

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12981

研究課題名（和文）3D配置問題に対する構築型解法の開発および現実問題への応用

研究課題名（英文）Construction Heuristics for three-dimensional packing problems

研究代表者

胡 艶楠 (HU, YANNAN)

名古屋大学・情報学研究科・助教

研究者番号：00778326

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、直方体の集合という形式で入力された3D物体のストリップパッキング問題を考える。直方体の集合形式は細かくして多くの直方体を用いて物体を表現すれば高い精度で任意の3D物体を表現でき、一般の物体を対象とするパッキング問題を高精度で近似的に解くことができた。解法としては、何も配置されていない状態から始めて、アイテムをひとつずつ配置していき、最後に解を得るといった構築型解法を開発した。解法の計算過程で動的に変化するアイテムの配置を効率よく保持するデータ構造を設計して、計算時間を削減した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の3次元配置問題はほとんど直方体に焦点をあてて研究が進められて、一般形状の3D物体の形状の取り扱いが難しいためほとんど検討されていない。本研究では、一般の物体を3Dレクトリニア多面体に近似する手法を提案し、2D図形配置問題に対する知見を3D物体に拡張した。本研究の解法は、直方体配置問題や一般の多面体配置問題も特別な場合として扱えるという性質を持つため、様々な形状を持つ製品の配置問題に適用可能な汎用解法となる。提案した方法論が配置問題の基盤技術となり、配置を決定することが求められる問題に対するアルゴリズム設計に導入されることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we approximately represent a general three-dimensional items by a three-dimensional rectilinear polyhedron, which can be treated as a set of cuboids with fixed relative positions. We propose construction heuristics for the rectilinear polyhedron packing problem, which asks to pack a set of rectilinear polyhedrons into a large cuboid container without overlap so as to minimize the depth of the container.

We adopt the deepest-bottom-left (DBL) strategy, in which each polyhedron is packed at the position having the smallest y-coordinate among those having the smallest x-coordinate in the surface with the smallest z-coordinate. We utilize a concept called no-fit cube (NFC) to determine overlaps between items and design efficient implementations by storing NFCs dynamically with advanced data structure. We performed computational experiments and the results show that our algorithms run fast and obtain solutions for instances with more than 3000 items in 72 seconds.

研究分野：組合せ最適化

キーワード：三次元配置問題 組合せ最適化 アルゴリズム設計

## 1. 研究開始当初の背景

配置問題とは、配置すべきもの(製品と呼ぶ)の集合と配置される空間が与えられたとき、製品を空間内に、様々な制約の下で効率よく配置する問題である。この問題は、古典的な組合せ最適化問題の1つであり、これまでに多くの研究がなされてきた。配置問題の直接的な応用先として、鉄鋼・ガラス・繊維などの素材産業、集積回路の設計、倉庫やトラックの効率的な運用などが挙げられる。計算の複雑度という観点から見ると、ほぼ全ての配置問題は NP 困難に分類され、多項式時間で厳密な解を求める手法はおそらく存在しない。このような状況にあるため、性能の良い近似解法の開発が非常に重要であると考えられている。現在、配置問題に関する近似解法の研究をリードしているのはヨーロッパ諸国であり、非常に活発な研究が行われている。

3次元(3D)物体配置問題は、直方体の容器に直方体や一般的な形状の3D物体を詰め込む問題である。一般的な3D物体の配置問題は、医療機器、ロボット、人工衛星などの設計において限られたスペースにより多くの機能を搭載するために必要となる製品をより小さく作る技術をはじめ、工学的な応用が非常に多い。しかし、一般的な3D物体の配置問題に対する研究は、われわれの知る限りこれまで行われていない。さらに、3次元配置問題の既存研究では直方体の配置問題に対して様々な方法が提案されているが、それらの研究のほとんどは理論的な視点で、容器の容量、アイテムの体積など数量的な制約のみを考えており、重心や直方体間の相対位置など現実の応用に現れる複雑な制約を考慮していない。現実の応用に現れる問題では、様々な配置制約を考慮する必要がある。例えば、トラックに荷物を詰め込む際には、重心、配置可能な向き、物体間の相対位置などがあり、このような実際の問題に現れる配置制約を考慮し、配置を求める解法が必要である。

## 2. 研究の目的

3次元(3D)物体配置問題は、直方体の容器に直方体を含む様々な形状の3D物体を詰め込む問題である。3次元配置問題の先行研究では重心や直方体間の相対位置など現実の応用に現れる複雑な制約を考慮せず、また直方体に限定した理論的研究が多い。より一般的な形状の3D物体配置問題に対する手法については、形状の取り扱いが難しいためほとんど検討されていない。本研究は、先行研究において直方体配置問題について得られた知見を利用して、3次元物体配置問題に拡張することを検討し、3D物体配置問題に対する高速・高性能な解法を開発する。そして、現実の複雑な制約を考慮する直方体や3D物体配置問題を厳密にモデル化し、高性能な汎用的解法を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究は、以下の方法で3D物体配置問題に対する高速・高性能な解法を開発した。一般の3D物体の形状を直接取り扱うことは難しいため、本研究では近似的に処理するアルゴリズムの開発した。まず、一般の物体を3Dレクトリニア多面体に近似した3Dレクトリニア多面体配置問題を考える。レクトリニア多面体とは、3D多面体で各面がxy平面、yz平面、zx平面のいずれかと平行であるものをいう。一般の2D図形配置問題と3D直方体配置問題に対する知見・成果を利用して、3D物体配置問題に対する高速な解法を開発した。さらに、現実問題に現れる複雑な配置制約を考慮する3D配置問題をモデル化し、高性能な汎用的解法を開発した。

