

令和 3 年 5 月 2 日現在

機関番号：54301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12938

研究課題名（和文）放射線教育プラスチック検出器のエッチング特性改善による危険性の低減

研究課題名（英文）Improving etching characteristics of plastic detectors for reduced experimental risk

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） 2,400,000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、実験時間の短縮や、実験時の危険性の低減が必要である。本研究では従来品よりも溶けやすいPADCをベースとしたプラスチック検出器の製造を行った。さらにプラスチックを溶かすためのエッチング液に、エタノールを添加する改良も行った。ある条件の下では、エタノールを3.0 wt%添加することで、添加しない場合の2.5倍、市販品と比較すれば7.5倍の測定結果（エッチピット径）が得られ、実験時間の短縮に成功した。また、エタノールを添加することによって、NaOH濃度を下げてもエッチピットを観測することができ、危険性の低減にも成功した。

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。しかしながら、この教育方法をより広く世間に普及させるためには、実験時間の短縮や、実験時の危険性の低減が必要であることがわかった。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。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 methods using plastic detectors need to shorten the experiment time and reduce the risk during the experiment. In this study, we manufactured a plastic detector based on PADC, which is easier to melt than conventional products. We also made improvements by adding ethanol to the etching solution for melting plastics. Under certain conditions, by adding 3.0 wt% of ethanol, the measurement result (etch pit diameter) was 2.5 times that of the case without the addition and 7.5 times that of the commercially available product, and the experiment time was successfully shortened. In addition, by adding ethanol, etch pits could be observed even if the NaOH concentration was lowered, and the risk was successfully reduced.

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

平成23年の福島第一原子力発電所での事故以降、放射線に対する世間の関心は増加した。また、平成24年から中学校新学習指導要領において「放射線」に関する内容が学習範囲となり、「放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる」といった内容が学習指導要領解説(理科編)で示された。しかし、放射線は約30年ぶりに再開された授業内容であり、ほとんどの中学教員は授業の経験がない。このため、教員は新たな教育内容を教えることに対し、不安や負担を覚えている。また、放射線教育の教材の不足という問題も指摘されている。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、シンチレーション式や半導体式等の線量計も利用されているが、放射線によって生じる現象を直接目視することはできないため、放射線の性質をイメージしにくいと思われる。そこで、それら以外の実験教材を充実させることで、異なった視点からの教育が可能となり、学習範囲を増やすことができると考え、本研究者は α 線の飛跡を可視化するプラスチック検出器を用いた教育方法を提案した。そして、放射線飛跡を可視化するプラスチック検出器を用いて、出前授業および一般向けの公開講座を行い、教育効果について実践評価を行った¹⁾。展示会等でエッチング済みの試料を見せるだけでも霧箱と同等の興味を与えることができたことから、十分に放射線教育コンテンツとして成立すると考えられる。プラスチック検出器は α 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。しかしながら、この教育方法をより広く世間に普及させるためには、実験時間の短縮や、実験時の危険性の低減が必要であることがわかった。そこで、本研究では従来品よりも溶けやすい放射線教育向けのプラスチック検出器の開発を行うことにした。

2. 研究の目的

プラスチック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。

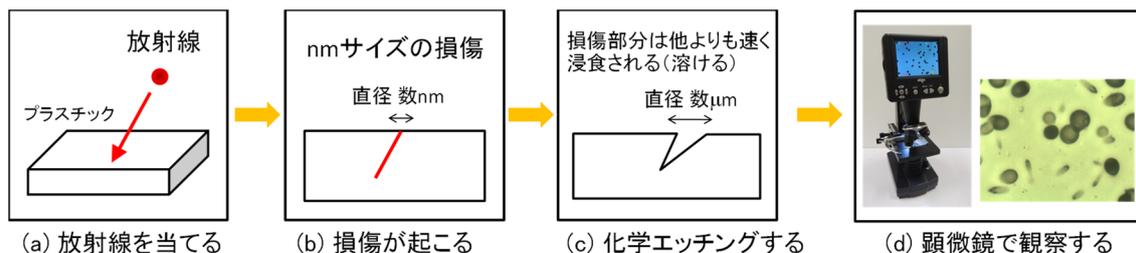


図1 プラスチック板を用いた放射線可視化の簡単な原理

このように、プラスチックを用いた放射線の可視化方法には、化学エッチング(プラスチックを溶かす作業)が必要である。化学エッチングには水酸化ナトリウム(NaOH)や水酸化カリウム(KOH)のような強アルカリ性の水溶液を用いるが、これらは「毒物及び劇物取締法」にて劇物に指定されているため、教育利用を考えた場合には取り扱いに注意が必要である。よって、従来よりもアルカリ濃度の低い化学薬品でも溶かすことが可能になれば、より安全に実験が可能となる。本研究の目的は、プラスチック検出器のエッチング特性を改善することで、実験時の危険性を低減させることである。

