

# JAEAにおける次世代革新炉の 社会実装に向けた取組

令和5年3月13日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

理事 大島 宏之

## 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実現に向けた行動指針（案）**（2022年12月8日とりまとめ）

## 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日改定、2月28日尊重される旨が閣議決定）**  
原子力の持続的活用に関する基本方針の確立が必要等の意見

## 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）

# 革新炉（核分裂炉）の主な種類\*1

<p><b>革新 軽水炉</b></p>  <p>プラント概念*2</p>	<p>新たな安全性向上技術（コアキャッチャー等）を備えた大型の軽水炉。<b>既存の軽水炉技術がベース</b>のため、既存の軽水炉サプライチェーンを活用可能、実現可能な時期の予測も容易</p>
<p><b>小型 軽水炉</b></p>  <p>小型モジュール炉プラント (NuScale Power社提供図)</p>	<p>電気出力30万kW以下。工場でユニット（モジュール）生産することで、工期や建設費を削減。<b>既存の軽水炉技術がベース</b>。投資リスクの低減や分散電源等の将来ニーズを念頭に置いたオプションとして重要</p>
<p><b>高温 ガス炉</b></p>  <p>高温工学試験研究炉 (HTTR)</p>	<p>取り出せる熱の温度が高いため（900℃以上）、高効率の発電に加えて、水素製造等、多様な熱利用が可能。<b>技術実証に向け、国際連携の可能性を追求しながら、開発を推進中</b></p>
<p><b>高速炉</b></p>  <p>「常陽」</p>	<p>高速中性子を利用することで、核燃料サイクル（ウラン資源の有効利用、放射性廃棄物の燃焼等）が可能。技術実証に向け、<b>「常陽」「もんじゅ」の経験を活用し、国際連携の下で開発を推進中</b></p>

\*1 以下の資料を参考にして作成

[1] 資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 第29回原子力小委員会、革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）、2022年8月9日

[2] 日本経済新聞、きょうのことは、次世代型原発とは 安全性向上、効率よく発電、2022年8月25日  
(<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC246DB0U2A820C2000000/>)

\*2 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 第1回革新炉ワーキンググループ、三菱革新炉開発の取組み、2022年4月20日



# 高温ガス炉について

## 高温ガス炉の特長

- 固有の安全性を有し、炉心溶融を起こさない設計が可能
- 発電のみならず水素製造、海水淡水化等の幅広い熱の産業利用が可能

## カーボンフリー社会への貢献

- 高温ガス炉により製造される水素のエネルギー利用
- 高温ガス炉の熱源を用いることによる石炭火力の代替
- 原子力新興国における中小都市での利用（電力供給、水素製造、熱利用）

多様な社会的  
要請に応える

## 国際技術開発に貢献 できる世界唯一の施設

- 英国（クリーンエネルギーイノベーション覚書に基づく協力）
- ポーランド（日・ポーランド戦略的パートナーシップの実施のための行動計画に基づく協力）
- 米国（民生用原子力研究開発WG（CNWG）に基づく協力）
- OECD/NEA HTTRプロジェクト（日、米、仏、独、韓、チェコ、ハンガリー）
- GIF超高温ガス炉 水素製造プロジェクト（日、米、仏、加、韓、中、EU、スイス）



