

令和元年6月10日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03664

研究課題名（和文）極致エネルギー原子核衝突による解放クォーク挙動解明の第二跳躍：硬散乱事象選択測定

研究課題名（英文）Second step to reveal deconfined quark behavior in nucleus-nucleus collisions at ultimate energies: selective measurement of hard scattering phenomena

研究代表者

志垣 賢太 (Shigaki, Kenta)

広島大学・理学研究科・准教授

研究者番号：70354743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：極致エネルギー原子核衝突実験 LHC-ALICE 第一期において、解放クォーク挙動とクォーク間相互作用の物理機構解明に繋がる精密測定能力を硬散乱事象に見出し、クォークの初期エネルギー確定、損失エネルギーの再分配過程、クォーク挙動のフレーバ依存性、の最重要課題3点を提示した。本研究では、ALICE 実験第二期において、硬散乱事象選択測定を牽引し、実験クォーク物理学の本来課題である高温パートン相中の解放クォークの挙動解明に向け、上記3課題の決着により、「ホップ、ステップ、ジャンプ」の「ステップ」にあたる第二段階の跳躍を達成し、更に検出器高度化を含む第三段階の高精度測定への道筋を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LHC 加速器は平成33年から大幅な高輝度化運転を計画する。高統計を活かした物理精密化に向け、重要物理課題を改めて明確にし、平成31年の前方ミュオン検出器導入に向けた開発研究を推進して、第三期の精密測定への道筋を確立した。

同加速器において ALICE 実験が最も得意とする広い運動学領域での高品質測定を活かし、極致エネルギーにおける粒子生成機構と高温パートン相中における解放クォークの挙動の解明から、クォーク間相互作用と極限状態の量子色力学に対する新たな知見に迫った。ビッグバン直後の極初期宇宙に存在した物質状態の探求により、宇宙創成の重要な一場面の理解とシナリオ完成へ繋がる成果である。

研究成果の概要（英文）：We found the precision measurement capability in hard scattering phenomena in the LHC-ALICE run 1 to reveal deconfined quark behavior and physics mechanism of quark interaction, and pointed out three most important unsolved problems: initial energy determination of scattered quark, redistribution of lost energy, and flavor dependence of deconfined quark behavior. In this research in the ALICE run 2, we promoted selective measurements of hard scattering phenomena. Our solution of the three problems has led to the second step achieved to reveal deconfined quark behavior, which is the fundamental goal of experimental quark physics, and the third and final step identified and established with the road map toward precision measurements including relevant detector upgrades.

研究分野：高エネルギー原子核衝突実験物理学

キーワード：パートン多体系 高エネルギー原子核衝突 解放クォーク挙動 クォーク間相互作用 宇宙創成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、CERN 研究所 LHC 加速器 ALICE 実験第一期において、高横運動量光子による硬散乱事象選択トリガを用いた物理解析を牽引した。一方、ALICE 実験全体としては、事象選択データの解析には充分に手が回っていなかった。本研究では、平成 26 年度末の LHC 加速器の設計衝突エネルギー準到達に伴う高輝度化に時宜を得て、高横運動量光子と電子を捉える硬散乱事象選択トリガを拡充・活用し、またジェット対検出器を新規導入して、これまで主導してきた光子測定を軸に包括的な硬散乱事象測定の推進を計画した。第一期に明らかにした最重要未解決課題を平成 27 年度に計画する鉛原子核 + 鉛原子核衝突を用いて決着させるべく、高温パートン相中の解放クォーク挙動とクォーク間相互作用の解明という実験クォーク物理学の本来課題決着へ王道を驀進し、LHC 加速器での原子核衝突プログラム第二期における最も本質的な物理成果を目指した。

