

次世代革新炉の開発に必要な 研究開発項目 及び基盤インフラについて

(今後の革新炉の開発に必要な施設整備、取り組んでいる研究開発)

令和4年10月17日

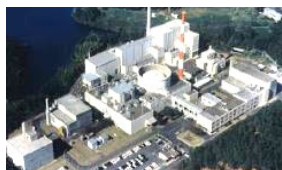
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

理事 大島 宏之

2050年カーボンニュートラルに向けた原子力カイノベーションへの要請

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・サプライチェーン + **技術自給**）
- ✓ **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 + 非エネルギー分野への応用）



高速実験炉「常陽」

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



高温工学試験研究炉 (HTTR)

資源循環性

- 原子力は脱炭素エネルギー源であるが、高レベル放射性廃棄物が発生
- 技術革新により**原子力も循環型エネルギーへ**
- 資源の有限性にも解決策を

柔軟性

- 安価な再エネを最大限活用するために負荷追従
- 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）
- 炉型革新により、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

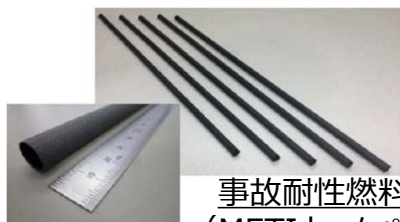
カーボンニュートラルに向けた原子力機構の取り組み

1. 安全性向上等の革新的技術開発によるカーボンニュートラルへの貢献(総合知の活用)

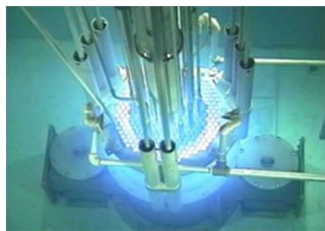
- (1)一層の安全性・経済優位性を追求した原子力システムの研究
- (2)高温ガス炉に係る研究開発(高温工学試験研究炉(HTTR)の活用、水素製造技術の開発 等)
- (3)高速炉・核燃料サイクルに係る研究開発(高速増殖原型炉「もんじゅ」の経験活用、高速実験炉「常陽」の運転再開・活用に係る取組 等)

(1) 軽水炉関連研究

- ・産業界との共同研究
- ・事故耐性燃料用被覆管
- ・安全評価手法検証 等



事故耐性燃料の開発
(METIホームページより)



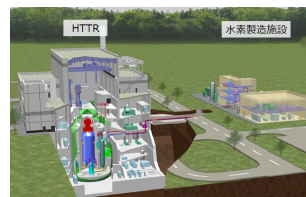
出力急昇安全試験
(NSRR)

(2) 高温ガス炉関連研究開発

- ・安全性の国際実証
- ・カーボンフリー水素製造開発
- ・熱利用系の接続技術 等



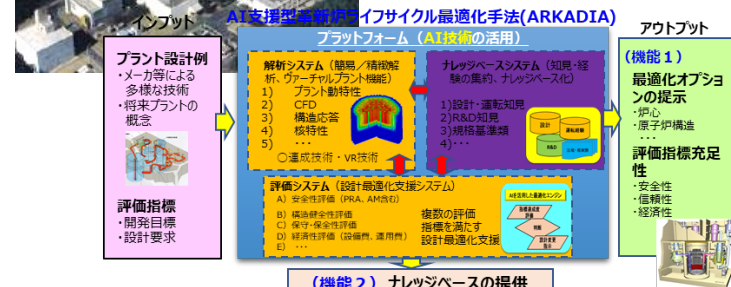
高温工学試験研究炉
(HTTR)



HTTR-熱利用試験

(3) 高速炉サイクル研究開発

- ・「常陽」運転再開
- ・プラント設計高度化、規格基準類整備
- ・放射性廃棄物の減容化・有害度低減
- ・高速炉による核変換・RI製造技術 等



解析手法と試験検証、設計知見を含むナレッジベース、
AIを活用した評価・統合プラットフォームを開発
AIを活用したプラント設計高度化

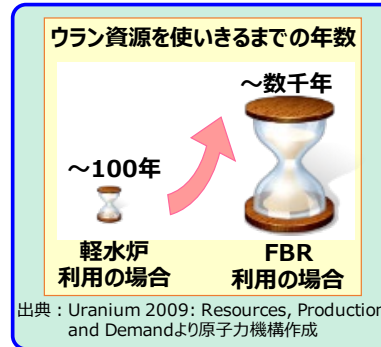
高速炉の開発に必要な 研究開発と基盤整備

高速炉サイクルの特長

- 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 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**

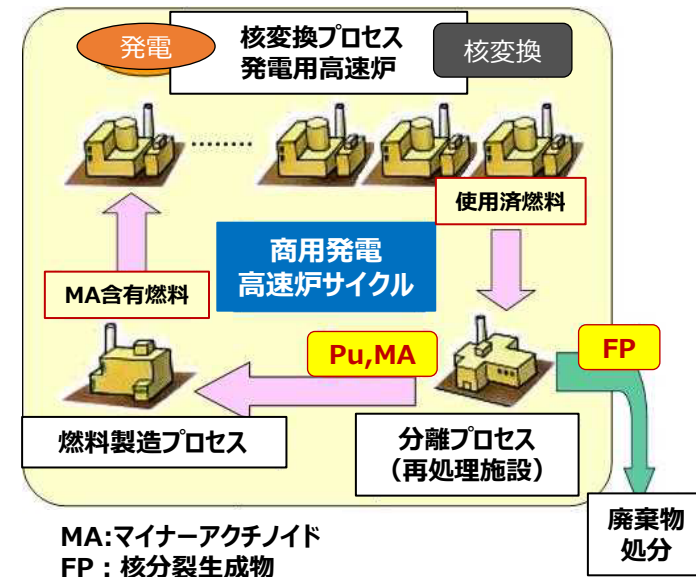
- ベースロード電源としての利用に加え、蓄熱技術との組み合わせにより電気出力を調整可能し、太陽光や風力等、**出力変動再エネを補完**

⇒ **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）

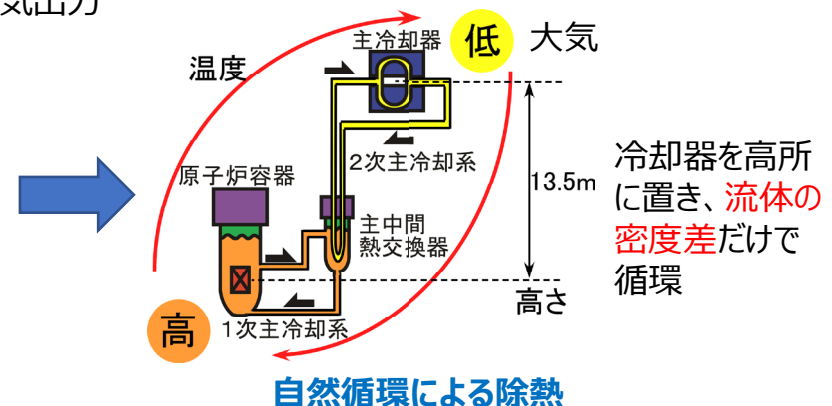
⇒ **高い安全性**

- 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）



グリーン成長戦略で求められるイノベーションの実現

1. 安全性・信頼性

- ◆ 1F事故の教訓等を踏まえ高い安全性を追求すること。少なくとも、新規規制基準に基づく安全基準を満足する軽水炉及びその燃料サイクルのシステムと同等以上の安全性を達成すること。
- ◆ 炉システムについては、今後の**国際設計基準等で次世代炉に期待されるより高い安全性・信頼性**を実現する設計上の工夫（**受動安全性の確保等**）を施すこと。
- ◆ 施設の運転・保守・補修性を確保すること。

