

## J-PARC ハドロン施設の現状報告

J-PARC ハドロン実験施設の現状を報告する。ハドロン実験施設では、2025年は4月から5月、および11月にビーム運転を行った。その成果については別なところでの報告にゆずり、今回はハドロン実験施設で準備が進めたれている COMET 実験の状況に焦点を当てる。

### COMET 実験

COMET 実験は J-PARC の大強度高品質陽子ビームを精緻にパルス化し、原子軌道に取り込まれたミューオンがニュートリノを出さずに電子に転換する事象（ミューオン電子転換事象）を探査する実験である。この反応はニュートリノの放出を伴わないと、レプトン世代数の保存則を破り、標準模型を超える物理の手がかりを探る事象として発見が期待されている。

COMET 実験の成功の鍵はいくつかある。このうち最も重要な要素がパルスミューオンビームである。COMET 実験に最適なミューオンビームを生成するために、J-PARC 陽子ビームを輸送するための B ラインからの新たな分岐ラインとして C ラインが建設された。陽子ビームは C ラインを輸送された後、COMET 一次陽子ビーム室内で標的に入射され、ミューオンの親粒子であるパイ中間子が生成される。パイ中間子はビーム輸送系により実験室に輸送される途中でミューオンへ崩壊し、ミューオンは静止標的に止められミューオン原子を生成する。COMET 実験グループでは、ハドロングループと協力して 2023 年 3 月にエンジニアリングラン (COMET Phase- $\alpha$ ) を実施した。ここでは大型湾曲超伝導ソレノイド磁石（輸送ソレノイド磁石 TS）によって低エネルギーのミューオンが輸送できること、また必要なミューオンの生成量が実験計画段階での評価値と合致していることを確認することを主眼にデータ収集を実施した。

現在、さまざまなハドロン生成コードとの整合性の確認が終了し、実験結果を公表する最終段階に到達している。

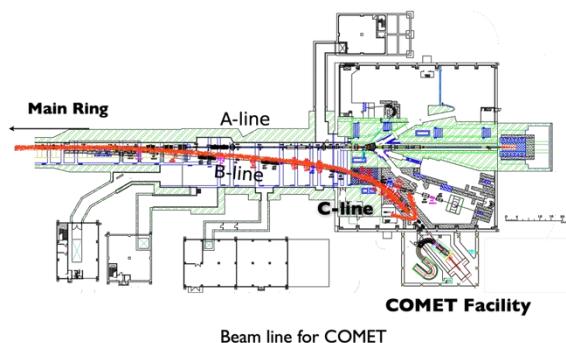


図 1 ハドロンホールビームライン。COMET 実験は C ラインに供給される陽子ビームを利用して実験を行う。

Phase- $\alpha$ 終了後は本実験を開始するための準備を強化している。生成標的の周りを囲う勾配型のソレノイド磁石 ( $\pi$ 中間子捕獲ソレノイド磁石 PCS 図2) は、COMET 実験を遂行するためには不可欠である。PCS は 2023 年の Phase- $\alpha$ 終了後に設置が予定されていたが、完成直前になつてコイルに不具合が見つかり実際の設置は 2024 年 10 月に完了した。その後、PCS をすでに設置されていた TS と接合し、液体ヘリウムによる冷却と励磁試験を行つたための準備を進めている。

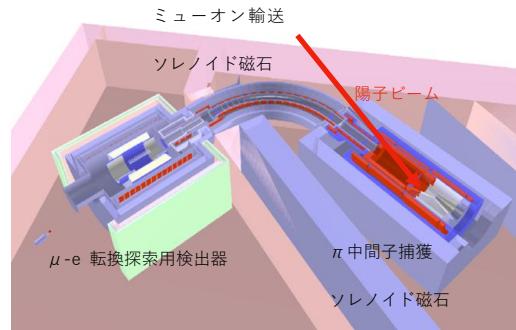


図 2 COMET 実験装置外観図

これらはミューオンビームを生成するために不可欠な施設である。並行して、実験グループではミューオン電子転換探索のための測定装置の準備を進めてきた。測定装置は物理計測を行うための検出器ソレノイド磁石 (DS)、CDC 検出器、トリガーホドスコープ検出器 (CTH)、宇宙線検出器(CRV)とミューオンビームを計測するためのビームモニター、アルミニウム標的に静止したミューオン数を評価するためのゲルマニウム検出器からなる。これに加えてミューオンビームの詳細を計測するためのストロー飛跡検出器、LYSO 電磁カロリメータ検出器の準備も進められている。

2025 年後半は J-PARC 低温セクションの多大な協力を得て、大阪大学のグループが DS の設置作業と、DS 内に CDC、CTH を設置するための作業を進めてきた。図 3 に実験室で組み上げられた DS を示す。この後、DS は床面上のレールで移動されミューオンビーム出口に設置される。2026 年からは全ての磁石の冷却試験と磁場測定を実施した後、DS 内に検出器を設置する作業を開始する。



図 3 実験室に設置された検出器ソレノイド磁石

検出器群の製作に関しては国際共同実験グループが共同で準備を進めている。この準備には 2025 年にあらたに利用が可能になった J-PARC 研究開発棟を最大限活用している。図 4

に研究開発棟での検出器準備状況を示す。図 4 (左) はストロー飛跡検出器製作エリア、(右) は宇宙線検出器 (CRV) 試験状況である。CRV は今後このエリアで残りの検出器組み上げ作業を実施する。このように 2025 年には海外コラボレータの来日も増加し、実験開始に

向けた検出器準備が活性化してきた。今後、それぞれの担当研究機関で準備を進めてきた検出器コンポーネントを J-PARC に輸送し組み上げ作業を行なった後、実験室にて全ての測定装置を統合し完成させる。



図 4 研究開発棟で進めている検出器準備作業。ストロー飛跡検出器製作（左）、宇宙線検出器準備（右）

ミューオン電子転換事象探索は、かつてスイス・ポールシェラー研究所で行われた SINDRUM II 実験が  $7 \times 10^{-13}$  という上限値を与えてから、20 年近くこれを上回る感度での実験は行われていない。ヒッグス粒子の発見後、新物理の兆候がなかなか姿を見せない状況でミューオン電子転換はクォークとレプトンの両方が含まれた反応で広い範囲の新物理に感度があるものとして何らかの手がかりをつかむ可能性が指摘されている。COMET 実験ではまずは SINDRUM II 実験が到達した感度に到達し、その後は世界最高感度を更新しながら、事象の発見を目指している。