まず、一般の物体を3Dレクトリニア多面体に近似する手法を提案した。任意の物体はレクト

リニア多面体に近似することは可能であるが、その近似の精度に応じて、アイテムを表現するための複雑度が高くなる。開発する解法の性能が、このような複雑度の増大に敏感にならないようにアルゴリズム上で主にデータ構造の面からの工夫を行った。

または、3D 物体配置問題に対する構築型解法を三つ提案する。何も配置されていない状態から始めて、アイテムをひとつずつ配置していき、最後に解を得るという構築型解法を開発した。各アイテムを配置する際に、deepest-bottom-left 戦略で配置位置を決める。deepest-bottom-left 戦略はアイテムを容器の中に配置できる位置の中で、最も奥行き小さい面の最も低い位置のうち、できるだけ左の位置である。

多面体同士の重なりを容易に判定するために、no-fit cube (NFC) という考え方を提案し、高度なデータ構造、効率よく NFC を保存する手法などを内蔵することにより計算の高速化を行った。解法の計算過程で動的に変化するアイテムの配置を効率よく保持するデータ構造を設計して、計算時間を削減した。

最後に、解の精度を高める戦略も提案した。構築型解法は解を探索するタイプの手法ではないため一度適用しただけでは十分よい精度の解が得られない場合がある。本研究では、この点を解決すべく次の2点について研究を実施した。(a)構築型解法では、アイテムを配置する順序が重要である。本研究では、単純な構築型解法より精度の高い解を得るために、アイテム固有の性質を考えた配置順序を考案した。(b)与えられた計算時間内にできる限りのパフォーマンスを発揮する配置順序を探索空間とした局所探索型の解法を設計した。

#### 4. 研究成果

この研究では一般の3次元物体配置問題の中でも特に大規模な問題に焦点を絞り、性能の高い構築型解法の開発を目的とした。曲面を含む3次元物体の配置問題は多くの応用を持つが、十分な研究が行われていない。この問題を扱いつづらけている原因は、形状の取り扱いの難しさである。本研究では、曲面を含む3次元物体を3次元レクトリニア多面体に近似し、3次元レクトリニア多面体配置問題を考える。レクトリニア多面体とは、3D多面体で各面がxy平面、yz平面、zx平面のいずれかと平行であるもので、相対位置が固定される直方体の集合として捉えることができ、図形の重なりを容易に判定することができる。さらに、レクトリニア多面体は直方体と似た構造を持っており、直方体配置問題に対する知見・成果を利用して、高速・高性能なアルゴリズムを設計した。レクトリニア多面体を直方体の領域に詰め込む問題に対して、空の状態からひとつずつ多面体を配置する構築型解法の高度なデータ構造を駆使した効率的な実装を提案し、3000個程度の多面体を70秒以内で配置することができた。このような大規模な問題例に対して短時間で良質の解を構築できるのはわれわれの知る限り本研究が世界初である。

また、現実の応用に現れる問題では、様々な配置制約を考慮する必要があるが、従来の研究では容器の容量、アイテムの体積など数量的な制約のみであるものが多い。本研究は、配置可能な向きや、物体間の相対位置など実際の問題に現れる配置制約をモデルに導入した。

本研究の解法は、直方体配置問題や一般の多面体配置問題も特別な場合として扱えるという性質を持つため、様々な形状を持つ製品の配置問題に適用可能な汎用解法となる。さらに、提案した方法論が配置問題の基盤技術となり、配置を決定することが求められる問題に対するアルゴリズム設計に導入されることが期待できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 V.M. Fukushima Hama, S. Kanazawa, Y. Hu, S. Imahori, H. Ono and M. Yagiura	4. 巻 14
2. 論文標題 The Computational Complexity of the Gear Placement Problem, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 5 page
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0069	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. Takada, M. Shimazaki, Y. Hu and M. Yagiura	4. 巻 14
2. 論文標題 Efficient algorithms for optimal pickup-point selection in the selective pickup and delivery problem with time-window constraints	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 5 pages
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0074	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 K. Funahashi, W. Wu, Y. Hu, H. Goko, M. Sasaki, and M. 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 18 pages
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 K. Matsushita, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. 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 19 pages
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 Y. Hu, S. Fukatsu H. Hashimoto, S. Imahori, 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 132-151
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 -

