

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：32677

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02991

研究課題名(和文)核医学用Ge/Gaジェネレーターの科学教育への新展開-高校・大学教養・市民教育へ

研究課題名(英文) New application of Ge/Ga generator of nuclear medicine for science education: to students in high schools, undergraduate courses for university students, general public

研究代表者

薬袋 佳孝 (Minai, Yoshitaka)

武蔵大学・人文学部・教授

研究者番号：10157563

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：加速器で製造されるGe-68から生成するGa-68は、法令で定める数量以下ならば、高校などの教室やフィールドで使用できる。まず、核医学用Ge-68/Ga-68ジェネレーターで使われる酸化スズ(IV)カラムを元に、教育現場の利用に特化した簡便な分離カラムを開発した。続いて、実験による環境学習での利用の可能性に着目し、独立したモジュールの組み合わせで構成される総合的な学習プログラムを開発した。土壌や水に含まれるフミン酸とGa-68の環境での相互作用に着目し、フミン酸自体の環境挙動、Gaが属する13族や3族の金属元素の環境挙動を、実験を通して学習出来る体系を整えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核化学や核医学などの先端的な学術分野で利用されている技術を、文系の大学教育や高校教育、一般市民へのリテラシー教育など、科学教育の様々な側面に活用するための開発研究を展開した。得られた成果の学術的意義としては、科学の最前線の研究の構成要素を適切に分析・展開・編集することで、教育の対象に応じた様々な科学教育プログラムを構成し得ることを実証し、それに合致したハードとソフトを開発したことである。社会的意義について見ると、総合的な環境教育についての実験学習、放射線リテラシーについての体験学習などの社会的なデマンドに直結した分野に、新しい発展的なプログラムを提供した点が特筆される。

研究成果の概要(英文)：Gallium-68 is generated via decay of Ge-68, which is produced by a use of an accelerator. Each radionuclide under particular level is allowed to be used even at an ordinary classroom in a high school or at an outfield.

Firstly, a separation column of stannic oxide for education purpose was developed. Consequently, development of education programs using the column system prepared in this research project was challenged. Science education about environmental affairs was chosen as the area targeted. The education program was planned to be composed of several modules; each module is a small package of scientific experiments. Interaction of Ga-68 and humus in the environment was the primary goal of this research program.

A series of experimental modules on environmental behavior of humus and Ga(III) would provide a great opportunity for understanding phenomena in our environment.

研究分野：放射化学

キーワード：化学教育 放射線教育 環境教育 サイエンスリテラシー 低レベル放射能 微弱放射線

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 自然科学の基盤としての原子核の科学と放射能

放射能の科学は現代科学の基盤となる学術体系である。ベクレルによる放射能の発見、キュリー夫妻によるラジウム、ポロニウムの発見は、現代物理学、現代化学の確立に直結した科学的業績である。19世紀末のこれらの発見は厳密な実験に基づいており、近現代の自然科学の基本的な方法論である「実験」の重要性を如実に示すものであった。また、その後の原子核概念の確立を経て、放射能の科学は原子核の科学へと発展し、自然科学全体の基盤となっている。

(2) 実験をベースとした体験学習

原子核の科学に基づいての自然理解を文系の大学生、高校生、一般社会人に求めるのは現実的には困難である。この原因の一つは、原子核に関わる現象についての体験が生活の場でも学校教育の場でも不足しているためである。その一方では、加速器などで製造された人工放射能は医療や基礎科学の諸分野で活発に利用されている。その中には、本研究でとり上げた Ge-68/Ga-68 ジェネレーターのように、短半減期で化学的にも取り扱いが容易な核種が知られている。しかし、取り扱うには特別な施設が必要であり、科学教育の現場での使用は困難であった。

(3) 低レベル放射能の教育利用についての周辺環境

平成 17 年度放射線障害防止法改正は、主に国際基準の変化に伴う法改正であったが、科学教育の分野での人工放射能の利用に新たな可能性を拓いた。一定量以下の放射性核種については、放射性物質を扱うための特別な施設を必要とせず、一般の実験室はもとより野外での利用もみとめられた。これにより、科学教育の場での人工放射性核種の利用の可能性はより現実的なものとなった。アクティブ・ラーニングなどの手法と結びつけることで、発展の可能性に満ちた実験プログラム開発が可能となった。

