

令和 6 年 9 月 6 日現在

機関番号：54301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03219

研究課題名（和文）小・中学校でも利用可能な放射線教育プラスチック検出器の開発と教育モデルの構築

研究課題名（英文）Development of the radiation education plastic detector for experiments in elementary and junior high schools and construction of the educational models

研究代表者

石川 一平（Ishikawa, Ippei）

舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：10511735

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：プラスチック検出器を用いた放射線教育方法は、劇物薬品を使うため小・中学校では、安全性の面で敬遠されている。本研究では、溶けやすさを調整することで危険性を低減させ、小・中学校でも利用可能な検出器の開発を目指した。製造後のプラスチックに紫外線を照射することで表面改質を行い、さらに、エッチング溶液にエタノールを添加することで、溶けやすくした。これにより、紫外線の非照射およびエタノールの非添加と比べて、約3.3倍の測定結果（エッチピット径）が得られ、実験時間の短縮やエッチング溶液の低濃度化により、危険性を低減することに成功した。また、発熱剤を利用するモデルや、劇物以外の薬品を利用するモデルを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究により、プラスチック検出器は線のエネルギー的性質や危険性を認識する教材としての効果があるとわかった。この放射線教育方法は高校、大学等の放射線教育の授業等で取り入れられてきているが、小・中学校では、安全性の面で敬遠されている。そこで、本研究では従来品よりも溶けやすいプラスチック検出器の開発を行い、実験時間の短縮や危険性の低減に成功した。また、発熱剤を利用することで直火を使用しないモデルや、劇物ではない薬品を利用するモデルを提案し、小・中学校でも利用可能であることを示した。危険性をゼロにはできていないが、本研究の成果は、今後の放射線教育分野および放射線測定分野への発展に期待できる。

研究成果の概要（英文）：Radiation education using plastic detectors has been discouraged in elementary and junior high schools due to safety issues caused by the use of deleterious chemicals. In this study, we aimed to develop a detector that can be used in elementary and junior high schools by reducing the hazard by adjusting the solubility. After manufacturing, the surface of the plastic was modified by irradiating it with ultraviolet light, and ethanol was added to the etching solution to make it easier to dissolve. As a result, the measurement result (etching pit diameter) was 3.3 times larger than that without UV irradiation or ethanol addition. We also proposed a model using a heat-generating agent and a non-deleterious chemical.

研究分野：応用物理

キーワード：放射線教育

### 1. 研究開始当初の背景

現在の放射線教育において主に利用されている実験教材は霧箱であるが、ドライアイス等の事前準備が必要である点や、可視化が不安定である等の欠点もある。また、GM計測管、半導体検出器等があるがこれらは数値のみでの測定となるため放射線の性質のイメージが難しいと考えられる。そのため本研究ではプラスチック教材を用いた放射線可視化による教育方法を提案しており、複雑な回路を要しないので構造が簡単であり取り扱いが容易、そして可視化原理が安定している特徴を持つ。プラスチック板を用いた放射線可視化の原理は、図1に示すように放射線が衝突した際の微小な傷を化学エッチング(化学薬品で溶かすこと)で拡大し、その損傷(エッチピット)を顕微鏡で観測するものである。

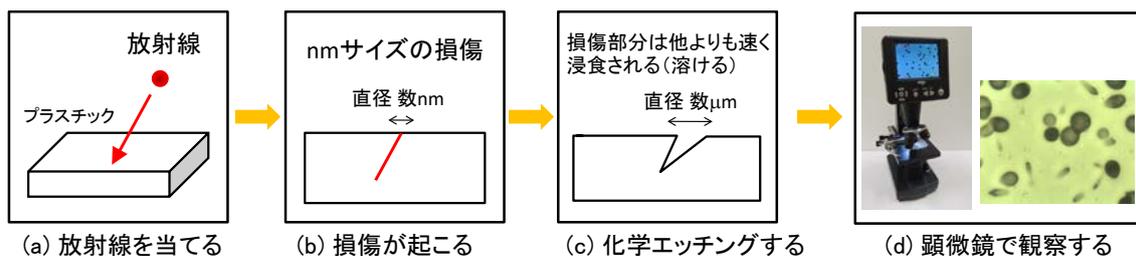


図1 プラスチック板を用いた放射線可視化の簡単な原理

実際にプラスチックを用いた教育方針は、 $\alpha$ 線のエネルギー的性質や危険性を認識する教材として効果があることが示されている。この提案するプラスチック検出器を用いた放射線教育方法は高校、大学等の放射線教育の授業等で取り入れられてきているが、小・中学校では、「劇物」である薬品を使うため安全性の面で敬遠されている。そこで、本研究では、溶けやすさを調整することで危険性を低減させ、小・中学校でも利用可能なプラスチック教材を開発する。

