

材料部会セッション

照射炉利用関連研究開発の現状と国内照射炉の必要性 (2)

Current Status of Research and Development Relating to Irradiation Tests and Necessity of Domestic Materials Testing Reactor -Part II-

(2) もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の検討状況

(2) Current Status of New Test and Research Reactor at the Monju Site

*峯尾 英章

日本原子力研究開発機構

1. 緒言

令和2年11月から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と運営の在り方の検討が開始された。本稿では、これまでの経緯と、令和2年度から開始した概念設計と運営の在り方の検討の状況、今後の検討について示す(**)。

2. これまでの経緯

2-1. 中出力炉への絞り込み

平成28年12月の原子力関係閣僚会議において、「もんじゅ」を廃止措置する旨の政府方針を決定した際、将来的に「もんじゅ」サイトを活用し新たな試験研究炉を設置することとされた¹⁾。これを受けて、文部科学省は平成29年度から令和元年度の3年間において、多様なステークホルダーからなる外部有識者委員会を設置し、新たな試験研究炉に関する調査を実施し^{2)~4)}、令和2年5月に炉型候補を複数選定した⁵⁾。その後、地元福井県・敦賀市の意見の聴取、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（以下、「作業部会」とする）での議論を経て、令和2年9月に炉型については、幅広い分野で基礎から産業利用まで対応可能で、利用者の規模も期待できる、中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉に絞り込まれた⁶⁾。本試験研究炉については、2020年度~2022年度に概念設計を行い、2022年度中に詳細設計を開始することとされている⁷⁾。

2-2. 概念設計及び運営の在り方検討の開始

本試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討を効果的に実施するため、文部科学省は公募（「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」）を行い、原子力機構、京都大学、福井大学を中核的機関として選定した（令和2年11月）。

原子力機構は、試験研究炉の設計やもんじゅサイトの知見を活かし主に概念設計と地質調査を担当する。京都大学はこれまでの利用ニーズに関する整理や KUR の利用運営経験を活かした利用運営の在り方を担当する。福井大学は、地元産業界との橋渡し活動、地元関係機関との連携構築に向けた制度の検討を担当する。また、中核的機関は、検討にあたり、学术界から産業界まで、広いニーズを有する様々な関係機関からなるコンソーシアムを構築し、意見を集約することとしている。

3. H29~R1 年度に行われた調査で示された中出力炉

表1にそれまでのニーズ調査及び有識者の意見を踏まえて R1 年度の調査[4]で検討された中出力炉の概念を示す。なお、概要や概念は当時の調査検討によるものであり、今後の概念設計で進める検討と必ずしも一致しない可能性がある。また、付属施設、関連施設等についてこの時点で経済性の点からの検討は行っていない。

*Hideaki Mineo

Japan Atomic Energy Agency

表1 もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉(中出力炉)のR1年度調査における概念検討結果※(抜粋)⁴⁾

概要	目的	中性子ビーム利用を主目的とし、熱外、熱、冷中性子源等により、利便性の高いスペクトルを実現し、大型施設では実現困難な条件による実験を可能にすることで JRR-3 との定常中性子コミュニティを構築する。また、中性子散乱研究は JRR-3、J-PARC や放射光施設と調和的に用いることで、物質の構造情報を多方面から探索することができ、新物質・新材料の研究・開発のパイオニアとしての役割を担う。
	特徴	【最大中性子束】 炉心中心部： 10^{14} n/cm ² /s、垂直実験孔： $10^{12}\sim 10^{13}$ n/cm ² /s、ビームホール： 10^8 n/cm ² /s 実験装置部： $10^6\sim 10^7$ n/cm ² /s (試料位置)
	主な利用	【基礎基盤技術】 ・核データの取得、精度検証 (軽水炉、高速炉等) 【照射利用】 ・RI の研究開発、短半減期医療用 RI の製造(JRR-3 との連携)・複合環境下照射損傷基礎研究 【ビーム利用】 ・中性子ビーム利用研究 (中性子散乱、ラジオグラフィ (動画撮影)、放射化分析) ・分析やイメージング技術による産業利用 ・低速陽電子ビーム利用研究 【人材育成】 共同利用研究施設として国内の研究者・技術者に幅広くに研究開発の場を提供することで、国際競争力の回復及び学術研究レベルの底上げを図る。 ・原子炉教育 (炉工学、安全管理等) ・研究利用及び炉の建設・運転・保守を通じて中堅・若手研究者の養成 (OJT)、原子力関連分野における技術継承 ・中性子利用の普及啓発 【国際協力】 IAEA や FNCA のネットワークを活用し、世界の研究炉と相互補完な利用の再構築を図る。 ・FNCA 人材養成プロジェクト支援
	原子炉	スィミングプール型、強制対流軽水冷却 ～10MW
設備概念	格納系	原子炉建屋 約 27.5m×36m
	照射・実験ポート等	・垂直実験孔：3～5 本、空気輸送ラビット：2 本、水力輸送ラビット：2 本 ・炉内照射環境 (温度等) の制御と計測用設備。 ・冷中性子源：1～2 個、・陽電子発生装置：1 個 ・ビームライン：熱中性子用 4 本 (炉室 3 本、ビームホール 1 本)、冷中性子用 4 本 (炉室 1 本、ビームホール 3 本)、陽電子ビームライン 1 本、汎用ビームライン 1 本
	付属实験設備	【ホットラボ】 ・詰換え用セル：1 基、PIE 用セル：2 基、医療用 RI 製造用：3～5 基 ・分析用フード：5 台 【炉室】 ・中性子回折・散乱装置、中性子ラジオグラフィ ・模擬炉心 (未臨界炉心) (必要時) 【実験利用棟】 ・中性子回折・散乱装置、小角散乱実験装置、即発γ線分析
	関連施設等	・原子炉施設に教育実習棟 (講義室、実習室、化学実験室を含む) を併設 ・遠隔教育のためのサテライト施設あるいはインターネットラボ ・外部ユーザーの受入れ窓口、実験準備室、控室等を備えたユーザーズオフィス ・敷地近辺に外部ユーザーが長期滞在可能な宿泊施設

