

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05438

研究課題名(和文) 基礎論・現象論・高エネルギー原子核衝突実験理解から探る超高温 QCD 物質の研究

研究課題名(英文) Study on QCD matter from QCD theory, phenomenological analysis and high-energy heavy-ion collisions

研究代表者

野中 千穂 (Nonaka, Chiho)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・教授

研究者番号：10432238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：高エネルギー重イオン衝突実験の現象論的解析、理論模型の開発を通じて量子色力学(QCD)相転移機構とクォーク・グルーオン プラズマ(QGP)物性を明らかにすることを目的にした。米国・ブルックヘブン国立研究所(BNL)の Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)、CERNの Large Hadron Collider (LHC) の高精度・高統計の実験結果に対し包括的で定量的な解析解析を行った。世界をリードする相対論的流体模型に基づいた現象論的模型を構築し、その模型による解析からQGP物性と相対論的流体模型成功の本質の解明に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高エネルギー原子核衝突実験を現象論的に解析するための世界最先端の理論が完成した。高精度かつ高統計の実験結果の解析を通じてQCD相転移現象とQGP物性の特に粘性の性質を明らかにした。大きな衝突系と小さな衝突系を同時に解析することでQGP物性の詳細を明らかにすることに成功した。光子生成の解析に取り組み、最近の実験結果に存在していた「光子パズル」への一つの解決方法を提示した。さらに磁気流体の構築も行き、今後のさらなる研究への発展への弾みを得ることができた。以上のように、QCD相転移現象とQGP物性の定量的な理解を大きく前進させることができた。

研究成果の概要(英文)：We conduct research to elucidate the QCD phase transition and bulk property of quark-gluon plasma with QCD theory, phenomenological analysis on high-energy heavy ion collisions at Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) at BNL and the Large Hadron Collider (LHC) at CERN. First, we construct the state-of-the-art phenomenological model based on relativistic hydrodynamical model. Next, we apply the model to the high precision and high statistics experimental data at RHIC and the LHC. Through the quantitative and comprehensive analyses of the experimental data with the model, we obtain an insight of the QCD phase transition, the QGP bulk property. Furthermore we investigate hydrodynamization or reason of success of hydrodynamic description in high-energy heavy-ion collisions from study of small systems at the LHC.

研究分野：原子核理論

キーワード：クォーク・グルーオン プラズマ

1. 研究開始当初の背景

QCD 相転移の実験的検証を目標にリトルバンとも呼ばれる一連の高エネルギー原子核衝突実験が 1970 年代より実行されてきた。そして 2005 年、米国・ブルックヘブン国立研究所(BNL)の Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) で QGP 生成に成功した。ところがこの QGP は{bf 強結合 QGP}であり、これまでの弱結合 QGP の予想を覆す衝撃の結果であった。この結論に至ったのは、当時申請者たちの開発したリコンビネーション模型と相対論的流体模型のそれぞれで RHIC の実験結果の理解に成功したからである。特にリコンビネーション模型の論文は 2 編それぞれの被引用数が 500 以上(申請当時)に達し、今や基本的な模型として浸透している。このように QGP 物理は発見の段階は終了し、QGP の定量的解明、QGP 物性研究へと進展している。

2010 年には CERN の Large Hadron Collider (LHC) で RHIC よりも衝突エネルギーが 10 倍以上も高い原子核衝突実験が開始した。RHIC と LHC の高統計で高精度な実験結果をもとに、QGP 状態の定量的研究が精力的に行われている。相対論的流体模型もそれまでの完全流体から粘性流体へと大きく前進した。ここで重要なのは、実験結果理解における相対論的流体模型の成功の理由を明らかにし、QGP の本質に迫ることである。例えば、LHC で陽子-陽子衝突や陽子-鉛衝突といった小さな系でも流体膨張が発見され、流体膨張と QGP 生成の関連に新たな謎}が加わった。相対論的流体模型の理論枠組自体でも QGP のダイナミクスの記述にふさわしい相対論的粘性流体方程式の選定、流体力学的ゆらぎ、衝突直後の運動量の非対称性、磁場の影響など多くの課題が浮かび上がってきている。流体模型では数値解法の開発も必須である。申請者たちは低粘性 QGP 流体の解析にふさわしい、低人口粘性でかつ衝撃波に対し安定な新しいアルゴリズムを開発した。さらに流体模型の初期条件、衝突後の粒子の多重発生からの短時間での熱平衡化や、流体化の解明も重要な課題である。

