



「常陽」の運転再開に向けた取組と 運転再開後の利用方策

令和6年 3月 7日

日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門

高速実験炉「常陽」の概要

概要

- 高速実験炉「常陽」は**我が国初の高速炉**であり、昭和52年に初臨界。積算運転時間は約71,000時間。高速炉の炉心性能やナトリウム冷却系の特性把握、高速炉プラントの技術的経験の蓄積等の成果を創出
- 平成19年の定期検査中に照射試験装置のトラブルにより燃料交換機能に不具合が発生したことに伴い、運転を中断。設備復旧後、運転再開に向けて、新規制基準への適合性確認のための原子炉設置変更許可取得に向けた安全審査への対応を進め、**令和5年7月に許可を取得**。現在、**新規制基準に適合するための工事対応**を推進。
- 茨城県原子力安全対策委員会(令和5年10月,12月)において新規制基準を踏まえた安全対策について説明し、概ね妥当との判断。
- 運転再開後、OECD諸国で唯一稼働中の高速中性子照射場を提供できる高速炉。実証炉の開発のための照射試験や医療用ラジオアイソトープ（アクチニウム225）の製造実証などへの活用・貢献が期待

経緯と実績

- 昭和45年：設置許可
- 昭和52年：初臨界(Mark I炉心)
- 昭和57年：Mark II炉心 初臨界
- 平成15年：Mark III炉心 初臨界
- 平成19年：燃料交換機能の一部阻害確認
- 平成26年：燃料交換機能の復旧作業終了
- 平成29年：福島第一原子力発電所事故を踏まえた新規制基準への適合性確認の設置変更許可を申請
- 令和5年：**設置変更許可を取得**



高速実験炉「常陽」

主要仕様

- 熱出力：100MW（10万kW）
（空気冷却）
- 冷却材：液体金属ナトリウム
（2ループ）
- 燃料：ウラン・プルトニウム混合
酸化物燃料（MOX燃料）
- 炉心 直径：約78cm
高さ：約50cm
- 燃料集合体数：最大79体
- 制御棒 主炉停止系：4本
後備炉停止系：2本
- 機能：多様な照射試験技術を保有

新規制基準に基づく試験炉用設置許可基準※の強化

<新設置許可基準規則（主要項目）>

<従来の規制基準（研究炉指針等）>

原子炉制御室
外部電源喪失時の対策設備
通信連絡設備・監視設備
火災による損傷の防止
外部からの衝撃による損傷の防止
津波による損傷の防止
地盤・地震による損傷の防止

多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止
溢水による損傷の防止
原子炉制御室（室外停止・監視機能）
外部電源喪失時の対策設備
通信連絡・監視設備（連絡・伝送多様化）
火災による損傷の防止
外部からの衝撃による損傷の防止（火山・竜巻等）
津波による損傷の防止
地盤・地震による損傷の防止