※：今後の概念設計において、集約する利用ニーズを踏まえた、現実的な炉心概念の検討を行い、中性子束等の炉心性能や照射・実験ポート、付属实験設備等の設備概念を明確化していく。

4. R2 年度における検討状況

4-1. 第1回コンソーシアム委員会

令和3年3月23日に第1回コンソーシアム委員会を開催した。委員会は、地元機関（福井県、敦賀市、福井県商工会議所連合会、敦賀商工会議所）、地元企業（日華化学、東洋紡）、地元研究機関（若狭湾エネルギー研究センター）、アカデミア（日本原子力学会、日本中性子科学会、近畿大学）、産業界（日本原子力産業協会、日本アイソトープ協会、放射線利用振興協会、中性子産業利用推進協議会）、これに中核的機関の専門家を加えた構成である。以下に本委員会で示された主な意見を示す（文献8）より抜粋）。

【地元自治体】

- ・人材育成のみならず産業利用の推進を。地元企業に優先的に利用させる仕組み等を検討。
- ・KURが2026年で運転停止の見込みであり、早期の運転開始が重要。
- ・嶺南Eコースト計画の1つであり、県としても組織的に支援。
- ・経済面でどの程度地元へ貢献するか教えてほしい。企業の研究所等の誘致につなげたい。
- ・KURの利用実態など今後の検討の参考として詳細を知る必要がある。

【地元産業界】

- ・中性子利用は地元企業にとって未知であり、伴走型支援が重要。
- ・人材育成面では、地元企業の若手社員の育成にも役立てたい。
- ・敦賀市の地元企業は下請が多く、企業育成が重要。
- ・アクセスが悪い点について、市街地にラボをおいてリモート利用等の工夫を。
- ・原子力への若い世代の人气が低下しており、魅力の発信が必要。

【アカデミア（関係学会）】

- ・関係学会でも期待が大きく、利用の検討やセミナー開催により関心を高めたい。
- ・新規の研究炉新設は久々であり、使い勝手良く長く使われる炉にすることが重要。
- ・地域振興では、地元と共生するモデルケースにすることが重要。
- ・シンボリックな成果をどう創出するかが重要。

【原子力・放射線利用関係の産業界】

- ・先端分野だけでは支持は広がらず、医療・産業など幅広い利用が重要。
- ・利用スケジュール策定など運用の透明性確保、企業のタイムリーな利用ができる仕組みが重要。
- ・医療の裾野は広く、医療での地域振興の検討も必要では無いか。
- ・輸入に頼る医療用RI製造への期待が高く、それに適した設計が重要。
- ・合理的な規制の在り方を本格的に検討すべき。

4-2. 概念設計

概念設計においては、①西日本における原子力分野の研究開発・人材育成の中核的拠点としての機能の実現、②地元振興への貢献への2つの観点から最も適切な炉型としてビーム利用を主目的とした10MWの中出力炉を前提とする。10MWの炉心の固有の能力は、世界トップレベルの試験研究炉の性能に及ばないものの、利用用途や利便性に工夫を凝らすことにより総合的利用性能で世界水準を目指す。また、これまでの試験研究炉の設置・運営で得られた課題・教訓や設計・設置・運転のプロセスでのグレーデッドアプローチの考え方に留意しつつ、炉の安全性を合理的、体系的に計画し、プラント全体としての機能向上を図る。

