



JAEAにおける次世代革新炉の 社会実装に向けた取組

令和4年11月17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



1. 国内外の情勢と次世代革新炉の要件

- ▶日本のエネルギー情勢 ▶原子力に関する日本の政策
- ▶革新炉に関する最近の国内動向 ▶原子力に関する国際動向
- ▶次世代革新炉に求められる要件 ▶革新炉の主な種類

2. JAEAにおける次世代革新炉開発

■ 高温ガス炉技術の開発

- ▶高温ガス炉の特徴 ▶世界の高温ガス炉開発状況 ▶我が国の高温ガス炉技術
- ▶JAEAにおける研究開発 ▶英国及びポーランドとの協力
- ▶導入に向けた技術ロードマップ

■ 高速炉サイクル技術の開発

- ▶高速炉の特徴 ▶高速炉サイクルの意義 ▶世界の高速炉開発状況
- ▶我が国における高速炉サイクル開発の経緯 ▶JAEAにおける研究開発
- ▶高速炉開発における国際協力の活用 ▶イノベーションを支える技術基盤整備
- ▶導入に向けた技術ロードマップ ▶非エネルギー分野への貢献

3. まとめ



1. 国内外の情勢と次世代革新炉の要件

日本のエネルギー情勢

- 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%
- **CO₂排出が非常に多い (CO₂排出係数[gCO₂/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 : CO₂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 : CO₂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	×	○	○	○	○	○	○

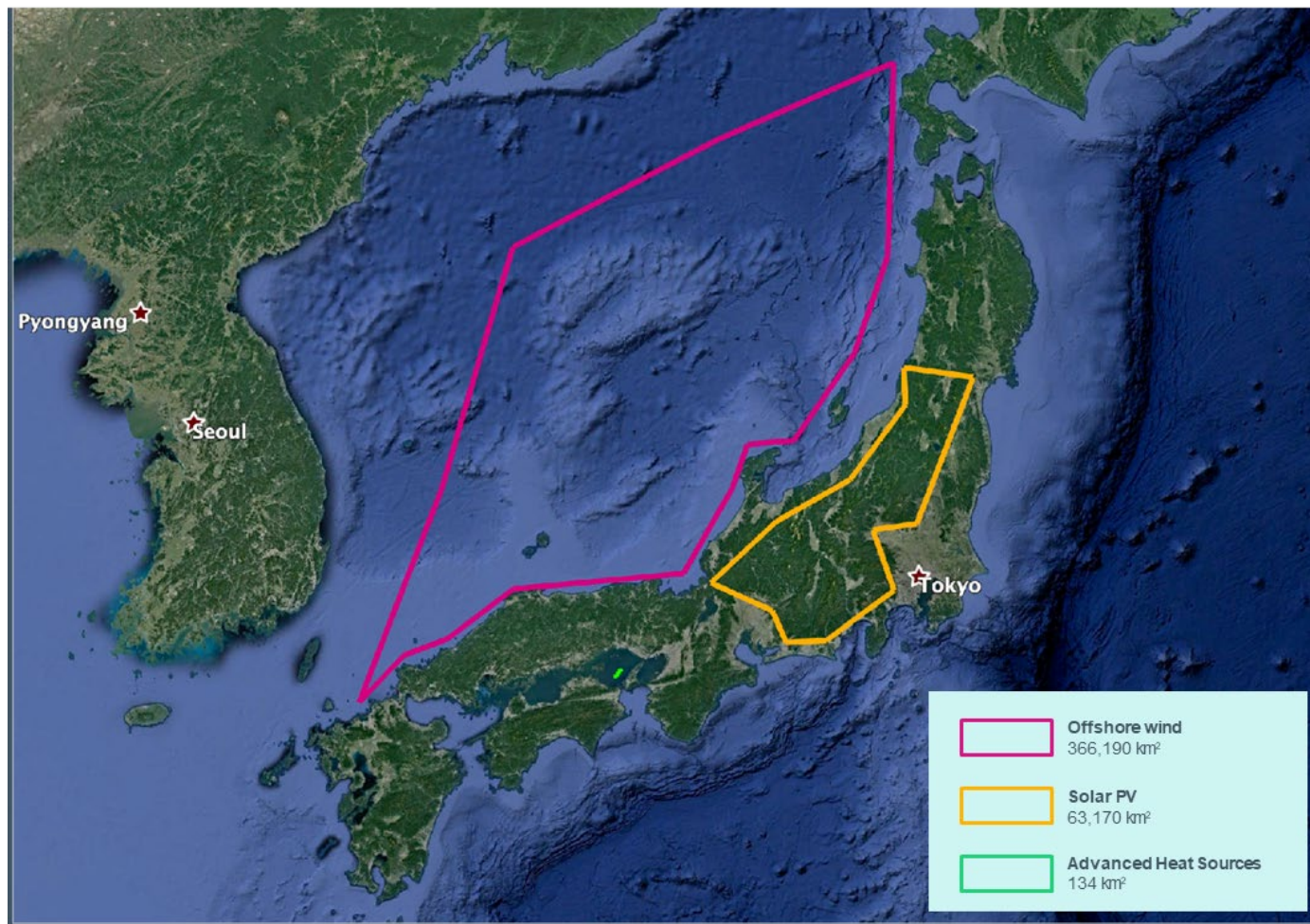
*1 資源エネルギー庁 令和3年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書2022)

*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

*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

参考：再生可能エネルギーに必要な面積

■ 2019年の年間石油使用量に相当する量の水素を製造するために必要な土地面積*



* イギリス研究機関Lucid Catalyst 2020年9月レポート、Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals

原子力に関する日本の政策

グリーン成長戦略（原子力に関連する記載）

- 原子力は大量かつ安定的にカーボンフリーの電力を供給可能、**技術自給率**も高い
- 更なるイノベーションにより、**安全性・信頼性・効率性**の一層の向上、**放射性廃棄物の有害度低減・減容化**、**資源の有効利用による資源循環性**の向上を達成
- 再生可能エネルギーとの共存、水素製造や熱利用といった多様な社会的要請に応えることも可能

- ⇒ 高速炉、高温ガス炉、小型炉(SMR)に関する2050年までの成長戦略工程の提示
(高速炉は2018年に原子力関係閣僚会議にて決定された「戦略ロードマップ」に基づく開発)
- ⇒ 「常陽」においては、世界的にも希少な医療用放射性同位体を、大量製造することが可能
「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期待

第6次エネルギー基本計画（原子力・革新炉に関連する記載）

2050年カーボンニュートラル実現に向けて:

- 電力部門は、再エネや**原子力**などの**実用段階にある脱炭素電源**を活用
- 原子力は、**安全性の確保を大前提**に、必要な規模を持続的に活用

2030年に向けて（原子力）:

- 研究開発の推進

国際連携を活用した**高速炉開発**の着実な推進、**小型モジュール炉**技術の国際連携による実証、**高温ガス炉**における**水素製造**に係る要素技術確立等を推進

- ⇒ 高速炉は「戦略ロードマップ」に基づき研究開発に取り組む

革新炉に関する最近の国内動向

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
 - 革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）を中間取りまとめ（2022年7月末）

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

改訂案のポイント

- 技術の成熟度等の観点から、ナトリウム冷却高速炉が今後開発を進める概念として最も有望
- 2023年夏：炉概念の仕様選定、2024～2028年：実証炉の概念設計・必要な研究開発、・・・
- 国やJAEA等、各プレイヤーの役割・開発体制の明確化

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（2017年7月策定）の見直しに向け、事業者から意見聴取
 - 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

原子力に関する国際動向

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



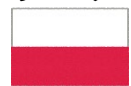
「エネルギー安全保障戦略」発表(2022年4月)。2050年までに原子力の発電割合を25%へ。2030年代初頭運開目指す高温ガス炉実証炉プロジェクト開始(2022年8月)。新規建設を支援する政府機関 Great British Nuclear を設立

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)

次世代革新炉に求められる要件

一層の安全性向上を前提に、

- ✓ 安定供給（大規模安定 + 革新的安全性 + **技術自給**・サプライチェーン）
- ✓ 資源循環性（廃棄物問題解決への貢献 + 資源有効利用）
- ✓ 柔軟性（負荷追従 + 水素・熱利用 + 立地の柔軟性）

安定供給

- 原子力は安定供給に貢献する脱炭素電源
- 革新的安全性向上により、地域・国民の信頼獲得・安定供給へ
- 製造・調達等のプロセスイノベーションを通じ、原子力サプライチェーンを維持・強化。**技術自給**にも貢献

資源循環性

- 原子力は脱炭素エネルギー源、革新的技術により高レベル放射性廃棄物を再資源化
- 資源の有限性にも解決策を
- 技術革新により**原子力も循環型エネルギーへ**


柔軟性

- 変動する再エネを支える出力可変性（負荷追従）
- 発電しない時には**水素製造、熱の形で利用・貯蔵**（実質的な負荷追従）
- 防災対策重点地域縮小・立地の柔軟性
- **医療用RI製造**による国民福祉向上への貢献

一層の安全性向上

- 東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた一層の安全性向上技術開発と導入促進

革新炉（核分裂炉）の主な種類*1

<p>革新 軽水炉</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。既存の軽水炉技術がベースのため、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>小型 軽水炉</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。既存の軽水炉技術がベース。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>高温 ガス炉</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。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</p>
<p>高速炉</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、「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</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



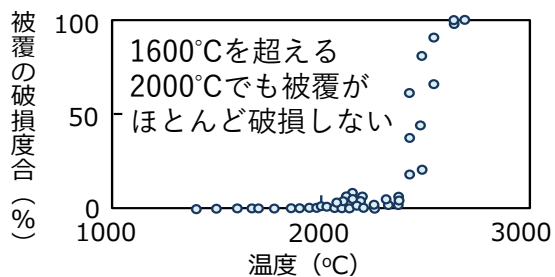
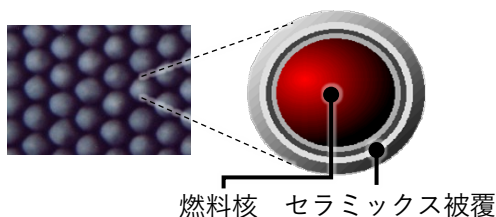
2. JAEAにおける次世代革新炉開発 - 高温ガス炉技術の開発 -

高温ガス炉の特徴 – 高い安全性

■ 固有安全性

セラミックス被覆燃料

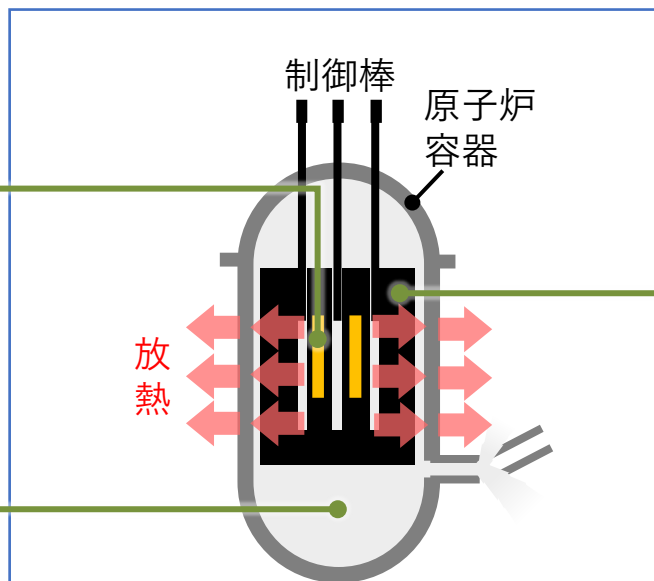
耐熱性が高く燃料溶融しない



被覆燃料を加熱した実験結果

ヘリウム冷却材

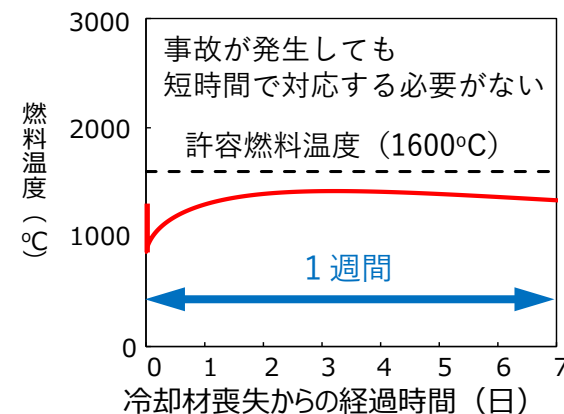
化学反応、蒸発しないため
水素・水蒸気爆発が発生しない



電源や冷却材の喪失時に
制御棒を挿入しなくても
自然に止まり、冷え、
放射性物質が閉じ込められる

黒鉛構造材

大熱容量・高熱伝導であるため
原子炉容器外側での放熱で
燃料が冷える



冷却材喪失時の燃料温度 (解析結果)

高温ガス炉の特徴 – 多様な熱利用性・機動性

水素製造システム



- メタンの水蒸気改質法、高温水蒸気電解法、または熱化学法による水素製造

工業利用として高温の熱供給／熱電供給



- 蒸気によるプロセス熱供給（化学プラント、石油精製プラント、等）
- 蒸気タービン発電による電力供給

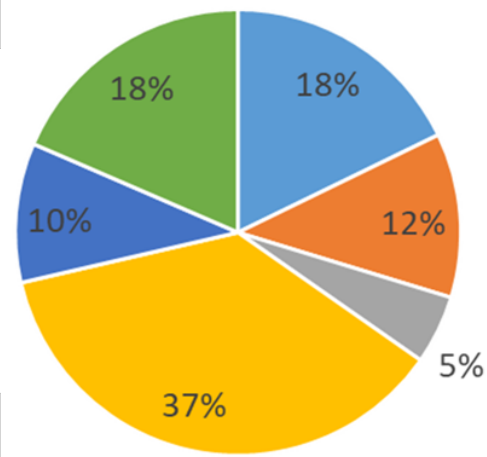
再生可能エネルギーとのハイブリッドシステム



- 再生可能エネルギーの変動を発電量調整または水素製造により吸収（高発電効率維持）

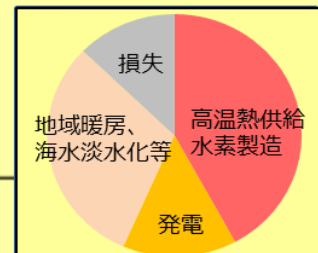
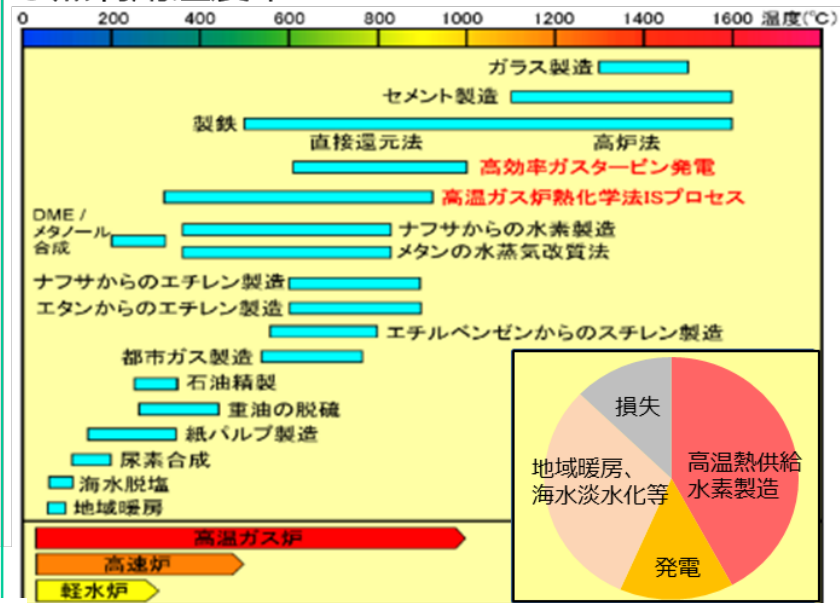
熱需要

