

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：32667

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03894

研究課題名(和文) 常温硬化プラスチックシンチレータの基本性能向上と高機能化に向けた研究

研究課題名(英文) Improvement of basic performance and high functionalization of new plastic scintillator cured at room temperature

研究代表者

小野 裕明(Ono, Hiroaki)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・准教授

研究者番号：70453925

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、先行研究(科研費17K18161 研究代表者 小野裕明)を発展させ、常温硬化プラスチックシンチレータの性能向上の研究を進めるとともに、高機能化に向けた様々な試作を行った。本研究により常温硬化シンチレータの信号波形をフラッシュADCを用いて測定し、時間特性の詳細を調べた。また、高速応答性能を向上させるために、添加物を添加するなどして性能評価を行なった。発光量や応答性能の向上は今回は見られなかったが引き続き開発を進めていく。また、紫外線硬化などの新規樹脂を用いたプラスチックシンチレータの開発も行い、初期のもの比べて発光量を大きく向上させることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、常温で硬化する樹脂を用いてプラスチックシンチレータを開発することで、高温プロセスを用いないため、様々な添加剤を添加できる可能性があり、粒子識別能力や高速応答性能を有するような高機能プラスチックシンチレータを安価に作成できる可能性がある。これらの高機能シンチレータは、素粒子・原子核実験などの分野だけでなく、医療分野や環境放射線分野における放射線計測装置の低価格化、高機能化、大面積化など様々な分野に応用可能であり、高機能シンチレータが安価に作成できるようになることで、新しい検出器コンセプトの創成や幅広い分野での応用利用に繋げることが可能になる。

研究成果の概要(英文)：We have developed new plastic scintillator cured at room temperature expanding the prior study (JSPS KAKENHI 17K18161 PI H. Ono) and conducted several test sample production to develop the high-functional plastic scintillator. In this study, we have measured signal pulse shape of scintillator using FlashADC and investigated the time characteristics detail. We have also tried to add several additives to improve the fast-response performance. We could not achieve the improvement of light yield and fast-response but we will keep making progress of our development. We have also developed new UV cured plastic scintillator and succeeded to improve the light yield compare to the initial sample.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：プラスチックシンチレータ 常温硬化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラスチックシンチレータは既に成熟した技術で、放射線計測分野で一般的に使われているが、粒子識別能力や高速応答性能など特殊機能を有するプラスチックシンチレータは、用途が限定されることから来る需要の少なさも相まって、非常に高価な場合が多い。

研究開発者は新潟大学や共同開発企業との間で開発を進めて、科研費 若手研究 B 26800148・17K18161 によって、常温硬化樹脂を用いた新素材プラスチックシンチレータの開発を進めてきた。その研究を発展させる形で、粒子識別性能や高速応答性能を有するプラスチックシンチレータを、常温硬化樹脂を使用することによってより安価に作成できるのではないかと思い、研究に着想を得た。

プラスチックシンチレータ技術自体は十分に成熟しているものの、本研究における開発は、プラスチックシンチレータに対する新たな需要の開拓や小規模研究から発生する新しい検出器コンセプトの創生、環境放射線モニターの低価格化による需要の掘り起こしなどプラスチックシンチレータ技術の更なる発展が期待できると考えた。

2. 研究の目的

研究代表者が新潟大学や共同開発企業との間で開発を進めてきた科研費 若手研究 B 26800148・17K18161 における常温硬化樹脂を用いたプラスチックシンチレータの開発・性能向上研究をさらに発展させ、新型プラスチックシンチレータ基本性能のさらなる向上を図るとともに、添加物の添加やシンチレータ検出器の形状を工夫することで、線・中性子など特定粒子の検出や、高速応答などの特殊性能を有する高機能プラスチックシンチレータを安価に作成することを目的としている。特に、常温硬化シンチレータの性能の中で発光量、長期安定性が低いことが分かってきているため、発光量や長期安定性、透過率などの基本性能の向上を中長期的な目的としている。さらに、常温硬化シンチレータの時間特性などの情報を詳細に測定することで、一般的なポリスチレンベースの市販シンチレータとの比較を行い、添加剤等を加えることで応答性能を向上させることも研究目的としている。

