

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：37301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0077

研究課題名（和文）次世代高輝度重イオン衝突実験がもたらすストレンジネス核物理の新展開

研究課題名（英文）Pioneering strangeness nuclear physics achieved by next generation high luminosity heavy ion collision experiments

研究代表者

大山 健（Oyama, Ken）

長崎総合科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：10749047

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では国際協力の元、LHC-ALICE実験において、FPGAをアクセラレータとして用いたデータ収集装置を新たに開発し、GEMを用いた連続読み出し型のTPCを実現し、ALICEの高度化を完成させた。これにより、これまで統計不足により不可能だったダイバリオン探索、ハイペロン-核子やハイペロン-ハイペロン相関測定を試みた。ダイバリオンだけでなく、深束縛K中間子原子核やK中間子陽子凝縮物質の探索等、ストレンジネスを用いた核物理を新たに展開するための国際ネットワークとその解析技術を確立した。また同時にGSI FAIR-CBM計画へ向けた国際共同研究の基盤を構築するに至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ダイバリオンの探索、YN相関やYY相関、深束縛K中間子原子核というエキゾチックな原子核の検証とKPM物質の探索という、核力の本質と新しい核物質形態に迫る研究である。特に、高輝度重イオン衝突実験におけるこれらの実験研究は、まだ始まってから間もなく、本研究で実現した検出器・データ収集技術、そして解析技術は、今後の同物理の発展において欠かせないものである。さらに、これらの研究は今後、国際的な共同研究体制を構築して実施することではじめて、大きな成果が期待できる。本研究では、共同開発チームを複数構成し、将来計画にも参入することで、国際研究ネットワークをさらに押し広げることに成功した。

研究成果の概要（英文）：In this study, under international collaboration, we developed a new data acquisition system using FPGA as an accelerator in the LHC-ALICE experiment, to realize a continuously readout TPC based on GEM technology, and completed an upgrade of ALICE. Using the new ALICE, we performed search for di-baryons, hyperon-nucleon and hyperon-hyperon correlation measurements, which had been impossible due to lack of statistics. We have established an international network and analysis techniques for the development of strangeness physics, such as searches not only for dibaryons but also for deeply-bound Kaonic nuclei and Kaon-proton condensed matter. We have also established the basis for international collaborative research for the FAIR-CBM project at GSI.

研究分野：実験原子核物理学

キーワード：高エネルギー原子核衝突 ダイバリオン ハイペロン ストレンジネス LHC ALICE J-PARC FAIR

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初である2019年より以前には、J-PARCやJLabなどの施設で、ハイパー核を用いたYN・YY相互作用の精密研究が盛んに行われた。それらと並行して、ストレンジネス核物理の研究に関して、我々の高エネルギー重イオン衝突実験が注目され始めた。

高エネルギー重イオン衝突は、宇宙初期に存在したクォークとグルーオンから構成される物質状態(クォーク・グルーオン・プラズマ、QGP)を生成する。QGP中では、軽いアップ・クォークやダウン・クォークだけでなく、ストレンジ・クォークが多数生成される。従って、高エネルギー重イオン衝突では、非常に多くのK中間子やハイペロンが作られる。この特徴を生かして、CERN-LHC加速器を用いたALICE実験やBNL-RHIC加速器を用いたSTAR実験では、高エネルギー重イオン衝突においてハイパー核( $\Lambda^3\text{H}$ )と反ハイパー核の収量測定や寿命測定などが行われた。

さらに、QGPからハドロン物質に転移する際には、ダイバリオンや深束縛K中間子原子核などのエキゾチックな粒子も生成されると期待され、それらの収量を決定することで、エキゾチックな粒子の内部構造(多クォーク状態かハドロンの分子状態か)に迫ることができると考えられた。

折しも、研究代表者および分担研究者らが推進していたLHC加速器を用いた高エネルギー重イオン衝突実験である「ALICE実験」は、LHCの重イオンビームの高輝度化に合わせて、2020年までに新たな高度化を完成し、2021年以降はこれまでの100倍の重イオン衝突データを取得する計画を打ち立てていた。この計画はチャーム・クォークやボトム・クォークなどを積極的に用いたQGPの詳解を目指したものであったが、この高度化により、これまで統計不足に泣かされてきたダイバリオン探索、ハイペロン-核子相関、ハイペロン-ハイペロン相関、深束縛K中間子原子核やK中間子陽子凝縮物質の探索などのストレンジネスを用いた原子核物理の新たな展開を可能にするものでもあった。

