

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24105005

研究課題名(和文)中性子過剰な中低密度核物質の物性

研究課題名(英文)Properties of low-to-medium neutron-rich neutron matter

研究代表者

中村 隆司(Nakamura, Takashi)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：50272456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 162,300,000円

研究成果の概要(和文)：中性子星核物質の性質を解明するため、不安定核を用いた実験により中性子過剰環境下での原子核の物性を明らかにした。(1) 線カロリメータを建設し、中性子過剰Ca核のピグミー共鳴を測定した。(2) 中性子ハロー核のクーロン分解によりダイニュートロンの兆候を示す強い双極子励起を観測し、 ^{31}Ne 等に変形誘因型ハローを発見した。(3) 不安定核の荷電交換反応を用いてテトラ中性子の候補を発見した。また、260の質量を測定し、僅かに非束縛の状態であることを見だし、280の実験にも成功した。以上の結果、中性子過剰環境下での核力や量子多体効果の理論に制限が加わり、中性子星の解明が進むものと期待される。

研究成果の概要(英文)：We have studied properties of very neutron-rich nuclear matter in order to elucidate the key properties of neutron star matter. (1) We have studied the pygmy dipole resonance in neutron-rich Ca isotopes using the newly constructed gamma-ray calorimeter. (2) We performed Coulomb breakup experiments of the two-neutron halo nuclei ^{19}C and ^{19}B , where enhanced electric dipole strengths are observed. This suggests dineutron correlation in these nuclei. We have found deformation-driven halo configuration for ^{31}Ne and neighboring nuclei for the first time. (3) We have found evidence of the tetra-neutron state by the double charge exchange reaction. We have successfully measured precisely the mass of 260, which was found barely unbound with respect to two-neutron emission. We have also successfully measured 280 for the first time. The nuclear interactions and many-body effects clarified by these experiments may shed light on the properties of neutron stars.

研究分野：実験核物理学

キーワード：実験核物理 不安定核 中性子星

1. 研究開始当初の背景

巨大な原子核とも言える中性子星は、大部分が中性子でできた超高密度、かつコンパクトな天体である。宇宙の観測からは中性子星の質量は比較的精度よく求められているものの、半径や最大質量については不定性が大きく、その構造は未だ謎のままである。中性子星の主要な性質を決めているのが中性子星物質（一般的には中性子過剰核物質）の状態方程式(Equation of State: EOS)である。中性子数と陽子数がバランスした対称核物質の EOS は比較的よく調べられているが、中性子過剰核物質の EOS は未だによくわかっていない。最近観測された太陽質量の2倍程度の中性子星は核物理に大きな課題を与えた。ハイペロンを含む EOS の予言の多数が棄却されたためである(ハイペロンパズル)。中性子過剰核物質の EOS はハイペロン等のエキゾチックなハドロンを含む EOS に対する基礎となるため、この意味でも重要である。

こうした中性子過剰核物質の EOS を探る有力な手段として最近注目されているのが、原子核反応を使った実験、とりわけ、不安定核の反応実験である。最近、広範囲の中性子過剰核が不安定核ビームとして生成可能になり、これを原子核標的と反応させ、その応答を調べることで、EOS に制限を与えられる可能性が出てきた。その有力手段の一つが中性子過剰核に現れる「中性子スキン」の振動を見るという方法である。この場合、クーロン励起を用いて得られる電気双極子応答、特に低励起エネルギーのピーク(ピグミー共鳴)が鍵を握っていると考えられている。民井ら(公募研究に参加)によって先駆的な研究が安定核について行われ、中性子過剰核物質の EOS の主要項にある程度制限が与えられた。さらに、ドイツの GSI では不安定核(中性子過剰核)を用いた実験が行われたが、いまだに不定性が大きい。理研では GSI をはるかに凌駕するビーム強度を誇る RIBF が 2007 年より稼働しており、さらに、本研究でも重要となる多種粒子測定装置 SAMURAI が本研究の開始年である 2012 年(H24)に RIBF 完成した。本研究はまさにこの好機に立ち上がった。

