

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：12701

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05808

研究課題名（和文）極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用

研究課題名（英文）Application of ultra-low background techniques to astro and particle physics experiments

研究代表者

南野 彰宏（MINAMINO, Akihiro）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：70511674

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 90,000,000円

研究成果の概要（和文）：バックグラウンドが世界トップレベルに低いGe半導体検出器を開発し、各実験班の検出器材料中の放射性不純物含有量測定を進めた。次に、硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器を開発し、SK-GdとXENONnTで運用を開始した。また、神岡地下実験室の環境中性子フラックスを約2年半にわたって測定した。そして、レーザー励起を用いて硫酸ガドリニウム水中のGd<sup>3+</sup>イオン発光を測定し、SK-Gdの観測には問題にならないことを実証した。さらに、レーザー共鳴イオン化による放射性希ガス微量分析装置を立ち上げた。最後に、極低放射能技術研究会を4回開催し、領域内外の研究者と最新の低放射能技術開発の成果について情報交換を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、本領域の各実験班が持つ世界最先端の低放射能技術を発展させ、その成果を領域全体の基盤技術としてすべての実験班に還元したことである。その結果として、各実験班が進める地下宇宙素粒子実験の探索感度向上を実現した。

研究成果の概要（英文）：We developed a Ge detector with the world's lowest background level and proceeded to measure the radioactive impurity content in the detector materials of each experimental group. We also developed a radon detector for gadolinium sulfate water and started operating it with SK-Gd and XENONnT. We also measured the environmental neutron flux in the Kamioka underground laboratory for about two and a half years. Then, we measured Gd<sup>3+</sup> luminescence in gadolinium sulfate water with laser-induced luminescence spectroscopy, demonstrating that it was not a problem for SK-Gd observations. We also set up a radioactive rare gas trace analysis device using laser resonance ionization spectroscopy. Finally, we held four workshops on Low-Background Technologies, where we exchanged information about the latest results of low-radioactivity technology development.

研究分野：宇宙素粒子実験

キーワード：極低放射能技術 ゲルマニウム検出器 ラドン検出器 環境中性子 希ガス微量分析 地下宇宙素粒子実験

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、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

本新学術領域の実験班では、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊 (計画研究 A01、A02)、宇宙暗黒物質 (計画研究 B01、B02)、超新星背景ニュートリノ (計画研究 C01) の探索を推進している。上記の探索実験では低バックグラウンド環境の実現が探索感度の向上に直結するため、低放射能技術に基づいたバックグラウンドの理解および低減が重要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、上記の背景のもと、本領域の各実験班が持つ世界最先端の低放射能技術を発展させ、その成果を領域全体の基盤技術としてすべての実験班に還元することである。その結果として、各実験班が進める地下宇宙素粒子実験の探索感度向上および世界初発見を実現したい。

### 3. 研究の方法

本研究では、本新学術領域のすべての実験班と全面的に連携し、本領域の肝となる低放射能技術開発を推進する。具体的には、以下の (1) ~ (5) を推進し、(6) で成果発信を行う。

- (1) 極低放射能仕様のゲルマニウム半導体検出器を開発し、各実験班の検出器材料中の放射性不純物含有量を測定することで検出器材料の選別 (スクリーニング) を行う。
- (2) 硫酸ガドリニウム水用のラドン検出器を開発し、本新学術領域の実験班で運用する。
- (3) 中性子検出器を開発し、神岡地下実験室の環境中性子フラックスの長期測定を行う。
- (4) 硫酸ガドリニウム水中の Gd<sup>3+</sup> イオン発光を測定し、SK-Gd への影響を評価する。
- (5) レーザー共鳴イオン化による放射性希ガス微量分析装置を立ち上げる。
- (6) 極低放射能技術研究会を開催し、上記の (1) ~ (5) の研究成果を発信する。

