S141013

遺伝的アルゴリズムを用いたネスティングと スケジューリングの統合に関する研究

阪口 龍彦^{*1}, 村上 達郎^{*2}, 清水 良明^{*3}

A Study on Scheduling with Considering Nesting for Skip Flow Shop Manufacturing

Tatsuhiko SAKAGUCHI^{*1}, Tatsuro MURAKAMI and Yoshiaki SHIMIZU

^{*1} Tohohashi Univ. of Tech. Dept. of Mechanical Engineering
1-1Hibarigaoka Tenpaku-cho, Toyohashi, Aichi, 441-8580 Japan

In sheet metal processing, several parts are cut from a sheet metal at punching process. Before punching process, layout of parts is decided by the nesting. To reduce the waste of raw material, it is necessary the parts are arranged as compactly as possible into one sheet metal. Therefore, the nesting is important factor for optimizing the layout of parts. However, if the nesting is executed without considering the following manufacturing processes, there cause various inefficiencies all over the processes. Though the nesting and the scheduling should be considered simultaneously for the efficient manufacturing, few studies have considered this idea. Under such understanding, in this study, we propose an integrated method for this purpose. To simplify the procedure, we adopt a dispatching rule based scheduling and Genetic Algorithm based nesting. Finally, we verify the effectiveness of the proposed method through some computational experiments.

Key Words : Flow shop scheduling, Nesting, Dispatching rule, Genetic algorithm

1. 緒 言

板金加工の生産システムでは、原材料価格の高騰に伴い、いかに廃棄する端材の量を減らし無駄なく生産を行うかが重要な課題となっている。一方、消費者ニーズの多様化に対応するため、複数の品種をひとつの生産ラインで生産する多品種混流の生産形態を採用する現場が増えており、納期遵守や生産効率向上のためには適切なスケジュール管理が不可欠となっている。しかしながら、現状では、原材料の無駄の削減に重点が置かれている場合が多く、原材料の無駄を削減するために部品のグルーピングあるいはバッチサイズの最適化が行われており、このことが、後工程の作業効率の悪化を招いていることが少なくない。

原材料の無駄を削減するためには、図1に示すように、ネスティングと呼ばれる加工レイアウトを決定する作業において、端材の量を減らすような板材への部品の割り付けを決定する必要がある。一方、スケジューリングでは、納期遅れの最小化や作業負荷の平準化のために、最適な加工順序が決定される。このように、ネスティングは加工レイアウトの決定、スケジューリングは加工順序の決定を行うものであり、それぞれ最適化の対象が異なるため、従来は個別に最適化が行われてきた。しかし、原材料の無駄の削減を目的としたネスティングの最適化の結果、後工程に大量の部品が一度に引き渡され、加工効率を悪化させる問題が生じている。このように、ネスティング結果はその後の生産活動の効率に影響を与え、またその反対も言えるため、これらを同時に考慮した最適化手法が必要となる。

そこで本研究では、材料の無駄を抑えつつ生産効率を向上させる、生産システム全体の最適化を実現するために、ネスティングとスケジューリングを統合する手法を提案することを目的とする。本報告では、遺伝的アルゴリズムを用いたネスティングと、ディスパッチングルールによるスケジューリングを組み合わせた手法を提案し、

^{*1} 正員, 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)

^{*2} 学生員, 豊橋技術科学大学

^{*3} 正員, 豊橋技術科学大学

E-mail: sakaguchi@me.tut.ac.jp

Fig. 1 Example of nesting result

計算機実験によりその有効性を検証する。

2. ネスティングおよびスケジューリングの定式化

2・1 ネスティング問題の定式化

ネスティングとは、タレットパンチングプレスやレーザ加工機などを用いて原材料の板材から部品を打ち抜き加工する際に、部品の加工レイアウトを決めることである。すなわち部品をどの板材のどの位置に割り付けるかを決定する問題であり、2次元ビンパッキング問題⁽¹⁾と同種の問題として扱える。本研究では、簡単のため、①板材は全て同じ大きさの矩形で同一の厚さ、②部品はすべて矩形で同一の厚さ、③同じ部品が複数個ある場合も各々を別の部品として扱うという前提のもと、以下のようにネスティング問題を定式化した。

