

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20908

研究課題名（和文）相対論的ドリフト電流を持つプラズマシートの磁気リコネクション

研究課題名（英文）Magnetic Reconnection under a Relativistic Drift Current

研究代表者

星野 真弘（Hoshino, Masahiro）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授

研究者番号：90241257

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：磁気リコネクション研究は、70年以上も前から、磁場エネルギーをプラズマの運動エネルギーに変換する普遍的なプラズマ過程として研究されてきており、近年では、高エネルギー天体現象への応用を含めて相対論的プラズマ中での研究へと発展してきている。本研究課題では、相対論的高温プラズマと相対論的ドリフト速度の二つの側面を区別して研究を行った。研究期間前半では、ドリフト速度の依存性について研究し、ドリフト速度が光速に漸近してローレンツ因子が2程度以上になると成長率が下がることが分かった。後半では、相対論リコネクションのエネルギー分配問題について、熱的プラズマの生成と非熱的粒子加速の効率について調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁気リコネクションの研究は、磁場のトポロジー変化に伴い磁場エネルギーを急激に解放するメカニズムとして、実験室プラズマから宇宙プラズマまで数多くの研究が行われてきている。本研究は、極限宇宙を解明するために欠かせないリコネクションによる磁気エネルギー散逸率および散逸した結果のエネルギー分配問題に焦点を当てて研究を行った。パルサー磁気圏やブラックホール磁気圏を始めとする高エネルギー天体のプラズマ環境を理解するうえで重要な結果を得た。

研究成果の概要（英文）：Magnetic reconnection has been studied for more than 70 years as a ubiquitous plasma process that converts magnetic field energy into plasma kinetic energy, and recently its scope has been extended to the relativistic plasma regime, including applications to high-energy astronomical phenomena. Two different aspects of relativistic reconnection, relativistic high temperature plasmas and relativistic high drift velocity, have been investigated in this research project. In the first half of the research period, we studied the dependence on the drift speed and found that the growth rate decreases when the drift speed asymptotically approaches the speed of light and the Lorentz factor exceeds about 2. In the second half of the research period, the energy partitioning problem of relativistic reconnection was studied in terms of the efficiency of thermal plasma production and non-thermal particle acceleration.

研究分野：宇宙惑星プラズマ物理学

キーワード：宇宙プラズマ 磁気リコネクション 粒子加速 プラズマ加熱

1. 研究開始当初の背景

相対論的磁気リコネクションは、近年パルサー磁気圏やブラックホール磁気圏などの高エネルギー天体現象で、磁場エネルギーからプラズマ運動エネルギーへの変換過程の重要性から、数多くの研究が行われるようになってきている (e.g. Hoshino & Lyubursky, 2012)。特に、2001年の Zanitani & Hoshino の粒子シミュレーション研究以降、相対論的リコネクションに伴って非熱的高エネルギー粒子が高効率で生成されることが明らかになり、爆発的なエネルギー解放を担う高エネルギー天体現象では大切な物理過程の一つとして、多くの研究者によって活発に議論されるようになってきた。

しかし、これまでの相対論的リコネクションは、熱温度が静止質量エネルギーを超えた相対論的に熱いプラズマの場合であり、言い換えると、プラズマシートの磁気圧力とプラズマのガス圧力のバランスから、アルフベン速度が光速に漸近した強磁場中のプラズマでの研究であった。ところが、相対論的効果という観点では、プラズマシートの電流を担うドリフト速度が相対論的速度を持つ場合については研究されてなかった。光速に対するドリフト速度 v/c が 0.5-0.6程度までの非相対論的な場合は、ドリフト速度が大きくなると電流層が薄くなり、線形成長率が $v^{3/2}$ の依存性で大きくなることが知られていたが (e.g. Coppi et al PRL 1966; Zelenyi & Krasnoselskikh, 1979)、ドリフト速度が光速に漸近する場合については全く研究が行われていなかった。ドリフト速度が相対論的高速になる状況は、例えば、パルサーの高速回転で作られたロイダル磁場がパルサー風にもなって膨張する際にドリフト速度が光速に漸近することが理論的に予想されており (e.g. Kirk 2003)、高エネルギー天体現象を理解するにはドリフト速度の影響も理解しておく必要がある。本研究では、相対論的磁気リコネクションの研究として、相対論的高温プラズマと相対論的ドリフト速度の二つの側面を区別して理解を深化させることとした。