中性子星物質を理解する上で重要となるのは量子多体効果の密度依存性、中性子過剰度(アイソスピン)依存性である。特に、中性子星のインナークラストやアウトコアの超流動状態を知るには、対相関の密度依存性が重要である。これについては中性子スキンに加えて、低密度中性子状態である中性子ハローを調べるのがよい。本計画研究の代表は中性子ハローの研究で世界をリードし、中性子ハロー核のソフト双極子励起(中性子ハロー特有の低エネルギーの電気双極子応答)のメカニズムを世界に先駆けて解き明かし、また関連するさまざま

な核分光法を開発してきた。

量子多体効果とともに、「核力」の密度依存性、アイソスピン依存性も重要で、EOS を決める最先端の核理論に対して強い制限を与える。特に注目されるのは、中性子束縛限界を超えた非束縛核である。本研究で研究対象とした酸素 26 (^{26}O) や酸素 28 (^{28}O)、およびテトラ中性子(4n)は、中性子過剰状況下での核力(テンソル力や3核子力)を探る上で重要とされている。

2. 研究の目的

上記のような背景のもと、本研究では、不安定核研究の世界的拠点研究所である理研 RIBF(RI ビームファクトリー)において中性子過剰核を不安定核ビームとして生成し、その“反応”を駆使して、標準核密度から希薄核密度までの密度領域での中性子過剰核物質の物性を明らかにすることを目指した。そのため、以下の3つの柱を立て、研究を進めることとした。すなわち、(1)中性子スキンを有する中性子過剰核の電気双極子応答の観測、特にピグミー共鳴の観測により、中性子過剰核物質で重要となる EOS の対称エネルギーに強い制限を与える。(2)中性子ハロー核の電磁応答やその他の反応を用いた研究により、中性子ハロー現象の理解を進める。特に、希薄核物質中でのダイニュートロン相関の探索とその解明を行う(図1参照)。(3)中性子数が超過剰であるため中性子ドリップラインを超えて非束縛状態になった核子多体系の探索(中性子超過剰非束縛核の探索)を行う(図1参照)。以上の研究を通じ、中性子過剰核物質の EOS に制限をつけるとともに、非常に中性子過剰な原子核の量子多体効果や核力を明らかにし、中性子星や中性子過剰核物質の物性を探ることを目的とした。

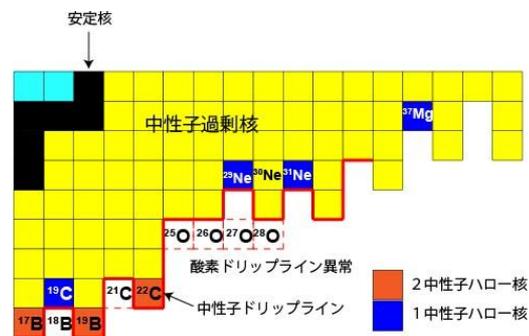


図1: 本研究の対象とした中性子ハロー核、および中性子ドリップライン(束縛限界)を超えた中性子超過剰非束縛核(テトラ中性子を除く)を核図表に示した。

3. 研究の方法

1) 中性子ハロー核の電磁応答：中性子過剰カルシウム核 (^{50}Ca , ^{52}Ca) のクーロン励起を行い、電気双極子応答の遷移強度スペクトルを得る。スペクトルは、励起後に放出される荷電フラグメントと中性子および線の同時測定により不変質量を組み、導出する。このスペクトルで得られるピグミー共鳴の強度や双極分極率から、中性子過剰核物質の EOS の主要項 (対称エネルギー等) に制限を与える。本研究では、荷電フラグメントから放出される線測定のため、高い検出効率を有する線カロリメータ CATANA を建設した。

2) 中性子ハロー核に現れるダイニュートロンの研究：2 中性子ハロー核 (コア + 2 個のハロー中性子) の候補となっているホウ素 ^{19}B 、炭素 ^{22}C のクーロン分解反応を行い、ソフト双極子励起を観測する。その遷移強度スペクトルからダイニュートロンを探索する。また、 $^{29,31}\text{Ne}$ や ^{37}Mg について核力分解反応・クーロン分解反応の実験を行い、これらの中性子ハロー構造を調べる。