- 運輸
- 製鉄
- 石油化学
- 発電
- 民生・商業
- その他

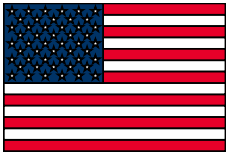


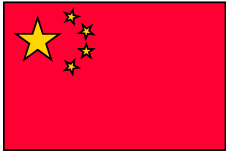
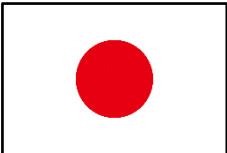


我が国のCO₂ガス排出量内訳(2019年)

○熱利用温度帯



世界の高温ガス炉開発状況

米国		<u>エネルギー省 (DOE) による開発支援</u> (新型炉実証プログラム, 2020年～) <ul style="list-style-type: none">• ~2028年に稼動する革新炉原子炉の建設を支援• X-energy社 (高温ガス炉) が選定
英国		<u>ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) による開発支援</u> (新型モジュール炉研究開発・実証プログラム, 2022年～) <ul style="list-style-type: none">• BEISは新型モジュール炉として高温ガス炉を選定• 2030年初頭までに高温ガス炉を実証• 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
ポーランド		<u>ポーランド政府による高温ガス炉計画</u> <ul style="list-style-type: none">• 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実験炉の設計のための予算を獲得• 高温ガス炉実験炉の概念設計を開始 (2022年)
中国		<u>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)</u> <ul style="list-style-type: none">• 研究炉 (HTR-10) を用いた研究開発• 実証炉 (電気出力210MW) が運転中 (2021年12月送電開始、2022年全出力運転予定)
日本		<u>経済産業省及び文科省によるNEXIPイニシアチブ</u> <ul style="list-style-type: none">• 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• 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

JAEAにおける研究開発 – HTTRの概要と研究開発経緯

研究開発



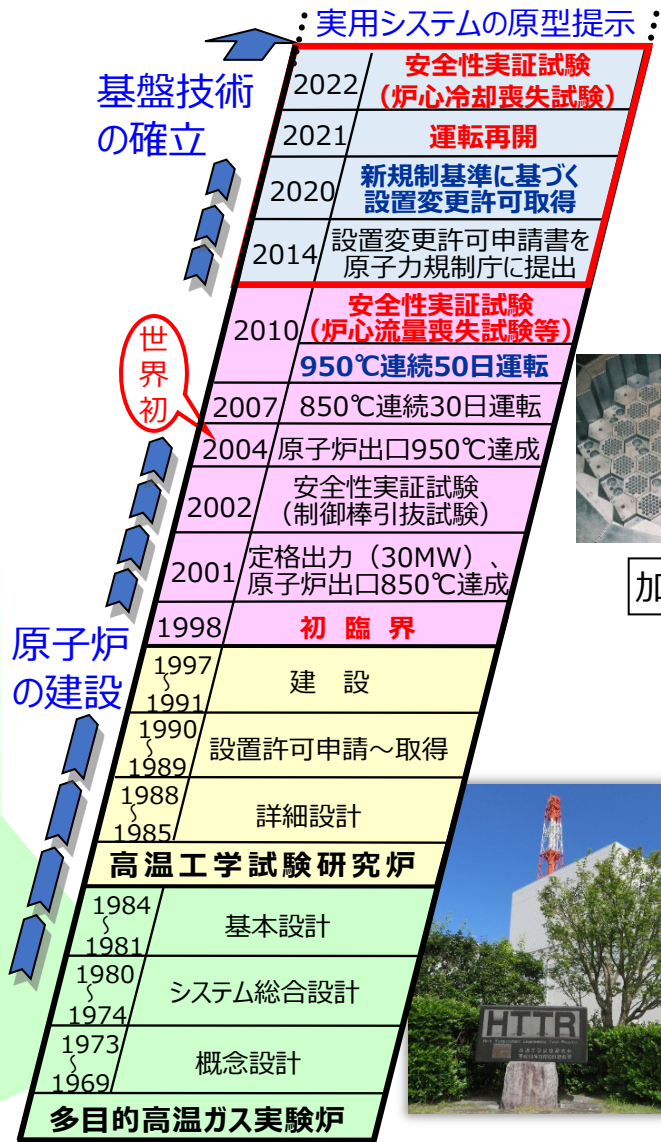
炉内ガスループ (OGL-1)



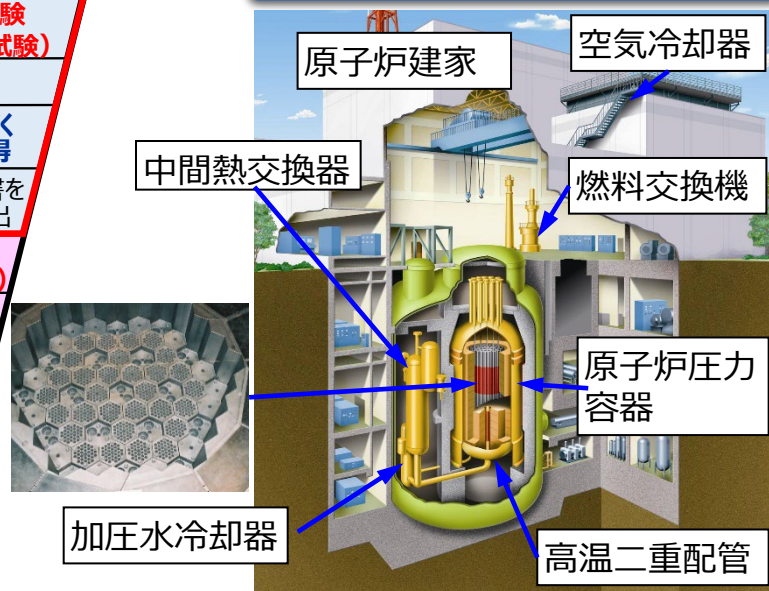
高温ガス炉臨界実験装置 (VHTRC)



大型構造機器実証試験ループ (HENDEL)



高温工学試験研究炉 (HTTR)



- 原子炉出力 30MWt
- 冷却材 ヘリウムガス
- 原子炉入口/出口冷却材温度 ... 395/850, 950℃
- 1次冷却材圧力 4MPa
- 炉心構造材 黒鉛
- 炉心有効高さ/等価直径 ... 2.9m/ 2.3m
- 出力密度 2.5MW/m³
- 燃料 ... 二酸化ウラン・被覆粒子/黒鉛分散型
- ウラン濃縮度 3~10% (平均6%)
- 燃料体形式 ピン・イン・ブロック型
- 原子炉圧力容器 ... 鋼製 (2.25Cr-1Mo鋼)
- 主冷却回路数 1ループ (中間熱交換器及び加圧水冷却器)



我が国の高温ガス炉技術

■ HTTR設計・建設・運転経験
(三菱重工、東芝/IHI、日立、富士電機、川崎重工等)

膨大な高温ガス炉技術データの蓄積

実用炉の最適設計可能

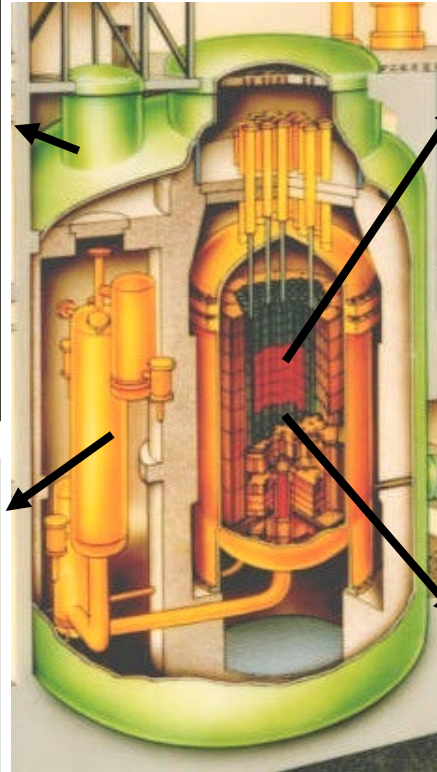
■ 高温金属材料ハステロイXR
(三菱マテリアルと共同開発)



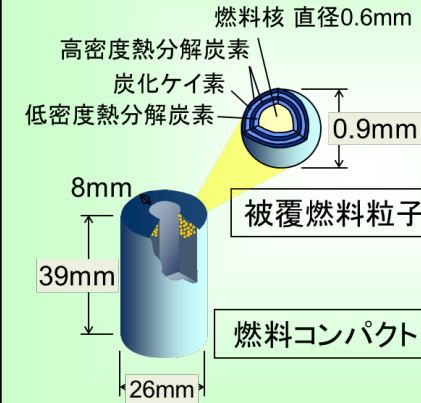
中間熱交換器

原子力用構造材として世界最高温度(950°C)で使用できる金属材料

950°Cの熱を取り出し可能



■ 燃料 (原子燃料工業と共同開発)

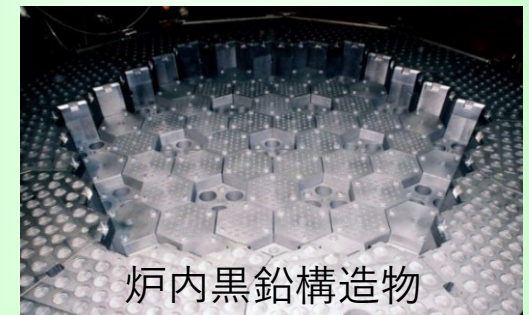


高い閉じ込め性能を有するセラミックを用いたウランの被覆

■ 黒鉛材料IG-110

(東洋炭素と共同開発)

世界最高の高品位(等方性高密度)黒鉛

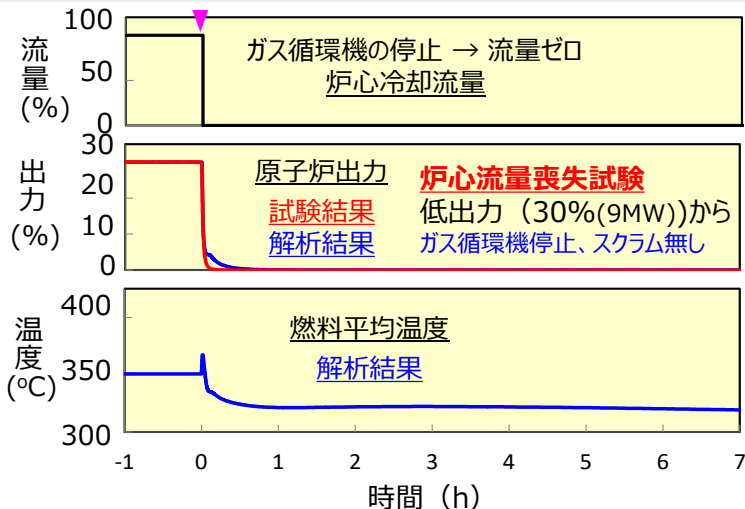


炉内黒鉛構造物

高強度・高熱伝導・耐照射性

高温ガス炉は、
国産技術のみで建設可能

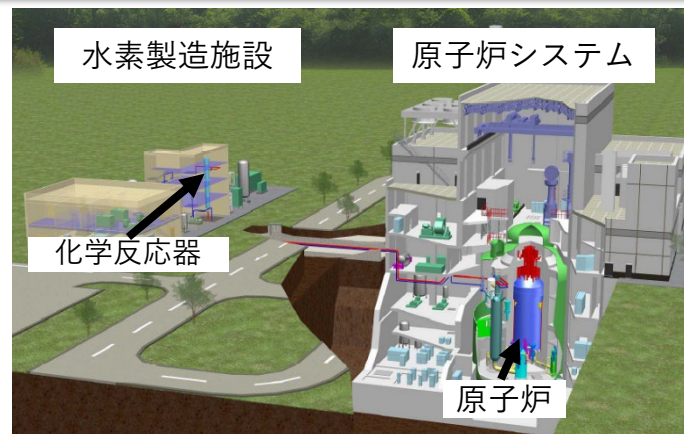
安全性実証試験



- ✓ 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

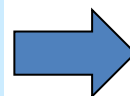


- ✓ 2030年までにHTTRと水素製造施設 (メタンの水蒸気改質法) の接続技術を開発
- ✓ 原子炉と化学プラント接続に関する安全性確保の考え方を提案

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

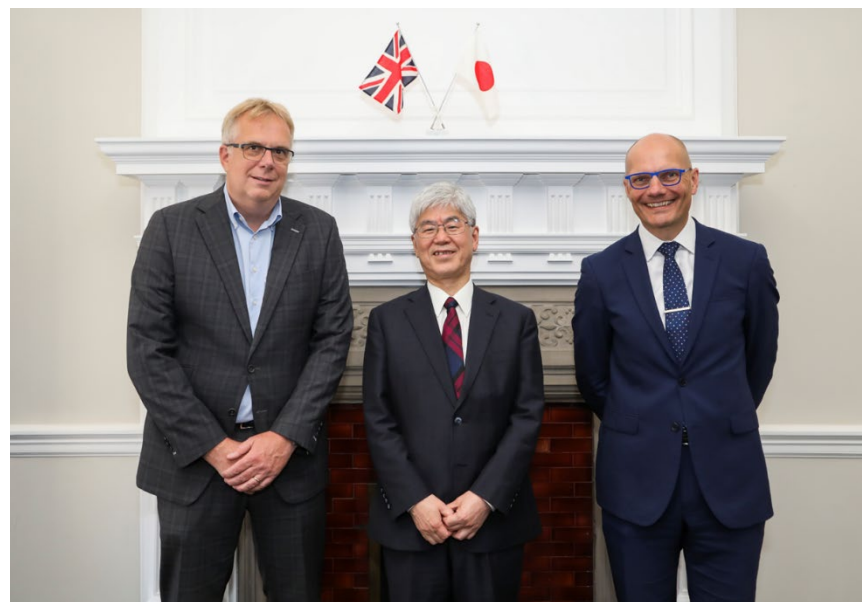
- 英国は2030年代初頭の導入を目指し、高温ガス炉の実証炉計画を推進
- 英国国立原子力研究所(NNL)と原子力機構が参加するチームが、英国の新型炉開発プログラムの予備調査を行う実施事業者として採択
- 今後、英国政府による次段階（基本設計）の事業が実施される予定であり、原子力機構は、政府、民間企業と連携し英国との協力体制を検討する。