また、本研究計画の提案時には、上記に述べたドリフト速度の重要性を指摘してスタートしたが、後で述べるように予定よりもドリフト速度の研究が早く決着したこと、そしてコロナ禍で研究期間延長したことにより、関連する別の重要問題として、相対論リコネクションにおけるエネルギー分配についても考察した。相対論的高温プラズマのリコネクションでは、非相対論的なリコネクションに比べて粒子加速が効率的に起きることが知られていたが、磁場エネルギーの散逸により、そのエネルギーのどの程度が非熱的粒子加速に使われ、またどの程度が熱的高温プラズマのエネルギーに使われるのかについては定量的な議論がなかった。これまでの過去の研究が、主に非熱的成分のエネルギースペクトルがべき関数で近似できることや、そのべき指数がアルフベン速度の関数としてどのような性質を持つかの研究に終始しており、散逸した磁気エネルギーの何割程度が非熱的粒子の運動エネルギーに変換されるかについての研究は限定的であった。そのため、本研究期間の後半では、エネルギー分配問題を調べることにした。

2. 研究の目的

本研究では、まずドリフト速度の相対論的効果を調べるために、プラズマの温度は相対論的な高温に固定し、ドリフト速度を光速に漸近させてローレンツ因子を大きくしたときの磁気リコネクションの成長率を調べることを第一の目的とした。ドリフト速度が光速に漸近してドリフト速度のローレンツ因子が増大しても、電流は3元速度で決まるので、プラズマシートの担う電流はほとんど変わらない。そのため系全体が有する磁場エネルギーもほとんど変わらず、磁場散逸にかかわる自由エネルギー

ーも同じである。しかし、ローレンツ因子が増大することで、磁気リコネクションの慣性電気抵抗（無衝突系での電気抵抗）は性質を変えるので、それに伴って磁場エネルギーの散逸率は変化することが予想される。具体的には、プラズマ圧力と外部磁気圧が圧力平衡を保っている状態で、ドリフト速度が光速に近づくと、実験室系でのプラズマ温度はドリフト速度のローレンツ因子に反比例して減少する。そのため電気抵抗が小さくなって、リコネクションの成長が著しく低下することが予想される。この予想は、非相対論領域ではドリフト速度の増加に伴いリコネクションの成長率が向上するという結果と真逆の効果になる。本研究計画では、この予想を確かめるためにドリフト速度の相対論的效果を取り入れた磁気リコネクションをプラズマ粒子シミュレーションで調べることを目指した。

研究期間後半のもう一つの目的として、「研究開始当初の背景」でも触れたように、エネルギー分配問題を理解することを設定した。リコネクションに伴い、非熱的粒子加速が起きることは、非相対論的なプラズマでも相対論的なプラズマでも同様であるが、相対論的に高温なプラズマでは、非相対論的なプラズマよりも高効率で粒子加速機構が働き、その結果、べき則で近似できる非熱的エネルギースペクトルが形成されることがわかってきた。また、非熱的粒子加速は、プラズマ温度だけでなく磁場配位などにも影響されることもわかってきた。しかし、それらに対する加速効率やべき指数、そして定量的な議論に基づくエネルギー分配についてはわかっていない。本研究期間の後半では、このエネルギー分配問題についてもプラズマ粒子シミュレーションを用いて研究を進めた。

