

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 計画の概要

大強度陽子加速器施設は高エネルギー加速器研究機構(KEK)と日本原子力研究開発機構(JAEA)の協力により建設され、国内だけでなく国際的に広く利用されている。中性子とミュオンを用いて実験を行う物質生命科学実験施設(MLF)に関しては、アメリカのSNSやイギリスのRALと並ぶ世界最強のパルスソースとして利用が拡がりつつある。J-PARCの計画最大出力は1MWなので、500kW運転を行っている2019年3月現在は計画達成の道半ばではある。しかし、SNSでは第2ターゲットステーションの計画が具体化し、ヨーロッパでは最大計画出力が5MWのESS計画が進んでいる現状を考えると、J-PARCにおいても次期計画を検討する必要がある。本計画では新たなコンセプトによる中性子・ミュオン源(2nd Target Station = TS2)を建設して中性子・ミュオンの輝度の大幅な増大を達成し、その協奏により現在のMLFでは達成できない新たなサイエンスの創出と利用者拡大を目指す。

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現在のMLFの20倍以上の輝度増大を達成する。同時に中性子標的の表面から発生するミュオンを効率的に取り出し、50~100倍のミュオン強度増大を実現する。

これにより、1MWのMLFでも不可能な中性子による生命科学や高圧科学などが可能になる。ミュオンにおいては、パルス周期に合わせた時間分割測定や透過型ミュオン顕微鏡を実現する。これらにより物質生命科学、基礎物理学の新領域を拡大するとともに、産業界を含むユーザーの拡大によりイノベーションに貢献する。本計画の詳細については、概念設計書(CDR, <http://j-parc.jp/researcher/MatLife/ja/publication/files/TS2CDR.pdf>)を作成し、公開した。

② 学術的な意義

TS2の実現により、中性子科学とミュオン科学はトップサイエンスと裾野の拡大の両面で学術および産業に貢献する。トップサイエンスとして、TS2高輝度中性子を活かした生体高分子の構造・運動解析を挙げることができる。生体高分子結晶構造解析において、中性子では水素原子の可視化が常温および放射線損傷無で可能であるが、現在の中性子輝度では1立方ミリメートル以上の単結晶が必要であり、このサイズの単結晶が作成できる生体高分子は非常に少ない。TS2高輝度中性子の実現により0.05立方ミリメートルの結晶で測定可能になり、水素イオンポンプの役割を果たすバクテリオロドプシンや、癌細胞の増殖や転移に関わるキナーゼタンパク質の抗がん剤結合部位の解析等の重要タンパクの測定が可能になる。さらに、高等生物で多く見られる結晶化しないタンパク(IDP)では、生体機能に運動性が強く関係しており、TS2で有効利用できる長波長中性子により、これまで追跡不能であったマイクロ秒領域の運動の解明が期待できる。高圧科学においても、TS2高輝度中性子により、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。また、新たな技術発展によりイメージングやホログラフィーなど実空間でのサイエンスが期待でき、産業利用への展開も含め裾野の拡大に大きな力を発揮する。

二桁近くミュオンビーム強度が増強されれば、従来不可能だったパルス周期に同期した短時間測定により水素状態の経時変化のオペランド観察などを行うことが可能となり、新機能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など、多くの実験で中性子・ミュオンの協奏が期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

MLFは震災被害などにより多少立ち上がりは遅れたが、現在は安定運転を続けており、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など学術と産業の両分野で多くの成果が出ており、利用は拡大の一途にある。

このような傾向は世界的にも同様であり、むしろ国内よりも拡大のペースは速い。例えばアメリカSNSでは設計最高出力1.4MWを達成し、さらなる発展を目指し、第2ターゲットステーションTS2の建設計画が具体化した。欧州においては次世代加速器中性子源のESSの建設が進んでおり、2022年にはビーム供給が始まる予定である。ミュオンについてはパルスミュオン源と定常ミュオン源の世界をまたいだ相補利用が進んでおり、MLF-TS2では核磁場から電子磁場に渡る広い時間領域での物質生命科学研究が可能になる。

この状況を鑑み、TS2の実現に加え、2020年10月に再稼働が予定されている原子炉JRR-3や実用のレベルに入った小型中性子源との連携、中性子とミュオンの連携も取りながら、新たなサイエンス創出と裾野拡大を行い、国際競争に勝ち抜く。

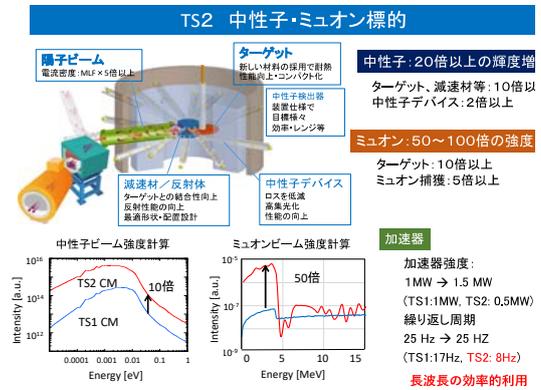


図1 TS2施設の中性子ミュオン源

④ 実施機関と実施体制

J-PARC センター（高エネルギー加速器研究機構及び日本原子力研究開発機構）が建設から利用に至る全ての責任を持つ。

⑤ 所要経費

現在、共用中の TS1 の運転に対する影響を最小化しつつ、かつ予算の最適化をはかる検討が進みつつある。また TS1 の実績をもとに、当時実際に建設に関わった担当者を中心として積算を進めている。詳細は CDR 参照。

