

高速炉/高温ガス炉の国内外動向

令和7年12月11日

資源エネルギー庁原子力政策課

1. 高速炉の最新動向

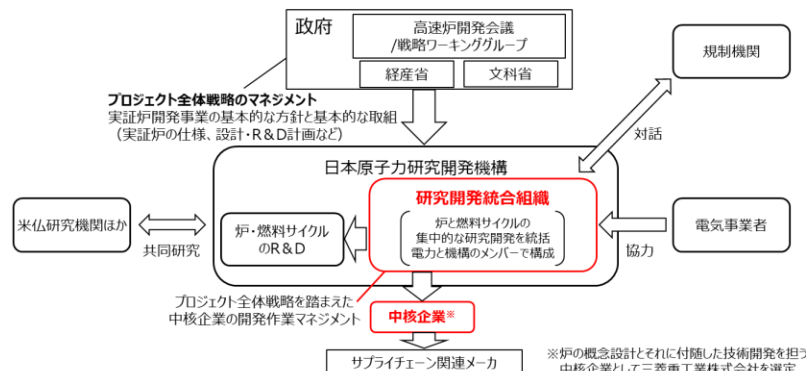
2. 高温ガス炉の最新動向

高速炉実証炉開発事業

常陽やもんじゅを通じて技術的成立性を確認してきた**高速炉**について、経済性等も含めた実用化の見通しを得るため、**GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を2023年9月から実施**

事業の概要

- **実施者：JAEA（研究開発統合組織）、三菱重工業株式会社（中核企業）**



- **令和8年度概算要求額：572億円**
(国庫債務負担行為要求額 687億円)
※これまでの予算措置額：1,714億円（2023～27年度）

■ 主な実証炉の仕様

- ✓ 炉概念：**ナトリウム冷却高速炉**
- ✓ 出力：**60万kWe級**



【実証炉イメージ】

主な取組内容 ※研究開発は次ページ

■ 国際連携

- ✓ 2026年度頃の燃料技術検討に向けた、**日米**の金属燃料に関する技術協力
- ✓ **日仏**の実証炉に関するR&D、設計レビュー協力

■ 規制との共通理解の醸成

- ✓ 新たな安全メカニズムを組み込んだ高速炉の**安全確保の在り方**を原子力学会にて議論
- ✓ JAEAが**原子力規制庁と実証炉に関する意見交換**（テーマの例）
 - ・ シビアアクシデント手法
 - ・ 高速炉における免震技術

今後のスケジュール

- 2024年度～2028年度：実証炉の概念設計・研究開発
- 2026年度頃：燃料技術の具体的な検討
- 2028年度頃：基本設計・許認可手続きへの移行判断

高速炉実証炉開発における研究開発の全体像

- ◆ 高速炉の新たな安全メカニズムに係る先端技術（空冷での安定冷却、免震技術等）の開発
- ◆ 原型炉から実証炉へのスケールアップに伴い大型化する主要設備の製作技術の実証や材料試験等を実施

原子炉設計・免震

- タンク型※炉原子炉容器の設計成立性確認 ※もんじゅはループ型
- 高速炉特有の免震システムの開発

燃料の研究開発・製造・サプライチェーン

- 2026年度の燃料技術検討に向けた、MOX燃料・金属燃料の性能等評価
- 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に向けたMA含有燃料製造・燃焼技術
- 高速炉特有の被覆管等のサプライチェーン構築

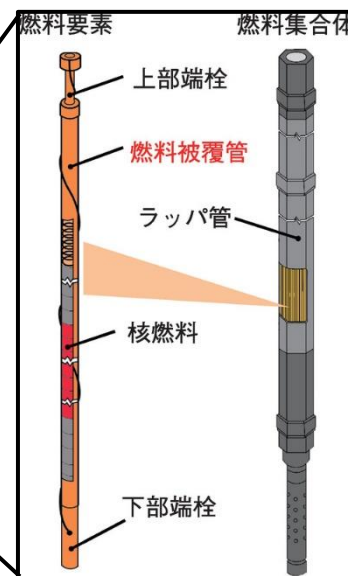
冷却系・ナトリウム技術

- 大型化・高性能化した主要機器（ポンプ、熱交換機）の実証
- ナトリウムと水の化学反応に関する評価
- 不透明のナトリウム内で炉内構造物等の状況を目視可能にするセンサ開発

