

令和元年5月8日現在

機関番号：82118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13810

研究課題名(和文)ミュオニウム 反ミュオニウム変換探索実験の原理実証

研究課題名(英文)A proof of principle for a new idea of Mu-anti Mu conversion search

研究代表者

河村 成肇 (Kawamura, Naritoshi)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別准教授

研究者番号：60311338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、J-PARCミュオン実験施設で得られる大強度ミュオンビームを生かして、ミュオニウム(正ミュオン 電子対)-反ミュオニウム(負ミュオン 陽電子対)変換事象の観測により、素粒子標準理論を超えた新物理の探索を目指す全く新たな実験手法の原理実証を目的とする。この手法は従来の手法と比べ、圧倒的な低バックグラウンドの観測が可能となる。最終的には大強度レーザーにより反ミュオニウムを電離し、負ミュオンを直接観測する。その原理実証のため本研究では準備に多大な時間と資源を要するレーザーを用いず、バックグラウンドを測定し、そのレベルが十分に低く従来の実験感度を越えることが可能であることを証明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

素粒子標準模型はほぼ全ての物理現象を矛盾なく説明している。しかし、多くのパラメータを必要とする問題、階層性の問題、暗黒物質の問題等のため、より大きい理論の低エネルギーでの発現という見方が支配的である。標準模型を包含する「新物理」探索のため様々な実験が実施・計画されているが、いまだ発見されていない。本研究はミュオン変換事象の中でも、ミュオニウムから反ミュオニウムへの変換というレプトン数が同時に2変わる事象の発見を目指し、その原理実証を行う。一般にバックグラウンドの低減が難しく1990年代を最後に実施されていないが、本研究では新しいアイデアにより従来の記録を超えることが可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：This study aims to demonstrate the principle of a new idea of Mu (positive muon and electron system)-antiMu (negative muon and positron system) conversion search applying a high intensity muon beam in J-PARC muon facility, and to unveil a new physics beyond the standard model. The new method realizes much lower background measurement than the conventional one. In the new method, a high intensity laser is applied to ionize an antiMu, and a dissolved negative muon is directly detected. For the purpose of feasibility check, in this study, we did not use laser that is time and resource consuming in general, and focused on the background measurement. By the beam test performed in J-PARC muon facility, we succeeded to achieve enough low background by applying devices with particle identification capability that is mainly composed of electric and magnetic beamline components to extract particles from the Mu production target and detector assembly with high time and spatial resolutions.

研究分野：ミュオン科学・素粒子物理学

キーワード：新物理探索 ミュオン

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

小林・益川の理論を包含する標準模型はニュートリノの質量を除くすべての物理現象を矛盾なく説明している。しかし標準模型はそれに非常に多くのパラメータが含まれているという内在的問題や階層性の問題、さらには近年明らかとなってきた宇宙の暗黒物質が標準模型粒子では説明されないという事実のために素粒子の究極の理論ではあり得ず、より大きい理論の低エネルギーでの発現にすぎないという見方が支配的となっている。しかし、実験的に新物理が発見されるには至っていない。

正ミュオン ( $\mu^+$ ) と電子の束縛系であるミュオニウム ( $\text{Mu}$ ) は、レプトン数と電荷がゼロでレプトン・フレーバのみの量子数を持った特異な複合粒子である。ハドロン CP 非保存の研究で大きな役割を果たした中性 K 中間子 ( $d-\bar{s}$  束縛系) や中性 B 中間子 ( $b-\bar{d}$  束縛系) のレプトン版と言える。CKM によるクォーク混合の効果によって  $K-\bar{K}$  振動が発生するように、レプトン・フレーバ非保存の物理過程が存在すれば  $\text{Mu}-\bar{\text{Mu}}$  振動 (ミュオニウム-反ミュオニウム変換事象) を引き起こす事が予言されている。また、 $K-\bar{K}$  振動の研究を通してハドロン CP 非保存の研究が発展したように、 $\text{Mu}-\bar{\text{Mu}}$  振動を研究することによって新しい物理の研究を大きく発展させる事が可能である。素粒子標準理論を超える多くの理論 (例えば、doubly-charged Higgs boson  $\Delta^{++}$ 、マヨラナニュートリノ、超対称性  $\tau$ -sneutrino など) では  $\text{Mu}-\bar{\text{Mu}}$  振動が発生すると考えられている。

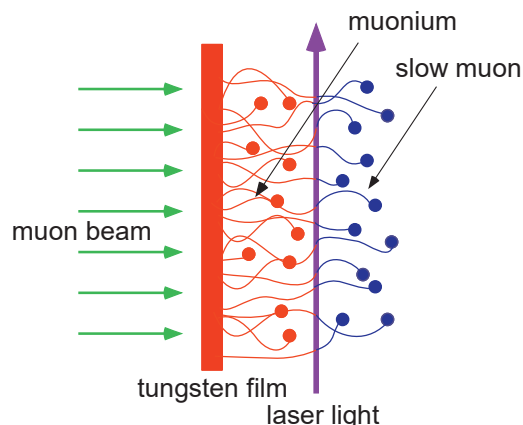
### 2. 研究の目的

本研究では、標準模型を包含する「新しい物理」に迫り、 $\text{Mu}-\bar{\text{Mu}}$  振動 (ミュオニウム-反ミュオニウム変換事象) の観測によりそれを発見することを目指す全く新しいアイデアによる実験手法の原理実証を目的とする。本研究が開発を目指す手法は先行研究などで採用された従来のものと比べて圧倒的に高感度なものとなる。本研究ではその原理実証のため、高感度実現の要となる背景事象 (バックグラウンド) レベルの測定を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、J-PARC ミュオン実験施設の大強度ミュオンビームと、日本グループが開発してきた大強度レーザーによるミュオニウム電離の技術 (レーザー共鳴イオン化法) を応用することにより、PSI などでも実施された先行研究の 1000 倍の感度でミュオニウム-反ミュオニウム変換事象の探索を目指す研究の原理実証を行う。

