

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01218

研究課題名(和文) 超新星・中性子合体で起こる速い中性子捕獲過程の反応率の研究

研究課題名(英文) Study of reaction rate of the rapid neutron capture process in supernovae and neutron star merger

研究代表者

岩佐 直仁 (Iwasa, Naohito)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：50322996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：元素組成比の質量数130と195にあるピークは中性子星合体等で起こる速い中性子捕獲過程(rプロセス)が起源と考えられている。本研究ではピーク形成に重要な $^{130}\text{Sn}(n, \gamma)^{131}\text{Sn}$ 反応率を導出するため、 $^{130}\text{Sn}(d, p)^{131}\text{Sn}$ 反応を逆運動学で測定する実験を行う。実験装置を整備し、テスト実験により性能の評価を行った。実験準備は研究期間内に行ったが、実験は研究期間終了後の2022年4月に実施した。現在、データ解析を進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(d,p)反応は核構造研究に有力な道具であることが知られている。しかし、重い不安定核ビームを用いた逆運動学での測定では十分な励起エネルギー分解能と十分な統計精度を両立させることが難しかった。本研究では、理化学研究所RIビームファクトリーで作られた高輝度の中性子過剰核(^{130}Sn)ビームを使うことで、十分な分解能と統計精度での測定が可能になる。rプロセスの質量数130のピーク周辺のrプロセスの流れについて議論できると期待する。

研究成果の概要(英文)：The $^{130}\text{Sn}(d, p)^{131}\text{Sn}$ reaction is measured in the inverse kinematics on April 2022 to deduce the $^{130}\text{Sn}(n, \gamma)^{131}\text{Sn}$ reaction rate which is important for a nucleosynthesis network calculation code to make the characteristic peak at the mass number 130 of the rapid neutron capture process(r process) in neutron star merger. The experimental equipment was prepared, and the performance was evaluated by a test experiment. The experiment was performed on 10 days after the study period. Experimental data were taken and the analysis is in progress.

研究分野：原子核物理(実験)

キーワード：宇宙核物理 RIビーム rプロセス ストリッピング反応

1. 研究開始当初の背景

鉄のピークより重い元素は主に漸近巨星分岐星等で起こる遅い中性子捕獲過程(s プロセス)と超新星爆発や中性子星合体で起こる速い中性子捕獲過程(r プロセス)で合成されたと考えられている。r プロセスでは中性子過剰核の(n,γ)反応、光分解反応、β崩壊などが競合することで中性子が過剰な原子核(中性子過剰核)領域を通過してウラン・トリウムまでの元素が合成される。元素の組成比には質量数 130 と 195 に r プロセスが原因となるピークが存在する。これらは r プロセスの第 2、第 3 ピークと呼ばれており、r プロセスの滞留点を示している。質量数 130 の第 2 ピークの存在は ^{128}Cd - ^{132}Sn の領域で(n,γ)反応率が急激に減少するか、(n,γ)反応と光分解反応が平衡状態になっていることを示している。中性子過剰核の(n,γ)反応の直接測定は中性子過剰核と中性子のどちらも不安定であるため困難である。このため Hauser-Feshbach 法などを用いた理論計算で導出された反応断面積が r プロセス元素合成ネットワーク計算に用いられてきた。理論計算には中性子過剰核で起きている魔法数の消失や発生、三体力、 ^{128}Cd - ^{131}Sn 領域での核異性体の存在等による影響は考慮されていない。

近年、超新星爆発シミュレーション計算が行われ、超新星爆発では r プロセスが起きにくいことが分かってきた。最近では r プロセスによる重元素合成は主に中性子星合体で起きていると考えられるようになってきた。2017 年に中性子星合体 GW170817 からの重力波が観測され、光学測定が行われた。中性子星合体で合成された元素を直接観測できるようになった。観測結果を用いて中性子星合体での元素合成メカニズムの解明をするには、より精度の高い(n,γ)反応断面積と光核反応断面積が必要である。

