

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340074

研究課題名(和文) 人類未到エネルギーにおける粒子生成機構と非束縛クォーク間相互作用解明への王道敷設

研究課題名(英文) Frontal attack toward particle production mechanism and interaction between deconfined quarks at unexplored high energies

研究代表者

志垣 賢太 (Shigaki, Kenta)

広島大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70354743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)： LHC 加速器の陽子相互衝突および原子核相互衝突運転において、硬散乱事象選択トリガを用いて収集したデータの解析手法を確立し、光子測定を用いた中性中間子測定を牽引して、量子色力学計算との比較による物理議論を進めた。

RHIC 加速器の 14 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事象選択トリガを駆使して、硬散乱事象測定に新規現象の発見能力に加えて精密測定能力を見出した。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みより一層の有用性と物理的重要性を示した。

研究成果の概要(英文)： We established analysis techniques of triggered data sets for hard scattering p+p and A+A collision events at the LHC. We led neutral meson measurements via photons and physics discussions via comparison with QCD calculations.

A hotter, larger, and longer-lived partonic fireball is created in A+A collisions at 14 times higher energy than at RHIC. We found hard scattering probes useful for precise measurements in addition to discovery of new phenomena, utilizing event selection triggers with high transverse momentum photons. The importance of selective measurements of hard scattering events at the LHC energies has been demonstrated.

研究分野：高エネルギー原子核実験物理学

キーワード：パートン多体系 高エネルギー原子核衝突 粒子生成機構 クォーク間相互作用 宇宙創成

## 1. 研究開始当初の背景

平成 12 年に稼働を開始した米国ブルックヘブン国立研究所 RHIC 加速器において、日米を中心に世界 14 カ国が参加する国際共同実験 PHENIX を主導し、稠密な原子核物質の生成、クォーク自由度の顕在化、相転移温度を超える熱輻射成分などの発見により、高エネルギー原子核衝突による積年の高温非束縛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」とも称される高横運動量中間子の収量抑制は、非束縛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。また、当初は原子核相互衝突の対照実験として計画された陽子相互衝突も、多種に亘る生成粒子間の横運動量スケールリング則の発見など、固有の興味深い物理知見に繋がった。これら RHIC 加速器における豊富な物理成果が本研究計画の礎である。

平成 22 年に物理運転を開始した欧州合同原子核研究機構 (CERN) LHC 加速器では、RHIC 加速器の 28 倍 (平成 23 年までは 14 倍) という人類未到の衝突エネルギーにより、原子核相互衝突においてより高温かつ長寿命のパートン非束縛相生成が期待される。当初は理論的に同相中におけるエネルギー損失が小さいと予想された重いチャーム・クォークにも RHIC 加速器において抑制を観測し、その機構解明は焦眉の課題となっているが、さらに重いボトム・クォークの生成率も RHIC の約 100 倍に昇る LHC 加速器を用いて、多種クォークを含む中間子の系統測定から高温非束縛クォーク間相互作用を解明する。加えて、陽子相互衝突においても、特に多粒子生成事象などにおいて、高密度色場の影響など高エネルギー原子核特有の現象発現が予期される。

LHC 加速器の稼働開始にあたり、陽子相互衝突からの重要な物理成果を早期かつ着実に押さえ、原子核相互衝突プログラムの最重要課題決着に挑む。LHC 加速器における高エネルギー原子核衝突物理プログラムの当初数年間における最も本質的な物理成果が期待される。

## 2. 研究の目的

我々は RHIC-PHENIX 実験においてパートン非束縛相の生成を明らかにし、パートン多体系の性質の根幹を成す非束縛クォークの挙動解明への舞台を整えた。平成 22 年に本格稼働を開始した世界最高エネルギーの加速器 LHC を用い、この実験クォーク物理学の本来課題の決着に挑む。素過程理解と系統測定のリンクにより、高温非束縛クォーク間の相互作用解明という実験クォーク物理学の本来課題決着への王道を確立し邁進する。