一方、実験と結びついた現象論的な解析とともに QCD に基づいた基礎論からの研究も行われている。特に格子ゲージ理論からの状態方程式の解析、ハドロンの有限温度における振る舞い、熱的レプトン対生成率などの研究の発展は著しい。申請者たちはスカラー中間子の構造に注目し格子ゲージ理論を用いた研究を行ってきた。最近スカラー、擬スカラー、ベクトル、軸性ベクトルのチャンネルにおける遮蔽質量の温度依存性の解析を行っており、有限温度のハドロンの振る舞いの詳細な結果が得られている。さらに重イオン衝突実験の大きな課題の一つとして媒質中のパートンのエネルギー損失の解明がある。このエネルギー損失のメカニズムに対して、有効理論からの解析やジェット生成イベントジェネレーターなど多くの研究が存在する状況にある。この解析の困難さは、強結合を扱う必要がありシンプルな摂動論が適用できないこと、エネルギー損失のメカニズムは衝突後に生じたクォーク物質のダイナミクスとも関連していることに存在している。

2. 研究の目的

RHIC と LHC の定量的な実験解析から i) QGP の物性 ii) QGP における熱平衡化、流体化のメカニズムを明らかにする。クォークやグルーオンは直接観測できず、測定されるものはハドロンであるという QGP 物理独特の困難により、様々な実験結果のうち、定量的な説明ができていたのはまだ一部であった。しかし、RHIC・LHC の高精度の実験結果の存在、信頼における流体アルゴリズムの完成、これまでの知見の集積から、今や様々な実験結果(一粒子分布、二粒子相関、粒子の集団運動(フロー)、電磁プローブ、重いフレーバー、ジェットと媒質の相関など)の包括的で徹底的な定量的解析を遂行できる条件が整ったと言える。この解析から QGP 物性、QGP の輸送係数、状態方程式、有限温度・密度でのハドロンの性質を解き明かす。同時に格子ゲージ理論からジェットエネルギー損失、ハドロンの有限温度の振る舞いを明らかにする。流体とジェットの相互作用の理論模型開発も行い、世界最先端のモデルと実験結果比較からエネルギー損失のメカニズムを解明する。一方、実験理解に成功している流体模型でも、小さな系での粒子の集団運動の存在、衝突後わずか約 1fm/c 後に完了すると言われている熱平衡化、流体化のメカニズムと行った未解決問題がある。これらについて、実験の定量的な解析における流体模型の初期条件から問題点をまず詳らかにする。さらに流体近似の対極、あるいは相補的と言えるパートンカスケード模型を用いて高エネルギー原子核衝突を再現し熱平衡化、流体化の過程を明らかにする。さらに流体模型との成果から流体と粒子法の新たなハイブリッド模型を検討していく。

3. 研究の方法

RHIC・LHC 実験の包括的で定量的な解析からの QGP 物性研究： QGP 状態の定量的な解明に有効な手段は一つの模型で様々な実験観測量の包括的な解析を行い、そこから共通に導き出される QGP の性質を見出すことである。高エネルギー原子核衝突後の時空発展は a) 初期条件}：原子核衝突後短時間での熱平衡化・流体化、ジェットの生成 b) 流体膨張、ジェットのエネルギー損失、c) ハドロン化、d) フリーズアウト過程の一連で理解されている。この時空発展の描像に対し各模型が提案されている。例えば a) では グラウバー模型、カラーグラス凝縮、カラーフラック

