

GAによる階級型熟練度を伴う作業配置スケジューリング†

井田憲一*

SPWA with the Class-type Skill by Genetic Algorithm†

Kenichi Ida*

In the actual production site, a plurality of worker who operates the machine exists, depending on the skill level by the workers for each machine, working time is different even if the same work on the same machine. Therefore, it is proposed to account for differences in working time by the worker is Scheduling Problem with Worker Allocation (SPWA). In this paper, in order to approach the more realistic model by dividing into several class workers, to determine the skill level for each machine for each class workers, we propose a new model that introduced the concept of class-type skill, demonstrate the effectiveness the computational result by GA algorithm.

Key words: SPWA, Class-type Skill, Genetic Algorithm, Delivery Time

1 はじめに

実際の生産現場では、機械を操作する複数人の作業が存在し、作業者の各機械に対する熟練度合に応じて、同じ機械で同じ作業を行っても作業時間に違いが生じる。そこで、機械を操作する作業による作業時間の違いを考慮するために提案されたのが作業配置スケジューリング問題(SPWA: Scheduling Problem with Worker Allocation)である。一般的なジョブショップスケジューリング問題(JSP: Job-shop Scheduling Problem)を基に、熟練度をパラメータとして用いることで作業者の配置の概念を導入し、各仕事の完了時間の納期に対する遅れ時間(納期遅れ時間)の合計の最小化を目的関数として定義している。

先行研究^{1)~3)}では、SPWAの解法としてメタヒューリスティック手法の一つである遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)による解法が提案されている。そのため、本研究でもGAを用いた解法を提案する。本研究では、より現実的なモデルに近づけるために、飯間ら¹⁾の提案したSPWAに北田⁴⁾がナーススケジューリング問題(NSP: Nurse Scheduling Problem)に対して用いたスキル値の考え方に基づいた階級型熟練度の概念を導入した新しいモデルを提案するとともに、その解法としてのGAアルゴリズムを示す。

2 作業配置スケジューリング問題(SPWA)

2.1 熟練度

現実の生産現場では、機械を操作する作業が存在し、各作業者の機械に対する熟練度合に応じて仕事の処理時間に違いが生じる。この作業による仕事の処理時間の

違いを考慮するため、熟練度をパラメータとして導入する。これを用いることで、各作業者を期間ごとに各機械に配置し、作業者の能力を考慮した作業時間を求めることが可能となり、より現実的なスケジュールを作成できる。

2.1.1 熟練度を考慮した作業時間

N 人の作業者 $W_n(n=1, 2, \dots, N)$ が K 台の機械 $M_k(k=1, 2, \dots, K)$ を用いて製品を加工するとき、各作業者 W_n には各機械 M_k を操作する能力として熟練度が設定されている。

また作業 O_{ij} に与えられた作業時間(熟練度が1.00のときの作業時間)を標準作業時間 PT_{ij} とすると、機械 M_k に対する熟練度 $S_n(M_k)$ の作業者 W_n による作業 O_{ij} の作業時間 pt_{ij}^n は次の式により表され、標準作業時間 PT_{ij} は伸縮する。

$$pt_{ij}^n = \frac{PT_{ij}}{S_n(M_k)}$$

この式を用いることにより、作業者の熟練度を考慮した作業時間を求めることができる。また、すべての作業者が熟練度1.00の機械に配置された場合はJSPと同等とみることができる。

飯間ら¹⁾によって提案されたSPWAの作業者の熟練度は、1.00を最大値、0.00を最小値とし、作業者の機械に対する熟練度の数値が0.00のときはその機械を操作できないものとしている。また、各作業者の各機械に対する熟練度は、0.00~1.00の範囲でランダムに決定し、熟練度表を作成している。この熟練度表を用いて各期間の各機械上の作業の作業時間を求める。

† 原稿受理 平成29年2月24日 Received February 24, 2017

* 生命情報学科 (Department of Life Science and Informatics)

