

素核研ミューオングループではミューオン LFV 探索・ミューオン精密測定の研究を推進している。ミューオングループは、LFV 探索研究である COMET 実験の実現を最優先のミッションとして取り組むとともに、g-2/EDM 実験の実現に向けて開発研究を続けるという体制をとっている。今回の報告では LFV 探索研究について、特に COMET 実験に関する研究活動の状況を中心に紹介する。

■ ミューオン LFV 探索研究

通常のミューオン崩壊と異なり、 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊やミューオン電子 ($\mu^- e$) 転換事象ではレプトンファミリー数の保存が破れており (Lepton-Flavor Violation (LFV))、標準理論では起こりえない。このため LFV 探索は高エネルギーフロンティア実験と並んで新物理の検証に重要な役割を果たすと考えられている[1]。

■ MEG 実験

MEG 実験は、ポールシェラー研究所での $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊を探索する実験であり、2011 年までのデータを用いて分岐比上限値として 5.7×10^{-13} を与えている[2]。現在 MEG 実験では、2012 年以後に取得したデータの解析を行うとともに、第二期のデータ収集に向けた測定器の改良作業を行っている。

■ COMET 実験

LFV 物理に関して MEG 実験と並んでミューオングループが精力的に推進している実験が J-PARC での $\mu^- e$ 転換事象探索 (COMET) 実験である。COMET 実験は日本をはじめ 14 カ国、34 研究機関 (2015 年 2 月) の研究者が参加する国際共同実験で、ミューオングループはホスト研究機関として施設建設を中心に実験を進めている。

COMET 実験は、建設予定の超伝導電磁石のうち、最初の 90 度の折れ曲がりまでを建設して物理計測を行い (Phase I 感度 10^{-14})、その後、超伝導電磁石を延長 (Phase II 感度 10^{-16}) して段階的に物理感度を上げていくことを計画している。Phase I 開始は 2016-2017 年頃、Phase II 開始は 2020 年頃を予定している

この実験では、陽子標的でパイ中間子を生成し、ミューオン静止標的へと輸送する。この間にパイ中間子はミューオンへと崩壊しミューオン静止標的でミューオン原子が生成される。その後スペクトロメータにより特徴的なエネルギーの電子を計測して $\mu^- e$ 転換事象を同定する。

COMET 実験装置では、ミューオン輸送並びに信号電子の弁別に長大な超伝導ソレノイド磁石を使用する。このため、低温センターならびに素核研低温グループと協力

して、高放射線環境下で大強度磁場を発生可能な超伝導電磁石と輸送のための湾曲ソレノイド電磁石を製作中である。ミューオン輸送に湾曲ソレノイドを使用する理由は、広い運動量領域にわたってミューオンを輸送できる上、輸送中にビーム粒子の電荷に依存して中心軌道が湾曲面と直交する方向にドリフトし、この特徴を利用して電荷の弁別が行えるためである。図 1 に製作中の湾曲ソレノイドに使用されるコイルを示す。このようなパンケーキ状のコイルを湾曲形状に並べることによって湾曲ソレノイド磁場を実現する。なお、このパンケーキコイルには荷電粒子が湾曲磁場中を通過する際の鉛直方向のドリフトを制御するためのダイポール磁場が生成できるように補正コイルも巻かれている。

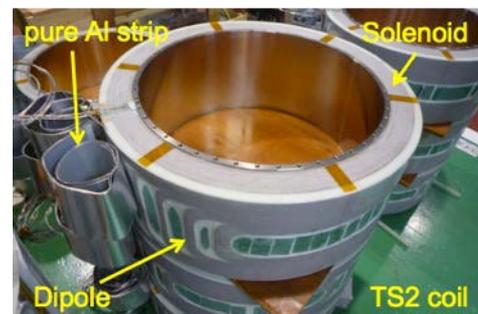


図 1 製作中の湾曲ソレノイド磁石用超伝導電磁石コイル

COMET 実験はメインリング加速器からの陽子ビームを使用してミューオンを生成する。陽子ビームは遅い取り出しラインを通じて既存のハドロン実験ホールまで輸送される。輸送の途中、一次陽子ビームはメインリングとハドロン実験ホールをつなぐスイッチャード内で新たに設けられる分岐部で既存の一次陽子ビームラインから分離した後、現在建設中の新一次陽子ビームラインにより COMET 実験室まで輸送される。図 2 にスイッチャード内の建設状況を示す。建設は一次陽子ビームライングループの強力なサポートのおかげで主要なビーム輸送用機器の設置がすでに終了している。