採択チーム

- **ロット 1（原子炉実証）：**
 - EDF Energy Nuclear Generation
 - NNL（JAEA及びJacobs*とチーム）
 - U-Battery Developments
 - Ultra Safe Nuclear Corporation UK
- **ロット 2（燃料実証）：**
 - NNL（Urenco**及びJAEAとチーム）
 - Springfields Fuels社（Urencoとチーム）

*Jacobs:
米国に本社を置くエネルギーコンサルティング、設計、エンジニアリング会社

**Urenco:
国際共同企業体として、1970年に設立された商業用ウラン濃縮会社



原子力機構、NNL、Jacobs会合

左からJacobs Andy VP、原子力機構 小口理事長、NNL Paul CEO

プログラム構成 (3段階)

➤ フェーズA：事前概念検討

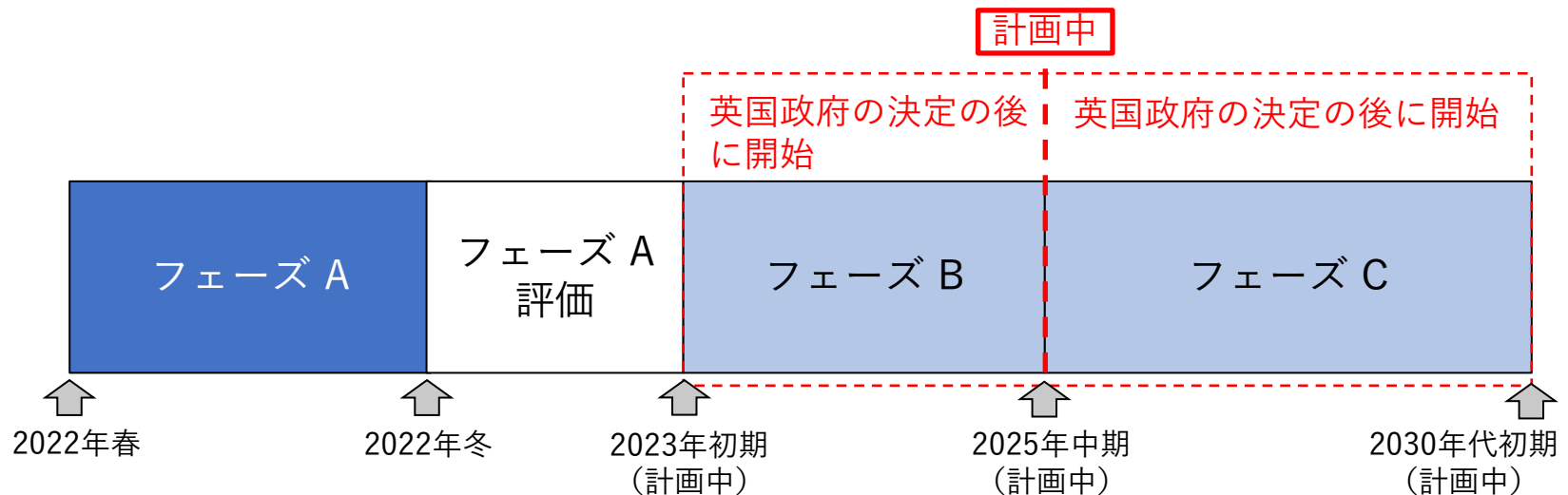
高温ガス炉実証の規模、コスト等を理解し、目標に向けた解決策を提案

➤ フェーズ B：採算性調査/基本設計

基本設計に基づき投資総額やライフサイクル・コスト見積もり等を実施

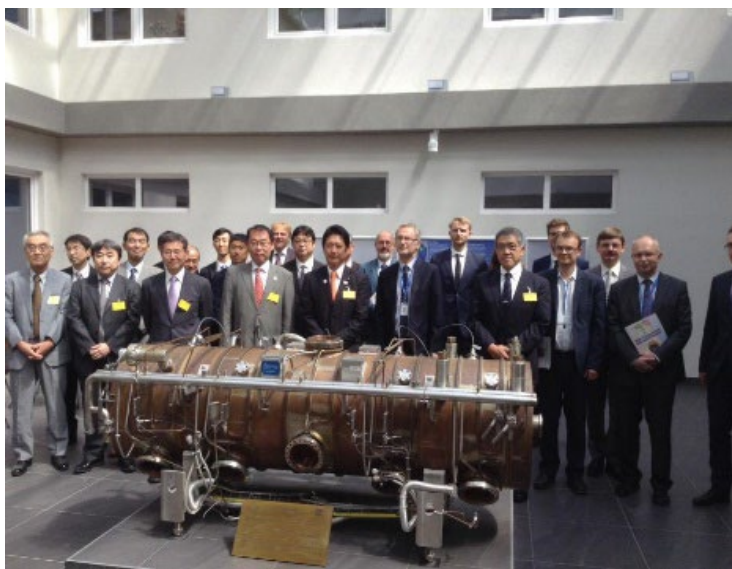
➤ フェーズ C：許認可、建設、詳細なエンジニアリング及び運転

サイト固有の詳細設計、許認可、建設等、エンジニアリングを実施

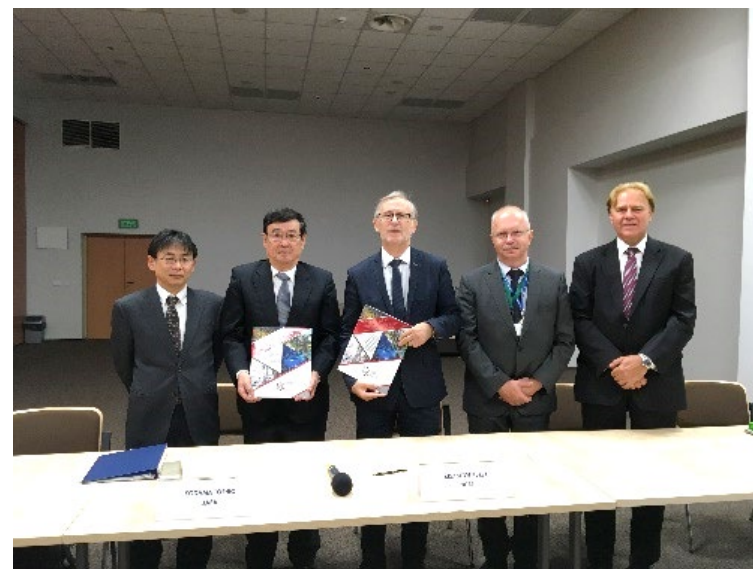


ポーランドとの協力

- ポーランドは高温ガス炉を利用した産業界への熱供給を計画
- 2021年5月、国立原子力研究センター（NCBJ）は高温ガス炉実験炉の基本設計に関する政府予算（約18億円／3年）を獲得
- 今後、原子力機構はNCBJとの間の研究実施取決め（2019年9月）を改訂し、高温ガス炉実験炉の基本設計を進める。



日本代表団（文科省、原子力機構及び産業界）がポーランド訪問
（2017年7月）



JAEAとNCBJが、研究協力実施取決めに署名
左から、文科省研究開発局 清浦原子力課長、JAEA 児玉前理事長、
NCBJ クレック所長、NCBJ ソブコビッチ副所長、NCBJ ドンブロフスキ
原子力エネルギー環境解析部長

（2019年9月）

導入に向けた技術ロードマップ（高温ガス炉）*



2020年

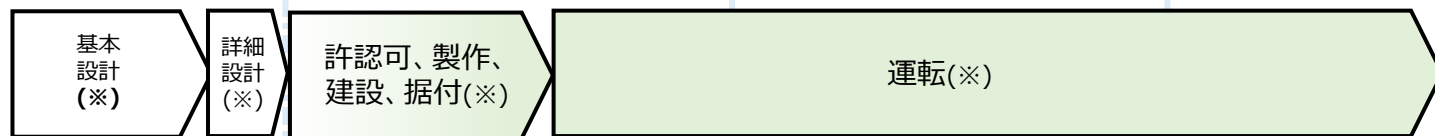
2030年

2040年

2050年

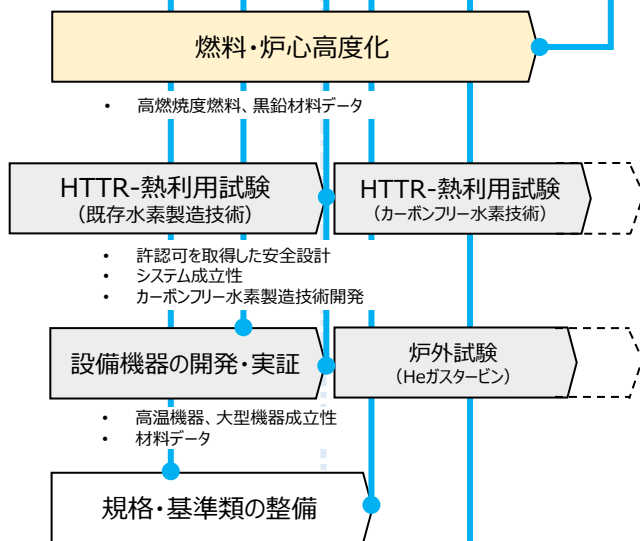
炉の建設・運転
【実証炉】

(蒸気タービン、既存水素製造技術採用)

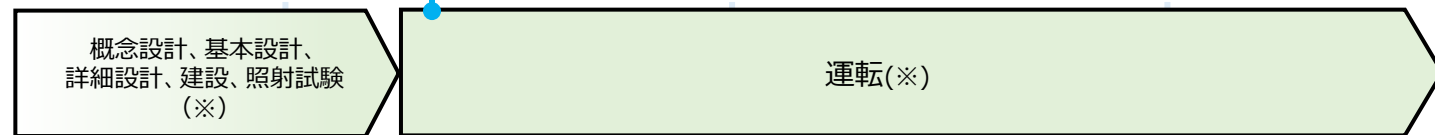


※事業者の立地・事業計画により変動あり。

研究開発 (R&D)



燃料製造施設の
建設・運転



* 第4回 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 革新炉ワーキンググループ 2022年7月29日開催より引用

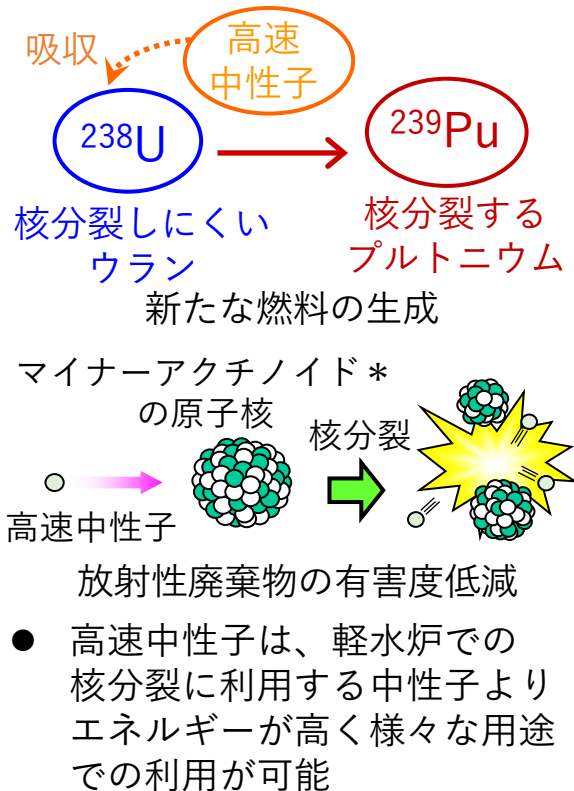


2. JAEAにおける次世代革新炉開発 - 高速炉サイクル技術の開発 -

高速炉の特徴

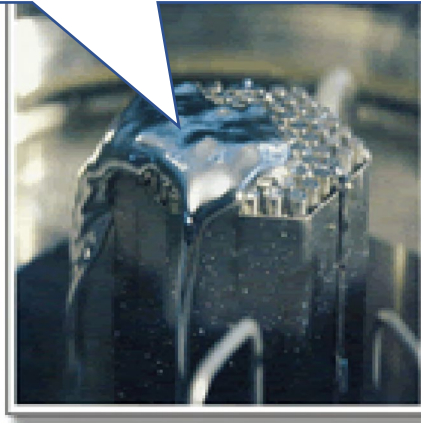
- 高速中性子（エネルギーの高い中性子）を利用
- 冷却材に液体金属（ナトリウム）を使用
- 液体ナトリウムの自然循環による熱の除去が可能（自然に冷える）

高速中性子の利用



液体ナトリウムの使用

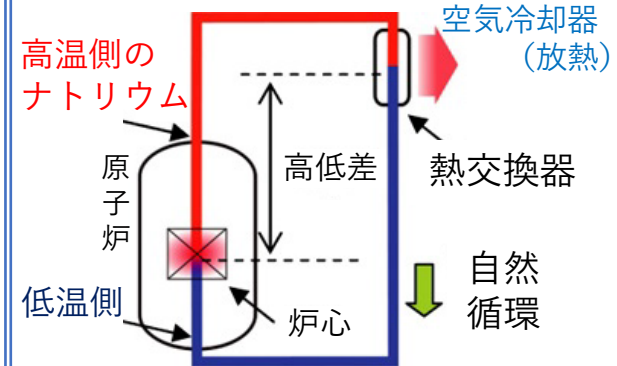
燃料集合体（模型）の中を流れる液体ナトリウム



- 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
- 沸点が水より高く、高温・低圧での運転が可能（効率的に熱を取り出せる）

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

*マイナーアクチノイド：長期間にわたって高い放射能をもち、放射性廃棄物の有害度を高める原因となる元素（代表的な元素：アメリシウム（Am）、ネプツニウム（Np））

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CO₂を排出しない

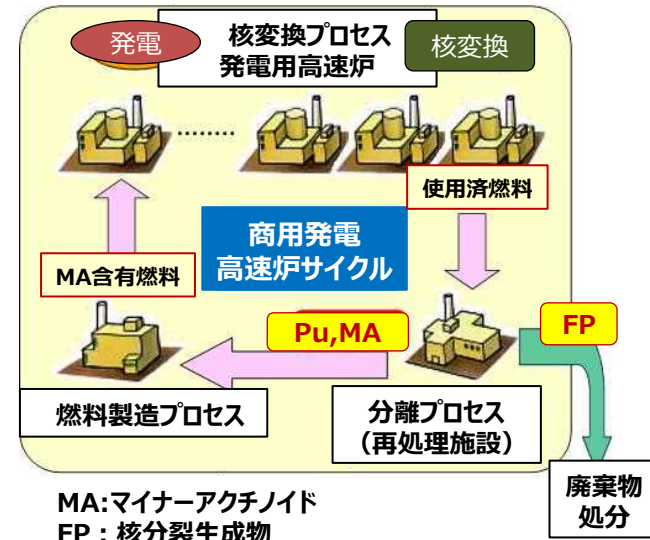
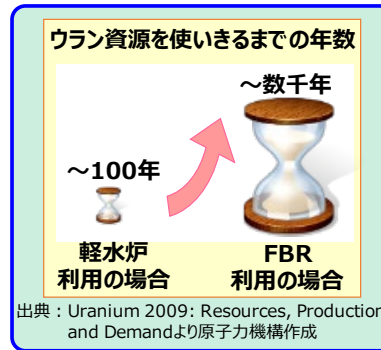
- マイナーアクチノイド（MA）を核燃料としてリサイクルすることにより、放射性廃棄物の量を減らし、放射能が減衰するまでの期間を大幅に短縮（10万年⇒300年）することが可能

