

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800118

研究課題名(和文)反ニュートリノの到来方向検出を目指したファイバー検出器の開発

研究課題名(英文)Development of fiber detector for anti-neutrino directional measurement

研究代表者

渡辺 寛子(Watanabe, Hiroko)

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教

研究者番号：70633527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：液体シンチレータ(LS)を用いた反ニュートリノの観測は、低エネルギー領域に感度を持つ反面、その到来方向を観測することは原理的に不可能である。本研究では、これまで独自の方法で開発した到来方向観測用のリチウム含有LSを用い、到来方向の再構成のために発光位置を精度よく観測する新たな観測方法としてファイバーを張り巡らせることを考えた。薬品耐性のある素材の選定を行い、ファイバー化する加工方法を開発した。また、リチウム含有LS容器内にファイバーを張り巡らせる構造をデザインし、読み出し半導体素子を含めて試作機の製作に成功した。本研究で開発した試作機を用い、放射性線源を用いて発光を実際に観測する準備が整った。

研究成果の概要(英文)：A liquid scintillator (LS) detector has a sensitivity of low-energy anti-neutrino. On the other hand, the detector can not measure directional information of anti-neutrino in principle. Development of Li-loaded LS was already complete. Our idea is using fibers to reconstruct a direction of anti-neutrino in Li-loaded LS by measuring light emission points precisely. We found material which had chemical compatibility and developed a method for processing of fibers. Furthermore, we designed a structure of fibres in Li-loaded LS container and developed prototype detector. We are ready to measure light emission by radioactive sources using the detector.

研究分野：素粒子実験

キーワード：ニュートリノ 素粒子実験 到来方向観測

### 1. 研究開始当初の背景

ニュートリノの性質が徐々に明らかになり、その高い透過性を利用して不可視の天体内部を調べる道具としての利用が現実のものになっている。現在、超高純度の液体シンチレータ(LS)を大量に保有する大型実験により反ニュートリノの観測が行われており、その観測方法は低エネルギー領域に感度を持つ反面、到来方向を観測することは原理的に不可能である。到来方向を知ることで反ニュートリノ観測時の積極的なバックグラウンド事象の除去や、地球科学・天文学等の他分野への応用、また原子炉モニターといった産業への応用も期待でき、将来のニュートリノ研究においてブレークスルーとなる観測技術である。ニュートリノの到来方向観測に必要な技術開発要素として、リチウム含有LSと発光を高位置分解能で分離測定できる検出機の2点が挙げられる。リチウム含有LSはすでに独自の方法で開発が完了しており、LS中での発光位置を高い分解能で測定できる検出方法の開発が急がれていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、リチウム含有LS内の発光位置を精度よく観測するための方法として、ファイバーを張り巡らせることを考え、その開発を行うことを目的とする。リチウム含有LS内の発光をファイバーで両端に引き出し、それを半導体素子で読み出す。リチウム含有LSに対して薬品耐性のある素材、そのファイバーを張り巡らせる工作技術、また、素子による読み出し方法の確立が必要である。本研究では、到来方向観測技術の確立を目的とした30cm角のアクリル容器を用いた検出機の制作を想定し、各開発を行う。

### 3. 研究の方法

反ニュートリノの到来方向観測には、発光点から到来方向を再構成するために、発行位置を高分解能で測定する観測機の開発が必要である。現在LSを用いた観測で光検出機として用いられている光電子増倍管では、約10cmの位置分解能を実現できるが、到来方向観測に必要な分解能2cm程度は達成できない。本研究ではLS中にファイバーを2cm程度の間隔で張り巡らせ、両端から光を読み出すことで高い位置分解能を得ることを目的とし、開発を進める。開発要素としては以下の3点が挙げられる。

#### (1) 薬品耐性のある素材の選定

波長変換ファイバーとして製品化されている素材は数多くあるが、LSへの薬品耐性は未確認である。市販されているファイバーをLSに入れてみて、ファイバー自体に変色や変形がないか、LSを劣化させることはないかを確かめる。

#### (2) ファイバーを用いた検出器の構造の

#### 開発

LS耐性の確認できた素材を用い、2cm程度の間隔でLSを入れるアクリルボックスに張り巡らせる構造の開発が必要である。ファイバーを固定し、なおかつLSの漏れのない構造で、両端につける光検出機にどの様に接続するかといったデザインを独自に完成させる必要がある。

