

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11666

研究課題名(和文) 組合せ遷移による常時稼働型システムの構成最適化

研究課題名(英文) Optimization of always-on systems by combinatorial reconfigurations

研究代表者

鈴木 顕 (SUZUKI, Akira)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：10723562

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)：理論面では、独立点集合や彩色問題の最適化遷移問題を扱い、困難性容易性の両面から結果を得ることができた。具体的には、縮退数や解サイズをパラメータとした複雑性の解析や、グラフクラスに基づく困難性の解析を行った。特に後者では、色数と縮退数という2つの観点から本問題における困難性の境界を明らかにした。これらの研究は、査読付き学術雑誌に採択されるなど、業績としても認められている。応用面では、他の研究者や研究プロジェクトと協力しながら、組合せ遷移ソルバを実装・公開した。また、実装・公開されたプログラム内で動作しているアルゴリズムについて、口頭発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遷移問題は、現在の解から目的の解まで到達可能かどうかを判定し、その方法を見つける問題である。近年国内外で盛んに研究が進められており、様々な遷移問題を効率よく解く様々なテクニックが考案されてきたが、いざ実社会に応用しようと利用者の視点に立つてみると、「利用者が目的の解を事前に知っている必要がある」「遷移問題によって到達不可能と判定されることがある」という問題が生じる。本研究はこれらを解決することで、組合せ遷移の利便性向上に向け様々な貢献をすることを目指すものである。

研究成果の概要(英文)：The theoretical results were obtained from the optimized reconfiguration problem for the independent set and the coloring problem, and results were obtained in terms of both intractability and tractability. Specifically, we conducted complexity analysis using parameters such as the degeneracy and solution size, and we analyzed the intractability based on graph classes. In the latter case, we clarified the boundary of the complexity from the viewpoints of the number of colors and degeneracy. These studies have been recognized as academic achievements, as evidenced by their acceptance in peer-reviewed journals. On the application side, we have implemented and released a combinatorial reconfiguration solver in collaboration with other researchers and research projects. Additionally, we presented the algorithms operating within the implemented and released programs in oral presentations.

研究分野：計算機科学

キーワード：組合せ遷移 最適化遷移

1. 研究開始当初の背景

組合せ最適化の分野では長年、莫大な数の組合せの中から最適なものを見つける探索問題(最適化問題)が扱われてきた。実社会で発生し得る最適化問題は多岐にわたり、多くの現場で利益の最大化や損失の最小化のために最適化問題が解かれてきた。

一方で、最適な解を見つけたとして、その解を実際に利用することが出来るかどうかは別問題である。例えば、電力の配電網において、現在の構成と異なる、より配電損失の小さい構成が見つかったとしても、停電やショートを起こさずにスイッチの切り替えを繰り返して、そのより良い構成に変更できるかどうかは別問題である。

そのような状況を基に、近年組合せ遷移という分野で遷移問題の研究が急速に推進されている。遷移問題とは、ある問題の2つの解が与えられた際に、その一方の解からもう一方の解へと段階的に遷移する方法を求める問題である。遷移問題が提唱されて以来、従来最適化問題として考えられてきた様々な問題に対して、その解と解の繋がりに着目した研究が盛んに行われてきた。

図1はグラフの頂点彩色の遷移問題である。グラフと使用可能な色数が与えられた際に、頂点彩色を探索問題や、全ての頂点彩色を列挙する列挙問題と異なり、遷移問題ではグラフの2種類の頂点彩色が与えられ、その一方の頂点彩色から1点ずつ色を変えていくことで、もう一方の頂点彩色へと、頂点彩色の条件を満たしたまま到達することが可能かどうかを判定する。

