

ミューオン・中性子グループは、ミューオンと中性子を用いて素粒子標準理論を超える物理現象を探る実験的な研究を推進している。現在は、東海キャンパスの J-PARC におけるミューオンの異常磁気能率($g-2$)・電気双極子モーメント (EDM)測定を行う「ミューオン $g-2$ /EDM」実験、カナダ・TRIUMF 研究所における超冷中性子を用いた中性子電気双極子モーメント探索実験 TUCAN を行っている。

(1) J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM 実験

ミューオンの $g-2$ および EDM はいずれも量子補正の効果として標準理論を超える物理の寄与が顕著に現れることが予想されている。2021 年にフェルミ国立研究所(FNAL)において測定結果が発表され、ブルックヘブン国立研究所(BNL)の結果を確認した (図1)。この結果は標準模型のほころびを示唆し得るものである。標準理論の予想値は精度の向上を目指して新しい実験データの取得や格子 QCD 計算を含む理論手法が発展しているにもかかわらず、BNL/FNAL の結果を追試した実験はまだなく、独立な実験による検証が望まれている (図1)。J-PARC では、ミューオンを冷却・加速してコンパクトな蓄積磁石に蓄積するという新しい手法でミューオン $g-2$ および EDM を精密測定する実験を準備している。

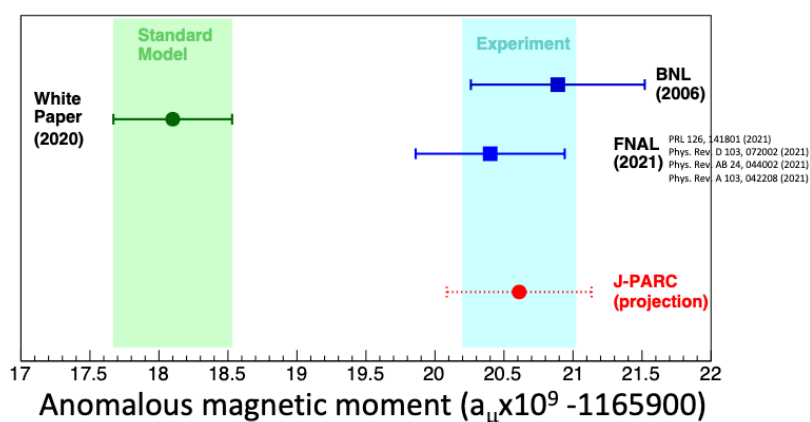


図1 ミューオン $g-2$ の現状と J-PARC の測定精度

2022 年度は、J-PARC MLF H ラインのビーム調整を行い、H1 実験エリアに置いて想定通りのビーム強度とプロファイルが得られていることを確認した。さらに S2 実験エリアでは室温のミューオニウムを生成しレーザーイオン化するミューオン冷却の実証試験のデータ収集を行った。またそれに続く加速試験の準備を進めた (図2左)。関連して、ミューオン加速に用いる IH-DTL 高周波加速空洞の評価に関する論文[1]、ミューオン冷却のモデリングと効率改善に関する論文[2]を出版した。また、つくばキャンパスの入射器棟において低エネルギー電子ビームを用いた3次元らせん入射の実証試験を継続しており、電子ビームをパルスキッカーによって蓄積地場内に蓄積することに成功した。つくばキャンパス北カ

ウンターホール側室において、陽電子飛跡検出器の構成要素であるクォーターペーンのモックアップの製作を行い、組み立て上の問題点を洗い出した。

施設整備関係では、機構からの予算措置を受け H ラインを延伸するためのコンクリート遮蔽体・遮蔽扉の製作・設置（図 2 右）、制御ケーブルの敷設工事を行った。また、実験建屋の建設準備のため、KEK 施設部や J-PARC 施設工務セクションの全面協力のもと、配管試掘調査・情報通信ケーブル等改修工事・放送用ケーブル等改修工事・東側屋外排水設備等改修工事・情報通信設備取設工事・林地開発行為計画変更に係る資料作成を実施した。月に一度、関連する諸施設・部署の担当者から構成される H ライン実験棟 WG を開催し、建屋建設計画の検討課題を洗い出し計画を改善する作業を行ってきた。予算が措置されれば、すぐに外構工事に工事を始める準備を整えた。



図 2 ミューオンの冷却・加速実証実験の装置アSEMBリ試験（左）
MLF H ライン延伸のために製作・設置された遮蔽体（右）

[1] High-power test of an interdigital H -mode drift tube linac for the J-PARC muon g - 2 and electric dipole moment experiment, Phys. Rev. Accel. Beams 25, 110101 (2022).

[2] Modeling the diffusion of muonium in silica aerogel and its application to a novel design of multi-layer target for thermal muon generation, NIM A 1042, 167443 (2022).

(2) TUCAN

KEK 素核研は中性子電気双極子モーメント(EDM) を $10^{-27} \text{ e}\cdot\text{cm}$ の測定感度で観測することを目標とする国際共同実験 TUCAN に参加している。中性子 EDM の探索は超冷中性子(UCN : Ultra-Cold Neutron)という運動エネルギーが 300 neV 以下の極低エネルギーの中性子を用いて行う。TUCAN では現在、UCN 源のアップグレードが行われており、世界最大強度の UCN 源の建設が進められている。UCN 源の最重要要素であるヘリウム 3 冷凍機は KEK 素核研で開発され、2021 年夏に TRIUMF に移送された。現在、TRIUMF にてインストールのための準備が進められている。TRUMF で開発されている液体重水素モデレータと組み合わせることで、2024 年中に新 UCN 源での UCN 生成を開始する予定である。

2023 年 1 月 5 日から 7 日にかけて TRIUMF において、3 年ぶりとなる対面でのコラボレ

ーションミーティングが行われた(図3)。ミーティングでは現在 KEK で開発中の熱交換器や、J-PARC で行われた UCN ガイド評価試験などの結果が報告された。

熱交換器は UCN コンバーターである超流動ヘリウムを冷却するためにヘリウム 3 冷凍機下部に設置される。加工工程の確認のためのプロトタイプが制作されている。これまでに無酸素銅-ステンレス間の異素材電子ビーム溶接、内面研磨、NiP メッキ加工などがテストされた。工程が確認された順に実機の製作入る。2023 年 6 月に熱交換器実機は完成し、TRIUMF において UCN 源にインストールされる。

極低エネルギーである UCN は物質表面で全反射するため、物質ガイドでの輸送が可能である。UCN を発生源から実験装置まで輸送するための UCN ガイドは重要な開発要素である。J-PARC MLF BL05 に設置されているパルス UCN 源を用いた UCN ガイド評価試験が行われた。評価はガイドに対し斜入射した UCN の輸送効率を測定することで行われたが、従来考えられていた反射モデルを用いた場合、実験データを再現しないことが分かった。UCN の反射に対し可視光線の非鏡面散乱モデルを適応することで、実験データを再現に成功した。この結果については現在、論文を執筆中である。

そのほか、コラボレーションミーティングでは TRIUMF で開発の進む、磁気遮蔽率 10^{-4} の性能を持つ磁気シールドルームや、均一静磁場を発生するためのコイル等の開発状況の報告がなされた。



図3 TUCAN collaboration photo 2023