

MLF 第2ターゲットステーション：中性子・ミュオン科学の新たな展開

① ビジョンの概要

大強度陽子加速器施設（J-PARC）物質・生命科学実験施設（MLF）においては、世界最高パルス強度の中性子およびミュオンビームを用いた物質・生命科学研究、素粒子・原子核物理、産業利用、文化財科学研究など、幅広い利用が展開されている。本計画は、MLFにおいて第2の中性子・ミュオン源を設置し、既存実験施設と共に、中性子・ミュオン科学の新しい展開を目指し、我が国における高度な量子ビーム利用の一翼を担う。

② ビジョンの内容

中性子ビーム利用は、水素に代表される軽元素の原子の配列や運動に関する情報、磁性をつかさどる電子スピンの配列や運動に関する情報の取得に有用である。ミュオンは物性物理や材料科学においてはマイクロな視点から物質を探索するための超高精度探針として用いられ、物質中の原子スケールでの磁場の分布の情報や水素の周辺環境の情報の取得、物質中の元素分析などに有用である。大強度陽子加速器施設（J-PARC）物質・生命科学実験施設（MLF）の中性子・ミュオン源（1st Target Station：TS1）においては、世界最強のパルス中性子およびミュオンビームが利用可能であり、国内だけでなく国際的に広く利用され、エネルギー関連物質・材料における軽元素の位置やダイナミクス、強相関電子系における磁気励起、半導体中水素のキャリア

特性、生体関連物質中の水素位置の決定、中性子寿命測定やミュオン超微細構造などの基礎物理学研究、文化財科学研究、産業応用など、中性子やミュオンの優位性を最大限に生かした研究が展開されている。TS1における陽子ビームパワーは1MWでの安定利用運転が2024年4月より可能になった。所期の性能を達成し、パルスあたり中性子フラックスは世界トップとなった。ミュオンにおいては、J-PARC運転開始直後の2009年に世界トップを達成している。本計画では、現有の加速器を効率的に利用し、新たなコンセプトによる第2中性子・ミュオン源（2nd Target Station：TS2）を増設して中性子・ミュオン利用の可能性を追求する。

③ 学術研究構想の名称

MLF 第2ターゲットステーション：中性子・ミュオン科学の新たな展開

④ 学術研究構想の概要

本計画では、現有の加速器を効率的に利用し、新たなコンセプトによる第2中性子・ミュオン源（2nd Target Station：TS2）を増設し、中性子においては、陽子ビーム集束や中性子標的とモデレータ及びビーム輸送の最適化などによりMLFの20倍以上の輝度増大を達成する。同時に中性子標的とミュオン標的を同一とすることにより、50倍～100倍のミュオン強度増大を実現する。これにより、微小領域に集光した中性子およびミュオンビームでの短時間測定が可能になり、現在のMLF TS1では達成できない新たなサイエンスの創出を目指す。TS2の実現により、今後20-30年を見越しても、世界トップの中性子源とミュオン源を持つとともに、TS1と併用することでビームラインの数が倍増し、実施可能な実験のバリエーションを増やし、産業利用を含む各種計測の適時利用機会を増やすことが我が国における学術的な優位性を維持することになる。また、世界トップレベルの性能を達成する施設や実験装置の建設は、次世代の人材育成の格好の場であり、また世界的な拠点

