

高速炉の実証炉開発について

令和6年3月7日
資源エネルギー庁

原子力政策における高速炉の位置づけ

エネルギー基本計画（令和3年10月22日 閣議決定） ※高速炉関係部分抜粋

5. (6) ③(b)(ア)再処理やプルサーマル等の推進

あわせて、使用済MOX燃料の処理・処分の方策については、使用済MOX燃料の発生状況とその保管状況、再処理技術の動向、関係自治体の意向などを踏まえながら、引き続き2030年代後半の技術確立を目途に研究開発に取り組みつつ、検討を進める。また、「**高速炉開発の方針**」（2016年12月原子力関係閣僚会議決定）及び「**戦略ロードマップ**」（2018年12月原子力関係閣僚会議決定）の下、**米国や仏国等と国際協力を進めつつ、高速炉等の研究開発に取り組む。**

もんじゅについては、「もんじゅの廃止措置に関する基本方針」（2017年6月「もんじゅ」廃止措置推進チーム決定）に基づき、安全の確保を最優先に、着実かつ計画的な廃止措置に責任を持って取り組む。その際、立地地域の住民や国民の理解を得るための取組を引き続き進めることとし、廃止措置と並行して、国は地元の協力を得ながら、福井県敦賀エリアを原子力・エネルギーの中核的研究開発拠点として整備していく。もんじゅにおいてこれまで培われてきた人材や様々な知見・技術に加え、廃止措置中に得られる知見・技術については、将来の高速炉研究開発において最大限有効に活用する。

高速炉開発会議 戦略ロードマップ（令和4年12月23日 原子力関係閣僚会議決定）

1. (4) ②高速炉開発の意義

※「高速炉開発の意義」一部抜粋

高速炉を活用することで、原子力の最重要課題の一つである放射性廃棄物の問題に対処し、原子力全体を循環型エネルギーとすることが可能である。使用済燃料に含まれる高放射性の**プルトニウムやマイナーアクチノイドを分離・回収し、高速炉で燃焼させることにより、高レベル放射性廃棄物の減容と潜在的有害度低減を実現できる。**ナトリウム冷却高速炉の場合、高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度が自然界並みに低減する期間が10万年から300年に、廃棄物体積も直接処分の約1/7となる可能性が指摘されている。**中長期的には資源の有効利用も可能であり、昨今のウクライナ情勢で燃料の安定供給に係る地政学リスクが顕在化しているところ、エネルギー安全保障の確保にも貢献する。**現時点では我が国においては当面のウラン資源を確保できているものの、今後の、資源の需給バランスの不確定性は大きく、オプションを確保することが重要であり、高速炉を活用すれば国内にある劣化ウラン等を再利用することによってエネルギーの自立に大いに貢献でき、天然ウランの輸入を限定的若しくは不要にできる可能性がある。

脱炭素成長型経済構造移行推進戦略（GX推進戦略）（令和5年7月28日 閣議決定）

2.(2)3) 原子力の活用

※原子力関係部分抜粋

エネルギー基本計画を踏まえて原子力を活用していくため、原子力の安全性向上を目指し、**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。**そして、**地域の理解確保を大前提に、廃炉を決定した原発の敷地内での次世代革新炉への建て替え**を対象として、六ヶ所再処理工場の竣工等のバックエンド問題の進展も踏まえつつ具体化を進めていく。

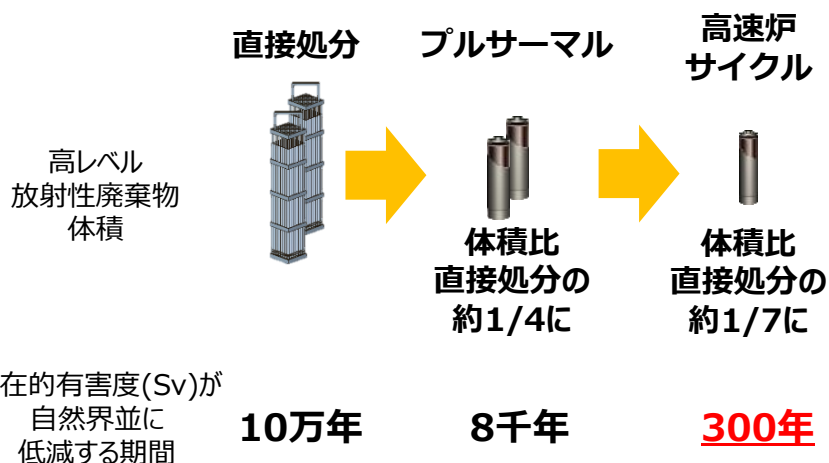
高速炉による廃棄物・資源問題解決への貢献

- 核燃料サイクルは、①高レベル放射性廃棄物の減容化、②有害度低減、③資源の有効利用等の観点から、引き続き推進することが重要。
- **高速炉**では、高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度が自然界並に低減する期間が**10万年から300年**にすることや、資源の有効利用も可能であり、**核燃料サイクルの効果をより高める可能性**。

