

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03711

研究課題名(和文) 重元素合成過程はどのように終焉するのか？—遅発核分裂測定器による開拓研究—

研究課題名(英文) How is the rapid neutron capture process terminated? -Pioneering research with delayed fission spectroscopies-

研究代表者

宮武 宇也 (Miyatake, Hiroari)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：50190799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 47,530,000円

研究成果の概要(和文)：天体における早い中性子捕獲(r-)過程における核分裂の影響を調べて、重元素合成とその起源天体の解明を目指す開拓的研究を行った。超重核近傍の未知中性子過剰核はウランビームとアクチナイド標的による核反応で生成し、元素選択型質量分離器(KISS)によって分離・収集、その後の遅延核分裂崩壊を測定する。核分裂障壁や分裂片分布から、r-過程終端部の詳細を明らかにする予定だ。

本研究により、高効率・高エネルギー分解能で線を測定する新たな検出器—読出系を完成。並行して飛行時間測定法による精密質量測定システム(MRTOF)を整備した。キュリウム標的の使用許可が降り次第、本測定を開始できる状況になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金・白金・ウランなどの重元素の起源は、超新星爆発や中性子合体などの爆発的天体環境における早い中性子捕獲(r-)過程だと考えられているが、定量的理解は出来てない。そこでr-過程終端部での重元素生成を調べるため、極めて重い中性子過剰核を人工的に生成し、遅発核分裂を測定を目指して開拓的研究を開始した。これまでの研究・開発の蓄積をもとにした、世界に先駆けた研究である。

具体的には核分裂を詳細に調べるための高性能検出器の開発、未知重元素同位体の精密質量測定を行うシステムの設置を行った。今後の実験によって、中性子星合体で予測されている核分裂起源の重元素生成に定量的な判断が下せるようになるだろう。

研究成果の概要(英文)：A pioneering work of the astrophysical heavy-element synthesis has been performed. It aims to study fission phenomena of synthesized isotopes in the rapid neutron capture process at explosive environments. Such isotopes can be produced through the multi-nucleon transfer reactions of uranium-beam and actinides target. And they are separated and collected with using KEK Isotope Separation System (KISS). Measurements of fission barriers and fission-fragment distributions of their beta-delayed fission phenomena will make clear the termination condition of the r-process.

New beta-ray detection system with high collection efficiency and high energy resolution has been developed in this work. And Multi-Reflection Time-of-Flight mass spectrograph (MRTOF) has been newly installed at the KISS facility. Measurements of fissions from unknown neutron-rich very heavy isotopes will be launched after the permission for use of curium target in the laboratory.

研究分野：原子核物理

キーワード：早い中性子捕獲過程 精密質量測定 GAGG検出器 超微細構造測定

1. 研究開始当初の背景

2017年8月に重力波によって特定された天体の光学観測から、重元素合成の起源として中性子星合体が注目を浴びるようになった[1]。当時の遠赤外線線の減光スペクトルからは、早い中性子捕獲(r-)過程由来のランタン近傍の重元素生成が裏付けられた[2]が、さらに重いr-過程終焉部、いわゆる核分裂リサイクルを起こすCfなどの長寿命で中性子過剰な重元素同位体の寄与は特定できなかった。その背景には正確な核データの欠損という状況がある。

終焉部における未解明な課題を列挙すると、「どこで終焉するのか?」、「どのように終焉するのか?」、「元素存在比パターンへの影響は?」、「超重元素は生成されるのか?」などの学術的課題が浮かび上がる[3] (図1)。これらの課題に応えるべく、r-過程終焉部の重元素同位体の定量的な生成量評価や崩壊過程の予測精度向上が原子核物理における喫緊の課題となっている。

