

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02969

研究課題名(和文)ハイブリッドメタ戦略に基づく汎用最適化ソルバー群の構築

研究課題名(英文)General optimization solvers based on hybrid metaheuristics

研究代表者

柳浦 睦憲(Yagiura, Mutsunori)

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：10263120

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：情報技術の急速な発展に伴い、様々な情報が蓄積されるようになったが、それらを有効に活用して作業や生産などの効率化を図ったり、それらに基づく意思決定を行うためには、大規模なデータを対象とした問題解決が欠かせないものとなってきている。その際に解くべき重要な問題として組合せ最適化問題がしばしば現れる。本研究ではそのような問題解決の場面に現れる代表的な組合せ最適化問題のいくつかを対象とし、それらに対する実践的な最適化ソルバーを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

組合せ最適化問題を解くことによって解決・効率化できる問題は多い。また、携帯端末やタブレット端末などの普及に伴い、それらを用いることで、最適化による計画通りに人や物を動かすことが実現しやすくなってきている。しかし、多くの組合せ最適化問題に対し、規模の大きい問題を厳密に解くことは極めて困難であることが認知されている。応用上重要な問題のいくつかに対して実践的解法を開発したことにより、これまで良質の解を短時間で得ることが難しいと思われていた問題に現実的な時間で良質の解が得られるようになった。

研究成果の概要(英文)：With the rapid development of information technology, various types of information have been stored and become available; however, to utilize them to improve the efficiency of operation or production, or to make decisions based on them, problem-solving for large-scale data has become indispensable. Combinatorial optimization problems often appear as important problems to be solved in such situations. In this study, we devised practical optimization solvers for some of the typical combinatorial optimization problems that appear in such problem-solving situations.

研究分野：数理情報学

キーワード：組合せ最適化 メタ戦略

## 1. 研究開始当初の背景

インターネットや携帯端末の普及、計算機性能の進化など、情報技術が急速に発展し、ビッグデータという言葉に代表されるように大量の情報が蓄積されるようになった。それらを有効に活用して作業や生産などの効率化を図ったり、それらに基づく意思決定を行ったりする上で、大規模なデータを対象とした問題解決が欠かせないものとなってきている。その際に解くべき重要な問題として組合せ最適化問題がしばしば現れる。また、携帯端末やタブレット端末などが普及し、それらを用いることで、最適化による計画のとおり人や物を動かすことが実現しやすくなってきている。その結果最適化の重要性はますます高くなってきており、the science of better (改善の科学)として企業からの期待も世界的に高まっている。

しかし、NP 困難性に代表されるように、多くの組合せ最適化問題に対し、問題の規模が大きい場合、厳密な最適解を求めることは極めて困難であることが認知されている。このような問題に現実的に対処するための手法として、最適性の保証はないが、良質の解をできるだけ速く求めようとする近似解法がある。メタ戦略(metaheuristics)は、探索型の近似解法を設計するパラダイムであり、その有用性は広く知られている。代表的なメタ戦略として、遺伝アルゴリズム、アニーリング法、タブー探索法などがある。また、これらの拡張や変形も多数提案されており、アクティブな研究分野である。研究開始当初は、メタ戦略をさらに柔軟に捉え、種々の最適化手法を組み合わせたハイブリッドメタ戦略(hybrid metaheuristics)と呼ばれる枠組みも注目されてきており、それに関する国際会議が開催されるなど、その発展が期待されていた。

