

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01114

研究課題名（和文）中性子星元素合成解明のための新手法を用いた中性子捕獲反応率決定

研究課題名（英文）Determination of neutron capture reaction rate with new method for nucleosynthesis at neutron star merger

研究代表者

梶野 泰宏（Togano, Yasuhiro）

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・協力研究員

研究者番号：20517643

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では中性子星合体で起こる元素合成過程の解明するために、その元素合成に関与する多数の中性子過剰核の中性子捕獲反応率を間接的に決定する新手法を開発し、それを用いて様々な核の中性子捕獲反応率を決定することを目指した。新手法に必要な陽子とガンマ線の同時検出する新検出器を開発し、量子科学技術研究開発機構HIMACでプロトタイプを用いてテスト実験を行い、さらにRIBFでフルセットアップを用いて中性子過剰核を用いた実験を行った。またRIBFに新手法を中性子捕獲反応率が既知の核に適用する実験を提案し、3日間のビームタイムを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄より重い重元素の起源は自然科学の大きな問題の1つである。中性子星合体が重元素の起源天体の1つであるが、その元素合成過程の詳細は原子核反応の不定性が原因の1つとなり未だ不明である。本研究の新手法を用いれば原子核反応の1つである中性子捕獲反応の不定性を小さくすることができ、中性子星合体における重元素合成過程の詳細な議論が可能となる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed at determining neutron capture reaction rates on many neutron-rich nuclei, which impact nucleosynthesis process in neutron-star mergers, using a new indirect method. A new detector to measure energies of protons and gamma rays are developed. The prototype of the new detector was tested as QST-HIMAC, and the full setup of the new detector was utilized to investigate neutron-rich nuclei at RIBF. In addition, three days of beam time was approved by RIBF for evaluating the new method.

研究分野：実験核物理

キーワード：実験核物理 中性子過剰核 中性子捕獲反応 元素合成 不安定核

1. 研究開始当初の背景

元素の起源は自然科学の根源的な問題の 1 つである。特に鉄より重い重元素の起源は未だ謎に包まれている。2017 年の中性子星合体を起源とする重力波と電磁波の観測から、中性子星合体で重元素生成が起こっていることが示された。しかし中性子星合体だけではすべての重元素の量を説明できない可能性も指摘されているため、中性子星合体における元素合成過程の詳細を理解する必要がある。中性子星合体では r 過程と呼ばれる、原子核が連鎖的に中性子捕獲反応と崩壊を起こし、ウランよりも重い重元素までを生成する元素合成過程が起こっている。しかし r 過程に関与する原子核の中性子捕獲反応は、原子核、中性子ともに短寿命かつ低強度であるため直接測定がほぼ不可能であることから反応の不定性が大きく、r 過程と中性子星合体元素合成の理解のボトルネックの 1 つになっている。これまで中性子捕獲反応率は、中性子捕獲反応以外の様々な反応を用いて間接的に決定されてきた。しかし従来の手法は効率が不十分で r 過程関与核の中性子捕獲反応率決定は不可能であった。

2. 研究の目的

本研究では r 過程に重要な核の中性子捕獲反応率を実験的に決定するため、従来の手法よりも高効率で中性子捕獲反応率決定が行える新たな間接的手法を確立し、その手法を用いて r 過程元素合成に重要な $^{127,129}\text{Cd}$ の中性子捕獲反応率を決定することを目指した。

3. 研究の方法

中性子捕獲反応では、中性子捕獲後に生成された核の複合核状態とよばれる励起状態が生成される。複合核状態は中間の様々な状態を経由しながらガンマ線放出により脱励起し、基底状態にたどり着く。中性子捕獲反応率は生成核の反応に寄与可能な励起状態の数とガンマ線放出応答の 2 つの量によってほぼ決まるため、本研究ではオスロ法と呼ばれる励起エネルギーと脱励起ガンマ線の同時測定から励起状態の数とガンマ線放出応答を決定する間接的手法を用いる。従来のオスロ法は強度の低い短寿命核への適用が難しく、これまで r 過程関連核の研究に用いることはできていなかった。そこで本研究では陽子ノックアウト反応の高反応率と検出効率の高い大立体角検出器を組み合わせることでオスロ法を高効率化し、低強度である r 過程関連核の中性子捕獲反応率決定を可能にする。オスロ法に必須の励起エネルギーと脱励起ガンマ線の同時測定は、陽子ノックアウト反応起源の反跳陽子の運動量測定と脱励起ガンマ線の同時測定から行う。大立体角検出器には STRASSE+CATANA setup を用いる。STRASSE はシリコン半導体検出器を用いた飛程検出器で、CATANA は CsI (Na) シンチレータ 140 個を用いた陽子とガンマ線のエネルギーを測定する検出器である。