2・1・2 熟作業者の熟練度設定

各作業者の熟練度の考え方には、飯間ら¹⁾によって提案された一様熟練度型の熟練度と、大澤ら²⁾によって提案された多様熟練度型の熟練度が存在する。一様熟練度型の熟練度は、各作業者がすべての機械に対して一様な、同じ熟練度を持つ熟練度の考え方のことを指す。それに対して多様熟練度型の熟練度は、各作業者が各機械に対して異なる熟練度の値を持つ熟練度の考え方を指す。作業員数を3、機械数を3としたときのそれぞれの熟練度の考え方の例を図1に示す。

また、先行研究の飯間ら¹⁾同様、本研究においても機械に対する熟練度が0の作業員は、その機械を操作できないことを表し、作業員が操作できない機械に配置された場合は実行不可能なスケジュールとみなす。



(W:作業員 M:機械)

Figure 1 Setting an example of the skill level of worker

2・2 作業員の配置

全体のスケジュールを P 個の期間 $SP_p (p=1, 2, \dots, P)$ に分割し、1期間の長さは T 時間と設定すると、各作業員は P 個の期間の内、いくつかの期間にて勤務し、作業員の配置に関しては以下のような制約条件が存在する¹⁾。

<制約条件>

- (1)各作業員は配置された期間でのみ機械を操作する
- (2)各作業員は同時に一つの機械のみ操作する
- (3)各期間には総機械数に等しい作業員が配置される

飯間ら¹⁾の提案したSPWAでは、全体のスケジュールを10期間に分割し、1期間の長さは8時間としている。また、作業員が機械に対する熟練度が0.00の機械に配置された場合、その作業員は機械を操作できないため仕事を処理できず、スケジュールリングは実行不可能となる。これを回避するため、作業員の配置を終えたスケジュールが実行できるかを調べ、そのスケジュールが実行不可能なものであった場合は作業員の配置を修正し、機械に対する熟練度が0.00の作業員が配置されていない実行可能な作業員配置に修正する(実行不可能修正アルゴリズム²⁾)。

2・3 納期

本研究では納期遅れ時間の合計を目的関数とし、納期遅れ時間が最小となる各機械での仕事の処理順序、期間ごとの作業員の各機械への配置を定めることを目的としている。そのため、本研究では納期係数を用いて各インスタンスの各仕事の納期設定を行った。

納期係数を用いた納期設定は、納期付きJSPにおいて用いられている手法であり、各仕事の作業時間合計に

納期係数を掛けた値を納期としている。納期付きJSPの研究を行った浅野ら⁵⁾やSingerら⁶⁾の実験では納期係数 $F=1.5$ と 1.6 となっている。さらに納期遅れが発生した場合の、納期遅れペナルティを各仕事に与えている。

3 階級型熟練度を伴うSPWAのためのGA

3・1 階級型熟練度

先に述べたように、飯間ら¹⁾や大澤ら²⁾の研究におけるSPWAでは、熟練度は0.00が最小値、1.00が最大値とし、各作業員の各機械に対する熟練度は0.00~1.00の範囲でランダムに生成されている。この熟練度設定では、標準作業時間より作業時間が長くなる場合の作業員配置しか考慮できていないが、実際の生産現場を考えたとき、当然標準作業時間よりも短時間で作業を処理できるケースも存在する。そこで、本研究ではNSPに対して北田⁴⁾の用いたスキル値の考え方を基にして、標準作業時間よりも短時間で作業を処理できるケースを考慮するとともに、作業員をいくつかの階級に分けて階級ごとに各機械に対する熟練度を決定することとした。

北田⁴⁾の用いたスキル値では、看護師をリーダー、ベテラン、中堅、2年目、新人の5つの階級に区分けしている。そのため、本研究においても作業員を同様に5つの階級に区分けし、熟練度の範囲を階級ごとに設定した。リーダーは1.00~1.40、ベテランは0.90~1.30、中堅は0.80~1.20、2年目は0.60~1.00、新人は0.30~0.60とし、階級ごとそれぞれの範囲で各機械に対する熟練度をランダムに決定した。また、各階級の作業員の人数は北田らのスキル値表における各階級の人数比を基に決定した。各階級の作業員数を1人、機械数を3としたときの階級型熟練度の熟練度表を表1に示す。

