

研究用原子炉による中性子科学が切り拓く未来

① ビジョンの概要

研究用原子炉を基盤とする中性子科学は、中性子の特性を活かして物質内部の構造とダイナミクスを非破壊的に解明する学問領域である。本構想では、中性子研究基盤（インフラ）の更新・高度化を通じて、中性子科学を推進し、物質・生命・社会基盤を横断する新学術体系を確立する。これにより、サステナブル社会、量子情報技術、健康長寿、食と資源循環、文化財保全に貢献し、我が国が国際的リーダーシップを発揮する基盤を築く。

② ビジョンの内容

21世紀後半に人類社会が直面する課題は、エネルギー、環境、健康、食糧、社会基盤の安全、文化資産の継承など多岐にわたる。その克服には、物質や生命現象の階層的構造やダイナミクスを根源的に理解し、応用可能な学理へ統合することが不可欠である。電子や原子核、スピン、水素結合から生体超分子や巨大構造体に至るスケールをつなぐ「知」を創出する基盤が中性子科学である。中性子は軽元素や磁気モーメントに高感度で物質内部に深く侵入できる非破壊的プローブであり、同位体コントラストと広い時空間スケールでのダイナミクス測定を可能にする。その特性は、エネルギー材料の水素・リチウム動態、量子物質のスピン励起、タンパク質や食品高分子の揺らぎ、構造材料や文化財の非破壊評価に及ぶ。本ビジョンでは、研究用原子炉 JRR-3 の研究インフラの更新・高度化により潜在力を引き出す。原子炉の定常中性子は、パルス中性子が得意とする広帯域分光とは補完的に単色中性子を安定供給できる点に優れ、集光技術を用いた効率的スペクトル測定やラジオグラフィーで真価を発揮する。新型分光器の導入、試料環境装置とデータ解析基盤の整備により未到達の現象に切り込む。多重型三軸分光器と偏極解析の標準搭載により複雑な磁気励起を高効率・高分解能で検出し、低温・高磁場・高圧などの試料環境を備えて基礎から応用まで横断的に支援する。

原子炉中性子科学の7つの重点分野（図1）を推進する。高分子・ソフトマターでは重水素化等により界面構造と応答を解明し高機能材料へ展開する。量子物質では交替磁性体やトポロジカル物質を分光しマグノニクス基盤を築く。生命科学では水素位置やプロトン経路を可視化し創薬に資する。食品では分子揺らぎと食感・保存性の相関を解明する。エネルギー材料では水素・リチウムの動態を統合的に理解する。構造材料では残留応力を非破壊評価し、文化財では定常中性子で歴史資料を保全する。これらは自然・人文を横断する知を創出し、SDGsの「産業と技術革新」「エネルギー」「気候変動」「健康福祉」「住み続けられるまちづくり」等に直結する社会的波及効果を有する。

JRR-3とJ-PARCという定常中性子源とパルス中性子源を同一敷地内に有する我が国の環境は世界的に希少である。これを活かし装置の高度化と新手法の導入を進め、応用と基礎の両面から中性子科学を革新し我が国が国際的リーダーシップを発揮する基盤を築く。震災以降更新が進んでいない現状を踏まえると、国際競争が激化する今こそ本構想に着手すべきである。

③ 学術研究構想の名称

研究用原子炉による中性子科学が切り拓く未来

④ 学術研究構想の概要

本構想は、中性子科学を核に、物質・生命・社会基盤を横断する研究を今後10年で発展させる国家的プログラムである。サステナブル社会の実現と国際的リーダーシップの確立に向け、装置群の高度化、試料環境と調製体制、データ基盤、人材・共同利用体制という“四本柱”を強化し、基礎から応用まで一貫して推進できる研究基盤を構築する。装置面では次世代型中性子装置により高効率・高分解能測定を実現し、低温・