### 4. 研究成果

成果を以下にまとめる。

#### (1) 極低放射能ゲルマニウム検出器の開発とスクリーニング

計画研究 B01、C01 との連携および MIRION TECHNOLOGIES SAS との共同開発によって、バックグラウンド頻度が世界最高レベルに低い p 型同軸型ゲルマニウム半導体検出器の開発に成功し、論文にまとめた (K. Ichimura et al., “Development of a low-background HPGe detector at Kamioka Observatory”, Prog. Theor. Exp. Phys. 013H01 (2023))。このゲルマニウム検出器の 3 インチ NaI (Tl) 検出器に対する相対効率は 82.5 %、122 keV (1332 keV) のガンマ線に対するエネルギー分解能は 0.81 keV (1.74 keV) である。6N グレードの銅、無酸素銅、低バックグラウンド鉛で構成された放射線遮蔽体中でこのゲルマニウム検出器のバックグラウンドを測定したところ、図 1 のように 2023 年 11 月の時点で 60-2700 keV の領域で  $81.3 \pm 0.7 \text{ kg}^{-1} \text{Ge d}^{-1}$  と **世界最高レベルに低いバックグラウンド頻度を達成した**。ゲルマニウム検出器のバックグラウンド頻度が下がれば、検出器材料中の放射性不純物含有量の測定可能下限値を下げることができ、さらに測定に必要な時間も短縮できる。そのため、低バックグラウンド化はゲルマニウム検出器にとって最も大事な性能の一つである。今後、このゲルマニウム検出器中の宇宙線起源核種の崩壊が進むので、時間の経過と共にさらなる低バックグラウンド化が達成できる。

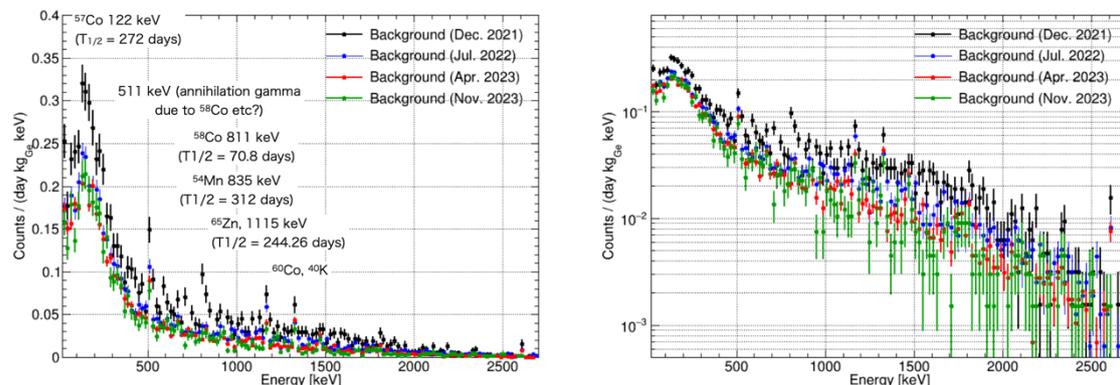


図 1 本研究で開発した極低放射能仕様ゲルマニウム半導体検出器のバックグラウンド

上記の新たに開発したゲルマニウム検出器と神岡地下実験室に既存の極低放射能仕様ゲルマニウム検出器を組み合わせ、本領域の各実験班の検出器材料のスクリーニングを行った。特に、C01 班の SK-Gd 実験のためにスーパーカミオカンデに投入した硫酸ガドリニウム 8 水和物について、スクリーニングを行い、放射線不純物含有量の要求値を満たすサンプルを選別した。その結果、2020 年に 13 トン、2022 年に 26 トンの硫酸ガドリニウム 8 水和物をスーパーカミオカンデに投入することに成功した。

### (2) ラドン検出器の開発と運用

C01 班の SK-Gd 実験において、 $^{222}\text{Rn}$  の娘核である  $^{214}\text{Bi}$  が硫酸ガドリニウム水中でベータ崩壊を起こすと太陽ニュートリノ観測のバックグラウンドになる。また、B01 班の XENONnT 実験において、 $^{222}\text{Rn}$  およびその娘核が硫酸ガドリニウム水中で崩壊すると中性子 VETO のデッドタイムとなる。このため、計画研究 C01 との連携によって、図 2 に示す硫酸ガドリニウム水中のラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 濃度を測定できるラドン検出器を新たに開発した。この硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器は、膜脱気モジュールで硫酸ガドリニウム水から気体を取り出し、取り出した気体中の  $^{222}\text{Rn}$  の娘核を静電捕集法で PIN 型フォトダイオードに集めて検出する。この硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器の各部材からの  $^{222}\text{Rn}$  の湧き出し量を別の高感度ラドン検出器を用いて測定したところ、膜脱気モジュールが主なバックグラウンド源であることが分かった。そのため、膜脱気モジュールのハウジングを樹脂からステンレスに変更したところ、図 3 のように要求バックグラウンド量である  $1 \text{ mBq/m}^3$  以下を達成でき、過去の記録を約 1 桁更新することができた。本研究では、この硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器を 4 台制作し、そのうち 3 台が C01 班の SK-Gd 実験、1 台が B01 班の XENONnT 実験に導入し、現在も運転を続けている。

