

ロット分割による段取り時間の増加を 考慮した遺伝アルゴリズム

椎 原 正 次
能 勢 豊 一

1. 緒 言

本研究は、ロット分割と遺伝アルゴリズムによるスケジューリングについて論じたものである。ここでは段取り回数の軽減を目的とした遺伝アルゴリズムの改善について提案し、シミュレーションを通じてその有効性を検証した。

優先規則を利用したときに各評価尺度に対するロット分割の効果は、すでに明らかにされている [1, 2]。また、ロット分割数と総経過時間の関係についても明確になっている [3, 4]。さらに前報では、遺伝アルゴリズムを用いた場合について論じた [5]。このなかでロット分割の効果は、優先規則よりも遺伝アルゴリズムを用いた方が大きくなっていた。さらに、同種のロットを連続で処理しない傾向が強いことがわかった。

しかしこの傾向は、段取り時間の増加につながる。ロット分割数が大きくなるにしたがってロット数が増え、総経過時間に与える影響が大きくなるからである。このため、遺伝アルゴリズムの探索能力の低下も懸念される。段取り時間の増加を抑えるための方法としては、同種のロットを優先的に処理するアルゴリズムや優先規則があり、その効果が示されている [6, 7]。

そこで本研究では、初期個体の染色体に着目して遺伝アルゴリズムの改善を行った。すなわち染色体を全くランダムに与えるのではなく、同種のロットが連続で処理されやすいような染色体を設定する。これにより、同種のロットを

ロット分割による段取り時間の増加を考慮した遺伝アルゴリズム

連続で処理することで段取り回数の軽減を図り、さらに遺伝アルゴリズムの探索効率を高める。そして何通りかの機械台数や工程数、ジョブ数の組み合わせのもとでシミュレーションを実施して、総経過時間と段取り回数、および探索能力を測定した。これらの結果をまとめることにより、提案した遺伝アルゴリズムの解の性質と、その有効性について明らかにした。

2. モデルの前提条件

本研究では、静的なジョブ・ショップ・スケジューリング問題を対象として段取り時間の影響を分析する。具体的なモデルの前提条件は、以下の通りである。

- ① ショップ内には異なる m 機械があり、各ジョブは異なる p 工程で処理される。
- ② 各ジョブの工程順序は複数パターンあり、異なる k 種類の k jobs が負荷山積みされている。
- ③ 各ジョブの各機械での加工時間は、一様分布に従うものとする [8]。
- ④ 与えられた各ジョブは、図1のように均等な n 分割のロットにしてショップに投入するものとする。
- ⑤ 異なる種類のロットを処理するには、均一の段取り時間を必要とする。
- ⑥ 評価尺度は、総経過時間とする。

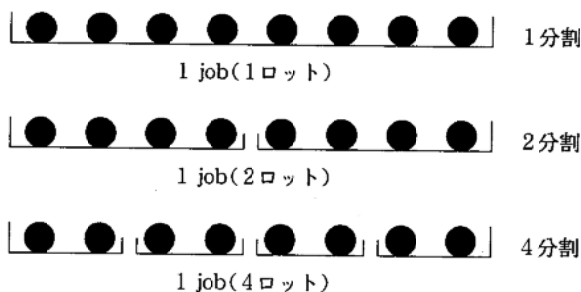


図1 ジョブとロットの関係

3. 遺伝アルゴリズムの改善

前報で利用した遺伝アルゴリズム GA1 の染色体は、各機械における各ロットの優先度を表現していた [5]。そのために、 m (機械) $\cdot k$ (jobs) $\cdot n$ (分割) 個の遺伝子から構成されている。図 2 は第 1 世代に生成される個体の例である。この例は 3 分割であり、ジョブ番号 1 を L11, L12, L13 に分割している。これらのロットは同種であり、連続で処理する場合には段取り替えが不要となる。