また、新規の素材として紫外線硬化樹脂を用いたプラスチックシンチレータの開発についても検討し、樹脂の探索や試作を行うことで、常温・紫外線硬化樹脂を用いたシンチレータを様々な実験用途に応用できるように発展させる。

3. 研究の方法

本研究では、科研費 若手研究 B 26800148・17K18161 の開発基盤を活かして、新潟大学や共同研究企業、長野高専、富山高専などの共同研究者と協力しながら開発を進めていく。

特に、シンチレータの発光量や長期安定性の向上のための、発光剤濃度の最適化や安定性向上のための添加剤の選定、試作による性能評価などの研究や、高速応答性能を有するプラスチックシンチレータを開発するための添加剤の選定や時間特性を測定するための信号波形読み出し環境の構築を行う。

シンチレータの発光量最適化については、発光剤の添加量を変更しながら複数のサンプルを作成し、光電子増倍管(PMT)で光信号を読みとり、発光剤の添加量の最適化を行う。

長期安定性の向上については、複数の添加剤の候補の中から、いくつか溶かすことが可能なものを選択して試作品を作成し、加速試験を行うなどして、安定性能の評価を行う。

また、フラッシュ ADC を用いて信号を読み出す測定環境を構築し、常温硬化プラスチックシンチレータの信号波形の立ち上がり、立ち下がり時間など時間特性を詳細に測定、解析する。さらに、添加剤を添加することで、高速応答性能を有するプラスチックシンチレータを開発する。

加えて、紫外線で硬化する樹脂を用いたプラスチックシンチレータも並行して開発し、その性能評価を行う。特に、紫外線硬化シンチレータの発光量が先行研究で低いことが懸念されているため、発光量の向上のための、発光剤濃度の最適化をまず行う。また、UV 硬化樹脂の選定を行い、発光量を向上させるための最適な樹脂を、複数の候補の中から選択する。

4. 研究成果

本研究では、常温硬化樹脂を用いたプラスチックシンチレータの性能向上を目指し、発光量の向上について継続的に開発を進めてきており、発光剤の添加濃度についての詳細な評価を行うとともに、添加濃度の最適化を行なった。シンチレータの発光量については試作シンチレータの作成方法について、作成手法の習熟の他、作成手法を均質化することによって、作成によるばらつきを抑えて、均一な品質のシンチレータを作成できるように習熟が進んできた。

長期安定性についても引き続き検証を行い、添加剤を加えることで長期安定性の向上が見込めることが分かった。シンチレータの作成過程の見直しもを行い、規定の形状を精度良く作成するための作成方法の構築や、ばらつきを抑えるための改善を行った。今回の研究では、常温硬化樹脂を用いたプラスチックシンチレータの安定的な作成手順、開発手法は確立されたものの、発光量の大幅な改善は得られなかったため、今後も継続して研究を進めていく。

また、本研究では、常温硬化樹脂を使ったシンチレータの時間特性の評価など新たに行うためのVME モジュール フラッシュ ADC の読み出し環境を構築し、フラッシュ ADC を用いてシンチレータの波形の測定と解析を行える環境が整った。フラッシュ ADC を用いてシンチレータの信号波形を記録し、標準的なポリスチレンを用いたプラスチックシンチレータ(BC408)と常温硬化シンチレータの信号波形を比較して、同程度の立ち上がり、立ち下がり時間特性を持つことが初めて確認できた。

また、シンチレータの時間応答の高速化を目的として、高速化に寄与することが想定される幾つかお添加剤を加えたシンチレータを試作し、信号波形の立ち上がり時間の測定を行った。本実験においては、常温硬化シンチレータへの添加剤の添加も成功し、試作シンチレータの作成にも成功したが、今回は時間応答の高速化を確認するところまでは至らなかった。

一方で、シンチレータ樹脂として新たに紫外線硬化樹脂を用いることも検討し、紫外線硬化樹脂を用いた作成についても、発光剤の添加手法を確立し、試作シンチレータの作成とベータ線信号の確認に成功した。紫外線硬化シンチレータについては、発光量が通常のシンチレータと比較して大幅に小さいことが確認されたため、発光量向上のための、樹脂の選定や発光剤の添加量最適化などを行い、初期に使用した樹脂での発光量と比較して、大幅に発光量を増やすことに成功した。しかしながら、市販品のプラスチックシンチレータ(BC408)の発光量と比較すると発光量は十分ではない状況であるため、今後さらに発光量を増やすように樹脂のさらなる選定や作成手法の改善等最適化を進めていく。

