

第8章 原子力利用に向けたイノベーションへの取組

8-1 研究開発に関する基本的考え方と関係機関の役割・連携

エネルギー安定的供給や2050年カーボンニュートラルの実現、事故炉の廃炉や放射性廃棄物の処理・処分における課題の克服等には、更なるイノベーションの創出が必要です。原子力政策について長期的な方向性を示す羅針盤となる原子力委員会の「原子力利用に関する基本的考え方」（2023年2月改定）では、エネルギー分野での研究開発を強化するほか、医療分野での放射線利用など、様々な分野での原子力イノベーションの創出を目指すことなどを基本目標としています。また、研究開発に関する重点的取組として、研究開発マネジメントの強化、原子力イノベーションと基礎研究の推進、研究開発機関や原子力事業者の連携・協働の推進、研究開発活動を支える基盤的施設・設備の強化を掲げています。第7次「エネルギー基本計画」（2025年2月閣議決定）においても、カーボンニュートラル実現に向けたイノベーションの必要性を示すとともに、原子力については次世代革新炉の研究開発等を進めるとしています。

政府や研究開発機関は、原子力に関する基礎研究から応用研究・技術開発を促進するための研究開発計画を策定・推進しています。また、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の教訓、原子力を取り巻く環境の変化、国際動向等を踏まえ、適切なマネジメント体制の構築に向けた取組を行っています。

8-1-1 研究開発に関する基本的考え方

第6期「科学技術・イノベーション基本計画」（2021年閣議決定）では、カーボンニュートラルの実現に向けて、多様なエネルギー源の活用等のための研究開発・実証等の推進として、省エネルギーや再生可能エネルギーとともに、原子力、核融合等に関する必要な研究開発や実証、国際協力を進めるとしています。この基本計画の実行計画として位置付けられる「統合イノベーション戦略2024」（2024年6月閣議決定）では、原子力に関する今後の取組方針として、幅広い原子力科学技術に関する研究開発を支援する事業を検討し、基礎基盤技術の開発を推進するとともに、産学官連携の強化を推進する、としています。これらの計画等の下、文部科学省の原子力科学技術委員会¹は2024年8月に「今後の原子力科学技術に関する政策の方向性（中間まとめ）」を取りまとめました。その中で、新試験研究炉及び次世代革新炉の開発、廃止措置を含むバックエンド対策・研究、人材基盤の強化、福島第一原子力発電所事故への対応等の施策を体系的かつ総合的に推進することが重要との方向性が示されました。

第7次エネルギー基本計画では、次世代革新炉については、安全性向上はもとより、脱炭

¹ 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会に設置

素の電源供給に留まらず、分散エネルギー供給、廃棄物の減容化・有害度低減、カーボンフリーな水素・熱供給など、炉型ごとに特長を有しており、実用化に向けて取組を進めていくとしています。また、炉型ごとの用途や開発段階の相違、社会のニーズ等の要素も考慮して、研究開発、技術実装の円滑化、規制当局との共通理解の醸成・改善への協働等について、国際連携も活用しつつ産学官で進めていくとしています。

また、令和4年度版原子力白書²の特集「原子力に関する研究開発・イノベーションの動向」では、原子力委員会メッセージとして研究開発を通じたイノベーションへの期待と課題が示されています。研究開発に当たって求められる態度として、技術のメリットを強調するだけでなく科学的・工学的な課題を含めた技術の客観的な検証を進めるべき、放射性廃棄物やサプライチェーン、規制対応など事業全般のライフサイクルベースに対する影響を早い段階から議論の俎上に載せるべき、産学連携や国際連携を積極的に進めることが必要、さらに、国民からの信頼が大前提という認識を持ちつつ、関係者が総力を結集して、研究開発に取り組むことを期待、といった内容を提言しています。

8-1-2 原子力関係組織の連携による知識基盤の構築

イノベーションの創出において、新技術を導入する事業者と、新たな知識や価値を生み出す研究開発機関や大学との連携や協働は重要です。しかし、我が国の原子力分野では分野横断的・組織横断的な連携が十分とはいえず、科学的知見や知識も組織ごとに存在していました。このような状況を踏まえ、原子力委員会は、科学的知見や知識の収集・体系化・共有によって、より厚い知識基盤の構築を進めるため、原子力関連機関が情報交換や連携を行う場として「連携プラットフォーム」を2018年に立ち上げました。連携プラットフォームでは「軽水炉長期利用・安全」、「過酷事故・防災」、「廃止措置・放射性廃棄物」の三つのテーマについて、産業界と研究機関等による連携が進められています（図 8-1）。

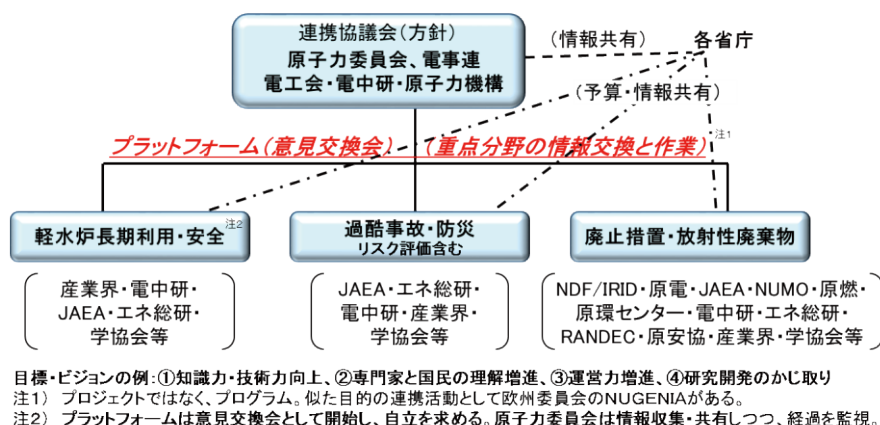


図 8-1 原子力関係組織の連携プログラム案

（出典）内閣府作成

² <https://www.aec.go.jp/kettei/hakusho/2022/>

軽水炉長期利用・安全プラットフォームの下には、「燃料プラットフォーム」が設置されています。燃料プラットフォームでは、軽水炉燃料に関する研究開発課題を抽出するとともに、国内研究機関等による研究開発項目を効率的に選定していくための指針とするべく、国内外の研究開発状況を調査し、今後実施すべき研究開発項目を整理しました。

過酷事故・防災プラットフォームでは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（原子力機構）を中心とした各関係機関の協力の下で、SA³アーカイブズ（軽水炉過酷事故技術資料）の整備及び公開に向けた手続きを進めています。SA アーカイブズは、過酷事故の推移や個別現象、その影響と対策を俯瞰的に理解すること、また、これらを体系的に学習する研修資料とすることを目的としています。

