

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提言

令和5年3月28日

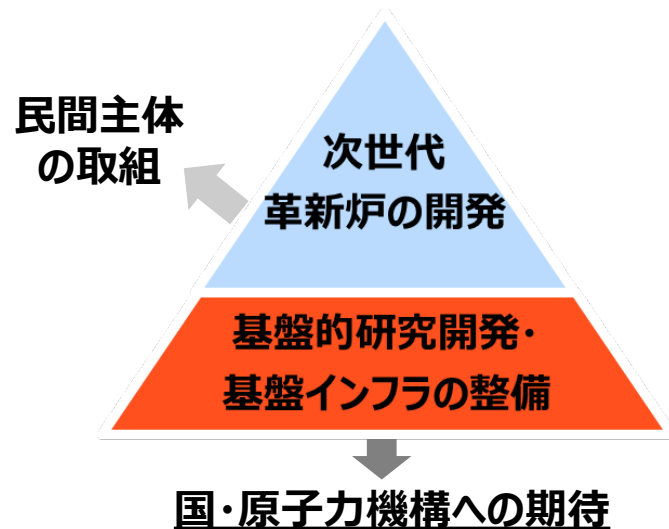
次世代革新炉の開発に必要な
研究開発基盤の整備に関する検討会

目次

1. 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における検討事項について
2. 次世代革新炉開発の基本的な考え方
3. 研究開発項目と基盤インフラについて
 - (1) 高速炉の炉システム開発
 - (2) 高速炉の燃料開発
 - (3) 高速炉の燃料サイクル技術開発
 - (4) 高温ガス炉の開発
4. 次世代革新炉に係る人材育成及び知の集約拠点について
5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について
6. おわりに

1. 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における検討事項について

- 原子力の利用については、安全確保を大前提として、2050年カーボンニュートラルの実現、エネルギー安定供給、エネルギー安全保障などの観点から期待が高まっている。
- 関係省庁においても、**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・建設などについて検討が進められているところ。**
- 本検討会においては、原子力機構で開発実績のあるナトリウム冷却高速炉及び高温ガス炉を中心に、**今後の開発に必要な研究開発や基盤インフラの整備に関する今後の課題について議論**を行い、提言をとりまとめた。



検討のポイント

- ✓ 次世代革新炉に関する今後の開発に必要な基盤的研究開発や基盤インフラの整備について、
①原子炉システム、②燃料製造、③バックエンド対策 などの観点から、現時点での技術の動向や成熟度を確認した上で、今後必要な取組を網羅的に議論。
- ✓ 次世代革新炉に係る人材育成の課題のほか、原子力機構が大学の知の集約拠点として果たすべき役割や、開発支援に係る世界の動向等についても検討。
- ✓ 具体的な今後の取組については、今後10年以内に着手すべき事項を中心に検討した。

2. 次世代革新炉開発の基本的な考え方

- **次世代革新炉は、固有の安全性を含め、新たな安全メカニズムが組み込まれ、安全性の向上が見込まれることが大きな特徴。**実証炉以降の開発においては、経済性の向上も大きな課題。
- 本検討会においては、**安全性及び経済性の向上を中心とした炉型ごとの開発の目標を確認した上で、今後の社会実装に向けた取組について検討。**

革新軽水炉

民間を中心とした取組により既に実装の見込みが得られている。更なる安全性及び経済性の向上について、民間のニーズを踏まえた基礎基盤技術の研究開発を進めることや、長期運転等に必要な高度化のための中性子照射環境の将来的な整備についても検討が必要。

高速炉(ナトリウム冷却)

環境負荷低減、医療用RI製造、再生可能エネルギーとの共存などの多様化したニーズに応える技術を社会実装するための取組に遅滞なく着手することが重要。当面は、高速炉サイクル技術全般の技術開発基盤整備が喫緊の課題。

高温ガス炉

熱利用や水素製造などの発電以外の新たな原子力の可能性を広げる取組を進めることが重要。当面は HTTR を中心として、熱利用システムの実証や固有の安全性の確認を行うことが喫緊の課題。海外の研究開発プログラムへの参画など国際協力により得られた知見も活用しつつ、ユーザーの掘り起こしを進めながら、大型化に伴う課題への対応を含めた技術開発の工程の具体化の検討が必要。

※小型モジュール炉(SMR)については、IAEA や OECD/NEA において、「出力30 万 kWe 以下」で「モジュール生産が可能」であること等が SMR の定義とされている。

3. 研究開発項目と基盤インフラについて

(1) 高速炉の炉システム開発(その1)

- 高速炉（ナトリウム冷却）の開発については、**ナトリウム取扱技術をはじめとした安全性向上のための試験研究**のほか、**原子炉容器の大型化や炉心の高燃焼度化に耐えられる材料開発**などの研究開発を着実に進めることが重要。
- 上記基盤研究の実施に不可欠な、**高速実験炉「常陽」及び大型ナトリウム機器試験施設（AtheNa）を早期に整備し、遅滞なく基盤技術開発を進めることが重要。**

高速実験炉「常陽」

- 我が国初のナトリウム冷却、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料による高速中性子炉（実験炉）
- 平成19年まで運転。現在東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた新規制基準への適合性審査中
- 早期の原子炉設置変更許可の取得を目指しており、順調に進めば令和6年度末に運転を再開する見込み
- 運転再開すれば西側諸国唯一の稼働中の高速炉
- 高速炉開発のための燃料・材料照射に不可欠



大型ナトリウム試験施設「AtheNa（アテナ）」

- 世界最大のナトリウム試験施設で、ナトリウムを加熱し、実炉と同様な条件で試験研究を実施することが可能
- 供用開始に向け、加熱器付帯設備等の整備を加速
- 供用開始後は、高速炉のシビアアクシデント対策試験を行うとともに、民間による高速炉開発を支援

◆建設地



◆主要仕様

- ・建家着工:平成21年11月、建家竣工:平成24年1月
- ・建家:約130m×約60m×約55m高さ
- ・階数構造:地上2階+塔屋、鉄骨造
- ・耐震:基準値×1.5倍
- ・建築面積:約8,050m²、延床面積:約11,000m²
- ・危険物一般取扱所 (Na取扱許可量 350ton)

◆建屋竣工 (H24.1末)



全景 (南西より)

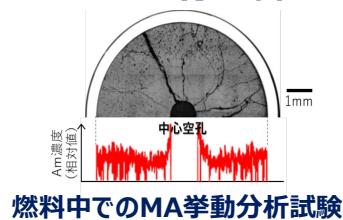


3. 研究開発項目と基盤インフラについて

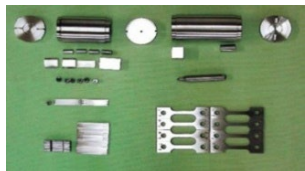
(1) 高速炉の炉システム開発(その2)

- 高速炉には、安全性及び経済性の向上に加えて、**放射性廃棄物の減容化・有害度低減、医療用RIの製造、再生可能エネルギーとの共存などの多様な役割に期待**が高まっている。
- このような新たな機能の実装に向けて、当面は常陽を最大限活用することが期待されるが、**集合体レベルのMA※含有燃料の照射試験**やさらなる**安全性向上技術の実証**など、**常陽のみで対応することが困難なニーズが存在**。また、医療用RIの製造・安定供給のためには、**常陽に加えて、新たな中性子照射場が長期にわたって必要**との意見も示されている。
※MA：長寿命核種（マイナーアクチノイド）
- こうしたニーズに対応するため、**新たな小型高速炉（高速中性子照射場）を遅滞なく整備し、高速炉に期待される機能の実証に活用し、国内の人材の基盤強化に貢献**していくことが有効ではないか。
- 高速中性子照射場の開発は、既存の技術をベースとして実装可能であることが望ましいが、実証炉の開発と連携して進め、新たな成果については適宜、可能なところから実証炉開発に反映するべき。

MA含有燃料

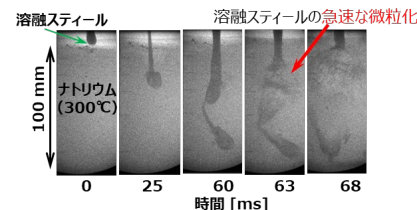


材料照射



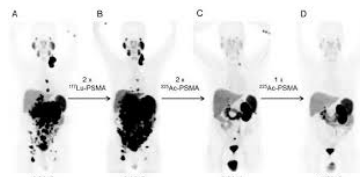
高速中性子による材料試験

炉内収束技術



ナトリウム中での溶融金属の挙動実験

医療用RI製造



高速中性子照射場の役割

1. 廃棄物減容・有害度低減

高速中性子照射場で達成すべき目標

- ・試験集合体レベルでのMA燃焼実証
- ・金属燃料でのMA燃焼にも対応

2. 再エネ協調(調整電源)