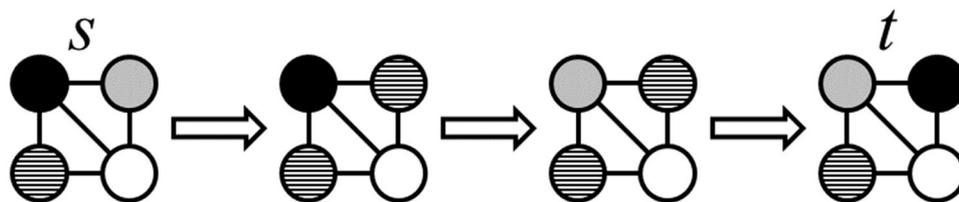


図1：頂点彩色遷移問題の例。同じグラフの2つの彩色  $s$  と  $t$  が与えられ、遷移手順を出力する。

2. 研究の目的

遷移問題は、現在の解から目的の解まで到達可能かどうかを判定し、その方法を見つける問題である。近年国内外で盛んに研究が進められており、様々な遷移問題を効率よく解く様々なテクニックが考案されてきたが、いざ実社会に応用しようと利用者の視点に立ってみると、次の2つの問題が生じる。

【問題点1】利用者が目的の解を事前に知っている必要がある。

現状研究されている遷移問題は、現在の解の他に、目的となる解も入力として求めているが、それは現実的とは言えない。なぜなら、世の中で需要のある最適化問題は、そのほとんどがNP困難と呼ばれる計算困難な問題に属しており、そもそも目的となる解(最適解)がわからないという状況がほとんどだからである。

【問題点2】遷移問題によって到達不可能と判定されることがある。

たとえ目的の解を知っていたとしても、ある問題の2つの解が常に到達可能であるとは限らない。遷移問題では、そのような際には「No(到達不能)」と答えれば正答としているが、現実世界に応用する際に、それでは利用者が困ってしまう。本研究の目的は、先述した2つの問題を解決する事で、組合せ遷移をより実社会で扱いやすいものへと進化させることである。そのために、応募者は「遷移最適化」という、組合せ遷移の新しいフレームワークを導入する。「遷移最適化」では、問題と現在の解が与えられた際に、その解から辿り着ける中で最も良い解と、現在の解からその解までの変更手順を答える。従来の遷移問題とは異なり、目的となる解をあらかじめ知らなくてもシステムを利用することが可能となり、さらに、得られた解までは必ず到達可能である(図2)。

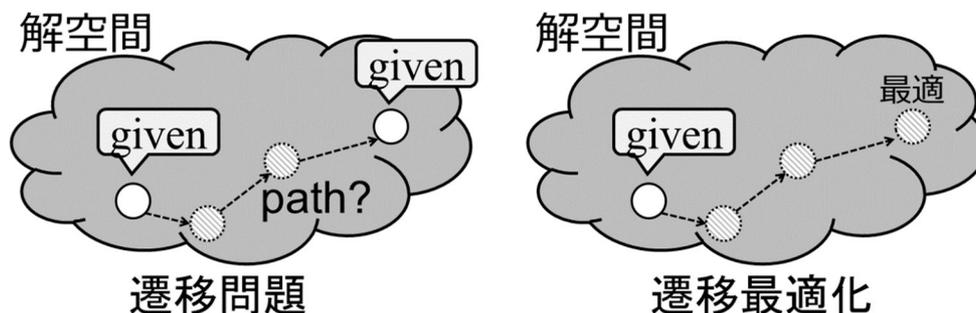


図2：従来の「遷移問題」と本研究で扱う「遷移最適化」の違い。

### 3. 研究の方法

本研究の最終目的は、遷移最適化を提案することにより上述の問題点を解決し、組合せ遷移の分野を、より実社会に貢献することのできる分野へと昇華させることである。これを達成するために、本研究では理論面・実装面の両面から次の2つを目標として掲げる。

#### 【理論面：現実的な時間でより良い解を求めるアルゴリズムの開発】

アルゴリズムの開発を効率よく行うためには、事前に遷移最適化そのものの特徴をとらえる必要があると考えている。そのため、まずは問題サイズの小さい場合に対して計算機実験を行い、問題のどの部分が難しさに影響しているか等の解析を行う。その計算機実験の結果をもとに、遷移最適化の複雑性を容易性・困難性の両面から明らかにしていきたい。