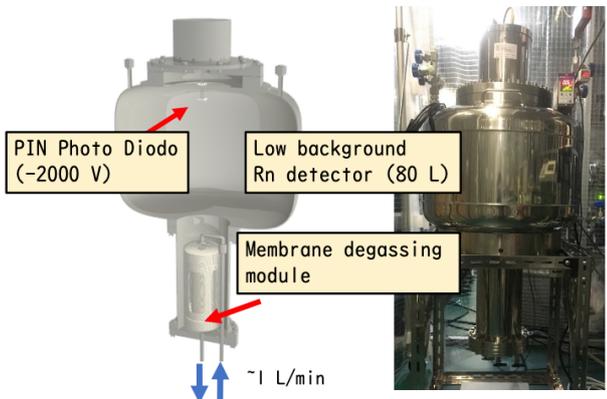


図 3 硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器

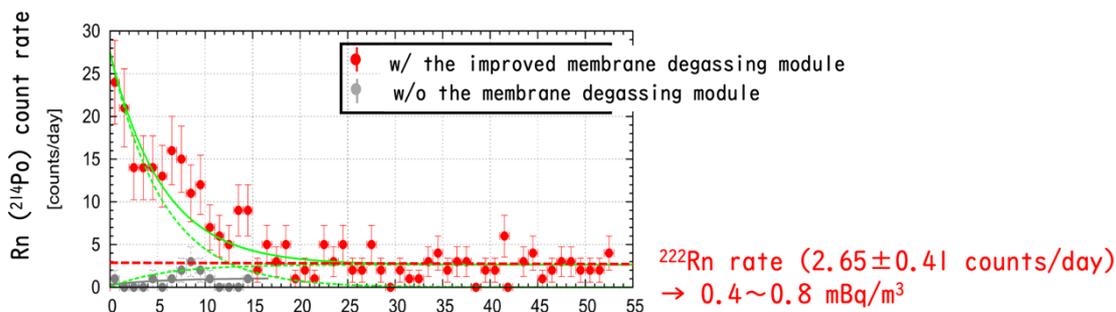


図 2 開発した硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器のバックグラウンド量

活性炭を  $-75^\circ\text{C}$  に冷やしラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) を吸着および濃縮し、その後、活性炭を  $150^\circ\text{C}$  まで加熱してラドンをサンプルガス中に放出し、そのサンプルガスを高感度ラドン検出器で検出することで、上記の硫酸ガドリニウム水用ラドン検出器に比べて検出感度を約 1 桁向上させることができる。この活性炭を用いたラドンの濃縮検出法は、検出器部材からのラドン湧き出し量を測定する時に有用である。しかし、手順が複雑で、測定時には研究者が装置に掛り切りになっていた。本研究では、この濃縮ラドン検出器にリモートで操作できるバルブや温度コントローラーを導入し、それらを制御盤で操作することで**自動化することに成功した**。この濃縮ラドン検出器は、試験運用が終了後、C01 班の SK-Gd 実験に導入を行う。

### (3) 中性子検出器の開発と地下中性子測定

B02 班の NEWAGE 実験と A02 班の CANDLES 実験との連携によって、神岡地下実験室 Lab-B において 2 台の  $^3\text{He}$  比例計数管を用いた**環境中性子フラックスの測定を 2 年半にわたり行った**。 $^3\text{He}$  比例計数管は熱中性子にのみ感度を持つ検出器なので、1 台は中性子減速材として働くポリエチレンで周囲を覆い、高速中性子に感度のあるセットアップで測定を行った。以後、熱中性子に感度のあるセットアップを A と高速中性子に感度のあるセットアップを B と呼ぶ。図 4 は神岡地下実験室 Lab-B での 2021 年 7 月から 2024 年 1 月までの長期測定の結果である。2023 年 4 月に神岡地下実験室 Lab-B 内の別の場所に検出器を移動させたところ、セットアップ A (熱中性子測定) は値が減少し、セットアップ B (高速中性子測定) では値が上昇している。同じ神岡地下実験室 Lab-B 内での測定場所の変化で、このような大きな値の変動が観測されることは予想外で、原因を調査中である。次に、神岡地下実験室 Lab-B 内で移動する前の 2021 年 7 月から 2023 年 4 月のデータと様々な環境パラメータとの相関を調べた。まず、神岡地下実験室から 12 km の距離にある神岡町の降水量(アメダス)と熱中性子および高速中性子の間には相関が見られなかった。次に、神岡地下実験室坑道の湿度と熱中性子との間には弱い正の相関、高速中性子との間には弱い負の相関が見られた。そして、神岡地下実験室坑道のラドン濃度と熱中性子との間には弱い正の相関が見られた。中性子観測頻度と相関が見られた湿度とラドン濃度については、シミュレー

