

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K14709

研究課題名（和文）重イオン衝突における多彩な核物質の性質と非対称核物質の状態方程式

研究課題名（英文）Diversity of nuclear matter properties in heavy-ion collisions and Equation of State of asymmetric nuclear matter

研究代表者

池野 なつ美（Ikeno, Natsumi）

鳥取大学・農学部・講師

研究者番号：30756086

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：高密度領域のアイソスピン非対称核物質の状態方程式(EOS)の情報を引き出すために、重イオン衝突に着目し、核子多体系の微視的な時間発展理論（輸送模型）を用いて理論的な研究を行った。荷電中間子生成の最新の実験データや他の輸送模型の計算結果との比較を通じて、輸送模型の拡張を行い、その結果、特に陽子・中性子のポテンシャルの運動量依存性が、中性子過剰な原子核衝突で生成される荷電中間子比に大きな影響を与えることが明らかになった。実験データからEOSの情報を引き出すためには、中間子生成だけでなく核子やクラスターも含めて包括的な解析が必要であることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核物質の状態方程式（EOS）は、物質の基礎方程式であるため重要であり、特に高密度領域での情報は、中性子星の内部構造とも密接に関係している。2017年に連星中性子星合体からの重力波が観測されて以降、原子核物理学だけでなく天体物理学分野からも様々な手法を用いてEOSを制限する試みが急速に行われており、本研究では、地上で高密度核物質を実現できる重イオン衝突に着目した研究である。本研究で得られた知見は、重イオン衝突での核子のダイナミクスの理解やEOSの高精度な情報の抽出を進展させることができる。

研究成果の概要（英文）：In order to deduce information on the equation of state (EOS) of isospin-asymmetric nuclear matter at high density, we have performed theoretical simulations of the heavy-ion collisions involving neutron-rich nuclei using a transport model that solves the time evolution of the collision reaction. We have newly developed our transport model by comparing it with the latest experimental data on charged pion production as well as the theoretical results from other transport models. The calculated results clearly show that, in particular, the momentum dependence of the neutron and proton potentials has a significant impact on the charged pion ratio. It is suggested that a comprehensive analysis, including not only the pion production but also nucleons and clusters, is necessary to extract information on EOS from experimental data.

研究分野：ハドロン原子核理論

キーワード：重イオン衝突 核物質の状態方程式 輸送模型 中間子生成 クラスター 対称エネルギー ハドロ  
ン 強い相互作用

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

核物質の状態方程式 (EOS) は、物質の基本方程式であるため重要であり、2017年に連星中性子星合体からの重力波が観測されて以降、原子核物理学だけでなく天体物理学分野からも様々な手法を用いて EOS の情報を引き出す試みが急速に行われてきた。特に標準核密度以上の高密度領域における情報は、中性子星の内部構造と関係するため重要な量であるが、不定性が大きく十分に理解されていなかった。

高密度な核物質は、地上で低中エネルギー領域での重イオン衝突反応によって実現でき、更に入射核・標的核の陽子中性子比をコントロールすることで、核物質の性質の非対称度への依存性を調べることができる。中性子過剰原子核の衝突によって生成された荷電中間子比が、高密度領域のアイソスピン非対称核物質の EOS (対称エネルギー) に敏感であると提案され、2016年に理化学研究所 RIBF で Sn+Sn 衝突実験が行われたことから、新データによる新たな展開も期待されていた。

重イオン衝突から EOS の情報を引き出すためには、原子核同士の衝突反応の時間発展方程式を正しく解く理論 (輸送模型) が必要であり、重イオン衝突と EOS の研究の発展には理論研究の果たすべき役割は非常に大きい。従って、実験データから新たな知見や物理量を引き出すためには、信頼度の高い理論模型が求められる。

### 2. 研究の目的

本研究では、核子多体系の微視的な時間発展理論 (輸送模型) を駆使して、低中エネルギー領域における重イオン衝突を計算することで、陽子数と中性子数が異なるアイソスピン非対称核物質の状態方程式 EOS (対称エネルギー) に関する情報を引き出すことを目的としている。実際の重イオン衝突では、反応過程において種々の粒子が生成・崩壊など複数の反応を経て、クラスターを含む核子系、種々の中間子、共鳴などが途中でダイナミカルに生成される。各時刻で温度や密度が異なる核物質となるため、様々な状況下で核子系や中間子が織りなす現象・性質を理解する必要がある。そこで、原子核反応過程で生じる核子系のダイナミクスや種々の中間子の性質や生成について研究し輸送模型に取り入れて拡張することも目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、核子系の運動を記述する計算として最善である反対称化分子動力学 (AMD) 法と、反応過程における共鳴や中間子などの運動を実験データに基づいて記述する微視的輸送模型 (JAM) を連動させた輸送模型 (AMD+JAM) (N. Ikeno et al., Phys. Rev. C 93, 044612 (2016)) を用いて、重イオン衝突の理論的研究を行う。本研究では、以下の3つの研究内容に基づいて研究を推進した。

