

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)

令和4年 12 月 28 日
原子力研究開発・基盤・人材作業部会

- 当作業部会では、これまで我が国における原子力人材育成や原子力研究開発を支える観点から国内の試験研究炉の重要性を取り上げるとともに、「もんじゅ」サイトにおける新試験研究炉の設計活動、廃止が決定された材料試験炉 JMTR について日本原子力研究開発機構から後継炉検討委員会の検討状況につきヒアリングを行うなど検討を進めてきた。これまでの議論を踏まえ、我が国の官民の原子力の基盤研究や人材育成に広く資する試験研究炉について、特に照射炉・ビーム炉を効果的・効率的に活用する観点から、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った。
- なお、政府においては、現在 GX 実行会議等において次世代革新炉の開発・建設に係る検討も進められているところ、本論点整理は中間的な整理とした。今後、現在進められている政府全体の原子力政策の方向性に関する検討状況も踏まえ、論点整理に必要な見直しを行いつつ、適切な時期に最終的な取りまとめを行うこととする。

1. 試験研究炉を取り巻く現状と課題

(1) 試験研究炉の減少とその影響

1990 年代後半以降、我が国では多くの試験研究炉(臨界実験装置等を含む。)が様々な背景要因から運転停止や廃止措置の対象となってきた。1995 年(平成7年)には計 20 施設稼働していた国内の試験研究炉は、東日本大震災(2011 年/平成 23 年)を経て、2016 年(平成 28 年)には一度ゼロにまで落ち込んだ(13 施設停止、6 施設廃止措置中)。後述のとおり、新規制基準(2013 年/平成 25 年策定)への適合に必要な対策等を施した上で、規制当局の認可を経て運転再開を果たした施設もあるが、その一方で、多くの試験研究炉が廃止措置に移行してきた。その背景要因は様々であるが、主要な要因としては、

1. 建設から長期を経た施設の老朽化・高経年化
2. 所期の目的を(一定程度あるいは全て)達成したこと(計画的)
3. 新しい炉に機能を集約した結果として合理化の観点
4. 新規制基準への適合に必要な対策工事に係るコスト等を勘案したときの費用対効果の観点

等が挙げられる。たとえば、日本原子力研究開発機構(JAEA)の保有する材料試験炉(JMTR)が廃止措置を決定した背景には主に四番目の観点があった。ただし、一般にはいずれか一つの要因というより種々の複合的な要因から総合的に検討された結果として廃止措置決定がなされたものが多いと言える。

東日本大震災後、長期にわたる運転停止期間を経て、所要の条件を満たした上で運転再開を果たしてきた施設もある。JAEAの保有する施設では、昨年(令和3年)2月にはJRR-3が、同年7月には高温工学試験研究炉HTTRが、それぞれ運転再開を果たしてきたほか、高速実験炉「常陽」の運転再開に向けた取組も鋭意進められている。このように試験研究炉の稼働状況やその見通しは上向きの傾向にあるものの、東日本大震災後に運転を再開した試験研究炉は国内で計6施設に留まるなど、潜在的なユーザーニーズを十分にカバーできるだけの照射場環境を国内に確保できていないのが現状である。このことは、我が国の原子力産業や関連の学術研究を支える基盤の脆弱化、延いては人材や技術の継承が大きな危機に直面していることを意味する。

(2) 試験研究炉利用の現状認識

原子力分野の人材育成を行う上でも重要となる試験研究炉については、その多くが建設から40年以上経過するなど、高経年化が進むとともに、新規規制基準対応等により、これまで通りの運用が困難な状況になっている。とりわけ照射試験炉に関しては、JMTRの停止後、JAEAにおいてJMTRの代替機能を確保しその利用ニーズに対応するため、海外施設共用の枠組を構築し、海外の照射試験炉を用いた照射試験を行い、照射技術の継承、照射試験に必要な照射キャプセル、特殊計測器等の製作に係るサプライチェーンの再構築、及びこれに関わる人材の育成を図っている。他方、海外炉の利用には、高額な利用料金、試料の輸出入における煩雑な手続き、国際情勢等による輸送停止のリスク、国内の照射技術・照射後試験技術を担う原子力人材の育成が困難といった課題が指摘されている。

(3) 大学等における原子力人材育成、研究開発

利用可能な試験研究炉数の減少はまた、研究開発・人材育成基盤の確保の観点からも大きな課題をもたらしている。原子力の安全を確保し、信頼性をさらに高めていく上では、大学等における持続的な人材育成・養成の取組が要となることは論を俟たないが、いまその教育基盤が揺らいでいる。現状、学生が体系的なトレーニング・研鑽の一環としてハンズオンで原子力の操作・制御に触れることのできる基盤としては、京都大学の研究用原子炉(KUR)及び臨界集合体実験装置(KUCA)、近畿大学原子炉(UTR-

KINKI)があるが、このうち KUR は令和8年5月に運転停止及び廃止措置への移行が予定されている。

我が国全体を見渡せば、原子力人材育成の現状として

- 原子力関係学科・専攻や原子力専門科目の開講数の減少
- 原子力関係の教員数の減少
- 稼働している試験研究炉の減少等に伴う、実験・実習の機会の減少

といった傾向と実態が浮かび上がる。こうした課題に向き合うため、文部科学省では、大学や高等専門学校等が連携して基盤的な教育機能を補完する拠点形成の取組を支援してきた。具体的には、

