

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。2023 年 8 月にフェルミ国立研究所(FNAL)において新しい測定結果が発表され、2021 年の結果と矛盾がないことを確認するとともに、精度を 2 倍に改善した (図 1)。標準理論の予想値は、2021 年にホワイトペーパーに取りまとめられた値があるが、その後新しい実験データや格子 QCD 計算を用いた手法による新しい評価値が報告されており、精査が続いている。一方、測定値については、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。

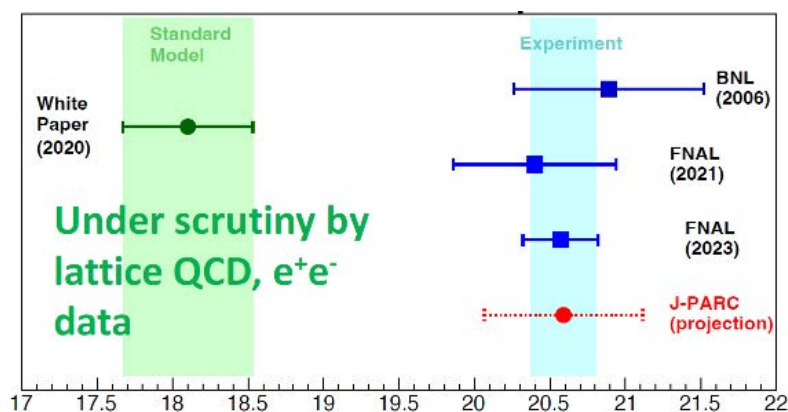


図 1 ミューオン $g-2$ の現状と J-PARC の測定精度

2023 年 2 月から 5 月にかけて、J-PARC MLF S2 実験エリアにおいて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。岡山大学の協力により波長 244nm のパルスレーザーをミューオニウムに照射し、イオン化したミューオンを静電場で取り出して測定した。その結果、室温に冷却されたミューオンの生成を確認した。また、ミューオン源のエミッタンスを評価するための予備的な測定も行い、現在解析を進めている。中速部の加速のための Disk And Washer 型の加速空洞の要素試作を行い (図 2 左)、その高周波特性が良好であることを確かめた。より一様な加速電場を形

成するために組み立て方法の改善策を検討した。また、高速部に用いる Disk-Loaded Structure(DLS)型の加速空洞の試作も行った(図2中)。つくばキャンパスの入射器棟では、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実験を継続している。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ベーンのプロトタイプ製作を行い、機械的性能、電気的性能の評価を行った(図2右)。

施設整備関係では、ミュオン冷却・初段加速を行う実験エリア(H2エリア)の整備を終え、運用開始の許可を得た。並行してHラインを延伸するための電磁石部材の調達、レーザールーム、加速器用電源プラットフォームの整備を行い、2024年度にビームを取り出しと調整を開始できるように準備を進めている。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、実験建屋及び設備の実施設計を進めている。2024年度に予算が措置されれば、すぐに工事に着手可能な準備を整えた。

2023年1月に素核研常設の進捗評価委員会が組織され、その第1回の評価が行われ、3月に報告書が素核研に提出された。2023年6月に海外からのコラボレータを交えたコラボレーションミーティングをハイブリッド形式で開催し、全体計画と進捗評価委員会での指摘事項について議論を行った。2023年7月末に進捗評価委員会へ指摘事項への対応状況と計画に関する報告書を提出した。

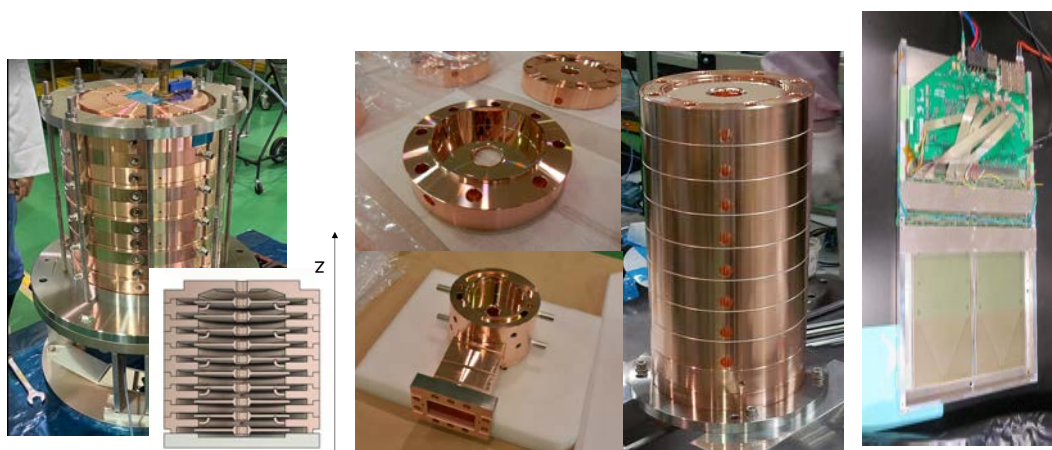


図2 (左) DAW 空洞試作、(中) DLS 空洞試作、(右) クォーターベーンプロトタイプ



図3 2023年6月に東海村AQBRCで開催したコラボレーション会議

(2) TUCAN

国際共同実験 TUCAN の目標は中性子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である。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 300neV 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。KEK で開発されたヘリウム 3 冷凍機や、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、世界最高強度の UCN 源を実現する。2024 年中に新 UCN 源での UCN 生成を開始する予定である。