私はこれまで、遷移問題に対して様々な結果を与えてきた。特に、最適化問題の分野で培われてきた技術のひとつであるパラメータ複雑性の概念を世界で初めて遷移問題に適用することに成功し、それ以降同様の手法で多くの遷移問題を解くアルゴリズムが世界中で開発された。その研究推進方法は、まずいくつかの特定の問題に対して、アルゴリズムの開発や、困難性の解明を行い、いくつかの結果が得られた後に、それらの結果の共通点を見極め、より一般性の高い結果を生み出すというものであった。本研究でも同様に、研究時間全体を前半と後半に分け、概ね2021年度の前半までは特定の問題の解決に従事し、遷移最適化問題に関する知見を蓄える。具体的には、既存の問題との共通点を探り、既存の技術の適用を目指す。後半ではそれらの研究で得られた成果を基に、より一般的な結果、すなわち、どのような遷移最適化問題でも解けるようなアルゴリズムの開発や、遷移最適化問題を難しくする要因の解明を目指す。

今回扱う遷移最適化は、最適化問題の難しさと遷移問題の難しさの両方を含むという点で、一筋縄では解決することはできそうにない。一方で、それら2つの問題に対してこれまで築かれてきた知見を組み合わせることによって、遷移最適化を解決する糸口を見つけることが出来ると考えている。さらに、既存の技術で解決できない課題に直面した際にも、私がこれまでの遷移問題に関する研究で得た知識と経験が強力な武器となる。また、国内外で遷移問題を研究している研究者とも協力することで、課題の解決を目指す。

#### 【実装面：利便性の高いプログラムの実装と公開】

理論面では、現実的な時間でより良い解を求めるアルゴリズムの開発を目指した。むしろ本研究は理論研究であるため、計算不可能性、すなわち、それ以上良い解をそれ以上早く求めることが不可能であるという証明も合わせて行うことで、与えたアルゴリズムの性能の良さを評価していく。具体的には、近似アルゴリズムやパラメータアルゴリズム等の理論保証のあるアルゴリズムの開発を目指す。

一方で、どんなに素晴らしいアルゴリズムを開発したとしても、それを実際に利用してもらえなければ実社会に貢献したとは言えない。得られた成果を論文にまとめて発表していくのはもちろんであるが、本研究ではそれに加え、開発したアルゴリズムを実際に実装し、公開することで誰でも簡単に利用できるような環境の提供を行っていく。

### 4. 研究成果

計画通り研究を進めることができた。特に、本研究計画開始前から交流のあった海外の研究者との研究は継続して行うことができた。新型コロナウイルス蔓延の影響で実際に会って研究を進めることはできなかったものの、ビデオ会話ソフトであるZoomなどを利用し、定期的に研究打合せを行った。以下では本研究の2つの目標それぞれについて得られた成果を述べる。

#### 目標1「現実的な時間でより良い解を求めるアルゴリズムの開発」

最も大きな成果は独立点集合の最適化遷移問題を扱ったものであり、縮退数や解サイズをパラメータとした複雑性の解析や、平面グラフや木幅制限グラフといったグラフクラスに基づく困難性の解析を行った。これらの研究は、査読付き学術雑誌 Journal of Combinatorial Optimization に採択されるなど、業績としても認められ始めている。

独立点集合問題以外にも、彩色問題の最適化遷移問題も扱い、困難性容易性の両面から結果を得ることができた。具体的には、色数が少なくとも4で、入力グラフの縮退数が3の場合ですらNP困難、すなわち現実的な時間で解けそうにないほど難しい問題であることを示した。一方で、色数が3以下の場合や、入力グラフの縮退数が2以下の場合に動作する高速なアルゴリズムを開発した。これらの結果によって、色数と縮退数という2つの観点から本問題における困難性の境界を明らかにした。他にも、グラフクラスに基づく困難性の解析も行っており、平面グラフに対してNP困難である一方で、弦グラフやコグラフと呼ばれるグラフクラスに対しては線形時間アルゴリズムを与えた。これらの結果は既に「計算機と組合せ論に関する査読付き国際会議(COCOON 2021)」で口頭発表を行っており、またその際に提出した予稿は同国際会議より選抜論文として「情報数学と計算機科学に関する査読付き学術誌(IJCM:CST)」の特集号に招待され、採択された。