#### (3) 光検出素子による読み出し方法の確立

ファイバーを伝って両端で検出される光は非常に微弱である。プロトタイプ検出器として想定している30cm四方の検出器では、2cm間隔でファイバーを敷き詰めると、一方向で225本のファイバーが設置されることになる。多チャンネルで微弱光検出に実績のあるマルチアノードPMTや、より安価であるMulti Pixel Photon Censer (MPPC) といった検出器を候補とし、本研究の用途に合う読み出し方法を確立する。

### 4. 研究成果

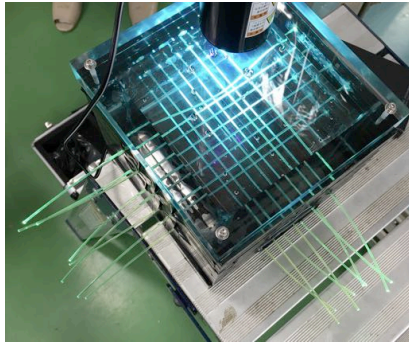
上記3で挙げた研究方法の3項目についてそれぞれ成果を述べる。

#### (1) 薬品耐性のある素材の選定

波長変換ファイバーとして市販されているものの中で減衰長が数メートルと、将来の大型化にも耐えうる性能を持つものを4種類選定し、LSに浸してファイバー自体の変化とLSの減衰長の変化を調べた。手に入れることができたファイバーは、黄色や青に変色し軟化してしまうものばかりだった。LSにも色がついてしまうものが多く、ファイバーからの溶けだしが起きていることは明らかだった。そこで従来の方針を変え、他研究でLS耐性が確認されていた波長変換性能を持つプレートをカットし、ファイバーに加工することを考えた。入手した長さ1m、厚さ1mmのプレートを1mm、2mm、3mmの各太さに加工するため、業者とともに加工方法のテストを進めた。切断時の振動でファイバーが折れることの対策として固定方法を工夫し、一旦切断した切断面を削ってなめらかにする方法を開発するなど、加工方法の開発を行い、プレートからファイバー化する方法を確立した。

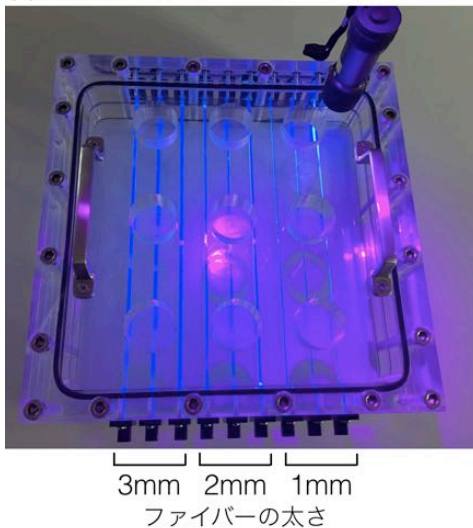
#### (2) ファイバーを用いた検出器の構造の開発

LSを満たしたアクリルボックス内にファイバーを張り巡らせる構造を開発する必要がある。

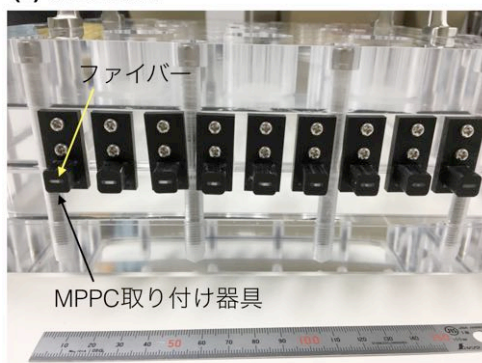


先ず、上図の様なファイバーを2つの対面する面に3段ずつ張り、それを二面について行うテスト機を制作した。アクリルにファイバーの太さの穴を開け、接着剤で固定する方法をとったが、LS中での長期的な使用には向かないことと、ファイバーがたるまない様に張力をかけながら固定することができない影響が大きいことが判明し、他の固定方法を試すことになった。

**(1) 試作機全体像**



**(2) 側面の様子**



次に、上図の様に専用の固定器具を開発し、アクリルボックスの側面にネジ止めすることでファイバーを固定した。この固定器具の開発により、適度な張力をかけて固定し、なおかつ読み出し素子として使用する MPPC

(次項目参照)をファイバーに隙間なく貼り付けることが可能になった。上部の蓋にはアクリルの厚さを0.3mmにした場所を複数作り、今度LSを満たして放射性線源を用いた発光事象の測定を行う際に、放射性線源を設置する場所として使用する。この構造は、更に1m角といった装置に大型化したときにも使用できることを確認しており、ニュートリノ線源を用いた到来方向観測の原理検証をタイムリーに開始できる。

