

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05454

研究課題名(和文)エキゾチック多重状態の核半径研究

研究課題名(英文)Study of nuclear radii in exotic multi alpha cluster states

研究代表者

伊藤 誠 (Ito, Makoto)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：30396600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：原子核は核子から構成される有限量子多体系であり、その基底状態は全ての核子が密集した空間的にコンパクトな構造をしている。一方、軽い原子核の励起状態には一塊の原子核が複数のサブユニット(クラスター)に解離した「クラスター構造」が現れてくる。クラスター状態の典型例として、 ^{12}C が3つの粒子(^4He 原子核)に解離した 3α クラスター構造がよく知られている。 3α 状態は弱結合なため基底状態に比べて核半径が顕著に増大することが予想されており、 3α 状態の場合、その核半径は2倍程度増大すると考えられている。本研究では、 3α 状態を終状態に励起する核反応に注目し、 3α 状態の核半径増大を実証しようとするものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における最も重要な学術的特色は、超短寿命で崩壊する励起状態の核半径を定量的に評価する点にある。これまでも崩壊に対して不安定な原子核(不安定核)に関する核半径研究が進められてきており、様々な半径増大現象が指摘されてきた。不安定核は弱い相互作用で崩壊するため、その寿命は一番短いものでもミリ秒($\sim 10^{-3}$ 秒)程度である。しかしながら、本研究で研究対象とするクラスター状態の崩壊寿命はzeptosecond($\sim 10^{-21}$ 秒)程度であり、不安定核とは比較にならないほどの超短寿命な極限状態である。本研究は「超短寿命励起状態の核半径研究」という全く独創的な新規研究分野を開拓するものである。

研究成果の概要(英文)：Evidence of the enhanced nuclear radius in the Hoyle rotational state ($2+2$) is derived from the $\alpha + ^{12}\text{C}$ inelastic scattering. The prominent shrinkage is observed in the differential cross section of $2+2$ in comparison to the yrast $2+1$ state, and this shrinkage is the first evidence of the enhanced nuclear radius which originates from the 3α structure in the $2+2$ state. The present analysis predicts an enhancement of 0.6 to 1.0 fm in the nuclear radius of the $2+2$ state in comparison to the radius of the yrast rotational state, which is considered to have a normal nuclear radius. In addition, Theoretical calculation predicts the prominent shrinkage in the α -angular distribution for the 3α production in comparison to the distribution in the $^{12}\text{C} + \alpha$ production. This shrinkage is a clear evidence of the enhanced nuclear radius of the 3α structure.

研究分野：理論核物理学

キーワード：核半径 核反応 クラスター状態 超短寿命核 エキゾチック核 波動回折

1. 研究開始当初の背景

本研究の背景は、原子核の密度半径(核半径)に関するものである。原子核は複数の核子が密に結合した有限量子多体系であり、天然に存在する原子核はエネルギーが最低の「基底状態」にある。基底状態には密度の飽和性が成立し、その核半径は全核子数の 1/3 乗に比例することが知られている。一方、外部からエネルギーを注入し、原子核を熱い「励起状態」にすると、一塊の核が複数の粒子(${}^4\text{He}$ 原子核)に解離し、それらが弱く結合した「クラスター構造」が発現することが知られている。その典型例は ${}^8\text{Be} = 2$ 、 ${}^{12}\text{C} = 3$ 構造であり、最近 ${}^{16}\text{O} = 4$ 、 ${}^{20}\text{Ne} = 5$ 等の研究が進展している。

クラスター構造が発達すると、原子核の核半径は異常に増大すると考えられている。クラスターが発達した場合、粒子どうしは弱結合になるため、その密度分布は量子トンネル効果により遠方にまで広がる。その結果、核半径は基底状態のそれよりも顕著に増大する。これまでの理論研究によれば、クラスター状態の半径は基底状態に比べ約 50%以上増大することが予想されている。しかしながら、クラスター状態は非常に短寿命であるため、クラスター状態の核半径を実験的に測定できない状況であった。