スチューブなどによる初期条件、b)から c) では流体発展そしてリコンビネーション模型、c)から d) についてはハドロンをベースにしたイベントジェネレーター、などである。そのためまずはこれらのプロセスを含む一連の模型を作成する。一方、RHIC・LHC での実験結果は、生成した粒子の集団運動、二粒子相関、重いフレーバー、電磁プローブ、ジェットエネルギー損失などがある。各物理量は原子核衝突後の時空発展の各過程で生じ様々な影響を受ける。そのため原子核衝突の時空発展の一連の過程を取入れた一つの模型で統一的に様々な観測量の解析を行うことが重要である。しかしこれまでは模型作成や数値計算の困難さのために、ある物理量に対し最も効くと思われる過程のみに注目した限定的な解析や、ある特定の物理量のみに注目した解析に留まることが多かった。そのため、一連の過程を取り入れた最先端の現象論的模型を構築し、様々な物理量を一度に解析することで QGP 状態の定量的な理解で世界をリードすることを目指す。

この模型の中心は相対論的粘性流体コードである。研究代表者たちは人口粘性が小さくても衝撃波に耐える世界最先端の流体コードを開発した。様々な衝突エネルギー領域に対応すべく、デカルト座標系と高エネルギー衝突に特化した座標系 (Mitsune 座標系) の両方を完成させ、格子 QCD で得られた状態方程式だけでなく、有限密度での状態方程式への対応も進めている。このコードは初年度中に整備を進めることを目標にしている。初期条件については様々な初期条件を現象論的にまとめ、パラメーターの違いで記述することができる模型「TRENTO」を用いる予定である。流体とイベントジェネレーターとの接続はすでに完成している。ここで流体コードの整備、構築については赤松、名古屋大学の学生とともに進める。

実験解析は RHIC と LHC における一粒子分布、フロー、二粒子相関から開始し、QGP の粘性係数といったバルクな性質を解析し、衝突後の媒質のダイナミクスを明らかにする。これは学生と共に進める。その上で重いフレーバー、電磁プローブ、ジェットエネルギー損失に取り組む。現在ウェイン州立大学の Majumder と格子 QCD を用いたジェットのエネルギー損失の研究を進めている。ここで得られた値を用いて実験との比較を行う。研究代表者も一員であるスカラーコラボレーションでは格子ゲージ理論を用いてスカラー粒子などのハドロンの遮蔽質量の温度依存性を明らかにした。この振る舞いを現象論的にパラメータ化し、レプトン対の不変質量分布などにどのように現れるのか解析する。実験との比較を念頭においた解析は主として学生とともに計算を行った。

4. 研究成果

最新の相対論的流体コードを実装した現象論的模型を完成させた。この現象論的模型を用い、まずはじめに LHC の鉛 鉛衝突実験の解析を行うことで、ずり粘性と体積粘性の温度依存性を明らかにした。ラピディティ分布から初期条件に存在するパラメータを決め、横運動量や粒子の集団運動から粘性の温度依存性について議論した。体積粘性の影響は横運動量の振る舞いに大きく現れ、ずり粘性の温度依存性は粒子の集団運動、特に、楕円フローに影響を与えることがわかった。これらの解析からこれまでの理論では困難であった粘性の値や温度依存性を定量的に明らかにできる道筋を作ることができた。

次にこの模型を LHC における小さな系、鉛 陽子衝突に適用した。小さな系においても衝突係数が小さなものや、低横運動量領域では流体模型での記述がうまくいくことがわかった。小さな系では衝突後に生じる媒質が小さいことから、流体膨張が終わりハドロン化したあとの終状態相互作用や初期条件の影響の情報を得ることができる、格好の場であることがわかった。同時にここで採用した初期条件の模型、TRENTO では全ての実験結果を包括的に記述するには困難があることも判明した。つまり、初期条件に存在する流速などのより詳細な情報が必要である。そのため、パートンカスケード模型の一つ、AMPT からえた初期条件を使用した計算も行った。電磁プローブの一つとして、光子の解析を行った。光子は LHC と RHIC の双方で測定されている。しかし、光子の LHC と RHIC の実験結果は、最新の現象論的模型では収量、集団的運動を同時に説明することができず、「光子パズル」と言われていた。これに対し、新しいハドロン化のメカニズム放射リコンビネーション模型を提案し、相対論的流体模型の計算に組み入れることで解析を行った。その結果 LHC と RHIC における光子の収量、集団運動の双方を同時に説明することに成功した。

