

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]。実験には世界各国からの研究者が参加しており、日本からは KEK、東京大学が参加している。実験は 2013 年夏に第一期のデータ収集を終え、現在第二期のデータ収集に向けた測定器のアップグレードを準備している。

■ COMET 実験

ミューオングループでは、LFV 物理に関して MEG 実験と並んで J-PARC での $\mu^- e$ 転換事象探索 (COMET) 実験を主力的に推進している。COMET 実験は日本をはじめ 12 カ国の研究者らが参加する国際共同実験である。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電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電導電磁石を製作中である (図 1)。



図 1 製作中の超伝導電磁石コイル

検出器に関しては、国内外の共同研究者らと開発、設計を進めている。2013 年度には東北大学で結晶カロリメータプロトタイプの実験を実施した。つくばキャンパスでは真空中で動作が可能なストロー飛跡検出器の実験が継続中である。この他、素核研エレクトロニクスグループの協力を得て、次世代の波形計測装置の開発等が行われている。

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が、実験の要請からビームの取り出しを行う際に、パルス構造を保ったまま遅い取り出しを行う。この際、陽子ビームのパルス間への陽子の漏れ出しを極限にまで低減する必要があり、この開発を J-PARC 加速器グループと協力して実施している。2014 年 5 月に行われた試験では、加速器内部でこの漏れ出しを十分小さく (10^{-11} 以下) に抑えられることを実測した。今後実際の実験と同様に加速器外部に取り出して実験室内で計測を行うことを計画している。

現在、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 年頃、Phase II 開始は 2020 年頃を予定している。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。このため定期的に行われる共同実験者会議に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 5 月の共同実験者会議は中国 IHEP にて開催し、中国から多くの参加者を募ることができた (図 2)。



図 2 IHEP での COMET 共同実験者会議の様子

■ ミューオン精密測定

ミューオンの異常磁気能率の精密測定は、新物理の兆候が既に見えている可能性があり、その重要性が高く評価されている。また、同時測定出来る電気双極子能率は、有限の値があれば即新物理を意味する。ミューオングループでは、この同時測定実験を g-2/EDM 実験として立ち上げるべく要素技術の開発を進めている。なお、過去の研究報告については[4]を参照されたい。

■ ミューオン源の開発

極冷ミューオンの発生に必要となるミューオニウム生成標的の開発・試験を TRIUMF[3]および J-PARC で行っている。レーザーを用いてサブミリ径の穴加工を施しエアロゲルを製作、TRIUMF にて試験を行った結果、穴加工を施したシリカエアロゲルからミューオニウム真空放出率が一桁増加することがわかった。その後、同じ試料を J-PARC MLF で試験を行い、同様の結果を得た。また、5月末に J-PARC で再度測定を行い、穴径・ピッチと収量に関する系統的なスタディの一部を行った。鋭意、最終形へ向けた最適化を行っている。

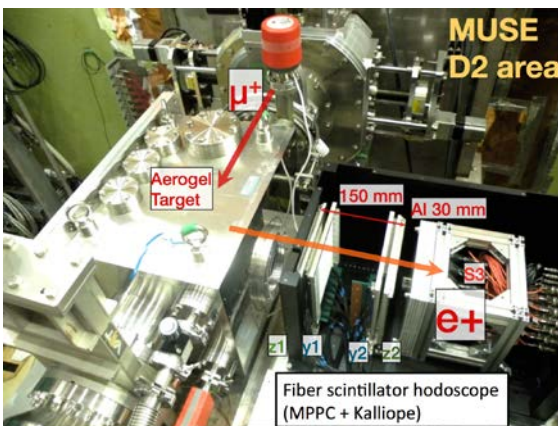


図2 J-PARC MLF ミューオン施設で行ったシリカエアロゲルからのミューオニウム生成実験の様子

■ ミューオン加速器の開発

加速器研究施設の吉田准教授を中心にミューオン加速器全体設計を進めている。物質構造科学研究所の河村講師・博士研究員の大谷氏により、ミューオン生成点からライナック入射までのビームライン光学設計および遮蔽構造の検討を行った。また、京大の岩下准教授のグループは中間エネルギーの加速技術の検討を開始している。負ミューオニウムイオンをイオン源として、RFQ と IH-タイプのライナックを用いた初段の加速試験を J-PARC で行う準備を進めており、2014年度後半に、負ミューオニウム源を評価する実験提案を行った。

■ 超精密電磁石の開発

低温工学センターの佐々木准教授、加速器施設の飯沼助教、及び共同研究を進めている民間企業の協力で、磁場設計、電磁石の構造設計を進めている。ライナック出口から磁石までのビーム輸送ラインの設計が進んでいる。ミューオンビームの入射アクセプタンスの検討、シムコイルによる磁場の補正方法の検討が進んでいる。また、日米共同事業にて、BNL と協力してパルス NMR を用いた精密磁場測定器を開発し、KEK で開発した DC-NMR 磁場測定器と比較する測定を今年度後半に予定している。

■ 検出器開発

シリコンストリップセンサーの仕様を決定し、Belle-II グループの協力によりテストセンサーの製作を行った。センサーの特性の評価を進めている。エレキオンライングループ・ATLAS グループ・九州大学の協力により、パルスビーム構造に最適化されたフロントエンド ASIC の開発、評価を、良好な結果が得られている。6月と9月にビームを用いた試験を予定している。

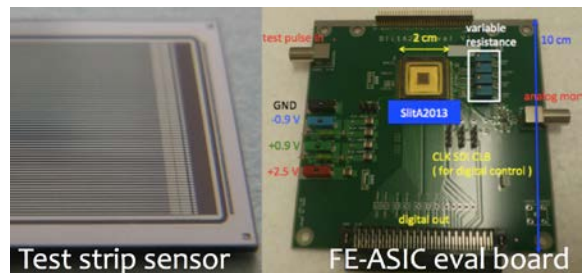


図2 (左) シリコンストリップ試験センサー、(右) フロントエンド ASIC 評価ボード

■ 最後に

2012年4月から LFV グループと g-2/EDM R&D グループは、一つのミューオングループとして、COMET 実現を最優先に g-2/EDM の開発研究を続けるという体制をとっている。COMET 実験には、九州大学などの新しいグループの参加もあり、内外の協力を十二分に生かして、ミューオン基礎物理を J-PARC の重要な柱の一つとして確立することを目指している。

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] Bakule et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 103C01 (2013)
- [4] <http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confid=14186>