

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K00017

研究課題名（和文）離散最適化に対する固定パラメータアルゴリズムの深化：多項式時間FPTと実用化

研究課題名（英文）Deepening Fixed-Parameter Algorithms for Discrete Optimization: Polynomial-Time FPT and Practical Applications

研究代表者

宇野 裕之（Uno, Yushi）

大阪公立大学・大学院情報学研究科 ・教授

研究者番号：60244670

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：アルゴリズム理論分野で発展するパラメータ化計算という枠組みのもと、効率的なアルゴリズムの設計技法として確立する固定パラメータアルゴリズム理論に対し、現在は理論的な成果が中心の研究を実用化へと推し進めた。グラフ描画に関して、頂点順序が定められたグラフの枝を少ないページ数で交差なく描くことや各ページの交差数を最小化する問題を扱い、各種パラメータに対するパラメータ化アルゴリズムを提案した。またネットワークの変化度を測る方法を提案した。応用としてバイオ情報学分野での細菌間相互作用ネットワークの変化量に着目し、病気の原因となる細菌を特定する手法を開発したうえで、汎用アプリケーションとして提供した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

理論計算機科学における計算複雑さやアルゴリズム理論の分野で発展を遂げ新潮流を形成するパラメータ化計算という枠組みのもとで、離散最適化に対する効率的なアルゴリズムの設計技法として確立しつつある固定パラメータアルゴリズム理論を扱い、現時点では理論的な成果が中心の固定パラメータアルゴリズムの研究を実用化の段階へと推し進めることを目指した。その成果の一つとしてネットワークの変化度を測る方法を提案した。具体的な応用先としてバイオインフォマティクスでの細菌間相互作用ネットワークの変化量に着目し、病気の原因となる細菌を特定する手法を開発したうえで汎用アプリケーションとして提供したことは社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：In the framework of parameterized computation, which has been developed in the field of algorithm theory, we have advanced the current research, which is mainly theoretical results, into practical applications of fixed-parameter algorithm theory, which is established as a technique for designing efficient algorithms.

In the area of graph drawing, we have dealt with the problems of drawing edges of a graph with a fixed order of vertices in a small number of pages without crossing, and minimizing the number of crossings on each page, and proposed parameterized algorithms for various parameters.

We also proposed a method to measure the degree of change of networks. As an application, we focused on the change in the bacterial interaction network in the field of bioinformatics, developed a method to identify disease-causing bacteria, and provided it as a general-purpose application.

研究分野：情報学基礎

キーワード：固定パラメータアルゴリズム 離散最適化 パラメータ化計算複雑さ 多項式時間アルゴリズム 平面的グラフ 交差数 ネットワーク解析 バイオネットワーク

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

P = NP? 問題は、米国クレイ数学研究所が掲げた 7 つの未解決問題の一つであり、理論計算機科学分野を象徴する依然として未解決の難問である。一方で、その存在自体が理論計算機科学分野を活性化させ、挑戦の過程でさまざまな新しい概念や理論を創出し、この学問分野に発展をもたらしている。この未解決問題に対するアプローチは計算の不可能性(下界)と、多くはアルゴリズムを設計することによる可能性(上界)の議論の二つに大別でき、前者は計算複雑さの理論を、後者は近似や乱択などさまざまなアルゴリズム設計・解析技法を整備し発展させた。新たな技法にもとづく計算の枠組みは新たな計算複雑さの定義を与え、クラスの細分化や分類が進む。たとえば近似計算は、計算困難な問題に対するアプローチとして、ここ 30 年余りで理論体系が整備され大きく進歩し成熟を遂げたものの一つである。近似可能性 / 不可能性のもとでクラスが細分化され、 $P = NP$  でない限り  $FPTAS \subseteq PTAS \subseteq APX$  であることが判明している。また個別の問題が属するクラスを明らかにする研究が行われ、NP 完全問題のリストをつくることと同様に P, NP を確信するための傍証を集める努力が続く。このように、2 つのアプローチは相補的に発展を遂げてきた。

