

令和 6 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H01788

研究課題名（和文）グラフィクスとカンドル理論の観点からの4次元トポロジーの研究

研究課題名（英文）Research on 4-dimensional topology from the viewpoint of graphics and quandle theory

研究代表者

鎌田 聖一（Kamada, Seiichi）

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60254380

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：代数的な構造をグラフィクス（ダイアグラム、図式）を用いて表すことで低次元トポロジーの対象を表示する方法の研究を行った。いくつかの代数的構造を図式を用いて表すことで、古典次元のブレイドとその高次元化である2次元ブレイド、タングルと結び目・絡み目、3次元空間内の三価グラフ、3次元空間内に埋め込まれた曲面、4次元空間内に埋め込まれた曲面や分岐曲面などを表示し、それらの表示における基本変形がえられる様子がわかる。

結び目の概念を図式の観点から拡張した仮想結び目と捻れ仮想結び目について、それらの新しい不変量を導入し、その性質を明らかにするとともに、従来の研究では得ることができなかった応用を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

4次元空間内に埋め込まれた曲面（曲面結び目）や曲面のブレイドを表す方法として、曲面結び目のダイアグラムを用いる方法や動画法と呼ばれる方法がよく用いられている。またチャートと呼ばれるグラフィクスを用いた方法も近年登場した。このような表示において、2つの表示が同値な対象を表すための基本変形を与えることも重要となる。代数構造の図式化によって、これらの表示方法やその基本変形が自然にえられたり、理解できる状況が観察された。低次元トポロジーにおける不変量の研究など今後のこの分野の研究に役立つものである。

研究成果の概要（英文）： Research on methods to describe topological object in low-dimension by considering algebraic structures using graphics has been done. Those objects include braids, 2-dimensional braids, tangles, knots and links, trivalent graphs in 3-space, surfaces in 3-space, surfaces in 4-space, and branched surfaces in 4-space. Their graphical descriptions and some basic moves are obtained and understood naturally.

New invariants of virtual links and twisted links are introduced and investigated. Some applications that could not be achieved by previously known methods are given.

研究分野：位相幾何学

キーワード：トポロジー 低次元トポロジー 4次元 グラフィクス 曲面結び目 曲面ブレイド 結び目理論 仮想結び目

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

グラフィクスは、研究代表者が2次元ブレイドを表す方法として考案したチャートと呼ばれる図式が始まりで、モノドロミー表現を記述する手法であると同時に3次元への射影に現れる多重点、特異点のなすグラフの配置を描写している。前者の観点の一般化として、レフシェツ・ファイバー束空間など低次元トポロジーにあわられるモノドロミー表現を記述する手法に拡張され、応用されている。後者の観点では曲面結び目を表す手法などに発展した。

一方、カンドルは、1982年にD. Joyce と S. Matveev により導入された代数系であり、結び目の完全不変量である。代数や幾何における様々な現象でカンドルが自然に現れ、重要な役割を担うことがある。高次元結び目理論におけるカンドルの研究やカンドルホモロジー理論を用いたいくつかのバリエーションも登場し、低次元トポロジーの研究に利用されている。

### 2. 研究の目的

グラフィクスやカンドルを用いて低次元トポロジーの対象の表示や性質を調べ、不変量の構成と計算を行い、それを分類問題に役立てることが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

研究分担者および研究協力者の協力を得て低次元トポロジー、特に4次元空間内に埋め込まれた閉曲面(曲面絡み目)やはめ込まれた閉曲面(曲面絡み目)とそれに関連する対象のグラフィクスを用いた表示方法や不変量の構成、カンドルとその一般化や類似の代数構造を利用した不変量の構成に役立てる。これらは、個別の研究打合せやセミナー、研究集会などを通して実行される。

### 4. 研究成果

レフシェツ・ファイバー空間のモノドロミーの研究などで登場する交換子間の関係式をグラフィクスを用いて理解し、取り扱う方法として、doodle 図式がある。これは球面上に横断的に交わる閉曲線の族であり、doodle は1型と2型のライデマイスター変形に対応する基本変形を法とする doodle 図式の同値類である。1979年にR. Fenn と P. Taylor により導入され、doodle 図式に noose の系を与えると、自由群における交換子関係式が得られることが示された。その後当研究代表者とFenn 達との研究で、doodle 図式における基本変形と交換子関係式における基本操作(変形)の間にある種の対応を与えることに成功していた。これらの研究のもとに、初等な交換子関係式の間には3種類の同値関係を導入し、noose 系に依存しない doodle 図式に固有な交換子関係式の間には、doodle 図式のコボルディズム類に固有な交換子関係式の間には関係を明らかにした。また、Fenn と Taylor の論文では交換子関係式に対応する doodle 図式の存在を具体的に構成していなかったが、我々は明確なアルゴリズムとして構成法を与えた。

