

高速実験炉「常陽」

核燃料サイクル開発成果と将来計画について

令和8年2月4日

日本原子力研究開発機構
大洗原子力工学研究所

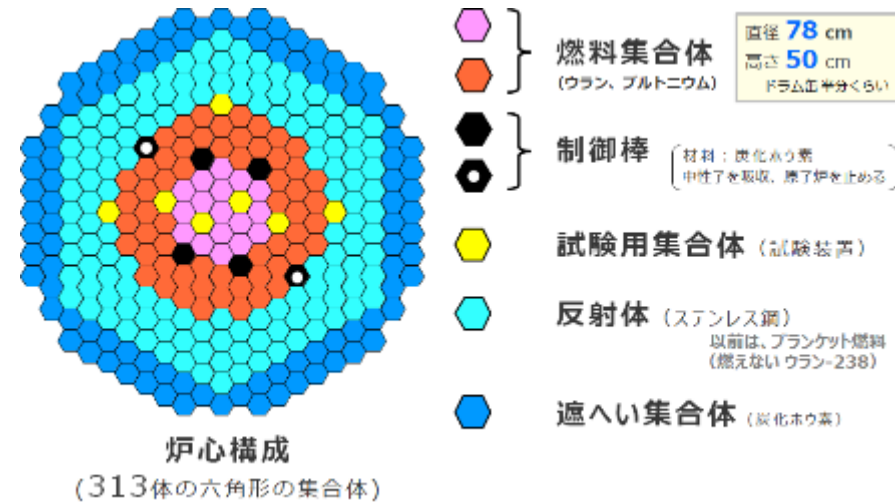
高速実験炉「常陽」の概要

概 要

- 我が国初の高速炉 昭和52年に初臨界
炉心性能・ナトリウム冷却系の特性把握、高速炉用燃料・材料開発等を実施
- OECD諸国で唯一、高速中性子照射場を提供できる高速炉
- R5年7月 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を取得
R6年9月 茨城県・大洗町より、茨城県原子力安全協定に基づく新增設等に対する事前了解
R6年10月 医療用ラジオアイソトープ（アクチニウム225）を生産するための原子炉設置変更許可を取得

主要仕様

熱出力：100 MW（10万 kW）
冷却材：液体金属ナトリウム
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 78 cm 高さ 約 50 cm



燃料集合体



試験用集合体

照射燃料集合体試験施設 (FMF)

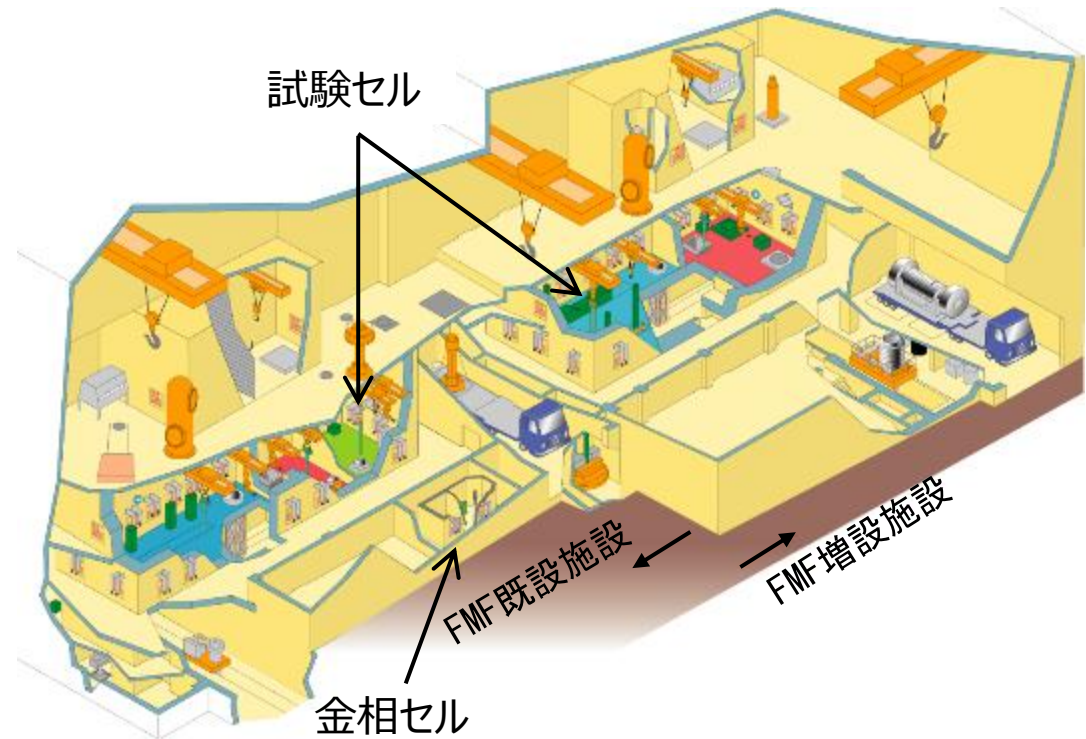
- 「常陽」に隣接し、高線量の放射性物質を遠隔で取り扱えるホットセルを有する大型照射後試験施設
- 照射燃料集合体の非破壊・破壊試験により、高速炉燃料設計等に必要な燃料照射挙動データを取得
継続照射集合体の中間検査、解体・再組立も実施可能
- 高線量の放射性物質を扱える特徴を生かし、試験的取り出し1F燃料デブリの分析などにも貢献
- 「常陽」と連携し、Ac-225製造実証に向けた準備・研究開発を実施中（FMFで抽出・分析を予定）

FMFの外観



FMFの試験機能

非破壊試験	X線CT, 外観観察, 寸法測定, γスキャン, etc.
破壊試験	ピンパンクチャー, ミクロ組織観察・分析 (SEM/EPMA, TEM, SIMS, TIMS, XPS), etc.