- 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
⇒ CO₂ 排出せずに変動再エネと共存

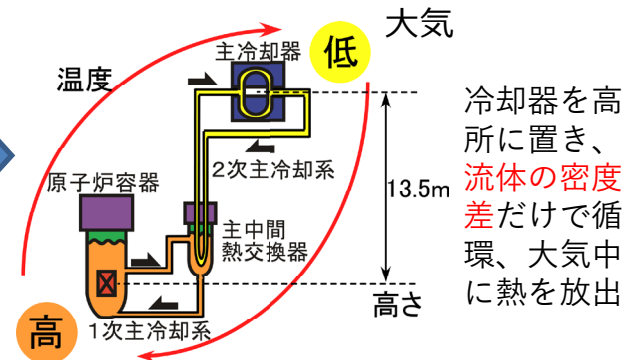
- 高い自然循環能力を有し、空気との熱交換が可能なることから、電源が喪失しても長期に安定した崩壊熱除去が可能（高速実験炉「常陽」で実証済み）
⇒ 高い安全性

- 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)



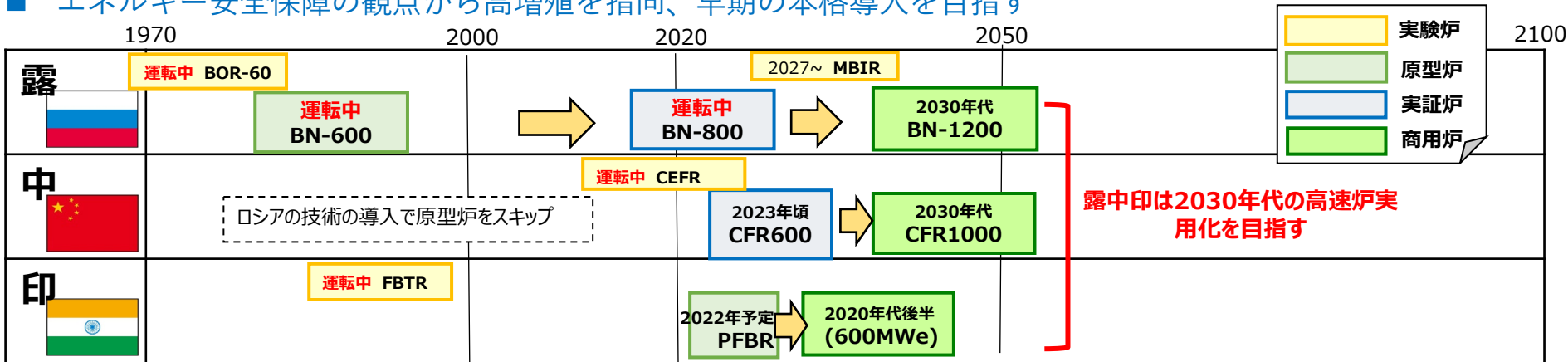
電源を必要としない自然循環による炉心冷却（高速実験炉「常陽」で実証済み）

グリーン成長戦略で求められるイノベーションの実現

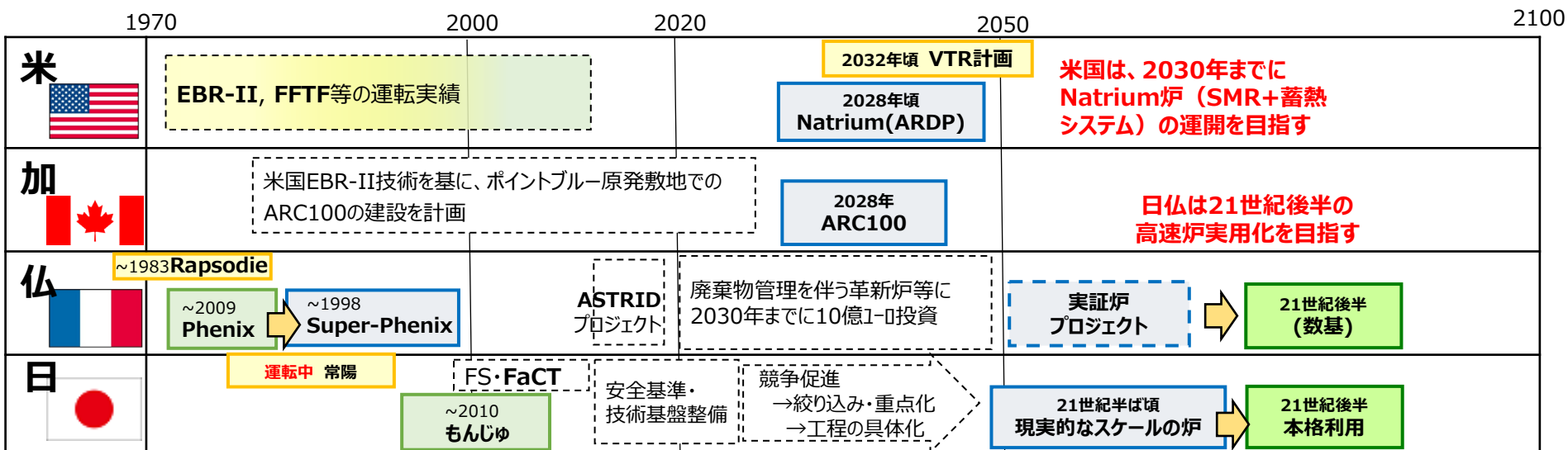
世界の高速炉開発状況

- 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



我が国における高速炉サイクル開発の経緯

2021年10月 **第6次エネルギー基本計画** (国際連携を活用した高速炉開発の着実な推進)

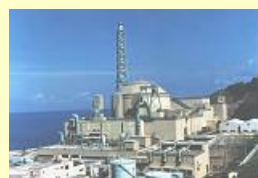
2021年6月 **グリーン成長戦略** (「戦略ロードマップ」に基づき高速炉開発を着実に推進)

2018年7月 **第5次エネルギー基本計画** (核燃料サイクル開発維持)

2016年12月 **もんじゅ廃止措置決定**

2011年3月 **東日本大震災**

2005年10月 **原子力政策大綱** (2050年頃からの商用化)



1994年
もんじゅ初臨界

1990

2000

2010

2020

2018年12月
戦略ロードマップ

2016年12月
高速炉開発の方針

1977年
常陽初臨界

1980



1970

1966年
動力炉開発の基本方針

(自主的な開発が必要、
実験炉、原型炉の開発を推進)

1985~1999年

電気事業者が中心となって実証炉開発

1999~2006年
実用化戦略調査研究 (FS)

2006~2011年 (凍結)
FaCTプロジェクト

FaCT: 高速増殖炉サイクル実用化研究開発

高速実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」による技術実証の成果

「常陽」の使命

- 高速増殖炉の基礎・基盤技術の実証
- 燃料、材料の照射試験
- 将来炉の開発のための革新技术の検証



- 初臨界 1977年
- 積算運転時間 約71,000時間
- 試験用集合体の照射実績 約100体

これまでの主な成果

- 増殖性能の確認
消費した以上の燃料が生成されることを確認
- FBR核燃料サイクルの輪を完成
使用済燃料から取り出したPuを再び燃料として「常陽」に装荷
- ナトリウムの自然循環による崩壊熱除去の実証
⇒後続炉の安全設計に反映
- 酸化物燃料の性能確認
燃料ペレット中心近傍を溶融させ、溶融限界線出力密度を確認
- 高速中性子照射場としての利用
利用実績（～2008年）：約4万試料、研究120件
- 自己作動型炉停止機構の開発
模擬制御棒を用いた機能確認試験を実施

再稼働後に期待される
研究開発分野

放射性廃棄物減容化
・有害度低減

高速炉開発

基礎基盤・多目的利用

原子力人材育成

「もんじゅ」の使命

- 発電プラントとしての信頼性の実証
- ナトリウム取扱技術の確立



これまでの主な成果

- 高速増殖炉の炉心の設計手法並びに機器の設計及び製造手法を確立
- 高速増殖炉の運転・保守管理技術を蓄積
- 我が国初の高速増殖炉システムによる発電を達成（40%出力まで）
- 炉心の増殖性能(期待された増殖比約1.2)を確認
- ナトリウム機器・設備の運転、保守等の経験により取扱技術を蓄積
- ナトリウム漏えい対策技術を向上
- ナトリウム冷却高速炉に関する安全評価手法を開発

【定格出力】 28万 k We

【運転実績】

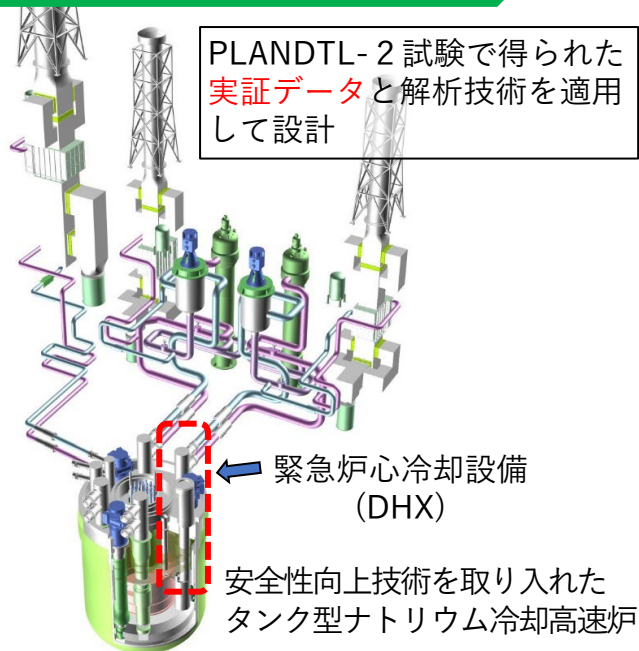
- 初臨界 1994年
- 原子炉運転時間 5300 時間
- 発電時間 883 時間
- 発電電力量 1 億kWh

～1992年	もんじゅ設計・建設	1995年8月～	性能試験（40%出力試験）
1993年10月～	性能試験（臨界試験）の実施	2010年5月	性能試験再開
1994年4月	初臨界	～2014年12月	運転再開を目指した準備
1995年8月	初送電	2016年12月	廃止措置へ移行

FaCT、日仏協力を通じて開発した安全性向上技術と試験実証

- 高速炉サイクル実用化研究開発（FaCT）およびその後の高速炉の**安全性強化**等を目指した研究開発、**日仏ASTRID協力**等を通じて、高速炉の実用化に向けた研究開発は着実に進展
- 安全性向上技術の**試験実証**と国際的な**安全設計基準**の整備を行い、それらを取り入れた**新しい高速炉の設計概念**を構築

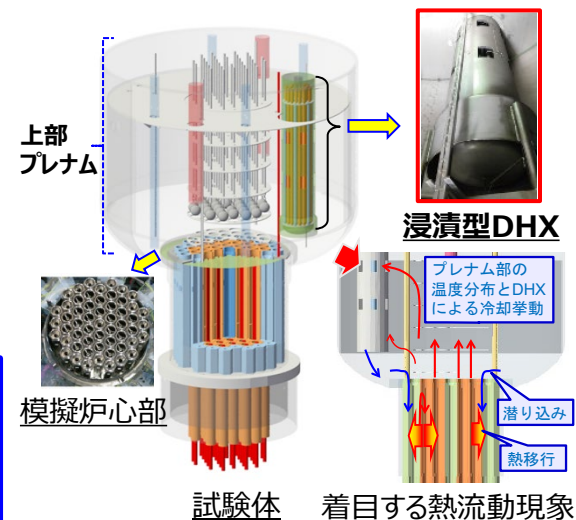
国際協力を活用したプラント設計技術の開発



- 日仏協力の成果によってタンク型ナトリウム冷却高速炉の設計技術を獲得
- 実証データに裏付けられた安全性向上技術と**SDC-SDG**、設計規格基準類を適用

安全性向上技術の開発（実証データの蓄積）

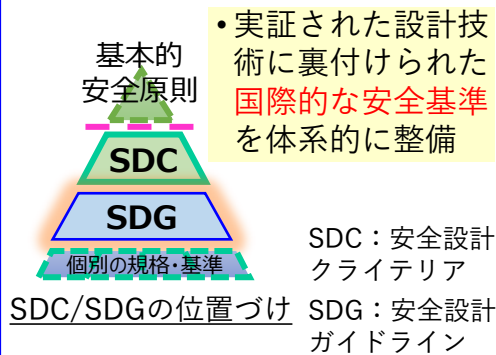
- 高速炉に適用可能な受動的炉停止機構、ナトリウムの**自然循環による除熱特性**、シビアアクシデント時の溶融燃料流出挙動等について、実証性の高い試験を実施してデータを蓄積
- データに基づき解析ツールを検証し、プラント設計に適用