- ・ 共同カリキュラムの開発や単位互換の推進、講義資料のオンライン化
- ・ 原子力施設や大型実験施設等の共同利用による実習機会・内容の充実等

を進める「国際原子力人材育成イニシアティブ事業」を実施し、基盤的な教育機能を補完する拠点を形成する取組を支援している。

文部科学省ではまた、「原子力システム研究開発事業」により、大学等の研究者が産学官でチームを組んで戦略的に原子力分野の課題に取り組む研究開発等への支援も行っている。さらに、令和元年度以来、「NEXIP」事業により経済産業省とも連携しつつ、基礎・基盤的フェーズからより産業に近い実用フェーズまで一貫通貫した研究開発に取り組むための枠組みを構築しつつある。しかしながら、リソースには限りがある中、いかに事業間連携を促進・強化しつつ、各事業における採択課題の政策効果を相乗的に最大化させていくかをはじめとして、産学官のコミュニティとともに向き合い乗り越えていくべき現下の課題は少なくない。

(4) JAEA の役割

国立研究開発法人である JAEA には、これまで材料試験炉(JMTR)や JRR-3、高温工学試験研究炉 HTTR、高速実験炉「常陽」の経験を通じて多くの知見と技術が蓄積されている。第4期中長期目標期間(令和4年4月1日～令和11年3月31日)において、中長期的な観点から基礎・基盤的な研究開発を総合的に推進するとともに、そのために必要な試験施設等の研究基盤の維持・構築を進めていくこととしており、国が推進する将来の試験研究炉等の整備・活用においても中心的役割を果たすことが期待される。また、試験研究炉等を用いた原子力人材育成についても、大学・高専等とともに担う役割がある。

(5)「もんじゅ」サイトの新試験研究炉計画

新たな試験研究炉の計画としては、現在、福井県敦賀市の「もんじゅ」サイトに新たな試験研究炉を整備する計画が進められている。これは、平成28年12月の原子力関係閣僚会議において決定された「『もんじゅ』の取扱いに関する政府方針」に基づくものであり、我が国の研究開発・人材育成を支える西日本における中核的拠点としての機能の実現、そして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が想定されたものである。令和2年度以来、概念設計及び運営の在り方に関する検討を開始しており、現在、令和4年度中の詳細設計への移行を目指している。今後は、建設予定地の確定に向けた地質調査等も含め、必要な取組を着実に進めていくことが求められる。この新たな試験研究炉の計画策定は、令和8年のKURの運転停止・廃止措置移行後の研究開発・人材育成基盤となることへの期待は高く、さらに立地地域との共創により、長期的な利用基盤形成を図っていくことで、新たな試験研究炉が新しい社会的価値を発現するモデルとなることが期待される。

(6)次世代革新炉を巡る最近の動向

次世代革新炉については、これまで経済産業省の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等を中心として、今後の開発ロードマップについても検討が進められており、その中で、文部科学省や原子力機構に対して、今後の開発に必要な基盤的な研究開発や、基盤インフラの整備に関して強い期待が寄せられている。

また、グリーントランスフォーメーション実行会議等において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・建設についての検討を加速する議論が進められている。

このような状況を踏まえ、今後の次世代革新炉の開発に関して、今後10年間程度のうちに着手すべき基盤的な研究開発項目等について論点整理を行い、政府全体の議論に生かしていくため、文部科学省内の有識者会議「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」が開催されている。

(7)拡大・多様化する原子力への期待

昨今、世界的なエネルギー価格の高騰やロシアのウクライナ侵略等の背景と相まって、原子力を取り巻く課題は一層複雑化・多様化している。国際的にも、低炭素電源としての原子力発電の重要性が再認識される動きもあり、2050年カーボンニュートラル

の実現やエネルギー安全保障の確保への貢献が期待されていることに加え、原子力はエネルギー利用に限らない新たな政策ニーズの中でも大きな存在感を示しつつある。工業や医療、農業等の分野への放射線利用は着実に進んでおり、その利用拡大への期待は高まり続けている。さらには、令和4年5月に経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律（経済安全保障推進法）が成立したこともあり、経済安全保障の観点からも原子力への注目が高まっている。

とりわけ、医療用 RI については諸外国においても製造や利用のための研究を国策として強化する動きが広がっている。我が国においても多くを輸入に依存している医療用 RI 及び重要 RI の国産化等を実現するため、原子力委員会は本年5月に「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン」を取りまとめ、試験研究炉を用いた研究開発から実用化や普及に至るまでの取組の一体的な推進が求められている。

新たな政策的課題に向き合い、将来世代にわたって原子力の幅広い社会的価値を還元していく上では、若手研究者の育成とそのための教育基盤の構築・ポテンシャル強化が欠かせない。産学官の各主体がそれぞれの強みを最大限に発揮し、求められる役割を果たし、かつ組織やセクターを越えて相補的・相乗的に連携していくための環境整備や支援策が引き続き必要である。

(8) 今後期待される政府の取組

原子力に寄せられる社会的期待が高まり、またそれを取り巻く政策的背景もますます複雑化している中、我が国がこれまで培ってきた原子力技術や人材の強みと優位性の確実な継承を果たしていく上では、こうした人的・物的基盤を強化していくための取組を一層進めていくことが欠かせない。

国は、将来的な原子力研究開発の方向性に基づき、試験研究炉等の将来的なニーズ把握に努め、その整備計画を提示し、計画的に整備を推進するとともに研究開発を主導する。これにより、利用者は施設利用計画の予見性を高め、産学官が連携して着実に研究開発や人材育成を進めることが可能となる。その際、必要に応じ、民間事業者の利用見通しを踏まえた運営費等の適正な資金負担に関するあり方を検討していくことも重要となる。

