



# 高速炉の意義、研究開発について

令和5年7月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
高速炉・新型炉研究開発部門

# 高速炉に係る最近の国内動向(1)

## 原子力小委員会 革新炉ワーキンググループ（経済産業省）

- 原子力の新たな社会的価値を再定義し、我が国の炉型開発に係る道筋を示す議論を実施
  - **革新炉（高温ガス炉、高速炉等）開発の技術ロードマップ（骨子案）** 中間取りまとめ（2022年7月末）

## 原子力小委員会

- 原子力の開発・利用の基本原則と、各課題への対応の方向性と行動指針を提示
  - **今後の原子力政策の方向性と行動指針**を原子力関係閣僚会議にて決定（2023年4月28日）

## 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ（経済産業省）

- 戦略ロードマップ（2018年12月策定）に基づき、2024年以降の高速炉開発の在り方を検討
- 外部有識者の技術評価を踏まえ、**戦略ロードマップの改訂**に向けて議論

## 高速炉開発会議（2022年12月22日）、原子力関係閣僚会議で決定（2022年12月23日）

- 高速炉開発の「**戦略ロードマップ**」の改訂
  - 高速炉開発の意義・位置づけを確認
  - 専門家により、ナトリウム冷却高速炉が最有望と評価
  - 今後の開発計画を設定
    - ◆ 2023年夏 : 炉概念の仕様と中核企業を選定
    - ◆ 2024～2028年度 : 実証炉の概念設計、研究開発
    - ◆ 2028年頃 : 実証炉の基本設計・許認可フェーズへの移行判断

## 次世代革新炉の開発に必要な研究開発基盤の整備に関する検討会（文部科学省）

- GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議（2022年8月）での岸田総理の指示を踏まえ、次世代革新炉の開発・建設に向けて、**今後10年以内に行うべき基盤整備**を議論

## 原子力委員会（内閣府）

- **原子力利用に関する基本的考え方（2023年2月20日改訂）**
  - 我が国の原子力政策の今後の長期的な方向性及び中期的な重要事項を示す

## GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議（内閣官房）

- 第5回会議(2022年12月22日)  
「**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～**」の取りまとめ
  - 原子力はエネルギー安全保障に寄与し脱炭素効果の高い電源、最大限活用
  - 2030年度電源比率20～22%の確実な達成に向け、安全最優先で再稼働を進める
  - 次世代革新炉の開発・建設は、廃止を決定した炉の建て替えを対象に具体化を進める

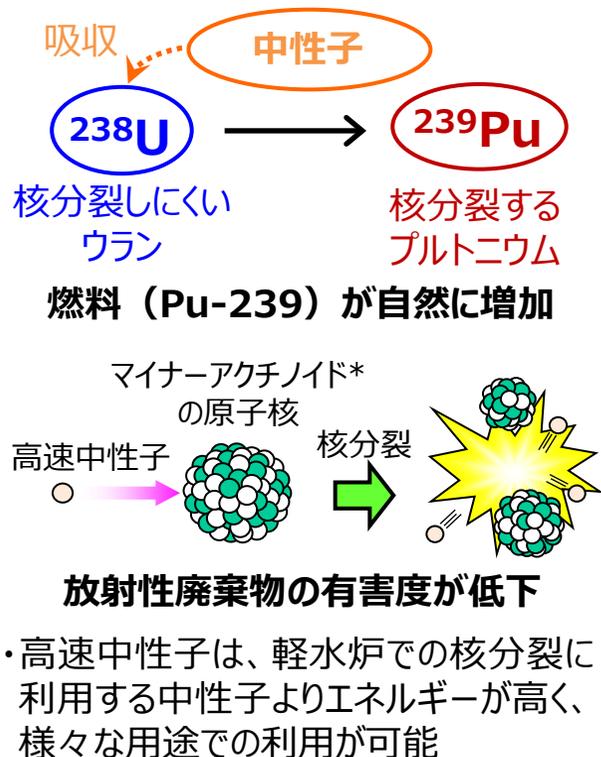


閣議決定（2023年2月10日）

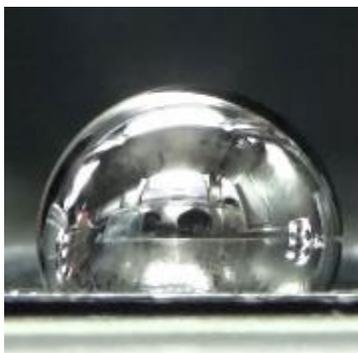
# 高速炉の特徴

- 高速中性子（エネルギーの高い中性子）を利用、核分裂に伴う中性子発生数が多い
- 冷却材に**液体金属（ナトリウム）**を使用
- 液体ナトリウムの**自然循環により、熱（崩壊熱）の除去が可能（自然に冷える）**