これに対し、クラスター状態を終状態として励起する非弾性散乱の散乱角度分布(微分断面積)に見られる回折パターンから、クラスター状態の半径を導出する試みがロシアのグループによりなされていたが、導出される半径は実際の核半径に対応しないという指摘があり、クラスター状態の核半径の実証については決定的な結論が見いだせない状況にあった。

2. 研究の目的

近年、軽い原子核の励起状態に、2、3 等の複数の粒子が弱く束縛した「多重構造」の存在が議論されており、更に原子核にハイペロンを投入して得られる「エキゾチック原子核」にまで、多重構造の研究が進展してきている。これらの「エキゾチックな多重系」に共通の特徴として、その核半径の異常増大が指摘されているが、半径増大を実証することはこれまで不可能であった。

本研究では、申請者が独自に考案した「散乱半径法」をエキゾチック多重系の生成反応に適用し、その核半径の異常増大現象を実証することを研究目的とする。本研究により、これまで実験測定が不可能であった超短寿命な多重状態の核半径を定量的に評価することが可能となり、「励起状態の核半径研究」という原子核物理学の新局面が切り開くものである。

3. 研究の方法

申請者は、クラスター状態の半径を評価する分析手法として「散乱半径法」を独自に考案し、 ${}^{12}\text{C} = 3$ 系への適用を進めてきた(基盤(C), No.26400284, 平成 26~28 年度)。この散乱半径法では、最初に粒子衝突反応、 ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C}$ に対する精密核反応計算を行い、反応確率の計算値と実験データを比較する。次に、実験を再現した反応確率の理論値を粒子の軌道角運動で展開し、反応確率の軌道角運動量分布を構成することにより、生成反応が生じる空間サイズ「散乱半径」を定量的に評価する手法である。

本研究では、 ${}^{12}\text{C}$ が基底状態のまま回転する「基底回転状態」と 3 構造を保ちながら回転運動する「3 回転状態」の二つの励起状態に注目し、それらを生成する衝突反応の分析を中心に進めてきた。更に 3 状態に粒子を投入した「3 + クラスター状態」の生成反応に対する分析も行い、3 + 状態の核半径の増大を示すことが主たる目的である。

研究遂行に際しては、多重状態を生成する生成反応の反応強度の理論計算と分析が中心であり、それには以下の 3 つのプロセスが存在する：

3 状態に励起する原子核系の内部波動関数の計算と整備

の内部波動関数を入力とした 3 状態の生成反応の計算、実験データとの比較の結果へ散乱半径法を適用し 3 状態の核半径を評価

の内部波動関数の準備に関しては、3 クラスターモデルで計算された精密な ${}^{12}\text{C}$ 内部波動関数を基盤として、 ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He}$ 、 $3 + {}^4\text{He}$ の内部波動関数を準備する。反応計算では、内部波動関数から原子核間相互作用を導出し、それをを用いて 3 状態を励起する反応断面積の計算を実施し、実験データとの比較を行う。に挙げた散乱半径法による分析とは、の反応計算で得られた反応確率を衝突系の軌道角運動量(L)に分解した部分確率(L)を計算する。次に(L)を重みとしてLの平均値 L_{av} を算出し、図 4 に示す衝突係数 R_{sc} と L_{av} の関係、 $L_{av} = k \times R_{sc}$ の関係に従って散乱半径 R_{sc} を導出する(k は入射粒子の波数を示す)。この散乱半径の評価を、多重状態の生成反応と通常の(コンパクト構造を持つ)励起状態の生成反応に対して行い、両者の比較から 3 状態の核半径を算出する。

4. 研究成果

(1) $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ + 3 非弾性散乱の結果

ここで用いられる反応計算法は「微視的チャンネル結合法」と呼ばれる手法であり、衝突する二つの原子核の内部波動関数と有効核子間力から衝突原子核間の相互作用を微視的に導出し、それを基盤として二体衝突を精密に解く計算法である。