Minimize

$$\sum_k \delta_k \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K} \gamma_{i,m,k} = 1, \forall i \in I, \forall m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} l_{i,m} w_{i,m} \gamma_{i,m,k} \leq LW \delta_k, \forall m \in M \quad (3)$$

$$0 \leq x_{i,m} \leq W - w_{i,m}, \forall i \in I, \forall m \in M \quad (4)$$

$$0 \leq y_{i,m} \leq L - l_{i,m}, \forall i \in I, \forall m \in M \quad (5)$$

$$x_{i,m} + w_{i,m} \leq x_{i',m}, \forall i, i' \neq i, \forall m \in M \quad (6)$$

$$y_{i,m} + l_{i,m} \leq y_{i',m}, \forall i, i' \neq i, \forall m \in M \quad (7)$$

$$\delta_k \geq \delta_{k+1}, \forall k \quad (8)$$

ここで、

m : 製品番号 ($m=1 \dots M$)

i : 部品番号 ($i=1 \dots I$)

k : 板材の番号 ($k=1 \dots$)

$l_{i,m}$: 製品 m の i 番目の部品の長さ
 $w_{i,m}$: 製品 m の i 番目の部品の幅
 $x_{i,m}$: 製品 m の i 番目の部品の x 座標位置
 $y_{i,m}$: 製品 m の i 番目の部品の y 座標位置
 L : 板材の長さ
 W : 板材の幅
 $\gamma_{i,m,k}$: 製品 m の i 番目の部品を k 枚目の板材に割り付けるか否かを決定する 0-1 変数
 δ_k : k 枚目の板材を使用するか否かを示す 0-1 変数

を表している。

(1)式は本問題の目的関数で、使用する板材の枚数を最小化することを意味する。(2)式は、全ての部品が必ずいずれかの板材に割り付けられることを意味する。(3)から(7)式は、部品が板材の大きさを超えないこと、また部品同士が重なって配置されないことを表す制約である。(8)式は、部品の板材への割り付けは、1 枚目の板材から順に行い、追い越しを許可しないことを表す。

2・3 スケジューリング問題の定式化

板金加工生産システムは、部品が抜き—曲げ—溶接—塗装—組立の工程順序で処理されるが、部品によって特定の工程をスキップするスキップフローショップ型⁽²⁾である。板金加工におけるスケジューリングの目的は数多くあるが、中でも納期遅れ最小化と負荷平準化は重要な要素である。本研究ではまず、納期遅れに着目し、スケジューリングの目的関数を総納期遅れ最小化とし、以下のように定式化した。

Minimize

$$\sum_{m \in M} \max \left[0, \left(d_m - \max_{i \in I} (s_{p,*}^{i,m} + t_{p,*}^{i,m}) \right) \right] \quad (9)$$

Subject to

$$s_{p,q}^{*,*} + t_{p,q}^{*,*} \leq s_{p+1,q}^{*,*}, \forall q \in Q \quad (10)$$

$$s_{*,q}^{i,m} + t_{*,q}^{i,m} \leq s_{*,q+1}^{i,m}, \forall i \in I, \forall m \in M, \forall q \in Q \quad (11)$$

ここで、

d_m : 製品 m の納期

$s_{p,q}^{i,m}$: 製品 m の i 番目の部品が工程 q において p 番目に加工される時の開始時刻

($i=1 \dots I, m=1 \dots M, p=1 \dots P, q=1 \dots Q$)

$t_{p,q}^{i,m}$: 製品 m の i 番目の部品が工程 q において p 番目に加工される時の加工時間

($i=1 \dots I, m=1 \dots M, p=1 \dots P, q=1 \dots Q$)

を表している。

3. ネスティングとスケジューリングの統合

3・1 全体の手順

本研究では、ネスティング問題に遺伝的アルゴリズムを適用し複数の加工レイアウト案を作成して、その各々の加工レイアウトを基にスケジューリングを行う。これにより得られる板材の枚数および総納期遅れを属性とする効用の重み付け総和を最小とする解を求める。以下にその手順を示す。