JAEA-ポーランドNCBJ 研究協力実施  
取決め署名（2022年11月22日）

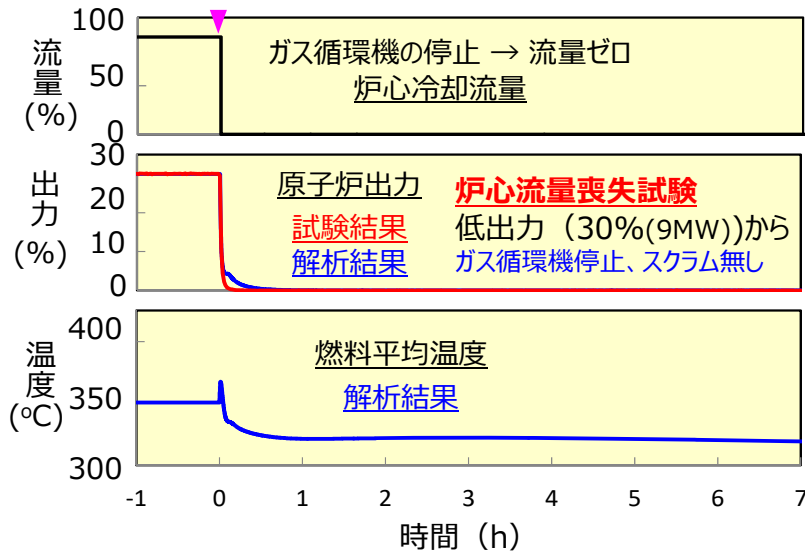


HTTR  
(高温工学試験研究炉)

- 定格出力30MWt、原子炉出口温度950℃達成（2004年4月）
- 950℃、50日間高温連続運転（2010年3月）
- 安全性実証試験（炉心流量喪失試験）に成功（2010年12月）
- 新規制基準適合性に係る設置変更許可の取得（2020年6月）
- HTTR運転再開（2021年7月）
- 安全性実証試験（炉心冷却喪失試験）に成功（2022年1月）
- 高温ガス炉安全性向上のためのHTTR試験



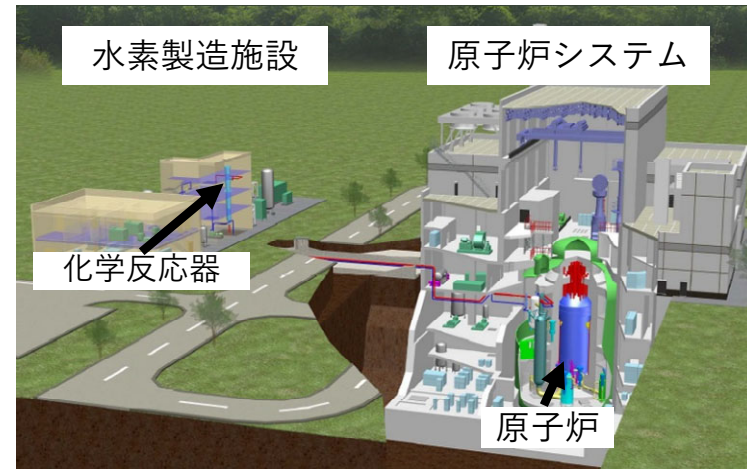
## 安全性実証試験



- ✓ 炉心冷却喪失試験 (OECD/NEAプロジェクト)を含む安全性実証試験、熱負荷変動試験等を実施
- ✓ 「固有の安全性」を実証

自己制御性に優れた固有の安全性を実証

## HTTR-熱利用試験

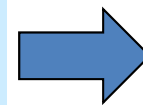


- ✓ 2030年までにHTTRと水素製造施設（メタンの水蒸気改質法）の接続技術を開発
- ✓ 原子炉と化学プラント接続に関する安全性確保の考え方を提案

高温ガス炉と水素製造施設の接続に係る安全設計を確立

JAEAは高温ガス炉技術について、



- HTTRで950°Cの出口温度（世界記録）を達成
- HTTRの安全性実証試験で、固有の安全性を実証
- HTTR-熱利用試験計画で、原子力による水素製造を実証へ（熱利用にかかる安全規制を含む）