シモンを用いた検証を進めている。

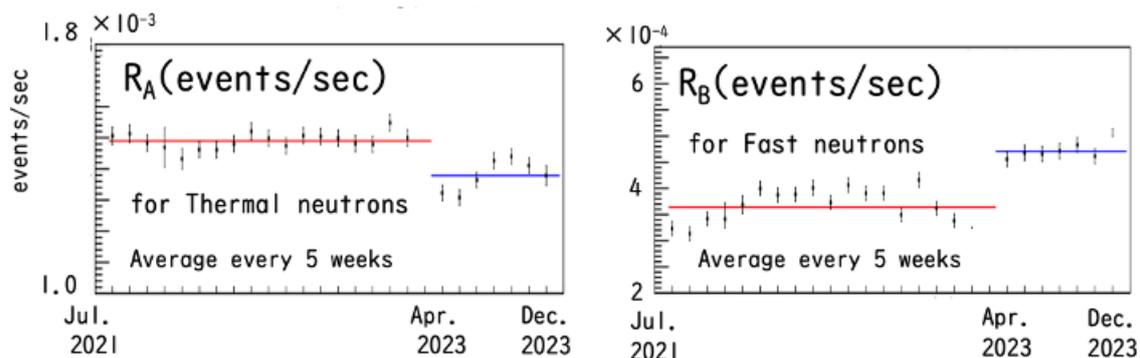


図 4 神岡地下実験室 Lab-B の環境中性子の長期測定結果 ( $R_A$ :熱中中性子、 $R_B$ :高速中性子)

上記の  $^3\text{He}$  比例計数管を用いた測定は、高速中性子を減速後に検出するために環境中性子のエネルギースペクトルを直接測定できないという弱点を持つ。そこで、計画研究 A01 班、A02 班、B01 班、B02 班との連携によって、中性子によって反跳された陽子を検出することでエネルギースペクトルを直接測定できる液体シンチレーター中性子検出器を開発した。検出器材料のスクリーニングおよび液体シンチレーターの純化手法の改良の結果、検出器内で発生するアルファ線バックグラウンドを 0.8 mBq まで低減することに成功した。しかし、神岡地下実験室の環境中性子を観測するためには、アルファ線バックグラウンドを更に約 2 桁低減し、 $1 \times 10^{-2}$  mBq 以下まで下げる必要がある。今後、ステンレス容器の表面処理といったハードウェアの改良でアルファ線の発生頻度を 1 桁低減した後、解析手法の改良で更に 1 桁低減し、上記の要求値を目指す。

#### (4) 硫酸ガドリニウム水中の $\text{Gd}^{3+}$ イオン発光測定

$\text{Gd}^{3+}$  イオン発光は、光子によって励起された  $\text{Gd}^{3+}$  イオンが波長 312 nm の光子を 0(1) m 秒の時定数で放出する現象である。C01 班の SK-Gd 実験では、チェレンコフ光による  $\text{Gd}^{3+}$  イオン発光が観測のバックグラウンドになる可能性があったが、硫酸ガドリニウム水中の  $\text{Gd}^{3+}$  イオン発光の詳細な測定は行われていなかった。そこで、計画研究 C01 班との連携によって、レーザー励起発光分光を用いて硫酸ガドリニウム水中の  $\text{Gd}^{3+}$  イオン発光の特性を測定した。具体的には、硫酸ガドリニウム水が入った石英製セルに波長可変レーザーを打ち込み、石英製セルから発生した 312 nm の光子をモノクロメーターで分離後、光電子増倍管で観測した。その結果、図 5 のように、246.2 nm と 252.3 nm の共鳴波長において発光量が 2 桁増加すること、発光の時定数は約 3 m 秒であることが確認できた。また、シミュレーションを行い、 $\text{Gd}^{3+}$  イオン発光による SK-Gd のカウント頻度は 0.1 カウント/ $\mu$ 秒以下と十分に小さく、問題にならないことが分かった。そして、上記の  $\text{Gd}^{3+}$  イオン発光の測定結果を論文にまとめた (Y. Iwata et al., “Emission characteristics of gadolinium ions in a water Cherenkov detector” Prog. Theor. Exp. Phys. 123H01 (2023))。

