

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03941

研究課題名(和文) 離散可積分幾何の深化と展開

研究課題名(英文) Development and Extension of Discrete Integrable Geometry

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) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：離散的な幾何オブジェクトの背後の可積分構造に着目する離散可積分幾何とその応用について研究を行い、離散曲線・曲面論とその変形理論、離散正則函数の理論、曲線・曲面の離散モデル構築、曲面や界面の安定な高精度数値解析手法について成果を得た。特に、離散曲線・曲面論とその変形理論に関しては工業意匠設計分野で開発された対数型美的曲線とその拡張をクライン幾何の枠組みでのよい枠組みを定式化し、拡張に成功した。この成果を元に設計諸分野への展開を意図してJST CRESTへの研究計画を提案し、採択された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

さまざまな離散的な曲面、曲線やその変形、またCGなどで用いられる複素正則函数の離散化を扱う理論的な基礎を確立し、その応用の一つとして設計諸分野で美しくアート性の高い形状の設計を容易にする美的形状の基本要素に関する数学的な理論を構築し、また土壌中の水浸透減少に関する高精度かつ高速な数値モデルを定式化した。

研究成果の概要(英文)：Discrete integrable differential geometry and its application have been studied, focusing on the integrable structure behind the discrete geometric objects. We have obtained the results on the discrete surfaces/curves and their deformation theory, discrete holomorphic functions, construction of discrete models of curves/surfaces, and stable and precise numerical method for the surfaces and interfaces. In particular, regarding the discrete surfaces/curves and their deformation theory, we formulated a good framework for the log-aesthetic curves developed in the area of the industrial design by using the Klein geometry and succeeded in generalization. Based on those results, we have proposed a project for JST CREST aiming at the development to the various areas of design, which has been successfully accepted.

研究分野：可積分系の理論

キーワード：離散微分幾何 可積分系 クライン幾何 曲面・曲線 離散正則函数 ソリトン方程式 パンルヴェ方程式 対数型美的曲線

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 数学的背景

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おいて、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。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と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し、「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族を具体的に構成することは一般には困難とされ、可積分系の手法による具体例の構成や変換・変形の定式化が微分幾何にとって大きな意味を持つ。離散微分幾何では解析的な手法に限られ、可積分系の重要性はより顕著である。可積分系の理論と幾何の相互作用を通じ、多様な設定の下での離散曲線・曲面論を引き続き推進することが必要である。

離散幾何における複素正則函数の離散化においては、circle packing やその拡張の circle patterns を基礎として理論が構築され深い結果が得られているが、具体例が少ない。代表者は増田らと共同で、Agafonov-Bobenko による離散冪函数に対して、パンルヴェ VI 型方程式の超幾何函数による明示公式を見出した。また、実解析的な手法も用いて指数の拡張や冪函数のリーマン面の離散類似の構成に成功した。本研究ではこの方向を追求し、離散正則函数の理論の新たな側面を切り拓く。

(2) 応用からの動機

CAD 形状処理の基本要素である対数型美的曲線に対する相似幾何を用いた定式化から、代表者と井ノ口、松浦は曲線の変形理論を用いた美的曲線の理論の一般化や美的曲面の理論の構築、それらの離散化という新たな着想を得た。本研究ではこの方向の展開を追求する。

代表者や丸野らは、短パルス方程式など物理的に重要で曲線の変形も記述する偏微分方程式の族に対して、離散曲線の幾何学的枠組みを利用して適応ステップ制御付き移動メッシュによる数値計算スキームの形で離散化に成功した。それを受け、この構成法の保存則に付随するホドグラフ変換や 3 次元に対する拡張の研究が進行中である。これを推進し、曲線や界面の変形を記述する広いクラスの方程式に対する高精度数値モデルを開発する。また、この構成法を応用し、Broadbridge, Triadis とエネルギー問題や農業に現れる、液体の浸透現象に対する新しい数理モデルを構築する。