Table 1 Skill level table using a class type skill level

	M_1	M_2	M_3
リーダー	1.01	1.28	1.15
ベテラン	1.13	0.93	1.29
中堅	0.88	0.95	1.08
2年目	0.66	0.83	0.98
新人	0.43	0.32	0.50

3・2 平均熟練度を考慮した作業員グループの作成

飯間ら¹⁾のSPWAでは、各期間に勤務する作業員のグループは事前に3つのグループに分けられ、データとして与えられていた。しかしながら、飯間ら¹⁾の作成した作業員グループでは、2期間連続(16時間)勤務する作業員グループが存在しており、現実的ではない。また、本研究ではGAを用いてSPWAを解くため、作業員グループを事前に与えてしまうと解の多様性が減少してしまう。そこで本研究では、総作業員数を総機械数の3倍とし、作業員グループを事前に作成しておくのではなく、各試行の最初で作成することにした。

作業員グループの作成は、飯間ら¹⁾の提案した一様熟

練度型の熟練度の考え方を利用し、階級ごとに各作業者に作業グループ作成用の熟練度を与える。各階級の作業グループ作成用の熟練度は、リーダーが 1.20、ベテランは 1.10、中堅が 1.00、2 年目は 0.80、新人が 0.50 と設定した。また、作業グループごとの各階級の作業者の偏りを防ぐために、作成した作業グループ内のすべての作業者の熟練度の平均が 0.9 未満となった場合は作業グループを作りなおすことにする。以下に総期間数 P の作業グループ作成の手順を示す。

Step1: $i=1$ とする。

Step2: まだ配置されていない作業者の中からランダムで 1 人作業者を選択し、期間 i に配置する。

Step3: Step2 で期間 i に配置した作業者を、配置の選択肢から除外する。

Step4: 期間 i に総機械数と同じ数の作業者が配置されたなら Step5 へ進む。そうでなければ、Step2 へ戻る。

Step5: $i = 3$ ならば、Step6 へ進む。そうでなければ、 $i = i + 1$ として、Step2 へ戻る。

Step6: 期間 1~3 の作業グループすべての熟練度平均が 0.9 以上であった場合、Step7 へ進む。そうでなければ、Step1 へ戻る。

Step7: 期間 4~期間 P までの各期間に順番に期間 1~3 の作業グループを割り当て、期間 P まで作業グループを割り当てたら終了する。

3・3 階級型熟練度を伴う SPWA のための GA

本研究の GA では、先行研究¹⁾同様、仕事の処理順序を表す仕事染色体と、作業者の配置を表す作業者染色体の 2 種類の染色体を用いて 1 つの解を表す。そのため、交叉や突然変異といった遺伝的操作はそれぞれの染色体に対して行っている。

以下に、階級型熟練度を伴う SPWA のための GA の全体の流れを示す。本研究では、試行ごとに作業グループの作成を行うため、その手法も考慮した GA のフローになっている。

Step1: 仕事染色体(染色体 A) の初期集団を生成する。

Step2: 個体ごとに、各期間に勤務する作業グループを平均熟練度を満たす範囲でランダムに作成する。

Step3: Step2 で求めた各期間に勤務する作業グループより、作業者染色体の初期集団を生成し、実行不可能解修正アルゴリズムを適用する。その後染色体 B に納期遅れ時間短縮アルゴリズム(Dshort)²⁾を適用する。

Step4: 染色体 A に交叉を行い、生成された染色体と親の染色体 B のコピーの組合せを子とし、子の染色体 A に Dshort を適用する。そして親 1 と子 1、親 2 と子 2 を比較し優れている方を集団に残す。

Step5: 染色体 A に突然変異を行い、生成された染色体と親の染色体 B のコピーの組合せを子とし、子の染色体 A に Dshort を適用する。そして親と子と比較し優れている方を集団に残す。

