

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400309

研究課題名(和文)大強度中性ビームの品質診断に基づくK中間子稀崩壊探索実験の背景事象研究

研究課題名(英文)Background studies in Rare Kaon decay experiment based on measurements of beam properties

研究代表者

野村 正(NOMURA, Tadashi)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：10283582

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：J-PARC加速器を利用して行うK中間子稀崩壊探索実験において、2013年に100時間収集したデータに基づいた物理解析を行い、現世界記録の実験と同等の感度を達成した。一方で、さらなる感度に進むためには中性子反応による背景事象を抑制する必要があることが再認識された。ビーム品質診断のための装置を開発して実装した後、2015年にデータ収集を再開し、世界記録より20倍良い探索感度に相当する統計量に到達した。背景事象評価用のデータと合わせ、現在、物理結果の導出のための解析を進めている。

研究成果の概要(英文)：In the rare Kaon decay experiment, which utilizes the J-PARC accelerator, the physics analysis of the data taken in 2013 for 100 hours was performed. The sensitivity equivalent to the current world record was achieved as the result. The analysis also revealed that background rejection is necessary to proceed to further sensitivity, especially for the backgrounds due to neutron interactions. After developing and implementing devices and methods to evaluate the quality of the neutral beam, data taking was resumed in 2015. Data amount taken in 2015 corresponds to improvement of the sensitivity by a factor of 20, compared with current world records. Combined with data for background evaluation, the data analysis is ongoing to extract a new result.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：K中間子稀崩壊 大強度中性ビーム J-PARC

### 1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学における大きな課題の一つとして素粒子標準理論を超える新しい物理の探索が挙げられる。その一つのアプローチとして標準理論では抑制されている現象を精密に測定することで、標準理論からのずれ、すなわち新物理の兆候を探す方法がある。J-PARC 加速器を用いた K 中間子稀崩壊過程探索実験もその一つである。この実験では中性 K 中間子が中性パイ中間子と二つのニュートリノに崩壊する崩壊を探索する。標準理論には崩壊分岐比  $3 \times 10^{-11}$  と極めて強く抑制された過程である。稀現象の精密測定にとって大強度ビームと背景事象の抑制が重要な鍵となる。中性ビームを生成する場合、中性 K 中間子の他に大量の中性子や光子が必然的に含まれ、ビームの空間分布などが実験感度にも背景事象にも大きく影響する。本研究は、ビームの品質診断法の確立とその結果を帰還利用したビーム品質の向上が実験の探索能力の向上に直結することを動機として発案したものである。

### 2. 研究の目的

本研究は中性 K 中間子の稀崩壊探索実験に用いられる大強度中性ビームの品質診断を行ない、それに基づいて実験における背景事象の定量的な評価を遂行し、探索実験の感度を向上することを目的としている。中性ビームの強度やプロファイル、時間構造などの性質を多角的に計測する手法を開発、確立すること自身が第一の目的である。次に測定結果をもとにビーム整形用コリメータの位置や角度の調整を行い、ビーム品質を向上することが第二の目的である。最適化後の中性ビームを用いて K 中間子稀崩壊探索のためのデータを収集するとともに、ビーム起因の背景事象研究を行うための専用データも収集し、背景事象の削減と評価を通して、探索実験の感度を向上することが最終目的である。

### 3. 研究の方法

中性 K 中間子の稀崩壊実験において、中性ビームの品質評価に必要な性質として、空間的なプロファイル、時間構造が挙げられる。前者の測定方法として、中性ビーム中にワイヤーを挿入してスキャンする方式や中性ビーム中に蛍光板を挿入して CCD カメラで発光画像を検出する方式を考える。時間構造については、中性ビーム中に設置された検出器の計数をミリ秒ごとに記録して、瞬時ビーム強度として算出する。また、加速器からのビーム取り出しに用いる高周波信号とビームの到達時間の相関を測定する。中性ビームのプロファイルは、ビーム整形用コリメータの位置調整により最適化される。中性ビームが発生する標的、2 台の長尺コリメータ (各々、4 メートルと 5 メートル長)

