

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：63902

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13851

研究課題名（和文）次世代核融合炉の設計に向けて：有界領域における電磁流体平衡の存在と対称性

研究課題名（英文）Next Generation Fusion Reactor Design: Existence and Symmetry of Magnetofluidostatic Equilibria in Bounded Domains

研究代表者

佐藤 直木 (Sato, Naoki)

核融合科学研究所・研究部・准教授

研究者番号：60872893

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では次世代核融合炉の開発に関する次の研究成果を上げた。（1）次世代核融合炉内の平衡磁場を定める非等方圧力電磁流体平衡方程式における非対称解の存在証明。（2）準対称性を持つ平衡磁場の存在証明。（3）平衡解周辺の電磁場乱流を記述する方程式の開発と解析。（4）炉内プラズマ・天体プラズマ・重力多体系における自己組織化現象及び無衝突緩和過程を記述する実効的衝突作用素の構築。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、核融合発電は持続可能なエネルギー源として注目されており、社会のエネルギー問題解決への期待が高まっている。次世代核融合炉の設計において、炉形の実現可能性は、炉内プラズマを支配する方程式（理想電磁流体方程式）の平衡解の存在に大きく依存する。しかし、優れた閉じ込め性能が期待される非対称な炉形の平衡解の存在については、これまで証明されていない。

本研究では、非等方圧理想電磁流体平衡方程式において、ユークリッド空間の連続対称性を持たない平衡磁場の存在を証明した。これは、偏微分方程式の数学的理論の発展に貢献するだけでなく、次世代核融合炉の設計指針となる重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：This study has achieved the following research results on the development of next-generation nuclear fusion reactors: (1) Proof of the existence of asymmetric solutions to the anisotropic pressure MHD equilibrium equations that determine the equilibrium magnetic field in a next-generation nuclear fusion reactor. (2) Proof of the existence of quasi-symmetric equilibrium magnetic fields. (3) Development and analysis of equations describing electromagnetic turbulence around equilibrium solutions. (4) Construction of an effective collision operator to describe self-organization phenomena and collisionless relaxation processes in fusion plasmas, astrophysical plasmas, and gravitational many-body systems.

研究分野：数理物理

キーワード：Magnetohydrodynamics Grad's conjecture Stellarator Elliptic-Hyperbolic PDE Quasisymmetry Drift wave turbulence Self-organization Collisionless relaxation

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。

### 1. 研究開始当初の背景

プラズマ物理と流体力学では、非対称な有界領域における平衡状態の存在証明という極めて基礎的かつ重要な理論問題が依然未解決である。本問題の難しさの根源は、プラズマ及び流体を支配する理想電磁流体方程式及び理想オイラー方程式の平衡状態が、数理解で最も難解とされている非線形楕円双曲型方程式に分類される点である。この問題は、異なる微分幾何学的性質を持つ力がバランスできるかという深い物理的問いを含んでおり、近年、プラズマの非対称平衡状態を必要とする高性能核融合方式開発を目的とした国際プロジェクトで脚光を浴びている。

本研究では、研究代表者の成果で明らかになったクレブシュ表現に基づく新たな解析手法と特殊条件下での非対称平衡状態を基盤に、微分幾何学、葉層構造、関数解析を統合したアプローチをとることで、非対称平衡状態の存在理論を確立し、長年未解決の問題に根本的解決を与えることを目指す。本研究が完成した際には偏微分方程式系の数学を発展させるとともに、定常流の安定性解析が可能になり、次世代核融合炉の設計及び炉内電磁場乱流の制御という面で核融合エネルギーの実現に大きく貢献する。

### 2. 研究の目的

次世代核融合炉の設計においては炉形の選択が一つの重要な要素であり、適切な炉形を選択するためにはまず、理論上実現可能な炉形を正しく理解する必要がある。炉形の実現可否は炉内プラズマ支配方程式の平衡解の存在有無により決定されるが、この方程式は楕円双曲型であり対称性を持たない系での解析方法が確立しておらず平衡解の存在は知られていない。