3) 不安定核の核子分離反応や荷電交換反応を利用して、中性子の束縛限界 (中性子ドリップライン) を超える非束縛核を生成する。本研究で対象とする酸素 ^{26}O および酸素 ^{28}O の準位エネルギー (質量) は、中性子過剰環境下での核力 (特に 3 核子間力) の解明に重要であり、中性子星核物質のみならず酸素ドリップライン異常 (図 1、酸素フッ素同位体間の急激なドリップラインの変化) の解明にも繋がる。また、中性子 4 個の系「テトラ中性子 (4n)」の観測を、ヘリウム 8 の二重荷電交換反応で行う。この方法はテトラ中性子への運動量移行が抑えられるという特徴を生かした世界初のもので、比較的高い生成断面積が期待される。核子多体系の第一原理計算のベンチマークともなり、EOS の解明においても重要である。

4. 研究成果

1) 中性子ハロー核の電磁応答：理研 RIBF の多種粒子測定装置 SAMURAI において、本研究予算で建設した線カロリメータ (CATANA, 図 2) を組み込んだ実験装置を用いて、中性子過剰カルシウム同位体 ^{50}Ca , ^{52}Ca のクーロン励起の実験を行い成功させた (本実験は H29.4 実施)。CATANA は CsI(Na) の結晶 100 個からなる線検出器アレーで、本研究で雇用した梅野特任助教が主導して設計・建設し、これを完成させたものである。このカルシウム同位体の実験に先立ち、中性子過剰核 ^{32}Ne , ^{31}Ne の核力分解反応・クーロン分解反応実験で CATANA は初めて不安定核実験に用いられ、 ^{30}Ne の線遷移の測定に成功し、分解能など想定された性能が達成されていることが確認された。現在、中性子過剰カルシウム核の実験の詳細解析を進めている。

なお、この実験の実験計画策定にあたっ

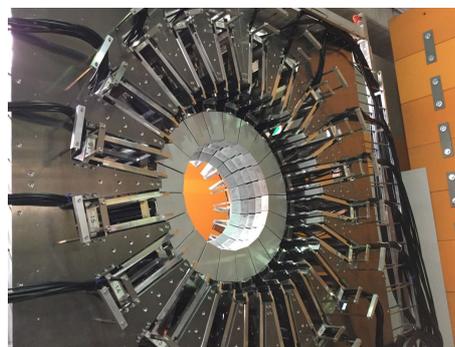


図 2. 本研究予算で建設したガンマ線カロリメータ CATANA

ては本新学術領域 D 班の理論グループとの共同研究により、中性子スキンの形成が顕著であると理論的に予想された上記カルシウム同位体を選定した。さらに、上記のカルシウム同位体の実験ではミラノ大学、大阪大学 (B02 班公募研究の民井氏) との共同研究で LaBr3 検出器を、CATANA を補強するガンマ線検出器として用いた。この LaBr3 については、やはり民井氏らと阪大核物理研究センターの加速器を用いてテスト実験を行っており、その成果も生かされている。

2) 中性子ハロー核におけるダイニュートロン相関：2 中性子ハロー核 ^{22}C , ^{19}B のクーロン分解反応実験のデータを取得し、ダイニュートロン相関の兆候を示す強いクーロン励起強度を観測した。また、これに関連して、同じ実験で得られた ^{22}C の相互作用断面積のデータより、その核半径の導出に成功し、本研究費で雇用した特任助教を筆頭著者とする論文として発表した (Y. Togano, T. Nakamura et al., Phys. Lett. B 761, 412 (2016)). この結果、核半径の値は先行研究より 1 桁以上精度が上がった。先行研究ではこれまで最も巨大なハローの可能性が指摘されていたが、実際には通常のハロー核の大きさ程度であることがわかった。高い精度で半径が実験的に決められたことから、中性子ハロー (低密度中性子状態) の理論により強い制限がつけられるものとして注目されている。

