

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00688

研究課題名（和文）超高感度NaI(Tl)検出器による宇宙暗黒物質の探索

研究課題名（英文）Search for cosmic dark matter by highly radiopure NaI(Tl) scintillator

研究代表者

伏見 賢一（FUSHIMI, Kenichi）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・教授

研究者番号：90274191

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,500,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙暗黒物質を探索するために、高純度のNaI(Tl)検出器を開発した。当初の計画では質量約6 kgの大型結晶を複数個製造して測定感度を向上させる予定であった。研究計画を推進する中で、結晶の更なる高純度化が必要となったため、方針を変更して高純度化を推進することとなった。NaI(Tl)結晶の高純度化のために原料の純化行程を詳細に検討し、再結晶化による放射性カリウムの除去と、イオン交換樹脂による放射性鉛の除去を組み合わせたハイブリッド型純化方法を開発した。その結果、鉛210などの純度について目標を達成し、将来の大型化による高感度化への道筋を切り開くことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙暗黒物質探索実験は、宇宙物理学、素粒子物理学の最重要課題の一つである。様々なモデルによって提案されている宇宙暗黒物質の候補を探索する実験は、高感度の放射線検出器を応用して実行されているが、確定的な信号は未だに捉えられていない。

本研究ではタリウム添加ヨウ化ナトリウム結晶(NaI(Tl)と略記する)を用いた宇宙暗黒物質探索の感度を向上させるために結晶の純化に取り組んだ。その結果世界で最も高純度な結晶を製造することに成功した。この成果を応用することで世界の宇宙暗黒物質探索実験のみならず、重ベータ崩壊探索実験など極高感度の実験に対する感度を飛躍的に向上させることができる。

研究成果の概要（英文）：A high-purity NaI(Tl) detector has been developed to search for cosmic dark matter. The initial plan was to manufacture multiple large crystals with a mass of about 6 kg to improve the sensitivity. In the course of promoting the research plan, it became necessary to improve the purity of the crystal further, so it was decided to change the policy and promote higher purification.

In order to obtain high-purity NaI(Tl) crystals, we investigated the purification process of raw materials in detail. We developed a hybrid purification method that combines the removal of radioactive potassium by recrystallization and removing radioactive lead by ion exchange resin. As a result, we achieved the target for the purity of ^{210}Pb , ^{40}K , and other radioactive isotopes. We succeeded in paving the way for higher sensitivity by increasing the size in the future.

研究分野：素粒子・宇宙線・原子核の実験

キーワード：宇宙暗黒物質 シンチレーター結晶 化学分離 放射線計測

1. 研究開始当初の背景

(1) はじめに 宇宙暗黒物質の探索は、宇宙物理学・素粒子物理学の最重要課題の一つである。現在観測されている宇宙の構造を説明するためには、未知の素粒子である宇宙暗黒物質が宇宙全体のエネルギー比率において約 26%程度必要である[1]。

宇宙暗黒物質の候補は物質と弱い相互作用をする重い素粒子である WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)が注目されており、高感度の放射線検出器を利用して探索実験が進められている。研究開始当初から 2023 年までの最も高感度は実験は液体キセノンを使用した Xenon 実験である。これは 1 トン以上の超大容量液体キセノンを高純度化し、バックグラウンドを 10^{-5} /day/keV/kg まで低減させることに成功している。しかしながら宇宙暗黒物質の候補とみられる信号を捉えるには至っていない[2]。その他の標的核を用いた検出器は Xenon と同等レベルの低バックグラウンドを達成できていない。

現時点で一つだけ、WIMPs に起因すると考えられる信号を報告しているグループが、イタリアの DAMA/LIBRA グループである。彼らは高純度かつ大容量の NaI(Tl)結晶を 250 kg 使用して実験し、地球の公転に起因すると考えられる WIMPs 計数率の季節変化を観測したと報告している[3]。しかしながら、DAMA/LIBRA グループが報告した領域の WIMPs に関する質量と散乱断面積の領域は Xenon グループの実験で排除されている。

DAMA/LIBRA グループの結果は、既知のいかなる物理現象および実験環境の変動による原因を排除しているため、Xenon 実験では観測されない宇宙暗黒物質の候補、もしくは未知の物理現象であるという可能性が排除できていない。

