

特集解説

メタ戦略の産業応用

谷崎隆士*

Industrial Applications of Meta Heuristics

Takashi TANIZAKI

キーワード：メタ戦略，遺伝アルゴリズム，反復局所探索法，散布探索法，パス再結合

1. はじめに

大学教員に転職して、15年余りとなる。前職の鉄鋼メーカー勤務時に、最適化理論の工場への生産計画他への応用研究および製鉄所の生産性向上他の企画業務に従事していた。大学教員に転職後、この知見を活かしたいと考え、産学連携を主軸にした研究を行うと共に研究を通じて学生を育成してきた。主として、組合せ最適化(スケジューリング他)、需要予測、およびデータ駆動型制御システムをテーマとした研究に取り組んできた。この中で、組合せ最適化、特に、メタ戦略の産業応用について述べる。

2. 組合せ最適化問題

最初に、組合せ最適化問題およびメタ戦略について述べる。組合せ最適化問題とは、(1)、(2)式にて定式化できる問題のことである [1]。

$$\text{最小化 (もしくは最小化)} f(x) \quad (1)$$

$$\text{制約条件 } x \in F \quad (2)$$

ここで、 $f(x)$ は目的関数、 F は組合せ的な構造

(=有限個あるいは加算無限個の要素を持つ離散集合)を持つ実行可能領域である。代表的な組合せ最適化問題として、ナップザック問題、最短路問題、巡回セールスマン問題、1機械スケジューリング問題、割当問題があり、産学連携にて筆者が企業と共同研究を行ったテーマのほとんどは、組合せ最適化問題として定式化可能であった。

本稿の趣旨から離れるので、厳密な説明は避けるが、組合せ最適化問題の多くはNP困難なクラスに属する問題が多く、最適解の求解には実行可能解を列挙するしかないことが予想されている。一方、NP困難なクラスに属する問題は、問題例とその問題例のある解 s が与えられたとき、 $s \in F$ の判定と $f(s)$ の計算は、多項式時間で計算可能である。企業との共同研究では、現実的な時間(=2~3時間)以内にそこそ良い目的関数値を持つ解(準最適解)を求解することが求められる。問題の規模により、多くの共同研究において、分枝限定法などを用いた最適解の求解は困難なことから、メタ戦略を用いた準最適解の求解に取り組んだ。なお、企業が現実に取り扱う問題(スケジューリング問題他)は、受注状況、生産状況他の外的状況から、制約条件や目的関数が増加することが多く [2]、組合せ最適化問題としての定

* 近畿大学工学部
受付：2024年11月14日

式化する際に、企業と十分な議論が必要である。

3. メタ戦略

メタ戦略は、以下の操作を繰り返して解を求解する。

- (1) 過去の探索の履歴を利用して新たな解を生成。
- (2) 生成した解を評価し、次の解の探索に必要な情報を取り出す。

メタ戦略の一般的な枠組は、以下の通りである [1]。

- S.1 (初期解生成) 初期解 x を生成する。
- S.2 (局所探索) x を (一般化された) 局所探索法により改善する。
- S.3 (反復) メタ戦略の終了条件が満たされれば暫定解を出力して探索を終了する。そうでなければ S.1 に戻る。

メタ戦略は、初期解の生成方法、局所探索の方法、終了条件により非常に多くのバリエーションがあり、多くの手法が提案・研究・実用化されてきている。また、2章で述べた NP 困難な問題のクラスの特徴である「ある解 s が与えられたとき、 $s \in F$ の判定と $f(s)$ の計算は、多項式時間で計算可能」は、メタ戦略と相性が良い。

3.1 組合せ問題へのメタ戦略の適用

図 1 に筆者が企業との共同研究において用いている組合せ最適化問題へのメタ戦略の適用の枠組を示す。すなわち、メタ戦略を用いて新たな解を生成する。この解を、組合せ最適化問題を模擬したシステム (例: 操業シミュレータ) に入力し、解の実行可能性をチェックし、目的関数値を算出する。その後、この解を評価する。終了条件を満足するまでこの手順を繰り返す。