3. 研究の方法

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。よって、その基本的な製造工程は、大きく分けると材料混合と熱硬化に分けられる。プラスチック検出器の基本的な製造行程を図2に示す。本研究では、材料混合時の配合比率、熱硬化条件などを検討し、溶けやすいプラスチックの開発を目指した。また、プラスチックだけでなく、化学エッチング液も改良することで、危険性の低減も可能だと考え、研究を行った。

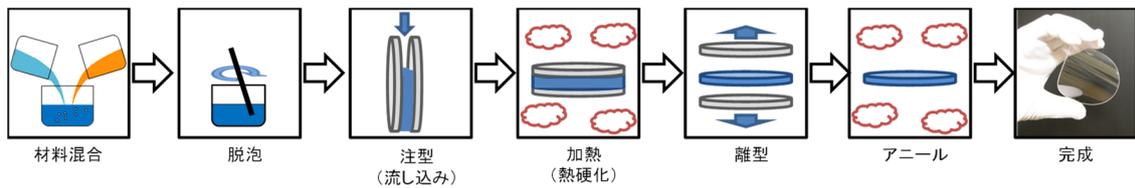


図2 プラスチック検出器の基本的な製造行程

なお、本実験において放射線の照射のために用いた放射線源は ^{241}Am である。まず PADC を 10 mm 角にダイヤモンドカッターで切断した。この 10 mm 角の PADC に垂直に放射線が当たるようにコリメータを設置し、真空状態のなかで PADC に放射線を照射した。垂直に入射したエッチピットの直径を比較することで、溶けやすさの判定を行った。

4. 研究成果

溶けやすさを調整した自作プラスチック検出器に放射線を照射し、化学エッチングを行った。エッチング液は、30 wt%の NaOH にエタノールを数 wt%添加した水溶液を用いた。エッチング温度は、ホットスターラーを用いて 70 °C一定に保った。エタノール添加量を変化させた場合のエッチピットの変化を図3に示す。エッチング液のエタノールの添加量を増やしていくと、徐々に同じエッチング時間におけるエッチピットの直径が拡大化していることがわかる。そして、エッチピットの直径はエタノール添加量 3.0 wt%において最も拡大化された。しかし、これ以上、エタノールの添加量を増やすとエッチピットの輪郭がぼやけてしまった。よって、エタノールの添加量は 3.0 wt%程度が最もエッチング効率が良く、エッチピットのぼやけも現れない。結論として、水酸化ナトリウム 30 wt%，エタノール 3.0 wt%程度，水 67.0 wt%のエッチング溶液が最も溶けやすいエッチング溶液であるといえる。

