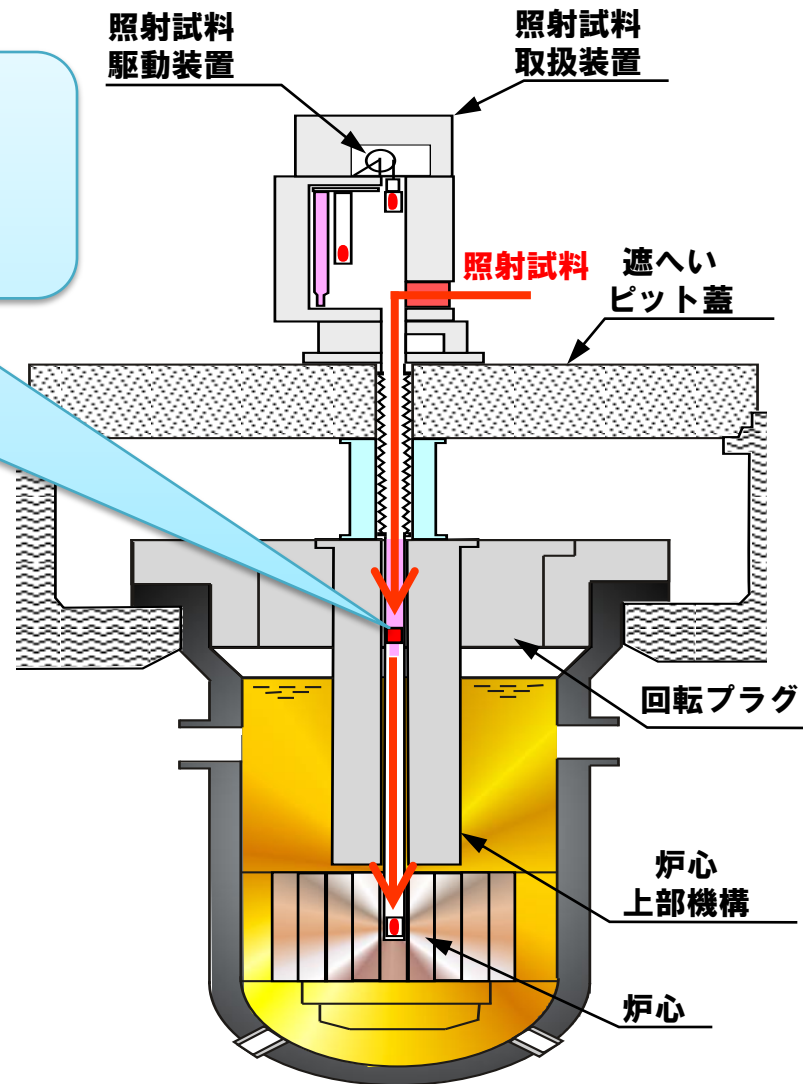


炉心上部機構（UCS）の高機能化

- ・ 過渡・過出力試験に柔軟に対応
（原子炉運転の自動化）
- ・ 短時間照射・ビーム利用

期待される効果

- ・ 照射精度のさらなる向上
- ・ フレキシブルな過渡試験
- ・ ターンアラウンドの短縮



例：高速中性子照射孔・ビーム孔の設置

ま と め

- 実績の少ないF B Rの開発においては、基礎基盤技術を長期的に支え、F B Rの理解を得るため、実機高速炉の運転と高速中性子照射場の利用が必要であり、要求される照射ニーズに柔軟に対応できる「常陽」は有利
- 20年以上にわたり蓄積してきた経験・許認可実績を基に、多種多様な照射試験や限界試験等を「常陽」で行うことにより、効率的にF B Rを開発
- さらなる照射機能の拡大により、従来のF B R開発に加えて、材料基礎研究、核融合炉開発、核変換研究等に対応
- 開かれた照射施設として、人材育成・学術・産業に貢献



「常陽」の利用ニーズは高く、それに応える能力を有する

「常陽」は、世界的にも無くてはならない 試験用高速炉（テスト・サーキット）

高い照射性能

- 世界トップレベルの高速中性子束
- ニーズに応じた多様な照射試験装置

高い品質と信頼性

- 幅広い照射試料の仕様・照射条件に対応
- 隣接する照射後試験施設と連携した高品質な照射データ

豊富な運転実績

- 世界に類のない照射試験が実施可能
- 革新技術を先行的に実施して実用化に貢献