この方法の利点は、以下の通りである。

- (1) 企業側は現実世界を模擬するシミュレータに注力することができる。その際、良解の求解はメタ戦略にまかせることができる。

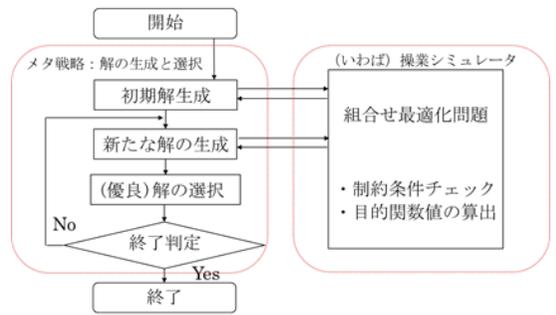


図 1 組合せ最適化問題へのメタ戦略の適用

- (2) 企業側でシミュレータを構築する際に、最適化アルゴリズムを埋め込むことが不要であり、システム構築期間の短縮が可能である。

3.2 産学連携課題へのメタ戦略の活用

前述の通り、メタ戦略には非常に多くの手法が提案されている。筆者が産学連携課題に活用してきたメタ戦略について、概説する。

3.2.1 遺伝アルゴリズム

遺伝アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA) は、生物の進化のメカニズムにヒントを得た方法である。その特徴は、複数の解を同時に保持し、それらを集団として改善していくことである。

- S.1 (初期設定) 初期解集合 P を生成する。
- S.2 (進化) $Q := \emptyset$ とした後、(1)、(2) を行い、新たな解集合 Q を生成する。
 - (1) (交叉) P から 2 つまたはそれ以上の解を選び、組み合わせることで新たな解を得る。
 - (2) (突然変異) P から選んだ解、あるいは S.1 で生成した解にランダムな変形を加える。
- S.3 (淘汰) $P \cup Q$ より $|P|$ 個の解を残し、それ P とする。
- S.4 (反復) 終了条件が満たされれば暫定解を出力して探索を終了。そうでなければ、S.2

に戻る。

GAは、交叉、突然変異、淘汰などの実現方法に様々なバリエーションが可能であり、柔軟性の高い手法である。交叉のもととなる解を親、交叉によって生成される解を子と呼ぶ。親の選び方は、以下のように、様々な方法が可能である。

- 一様にランダムに選ぶ。
- 親の一方は P 中の最良解、他方はランダムに選ぶ。

交叉は、問題に応じた工夫が必要である。以下では、解が n 次元 0-1 ベクトル $z = \{z_1, \dots, z_n\} \in \{0, 1\}^n$ の場合と、 n 要素の順列の場合について記述する。

(1) 0-1 ベクトル

2つの親を z^A と z^B 、子 z^C とする。交叉の手続きは以下となる。

S.1 マスク $m = (m_1, \dots, m_n) \in \{0, 1\}^n$ をランダムに生成する。

S.2 各 j に対し、 $m_j = 0$ ならば $z_j^C := z_j^A$, $m_j = 1$ ならば $z_j^C := z_j^B$ とする。

$n=5$ とすると、例えば、 $m = (0, 0, 0, 1, 1)$ は1点交叉用、 $m = (0, 0, 1, 1, 0)$ は2点交叉用のマスクである。

(2) 順列

順列において、上記と同じ手順を行うと、子に同じ要素が2回発生し、順列ではなくなる可能性が高い(図2)。そこで、親を σ^A と σ^B 、子を σ^C として、以下の手続きを行う(図3)。

S.1 マスク $m(m_1, \dots, m_n) \in \{0, 1\}^n$ をランダムに生成する。

S.2 各 j に対し、 $m_j = 0$ ならば $\sigma^C(j) := \sigma^A(j)$ とする。ここで、 $\sigma^k(j)$ は順列 σ^k の j 番目の要素である。