## 高速中性子の利用



## 液体ナトリウムの使用



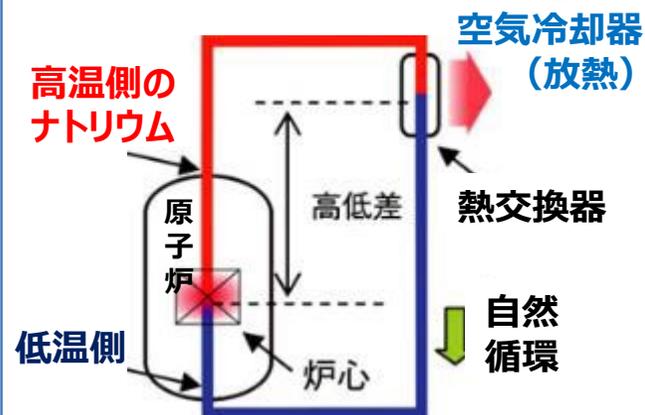
ナトリウムの液滴

沸点:883℃  
融点:98℃  
比重:0.97

- ・比重、粘性は水と大きな差はなく、流力的には水とほぼ同等
- ・熱伝導率は水の約100倍。効率的な除熱が可能
- ・中性子を減速しないため高いエネルギーの中性子が利用可能
- ・沸点が高く、高温での運転が可能（効率的に熱を取り出せる：高い熱効率）

## 自然循環による安全性

冷却器を高所に置き、**ナトリウムの温度差**によって発生する**密度の差**だけで循環



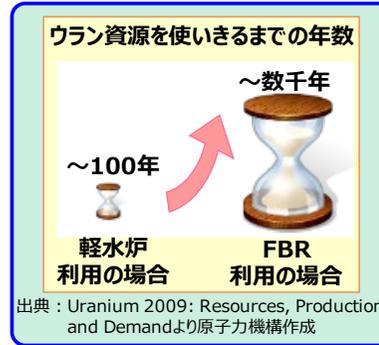
- ・ナトリウムは自然循環（温度差による対流）が発生しやすいため、電源が失われても原子炉の自然冷却が可能

\* 使用済燃料の中に含まれる長期間にわたって高い放射能をもつアメリシウム、ネプツニウムなどの元素

# 高速炉サイクルの意義

- 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

⇒ 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



- 運転時にCO<sub>2</sub>を排出しない
- 長半減期で、かつ発熱するマイナーアクチノイド（MA）を燃料としてリサイクルすることにより、放射性廃棄物の発熱量を減らし、放射能による潜在的有害度が減衰するまでの期間を大幅に短縮（10万年⇒300年）することが可能
- 需給ニーズに応じて、プルトニウム生成/燃焼が可能

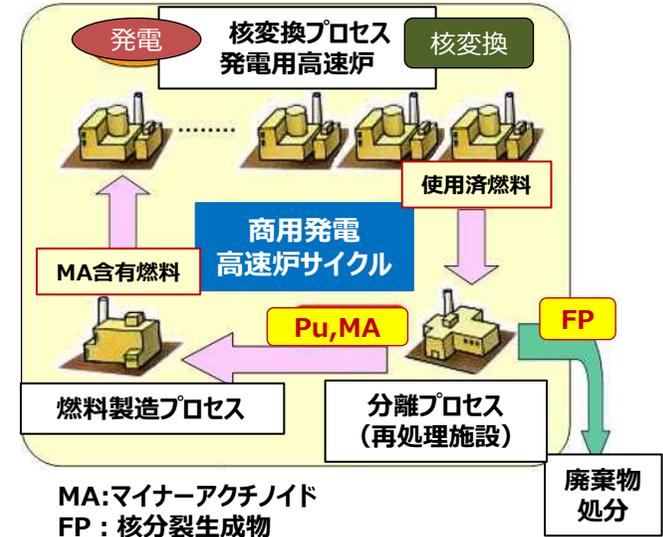
⇒ 環境への負荷を低減

- ナトリウム冷却材による高い自然循環能力を有し、空気との熱交換が可能なことから、電源が喪失しても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

