

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分

平成28年5月31日現在

研究課題名（和文） **最高強度ミュオンビームによる
ミュオン・レプトンフレーバー非保存探索の新展開**

研究課題名（英文） **Search for Muon Lepton Flavor Violation
with High Intensity Muon Beam**

課題番号：25000004

研究代表者

久野 良孝 (KUNO YOSHITAKA) 大阪大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要: COMET Phase-I 実験は、大強度陽子加速器施設 J-PARC において、荷電レプトンフレーバー保存則を破るミュオン電子 ($\mu \rightarrow e$) 転換過程 ($\mu N \rightarrow e N$) を従来の上限値の100倍以上の実験精度で探索し、標準理論を超える新しい物理現象の発見を目指す。COMET (Coherent Muon to Electron Transformation search) 実験は、J-PARC E21 として採択されている。本研究では、COMET Phase-I 実験の測定器を設計し製作することを目的とする。

研究分野：レプトン（ミュオンやニュートリノ）などを使った素粒子物理実験

キーワード：高エネルギー物理学、素粒子物理学実験

1. 研究開始当初の背景

平成24年に、欧州 CERN 研究所の LHC 加速器でヒッグス粒子が発見され、素粒子物理学が活況を呈している。しかし、LHC において新粒子は発見されておらず、標準理論を超える新しい物理のヒントは未だ得られていない。この状況を踏まえ、新しい物理のヒントを得るために稀崩壊探索が注目を集めている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大強度陽子加速器施設 J-PARC において、荷電レプトンフレーバー保存則を破るミュオン電子 ($\mu \rightarrow e$) 転換過程 ($\mu N \rightarrow e N$) を従来の上限値の100倍以上の実験精度で探索し、標準理論を超える新しい物理現象を発見することである。本研究では、J-PARC E21 として採択されている COMET 実験の第1段階である COMET Phase-I を推進する。

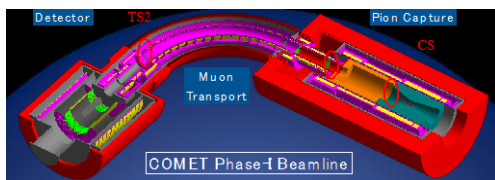


図1 COMET Phase-I レイアウト

3. 研究の方法

本研究計画は、COMET Phase-I 実験の測定器を製作し、その後 $\mu \rightarrow e$ 転換過程探索実験を遂行することである。COMET-Phase-I の基幹測定器は円筒型ドリフトガスチェンバー (cylindrical drift chamber=CDC)を採用し、

その中心にミュオン静止標的を置く。ミュオン静止標的の材質としては、ミュオン原子の寿命が比較的長いアルミニウム (Al) を使う。CDC は、約 1.0 T の磁場を発生する超伝導の測定器ソレノイド磁石の中心に置かれる。CDC の長さは約 1.5 m で、内半径が 540 mm で外半径が 840 mm である。CDC の横運動量カット は約 70 MeV/c になっており、ミュオン崩壊からのほとんどの電子は CDC に到達しない。CDC 設計は、主に Belle-II の CDC 仕様を基礎としている。測定器ソレノイド磁石は鉄ヨークを備えており、宇宙線バックグラウンドの減少にも貢献する。また、静止したミュオン総量をモニターするために、Al のミュオン原子からの原子 X 線を CDC の横に置いた半導体検出器で測定する。