RHIC 加速器において同相生成の最初の証

左となった高横運動量ハドロンに着目し、LHC 加速器において鍵となる重クォークとのリンクにより、高温非束縛クォーク間の相互作用を解明する。第一に陽子相互衝突における生成中間子スケールリング則 (またはその破れ) から人類未到エネルギーでの粒子生成機構の解明と理解、第二に原子核相互衝突における変位測定による非束縛クォーク挙動の解明、の 2 点を柱に、LHC-ALICE 実験当初数年間の最も本質的な物理成果を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) LHC 加速器の陽子相互衝突運転において、高横運動量領域において技術的に優位な光子測定を用いて、RHIC 加速器において発見した生成中間子スケールリング則 (またはその破れ) により、新エネルギー領域における粒子生成機構の理解を確立する。

(2) LHC 加速器停止期間中に、原子核相互衝突データ解析により多種粒子測定における問題点を洗出し手法を確立して、研究目的達成への道筋を敷設する。

(3) LHC 加速器設計エネルギー運転において、陽子相互衝突における前述のスケールリング則確認とともに、原子核相互衝突における重クォークまでを含む多種粒子測定により、素過程からの変位を系統的に明らかにする。

(4) 高輝度高統計運転において、熱的光子測定による衝突系到達温度を横軸として、高温非束縛クォーク間の相互作用によるクォーク挙動解明に挑む。

## 4. 研究成果

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る。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る。

LHC 加速器の陽子相互衝突運転において、高横運動量領域において技術的に優位な光子測定を用いて、中性中間子測定を牽引し、衝突エネルギー依存性を明らかにして、量子色力学計算との比較による物理議論を進めた。また、陽子相互衝突および原子核相互衝突データ解析における技術的問題点を洗出し、研究目的達成への道筋を敷設した。特に硬散乱事象選択トリガを用いて収集したデータの解析を主導し、その手法を確立した。

LHC 加速器 ALICE 実験第一期において、同加速器のエネルギー領域における硬散乱事象選択測定により一層の有用性と物理的重要性を示した。

## 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 137 件)

- [1] J. Adam, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Two-pion femtoscopy in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Rev. C91, 034906, 2015. 査読有.
- [2] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Production of inclusive Y(1S) and Y(2S) in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Lett. B740, 105-117, 2015. 査読有.
- [3] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Charged-pion cross sections and double-helicity asymmetries in polarized p+p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV, Phys. Rev. D91, 032001, 2015. 査読有.
- [4] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Search for dark photons from neutral meson decays in p+p and d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. C91, 031901, 2015. 査読有.
- [5] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Multiplicity dependence of jet-like two-particle correlations in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Lett. B741 (2015) 38-50, 2015. 査読有.
- [6] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Production of  $\Lambda(1385)^{\pm}$  and  $\Lambda(1530)^0$  in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV, Eur. Phys. J. C75, 1, 2015. 査読有.
- [7] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of electrons from semileptonic heavy-flavor hadron decays in pp collisions at  $\sqrt{s} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. D91, 012001, 2015. 査読有.
- [8] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Cross section for  $bb^{\bar{}}$  production via dielectrons in d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. C91, 014907, 2015. 査読有.
- [9] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of Y(1S+2S+3S) production in p+p and Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. C91, 024913, 2015. 査読有.
- [10] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al.,  $K^*(892)^0$  and  $\phi(1020)$  production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. C91, 024609, 2015. 査読有.
- [11] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Event-by-event mean pT fluctuations in pp and Pb-Pb collisions at the LHC, Eur. Phys. J. C74, 3077, 2014. 査読有.
- [12] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Exclusive J/ $\psi$  photoproduction off protons in ultra-peripheral p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Rev. Lett. 113, 232504, 2014. 査読有.
- [13] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Cross section and transverse single-spin asymmetry of mesons in p +p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV at forward rapidity, Phys. Rev. D90, 072008, 2014. 査読有.
- [14] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Multiparticle azimuthal correlations in p -Pb and Pb-Pb collisions at the CERN Large Hadron Collider, Phys. Rev. C90, 054901, 2014. 査読有.
- [15] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Suppression of Y(1S) at forward rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B738, 361-372, 2014. 査読有.
- [16] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Beauty production in pp collisions at  $\sqrt{s} = 2.76$  TeV measured via semi-electronic decays, Phys. Lett. B738, 97-108, 2014. 査読有.
- [17] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Low-mass vector-meson production at forward rapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV, Phys. Rev. D90, 052002, 2014. 査読有.
- [18] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Suppression of  $\psi(2S)$  production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, JHEP 1412, 073, 2014. 査読有.
- [19] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Neutral pion production at midrapidity in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Eur. Phys. J. C74, 3108, 2014. 査読有.
- [20] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of  $K^0_S$  and  $K^*_0$  in p+p, d+Au, and Cu+Cu collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. C90, 054905, 2014. 査読有.
- [21] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of prompt D-meson production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Rev. Lett. 113, 232301, 2014. 査読有.
- [22] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Transverse momentum dependence of inclusive primary charged-particle production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Eur. Phys. J. C74, 3054, 2014. 査読有.
- [23] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Azimuthal anisotropy of D meson production in Pb-Pb collisions at

