

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11851

研究課題名(和文) 学際領域を切り拓く相対論的磁気流体力学に対する高解像度数値解法の開発

研究課題名(英文) Development of a high-resolution scheme for relativistic magnetohydrodynamics that opens up an interdisciplinary research

研究代表者

三好 隆博 (Miyoshi, Takahiro)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・助教

研究者番号：60335700

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高エネルギー天体現象や高エネルギー原子核衝突など高エネルギー現象の巨視的挙動は、相対論的流体力学の枠組みでよく記述される。併せて、磁場の関与にも近年大きな注目が集まる。そこで本研究では、相対論的磁気流体力学に対する先進的な数値解法を開発し、高エネルギー天体物理学と高エネルギー原子核物理学の学際領域を開拓することを目的とした。新たに膨張座標系における相対論的抵抗性磁気流体力学コードを開発し、世界に先駆けて高エネルギー原子核衝突実験に関する相対論的抵抗性磁気流体力学シミュレーションを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高エネルギー現象の巨視的挙動は、相対論的流体力学の枠組みでよく記述される。特に高エネルギー天体現象において、磁場の果たす役割は極めて重要である。一方、高エネルギー原子核衝突においては、極めて強い磁場の生成が予期されるが、その効果は全く未知である。そこで本研究では、新たな相対論的抵抗性磁気流体力学コードを開発し、世界で初めて高エネルギー原子核衝突実験を模擬した相対論的抵抗性磁気流体力学シミュレーションに成功した。本研究の今後の進展により、高エネルギー原子核衝突に対する新描像の確立と共に、高エネルギー天体現象に対する新たな科学的知見の反映が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Macroscopic dynamics of high-energy phenomena such as high-energy astrophysical phenomena and high-energy heavy-ion collisions is well described in the framework of relativistic hydrodynamics. Moreover, effects of magnetic fields on the dynamics are recently attracting attention. Thus, the objective of this study is to develop advanced numerical methods for relativistic magnetohydrodynamics and to pioneer an interdisciplinary field of high-energy astrophysics and high-energy nuclear physics. We developed a novel relativistic resistive magnetohydrodynamic code in an expanded coordinate, and achieved the world's first relativistic resistive magnetohydrodynamic simulation for high-energy heavy-ion collision experiments.

研究分野：磁気流体力学

キーワード：磁気流体力学 高解像度数値解法 学際領域開拓 高エネルギー原子核物理学 高エネルギー天体物理学

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。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) コンパクト天体から噴出する宇宙ジェットやガンマ線バーストなど、様々な高エネルギー天体現象において、運動エネルギーが静止質量エネルギーに匹敵または凌駕し、相対論効果が無視できない物質の流れが普遍的に観測される。これら相対論的流れの生成・発達機構については、観測の空間分解能が十分でないことも相まって、未解明な部分が多い。しかし、近年、相対論的流れと磁場との相互作用を取り扱う相対論的磁気流体力学を基礎理論として、様々な高エネルギー天体現象に対して磁場が本質的に重要な役割を担うことが示されてきた (e.g., Takahashi and Ohsuga, 2015; Takahashi, et al., 2018)。

(2) 他方で、宇宙開闢直後、数マイクロ秒の極初期宇宙に存在したと予想されるクォーク・グルーオンプラズマ状態を地上で実現するため、大規模な高エネルギー原子核衝突実験が進められている。高エネルギー原子核衝突実験で生成された超高温クォーク物質のダイナミクスは、粘性が非常に小さい相対論的流体力学によって説明できることが近年明らかになった (e.g., PHENIX collaboration, 2005; Romatschke and Romatschke, 2007)。特に非中心衝突においては、衝突点近傍で宇宙最高強度に達する磁場の生成が理論的に予測されるが (e.g., Kharzeev, et al., 2008)、クォーク物質と相互作用する磁場の時空発展は全く不明であった。