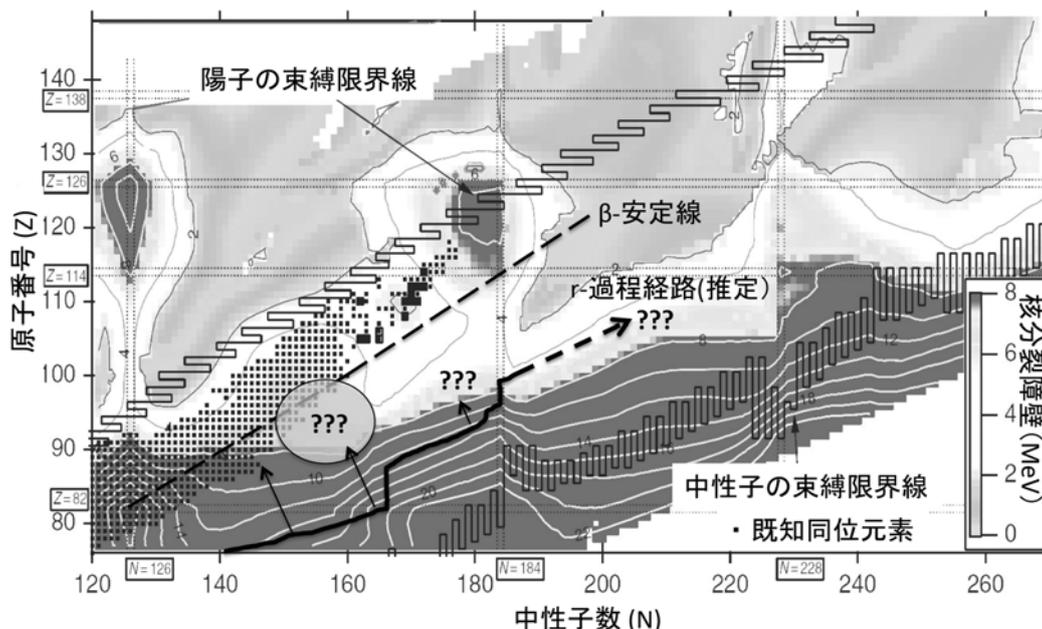


図1. 核図表におけるr-過程終焉部。r-過程推定経路は、超重核領域にまで及ぶ。核分裂障壁 (図2参照) の大小によって、β崩壊、β遅発核分裂、β遅発中性子放出など崩壊様式は多岐に及ぶ。黒線で囲んだ半透明グレーゾーンが本研究対象。核分裂障壁予測はKUTY理論による。

KEKではr-過程で生成される金・白金などの天体環境を特定するために、2015年から世界に先駆けてKISSプロジェクトを開始している。ここでは、重イオンによる多核子移行反応を利用して中性子過剰同位体を人工的に生成し、レーザー共鳴イオン化のできる質量分離装置(KISS)にかけることで、特定の原子番号と質量数を持つ放射性同位体を効率よく特定・観測できる[4]。そこで、本研究ではKISSによるプロジェクト研究の促進に加えて、その性能を最大限活かして、r-過程終焉部の核構造研究に先鞭をつけることを目指して、新たな実験装置開発などを開始した。

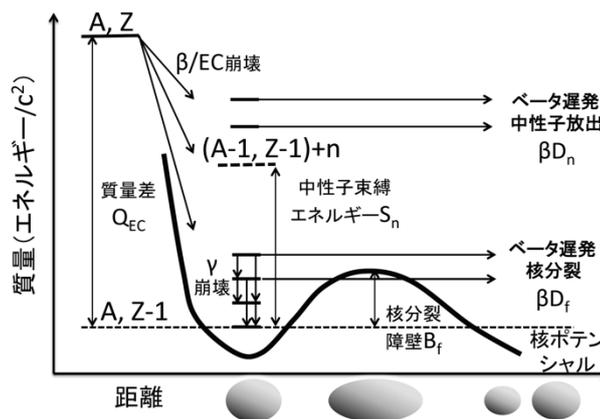


図2. 終焉領域原子核(A,Z)の可能な崩壊様式。核分裂障壁(B<sub>f</sub>)、中性子分離エネルギー(S<sub>n</sub>)、娘核(A, Z-1)との質量差(Q<sub>EC</sub>)との兼合いで崩壊方向が変わり、元素存在比パターンへの影響も変わる。