自然循環除熱に関する PLANDTL-2試験

- 原子炉容器内の液体ナトリウムの流動挙動を詳細に計測（**日仏共同実験**として実施）

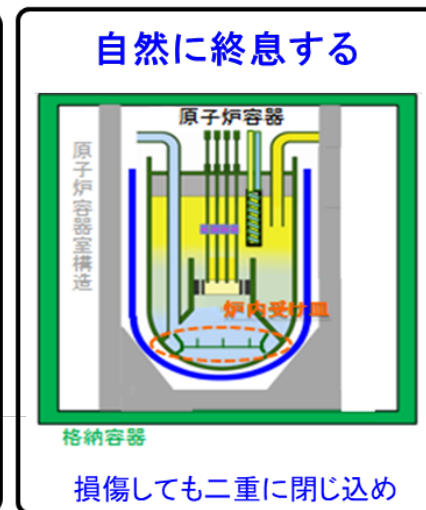
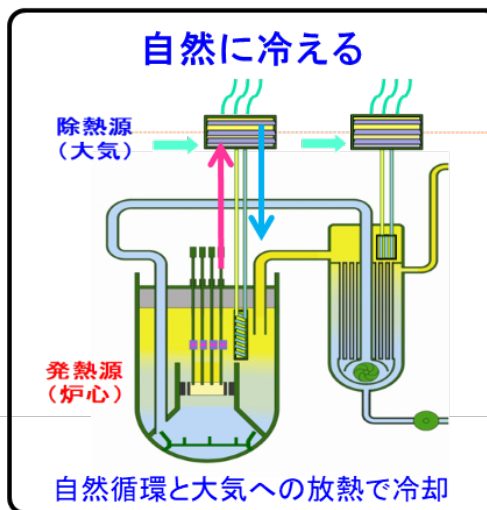
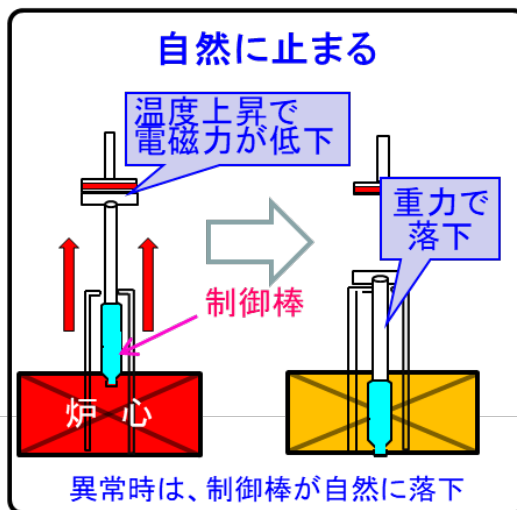
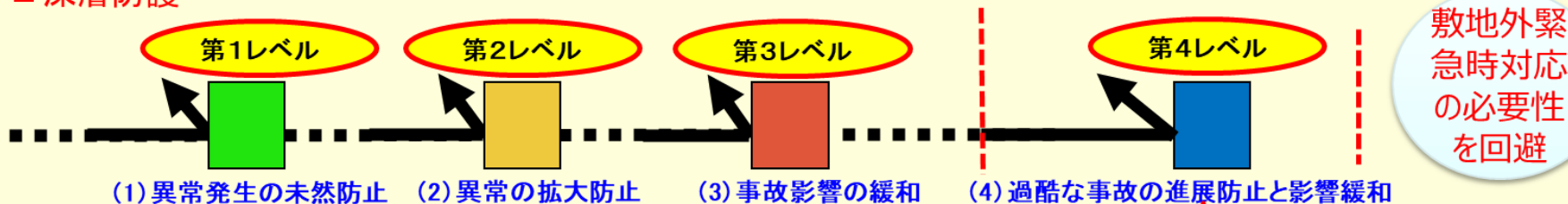
規格基準の整備



安全確保を堅牢とするシステム設計の考え方

- 高速炉の特徴を活かし、深層防護に基づく、受動安全を活用した堅牢なシステム
 - 「止める」に加えて、「**自然に止まる**」機能
 - 「冷やす」に加えて、「**自然に冷える**」機能
 - 「閉じ込める」に加えて、炉容器内・格納容器内で「**自然に終息する**」機能

■ 深層防護



高速炉の高い安全性

◆ 「常陽」「もんじゅ」から得た知見・成果に加え、さらに技術革新を進めて、高水準の安全性向上技術を実現

シビアアクシデント防止・緩和対策の拡充

自然に止まる

自己作動型炉停止機構

温度高で磁性を失う合金の物理特性⇒制御棒が落下、重力で挿入（受動的に炉停止）

自然に冷える

自然循環除熱など 多重・多様な除熱システム

熱い流体が上昇する自然循環により、ポンプが動かなくても大気に放熱、炉心を冷却できる。

閉じ込める

重大事故の炉内終息技術

ナトリウムを保持し易い特性を生かし、万一の炉心溶融時にも再臨界回避技術やコアキャッチャにより炉内で終息（公衆の退避不要）

ナトリウム冷却炉が本来持つ安全特性

ほぼ常圧の冷却材（軽水炉は70～150気圧）
万一の容器破損時にもナトリウムが噴出せず、**ガードベッセル**で保持可能。
（空焚きにならない）

外的事象対策

新規制基準を充足

地震、津波、火山、豪雪等

ナトリウムの化学活性対策（空気・水に触れると反応）

水や空気との接触を早期検知、 + 接触時の反応を抑える対策

漏えい検知技術の高度化

Na中への水・蒸気の微小リークを早期に検出する

漏えい時に空気との接触を限定化

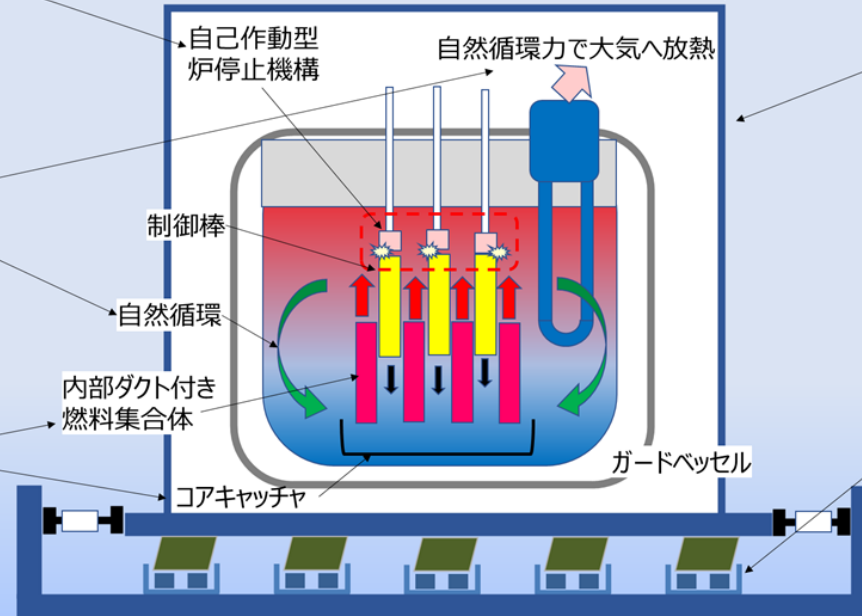
配管・機器バウンダリ2重化、区画化による影響範囲最小化

耐震性向上

地震の揺れを3次元で減衰

3次元免震システム

上下方向にも減衰させることでより強い地震でも耐えられる。



核燃料サイクル技術開発の成果

- 廃棄物管理の負荷低減
- 地政学的リスクへの対応と安定供給

- 小規模マイナーアクチノイド (MA)リサイクル(**SmARTサイクル**)試験による実証
 - MA含有MOXペレット製造に向けて、**世界最高レベル2gのMA回収**を達成
- 「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**
- 核変換特性を向上させる**長寿命炉心材料** (ODS鋼被覆管等)を開発
- **国際協力** (米国、仏国等)を活用し、MAサイクルに係る研究開発を推進

SmARTサイクル研究

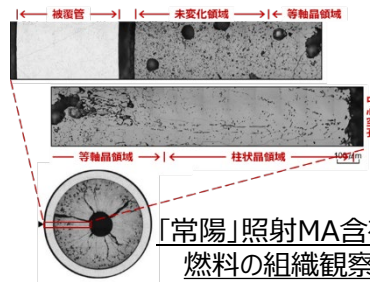


SmARTサイクル研究

SmART : *S*mall *A*mount of *R*euse *F*uel *T*est *C*ycle

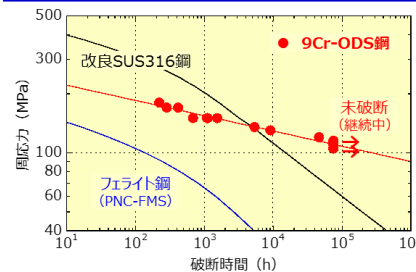
- MAを中心とした分離変換データの取得とサイクル成立性の小規模実証を目指す
- これまでに、ペレットレベルでの燃料製造・照射試験を可能とする約2gのMAを回収

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
- 次期照射試験に向けてMA含有MOX燃料設計コード開発を継続

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)

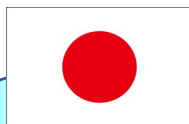
- ODS鋼被覆管が高速炉の実用化段階の使用条件に相当する高温・長時間環境において**世界最高レベルのクリープ強度**を維持し、イオン照射後も酸化物分散粒子を含む微細組織が安定であることを実証
- ODS鋼被覆管の量産技術開発の一環として**大型アトライター**を整備し、試作・評価試験を実施

高速炉開発における国際協力の活用

国際協力の戦略的推進：日米仏の戦略的協力により、高速炉開発をリード
多国的な研究アプローチを主導、国際標準化の推進

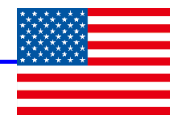
日仏

- 高速炉R&D協力（11分野）
- プラント特性のデジタル化技術と試験検証データの共有



日米

- VTR/Natrium™開発Pjへの参画*
- 構造材料、モデリング&シミュレーション、金属燃料・乾式再処理技術等の共同開発 * 調整中



機構を中心とした国際協力の方針

- 日仏、日米を中心に2国間協力で、ナトリウム冷却高速炉の枢要技術開発を国際協働し、国内技術（設計手法、安全技術、解析評価）及びプラント概念の国際共有・標準化を目指す
- GIF、IAEA等の多国間協力により規格基準類や安全要求・設計手法等の国際標準化を目指す

第四世代原子力システム 国際フォーラム GIF

- 国際協働で安全設計要件の作成
- 第4世代国際標準炉、設計手法、DB

IAEA/NEA

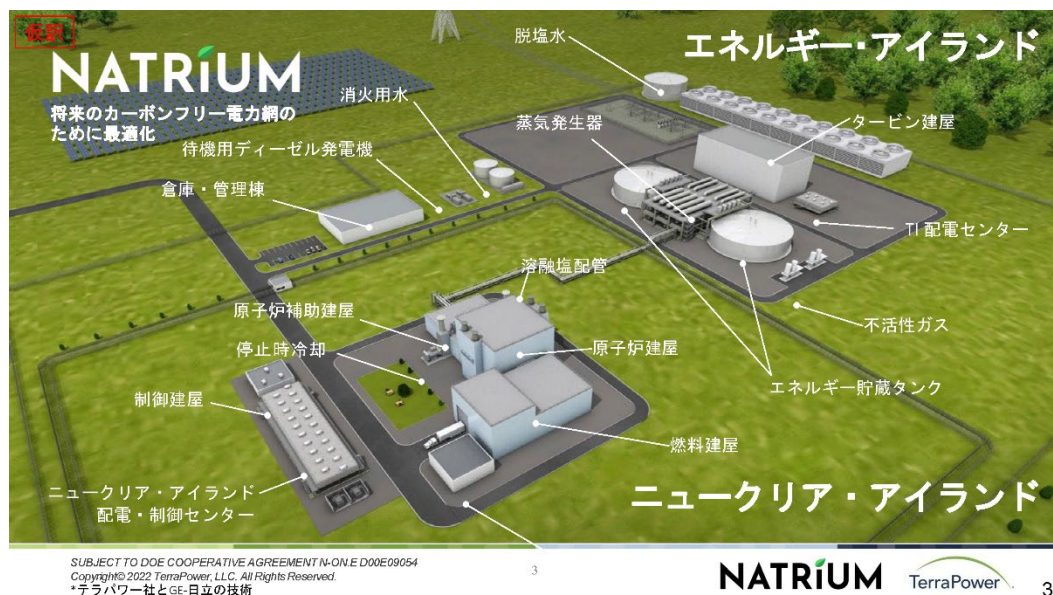
- 安全設計基準の国際標準化
- 規制側とのコミュニケーション促進

ASME - JSME (学協会活動)

- 構造、維持等、規格基準類の国際標準化

米国テラパワー社との研究開発協力

- 2022年1月、テラパワー社が開発する「Natrium」炉の研究開発にJAEA、三菱重工業、三菱FBRシステムズ社が技術協力することに関する覚書を締結
 - 日米間の連携推進とナトリウム冷却高速炉技術の開発・実証を促進するための活動を目指し、現在、協力内容の具体化に向けて日米間で協議中



協力対象分野

- 炉心及び燃料
- 制御棒と遮蔽体を含む炉心構成要素
- 原子炉容器と内部構造物
- ポンプや熱交換器を含む主冷却系
- 崩壊熱除去系
- 燃料取扱設備を含む燃料取扱系
- 破損燃料の検出と位置検知を含む計装系

Natrium：蓄熱技術を採用した高速炉
(2028年の実証炉の運転開始を目指し、開発中)

[出典] TerraPower社の高速炉開発について（英語／日本語(仮訳)）（TerraPower社提出資料），第2回 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 革新炉ワーキンググループ，2022年5月19日

イノベーションを支える技術基盤整備 -ARKADIA

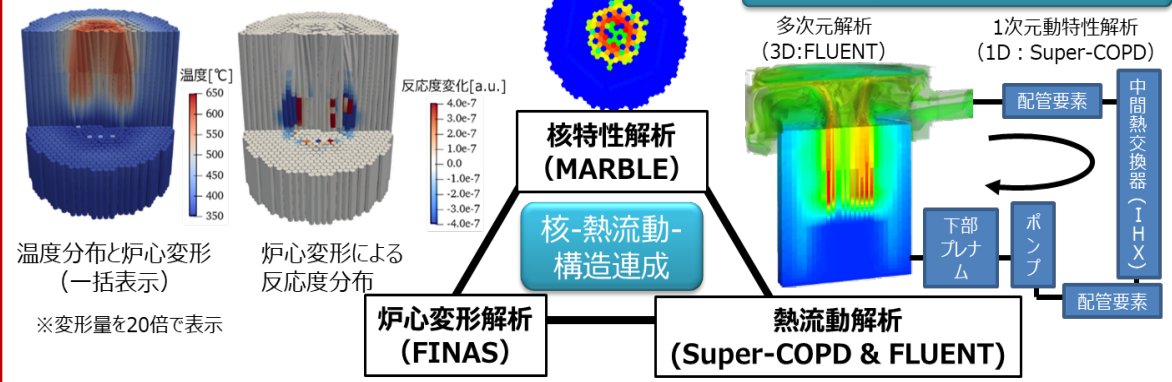


統合評価手法の名称
「AI支援型革新炉ライフサイクル最適化手法 (ARKADIA: Advanced Reactor Knowledge- and AI-aided Design Integration Approach through the whole plant lifecycle)」

- 安全性・経済性追求から廃止措置最適化までを可能とするプラント設計支援ツールとして、高速炉に関わるナレッジベースと解析技術を統合した手法 (デジタルトリプレット)
- 従来は困難であった様々な視点を取り入れた設計の最適化、設計に要する期間の短縮、実験代替等の開発費の低減化を実現し、今後の高速炉プラント設計のプロセスを変革するとともに、社会受容性の高いプラント概念構築・設計を可能とする
- 民間の新型炉技術開発活動を支援することで多様な炉概念に反映