2. 経済性

- ◆ 市場ニーズに応じた経済性を有すること
 - 基幹電源として利用するプラントは、**他の基幹電源と競合し得る経済性**を有すること。
 - 小型電源や多目的用途に利用する場合には、**市場ニーズに応じた経済性**を有すること。
- ◆ なお、上記の経済性は1F事故を踏まえた安全性の強化、並びに事故リスク対応費及び政策経費を踏まえた上で実現すること。

3. 環境負荷低減性

- ◆ 高レベル放射性廃棄物量低減・潜在的有害度低減のため、**マイナーアクチニド（MA）を分離・回収し、燃料として利用**できるようにすること。
- ◆ 炉、燃料製造、再処理の建設・運転・廃止措置を通じて発生する放射性廃棄物量（高レベル放射性廃棄物を含む）を、軽水炉及びその燃料サイクルシステムを参照して、合理的に実現可能な限り低減すること
- ◆ ライフサイクルでの環境影響（土地占有、毒性、大気汚染、GHG、酸性化、富栄養化、電離放射線、水資源利用等）が他電源と比して少ないこと。

4. 資源有効利用性

- ◆ 軽水炉及び軽水炉の**プルスーマル利用から高速炉へ円滑に移行**できること。
- ◆ エネルギー需給や資源の不確かさへの対処を始め、社会のニーズに合った増殖比に柔軟に対応可能であること。
- ◆ 資源有効利用の観点から、燃料サイクル内で**U及びPuの十分な回収による資源循環**を図ること。

5. 核拡散抵抗性

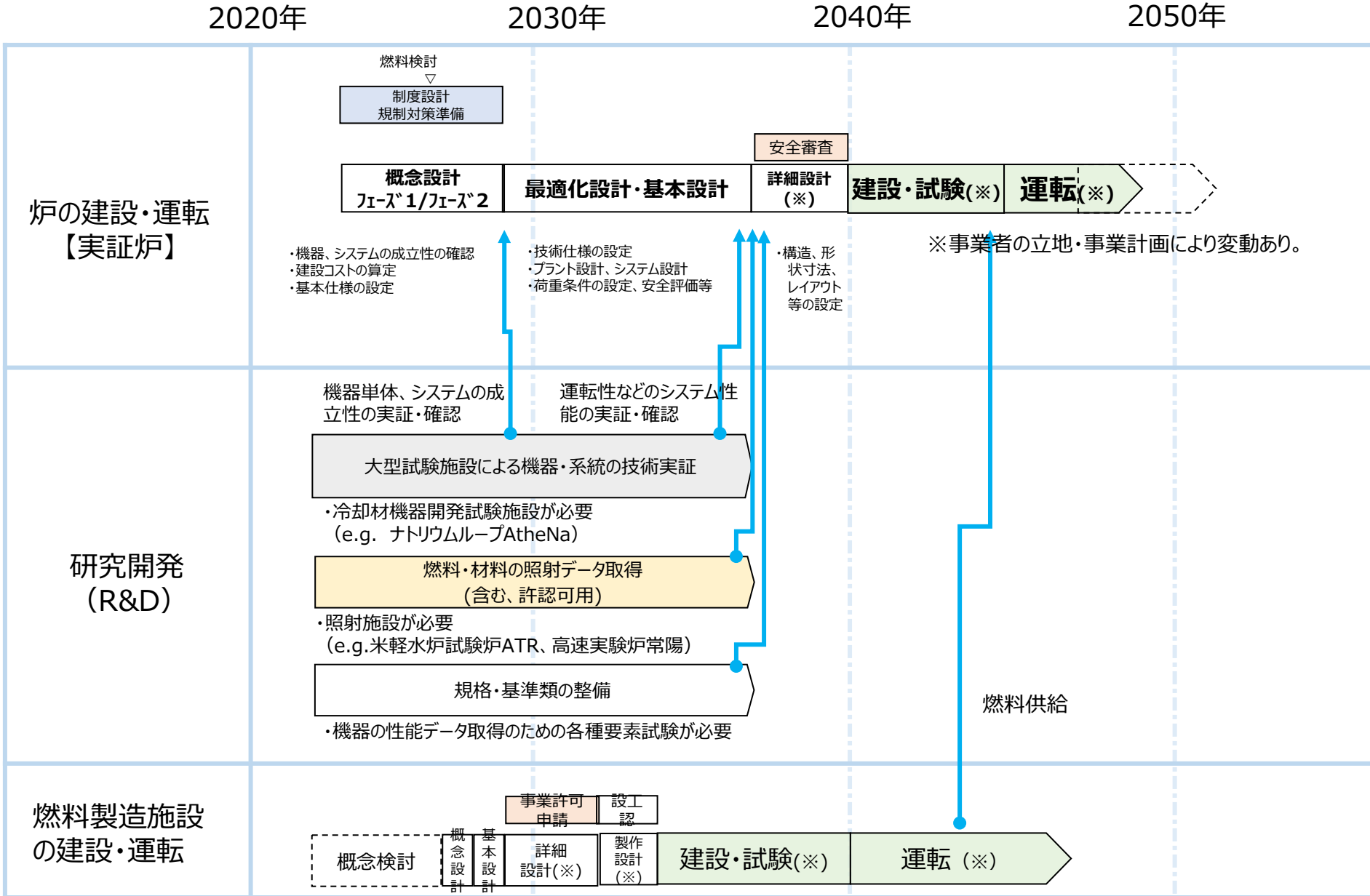
- ◆ **核拡散抵抗性と核物質防護**を担保できる高速炉サイクルとすること。

6. 柔軟性・その他市場性

- ◆ エネルギー供給システム全体の中で、**再生可能エネルギーとの共存**等を視野に、必要な柔軟性を備えること（原子炉出力規模の選択肢、負荷追従能力、等）。

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



原子力機構における高速炉の研究開発概要

【高速炉開発の戦略ロードマップ】

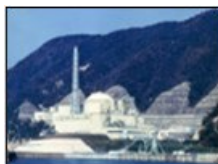
- 民間が取組む多様な技術開発に対応するニーズ対応型の研究基盤の維持・発展
- ナトリウム冷却高速炉の開発を通じて蓄積している研究開発知見と試験研究インフラを“研究開発基盤”として発展

