

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11670

研究課題名(和文)大規模配位空間の最適化理論：離散構造論の視点を中心にして

研究課題名(英文) Optimization theory over large configuration spaces from the viewpoint of discrete structures

研究代表者

岡本 吉央 (OKAMOTO, Yoshio)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00402660

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)：繰越期間を含めた4年の研究期間において、24件の学術論文出版、および、12件の口頭発表を行った。その中で代表的なものを紹介する。(1) グラフ結合多面体を配位空間としたときの最短路問題が計算理論的に困難であることを証明した。この成果は理論計算機科学の伝統的国際会議ICALPに採択された。(2) 量子アルゴリズムを量子コンピュータで実行する際に効率よくマッピングする問題がかなり制限されたアーキテクチャにおいても計算理論的に困難であることを証明した。この成果はアルゴリズムとデータ構造の定評ある国際会議WADSに採択された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大規模配位空間に対して、既存研究では連結性といった位相的性質に関する研究が主に行われていたが、本研究によって、最短路やクラスタリングといった距離的性質に関する研究の成果が多く得られた。これによって、オペレーションズ・リサーチや理論物理学といった領域で大規模配位空間における最適化の数理が理論的に応用可能であることが判明した。将来的には、理論だけではなく、実用に進展することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Over the four-year research period, including the extension period, 24 academic papers and 12 presentations were produced. Below are samples of the notable achievements.

(1) It was demonstrated that the shortest path problem in the configuration space of graph associahedra is computationally hard. This research was accepted at ICALP, a refereed international conference on theoretical computer science with a long tradition. (2) The challenge of efficiently mapping quantum algorithms to quantum computers was shown to be computationally hard, even in highly restricted architectures. This finding was accepted at WADS, a respected refereed international conference on algorithms and data structures.

研究分野：離散数学

キーワード：アルゴリズム 計算理論 グラフ理論 離散幾何学 量子プログラミング

1. 研究開始当初の背景

近年、組合せ遷移問題に関する研究が盛んに行われている。これは、考慮すべき配位が大規模となる離散システムを対象とし、その配位空間の連結性問題として定式化される。例えば、ある配位によって運用されているシステムが災害に伴う障害を受けたとき、障害によって引き起こされた配位から元の配位へ復元可能であるかどうか、問うわけである。そのような災害復旧のみならず、システムの設計、保守、改善など、多くの現実問題を組合せ遷移問題と見なせる。

配位空間の連結性問題は盛んに研究されているが、一方で、配位空間における最適化問題に対する研究は発展途上である。例えば、ある配位から別の特定の配位へ遷移する際の最短手順を求める「最短路問題」に関する研究は最近やっと始まり、配位空間全体を特定の数の球で被覆する「クラスタリング問題」に関する研究は皆無である。その理由として、以下のものが考えられる。連結性問題では、つながっているかいないかという位相的性質が問われているのに対して、最短路問題やクラスタリング問題では、それに加えて距離的性質が問われているからである。つまり、配位空間上の最適化問題を解決するためには、配位空間の位相的性質のみならず、より深く配位空間の距離的性質を理解する必要がある。

配位空間上の最適化問題が解けると、新しい応用が生まれる。例えば、最短路問題が解けると、システムの復元をより高速に、より低コストに行えるようになる。また、クラスタリング問題が解けると、将来の不確実な未来に対して頑健なシステム設計を行なえるようになる。なぜならば、クラスタ中心となる配位をシステム設計に用いると、実際に生じたシナリオに対処するための配位をクラスタ中心から近い配位とすることで、そこへ高速に遷移可能となるからである。

また、最近では、量子コンピュータの実装に関する要請から「量子ビット配置問題」という最適化問題が考案されている。これは論理的な量子ビットを物理的な量子ビットに上手く写すことで、目的とする量子回路を効率よく実現する問題をモデル化したものである。これはまさに、量子ビットの成す配位空間における最短路問題と見なすことができる。すなわち、本研究の成果が量子ビットの制御という理論物理学における重要な問題と関連し、物理学に対しても波及効果をもたらす。