- ・蓄熱システムと組合せた発電システムの実証
- ・再エネを補完する機動性の実証

人材確保・育成、技術伝承、実用高速炉への反映

- ・Ac-225の工業生産実証
- ・「常陽」と併せて国内必要量を連続供給

- ・大型原子炉容器の設計知見獲得
- ・サプライチェーン再構築
- ・革新炉の安全技術の実装

3. 国民福祉向上への貢献

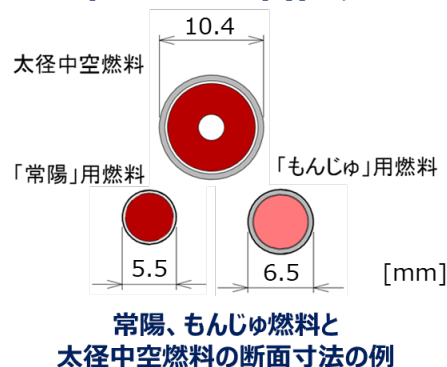
4. 高速炉技術基盤の確立

3. 研究開発項目と基盤インフラについて

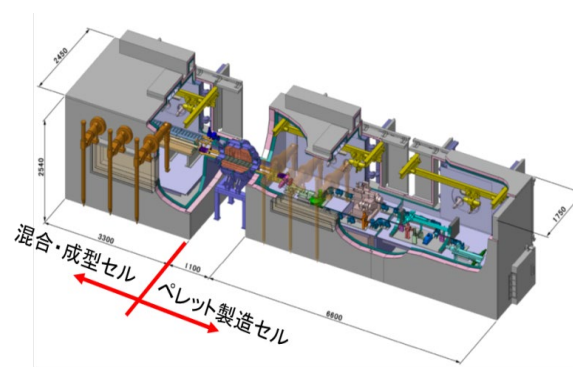
(2) 高速炉の燃料開発

- 高速炉用の燃料開発については、**経済性向上を目的とした太径中空燃料の開発**や**長寿命炉心材料の開発**のほか、**MA含有燃料の特性や挙動に関する研究開発**を着実に進めることが重要。**MA含有燃料の製造には遠隔自動化された新たな施設**が必要であり、今後、工学規模での実証が必要。
- 高速炉用燃料開発については、基盤インフラとして重要な**常陽の運転用燃料の安定供給が喫緊の課題**であり、**プルトニウム燃料第三開発室等の既存インフラの整備・活用を含め、運転再開後の当面の燃料供給体制を確立することが重要**。
- **高速中性子照射場用の燃料製造には新たな燃料製造施設の整備が必要**である。新たな燃料製造施設においては、**燃料集合体レベルでのMA含有燃料の製造実証や金属燃料に関する基盤研究を実施する場**として活用を検討するほか、今後の実証炉の燃料選定以降、**実証炉用燃料の製造に向けて求められる役割に柔軟に対応**できるよう施設の設計を行うべき。

経済性向上研究開発例 太径中空燃料開発



有害度低減燃料開発例 セル型遠隔自動燃料設備開発



革新炉用燃料製造施設の検討

- 2031年以降も常陽を運転し、実証炉用燃料やMA含有燃料の照射試験、医療用RIの製造等を継続するためには新燃料製造が不可欠
- 新燃料製造施設として、既存施設（プルトニウム燃料第三開発室等）や新規施設を検討中
- 新燃料製造では、乾式リサイクル技術等の実証炉用燃料製造に適用する技術を適宜導入予定
- 新規施設では、高速中性子照射場の燃料製造を行うとともに、MA含有燃料の技術実証に向けたセル内遠隔製造ラインの整備等を検討

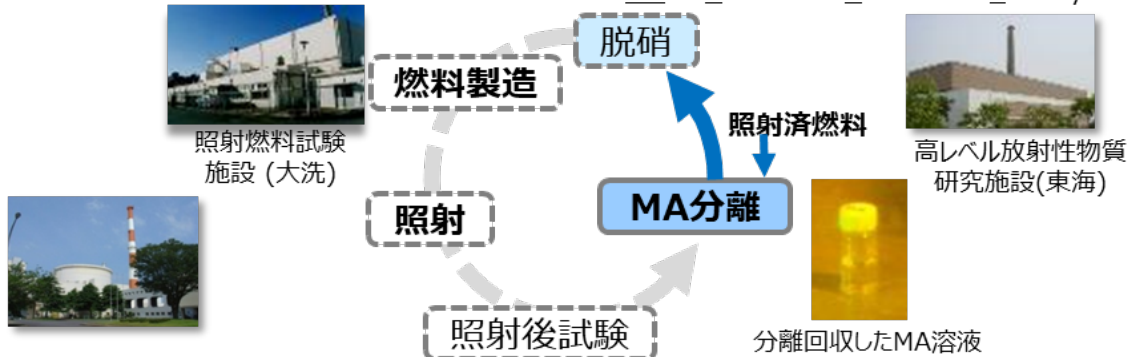
3. 研究開発項目と基盤インフラについて

(3) 高速炉の燃料サイクル技術開発

- 高速炉の燃料サイクル技術については、**ラッパ管の切断解体を含む燃料解体・せん断技術開発、燃料溶解・抽出技術**のほか、**核拡散抵抗性の観点からウランとプルトニウム**の**共回収技術**や**MA分離技術**などの開発を着実に進める。
- 高速炉MOX燃料の湿式再処理については、軽水炉MOX燃料再処理へ知見を提供することにも留意しつつ、まずは**常陽燃料の再処理を念頭に、工学的規模での再処理実証が必要**。このため、**新たな再処理実証フィールドの整備が喫緊の課題**。回収されるプルトニウムやMAの取扱いについては高速中性子照射場の燃料として活用するなどが考えられる。
- **乾式再処理については、今後の政策判断によって柔軟に対応**できるよう、日米協力を中心に海外からの技術の獲得を目指した上で、**一定の基盤研究を国内で実施できるよう必要な施設整備について検討を進める必要がある**。

SmARTサイクル研究

SmART : *Small Amount of Reuse Fuel Test Cycle*



- **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**

再処理実証フィールド（イメージ）

- MOX燃料再処理プロセス及び機器の性能を実際の環境の下、工学的観点を含めて技術実証
- 数十t/y以上の処理規模（集合体規模の処理）
参考：東海再処理工場の処理規模 140t/y
- 高速実験炉「常陽」の照射済燃料等を対象
- 再処理技術の工学実証試験を通じて、燃料製造に必要なMA原料を回収

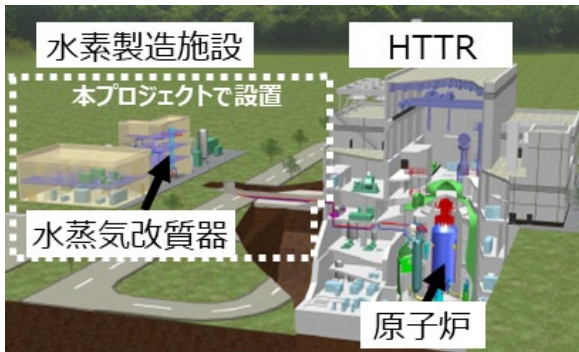


3. 研究開発項目と基盤インフラについて

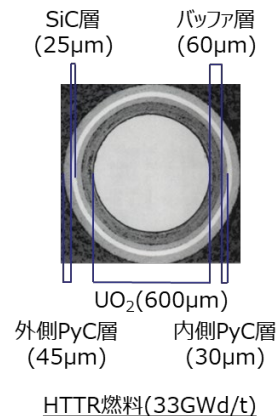
(4) 高温ガス炉の開発

- 高温ガス炉の炉システム開発については、HTTRを最大限活用して、固有の安全性の実証のほか、熱利用の実証試験研究を進めていくことが重要。
- 中長期的な課題としては、**固有の安全性が損なわれない範囲での大型化を実現するための技術開発やカーボンフリー水素製造技術等**について、技術開発の工程の具体化を検討し、産業界との連携も含め着実に研究開発を進めていくことが望ましい。
- 今後の高温ガス炉用の燃料開発については、**新たな燃料製造施設の整備が必要**であることを踏まえ、**これまで実績がある民間企業における製造能力の活用**を検討するほか、当面は、**HTTRの照射後試験を実施**することにより燃料の健全性について確認していくことが重要。
- 高温ガス炉用の燃料の再処理については、**既存施設を最大限活用して工学規模での再処理実証**を着実に進めることが必要。