計算で得られた $^{12}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{C}^*$ 系の微分断面積を図1に示す ($^{12}\text{C}^*$ は ^{12}C の励起状態を意味する)。横軸は散乱角度、縦軸は微分断面積の強度を表しており、黒点が実験データ、実線が計算結果を表す。elastic は弾性散乱 ($^{12}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{C}$)、 2_1^+ 、 3_1^- は ^{12}C の回転、振動状態へ励起する断面積、 0_2^+ は 3^- 状態への励起を表している。計算結果は観測された実験データを非常によく再現していることが分かる。

図2には、 3^- の回転状態へ励起する部分断面積の計算結果と実験データの比較を示す。縦軸、横軸は図1と同じく各々微分断面積、散乱角度を表す。白丸が実験データを表す。この実験強度には、 3^- の回転状態へ励起する強度(細い実線)にバックグラウンド(点線)が重なっているため、全強度(太い実線)は細い実線 + 点線で与えられる。計算結果(太い実線)は実験データをよく再現していることが分かる。

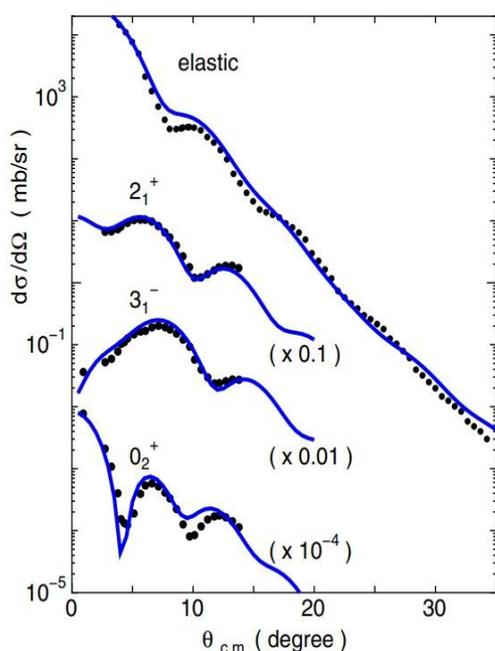


図1: 非弾性散乱 ($^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}^*$) の微分断面積の実験値と理論計算の比較。黒点が実験データ、実線が理論計算を表す。

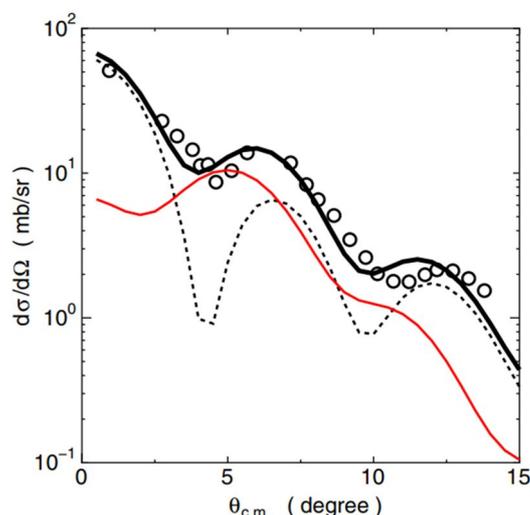


図2: 3^- 回転状態の微分断面積の理論と実験の比較。白丸は実験データ、点線はバックグラウンド強度、細い線は ^{12}C の回転状態の強度を表す。太い実線は点線と細い線の合計で与えられる。

^{12}C の回転状態と 3^- の回転状態へ励起する断面積を比較したものが図3である。実線が 3^- 回転状態、点線が ^{12}C の回転状態を表す。また図4には微分断面積を軌道角運動量毎に分解した角運動量分布の計算結果が示されている(部分波分解)。図3と同じく、実線が 3^- 回転状態、点線が ^{12}C の回転状態を表している。図4の横軸は散乱に寄与している軌道角運動量、縦軸は対応する強度を表す。

