

令和元年6月20日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14910

研究課題名(和文) 新たな波長変換機序に基づく革新的なプラスチックシンチレーション物質の創製

研究課題名(英文) Fundamental research regarding aromatic ring polymer based scintillation materials

研究代表者

中村 秀仁 (Hidehito, Nakamura)

京都大学・複合原子力科学研究所・助教

研究者番号：60443074

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)：芳香環ポリマーに蛍光剤を添加した波長変換材は、シンチレーション物質として放射線計測に不可欠な検出素子の一つとなっています。しかしながら、その性能は、製造過程で蛍光剤に課せられる制約により、長きに亘り停滞を余儀なくされてきました。その情勢を踏まえ、二年間に亘る本研究では、数種類の芳香環ポリマーに対し、それらの蛍光分布の波長領域から外れる吸収スペクトルを有する蛍光剤を一種添加、新たな化合状態を複数形成することで、実用レベルでの標準値を上回る検出素子の開発を可能にしたものです。

研究成果の学術的意義や社会的意義

当該成果は、原子力・放射線を取り扱う施設や医療機関での放射線安全管理や放射性廃棄物処分に必要とされている各種分析装置の高度化に資する素材として導入される可能性があると考えています。

研究成果の概要(英文)：Attractive features of the developed scintillation materials were revealed. These results should stimulate the use of aromatic ring polymer based scintillation materials in radiation detection.

研究分野：放射線物理学

キーワード：放射線計測

1. 研究開始当初の背景

放射線計測に関する研究は、近年活発化している。プラスチックを基にした波長変換材は、測定対象となる光を受光対象が検知可能な波長へ変換する検出素子である。それらの中で芳香環ポリマーをベース材とした波長変換材は、シンチレーション物質として原子力・放射線を取り扱う施設や医療機関での安全管理に不可欠な素材の一つとなっている。その歴史は半世紀以上に及び、その波長変換機序は芳香環ポリマーで生じた光を蛍光剤が吸収・再発光することで段階的に長波長へ変換するもの、として定着してきた¹⁾。しかし、この波長変換に関する制約は、使用できる芳香環ポリマー及び蛍光剤の種類を事実上限定し、結果として性能の改良及びその使用用途に限界を生じさせている。

これらの状勢の中、芳香環ポリマーであるポリスチレンと定説の波長変換に関する制約を満たさない蛍光剤間に、これまでに知られていない電子遷移が形成され、それを介して光の波長が変換されることを明らかにした^{2,3)}。この予備実験により、シンチレーション物質に使用できる芳香環ポリマーと蛍光剤の選択肢が拡大したことから、新たな素材の設計及び開発に取り組む着想を得た。

<引用文献>

- 1) Masaharu Tanabashi, et al. (Particle Data Group), *Physical Review D*, 98, 010001 (2018)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.98.030001>
- 2) †Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, Osamu Shinji, Katashi Saito, and Sentaro Takahashi, "Mechanism of wavelength conversion in polystyrene doped with benzoxanthene: emergence of a complex", *Nature Publishing Group Scientific Reports*, 3, 2502 (2013)
<https://www.nature.com/articles/srep02502>
- 3) †Hidehito Nakamura, Hisashi Kitamura, Osamu Shinji, Katashi Saito, Yoshiyuki Shirakawa, and Sentaro Takahashi, "Development of polystyrene-based scintillation materials and its mechanisms", *Applied Physics Letters*, 101, 261110 (2012)
<https://doi.org/10.1063/1.4773298>

2. 研究の目的

本研究目的は、芳香環ポリマーを基にしたシンチレーション物質創製における現状を打開するため、以下の研究方法で記す四段階を順次踏み、数種類の芳香環ポリマーに対し、それらの蛍光分布の波長領域から外れる吸収スペクトルを有する蛍光剤を一種類添加、新たな化合物状態を複数形成することで、他に類を見ない検出素子の開発を試みることにある。

3. 研究の方法

本研究では、マイルストーンとして研究期間を短期の二年に設定し、平成 29 年度に「(A) 残存不純物量が光の挙動に及ぼす影響の定量化 芳香環ポリマーの精製、データ収集システムの構築、線源による発光量の評価」及び「(B) 発光量における特異点の検証 芳香環ポリマーに蛍光剤を添加したサンプルの作製、線源による発光量の評価」、平成 30 年度に「(C) 芳香環ポリマーと蛍光剤間の化合物状態の解明 試験ピースの作製」及び「(D) 新タイプのシンチレーション物質の性能評価」を順次実施した。

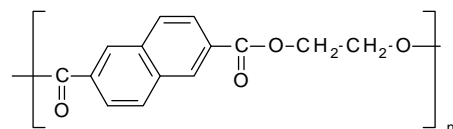
4. 研究成果

本研究により、実用レベルでの標準値を上回る試作品の作製を実現すると共に、多様な応用可能性を創出した。加え、その研究過程で、ベース材としてポリエチレンナフタレート^{4,5)}の放射線応答に関する魅力的な知見を得た。ここでは、その一部を紹介する。

