

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25247036

研究課題名(和文)ヘビークォークで切り拓く新しいハドロンと原子核物理

研究課題名(英文)Opening New Hadron and Nuclear Physics with Heavy Quarks

研究代表者

岡 真(Oka, Makoto)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：60144606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,300,000円

研究成果の概要(和文)：強い相互作用の第一原理QCDに基づく計算と有効理論・模型による研究を結びつけて、HQを含むハドロン励起状態、エキゾチックハドロン、ハドロン多体系のダイナミクスを探求した。また、BelleやJ-PARCを含む国内外の実験施設から報告されている結果や今後行われる実験に直接アクセスする理論解析を行った。普遍的な対称性およびそれぞれのスケールで顕在する物理的自由度を決定し、系統的なハドロン分光を確立し、QCDの未解決問題である閉じ込め力の機構、カラーエキゾチック状態の同定への足がかりとした。

研究成果の概要(英文)：The first principle of the strong interaction, QCD, and its effective theories and models are used to analyze hadron spectra and dynamics of hadrons with heavy quarks (charm, bottom). It aims to support experimental studies of heavy hadrons at Belle, J-PARC and the other international facilities. We find universal symmetry and physical degrees of freedom at each energy scale and make a foundation to approach the key issues such as confinement and color exotic states in QCD.

研究分野：Hadron Physics (Theoretical and Experimental)

キーワード：ハドロン ヘビークォーク 量子色力学(QCD) チャーム エキゾチックハドロン 多クォーク系  
ハドロン分子

### 1. 研究開始当初の背景

Belle, LHC, J-PARC, FAIR などの国内外の加速器実験施設では、加速エネルギーの増加と検出器の精度向上に伴い、ヘビークォーク(HQ, チャームおよびボトム)を含むメソンやバリオンの分光、エキゾチックハドロン探索およびハドロン間相互作用の実験的研究が進んできている。特に、ハドロン分子やマルチクォーク状態と思われる新奇な HQ ハドロンの発見が相次いでいた。一方、対応する理論的研究では、模型計算が主流で、強い相互作用の基礎理論である量子色力学(QCD)に基づく定量的な議論は少なかった。エキゾチックハドロンのエネルギーや構造も未解明であった。さらに、J-PARC でのチャームハドロン励起状態の探索実験が計画されているものの、反応機構や生成断面積などの情報が十分でない状況にあった。

### 2. 研究の目的

強い相互作用の第一原理 QCD に基づく計算と有効理論・模型による研究を結びつけて、HQ を含むハドロン励起状態、エキゾチックハドロン、ハドロン多体系のダイナミクスを解明する。特に普遍的な**対称性**およびそれぞれのスケールで顕在する物理的**自由度**を決定することにより、系統的なハドロン分光の研究を推進し、QCD の未解決問題である閉じ込め力の機構、カラーエキゾチック状態の同定を目指す。

具体的な課題として、HQ バリオン励起状態のスペクトルと HQ 原子核に着目し、HQ ハドロンの相互作用と、HQ ハドロンの多体束縛状態の性質の解明に戦略的に取り組んだ。また、Belle や J-PARC を含む国内外の実験施設から報告されている結果や今後行われる実験に直接アクセスする理論解析を行って、実験グループとの連携を強めることを目指した。

### 3. 研究の方法

(研究の視点・戦略)強い相互作用によるハドロンのダイナミクスを記述する QCD はそのスケールによって相互作用の強さ、重要となる対称性が異なり、クォークのフレーバーに依存する。原子核・ハドロン物理はこれまで軽いクォークからなるハドロンのダイナミクスの研究を系統的に進め、ハドロンの構造、ハドロン間相互作用の多様性を明らかにしてきた。そこで、この知見をチャームとボトムを含む対象に広げ、QCD のスケール依存性を利用することで、重いクォーク系で特徴的な**HQ 対称性**の役割や、HQ 極限で実現する**クォーク閉じ込め**のスペクトルへの反映機構を解明する。特に、新しく発見された HQ を含む新奇なハドロン分子共鳴状態や、マルチクォーク系などのエキゾチックハドロン状態の構造や生成機構などの系統的な理解を目指した。

