科学研究費助成事業(基盤研究(S))公表用資料 〔令和2(2020)年度中間評価用〕

平成30年度採択分 令和2年3月31日現在



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。 大強度ミューオン源を用いて、荷電レプトンフレーバー転換の一つであるミューオン電子転換 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、ミューオン、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 つであるミュー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ーオンビームを使っ て、ミュー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、ミュー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、 パイオンはミューオンに崩壊し、このミュー オンは湾曲ソレノイドからなるミューオン輸 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 ューオン静止標的を置く。ミューオン静止標 的としては、アルミニウム (Al) を使用し、17 枚の 200 um の薄いディスクを並べた構造と する。CDCは、約1T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ーオン崩壊からの 電子は CDC に到達しない。したがって、CDC を用いて、μー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。宇宙線ミュー オンを用いた性能評価も行い、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、耐放射性の評価を行い、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, <u>Akira Sato</u>, et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 955 (2020) 163247.

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

• Radiation study of FPGAs with neutron beam for COMET Phase-I, Yu Nakazawa, <u>Akira Sato</u>, 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, <u>Yoshitaka Kuno</u>, 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, <u>Junji Tojo</u>, 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/