S.3 $m_j = 1$ である位置に、残った $\{\sigma^A(j) | m_j = 1\}$ の要素を σ^B の順序に従って、配置する。

3.2.2 反復局所探索法

反復局所探索法 (Iterated Local Search; ILS) は、過去の探索で得られた良い解にランダムな変形を

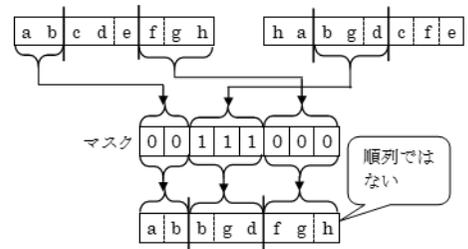


図2 順列における交叉の課題

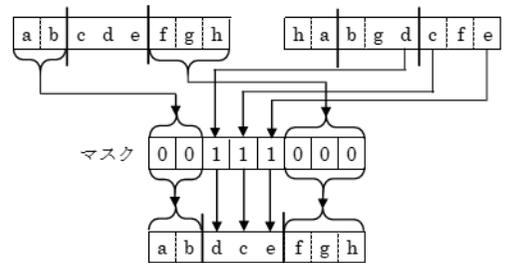


図3 順列交叉

加えたものを初期解として、単純局所探索法を反復する方法である。

S.1 適当な解を初期解として単純局所探索を行い、局所最適解 x を得る。 $x_{seed} := x, l = 1$ とする。

S.2 $N^{(l)}(x_{seed})$ からランダムに1つ解を選び、 x' とする。

S.3 x' を初期解として単純局所探索を行い、局所最適解 x を得る。

S.4 $\tilde{f}(x) \leq \tilde{f}(x_{seed})$ ならば確率1で、 $\tilde{f}(x) > \tilde{f}(x_{seed})$ ならば確率 $e^{-(\tilde{f}(x) - \tilde{f}(x_{seed}))/t}$ で (1) を行う。(1) を行わないときは (2) を行う。

(1) $x_{seed} := x, l = 1$.

(2) $l := \min\{l+1, l_{max}\}$.

S.5 終了条件が満たされれば暫定解を出力して探索を終了。そうでなければ、S.2に戻る。

上述は、ILSの基本的な枠組みである。筆者は、解が順列となる問題(スケジューリング問題など)に対するメタ戦略として、ILSをよく用いる。その際、S.1およびS.3の単純局所探索の近傍とし

て挿入近傍 (図 4 左) を用いている. さらに, 解探索の多様性を実現するために S.5 の後に交換近傍 (図 4 右) を設け, 終了条件を満たすまで S.2 に戻る探索を行う. GA における順列交叉と比べ, ILS における挿入近傍と交換近傍は, 元の順列を活かしながら新たな近傍を生成する可能性が高いと考える.

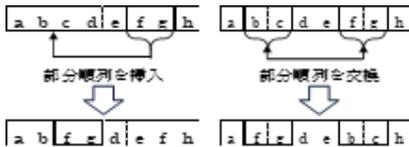


図 4 挿入近傍と交換近傍

3.2.3 散布探索法

散布探索法 (Scatter Search; SS) は, GA と同様に複数の解を保持し, それらを集団として改善していく手法である (図 5). 集団内の複数の解から線形結合を始めとして自由な発想で新たな解を生成することが可能である [3].

- S.1 初期解と改善法によって生成される改良解からなる $Psize$ 個の初期解集合 P を生成する.
- S.2 集合 P から, 目的関数値の良い b_1 個の解を選び, 参照解集合 R とする.
- S.3 (3) 式にて, $x \in P-R$ と $y \in R$ の距離 $d(x, y)$ を求める.

$$d(x, y) = \sum_i |x_i - y_i| \quad (3)$$

- S.4 (4) 式に従って, $d_{min}(x)$ が最大となる解 x' を選択した後, x' を R に追加し, x' を P から除く. これを解 x' が b_2 個 R に追加されるまで繰り返す.

$$d_{min}(x) = \min_{y \in R} \{d(x, y)\} \quad (4)$$

- S.5 部分集合生成法によって, 参照解集合から部分集合を生成する. 部分集合の要素数は, 任意であるが, 筆者は全ての 2 要素からなる部分集合生成を採用している.