3. 研究の方法

二つのテーマ（A）ドリフト速度による成長率、（B）エネルギー分配問題について、それぞれの研究方法を述べる。

（A） ドリフト速度による成長率

プラズマシートの標準的な平衡解として知られるハリス解に対して、ティアリング・モード（磁気リコネクションの初期の時間発展は、電流層がいくつもの磁気島が連なる状態となり、その構造を tearing mode と呼ぶ）の線形成長率を、ブラソフ方程式の枠組みでの線形理論解析とプラズマ粒子シミュレーションを比較することで研究を進めた。またパルサー風などの応用を考える際は電子と陽電子が主成分となり、更にリコネクションの素過程の理解を念頭に置いて、ペア・プラズマの系で考えることとした。まず線形理論は、ドリフト速度が光速に比べて遅く、相対論的效果が無視できる場合の理論はすでに Zelenyi & Krasnoselskikh (1979) らによって議論されているので、その理論をドリフト速度が光速に漸近した場合に拡張することとした。またプラズマ粒子シミュレーションは、我々のグループで長年開発してきたコードを用い、空間2次元を仮定した系で計算を行った。シミュレーションでの線形成長率は、ティアリングモードで励起された磁場成分をフーリエ空間で解析することで測定を行った。線形理論と数値シミュレーション結果を比較し、ドリフト速度効果を物理的な意味づけを与えた。

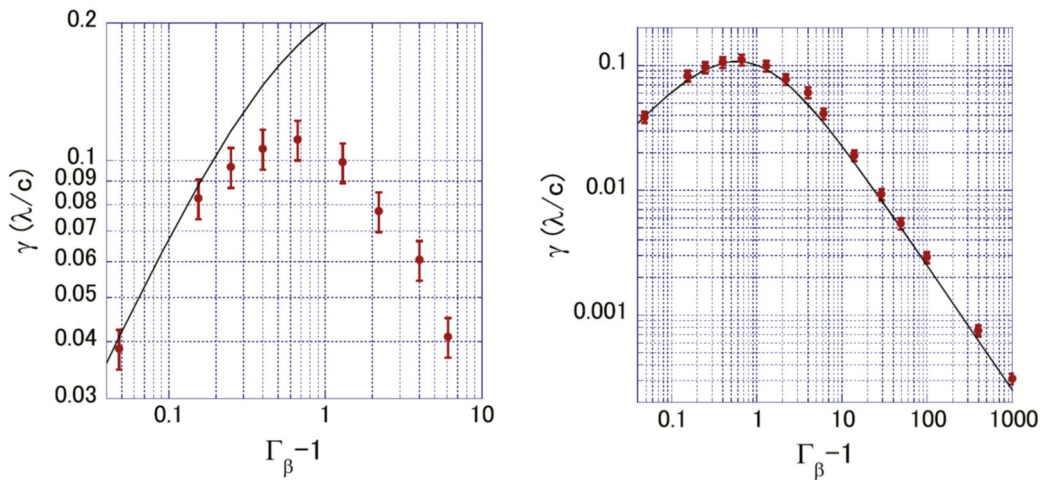
（B） エネルギー分配問題

ペア・プラズマのハリス平衡解に対して、プラズマ温度や縦磁場による非熱的粒子加速効率をプラズマ粒子シミュレーションを用いて調べた。空間2次元を仮定した粒子シミュレーションで、時間発展に伴いティアリング・モードの磁気島が合体し、シミュレーション系に一つの磁気島ができた最終状態でのエネルギー分布関数を調べた。

4. 研究成果

(A) ドリフト速度による成長率

下左図には、ティアリング・モードの線形成長率をドリフト速度の関数として示した。エラーバー付の赤丸が、今回の我々の粒子シミュレーションの結果で、黒実線が、過去の研究で得られていた理論曲線である。横軸の Γ_β^{-1} はドリフト速度のローレンツ因子であり、 $\Gamma_\beta^{-1} < 1.2$ の領域では、理論とシミュレーション結果がよく一致していることが分かる。一方、ドリフト速度が相対論的速度になると、従来の理論と大きく異なり、数値シミュレーションで得られた線形成長率は、ドリフト速度のローレンツ因子の増大に伴い、減少していることが見て取れる。



上右図の赤丸は、左図と同じで我々の粒子シミュレーションで得られた線形成長率を、黒実線はブラソフ近似の下でドリフト速度の相対論効果と粒子と波動の共鳴過程を取り入れた理論曲線を示す。我々の得た線形成長率 γ は、