このような分野背景のもとで本申請が対象とするのは、(申請時点で)ここ 15 年余りで急速に進展し新潮流をなすパラメータ化計算という枠組みと、そのもとでの固定パラメータアルゴリズムやパラメータ化計算複雑さの理論である。また、近接する枠組みに(指数時間)厳密計算がある。

理論計算機科学の分野で扱う問題の入力はパラメータをもつ。通常  $n$  で表す入力サイズに加えて、問題の構造を表す何らかのパラメータ  $k$  を定めたとき、問題の計算複雑さが  $f(k) n^{O(1)}$  (ただし  $f$  は  $k$  のみに依存する関数) と表されるとき、パラメータ  $k$  に関して固定パラメータであるという。パラメータ  $k$  の値が固定しさえすれば、入力サイズ  $n$  に関しては多項式時間アルゴリズムとなるため、固定パラメータアルゴリズムを持つ問題のクラスを FPT (fixed-parameter tractable, 固定パラメータ容易) という。これにより、NP 困難なクラスにも  $W[1]^*$  などの細分化された複雑さの階層が定義され、古典的な議論で難しいとされた問題が FPT に属するかや FPT =  $W[1]^*$ ? が新たな興味となる。

このパラメータ化計算の枠組みは、古典的な最初のテキスト[R.G. Downey and M.R. Fellows. Parameterized Complexity. Springer, 1999] によって体系化が始まり、初期の 10 年余りで急速に進展した議論の成果が、2 冊のテキスト[R. Niedermeier. Invitation to Fixed-Parameter Algorithms, Oxford, 2006], [J. Flum and M. Grohe. Parameterized Complexity Theory. Springer, 2010] として出版された。またここ 10 年あまり、理論計算機科学や離散数学の最高峰の国際会議である STOC や FOCS, SODA に、パラメータ化に関する論文が毎年必ず 3~5 本ずつ程度採択されている。さらに、このパラメータ化と厳密計算を対象にする国際会議 IPEC (International Symposium on Parameterized and Exact Computation) も創設され、2016 年で 11 回目を迎える。これらの事実はこのトピックの重要性と研究の活発さを証明している。昨年には最新の成果まで含めた集大成とも言えるテキスト[M. Cygan, F. Fomin et al. Parameterized Algorithms. Springer, 2015]も出版され、円熟期を迎えつつある。

## 2. 研究の目的

理論計算機科学における計算複雑さおよびアルゴリズム理論の分野でここ 15 年余りで急速な進展を遂げ新潮流を形成するパラメータ化計算という枠組みのもとで、離散最適化に対する効率的なアルゴリズムの設計技法として確立しつつある固定パラメータアルゴリズム理論を扱う。特定のパラメータが固定された入力(何らかの特徴を持つ実データ) に対して高速に動作させるという本来の実用的な理念に鑑み、現時点では理論的な成果が中心の固定パラメータアルゴリズムの研究を実用化の段階へと推し進めることを目的とする。そのために、より実際的な概念である多項式時間固定パラメータアルゴリズムの開発、有効なパラメータの獲得、既存のものも含めたアルゴリズムの実装と実データによる性能の検証などを実施し、有望な技術を持つこの成熟段階にある分野の「次の一歩」を開拓する。

パラメータ化計算に先行して誕生し発展を遂げた乱択や近似の手法は、その理論体系が整備されただけでなく、他の技法や分野と融合するなど多岐に渡る展開を示している。なかでも、それらを用いたアルゴリズムが商用を含め多様なアプリケーションとして実装され、実問題解決の手段として実用化され普及している点がきわめて重要である。このような歴史は、固定パラメータアルゴリズム理論に待望されるのが、実質的にはまだ着手されていない実用化であることを強く示唆している。実際、固定パラメータアルゴリズム設計に乱択の手法は自然に取り入れられ、近似とも融合を開始するなど ([M. Lampis. Parameterized approximation schemes using graph width. IICALP 2014]), 広がり兆候を示している。また実装に関しても、ベンチマーク問題に挑戦する PACE (Parameterized Algorithms and Computational Experiments) という

