

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800134

研究課題名(和文)ニュートリノ反応の詳細理解を可能とするシンチレーションファイバー検出器の開発

研究課題名(英文)Development of a scintillating fiber detector for a detailed understanding of the neutrino interactions

研究代表者

南野 彰宏 (Minamino, Akihiro)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70511674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、T2K実験の感度向上に向け、ニュートリノ反応点周りのすべての荷電粒子を測定できるシンチレーションファイバー検出器の原理実証を目的としている。東北大学光理学研究センターでプロトタイプに陽電子ビームを照射し、検出器の実現の鍵となる、以下の3つの性能を確認した。(1) 最小電離粒子に対して高い検出効率と大きな光量を持ち、光量による粒子識別が可能。(2) ファイバー中のシンチレーション光の減衰長が2m以上あり、メートルサイズの検出器が実現可能。(3) 隣り合うファイバー(2mm角型)の光量比を用いることで、垂直入射した最小電離粒子に対して、200 μ mという高い分解能で位置の再構成が可能。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is a performance confirmation of a scintillating fiber detector which enables us to detect all the charged particles around the neutrino interaction vertices to improve the sensitivities of the T2K experiment. The following three key features of the detector are confirmed by irradiating its prototype with the positron beam at ELPH, Tohoku University. (1) The detector has high detection efficiency and light yield for the minimum ionizing particles, so the particle identification can be performed using the light yield. (2) The attenuation length of the scintillation light in the fiber is longer than 2 m, so the meter-scale detector can be realized. (3) The high position resolution, 200 micro-meter, can be achieved for the minimum ionizing particles by using the light balance among the neighboring channels.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：ニュートリノ ニュートリノ振動 シンチレーションファイバー 加速器 MPPC CP対称性の破れ 前置ニュートリノ検出器

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、T2K 実験による電子ニュートリノ出現事象および原子炉ニュートリノによる反電子ニュートリノ消失事象の観測により、未測定であった最後の振動角 θ_{13} がゼロでない有限な値を持つことが確定となった。この結果、加速器ニュートリノビームを用いた長基線加速器ニュートリノ振動実験における電子ニュートリノ出現事象の精密観測により、ニュートリノにおける粒子・反粒子対称性(CP 対称性)の破れの探索が可能となり、ニュートリノ物理の大きな目標となった。

2. 研究の目的

T2K 実験および次世代の長基線加速器ニュートリノ振動実験が、ニュートリノにおける CP 対称性の破れの探索を進めていくとき、ニュートリノ反応断面積の不定性が、測定の感度を制限する主要な原因のひとつとなる。本研究の目的は、既存の前置ニュートリノ検出器に比べて格段に高い位置分解能を持つ新型検出器の研究開発を行い、このニュートリノ反応の不定性削減に向けた道筋をつけることである。

3. 研究の方法

T2K 実験の既存の前置ニュートリノ検出器は、断面が 10mm 角のシンチレーターを用いて測定を行うため、飛跡が短い荷電粒子を分離して検出できないなど、ハードウェアによる性能の限界を持つ。この既存の検出器の限界を打ち破るべく、次世代の前置ニュートリノ検出器として、私は、既存の検出器の約 10 倍の位置分解能を持つ、シンチレーションファイバー検出器を提案した。

これまで、シンチレーションファイバー検出器がニュートリノ標的兼荷電粒子トラッカーとして実用された例が無かったため、本研究では、プロトタイプを制作し、ニュートリノ検出器としての性能に関する試験を行った。

当初の計画からの変更として、J-PARC K1.1BR ビームラインでの粒子識別試験は、ハドロンホールでの事故の影響でビームラインが再開されていないため、実現できなかった。代わりに東北大学光理学研究センターで検出器の性能評価を行った。当初予定していた既存の前置ニュートリノ検出器と組み合わせた測定は、中止した。理由は、研究の途中で発案した隣り合うファイバーの光量比を用いることで高い位置分解能を実現する手法に、ニュートリノ検出器としてより高い将来性を感じたため、そちらを優先したためである。