2. 研究の目的

(1) 目的

核医学の分野で強いニーズがあり、科学教育に向けた核的性質を持つ Ge-68/Ga-68 ジェネレーターに着目し、20 世紀以降の物理学や化学の変革を導いた要因としての放射能や放射線に関する科学教育の場での利用の可能性を開拓、探求することを目的に設定した。

実験をベースとした従来の放射線教育プログラムでは、大学教養課程の学生や一般市民は必ずしも対象とはされて来なかった。本研究では、むしろこちらを対象の中心に据えて、実験ベースの科学リテラシー教育を展開する点に重点を置くこととした。

本研究の準備段階で開発した科学教育プログラムのプロトタイプは、放射線教育に新たな視点をもたらした[1-3]。しかし、本研究では、物質科学に関する基礎および応用についての科学教育プログラムの開発という位置付けをとった。そして、こうした枠組みの中での放射線教育・放射化学教育という展開を選ぶこととした。これは、放射線や放射能の発見が 20 世紀前半の原子構造の確立を導き、さらには、化学などの物質科学の理論的実験的基盤を与えることとなったためである。その後、放射線や放射能の科学は原子核工学や核医学などの先端的な技術にも発展し、社会とのリンケージは強まるばかりである。こうした多彩な分野への放射線や放射能の科学の展開は、より多様な科学教育プログラムの必要性を強く意識させた。

(2) 目的の達成についての周辺環境

法令の改正により、放射性同位元素としての下限数量以下の Ge-68(半減期 271 日)または Ga-68(半減期 67.7 分)についても、一般の教室や野外での利用が可能となった。様々な教育現場での利用を想定しての科学教育プログラムの開発がリアリティをもって展開し得る要件が整った。これらの核種の下限数量は 100kBq である。この数量は低レベルであるとはいえ、簡便な放射線測定器で十分に検出できる数量である。

3. 研究の方法

(1) ハードウェアの開発。

科学教育用 Ge-68/Ga-68 ジェネレーター

核医学用の Ge-68/Ga-68 ジェネレーターの仕組みに基づいた教育用のマイクロカラムを試作した。Ge-68/Ga-68 ジェネレーターは加速器で製造される Ge-68 を単離して調製する。Ge-68 は EC 壊変で Ga-68 となるので、単離した Ge-68 には一定量の Ga-68 が含まれている。Ga-68 を分離しても、Ge-68 から新たに生成するので、再び Ga-68 を得ることが出来る。このような性質から、単離した Ge-68 は Ga-68 を常に供給する。ジェネレーターとして機能するので、Ge-68/Ga-68 ジェネレーターと呼ばれる。こうした原理を学ぶ体験学習としての発展の可能性も考慮して、限られた時間の中で製作が可能なものとした。

Ga-68 の直接製法

Ge-68/Ga-68 ジェネレーターの利用は Ge-68 の供給状況に依存する。Ge-68 から生成する Ga-68 を実験では使用するので、直接 Ga-68 を製造して利用することも相補的な意味合いを持つ。このため、小型加速器を利用した Zn-68 への陽子照射による Ga-68 の直接製造について、分離精製の手法を中心に検討を加えた。

(2) ソフトとしての科学教育プログラムの構築

大学教養レベルでの実験教育を想定して、まず、標準的なプログラムを構成した。化学や物理学の実験コースの一部としての利用となるが、必要とする時間数や内容は選択できるように、複数のモジュールを組み合わせることとした。また、大学専門教育での利用も想定して、別モジュールを用意することとした。ただし、高いレベルの教育内容をまず構成して、これを学習者の経験や興味、カリキュラムを考慮して変更を加えるのが開発の上ではむしろ有効であった。