角度空間(図3)では、 ^{12}C 回転状態の分布(点線)に比べ 3^- 回転状態(実線)の分布が狭くなっており、一方、角運動量空間(図4)ではその逆の関係が確認できる。これは散乱角度(θ)と角運動量(L)の間の不確定性関係 $L = \text{一定}$ によるものである。これら二種類の回転状態を生成する反応の違いは終状態の核半径のみであるため、 3^- 回転状態を生成する反応確率の空間(図3)での狭い(L 空間(図4)での広い)分布は、 3^- 状態の核半径増大に起因している。従って、図3に見られるような微分断面積の収縮が 3^- 状態の核半径増大を示す指標として採用できることが理解できる。

更に L 空間での強度分布(図4)に散乱半径法を適用し、 3^- 回転状態の生成半径を評価すると、 3^- 状態の核半径は基底状態よりも 1fm 程度増大していることが明らかになった。実験データ、精密な反応計算を総合して、 3^- の核半径の増大を定量的に評価したことは、これまでにない成果であり、クラスター状態の半径に関して非常に有益な情報をもたらした成果である。

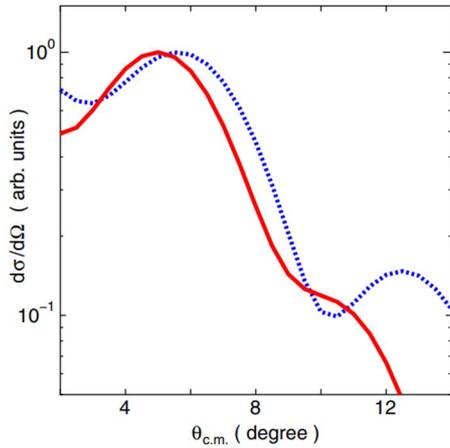


図 3: ^{12}C 回転状態(点線)と ^3He 回転状態(実線)の微分断面積の比較。断面積ピークの絶対値を合わせてある。

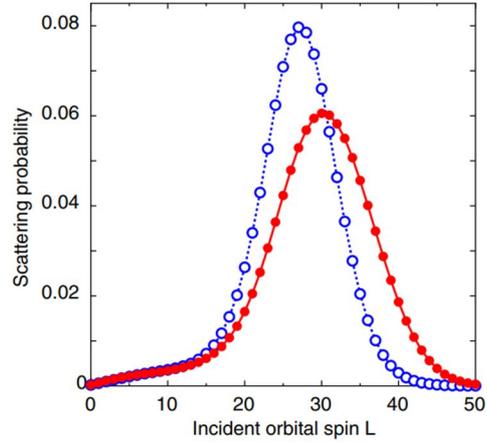


図 4: ^{12}C 回転状態(点線)と ^3He 回転状態(実線)の断面積の部分波分解の比較。

(2) $^3\text{He} + ^{13}\text{C} \rightarrow \text{K} + (3 +)$ の結果

ここで用いられる反応計算は「歪曲波インパルス近似(DWIA)」と呼ばれるものであり、素過程、中性子 $n + ^{13}\text{C} \rightarrow \text{K} + ^{12}\text{C}$ の反応確率を始状態($^{13}\text{C} + n$)、終状態($(3 +) + \text{K}$)の波動関数で畳み込み、生成反応の確率を計算する手法である。従って、DWIA の計算を遂行するには ^{13}C と $^{13}\text{C} = 3 +$ 系の内部波動関数が必要になるが、それは ^3He クラスタモデルで計算された ^{12}C 波動関数を基盤として計算する。 $^{13}\text{C} = 3 +$ 系の内部波動関数の計算結果を入力として、DWIA の計算を行い、散乱半径の分析手法を適用し、 $^3\text{He} +$ 系の核半径の評価を行う。

DWIA 計算で得られた結果を図 5 に示す。各パネルの横軸、縦軸は各々散乱角度、反応強度を表している。実線は $^3\text{He} +$ 状態を励起する反応強度、破線は $^{12}\text{C} +$ 状態を励起する反応強度を表している。また、上のパネルでは、DWIA の計算であり、始状態の $n + ^{13}\text{C}$ 、終状態 $\text{K} + 3 +$ に強い相互作用の効果を含めた計算である。一方、下のパネルには、始状態、終状態の散乱状態を平面波として扱う PWIA(Plane Wave Impulse Approximation)の計算結果である。PWIA の計算では、散乱する粒子は相互作用せず、自由粒子として散乱する。

