

平成 30 年 5 月 19 日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00968

研究課題名(和文) 教職を目指す大学生向け、放射線教育用実習教材の開発

研究課題名(英文) Development of teaching material of radiation training for university students

研究代表者

古田 悦子 (Furuta, Etsuko)

お茶の水女子大学・基幹研究院・講師

研究者番号：40422563

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：教職に携わる予定の大学生のための「放射線教育教材」を開発した。その結果、一般向け「教材」とは異なり、専門的、かつ、正しい知識を得るためのポイントを押さえた「教材」が作成できた。具体的には、ベータ線のみを放出する放射性物質の測定を学ぶための「ベータ線スペクトロメータ」を作成し、その最大エネルギーを求める手法を示した。放射性物質が使用可能な場合の「教材」として、放射性廃棄物が殆ど出ない実験方法であって放射線の画像化と放射エネルギーの関係性を求める方法を確立した。自然環境中にある気体状放射性物質の捕集、測定法を確立した。3年間で、ガンマ線、3種類の電子線(ベータ線)の違いを実測できる教材を作成した。

研究成果の概要(英文)：Radiation training materials for university students, who will be teachers at high schools or junior high schools, were successfully developed. They were not general materials, but specialized for university teaching with high level which were difficult to understand without radiation training materials.

The first main material was a prototype beta-ray spectrometer for to learn how to measure pure beta-emitters. The spectrometer showed the maximum beta-ray energies of beta-emitters. The second main material showed relationships between activities and counts of unsealed radioactivities, which needed special facilities to use radioactive materials. The method is so-called a tracer experiment; however there was difference from the general method. Normal methods generate automatically radioactive waste; however, in this case, there were no radioactive wastes. Additionally, the third development was to measure gas phase's radioactive materials which exist naturally in our environment.

研究分野：放射線教育教材の開発につながる放射線計測法

キーワード：放射線教育 ベータ線スペクトロメータ ベータ線核種同定 内部転換電子 放射性廃棄物 プラスチックシンチレータ

### 1. 研究開始当初の背景

2011年に起きた「原子力発電所の事故」に際し、一般の人々の間に「原子力・放射線」への不信感と不安が広まった。この要因は、子供のころから、「放射線に関する講義」を受けてこなかったこと、すなわち、原子力発電のメカニズムも、飛散した放射性物質による放射線影響(被ばく)を全く理解できなかったことによる。この事故対応として、文部科学省は「放射線副読本」を作成し、併せて教える側の教師用の説明書も作成した。しかし、これらだけでは、教育を受けてこなかった教師が、正確に教えることは難しかった。

事故と同時期に、長年の関係者の尽力により、中学校などで正規の授業内で「放射線の基礎」の講義がスタートする運びとなった。しかしここでも、教育を受けてこなかった教師が教えることが難しいという、現実があった。そのため、分かり易い、教材の開発が求められていた。

これまでに、多くの研究者が、「子供たち」が理解しやすい教材の開発を目指してきた。勿論これ自体も大切ではあるが、教える側の「教師」が放射線の本質を理解した上で、正しく教えることが可能な教材かという点、そうではなかったのである。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、教師を目指す大学生が、正しく「放射線」を理解するための「教材」を作成することにある。このため、理解しにくい「放射線の種類による違い」を、直接見て分かる形にできることを目指した。ただし、受講生である大学生が被ばくすることなく学べることを重視して、「天然の放射性物質を放射線源とする」、また、経済性を考慮して、「過度に高額な機器にならないようにする」、などの制約を設けた。一方で、大学等には「放射線施設」が存在する機会が多いことを考慮して、天然放射性物質だけではなく、「放射性同位体」を用いる手法も考え、より一層専門的な知識が身につけることができることを目指した。さらに、当初の目的には設定してなかったが、本研究を進める過程で必要となったため、実際の大学生の実習に用いることが可能な、安価に供給可能な放射線検出のための新素材の開発も目的とした。

### 3. 研究の方法

理解しやすいように、直接見える形にするために、以下の4通りの方法を試みた。

- ① MPPC モジュールキットを用いた、放射線の画像化
- ② ベータ線スペクトロメータを作成し、ベータ線の最大エネルギーの見方、考え方、ス

### ペクトルの取得と核種同定方法の確認

- ③ 放射線施設が使用可能な場合の、高度な放射線利用による、画像と放射線量の関係性の求め方
- ④ 別途、放射線検出が可能な新素材を、企業と共同開発した。(企業のみの特許)

### 4. 研究成果

① 新素材であり、画像化に適していると考えられた MPPC モジュールキットは、電源の組み立てなどを行った(図1)が(後に、電気回路として正しいことは、専門家に確認してもらったが)、結局、天然放射性物質からの放射線を検出することは出来なかった。この線源は、市販の放射線検出器(ガイガー・ミュラー計数管)で充分検出できるものであることに対し、MPPC は感度が極めて低く、教育のための短時間の実習での画像化に使用することは不可能であるとの結論に達した。



