

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03329

研究課題名（和文）幾何形状を記述する可積分系の理論の深化

研究課題名（英文）Development of Theory of Integrable Systems Describing Geometric Shapes

研究代表者

梶原 健司 (Kajiwara, Kenji)

九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・教授

研究者番号：40268115

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）：対数型美的曲線を相似幾何で考察し、平面曲線の可積分変形に関する形状不変曲線としての特徴付けと変分原理による定式化、また、その可積分離散化や空間曲線・曲面版を提案し、可積分構造を詳細に調べた。曲線の自己アフィン性の観点から、二次曲線を別の美的曲線の族として同定し、等積アフィン幾何や射影幾何を理論的枠組みとして示唆した。また、離散正則関数による建築のMichell-Prager型トラス構造の生成法を構築した。与えられた（離散）平面曲線の対数型美的曲線による近似アルゴリズムを構築した。ユークリッド幾何における空間（離散）曲線の可積分変形に関する形状不変曲線に対しテータ関数による明示公式を構成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

工業意匠設計や建築に動機を得て、クライン幾何における曲線論、曲面論を活用した幾何学的形状生成と、そこに現れる可積分構造を詳細に調べることで、（離散）微分幾何、可積分系の理論に対する新しい発展の方向性を与えた。同時に、工業意匠設計分野や建築分野に対して数学を活用した新しい形状設計手法をもたらした。このように、産業や社会に関わる問題をドライビングフォースとして、数学の新研究領域を開拓し、元の分野と数学双方を活性化する「マス・フォア・インダストリ」の一つの典型的な例を提示できたことに意義がある。

研究成果の概要（英文）：Log-aesthetic curves(LAC) are considered in similarity geometry, characterized as shape-invariant curves with respect to integrable deformations of plane curves and formulated by the variational principle, and their integrable discretization and space curve and surface versions are proposed. The integrable structure is investigated in detail. From the viewpoint of the self-affinity of plane curves, we identified quadratic curves as another family of aesthetic curves, and suggested equi-affine geometry and projective geometry as theoretical frameworks. We also constructed a method for generating Michell-Prager type truss structures of architecture by discrete holomorphic functions. We constructed an algorithm for approximating a given (discrete) plane curve by a LAC. We constructed explicit formulas for shape-invariant curves in Euclidean geometry for integrable deformations of spatial (discrete) curves using the theta functions.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

研究分野：幾何学的形状生成，離散微分幾何，可積分系

キーワード：幾何学的形状生成 微分幾何 離散微分幾何 可積分系の理論 建築設計 工業意匠設計

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

19世紀に発達した古典微分幾何学は可積分系の一つの源であり、曲面を記述する非線形偏微分方程式として可積分系が現れ、その解や変換論が議論された。1970年代からの可積分系の理論の進展に伴い、数値計算への応用を当初の目的として離散可積分系の理論が発展した。一方、1980年代には平均曲率一定曲面の研究から古典微分幾何と可積分系の関係が再発見され、微分幾何に大きな成果をもたらした。1990年代半ばからは離散可積分系と整合した離散曲面論が発展、「離散微分幾何」として認知されるようになった。