### 2. 研究の目的

図2に熱硬化型プラスチック製造の基本的な行程を示す。本研究で使用するプラスチック検出器は、PADC (Poly Allyl Diglycol Carbonate) をベースとしたものである。PADCはADCモノマーに重合開始剤となるIPP (Diisopropyl peroxydicarbonate) を混合し、加熱することで形成する熱硬化性樹脂である。本研究では、不純物の添加や熱硬化条件などを検討し、このプラスチックの溶けやすさを調整することで、危険性を低減させ、小・中学校でも利用可能なプラスチック教材を開発することを目的としている。また、教育モデルの構築を行うことで、小・中学校での利用普及を目指している。

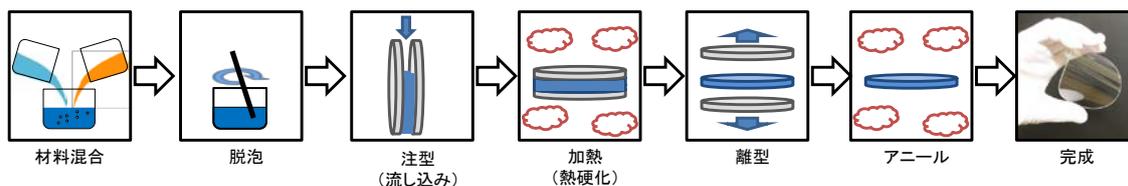


図2 熱硬化型プラスチック製造の基本的な行程

### 3. 研究の方法

本研究では、ADCモノマーと重合開始剤IPPの混合溶液に、重合禁止剤を微量添加することで、溶けやすさの調整を試みた。重合禁止剤は光や熱の影響によって重合を起こしやすい物質に添加することで、重合反応を阻害する試薬である。そのため、添加しないときと比較すると、結合が緩くなり、溶けやすくなることが期待される。

また、別の方法でも溶けやすさの調整を試みた。製造後のプラスチックに紫外線を照射することでプラスチックの表面改質を行い、溶けやすさの調整を試みた。さらに、エッチング溶液にエタノールを添加することで、より溶けやすくなることを期待できるため、その両方の工程を取り入れた実験を試みた。

また、最終年度では、様々なパターンを考慮した教育モデルの構築に取り組んだ。発熱剤を利用することで直火を使用しない実験モデルや、「劇物」でない低濃度の薬品を利用する実験モデル等を提案した。

#### 4. 研究成果

自作したプラスチックに、波長 253.7 nm の紫外線を 10 cm 程度の距離から照射し、0~15 h の範囲で 1 h ごとに照射を行った。溶けやすさの影響を比較するために、 $\alpha$ 線標準線源である  $^{241}\text{Am}$  から垂直に  $\alpha$ 線が入射するようにコリメータを用いた。そして、このプラスチックを濃度 30 wt% の NaOHaq に 1 wt% のエタノールを添加したエッチング溶液でホットマグネットスターラーを用いて化学エッチング処理を施した。

図 3 に、従来手法と本研究の成果の比較例を示す。図 3(a) は、従来の方法で作製した標準的なプラスチックに対して、NaOHaq 30wt% のエッチング溶液で 10 min エッチングした結果である。図 3(b) は、紫外線を 10 h 照射して表面改質したプラスチックで、かつ、NaOHaq 30wt% に 1 wt% のエタノールを添加したエッチング溶液で 10 min エッチングした結果である。これにより、同じエッチング時間において直径が約 3.3 倍になっているため、実験時間の短縮やエッチング溶液を低濃度にすることが可能であり、危険性を低減することができたといえる。一方で、今後の課題として、紫外線照射による表面改質を行った場合、試料毎に誤差を含んでいるため、その原因を調べることで、再現性の確認を行う必要がある。