2. 今後の取組の方向性

照射炉やビーム炉を中心に今後の取組の方向性を考える際、国内の試験研究炉の多くが廃止措置に移行している現状を踏まえ、短期的には現在運転中の試験研究炉を最大限活用し、研究等のニーズに応えていくことが基本となる。今後の研究炉の整備の検討に当たっては、一般的に計画段階から実際の整備までには長い期間かかることが想定されるため、現時点から中長期的に必要となることが見込まれる研究ニーズ等を整理しておくことが重要である。

2-1 ニーズの分析

今後試験研究炉に見込まれる照射・ビーム利用ニーズについて、(1)学術・教育利用、(2)産業利用、(3)原子炉燃・材料のそれぞれの観点から以下のとおり整理する。

(1) 学術・教育利用

学術・教育のために利用される中性子発生源としては、基礎基盤から福島第一原子力発電所廃止措置に至る応用まで、短・中・長期的に試験研究炉のニーズがあり、利用者は産学官の多岐にわたる。JRR-3は学術・教育利用の原子炉の代表例である。また、臨界実験装置を用いて核分裂連鎖反応そのものを観察することにより、原子炉の炉心や燃料の核設計の手法の改良が行われている。

また、核分裂連鎖反応を理解する学問分野である原子炉物理学は、原子炉における核分裂連鎖反応の実現や制御、原子炉以外の場所での核分裂連鎖反応の防止(臨界安全)の基礎となるものである。核分裂連鎖反応を観察・測定する小型の設備としては、臨界実験装置や大学が保有する小型の原子炉も用いられる。日本国内では、京都大学臨界集合体 KUCA、JAEA が保有する定常臨界実験装置 STACY が臨界実験装置としてこれらの目的に利用されている。また、近畿大学原子炉も原子炉物理学の研究や教育に用いられている。なお、これらはいずれも、熱中性子体系の原子炉であり、現状では日本国内に高速中性子体系の臨界実験装置は稼動していない。

(2) 産業利用

医療用 RI 製造は、経済安全保障の観点や国内需要を鑑みると早急な実現が望まれており、民間企業等による利用が見込まれる。特に検査用核種(Mo-99)、治療用核種(Au-198、ルテチウム)、治療用 α 核種(Ac-225)を安定して製造可能な体制の構築が必要となる。JRR-3の活用とともに運転再開後の常陽に対する期待

がある。

この他、創薬研究等に必要となる高分子分析や、パワー半導体の新素材開発、モビリティイノベーションといった新素材開発においてビーム利用の需要が見込まれる。

(3) 原子炉燃・材料

事故時破損抵抗性に優れ、高い燃焼度の達成が可能な高性能燃料の開発が重要な課題となっている。事故耐性燃料(ATF)の開発についてはメーカー等の産業界のニーズが高い。また、既設の軽水炉のさらなる長期運転や ATF も含めた燃料の高燃焼度化のためには高照射量領域の中性子照射を受けた材料劣化に係る知見の拡充が不可欠であるため、国内外で試験研究炉のニーズは極めて高い。

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は、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の観点からも長期的に進める必要がある。候補となる材料の選定は既往知見を踏まえて行われるが、炉寿命のさらなる延長や既往知見が不足している新規材料の適用性確認には、照射試験炉を活用した照射試験が必要となる。

こうした照射炉、ビーム炉に対する研究等のニーズを踏まえ、今後必要な対応について短期・中期・長期的視点から検討を行った。

2-2 短期的(当面)対応

(1)「JRR-3」等の運転中の研究炉の最大限の活用

現在運転中の国内の試験研究炉は 6 施設にとどまり、多様なニーズに対応する十分な照射環境・人材育成の機会を提供できる状況ではないが、新たな試験研究炉の整備には一定の時間を要することから、当面の間は JRR-3、HTTR 等の現在運転中の試験研究炉を最大限活用することが重要であり、国は引き続き、これに必要な支援を行っていくことが重要である

JRR-3 は、JMTR の代替機能として、軽水炉の安全性向上に必要とされる加速照射(長期運転、燃料高性能化、燃料事故時評価、改良型炉の開発)への貢献が期待されている。また、医療用 RI 製造においても、Mo-99 の安価な大量製造の実現が期待されている。さらに、JRR-3 は、学術・教育利用の観点からも中性子発生

源として重要な役割を担っており、多様な活用が求められている。

新型炉の原子炉物理学の研究や臨界安全研究の観点では、核分裂連鎖反応の様子を観測する実験的研究の場として臨界実験装置が非常に重要な役割を果たす。日本国内の熱中性子体系臨界実験装置として KUCA や STACY が引き続きその役割を担っていくことが期待される。

(2) 海外照射場・海外プロジェクトの戦略的活用

JMTR の廃止等により国内での照射環境が確保出来ない状況に対応するため、海外炉を用いた照射試験(代替照射)の実施を継続することにより、原子炉等の研究開発・安全性向上、科学技術・学術の向上、産業利用等に係る国内の社会的要請に対応することが不可欠である。その際、JAEA が中心となった代替照射の運営体制を構築し、国内の照射技術を継承・発展するとともにサプライチェーンの確保に努める必要がある。また、照射試験の国際ネットワークを構築し、諸外国との照射試験炉間の連携協力を密に行い、世界の照射試験炉が抱える共通課題の解決や情報収集、相互補完関係の構築を図っていくことが重要となる。