Step6: 染色体 B に交叉を行い、生成された子の染色体に実行不可能解修正アルゴリズムを適用する。その染

色体と親の染色体 A のコピーの組合せを子とする。次に子の染色体 A に Dshort を適用する。そして親 1 と子 1、親 2 と子 2 を比較し優れている方を集団に残す。Step7: 終了条件を満たした場合、終了する。満たしていない場合は Step4 に戻る。

3・4 GA の遺伝的操作

先に述べたように、SPWA のための GA では 2 種類の染色体が存在するため、遺伝的操作はそれぞれの染色体に対して別々の操作を行っている。本研究では、大澤ら²⁾の提案したアルゴリズムをベースとしているため、遺伝的操作は大澤ら²⁾の方法をより本研究の目的に適した形に修正している。

3・4・1 仕事染色体に対する遺伝的操作

大澤ら²⁾は、仕事染色体に対して、交叉法として平野の提案した 2 点交叉⁷⁾を用いており、突然変異としてクリティカルブロック突然変異を用いている。本研究では、平野の 2 点交叉⁷⁾に納期の概念を導入し、納期遅れ時間の大きい作業ほど優先して染色体の左側に格納する交叉手法を用いている。また、突然変異は、大澤ら²⁾同様、クリティカルブロック突然変異を用いている。

3・4・2 作業者染色体に対する遺伝的操作

大澤ら²⁾は、作業者染色体に対しては交叉法のみを使用しており、その手法は仕事染色体同様、平野の 2 点交叉⁷⁾が用いられている。作業者染色体に対しても仕事染色体同様、平野の 2 点交叉⁷⁾を基にし、それに期間内機械ごとの作業時間合計と熟練度の高さを考慮した 2 点交叉を用いている。

3・5 仕事染色体の初期集団改善

大澤ら²⁾の手法では、各個体の仕事染色体の初期集団はランダムに生成されている。GA は、交叉や突然変異といった遺伝的操作を繰り返すことによって優れた解が得られる。そのため、初期集団の段階では染色体に多様性を持たせることが求められ、初期集団の段階から優れた解を得るための操作を加えると初期収束の原因となる。しかしながら、完全にランダムに生成した初期集団の染色体から GA の操作を開始した場合、初期収束は発生しなかったとしても解の改善が滞ったり、改善に時間がかかるなどの問題が生じる。また、完全にランダムに生成されるため、安定して優れた解を得ることができない。

そこで本研究では、個体集団の中の仕事染色体を、納期の早い作業から優先してランダムに染色体に格納する染色体、納期の遅い作業から優先してランダムに染色体に格納する染色体、それぞれ半分ずつとなる初期集団生成法を提案する。この初期集団生成法により、初期集団のランダム性を保ちつつ、染色体ごとに特徴や傾向を持たせることができる。

4 数値実験

4・1 実験データ

本研究で提案している手法(pGA)の有効性を確認するために、大澤ら²⁾の手法(oGA)との比較実験を行う。大澤ら²⁾の手法では作業グループはデータとして取

り込んでいたため、作業者グループの作成に関しては本研究の手法を用いた。

本研究で扱うような多様な作業者熟練度を考慮したスケジューリングのインスタンスは、筆者の知る限り存在しない。そこで本実験にはインスタンスとして、JSP用の10機械10仕事問題のla16~la20, ft10を用いた。総機械数は10なので、総作業者数は30とし、各インスタンスに対して階級型熟練度で指定されたそれぞれの範囲でランダムに生成されたものを使用し、作業者の能力を考慮させた。各階級の作業者比は北田⁴⁾のスキル値表における各階級の人数比を基に設定した。

また、各作業者が各機械を操作できない(熟練度0)割合は全体で20%と設定し、予めランダムに決定したものを熟練度表に適用した。各仕事の納期は2・3節で示した納期係数を用いて設定し、予備実験より納期係数 $F=1.3$ として定めた。