廃止措置・放射性廃棄物連携プラットフォームでは、国内の様々な関係機関の連携により、当該分野における情報体系の整備等を実施しています。また、2022年3月からは、「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分に係る考え方について（見解）」（2021年原子力委員会公表）⁴を踏まえ、低レベル放射性廃棄物の国内保有量と将来発生量の把握及び関係者間の情報共有の方法や安全性評価のひな形の整備等についても検討しています。

8-1-3 日本原子力研究開発機構の取組

原子力機構は、我が国における原子力に関する総合的研究開発機関です。原子力機構は、核工学・炉工学研究、燃料・材料工学研究、環境・放射線工学研究、先端基礎研究、高度計算科学技術研究等、原子力の持続的な利用と発展に資する基礎的・基盤的研究等を担っています。原子力機構の新たな取組として、放射性廃棄物を資源に変える技術として、核燃料を製造する際に発生する劣化ウランを用いた蓄電池や、放射性廃棄物から発生する崩壊熱・放射線を利用した発電素子の開発が行われています。2023年4月から新たなビジョン「『ニュークリア × リニューアブル』で拓く新しい未来」を掲げ、「原子力」と「再生可能」の相乗効果、原子力自体を持続可能に、原子力利用の多様化の3つの柱に基づき研究開発を進め、分野を超えた研究と技術の融合によるイノベーションの継続的な創出に取り組んでいます。2024年度には、ウランと鉄を用いるレドックスフロー電池⁵の開発や半永久電源用アメリカシウム・プルトニウムからの実用的な新技術による分離回収に成功しています。

原子力機構の第4期中長期目標⁶（2022年2月策定）では、研究成果を最大化させるための目標として、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や、原子力科学技術に係る多様な研究開発の推進によるイノベーションの創出などの7項目が掲げられています。また、「今後の原子力政策の方向性と行動指針」（2023年原子力関係閣僚会議決定）では、産業界のニーズも踏まえ、大学の技術的知見を蓄積・活用するために原子力機構が「知の集約拠点」として貢献することが期待されています。

³ Severe Accident（過酷事故）

⁴ 第6章6-2-3-4「低レベル放射性廃棄物の処理・処分に係る課題」を参照

⁵ 電解液を循環させて充電、放電する仕組みの蓄電池

⁶ 2022年度から2028年度まで

8-1-4 量子科学技術研究開発機構の取組

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（QST⁷）は、量子技術イノベーション研究分野、量子医学・医療研究分野、量子エネルギー研究分野、量子ビーム科学研究分野の四つの分野における研究開発を担っています。量子科学技術についての基盤技術から重粒子線がん治療や疾病診断研究等の応用までを総合的に推進するとともに、放射線影響・被ばく医療研究についても実施しています。QST の第2期中長期目標⁸（2023 年策定、2024 年変更）では、量子技術の基盤となる研究開発、量子生命科学に関する研究開発、がん、認知症等の革新的な診断・治療技術に関する研究開発の推進、フュージョン（核融合）エネルギーの実用化に向けた研究開発の推進、放射線被ばくから国民を守るための研究開発と社会システム構築が掲げられています。2024 年度には、細胞死を引き起こす DNA の重篤な傷の修復方法を特定するとともに、高い腫瘍選択性を示す悪性黒色腫の標的アルファ線治療用薬剤となるアスタチン - 211 標識ペプチド薬剤を開発し、安全で効果的ながん治療法の研究開発に貢献しています。

⁷ National Institutes for Quantum Science and Technology

⁸ 2023 年度から 2029 年度まで

8-2 研究開発・イノベーションの推進

第7次エネルギー基本計画では、電力需要増加が見込まれる中で再生可能エネルギーと原子力を共に最大限活用していくことが極めて重要であると指摘されています。カーボンニュートラル実現に向けたイノベーションとして、次世代革新炉等の開発に加えて核セキュリティ・核不拡散分野⁹やバックエンド分野¹⁰における研究開発、研究基盤・人材育成体制の構築¹¹を進める方針が示されています。

原子力関係機関による連携や国際協力により、基礎的・基盤的なものから実用化を見据えたものまで様々な研究開発・技術開発を推進していくことが期待されます。

8-2-1 基礎・基盤研究から実用化までの原子力イノベーション

原子力発電技術は実用段階にある脱炭素化の重要な選択肢です。この発電用途に加え、熱エネルギーの有効活用など多様な適用可能性を秘めた技術として、次世代革新炉¹²等に関する研究開発が基礎・基盤研究から実用化に至るまでの中長期的な視点に立って推進されています(図8-2)。また、人的・資金的資源を分担し、成果を共有するなど国際協力の枠組みを活用した研究開発も進められています。