高温ガス炉技術で世界のフロントランナー

日本の高温ガス炉技術に対する海外からの期待

- 二国間協力：英国、ポーランド、米国等
- 多国間協力：OECD/NEA LOFCプロジェクト、GIF超高温ガス炉協力等

<p>米国</p> 	<p><b>エネルギー省 (DOE) による開発支援</b> (新型炉実証プログラム, 2020年～)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ~2028年に稼動する革新炉原子炉の建設を支援</li> <li>• X-energy社 (高温ガス炉) が選定</li> </ul>
<p>英国</p> 	<p><b>ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) による開発支援</b> (新型モジュール炉研究開発・実証プログラム, 2022年～)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BEISは新型モジュール炉として高温ガス炉を選定</li> <li>• 2030年初頭までに高温ガス炉を実証</li> <li>• 英国国立原子力研究所 (NNL) と原子力機構が参加するチームが、英国の新型炉開発プログラムの予備調査を行う実施事業者として採択</li> </ul>
<p>ポーランド</p> 	<p><b>ポーランド政府による高温ガス炉計画</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 国立原子力研究センター (NCBJ) は教育科学省から高温ガス炉研究炉の設計のための予算を獲得</li> <li>• 高温ガス炉研究炉の概念設計を開始 (2022年)。原子力機構も協力。</li> </ul>
<p>中国</p> 	<p><b>エネルギー技術創新“十三五”計画 (能源技術創新“十三五”規画)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 研究炉 (HTR-10) を用いた研究開発</li> <li>• 実証炉 (電気出力210MW) が運転中 (2021年12月送電開始、2022年12月 全出力運転達成)</li> </ul>
<p>日本</p> 	<p><b>経済産業省及び文科省によるNEXIPイニシアチブ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原子力機構による高温工学試験研究炉 (HTTR) を用いた研究開発</li> <li>• 民間企業 (東芝ESS及び三菱重工業) による商用高温ガス炉開発</li> </ul>





# 高速炉について

● 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

● 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、放射能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

● エネルギー事情に応じ、プルトニウムの生成／燃焼が可能

⇒ 環境への負荷を低減

● 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可能し、太陽光や風力等、出力変動再エネを補完

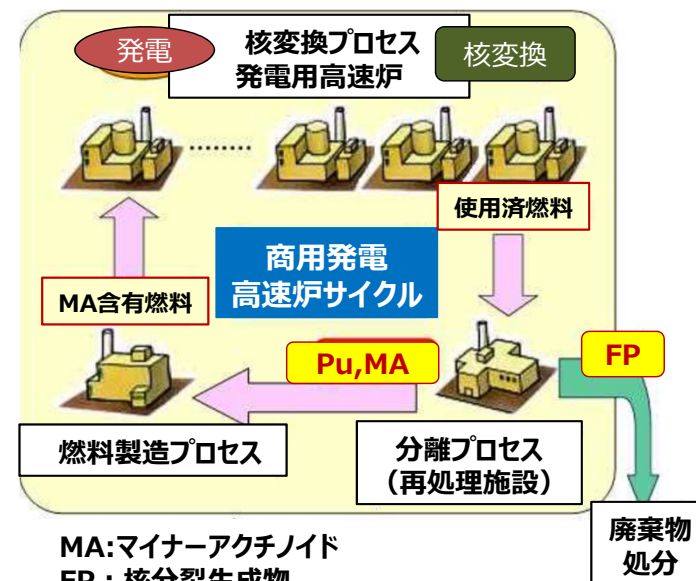
⇒ CO<sub>2</sub> 排出せずに変動再エネと共存

● 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

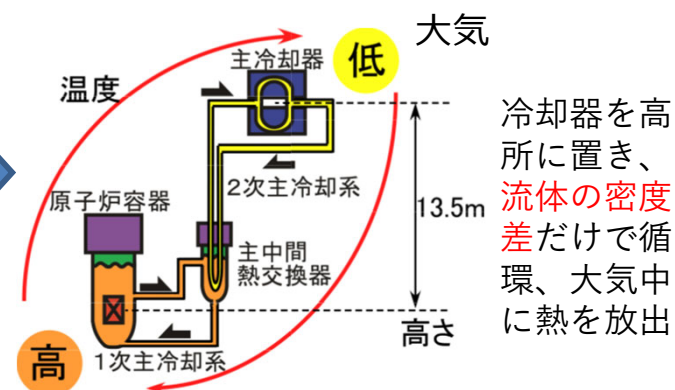
● 高速中性子を用いた医療用RIの製造によりがん治療などに活用

⇒ 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)

