

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：32667

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K18316

研究課題名(和文) B・Li含有プラスチックシンチレータの開発と中性子位置検出器への応用

研究課題名(英文) Development of B/Li-doped plastic scintillator and its application for neutron monitor

研究代表者

渡辺 みのり (Watanabe, Minori)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・講師

研究者番号：10761124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、新しい常温硬化樹脂を使ったプラスチックシンチレータの開発を進め、ホウ素などの添加物を加えることで中性子検出感度を向上させたプラスチックシンチレータを開発した。本研究で用いた常温硬化プラスチックシンチレータは、作成手順が簡素化でき、ホウ素化合物も安価なものを使用したため、市販されている高額なホウ素含有プラスチックシンチレータと比較して、安価に作成できるようになる可能性がある。本研究では、試作品の作成に成功し、中性子線源を用いた中性子信号の検出も確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、新しい常温硬化樹脂を使ったプラスチックシンチレータにホウ素などの添加物を加えることで中性子検出感度を向上させたプラスチックシンチレータを開発することに成功した。新型シンチレータでは、作成手順を簡素化することで、市販のホウ素含有プラスチックシンチレータと比較して、大幅に作成コストを下げることが可能になる。本研究では、試作品の作成に成功し、中性子線源を用いた中性子信号の検出も確認できた。今後は、製品化へと進めることで、中性子検出能力を高めたプラスチックシンチレータの低価格化に寄与することが可能になるとともに、様々な中性子検出器を用いる分野への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we are developing new plastic scintillator curing at the room temperature. In addition, we doped the boron compound in order to enhance the neutron detection efficiency. We have succeeded to produce new neutron sensitive plastic scintillator sample doping boron compound with lower production cost. We have also succeeded to observe the neutron signal with neutron source.

研究分野：素粒子実験

キーワード：常温硬化プラスチックシンチレータ

1. 研究開始当初の背景

本研究では、研究開始当初、常温硬化樹脂を用いた新型プラスチックシンチレータの開発を進めている状況であった。常温硬化プラスチックシンチレータの性能向上のための基礎研究と並行して、プラスチックシンチレータに添加物を混合することで、様々な放射線の検出効率を向上させた特殊機能を有するプラスチックシンチレータの開発にも着手していた。その際、市販されていないガドリニウムを含有したプラスチックシンチレータの作製に成功していた。

さらに他の添加物としてホウ素やリチウム等の中性子吸収断面積が大きく、中性子吸収によって放出される粒子が飛程の短い線という点を考慮して、ホウ素含有プラスチックシンチレータの開発を行うことを検討した。ホウ素含有プラスチックシンチレータは既に市販されているが、価格が高額なため大量に大面積に使用するなどの用途には検討されてこなかった。本研究を推進することで、中性子検出能力を向上させたホウ素含有プラスチックシンチレータを安価に作成し、中性子検出器を用いる様々な分野へと応用できると期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現在開発を行っている常温硬化樹脂を用いた新しいプラスチックシンチレータに、新たにホウ素やリチウム等の添加物を加えることで、中性子検出能力を向上させたプラスチックシンチレータを開発することである。

現在までのところ、ガドリニウム含有のプラスチックシンチレータの開発には成功しており、さらにホウ素やリチウム含有のプラスチックシンチレータを開発することを目標としている。ホウ素含有プラスチックシンチレータは現在でも市販されているが、大変高額であり、大量・大面積に使用したりすることはあまり想定されていない。一方、ホウ素やリチウムに中性子が吸収されると、飛程が短い線が放出されるため、検出器の細分化や検出方法を検討することで、中性子の位置検出器の開発にもつなげていく。

3. 研究の方法

本研究では、常温硬化プラスチックシンチレータの開発と性能向上の研究を進めながら、新規添加物として、ホウ素やリチウムなどの化合物を添加することで、中性子検出能力を向上させたプラスチックシンチレータの開発を行う。

初めに、常温硬化プラスチックシンチレータに混合することが可能な添加化合物の選定を行い、試作品の開発を行う。特に、透明度を保ったままで添加することが可能な化合物の選定と、含有量の最適化を行い、試作シンチレータの作製を行う。

試作シンチレータが作製できたら、中性子線源を使って中性子信号の検出を試みる。ホウ素の場合には中性子吸収によって、94%の割合で線と同時に線が放出されるため、線信号をNaIなどの結晶シンチレータ検出器で測定することで、中性子信号検出の同定を試みる。

4. 研究成果

常温硬化型樹脂を用いた新型プラスチックシンチレータへのホウ素化合物添加の試みとして、まず、幾つかの候補の中から安全面を考慮して添加化合物の選定を行った。次に、試作シンチレータの作製においては、透明度を保ったまま添加物を含有できることが重要であり、これが可能な添加物を更に選択した。そして、透明度を保ちつつホウ素含有量を増加させるための作製条件や手法、ホウ素含有量の最適化もを行い、透明度を保った新型プラスチックシンチレータの作製に成功した(図1)。



図1. ホウ素含有新型プラスチックシンチレータ

試作したホウ素含有プラスチックシンチレータの性能を評価するため、 ^{90}Sr 線源からの線照射して発光量の測定を行った。市販品のサンゴバン社製BC408と同じ厚さ、同一形状のシンチレータを作製して性能比較を行い、新型プラスチックシンチレータの発光量がBC408の3割程度であることが分かった。

ホウ素による中性子捕獲では、 $n + {}_5^{10}\text{B} \rightarrow {}_3^7\text{Li} + \alpha$ のような反応から、線が放出されるため、中性子捕獲信号確認の前段階として、線信号の検出テストも行った。 ^{241}Am 線源からの線照射して試作したホウ素含有プラスチックシンチレータに照射して信号検出を試みた。プラスチックシンチレータにおける線信号の検出は、消光効果によって明確な信号ピークを確認することはできなかったが、信号頻度の増加などからアルファ線信号についても感度があることが確認できた(図2)。