<引用文献>

- 4) †Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Hisashi Kitamura, Nobuhiro Sato, and Sentaro Takahashi, "Detection of alpha particles with undoped poly (ethylene naphthalate)", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 739, 6 (2014)
<https://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2013.12.021>
- 5) †Hidehito Nakamura, Yoshiyuki Shirakawa, Sentaro Takahashi, and Hisayoshi Shimizu, "Evidence of deep-blue photon emission at high efficiency by common plastic", *EPL (Europhysics Letters)*, 95 (2), 22001 (2011)
<https://doi.org/10.1209/0295-5075/95/22001>

ポリエチレンナフタレートの化学構造は、以下である。射出成形した密度 1.33g/cm^3 、5 mm厚の小型プレート (31 × 31 mm) を用い、荷電粒子に対する時間応答を求めた。(詳細は、主な発表論文等〔雑誌論文〕 を参照のこと)



アルファ線とベータ線に対する光パルスを、それぞれ図 1 に示す。各パルスを即発成分と遅延成分に分離したところ、遅延成分に対する強度が荷電粒子の種類に依存する上、それらの絶対値が十分異なる、ということが明らかになった。これらの結果は、ポリエチレンナフタレートが放射線弁別に優れた機能を有する素材であると共に、既存の知見で荷電粒子に対する応答を説明することが困難であることが示唆された。したがって、本知見は放射線計測においてポリエチレンナフタレートの使用及び研究を促進するものとなった。

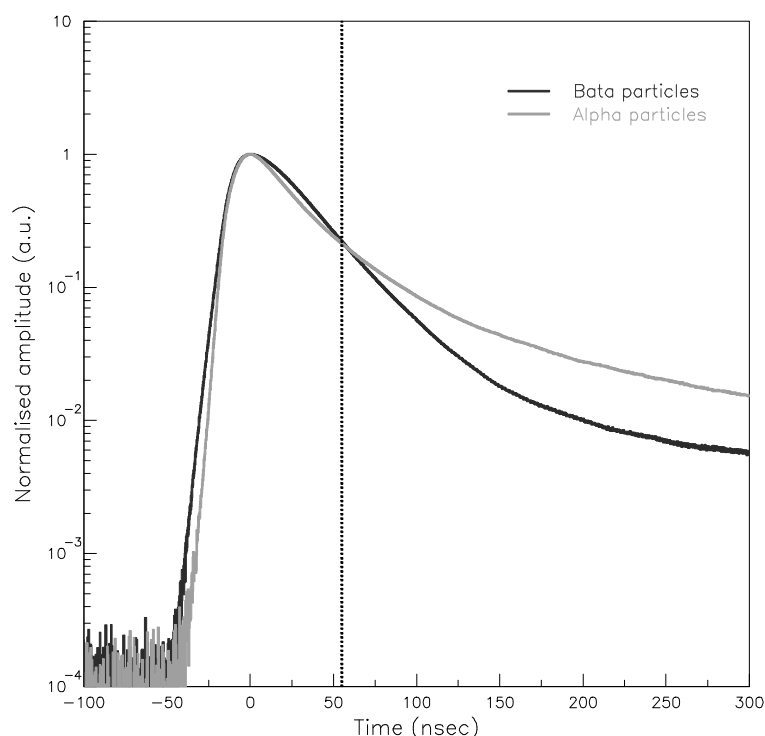


図 1 : ^{241}Am 線源からのアルファ線と ^{90}Sr 線源からのベータ線に対するポリエチレンナフタレートの応答。(参考文献：主な発表論文等〔雑誌論文〕) 両パルス間の形状差は、50nsec 領域に顕著となる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

†Hidehito Nakamura, and Kazuhiro Mori, Time response of poly (ethylene naphthalate) light emission to charged particles, *Physics Scripta*, in press (査読有)

†Hidehito Nakamura, Takashi Kamata, Nobuhiro Sato, and Kazuhiro Mori, Light emission from treated surfaces of poly (ethylene terephthalate), *Review of Scientific Instruments* 90, 063104 (2019) (査読有)

<http://dx.doi.org/10.1063/1.5091589>

〔学会発表〕(計 2 件)

†中村 秀仁、佐藤 信浩、山田 辰矢、牧 大介、金山 雅哉、白川 芳幸、高橋 千太郎、
“ポリエチレンテレフタレートのアルファ線に関する応答特性”、日本保健物理学会 第
50 回研究発表会、平成 29 年 6 月 28 日(水)、ホルトホール大分

†中村 秀仁、佐藤 信浩、牧 大介、白川 芳幸、高橋 千太郎、“形状可変なシンチレーシ
ョン物質に関する基礎研究”、日本原子力学会 2017 年秋の大会、平成 29 年 9 月 23 日(水)、
北海道大学

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

アウトリーチ活動

†中村 秀仁、「放射線物理学に関する材料科学の最前線」、京都大学サマースクール 2018
「暑い夏の1日、京大生になろう!」、平成30年8月18日(土) 京都大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

研究代表者氏名：中村 秀仁

ローマ字氏名：Nakamura Hidehito

所属研究機関名：京都大学

部局名：複合原子力科学研究所

職名：助教

研究者番号(8桁)：60443074

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。