**(3) 光検出素子による読み出し方法の確立**

これまでに使用の経験があったマルチアノード PMT は、微弱光を検出することができ、本研究にも使用することを試した。ファイバーをマルチアノード PMT の受光面まで延長する必要がある、隙間なく受光面に設置するためには専用の固定器具を制作する必要がある。今後の大型化を考えた際、ファイバーを長くするとそれだけ減衰する光量も増え、できるだけ短くして光検出機で検出する方が取得光量を最大化できる。もう一方の光検出機の候補として MPPC が



あるが、室温で使用するとダークレートを極端に多く、微弱光の検出には向かないことが問題であった。そこで、本研究では MPPC を冷却し、ダークレートを微弱光検出可能なレートまで下げることが目的に、冷却実験を行った。25°C で 214kHz であったダークレートは、5°C で 59kHz、-10°C で 1.2kHz となることを確認し、-10°C で目標であった 90%以上の除去を達成した。MPPC の裏にペルチェ素子を貼り付け、電力供給のみで温度のコントロールをすることができ、単純な構造で目標を達成できることが確認でき、今後の大型化にも対応できる。

以上、3点の開発要素を進め、ファイバーをLS中に張り巡らせて両端から微弱光を検出するという、新たな光検出方法の確立を行う準備が整った。開発した試作機にLSを満たし、放射性線源を用いた発光の測定を行い、新たな検出方法を用いた到来方向観測実験の基礎研究を進める。また、本研究での開発は将来の大型化を念頭に置いて進めており、大型検出機によるニュートリノ線源を用いた到来方向観測実験にも応用することがで

きる。

## 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)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① H. K. M. Tanaka & H. Watanabe, 6Li-loaded directionally sensitive anti-neutrino detector for possible geo-neutrino-graphic imaging applications、査読有、4 巻、2014 年、4780、doi:10.1038/srep04708

[学会発表] (計 17 件)

- ① 渡辺 寛子、地球ニュートリノ観測で拓く”ニュートリノ地球科学”、国立天文台談話会、2017 年
- ② 白旗 豊、Development for anti-neutrino directional measurement、JpGU-AGU Joint Meeting 2017、2017 年
- ③ 渡辺 寛子、Directionality in neutrino detection、Summer Institute: Using Particle Physics to Understand and Image the Earth、2016 年
- ④ 渡辺 寛子、Towards “Neutrino Geoscience” with Geo-neutrino Measurements、日本地球惑星連合 2016 年大会、2016 年
- ⑤ 白旗 豊、液体シンチレータを用いた反電子ニュートリノの到来方向測定に向けた研究 II、日本物理学会 2016 年春季大会、2016 年
- ⑥ 相馬 圭吾、液体シンチレータを用いた反電子ニュートリノの到来方向測定に向けた研究 I、日本物理学会 2016 年春季大会、2016 年
- ⑦ 白旗 豊、Development for anti-neutrino directional measurement、Neutrino Geoscience 2015、2015 年
- ⑧ 白旗 豊、Development for anti-neutrino directional measurement、MUOGRAPHERS、2015 年
- ⑨ 渡辺 寛子、Geo-neutrino Measurement with KamLAND and Future Prospects、The Earth’s Mantle and Core: Structure, Composition, Evolution、2015 年
- ⑩ 渡辺 寛子、Geo-neutrino Measurement with、JSEDI、2015 年
- ⑪ 渡辺 寛子、Geo-neutrino Technology、MUOGRAPHERS、2015 年
- ⑫ 白旗 豊、液体シンチレータを用いた反電子ニュートリノの方向検出に向けた研究 I、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年
- ⑬ 白旗 豊、Experimental study of

anti-neutrino directional measurement、International Workshop on KamLAND Geoscience、2015 年

- ⑭ 白旗 豊、反ニュートリノの方向検出に向けたリチウム含有液体シンチレータの開発、日本物理学会 2014 秋季大会、2014 年
- ⑮ 白旗 豊、Directional measurement of electron anti-neutrino、SEDI 2014、2014 年
- ⑯ 白旗 豊、Li loaded liquid scintillator for directional measurement、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年
- ⑰ 渡辺 寛子、Tracking geo-neutrinos towards the future geo-neutrino-graphy、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年

[図書] (計 1 件)

- ① H. Watanabe 他、Open Academic Press、Geo-neutrinos、2016 年、240

[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

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 寛子 (WATANABE, Hiroko)

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教

研究者番号：70633527

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :

(4) 研究協力者  
白旗 豊 (SHIRAHATA, Yutaka)  
相馬 圭吾 (SOMA, Keigo)