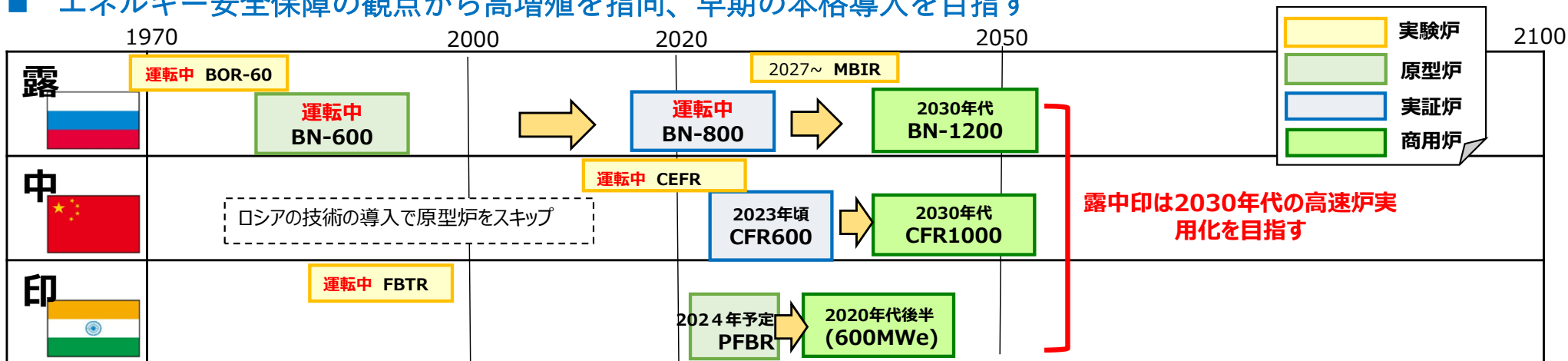


電源を必要としない自然循環による炉心冷却（高速実験炉「常陽」で実証済み）

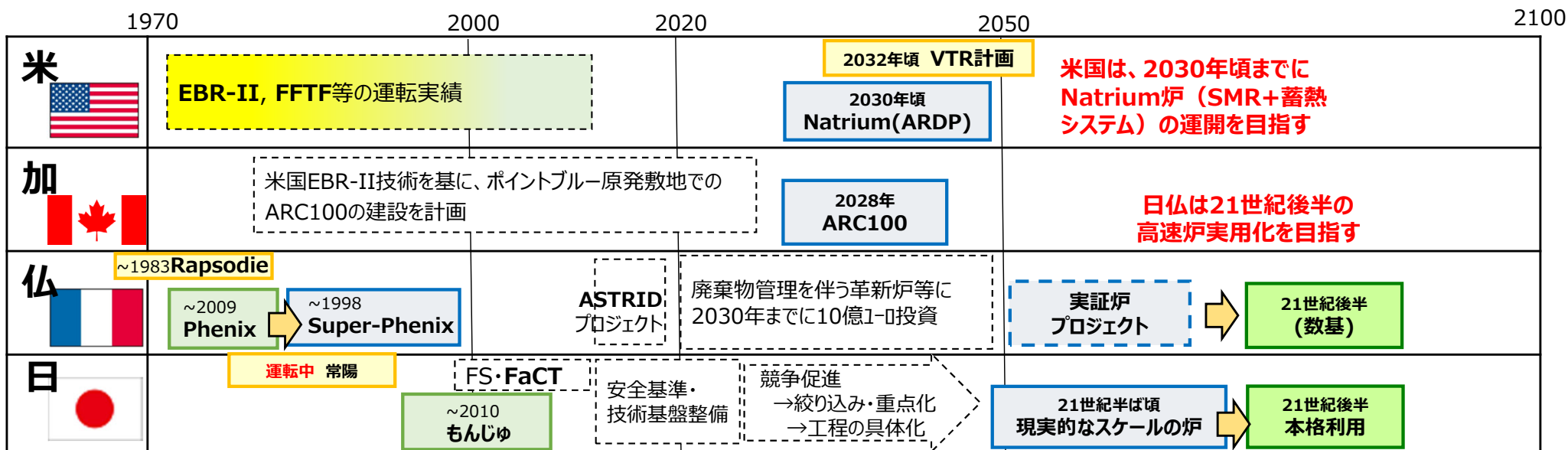
グリーン成長戦略で求められるイノベーションの実現

- 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2020年代後半の実証炉運転開始を目指して官民連携して挑戦