上のパネルに注目すると、 $^3\text{He} +$ を励起する強度(実線)の分布は、 $^{12}\text{C} +$ を励起する分布よりも狭いことが分かる。これは図 3 の結果と同じであり、角度空間で分布が狭いということは、角運動量の空間においては、 $^3\text{He} +$ の分布が広がっていることになり、散乱半径の関係式 $L_{av} = k \times R_{sc}$ に従うと、 $^3\text{He} +$ が生成される領域の半径 R_{sc} は $^{12}\text{C} +$ のそれよりも広がっていることが理解できる。

DWIA(上図)と PWIA(下図)を比較すると、結果は定性的に同じであり、始状態と終状態の相互作用の効果は終状態の空間的サイズに影響を与えないことが分かる。

ここに示した結果は理論計算によるもののみであり、実験データはまだ未測定である。理論計算は、生成される K を比較的后方($\sim 50^\circ$ 程度)まで測定することができれば、 $^3\text{He} +$ 状態

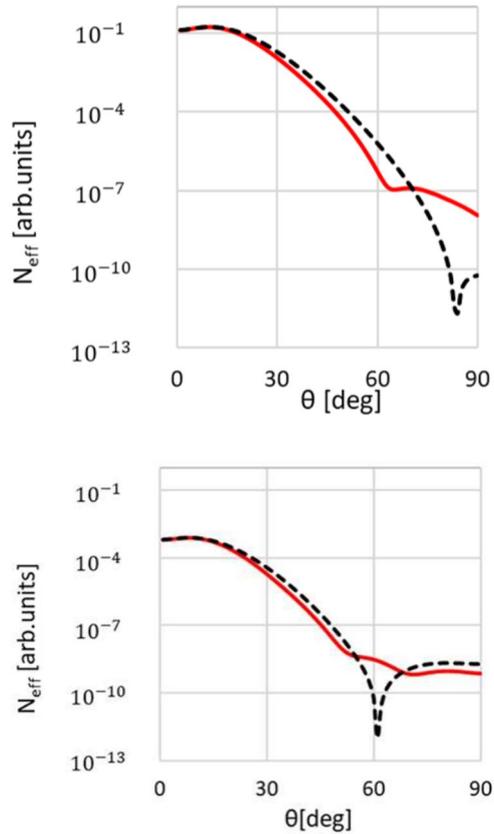


図 5: $^{12}\text{C} +$ 状態(破線)、 $^3\text{He} +$ 状態(実線)の散乱強度の比較。上図は DWIA、下図は PWIA の結果を示す。

の核半径増大について決定的な結論が得られる可能性を示唆している。今後の実験測定が強く望まれる状況である。

(3) ^{10}Be 遷移密度の分析

^{10}Be は 2 のコアに二中性子が付与された系である。二中性子は 2 の周りで分子軌道構造を作り、2 コアを束縛させることが知られている。二中性子の分子軌道が 軌道を形成すれば、それは空間的にコンパクトな状態に対応し、 軌道を作れば 2 間の距離が増大し、クラスター構造が発達した励起状態に対応する。