4-2-1. 概念設計の基本的方針

もんじゅサイト試験研究炉の概念設計を行うにあたっての、現状の基本的な方針は次の4点である。それぞれ工夫・検討すべき点等を合わせて述べる。

- ① 優れた安全性：試験研究炉の有する潜在的リスクは発電炉と比較すると低いと考えられるが、安全性は十分に評価されるものでなければならない。全交流電源喪失を想定した場合、安全機能の多重化や多様化に加えて、炉心冠水維持や崩壊熱除去が容易な炉とする。

- ② 安定性（高稼働率）の確保：試験研究炉のユーザーの最も強い要望は適時に利用できることであるため、ビーム強度の増強以外に、高稼働率を実現して利用時間を十分確保する必要がある。長期連続運転を可能とする、高い保守整備性、高い信頼性の他、サイクル当たりの長期連続運転等の工夫について検討する必要がある。原子炉スクラムのリスクを最小限に抑えるとともに定期検査期間の短縮化も有効である。
- ③ 経済性に優れた設計：建設費、運転費、維持管理費の低減が重要で、これまでに蓄積された知見・既存の技術の応用を行い設計コストの大幅低減を図る。設備機器のユニット化・パッケージ化・工事の簡略化・工期の短縮化につながる施設レイアウトを工夫する。
- ④ 利便性と将来性：限られた敷地内で、多数のビームライン設置、ホットラボ利用、補助的試験・計測装置及び利用スペースの充実等、常に新たな研究提案に対応できる柔軟な利用環境を実現する。また、核物質防護等の制約により実験実施の自由度が制限されないような実験エリアや管理エリアを検討する。さらに、利用者のアクセス性の確保、実験装置の搬出入の容易さと核セキュリティ上の安全確保が可能な配置を検討する。

4-2-2. 中出力炉(10MW)の能力の見積もり

10MW の試験研究炉の能力を把握するため、簡易な炉心計算モデルを作成して、炉心仕様の違いに応じた中性子束強度のサーベイ調査を行い、国内外の試験研究炉と比較した。図1に示す、出力及び炉心体積を JRR-3 の約 1/2 とした単純化した円柱型炉心計算モデルをベースとして、炉心体積、反射体材質、燃料領域の減速材/ウラン比等をパラメータとして能力を見積もった。

図2に計算結果と国内外の試験研究炉と比較した結果を示す。比較対象とした試験研究炉は、核不拡散の観点から低濃縮ウランを用い、潜在的リスクの観点から、プール型の試験研究炉に限定した。図2に示すように、中性子束強度と熱出力はほぼ比例の関係にあり、今回のパラメータサーベイ計算の結果、反射体領域での最大熱中性子束は $1.0 \sim 2.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 、最大高速中性子束 $1.0 \sim 1.5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ の範囲となった。炉心固有の能力としてこれ以上を望むには、タンク型として出力密度を大きくするなどが考えられるが、基本方針に従い、利用用途に合った最適なスペクトルの生成及び輸送効率の向上を図ることで総合的な利用性能の向上を目指すこととしている。

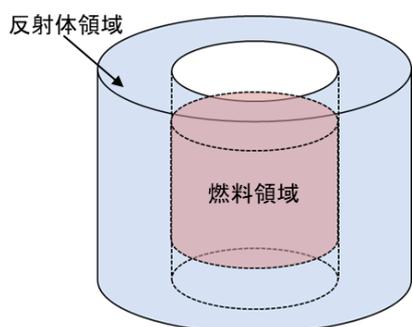


図1 簡易計算モデル (JRR-3 × 1/2 体系)

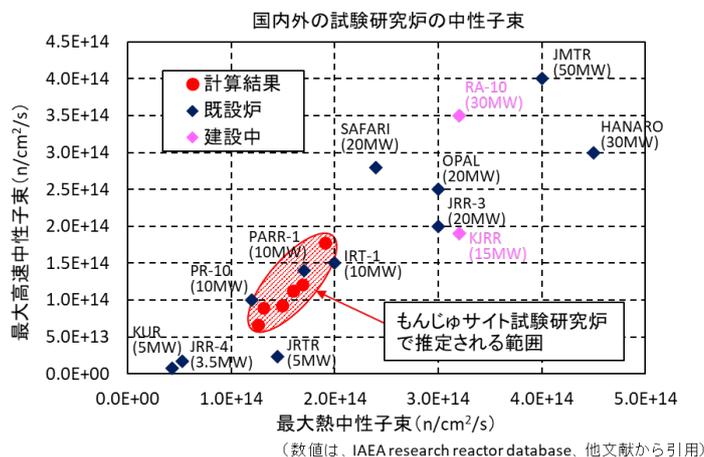


図2 国内外の試験研究炉の中性子束ともんじゅサイト試験研究炉で推定される中性子束の範囲
(数値は、IAEA research reactor database、他文献から引用)