4. 研究成果

(1) ハードウェアの開発

科学教育用 Ge-68/Ga-68 ジェネレーター

核医学用 Ge-68/Ga-68 ジェネレーターで使われる酸化スズ(IV)カラムを元に、教育現場での利用に特化した Ge-68/Ga-68 ミルキングシステムをカラムキットの形で試作した。大学教養教育・大学専門教育・高校教育の現場を想定して、安全で操作に熟達を要しないカラムキットとすることに留意した。加速器による荷電粒子照射で製造された Ge-68 を塩酸溶液から酸化スズ(IV)カラムに吸着捕集した。この Ge-68 の量を一定量以下とすることで、一般の教室や実験室での利用を担保した。高校などでの教育現場での利用の可能性を配慮し、入手しやすく安価なプラスチック製シリンジやシリコンチューブでカラムを構成した。透明ないしは半透明な材料を出来るだけ使用することで可視性を高めた。また、構造を単純化して、カラムの組み立てを含んだ実習も可能なように配慮した。下限数量以下の Ge-68/Ga-68 の利用を想定したカラムキットの試作は 40 セットに及び、製作方法については一応の確立をみた。

以上の簡易カラムキットの製作自体は、大学専門教育レベル向けの実験モジュール(無機クロマトグラフィーカラムの製作-Ge(IV)と Ga(III)の分離)と位置づけ、標準コースではオプションとするに留めた。実際の標準コース(大学教養レベル)やさらにシンプルな構成が求められるコース(高校生や一般市民向けのコース)の実験モジュールではカラムキットは実験指導者の元で管理することとした。これはカラムキット中には半減期が比較的長い Ge-68 が保持されているためである。もちろん、その数量は下限数量以下であるため、一般の教室でも使用可能ではある。しかし、実験中にカラムキットが破損するなどの可能性は出来るだけ減らしておいた方が、円滑に実験を進めることにつながるため、コースレベルに応じて、カラムキットの扱い方は変えることとした。

カラムキットについての今後の課題として、水分の蒸発などで Ga-68 のミルキングによる溶出単離が困難となることが挙げられる。カラム自体の改良、保存方法の検討、利用期間を定めるなどの対策をどのように講じるかについて検討の予定である。

Ga-68 の直接製法

Ga-68 が生成した亜鉛ターゲットを 6M 塩酸に溶解した。この溶液を TBP カラムに通し、6M 塩酸で洗浄後、0.1M 塩酸で Ga-68 を溶出して高純度の Ga-68 溶液を得た。亜鉛の混入量は 1ppm 以下であり、Ga-68 の利用が盛んなヨーロッパ諸国で適用される基準値、亜鉛 10 μ g/GBq 以下を満たすことを確認した。

亜鉛の溶液ターゲットに陽子を照射すると、製造に要する負荷は大幅に軽減される。Ga-68 の半減期と予想される利用頻度を考慮すると、溶液ターゲット照射は極めて魅力的である。本研究で確立した分離法と組み合わせた Ga-68 の供給技術としての実用化、そして、既存の Ga-68/Ge-68 ジェネレーターから得られる Ga-68 との品質比較は今後の発展的な研究課題である。

(2) ソフトとしての科学教育プログラムの構築

本研究ではプログラムの開発に当たって意識した幾つかのポイントがある。実験モジュールを中心に開発の特色が明瞭に現れているプログラム(モジュール群)について概要を記す。いずれも、指導者による解説を想定しての講義モジュールを伴っている。

科学の史的展開を意識した科学教育プログラム-モジュール「ベクレルの放射能の発見」
Ga-68 からの放射線を検出することで、生活の場では体験出来ない放射線をまず意識づけることを第一の目的とする。カラムキットそのものを布や紙などの光を透さない物質で包み、その外から放射線検出器(標準コースでは携帯型簡易放射線量計)で放射線量を測定する。ジェネレーターを含まないブランクのカラムキットも同じように測定して、放射線の発生が物質の性質であることを意識づける。

ジェネレーターから Ga-68 を単離した溶液をプラスチック瓶に密封して、カラムキットの代わりに測定対象とする変形モジュールも開発した。こちらは、プルトニウムなどの発見者シーボグによるカリフォルニア大学の一般化学の講義での演示実験を原型としている。

いずれのモジュールについても、大学専門教育レベルの発展コースでは、用いる放射線検出の手

法をより高度なものとする。複数のタイプの異なる検出器を併用することも可能である。放射線管理用のサーベイメーター、研究用のスタンド型の検出装置、イメージングプレートなど、実験環境と実験目的に沿った測定器を選択することが、むしろ有効である。以下、発展コースについて触れる際には、その構成モジュールはあくまでも例示であることを強調したい。専門教育の方向性と現場の環境に応じて変形することがむしろ望ましい。