高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減

高速炉サイクル

マイナーアクチノイド（MA）燃焼等でナトリウム冷却高速炉が米加で脚光を浴びる。

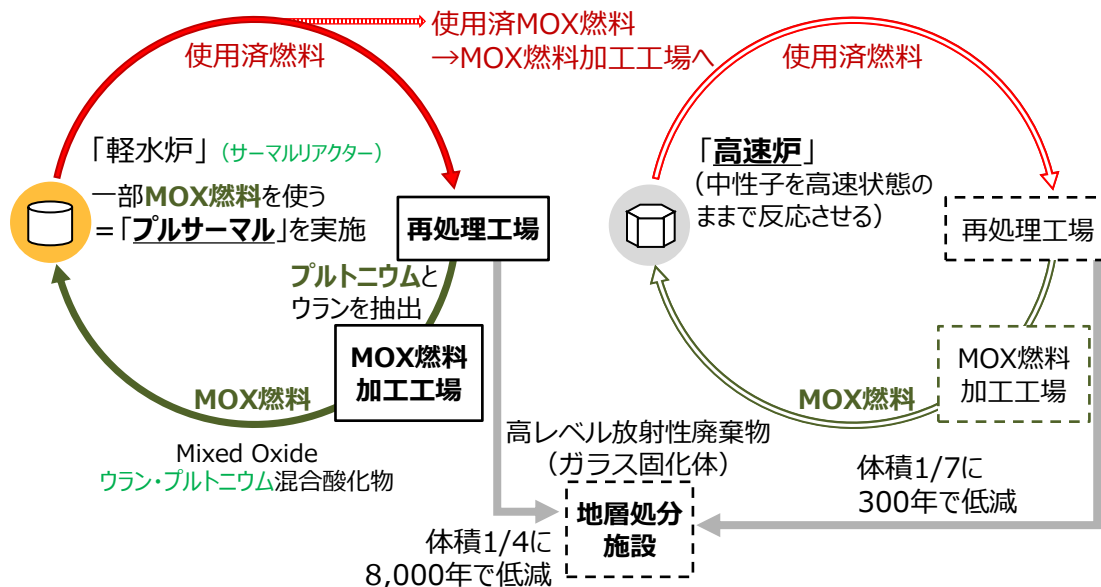


資源の有効利用

使用済燃料の再処理を経て製造した燃料を、軽水炉（プルサーマル）や高速炉で利用することで、資源を有効利用。

軽水炉サイクル

高速炉サイクル

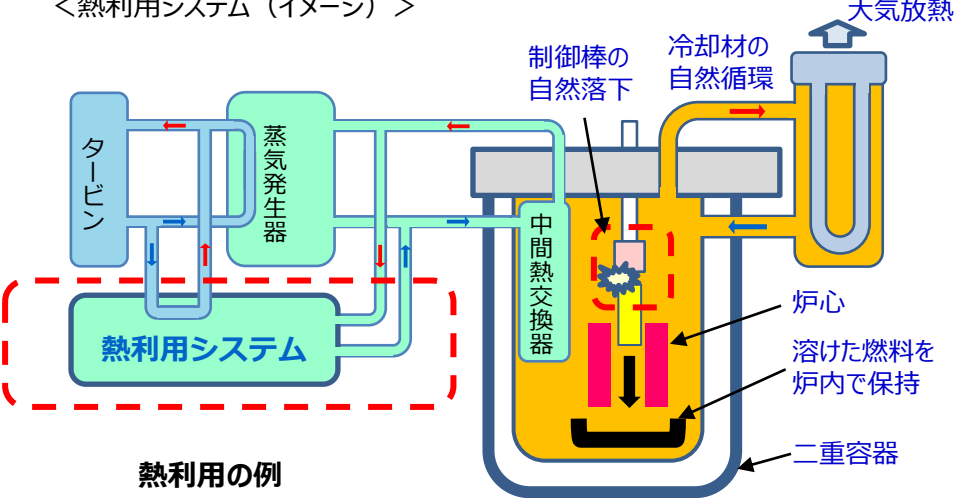


ナトリウム冷却高速炉の特徴

- <定義> ● **高速中性子**により、核分裂連鎖反応が維持される原子炉
- <利点> ● 優れた**安全性**（自然に止まる・冷える・確実に閉じ込める）
- **資源の有効利用**、Pu・MA※燃焼により高レベル放射性廃棄物の**減容化、有害度低減**
※マイナーアクチノイド：半減期が長く、強い放射線を発する
- ほぼ常圧であるため、薄肉構造が可能。また、液位確保が容易（→ 安全性向上）
- <課題> ● 化学的に活性な**金属ナトリウムの取扱い**
- 日本が国際安全基準の議論をリードするも、我が国の**安全規制等の整備**に時間を要する
- 多岐に渡る実証、**MAを含有したMOX燃料製造技術等の開発**

