

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H02998

研究課題名(和文) 全球MHDシミュレーションと先進的可視化による磁場と流れの自由緩和状態の解明

研究課題名(英文) Simulation and Visualization of MHD Relaxation in a Sphere

研究代表者

陰山 聡 (Kageyama, Akira)

神戸大学・システム情報学研究科・教授

研究者番号：20260052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：流れと磁場が共存する緩和状態には2種類あることがわかった。一つは流れと磁場がほぼ平行な構造をもつ状態で、最も単純な例はtwist flowである。もう一つは磁場と流れ場が全く異なる状態であり、この場合、流れと磁場のエネルギーは別の半球に集中し、ジェット状の流れとそれによって生成される磁場の張力を介してエネルギーを相補的に供給しつつ準定常状態が維持される。これらの計算結果を解析するために開発した独自の可視化手法は4次元ストリートビューと名付けた汎用性のある新しい可視化手法として確立した。4次元ストリートビューを実現するための専用ライブラリと動画ビューアの開発にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

余分なエネルギーをもつプラズマは熱平衡状態に至るまでの長い時間、準定常状態を保つ。そこにみられる様々な構造は多くの研究者の興味をひきつけてきた。磁場のみ(つまり流れのない)準定常状態への緩和について主に調べられてきたこれまでの研究を大きく拡張し、流れと磁場が共存した緩和過程について明らかにしたという点に本研究の学術的な意義がある。また、この研究で開発した4次元ストリートビュー手法は球内部の磁気流体シミュレーションに限らず様々な形状や種類の大規模シミュレーションに適用できる汎用性をもつことが確認された。この手法とオープンソースとして公開した基本ツールは幅広い研究開発に活用されることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We found that there are two types of relaxed states of magnetohydrodynamics in a sphere in which flow and magnetic fields coexist. One is a state in which the magnetic and flow fields are almost parallel. A typical example of this state is the so-called twist flow. The other is a state in which the flow and magnetic field have different structures and distributions. In this state, the energy of the flow and the magnetic field is concentrated in opposite hemispheres, and the jet-like flow and the tension in the magnetic field generated by the flow maintain a quasi-steady state while supplying energy in a complementary manner. The visualization method developed to analyze these computations was established as a new visualization method with versatility, named 4D Street View. A dedicated library and video player to realize 4D Street View were also successfully developed and widely released to the public along with sample data.

研究分野：計算科学

キーワード：自己組織化 磁気流体力学 可視化

1. 研究開始当初の背景

余分なエネルギーを与えられたプラズマは、完全な熱平衡状態にいたるまでの長い時間、過渡的な状態を保つ。この準定常状態でみられる様々な構造は多くの研究者の興味を惹きつけてきた。プラズマの自己組織化とよばれるこの現象に関する理論研究の金字塔は Woltjer-Taylor 理論 (テーラー理論) であろう。テーラー理論から導かれる緩和状態 (テーラー状態) は、RFP やスフェロマク等の実験、および計算機シミュレーションで確認されている。

だが、テーラー理論の適用範囲は狭い。特に、流れのある緩和状態が記述できないという強い制限がある。テーラー理論を拡張し、磁場と流れが共存するプラズマの自己組織化状態を記述する包括的な理論を探す試みは活発に研究されている。本研究はそれを独自の計算手法と可視化手法に基づく磁気流体力学 (Magnetohydrodynamics, MHD) の計算機シミュレーションで探求する試みである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、磁場と流れが共存した MHD 流体の自己組織化の様々な形態を計算機シミュレーションで構成し、独自に開発する先進的な可視化でその構造の特徴を明らかにすることである。具体的には、原点も含めた球領域の内部に閉じ込められた MHD 流体の自由緩和シミュレーションを行い、多視点・全方位の可視化カメラによる *in situ* 可視化手法でシミュレーション計算を実行しながら可視化処理を進める。球で計算をするのは後述するように緩和過程で生じた流れが境界の影響で止められることなく維持されることが期待されるからである。

申請者は過去に MHD ダイナモのシミュレーションを通じて様々な自己組織化現象に遭遇してきた。磁場の構造が自発的に形成される際には、つねに流れ場も特徴的な構造をもち、そしてその逆も成り立つ。つまり磁場と流れの構造形成は不可分であり、相補的である。これらの構造を個別に探求してきた中で申請者は、MHD ダイナモの真の理解のためには、問題を一般化し、自己組織化の一つの形態として理解すべきと考えるに至った。