Step1：遺伝的アルゴリズムを用いたネスティング

ネスティング問題に遺伝的アルゴリズムを適用し、その最終世代の個体群のうち x 個を、ネスティングの加工レイアウト候補とする。

Step2：ディスパッチングルールによるスケジューリング

Step1 で生成した x 個の加工レイアウト候補全てに対し、ディスパッチングルールを用いてスケジューリングを行い、総納期遅れを算出する。

Step3：解の決定

ネスティング結果とスケジューリング結果から以下の判定基準 DV_x を最小とする解を求める。

解の判定基準 DV_x は、以下の式を用いる。

$$DV_x = w \cdot \frac{NOF_x - \min_{1 \leq g \leq n} [NOF_g]}{\max_{1 \leq g \leq n} [NOF_g] - \min_{1 \leq g \leq n} [NOF_g]} + (1-w) \cdot \frac{SOF_x - \min_{1 \leq g \leq n} [SOF_g]}{\max_{1 \leq g \leq n} [SOF_g] - \min_{1 \leq g \leq n} [SOF_g]} \quad (12)$$

ここで NOF_x および SOF_x は各々、 x 番目の候補のネスティングの目的関数値およびスケジューリングの目的関数値を、 w は重み係数を表す。

3・2 遺伝的アルゴリズムを用いたネスティング

ここでは、前節の Step1 におけるネスティングのための BL 法を基準とする遺伝的アルゴリズムの手順について説明する。まず本研究では部品名を遺伝子として染色体を構成する。すなわち、この時染色体は、BL 法における部品の割り付け優先順位を表すことになる。一方、デコーディングは、BL 法により個体の先頭の遺伝子から順に部品の割り付け位置を決定する手法を用いた。以下に、遺伝的アルゴリズムを用いた加工レイアウトの決定手順を示す。

Step1：初期個体群の生成

部品名を遺伝子とする集団サイズ M 個の個体をランダムに生成して初期個体群とする。

Step2：適応度計算

全ての個体に対し、BL 法基準のデコーディングを行い、適応度(板材の枚数)を計算する。

Step3：次世代個体の生成

以下のサブステップに従い、集団サイズの個体が生成されるまで遺伝的操作を行い、子個体を生成する。

Step3-1：エリート保存

適応度最小の個体を全て次世代に残す。

Step3-2：個体ペア選択

ルーレット選択により一対の親個体ペアを選択する。

Step3-3：交叉

交叉率に従って交叉するかどうか決定する。交叉しない場合は親個体をそのまま次世代に残す。交叉する場合は PMX⁽³⁾により遺伝子を交換する。

Step3-4：突然変異

突然変異率に従って突然変異するかどうか決定する。突然変異する場合は逆位により遺伝子を入れ替える。

Step3-5：個体数カウント

次世代の個体数が集団サイズを超えていれば Step4 に進む。そうでなければ Step3-2 から繰り返す。

Step4：世代チェック

最終世代に到達していれば、Step5 に進む。そうでなければ Step2 から繰り返す。

Step5：終了処理

適応度の高い個体の上位 x 個を解として終了する。

Table 1 Experiment conditions

ケース	製品数 (種類, 数/種類)	部品数 (種類, 数/種類)	部品サイズ (縦 x 横)	処理時間	納期	材料サイズ (縦 x 横)
1	1, 100	10, 100	[1,10]x[1,10]	[5.0, 50.0]	[30, 3000]	30x30
2	1, 100	10, 100			[30, 5000]	
3	2, 100	10, 100			[30, 5000]	
4	5, 20	50, 20			[30, 3000]	
5	7, 50	20, 50			[30, 10000]	
6	7, 50	20, 50			[30, 3000]	
7	10, 33	33, 33			[30, 3300]	
8	10, 33	33, 33			[30, 3300]	
9	10, 20	20, 20			[30, 3000]	
10	10, 20	20, 20			[30, 3000]	
11	15, 20	20, 20			[30, 3000]	