熱利用

<熱利用システム（イメージ）>

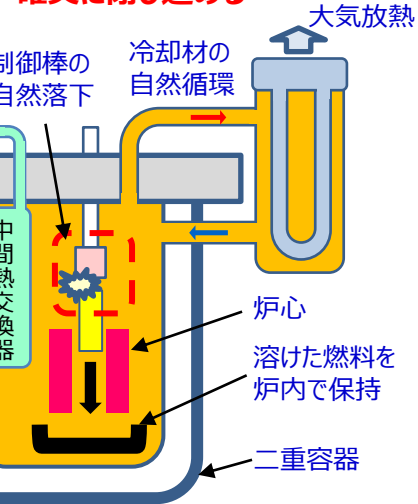


熱利用の例

低温利用	海水淡水化、地域暖房
高温利用	水素製造、熱貯蔵

優れた安全性

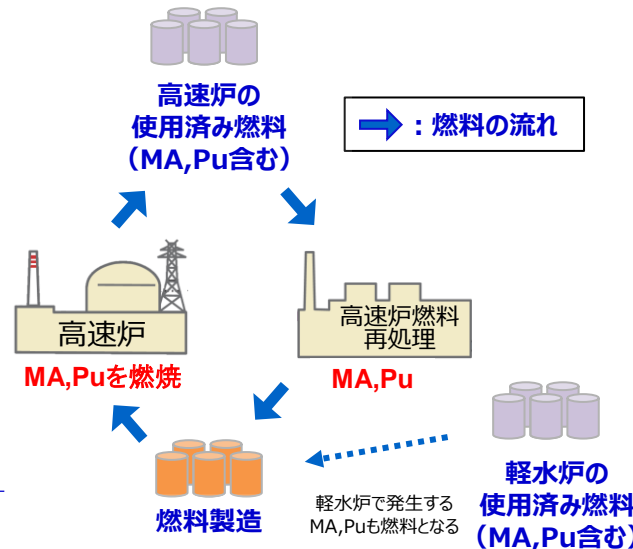
自然に止まる、自然に冷える
確実に閉じ込める



ほぼ常圧（軽水炉は70～150気圧）
冷却材が漏れても、外側容器等
（二重構造）で容易に保持可能

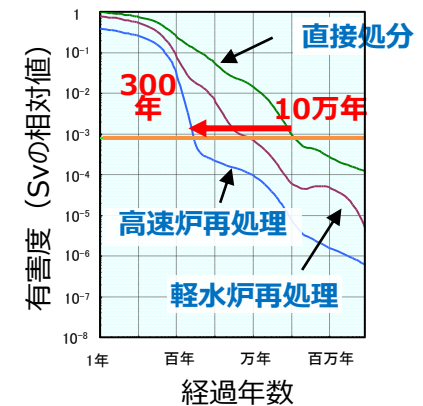
資源の有効利用

長期にわたり天然ウラン供給が不要
（3000年以上**のエネルギー供給が可能）



廃棄物の有害度低減

低減期間の短縮
約300年 ← 約10万年



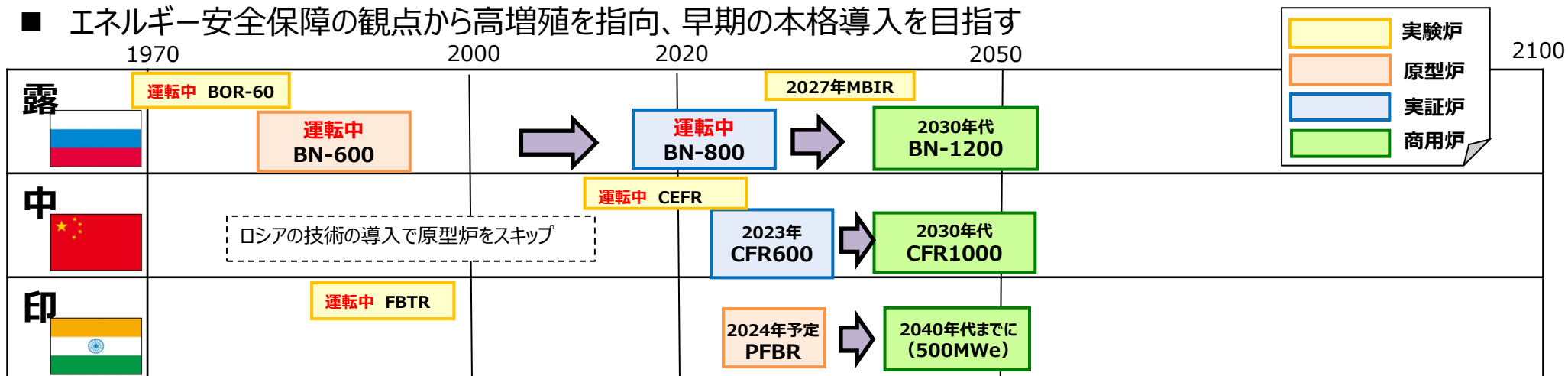
— 1年間の軽水炉運転に必要な天然ウランの有害度に相当

※※ 出典：OECD/NEA
Nuclear Energy Outlook2008

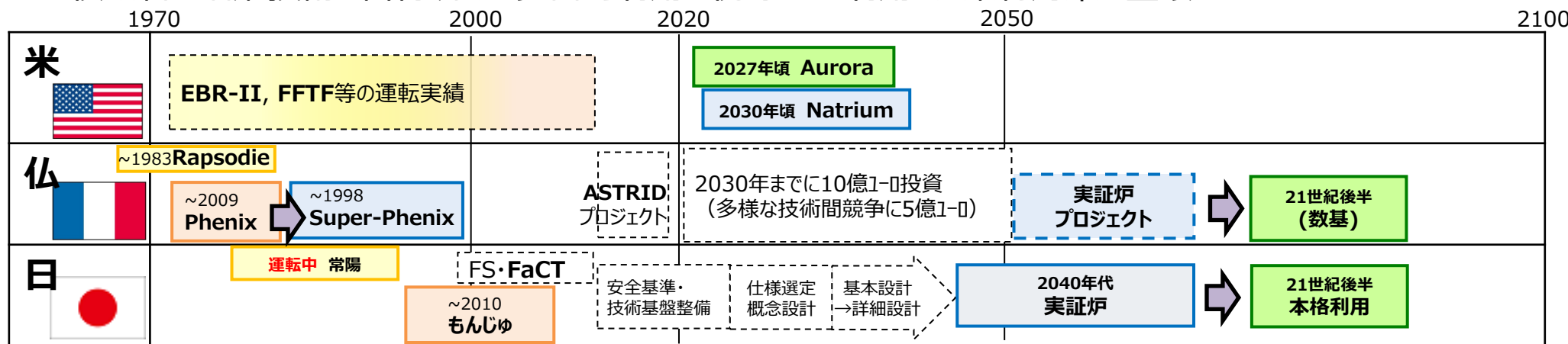
(参考) 世界の高速炉開発状況

- ロシアでは2015年に実証炉が稼働、中国では2023年時点で実証炉が初臨界を予定していた。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）は2020年代後半の実証炉運転開始を目指して官民連携で果敢な挑戦。

■ 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



(参考) 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) の製造に活用することが可能。**