## 2. 研究の目的

メタ戦略やハイブリッドメタ戦略をはじめとする近似解法は、大規模な問題解決に欠かせないツールである。しかし、これらを用いてよいソルバーを作るには職人的センスと多くの時間が必要である。解きたい現実の応用問題は複雑になりがちであり、そのような問題ごとにソルバーを新たに作るのは効率が悪い。そこで、どんな問題でも解けるソルバーがあり、それを使って問題を解決できれば非常に便利である。しかし、問題構造を多く利用するほどアルゴリズムの性能は上がる傾向にあるため、1つのソルバーで全ての問題を解こうとしても、高い性能は期待できない。たとえば、整数計画問題に対する数値計画ソルバーは多くの問題を定式化できる高い汎用性を持ち、その性能の進化には目覚ましいものがあるが、それでも、よい性能を発揮できない問題がいまだに多数存在する。一方、性能の観点からは、汎用性を犠牲にして扱える問題を限定し、問題構造をできるだけ多く利用する方が望ましい。実際、既存研究のほとんどは、特定の問題に対してその問題の構造をフル活用して高い性能を得ることに成功している。しかし、これらは汎用性が低いため、現実問題の解決に利用できることは少ない。

そこで、複数の問題を定式化できる汎用性を備えつつアルゴリズムの性能向上に役立つ構造を持つ問題をいくつか選び、そのそれぞれに対してソルバーを開発する。すなわち、一定の汎用性を持つ最適化ソルバーを問題タイプごとに用意しておき、解きたい問題のタイプに応じて適したソルバーを選ぶことで、幅広い問題に対応できるようにすることを目指す。ただし、汎用性を高めることを目的として、既存手法を単に一般化しただけでは、性能が落ちてしまう。本研究では、最適化ソルバーの性能と汎用性の両面をバランスよく実現することを目指す。とくに、既存の数値計画ソルバーが苦手とする問題に対して、そのような問題の大規模な問題例に対処できるソルバーの開発を目指す。

## 3. 研究の方法

上述の目的に合うような問題をいくつか選び、実践的なソルバーの開発を行う。その際、メタ戦略やその基礎となる局所探索法や構築型解法をはじめ、アルゴリズム理論、緩和問題、厳密解法などの様々な観点から問題構造を有効に活用する手法や理論の構築を目指す。さらに、それらをうまく組み合わせたハイブリッド戦略も試みる。ハイブリッド戦略としては、メタ戦略と厳密解法のハイブリッドのような複雑なものに限らず、構築型解法と反復改善法、緩和手法と局所探索法など、基礎的な戦略のハイブリッド手法も検証の対象とする。また、大規模問題に対処するため、対象とする問題に対し、入力データの特徴を活かして探索対象の変数や要素を絞り込み、問題を高速に解く技術の開発も行う。これらの技術をもとに、厳密解法と近似解法の両面からさまざまな手法を開発して検証する。

#### 4. 研究成果

(1) 代表的な問題構造の一つに図形の詰込み問題がある。その中で、レクトリニア図形の詰込み問題を対象として、効率的なアルゴリズムの開発を行った。レクトリニア図形は、縦と横の線分のみからなる図形である(図1)。長方形を組み合わせることで得られる図形であるため、一般の多角形よりも扱いやすく、長方形の詰込み問題に対して得られてきた知見や技術を活かせるというメリットがある上に、長方形よりも表現力が高く、汎用性が高いことがその特徴として挙げられる。長方形の

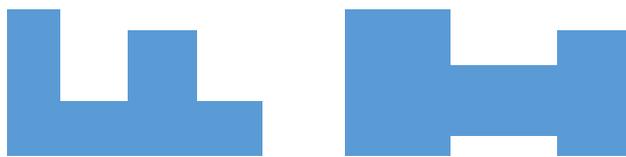


図 1. レクトリニア図形

詰込み問題に対しては、とくに問題規模が大きい場合、構築型の解法が効率的でしかも良質の解を得る傾向にあることが知られている。そのような解法の中でも、bottom-left 法および best fit 法と呼ばれる方法が代表的である。本研究では、これらの構築型解法を融合して拡張した手法を、レクトリニア図形の詰込み問題に対して提案した。具体的には、与えられたレクトリニア図形集合をいくつかに分割し、分割されたグループの各々に対して best fit 法を適用する方法を提案した。この分割を細かくし、各グループが1つの図形からなる場合が bottom-left 法に対応し、一方、分割を粗くとしてグループが1つであるときに best fit 法に対応する。この分割をどのように与えるかを、図形に応じて適応的に定めつつ、定めた分割に対して構築型解法を適用する操作を反復する手法である。図形数が1万を超える問題例に対し、数分程度の計算時間で充填率の高いレイアウトが得られている。