米国の Bass 教授とともに、パートンカスケード模型の開発を開始した。具体的には既存のハドロンをベースにしたイベントジェネレーター用い、粒子や相互作用をパートンに置き換えた。特にこれまで注目されていなかった 2 体 - 3 体の散乱も加えた。テスト計算として箱の中の計算を行い、熱力学量をきちんと再現できることを確認できた。現在、熱平衡化やジェットエネルギー損失に向けた解析を行っているところである。

この研究計画の発展として磁場流体の開発を進めた。電荷を持った原子核同士を高エネルギーで衝突させるため、衝突直後に高強度の磁場が存在する可能性をかねてから指摘されていたが、定量的な計算はなされていなかった。ここではさらに、抵抗性電磁流体を開発し、それを用いた解析を世界で初めて行った。その結果金 金衝突といった対称性の高い衝突系ではその影響はあまりないのにもかかわらず、金 銅といった非対称な系ではその影響が現れることがわかった。特に粒子の集団運動、直接フローに磁場の影響を見出すことに成功した。

現象論的模型には様々なパラメータが存在し、そのパラメータは粒子分布などで決めていた。実際には各パラメータは様々な実験観測量と相関があり、その相関をベイジアン解析の手法を用

いることで、より詳細に適切なパラメータを同定することが可能になってきた。現象論的解析にはこのベイジアン解析の手法は必要不可欠なツールになることが見込まれる。そのため、現象論的解析の開発、構築と応用の延長として、ベイジアン解析の準備を進めた。