(3) 産学共同での基盤的研究開発・人材育成体制の構築

試験研究炉を始めとする研究基盤の活用及びこれを通じた人材育成を効果的・効率的に実施するため、大学や JAEA 等の関係機関が連携し、今後の原子力研究開発を下支えする取組を実施するとともに、その取組を不断に改善していくことが重要である。国際原子力人材イニシアティブ事業及び原子力システム研究開発事業を通じた、大学や研究機関等が組織的に連携した拠点形成による人材育成や産学共同による原子力イノベーションの創出に向けた研究についても、必要な改善を図りつつ引き続き推進する。その際、次世代革新炉開発に向けては、原子力業界においてサプライチェーンの維持・強化が喫緊の課題となっていることも踏まえ、国の原子力政策の方向性を踏まえつつ、原子力分野における必要な人材のニーズや研究開発テーマ等を明確にした上で、大学等と産業界が協働して取り組む体制の構築を検討していく必要がある。また、産学をつなぐハブとしての役割を JAEA が主体的に果たしていくことが重要となる。具体的には、技術分野ごとに可能な限り定量的な指標を用いることで、革新炉開発に向けどのような技術分野での貢献が求められているかを明確にすることや、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が期待される。また、質の向上に加え、事業規模の拡大についても検討を進める必要がある。

2-3 中期的対応(着手済みで引き続き推進)

(1)「もんじゅ」サイトの新試験研究炉の設計・建設プロセスの着実な進展

「もんじゅ」サイトの新試験研究炉については、中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉(出力 10 万 kw 未満)に絞り込まれた上で設計が進められており、機能性材料開発、RI 製造、バイオ・生命、分析・イメージングといった幅広い利用に向けた検討がなされている。新試験研究炉の本格稼働時に学術のみならず産業利用も含めた幅広い利用につなげていくためには、研究炉の特徴を活かした先端研究・利用開発の検討が重要であり、継続的に関連コミュニティとの協力を進めていくことが必要不可欠である。なお、本計画は、これまで文部科学省委託事業として JAEA(代表機関)、京都大学(参画機関)、福井大学(参画機関)が中核的機関となって実施してきたところであるが、今後詳細設計に入る段階で国内唯一の原子力の総合的研究開発機関である JAEA が実施主体となり、引き続き京都大学、福井大学の協力を得ながら、学术界、産業界、地元関係機関等から幅広い意見を集約しつつ計画を進めていくことが重要である。この取組を通じて、立地地域との共創により長期的な利用基盤形成を図っていくことで、新たな試験研究炉が新しい社会的価値を発現するモデルとなることが期待される。

また、既設の JRR-3 や J-PARC 等に加え、新たに「もんじゅ」サイト試験研究炉が整備されることにより、学術利用・教育に係る中性子の国内需要への対応に大いに貢献できると考えられる。そして海外の研究者をこれらの施設に受け入れ、多様な研究を進めることにより、他に類のない優れた研究成果が期待される。

(2)「常陽」の早期運転再開に向けた取組の加速と再開後の最大限の活用

常陽は国内で唯一の高速炉であり、高速炉の戦略ロードマップに記載された技術の絞り込み・重点化のためにも常陽での照射実験が不可欠である。また、次世代の原子炉で使用する新たな燃料や材料の開発や、安全性に関する実験等を行うことができる他、放射性廃棄物の減容化・有害度低減の機能実証や医療用 RI 製造にも資する世界的にも貴重な実験炉である。現在、令和6年度末までの運転再開を目指し新規制基準対応のための準備が進められており、運転再開をすれば西側諸国唯一の稼働中の高速炉であることから、今後も運転再開に向けた取組を着実に進めていく必要がある。

常陽の高速中性子を活用した場合、がん治療に用いることのできる世界的にも希少な医療用 RI である Ac-225 等の製造(創薬)が可能である。日本では研究に

必要な Ac-225 の確保が十分でなく、治験の円滑な実施や将来の必要量確保の観点からも常陽を活用した大量製造に大きな期待が寄せられており、運転再開後は、高速炉サイクルに関する研究開発だけでなく、RI 製造への貢献が望まれる。

2-4 長期的対応(現時点で未着手であり今後 10 年以内目途で着手検討)

(1) 次世代革新炉開発の環境整備

次世代革新炉開発に当たっての環境整備については、1(6)に記載の「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」において議論が進められており、特に高速炉及び高温ガス炉の開発に必要な研究開発課題と基盤インフラ、次世代革新炉に係る人材育成及び知の集約拠点といった観点から、今後10年以内に着手すべき事項を中心に論点整理がなされている。高速炉、高温ガス炉の実証炉開発に向けては、JAEA においては既存の基盤インフラを最大限活用して基盤的研究開発を実施していく他、特に高速炉については、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なニーズに応える技術を社会実装するための取組を遅滞なく着手することが重要である。このため、あらゆるシナリオに対応できるような柔軟性を備えつつ、核燃料サイクル全体を工学的規模で実証可能な技術開発基盤(新高速中性子照射炉、再処理実証フィールド、次世代革新炉燃料製造施設等)の整備についての必要性が論点として示されている。これらの論点については、実証炉開発のロードマップを念頭に置きつつ、優先順位等についての深堀の議論を引き続き行い、適切なタイミングで原子力科学技術委員会をはじめとする関連会議などに報告を行い、今後の次世代革新炉の開発に貢献していく必要がある。