#### (1) 様々な核密度中におけるハドロンが織りなす現象・性質の研究

重イオン衝突では、温度や密度が異なる状況下で、核子や中間子が生成・崩壊など複数の反応を起こす。QCD からカイラル対称性について議論し、対称性との関係が明快な核媒質中のカイラル有効理論を構築する。その有効理論を用いて、中間子を含むハドロンの性質や相互作用 (ポテンシャル)、生成反応の研究を進める。種々のハドロンの包括的な理解は、輸送模型のインプットとして必要不可欠である。

#### (2) 輸送模型 (AMD+JAM) の整備・拡張

多数の輸送模型コードを比較する国際共同研究プロジェクト (TMEP) に参加し、他の研究グループの輸送模型の計算結果と比較することによって、物理的および数値的な違いや不定性の根源を究明し、本模型を改良して信頼度を向上させる。上記(1)で得られたハドロンの相互作用 (ポテンシャル) も考慮して、輸送模型を拡張する。

#### (3) 実験に対応した反応計算 (重イオン衝突)

上記(2)で拡張した AMD+JAM 模型を用いて、衝突パラメータや反応系に対する依存性を幅広く計算し、実験と直接対応する結果を得る。AMD 法を用いることで、クラスター相関の影響を調べることができるため、クラスター相関や核媒質中における種々の中間子の性質が、実験で得られる物理量 (荷電中間子比やスペクトルなど) に、どのような影響を与えるかを定量的に議論する。また、核子やクラスター生成の観測量とも関連付けて結果を分析し、クラスターと中間子を同時に扱う本模型の独自性を発揮して、高密度における対称エネルギーの情報を精密に引き出す。

#### 4. 研究成果

(1) 輸送模型評価プロジェクト(TMEP)での研究において、終状態の核子に対するパウリブロッキングの確率評価が模型間で異なることが指摘された。そこで、重イオン衝突の反応過程において生じる 共鳴の生成・吸収( $NN \leftrightarrow N$ )や 中間子生成( $\bar{N} \rightarrow N$ )反応に注目し、これらの反応で核子に対するパウリブロッキングの取り扱いが、終状態の荷電 中間子生成量や生成比に影響を及ぼすことを明らかにした。その影響を定量的に議論し、AMD+JAM 輸送模型において、パウリブロッキングによる不定性を取り除いた模型に改良した。この研究成果は、学術雑誌 PRC に掲載された(N. Ikeno et al., Phys. Rev. C101, 034607 (2020))。

(2) SPIRIT 実験グループによって行われた  $^{132}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$  衝突に対応する 中間子生成の理論計算を輸送模型 AMD+JAM を用いて行い、その計算結果を実験のグループに提供して、実験データ解釈のプロジェクトに参加した。しかしながら、実験で得られた荷電 中間子の生成数や比は、理論結果よりもかなり大きく、まだ十分に再現できていないことが分かった。この傾向は、同プロジェクトに参加した他の輸送模型の結果でも同様に見られ、理論模型の更なる改良が必要であることが明らかになった(G. Jhang et al. [SpiRIT and TMEP], Phys. Lett. B 813, 136016 (2021))。