4. 研究成果

この新手法の実現には CATANA を用いて陽子ノックアウト反応から来る 30 MeV から 250 MeV の運動エネルギーをもつ陽子と、0.1 MeV から 10 MeV のエネルギーを持つガンマ線の同時測定を CATANA で行う必要がある。

その同時測定の実現のため、2021 年度には CATANA の信号読み出し回路をデュアルゲイン化した。2022 年度には CATANA の CsI (Na) 検出器の一部と STRASSE のプロトタイプを組み合わせた実験セットアップを、量子科学技術研究開発機構 HIMAC に持ち込み陽子-陽子弾性散乱反応を測定した。その測定で得られた反跳陽子の散乱角度と CATANA で測定された陽子エネルギーの相関を図 1 に示す。この測定から陽子のエネルギー分解能が 1.7% であることがわかり、励起エネルギー再構成に十分な分解能を持つことがわかった。

2023 年度には開発した検出器をもいいて短寿命原子核の ^{10}Be と ^{11}Li の反応測定

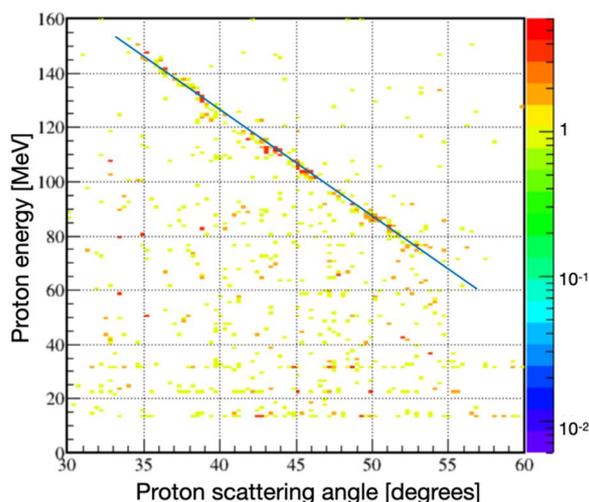


図 1: STRASSE プロトタイプを用いて再構成した陽子の散乱角度と CATANA で測定した陽子のエネルギーの相関。青線が陽子-陽子弾性散乱起源のイベントを表す。

を行った。 ^{10}Be 反応測定においては STRASSE の代わりにプラスチックシンチレータを用いた粒子飛跡検出器を組み合わせ、 ^{10}Be の陽子ノックアウト反応と重陽子ノックアウト反応を測定した。 ^{11}Li 反応測定においては STRASSE プロトタイプと組み合わせ、 ^{11}Li の陽子ノックアウト反応を測定した。

図 2 にこれらの実験で得た ^{10}Be のガンマ線スペクトルを示す。既知の励起状態に対応する脱励起ガンマ線が観測された。図 3 に ^{10}Be 測定時に得た CATANA で測定した粒子のエネルギーとプラスチックで測定したエネルギー損失の相関を示す。反応で生成された陽子と重陽子を分離することができる。これらの結果は陽子、重陽子のエネルギー測定とガンマ線のエネルギー測定を CATANA で同時に行うことができていることを示している。現在各データ解析が進行中である。

また 2022 年度には新手法を検証するための ^{113}In の陽子ノックアウト反応を測定する実験を、オスロ大学と協力して理化学研究所 RIBF に提案し、3 日間のビームタイムを得た。この実験では ^{113}In から生成される安定核で中性子捕獲反応率が既知の ^{112}Cd を生成する。新手法検証実験は 2025 年度に行う予定である。