原子炉



燃料



照射／照射後試験技術

- 実証炉燃料の照射
- 高速炉の効果を更に高めるため、高燃焼度化、MA含有燃料の照射



常陽・照射後試験施設

安全性向上・安全性評価技術

- 新規規制基準、国際的安全基準への対応に向けたデータ取得や評価技術の開発
- 動力を必要としない安全システム（受動炉停止、自然循環崩壊熱除去）の開発
- 事故時の炉心損傷の影響緩和を考慮した設計

高速炉再処理

- Pu富化度の高い燃料の再処理、臨界管理（湿式／乾式）
- MA分離・回収技術（放射性廃棄物の減容化・有害度低減）

高速炉 海外の動向



- ✓ 仏国エネルギー政策ロードマップである第3次エネルギー多年度計画(PPE)について、PPEの内容をより具体化するため、マクロン大統領が議長を務める原子力政策会議をこれまでに4回開催。
PPEで掲げられた「**高速炉と関連する燃料サイクル施設をフランスに設置するためのロードマップ策定**」に向けて、ステークホルダー(CEA、EDF、フラマトム社、オラノ社)に検討指示が出された。
- ✓ 2014年、日仏政府間で**高速炉開発に係る協力の合意文書を締結**。日本の実証炉開発の進展を反映した形で、**2024年9月に合意文書を改定・期間延長**。共同研究や設計レビューを通じて、**実証炉開発に仏国での開発実績及び運転経験を反映していく**。



- ✓ **トランプ大統領は、2025年5月23日、原子力に関する大統領令を4本公表※**。
※①原子力産業基盤の再活性化、②DOEにおける原子炉試験に係るプロセスの改革、③原子力規制委員会(NRC)の改革、④国家安全のための先進的な原子炉技術の導入
- ✓ 大統領令に基づきDOEが**先進炉および燃料製造ラインのパイロットプログラム**を開始。同プログラムで、高速炉**オーロラ(1.5-75MWe)**を開発する**ChatGPTのサム・アルトマン氏(OpenAI創業者)**が会長を務める**オクロ社**を支援。
- ✓ DOEの**先進炉実証プロジェクト(ARDP)**において、**ビルゲイツ氏の出資するテラパワー社**が開発する**ナトリウム冷却高速炉Natrium(345MWe)**を支援。
- ✓ 2024年1月、**アルゴンヌ国立研究所・JAEA・電中研・MHI・MFBR間で高速炉の金属燃料等に関する共同研究契約(通称CRADA)に合意**。2026年度の燃料検討に向け、**米国の金属燃料に関する技術情報を受け取る計画**。



- ✓ ロシア技術の輸入により**実験炉CEFRを運転中**。
- ✓ **実証炉CFR600(600MWe)**は、1基目が2017年に建設を開始し、2023年に運転予定となっている(現在、中国当局から追加の発表なし)。2基目は2020年12月に建設を開始しており、2028年までに運転開始予定。
- ✓ **2030年代に実用炉CFR1000(1200MWe)を運転開始予定**。



- ✓ **原型炉BN-600、実証炉BN-800を運転中**。**2035年頃に商用炉BN-1200Mを導入予定**。
- ✓ **燃料サイクル(燃料製造、再処理)の技術開発も活発**、2030年頃の**クローズド燃料サイクル実用化を目指す**。

米国における高速炉開発の動向

テラパワー社

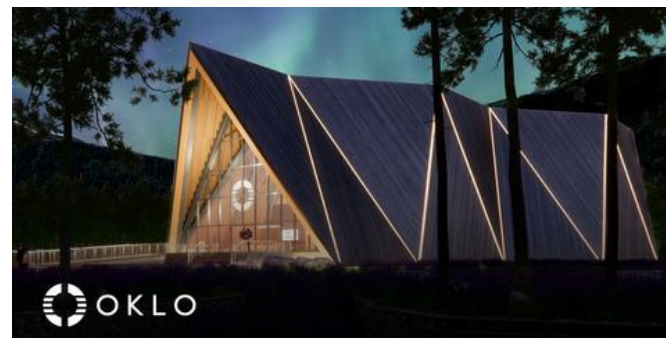
- 「Natrium」は、電気出力34.5万kWで溶融塩を用いたエネルギー貯蔵システムを備えるナトリウム冷却高速炉。2030年の初号機運転開始を目指す。
- 2024年6月、ワイオミング州ケメラーにて初号機の起工式を挙行政。現在、非原子力部の工事が進められている。
- トランプ大統領令を受け、米原子力規制委員会は、建設許可申請(CPA)の審査完了予定を当初の2026年6月末から前倒して2025年末とし、12月1日付で同審査が完了。
- 燃料は金属燃料を想定。(米)ASPアイソトープ社やセントラス社、(仏)フラマトム社など複数社とそれぞれ覚書等を締結している。
- テラパワー社とは、日本原子力研究開発機構(JAEA)・三菱重工業(MHI)・三菱FBRシステムズ(MFBR)との間で協力関係にある。