GA1 の場合には図 2 の上部に示されているとおり、機械ごとに全くランダムにロットの優先度が与えられていた。このアルゴリズムは遊休時間の短縮には効果的であったが、同種のロットを連続で処理するような解を探索しにくいと考えられる。そこで新しいアルゴリズム GA2 では、同種のロットを連続で処理しやすい染色体を生成させている。すなわち、図 2 の下部のように同種のロットごとにまとめて、優先度を与えている。これにより各機械において、同種のロットを連続で処理する割合を高めて段取り時間の低減を図る。

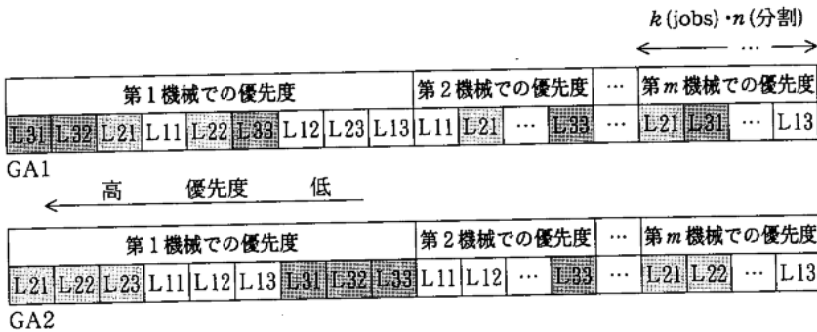


図 2 染色体の比較

4. シミュレーションモデルの設定

改善されたアルゴリズム GA2 の効果を、理論解析により明らかにすることが困難なために、ここではシミュレーションを用いて検討する。シミュレーシ

ロット分割による段取り時間の増加を考慮した遺伝アルゴリズム

ョンのための前提条件は、次の通りである。

- ①機械台数と工程数は5機械5工程, 10機械10工程, 10機械5工程とする。
- ②加工するジョブ数は5jobs, 10jobs, 15jobsの3種類とする。
- ③各工程のジョブの加工時間は, 32~320の一様分布に従い16刻みとする。
- ④ロット分割数は, 1, 2, 4, 8, 16の5種類とする。
- ⑤段取り時間は, 0, 2, 8の3種類とする。
- ⑥遺伝アルゴリズムにおける個体数は100個であり, 世代交代回数を300回とする。
- ⑦交叉率は0.9とし, 突然変異率を0.1とする。
- ⑧優先規則との比較のために, 総経過時間に有効とされている SPT (Shortest Processing Time) と MWKR (Most Work Remaining) ルールについてもシミュレーションを行う [9]。
- ⑨測定する指標は, 総経過時間と段取り替え回数および最小値を得るのに要した個体数とする。
- ⑩1種類のスケジューリング環境あたり1,000回の実験を行って, その平均値を代表値とする。

5. シミュレーション結果とその考察

5.1 改善されたアルゴリズムの効果

段取り時間0のときにGA1とGA2では, 機械台数や工程数, ジョブ数, ロット分割数に関係なく, ほぼ同じ総経過時間が得られた。それ以外の条件でのシミュレーション結果の一部をグラフ化したものが, 図3から5である。これらの図から, 分割数が大きくなるに従って, GA2のGA1に対する優位性が強まることがわかる。段取り時間の影響が強くなる条件では, GA1は優先規則にも及ばない。すなわち段取り時間を考慮した場合に, GA1では十分に解を探索できていないことがわかる。これに対して, GA2はSPTルールやMWKRルールに対しても全体に良好な結果といえる。しかし図5に示されている通り, 段取