水素製造技術実証

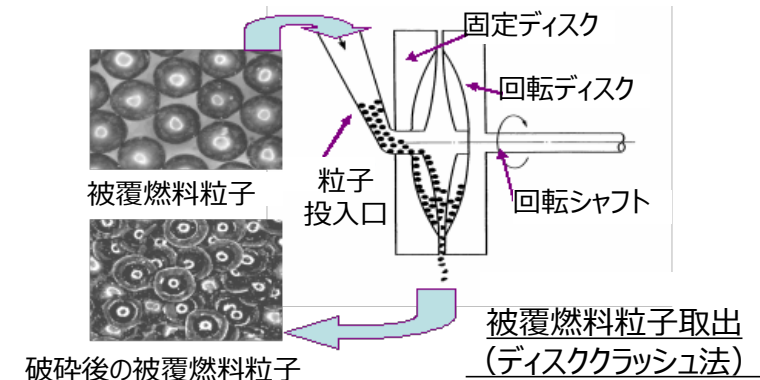


HTTR燃料の照射後試験



HTTRホットセル

ガス炉燃料再処理の前処理検討



4. 次世代革新炉に係る人材育成及び知の集約拠点について

- 次世代革新炉開発をはじめ今後の原子力分野の人材育成を活性化するため、国の政策の方向性を踏まえ、必要な研究開発等を明確化したうえで、大学等と産業界が協働して取り組む体制の構築が必要。研究開発の知見やノウハウを産業界に効率的に接続し、実証炉の開発・建設に活かすためには、**産業界のニーズも踏まえた上で、原子力機構が知の集約拠点として大学と産業界の間の橋渡し機能を果たすことが重要。**
- この際、技術分野ごとに可能な限り定量的な指標を用いるなどして技術成熟度を提示するなど、今後の開発・建設において原子力機構や大学等にどのような役割が求められているかを明確にすることが重要。
- 具体的には、**文部科学省直轄の大学等を対象とした委託事業や人材育成事業の成果を原子力機構に集約するため、原子力機構への移管（補助金化）を含めて、システム改革を進めることが重要ではないか。**
- 人材育成関連事業の実施に当たっては事業規模の拡大のほか、**サプライチェーンの維持・強化に資するニーズの掘り起こしや、リカレント教育・リスキリングへの活用**などを通じて多様な人材の育成に取り組むべき。
- また、**原子力人材の確保や基礎基盤研究を支えるため、国内における試験研究炉の充実は重要。**新たに設計が進められている「もんじゅ」サイトの試験研究炉については、学術のみならず産業利用も含めた最先端の利用に向けた検討がなされており、我が国の**研究開発・人材育成を支える中核的拠点**として活用していくことを期待。

5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について

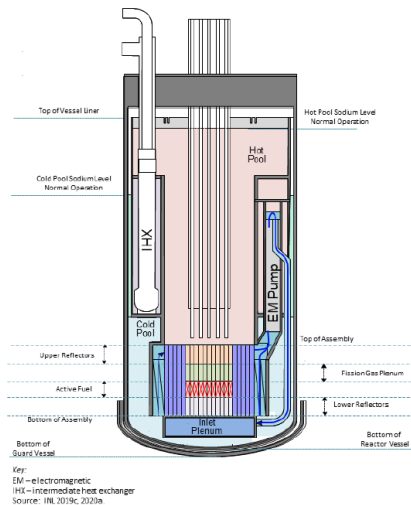
【高速炉】(1)実用化・高度化に必要な基盤インフラ

- 次世代革新炉の一つである高速炉は実用化に向けて**更なる安全性及び経済性の向上**が期待されることはもとより、**MAの燃焼による放射性廃棄物の減容・有害度低減**や、蓄熱システムとの組み合わせ等による**調整電源としての機能の付加**、また、**医療用RIの製造による国民福祉向上への貢献**についても実装が期待されている。
- 安全性及び経済性の向上については、従前の開発戦略を踏襲し、実証炉開発を通じての進展が期待される中、**放射性廃棄物の環境負荷低減、再生可能エネルギーとの補完的関係の構築と共存、医療用RIの製造と供給**についても優先的課題であると認識している。そのための技術基盤の確立を図るための取組を遅滞なく進めていくことが重要である。
- 今後の実証炉開発に向けて、**常陽における燃料ピン体系の照射試験やAtheNaによるナトリウム取扱技術に関する試験**は必須である。加えて、今後の高速炉の実用化に向けた開発においては、燃料の安全性や経済性の高度化のための照射試験や、MAの処理技術の確立のためのMA含有燃料の照射試験を実施するためには、**常陽では実施が困難な集合体（バンドル）体系の照射試験が可能で高速中性子照射場の整備が必要**である。
- 燃料製造施設については、**実証炉開発に必須となる常陽の燃料**に対応し、高速炉の今後の実用化・高度化に向けて、**新たな高速中性子照射場用の燃料製造**についても遅滞なく検討を進めていく必要がある。
- 高速炉燃料を対象とした再処理実証施設は、**高速炉の実用化を目指す上で必要不可欠**であり、廃液のガラス固化も含めシステムの実証性を示すことが重要である。

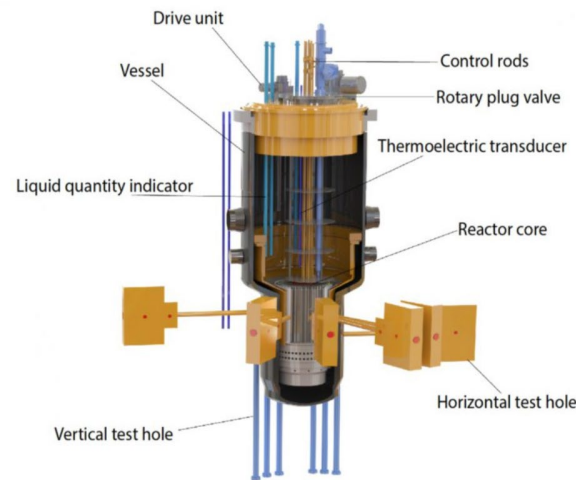
5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について

【高速炉】(1)実用化・高度化に必要な基盤インフラ

- 米国やロシアにおける高速炉の実用化・高度化に向けた技術開発の事例からも、**様々な目的に対応可能な高速中性子照射試験**を行う照射場が必要であると言える。具体的には、多様な原子炉システムの燃料・材料について照射特性評価を行うため、原子炉内で独立した照射試験が可能な設備（**インパイルメント**等）の実装や、高速中性子を含む様々なエネルギー領域の中性子ビームを取出し、中性子科学研究に活用するための機能（**ビームポート**等）、運転中に試料の出し入れを可能にする**オンライン照射機能**といった多様な照射ニーズに応える機能の実装が求められる。
- 高速中性子照射場は原子炉システム開発や原子力イノベーションの促進に資する機能として、地域の中核的研究施設となり、**国内外の大学や官民の研究機関の研究者による共同研究プラットフォーム**として活用されることが期待される。



VTRの断面図



MBIRの原子炉容器

5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について

(2) 実証炉開発との連携

政府方針において、高速炉について実証炉開発の検討が進められているところ、実証炉開発と新たな高速中性子照射場の開発については、それぞれに相互補完しあう意義と使命があることを踏まえ、以下に留意する必要がある。

- 新たな高速中性子照射場は、**今後の高速炉の実用化・高度化に向けた技術実証を継続的に実施するための基盤インフラであり、同時に実証炉の成立性（技術・知識の蓄積や規制適合性など）を見通すためにも、必要不可欠な施設である。**
- 新たな高速中性子照射場については、**実証炉との役割が異なると同時に、相互に補完する関係にあることに留意し、その相乗効果を最大化するべく、実証炉との連携を図っていくべきである。**
- 実証炉と新たな高速中性子照射場の開発時期が一定程度、重複する場合は、**財政的、人的なリソースの競合が発生する可能性がある。政策的観点から現実的な整備戦略を検討し、両者の開発スケジュールに齟齬をきたさないよう十分に配慮すべきである。**

5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について

(2) 実証炉開発との連携

- 新たな高速中性子照射場の実装時期について

- ① 実証炉開発において**許認可に必要な照射データを先行して取得・提供**することにより実証炉開発を加速するとの観点から、実証炉に先行して建設することが望ましい。これにより、高速炉に関する**サプライチェーンの再構築、技術・人材の維持・強化**に大きく寄与すると期待される。一方で、多様な照射ニーズに応えるという側面では、将来の照射性能の高度化を見越した設計とする配慮が求められる。
- ② 実証炉開発とリソースの競合が発生する場合には、実証炉の建設以降に整備するという状況も想定し得る。この場合には実証炉開発への直接的な貢献は限定的となるため、多様な照射ニーズに応えるべく、**当初から高度な照射性能を有した照射場を整備する戦略**も選択肢として考える。