(2) NaI(Tl)結晶を用いた検証実験

上記の混乱を解決するため、韓国の COSINE グループ、スペインの ANAIS グループが質量約 100 kg の NaI(Tl)検出器を使用して検証実験を始めた。しかしながら、彼らの実験ではバックグラウンドレベルが DAMA/LIBRA グループの 2~4 倍となっており、十分な検証にはなっていない[4]。DAMA/LIBRA グループは COSINE や ANAIS の結果が出ても季節変化を検出したという主張をやめていない。

2. 研究の目的

我々が主導する PICOLON 計画(Pure Inorganic Crystal Observatory for LOw-energy Neutr(al)ino)は、超高純度の NaI(Tl)結晶を開発して宇宙暗黒物質探索を行うことを目的としている。現時点の NaI(Tl)結晶には数 1000 μ Bq/kg に達する高濃度の ^{210}Pb および 600 μ Bq/kg に達する ^{40}K の汚染により、バックグラウンドが十分に低下しないという課題があった。

そこで、超高純度の NaI(Tl)結晶を製造し、100 kg を超える大容量の NaI(Tl)検出器システムを構成して宇宙暗黒物質探索実験を実行し、有効な DAMA/LIBRA グループの検証を行うことを目的とした。目的達成のための目標は NaI(Tl)結晶に含まれる放射性不純物を表 1 のレベルまで低減させることである。

表 1 NaI(Tl)を使う各グループの純度と本計画の目標値。

	DAMA	COSINE	ANAIS	SABRE	Target purities
^{nat}K (ppb)	<20	17~62	18~40	4	<20 ppb
^{232}Th (μ Bq/kg)	2~31	2.5~35	~4	0.8	<16 μ Bq/kg
^{226}Ra (μ Bq/kg)	8.7~124	11~451	~10	5	<120 μ Bq/kg
^{210}Pb (μ Bq/kg)	5~30	50~3800	740~3150	360	<50 μ Bq/kg

3. 研究の方法

(1) NaI(Tl)結晶の高純度化

NaI(Tl)の純度を向上させるため、純化の方法を中心に開発を進めた。研究計画の途中でコロナ禍に伴う材料調達の不足ならびに実験計画の修正が必要となり、大容量の検出器システムによる宇宙暗黒物質探索実験には至らなかったが、結晶純化の方法を確立することに成功した。以下に、結晶純化の方法について説明する。

表 1 に列挙した放射性不純物には水溶性の化合物になるカリウムと非水溶性の化合物になるトリウム、ラジウムおよび鉛があり、それぞれに対して有効な純化方法を最適化する必要がある。我々はカリウムの除去については再結晶法、非水溶性の不純物除去については樹脂を用いた分析化学の手法を使って除去することを決定し、それぞれの方法について最適化を行った。

再結晶法による不純物除去

ヨウ化ナトリウム水溶液中のカリウム不純物は、水溶性のヨウ化カリウムもしくは水酸化カ

リウムとして水に溶けている。カリウムの濃度はヨウ化ナトリウムに比べて十分に低いため、完全にイオン化しており、ヨウ化ナトリウムを再結晶化させることによってカリウムを除去した結晶を取り出すことができる。図 1 に再結晶法の様子を示す。図の下には廃液が茶色の液体として見られる。純化された NaI は写真上部の白色粉末として得られる。これを結晶化させて NaI(Tl)検出器を製造し、バックグラウンドの測定を行った。



図 1 再結晶によって得られる高純度 NaI (写真上部の白い粉)

樹脂法による不純物除去

非水溶性の不純物は、水酸化物および酸化物として混入しており、それらの不純物に最適化されたイオン交換樹脂などを使用して除去することが効果的であると考えた。複数の樹脂を用いて鉛化合物の除去効率を調査し、最適な樹脂を選定した。図 2 の様にカラムに選択した樹脂を入れて NaI の水溶液を流して純化作業を行った。

上記 2 つの純化方法によって得られた NaI(Tl)結晶を検出器として組み立て、放射性不純物の濃度を測定した。



図 2 樹脂に NaI 溶液を通して純化している様子。

(2) 低バックグラウンド測定による宇宙暗黒物質探索

本研究の主たる目的である宇宙暗黒物質探索は、岐阜県飛騨市の東北大学ニュートリノ研究センター神岡実験施設にて実施した。実験施設内に鉛 20 cm と銅 5 cm の遮蔽体を設置し、その内部に純化を施した NaI(Tl)検出器を設置した。