- $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. C90, 034904, 2014. 査読有.
- [24] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of visible cross sections in proton-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV in van der Meer scans with the ALICE detector, JINST 9, P11003, 2014. 査読有.
- [25] N.N. Ajitanand, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Comparison of the space-time extent of the emission source in d+Au and Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Nucl. Phys. A931, 1082-1087, 2014. 査読有.
- [26] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Freeze-out radii extracted from three-pion cumulants in pp, p-Pb and Pb-Pb collisions at the LHC, Phys. Lett. B739, 139-151, 2014. 査読有.
- [27] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of quarkonium production at forward rapidity in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV, Eur. Phys. J. C74, 2974, 2014. 査読有.
- [28] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Inclusive double-helicity asymmetries in neutral-pion and eta-meson production in  $p^{\uparrow} + p^{\uparrow}$  collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV, Phys. Rev. D90, 012007, 2014. 査読有.
- [29] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Azimuthal-angle dependence of charged-pion-interferometry measurements with respect to second- and third-order event planes in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. Lett. 112, 222301, 2014. 査読有.
- [30] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Production of charged pions, kaons and protons at large transverse momenta in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B736, 196-207, 2014. 査読有.
- [31] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Transverse-energy distributions at midrapidity in p+p, d+Au, and Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$ –200 GeV and implications for particle-production models, Phys. Rev. C89, 044905, 2014. 査読有.
- [32] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of transverse-single-spin asymmetries for midrapidity and forward-rapidity production of hadrons in polarized p+p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  and 62.4 GeV, Phys. Rev. D90, 012006, 2014. 査読有.
- [33] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Heavy-flavor electron-muon correlations in p+p and d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. C89, 034915, 2014. 査読有.
- [34] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of charged jet suppression in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, JHEP 1403, 013, 2014. 査読有.
- [35] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Centrality, rapidity and transverse momentum dependence of J/ $\psi$  suppression in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B734, 314-327, 2014. 査読有.
- [36] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., System-size dependence of open-heavy-flavor production in nucleus-nucleus collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. C90, 034903, 2014. 査読有.
- [37] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Two- and three-pion quantum statistics correlations in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV at the CERN Large Hadron Collider, Phys. Rev. C89, 024911, 2014. 査読有.
- [38] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Centrality categorization for Rp(d)+A in high-energy collisions, Phys. Rev. C90, 034902, 2014. 査読有.
- [39] A. Adare, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Cold-Nuclear-Matter Effects on Heavy-Quark Production at Forward and Backward Rapidity in d+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV, Phys. Rev. Lett. 112, 252301, 2014. 査読有.
- [40] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., J/ $\psi$  production and nuclear effects in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, JHEP 1402, 073, 2014. 査読有.
- [41] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Multiplicity Dependence of Pion, Kaon, Proton and Lambda Production in p-Pb Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Lett. B728, 25-38, 2014. 査読有.
- [42] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Multi-strange baryon production at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B728, 216-227, 2014. Erratum-ibid. B734, 409-410, 2014. 査読有.
- [43] K.-I. Ishikawa, D. Kimura, K. Shigaki, A. Tsuji, A numerical evaluation of vacuum polarization tensor in constant external magnetic fields, Int. J. Mod. Phys. A28, 1350100, 2013. 査読有.
- [44] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., K0s and Lambda production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. Lett. 111, 222301, 2013. 査読有.

