

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。2025 年 4 月にフェルミ国立研究所(FNAL)で行われた実験の最終測定結果が発表され、これまでの結果と矛盾がないことを確認するとともに、精度をさらに 2 倍に改善した。標準理論の予想値は、新しい実験データや格子 QCD 計算を用いた手法による現状が 2025 年 5 月に報告されたホワイトペーパーに報告されている。現在のところ、格子 QCD 計算を用いた評価値は、データを用いた計算値同士に不一致がみられ、精査が続いている。理論計算の展望と J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM 実験の実現について、理論研究を中心とした研究者コミュニティ260 名によるオープンレターが作成され、2025 年 12 月に機構長に提出された。

J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM 実験は MLF ミューオン H ラインで実施する。物質構造科学研究所ミューオン科学研究系と連携して、新しい実験エリア (H2 エリア) の整備を進めている。2025 年 4 月には H2 エリアにファーストビームを出して調整を開始し、2025 年 5 月には施設検査を完了した。

2024 年に S2 エリアで実施したミューオンの冷却と 100keV までの高周波加速の実証結果が PRL 誌に掲載され、同誌の表紙を飾った [1]。次の段階として、新しく完成した H2 エリアにおいて、ミューオン冷却に用いるレーザーやミューオン源診断装置(UDL)の開発を進めた。11 月に S2 エリアで UDL の試験と性能評価を実施し、基本性能を確かめた。12 月に H2 エリアに移動した。並行して、ライマン α レーザーを用いたミューオニウムのイオン化用レーザーシステムの整備を行ない、12 月に H2 エリアに first light を出すことに成功した。その後、H2 エリアでミューオニウムを生成、イオン化、取り出しすることに成功した。次の段階として、冷却ミューオン源の評価と 0.3 MeV までの高周波加速を行う予定である。12 月末、このための高周波加速空洞 (RFQ) を H2 エリアにインストールした (図 2)。



図1 H2エリアにインストールされたRFQ (©中沢雄河)

つくばキャンパス北カウンターホール側室では、機械工学センター、九州大学、新潟大学を中心として陽電子飛跡検出器の構成要素であるクォーターベーンの製作方法の開発を進めている。また、キッカー磁場が検出器に及ぼす影響とその対策の検討を進めた。ミューオンビーム入射について、系統的な最適化の方法を確立し、ビーム光学設計を進めた。

また、実験建屋（Hライン実験棟）はKEK施設部やJ-PARC施設工務セクションの全面協力のもと、必要最低限の機能を保持しつつ、コストカットを実現する設計修正の検討を行っている。

2025年12月に九州大学でコラボレーション会議を行なった（図2）。2025年12月にイタリア・INFNの研究グループ、大阪公立大学が新たにコラボレーションに加わった。



図2 九州大学で開催したコラボレーション会議

（2） TUCAN 実験

KEK 素核研は中性子の電気双極子モーメント（EDM）を 10^{-27} ecm の測定感度で観測す

ることを目標とした国際共同実験 TUCAN に参加している。中性子 EDM の探索は運動エネルギーが 300 neV 以下の極低エネルギー中性子である超冷中性子（UCN : Ultra-Cold Neutron）を用いて行う。TUCAN において世界最大強度の UCN 源の建設を進めており、2025 年 12 月にその UCN 源が完成した。

効率的に UCN を生成するためには、タングステンターゲットに陽子ビームを照射した際の核破砕反応で生じた中性子を常温重水(D₂O)モデレーター、20K に冷却された液体重水素(D₂)モデレーターを用いて冷中性子領域まで冷却し、さらに超流動ヘリウムでのフォノン散乱を利用することで UCN を生成する。UCN を効率的に冷却する UCN コンバーターである超流動ヘリウムを 1.2K 以下に維持する必要がある。中性子を発生させる核破砕反応時には、放射線による発熱が約 8.1 W と見積もられており、さらに輻射や伝導を通じて加わる熱を含めると、総熱負荷は約 10 W に達する。この熱負荷を除去するためのヘリウム 3 冷凍機は KEK で開発された。KEK ではその他にも機械式冷凍機を用いた活性炭コールドトラップによるヘリウム精製機、重水素精製機、また、液体重水素冷凍機等を作成し、現地に移送してきた。

2025 年までにすべての UCN 源構成要素がインストールされ、UCN 生成の準備が整った。2025 年 6 月には重水素モデレーターを除いた状態での UCN 生成に成功し、2025 年 12 月に液体重水素モデレーターを含むすべての構成要素を運転させた状態での UCN 生成に成功した。12 月の試験では、UCN は UCN 源を囲む放射線シールド外部に取り出せれ、UCN は実験ホールへ取り出されている。現在詳細解析中であるが、重水素モデレーターによる UCN 発生数は 30 倍程度の増大が確認され、事前のシミュレーションの結果とおおむね合致している。