#### 目標2「利便性の高いプログラムの実装と公開」

他の研究者や研究プロジェクトと協力もしながら、組合せ遷移ソルバを実装・公開した。また、実装・公開されたプログラム内で動作しているアルゴリズムについて、「制約プログラミング、人工知能、オペレーションズ・リサーチの統合に関する国際会議(CPAIOR 2023)」で口頭発表を行った。その際に発行されたプロシーディングは分野別TOP1%論文となるなど、大きなインパクトを与える結果となった。他にも、一次表現可能な性質を利用したソルバに関する成果について

「IEEE の人工知能のツールに関する国際会議 (ICTAI 2023)」で口頭発表を行うなど、組合せ遷移の利便性向上に向け様々な貢献をすることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Takehiro Ito, Jun Kawahara, Shin-ichi Minato, Yota Otachi, Toshiki Saitoh, Akira Suzuki, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, Katsuhisa Yamanaka and Ryo Yoshinaka	4. 巻 226
2. 論文標題 Sorting balls and water: equivalence and computational complexity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 11th International Conference on Fun with Algorithms (FUN 2022), Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)	6. 最初と最後の頁 16:1-16:17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.FUN.2022.16	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 Duc A. Hoang, Akira Suzuki and Tsuyoshi Yagita	4. 巻 E105.D(7)
2. 論文標題 Reconfiguring k-path vertex covers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1258-1272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2021EDP7177	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 Hiroshi Eto, Takehiro Ito, Eiji Miyano, Akira Suzuki and Yuma Tamura	4. 巻 85(11)
2. 論文標題 Happy set problem on subclasses of co-comparability graphs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-022-01081-0	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 Soichiro Fujii, Yuni Iwamasa, Kei Kimura and Akira Suzuki	4. 巻 248
2. 論文標題 Algorithms for coloring reconfiguration under recolorability digraphs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 33rd International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2022), Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)	6. 最初と最後の頁 4:1-4:19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2022.4	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 Kenya Kobayashi, Guohui Lin, Eiji Miyano, Toshiki Saitoh, Akira Suzuki, Tadatoshi Utashima and Tsuyoshi Yagita	4. 巻 85(X)
2. 論文標題 Path cover problems with length cost	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 3348-3375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-023-01106-2	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 Yanagisawa, Akira Suzuki, Yuma Tamura and Xiao Zhou	4. 巻 8
2. 論文標題 Decremental optimization of vertex-coloring under the reconfiguration framework	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Mathematics: Computer Systems Theory	6. 最初と最後の頁 80-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23799927.2023.2185543	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 Yanagisawa, Akira Suzuki, Yuma Tamura and Xiao Zhou	4. 巻 13973
2. 論文標題 Parameterized complexity of optimizing list vertex-coloring through reconfiguration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th International Conference and Workshops on Algorithms and Computation (WALCOM 2023), Lecture Notes in Computer Science (LNCS)	6. 最初と最後の頁 279-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-27051-2_24	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, Jun Kawahara, Yu Nakahata, Takehide Soh, Akira Suzuki, Junichi Teruyama and Takahisa Toda	4. 巻 13884
2. 論文標題 ZDD-based algorithmic framework for solving shortest reconfiguration problems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 20th International Conference on the Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research (CPAIOR 2023), Lecture Notes in Computer Science (LNCS)	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-33271-5_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 -

1. 著者名 Nicolas Bousquet, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Haruka Mizuta, Paul Ouvrard, Akira Suzuki and Kunihiro Wasa	4. 巻 85(9)
2. 論文標題 Reconfiguration of spanning trees with degree constraints or diameter constraints	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 2279-2816
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-023-01117-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 該当する