- 日本原子力研究開発機構 (JAEA) の**試験研究炉「JRR-3」**や**高速実験炉「常陽」**において、**RI製造が可能。**

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

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

	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

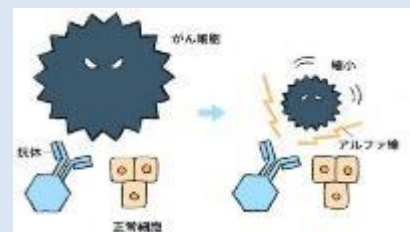


モリブデン (Mo-99) :
核医学検査でがん転移の発見等に利用

※JRR-3、常陽にて製造可能

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



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

※常陽にて製造可能

試験研究炉「JRR-3」

- 日本原子力研究開発機構 (東海村) にある研究用原子炉。
- 2017年新規制基準適合性にかかる許可取得。2021年運転再開。



高速実験炉「常陽」

- 日本原子力研究開発機構 (大洗研究所) にある高速実験炉。
- 1977年に臨界以降、40年間稼働。
- 2026年度半ばの運転再開を目指し、新規制基準対応のための設計及び工事の設置認可の申請と審査対応、安全対策工事を実施。



高速炉におけるサプライチェーンの状況

- 常陽・もんじゅの建設を通じ、国内に高速炉のサプライチェーンを構築してきた。
一方、その後**20年以上実機プロジェクトが途絶、過去に構築したサプライチェーンの一部に脆弱性。**
- 今後の炉型開発の見通しが立たない中で、サプライヤは、技術・人材の維持やサプライチェーンの再構築のための投資ができない状況。