BDBA*
基準新設
設計基準
新設

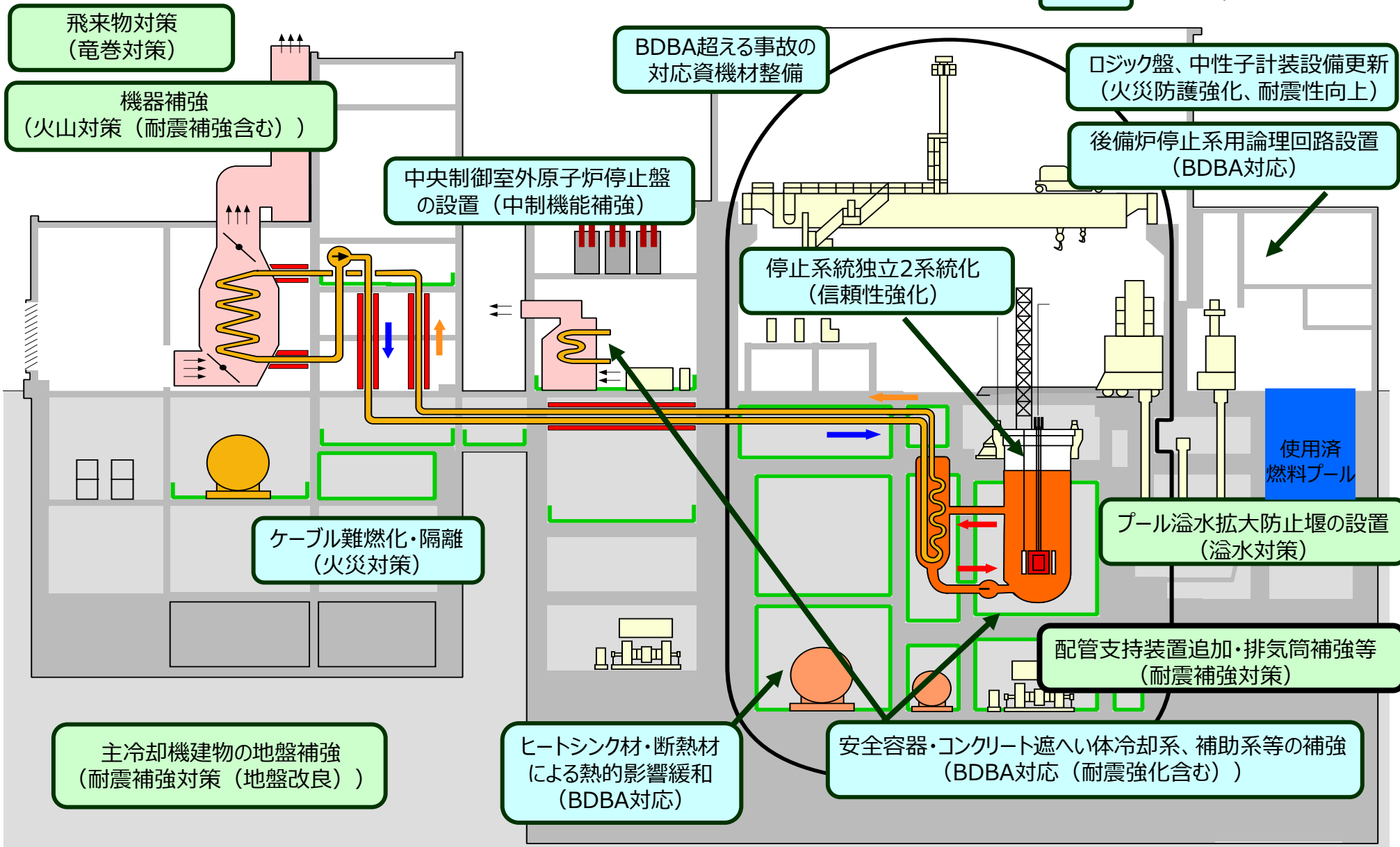
設計基準
強化

※：試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則

*BDBA:設計基準事故を超える事故

新規制基準対応に係る工事の概要

- 地震等の自然災害対策
- 事故対策、安全性向上



運転再開に向けた取組み状況

新規基準に適合する安全性を確保するため、地盤改良、耐震補強、火災防護の強化、竜巻対策、bdba対策等の工事を順次実施し、2026年半ばでの運転再開を目指す。

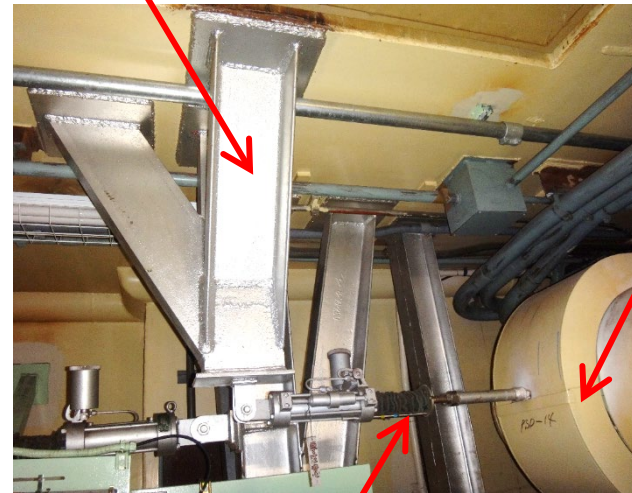
【地盤改良】



地盤改良の施工状況

原子炉建屋に隣接する主冷却機建屋の地盤安定性を強化するため、固化材を高圧で噴射し、地盤を切削しながら、固化材を混合し、攪拌して、強固な造成体を作ることによって地盤を改良する。

【冷却系配管の耐震補強】 配管支持装置をサポートする構造物の改造



2次冷却系
ナトリウム配管

配管支持装置

地震による冷却系ナトリウム配管の振動を抑えるため、ダンパ等を有する配管支持装置をより高い強度のものに交換するとともに追設する。

高速炉開発に係る国内の動向と「常陽」への期待

「戦略ロードマップ」（2018年12月決定、2022年12月改訂）

「高速炉開発の方針」(2016年12月)に基づき、研究開発政策の在り方やプレイヤーの役割を定めた「戦略ロードマップ」を策定し、開発を推進中。

- ①2023年度夏 概念設計の対象とする実証炉の炉概念を選定
- ②2024～2028年度 実証炉の概念設計、研究開発の実施
- ③2028年度頃 実証炉の基本設計・許認可フェーズ移行の判断