1. 著者名 Tatsuhiko Hatanaka, Felix Hommelsheim, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Moritz Muehlenthaler and Akira Suzuki	4. 巻 959
2. 論文標題 Fixed-parameter algorithms for graph constraint logic	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2023.113863	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 HORIYAMA Takashi, NAKANO Shin-ichi, SAITOH Toshiki, SUETSUGU Koki, SUZUKI Akira, UEHARA Ryuhei, UNO Takeaki, WASA Kunihiro	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Max-Min 3-Dispersion Problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1101 ~ 1107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020DMP0003	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 Kenya Kobayashi, Guohui Lin, Eiji Miyano, Toshiki Saitoh, Akira Suzuki, Tadatoshi Utashima and Tsuyoshi Yagita	4. 巻 13174
2. 論文標題 Path cover problems with length cost	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 396 ~ 408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-96731-4_32	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 Hiroshi Eto, Takehiro Ito, Eiji Miyano, Akira Suzuki and Yuma Tamura	4. 巻 13174
2. 論文標題 Happy set problem on subclasses of co-comparability graphs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 149 ~ 160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-96731-4_13	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 Nicolas Bousquet, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Haruka Mizuta, Paul Ouvrard, Akira Suzuki and Kunihiro Wasa	4. 巻 219
2. 論文標題 Reconfiguration of spanning trees with degree constraint or diameter constraint	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 15:1 ~ 15:21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.STACS.2022.15	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 Yusuke Yanagisawa, Yuma Tamura, Akira Suzuki and Xiao Zhou	4. 巻 13025
2. 論文標題 Decremental optimization of vertex-coloring under the reconfiguration framework	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 355 ~ 366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-89543-3_30	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 Kei Kimura and Akira Suzuki	4. 巻 856
2. 論文標題 Trichotomy for the reconfiguration problem of integer linear systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 88-109
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 Takehiro Ito, Haruka Mizuta, Naomi Nishimura and Akira Suzuki	4. 巻 43(5)
2. 論文標題 Incremental optimization of independent sets under the reconfiguration framework	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Combinatorial Optimization	6. 最初と最後の頁 1264-1279
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 該当する

1. 著者名 Bonamy Marthe, Heinrich Marc, Ito Takehiro, Kobayashi Yusuke, Mizuta Haruka, Mhlenthaler Moritz, Suzuki Akira, Wasa Kunihiro	4. 巻 838
2. 論文標題 Diameter of colorings under Kempe changes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 45 ~ 57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2020.05.033	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 Takehiro Ito, Marcin Kaminski, Hiroataka Ono, Akira Suzuki, Ryuhei Uehara and Katsuhisa Yamanaka	4. 巻 283
2. 論文標題 Parameterized complexity of independent set reconfiguration problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 336 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2020.01.022	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 Alexandre Blanche, Paul Ouvrard, Haruka Mizuta and Akira Suzuki	4. 巻 12126
2. 論文標題 Decremental optimization of dominating sets under the reconfiguration framework	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st International Workshop on Combinatorial Algorithms (IWOCA 2020), Lecture Notes in Computer Science (LNCS)	6. 最初と最後の頁 69 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-48966-3_6	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 Nicolas Bousquet, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Haruka Mizuta, Paul Ouvrard, Akira Suzuki and Kunihiro Wasa	4. 巻 173
2. 論文標題 Reconfiguration of spanning trees with many or few leaves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 28th Annual European Symposium on Algorithms (ESA 2020), Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)	6. 最初と最後の頁 24:1 ~ 24:15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ESA.2020.24	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 Tatsuhiko Hatanaka, Felix Hommelsheim, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Moritz Muhlenthaler and Akira Suzuki	4. 巻 180
2. 論文標題 Fixed-parameter algorithms for graph constraint logic	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 15th International Symposium on Parameterized and Exact Computation (IPEC 2020), Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)	6. 最初と最後の頁 15:1 ~ 15:15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.IPEC.2020.15	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 Ito Takehiro, Iwamasa Yuni, Kamiyama Naoyuki, Kobayashi Yasuaki, Kobayashi Yusuke, Maezawa Shun-ichi, Suzuki Akira	4. 巻 14079
2. 論文標題 Reconfiguration of Time-Respecting Arborescences	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 521 ~ 532
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_34	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 Toda Takahisa, Ito Takehiro, Kawahara Jun, Soh Takehide, Suzuki Akira, Teruyama Junichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Solving Reconfiguration Problems of First-Order Expressible Properties of Graph Vertices with Boolean Satisfiability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 35th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2023)	6. 最初と最後の頁 294-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICTAI59109.2023.00050	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 Kumakura Kota, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao	4. 巻 14422
2. 論文標題 On the Routing Problems in Graphs with Ordered Forbidden Transitions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 359 ~ 370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-49190-0_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 -

