

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本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 4.2×10^{-13} を与えている[2]。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 (2017 年 5 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計画である。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。現在ハドロン実験ホール内では陽子ビームを輸送するビームラインの建設が急ピッチで進められている (図 1)。

COMET 実験装置では、一次陽子標的で生成されたミューオンの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。

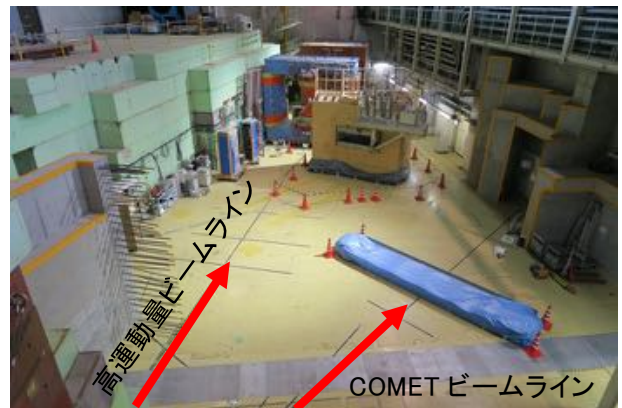


図 1 建設中のハドロンホール内 COMET ビームライン。

2016 年度の後半にはすでに製作が完了していた湾曲ソレノイドのアライメント作業も完了した (図 2)。

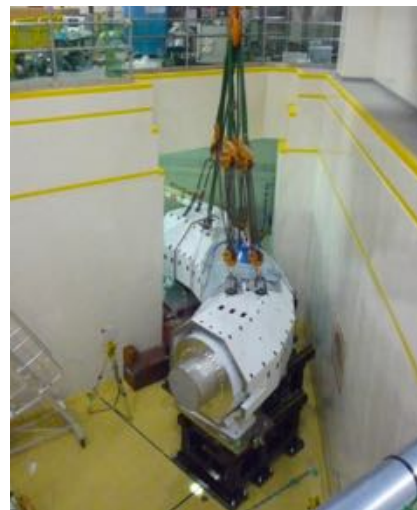


図 2 アライメント中の湾曲ソレノイド超伝導電磁石。

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・製作は物理計測用検出器とビームスタディ用の検出器との 2 種類の検出器がある。物理計測用の中心検出器である CDC 検出器はすでに製作が完了しており、つくばキャンパス富士実験等にて運転準備が進められている。ビームスタディ用の検出器はストロー飛跡検出器[3]と LYSO カロリメータからなり Phase II における物理計測検出器のプロトタイプでもある。2017 年 3 月には実機サイズのプロトタイプとストロー飛跡検出器とカロリメータプロトタイプを組合せ、検出器領域を真空状態にして、ほぼ実際の使用条件と同様の環境に行けるビーム試験を遂行した (図 3)。

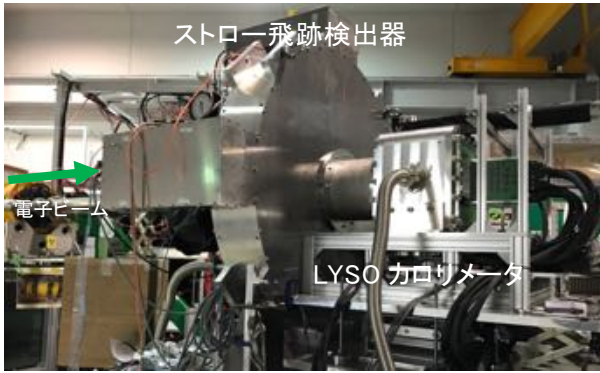


図3 ビームスタディ用検出器プロトタイプビーム試験

COMET 実験グループでは年間3回コロラベータが集まって実験の準備状況を話し合うコラボレーションミーティングを年間3回開催している。2017年にはその1回目が5月に東海キャンパスにて開催された。これに加えて進捗状況を報告し合う毎月定例のネット会議や、Execution Board メンバーだけが集まる会合、Technical Board メンバーの会合等が定例で開催されており、実験開始に向けて多角的な準備が進められている。

■ 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[4]。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・機械工学センターが参画する、機構横断的研究課題である。

ミューオン $g-2$ に関する国際的な興味の高まりを受け、2016年11月に、国内外の専門家をミューオン $g-2$ 理論に関する国際研究会を J-PARC で開催した[5] (図4)。