2. 研究の目的

r-過程終焉部の中性子過剰重元素同位体は、近傍原子核との質量差によって、β崩壊、β遅発核分裂、β遅発中性子放出、自発核分裂などの多様な崩壊を起こすことが想定される (図2)。高温で高中性子数密度下のr-過程環境では、その生成と崩壊経路を評価するために、関連する同位元素の質量、核分裂障壁、寿命、崩壊分岐比、中性子捕獲率などのデータが必要となる。本研究では、終焉部での崩壊経路において最も特徴的なβ遅発核分裂の定量的評価の確立を目指し

て、観測手法の開発を行った。

$\beta$  遅発核分裂は  $\beta$  崩壊の最大エネルギー ( $E_{\beta}(\max)$ )、 $\beta$  崩壊強度関数、核分裂障壁などの物理量によって記述される。 $\beta$  崩壊最大エネルギーは、関連する親-娘核の質量差 ( $Q_{ec}$ ) から導くことができる。本研究では、迅速に 1ppm レベルの分解能で原子核質量の決定ができる、多重反射型飛行時間測定式質量分析器 (MRTOF-MS) を KISS の下流に設置し、後で述べる崩壊分光と並行して未知中性子過剰重原子核の質量測定を行うこととした。MRTOF-MS は、最近の研究開発において本研究グループが測定手法を確立し、重元素同位体の精密質量測定に威力を発揮している装置 [4,5] である。

本研究では、KISS からのおよそ 15 keV の低エネルギー RI ビームを効率よく He ガス中でとめて、MRTOF-MS に輸送する Gas Cell Cooler Buncher (GCCB) を新たに開発して、KISS に設置することとした (図 3)。

$\beta$  崩壊強度関数は、 $\beta$  崩壊の分岐比測定から得られる。他方で遅発核分裂の場合の障壁 ( $B_f$ ) 測定は、測定の難しさから、あまり実験が行われて来なかったため、最近開発された高密度で発光特性の良い GAGG 結晶による検出器の開発を始めることとした。また、従来からの KISS プロジェクトの促進の面から、大立体角で低バックグラウンド計測が可能となる MSPGC (Multi-Segmented proportional Gas Counter) の改良、レーザー共鳴イオン化経路の開拓研究を元に、効率良い物理成果獲得を目指した。

### 3. 研究の方法

KISS では、重イオンビームと重元素標的による多核子移行反応で生成・放出された中性子過剰な未知重元素同位体をドーナツ型ガスセルに充填されたアルゴンガスとの衝突により熱化される (図 3)。これらの熱化された同位体の一部は、電気的に中性な単一原子状態となる。アルゴンガス流によってガスセル出口に輸送された中性原子は二色のレーザーに照射され、元素選択的なイオン化が行われる。イオンとなった未知同位体は、低速用イオンガイドによって高真空領域へと輸送されたのち、15kV 程度の電位差によって均一に加速され、下流の双極磁石によって質量分離を受ける。

KISS により、原子番号及び質量数を選択された未知同位体イオンは、双極磁石下流に設置したビーム偏向電場を用いて、さらに下流の高精度質量測定システム及び遅発核分裂測定システムに周期的に振り分けられる (図 3)。高精度質量測定システムでは、KISS から低速イオンビームを再度ヘリウムガス中に入射し熱化する。大半がイオン状態で止まるヘリウムの特性を活かして、未知同位体イオンを収集、極低速のイオンビームとして MRTOF 前段のイオントラップに入射、パンチ化したイオンビームへの加工後、MRTOF に入射して、イオン質量の精密測定を行う。

遅発核分裂測定システムは KISS ビームを止めるための極薄膜回転体に密接させて、核分裂片測定のための Si 検出器と  $\beta$  線測定のための GAGG 検出器が設置される。これらによって、未知同位体から放出された  $\beta$  線のエネルギー情報とともに、 $\beta$  線直後に放出された核分裂片のエネルギー測定から、分裂片の質量分布情報が測定される。