常陽・もんじゅの建設により 国内サプライチェーンの構築に成功



★常陽

概念設計開始：1965年
建設開始：1971年
運転開始：1977年



★もんじゅ

予備設計開始：1968年
建設開始：1983年
運転開始：1995年（発電）

20年以上の
建設期間の空白



サプライチェーンが一部欠け、技術・人材の継承も 事業環境の見通しが立たず困難

高速炉サプライチェーン

- ✓ 一部の製鋼品、炉心の構成素材については新規の調達先の開拓が必要なものの、調達不可能な部素材は少ない。
- ✓ 高速炉特有のナトリウム関連機器(バルブ・ポンプ等)については、製造機会が少なく技術の伝承に苦戦。

<日本原子力産業のサプライチェーンの現状>

炉型	エンジニアリング	原子炉容器	蒸気発生器	大型鍛造品	炉内構造物	バルブ	ポンプ・循環機	タービン・発電機	燃料	サプライチェーンの特徴/現状
高速炉	●	○	○	◎	○	△	○ (機械式) △ (電磁式)	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> ✓ もんじゅ等の製造実績は海外展開に向け強み ✓ もんじゅ以降製造機会がなく、Na、炉心周り等の固有技術の承継に課題

◎：国内に供給サプライヤあり、海外市場でも一定の競争力
●：国内に供給サプライヤあり、海外市場では、炉型のエンジニアリングメーカーや現地サプライヤによる供給が一般的
○：国内に供給サプライヤあり、海外市場展開のポテンシャルあり
△：国内の既存サプライチェーンの一部に課題あり

高速炉実証炉開発事業開始までの経緯

2022年

7/27

第1回GX実行会議

⇒ 岸田総理「今後数年間危惧されている電力・ガスの安定供給に向け、再エネ・蓄電池・省エネの最大限導入のための制度的支援策や、原発の再稼働とその先の展開策など具体的な方策について、政治の決断が求められる項目を明確に示してもらいたい」

8/24

第2回GX実行会議

⇒ **再稼働、運転期間延長、次世代革新炉の開発・建設、バックエンドプロセスの加速化**などの論点を提示。
岸田総理「あらゆる方策について、**年末に具体的な結論を出せるよう、与党や専門家の意見も踏まえ、検討を加速**」

(第3回・第4回GX実行会議)

12/22

第5回GX実行会議

⇒ 西村GX実行推進担当大臣より、「GX実現に向けた基本方針」(案)を提示し、取りまとめ

2023年

2/10

GX実現に向けた基本方針 閣議決定

GX推進法案 閣議決定・国会提出 ⇒ **5/12 成立**

2/28

GX脱炭素電源法案 閣議決定・国会提出 ⇒ **5/31 成立**

3/14～
4/21

戦略ロードマップに基づく実証炉の概念設計の対象となる
炉概念の仕様と中核企業の選定に係る提案公募を実施

7/21

第12回 高速炉開発会議戦略ワーキンググループ

⇒ 高速炉技術評価委員会での評価結果の報告を踏まえ、
炉概念として三菱FBRシステムズ株式会社が提案する『ナトリウム冷却タンク型高速炉』を、中核企業として三菱重工業株式会社を選定

4/20～
12/11

革新炉ワーキンググループ

⇒ 「次世代革新炉の開発・建設」をテーマとして、4つの項目（①事業環境整備、②開発体制・司令塔組織、③サプライチェーン・人材の維持・強化、④研究基盤整備）を中心に議論を実施。

革新炉開発を巡る悪循環を断ち切る対応の方向性にひとつとして、システムエンジニアリング機能をするプロジェクトの創出・支援を挙げており、ロードマップに沿った**実証プロジェクトの具体化が必要**などとされた。

12/22

第6回高速炉開発会議

⇒ 2022年秋までの専門家による技術評価の結果、ナトリウム冷却高速炉が最も有望であるとの評価との成果も踏まえ、今後の実証炉の開発プロジェクトの推進に向け、検討を進めるべく、**戦略ロードマップの改訂案**が提示され、案のとおり了承された。

12/23

第10回原子力関係閣僚会議

⇒ **戦略ロードマップを改訂**

高速炉技術評価委員会での炉概念仕様と中核企業の評価結果（概要）

提案概要

ナトリウム冷却タンク型高速炉

提案者：三菱FBRシステムズ

中核企業：三菱重工業

- 国内の基準地震動への対応、第4世代炉の国際標準の要件について、概念設計を行う過程で考慮。
- 中型炉の出力を提案するが、小型炉・大型炉にも展開可能な設計とし、大型炉は軽水炉に競合できる建設コストを見通す。
- 酸化物燃料を主概念とし、金属燃料を副概念とし、どちらにも対応可能な炉心設計を実施。

革新的小型ナトリウム冷却高速 PRISM

提案者：日立GE

中核企業：日立GE

- 米国GE日立社により設計された小型モジュール方式のタンク型ナトリウム冷却高速炉。米国で提案されたVTR、Natriumの原子炉として採用されている。
- 金属燃料及びそのサイクル技術を用いる。

