

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05467

研究課題名(和文)ニュートリノ実験および原子炉モニターのための水ベース液体シンチレータの開発研究

研究課題名(英文) Research and development of water based liquid scintillator for neutrino experiment and nuclear reactor monitor.

研究代表者

鈴木 州 (Suzuki, Atsumu)

神戸大学・理学研究科・助教

研究者番号：20243298

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、特にニュートリノ実験や原子炉のモニターを目的とした、水をベースとした液体シンチレータの開発研究である。これまでの液体シンチレータは、主に、自然や人体に有害な有機溶媒をベースとしたものであり、可燃性の物が多かった。本研究は、それらに無害な水をベースとした。まだまだ発生光量は少ないものの、検出可能な光量のシンチレータは作成できた。その他の課題としては、1、2年では大丈夫であるが、数年で劣化してしまうこともわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ニュートリノの到来方向がわかる水チェレンコフ検出器と、発生光量が多く低エネルギーニュートリノの検出が可能な液体シンチレータ検出器の長所を兼ね備えた検出器の可能性を示せた。また、これまでの液体シンチレータが用いてきた自然や人体に有害であり可燃性のある有機溶媒のかわりに、それらに無害な水をベースとした検出器の開発は、昨今の「自然に優しい」というトレンドに合致している点で社会的にも意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop the water based liquid scintillator especially for neutrino experiments and nuclear reactor monitor. Liquid scintillators so far are organic solvent based ones, which are poisonous for nature and human, and most of them are burnable. The solvent used for this research is not poisonous or burnable. However the light yield is so little, I could develop the scintillator with detectable light yield. One of the other problems is that it keeps its light yield for one or two years, but it deteriorates for a few years.

研究分野：素粒子・宇宙線実験

キーワード：ニュートリノ 液体シンチレータ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

長基線ニュートリノ振動実験においては、様々な系統誤差を打ち消すため、前置検出器と後置検出器で同じものを使用するのが理想である。しかし、東海 神岡間実験 (T2K) では、ビーム強度が大きいことや、場所・予算の関係上、後置検出器である大型水チェレンコフ検出器であるスーパーカミオカンデと同じものを前置検出器として設置することはできない。そこで、ニュートリノビームの反応標的として、水を用いているが、これは水チェレンコフ検出器のように標的と検出器を兼ねた、いわゆるアクティブ標的ではない。そのため、周囲に別の検出器を設置しなければならない、理想的ではない。

同じ長基線ニュートリノ実験でも、原子炉実験においてはニュートリノのエネルギーが低いため、水チェレンコフ検出器ではなく液体シンチレータが用いられている。ところが、現在世の中で使用されている液体シンチレータは、プソイドクメンなどの揮発性・可燃性のある溶媒を用いており、これらの大量使用には法的制限がかかる。そのため不揮発性、不燃性の溶媒を用いた液体シンチレータが望まれているが、それは国際原子力機関 (IAEA) の安全保障措置としての原子炉モニターとしても期待されていた。

このような状況下で、水をベースとした液体シンチレータの開発がなされてきていた。先行研究としては、アメリカ・ブルックヘブン研究所におけるもの [1] などがあるが、いずれも phenylxylylene (PXE), linear alkylbenzene (LAB) など人体や環境に有害とされる溶質を 10 ~ 20% 溶かしている。また、東北大学におけるシリコンをベースとした液体シンチレータの開発も始まっていた [2] が、シリコンが大変高価なため、大量使用には向いていないという状況であった。

[1] Advanced Scintillator Detector Concept (ASDC): A Concept Paper on the Physics Potential of Water-Based Liquid Scintillator, M. Yeh, et al., arXiv:1409.5864v2 (2014)

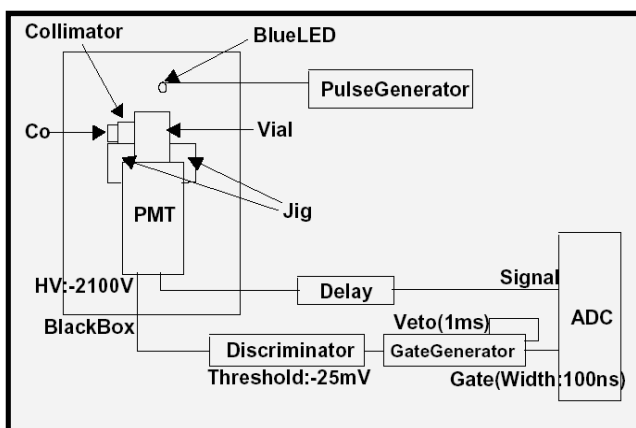
[2] 小型原子炉ニュートリノモニターに使用する波形弁別能力を実装した Gd 入り液体シンチレータの開発, 榎崎哲也、その他、日本物理学会・秋季大会 (2014)

2. 研究の目的

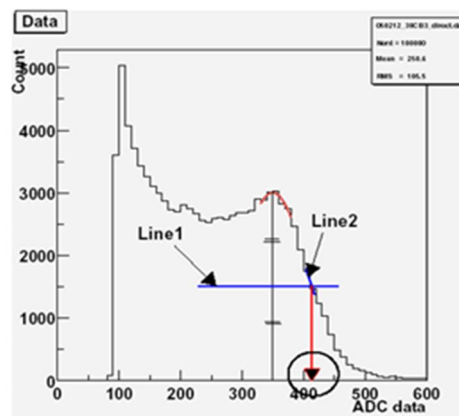
本研究は、不揮発・不燃に加え、環境に対しても安全で、かつ、安価な液体シンチレータの開発研究を行うということが目的である。合わせて、研究期間中にシンチレータの性能の経年変化も測定する。