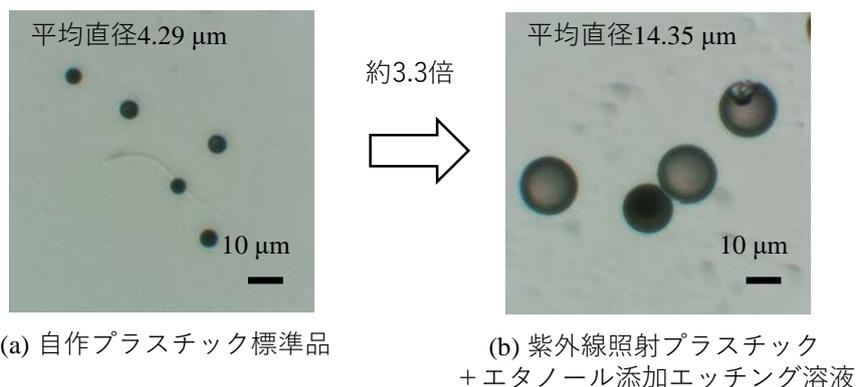


図 3 従来手法と本研究の成果の比較

上記の実験では、ホットマグネットスターラーを用いて 90 °C 一定に 10 min 保つ実験を行ったが、教育現場での利用では、機器の関係で同様の実験は難しい。このプラスチックを用いた教育方法の先行研究では、ガスコンロを用いて加熱する方法を提案しているが、本研究では、別の教育モデルの構築として、発熱剤を利用することで直火を使用しない実験モデルを提案した。図 4 に発熱剤を利用したエッチング方法で使用する機器を示す。株式会社協同の特許第 5648068 (発明の名称：発熱助剤、これを利用した発熱剤および加熱セット) を参考に、発熱剤として、粉末の生石灰と粉末のアルミニウムを使用し、発熱助剤は、炭酸ナトリウム水溶液を使用した。その発熱剤で NaOHaq 30 wt% のエッチング溶液を温める方法を検討した。エッチング溶液の高温状態を長時間維持するために、発泡スチロールの保温容器を使用した。発熱剤による保温容器の溶解を防ぐため保温容器底部に断熱材を設置し、上部に発熱剤を入れたステンレスバットを設置した。発熱剤を用いたエッチングを 30 分行ったところ、エッチピット径は平均 16 μm であった。よって十分にエッチピットが観測可能であることが確認された。しかし保温容器内部の蒸気がかなり高温であるため、取り出し時は十分に注意する必要がある。

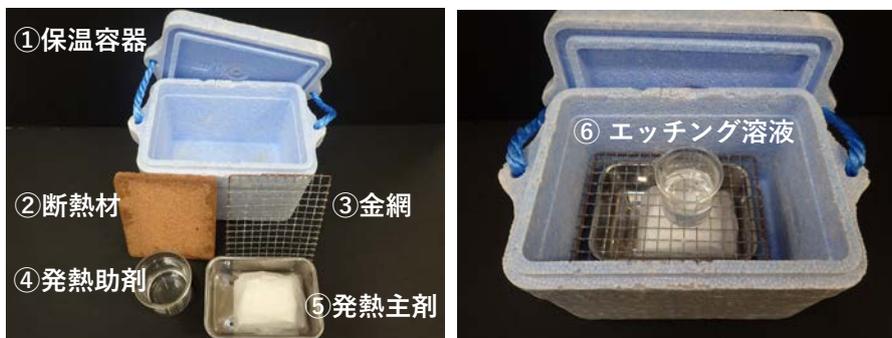


図 4 発熱剤を利用したエッチング方法

また、「劇物」でない NaOH 5 wt% 未満の水溶液を利用し、かつ常温でエッチングできないか検討した。しかし一般的な顕微鏡で観測可能な 10 μm までエッチピットを拡大するためには 10 週間程度の常温エッチングを行う必要があることがわかった。今後の課題として、さらに溶けやすいプラスチックを製造することで、実験時間を短縮することが望まれる。

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 1件）

1. 著者名 Ippei Ishikawa, Atsushi Kimoto, Shuji Kiyohara	4. 巻 16
2. 論文標題 Development of UV-Irradiated PADC and Improvement of Etching for Reducing Experimental Time	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma16155413	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 木本 敦, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 短時間で実験可能なPADCを用いた放射線教育手法の開発
3. 学会等名 第36回固体飛跡検出器研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 木本 敦, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 固体飛跡検出器のエッチング特性に関する研究
3. 学会等名 第29回日本高専学会年会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小山 征野, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 エッチング時間短縮を目的とした固体飛跡検出器の改質
3. 学会等名 第29回日本高専学会年会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市場 颯馬, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 不純物を添加したPADCの溶けやすさを与える影響の検証
3. 学会等名 第29回日本高専学会年会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsushi Kimoto, Ippei Ishikawa and Shuji Kiyohara
2. 発表標題 Verification of Experimental Time Reduction by Improving Etchant of PADC
3. 学会等名 The 1st KOSEN International Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木本 敦, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 小・中学生を対象とした放射線教育への PADC飛跡検出器の応用
3. 学会等名 第35回固体飛跡検出器研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木本 敦, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 固体飛跡検出器のエッチング液改良による実験時間短縮の検証
3. 学会等名 第28回日本高専学会年会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山 征野, 石川 一平, 清原 修二
2. 発表標題 エッチング時間改善を目指した紫外線照射済み固体飛跡検出器の開発
3. 学会等名 第28回日本高専学会年会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 大洋, 橋本 勇史, 林 勇利, 田中 俊裕, 宗 晃汰, 楠本 多聞, 金崎 真聡, 小 平 聡, 石川 一平, 山内 知也
2. 発表標題 重合度を調整した PADC 検出器の重イオンに対する評価分析
3. 学会等名 第34回固体飛跡検出器研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 大洋, 橋本 勇史, 林 勇利, 田中 俊裕, 宗 晃汰, 楠本 多聞, 金崎 真聡, 小平 聡, 石川 一平, 山内 知也
2. 発表標題 重合度を調整したPADC検出器の重イオンに対する感度評価 2
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 大洋, 橋本 勇史, 林 勇利, 田中俊裕, 宗晃汰, 楠本多聞, 金崎真聡, 小平聡, 石川一平, 山内知也
2. 発表標題 重合度を調整したPADC検出器の重イオンに対する感度評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	内海 淳志  (Utsumi Atsushi)  (30402663)	舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・教授    (54301)	

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