2023 年 8 月 8 日から 10 日の日程で KEK つくばキャンパスにおいて TUCAN コラボレーションミーティングが行われた(図 1)。ミーティングでは UCN 源コミッショニングの計画や、現在 TRIUMF で進む磁気シールドルームの建設状況、中性子 EDM 測定装置についての R&D の進捗状況が報告された。現在 KEK で開発中の熱交換器の開発状況や、J-PARC で行われた中性子偏極解析膜の性能評価試験、UCN ガイド評価試験などの結果が報告された。

KEK で開発した熱交換器は外径 210 mm、内径 150 mm、全長 600 mm の無酸素銅に伝熱面積を増やすために高さ 15 mm のフィンを形成したものである(図 2)。熱交換器本体である無酸素銅のフィン加工、ステンレスフランジとの異素材電子ビーム溶接、銅・ステンレスの異素材金属間の内面研磨等、実機制作時の工程を経て、熱交換器は完成した。すでに移送済みのヘリウム冷凍機と組み合わせたコミッショニングが TRIUMF で開始される。ヘリウム 4 を用いた試験から始め、2023 年中にヘリウム 3 を用いた試験が行われる予定である。これらと共に TRIUMF で開発される液体重水素モデレータなどの要素と統合し、2024 年中の UCN 生成を目指している。

建設中の磁気シールドルームは磁気遮蔽率 1/10,000 の 4 層パーマロイシールドにより、中性子 EDM 測定時の外部磁場変動による系統誤差の削減を行う。これまでに再内層のシールドが完成し、性能評価の結果、設計通りの性能が出ていることが確かめられている。磁気シールドルームは 2023 年中に完成予定である。

最近の UCN ガイドの開発の成果については S. Imajo et.al, Phys. Rev. C 108 34605 (2023) に掲載された。

9/21-22 に KEK つくばキャンパスで素核研ワークショップ「中性子基礎物理研究会」が開催された。ハイブリット形式での開催で、現地・オンライン合わせて 40 名程度が参加した。TUCAN や既存の実験のみならず、広く中性子を用いた基礎物理実験についての議論が行われた。

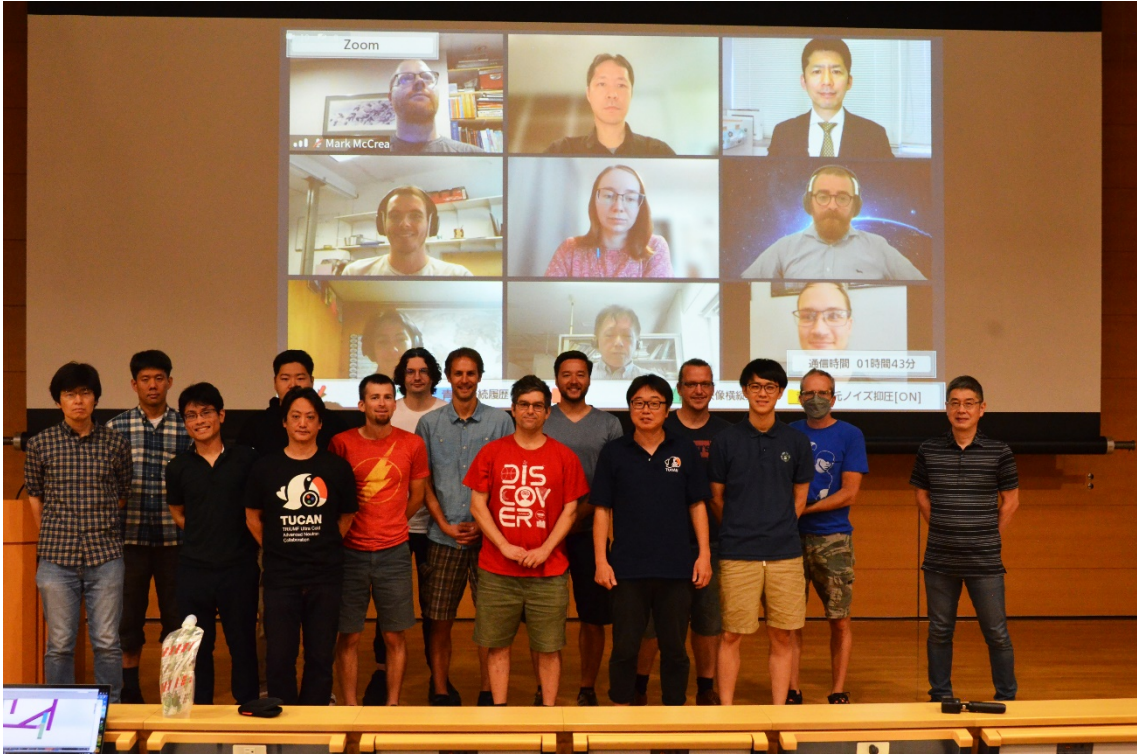


図4 TUCAN Collaboration Meeting 2023 Summer, KEK Tsukuba

図5 熱交換器(左：フィン部、右：完成形)