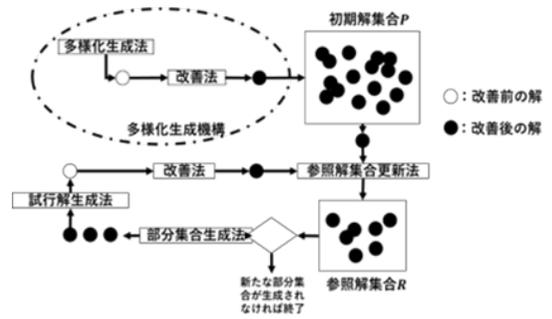


図 5 散布探索法の概要

- S.6 部分集合生成法で生成された部分集合から, 各部分集合の要素を結合し, 試行解を生成する.
- S.7 改善法により, 各試行解から改良解の集合 $Pool$ を生成する.
- S.8 $RUPool$ から, $(b_1 + b_2)$ 個の目的関数値の良い解を選択し, 参照解集合 R を更新する. このとき, R に新しい解があれば, S.5 に戻る.
- S.9 終了条件を満たしたら, 探索中で目的関数値が最も良い解を出力し, アルゴリズムを終了する.
- S.10 R から目的関数値の悪い b_2 個の解を削除.
- S.11 新たな解集合 P を生成し, S.3 に戻る.

上述の S.4 で示した通り, SS は参照解集合 R から (3) 式の距離が離れた解を R に追加する. このことから, 多様な解を生成できる可能性が高いと考える. さらに, 多様な解を生成する方法としてパス再結合法 (Path Relinking; PR) がある [4]. PR は, S.6 で部分集合の 2 つの要素を開始解と終了解とし, 開始解から終了解に至るパスを生成, そのパス上の解の目的関数値を評価する方法である. 解が 0-1 整数ベクトルの場合の, パス生成の例を図 6 に示す. x_{start} と x_{end} の値の異なる要素値を左から順番に x_{end} の要素値となるように変更している. パス上の解に対し, 単純局所探索法を適用することも可能である.

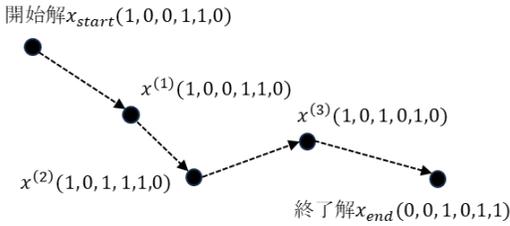


図 6 パス再結合法

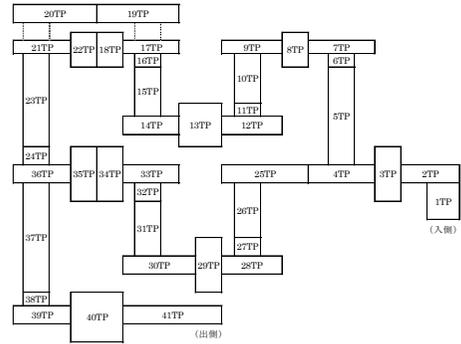


図 7 プレカッタ材の生産工程の概略

4. メタ戦略の産業応用

上述のメタ戦略の産業応用について、2社との共同研究事例について紹介する。本稿の趣旨より、対象問題とメタ戦略としてのモデル化について述べる。数値実験結果他の詳細内容は、参考文献を参照。

4.1 プレカッタ材生産会社との共同研究

建設業従事者は、平成9年を境に減少傾向であり、令和4年には平成9年の30%減となった。そのうち60歳以上の技能者が全体の約25%を占めており、10年後にその大半が引退することが見込まれている [5]。このことから、木造建築の生産性を向上させるために、設計に基づいて原材料の加工や接合部の加工などを前もって行うプレカッタ工法の利用が増加している。従来工法と比較すると、加工時間の短縮、端材の軽減、建築現場での施工時間の短縮によるコスト削減や加工精度の向上など様々なメリットがある。そのため、木造住宅建設におけるプレカッタ材の需要は年々増加している。一方、プレカッタ材を生産する会社は、年々減少している。以上の背景から、プレカッタ材生産会社Aの工場をスマートファクトリーに変革するための基盤を構築する研究に取り組んでいる。

