

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K23412

研究課題名（和文）4次元多様体の同相群・微分同相群と族のゲージ理論

研究課題名（英文）Diffeomorphism and homeomorphism groups of 4-manifolds and gauge theory for families

研究代表者

今野 北斗 (Konno, Hokuto)

東京大学・大学院数理科学研究科・助教

研究者番号：20845614

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：族のゲージ理論を中心に、微分同相群と関係するゲージ理論的な新たな枠組みの構成を総合的・組織的に行い、数多くの幾何学的应用を与えることができた。中心テーマであった4次元多様体の同相群・微分同相群との比較においても、バラエティに富む様々な結果を得た。さらに最終年度には、族のゲージ理論の新たな、そして重要な応用として、4次元におけるホモロジー的非安定性を達成できた。これは他次元と4次元の違いを多様体のモジュライ空間のレベルで捉えたものである。これらは今後の族のゲージ理論・4次元多様体の微分同相群の研究において基本的なものとなると期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多様体のトポロジーにおいて、その対称性を記述する群である微分同相群は基本的な興味の対象である。各次元の多様体の微分同相群の研究は現在も急速に発展しつつある。他方、4次元多様体の分類論が他の次元と比較し、特異的であることは、多様体のトポロジーにおける共通認識となっている。この研究の結果は、多様体の分類論で既に生じていた4次元の特異性を、微分同相群のレベルでの問題設定と解決の両面から確立して来たものと位置づけることができる。

研究成果の概要（英文）：Mainly on the gauge theory for families, I constructed new frameworks of gauge theory related to diffeomorphism groups comprehensively and systematically, and was able to provide many geometric applications. In the comparison with the homeomorphism groups and diffeomorphism groups of 4-manifolds, which was the central theme, we obtained various results in variety. Furthermore, in the final year, we achieved homological instability in 4-dimension as a new and important application of family gauge theory. This captures the difference between other dimensions and 4-dimension at the level of the moduli space of manifolds. These are expected to be fundamental in future studies of gauge theory for families and diffeomorphism groups of 4-manifolds.

研究分野：幾何学

キーワード：族のゲージ理論 Seiberg-Witten方程式 4次元多様体 微分同相群 多様体のモジュライ空間

1. 研究開始当初の背景

多様体のトポロジーにおいて、その自己同型群である微分同相群は基本的な興味の対象である。3次元以下の多様体に対しては、その微分同相群から同相群への包含写像が弱ホモトピー同値であることが知られており、この意味で位相的なカテゴリーと可微分カテゴリーのホモトピー的な比較について完全な理解がある。また高次元多様体の微分同相群・同相群の位相的構造についても、現在急速に研究が発展しつつある。

他方、4次元多様体の分類論が他の次元と比較し特異的であることは、多様体のトポロジーにおける共通認識となっている。これは他の次元における主要な道具の一つであった手術の技法 (Whitney trick) が4次元では使えないことに由来する。とりわけ、位相的なカテゴリーと可微分カテゴリーの比較の点で、他の次元で発生しなかった現象が数多く生じることが知られている。このような現象を検出する上で、物理学由来の偏微分方程式を4次元多様体上で考察するゲージ理論を有効に用いる手法も、現在では標準的である。

微分同相群の研究においても、Whitney trick が存在しないことが障壁となり、4次元多様体の微分同相群に対する知見は他次元と比べ極めて限られていた。

2. 研究の目的

4次元多様体の微分同相群を、同相群との比較を中心として調べることを目的とする。具体的には、微分同相群から同相群への包含写像がホモトピー群に誘導する写像が同型にならないような状況を検出することが典型的な応用として想定される。これが達成されると、微分同相群・同相群の位相構造の差を、トポロジーとして自然な形で捉えていることになる。上で述べたことから、4次元はそのような差が生じ得る最小の次元であり、詳しく調べることが自然な状況である。またこのような研究は、既に知られている4次元多様体の分類理論における位相的なカテゴリーと可微分カテゴリーの差異の類似を、多様体の自己同型群のレベルで得ることに相当し、大きな研究領域となる可能性を秘めている。

3. 研究の方法

4次元多様体の族に対してゲージ理論を展開する「族のゲージ理論」を主たる道具とする。これは私が国内外の共同研究者の協力を得ながら、組織的な研究を推進してきた道具であり、ゲージ理論的手法自体を深化させることも研究計画の主要部をなす。具体的問題に応じて族のゲージ理論を発展させ、具体例と抽象的理論が相互啓発的に進展することを目指す。