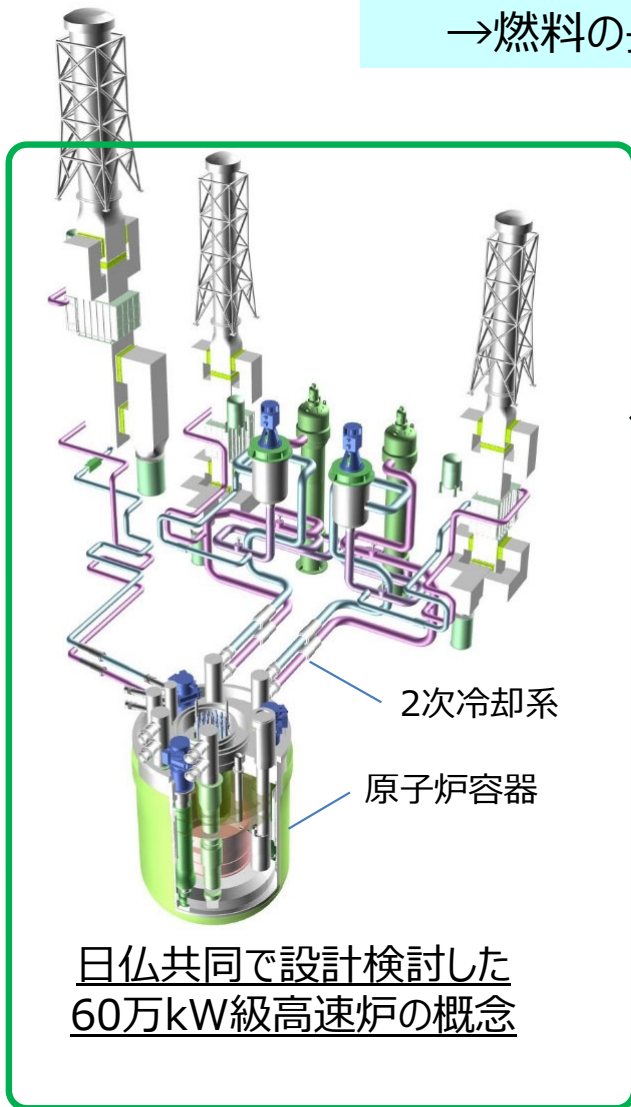
## ■ エネルギー安全保障の観点から高増殖を指向、早期の本格導入を目指す



## ■ 核燃料の増殖技術を習得済み。多目的利用も視野にPu利用・廃棄物対策に主眼

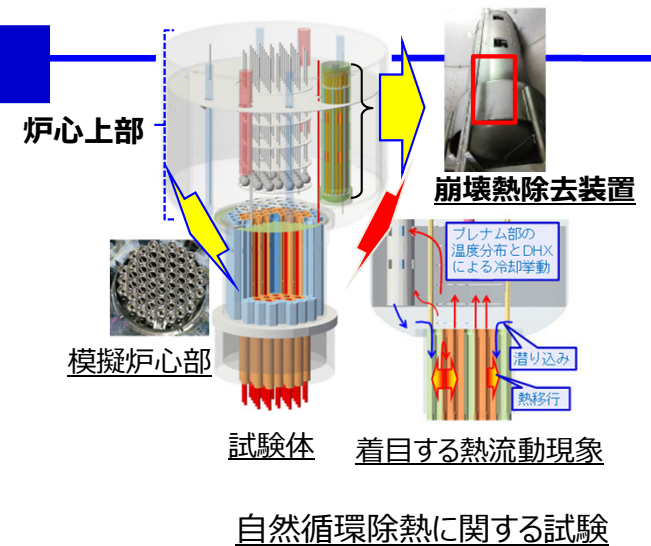


- 次期炉を10年程度で運転開始可能な技術蓄積は十分にある。
- 経済性を「軽水炉並」にすることが今後の課題  
→燃料の長寿命化、プラント出力の大型化、など



## 安全性向上技術（JAEAで開発済み）

- **「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
  - 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（開発中）

