様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　２ 年　 ６ 月 １７ 日現在

機関番号：１２１０２
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2017～2019
課題番号：１７Ｈ０２８７６

研究課題名（和文）Di-Jet識別装置を用いたグルオン衝撃波の探索

研究課題名（英文）Search of Gluon Shockwave with Di Jets detection

研究代表者
三明　康郎（Miake, Yasuo）

筑波大学・数理物質系・教授

研究者番号：１０１５７４２２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　9,200,000円

研究成果の概要（和文）：クォーク・グルーオンプラズマ状態(QGP)の物質的性質を理解するためには、高エネルギーのクォークやグルオンがQGPを通過する際の、a) 特徴的なエネルギー損失、b) グルオン衝撃波発生の有無、が重要な手がかりを与える。本研究はLHC-ALICE実験においてこれらの課題に取り組み、エネルギー損失量のエネルギー依存性、通過距離依存性、さらに重クォーク由来の電子収量を鉛・鉛衝突や陽子・鉛衝突で測定するなどQGP物性の理解に必要な結果を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
クォークやグルオンは通常は陽子や中性子などハドロンと呼ばれる粒子に閉じ込められているが、ビッグバン直後など超高温・高密度状態下では、閉じ込めから解放され、クォーク・グルオンプラズマ(QGP)と呼ばれる新たな物質の存在形態を持つと考えられている。我々の宇宙がどのように作られているかという自然科学の根源的問いに答える研究として重要である。2000年に開始されたRHIC実験からQGPが発見され、研究の潮流はQGP物性の理解へと進んできた。

研究成果の概要（英文）：In order to understand the property of the Quark Gluon Plasma (QGP), one of the important observables is the energy loss of high energy quarks and gluons in the QGP; a) characteristic energy loss of partons, and b) possible excitation of gluon shock wave. In this project, we have been working on the topic at LHC-ALICE experiment and obtained important experimental results, such as the beam energy dependence and the path length dependence of the energy loss, and the measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays in p-Pb and Pb-Pb collisions.

研究分野：高エネルギー原子核物理学

キーワード：クォーク・グルオンプラズマ　高エネルギー原子核実験

※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。

１．研究開始当初の背景

2000 年に開始された米国ﾌﾞﾙｯｸﾍﾌﾞﾝ国立研究所 RHIC 実験から、クォーク・グルーオンプラズマ（QGP）生成の証拠が見つかった。主な根拠を４点示す。

(1) 運動学的・化学的平衡状態の成立と高い温度
様々な種類のハドロンの収量とその運動学的分布が測定された。クォークの組み合わせも生成メカニズムも異なる様々なハドロンの収量比は、熱的化学平衡の成立を示し、その温度は約 170 MeV と QCD 計算の提示する QGP 相転移温度とよく一致している。

(2) 大きな方位角異方性（v_2）
生成粒子の平均自由行程が十分に短いと非中芯衝突において粒子の放出方向に影響を与える。つまり反応の空間的異方性が粒子の運動量空間の異方性に転換される。識別測定された p、K、π の v_2 観測から衝突後 0.6 fm/c という極めて短時間に平衡状態に到達し、粘性のない理想流体という描像がもたらされた。その後粘性率 η/s～0.1-0.2 という量子限界に極めて近い測定結果が得られた。また、重いクォークである charm も同様の振る舞いをしていることも明らかとなった。

(3) Baryon Dominance と Quark Number Scaling
ハドロンの識別測定から p/π 生成比が 2 GeV/c 以上で異常に高くなる現象（Baryon Dominance）が発見された。従前の Jet + Fragmentation 以外の生成メカニズムとして、Quark Recombination Model が提案された。このモデルではクォークはユニバーサルな分布関数を持つため、ハドロンの横運動量分布や方位角異方性が示す Quark Number Scaling という特徴的振舞を説明することができた。