微分幾何において、与えられた性質をもつ曲面や曲線の族を具体的に構成することは一般には困難とされ、実解析的手法による難度の高い研究に訴えるしかない。しかし、背後に可積分構造がある場合、可積分系的手法による曲面・曲線の具体的な構成や変換・変形の定式化が可能で、厳密で深い結果を得ることができる。したがって、そのような幾何は微分幾何にとって大きな意味を持ち、**可積分(微分)幾何**と呼ばれる。離散微分幾何では使用できる解析的な手法が限られるため、可積分構造に着目する**離散可積分微分幾何**の重要性はより顕著であり、離散曲面論は当初、離散可積分微分幾何の枠組みで創始され、それに触発され一般の離散微分幾何も発達した。離散化されると数値的なモデル化が先行し、CGなどに顕著な応用を持つようになった。曲面上のベクトル場のホッジ分解の離散化とそれを応用した曲面の構造安定な離散化は典型例である。可積分幾何で可積分系の何らかの側面に着目し曲面が定式化・離散化されても、直ちに既存の手法で組織的に定式化や解析ができるわけではない。従来、可積分系の理論は非線形波動や数理物理学を主要な動機として発展してきたが、幾何では物理では現れない未開拓の型の方程式が多く現れる。さまざまな平均曲率一定曲面を記述する楕円型 sinh-Gordon 方程式や楕円型 cosh-Gordon 方程式などはその典型である(よく研究されているのは双曲型)。曲面の場合、逆散乱法や広田の方法のような強力で具体的な手法がまだ十分に開拓されていない。幾何で Riemann-Hilbert 問題に対応する DPW 法と呼ばれる構成法があるが、超越的な方法で、具体的な構成は原理的に可能だが非自明である。離散曲面の対応物もまだ十分に発達していない。曲面論だけでなく、曲線論でも基本事項で不明なことは多い。相似幾何の枠組みで空間曲線の可積分変形を記述する方程式は modified KdV (mKdV)方程式と Burgers 方程式の結合系である。一般に異なる階層に属する方程式の結合系は非可積分だが、最近の申請者の研究によると、これは不思議にも可積分系で、他に先行研究はない。ユークリッド幾何における空間曲線の可積分変形にすら mS²KdV 方程式と称される正体不明の方程式が現れ、相似幾何との関連で重要性が最近判明したが、先行研究はほとんどない。可積分系の理論による幾何への貢献が大いに望まれているとともに、**クライン幾何における曲面・曲線論が可積分系の理論の新方向を開拓する**。

また、最近 CG、工業意匠設計、建築など幾何を基盤に形状を扱う応用分野で「幾何学的形状生成」にかかわる多様な課題が注目されている。設計分野では、デザイナーの感性や職人芸に依存する「美しい」形状の生成や、力学的要因による拘束の下での「望ましい」形状の生成を、高品質かつ低コストで行う必要がある。これらの分野に共通して、「美しい」「望ましい」形状の特長を捉えるのに、群作用に対する不変性に着目する**クライン幾何**の枠組みの有効性が次第にわかってきた。特にユークリッド幾何よりも大きな群にかかわるクライン幾何、つまり「粗い」幾何が有効である。例えば、申請者の研究グループは工業意匠設計における美的要素を備えた形状要素として有望な「**対数型美的曲線**」を取り上げ、その理論的基盤としてユークリッド運動群にスケール変換を加えた変換群にかかわるクライン幾何である「相似幾何」の枠組みにおける可積分変形理論が有効であることを最近示した。

また、建築構造では等積アフィン幾何による曲面論が有望であることが指摘され、建築設計の研究者が膜構造研究に経験的に導入したエネルギー汎関数がラゲル幾何に属するものであることなどが、申請者たちの予備的研究でわかってきた。このように、応用面からはさまざまなクライン幾何の枠組みでの微分幾何、特に離散可積分幾何の展開が期待されている。

2. 研究の目的

- (A) 幾何形状を特徴付ける可積分な微分方程式の構造の解明とその可積分離散化。
- (B) 可積分系とクライン幾何を基盤とする曲線・曲面論の開拓。
- (C) 応用分野の問題に動機を得た、離散曲線・曲面の形状生成理論。

3. 研究の方法

(A1) 空間曲線の可積分変形やそれらのなす曲面を記述する結合型可積分系の研究。
相似幾何では空間曲線の可積分変形を3階の Burgers 方程式と mKdV 方程式の結合系が記述する。通常、異なる階層に属する方程式の結合系は非可積分だが、この方程式は非自明な Bäcklund 変換を持つという意味で可積分で、先行研究はなく、構造の解明は可積分系の理論で極めて興味深い問題である。同様に他のクライン幾何で結合型曲線変形方程式の構造を解明する。

(A2) 平均曲率一定(CMC)曲面を記述する楕円型の可積分系の構造の解明と離散化。
双曲型 sinh-Gordon 方程式は A 型 2 次元戸田格子階層の簡約で、可積分離散化も知られている。一方、CMC 曲面を記述するのは楕円型 sinh-Gordon 方程式や楕円型 cosh-Gordon 方程式などで、可積分系としてあまり研究されていない。太田の予備的研究によると、楕円型 sinh-Gordon 方

式はD型2次元戸田格子階層}}に属すると見なすのが自然で、その離散化は双曲型と異なる5点間の差分方程式である。D型階層に属する方程式、特に差分方程式は先行研究がほとんどなく、この結果も未発表である。本研究では楕円型の方程式の研究を幾何に動機を得て追求する。

