

資料 2

革新炉（高速炉・ガス炉）への取り組みについて

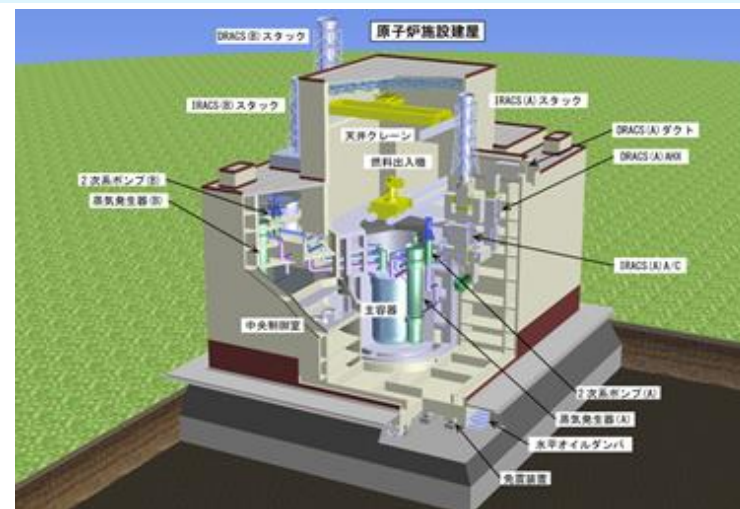
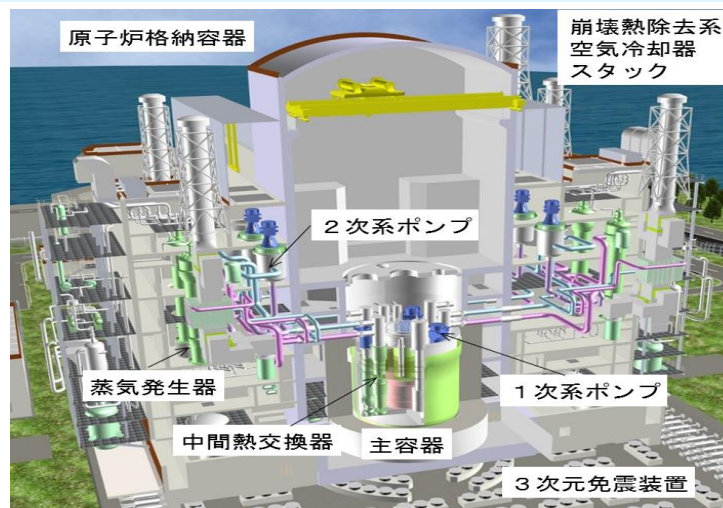
2022年10月28日

三菱重工業株式会社 原子力セグメント

1. 現在の開発状況
2. メーカー・サプライヤの状況
3. 基盤整備への期待
4. まとめ

1. 現在の開発状況 ～高速炉～ (1/3)

- 当社は高速炉開発の中核企業として、最も実績があり技術的に成熟した**MOX燃料ナトリウム冷却高速炉の開発を推進**
- **日仏や日米など国際協力にも参画**し、ここで得た知見をベースに、厳しい地震条件などを考慮した国内にも適用可能な**日本独自のプラント概念を開発**
- さらに将来の技術選択肢を広げる為、**NEXIP事業(イノベーション事業)も活用し革新的高速炉**の開発に取り組み三菱から高速炉技術評価委員会に以下の2概念を実証炉として提案（主概念：MFBR、MCR：MHIより提案）。NEXIPで検討している**MCRシリーズは出力増の柔軟性が高く、多様なニーズに対応可能**
- 次年度には概念設計対象炉型が選定される見込み



