

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11153

研究課題名(和文)幾何図形の列挙のための同型性に関する研究

研究課題名(英文)Research on the isomorphism for the enumeration of geometric figures

研究代表者

堀山 貴史(Horiyama, Takashi)

北海道大学・情報科学研究院・教授

研究者番号：60314530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：計算幾何学においてさまざまな問題に横断的に現れる重要な課題である同型性について研究を行い、幾何図形の列挙において同型性を除去するためのアルゴリズムの設計とその応用を試みた。提案アルゴリズムは BDD (二分決定グラフ) や ZDD (零抑制型BDD) に基づく列挙手法である。BDD/ZDD のトップダウン構築法であるフロンティア法による列挙と組み合わせることで、列挙に要する時間を大幅に高速化し、メモリ使用量も大幅に削減できる。たとえば、 d 次元超立方体の展開図の列挙の計算機実験では、フロンティア法のみを用いた従来法に比べて 300倍以上の高速化と 3,000倍以上の省メモリ化を達成している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で取り組んだ同型性の除去は、計算幾何学においてさまざまな問題に横断的に現れる重要な課題である。たとえば、研究代表者がこれまでに幾何図形列挙の応用として取り組んだ、選挙区の区割り問題や、避難所の割当て問題、高分子化合物のトポロジーの列挙などに現れている。こうした諸問題に対し、個別の問題に応じて「何をもちいて同型とするか」の定義を確認する必要がある。一方で、その先の同型性の除去については、個別に対応を考えるのではなく、それらに共通して必要となる要素を抽出し、同型性をうまく扱うためのアルゴリズム設計の基盤を構築できたことに学術的かつ社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：We focused on the isomorphism, which appears in various problems of computational geometry. We developed isomorphism-elimination algorithms for enumerating geometric objects, and applied the methodology to various fields. The enumeration by our proposed algorithms are based on BDDs (Binary Decision Diagrams) and ZDDs (Zero-suppressed BDDs). By combining the algorithms with the enumeration algorithms with the frontier-method, which is the framework for constructing BDDs/ZDDs in the top-down manner, the enumeration achieves extremely fast speed and extremely small memory consumption. For example, experimental results show that the proposed method is more than 300 times faster and 3,000 times less memory than the conventional algorithm with only the frontier-method.

研究分野：計算幾何学

キーワード：アルゴリズム 列挙アルゴリズム 計算幾何学 展開図 多面体

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

情報化社会の大規模化と多様化に伴い、その基礎を支えるアルゴリズムの設計と性能解析においても、従来からの主眼である「正確な計算を限られたメモリ量で速く」だけでなく、計算機が必要とされる場面に応じた新たな価値観を求められている。列挙アルゴリズムは、ウェブの検索エンジンに代表されるように、与えられた制約条件を満たす解をただ一つだけではなく、すべて求めるための技術である。たとえば、大規模データを取り扱う分野では、大量のデータから有用な規則性やパターンといった知見を得るために、頻出アイテム集合(頻出集合)の列挙や、特定の性質を持ったグラフの列挙などが必要とされている。こうして、列挙アルゴリズムは、重要なパラダイムとして認識されてきている。

これまで申請者が主たる研究対象としてきた幾何図形の列挙において、計算幾何学に関するさまざまな問題で共通の課題として浮かび上がってきたのが、同型性の除去である。たとえば、多面体の展開図の列挙問題や、選挙区の区割り問題、避難所の割当て問題、高分子化合物のトポロジーの列挙問題などの応用において、同型性の除去は分野横断的に現れ、重要な課題となっている。

たとえば、立方体には a から l の 12 本の辺があり、その辺がもとの立方体のすべての頂点を結ぶ全域木を構成することで展開図を得るために切るべき辺が得られる。ここで、展開図を与えるある辺集合(たとえば辺集合 $\{a, b, c, f, i, j, k\}$)をもとに、もとの立方体を 90 度だけ回転させた辺集合(たとえば辺集合 $\{b, c, d, g, j, k, l\}$)を切り開くと、切り開く位置は異なるものの同型な展開図が得られることになる。ここで、どの辺を切り開くかを区別するために各辺に $a \sim l$ のラベルを付けているため、先の 2 つの例は展開図の形としては同型であるが、切り開く辺のラベルが異なる。立方体では、ラベル付き展開図の個数(つまり、辺のラベルを区別して数えた展開図の個数)が 384 種類あり、非同型な展開図の個数(つまり、ラベルは無視して本質的に異なる展開図の個数)は 11 種類ある。