4. 研究成果

本研究課題の開始直前に、4次元多様体の族に対する Donaldson の対角化定理の対応物を Baraglia が証明した。これは射程が広く、上で述べた4次元多様体の同相群・微分同相群の比較問題に対する強力な応用がある。そこで、本計画の前半は、Baraglia の結果の拡張にまつわるものが中心となった。

まず、中村信裕との共同研究で、Baraglia の結果の Pin-(2)-モノポール版を確立し、応用範囲を広げることに成功した。この結果は、閉4次元多様体の同相群・微分同相群のホモトピーカルな比較としては、最も広範な4次元多様体に適用できるものである。

次に、谷口正樹との共同研究で、Baraglia の結果の境界付き4次元多様体版を、境界の族が自明という仮定の下確立した。証明には Manolescu による Seiberg-Witten Floer 安定ホモトピー型を用いる。Baraglia の結果の証明には Bauer-Furuta 不変量の族版が用いられていたが、我々は相対 Bauer-Furuta 不変量の族版を定義し、そこから情報を引き出すことが証明の方針である。相対 Bauer-Furuta 不変量の受け皿に Seiberg-Witten Floer 安定ホモトピー型が現れる。応用として、境界付き4次元多様体であって、その微分同相群から同相群への包含写像が弱ホモトピー同値でない例を大量に検出した。この結果は境界の3次元多様体の Froyshov 不変量と呼ばれる不変量や、Manolescu によるその変種である μ 、 ν と呼ばれる不変量の言葉で書かれるものである。境界付き4次元多様体の微分同相群と同相群の比較は未開拓の領域だったが、その方面の最初の結果が、非常に豊富な具体例を伴って得られたことになる。

この結果は境界付き4次元多様体の族であって、境界に制限して得られる3次元多様体の族が自明なものを扱っていた。相補的な方向として、3次元多様体の非自明な族を4次元多様体の族に拡張できるかという問題が考えられる。この方向に対する試みとして、スピン4次元多様体上の involution に対する Seiberg-Witten 方程式を用いた加藤佑矢の議論を、境界付き4次元多様体へ一般化し、新しい応用を得た。より具体的には、Seiberg-Witten Floer 安定ホモトピー型を用い、加藤の議論を拡張するような Seiberg-Witten ホモトピー論を境界付き4次元多様体に対して定式化した。特に、これに然るべき同変 K 理論を適用することで、involution 付きの

境界付き 4 次元多様体に対する Floer K 理論を定式化し、相対 10/8 型の不等式を得た。この枠組みを応用し、境界付き 4 次元多様体上の滑らかなにできない群作用を detect した。これは 3 次元多様体上の群作用が、トポロジカルには拡張するが滑らかなには拡張しない例を与える。また、この枠組みを結び目とそれが張る曲面に対して適用することで、結び目に対する Floer K 理論を得ることもできる。これを用いることで、stabilizing number と呼ばれる結び目の 4 次元的不変量が、滑らかなカテゴリーとトポロジカルなカテゴリーで差が出る例を初めて与えた。また、3 次元球面を境界に持つ、定値とは限らない 4 次元多様体に対して、境界内の結び目が張る曲面の種数に下からの評価を与えた。これまでは Donaldson の対角化定理の一般化がこの問題に対する道具の主流であり、定値でない 4 次元多様体に対する結果は少なかったため、これは意義が大きい。加えて、加藤氏の元々の議論の別の応用として、4 次元における Nielsen 実現問題への反例を組織的に与えた。これは、微分同相群の代数構造に関する制約を与えたもので、これまでの研究の主たる対象であった微分同相群の位相構造に関する研究とは異なる方向を啓くものである。

また、上で述べた谷口正樹・宮澤仁との共同研究で行ったスピン 4 次元多様体上の involution に対する議論を、スピンでない場合にも部分的に展開することにも成功した。この応用の中には、非スピン 4 次元多様体の場合の Nielsen 実現問題が否定的に解ける初めての例も含まれる。