MHD ダイナモ系は熱対流の駆動機構などが含まれるため自己組織化を研究する系としては複雑すぎる。そこで本研究では MHD 流体の自由緩和を計算機シミュレーションで調べる。これは、高いエネルギー状態から出発した MHD 流体を自由に緩和させ、準定常状態、すなわち磁場と流れが共存する状態に落ち着くまで待つ計算である。特に、次の二種類の初期条件に注目する：1. 磁場だけの初期状態 (⇒磁気不安定性が流れを生む)、2. 流れだけの初期状態 (⇒MHD ダイナモが磁場を生む)。

このような計算を実現するためには、緩和の際に自発的に生じる流れが計算設定の影響で止まるようなことがあってはならない。粘性が十分小さいとき、流れがとめられる最大の要因は、境界面上の圧力勾配が及ぼすトルクである。それが系内部の渦にブレーキをかけてしまう。そこで本研究では、境界面の垂直力によるトルクが常にゼロになる形状、つまり球を計算領域として採用する。

本研究の技術的な難しさは二つある。一つは、原点も含めて球全体で MHD 方程式を離散化するための計算方法の難しさであり、もう一つは、流れ場と磁場という 2 つのベクトル場の空間構造をシミュレーションデータから正確に読み取る可視化方法の難しさである。

球は幾何学的にはこれ以上ないほど単純な形状であるものの、計算機シミュレーションをする対象としては、はなはだやっかいな領域である。その理由は球座標が原点 ($r=0$) と (南北) 両極に座標特異点を持つためである。

一般に一つのベクトル場の空間構造を可視化するだけでも難しいが、本研究では流れ場と磁場という二つのベクトル場の構造とその相互関係、そしてその時間発展をを正確に可視化する必要がある。この問題を解決するための開発する独自の可視化技術は MHD シミュレーションに限らず高い汎用性をもつことが期待される。

3. 研究の方法

原点も含めた球全体での MHD シミュレーションを実現するために、イン=ヤン=ゾン (Yin-Yang-Zhong) 格子という計算格子を活用する。イン=ヤン=ゾン格子は、研究代表者が以前考案した「イン=ヤン格子」をさらに改良したものであり、3 つの要素格子を組み合わせることで球全体を離散化するものである。要素格子同士は境界で部分的な重複を持ち、境界上の物理量は相互補間によって設定する。

磁場のみの状態や、速度場のみの状態、あるいはその混合状態を初期条件として、圧縮性 MHD 方程式の時間発展を追跡する。空間離散化はイン=ヤン=ゾン格子上で差分法で、時間積分はルンゲ=クッタ法で行う。初期状態はたとえばリング状の磁場のようにあえて安定性は考慮に入れない強く不安定な状態なので、シミュレーション開始直後に激しい流れが生じる。その流れがし

しばらく経過すると流れ場と磁場が共存した状態に落ち着く。その緩和過程を独自の可視化手法で解析する。

通常のポストプロセス可視化は、出力される数値データが膨大になるため、その処理に時間がかかる。一方、ポストプロセス可視化と対比される「その場」(in-situ)可視化では、スーパーコンピュータで計算しながら同時に可視化まで行うため数値データの処理が不要である。だが、in-situ 可視化手法では、視点や方向、可視化パラメータの調整を対話的に行うことができないという問題がある。

この問題を解消するために、本研究では様々な視点やパラメータをもつ膨大な量の「その場」可視化を行い、得られた大量の動画データ群を一種のデータベースとして、そこから対話的に可視化画像を抽出する。

4. 研究成果

まずはじめに初期条件として磁場だけを与え、流れのない状態から出発した場合について述べる。リング状の(ねじれの無い)磁場を与え、そこから自由緩和させると、磁気張力による収縮する磁場によってリング磁場の中心軸に向かう流れが駆動される。軸付近で衝突した流れは両極方向に別れ、その後、球内部を循環する。強い速度シアのために小さいスケールの流れが次々と発生し、乱流状態になる。その後、しばらくすると流れは緩和し、偶数個の渦が規則正しく並んだ配置に落ち着く。渦の数は2個または4個の場合が多い。4個の場合は4つの渦が正方形の頂点に並ぶ状態が準定常状態である。2個の場合は、2つの渦が対蹠点に位置する状態である。いずれの場合も流れはtwist flowと呼ばれる状態になっている。磁場はその流れに巻き込まれ、流れと磁場がほぼ平行である。

次に初期状態において磁場と流れが共存する場合の緩和過程についても研究を進めた。解析を容易にするためにまずは初期磁場としてそれまでに解析してきたリング状磁場を初期条件とし、流れ場については剛体回転を与えた。つまり回転する座標系で見ればこれまでのリング状磁場の緩和過程に見かけの力(コリオリ力と遠心力)が加わった場合の緩和過程を見ることに相当する。興味深いことに緩和状態の磁場のエネルギーが剛体回転がない場合よりも高い値で維持されることが確認された。これは初期に角運動量を与えたことで流れがもつヘリシティが強くなりMHDダイナモが効果的に働いていることを意味する。