非同型な展開図を列挙する際には、展開図と展開図が同型か非同型かを判定する必要があるが、グラフ同型性判定問題は計算量理論の分野における中心的な問題の一つであり、NP 完全に属するかどうか未解決な問題である。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、上記の状況を鑑み、幾何図形の列挙に関する様々な問題に対し、問題ごとの「同型」の定義に応じて、ラベル付きの列挙結果から同型なものを除去するアルゴリズムを設計する手法の確立にある。

たとえば、上記の背景で述べた多面体の展開図について、グラフ同型性判定問題は未解決問題ではあるが、展開図を列挙するアルゴリズムにおいては、同型性の除去が求められる。立方体の展開図の場合には、頂点や辺の個数が小さい定数であり、また、ラベル付き展開図も 384 種類と少ないため、判定は容易であるが、多面体が複雑になるにつれて計算困難性の壁が立ち上がる。ラベル付き展開図の個数は、正十二面体や正二十面体で 5,184,000 (約 500 万) 通りある。サッカーボール形状の切頂二十面体では 375,291,866,372,898,816,000 (約 3.7 垓) 通りあり、切頂二十・十二面体で 21,789,262,703,685,125,511,464,767,107,171,876,864,000 (約 2.1 正) 通りと膨大であり、同型な展開図を除去して本質的に異なる展開図を取り出すのは困難な課題となっている。

また、多面体の展開図となるための必要十分条件は、切る辺が多面体のすべての頂点を結ぶ全域木を構成することであるが、多面体を単純に頂点と辺からなる無向グラフとみなすことはできない。無向グラフとしては同型な全域木であるが、そこから得られる展開図は異なる場合があるためである。多面体の展開図の同型性を扱うためには、各頂点に対して周囲の辺がどのような順番で入ってきているかが重要であり、2 つの展開図が同型であることは、もとの多面体に対する回転や鏡映による置換に対して全域木が同型であることと同じである。つまり、グラフ的な問題に幾何的条件を付加して考えることが重要となる。

このように、個別の問題に応じて「何をもちいて同型とするか」の定義を確認し、それぞれに応じて同型なものを除去する必要がある。一方で、その先の同型性の除去については、個別に対応を考えるのではなく、それらに共通して必要となる要素を抽出し、同型性をうまく扱うためのアルゴリズム設計の基盤を構築することに意義がある。

3. 研究の方法

本研究課題では、幾何図形を扱うさまざまな列挙問題において、グラフの部分構造を列挙する問題として研究対象をモデル化し、さらに、列挙した部分構造の間に同型性を定義することで、

同型なものを排して非同型な(つまり本質的に異なる)ものを列挙するアルゴリズム設計技法をアプローチとして採用する。

このために、まず、個別の問題に応じて「何をもちて同型とするか」の定義を確認し、問題のモデル化を行う。その先の同型性の除去については、個別に対応を考えるのではなく、それらに共通して必要となる要素を抽出し、同型性をうまく扱うためのアルゴリズム設計へと進む。ここでは、部分構造を列挙してから同型なものを除去するアプローチではなく、列挙途中で随時に同型性の判定を並行して行う。詳しく述べると、それまでに探索した部分的な情報から現在の探索が同型性の同値類の代表元となるための条件を随時判定し、以降の探索ではどのような入力が見られても代表元となりえないことが確定した段階で枝刈りを行う。このアプローチにより、非同型なもの(本質的に異なるもの)のみを直接的に列挙する。

4. 研究成果

多面体の展開図の列挙に関する研究では、先に述べたように、与えられた多面体の1-スケルトン(多面体の頂点と辺からなるグラフ)の全域木を求めることが必要十分条件であるが、同型な展開図は、1-スケルトンのグラフ上での全域木の同型性により単純に定義されるものではない。もとの多面体の上での頂点に対して周囲の辺がどのような順番で入ってきているかが重要であり、2つの展開図が同型であることは、もとの多面体に対する回転や鏡映による置換に対して全域木が同型であることと同じである。これを扱うために、もとの多面体に対する回転や鏡映それぞれに対し、1-スケルトンのどの辺ラベルがどの辺ラベルに移されるかを表す置換を求める。さらに、これらの置換により移される全域木を同型と定義し、その同値類を定める。また、こうして定めた同値類の中で辞書順が最大の全域木を、同値類の代表元と定める。