当初の計画では一個あたり 5.9 kg の NaI(Tl)結晶を 9 個配置する予定であったが、純化行程の最適化に時間を要したため、2 個の検出器を配置するにとどまった。

低バックグラウンド測定は 2020 年から開始し、2021 年には純化行程の検証として作製した 2 個目の NaI(Tl)検出器を増設してバックグラウンド測定を開始した。2022 年度には実験環境の安定性を確認するために環境モニターを設置した。

4. 研究成果

(1) NaI(Tl)結晶の純化

NaI(Tl)結晶に含まれる放射性不純物の濃度は、低バックグラウンド測定によって測定した。はじめに再結晶法の効果を見るために純化した後の粉末から発生するガンマ線を Ge 放射線検出器で計測したところ、純化行程を 2 回繰り返すことによって検出限界に達した。そこで純化行程を 2 回繰り返した場合と 3 回繰り返した場合で純度がどこまで向上するかを、NaI(Tl)検出器を製造してバックグラウンドを測定して確認した。

実験結果を図 3 に示す。再結晶を行っていない青色のエネルギースペクトルでは、 ^{40}K に起因するガンマ線のピークが 1460 keV 付近に明瞭に観測され、 ^{40}K のベータ崩壊に伴うベータ線の構造が 1000 keV 以下の領域に明瞭に見えていた。ベータ線のスペクトルが見えていることから、結晶本体が ^{40}K によって汚染されていることが確認された。水色のエネルギースペクトルは、純化作業を 2 回繰り返して得られた NaI(Tl)による測定結果である。青色のエネルギースペクトルで明瞭に見えていた ^{40}K に起因する構造が完全に消えていることがわかった。これにより、結晶に含まれる天然カリウムの濃度は 20 ppb 以下に低減でき、目標を達成したことが明らかになった。

非水溶性不純物を除去する樹脂法による純化処理と、2 回の再結晶法を組み合わせた NaI(Tl)結晶に含まれる放射性不純物を測定し、順調な除去率を確認した。

非水溶性の不純物は、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 及び ^{210}Pb で、いずれも崩壊系列の過程で線を放出するため、測定データから線の事象を抽出することで精密に濃度を分析することができる。図 4 に線のエネルギースペクトルを示す。青色のスペクトルはこれまで我々のグループが開発した高

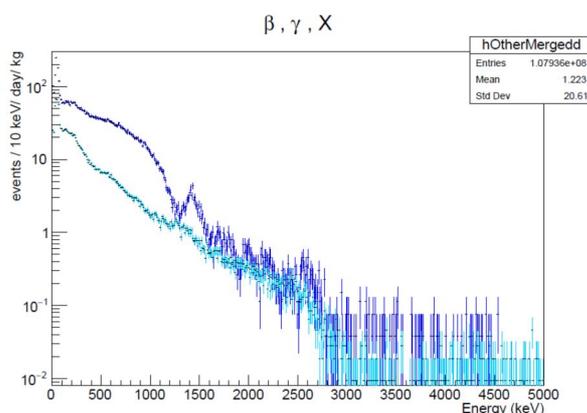


図 3 青：再結晶をしない場合の NaI(Tl)によるエネルギースペクトル。水色：再結晶を 2 回繰り返した場合のエネルギースペクトル。

純度の NaI(Tl)結晶によるデータである。この純度は既に DAMA/LIBRA グループと同等の純度を確保していた。赤色のスペクトルが本研究によって純化された NaI(Tl)によるものである。大幅な計数率の低減が明らかになっており、樹脂による純化が成功したことを確認した。

2021 年には純化方法の再現性を確認するために同じ方法で純化した NaI(Tl)結晶を用いてバックグラウンド測定を行い、良好な結果を得た。

表 2 に、我々のグループで開発してきた NaI(Tl)結晶の純化方法と純度の経緯を示す。カリウムについては、再結晶法を 2 回繰り返すことによって測定限界の濃度にまで低減できており、純度の再現性が良く出ていることが確認された。ウラン系列の ^{226}Ra 及びトリウム系列の ^{223}Th についても再結晶法で良好な純度の低減が見られ、再結晶法の効果がよく見えている。