磁場と流れが共存する緩和状態では磁場のエネルギーと流れのエネルギーがほぼ等しい状態になる。これは当初予想していた通りであった。予想外であったのは、流れと磁場が全く異なる構造を持つエネルギー等分配状態があるということであった。たとえばそのうちの一つの準定常状態では、球の中心近くを通過する局在したジェット状の流れが境界面にあたり、その後、境界に沿って広がる際に周囲の磁力線を引き伸ばすことでダイナモが起こり、磁気エネルギーが生成される。そしてもとのジェット流の出発点に向けて戻る際にダイナモによって生成された磁場を縮む際にその内部の流体を押し出すことでジェット流を駆動する。

シミュレーションで設定した境界が直方体等の形状であったら、このような磁場・流れ場構造は形成されなかったであろう。したがってこれは球という特殊な領域内部での緩和現象に問題を設定した本研究の狙い通りの結果と言える。

また、計算結果を解析するにあたり可視化が大きな課題となることも予想通りであった。この問題の解決のために導入した独自の可視化手法は「4次元ストリートビュー」として集約し、汎用性を意識して一般化した。

4次元ストリートビューの手法の実現に不可欠な二つの要素技術、多視点・全方位・同時可視化を実現するスーパーコンピュータ向けライブラリと、多数の全方位動画データセットをPC上で対話的に解析するPCアプリはどちらも完成した。

本研究で見出した流れと磁場が互いにエネルギーを供給しあう相補的な準定常状態を詳しく解析した。特に流れ場から磁場へのエネルギー供給課程に注目したところ、最終的な緩和状態に限らず、そこに至るまでの緩和過程においても、ヘリシティをもつ流れによって効果的に磁場が生成されていることがわかった。ヘリシティはダイナモにとって重要な量であるが、球が自転していない本研究のような設定においては、ヘリシティの強い分布は生まれにくいと想定していたのでこれは意外な結果であった。そこで、緩和計算よりも単純な設定のもと、球対称性を持つ系で鏡像対称性をもたない(カイラルな)流れが安定に存在しうるかという問題に興味をもった。

具体的に考察したのは以下のような問題である。2つの球面に挟まれた球殻状の領域を考え、内部に流体を閉じ込める。中心重力を仮定し、内側の球面は高温、外側の球面は低温に固定する。つまり古典的な球殻熱対流系である。ただし自転はない。このような対流系についてカイラルで安定な対流パターンを調べた。カイラルな球殻対流パターンとしてはスパラルパターンが以前から知られているが、これは回転対称性を持たない。我々は同じ巻き方をした小型のスパイラル2つをペアとして全部で6対のスパイラルペアが正12面体状に配置されたカイラル性をもつ定常対流の新たな解を見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kageyama Akira, Ohno Nobuaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Chiral pattern in nonrotating spherical convection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 13502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/physrevfluids.7.013502	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 Wang Yan, Sakai Ren, Kageyama Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 Toward Agent-based In Situ Visualization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. Asia Sim 2021	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） なし	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 Ohno Nobuaki, Kageyama Akira	4. 巻 73
2. 論文標題 In-situ visualization library for Yin-Yang grid simulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-021-01485-2	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 -