4. 研究成果

2mm 角のシンチレーションファイバー 64 本と 64 チャンネルのアレイ型

MPPC(Multi-Pixel Photon Counter)を使ったプロトタイプ検出器を制作し、限られたスペースに多チャンネルの検出器を実現できることを実証した。同時に、断面の形状、太さ、クラッドの構造の異なるシンチレーションファイバーを用いてプロトタイプ検出器を 6 種類制作した。これらのプロトタイプ検出器を、東北大学光理工研究センターで陽電子ビームを照射し、最小電離粒子に対して高い検出器効率と大きな光収量を持つことを明らかにし、光量による粒子識別が可能であることを実証した。また LED を用いた測定からファイバー中のシンチレーション光の減衰長が 2m 以上あり、メートルサイズの検出器が実現可能であることを実証した。さらにファイバーの表面に反射材や黒塗料を塗った時に隣り合うチャンネル間の光学的クロストークや光収量に対する影響も調べた。また複数のファイバーをひとつの MPPC で読み出すことにより、読み出しチャンネル数を減らす工夫についても考察を行った。

当初予定していなかった成果としては、ファイバーをビーム入射方向に対して 45 度傾けて交互に並べ、隣り合うファイバーの光量比を用いることで、高い位置分解能を実現する手法を考案し、2mm 角のシンチレーションファイバーと MPPC を用いてプロトタイプ検出器を作成し、MIP 換算で垂直入射の際に 200 μm の位置分解能を達成した。この手法を原子核乾板と組み合わせれば、原子核乾板に残ったトラックに時間情報を付与でき、原子核乾板とシンチレーション検出器、ガス検出器とのハイブリッド測定が可能となる。この成果については、平本(京大、大学院生)が国際研究会 Future Potential of High Intensity Proton Accelerator for Particle and Nuclear Physics 2016 (HINT 2016)でポスター発表を行い、審査委員特別賞を受賞した。

本研究により、シンチレーションファイバー検出器がニュートリノ標的兼荷電粒子トラッカーとしての要求性能を持つことを実証できた。

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 8 件)

- ① 平本綾美、山本実加、中家剛、市川温子、南野彰宏、中村輝石、林野竜也、森正光、ニュートリノ実験のための高い位置分解能ファイバートラッカーの開発, 日本物理学会第 72 回年次大会,

- 2017年3月17日-20日, 大阪大学(大阪府)
- ② 平本綾美、ニュートリノ反応の精密測定に向けた高位置分解能ファイバートラッカーの開発, 第23回東京大学素粒子物理国際研究センターシンポジウム, 2017年2月19日-22日, ビラビレッジ岳美(長野県)
- ③ 平本綾美、Development of a high resolution scintillating fiber tracker for neutrino experiments (ポスター発表), Future Potential of High Intensity Proton Accelerator for Particle and Nuclear Physics 2016 (HINT2016), 2016年12月5日-8日, J-PARC(茨城県)
- ④ 平本綾美、山本実加、中家剛、市川温子、南野彰宏、林野竜也、高位置分解能ファイバートラッカーの陽電子ビームによる性能評価, 日本物理学会2016年秋季大会, 2016年9月21日-24日, 宮崎大学(宮崎県)
- ⑤ 平本綾美、山本実加、中家剛、市川温子、南野彰宏、次世代長基線ニュートリノ振動実験に向けた高分解能シンチレーションファイバー検出器の開発, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19日-22日, 東北学院大学(宮城県)
- ⑥ 山本実加、平本綾美、中家剛、市川温子、南野彰宏、次世代長基線ニュートリノ振動実験に向けた高分解能飛跡検出器の開発, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19日-22日, 東北学院大学(宮城県)
- ⑦ 平本綾美、T2Kアップグレードに向けた高性能ファイバートラッカーの開発, 第22回東京大学素粒子物理国際研究センターシンポジウム, 2016年2月28

日-3月2日, ビラビレッジ岳美(長野県)

- ⑧ 山本実加、中家剛、市川温子、南野彰宏、次世代長基線ニュートリノ振動実験に向けたシンチレーションファイバー検出器の開発, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月21日-24日, 早稲田大学(東京)

[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]

ホームページ等
京都大学高エネルギー物理学研究室
<http://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南野 彰宏 (MINAMINO, Akihiro)
横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 70511674

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

山本 美加 (YAMAMOTO, Mika)
平本 綾美 (HIRAMOTO, Ayami)
中家 剛 (NAKAY, Tsuyoshi)

市川 温子 (ICHIKAWA, Atsuko)
林野 竜也 (HAYASHINO, Tatsuya)
中村 輝石 (NAKAMURA, Kiseki)
森 正光 (MORI, Masamitsu)