統合評価手法 (ARKADIA) の開発

常陽



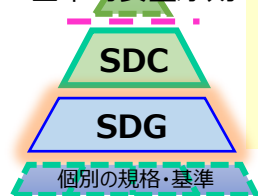
もんじゅ



- ・ 「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
- ・ 多様な冷却材・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

規格基準の整備

基本的な安全原則



SDC/SDGの位置づけ

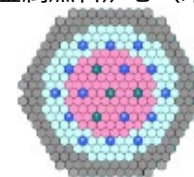
- ・ 安全性、経済性を高いレベルで両立させ、かつ多様な高速炉概念に適用可能な規格・基準類の整備

安全性向上技術の開発

- ・ 再臨界事故防止、炉心溶融事故防止など炉心燃料設計を含む炉心安全
- ・ 冷却材の化学反応等の特有事故の抑止

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、解析コード開発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確立

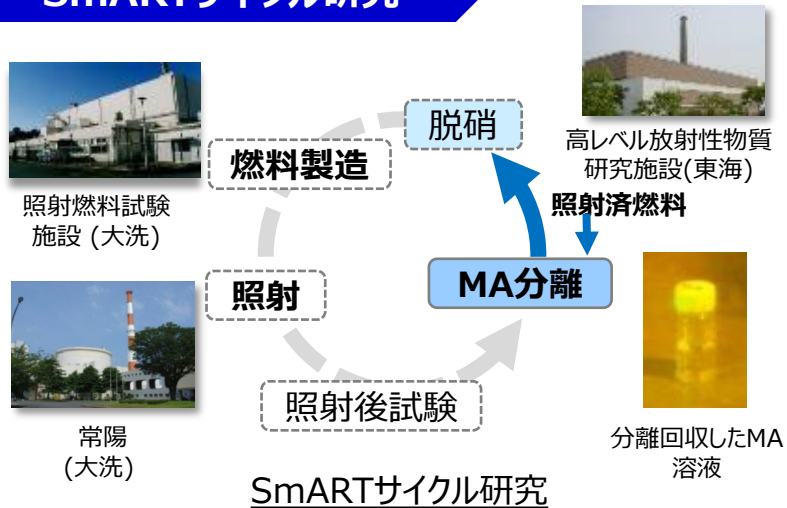
民間による研究開発をサポート

産業界や関係省庁との連携を強化し、2024年以降に採用する可能性のある技術の絞り込みに対応、21世紀半ばの適切なタイミングでの高速炉導入に向けた研究開発を推進

原子力機構における高速炉燃料製造・再処理研究開発概要

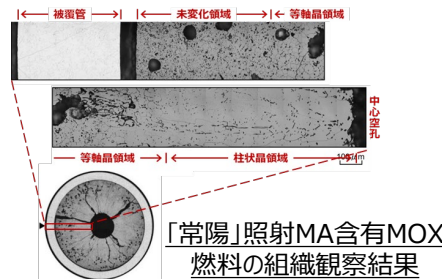
- **小規模マイナーアクチノイド (MA)リサイクル(SmARTサイクル)試験**を着実に推進
 - 照射試験用MA含有MOXペレット製造に向けて、**世界最高レベル2gのMA回収**を達成
- 「常陽」での**MA含有MOX燃料の照射試験**を通じて照射挙動を把握
- 核変換特性を飛躍的に向上させる長寿命炉心材料（ODS鋼被覆管等）の開発を推進
- **国際協力（米国、仏国等）を活用**し、MAサイクルに係る研究開発を引き続き推進

SmARTサイクル研究



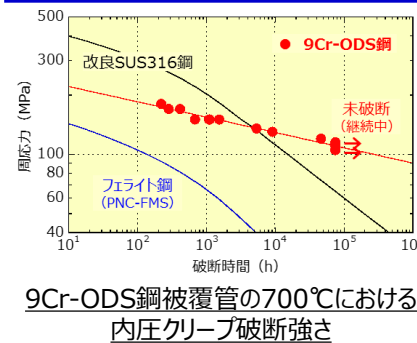
- **MAを中心とした分離変換データの取得とサイクル成立性の小規模実証**を目指す
- これまでに、ペレットレベルでの燃料製造・照射試験を可能とする**約2gのMAを回収**

MA含有MOX燃料の照射試験



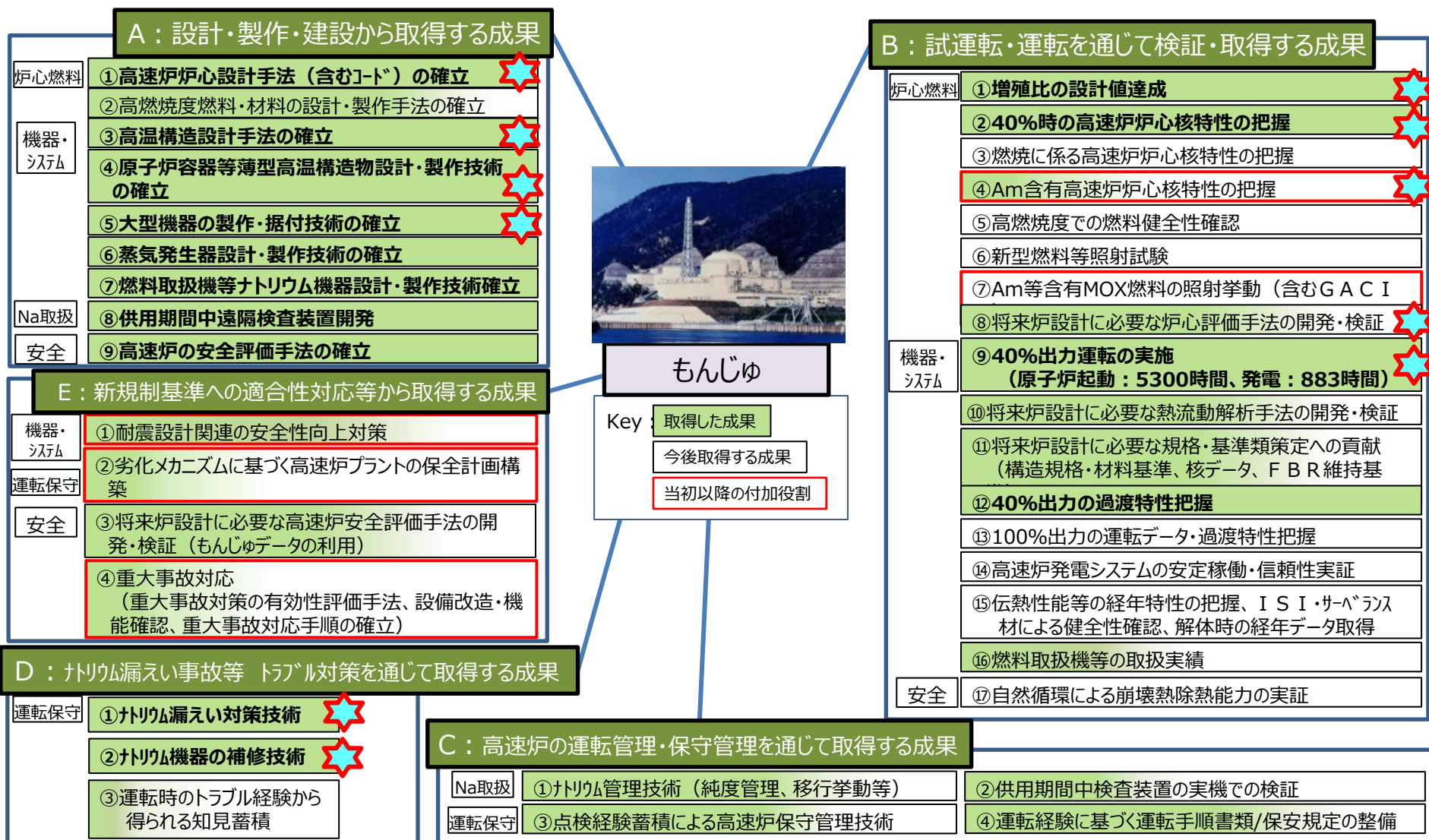
- 「常陽」短期・高線出力試験に供したMA含有MOX燃料について**Am等の再分布挙動に関する定量データを取得**、照射挙動評価に必要な**詳細な組織変化データを取得**
- 次期照射試験に向けて**MA含有MOX燃料設計コード開発を継続**