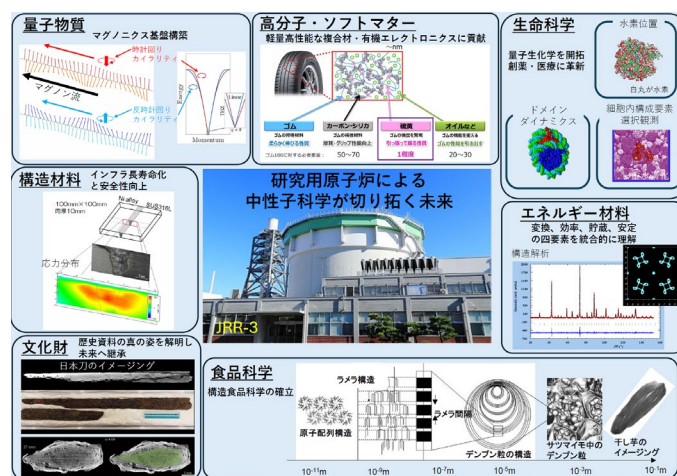


図1 原子炉中性子科学の重点研究分野

高磁場・高圧など多重極限環境やその場観測環境を整備して、量子物質、実材料、生体分子の構造変化やダイナミクスを解明する。試料基盤では重水素化・同位体標識技術と調製体制を拡充し、幅広い分野に共通インフラを提供する。

⑤ 学術的な意義

本構想の背景には、21 世紀後半に人類が直面するエネルギー、環境、健康、食糧、文化資産の継承といった地球規模の課題がある。これらの解決には、物質や生命現象の階層構造とダイナミクスを理想・実使用条件下で正確に理解し、学術体系を確立することが不可欠である。しかし既存手法では、水素やリチウムなどの軽元素、マグノンやフォノンといった量子励起、巨大構造物内部の応力や欠陥の解明に限界がある。ここに中性子科学の特性—軽元素・磁気感度、高透過力、非破壊観測、同位体コントラスト、時分割・多外場測定能力—を活かす余地がある。さらに**研究用原子炉 JRR-3 の定常中性子は単色ビームを安定的に供給し、集光技術を用いた詳細測定や高い積分強度を活かした精密測定、回折・ラジオグラフィーの高品位測定に強みを発揮し、パルス中性子と相補的役割を担う。**

中性子科学の学術的重要性は、異なるスケールと分野を橋渡しできる点にある。高分子・ソフトマターでは重水素化によるコントラスト変調中性子散乱により界面構造と応答ダイナミクスを可視化する。量子物質では交替磁性体やトポロジカル物質のマグノン・フォノンを探索し、スピン流やマグノニクスの学理を確立する。生命科学では中性子結晶構造解析により水素位置やプロトン移動経路を明らかにする。エネルギー材料では水素・リチウム・電子の相互作用を可視化し、変換・効率・貯蔵・安定を理解する。構造材料・文化財では残留応力や損傷を非破壊で計測し、長寿命化と継承に資する。

期待されるブレークスルーは、新奇マグノン材料の探索、次世代電池や水素貯蔵材料のその場観測による高効率・長寿命化指針の提示、水素原子の役割解明、分子揺らぎと食感・保存性の因果解明、事故防止と安全性向上などである。さらに AI や数理科学との融合によりデータ駆動型研究を推進し、基礎学理を深化させる。総じて本構想は中性子科学を核とした学術基盤を強化し、基礎から応用に至る広範な分野にブレークスルーをもたらす。その成果はサステナブル社会の実現に資するとともに、学術体系を刷新する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

国内では JRR-3 や J-PARC、京都大学原子炉、小型中性子源により研究が展開され、特に J-PARC は高強度を活かして成果を挙げている。海外でも米欧中韓などが大型施設の高度化を進め、ESS 建設など国際競争は激化している。一方、JRR-3 は再稼働後も装置更新の遅れが課題である。本構想は装置群の計画的高度化を進め、国内研究基盤を強化するとともに、その知見を将来の新試験研究炉へ還元するものである。

⑦ 社会的価値

本構想はエネルギー、食、資源循環、建築・防災、文化財保全などの多面的な社会課題の解決に貢献し、SDGs の目標達成に直結するとともに、国民生活の質向上と持続可能な社会基盤を支える。

⑧ 実施計画等について

【実施計画】

R8－R10：JRR-3 の安定運転体制の強化と既存装置の基盤整備

R11－R13：装置高度化と試料環境機器の導入、中性子導管の増設および拡張

R14－R15：高フラックスビームラインの稼働開始

R16－R17：研究成果の総括・重点分野横断での学理統合

【所要経費】

総額 200 億円

【実施機関と実施体制】

東京大学物性研究所、日本原子力研究開発機構、京都大学複合原子力科学研究所、東北大学金属材料研究所が実施機関である。これに加え東北大学多元物質科学研究所、茨城大学原子科学研究教育センター、KEK 物質構造科学研究所、J-PARC、量子科学技術研究開発機構などが協力し全国的な共同利用体制を形成する。

⑨ 連絡先

小林 洋平（東京大学物性研究所）