4.1.1 プレカッタ材の生産計画の最適化

プレカッタ材生産工場における生産計画の最適化について紹介する。図7に研究対象のA社の

生産工程の概略図(当時)を示す。TPは、生産対象材の通過を確認するトラッキングポイントである。トラッキングポイントに投入コンベア、チェーンコンベア、ローラコンベア、移載装置、加工装置のいずれかが配置されている。生産対象木材(母材)は、入側から投入され、トラッキングポイント(=コンベア)を進みながら、加工装置で切断・加工を行い製品となり、出側から搬出される。本問題は、母材加工のメイクスパンを最小にする生産順序(母材の投入順序)を決定することである。

本問題の制約条件と目的関数は以下の通り。

[制約条件]

- 13TPに配置されている装置における加工を行う母材は必ず5TPを通るラインに分岐される。左記以外の母材は、5TPを通るラインおよび25TPを通るラインのどちらに分岐しても良い。
- 母材ごとに各TPに設定されている加工時間、搬送時間滞留後、次のTPに移動する。その際、各々のTPに設定されている次のTPへの進入可否条件を順守する。
- 母材の追い越しは不可である。
- 18TPに母材がある場合、22TPに母材は進入できない。
- 22TPに母材がある場合、18TPに母材は進入できない。

[目的関数]

本母材加工のメイクスパンの最小化

本問題の解は、母材の投入順序であるから、メタ解法を用いて順列解の生成と解選択を行いながら、開発した生産シミュレータを用いて制約条件チェックと目的関数の算出を行った。メタ解法として、GAを用いた（本問題の研究時点では、ILSを用いた解法の研究に未着手であった）。

4.1.2 プレカット材の梱包形成の最適化

プレカット材の梱包形成の最適化の取り組みについて紹介する。本問題は、1つの家を作るための材料となるプレカット材の梱包を形成することである。その際、制約条件を遵守しながら、梱包数および梱包の大きさを最小化することを目指す。図8にプレカット材の部位の定義を示す。金具は上下面と左右面に取り付けられる。プレカット材を長さ方向に複数並べて梱包することが可能である。

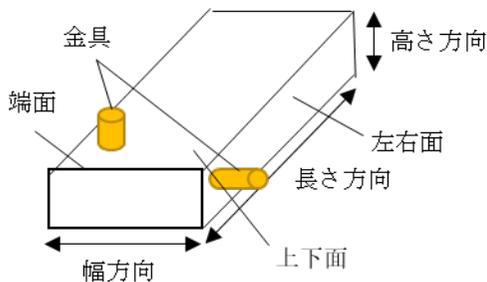


図8 プレカット材の部位定義

図9に梱包を構成する段を上から見た図を示す。金具により、プレカット材間に隙間が発生する。プレカット材を長さ方向に複数並べて梱包可能である。これを「つなぐ」と呼ぶ。

図10に横からみた図を示す。段間にはスペーサーを配置し、底面を含む高さ方向で金具の干渉を避ける。梱包高さはスペーサーの高さを含めて

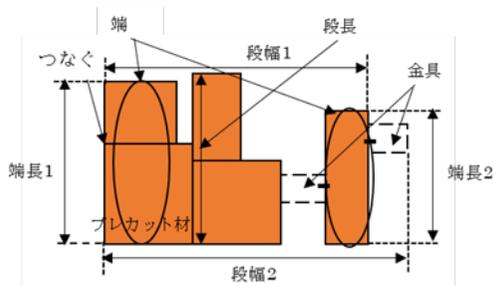


図9 梱包層の上面図

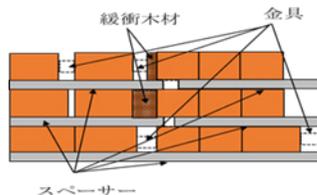


図10 梱包層の側面図

計算する。梱包を安定させ、各段の段幅1が同一値になるように、プレカット材の間に緩衝木材を配置する。

本問題の制約条件と目的関数は以下の通り。

[制約条件]