(3) 上記(2)で明らかになった実験値との差異について、その大きな原因は 中間子や 共鳴の相互作用(ポテンシャル)の有無の影響であると考え、AMD+JAM 模型を改良し、中間子や 共鳴のポテンシャルを考慮できる新たなコード(AMD+sJAM)を開発した。sJAM は、既存の JAM から 中間子と 共鳴の生成・崩壊に関するコードのみを取り出して単純化し、さらに二体衝突過程( $NN \rightarrow N$ )や 共鳴の崩壊過程( $N \rightarrow NN$ )での衝突項では、厳密なエネルギー・運動量の保存のもとで計算し、閾値効果だけでなく、二体衝突の生成断面積にも自然な形でポテンシャルを考慮した模型である。この改良した AMD+sJAM 模型を用いて、 $^{132}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$  衝突反応の計算を行った結果、陽子・中性子のポテンシャルの運動量依存性が、荷電 中間子比に強く反映されることが明らかになった。また、高密度対称エネルギーと 共鳴のポテンシャルのアイソベクトル部分が 中間子生成に与える影響についても詳細に調べ、その結果、中性子と陽子のポテンシャルの運動量依存性の影響に比べると比較的小さいことがわかった。この研究成果は、学術雑誌 PRC に掲載された(N. Ikeno and A. Ono, Phys. Rev. C 108, 044601 (2023))。

(4) 重イオン衝突では、中間子の他に核子やクラスターも生成される。SPIRIT グループによって行われた  $^{132}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$  衝突実験から得られた重陽子・陽子(d/p)と三重陽子・陽子の生成比(t/p)を、AMD 計算と比較することで実験データから高密度対称エネルギーの情報を引き出すことを試みた。これらの研究成果は、学術雑誌に掲載された(J. W. Lee et al. [SpiRIT], Eur. Phys. J. A 58, 201 (2022); M. Kaneko et al. [SpiRIT], Phys. Lett. B 822, 136681 (2021))。

(5) 原子核中の 中間子の性質や 中間子生成反応を理解するために、深く束縛された 中間子原子の研究も進めた(A. Tani, N. Ikeno et al., PTEP 2021, 033D02 (2021); N. Ikeno et al., PTEP 2023, 033D03 (2023); T. Nishi et al. [piAF], Nature Phys. 19, 788-793 (2023))。これらは、上記(3)で改良した AMD+sJAM 模型において、中間子のポテンシャルとして考慮されるものであるため、輸送模型の重要なインプットの情報となりうる。現在、輸送模型に 中間子のポテンシャルの効果を取り入れた重イオン衝突反応の計算を進めており、中間子のポテンシャルが、重イオン衝突で生成される 中間子生成に与える影響も理解できつつある。 $^{132}\text{Sn}+^{124}\text{Sn}$  の重イオン衝突実験で得られた荷電 中間子生成データも再現できるようになり、重イオン衝突での核子系や 中間子の生成についての理解が進んだ。しかしながら、上記(3)で明らかになったように、荷電 中間子生成比は、当初より予想されていたよりも、高密度対称エネルギーに対して敏感ではないため、実験データから EOS(対称エネルギー)に関する情報を引き出すためには、中間子生成だけでなく核子やクラスターも含めて包括的な解析が必要である。