米国ブルックヘブン国立研究所 RHIC 加速器においては、日米を中心に 14 カ国が参加する国際共同実験 PHENIX を主導し、高エネルギー原子核衝突による積年の高温パートン相探索に決着を付けた。とりわけ、「ジェット・クエンチング」と称される高横運動量中間子の収量抑制は、高温パートン相の最初の証左となり、また異種中間子間の抑制パターン的一致からクォーク段階でのエネルギー損失を強く示唆するなど、最も強力な物理プローブとしての地位を不動とした。更に、同相中におけるエネルギー損失が小さいと理論的に予想された重いチャーム・クォークにも抑制を観測し、より重いボトム・クォークを含めた挙動およびクォーク間相互作用の機構解明を課題として提示した。これら RHIC-PHENIX 実験における硬散乱事象（大きな運動量移行を伴う初期クォーク散乱過程）を用いた物理知見が、本研究計画の第一の礎であった。

その後、実験クォーク物理学の更なる展開を目指し、平成 22 年から物理運転を開始した LHC 加速器において、世界 37 カ国（平成 26 年 10 月当時）による国際共同実験 ALICE を推進し、特に物理解析と議論を主導した。RHIC 加速器の 14 倍（平成 27 年度から 26 倍、最終値 28 倍）のエネルギーでの原子核相互衝突により、更に高温、大容積、長寿命の高温パートン相を生成し、高横運動量光子を用いた硬散乱事象選択トリガを駆使して、より高い横運動量領域の解放クォークにも大きなエネルギー損失を観測した。初期クォーク散乱後の早い段階でのエネルギー損失と熱的散逸による再分配の予兆も見られた。硬散乱事象測定に、新規現象の発見能力に加え、機構解明に繋がる精密測定能力を見出す画期的知見であった。これら LHC-ALICE 実験第一期における、LHC 加速器のエネルギー領域における硬散乱事象選択測定のより一層の有用性と物理的重要性を示す成果が、本研究計画の第二の礎であった。

2. 研究の目的

極致エネルギー原子核衝突実験 LHC-ALICE 第二期において、第一期の高横運動量光子トリガ解析の成果実績を礎に、硬散乱事象選択測定を牽引し、実験クォーク物理学の本来課題である高温パートン相中の解放クォークの挙動解明に向け、焦眉の未解決課題 3 点を決着させる。ALICE 実験第一期において、RHIC-PHENIX 実験による高温パートン相発見の鍵となった硬散乱事象に、新規現象発見能力に加え、解放クォーク挙動とクォーク間相互作用の物理機構解明に繋がる精密測定能力を見出した。同時に、次期最重要課題として、クォークの初期エネルギー確定、損失エネルギーの再分配過程、クォーク挙動のフレーバ依存性を提示した。本研究では、この 3 点の課題決着により、「ホップ、ステップ、ジャンプ」の「ステップ」にあたる第二段階の跳躍を達成し、更に検出器高度化を含む第三段階の高精度測定への道筋を確立する。

3. 研究の方法

LHC-ALICE 実験第二期において、同実験第一期に一層の物理的重要性を明らかにした硬散乱事象の選択測定を牽引した。解放クォークの挙動とクォーク間相互作用機構の解明に向けて鍵となる以下 3 点の最重要未解決課題に正面から取組み、本研究計画期間内の決着を目指した。

- (1)クォークの初期エネルギー確定によるエネルギー損失の定量化（光子-ジェット相関測定）
- (2)損失エネルギーの散逸と再分配過程の究明（広範運動量領域の粒子測定との有機的結合）
- (3)クォークのフレーバ依存性の測定と第三期への拡張準備（電子測定の併用と検出器高度化）

同時に第三期の精密測定に向け、物理課題を再明確化し、検出器高度化を含む道筋を確立した。

4. 研究成果

ALICE 実験において、LHC 加速器設計衝突エネルギーに迫る鉛原子核+鉛原子核、陽子+鉛原子核、陽子+陽子衝突実験を遂行し、硬散乱課程からの光子、中性中間子、電子の高統計データを収集した。高精度光子検出器による高横運動量光子と電子の選択測定に加え、ジェット対検出器によるジェット・トリガを併用した、硬散乱事象からの光子、ジェット、電子およびこれらの関係の高精度データ収集を実現した。硬散乱事象選択トリガを用いて収集した陽子+陽子衝突データによる、高横運動量領域における中性中間子生成の精査を順調に進展させた。異種中間子間

