

## ミューオングループ

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

通常のみューオン崩壊 ( $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$ ) と違って、 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$  崩壊やミューオン電子 ( $\mu^- e$ ) 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 [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  $5.7 \times 10^{-13}$  を与えている [2]。

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 [3]。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

MEG 実験は 2013 年 8 月末をもってデータ収集を終了した。現在データの解析を早急に進めている。今後は 2 年間で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 [4]。

### ■ 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 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、長大な超電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、ミューオン輸送、電子の運動量計測を実現する。超伝導磁石の開発では、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。COMET 実験で必要とされる超伝導電磁石には、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。このため必要な中性子照射試験を研究用原子炉で実施した。

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きた (図 1)。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 年頃を予定している。



図 1 JINR で製作中の COMET 用ストロー飛跡検出器用ストローチューブ

## ■ 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[5]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 および J-PARC で行っている。TRIUMF・理研・千葉大と協力して疎水化処理の有無、透明度、バルク表面積の影響を系統的に調べるための新しいエアロゲルを製作、TRIUMF にて試験を行った。特に、サブミリ径の穴を開けて表面積を増やしたシリカエアロゲルからミューオニウム真空放出率の増加が見られた。J-PARC では高温金属およびシリカエアロゲルからのミューオニウム生成に関するデータを取得する準備を行っている。陽電子検出用のファイバトラックの開発を完了し、TRIUMF にて動作試験を行った。J-PARC 再開後はすぐにデータ取得ができる見込みである。

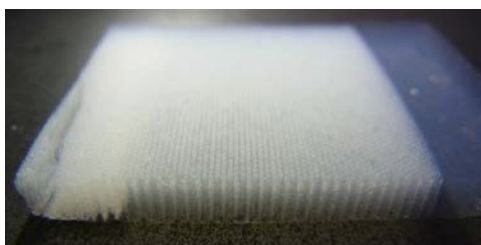


図 2 サブミリ径の穴が開いたシリカエアロゲル

## ■ ミューオン加速器の開発

加速器研究施設の内藤教授・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。加速器施設の博士研究員 Sayyora Artikova 氏により、ミューオン生成点からライナック入射までのシミュレーションが進んでいる。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。

## ■ 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。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、日米共同事業の一つとして、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 磁場測定器と比較し、測定装置の絶対較正、系統誤差の比較を行う。

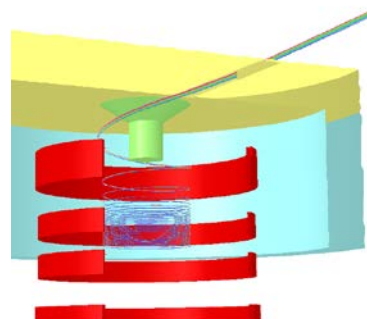


図 2 蓄積電磁石に入射されるミューオンビーム (シミュレーション)

## ■ 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。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おり、良好な結果が得られている。また韓国高麗大学と、磁場中で動作しかつ外乱の少ない電源回路の開発に着手した。

## ■ 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] J. Adam et al. (MEG collaboration), Eur. Phys. J C73:2365, 2013
- [4] MEG Upgrade Proposal, submitted to PSI, R-99-05.2
- [5] <http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=14186>