関連するハロー核の研究では、 ^{29}Ne , ^{31}Ne , ^{37}Mg それぞれの 1 中性子分離反応を核力分解、クーロン分解両方について測定し、その断面積を比較することにより、それぞれの質量にあたる 1 中性子分離エネルギーと、特定の角運動量成分 (p 波) に対するスペクトロスコピック因子の導出に成功した。その結果、これらはすべて p 波中性子のハローを持つこと、また、ハローの形成が原子核の変形に起因する「変形誘因型ハロー」という新しい現象であることを見出した。この研究で ^{37}Mg がハロー核であることを初めて発見した。この研究に関連し

て、3本の論文(T.Nakamura et al., Phys. Rev. Lett. 112, 142501 (2014), N. Kobayashi et al., Phys. Rev. Lett 112, 242501 (2014)., N.Kobayashi, Phys. Rev. C 93,014613 (2016).)を公表し、うち2本についてはプレスリリースも行うなど、注目された。この成果の一部は計画研究代表の研究室の博士学生(小林信之)によって博士論文としてまとめられ、RIBF Users Groupの Thesis Awardを受賞している。

3) 中性子超過剰非束縛核の探索: 理研 RIBFにおいて、 $^{26,27}\text{F}$ 不安定核ビームの1陽子分離反応により、それぞれ、酸素の非束縛同位体 $^{25,26}\text{O}$ の合成し、多種粒子測定装置 SAMURAI を用いて、世界最高精度での質量測定に成功した。 ^{26}O については、図3のように、2中性子崩壊のエネルギーが非常に小さくわずかに非束縛の状態であることを見だし、また、第一励起準位の世界初観測にも成功した。こうした弱非束縛状態では2個の中性子が非常に強く相関し、ダイニュートロン状態になっている可能性が理論的に指摘されており、注目される。この成果は中性子過剰環境下での核力など最新の核構造理論に強い制限を与えると期待されている。この成果は論文発表(Y.Kondo, T. Nakamura et al., Phys. Rev. Lett. 116, 102503 (2016).)するとともにプレスリリースを行った。

さらに、これらより中性子数が過剰になった $^{27}\text{O}, ^{28}\text{O}$ の生成実験を理研 RIBF/SAMURAIで行い、これも成功させた。これらの非常に重い酸素同位体は、それぞれ、3中性子系、4中性子系が核表面に存在する可能性があり、また ^{28}O については陽子・中性子が同時に魔法数になった二重魔法数の可能性もあって非常に注目されている。実際、この実験は世界中から共同研究者が集まり理研 RIBFでも最大級の国際共同実験となった。

一方、研究分担者の下浦らは理研 RIBFの高分解能スペクトロメータ SHARAQを用いて、($^8\text{He}, ^8\text{Be}$)という二重荷電交換反応により「テトラ中性子」の候補を観測した。4中性子系は原子核という有限量子多体系の第一原理計算のベンチマークともなる少数粒子系であり、注目されている。この結果は論文発表(K. Kisamori, S.Shimoura et al., Phys. Rev. Lett. 116, 052501 (2016))するとともにプレスリリースも行った。H28年度には、さらに統計を大幅に向上させて、テトラ中性子の観測実験を行い、これを成功させた。現在、詳細解析を進めている。

下浦らは、一方で反跳陽子の飛跡解析を用いた新型中性子検出器の開発に取り組み、そのプロトタイプ検出器を完成させ、動作確認に成功している。これを用いてテトラ中性子の崩壊を可視化することができる可能性が出てきた。