のスケーリング則(またはその破れ)から極致エネルギーにおける粒子生成機構の解明を明らかにすべく、原子核衝突における新規現象理解に必要な基盤を精度よく確立した(学術論文公表済)

解放クォーク挙動のフレーバ依存性解明に向けた切札として、前方ミュオン検出器高度化の平成31年度導入に向け、同検出器制御系の責任機関として開発建設を進めた。本研究代表者は制御供給作業要素共同座長として、また平成30年度の検出器高度化国際検討会の広島招致実現など、国際共同研究における存在を更に固めた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計183件、全て査読有)

- [1] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measuring K_S^0 K^\pm interactions using pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, *Phys. Lett.* **B790**, 22-34, 2019.
- [2] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Azimuthal Anisotropy of Heavy-Flavor Decay Electrons in p-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 072301, 2019.
- [3] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Inclusive J/ψ production in Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, *Phys. Lett.* **B785**, 419-428, 2018.
- [4] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Y suppression at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B790**, 89-101, 2019.
- [5] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Transverse momentum spectra and nuclear modification factors of charged particles in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, *Phys. Lett.* **B788**, 166-179, 2019.
- [6] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Direct photon elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B789**, 308-322, 2019.
- [7] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Dielectron and heavy-quark production in inelastic and high-multiplicity proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, *Phys. Lett.* **B788**, 505-518, 2019.
- [8] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Centrality and pseudorapidity dependence of the charged-particle multiplicity density in Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, *Phys. Lett.* **B790**, 35-48, 2019.
- [9] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Anisotropic flow in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, *Phys. Lett.* **B784**, 82-95, 2018.
- [10] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Azimuthally-differential pion femtoscopy relative to the third harmonic event plane in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B785**, 320-331, 2018.
- [11] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Constraints on jet quenching in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV measured by the event-activity dependence of semi-inclusive hadron-jet distributions”, *Phys. Lett.* **B783**, 95-113, 2018.
- [12] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “First measurement of Ξ_c^0 production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, *Phys. Lett.* **B781**, 8-19, 2018.
- [13] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of Z^0 boson production at large rapidities in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B780**, 372-383, 2018.
- [14] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Longitudinal asymmetry and its effect on pseudorapidity distributions in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B781**, 20-32, 2018.
- [15] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Search for collectivity with azimuthal J/ψ -hadron correlations in high multiplicity p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ and 8.16 TeV”, *Phys. Lett.* **B780**, 7-20, 2018.
- [16] A.Adare, K.Shigaki, *et al.*, “Pseudorapidity Dependence of Particle Production and Elliptic Flow in Asymmetric Nuclear Collisions of p+Al, p+Au, d+Au, and $^3\text{He}+\text{Au}$ at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 222301, 2018.
- [17] C.Aidala, K.Shigaki, *et al.*, “Creation of quark–gluon plasma droplets with three distinct geometries”, *Nature Phys.* **15**, 214-220, 2019.
- [18] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Constraining the magnitude of the chiral magnetic effect with event shape engineering in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B777**, 151-162, 2018.
- [19] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “D-meson azimuthal anisotropy in midcentral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 102301, 2018.
- [20] D.Adamova, K.Shigaki, *et al.*, “ J/ψ production as a function of charged-particle

