

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16K00033

研究課題名（和文）数理計画法に基づくオンライン最適化に関する研究

研究課題名（英文）Studies on Online Optimization Problems on the Basis of Mathematical Optimization

研究代表者

藤原 洋志 (Fujiwara, Hiroshi)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：80434893

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）：オンライン最適化問題は、入力情報が徐々に到着する状況下の最適化問題である。これまでの研究はもっぱら、個々のオンライン最適化問題に対するアルゴリズム設計にとどまり、総合的な解決を視野に入れた取り組みは極端に少なかった。本研究では、数理計画法の諸手法を活用し、オンライン最適化問題全体に対する統一的なアルゴリズム設計手法を確立することを目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

オンライン最適化とは、一言でいえば、見えない未来の攻略法である。「一寸先は闇」というように、誰も未来のことを正確に知ることはできないから、完璧な攻略法を得ることはそもそも不可能である。しかしながら、うまくやれば「なるべく後悔しない」攻略法を設計できることが、近年分かってきた。本研究では、数理計画法という超強力な手法を最大限に利用して、見えない未来の攻略に挑戦する。

研究成果の概要（英文）：For online optimization problems, we are asked to construct efficient algorithms under the setting that pieces of the input arrive one by one, not all at once. It seems that most of the previous researches focused on the design of algorithms for each of individual online optimization problems and few of them studied some class of online optimization problems inclusively. The target of our research is to establish a comprehensive framework of algorithm design for all online optimization problems.

研究分野：アルゴリズム理論

キーワード：オンライン最適化 アルゴリズム 数理工学 情報基礎 応用数学

1. 研究開始当初の背景

ビッグデータ時代などと言われるように、膨大な情報を高速に計算する能力は飛躍的に高まってきた。しかし、対象となるデータがすべて出揃ってから計算を開始する事例は、むしろまれである。多くの現場で求められているのは、データが徐々に明らかになっていく状況下で、現時点までに受け取ったデータを基にできるだけ良い解を出力する処理である。

アルゴリズム理論の分野では、計算機の誕生以来、完全な入力情報を得て厳密な最適解を出力するアルゴリズムの研究が主流であった。新たな視点を導入したのが 1985 年の Sleator と Tarjan の論文で、現時点までに得た入力を基に近似解を計算するアルゴリズム (オンラインアルゴリズムという) の重要性がはじめて広く認識された。

以来、オンラインアルゴリズムの研究が一気に花開き、現在も国際会議における最重要トピックの 1 つである。しかしながらこれまでの研究のほとんどは、個々のオンライン最適化問題に対して、それぞれアルゴリズムを与える取り組みであった。本研究では、個々の問題の相違にとられない統一的なオンラインアルゴリズム設計手法の構築を目指す。

2. 研究の目的

研究代表者は、ビンパッキング問題やスキーレンタル問題など、オンライン最適化の標準問題を解く統一的なオンラインアルゴリズム設計手法を確立することを目指す。そのための道筋は以下のとおりである。

(1) ビンパッキング問題に対するアルゴリズム設計 個数制約が 2 の場合は、入力情報が前もってすべて与えられると仮定すると、個数最大マッチング問題として定式化可能で、それゆえ多項式時間で解けることが知られている。この定式化に Buchbinder らの枠組みを適用してアルゴリズムを設計する。研究代表者がすでに行った競合比下界の証明は、下界値と一致する競合比を持つ最良アルゴリズムの存在を示唆しており、これが本方針の妥当性の裏付けである。

(2) ビンパッキング問題に対するアルゴリズム改良限界の解明 van Vliet は個数制約のないビンパッキング問題に関し、アイテム総数に依存しない線形計画への定式化を与え、競合比下界を証明している。その定式化に対して、個数制約を表現する制約を新たに追加し、その上で想定するアイテムサイズをパラメータとして設定する。そして双対解を構成した上で、線形計画の弱双対定理を適用することにより競合比下界を得る。