COMET 実験室は、現在建設中のハドロン南実験棟内に配置される。既に地下構造の建設は終了しており、2014 年度末の建屋完成を目指して工事が急ピッチで進められている。この新規建設建屋の地下に、COMET 実験装置が配置され、地上階には必要な超電導磁石のための冷却システムが設置される予定である。建屋内には、実験に必要な空調・換気システムが備えられており、さらに階上にはハドロン実験ホールビームラインの制御室が配置される。また同フロアにはハドロン実験ホール南側で実験を行うグループのためのコントロールルーム、計算機室も準備される予定である。



図 2 スイッチャード内の機器配置の様子。奥側が既存のビームライン。手前に配置されている磁石群が新一次ビームライン用の機器である。

検出器に関しては、国内外のコラボレータと強固な協力関係を築いて、開発・製作を行っている。検出器開発・製作はビームスタディ用の検出器と物理計測用検出器の 2 種類の検出器について実施している。

COMET 実験で使用するビームラインは湾曲ソレノイドにより大きな運動量アクセプタンスを持っている。このため、ビーム粒子の詳細を理解するためには、専用の検出器が必要である。ビームスタディ用の検出器はこの目的に使用され、ソレノイド電磁石中に磁場の向きと垂直に配置されたストロー飛跡検出器と磁石の終端に配置される LYSO 結晶カロリメータが使用される。実験グループでは、この検出器製作にあたって、厚さ 12~20 ミクロンの真空中で使用可能なストローの開発、LYSO 結晶カロリメータの開発を行ってきた。開発はほぼ最終段階に到達しており、ビーム計測用検出器の試作が行われている。また、このビーム計測用検出器は将来 Phase II での物理計測用検出器としての使用が計画されており、このような開発体制を取ることで、Phase I から Phase II

への移行をスムーズに行うことも視野に入れている。

Phase I での物理計測は CDC 検出器により行う。このため、ガス検出器・CDC 製作に豊富な知識と経験を有する Belle グループの協力を得ながら、共同実験者である大阪大学のグループが中心となって装置の製作が行われている。関連するエレクトロニクスについても海外の共同実験者を中心に、素核研エレクトロニクスシステムグループの協力を得ながら Open-it に参加して効率的な開発が進められている。これら検出器設計の詳細は、COMET 実験が目指す物理、施設設計方針とともに 2014 年 10 月に J-PARC PAC に提出された技術設計書 (TDR) にまとめられている。[3]

現在、実験グループではさらに多くの共同実験者を募ることにより強固な協力体制を築き上げこれらを実現しようとしている。このため定期的に開催される共同実験者会議を参加研究者の所属研究機関で開催することを積極的に行っている。2014 年 9 月の共同実験者会議はグルジア・トビリシ州立大学にて開催した。2015 年 1 月には KEK/J-PARC にて開催し、建設中の実験棟の見学(図 3)も交えて、1 週間に渡って準備状況の報告と実験開始までの計画について話し合った。次回 5 月にはフランス LPNHE で開催する予定である。



図 3 建設中の実験棟前に集まった共同実験者会議参加者たち。

References

- [1] S. Mihara et al. Ann. Rev. of Nucl. and Part. Sci Vol. 63: 531-552 2013
- [2] J. Adam et al. (MEG collaboration), Phys. Rev. Lett. 110:201801, 2013
- [3] http://comet.kek.jp/Documents_files/PAC-TDR-2014/PAC-Review-20141110.pdf