教養教育としての科学リテラシー教育-モジュール「放射線の性質」
モジュール「ベクレルによる放射能の発見」と同じ放射線源と検出器を使用するので、連続して実施することとなる。カラムキット(Ge-68 と Ga-68 が混在)または Ga-68 単離溶液と検出器との距離を変える、あるいは、検出器との間にしゃへい体を置いてその配置や材質を変えることで、透過性、不可視性、直進性などの放射線の性質を実験学習する。

短寿命人工放射性核種 Ga-68 の利用-モジュール「放射壊変」
Ga-68 からの放射線量率の時間変化を測定することで、放射能についての成長-壊変曲線を描く。前項までのプログラムは天然放射能や市販されている密封小線源を利用することでも実施は可能である。しかし、これらの線源では半減期がかなり長いために、数日以内(出来れば数時間以内)の範囲では放射能の減衰は観察できない。Ga-68 のような短寿命核種を教育目的で利用することで、初めて実験学習が可能となった。ただし、標準コースでデフォルトとしている簡易放射線量計で計測する場合には、測定結果のばらつきを最小限に抑えるために、線量計を固定する必要がある。

得られた壊変曲線を解析することで、放射能、半減期、壊変則、壊変定数などの概念を導き出すことが、このモジュールの主要な目的である。本研究の準備段階から、その意味合い、具体的な実験内容、他の自然現象や人間の行動との数理科学的な類似性などについて、詳細にわたる検討を加えて来た。講義モジュールとの組み合わせも必要であり、実験モジュールの改良と並行する形で全面的な見直しと整備を進めた。

発展モジュールでは、放射性核種を取り扱うことが出来るような施設での実施が前提となるが、Ge-68/Ga-68 以外の様々な人工放射能を利用することも出来る。また、使用する放射線測定系についても、計数誤差を評価できるように計数装置やマルチチャンネル波高分析器を用いることが望ましい。なお、ウランやトリウム放射壊変で生成した短寿命の系列核種を単離して利用することも出来たが、核燃料物質に対する規制、放射化学分離を指導することの難しさなどから、実施は困難となって来た。Ga-68/Ge-68 については、放射化学分離の操作がシンプルなので、指導者の負荷が軽減されるというメリットも見出された。

指数関数や対数関数を含むデータ解析の体験-モジュール「放射壊変データの解析」
前項で説明した実験モジュール「放射壊変」に対応する演習モジュールである。実験モジュールで取得したデータは、自然現象や社会現象の数理的記述の中でもしばしば登場する指数関数または対数関数を含む。各データの誤差は、発展モジュールでは放射線計測に伴う計数誤差として与えられるので、誤差の取り扱いも含めたデータ解析の良い教材となった。経済・社会分野のデータ取り扱いとも共通する実践的体験に発展することも構想したが、教材化には至らず、社会科学の研究者との将来の研究課題として残された。

総合的な学習テーマ「環境」での Ge-68/Ga-68 の利用-モジュール群「フミン酸」
実験による環境学習での利用の可能性に着目し、様々なモジュールの組み合わせで構成される総合的な学習プログラムを開発した。土壌や水に含まれるフミン酸と Ga-68 の環境での相互作用に着目し、フミン酸自体の環境挙動、Ga が属する 13 族や化学的性質が類似した 3 族の金属元素の環境挙動を、実験を通して学習出来る体系を整えた。特に 3 族元素にはレアアースとして新素材の構成元素としての利用が盛んとなっているランタノイド元素(La から Lu の 15 元素)や全て放射性元素であるアクチノイド元素(全体では 15 元素だが、核エネルギー利用に係るのは Cf までの 10 元素)など、近い将来の環境負荷が問題となる可能性がある元素が含まれている。フミン酸は、腐植酸とも呼ばれる通り、植物の遺骸が土中で微生物によって分解されて腐敗して行く中で生成する酸の一種である。土壌や堆積物、河川水や海水などに広く分布する。重金属や農薬成分などと結合すると、重金属や農薬成分の環境挙動に大きな影響を与えることがある。Ge-68/Ga-68 ジェネレーターから得られる Ga-68 を適用することで、ガリウムに代表される 13 族や 3 族元素の環境挙動へのフミン酸の影響を検証することが出来る。