(3) 多状態スキーレンタル問題に対する主双対アルゴリズム 多状態スキーレンタル問題は、将来の使用期間が不明な耐久財を入手する際、賃貸、耐久財の一部分の購入、あるいは耐久財の全体の購入といった選択肢、およびそれらの行使タイミングを最適化する問題である。直接的な応用例としては、家電などの多段階低電力モード推移の最適化を表現している。Buchbinder らの主双対アルゴリズム設計手法は、古典的な 2 状態スキーレンタル問題を定式化可能である。多状態スキーレンタル問題の耐久財の割引率をパラメータ化することにより、主双対オンラインアルゴリズム設計手法を拡張する。

3. 研究の方法

研究代表者は、一般のオンライン最適化問題に対し、標準問題への帰着および数理計画への定式化に基づいた、統一的なオンラインアルゴリズム設計手法を確立する。帰着先となる標準問題は、ビンパッキング問題と多状態スキーレンタル問題から考察を始める。数理計画への定式化と主双対オンラインアルゴリズム設計は、Buchbinder の提案手法に基づくが、安直にそのままあてはめると正しく動作しない。そこで、ベースとなる数理計画自体の精査、および線形緩和問題の解に関する反復丸め法の適用を行うことにより、標準問題に対する主双対オンラインアルゴリズム設計手法を構築する。

(1) 各ビンのアイテム収納個数制約が 2 であるか、あるいは 3 以上であるかにしたが、アプローチを大きく変えなければならない。なぜならば、まず個数制約が 2 の場合は、仮にアイテム列が前もってすべて分かっていたとすると、個数最大マッチング問題に還元することにより、多項式時間で解けるからである。解決すべき点は、アイテムが徐々に与えられる場合のどのように詰めるか、である。

アルゴリズム設計方針の基本方針は、個数最大マッチング問題を表現する数理計画に対し、Buchbinder らの主双対オンラインアルゴリズム設計手法を拡張することである。しかし、単純に Buchbinder らが行ったように主問題・双対問題の変数値更新のみでは不十分である。我々はこれに加え、線形緩和問題の解に関する反復丸め法を適用することで設計を行う。我々は、この手法により競合比下界 (= アルゴリズム改良限界) と一致するアルゴリズムが得られると予想している。根拠は、我々が行った競合比下界証明にある。すなわち、我々の証明で用いたアイテム列の生成法が、アルゴリズムがアイテムを詰めた際のビンの分類を暗に意味しているからである。

実はこのことはとりもなおさず、上記の方針でアルゴリズム設計がうまくいかない場合には、逆に、より良い競合比下界が得られる可能性を示唆している。アルゴリズム設計と競合比下界改良の、両面の視点から注意深く解析を進めていく。

他方、個数制約が 3 以上の場合の先行研究である Epstein のアイデアは、数理計画法の観点で解釈すると、各アイテムに紐付された双対解を構成することに相当する。彼女らは個数制約が 3, 4, 5, 6 のそれぞれの場合について個別に解析した。研究代表者は個数制約をパラメータとした定式化を行うことで、一般的な双対解構成法を導出する。

(2) 古典的スキーレンタル問題は、オンライン最適化問題を紹介する際の格好のトイプロブレムである。将来の使用期間が不明な耐久財を求める際に、賃貸が得か、あるいはどのタイミングでの購入が得か、という選択を定式化した問題である。多状態スキーレンタル問題はこれを拡張した問題であり、可能な選択肢が賃貸か購入かのみでなく、加えて、耐久財の一部を購入し残りは賃貸する選択肢が複数用意されている。多状態スキーレンタル問題を別の角度から解釈すると、モバイル機器の多段階低電力モード推移戦略 (例えば、30 分操作がなければスリープ、さらに 60 分たてばシャットダウン、など) の最適化 (つまり省電力化) を表現している。

Buchbinder らの主双対オンラインアルゴリズム設計手法は、古典的な 2 状態スキーレンタル問題を定式化可能であり、これにより最適オンラインアルゴリズムを得ることができる。研究代表者のねらいはこの手法を多状態スキーレンタル問題に拡張することであるが、直ちには可能ではない。そのまま拡張しようとする、戦略を表現する主問題の変数が多値でなければならないからである。

この困難を克服するため、研究代表者は割引率に注目する。割引率とは、耐久財を一括購入する価格と、部分ごとに購入する際の価格和との比である。モバイル機器の省電力化の文脈でいえば、機器を構成する複数のデバイスを同時に起動する場合と、順次起動する場合との消費電力量の比である。この割引率をパラメータとして、最適戦略の競合比の取りうる範囲を解析する。我々はすでに 3 状態の場合についての解析を行っており、割引率が極端に大きい場合や小さい場合に、最適戦略の競合比の取りうる範囲が狭くなることを明らかにしている。この結果を足掛かりとして、割引率をパラメータとした定式化を行い、主双対アルゴリズムの設計を進める。

