

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18710128

研究課題名（和文）切出し・詰込み問題に対する汎用的なメタ戦略の開発と応用

研究課題名（英文）Practical metaheuristic algorithms for packing and cutting problems

研究代表者

梅谷 俊治（UMETANI SHUNJI）

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：80367820

研究成果の概要：切出し・詰込み問題は、いくつかの対象物を与えられた領域内に効率良く配置する問題である。この問題は、長方形詰込み問題、円詰込み問題、コンテナ詰込み問題、多角形詰込み問題など、図形の次元や形状によりさまざまなバリエーションを持ち、製造業を始めとして多くの分野に応用を持つ実用的な問題であることが知られている。本研究では、多角形詰込み問題と 1 次元資材詰込み問題に対してメタ戦略に基づく実践的な近似解法を提案し、実際の製造業に現れる様々な事例に対して、短時間で熟練者と同程度の歩留りを持つ切出し・詰込み計画を求めるシステムを開発した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,200,000	0	1,200,000
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	300,000	3,400,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：組合せ最適化，アルゴリズム，メタ戦略，モデリング，オペレーションズ・リサーチ

1. 研究開始当初の背景

切出し・詰込み問題は、いくつかの対象物を与えられた領域内に効率良く配置する問題であり、製造業における多くの分野に応用を持つ。これらの分野では、切出し・詰込み計画が生産効率や品質に大きく関わるため、熟練の作業者が長年の経験と勘に基づいて慎重に計画を立案している。しかし、近年の生産システムの大規模・複雑化によって熟練者でも効率良い計画を立案することが困難な事例が急増している。また、多くの熟練者

が定年退職を迎えることもあり、切出し・詰込み計画の立案の支援および自動化を行うシステムの開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、機械部品の板取りや服の型紙の配置等の応用を持つ多角形詰込み問題（図 1）と、鉄鋼・製紙・繊維などの素材産業に応用を持つ 1 次元資材切出し問題（図 2）に対して、メタ戦略に基づく実践的な近似解法を開発する。そして、実際の製造業に現れる

様々な事例に対して、短時間で熟練者と同程度の歩留りを持つ切出し・詰込み計画を求めるシステムを開発する。

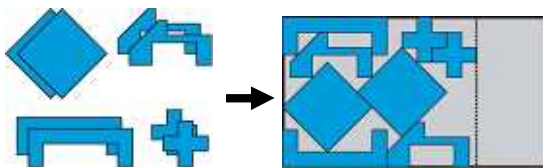


図 1：多角形詰込み問題

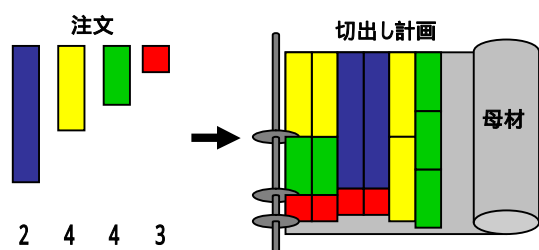


図 2：1次元資材切出し問題

3. 研究の方法

(1)多角形詰込み問題に対するメタ戦略

多角形詰込み問題は、製品の形状を除けば、長方形詰込み問題と同じ問題構造のため、これまで長方形詰込み問題に対する近似解法を拡張した解法が多く提案されていた。これらの解法は、多角形の詰込み順を変更しては、全多角形を配置し直す手続きを繰り返して探索するため、探索途中における個々の配置計画を計算するのに多くの計算時間を要する。そのため、小規模の事例でさえ、限られた計算時間内に歩留りの高い切出し計画を得ることは困難であった。

そこで、新たな配置計画を求める度に全ての多角形を配置し直すのではなく、1つの多角形を選んで水平・垂直方向に移動する手続きを繰り返して、より歩留りの良い配置計画を探索するメタ戦略を提案した(図3)。

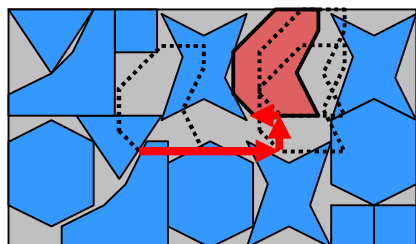


図 3：多角形詰込み問題に対するメタ戦略

(1-1)重なり度最小化問題の定式化

メタ戦略は解に微小な変形を加える操作

を繰り返し適用してより良い解を探索する局所探索法を基本的な枠組みとしている。多角形詰込み問題では1つもしくは少数の多角形を動かす手続きを繰り返してより歩留りの良い解を探索するメタ戦略がいくつか提案されている。しかし、多角形詰込み問題では、ある程度歩留りが良い解になると、少数の多角形を動かして重なりのない解を求めることは簡単ではなく、得られたとしても歩留りの改善はあまり期待できない。