(6) カイラル対称性に基づくチャンネル結合法(カイラルユニタリー模型)を用いて、ハドロン性質・反応の研究を進めることができた。核子散乱から生じる 中間子生成として、 $pp \rightarrow d$  反応による 中間子生成の研究を行い、既存の実験データを再現する理論模型を構築した(N. Ikeno et al., Phys. Rev. C104, 014614 (2021))。また、ハドロン実験施設(Belle や BESIII 等)で、重いクォーク(s,c)を含む新しいエキゾチックハドロンの候補が次々と観測されている。カイラルユニタリー模型を用いて、(2012) や、 $Z_{cs}(3985)$ の相互作用・性質についての研究も進めて、これらの成果を学術論文に出版した。(N. Ikeno et al., Phys. Rev. D 101, 094016 (2020); Phys. Lett. B814, 136120 (2021); Phys. Rev. D 105, 014012 (2022)等)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 30件／うち国際共著 25件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Sorensen Agnieszka, Agarwal Kshitij, Brown Kyle W., Chajcki Zbigniew, Danielewicz Pawel, Drischler Christian, Gandolfi Stefano, Holt Jeremy W., Kaminski Matthias, Ko Che-Ming, Kumar Rohit, Li Bao-An, Lynch William G., McIntosh Alan B., Newton William G., ..., Ikeno N. et al	4. 巻 134
2. 論文標題 Dense nuclear matter equation of state from heavy-ion collisions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 104080 ~ 104080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnnp.2023.104080	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 Ikeno Natsumi, Ono Akira	4. 巻 108
2. 論文標題 Collision integral with momentum-dependent potentials and its impact on pion production in heavy-ion collisions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 044601-044601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.108.044601	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 Ikeno Natsumi, Toledo Genaro, Oset Eulogio	4. 巻 847
2. 論文標題 Model independent analysis of femtoscopic correlation functions: An application to the $D^*s_0(2317)$	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 138281 ~ 138281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138281	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 Ikeno Natsumi, Liang Wei-Hong, Oset Eulogio	4. 巻 109
2. 論文標題 Molecular nature of the $c(3120)$ and its analogy with the $c(3120)$ (2012)	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 054023-054023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.109.054023	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 Ikeno Natsumi, Toledo Genaro, Liang Wei-Hong, Oset Eulogio	4. 巻 64
2. 論文標題 Consistency of the Molecular Picture of (2012) with the Latest Belle Results	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Few-Body Systems	6. 最初と最後の頁 55-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00601-023-01843-8	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 Abreu Luciano M., Ikeno Natsumi, Oset Eulogio	4. 巻 108
2. 論文標題 Role of $f_0(980)$ and $a_0(980)$ in the $B^- \rightarrow K^+ K^-$ and $B^- \rightarrow K^0 \bar{K}^0$ reactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 016007-016007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.016007	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 Wolter Hermann, Colonna Maria, Cozma Dan, Danielewicz Pawel, Ko Che Ming, Kumar Rohit, Ono Akira, Tsang ManYee Betty, Xu Jun, Zhang Ying-Xun, Bratkovskaya Elena, Feng Zhao-Qing, Gaitanos Theodoros, Le Fevre Arnaud, Ikeno Natsumi, 他	4. 巻 125
2. 論文標題 Transport model comparison studies of intermediate-energy heavy-ion collisions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 103962 - 103962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnnp.2022.103962	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 Ikeno Natsumi, Liang Wei-Hong, Toledo Genaro, Oset Eulogio	4. 巻 106
2. 論文標題 Interpretation of the $c^+ + (2012) \rightarrow c^+ + K^-$ relative to $c^+ + K^-$ from the (2012) molecular perspective	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 34022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.106.034022	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 Lee J. W., Tsang M. B., Tsang C. Y., Wang R., Barney J., Estee J., Isobe T., Kaneko M., Kurata-Nishimura M., Lynch W. G., Murakami T., Ono A., Souza S. R., Ahn D. S., Atar L., Aumann T., Baba H., Boretzky K., ..., Ikeno N. 他	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 The European Physical Journal A	6. 最初と最後の頁 201
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 Ikeno N., Bayar M., Oset E.	4. 巻 107
2. 論文標題 Molecular states of $D^*D^*K^*\bar{K}^*$ nature	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 34006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.034006	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 Bayar M., Ikeno N., Roca L.	4. 巻 107
2. 論文標題 Predictions of superexotic heavy mesons from $K^*B(^*)B^*$ interactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 54042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.054042	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 Nishi Takahiro, Itahashi Kenta, ..., Ikeno Natsumi 他、piAF Collaboration	4. 巻 -
2. 論文標題 Chiral symmetry restoration at high matter density observed in pionic atoms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-023-02001-x	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 Ikeno Natsumi, Nishi Takahiro, Itahashi Kenta, Nose-Togawa Naoko, Tani Akari, Hirenzaki Satoru	4. 巻 2023
2. 論文標題 Pion-nucleon sigma term N and deeply bound pionic atoms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033D03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptad031	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 Ikeno N., Nishi T., Itahashi K., Nose-Togawa N., Tani A., Hirenzaki S.	4. 巻 142
2. 論文標題 Pion-Nucleon Sigma Term by Deeply Bound Pionic Atoms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Physica Polonica A	6. 最初と最後の頁 342 ~ 346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12693/APhysPoIA.142.342	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 Hirenzaki Satoru, Ikeno Natsumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Theoretical Study of Deeply Bound Pionic Atoms with an Introduction to Mesonic Nuclei	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Handbook of Nuclear Physics, Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 1 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-8818-1_35-1	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 Ikeno Natsumi, Bayar Melahat, Oset Eulogio	4. 巻 81
2. 論文標題 Combined theoretical study of the $D^+ +$ and $D^+ + 0$ reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09174-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 Ikeno Natsumi, Molina Raquel, Oset Eulogio	4. 巻 104
2. 論文標題 Triangle singularity mechanism for the pp + d fusion reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 14614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.104.014614	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 SpiRIT Collaboration, M. Kaneko, T. Murakami, T. Isobe, M. Kurata-Nishimura, A. Ono, N. Ikeno, J. Barney, G. Cerizza, J. Estee, G. Jhang, J.W. Lee, W.G. Lynch, C. Santamaria, C.Y. Tsang, M.B. Tsang, R. Wang, 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
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 Ikeno Natsumi, Molina Raquel, Oset Eulogio	4. 巻 105
2. 論文標題 Zcs states from the Ds* D*bar and J/ K* coupled channels: Signal in B+ J/ K+ decay	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 14012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.014012	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 Ikeno Natsumi, Toledo Genaro, Oset Eulogio	4. 巻 101
2. 論文標題 Molecular picture for the (2012) revisited	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 94016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.094016	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 Jhang G. et al. (Ikeno N.) (S RIT and TMEP Collaboration)	4. 巻 813
2. 論文標題 Symmetry energy investigation with pion production from Sn+Sn systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136016 ~ 136016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.136016	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 Ikeno Natsumi, Molina Raquel, Oset Eulogio	4. 巻 814
2. 論文標題 The Z(3985) as a threshold effect from the Dbars* D + Dbars D* interaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136120 ~ 136120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136120	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 Tani Akari, Ikeno Natsumi, Jido Daisuke, Nagahiro Hideko, Fujioka Hiroyuki, Itahashi Kenta, Hirenzaki Satoru	4. 巻 2021
2. 論文標題 Structure of double pionic atoms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033D02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab023	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 Toledo Genaro, Ikeno Natsumi, Oset Eulogio	4. 巻 81
2. 論文標題 Theoretical study of the D0 -> K- + reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09058-z	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 Ikeno Natsumi, Ono Akira, Nara Yasushi, Ohnishi Akira	4. 巻 32
2. 論文標題 Neutron-Proton Dynamics and Pion Production in Heavy-ion Collisions by the AMD+JAM Approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc. 32, 010067 (2020)	6. 最初と最後の頁 10067
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JSPSCP.32.010067	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 Ikeno N., Bayar M., Oset E.	4. 巻 -
2. 論文標題 Production of X resonances in Bc decays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 World Scientific, Hadron Spectroscopy and Structure	6. 最初と最後の頁 119-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789811219313_0016	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 該当する