4. 研究成果

以下に本研究で得られた研究成果を挙げる。それぞれ、学術論文誌上への掲載あるいは国際会議での発表済みである。いずれの成果も、統一的なオンラインアルゴリズム設計手法の重要な骨組みとして機能する。

(1) 除去可能オンラインナップサック問題は、古典的なナップサック問題の派生問題である。まずナップサック問題とは、それぞれ価値とサイズをもつアイテム列の中から、サイズ和がある値以下となるという制限の下で、価値和が最大となる部分列 (= ナップサックに入れるアイテム) を選ぶ問題である。除去可能オンラインナップサック問題は、ナップサック問題に対し、次の 2 つの変更を施した問題である。(イ) アイテムは一度にすべて与えられるのではなく、1 つ 1 つ与えられ、その都度ナップサックに入れるか捨てるか決定する。(ロ) ナップサックにすでに入っているアイテムを捨ててよい。除去可能オンラインナップサック問題は、例えばビッグデータからの省メモリかつ高精度のデータサンプリングなど、幅広い応用を持つ。

既存研究として、それぞれのアイテムについて、価値 = サイズであるという仮定のもと、最適なアルゴリズムが知られている。この種の問題では、アルゴリズムの評価は競合比と呼ばれる評価尺度で評価される。競合比が小さいほど、良いアルゴリズムである。なお先ほどの最適なアルゴリズムとは、他のいかなるアルゴリズムの競合比も、そのアルゴリズムの競合比以上になることが理論保証される、という意味である。本研究において我々は、前述の、価値 = サイズという仮定に加えて、アイテムとナップサックのサイズがすべて整数である、という仮定を加えた問題

を考察した。研究の結果、ナップサックのサイズをパラメータとして、それぞれの場合に対して最適なアルゴリズムを設計した。さらに、最適なアルゴリズムの競合比は、ナップサックのサイズに関して単調増加でないことも分かった。この非自明な性質は、競合比による性能解析の限界の一端を明らかにするものである。我々は以上の結果をまとめて国際会議 TAMC2020 にて発表した。

(2) 多状態スキーレンタル問題は、最適アルゴリズム（つまり競合比が最小となるアルゴリズム）が知られておらず、現在までに分かっているのは、最適アルゴリズムの競合比が 4 以下であること、および、3.62 以上であることのみであった。本研究では、選択肢の数をパラメータとした部分問題を考察した。そして、競合比上界の解析の精緻化を行った。その結果、例えば、選択肢の数が 5 の場合には、最適アルゴリズムの競合比が 3.83 以下、選択肢の数が 6 の場合には、最適アルゴリズムの競合比が 3.93 以下であることが分かった（図 1 参照）。これらはいずれも 4 を真に下回る、はじめての結果である。他方、競合比下界に関しては、競合比下界を根に持つと予想される漸化式に着目した。この漸化式は、項が進むにつれ分母の項が増えるものだった。本研究で検討を行った結果、各項が分母のない多項式で表される、等価な漸化式を得た。我々は結果をまとめて電子情報通信学会英文論文誌 D に投稿し、採録された。

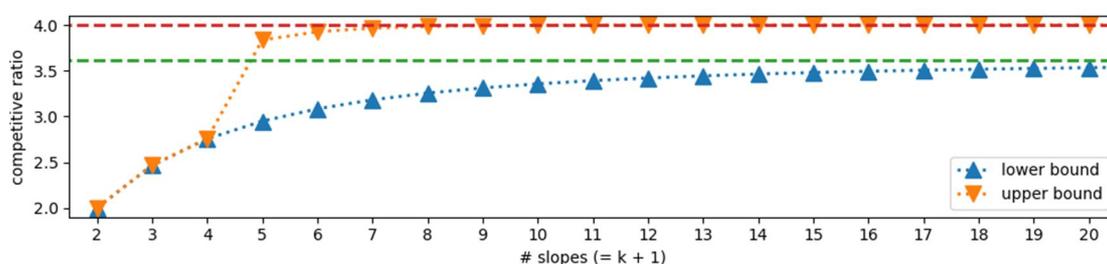


表 1. 多状態スキーレンタル問題に対する最適アルゴリズムの競合比の上下界。横軸が状態数で、縦軸が最適アルゴリズムの競合比の上下界を表す。破線は、状態数任意の場合の最適アルゴリズムの競合比の上下界を表す。