標準プログラムは「フミン酸の土壌からの抽出」、「フミン酸フラクションの単離」、「金属錯体の生成」、「粘土鉱物への金属イオンの吸着」、「金属イオンの吸着へのフミン酸の影響」などの実験モジュールで構成した。まず、放射性的 Ga-68 ではなく、高校での実験でも使われる銅(II)を利用してモジュール群を組み立てた。

実験モジュール「フミン酸の土壌からの抽出」では、土壌から水酸化ナトリウム水溶液などにフミン酸を抽出する。関連する講義モジュールとして「土壌の生成」を作成し、これと関連づける形で、フミン酸を抽出する土壌自体を学習者が選択するオプションも設けた。

これに続く実験モジュール「フミン酸フラクションの単離」は、抽出したフミン酸溶液に酸を加えてフミン酸を沈殿として単離する内容である。

実験モジュール「金属錯体の生成」では、少量の銅(II)水溶液を湿った状態のフミン酸沈殿と混合することで銅(II)の青緑色が消えて行く現象を観察する。標準プログラムでは講義モジュール「金属イオンの溶存状態」とリンクさせる。

銅(II)の代わりに Ga-68 を使うオプションでは、フミン酸と結合して溶液から除去されたことを放射線計測で数値化する必要がある。このため、フミン酸と接触させる前後に Ga-68 水溶液の放射能を測定して、その差をもってフミン酸と錯体を形成して除去された Ga-68 の量とすることでモジュールを設計した。リンクする講義モジュールは「アクチノイドやランタノイドの溶存状態」として、銅(II)の場合とは別モジュールとした。このモジュールは環境でのアクチノイドやランタノイドの挙動についての解説で構成する。まず、核エネルギー分野との関連が深いアクチノイドの環境挙動を中心にモジュールを組み立てた。

なお、Ga-68 を利用した発展モジュールは本課題の成果を元としての開発となるが、より定量性を増した内容とする予定である。溶媒抽出やイオン交換などの分離手法を適用することで、錯体の安定度を評価する内容となる。

実験モジュール「粘土鉱物への金属イオンの吸着」は、モンモリロナイト粉末と銅(II)水溶液を混合させて、銅(II)の吸着による液相の減色を観察する内容である。同じ名称の講義モジュールによるフォローは必須である。Ga-68 の適用はオプションとした。液相からの放射能の減少量を求めることで吸着量を評価する内容である。Ga-68 オプションにリンクする講義モジュール「粘土鉱物へのアクチノイドやランタノイドの吸着」は、放射性廃棄物の地層処分化学についての解説を中心にアップデートを重ねている。

実験モジュール「金属イオンの吸着へのフミン酸の影響」では、モンモリロナイト-銅(II)-フミン酸 3 成分系での銅(II)の分配を実験内容としている。前のモジュールと同じ実験であるが、フミン酸水溶液を加えたことで銅(II)の退色は観察しにくくなっている。まず、フミン酸水溶液とモンモリロナイトを混合して全てのフミン酸が吸着される条件を見出しておく。その条件で銅(II)水溶液を加えて退色を観察する手順で銅(II)がフミン酸またはモンモリロナイトに吸着されることを示唆する結果が得られた。ただし、フミン酸とモンモリロナイトのどちらに銅(II)が吸着されるのかは不明であった。

Ga-68 オプションでは、Ga-68 を最後に加えた場合には、銅(II)と同じように、フミン酸またはモンモリロナイトのどちらに吸着されるかは不明になってしまう。しかし、フミン酸溶液に Ga-68 を加えた後でモンモリロナイトを加えると、Ga-68 がフミン酸錯体の状態なら液相に残り、モンモリロナイトに吸着されるならば液相からは除去されることになる。吸着の前後での溶液中の Ga-68 の放射能の変化を求めることで、どちらが Ga-68 の吸着に影響するかを判別できる。ただし、フミン酸がモンモリロナイトに吸着されて複合体を形成する可能性があるため、フミン酸の溶液からの減少量を測定する必要がある。このように、Ga-68 オプションには実験的な検証を必要とする事項が幾つか残されており、暫定的なモジュールと位置付けた。