そこで、探索途中において多角形同士の重なりのある解を許容し、多角形の重なり度合いに応じたペナルティを課す手法を提案した。具体的には、多角形対ごとに重なりをなくすために必要な最小の移動距離を求め、それらの総和をペナルティとする方法を採用した。

(1-2)アルゴリズムの高速化

多角形は円や長方形に比べて複雑な形状を持つため、多角形詰込み問題に対する効率の良い解法を開発するためには、多角形対が重なりを持つかどうかを高速に判定する必要がある。多角形の自由な回転が許されない場合には、計算幾何におけるミンコフスキー和演算を利用して多角形対の重なりを高速に判定できることが知られている。

本研究では、ミンコフスキー和演算を用いて、多角形対の重なりの有無を判定するだけでなく、多角形対の重なり度や1つの多角形を動かした際に重なり度の総和が最小となる配置を高速に計算するアルゴリズムを開発し、メタ戦略の大幅な高速化を実現した。

(1-3)探索の多様化

メタ戦略の基本的な枠組みである局所探索法は、改善の起こり易い部分を頻繁に動かす傾向があることが知られている。多角形詰込み問題でも、重なり度の小さな多角形ばかりを頻繁に動かして、探索が効率良く進まないことが予備実験により判明している。

そこで、各多角形対の重なり度に重み係数を掛けて足し合わせたものをペナルティとし、探索履歴に応じて各多角形対の重み係数を適応的に調整するアルゴリズムを提案した。具体的には、局所探索法を適用する度に重なりが解消されずに残っている多角形対の重み係数を重なり度に応じて増加させることで、ある多角形対が重なった状態で動かなくなるのを防いでいる。

(2) 1次元資材切出し問題に対するメタ戦略

1次元資材切出し問題は、定型の母材から様々な長さの板材を顧客の注文に応じて切出す計画を求める問題であり、鉄鋼・製紙・繊維などの素材産業をはじめとする多くの分野に応用を持つ代表的な組合せ最適化問題の一つとして知られている。

古典的な1次元資材切出し問題は、使用する

る母材の本数を最小にする板材の組合せを求め問題として定式化され、列生成法によって大規模問題の良い近似解が短時間で求まることが知られている。しかし、実際の素材産業では、単に余剰素材の削減だけで製造コストが抑えられるわけではない。近年では、切出し工程の段取り替え作業にともなうコストや、切出された製品を一時的に積み上げておく空間の削減が重要な課題として注目されている。特に、段取り替え作業や仕分け工程など、人手による作業を多く含む製造業では、ヒューマンエラーを回避するための特殊な制約を持つ1次元資材切出し問題を考慮する必要がある。

本研究では、そのような事例の1つである紙管切出し問題に対して、1次元資材切出し問題に基づく数理計画モデルを提案し、メタ戦略に基づく近似解法を開発した。

(1-1)紙管切出し問題の定式化

紙管切出し工程では、切出し工程が完全に自動化されている一方で、母材を機械に投入する作業と、切出された製品を出荷先ごとに仕分けする作業が人手で行われている。母材の取り替え回数が多い切出し計画では、ラインが頻繁に停止し作業効率が悪くなる。また、似たような長さの製品や多種類の製品が仕分け台に同時に現れると、仕分け作業におけるエラーが頻発し作業効率および作業の信頼性が大きく損なわれる。

そこで、母材の取替え回数および仕分け台に同時に現れる製品の種類に対する制約条件を追加した1次元資材切出し問題を数理計画問題として定式化した。

(1-2)列生成法に基づくメタ戦略

従来の1次元資材切出し問題では、1本の母材から切出される製品の組合せを切出しパターンと呼び、新たな切出しパターンを順次追加する近似解法が多く提案されてきた。しかし、本問題では、仕分け台に同時に現れる製品に関する制約を充足するために、1つの切出しパターンではなく前後する複数の切出しパターンを同時に考慮する必要がある。そこで、複数の切出しパターンからなる集合を切出しグループと呼び、切出しグループの構造を保持しながら切出し計画を変更するメタ戦略によって、上記の複雑な制約条件を充足する解を探索する。

4. 研究成果

(1) さまざまな形状や大きさの多角形を長方形の容器に詰め込む多角形詰込み問題に対してメタ戦略に基づく高性能な近似解法を開発した。提案解法をベンチマーク問題例に適用した結果、いくつかの問題例においてこれまでに知られていた最良解を更新することに成功した。提案解法の実行結果の一部を図4、図5に示す。