(4) ジェットの変貌(Jet Modification)
高エネルギーの pp 衝突や e+e-衝突実験において高横運動量領域では、パートン・パートン２体散乱を粒子生成起源とし、正反対方向のジェット相関が観測される。ところが原子核・原子核衝突では反対方向の粒子群が消失／減少するという衝撃的な観測結果が得られた。これはパートンが QGP 中を通過する際の特徴的なエネルギー損失（図１）のためと考えられており、その振舞の定量的理解が QGP 理解に極めて重要である。

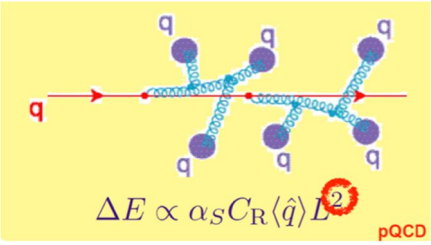

図 1）特徴的なパートンのエネルギー損失の様子

CERN の LHC 加速器において、RHIC に比べ 10 倍以上高エネルギーの原子核・原子核衝突実験が行われ、これらの特徴は LHC においても確認され、高エネルギー原子核・原子核衝突におけるクォーク・グルーオンプラズマ生成は確固たるものと考えられている。

２．研究の目的

当該分野の研究の大きな流れは、RHIC 実験から QGP 生成の確証を掴み、LHC 実験における 10 倍以上の高エネルギー衝突を用いて、より高エネルギーのプローブを用いた QGP 物性の計測へとフェーズが移りつつある。QGP 物性の最も有望かつ直接的測定は、上述 4. Jet Modification である。高エネルギーパートンが QGP 中を通過する際に、グルーオンとの多重散乱やパートンのエネルギー放射による損失は、丁度 QED における荷電粒子の物質中のエネルギー損失（Bethe-Bloch、Bethe-Heitler、そして Landau-Pomeranchuk-Migdal）に相当している。QED を使って荷電粒子の物質中での単位長さあたりのエネルギー損失(dE/dx)を測ることによって、物質の電子密度など物性を直接測ることができるように、色電荷を持つパートンの QGP 中の dE/dx を測ることによってグルーオン密度など重要な QGP 物性を計測できる。

３．研究の方法

著者らは、Di-Jet 識別測定装置を建設するために、LHC-ALICE 実験において、米国、フランス、イタリア、中国の研究者に呼びかけ、Di-Jet カロリメータープロジェクト DCAL（提案者；三明康郎、運営；5 カ国代表による合議）を新たに立ち上げ、カロリメータの建設を行った（科研費基盤 S、H20-24、代表者；三明康郎）。LHC 運転の遅延や 3.11 震災による DCAL 建設の遅延も重なり、DCAL 検出器のインストールは H24 になったが、同年より運用が開始された。そして、Jet トリガー装置の開発・製作を科研費基盤 B（H25-28、代表者；三明康郎）で実施し、さらにデータ収集、解析と論文作成を本科研費によって行なったものである。

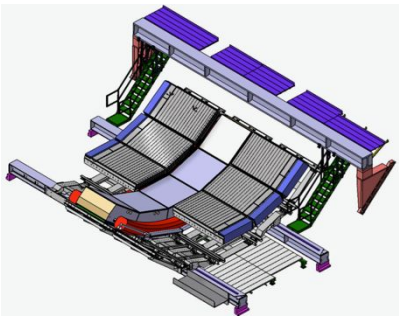

図 2）５カ国共同で建設した Di-Jet Calorimeter DCAL

４．研究成果

(1) 荷電粒子を用いたジェット解析から QGP 中のパートンのエネルギー損失の解析を実施し、世界最高エネルギー(√SNN=5.02 TeV)鉛鉛衝突における荷電粒子ジェットの横運動量分布を測定することに成功し、以下の重要な知見が得られた。(1)RHIC (200 GeV, 金・金衝突)と比べてエネルギー損失率(dE/dx)が約 4～5 倍であること、(2)エネルギー損失の通過距離(L)依存性が L の 1 乗ではなく、L の 2 乗の方が測定結果に近いことを示唆している（図３）。(1)は、QGP 中のパートンのエネルギー損失は、グルオン密度に比例していること、(2)は、グルオンが色電荷を持つという QCD の特徴を示唆していると考えられ、エネルギー損失機構の理論に重要な制限を加える重要な成果と考えられる。今後の Jet Tomography 解析の基盤となるだけでなく、パートンのエネルギー損失の起源に関して直接的な知見を与えるものである。グルオンの放射によるエネルギー損失の場合は L 依存性が L の 2 乗になるとの理論予測もあり、極めて興味深い結果となっている。これらの結果は、筑波大学大学院生の横山広樹氏の博士論文として発表された。