5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について

(3) 基盤インフラの整備戦略

- 実証炉開発に資する照射データの先行取得により実証炉開発を加速することが可能となる。実証炉に先行して高速中性子照射場を実装するためには、**現存のリソースを最大限、効果的に活用**することが求められることに加え、立地の観点等を踏まえる必要がある。この戦略は、サプライチェーンの再構築や、人材・技術の維持・継承といった喫緊の課題への対応の観点から、**実際の炉を可能な限り早期に建設・運用**するべきという要請にも適合する。このような観点から、新たな中性子照射場は可能な限り既存技術を活用し、試験研究レベルの仕様とすることが早期実現の要請に適合するものである。
- 燃料製造や再処理技術開発を含む原子炉開発においては、**今後の開発シナリオの多様な選択肢に対応できるよう、当面は柔軟な設計**が可能となるよう検討を進めるべきである。
- MAの分離及び燃焼については、社会的ニーズも高く、**軽水炉サイクル、高速炉サイクルに関わらず将来的に必須な技術課題**である。困難な課題ではあるが、基盤研究のための基盤インフラの整備を含め、優先的課題として遅滞なく研究開発の取組を着実に進めていくことが必要である。
- 核不拡散性と保障措置は第4世代炉の必須要件とされている。燃料製造施設、再処理実証施設の開発については、**設計の段階から保障措置面での対策**をあらかじめ考慮することが重要であり、**国(規制当局等)が原子力機構等と連携してIAEAと協議を深めていくことが必要**である。

5. 次世代革新炉(高速炉・高温ガス炉)の技術開発戦略について

【高温ガス炉】今後の開発の進め方

- 当面はHTTRの技術を活用した**固有の安全性や水素製造と熱利用の研究**並びに、高温ガス炉の大型化を目指すこととする。実証炉の建設に向けて、国内外の適切な機会を捉えて**ユーザーの掘り起こし**やニーズの把握により、具体的な開発計画を実現していくことが重要である。
- 一方で、中長期的には、高温ガス炉の安全上のメリットを最大限生かした実証炉の建設に向けて、必要な技術開発を計画的に進めていくべきである。

6. おわりに

- 本検討会では次世代革新炉について、高速炉及び高温ガス炉を中心に今後開発に必要となる研究開発及び基盤インフラの整備について検討した。
- 高速炉については、**今後の実証炉開発の進め方と整合**するよう、実用化・高度化に必要な基盤インフラに関する具体的な整備計画について**政府のロードマップ（戦略ロードマップ）**において、**明確に位置付けていくべき**。
- 高温ガス炉については、**熱利用などの可能性を実証する研究**を実施するとともに、**エネルギー・産業システムでのニーズと貢献**について検討していくべき。
- 実用化・高度化に向けた開発において、国内における**人的、技術的、財政的リソースは限られる**という現実を踏まえ、政府としては、これまでにない大胆な**財政的支援**を講じる一方で、**国際協力等**により、国外の研究施設や研究機会を効果的に活用していく方策についても併せて検討していくべき。
- 廃棄物処理技術に関する研究開発にも留意する他、次世代革新炉に関する規制や損害賠償の在り方についても、適切な時期に具体的な対応について議論を始めることが重要である。
- 本提言について、**文部科学省、経済産業省等の関連する審議会等に報告がなされ、更なる検討を深め政府が一体となり取り組む**ことを期待する。

(参考)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 委員

浅沼 徳子	東海大学工学部応用化学科准教授
石川 顕一	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授
出光 一哉	九州大学大学院工学研究院教授
遠藤 典子	慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート特任教授
小澤 隆	一般社団法人日本電機工業会原子力部長
桐島 陽	東北大学多元物質科学研究所教授
相楽 洋	東京工業大学科学技術創成研究院准教授
中熊 哲弘	電気事業連合会原子力部長
主査 山口 彰	公益財団法人原子力安全研究協会理事
吉橋 幸子	名古屋大学大学院工学研究科准教授
和田 裕子	一般社団法人日本原子力産業協会企画部総括課長

(参考)検討の経緯

第1回 10月17日(月)

- ・検討会の検討事項・スケジュールについて
- ・次世代革新炉開発の全体像について
日本電機工業会 小澤隆委員
日本原子力研究開発機構

第2回 10月28日(金)

- ・次世代革新炉の炉システム開発について
三菱重工業株式会社 碓井志典氏
日本原子力研究開発機構

第3回 11月8日(火)

- ・次世代革新炉の燃料製造について
日本原子力研究開発機構
- ・人材育成及び大学の知の集約拠点機能について
文部科学省

第4回 11月22日(火)

- ・高速炉と高温ガス炉の安全性について
日本原子力研究開発機構
- ・日本と世界のバックエンド対策について
日本原子力発電株式会社 山内豊明氏
- ・次世代革新炉のサイクル技術開発について
電気事業者連合会 中熊哲弘委員
日本原子力研究開発機構

第5回 12月9日(金)

- ・開発支援に関する世界の動向について
文部科学省
- ・次世代革新炉研究開発基盤検討会論点整理（案）について

第6回 1月23日(月)

- ・次世代革新炉研究開発基盤検討会論点整理について
- ・原子力関係閣僚会議における決定等について
- ・次世代革新炉における保障措置の課題と対応について
日本原子力研究開発機構
- ・高温ガス炉燃料への取組について
原子燃料工業株式会社 木下英昭氏

第7回 2月15日(水)

- ・高速中性子照射場を中心とする原子力イノベーション研究構想について
日本原子力研究開発機構

第8回 3月22日(水)

- ・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提言（案）について

(参考)ナトリウム冷却高速炉の安全性



□ : ナトリウム冷却炉の本来の特長^{*}を活かした安全特性

^{*} 冷却材の高い沸点、ほぼ常圧で使用、高い自然循環力

ナトリウム冷却高速炉：高い安全性

◆ 「常陽」「もんじゅ」から得た知見・成果も含め、ナトリウム冷却炉の特徴を勘案して、受動安全の活用など新たな機能を付加した堅牢なシステム

各種の異常・事故を想定した
安全確保機能

自然に止まる

自己作動型炉停止機構

異常時・温度上昇時に、合金の物理特性で自然に制御棒が落下
⇒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炉心の熱を大気へ放熱、冷却

● 万一の容器破損時にもナトリウムをガードベッセルで保持可能。冷却材は急噴出せず炉心冷却は維持可能

閉じ込める

再臨界回避 + 損傷炉心冷却(炉内終息)

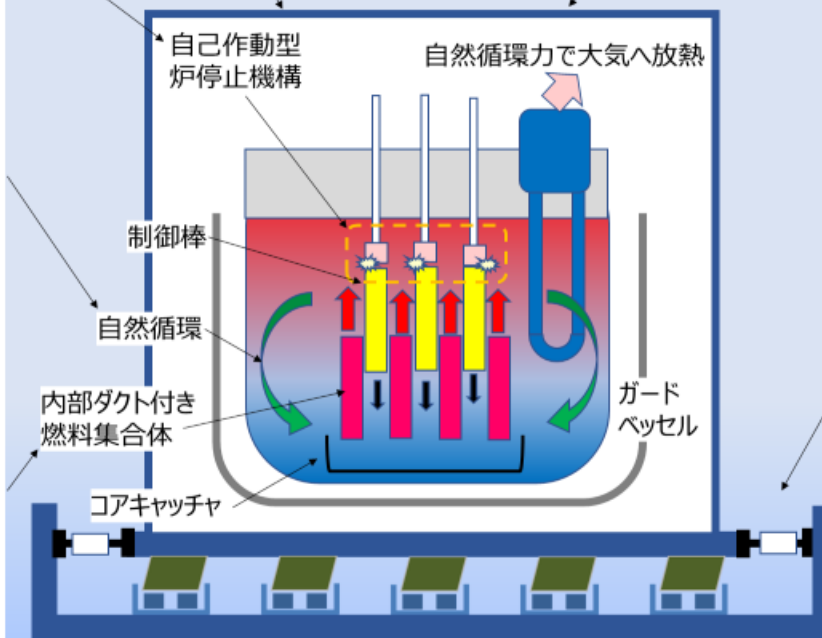
炉心の溶融が生じた際に初期に炉心から排出・冷却、炉内で事故終息。放射性物質の拡散を抑制⇒敷地外の緊急対応が不要