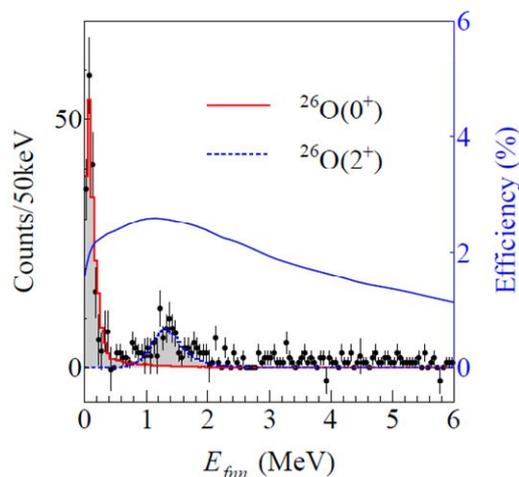


図3. 本研究で得られた酸素 ^{26}O の3体($^{24}\text{O}+n+n$)崩壊エネルギー(2中性子崩壊閾値を基準とするエネルギー)のスペクトル。閾値近傍の基底状態(18(5)keV)のエネルギーが初めて有限値として得られ、さらに励起エネルギー1.28(11)MeVの第一励起準位が初めて観測された。[Y.Kondo et al., Phys. Rev. Lett. 116, 102503 (2016).].

以上のように、1) 中性子ハロー核の電磁応答、2) 中性子ハロー核におけるダイニュートロン相関、3) 中性子超過剰非束縛核の探索、において顕著な成果が得られた。現在解析を進めているピグミー共鳴のデータは、中性子星核物質のEOSに強い制限を与えると期待される。また、本研究で得られた ^{26}O の成果をもとに、 ^{26}O に存在する可能性があるダイニュートロンの探索を行う実験計画を理研 RIBFのプログラム採択委員会に提出し、高評価で採択されている。今後、EOS、ダイニュートロン相関という2つの流れで、本研究はさらなる展開を見せるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計48件)

1. J.W. Huang*, Y. Kondo, T. Nakamura, et al., "Single-neutron knockout from ^{20}C and the structure of ^{19}C ", Phys. Lett. B **769** (2017) 503-508. 国際共著、査読有. DOI:10.1016/j.physletb.2017.04.019
2. Y. Togano*, T. Nakamura, Y. Kondo, et al., "Interaction cross section study of the two-neutron halo nucleus ^{22}C ", Phys. Lett. B **761** (2016) 412-418. 国際共著、査読有. DOI:10.1016/j.physletb.2016.08.062
3. N. Kobayashi*, T. Nakamura, Y. Kondo, Y. Togano, et al., "One-neutron removal