(2) 次世代革新炉等に貢献する新たな高出力照射炉の将来計画

高出力の照射機能については、今後の中性子利用ニーズを踏まえると、既設軽水炉の長期運転に必要な原子炉構造材料の照射ニーズへの対応や、現在、開発が国内外で続けられている次世代革新炉における事故耐性燃料を含めた構造材料開発の研究に必要と考えられる。また、RI 製造は大部分を海外に依存しており、国内需要に鑑みて医療用 RI 関連など民間企業等の照射ニーズがある。また、電力等産業界がリードすると考えられる次世代革新炉の実証炉以降の商業運転を念頭に置くと、長期的に見て、十分な照射体積や照射時間を確保した照射試験を効率的にできる環境が望まれる。

科学技術・学術においても、原子炉材料、核融合材料、半導体素子の研究など幅広い活用が期待されている。現在、国内において照射機能を果たしている研究炉は JRR-3 のみであるが、現在設計が進められている、中出力の中性子ビーム炉に絞り込まれている「もんじゅ」サイトの新試験研究炉についても一定の照射環境の役割を果たすことが期待できる。

このような状況を踏まえつつも、新たな高出力照射炉の将来計画の検討に当たっては以下のような論点が考えられる。

- ① 2-1で示した今後の学術・教育利用、産業利用、原子炉燃・材料の観点から中性子利用ニーズを踏まえた上で、以下の点について考慮する必要がある。その場合には、既設炉等との役割分担について、できる限り定量的な観点からの相補性について検討することが重要である。なお、以下に示す対応によって代替が困難であるニーズの多くは産業界による利用によるものであることにも留意が必要である。

(ア) 軽水炉の安全性向上に必要とされる加速照射については、既設軽水炉の長期運転に関して特に60年超運転を目指す場合には、高照射領域の中性子照射が不可欠となる。JMTR が有する機能を不十分ながらも代替する国内炉としては JRR-3 が挙げられる。また、「もんじゅ」サイトの新試験研究炉が運転開始となれば、その一部機能として代替されることも考えられる。なお、JRR-3 においては、小型の試験片を用いた照射試験は可能であるが、健全性評価手法に不可欠な大型の試験片を用いた照射試験や炉内構造物、ATF を含めた燃料集合体・炉内構造物等を対象とした試験には対応が難しい。

(イ) 海外照射炉による代替照射については、事故耐性燃料(ATF)の開発等に活用できる炉としては、米国の HFIR や ATR が挙げられる。また、軽水炉の安全性向上に必要とされる加速照射等に関しては、BR-2(ベルギー)、JHR(フランス、建設中)、ATR(米国)が、新型炉開発(高温ガス炉材料、核融合材料の開発、材料基礎基盤研究)においては、前述の3基に加え、LVR-15(チェコ)、OPAL(豪州)、HANARO(韓国)が挙げられる。なお、海外照射炉を用いる場合には、許認可の問題や照射自体のコスト、輸送コスト、日本の照射技術の海外流出、人材や国内サプライチェーンの断絶の可能性といった懸念もあり、対応が必要である。

(ウ) DX 技術を含むシミュレーション技術については、JAEA において ATF 開発を含め、革新原子力システムの研究開発に係る国際競争が激化している中、研究開発プロセスを可能な限り合理化すること等を目的として開発が進められている。特に、原子炉で用いる材料の候補となり得る材料の探索・選定、あるいは網羅的照射条件下の材料劣化予測にはシミュレーションが有用と考えられる。他方で、候補となっている材料の実機適用への採否については、照射研究炉による中性子照射試験が必須であり、その結果に基づいて判断が行われることになる。

(エ) エネルギーの高い中性子(高速中性子)を高温環境下で利用することについては、常陽の運転再開により当面のニーズを満たすことが出来ると考えられる。また、材料照射試験に活用される高速中性子に係る機能については、常陽で一部代替可能である。しかし、軽水炉条件の試験のうち、材料劣化評価等において不可欠な水環境(やや低温の環境、あるいは水化学的な環境)下で実施するものは、常陽では不可能である。

- ② 上述の中性子利用ニーズの検討に加え、国内に自前の試験研究炉を持つことによりもたらされるメリットとして、技術安全保障の確保、我が国の国際的存在感の向上、海外照射場が老朽化する中での国際貢献といった点を考慮する必要がある。