必ず順守しなければならないハード制約と違反しても良いソフト制約がある。

ハード制約

(1) 段に関する制約

- 1つの段には必ず2本以上の木材がある。
- 第1段はつなぐことができない。
- 第2段以上の端をつなぐときは2本まで。
- 段長を除く最大段長 - $\min(\text{端長1}, \text{端長2}) \leq \text{上限値1}$ 。
- 同じ段中で $|\text{端長1} - \text{端長2}| \leq \text{上限値2}$ 。
- 段長 $\leq \text{上限値3}$ 。
- 段幅1 $\leq \text{上限値4}$ 。
- 段幅2 $\leq \text{上限値5}$ 。
- 段の外側に突出している金具の長さ $\leq \text{上限値6}$ 。

(2) 梱包に関する制約

- 梱包の高さ $\leq \text{上限値7}$ 。
- 梱包の重さ $\leq \text{上限値8}$ 。

ソフト制約

- 段の両端に金具の突出不可.
- 第1段の下面に金具の突出不可.
- 第2段以降の両端につなぎの発生不可.
- 第1段の段幅 $1 >$ 第2段以降の段幅 1.
- 第1段に配置するプレカット材の長さ \geq 下限値.
- 段の重量が直下の段より軽い.

[目的関数]

目的関数は、梱包数と段数の最小化である。さらに、上述のソフト制約の違反数の最小化である。したがって、目的関数は (5) 式となる。

$$\text{Minimize } \alpha \times (a+b) + \beta \times c + \gamma \times (d+e+f) + \delta \times g + \epsilon \times h + \epsilon \times i \quad (5)$$

ここで、 $\alpha \sim \epsilon$ はパラメータ、 $a \sim i$ は以下の通り。

a: 梱包数.

b: 段数.

c: 第1段目のプレカット材の製品長 $<$ 下限値の発生回数.

d: 結束テープの本数.

e: 段の重量が直下の段より重い回数.

f: 第1段目の段幅 $1 \leq$ 第2段目の段幅 1 の回数.

g: 第2段目より上の段の両端につなぎの発生回数.

h: 第1段目の下面に突出した金具数.

i: 段の両端に突出する金具の個数.

本問題の解は、プレカット材の梱包順序であるから、メタ解法を用いて順列解の生成と解選択を行いながら、開発した梱包形成シミュレータを用いて制約条件チェックと目的関数の算出を行った [6]。メタ解法として、ILS と GA を用いた。

4.1.3 プレカット材生産工場の倉庫容量の最適化

プレカット材生産工場の倉庫容量の最適化の取り組みについて紹介する。図 11 にプレカット材生産工場の概要を示す。母材には 1 本以上の製品 (= プレカット材) が割り当てられる。母材は生産工程でプレカット材に分割加工され、排出される。建設現場での作業効率向上のため、プレ

カット材は施工順序に従って取り出せるように梱包される。そのため、あらかじめ決められた梱包順序に合わないプレカット材が搬出された場合には、保管場所 (以下、ラック) に仮置きされる。ラックに仮置きされたプレカット材は、梱包の準備が整うと梱包台に送られる。生産工程はフローショップ型であるため、プレカット材は投入された母材と同じ順序で加工され、排出される。本問題は、この生産工場が必要となるラックの最大数を最小化するように母材の順序と母材とプレカット材の割り当てを決定することである。併せて、梱包台数別とラックの必要台数を算定した。

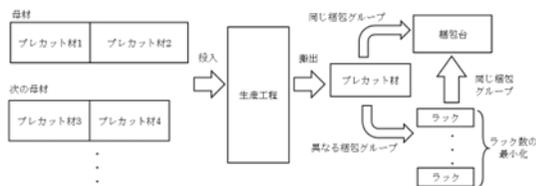


図 11 プレカット材生産工場

本問題の制約条件と目的関数は、以下の通り。

[制約条件]