- pseudorapidity density in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B776**, 91-104, 2018.
- [21] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “First measurement of jet mass in Pb-Pb and p-Pb collisions at the LHC”, *Phys. Lett.* **B776**, 249-264, 2018.
- [22] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “ J/ψ elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **119**, 242301, 2017.
- [23] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measuring K^0_S , K^\pm interactions using Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B774**, 64-77, 2017.
- [24] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Linear and non-linear flow modes in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B773**, 68-80, 2017.
- [25] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Flow dominance and factorization of transverse momentum correlations in Pb-Pb collisions at the LHC”, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 162302, 2017.
- [26] D.Adamova, K.Shigaki, *et al.*, “Azimuthally differential pion femtoscopy in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 222301, 2017.
- [27] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Production of muons from heavy-flavour hadron decays in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B770**, 459-472, 2017.
- [28] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B772**, 567-577, 2017.
- [29] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of the production of high- p_T electrons from heavy-flavour hadron decays in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B771**, 467-481, 2017.
- [30] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Anomalous evolution of the near-side jet peak shape in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **119**, 102301, 2017.
- [31] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Enhanced production of multi-strange hadrons in high-multiplicity proton-proton collisions”, *Nature Phys.* **13**, 535-539, 2017.
- [32] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “ ϕ -meson production at forward rapidity in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV and in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B768**, 203-217, 2017.
- [33] C.Aidala, K.Shigaki, *et al.*, “Measurements of Multiparticle Correlations in d+Au Collisions at 200, 62.4, 39, and 19.6 GeV and p+Au Collisions at 200 GeV and Implications for Collective Behavior”, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 062302, 2018.
- [34] C.Aidala, K.Shigaki, *et al.*, “Nuclear Dependence of the Transverse-Single-Spin Asymmetry for Forward Neutron Production in Polarized p+A Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 022001, 2018.
- [35] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Jet-like correlations with neutral pion triggers in pp and central Pb-Pb collisions at 2.76 TeV”, *Phys. Lett.* **B763**, 238-250, 2016.
- [36] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “ J/ψ suppression at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B766**, 212-224, 2017.
- [37] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Pseudorapidity dependence of the anisotropic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B762**, 376-388, 2016.
- [38] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Correlated event-by-event fluctuations of flow harmonics in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 182301, 2016.
- [39] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Anisotropic flow of charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 132302, 2016.
- [40] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Multiplicity dependence of charged pion, kaon, and (anti)proton production at large transverse momentum in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B760**, 720-735, 2016.
- [41] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Multi-strange baryon production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B758**, 389-401, 2016.
- [42] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 222302, 2016.
- [43] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of an excess in the yield of J/ψ at very low p_T in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 222301, 2016.
- [44] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “ ϕ meson production at forward rapidity in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV and in pp collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B768**, 203-217, 2017.
- [45] Y.Akiba (ed.), S.Esumi (ed.), K.Fukushima (ed.), H.Hamagaki (ed.), T.Hatsuda (ed.), T.Hirano

- (ed.), and K.Shigaki (ed.), “Proceedings, 25th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2015) : Kobe, Japan, September 27-October 3, 2015”, *Nucl. Phys.* **A956**, 1-974, 2016.
- [46] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Pseudorapidity and transverse-momentum distributions of charged particles in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, *Phys. Lett.* **B753**, 319-329, 2016.
- [47] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 81-93, 2016.
- [48] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Azimuthal anisotropy of charged jet production in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV Pb-Pb collisions”, *Phys. Lett.* **B753**, 511-525, 2016.
- [49] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Direct photon production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 235-248, 2016.
- [50] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Centrality evolution of the charged-particle pseudorapidity density over a broad pseudorapidity range in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 373-385, 2016.
- [51] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Coherent $\psi(2S)$ photo-production in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B751**, 358-370, 2015.
- [52] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Precision measurement of the mass difference between light nuclei and anti-nuclei”, *Nature Phys.* **11**, 811-814, 2015.
- [53] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Elliptic flow of muons from heavy-flavour hadron decays at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B753**, 41-56, 2016.
- [54] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “ ${}^3\Lambda\text{H}$ and ${}^3\Lambda_{\text{bar}}\text{Hbar}$ production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 360-372, 2016.
- [55] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Forward-central two-particle correlations in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B753**, 126-139, 2016.
- [56] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Search for weakly decaying $\Lambda_{\text{bar}}\text{nbar}$ and $\Lambda\Lambda$ exotic bound states in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B752**, 267-277, 2016.
- [57] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of dijet k_T in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B746**, 385-395, 2015.
- [58] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of charged jet production cross sections and nuclear modification in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B749**, 68-81, 2015.
- [59] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of jet suppression in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, *Phys. Lett.* **B746**, 1-14, 2015.
- [60] A.Adare, K.Shigaki, *et al.*, “Centrality-dependent modification of jet-production rates in deuteron-gold collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 122301, 2016.
- [61] A.Adare, K.Shigaki, *et al.*, “Measurements of elliptic and triangular flow in high-multiplicity ${}^3\text{He}+\text{Au}$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 142301, 2015.
- [62] A.Adare, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of long-range angular correlation and quadrupole anisotropy of pions and (anti)protons in central d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 192301, 2015.