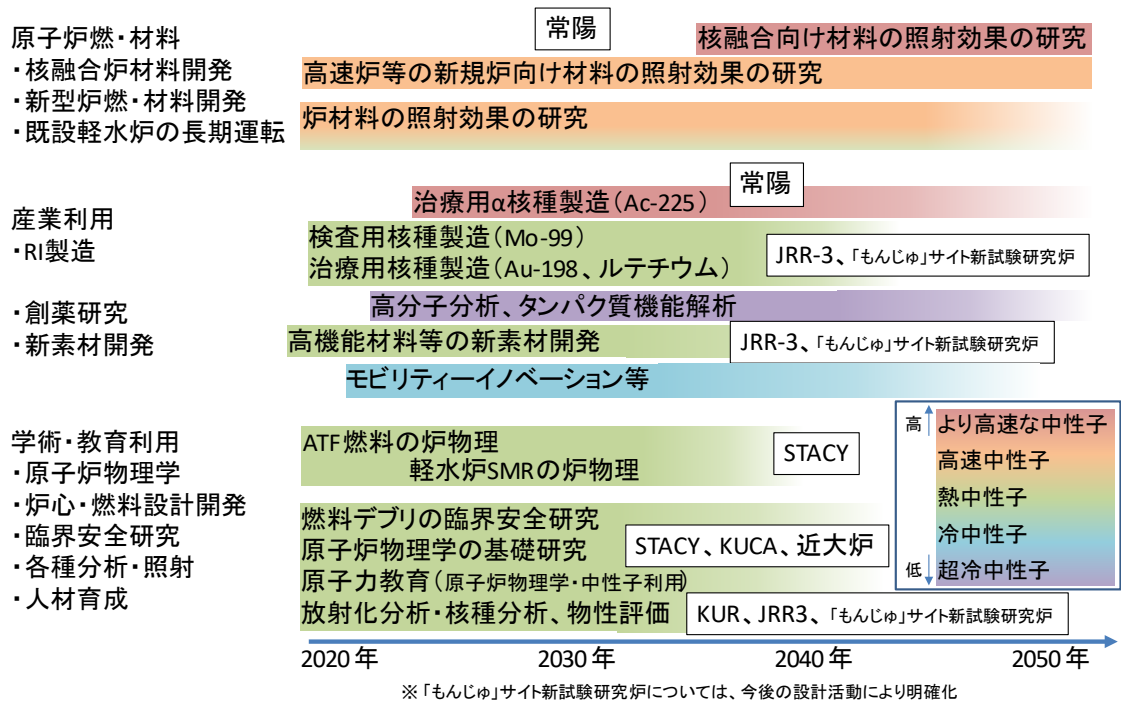
新たな高出力照射炉については、上記の①、②の論点を勘案し、現在進められている政府全体の原子力政策の方向性の議論も踏まえ、中長期的な視点からさらに検討する必要がある。

2-5 今後の検討について

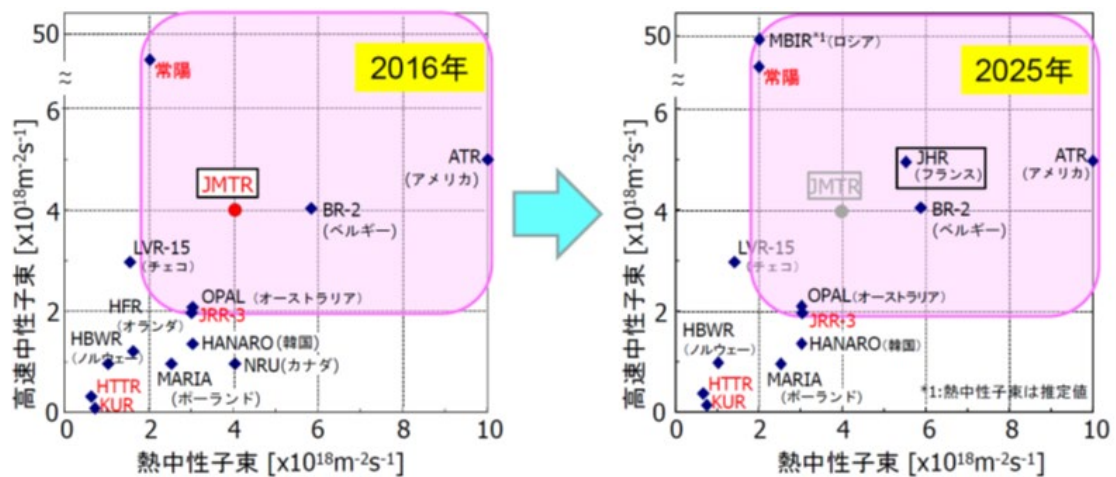
国内の試験研究炉の高経年化が進んでいる中、試験研究炉には運転期間の上限は存在しないが、いずれは現在運転中の試験研究炉も廃止措置に移行することとなる。試験研究炉は幅広い原子力研究開発や人材育成に資する重要な基盤であり、中性子照射・ビーム活用の環境整備についても、将来的な試験研究炉の廃止措置の見通しを踏まえ、照射・ビーム活用ニーズに引き続き対応していくことが重要である。このため、上記の代替手段も念頭に置きつつ、いつまでにどのような照射・ビーム環境整備が必

要となるのか明確化していくことが求められる。他方、現在、GX 実行会議等において原子力の議論が進められ、文部科学省においても次世代革新炉の開発に向けて必要となる様々な研究開発や基盤インフラが検討されている。こうした原子力を取り巻く全体的な状況を踏まえつつ、人材、資金のリソース配分の優先順位の中での取組の方向性について総合的視点から検討していく。

今後の中性子利用ニーズと試験研究炉の関係



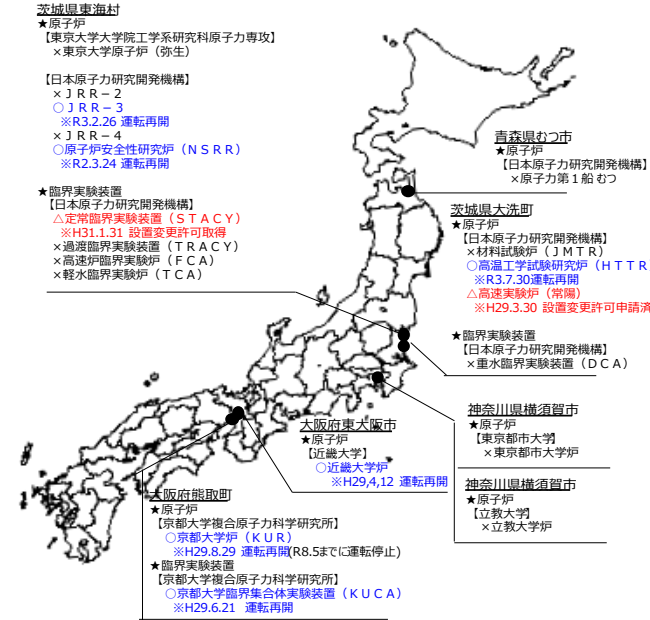
試験炉の性能比較



我が国の試験研究炉の現状

原子力分野の人材育成を行う上で重要な試験研究炉については、その多くが建設から40年以上経過するなど、高齢化が進むとともに、新規制基準への対応等により、これまで通りの運用が困難な状況になっている。