一方で、 ^{210}Pb の濃度は再結晶法では十分な低減が見られず、表 2 の Ingot73 および Ingot83 では $600 \mu\text{Bq/kg}$ 以上の高濃度な汚染が見られていた。本計画で開発した樹脂法を組み合わせたハイブリッド型純化法により、Ingot85 以降の結晶では検出限界以下にまで下がっていることが確認できた。また純化方法による純度の再現性も良好に観測された。これにより、NaI(Tl)結晶の純化方法は完全な形で確立された。

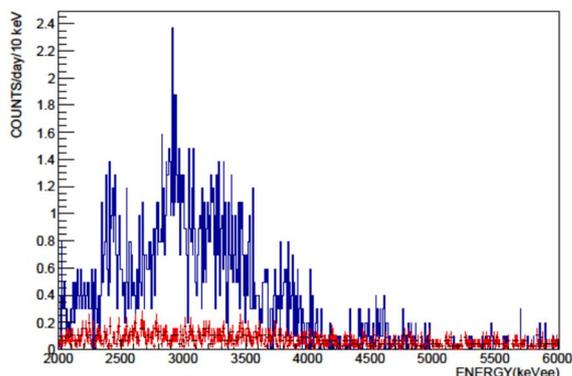


図 4 青：既存の NaI(Tl)による 線事象のエネルギースペクトル。赤：本研究で開発した NaI(Tl)によるエネルギースペクトル。

表 2 本計画による NaI(Tl)純度向上の経緯。

結晶番号	Ingot26	Ingot73	Ingot83	Ingot85	Ingot94	目標
製造年	(2015)	(2018)	(2019)	(2020)	(2021)	
^{nat}K (ppb)	2630	<20	<20	<20	<20	<20
^{232}Th (ppt)	0.4 ± 0.5	1.7 ± 0.2	1.8	0.3 ± 0.5	<6	<4
^{238}U (ppt)	4.7 ± 0.3	9.7 ± 0.8	2.8	1.0 ± 0.4	2	<10
^{210}P ($\mu\text{Bq/kg}$)	29.4 ± 6.6	1500	630	<5.7	<5	<10
純化方法	鉛用樹脂	再結晶 × 2	再結晶 × 2+ 樹脂	再結晶 × 2+ 樹脂	再結晶 × 2+ 最適化樹脂	

(2) 低バックグラウンド測定による宇宙暗黒物質探索

宇宙暗黒物質探索のための低バックグラウンド測定は、2021 年夏から開始した。始めに地上で作成した NaI(Tl)結晶に含まれる宇宙線生成核種の事象を調査し、 ^{126}I および ^{125}I による低エネルギー領域 (100 keV 以下) の影響を確認した。いずれの核種も 30 keV 付近に特性 X 線を発生させるため、これらによる計数率の低減を観測して宇宙線生成核種の濃度を特定した。

地下実験室に設置したあと半年ほどが経過すれば上述の宇宙線生成核種の事象はほぼ消失するため、低バックグラウンド状態による連続測定を開始した。

今回の測定では、多数のモジュールによる反同時計数はできないため、単独の NaI(Tl)モジュールによるバックグラウンド測定となったが、図 5 に示すとおり、10 keV 以下のエネルギー領域において 2 /day/keV/kg という良好なバックグラウンドを得ることができた。これは単独のモジュールで実施している NaI(Tl)検出器の中では世界で最も低いバック