そこで、本研究の目的は、ユークリッド空間の連続対称性を持たない有界領域における、理想電磁流体方程式の平衡解の存在条件を明らかにすることである。これにより、楕円双曲型方程式の解析方法の解明、次世代核融合炉の炉形の提案が可能になる。

### 3. 研究の方法

平衡解と平衡解が存在する有界領域の形状の関係性が不明であるというボトルネックを、研究代表者が確立した解析手法で解決することで、微分幾何学・葉層構造・関数解析を統合した新たなアプローチを適用する：電磁流体平衡方程式の難しさの根源は、非線形性と同時に、方程式の特性曲面が未知変数である磁場  $\mathbf{B}$  に依存すること、ほかの変数（磁場  $\mathbf{B}$ , 圧力テンソル  $\Pi$ , 境界  $\partial\Omega$ ）が複雑に絡み合っていること、及び境界  $\partial\Omega$  そのものが問題の変数になっていることである。本課題を解決するためにはまず変数  $\mathbf{B}$ ,  $\Pi$ ,  $\partial\Omega$  の関係性を簡潔に記述する必要があり、これはクレブシュ表現による変数変換という新たな解析手法で実現される。これにより平衡解と平衡解が存在する有界領域の形状の関係性が明らかになり、過去に検討されていないアプローチである葉層構造の概念、微分幾何学と関数解析を融合した解析手法を適用することができる。

### 4. 研究成果

上記課題に対して、本研究では下記研究成果を上げた。

- (1) ユークリッド空間の連続対称性を持たない有界領域における、理想電磁流体方程式の平衡解の存在に関する解析
  - ① 等方圧力電磁流体平衡方程式における非対称解の構築方法の提案[4]。
  - ② 次世代核融合炉内の平衡磁場を定める非等方圧力電磁流体平衡方程式における非対称解の存在証明[5]。本研究で得られた平衡磁場の例を図2に示している。
  - ③ 上記課題と関連する国内外の研究動向に関する解説記事の執筆[8]。
  - ④ 有界領域における、非等方圧力理想電磁流体平衡方程式に基づく準対称性を持つ磁場の存在証明[11]。
  - ⑤ 非等方圧力理想電磁流体平衡方程式における局所的準対称磁場の存在証明[14]。本研究は国際研究グループ Simons Collaboration on Hidden Symmetries and Fusion Energy との共同研究である。

- (2) 平衡周辺の電磁場・速度場乱流を記述する方程式の開発と解析

### プラズマ物理・核融合科学・流体力学の難題

数学的課題定義：非線形無限次元力学系の平衡解は存在するか？(Grad予想)

物理的課題定義：保存力と非保存力はバランスできるか？

$$\mathbf{J} \times \mathbf{B} = \nabla P$$

カールを持つ力
カールを持たない力

既往の研究	プラズマ・流体の領域がKilling対称性を持つ場合平衡解が存在するが、非対称な有界領域における平衡解の存在は知られていない
本研究	研究代表者が開発したクレブシュ表現に基づく新たな解析手法による非対称解の存在条件の解明＝保存力と非保存力のバランスによる非対称平衡解存在可否の検証
完成時の期待成果	① 半世紀未解決の重要数理論問題の解決 ② 非対称プラズマの基礎理論の構築 ③ 電磁場自己組織化乱流の解明 ④ 高性能次世代核融合炉の新炉形の提案

図1. 研究開始当初の背景と本研究の概要

- ① 電磁流体方程式の平衡磁場の揺らぎ (乱流) を記述する方程式の開発 [4]。
- ② 磁場中の静電ポテンシャル乱流を記述する方程式のハミルトン構造の解明と非線形安定性条件の解析 [3]。
- ③ 直線磁場における静電ポテンシャル乱流を記述する長谷川三間方程式に関する解説記事の執筆 [6]。
- ④ 任意の幾何学を持つ局面上の渦度方程式の開発 [9]。
- ⑤ 磁場中の静電ポテンシャル乱流を記述する方程式の開発 [10]。本方程式は直線磁場における静電ポテンシャル乱流を記述する長谷川三間方程式を任意の磁場形状に一般化する。
- ⑥ 東京大学の RT-1 磁気圏型プラズマ閉じ込め装置における電磁場揺動の実験的研究 [12]。