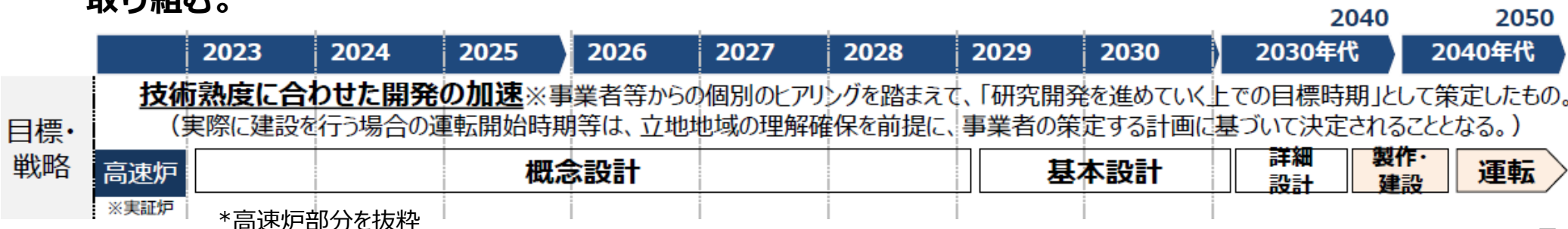
2023年7月
炉概念：ナトリウム冷却タンク型高速炉
中核企業：三菱重工(株)

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2021年6月決定）

- 2024年度以降の技術の絞り込み・重点化には、JAEAが保有する実験炉「常陽」での照射試験による検証が不可欠であり、運転再開に向けた準備を速やかに進めていく。
- 「常陽」においては、世界的にも希少な医療用ラジオアイソトープを、大量製造することが可能である。「常陽」の再稼働を進めていくことで、先進的ながん治療等への貢献が期待される。

GX 実現に向けた基本方針～今後 10 年を見据えたロードマップ～（2023年2月決定）

- 「安全性の確保を大前提として、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む。



運転再開後の利用方策

◆ 国内の次世代革新炉開発（カーボンニュートラル、原子力の持続可能性への貢献）

- ✓ 実証炉を含む次世代高速炉に向けた経済性に優れた燃料の照射試験*1
 - 長期間安全に利用できる燃料の開発
- ✓ 放射性廃棄物の有害度を低減するための照射試験*2
 - 半減期が長く、発熱が高い放射性物質の影響を短縮するための研究開発

*1 実証炉に向け、高度化燃料・材料（長寿命化等）の性能や健全性を実証する照射試験

*2 高レベル放射性廃棄物に含まれるアメリシウム(Am)、ネプツニウム(Np)等のマイナーアクチノイド (MA)は、長期に放射線や熱を出し続けるため、廃棄物対策の課題となる。燃料サイクル内でのMAサイクル技術の実証を目指し、大洗・東海の研究施設を用いて、使用済燃料からのMAの回収、MAを含んだ燃料の製造、「常陽」での照射を実施。

◆ 新しい医療への貢献

- ✓ 先進がん治療のための医療用ラジオアイソトープ（アクチニウム225）の製造*3
 - がん細胞だけを選択的に放射線で攻撃できる薬剤の研究開発への貢献

*3 原子力委員会にて「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進 アクションプラン」を取りまとめ（2022年5月）

◆ 国際協力、大学等との共同研究、若手研究者・技術者の育成

実証炉開発への貢献

実証炉では、**経済性**や高速炉の意義である**環境負荷低減性**を実証することが重要

【経済性】

- 燃料を長期間使用（高燃焼度化）することで、燃料製造や再処理の体数を低減
- より高温での使用が可能な燃料とすることで、冷却材出口温度の高温化が可能となり、発電効率が向上

→ **高性能・高燃焼度燃料の開発**

【環境負荷低減性】

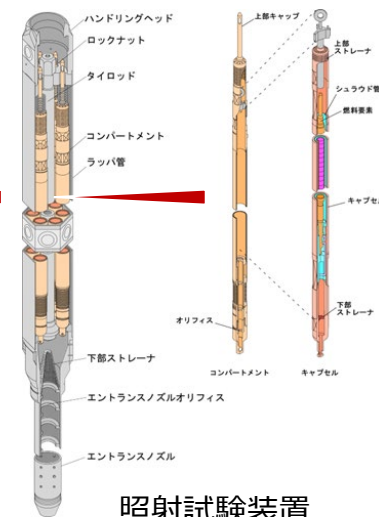
- 放射性毒性が強く、半減期の極めて長いマイナーアクチニド（MA）を高レベル放射性廃棄物から分離し、燃料として使用することで廃棄物の減容・有害度の低減が可能