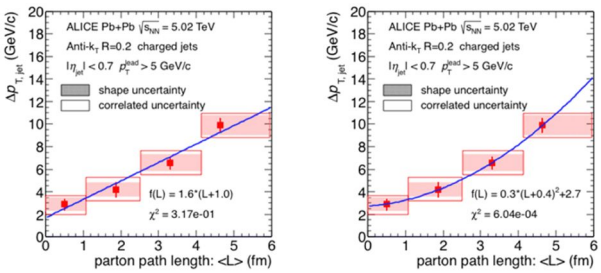

図 3）Glauber 模型とパートンのエネルギー損失模型を用いた評価。通過距離の 1 乗（左図）と 2 乗（右図）に比例する場合を比較。（筑波大学横山広樹博士論文より）

(2) パートンのエネルギー損失の通過距離(L)依存性に関して、より敏感な観測方法を目指して、荷電粒子ジェット収量の方位角異方性の解析を実施した。V0A、V0C 検出器を用いて鉛・鉛衝突の event plane を衝突事象毎に決定し、荷電粒子ジェットの方位角異方性を方位角分布のフーリエ第 2 成分 v2 として評価した。広い運動量領域で有意な正の値が観測された。これは、衝突初期に生成される QGP がアーモンド型の幾何学的形状をしていることを考えると、パートンが QGP を通過する際の厚みが大きな方位角方向では、より大きなエネルギー損失を示すことに対応する。Glauber 模型に基づく幾何学的形状とパートンのエネルギー損失模型を考え合わせると、上述の(1)の結果とも矛盾しないことがわかった。これらの結果は、本学大学院生の細川律也氏の博士論文として提出された。細川律也氏は 2020 FJPPL Young Investigator Award (日仏素粒子物理学研究所)を受賞した。

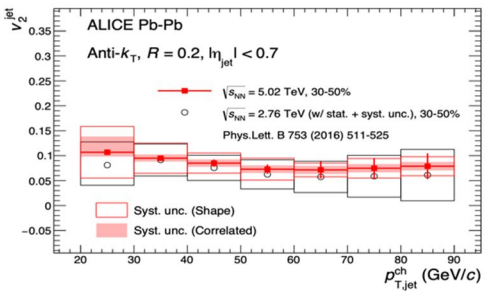

図４）ジェットの方位角異方性 v_2（筑波大学細川律也博士論文より）

(3) 陽子・陽子衝突√s=5.02 TeV における荷電粒子を用いたジェット解析を行い、pQCD 模型との精密な比較を行った。鉛・鉛衝突における QGP 中のパートンのエネルギー損失との比較検証に重要な役割を果たす。(原著論文 Phys.Rev. D100 (2019) no.9, 092004)

(4) QGP 中のパートンのエネルギー損失の解析として、世界最高エネルギーの鉛・鉛衝突における heavy quark 由来の電子の解析を行った。図５に測定された鉛・鉛衝突と陽子・陽子衝突の重ね合わせの比を示す。軽いクォークの場合と同様に、陽子・陽子衝突の重ね合わせに比べて明らかにエネルギー損失が認められた。QGP 生成を仮定した理論模型と比較したところ QGP 生成の証拠と矛盾しない結果が得られた。(原著論文 Phys.Lett. B804 (2020) 135377)