## 2. 研究の目的

本研究は、次世代高輝度LHC加速器を用いた高エネルギー重イオン衝突ALICE実験によるストレンジネス核物理を新たに展開することを目的として開始した。

そのために必要不可欠となるALICE実験の主要飛跡検出器であるTPC(Time Projection Chamber)やデータ収集系の大規模な高度化を完成し、高度化後の鉛+鉛衝突実験にて、不変質量解析による $\Lambda\Lambda$ 、 $N\Omega$ 、 $\Omega\Omega$ 等のダイバリオンの探索、YNやYY( $Y=\Lambda$ 、 $\Xi$ 、 $\Omega$ )の2粒子相関測定による相互作用の検証、不変質量解析による $K^{\text{bar}}pp$ 、 $K^{\text{bar}}K^{\text{bar}}pp$ 、 $K^{\text{bar}}Kp$ などの深束縛K中間子核子の探索を、ALICE実験の国際共同研究として実施した。そして、この共同研究を礎にして、将来の高輝度重イオン衝突FAIR-CBM実験やJ-PARC重イオン計画を国際共同で発展させ、ストレンジネス核物理のさらなる飛躍を目指すこととした。

さらに、本研究は、ダイバリオンの探索やYN相関やYY相関、深束縛K中間子原子核というエキゾチックな原子核の検証とKPM物質の探索という、核力の本質と新しい核物質形態に迫るものである。中性子星の最内部ではカラー超伝導相が、外側では陽子や中性子の超流動状態が実現されていると考えられ、本研究はこれら素粒子・原子核・宇宙物理にまたがる階層を超えた創造的な研究に繋がるものである。

## 3. 研究の方法

ハイペロンを含む二バリオン系、特に $\Xi-\Xi$ 、 $\Omega-\Omega$ 等の $|S|\geq 3$ となる系は、例えばJ-PARCのような入射ビームが陽子に限られ、しかも入射エネルギーが低い固定標的用の加速器研究施設においては生成断面積が極めて小さく、それらの検証はほぼ不可能であるため、LHCでの高エネルギー重イオン衝突が圧倒的に有効である。さらに、高エネルギー重イオンによりQGPが生成され、QGPがハドロン物質に転移する際には、ダイバリオンや深束縛K中間子系などのエキゾチック粒子が生成される。高エネルギー重イオン衝突が極めて有益な手法であることを物語る。ハイペロンは生成後1 ns以下で崩壊し、最終的には陽や中性子と中間子数個に崩壊する。このような崩壊粒子を全て捉え、それらを再構成するためには、広い立体角を覆う3次元飛跡構成が可能な検出器と、衝突点近傍に置かれた粒子の崩壊場所を高い精度で決定可能な検出装置が必須である。ALICE実験には、シリコンピクセル検出器と主要飛跡測定器としてTPCがあり、ハイペロンの測定は非常に得意である。

従って、本研究はALICE TPCの高度化を実施し、高度化前の100倍という圧倒的なデータ量用い

てデータ解析を行う事を計画の中心に置いた。しかし、高度化そのものは時間がかかる作業である。一方、ALICE はこれまで高度化以前のデータの蓄積を有する。高度化が完成するまでは、この高度化前のデータを用いて、ダイバリオン等の探索をしつつ、高度化後のデータに向けた準備を行うこととした。

ALICE は TPC 高度化において、GEM(ガス電子増幅)機構を用いた、gating grid が無い、連続読み出し型 TPC を計画していた。GEM-TPC の R&D そのものは東京大学 CNS が中心となって、先行研究として完了していたが、本研究ではそのデータ収集において鍵となる FPGA を用いたリアルタイムデータ処理システムを開発した。新たなシリコンピクセル測定器や TPC 測定器の高度化のために、このデータ処理のための FPGA を前段に置き、要所には GPU をアクセラレータとして備えた、新しいデータ収集システムの導入を現地で実施した。これらの新 ALICE システムの試運転から本格的データ収集まで、実験全般において CERN における作業を担った。