LINAC, 3GeV シンクロトロン増強	33 億円
（→J-PARC 全体の性能向上に関わるため、本予算枠外）	
陽子ビームライン	30 億円
中性子ミュオン源	70 億円
中性子ビームライン	40 億円
ミュオンビームライン	40 億円
実験ホール	40 億円
陽子ビームライン建屋	30 億円
放射化物廃棄施設	45 億円
（→J-PARC 全体の性能向上に関わるため、本予算枠外）	
加速器増強・放射化物廃棄施設を除いた合計	250 億円
（運営費）	

運転経費 25 億円

⑥ 年次計画

現時点での年次計画は以下のとおりである。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。

- 1 年次：概念検討・設計
 - 2 年次：概念検討・設計
 - 3 年次：中性子ミュオン源実施設計、陽子ビームライン実施設計、実験ホール実施設計
 - 4 年次：中性子ミュオン源実施設計、陽子ビームライン実施設計、実験ホール実施設計、加速器機器製作、中性子ビームライン実施設計、ミュオンビームライン実施設計、陽子ビームライン機器実施設計
 - 5 年次：中性子ミュオン源実施設計、実験ホール建設、加速器機器製作、中性子ビームライン実施設計、ミュオンビームライン実施設計、陽子ビームライン機器実施設計、陽子ビームライン建屋建設
 - 6 年次：中性子ミュオン源製作、実験ホール建設、加速器機器製作、中性子ビームライン実施設計/製作、ミュオンビームライン実施設計/製作、陽子ビームライン機器製作、陽子ビームライン建屋建設
 - 7 年次：中性子ミュオン源製作、実験ホール建設、中性子ビームライン実施製作、ミュオンビームライン製作、陽子ビームライン機器製作、陽子ビームライン建屋建設
 - 8 年次：機器設置
 - 9 年次：機器設置
 - 10 年次：試験
 - 11 年次以降：ビーム供用
- 必要人員は
- | | |
|---------|------|
| 1～2 年次 | 10 名 |
| 3～10 年次 | 40 名 |
| 11 年次以降 | 30 名 |

の純増が必要である。（一部の人員は企業等からの出向を利用する、また 11 年次以降も必要となる 30 名は KEK, JAEA, CROSS 等の関連機関による雇用が望ましいが未検討である。）

⑦ 社会的価値

J-PARC MLF は 2008 年より中性子・ミュオンビームの供用を開始し、実験課題を国際公募して利用を進めてきた。東日本大震災等による多少の遅れはあったが、ここ 3 年稼働率 93% 以上の安定運転を続けており、応募課題は 1 年で約 650 件を上回る。利用者数は年間 1100 人強と国際的な水準になっていて、利用者の内訳も海外から約 20%、産業利用ユーザーも成果非公開有償利用を含めて約 20% と増大してきている。それに伴って発表論文数も確実に増えており、年間 200 報に近づいている。中でも水素やリチウムなどの軽元素の物質中での位置や運動状態を調べる、あるいは磁気的な構造を調べるという点では中性子とミュオンは強力な測定手段であり、タンパク質の中の水素と水、あるいはリチウム 2 次電池内におけるリチウムイオンの位置と運動状態の解明、全固体電池のリチウム拡散経路の決定、鉄系超伝導物質における新しい相の発見等、質の高い国際的な成果が出てきている。更に産業利用においても耐摩耗性能を 200% アップした高性能タイヤの開発が行われるなど学術のみならず産業界への貢献も大きく、様々な成果として結実してきている。

⑧ 本計画に関する連絡先

岡田 安弘（大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構）

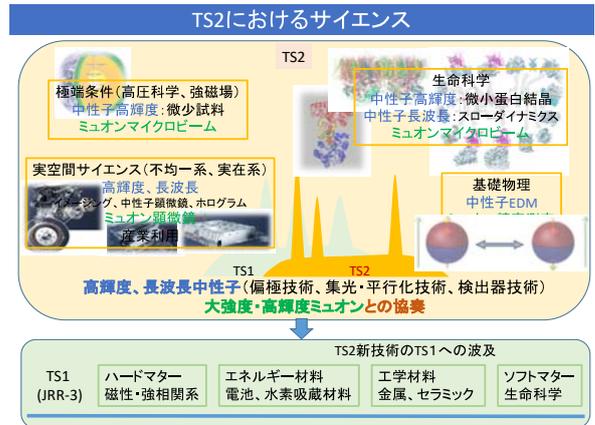


図2 TS2で展開されるサイエンス