(B1) クライン幾何における平面・空間曲線の可積分変形の理論の構築と離散化。

対数型美的曲線は、ユークリッド幾何における Euler の弾性曲線の相似幾何類似と見なすことができる。他のクライン幾何でも同様の性質で特徴付けられる「よい」曲線族を構成する。

(B2) 離散正則函数とその明示公式。

Circle patterns に基づく可積分な離散正則函数を考察し明示公式を構成する。以前、申請者らは Bobenko らによる離散冪函数に対しパンルヴェ VI 方程式の超幾何 τ 函数による明示公式を構成した。最近六角格子上の離散冪函数の研究に着手し、パンルヴェ方程式の多変数拡張のガルニエ系から得られることを示した。この方向を深め、ガルニエ系の超幾何 τ 函数による明示公式や、同様の成果が期待される離散正則函数の族を研究する。

(C) 弾性曲線、対数型美的曲線などによる与えられた曲線の最適近似理論。

最近、申請者らは Brander による研究や建築設計から動機を得て、与えられた平面離散曲線の離散弾性曲線による最適近似手法を開発した。弾性エネルギーによる最適化は不安定で機能しないため、弾性曲線のモジュライ上で最適化することでよい手法を得た。同様の最適近似理論を空間弾性曲線 (Kirchoff 弾性棒) や対数型美的曲線などを対象に構築して実装する。

4. 研究成果

(A1) 対数型美的曲線の相似幾何における定式化を構成し、平面曲線の可積分変形に対する形状不変曲線としての特徴付けと変分原理による特徴付けを与えた。さらに、可積分離散化の手法を適用して対数型美的曲線の離散化を与え、それが曲率の大きさによって自律的に頂点の密度が調整される自己適応型離散化になっていることを示した。工学的観点から重要な、両端とそこでの傾きを与えたときの離散対数型美的曲線の生成法を設計し、離散的であることによる柔軟性を活用して、変曲点を持つ場合にも対数型美的曲線によるさまざまな形状が生成可能であることを示した。

また、相似幾何における空間曲線の可積分変形を記述する方程式の詳細な構造を解明した。上では3階の Burgers 方程式と mKdV 方程式の結合系と記したが、Burgers 方程式を Cole-Hopf 変換で線形化した方程式との結合系、すなわち曲線の相似換率に対する mKdV 方程式と、ポテンシャルに相似換率を含む曲率半径に対する、シュレディンガー型線形方程式の結合系と見なすのが適当である。さらに線形方程式は、曲率半径を対称性とする、mKdV 方程式の線形化方程式にほかならない。すなわち、相似換率に対する摂動を考え、mKdV 方程式を一次の摂動で不変にする方程式を、摂動に対する線形化方程式、線形化方程式の解を対称性とそれぞれ呼ぶが、上のシュレディンガー型線形方程式は曲率半径を対称性とする線形化方程式にほかならないというのが結論であり、従って、自然に mKdV 方程式と整合的で可積分系をなす。より一般に、相似幾何における空間曲線の可積分変形を記述する方程式は、曲線の位置ベクトルに対する両立条件と曲線のフレネ枠に対する両立条件から得られるが、前者は後者の線形化方程式となっていることが示され、かつ、後者は mKdV 階層が記述していることが判明した。

さらに、対称性の構造を用いて曲線の位置ベクトルの枠による明示公式が得られる。すなわち、通常は換率や曲率の満たす非線形偏微分方程式を解き、それを係数とする線形偏微分方程式系を解いて枠を求め、さらに枠から得られる接ベクトルを積分して曲線の位置ベクトルを求めるが、最後の積分が上記の可積分構造を活用して明示的に計算でき、最終的に曲線の位置ベクトルが積分なしで、枠の線形結合として表示できる公式が従う。これはスペクトル変数に関する対称性を活用した枠の積分公式として著名な Sym-Tafel の公式の一般化となっている。

