

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分

平成29年 5月30日現在

研究課題名（和文） **MEG II 実験 - 究極感度ミュオン粒子稀崩壊
探索で大統一理論に迫る**

研究課題名（英文） **MEG II Experiment - Highest Sensitivity
Search for Rare Muon Decay to Explore
Grand Unified Theories**

課題番号：26000004

研究代表者

森 俊則 (MORI TOSHINORI)

東京大学・素粒子物理国際研究センター・教授



研究の概要：本研究グループが提案し、主導して実施してきた国際共同実験 MEG の全データを最終解析して、素粒子の大統一理論が予言するミュオン粒子の崩壊 $\mu \rightarrow e\gamma$ を世界最高感度で探索する。並行して、MEG 実験の実験装置を独創的なアイデアによってアップグレードし、MEG よりさらに一桁実験感度を上げた究極の $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索実験 MEG II を開始して、これによって宇宙誕生の謎を解く大統一理論の検証を継続的に行っていく。

研究分野：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）

1. 研究開始当初の背景

本研究グループは、宇宙初期に実現していたと考えられる素粒子と力の大統一（大統一理論）を検証するため、独創的で巧みな実験装置を考案・開発して国際共同実験 MEG をスイス Paul Scherrer Institute (PSI) で実施し、標準理論では起こりえないミュオン粒子の崩壊 $\mu \rightarrow e\gamma$ （ミュオン粒子がガンマ線を放出して電子に転換する崩壊：ミュオン-電子ガンマ崩壊）を $0(10^{-13})$ という世界最高の感度で探索してきた。またそれと並行して探索感度の大幅な改善に向けた研究開発を行い、究極の実験感度を可能とする測定器の改良設計を完成させ、2012年暮れに MEG 実験のアップグレード実験 MEG II として提案書を PSI に提出した。この MEG II 実験提案は2013年1月に PSI の研究委員会によって承認された。

2. 研究の目的

本研究では、MEG 実験の残り半分のデータを徹底的に解析して世界最高感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索を行う。またそれと並行して、プロトタイプによる実証実験を行い、測定器のアップグレードを完成させて、MEG より更に一桁実験感度を上げた究極の $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索実験 MEG II を開始して、MEG 実験に引き続いて、宇宙誕生の謎を解く鍵である大統一理論の検証を行っていく。

3. 研究の方法

(1) MEG 実験の全データの解析では、これまでどの素粒子の崩壊探索でも達成したことのない $0(10^{-13})$ という世界最高の感度で探索するため、データを使った様々な新しい解析手法を開発して予期しない系統誤差を抑える。

(2) MEG II 実験では、新たに開発した様々な粒子検出技術（液体キセノンガンマ線検出器に使用する光センサーなど）を用いて測定器の性能を大幅に改善してバックグラウンド事象を制御する(図1)。これによって、PSI の世界最高強度のミュオン粒子ビームを使い尽くし、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を探索する究極の実験感度を実現する。

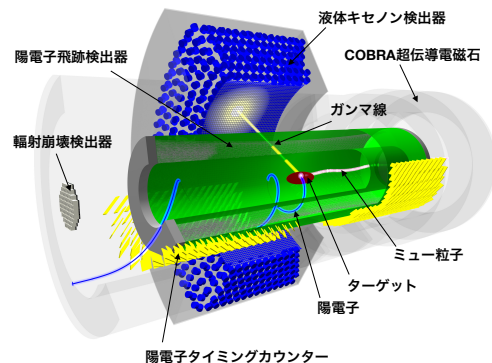


図1 MEG II 実験検出器

4. これまでの成果

(1) MEG 実験の全データを使った $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の探索解析を終了させた。バックグラウンドのガンマ線を同定する新しい解析手法の導入や、陽電子の軌跡再構成方法の改善などを行い、前人未達の崩壊分岐比感度を達成した。それにも拘らず $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊は発見されず、以前の実験より約 30 倍厳しい 4.2×10^{-13} という上限値を得て、様々な大統一理論モデルを厳しく制限する結果となった。これにより、LHC での新粒子探索結果と合わせて、標準的な理論モデルの再考を迫りつつある。