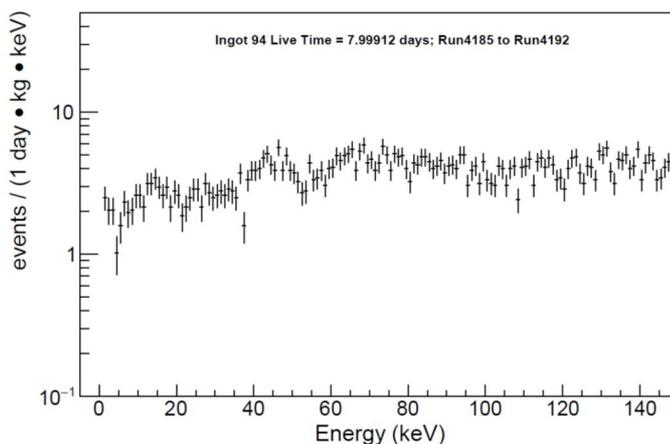


図 5 宇宙暗黒物質探索用の低バックグラウンド測定結果。

グラウンドである。

参考文献

- [1] 伏見賢一、『宇宙物理学入門～現代宇宙物理学の A から Ω ～』大学教育出版(2021) 181.
- [2] E. Aprile et al., Phys. Rev. Lett. **129**, 161805 (2022).
- [3] R. Bernabei et al., Nucl. Phys. AT. Energy **19** (2018) 307.
- [4] G. Adhikari et al., Scientific Reports 13:4676 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 K.Fushimi D.Chernyak H.Ejiri, K.Hata, R.Hazama, T.Iida, H.Ikeda, K.Imagawa, K.Inoue, H.Ito, T.Kisimoto, M.Koga, K.Kotera, A.Kozlov, K.Nakamura, R.Orito, T.Shima, Y.Takemoto, S.Umehara, Y.Urano, Y.Yamamoto, K.Yasuda, S.Yoshida	4. 巻 49
2. 論文標題 Crystal growth of high-purity NaI(Tl)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本結晶成長学会誌	6. 最初と最後の頁 03-1~11
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 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 伏見 賢一・D. Chernyak・江尻 宏泰・畑 和実・碓 隆太・飯田 崇史・池田 晴雄・今川 恭四郎・井上 邦雄・伊藤 博士・岸本 忠史・古賀 真之・小寺 健太・A. Kozlov・中村 健悟・折戸 玲子・嶋 達志・竹本 康浩・梅原 さおり・浦野 雄介・山本 祐平・保田 賢輔	4. 巻 40
2. 論文標題 高純度ヨウ化ナトリウムの結晶育成	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本結晶成長学会誌「特集 バルク結晶の欠陥・不純物の制御と評価」	6. 最初と最後の頁 49-4-03
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 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 S. Ajimura, W. M. Chan, K. Ichimura, T. Ishikawa, K. Kanagawa, B. T. Khai, T. Kishimoto, H. Kino, T. Maeda, K. Matsuoka, N. Nakatani, M. Nomachi, M. Saka, K. Seki, Y. Takemoto, Y. Takihira, D. Tanaka, M. Tanaka, K. Fushimi (64番目)他50名	4. 巻 103
2. 論文標題 Low background measurement in CANDLES-III for studying the neutrinoless double beta decay of ^{48}Ca	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 092008-1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.103.092008	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 Fushimi K, Kanemitsu Y, Hirata S, Chernyak D, Hazama R, Ikeda H, Imagawa K, Ishiura H, Ito H, Kisimoto T, Kozlov A, Takemoto Y, Yasuda K, Ejiri H, Hata K, Iida T, Inoue K, Koga M, Nakamura K, Orito R, Shima T, Umehara S, Yoshida S	4. 巻 2021
2. 論文標題 Development of highly radiopure NaI(Tl) scintillator for PICOLON dark matter search project	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 043F01-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab020	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 Khai B. T., Ajimura S., Chan W. M., Fushimi K., Hazama R., Hiraoka H., Iida T., Kanagawa K., Kino H., Kishimoto T., Maeda T., Nakajima K., Nomachi M., Ogawa I., Ohata T., Suzuki K., Takemoto Y., Takihiro Y., Tamagawa Y., Tozawa M., Tsuzuki M., Umehara S., Yoshida S.	4. 巻 68
2. 論文標題 A Study on Energy Resolution of CANDLES Detector	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 368 ~ 378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2021.3054788	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 S. Abe, S. Asami, A. Gando, Y. Gando, T. Gima, A. Goto, T. Hachiya, K. Hata, S. Hayashida, K. Hosokawa, K. Ichimura, S. Ieki, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Kamei, N. Kawada, Y. Kishimoto, K. Fushimi (46番目)他26名	4. 巻 909
2. 論文標題 Search for Low-energy Electron Antineutrinos in KamLAND Associated with Gravitational Wave Events	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 116-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd5bc	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 A. Gando, K. Fushimi, H. Ikeda, K. Inoue, M. Koga, K. Nakamura, A. Kozlov, D. Chernyak, Y. Takemoto, S. Umehara, S. Yoshida, 他KamLAND-Zen Collaboration (他46名)	4. 巻 122
2. 論文標題 Precision Analysis of the Xe136 Two-Neutrino Spectrum in KamLAND-Zen and Its Impact on the Quenching of Nuclear Matrix Elements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 192501-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.192501	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 K.Hata, E.Choi, K.Fushimi, R.Orito	4. 巻 1
2. 論文標題 Measurement of the scintillation response of neutron scatterer in NaI(Tl) scintillator for dark matter search	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 33rd Workshop on Radiation Detectors and Their Uses, KEK Proceedings 2019-4	6. 最初と最後の頁 69-76
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 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 Kanemitsu Y., Chernyak D., Ejiri H., Fushimi K., Hata K., Hazama R., Ikeda H., Imagawa K., Inoue K., Kozlov A., Orito R., Shima T., Takemoto Y., Umehara S., Yasuda K., Yoshida S.	4. 巻 1468
2. 論文標題 Purification of the NaI(Tl) crystal for dark matter search project PICOLON	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012054 ~ 012054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012054	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