(研究の手法) 上記の目標を達成するためには、QCD を第一原理に基づいて解析するとともに、その物理的解釈を与える必要がある。そのため、**格子 QCD** および **QCD 和則**により HQ ハドロン、エキゾチックハドロンの構造と相互作用、また

QCD 和則による HQ ハドロンの核媒質中での性質を解析した。

HQ を含む少数クォーク系のハミルトニアンを与えて、その励起状態を解析することにより、HQ ハドロンでクォーク自由度がどのように励起されるかを解明する。

HQ を含むハドロンの生成反応、崩壊反応をクォークダイナミクスに基づいて解析して、今後の実験的研究の基礎となるデータを与えた。

(研究の態勢) 東工大(および理研、群馬高専)、阪大 RCNP、J-PARC (JAEA/KEK)の3拠点を結ぶ理論の研究グループを中心に据える。

・東工大・群馬高専・理研(トルコ・韓国の協力研究者を含む)のグループ(岡、高橋、Gubler, Can, 佐々木、鈴木、大谷、Erkol 他)では、格子 QCD (ハドロン間の結合および形状因子の解析)および QCD 和則(有限密度でのハドロンの性質の解析)を用いた研究を行った。

・東工大・理研・KEK(山東大などを含む)のグループ(肥山、岡、Liu、横田、前田、土手)では、HQ ハドロンを含む少数(核子)系の束縛可能性を探索した。

・阪大 RCNP・東工大(Inha 大学、奈良女子大、を中心とするグループ(保坂、安井・岡・永廣・Kim、吉田)では、HQ バリオンの励起状態の分光をクォーク模型のハミルトニアンを用いて詳細に解析し、励起モードの分類を行った。

・実験合同研究グループを形成し、KEKB (Belle 測定器)と J-PARC (高運動量ビームライン)における HQ 実験計画を支援する。グループ内の緊密な連携により、理論グループが実験の立案や結果の解析に関わって研究を推進することができる態勢を構築する。このように従来にない分野構成で新しい物理を切り拓くには、若い研究者の新しい視点から研究を推進することが不可欠であることから、この分野で活躍する若手研究者の発掘・育成にも力をいれる。

### 4. 研究成果

研究期間中の主な研究成果を4つの大枠課題ごとに解説する。

#### 1. HQ バリオンのスペクトルと生成、崩壊反応の研究

今後実施されるハドロン実験で HQ バリオンを生成する断面積の詳細な解析を行った。ファインマン図による解析とレッジ軌跡交換描像による解析の両者を比較して定量的な評価を与えた。

また、電子・陽電子衝突や高エネルギー陽子散乱実験でのヘビークォークの生成とヘビークォークハドロンの生成機構の定量的な解析を行った。これは直接実験的研究の可能性に関わる解析で、実際に J-PARC における実験提案の蓋然性を示す重要な指標を与えた。

格子 QCD を用いて、HQ バリオンの形状因子を計算し、フレーヴァー成分を分離することにより HQ バリオンの構造、生成・崩壊の計算に必要な大きさに関する情報を引き出した。軽いバリオンとの比較を行ない、HQ によってどのように波動関数、クォーク分布が変化するかを定量的に明

らかにした。

## 2. HQ を含むエキジティックハドロン、HQ ハドロンの分子的状態の研究

HQ スピン対称性がハドロン分子状態を含む複合系で果す役割を明らかにした。テンサー力を含むパイオン交換の重要性を明らかにした。

HQ を含む新奇共鳴状態である X, Y, Z 状態およびペンタクォークバリオンの分子的構造の有無を解析した。ハドロン散乱のしきい値付近では分子構造が見られることが定量的に明らかになり、量子状態に普遍的なクラスター構造であることが明確になった。

