

特集



研究開発・人材育成の中核的拠点としての「もんじゅ」サイト新試験研究炉

新試験研究炉に設置する中性子実験装置の計画

佐藤信浩[†]

京都大学複合原子力科学研究所

[†]sato.nobuhiro.5u@kyoto-u.ac.jp

「もんじゅ」サイト新試験研究炉は、中性子ビーム利用を主目的とする中出力炉として、学術研究、産業利用、地元振興に貢献する有用な施設の実現を目指している。新試験研究炉に設置する中性子実験装置については、現在、装置検討タスクフォースによる検討が進められており、「優先設置装置」及び「炉周辺装置」が先行して検討されている。今後、既存施設を利用したプロトタイプ開発等を進めながら学術・技術の継承と人材の育成を図り、タスクフォースによる実験装置の検討を着実に推進する。

Key Words: new research reactor, neutron instruments, neutron beam application, neutron irradiation, cold neutron source, task force

1. はじめに

「もんじゅ」サイト新試験研究炉（以下、「新試験研究炉」という）の概念設計および詳細設計において、京都大学は主に新試験研究炉に設置する中性子実験装置と利用運営体制のあり方に関する検討を進めている。新試験研究炉は中性子ビーム利用を主目的としているが、多目的利用の観点から中性子ビーム利用と中性子照射利用の両者について実験装置の検討が進められている。新試験研究炉に設置する実験装置についてのこれまでの検討結果に関しては参考資料¹⁻⁸⁾に詳しいが、本稿では、実験装置検討の現状や今後の実験装置の検討の進め方について要点を概説する。

2. 実験装置検討における基本方針

新試験研究炉は、材料・ライフサイエンス

等、幅広い分野での利用が見込まれることや、多くの研究者・学生等が利用し産業分野への発展が最も期待できることから、炉型として中性子ビーム利用を主目的とする出力10MW未満の中出力炉が選択された^{1,9)}。新試験研究炉に設置する実験装置に関しても、この炉型選択の目的を十分に達成するため、広範な分野における利用を喚起し、学術・産業の両面において優れた成果創出が可能な装置群の整備が必要である。実験装置は、新試験研究炉の研究施設としての特徴を決定づける中核的な要素である。新試験研究炉は、先端的な中性子実験装置の設置により、ソフトマター、生命科学、固体物性、素粒子・原子核物理などにおける学術研究をリードする研究拠点としての役割を担う一方、中性子イメージングによる透過像観察や中性子放射化分析による元素分析、材料照射や残留応力測定による材料特性解析などを活用した産業利用を通じて社会に貢献する施設としての役割も期待される。そのためには、冷中性子源、中性子ビーム輸送、検出器、データ処理等の技術的進歩や、中性子利用に関連する学術の発展に

遅れることなく追従し、長期的視野に基づく多様な実験装置の設置を進める必要がある。

3. 京都大学における検討組織

新試験研究炉に設置する実験装置の検討は、他の実施機関である日本原子力研究開発機構（以下、JAEA という）や福井大学と緊密な連携をとりながら、京都大学複合原子力科学研究所（以下、京大複合研という）を中心に実施されている。有用な研究施設の実現に向け、京大複合研では2021年5月に各分野の研究者や技術者からなる組織「新型研究炉開発・利用センター」（2024年5月「新試験研究炉開発・利用センター」に改称）を設立し、実験装置整備や運営体制検討等に関する主体的な取り組みを推進するとともに、京大複合研の試験研究炉 KUR の運用や利用を通じて得られた中性子実験装置に関する技術的経験や研究成果に基づく学術的知見を元に、試験研究炉利用に関わる様々なコミュニティや学識経験者との意見交換を通じて、具体的な実験装置整備の検討を進めている¹⁰⁾。また、後述する実験装置検討タスクフォース（以下、「タスクフォース」という）においても中心的な役割を担い、個別の実験装置における計画立案や仕様の検討を主導している。

4. 実験装置の検討状況

新試験研究炉の中性子ビーム利用においては、原子炉で発生した中性子を熱中性子以下のエネルギーに減速して取り出し、炉室内や炉室に隣接するビームホールに設置された実験装置に導くことで実験を行う。新試験研究炉は、熱出力10MW級でありながら、JRR-3 など20MW級の他の試験研究炉と比肩しうる熱中性子束が得られるように最適化された炉心の設計を計画している。また、新試験研究炉の主要な研究分野と想定される物質・生命科学研究においては、冷中性子ビームの利用が極めて重要である。高度な冷中性子ビーム実験を可能とするため、新試験研究炉では液体重水素を用い

た高性能の冷中性子源（CNS）の設置を検討している。一方、中性子照射利用は、主に原子炉炉心近傍に試料を移送し、一定時間中性子を照射した後、試料を取り出し分析を行う。このため、試料を移送するための設備や取り出した試料の分析を行うホットラボなどの施設を併設する必要がある。