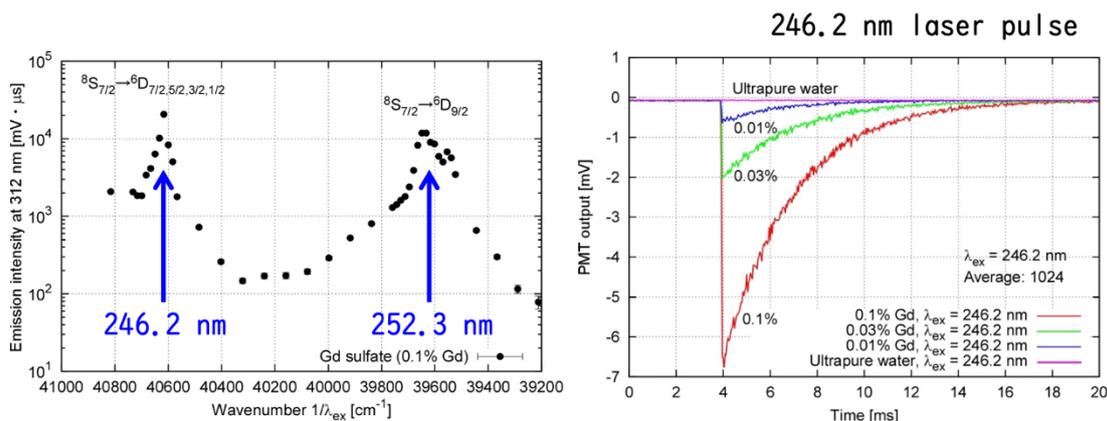


図 5 硫酸ガドリニウム水中の  $\text{Gd}^{3+}$  イオン発光の測定結果

#### (5) レーザー共鳴イオン化による放射性希ガスの微量分析

計画研究 B01 との連携によって、キセノンやアルゴンといった希ガス中に含まれるクリプトンなどの別の放射性希ガスを測定する目的で、レーザー共鳴イオン化による放射性希ガスの微量分析装置の立ち上げを行い、クリプトンの共鳴イオン化信号の観測に成功した。

#### (6) 成果発信

すべての実験班と共同で**極低放射能技術研究会**を4回開催し（2020年6月、2021年3月、2022年11月、2024年2月）、領域内外の研究者と最新の成果について情報交換および研究交流を行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Ommura Yuga, Ito Hiroshi, Yano Takatomi, Minamino Akihiro, Ishitsuka Masaki	4. 巻 18
2. 論文標題 A method to measure the quenching factor for recoil energy of oxygen in bismuth germanium oxide scintillators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 T04006 ~ T04006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/18/04/T04006	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 Ito Hiroshi, Wada Kohei, Yano Takatomi, Hino Yota, Ommura Yuga, Harada Masayuki, Minamino Akihiro, Ishitsuka Masaki	4. 巻 1057
2. 論文標題 Analyzing the neutron and $\gamma$ -ray emission properties of an americium-beryllium tagged neutron source	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 168701 ~ 168701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2023.168701	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 Ichimura K, Ikeda H, Kishimoto Y, Kurasawa M, Suzuki A A, Gando Y, Ikeda M, Hosokawa K, Sekiya H, Ito H, Minamino A, Suzuki S	4. 巻 2023
2. 論文標題 Development of a low-background HPGe detector at Kamioka Observatory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 123H01 ~ 123H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptad136	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 -
1. 著者名 Hosokawa K, Ikeda M, Okada T, Sekiya H, Fernandez P, Labarga L, Bandac I, Perez J, Ito S, Harada M, Koshio Y, Thiesse M D, Thompson L F, Scovell P R, Meehan E, Ichimura K, Kishimoto Y, Nakajima Y, Vagins M R, Ito H, Takaku Y, Tanaka Y, Yamaguchi Y	4. 巻 2023
2. 論文標題 Development of ultra-pure gadolinium sulfate for the Super-Kamiokande gadolinium project	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 013H01(1-21)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptac170	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 該当する

1. 著者名 Iwata Y, Sekiya H, Ito C	4. 巻 2022
2. 論文標題 Emission characteristics of gadolinium ions in a water Cherenkov detector	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 123H01(1-12)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptac157	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Abe K., Ikeda M., Takeda A., Minamino A., Okamoto K., Pintaudi G., Sano S., Sasaki R. et al.	4. 巻 1027
2. 論文標題 First gadolinium loading to Super-Kamiokande	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 166248 ~ 166248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2021.166248	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 該当する

1. 著者名 Wada Kohei, Minamino Akihiro, Ito Hiroshi, Ommura Yuga, Ishitsuka Masaki, Yano Takatomi	4. 巻 2156
2. 論文標題 What is a breakdown of continuous component hidden under 4.4-MeV gamma-ray peak from the AmBe source?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012209 ~ 012209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2156/1/012209	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Ito S, Ichimura K, Takaku Y, Abe K, Harada M, Ikeda M, Ito H, Kishimoto Y, Nakajima Y, Okada T, Sekiya H	4. 巻 2020
2. 論文標題 Improved method for measuring low-concentration radium and its application to the Super-Kamiokande Gadolinium project	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093H02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa105	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 -

