

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本二柱で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世代数の保存が破れており (charged Lepton-Flavor Violation (cLFV)), 標準理論では起こりえない。このため cLFV 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る。2016年8月には取得した全データをを用いた解析を終了し最終結果として分岐比上限値 4.2×10^{-13} を得た。現在 MEG 実験では、第二期のデータ収集 (MEG II) に向けて測定器のアップグレード作業を行っている。

■ COMET 実験

cLFV 物理に関して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 15 カ国、33 研究機関 (2016年9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宿主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、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 2019-2020 年頃、Phase II 開始は Phase I 終了後数年のうちに開始することを予定している。

COMET 実験ではメインリング加速器からの陽子ビームにより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によりハドロン実験ホールまで輸送された後、COMET 実験ホールまで輸送される。COMET 実験のための実験室は 2015 年に完成したハドロン南実験棟内の地下に配置されている。地上階は機器を搬入するための搬入エリアで液体ヘリウム冷凍機や電磁石電源等が配置される。階上フロアには実験グループの計測室とハドロンビームライン制御室が配置されている。

COMET 実験では、陽子標的でパイ中間子を生成し、その崩壊でできるミューオンを静止標的へと輸送する。静止標的で停止したミューオンはミューオン原子を形成し、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。

2016年4月、実験グループは実験の技術仕様をまとめた Technical Design Report を、実験を審査する J-PARC Program Advisory Committee (PAC) に提出した。その内容は、2016年6月に行われた専門の委員会審査された後、2016年7月の PAC 会合でも審議され、最終的な実験のゴーサインである Stage 2 認証を受けるに至った。

実験の準備状況としては、施設に関しては、ビームライン、超伝導電磁石の製作が素核研、機構内の他のグループの協力のもと、精力的に進められている。検出器に関しては、国内外のコラボレータとの協力関係により開

発・製作を行っている。2016年夏には Phase-I において物理計測を行うための中心検出器である CDC 検出器の製作が終了し、その後、宇宙線を用いた試験が継続されている (図 1)。

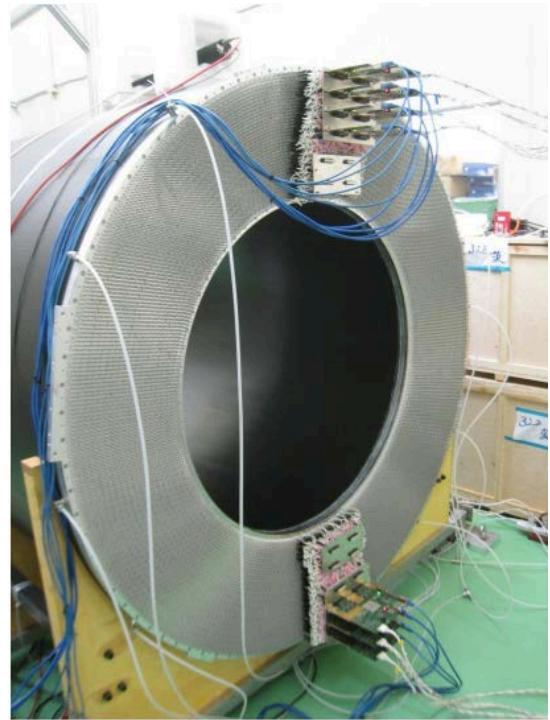


図 1 COMET 実験 Phase-I の中心検出器 CDC の宇宙線試験の様子。

関連するエレクトロニクスに関しても海外の共同実験者、素核研職員らを中心に、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を行っている。

実験グループではコラボレーションの拡大にも力を入れている。2016年9月にはコラボレーションミーティングを韓国 IBS にて開催し、韓国の多くの大学院生、若手研究者らも議論に参加した。今後も国際的なグループの拡大に力を入れていく予定である。

■ ミューオン精密測定研究

ミューオンの異常磁気能率 ($g-2$) は、先行実験の結果に新物理の兆候が既に見えている可能性がある。また、電気双極子能率は、有限の値があれば新物理を意味する。従来とは全く異なる新しい実験手法を用いてこれらを同時に測定する実験として、J-PARC $g-2/EDM$ 実験 (E34) の準備を進めている [3]。実験グループは 9 カ国・約 140 名の国際共同研究グループである。機構内では、素核研・物構研・加速器施設・超伝導低温工学センター・機械工学センターの全ての研究所・施設が参画する、機構横断的研究課題である。