他121編

〔学会発表〕(計 24 件)

- [1] K.Shigaki, “Heavy Ion Physics in the Future in the Highest Energy Regime”, Korean Physical Society meeting, Symposium (Changwon, South Korea, 2018.10.25)
- [2] K.Shigaki for the ALICE Collaboration, “Prospects of Di-Muon Measurements with Muon Forward Tracker at ALICE”, Asian Triangle Heavy Ion Conference 2018 (Hefei, China, 2018.11.3-6)
- [3] 志垣賢太, 「総括に代えて:原子核素粒子におけるカイラル現象への実験的アプローチ機会」, キラル素粒子論セミナー (広島市, 2018年4月1-2日)
- [4] 志垣賢太, 「実験クォーク物理学の最先端」, 名古屋大学物理学教室談話会(名古屋大学, 2017年6月27日)
- [5] 志垣賢太, 「クォーク階層とハドロン階層を結ぶ動的機構」, 新学術領域研究「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」キックオフシンポジウム(東京工業大学, 2018年11月19-20日)

- [6] K.Shigaki, “Physics of quark matter and challenges to access extreme conditions”, Taiwan National Central University, Department of Physics (Taoyuan, Taiwan, 2017.12.19)
- [7] K.Shigaki, “Heavy ion collisions and challenges to access extreme conditions”, CEA Saclay, IRFU, Nuclear Physics Division (Paris, France, 2018.3.13)
- [8] 志垣賢太 : 「高エネルギー原子核衝突実験研究の基礎、話題、展望」, 大阪大学原子核理論研究室 (大阪大学, 2017年5月26日)
- [9] 志垣賢太 , 「クォーク層とハドロン層を結ぶ動的機構」, 研究会「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」(東京工業大学, 2018年3月30-31日)
- [10] 志垣賢太 , 「高エネルギー原子核衝突によるクォーク・グルーオン・プラズマ研究」, 研究会「クォークから原子核、原子へと広がる物理」(山梨県甲府市, 2017年11月18日)
- [11] K.Shigaki, “Dreams in the LHC Heavy Ion Programme”, 71st Fujihara Seminar “Interplay between Hadronic, Nuclear and Atomic Physics” (Shimoda, Japan, 2016.7.6-8)
- [12] K.Shigaki for the ALICE Collaboration, “Detector Control System of the new Muon Forward Tracker at ALICE” (poster), Quark Matter 2017 (Chicago, U.S.A., 2017.2.6-11)
- [13] 志垣賢太 , 「LHC 加速器における高温 QCD 物質の実験研究」, 日本物理学会シンポジウム「原子核コライダーにおける QCD 物理 - クォーク・グルーオン・プラズマの発見を中心に -」(大阪大学, 2017年3月17日)
- [14] 志垣賢太 , 「高エネルギー原子核衝突で探るクォークの相関とクラスター」, 研究会「クラスターがつなぐクォーク、ハドロン、原子核そして原子」(大阪大学, 2017年3月16日)
- [15] K.Shigaki for the ALICE Collaboration, “Dilepton Measurement at ALICE - especially the Muon Forward Tracker Upgrade”, ECT* Workshop, New Perspectives on Photons and Dileptons in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions at RHIC and LHC (Trento, Italy, 2015.11.30-12.11)
- [16] 志垣賢太 , 「高エネルギー原子核衝突を用いた極限状態の実験的探究」東北大学大学院理学研究科セミナー (東北大学, 2015年7月3日)

他 8 件

〔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〕

ホームページ等

LHC ALICE 実験 - ALICE Japan - <http://alice-j.org/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：中條 達也

ローマ字氏名：Tatsuya CHUJO

研究協力者氏名：郡司 卓

ローマ字氏名：Taku GUNJI

研究協力者氏名：浅川 正之

ローマ字氏名：Masayuki ASAKAWA

研究協力者氏名：野中 千穂

ローマ字氏名：Chiho NONAKA

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、研究者個人に帰属されます。