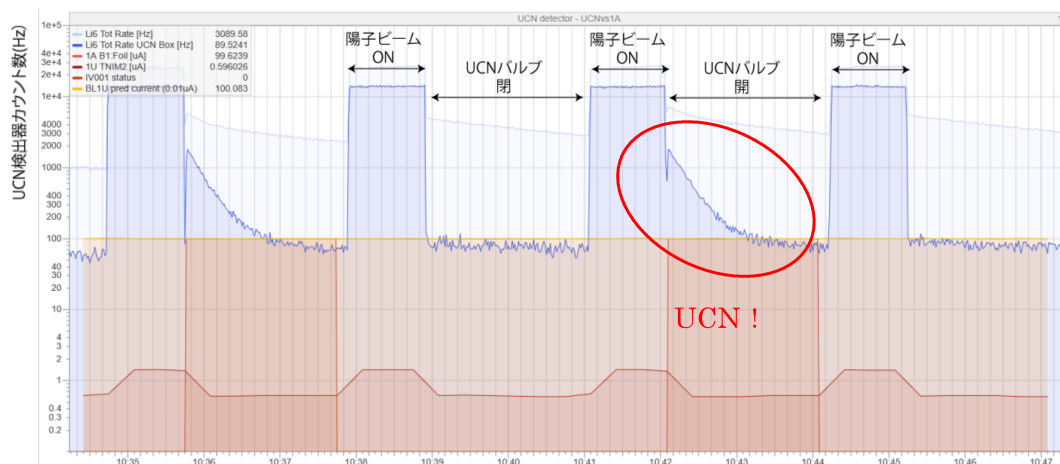


図 3 2025 年 6 月の UCN 検出信号。陽子ビーム 60 秒照射後、240 秒間の UCN 検出サイクルを繰り返している。UCN 取り出しバルブ閉じられているときは UCN が検出されないが、バルブが開けられたときは明確に UCN が観測された。

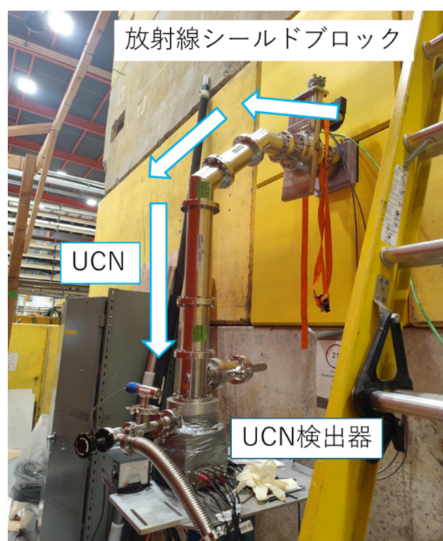


図 4 2026 年 12 月の検出器セットアップ。UCN ガイドにより、UCN は放射線シールド外部に取り出された。

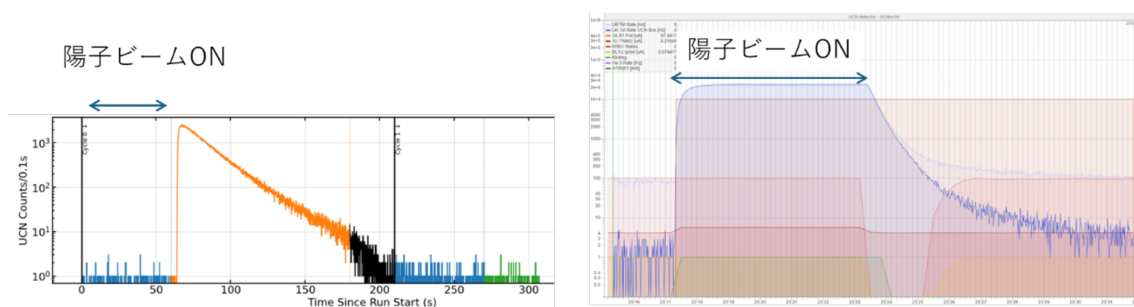


図 5 2026 年 12 月の UCN 検出信号。左：6 月と同じく、UCN 生成時には UCN バルブを閉じ、陽子ビーム 60 秒照射後にバルブを開け、UCN を取り出す(バッチモード)。1 μ A の陽子ビーム強度において約 500,000 UCN/batch の UCN を検出。右：陽子ビーム照射中も UCN バルブを開け、UCN を検出する連続運転モードでの検出信号。UCN 検出器が放射線シールド外部に置かれた 12 月の試験で初めて可能になった。1 μ A での運転で 230,000 UCN/s の UCN を検出。

KEK では超流動ヘリウム UCN コンバーター中の ^3He 不純物を除去するスーパーリークの開発が行われている。天然ヘリウムの同位体組成は $^3\text{He}/^4\text{He} \sim 10^{-6}$ 程度である。 ^3He は中性子吸収断面積が大きく、UCN コンバーターに混入した場合、生成された UCN が吸収されてしまうため除去しなければならない。スーパーリークは微細な多孔質素材で粘性のない超流動ヘリウムのみを透過させる。ヘリウム同位体の超流動転移温度の違い(^4He : 2.17 K, ^3He ~数 mK)を用いることで、天然ヘリウム中の ^4He のみを透過させるフィルターとして

作用する。スーパーリークは 50 nm 以下の粒径を持つアルミナ(Al_2O_3)粉末を圧縮成型することで作成する。KEK 機械工学センターの協力により作成したスーパーリークを富士実験棟実験準備室の 2K ヘリウム冷凍機を用いて試験している。これまでにスーパーリークの超流動透過性は確認された。今後、改良した実験セットアップによる定量的な評価を行う。

2026 年 2 月にはメキシコ国立自治大学でのコラボレーションミーティングが予定されており、活発な議論が期待される。

(3) ミューオン・中性子グループ全体の活動

2025 年 10 月に東京大学で日本・スイス協力によるミュオン・中性子科学およびその周辺分野の実験技術に関する国際会議(BRIDGE2025)を開催した(図 6) [3]。国内から約 40 名、スイスから PSI を中心に約 30 名が来日し、将来のミュオン・中性子科学の刷新・開拓などを目指して技術交流を行った。大強度ミュオンビーム生成やミュオン冷却・加速、中性子光学などに関する技術について議論した。また国際会議終了後、若手交流イベントを KEK つくばキャンパスで行い交流を行なった。



図 6 BRIDGE ワークショップの参加者

[1] S. Aritome, et al., [Phys. Rev. Lett 134, 245001 \(2025\)](#).

[3] <https://conference-indico.kek.jp/event/321/>,
<https://www.psi.ch/en/cnm/news/second-bridge-workshop-in-tokyo>