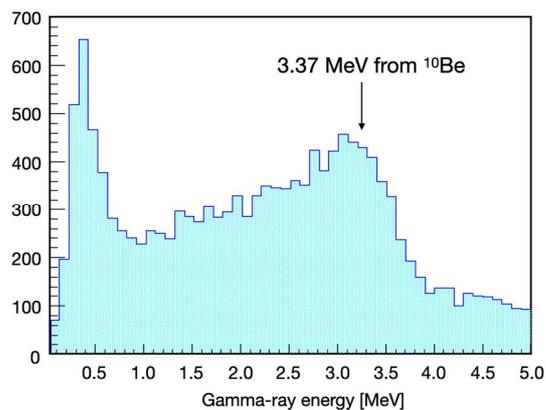


図 2: CATANA を用いて得たガンマ線スペクトル。約 3.3MeV のピークが ^{10}Be 起源の既知のガンマ線に対応する。

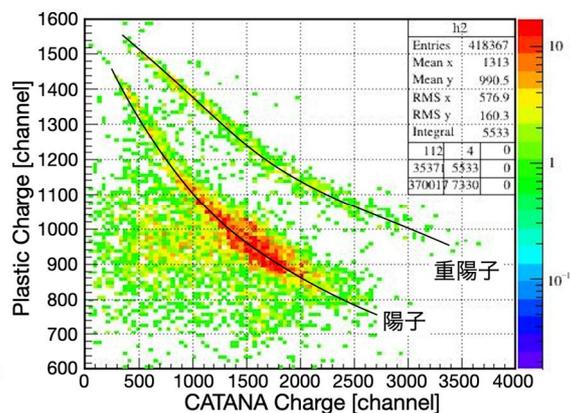


図 3: プラスチックで得たエネルギー損失と CATANA で得たエネルギーの相関。陽子と重陽子の分離が達成できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 27件/うち国際共著 26件/うちオープンアクセス 10件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 B. D. Linh, Y. Togano, T. Nakamura et al. | 4. 巻 109 |
| 2. 論文標題 Onset of collectivity for argon isotopes close to N=32 | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 034321 1-15 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.109.034312 | 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 B. Monteagudo, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 132 |
| 2. 論文標題 Mass, Spectroscopy, and Two-Neutron Decay of ^{16}Be | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 082501 1-6 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.132.082501 | 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 L. Stuhl, T. Nakamura, Y. Togano | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 Study of Gamow-Teller giant resonance in ^{11}Li drip-line nucleus | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 IL NUOVO CIMENTO C | 6. 最初と最後の頁 39 1-6 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1393/ncc/i2024-24039-6 | 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 Y. Togano, T. Nakamura et al. | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 Electric dipole strength of ^{52}Ca | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 IL NUOVO CIMENTO C | 6. 最初と最後の頁 30 1-6 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1393/ncc/i2024-24030-3 | 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 S. Chen, Y. Togano, T. Nakamura et al. | 4. 巻 843 |
| 2. 論文標題 Level structures of $^{56, 58}\text{Ca}$ cast doubt on a doubly magic ^{60}Ca | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 138025 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138025 | 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 Z. Elekes, Y. Togano et al. | 4. 巻 844 |
| 2. 論文標題 Shape coexistence in ^{66}Se | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 123072 1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138072 | 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 Y. Kondo, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 620 |
| 2. 論文標題 First observation of 280 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Nature | 6. 最初と最後の頁 965-970 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-023-06352-6 | 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 H. N. Liu, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 STRASSE: a silicon tracker for quasi-free scattering measurements at the RIBF | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 The European Physical Journal A | 6. 最初と最後の頁 121 1-26 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/s10050-023-01018-3 | 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 P. J. Li, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 131 |
| 2. 論文標題 Validation of the $_{10}\text{Be}$ Ground-State Molecular Structure Using $_{10}\text{Be}(p, p)_{6}\text{He}$ Triple Differential Reaction Cross-Section Measurements | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 212501 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.131.212501 | 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 T. Pohl, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 130 |
| 2. 論文標題 Multiple Mechanisms in Proton-Induced Nucleon Removal at ~ 100 MeV/Nucleon | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 172501 1-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.130.172501 | 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 H. Wang, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 843 |
| 2. 論文標題 Intruder configurations in $_{29}\text{Ne}$ at the transition into the island of inversion: Detailed structure study of $_{28}\text{Ne}$ | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 138038 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138038 | 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 Z. H. Yang, Y. Togano et al. | 4. 巻 131 |
| 2. 論文標題 Observation of the Exotic $0+2_{\text{Cluster}}$ State in $_{8}\text{He}$ | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 242501 1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.131.242501 | 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 A.I.Stefanescu, Y. Togano, T. Nakamura et al. | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Silicon tracker array for RIB experiments at SAMURAI | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 European Physcal Journal A | 6. 最初と最後の頁 223 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/s10050-022-00873-w | 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 M. Enciu, Y. Togano, T. Nakamura et al. | 4. 巻 129 |
