

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740155

研究課題名(和文)次世代原子炉ニュートリノ振動実験のための検出器キャリブレーションシステムの開発

研究課題名(英文) Research and development of detector calibration system for next generation neutrino oscillation experiments

研究代表者

石塚 正基 (Ishitsuka, Masaki)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：40533196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では次世代ニュートリノ検出器における系統誤差を削減し、ニュートリノ振動の測定精度を向上させるために、新しいアイデアに基づく検出器キャリブレーションシステムの研究開発を行った。本研究で開発を行ったキャリブレーションシステムではレーザー光源からの光を光ファイバーおよび検出器内部に設置した光拡散ボールを通して照射する。光拡散ボールはワイヤー操作により移動可能であるため通常のデータ収集と平行して検出器キャリブレーションシステムを行うことが可能である。本研究では研究期間内に小型の試作機を作成した。試作機による試験の結果、デザイン通りに動作することを確認し、将来的に実装するための道筋を示した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, I have carried out research and development of new calibration system aiming for reduction in systematic uncertainty and improvement of sensitivity in next generation neutrino oscillation experiments. With the new calibration system, light from laser is fed into detector through optical fiber and distributed inside the detector via diffuser ball. The diffuser ball can be moved inside the detector by the wire operation, and therefore we can proceed detector calibration in parallel to the regular data taking. A small prototype calibration system was build during this research project. Using the prototype system, it was demonstrated that the system works as designed. This can be considered as a milestone to implement the new calibration system in the future experiment.

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：ニュートリノ ニュートリノ振動 キャリブレーション

### 1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学の三つの基本的な力（強い力、弱い力、電磁力）を記述する標準模型は加速器の発展により、広いエネルギー範囲で検証され、その予言値は測定結果とよく一致している。一方、ニュートリノ実験により報告されたニュートリノ振動の発見は、標準模型の修正を要求するものであった。標準模型ではニュートリノはすべて“左巻き”の素粒子であり、質量がゼロであると定義している。これに対し、ニュートリノ振動の存在はニュートリノの質量がゼロでないことを示している。近年の実験による研究により、ニュートリノ混合角が全て決定され、次のニュートリノ物理における研究課題はニュートリノの質量階層性の解明および CP 対称性の破れの測定である。特に、ニュートリノの CP 対称性の破れは宇宙の起源を解明するための鍵を握る可能性も指摘されており、次世代ニュートリノ振動実験による測定が期待されている。次世代ニュートリノ振動実験として、日本では大型水チェレンコフ検出器を用いるハイパーカミオカンデ実験、中国では大型液体シンチレータ検出器を用いる JUNO 実験が計画されている。双方ともニュートリノ質量階層性の測定に感度を持つが、ハイパーカミオカンデ実験では、J-PARC からのニュートリノビームを測定する T2HK 実験計画により CP 対称性の測定も可能である。いずれの計画でも、エネルギースペクトルを精密に測定する必要があり、1%以下の高精度での検出器キャリブレーションが計画を実現するうえでの重要な課題である。

### 2. 研究の目的

本研究ではニュートリノの質量階層性の解明および CP 対称性の破れの測定を目指す次世代ニュートリノ振動実験（特に大型の液体シンチレータ検出器および水チェレンコフ型検出器）における系統誤差を削減するために、新しいアイデアに基づく検出器キャリブレーションシステムの基礎研究を行う。系統誤差の削減により測定精度の向上が期待される。次世代ニュートリノ振動実験ではエネルギースペクトルを精密に測定する必要があり、1%以下の高精度での検出器キャリブレーションが必要である。特に、次世代ニュートリノ実験は十分な統計量を得るために大型の検出器を用いるため、検出器の応答の位置依存性の測定が重要な課題である。また、1%以下の精度でエネルギーを測定するためには、数年にわたる長期測定期間中の時間変動をモニターすることが必要である。本研究で開発する新しいキャリブレーションシステムはこれらの要請を満たすものである。本研究で開発するキャリブレーションシステムは、ネットワークを介して光源の遠隔操作ができるため、定期的なキャリブレーションが容易である。これにより、検出器の応答

の時間変動の測定を行う。また、本研究で開発するキャリブレーションシステムではワイヤーの操作により、光源を検出機内の任意の位置（あらかじめワイヤーを設置してあることを条件とする）に移動することが可能である。これにより大型検出器内の位置依存性を測定する。

本研究では、2年間の研究期間内に試作機を作成し、新しいキャリブレーションシステムの動作原理の検証および性能評価を行う。さらに、将来的には次世代ニュートリノ振動実験の検出器に実機を設置することにより、ニュートリノ振動の測定精度を向上を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究で開発するキャリブレーションシステムでは、検出器外部に設置されたレーザーもしくは LED 光源からの光を光ファイバーを通して検出器内に送り、検出器内部に設置した光拡散ボールを通して照射する。光拡散ボールはワイヤー操作によりネットワークを介して移動可能であるため、通常の方法と平行して検出器キャリブレーションを行うことが可能である。特に、このキャリブレーションシステムの特徴として、あらかじめワイヤーを設置した範囲については垂直方向だけでなく、水平方向にも光源（光拡散ボール）を移動できる点があげられる。液体シンチレータを使った検出器は図1に示すように多層構造であるため、従来のキャリブレーションシステムでは水平方向に光源を移動することは難しいと考えられていた。しかし、本研究で開発する機構により検出器の任意の位置に光源を移動することが可能である。