(2) レクトリニア図形の詰込み問題に関しては、厳密解法の開発も進めた。厳密解法を構築する上で、この問題のような最小化問題においては最適値の良質な下界を得ることが重要となる。本研究では、図形をずらして配置することを許容する緩和問題を並列機械のスケジューリング問題に定式化して解くことで最適値の下界を得るという考え方に基づく手法を提案した。また、下界値計算で得られた  $x$  座標を固定した上で  $y$  座標の最適化を行うことで実行可能解を得、上界値を得る手法を2種提案した。その結果、小規模ではあるものの、検証した問題例に対して厳密な最適解を得ることができた。

(3) 白黒画像をビットマップで表現できる、すなわち小さな点(ドット)の集まりで近似的に表現できることは広く知られているが、これを図形の表現に利用し、入力される図形をビットマップで与える詰込み問題を、ビットマップ図形詰込み問題という。ビットマップ表現における個々の点を正方形とみなすと、ビットマップ図形をレクトリニア図形と捉えることができる。ただし、一般の多角形をビットマップ表現すると、そのビット数はかなり大きく、レクトリニア図形に対して提案した効率的な手法をそのままビットマップ図形に適用しても、効率的に動作しない。そこでビットマップ図形に対しても、図形を置くべき重複のない位置の計算などの基本演算が効率的に行えるよう、データ構造やアルゴリズムを工夫した。その結果、多角形詰込み問題の問題例を高い精度でビットマップ表現した問題例に対して効率的に動作する構築型解法を実現し、たとえば約 3000 個の多角形を合計約 1000 万ピクセルで表したデータに対しても、1分程度の計算時間で良質のレイアウトが得られるようになった。

(4) コンテナ積み付け問題には様々なバリエーションがあるが、本研究では、直方体形の荷物を積み上げてスタックを作り、それらを複数台の車両の荷台に詰め込む、3次元の箱詰め問題を対象とした。スタックの安定性のために重いものを軽いものの上には置けないなど、積み付けに関する種々の制約を考慮することで、現実的に現れる様々な問題に対応できるように、汎用性を高めている。充填率の高いスタックの候補を生成したのち、それらを2次元の長方形として詰め込む操作を反復するアルゴリズムを提案した。企業が提示した問題例(最大箱数約 2500)に対して良好な結果が現実的な時間で得られており、コンペティションにおいて3位を獲得した。

(5) 図形の詰込み問題の1つに、同一形状の図形を隙間も重なりもなく平面に敷き詰めるタイリング問題がある。タイリング問題に関して、オランダの芸術家エッシャーの作品に着想を得た最適化問題(エッシャー風タイリング問題)が2000年に提案された。この問題は、与えられた入力図形にできるだけ近い形状のタイリング可能な図形を求めるものである。これまでいくつかのアルゴリズムが提案されてきたが、解を探索する範囲が狭い場合は解の質が不十分であり、探索範囲を拡げようとする効率的な探索を行うことが極めて困難であった。本研究では、組合せ最適化、計算幾何、数値線形代数を組み合わせた手法を提案し、多くの解を効率的に生成・評価する手法を確立した。従来手法と比較して1000倍程度の高速な探索を実現し、3時間以上の計算を要していた問題例に対して10秒以内に高品質なタイルを得られるようになった。

(6) 詰込み型問題の基本形として、1次元の詰込みを考えるナップサック問題がある。これは、与えられた要素の各々にサイズと価値があり、サイズの合計が指定の容量を超えないという条