(3) 一般化ハフマン木問題の問題例は、全 2 分木の「葉の深さの関数」の列である。一般の関数列に対しては、一般化ハフマン木問題が NP 困難であることがすでに知られている。他方、関数列が線形関数のみからなるケースは、有名なハフマンのアルゴリズムによって、多項式時間で解ける。それでは、関数列のクラスをどこまで絞れば、多項式時間で解けるのであろうか。本研究では、上界付き線形関数に着目する。研究成果として、傾きと上界値に関する 2 つの条件のうち、少なくともどちらかを満たす場合に対する多項式時間アルゴリズムを設計した。我々はその結果を国際会議 JCDCGG2019 にて発表した。

(4) アイテムが一度にすべて与えられるビンパッキング問題において、そのアイテムサイズが有限種類に限定されるとき、これを解く多項式時間アルゴリズムが存在するかどうかは永年の未解決問題であった。2014 年になって、この問題は Goemans と Rothvoss により肯定的に解決された。では、そのオンライン最適化版、つまりアイテムが順次到着し、そのつどどこに詰めるか決定しなければならない場合はどうか、というのが自然な問いである。すなわち、これを解くオンラインアルゴリズムについて、何か良い性質を見出せないだろうか。本研究では、オンラインアルゴリズム全般に共通する知見は今のところ得られていないが、ある条件のもと、オンラインアルゴリズムの漸近競合比を計算する簡便法の設計に成功した。我々は結果をまとめて電子情報通信学会英文論文誌 D に投稿し、採録された。

(5) El-Yaniv らの 2001 年の論文では、最大変動率のみがプレイヤーに知らされる一方向通貨交換問題に対し、達成可能な競合比（= 交換アルゴリズムの性能尺度）が求められている。彼らの手法は、この問題に特化した解析を行うことであった。それは非常に強力である反面、交換アルゴリズムの最適性が、理論的にどんな意味を持つのかが明確にされなかった。加えて論文中には、交換アルゴリズムについての具体的な記述がなかった。本研究ではまず、この問題を、無限次元ベクトル空間上の線形計画問題に定式化した。そして、線形計画問題の最適解に基づいて、最適アルゴリズムを陽に表すことに成功した。導出において、解の最適性を線形計画問題の弱双対定理を用いて証明することにより、アルゴリズムの最適性が双対理論から裏づけられることを解明した。結果をまとめ、日本オペレーションズ・リサーチ学術論文誌 (JORSJ) に投稿し、採録された。

(6) 多状態スキューラル問題について、我々は割引率に着目した解析を行った。割引率とは、耐久財を一括購入する価格と、部分ごとに購入する場合の価格の総和との比である。モバイル機器の省電力化の文脈でいえば、機器を構成する複数のデバイスを同時に起動する場合と、順次起動する場合との消費電力量の比である。我々の具体的な取り組みは、この割引率をパラメータとした最適戦略の競合比の取りうる範囲を解析である。特に、状態数が 3 の場合についての完全な解析を与えた。割引の度合いが大きい場合に、たとえ最適戦略をとったとしても、その性能が悪くなるような設定が存在することが明らかになった。我々は結果をまとめて電子情報通信学会英文論文誌 A に投稿し、採録された。