放射性物質放出防止

ガス処理系付きのリークタイトな格納容器により揮発性放射性物質をも閉じ込める

航空機衝突対策

格納容器の頑健性確保、系統分離、離隔距離を確保した除熱設備



ナトリウムの化学活性対策

早期検知、化学反応抑制

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

外的事象等への対策

地震対策

耐震性向上設計に加え、3次元免震採用によって強い地震にも対応

津波対策

防潮堤設置等でドライサイトとし、大気をヒートシンクとして除熱

その他(火山灰降下)

空気冷却器のフィルタ交換等で除熱機能を維持



高温ガス炉：高い安全性

各種の異常・事故時 (配管破断等)の安全性

自然に止まる・自然に冷える

- 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
- 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
- 大気其自然循環により冷却する炉容器冷却設備の導入により、事故時の崩壊熱除去に動的機器や非常用電源等を不要にして安全性を強化

閉じ込める

セラミックス被覆燃料粒子は耐熱性が高く、閉じ込め機能を保持

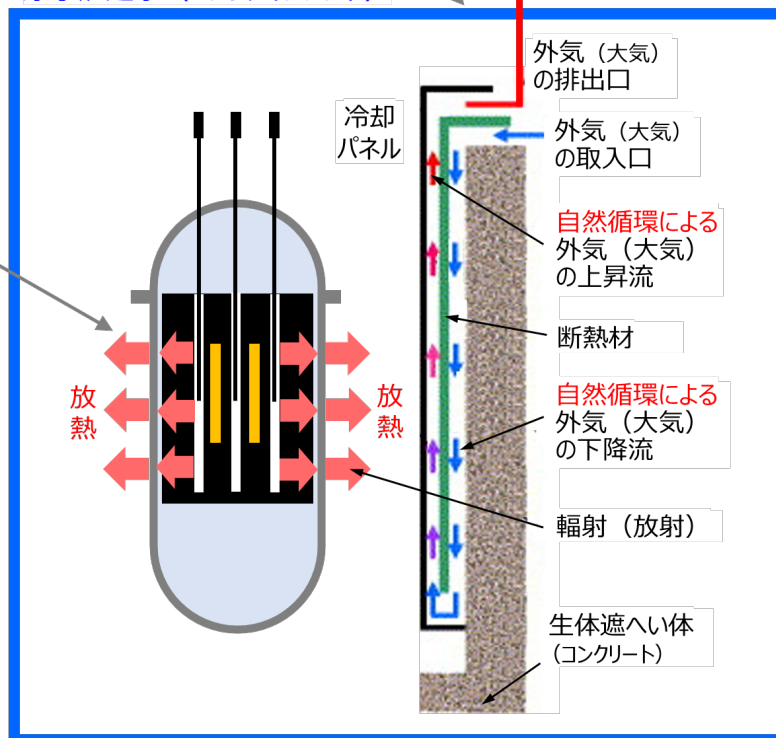
爆発のリスクを著しく低減

冷却材が化学反応、蒸発しないため水素・水蒸気爆発が発生しにくい

航空機衝突対策

地下設置により航空機衝突の可能性を低減

原子炉建家 (コンファインメント)



HTTRで確証された安全メカニズム

実証炉に導入可能な安全メカニズム
(新規基準を満足しつつ更なる安全性向上が見込まれる)

外的事象等への対策

地震対策

強い地震により機器故障が発生した場合にも自然に止まり、冷えるため、免震システム等の導入は不要

津波対策

防潮堤設置等でドライサイトとし、大気をヒートシンクとして除熱

その他 (火山灰降下)

大気冷却による除熱性能を喪失しても、輻射による除熱が可能

外部火災対策等 (水素製造)

地下設置により水素製造施設の火災爆発の影響を低減

(参考)各回における議論のまとめ①

(1) 背景・検討対象

- 2050年カーボンニュートラル達成を見据え、次世代革新炉の開発に関し、今後10年程度以内に着手すべき基盤的研究開発及び基盤インフラの整備を主な検討対象として令和4年10月より議論開始。
- 次世代革新炉の定義は特定せず、様々な概念を検討から排除しないものの、検討対象に鑑み、実質的には実装までの道行が見えている高速炉（ナトリウム冷却型）、及び高温ガス炉に係る①原子炉システム、②燃料製造、③バックエンド対策を主に論点を整理。
- 次世代革新炉の実装と直結しない事項であっても、今後の原子炉開発に必要な研究基盤整備事項（④原子力人材育成等）についても検討結果において合わせて整理。

(2) 論点整理【総論】

- 高速炉の多義性に鑑み、当面は、安全性の向上、環境負荷低減、再生可能エネルギーとの共存、医療用R I製造への貢献など、資源有効利用以外の開発目標を中心として基盤的な研究開発を進めることにより、これまで培ってきた技術の継承や人材の育成を図りつつ、失われつつあるサプライチェーンの強化を図ることが重要ではないか。
- 高温ガス炉については熱利用システムの実証を中心とした基盤研究を進めつつ、具体的な実証炉プロジェクトの深化を踏まえつつ、実施主体の議論を含め、柔軟に対応できるよう、関係ステークホルダーとの対話を重ねていくことが重要ではないか。
- 今後、次世代革新炉の開発を進めるにあたって、民間主体の開発活動のみならず、それを支える基盤的研究や基盤インフラの整備についても他国の例を参考に、国として大胆な財政的支援が必要ではないか。
- 高速炉及び高温ガス炉以外の次世代革新炉についても、将来的な可能性に鑑み、基盤的な研究開発については大学及び原子力機構を中心として継続的な支援が望ましい。

(参考)各回における議論のまとめ②

(3-1) 論点整理【原子炉システム】

(高速炉)

- 高速炉の多義性を踏まえると、環境負荷低減対応、蓄熱・負荷追従機能、RI製造機能を中心として、既設の常陽ではリソース面及びスペック面で対応しきれない事項を中心として、これらの新機能の実証のための施設整備（高速中性子照射施設を想定）が必要ではないか。
- 高速中性子照射場については、西側諸国において常陽が唯一稼働が見込まれる施設であるが、その需要の大きさを鑑みると、中長期的には後継機という位置づけも踏まえて、新たな施設整備に速やかに着手することの意義が大きいのではないか。
- 高速炉開発において、ナトリウムが最も有望な冷却材であることを踏まえると、ナトリウム取扱試験施設を早急に整備し、必要な機器・設備の開発に供することが肝要。

(高温ガス炉)

- 高温ガス炉の今後の開発については、大型化に関する検討よりも、熱利用の実証に関する試験研究やインフラの整備が喫緊の課題であり、これらの研究開発にはHTTRを活用していくことが基本となるべき。
- 高温ガス炉の固有の安全性については、大型化と負の相関があることにも留意が必要。
- 実証炉開発の方向性として、国外のプロジェクトへの参加を基本とするのか、国内プロジェクトの立ち上げを志向するのかによって、材料開発や炉システムの高度化等の研究開発に対する取組の優先度は変わってくるのではないか。

(参考)各回における議論のまとめ③

(3-2) 論点整理 【燃料製造及び、バックエンド対策】

(高速炉)

- 現在、常陽用の追加燃料製造について議論が進んでいるところ、新たな燃料製造施設を整備する場合は、常陽用の燃料のみではなく、今後の高速炉開発や、その他のプルトニウムを使用する次世代革新炉用の燃料製造も視野に入れた施設の整備を志向すべき。
- 次世代の高速炉の燃料製造については、酸化物燃料のみならず、これまで副概念として位置付けられてきた金属燃料も視野にいれて検討すべき。
- 高速炉燃料の再処理については、国内に十分な基盤施設がないことから、当面は海外の施設供用を視野にいれて商用規模の再処理に必要な基盤研究を進めることが現実的ではないか。
- 核燃料サイクルに関する国際協力を進める際、西側施設で唯一の高速中性子照射施設を有するアドバンテージを最大限生かして交渉することが重要ではないか。

(高温ガス炉)

- HTTRの燃料製造経験を踏まえ、今後のガス炉の燃料開発のサプライチェーンの確保や具体の仕様について国内体制の確認が必要。
- 高温ガス炉の今後の活用見込みにも依存するが、将来的な再処理を前提に、使用済燃料の再処理や長期貯蔵に係る基盤的な研究開発を実施すべきではないか。
- 今後、事業主体がバックエンド面での予見可能性を明らかにできるよう、使用済燃料の処理・処分方策について、どのような技術オプションを適用するのか、経済性や優先順位を含めて検討していくべきではないか。