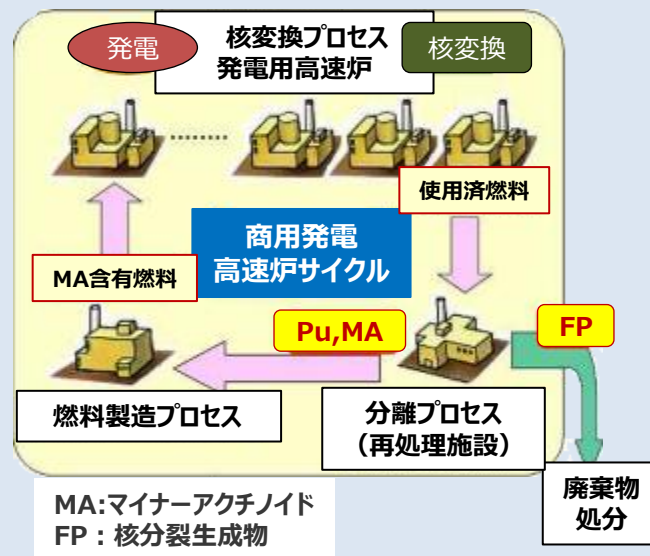


地上4階地下2階 延べ床面積14,500m²

高速炉サイクルの意義

カーボンニュートラル・長期持続性確保への貢献

- 軽水炉に比べ数十倍以上の**ウラン資源の有効利用**が可能
- 燃料のリサイクル（ウラン資源輸入不要）と技術自給（国産）により、**海外情勢に左右されない安定エネルギーを確保**
- エネルギー事情に応じ、**プルトニウムの生成／燃焼**が可能
⇒ **有限資源の有効利用・持続性の確保
エネルギーセキュリティの強化**
- マイナーアクチノイド（MA）を核燃料としてリサイクルすることにより、**放射性廃棄物の量を減らし（処分場削減規模 約1/7）、潜在的有害度の影響期間を大幅に短縮（約10万年⇒約300年）可能**
⇒ **環境負荷低減**

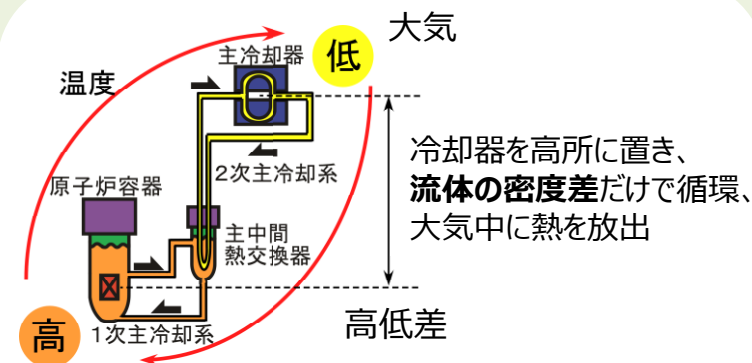


発電用高速炉利用型核変換システム

(文部科学省原子力研究開発・基盤・人材作業部会第10回資料より引用)

高速炉の優れた特性と可能性

- ベースロード電源としての利用に加え、蓄熱技術との組み合わせにより電気出力を調整し、太陽光や風力等、**出力変動再エネを補完**
⇒ **CO₂排出せず、変動再エネと共存**
- ナトリウムの高い**自然循環能力**により、電源を喪失しても**長期に安定した崩壊熱除去が可能**（高速実験炉「常陽」で実証済み）
⇒ **高い安全性**
- 高速中性子を用いた**医療用ラジオアイソトープ**製造により、がん治療に活用 ⇒ **国民福祉向上への貢献**



電源を必要としない自然循環による炉心冷却
(高速実験炉「常陽」で実証済み)

高速炉開発に係る国内動向 と 「常陽」への期待

第7次 エネルギー基本計画（2025年2月）

- 高速炉は **高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減**や**資源の有効利用** 等に資する
- もんじゅの取組及び**常陽の運転から得られる知見・技術については、実証炉を含む将来の高速炉研究開発において最大限有効に活用する。**

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）

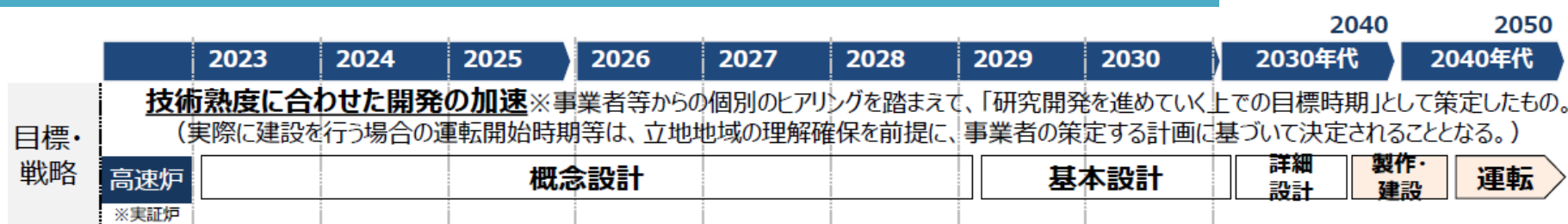
- 2024 年度以降の技術の絞り込み・重点化には、JAEAが保有する実験炉「**常陽**」での**照射試験による検証が不可欠**であり、運転再開に向けた準備を速やかに進めていく。
- 「常陽」においては、世界的にも希少な**医療用ラジオアイソトープ**を、大量製造することが可能である。「常陽」の再稼働を進めていくことで、**先進的ながん治療等への貢献**が期待される。

