

JRR-3 将来計画 概要（中期 5 年計画）

—中性子科学の進化による学術および産業競争力の強化に資する国家研究基盤の構築—

JAEA 原子力科学研究所・東京大学物性研究所

1. 背景：中性子科学の進展と研究基盤の重要性：

近年、エネルギー材料、量子技術、および生命科学をはじめとする諸分野では、物質の構造やダイナミクスを原子・ナノスケールで解明する重要性が急速に高まっている。これらの先端研究を支える基盤として、放射光や中性子に代表される量子ビーム計測技術は不可欠な研究インフラとなっている。なかでも中性子は、水素やリチウムなどの軽元素の可視化、磁性を担うスピン状態の直接観測、ナノ～ミクロスケールの構造・ダイナミクスの解析において極めて大きな優位性を有し、次世代蓄電池材料、自己修復ポリマー、スピントロニクスデバイス、LNP/mRNA ワクチンなど、我が国が戦略的に推進する先端研究領域における極めて重要なプローブとなっている。また、中性子計測は放射光・電子顕微鏡等では得難い独自の情報を相補的に提供するものであり、近年の AI の進化に伴い急速な進展を見せるデータ駆動型研究においても、その特異的なデータ群は代替不能な価値を有している。このため、中性子計測は量子ビームエコシステムを形成する中核的な計測手法として位置付けられる。

世界では、欧州破碎中性子源 (ESS) や中国散裂中性子源 (CSNS) など、大型中性子研究施設への投資が進み、量子ビームを活用した学術・産業研究の国際競争は一層激化している。その中で、幅広い速さ・長さスケールのダイナミクス・構造の解析を得意とするパルス中性子源と、時間平均中性子束が高く比較的遅いダイナミクス・大きな構造の解析に優位性をもつ研究炉を同じ敷地に有する日本は、米国とならび両者の相補的利用が可能な研究環境を有する。他方、本格稼働した J-PARC MLF が多くの成果を挙げるなかで、2021 年に再稼働した JRR-3 は、10 年間の停止期間の影響により、既存装置の陳腐化、中性子研究人材の減少、装置開発技術の継承などの課題が顕在化している。さらに、国内の状況として、京都大学研究用原子炉 KUR の廃炉が予定されており、JRR-3 が国内唯一の研究用原子炉となることから、その果たすべき役割も多様化している。

とりわけ、KUR はこれまで大学を基盤として中性子科学人材の育成および装置開発人材の実践的教育の中心的役割を担ってきたが、2026 年 4 月の廃炉により、国内における研究炉を用いた教育・訓練の機会が大きく制約されることとなる。このような状況において、JRR-3 は国内唯一の定常中性子源として、研究基盤としての機能に加え、人材育成および技術継承の中核拠点としての役割を担うことが不可欠となる。特に、福井県において計画が進められている新試験研究炉の建設に向けては、炉物理、放射線利用、装置開発、中性子照射技術等に関する人材の継続的育成と技術基盤の維持が不可欠であり、その実践的な教育・研究の場として JRR-3 の活用が強く求められている。すでに京都大学複合原子力科学研究所を中心として新試験研究炉に向けた各種タスクフォース活動が開始されており、中性子利用に関する研究開発について、JRR-3 がその中核的実施拠点として機能することが期待されている。今後は KUR で培われた技術・人材を JRR-3 へ円滑に移行・統合することで、我が国の中性子科学基盤の連続性を確保する。

このような国内基盤の維持・強化は、我が国の中性子科学の国際競争力を支える前提条件でもある。すなわち、国際競争力強化の観点からは、J-PARC MLF と相補的に機能する施設として JRR-3 が高精

度測定、新規計測手法の実証、装置開発に適した実験環境を提供することが求められるとともに、国内唯一の研究用原子炉として照射利用および人材育成を担うことが不可欠である。