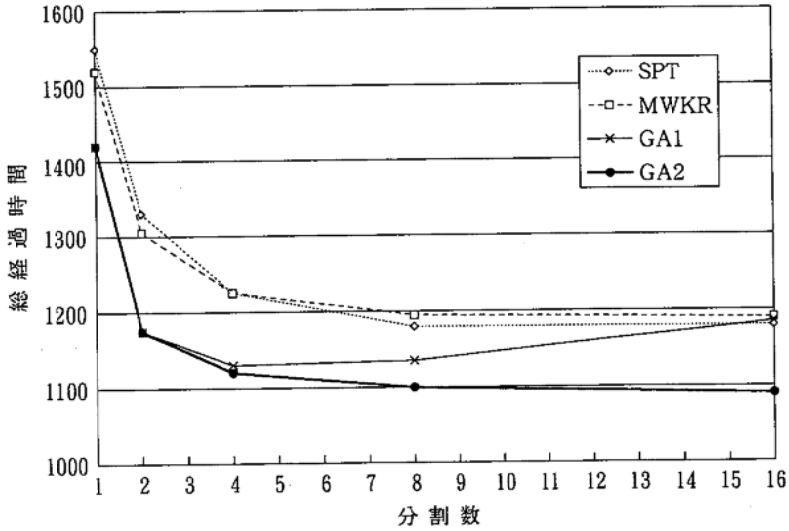


図3 総経過時間の比較 (5機械5工程5 jobs段取り時間2)

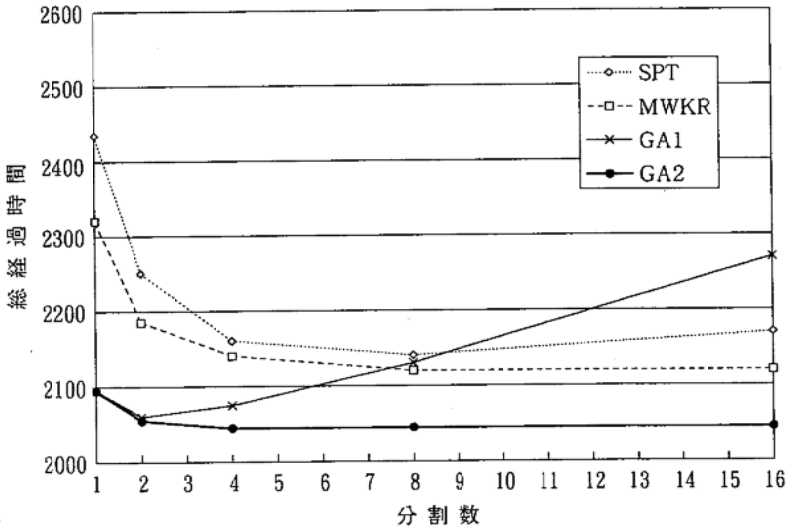


図4 総経過時間の比較 (5機械5工程10 jobs段取り時間2)

ロット分割による段取り時間の増加を考慮した遺伝アルゴリズム

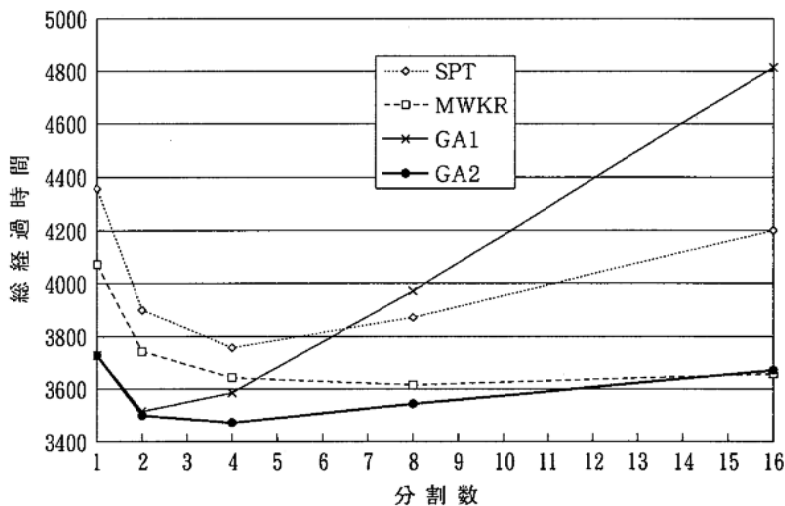


図5 総経過時間の比較 (10機械10工程15 jobs段取り時間8)

表1 各手法に対するGA2の短縮率 (段取り時間2)