- [45] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Long-range angular correlations of  $\pi$ , K and p in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Lett. B726, 164-177, 2013. 査読有.
- [46] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Multiplicity dependence of two-particle azimuthal correlations in pp collisions at the LHC, JHEP 1309, 049, 2013. 査読有.
- [47] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Multiplicity dependence of the average transverse momentum in pp, p-Pb, and Pb-Pb collisions at the LHC, Phys. Lett. B727, 371-380, 2013. 査読有.
- [48] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Energy dependence of the transverse momentum distributions of charged particles in pp collisions measured by ALICE, Euro. Phys. J. C73, 2662, 2013. 査読有.
- [49] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Directed flow of charged particles at midrapidity relative to the spectator plane in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. Lett. 111, 232302, 2013. 査読有.
- [50] E. Abbas, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Performance of the ALICE VZERO system, JINST 8, P10016, 2013. 査読有.
- [51] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., D meson elliptic flow in non-central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. Lett. 111, 102301, 2013. 査読有.
- [52] E. Abbas, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Mid-rapidity anti-baryon to baryon ratios in pp collisions at  $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$  and 7 TeV measured by ALICE, Euro. Phys. J. C73, 2496, 2013. 査読有.
- [53] E. Abbas, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Charmonium and  $e^+e^-$  pair photoproduction at mid-rapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Euro. Phys. J. C73, 2617, 2013. 査読有.
- [54] E. Abbas, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B726, 610-622, 2013. 査読有.
- [55] E. Abbas, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al.,  $J/\psi$  elliptic flow in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. Lett. 111, 162301, 2013. 査読有.
- [56] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Centrality dependence of  $\pi$ , K, p production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. C 88, 044910, 2013. 査読有.
- [57] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Centrality determination of Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with ALICE, Phys. Rev. C 88, 044909, 2013. 査読有.
- [58] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Charge correlations using the balance function in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B723, 267-279, 2013. 査読有.
- [59] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of the inclusive differential jet cross section in pp collisions at  $\sqrt{s} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B722, 262-272, 2013. 査読有.
- [60] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Charged kaon femtoscopic correlations in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV, Phys. Rev. D 87, 052016, 2013. 査読有.
- [61] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Long-range angular correlations on the near and away side in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Lett. B719, 29-41, 2013. 査読有.
- [62] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Transverse momentum distribution and nuclear modification factor of charged particles in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Rev. Lett. 110, 082302, 2013. 査読有.
- [63] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Pseudorapidity density of charged particles p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV, Phys. Rev. Lett. 110, 032301, 2013. 査読有.
- [64] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Coherent  $J/\psi$  photoproduction in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B718, 1273-1283, 2013. 査読有.
- [65] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of inelastic, single- and double-diffraction cross sections in proton-proton collisions at the LHC with ALICE, Euro. Phys. J. C73, 2456, 2013. 査読有.
- [66] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Centrality dependence of charged particle production at large transverse momentum in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B720, 52-62, 2013. 査読有.
- [67] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Measurement of electrons from beauty hadron decays in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV, Phys. Lett. B721, 13-23, 2013. 査読有.
- [68] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T.

Sugitate, et al., Net-charge fluctuations in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. Lett. 110, 152301, 2013. 査読有.  
[69] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Charge separation relative to the reaction plane in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Rev. Lett. 110, 012301, 2013. 査読有.  
[70] B. Abelev, T. Gunji, K. Shigaki, T. Sugitate, et al., Anisotropic flow of charged hadrons, pions and (anti-)protons measured at high transverse momentum in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV, Phys. Lett. B719, 18-28, 2013. 査読有.  
[71] – [137] 省略.