1. 著者名 Kageyama Akira, Sakamoto Naohisa	4. 巻 6
2. 論文標題 4D street view: a video-based visualization method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PeerJ Computer Science	6. 最初と最後の頁 e305 ~ e305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7717/peerj-cs.305	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 KAGEYAMA Akira, SAKAMOTO Naohisa, MIURA Hideaki, OHNO Nobuaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Interactive Exploration of the In-Situ Visualization of a Magnetohydrodynamic Simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1401065 ~ 1401065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.1401065	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 Kageyama Akira, Goto Yuna	4. 巻 5
2. 論文標題 Formation of twisted liquid jets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 64002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.5.064002	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 陰山 聡, 坂本 尚久, 大野 暢亮	4. 巻 96
2. 論文標題 4次元ストリートビュー: 計算機シミュレーションの新しい可視化法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 プラズマ核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 199-206
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 Uemori Kaoru, Sakamoto Naohisa, Ohno Nobuaki, Kageyama Akira	4. 巻 7
2. 論文標題 YYZVis: An Efficient Visualization Toolkit for Yin-Yang-Zhong Grid Dataset	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 15-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.7.15	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 Kawahara Shintaro, Kageyama Akira	4. 巻 6
2. 論文標題 Development of CAVELib Compatible Library for HMD-type VR Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 234-248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.6.234	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 Yamamoto Kohei, Kageyama Akira	4. 巻 11540
2. 論文標題 In-Situ Visualization with Membrane Layer for Movie-Based Visualization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 588-594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-22750-0_55	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 Kaoru Uemori, Naohisa Sakamoto, Nobuaki Ohno, and Akira Kageyama	4. 巻 -
2. 論文標題 An Interactive Visualization Toolkit for Yin-Yang-Zhong Grid Dataset	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology	6. 最初と最後の頁 27-30
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 陰山 聡	4. 巻 105
2. 論文標題 計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 TELECOM FRONTIER	6. 最初と最後の頁 1-5
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 Pierre J. Jarsaillon, Naohisa Sakamoto, Akira Kageyama	4. 巻 9
2. 論文標題 Flexible visualization framework for head-mounted display with gesture interaction interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing	6. 最初と最後の頁 1840002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1793962318400020	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 Hosoyamada Shin ' Ya, Kageyama Akira	4. 巻 946
2. 論文標題 A Dialect of Modern Fortran for Computer Simulations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications in Computer and Information Science, AsiaSim 2018	6. 最初と最後の頁 439 ~ 448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-2853-4_34	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 Shin ' Ya Hosoyamada and Akira Kageyama	4. 巻 -
2. 論文標題 efpp: A preprocessor for Modern Fortran	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology	6. 最初と最後の頁 372-375
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 Akira Kageyama, Naohisa Sakamoto and Kohei Yamamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Membrane Layer Method to Separate Simulation and Visualization for Large-scale In-situ Visualizations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SciTePress 2018	6. 最初と最後の頁 106-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0006854901060111	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 川原 慎太郎, 陰山 聡	4. 巻 37
2. 論文標題 HMD型VR装置を用いたインタラクティブ可視化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 可視化情報	6. 最初と最後の頁 14-19
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 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 陰山 聡, 大野 暢亮
2. 発表標題 無回転球殻対流系における カイラルな対流パターン
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 陰山 聡, 大野 暢亮
2. 発表標題 無回転球殻対流系における鏡像非対称な定常対流解
3. 学会等名 プラズマシミュレーションシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陰山 聡, 後藤 優奈
2. 発表標題 ねじれた角柱状水流の形成
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Kageyama
2. 発表標題 4-D Street View: Movie-based visualization method for HPC
3. 学会等名 AAPPS-DPP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Kageyama
2. 発表標題 n-Situ Visualization with Membrane Layer for Movie-based Visualization,
3. 学会等名 International Conference for Computational Science (ICCS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 4次元ストリートビュー: 計算機シミュレーションの新しい可視化手法
3. 学会等名 第36回 プラズマ・核融合学会 年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 動画ベースの可視化手法 4次元ストリートビュー
3. 学会等名 CFDシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 可視化手法の新手法 4次元ストリートビュー
3. 学会等名 STEシミュレーション研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 全方位動画に基づく新しい可視化手法
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 VFIVE開発の経緯とその後の発展の紹介
3. 学会等名 第87回CG・可視化研究会(CAVE研究会) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 球内部のMHDシミュレーション手法と可視化ツール
3. 学会等名 JpGU(日本地球惑星科学連合大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Kageyama
2. 発表標題 MHD Relaxation and Dynamo in a Sphere, 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 流れと磁場が共存する球内部のMHD緩和
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 球内部のMHD緩和シミュレーションとそのin-situ可視化
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 4次元ストリートビュー手法による対話的in-situ可視化
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 薄い球殻内の熱対流とMHDダイナモ
3. 学会等名 JpGU(日本地球惑星科学連合2017年大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 MHDシミュレーションの 4次元ストリートビュー
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Kageyama
2. 発表標題 Development of a new MHD simulation code with asynchronous parallel visualization
3. 学会等名 プラズマコンファレンス2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Kageyama
2. 発表標題 A simple preprocessor for Fortran 2003 simulation programs
3. 学会等名 プラズマコンファレンス2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 陰山 聡
2. 発表標題 球内部のMHD緩和
3. 学会等名 NIFS研究会 MHD シミュレーションのための先進的数値計算手法
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 陰山聡	4. 発行年 2020年
2. 出版社 くもん出版	5. 総ページ数 96
3. 書名 コンパスが南をさすとき	

1. 著者名 鳥海光弘、入船徹男、岩森光、ウォリスサイモン、小平秀一、小宮剛、阪口秀、鷺谷威、末次大輔、中川貴司、宮本英昭	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 248
3. 書名 図説地球科学の事典	

〔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
---------	---------