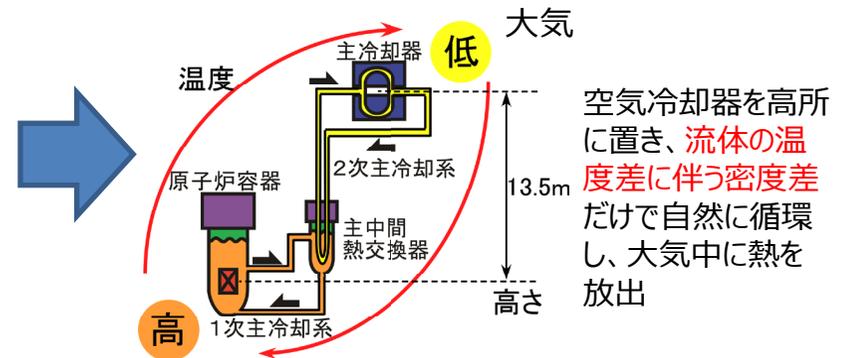
- 高速中性子を用いた医療用ラジオアイソトープ（RI）の製造によりがん治療などに活用

⇒ 国民福祉向上への貢献



## 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)



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)

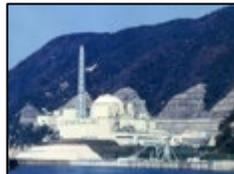
# 高速炉開発の進め方

- 戦略ロードマップにおいて、原子力機構の役割として、原子力分野の研究開発・人材育成、民間が取り組む技術開発に対応できる研究開発基盤（試験施設、解析評価手法、安全基準等）の維持・整備が求められており、これを受けて**統合評価手法の開発**、**規格基準の整備**、**安全性向上技術の開発**に注力する。
- 2022年末の戦略ロードマップ改定により、高速炉開発計画がより具体化されたことを踏まえて、研究開発基盤を必要な時期に最大限利用し、**日仏・日米等の国際協力も活用しつつ、効果的に最有望と評価されたナトリウム冷却高速炉の研究開発**を推進する。

## 統合評価手法の開発

常陽

もんじゅ



- 「常陽」、「もんじゅ」、それ以降の設計検討等の知見を整備するとともに知識ベース化
- 多様なシステムの評価に対応するため、物理現象に基づく評価手法（マルチフィジックス評価）を開発
- AI技術の活用による最適化

## 規格基準の整備

基本的安全原則



SDC/SDGの位置づけ

- 安全性、経済性を高いレベルで両立させ、かつ多様な高速炉概念に適用可能な規格・基準類の整備

SDC:安全設計クライテリア  
SDG:安全設計ガイドライン

## 安全性向上技術の開発

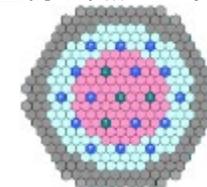
- 受動的炉停止、炉心溶融防止、再臨界防止機能など炉心安全技術の整備
- 自然循環除熱などを含むプラント機器の安全性能の実証