さらに最終年度に、研究計画当初は予定していたなかった重要な成果を挙げる事ができた。微分同相群の分類空間のホモロジー的安定性が 4 次元で成立しないことを証明したことである (Jianfeng Lin (清華大学) との共同研究)。4 次元以外の任意の偶数次元においては、微分同相群の分類空間 (多様体のモジュライ空間と呼ばれる) のホモロジーは、多様体の安定化と呼ばれる操作を有限回行うことで安定することが知られていた。これは Harer (2 次元) および Galatius・Randal-Williams (6 次元以上) による結果である。前者は 2 次元トポロジーにおける基本定理の一つであり、より最近証明された後者は、高次元トポロジーにおける近年の主要な成果の一つと見なされている。今回の我々の研究で、これらに対応する主張が 4 次元では成立しないことを証明することができた。これは 4 次元の特殊性を従来とは異なる形で確立する結果である。より詳しくは、我々の結果を Galatius・Randal-Williams による高次元での状況と合わせると、4 次元多様体のモジュライ空間のホモロジーの計算がホモトピー論に帰着できないことを示唆しており、多様体の分類論における状況の類似が多様体のモジュライ空間のレベルで生じることを意味する。この結果は、 C^∞ 位相を入れた微分同相群と、離散位相を入れた微分同相群の双方に対して成立する。証明は、私が以前構成していた Seiberg-Witten 理論に基づく特性類の変種を構成・計算することでなされる。この新しい特性類は、従来特性類とは異なる性質を多く持つ非安定特性類である。この結果の証明の副産物として、4 次元多様体の微分同相群の分類空間と同相群の分類空間のホモロジーの間の差を、任意のホモロジーの次数で検出する初めての結果も与えた。さらに、この道具立ての別の応用として、正スカラー曲率計量を付与した 4 次元多様体のモジュライ空間と計量を付与した 4 次元多様体のモジュライ空間のホモロジーの差異が、やはり任意のホモロジーの次数で検出できる初めての例を与えた。このように、今回の特性類の構成によって、ホモロジー非安定性に限らず、4 次元多様体のモジュライ空間の (コ) ホモロジーのゲージ理論的な研究が初めてなされた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 David Baraglia and Hokuto Konno	4. 巻 15
2. 論文標題 On the Bauer-Furuta and Seiberg-Witten invariants of families of 4-manifolds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Topology	6. 最初と最後の頁 505-586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1112/topo.12229	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 Hokuto Konno	4. 巻 15
2. 論文標題 A cohomological Seiberg-Witten invariant emerging from the adjunction inequality	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Topology	6. 最初と最後の頁 108-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1112/topo.12215	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 Nobuo Iida, Hokuto Konno, and Masaki Taniguchi	4. 巻 33
2. 論文標題 A note on generalized Thurston-Bennequin inequalities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Mathematics	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) 10.1142/S0129167X22500896	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 Tsuayoshi Kato, Hokuto Konno, and Nobuhiro Nakamura	4. 巻 151
2. 論文標題 A note on exotic families of 4-manifolds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 2695-2705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/proc/16356	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 Hokuto Konno, Masaki Taniguchi	4. 巻 409
2. 論文標題 The groups of diffeomorphisms and homeomorphisms of 4-manifolds with boundary	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Mathematics	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) 10.1016/j.aim.2022.108627	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 Hokuto Konno, Nobuhiro Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Constraints on families of smooth 4-manifolds from Pin - (2)-monopole	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Algebraic & Geometric Topology	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) 10.2140/agt.2023.23.419	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 Hokuto Konno, Masaki Taniguchi	4. 巻 222
2. 論文標題 Positive scalar curvature and 10/8-type inequalities on 4-manifolds with periodic ends	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inventiones Mathematicae	6. 最初と最後の頁 833-880
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00222-020-00979-2	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 David Baraglia, Hokuto Konno	4. 巻 24
2. 論文標題 A gluing formula for families Seiberg-Witten invariants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geometry & Topology	6. 最初と最後の頁 1381-1456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2140/gt.2020.24.1381	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 Tsuyoshi Kato , Hokuto Konno and Nobuhiro Nakamura	4. 巻 157
2. 論文標題 Rigidity of the mod 2 families Seiberg-Witten invariants and topology of families of spin 4-manifolds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Compositio Mathematica	6. 最初と最後の頁 770-808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1112/S0010437X2000771X	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 Hokuto Konno	4. 巻 25
2. 論文標題 Characteristic classes via 4-dimensional gauge theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geometry & Topology	6. 最初と最後の頁 711-773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2140/gt.2021.25.711	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 David Baraglia, Hokuto Konno	4. 巻 -
2. 論文標題 A note on the Nielsen realization problem for K3 surfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	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) 10.1090/proc/15544	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