- **燃料の長寿命化**：
  - 「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



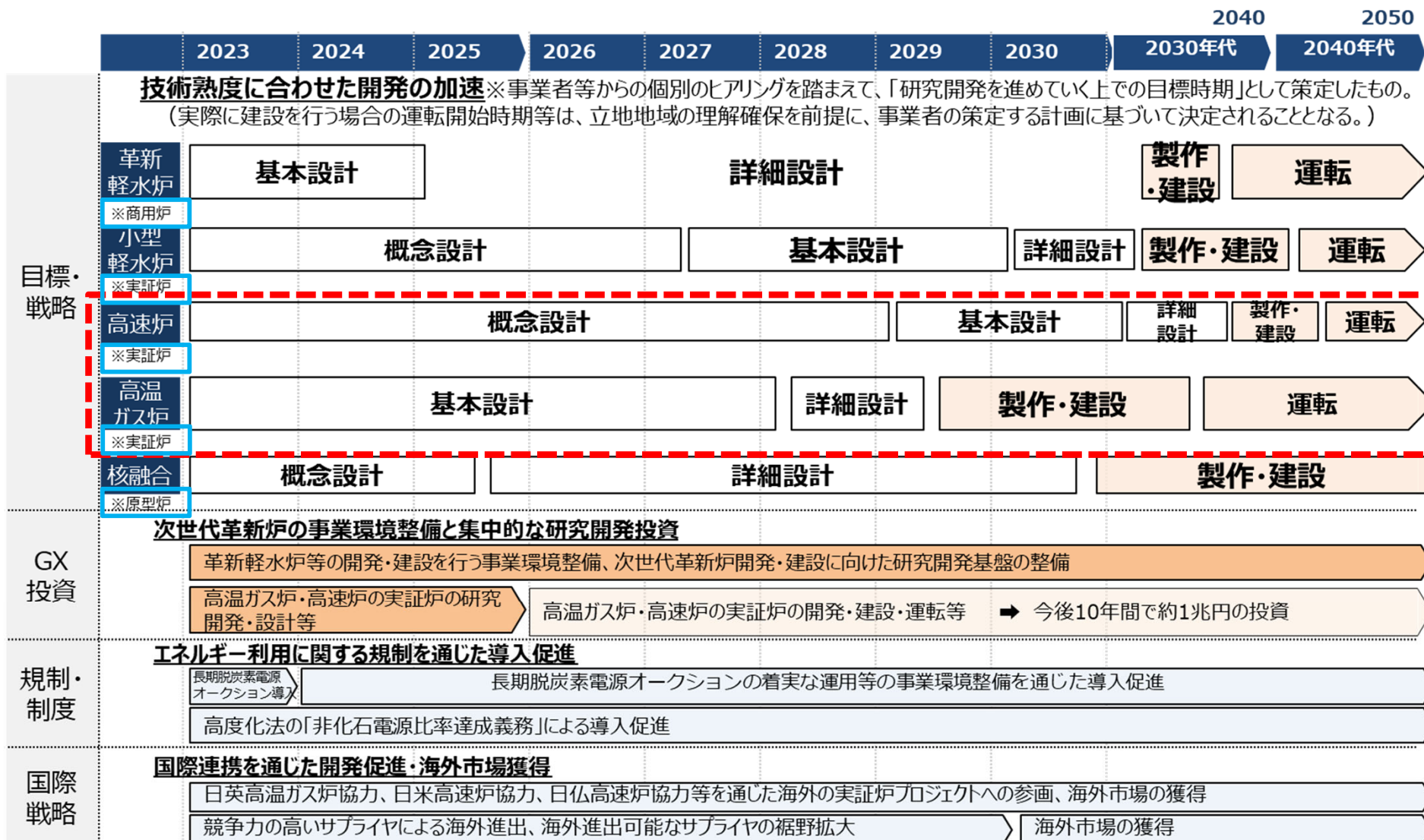
AtheNa試験施設  
（世界最大のNa試験装置）



## 【今後の道行き】 事例 16 : 次世代革新炉

GX実行会議（第5回）  
2022年12月22日開催より引用・追記

- 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。





- 英国国立原子力研究所(NNL)と原子力機構が参加するチームが、英国の新型炉開発プログラムの予備調査を行う実施事業者として採択された。
- 高速炉技術を評価の結果、常陽・もんじゅ等を経て民間企業による研究開発が進展し、国際的にも導入が進んでいるナトリウム冷却高速炉が、今後開発を進めるに当たって最有望と評価された。
- GX支援対策費（令和5年度経済産業省予算案）
  - 高温ガス炉実証炉開発事業（令和5年度予算案額 48億円）  
（国庫債務負担含め総額431億円）
  - 高速炉実証炉開発事業（令和5年度予算案額 76億円）  
（国庫債務負担含め総額460億円）

# 参考資料

- エネルギー自給率\*1 : **11.2%**
- 電源構成\*2 : 火力 76.4%  
                   変動ゼロエミ (太陽光、風力) 8.8%  
                   安定ゼロエミ (安定再エネ、原子力) 14.9%
- CO<sub>2</sub>排出が非常に多い (CO<sub>2</sub>排出係数[gCO<sub>2</sub>/kWh]が**フランスの8倍!!**)
- ✓ 欧州では他国とのエネルギー連結が密、日本は島国で孤立 (下表)

変動ゼロエミ : CO<sub>2</sub>を排出しないが、自然条件によって出力が大きく変化する電源  
 安定ゼロエミ : CO<sub>2</sub>を排出せず、かつ自然条件によらず安定的な運用が可能な電源

	日	仏	中	印	独	英	米
エネルギー-自給率	11%*1	54%*3	84%	65%	35%*3	71%*3	104%*3
主な国産資源	無し	原子力	石炭	石炭	石炭	石油 天然ガス	天然ガス 石油・石炭