これらの問題に対して、既存研究では多くの場合にヒューリスティックな解法の提案に終始していた。本研究は、既存研究と違い、数理学と計算理論に根差した頑健で一般的な方法論を提供し、既存手法で解けなかった規模の問題を解くことを目指す。対象とするシステムにおける配位の数 10^{30} 以上の規模となることを想定している。ベンチマーク Graph 500 BFS huge のサイズが約 10^{12} であることを考えると、既存手法では太刀打ちできないことが分かる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、配位空間の距離的構造を数理学と計算理論に根差した手法で理解

し,それを配位空間における最適化問題の効率的解法設計に応用し,オペレーションズ・リサーチや理論物理学の諸問題に適用することである。

本研究の学術的独自性と創造性は,配位空間の距離的構造を理解するために,離散構造論を援用することにある。特に,有限群,凸多面体,有限束を利用する。これによって,既存手法で解けなかった規模の問題を解くことを可能とする。

有限群は対称性の高いシステムを記述することに優れている。理論物理学でよく扱う格子系はそのような対称性の高いシステムの一例である。実際,多くの離散システムは有限群の Cayley グラフをその配位空間として持つ。しかし,その事実がアルゴリズム設計に大きな影響を与えた例は存在しない (Jerrum による研究はその一端を見せているが,有限群論を用いているわけではない)。

凸多面体は幾何学的な性質を持つ離散構造であり,最適化理論でよく研究される対象である。凸多面体の持つ幾何学は,「点と線」で表される配位空間の構造に「面」という新たな相を付け加える。これにより,「凸多面体の面もまた凸多面体である」という凸多面体における事実が使えるようになり,配位空間の再帰的な構造が明確になる。再帰構造はアルゴリズム設計における基礎であり,これにより,効率的解法設計が可能になると考えている。

有限束は,とても普遍的な離散構造であり,また,閉包作用素を通じて,任意の有限集合族を有限束として表現できる。一方で,ある種の有限集合族は特殊な性質を持つ有限束として表現でき,その性質を用いて,配位空間における最適化問題が効率的に解ける。例えば,Aichholzer らの論文を注意深く読むと,配位空間が分配束という特殊な有限束である場合を扱っていることが分かる。本研究では,彼らの方法論を,分配束よりも一般的な「下半モジュラ束」にまで拡張し,有限束を用いた効率的アルゴリズムの設計理論として確立する。

3. 研究の方法

本研究の実施は,次の3段階に大きく分かれる。それぞれの段階において,何をどのようにどこまで明らかにしようとするのか,述べる。

a) 離散構造論を用いて,配位空間の距離的構造を理解する段階。

先に挙げた3つの離散構造,すなわち,有限群,凸多面体,有限束を援用することで,配位空間の距離的構造を明らかにする。特に,有限群を用いて対称性に基づく構造の解明,凸多面体を用いて再帰性を持つ構造の解明,有限束を用いて分配束における結果の一般化を行う。

b) 配位空間の距離的構造を用いて,配位空間における最適化問題に対する効率的解法を設計する段階。

段階 (a) で得られた知見に基づき,配位空間における最短路問題とクラスタリング問題に焦点を絞り,それらに対する効率的アルゴリズムを設計する。そして,効率的アルゴリズムが設計できないときには,不可能性に対する計算複雑性理論的保証を与える。