大会の第1回が2016年に開催された。本申請は、そのような最新の研究動向も踏まえ、固定パラメータアルゴリズムを使える技術として実用化することを目指すものである。

なお本研究は、コロナ感染症による影響を大きく受け、当初設定した研究期間を延長した。研究期間の延長にともない、研究目標を当初設定した理論研究から、それをベースにしたより実用的な研究に比重を置くこととした。

### 3. 研究の方法

研究期間の冒頭より開始し期間を通して継続する理論フェーズと、それらの成果を取り入れ後半から取り組む実装フェーズで構成する。理論フェーズでは、グラフで定式化される離散最適化問題で、基本的かつ重要なものを中心に、個別に多項式時間固定パラメータアルゴリズムの設計を行う。具体的な対象として、1. 最長路、2. マッチング、3. 交差数から順次着手し、のちに、4. 中心性などの応用的な問題を視野に入れる。これらと並行して、固定パラメータアルゴリズム設計の新技法や多項式時間に加速させる専用技法の開発、さらに問題を固定パラメータ容易にするための適切なパラメータの獲得などを試みる。実装フェーズでは、分野の標準問題である頂点被覆から着手し、理論フェーズで提案するアルゴリズムの実装へと進む。実装の過程では学生の助力を想定する。また、国内外の研究者との連携を緊密にとり、情報交換や討論、さらに必要があれば共同研究を実施する予定である。

実装フェーズにおける実装および実証実験では、おもにC++言語によるプログラミングを行う。またアルゴリズム設計の過程では、考案したアイデアの正しさの直観を得るために、しばしば計算機を援用する。このために必要な計算機環境を整備するとともに、プログラミングには学生の助力を想定する。一年目終了時点で、少なくともいくつかの個別の問題に対して見込まれる結果を一度総括し、必要ならば目標を再設定する。具体的には、パラメータ化の枠組みでの解析が難しい問題に対しては、厳密アルゴリズムの設計も視野に入れる。

### 4. 研究成果

本研究は、理論計算機科学における計算複雑さおよびアルゴリズム理論の分野で急速な進展を遂げているパラメータ化計算という枠組みのもとで、離散最適化に対する効率的なアルゴリズムの設計技法として確立しつつある固定パラメータアルゴリズム理論を扱っている。その理論がもつ、何らかの特徴をもつ実データに対してアルゴリズムを高速に動作させるという理念に鑑み、理論的な成果を挙げると同時に固定パラメータアルゴリズム研究を実用化の段階へ押し進めることを目的とするものである。

以下に、この提案研究で得られた代表的な結果を説明する。なかでも◎印はとくに重要な結果を表している。

#### ・資金循環問題

理論研究として、経済学の分野で頻繁に出現する基礎的な事象をあらたに資金循環問題として初めてモデル化した。その上で、資金循環問題に対する計算困難性と限定された場合に対する固定パラメータ容易性ならびに多項式性を示し、いくつかの固定パラメータアルゴリズムを設計することに成功した。

#### ・ネットワーク中心性

応用・実装研究として、ネットワーク解析分野で出現するネットワーク中心性に関する問題を扱った。具体的には中心性の中でも最も重要である頂点媒介中心性に着目し、その値を厳密に計算する既存のアルゴリズムを、2連結成分分解や3連結成分分解などのネットワークの分解構造にもとづいて理論的に高速に計算するアルゴリズムを提案した。またそれらのアルゴリズムを実装することにも挑戦し、その上でいくつもの大規模な実ネットワークに対して計算機実験を実施し、中心性の厳密計算が提案アルゴリズムにより高速化されることを検証した。その結果、分解構造が顕著なネットワークに対してはその計算量を劇的に削減することに成功した。