Heavy quark のエネルギー損失効果について、Cold nuclear effect を明らかにするために、陽子・鉛衝突において解析を行った。その結果、陽子・陽子衝突の重ね合わせと一致し、Cold nuclear effect は無視できることがわかった。鉛・鉛衝突で観測された結果は QGP に起因することが明確となった。(原著論文 JHEP 02 (2020) 077)

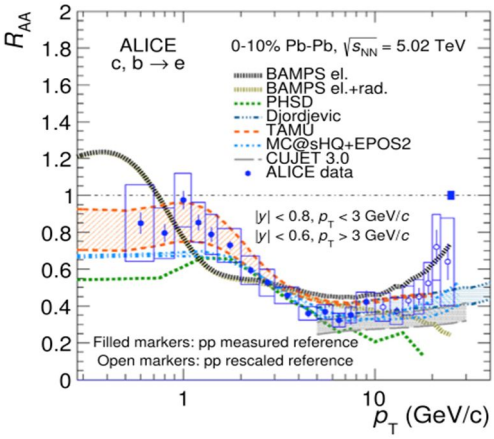

図５）鉛・鉛衝突における heavy quark 由来の電子生成量。鉛・鉛衝突と陽子・陽子衝突の重ね合わせの比 (原著論文 Phys.Lett. B804 (2020) 135377)

(5) 世界最高エネルギーの鉛・鉛衝突および陽子・陽子衝突におけるフルジェット解析に成功した。荷電粒子および電磁カロリメータによる中性粒子からジェット解析を行い、同一エネルギーにおける陽子・陽子衝突との比較検証から QGP 中のパートンのエネルギー損失を明らかにした。理論模型との比較を行った。 (原著論文 Phys.Rev. C101 (2020) no.3, 034911)

以上述べたようにパートンの QGP 中のエネルギー損失に関して極めて重要な実験的知見を得ることに成功した。グルオン衝撃波探索に関しては、ジェット周辺の低横運動量粒子との相関測定を実施したが明確な結論は現時点では得られていない。より高統計なデータが必要と考えられる。

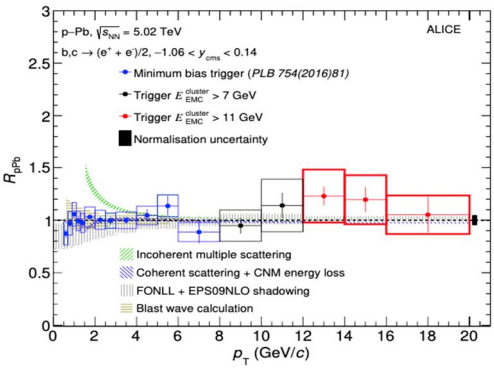

図６）陽子・鉛衝突における heavy quark 由来の電子生成量。陽子・鉛衝突と陽子・陽子衝突の重ね合わせの比 (原著論文 JHEP 02 (2020) 077)

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計25件（うち査読付論文　25件／うち国際共著　25件／うちオープンアクセス　25件）