(n,γ)反応には共鳴状態を経由する共鳴捕獲成分と直接捕獲される直接捕獲成分がある。図 1 に Chiba 等の理論計算による Sn 同位体の(n,γ)反応断面積を示す。四角は Hauser-Feshbach 法で計算した共鳴捕獲成分である。黒丸は直接捕獲成分である。理論計算では ^{130}Sn と ^{132}Sn の間で(n,γ)反応断面積が急激に変化することを示している。断面積の共鳴捕獲成分は 2 桁以上変化しているのに対し、直接捕獲成分はほとんど変化していない。(n,γ)反応断面積の直接捕獲成分の実験による導出は(d,p)反応等を測定して漸近規格化係数(ANC)法を使うことで可能である。この方法は(d,p)反応の ANC と(n,γ)反応の ANC が一致することを利用している。 $^{12}\text{C}(n,\gamma)^{13}\text{C}$ 反応等の軽い系の研究に ANC 法は用いられており直接測定の結果を良く再現することが知られている[N. Imai *et al.*, Nucl. Phys. **A688**, 281c (2001).]。断面積の共鳴捕獲成分の実験による導出は、中性子分離エネルギー以上の共鳴状態について励起エネルギー、スピン・パリティ、全崩壊幅 Γ 、中性子崩壊幅 Γ_n 、γ崩壊幅 Γ_γ が測定できれば、断面積を導出できる。

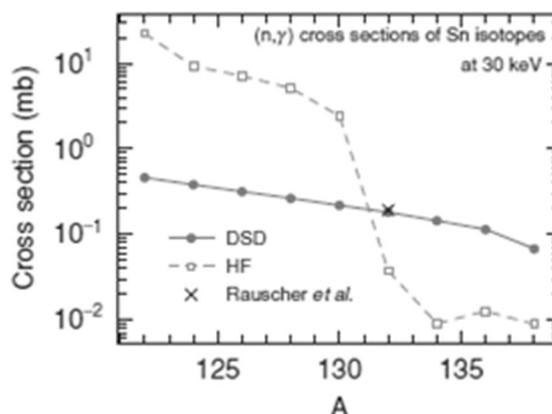


図 1. Chiba 等の理論計算で求められた錫同位体の中性子放射捕獲反応断面積の質量数依存性[S. Chiba *et al.*, Phys. Rev. **C77**, 015809 (2008).]。四角は Hauser-Feshbach 計算による共鳴捕獲成分、黒丸は直接捕獲成分の計算値。 $N=82$ 魔法数の影響により ^{130}Sn - ^{132}Sn の間で共鳴捕獲断面積が急激に変化する。

近年、オークリッジ国立研究所で行われた 630 MeV の ^{130}Sn , ^{132}Sn ビームを用いた逆運動学の(d,p)反応の測定が報告された[K.L. Jones *et al.*, Phys. Rev. **C84**, 034601(2011); R.L. Kozub *et al.*, Phys. Rev. Lett. **109**, 172501(2012).]。(n,γ)反応断面積の直接捕獲成分の導出に必要な ^{133}Sn の基底状態、854, 1363, 2005keV 状態、 ^{131}Sn の 2629, 3405, 3987, 4656keV 状態が測定されたが、共鳴捕獲成分の導出に必要な中性子分離エネルギー以上の共鳴状態は測定されなかった。実験では 80μg/cm² 厚の薄い重水素化ポリエチレン(CD₂)標的を使ったため、統計が不十分で、スピン・パリティが決定できたのは ^{133}Sn の基底状態と 854keV 状態だけであった。 ^{133}Sn の 1363, 2005keV 状態については、後に行われた $^9\text{Be}(^{132}\text{Sn}, ^8\text{Be})\gamma$ 反応実験によりスピン・パリティが決まった[J.M. Allmond *et al.*, Phys. Rev. Lett. **112**, 172701(2014).]。 $^{132}\text{Sn}(n,\gamma)$ 反応断面積の直接捕獲成分に関しては ANC 法による導出が行われている。共鳴捕獲成分に関しては共鳴状態の情報が不足しているため導出できない。一方で、 $^{130}\text{Sn}(n,\gamma)^{131}\text{Sn}$ 反応については、 ^{131}Sn の基底状態・励起状態のスピン・パリティが決まっておらず、反応率導出に必要な核データが不足している。