## 国際協力

スーパーフェニックス（仏）



金属燃料炉心（米）

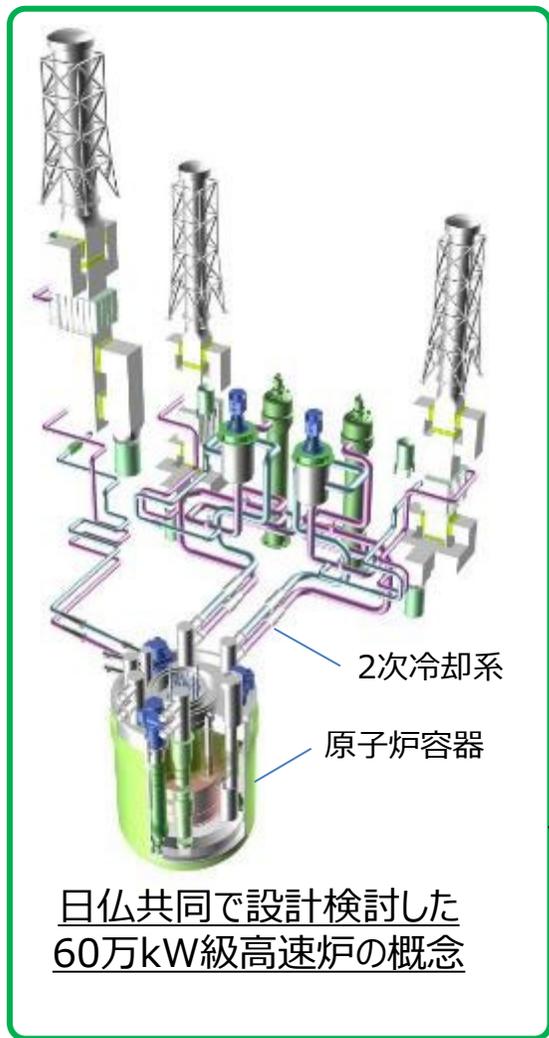


- フェニックス、スーパーフェニックス等のナトリウム冷却炉の運転経験が豊富な仏との協力
- 金属燃料、関連する解析コード等の開発が先行する米国との連携



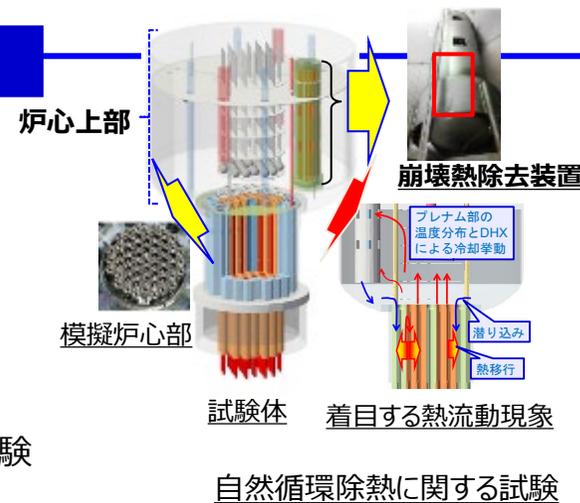
- 実用化に向けた基盤技術の効果的な研究開発の推進

2040年代半ばとされる実証炉の運転開始に貢献



## 安全性向上技術

- 「自然に止まる」：受動的炉停止技術
  - 「常陽」での試験
- 「自然に冷える」：自然循環除熱技術
  - ナトリウム試験施設（PLANDTL）（右図）での試験
- 「閉じ込める」：事故の炉内収束技術
  - 炉心溶融物（模擬）のナトリウム試験
  - カザフスタンでの炉内試験、等



## 経済性向上技術

- 燃料/材料の高性能化（長寿命化等）：
  - 「常陽」での照射試験
- 機器の大容量化：
  - 大型ナトリウム試験施設（AtheNaアテナ）でのナトリウム試験、等



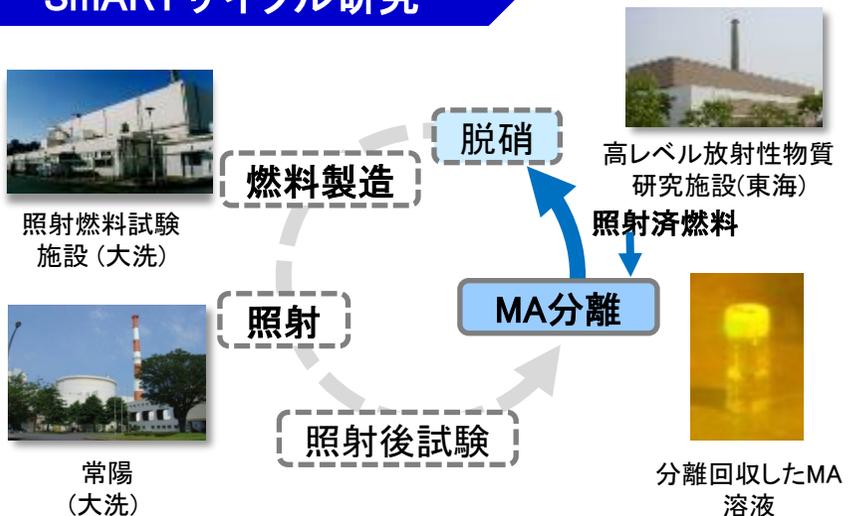
○技術成立性の実証のため**小規模マイナーアクチノイド (MA)リサイクル(SmARTサイクル)研究**を推進

- **世界最高レベル約2gのMA分離回収**を達成。今後、回収したMAを用いて試験用燃料を遠隔製造し、「常陽」の運転再開後の照射試験を計画。高速炉におけるMAの燃焼・核変換の実証を目指す

