

ミュオングループ

素核研ミュオングループではミュオン LFV 探索, ミュオン精密測定の研究を推進している。

■ ミュオン LFV 探索研究

通常のミュオン崩壊 ($\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$) と違って, $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊やミュオン電子 ($\mu^- e$) 転換事象では世代ごとのレプトン数 (Lepton Flavor) の保存則が破れており, 標準理論では完全に禁止されている。このため, これらの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。

■ 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 [1]。

MEG 実験では, $\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊事象をその背景事象から効率的に区別するために, 液体キセノンガンマ線検出器, 勾配磁場型陽電子スペクトロメータ (COBRA スペクトロメータ) が使用されている。実験には日本, スイス, イタリア, ロシア, アメリカからの研究者らが参加しており, 日本からは KEK, 東京大学が参加している。

■ MEG 実験の現状

現在, MEG 実験は 2012 年のデータの解析を続けながら, 2013 年秋までの予定でデータ収集を継続している。その後, さらに探索感度を上げるため, 2 年間を費やして検出器アップグレードを実施し, 10^{-14} 台の実験感度の達成を目指している [2]。

■ COMET 実験

ミュオングループでは, 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) 実験を主体的に推進している。この事象でも, 反応の前後で世代ごとのレプトン数が保存せず, 標準模型を越える新物理に対して高い感度がある。COMET 実験は, 日本をはじめ世界 11 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, ミュオン静止標的へと輸送する。この間にパイ中間子はミュオンへと崩壊し, ミュオン静止標的でミュ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を持った電子を計測することで, $\mu^- e$ 転

換事象探索が行われる。

COMET 実験装置では, 長大な超伝導ソレノイド磁石を使用する。これにより, パイ中間子捕獲, ミュオン輸送, 電子の運動量計測を実現する。超伝導磁石の開発に当たっては, 低温センターならびに素核研低温グループと協力している。図 1 に日米協力事業のもと米国 FNAL 研究所と共同開発したアルミ安定化超伝導線テストコイルを示す。COMET 実験で必要とされる超伝導磁石には, 高放射線環境下で大強度磁場を発生することが要求されており最先端の磁石技術が不可欠である。

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。2012 年度終わりから 2013 年度初頭にかけては, J-PARC テストビームラインにて結晶カロリメータプロトタイプの実験, またロシア JINR とは真空中で運転するストロー飛跡検出器の共同開発を行なっている。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, 実験に必要な検出器コンポーネントの開発が進行中である。

現在, COMET 実験は, 建設予定の超伝導磁石のうち, 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, 超伝導磁石を延長



図 1 COMET 実験用ソレノイド超伝導磁石テストコイル。

する (Phase II 感度 10^{-16}) ことで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。

■ 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[3]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なミューオニウム生成標的の開発・試験を TRIUMF および J-PARC で行ってきた。TRIUMF では、理研と協力してシリカエアロゲルからのミューオニウム真空放出率を決定し、ミューオニウムの時空分布を明らかにした。一方、J-PARC でも MLF/MUSE でミューオニウム生成標的の開発を行っている。そこでは、パルスビームの性質を生かして、高温金属からのミューオニウム生成に関するデータが得られている。現在、実験で用いる陽電子検出用のファイバートラッカーの開発を行い、今後強度の増加に伴って予想される計数率の増加に対応する準備を進めている。この開発は MUSE グループと、東京理科大の長嶋泰之教授との協力により進められている。

■ 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が進んでおり、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いる。東工大の林崎准教授のグループに加えて新たに加速器施設の博士研究員 Sayyora Artikova が参加し、検討を進めている。また、京大の岩下准教授のグループも中間エネルギーの加速技術の検討を開始している。

■ 超精密電磁石の開発

低温センターの佐々木准教授を中心とするグループ、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。また、日米共同事業の一つとして、BNL との協力で磁場測定装置の開発準備を開始した。今後は日米それぞれの磁石と測定装置を用いて測定装置の絶対較正、系統誤差の比較を行う。新たに中古 MRI 磁石を調達し、MLF/MUSE にインストールされた。これを用いてミューオニウム超微細構造の測定と

$g-2$ 測定用磁場測定・調整方法を確立する予定である。



図 2 新たに導入された MRI 磁石

■ 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 グループの協力により試作を行っている。パルスビーム構造に最適化されたフロントエンド ASIC の試作を、エレキオンライングループ・ATLAS グループの協力により進めている。J-PARC/MLF にてミューオンおよび電子ビームを照射する試験を行い、検出器の詳細設計のために必要となる情報を取得している。

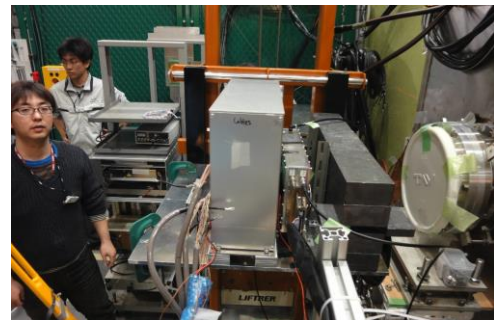


図 3 シリコンストリップセンサービーム照射試験

■ 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。

[1] J. Adam and others (MEG collaboration), Phys. Rev. Lett. accepted

[2] MEG Upgrade Proposal, submitted to PSI, R-99-05.2

[3] <http://kds.kek.jp/categoryDisplay.py?categId=435>