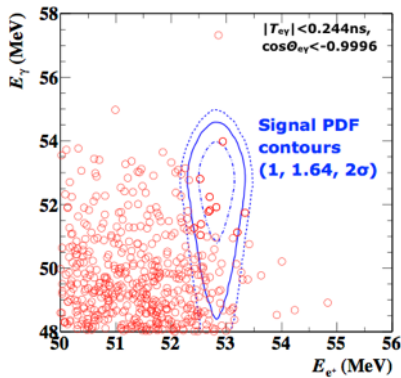


図 3 MEG 実験最終結果における事象分布

(2) 究極感度実験 MEG II の測定器開発が終了した。新たに提案した輻射崩壊陽電子検出器を正式に導入することになり、当初の計画よりさらに高い実験感度が得られる見込みとなっている。その後 2018 年度の実験開始を目指してすべての測定器の建設を開始している。

・液体キセノンガンマ線検出器は、新型半導体光センサー (VUV-MPPC) の開発に成功し、大量生産後の試験により期待通りの性能が得られることが確かめられた。スイス担当のデータ収集回路の製作が遅れているため、光センサーの設置精度を向上させるなど、より高い検出器性能を確実に実現するための様々な改善を行った。現在センサーを搭載した検出器本体が完成しており、今後液体キセノンを導入して、運転開始に向けた各種作業を進めている。

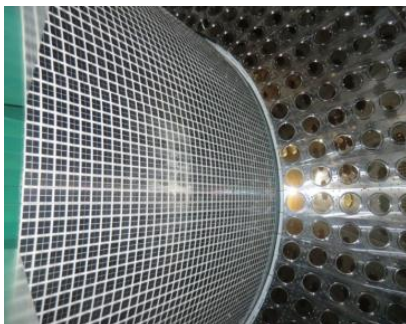


図 4 検出器クライオスタットに搭載された VUV-MPPC

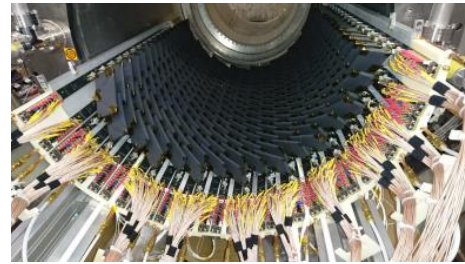


図 2 スペクトロメータマグネット内に設置された陽電子タイミングカウンター

- ・陽電子タイミングカウンターは計画通りプロトタイプによる開発を完了し、その後大量生産を進め、現在実機建設がほぼ終了して最終調整を進めている。実機の一部を用いて実際の大強度ミュオン粒子ビームを使った試験では、較正手法などを確立して、時間分解能 31 ピコ秒を達成できることを確認した。
- ・新しい輻射崩壊陽電子検出器は、実機を建設して、実際のミュオン粒子ビームを用いて試験を行い、MEG II 実験のバックグラウンドとなる高エネルギーガンマ線と同期する低エネルギー陽電子の観測に成功した。

5. 今後の計画

2017 年中にイタリア担当の陽電子ドリフトチェンバーを除くすべての測定器をビームライン上に設置して最終試験を行い、その後 2018 年より MEG II 実験を開始する。2 ヶ月ほどのデータ取得により MEG 実験を超える感度が得られると期待されており、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の発見を目指して、世界最高感度での探索を国際共同研究の中心となって進める。

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) T. Mori, W. Ootani, S. Mihara, et al. (MEG Collaboration), “Search for the lepton flavour violating decay $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ with the full dataset of the MEG experiment,” *Eur. Phys. J. C*, 76:434, 1–30, 2016

(2) T. Mori, W. Ootani, S. Mihara, et al. (MEG Collaboration), “Measurement of the radiative decay of polarized muons in the MEG experiment,” *Eur. Phys. J. C*, 76:108, 1–8, 2016

(3) T. Mori, W. Ootani, S. Mihara, et al. (MEG Collaboration), “Muon polarization in the MEG experiment: predictions and measurements,” *Eur. Phys. J. C*, 76:223, 1–12, 2016

ホームページ等

<http://meg.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/>

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/meg/>