VLSの例

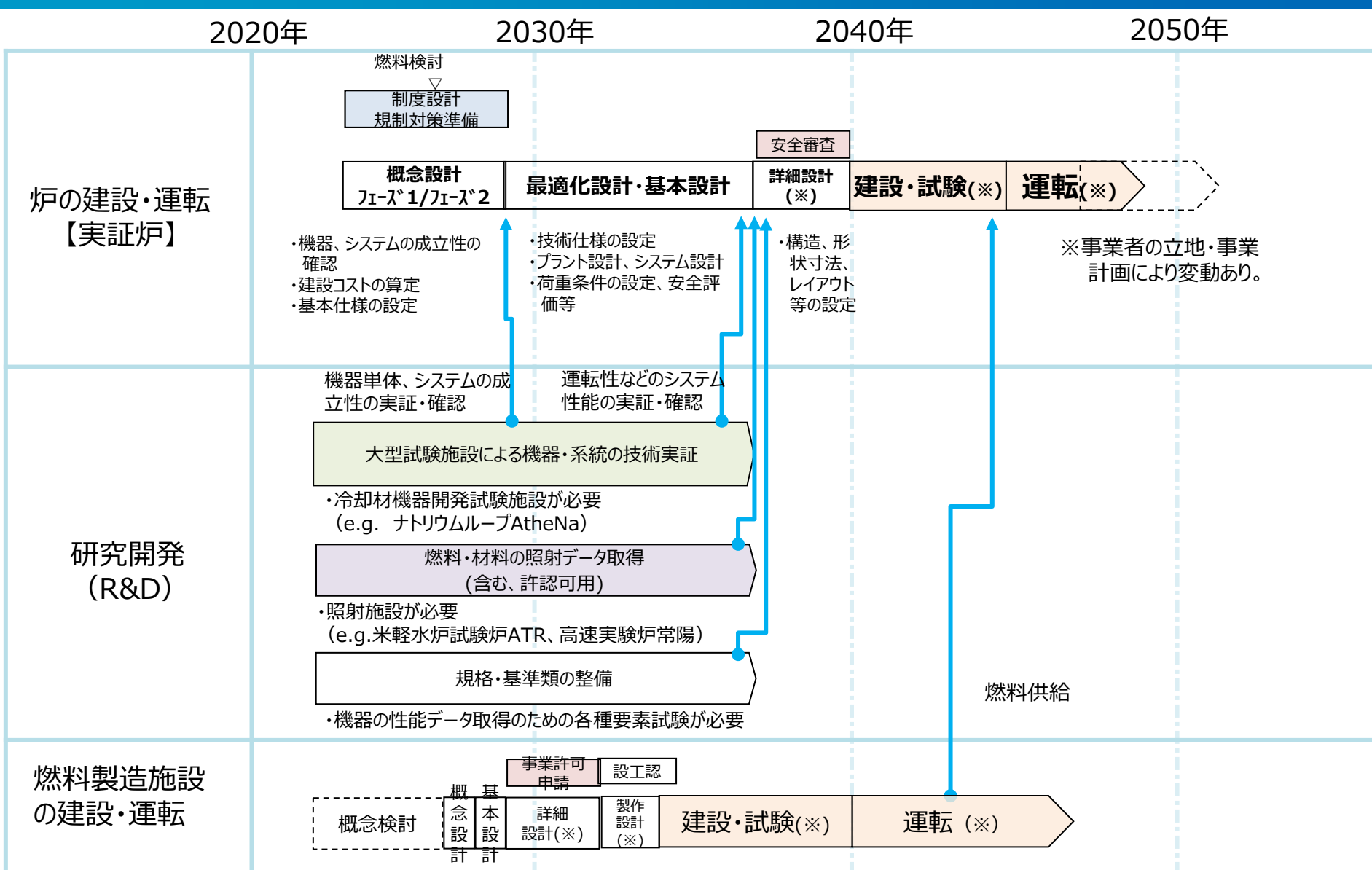
炉心部連成解析 (イメージ)



KMS: Knowledge Management System
VLS: Virtual plant Life System (Virtual Plant)
EAS: Enhanced and AI-aided optimization System

- 競争力のある3E+S適合プラント像の提示
- 開発期間短縮・コスト削減
- 技術散逸防止・伝承・発展、人材育成

導入に向けた技術ロードマップ（高速炉）*



* 第4回 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 革新炉ワーキンググループ 2022年7月29日開催より引用

高速炉開発を通じた非エネルギー分野への貢献

- 原子炉はエネルギー利用のみならず、医療分野で利用される放射性同位体(RI)の製造に活用が可能
- 高速実験炉「常陽」では、高速炉開発のみならず、RI製造への貢献も期待される

「常陽」でのRI製造のメリット 医療用RIは全量海外に依存

①大量生産：中性子の密度が高く、加速器に比べて大量のRI製造が安価に製造可能

	製造量(μg)	コスト(円/μg)
原子炉(JRR-3) ※年間当たり	3,900	1,000
加速器 ※1照射当たり	42	33,000

原子炉と加速器でのモリブデン (Mo-99) の製造量・コスト面比較



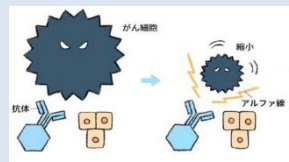
質の高い医療に不可欠

モリブデン (Mo-99)：
核医学検査でがん転移の
発見等に利用

②希少なRI：高速中性子を活用して、希少なRI製造が可能

例：がん治療に使えるアクチニウム (Ac-225) の製造が可能

※減速材を併用することで、軽水炉と同様なRIも製造可能



アクチニウム (Ac-225 等)：
アルファ内用療法によるガン
治療等に利用

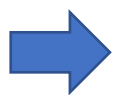
医療用RI国産化への期待 (JAEA試験研究炉の活用)

- 7つの医学会から要望書提出 (2020.8:文科大臣, 2021.7:文科・厚労・経産・内閣府特命担当各大臣、原子力規制委員長)
- 複数がん患者会関連団体 (2020.8:文科大臣)、全がん連(2021.5:文科・厚労大臣、公明党議員) から要望書提出
- 参議院・決算委員会にて医療用RI製造取組み強化質疑(2021.5)
- カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略に「常陽」への期待記載(2021.6)
- 内閣府原子力委員会 医療用等RI製造・利用専門部会設置(2021.11)
- 参議院・予算委員会にて医療用RI国産化体制整備質疑(2022.3)
- 内閣府原子力委員会 医療用等RI製造・利用専門部会 アクションプラン策定(2022.5)



まとめ

- カーボンニュートラル（CN）の達成と同時に、海外の情勢に左右されない且つ長期にわたる**エネルギーセキュリティ**を確保（安定・安価）することが重要。既に3割強（仏国では7割）の電力を賄った実績のある**原子力技術は有力且つ現実的な選択肢**
- 次世代炉は多目的利用にも有効：**再エネをサポート（変動成分吸収）**し、カーボンフリーで安定・安価なエネルギー供給を可能とする。電力以外に、水素製造や熱利用により**産業・輸送部門のCN化**に貢献
- 原子力を進める以上は、プルトニウムの管理、放射性廃棄物減容・有害度低減、ウラン資源の飛躍的利用効率アップを実現し、高い安全性を有する**高速炉サイクルの実用化**が不可欠
 - すでに廃棄物減容にむけたサイクル技術は、MAの分離とペレット製造・炉内照射特性の把握など、多くの成果をあげている。
- 高温ガス炉の950°Cの運転温度、原子力による水素製造技術など、**トップランナーとして日本の技術を国内で実用化**することは、グリーン成長など「国益」にもつながる。
- 高速炉は、ロシアと中国が実用化レベルに到達しつつあり、輸出を視野に開発協力を進めている。日本も「もんじゅ」を経て実証レベルまで到達、それが国の「強み」であり、日仏協力、テラパワー社との協力など国際的にも注目されている。
- 高速炉は、**がん治療**で世界的に注目されるAc-225の大量製造が可能。原子力委員会で策定されたアクションプランに基づき、2026年度までに「常陽」で製造実証予定



着実な技術開発により、水素・熱利用を含む脱炭素化社会の実現、1000年単位での安定・安価なエネルギー供給、国民福祉向上に貢献



高速炉・新型炉研究開発部門ホームページ

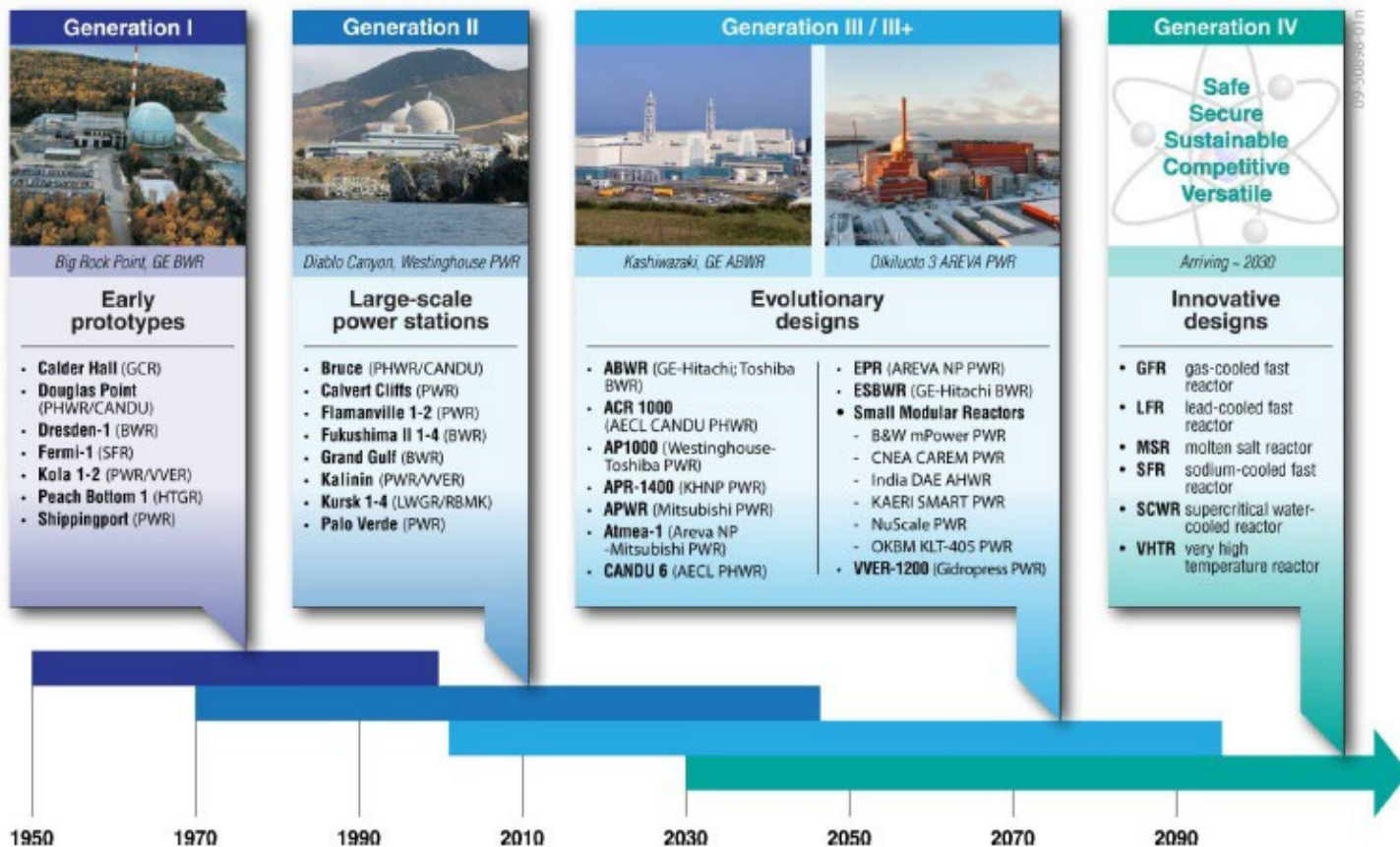
<https://www.jaea.go.jp/04/sefard/>



參考資料

第4世代原子力システムとは

- 稼働中の発電用原子炉は、概ね第2～第3世代原子炉
- 今後の次世代原子炉として、**第3+世代炉**（EPR、ESBWR等）や**第4世代炉**がある。
 - **第3+世代炉**は、第3世代炉に対してより先進的な安全方策を導入
 - **第4世代炉**は、2030年頃の実用化を目標として、第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF：Generation IV International Forum）の場等で開発が進められている。



第4世代炉の定義

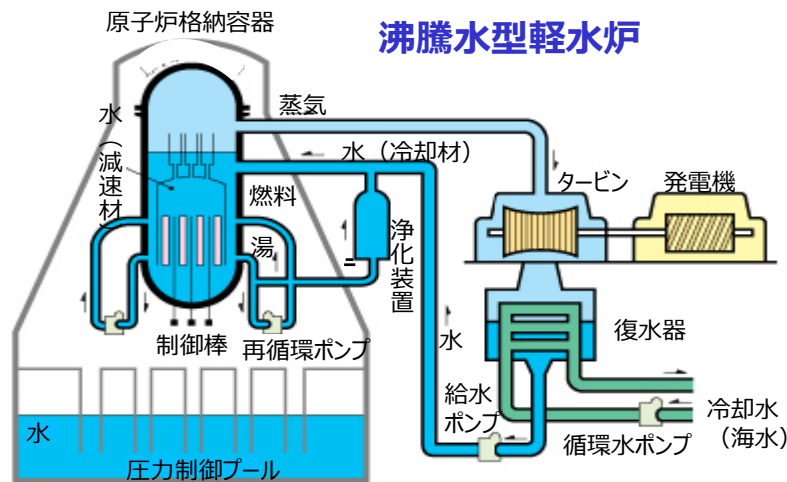
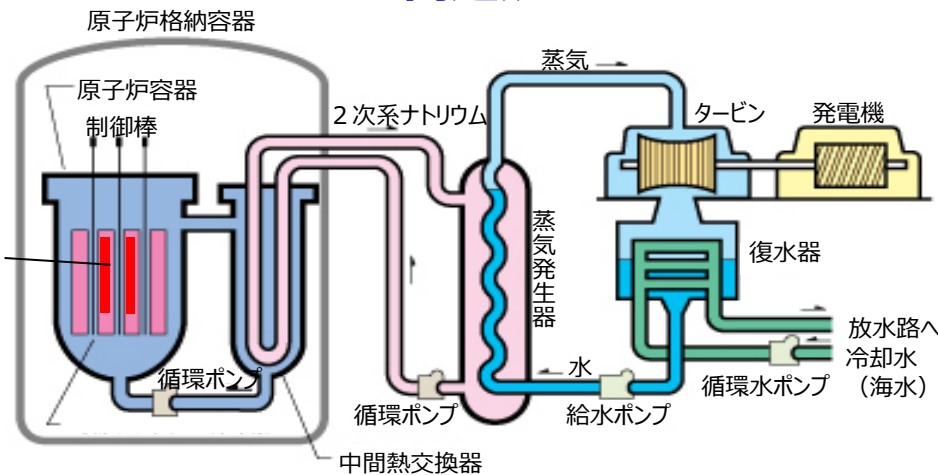
- 厳密な定義は無いが、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)*においては、下表の開発目標を満たす原子炉を第4世代炉と定義