長寿命炉心材料の開発



- 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**

「もんじゅ」各段階で得られた主な成果 (★) と実証炉開発に向けた課題



高速炉の開発に必要な研究開発と基盤整備

開発目標（案）	開発・整備項目	機器・技術対象
1. 安全性・信頼性 (より高い安全性・信頼性を実現)	炉内流動適正化、大容量蒸気発生器(SG)開発	炉容器、冷却系機器、
	自然循環除熱、コアキャッチャー (AtheNa)	崩壊熱除去系
	再臨界排除と評価技術、シビアアクシデント炉内終息、自己作動型炉停止機構、固有安全性強化	炉心安全
	ナトリウム燃焼対策、SG水反応検知・ナノ流体による緩和	ナトリウム安全
	放射性物質移行特性	公衆被ばくの放射線源
2. 経済性 (他の基幹電源と競合し得る経済性)	安全設計の国際標準化、確率論的安全評価	安全設計要件・ガイドライン
	材料強度評価、構造設計手法	建設規格
	保全、信頼性設計、ナトリウム中目視検査	維持規格
	解析評価システムとリンクするナレッジベース、設計評価（知見の集約と散逸防止、技術伝承）	もんじゅ、常陽の開発知見、設計、建設、運転知見、試験・解析知見
	高燃焼度燃料・被覆管、MA含有燃料、内部ダクト付き集合体、長寿命制御棒（常陽での照射）	炉心燃料・材料
3. 環境負荷低減性	核設計、燃料設計、核・熱・構造カップリング、MAの燃焼特性、遮蔽設計	炉心設計
4. 資源有効利用性		
5. 核拡散抵抗性 (MA燃焼とPu利用)		
6. 柔軟性・その他市場性 (再生可能エネルギーとの共存、医療用RI製造など国民福祉向上への貢献)	RI照射技術、分離精製技術（製品化）	照射試料取出技術
	3次元免震、浮体免震	免震技術
	熔融塩-ナトリウムの熱交換器、熔融塩-ナトリウム化学安定性	蓄熱技術
	再エネ共生エネルギーシステム解析手法、効率・安定性評価	統合エネルギーシステム
	燃料製造プロセスの簡素化	セラミクス3D Printing燃料

原子力機構における取組の現状

高速中性子照射・照射後試験

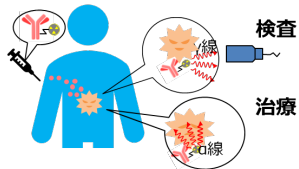
施設：「常陽」、IRAF、FMF

設備：照射試験試料の加工、中性子照射、照射後試験

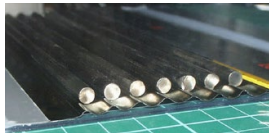
機能：非破壊検査（X線CT）、材料強度試験、組織観察、物性評価等

常陽運転再開

FMF耐震補強



医用RIによる検査・治療

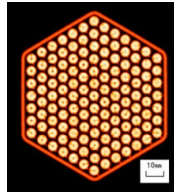


医療用RI製造 (Ac-225)

医療用RI製造
(医療会、がん患者会等からの期待)

金属燃料ピン照射
(電中研共研)

中性子を利用した研究 中性子の影響評価



燃料集合体
X線CT画像

金属燃料 照射挙動評価

ナトリウム取扱い技術

施設：AtheNa、PLANDTL、SWAT-3、敦賀地区Na施設 等

設備：ナトリウム機器の総合試験、熱流動試験、ナトリウム水反応試験

機能：安全性実証、機器性能試験、ナトリウム中での検査技術 等

日米協力 TerraPower

AtheNa整備



AtheNa外観



AtheNa
加熱器本体
(整備中)

ナトリウム-水反応



蒸気発生器安全性
総合試験装置
(SWAT-3R)

安全面から特に高度の取扱技術が必要。
およそ10年程度で退職を迎えることとなり、
試験研究を再開しなければ技術を喪失する。



制御設備更新
(概算要求検討)

日仏協力 CEA



PLANDTL施設



ナトリウム工学試
験施設SERF
(敦賀)

MOX燃料サイクル開発関連

施設：Pu-1の機能をPu-3に集約

設備：MOX用グローブボックス群、物性測定装置
(Pu-1老朽化、Pu-3への機能移転)

機能：MOX燃料製造、少量MA(Np, Am) 取扱い
物性測定（熱物性、O/M調整、組織観察等）

常陽燃料
製造施設
整備

MOX燃料加工許可

- ・Pu-3利用
- ・FMF利用
- ・新規施設建設



Pu-1



MOX燃料製造
グローブボックス



分離試験用
ホットセル



高レベル放射性物質取扱施設
(CPF)

金属燃料サイクル開発関連

施設：CPF

設備：不活性ガス雰囲気グローブボックス群
(現在維持費不足により不活性ガス循環精製装置が利用不可)

