

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22740166

研究課題名（和文）

K 中間子稀崩壊測定のための電磁カロリメタ構築と中性ビームに対する性能評価

研究課題名（英文） Study of the performance of electro-magnetic calorimeter for the rare neutral kaon decay.

研究代表者

外川 学 (TOGAWA MANABU)

大阪大学・理学研究科・助教

研究者番号：50455359

研究成果の概要（和文）：

本研究は、中性 K 中間子の稀崩壊である $\pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の世界初観測をし、標準理論を超えた新しい物理を探る研究である。実験は J-PARC の高強度陽子ビームを用いて行われる。主検出器である CsI 検出器の構築を行い、性能評価をテストビームにより行った。その後、順次他の検出器をインストールし、その性能評価を行ってきた。全体のスケジュールは東日本大震災により一年遅れたが、予定通り物理データ取得、解析へと移行している。

研究成果の概要（英文）：

The motivation of this research is to search for new physics beyond the standard model by the world's first measurement of the very rare decay, $K \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$. The experiment has been performed by high intensity proton beam at J-PARC. We constructed an electro-magnetic calorimeter composed of the CsI crystal as a main detector and evaluated the performance using the beams. The experiment is delayed about 1 year due to the Great East Japan Earthquake, however, we have started to accumulate the physics data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：K の物理、CP 非対称性、電磁カロリメタ

1. 研究開始当初の背景

本研究は CP を保存しない K 中間子崩壊、特に直接 CP 非保存過程である、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊を捉え、標準理論を超えた新しい物理を探る研究である。この崩壊は非常に稀であ

り、現在まで上限値を抑える測定のみとなっているが、電荷の付加された崩壊、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 、の発見によりその存在はほぼ明らかとなっている。CP 非保存の理解のみならず、標準理論検証のためにも、更なる高統計での測定が切望されている。当研究を達成可能にす

る、大強度陽子加速器 (J-PARC) において E14 実験 (通称 KOTO 実験) として採択され、H23 年のスタートを目指し現在実験準備中である。

2. 研究の目的

本研究は、物理データ取得に向けた検出器の構築と、その性能評価を目的とする。また、実際のビームを用いた物理測定への性能評価も行い、実験の基盤を構築する。

検出器構築という観点では、大阪大学が主に担当する、電磁カロリメタ、CsI 検出器 (以下 CsI) について、研究を行っていく。

3. 研究の方法

一般的に電磁カロリメタの性能評価は、エネルギーのよくわかっている光子、電子ビームにより行う。CsI を実験現場にインストールした後、実験構成時での性能評価を行うため、上流に電磁石とチェンバー群を置き、電子の運動量測定を可能とするセットアップを用意する。実際に中性ビームを打ち込むと、中性 K 中間子からの崩壊粒子である、(陽)電子が CsI に入射する。(陽)電子の運動量はチェンバー群で測定されるので、CsI でのエネルギー損失と比べる事によって、性能評価が可能となる。

また、実験中は検出器群を真空層内に入れる必要があり、真空中での動作の確認も重要となっている。本実験の前に、CsI を真空中で動作させ、応答を確認する。

4. 研究成果

本実験で用いる CsI は米国フェルミ研究所で行われた、KTeV 実験から借り入れた物である。KTeV 実験では、高いエネルギーの光子を測定しており、我々の実験で入射する 1 GeV 以下の光子に対しての応答は調査されていなかった。CsI の一部 (2716 本中の 144 本) を用い、東北大学電子光理学研究センターにおいて、400~800 MeV の陽電子ビームを照射し、その性能評価を行った。エネルギー分解能、時間分解能、共に実験遂行に十分な性能である事を示しており、現在最終結果に向け、論文を執筆中である。(図 1、2)

その後、全ての CsI 結晶を J-PARC に運び入れ、建設を行った。CsI 結晶は 25 mm 角 x 500 mm の Small 結晶、50 mm 角 x 500 mm の Large 結晶があり、これらを円筒形の検出器架台にインストールする。結晶は柔らかく、変形を防ぐため、隣通しの段差を 200 μm 以下に抑えながら積む事に大変な労力を要したが、約半年間をかけて積み終えた。(図 3)

完成後、中性ビームを用いて、実験構成時

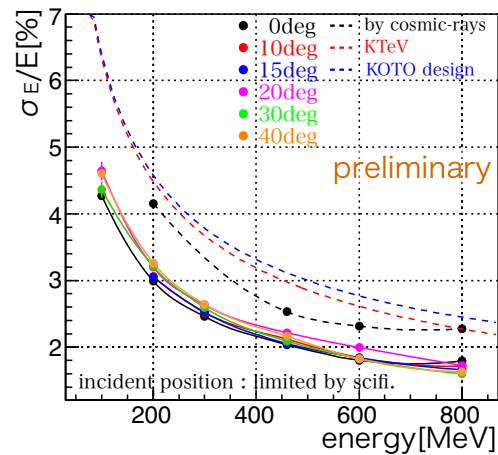


図 1 : 144 本の CsI 検出器を用いたテスト実験で得られたエネルギー分解能。全実験である KTeV 実験から予想される分解能よりも、良い分解能が得られている。