4. 計算機実験

提案手法の有効性を検証するため、オブジェクト指向言語 Smalltalk を用いて提案手法のプロトタイプシステムを開発し、計算機実験を行った。部品数や納期の異なる 11 個のケースを作成し、各ケースに対して、提案手法を用いた場合、ネスティングに部品の面積を優先順位とした BL 法を用いた場合(以下、BL 手法と呼ぶ)、前報⁽⁴⁾で提案したスケジューリングをネスティングの前に実行して優先順位を与える手法(以下、DR 手法と呼ぶ)を用いた場合の、3 つの手法の比較を行った。ケーススタディの実験条件を表 1 に、実験結果を表 2 に示す。結果は 1 つのケースに対し 10 回の試行を行い、その平均値を示している。総納期遅れに注目した場合、スケジューリングを重視する手法である DR 手法が最も良い結果を得ているが、板材の枚数については全てのケースにおいて最も多くなっている。一方、提案手法と BL 手法を比較した場合、提案手法は複数の候補のネスティング結果に対してスケジューリングを行なっているため、ただひとつのネスティング結果を用いた BL 手法に比べて、総納期遅れは短いあるいは同等の結果を得ることができている。さらに、板材の枚数も、全てのケースにおいて、BL 手法と同じくらい少ない枚数で抑えることができた。以上のことより、提案手法は他の 2 つの手法に比べ、総納期遅れを短縮した上で適切なネスティングを行えたといえることができる。

5. 結 語

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いたネスティングとディスパッチングルールによるスケジューリングとを融合した、板金加工のためのネスティング・スケジューリング統合手法を提案した。本研究の成果を以下にまとめる。

- (1) ネスティング問題およびスケジューリング問題を定式化した。
- (2) 遺伝的アルゴリズムを用いて複数のネスティング結果を導出し、それらの結果をもとにディスパッチングルールによるスケジューリングを行うことで、ネスティング・スケジューリングの両方を考慮して最適化を行う手法を提案した。
- (3) 計算機実験を行い、提案手法の有効性を検証した。

文 献

- (1) 今堀慎治, 梅谷俊治, “切出し・詰込み問題とその応用—(2)長方形詰込み問題—”, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 50, No. 4 (2005), pp. 335-340.

- (2) 今泉淳, “フローショップスケジューリング問題とその諸変形: モデルとその分類”, 経営研究所論集, No. 23 (2000), pp. 259-268.
- (3) Goldberg, D., Lingle Jr., R., Alleles, Loci, and the Traveling Salesman Problem, *Proc. of 1st Int. Conf. On Genetic Algorithms and Their Applications* (1985), 154-159.
- (4) 阪口龍彦, 村上達郎, 藤田匠平, 清水良明, 白瀬敬一, “スキップフローショップ型生産システムのためのネスティングを考慮したスケジューリングに関する研究”, 日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集, CD-ROM (2011), S141012.

Table 2 Experiment results

ケース	手法	総納期遅れ [s]	板材の枚数 [枚]
1	提案	5042.7	24.0
	BL	7845.0	24
	DR	473.5	26
2	提案	44982.1	57.0
	BL	45066.5	57
	DR	473.5	67
3	提案	9241.7	24.0
	BL	15438.0	24
	DR	912.5	26
4	提案	233659.1	35.7
	BL	234586.0	36
	DR	223581.0	39
5	提案	135494.1	25.0
	BL	135572.0	25
	DR	118563.0	27
6	提案	1917.1	25.0
	BL	1922.0	25
	DR	28.5	28
7	提案	440743.7	35.2
	BL	443796.0	36
	DR	411784.0	38
8	提案	470198.9	59.1
	BL	473463.0	60
	DR	411788.0	64
9	提案	458802.4	35.5
	BL	460011.0	36
	DR	439237.0	36
10	提案	475592.7	62
	BL	477918.0	62
	DR	440621.0	69
11	提案	680760.2	35.7
	BL	684142.0	36
	DR	653122.0	39