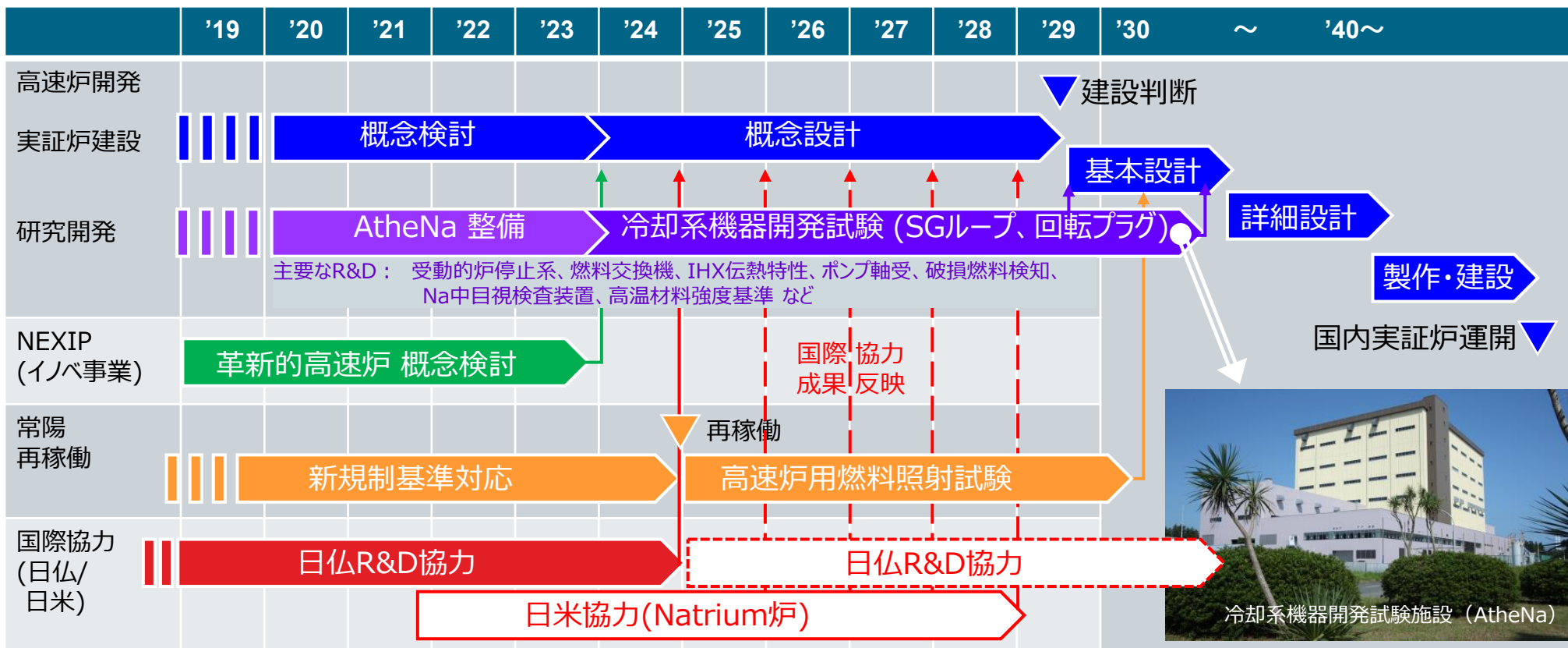
項目	仕様	
	主概念	MCR(200~1000)
炉型	中型ナトリウム冷却高速炉（タンク型）	小型ナトリウム冷却高速炉（タンク型）
冷却材	ナトリウム	ナトリウム（2次系はナノ流体採用）
出力	1500 MW[t] / 650 MW[e]	1000 MWt/400 MWe：MCR400の例
燃料	酸化物燃料（FAIDUS炉心）	粒子型金属燃料

（経済産業省からの受託事業である“高速炉の国際協力等に関する技術開発”，補助事業である“社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業”の成果を含みます）

1. 現在の開発状況 ～高速炉～ (2/3)

- 2024年以降概念設計を開始し、戦略ロードマップに記載の「2050年までの実証炉の運転開始」を目指す
- 実証炉開発には、常陽による、高速炉燃料照射試験に加え、ナトリウム機器の大型化や新技術（受動的炉停止系など）の開発／検証などのための研究開発基盤整備が必要
- 具体的にはJAEA殿大洗のナトリウム試験施設や、準備中の大型Na試験施設（AtheNa）が必要
- 弊社総合研究所高砂地区のナトリウムループ試験設備も活用し、実証炉に向けた開発を推進していく