「戦略ロードマップ」（2018年12月、2022年12月改訂）

「高速炉開発の方針」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、開発を推進

- ✓ 2028年度頃 実証炉の基本設計・許認可フェーズ移行の判断

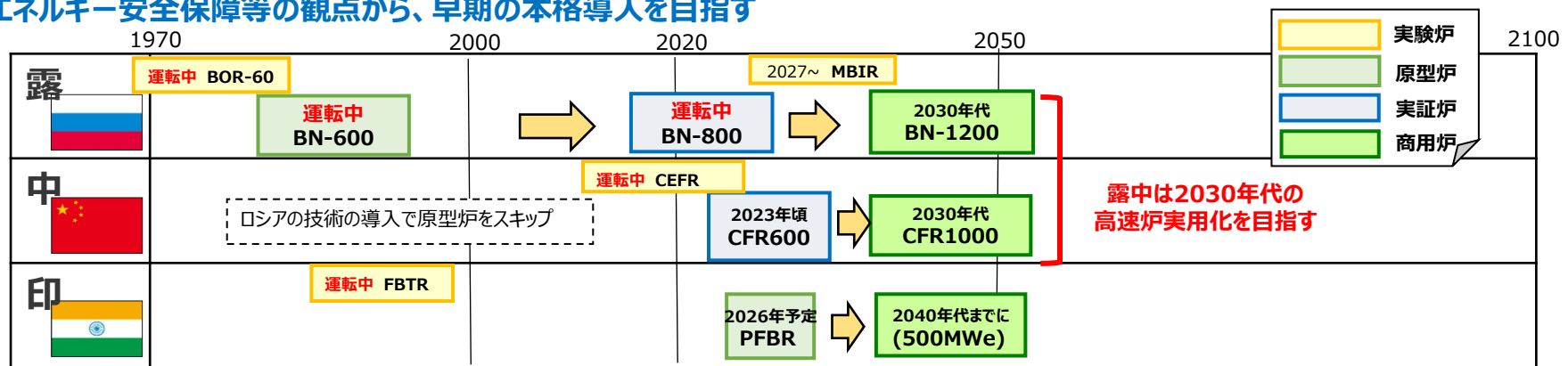
GX 実現に向けた基本方針 ～今後 10 年を見据えたロードマップ～（2023年2月）



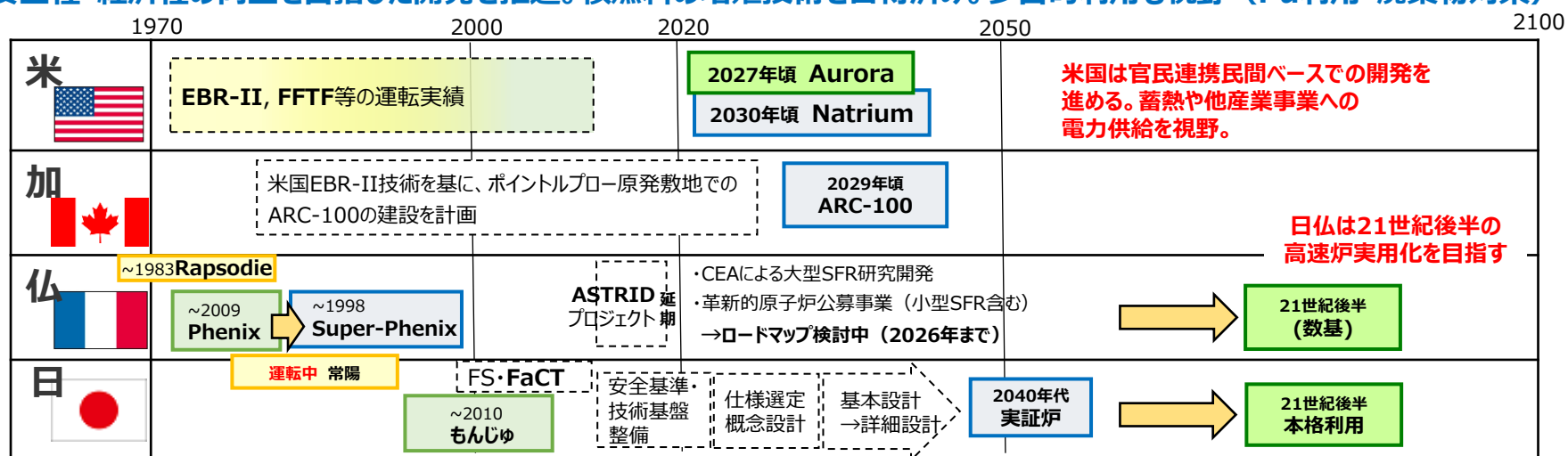
国内外の高速炉開発動向

- ロシアでは**2016年に実証炉**が商業運転開始。中国では**2023年に実証炉**が稼働（報道情報）。両国とも**2030年代に商用炉**の運転開始を目指す。
- 米（テラパワー社など）・加（ARC社（米））は**2030年頃の実証炉**の運転開始を目指して官民連携にて挑戦。
- 仏は革新炉を公募プロジェクトで進めるとともに、**今世紀末までに高速炉サイクルを実現**するためのロードマップを作成中。