ここでは、 ^{10}Be の基底状態 \Rightarrow 軌道状態、基底状態 \Rightarrow 軌道状態への遷移強度を表す遷移密度の分析を行った。遷移密度のフーリエ変換は形状因子と呼ばれ、その分布、広がり是非弾性散乱の微分断面積のそれらに非常によく対応する。 、 状態への形状因子を計算したところ、後者の形状因子は前者に比べて顕著に収縮していることが判明した。これは 状態への遷移の微分断面積が 状態に比べ狭い分布をしていることを意味している。これは ^{12}C に見られた図 3 の結果と同様であり、 状態の核半径増大を意味している。従って、 ^{10}Be の非弾性散乱を行って微分断面積を測れば、その分布から 状態の核半径増大を確認することができるものと期待できる。こちらも今後の実験が強く望まれる状況である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 M. Nakao, H. Umeraha, R. Nakamoto, S. Ebata and M. Ito	4. 巻 57
2. 論文標題 Continuum strength of isoscalar transitions of ^{40}Ca state in ^{44}Ti	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1121 1130
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00223131.2020.1769765	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 Ito M., Nakamoto R., Nakao M., Okuno T., Ebata S.	4. 巻 57
2. 論文標題 Isoscalar transitions and alpha cluster structures in heavy nuclei	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal A	6. 最初と最後の頁 68 74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1140/epja/s10050-021-00372-4	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 -
1. 著者名 Ito M., Nakao M., Nakamoto R., Okuno T., Ebata S.	4. 巻 2319
2. 論文標題 Isoscalar transitions in heavy nuclei and ^{40}Ca cluster structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP conference proceedings	6. 最初と最後の頁 080011-1 6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0037182	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 Nakao M., Nakamoto R., Okuno T., Ebata S., Ito M.	4. 巻 2319
2. 論文標題 Coulomb shift in mirror cluster systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP conference proceedings	6. 最初と最後の頁 080010-1 4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0037183	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 M. Ito, M. Iwasaki, R. Otani, M. Nakao, M. Tomita	4. 巻 31
2. 論文標題 Application of absorbing boundary condition to few-body cluster dynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011018-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.31.011018	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 Makoto Ito, Makoto Nakao, Tomoyuki Okuno and S. Ebata	4. 巻 223
2. 論文標題 Enhanced monopole and dipole transitions in nuclei induced by cluster structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Physical Journals web of Conference (EPJ web of Conf.)	6. 最初と最後の頁 01026-1, 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201922301026	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 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata and M. Ito	4. 巻 2019030147
2. 論文標題 Coulomb shift in two-center cluster systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the IX international symposium on EXotic Nuclei (EXON-2018), (2018), World Scientific Publishing Company Pte Limited	6. 最初と最後の頁 54, 58
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 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 M. Ito, M. Nakao, S. Hirao, Y. Funaki, and T. Yamada	4. 巻 2019030147
2. 論文標題 Evidence of enhanced 3α radius in ^{12}C probed by nuclear reactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the IX international symposium on EXotic Nuclei (EXON-2018), (2018), World Scientific Publishing Company Pte Limited	6. 最初と最後の頁 81, 86
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 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 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, T. Okuno, N. Kitagawa, F. Tani, Y. Hirata, Y. Murata, and M. Ito	4. 巻 2019-001
2. 論文標題 cluster structures and dipole excitations in medium-heavy nuclei	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JAEA-Conf	6. 最初と最後の頁 137, 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11484/jaea-conf-2019-001	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 MAKOTO ITO	4. 巻 97
2. 論文標題 Evidence of an enhanced nuclear radius of the α -halo state via $^3\text{He} + ^{12}\text{C}$ inelastic scattering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 044608-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.97.044608	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 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, and M. Ito	4. 巻 98
2. 論文標題 Cluster Thomas-Ehrman effect in mirror nuclei	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 054318-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.98.054318	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 M. Ito, M. Nakao, S. Hirao, Y. Funaki, and T. Yamada	4. 巻 2038
2. 論文標題 Enhanced ^3He radius in ^{12}C probed by nuclear reactions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 020016-1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5078835	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 Makoto Ito	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Evidence of an enhanced nuclear radius of the alpha-halo state via alpha+12C inelastic scattering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 -
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 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, M. Ito	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Study of alpha cluster structures in medium-heavy nuclei	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 Symposium on Nuclear Data; November 16-17, 2017, High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Ibaraki, Japan	6. 最初と最後の頁 -
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 M. Ito, M. Nakao	4. 巻 163
2. 論文標題 Evidence of enhanced three radius in + 12C inelastic scattering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 00026-1,7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201716300026	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 M. Nakao, H. Umehara, S. Sonoda, S. Ebata and M. Ito	4. 巻 163
2. 論文標題 Cluster structure and Coulomb shift in two-center mirror systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 00040-1,6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201716300040	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 -