図 8-2 次世代革新炉の種類と現状

(出典) 資源エネルギー庁

⁹ 詳細は第4章「原子力の平和利用と核不拡散・核セキュリティの確保への取組」を参照

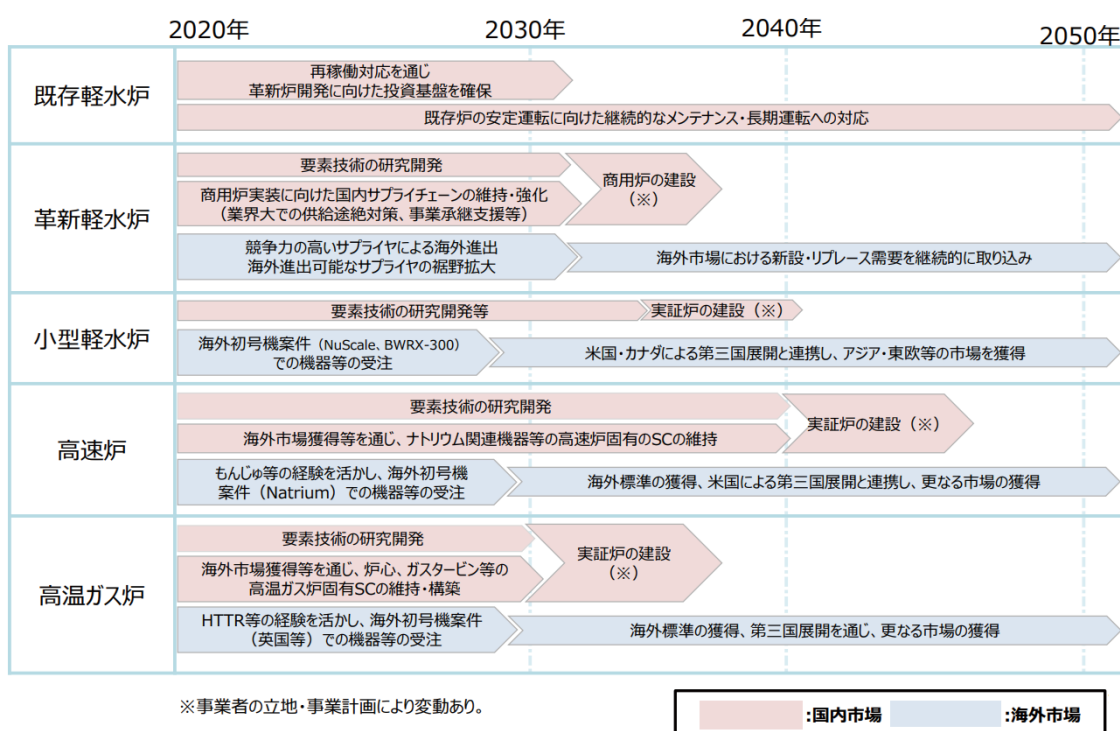
¹⁰ 詳細は第6章「廃止措置及び放射性廃棄物への対応」を参照

¹¹ 詳細は第9章「人材育成とサプライチェーンの維持・強化」を参照

¹² 次世代革新炉開発に関する政策については第2章2-2-2「次世代革新炉の開発・設置」を参照

第7次エネルギー基本計画では、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・建設に取り組むことが示されました。あわせて、研究開発やサプライチェーン・人材の維持・強化に対する支援を拡充し、同志国との国際連携を通じた研究開発推進にも取り組むこと等が盛り込まれました。原子力に関する基礎・基盤的な研究開発は、主に原子力機構、QST、大学等で実施されています。

資源エネルギー庁は、我が国の炉型開発に係る道筋を示す「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」（2022年）を取りまとめました¹³。この骨子案では、原子力イノベーションを通じて、再生可能エネルギーとの共存、水素社会への貢献といった原子力の新たな社会的価値が再定義され次世代革新炉の炉型ごとに研究開発を進めていく上での目標時期と、参考として原子力サプライチェーンによる市場獲得戦略が示されています（図 8-3）。



注：SC(Supply Chain、サプライチェーン)

図 8-3 原子力サプライチェーンによる市場獲得戦略

（出典）資源エネルギー庁、カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）別添（2022年）

また、文部科学省と資源エネルギー庁は、開発に関与する主体が有機的に連携し、基礎研究から実用化に至るまで連続的にイノベーションを促進することを目指し、2019年4月にNEXIP¹⁴イニシアチブを立ち上げました。同イニシアチブでは、文部科学省の「原子力システム研究開発事業」、経済産業省の「原子力の安全性向上に資する技術開発事業」及び「社会

¹³ 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

¹⁴ Nuclear Energy × Innovation Promotion

的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」について原子力機構の研究基盤等も活用しながら相互に連携することにより原子力イノベーションの創出を目指しています（図 8-4）。

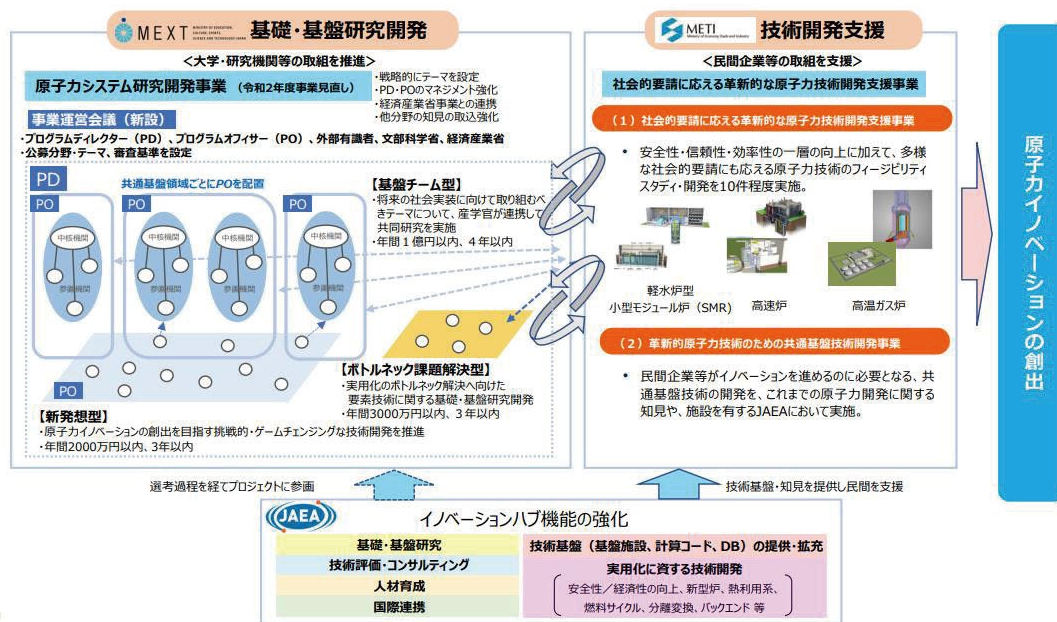


図 8-4 NEXIP イニシアチブにおける各事業の位置付け

（出典）文部科学省、原子力人材、原子力イノベーションを取り巻く最近の状況、原子力科学技術委員会原子力研究開発・基盤・人材作業部会（第17回）〔資料1〕（2023年）

8-2-2 軽水炉利用に関する研究開発

地球温暖化対策に貢献しつつ安価で安定的に電気を供給できる電源として軽水炉を長期的に利用していくためには、安全性、信頼性、効率性を維持し向上していくことが重要です。そのため、安全性向上¹⁵、過酷事故対策¹⁶、高経年化対策、稼働率向上、発電出力の増強、建設期間の短縮、建設性の向上、セキュリティ対策等の様々な課題に対応するための研究開発が、関係機関の連携により継続的に実施されています。

また、革新技術を導入することで安全性を向上させるとともに、再生可能エネルギーとの共存等の社会ニーズを踏まえて機能を向上させた革新軽水炉が提案されています¹⁷。この革新軽水炉の開発は、国内原子炉メーカーが主導しNEXIP イニシアチブにおける基盤的研究も活用して進められています。具体的には、事故耐性燃料やセキュリティ高度化といった安全性向上に向けた技術開発、熔融炉心対策や放射性物質放出防止といった過酷事故対策、出力調整機能の強化などに向けた開発が行われています。

原子力機構は、軽水炉研究のニーズの把握と関係機関との連携を調整するとともに、原子力機構として進める軽水炉研究の戦略を策定し、原子力機構内の組織横断的な連携や研究成果創出のための支援を行うこととしています。