(参考)各回における議論のまとめ④

(3-3) 論点整理【原子力人材育成】

- 文科省直轄の革新的原子力システム開発事業や、人材育成イニシアティブ事業での取組の成果について、今後の次世代革新炉開発に係る産業界にうまく接続していくことが重要であることに鑑み、原子力機構が基盤的研究開発や人材育成の取組についての橋渡し機能を具備するべきではないか。
- 具体的な方策として、福島事故の廃止措置事業に関して、原子力機構（CLADS）に文科省直轄事業であった英知事業を補助金事業として移管し、原子力機構から公募することとした事例を踏まえ、上記事業についても原子力機構が実施するようシステム改革を進めることも重要ではないか。
- 両事業に限らず、広く、大学で得られる知見や人材を、ニーズに応じて産業界に排出していくことについて、原子力機構における基盤研究や基盤インフラを活用した共同研究を通じて、広義の産業界への橋渡し機能を原子力機構が具備するべきではないか。

(4) 次世代革新炉における保障措置の課題と対応について

- 次世代革新炉及びそのサイクルの導入・拡大により、IAEAの限られた保障措置リソース（予算・人的資源）を逼迫する可能性があることから、開発段階から保障措置の特徴や課題を明確化し、設計段階からの保障措置の取入れ（Safeguards by Design）といった効果的・効率的な保障措置の適用が必要。
- 特に、IAEAが保障措置の適用経験を持たない施設では、これまでの保障措置技術開発（もんじゅ、東海再処理施設等）の経験・知見を活用しつつ、より多くの技術開発に取り組む必要がある。
- 我が国が開発している保障措置技術である「アクティブ法」は、将来的にIAEAでの活用に向けて引き続き検討していく必要がある。

(参考)各回における議論のまとめ⑤

(5) 高温ガス炉燃料への取り組みについて（原子燃料工業株式会社説明）

- これまでHTTRに原子燃料工業が燃料を供給してきたが、現在は製造できない状況。今後、国内実証炉向けの燃料供給を行うにあたっては、新たに燃料製造施設を整備する必要がある。
- 過去の製造技術に関する研究開発成果や、燃料製造を通じた経験はアーカイブとして維持されているものの、作業者がこれら知見を活きた技術として活用する機会は存在しない。製造技術（スキル）の維持には、既存施設で取り扱い可能な天然（劣化）ウランを用いて、長期間・反復して模擬燃料製品を製造する機会が有効ではないか。
- 製造に係る技術（スキル）の伝承について、経験を有する最後の世代が現在50代であることから、同世代が退職する前に燃料製造に携わり、若手にノウハウを繋げていく必要がある。
- 高品質の燃料製造のために工程を自動化することも必要である一方、パラメータを同じ設定にしても被覆層の厚さが安定しないなどといった、想定外の品質トラブルが発生した際には、自動化・遠隔化よりも、カン・コツといった人間らしさが効いてくると考えられ、その部分の伝承も重要であると考える。

(参考)各回における議論のまとめ⑥

(6) 高速中性子照射場を中心とする原子カイノベーション研究構想について

- MA燃料照射はバンドル照射となれば多量のMAが必要であり、相応の製造施設が必要となるためよく検討すべき。また、燃料形態が金属燃料か酸化物燃料かにより、再処理施設側の仕様が大きく異なるため留意が必要ではないか。
- 原子炉系統と切り離して蓄熱設備を検討するのであれば、熔融塩などの流体同士の熱交換にはリスクがある観点からも、グラファイトといった固体を活用する手法も検討してはどうか。
- 国内基盤が少なくなっている現状において、高速中性子照射場等の新たな動きを歓迎する。一方で、炉の規模は必ずしも大きいとは言えず、海外の先行例とも比較し、もっと大胆な性能・貢献も出来るのではないか。研究段階からの社会への貢献という面で、MA燃焼、再エネ協調、国民福祉への貢献を引き続き検討すべき。また、再処理実証フィールドの数十t/y程度という規模が具体的にどのように役に立つのか、プルサーマル使用済燃料などの再処理も視野に入れるなど、更なる検討・整理が必要ではないか。
- 高速中性子照射場の目的について、MA燃焼は放射性廃棄物減容・有害度低減の観点から重要な課題である一方、MA対策以外の部分についても大きな意義があることを主張してはどうか。仕様についても、MBIRやVTRと同等以上の性能という狙いがあり、インパイルループやRI製造等の機能は理解するが、出力は常陽並みで中性子束もやや低く、その性能に疑問を感じるところ。設計のポイントの重要性が分かるよう明確に説明していく必要があるのではないか。

(参考)各回における議論のまとめ⑦

(6) 高速中性子照射場を中心とする原子カイノベーション研究構想について

- 照射試験に特化した設計として、照射スペースは中心1体だけではなく、2列目も含めれば、照射炉としての価値が上がるため検討の余地ありと考える。照射ニーズに対してさらなる検討も続け、尖った部分を追求してもよいのではないかな。
- 実証炉に先んじて、規制経験を蓄積していくことは非常に有意義。本検討会における内容については、政府のロードマップ（高速炉開発に係る「戦略ロードマップ」）等にしっかり反映し、政府一体で進めることが重要。また、燃料製造施設や再処理実証フィールドについては、新高速中性子照射場の有無に依らず重要であり、しっかり機構において整備をしてほしい。
- 新しい施設が出来るのは人材育成の面でも非常に重要であり、スピード感をもって検討して頂きたい。医療用RI製造においては、Ac-225のみならず海外依存であるMo-99についても検討し、取り組んでほしい。また、取り出した高エネルギー中性子は核データの検証にも使えたら面白いと考える。
- 高速中性子照射場は大学の研究者や学生も積極的に使用できるような構想にすべきではないか。
- 高速中性子照射場を進めるに当たり、機構としてもしっかり人員確保や大学との連携に力を入れてほしい。

(参考)原子力機構における取組の現状

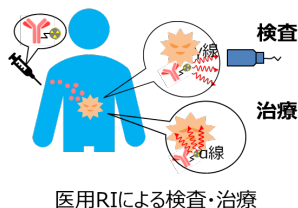
第1回検討会資料3
(JAEA説明)を基に作成

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

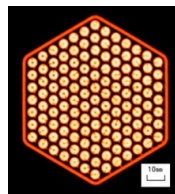
医療用RI製造 (Ac-225)

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)

金属燃料 照射挙動評価

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

ナトリウム取扱い技術

ナトリウム取扱い安全性 冷却特性の評価技術

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高燃焼度燃料の開発 常陽燃料製造施設整備

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）

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

金属燃料 サイクル評価

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

日米協力 電中研共研

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

常陽燃料
製造施設
整備

- ・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)



不活性ガス雰囲気グローブボックス群

(参考) 必要な開発課題と施設整備(高速炉)

第1回検討会資料3
(JAEA説明)を基に作成

	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 多義性	高速中性子照射場 ・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 安全性向上	×	未整備
	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

利用可能性 ○: 整備済み(利用可能) △: 整備中 ×: 未整備(新規案件)

● 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
	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の破砕、溶解、PUREX法適用試験)	△	未照射燃料の破砕試験済み、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)

利用可能性 ○：整備済み(利用可能) △：整備中 ×：未整備(新規案件)

- ◆ 常陽、AtheNa等を活用することにより実証炉の開発を進めることは可能と考える。
- ◆ これに加えて高速中性子照射場を整備することにより、高速炉の信頼性向上やそれを活用した新たな機能の開発（MA燃焼、医療用RI製造）等を行うことが可能になる。