本開拓研究で、最も重要な核分裂障壁は、 $B_f = Q_{ec} - E_{\beta}(\max)$  の関係式から得られる。ここで、 $Q_{ec}$  は精密質量測定システムで測られた未知同位体質量値から、 $E_{\beta}(\max)$  は核分裂片測定システムの GAGG 検出器で測定された  $\beta$  線エネルギー情報から得られる。

### 4. 研究成果

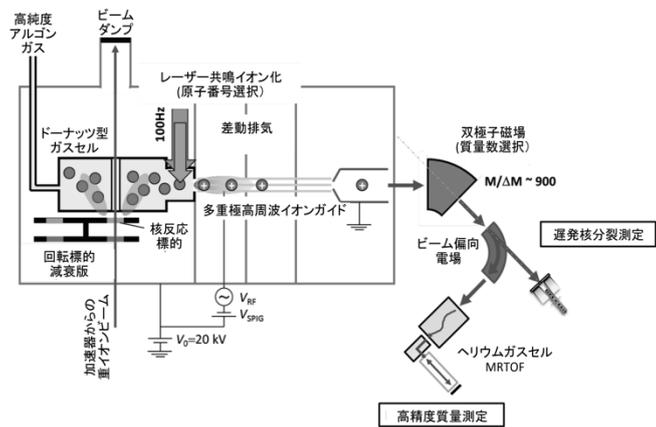


図 3. KISS 概念図。遅発核分裂測定器、高精度質量測定装置以外の機器は、全て稼働中あるいは設置済みである。

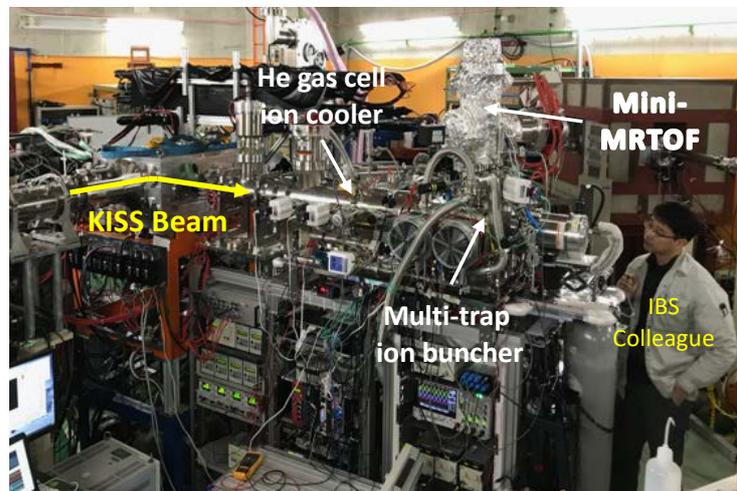


図 4 mini-MRTOF を組み込んだ高精度質量測定システム

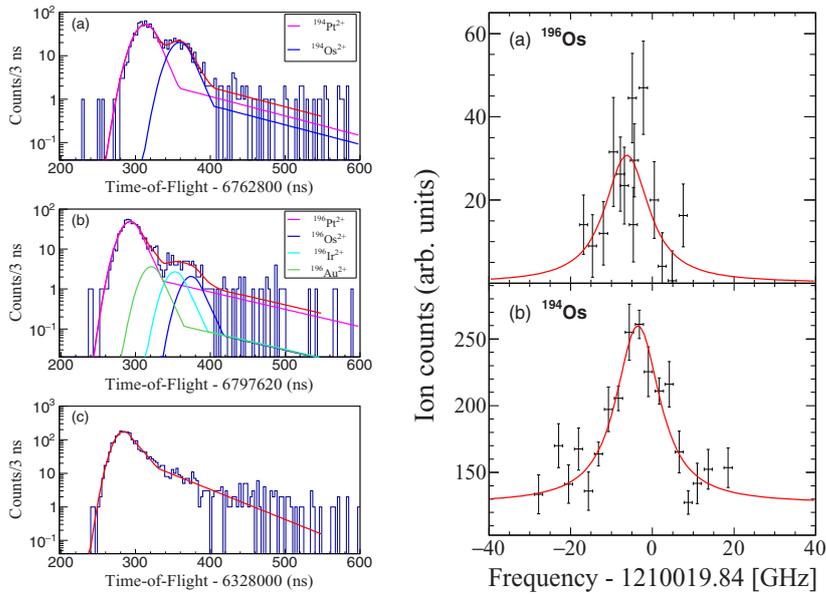


図5 MRTOFで測定されたKISSからの $^{194,196}\text{Os}$ の飛行時間(TOF)スペクトルおよびTOFピーク強度のレーザー周波数依存性。