図1 MPPCに発光体と線源を置いた測定装置例

② 市販されていない「ベータ線スペクトロメータ」を試作した。これは、プラグインタイプの光電子増倍管+多重波高分析装置(PMT+MCA)を用い、ヘッド部には、24mm厚のプラスチックシンチレータ(以下、PSと呼ぶ)を用いた。この試作器および各種チェックソースを用いることにより、純ベータ線放出核種のキャリブレーションカーブが作成できた。装置検出部の写真と得られたキャリブレーションカーブを下図2,3に示す。

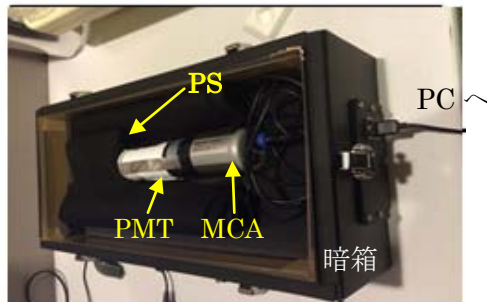


図2 暗箱内に設置した検出部  
PCに接続し、計数とスペクトルの測定を行う

この試作器を用い、ベータ線の発光原理、ベータ線の最大エネルギー、ガンマ線、ベータ

マイナス線と内部転換電子の違いが、目で見て確認できた。また、実際に未知試料であった、アンティーク時計に使用されていた核種を特定できた。なお、無機シンチレータも使用してみたが、PS に比べて性能が劣ることが分かった。

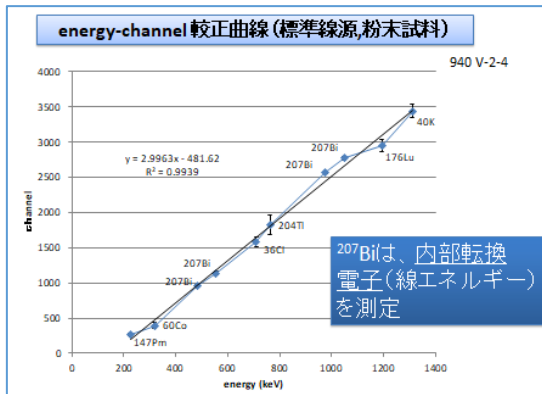


図3 ベータ線スペクトロメータを用いて得られたキャリブレーションカーブ

③ 放射線施設を用い、非密封の放射性同位元素  $^{32}\text{P}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{45}\text{Ca}$  の各々の IP を用いた放射線画像を取得後 (図 4;  $^{32}\text{P}$  の一例)、PS を使用して放射線計数を測定し、相関を求めた。図 5 に示す通り、良い相関関係を示す場合と、そうでない場合があることが示され、放射線のエネルギーによる画像化と放射線の透過力の違いが学習できることが分かった。なお、従来の手法との違いは、試料の溶解の必要がなく、かつ、放射性の有機廃液が発生することなく、計数の計測が可能であった。

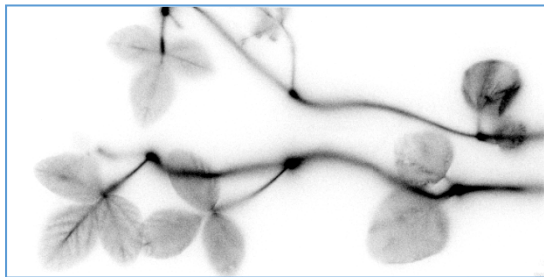


図4  $^{32}\text{P}$  の植物体内分布例  
色の濃い部分が、放射能濃度が高い

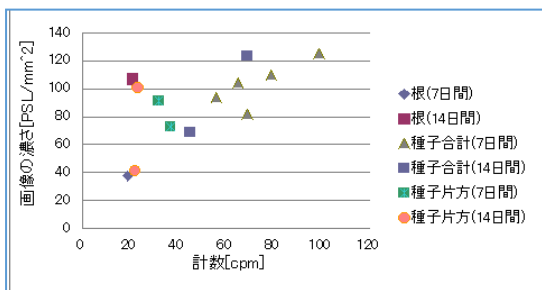


図5  $^{22}\text{Na}$  の PSL 値 (IP) と計数の相関図  
植物体の厚さにより、相関が得られない場合があることがわかる

さらに、ベータマイナス線 ( $^{32}\text{P}$ ) とベータプラス線 ( $^{22}\text{Na}$ ) の放射能と励起光の感度の極端な相違も、実測でき、メカニズムの違い