たとえば、立方体では、回転や鏡映を表す置換は恒等置換を含めて48通りあり、ラベル付き全域木は384個ある。それぞれの全域木についてすべての置換を調べることで同値類と代表元が定められ、11個の非同型な(本質的に異なる)展開図を得ることができる。同様に、7次元の超立方体では、回転や鏡映を表す置換は645,120通りあり、ラベル付き全域木が19,271,206,305,792(約19兆)個ある。それぞれの全域木についてすべての置換を調べるには、約1,200京通りの可能性をすべて調べることになる。

そこで、この問題のみならず、同型性が定義されその代表元を取り出す必要のある列挙問題に広く対応するため、以下のアプローチをとった。まず、与えられた1つの置換 π に対して、入力 $x \in \{0, 1\}^n$ が $\pi(x)$ よりも辞書順で大きくなるかを判定する問題に対し、その判定を行うオートマトンを設計し、フロンティア法の枠組みによりZDDをトップダウンに構築するアルゴリズムの設計に変換する。与えられた置換すべてにより定義される同値類の代表元は、その置換それぞれに上記のZDD構築アルゴリズムを動かし、すべてのZDDに共通して現れる。このため、解きたい一般の列挙問題に対しては、その同型性を定義するすべての置換を求めることができれば、後は、ラベル付きのグラフにおける列挙アルゴリズムにより構築されるZDDと、上記の手法により構築されるZDDとに共通して現れる元を求めるだけでよい。

d次元立方体の展開図の列挙問題において、提案手法を従来法と比較した結果は、以下の通りである。ここで、従来法は、ラベル付きグラフにおいて全域木をフロンティア法により求めてから、展開図ごとに、すべての写像により定義される同値類の中で辞書順最大の代表元となっているかを調べるものである。従来法は、全域木を求めるステップについてはフロンティア法のため高速に実行できるが、その後の同型性の除去のステップで膨大な時間を要している。たとえば、d=5の場合には、3,840通りの置換と32,768,000個の全域木のなす約1,258億通りの可能性に対し、従来法では1,167秒の計算時間を要したが、提案手法は4秒で実行することができ、300倍以上の高速化を達成している。また、メモリ使用量については、従来法では36GBを要したが、提案手法では10MBですみ、3,000倍以上の省メモリ化を達成している。

また、d=7の場合には、従来法では計算時間の観点からもメモリ使用量の観点からも列挙することができなかった。一方、提案手法では、645,120通りの置換と19,271,206,305,792(約19兆)個のラベル付き全域木のなす約1,200京通りの可能性を、7GBのメモリを使用して139,261秒(約38時間)で調べることができ、33,064,966個(約3,300万個)の非同型な展開図を得ることができる。

多面体の展開図の列挙問題は、少し一般化すると、多面体の一般展開図(多面体の辺だけでなく面を切り開くことも許した一般的な展開図)の列挙へとつながる。たとえば、直方体の表面を単位正方形の敷き詰めとみなすと、直方体の展開図に対応する切る辺の集合は、制約付きの全域木とみなすことができる。ここで、直方体の回転や鏡映を表す置換を求めることで、上記の手法により、同型性を除去して本質的に異なる一般展開図のみを求めることができる。