| 2. 論文標題 Extended p3/2 Neutron Orbital and the N=32 Shell Closure in 52Ca | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 262501 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.262501 | 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 M. Duer, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 606 |
| 2. 論文標題 Observation of a correlated free four-neutron system | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Nature | 6. 最初と最後の頁 678-682 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-04827-6 | 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. Kim, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 836 |
| 2. 論文標題 Unbound states in 17C and p-sd shell-model interactions | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 137629 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.137629 | 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 J.W.Lee, T. Nakamura, Y. Togano et al. | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Isoscaling in central Sn+Sn collisions at 270 MeV/u | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 European Physcal Journal A | 6. 最初と最後の頁 201 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/s10050-022-00851-2 | 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 D.S. Ahn, T. Nakamura et al. | 4. 巻 129 |
| 2. 論文標題 Discovery of 39Na | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 212502 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.212502 | 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 Z. Eekes, Y. Togano, T. Nakamura et al. | 4. 巻 106 |
| 2. 論文標題 "Southwestern" boundary of the N = 40 island of inversion:First study of low-lying bound excited states in 59 V and 61 V | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 064321 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.106.064321 | 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 Koiwai T., Wimmer K., Doornenbal P., Obertelli A., Nakamura T., Togano Y. et al. | 4. 巻 827 |
| 2. 論文標題 A first glimpse at the shell structure beyond 54Ca: Spectroscopy of 55K, 55Ca, and 57Ca | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 136953 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.136953 | 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 Holl M., Lindberg S., Nakamura T., Togano Y., et al. | 4. 巻 105 |
| 2. 論文標題 Border of the island of inversion: Unbound states in 29Ne | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 034301 1-11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.105.034301 | 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 Brown F., Chen S., Doornenbal P., Obertelli A., Nakamura T., Togano Y. et al. | 4. 巻 126 |
| 2. 論文標題 Pairing Forces Govern Population of Doubly Magic 54Ca from Direct Reactions | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 252501 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.252501 | 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 Juhasz M. M., Elekes Z., Nakamura T., Togano Y. et al., | 4. 巻 103 |
| 2. 論文標題 First spectroscopic study of 63V at the N = 40 island of inversion | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 064308 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.064308 | 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 Linh B. D., Nakamura T., Togano Y., et al. | 4. 巻 104 |
| 2. 論文標題 Investigation of the ground-state spin inversion in the neutron-rich 47,49Cl isotopes | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 044331 1-16 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.104.044331 | 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 Kaneko M., Nakamura T., Togano Y., et al. | 4. 巻 822 |
| 2. 論文標題 Rapidity distributions of Z=1 isotopes and the nuclear symmetry energy from Sn+Sn collisions with radioactive beams at 270 MeV/nucleon | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physics Letters B | 6. 最初と最後の頁 136681 1-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136681 | 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 Huang S.W., Nakamura T., Togano Y., et al. | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 Experimental Study of 4n by Directly Detecting the Decay Neutrons | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Few-Body Systems | 6. 最初と最後の頁 102 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00601-021-01691-4 | 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 Estee J., Lynch W. G., Nakamura T., Togano Y., et al. | 4. 巻 126 |
| 2. 論文標題 Probing the Symmetry Energy with the Spectral Pion Ratio | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 162701 1-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.162701 | 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 |