チャートとフォームを用いた低次元トポロジーの研究から派生して、圏論的な観点での代数構造を図式を用いて表す方法について研究を行なった。古典次元のブレイドや2次元ブレイドは適当な圏を用いてこの枠組みに組み込まれることが確認された。3次元空間内に埋め込まれた曲面、4次元空間内に埋め込まれた曲面なども、ある高次の圏の図式を用いて表すことができることを示した。代数的な構造をグラフィクス(ダイアグラム、図式)を用いて表す方法の研究を行ない、フロベニウス代数の公理を図式化することで、その高次化となる高位の圏を構成する際に自然と思われる多重射を低い次元について構成した。そこでは、平面上の3価グラフとその基本変形が現れること、および、高さ関数を伴った3次元空間内の分岐曲面の基本的な変形が実現されることなどが確認できた。

フロベニウス代数の公理の図式化では、高次元化として、平面上の3価グラフとその基本変形、3次元空間内の分岐曲面が自然に現れることを確認したが、少し条件を緩めることで、4次元空間内のブレイド状の分岐曲面が自然に解釈できることがわかった。これは、仮想交点を伴うブレイドが絡み目のモーション群を用いて解釈されることに対応していて、カンドルの余次元2の部分多様体の観点での解釈により近いものといえる。4次元空間内のブレイド状の分岐曲面と3価頂点と仮想交点を伴う分岐ブレイドの関係を調べ、いくつかの図式の基本変形を導くこと