- from ^{29}Ne : Defining the lower limits of the island of inversion”, *Phys. Rev. C* **93** (2016) 014613-1-11. 国際共著, 査読有. DOI: 10.1103/PhysRevC.93.014613
4. T. Nakamura*, Y. Kondo, “Large acceptance spectrometers for invariant mass spectroscopy of exotic nuclei and future developments”, *Nucl. Instr. Methods B* **376** (2016) 156-161. 査読有. DOI: 10.1016/j.nimb.2016.01.003
 5. K. Kisamori*, S. Shimoura et al., “Candidate Resonant Tetraneutron state Populated by the $^4\text{He}(^8\text{He}, ^8\text{Be})4n$ Reaction”, *Phys. Rev. Lett.* **116** (2016) 052501-1-5. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.116.052501
 6. Y. Kondo*, T. Nakamura, et al., “Nucleus ^{26}O : A Barely Unbound System beyond the Drip Line”, *Phys. Rev. Lett.* **116** (2016) 102503-1-6. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.116.102503
 7. N. Kobayashi*, T. Nakamura, Y. Kondo, et al., “Observation of a p-Wave One-Neutron Halo Configuration in ^{37}Mg ”, *Phys. Rev. Lett.* **112** (2014) 242501-1-5. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.112.242501
 8. *T. Nakamura*, N. Kobayashi, Y. Kondo et al., “Deformation-Driven p-Wave Halos at the Drip Line: ^{31}Ne ”, *Phys. Rev. Lett.* **112** (2014) 142501-1-5 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.112.142501
 9. *N. Kobayashi*, T. Nakamura et al., “One- and two neutron removal reactions from the most neutron-rich carbon isotopes”, *Phys. Rev. C* **86** (2012) 054604-1-11. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevC.86.054604
 10. T. Aumann*, T. Nakamura, “The electric dipole response of exotic nuclei”, *Physica Scripta*, **T152** (2013) 014012-1-27. 国際共著, 査読有 (Review article)
 11. S. Takeuchi*, Y. Kondo, T. Nakamura, S. Shimoura, et al., “Well Developed Deformation in ^{42}Si ”, *Phys. Rev. Lett.* **109** (2012) 182501-1-5. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.109.182501
- その他、37件(うち36件は査読有)
〔学会発表〕(招待講演計48件)
1. T. Nakamura, “Weakly bound and unbound nuclei near the neutron drip line”, International Nuclear Physics Conference, 2016/9/11-9/16, Adelaide, Australia. 国際学会、招待講演
 2. T. Nakamura, “Spectroscopy of weakly bound and unbound nuclei”, Int. Workshop on “Physics beyond the limits of stability: exploring the continuum”, 2016/10/17-10/23, ECT*, Trento Italy, 国際学会、招待講演
 3. Y. Kondo, “Experimental study of 25-28O with SAMURAI”, The 9th International conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2016), 2016/7/11-7/15, Halifax, Canada, 国際学会、招待講演
 4. S. Shimoura, “Tetraneutron states populated via $4\text{He}(^8\text{He}, ^8\text{Be})$ reaction”, The 11th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics (Cluster16), 2016/5/23-5/27, Naples, Italy, 国際学会、招待講演
 5. 下浦 享, “Tetra-neutron system populated by exothermic double-charge exchange reaction”, 基研研究会「核力に基づく核構造、核反応物理の展開」2017/3/27-3/29. 京都大学基礎物理学研究所、京都府京都市、招待講演。
 6. T. Nakamura, “Structure of Neutron Drip-line Nuclei”, 39th Symposium on Nuclear Physics, 2016/1/5-1/8, Cocoyoc, Mexico. 国際学会、招待講演
 7. T. Nakamura, “Breakup experiments on drip-line nuclei at RIBF”, Korean Physical Society Meeting, 2015/4/22-4/25, Daejeon, 韓国, 国際学会、招待講演
 8. T. Nakamura, “Large acceptance spectrometer and possible new developments”, International Conference on Electromagnetic Isotope Separators and Related Topics (EMIS2015), 2015/5/11-5/15, Grand Rapids, Michigan, USA. 国際学会、招待講演
 9. T. Nakamura, “Nuclear Structure near and beyond the neutron drip line probed by breakup”, Nuclear Structure and Dynamics III, 2015/6/14-6/19, Portoroz, Slovenia. 国際学会、招待講演
 10. T. Nakamura, “Weakly bound and unbound nuclei”, The 9th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium (JCNP2015), 2015/11/7-11/12, 大阪大学、大阪府吹田市. 国際学会、招待講演
 11. S. Shimoura, “Nucleon-nucleon correlation in neutron-rich nuclei”, International Workshop and the 12th RIBF Discussion on Neutron-proton correlations”, 2015/7/6-7/9, 香港大学、香港、中国. 国際学会、招待講演
 12. T. Nakamura, “Weakly bound and unbound few-body nucleonic systems”, Workshop “Few-body universality in atomic and nuclear physics: Recent Experimental and Theoretical Advances”, 2014/5/12-5/16, University of Washington, Seattle, USA. 国際学会、招待講演
 13. T. Nakamura, “Coulomb and nuclear breakup of exotic nuclei near the neutron