## 3. HQ を含むバリオン間相互作用とダイバリオン (HQ 重陽子)

ストレンジネスを含むハイペロンと核子、あるいは、ハイペロンとハイペロンの間に働く相互作用の性質は理論的にも実験的にも解明されてきたが、それを受けて、チャームバリオン( $Y_c$ )と核子(N)の相互作用を特定する研究を行ない、中間子交換力をヘビークォーク対称性ならびにカイラル対称性に基づく有効理論を用いて解析し、パイオン交換(特にテンソル力)による  $\Lambda_c$ -N と  $\Sigma_c$ -N,  $\Sigma_c^*$ -N(特に D 波)との結合が強く  $\Lambda_c$ -N 間に強い引力が現れる可能性があることを示した。定量的な解析では、引力の強さは形状因子のとり方に強く依存し、 $Y_c$ -N 間の短距離力が重要であることが明らかになった。短距離力はクォーク模型に基づく計算では斥力を与えるが、その強さは核子間力の場合よりも弱いことを示した。

## 4. HQ ハイパー核の少数系精密計算

チャームバリオンと原子核の束縛の可能性を追求した。課題 3 で求めた  $Y_c$ -N 相互作用を核子少数系に適用して、 $\Lambda_c$  の原子核への束縛状態の存在可能性を解析した。模型による相互作用では 2 体系および 3 体系でも浅い束縛状態が存在可能である。特に  $\Sigma_c$ ,  $\Sigma_c^*$  からの寄与が重要であることがわかった。一方で、格子 QCD による  $\Lambda_c$ -N 相互作用の計算からは 5 体系以上で束縛することが示された。今後の探索実験への示唆を与えた。

## (主な成果発表広報活動)

○ ヨーロッパ原子核理論研究所(ECT\*)において HQ ハドロン物理に関するワークショップ “The Charm and Beauty of Strong Interactions”, July 17-28, 2017 を組織、開催した。

○ 定期的にハドロンカフェの開催し、多数の関連研究者による成果発表とディスカッションを行った。

[http://www.th.phys.titech.ac.jp/Nuclth/Nuclear\\_Hadron\\_Physics/Seminar.html](http://www.th.phys.titech.ac.jp/Nuclth/Nuclear_Hadron_Physics/Seminar.html)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] すべて原著査読有 (計 57 件)

1. K.U. Can, G. Erkol, B. Isildak, M. Oka, T.T. Takahashi, Electromagnetic properties of doubly charmed baryons in Lattice QCD, Phys. Lett. B726 (2013) 703-709.