新試験研究炉と同じく中性子ビーム利用を主目的とする国内既存の試験研究炉として JAEA の JRR-3 がある。JRR-3 には、炉室およびビームホールに合計30台程度の中性子ビーム実験装置が設置されている¹¹⁾。しかし、新試験研究炉において、同程度の規模の実験装置の検討や設置を同時に進めていくことは、建設コストや人材確保の点から困難が予想されることから、利用ニーズや汎用性の観点から重要度の高い装置を「優先設置装置」として提案し、まずはこれらについて着実な検討と設置を進めることとした（Table 1）⁸⁾。ここに掲げた装置は、学術研究のみならず企業の研究開発においても広く利用されており^{8, 12)}、利用頻度の高い装置である。施設の稼働直後から多数の成果が期待され、新試験研究炉の存在意義を確立するのに適

Table 1 Neutron instruments for prior consideration

装置名称	利用 種別	優先設置 装置	炉周辺 装置
中性子小角散乱	ビーム	○	-
中性子反射率	ビーム	○	-
中性子イメージング	ビーム	○	○
中性子粉末回折	ビーム	○	○
三軸分光	ビーム	-	○
素粒子原子核	ビーム	-	○
放射化分析	照射	○	○
研究用 RI 製造	照射	-	○
陽電子ビーム	照射	-	○
材料照射	照射	-	○
生物照射	照射	-	○

した装置であるといえる。

一方、利用の観点とは別に、原子炉の炉心近傍や炉室内に設置する実験装置（以下、「炉周辺装置」という）については、原子炉本体の設計と密接に関連するため早期に仕様を固める必要がある。このような炉周辺装置として現在検討中の装置を Table 1 に併せて示す⁸⁾。これらの装置については、各装置のタスクフォースと原子炉の設計を担当する JAEA 設計グループとの間で密接な情報交換を行いながら、装置の配置や仕様に関する素案の検討を進めている。

新試験研究炉のポテンシャルを最大限に引き出すためには、上述した実験装置だけではなく、計画の進展に合わせて後続する実験装置群の整備を進め、多様化・高度化する学術研究や産業利用に対応する必要がある。そのような

後続整備装置の例として Table 2 に示すような実験装置があげられる⁴⁾。今後、関連コミュニティとの意見交換を通じて、整備すべき実験装置の選定を進めるとともに、最新の技術的な知見を取り入れることによって計画段階から最適化された設計を行い、既存施設を上回る性能の実験装置の設置を目指す。

機能的・効率的な実験環境を実現するためには、上述の中性子実験装置に加え、付帯施設や周辺実験環境の充実も求められる。これに該当するものとして、測定試料の種類別に最適化された複数の試料準備室、X 線測定装置や電子顕微鏡などの先端分析装置、自動測定や遠隔測定のための DX（デジタルトランスフォーメーション）環境などが挙げられる。今後、中性子実験装置と付帯施設や周辺実験環境の緊密な連携利用を促進し施設全体として使い勝手の良い研究環境の実現を目指す。

Table 2 Examples of neutron instruments for future consideration

偏極小角散乱, 極小角散乱
冷中性子イメージング
中性子回折（残留応力, 単結晶）
偏極中性子反射率
即発ガンマ線分析
TOF 型非弾性散乱
中性子技術開発装置
研究者や企業が独自に設置する装置

5. タスクフォースによる実験装置検討

新試験研究炉に設置する実験装置は、研究対象や利用目的に応じた最適な装置の仕様を 1 台ごとに定め、仕様を満たす設計や構成案を個別に精査して建設を進める必要がある。そのためには、仕様策定や設計・建設に主体的に取り組むプロジェクトチームをそれぞれの実験装置ご

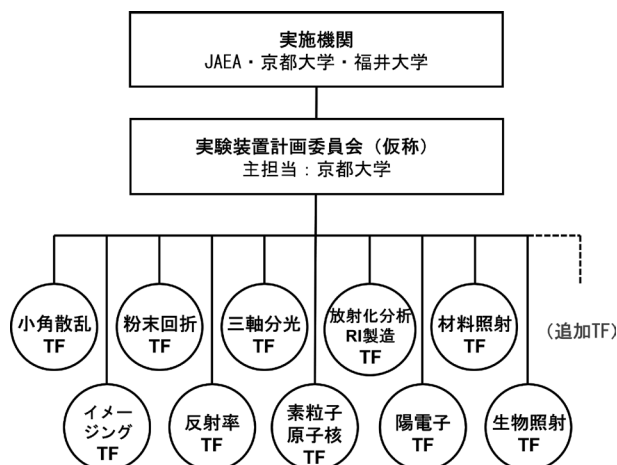


Fig. 1 Schematic diagram of neutron instruments task forces (TF).

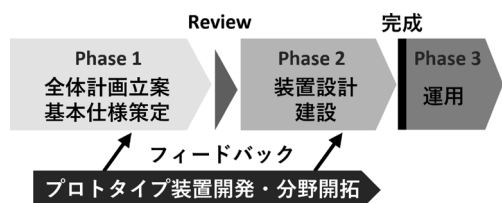


Fig. 2 Phases of neutron instrument task force.