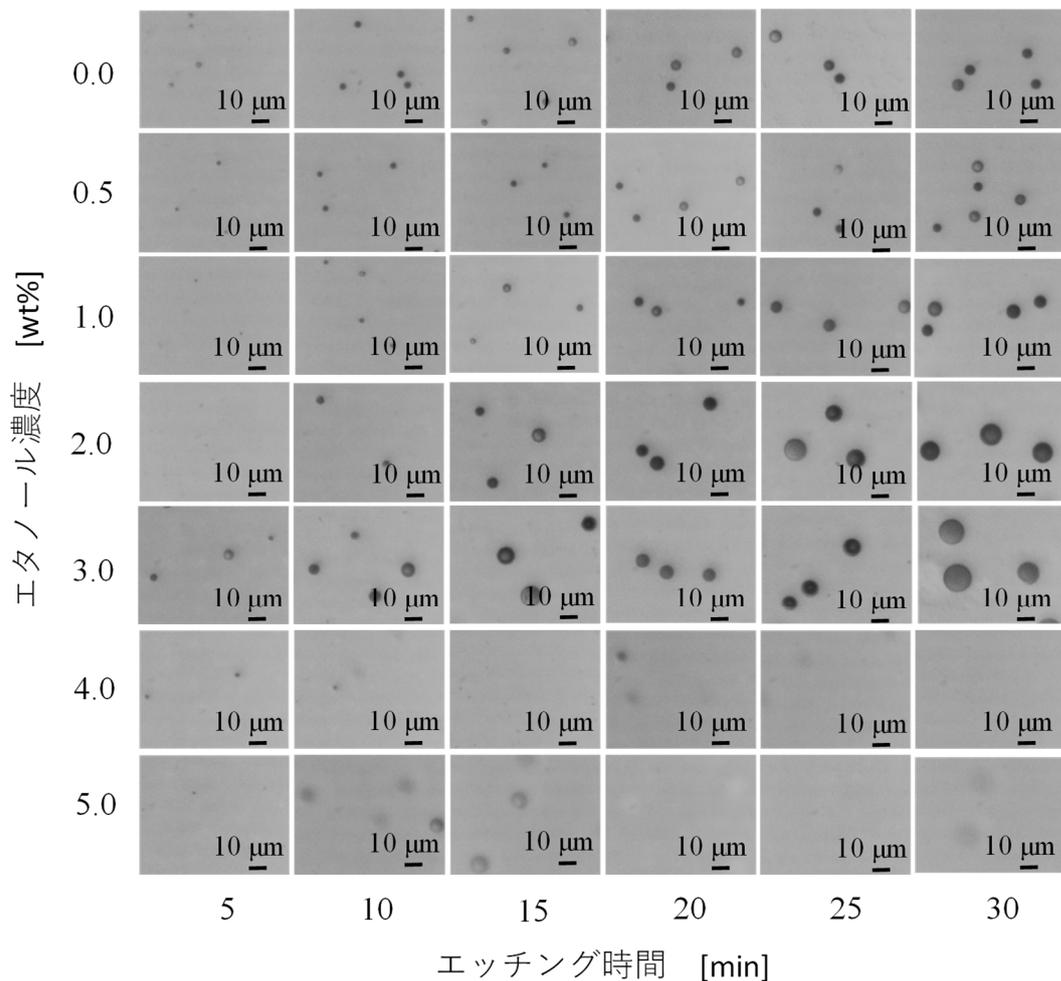


図3 エタノール添加によるエッチピットの変化 (エッチング温度 70 °C一定)

図4に、エタノールを添加しなかったエッチング溶液、最もエッチピットの拡大がみられたエタノール3.0 wt%, 市販品のPADCを用いた場合の比較結果を示す。なお、エッチング条件は先ほどと同じであり、エッチング温度は、ホットスターラーを用いて70℃一定に保ったものである。この結果からもわかるように、市販品よりも自作のPADCの方が、エッチピット径が大きくなっており、溶けやすくなっている。また、エタノールを添加すると、さらに溶けやすくなっていることがわかる。