2. A. Yokota, E. Hiyama, M. Oka, Possible existence of charmonium–nucleus bound states, Prog. Theor. Exp. Phys. 2013 (2013) 113D01-1-18.
3. M. Oka, Molecular bound states of charmed hadrons, Nucl. Phys. A914 (2013) 447-453.
4. A. Dote, M. Bayar, C.W. Xiao, T. Hyodo, M. Oka, E. Oset, A narrow quasi-bound state of the DNN system, Nucl. Phys. A914 (2013) 499-504.
5. Y. Yamaguchi, S. Ohkoda, S. Yasui, A. Hosaka, Hadronic molecules for charmed and bottom baryons near thresholds, Phys. Rev. D87 (2013) 074019-1-11, doi:10.1103/PhysRevD.87.074019
6. S. Yasui, K. Sudoh, Y. Yamaguchi, S. Ohkoda, A. Hosaka, T. Hyodo, Spin degeneracy in multi-hadron systems with a heavy quark, Phys. Lett. B727 (2013) 185-189, doi:10.1016/j.physletb.2013.10.019.
7. K.U. Can, G. Erkol, B. Isildak, M. Oka, T.T. Takahashi, Electromagnetic structure of charmed baryons in Lattice QCD, JHEP 1405 (2014) 125-1-20.
8. K.-J. Araki, K. Ohtani, P. Gubler, M. Oka, QCD sum rules on the complex Borel plane, Prog. Theor. Exp. Phys. 2014 (2014) 073B03-1-21.
9. M. Oka, Spectroscopy of heavy quark hadrons, Int. J. Mod. Phys. E23 (2014) 1461007-1-8.
10. E. J. Garzon, R. Molina, A. Hosaka, E. Oset, Strategies for an accurate determination of the X(3872) energy from QCD lattice simulations, Phys. Rev. D89 (2014), 014504-1-9, doi:10.1103/PhysRevD.89.014504.
11. S. Ohkoda, S. Yasui, A. Hosaka, Decays of  $Z_b \rightarrow Y\pi$  via triangle diagrams in heavy meson molecules, Phys. Rev. D89 (2014) 074029-1-5, doi:10.1103/PhysRevD.89.074029.
12. H. Nagahiro, A. Hosaka, Spin degeneracy in multi-hadron systems with a heavy quark, Phys. Rev. C90 (2014) 065201-1-12, doi:10.1103/PhysRevC.90.065201.
13. Y. Yamaguchi, S. Yasui, A. Hosaka, Exotic dibaryons with a heavy antiquark, Nucl. Phys. A927 (2014) 110-118, doi:10.1016/j.nuclphysa.2014.04.002.
14. S.-H. Kim, A. Hosaka, H.-C. Kim, H. Noumi, K. Shirotori, Pion-induced reactions for charmed baryons, Prog. Theor. Exp. Phys. 2014 (2014) 103D01, doi:10.1093/ptep/ptu131.
15. E. Hiyama, S. Ohnishi, B.F. Gibson, Th. A. Rijken, Three-body structure of the  $nn\Lambda$  system with  $\Lambda N$ - $\Sigma N$  coupling, Phys. Rev. C89 (2014) 061302-1-6, doi:10.1103/PhysRevC.89.061302.
16. A. Dote, T. Myo, Double-pole nature of  $\Lambda(1405)$  studied with coupled-channel complex scaling method using complex-range Gaussian basis, Nucl. Phys. A930 (2014) 86-103, doi:10.1016/j.nuclphysa.2014.08.041.
17. T. Yoshida, E. Hiyama, A. Hosaka, M. Oka, K. Sadato, Spectrum of heavy baryons in the quark model, Phys. Rev. D92 (2015) 114029-1-19, doi:10.1103/PhysRevD.92.114029.
18. K. U. Can, G. Erkol, M. Oka, T.T. Takahashi, A look inside charmed-strange baryons from lattice QCD, Phys. Rev. D92 (2015) 114515-1-14, doi:10.1103/PhysRevD.92.114515
19. H. Bahtiyar, K.U. Can, G. Erkol, M. Oka,  $\Omega_{c\gamma} \rightarrow \Omega_c^*$  transition in lattice QCD, Phys. Lett. B747 (2015) 281-286, doi:10.1016/j.physletb.2015.06.006.
20. E. Hikota, Y. Funaki, E. Hiyama, M. Oka, The