件を満たすようにいくつかの要素を選び、選んだ要素の価値の合計を最大化することを目的とする問題である。本研究では、この問題における各要素の価値に不確実さのあるロバスト最適化問題を考えた。ロバスト最適化にもいくつかのバリエーションがあるが、本研究では最大リグレット最小化を対象とした。現実の応用の場面では、対象とする問題例のデータに不確実さがある場合は多く、実践的なソルバー群を開発する上で、このようなロバスト最適化を扱えるようになることは重要である。本研究では、双対性を利用して問題を整数計画問題に近似的に定式化するという考えに基づき近似解法、構築型解法、および代表的なメタ戦略の一つである反復局所探索法や、ベンダーズ分解法のアイディアに基づき手法、分枝限定法、およびラグランジュ緩和を利用した分枝カット法など、近似解法と厳密解法の両面から様々なアルゴリズムを提案し、検証した。

(7) 割当て型問題の代表的な問題に、一般化割当て問題がある。複数の仕事とエージェントが与えられた時、各仕事を1つのエージェントに割り当て、それに伴う割当てコストを最小化することを目的とする問題である。このとき、各エージェントに割り当てられた仕事の資源要求量がエージェントの持つ容量を超えてはならない。この問題において、割当てコストに不確実性のあるロバスト最適化問題を考え、最適化の基準には最大リグレット最小化を用いた。この問題に対し、シナリオ、すなわち不確実性のあるデータの具体的な値の組合せを固定して（ロバスト最適化ではない元の）一般化割当て問題を解くシナリオ固定法、および双対性を利用する近似解法を提案した。また、最適性を失うことなく一部の変数を固定することで、考慮すべき変数を減らし問題を縮小する方法も提案し、ラグランジュ緩和法を組み込んだ厳密解法を提案した。

(8) グラフ構造における詰込み型の問題として代表的なものに、独立集合問題がある。独立集合は、頂点の部分集合で、どの辺もその両端点を含まないものをいう。本研究では、この問題において、各頂点に重みが与えられ、頂点重みの総和が最大となる独立集合を求めることを目的とする、重み付き独立集合問題を考えた。多くの問題の基本構造として現れ、単純な構造でありながら、この問題に帰着できる問題も多数知られる、重要な問題の一つである。この問題に対し、局所探索法の基本操作である近傍操作を効率化するデータ構造を工夫することで、重みがより大きくなるように解を修正するような近傍操作を見つけるために要する計算時間を短縮する手法を提案し、その結果、通常考えられてきた近傍操作よりも複雑な操作を探索に組み込むことを実現した。頂点数4000の大規模な問題例を含むベンチマーク問題例に対する計算実験を通して、提案手法の優れた性能を確認しており、3問に対して既知の最良解を更新することができた。

(9) 被覆型の問題の代表的な問題として、集合被覆問題を一般化した問題を対象とする研究を行った。集合被覆問題は、要素集合  $M$  の部分集合とそれらのコストが与えられた時、部分集合のいくつかを選んでそれらの和集合が  $M$  を被覆するという条件のもとで、選んだ部分集合のコストの和を最小化する問題である。この問題において、部分集合族の分割がさらに与えられ、分割の各ブロックから選べる部分集合の数に上限がある、一般化上界制約を考慮できるようにした。また、各要素に対し、その要素を被覆する部分集合の数を指定できる多重被覆制約も考慮できるようにした。集合被覆問題は、配送計画問題やクルースケジューリング問題など、様々な応用問題を定式化できる汎用性があることが知られているが、上述の一般化を行うことで、たとえば配送計画において複数種類の車両が混在する場合が扱えるようになるなど、さらにその汎用性が高まる。一方、集合被覆問題自体は数理計画ソルバーでもある程度の規模まで現実的に解けるが、上の一般化を行った問題は、数理計画ソルバーでは小規模な問題例を除き高い性能が得られないことを観測した。この問題に対し、2変数を同時に変更する近傍操作によってより良い解を見つける操作を効率よく行うデータ構造を提案した。また、探索の効果をある程度保ったまま探索の対象とすべき変数を大幅に減らすアイデアを提案した。これらをメタ戦略アルゴリズムに組み込んだ手法を提案し、計算実験を通してその効果を検証した。要素数5000、部分集合数100万程度の大規模な問題例に対しても、良質な解が得られている。