¹⁵ 第1章 1-2-3-2「原子力安全研究」を参照

¹⁶ 第1章 1-3-2「過酷事故に関する原子力安全研究」を参照

¹⁷ 第2章 2-2-2「次世代革新炉の開発・設置」を参照

8-2-3 高温ガス炉に関する研究開発

高温ガス炉は、燃料に耐熱性に優れた被覆燃料粒子を、減速材や燃料を保持する炉心の構造体に高い熱伝導と耐熱性を有する黒鉛を、冷却材に化学的に安定なヘリウムガスを使用しています。これらの特性により、万一、冷却材が喪失するような事故が起きても自然に炉心が冷却されるといった固有の安全性を有する設計を実現しています。また、900℃を超える高温の熱を供給することが可能であり、発電のみならず水素製造を含む様々な産業利用が期待されています。我が国では、高温ガス炉の実用化に向けた具体的な取組として、2023年より資源エネルギー庁「高温ガス炉実証炉開発事業」が開始されました。同事業では、三菱重工業株式会社（三菱重工）が、実証炉の基本設計を実施するとともに、将来的に製造・建設を担う「中核企業」として選定され、実証炉の設計に係る研究開発などを進めています。

8-2-3-1 HTTR（高温工学試験研究炉）

原子力機構のHTTR¹⁸は、我が国初かつ唯一の高温ガス炉試験研究炉であり、1998年の初臨界以降、高温ガス炉の基盤技術の確立を目指してデータを取得・蓄積しています。2020年に新規基準への適合性に係る設置変更許可を取得、2021年に運転を再開しました。2022年には原子炉出力約30%における炉心冷却喪失試験¹⁹を、2024年3月には原子炉出力100%における炉心流量喪失試験²⁰を実施しました。これらの試験では、強制冷却が喪失した状態で制御棒が挿入されなくとも、物理現象のみで原子炉出力が自然に低下し静定するという高温ガス炉の固有の安全性が実証されました。

HTTRは原子炉出口冷却材温度約950℃での50日間連続運転を実現しており、この高温熱供給能力を活用したカーボンフリー水素製造技術の開発も進められています。2022年度には、HTTRに水素製造施設を接続して高温熱を活用した水素製造技術の実証事業²¹が開始され（図8-5）、2025年3月に原子力規制委員会に水素製造施設の接続に係るHTTRの原子炉設置変更許可を申請しました。また、実証炉を見据えた機器開発や大量かつ安定した水素製造技術の開発²²が行われています。



図 8-5 HTTR—熱利用試験施設
（出典）原子力機構／三菱重工、カーボンニュートラル実現に向けたHTTRによる水素製造実証事業の開始（2022年）

8-2-3-2 高温ガス炉研究開発に関する国際協力

高温ガス炉の研究開発について、ポーランド及び英国との国際協力が進められています。ポーランドとの国際協力では、2017年署名の「日・ポーランド戦略的パートナーシップに

¹⁸ High Temperature Engineering Test Reactor

¹⁹ 制御棒による原子炉出力操作を行うことなく全ての冷却設備を停止し、冷却機能の喪失を模擬した試験

²⁰ 冷却材であるヘリウムガスの流量をゼロとし、冷却機能の喪失を模擬した試験

²¹ 資源エネルギー庁 超高温を利用した水素大量製造技術実証事業

²² 資源エネルギー庁 高温ガス炉実証炉開発事業

関する行動計画」を受け、原子力機構が、ポーランド国立原子力研究センター（NCBJ²³）に対し、高温ガス炉の設計研究、燃料・材料研究、原子力熱利用の安全研究、研究炉の基本設計等の協力を実施しています。また、2023年に日・ポーランド両政府は「高温ガス炉技術分野に係る研究開発に関する協力覚書」に署名し、高温ガス炉の実験炉に関する基本設計等を通じて、両国における人材育成や研究開発活動を促進していくこと等を定めました。さらに、2024年11月に署名された「日本国経済産業省とポーランド共和国産業省との協力覚書」では、両国の研究機関及び民間企業間で高温ガス炉の非電力利用に関する実践的な議論を促進していくこと等が定められました。ポーランド政府は、脱炭素化に向けた石炭火力の代替及び化学産業用の熱源に利用することを想定し、2020年代後半に高温ガス炉研究炉（熱出力30MW）の導入を計画しています。

英国との国際協力では、2019年署名の「日本国経済産業省と英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省との間のクリーンエネルギーイノベーションに関する協力覚書」を受け、原子力機構は、英国国立原子力研究所（UKNNL²⁴）との包括的な技術協力取決め（2001年署名）を2020年に改定し、新たに「高温ガス炉技術分野」を追加しました。原子力機構、UKNNL及び英国企業から構成されるチームは、2022年に開始された英国の新型モジュール炉（AMR²⁵）研究開発・実証プログラム²⁶において基本設計を進めています。また、原子力機構はUKNNLと連携して高温ガス炉燃料製造の技術開発を進めています。また、原子力機構とUKNNLは2024年4月に、英国高温ガス炉燃料開発プログラムに係る実施覚書を締結しました。原子力機構とUKNNLは、2024年11月に英国で開催された「英国高温ガス炉実証炉プログラム 成果報告・展示会」において計画が着実に進捗していることを紹介しました。英国政府は脱炭素化に向けた原子力利用の最有力候補として高温ガス炉に着目しており、2030年代初頭までに高温ガス炉の実証につなげる予定としています。

原子力機構は、これらの国際協力を通じて、HTTRの建設及び運転で培った我が国の高温ガス炉技術の高度化と国際標準化を図り、国際競争力の強化を目指すとしています。

8-2-4 高速炉に関する研究開発

高速炉は、核分裂によって発生した高速中性子を減速せずに利用する原子炉です。高速炉の燃料サイクル技術は、使用済燃料に含まれるプルトニウムを燃料として再利用すること等を目的とした技術です。2022年12月に原子力関係閣僚会議が改訂した「戦略ロードマップ」²⁷では、その開発目標（表8-1）が示されるとともに、2028年度頃までに実証炉の概念設計を実施するとしています。

²³ National Centre for Nuclear Research, Narodowe Centrum Badań Jądrowych

²⁴ United Kingdom National Nuclear Laboratory, 2024年12月に名称をNNLから変更

²⁵ Advanced Modular Reactor

²⁶ 英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省（当時）が、2030年代初頭に高温ガス炉を実証する目標に向けて、2022年に開始したプログラム。フェーズAとして予備調査を実施し、フェーズB以降は基本設計等が実施される計画