小型ナトリウム冷却炉 MCR

提案者：三菱重工業

中核企業：三菱重工業

- 炉心を偏心配置として原子炉容器内での機器配置に余裕を持たせた小型タンク型炉。中型炉・大型炉へは、同じ大きさの機器とループを増加させることでスケールアップ。
- 金属燃料とそのサイクル技術を開発するが、MOX燃料も適用可能とする。

三菱FBRシステムズ提案に対する評価内容（一部抜粋）

<炉概念仕様>

- 設計成立性と経済性について、設計の実現と開発目標達成に向けた工程を見込むことができる。
- 提案者が重要と認識している研究開発課題として、耐震性向上やシビアアクシデント対策、コスト低減、基準整備などを挙げ、必要な技術開発に対して概念設計終了時の達成目標を具体化していることから、課題に対応できる十分な計画性を有すると評価できる。等

<中核企業について>

- 我が国の高速炉開発及び関連する国際協力に参画してきた豊富な実績があり、高速炉のエンジニアリング会社として三菱重工業の子会社である三菱FBRシステムズと協働して、JAEAが行う研究開発と十分に連携した概念設計が可能である。
- 高速炉に必要な材料、機器、計装等を供給する国内サプライチェーンの現状の脆弱性を具体的に整理し把握しており、その維持・拡充を図る中心となり我が国産業全体の實力涵養に貢献できる。等

(参考)「高速炉技術評価の提案書に記載すべき内容と評価クライテリア」の概略①

(1) 技術の成熟度と必要な研究開発

炉システム及び燃料製造と再処理の主要な要素技術について、以下のことが明確に示されていること。

(①～⑤は炉システム、④、⑤は燃料製造、再処理について)

- ① 2023年度末時点で概念設計を開始できる技術習熟度 (TRL) があること。
- ② 耐震性など国内の広い範囲で適合可能な設計成立性の見通し。
- ③ 市場に柔軟に対応できる出力規模の変更可能性。
- ④ 役割分担、必要予算、使用する研究施設、海外技術を用いる場合の国産化。
- ⑤ 運転開始に向けた2024年度以降の開発工程、技術成熟度の達成目標 (アウトプット目標、アウトカム目標)

(2) 実用化された際の市場性

実用化の導入シナリオの分析において以下のことが明確に示されていること。

- ① 将来の市場の規模等の想定、提案するシステムの実用化時期、実用化像。
- ② 実用化段階で想定する市場でのコスト競争力、経済性に関するアウトカム目標。
- ③ 実用化時の発電コストの推定値が他電源と競合できるレベルにあること。
- ④ 将来的に天然ウランを不要とできる「閉じた燃料サイクル」実現に向けてのシナリオ。
- ⑤ 高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減が可能な、マイナーアクチニド (MA) リサイクル性能を有すること。
- ⑥ 再生可能エネルギーとの共存等のための蓄熱、水素製造等を行うシステム構成と性能。

(参考) 「高速炉技術評価の提案書に記載すべき内容と評価クライテリア」の概略②

(3) 具体的な開発体制の構築と国際的な連携体制

国際協力を含めた全体の開発体制、中核企業の実施体制と技術的能力、製品供給のためのサプライチェーンが以下を満足すること。

- ① **国際標準化等の技術戦略**を考慮した体制。
- ② 提案者及び想定している中核企業は、以下の条件を満足すること。
 - ・ 提案する高速炉の設計及び要素技術開発等を、必要に応じてJAEAと協力しつつ、責任を持って遂行できる**総合的エンジニアリング能力**。
 - ・ 国際協力を活用する場合、**海外研究機関や海外メーカーと円滑な協力**を実施する能力を有する企業。
 - ・ 高速炉開発に関する**我が国産業全体の実力を涵養**する能力を有する企業。
 - ・ 高速炉開発に関する**実績を有する**企業。
- ③ 提案者及び想定している中核企業は、高速炉を構成する要素技術について、サプライヤーの状況を把握しており、**サプライチェーンの維持・発展に貢献する具体的方策**を有する企業。
- ④ 海外技術を用いる場合、**技術の自律性**（技術・サプライチェーンを有する海外メーカー等の動向変化の影響を受けにくいこと）確保が可能。

(参考)「高速炉技術評価の提案書に記載すべき内容と評価クライテリア」の概略③

(4) 実用化する際の規制対応

提案された炉型の安全確保、実用化までに必要な試験を含めた検討事項について以下が明確になっていること。

- ① 従来の設計基準事故対策に加えて、**設計基準を超える重大事故対策**および**厳しい外的事象への対策**を含む安全設計の考え方。
- ② 提案する安全設計を実現するための**研究開発計画**や**規制対応方針**。
- ③ **規制対応に関する達成目標**（アウトカム目標）。
- ④ 安全解析等の結果に基づく代表的な事故事象についての**安全設計成立性見通し**。
- ⑤ 設計対策を含めた**核拡散抵抗性と核物質防護への対応方針**。