本計画は、こうした国内外の状況を踏まえ、JRR-3を材料科学研究、量子物質研究、および中性子医療研究等の先端研究開発を支える国家研究基盤として進化させるとともに、関連分野の研究者が集い連携する産官学の国際研究ハブとして発展させることを目的とする。さらに、JRR-3 は新試験研究炉計画や J-PARC 第二ターゲットステーションと連携し、次世代の中性子科学・量子ビーム科学を創る研究者の育成基盤としても機能する。同時に、新試験研究炉や J-PARC 第二ターゲットステーション建設に向けた技術継承基盤としての役割も担う。エネルギー技術、創薬、量子物質研究、先端放射線医療、AI・コンピュータサイエンスの進展に対応し、中性子科学研究基盤の高度化と専門人材の計画的育成を一体的に推進することで、国際的な科学技術競争力の強化と医療・産業への社会的価値創出を目指す。本計画により、JRR-3 は量子物質研究、先端医療、先端材料研究を支える計測基盤として、経済安全保障および科学技術・イノベーション政策に整合する中核拠点を目指す。

(なお、本文章は「JRR-3 将来計画」の概要である。)

2. JRR-3 中期将来計画の重点施策：

本計画では、JRR-3 の特徴である比較的遅いダイナミクス・大きな構造スケール解析における優位性を活かし、以下の施策を中心に研究基盤の高度化を進める。

(1) SANS 新設とスピネコー高度化による材料科学における国際競争力の強化

小角中性子散乱(SANS)装置群および中性子スピネコー(NSE)装置の高度化により、複合材料、ソフトマター、エネルギー材料、創薬などの構造・ダイナミクス研究を推進する。

主な施策：

装置整備計画

- ・民間企業との連携強化に向けた高スループット SANS 装置の建設(2028 年供用予定：JAEA)
SANS 装置 3 台体制により産官学連携を強化する。
- ・C2 分岐ライン建設とスピネコー装置の改修と高度化(2027-2029 年度整備予定：東大物性研)
スピネコー装置の分解能・測定効率の向上、超伝導マグネットの導入により、ナノ～サブマイクロ秒領域のスローダイナミクス測定能力を強化する。

成果最大化への施策

- ・新・既存 SANS 装置・スピネコー装置と放射光 SAXS を横断的な利用制度を確立する。SANS からスピネコーへとシームレスな研究発展を可能にすることで国際競争力を強化する。
- ・JAEA/民間企業(現在 12 社)/学術機関の連携を確立する。
- ・オンライン授業、解析ソフトウェア開発、実験サポートなど成果最大化に向けた運用環境を確立する。

(2) 極限環境下での超高効率中性子回折・非弾性散乱実現による革新的量子物質研究

広い散乱空間をカバーする中性子散乱装置とそれに最適化した強磁場・極低温などの極限環境を整備し、量子物質のスピン構造およびダイナミクスの精密計測を推進する。これにより、スピントロニクス材料や量子情報材料に資する革新的な量子物質・量子現象探索を推進する。

主な施策:

装置整備計画

- ・高効率単結晶回折計の整備 (R10 年度以降整備予定: JAEA)
偏極技術・強磁場環境を組み合わせた高精度かつ高効率な結晶・磁気構造解析の確立により、磁気構造データベースの拡充を加速させ、AI 等と組み合わせることで量子物質探索機能を強化する。
- ・高温超伝導マグネットによる極限環境整備と非弾性散乱分光器の高度化 (R10 年度以降整備予定: 東大物性研)
高効率非弾性散乱装置と強磁場環境の組み合わせにより、極限環境下での量子状態解析機能を強化する。

成果最大化への施策

- ・JRR-3 の優位性である強磁場・極低温といった極限環境下でのスピン構造探索を強化する。
- ・国内の量子物質研究拠点との協働体制を確立する。これにより量子物質研究者の全日本研究チームを形成する。
- ・後述の特区導入により弾力的なマシンタイム運用体制を確立する。他施設に比較し迅速かつ弾性・非弾性をシームレスに繋ぐ実験実施を可能にし、成果の質および量の増加を実現する。(論文化に要する期間を2, 3年から1年へと短縮し、世界的な研究の潮流をリードする。)
- ・磁気スキルミオン、スピントロニクス、マグノニクスなど、次世代の超低消費電力情報デバイス開発に不可欠なスピン構造情報を迅速に量子物質探索研究者へフィードバックできる体制を確立する。