2. 研究の目的

本研究では、質量数 130 のピーク形成に関連して ^{128}Cd - ^{132}Sn の領域の(n,γ)反応の中でもっとも重要な反応の断面積の共鳴捕獲成分と直接捕獲成分を導出する。r プロセス元素合成ネットワーク計算の精度を向上し、観測した元素量との比較により r プロセスの起きた環境に関する情報を

引き出すことを目的とする。これは質量数 130 以上における r プロセスの流れを明らかにするための鍵である。

元素合成ネットワーク計算コード[B.S. Meyer, <https://sourceforge.net/u/mbradle/blog/>; B. S. Meyer, Phys. Rev. Lett. 89, 231101 (2002).]を用いた計算の結果、この領域では $^{130}\text{Sn}(n,\gamma)^{131}\text{Sn}$ 反応が重要であることが判明した。これは Mumpower 等が行った感度分析の結果[M. Mumpower *et al.*, Progress in Particle and Nuclear Physics.86, 86-126 (2016).]とも一致している。

本研究では逆運動学の $^{130}\text{Sn}(d,p)^{131}\text{Sn}$ 反応を測定する。 ^{131}Sn 共鳴状態の励起エネルギー、スピン・パリティ、ANC または分光学 S 因子を測定する。中性子分離エネルギー以上の状態についてはガンマ-中性子分岐比 Γ_γ/Γ_n も測定する。 ^{131}Sn の中性子分離エネルギー以上の状態も励起させるためオークリッジ国立研究所で用いた核子あたり 5MeV の ^{130}Sn ビームよりも高い運動エネルギーを持った核子あたり約 20MeV の ^{130}Sn ビームを用いる。励起エネルギー分解能を向上させるため、飛行時間(TOF)法により ^{130}Sn ビームのエネルギーを事象毎に 0.5%の精度で測定し、0.3 mg/cm² 厚より薄い CD₂ 標的を用いる。 $^{130}\text{Sn}(d,p)^{131}\text{Sn}$ 反応の測定結果を用いて $^{130}\text{Sn}(n,\gamma)^{131}\text{Sn}$ 反応断面積を導出する。 ^{130}Sn には核異性体が存在するため、 ^{130}Sn ビーム中の ^{130}Sn の核異性体の割合も測定する。

3. 研究の方法

実験は理化学研究所 RI ビームファクトリーで 2022 年 4 月に実施する。この実験を実施するために図 2 に示す陽子測定用シリコン-CsI(Tl)テレスコープアレイを組み立てて、 $^{12}\text{C}(d,d)$ 反応と $^{12}\text{C}(d,p)$ 反応で放出された陽子・重陽子を用いて性能評価を行った。シミュレーション計算による実験条件の最適化を行い、0.3 mg/cm² 厚以下の CD₂ 標的が必要であることがわかった。 α 線による CD₂ 標的の厚み測定を行った。 ^{130}Sn ビーム生成に使用する BigRIPS-OEDO ビームラインの光学計算を行い、粒子弁別や焦点面の位置測定に使用されるダイヤモンド検出器、平行平板雪崩検出器(PPAC)、イオンエンバナーなどの整備を行った。

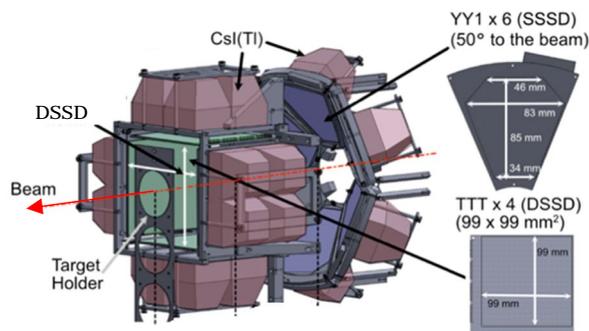


図 2. (d,p)反応で後方に放出される陽子を測定するためのシリコン-CsI(Tl)テレスコープアレイ。[佐久間啓修士論文(東北大学)]