足早く開発を終えた精密質量測定システムからは多くの物理成果が得られている。特にChoiらによるMRTOFを用いた超微細構造測定[7]では、これまで不可能であった長寿命あるいは安定な同位体の磁気モーメント、核荷電半径などを、MRTOFによるイオン計数とレーザー分光法を組み合わせることで調べられることを、初めて示した(図5)。

遅発核分裂測定システムの構築では、 $\beta$ 線を効率よく測定するための大型HR-GAGG結晶(C&A社製)による検出装置を開発した。HR-GAGG結晶(50mm x 50mm x 30mm<sup>3</sup>)からの520nmシンチレーションを効率よく読み出すために、本研究では8x8に並べたMPPC(Multi-Pixel Photon Counter, 浜ホト製 S13360-6050VE)を専用ヘッドアンプ(クリアパルス社製, model 80348)に装着した(図6)。ヘッドアンプからのデジタルシグナルは、data processor(クリアパルス

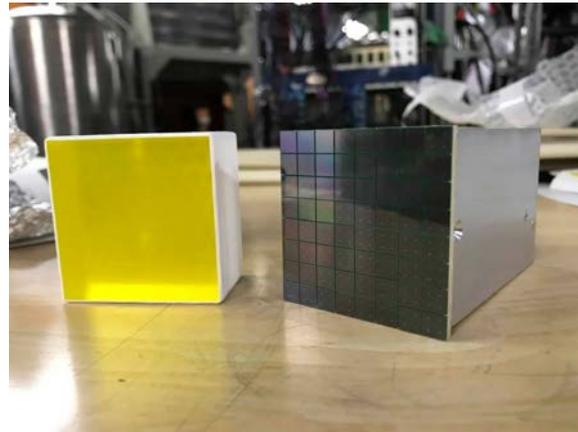


図6 HR-GAGG結晶とS13360-6050VE-8-8を装着したヘッドアンプ

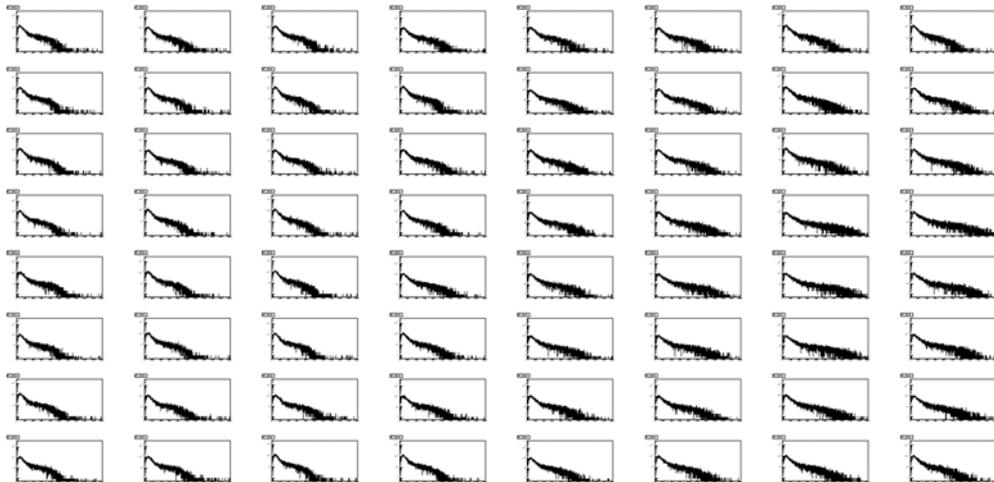


図7 GAGG+MPPCの検出器によって測定された $^{90}\text{Sr}$ のエネルギースペクトル。

KISSに設置した高精度質量測定システムでは、入射イオンの運動エネルギーが15keVと言う低速であるため、ヘリウムと真空を仕切るための入射窓が使えない。そこで、本研究ではGCCB上流に作動排気システムを導入し、入射窓なしのヘリウムガスセルを製作した(図4)。また、今後の可搬性を考慮して、MRTOFの電極間距離を従来のものから1/2程度に短くしたmini-MRTOFを製作、所定の性能を確認できた[6]。

本研究により一

社製、model 80057)を介して、多チャンネル高速バッファリングが可能なデータ収集システム GRIFFIN[8]を通して、ストレージされる。図7に1台のHR-GAGGシンチレータに接続されたMPPCパネルで測定された1モジュールごとの $^{90}\text{Sr}$ からのベータ線エネルギースペクトラムを示した。すべてのMPPCが正常に働いていることが確認できた。 $^{152}\text{Eu}$ からの344keVの $\gamma$ 線測定で得られたGAGG結晶のエネルギー分解能は64枚のMPPCを全て足し上げたスペクトル上で6%となり、想定よりも2倍程度悪かった。今後のMPPC印加電圧調整、各MPPC出力の温度補正などによって改善されるものと期待される。

並行して日常的に進められたKISSプロジェクトの促進においては、従来用いられてきた大立体角のベータ線検出用ガス検出器(MSPGC)の改良や、効率の高いレーザー共鳴イオン化経路の探索などによって、核反応生成率が少ない短寿命な中性子過剰核に関する崩壊核分光が可能となり、 $r$ -過程に関連する原子核の核構造に対する系統的理解が進んだ[9-14 など]。また、本実験課題遂行のための、キュリウムやウラン標的の使用環境に関する検討が進み、今年度には標的材料をRIBF施設に搬入し加工後、照射実験に使える目処が立った。

#### 参考文献

- [1] LIGO and Virgo collaboration et al., *Astro. J. Lett.* 848:L12 (2017).
- [2] M. Tanaka et al., 2017, *PASJ*, 69, 102
- [3] NuPECC Long Range Plan 2017, European Science Foundation (2017).
- [4] P. Schury et al., *Phys. Rev. C*95 (2017) 011305R.
- [5] P. Schury et al., *Nucl. Instrum. Meth.* B376 (2016) 425.
- [6] J.Y. Moon et al., *RIKEN Accel. Prog. Rep.* 53 (2019)128. and P. Schury et al., *RIKEN Accel. Prog. Rep.* 53 (2019)115.
- [7] H. Choi et al., *Phys. Rev. C*102 (2020)34309.
- [8] GRIFFIN: <https://griffin.triumf.ca/daq.html>
- [9] Y. Hirayama et al., *Nucl. Instrum. Meth.* B463(2020)425.
- [10] M. Mukai et al., *Nucl. Instrum. Meth.* B463(2020)421.
- [11] Y. Hirayama et al., *Nucl. Instrum. Meth.* A997(2021)165152.
- [12] Y. Hirayama et al., *Rev. Sci. Instrum.* 90(2019)115104.
- [13] P.M. Walker et al., *Phys. Rev. Lett.* 125(2020)192505.
- [14] X. Y. Watanabe et al., *Phys. Rev. C*101(2020)41305.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirayama, Y. et al.	4. 巻 997
2. 論文標題 Three-dimensional tracking multi-segmented proportional gas counter for $\beta$ -decay spectroscopy of unstable nuclei	5. 発行年 2021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 165152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2021.165152	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 Miyatake, H.	4. 巻 2319