<高速炉開発工程案>



1. 現在の開発状況 ～高速炉～ (3/3)

➤ 弊社総合研究所高砂地区のナトリウムループ試験設備を活用した、実証炉開発

- 高速炉設計評価手法の開発やNa機器の性能確認等を目的としたNaループの活用
- 2016年から開始した日仏協力では、受動的炉停止系（SASS）のNa中試験を実施
- 現在は燃料交換機的设计の妥当性・成立性確認のため、MTL-3及びSGTFを用いた試験準備を実施中

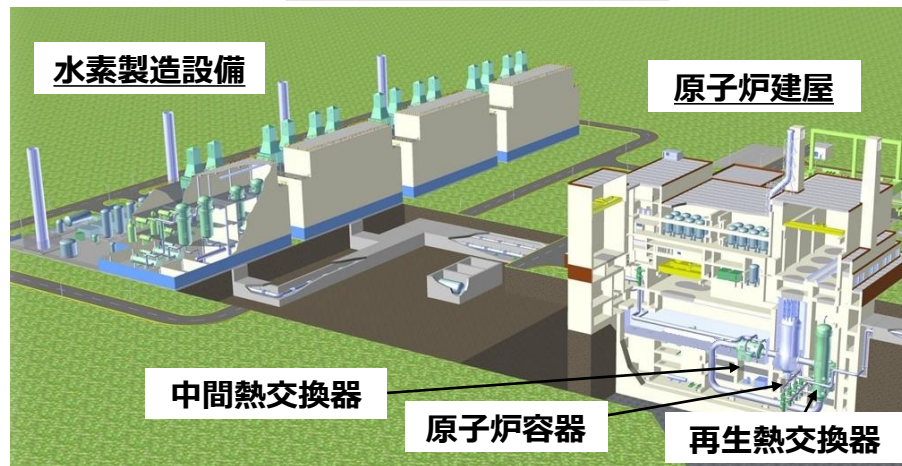
	写真	特徴
多目的ナトリウム試験装置 (MTL-3)		<ul style="list-style-type: none"> • 大口径のナトリウム試験容器を具備し、ナトリウム機器の性能特性試験（材料試験等）が可能 • 最高温度：550℃ • 流量：50 l/min • 運転中のNaの純度管理可能。
ナトリウム熱流動試験施設 (SGTF)		<ul style="list-style-type: none"> • 大規模・大容量のナトリウム熱流動試験装置 • 国内メーカ最大規模（流量：毎分800リッター） • 最高温度：600℃ • 運転中のNaの純度管理可能。
ナトリウム熱過渡試験施設 (SASS)		<ul style="list-style-type: none"> • 高温ナトリウムの高速注入による温度過渡変化の試験が可能 • 最高温度：750℃ • 温度変化率30℃/sec

出典：三菱重工技報 Vol.47 No.3(2010),p121-123

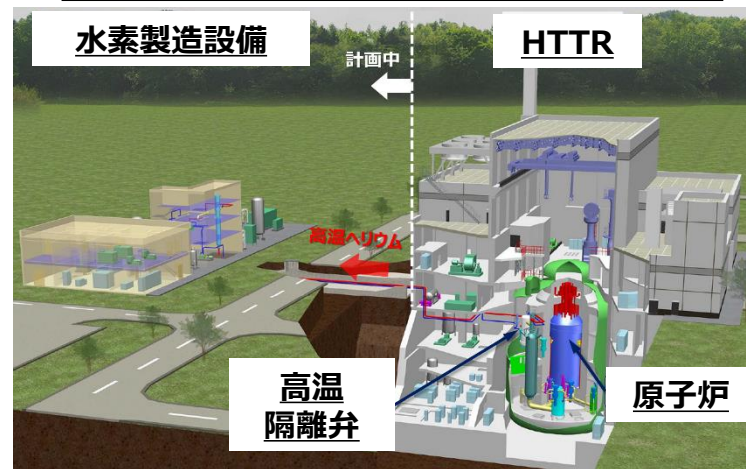
1. 現在の開発状況 ～高温ガス炉～ (1/2)