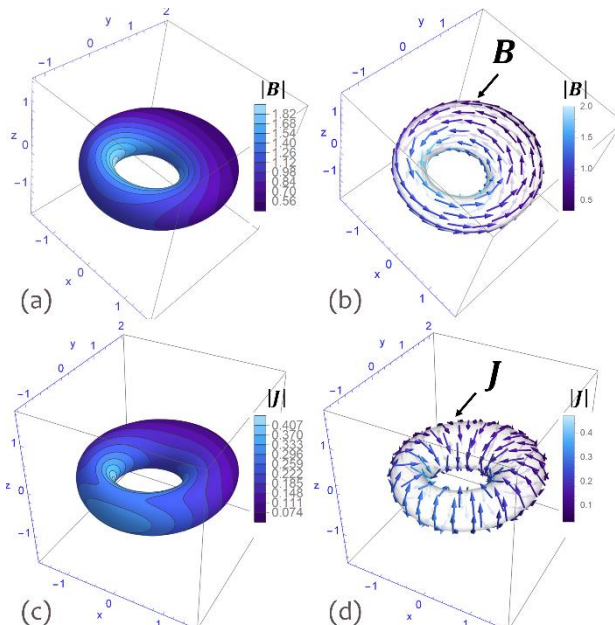


図2：非等方圧力電磁流体平衡方程式における非対称解の例。(a) 磁場強度  $|B|$ 。(b)磁場  $B$ 。(c)電流強度  $|J|$ 。(d)電流  $J$ 。

- (3) 炉内プラズマの統計分布を記述する方程式の開発と解析
  - ① プラズマのクーロン散乱を表すランダウ衝突作用素の非正準ハミルトン力学系への拡張、及び導出した衝突作用素の自己組織化現象と無衝突緩和過程への応用 [1]。本研究はテキサス大学オースティン校の P. J. Morrison 教授との共同研究である。
  - ② 無衝突電子陽電子プラズマの統計平衡の導出 [7]。
  - ③ 上記で開発した統計理論を宇宙物理へ応用し、一般相対性理論により時空間の歪みを持つ位相空間におけるプラズマの統計平衡を導出した [15]。
- (4) プラズマ粒子の運動を記述するハミルトン力学に関する理論研究
  - ① 微分形式を活用した拡張ハミルトン力学 (南部力学) の数学的定式化 [2, 16]。本研究は PTEP Editor's Choice に選定され、日本物理学会誌で紹介された [13]。
- (5) 国際ワークショップの開催
  - ① 上記課題に関する国際ワークショップ「流体力学及び電磁流体力学における Grad 予想の数理と応用」を開催した [17]。本ワークショップでは、国内外の若手研究者を招き、電磁流体平衡の存在問題について議論した。さらに、数学、物理、そして核融合科学におけるこの問題の意義、発展、そして応用についても議論した。海外からは、この分野の数学を代表する次の研究者が参加した：D. Peralta-Salas (ICMAT), F. Pasqualotto (UC Berkeley), J. Penafiel-Tomas (ICMAT), D. Perrella (U. Western Australia), D. Pfefferle (U. Western Australia)。

#### 参考文献

- [1] N. Sato and P. J. Morrison, Fundamental Plasma Physics, to be published (2024).
- [2] N. Sato, Prog. Theor. Exp. Phys. **2024**, 4, 049201 (2024).
- [3] N. Sato and M. Yamada, Physica D: Nonlinear Phenomena **459**, 134031 (2024).
- [4] N. Sato and M. Yamada, <https://arxiv.org/abs/2311.03095> (2023).
- [5] N. Sato and M. Yamada, J. Math. Phys. **64**, 081505 (2023).
- [6] 佐藤直木, 山田道夫, プラズマ核融合学会誌 **99**(5), pp. 183-186 (2023).
- [7] N. Sato, Phys. Plasmas **30**, 042503 (2023).
- [8] 佐藤直木, ながれ第 **41** 巻第 5 号(2022).
- [9] N. Sato and M. Yamada, J. Math. Phys. **63**, 093101 (2022).
- [10] N. Sato and M. Yamada, J. Plasma Phys. **88**, 3 (2022).
- [11] N. Sato, Sci. Rep. **12**, 11322 (2022).
- [12] N. Kenmochi, Y. Yokota, M. Nishiura, H. Saitoh, N. Sato, K. Nakamura, T. Mori, K. Ueda, and Z. Yoshida, Nuclear Fusion **62**, 026041 (2022).
- [13] PTEP の最近の注目論文および特集企画から, 日本物理学会誌 **76**, 12, p. 800 (2021).
- [14] N. Sato, Z. Qu, D. Pfefferle, and R. L. Dewar, Phys. Plasmas **28**, 112507 (2021).
- [15] N. Sato, Classical and Quantum Gravity **38**, 165003, (2021).
- [16] N. Sato, Prog. Theor. Exp. Phys. **2021**, 6, 063A01 (2021).