2. 論文標題 KISS Project	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 80006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0036990	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 Hirayama, Y.	4. 巻 1643
2. 論文標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei using KEK Isotope Separation System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1643/1/012138	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 Walker, P.M. et al.	4. 巻 125
2. 論文標題 Properties of Ta 187 Revealed through Isomeric Decay	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letter	6. 最初と最後の頁 192505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.192505	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 Choi, H. et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 In-gas-cell laser ionization spectroscopy of Os 194,196 isotopes by using a multireflection time-of-flight mass spectrograph	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 34309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.102.034309	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 Watanabe, X.Y. et al.	4. 巻 101
2. 論文標題 Deexcitation $\gamma$ -ray transitions from the long-lived $I^{\pi}=13/2^{+}$ metastable state in Os 195	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 41305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.101.041305	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 Hirayama, Y. et al.	4. 巻 463
2. 論文標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei using KEK Isotope Separation System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 425 - 430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2019.04.035	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 Mukai M., Hirayama Y., Schury P., Watanabe Y.X., Ahmed M., Haba H., Ishiyama H., Jeong S.C., Kakiguchi Y., Kimura S., Moon J.Y., Oyaizu M., Ozawa A., Park J.H., Ueno H., Wada M., Miyatake H.	4. 巻 463
2. 論文標題 Development of a multi-segmented proportional gas counter for $\beta$ -decay spectroscopy at KISS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 421 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2019.04.036	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 Hirayama Y., Mukai M., Watanabe Y. X., Oyaizu M., Jeong S. C., Kakiguchi Y., Schury P., Wada M., Miyatake H.	4. 巻 90
2. 論文標題 Efficient two-color two-step laser ionization schemes of $\lambda_1 = 250$ nm and $\lambda_2 = 307.9$ nm for heavy refractory elements? Measurements of ionization cross-sections and hyperfine spectra of tantalum and tungsten	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 115104 ~ 115104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5124444	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 -