※大型試験施設・ホットラボについても同様の状況

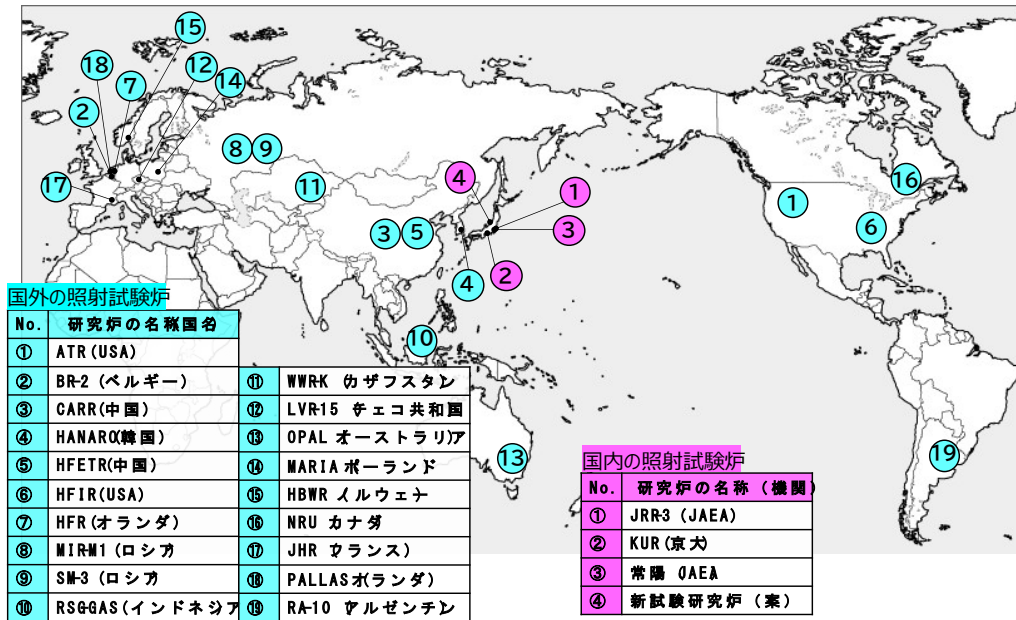


年	○運転中	△停止中	×廃止措置中
1995年	20	0	6
2003年	16	0	11
2016年	0	13	6
現在	6	2	11

運転再開予定も含め、我が国の試験研究炉は、茨城県に5施設（日本原子力研究開発機構）大阪府に3施設（京都大学、近畿大学）計8施設のみ。

国内外の照射炉とビーム炉のマップ

現在設置されている又は今後建設が予定されている国内外の照射炉・ビーム炉の一覧を以下のマップに示す。



国内外の照射炉とビーム炉の比較 (1 / 3)

名称	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
	ATR	BR-2	CARR	HWFO	HETR	HFIR	HFIR	MIR-MI	SM-3	RSO-GAS
出力[MW]	250	100	80	30	125	85	45(許可上50)	100	100	30
国	USA	ベルギー	中国	韓国	中国	USA	オランダ	ロシア	ロシア	インドネシア
型式	タンク型	タンクインプール型	タンクインプール型	プール型	タンク型	タンク型	タンクインプール型	プール型	タンク型	プール型
高速中性子束 [n/s]	1.8×10 ¹⁶	7.0×10 ¹⁶	6.0×10 ¹⁶	2.0×10 ¹⁶	1.7×10 ¹⁶	1.0×10 ¹⁶	5.1×10 ¹⁶	1.0×10 ¹⁶	2.0×10 ¹⁶	2.3×10 ¹⁶
熱中性子束 [n/s]	8.5×10 ¹⁶	1.0×10 ¹⁷	8.0×10 ¹⁶ 1.0×10 ¹⁷	4.5×10 ¹⁶	6.2×10 ¹⁶	2.5×10 ¹⁶	2.7×10 ¹⁶	5.0×10 ¹⁶	5.0×10 ¹⁶	2.5×10 ¹⁶
減速材	軽水	Be, 軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	Be, 軽水	軽水	軽水
冷却材	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水	軽水
主な用途	燃-材料試験 RI製造	燃-材料試験 RI製造 Siドーピング	燃-材料試験 RI製造 中性子散乱 Nラジオグラフィ フィ 放射化分析 核変換	燃-材料試験 RI製造 中性子散乱 Nラジオグラフィ 放射化分析 核変換 年代測定	燃-材料試験 RI製造 核変換	燃-材料試験 原子力エネルギー開発 RI製造 中性子散乱 Nラジオグラフィ 放射化分析	燃-材料試験 原子力エネルギー開発 RI製造 中性子散乱 Nラジオグラフィ 放射化分析	燃-材料試験 原子力エネルギー開発 RI製造 放射化分析	燃-材料試験 原子力エネルギー開発 RI製造 放射化分析	材料試験 RI製造 放射化分析 Siドーピング
赤字下線部：日本の利用者の利用あり										
照射領域	垂直：70 (炉心領域：34)	垂直：79 (炉心領域：40)	水平：9 垂直：22 (2D) 炉心領域：4 反射体領域：14	水平：7 垂直：32 炉心領域：4 反射体領域：25	水平：0 垂直：11 炉心領域：7 反射体領域：4	水平：4 垂直：79 炉心領域：37 反射体領域：42	水平：12 垂直：0 炉心領域：19 (2D) 反射体領域：12	水平：0 垂直：13 炉心領域：11 反射体領域：0	水平：0 垂直：6 炉心領域：30 中央trap：1 (熱) 大穴セル (4セル) 反射体領域：30 (2セル)	水平：6 垂直：14 (炉心領域：5)
初臨界	1967.07.02	1961.06.29	2010.5.13	1995.02.08	1979.12.27	1965.08.01	1961.11.19	1966.12.24	1961.01.10	1967.07.29
運転状況	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中
稼働日数(日)	250	147	182	196	84	138	308	24	252	147