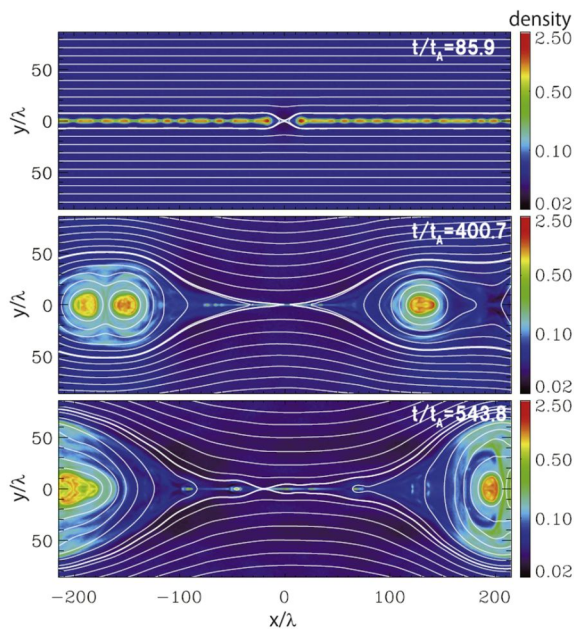
$$\gamma\tau_c \approx k\lambda(1 - k^2\lambda^2) \left(\frac{\beta^3}{\Gamma_\beta} \right),$$

で表すことが出来た。但し、 k ティアリング・モードの波数、 λ プラズマシートの厚み、 β 光速で規格化したドリフト速度である。この理論結果は、ドリフト速度が非相対論的速度から相対論速度まで幅広い領域で粒子シミュレーションと一致していることが分かる。つまり、ドリフト速度が非相対論的な場合は、ドリフト速度が大きくなると線形成長率は上がるが、ドリフト速度が相対論的になるとドリフト速度が大きくなると線形成長率は下がることが分かった。