2. 研究の目的

本研究では、離散的な幾何オブジェクトの背後の可積分構造に着目する離散可積分幾何とその応用に関する研究を行う。基盤となる可積分系の理論に幾何と離散という側面から光を当て、可積分系と幾何双方の理論を深める。CG, CAD, 農業やエネルギー分野などへの応用からも動機を得て、さまざまな群作用の下での曲面や曲線の離散モデルを構築し、離散可積分幾何の研究を包括的に推進する。具体的には (a) 離散曲線・曲面論とその変形理論、(b) 離散正則函数の理論、(c) 曲線・曲面の離散モデル構築、(d) 曲線や界面の安定な高精度数値解析手法の研究を行う。可積分系の理論の手法を生かした具体的な離散的幾何モデル構築と詳細な解析、それらを活用した展開が本研究の特色である。

3. 研究の方法

中核となる 4 テーマ(1) 離散曲線・曲面論とその変形理論、(2) 離散正則函数の理論、(3) 曲線・曲面の離散モデル構築、(4) 曲線や界面の安定な高精度数値解析手法を設定し、4 名の研究分担者、3 名の連携研究者、4 名の海外共同研究者との緊密な協力関係の下に研究を推進する。平成 30 年度には国際研究集会 13th International Conference on Symmetries and Integrability of Difference Equation (SIDE 13) を代表者を実行委員長として日本で開催し、広く成果を発信するとともに国際連携強化を図る。これらの事業は代表者の所属機関と連携し、日本における離散可積分幾何の総合的な深化と展開を主導する。具体的には以下のように研究を進める。

(1) 一般等距離等周変形を格子 Landau-Lifschitz 方程式の特殊化として定式化し、函数(パフィアン: BKP 型)による明示公式を構成する。

: 相似幾何における平面曲線・離散曲線を定式化し、曲線の表現公式や Burgers および離散 Burgers 階層による変形理論を構築する。これは(3) のテーマの理論的基礎を与える。さらに、相似幾何以外のクライン幾何における曲線・離散曲線の変形理論を構築する。

: 平均曲率一定曲面を記述する楕円型 sinh-Gordon 方程式の函数を詳細に調べ、函数による曲面の明示公式を構成する。また、双曲空間の平均曲率一定曲面を記述する楕円型 cosh-Gordon 方程式を含む楕円型可積分系の離散化、平均曲率一定曲面やその離散化を研究する。

(2) 離散正則函数の正則性を担保する複比方程式や多重比方程式は、パンルヴェ方程式に付随する格子の幾何で制御できることがこれまでの研究で明らかになっている。正則函数に整合した境界条件で超幾何解が指定されるメカニズムを詳細に検討し、全ての場合で函数による明示公式を構成する。比較的容易な A 型対称性をもつ場合から E 型など対称性の高い場合を調べる。

(3) : 美的曲線に準じた性質をもつ曲線をまとめて Burgers 階層による変形理論に乗せる。また、

それに対して離散曲線の変形理論を適用して離散美的曲線の族を構成する。

：離散 NLS による渦糸の離散モデルを、曲率・捩率など CG で扱いやすい量でコントロールできるように整備する。初期実装を試み、境界条件や数値安定性を検討する。

(4) ある種のホドグラフ変換を平面曲線の Euler-Lagrange 変換と解釈して離散化に成功したが、その手法を一般の保存則に付随するホドグラフ変換に適用する。また、空間曲線の Euler-Lagrange 変換を考えることにより 3 次元化を行う。

Broadbridge の液体浸透モデルは特別な場合に Burgers 方程式をホドグラフ変換して得られる非線形拡散方程式を含む。相似幾何における曲線の Euler-Lagrange 変換の類似を用い、ホドグラフ変換を離散化して液体浸透の新しい離散モデルを構築し、Broadbridge, Triadis が研究するエネルギー・農業など現実の系に適用する。

4. 研究成果

(1) 空間(離散)曲線とその可積分(離散)変形に対する一般的な理論を確立した。すなわち、空間(離散)曲線の位置ベクトル、曲率、捩率を 2 成分 KP 階層の 函数の(積分を含まない)有理式によって明示的に与える公式を構成した。また、一般等距離等周変形を格子 Landau-Lifschitz 方程式の特殊化として定式化した。得られる方程式は 2 成分 KP 階層に含まれる離散非線形シュレディンガー方程式と独立変数変換で移り合うことが判明した。さらに、格子 Landau-Lifschitz 方程式が BKP 階層に属することから空間(離散)曲線とその可積分(離散)変形に対する BKP 階層の 函数による明示公式を構築した。