１．著者名 S. Acharya, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	４．巻 1903,169
２．論文標題 Jet fragmentation transverse momentum measurements from di-hadron correlations in √s = 7 TeV pp and √sNN = 5.02 TeV p-Pb collisions.	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of High Energy Physics	６．最初と最後の頁 1~23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP03(2019)169	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	４．巻 1902,150
２．論文標題 Event-shape engineering for the D-meson elliptic flow in mid-central Pb-Pb collisions at √sNN=5.02 TeV.	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of High Energy Physics	６．最初と最後の頁 1~35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP02(2019)150	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	４．巻 99,012016
２．論文標題 Charged jet cross section and fragmentation in proton-proton collisions at √s = 7 TeV	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Physical Review D	６．最初と最後の頁 1~16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.99.012016	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	４．巻 1810,139
２．論文標題 Medium modification of the shape of small-radius jets in central Pb-Pb collisions at √sNN = 2.76 TeV	５．発行年 2018年
３．雑誌名 Journal of High Energy Physics	６．最初と最後の頁 1~28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP10(2018)139	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 122
2．論文標題 Azimuthal Anisotropy of Heavy-Flavor Decay Electrons in p-Pb Collisions at √sNN = 5.02 TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physical Review Letters	6．最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.122.072301	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 1810,061
2．論文標題 Measurements of low-pT electrons from semileptonic heavy-flavour hadron decays at mid-rapidity in pp and Pb-Pb collisions at √sNN = 2.76 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Journal of High Energy Physics	6．最初と最後の頁 1~29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP10(2018)061	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 789
2．論文標題 Direct photon elliptic flow in Pb?Pb collisions at √sNN = 2.76 TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physics Letters B	6．最初と最後の頁 308～322
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2018.11.039	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, O. Busch, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake, Y. Watanabe, et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 783
2．論文標題 Constraints on jet quenching in pPb collisions at √sNN = 5.02 TeV measured by the event-activity dependence of semi-inclusive hadron-jet distributions	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Physics Letters B	6．最初と最後の頁 95～113
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2018.05.059	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, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 B781
2．論文標題 Longitudinal asymmetry and its effect on pseudorapidity distributions in Pb-Pb collisions at √sNN = 2.76 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Lett.	6．最初と最後の頁 20-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2018.03.051	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, T. Chujo, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 B780
2．論文標題 Search for collectivity with azimuthal J/ψ-hadron correlations in high multiplicity p-Pb collisions at √sNN = 5.02 and 8.16 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Lett.	6．最初と最後の頁 7-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2018.02.039	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, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 B777
2．論文標題 Constraining the magnitude of the Chiral Magnetic Effect with Event Shape Engineering in Pb-Pb collisions at √sNN = 2.76 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Lett.	6．最初と最後の頁 151-162
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2017.12.021	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, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 C97
2．論文標題 Systematic studies of correlations between different order flow harmonics in Pb-Pb collisions at √sNN = 2.76 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Rev.	6．最初と最後の頁 024906.1-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.97.024906	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, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 C78
2．論文標題 π0 and η meson production in proton-proton collisions at √sNN = 8 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Eur.Phys.J. C78 (2018) no.3, 263	6．最初と最後の頁 263.1-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1140/epjc/s10052-018-5612-8	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, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 120
2．論文標題 D-meson azimuthal anisotropy in midcentral Pb-Pb collisions at √sNN = 5.02TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Rev.Lett.	6．最初と最後の頁 102301.1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.120.102301	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 D. Adamov, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 B776
2．論文標題 J/ψ production as a function of charged-particle pseudorapidity density in p-Pb collisions at √sNN = 5.02 TeV	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Lett.	6．最初と最後の頁 91-104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2017.11.008	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, T. Chujo, S. Esumi, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 B776
2．論文標題 First measurement of jet mass in Pb-Pb and p-Pb collisions at the LHC	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys.Lett.	6．最初と最後の頁 249-264
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2017.11.044	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 2020
2．論文標題 Measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays as a function of multiplicity in p-Pb collisions at $$ \sqrt{s_{\mathrm{NN}}}} $$ = 5.02 TeV	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of High Energy Physics	6．最初と最後の頁 77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP02(2020)077	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 804
2．論文標題 Measurement of electrons from semileptonic heavy-flavour hadron decays at midrapidity in pp and Pb?Pb collisions at sNN=5.02 TeV	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Physics Letters B	6．最初と最後の頁 135377～135377
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2020.135377	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 101
2．論文標題 Measurements of inclusive jet spectra in pp and central Pb-Pb collisions at sNN=5.02TeV	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Physical Review C	6．最初と最後の頁 34911
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.101.034911	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 79
2．論文標題 Measurement of the inclusive isolated photon production cross section in $$\text{ p }\text{ p }$$pp collisions at $$\sqrt{s}=7$$s=7 TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 The European Physical Journal C	6．最初と最後の頁 896
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1140/epjc/s10052-019-7389-9	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 100
2．論文標題 Measurement of charged jet cross section in pp collisions at s=5.02??TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physical Review D	6．最初と最後の頁 092004:1-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.100.092004	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 802
2．論文標題 Exploration of jet substructure using iterative declustering in pp and Pb?Pb collisions at LHC energies	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Physics Letters B	6．最初と最後の頁 135227～135227
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2020.135227	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 2019
2．論文標題 Measurement of the production of charm jets tagged with D0 mesons in pp collisions at s=7$$ \sqrt{\mathrm{s}}=7 $$ TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Journal of High Energy Physics	6．最初と最後の頁 133
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP08(2019)133	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 796
2．論文標題 Measurement of jet radial profiles in Pb?Pb collisions at sNN=2.76 TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physics Letters B	6．最初と最後の頁 204～219
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2019.07.020	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, T. Chujo, R. Hosokawa, M. Inaba, Y. Miake et.al. (ALICE Collaboration)	4．巻 99
2．論文標題 Multiplicity dependence of light-flavor hadron production in pp collisions at s=7TeV	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physical Review C	6．最初と最後の頁 012016:1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.99.024906	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11件（うち招待講演　2件／うち国際学会　11件）