(A2) 他の項目に顕著な進展があったため、エフォートを割けずあまり進展がなかった。

(B1) 対数型美的曲線の他のクライン幾何における類似物としては、平面曲線の可積分変形の形状不変曲線が一つの候補である。その構成は技術的には比較的容易であるが、そのようにして作られた曲線族の応用面からの意義付けがなければあまり意味がない。そこで、工業意匠設計分野で対数型美的曲線の性質として重要視されている「自己アフィン性」に注目した。工業意匠設計分野での自己アフィン性には2種類あり、その1つは、任意の曲線片に曲線の枠に関して任意のスケール変換を行ったものが、アフィン変換でもとの曲線の別の曲線片に一致するというもので、もう1種類は、曲線片の水平軸、垂直軸に対するスケール変換に関する自己アフィン性である。これらを数学的に厳密に定式化し直し、前者を有する平面曲線は実質的に対数型美的曲線のみであること、また、後者を有する平面曲線は実質的に放物線のみで、少し仮定を緩めると双曲線、楕円が得られることを厳密に証明した。これは、自己アフィン性に関して2種類の「美的曲線」の族があることを示唆する。前者の自己アフィン性を有する曲線の中に円(相似曲率が0)、対数らせん(相似曲率が定数)を含み、2次曲線は等積アフィン幾何における定曲率曲線であることから、後者の「美的曲線」の背後に等積アフィン幾何があることを強く示唆する結果である。このことから、美的曲線を定式化する枠組みとして、相似幾何に加えて等積アフィン幾何があり、それらを統一する枠組みとして射影幾何があり得ることを示唆される。これらの幾何における「美的曲線」を今後は研究することは重要である。

(B2) 六角格子上の離散冪函数については離散 KdV 格子の部分格子との関連が判明したほか、明示公式についてはあまり進展がなかった。しかし、思いもよらない全く新しい成果と展開が建

築の構造物設計に見られた．可積分離散指数函数の格子の対角線を取って得られる格子が，建築設計で力学的合理性をもつトラス構造として古典的な Michell-Prager 型構造になっており，そのキーラインが対数型美的曲線の可積分離散化になっていること，さらに，そこにかかる力がなす格子が形状の格子の離散 Christoffel 変換になっていることが判明した．それを基盤として立体射影を含むメビウス変換を行うことで力学的合理性をもつ立体的なトラス構造の組織的な生成法を確立した．これに付随して，純圧縮力で釣り合うトラス構造が離散調和函数であることなどが判明しており，離散冪函数を含む可積分正則函数に対する同様の構造物の構成も含めて，トラス構造設計をドライビングフォースとした可積分離散正則函数や離散調和函数の研究が創始された．