国内外の照射炉とビーム炉の比較 (2 / 3)

名称	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	
	WWR-K	LVR-15	OPAL	MARIA	HEMR	NRU	JHR	PALLAS	RA-10	
出力[MW]	6	10	20	30	20	135	100	<30	30	
国	カザフスタン	チェコ共和国	オーストラリア	ポーランド	ノルウェー	カナダ	フランス	オランダ	アルゼンチン	
型式	プール型	タンク型	プール型	プール型	タンク型	タンク型	タンクインプール型	プール型	プール型	
高速中性子束 [n/s]	4.0×10 ¹⁶	3.0×10 ¹⁶	2.1×10 ¹⁶	1.0×10 ¹⁶	0.8×10 ¹⁶	1.0×10 ¹⁶	5.5×10 ¹⁶	-	3.5×10 ¹⁶	
熱中性子束 [n/s]	1.0×10 ¹⁶	1.5×10 ¹⁶	2.0×10 ¹⁶	3.5×10 ¹⁶	1.5×10 ¹⁶	4.0×10 ¹⁶	3.5×10 ¹⁶	3×10 ¹⁶	2.1×10 ¹⁶	
減速材	軽水	軽水	軽水	Be, 軽水	重水	重水	軽水	軽水	軽水	
冷却材	軽水	軽水	軽水	軽水	重水	重水	軽水	軽水	軽水	
主な用途	燃-材料試験 RI製造 放射化分析	燃-材料試験 RI製造 放射化分析 核変換	RI製造 Siドーピング	燃-材料試験 RI製造 放射化分析 Siドーピング	燃-材料試験 原子力エネルギー開発	燃-材料試験 原子力エネルギー開発	燃-材料試験 RI製造	燃-材料試験 RI製造	燃-材料試験 医用RI製造 MD-Si	
赤字下線部：日本の利用者の利用あり										
照射領域	水平：8 垂直：38 (炉心領域：8)	水平：6 垂直：6 (炉心領域：2)	水平：10 垂直30 (炉心領域：0)	水平：6 垂直：13 (炉心領域：13)	水平：0 垂直：300 炉心領域：40 反射体領域：5	水平：6 垂直：12 炉心領域：2 反射体領域：0	反射体領域：固定20箇所、可動6箇所 燃料領域：小型孔7箇所、大型孔3箇所 ⇒最大 20個同時照射	不明	約 26 材料照射試験用： 6(Fast：2, Thermal：4)	
初臨界	1967.10.22	1957.09.24	2006.08.12	1974.12.18	1956.06.29	1957.11.3	-	-	-	
運転状況	運転中	運転中	運転中	運転中	運転停止中 (恒久的)	運転停止中 (恒久的)	2003年代稼働予定	2000年代稼働予定	2000年代稼働予定	
稼働日数(日)	140	210	275	280	196	273	-	-	-	

国内外の照射炉とビーム炉の比較（3 / 3）

項 目	④	①	②	③
	もんじゅサイト新試験研究炉 (案)	JRR-3	KUR	常陽
熱出力 (MW)	10MW未満	20	5	100
型式	軽水冷却開放型	軽水冷却開放型	軽水冷却開放型	ナトリウム冷却高速中性子型
中性子束 (n/cm ² /s)	1.0E+14～2.0E+14 (熱)	最大 2E+14 (高速) 最大 3E+14 (熱)	平均 3E+13 (熱)	最大 3E+15 (高速)
冷却材	軽水	軽水	軽水	ナトリウム
反射体・減速材	アルミニウム 重水	ベリリウム 重水	黒鉛	反射体 ステンレス鋼 減速材 なし
炉心寸法	高さ 80cm 横 40cm 縦 40cm	高さ 75cm 炉心等価直径 60cm	高さ 61cm 横 51cm 縦 51cm	直径：約78cm 高さ：約50cm
燃料体最大挿入量	20体	32体 (フォロワ型6体含む)	26体 (特殊燃料5体含む)	79体 (照射燃料集合体最大4体含む)
燃料体	種類	LEU板状燃料要素	LEU板状燃料要素	LEU板状燃料要素
	燃料芯材	ウランシリコンアルミニウム分散型合金	ウランシリコンアルミニウム分散型合金	ウランシリコンアルミニウム分散型合金
	U-235濃縮度	20%	20%	20%
	ウラン密度	4.8 g/cm ³	4.8 g/cm ³	3.2 g/cm ³
	被覆材	アルミニウム合金	アルミニウム合金	アルミニウム合金