また、提案手法は、同型性を置換により記述することでZDDをトップダウン構築することができる一般性を持ったものであるため、適用範囲は多面体の展開図の列挙問題に限らない。たとえば、スポーツのスケジュールリングでの総当たり戦におけるホーム・アウェイのテーブルの列挙や、原子の格子状配置の列挙、正2n角形への菱形のタイリング(敷き詰め)の列挙などを行うことができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 K. Shinohara, A. Seko, T. Horiyama, M. Ishihata, J. Honda, I. Tanaka	4. 巻 153-104109
2. 論文標題 Enumeration of nonequivalent substitutional structures using advanced data structure of binary decision diagram	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0021663	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 T. Kamata, A. Kadoguchi, T. Horiyama, R. Uehara	4. 巻 32
2. 論文標題 Efficient Folding Algorithms for Regular Polyhedra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 32nd Canadian Conference on Computational Geometry (6. 最初と最後の頁 121-127
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 H. A. Akitaya, E. D. Demaine, T. Horiyama, T. C. Hull, J. S. Ku, T. Tachi	4. 巻 11(1)
2. 論文標題 Rigid Foldability is NP-Hard	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational Geometry	6. 最初と最後の頁 93-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20382/jocg.v11i1a4	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 K. Yamanaka, T. Horiyama, K. Wasa	4. 巻 859
2. 論文標題 Optimal reconfiguration of optimal ladder lotteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 57-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2021.01.009	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 K. Yamanaka, E. D. Demaine, T. Horiyama, A. Kawamura, S. Nakano, Y. Okamoto, T. Saitoh, A. Suzuki, R. Uehara, T. Uno	4. 巻 23
2. 論文標題 Sequentially Swapping Colored Tokens on Graphs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Graph Algorithms and Applications	6. 最初と最後の頁 3~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7155/jgaa.00482	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 K. Mizunash, T. Horiyama, R. Uehara	4. 巻 24
2. 論文標題 Efficient Algorithm for Box Folding	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Graph Algorithms and Applications	6. 最初と最後の頁 89-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7155/jgaa.00520	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 T. Horiyama, S. Nakano, T. Saitoh, K. Suetsugu, A. Suzuki, R. Uehara, T. Uno, K. Wasa	4. 巻 11653
2. 論文標題 Max-Min 3-Dispersion Problems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 291-300
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 T. Horiyama, F. Klute, M. Korman, I. Parada, R. Uehara, K. Yamanaka	4. 巻 31
2. 論文標題 Efficient Segment Folding is Hard	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 31st Canadian Conference on Computational Geometry	6. 最初と最後の頁 177-183
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 T. Horiyama, K. Kurita, Y. Okamoto, K. Uchizawa, R. Uehara	4. 巻 22
2. 論文標題 Mind The Mind with Synchronous Clocks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 22nd Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs and Games	6. 最初と最後の頁 71-72
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 T. Horiyama, T. Tachi, A. Tokolo	4. 巻 22
2. 論文標題 Another Representation of Rhombus Tilings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 22nd Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs and Games	6. 最初と最後の頁 73-74
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 T. Akagi, T. Araki, T. Horiyama, S. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, T. Saitoh, R. Uehara, T. Uno, K. Wasa	4. 巻 10823
2. 論文標題 Exact Algorithms for the Max-Min Dispersion Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 263-272
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 T. Feng, T. Horiyama, Y. Okamoto, Y. Otachi, T. Saitoh, T. Uno, R. Uehara	4. 巻 10979
2. 論文標題 Computational Complexity of Robot Arm Simulation Problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 177-188
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 K. Yamanaka, T. Horiyama, T. Uno, K. Wasa	4. 巻 30
2. 論文標題 Ladder-Lottery Realization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 30th Canadian Conference on Computational Geometry	6. 最初と最後の頁 61-67
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 T. Horiyama, M. Miyasaka, R. Sasaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Isomorphism Elimination by Zero-Suppressed Binary Decision Diagrams	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 30th Canadian Conference on Computational Geometry	6. 最初と最後の頁 360-366
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 T. Horiyama, J. Itoh, C. Nara	4. 巻 21
2. 論文標題 On 2-Dimensional Developments of a 4-Dimensional Hypercube and a Regular Pentachoron	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 21st Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs and Games	6. 最初と最後の頁 105-107
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 K. Mizunashi, T. Horiyama, R. Uehara	4. 巻 11355
2. 論文標題 Efficient algorithm for box folding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 277-288
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 -