- drip line”, ECT* Workshop “Breakup Reactions of Exotic Nuclei and Related Topics”, 2014/7/16-7/18, ECT*, Trento, Italy. 国際学会、招待講演
14. T. Nakamura, “Island of Inversion Studied by Coulomb and Nuclear Breakup”, PKU-CUSTIPEN Nuclear Reaction Workshop, “Reactions and Spectroscopy of Unstable Nuclei”, 2014/8/10-8/14, Peking Univ., Beijing, China. 国際学会、招待講演
 15. T. Nakamura, “Nuclear Matter in Neutron Stars by Experimental and Astronomical Observations”, Hadrons and Hadron Interactions in QCD 2015, 2015/3/2-3/6, 京都大学基礎物理学研究所、京都府京都市. 国際学会、招待講演
 16. S. Shimoura, “Nucleon transfer reactions at intermediate energy to exotic nuclei using inverse kinematics”, ECT* Workshop on “From nuclear structure to particle-transfer reactions and back II”, 2014/11/10-11/14, Trento, Italy. 国際学会、招待講演
 17. T. Nakamura, “Symmetry-energy Studies using the SAMURAI Facility at RIBF”, 3rd International Symposium on Nuclear Symmetry Energy, 2013/6/22-6/26, NSCL/FRIB, E.Lansing, Michigan, USA. 国際学会、招待講演
 18. T. Nakamura, “Nuclear structures near and beyond the neutron drip line studies by breakup reactions at SAMURAI at RIBF”, 2013 Fall Meeting of the APS Division of Nuclear Physics, 2013/10/23-10/26, Newport News, VA, USA. 国際学会、招待講演
 19. T. Nakamura, “Structure of nuclei near and beyond the neutron drip line studied by breakup experiments at RIBF”, EMMI Workshop “Threshold physics at the neutron drip line”, 2014/2/3-2014/2/7, GSI, Darmstadt, Germany. 国際学会、招待講演
 20. T. Nakamura, “Breakup reactions on exotic nuclei at the large acceptance spectrometer SAMURAI at RIBF”, International workshop on nuclear symmetry energy and reaction mechanism, 2012/9/4-9/7, Syracuse, Italy 国際学会、招待講演

その他招待講演 28 件

〔図書〕(計 2 件)

1. 中村隆司 著, 共立出版「不安定核の物理」2016 年, 194 頁。
ISBN: 978-4-320-03528-7
2. T. Nakamura, Y. Kondo, “Neutron halo and breakup reactions”, Cluster in Nuclei, Vol.2, Lecture Notes in Physics 848, Springer Heidelberg. 53 頁(p67-p120).
ISBN 978-3-642-24706-4

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

- ・ プレスリリース “原子核からほんの少しだけあふれた 2 個の中性子”
<http://www.titech.ac.jp/news/2016/033690.html>
- ・ プレスリリース:「テトラ中性子核を発見: 中性子物質研究の本道を開拓」
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2015/60.html>
- ・ プレスリリース “中性子ハローがマグネシウム同位体にも出現”
<http://www.titech.ac.jp/news/2014/027999.html>
- ・ プレスリリース “中性子が多い原子核に現れる特異構造を解明”
<http://www.titech.ac.jp/news/2014/027409.html>
- ・ 2014 年 8 月 18 日朝日新聞朝刊 科学の扉 “元素の魔法数”(研究代表者、中村隆司が取材受ける)
- ・ 2014 年 10 月 26 日 日本経済新聞朝刊 “中性子の一部、なぜ電子のように?” (研究代表者、中村隆司が取材受ける)
- ・ 2016 年 4 月 19 日 科学新聞 “酸素 26 の質量を高精度で決定”

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 隆司 (Takashi Nakamura)
東京工業大学理学院・教授
研究者番号: 50272456

(2) 研究分担者

下浦 享 (Susumu Shimoura)
東京大学大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 10170995

(3) 連携研究者

近藤 洋介 (Yosuke Kondo)
東京工業大学理学院・助教
研究者番号: 00455346
寺西 高 (Takashi Teranishi)
九州大学理学研究院・准教授
研究者番号: 10323495

(4) 研究協力者

- ・ 梶野 泰宏 (Yasuhiro Togano)
立教大学理学部・助教、昨年度まで東京工業大学理学院・特任助教
- ・ 小林 信之 (Nobuyuki Kobayashi)
大阪大学核物理研究センター特任助教、2012 年度、東工大博士課程修了
- ・ J.A. Tostevin
Univ of Surrey, UK, Professor
- ・ 大津 秀暁 (Hideaki Otsu)
理化学研究所仁科加速器研究センター、チームリーダー)