なお、いずれのオプションについても、講義モジュールをリンクさせて、実験の意味の説明や背景となる放射性廃棄物の地層処分などのトピックを解説することが望まれる。

(3) リモート環境での実験体験の共有

当初の研究計画の策定では、数名の指導者が比較的少人数の学習者に対面する形態での実験プログラムの試行を構想した。しかし、令和 2 年初めからの COVID-19 の広がりのため、対面での実験プログラムの実施自体が困難な状況となった。以降、本研究の展開と完結には不利な状態が続くこととなった。しかし、その代わりに学習者も指導者も習熟することとなったのが、動画や映像を中心に据えての授業の実践体験であった。

これに着目して、本研究で開発されて来た実験モジュール、講義モジュール、演習モジュールは、令和 2 年度末以降、オンライン環境での提供が可能な形態(動画や画像を中心とする形態)に移行することとした。それ以前のモジュールコンテンツはテキスト(学習者用と指導者用)とそれを補う図表と画像が基本的な構成であった。電子化されてはいるものの対面でのコミュニケーションが前提であるため、COVID-19 の広がりの中では新たな利用の広がりを導くものとは言えないためである。

特筆すべきは、オンライン環境での教育プログラムの提供が可能となって来たことで、国際的なプログラムの共有の可能性が発生したことである。本研究で開発したプログラムモジュールの英語化は今後の科学教育の国際化のモデルケースとなる可能性もあるので、今後の研究の発展の一つの方向と考えている。

参考文献

1. 広い教育分野における $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレーターを用いる諸実験の活用-ラジオアイソトープの新利用-, 野崎正・永津弘太郎・薬袋佳孝・佐々木徹, 放射化学, (35), 64-81, 2017
2. 永津弘太郎, 広がる加速器の産業・医療・創薬利用「診断・治療に用いる放射性核種の製造」2016/3/19 第 71 回日本物理学会(仙台, 東北学院大学)
3. 低レベル放射能の ^{68}Ge を用いた $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレーターの作製と放射化学実習への応用, 鷲山幸信・天野良平・野崎 正・小川幸次・永津弘太郎・他 3 名, 日本放射線技術学会雑誌, 71(10), 983-93, 2015

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 薬袋佳孝	4. 巻 51
2. 論文標題 フミン酸の環境挙動についての実験教育プログラムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 武蔵大学人文学会雑誌	6. 最初と最後の頁 B1-B11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野崎 正・新澤和裕・永津弘太郎・薬袋佳孝
2. 発表標題 下限数量以下のGe-68/Ga-68ジェネレーターによる放射化学実験プログラムの開発現
3. 学会等名 日本放射化学会第63回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MINAI, Yoshitaka; NAGATSU, Kotaro; WASHIYAMA, Koshin; NIIZAWA, Kazuhiro; NOZAKI, Tadashi
2. 発表標題 Experimental education program on humics in the environment using Ge-68/Ga-68 under legally defined level as radioactive materials
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野崎正
2. 発表標題 教育用Ge-68/Ga-68 generator
3. 学会等名 第62回放射化学討論会インフォーマルミーティング（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 薬袋佳孝・新澤和裕・永津弘太郎・鷲山幸信・野崎正
2. 発表標題 下限数量以下のGe-68/Ga-68ジェネレーター の教育利用(3): 土壌フミン酸を題材とする環境教育プログラムへの導入の可能性
3. 学会等名 日本放射化学会第64回討論会
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
研究分担者	永津 弘太郎 (Nagatsu Kotaro) (30531529)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 先進核医学基盤研究部・研究統括(定常) (82502)	
研究分担者	鷲山 幸信 (Washiyama Kohshin) (80313675)	福島県立医科大学・公私立大学の部局等・准教授 (21601)	

	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
研究協力者	野崎 正 (Nozaki Tadashi)		
研究協力者	新澤 和裕 (Niizawa Kazuhiro)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	巻出 健太郎 (Makide Kentaro)		

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