項目	AtheNa、常陽等を利用した開発	高速中性子照射場を利用するメリット
MA燃焼	・「常陽」でのピンレベルの照射試験実施済 →各種燃焼試験を経てMA燃料として実用化	・集合体レベルでの照射試験を先行して実施（MOX、金属燃料オプション比較） ⇒MA燃焼による放射性廃棄物減容・有害度低減を 早期に実証
再エネとの協調 （蓄熱装置による調整電源機能）	・蓄熱装置は太陽熱発電技術を導入 ・Naとの熱交換、Na-蓄熱材の化学反応対策はAtheNa等の炉外試験で開発 （なお、「常陽」は2次主冷却系が安全系のため、設置が技術的に困難であり、 <u>長期間の運転停止</u> となる）	・高速炉システムとの接続技術を実証 ・再エネとの 協調 に必要な機動性を実証 ・需要にあわせた発電により経済性向上 ⇒高速炉の 調整電源機能を実証
医療用RI製造	・「常陽」での照射試験によりRI製造を実証 （「常陽」単独では定期検査期間は製造不可となる）	・常陽と高速中性子照射場を組合わせた照射により、製薬上の要請となるRIの連続供給が可能となる ⇒ 高速炉によるRI供給の産業化 には必須
タンク型原子炉容器の開発	・炉内流動、炉壁冷却、遮蔽プラグ等の開発をAtheNa等での実証試験で確立 （タンク型炉設計の知見はASTRID協力で入手したものを活用）	・小型だが段階的・早期に実証 ・製作性等の知見集積 ⇒ 原子炉容器の信頼性向上 に寄与
安全性向上	・PLANDTL、AtheNa等でタンク型炉での自然循環を模擬試験 （「常陽」（ループ型体系）で自然循環技術確立） ・模擬試験による安全審査データ取得	・タンク型の小型炉で自然循環試験を実施し、 総合的な性能を確証 ・タンク型炉の安全審査経験の早期蓄積

【提案】 社会ニーズに対応し、高速炉で実現可能な新機能を実証する新たな試験施設

1. 放射性廃棄物減容・有害度低減

- ・ 実用化時に多数基導入される基幹電源炉をMA燃料とし、**国内蓄積のMA処理の実用化**

国内蓄積のMA
を全量処理

高速中性子照射場で達成すべき目標

- ・ 試験集合体レベルでのMA
燃焼実証
- ・ 金属燃料でのMA燃焼にも
対応

2. 再エネ協調（調整電源）

- ・ 高速炉SMRを実用化し、「再エネ＋高速炉
(SMR＋基幹電源大型炉)」で電力供給

多数基導入で
原子力による調
整電源実用化

- ・ 蓄熱システムと組合せた発電シス
テムの実証
- ・ 再エネを補完する機動性の実証

人材確保・育成、技術伝承、実用高速炉への反映

「常陽」＋高速
中性子照射場
で産業化、世
界へ供給

- ・ Ac-225の工業生産実証
- ・ 「常陽」と併せて必要量を
連続供給

- ・ 大型原子炉容器の設計
知見獲得
- ・ サプライチェーン再構築
- ・ 革新炉の安全技術の実装

大型化、多数基
導入で基幹電源
炉として実用化

- ・ 世界の**Ac-225必要量を連続供給**
- ・ JRR-3と連携しMo-99の国産化も実現

3. 国民福祉向上への貢献

- ・ 高速中性子照射場で得られた実証データ等を
基に、**今後の開発負荷及び開発リスク低減**
- ・ 回復したサプライチェーンを活用

4. 高速炉技術基盤の確立

高速炉の実用化に向けて

- MA燃焼: 放射性廃棄物の減容・有害度低減
 - シビアアクシデントにかかる事象緩和
 - 経済性向上を含む高燃焼度化
- 燃料ピン、集合体構造の照射変形の影響など、集合体レベルでの照射影響評価



❖ 大きな照射スペース

- 軸長を含め、集合体レベルでの照射
- カートリッジ方式で冷却材を仕切ることによるバリエーション、安全性試験

多様な原子炉システム開発

- 様々な原子炉システムの燃料・材料の照射特性評価
 - ✓ 安全性・経済性を向上させる新しい燃料概念の照射特性評価
 - ✓ 燃料の破損限界を把握する安全性試験
 - 海外からの新型炉向け照射ニーズ
- 溶融塩など様々な流体の環境での照射(インパイルループ、等)
- 安全性評価に必要なデータ取得



❖ 出力運転中取り出し

- 運転中に照射試料の装荷、取り出しを可能にし、照射の自由度を向上
- ## ❖ ビームポートの設置

原子カイノベーション

- 医療用RI(^{225}Ac)の製造
 - その他、産業用を含むRI製造
 - 中性子ビーム利用
→ 中性子科学等の基礎研究に利用
- 医療に適用する上で、量だけでなく安定して供給できるシステム
- 高速炉では様々なエネルギー領域の中性子ビームを供給可能



1. 放射性廃棄物減容・有害度低減

高速炉によるMA燃焼処理を早期実証；

- MAを高速炉燃料として安全に使用できることを実証
- MA含有燃料が高燃焼度で使用可能で、経済性を有することを実証

MAの処理を早期に実証し、高速炉が放射性廃棄物減容・有害度低減に貢献することを国内外に示す

3. 国民福祉向上への貢献

「常陽」とともに医療用RIを安定供給；

- オンライン照射による効率的なRI生産を実証
- 「常陽」とともに切れ目の無い医療用RI供給
- 医薬業界とともにAc-225の供給

高速炉による医療用RI供給を産業化

2. 再エネ協調（調整電源）

高速炉＋蓄熱設備の性能を示す。；

- 蓄熱と発電設備を導入する場合、高速炉の高い運転温度を活かし、調整電源としての機能・性能を示す。

原子力が調整電源としてカーボンフリー社会に貢献する未来を示す

4. 高速炉技術基盤の確立：実用高速炉開発への貢献

実用高速炉開発への貢献；

- MA含有、高燃焼度、新型燃料集合体構造、の照射知見蓄積

実用高速炉開発に必要な基盤整備に貢献

安全性向上技術の規制対応知見；

- 受動的炉停止、受動的炉心冷却技術に対する規制対応知見の蓄積
- 過酷事故の炉内終息技術の規制対応蓄積

安全性向上技術に対する規制の予見性が向上

高速炉技術・人材の維持・継承；

- 高速炉の設計・建設・運転・保守に関わる技術の維持・継承
- 高速炉技術を持つ人材の維持・継承

高速炉技術・人材の維持・継承へ貢献

基本コンセプト

- 一定のバンドル照射が可能な寸法の**照射スペース**(もんじゅ燃料集合体程度:内対面間距離約100mm、炉心高さ930mm)
- **オンライン照射**
- 早期の炉建設を実現するため;
 - **試験炉級**の出力($\leq 100\text{MWt}$)
 - **燃料は既存技術**を適用し、許認可に対応する
 - **熱利用設備は後に付加可能**
- 安全技術、シビアアクシデント対策技術を含む**革新炉の安全技術**を適用

高速中性子照射場の基本仕様

項目	仕様
出力	100MWt*
燃料	MOX (常陽仕様の燃料組成)
燃料集合体	もんじゅ仕様の燃料ピン・集合体 Φ6.5mm 169本燃料集合体
照射設備	①中心一体分の照射スペース ②炉心外周部のRI照射用オンライン照射設備
冷却系	当初は空気冷却とし、運転開始後に蓄熱等の熱利用設備付加を考慮
安全設備	開発した安全性向上技術を適用 ・受動的炉停止設備 ・自然循環崩壊熱除去 ・シビアアクシデント炉内終息技術

*:照射試験に必要な中性子束強度を確保するために100MWtを選定

オンライン照射リグ

表 RI 照射を考慮した炉心概念検討の炉心計算結果
(2次元 RZ 70 群拡散・燃焼計算)

項 目		単 位	仕 様
炉心基本仕様	炉心熱出力	MWt	100
	運転サイクル長さ	日/ヶ月	90/3.0
	燃交バッチ数	—	6
	炉心高さ	cm	100
	炉心燃料ピン径/被覆管肉厚	mm/mm	6.5/0.47
	スぺーサワイヤ径	mm	1.0
	炉心燃料集合体内ピン本数	本	169
	集合体配列ピッチ	mm	111.1
	炉心燃料体数(内側/外側)	体	6/21
	制御棒本数	本	6
炉心等価直径/遮蔽体外接円径		m	0.68 / 1.80
炉心特性	Pu 富化度等 (内側/外側)	Pu 富化度[Pu/HM]	wt% 32.9/35.7
		TRU 富化度[TRU/HM]	wt% 35.2/38.3
		MA含有率[MA/HM]	wt% 2.3/2.5
	²³⁵ U 濃縮度	wt%	18.0
	燃焼反応度	%Δk/kk'	1.57
	照射位置での高速中性子束 (E>0.1MeV) [サイクル平均]	照射用集合体(炉心軸中心)	×10 ¹⁵ n/cm ² s 2.40
		RI 照射用リグ(炉心軸中心)	×10 ¹⁵ n/cm ² s 1.00
	最大高速中性子束(E>0.1MeV)	×10 ¹⁵ n/cm ² s	2.47
	最大高速中性子照射量(E>0.1MeV)	×10 ²³ n/cm ²	1.15
	最大線出力	W/cm	361
	炉心取出平均燃焼度	GWd/t	61.0
	初装荷HM重量	t/バッチ	0.147
	実効遅発中性子割合(平衡サイクル末期)	—	3.86E-03
	ナトリウムボイド反応度(平衡サイクル末期) *1	\$	-2.64
	ドブブラ係数(平衡サイクル末期) *2	Tdk/dT	-2.14E-03