→ **MA含有燃料の開発**

これらの燃料を開発し、実証炉の燃料として適用するためには、「**常陽**」での**照射試験による許認可データの取得、健全性実証が不可欠**



高速実験炉「常陽」

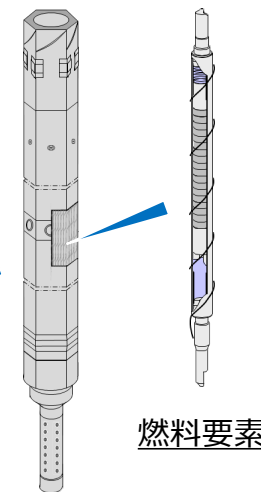


照射試験装置

「常陽」で実証
実証炉へ反映



実証炉のプラント像



燃料要素

燃料集合体

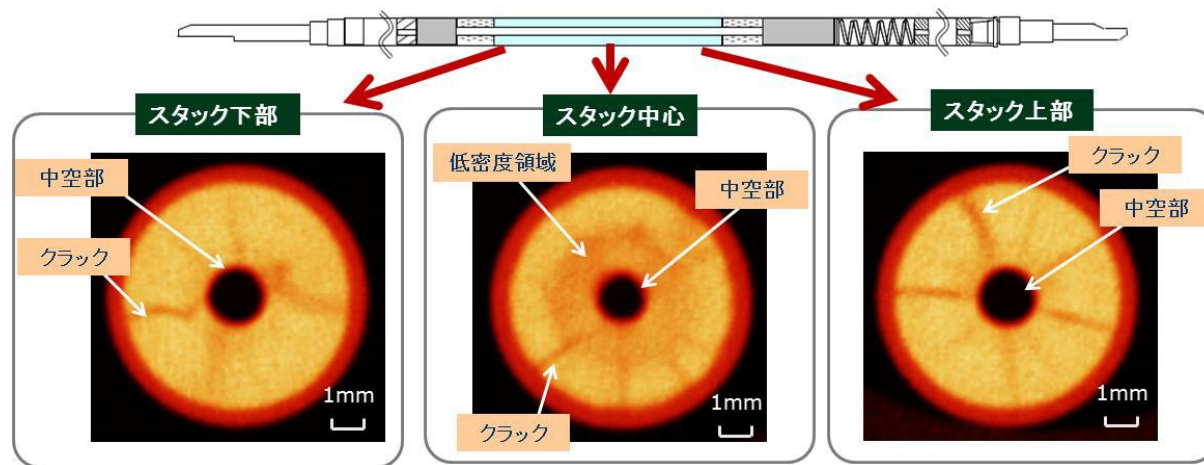
(三菱重工技報 Vol.57 No.4 (2020) 原子力特集より引用)
「経済産業省受託事業 令和元年度 高速炉の国際協力等に関する技術開発」より

実証炉開発への貢献（1） - MOX燃料/経済性 -

戦略ロードマップでは、「2026年度頃を目途に研究開発成果・国際協力を通じて知見を得つつ、これらを踏まえて燃料技術の具体的な検討を行う」としており、「常陽」は酸化物（MOX）燃料及び金属燃料の開発に貢献できることが重要

◆ 太径中空MOX燃料の性能実証

- 燃料の溶融防止と燃料の膨れ（スエリング）による被覆管との機械的な相互作用の抑制を両立し、燃料の高燃焼度化が可能
- 初装荷燃料からの適用を目指す技術であり、早期に「常陽」照射試験による許認可データ取得、実使用環境下での性能実証が不可欠

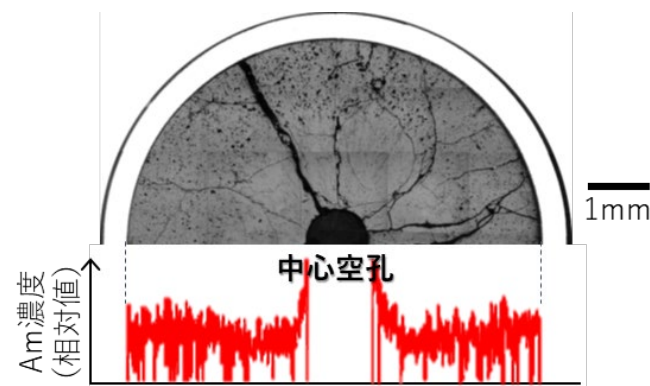


「常陽」における太径中空MOX燃料の照射挙動データの取得例
(太径中空MOX燃料の照射後のX線CT結果)