²⁷ 第2章2-2-3-8「高速炉開発」を参照

高速炉の実用化に向けた具体的な取組として、2023 年度より資源エネルギー庁において「高速炉実証炉開発事業」が開始されました。同事業では、三菱 FBR システムズ株式会社（三菱 FBR システムズ）が提案する「ナトリウム冷却タンク型高速炉」（図 8-6）を実証炉の炉概念としています。そして、三菱重工が概念設計を実施するとともに将来的にはその製造・建設を担う「中核企業」として選定され、高速炉実証炉に適用できる技術基盤の整備や、概念設計のための研究開発を進めています。2024 年 6 月に資源エネルギー庁の高速炉開発会議戦略ワーキンググループが概念設計段階の体制を決定し、政府が全体戦略のマネジメント機能を担い、原子力機構が電気事業者の協力を得つつ研究開発統合機能を担うこととなりました。また、2024 年 7 月には、炉と燃料サイクルの研究開発統合組織として、原子力機構に「高速炉サイクルプロジェクト推進室」が設置されました。



図 8-6 ナトリウム冷却タンク型高速炉（経済産業省委託事業研究成果を含む）

（出典）三菱重工PRESS INFORMATION，三菱重工ウェブサイト（2023年）

表 8-1 「戦略ロードマップ」における高速炉の開発目標（抜粋）

項目	開発目標
安全性・信頼性	- 福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、高い安全性を追求すること - 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を施すこと
経済性	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し、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
環境負荷低減性	- 高レベル放射性廃棄物量減容・潜在的有害低減のため、マイナーアクチノイドを分離・回収し、燃料として利用できるようにすること - ライフサイクルでの環境影響が他電源と比して少ないこと
資源有効利用性	- 軽水炉及び軽水炉のプルサ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
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
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、原子炉出力規模の選択肢や負荷追従能力等、必要な柔軟性に適切に対応できること

（出典）内閣府作成

8-2-4-1 高速実験炉原子炉施設（常陽）

「常陽」は、我が国初の高速実験炉であり、高速炉の実用化のための技術開発（増殖特性の確認）や燃料・材料の開発に貢献しています。1977 年の初臨界以来、588 体の運転用燃料、220 体のブランケット燃料及び 101 体の試験燃料等を照射し、高速炉炉心での燃料集合体や燃料ピンの安全性と照射特性を明らかにしてきました。原子力機構は、2023 年に新規規制基準への適合性に係る設置変更許可を取得しました。今後、安全対策工事等を行い 2026 年度半ばの運転再開を計画しています。また、医療用の放射性同位元素（RI²⁸）の国内製造・安定

²⁸ Radioisotope

供給のための取組として、2026 年度までにアクチニウム-225 (Ac-225) の製造実証を行う予定です²⁹。2024 年 10 月には、医療用 RI 生産用実験装置の追加等に係る設置変更が許可されました。

8-2-4-2 高速炉開発に関する国際協力

高速炉の開発については、フランス及び米国との国際協力が進められています。

フランスとの国際協力では、2014 年から 2019 年にかけて実施された第 4 世代ナトリウム冷却高速炉実証炉 (ASTRID³⁰) 計画の後、2019 年に日仏政府間で高速炉研究開発の協力について合意文書が署名されました。また、同年、原子力機構、三菱重工、三菱 FBR システムズ、フランスの原子力・代替エネルギー庁 (CEA³¹) 及びフラマトム社の間で、ナトリウム冷却高速炉開発の協力に係る実施取決めが署名されました。同取決めの下で、シミュレーションや実験等の協力を行っています。加えて、2024 年 9 月には、日仏政府間で高速炉研究開発の協力についての合意文書が更新され、日本原子力発電株式会社とフランス電力 (EDF³²) が新たに協力の実施機関として追加され、新たな協力分野として、日本の高速炉実証炉開発プロジェクトに資する項目が協力対象に追加されました。同年 12 月には、協力の実施機関において、実施取決めが署名されました。

米国では、高速炉である多目的試験炉 (VTR³³) の建設を検討中ですが米国 2022 会計年度³⁴以降は予算措置はされていません。他方、2020 年に開始した先進的原子炉実証プログラム (ARDP³⁵) の支援対象の一つに米国テラパワー社の高速炉「Natrium」が選定されました。テラパワー社は、原子力機構、三菱重工及び三菱 FBR システムズと、ナトリウム冷却高速炉の開発に係る覚書³⁶を締結しています。

8-2-5 小型モジュール炉 (SMR) に関する研究開発

SMR³⁷の定義は一つに定まっていませんが、国際原子力機関 (IAEA³⁸) の説明では、1モジュール当たり最大 300MW の電力を供給する先進的原子炉とされています。これは、需要に応じて単一又は複数モジュールを発電所に配備できるよう、工場で製造し現地に運搬して組み上げることができる設計となっています。SMR は炉心が小さいことなどにより、自然法則による安全機能 (静的安全) を備えることができます。また、この性質により安全システムをシンプルにすることで信頼性の向上を図ることや、工場でのモジュール生産や建設工

²⁸ Radioisotope

²⁹ 第 7 章 7-2 「様々な分野における放射線利用」を参照

³⁰ Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration

³¹ Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

³² Électricité de France

³³ Versatile Test Reactor

³⁴ 米国 2022 会計年度は 2021 年 10 月から 2022 年 9 月

³⁵ Advanced Reactor Demonstration Program

³⁶ 2022 年 1 月に署名した後、2023 年 10 月に高速炉実証計画を含むように拡大

³⁷ Small Modular Reactor

³⁸ International Atomic Energy Agency

期短縮により初期投資コストの削減を図ることが期待されています。一方、SMR 市場の拡大に向けて、部品の標準化などを通じたコスト低減の実現や、廃棄物対応を含めライフサイクル全体を通じた SMR 特有の課題への対応も必要です。

原子力委員会の「原子力利用に関する基本的考え方」では、SMR に対する期待と求められる対応をまとめています（表 8-2）。また、NEXIP イニシアチブでは、SMR に関する研究及び技術開発も行われています。

米国やカナダでは、SMR の実証プロジェクトが進められており（図 8-7）、その一部には我が国の企業も参画しています。2023 年には経済産業省と米国エネルギー省（DOE³⁹）が、SMR を含む革新炉の開発・建設などの原子力協力の機会を各国内及び第三国において開拓する意向であるとの共同声明を発表しています。