(3) JRR-3 を活用した中性子医療技術基盤の構築

RI 製造、中性子捕捉療法 (BNCT) などの中性子医療技術を支える研究基盤を整備する。

主な施策:

装置整備計画

- ・BNCT/GdNCT における即発 γ 線計測を用いた薬剤分布およびがん治療時のリアルタイム線量モニタリング技術(放射線検出器)の開発および要素技術開発のための新規実験ポートの整備 (R9 年度整備予定: JAEA)
新規実験ポートの整備により検出器開発環境を強化し、薬剤分布計測・がん治療時のリアルタイム線量モニタリング技術に資する検出器開発を推進する。
- ・同位体分離精製技術・ターゲット加工技術の開発及びこれらのプロセスの自動化技術開発による自動化の確立。このための取扱施設整備。(R9 年度整備予定: JAEA)
 ^{177}Lu , ^{161}Tb 等の医療用 RI 製造基盤として、分離精製技術・ターゲット加工技術の開発及びこれらのプロセスの自動化を確立する。加えて、安定供給体制の構築を目指し取扱施設の整備、取扱プロセスの自動化技術開発を行う。さらに国内の RI 供給プラットフォームへの参画とユーザーへの施設オープン化を促進する。

成果最大化への施策

BNCT/GdNCT:

- ・東大・F-REI・iMAGENE-X 社と共同で治療時リアルタイムモニタ検出器の開発を継続して推進する。
特に性能実証に関しては高強度中性子線が必要なため JRR-3 を中心に進め、開発した検出器は、医療加速器型 BNCT 装置への実装を行う。
- ・民間企業や学術機関との共同研究体制を確立し、需要拡大を推進する。台湾企業 HERON 社(装置開発・販売)および筑波大学(臨床)との共同研究契約が現在調整中である。HERON 社は欧米へ

の販路拡大を進めており、将来的にはさらに大きな市場形成が期待される。HERON社の既存 BNCT 装置 1 台につき 6～10 台の検出器が必要であるため、現在保有する 6 台分だけでも 60 台、販路拡大で最大 100～200 台規模の検出器需要が見込まれる。

RI 製造：

- ・医療用 RI アクションプランを履行する。このため、上述の整備計画を着実に推進する。
- ・次世代のラジオセラノティクス製薬として注目が集まる ^{177}Lu , ^{161}Tb の照射製造技術の確立を通して ^{177}Lu , ^{161}Tb を大学等へ研究機関への供給体制を確立する。

(4) 運営改革(共同運営特区構想)と専門人材の育成

装置高度化の継続的推進や装置開発人材の確保・育成が課題となっている現状では、研究基盤を単一機関のみで持続的に運営することが難しくなりつつある。このため、大学・研究機関・企業が参画する共同運営体制を構築し、研究基盤の持続的発展と人材育成を両立する新たな運営モデルの確立が求められている。本構想では、上記(2)革新的量子物質研究を推進する中で、JRR-3 を成果最大化に向けた運営改革のテストベンチとして位置付け、JAEA と東京大学物性研究所の協働により共同運営モデルの実証を進める。これにより、大学と研究機関が一体となった研究基盤運営体制を構築し、リソースを最大限活用することを目指す。また、研究基盤の持続的運営の観点からは、上記(1)材料科学研究の高度化において、民間企業による運営費(装置建設費とは別)の徴収で自立した装置群運営へのスキームの構築を目指すとともに、産業界・JAEA・学術界の協働による人材の流動性を加速させることで新しい専門人材育成方法を確立する。

加えて、博士号取得の促進や研究人材の流動性向上を目的として、教育連携ビームタイムや大学寄附講座、産官学の人材のクロスアポイントメント制度等を活用し、

- ・中性子計測・装置開発人材(施設側)
- ・量子ビーム利用研究者(大学・研究機関)
- ・産業利用を担う企業研究者・技術者(民間企業)