1. 著者名 Ikeno N., Dai L. R., Oset E.	4. 巻 -
2. 論文標題 Initial-final state strong interaction corrections to the Bbar D vbar l decays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 World Scientific, Hadron Spectroscopy and Structure	6. 最初と最後の頁 730-733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789811219313_0127	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 該当する

1. 著者名 Natsumi Ikeno, Jorgivan M. Dias, Wei-Hong Liang, Eulogio Oset	4. 巻 100
2. 論文標題 chi_c1 decays into a pseudoscalar meson and a vector-vector molecule	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 114011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.114011	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 Natsumi Ikeno, Lianrong Dai, Eulogio Oset	4. 巻 56
2. 論文標題 Meson exchange between initial and final state and the RD ratio in the $B\bar{b} \rightarrow D \bar{b} l$ ( $\bar{b} \rightarrow l$ ) reactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Physical Journal A	6. 最初と最後の頁 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/s10050-020-00079-y	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 Wei-Hong Liang, Natsumi Ikeno, Eulogio Oset	4. 巻 803
2. 論文標題 $Upsilon(n1)$ decay into $B^{(*)} \bar{B}^{(*)}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135340	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. Bayar, N. Ikeno, E. Oset	4. 巻 80
2. 論文標題 Analysis of the $\psi(4040)$ and $\psi(4160)$ decay into $D^{(*)} \bar{D}^{(*)}$ , $D_s^{(*)} \bar{D}_s^{(*)}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-7785-1	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 Natsumi Ikeno, Akira Ono, Yasushi Nara, Akira Ohnishi	4. 巻 101
2. 論文標題 Effects of Pauli blocking on pion production in central collisions of neutron-rich nuclei	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 34607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.101.034607	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 -