実験では BigRIPS-OEDO ビームラインで作る約 20MeV/u の ^{130}Sn ビームを 0.287mg/cm² 厚の重水素化ポリエチレン(CD₂)標的に照射する。ビームの運動エネルギーは飛行時間法で事象毎に測定する。ビームが CD₂ 標的に当たった位置は CD₂ 標的の上流に設置した 2 枚の PPAC で事象毎に測定する。逆運動学の(d,p)反応で作られ、後方に放出された陽子の粒子弁別とエネルギー測定はシリコン-CsI(Tl)テレスコープで行う。運動学を計算し、反応の Q 値のスペクトルを求める。これより ^{131}Sn の励起状態のエネルギーを測定する。励起状態のスピン・パリティは陽子の角度分布より求める。

逆運動学の(d,p)反応で作られた ^{131}Sn は SHARAQ 磁気スペクトロメータで分析する。テレスコープで測定された陽子の数とスペクトロメータで測定した ^{131}Sn の割合から中性子分離エネルギー以上の状態に励起された ^{131}Sn のガンマ-中性子分岐比を求める。ビーム中に含まれる ^{130}Sn の核異性体の割合は ^{130}Sn ビームを厚い Al 標的に止めた後、 β 遅延 γ 放出で放出された γ 線をゲルマニウム検出器で測定することで求める。

実験結果より $^{130}\text{Sn}(n,\gamma)^{131}\text{Sn}$ 断面積を導出し、実験値を考慮した元素合成ネットワーク計算を行う。観測で得られた質量数 130 のピークの再現する条件を調べる。

4. 研究成果

$^{12}\text{C}(d,d)$ 反応、 $^{12}\text{C}(d,p)$ 反応を用いたテスト実験を行い、シリコン-CsI(Tl)テレスコープアレイは十分な性能を持っていることが確認した。 α 線による厚み測定より CD₂ 標的の厚みが 0.287mg/cm² で、ほぼ均一であることが分かった。シミュレーション計算を行い、ビームが標的に当たる場所による分解能変化を補正するためパラメータ等を導出した。