(10) 順序付け問題の代表的な問題として、線形順序付け問題に対する研究を行った。辺に重みのついた有向グラフが与えられた時、頂点を左から右へ一列に並べ、右から左に向く辺の重みの合計を最小化することを目的とする問題で、代表的な順序付け問題の一つである。この問題に対し、頂点の1つを、現在の位置から他の位置に移動することによって修正する近傍操作を考え、この操作によって得られる改善解を見つける高速アルゴリズムを提案した。メタ戦略アルゴリズムとして、反復局所探索法と大洪水法と呼ばれる2つの方法を取り上げ、その中にこの高速アルゴリズムを組み込んだ手法を提案した。計算実験により、頂点数8000、辺数約3000万の大規模で密なグラフに対しても、提案手法が現実的な計算時間で良質な解を得ることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13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 Yuichi Nagata and Shinji Imahori	4. 巻 82
2. 論文標題 An efficient exhaustive search algorithm for the Escherization problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Algorithmica	6. 最初と最後の頁 2502-2534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00453-020-00695-6	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 -
1. 著者名 Kazuya Haraguchi, Hideki Hashimoto, Junji Itoyanagi and Mutsunori Yagiura	4. 巻 26
2. 論文標題 An efficient local search algorithm with large neighborhoods for the maximum weighted independent set problem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Transactions in Operational Research	6. 最初と最後の頁 1244-1268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/itor.12619	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 Shunji Umetani, Masanao Arakawa, Mutsunori Yagiura	4. 巻 93
2. 論文標題 Relaxation heuristics for the set multicover problem with generalized upper bound constraints	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computers & Operations Research	6. 最初と最後の頁 90 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cor.2018.01.007	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 Vitor Mitsuo Fukushigue Hama, Wei Wu, Mutsunori Yagiura	4. 巻 12
2. 論文標題 A GRASP with efficient neighborhood search for the integrated maintenance and bus scheduling problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0072	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 Ken Matsushita, Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura	4. 巻 12
2. 論文標題 Exact algorithms for the rectilinear block packing problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0074	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 Kie Funahashi, Wei Wu, Yannan Hu, Hiromichi Goko, Mihiro Sasaki, Mutsunori Yagiura	4. 巻 12
2. 論文標題 Modeling and analysis with real-world data for global production planning and location of automobile assembly plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2018jamdsm0081	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 Wei Wu, Manuel Iori, Silvano Martello, Mutsunori Yagiura	4. 巻 125
2. 論文標題 Exact and heuristic algorithms for the interval min-max regret generalized assignment problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 98 ~ 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2018.08.007	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 Y. Hu, S. Fukatsu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. Yagiura	4. 巻 61
2. 論文標題 Efficient Overlap Detection and Construction Algorithms for the Bitmap Shape Packing Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Operations Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 132-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15807/jorsj.61.132	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 W. Wu, Y. Hu, H. Hashimoto, T. Ando, T. Shiraki and M. Yagiura	4. 巻 10
2. 論文標題 A Column Generation Approach to the Airline Crew Pairing Problem to Minimize the Total Person-Days	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	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) 10.1299/jamdsm.2016jamdsm0040	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. Iwasawa, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. Yagiura	4. 巻 10
2. 論文標題 A Heuristic Algorithm for the Container Loading Problem with Complex Loading Constraints	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	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) 10.1299/jamdsm.2016jamdsm0041	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 Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, T. Uno and M. Yagiura	4. 巻 59
2. 論文標題 A Partition-based Heuristic Algorithm for the Rectilinear Block Packing Problem	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the Operations Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 110-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15807/jorsj.59.110	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 F. Furini, M. Iori, S. Martello and M. Yagiura	4. 巻 27
2. 論文標題 Heuristic and Exact Algorithms for the Interval Min-Max Regret Knapsack Problem	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 INFORMS Journal on Computing	6. 最初と最後の頁 392-405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1287/ijoc.2014.0632	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 C.S. Sakuraba, D.P. Ronconi, E.G. Birgin and M. Yagiura	4. 巻 42
2. 論文標題 Metaheuristics for Large-Scale Instances of the Linear Ordering Problem	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Expert Systems with Applications	6. 最初と最後の頁 4432-4442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eswa.2015.01.053	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