の計画的育成を推進する。さらに、KUR の廃炉に伴う人材育成機能の継承を目的として、京都大学複合原子力科学研究所等との連携のもと、教育・訓練機能の体系的移行を進める。具体的には、放射化分析等の照射利用分野における共同利用体制の構築、人材交流の促進、学生・若手研究者を対象とした実践的教育プログラムの整備を段階的に実施する。新試験研究炉の建設を見据え、中性子光学、装置開発、放射線取扱い等に関する実務人材の育成を JRR-3 において先行的に実施することで、将来の研究炉運用を担う人材基盤の形成に貢献する。これにより、研究基盤の運営改革と人材育成を一体的に進め、我が国の中性子科学研究を支える持続的な研究・人材基盤を構築するとともに、研究成果の創出力と国際競争力の強化に貢献する。

3. 国家戦略との整合：

本計画は、日本成長戦略会議において地政学リスクへの対応として、経済・産業の供給構造を強化するために選定された AI・半導体、量子、マテリアル、創薬・先端医療、資源・エネルギー安全保障・GX などの重要戦略分野を支える研究基盤整備計画である。JRR-3 の計測環境および研究利用体制の高度化により、基礎研究から産業応用までを支える中性子科学研究基盤を強化し、科学技術政策および経済安全保障戦略の推進に貢献する。

(1) マテリアル・GX

次世代電池材料やエネルギー材料などの先端材料創成においては、軽元素の配置やナノスケールの構造・ダイナミクスを精密に理解することが重要である。JRR-3 における大強度を活かした中性子計測基盤の高度化により、材料開発を支える計測環境と構造可視化機能を強化し、産学官による先端材料研究の加速と我が国の国際競争力の向上に貢献する。

(2)量子物質・量子技術

量子物質の磁気構造やスピンドダイナミクスの精密計測は、量子機能材料や次世代情報技術の研究に不可欠である。特に、電子のスピン自由度を利用するスピントロニクスや、スピン波を情報担体とするマグノニクスは、低消費電力情報デバイスや次世代半導体技術として注目されている。JRR-3 における極限環境中性子散乱実験の高度化により、トポロジカル磁性体や交替磁性体などの量子物質の動的特性を解明し、量子技術および次世代情報デバイス研究を支える基盤を強化する。

(3)創薬・先端医療

医療用 RI 製造技術および中性子捕捉療法(BNCT)をはじめとする中性子医療を支える基盤技術開発を推進するとともに、創薬研究や医療デバイス開発への中性子利用を拡大する。特に国内の医療用 RI 供給プラットフォームに JRR-3 を組み込むことで、RI の安定供給と研究開発の一体的推進を可能とし、医療用 RI の国産化と核医学研究の普及と発展に資する中核拠点としての機能を確立する。

4. 5～10 年後のビジョン：

本計画により、5～10 年以内に JRR-3 を、材料科学、量子物質研究、中性子医療および人材育成を支える世界水準の研究基盤へと発展させる。

(1)世界最高水準の材料科学研究拠点

SANS およびスピンエコー装置群の高度化により、ナノ構造およびダイナミクスの精密計測を可能とし、エネルギー材料や機能性材料、創薬の研究を牽引する材料科学研究の国際拠点を形成する。

(2)量子物質研究の国際共同研究拠点

強磁場・極低温などの極限環境下での中性子散乱研究を推進し、量子機能材料やスピントロニクス材料などの研究を牽引する量子物質研究の国際共同研究拠点を構築する。

(3)中性子医療技術研究開発拠点

BNCT および医療用 RI 製造技術の研究基盤を整備するとともに、創薬研究・医療デバイス開発への中性子利用を推進し、中性子医療技術の研究開発拠点としての機能を強化する。

(4)中性子科学人材育成拠点

教育連携ビームタイムや大学寄附講座開設、クロスアポイントメント制度などを活用し、中性子散乱研究を担う専門人材および量子ビーム利用研究者の育成拠点を形成する。特に、KUR から新試験研究炉へと連続する人材育成の中核拠点として、我が国の研究炉利用基盤の持続的発展を支える。