(C) 与えられた平面曲線や，3D スキャナなどで得られた（ノイズつきの）点群データを対数型美的曲線で近似する数理的手法とアルゴリズムを構成し，実際に車の屋根を計測した点群データを対数型美的曲線で近似することに成功した．空間弾性曲線の基礎的な理解を進めるため，ユークリッド幾何における（離散）空間曲線の連続/離散変形をテータ函数を用いて，積分なしで明示的に与える公式を構成した．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Inoguchi Jun-ichi, Jikumaru Yoshiki, Kajiwara Kenji, Miura Kenjiro T., Schief Wolfgang K.	4. 巻 105
2. 論文標題 Log-aesthetic curves: Similarity geometry, integrable discretization and variational principles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computer Aided Geometric Design	6. 最初と最後の頁 102233 ~ 102233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cagd.2023.102233	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 Hayashi Kazuki, Jikumaru Yoshiki, Yokosuka Yohei, Hayakawa Kentaro, Kajiwara Kenji	4. 巻 67
2. 論文標題 Parametric generation of optimal structures through discrete exponential functions: unveiling connections between structural optimality and discrete isothermicity	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Structural and Multidisciplinary Optimization	6. 最初と最後の頁 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00158-024-03767-1	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 -
1. 著者名 Joshi Nalini, Kajiwara Kenji, Masuda Tetsu, Nakazono Nobutaka	4. 巻 54
2. 論文標題 Discrete power functions on a hexagonal lattice I: derivation of defining equations from the symmetry of the Garnier system in two variables	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 335202 ~ 335202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/ac11bd	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 Miura Kenjiro T., Gobithaasan R. U., Salvi P?ter, Wang Dan, Sekine Tadatoshi, Usuki Shin, Inoguchi Jun-ichi, Kajiwara Kenji	4. 巻 38
2. 論文標題 ϵ - κ -Curves: controlled local curvature extrema	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Visual Computer	6. 最初と最後の頁 2723 ~ 2738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00371-021-02149-8	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 Zurita Sebastian Elias Graiff, Kajiwara Kenji, Suzuki Toshitomo	4. 巻 14
2. 論文標題 Fairing of discrete planar curves to integrable discrete analogue of Euler 's elasticae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Mathematics for Industry	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/S2661335222500071	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 Graiff Zurita Sebastian Elias, Kajiwara Kenji, Miura Kenjiro T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Fairing of planar curves to log-aesthetic curves	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied 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) 10.1007/s13160-023-00567-w	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 宇田川誠一, 井ノ口順一, 梶原健司	4. 巻 50
2. 論文標題 Sine-Gordon 方程式の解法とその離散化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本大学医学部 一般教育研究紀要	6. 最初と最後の頁 7-24
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 Shigetomi Shota, Kajiwara Kenji	4. 巻 13
2. 論文標題 Explicit formulas for isoperimetric deformations of smooth and discrete elasticae	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 80 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.13.80	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38件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Yoshiki Jikumaru, Kazuki Hayashi, Kentaro Hayakawa and Youhei Yokosuka
2. 発表標題 A Truss Structure with Mechanical Optimality, Integrability and Artisticity
3. 学会等名 Symmetries and Integrability of Difference Equations (SIDE14.2) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Yoshiki Jikumaru and Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Curves and Surfaces by Integrable Geometry
3. 学会等名 ECMI Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Yoshiki Jikumaru and Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Shape by Integrable Geometry
3. 学会等名 10th International Congress of Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Yoshiki Jikumaru and Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Shape by Integrable Geometry
3. 学会等名 Workshop on Mathematics for Industry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Yoshiki Jikumaru, Kazuki Hayashi, Kentaro Hayakawa and Youhei Yokosuka
2. 発表標題 A Truss Structure with Mechanical Optimality, Integrability and Artisticity
3. 学会等名 ANZIAM Conference 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 梶原健司, 軸丸芳揮, Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 平面上の対数型美的曲線の空間中での可積分変形が生成する曲面
3. 学会等名 日本応用数理学会第20回研究部会連合発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 熊谷駿, 梶原健司
2. 発表標題 曲線の自己アフィン性と対数型美的曲線について
3. 学会等名 日本応用数理学会第20回研究部会連合発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 軸丸芳揮, 横須賀 洋平, 林 和希, 早川 健太郎, 梶原 健司
2. 発表標題 構造設計に動機づけられた可積分離散正則関数における変分原理の構築
3. 学会等名 日本応用数理学会第20回研究部会連合発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 軸丸芳揮, 梶原 健司, Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 対数型美的曲線の空間曲線アナロジー：ヤコビの楕円函数を用いた明示公式
3. 学会等名 日本応用数理学会第20回研究部会連合発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 梶原健司