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 36件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Homological instability for moduli spaces of 4-manifolds
3. 学会等名 Gauge Theory in Kyoto (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Homological instability for moduli spaces of 4-manifolds
3. 学会等名 Conference "Geometric Analysis" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Homological instability for moduli spaces of 4-manifolds
3. 学会等名 MIT Geometry and Topology Seminar (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Homological instability for moduli spaces of 4-manifolds
3. 学会等名 Brandeis Topology Seminar (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Homological instability for moduli spaces of 4-manifolds
3. 学会等名 The 7th Japan-China Geometry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Cohomological Invariants in Gauge Theory for Families
3. 学会等名 Diffeomorphisms and Gauge Theory Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Equivariant K-Theory
3. 学会等名 Homotopy Computations and uses in Floer Theory Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Homological Instability in Dimension 4
3. 学会等名 FHT Program Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Dehn twists and Nielsen realization in dimension 4
3. 学会等名 リーマン面に関連する位相幾何学 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Seiberg-Witten Floer homotopy and its applications
3. 学会等名 第69回 幾何学シンポジウム 基調講演 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Seiberg-Witten Floer homotopy
3. 学会等名 iTHEMS Math Seminar (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Gauge theory and the diffeomorphism groups of 4-manifolds
3. 学会等名 京都大学 談話会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Floer K-theory for knots
3. 学会等名 Intelligence of Low-dimensional Topology (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hokuto Konno
2. 発表標題 Nielsen realization, knots, and Seiberg-Witten (Floer) homotopy theory
3. 学会等名 トポロジー火曜セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Positive scalar curvature and homology cobordism invariants
3. 学会等名 関西ゲージ理論セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Involutions, knots, and Floer K-theory
3. 学会等名 ハンドルセミナー '21 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Exotic diffeomorphisms of 4-manifolds with boundary
3. 学会等名 4次元トポロジー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Involutions, knots, and Floer K-theory
3. 学会等名 関西ゲージ理論セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Floer K-theory for knots
3. 学会等名 Stanford Topology Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Seiberg-Witten Floer K-theory for knots
3. 学会等名 CGP Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Floer K-theory for knots
3. 学会等名 Topology and Geometry of Low-dimensional Manifolds (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Floer K-theory for knots
3. 学会等名 Japan-Netherlands Joint Online Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Positive scalar curvature and higher-dimensional families of Seiberg-Witten equations
3. 学会等名 Seminar on Seiberg-Witten theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Floer K-theory for knots
3. 学会等名 MIT Geometry and Topology Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Diff vs. Homeo in dimension 4: recent development
3. 学会等名 関西ゲージ理論セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Gauge theory and the diffeomorphism and homeomorphism groups of 4-manifolds
3. 学会等名 トポロジー-火曜セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 On the diffeomorphism and homeomorphism groups of a K3 surface
3. 学会等名 Japanese-European Symposium on Symplectic Varieties and Moduli Spaces - Fifth Edition Online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 The groups of diffeomorphisms and homeomorphisms of 4-manifolds with boundary
3. 学会等名 International Workshop on 4-Manifold Theory and Gauge Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 The groups of diffeomorphisms and homeomorphisms of 4-manifolds with boundary
3. 学会等名 4次元トポロジー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 The groups of diffeomorphisms and homeomorphisms of 4-manifolds with boundary
3. 学会等名 関西ゲージ理論セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Seiberg-Witten theory for families I
3. 学会等名 Gauge Theory Virtual (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Seiberg-Witten theory for families II
3. 学会等名 Gauge Theory Virtual (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Taubes' theorem
3. 学会等名 微分トポロジー'21 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野北斗
2. 発表標題 Gauge theory and diffeomorphism and homeomorphism groups
3. 学会等名 日本数学会 2021年度年会 特別講演 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 Rigidity of the mod 2 families Seiberg-Witten invariants
3. 学会等名 日本数学会 2019年度秋季総合分科会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 The diffeomorphism and homeomorphism groups of $K3$
3. 学会等名 日本数学会 2019年度秋季総合分科会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 Positive scalar curvature and gauge-theoretic constraints on 4-manifolds
3. 学会等名 The first Geometry Conference for Friendship of Japan and Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 The diffeomorphism and homeomorphism groups of $K3$
3. 学会等名 4次元トポロジー
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 The diffeomorphism and homeomorphism groups of $K3$
3. 学会等名 特別セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 The diffeomorphism and homeomorphism groups of $K3$
3. 学会等名 4-Dimensional Topology and Gauge Theory（招待講演）
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 今野 北斗
2. 発表標題 Gauge theory and the automorphism groups of 4-manifolds
3. 学会等名 トポロジカル表面状態、ソリトンとブレン、指数定理（招待講演）
4. 発表年 2019年～2020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			
オーストラリア	アデレード大学			
米国	Georgia Institute of Technology			