■ エネルギー安全保障等の観点から、早期の本格導入を目指す



■ 安全性・経済性の両立を目指した開発を推進。核燃料の増殖技術を習得済み。多目的利用も視野（Pu利用・廃棄物対策）

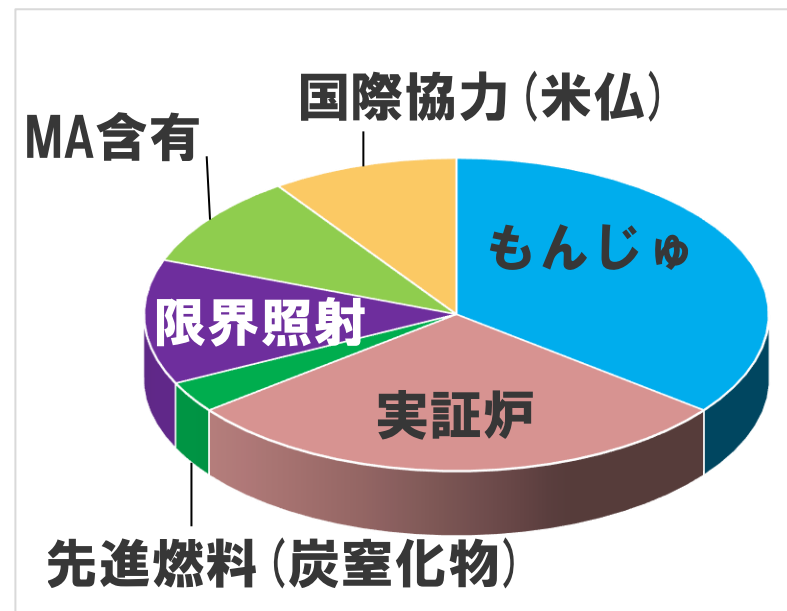


「常陽」における照射試験実績

100体を超える試験用集合体を用いて多様な照射試験を実施

(1) 燃料照射実績

利用区分	照射目的	照射体数
もんじゅ燃料 開発・実証	燃料の性能確認 ・パラメータ照射 燃料寸法、被覆管材等 ・照射挙動把握 高線出力、高燃焼度、 照射初期の燃料挙動確認、 燃料・Na温度等の実測	11
実証炉燃料開発	同上	9
先進燃料開発	炭化物燃料、窒化物燃料	1
限界照射	MOX燃料・MA－MOX燃料の 溶融限界線出力試験	4
MA含有燃料開発	Am,Npを含有したMOX燃料の 照射挙動の把握、MA燃焼の実証	3
国際協力(米仏)	米 燃料ピン（フェライト鋼被覆管） 仏 燃料ピン（オーステナイト鋼被覆管）	3

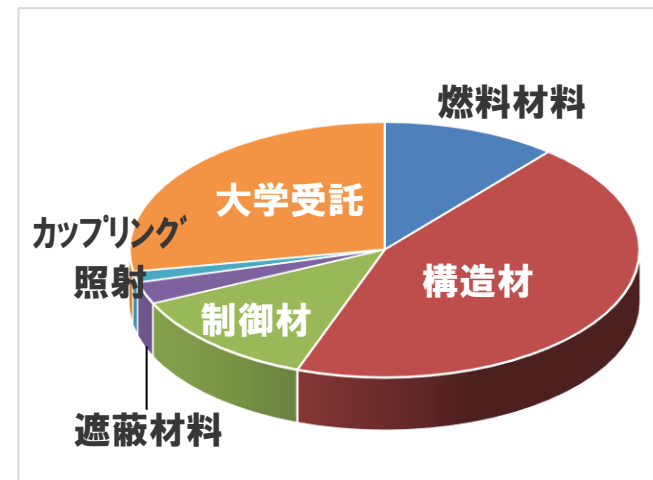


代表的な照射試験時期：もんじゅ燃料 1980-90年代、実証炉燃料 1980-2000年代、MA含有燃料 2000年代～

(2) 材料照射実績

利用区分	照射目的	照射体数
燃料材料	被覆管材料（確性照射、高燃焼度） PNC316、高Niオーステナイト、ODS	9
構造材	実証炉構造材料強度基準データ もんじゅサーベイランス（炉容器材等）	37
制御材	もんじゅ制御棒照射挙動確認 長寿命制御棒開発（Naボンド、シラウト）	9
遮蔽材料	大型高速炉用遮蔽体（グラファイト、 B_4C ）	2
軽水炉との カップリング照射	長寿命プラント照射損傷管理技術開発 （JRR-3カップリング照射、He-appm/dpa比）	1
大学受託	基礎基盤研究 核融合炉材料 （バナジウム合金、タングステン、SiC）等	20