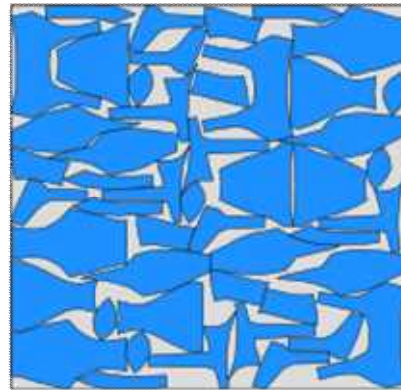


図4：多角形詰込み問題の配置例

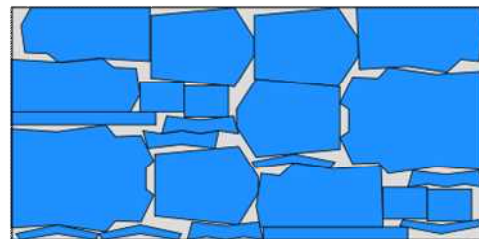


図5：多角形詰込み問題の配置例

(2) 紙管工業における1次元資材切出し問題について、原材料切残し総量の最小化だけではなく、母材を取り替える段取り作業の回数と仕分け台に同時に現れる製品の種類数の削減を同時に実現する切出し計画を求める近似解法を開発した。提案解法に基づいて開発したソフトウェアは、実際の紙管工業における切出し計画の立案に利用され、切出し工程の効率化や人件費の削減等の効果が得られたとの報告があった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

1. S.Umetani, M.Yagiura, S.Imahori, S.Imamichi, K.Nonobe and T.Ibaraki, Solving the irregular strip packing problem via guided local search for overlap minimization, International Transactions in Operational Research, 掲載予定, 査読有。
2. S.Umetani, M.Yagiura and T.Ibaraki, One-dimensional cutting stock problem with a given number of setups: A hybrid approach of metaheuristics and linear programming, Journal of Mathematical Modeling and Algorithms, 5, 43-64, 2006, 査読有。
3. 梅谷俊治, 切出し・詰込み問題に対する

実用的解法, 生産と技術, 61, 56-58, 2009, 査読無し.

4. K.Matsumoto, S.Umetani and H.Nagamochi, One-dimensional cutting stock problem for a paper tube industry, Technical Report TR2008-008, Department of Applied Mathematics and Physics, Graduate School of Informatics, Kyoto University, 2008, 査読無し.

〔学会発表〕(計8件)

1. S.Umetani, K.Matsumoto, H.Nagamochi, One-dimensional cutting stock problem for a paper tube industry, The 6th ESICUP Meeting, 2009.
2. 松本一輝, 梅谷俊治, 永持仁, 紙管製造工程における1次元カッティングストック問題, 日本オペレーションズリサーチ学会春季研究発表会 アブストラクト集, 64-65, 2008.
3. S.Umetani, M.Yagiura, T.Imamichi, S.Imahori, K.Nonobe and T.Ibaraki, A local search algorithm based on overlap minimization for the irregular strip packing problem, Proceedings of the 7th Metaheuristics International Conference (MIC2007), 35/1-3, 2007.
4. S.Umetani, M.Yagiura, T.Imamichi, S.Imahori, K.Nonobe and T.Ibaraki, A metaheuristic approach based on overlap minimization for the irregular packing problem, The 4th ESICUP Meeting, 2007.
5. S.Umetani, M.Yagiura, T.Imamichi, S.Imahori, K.Nonobe and T.Ibaraki, A metaheuristic approach based on overlap minimization for the irregular packing problem, Dagstuhl-Seminar on Cutting, Packing, Layout and Space Allocation, 2007.
6. S.Umetani, M.Yagiura, T.Imamichi, S.Imahori, K.Nonobe and T.Ibaraki, A guided local search algorithm based on a fast neighborhood search for the irregular strip packing problem, The 1st Workshop on Mathematical Contributions to Metaheuristics (Matheuristics2006), 2006.
7. S.Umetani, M.Yagiura, T.Imamichi, S.Imahori, K.Nonobe and T.Ibaraki, A guided local search algorithm based on a fast neighborhood search for the irregular strip packing problem, INFORMS International Conference, 2006.

8. S.Umetani, M.Yagiura, T.Imamichi, S.Imahori, K.Nonobe and T.Ibaraki, A guided local search algorithm based on a fast neighborhood search for the irregular strip packing problem, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2006 (ISS2006), 126-131, 2006.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-sys.ist.osaka-u.ac.jp/umetani/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅谷 俊治 (UMETANI SHUNJI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号: 80367820