c) 設計した効率的解法を,オペレーションズ・リサーチや理論物理学の諸問題に適用する段階。

災害後の高速システム復旧,未知の状況に対する頑健性を持つシステム設計,量子ビット配置問題を対象として,段階 (b) で得られた効率的アルゴリズムの応用を行う。

4. 研究成果

繰越期間を含めた4年の研究期間において、24件の学術論文出版、および、12件の口頭発表を行った。その中で代表的なものの概要を成果として報告する。

凸多面体から得られる配位空間における距離構造について、いくつかの重要な成果を得た。(1) 無向グラフの完全マッチング全体の族から作られる凸多面体である完全マッチング多面体は、組合せ最適化の理論研究やアルゴリズム設計において重要な役割を果たしている。この多面体を配位空間としたときの距離構造を調査した。まず、二つの配位間の距離を計算する問題が、考える無向グラフが二部グラフ、あるいは、平面的グラフであっても計算複雑性理論的に困難な問題であることを証明した。そして、考える無向グラフが外平面的グラフという平面的グラフの特殊な場合においては、二つの配位間の距離を計算する問題が計算複雑性理論的に簡単な問題であることを証明した。この成果は、離散数学に関する権威あるジャーナルである SIAM Journal on Discrete Mathematics 誌に掲載された。(2) 結合多面体と呼ばれる、組合せ論のみならず、データ構造論や計算幾何学においても重要な役割を担う凸多面体がある。結合多面体を配位空間としたときに、二つの配位間の距離を計算する問題が計算複雑性理論的に困難な問題であるかどうかということは、これらの分野における大きな未解決問題である。この研究では、それを一般化した問題が計算複雑性理論的に困難な問題であることを証明した。その一般化はグラフ結合多面体と呼ばれる凸多面体を考えるものである。グラフ結合多面体は組合せ論に現れる様々な問題を統一的に扱える構造として、最近注目されている。グラフ結合多面体を配位空間としたときに、二つの配位間の距離を計算する問題が計算複雑性理論的に困難であることを証明した。これは、ポリマトロイド多面体と呼ばれる、組合せ最適化や情報理論で重要な役割を果たす離散構造においても、二つの配位間の距離を計算する問題が計算複雑性理論的に困難であることを意味している。これはマトロイド多面体という同種の多面体では見られない現象であり、マトロイドとポリマトロイドの対照を示す具体例として興味深いものとなっている。この成果は、理論計算機科学において伝統のある査読付き国際会議である International Colloquium on Automata, Languages and Programming に採択された。

大規模配位空間の距離構造を活かした最適化問題を用いて問題解決をいくつかの研究で行った。(1) 有限集合の冪集合において、対称差の要素数が距離を誘導する。この距離空間において、いくつかの部分集合族が劣モジュラ関数の最小化元の族として与えられたとき、それらへの距離の和を最小とする集合を見つける最適化問題を劣モジュラ再割当問題と名付けて、調査した。これは、不確実性がある際に、2つのジョブに複数のマシンを最適に二段階で割り当てる問題を抽象化したものであり、劣モジュラ関数最小化という組合せ最適化でよく知られた問題の一般化となっている。結果として、劣モジュラ再割当問題が計算複雑性理論的に容易な問題であることを証明した。証明においては、バーコフの表現定理と呼ばれる束論でよく知られた結果とネットワークフローのアルゴリズムを組み合わせで用いている。この結果は、離散最適化の分野において定評のある Discrete Optimization 誌に掲載された。(2) マトロイドは組合せ最適化に現れる基礎的な離散構造であり、離散数学において中心的な役割を担っている。マトロイドにおいて、全張集合が s 個与えられたとき、それらの全張集合への距離の最大値が最小

となるような基を求める最適化問題を考案し、調査した。この問題は通信網においてリンク故障に対して頑健なネットワーク配置を構成する問題をマトロイド的に一般化した問題であり、マトロイドにおける距離構造を考察対象としている。結果として、まず、この問題が一般の場合に計算複雑性理論的に困難な問題であることを証明した。そして、全張集合の総数 s が定数である（実際は定数より少し大きくてもよい）とき、計算複雑性理論的に容易な問題であることを証明した。この研究は、オペレーションズ・リサーチにおいて定評のある Operations Research Letters 誌に掲載された。

大規模配位空間における最適化理論を量子プログラミングのコンパイラ構成に応用する研究を行った。具体的には、量子回路として設計された量子アルゴリズムを IBM Quantum のようなネットワーク構造を持つアーキテクチャの量子コンピュータで実行するために、効率よく量子ビットをマッピングする量子ビット配置問題を研究対象とした。結果として、線形最近傍アーキテクチャという極端に限定的な状況においても、最適なマッピングを求めることが計算複雑性理論的に困難な問題であることを証明した。また、量子アルゴリズムにある種の制限がある場合には、計算複雑性理論的に効率よく最適なマッピングを求められることを証明した。この成果は、アルゴリズムとデータ構造の分野において定評のある査読付き国際会議である Algorithms and Data Structures Symposium に採択された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 261
2. 論文標題 Rerouting planar curves and disjoint paths	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of 50th EATCS International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP 2023), Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 81:1-81:19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ICALP.2023.81	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 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 979
2. 論文標題 On reachable assignments under dichotomous preferences	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 114196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2023.114196	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 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto	4. 巻 14079
2. 論文標題 Algorithmic theory of qubit routing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Algorithms and Data Structures Symposium (WADS 2023), Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 533-546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-38906-1_35	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 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 258
2. 論文標題 Reconfiguration of colorings in triangulations of the sphere	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of 39th International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2023), Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 43:1-43:16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.SocG.2023.43	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 Guilherme C. M. Gomes, Clement Legrand-Duchesne, Reem Mahmoud, Amer E. Mouawad, Yoshio Okamoto, Vinicius F. dos Santos, Tom C. van der Zanden	4. 巻 --
2. 論文標題 Minimum separator reconfiguration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 2307.07782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2307.07782	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 該当する