ができた。

古典的結び目を拡張する概念に仮想結び目がある。仮想結び目の図式から4次元ユークリッド空間に埋め込まれたリボン型のトーラス曲面絡み目を構成する方法が分担者の佐藤進の研究によって知られていた。仮想結び目の図式は、そのようなりボン型のトーラス曲面絡み目の図式(グラフィクス)による表示と見なすことができる。仮想結び目の図式の各交点にアフィン指数と呼ばれる整数を与え、そこから仮想結び目の不変量を構成することが、佐藤や Kauffman などの研究者によって独立に提唱され、その不変量に関する研究が多くなされている。成分数が2以上になる仮想絡み目の図式では、交点におけるアフィン指数の定義の解釈により、一意的には指数を定めることができず、研究があまり進展していなかった。鎌田直子(名古屋市立大学)の協力を得て、成分数が2以上になる仮想絡み目の図式について、指数の概念を明確にし、仮想絡み目の不変量を構成した。仮想結び目については従来の不変量との関係を明らかにし、さらに、捻れ仮想結び目・絡み目の不変量を構成した。伊藤大貴(大阪大学)との共著論文では、捻れ仮想結び目図式にある種の彩色を用いた不変量の構成を行い、これまで困難とされてきた2重被覆が同じ捻れ仮想結び目の区別へ応用ができることを示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Bartholomew Andrew, Fenn Roger, Kamada Naoko, Kamada Seiichi	4. 巻 31
2. 論文標題 Doodles and commutator identities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	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/S0218216522400016	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 Kawauchi Akio	4. 巻 4
2. 論文標題 Uniqueness of an Orthogonal 2-Handle Pair on a Surface-Link	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Contemporary Mathematics	6. 最初と最後の頁 182 ~ 188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.37256/cm.4220232321	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 Kanenobu Taizo, Sumi Toshio	4. 巻 32
2. 論文標題 Extension of Takahashi 's ribbon 2-knots with isomorphic groups	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	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/S021821652350013X	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 Kanenobu Taizo, Takioka Hideo	4. 巻 31
2. 論文標題 4-Move distance of knots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	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/S0218216522500493	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 Atsushi Ishii, Kanako Oshiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Derivatives with Alexander pairs for quandles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Fund. Math.	6. 最初と最後の頁 1-31
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 Ishii Atsushi, Iwakiri Masahide, Kamada Seiichi, Kim Jieon, Matsuzaki Shosaku, Oshiro Kanako	4. 巻 301
2. 論文標題 Cocycles of G-Alexander biquandles and G-Alexander multiple conjugation biquandles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	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.topol.2020.107512	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 Kamada Seiichi	4. 巻 301
2. 論文標題 Tensor products of quandles and 1-handles attached to surface-links	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	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.topol.2020.107520	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 BODE Benjamin, KAMADA Seiichi	4. 巻 73
2. 論文標題 Knotted surfaces as vanishing sets of polynomials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mathematical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1289-1322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2969/jmsj/84618461	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 Kanenobu Taizo, Takahashi Kota	4. 巻 301
2. 論文標題 Classification of ribbon 2-knots of 1-fusion with length up to six	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	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.topol.2020.107521	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 Endo Hisaaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Lefschetz fibrations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sugaku Expositions	6. 最初と最後の頁 175-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/suga/462	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 Oshiro Kanako, Oyamaguchi Natsumi	4. 巻 307
2. 論文標題 Dehn colorings and vertex-weight invariants for spatial graphs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	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.topol.2021.107766	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 Kamada Naoko, Kamada Seiichi	4. 巻 148
2. 論文標題 Virtual links which are equivalent as twisted links	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 2273 ~ 2285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/proc/14899	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 Kawauchi Akio	4. 巻 29
2. 論文標題 Knotting probability of an arc diagram	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	6. 最初と最後の頁 2042004 ~ 2042004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218216520420043	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 Kanenobu Taizo, Matsuda Masafumi	4. 巻 29
2. 論文標題 Presentation of a ribbon 2-knot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	6. 最初と最後の頁 2050048 ~ 2050048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218216520500480	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 Kanenobu Taizo, Sumi Toshio	4. 巻 29
2. 論文標題 Suciu's ribbon 2-knots with isomorphic group	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	6. 最初と最後の頁 2050053 ~ 2050053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218216520500534	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 Taizo Kanenobu, Toshio Sumi	4. 巻 57
2. 論文標題 Twisted Alexander polynomial of a ribbon 2-knot of 1-fusion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Osaka Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 789 ~ 803
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 Pajitnov Andrei、Hisaaki Endo	4. 巻 13
2. 論文標題 On the generalization of Inoue manifolds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Geometry Center	6. 最初と最後の頁 24 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15673/tmgc.v13i4.1748	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 Nakamura Takuji、Nakanishi Yasutaka、Sato Shin	4. 巻 84
2. 論文標題 Writhe polynomials and shell moves for virtual knots and links	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Combinatorics	6. 最初と最後の頁 103033 ~ 103033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejc.2019.103033	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 Damiani Celeste、Kamada Seiichi	4. 巻 264
2. 論文標題 On the group of ring motions of an H-trivial link	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	6. 最初と最後の頁 51 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.topol.2019.06.004	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 Kaur Kirandeep、Kamada Seiichi、Kawauchi Akio、Madeti Prabhakar	4. 巻 42
2. 論文標題 An unknotting index for virtual knots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tokyo Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 357 ~ 370
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 該当する



1. 著者名 Kawauchi Akio	4. 巻 264
2. 論文標題 Topology of a 4D universe for every 3-manifold	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	6. 最初と最後の頁 66 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.topol.2018.08.017	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 Kanenobu Taizo, Moriuchi Hiromasa	4. 巻 264
2. 論文標題 Coherent band-Gordian distances between knots and links with up to seven crossings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	6. 最初と最後の頁 233 ~ 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.topol.2019.06.020	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 Kanenobu Taizo, Sumi Toshio	4. 巻 28
2. 論文標題 Classification of ribbon 2-knots presented by virtual arcs with up to four crossings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Knot Theory and Its Ramifications	6. 最初と最後の頁 1950067 ~ 1950067
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218216519500676	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 Ohtsuki Tomotada, Takata Toshie	4. 巻 370
2. 論文標題 On the quantum SU(2) invariant at $q = \exp(4\pi i \sqrt{-1}/N)$ and the twisted Reidemeister torsion for some closed 3-manifold	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 151 ~ 204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00220-019-03489-2	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 Nakamura Takuji, Nakanishi Yasutaka, Satoh Shin	4. 巻 84
2. 論文標題 Writhe polynomials and shell moves for virtual knots and links	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Combinatorics	6. 最初と最後の頁 103033 ~ 103033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejc.2019.103033	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 Oshiro Kanako	4. 巻 271
2. 論文標題 Shadow biquandles and local biquandles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	6. 最初と最後の頁 107041 ~ 107041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.topol.2019.107041	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 -