表 8-2 SMR に対する期待と求められる対応

論点	期待	求められる対応
安全性	簡素化設計や低エネルギー密度は過酷事故につながる事象を低減し安全裕度を向上	自然循環冷却等の静的安全機能、過酷な故障モード等新たな技術の実証が必要
規制	軽水炉ベース SMR は現行の大型炉同様の運転条件等であるため、許認可プロセスが容易な可能性	軽水炉以外の SMR は新しい設計が多く、経験ベースがより限定的。新たな規制項目に係る検討と対策が必要
経済性	モジュール化等による工期短縮は先行投資額、財務リスクの低減につながり参入意欲拡大の可能性。SMR が提供できる電力系統の負荷追従や非電力利用は経済性向上に寄与し得る	スケールメリットの点で大型炉に比べて不利。世界市場に向けた大量生産の実現が必要。そのためには、世界的な規制調和と市場の統合が必要
サプライチェーン	研究機関や大学との連携により、SMR サプライチェーンは熟練した労働力と研究開発インフラの利活用を確保	SMR プロジェクトの展開のためには、主要コンポーネントの戦略的パートナーシップが不可欠
立地	大型原子炉と同様、雇用創出の機会等地域社会に魅力的なものとなる可能性。高い静的安全性等により、遮蔽要求水準の緩和や EPZ ^{注1} の縮小、エネルギー需要地域近傍への立地の可能性あり	EPZ の削減等が実施されても、安全目標を満たし、高いレベルで公衆の信頼を得ることにつながることを実証する必要あり
燃料サイクル・廃棄物	-	一部の SMR は濃縮度 5～20%の HALEU ^{注2} 燃料の使用を計画しており、そのサプライチェーンと燃料サイクル全体への影響評価が必要。また、SMR の使用済燃料の特殊性を踏まえた貯蔵・処分 ^{注3} の検討も必要

注 1: Emergency Planning Zone 原子力防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲

注 2: High-Assay Low-Enriched Uranium（高純度低濃縮ウラン：ウラン 235 濃縮度 5～20%）

（出典）内閣府作成



※イラストはNuScale社HP（<http://www.nuscalepower.com>）から引用

図 8-7 SMR の概念図（米国 NuScale Power Module の例）

（出典）資源エネルギー庁，原子力産業を巡る動向について，第 13 回原子力委員会[資料第 3 号]（2022 年）

³⁹ Department of Energy

8-2-6 核融合に関する研究開発

フュージョン（核融合）エネルギーは、軽い原子核同士が融合してより重い原子核に変わる際に、反応前後の質量減少分として放出されるエネルギーのことであり、次世代のクリーンエネルギーとして、環境・エネルギー問題の解決策としての期待に加え、政府主導の取組の科学的・技術的進展もあり、諸外国における民間投資が増加しています。世界各国が大規模投資を実施し、国策として自国への技術・人材の囲い込みを強める中、我が国の技術・人材の海外流出を防ぎ、我が国のエネルギーを含めた安全保障政策に資するため、政府では「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」（2023 年統合イノベーション戦略推進会議決定）に基づく取組を加速しています（図 8-8）。



図 8-8 フュージョンエネルギー研究開発の全体像

(出典) 文部科学省

我が国は、世界7極⁴⁰の協力により、国際約束に基づき、実験炉の建設・運転を通じてフュージョンエネルギーの科学的・技術的実現可能性を実証するITER⁴¹計画に参画しています。建設地のフランスでは ITER の建設作業が本格化しており（図 8-9）、我が国が分担する機器として、2023 年度までに主要機器である超伝導トロイダル磁場コイル、2024 年度までにプラズマを加熱する高周波源のジャイロトロンシステムの納入が完了しました。

あわせて、我が国は、ITER 計画を補完・支援し、原型炉に必要な技術基盤を確立するための日欧協力による先進的研究開発である幅広いアプローチ (BA⁴²) 活動を推進しています。BA 活動では、日欧共同で建設した、茨城県那珂市にあるトカマク型超伝導プラズマ実験装置「JT-60SA⁴³」が、2024 年 9 月に世界で「最大のトカマク型装置」としてギネス世界記録に認定されました。

⁴⁰ 日本、欧州、米国、ロシア、韓国、中国、インド

⁴¹ ITER はラテン語で「道」を意味する

⁴² Broader Approach

⁴³ JT-60 Super Advanced

また、フュージョンエネルギーの実現に向けて、原型炉実現に向けた基盤整備に加え、大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所における大型ヘリカル装置（LHD⁴⁴）、レーザー方式（大阪大学レーザー科学研究所）などを活用した多様な学術研究、ムーンスロット型研究開発制度等を活用した独創的な新興技術の支援を推進しています。



図 8-9 ITERの建設状況（2024年10月）
（出典）“Aerial” Gallery, The ITER Organizationウェブサイト（2025年）

フュージョンエネルギー分野における二国間協力では、米国や EU（欧州原子力共同体⁴⁵）等との研究協力の実施取決め等の下、研究交流を実施し、年に1回の会議を開催する等、情報共有・意見交換を行っています。また、2024年4月には、文部科学省が米国DOEと「フュージョンエネルギーの実証と商業化を加速する戦略的パートナーシップに関する共同声明」を発表しました。多国間協力では、2024年6月にイタリアで開催されたG7首脳の結果文書において、フュージョンエネルギーに関する記載が盛り込まれ、フュージョンの規制に対する一貫したアプローチに向けて取り組むこととされました。あわせて、この成果文書に基づき、同年11月にG7作業部会及び世界フュージョン・エネルギー・グループの創立閣僚級会議がイタリア・ローマで開催されました。

8-2-7 研究開発に関するその他の多国間連携

第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF⁴⁶）は、「持続可能性」「経済性」「安全性及び信頼性」「核拡散抵抗性及び核物質防護」の開発要件を満たす次世代の原子炉概念を選定し、その実証段階前までの研究開発を国際共同作業で進めるためのフォーラムとして2001年に設立されました。2025年3月には新たな枠組協定が発効し、これまでの共同開発を継続することとなりました。2025年1月時点で、我が国に加えてカナダ、フランス、スイス、英国、米国が新たな枠組協定に署名しています⁴⁷。また、経済協力開発機構/原子力機関（OECD/NEA⁴⁸）が技術事務局を引き続き務めることとなりました。2030年代以降に実用化が可能と考えられる6候補炉型⁴⁹を対象に、多国間協力で研究開発を推進しています。また、炉型を横断する共通技術を対象に6つのワーキンググループ⁵⁰が設置されています。

⁴⁴ Large Helical Device

⁴⁵ Euratom: the European Atomic Energy Community

⁴⁶ Generation IV International Forum

⁴⁷ 2025年2月までの協定には11か国（オーストラリア、カナダ、中国、フランス、日本、韓国、ロシア、南アフリカ、スイス、英国、米国）及び1機関（EU27か国の代表としてEuratom）が参加。アルゼンチンとブラジルは「第四世代の原子力システムの研究及び開発に関する国際協力のための枠組協定」に未署名