1. 著者名 Nakano Y., Ichimura K., Ito H., Okada T., Sekiya H., Takeuchi Y., Tasaka S., Yamashita M	4. 巻 2020
2. 論文標題 Evaluation of radon adsorption efficiency values in xenon with activated carbon fibers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 113H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa119	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 -

1. 著者名 Abe K., Chen Y., Hiraide K., Ichimura K., Imaizumi S., Kato N., Kishimoto Y., Kobayashi K., Kobayashi M., Moriyama S., Nakahata M., Sato K., Sekiya H., Suzuki T., Takeda A., Tasaka S., Yamashita M., Yang B.S., Kim N.Y., Kim Y.D., Kim Y.H., Ishii R., Itow Y., Kanzawa K., Takeuchi Y et al.	4. 巻 15
2. 論文標題 Development of low-background photomultiplier tubes for liquid xenon detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P09027 ~ P09027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/09/P09027	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Abe K., Hiraide K., Ichimura K., Kishimoto Y., Kobayashi K., Kobayashi M., Moriyama S., Nakahata M., Norita T., Ogawa H., Sato K., Sekiya H., Takachio O., Takeda A., Tasaka S., Yamashita M., Yang B.S., Kim N.Y., Kim Y.D., Itow Y., Kanzawa K., Kegasa R., Masuda K., Takiya H., Fushimi K., Kanzaki et al.	4. 巻 922
2. 論文標題 Development of low radioactivity photomultiplier tubes for the XMASS-I detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 171 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.12.083	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 該当する