- 当社は**NEXIP（イノベ事業）**を活用し、**大規模出力（最大600MWt）の高温ガス炉の概念検討を実施中**
- また、2022年度より開始したエネ庁殿委託事業「**超高温を利用した水素大量製造技術実証事業**」において**HTTRを活用した水素製造実証事業にも参画中**

高温ガス炉実用炉イメージ



HTTRを活用した水素製造プラント構成（案）



項目	仕様	
	実用炉イメージ	HTTR(試験研究炉)
炉型	ヘリウムガス冷却熱中性子炉	同左
炉心型	環状炉心	円筒状炉心
冷却材	ヘリウム	同左
出力	～600MWt/熱利用系あり	30MWt / 熱利用系なし
燃料タイプ	ピンインブロック式	同左
燃料	酸化ウラン燃料 濃縮度 ～10%	同左

- HTTRはJAEAの大洗研究所に設置されている高温ガス炉。1998年に初臨界後、2004年に世界で初めて原子炉出口温度950℃を達成
- 現在新規規制基準の下で再稼働し、安全性実証試験を実施中

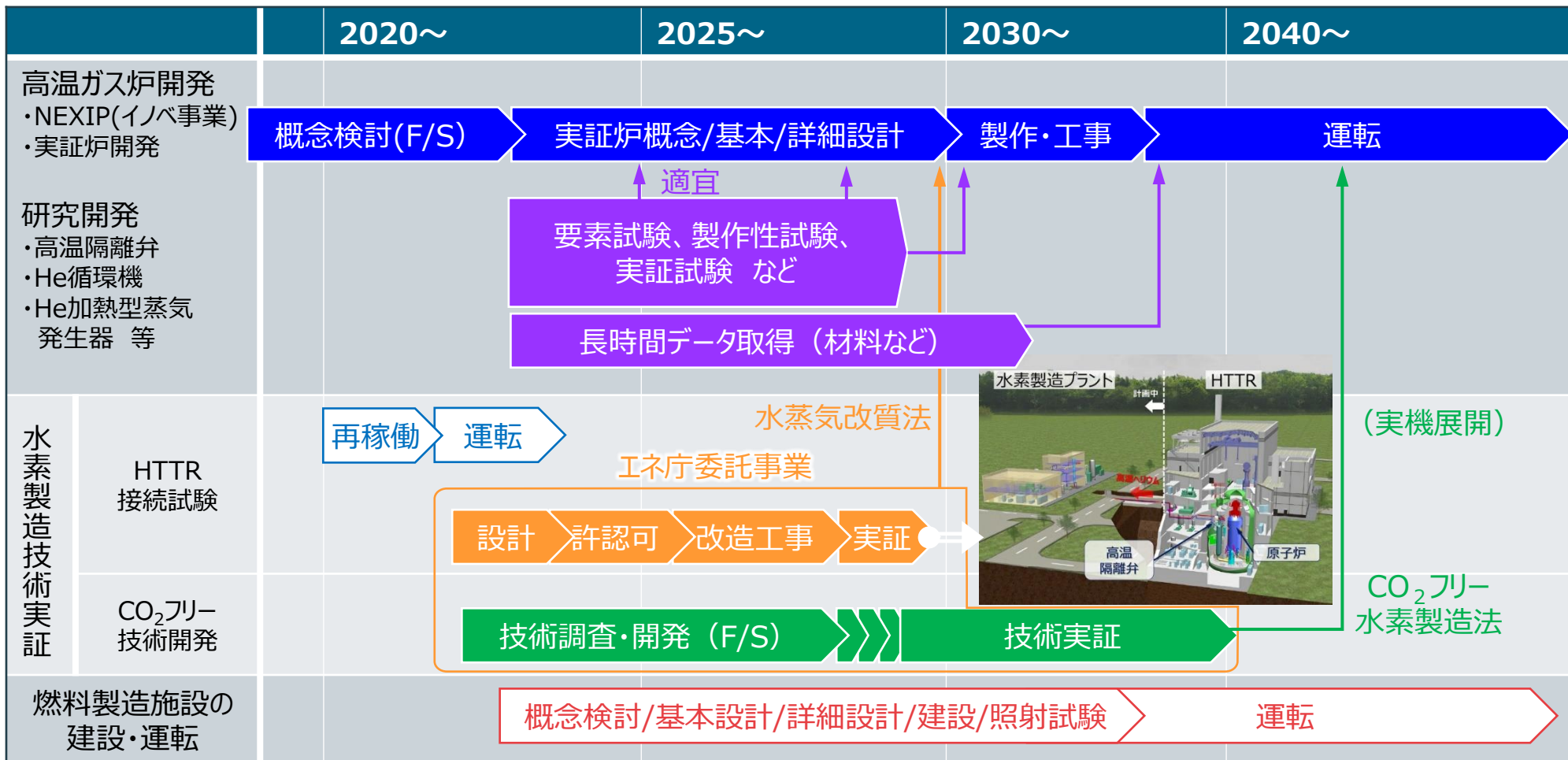
高温ガス炉の概要と開発の歴史



出典: 日本原子力研究開発機構

1. 現在の開発状況 ～高温ガス炉～ (2/2)

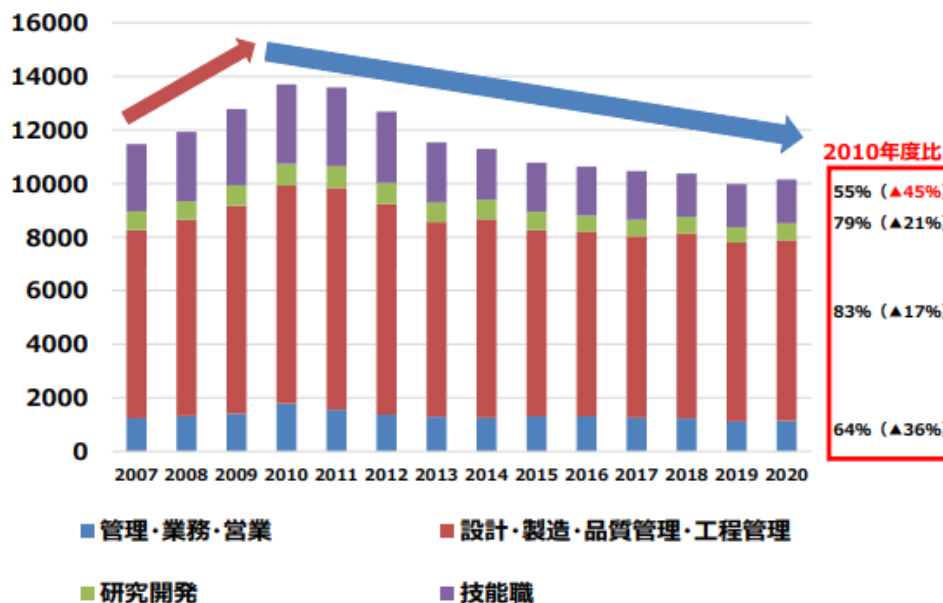
- 高温ガス炉と水素製造設備の接続技術の開発のため、HTTR熱利用試験などのR&Dがエネ庁委託事業「超高温を利用した水素大量製造技術実証事業」で計画・推進中
- 今後の高温ガス炉実証炉等の建設には、燃料製造設備の建設・運転が必要
- 実証炉に向けた高温隔離弁やヘリウム循環機等の大型化、HTTRに存在しない蒸気発生器の開発に向けた基盤整備が必要