実験装置中心とを正しい位置関係にすることで、ビーム量を失わないまま、ビーム部と非ビーム部の境界が鋭い、優れたビームが作られる。プロファイル変化を測定しつつ 1 ミリ単位でコリメータの位置調整 (水平、垂直方向それぞれ) を行い、ビーム拡がりの最適化を行う。

中性ビーム反応が実験に与える影響を評価するためには、積極的に中性子反応データを集めて、その性質を調べる必要がある。そのためにダミー標的を中性ビーム中に挿入した特別データ収集を行い、その情報を物理データと同じ解析手順に乗せることで、背景事象の定量評価と削減手法の開発を行う。

### 4. 研究成果

平成 25 年度は J-PARC ハドロン実験施設での事故の影響でビームを利用した研究時間が限られた中、収集した 100 時間のデータに基づいて K 中間子稀崩壊探索解析を行った。本実験研究では最初の物理解析となる。その結果、短時間のデータ収集ながら現世界記録の実験と同等の感度を達成したことを示すことができ、平成 26 年度に国際会議で発表された。一方で中性子反応による背景事象を抑制する必要があることも再認識された。

図 1 は横軸に再構成された中性 K 中間子の崩壊点を、縦軸に再構成された中性パイ中間子の横方向運動量を取り、その相関を見たものである。中央部内側の四角領域を信号区間として定義しているが、赤字で記した背景事象の予想値が現在の感度で既に一定量あり、実際、背景事象と矛盾しない 1 イベントが信号区間に残っており、より高感度に進むにはビーム品質の向上と背景事象の削減、評価の確立が必要であることが再認識された。

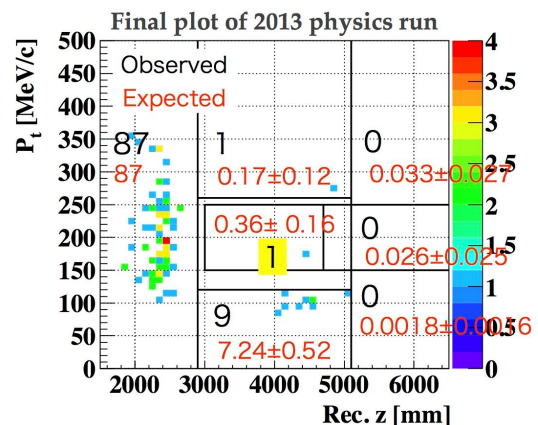


図 1 平成 25 年度に収集したデータの解析結果 [1]

平成 25 年度のデータ収集終了後、27 年 4 月に J-PARC ハドロン実験施設のビーム利用運転が再開されるまでに、ビーム品質診断のための機器の開発と実装を進めた。ここでは、中性ビーム中にタングステンワイヤーやアルミ板を遠隔操作で挿入する装置と、蛍光板と CCD カメラを組み合わせたビームプロファイルモニターについて記述する。

本探索実験では主な検出器を大型真空チャンバー内に設置して中性ビームと残留ガスとの反応を防いでいる。したがって、ビーム中に物質を挿入するためには高真空内での駆動が必要である。本研究では、直動導入ポートを真空フランジに実装してモーター駆動によって出し入れする装置（図 2）を製作した。タングステンワイヤーとアルミ板は独立に移動でき、遠隔操作によってビーム利用中も操作が可能である。

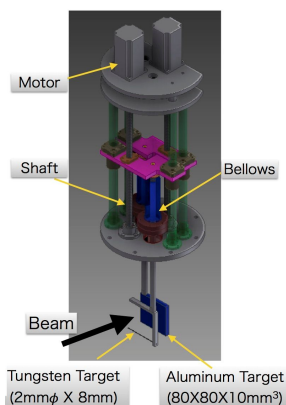


図 2 タングステンワイヤー及びアルミ板駆動装置

短い測定時間でビームプロファイルを得るモニターとして、蛍光板とカメラを組み合わせた装置（図 3）を開発した。中性ビーム中の光子を鉛板と反応させて電子・陽電子対を作り、直後の蛍光板を励起、発光させる。高感度 CCD カメラで発光点分布を撮影し、画像解析により位置分布を求める。なお、この装置は探索実験検出器の下流に設置し、大気中で用いる。