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15件（うち招待講演 1件／うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Taisei Endo, Eisuke Saito, Yoshiaki Seino, Erika Fukasawa, BIND Collaboration
2. 発表標題 Measurements of attenuation length of a new plastic scintillator
3. 学会等名 The 8th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taichi Kimura, Eisuke Saito, Yoshiaki Seino, Erika Fukasawa, BIND Collaboration
2. 発表標題 Development of a new plastic scintillator for calorimeters
3. 学会等名 The 8th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kosuke Sekiya, Eisuke Saito, Yoshiaki Seino, Erika Fukasawa, BIND Collaboration
2. 発表標題 Light yield of a new plastic scintillator doped neutron-sensitive functional materials
3. 学会等名 The 8th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taku Yamada, Eisuke Saito, Yoshiaki Seino, Erika Fukasawa, BIND Collaboration
2. 発表標題 Application of a new plastic scintillator to low-cost dosimeter
3. 学会等名 The 8th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroto Azegami, Eisuke Saito, Yoshiaki Seino, Erika Fukasawa, BIND Collaboration
2. 発表標題 Radiation incidence position detection using a new plastic scintillator
3. 学会等名 The 8th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaito Tokorozuki, Eisuke Saito, Shusuke Takeda, Ryoga Yamakawa, Hayase Maruyama, Norihito Izawa, Hiroaki Ono, Minori Watanabe, Hitoshi Miyata, Erika Fukasawa, Masaaki Katsumata, Eri Miyata, Yoshiaki Seino, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki
2. 発表標題 Newly developed plastic scintillator focusing on cost reduction
3. 学会等名 7th STI-Gigaku 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shusuke Takeda, Eisuke Saito, Ryoga Yamakawa, Hayase Maruyama, Kaito Tokorozuki, Norihito Izawa, Hiroaki Ono, Minori Watanabe, Hitoshi Miyata, Erika Fukasawa, Masaaki Katsumata, Eri Miyata, Yoshiaki Seino, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki
2. 発表標題 Enlargement of a new plastic scintillator cured at room temperature
3. 学会等名 7th STI-Gigaku 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoga Yamakawa, Eisuke Saito, Hayase Maruyama, Kaito Tokorozuki, Shusuke Takeda, Norihito Izawa, Hiroaki Ono, Minori Watanabe, Hitoshi Miyata, Erika Fukasawa, Masaaki Katsumata, Eri Miyata, Yoshiaki Seino, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki
2. 発表標題 Application of newly developed plastic scintillator to safeguards
3. 学会等名 7th STI-Gigaku 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hayase Maruyama, Eisuke Saito, Kaito Tokorozuki, Shusuke Takeda, Ryoga Yamakawa, Norihito Izawa, Hiroaki Ono, Minori Watanabe, Hitoshi Miyata, Erika Fukasawa, Masaaki Katsumata, Eri Miyata, Yoshiaki Seino, Makoto Sato, Akinori Umeyama, Masaaki Tamura, Takahito Suzuki
2. 発表標題 Application of newly developed plastic scintillator to calorimeter
3. 学会等名 7th STI-Gigaku 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野裕明
2. 発表標題 ILCが切り拓く測定器技術応用
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斎藤栄輔, 松井達滉, 宮田等, 園部雄飛, 戸田溪斗 (新潟大), 小野裕明, 渡辺みのり (日本歯科大), 佐藤誠, 梅山晃典 (カーリットホールディングス), 田村正明 (日本カーリット)
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 2020年度 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Saito E, Miyata H, Sonobe Y, Toda K, Ono H, Watanabe M, Sato M, Umeyama A, Tamura M, Suzuki T
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

1. 発表者名 小野裕明
2. 発表標題 ILCが切り拓く測定器技術応用
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eisuke Saito, Hitoshi Miyata, Takuro Koike, Yuhi Sonobe, Keito Toda, Yukito Fujima, Hiroaki Ono, Minoru 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 MBE10 (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, Minoru 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

〔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
研究分担者	宮田 等 (Miyata Hitoshi) (80192368)	新潟大学・自然科学系・フェロー (13101)	

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