1. 著者名 Wollnik H., Wada M., Schury P., Rosenbusch M., Ito Y., Miyatake H.	4. 巻 34
2. 論文標題 Time-of-flight mass spectrographs of high mass resolving power	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics A	6. 最初と最後の頁 1942001 ~ 1942001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0217751X19420016	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 -

1. 著者名 Y. Watanabe, et al.,	4. 巻 28
2. 論文標題 KEK Isotope Separation System (KISS)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Physics News	6. 最初と最後の頁 25 - 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10619127.2018.1529984	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 -

〔学会発表〕 計26件(うち招待講演 16件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 渡邊 寛
2. 発表標題 非軸対称変形核 $^{192}\text{Re}$ の基底状態からのベータ崩壊
3. 学会等名 日本物理学会 2020年度 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庭瀬暁隆
2. 発表標題 MRTOF+ -TOFを用いた短寿命 崩壊核種の質量-崩壊特性測定
3. 学会等名 日本物理学会 2020年度 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshikazu Hirayama
2. 発表標題 Study of nuclear structure in the vicinity of N=126 at KISS
3. 学会等名 Vth Topical Workshop on Modern Aspects in Nuclear Structure (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮武宇也
2. 発表標題 KISSでの核分光研究
3. 学会等名 令和元年度KUR専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究」兼「第11回停止・低速RIビームを用いた核分光研究会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Michiharu Wada
2. 発表標題 Towards precise mass measurements of Nh and Mc isotopes
3. 学会等名 4th International Symposium on Superheavy Elements (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroari Miyatake
2. 発表標題 KISS Projewct
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮武宇也
2. 発表標題 第7周期元素科学：超重元素の物理と化学
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 合同シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Peter Schury
2. 発表標題 Nuclear physics by multi-reflection time-of-flight mass spectrograph at WNSC
3. 学会等名 INPC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshikazu Hirayama
2. 発表標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei in the vicinity of N=126 by using KISS
3. 学会等名 INPC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaka Watanabe
2. 発表標題 Recent experimental results of KEK Isotope Separation System (KISS)
3. 学会等名 The 13th International Conference on Stopping and Manipulation of Ions and related topics SMI-2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroari Miyatake
2. 発表標題 Present progress of researches with KISS and MRTOF
3. 学会等名 OMEG 15 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michiharu Wada
2. 発表標題 Towards comprehensive mass measurements with MRTOF mass spectrographs at RIKEN RIBF
3. 学会等名 2019 KPS Spring Meeting (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaka Watanabe
2. 発表標題 Production of $N=126$ nuclei and beyond using multinucleon transfer reactions
3. 学会等名 Physics between lead and uranium: in preparation of new experimental campaigns at ISOLDE (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshikazu Hirayama
2. 発表標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei in the vicinity of N=126 at KISS
3. 学会等名 Physics between lead and uranium: in preparation of new experimental campaigns at ISOLDE (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Watanabe
2. 発表標題 Production of N=126 nuclei and beyond using multinucleon transfer reactions Yutaka Watanabe
3. 学会等名 Physics between lead and uranium: in preparation of new experimental campaigns at ISOLDE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Hirayama