が良く理解できた。

④ 上記②、③の研究は共に、外国産の PS を輸入して用いた。しかし、発注から受け取りまで数か月を要し、さらに、輸送費を含むため、相当に高価なものとなり、大学等における実習向きではなかった。国産が必要と考え、プラスチックメーカーの協力を仰ぎ、感度等の研究を担当する共同研究を行った。その結果、図 6 に示す通り、従来品より感度の良い PS が国内生産できる体制となった。

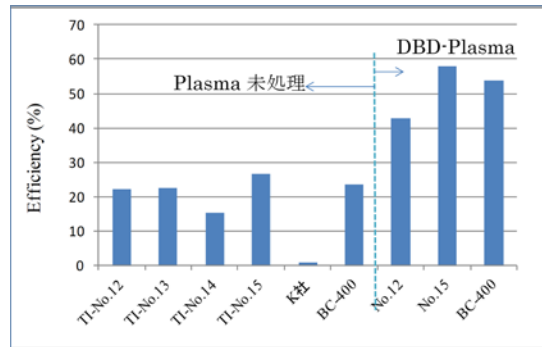


図6 開発途中 PS と最終 No. 15 の感度比較

図 6 は、PS をシート状とした際の、不揮発性のトリチウム化合物の測定例であり、輸入品 (BC-400、汎用型) や、他の国産品 (K 社) に比べ、表面親水化処理を行った場合高感度が得られた。親水化処理は、DBD プラズマやフッ素加工など、カルボニル基が増す機構であればいずれでも良く、再現性にも優れている。実際の PS の形状例を図 7 に示した。



図7 新開発プラスチックシンチレータ  
シート状 (不揮発性化合物に最適) と 3mm のペレット状 (揮発性化合物に最適) の例

図 7 左のシートは、放射線測定用の液体シンチレーションカウンター用バイアルに入れた例であり、ブラックライトを照射している。本 PS の使用により、放射性の廃棄物が発生することなくベータ線の測定が可能となったことも、画期的なことである。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (査読あり計 4 件)

### 1. Measurement of tritium with plastic

scintillators in large vials of a low background liquid scintillation counter -an organic waste-less method: Etsuko Furuta, Yuka Kato and Shinji Fujisawa, *J Radioanal Nucl Chem*, 314(2), 701-708, 2017,11

2. A New Tritiated Water Measurement Method with Plastic Scintillator Pellets : Etsuko Furuta, Noriko Iwasaki, Yuka Kato and Yusuke Tomozoe *Isotopes in Environmental & Health Studies*, 52(4), 560-566, 2016.1

[学会発表] (口頭発表 : 計 22 件、ポスター : 5 件)

1. Etsuko Furuta, Radon measurement with activated charcoal and plastic scintillators using a conventional LSC without organic liquid waste. IGRS-2018(6th International Geo-hazards Research Symposium 9th Dresden Symposium) March 04 -09, 2018 , Dresden ( Germany),
2. Etsuko Furuta, Measurement of tritium with plastic scintillators in large vials of a low background LSC -an organic waste-less method-. LSC-2017(An International Conference on advances in Liquid Scintillation Spectrometry) Copenhagen (Denmark), 4 May 2017
3. Etsuko Furuta, A plastic scintillation counter prototype for tritiated water vapor measurement. LSC-2017, Copenhagen, Denmark, 2 May 2017
4. Etsuko furuta, An apparatus for measurement of tritium in expiration with plastic scintillator. LSC-2017, Copenhagen, Denmark, 5 May 2017
5. Yuka Kato and Etsuko Furuta, New calibration method for liquid scintillation counter using plastic scintillator LSC-2017, Copenhagen, Denmark, 2 May 2017
6. Etsuko Furuta, A new fluorescence detection method with plastic scintillators using a conventional LSC -Organic waste less method. Poster presentation. IAEA CN-249(International Conference on Applications of Radiation Science and Technology), Vienna, Austria, 24 to 28 April 2016.
7. Etsuko Furuta, DBD plasma treatment for

radiation measurement with high sensitivity. 2<sup>nd</sup> CCCST (Caparica Christmas Conference on Sample Treatment), 6 December, 2016, Lisbon, Portugal