[学会発表] 計31件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 PICOLON宇宙暗黒物質探索報告
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 石浦宏尚, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, 小寺健太, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 PICOLON報告 ~ NaI(Tl)検出器による宇宙暗黒物質の現状と計画 ~
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小寺健太, 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 石浦宏尚, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 PICOLON高純度NaI(Tl)結晶のバックグラウンド測定結果
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小寺健太, 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 石浦宏尚, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 BG measurement results of high purity NaI(Tl) crystals
3. 学会等名 次世代放射線シンポジウム(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 無機シンチレーターの高純度化による宇宙・素粒子物理学の展望
3. 学会等名 光検出器プラットフォーム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 PICOLON dark matter search project
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 浦野雄介, 伏見賢一, 折戸玲子, 黒澤俊介, 向井啓祐, 小西哲之
2. 発表標題 Measurement of the quenching factor in NaI(Tl) scintillator for dark matter search
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 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 石浦宏尚, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, 小寺健太, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 超高純度無機シンチレーターによる宇宙暗黒物質探索の展望
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第36回)(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浦野雄介, 伏見賢一, 折戸玲子, 黒澤俊介, 向井啓祐, 小西哲之
2. 発表標題 単色中性子を用いた宇宙暗黒物質探索用NaI(Tl)シンチレータの低エネルギー原子核反跳における消光因子測定
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第36回)(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小寺健太, 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 石浦宏尚, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 高純度NaI(Tl)検出器のバックグラウンド測定
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第36回)(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岸田由美子, 伏見賢一, 梅原さおり, 吉田斉, 坂上陽俊
2. 発表標題 二重ベータ崩壊観測装置開発用の高感度 Ge 検出器開発
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」(第36回)(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 超高純度固体シンチレーターによる宇宙暗黒物質探索
3. 学会等名 研究会darkOnline(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 石浦宏尚, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, 小寺健太, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 超高純度NaI(Tl)による宇宙暗黒物質探索
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦野雄介, 畑和実, 折戸玲子, 黒沢俊介, 伏見賢一, 小西哲之, Mahmoud Bakr, 向井啓介
2. 発表標題 宇宙暗黒物質探索のための単色中性子を用いたNaI(Tl)の消光因子測定
3. 学会等名 研究会「放射線検出器とその応用」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 高純度結晶～宇宙暗黒物質・二重 崩壊探索用無機シンチレーターの開発～
3. 学会等名 極低放射能技術研究会2021（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 PICOLON宇宙暗黒物質探索（NaI(Tl)の純化と宇宙暗黒物質探索実験）
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 シンチレーター原料の高純度化
3. 学会等名 新学術領域「地下宇宙」研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伏見賢一, D. Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 金光佑太, A.Kozlov, 折戸玲子, 嶋達志, 梅原さおり, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 PICOLON報告：超高感度NaI(Tl)検出器による宇宙暗黒物質の探索・全体計画
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 金光佑太, D. Chernyak, 江尻宏泰, 伏見賢一, 碓隆太, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 畑和実, A.Kozlov, 折戸玲子, 嶋達志, 梅原さおり, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 PICOLON報告: 宇宙暗黒物質探索のためのNaI(Tl)結晶の高純度化