機能：金属燃料製造、乾式再処理



不活性ガス雰囲気グローブボックス群

金属燃料サ イクル試験 装置整備



電解析出した
金属ウラン

MOX高燃焼度燃料の開発 常陽燃料加工事業化

金属燃料 サイクル評価

施設：CPF

設備：ホットセル、湿式グローブボックス群

機能：MOX再処理試験、MA分離試験

日米協力 電中研共研

利用可能性
 ○整備済み（利用可能）
 △整備中
 ×未整備（新規案件）

必要な開発課題と施設整備（高速炉）

	研究開発項目		研究開発に必要な施設	利用可能性	整備状況
高速炉	照射試験技術	高速中性子照射	常陽（新規基準、RI製造）	△	新規基準対応中
	炉心燃料・材料分野	ホット試験、照射後試験	グローブボックス(空気・不活性雰囲気) ホットセル(空気・不活性雰囲気)、照射後試験施設	○	CPF、Puセンター、FMFを利用した試験が可能
	安全性向上分野	シビアアクシデントやナトリウム水反応対策	熔融炉心物質挙動試験施設 (MELT) 蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3) 等	○	利用可能
		構造強度評価	耐震試験設備	△	大洗研中規模加振機（メカトロニクスは停止中）
	ナトリウム試験	Na大型機器試験	冷却系機器開発試験施設（AtheNa） Na中計測試験施設	△	AtheNa加熱器整備中（今後実験装置を設置予定）
	蓄熱技術開発	熱利用実証試験	Na-熔融塩間の熱交換性能試験装置	×	未整備
			Na-熔融塩化学反応試験(グローブボックス)	△	試験装置の整備が必要
	安全性実証 廃棄物減容 出力機動性 国民福祉向上 技術基盤確立	高速炉の安全性向上と新規制適合の実証 MAの集合体燃焼試験実証 蓄熱による機動性向上実証 医療用RI生産・供給 サプライチェーン再構築	新機能実証施設 ・受動的炉停止、シビアアクシデント時の炉容器内事故終息機能の具現化 ・蓄熱機能を備え、ナトリウム水反応を排除できるシステム ・MA燃料の集合体レベルの照射機能 ・医療用RIを常陽とともに連続生産・供給できる機能	×	未整備
		多義性	安全性向上		第2回（炉技術）でご説明
	MOX燃料製造・湿式再処理分野	「常陽」MOX燃料供給 MA含有MOX製造 MOX燃料溶解、再処理試験、MA分離試験	新規MOX燃料加工施設 CPF、軽水炉MOX再処理試験実施中 MA分離回収実績あり	△	新規MOX加工施設(MA燃料含)の内容・コスト等検討中 集合体解体、せん断、溶解試験が必要 MA分離工学試験が必要
	金属燃料・乾式再処理分野	金属燃料製造 MA含有金属燃料製造 乾式再処理試験	FMF（金属燃料サイクル試験研究設備設置） CPF,NUCEF施設の利用検討	△	金属燃料製造は電中研が燃料研究棟にて製造実績あり、乾式再処理基礎試験は電中研がCPFにて実施中

第3、4回（燃料、再処理技術）でご説明

→ 今後の実証炉開発において、更なる安全性の向上、環境負荷低減、医療用RI製造などに貢献

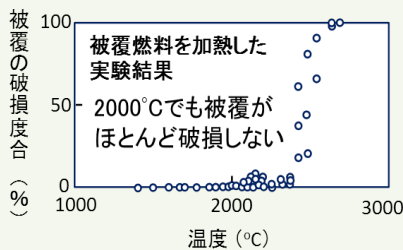
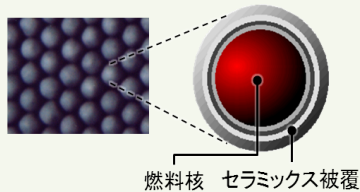
高温ガス炉の開発に必要な 研究開発と基盤整備

高温ガス炉システムの特長

高い安全性

セラミックス被覆燃料

耐熱性が高く燃料溶融しない



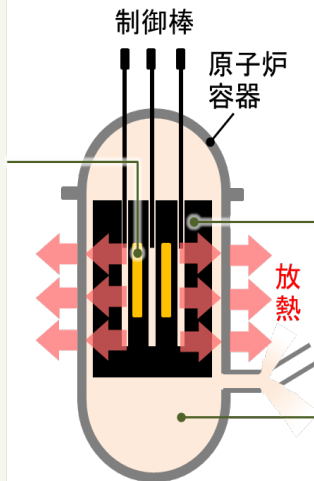
黒鉛構造材

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



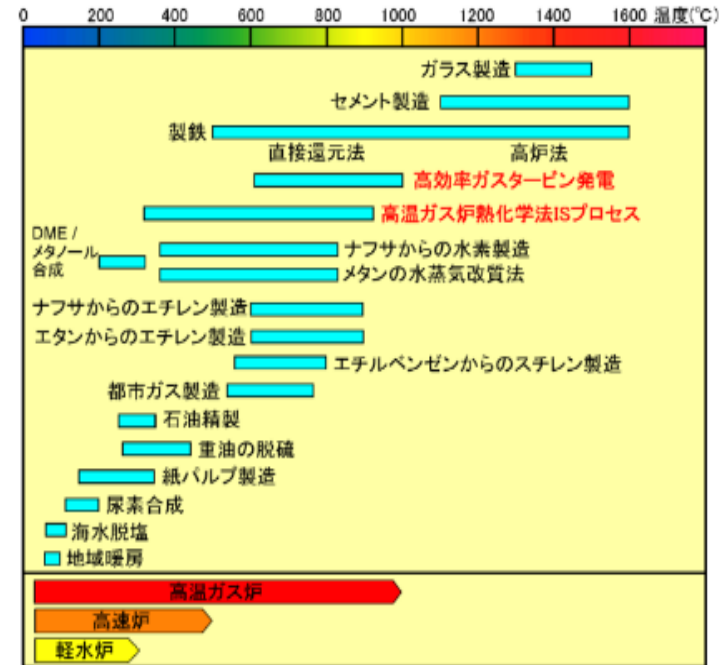
ヘリウム冷却材

化学反応、蒸発しないため
水素・水蒸気爆発が発生しない



多様な熱利用

○熱利用温度帯



研究炉HTTR

H10年11月 初臨界
H22年 3月 50日950℃
連続運転達成
R 2年 6月 新規制基準に基づく
設置変更許可取得
R 3年 7月 運転再開
R 4年 1月 OECD/NEA安全性
実証試験再開

主な特長

- 自己制御性に優れ、**固有の安全性**を有し、炉心溶融を起こさない設計が可能電源や冷却材が喪失しても自然に止まり、冷え、放射性物質が閉じ込められる
- 高温熱による水素製造・プラント熱供給から海水淡水化・地域暖房など**多様かつ効率的な熱利用**が可能

日本の高温ガス炉技術に対する海外からの期待

- 英国：AMR計画の公募にNNLとともに採択される
- 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
- OECD/NEA LOFCプロジェクト（国際共同安全性実証試験）
- 米国（民生用原子力研究開発WG（CNWG）に基づく協力）

国際技術開発に貢献できる世界唯一の施設

高温ガス炉に関する政策動向

グリーン成長戦略

- 世界最高温度を記録した試験炉 HTTR を活用し、安全性の国際実証に加え、2030 年までに大量かつ安価なカーボンフリー水素製造に必要な技術開発を支援
- 安全性・経済性・サプライチェーン構築・規制対応を念頭に置いた開発支援を行いながら、技術開発・実証に参画