「Natrium」の完成イメージ図
(出所：テラパワー社HP)

オクロ社

- 「オーロラ」は、電気出力0.15万kW、7.5万kWで実験炉「EBR-II」の設計と運転をベースとしている。2027年末までに初号機運転開始を目指す。
- DC向けの供給源として、1,400万kWの受注残。
- 2025年9月、アイダホ国立研究所(INL)サイトで初号機の起工式を挙行政。
- 建設運転一括許可(COL)申請のフェーズ1に関する事前審査を完了。年内に同許可の申請を予定。
- 燃料は金属燃料を想定。初装荷燃料は国研のINLから提供を受ける予定。また、(米)ライトブリッジ社と燃料製造と再処理に関する協力を模索するための覚書を締結。(2025年1月)



「オーロラ発電施設」の完成イメージ図
(出所：オクロ社HP)

1. 高速炉の最新動向

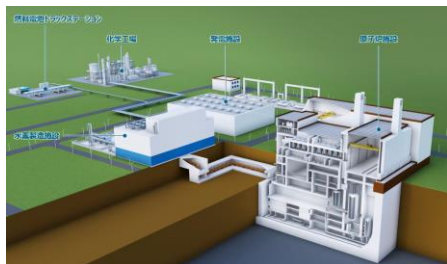
2. 高温ガス炉の最新動向

高温ガス炉実証炉開発事業

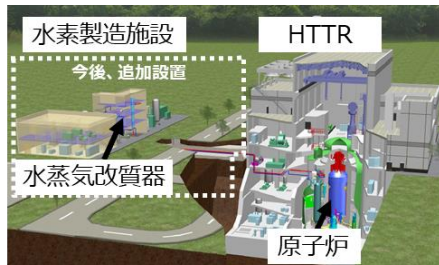
HTTRを通じて技術的成立性を確認してきた**高温ガス炉**について、HTTRを活用した水素製造に挑戦するとともに、経済性等も含めた実用化の見通しを得るため、**GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を2023年8月から実施**

事業の概要

- **実施者：JAEA（HTTR水素製造試験）、三菱重工業株式会社（中核企業）**
- **令和8年度概算要求額：628億円**
（国庫債務負担行為要求額 114億円）
※これまでの予算措置額：1,970億円（2023～27年度）
- **主な実証炉の仕様**
 - ✓ 出力：**20万kWt級**
 - ✓ 出口温度：**約900℃**
 - ✓ 水素製造法：**水蒸気改質法もしくはカーボンフリー水素製造法（熱SOEC法、メタン熱分解法、IS法）**



【実証炉イメージ】



【HTTRへの水素製造施設接続イメージ】

主な取組内容

※研究開発は次ページ

- **国際連携**
 - ✓ 英国の実証炉プログラムにおける、**日英連携による炉と燃料の研究開発** 等
- **規制との共通理解の醸成**
 - ✓ HTTRでの水素製造試験に向け、**2025年3月、JAEAは原子力規制委員会に原子炉設置変更許可を申請**。水素製造時の高温ガス炉への影響や炉規法で扱う範囲を審査中
 - ✓ 固有の安全性を踏まえた**安全確保の在り方を原子力学会にて議論**

今後のスケジュール

2023年度～2030年度：実証炉の設計・研究開発

2028年度：HTTRを活用した水素製造試験開始

高温ガス炉実証炉開発における研究開発の全体像

- ◆ 高温ガス炉の高温熱を用いた準国産のカーボンフリーの水素や熱の供給に向けた先端技術（カーボンフリー水素製造法、炉と水素製造施設の接続技術等）の開発
- ◆ 実証炉へのスケールアップに伴い大型化する主要設備の製作技術の実証や材料試験等を実施

原子炉と水素製造施設の接続

高温ガス炉と水素製造施設を高い安全性で接続する技術の確立

- **高温隔離弁**
原子炉施設と水素製造施設の隔離（水素製造施設に異常が発生した場合に閉止、水素製造施設を原子炉施設から隔離）
- **高温断熱配管**
原子炉からの高温Heガスを効率良く水素製造施設に輸送するための配管