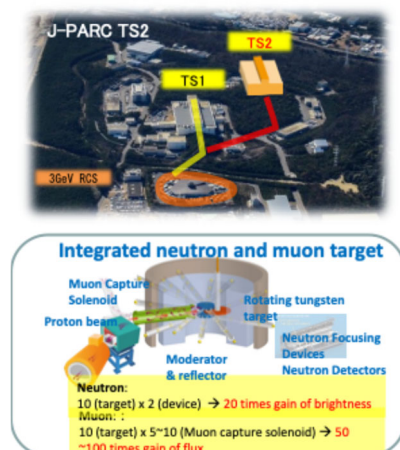


図1 J-PARC MLF TS2 構想概念図

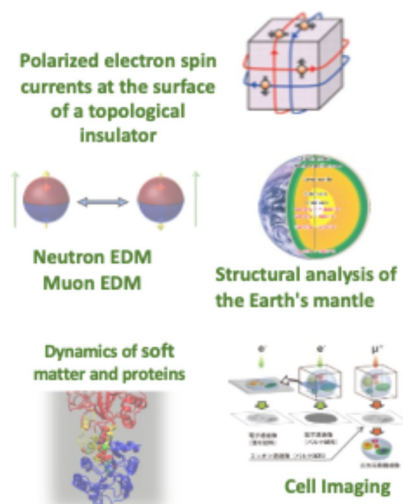


図2 想定されるサイエンスの例

として国外の多くの研究者が運営に参画すると期待される。

⑤ 学術的な意義

TS2 高輝度中性子の実現により、これまでアプローチできていない微小試料も対象となり、重要タンパク質における生体機能に関係していると言われる運動状態をマイクロ秒領域で解明できる。高圧科学においても、ダイヤモンドアンビルセルの利用により、0.05 立方ミリメートルの試料サイズで数百 GPa が実現し、地球や惑星の下部マントルにおける軽元素の状態解明や硫化水素などの高圧下での室温超伝導機構の解明が期待できる。高輝度化は、40 テスラパルス超強磁場での新現象を探索をも可能にする。さらに新たな技術発展により、中性子顕微鏡や中性子ホログラフィーなど実空間でのサイエンスの発展させることができる。また、偏極中性子を使った計測が効率的に実施可能となり、中性子の特徴を最大限に生かした研究が展開できる。

一方ミュオンは、TS2 において、従来不可能だったパルス周期に合わせた短時間の測定が可能となる。これにより、時々刻々その状態が変化するような現象、例えば電気化学反応や水素脱離反応などの「その場」観察を行うことが可能となり、新材料の創成に貢献する。加えて透過型ミュオン顕微鏡を「生きている細胞の丸ごとイメージング」を可能とする新たなツールとして提供する。また、負ミュオンを使った元素分析が「リユウグウ」の分析やリチウムイオン電池における金属リチウムの析出などに展開されており、TS2 の実現により、中性子とミュオンの同時利用による全く新しいイメージングビームラインも実現可能となる。

これら TS2 の特徴を活かした新たなサイエンス展開は、基礎的な学術研究から産業利用まで幅広い分野で期待できる。さらに、食や水に関する研究分野、環境問題や資源問題に関連する研究、インフラや自動車等工業製品の非破壊検査など多岐にわたる展開が期待できる。また、MLF 全体で得られる測定データを集約し、データ利活用のための情報科学基盤の整備も行い、ハードウェアの性能を最大限に生かす。基盤整備にあたっては他施設とも連携する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

J-PARC MLF は、世界最高の中性子・ミュオンパルス強度を有する国内随一の施設であり、国内外の研究者から年間約 700 課題が申請され、年間 250 報以上の論文が出版される国際的な拠点である。国外では、MLF を凌駕すべく新施設の計画が具体化している。この状況を鑑み、世界最高のパルス強度を有する J-PARC MLF TS2 を実現する。

⑦ 社会的価値

TS2 の実現による高輝度中性子ビームや高強度ミュオンビームの利用により、実空間での物質の観測が可能になるため、食に関する研究分野、水に関する研究分野、環境問題や資源問題に関連する研究、インフラ検査、自動車等工業製品の非破壊検査、文化財・考古学・古代生物学等、より広く社会課題解決への幅広い展開が期待される。

⑧ 実施計画等について

J-PARC の運転計画に整合させた詳細な建設スケジュールは、今後の検討課題であるが、概念検討・設計については TS1 の高度化と合わせ行っており、実施設計の開始は 2029 年頃を目標としている。J-PARC は KEK と JAEA の共同で J-PARC センターを構成し運営している。本計画も、J-PARC センターとして実施する。中性子に関しては、共用法登録機関である一般財団法人 総合科学研究機構（CROSS）中性子科学センターとも密接な連携により運営している。MLF は、我が国における中性子・ミュオン利用のトップとなる大型施設として、他の中性子・ミュオン利用施設との連携強化も重要である。MLF と同じく大型中性子施設である原科研・研究用原子炉 JRR-3、「もんじゅ」サイトに新たに建設される予定の新試験研究炉、実用のレベルに入った小型中性子源施設（理研、北大等）、大阪大学核物理センター・大強度 DC ミュオンビーム施設等との施設との測定技術開発連携、人材交流、利用連携の構築を継続しつつ、TS2 の実現を目指す。そして他の大型量子ビーム施設とも TS2 により実現する学術的・社会的に意義の高い成果について議論を深め、トップサイエンス創出と裾野拡大を行い、国際競争に勝ち抜く。

<総経費> 建設費 600 億円（建設期間 9 年）年間運営費 45 億円

⑨ 連絡先

小林 隆（J-PARC センター）