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 畑和実, D. Chernyak, 江尻宏泰, 伏見賢一, 碓隆太, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 金光佑太, A.Kozlov, 折戸玲子, 嶋達志, 梅原さおり, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 PICOLON報告: 宇宙暗黒物質探索のためのNaI(Tl)シンチレーターの中性子応答評価
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 伏見賢一
2. 発表標題 High purity inorganic scintillator for astroparticle physics
3. 学会等名 15 th International Conference on Scintillating Materials and their Applications, SINT 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 PICOLON dark matter search
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics, TAUP2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 Purification of CaF ₂ crystal for double beta decay experiment
3. 学会等名 Low Radioactivity Techniques (LRT) workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K.Kotera, D.Chernyak, H.Ejiri, K.Fushimi, K.Hata, R.Hazama, T.Iida, H.Ikeda, K.Imagawa, K.Inoue, H.Ito, T.Kishimoto, M.Koga, A.Kozlov, K.Nakamura, R.Orito, T.Shima, Y.Takemoto, S.Umehara, Y.Urano, K.Yasuda, S.Yoshida
2. 発表標題 Background analysis of NaI(Tl) crystals for the PICOLON detector.
3. 学会等名 "Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics"(UGAP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y.Urano, Y.Kawai, K.Fushimi, K.Hata, S.Konishi, S.Kurosawa, K.Mukai, Y.Ogino, R.Orito, T.Sakabe
2. 発表標題 Quenching factor measurement in low-energy nuclear recoil of NaI(Tl) scintillator using monochromatic neutrons for dark matter search
3. 学会等名 "Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics"(UGAP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伏見 賢一・D. Chernyak・江尻 宏泰・畑 和実・裕 隆太・飯田 崇史・池田 晴雄・今川 恭四郎・井上 邦雄・伊藤 博士・岸本 忠史・古賀 真之・小寺 健太・A. Kozlov・中村 健悟・折戸 玲子・嶋 達志・竹本 康浩・梅原 さおり・浦野 雄介・山本 祐平・保田 賢輔
2. 発表標題 超高純度無機シンチレーターによる宇宙・素粒子稀現象の研究
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第35回秋期シンポジウム・クリスタルサイエンス(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伏見賢一
2. 発表標題 宇宙暗黒物質探索実験の現状と課題～宇宙暗黒物質信号の真偽は？～
3. 学会等名 融合領域研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小寺健太, 伏見賢一, D.Chernyak, 江尻宏泰, 畑和実, 裕隆太, 飯田崇史, 池田晴雄, 今川恭四郎, 井上邦雄, 伊藤博士, 岸本忠史, 古賀真之, A.Kozlov, 中村健悟, 折戸玲子, 嶋達志, 竹本康浩, 梅原さおり, 浦野雄介, 保田賢輔, 吉田斉
2. 発表標題 高純度NaI(Tl)検出器のバックグラウンド測定3
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 伏見賢一, 坂上陽俊, 裕隆太, 今川恭四郎, 岸田有美子, 小寺健太, 黒澤俊介, 坂口綾, 高久雄一, 梅原さおり, 浦野雄介, 山本祐平, 保田賢輔
2. 発表標題 高純度CaF ₂ 開発に向けたCaCl ₂ の純化
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 浦野雄介, 伏見賢一, 畑和実, 川合洋平, 小西哲之, 黒澤俊介, 向井啓祐, 荻野靖之, 折戸玲子, 坂部俊郎
2. 発表標題 単色中性子を用いた宇宙暗黒物質探索用NaI(Tl)の消光因子精密測定
3. 学会等名 Scintillator for Medical, Astroparticle and environmental Radiation Technologies (SMART2022) (招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K.Kotera, D.Chernyak, H.Ejiri, K.Fushimi, K.Hata, R.Hazama, T.Iida, H.Ikeda, K.Imagawa, K.Inoue, H.Ito, T.Kishimoto, M.Koga, A.Kozlov, K.Nakamura, R.Orito, T.Shima, Y.Takemoto, S.Umehara, Y.Urano, K.Yasuda, S.Yoshida
2. 発表標題 PICOLON宇宙暗黒物質探索の現状
3. 学会等名 Scintillator for Medical, Astroparticle and environmental Radiation Technologies (SMART2022) (招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 伏見 賢一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 大学教育出版	5. 総ページ数 192
3. 書名 宇宙物理学入門 第3版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

PICOLON Fushimi (PICOLON計画公式ツイッター) https://twitter.com/PicolonF

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

米国	Univ. of Alabama	Lawrence Berkeley National Laboratory	University of Hawaii at Manoa	他8機関
ロシア連邦	Moscow Engineering Physics Institute	National Research Nuclear University		