代表的な照射試験時期： PNC316 1980-90年代、ODS 2000年代～



大学受託照射試料（核融合炉材料）
（東北大学を中心とする大学連合）

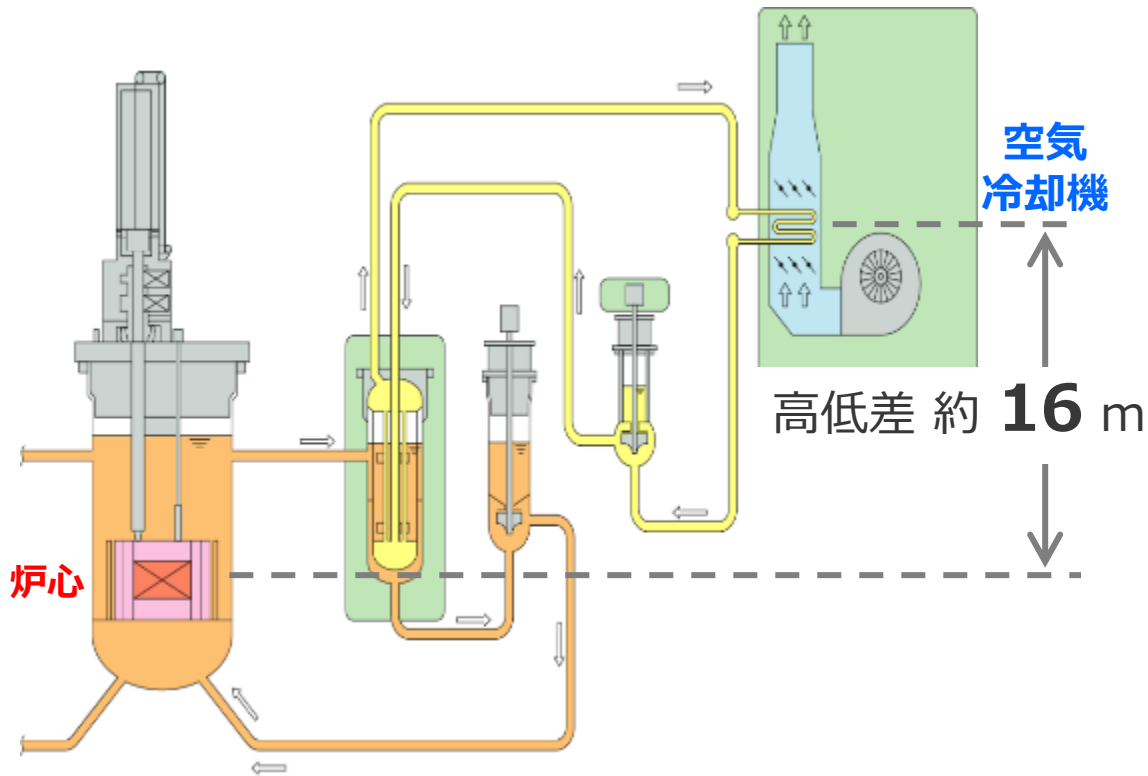
その他（安全）

利用区分	照射目的	照射体数
自己作動型炉停止機構 （SASS）	システム試験、材料照射	4

試験時期： 2000年代

高速炉の安全性の実証 (ナトリウムの“自然循環”のみで炉心を冷却)

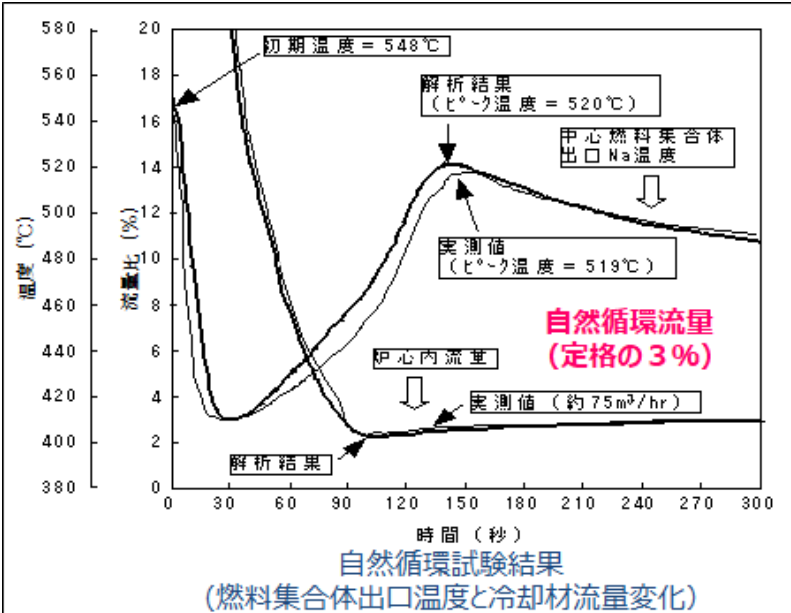
電源喪失時でもナトリウムの自然循環によって崩壊熱を除去できることを実証



高低差をつけて炉心・空気冷却器を配置

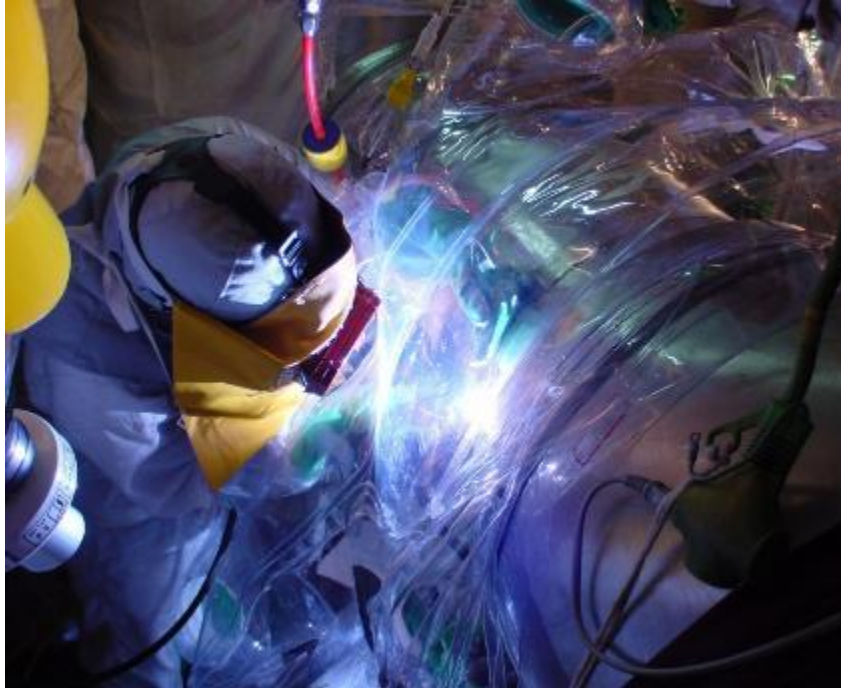
ナトリウム（冷却材）の特徴

- ・融点 : 約 **98** °C
 - ・沸点 : 約 **880** °C
 - ・熱伝導率 : 水の約 **100** 倍
 - ・密度 : 約 **0.9** g/cm³
- 広い温度で液体