1. 著者名 Domon Naoki, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao	4. 巻 14549
2. 論文標題 The Shortest Path Reconfiguration Problem Based on Relaxation of Reconfiguration Rules	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 227 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-97-0566-5_17	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 Gima Tatsuya, Hanaka Tesshu, Kobayashi Yasuaki, Otachi Yota, Shirai Tomohito, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao	4. 巻 14549
2. 論文標題 On the Complexity of List H-Packing for Sparse Graph Classes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 421 ~ 435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-97-0566-5_30	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 Ito Takehiro, Kawahara Jun, Minato Shin-ichi, Otachi Yota, Saitoh Toshiki, Suzuki Akira, Uehara Ryuhei, Uno Takeaki, Yamanaka Katsuhisa, Yoshinaka Ryo	4. 巻 978
2. 論文標題 Sorting balls and water: Equivalence and computational complexity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 114158 ~ 114158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2023.114158	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 Bousquet Nicolas, Hommelsheim Felix, Kobayashi Yusuke, M?hlenthaler Moritz, Suzuki Akira	4. 巻 979
2. 論文標題 Feedback vertex set reconfiguration in planar graphs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 114188 ~ 114188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2023.114188	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 Suzuki Takahiro, Kimura Kei, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao	4. 巻 14637
2. 論文標題 Parameterized Complexity of Weighted Target Set Selection	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 320 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-97-2340-9_27	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 Yota Otachi, Akira Suzuki, Yuma Tamura	4. 巻 294
2. 論文標題 Finding Induced Subgraphs from Graphs with Small Mim-Width	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 38:1-38:16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.SWAT.2024.38	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34件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Takehiro Ito, Jun Kawahara, Shin-ichi Minato, Yota Otachi, Toshiki Saitoh, Akira Suzuki, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, Katsuhisa Yamanaka and Ryo Yoshinaka
2. 発表標題 Sorting balls and water: equivalence and computational complexity
3. 学会等名 The 11th International Conference on Fun with Algorithms (FUN 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Soichiro Fujii, Yuni Iwamasa, Kei Kimura and Akira Suzuki
2. 発表標題 Algorithms for coloring reconfiguration under recolorability digraphs
3. 学会等名 The 33rd International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Yanagisawa, Akira Suzuki, Yuma Tamura and Xiao Zhou
2. 発表標題 Parameterized complexity of optimizing list vertex-coloring through reconfiguration
3. 学会等名 The 17th International Conference and Workshops on Algorithms and Computation (WALCOM 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 顕
2. 発表標題 最適化遷移を用いた配電網の切替手順の算出
3. 学会等名 第22回セミナー・勉強会, 組合せ遷移の展開に向けた計算機科学・工学・数学によるアプローチの融合 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takehiro Ito, Jun Kawahara, Shin-ichi Minato, Yota Otachi, Toshiki Saitoh, Akira Suzuki, Ryuhei Uehara, Takeaki Uno, Katsuhisa Yamanaka and Ryo Yoshinaka
2. 発表標題 Computational Complexity of Ball/Water Sort Puzzles