太陽光 設備利用率	15%	14%	16%	18%	11%	11%	19%
風力 設備利用率	25%	29%	25%	23%	30%	31%	37%
国際パイプライン	×	○	○	×	○	○	○
国際送電線	×	○	○	○	○	○	○

\*1 資源エネルギー庁 令和3年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書2022)

\*2 資源エネルギー庁ホームページ 集計結果又は推計結果 (総合エネルギー統計) [https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/results.html#headline7](https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline7)

\*3 資源エネルギー庁 日本のエネルギー2021 エネルギーの今を知る10の質問

フランス



マクロン大統領が原子力回帰を宣言。欧州次世代加圧水型炉（EPR-2）6基2028年着工、8基建設検討と発表（2022年2月）。革新炉による放射性物質削減、核燃料サイクル確立を目指す。

イギリス



「エネルギー安全保障戦略」発表(2022年4月)。2050年までに原子力の発電割合を25%へ。2030年代初頭運開目指す高温ガス炉実証炉プロジェクト開始(2022年8月)。新規建設を支援する政府機関 Great British Nuclear を設立

ベルギー



2025年に40年運転を迎える原子力発電所2基の運転を10年延長する方針を決定(2022年3月)

ポーランド



「2040年までのエネルギー政策」（2021年2月）にて、脱炭素化を進めるため、2043年までに6基の原発を稼働させるとともに、高温ガス炉を主に産業用熱源として利用する可能性を表明

EU



欧州委員会、持続可能な経済活動の分類枠組み「EUタクソノミー」に原子力を加えることを決定(2022年7月)

米国



米国エネルギー省が新型炉実証プログラム(ARDP)を開始し10件を選定(2020年10月及び12月)。TerraPower社のナトリウム冷却高速炉「Natrium」とX-エナジー社の高温ガス炉「Xe-100」建設に投資を決定。カリフォルニア州議会で閉鎖予定原発の運転延長法案可決(2022年9月)