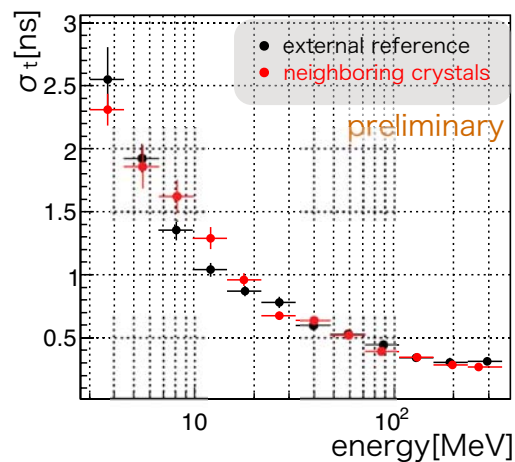


図 2 : 144 本の CsI 検出器を用いたテスト実験で得られた時間分解能。

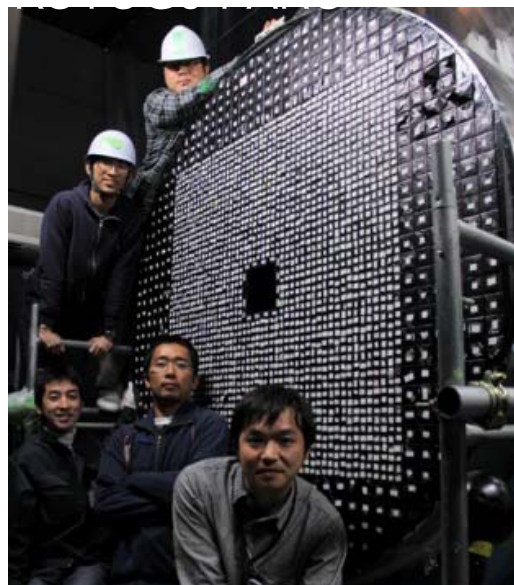


図 3 : 2716 本の CsI 結晶のインストール終了後の写真。

また、本実験中、検出器は真空中に配置されるが、CsIの真空中での動作を確認した所、読み出しは問題なくできたが、読み出し機からの放熱が不十分で熱がこもる事、一般樹脂からのアウトガスが、光電子増倍管への光接続を担うシリコンエラストマー（図8）にダメージを与え、光の透過を遮断し、出力が低下する事象が見られた（約半分に低下、図9）。前者は、水冷ヒートシンクを新たに製作、導入する事によって解決した（図10）。後者は、使うケーブル等の再選定をし、シリコンエラストマーへのダメージが少ない物に交換、もしくは、恒温槽で焼き、樹脂からのアウトガスをあらかじめ出しておくなどの対策で概ね解決している。

現在は、CsI以外の全検出器も導入済みで、平成24年12月～平成25年1月に全検出器を用いた中性ビームに対する性能評価を行った。データは現在解析中である。実験は平成25年4月末から予定されている本実験に向かい、最終調整中である。



図8：シリコンエラストマーを用いた光電子増倍管への光学接続。

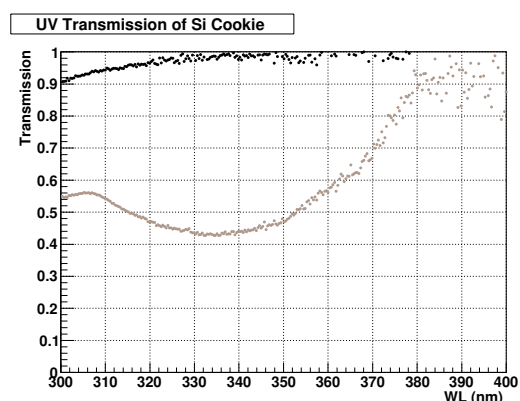


図9：シリコンエラストマーの光透過率分布（黒色：真空テスト前、灰色：真空テスト後）。CsI結晶の発光波長領域である310 nmの光の透過率が約半分になっている。

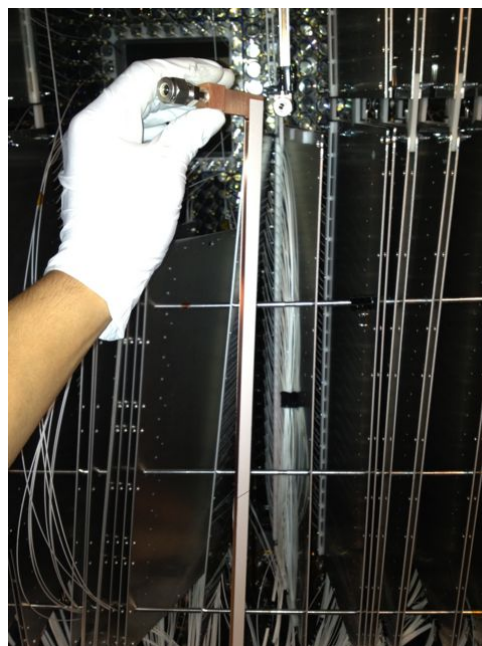


図10：導入した水冷ヒートシンク。光電子増倍管に高電圧を供給する、Cockcroft-Walton型のデバイスを冷却するよう設計。場所に制限があり、4 mmの薄型の物を製作。真空中に設置し、10℃の冷却水を流している。

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）

〔学会発表〕（計2件）

1) 外川 学、J-PARC E14 KOTO 実験の状況、17th ICEPP Symposium、2011.2.20、長野県白馬村

2) 外川 学、J-PARC KOTOで用いるCsI検出器の真空中での性能評価、日本物理学会 第67回年次大会、2012.3.25、関西学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

外川 学 (TOGAWA MANABU)

大阪大学・理学研究科・助教

研究者番号：50455359