(5) 事業成立性の見通しに関する総合的な評価

- 上記（1）～（4）を踏まえた事業成立性の見通しに関する**総合的な評価**を行うこと。
- 当該評価について貴事業者以外の第三者や将来のユーザーの意見を踏まえたものであるか、レビュー・評価を受けているか否かを明確化すること。該当する場合は、当該意見やレビュー等の内容を示すこと。

高速炉実証炉開発事業

- 「GX経済移行債」による支援策として、高速炉の実証炉開発に関する予算を、23年度から3カ年で460億円措置（23年度76億円）。加えて、24年度から3カ年で775億円の追加（24年度は289億円）を目指している。
- 23年3月、炉概念の仕様と将来的にはその製造・建設を担う事業者（中核企業）の公募を実施、7月12日の高速炉開発会議戦略ワーキンググループにおいて、炉概念として三菱FBRシステムズ株式会社が提案する『ナトリウム冷却タンク型高速炉』を、中核企業として三菱重工業株式会社を選定して、9月から事業開始したところ。

<ナトリウム冷却タンク型高速炉（イメージ）>

<高速炉実証炉開発の今後の作業計画>

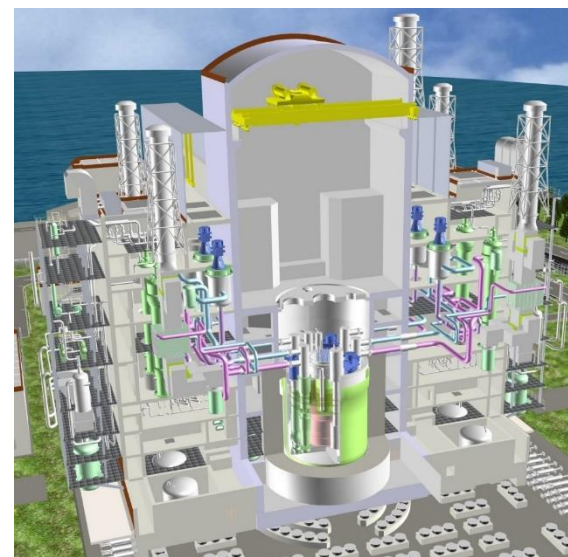
2023 年夏：炉概念の仕様を選定【23/7/12選定済】

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：実証炉の基本設計・許認可手続きへの移行判断

※戦略ロードマップ(令和4年12月23日 原子力関係閣僚会議)を基に作成



(出典) 三菱重工業株式会社PRESS INFORMATION (2023.07.12)
日本政府が開発を推進する高速炉実証炉の設計、開発を担う中核企業に選定
2040年代の運転開始に向け、ナトリウム冷却高速炉の概念設計などを推進

