

資源制約を考慮したプラスチック成形工程の 生産スケジューリング問題に対するメタヒューリスティクス

筑波大学 *大木 聖太 OKI Shota
筑波大学 安田 拓未 YASUDA Takumi
筑波大学 橋爪 朝子 HASHIZUME Asako
01206770 筑波大学 繁野 麻衣子 SHIGENO Maiko

1. はじめに

生産スケジューリングはORの中でも古くから研究され現場への応用がなされてきている[1]。本研究では、プラスチック成形工程の生産スケジューリングを対象としている。このスケジューリングは、典型的な並列機械スケジューリングの一つであり、事例研究も豊富で[2, 3, 4]、ソフトウェアの開発もされている。本モデルの特徴は検査作業を考慮していることである。そして、メタヒューリスティクスの手法を比較して、本モデルに適した解法を検討することを目的とする。

2. 問題設定

対象とするプラスチック成形工程の生産で考慮すべき条件は以下の通りである。製造指示の出された製品ロットをジョブと呼ぶ。

- 各ジョブは1台の機械(成形機)で処理をする。各ジョブを処理できる機械数台が予め決まっています。その中の機械に割り当てて処理をするが、主として使用する機械が決まっています。優先的に割り当てます。また、各ジョブで使用する金型が一つ決まっています。同じ機械や同じ金型を使うジョブは平行して行えない。処理開始したジョブを一時中断することは可能であるが、ジョブが完成するまでは、機械と金型は使い続ける。
- ジョブの処理前には、オペレータによる材料の交換や温度調整を行う段替え作業が必要であり、同一機械で直前に処理していたジョブにより作業時間が決まる。また、担当オペレータの人数が一人よりも二人のほうが作業時間が短い。段替え作業ではクレーンを使用するために、同時に複数の段替え作業を行えない。さらに、段替え終了後や処理途中で長時間処理を中断すると、機械の再起動のためにオペレータによる立上げ作業が必要となる。立上げ作業の時間はジョブによらずに固定である。

- ジョブには、処理中にオペレータが不要なものと、検査オペレータによる作業が必要なものがある。
- 段替えや立上げのオペレータ、検査オペレータは時間帯ごとの人数が決まっている。勤務交代や休憩時間にはオペレータが不在になり、オペレータの必要な作業ができない。

本スケジューリングは、段替作業の時間が処理順序に依存する並列機械スケジューリングであり、オペレータや設備といった資源制約付きの問題である。この生産スケジュールは受注状況に応じて毎日更新する。スケジュールの評価は、重付き完了時刻和と段替え作業の総時間の和の最小化で行う。

3. 解法

本スケジューリング問題では、ジョブの機械への割当と処理順序を決定するが、多くの生産スケジューリングのように近傍探索を基とした解法を用いる。本研究では、近傍探索における解をジョブの順列 σ で与える。ジョブの順列 σ からスケジュールを作成してその解の評価を行うアルゴリズムは[5]を用いる。[5]のアルゴリズムは時間を動かしながら、以下の操作をおこなう。

- step1** 機械の状態(処理開始, 完了, 中断など)と資源(オペレータ, 金型など)の更新。
- step2** 処理可能な機械に対して、未処理のジョブ集合で評価をして処理する機械 m を選択。
- step3** 機械 m で処理可能な未処理のジョブで、順列 σ で最も前にあるジョブ j を選択し、ジョブ j の段替え開始。

このアルゴリズムではおおそ順列 σ の順に処理するように働くが、資源制約の関係でその限りではない。また、アルゴリズムで構成できないスケジュールがあることにも注意する。

近傍探索を基とした解法[6]として、アニーリング法、タブーサーチ、遺伝的アルゴリズムを用いる。

3.1. アニーリング法 (SA)

ジョブの順列 σ に対する近傍は、挿入近傍と交換近傍を用いる。ジョブの順列 σ からスケジュールを計算する負荷が大きい場合、探索回数が多くなりすぎないように近傍に以下の制限を加える。

- 待ち時間（同一機械の直前のジョブの処理完了から段替え開始までの時間）の長いジョブ、あるいは、段替え時間の最も長いジョブを選択し、このジョブ \tilde{j} の挿入近傍と交換近傍のみを対象とする。また、一度選択したジョブ \tilde{j} は 10 回選択されることを避ける。
- 選択したジョブ \tilde{j} を処理できる機械に割り当てられているジョブの順序が変更される挿入場所、あるいは交換先のみを近傍とする。