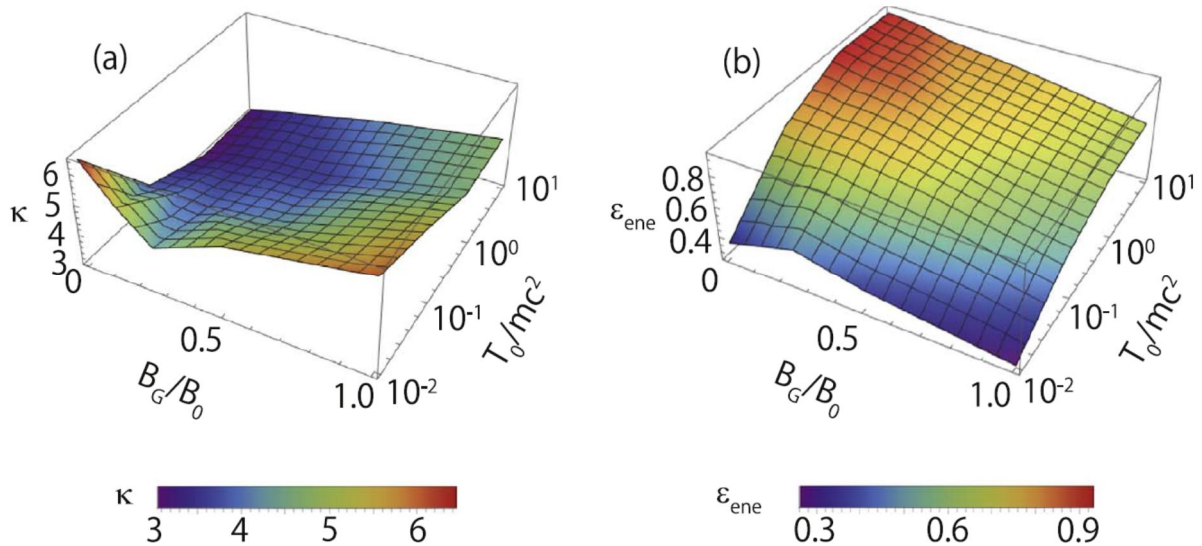
(B) エネルギー分配問題

我々の粒子シミュレーションで得られた、空間 2 次元のリコネクションの時間発展を示す。カラー等高線がプラズマ密度、白線が磁力線である。上から初期の線形発展段階、中図が複数の磁気島が合体している段階、下図が長時間発展後に系の中に大きな一つの磁気島ができた最終状態である。今回は、このような計算を、空間に一樣なガイド磁場をもつハリス解に対して、ガイド磁場の大きさとプラズマシートの温度を非相対論的な温度から相対論的な温度まで変化させて、熱的分布と非熱的分布が占める

エネルギー分配を調べた。最終状態におけるエネルギー・スペクトルを吟味した結果、どのケースも、熱的 Maxwell 分布で近似できる部分と粒子加速で生成されたべき則 (分布) で近似できる非熱的分布の重ね合わせで、低エネルギー領域から高エネルギー領域までよい近似でフィットできることが分かった。



この結果をもとに、下左図(a)に示したのが、ガイド磁場とプラズマ温度の関数に対する、最終状態での分布の指数である。ガイド磁場がゼロの反平行磁場で非相対論的温度の時は、指数がおよそ 6 程度になりソフトな非熱的スペクトルになっているが、ガイド磁場がゼロでも相対論的温度の時は指数が 3 程度のハードなスペクトルになっていることが分かる。一方、プラズマの温度を固定してガイド磁場を大きくしていった時を見てみると、非相対論的温度でガイド磁場が 0.2 付近には高効率の粒子加速領域があるが、それを除けばガイド磁場が大きくなると非熱的粒子成分が減少する傾向を持っていることがわかる。