次にこれまでに蓄積したデータ、および高度化後の高統計データを用いて、鉛+鉛衝突データを解析し、 $\Lambda\Lambda$  や  $p\Omega$  や  $\Omega\Omega$  の不変質量を解析し、ダイバリオンの探索を行った。さらに  $YN$ ,  $YY(Y=\Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega)$  の2粒子相関測定等を行った。不変質量分布を解析するにあたり、膨大なバックグラウンドが予想されるため、効率的な信号探索に機械学習を導入した。ピークがあれば、そこから束縛エネルギーを引き出し、核力の多体効果(3 体力など)、密度依存性やカイラル対称性の部分的回復などに迫ることができると考えた。

これらの結果を受けて、将来の新実験(FAIR-CBM 実験や J-PARC 重イオン計画)への展望を図り、次世代高精度測定に向けた実験の検出器や解析解析のため、国際ネットワークを構築する計画とした。

#### 4. 研究成果

以下、本研究の柱である(a) ALICE 実験高度化とデータ収集、(b) ALICE 実験のデータを用いたダイバリオン探索解析、そして(c)将来計画、のそれぞれについて、その成果を述べる。

##### (a) ALICE 実験高度化とデータ収集

2019 年、研究開始と同時に ALICE 実験の高度化に着手し、ALICE の主要荷電粒子飛跡測定装置である TPC の高度化、即ち連続読み出し型 GEM-TPC において重要となる、FPGA を用いた超高帯域データ即時処理システムの開発を実施した。長崎総合科学大、フランクフルト大学、ハイデルベルグ大学の研究者で構成する国際チームにより、検出器近傍のフロントエンドが出力するデータを即時処理するための FPGA に搭載するファームウェアの開発・評価を推進した。

FPGA ファームウェアは、データの順序を後段で処理しやすくするためのマッピング変換部(crossbar switch)、増幅回路により生じるシグナルのテールを除去するフィルタ(tail cancellation filter)、GEM フォイルの静電容量を介して生じる広域コモンモードを除去するフィルタ(common mode filter)、TPC の電子クラスタを発見する回路(clusterizer)、そしてデータをフォーマットして PCI Express バスに送信する回路などからなる。長崎総合科学大は、この中でもとくに common mode filter を担当し、その実装方式(アルゴリズム)を複数提案し、物理事象シミュレーション(GEANT)により作成した模擬データによる性能評価、FPGA 内での回路リソース使用量、速度などを評価し、改良を重ねた。ファームウェア開発は 2021 年までにほぼ完了させ、CERN において他の回路モジュールと組み合わせた試運転の末、2022 年の LHC の再稼働に合わせ本格的なデータ収集を開始するに至った。

一方、東京大学 CNS を中心とするグループは、2020 年より CERN に複数回滞在し、TPC の検出器構築作業、宇宙線ミュオンデータの収集による検出器のテスト、及びパフォーマンス評価を実施した。さらに、TPC 高度化の一環として、検出器内部の空間電荷によるドリフト電子軌道の機械学習を用いた高速歪み補正(空間電荷効果補正)に関して、ALICE のデータ処理グループのメンバーからなる国際チームを組織して研究を進めた。また、東京大学 CNS の 1 名が 2021 年にラン・コーディネータとして 1 年間、さらに 1 名がラン・マネージャーとして 1 カ月間 CERN に長期滞在し、ビームデータ収集直前の準備と実験の統括を担った。その後も 2023 年にかけて長崎総合科学大、東京大学 CNS の複数人が CERN にて高度化後 ALICE によるデータ収集を継続した。

さらに、ALICE のデータ解析の準備として、ALICE オンライン・オフライン解析フレームワーク(O2)の開発に本格参加するために、東京大学 CNS の研究員が CERN に滞在し、検出器上での光子電子対転換再構成のための解析コードを開発した。

##### (b) ALICE 実験のデータを用いたダイバリオン探索解析

研究開始と同時に、広島大学を中心に、フランクフルト大学の海外共同研究者らと国際研究協力体制を確立し、2022 年には大学院生らと共にフランクフルト大に滞在するなどしながら、ダイバリオン探索に関する議論を重ね、ALICE の取得済みデータ(LHC-RUN2 データ)のうち、高粒子多重度 pp および

p-Pb 事象データを用いて  $H \rightarrow \Lambda + \Lambda$ 、 $H \rightarrow p + \Xi$ 、 $N \Omega \rightarrow \Lambda + \Xi$  の三種の崩壊チャンネルを中心に、ダイバリオンの質量再構成による解析を開始した。背景事象として主に無相関対やジェット中の粒子同士による擬相関があり、シミュレーションと実データの比較等を通してこれらの背景事象が作る分布について理解を深め、また、統計的仮説検定を用いた信号探索手法による信号探索、機械学習によるハイペロン( $\Lambda$ 、 $\Xi$ 、 $\Omega$ )再構成における純度、効率の改善に取り組んだ。