実験準備は研究期間中に行ったが、実験は研究期間後の 2022 年 4 月に実施した。現在、データ解析を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 28件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mazzocco M., Yamaguchi H., Iwasa N., Kubono S. et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Elastic scattering for the 8B and 7Be+208Pb systems at near-Coulomb barrier energies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 24602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.024602	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 Ahn D.S., Fukuda N., Geissel H., Inabe N., Iwasa N., Kubo T., Kusaka K., Morrissey D.J., Murai D., Nakamura T., Ohtake M., Otsu H., Sato H., Sherrill B.M., Shimizu Y., Suzuki H., Takeda H., Tarasov O.B., Ueno H., Yanagisawa Y., Yoshida K.	4. 巻 123
2. 論文標題 Location of the Neutron Dripline at Fluorine and Neon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 212501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.212501	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 Ma N. R., Yamaguchi H. et al.	4. 巻 55
2. 論文標題 MITA: A Multilayer Ionization-chamber Telescope Array for low-energy reactions with exotic nuclei	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The European Physical Journal A	6. 最初と最後の頁 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/i2019-12765-7	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 Tolosa-Delgado A., Kubono S. et al.	4. 巻 925
2. 論文標題 Commissioning of the BRIKEN detector for the measurement of very exotic β -delayed neutron emitters	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 133 ~ 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.02.004	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 Phong V. H., Kubono S. et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Observation of a μ s isomer in $^{134}_{49}\text{In}_{85}$: Proton-neutron coupling "southeast" of $^{132}_{50}\text{Sn}_{82}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 011302(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.011302	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 Yokoyama R., Kubono S. et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Strong one-neutron emission from two-neutron unbound states in β decays of the r -process nuclei $^{86,87}\text{Ga}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 031302(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.031302	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 Nakano Keita, Kubono Shigeru et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Isotope production in proton-, deuteron-, and carbon-induced reactions on ^{93}Nb at 113 MeV/nucleon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 44605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.044605	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 Zhang G.X., Kubono S et al.	4. 巻 799
2. 論文標題 Interplay of quasiparticle and vibrational excitations: First observation of isomeric states in ^{168}Dy and ^{169}Dy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135036 ~ 135036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.135036	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 Sinclair L., Kubono S. et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Half-lives of ^{73}Sr and ^{76}Y and the consequences for the proton dripline	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 44311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.044311	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 Xu X., Kubono S. et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Masses of ground and isomeric states of ^{101}In and configuration-dependent shell evolution in odd- A indium isotopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 051303(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.051303	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 Zhang N.T., Wang X.Y., Tudor D., Bucher B., Burducea I., Chen H., Chen Z.J., Chesneau D., Chilug A.I., Gasques L.R., Ghita D.G., Gomoiu C., Hagino K., Kubono S., Li Y.J., Lin C.J., Lin W.P., Margineanu R., Pantelica A., Stefanescu I.C., Straticiu M., Tang X.D., Trache L., Umar A.S., Xin W.Y., Xu S.W., Xu Y.	4. 巻 801
2. 論文標題 Constraining the $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ astrophysical S-factors with the $^{12}\text{C}+^{13}\text{C}$ measurements at very low energies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135170 ~ 135170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.135170	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 Kahl D., Yamaguchi H., Kubono S., Chen A. A., Parikh A., Binh D. N., Chen J., Cherubini S., Duy N. N., Hashimoto T., Hayakawa S., Iwasa N., Jung H. S., Kato S., Kwon Y. K., Nishimura S., Ota S., Setoodehnia K., Teranishi T., Tokieda H., Yamada T., Yun C. C., Zhang L. Y.	4. 巻 97
2. 論文標題 First measurement of $^{30}\text{S} +$ resonant elastic scattering for the $^{30}\text{S}(\text{ , p})$ reaction rate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 15802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.97.015802	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 Duy N.N., Yamaguchi H., Iwasa N. et al.	4. 巻 897
2. 論文標題 Beam production of ^{18}Ne with in-flight method for alpha scattering at CRIB	5. 発行年 2018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 8~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.04.043	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 Tarasov O.B., Iwasa N. et al.	4. 巻 121
2. 論文標題 Discovery of ^{60}Ca and Implications For the Stability of ^{70}Ca	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 22501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.022501	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 Hayakawa S., Yamaguchi H., Iwasa N. et al.	4. 巻 915
2. 論文標題 Constraining the Primordial Lithium Abundance: New Cross Section Measurement of the $^{7}\text{Be} + n$ Reactions Updates the Total ^{7}Be Destruction Rate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac061f	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 Hall O., Kubono S. et al.	4. 巻 816