2. メーカー・サプライヤの状況 ～メーカー～

- もんじゅの建設開始（1985年）、初臨界(1994年) から25年以上、高速炉プラントの建設が途絶
- また高温ガス炉についてもHTTRの建設開始（1991年）、初臨界（1998年）から20年以上経過
- **技術の伝承維持には世代交代の観点から20年程度毎のプラント建設が望ましいが、**高速炉、高温ガス炉とも実機建設以降は机上検討が主となっており、大規模R&Dも中断
- 技術維持・向上のためには**プラント一式の設計・製作・建設・運転の経験が不可欠**

メーカー14社の各部門の原子力従事者



出典：第5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 資料4より抜粋（2022年10月24日）

2. メーカー・サプライヤの状況 ～サプライヤ～

【高速炉のサプライチェーンの課題】

- 高速炉特有の高温材料、ナトリウム弁、電磁ポンプ、ナトリウム用計装（流量計・圧力計など）については、異分野での利用が殆どないため、高速炉関連事業がないと技術維持が困難。熱交換器は常陽・もんじゅ以降は設計のみで実機製造経験が減少

【高温ガス炉のサプライチェーン課題】

- 高温ガス炉向け高温材料（ハステロイXR）、断熱材、ヘリウムガス循環機、ヘリウム純化設備向け酸化触媒等について、異分野での利用や、関連事業がなく技術維持が困難な状況。

高速炉・高温ガス炉に特有の素材・設備他

		高速炉	高温ガス炉
素材	大型鍛造品	316FR鋼	ハステロイXR
	製鋼品 (鋼板、鋼管、他)	燃料被覆管、ラッパ管、制御棒要素、高温配管材	黒鉛ブロック、高温配管材、断熱材
補機・設備	弁 (特殊弁、構成部品)	ナトリウム弁、大口径弁	高温バルブ
	回転機器 (ポンプ、圧縮機)	Na用機械式ポンプ 電磁ポンプ	ヘリウム循環機/圧縮機
	計器・計装品	ナトリウム用計装 (Na圧力計、Na流量計など)	(特になし)
	その他固有設備	ナトリウム取扱設備 (ヒータ、純化設備、他)	ヘリウム純化設備(触媒) 水素製造設備
燃料	燃料 (転換・成型・加工・組立)	MOX燃料	被覆粒子燃料



【高速炉】



【高温ガス炉】

(経済産業省からの受託事業である“高速炉の国際協力等に関する技術開発”，補助事業である“社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業”の成果を含みます)

3. 研究開発基盤整備への期待

高速炉、高温ガス炉開発において以下の研究開発基盤整備を期待

- 高速炉、高温ガス炉とも、実証炉に向けた機器の大型化や技術開発のため、高温のナトリウムやヘリウムガスなど特有の技術が扱える基盤施設（AtheNa等）が必要
- 常陽は、高速炉の燃料開発（照射試験）において必須設備であり、早期の再稼働を期待
- 常陽に関しては、常陽の運転用燃料製造施設が必要。これまで常陽、もんじゅの燃料を製造してきたプルトニウム第3開発室の改造等、燃料製造施設についても着実な推進が必要
- 高温ガス炉も燃料製造施設が必要となるため、燃料供給体制構築と着実な推進が必要

- 高速炉、高温ガス炉とも**先行炉の建設から20年以上経過し、技術維持は喫緊の課題**
- プラントの建設機会を設けることは、サプライチェーン及び技術・人材維持の観点からも必要。**高速炉、高温ガス炉ともに軽水炉と異なる特有のサプライチェーンがあるため、これを継続維持するための具体的なプロジェクト工程、継続的な予算確保及び早期のプラント建設が必要**
- 研究開発基盤整備では、RI製造など**新たなニーズへの対応も考慮が必要**
- 基盤整備としては前項に記載のとおり
 - ナトリウムやヘリウムガスを使用している**革新炉開発においては、特有の技術開発に必要な試験施設が必要。**
 - 高速中性子照射場として**常陽の早期再稼働／運転は必須**。将来の高性能化のためには中性子照射炉(常陽が廃炉になる場合には後継炉が必要)の機能に加え、高温ガス炉の開発のための燃料、材料照射が可能なことが望ましい
 - 燃料製造設備として、現状の**常陽、HTTRの運転用燃料製造施設が必要**。加えて、**将来の炉の燃料供給への考慮が必要**。(プルトニウム第3開発室による実証炉燃料や、高温ガス炉実証炉、実用炉燃料の製造施設)
- 実証段階までは国の支援によりプラント建設の予見性を高めていただくことを期待