[学会発表] 計27件(うち招待講演 8件/うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Effect of the momentum dependence of the neutron and proton potentials on pion production in heavy-ion collisions
3. 学会等名 RIKEN Workshop: Equation of State of Dense Nuclear Matter at RIBF and FRIB (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Interpretation of the $\Lambda_c$ decay into $\Lambda + K$ from the (2012) molecular perspective
3. 学会等名 20th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Molecular states of $D^*D^*K^*$ and $B^*B^*K^*$ nature
3. 学会等名 20th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 The $Z_{cs}$ states based on the molecular picture
3. 学会等名 20th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno, Akira Ono
2. 発表標題 Impact of the momentum dependence of the neutron and proton potentials on pion production in heavy ion collisions
3. 学会等名 NuSym23, XIth International Symposium on Nuclear Symmetry Energy (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池野なつ美
2. 発表標題 Molecular states of $D^*D^*K^*$ and $B^*B^*K^*$ nature
3. 学会等名 ELPH 研究会C035「実験、反応・構造計算、格子QCD で解き明かすハドロン分光」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池野なつ美
2. 発表標題 (d,3He)反応による深く束縛された 中間子原子生成と原子核内 中間子の性質
3. 学会等名 RCNP研究会「原子核反応研究の最近の話題と展望」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Sensitivity of the deeply bound pionic atoms to the pion-nucleon sigma term
3. 学会等名 the 4th Jagiellonian Symposium on Advances in Particle Physics and Medicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Molecular picture of Omega(2012)
3. 学会等名 QNP2022 - The 9th International Conference on Quarks and Nuclear Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno, Akria Ono
2. 発表標題 A consistent treatment of nucleon and Delta potentials for pion production in heavy-ion collisions
3. 学会等名 NuSym22, X International Symposium on Nuclear Symmetry Energy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Consistency of the molecular picture of $\Omega$ (2012) with the latest Belle results
3. 学会等名 Baryons 2022 - International Conference on the Structure of Baryons (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 The $Z_{cs}$ and $D^*D^*K^*\bar{K}$ states based on the molecular picture
3. 学会等名 INT Workshop "Accessing and Understanding the QCD Spectra (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池野なつ美、小野章
2. 発表標題 中性子・陽子ポテンシャルの運動量依存性が 中間子生成に与える影響
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 池野なつ美
2. 発表標題 Molecular picture for the (2012) state
3. 学会等名 Workshop on Physics at the J-PARC K10 Beam line (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Theoretical study of Zcs(3985) with the coupled channel approach
3. 学会等名 The 19th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池野なつ美, Raquel Molina, Eulogio Oset
2. 発表標題 チャンネル結合法を用いたZcs(3985)の理論的研究
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 池野なつ美, 小野章
2. 発表標題 重イオン衝突における 中間子生成と高密度対称エネルギー
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 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Molecular picture of the (2012) state
3. 学会等名 Asia Pacific Center for Theoretical Physics (APCTP) Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池野なつ美
2. 発表標題 Sequential single pion production explaining the dibaryon $\Lambda(2380)$ peak
3. 学会等名 The ELPH 研究会 C031 「多彩なビーム実験と多様な理論的手法で迫るハドロン間相互作用」 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池野なつ美, 西隆博, 板橋健太, 野瀬-外川直子, 谷明里, 比連崎悟
2. 発表標題 深く束縛された 中間子原子で探る N 項
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 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Theoretical study of $\Lambda(1520)$ and $Z_{cs}(3985)$ with the coupled channels approach
3. 学会等名 Hadron in Nucleus 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Pion production within AMD+JAM approach
3. 学会等名 Challenges to Transport Theory for Heavy Ion Collisions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 High-density symmetry energy and pion production in heavy-ion collisions
3. 学会等名 Gordon Research Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ikeno, M. Bayar, E. Oset
2. 発表標題 Production of X Resonances in Bc Decays
3. 学会等名 The 18th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ikeno, L. Dai, E. Oset
2. 発表標題 Initial-final state strong interaction corrections to the $B_{\text{bar}} \rightarrow D \text{ bar } l$ ( $\text{bar}_l$ ) decays
3. 学会等名 The 18th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure (HADRON2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池野なつ美, L. Dai, E. Oset
2. 発表標題 Strong interaction corrections to the $B \rightarrow D l$ decays
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 Natsumi Ikeno
2. 発表標題 Pion production in heavy-ion collisions within AMD+JAM approach
3. 学会等名 9th International Symposium on Nuclear Symmetry Energy (NuSYM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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			
スペイン	Valencia University	Murcia University		
トルコ	Kocaeli University			
メキシコ	Universidad Nacional Autonoma de Mexico			
米国	Michigan State University	Texas A&M University	Lawrence Berkeley National Laboratory	
中国	Shanghai Advanced Research Institute	China Institute of Atomic Energy	Huzhou University	他4機関
ドイツ	University of Munich/GSI			
ブラジル	Universidade de Sao Paulo			