[学会発表] 計43件(うち招待講演 1件/うち国際学会 25件)

1. 発表者名 M. Ito, R. Nakamoto, M. Matsushita, and E. Ueda
2. 発表標題 Four nucleons configurations around heavy core nuclei
3. 学会等名 Yamada Conference LXXII: The 8th Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB2020), 1-5 March 2021, Kanazawa, JAPAN. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Nakamoto, M. Ito, A. Saito and S. Shimoura
2. 発表標題 Theoretical evaluation of non-resonant background strength in binary breakup reaction
3. 学会等名 Yamada Conference LXXII: The 8th Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB2020), 1-5 March 2021, Kanazawa, JAPAN. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Ito, R. Nakamoto and R. Ikegawa
2. 発表標題 Theoretical studies on resonance phenomena
3. 学会等名 Mini-WS "Physics in resonant reaction induced by low-energy RI beam", Feb. 22. 2021 (RCNP COREnet program) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Nakamoto, M. Ito, A. Saito and S. Shimoura,
2. 発表標題 Theoretical evaluation of non-resonant background strength in binary breakup reaction
3. 学会等名 Symposium on Nuclear Data 2020, 26-27 November 2020, RIKEN Wako Campus.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤誠、中本履祐、松下元稀、上田永樹
2. 発表標題 中重核領域の クラスタ構造研究に向けて
3. 学会等名 RCNP研究会「原子核における多様な共鳴現象とそれを探る核反応機構」2021年1月18～20日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中本履祐、伊藤誠、齊藤明登、下浦享
2. 発表標題 二体分解反応の非共鳴バックグラウンド強度の理論的評価
3. 学会等名 RCNP研究会「原子核における多様な共鳴現象とそれを探る核反応機構」2021年1月18～20日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤誠、中本履祐
2. 発表標題 クラスタモデル波動関数と殻モデル波動関数のオーバーラップ計算
3. 学会等名 日本物理学会第67回年次会 (オンライン開催)2021年3月12～15日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中本履祐、伊藤誠、齊藤明登、下浦享
2. 発表標題 二体分解反応の非共鳴バックグラウンド強度の理論的評価
3. 学会等名 日本物理学会第67回年次会 (オンライン開催)2021年3月12～15日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Ito, Makoto Nakao, Tomoyuki Okuno, S. Ebata
2. 発表標題 Monopole and Dipole transitions in Heavy Nuclei Induced by Cluster Structures
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference (APPC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Ito, Makoto Nakao, S. Ebata
2. 発表標題 Coulomb Shift in Mirror Cluster Systems
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference (APPC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Application of absorbing boundary condition to few-body cluster reactions
3. 学会等名 The international workshop on nuclear physics for astrophysical phenomena (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Ito, M. Nakao, T. Okuno, S. Ebata
2. 発表標題 Isoscalar transitions and clusters in heavy nuclei
3. 学会等名 ECT* Trento Workshop on "Light clusters in nuclei and nuclear matter: Nuclear structure and decay, heavy-ion collisions, and astrophysics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Application of absorbing boundary condition to few-body cluster dynamics
3. 学会等名 The 15th international Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Ito, M. Nakao, T. Okuno and S. Ebata
2. 発表標題 Enhanced monopole and dipole transitions in nuclei induced by cluster structures
3. 学会等名 IV International Conference on Nuclear Structure and Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤誠
2. 発表標題 パネルディスカッション2 「新しい原子核物理の教科書」
3. 学会等名 理化学研究所 第3回若手放談会：エキゾチック核物理の将来
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤誠、中尾慎人、江幡修一郎
2. 発表標題 180のアルファクラスター構造と単極遷移の研究
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 伊藤誠
2. 発表標題 中重核領域における アルファクラスター構造研究の試み
3. 学会等名 平成31年度北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究 研究会「大規模数値計算による原子核反応シミュレーションとデータベース構築」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Enhanced 3 radius in ^{12}C probed by nuclear reactions
3. 学会等名 Fourth International Workshop on "State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP4)" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Evidence of enhanced 3 radius in ^{12}C probed by nuclear reactions
3. 学会等名 Nuclear Seminar at Kyushu University
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Studies on molecular resonance
3. 学会等名 平成30年度北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究 研究会「大規模数値計算による原子核の構造解析と反応シミュレーション」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Evidence of enhanced 3σ radius in ^{12}C probed by nuclear reactions