(1) 母材に対する制約

生産工程に投入後、母材に割り当てられたプレカット材の搬出順序の変更不可。

(2) 梱包台に対する制約

- プレカット材は、指定された梱包グループごとに梱包順序に従い、段積みして梱包される。梱包順序に合わないプレカット材が搬出された場合は、ラックに仮置きされる。
- 同一段内の梱包順序は任意。
- 梱包グループ内のプレカット材が全て梱包されると、梱包台から取り除かれ、次の梱包を開始する。

(3) ラックに対する制約

- プレカット材の長さ (以下、長さ) $> \alpha$ 、かつプレカット材の幅 (以下、幅) $> \beta$ の場合、1 本のプレカット材を 1 つのラックに保管。

- 長さ $\leq \alpha$, かつ幅 $> \beta$ の場合, 2本のプレカット材を左右方向に1つのラックに保管.
- 長さ $> \alpha$, かつ幅 $\leq \beta$ の場合, 2本のプレカット材を前後方向に1つのラックに保管.
- 長さ $\leq \alpha$, かつ幅 $\leq \beta$ の場合, 2本のプレカット材を1つのラックに保管.

[目的関数]

目的関数は, ラック数の最大数の最小化である.

本問題の解は, 母材に対するプレカット材の割り当て順序であるから, メタ解法を用いて順列解の生成と解選択を行いながら, 開発したラック運用シミュレータを用いて制約条件チェックと目的関数の算出を行った [7]. 4.1.2における数値実験結果から ILS が GA より有効である可能性が高いことが示唆されたのでメタ解法として, ILS を用いた.

4.2 鉄鋼業関連会社との共同研究

日本の鉄鋼業は, 筆者が勤務する以前より経営工学関連をテーマとした研究課題に取り組んでおり, その歴史は 50 年以上に及ぶ. 研究分野は, 取り合わせ, スケジューリング, サプライチェーンマネジメント, エネルギー最適化他数多くの分野があり, 経営工学関連の実務問題の宝庫といえる. 筆者は, 鉄鋼業関連会社とメタ戦略の応用以外の研究も行っているが [8, 9], 本稿では, メタ戦略の応用研究について述べる.

4.2.1 干渉するクレーンを有する生産プロセスの生産計画の最適化

本問題は, 鉄鋼業の生産プロセスの中で製品の品質決定の重要プロセスである製鋼工程をモデル化した. 図 12 に本問題の対象プロセスを示す. 対象プロセスは, 2 台の搬送設備を有する多段階生産プロセスである. 生産対象品は入側から搬入され, 複数の作業設備にて処理後, 中間製品となり出側から搬出される. 全ての生産対象品

は, 2 台の搬送設備のいずれかで設備間を搬送される. 生産工程は, 第 1 工程 (A), 第 2 工程 ($B_1 \sim B_n$, 複数回の作業あり), 第 3 工程 (C, ボトルネック工程) である. 搬送設備は左右方向に移動可能であるが, 互いの位置関係で干渉が発生し, 移動範囲が制限されることがある. 移動速度と吊り上げ下げの所要時間は一定.

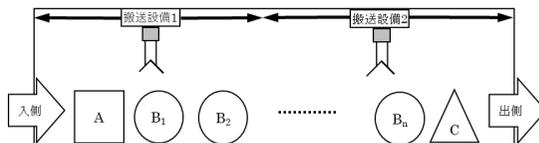


図 12 対象プロセス

制約条件と目的関数は以下の通り.

[制約条件]

- 生産対象品は分割・統合なく, 重量の増減なし.
- 各設備は2つ以上の生産対象品の同時作業不可.
- 生産対象品の作業設備と作業順序, 各設備での作業時間は所与.
- 搬送設備は設備選択可能.
- 2 台の搬送設備は, 一定以上の間隔を保つ.
- 第 3 工程の作業開始可能時刻は所与. 第 3 工程の作業開始時刻の遅延は極力回避.
- 搬入開始時刻は第 1 工程の作業開始時刻.
- 設備間に在庫場所は 1 つ. 現設備の作業の終了時点で次設備の在庫場所が満杯の場合は, 生産対象品は現設備もしくは搬送設備にて待機.

