

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。特に今回は COMET 実験施設と実験の準備状況に焦点を当てる。

J-PARC ハドロン実験施設の現況

J-PARC ハドロン実験施設では、加速器の長期シャットダウンにあわせて様々な改良工事・実験装置の建設を進めてきた。現在はそれらが終了しビーム受け入れ再開に向けて準備を進めている段階である。荷電 K 中間子のビームラインである K1.8 ビームラインにおいては、ストレンジクォークを 2 個含んだ Ξ 粒子の原子核束縛状態を高精度・高統計で研究するための新しい電磁石が設置され、スペクトロメーターの建設が終盤に差し掛かっている。もう一つの荷電 K 中間子ビームラインである K1.8BR ビームラインでは、現行の実験装置の保守作業を進めつつ、次期計画のためのソレノイド磁石と検出器の設計・製作が行われている。中性 K 中間子のビームラインでは、K 中間子稀崩壊の測定能力向上を目指してデータ収集系の更新作業が行われた。新設された一次陽子ビームライン (B ライン) では、既に収集したパイロットデータの解析を進めつつ、2023 年に計画している本格的な物理データ収集のため実験装置のアップグレードを行っている。また、ミューオンの稀反応を探る COMET 実験のための新設のビームライン (C ライン) では、2023 年初頭に計画されているエンジニアリングランに向けた準備が進められている。

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、原子核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) を探索する実験である。この反応はニュートリノの放出を伴わないため、レプトン世代数の保存則を破る反応であり、標準模型を超える物理の手がかりを探る反応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にミューオンへ崩壊し、ミューオンが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 2022 年度中にエンジニアリング

ラン(COMET Phase- α)を行うことを予定しており、現在その準備が進行中である。図1左に建設中のエンジニアリングランのためのパイ中間子生成標的付近の陽子ビームラインの様子を示す。図1右はパイ中間子を生成するためのグラファイト標的を収めた標的チェンバーである。この標的で生成されたパイ中間子のうち後方に生成されたものだけが、実験室へと輸送される。



図1 Phase- α のための陽子ビームライン(左)とパイ中間子生成標的(右)

Phase- α 実験では、輸送ソレノイドの出口に生成二次粒子を計測するための検出器群が配置される。検出器としてはビームプロファイルと二次粒子の方向を計測するためのファイバートラッカーとストローチューブ飛跡検出器、粒子同定と時間計測を行うためのプラスチックシンチレーター製のレンジカウンターを配置する。準備中の検出器の写真を図2に示す。



図2 Phase- α で使用する検出器。(左)中国CSNSで試験中のファイバートラッカー。(中央)ストローチューブ飛跡検出器。(右)MLFで試験中のレンジカウンター。

COMET実験グループにとってPhase- α は大事なマイルストーンではあるが、そこでの経験をもとにその後の物理データ取得をいかに迅速に開始するかが重要である。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 7×10^{-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。COMET実験ではまずはこの感度に到達し、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。