1. 著者名 Miuchi Kentaro, Ikeda Tomonori, Ishiura Hirohisa, Nakamura Kiseki D, Takada Atsushi, Homma Yasuhiro, Abe Ko, Ichimura Koichi, Ito Hiroshi, Kobayashi Kazuyoshi, Nakamura Takuma, Ueno Ryuichi, Shimada Takuya, Hashimoto Takashi, Yakabe Ryota, Ochi Atsuhiko	4. 巻 2019
2. 論文標題 Development of a time projection chamber with a sheet-resistor field cage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 063H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz048	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67件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 伊藤博士
2. 発表標題 CF4ガス発光(S1, S2)を用いた表面アルファ線イメージ分析装置感度向上の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（2023年）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 兼村侑希
2. 発表標題 Rn濃度自動測定装置の開発とスーパーカミオカンデ水純化装置用イオン交換樹脂の228Ra除去率の評価
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（2023年）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細川佳志
2. 発表標題 超高純度硫酸ガドリニウム・8水和物中Ra-226濃度の高速測定
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（2023年）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市村晃一
2. 発表標題 極低放射能ゲルマニウム検出器の構築と運用
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 兼村侑希
2. 発表標題 高感度ラドン濃度自動測定装置の開発とイオン交換樹脂のラジウム除去率の評価
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 中野佑樹
2. 発表標題 高感度ラドン検出器の最近の進展
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩田圭弘
2. 発表標題 レーザーを用いた水中Gd <sup>3+</sup> イオン発光分光と可搬型濃度モニターへの応用
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 天内昭吾
2. 発表標題 ヘリウム3比例計数管を用いた神岡地下実験施設の環境中性子の長期測定と中性子輸送シミュレーションの精度の理解に向けた研究
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鷲見貴生
2. 発表標題 神岡における雨・雪・地下水の観測
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田中雅士
2. 発表標題 液体シンチレーター中性子検出器の低バックグラウンド化
3. 学会等名 第9回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Akihiro Minamino
2. 発表標題 Low background technologies for astroparticle experiments
3. 学会等名 Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics 2024（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tatsuki Washimi
2. 発表標題 Kamioka Lightning&Thundercloud observation and its application for the astroparticle experiments
3. 学会等名 Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics 2024（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊藤博士
2. 発表標題 CF4ガス発光を用いた表面アルファ線イメージ分析装置感度向上の研究(2)
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 天内昭吾
2. 発表標題 ヘリウム3比例計数管を用いた神岡地下実験施設の環境中性子の長期測定と中性子輸送シミュレーションの精度の理解に向けた研究
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Atsushi Takeda
2. 発表標題 Development of high sensitivity radon detector in water
3. 学会等名 Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Iwata
2. 発表標題 A study on the emission characteristics of gadolinium ions in a water Cherenkov detector
3. 学会等名 Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木芹奈
2. 発表標題 神岡地下実験室の極低放射能ゲルマニウム検出器におけるバックグラウンドの理解
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹田敦
2. 発表標題 高感度水中ラドン検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩澤広大
2. 発表標題 低バックグラウンド下における液体シンチレータ検出器の環境中性子測定データの解析結果
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田圭弘
2. 発表標題 水チェレンコフ検出器におけるGd <sup>3+</sup> イオン発光の影響評価
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 天内昭吾
2. 発表標題 ヘリウム3比例計数管を用いた神岡地下実験施設の環境中性子の長期測定
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 地下宇宙素粒子実験のための極低放射能技術
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 地下宇宙素粒子物理学実験のための低バックグラウンド液体シンチレーター中性子検出器の開発
3. 学会等名 2022年度ERANキックオフミーティング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木芹奈
2. 発表標題 神岡地下実験室の極低放射能ゲルマニウム検出器におけるバックグラウンドの理解
3. 学会等名 第3回新学術「地下宇宙」若手研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 天内昭吾
2. 発表標題 3He比例計数管を用いた神岡地下実験施設における環境中性子の長期測定
3. 学会等名 第3回新学術「地下宇宙」若手研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島村 蓮
2. 発表標題 地震予知に向けたラドン検出器の開発
3. 学会等名 第3回新学術「地下宇宙」若手研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市村 晃一
2. 発表標題 D01班: 神岡Geスクリーニング
3. 学会等名 「第8回極低放射能技術」研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田 圭弘
2. 発表標題 D01班: レーザーを用いた水中のGd <sup>3+</sup> イオン発光特性の評価
3. 学会等名 「第8回極低放射能技術」研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 地下宇宙素粒子物理学実験のための低バックグラウンド液体シンチレーター中性子検出器の開発
3. 学会等名 2022年度ERAN年次報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 神岡地下観測所における中性子フラックスの測定
3. 学会等名 2022年度東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木芹奈
2. 発表標題 神岡地下実験室極低放射能ゲルマニウム検出器のバックグラウンドシミュレーションによる評価
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩澤広大
2. 発表標題 液体シンチレータ検出器の極低バックグラウンド下に向けた液体シンチレータ純化能力の評価
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 天内昭吾
2. 発表標題 ヘリウム3比例計数管を用いた神岡地下実験施設の環境中性子の長期測定とその結果の理解に向けた研究
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島村 蓮
2. 発表標題 地震予知に向けたラドン検出装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsushi Takeda
2. 発表標題 Development of high-sensitivity radon detector in water for neutrino physics
3. 学会等名 17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Wada
2. 発表標題 What is a breakdown of continuous component hidden under 4.4-MeV gamma-ray peak from the AmBe source
3. 学会等名 17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田敦
2. 発表標題 高感度水中ラドン検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田航平
2. 発表標題 地下宇宙素粒子実験のためのAmBe中性子線源の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩澤広大
2. 発表標題 液体シンチレータを用いた神岡地下環境における中性子フラックス測定
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木芹奈
2. 発表標題 極低放射能ゲルマニウム検出器のシミュレーションによる性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田航平
2. 発表標題 地下宇宙素粒子実験のためのAmBe中性子線源の研究
3. 学会等名 第2回新学術「地下宇宙」若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田航平
2. 発表標題 地下宇宙素粒子実験のためのAmBe中性子線源の研究
3. 学会等名 理工系創立100周年記念事業・学生参加イベント「YNU理工系合同研究シンポジウム」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木芹奈