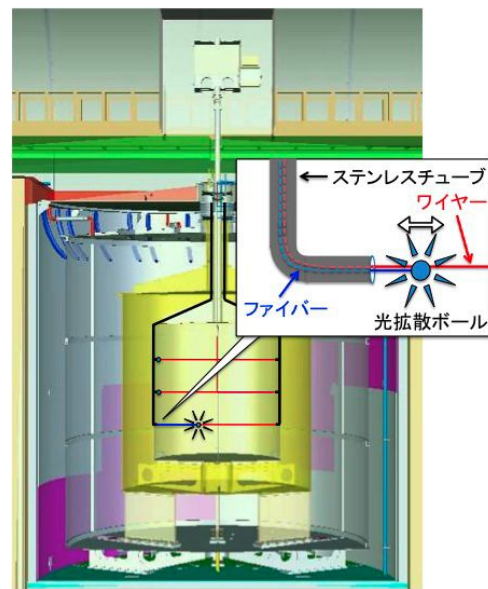


図1 キャリブレーションシステムの概念図。検出器の構造として Double Chooz 実験を想定した。

さらに、このキャリブレーションシステムの用途のひとつとして、検出器内の事象発生位置再構成アルゴリズムの性能評価があげられる。この目的のためには、光拡散ボールの位置決定精度が事象発生位置再構成精度に比べて十分に良いことが条件となる。試作機による測定と既存の液体シンチレータ検出器での位置再構成精度の比較から、この用途での利用の可能性を検証する。本研究では動作原理の検証および性能評価を行うため、2年間の研究期間内に小型の試作機を作成する。

#### 4. 研究成果

初年度には小型の試作機を作成し、ワイヤーとステップモーターにより光拡散ボールを移動させる機構の試験を行った。検出器の壁面はLアンクルで再現し、ファイバーとワイヤーを通すためのチューブを配置する。ワイヤーをステップモーターによりコンピュータで制御し、ワイヤーに固定された光拡散ボールを水平方向に動かすことができる(図2)。試作機を用いた試験の結果、デザイン通りに動作することが確認された。さらに、作成した試作機を用いて、光拡散ボールを水平方向に移動させながら位置を測定し、位置決定精度を既存の液体シンチレータを用いたニュートリノ検出器(Double Chooz 実験)の事象発生位置再構成精度と比較した。その結果、今回開発したキャリブレーションシステムにより十分な位置決定精度が得られることが確認された。ただし、実際に検出器に設置する場合は浮力なども影響するため、液体を注入した上で位置をあらかじめ測定しておく必要があるであろう。図3に試作機の全体像の写真を載せる。

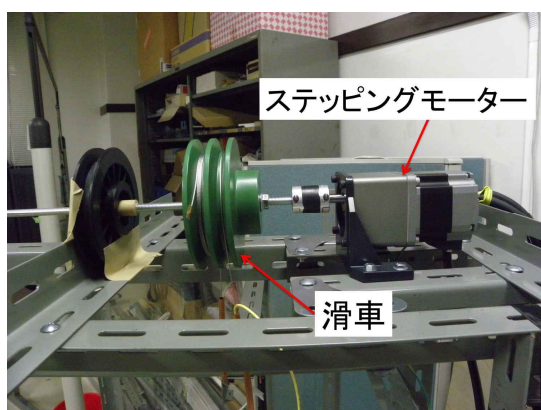


図2 本研究で作成したキャリブレーションシステムの試作機(上部)

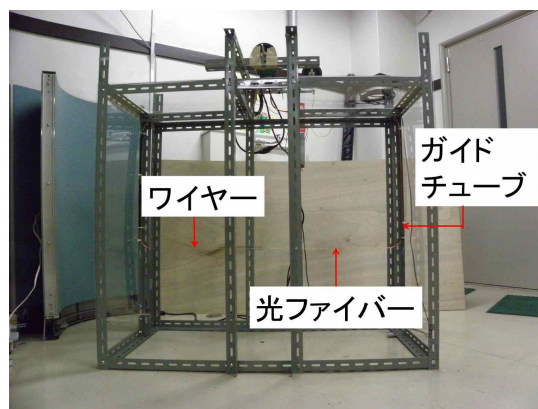


図3 本研究で作成したキャリブレーションシステムの試作機(全体像)

2年目(最終年度)には光拡散ボールを作成した。光を一様に拡散するため、素材として波長変換物質に加えて、酸化マグネシウムを配合した。拡散された光の一様性を測定するため、レーザー光源から光ファイバーを通して光を照射し、光電子増倍管により測定するためのセットアップを作成した。ステップモーターにより光電子増倍管を光拡散ボールから一定の距離で(ファイ)方向に動かし、拡散光の一様性を測定する。測定の結果、光が一様に拡散されていることが確認されたが、測定の誤差が大きく十分な精度での測定結果はまだ得られていない。系統誤差を低減し、測定精度を向上することが今後の課題である。

本研究では研究期間内に作成した試作機により、新しいキャリブレーションシステムの動作機構の検証および性能評価を行い、将来的に大型ニュートリノ検出器に導入するための可能性を示した。

#### 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 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

本研究で作成した試作機を用いた動作試験および性能評価の結果はRalitsa Sharankova氏により卒業論文にまとめられ、東京工業大学理学部物理学科に提出されている。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

石塚 正基 (ISHITSUKA, Masaki)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号：40533196

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：