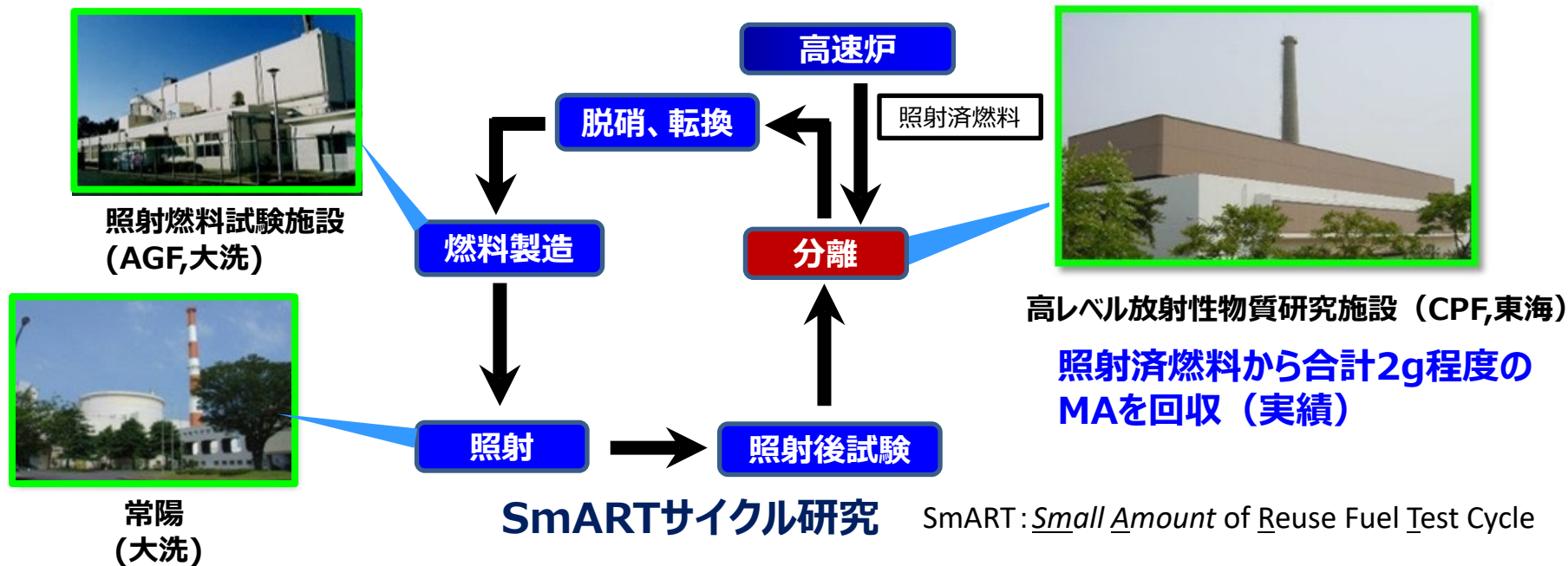
実証炉開発への貢献（2） - MOX燃料/環境負荷低減性 -

◆ MA含有燃料の照射特性評価、健全性実証

- MAを燃料として使用し、高速炉サイクル内に閉じ込めることで高レベル放射性廃棄物の減容化が可能
- 「常陽」照射試験（SmARTサイクル研究を含む）による燃料設計の検証、MA添加が燃料の熱的挙動や被覆管との化学的な相互作用等に及ぼす影響の把握、実使用環境下での健全性実証が不可欠



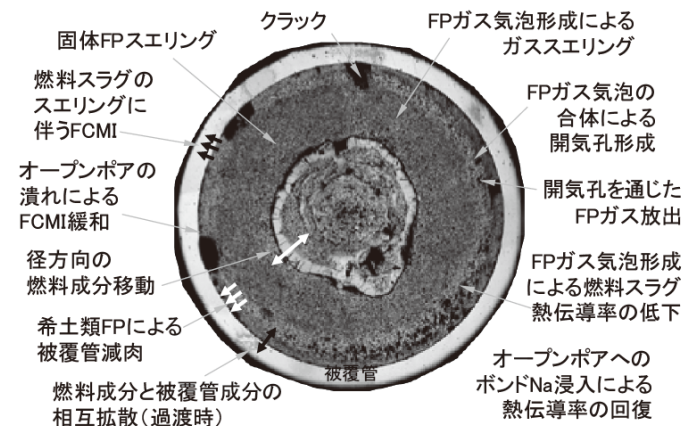
「常陽」におけるMA含有MOX燃料の照射挙動データの取得例
(5%Am含有MOX燃料のAmの再分布挙動)