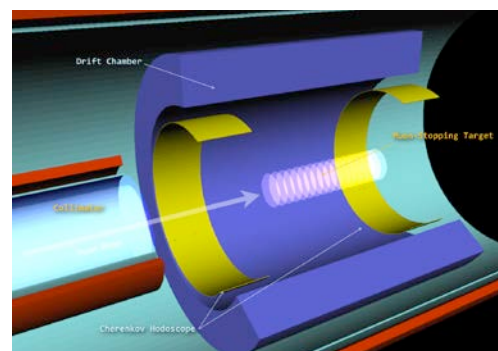


図2 CDC レイアウト

4. これまでの成果

(1) CDC 検出器の設計・建設・動作試験

平成25年度は、 $\mu \rightarrow e$ 転換過程シグナルの実

験感度向上と背景事象の除去という二つの観点から、CDC の設計理念の確認とその試作器による性能評価を行った。最終設計として、(a) CDC の層構造は（申請時点のアクシャル層とステレオ層の混成から）すべてステレオ層とした。(b) CDC のセル構造として約 16 mm 幅の大きさとした。(c) CDC の構造体として、アルミニウムのエンドプレートの厚さを 10 mm に、外筒は 5 mm の CFRP (=Carbon fiber reinforced Plastic)、内筒は 0.5mm の CFRP を採用することにした。異なるエンドプレート形状について、CDC のワイヤーの張力に対する機械的強度と歪みについて CAD 計算を行い、最適化を図った。(d) エンドプレートに取り付けるフィードスルーを決定した。(e) ミューオン原子核捕獲から発生する陽子を止めるために CDC の内側に置く陽子吸収材の設計をし、CFRP の 0.5 mm 厚の筒構造とした。(f) 検出器ソレノイドの設計も進め、具体的な磁場計算を行い、その磁場マップを使って運動量分解能や、 μ - e 転換過程シグナルのアクセプタンスを調べた。運動量分布については、当初の 500 keV/c 以上の運動量分解能が、2 倍以上良くなり 200 keV/c となった。

平成 26 年度は、これらの設計に基づいて CDC 検出器のエンドプレート及び CFRP 外筒を製造した。両端のエンドプレートにそれぞれ約 2 万個のフィードスルー固定用の穴を高精度で空ける。製造したエンドプレートと CFRP 外筒は、アウトガスが少ない特別なエポキシ接着剤とボルトで連結し、高エネルギー加速器研究機構のクリーンルームに運搬し、ワイヤーを張る準備を行なった。

平成 27 年度は、高エネルギー加速器研究機構のクリーンルームにおいて、ワイヤー張り作業を行なった。ワイヤー張り技師の手により、約 160 本/日のペースで順調に作業は進行した。最終的に 121 日間(実質約 6 ヶ月)の作業で、計 19,548 本のワイヤーを無事に張り終えた (図 3)。

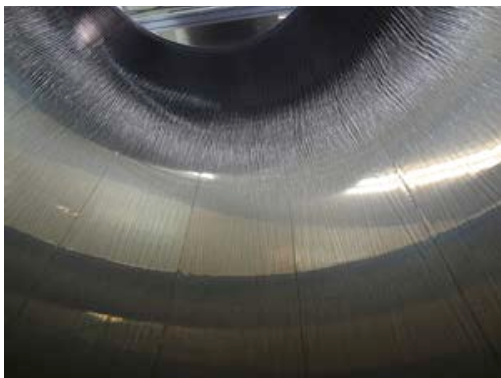


図 3 ワイヤー張り完了後の CDC

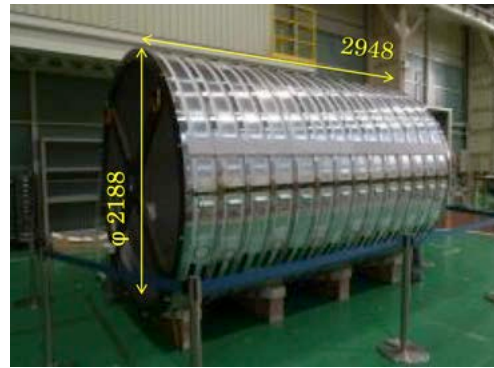


図 4 搬入された検出器ソレノイドコイル

(2) 検出器ソレノイドの設計・建設

平成 25 年度は、検出器ソレノイドの設計を開始しており、必要となる磁場の一様性などを検討した。この設計に基づき、超伝導線の仕様を決定した。

平成 26 年度は、決定した仕様を満たす超伝導線を購入した。購入した超伝導線は、検出器ソレノイド磁石のコイルに使用するため、東芝の製造工場へ移送した。

平成 27 年度は、超伝導線をコイル (図 4) に巻きつけ、ソレノイド磁石の製造を行なった。

5. 今後の計画

(1) COMET Phase-I 実験の基幹測定器である CDC の建設は完了した。宇宙線を用いた評価試験等を行い、COMET Phase-I 実験で物理成果を出せる性能を持つことを確認する。

(2) 高エネルギー加速器研究機構が担当する COMET 用の高強度ミューオンビームラインは予算の関係で、当初予定されていた平成 29 年度には完成しないことが分かっている。実験が開始するまで宇宙起源の背景事象の研究などを行う。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) Y. Kuno, “Rare lepton decays”, Prog. Part. Nucl. Phys. 82, 1-20 (2015).

(2) Y. Kuno for COMET Collaboration, “A search for muon-to-electron conversion at J-PARC: The COMET experiment”, PTEP 2013, 022C01 (2013).

(3) 佐藤朗・吉田誠、「大阪大学・核物理研究センターにおける大強度ミューオン源の開発と建設」の功績により、高エネルギー加速器科学研究奨励会・西川賞を受賞。

ホームページ等

<http://mlfv.hep.sci.osaka-u.ac.jp>