受動的冷却システム

動的機器を用いない水の循環により、炉心の熱を原子炉容器表面を通じ冷却

原子炉

- 炉心の大型化に伴う炉内構造物の製作技術実証
- 熱流動や事故進展のシミュレーションに用いる解析コード検証試験
- 規制・規格基準対応を見据えた材料データ取得

燃料

- 放射性物質の放出を抑制する被覆燃料粒子の製造技術
- 高温ガス炉向けHALEU燃料の濃縮技術

カーボンフリー水素の製造

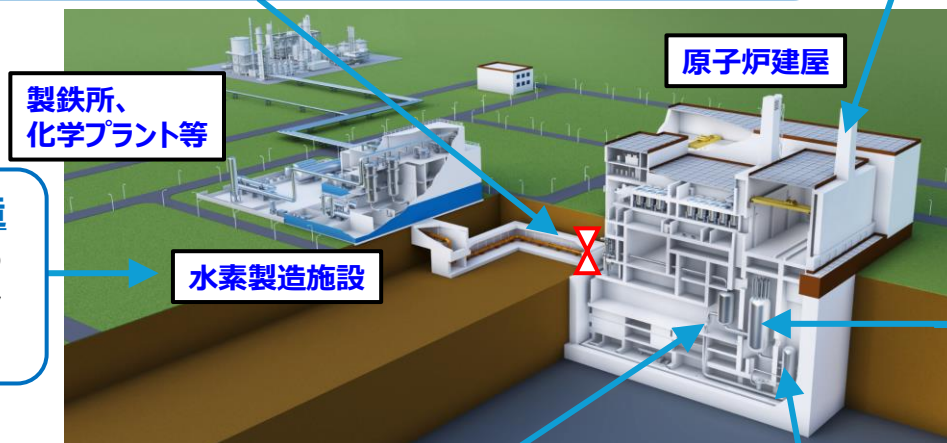
高温ガス炉から出力される 高温熱を活かした**カーボン フリーな水素製造の実証**

中間熱交換器

高温ガス炉の**高温熱を水素製造施設側に伝達**（大型化に伴う製作技術実証、**耐高温材料の長期間材料データ取得**）

He循環機

Heガスを強制循環させ、炉心冷却・熱取り出しを行う（大型化に伴う製作技術実証）



高温ガス炉に関する茨城県の要望



③-2 本県の臨海部におけるカーボンニュートラル(CN)の推進(高温ガス炉の実証炉開発・建設の促進)

現状・課題

- 「高温ガス炉」について、準国産の水素を製造できる技術として、カーボンニュートラルへの貢献が期待
- 本県に立地するHTTR(研究炉)では、水素製造技術を確立するための研究開発が進行中
- HTTRによる水素製造の成功は、将来的に本県が水素供給に大きな優位性を持つ可能性
- 国は、2030年代後半の実証炉運転開始を目指しているものの、実施主体・設置場所の選定に至っていない

要望内容

- 高温ガス炉の実証炉開発・建設は、HTTRにおける研究開発の成果を活用しながら並行して進めていくもの
⇒ **現在の研究開発体制・成果・立地を最大限活かすことができるとともに、臨海部などに大きな水素需要が見込まれる茨城県内に実証炉を設置すること**
- 2050年カーボンニュートラルの実現に資するには、2030年代後半の実証炉運転開始目標を着実に達成する必要
⇒ **実施主体及び設置場所の早期選定に向けた議論を加速すること**

高温ガス炉

- ・高温熱によりカーボンフリーな水素を製造できることから、製鉄や化学などの素材産業における活用が期待

スケジュール

(実証炉)

- 2023～ 基本設計
- 2028～ 詳細設計
- 2030～ 製作・建設
- 2030後半 運転開始

(商業炉)

- 2050代 運転開始



高温ガス炉 海外の動向



- ✓ 2050年までのネット・ゼロ実現に向けて、**水素製造や産業プロセスなどへ高温熱を供給**できるよう、**2030年代初頭の高温ガス炉実証炉建設を目指す**。
- ✓ 実証炉の**建設候補地**は、イングランド北東部に位置する**ハートルプール**（英国の主要な工業地帯の一つ）。本実証プロジェクトには、**JAEAが英国国立原子力研究所(UKNNL)とチームで参画**（2022年9月～）。
- ✓ 本年9月に締結の英米間の原子力エネルギー協定を受け、X-Energy社とCentrica社は、ハートルプールに最大12基の先進モジュール炉の建設を計画。英国全土で6GWの原子力発電所の建設を目指す。