〔学会発表〕 計28件(うち招待講演 21件/うち国際学会 23件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Togano |
| 2. 発表標題 CsI(Na) array CATANA to measure protons and gamma-rays |
| 3. 学会等名 Direct reactions and spectroscopy with hydrogen targets: post 10 years at the RIBF and future prospects (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Togano |
| 2. 発表標題 Electric dipole response of exotic nuclei studied by virtual photon scattering |
| 3. 学会等名 The Fourth International Conference on Nuclear Photonics (Nuclear Photonics 2023) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Togano |
| 2. 発表標題 Electric dipole response of ^{52}Ca - low-lying dipole strength - |
| 3. 学会等名 7th International Conference on Collective Motion in Nuclear under Extreme Conditions (COMEX7) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Halo and deformation in ^{31}Ne revealed by Coulomb and nuclear breakup reactions |
| 3. 学会等名 Reimei Workshop "Intersection of Nuclear Structure and Direct Reaction" (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura, Takato Tomai, Yosuke Kondo |
| 2. 発表標題 Coulomb and nuclear breakup reactions of a halo nucleus ^{31}Ne |
| 3. 学会等名 6th Joint meeting of the APS division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Short-range correlation study of unstable nuclei using (p,pd) reaction |
| 3. 学会等名 5th International Workshop on Quasi-Free Scattering with Radioactive-Ion Beams 2023 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Observation of 280 : What 's next? |
| 3. 学会等名 The past, Present, and Future of Nuclear Structure Theory in the FRIB ERA (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yohei Matuda, Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Study of neutron and proton density distribution and single particle states using the (p,pn) and (p,2p) reactions |
| 3. 学会等名 SAMURAI International Collaboration Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 DayOne-SAMURAI03, Halo Coulomb breakup-Analysis Update-17B,22C |
| 3. 学会等名 SAMURAI International Collaboration Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 A New Generation Neutron Detector Array |
| 3. 学会等名 SAMURAI International Collaboration Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Exploring multi-neutron systems at SAMURAI at RIBF |
| 3. 学会等名 Direct reactions and spectroscopy with hydrogen targets: past 10 years at the RIBF and future prospects (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Weakly bound and unbound nuclei near and beyond the neutron drip line |
| 3. 学会等名 International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2023 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Exploring neutron-rich extremes of the nuclear landscape |
| 3. 学会等名 UK Nuclear Physics Conference (IOP) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 梅野泰宏 |
| 2. 発表標題 Oslo法と(p,2p)反応を用いた中性子過剰核の中性子捕獲反応測定計画 |
| 3. 学会等名 中性子捕獲反応で迫る宇宙の元素合成 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Togano |
| 2. 発表標題 Investigation of neutron capture reactions in r- process by (p,2p)-Oslo method |
| 3. 学会等名 INTPART mini workshop (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Spectroscopy of nuclei near and beyond the neutron dripline |
| 3. 学会等名 ECT* Workshop on nuclear physics at the edge of stability (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Specctroscopy of neutron dripline nuclei |
| 3. 学会等名 Symposium: Development of Physics of Unstable Nuclei (YKIS2022b) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Spectroscopy of neutron-rich nuclei near and beyond the neutron dripline |
| 3. 学会等名 International Workshop on Clustering Aspects in Nuclei and Reactions (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Spectroscopy of weakly bound and unbound nuclei |
| 3. 学会等名 3rd Japan-France Workshop: Few-body problems in Physics - from atoms to quarks (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 中村隆司 |
| 2. 発表標題 Multi-neutron clusters |
| 3. 学会等名 第8回クラスター階層領域研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Secondary beams from ^{40}Ar and ^{48}Ca |
| 3. 学会等名 ^{40}Ar Workshop (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Study of exotic nuclei along the neutron dripline and beyond |
| 3. 学会等名 2021 CAP (Canadian Association of Physics) Virtual Congress (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Study of dripline phenomena using SAMURAI at RIBF |
| 3. 学会等名 ECT* Workshop on Nuclear Physics at the edge of stability (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takashi Nakamura |
| 2. 発表標題 Exploring Extremes of the Nuclear Landscape |
| 3. 学会等名 PERFIK 2021 (Malaysian Physics Society Meeting) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 中村隆司 |
| 2. 発表標題 中性子ドリップライン近傍核に出現するダイニュートロン |
| 3. 学会等名 物質階層を横断する会「ダイニュートロン」(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 中村隆司 |
| 2. 発表標題 量子クラスターで読み解く物質の階層構造-最近の進展 |
| 3. 学会等名 クラスター階層、第6回領域研究会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中村隆司 |
| 2. 発表標題 Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems - Opening remarks |
| 3. 学会等名 クラスター階層、第7回領域研究会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Togano |
| 2. 発表標題 Determination of neutron capture cross sections on neutron-rich Cd isotopes |
| 3. 学会等名 International SAMURAI collaboration workshop 2021(国際学会) |
| 4. 発表年 2021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 | 中村 隆司 (Nakamura Takashi) (50272456) | 東京工業大学・理学院・教授 (12608) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|