3. 学会等名 Japanese Conference on Combinatorics and its Applications 2022 (離散数学とその応用研究集会2022), ミニシンポジウム「組合せ遷移」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 健洋, 川原 純, 中畑 裕, 宋 剛秀, 鈴木 顕, 照山 順一, 戸田 貴久
2. 発表標題 ZDDを用いた組合せ遷移ソルバー
3. 学会等名 2022年秋季研究発表会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畠山 航, 鈴木 顕, 伊藤 健洋, 周 暁, 杉村 修平, 田邊 隆之
2. 発表標題 配電損失最小化問題に対する組合せ遷移的アプローチ
3. 学会等名 2022年秋季研究発表会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岡 宙太, 川原 純, 伊藤 健洋, 鈴木 顕, 飯岡 大輔, 杉村 修平, 後藤 誠弥, 田邊 隆之
2. 発表標題 ZDDを用いた停電復旧の最短手順を算出するアルゴリズム
3. 学会等名 2022年度組合せ遷移の学生シンポジウム, 組合せ遷移の展開に向けた計算機科学・工学・数学によるアプローチの融合
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川原 純, 山岡 宙太, 伊藤 健洋, 鈴木 顕, 飯岡 大輔, 杉村 修平, 後藤 誠弥, 田邊 隆之
2. 発表標題 停電復旧の最短手順を算出するアルゴリズム
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会 (IEEJ2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenya Kobayashi, Guohui Lin, Eiji Miyano, Toshiki Saitoh, Akira Suzuki, Tadatoshi Utashima and Tsuyoshi Yagita
2. 発表標題 Path cover problems with length cost
3. 学会等名 The 16th International Conference and Workshops on Algorithms and Computation (WALCOM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Eto, Takehiro Ito, Eiji Miyano, Akira Suzuki and Yuma Tamura
2. 発表標題 Happy set problem on subclasses of co-comparability graphs
3. 学会等名 The 16th International Conference and Workshops on Algorithms and Computation (WALCOM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nicolas Bousquet, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Haruka Mizuta, Paul Ouvrard, Akira Suzuki and Kunihiko Wasa
2. 発表標題 Reconfiguration of spanning trees with degree constraint or diameter constraint
3. 学会等名 The 39th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Yanagisawa, Yuma Tamura, Akira Suzuki and Xiao Zhou
2. 発表標題 Decremental optimization of vertex-coloring under the reconfiguration framework
3. 学会等名 The 27th International Computing and Combinatorics Conference (COCOON 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Suzuki
2. 発表標題 Combinatorial reconfiguration applied to power distribution systems
3. 学会等名 The Workshop on Combinatorial Reconfiguration, affiliated with the 48th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (ICALP 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 賢也, リン グオフイ, 宮野 英次, 斎藤 寿樹, 鈴木 顕, 歌島 侃勇, 八木田 剛
2. 発表標題 長さコスト付きパスカバー最大化問題の近似アルゴリズム
3. 学会等名 2021年度冬のLAシンポジウム, 京都大学数理解析研究所RIMS共同研究(公開型), 情報社会を支える計算機科学の基礎理論
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 健洋, 川原 純, 宋 剛秀, 鈴木 顕, 照山 順一, 戸田 貴久
2. 発表標題 ZDDを用いた組合せ遷移ソルバーについての考察
3. 学会等名 2021年度冬のLAシンポジウム, 京都大学数理解析研究所RIMS共同研究(公開型), 情報社会を支える計算機科学の基礎理論
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahisa Toda, Takehiro Ito, Jun Kawahara, Takehide Soh, Akira Suzuki and Junichi Teruyama
2. 発表標題 On solving independent set reconfiguration problems with bounded model checking
3. 学会等名 第186回アルゴリズム研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Eto, Takehiro Ito, Eiji Miyano, Akira Suzuki, Yuma Tamura
2. 発表標題 Algorithms for happy set problem on interval graphs and permutation graphs
3. 学会等名 第186回アルゴリズム研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳澤 佑介, 鈴木 顕, 田村 祐馬, 周 暁
2. 発表標題 グラフ彩色の最適化遷移問題について
3. 学会等名 第185回アルゴリズム研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Alexandre Blanche, Paul Ouvrard, Haruka Mizuta and Akira Suzuki
2. 発表標題 Decremental optimization of dominating sets under the reconfiguration framework
3. 学会等名 the 31st International Workshop on Combinatorial Algorithms (IWOCA 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nicolas Bousquet, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Haruka Mizuta, Paul Ouvrard, Akira Suzuki and Kunihiro Wasa