1．発表者名 Tatsuya Chujo
2．発表標題 Jet physics in ALICE
3．学会等名 UCLA 2019 Santa Fe Jets and Heavy Flavor Workshop（国際学会）
4．発表年 2019年

1．発表者名 Tatsuya Chujo
2．発表標題 Probing the quark-gluon plasma at the energy frontier with the LHC
3．学会等名 5th Joint Meeting of APS DNP and JPS（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 Tatsuya Chujo
2．発表標題 Jet physics overview in ALICE
3．学会等名 Opportunities and Challenges with Jets at LHC and beyond（国際学会）
4．発表年 2018年

１．発表者名 Hiroki Yokoyama
２．発表標題 Investigating jet modification in heavy-ion collisions at √sNN = 5.02 and 2.76 TeV with ALICE
３．学会等名 ICHEP 2018, XXXIX International Conference on High Energy Physics（国際学会）
４．発表年 2018年

１．発表者名 Ritsuya Hosokawa
２．発表標題 Exploring jet profiles in pp and Pb-Pb collisions at √sNN = 2.76 and 5.02 TeV with the ALICE detector
３．学会等名 Quark Matter 2018（国際学会）
４．発表年 2018年

１．発表者名 Ritsuya Hosokawa
２．発表標題 Recent results on hard probes in heavy-ion collisions from ALICE and LHCb
３．学会等名 7th Edition of the Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 2019)（招待講演）（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Tatsuya Chujo
２．発表標題 QGP Tomography with jets
３．学会等名 2019 Joint workshop of FKPPL and TYL/FJPPL（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Yasuo Miake
２．発表標題 Heavy Ion Acceleration Plan at J-PARC
３．学会等名 3rd J-PARC Symposium（招待講演）（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Shingo Sakai
２．発表標題 Elliptic flow of electrons from heavy-flavour hadron decays in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = $ 5.02 TeV with ALICE
３．学会等名 Quark Matter 2019 - the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Masahiro Takamura
２．発表標題 Measurement of heavy flavour jets with electrons from heavy-flavour hadron decays in pp and p-Pb collisions at √sNN=5.02 TeV with ALICE
３．学会等名 Quark Matter 2019 - the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Kenichi Tadokoro
２．発表標題 The neutral meson measurement in jets in Pb-Pb collisions in ALICE
３．学会等名 Quark Matter 2019 - the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions（国際学会）
４．発表年 2019年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

筑波大学高エネルギー原子核実験グループ
http://utkhii.px.tsukuba.ac.jp/
LHC ALICE実験日本グループ
http://alice-j.org/
筑波大学高エネルギー原子核実験グループ
http://utkhii.px.tsukuba.ac.jp
LHC ALICE実験日本グループ
http://alice-j.org

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	江角　晋一 (Esumi ShinIchi) (10323263)	筑波大学・数理物質系・准教授 (12102)	
研究分担者	中條　達也 (Chujo Tatsuya) (70418622)	筑波大学・数理物質系・講師 (12102)	