⁴⁸ Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency

⁴⁹ ガス冷却高速炉、熔融塩炉、ナトリウム冷却高速炉、鉛冷却高速炉、超臨界圧水冷却炉、超高温ガス炉

⁵⁰ 先進的製造と材料工学、経済性モデリング、教育と訓練、核拡散抵抗性及び核物質防護、リスクと安全、原子力の非電力及び熱電併給

8-3 基盤的施設・設備の強化

研究開発や人材育成を進める上で、研究開発機関や大学等が保有する基盤的施設・設備は不可欠です。しかし、多くの施設・設備は高経年化が進んでいることに加え、新規制基準への対応のために一旦全ての研究炉の運転が停止しました。関係機関では、運転再開に向けた取組や、求められる機能を踏まえた選択と集中を進めています。

8-3-1 基盤的施設・設備の現状及び課題

研究炉や放射性物質を取り扱う研究施設等の基盤的施設・設備は、研究開発や人材育成の基盤となる不可欠なものです。しかし、高経年化や新規制基準への適合性から、利用可能な基盤的施設・設備等は減少しており、その強化・充実が喫緊の課題となっています。そのため、国、原子力機構及び大学は、長期的な見通しの下に求められる機能を踏まえて選択と集中を進め、国として保持すべき研究機能を踏まえて基盤的施設・設備の構築・運営を図っていく必要があります。また、それらの基盤的施設・設備は、産学官の幅広い供用の促進や、そのための利用サービス体制の構築、共同研究等の充実により、効果的かつ効率的な成果の創出に貢献することが期待されます。

文部科学省は、原子力の基盤研究や人材育成に広く資する研究炉について、今後の取組の方向性を検討していく上での論点整理を行い、2022年に「我が国の試験研究炉を取り巻く現状・課題と今後の取組の方向性について（中間まとめ）」を公表しました。ここでは、研究炉が減少したことで潜在的なユーザーニーズを十分にカバーできるだけの環境を国内に確保できておらず、原子力産業や関連する学術研究を支える基盤が脆弱化し、人材や技術の継承が大きな危機に直面していると指摘しています。また、今後の取組の方向性として、現時点から中長期的に必要なことが見込まれる研究ニーズ等を整理していくことが重要であるとしています。

8-3-2 研究炉等の運転状況

我が国の研究炉や臨界実験装置は、最も多い時期には約20基が運転していましたが、2024年3月末時点で運転中6基、停止中2基の計8基にまで減少しています（図8-10）。福島第一原子力発電所事故以降に全ての研究炉が運転を一旦停止し、新規制基準への対応が行われました。原子力機構が管理・運用している原子炉安全性研究炉（NSRR⁵¹）、JRR-3⁵²、HTTR、定常臨界実験装置（STACY⁵³）の4基については運転が再開され、「常陽」は2026年度半ばの運転再開が計画されています。また、京都大学研究用原子炉（KUR⁵⁴）、近畿大学原子炉（UTR-

⁵¹ Nuclear Safety Research Reactor

⁵² Japan Research Reactor No.3

⁵³ Static Experiment Critical Facility

⁵⁴ Kyoto University Research Reactor

KINKI⁵⁵⁾ の2基についても運転を再開しています。なお、京都大学は2022年にKURの運転を2026年5月までに終了することを発表しています。また、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA⁵⁶⁾、については、KUCAの低濃縮ウラン燃料の完成に伴い、2025年度中の再稼働を目指すこととしています。

民間企業の研究炉である東芝エネルギーシステムズ株式会社東芝教育訓練用原子炉(TTR-1⁵⁷⁾及び東芝臨界実験装置(NCA⁵⁸⁾、並びに株式会社日立製作所日立教育訓練用原子炉(HTR⁵⁹⁾では廃止措置が進められています。