これらの新手法を駆使して、2021 年以降は、この探索に Pb-Pb データを用いた N- $\Omega$  相関測定を含め、高粒子多重度の Pb-Pb 衝突事象においても、純度 70%以上にて、従来比で 2-4 倍の検出効率改善を達成した。

エキゾチックハドロン探索に関して、本課題の一環として 2022 年 8 月に研究会「エキゾチックハドロン研究会」を長崎において主催し、ALICE、STAR、J-PARC、CBM のハドロン実験研究者、さらに ExHIC Collaboration、HAL QCD Collaboration などからの理論研究者も招き、活発な議論と意見交換を行った。

さらに、2023 年 5 月には国際研究会「2nd Workshop on Hadron Interactions, Hyper-Nuclei and Exotic Hadron productions at High-Energy Experiments」を開催し、GSI の B. Doenigus 氏をはじめ、海外の研究者らを招き、LHC、Belle2、J-PARC、RHIC におけるストレンジネス物理とエキゾチック粒子測定等に関して活発な議論を行った。

### (c) 将来計画

将来計画に関する国際共同研究基盤として、2023 年 9 月に FAIR-CBM 実験の共同体会議において、広島大学チームが新規 Associate Member として承認された。これを受け、大学院生らとともに Silicon Tracking System(STS)の開発を開始し、J-PARC E16 実験と KEK PF-AR テストビームラインで STS の動作検証を行った。

日本原子力研究開発機構では、J-PARC 重イオン実験計画の実現に向けた準備を進めた。J-PARC における重イオン実験計画の実現に向けた議論を進めるとともに、先駆実験である陽子・原子核実験における電子対測定及びハドロン測定の準備、特に K 中間子識別検出器の開発とビーム試験を進めた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 S. Acharya et al., ALICE Collaboration	4. 巻 19
2. 論文標題 ALICE upgrades during the LHC Long Shutdown 2	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P05062 ~ P05062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/19/05/P05062	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 S. Acharya et al., ALICE Collaboration	4. 巻 844
2. 論文標題 First measurement of the $\pi$ - $\pi$ interaction in proton-proton collisions at the LHC	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 137223 ~ 137223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.137223	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 S. Acharya et al., ALICE Collaboration	4. 巻 845
2. 論文標題 Accessing the strong interaction between $\Lambda$ baryons and charged kaons with the femtoscopy technique at the LHC	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 138145 ~ 138145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.138145	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 S. Acharya et al., ALICE Collaboration	4. 巻 131
2. 論文標題 Enhanced Deuteron Coalescence Probability in Jets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 42301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.131.042301	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 S. Acharya et al., ALICE Collaboration	4. 巻 109
2. 論文標題 System-size dependence of the hadronic rescattering effect at energies available at the CERN Large Hadron Collider	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 14911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.109.014911	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 S. Nakasuga, M. Ichikawa, M. Naruki, H. Sako, S. Sato, et al.,	4. 巻 1041
2. 論文標題 Commissioning of the electron identification system for Dilepton measurement in pA collisions at J-PARC	5. 発行年 2022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 167335 ~ 167335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.167335	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 K. Ozawa, K. Ebata, M. Ichikawa, S. Nakasuga, M. Naruki, H. Sako, S. Sato, et al.,	4. 巻 142
2. 論文標題 Towards the Measurement of the Mass Modifications of Vector Mesons in a Finite Density Matter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Physica Polonica A	6. 最初と最後の頁 399 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12693/APhysPoIA.142.399	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 K. Ozawa, Y. Ichikawa, Y. Miake, M. Naruki, T. Sakaguchi, H. Sako, S. Sato, K. H. Tanaka, et al.,	4. 巻 271
2. 論文標題 The J-PARC heavy ion project	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 11004 ~ 11004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202227111004	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 I.W. Park, H. Sako, K. Aoki, P. Gubler and S.H. Lee	4. 巻 107
2. 論文標題 Disentangling longitudinal and transverse modes of the meson through dilepton and kaon decays	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 74033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.074033	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 ALICE Collaboration	4. 巻 82
2. 論文標題 Production of light (anti)nuclei in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-022-10241-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 A Large Ion Collider Experiment and ALICE Collaborations	4. 巻 128
2. 論文標題 Hypertriton Production in p-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 25, 252003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.252003	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 ALICE Collaboration	4. 巻 833
2. 論文標題 Exploring the $N-N$ coupled system with high precision correlation techniques at the LHC	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 137272 ~ 137272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.137272	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 S. Acharya et al. (ALICE Collaboration)	4. 巻 103
2. 論文標題 K femtoscopy in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 55201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.055201	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 ALICE Collaboration	4. 巻 81
2. 論文標題 K <sup>0</sup> S <sup>0</sup> - and (anti-) -hadron correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 945
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09678-5	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 Adolfsson J., Gunji T., Oyama K., Sekihata D., 他 (ALICE TPC Collaboration)	4. 巻 16
2. 論文標題 The upgrade of the ALICE TPC with GEMs and continuous readout	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P03022 ~ P03022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/16/03/p03022	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