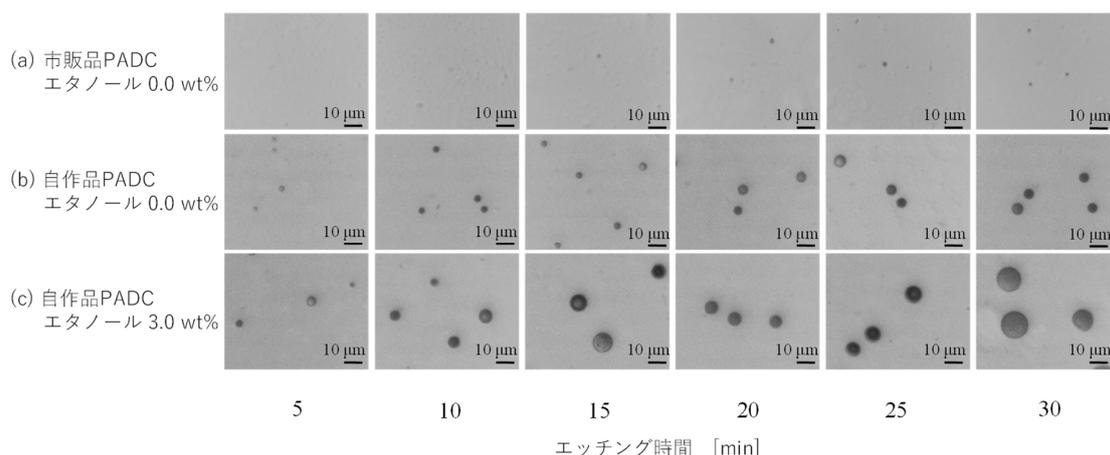


図4 市販品と自作品のエタノール添加有無によるエッチピットの変化

図4の結果を、グラフで示したものが図5である。市販品と自作品のPADCにおけるエタノールを添加しない場合と自作品のエタノールを添加した場合のエッチピットの直径を8点以上測定しグラフにて示したものである。エタノールを添加しない場合において、市販品と自作品の比較を行うと、エッチング時間30分における市販品は1.66 μm 自作品のエッチピットの直径は約3.6倍(6.14 μm)となっており、溶けやすいPADCが製造できているといえる。エタノールを添加した場合と比較すると、エッチング時間30分では自作品(エタノールなし)の2.5倍、市販品の7.5倍の14.36 μmであり、エタノールを添加することの効果が見られる。本研究では、理科実験で用いられる一般的な顕微鏡で測定可能なエッチピット直径を10 μmとしている。よって、エッチング温度が70℃の場合、一般的な顕微鏡で測定可能なのは、自作品PADCにエタノールを3.0 wt%添加し、エッチング時間25分以上であることがわかった。

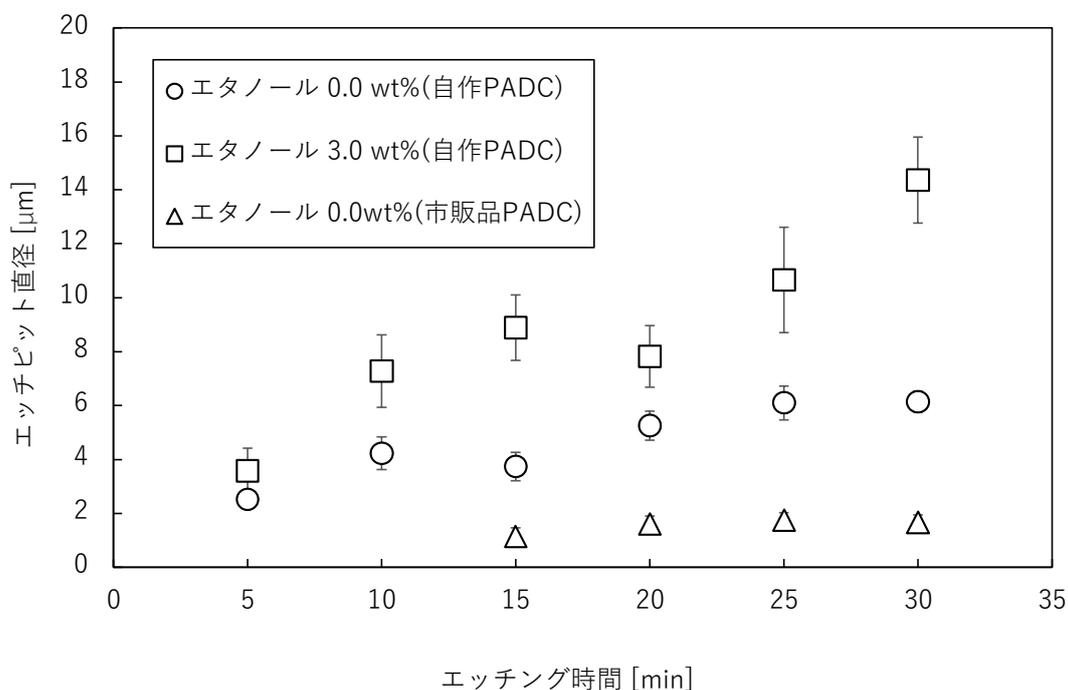


図5 エタノール添加によるエッチピットの直径の変化 (エッチピット8個以上での平均)

