

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り現在分岐比上限値として 5.7×10^{-13} を与えている[2]。今後 MEG 実験では、未解析のデータの解析を急ぐとともに、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 2 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ホスト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。

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伝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伝導電磁石と、ミューオン輸送のための湾曲ソレノイド超伝導電磁石を準備中である。2015 年には湾曲ソレノイドが完成し実験ホールに設置された (図 1)。

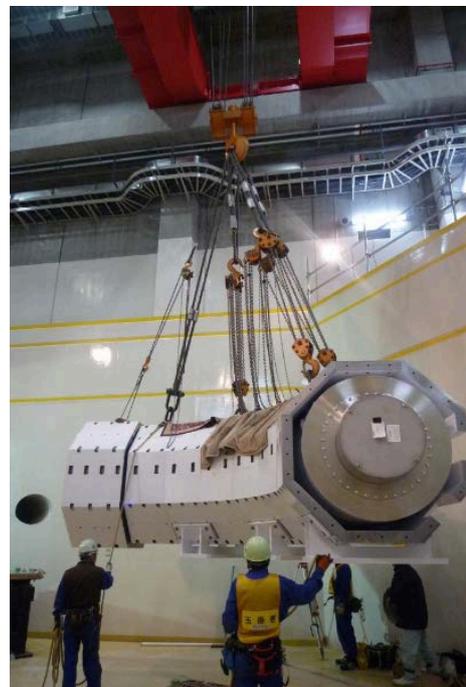


図 1 COMET 実験ホールに設置される湾曲ソレノイド超伝導電磁石。

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。検出器開発・製作はビームスタディ用の検出器と物理計測用検出器の 2 種類の検出器について行っている。関連するエレクトロニクスについても海外の共同実験者を中心に、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。2015 年 5 月にはジョージア工科大学が、9 月にはドレスデン工科大学が新たにメンバーとして加わった。

国際協力関係を強固なものにするためにも、今後も新たなコラボレータの参加を呼びかけて行く。

■ 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、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、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。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。国内では、J-PARC・JAEA・KEK・理化学研究所・東京大学・九州大学・立教大学・大阪大学が参加している。KEK内では、素核研・物構研・加速器施設・低温センター・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[4]。その後、ステージ2採択向け審議が続いている。

■ ミューオン加速器の開発

JAEA および加速器研究施設の協力を得つつ、ミューオン加速器の設計を進めている。想定されるビームパラメータを用いて、JAEA 近藤氏により RFQ の輸送計算を実施した。また、博士研究員の大谷氏が IH 型加速空洞と DAW 型加速空洞の設計を行い、主要な加速器設計パラメータが決定された。IH 型加速空洞の設計については、投稿論文の準備をしている。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ーオニ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月には負ミューオニウムイオンの生成と静電加速の試験を MLF にて実施する予定である。

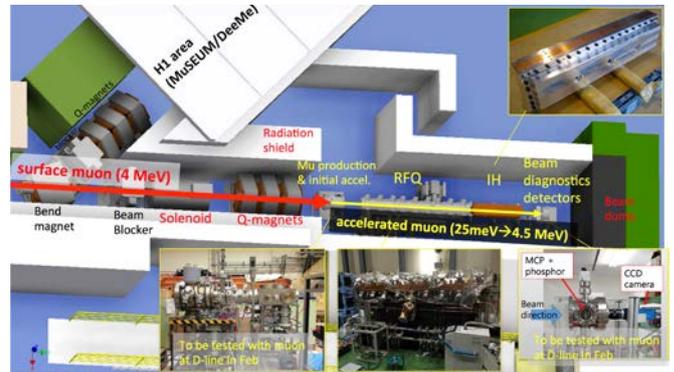


図3 J-PARC MLF H ラインで計画中のミューオン加速試験とそこで用いる加速機器

■ 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光学設計が完了した。ミュー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。現在、低エネルギー電子ビームを用いたビーム入射の実証試験の準備を行っている。また、J-PARC にて同時に準備を進めているミューオニウムの超微細構造定数の精密測定実験に用いる MRI 磁石の励磁・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。蓄積磁石内の真空容器について、組立て性を考慮した工学設計を進めている。

■ 検出器開発

陽電子飛跡検出器は、科研費補助金(基盤研究 S)の助成を得て実機の設計・製作を行っている。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, 物理学誌 70 巻 10 号 現代物理のキーワード
- [2] J. Adam et al. (MEG collaboration), Phys. Rev. Lett. 110:201801, 2013
- [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] E34 collaboration, Technical Design Report, 2015