プラント保守・補修技術の蓄積

- ・ MK-Ⅲ冷却系改造工事において、大型ナトリウム機器の撤去、ナトリウム配管の切断・溶接などの大規模な改造工事を完遂



- ・ 機器故障データの蓄積により、高速炉の機器信頼性データベースの拡充等に貢献
→ 高速炉の確率論的安全評価（PSA）に活用

「常陽」における今後の照射利用

これまでの成果・実績

今後の照射計画

照射時期

許認可に向けた燃料照射データの蓄積

燃料ピン直径

炉心・集合体大型化

燃料ピン直径

常陽 5.5mm, もんじゅ 6.5mm

実証炉の例 8~10mm

燃料の安全性に関わる照射データの取得

燃料ペレット形状

限界照射試験等

燃料ペレット形状

中実燃料

実証炉の例 中空燃料(含PTM*)

経済性向上(燃料サイクルコスト)のための材料照射データの取得

燃料被覆管

高燃焼度化

燃料被覆管

PNC316**

実証炉の例 ODS鋼

多様な高速炉概念・高速中性子利活用のための照射

燃料ペレット材料

混合酸化物

環境負荷低減

燃料ペレット材料

マイナーアクチニド含有燃料

可能性の追求

海外の例 金属・窒化物・炭化物

高速中性子利活用

核融合など

技術実証

高速中性子利活用

医療用RIなど

実証炉許認可
に向けた照射
2030年頃まで

更なる安全性・
経済性向上
のための照射
2030年~

多様な概念・
利活用のため
の照射
随時

✓ **許認可**・**安全性**・**経済性** は相互に関連しており、適用先・目的に応じて組み合わせ選択

茨城（大洗・東海）の試験施設で MA回収・燃焼のサイクル を実証

MA：マイナーアクチノイド

回収したMAを燃料に混ぜる
(燃料製造)



燃料製造試験施設
(大洗)

SmARTサイクル研究

Small Amount of Reuse Fuel Test Cycle

使用済燃料から
MAを回収 (再処理)



高速炉でMAを燃焼



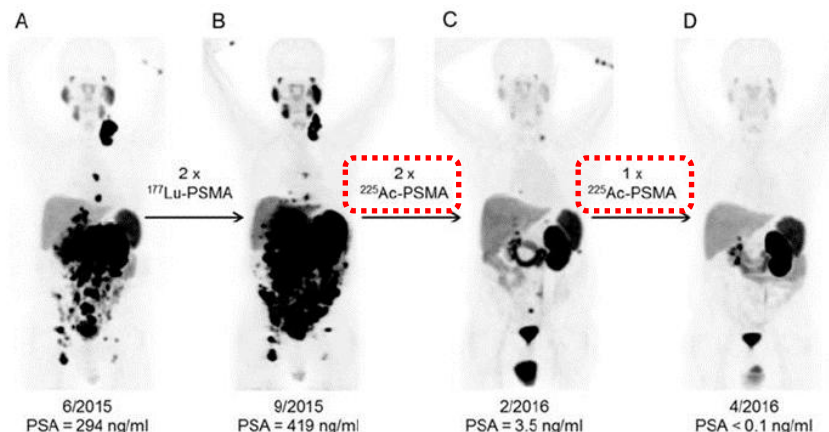
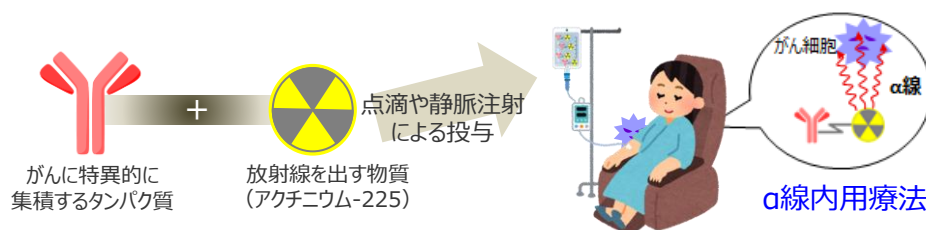
「常陽」(大洗)

高レベル放射性物質
研究施設 (東海)

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の製造実証について

Ac-225の特徴と動向

- Ac-225の治療効果は高く（4回 α線を放出）、α線の飛程は短く、遮へいも不要 → 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
一方でAc-225は供給不足（供給量：3,000人/年分）
- 実用化に向けた治験の取得が困難