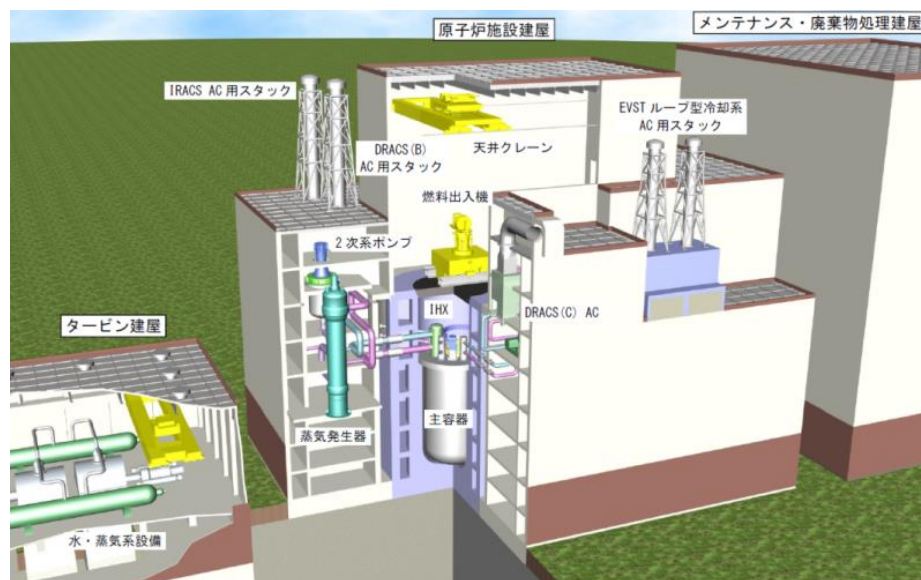
MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**

- 21世紀中の軽水炉／高速炉共存から、将来の実用炉への発展・実証を見据え、**多様な高速炉ニーズに対応**するナトリウム冷却高速炉
- **高速炉技術として最も成熟したナトリウム冷却炉（SFR）**をベースに、**国産技術に立脚した高い安全性・信頼性**の実現
- **従来小型炉より高い受動的・安全特性及びナトリウム安全特性**を有するとともに、将来の社会ニーズに合わせ**大型化への展開（出力変更）も容易**なプラント概念

○ 主な具体的開発方針

- 金属燃料炉心の採用により異常時炉停止失敗事象時にも燃料ピン熱膨張等の効果で負の反応度効果を促進
- ナノ流体の採用によりナトリウムの化学的活性度を抑制
- 小型から大型の炉心出力へ柔軟に対応可能な崩壊熱除去系型式を採用（RVACSでは大型化は困難）



〔200MWe級プラント鳥観図〕

（経済産業省からの補助事業である“社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業”の成果を含みます）

〔200MWe級主要目〕

炉型	小型ナトリウム冷却高速炉 （1次系タンク型/ 2次系ループ式）
冷却材	ナトリウム
熱出力	500 MWt
電気出力	200 MWe
燃料	金属燃料
プラント寿命	（設計）60年



○ターゲット市場

国内・軽水炉プルサーマルサイクル
（プルサーマルによるマルチリサイクル）

(参考) 高速炉の概要：タンク型炉のプラント概念

➤ もんじゅまでのループ型炉に加え、2015年以降の日仏国際協力の成果を反映し、タンク型炉のプラント概念も構築している。