相似幾何における平面(離散)曲線の(離散)Burgers 階層による可積分変形理論を構築した。また、相似幾何における空間曲線の mKdV-Burgers 階層による可積分変形理論を構築し、さらに、この階層の属する sine-Gordon-Burgers 方程式で記述される空間曲線族を曲率線座標として持つような曲面(擬球曲面の相似幾何類似)を構成した。この中に「美的曲面」の候補となるような曲面族が含まれていることが期待される。さらに、ユークリッド幾何と異なる幾何における(離散)曲線の変形理論として、中心アフィン幾何における Lotka-Volterra 階層による変形理論、ミンコフスキー平面における defocusing mKdV 階層による変形理論を構築した。

楕円型可積分系、平均曲率一定曲面に関しては、大きな進展を見なかった。

(2) パンルヴェ方程式の幾何学的理論に関する包括的なレビュー論文を執筆した。そこで総括した内容を基盤に、離散正則函数に関して、パンルヴェ VI 方程式(対称性は $D_4^{(1)}$ 型アフィンワイル群)以外のパンルヴェ系のうち、パンルヴェ V 方程式($A_3^{(1)}$ 型)、パンルヴェ IV 方程式($A_2^{(1)}$ 型)、 q -パンルヴェ IV 方程式($(A_2 \times A_1)^{(1)}$ 型)、 q -パンルヴェ VI 方程式($D_5^{(1)}$ 型)の場合に付随する格子の構造を調べた。その結果、それらは離散正則函数の設定と整合しないことが判明した。そこで、Agafonov-Bobenko による六角格子上の離散冪函数の構造を調べたところ、4 次元超立方体上で整合的な ABS 方程式系(Q_1 と H_1)の構造が現れ、同時に 2 変数ガルニエ系に付随する格子の部分格子でもあることがわかった。それを足がかりとして、六角格子上の離散冪函数に対して Appel の超幾何函数 F_1 を用いた明示公式を構成した。

(3) 対数型美的曲線を相似幾何におけるもっとも簡単な可積分変形(Burgers 方程式による変形)の剛体変形(進行波解による変形)として特徴付けること、すなわち、ユークリッド幾何におけるオイラーの弾性曲線の相似幾何類似として特徴付けることができた。対数型美的曲線を包含するこのクラスの曲線族を「準美的曲線」と位置づけ、フェアリングエネルギーと呼ぶエネルギー汎函数を導入して、変分原理で特徴付けることにも成功した。また、可積分離散化の手法を用いてそれらの曲線族の離散化を行い、離散フェアリングエネルギーを用いた離散変分原理で特徴付け、CAD における実践的な境界条件(端点とそこでの傾きを与える)の下で実装した。さらに、相似幾何における空間曲線の可積分剛体変形を考えることで、対数型美的曲線の空間曲線版と考えられる曲線族を定式化した。相似曲率、相似捩率は一般に Jacobi の楕円函数で与えられる。さらに、これらの曲線族を曲率線座標にもつ、擬球曲面の類似と見なせる曲面族を構成した。この中に自然に「美的曲面」と見なすことができる曲面の族が含まれていることが期待されている。

離散 NLS による渦糸の離散モデル、特に閉じた渦輪のモデルを定式化して実装したが、CG などにおける速度のボトルネックは Biot-Savart の法則による速度場の生成であることが判明し、本モデルによる性能の顕著な向上は得られなかった。また、鍛冶らが定式化した Kaleidocycle を空間離散曲線の可積分な連続変形、特に semi-discrete sine-Gordon 方程式による変形として定式化することに成功した。さらに、オイラーの弾性曲線の可積分離散化を取り上げ、Brander らの提唱した与えられた平面曲線の弾性曲線による近似アルゴリズムを拡張して、与えられた離散平面曲線の離散弾性曲線による近似アルゴリズムを定式化し、建築設計への応用を行った。