〔学会発表〕 計53件 (うち招待講演 40件 / うち国際学会 34件)

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Colorings, invariants and double coverings of twisted links
3. 学会等名 Knot theory and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田聖一
2. 発表標題 グラフのブレイドについて
3. 学会等名 拡大K00Kセミナー 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田聖一, 伊藤大貴
2. 発表標題 ねじれ仮想結び目のねじれ交差彩色とその不変量について
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Graphic descriptions of topological objects, I
3. 学会等名 Singularity theory and geometric topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Graphic descriptions of topological objects, II
3. 学会等名 Singularity theory and geometric topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 On twisted virtual braids and twisted links
3. 学会等名 2023 Winter TAPU Workshop on Knots and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Braid presentation of spatial graphs
3. 学会等名 A mini-workshop on low-dimensional geometry and topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 On braid presentation of twisted links
3. 学会等名 The 18th East Asian Conference on Geometric Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 On braid presentation of twisted links and spatial graphs
3. 学会等名 Knots Algebra and Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金信 泰造
2. 発表標題 同型な結び目群をもつ2次元リボン結び目
3. 学会等名 拡大 K00K セミナー2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taizo Kanenobu
2. 発表標題 Ribbon knots with different symmetric union presentations
3. 学会等名 The 2023 Winter TAPU Workshop on Knots and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤進
2. 発表標題 2次元結び目の表の作成に向けて
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤進
2. 発表標題 ガウス語の平面生と2次元結び目
3. 学会等名 4次元トポロジー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kouichi Yasui
2. 発表標題 Sums of 4-manifolds, genus functions and their applications
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 Kouichi Yasui
2. 発表標題 Sums of 4-manifolds, genus functions and their applications
3. 学会等名 4-Manifolds: From Above and Below (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大城佳奈子
2. 発表標題 Normalized quandle twisted Alexander invariants
3. 学会等名 ハンドル体結び目とその周辺15 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenta Hayano
2. 発表標題 An explicit example of a monodromy factorization pair for a symplectic 6-manifold
3. 学会等名 The 15th Mathematical Society of Japan-Seasnal Institute Deepening and Evolution of Applied Singularity Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Commutator identities related to curves on a surface
3. 学会等名 The 4-th Conference "Groups and quandles in low-dimensional topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌田聖一
2. 発表標題 曲面のブレイドと結び目について
3. 学会等名 研究集会「結び目理論」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤進
2. 発表標題 A note on the Gauss word of an arc on a 2-sphere
3. 学会等名 研究集会「拡大K00Kセミナー2021」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安井弘一
2. 発表標題 Stably exotic pairs of closed 4-manifolds and their applications
3. 学会等名 研究集会「4次元トポロジー」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kanao Oshiro
2. 発表標題 Alexander pairs of quandles and generalizations of twisted Alexander polynomials
3. 学会等名 The 17th East Asian Conference on Geometric Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早野健太
2. 発表標題 An explicit example of a monodromy factorization pair for a symplectic 6-manifold
3. 学会等名 研究集会「4次元トポロジー」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Braids, I
3. 学会等名 Knots through web, ICTS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Braids, II
3. 学会等名 Knots through web, ICTS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田聖一, B. Bode
2. 発表標題 On knotted surfaces as vanishing sets of polynomials
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 鎌田聖一, A. Birtholomew, R. Fenn, N. Kamada
2. 発表標題 On doodles and commutator identities
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 On chart descriptions of branched coverings, surface foldings and braided surface
3. 学会等名 The First Korean-Russian Conference on Knot theory and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金信 泰造
2. 発表標題 Classification of small ribbon 2-knots
3. 学会等名 Intelligence of Low-dimensional Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金信 泰造
2. 発表標題 同型な結び目群をもつ Suci $\bar{u}$ の2次元リボン結び目の分類
3. 学会等名 拡大 K00K セミナー 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Satoh
2. 発表標題 The intersection polynomials of a virtual knot
3. 学会等名 The 16th East Asian Conference on Geometric Topology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤進