〔学会発表〕(計 16 件)

[1] 高エネルギー原子核衝突で探るハドロンの基礎構造, 志垣賢太, 日本物理学会シンポジウム (2015 年 3 月 22 日, 早稲田大学)  
[2] MFT and Low Mass Di-Muon Status and Plan, K. Shigaki, 2nd ALICE France/Japan Workshop (2015 年 3 月 14-16 日, フランス・サントマキシム)  
[3] Next Stages of PHENIX for Enhanced Physics with Jets, Quarkonia, and Photons, K. Shigaki, Asian Triangle Heavy Ion Conference 2014 (2014 年 8 月 5-8 日, 大阪大学)  
[4] Search for Intense Magnetic Field via Di-Electron Asymmetry in Pb-Pb Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV with ALICE at LHC, K. Shigaki, Quark Matter 2014 (2014 年 5 月 19-24 日, ドイツ・ダルムシュタット)  
[5] Physics at High Energy Nucleus-Nucleus Collisions: Prospect and Relevance to Hadron Physics, K. Shigaki, Hadron Physics Symposium (2014 年 4 月 17-19 日, 名古屋大学)  
[6] Past/Present/Future of ALICE and (s)PHENIX and More for Heavy Ion Program at J-PARC, K. Shigaki, J-PARC 重イオン加速国際研究会 (2014 年 3 月 17-18 日, 日本原子力研究開発機構)  
[7] Search for Ultra-Intense U(1) Magnetic Field, K. Shigaki, ALICE 実験日仏研究会 (2014 年 3 月 3-7 日, 筑波大学)  
[8] A Truly Experimental Study of Very Early Universe: the New Stage of High Energy Nucleus-Nucleus Collision Experiments, 志垣賢太, 名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構コロキウム (2014 年 2 月 26 日, 名古屋大学)  
[9] Physics with Hard/Heavy Probes at sPHENIX/RHIC and Non-MIE Pre-Shower Detector, K. Shigaki, PHENIX Workshop on Physics Prospects with Detector and Accelerator Upgrades (2013 年 7 月 29 日-8 月 2 日, 理化学研究所)  
[10] RHIC/LHC 実験とその成果, 志垣賢太,

日本物理学会シンポジウム 非平衡物理 - 物性物理とハドロ物理を結ぶ世界 (2013 年 3 月 27 日, 広島大学)

[11] Jet/Photon/Hadron Correlations at RHIC-PHENIX, K. Shigaki, High pT Physics at LHC 2012 (2012 年 10 月 21-24 日, 中国・武漢・華中師範大学)  
[12] Strong Magnetic Field Production in Non-Central Collisions and Chiral Magnetic Effects, K. Shigaki, 第 14 回 Heavy Ion Pub 研究会 (2012 年 5 月 10 日, 広島大学)  
[13] Relativistic Heavy Ion Physics Activities in Japan through RHIC to LHC and Beyond, K. Shigaki, 韓国物理学会シンポジウム (2012 年 4 月 26 日, 韓国・大田広域市)  
[14] ALICE Activities and Plans at Hiroshima, K. Shigaki, ALICE 実験日本グループ+首脳部会議 (2012 年 3 月 26-27 日, 大阪市)  
[15] LHC-ALICE 実験によるパートン非閉込相の本質究明, 志垣賢太, 日本物理学会シンポジウム LHC・RHIC 重イオン衝突最新結果で迫るクォーク・グルーオン・プラズマの本質 (2011 年 9 月 17 日, 弘前大学)  
[16] LHC 加速器における高エネルギー原子核衝突実験, 志垣賢太, 熱場の量子論とその応用 (2011 年 8 月 22-24 日, 京都大学基礎物理学研究所)

〔図書〕(計 2 件)

[1] LHC-ALICE 実験の初期成果, 志垣賢太, 中條達也, 郡司卓, 高エネルギーニュース Vol.32, No.1, 6-15 (2013 年 7 月)  
[2] LHC 加速器における TeV 領域原子核衝突プログラムの幕開け, 志垣賢太, 日本物理学会誌 Vol.66, No.11, 845 (2011 年 11 月)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

志垣 賢太 (SHIGAKI KENTA)  
広島大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 70354743

### (2) 研究分担者

杉立 徹 (SUGITATE TORU)  
広島大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 80144806

### (3) 連携研究者

郡司 卓 (GUNJI TAKU)  
東京大学・大学院理学系研究科・助教  
研究者番号: 10451832  
浅川 正之 (ASAKAWA MASAYUKI)  
大阪大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 50283453  
野中 千穂 (NONAKA CHIHO)  
名古屋大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 10432238