- radiative capture reaction rate from  $\Lambda\Lambda$  to H dibaryon in the imaginary time method, Phys. Rev. C92 (2015) 15205-(1-10), doi:10.1103/PhysRevC.92.015205.
21. X.-H. Liu, M. Oka, Q. Zhao, Searching for observable effects induced by anomalous triangle singularities, Phys. Lett. B753 (2015) 297-302, doi:10.1016/j.physletb.2015.12.027.
  22. Y. Yamaguchi, S. Ohkoda, A. Hosaka, T. Hyodo, S. Yasui, Heavy quark symmetry in multihadron systems, Phys. Rev. D91 (2015) 034034-1-32, doi:10.1103/PhysRevD.91.034034.
  23. H.-X. Chen, W. Chen, Q. Mao, A. Hosaka, X. Liu, S.-L. Zhu, P-wave charmed baryons from QCD sum rules, Phys. Rev. D91 (2015) 54034-1-21, doi:10.1103/PhysRevD.91.054034.
  24. S.-H. Kim, A. Hosaka, H.-C. Kim, H. Noumi, Production of strange and charmed baryons in pion induced reactions, Phys. Rev. D92 (2015) 94021-1-13, doi:10.1103/PhysRevD.92.094021.
  25. Q. Mao, H.-X. Chen, W. Chen, A. Hosaka, X. Liu, S.-L. Zhu, QCD sum rule calculation for P-wave bottom baryons, Phys. Rev. D92 (2015) 114007-1-9, doi:10.1103/PhysRevD.92.114007.
  26. K. Hattori, K. Itakura, S. Ozaki, S. Yasui, QCD Kondo effect: quark matter with heavy-flavor impurities, Phys. Rev. D92 (2015) 65003, doi:10.1103/PhysRevD.92.065003.
  27. M.F.M. Lutz, T. Nakano, M. Oka, et al., Resonances in QCD, Nucl. Phys. A948 (2016) 93-105, doi:10.1016/j.nuclphysa.2016.01.070.
  28. S. Maeda, M. Oka, A. Yokota, E. Hiyama, Y.-R. Liu, A model of charmed baryon-nucleon potential and 2- and 3-body bound states with charmed baryon, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016 (2016) 023D02 (29 pages), doi:10.1093/ptep/ptv194.
  29. P. Gubler, K. Hattori, S. H. Lee, M. Oka, S. Ozaki, K. Suzuki, D mesons in a magnetic field, Phys. Rev. D93 (2016) 054026 (21 pages), doi:10.1103/PhysRevD.93.054026.
  30. K. Suzuki, P. Gubler, M. Oka, D meson mass increase by restoration of chiral symmetry in nuclear matter, Phys. Rev. C93 (2016) 045209 (11pages), doi:10.1103/PhysRevC.93.045209.
  31. F. Okiharu, T. Doi, H. Ichie, H. Iida, N. Ishii, M. Oka, H. Suganuma, T. T. Takahashi, Tetraquark and Pentaquark Systems in Lattice QCD, Journal of Modern Physics 7 (2016) 774-789, doi:10.4236/jmp.2016.78072
  32. H. Kim, K. S. Kim, M.-K. Cheoun, D. Jido, M. Oka, Testing the tetraquark structure for the X resonances in low-lying region, European Physics Journal A52 (2016) 184-1-8, doi:10.1140/epja/i2016-16184-0.
  33. A. Hosaka, E. Hiyama, S. H. Kim, H.-C. Kim, H. Nagahiro, H. Noumi, M. Oka, K. Shirotori, T. Yoshida, S. Yasui, Productions and decays of charmed baryons, Nucl. Phys. A954 (2016) 341-351, doi:10.1016/j.nuclphysa.2016.05.009.
  34. X.-H. Liu, M. Oka, Understanding the nature of heavy pentaquarks and searching for them in pion-induced reactions, Nucl. Phys. A954 (2016) 352-364, doi:10.1016/j.nuclphysa.2016.04.040.
  35. P. Gubler, T. T. Takahashi, M. Oka, Flavor structure of  $\Lambda$  baryons from lattice QCD -- from strange to charm, Phys. Rev. D94 (2016) 114518 (16 pages), doi:10.1103/PhysRevD.94.114518.