(4) ホドグラフ変換やその離散化を応用して、無分散結合方程式、短パルス方程式、

Degasperis-Procesi 方程式，簡約 Ostrovsky 方程式やその拡張の解や離散化を構成した．

1 次元の土壌中の水浸透現象に対する Broadbridge モデルを考察し，Burgers 方程式の可積分離散化とホドグラフ変換の離散化を組み合わせ，可積分離散モデルを自己適応型移動メッシュスキームの形で定式化し，数値計算スキームとしての検討を行った．Burgers 方程式は Cole-Hopf 変換で線形拡散方程式に帰着するという意味で可積分であり，離散化は線形化可能性を保存するように行われるが，理論では，線形拡散方程式の離散化として時間は前進差分，空間は中心差分を取ることが通常行われる．しかし，これは数値不安定を誘起する数値スキームであり，Cole-Hopf 変換による非線形化でも緩和されないことが判明した．そこで，線形拡散方程式の離散化として無条件安定な Crank-Nicolson スキームを採用した数値モデルを構築した．境界条件の扱いが面倒であるが，高精度で高速な数値モデルとなった．また，実際の土壌中の現象モデルとして用いるため，Broadbridge モデルの植物の根による吸水効果を考慮した拡張を考察し，物理的な制約と整合するパラメータ領域を同定するために定常モデルの研究を行った上で，時間発展を記述する数値モデルを構築した．

以上の成果に加えて，可積分系にかかわる主要な国際研究集会のシリーズの一つである SIDE13 を 2018 年 11 月 11-17 日に JR 博多駅シティ会議室（福岡市）において，代表者を実行委員長として実施した．142 名の参加と 98 件の研究発表（口頭発表 51 件，ポスター発表 47 件）があり，若手研究者の奨励のために 5 件のポスター賞を授与して成功裡に終了した（<http://side13conference.net>）．