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 山口頼人
2. 発表標題 Experimental study of exotics in heavy ion collisions
3. 学会等名 J-PARCと重イオン衝突実験の交差点, 2023.10.27-28 (招待講演)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 徳本涼香
2. 発表標題 Measurement of proton-Omega correlation for understanding their interaction with high energy heavy ion collisions at LHC
3. 学会等名 Symposium to Promote Gender Balance & Diversity in Science, 2024.02.29 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ryoka Tokumoto
2. 発表標題 Hyperon reconstruction methods with high purity and efficiency in Pb+Pb collisions at ALICE
3. 学会等名 The 9th Asian Triangle Heavy-Ion Conference (ATHIC 2023), 2023.04.24-27 (poster presentation) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryoka Tokumoto
2. 発表標題 Hyperon reconstruction method with machine learning in Pb-Pb collisions at ALICE
3. 学会等名 Quark Matter 2023, 2023.09.03-09 (poster presentation) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ken Oyama
2. 発表標題 ALICE Online & Offline
3. 学会等名 計算機ワークショップ 2023 for Experimental and Theoretical Physics, Apr.26-28, 東京大学理学部小柴ホール (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ken Oyama
2. 発表標題 Hardware acceleration and machine learning in ALICE
3. 学会等名 AI-Smart x Trigger KickOff Workshop, Sep. 25, 2023, KEK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 蓮斗
2. 発表標題 J-PARC E16実験に向けたシリコンストリップ検出器の性能評価及び開発の現状
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 H. Sako
2. 発表標題 Studies of meson mass modification inside nuclei through $K^+K^-$ decay (J-PARC E88)
3. 学会等名 Reimei Workshop "Polarization phenomena and Lorentz symmetry violation in dense matter", 2022/10/8, Seoul, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Gunji for the ALICE Collaboration
2. 発表標題 Recent results from the ALICE experiment at the LHC and its future prospects
3. 学会等名 The 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15), August 21-26, online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Gunji
2. 発表標題 Hunting for dark photons
3. 学会等名 GSI EMMI RRTF, Real and virtual photon production at ultra-low transverse momentum and low mass at LHC, 8/1-8/5, GSI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Gunji
2. 発表標題 Future Prospects of Quark Cluster Physics using ultra-relativistic heavy-ions
3. 学会等名 第8回クラスター階層領域研究会, 2023年2月9日-2月11日, 大阪大学吹田キャンパス接合科学研究所 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Oyama
2. 発表標題 コライダー原子核実験におけるFPGA等技術応用の将来展望
3. 学会等名 第2回コライダーエレクトロニクスフォーラム研究会, 2022/7/22 KEK (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Yamaguchi
2. 発表標題 ALICE
3. 学会等名 エキゾチックハドロン研究会, 長崎, 2022/8/18-19 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Sekihata
2. 発表標題 ALICE3におけるハドロン測定の展望
3. 学会等名 エキゾチックハドロン研究会, 長崎, 2022/8/18-19 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Tokumoto
2. 発表標題 Multi-strange dibaryon searches in ALICE
3. 学会等名 エキゾチックハドロン研究会, 長崎, 2022/8/18-19 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 E. Helbar, D. Sekihata, T. Gunji, et al.
2. 発表標題 Deep neural network techniques in the calibration of space charge distortion fluctuations for the ALICE TPC
3. 学会等名 25th International Conference on Computing in High-Energy and Nuclear Physics, 19 May 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳本涼香
2. 発表標題 ALICE実験におけるダイバリオン探索に向けた基礎解析
3. 学会等名 第32回Heavy Ion Pub研究会, Online, 2021/5/28