1. [1] Hadron production in heavy ion collisions: Fragmentation and recombination from a dense parton phase ”, R.J.Fries, B.Muller, C. Nonaka, S.A.Bass, Physical Review C68 (2003) 044902 (被引用数 557); “ Hadronization in heavy ion collisions: Recombination and fragmentation of partons ”, R.J.Fries, B.Muller, C. Nonaka, S.A.Bass, Physical Review Letters 90 (2003) 202303 (被引用数 601). (被引用数は申請当時のもの)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Keita Horie and Chiho Nonaka | 4. 巻 LATTICE2021 |
| 2. 論文標題 Inhomogeneous Phases in the Chiral Gross-Neveu Model on the Lattice | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 PoS(LATTICE2021) | 6. 最初と最後の頁 150-157 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 K.Murase,Y,Akamatsu,M.Asakawa,T.Hirano,M.Kitazawa,K.Morita.Y.Nara.C.Nonaka, and A.Ohnishi | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Dynamically integrated transport model for high-energy nuclear collisions at $3 < \sqrt{s_{NN}} < 30$ GeV | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conf. Proc. | 6. 最初と最後の頁 10081 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Tetsuya Maeda, Chiho Nonaka, Kazuhisa Okamoto | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Analysis of Small Systems at RHIC Based on 3+1D Relativistic Viscous Hydrodynamic Model | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings | 6. 最初と最後の頁 031028(1-4) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.031028 | 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 Kouki Nakamura, Kazuhisa Okamoto, Chiho Nonaka | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Hydrodynamic Expansion and the Collectivity in Small Systems | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings | 6. 最初と最後の頁 031029(1-4) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.031029 | 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 Chiho Nonaka, Kazuhisa Okamoto | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Hydrodynamic Collectivity and Bulk Properties of QCD Matter in High-Energy Heavy-Ion Collisions | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings | 6. 最初と最後の頁 024015(1-4) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.024015 | 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 Masayuki Wakayama, Yuko Murakami, Shin Muroya, Atsushi Nakamura, Chiho Nonaka, Motoo Sekiguchi, Hiroaki Wada | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Mass of α 1 Meson from Lattice QCD with the Truncated Overlap Fermions | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings | 6. 最初と最後の頁 031007(1-4) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.031007 | 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 Kazuhisa Okamoto, Yoshifumi Omura, Chiho Nonaka | 4. 巻 208 |
| 2. 論文標題 Collective flow of identified hadrons at the LHC | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 EPJ Web Conf. | 6. 最初と最後の頁 12003(1-4) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920812003 | 査読の有無 無 |
| 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 Koichi Murase, Yukinao Akamatsu, Masayuki Asakawa, Tetsufumi Hirano, Masakiyo Kitazawa, Kenji Morita, Yasushi Nara, Chiho Nonaka, Akira Ohnishi | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Dynamically Integrated Transport Approach for High-Energy Nuclear Collisions at High Baryon Density | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings | 6. 最初と最後の頁 024016(1-4) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.26.024016 | 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 A. Kumar, A. Majumder, C. Nonaka | 4. 巻 345 |
| 2. 論文標題 First 4D lattice calculation of transport coefficient q ; q^{\wedge} for pure gluon plasma | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 PoS HardProbes2018 | 6. 最初と最後の頁 51 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.345.0051 | 査読の有無 無 |
| 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 A. Kumar, A. Majumder, C. Nonaka | 4. 巻 334 |
| 2. 論文標題 First calculation of q^{\wedge} ; q^{\wedge} on a quenched SU(3) plasma | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 PoS Lattice2018 | 6. 最初と最後の頁 169 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.334.0169 | 査読の有無 無 |
| 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 Yukinao Akamatsu, Masayuki Asakawa, Tetsufumi Hirano, Masakiyo Kitazawa, Kenji Morita, Koichi Murase, Yasushi Nara, Chiho Nonaka, Akira Ohnishi | 4. 巻 no.2, 024909 |
| 2. 論文標題 Dynamically integrated transport approach for heavy-ion collisions at high baryon density | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 024909(1-9) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.98.024909 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Chiho Nonaka, Teiji Kunihiro, Shin Muroya, Atsushi Nakamura, Motoo Sekiguchi, Hiroaki Wada, Masayuki Wakayama | 4. 巻 C15-03-03 |
| 2. 論文標題 Scalar Mesons in Lattice QCD | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Origin of Mass and Strong Coupling Gauge Theories (SCGT15) | 6. 最初と最後の頁 154,160 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789813231467_0021 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|----------------------------|
| 1. 著者名 Kazuhisa Okamoto, Chiho Nonaka | 4. 巻 C98 no.5 |
| 2. 論文標題 Temperature dependence of transport coefficients of QCD in high-energy heavy-ion collisions | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review | 6. 最初と最後の頁 054906(1-16) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.98.054906 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|----------------------------|
| 1. 著者名 Chiho Nonaka, Kazuhisa Okamoto | 4. 巻 KMI2017 |
| 2. 論文標題 Phenomenological Analysis of High-Energy Heavy-Ion Collisions | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 PoS | 6. 最初と最後の頁 014(9 pages) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.294.0014 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Hirotugu Fujii, Kazunori Itakura, Chiho Nonaka | 4. 巻 A967 |
| 2. 論文標題 Photon emission at hadronization | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Nuclear Physics | 6. 最初と最後の頁 704-707 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysa.2017.06.045 | 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 Kazuhisa Okamoto, Chiho Nonaka | 4. 巻 KMI2017 |
| 2. 論文標題 Numerical simulations of causal relativistic viscous hydrodynamics for high-energy heavy-ion collisions | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 PoS | 6. 最初と最後の頁 046(5 pages) |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.294.0046 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Kazuhisa Okamoto, Chiho Nonaka | 4. 巻 C77 |
| 2. 論文標題 A new relativistic viscous hydrodynamics code and its application to the Kelvin-Helmholtz instability in high-energy heavy-ion collisions | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 European Physical Journal | 6. 最初と最後の頁 383-395 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-017-4944-0 | 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 - |