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 V.M. Fukushige Hama, S. Kanazawa, Y. Hu, S. Imahori, H. Ono and M. Yagiura
2. 発表標題 On the complexity of the gear placement problem
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Takada, M. Shimazaki, Y. Hu and M. Yagiura
2. 発表標題 Optimal pickup-point selection for the selective pickup and delivery problem with time-window constraints
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Dong, Y. Takada, W. Wu and M. Yagiura
2. 発表標題 A new model of the periodic vehicle routing problem with flexible delivery dates and its evaluation
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Lin, W. Wu, Y. Hu and M. Yagiura
2 . 発表標題 Heuristics for the min-max regret shortest path problem under interval costs
3 . 学会等名 Multidisciplinary International Scheduling Conference: Theory & Applications ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Funahashi, W. Wu, Y. Hu, H. Goko, M. Sasaki and M. Yagiura
2 . 発表標題 Modeling and analysis with real-world data for global production planning and location of automobile assembly plants
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Takeuchi, Y. Takada, Y. Hu, H. Hashimoto and M. Yagiura
2 . 発表標題 Efficient implementations of an iterated local search algorithm for the multi-vehicle covering tour problem
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Ito, W. Wu, Y. Hu, H. Goko, M. Sasaki and M. Yagiura
2 . 発表標題 Online product shipping using heuristic algorithms based on column generation
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 V. Hama, W. Wu and M. Yagiura
2 . 発表標題 A heuristic algorithm for the integrated maintenance and bus scheduling problem
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 J. Zhang, W. Wu and M. Yagiura
2 . 発表標題 Worst case scenario lemma for $\epsilon$ -robust combinatorial optimization problems under max-min criterion
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Yamauchi, M. Takamatsu and S. Imahori
2 . 発表標題 Optimizing train stopping patterns for congestion management
3 . 学会等名 17th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 W. Wu, M. Iori, S. Martello, M. Yagiura
2 . 発表標題 An iterated dual substitution approach for the min-max regret multidimensional knapsack problem
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management ( 国際学会 )
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 K. Matsushita, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, M. Yagiura
2 . 発表標題 A new solution representation for the rectilinear block packing problem
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management ( 国際学会 )
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 H. Iwasawa, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. Yagiura
2 . 発表標題 A heuristic algorithm for the container loading problem of Challenge Renault/ESICUP
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 K. Matsushita, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. Yagiura
2 . 発表標題 An exact algorithm with successively strengthened lower bounds for the rectilinear block packing problem
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 M. Milano, S. Imahori, M. Sasaki and M. Yagiura
2 . 発表標題 The strip packing problem with soft rectangles: experimental analysis of heuristic algorithms
3 . 学会等名 International Symposium on Scheduling ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1. 発表者名 Y. Takada, Y. Hu, H. Hashimoto, M. Yagiura
2. 発表標題 An iterated local search algorithm for the multi-vehicle covering tour problem
3. 学会等名 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2015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
研究 分担 者	今堀 慎治  (Imahori Shinji)  (90396789)	中央大学・理工学部・教授   (32641)	

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		
イタリア	University of Bologna	University of Modena and Reggio Emilia	
ブラジル	Universidade Federal de Sergipe		
フランス	Universite Paris Dauphine		