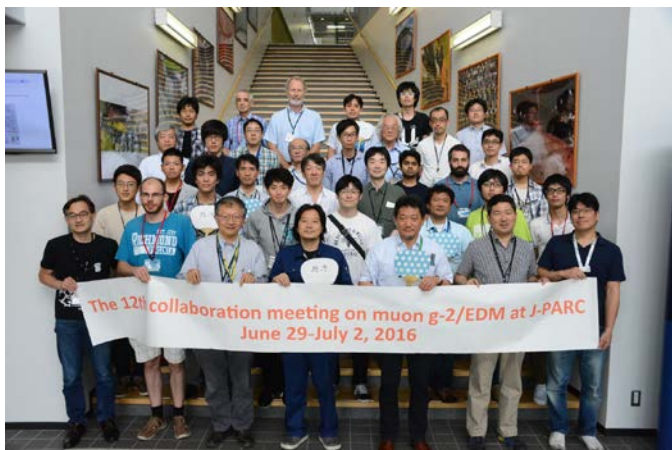


図2 コラボレーションミーティングでの集合写真

実験グループはこれまでの開発結果を踏まえた技術検討結果を実験技術報告書 (TDR) にまとめ、2015年5月に J-PARC 原子核素粒子共同利用実験審査委員会 (PAC)へ提出した。その後、ステージ2採択へ向け審議が続いている。

■ 極冷ミュオン源・ミュオン加速器の開発

熱ミュオンウムを真空中に生成するシリカエアロゲル標的の開発を行っている。シリカエアロゲルにレーザー穴加工を施すと効率上がる事がわかった[5]。さらに高い効率を得るための研究を J-PARC・TRIUMF・理研・千葉大で協力して進めている。

JAEA および加速器研究施設の協力を得つつ、ミュオン加速器の設計を進めている。大谷博士研究員・JAEA 近藤副主任研究員を中心として、想定されるビームパラメータを用いて、ミュオンビーム生成から 200 MeV までの加速の一貫したシミュレーションを実施し、加速方式の健全性を確かめた。また、大谷博士研究員らによる IH 型加速空洞の設計が完了し、論文として出版した。次のステップとして、RFQ と IH-タイプのライナックを用いた初段の加速試験を負ミュオンウムイオンを用いて準備を進めている。図3に加速試験のレイアウト案を示す。2016年2月には MLF D ラインにて最上流部の静電加速の試験を行い、7 keV までの加速と輸送に成功した。

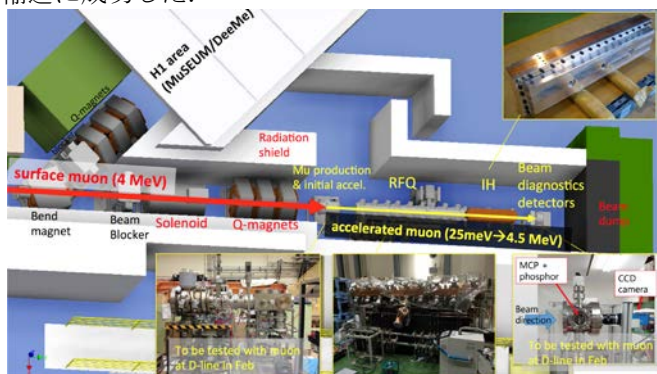


図3 J-PARC MLF H ラインで計画中のミュオン加速試験とそこで用いる加速機器

■ ビームの入射と蓄積・超精密電磁石の開発

超伝導低温工学センターの佐々木准教授、加速器研究施設の飯沼助教を中心として磁場設計、電磁石の構造設計が進んでいる。ミュオンビームは蓄積磁石上部から螺旋軌道により蓄積磁石中へ入射するという、新方式に関する論文を出版した。低エネルギー電子ビームを用いてビーム入射の実証試験を行い、初めてビームを螺旋入射することに成功した。米国アルゴンヌ国立研究所と共

同で超伝導ソレノイド磁石の精密磁場補正の試験を実施し、1ppm 程度の一様磁場を得ることに成功した。

■ 検出器開発

陽電子飛跡検出器は、科研費補助金の助成を得て実機的设计・製作を行っている。佐藤研究員とエレクトロニクスシステムグループの田中教授・内田准教授・庄子技術員および九州大学が中心となって、シリコンストリップセンサーと読み出し集積回路の開発・評価を行っている。また、機械工学センター 久米研究機関講師を中心として、検出器の機械構造と精密姿勢監視システムの検討が進んでいる。

References

[1] S. Mihara et al. Ann. Rev. of Nucl. and Part. Sci Vol. 63: 531-552 2013、「荷電レプトンで探る新物理」、三原智, 物理学会誌 70 巻 10 号 現代物理のキーワード
 [2] A. Baldini et al. (MEG collaboration), EPJ C(2016)76: 434
 [3] 齊藤直人、めそん No. 32 (2010) ; 三部勉、石田勝彦、佐々木憲一、高エネルギーニュース Vol.31 No.3 2012
 [4] 三部勉、石田勝彦、高エネルギーニュース V35, No.2 2016.
 [5] M. Otani, et al., Phys. Rev. Accel. Beams 19, 040101 (2016).
 [6] H. Iinuma, et al., Nucl. Inst. Meth. A 832, 51 (2016).