〔学会発表〕 計52件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 S. Terui, T. Hirayama, T. Horiyama, K. Yamanaka, T. Uno
2. 発表標題 Enumerating Empty Polygons
3. 学会等名 The 4th International Workshop on Enumeration Problems & Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田斗南, 門口あきら, 堀山貴史, 上原隆平
2. 発表標題 正多面体の折り判定問題の研究
3. 学会等名 第28回折り紙の科学・数学・教育研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Terui, T. Hirayama, T. Horiyama, K. Yamanaka, T. Uno
2. 発表標題 Enumerating Empty Polygons
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Araki, T. Horiyama, S. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, T. Uno, K. Yamanaka
2. 発表標題 Sorting by Five Prefix Reversals
3. 学会等名 情報処理学会アルゴリズム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Nishimoto, T. Horiyama, T. Tachi
2. 発表標題 Polyhedral Forms from Folding Geodesic Strips
3. 学会等名 Virtual Technical Meeting of the Society of Engineering Science 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 湊真一, 番原睦則, 堀山貴史, 川原純, 瀧川一学, 山口勇太郎
2. 発表標題 コスト制約つき組合せ問題に対するZDDを用いた高速な解列挙手法
3. 学会等名 電子情報通信学会コンピューテーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡部航也, ヘンリアン ディプタラマ, 吉仲亮, 堀山貴史, 篠原歩
2. 発表標題 覆面算を列挙するオートマトンの効率的な構築手法
3. 学会等名 電子情報通信学会コンピューテーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上原隆平, 門口あきら, 鎌田斗南, 堀山貴史
2. 発表標題 正多面体の折り判定問題の多項式時間解法
3. 学会等名 第29回折り紙の科学・数学・教育研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中畑 裕, 堀山 貴史, 湊 真一, 山中 克久
2. 発表標題 動的計画法に基づく Simple Polygonization 列挙アルゴリズムの実験的評価
3. 学会等名 情報処理学会アルゴリズム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Horiyama
2. 発表標題 Enumeration with Isomorphism Elimination
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Enumeration Problems & Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yamanaka, T. Horiyama, Y. Okamoto, R. Uehara, T. Yamauchi
2. 発表標題 Enumeration of Surrounding Polygons
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Enumeration Problems & Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Nishimoto, T. Horiyama, T. Tachi
2. 発表標題 Geodesic Folding of Tetrahedron
3. 学会等名 Symmetry: Art and Science, 11th Congress and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀山貴史, 栗田和宏, 岡本吉央, 内澤啓, 上原隆平
2. 発表標題 Mind the Mind with Synchronous Clocks
3. 学会等名 第30回 列挙アルゴリズムセミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 箱折りのためのアルゴリズム
3. 学会等名 折紙を基礎とする数理と折紙工学への応用発展, 明治大学先端数理科学インスティテュート, MIMS 現象数理学拠点 共同研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 列挙アルゴリズムの合成による列挙
3. 学会等名 基盤(S) 離散構造処理系プロジェクト 短期滞在セミナー週間 (SSSW) 2019.05
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中畑裕, 川原純, 堀山貴史, 湊真一
2. 発表標題 ZDD を用いたグラフ細分構造の列挙索引化
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西本清里, 堀山貴史, 館知宏
2. 発表標題 ジオデシック四面体
3. 学会等名 第26回 折り紙の科学・数学・教育 研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山浩彰, 堀山貴史
2. 発表標題 スポーツスケジューリングにおけるブレーク数上限付きのホーム アウェイ テーブルの列挙 ~アルゴリズムとその実装~
3. 学会等名 基盤(S) 離散構造処理系プロジェクト 2019年度 初夏のワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山浩彰, 堀山貴史
2. 発表標題 スポーツスケジューリングにおけるブレーク数上限付きの ホームアウェイテーブルの列挙
3. 学会等名 第32回 回路とシステムワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 スポーツスケジューリングにおけるホームアウェイテーブルの列挙
3. 学会等名 離散数学とその応用研究集会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Horiyama
2. 発表標題 Enumeration and Counting of the Developments of Polyhedra
3. 学会等名 Japanese days at the Laboratory of Informatics, Modelling and Optimization of the Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 アルゴリズムの観点からの展開図作成
3. 学会等名 明治大学アカデミックフェス2019, 数理科学する明治大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Terui, T. Hirayama, T. Horiyama, K. Yamanaka
2. 発表標題 Enumerating empty polygons
3. 学会等名 令和元年度 情報処理学会 東北支部研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yamanaka, T. Horiyama, Y. Okamoto, R. Uehara, T. Yamauchi
2. 発表標題 Enumeration of Surrounding Polygons
3. 学会等名 情報系 Winter Festa Episode 5
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中畑裕, 堀山貴史, 湊真一, 山中克久
2. 発表標題 連結かつ非交差な幾何グラフの列挙, ランダム生成, 最適化
3. 学会等名 LA シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田斗南, 上原隆平, 堀山貴史
