

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成27年度研究進捗評価用〕

平成24年度採択分
平成27年3月20日現在

革新的な実験手法を用いたミュオン・電子転換過程の探索

A Search for Muon-Electron Conversion in
a Nuclear Field with an Innovative Experimental
Method

課題番号：24224006

青木 正治（AOKI MASAHARU）大阪大学・大学院理学研究科・准教授



研究の概要

ミュオン・電子転換過程は荷電レプトン・フレーバを保存しない反応である。素粒子の標準理論を超えたより根源的な理論では存在するのが自然であると考えられている。本研究では、本邦が世界に誇る大強度陽子加速器 J-PARC の RCS 加速器から供給される高品質パルス陽子を活用して、ミュオン・電子転換過程の探索を行う。

研究分野：数物系科学

キーワード：素粒子（実験）、ミュオン

1. 研究開始当初の背景

ミュオン・電子転換過程 ($\mu + N \rightarrow e + N$) は荷電レプトン・フレーバを保存しない (CLFV) 反応である。CLFV 反応は、ミュオンや K 中間子、タウレプトンなど様々な粒子を用いた実験で探索されて来たが、未だに 1 例も発見されていない。そのため、素粒子の標準模型にも組み込まれていない。

ところが、ニュートリノの微少な質量を説明する超対称性シーソー理論や、余剰次元理論など、標準理論を超える多くの新理論においては CLFV 反応が観測されるのが自然であると考えられている。これまで行われた実験の感度をわずかに改善するだけで、CLFV の信号を発見できる可能性が示唆されている。

CLFV 反応を発見できれば、素粒子の標準理論を超えた物理の証拠となり、宇宙や素粒子の研究に大きなインパクトを与えることは必至である。また、たとえ発見できなかったとしても、LHC のエネルギーを超える物理に関する重要な情報を得ることができる。

2. 研究の目的

本研究では、過去に行われた実験の感度を大幅に改善して、分岐比で 10^{-14} の感度を目指したミュオン・電子転換過程の探索を行う。これによって、超対称性などの素粒子の標準理論を超えた新しい物理を理解する重要な情報を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

分岐比 10^{-14} の感度でミュオン・電子転換

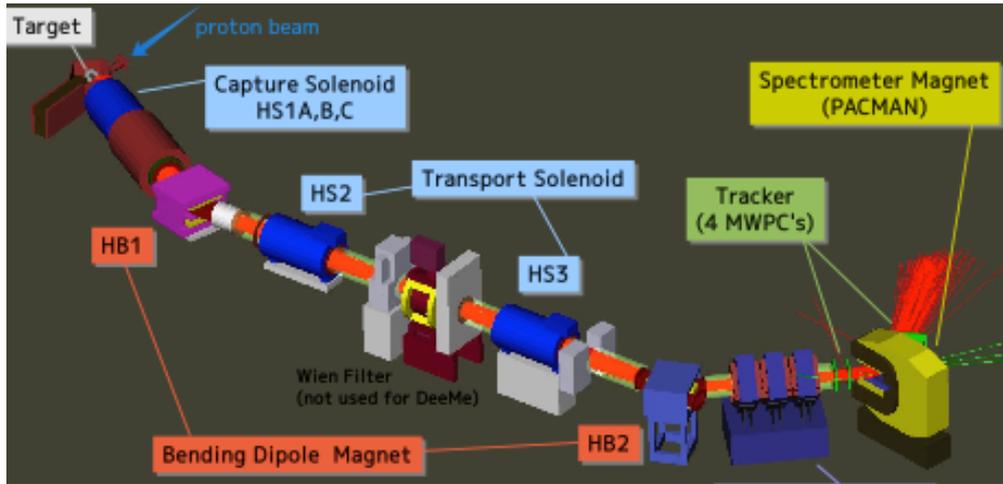
過程を探索するために、茨城県東海村にある大強度陽子加速器 J-PARC の RCS リングで作り出す大強度高品質パルス陽子ビームを活用する。このパルス陽子ビームを陽子標的に当てることにより、陽子標的に大量 ($10^{10}/\text{sec}$) のミュオン原子を生成する。これらのミュオン原子がミュオン・電子転換過程を起こせば $105 \text{ MeV}/c$ の電子を放出するので、これを大立体角二次ビームラインで輸送して、電子スペクトロメータで運動量を精密に測定する。パルス陽子ビームから遅れたタイミングで $105 \text{ MeV}/c$ の電子を観測できれば、ミュオン・電子転換過程の証拠となる。