研究成果としては，(1) ， (3) ， (4) で当初の期待通りの成果が得られなかったが，(1) ， (1) ， (3) では期待を上回る成果が得られ，特に(1) ， (3) での成果は当初の計画を大きく上回った．それらを基盤技術の一つとして，建築設計，工業意匠設計などの設計分野の研究者と協力して JST CREST「設計の新パラダイムを拓く新しい離散的な曲面の幾何学」（<http://ed3ge.imi.kyushu-u.ac.jp>）を提案し，採択された（2019-2024，5 年半）．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 35件 / うち国際共著 21件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hirose Sampei, Inoguchi Jun-ichi, Kajiwara Kenji, Matsuura Nozomu, Ohta Yasuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Discrete local induction equation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Integrable Systems	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) 10.1093/integr/xyz003	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 Park Hyeongki, Inoguchi Jun-ichi, Kajiwara Kenji, Maruno Ken-ichi, Matsuura Nozomu, Ohta Yasuhiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Isoperimetric deformations of curves on the Minkowski plane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Geometric Methods in Modern Physics	6. 最初と最後の頁 1950100 ~ 1950100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219887819501007	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 Zurita Sebastian Elias Graiff, Kajiwara Kenji	4. 巻 11
2. 論文標題 Fairing of discrete planar curves by discrete Euler's elasticae	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 73 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.11.73	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 Hyeongki Park Kenji Kajiwara Takashi Kurose Nozomu Matsuura	4. 巻 10
2. 論文標題 Defocusing mKdV flow on centroaffine plane curves	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 25-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.10.25	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 Jun-ichi Inoguchi Rushan Ziatdinov Kenjiro T. Miura	4. 巻 36
2. 論文標題 Generalization of log-aesthetic curves via similarity geometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 239-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-018-0335-7	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 Jun-ichi Inoguchi Seiichi Udagawa	4. 巻 2
2. 論文標題 Affine spheres and finite gap solutions of Tzitzeica equation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 115020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2399-6528/aaeaa0	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 Shizuo Kaji, Kenji Kajiwara and Hyeongki Park	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Linkage mechanisms governed by integrable deformations of discrete space curves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Systems and Their Remarkable Mathematical Structures(to appear)	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 Miura Kenjiro T., Suzuki Sho, Gobithaasan R.U., Usuki Shin, Inoguchi Jun-ichi, Sato Masayuki, Kajiwara Kenji, Shimizu Yasuhiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Fairness metric of plane curves defined with similarity geometry invariants	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Computer-Aided Design & Applications	6. 最初と最後の頁 256 ~ 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/16864360.2017.1375677	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 Joshi Nalini, Kajiwara Kenji, Masuda Tetsu, Nakazono Nobutaka, Shi Yang	4. 巻 473
2. 論文標題 Geometric description of a discrete power function associated with the sixth Painlevé equation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. R. Soc. A	6. 最初と最後の頁 20170312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspa.2017.0312	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 Inoguchi Jun-ichi, Kajiwara Kenji, Miura Kenjiro T., Sato Masayuki, Schief Wolfgang K., Shimizu Yasuhiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Log-aesthetic curves as similarity geometric analogue of Euler's elasticae	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Comp. Aided Geom. Design	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) 10.1016/j.cagd.2018.02.002	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 Triadis Dimetre, Broadbridge Philip, Kajiwara Kenji, Maruno Ken-ichi	4. 巻 140
2. 論文標題 Integrable Discrete Model for One-Dimensional Soil Water Infiltration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Stud. Appl. Math.	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) 10.1111/sapm.12208	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 Feng Bao-Feng, Maruno Ken-ichi, Ohta Yasuhiro	4. 巻 50
2. 論文標題 A two-component generalization of the reduced Ostrovsky equation and its integrable semi-discrete analogue	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. A: Math. Theoret.	6. 最初と最後の頁 055201 ~ 055201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/50/5/055201	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 Feng Bao-Feng, Maruno Ken-ichi, Ohta Yasuhiro	4. 巻 30
2. 論文標題 An integrable semi-discrete Degasperis-Procesi equation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 2246 ~ 2267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1088/1361-6544/aa67fc	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 Jun-ichi Inoguchi, Tetsuya Taniguchi, Seiichi Udagawa	4. 巻 2015/2016
2. 論文標題 Finite gap solutions for horizontal minimal surfaces of finite type in 5-sphere	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Integrable Systems	6. 最初と最後の頁 xyw011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/integr/xyw011	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 B.-F. Feng, K. Maruno and Y. Ohta	4. 巻 50
2. 論文標題 A two-component generalization of the reduced Ostrovsky equation and its integrable semi-discrete analogue	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 55201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/50/5/055201	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 Kenji Kajiwara, Masatoshi Noumi, Yasuhiko Yamada	4. 巻 50
2. 論文標題 Geometric aspects of Painleve equations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 73001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/50/7/073001	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117件（うち招待講演 72件 / うち国際学会 48件）