#### ・枝ハミルトン性

グラフ理論分野で基本的な問題であるハミルトン性の中でも枝ハミルトン性に注目し、その問題がクリーク幅などをパラメータとしてパラメータ化アルゴリズムを得ることが難しいことを明らかにした。

#### ・路の遷移問題

グラフ理論分野の問題で無向グラフ上における路の遷移問題に対する計算困難性や固定パラメータ容易性を示した。

#### ・実ネットワークに対する超有限性の検証

超大規模なネットワークに対してさまざまなアルゴリズムが効率的に動作する可能性を示唆する超有限性について実際のネットワークに対して実験を行い、ある特徴を持つネットワークが超有限性を持つことを検証した。

#### ・クラスター編集問題

固定パラメータアルゴリズム分野で基本的な問題の一つであるクラスター編集問題に対する固定パラメータアルゴリズムを実装し、実ネットワークを入力としたときに有効となるカーネル化や有界探索木などの手法を検証した。

- ・ Double-Threshold Graph の認識問題

Double-Threshold Graph と命名したグラフの認識問題に対して多項式時間アルゴリズムを設計した。このことは、それに類似したグラフの認識の固定パラメータアルゴリズムの手掛かりになる可能性がある。

- ・ グラフ燃焼問題

固定パラメータアルゴリズム分野で基本的な問題の一つであるグラフ燃焼問題に対する固定パラメータアルゴリズムを実装し、実ネットワークを入力としたときに有効となるカーネル化や有界探索木などの手法を検証した。

◎ネットワークの変化度

生物学の研究者との協業により、バイオインフォマティクス分野で求められる計算問題に対して、実用的かつ効率的なアルゴリズムを開発することを目指した。具体的には、生物学分野でよく現れる細菌間相互作用ネットワークの変化量に着目し、その変化の原因となる細菌を特定するための手法を開発したうえで、だれもが利用できる形のアプリケーションとして提供することに成功した。

- ・ Upper Clique Transversal

グラフに対する Upper Clique Transversal という問題を扱い、さまざまなグラフクラスに対する困難性や多項式時間アルゴリズムを示し、パラメータ化計算や近似アルゴリズムの側面からの考察を深めた。

- ・ 標的集合選択問題、影響力拡散防止問題、識別コード問題

現実のネットワークで重要となる問題として標的集合選択問題と影響力拡散防止問題、ならびに識別コード問題を扱い、近傍多様性によるパラメータ化アルゴリズムなどを考察した。

◎グラフ描画と平面性

頂点が定められた順序で直線状に並べられたグラフの枝を、できるだけ少ないページ数で交差なく描くことや、各ページの交差数を最小化する問題を考えた。この問題に対して、さまざまなパラメータのものでのパラメータ化アルゴリズムを提案した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Akanksha Agrawal, Sergio Cabello, Michael Kaufmann, Saket Saurabh, Roohani Sharma, Yushi Uno, Alexander Wolff	4. 巻 294
2. 論文標題 Eliminating Crossings in Ordered Graphs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 20065
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 Shota Nose, Hirotsugu Shiroma, Takuji Yamada, Yushi Uno	4. 巻 25
2. 論文標題 QNetDiff: a quantitative measurement of network rewiring	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 BMC Bioinformatics	6. 最初と最後の頁 158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12859-024-05702-z	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 Martin Milanic, Yushi Uno	4. 巻 14093
2. 論文標題 Upper Clique Transversals in Graphs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 432-446
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-43380-1_31	査読の有無 無
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 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 84(4): 1163-1181 (2022)	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 Tatsuya INOHA, Kunihiko SADAKANE, Yushi UNO, Yuma YONEBAYASHI	4. 巻 E105-D3
2. 論文標題 Efficient Computation of Betweenness Centrality by Graph Decompositions and Their Applications to Real-World Networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions	6. 最初と最後の頁 451-458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2021FCP0003	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 Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto, Yota Otachi, Yushi Uno	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 -

