

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柱で研究を推進している。今回は LFV 探索についての報告を行う。

### ■ 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、現在、実験の第二期 (MEG II) のエンジニアリングランを行っている。素核研ミューオン LFV グループは液体キセノンガンマ線検出器の冷却システム整備を担当している。2020年には本格的な物理データ収集が予定されている。

### ■ COMET 実験

cLFV 物理に関して LFV 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 18 カ国、41 研究機関 (2020年4月現在) の 204 名の研究者が参加する国際共同実験である。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。2019年3月には Phase-I 実験のための技術設計書 (Technical Design Report、TDR) が出版された[2]。

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。生成されたミューオンの輸送並びに信号電子の弁別のためには長大な超電導ソレノイド磁石を使用する。この磁石は、低温センターならびに素核研低温グループとの強固な協力関係のもとで準備を進めている。

COMET 実験での信号電子は検出器ソレノイド磁石内に配置される CDC 検出器で運動量計測を行うことで同定される。CDC 検出器は大阪大学とグループが中心となっ

て開発・製作を行っており、現在はつくばキャンパス富士実験棟地下で宇宙線を使ったコンディショニングが行われている。CDC 検出器の運転にあたっては中国 IHEP 研究所がデータ収集用のエレクトロニクスの開発を行い、KEK グループがデータ収集用ソフトウェアの開発を行っている。2019年12月にはデータ収集用のエレクトロニクスボード (RECBE ボード) 105 枚がすべて CDC 検出器に装着され、5 台の高速スイッチを介してデータ収集用コンピュータでデータを収集する試験を実施した (図 1)。これにより CDC データ収集試験の第 1 段階のとしてイベントビルダー上での同期が正常に動作していることを確認した。

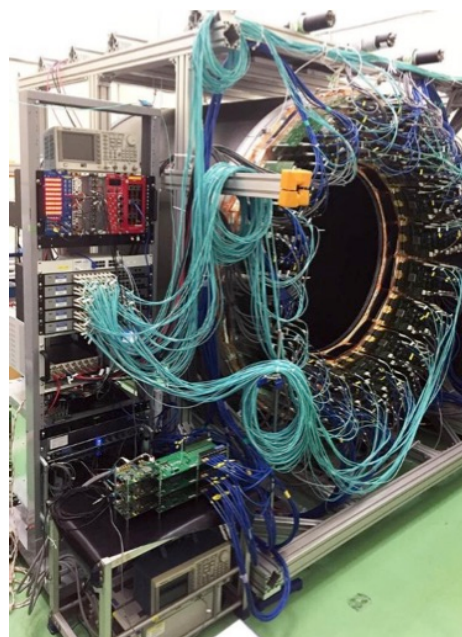


図 1 105 台全数の RECBE ボードを装着しての CDC 検出器宇宙線試験

COMET 実験 Phase-I では超伝導電磁石システムにより広い運動量範囲 ( $10\text{MeV}/c \sim 140\text{MeV}/c$ ) に渡るミューオンを輸送して実験に供する。このような広い位相空間に広がるビーム計測を行うために、物理計測用の検出器とは別にビーム計測用の検出器群の準備も進めている。この検出器群は飛跡検出用のストロー飛跡検出器とエネルギー計測・粒子同定用の LYSO カロリメータから構成さ

れ KEK グループ、九州大学グループ、JINR グループが中心となって開発を進めている。ストロー飛跡検出器に関しては JINR グループが極薄ストローの開発と生産を担当し、KEK グループがストローにテンションを掛けてフレームに固定する方法の開発をメカ E グループとの協力により進めている。現在、一号機のストロー張り作業が完了しエレクトロニクス実装のための準備を整えている段階である (図 2)。

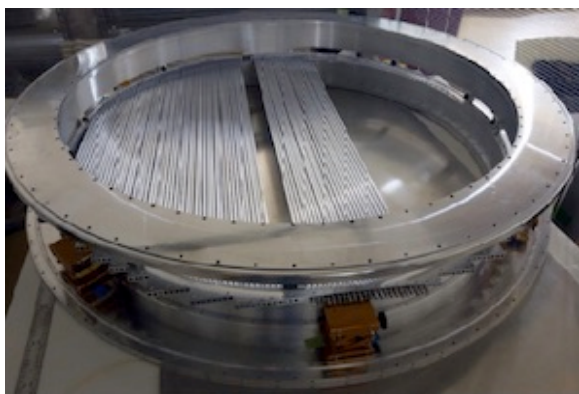


図 2 ストロー張り作業中のストロー飛跡検出器

COMET 実験では終状態に現れる特徴的な運動量をもった一つの電子を同定することにより信号の同定を行うため、偶発的な事象の重なりによる背景事象の原因となるのは宇宙線由来の事象が中心となる。このため高い感度で宇宙線を同定するための検出器 (Cosmic-Ray Veto、CRV) 検出器を必要とする。検出器部分に飛来する宇宙線を同定するためには比較的容易に高い検出効率を実現できるプラスチックシンチレータ検出器で構成される CRV 検出器を使用するが、ミュオン輸送ビームラインの下流部に飛来した宇宙線が信号電子と酷似した電子を生成して背景事象となる場合もある。ミュオン輸送ビームライン付近はビーム中に含まれる二次粒子が多量の中性を発生させるため、検出器は荷電粒子に対しては高い検出効率を保ちながらも中性子に対して低感度である必要がある。このための検出器としてフランス IN2P3 に所属する LPC グループと共同で Glass Resistive Plate Chamber (GRPC) 検出器の開発を開始した。LPC グループは GRPC 製作に関して既に豊富な経験を有しており、短期間で開発を完了できるものと期待している。実際のところ既にメカニカルモックアップが完成し、2020 年春には抵抗塗料の塗布を予定している (図 3)。使用する検出器コンポーネントの中性子照射試験はすでに LPC-Caen グループにより完了し問題ないことも判明してい

る。また宇宙線由来の背景事象の評価に関しては、COMET 実験が目指す感度領域での事象を従来のシミュレーション方法で評価するためには大量の事象の生成が必要になるが、これを回避して効率的に評価を行うためにミュオグラフィのために開発された Backward Monte Carlo 法を使った評価方法[3]を取り入れている。これによれば上空から飛来する宇宙線ミュオンよりもが土壤中で散乱されて検出器と平行に近い角度で飛来する宇宙線ミュオンがもたらす事象のほうが寄与が大きいとの予想が得られている。今後はさらに詳細なシミュレーションによりその影響を調べるとともに、それらに同定を行えるような CRV 検出器配置の最適化を行いつつある。



図 3 GRPC メカニカルモックアップ

## 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] The COMET Collaboration, Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 033C01
- [3] V. Niess et al., Comp. Phys. Comm. 2018, 229, 54-67