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Y. Lin, W. Wu, Y. Hu, M. Yagiura
2. 発表標題 Heuristics for the Min-Max Regret Shortest Path Problem under Interval Costs
3. 学会等名 the 9th Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Hashimoto, Y. Hu
2. 発表標題 A general vehicle routing problem and an effective heuristic algorithm for the location routing 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 V. Hama, S. Kanazawa, Y. Hu, S. Imahori, H. Ono, 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, 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 杉浦知樹, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲
2. 発表標題 最遅到着時刻制約付き通勤バスルーティング問題に対する発見的解法
3. 学会等名 スケジューリング学会シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田寛治, 胡艶楠, ビズチ アンドレア マリネッリ ファブリツィオ, 柳浦睦憲
2. 発表標題 ギロチンカット制約および順序制約を考慮する2次元ビンパッキング問題に対する解表現およびその効率的評価法
3. 学会等名 スケジューリング学会シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤克海, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 整数制約付き形状可変長方形詰込み問題に対する配置戦略
3. 学会等名 スケジューリング学会シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧本修斗, 高田陽介, 岩田麻希, 高橋輝, 今井純志, 早川敬一郎, 胡艶楠, 佐々木美裕, 小野廣隆, 柳浦睦憲
2. 発表標題 ハブ・スポーク配送計画問題に対する反復局所探索法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 V.M.F Hama, 金澤将吾, 胡艶楠, 今堀慎治, 小野廣隆, 柳浦睦憲
2. 発表標題 ギア配置問題の計算複雑度について
3. 学会等名 LAシンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅田知樹, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 三次元レクトリニア多面体配置問題に対する配置戦略および高速な構築型解法
3. 学会等名 第46回日本OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥崎優, 高田陽介, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 時間枠制約付き選択的集配計画問題に対する発見的解法
3. 学会等名 第46回日本OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅田知樹, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 三次元レクトリニア多面体配置問題に対する構築型解法の配置戦略および効率の実現法
3. 学会等名 第172回アルゴリズム研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 舟橋紀絵, 高田陽介, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 電気自動を使用した乗合タクシーサービスにおける配車計画
3. 学会等名 SSOR中部支部2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤将吾, 福重浜ピトル, 胡艶楠, 今堀慎治, 小野廣隆, 柳浦睦憲
2. 発表標題 ギア配置問題の計算複雑度
3. 学会等名 スケジューリング学会・シンポジウム 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Pizzuti, W. Wu, F. Marinelli, M. Yagiura, Y. Hu
2. 発表標題 A pattern-based reformulation for the one-dimensional bin packing with variable pattern processing time
3. 学会等名 スケジューリング学会・シンポジウム 2018
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 梅田知樹, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 三次元レクトリニア多面体配置問題に対する配置戦略および高速な構築型解法
3. 学会等名 第46回日本OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島崎優, 高田陽介, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 時間枠制約付き選択的集配計画問題に対する発見的解法
3. 学会等名 第46回日本OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅田知樹, 胡艶楠, 柳浦睦憲
2. 発表標題 三次元レクトリニア多面体配置問題に対する構築型解法の配置戦略および効率的実現法
3. 学会等名 第172回アルゴリズム研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Takada, Y. Takeuchi, Y. Hu, H. Hashimoto, M. Yagiura
2. 発表標題 An adaptive local search algorithm for the multi-vehicle covering tour problem
3. 学会等名 12th Metaheuristic International Conference (MIC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Takeuchi, Y. Takada, Y. Hu, H. Hashimoto, 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 Proceedings of the International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Funahashi, W. Wu, Y. Hu, H. Goko, M. Sasaki, 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 Proceedings of the 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, M. Yagiura
2. 発表標題 Online Product Shipping Using Heuristic Algorithms Based on Column Generation
3. 学会等名 Proceedings of the International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 胡艶楠
2. 発表標題 Heuristics for 2D and 3D packing problems
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 中部支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊東真由, 呉偉, 胡艶楠, 郷古浩道, 佐々木美裕, 柳浦睦憲
2. 発表標題 受注日と発送期限日付き商品発送問題に対する列生成アプローチ
3. 学会等名 日本経営工学会2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 舟橋紀絵, 呉偉, 胡艶楠, 郷古浩道, 佐々木美裕, 柳浦睦憲
2. 発表標題 自動車組立て工場のグローバル最適配置問題のモデル化と比較分析
3. 学会等名 日本経営工学会2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 舟橋紀絵, 呉偉, 胡艶楠, 郷古浩道, 佐々木美裕, 柳浦睦憲
2. 発表標題 複数車格を生産する自動車組立て工場のグローバル最適配置問題
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会研究部会「評価のOR」学生大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 今堀慎治, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲	4. 発行年 2018年
2. 出版社 オペレーションズ・リサーチ	5. 総ページ数 9
3. 書名 Pythonによる図形詰込みアルゴリズム入門(解説)	

1. 著者名 Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Chapman & Hall/CRC	5. 総ページ数 26
3. 書名 “Practical Algorithms for Two-dimensional Packing of General Shapes,” in: T.F. Gonzalez, ed., Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics, Second Edition, Volume I: Methodologies and Traditional Applications	

〔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
---------	---------