(3) 一般に物質と磁場の巨視的な相互作用は磁気流体力学によって支配される。したがって、それを解く数値的技法の研究開発は、宇宙・天体物理学、プラズマ物理学など広い分野で共通の重要な基盤的研究課題である。非相対論的磁気流体力学については、特に研究代表者らが開発した HLLD 近似リーマン解法 (Miyoshi and Kusano, 2005) が、高解像度、高効率、かつ頑強であることから、現在、世界標準の基礎的数値解法として広く用いられている。相対論的磁気流体力学についても、線形近似リーマン解法 (Gammie, et al., 2003) や HLLD 近似リーマン解法 (Mignone, et al., 2009) の高解像度数値解法が提案されたが、計算コストが極めて高く、最先端の数値シミュレーションでもほとんど用いられていない。また、数値解法の高次精度化について、実際の応用研究においては、MUSCL 法など 2 次精度の補間法にほぼ限定されている。そのため、衝撃波乱流相互作用など応用上重要なパラメータ領域の計算は困難であった。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究課題の目的は、相対論的磁気流体力学に関する様々な数値的技法を研究開発することにある。特に電気伝導度が無限大の相対論的理想磁気流体力学に加え、有限の電気伝導度を考慮した相対論的抵抗性磁気流体力学に関する数値解法を検討する。

(2) さらに本研究課題では、相対論的磁気流体力学を通して、高エネルギー天体物理学と高エネルギー原子核物理学の学際領域の開拓を目指す。特に高エネルギー原子核物理学においては、高エネルギー天体物理学用相対論的磁気流体力学パッケージ ECHO を拡張した ECHO-QGP (Inghirami, et al., 2016) が流体と磁場の相互作用を取り扱う唯一の計算モデルであるが、未だ本格的な応用研究はない。そこで本研究課題の最大の挑戦は、相対論的磁気流体力学モデルを用いて、高エネルギー原子核衝突実験に関する数値シミュレーションを実現することにある。また、近年両分野で注目されるカイラル磁気流体力学 (e.g., Yamamoto, 2016; Masada, et al., 2018) に関する基礎研究を推進し、プラズマ物理学分野と高エネルギー物理学分野を跨ぎ、新たな物理描像の議論形成を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 相対論的磁気流体力学に対する様々な数値的技法を研究開発する。特に非相対論的磁気流体力学にも立ち戻り、相互にフィードバックしながら知見を得る。

(2) 高エネルギー原子核衝突実験に対する相対論的流体力学モデルを拡張し、高エネルギー原子核衝突実験配位における相対論的磁気流体力学シミュレーションコードを開発し、予備的な数値シミュレーションを実現する。

(3) カイラル磁気効果は背景磁場を通して流体と強く相互作用すると予測できる。そこで、背景磁場を考慮したカイラル磁気流体力学の線形解析および数値シミュレーションを実施する。

### 4. 研究成果

(1) 相対論的磁気流体力学に対する数値技法の研究開発

相対論的磁気流体力学に対する基礎的数値解法の検討を行った。特にこれまで完全に手付かずであった AUSM 法 (Liou and Steffen, 1993) から派生する AUSM 族の数値解法の適用を試みた。AUSM 族の数値解法は流体力学の直観的理解に基づく数値解法であり、数値流束を質量流

束と圧力流束に分離し、風上化を実現する。質量流束については自由度が高く、これまで非相対論的な流体力学に対して様々な数値解法が提案、検討されてきた。特に相対論的流体力学については、ローレンツ因子を含むため、質量流束評価の自由度は極めて高い。さらに、磁気圧および磁気張力の効果があるため、磁気的な流束も別途評価が必要となる。結果として、残念ながら、本研究課題の実施期間中には、非常に広い自由度の中から頑強な数値流束の評価方法の発見には至らなかった。