導入に向けた技術ロードマップ（高速炉）

※事業者等からの個別のヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。

（実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることとなる。）

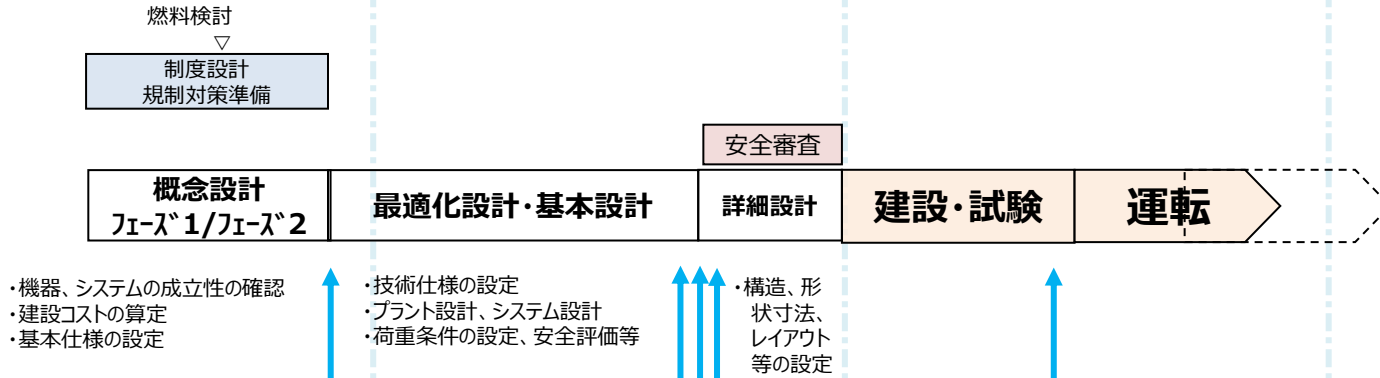
2020年

2030年

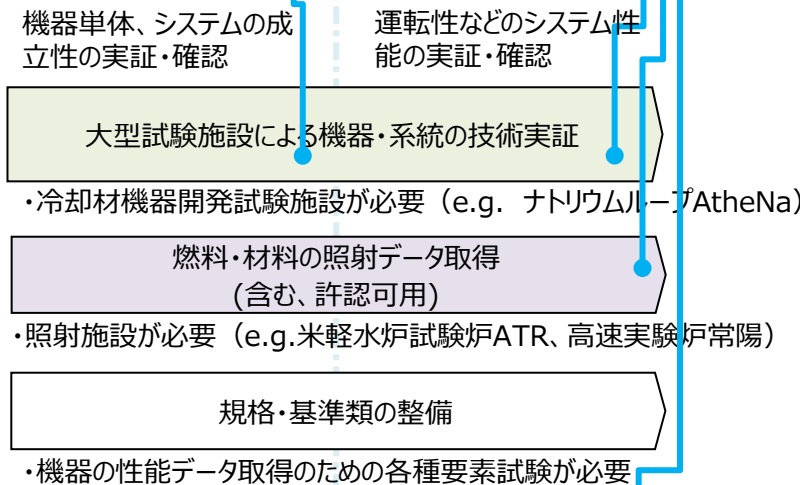
2040年

2050年

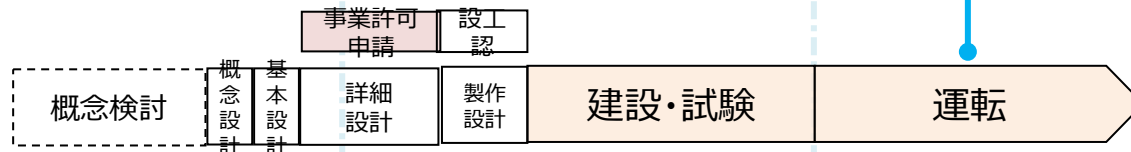
炉の建設・運転
【実証炉】



研究開発
(R&D)



燃料製造施設の建設・運転



- 今般、高速炉と高温ガス炉の実証炉開発事業を開始し、中核企業が選定され、それぞれ具体的な炉型が決定したことなどの追加的要素を踏まえつつ、今後の実証炉開発を進めていくため、各事業に則して技術ロードマップ^oをより具体化していく必要がある。
- そのために、中核企業やJAEAにおける要素技術開発の進捗状況や、電気事業者の知見を踏まえ、設計、機器等の実証、照射試験等の具体的なステップ^oや、規格・基準類の整備の進め方、マイルストーンで求められる技術的成果などを関連プレイヤーの参画を得て順次整理する。

<高速炉実証炉開発における技術的な検討の論点例>

- 設計段階による実証炉の仕様（出力、炉心等）決定
 - 機器・システムの成立性確認（耐震性、製造性、燃料概念等）の項目と方法
- 大型試験施設による機器・システムの技術実証
 - 実証すべき機器・系統の特定と、その実証方法
- 燃料・材料の照射データ取得
 - 規制対応も見据えた、照射データ取得の項目と方法（MA含有燃料含む）
- 規格・基準の整備
 - 軽水炉との違いや規制対応も見据えた、整備すべき規格・基準の特定と、必要なデータ取得の項目と方法
- 燃料製造施設の在り方
 - MA含有燃料を含めた、燃料製造技術の検討・開発

等

高速炉実証炉開発事業における常陽への期待

常陽の早期運転再開による高速炉燃料、炉心材料の研究開発の推進
(常陽及び隣接する照射後試験施設等の活用)

- **経済性向上を目的とした高速炉燃料及び炉心材料の研究開発**
 - 常陽での太径中空燃料及び長寿命炉心材料（ODS鋼）の照射試験及び照射後試験など、高速炉燃料の高度化に向けた研究開発を進める必要がある。
- **マイナーアクチノイド（MA）含有燃料の特性や挙動に関する研究開発**
 - 使用済み燃料からのMA回収技術、MA含有燃料製造技術の確立及び常陽での照射試験など、MA含有燃料の研究開発を進める必要がある。



照射後試験施設

- 照射燃料集合体試験施設（FMF）
燃料集合体の非破壊試験、燃料ピンの非破壊試験及び破壊試験施設
- 照射燃料試験施設（AGF）
燃料における金相試験、融点測定、燃焼率測定、FP放出試験施設
- 照射材料試験施設（MMF）
燃料被覆管、ラッパ管、構造材料及び制御材料等の照射後試験施設