[目的関数]

全ての材料の加工開始から加工完了までの合計時間の最小化.

本問題の解は, 2 台の搬送設備の設備選択である. まず, 第 3 工程の作業開始時刻を元にバックワードシミュレーションを行い, 各生産対象品の最遅作業時刻を算出. 搬送設備の作業開始時刻の早い順に, メタ解法を用いて 0-1 整数解の生成と解選択を行いながら, 開発した操業シミュレー

タを用いて制約条件チェックと目的関数の算出を行った。メタ解法として、GA, ILS, SS, PRを用いて性能比較を実施した [10, 11].

5. おわりに

JIMA 会員の産学連携活動として、メタ戦略の産業応用および、筆者の企業との共同研究について紹介した。メタ戦略は、柔軟な設計が可能であり、スケジューリング問題他の企業における最適化問題への適用範囲の広い手法であると考えられる。本稿は、筆者の浅学非才、経験不足にて浅短な内容となったが、会員の皆さまのご参考になれば幸いである。

参考文献

- [1] 柳浦陸憲, 茨木俊秀:「組合せ最適化—メタ戦略を中心として—」, 朝倉書店 (2001)
- [2] 谷崎隆士:「鉄鋼生産における操業管理システムの構築方法に関する研究」, 京都大学博士論文, 京都大学 (2005)
- [3] Glover, F., Laguna, M. and Martí, R.: “Fundamentals of Scatter Search and Path Relinking”, Control and Cybernetics, Vol.29, No.3, pp.653-684 (2000)
- [4] Laguna, M. and Martí, R.: Scatter Search: Methodology and Implementations in C, Springer (2003)
- [5] 国土交通省: 建設業を巡る現状と課題, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001610913.pdf>(参照 2024年11月2日)
- [6] Tanizaki, T. and Yamashita, R.: “Application of Metaheuristics to Packing Formation Support System of Pre-Cut Lumber Factory”, International Journal of Automation Technology, Vol.17, No.3. pp.269-279 (2022)
- [7] Tanizaki, T., Arino, M. and Takaoka, T.: “Production Planning Algorithm for a Pre-cut Lumber Factory Using Metaheuristics”,

Proceedings of the 2024 International Symposium on Flexible Automation, ISFA2024-140626, pp.1-6 (2024)

- [8] Tanizaki, T., Yamada, K., Kurokawa, T. and Nakagawa, S.: “Cast scheduling algorithm for continuous casting using network Voronoi partitioning”, International Journal of Simulation and Process Modelling, Vol.20, No.2, pp.87-100 (2024)
- [9] Tanizaki, T., Fukuyama, A., Uchino, K., Kurokawa, T., Nakagawa, S. and Kataoka, T.: “Data-Driven Control System Using Machine Learning in Production Process”, Advance in Production Management Systems, Vol.729, Part 2, pp.3-16 (2024)
- [10] Tanizaki, T., Katagiri, H., René, A.O.N.: “Scheduling Algorithms Using Metaheuristics for Production Processes with Crane Interference”, International Journal of Automation Technology, Vol.12, No.3, pp.297-307 (2018)
- [11] Tanizaki, T., Yamada, K., Nakagawa, S., Katagiri, H.: “Scheduling Algorithm Using Path Relinking for Production Process with Crane Interference”, International Journal of Automation Technology, Vol.17, No.1, pp.71-80 (2023)

たに ぎき たか し
谷 崎 隆 士

1982年京都大学工学部数理工学科卒業, 1984同大学院工学研究科数理工学専攻修了, 2005年京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻博士後期課程修了, 博士(情報学). 1984年住友金属工業(株)(現日本製鉄(株))入社. 研究所でオペレーションズ・リサーチの生産システムへの応用研究, 製鉄所で工場および間接部門の生産性向上の企画業務に従事. 2009年近畿大学工学部教授. 2024年日本オペレーションズ・リサーチ学会フェロー.