韓国



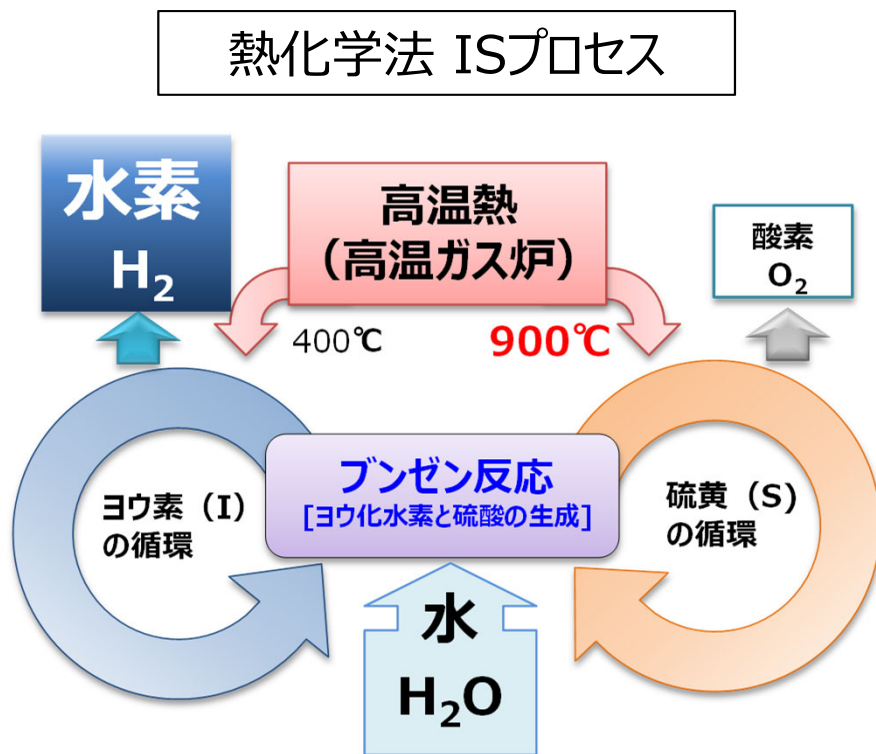
エネルギー政策方針を発表(2022年7月)。前政権の脱原子力政策を撤回し、電源構成に占める原子力比率を2030年に30%以上と修正。UAEに140万kw級韓国型標準軽水炉4基を輸出、2基は商用運転開始済み、3基目は試運転中（2022年10月）

中国



2030年には原子力発電の発電能力を現状の2倍以上に増やして「脱炭素」を加速(107GW以上：世界第1の原子力発電大国の見通し)

- 水の熱分解：4000℃以上の高温熱が必要
- IS プロセス：ヨウ素 (I) と硫黄 (S) を利用して 約900℃の熱で水を熱分解  
熱源に高温ガス炉を利用 ⇒ 二酸化炭素の排出なし



- 世界で初めて、実用工業材料で製作した試験装置による150時間 連続運転 (水素製造30L/h)を達成 (2018年度)
- 92L/h水素製造を達成 (2020年度)





# 高速炉開発にかかる人材育成・技術的知見の継承

○ 高速炉に関する人材育成や技術的知見、サプライチェーンの**維持・継承**が必要。  
具体的な方策は以下のとおり。

⇒ **国内外の実炉の開発プロジェクトへの参画**【国内が最も望ましい、海外プロジェクトも効果あり。ものづくりプロジェクトなどサプライチェーン維持施策も含む】

⇒ **世界に誇る研究基盤施設（「常陽」や「冷却系機器開発試験施設（AtheNa）」、DX）を活用した研究開発**【日本技術の優位を活かす】

※「人材育成の取組を進めるとともに、原子力機構と国内外の大学、民間の研究施設等との連携の強化」（高速炉開発の方針）が重要

○ 高速炉の最後の運転（常陽）は約15年弱前、建設経験（もんじゅ）は約30年前。**高速炉の建設や運転経験を有する人材の高齢化**（建設経験者は60～70代、運転経験者は40～50代）が進行



今世紀半ばの実証炉の開発を目指すためには、**実プロジェクトへの参画や、基盤研究施設を活用した研究開発の継続的な実施**により、**我が国が国が培ってきた高速炉の知的基盤、技術的基盤を維持・継承していくことが不可欠**