2. 発表標題 発極低放射能ゲルマニウム検出器の性能評価
3. 学会等名 理工系創立100周年記念事業・学生参加イベント「YNU理工系合同研究シンポジウム」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 神岡地下観測所における中性子フラックスの測定
3. 学会等名 東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田圭弘
2. 発表標題 硫酸Gd水溶液中におけるGd <sup>3+</sup> イオン発光寿命の測定
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩澤広大
2. 発表標題 神岡地下環境中性子測定に向けた液体シンチレータ容器の低バックグラウンド化
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田航平
2. 発表標題 NaI(Tl)シンチレーター検出器を用いたAmBe線源の中性子に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Takeda
2. 発表標題 Development of high-sensitivity radon detector in water with continuous measurement
3. 学会等名 The XXIV International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹田敦
2. 発表標題 D01 計画報告
3. 学会等名 第7回極低放射能技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 神岡地下観測所における中性子フラックスの測定
3. 学会等名 令和2年度東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市村晃一
2. 発表標題 高純度ゲルマニウム検出器を用いた SK-Gd 計画等のための放射性不純物量測定
3. 学会等名 令和2年度東京大学宇宙線研究所共同利用成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田敦
2. 発表標題 XENON 実験: 中性子veto内の放射性不純物モニター
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹田敦
2. 発表標題 低バックグラウンド実験のための高感度水中ラドン検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市村晃一
2. 発表標題 HPGe検出器
3. 学会等名 第6回極低放射能技術研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 計画研究D01
3. 学会等名 新学術「地下宇宙」2020年度領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市村 晃一
2. 発表標題 極低放射能ゲルマニウム検出器の開発
3. 学会等名 シンポジウム「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市村 晃一 for the XMASS collaboration
2. 発表標題 XMASS実験：光電子増倍管R13111の放射性不純物量測定結果
3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹田 敦 for the XENON collaboration
2. 発表標題 XENONnT: 中性子vetoカウンターにおけるガドリニウム水中のRn濃度モニター
3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹田 敦 for the XENON collaboration
2. 発表標題 XENONnT: 中性子vetoカウンターにおけるガドリニウム水中のRn濃度モニター
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motoyasu Ikeda
2. 発表標題 Radiopurity program for SuperK Gd
3. 学会等名 Low Radioactivity Techniques 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小津龍吉
2. 発表標題 液体シンチレータと6Liドーププラスチック シンチレータを用いた中性子測定
3. 学会等名 第9回高エネルギー物理春の学校2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小津龍吉
2. 発表標題 地下環境中性子測定のための6Li添加プラスチックシンチレータの特性評価
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中雅士
2. 発表標題 ANKOK実験(低質量暗黒物質探索) シンチレーターとしての液体アルゴン
3. 学会等名 SMART2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小津龍吉
2. 発表標題 液体シンチレータを用いた地下環境中性子測定
3. 学会等名 26thICEPPSymposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水越 慧太
2. 発表標題 神岡地下での環境中性子測定
3. 学会等名 新学術「地下宇宙」領域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南野彰宏
2. 発表標題 極低放射能技術
3. 学会等名 新学術「地下宇宙」領域研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Mizukoshi
2. 発表標題 Measurement of ambient neutrons in an underground laboratory at Kamioka Observatory
3. 学会等名 TAUP2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化 <a href="https://www.lowbg.org/ugap/index.html">https://www.lowbg.org/ugap/index.html</a> スーパーカミオカンデ <a href="http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/">http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/</a> KamLAND <a href="https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamland/">https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamland/</a> XENONnt <a href="https://www.ipmu.jp/ja/research-activities/research-program/XENONnt">https://www.ipmu.jp/ja/research-activities/research-program/XENONnt</a> 地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化 <a href="https://www.lowbg.org/ugap/index.html">https://www.lowbg.org/ugap/index.html</a> スーパーカミオカンデ <a href="http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/">http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/</a> KamLAND <a href="https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamland/">https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamland/</a> XENONnt <a href="https://www.ipmu.jp/ja/research-activities/research-program/XENONnt">https://www.ipmu.jp/ja/research-activities/research-program/XENONnt</a> 地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化 <a href="https://www.lowbg.org/ugap/index.html">https://www.lowbg.org/ugap/index.html</a> スーパーカミオカンデ <a href="http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/">http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/</a> KAMLAND <a href="https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamland/">https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamland/</a> XENONnt
---

## 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	田中 雅士 (TANAKA Masashi) (30545497)	早稲田大学・理工学術院・准教授(任期付) (32689)	
研究分担者	池田 一得 (IKEDA Motoyasu) (90583477)	東京大学・宇宙線研究所・助教 (12601)	
研究分担者	竹田 敦 (TAKEDA Atsushi) (40401286)	東京大学・宇宙線研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	岩田 圭弘 (IWATA Yoshihiro) (20568191)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター・研究職 (82110)	
研究分担者	伊藤 主税 (ITO Chikara) (90421768)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・安全・核セキュリティ統括本部・研究主幹 (82110)	
研究分担者	市村 晃一 (ICHIMURA Koichi) (80600064)	東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教 (11301)	

## 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

米国	Boston University	University of California, Irvine	California State University	他3機関
英国	Imperial College London	King's College London	University of Liverpool	他5機関
韓国	Chonnam National University	Gwangju Insti. of Science and Technology	Seoul National University	
カナダ	University of Toronto	TRIUMF	University of Winnipeg	他1機関
イタリア	INFN Sezione di Bari	INFN Sezione di Napoli	INFN Sezione di Padova	他1機関