			分割数				
			1	2	4	8	16
5機械 5工程	5jobs	SPT	8.7	11.9	8.4	6.6	7.0
		MWKR	6.8	10.0	8.7	8.0	7.8
		GA1	0.0	0.1	1.0	3.1	7.6
	10jobs	SPT	13.9	8.9	5.4	4.6	5.8
		MWKR	9.6	6.3	4.7	3.9	3.6
		GA1	0.0	0.3	1.6	4.4	9.9
	15jobs	SPT	11.4	6.5	4.0	3.8	5.3
		MWKR	5.6	3.1	2.2	1.7	1.3
		GA1	0.0	0.4	1.9	4.9	10.7
10機械 5工程	5jobs	SPT	4.8	10.4	9.0	7.4	7.8
		MWKR	3.1	7.5	7.7	7.4	7.4
		GA1	0.0	0.1	0.9	2.9	7.2
	10jobs	SPT	12.4	10.5	7.2	6.0	7.0
		MWKR	7.6	6.1	4.7	4.1	4.0
		GA1	0.0	0.4	1.7	4.6	10.0
	15jobs	SPT	13.8	8.8	5.8	5.1	6.5
		MWKR	6.7	3.9	2.7	2.3	2.2
		GA1	0.0	0.6	2.1	5.2	11.0
10機械 10工程	5jobs	SPT	5.4	12.3	11.7	9.6	9.4
		MWKR	3.8	10.8	13.7	14.7	15.0
		GA1	0.0	0.1	0.4	1.4	4.8
	10jobs	SPT	14.4	12.7	9.3	7.4	7.9
		MWKR	9.4	10.2	10.8	10.4	9.7
		GA1	0.0	0.1	0.5	2.1	6.2
	15jobs	SPT	14.1	10.5	7.1	5.7	6.6
		MWKR	8.2	7.9	7.8	7.1	6.1
		GA1	0.0	0.1	0.5	2.7	7.4

表2 各手法に対するGA2の短縮率(段取り時間8)

		分割数	1	2	4	8	16
5機械 5工程	5jobs	SPT	8.8	12.3	10.0	10.7	13.8
		MWKR	6.8	9.7	8.1	7.5	7.3
		GAI	0.0	0.4	3.6	11.1	23.5
	10jobs	SPT	14.1	9.3	7.2	8.8	13.0
		MWKR	9.6	5.8	3.6	2.6	2.0
		GAI	0.0	1.2	5.8	14.9	29.0
	15jobs	SPT	11.5	6.8	6.0	8.1	12.4
		MWKR	5.6	2.5	1.0	-0.1	-0.8
		GAI	0.0	1.7	6.8	16.4	31.0
10機械 5工程	5jobs	SPT	4.9	10.9	10.8	11.6	15.1
		MWKR	3.1	7.5	7.7	7.6	8.1
		GAI	0.0	0.2	3.1	10.2	22.7
	10jobs	SPT	12.6	11.2	9.3	10.7	14.6
		MWKR	7.7	6.0	4.5	4.0	4.0
		GAI	0.0	1.4	6.1	15.2	29.4
	15jobs	SPT	13.8	9.6	8.2	10.1	14.3
		MWKR	6.6	3.6	2.4	1.9	2.0
		GAI	0.0	2.0	7.3	17.0	31.9
10機械 10工程	5jobs	SPT	5.5	12.3	11.5	11.0	14.3
		MWKR	3.8	10.4	11.4	10.9	10.2
		GAI	0.0	0.3	1.6	6.3	16.6
	10jobs	SPT	14.1	12.2	9.3	9.7	13.6
		MWKR	9.3	9.1	7.6	5.7	3.6
		GAI	0.0	0.5	2.4	9.1	21.3
	15jobs	SPT	14.4	10.1	7.3	8.6	13.0
		MWKR	8.3	6.4	4.4	2.2	-0.3
		GAI	0.0	0.4	3.1	10.9	23.9

り時間8の16分割では、MWKRルールの方が僅かながら有利となっている。

そこで、各手法に対するGA2の総経過時間の短縮率をスケジューリング環境ごとに表1と2にまとめた。ここでの短縮率とは、他の手法とGA2の総経過時間の差を他の手法の総経過時間で除した値を百分率で示したものである。これらの表からGA2はSPTルールやGAIに比べて、段取り時間や分割数が増えるに従って優位性を増していることがわかる。しかしMWKRルールに対しては、逆に優位性を失う傾向にある。そのため段取り時間の影響がより強い条件では、MWKRルールの方が有利になると考えられる。