[学会発表] 計25件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 5件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keita Horie, Chiho Nonaka |
| 2. 発表標題 Inhomogeneous phases in the chiral Gross-Neveu model on the lattice |
| 3. 学会等名 熱場の量子論とその応用 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keita Horie, Chiho Nonaka |
| 2. 発表標題 Inhomogeneous phases in the chiral Gross-Neveu model on the lattice |
| 3. 学会等名 The 38th International Symposium on Lattice Field Theory (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keita Horie, Chiho Nonaka |
| 2. 発表標題 有限密度Gross-Neveu模型による非一様相の格子計算を用いた解析 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsunori Miyachi, Hirotugu Fujii, Kazunori Itakura, Chiho Nonaka |
| 2. 発表標題 Effect of radiative hadronization on thermal photon |
| 3. 学会等名 The 8th Asian Triangle Heavy-Ion Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 宮地克典, 藤井宏次, 板倉数記, 野中千穂 |
| 2. 発表標題 流体発展からの熱輻射に対するハドロン再結合光子の寄与 |
| 3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------|
| 1. 発表者名 小川義矢, 野中千穂 |
| 2. 発表標題 カラー超伝導への磁場の効果 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Cnedikia Abdi, Chiho Nonaka |
| 2. 発表標題 QGP Bulk Properties Based on Partonic Transport Model |
| 3. 学会等名 熱場の量子論とその応用 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中村幸輝, 高橋博之, 三好隆博, 野中千穂 |
| 2. 発表標題 相対論的抵抗性電磁流体を用いた高エネルギー原子核衝突実験の解析 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野中千穂、板倉数記、藤井宏次 |
| 2. 発表標題 photon emission at hadronization from Quark-Gluon Plasma |
| 3. 学会等名 Hard Probe 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 QCD粘性の定量的解明-高エネルギー原子核衝突実験の現象論的解析 |
| 3. 学会等名 第7回「物質階層を横断する会」～ハドロン・原子核・原子・分子合同ミーティング(招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江角晋一、野中千穂 |
| 2. 発表標題 はじめに(シンポジウム「揺らぎと流体発展からみる物理の面白さ」) |
| 3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Hydrodynamics and QGP bulk property |
| 3. 学会等名 拡大Heavy Ion Cafe (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 高エネルギー原子核衝突における |
| 3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Bulk Properties of QCD Matter |
| 3. 学会等名 APPC2019(14Th ASIA-PACIFIC PHYSICS CONFERENCE) (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 temperature dependence of transport coefficients of QCD in High-Energy Heavy Ion collisions |
| 3. 学会等名 QM2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Temperature dependence of transport coefficients of QCD in High-Energy Heavy Ion collisions |
| 3. 学会等名 YKIS2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 A New relativistic viscous hydrodynamics code for high-energy heavy-ion collisions |
| 3. 学会等名 MIAPP2018 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Hydrodynamics Collectivity and Viscosities in High-Energy Heavy-Ion Collisions |
| 3. 学会等名 HAWAII2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Hydrodynamic Collectivity and Bulk Properties of QCD Matter in High-Energy Heavy-Ion Collisions |
| 3. 学会等名 QNP2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Hydrodynamic Collectivity and Bulk Properties of QCD Matter in High-Energy Heavy-Ion Collisions |
| 3. 学会等名 Nagoya Mini-Workshop ” Phenomenology and experiments at RHIC and the LHC |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Quark-Gluon Plasma: Recent Development of Phenomenological Models |
| 3. 学会等名 KMI2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Collectivity in Small System from Transport Approach |
| 3. 学会等名 Workshop on collectivity of small systems in high-energy collisions (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Scalar Mesons in Lattice QCD |
| 3. 学会等名 Strangeness and charm in hadrons and dense matter (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 高エネルギー重イオン衝突実験 から探るQGP物性 |
| 3. 学会等名 ハドロン・原子核物理の理論研究最前線 2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野中千穂 |
| 2. 発表標題 Quark-Gluon Plasma in the Little Bang |
| 3. 学会等名 PACIFIC2018 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 Nagoya Mini-Workshop "Phenomenology and experiments at RHIC and the LHC" | 開催年 2019年～2019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 | | |
|---------|---------|--|--|
| 米国 | デューク大学 | | |