1. 著者名 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto	4. 巻 261
2. 論文標題 Hardness of finding combinatorial shortest paths on graph associahedra	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of 50th EATCS International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP 2023), Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 82:1-82:17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ICALP.2023.82	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 Takehide Soh, Tomoya Tanjo, Yoshio Okamoto, Takehiro Ito	4. 巻 --
2. 論文標題 CoRe Challenge 2022/2023: Empirical evaluations for independent set reconfiguration problems (Extended Abstract)	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. of 17th International Symposium on Combinatorial Search (SoCS 2024)	6. 最初と最後の頁 285-286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/socs.v17i1.31583	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 Guilherme C. M. Gomes, Clement Legrand-Duchesne, Reem Mahmoud, Amer E. Mouawad, Yoshio Okamoto, Vinicius F. dos Santos, Tom C. van der Zanden	4. 巻 285
2. 論文標題 Minimum separator reconfiguration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of 18th International Symposium on Parameterized and Exact Computation (IPEC 2023), Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 9:1-9:12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.IPEC.2023.9	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 Luis Barba, Otfried Cheong, Michael Gene Dobbins, Rudolf Fleischer, Akitoshi Kawamura, Matias Korman, Yoshio Okamoto, Janos Pach, Yuan Tang, Takeshi Tokuyama, Sander Verdonschot	4. 巻 13
2. 論文標題 Weight balancing on boundaries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Computational Geometry	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20382/jocg.v13i1a1	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 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto	4. 巻 36
2. 論文標題 Shortest Reconfiguration of Perfect Matchings via Alternating Cycles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 1102-1123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/20M1364370	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 Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto	4. 巻 44
2. 論文標題 Submodular reassignment problem for reallocating agents to tasks with synergy effects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete Optimization	6. 最初と最後の頁 100631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disopt.2021.100631	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 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto	4. 巻 50
2. 論文標題 A parameterized view to the robust recoverable base problem of matroids under structural uncertainty	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Operations Research Letters	6. 最初と最後の頁 370-375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orl.2022.05.001	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 Oswin Aichholzer, Matias Korman, Yoshio Okamoto, Irene Parada, Daniel Perz, Andre van Renssen, Birgit Vogtenhuber	4. 巻 943
2. 論文標題 Graphs with large total angular resolution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 73-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2022.12.010	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 Bahareh Banyassady, Mark de Berg, Karl Bringmann, Kevin Buchin, Henning Fernau, Dan Halperin, Irina Kostitsyna, Yoshio Okamoto, Stijn Slot	4. 巻 224
2. 論文標題 Unlabeled multi-robot motion planning with tighter separation bounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 38th International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2022), Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 12:1-12:16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.SocG.2022.12	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 Takehiro Ito, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 13753
2. 論文標題 On reachable assignments under dichotomous preferences	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 24th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2022), Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 650-658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-21203-1_43	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 Katsuhisa Yamanaka, David Avis, Takashi Horiyama, Yoshio Okamoto, Ryuhei Uehara, Tanami Yamauchi	4. 巻 303
2. 論文標題 Algorithmic enumeration of surrounding polygons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 305-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2020.03.034	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 Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto, Yota Otachi, Yushi Uno	4. 巻 84