2. 発表標題 可積分幾何による美的形状の生成
3. 学会等名 日本数学会2024年度年会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 梶原健司
2. 発表標題 可積分系による形状生成:弾性曲線・対数型美的曲線から「美的曲面」へ
3. 学会等名 RIMS 共同研究(公開型)「可積分系数理の発展と応用」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Geometric Generation of Aesthetic Shapes by Integrable Systems
3. 学会等名 ICIAM Workshop on Industrial and Applied Mathematics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川健太郎, 林和希, 軸丸芳揮, 梶原健司, 横須賀洋平
2. 発表標題 離散正則函数を用いた Michell トラス型構造について
3. 学会等名 日本応用数理学会 2022 年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井ノ口順一, 軸丸芳揮, 梶原健司, Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 相似幾何における相似抜率一定空間曲線の可積分変形の生成する曲面
3. 学会等名 日本応用数理学会 2022 年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重富尚太, 梶原健司
2. 発表標題 カライドサイクルの明示公式
3. 学会等名 日本応用数理学会 2022 年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重富尚太, 梶原健司
2. 発表標題 カライドサイクルの明示公式
3. 学会等名 日本数学会 2022 年度秋季総合分科会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Curves and Surfaces by Integrable Geometry
3. 学会等名 SIAM Conference on Computer Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 軸丸芳揮, 梶原健司, Wolfgang K. Schief
2. 発表標題 相似幾何における擬球型曲面の枠の対称性による積分公式
3. 学会等名 日本応用数理学会研究部会連合発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 軸丸芳揮, 林和希, 早川健太郎, 横須賀洋平, 梶原健司
2. 発表標題 可積分幾何に基づくトラス構造の生成と力学的特性について
3. 学会等名 日本応用数理学会研究部会連合発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Curves and Surfaces by Integrable Geometry
3. 学会等名 3rd Shot of MSJ-SI "Differential Geometry and Integrable Systems" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 可積分幾何に基づく Michell トラス型構造と離散対数型美的曲線
2. 発表標題 早川健太郎, 林和希, 軸丸芳揮, 梶原健司, 横須賀洋平
3. 学会等名 日本数学会 2023 年度年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shota Shigetomi and Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Explicit Formulas of Arc-Length Preserving Motions of Smooth and Discrete Elasticae
3. 学会等名 European Consortium of Mathematics in Industry 2021 Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重富尚太, 梶原健司
2. 発表標題 掠率一定空間曲線およびtorsion angle一定空間離散曲線に対する楕円テータ函数による明示公式
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重富尚太, 梶原健司
2. 発表標題 掠率一定曲線および torsion angle 一定離散曲線の明示公式
3. 学会等名 日本数学会2021年度秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重富尚太, 鍛冶静雄, 梶原健司, 朴炯基
2. 発表標題 楕円テータ函数を用いたカライドサイクルの明示公式の構成
3. 学会等名 非線形波動と可積分系
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Shigetomi and Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Explicit formulas of isoperimetric deformations of smooth and discrete elasticae
3. 学会等名 Engineering Mathematics and Applications Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Shigetomi and Kenji Kajiwara
2. 発表標題 An explicit formula for isoperimetric deformation of discrete space curve with constant torsion angle
3. 学会等名 Australia New Zealand Industrial and Applied Mathematics Annual Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重富尚太, 梶原健司
2. 発表標題 Torsion angle 一定の空間離散曲線の等周変形の楕円テータ函数による明示公式
3. 学会等名 日本応用数理学会第18回研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重富尚太, 梶原健司
2. 発表標題 掠率角一定の空間離散曲線の等周変形の楕円テータ函数による明示公式
3. 学会等名 日本数学会2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sebastian Elias Graiff Zurita, Kenji Kajiwara, Toshitomo Suzuki,
2. 発表標題 Fairing of discrete planar curves with integrable discretization of Euler's elasticae
3. 学会等名 European Consortium of Mathematics in Industry 2021 Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 軸丸芳揮, 梶原 健司, Schief Wolfgang
2. 発表標題 相似幾何学における空間曲線の時間発展に現れるsine-Gordon方程式
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sebastian Elias Graiff Zurita
2. 発表標題 Parametric identification of Log-aesthetic curves based on similarity transformations
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sebastian Elias Graiff Zurita
2. 発表標題 Reconstruction of Log-aesthetic curve parameters
3. 学会等名 Perspectives on Artificial Intelligence and Machine Learning in Material Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sebastian Elias Graiff Zurita
2. 発表標題 Fairing of planar curves by Log-aesthetic curves
3. 学会等名 The 4th International Workshop Geometry of Submanifolds and Integrable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Shigetomi and Kenji Kajiwara
2. 発表標題 An explicit formula for isoperimetric deformation of discrete space curve with constant torsion angle
3. 学会等名 The 4th International Workshop Geometry of Submanifolds and Integrable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 軸丸芳揮, 梶原健司, Wolfgang Schief
2. 発表標題 相似幾何におけるsine-Gordon方程式と擬球型曲面对応
3. 学会等名 特異点論の未来 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井ノ口 順一, 軸丸 芳揮, 梶原 健司, 三浦 憲二郎, Schief Wolfgang
2. 発表標題 相似幾何によるS字型離散対数型美的曲線の生成法
3. 学会等名 日本応用数理学会第18回研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Yoshiki Jikumaru, Shizuo Kaji and Wolfgang Schief
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Shapes by Integrable Systems
3. 学会等名 Australia New Zealand Association of Mathematical Physics Seminar (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			
オーストラリア	ニューサウスウェールズ大学	シドニー大学		
ハンガリー	ブダペスト工科大学			