[17] 流体力学及び電磁流体力学における Grad 予想の数理と応用, 大阪公立大学数学研究所  
文部科学省 共同利用・共同研究拠点 「数学・理論物理の協働・共創による 新たな国際的研究・  
教育拠点」 2023 年 - 2024 年, 佐藤直木 (研究代表者), 阿部健, 横山知郎, 吉田善章, 山田  
道夫. Web ページ : <https://sites.google.com/view/grad-conjecture/home?authuser=1>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Sato Naoki, Morrison Philip J.	4. 巻 10
2. 論文標題 A collision operator for describing dissipation in noncanonical phase space	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Fundamental Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 100054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fpp.2024.100054	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 Naoki Sato	4. 巻 2024
2. 論文標題 Correction to 'Generalization of Hamiltonian mechanics to a three-dimensional phase space	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 49201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptae036	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 Sato Naoki, Yamada Michio	4. 巻 459
2. 論文標題 An extended Hasegawa-Mima equation for nonlinear drift wave turbulence in general magnetic configurations	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physica D: Nonlinear Phenomena	6. 最初と最後の頁 134031 ~ 134031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physd.2023.134031	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 Sato Naoki, Yamada Michio	4. 巻 64
2. 論文標題 Nested invariant tori foliating a vector field and its curl: Toward MHD equilibria and steady Euler flows in toroidal domains without continuous Euclidean isometries	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 81505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0151955	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 佐藤直木、山田道夫	4. 巻 99 (5)
2. 論文標題 2次元回転系上の乱流における大規模構造形成：プラズマ物理と地球流体力学	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 プラズマ核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 183 ~ 186
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 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 Sato Naoki	4. 巻 30
2. 論文標題 Maximum entropy states of collisionless positron-electron plasma in a dipole magnetic field	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 042503 ~ 042503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0135659	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 Sato Naoki、Yamada Michio	4. 巻 63
2. 論文標題 Vorticity equation on surfaces with arbitrary topology embedded in three-dimensional Euclidean space	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 093101 ~ 093101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0080453	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 Sato Naoki、Yamada Michio	4. 巻 88
2. 論文標題 A generalized Hasegawa-Mima equation in curved magnetic fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0022377822000514	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 Sato Naoki	4. 巻 12
2. 論文標題 Existence of weakly quasisymmetric magnetic fields without rotational transform in asymmetric toroidal domains	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15594-9	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 -

1. 著者名 佐藤直木	4. 巻 41
2. 論文標題 PDEの分類、ユークリッド空間の連続対称性と理想流体平衡の存在問題	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ながれ	6. 最初と最後の頁 336-341
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato Naoki, Qu Zhisong, Pfefferle David, Dewar Robert L.	4. 巻 28
2. 論文標題 Quasisymmetric magnetic fields in asymmetric toroidal domains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 112507 ~ 112507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0065633	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 Sato Naoki	4. 巻 38
2. 論文標題 The effect of spacetime curvature on statistical distributions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 165003 ~ 165003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ac11a9	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 Sato Naoki	4. 巻 2021
2. 論文標題 Generalization of Hamiltonian mechanics to a three-dimensional phase space	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab066	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 Kenmochi N., Yokota Y., Nishiura M., Saitoh H., Sato N., Nakamura K., Mori T., Ueda K., Yoshida Z.	4. 巻 62
2. 論文標題 Inward diffusion driven by low frequency fluctuations in self-organizing magnetospheric plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 026041 ~ 026041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac412c	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16件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Naoki Sato, Michio Yamada
2. 発表標題 A Reduced Ideal MHD System for Nonlinear Magnetic Field Turbulence in Plasmas with Approximate Flux Surfaces
3. 学会等名 The Grad conjecture in Fluid Mechanics and Magnetohydrodynamics: Theory and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Naoki Sato, Philip J. Morrison
2. 発表標題 On the Landau Collision Operator in Noncanonical Phase Space and the resulting modification of the moment equations governing fluid dynamics
3. 学会等名 Fluids in Seoul 2024, June E Huh Center for Mathematical Challenges (HCMC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年