(7) ピンパッキング問題に関する Epstein と Levin の 2008 年の論文では、1 つのピンに、大きい方のアイテムが 2 個以上入る場合について、競合比下界を明らかにしている。ただしこの結果は、小さい方のアイテムサイズが任意であることを前提としており、小さい方のアイテムサイズを指定した場合には未解決であった。我々は、この未解決の場合の競合比下界を以下の 2 通りの方法で得た。まずは、Epstein と Levin の線形計画問題を拡張し、その解から導出するものである。しかしこれは、アイテムサイズを用いて陽に表すことができない。そこで我々は双対問題を定式化し、その実行可能解を具体的に構築することにより、精度では劣るものの、陽に表すことのできる競合比下界を得た。我々は結果をまとめて電子情報通信学会英文論文誌 A に投稿し、採録された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

| | |
|--|----------------------------|
| 1. 著者名 Hiroaki Yamamoto and Hiroshi Fujiwara | 4. 巻 Vol. E104-D, No. 3 |
| 2. 論文標題 A New Finite Automata Construction using a Prefix and a Suffix of Regular Expressions | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems | 6. 最初と最後の頁 381-388 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2020FCP0010 | 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 Hiroshi Fujiwara, Yuta Wanikawa, and Hiroaki Yamamoto | 4. 巻 Vol. E104-D, No. 3 |
| 2. 論文標題 Asymptotic Approximation Ratios for Certain Classes of Online Bin Packing Algorithms | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems | 6. 最初と最後の頁 362-369 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2020FCP0004 | 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 Hiroshi Fujiwara, Hokuto Watari, and Hiroaki Yamamoto | 4. 巻 Vol. 28, No. 1 |
| 2. 論文標題 Dynamic Programming for the Subset Sum Problem | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Formalized Mathematics | 6. 最初と最後の頁 89-92 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2478/forma-2020-0007 | 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 Hiroshi Fujiwara, Kei Shibusawa, Kouki Yamamoto, and Hiroaki Yamamoto | 4. 巻 Vol. E103-D, No. 3 |
| 2. 論文標題 Bounds for the Multislope Ski-Rental Problem | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems | 6. 最初と最後の頁 481-488 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2019FCP0001 | 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 Hiroshi Fujiwara, Naohiro Araki, and Hiroaki Yamamoto | 4. 巻 Vol. 63, Issue 1 |
| 2. 論文標題 One-Way Trading Problems via Linear Optimization | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Operations Research Society of Japan (JORSJ) | 6. 最初と最後の頁 1-30 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15807/jorsj.63.1 | 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 Hiroshi Fujiwara, Shunsuke Satou, and Toshihiro Fujito | 4. 巻 Vol. E99-A |
| 2. 論文標題 Competitive Analysis for the 3-Slope Ski-Rental Problem with the Discount Rate | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences | 6. 最初と最後の頁 1075--1083 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E99.A.1075 | 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32件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Arata Takahashi, Osamu Takyu, and Hiroshi Fujiwara |
| 2. 発表標題 Construction of Selection-Scheduling of Accessing Node for High Efficiency Information Exchanging in Overloaded Wireless MIMO Switching |
| 3. 学会等名 The 11th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kanaho Hanji, Hiroshi Fujiwara, and Hiroaki Yamamoto |
| 2. 発表標題 Online Removable Knapsack Problems for Integer-Sized Items |
| 3. 学会等名 The 16th Annual Conference on Theory and Applications of Models of Computation (TAMC2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroaki Yamamoto, Yoshihiro Wachi, and Hiroshi Fujiwara |
| 2. 発表標題 pace-Efficient and Secure Substring Searchable Symmetric Encryption Using an Improved DAWG |
| 3. 学会等名 The 13th International Conference on Provable and Practical Security (ProvSec2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuichi Shirai, Hiroshi Fujiwara, and Hiroaki Yamamoto |
| 2. 発表標題 The Huffman Tree Problem with Linear Functions with Upper Bounds |
| 3. 学会等名 The 22nd Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games (JCDCGGG2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 田中 祐汰, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 対戦取組の逐次作成における手詰まり回避の数理的考察 |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤 明幸, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 ファクターオラクルを用いたコンパクトな全文検索索引の構築 |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 川口 雅也, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 アイテムサイズをあるクラスの2種類とする最適オンラインビンパッキングアルゴリズム |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渥美 里菜, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 3個詰めビンパッキング問題に対する最大最小近似アルゴリズム |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤村 享平, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 ファクターオラクルを用いた部分文字列検索可能暗号の改良 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 伊藤 天啓, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 正規表現検索に向けた検索可能暗号について |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋 新, 田久 修, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 過負荷Wireless MIMO Switchingにおける安全な情報交換の送信順序設計 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会スマート無線研究会 (SR) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 滝澤 大生, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 線形計画法による最適オンラインビンパッキングアルゴリズムの設計 |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 平尾 圭児, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 二等辺三角形からのロボット避難問題 |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤 天啓, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 正規表現検索に向けた検索可能暗号の提案 |