2. 発表標題 Reconfiguration of spanning trees with many or few leaves
3. 学会等名 the 28th Annual European Symposium on Algorithms (ESA 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tatsuhiko Hatanaka, Felix Hommelsheim, Takehiro Ito, Yusuke Kobayashi, Moritz Muhlenthaler and Akira Suzuki
2. 発表標題 Fixed-parameter algorithms for graph constraint logic
3. 学会等名 the 15th International Symposium on Parameterized and Exact Computation (IPEC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toda Takahisa, Ito Takehiro, Kawahara Jun, Soh Takehide, Suzuki Akira, Teruyama Junichi
2. 発表標題 Solving Reconfiguration Problems of First-Order Expressible Properties of Graph Vertices with Boolean Satisfiability
3. 学会等名 The 35th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kumakura Kota, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao
2. 発表標題 On the Routing Problems in Graphs with Ordered Forbidden Transitions
3. 学会等名 The 29th International Computing and Combinatorics Conference (COCOON 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Domon Naoki, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao
2. 発表標題 The Shortest Path Reconfiguration Problem Based on Relaxation of Reconfiguration Rules
3. 学会等名 The 18th International Conference and Workshops on Algorithms and Computation (WALCOM 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Gima Tatsuya, Hanaka Tesshu, Kobayashi Yasuaki, Otachi Yota, Shirai Tomohito, Suzuki Akira, Tamura Yuma, Zhou Xiao
2. 発表標題 On the Complexity of List $H$ -Packing for Sparse Graph Classes
3. 学会等名 The 18th International Conference and Workshops on Algorithms and Computation (WALCOM 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Jun Kawahara, Chuta Yamaoka, Takehiro Ito, Akira Suzuki, Daisuke Iioka, Shuhei Sugimura, Seiya Goto, and Takayuki Tanabe
2. 発表標題 Algorithmic study for power restoration in electrical distribution networks
3. 学会等名 The 4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management (PHMAP 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉村 修平, 金子 曜久, 林 泰弘, 野崎 哲平, 鈴木 顕, 伊藤 健洋, 田邊隆之
2. 発表標題 事故復旧を考慮した配電系統構成の最適化に関する検討
3. 学会等名 電力技術 / 電力系統技術合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 熊倉 航太, 鈴木 顕, 田村 祐馬, 周 暁
2. 発表標題 グラフ構造に基づく順序付き禁止トランジションを避ける経路に関する研究
3. 学会等名 第195回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuya Gima, Tesshu Hanaka, Yasuaki Kobayashi, Yota Otachi, Tomohito Shirai, Akira Suzuki, Yuma Tamura and Xiao Zhou
2. 発表標題 List variants of packing problems on sparse graphs
3. 学会等名 第196回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Naoki Domon, Akira Suzuki, Yuma Tamura and Xiao Zhou
2. 発表標題 Shortest path reconfiguration with relaxed constraints
3. 学会等名 第196回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鈴木 隆央, 鈴木 顕, 田村 祐馬, 周 暁
2. 発表標題 点重み付きグラフにおける標的集合選択問題に関する研究
3. 学会等名 第196回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 菅 達皓, 鈴木 顕, 田村 祐馬, 周 暁
2. 発表標題 遷移ルールの緩和に基づく独立集合遷移問題
3. 学会等名 電子情報通信学会 2024年 総合大会 COMP-AFSA学生シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Takahiro Suzuki, Kei Kimura, Akira Suzuki, Yuma Tamura and Xiao Zhou
2. 発表標題 Algorithms for weighted target set selection
3. 学会等名 電子情報通信学会 2024年 総合大会 COMP-AFSA学生シンポジウム
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Akira Suzuki's Web Site <a href="http://www.ecei.tohoku.ac.jp/alg/suzuki/">http://www.ecei.tohoku.ac.jp/alg/suzuki/</a>
--

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			
	リヨン1大学	ボルドー大学	ゲルノーブル・アルプ大学	他1機関
フランス				
ドイツ	ブレーメン大学	ドルトムント工科大学	フリードリヒ・アレクサンダー 大学エアランゲン=ニュルンベルク	
ベトナム	ハノイ国家大学			
カナダ	ウォータールー大学	アルバータ大学		