1. 発表者名 Naoki Sato
2. 発表標題 Magnetohydrostatics
3. 学会等名 Simons Hidden Symmetries and Fusion Energy Collaboration Australian Retreat (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Sato, Michio Yamada
2. 発表標題 On the Grad conjecture in anisotropic MHD
3. 学会等名 AAPPS-DPP 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Sato, Michio Yamada
2. 発表標題 Guiding Center Derivation, Hamiltonian Structure, and Nonlinear Stability of Steady Solutions of the Generalized Hasegawa-Mima Equation for Drift Wave Turbulence in Curved Magnetic Fields
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤直木
2. 発表標題 自己組織化・乱流輸送現象の数理
3. 学会等名 メタ階層ダイナミクス研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Sato
2. 発表標題 Nested invariant tori foliating a vector field and its curl: toward MHD equilibria in toroidal domains without Euclidean isometries
3. 学会等名 Variational Principles of Plasma Confinement in 3D Magnetic Fields (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Sato
2. 発表標題 Nested invariant tori foliating a vector field and its curl: toward steady Euler flows in toroidal domains without Euclidean isometries
3. 学会等名 The 8th KTGU Workshop for Young Researchers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Sato
2. 発表標題 Existence of weakly quasisymmetric magnetic fields in asymmetric toroidal domains with non-tangential quasisymmetry
3. 学会等名 AAPPS-DPP 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Sato, Z. Qu, D. Pfefferle, and R. L. Dewar
2. 発表標題 Quasisymmetric magnetic fields in asymmetric toroidal domains
3. 学会等名 Simons hour talks, Simons collaboration on hidden symmetries and fusion energy (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Sato
2. 発表標題 Existence of ideal magnetofluidostatic equilibria with non-constant pressure in asymmetric domains
3. 学会等名 AAPPS-DPP 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Sato
2. 発表標題 Quasisymmetric equilibria in anisotropic magnetohydrodynamics
3. 学会等名 APS-DPP 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Sato
2. 発表標題 Generalization of Hamiltonian mechanics to a 3-dimensional phase space
3. 学会等名 Workshop on geometry of foliations and its applications (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Sato
2. 発表標題 Hamiltonian mechanics, Nambu mechanics, and generalized phase space
3. 学会等名 3rd Toyama International Symposium on "Physics at the Cosmic Frontier" (PCF2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Sato and M. Yamada
2. 発表標題 A Generalized Hasegawa-Mima Equation in Curved Magnetic Fields
3. 学会等名 Phil Morrison's Friday Meetings (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Sato and M. Yamada
2. 発表標題 Hasegawa-Mima equation in magnetic fields with arbitrary topology
3. 学会等名 JPS 2022 spring meeting
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>google scholar  <a href="https://scholar.google.com/citations?user=V0I6Ej0AAAAJ&amp;hl=en">https://scholar.google.com/citations?user=V0I6Ej0AAAAJ&amp;hl=en</a>  researchmap  <a href="https://researchmap.jp/naoki_sato">https://researchmap.jp/naoki_sato</a>  ホームページ  <a href="https://naokisato.work">https://naokisato.work</a></p>
---

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

<p>国際研究集会  The Grad Conjecture in fluid mechanics and magnetohydrodynamics: theory and applications</p>	<p>開催年  2024年 ~ 2024年</p>
---	-------------------------------

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