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryoka Tokumoto for the ALICE collaboration
2. 発表標題 Dibaryon searches and future prospects in the ALICE experiment
3. 学会等名 The 8th Asian Triangle Heavy Ion Conference, Online, 2021/11/5-9 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Gunji for the ALICE collaboration
2. 発表標題 Future measurements from ALICE Run3 and Run4
3. 学会等名 The 8th Asian Triangle Heavy-Ion Conference (ATHIC2021), 5-9 Nov 2021, Inha Univ. Incheon, South Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Gunji
2. 発表標題 Status of ALICE Upgrade and Commissioning for Run3
3. 学会等名 第7回クラスター階層領域研究会, 2021年12月27-28日, 東北大学 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関畑大貴
2. 発表標題 機械学習を用いたALICE-TPC検出器内部の空間電荷効果補正
3. 学会等名 MPGD & Active媒質TPC研究会, 神戸大学+オンライン (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口頼人
2. 発表標題 Multi-strange dibaryon search at LHC-ALICE
3. 学会等名 第5回量子クラスター階層領域研究会, オンライン (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳本涼香
2. 発表標題 ALICE実験におけるダイバリオン不変質量再構成の基礎解析
3. 学会等名 第76回日本物理学会年次大会, オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水夏輝
2. 発表標題 ALICE実験におけるRun2全統計を用いたエキゾチックハドロン探索
3. 学会等名 第76回日本物理学会年次大会, オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大山健
2. 発表標題 Hardware Acceleration Technology for Data Acquisition and Processing - ALICE Case -
3. 学会等名 新学術領域「クラスター階層」第二回検出器ワークショップ, オンライン (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideki Hamagaki
2. 発表標題 Study of Exotic Particles using Heavy Ion Collisions
3. 学会等名 International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2020), Jan. 23-24, 2020, Beppu, Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideki Hamagaki
2. 発表標題 Study of Hadron Interactions and Exotic Hadrons in the ALICE Experiment at CERN LHC
3. 学会等名 Hadron Spectroscopy Cafe, Jan. 10, 2020, Tokyo Institute of Technology, Tokyo (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>LHC ALICE実験 日本グループ <a href="http://alice-j.org/">http://alice-j.org/</a></p> <p>エキゾチックハドロン研究会 <a href="https://indico.cern.ch/event/1169530/">https://indico.cern.ch/event/1169530/</a></p> <p>ALICE Collaboration <a href="https://alice-collaboration.web.cern.ch/">https://alice-collaboration.web.cern.ch/</a></p>
---

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	郡司 卓  (Gunji Taku)  (10451832)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授    (12601)	

## 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	権業 慎也 (Gongyo Shinya)  (10834377)	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・基礎科学特別研究員  (82401)	2020年度まで
研究分担者	佐甲 博之 (Sako Hiroyuki)  (40282298)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹  (82110)	
研究分担者	関畑 大貴 (Sekihata Daiki)  (70844794)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・特任研究員  (12601)	
研究分担者	山口 頼人 (Yamaguchi Yorido)  (40613500)	広島大学・先進理工系科学研究科（理）・准教授  (15401)	2020年度から

	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
研究協力者	濱垣 秀樹 (Hamagaki Hideki)  (90114610)	長崎総合科学大学・新技術創成研究所・特命教授  (37301)	

## 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1件

国際研究集会 2nd Workshop on Hadron Interactions, Hyper-Nuclei and Exotic Hadron productions at High-Energy Experiments	開催年 2023年～2023年
--	--------------------

## 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



スイス	CERN			
ドイツ	ハイデルベルグ大学	フランクフルト大学	GSI	
フランス	グルノーブル大学			