1. 著者名 Joep Hamersma, Marc J. van Kreveld, Yushi Uno, Tom C. van der Zanden	4. 巻 181
2. 論文標題 Gourds: A Sliding-Block Puzzle with Turning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 LIPICS (Leibniz International Proceedings in Informatics)	6. 最初と最後の頁 33:1-33:16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2020.33	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 Yutaro Honda, Yoshitaka Inoue, Hiro Ito, Munehiko Sasajima, Junichi Teruyama, Yushi Uno	4. 巻 13
2. 論文標題 Hyperfiniteness of Real-World Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Reviews of Socionetwork Strategies	6. 最初と最後の頁 123-141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12626-019-00051-3	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 Erik D. Demaine, David Eppstein, Adam Hesterberg, Kshitij Jain, Anna Lubiw, Ryuhei Uehara, Yushi Uno	4. 巻 11646
2. 論文標題 Reconfiguring Undirected Paths	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 353-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-24766-9_26	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 Hitoshi Hayakawa, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno	4. 巻 265
2. 論文標題 Settlement fund circulation problem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 86-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2019.03.017	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 M. Lampis, K. Makino, V. Mitsou and Y. Uno.	4. 巻 248
2. 論文標題 Parameterized edge Hamiltonicity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 68-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2017.04.045	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 S. Langerman and Yushi Uno	4. 巻 748
2. 論文標題 Threes!, Fives, 1024!, and 2048 are hard	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 7-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2018.03.018	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, J. M. Keil, D. G. Kirkpatrick, Y. Otachi, T. Saitoh, R. Uehara and Y. Uno	4. 巻 729
2. 論文標題 Swapping colored token on graphs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2018.03.016	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 Hitoshi Hayakawa, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono and Yushi Uno	4. 巻 92
2. 論文標題 Settlement fund circulation problem	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 46:1-46;13
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 Takashi Horiyama, Takashi Iizuka, Masashi Kiyomi, Yoshio Okamoto, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, Yushi Uno, Yukiko Yamauchi	4. 巻 25
2. 論文標題 Sankaku-Tori: An old Western-Japanese game played on a point set	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 708-715
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 Jean-Francois Baffier, Man-Kwun Chiu, Yago Diez, Matias Korman, Valia Mitsou, Andr ´e van Renssen, Marcel Roeloffzen, Yushi Uno	4. 巻 675
2. 論文標題 Hanabi is NP-complete, even for cheaters who look at their cards	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 43-55
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

〔学会発表〕 計7件(うち招待講演 1件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yusuke Kobayashi, Yoshio Okamoto, Yota Otachi, Yushi Uno
2. 発表標題 Linear-Time Recognition of Double-Threshold Graphs
3. 学会等名 The 46th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Joep Hamersma, Marc J. van Kreveld, Yushi Uno, Tom C. van der Zanden
2. 発表標題 Gourds: A Sliding-Block Puzzle with Turning
3. 学会等名 The 31st International Symposium on Algorithms and Computation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇野裕之
2. 発表標題 Gourds: A Sliding-Block Puzzle with Turning
3. 学会等名 学術変革領域研究(B)組合せ遷移: 公開シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 E. D. Demaine, M. L. Demaine, R. Uehara, Y. Uno and A. Winslow
2. 発表標題 How efficiently can nets of polycubes pack a rectangle?
3. 学会等名 Japan Conference on Discrete and Computational Geometry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hitoshi Hayakawa, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono and Yushi Uno
2. 発表標題 Settlement fund circulation problem
3. 学会等名 The 28th International Symposium on Algorithms and Computation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Munehiko Sasajima, Yutaro Honda, Yushi Uno, Hiro Ito and Naoki Katoh
2. 発表標題 Towards Development of Practically Efficient Property Testing
3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Innovative Algorithms for Big Data (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊野波竜矢, 定兼邦彦, 宇野裕之, 米林悠真
2. 発表標題 媒介中心性のグラフ分解を用いた効率的な計算および その実ネットワークへの適用
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 2017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
---------	---------