一方、高次精度化の実現についてはひとつの指針を得た。一般に、数値的振動の無い高次精度化は、特性変数の非線形補間によって実現される。しかし、相対論的磁気流体力学の特性変数は極めて複雑であり (Anton, et al., 2010) 特性変数を用いた非線形補間コードの開発・実装コストや計算コストが甚大であるため、数値的に安定な 2 次を超える高次精度化は実現困難と強く推察された。そこで本研究では、磁気流体力学の縦波と横波を近似的に分離し、特性変数の基本的性質を引き継いだ近似的特性変数を考案した。実際に非相対論的磁気流体力学の問題に対して近似的特性変数を用いた 5 次精度 WCNS 法を実装し、特性変数補間と遜色ない結果が得られることを示した (Miyoshi and Minoshima, 2020)。現在、相対論的磁気流体力学への実装、およびテストを実施中である。

さらには、全マッハ数領域において低散逸かつ頑強さを維持する数値解法の補正技法の検討を行った。一般に無補正の近似リーマン解法などは、低マッハ数流れにおいて過剰な数値粘性をもたらすことが知られる。また多次元的な極超音速流れにおいては、カーバクル現象など数値的な衝撃波不安定性が生じ得る。これらの欠点を克服する数値解法として、非相対論的磁気流体力学に対し、HLLD 近似リーマン解法を補正した Low-dissipation HLLD (LHLLD) 近似リーマン解法を開発した (Minoshima and Miyoshi, 2021)。LHLLD 近似リーマン解法では、圧力と磁気圧力を合わせた全圧力を磁気音速に対するマッハ数の関数を用いて補正し、低マッハ数領域において全圧力の速度差項 (数値粘性項) を抑制した。また衝撃波検出因子を導入し、質量流束の圧力差項を補正した。既存の相対論的磁気流体力学に対する HLLD 近似リーマン解法では、全圧力は繰り返し計算によって評価される。したがって、本研究で開発した技法をそのまま応用することは不可能である。しかし、LHLLD 近似リーマン解法の研究開発は、概念的にも実用的にも非常に重要な成果であった。

## (2) 高エネルギー原子核衝突実験に関する相対論的磁気流体力学シミュレーション

高エネルギー天体物理学に関する応用研究で用いられる既存の数値技法 (HLL 近似リーマン解法、基本変数を用いた MUSCL 法など) を活用し、膨張座標系における相対論的抵抗性磁気流体力学シミュレーションコードを初めて開発した (Nakamura, et al., 2023a)。本研究では、一般的な衝撃波に関するテスト問題に加え、磁化された Bjorken 流れや加速膨張など高エネルギー原子核衝突実験に関わるテスト問題を実施した。

開発した相対論的抵抗性磁気流体力学シミュレーションコードを用い、世界に先駆けて高エネルギー原子核衝突実験に関する応用研究を実現した。本研究では、同じ原子核が衝突する対称衝突系、および異なる原子核が衝突する非対称衝突系における指向的流れ (directed flow) の電気伝導度依存性について調査した (Nakamura, et al., 2023b)。特に非対称衝突系では、非対称電場によるオーム散逸を介して電場から流体にエネルギー輸送が生じるため、指向的流れが電気伝導度に強く依存することを示した。

さらに、指向的流れおよび楕円の流れ (elliptic flow) の電荷依存性についても調査した (Nakamura, et al., 2023c)。電荷ごとの指向的流れの差、楕円の流れの差によって電荷依存異方性流れを評価し、電荷依存異方性流れが電気伝導度にほぼ比例することを明らかにした。それ故、電荷依存異方性流れはクォーク・グルーオンプラズマの電気伝導度の情報を抽出する優れたプローブになり得ると結論付けた。

## (3) カイラル磁気流体力学に関する基礎研究

カイラル磁気効果の存在する系では、磁場に沿う正味の電流、カイラル電流が輸送される。カイラル電流は電磁誘導によって磁場の揺らぎを増大する。この不安定性をカイラルプラズマ不安定性と呼ぶ。特に背景磁場が存在する場合、カイラルプラズマ不安定性はローレンツ力を介して流体と強く結合すると予測できる。そこで本研究では、背景一様磁場を考慮したカイラルプラズマ不安定性の線形解析を実施した。カイラルプラズマ不安定性は磁場の向きとランキスト数 (無次元化した電気伝導度) に強く依存することを示した。磁場に平行なモードはランキスト数によらず不安定成長するのに対し、磁場に垂直なモードは臨界ランキスト数以上で安定化することを明らかにした。