- ✓ 2009年設立の**X-energy社**が、高温ガス炉（Xe-100）の開発を推進。熱出力20万kWt、出口温度750℃。
- ✓ X-energy社と組みXe-100（8万kWe）を4基備えたプラントの2030年初頭の運転開始を目指す**米国化学メーカーDow社は、テキサス州シードリフト市を建設予定地に選定**（2023年）。米国原子力規制委員会（NRC）に**建設許可を申請**（2025年3月）、2026年末までに審査完了の見込み。
- ✓ 当該プロジェクトは、米国エネルギー省（DOE）の革新炉実証プログラム（ARDP）により、プロジェクト総額約25億ドル（3,750億円）の約50%の支援を受けている。



- ✓ 脱炭素化に向けた石炭火力の代替として、化学産業の熱源として高温ガス炉の利用を想定し、原子力機構（JAEA）と協力して、研究開発を行っている。
- ✓ **文部科学省－ポーランド気候・環境省間で研究開発に係る協力覚書**（2023年）、**経済産業省－ポーランド産業省間で高温ガス炉を含む原子力分野における二国間協力の強化を目的とした協力覚書**（2024年11月）を締結。



- ✓ 山東省 華能山東石島湾原子力発電所の**実証炉HTR-PM**（出口温度750℃）は**2023年12月6日**、168時間の連続運転試験を完了、**正式に本格運転を開始**。2024年3月からは、地域暖房プロジェクトも開始。
- ✓ **実用炉HTR-PM600S**（出口温度750℃）の初号機は、江蘇省に建設、2026年着工、2030年商業運転開始を予定。同サイトに軽水炉（華龍一号）も2基建設される予定。サイト近隣の化学工場への電力と高温蒸気の併給を計画。

米国における高温ガス炉開発の動向（X-Energy×Dow）

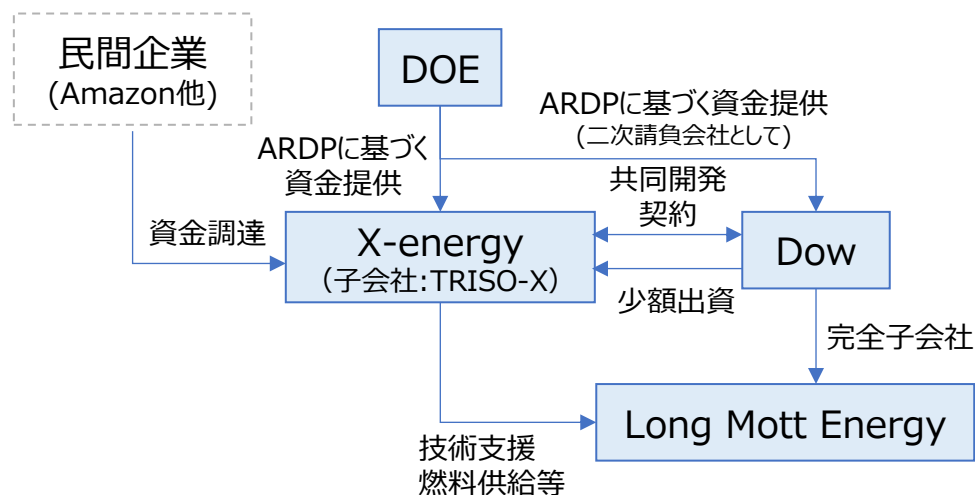
- 米国大手化学メーカーDow社のテキサス州シードリフトの化学工場内に、Xe-100を4基導入の計画。2030年代初頭の運転開始を目指す。同工場内の老朽電源及び蒸気製造設備の代替を目的とするもの。
- 米国エネルギー省（DOE）の革新炉実証プログラム（ARDP）により、プロジェクト総額約25億ドル（3750億円※）の約50%の支援を受けている。
- Dow社の完全子会社「Long Mott Energy」がX-energy社と連携して、プロジェクトを推進。
- 2025年3月、米国原子力規制委員会（NRC）に建設許可を申請。NRCは2026年11月までに審査を完了させる見込みとしている。
- 燃料はTRISO燃料を想定。2022年10月、テネシー州オークリッジにて燃料製造施設の起工式を開催。

<Dow シードリフト工場 イメージ>



（出所）X-energy社HP

<開発体制図>



（出所）報道等を基に資源エネルギー庁作成