2. 発表標題 仮想結び目の交差多項式
3. 学会等名 日本数学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kouichi Yasui
2. 発表標題 Minimal genus functions and constraints on 4-manifolds
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 安井弘一
2. 発表標題 Embedded surfaces and the simple type conjecture
3. 学会等名 研究集会「4次元トポロジー」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanao Oshiro
2. 発表標題 Goeritz matrices and Dehn colorings of spatial graphs
3. 学会等名 The first Korean-Russian Conference on Knot Theory and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenta Hayano
2. 発表標題 Stability of non-proper functions
3. 学会等名 16th International Workshop on Real and Complex Singularities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Kamada
2. 発表標題 The motion group and the ring group of an H-trivial link and its application
3. 学会等名 The 15th East Asian Conference on Geometric Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Motions and their actions on the fundamental groups and quandles of H-trivial links
3. 学会等名 AMS Joint Mathematics Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田聖一
2. 発表標題 Doodleと交換子関係式のグラフィクス表示について
3. 学会等名 ひねる代数 ~Hurwitz actionとその周辺~ (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田聖一
2. 発表標題 H-trivial linkのモーション群とはめ込み曲面絡み目
3. 学会等名 4次元トポロジー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Tensor products of quandles and classification of 1-handles attaching to surface-links
3. 学会等名 Third Pan-Pacific International Conference on Topology and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Generators of the motion groups of H-trivial links and application to surface-knot theory
3. 学会等名 Knots in Tsushima 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 H自明絡み目のモーション群について
3. 学会等名 拡大KOOKセミナー-2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiichi Kamada
2. 発表標題 Braided surfaces and surface foldings
3. 学会等名 (Leaps through) Loops in Leeds: motion groups and related topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金信泰造
2. 発表標題 Classification of ribbon 2-knots of 1-fusion with up to six crossings
3. 学会等名 Third Pan-Pacific International Conference on Topology and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤久顕
2. 発表標題 Inoue surfaces and their generalizations
3. 学会等名 Algebraic surfaces and related topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin Satoh
2. 発表標題 Writhe polynomials and shell moves for virtual knots and links
3. 学会等名 Intelligence of Low-dimensional Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin Satoh
2. 発表標題 On the triple point number in surface-knot theory
3. 学会等名 Unifying 4-Dimensional Knot Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouichi Yasui
2. 発表標題 Minimal genus functions and smooth structures of 4-manifolds
3. 学会等名 Workshop on Lefschetz Pencils and Low dimensional Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouichi Yasui
2. 発表標題 Nonexistence of twists and surgeries generating exotic 4-manifolds
3. 学会等名 Workshop on low-dimensional topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kouichi Yasui
2. 発表標題 Minimal genus functions and smooth structures of 4-manifolds
3. 学会等名 Workshop on low-dimensional topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanao Oshiro
2. 発表標題 Knot-theoretic ternary quasigroup theory and shadow biquandle theory for oriented surface-knots
3. 学会等名 Unifying 4-Dimensional Knot Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早野健太
2. 発表標題 4次元多様体のtrisection 1,2
3. 学会等名 接触構造、特異点、微分方程式及びその周辺 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 大槻 知忠、満洲 俊樹、亀谷 幸生	4. 発行年 2023年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 392
3. 書名 幾何学百科IV 幾何学と物理	

1. 著者名 J. Scott Carter, Seiichi Kamada	4. 発行年 2022年
2. 出版社 American Mathematical Society	5. 総ページ数 365
3. 書名 Diagrammatic Algebra	

〔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	河内 明夫 (Kawauchi Akio) (00112524)	大阪公立大学・数学研究所・特別研究員  (24405)	
研究分担者	金信 泰造 (Knenobu Taizo) (00152819)	大阪公立大学・大学院理学研究科・特任教授  (24405)	
研究分担者	大槻 知忠 (Ohtsuki Tomotada) (50223871)	京都大学・数理解析研究所・教授  (14301)	
研究分担者	遠藤 久顕 (Endo Hisaaki) (20323777)	東京工業大学・理学院・教授  (12608)	
研究分担者	佐藤 進 (Satoh Shin) (90345009)	神戸大学・理学研究科・教授  (14501)	



6. 研究組織（つづき）

	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	安井 弘一  (Yasui Kouichi)  (70547009)	大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授    (14401)	
研究分担者	大城 佳奈子  (Oshiro Kanako)  (90609091)	上智大学・理工学部・准教授    (32621)	
研究分担者	早野 健太  (Hayano Kenta)  (20722606)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授    (32612)	

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