2. 論文標題 Linear-Time Recognition of Double-Threshold Graphs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 1163-1181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-021-00921-9	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 Jakob Geiger, Sabine Cornelsen, Jan-Henrik Haurert, Philipp Kindermann, Tamara Mchedlidze, Martin Noellenburg, Yoshio Okamoto, Alexander Wolff	4. 巻 40
2. 論文標題 ClusterSets: Optimizing Planar Clusters in Categorical Point Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computer Graphics Forum	6. 最初と最後の頁 471-481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/cgf.14322	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 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 -
2. 論文標題 Monotone edge flips to an orientation of maximum edge-connectivity a la Nash-Williams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2022)	6. 最初と最後の頁 1342-1355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/1.9781611977073.56	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 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki	4. 巻 掲載予定
2. 論文標題 Reforming an envy-free matching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2022)	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bodlaender Hans L., Hanaka Tesshu, Kobayashi Yasuaki, Kobayashi Yusuke, Okamoto Yoshio, Otachi Yota, van der Zanden Tom C.	4. 巻 82
2. 論文標題 Subgraph Isomorphism on Graph Classes that Exclude a Substructure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 3566-3587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-020-00737-z	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 Arseneva Elena, Chiu Man-Kwun, Korman Matias, Markovic Aleksandar, Okamoto Yoshio, Ooms Aur?lien, van Renssen Andr?, Roeloffzen Marcel	4. 巻 92
2. 論文標題 Rectilinear link diameter and radius in a rectilinear polygonal domain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Geometry	6. 最初と最後の頁 101685-101685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.comgeo.2020.101685	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 Ito Takehiro, Kamiyama Naoyuki, Kobayashi Yusuke, Okamoto Yoshio	4. 巻 868
2. 論文標題 Algorithms for gerrymandering over graphs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 30-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2021.03.037	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 Kobayashi Yusuke, Okamoto Yoshio, Otachi Yota, Uno Yushi	4. 巻 12301
2. 論文標題 Linear-Time Recognition of Double-Threshold Graphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 286-297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-60440-0_23	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12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Yoshio Okamoto
2. 発表標題 Angular Resolution in Graph Drawing
3. 学会等名 Graph Drawing 2022 PhD School (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Monotone edge flips to an orientation of maximum edge-connectivity a la Nash-Williams
3. 学会等名 ICALP affiliated workshop "Combinatorial Reconfiguration" (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Reformist envy-free item allocations: Algorithms and complexity
3. 学会等名 第183回情報処理学会アルゴリズム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jakob Geiger, Sabine Cornelsen, Jan-Henrik Haurert, Philipp Kindermann, Tamara Mchedlidze, Martin Noellenburg, Yoshio Okamoto, Alexander Wolff
2. 発表標題 ClusterSets: Optimizing planar clusters in categorical point data
3. 学会等名 23rd EG Conference on Visualization (EuroVis 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Reconfiguration of envy-free item allocations
3. 学会等名 Workshop on Combinatorial Reconfiguration, affiliated with ICALP 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本 吉央
2. 発表標題 単位円配置の遷移 --- 連続的な組合せ遷移
3. 学会等名 離散数学とその応用研究集会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Monotone edge flips to an orientation of maximum edge-connectivity a la Nash-Williams
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 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本 吉央
2. 発表標題 「52人でババ抜きしてみた」の一般化と特殊化
3. 学会等名 第16回組合せゲーム・パズル研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Shun-ichi Maezawa, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Monotone edge flips to an orientation of maximum edge-connectivity a la Nash-Williams
3. 学会等名 2022 ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Naonori Kakimura, Naoyuki Kamiyama, Yusuke Kobayashi, Yuta Nozaki, Yoshio Okamoto, Kenta Ozeki
2. 発表標題 Reforming an envy-free matching
3. 学会等名 36th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤健洋、垣村尚徳、神山直之、小林佑輔、岡本吉央
2. 発表標題 構造変化に応じるロバスト修復可能マトロイド基問題に対する固定パラメータアルゴリズム
3. 学会等名 FIT 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuya Araki, Takashi Horiyama, Shin-ichi Nakano, Yoshio Okamoto, Yota Otachi, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, Katsuhisa Yamanaka
2. 発表標題 Sorting by Five Prefix Reversals
3. 学会等名 第179回情報処理学会アルゴリズム研究会
4. 発表年 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
---------	---------