もんじゅ燃料集合体と
同等の仕様

常陽燃料と同等の仕様*

*:常陽で計画している高Pu
富化度燃料(<50%)の使用も
候補と考える

照射試験に必要十分な
中性子束
常陽の約0.8倍

負のボイド反応度
(過酷事故炉内終
息で有利:より
安全な炉心特性
とできる)

炉中心1体分の照
射スペース確保

- 内側炉心燃料集合体
- 外側炉心燃料集合体
- 照射用集合体
- 径方向反射体
- 遮蔽集合体
- 主炉停止系制御棒
- 後備炉停止系制御棒

100MWt炉心 配置図

*1 ラッパ管間ギャップの冷却材は非ボイド *2 基準(燃料組成のみ)+500℃

医療用RIであるAc-225を製造・供給：

- 高速中性子の特徴を生かし、Ra-226/Th-230から(n,2n)反応によりAc-225を生成
- オンライン照射装置の開発が必要

MA燃焼試験を行い、高速炉による廃棄物減容・有害度低減を早期に示す。：

- 集合体レベルでMA燃料を装荷し、照射試験・照射後試験を実施

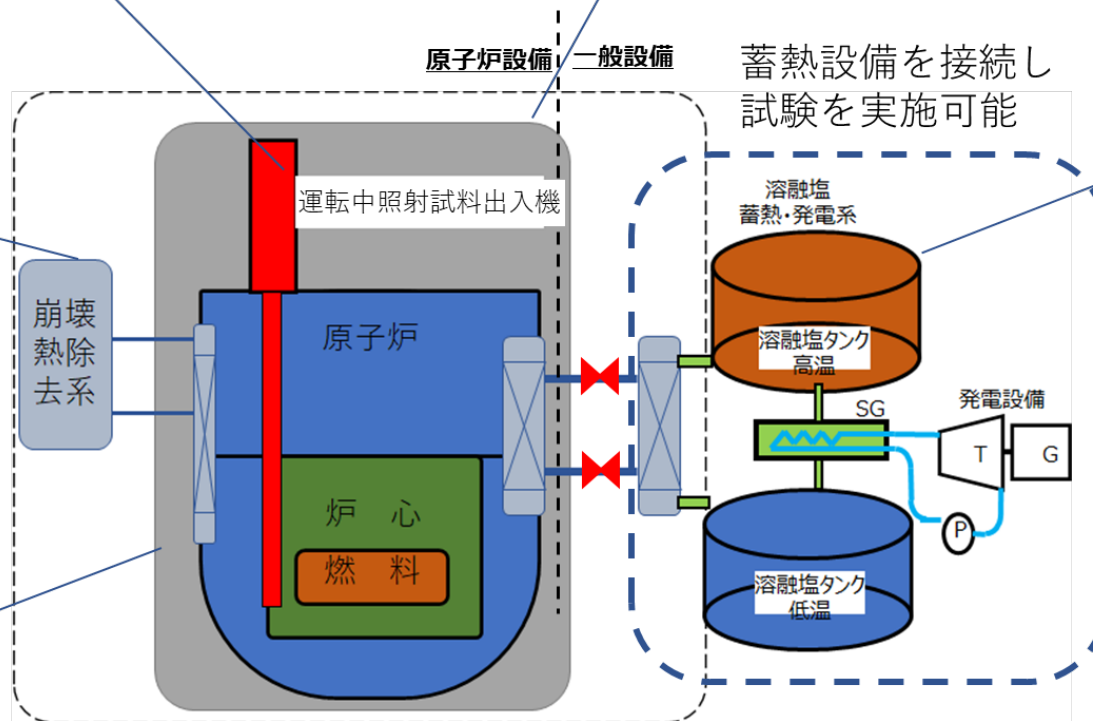
革新炉の安全技術を適用し安全性を確立：

- 自己作動型炉停止機構（SASS）の実装
- 自然循環崩壊熱除去の実装
- 過酷事故の炉内終息技術を実装

100MWt炉での蓄熱設備：

- 高速炉と熱利用設備の接続技術は確立
- 原子炉熱出力の蓄熱技術を確立*
- Na-熔融塩の熱交換技術の開発は、AtheNaで実施。

*:規模が小さく、経済性等の性能実証は困難

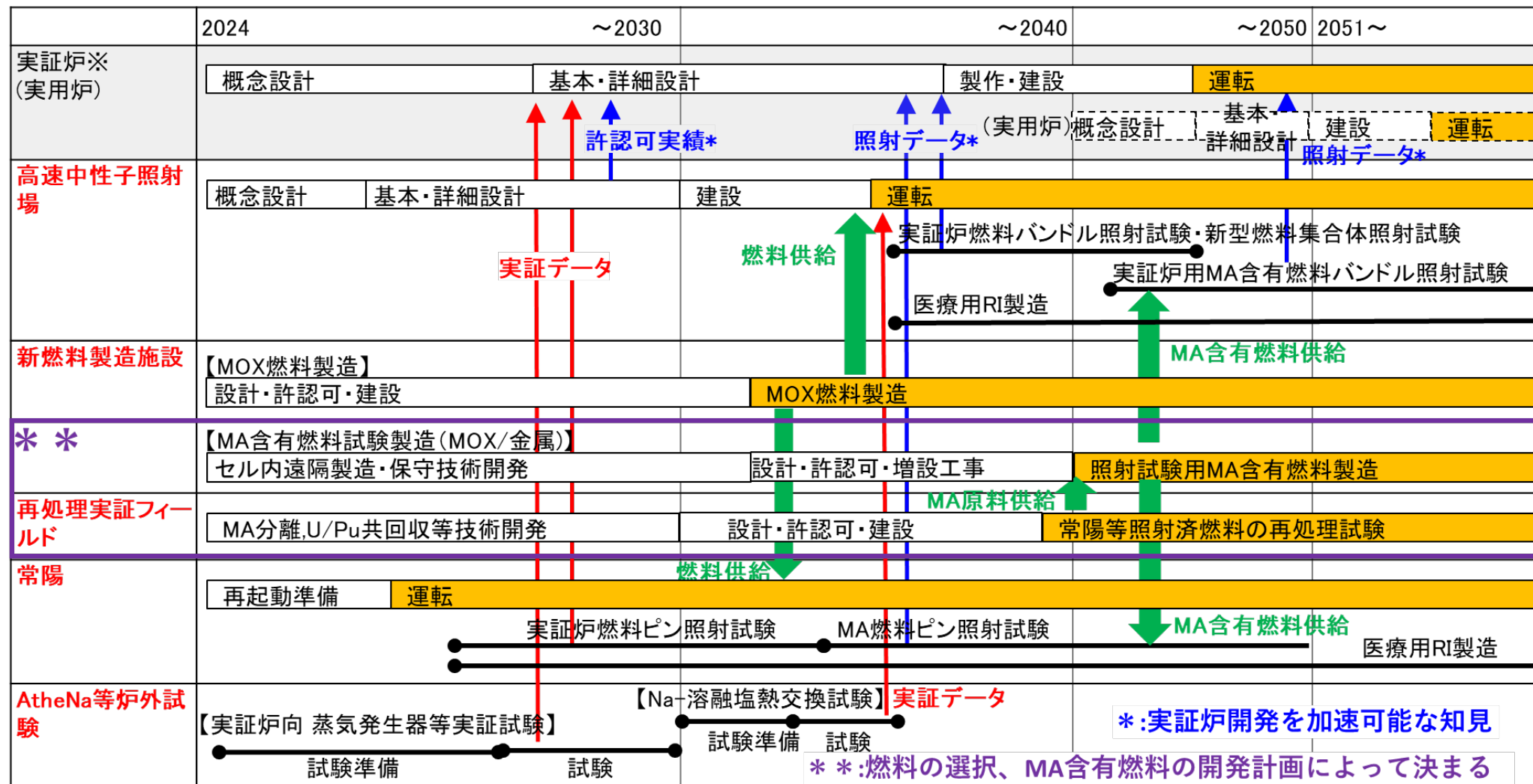


高速炉技術基盤を確立：

- タンク型原子炉容器の設計
- サプライチェーンの再構築、等

(参考)高速炉技術基盤の整備計画

第7回検討会においてJAEAより提案



※実証炉の工程は「GX実現に向けた基本方針 参考資料（令和5年2月10日）」を基に作成