  36. A. Hosaka, T. Iijima, K. Miyabayashi, Y. Sakai, S. Yasui, Exotic hadrons with heavy flavors: X, Y, Z, and related states, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016 (2016) 062C01-1-64, doi:10.1093/ptep/ptw045.
  37. S.-H. Kim, H.-C. Kim, A. Hosaka, Heavy pentaquark states  $P_c(4380)$  and  $P_c(4450)$  in the  $J/\psi$  production induced by pion beams off the nucleon, Phys. Lett. B763 (2016) 358-364, doi:10.1016/j.physletb.2016.10.061.
  38. H.-X. Chen, Q. Mao, A. Hosaka, X. Liu, S.-L. Zhu, D-wave charmed and bottomed baryons from QCD sum rules, Phys. Rev. D94 (2016) 114016, doi:10.1103/PhysRevD.94.114016.
  39. S. Yasui, Kondo effect in charm and bottom nuclei, Phys. Rev. C93 (2016) 65204, doi:10.1103/PhysRevC.93.065204.
  40. H. Nagahiro, S. Yasui, A. Hosaka, M. Oka, H. Noumi, Structure of charmed baryons studied by pionic decays, Phys. Rev. D95 (2017) 14023 (20 pages), doi:10.1103/PhysRevD.95.014023.
  41. K. Miyahara, T. Hyodo, M. Oka, J. Nieves, E. Oset, Theoretical Study of the  $\Xi(1620)$  and  $\Xi(1690)$  resonances in  $\Xi_c \rightarrow \pi + MB$  decays, Phys. Rev. C95 (2017) 35212 (12 pages), doi:10.1103/PhysRevC.95.035212.
  42. K.U. Can, G. Erkol, M. Oka, T.T. Takahashi,  $\Lambda_c \Sigma_c \pi$  coupling and  $\Sigma_c \rightarrow \Lambda_c \pi$  decay in lattice QCD, Phys. Lett. B768 (2017) 309-316, doi:10.1016/j.physletb.2017.03.006.
  43. H. Bahtiyar, K. U. Can, G. Erkol, M. Oka, T. T. Takahashi,  $\Xi_c \gamma \rightarrow \Xi'_c$  transition in lattice QCD, Phys. Lett. B772 (2017) 121-126, doi:10.1016/j.physletb.2017.06.022.
  44. K. Ohtani, K.J. Araki, M. Oka, Charmed Baryon  $\Lambda_c$  in Nuclear Matter, Phys. Rev. D96 (2017) 055208-1-12, doi:10.1103/PhysRevC.96.055208.
  45. R. Chen, A. Hosaka, X. Liu, Prediction of triple-charm molecular pentaquarks, Phys. Rev. D96 (2017) 114030, doi:10.1103/PhysRevD.96.114030.
  46. R. Chen, A. Hosaka, X. Liu, Searching for possible  $\Omega_c$ -like molecular states from meson-baryon interaction, Phys. Rev. D97 (2018) 36016, doi:10.1103/PhysRevD.97.036016.
  47. Y. Yamaguchi, A. Giachino, A. Hosaka, E. Santopinto, S. Takeuchi, M. Takizawa, Hidden-charm and bottom meson-baryon molecules coupled with five-quark states, Phys. Rev. D96 (2017) 114031, doi:10.1103/PhysRevD.96.114031.
  48. Q. Mao, H.-X. Chen, A. Hosaka, X. Liu, S.-L. Zhu, D-wave heavy baryons of the SU(3) flavor  $6_F$ , Phys. Rev. D96 (2017) 74021, doi:10.1103/PhysRevD.96.074021.
  49. A.J. Arifi, H. Nagahiro, A. Hosaka, Three-Body Decay of  $\Lambda^*(2595)$  and  $\Lambda^*(2625)$  with consideration of  $\Sigma_c(2455)\pi$  and  $\Sigma_c^*(2520)\pi$  in intermediate States, Phys. Rev. D95 (2017) 114018, doi:10.1103/PhysRevD.95.114018.
  50. H.X. Chen, Q. Mao, W. Chen, A. Hosaka, X. Liu, S.-L. Zhu, Decay properties of P-wave charmed baryons from light-cone QCD sum rule, Phys. Rev. D95 (2017) 94008, doi:10.1103/PhysRevD.95.094008.
  51. S. Yasui, K. Sudoh, Kondo effect of  $D_s$  and  $D_s^*$  mesons in nuclear matter, Phys. Rev. C95 (2017) 35204, doi:10.1103/PhysRevC.95.035204.
  52. K.-J. Araki, K. Suzuki, P. Gubler, M. Oka, Charmonium ground and excited states at finite temperature from complex Borel sum rules, Phys. Lett. B780 (2018) 48-53,