4-3. R2 年度地質調査

試験研究炉の建設候補地（山側資材置場）は、もんじゅの東南にある、北西に流下する谷を埋めた盛土斜面の途中、標高約 132m に位置している。この地点の地下の岩盤深部に達するボーリングデータは得られておらず、課題の存否や程度がほとんどわからない状況である。そこで、立地に致命的な影響を与える破砕帯や大規模すべり面の存否を確認するとともに、ボーリング掘進速度の情報を得て翌年度の合理的な調査に資するため、予備的調査として掘進長 100m のパイロットボーリングを実施した（図3及び4参照）。

その結果、①地表から約24m以深に花崗岩（岩盤）が分布しており、比較的堅硬であった。②調査した深度100mの範囲には大規模な破砕帯やすべり面は存在しなかった。③数条の破砕帯が見られたが最も顕著な破砕帯であっても粘土化の程度は弱く、直ちに建設の妨げになるようなものは確認されなかった。以上に基づき、R3年度では深度200mの調査を予定している。

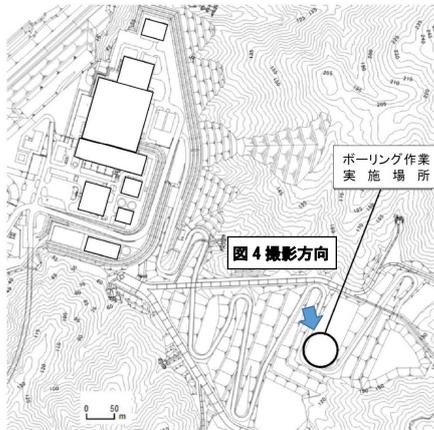


図3 ボーリング作業実施場所



図4 ボーリング作業（2021年1月18日撮影）

5. 今後の計画

図5に示すように、令和4年度までに運営の在り方検討を行いつつ、概念設計及び地質調査を実施する。令和3年度ではニーズを整理しつつ、これを踏まえ炉心を決定し、令和4年度には施設の全体像を明らかにして運営の在り方を提示していく方針である。また、コンソーシアムでの議論・意見集約を効率的に行うため、「コンソーシアム委員会」のみならず、「設計・設置・運転」「幅広い利用運営」「地元関係機関との連携構築」の3つのテーマでのワーキンググループ（WG）を設置して検討を進めていく。

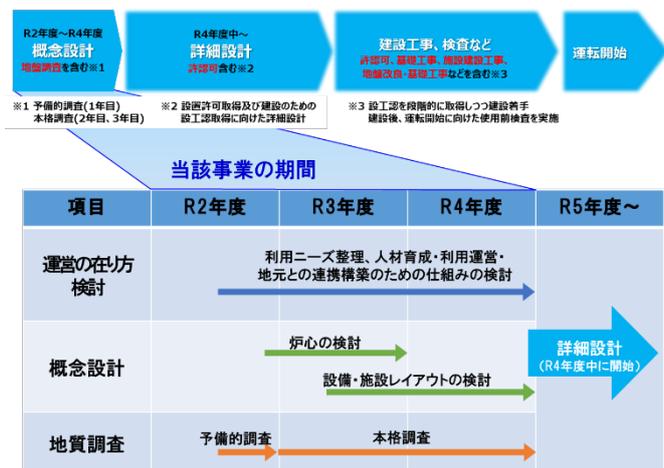


図5 今後の検討スケジュール⁸⁾

**：本稿は、文部科学省の令和2年度科学技術試験研究委託事業「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」の成果の一部を含んでいる。

【引用文献】

- 1) 原子力関係閣僚会議, “「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針,” 平成28年12月21日.
- 2) 公財) 原子力安全研究協会, “もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査,” 平成30年3月.
- 3) 公財) 原子力安全研究協会, “もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査,” 平成31年3月.
- 4) 公財) 原子力安全研究協会, “もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査,” 令和元年3月.
- 5) 文部科学省研究開発局原子力課, “令和元年度「もんじゅ」サイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査の概要,” 原子力研究開発・基盤・人材作業部会（第3回）, 令和2年5月20日.
- 6) 文部科学省研究開発局, “「もんじゅ」サイトに設置する試験研究炉の炉型及び今後の検討の進め方について,” 原子力研究開発・基盤・人材作業部会（第4回）, 令和2年9月20日.
- 7) 文部科学省研究開発局原子力課, “平成30年度「もんじゅ」サイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査の概要,” 原子力研究開発・基盤・人材作業部会（第1回）, 令和1年8月30日.
- 8) 文部科学省研究開発局原子力課, “「もんじゅ」サイトの新たな試験研究炉に係る検討状況,” 第13回原子力委員会, 令和3年4月20日.