先行研究ではミュオニウムの変換で生成する反ミュオニウム中の負ミュオンが自然崩壊するのを待って検出する方法が採られた。そのため、圧倒的多数を占める通常の事象 (ミュオニウム中の正ミュオンの崩壊) に伴う偶然一致のバックグラウンドとの区別が困難で、それが検出感度の上限を決めていた。本研究で原理実証を目指す手法は右図



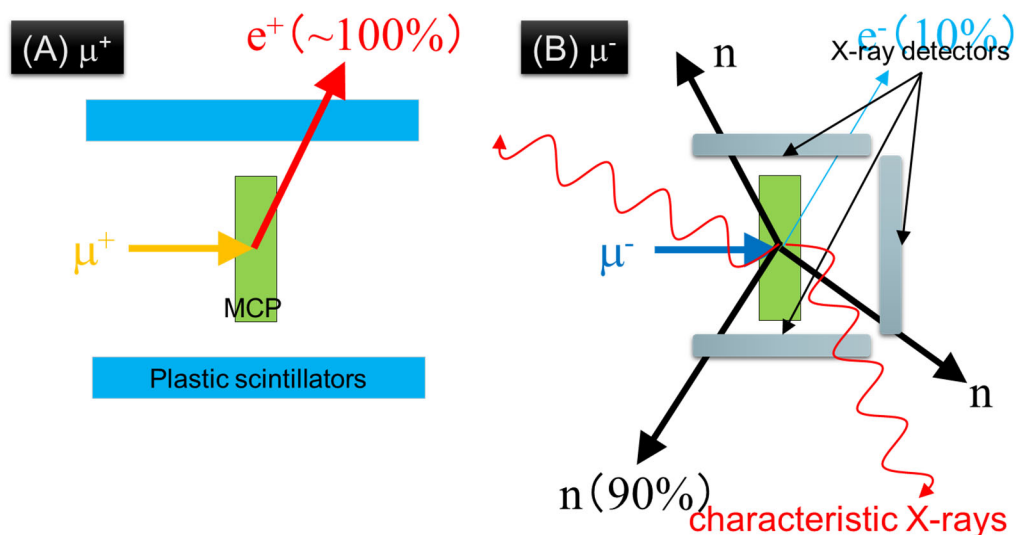
に原理を示す通り、反ミュオニウムをレーザーで電離し、それを電場などで引き出し直接的に観測する。このレーザー共鳴イオン化法は、ミュオニウムを電離して得られる超低速正ミュオンを表面物性の研究などに利用するために開発されたものである。それを正ミュオンに紛れた負ミュオンを検出することに応用する。レーザーで電離されたミュオンはほぼ静止状態 (室温程度の運動エネルギー) で、それを数 10keV 程度の静電場で引き出し、静電磁石、電磁石などで構成されるビームラインを輸送される。ビームラインの極性を反転させることで、正ミュオンから負ミュオンへ、容易に切り替えが可能である。静電場と磁場により構成されたビームラインは粒子の電荷と質量の識別を可能とし、低バックグラウンドを実現するための分光器として使用することが可能である。

本研究では物理測定の際に問題となるバックグラウンドレベルを測定するため、レーザーによる電離をしない状況でミュオニウム生成標的などに起因するバックグラウンドを測定器群で観測する。開発・製造に時間とコストを要するレーザーは必要とせず、先行してバックグラウンドレベルを測定することで、効率的に最終的な目標へ到達することが可能である。



がMCPに届く時間をミュオニウム負イオン（ミュオンビーム入射時に生成）のそれとずらすことが可能である。また、負ミュオンに特有の特性X線を観測できるように検出器群を改造することも検討されている。これにより負ミュオンをより確実に検出することが可能である。負ミュオンが物質中に入射した場合、ミュオン原子を作ることが知られている。ミュオン原子が作られる際には特性X線が放出されるが、そのエネルギーは通常の原子の200倍高く、負ミュオンに固有のものであるため、その観測は最も確実な負ミュオンの検出方法である。下図のように、正ミュオンの場合と異なり、負ミュオンでは電子を放出して崩壊するよりも原子核に吸収されて電子を出さない崩壊モードの方が優勢であり、最終的な物理測定では検出器群の改造が非常に有効と考えられる。

本研究の成果をもとに、最終的な物理測定のための詳細な検討が進められている。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 4 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：三部 勉

ローマ字氏名：MIBE, tsutomu

研究協力者氏名：大谷 将士

ローマ字氏名：OTANI, masashi

研究協力者氏名：三宅 康博

ローマ字氏名：MIYAKE, yasuhiko

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。