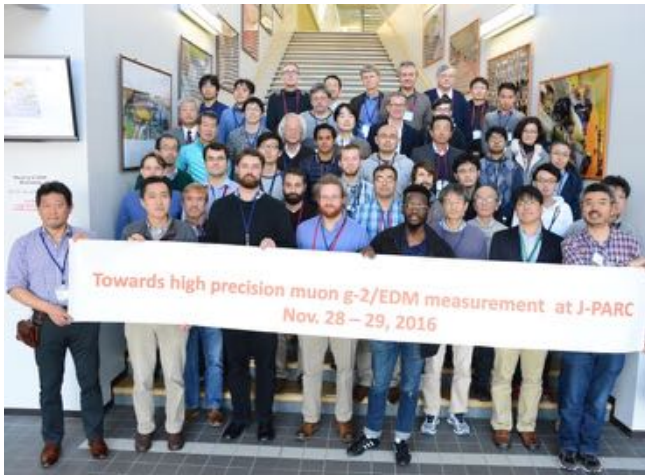


図4 ミューオン $g-2$ 理論に関する国際研究会(J-PARC, 2016年11月)

実験技術報告書 (TDR) が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)へ提出された。2016年10月には一部改訂を施して再提出を行った。これに基づき TDR の国際評価委員会が開催され、高い評価を得た。現在、実験グループは評価委員会での指摘事項に対応した実験設計の改良を行なっている。PAC ではステージ2採択へ向けた審議が続いている。

■ 極冷ミューオン源・ミューオン加速器の開発

熱ミューオニ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。これまでの研究[6]でシリカエアロゲルにレーザー穴加工を施すと効率が上がる事がわかったので、さらに高い効率を得るためのレーザー穴構造の最適化の研究を J-PARC・TRIUMF・理研・千葉大で協力して進めている。2017年1月に穴深さをパラメータとしたデータを取得した (図5)。2017年6月には TRIUMF にてさらにデータを取得する見込みであり、そのための準備を進めている。



図5 J-PARC MUSE D ラインで行なったミューオニウム生成実験(2017年1月)

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。大谷博士研究員・JAEA 近藤副主任研究員中心として、KEK・東京大学・茨城大学のチームがミューオン加速を実証する実験の準備を進めている。まず、最初の段階として RFQ を用いて 100keV まで加速する試験を行う。2017年3月にはミューオン源として、サブ keV エネルギーまでミューオンを減速させる試験を行ない、ビームプロファイル測定の原理実証と必要な収量が得られることを確かめた (図6)。現在 RFQ のオフライン試験と実験セットアップの構築を行なっている。11月に J-PARC MLF にてビームタイムが予定されている。

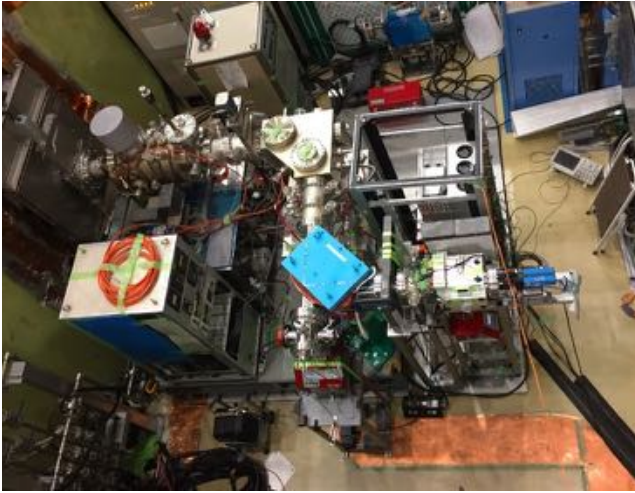


図6 J-PARC MLF D ラインで実施したミューオン加速の準備実験(2017年3月)

■ 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佐々木准教授、茨城大学を中心として磁場設計、電磁石の構造設計が進んでいる。独自に開発した磁場測定装置をアルゴンヌ国立研究所が開発した装置と比較測定する共同研究が進んでおり、2017年3月にアルゴンヌ国立研究所の磁石でデータ取得を行なった。40ppbより良い精度で両者が一致することが確かめられた。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。つくばキャンパス KEKB 入射器棟において、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っており、より安定的にビームを入射できる条件を探るとともに、パルスキッカーでビームを蓄積軌道に入れる試験のためのバンチ化装置の開発を行なっている。

■ 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・評価と組立て方法の検討を行っている。2017年5月には九州大学に山中研究員が着任した。また、機械工学センター 久米研究機関講師、高富技師、佐藤技師を中心として、検出器の機械構造の設計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.M. Baldini (MEG Collaboration), Eur. Phys. J. C(2016)76:434

[3] H.Nishiguchi et al. Nucl. Instr. and Meth A845 (2017) 269-272

[4] 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; 三部勉、原子核研究 61 号 99 (2017)

[5] 研究会 "Towards high precision muon $g-2$ /EDM measurement at J-PARC, Nov. 28-29, 2016 (http://g-2.kek.jp/meetings/g-2ws_2016/).

[6] 三部勉、石田勝彦、高エネルギーニュース V35, No.2 2016.