図 3 ビームプロファイルモニター概念図 [2]

平成 27 年 4 月よりビーム利用運転が再開された後、まず、ビームプロファイルモニターを活用して、ビーム整形用コリメータ位置を調整、最適化した。図 4 に調整前後のプロファイル例を示す。プロファイルモニターでは二次元位置情報を取得できるが、ここでは水平方向に射影したプロファイルを示す。

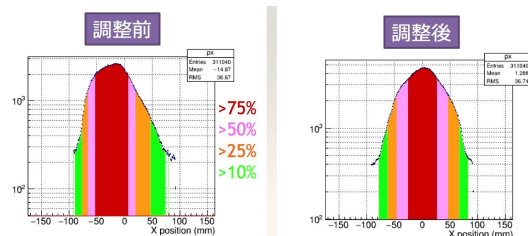


図 4 調整前後の水平ビームプロファイル [2]

ビーム整形用コリメータは 4 メートル長と 5 メートル長の 2 台からなり、その各々について上下流 2 ヶ所で可動架台（0.1 ミリ精度）によって支えられている。これらを水平、鉛直方向に動かすことで、中性ビームの位置、角度を調整できる。この調整により、対称で鋭い境界を持つビームを得た上で、探索実験検出器中央に設けられたビーム通過用穴（ビームホール）の中心に的確にビームを通過させ、漏れ出してくる中性子による反応数を最小化した。このことは中性子反応による背景事象数の最小化につながる。

ビームの多次元診断として時間軸方向の微小構造も測定している。ハドロン実験施設では主として加速器電磁石電源のふらつきに起因する数十ミリ秒レベルの構造と、加速器からビームを取り出す際に印加している高周波による構造（47MHz で運転されている）が観測される。本研究では特に後者に着目し、測定することはもとより、積極的に物理解析に利用する可能性を検討した。加速器で取り出しのために印加している高周波信号（横方向 RF）をハドロン実験施設まで伝送できれば、稀崩壊事象候補の発生時間との差を算出することで粒子の速度情報を得られる。光子や高エネルギー K 中間子のような速い粒子と、中性子のような重くて速度が低い粒子とでは到達時間が異なることが期待され、中性子起因の事象を分別し排除しうる。本課題では、横方向 RF 信号を 100 ピコ秒以下の時間ばらつきで光信号に変換するモジュールを入手し、既設光ファイバーを利用して伝送して、実験データへの組み込みを行った。平成 27 年秋以降に取得した稀崩壊探索解析用データにはこの情報が追加されており、詳細な解析を行っている。

平成 27 年度に収集した稀崩壊探索解析データの総量は現在の探索感度の世界記録より 20 倍良い感度に相当する。現在、物理結果を導出するためのデータ解析を進行中である。また、中性ビーム中にダミー標的（アルミ板）を挿入した特別データも相当量取得し、背景事象の削減手法の開発と評価も同時に進行している。

#### <引用文献>

K. Shiomi for KOTO collaboration,  $K_L^0$  at KOTO, The 8th International Workshop on the CKM Unitarity Triangle (CKM 2014), September 8-12, 2014, Vienna (Austria)

松村徹、野村正、他 KOTO collaboration、蛍光板と高感度 CCD カメラを用いた KOTO 実験用ビームプロファイルモニタの評価、日本物理学会 2015 秋季大会、2015/9/25-28、大阪市立大・杉本キャンパス（大阪市）

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

野村正、他 KOTO collaboration、J-PARC KOTO 実験 2015 年度物理ラン解析、日本物理学会 2015 秋季大会、2015/9/25-28、大阪市立大・杉本キャンパス(大阪市)

Tadashi Nomura、Rare Kaon Experiment and Future Plan、Flavor Physics & CP violation 2015、2015/5/25-29、名古屋大・野依記念学術交流館(名古屋市)

〔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) 研究代表者

野村 正 (NOMURA, Tadashi)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授  
研究者番号：10283582

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：