温度は、近傍探索での解の更新幅が、0.01 以下になったときに幾何冷却（係数 0.99）で更新する。アルゴリズムの終了条件は、解が更新されない回数が近傍の大きさの 1.5 倍を超えたとき、あるいは終了温度 0.1 に達したときとする。なお、初期温度は 500 と設定し、初期解は WSPT とした。

3.2. タブーサーチ (TS)

タブーリストと呼ばれるキューに改悪解に至る遷移を保存し、禁止遷移とすることで局所最適化に陥らないようにする。故に、評価値が悪くなるような遷移も行う。近傍の定義に関しては SA と同様とする。また、タブーリスト長は 7 とする。

3.3. 遺伝的アルゴリズム (GA)

個体はランダムキーにより順列をつくる。つまり、各ジョブに対して 0 から 1 の実数のランダムキーを与え、このランダムキーの昇順に並べることでジョブの順列を得る。そしてランダムキーに対して交叉、突然変異等の操作を行う。交叉は多点交叉で行い、突然変異は確率 5% でランダムキーを書き換える。生存選択はエリート選択に加え、下位 1 割は淘汰としてランダムキーをリセットして次世代に引き継ぐ。なお、個体数は 30 とする。

また、GA との比較対象として遺伝的復局所探索法 (GILS) を用いる。個体を 2 つ維持し、そのうち評価値のよい良解は次世代に引き継ぐ。もう一方の解に対して良解と交叉を行い、子個体を得る。さらに子個体に対して近傍探索を行い新たな個体を次世代に引き継ぐ。ここでの近傍は、個体のランダムキーの任意の区間でキーを逆順に対応させることで得られる解とする。近傍探索は解の更新の有無を問わず 1 度で終了する。

終了条件は世代交代数が GA:20 回、GILS:600 回に達したときとする。

4. 比較実験

工場でのデータを基に作成した疑似データで解法の比較実験をおこなった。以下、ジョブ数 60、機械数 18 のときの結果である。重付き完了時刻和と段替え作業の総時間の和で与える評価値は重付き最小処理時間順 (WSPT) でジョブを並べて得られたスケジュールの評価値に対する改善率で与える。SA と同様の近傍の局所探索の結果を LS とする。比較結果を表 1 に 10 回の試行の平均で示す。

表 1: 計算結果

	改善率	計算時間 (sec.)
LS	0.08	168.73
SA(\tilde{j} :待ち時間最長)	0.10	225.82
SA(\tilde{j} :段替え時間最長)	0.12	220.82
TS(\tilde{j} :待ち時間最長)	0.13	377.66
TS(\tilde{j} :段替え時間最長)	0.11	385.97
GA	0.10	424.15
GILS	0.11	393.98

局所探索においては単純な探索により短時間である程度の良解を導出できる。一方、SA や TS に関しては探索の複雑性故に計算時間の増加があるが、その分評価値の高い解を導出できる。GA 及び GILS に関しては単純かつ大規模な計算が必要となり、良解の導出には遺伝的操作の工夫が重要と考えられる。

参考文献

- [1] H. Y. Fuchigami and S. Rangel: A survey of case studies in production scheduling: Analysis and perspectives, J. Sci. Comput., 5 (2018), 425–436.
- [2] M. Ishihama et al.: Simulated annealing based simulation method for minimizing electricity cost considering production line scheduling including injection molding machines, J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf., 14-4 (2020), JAMDSM0055.
- [3] A.A. Aslaner et al.: A parallel machine scheduling problem for a plastic injection company, Proceedings on The International Symposium for Production Research (2020), 790-803.
- [4] T. Sarac, et al.: A two-stage solution approach for plastic injection machines scheduling problem, J. Ind. Manag. Optim., 17-3 (2021), 1289–1314.
- [5] 安田 他, : プラスチック製部品製造工場における成形工程の生産スケジュールリングモデル化と実応用, スケジュールリングシンポジウム 2021.
- [6] 柳浦 他, : 特集: はじめようメタヒューリスティクス, オペレーションズ・リサーチ, 58-12 (2013), 688–731.