上右図(b)に示したのが、非熱的成分に占めるエネルギー密度の割合 ε_{ene} を、左図の指数と同様にガイド磁場とプラズマの温度の関数として、シミュレーションで得られたエネルギー・スペクトルから求めたものである。左図と同様に、非相対論的温度でガイド磁場が 0.2 付近は、非熱的成分に占めるエネルギー密度の割合 ε_{ene} がやや高いが、それ以外の領域では、ガイド磁場は増えると下がり、またプラズマの温度が相対論的高温になると増える性質が明らかになった。左図の指数と併せて考えると、非熱的粒子加速の効率は、相対論的温度でガイド磁場がない時が最大であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Hoshino Masahiro	4. 巻 946
2. 論文標題 Energy Partition of Thermal and Nonthermal Particles in Magnetic Reconnection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 77 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acfb5	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 Amano Takanobu, Matsumoto Yosuke, Bohdan Artem, Kobzar Oleh, Matsukiyo Shuichi, Oka Mitsuo, Niemiec Jacek, Pohl Martin, Hoshino Masahiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Nonthermal electron acceleration at collisionless quasi-perpendicular shocks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Reviews of Modern Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41614-022-00093-1	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 Hoshino Masahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Fully Kinetic (Particle-in-Cell) Simulation of Astrophysical Plasmas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Space and Astrophysical Plasma Simulation: Methods, Algorithms, and Applications	6. 最初と最後の頁 337 ~ 357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-11870-8_11	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 該当する
1. 著者名 Keika K., Asami R., Hoshino M., Fuselier S. A.	4. 巻 127
2. 論文標題 Global Characteristics of Cold Protons Around Midnight in the Magnetotail: Implication for Efficient Heating and Origin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029576	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 Sakai K., Moritaka T., Morita T., Tomita K., Minami T., Nishimoto T., Egashira S., Ota M., Sakawa Y., Ozaki N., Kodama R., Kojima T., Takezaki T., Yamazaki R., Tanaka S. J., Aihara K., Koenig M., Albertazzi B., Mabey P., Woolsey N., Matsukiyo S., Takabe H., Hoshino M., Kuramitsu Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 Direct observations of pure electron outflow in magnetic reconnection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-14582-3	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 Hoshino Masahiro	4. 巻 29
2. 論文標題 Efficiency of nonthermal particle acceleration in magnetic reconnection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 042902 ~ 042902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0086316	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 Hoshino Masahiro	4. 巻 28
2. 論文標題 Nonlinear explosive magnetic reconnection in a collisionless system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 062106 ~ 062106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0050389	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 Kobzar Oleh, Niemiec Jacek, Amano Takanobu, Hoshino Masahiro, Matsukiyo Shuichi, Matsumoto Yosuke, Pohl Martin	4. 巻 919
2. 論文標題 Electron Acceleration at Rippled Low-mach-number Shocks in High-beta Collisionless Cosmic Plasmas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 97 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1107	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 Ligorini Arianna, Niemiec Jacek, Kobzar Oleh, Iwamoto Masanori, Bohdan Artem, Pohl Martin, Matsumoto Yosuke, Amano Takanobu, Matsukiyo Shuichi, Hoshino Masahiro	4. 巻 502
2. 論文標題 Mildly relativistic magnetized shocks in electron/ion plasmas ? II. Particle acceleration and heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5065 ~ 5074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab220	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 Yoshifumi Saito, Dominique Delcourt, Masafumi Hirahara, Stas Barabash et al.	4. 巻 217
2. 論文標題 Pre-flight Calibration and Near-Earth Commissioning Results of the Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE) Onboard MMO (Mio)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-021-00839-2	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 A Retino, Y Khotyaintsev, O Le Contel, MF Marcucci et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Particle energization in space plasmas: towards a multi-point, multi-scale plasma observatory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Experimental Astronomy	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10686-021-09797-7	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 Hoshino Masahiro	4. 巻 900
2. 論文標題 Stabilization of Magnetic Reconnection in the Relativistic Current Sheet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 66 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba59d	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 Totorica S. R., Hoshino M., Abel T., Fiuza F.	4. 巻 27
2. 論文標題 Nonthermal electron and ion acceleration by magnetic reconnection in large laser-driven plasmas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 112111 ~ 112111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0021169	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 Amano T., Katou T., Kitamura N., Oka M., Matsumoto Y., Hoshino M., Saito Y., Yokota S., Giles B.?L., Paterson W.?R., Russell C.?T., Le Contel O., Ergun R.?E., Lindqvist P.-A., Turner D.?L., Fennell J.?F., Blake J.?B.	4. 巻 124
2. 論文標題 Observational Evidence for Stochastic Shock Drift Acceleration of Electrons at the Earth's Bow Shock	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.065101	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 Narita Yasuhito, Roberts Owen Wyn, V?r?s Zolt?n, Hoshino Masahiro	4. 巻 8
2. 論文標題 Transport Ratios of the Kinetic Alfv?n Mode in Space Plasmas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2020.00166	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 Bohdan Artem, Pohl Martin, Niemiec Jacek, Morris Paul J., Matsumoto Yosuke, Amano Takanobu, Hoshino Masahiro	4. 巻 904
2. 論文標題 Kinetic Simulation of Nonrelativistic Perpendicular Shocks of Young Supernova Remnants. IV. Electron Heating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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) 10.3847/1538-4357/abbc19	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 Baumjohann W., Matsuoka A., Narita Y., Magnes W., et. al.	4. 巻 216
2. 論文標題 The BepiColombo?Mio Magnetometer en Route to Mercury	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-020-00754-y	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 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 M. Hoshino
2. 発表標題 Nonlinear explosive magnetic reconnection in collisionless plasma
3. 学会等名 COSPAR (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hoshino
2. 発表標題 Reconnection in astrophysical plasma, particle acceleration
3. 学会等名 ISSI/Bern workshop on magnetic reconnection; explosive energy conversion in space plasmas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hoshino
2. 発表標題 Efficiency of nonthermal particle acceleration from non-relativistic to relativistic magnetic reconnection,
3. 学会等名 US-Japan workshop on magnetic reconnection (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahiro Hoshino
2. 発表標題 Nonlinear explosive magnetic reconnection
3. 学会等名 URSI GASS 2021 (招待講演) (国際学会)
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

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