また、カイラル磁気流体力学乱流の背景磁場依存性について数値シミュレーション研究を実施した。背景磁場がない場合は、逆カスケードにより計算領域サイズの構造が形成されることが知られている (Masada, et al., 2018)。一方で、背景磁場が存在する系においては、小スケール構造を形成する新たな自己組織化の可能性が示唆された。現在、高解像度シミュレーションに対する詳細解析を実施中であり、線形解析と合わせて論文投稿準備中である (Miyoshi, et al., in preparation)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Nakamura Kouki, Miyoshi Takahiro, Nonaka Chiho, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 83
2. 論文標題 Relativistic resistive magneto-hydrodynamics code for high-energy heavy-ion collisions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 229:1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-023-11343-y	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 Nakamura Kouki, Miyoshi Takahiro, Nonaka Chiho, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 107
2. 論文標題 Directed flow in relativistic resistive magneto-hydrodynamic expansion for symmetric and asymmetric collision systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 034912:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.107.014901	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 Nakamura Kouki, Miyoshi Takahiro, Nonaka Chiho, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 107
2. 論文標題 Charge-dependent anisotropic flow in high-energy heavy-ion collisions from a relativistic resistive magneto-hydrodynamic expansion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 014901:1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.107.034912	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 Inoue Satoshi, Hayashi Keiji, Miyoshi Takahiro, Jing Ju, Wang Haimin	4. 巻 944
2. 論文標題 A Comparative Study of Solar Active Region 12371 with Data-constrained and Data-driven Magnetohydrodynamic Simulations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L44 ~ L44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/acb7f4	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 Inoue Satoshi、Hayashi Keiji、Miyoshi Takahiro	4. 巻 946
2. 論文標題 An Evolution and Eruption of the Coronal Magnetic Field through a Data-driven MHD Simulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 46 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac9eaa	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 Minoshima Takashi、Kitamura Keiichi、Miyoshi Takahiro	4. 巻 248
2. 論文標題 A Multistate Low-dissipation Advection Upstream Splitting Method for Ideal Magnetohydrodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 12 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ab8aee	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 Miyoshi Takahiro、Minoshima Takashi	4. 巻 423
2. 論文標題 A short note on reconstruction variables in shock capturing schemes for magnetohydrodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 109804 ~ 109804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2020.109804	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 Matsumoto J、Takiwaki T、Kotake K、Asahina Y、Takahashi H R	4. 巻 499
2. 論文標題 2D numerical study for magnetic field dependence of neutrino-driven core-collapse supernova models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4174 ~ 4194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3095	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 Inoue Akihiro, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R., Asahina Yuta	4. 巻 952
2. 論文標題 Modeling of Thermal Emission from ULX Pulsar Swift J0243.6+6124 with General Relativistic Radiation MHD Simulations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 62 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acd6ea	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 Kawashima Tomohisa, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 949
2. 論文標題 RAIKOU (栄光): A General Relativistic, Multiwavelength Radiative Transfer Code	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 101 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acc94a	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 Tsunetoe Yuh, Mineshige Shin, Kawashima Tomohisa, Ohsuga Ken, Akiyama Kazunori, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 10
2. 論文標題 Diverse Polarimetric Features of AGN Jets from Various Viewing Angles: Towards a Unified View	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Galaxies	6. 最初と最後の頁 103 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/galaxies10050103	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 Utsumi Aoto, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R., Asahina Yuta	4. 巻 935
2. 論文標題 Component of Energy Flow from Supercritical Accretion Disks Around Rotating Stellar Mass Black Holes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 26 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac7eb8	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 Tsunetoe Yuh, Mineshige Shin, Kawashima Tomohisa, Ohsuga Ken, Akiyama Kazunori, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 931
2. 論文標題 Investigating the Disk-Jet Structure in M87 through Flux Separation in the Linear and Circular Polarization Images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 25 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac66dd	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 Asahina Yuta, Takahashi Hiroyuki R., Ohsuga Ken	4. 巻 901
2. 論文標題 A Numerical Scheme for General Relativistic Radiation Magnetohydrodynamics Based on Solving a Grid-based Boltzmann Equation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 96 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abaf51	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 -