○「常陽」での**MA含有MOX燃料の照射試験**を通じて照射挙動を把握

○1サイクル当たりの核変換効率を飛躍的に向上させる長寿命炉心材料（ODS鋼被覆管等）の開発を推進

## SmARTサイクル研究

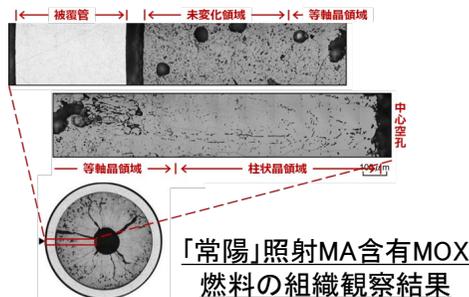


### SmARTサイクル研究

SmART: *Small Amount of Reuse Fuel Test Cycle*

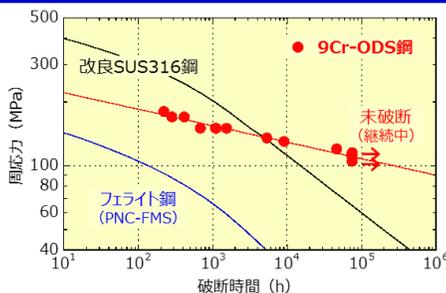
- MA分離変換に係るデータの取得とMAサイクル技術の小規模での成立性実証を目指す
- これまでに、ペレットレベルでの燃料製造・照射試験を可能とする約2gのMAを回収

## MA含有MOX燃料の照射試験



- 「常陽」短期・高線出力試験に供したMA含有MOX燃料についてAm等の再分布挙動に関する定量データを取得、照射挙動評価に必要な詳細な組織変化データを取得
- MA含有MOX燃料設計コード開発を継続中

## 長寿命炉心材料の開発



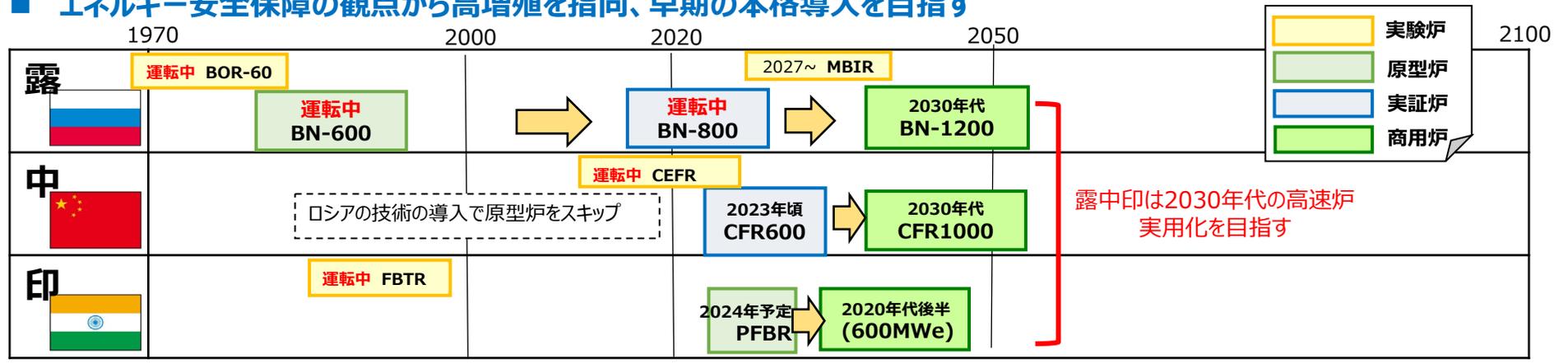
9Cr-ODS鋼被覆管の700℃における内圧クリープ破断強さ (Creep rupture strength of 9Cr-ODS steel cladding at 700°C under internal pressure)

- ODS鋼被覆管が実用化段階の使用条件に相当する高温・長時間環境において世界最高レベルのクリープ強度を維持し、イオン照射後も酸化物分散粒子を含む微細組織が安定であることを実証
- 高速中性子照射に対する優れた耐膨れ (スエリング) 性を確認中

# 世界の高速炉開発状況

- ロシアでは2015年に実証炉が稼働、中国では2023年に実証炉が初臨界を予定、両国とも2030年代に商用炉運開を目指す
- 米（テラパワー社など）・加（ARC社など）は2030年頃の高速炉（SMR）の運転開始を目指して官民連携して挑戦
- 仏国は21世紀後半の高速炉の実用化を目指す

## ■ エネルギー安全保障の観点から高増殖を指向、早期の本格導入を目指す



## ■ 核燃料の増殖技術を習得済み。多目的利用も視野にカーボンニュートラルへの貢献、Pu利用、廃棄物対策を主眼