2. 発表標題 Efficient Algorithm for Dodecahedron Folding
3. 学会等名 LA シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 多面体の展開と折り
3. 学会等名 日本数学会 2020年度年会, 企画特別公演 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kuribayashi-Shigetomi, T. Horiyama, Q. He, R. Uehara
2. 発表標題 Folding 3D Cell Shapes Optimized by Computational Origami
3. 学会等名 The 7th International Meeting on Origami in Science, Mathematics and Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Tachi, and T. Horiyama
2. 発表標題 1-DOF Structure Folding into Multiple Polyhedra
3. 学会等名 The 7th International Meeting on Origami in Science, Mathematics and Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Horiyama, and T. Kondo
2. 発表標題 On the Enumeration of the Nonisomorphic Unfoldings of 4-Dimensional Crosspolytopes
3. 学会等名 The 2nd International Workshop on Enumeration Problems & Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Yamanaka, T. Horiyama, Y. Okamoto, R. Uehara, T. Yamauchi
2. 発表標題 Algorithmic Enumeration of Surrounding Polygons
3. 学会等名 The 35th European Workshop on Computational Geometry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中畑 裕, 鈴木 浩史, 石島 正和, 堀山 貴史
2. 発表標題 フロンティア法によるDAGの非巡回縮約の列挙
3. 学会等名 2018年度 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 ZDD による列挙における同型性の除去
3. 学会等名 離散構造処理系プロジェクト 短期滞在セミナー週間 2018.05
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 舘知宏, 堀山貴史
2. 発表標題 複数の多面体に折れる一自由度機構
3. 学会等名 第24回 折り紙の科学・数学・教育 研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 列挙アルゴリズムとデザイン
3. 学会等名 日本建築学会, 第1回デザイン科学数理知能シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中畑裕, 川原純, 堀山貴史, 笠原正治
2. 発表標題 決定グラフによる禁止マイナー演算
3. 学会等名 離散構造処理系プロジェクト 2018年度 初夏のワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野崎裕樹, Diptarama Hendrian, 吉仲亮, 堀山貴史, 篠原歩
2. 発表標題 決定性有限状態機械による覆面算の列挙
3. 学会等名 離散構造処理系プロジェクト 2018年度 初夏のワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀山貴史
2. 発表標題 4次元超立方体の2次元展開について
3. 学会等名 MIMS 現象数理学拠点 共同研究集会, 折紙数学と折紙工学を基盤とする産業応用(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伝住周平, 堀山貴史, 栗田和宏, 中畑裕, 鈴木浩史, 和佐州洋, 山崎一明
2. 発表標題 非同型な2端子直並列グラフの列挙とランダムサンプリング
3. 学会等名 電子情報通信学会, コンピューテーション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Yamanaka, T. Horiyama, T. Uno, K. Wasa
2. 発表標題 The Complexity of Ladder-Lottery Realization Problem
3. 学会等名 情報処理学会, アルゴリズム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中畑裕, 川原純, 堀山貴史, 湊真一
2. 発表標題 グラフに含まれる位相的に同型な部分グラフの列挙索引化
3. 学会等名 離散構造処理系プロジェクト 2018年度 秋のワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山浩彰, 堀山貴史
2. 発表標題 スポーツスケジューリングにおけるブレイク数上限付きのホーム アウェイ テーブルの列挙
3. 学会等名 離散構造処理系プロジェクト 2018年度 秋のワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀山貴史, 中野真一, 齋藤寿樹, 末續鴻輝, 鈴木顕, 上原隆平, 宇野毅明, 和佐州洋
2. 発表標題 3-Dispersion
3. 学会等名 第29回 列挙アルゴリズムセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中畑裕, 川原純, 堀山貴史, 湊真一
2. 発表標題 グラフのユニグラフ分解
3. 学会等名 第29回 列挙アルゴリズムセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀山貴史, 川原純
2. 発表標題 オイラー路の列挙
3. 学会等名 第29回 列挙アルゴリズムセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Horiyama, S. Nakano, T. Saitoh, K. Suetsugu, A. Suzuki, R. Uehara, T. Uno, K. Wasa
2. 発表標題 Max-Min 3-dispersion Problems
3. 学会等名 電子情報通信学会, コンピューテーション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀山貴史, 上原隆平, 水無浩一
2. 発表標題 箱折り問題に対する効率の良いアルゴリズム
3. 学会等名 第25回 折り紙の科学・数学・教育 研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角野周平, 堀山貴史
2. 発表標題 ポリアの数え上げに基づく非同型な塗分けの索引化
3. 学会等名 LA シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Mizunashi, T. Horiyama, R. Uehara
2. 発表標題 Efficient Algorithm for Box Folding
3. 学会等名 LA Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角野周平, 堀山貴史
2. 発表標題 ポリアの数え上げに基づく非同型な塗分けの索引化
3. 学会等名 情報処理学会, アルゴリズム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yamanaka, T. Horiyama, Y. Okamoto, R. Uehara, T. Yamauchi
2. 発表標題 Enumerating Surrounding Polygons
3. 学会等名 情報処理学会, アルゴリズム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀山貴史, 栗田和宏, 岡本吉央, 内澤啓, 上原隆平
2. 発表標題 Mind the Mind with Synchronous Clocks
3. 学会等名 第14回 組合せゲーム・パズル 研究集会
4. 発表年 2019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			
米国	MIT			