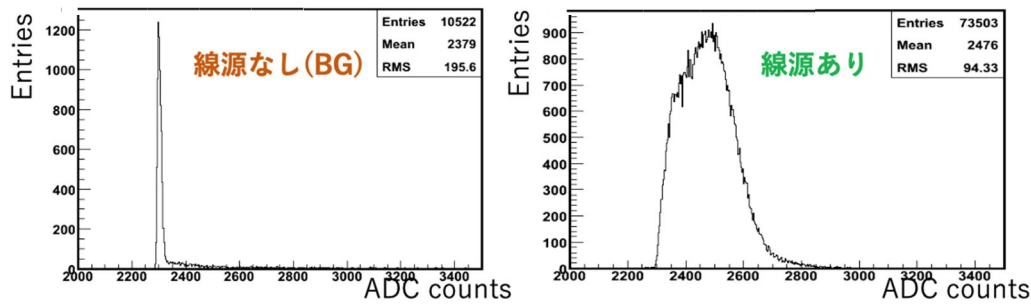


図 2. ^{241}Am 線源からの 線をホウ素含有新型プラスチックシンチレータに照射したときの信号

これらの成果を元に、まずはホウ素添加シンチレータを使った中性子信号の検出を試みた。中性子信号の検出には、 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中性子線源を用いて行った。中性子捕獲信号の検出には、Am/Be から放出される 4.43 MeV の 線と、中性子の遅延同時計測を行うことも検討したが、後発信号として放出される 線信号が明確な信号ピークを作らないことから別な手法を取ることにした。 $n + {}^{10}_5\text{B} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + \alpha + \gamma$ のように、 ${}^{10}_5\text{B}$ に中性子が吸収されると、94%の確率で 478 keV の即発 線を放出することから、NaI 検出器を使って、478 keV の 線を同定することで、中性子捕獲信号をまずは確認することにした。NaI 検出器信号と、ホウ素含有シンチレータ検出器の信号の相関を見ることで、今回中性子捕獲信号を確認することができた。

2018 年度は妊娠に伴う体調不良による休業および産休育休を取得し、約 1 年間研究を中断したが、その後はリチウム化合物の情報収集等を進めた。しかしながら、添加に最適なりチウム化合物は見つからなかったため、継続して調査を進めるとともに、シンチレータの基礎性能の向上についても並行して研究を進めることとした。特に、市販品のシンチレータと比較して、発光量の少なさと、長期的な安定性の低さに課題があったため、それらの研究も継続して進めた[1]。

参照

- [1] E.Saito, H.Miyata, M.Katsumata, Y.Karasawa, T.Koike, H.Ono, M.Watanabe, M.Sato, A.Umeyama, T.Suzuki, M.Tamura, Nucl.Instrum.Meth.A.2020; 953, 162885

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Saito E., Miyata H., Katsumata M., Karasawa Y., Koike T., Ono H., Watanabe M., Sato M., Umeyama A., Suzuki T., Tamura M.	4. 巻 953
2. 論文標題 Light yield, long-term stability, and attenuation length of a new plastic scintillator cured at room temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 162885 ~ 162885
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2019.162885	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Eisuke Saito, Hitoshi Miyata, Takuro Koike, Yuhi Sonobe, Keito Toda, Yukito Fujima, Hiroaki Ono, Minori Watanabe, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki.
2. 発表標題 Improvement of long-term stability of newly developed plastic scintillator for practical use.
3. 学会等名 Molecular Electronics & BioElectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eisuke Saito, Hitoshi Miyata, Takuro Koike, Yuhi Sonobe, Keito Toda, Yukito Fujima, Hiroaki Ono, Minori Watanabe, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki.
2. 発表標題 Improvement of long-term stability of newly developed plastic scintillator for practical use.
3. 学会等名 21st SPVM National Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斎藤栄輔, 宮田等, 小池拓郎, 柄沢優典, 戸田溪斗, 園部雄飛, 藤間鵬人, 大塚良樹, 吉延俊輝, 小野裕明, 渡辺みのり, 佐藤誠, 梅山晃典, 田村正明, 鈴木崇民
2. 発表標題 新型プラスチックシンチレータの実用化を目指した長期安定性の改善
3. 学会等名 日本物理学会新潟支部第47回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤 栄輔, 宮田 等, 小池 拓郎, 柄沢 優典, 小野 裕明, 渡辺 みのり, 佐藤 誠, 梅山 晃典, 田村 正明, 鈴木 崇民
2. 発表標題 新型プラスチックシンチレータの実用化を目指した長期安定性の改善
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤栄輔, 宮田等, 小池拓郎, 柄沢優典, 小野裕明, 渡辺みのり, 佐藤誠, 梅山晃典, 田村正明, 鈴木崇民
2. 発表標題 新型プラスチックシンチレータの実用化目指した長期安定性の改善
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤栄輔, 松井達晃, 宮田等, 園部雄飛, 戸田溪斗, 小野裕明, 渡辺みのり, 佐藤誠, 梅山晃典, 田村正明
2. 発表標題 原子炉モニターのための遅延同時係数法を用いた粒子線検出
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eisuke Saito, Hitoshi Miyata, Yuhi Sonobe, Keito Toda, Hiroaki Ono, Minoru Watanabe, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki
2. 発表標題 Radiation detection for nuclear reactor monitor with delayed coincidence method
3. 学会等名 22nd SPVM National Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

常温硬化プラスチックシンチレータ開発グループページ
<https://www.hep.sc.niigata-u.ac.jp/~vnd/>

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
---------	---------