◆ 原子力は、実用段階にある脱炭素の選択肢。国内での着実な再稼働の進展とともに、海外（米・英・加等）で進む次世代革新炉開発に、高い製造能力を持つ日本企業も連携して参画し、多様な原子力技術のイノベーションを加速化していく。

	現状と課題	今後の取組
高温 ガス炉	開発・運転ノウハウの蓄積と実用化スケールへの拡張が必要 ・高温工学試験研究炉（HTTR）で950℃（世界最高水準）・50日間の高温連続運転を達成（JAEA）。安全性を実証。 ・日本企業が水素製造・発電コジェネプラント、蓄熱可能な発電用高温ガス炉などを開発中。 ・高温ガス炉と水素製造施設との接続技術の確立が必要。	HTTRを活用した試験・実証等 ・HTTRを活用し、安全性の国際実証に加え、2030年までに大量かつ安価なカーボンフリー水素製造に必要な技術開発を支援。 ・安全性・経済性・サプライチェーン構築・規制対応を念頭に置いた開発支援を行いながら、技術開発・実証に参画。海外の先行プロジェクトの状況を踏まえ、海外共同プロジェクトを組成していく。 ・日本の規格基準普及に向けた他国関連機関との協力を推進。

原子力小委・革新炉ワーキンググループ

- 資源エネルギー庁は7月29日、2030年代に安全性を高めた次世代軽水炉の商用運転開始を目指すとした原子力開発の技術ロードマップを提示。
- 革新炉開発戦略の策定に向け、軽水炉や小型モジュール炉（SMR）、高速炉、高温ガス炉など各炉型に対する評価結果を提示。
- 国内サプライチェーンの維持・強化や規制の予見性などの面から実現性が高いとして、高い安全機能を備えた次世代軽水炉の開発に最優先で取り組むべきとし、
- 原子力小委員会の革新炉ワーキンググループで、中間報告に向けた骨子案を提示。各炉型への評価結果と、開発に向けたロードマップを示した。

導入に向けた技術ロードマップ（高温ガス炉）

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

2020年

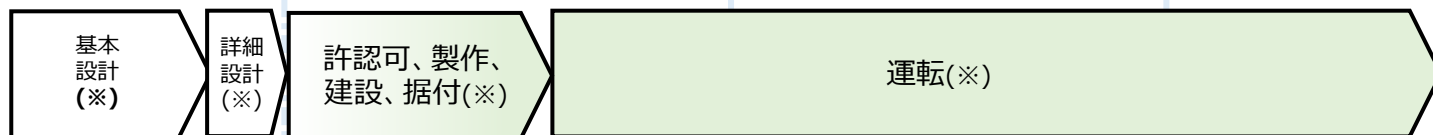
2030年

2040年

2050年

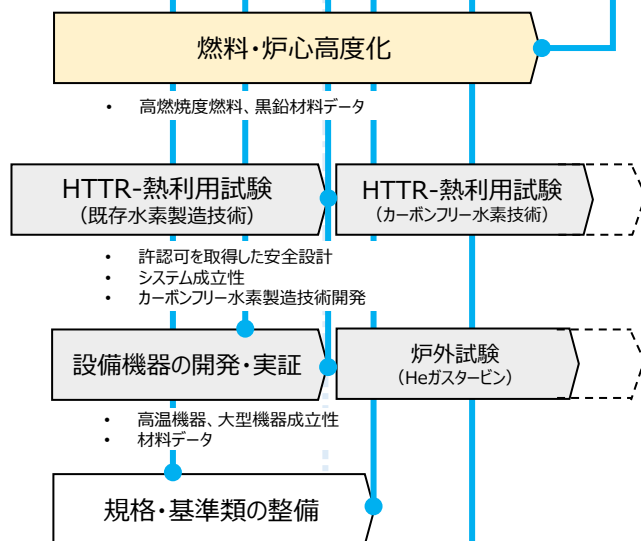
炉の建設・運転 【実証炉】

（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



これまでに得られた主な成果と実証炉に向けた課題（高温ガス炉）

● 実証炉（蒸気タービン発電＋既存水素製造技術）に必要な開発課題

項目	HTTR等を通して得られた成果	実証炉の課題
燃料	- 被覆燃料製造技術 - 照射性能把握 - 燃料特性・FP保持特性 - 燃料被覆破損機構	実用高温ガス炉燃料設計基準
黒鉛材料	- 製造技術 - HTTR黒鉛構造設計方針、HTTR黒鉛検査基準、供用期間中検査手法	実用高温ガス炉黒鉛構造民間規格化
金属・高温機器	- ハステロイXR及び原子炉圧力容器用材料データベース確立 - 高温ガス炉第1種機器の高温構造設計方針	- 材料データ取得 - 実用高温構造設計方針の民間規格化 - 設備機器の開発・実証 - 安全・燃料取扱・接続関連施設の性能及び製作性確証
炉工学	- 核設計計算コード - 核データ検証	- 炉心高度化 - 大型環状炉心解析技術開発
安全基準・事故時安全性	HTTRの安全基準及び安全評価手法	実用高温ガス炉の安全基準策定
使用済燃料・黒鉛廃棄物	前処理技術	- HTTR使用済燃料用いた前処理技術の確証 - 使用済燃料再処理技術開発
発電技術	- ガスタービン用圧縮機技術 - コンパクト熱交換器技術	
水素製造技術	- 連続水素製造試験による150時間連続運転（熱化学法ISプロセス） - セラミック設計方針策定（熱化学法ISプロセス） - 水蒸気改質技術	HTTR-熱利用試験
接続技術	—	- HTTR-熱利用試験 - 水素製造施設接続に係る安全設計・安全評価技術の確立 - 高温ガス炉水素製造システム運転制御技術確立