2. 論文標題 -delayed neutron emission of r-process nuclei at the N=82 shell closure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136266	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 Tsumura M., Kubono S. et al.	4. 巻 817
2. 論文標題 First experimental determination of the radiative-decay probability of the 3^-_1 state in ^{12}C for estimating the triple alpha reaction rate in high temperature environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136283	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 Escrig S., Niikura M., Kubono S. et al.	4. 巻 103
2. 論文標題 Persistence of the $Z = 28$ shell gap in $A = 75$ isobars: Identification of a possible $(1/2^-)$ μs isomer in ^{75}Co and decay to ^{75}Ni	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 64328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.064328	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 Jin S. Y., Kubono S. et al.	4. 巻 104
2. 論文標題 Spectroscopy of ^{98}Cd by two-nucleon removal from ^{100}In	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 24302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.104.024302	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 Hu J., Yamaguchi H., Kubono S. et al.	4. 巻 127
2. 論文標題 Advancement of Photospheric Radius Expansion and Clocked Type-I X-Ray Burst Models with the New $^{22}\text{Mg}(p, \gamma)^{25}\text{Al}$ Reaction Rate Determined at the Gamow Energy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 172701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.127.172701	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 Bagchi S., Iwasa N. et al.	4. 巻 124
2. 論文標題 Two-Neutron Halo is Unveiled in ^{29}F	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 222504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.222504	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 Iwasa N., Ishikawa S., Kubono S., Sakakibara T., Kominato K., Nishio K., Matsuda M., Hirose K., Makii H., Orlandi R., Asada K., Guru D., Nishimura S., Hayakawa S., Kawabata T.	4. 巻 103
2. 論文標題 Experimental study of the $\sigma_{p1} / \sigma_{p0}$ ratios of resonance states in ^8Be for deducing the $^7\text{Be}(n,p_1)^7\text{Li}^*$ reaction rate relevant to the cosmological lithium problem	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 15801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.015801	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 Sun X. H., Kubono S. et al.	4. 巻 101
2. 論文標題 Spallation and fragmentation cross sections for 168 MeV/nucleon ^{136}Xe ions on proton, deuteron, and carbon targets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 64623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.101.064623	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 Liu J. J., Kubono S. et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 Isomeric and β -decay spectroscopy of $^{173,174}\text{Ho}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 24301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.102.024301	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 Fu C. Y., Zhang Y. H., Wang M., Zhou X. H., Litvinov Yu. A., Blaum K., Xu H. S., Xu X., Shuai P., Lam Y. H., Chen R. J., Yan X. L., Chen X. C., He J. J., Kubono S., Sun M. Z., Tu X. L., Xing Y. M., Zeng Q., Zhou X., Zhan W. L., Litvinov S., Audi G., Uesaka T., Yamaguchi T., Ozawa A., Sun B. H., Sun Y., Xu F. R.	4. 巻 102
2. 論文標題 Mass measurements for the $T_z = -2$ fp-shell nuclei ^{40}Ti , ^{44}Cr , ^{46}Mn , ^{48}Fe , ^{50}Co , and ^{52}Ni	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 54311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.102.054311	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 Sumikama T., Ahn D.S., Fukuda N., Shimizu Y., Suzuki H., Takeda H., Wang H., Yoshida K., Amano J., Chiga N., Chikaato K., Hirayama A., Inabe N., Kawase S., Kubono S., Matsushita M., Michimasa S., Nakano K., Otsu H., Sakurai H., Saito A., Shimoura S., Suwa J., Takechi M., Takeuchi S., Togano Y., Tomai T., Watanabe Y.	4. 巻 986
2. 論文標題 Energy-control and novel particle-identification methods combined with range in a multi-sampling ionization chamber for experiments using slowed-down RI beams	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 164687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164687	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 Orrigo S. E. A., Kubono S. et al.	4. 巻 103
2. 論文標題 decay of the very neutron-deficient ^{60}Ge and ^{62}Ge nuclei	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 14324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.014324	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 Yang L., Yamaguchi H. et al.	4. 巻 813
2. 論文標題 Insight into the reaction dynamics of proton drip-line nuclear system $^{17}\text{F}+^{58}\text{Ni}$ at near-barrier energies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.136045	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 S. Ishikawa, N. Iwasa, S. Kubono et al.
2. 発表標題 Experimental Study of the $7\text{Be}(n,p)7\text{Li}^*$ Reaction for the Cosmological Lithium Problem
3. 学会等名 The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Iwasa, S. Kubono et al.
2. 発表標題 Experimental study of possible 7Be -destruction channel $7\text{Be}(n,p)7\text{Li}^*$ to improve the cosmological lithium problem in the big bang nucleosynthesis
3. 学会等名 54th ASRC International Workshop Sakura-2019 “Nuclear Fission and Structure of Exotic Nuclei (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川竣喜、岩佐直仁、久保野茂他
2. 発表標題 $9\text{Be}(3\text{He}, \)8\text{Be}^* \ 7\text{Li}+p$ 反応測定を用いた、宇宙リチウム問題への $7\text{Be}(n,p)7\text{Li}^*$ 反応の影響の研究
3. 学会等名 日本物理学会
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	久保野 茂 (Kubono Shigeru) (20126048)	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・客員主管研究員 (82401)	

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
研究分担者	山口 英斉 (Hidetoshi Yamaguchi) (30376529)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・講師 (12601)	
研究分担者	新倉 潤 (Niikura Megumi) (50644720)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・助教 (12601)	

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			
	ドイツ	GSI	Giessen University	
イタリア	Laboratori Nazionali del Sud			