2. 発表標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei in the vicinity of N=126 at KISS Yoshikazu Hirayama
3. 学会等名 Physics between lead and uranium: in preparation of new experimental campaigns at ISOLDE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平山 賀一
2. 発表標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei in the vicinity of N = 126 at KISS
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田道治
2. 発表標題 宇宙核物理に関連する質量測定
3. 学会等名 核データと重元素合成を中心とする宇宙核物理研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮武宇也
2. 発表標題 KISS/MRTOFの現状
3. 学会等名 平成30年度KUR専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Wada
2. 発表標題 MRTOF Mass Spectrographs at RIKEN RIBF ---Toward Comprehensive Mass Measurements of >1000 Nuclides Including Super Heavy Nuclides
3. 学会等名 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. Schury
2. 発表標題 KISS and MRTOF Projects of KEK
3. 学会等名 The 10th China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium (CJNP 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. Schury
2. 発表標題 Mass Measurements of Heavy and Superheavy Nuclei by Multi-Reflection Time-of-Flight Mass Spectrograph
3. 学会等名 7th International Conference on Trapped Charged Particles and Fundamental Physics (TCP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Miyatake
2. 発表標題 RNB project on the astrophysical element synthesis
3. 学会等名 Tsukuba Global Science Week 2018 (TGSW2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Watanabe
2. 発表標題 Nuclear production by multinucleon transfer reactions
3. 学会等名 20th Northeastern Asian Symposium on "Nuclear Physics in the 21st Century" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Hirayama
2. 発表標題 Nuclear spectroscopy of r-process nuclei using KEK Isotope Separation System
3. 学会等名 XVIII The International Conference on Electromagnetic Isotope Separators and Related Topics (EMIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮武宇也
2. 発表標題 r-過程終焉部、核分裂障壁
3. 学会等名 「超重元素研究の新展開」研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究課題ならびに関連する研究の概要及び出版物リストなどは、下記URLからアクセスすることができます。  
<http://research.kek.jp/group/wnsc/>

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	平山 賀一  (Hirayama Yoshikazu)  (30391733)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・研究機関講師    (82118)	
研究分担者	SCHURY P. H  (Schury Peter)  (30462724)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・助教    (82118)	
研究分担者	渡邊 裕  (Watanabe Yutaka)  (50353363)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・准教授    (82118)	

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	向井 もも  (Mukai Momo)		
研究協力者	和田 道治  (Wada Michiharu)  (50240560)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・教授    (82118)	
研究協力者	羽場 宏光  (Haba Hiromitsu)  (60360624)	国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・ チームリーダー   (82401)	
研究協力者	西尾 勝久  (Nishio Katsuhisa)  (70343928)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・国立研究開発法 人日本原子力研究開発 機構・マネージャー   (82110)	
研究協力者	浅井 雅人  (Asai Masato)  (20343931)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・国立研究開発法 人日本原子力研究開発 機構・研究主幹   (82110)	
研究協力者	小浦 寛之  (Koura Hiroyuki)  (50391264)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・国立研究開発法 人日本原子力研究開発 機構・研究主幹   (82110)	

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

韓国	Institute for Basic Science	Seoul National University		
中国	Beihang University	Institute of Modern Physics		
英国	Surrey University	Brighton University		
米国	Argonne Nat. Lab.			
ドイツ	GSI			
カナダ	TRIUMF			