とに設置する必要がある。そこで京大複合研では新たに設置した新試験研究炉開発・利用センターを中心に、Table 1に掲載した各装置について国内の大学や研究機関に所属する専門家の協力を仰ぎ、実験装置の検討を行うタスクフォースの編成を行った (Fig. 1)⁸⁾。実施機関の統括の下、実験装置計画委員会 (仮称) によってタスクフォース全体の計画立案と取りまとめを行い、タスクフォース間の有機的な連携と効率的な計画の推進を図っている。今後も計画の進展に合わせて必要なタスクフォースを順次追加設置し、新試験研究炉の利用価値を高める実験装置群の充実を継続的に進める予定である。

タスクフォースの活動段階を Fig. 2 に示す。Phase 1 において全体計画立案と基本仕様策定を行い、デザインレビューにより計画や仕様の妥当性を確認する。その後、Phase 2 として詳細設計および装置建設を進め、原子炉完成後に Phase 3 としての装置運用を行う。このように着実な装置の検討を進める一方、施設完成までには10–20年と長い期間が見込まれることから、その間、装置に関連する学術や技術を維持継承し、設置や運用に携わる人材の育成や確保を図るための取り組みが欠かせない。そこで、タスクフォースのうち1つの重要な活動として、KUR や JRR-3 等の既存の中性子施設を利用しプロトタイプ装置開発や新たな利用分野の開拓を実施する計画である。新試験研究炉での発展につながる研究開発を継続的に実施し、得られた成果を実験装置の検討や設計にフィードバックすることで、中性子利用にかかる学術・技術の継承と装置建設や運用に携わる人材の育成を促進するとともに、新試験研究炉完成時に

における先端的な利用を実現し、幅広い分野での学術・産業の発展に貢献していきたい。

6. さいごに

冒頭で述べたように、実験装置は研究施設としての新試験研究炉を特徴づける重要な要素である。社会貢献を果たし世界的に存在価値のある研究施設とするためには、多くのユーザーが利用し優れた成果を生み出すことのできる実験装置群の整備が求められる。同時に、施設完成時を見据えて個々の装置の仕様や特徴を定め、長期にわたって持続的に利用可能な装置を設置する必要がある。そのために、国内外の専門家や関連コミュニティ、産業界、地域社会等との間でタイムリーな情報共有と活発な意見交換を行いながら、実験装置の整備を進めていきたいと考えている。

文 献

- 1) もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討 第1回コンソーシアム委員会 令和3年3月23日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2021/032301/s01.pdf>
- 2) 同第2回コンソーシアム委員会 令和3年10月22日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2021/102201/s01.pdf>
- 3) 同第3回コンソーシアム委員会 令和4年3月24日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2022/032401/s01.pdf>
- 4) 同第4回コンソーシアム委員会 令和4年11月15日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2022/111501/s01.pdf>
- 5) 同第5回コンソーシアム委員会 令和5年3月24日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/032401/s01.pdf>
- 6) もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉に係る第1回コンソーシアム会合 令和5年11月20日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/112001/s01.pdf>
- 7) 同第2回コンソーシアム会合 令和6年3月25日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2024/032501/s01.pdf>
- 8) 同第3回コンソーシアム会合 令和6年10月29日開催, <https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2024/102901/s01.pdf>

- 9) 文部科学省 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 原子力研究開発・基盤・人材作業部会(第4回) 令和2年9月2日開催, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/100/shiryo/1422932_00002.htm
- 10) <https://labo.rii.kyoto-u.ac.jp/labnrr/>
- 11) JRR-3 パンフレット, https://jrr3.jaea.go.jp/6/pdfs/2024_JRR-3.pdf
- 12) 福井県エネルギー環境部エネルギー課 嶺南Eコースト計画室 新試験研究炉の利用促進ガイドブック, https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/dengen/eoast/sikenkenkyuro_d/fil/shikenkenkyuro_pamphlet3.pdf

Abstract

The New Research Reactor at the “Monju” Site as a Core Base for R&D and Human Resource Development
Neutron Instruments for the New Research Reactor at the “Monju” Site

Nobuhiro SATO[†]: Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University, [†]sato.nobuhiro.5u@kyoto-u.ac.jp

The new research reactor at the “Monju” site, which is planned as a 10-MW class medium-power reactor primarily designed for neutron beam utilization, aims to be a valuable research facility that contributes to academic research, industrial applications, and local society development. The neutron instruments are the essential factor that defines the character of the new research reactor as a research facility. Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University (KURNS) is leading the planning of neutron instruments for the new research reactor, working closely with JAEA and Fukui University. The prioritized instruments, selected by their importance in terms of utilization needs, and the instruments located close to the reactor core that affect the reactor design are the primary focus of the neutron instruments study. With the cooperation of experts from domestic universities and research institutions, neutron instruments task forces have been organized to conduct a study on the neutron instruments to be installed at the new research reactor. In addition, prototype instruments development will be promoted to ensure the continuity of academic and technological knowledge and foster human resource, while steadily advancing the neutron instruments study by the task forces.