

ミュオングループ

素粒子原子核研究所 上野一樹, 齊藤直人, 名取寛顕, 西口 創, 深尾祥紀, 三原 智, 三部 勉, 吉村浩司

■ ミュオン LFV 探索研究の目的

通常のミュオン崩壊 ($\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$) では、反応の前後で世代ごとのレプトン数 (Lepton Flavor) が保存されているが、 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊やミュオン電子転換事象 ($\mu \rightarrow e \gamma$ conversion) ではこの保存則が破れており、標準理論では完全に除外されている。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、2010 年までのデータを用いて分岐比上限値として 2.4×10^{-12} の与えている。

$\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊の信号事象では、静止ミュオンから（陽）電子とガンマ線が同時刻に放出される。これに対する背景事象としては、ミュオンのガンマ線を伴う崩壊に起因するものと、事象の偶発的な重なりによるものがある。MEG 実験では、これらを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) といった革新的な実験装置が使われている。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 2011 年のデータの解析を続けながら、さらなるデータ収集を続けている。また、2013 年以降に計画中の検出器アップグレードの準備も進めている。これにより、2013 年度内には 10^{-13} 台の実験感度を、アップグレード後には 10^{-14} 台の実験感度の達成が見込まれている。

■ COMET 実験

ミュオングループでは、MEG 実験と並んで J-PARC でのミュオン電子転換事象探索実験 (COMET) 実験を主力的に推進している。この事象は、 $\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊同様、反応の前後で世代ごとのレプトン数が保存しておらず、標準模型を越える新物理に対して高い感度を有している。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、ミュオン電子転換事象探索が行われる。

この実験で MEG と同等かそれを上回る感度を達成するためには、良質のパルスミュオンビームが不可欠である。そのためには、緻密に制御されたパルス陽子ビームを必要で、この実現のために J-PARC 加速器グループとの開発研究を推進している。

COMET 実験装置は図 1 に示すような長大な超伝導ソレノイド磁石を使用する。これにより、生成パイ中間子捕獲、パイ中間子/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進めている。

検出器に関しては国内外の共同研究者らと基礎開発、技術設計を進めている。特に電子計測に必要な検出器の開発は、多数の研究者らに大きく門戸を開きながらも、鍵を握る重要な開発に関してはミュオングループが積極的に関与することで効率的な開発を行っている。

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 年頃を見込んでいる。

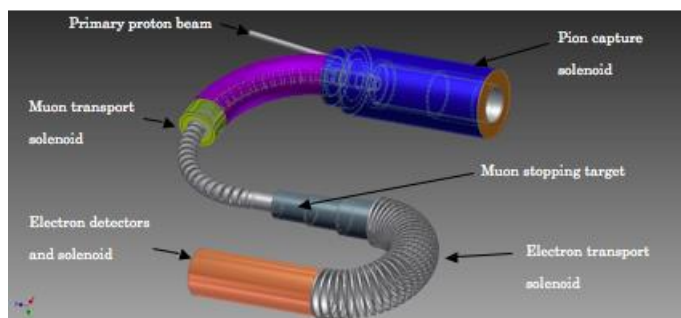


図 1 COMET 実験用ソレノイド超伝導電磁石。
Phase I では図中の黄色い部分までを建設し、その後に電子スペクトロメータを配置する。

■ ミューオン精密測定のための目的

一方、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るという文脈において、重要性が高い。また、同時測定出来る電気双極子能率は、高感度探索で有限の値が発見されれば新物理を意味する。この同時測定実験を $g-2/EDM$ 実験として立ち上げ、要素技術の開発を進めている。

J-PARC PAC から stage-1 の提言があり、このたび正式に stage-1 status を素核研所長および J-PARC センター長から頂いた。



なお、これまでの研究報告は KEK document server にあり、以下の URL でアクセス出来る。

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

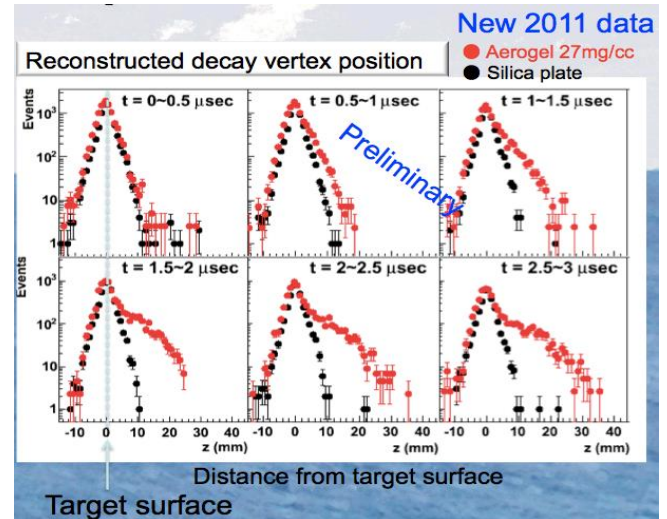
■ ミューオン源の開発

極冷ミューオンの発生源として、ミューオニウム生成実験を TRIUMF で行ってきた。2010 年、2011 年と短いながら充実したビームタイムを経て、エアロゲルからのミューオニウムの発生モデルを制限するデータが揃いつつある。ミューオニウムの時空分布を明らかにした事で、レーザーによるイオン化効率を最大にする基礎データが確立した。

一方で、標的物質の最適化を飛躍的に進められる“開発ベンチ”を確立するべく、J-PARC MUSE の D ラインで実験を開始した。パルスミューオンビームを最大限生かす為の高効率トラッカーを作り、標的も様々な条件でスタディをはじめている。MUSE グループの人々と、東京理科大の長嶋泰之教授の協力により、スムーズなスタートが出来たことをこの場を借りて感謝申し上げたい。

■ ミューオン加速器の開発

J-PARC にスペアとして存在する RFQ と、新たに作成した IH-タイプのライナックで、加速試験を準備している。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始めて頂いている。



■ 超精密電磁石の開発

低温センターの佐々木憲一准教授を中心とするグループ、および共同研究を進めている民間企業との協力で、磁場設計、電磁石の三次元設計を進めている。コイルの巻き方、低振動冷凍機の検討、また中に入る検出器コンポーネントの磁場への影響の測定、放医研の小形先生のご協力により、3T の MRI 磁石を用いた磁場精密測定器の開発も進んでいる。

■ 検出器開発

Belle グループの協力によるセンサーをエレキオンライニンググループと ATLAS グループの協力による読み出し回路で読み出す準備が整った。今後、テストベンチでの基本性能試験に加えて、ビームを用いた試験などを通して最終設計に向けて開発を続ける。

■ 最後に

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。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したい。

(以上)