

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、産業利用、文理融合研究など、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、既存設備では実施できない利用研究を実現することにより、中性子・ミュオン科学の新しい展開を目指す。

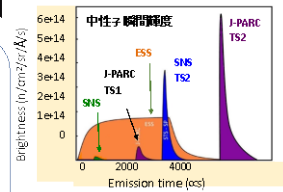
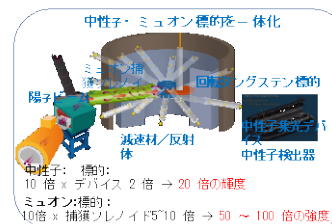
② ビジョンの内容

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などの取得に有用であり先端的な物質生命科学研究の発展へ寄与している。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、学術研究のみならず、産業応用や文理融合研究が展開されている。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・ミュオンの輝度の大幅な増大を達成する。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。同時に中性子標的表面から発生するミュオンを効率的に取り出すことにより、50 倍～100 倍のミュオン強度増大を実現する。

J-PARC MLF TS2 中性子・ミュオン源の概要



- 中性子源とミュオン源を一体化 (世界初)
- J-PARC陽子加速器強度 (1 MW) を 1.5 MW に増強
- TS1に1 MW (17 Hz), TS2に0.5 MW (8 Hz) を振り分け



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

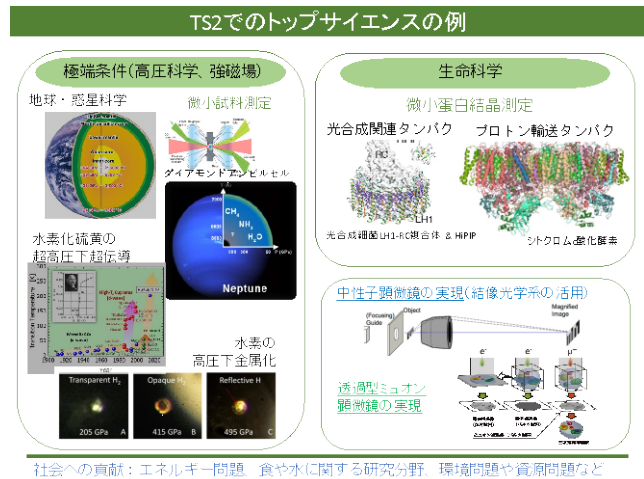
TS2の実現により、今後20～30年を見越しても、世界トップの中性子源とミュオン源を持つとともに、ビームラインの数を倍増することで、実施可能な実験のバリエーションを増やし、新規物質・材料の計測の適時適用機会を増やすことが我が国における学術的な優位性を維持することになる。また、世界トップレベルの性能を達成する施設や実験装置の建設は、次世代の人材育成の格好の場であり、また世界的な拠点として国外の多くの研究者が運営に参画すると期待される。

⑤ 学術的な意義

中性子やミュオンにより、J-PARCにおいて、超伝導物質、全固体電池、高性能鉄鋼材料、水素貯蔵材料、有機EL、タンパク質構造、メモリーエラー、高性能タイヤの開発、文化財や考古学への展開 (文理融合) などの実績がある。他の量子ビームとの連携も拡大している。

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 (0.05 立方ミリメートルの結晶) の構造解析や、生体機能に関係していると言われる運動状態の解析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 Gopa 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、70 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を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 TS2 により可能となる。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「リュウグウ」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。一方で加速器を用いた中性子/ミュオンビームの利用拡大は世界の趨勢であり、加速器パワーで J-PARC よりも有利な海外施設との競争に打ち勝つため、MLF の次期計画である TS2 を具体化する必要がある。30 年先を見据えれば中性子—ミュオンのマルチビームは 3 次元構造と電子構造の多次元相関の研究に不可欠な手法になる。

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。例えば米国 SNS (1.4 MW) での第 2 ターゲットステーションの建設計画 (2032 年に利用開始)、欧州連合の 5 MW 中性子源の ESS (2025 年に 2 MW での利用運転開始)、英国ラザフォードアップルトン研究所の中性子・ミュオン施設 ISIS-II (1.25 MW) が計画されている。さらに中国においては CSNS が 100 kW から 500 kW へのアップグレードを計画している。ミュオンについては ISIS (英国)、TRIUMF (カナダ)、PSI (スイス) といった従来のミュオン施設も J-PARC を参考にしたビームラインの建設等が進んでいる。さらに米国 SNS・中国 CSNS・韓国 RAON では独自のミュオン施設の建設・開発を進めている。特に PSI はこれまでより 1 桁以上の強度増強を目指した新しいビームラインの設計を開始している。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 を実現し、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。

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展開が期待される。

⑧ 実施計画等について

実施設計の開始は 2028 年頃を目標とし、11 年次以降ビーム供用開始を目指す。J-PARC は KEK と JAEA の共同で J-PARC センターを構成し運営しており、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。

総経費 建設費 250 億円 (建設期間 11 年) 年間運営費 25 億円

⑨ 連絡先

小林 隆 (J-PARC センター)