HTTRを用いた安全性試験

OECD/NEA LOFC安全性実証試験の内容

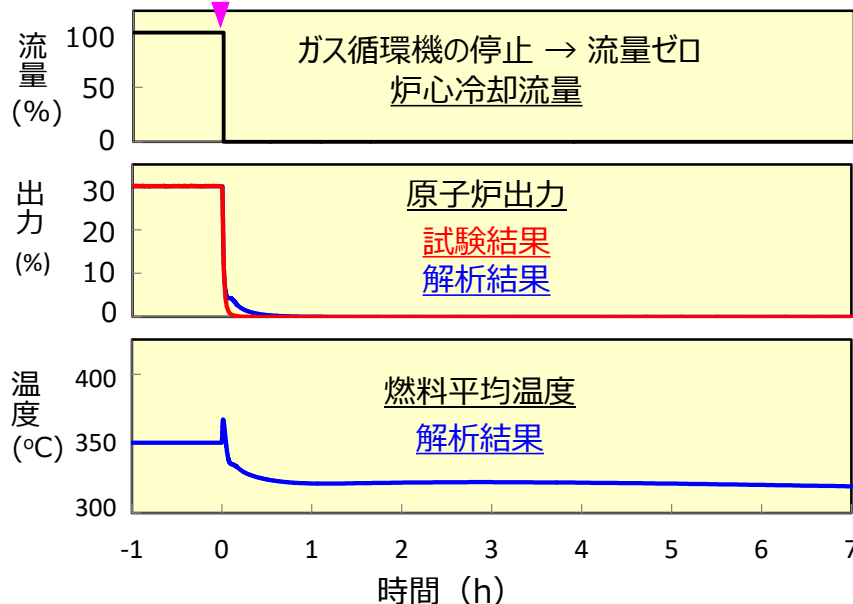
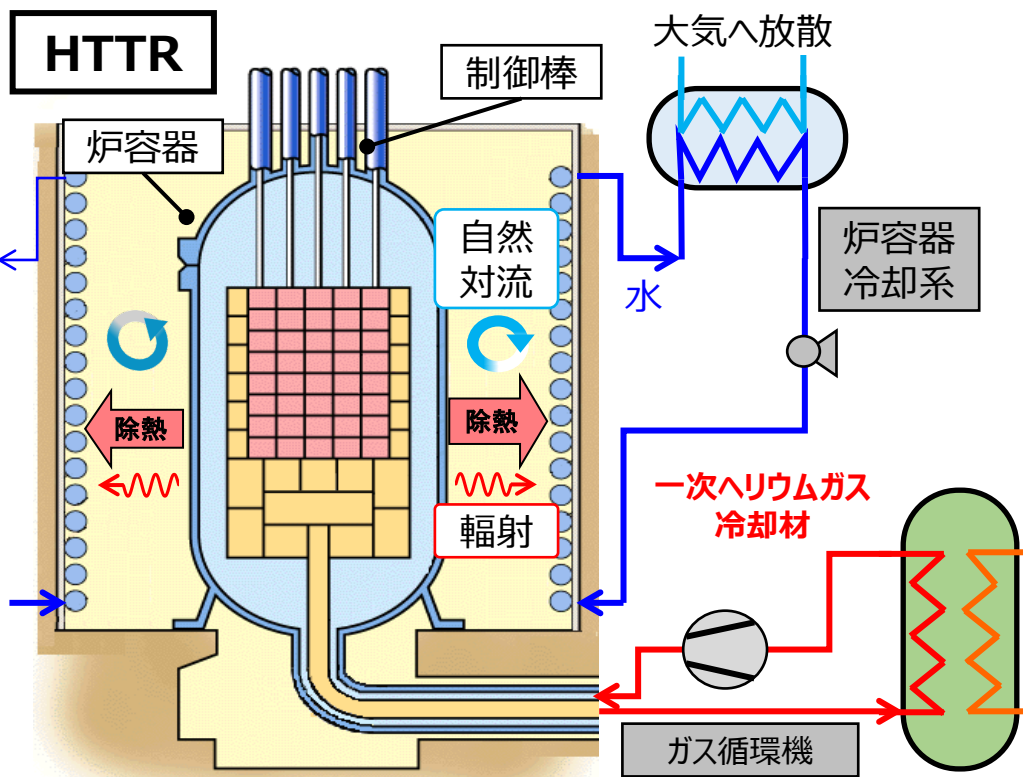
- ☒ 低出力 (30%(9MW))
(ガス循環機停止)
 - ☐ 高出力 (100%(30MW))
(ガス循環機停止)
 - ☒ 低出力 (30%(9MW))
(ガス循環機 + 炉容器冷却系停止)
- 炉心流量喪失試験 (Run1)** …… **完了** (平成22年度)
- 炉心流量喪失試験 (Run2)** …… 令和4年度以降実施予定
- 炉心冷却喪失試験 (Run3)** …… **完了** (令和3年度)

炉心流量喪失試験 (Run1) の試験条件

- 初期出力30% (9MW)
- 炉心冷却流量の停止
- 炉容器冷却系の運転継続
- 停止操作 (制御棒挿入) なし

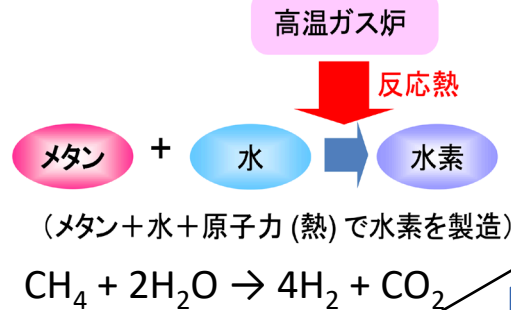
試験結果 (Run1)

**制御棒挿入せずとも、強制的に冷却せずとも
物理現象のみで、原子炉が
自然に静定・冷却されることを確認**



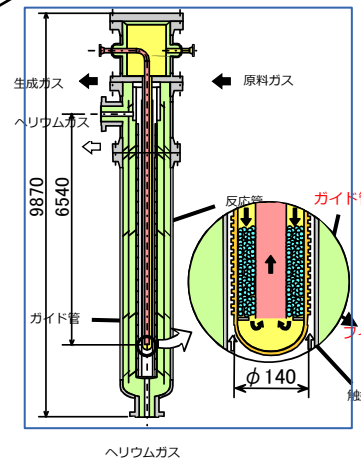
水蒸気改質水素製造技術開発

- 実規模 (HTTR用) のHeガス熱交換型反応器を開発
(H10~13 機器製作、据付)
- 高温ガス炉を模擬した高温ヘリウムガスを熱源として安定した水素製造を達成
(H13~16 水素製造試験 (7回))

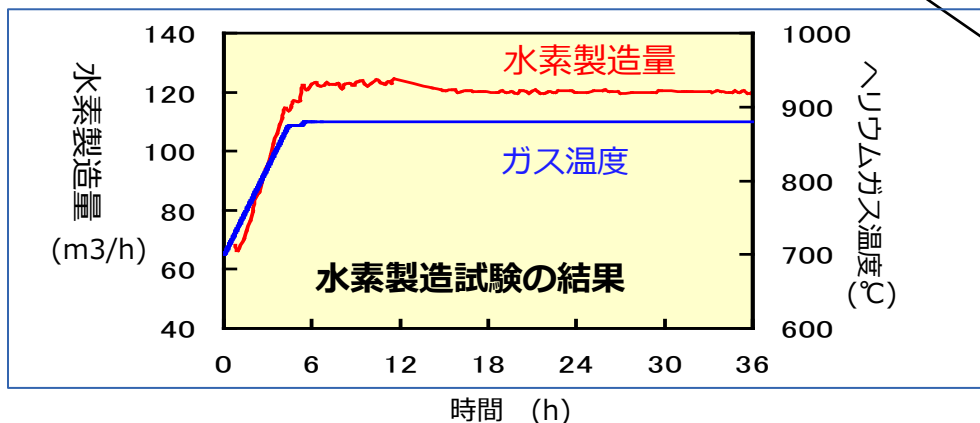


Heガス熱交換型
反応器(水蒸気改質器)