GAの各種パラメータは、試行回数50回、集団サイズ100、交叉確率0.8、突然変異確率0.2とし、終了条件は評価個体数100万個体に達したときか、納期遅れ時間合計が0になったときとした。各手法における各インスタンスの最良解による比較を行った。結果は表2のようになった(カッコ内の数値は最良解の得られた回数を表す)。

Table 2 Experimental result

instance	best	
	oGA	pGA
la16	95	45
la17	9	0
la18	27	12
la19	28	0
la20	0(18)	0(46)
ft10	190	175

4・2 考察

表2より、すべてのインスタンスにおいて大澤ら²⁾の手法よりも優れた解が得られた。また、納期遅れの発生していたインスタンスのいくつかで納期遅れが0になったものも見られる。しかしながら、la16やla18, ft10といったインスタンスでは依然として納期遅れが発生してしまっている。特にft10は、ほかのインスタンスと比べて、納期遅れの発生が深刻なものとなっている。これはft10の各仕事の最初の数個の工程の処理に用いる機械が偏っているという特徴があるため、突出して納期遅れが発生してしまう仕事が発生しやすいからである。そのため、インスタンスの特徴を考慮した上での改善が求められる。

5 おわりに

本研究では、飯間ら¹⁾の提案したSPWAをより現実的なモデルに近づけるとともに、大澤ら²⁾の用いた各種

遺伝的操作の改善に取り組んでいる。現在、階級型熟練度を導入することにより、ある程度現実的なモデルに近づけることができたものの、各作業者の熟練度0.00の機械の設定に関してはまだ現実的とは言えない。現在の階級型熟練度ではまだ階級ごとで操作できない機械数(熟練度0.00)の概念を考慮できず、ランダムに決定しているため、場合によってはリーダーと新人が操作できない機械の数が等しくなってしまうことも考えられる。

また、現在本研究で導入している手法により、一定の解の改善は見られたものの、本来納期は顧客とのやり取りで決められるものであり、現在の手法が実用的な手法であるとは言えない。また、現実問題として、製品が納期よりも早く完成した場合、その製品を納期まで保管しなければならない。これは余計なコストとなるため、現実的なスケジュールを作成する以上、考慮する必要がある。総作業時間についても同様である。そのため、現在は目的関数は納期のみであるが、この納期を守ることを厳守した上で、第2、第3目標として在庫管理、総作業時間を導入する必要があるだろう。

今後、より現実的で実用的なモデルを作成するためには、扱うインスタンスを増やす、現実の生産現場のデータを用いて研究を行っていくことなどが求められる。そして、さまざまな特徴を持ったインスタンスに対して納期遅れの発生しない汎用性の高いモデルを作っていくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 飯間等, 三宮信夫, モジュール型遺伝アルゴリズムの提案と作業者配置スケジューリング問題への適用, 電学論C, Vol.122, No.3, pp.409-416 (2002)
- 2) 大澤明, 井田憲一, GAによる作業者配置スケジューリング問題の一解法, 電学論C, Vol.127, No.5, pp.755-761 (2007)
- 3) 倉島侑也, FSPのための作業者配置スケジューリング, 前橋工科大学大学院修士学位論文 (2013)
- 4) 北田学, 急な欠勤への対応を考慮したナース・スケジューリングシステムに関する研究, 大阪府立大学大学院博士学位論文 (2014)
- 5) 浅野誠, 畑仲圭介, 太田宏, 納期遅れペナルティコスト最小化のジョブショップスケジューリングにおける近似解法, 日本経営工学会論文誌, Vol.51, No.3, pp.245-253 (2003)
- 6) M. Singer and M. Pinedo, A Computational Study of Branch and Bound Techniques for Minimizing the Total Weighted Tardiness in Job Shops, IIE Trans, Vol.30, No.2, pp.109-118 (1998)
- 7) 平野広美, クラスタ平均化法を組み込んだ遺伝的アルゴリズムによるジョブショップスケジューリング問題の解法, 人工知能学会誌, Vol.27, No.5, pp.769-777 (1995)