3. 学会等名 The IX International Symposium on EXOtic Nuclei (EXON-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center cluster systems
3. 学会等名 The IX International Symposium on EXOtic Nuclei (EXON-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Evidence of enhanced 3σ radius probed by nuclear reactions
3. 学会等名 The Fifth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS (HAWAII2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Nakao
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center mirror systems
3. 学会等名 The Fifth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS (HAWAII2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Probe of extended nuclear radius of ^{12}C in ^{12}C by nuclear reactions
3. 学会等名 Workshop on Nuclear Cluster Physics 2018 (WNCP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Nakao
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center mirror systems
3. 学会等名 Workshop on Nuclear Cluster Physics 2018 (WNCP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Nakao
2. 発表標題 -cluster structures and dipole excitations in medium-heavy nuclei
3. 学会等名 2018年度核データ研究会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Evidence of enhanced 3α radius in ^{12}C probed by nuclear reactions
3. 学会等名 13th International Conference on Nucleus Nucleus Collision 2018 (NN2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center cluster systems
3. 学会等名 13th International Conference on Nucleus Nucleus Collision 2018 (NN2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Nakao and Makoto Ito
2. 発表標題 Numerical treatment of orthogonality condition model in few-body systems
3. 学会等名 The Seventh Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中尾慎人、伊藤誠
2. 発表標題 直交条件模型の数値的取り扱い
3. 学会等名 RCNP研究会「核子・ストレンジネス多体系におけるクラスター現象」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤誠、中尾慎人、船木靖朗
2. 発表標題 四重極遷移によるアルファクラスター励起
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中尾慎人、伊藤誠
2. 発表標題 直交条件模型の数値的取扱い
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Ito, Makoto Nakao
2. 発表標題 Molecular structures in two-center nuclear systems
3. 学会等名 The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2017 (ISPUN17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, M. Ito
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center cluster systems
3. 学会等名 The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2017 (ISPUN17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Ito, Makoto Nakao
2. 発表標題 Enhanced matter radius of alpha cluster states probed by nuclear reactions
3. 学会等名 Workshop on Nuclear Cluster Physics 2017 (WNCP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, M. Ito
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center cluster systems
3. 学会等名 Workshop on Nuclear Cluster Physics 2017 (WNCP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Ito
2. 発表標題 Molecular structures in tow-center nuclear systems
3. 学会等名 Collaboration workshop on RI and heavy-ion sciences (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, M. Ito
2. 発表標題 Study of alpha cluster structures in medium-heavy nuclei
3. 学会等名 2017年度核データ研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Ito, Makoto Nakao
2. 発表標題 Evidence of enhanced 3 alpha radius probed by nuclear reaction
3. 学会等名 International workshop on Hadron and Nuclear Physics 2017 (HNP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nakao, H. Umehara, S. Ebata, M. Ito
2. 発表標題 Coulomb shift in two-center cluster systems
3. 学会等名 International workshop on Hadron and Nuclear Physics 2017 (HNP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤誠、平尾峻馬、中尾慎人、船木靖朗、山田泰一
2. 発表標題 13 C生成反応による3 状態の核半径研究
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会 (2018年)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾慎人、梅原基、伊藤誠、江幡修一郎
2. 発表標題 直交条件模型を用いた180の クラスタ構造の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会 (2018年)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Physics in resonant reaction http://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/crib/PRR2021/miniWS.htm

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