1. 発表者名 Kenji Kajiwara Jun-ichi Inoguchi, Kenjiro T. Miura, Wolfgang Schief
2. 発表標題 Application of Integrable Discrete Differential Geometry to Industrial Design
3. 学会等名 Kyushu University-National Taiwan Normal University Joint Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Jun-ichi Inoguchi, Kenjiro T. Miura, Wolfgang Schief
2. 発表標題 The Burgers-type Equations in the Deformation Theory of Curves
3. 学会等名 Applications of Nonlinear Diffusion Equations 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shizuo Kaji, Kenji Kajiwara and Hyeongki Park
2. 発表標題 Linkage Mechanisms Governed by Integrable Deformation of Discrete Space Curves
3. 学会等名 ISLAND V: Integrability, special functions and combinatorics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Jun-ichi Inoguchi, Kenjiro T. Miura, Wolfgang Schief
2. 発表標題 Generation of Aesthetic Shapes by Integrable Geometry
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nalini Joshi, 梶原健司, 増田哲, 中園信孝
2. 発表標題 六角格子上の離散冪函数:ABS方程式系とGarnier系からの導出
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶原健司
2. 発表標題 設計の新パラダイムを拓く新しい離散的な曲面の幾何学
3. 学会等名 2019 年度IMI 短期共同研究「離散微分幾何の設計への応用:理論から実務へ」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶原健司, 井ノ口順一, 三浦憲二郎, Wolfgang Schief
2. 発表標題 可積分系と美的形状の幾何
3. 学会等名 離散幾何解析とその周辺2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara and Wolfgang Schief
2. 発表標題 Generation of aesthetic shapes by integrable systems
3. 学会等名 Australia New Zealand Industrial and Applied Mathematics Conference 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中義久, Triadis Dimetre, 梶原健司
2. 発表標題 植物の根による水の吸収を考慮した土壌中の水浸透現象を表す定常モデル
3. 学会等名 日本応用数理学会 2020 年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朴炯基, Jakub Rodomanski, Konrad Polthier, 梶原健司
2. 発表標題 Spherical Kaleidocycles on 3-sphere
3. 学会等名 日本応用数理学会 2020 年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sebastian Elias Graiff-Zurita, 鈴木利友, 梶原健司
2. 発表標題 Explicit expression for the curvature of an integrable discrete Euler 's elasticae and its application to shape identification
3. 学会等名 日本応用数理学会 2020 年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶原健司, Wolfgang Schief, 井ノ口順一
2. 発表標題 可積分系と美的形状の幾何
3. 学会等名 日本応用数理学会 2020 年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木利友, Sebastian Elias Graiff-Zurita, 梶原健司, 三浦憲二郎
2. 発表標題 Euler の弾性曲線の可積分離散化による手づくりの棧瓦のキーラインの近似
3. 学会等名 2020 年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohta
2. 発表標題 Discretization of the Liouville equation of elliptic type
3. 学会等名 The 2nd JNMP Conference on Nonlinear Mathematical Physics: 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井ノ口順一
2. 発表標題 工業意匠設計と幾何学
3. 学会等名 北九州数理科学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Integrable Discretization of Log-Aesthetic Curves in Industrial Design
3. 学会等名 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶原健司 Wolfgang Schief
2. 発表標題 相似可積分幾何を用いた対数型美的曲線の空間曲線への拡張
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara Jun-ichi Inoguchi Kenjiro T. Miura Wolfgang Schief
2. 発表標題 Log-aesthiethic curves in industrial design as similarity analogue of Euler's elastic curves
3. 学会等名 Summer School ``Geometric Shape Generation'' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Jun-ichi Inoguchi, Kenjiro T. Miura Wolfgang Schief
2. 発表標題 Log-aesthiethic curves in industrial design as similarity analogue of Euler's elastic curves
3. 学会等名 Autumn School ``Geometric Shape Generation'' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara, Nozomu Matsuura Heyongki Park
2. 発表標題 Lotka-Volterra flow on discrete centroaffine plane curves
3. 学会等名 13th International Conference on Symmetries and Integrability of Difference Equations (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shizuo Kaji, Kenji Kajiwara Hyeongki Park
2. 発表標題 Hinged linkage mechanism that follows discrete integrable equations
3. 学会等名 Forum ``Math-for-Industry'' 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara Jun-ichi Inoguchi Kenjiro T. Miura Wolfgang Schief
2. 発表標題 A New Framework and Extensions of Log-Aesthetic Curves in Industrial Design by Integrable Geometry
3. 学会等名 62nd Annual Meeting of the Australian Mathematical Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shizuo Kaji Kenji Kajiwara Hyeongki Park