- doi:10.1016/j.physletb.2018.01.072.
53. Y. Irie, M. Oka, S. Yasui, Flavor-singlet hidden-charm pentaquark, Phys. Rev. D97 (2018) 34006-1-12, doi:10.1103/PhysRevD.97.034006.
  54. H. Kim, K.S. Kim, M.-K. Cheoun, M. Oka, Tetraquark mixing framework for isoscalar resonances in light mesons, Phys. Rev. D97 (2018) 094005-1-17, doi:10.1103/PHYSREVD.97.094005
  55. T. Hyodo, Y.-R. Liu, M. Oka, S. Yasui, Spectroscopy and production of doubly charmed tetraquarks, Nucl. Phys. A (Submitted), arXiv:1708.05169 (8/17/2017)
  56. E. Hiyama, A. Hosaka, M. Oka, J.-M. Richard, Quark model estimate of hidden-charm pentaquark resonances, Phys. Rev. C (submitted), arXiv:1803.11369 (3/30/2018)
  57. S. Maeda, Y.-R. Liu, M. Oka, Resonance in the YcN potential model, Phys. Rev. C (submitted), arXiv:1803.11349 (3/30/2018)

[学会発表] (招待講演 計 10 件 他多数)

1. M. Oka, What we know and what we don't know in light baryon spectroscopy, Workshop on Resonances in QCD, October 12-14, 2015, GSI Darmstadt, Germany.
2. M. Oka, Di-Baryon Resonances with and without heavy quarks, 1st Hadron Spanish Network Days and Spanish-Japanese JSPS Workshop, June 15-17, 2015, Valencia, Spain.
3. M. Oka, Theory Overview of the Hyperon-Nucleon Interactions and Scatterings, HYP2015, Sept. 7-12, 2-15, Sendai, Japan.
4. M. Oka, Heavy Quark Physics at J-PARC and J-PARC Heavy Ion Project, Hadronic Matter under Extreme Conditions, Oct. 31, 2016, JINR, Dubna, Russia.
5. A. Hosaka, Production and decay of charmed baryons, Baryons2016, May 16-20, 2016, Tallahassee, USA
6. M. Oka, Hidden-charm Pentaquarks in a Constituent Quark Model, ECT\* Workshop on The Charm and Beauty of Strong Interactions, July 17-28, 2017, Trento, Italy
7. M. Oka, Hidden-charm Pentaquarks in a Constituent Quark Model, the 11th APCTP - BLTP JINR - PNPI NRC KI - SPbU Joint Workshop, July 24, 2017, St. Petersburg, Russia
8. A. Hosaka, Heavy hadron production for the study of their structure, Workshop on Exotic Hadrons, Kolybari, Greece (2017)
9. A. Hosaka, Structure and interaction of charmed baryons, Structure and interaction of charmed baryons, ISPUN 2017, Halong Bay, Vietnam, Sept. 25 - 29, 2017
10. E. Hiyama, Five-body structure of heavy pentaquark system, Workshop on anti-matter, hyper-matter and exotica production at the LHC (2017)

[図書] (計 0 件)

[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

[http://www.th.phys.titech.ac.jp/Nuclth/kakenhi/2014\\_kiban\\_a/index.html](http://www.th.phys.titech.ac.jp/Nuclth/kakenhi/2014_kiban_a/index.html)

<http://www.th.phys.titech.ac.jp/Nuclth/cafe/cafe.html> (ハドロンカフェ)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡 真(OKA, Makoto)  
東京工業大学・理学院・教授  
研究者番号:60144606

### (2) 研究分担者

- ・ 保坂 淳 (HOSAKA, Atsushi)  
大阪大学・核物理研究センター・教授  
研究者番号:10259872
- ・ 肥山 詠美子 (HIYAMA, Emiko)  
九州大学・理学研究院・教授  
研究者番号:10311359
- ・ 高橋 徹 (TAKAHASHI, Toru)  
群馬工業高等専門学校・准教授  
研究者番号:70467405
- ・ 土手 昭伸 (DOTE, Akinobu)  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・講師  
研究者番号:90450361

### (3) 連携研究者

- ・ 安井 繁宏 (YASUI, Shigehiro)  
東京工業大学・理学院・特任助教  
研究者番号:00535346
- ・ 兵藤 哲雄 (HYODO, Tetsuo)  
京都大学・基礎物理学研究所・助教  
研究者番号:60539823
- ・ 野海 博之 (NOUMI, Hiroyuki)  
大阪大学・核物理研究センター・教授  
研究者番号:10222192
- ・ 中野 貴志 (NAKANO, Takashi)  
大阪大学・核物理研究センター・センター長  
研究者番号:80212091

### (4) 研究協力者

- ・ Yan-Rui LIU  
Shandong University (China), Physics,  
Associate Professor
- ・ Guray ERKOL  
Ozyegin University (Turkey), Physics,  
Professor
- ・ Hyun-Chul KIM  
Inha University (Korea), Physics, Professor