分野	開発目標
安全性と信頼性	安全性と信頼性 ・優れた操業時の安全性及び信頼性を有すること
	炉心損傷 ・炉心損傷の頻度が極めて低く、その影響も極めて小さいこと
	緊急時対応 ・事故収束をプラント敷地内で図り、プラント敷地外での緊急時対応が不要になること
持続可能性	資源有効利用 ・大気汚染を伴わない持続可能なエネルギー供給源であること。また、世界規模のエネルギー供給において、長期にわたる安定したシステムの利用が可能であり、効率的な燃料の利用が可能であること
	廃棄物の最小化と管理 ・放射性廃棄物の発生を最小限に抑えることで、それに伴う将来の長期的な負担を大幅に軽減すること。また、それにより、公衆の健康確保、環境保全が容易になること
核拡散抵抗性と核物質防護	核拡散抵抗性と核物質防護 ・拡散及び盗難されにくく、並びに転用が困難であること。また、テロ行為に対する物理的防護がなされていること
経済性	平均コスト ・他のエネルギー源よりもライフサイクルコストで優位性をもつこと
	資本のリスク ・他のエネルギープロジェクトと同程度の財務リスクであること

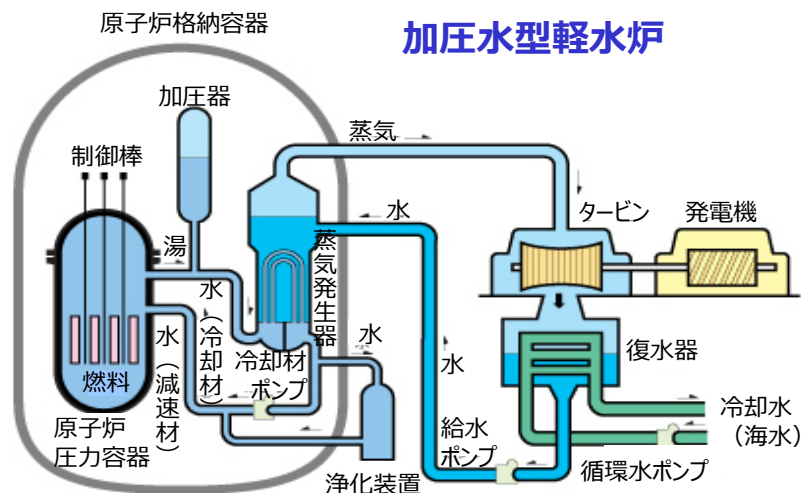
高速炉と軽水炉の比較

- 核反応に主に**高速中性子**を使うから**高速炉**。軽水炉は主に**熱中性子**（遅い中性子）で核反応。

高速炉



加圧水型軽水炉



炉心の中で**高速中性子**が起こす核反応により熱を発生

- **1次冷却系**のナトリウムに熱が伝わる
- **中間熱交換器**を介して**2次冷却系**のナトリウムに熱が伝わる
- **蒸気発生器**を介して水に熱が伝わる
- 蒸気発生器の中で水蒸気を生成
- 水蒸気がタービンを回す
- タービンが発電機を駆動し、発電

軽水炉、高温ガス炉、高速炉の比較



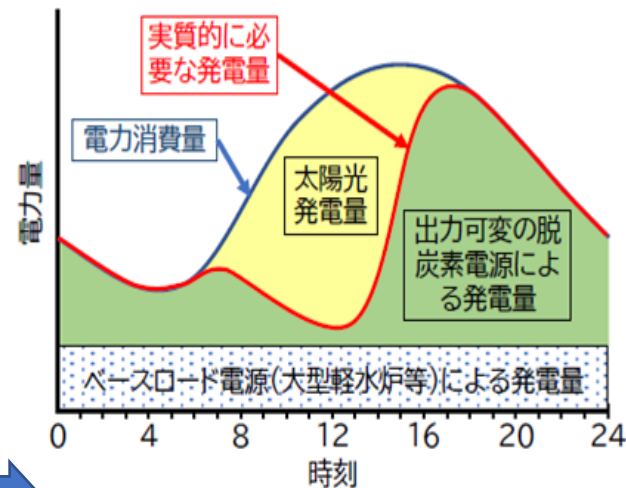
		本日のご説明	
項目	軽水炉	高温ガス炉	高速炉
燃料	金属被覆	セラミックス被覆 (被覆燃料粒子)	金属被覆
減速材	軽水	黒鉛	なし
冷却材	軽水	ヘリウムガス	ナトリウム
原子炉出口 冷却材温度	約300℃	～950℃	約500℃
用途	発電 (蒸気タービン)	熱利用 (水素製造、 高温蒸気供給、海水 淡水化、地域暖房) 発電 (ガスタービン、 蒸気タービン)	発電 (蒸気タービン)

小型モジュール炉 (SMR)

SMR : 300 Mwe (電気出力30万キロワット) 以下の出力機器・システムを小型・簡素化することで、以下を実現

- 安全性
 - ・ 低出力を生かし、事故時に自然に止まる、密度差による対流で冷やすなど固有・受動の安全を強化
 - ・ 簡素なシステムで維持が容易、故障を抑制、等 防災計画エリア縮小も。
- 経済性
 - ・ 工場生産機器の増加で高品質、現地工事の短期化、投資リスクの低減 (低建設コスト) 等
- 柔軟性
 - ・ 熱供給等の多目的利用、再生可能エネルギーの出力変動への対応、電力需要の小さな地域への普及、エネルギー需要の増加に合わせてモジュールを追加、高い安全性から柔軟な立地選択等

再エネと原子力の共存

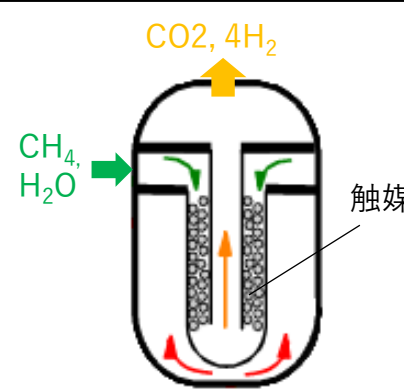
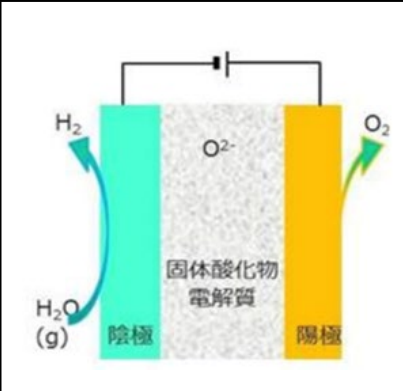
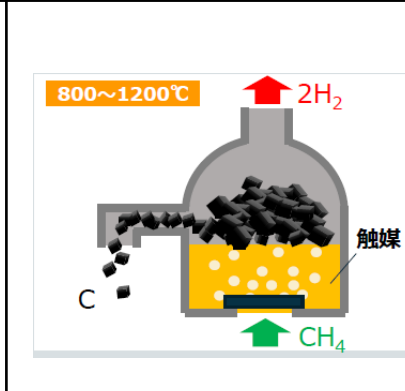
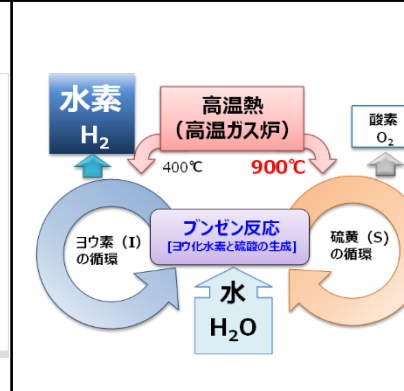


調整電源 (出力可変) としての SMRの可能性

世界のSMR開発例

国 (メーカー・機関)	名称	電気出力	型式	開発状況
軽水炉SMR 米国 (NuScale Power)	VOYGR	6万kW/基 x 12基	軽水炉 PWRタイプ	<ul style="list-style-type: none"> ・2016年末にSMR設計としては初めて原子力安全委員会 (NRC) に設計認証を申請し、2020年8月に認められた。 ・建設予定地：アイダホ国立研究所の敷地内 (12基設置予定) ・2029年に米国発のSMR初号機として運転開始予定
中国 (清華大学, 華能山東石島湾核電有限公司, 他)	HTR-PM	21万kW	高温ガス炉 (ペブル型)	<ul style="list-style-type: none"> ・山東省威海市石島湾に立地。2ユニットでプラントを構成し、2021年に臨界、12月に1ユニットが電源網に接続した。2ユニットでの運転は2022年開始。
米国 (TerraPower)	Natrium	34.5 万kW	Na高速炉	<ul style="list-style-type: none"> ・熔融塩蓄熱システム (太陽熱発電で開発された技術を利用) により最大5時間半、50万kWの電力供給可能 ・2020年代後半の商業化目標、ワイオミング州に立地予定。

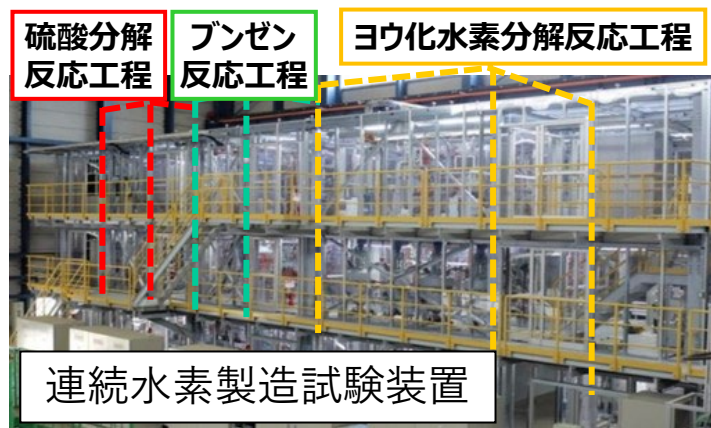
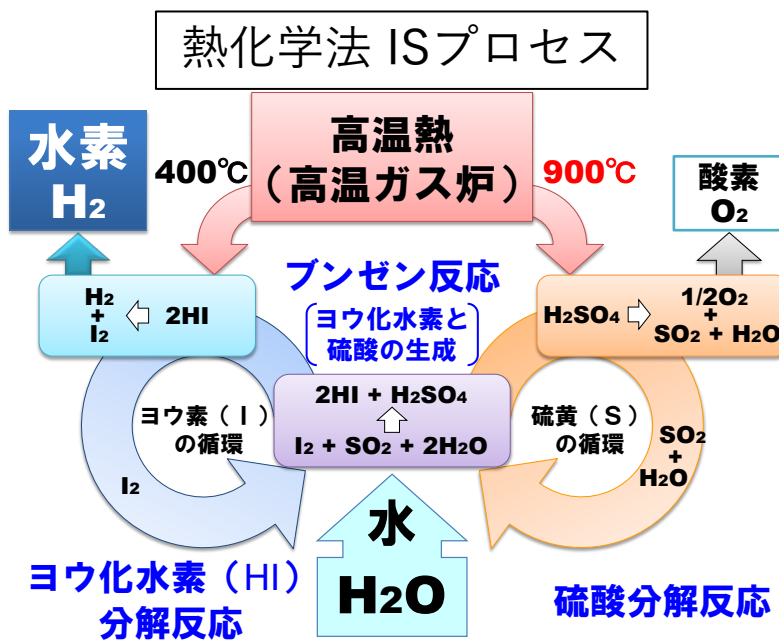
水素製造技術の候補

	グレー水素	グリーン水素(将来的に高温ガス炉に接続する最適な水素製造法に関するFSを実施予定)		
	メタン水蒸気改質法	高温水蒸気電解法 (SOEC)	メタン熱分解法	IS法
概要				
	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$	$\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}_{(s)}$	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$
CO ₂ 排出	△ : CO ₂ 排出あり (現在よりは減る)	○ : CO ₂ 排出なし	○ : CO ₂ 排出なし	○ : CO ₂ 排出なし
開発状況	大型のプロセスが世界中で多数稼働	米国でコストの検証中。日本では東芝ESSが開発中	米国モノリス社等で開発中	JAEAが実用材料で実証中

熱化学水素製造法（ISプロセス）による水素製造

■ JAEAにおける研究開発

- 水の熱分解：4000°C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°Cの熱で水を熱分解
 ヨウ素と硫黄はプロセス内で循環 ⇒ 有害物質の排出なし
 高温ガス炉との組み合わせ ⇒ 炭酸ガスの排出なし



- ・ 2014年3月完成、
- ・ 水素製造量：～100L/h-H₂
- ・ W 18.5 × D 5 × H 8.1 (m) ・ 加熱方式：電気ヒーター

今後の技術課題

- 陽イオン交換膜開発等の熱効率向上技術
- セラミックスを用いた反応器高压化技術
- 経済性向上に資する要素技術開発

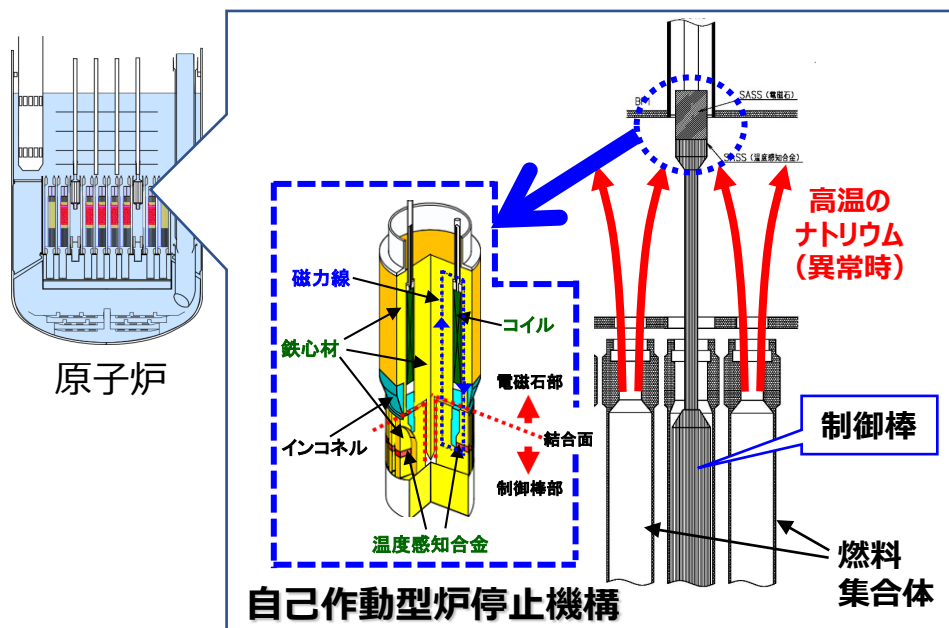
- 世界で初めて、実用工業材料で製作した試験装置による150時間連続運転(水素製造30L/h)を達成、運転手順有効性を確認(2018年度)。
- この運転で用いた起動・停止手順が、HTTRとの接続を想定した運転手順に適用できること、運転後の耐食性機器材料に有害な腐食がないことを確認(2019年度)。
- 92L/h水素製造を達成。運転中の組成制御のため、多成分溶液の物性データを水素製造試験により取得し、これを用いた溶液組成計算法を提示して妥当性を検証(2020年度)。