2. 発表標題 A hinged linkage mechanism that follows discrete integrable equations
3. 学会等名 55th Annual Meeting of the Australia New Zealand Industrial and Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara Jun-ichi Inoguchi Kenjiro T. Miura Wolfgang Schief
2. 発表標題 Space Curve Extensions of Log-Aesthetic Curves in Industrial Design by Integrable Geometry
3. 学会等名 55th Annual Meeting of the Australia New Zealand Industrial and Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶原健司 井ノ口順一 三浦憲二郎 Wolfgang Schief
2. 発表標題 相似可積分幾何を用いた対数型美的曲線の空間曲線への拡張 II
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鍛冶静雄 梶原健司 朴炯基
2. 発表標題 A hinged linkage mechanism that follows discrete integrable equations
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦憲二郎 梶原健司 井ノ口順一
2. 発表標題 相似幾何およびユークリッド幾何に基づく離散対数型美的曲線の生成
3. 学会等名 精密工学会2019年度春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田泰広
2. 発表標題 二次元定常流に対するオイラー方程式の離散化について
3. 学会等名 研究集会「非線形海洋波の数理解の最近の進展」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Soliton equations and deformation of smooth/discrete curves.I. deformation of plane curves by mKdV
3. 学会等名 Shanghai University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Soliton equations and deformation of smooth/discrete curves.II. deformation of space curves by mKdV and NLS
3. 学会等名 Shanghai University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Aspects of Integrable discrete differential geometry
3. 学会等名 Shanghai Jiao Tong University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Geometric description of discrete power function associated with the sixth Painleve equation
3. 学会等名 Painleve equations and applications in memory of Andrei Kapaev (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三浦 憲二郎, 鈴木 晶, 臼杵 深, Gobithaasan Rudrusamy, 井ノ口 順一, 佐藤 雅之, 梶原 健司, 清水 保弘
2. 発表標題 相似幾何不変量による平面曲線のFairness測度
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井ノ口 順一, 梶原 健司, 三浦 憲二郎, Schief Wolfgang
2. 発表標題 対数型美的曲線の相似幾何における平面曲線に対する変分原理による定式化
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶原 健司, 朴 炯基, Schief Wolfgang
2. 発表標題 対数型美的曲線の離散化と相似幾何における平面離散曲線に対する離散変分原理による定式化
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梶原 健司, 黒瀬 俊, 松浦 望, 朴 炯基
2. 発表標題 Explicit formula for mKdV flow on centroaffine plane curves
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井ノ口順一, 梶原健司, 三浦憲二郎, 朴炯基, W.K. Schief
2. 発表標題 相似幾何における弾性曲線とその離散化: CAGD との関連について
3. 学会等名 九州大学応用力学研究所共同利用研究集会「非線形波動研究の新潮流-理論とその応用-」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Log-Aesthetic Curves in Industrial Design as Similarity Geometric Analogue of Euler ' s Elastic Curves
3. 学会等名 Dasan Conference 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Log-Aesthetic Curves in Industrial Design as Similarity Geometric Analogue of Euler ' s Elastic Curves
3. 学会等名 Joint Mathematics Meeting 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Log-Aesthetic Curves in Industrial Design as Similarity Geometric Analogue of Euler ' s Elastic Curves
3. 学会等名 ANZIAM Conference 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D.Triadis, P. Broadbridge, K. Kajiwara, K. Maruno
2. 発表標題 An integrable discrete model for soil-water infiltration
3. 学会等名 ANZIAM Conference 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶原健司, D.Triadis, P. Broadbridge, 丸野健一
2. 発表標題 土壌中の水浸透現象に対する可積分離散モデルの比較検討
3. 学会等名 日本応用数理学会第14回研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶原健司, 朴炯基, W.K. Schief
2. 発表標題 離散対数型美的曲線の離散変分原理による定式化
3. 学会等名 日本応用数理学会第14回研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶原健司, 朴炯基, W.K. Schief
2. 発表標題 離散可積分幾何による対数型美的曲線の離散化
3. 学会等名 AIMaP数学応用シンポジウム「精密工学と幾何学の新たな出会い」(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Baofeng Feng and Yasuhiro Ohta
2. 発表標題 Semi-discrete analogues of the complex short pulse and coupled complex short pulse equations based on the KP hierarchy reduction
3. 学会等名 AMS Sectional Meeting (Fall Central Sectional Meeting) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohta
2. 発表標題 DKP hierarchy and its Pfaffian solutions
3. 学会等名 Scientific Gathering New phenomena in discrete integrable systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井ノ口順一