実証炉開発への貢献（3） - 金属燃料/経済性、環境負荷低減性 -

◆ 金属燃料の性能実証、高性能化、環境負荷低減

- 小規模でも優れた経済性を有する燃料サイクルシステムを構築できる可能性、核拡散抵抗性が高い等の特徴がある一方で、国内での技術的蓄積が限定的
- 日米共同研究（CRADA, 2024年1月締結）で得られる米国の照射実績に加え、「常陽」で金属燃料ピン（製造済）の照射試験を実施することで許認可データを補強することが重要
- 金属燃料の高性能化、MA含有燃料（U-Pu-MA-Zr）の開発には「常陽」での照射試験が不可欠



金属燃料の照射挙動

(日本原子力学会誌, Vol.63, No.7 (2021)より引用)



製造した金属燃料スラグ（U-20Pu-10Zr）と金属燃料ピン

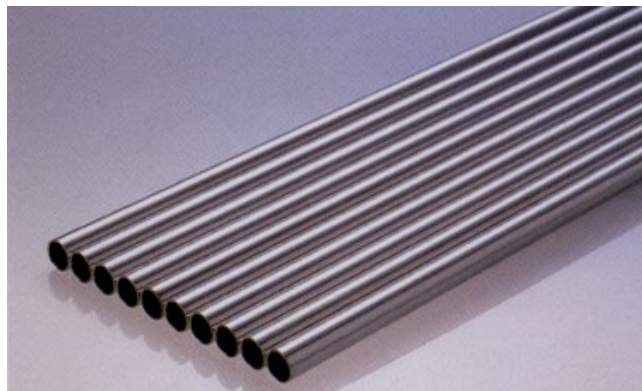
(日本原子力学会和文論文誌, Vol.10, No.4 (2011)より引用)

実証炉開発への貢献 (4)

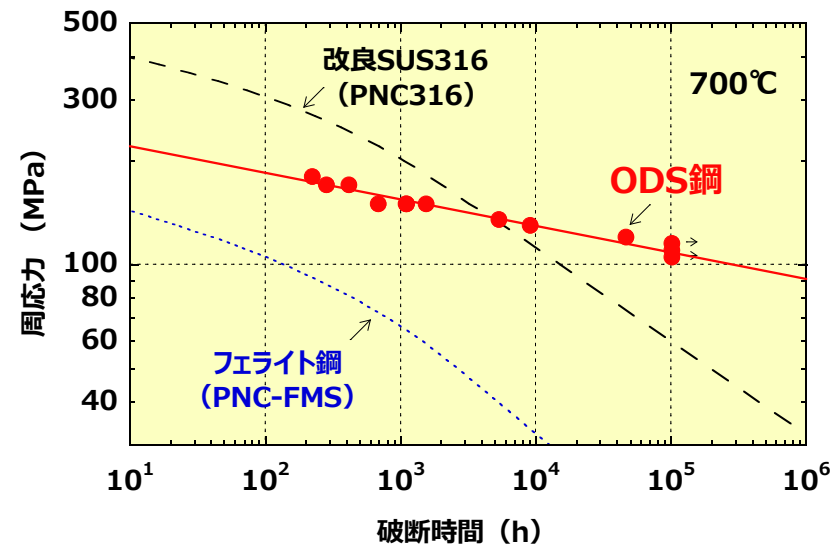
-経済性-

◆ 長寿命炉心材料の開発 (両燃料に共通)

- 耐照射特性、高温強度に優れる酸化物分散強化型 (ODS) 鋼被覆管の適用により、**燃料の高燃焼度化** (取出平均燃焼度150GWd/t) と**冷却材の高出口温度化**(550℃ (目標))の両立が可能
- 「常陽」照射試験による許認可データ取得、実使用環境下での性能実証には長期間を要することから着実に実施することが重要



試作したODS鋼製被覆管 (例)