安全性向上技術の開発

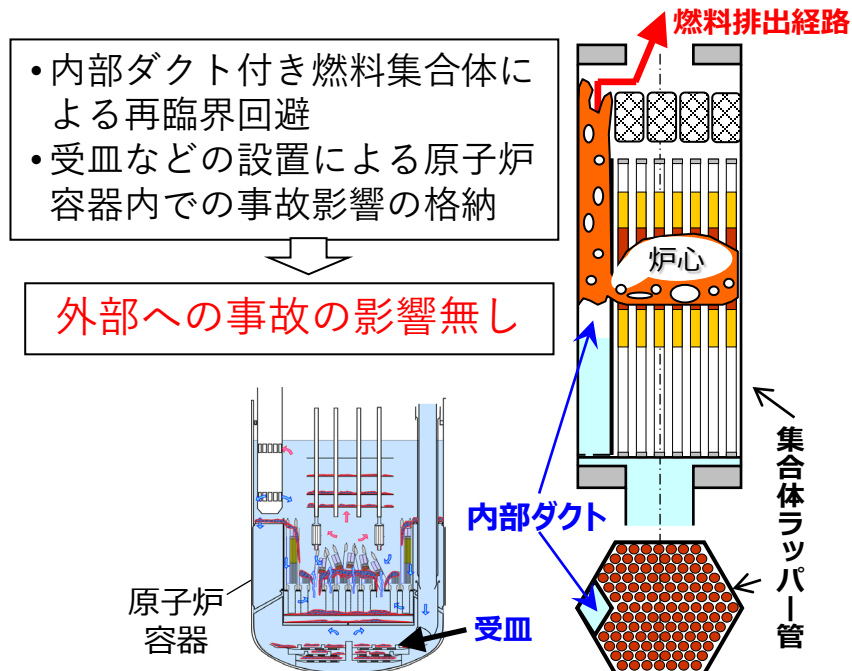
■ 炉心損傷事故対策の強化例

- 高速炉は一般に炉心の物質配置が最大反応度体系でないため、炉心損傷事故が発生し、炉心の物質配置が変化すると、正の反応度が入り、出力上昇が起こる可能性がある。

- 炉心損傷事故の発生を防止し、また万が一炉心損傷に至っても再臨界を防止（事故影響を緩和）
 - 異常の発生時に炉心が損傷しないよう、高温で受動的に負の反応度を投入する仕組み（温度感知合金のキュリー点温度での磁性変化を利用して受動的に（自然に）制御棒を挿入）
 - 万一炉心が溶融したとしても、溶融燃料を早期に炉心から排出できる炉心構成。溶融燃料が自然に出ていくことで未臨界を達成・維持する仕組み（燃料排出用の内部ダクトを燃料集合体に設置）



- ・「常陽」に設置し、通常運転時の安定性と運転性を確認
- ・ナトリウム中試験によって事故時の有効性を確認



- ・カザフスタンの安全試験炉で排出挙動を確認

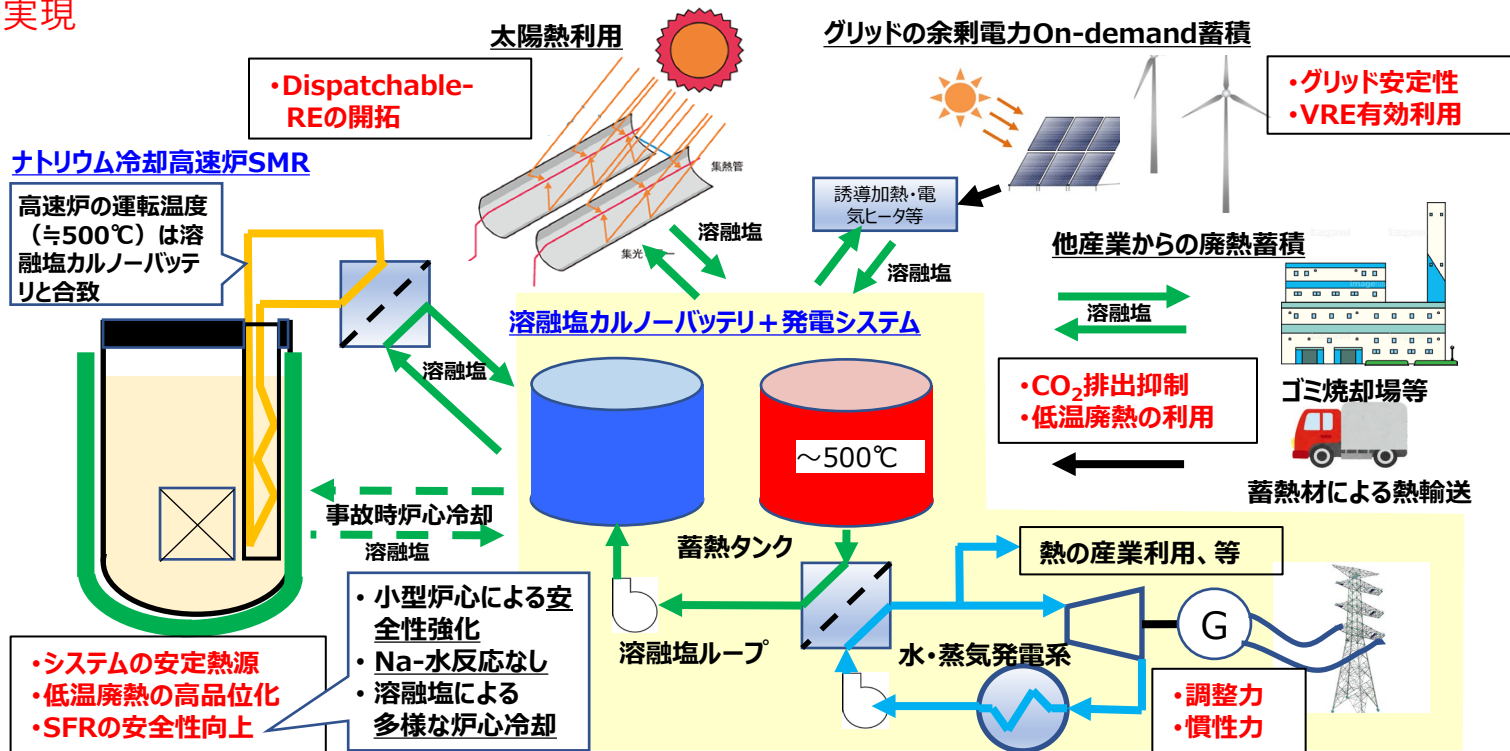
高速炉の多様な熱利用

■ 将来のエネルギー利用の方向性

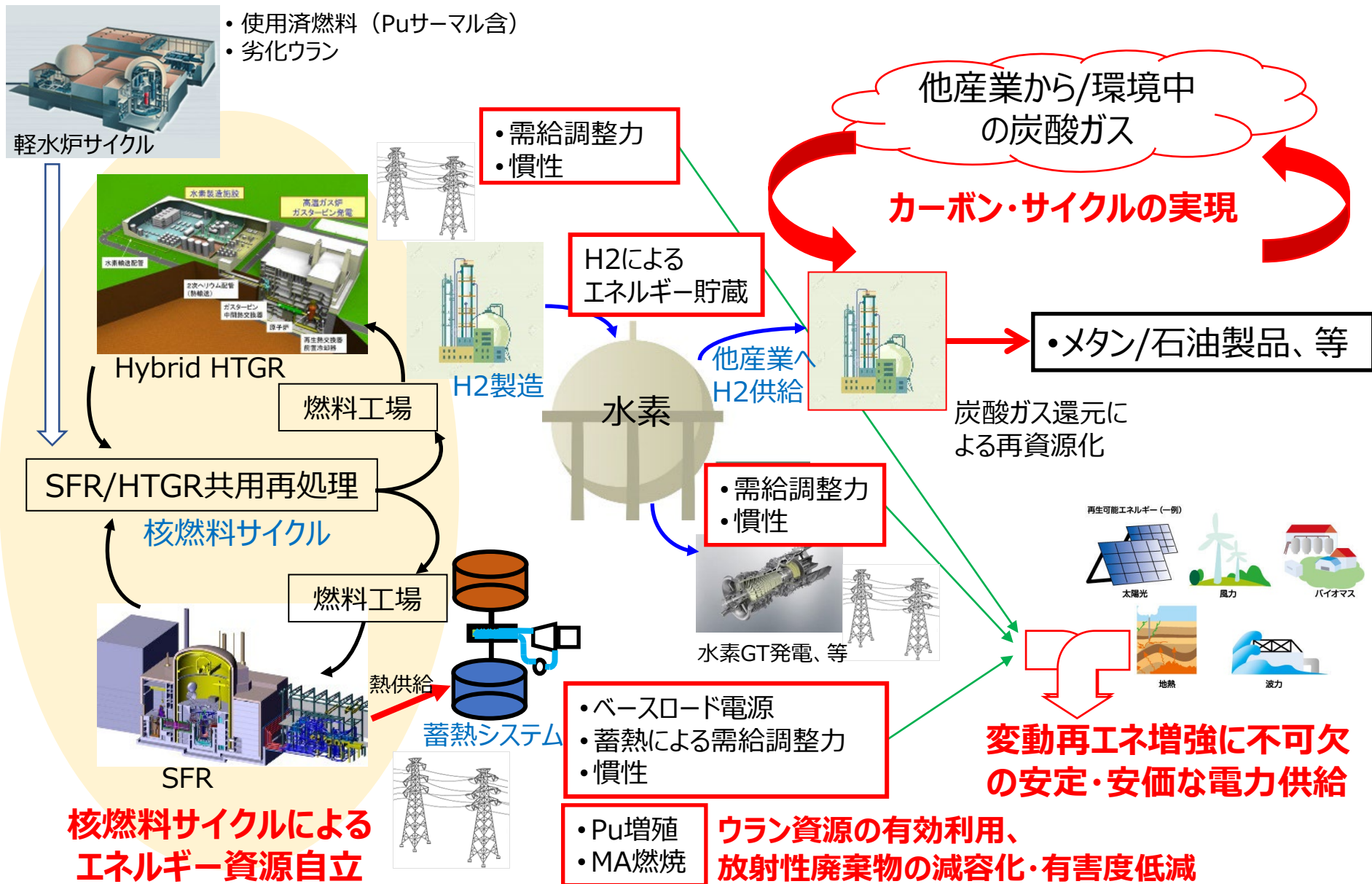
- 再生可能エネルギーの最大限活用 + 安定供給（安価、慣性力によるグリッド安定）
- 機動性（供給調整力）を持ち再生可能エネルギーと共存するカーボンフリーエネルギーの開発
⇒ 高速炉SMRとカルノーバッテリー（熔融塩蓄熱発電）を組み合わせたエネルギー供給は安定供給 + 機動性の一つの解

■ 特徴

- 安全性強化：高速炉SMRの小型炉心と多様な冷却によりシビアアクシデントに対する安全性強化、Na-水反応排除
- 高速炉SMR + カルノーバッテリーにより 機動性と安定供給、多様な熱源利用・熱利用をカーボンフリーで実現



持続可能なエネルギーシステムの実現と原子力の貢献



安全を最優先とした持続的なバックエンド対策の推進

原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分の計画的遂行と技術開発の取組を進める

□ 廃止措置・放射性廃棄物の処理処分に係る技術開発と成果の実装

- 1Fとの相互裨益の観点、低コスト化等を考慮した**戦略ロードマップ**の作成・技術開発、**デコミッショニング改革**のためのイノベーションの創出

□ 放射性廃棄物の処理処分

- **低レベル放射性廃棄物の保管管理、減容及び安定化に係る処理**
- **埋設事業**→適宜工程等を見直し、地域活性化の検討等を含む**立地対策**、**廃棄体受入基準整備**及び**埋設施設の基本設計に向けた技術検討**
- **利用実態のない核燃料物質の集約管理へ貢献**

□ 原子力施設の廃止措置

- 「もんじゅ」、「ふげん」、東海再処理施設は、**廃止措置計画に基づき、着実に推進**
- その他の施設は、**施設中長期計画に基づき、優先順位をつけて実施**



高レベル放射性廃棄物の処理処分に関する技術開発

高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための研究開発を推進する

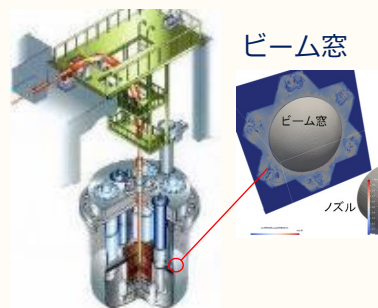
□ MA分離のための共通基盤技術の研究開発と高速炉及び加速器駆動システム(ADS)を用いた核変換技術の研究開発

- MA分離のための共通基盤技術
 - ✓抽出クロマトグラフィと溶媒抽出法(SELECTプロセス)を軸としたMAの分離回収



SELECTプロセスによる
ホットセル内での分離試験状況

- ADS
 - ✓概念設計の高度化、ターゲット窓材評価
 - ✓MA含有窒化物燃料の製造及び乾式処理技術の開発



ADS実証炉の概念図

地層処分の実現に必要な基盤研究開発を着実に進める

□ 幌延深地層研究計画（幌延）

- 深度500mに坑道を展開した研究、国内外との連携



幌延地下施設イメージ図

□ 超深地層研究所計画（瑞浪）

- 環境モニタリング調査を5年程度継続→その後、地上施設の撤去、ボーリング孔の埋め戻し等

□ 地層処分システムに関する研究開発

- 処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化

□ 使用済燃料の直接処分等代替処分オプションの研究開発

青森 廃止措置中

- 原子炉: 1 施設



敦賀 廃止措置中

- 原子炉: 2 施設 (ふげん、もんじゅ)
- その他: 1 施設



東海 原科研 終了

- その他: 3 施設
- 廃止措置中
- 原子炉: 4 施設
- その他: 5 施設
- 準備中
- 原子炉: 1 施設
- その他: 6 施設



東海 核サ研 終了

- その他: 2 施設
- 廃止措置中
- 再処理施設: 1 施設
- その他: 3 施設



大洗 廃止措置中

- 原子炉: 2 施設
- その他: 1 施設



準備中

- その他: 6 施設

準備中

- その他: 4 施設

人形峠 廃止措置中

- その他: 3 施設



状態	終了	廃止措置中	準備中
施設数	5	23	17

2022年4月1日現在