[学会発表] 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Takahiro Miyoshi
2. 発表標題 Development and application of an MHD relaxation method with constrained-transport
3. 学会等名 First meeting of the ISSI-ISSI Beijing international team "Magnetohydrostatic Modeling of the Solar Atmosphere with New Datasets" (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takahiro Miyoshi, Satoshi Inoue, Shin Toriumi, Kanya Kusano
2. 発表標題 Development of a robust and divergence-free scheme for the magnetohydrodynamic relaxation method
3. 学会等名 The 6th NAOJ Symposium Hinode-16/IRIS-13 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三好隆博、井上諭、山崎大輝、鳥海森、草野完也
2. 発表標題 太陽活動領域磁場モデルの高度化に向けたロバストな磁気流体力学緩和法の開発
3. 学会等名 太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」「STEシミュレーション研究会：計算科学とデータ科学の融合に向けて」合同研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jonna Marie Wehmeyer, Takahiro Miyoshi
2. 発表標題 An implicit-explicit Runge-Kutta scheme strictly satisfying Gauss' s Laws for the full two-fluid plasma model
3. 学会等名 34th IUPAP Conference on Computational Physics ( 国際学会 )
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 エマヤヨナ、三好隆博
2. 発表標題 完全二流体プラズマモデルに対するガウスの法則を厳密に満たす数値解法の開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 エマヤヨナ、三好隆博
2. 発表標題 完全二流体プラズマモデルに対する離散的ガウスの法則を厳密に満たす陰陽的ルンゲ = クッタ法を用いた数値解法の開発
3. 学会等名 太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」「STEシミュレーション研究会：計算科学とデータ科学の融合に向けて」合同研究集会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 山崎大輝、三好隆博、井上諭
2. 発表標題 MHD緩和法に基づく有限プラズマ コロナ磁場外層コードの開発
3. 学会等名 日本天文学会2024年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三好隆博, 中村幸輝, 西田慧, 野中千穂, 高橋博之
2. 発表標題 高エネルギー原子核衝突におけるプラズマ物理学的課題: 磁気流体力学の応用
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回総会・講演会(2022年秋学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kouki Nakamura, Hiroyuki Takahashi, Takahiro Miyoshi, Chiho Nonaka
2. 発表標題 Relativistic Resistive Magneto-Hydrodynamics in High-Energy Heavy-Ion Collisions: Hadron Distribution and Flow
3. 学会等名 QUARK MATTER 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村幸輝, 野中千穂, 三好隆博, 高橋博之
2. 発表標題 相対論的電磁流体に基づく高エネルギー重イオン衝突における電荷依存性を考慮した集団運動の解析
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三好隆博
2. 発表標題 カイラルプラズマ不安定性に対する背景磁場効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
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 三好隆博
2. 発表標題 Structure formation in chiral magnetohydrodynamics: Effects of background magnetic field
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三好隆博
2. 発表標題 カイラル磁気流体力学における背景磁場効果
3. 学会等名 STEシミュレーション研究会・KDKシンポジウム合同研究会
4. 発表年 2021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
研究分担者	高橋 博之 (Takahashi Hiroyuki)  (80613405)	駒澤大学・総合教育研究部・准教授  (32617)	
研究分担者	野中 千穂 (Nonaka Chiho)  (10432238)	広島大学・先進理工系科学研究科(理)・教授  (15401)	

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0件

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
---------	---------