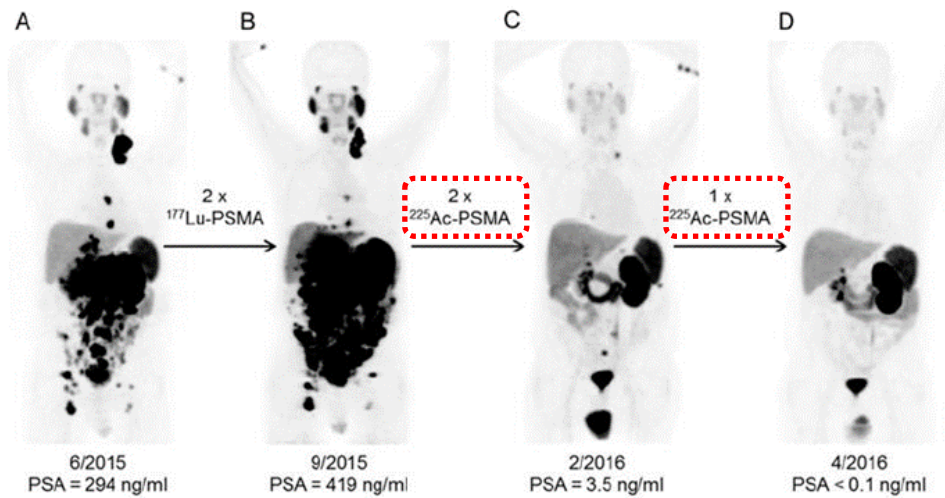


ODS鋼被覆管のクリープ強度

医療用ラジオアイソトープ（アクチニウム（Ac-225））への期待と「常陽」を活用したAc-225の生産について

Ac-225を取り巻く動向

- 病巣の内部からα線を当てて、がん細胞を死滅させる「α線内用療法」に使用
- 多くの症例に対し短半減期α核種による治療効果確認
- 特にAc-225の治療効果は高く(壊変途中で4回α線を放出)、α線の飛程は短く遮へいも不要なため病室の入退室制限緩和
⇒ 世界で治験・臨床研究の競争が激化する一方でAc-225は供給不足(供給量：3,000人/年分)
- 日本は、研究に必要なAc-225の確保が十分でなく、医療への実用化に向けた治験の円滑な実施が困難

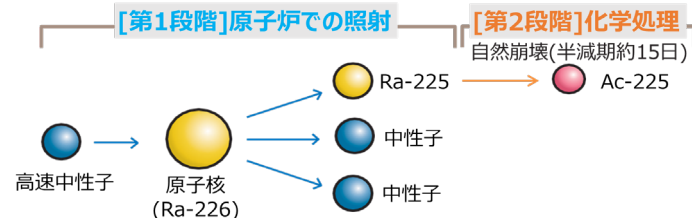


末期の転移性前立腺がんに対し、Ac-225を使用した結果全奏効CR*1

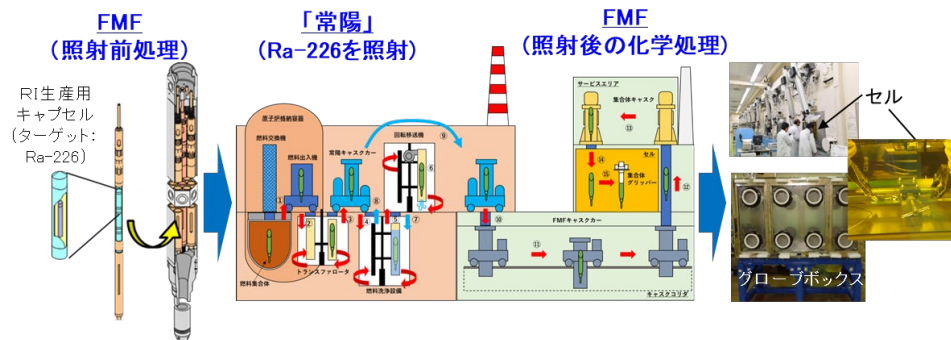
Ac-225生産に「常陽」を用いる理由

- 高速中性子(エネルギーの高い中性子)により引き起こす(n,2n)反応を使用(閾値6.4MeV)
- 「常陽」は軽水炉の約10倍の高速中性子束を有する
- 照射後に、隣接する照射燃料集合体試験施設(FMF)にて迅速な化学処理が可能