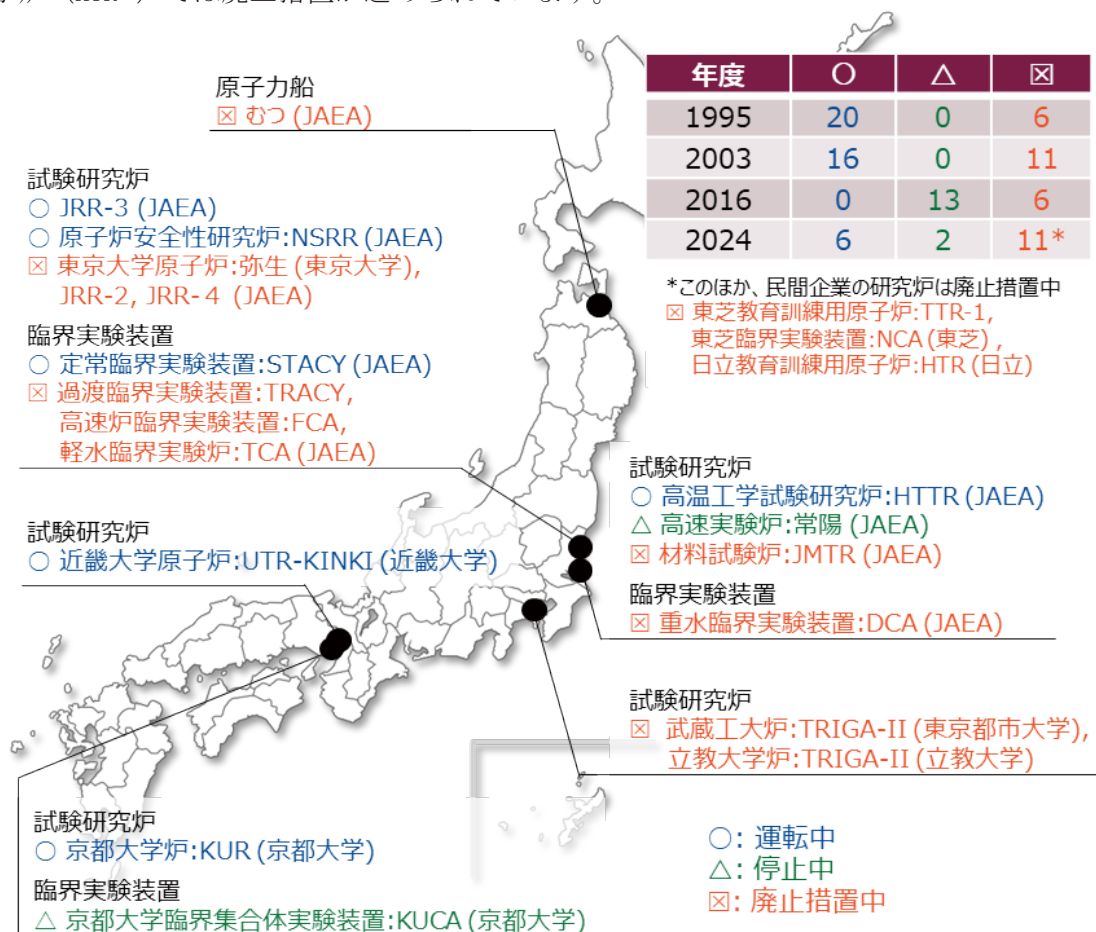


図 8-10 我が国の研究炉・臨界実験装置の状況

(出典) 内閣府作成

⁵⁵⁾ University Teaching and Research Reactor-KINKI

⁵⁶⁾ Kyoto University Critical Assembly

⁵⁷⁾ Toshiba Training Reactor-1

⁵⁸⁾ Toshiba Nuclear Critical Assembly

⁵⁹⁾ Hitachi Training Reactor

8-3-3 原子力機構の研究開発施設の集約化・重点化

原子力機構が管理・運用している原子力施設は、研究開発のインフラとして欠かせないものです。しかし、施設の多くは高経年化対応が課題となっていることに加え、新規制基準対応や、閉鎖する施設の廃止措置及びバックエンド対策⁶⁰にも多額の費用が発生することが見込まれています。このような状況を踏まえ、原子力機構は、施設の集約化・重点化、施設の安全確保、バックエンド対策の三つを一体で進める総合的な計画「施設中長期計画」を2017年に策定し、以降は進捗状況等を踏まえて改定しています。

また、2016年に「もんじゅ」を廃止措置とする政府方針を決定した際に、「もんじゅ」サイトを活用して新たな試験研究炉を設置し、今後の研究開発や人材育成を支える基盤となる中核的拠点となるよう位置付けることとされました。新たな試験研究炉については、2020年に、西日本における研究開発・人材育成の中核的拠点としてふさわしい機能の実現及び地元振興への貢献の観点から、中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉とする方針が示されました（図 8-11）。これを受け、実施機関（原子力機構、京都大学、福井大学）、学界、産業界、地元関係機関等からなるコンソーシアムが構築され、新試験研究炉の原子炉設置許可申請に向けた詳細設計や運営の在り方検討等が進められています。原子力機構が詳細設計段階以降における実施主体となり、また、三菱重工が原子炉設置業務を支援する主契約企業となり、設置許可申請に向けた詳細設計が進められています。

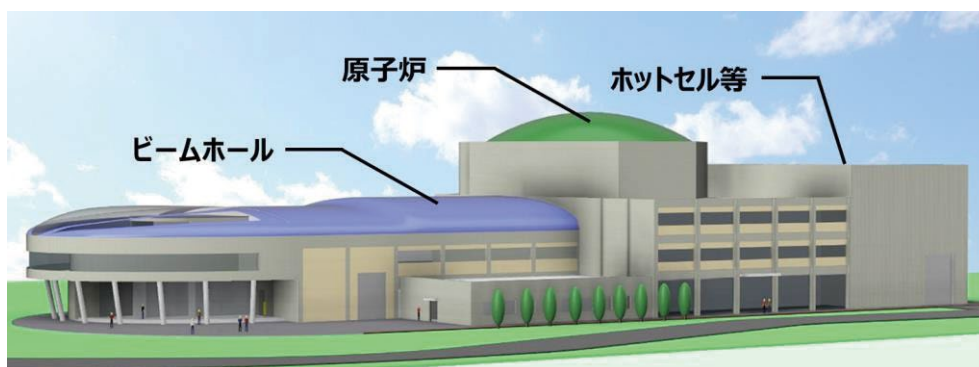


図 8-11 新試験研究炉のイメージ

（出典）新試験研究炉推進室 施設の紹介, 原子力機構ウェブサイト（2025年）を基に内閣府作成

⁶⁰ 第6章 6-1-3-2「研究開発施設等の廃止措置」を参照

コラム

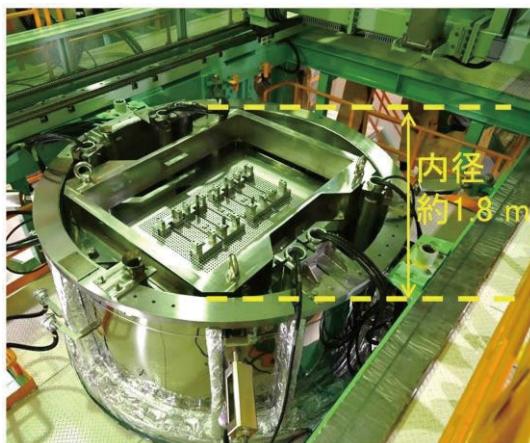
～研究炉の稼働状況～

研究炉は、原子力に係る学術研究・開発や人材育成を始めとして放射線の産業利用などを目的としています。また、医療用 RI の生産や放射線治療に関する研究などを通して医療に貢献する役割も担っています。我が国の全ての研究炉は、東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故を受けて施行された新規制基準に対応するため運転を停止し、新規制基準への適合性が認められた後、順次運転再開を果たしています。

教育機関による学術研究及び教育訓練の分野では、京都大学及び近畿大学の研究炉が再稼働を果たしています。京都大学研究用原子炉（KUR）は、理学、工学、農学、医学等の幅広い実験研究に利用されています。近畿大学原子炉（UTR-KINKI）は、学生や教員に向けた原子炉実習を通じて、原子炉運転体験や放射線測定実習に活用されています。

革新炉開発や放射線利用の分野では、原子力機構において高温ガス炉の研究開発や中性子ビームを活用した実験が実施されています。2024年8月には、原子力機構の定常臨界実験装置（STACY）が運転を再開しました。STACY の運転再開に当たり、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出し時の安全管理に関する技術開発に向けた更新改造がなされました。この更新改造は、試験研究用等原子炉に係る新規制基準の施行（2013年）及び原子力規制検査制度の施行（2020年）以降における原子炉本体施設（炉心及び制御設備）全面改造の国内初の事例となります。

また、医療分野では、2021年に再稼働した原子力機構の JRR-3 において医療用 RI の製造や製造技術開発が行われています。また、運転再開が計画されている高速実験炉「常陽」においても医療用 RI の製造準備が進められています。



STACY 更新のイメージ図

（出典）臨界実験装置 STACY 更新炉, 原子力機構原子力科学研究所ウェブサイト(2025年)