| 3. 学会等名 2020年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2020) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤村 享平, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 ファクターオラクルを用いた部分文字列検索可能暗号 |
| 3. 学会等名 2020年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2020) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Arata Takahashi, Osamu Takyu, and Hiroshi Fujiwara |
| 2. 発表標題 Optimal Transmission Order of Information Exchange among Three Nodes through Relay with Two Antennas in Wireless MIMO Switching |
| 3. 学会等名 The 6th International Workshop on Smart Wireless Communications (SmartCom2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 足立 良太, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 Mizarによるピンパッキングアルゴリズムの性能証明の形式化 |
| 3. 学会等名 夏のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 戸島 貫太, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 整数計画法による対戦取組の逐次作成および数理的考察 |
| 3. 学会等名 夏のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------|
| 1. 発表者名 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 Mizarはじめました |
| 3. 学会等名 列挙アルゴリズムセミナー |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 大井 恒平, 和智 吉弘, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 ファクターオラクルの拡張と文字列照合問題への応用 |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鱒川 友太, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 定数種類のアイテムに対するオンラインビンパッキングアルゴリズム |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 判治 奏帆, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 整数アイテムサイズに対する除去可能オンラインナップサックアルゴリズム |
| 3. 学会等名 冬のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 三好 竜司, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 並列処理に向けた検索可能暗号の改良 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 大井 恒平, 山本 博章, 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 ファクターオラクルの拡張と実験的評価 |
| 3. 学会等名 第17回情報科学技術フォーラム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 所澤 亮太, 土屋 寿樹, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 2個詰めビンパッキング問題の最適解と列挙 |
| 3. 学会等名 夏のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 Threat-Based Strategies for One-Way Trading with only the Maximum Fluctuation Ratio Available |
| 3. 学会等名 列挙アルゴリズムセミナー |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryuji Miyoshi, Hiroaki Yamamoto, Hiroshi Fujiwara, and Takashi Miyazaki |
| 2. 発表標題 Practical and Secure Searchable Symmetric Encryption with a Small Index |
| 3. 学会等名 The 22nd Nordic Conference on Secure IT Systems (NORDSEC2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keiji Hirao, Hiroshi Fujiwara, and Hiroaki Yamamoto |
| 2. 発表標題 Threat-Based Strategies for One-Way Trading with only the Maximum Fluctuation Ratio Available |
| 3. 学会等名 The 11th Annual Meeting of Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 鱒川 友太, 藤原 洋志, 山本 博章 |
| 2. 発表標題 非減少関数に対するハフマン木問題を解く動的計画法 |
| 3. 学会等名 夏のLAシンポジウム |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|-------------------------|
| 1. 発表者名 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 通貨交換問題と線形計画法 |
| 3. 学会等名 列挙アルゴリズムセミナー |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ken Endo, Hiroshi Fujiwara, and Hiroaki Yamamoto |
| 2. 発表標題 Lower Bounds for Online Bin Packing with Two Item Sizes |
| 3. 学会等名 The 10th Annual Meeting of Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|----------------------------|
| 1. 発表者名 藤原 洋志 |
| 2. 発表標題 Pythonのジェネレータ関数 |
| 3. 学会等名 列挙アルゴリズムセミナー |
| 4. 発表年 2016年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 ジョン V グッターク、久保 幹雄、麻生 敏正、木村 泰紀、小林 和博、斉藤 佳鶴子、関口 良行、鄭 金花、並木 誠、兵藤 哲朗、藤原 洋志 | 4. 発行年 2017年 |
| 2. 出版社 近代科学社 | 5. 総ページ数 416 |
| 3. 書名 世界標準MIT教科書 Python言語によるプログラミングイントロダクション第2版 | |

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| 1. 著者名 Ming-Yang Kao (editor) | 4. 発行年 2016年 |
| 2. 出版社 Springer | 5. 総ページ数 2439 |
| 3. 書名 Encyclopedia of Algorithms | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.0mSVOFnU.html>
<http://hfujiwara.wikidot.com/wiki:lwj>

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|