以上により、30 wt%のNaOH水溶液にエタノールを3.0 wt%添加することで、エッチピットの拡大化が可能であることがわかった。そこで、エタノールを3.0 wt%添加すれば、NaOHの濃度を下げることが可能なのか実験を行った。エッチング温度は、ホットスターラーを用いて95℃一定に保った。NaOHの濃度を变化させた場合のエッチピットの変化を図6に示す。左縦軸をNaOHの濃度[wt%]、右縦軸をエタノールの添加量[wt%]、横軸をエッチング時間[min]としている。図6中の一番上の行が基準となる、NaOH 30 wt%、エタノール0.0 wt%の濃度のエッチング水溶液である。NaOH 15 wt%、エタノール3.0 wt%とすると、エッチピット径は少し小さくなっている。NaOH 5.0 wt%の濃度では、エッチピットが非常に小さくなり観測が困難となった。NaOH 7.5 wt%の濃度の場合、エッチング時間60分で10 μmとなり、NaOH 10.0 wt%の濃度ではエッチング時間40分で10 μm以上となった。そのため、エッチング時間が必要であるが、NaOHの濃度を削減することが可能であり、危険性の低減につながっている。本研究の目的である、プラスチック検出器のエッチング特性を改善することで、実験時の危険性を低減させることは概ね達成できたと考えられる。

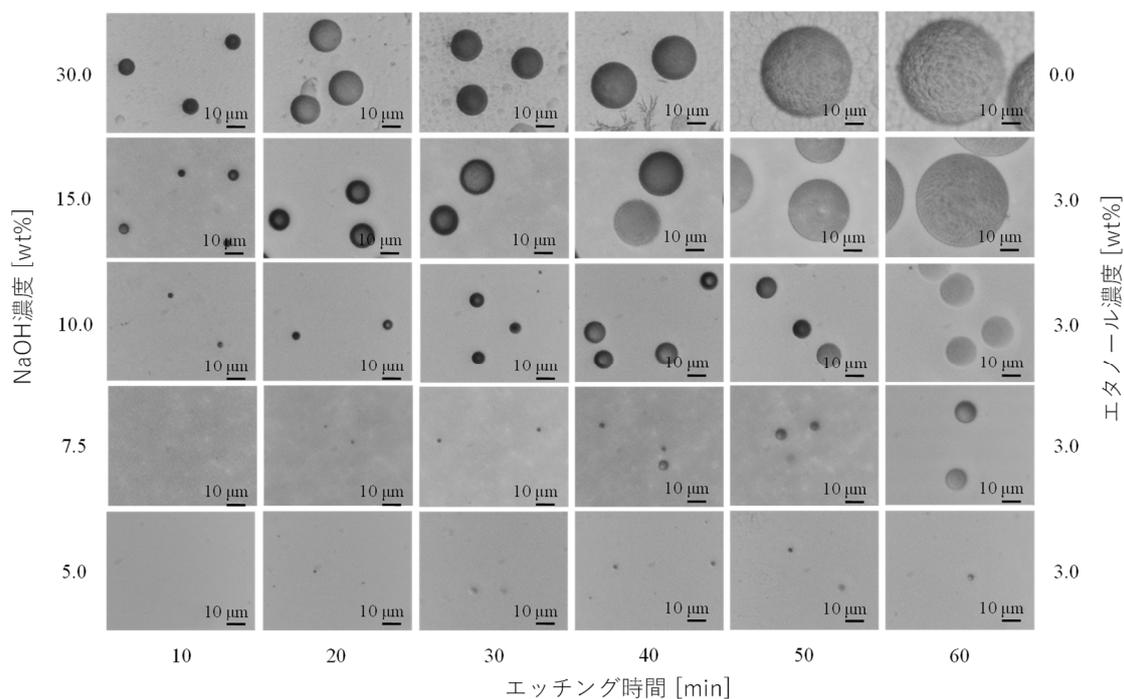


図6 NaOHの濃度低減によるエッチピット変化

引用文献

- 1) 石川一平, 清原修二, “放射線飛跡を可視化するプラスチック教材を用いた教育方法の実践”, 応用物理教育, Vol. 40, No. 2, pp. 101-106, (2016).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石川一平, 清原修二
2. 発表標題 放射線教育のためのプラスチック検出器のエッチング速度改善
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤大洋, 石川一平, 清原修二
2. 発表標題 危険性の低減を目指した固体飛跡検出器のエッチング特性の改善
3. 学会等名 第3ブロック専攻科研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川一平, 清原修二
2. 発表標題 PADC固体飛跡検出器の製造工程変更による形質改良の試み
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 石川一平, 植田涼介, 清原修二
2. 発表標題 放射線教育プラスチック検出器のエッチング特性改善の試み
3. 学会等名 第23回高専シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤大洋, 石川一平, 清原修二
2. 発表標題 放射線教育プラスチック検出器のエッチング液の改良による危険性の低減
3. 学会等名 日本高専学会第26回年会
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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