医療用ラジオアイソトープ生産に係る原子炉設置変更許可申請（令和6年2月）を実施し、令和8年度中の製造実証（原子力委員会アクションプラン）を目指す。



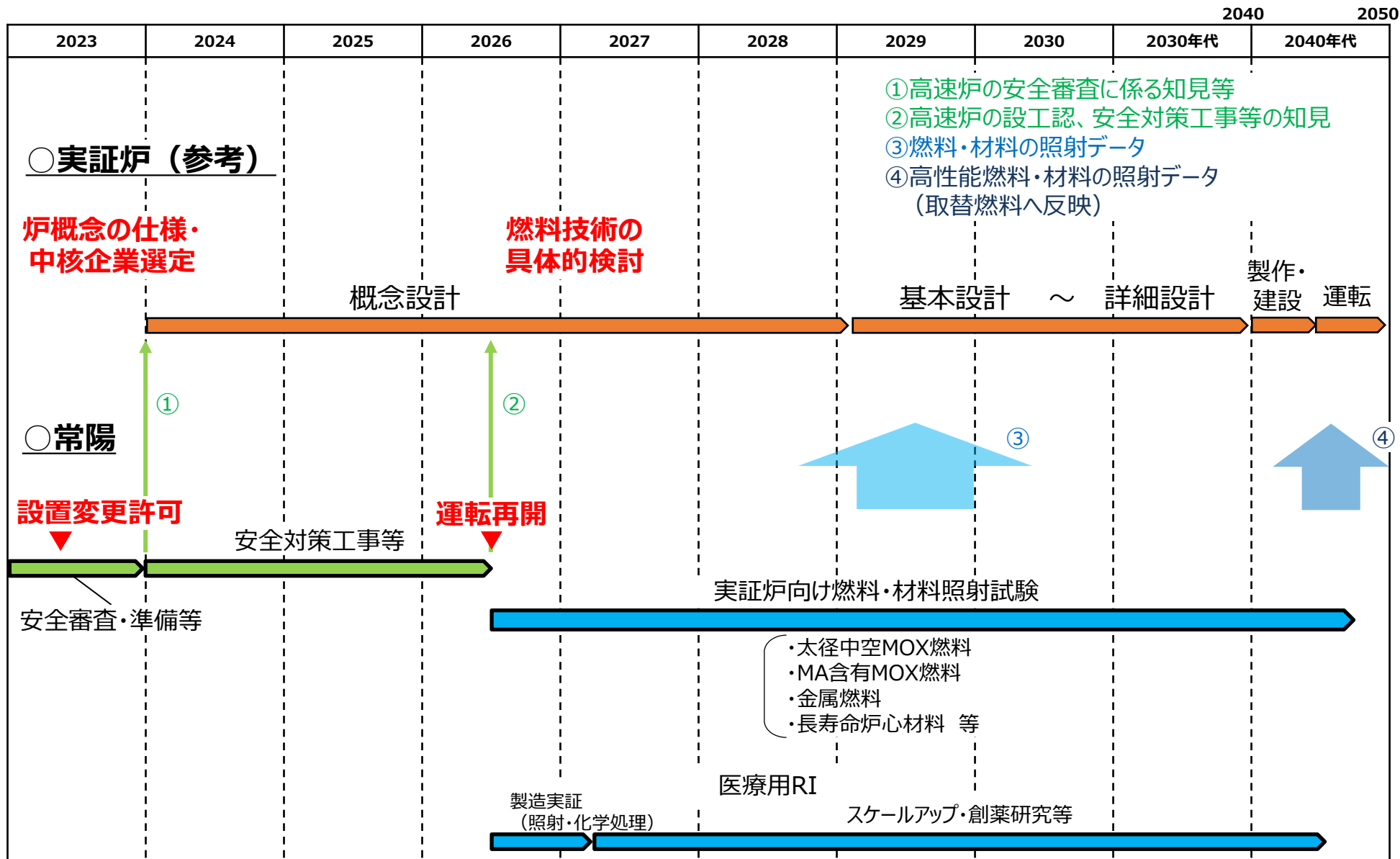
「常陽」におけるAc-225の製造法



「常陽」におけるAc-225製造プロセス

*1 Kratochwil, et al. ²²⁵Ac-PSMA-617 for PSMA-Targeted α-Radiation Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer, JNM, July 7, 2016, 57 (12), 194-1944

「常陽」での研究開発／利用スケジュール案



- ※ 1 実証炉のスケジュールについては、戦略ロードマップ及びカーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）をもとに作成
 ※ 2 運転再開後のスケジュールについては、実証炉の開発工程等により変更があり得る。また、これ以外にも大学等との共同研究による照射なども実施予定
 ※ 3 ①～④の常陽から実証炉への連携については、常陽の工程を踏まえた知見のフィードバックの目安であり、今後は実証炉の技術RMの具体化と連携して検討を進める必要

まとめ

- 高速実験炉「常陽」は新規制基準への適合性に係る原子炉設置変更許可を令和5年7月に取得した。今後、新規制基準に応じた安全性強化のため、各種工事（地盤改良、耐震補強、火災対策強化、BDDBA対策、竜巻対策等）を実施し、令和8年度半ばでの運転再開を目指す。
- 運転再開後は、高速炉の戦略ロードマップ等に基づき、実証炉の燃料・材料等の高速中性子場での健全性を実証するための照射試験等を実施する。ここで、経済性を向上させる太径中空燃料、高燃焼度燃料及び環境負荷低減に貢献するMA含有燃料に係る許認可データを取得して、実証炉の実現に貢献する。
- また、「常陽」は研究開発プラットフォームとして、Ac-225等の医療用ラジオアイソトープ（RI）の製造が期待されており、その製造実証を早期に実施する。