高さ9.9m
直径0.9m



ガイド管とフィン
で高温Heガスから
反応器への熱伝
達を促進



蒸気発生器

長さ4.9m
直径1.2m



Heガス加熱器

高さ7.2m
直径1.0m

必要な開発課題と施設整備（高温ガス炉）

利用可能性

○整備済み（利用可能）

△整備中

● 実証炉（蒸気タービン発電＋既存水素製造技術）に必要な開発課題

	研究開発項目		研究開発に必要な施設	利用可能性	整備状況
高温 ガス炉	熱利用分野	高温ガス炉と水素製造施設の接続技術確立	水素製造施設【HTTR-熱利用試験施設】 （経産省委託費により水蒸気改質法施設設計中）	△	エネ庁の委託費により整備予定 第2回（炉技術） でご説明
	燃料分野	TRISO燃料製造再整備	→民間燃料メーカーへの委託により実施	△	技術実証済み、加工施設整備要 濃縮ウラン確保が課題、海外調 達可
	再処理分野	TRISO燃料再処理試験	CPFもしくはNUCEF-BECKY （HTTR-SFの破碎、溶解、PUREX法適用試験）	△	未照射燃料の破碎試験済み、セル内機器の整備要
	炉心燃料・材料分野	ホット試験	グローブボックス（空気・不活性雰囲気） ホットセル（空気・不活性雰囲気）	○	NUCEF、CPF、Puセンター、FMF を利用した試験が可能
		中性子等照射場	試験研究炉		JRR-3：照射場提供には施設のアップデートが必要（照射量が少ない）

第3、4回（燃料、再処理技術）でご説明

必要な開発課題と施設整備（高温ガス炉）

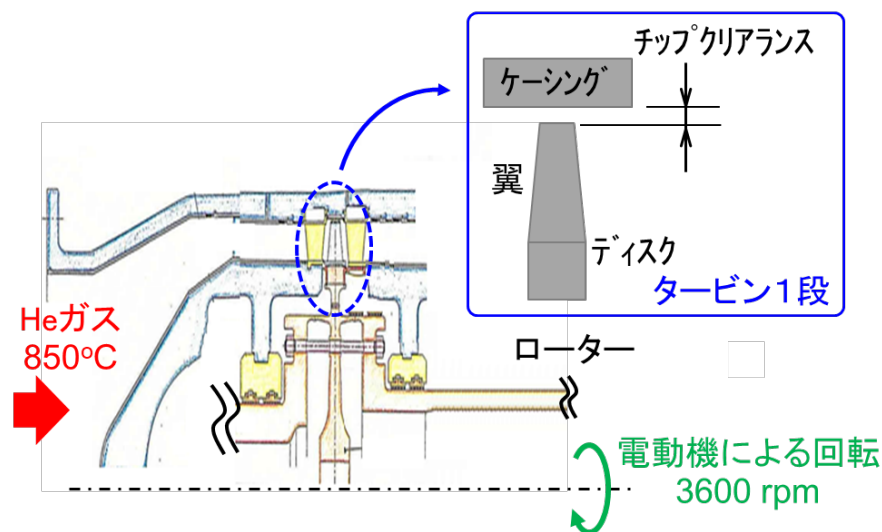
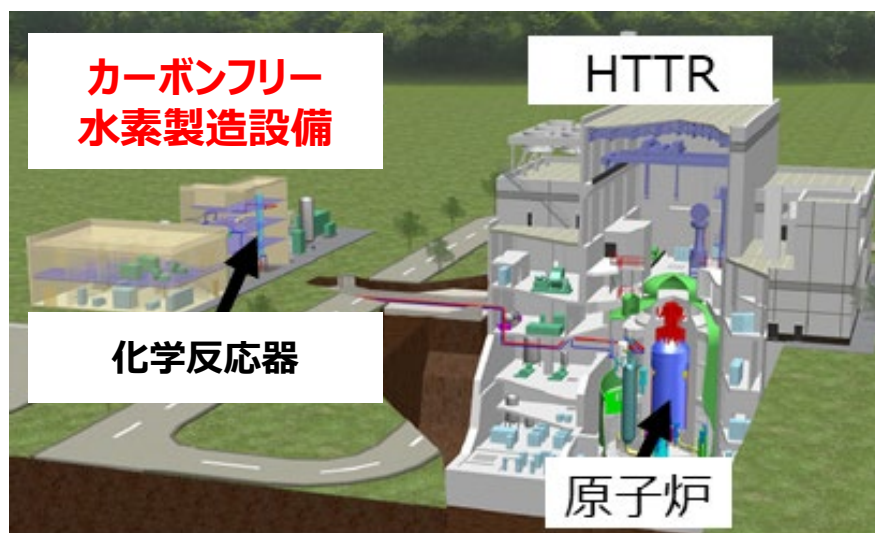
利用可能性
△整備中
×未整備（新規案件）

- 実証炉（ガスタービン発電＋カーボンフリー水素製造技術）に必要な開発課題

	研究開発項目		研究開発に必要な施設	利用可能性	整備状況
高温 ガス炉	熱利用分野	カーボンフリー水素製造技術開発	カーボンフリー水素製造施設*【HTTR-熱利用試験施設】	△	エネ庁の委託費により整備予定
		ヘリウムガスタービン発電技術の確立	ヘリウムガスタービン炉外試験装置	×	未整備

第2回
(炉技術)
で説明

*IS 法や高温水蒸気電解等を含む超高温熱を活用したカーボンフリー水素製造施設



ヘリウムガスタービン炉外試験

高速炉、高温ガス炉に共通の 基盤技術整備 (評価手法の整備)

イノベーションを支える技術基盤整備—ARKADIA



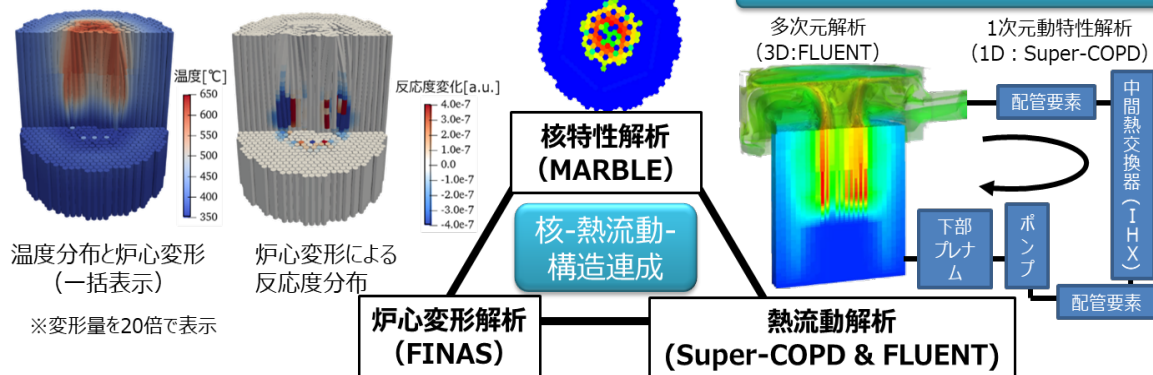
統合評価手法の名称

「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

- 安全審査に使用する解析コード群の整備
- 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