

大強度ミュオン源で解き明かす荷電レプトンのフレーバー転換探索の新展開
New Initiative on Search for Charged Lepton Flavor Violation with Highly Intense Muon Source

課題番号：18H05231

久野 良孝 (KUNO, YOSHITAKA)

大阪大学・大学院理研究科・教授



研究の概要（4行以内）

荷電レプトンのフレーバー転換は、標準理論を超えた新物理を発見するのに最適な過程である。大強度ミュオン源を用いて、荷電レプトンフレーバー転換の一つであるミュオン電子転換過程を高精度で探索する COMET Phase-I 実験 (J-PARC E21) を推進している。本研究では、さらなる実験精度向上を目指した発展的な技術開発を行う。

研究分野：素粒子実験

キーワード：素粒子実験、ミュオン、荷電レプトンフレーバー

1. 研究開始当初の背景

標準理論を超える新物理の探究は素粒子物理の最重要課題である。荷電レプトンのフレーバー転換は、標準理論の枠組みでは起こらないことが知られている。また一方、多くの新物理の理論モデルは将来観測可能なレベルで起こると予言している。したがって、これは新しい物理を発見する最良の現象のひとつである。

過去には、スイスにおいて、SINDRUM II 実験が荷電レプトンフレーバー転換過程の一つであるミュオン電子転換過程を世界最高精度で探索を行ったが、発見には至らず上限値を与えるのみである。この実験は、1980年代に設計・建設されており、現在の技術を用いた高精度での探索が待望されている。

2. 研究の目的

我々は、東海村の J-PARC において、世界最高強度のパルス状ミュオンビームを使って、ミュオン電子転換過程を現在の上限値を二桁以上に上回る実験精度で探索する COMET Phase-I 実験 (J-PARC E21 実験) を推進している。本研究の目的は、COMET Phase-I 実験の実験精度を以前よりさらに向上することである。

3. 研究の方法

J-PARC に設置される COMET Phase-I 実験のレイアウトを図 1 に示す。実験装置は、パイオン捕獲部、ミュオン輸送部と検出器

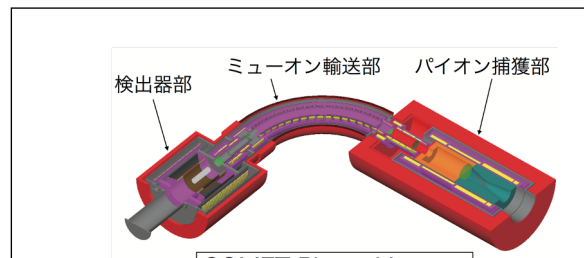


図 1 COMET Phase-I 実験装置のレイアウト

部から構成される。J-PARC メインリングからの陽子ビームをパイオン捕獲部にある陽子標的に照射し、多数のパイオンを生成させる。このパイオンはパイオン捕獲部の高磁場超伝導ソレノイド磁石により捕獲される。その後、パイオンはミュオンに崩壊し、このミュオンは湾曲ソレノイドからなるミュオン輸送部により、検出器部に輸送される。COMET Phase-I の検出器は、大きな立体角と高い運動量分解能を達成するために円筒型ガスドリフトチャンバー (cylindrical drift chamber=CDC) を採用する。CDC の中心にミュオン静止標的を置く。ミュオン静止標的としては、アルミニウム (Al) を使用し、17 枚の 200 μm の薄いディスクを並べた構造とする。CDC は、約 1 T の磁場を発生する超伝導検出器ソレノイド磁石 (Detector Solenoid=DS) の中心に置かれる。CDC の横運動量の閾値は約 70 MeV/c になっており、バックグラウンドとなるミュオン崩壊からの

電子は CDC に到達しない。したがって、CDC を用いて、 μ -e 転換からのシグナル電子をクリーンな環境で測定することができる。

4. これまでの成果

CDC 検出器に関しては、2019 年に読み出し回路やケーブル、電源などのインフラ整備が完了し、メインの検出器である CDC の全領域読み出しの稼働に成功した。図 2 は、実際の動作試験時の様子である。宇宙線ミュオンを用いた性能評価もを行い、成果を論文等で発表した。

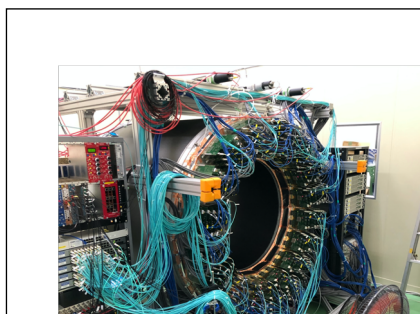


図 2 CDC 検出器の動作試験の様子

CDC 読み出し回路及びトリガー回路の開発を行った。実際に、ガンマ線・中性子を照射し、耐放射線の評価を行い、実際の放射線環境下で動作可能なパーツの選定を行った。また、FPGA 内にエラー是正コードを用いたデコーダ/エンコーダを導入することで、データ通信のエラーや放射線によるビット反転を検出・修正することが出来るようになった。実際のエラー率も測定し、成果を論文にまとめた。

CDC トリガーカウンターである CTH に関しては、鉛シールドを内包した設計を検討した。また、CTH のセグメント数や配置の最適化を行い、放射線に強いデザインへ改良中である。

また、ビームの大強度化によって背景事象が増大するため、CDC の信号とトリガーカウンターの信号の両方を用いてオンラインで信号を検出し、トリガー発行を行う新トリガーシステムを開発中である。背景事象を排除し、探索したい信号のみを選出出来ることを最小構成のシステムで実証した。

5. 今後の計画

主たる検出器である CDC 検出器は、ほぼ完成しており、耐放射線化および高精度化のため、トリガーカウンターの改良や読み出し回路・新トリガーシステムの開発を継続して行う。

J-PARC での環境を整え、CDC 検出器を実験ホールへ輸送(約 80 km)し、磁場中での性能評価・校正を行い、COMET Phase-I 実験の開始へ向けて準備を進める。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- Radiation hardness study for the COMET Phase-I electronics, Y. Nakazawa, Akira Sato, et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 955 (2020) 163247.

- Construction and performance tests of the COMET CDC, Manabu Moritsu, Yoshitaka Kuno, Akira Sato, et al., PoS ICHEP 2018 (2019) 538.

- Radiation study of FPGAs with neutron beam for COMET Phase-I, Yu Nakazawa, Akira Sato, et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 936 (2019) 351–352.

- Selecting $\mu \rightarrow e$ conversion targets to distinguish lepton flavour-changing operators, Sacha Davidson, Yoshitaka Kuno, Masato Yamanaka, Physics Letters B 790 (2019) 380–388.

- Development of Real-Time 1-MeV Equivalent Neutron Fluence Monitor Based on SiPD for COMET Experiment, Kazuki Ueno, Junji Tojo, et al., IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging, (2018).

7. ホームページ等

www.kuno.phys.sci.osaka-u.ac.jp/mlfv/