8. Etsuko Furuta and Keiji Kusama, Beta-ray spectrometry for radiation education. NRC9 (Ninth International Conference on Nuclear and Radiochemistry), 29 August - 2 September, 2016, Helsinki, Finland
9. Etsuko Furuta, Beta emitters measurement with plastic scintillator without organic waste. ISECM6 (International Symposium on Energy Challenges & Mechanics), 15-18 August, 2016, Inverness, UK
10. Etsuko Furuta, Tritium measurement with organic waste-less method. Tritium 2016, 18-22 April 2016, Charleston, SC, USA
11. 古田悦子, 「ベータ線スペクトロメータ: アンティーク時計への応用」 5a-S43-9, 応用物理学会 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、平成 29 年 9 月 5 日、福岡、福岡国際会議場、福岡サンパレス
12. 古田悦子, 「プラスチックシンチレータを用いたトリチウム測定とプラズマ効果」 E1-2, 日本放射線安全管理学会 第 16 回学術大会、平成 29 年 6 月 29 日、大分、ホルトホール大分
13. 泉水征昭、古田悦子, 「汎用プラスチックによるプラスチックシンチレータの性能比較と測定方法」 P-8, 日本放射線安全管理学会 第 16 回学術大会、平成 29 年 6 月 30 日、大分、ホルトホール大分
14. 星野萌生、古田悦子, 「ベータ線エネルギー校正」 1B2-3 日本放射線安全管理学会 第 15 回学術大会、平成 28 年 11 月 30-12 月 2 日、岡山、岡山大学
15. 古田悦子, 「ベータ線スペクトロメトリ」 2A07, 第 60 回放射化学討論会 平成 28 年 9 月 10-12 日、新潟、新潟大学
16. 古田悦子, 「プラスチックシンチレーションカウンター試作器」 応用物理学会 第 63 回応用物理学会春季学術講演会、平成 28 年 3 月 21 日、東工大、21a-W810-8

17. 古田悦子、「プラスチックシンチレータを用いた遊離性表面汚染検査器具」5A-1、日本保健物理学会第49回研究発表会、平成28年6月30日-7月1日、弘前、弘前文化ホール
18. 岩崎紀子、古田悦子、「プラスチックシンチレーションカウンターによるトリチウム水測定」1B2-1、日本放射線安全管理学会第14回学術大会、平成27年12月2-4日、つくば、筑波大学
19. 古田悦子、「低BG液シンチレーションカウンターによるトリチウム測定」1B2-2、日本放射線安全管理学会第14回学術大会、平成27年12月2-4日、つくば、筑波大学
20. 古田悦子、「プラスチックシンチレーションカウンター試作器-不揮発性化合物測定」P06、日本放射線安全管理学会第14回学術大会、平成27年12月2-4日、つくば、筑波大学
21. 加藤結花、古田悦子、「液体シンチレーションカウンタを用いたプラスチックシンチレータ計測の消光作用」P10、日本放射線安全管理学会第14回学術大会、平成27年12月2-4日、つくば、筑波大学
22. 古田悦子、「放射性有機廃液の発生を抑えたLSC測定技術」3B04第59回放射化学討論会、平成27年9月25-27日、仙台、東北大学
23. 古田悦子、「固体シンチレータを用いた高効率低エネルギーベータ線測定」15p-2w-17、第76回応用物理学会、平成27年9月13-16日、名古屋、国際会議場

〔図書〕(計 2件)

1. 古田悦子、幻冬舎ルネッサンス、「20XX年放射能問題」2018年、175ページ
2. Etsuko Furuta, NOVA, Tritium, Advances in Research and Applications. Chapter 1, pp 1-32

〔関連した産業財産権(特許権)〕(出願状況計6件、取得状況計4件)

1. トリチウム放射線測定装置及び方法、被検者のトリチウムによる放射線の計測方法、及び一対の呼気バッグとトリチウム捕集装置、発明者：伊藤剛士、川

- 上智彦、加藤剣一、今成慶、古田悦子、権利者：(株)化研、お茶の水女子大学、(国内特許)特許第6244489号、出願平成29年2月21日、登録日平成29年11月17日
2. 放射線測定方法及び装置、発明者：古田悦子、加藤結花、権利者：(株)日立、お茶の水女子大学、(国内特許)特許第5904511号、出願平成26年7月23日、登録日平成28年3月25日
3. (国際特許)Plastic Scintillator, Sample for Scintillation Measurement, Method for manufacturing plastic Scintillator, and Scintillation Detector, Etsuko Furuta, Ochanomizu University, EP2930538, 26.04.2017(Last updated)
4. (国際特許)Radiation Measurement Method and Device, Etsuko Furuta and Yuka Kato, Ochanomizu University and Hitachi, US14A007 (23.01.2017)

〔その他〕(計 4件)

1. 化学工業日報、2017.3.9「シート状蛍光材料開発」
  2. 古田悦子、「β線測定用蛍光素材の開発」Isotope News 利用技術 2018.2月号
  3. 古田悦子、「プラスチックシンチレータを用いたベータ線測定法、基礎と応用例」FB news 2017.7月号
  4. 古田悦子、「ライフサイエンス研究に於ける放射性有機廃液ゼロのトレーサー実験法」月刊誌「化学工業」2016.7月号、67(7) 21-28
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
古田悦子 (FURUTA, Etsuko)  
お茶の水女子大学・基幹研究院・講師  
研究者番号：40422563
  - (2)研究協力者  
草間 経二 (KUSAMA, Keiji)  
日本アイソトープ協会