3. 研究の方法

シンチレーション光の測定は、放射線源 ^{60}Co からのガンマ線によりコンプトン散乱された電子によるものの光量分布を測定した。セットアップは左下図で、得られる光量分布は右下図のようになる。右下図の分布の右のピーク近辺をガウス分布でフィットして、最大値の半値での光量を以てコンプトン散乱電子の最大エネルギー (1.12MeV) に対する光量としている。



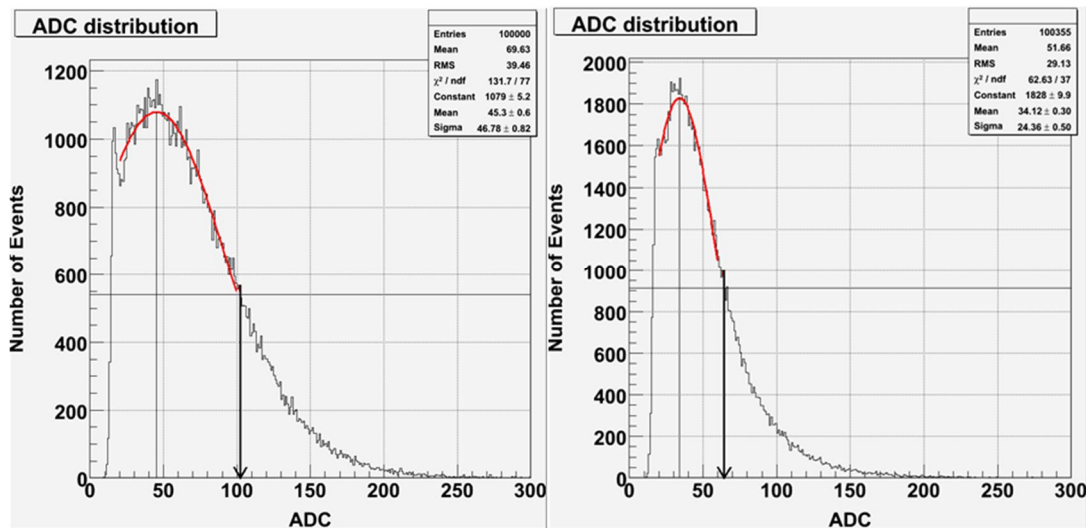
光量測定のセットアップ



コンプトン散乱電子の最大エネルギーに対する光量

4. 研究成果

水ベース液体シンチレータを作製する上での問題点は、良く知られている発光物質が一般的に水に直接溶けにくいということである。通常は界面活性剤を用いることによって溶かすということを行う。これまでの研究では、水 70%に対して界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウム(Sodium Dodecyl Sulfate, SDS)を重量比で 30%混合することにより、発光物質である PPO が 30g/l の濃度まで溶けた。この時、シンチレータは、放射線源 ^{60}Co を用いた測定で、有意な発光量(10 光電子程度を示した(左下図))。本研究では、SDS の代わりに市販の洗剤を重量比で 50%混合することによっても PPO を 30g/l の濃度まで溶かせることがわかり、この場合も有意な発光(6.5 光電子程度)が得られることがわかった(右下図)。市販の洗剤が有効であるという結果により、安価な液体シンチレータの作製可能性を示せたと言える。



界面活性剤として SDS を使用。
約 10 光電子相当の発光量が得られた。

界面活性剤として市販の洗剤を使用。
約 6.5 光電子相当の光量が得られた。

2021年度において、液体シンチレータからの発生光量が一部過去の測定結果を再現していないことが疑われる結果を得た。これは、発生光量の較正方法に問題があるのではないかと考え、今一度見直すことにした。本研究では青色 LED をパルス的に発光させ、光電子増倍管で測定した光量分布がガウス分布することから、その平均値と幅を使って、光量が何光電子に相当するかを求めるといった方法をとっている。これは一般に知られた方法であるので、測定が正しく行われているかどうかを今一度慎重に行った。発光量のわかっている基準のシンチレータ(プラスチックシンチレータ)について今回の光量較正結果を適用したところ、正しい結果が再現できたので、光量較正は正しく行われていることが確認された。測定結果が再現していないように見えたのは、液体シンチレータの経年変化による劣化が思ったより大きいことによるものであるとわかった。

上記のように、液体シンチレータは経年変化によって劣化していくが、実験期間中の著しい発光量減少は避けたいので、使用にあたっては事前に経年劣化がどの程度であるかを知っておくことは大変重要である。そこで本研究では、液体シンチレータの経年変化についての観測も行った。その結果、SDS30%+水 70%+PPO30g/l シンチレータの場合 1年で約 20%の光量減少が観測された。その他、時間が経過すると溶質が析出しそのままでは有意な発光量は見られないが、攪拌すると再度溶質が溶解し、発光も回復するものがあること、ものによっては変質してしまって液体シンチレータとしての性質を全く失う場合があることなどがわかった。

本研究で作製した液体シンチレータの作製方法や光量測定の方法・結果、経年変化についてなど、これまで得られた研究成果は、同様な水ベース液体シンチレータについての研究を行っている研究者と情報交換を行うことによって互いの今後の研究に役立てることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

特になし。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------