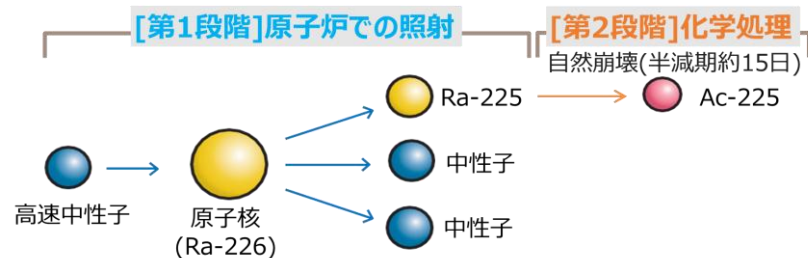


末期の転移性前立腺がんAc-225を使用し全奏効CR^{*1}

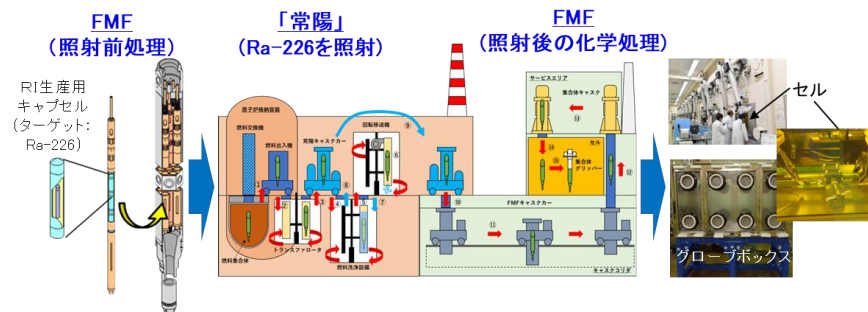
^{*1} Kratochwil, et al. ²²⁵Ac-PSMA-617 for PSMA-Targeted α-Radiation Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer, JNM, July 7, 2016, 57 (12), 194-1944

「常陽」でのAc-225製造

- 高速中性子（エネルギーの高い中性子）による（n,2n）反応を使用（閾値6.4MeV）
- 照射後に、隣接する照射燃料集合体試験施設（FME）で迅速な化学処理が可能