2. 発表標題 対数型美的曲線の相似幾何学的定式化
3. 学会等名 AIMaP数学応用シンポジウム：精密工学と幾何学の新たな出会い (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田 哲
2. 発表標題 2変数 Garnier 系とその超幾何解について
3. 学会等名 Workshop on Accessory Parameters
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 廣瀬三平
2. 発表標題 "Schrodinger ' s Smoke " の実装
3. 学会等名 CG技術の実装と数理2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sampei Hirose
2. 発表標題 Discrete Model of Dynamics of Vortex Filaments
3. 学会等名 Czech-Japanese-Polish Seminar in Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 井ノ口順一
2. 発表標題 平面曲線と意匠設計
3. 学会等名 第63回幾何学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 井ノ口順一
2. 発表標題 相似幾何学と等積幾何学における平面曲線
3. 学会等名 IMI 短期共同研究 「意匠設計のための微分幾何学・離散微分幾何」 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増田哲
2. 発表標題 A型q-パンルヴェ系とその超幾何函数解
3. 学会等名 Workshop on Accessory Paramaters (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増田哲
2. 発表標題 A型q-Painleve 系とその拡張について
3. 学会等名 日本数学会2016年度秋季総合分科会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増田哲
2. 発表標題 A ₂ (1)およびA(1)型q-Painleve 系の超幾何解
3. 学会等名 日本数学会2016年度秋季総合分科会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yasuhiro Ohta
2. 発表標題 Integrable motion of space curve and its determinant expressions
3. 学会等名 日本応用数理学会 2016年度年会JSIAM-ANZIAM特別OS応用可積分系(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 徐俊庭, 丸野健一, Feng Bao-Feng, 太田泰広
2. 発表標題 Modified short pulse方程式の可積分自己適合移動格子スキーム
3. 学会等名 日本応用数学会 2016年度年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Geometric Aspects of Painleve Equations: A Brief Introduction. I
3. 学会等名 NSF/CBMS Regional Research Conference on Discrete Painleve Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Geometric Aspects of Painleve Equations: A Brief Introduction. II
3. 学会等名 NSF/CBMS Regional Research Conference on Discrete Painleve Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 An integrable discrete model of vortex filaments
3. 学会等名 12th Workshop on Symmetries and Integrability of Difference Equations (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Integrable discrete deformations of space/plane discrete curves
3. 学会等名 The 3rd China-Japan Joint Workshop on Integrable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 Integrable deformation of plane/space curves
3. 学会等名 First Kyushu-UNSW Joint Workshop on the Mathematics underpinning Industry and Innovation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 梶原健司
2. 発表標題 Construction and simulation of discrete integrable model for soil water infiltration problem
3. 学会等名 日本応用数理学会 2017 年研究部会連合発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 dNLS flow on discrete space curves
3. 学会等名 The Tenth IMACS International Conference on Nonlinear Evolution Equations and Wave Phenomena: Computation and Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Kajiwara
2. 発表標題 dNLS flow on discrete space curves
3. 学会等名 The Tenth IMACS International Conference on Nonlinear Evolution Equations and Wave Phenomena: Computation and Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 中村佳正、高崎金久、辻本諭、尾角正人、井ノ口順一	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 448
3. 書名 解析学百科II 可積分系の数理	

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://researchmap.jp/Kenji_Kajiwara/

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	増田 哲 (Masuda Tetsu) (00335457)	青山学院大学・理工学部・教授 (32601)	

6. 研究組織（つづき）

	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	太田 泰広 (Ohta Yasuhiro) (10213745)	神戸大学・理学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	廣瀬 三平 (Hirose Sampei) (20743230)	芝浦工業大学・デザイン工学部・助教 (32619)	
研究分担者	井ノ口 順一 (Inoguchi Jun-ichi) (40309886)	筑波大学・数理物質系・教授 (12102)	
研究協力者	中園 信孝 (Nakazono Nobutaka) (12605)	東京農工大学・工学研究院・講師 (12605)	
研究協力者	ジョシ ナリニ (Joshi Nalini)		
研究協力者	ブロードブリッジ フィリップ (Broadbridge Philip)		
研究協力者	シーフ ウォルフガング (Schief Wolfgang)		
連携研究者	松浦 望 (Matsuura Nozomu) (00389339)	久留米工業大学・工学部・准教授 (37115)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	丸野 健一 (Maruno Kenichi) (80380674)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	
連携研究者	トリアディス ディミトリ (Triadis Dimetre) (30771729)	九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・助教 (17102)	