ミュオンを利用する従来の研究では、二次ビームラインでミュオンを実験室へ取出してから実験を行うのが普通であった。これに対して本研究では、陽子標的に静止したミュオンを直接利用して、陽子標的に原子核とミュオンが反応して発生する電子を二次ビームラインで取出すという斬新な手法を使う。これにより、現存する施設を活用して、高感度の実験を低コスト・短期間で実現することが可能となった。

4. これまでの成果

本研究の主目的であるミュオン・電子転換過程探索実験の物理データ収集は 2015 年度中に開始する計画である。2012-2014 には、2015 年度からの物理測定開始に向けて、実験手法の詳細検討と改良、実験装置の開発などを行ってきた。

装置開発における最大の成果は、 $70\text{GHz}/\text{mm}^2$



実験装置

もの瞬間計数率で入射するバースト粒子に耐えて遅延粒子を検出できる高バースト耐性 MWPC 放射線検出器の開発に成功したことである。この検出器はポテンシャルワイヤーとセンスワイヤーを 0.7 mm 間隔で交互に配置した特殊な構造をしている。ポテンシャルワイヤーにパルス高電圧を印可することによって MWPC ガスゲインを瞬時 (<300 nsec) に 10^4 から 1 に抑制できるため、バースト粒子が飛来するタイミングの時だけ選択的に検出器を「スイッチオフ」できる。

この技術開発の成功により、物理測定に向けての技術的な問題点は払拭された。これにより、2014 年 1 月の KEK 物構研ミュオン共同利用 S 型課題審査では、Stage-2 (実験実施のためにビームタイムを割り当てる) と評価された。また 2015 年 1 月の同委員会では「評点:5 最優先で継続すべき課題である」と評価されている。主要装置の製造・建設は着々と進行しており、2015 年度中に加速器からのビームを用いた装置性能の評価を開始したい。

5. 今後の計画

2015 年度秋までに検出器の建設を完了する。2015 年度中にビームラインが完成する予定なので、検出器を実験エリアに設置してビームを用いた装置性能試験を開始する。問題がなければそのまま物理測定に移行する。2016 年度は物理測定を行う。並行して物理解析を行い、成果を公表する。

まずは既存のグラフィート回転標的で物理測定を開始する計画である。物理測定と並行して、シリコンカーバイド製の陽子標的を開発する。準備が整い次第シリコンカーバイド製標的をインストールし、分岐比 10^{-14} の物理感度を目指したい。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)
- [1] 青木正治、「ミュオン・電子転換過程探索実験-DeeMe-概要」、めそん 2015 年春号 (41 号).
 - [2] Y. Nakatsugawa and DeeMe Collaboration, "Search for Muon to Electron Conversion in Nuclear Field at J-PARC MLF" in the proceedings of the 37th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2014), 2-9 July 2014, Valencia, Spain, Nuclear Physics B - Proceedings Supplements submitted.
 - [3] H. Natori and DeeMe Collaboration, "DeeMe experiment - An experimental search for a μ -e conversion reaction at J-PARC MLF", Nucl. Phys. B Proceedings Supplements 248-250 (2014) 52-57.
 - [4] 青木正治、「- DeeMe - J-PARC RCS からのパルス陽子ビームを活用したミュオン・電子転換過程探索実験」、高エネルギーニュース 31 (2012) 228-237.

ホームページ等

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