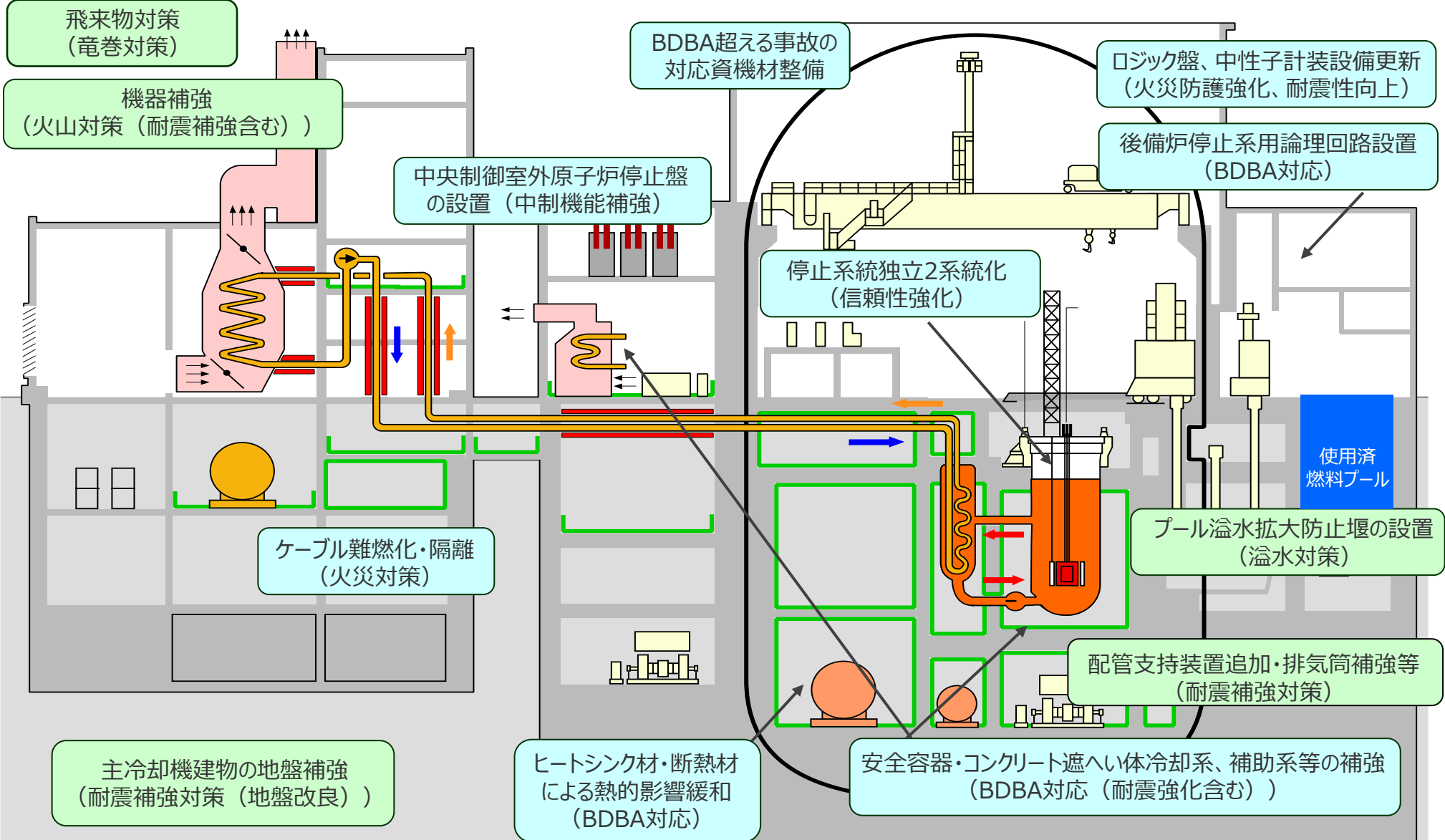
「常陽」におけるAc-225の製造法



「常陽」におけるAc-225製造プロセス

新規制基準対応 — 工事の概要 —

- 地震等の自然災害対策
- 事故対策、安全性向上



安全対策工事（ナトリウム配管サポートの交換・追加）



配管支持装置の新設（メカニカル防振器）



配管支持装置の交換

ナトリウム配管サポートの交換・追加

1 次系ナトリウム配管 ： 従来 896 交換 **229** 追加 **51**

2 次系ナトリウム配管 ： 従来 519 交換 **130** 追加 **20**

安全対策工事（地盤・建物の耐震補強）

隣接建物の耐震補強



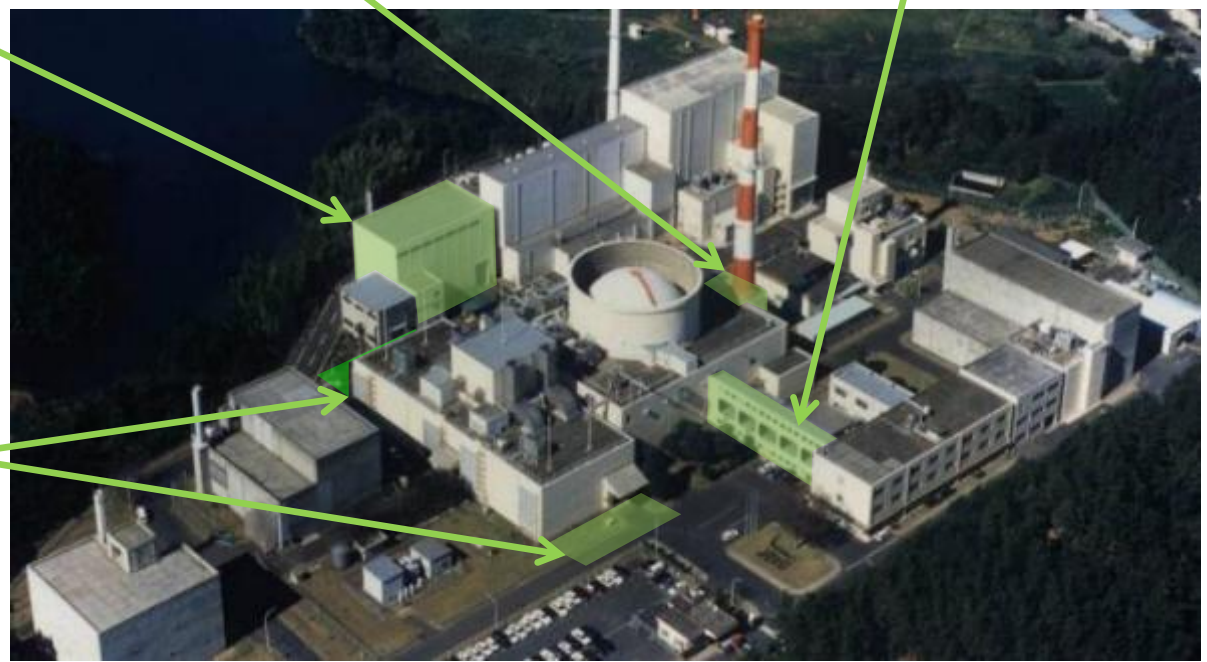
付属施設の耐震補強
(主排気筒)



(渡り廊下)



地盤改良



まとめ

- 高速実験炉「常陽」、照射後試験施設では、核燃料サイクルの高度化に向け、燃料・材料の照射試験や高速炉のプラント技術開発を着実に進めてきた。
- R5年7月には新規制基準への適合性に係る原子炉設置変更許可を取得し、現在、安全性向上に向けた工事を進めている。
- 運転再開後は、国の高速炉開発方針に沿って、実証炉に必要な燃料・材料研究を進めるとともに、国内外の研究機関からの照射ニーズに応えることで、研究開発のハブとしての機能を発揮する。
- あわせて、医療用RI製造に資する研究も推進し、原子力科学技術の社会的価値を最大化する取り組みに貢献する。

参考文献リスト

- 4ページ
 - エネルギー基本計画：資源エネルギー庁、https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/
 - グリーン成長戦略：経済産業省、https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html
 - 「戦略ロードマップ」：内閣官房、https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kakuryo_kaigi/dai10/siryou1-2.pdf
 - GX 実現に向けた基本方針：内閣官房、https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/pdf/kihon.pdf
- 6ページ
 - MA含有燃料：マイナーアクチニド含有低除染燃料による高速炉リサイクルの実証研究、令和6年度「原子力システム研究開発事業」成果報告会、https://www.nsystemkoubo.jp/result/r06/document/1_r6sys_seika.pdf
- 7ページ
 - 自己作動型炉停止機構：「常陽」における自己作動型炉停止機構（SASS）の炉内実証試験、https://www.jstage.jst.go.jp/article/aesj/2004f/0/2004f_0_168/_pdf/-char/ja
- 8ページ
 - 自然循環試験：SSC-Lによる「常陽」MK-II炉心自然循環試験解析、PNC-TN9410 87-113、<https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/PNC-TN9410-87-113.pdf>
- 9ページ
 - 機器信頼性データベース：高速炉機器信頼性データベースの整備、<https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5029276>
- 11ページ
 - SmARTサイクル研究：新型炉及び核燃料サイクルの技術開発の方向性、日本原子力学会2023年春の年会 新型炉部会セッション、<http://www.aesj.or.jp/division/ard/documents/AESJ-2023S-ARD-3.pdf>