5.2 段取り回数の比較

各手法で得られた解の性質を検討するために、それぞれの総段取り回数を比較した。表3はその一例であり、10機械10工程で段取り時間2のときの結果をまとめたものである。この表からMWKRルールは同種のロットを連続しやすいために、段取り回数が少ない解を得ることがわかる。これに対してGA1は、段取り替え回数が非常に多くなっている。

表3 総段取り回数の平均値 (10機械10工程・段取り時間2)

ジョブ数		分割数	1	2	4	8	16
5jobs	SPT		50	76.1	126.8	217.6	379.6
	MWKR		50	66.0	83.2	107.3	148.4
	GA1		50	82.9	163.5	317.0	615.0
	GA2		50	79.9	143.9	223.4	319.7
10jobs	SPT		100	164.4	277.9	482.6	849.6
	MWKR		100	130.3	158.8	201.6	273.1
	GA1		100	187.8	367.0	718.4	1407.7
	GA2		100	178.4	305.1	459.4	650.8
15jobs	SPT		150	251.0	430.6	752.4	1333.3
	MWKR		150	190.2	228.6	285.6	382.0
	GA1		150	289.2	568.1	1120.5	2206.5
	GA2		150	271.8	457.2	654.5	916.6

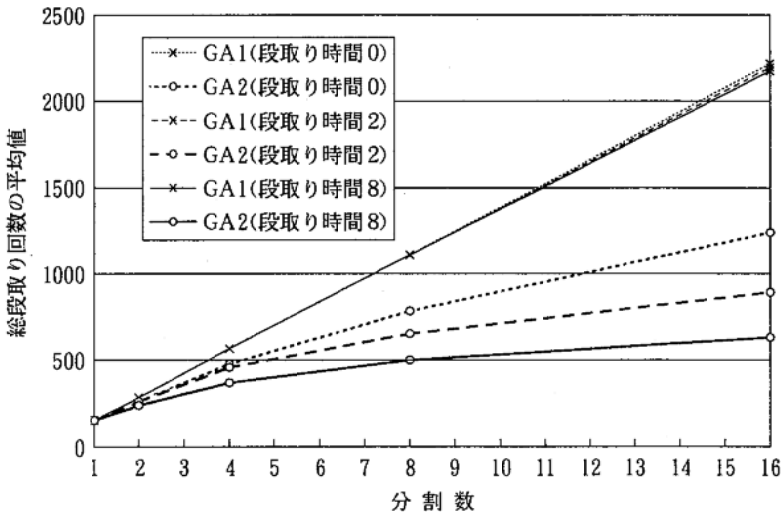


図6 総段取り回数の比較 (10機械10工程)

さらに、段取り時間の影響を検討したグラフが図6である。この図によれば、段取り時間が大きくなってもGA1では、段取り回数をわずかにしか低減できていない。このことは、GA1は遊休時間の短縮には有効な方法であるが、段取り時間の影響を抑えることには適していないことがわかる。GA2の方は、段取り時間が大きくなるに従って段取り回数の少ない解を得ていることがわかり、改善の成果があらわれていると考えられる。

5.3 最小値を得るのに要した個体数

探索能力を評価するために、最小値を得るために要した個体数を測定した。1世代あたりの個体数が100で世代交代を300回行っているので、合計30000個分の総経過時間を順番に計算している。そして何番目の個体が最小値となったかを表にまとめた。

表4は5機械5工程で、段取り時間0のときのGA1とGA2の比較である。段取り時間0の時には、前述の通り両手法ともほぼ同じ総経過時間が得られていた。しかし、この表からGA2の方がジョブ数や分割数に関係なく、はやく最小値にたどり着いていることがわかる。すなわち、GA2の方がGA1よりも探索効率が高いと考えられる。また表5と6は5機械5工程で、段取り時間2と8のときの比較である。GA1では分割が進んでも個体数にあまり変化は見られない。これらの傾向は、機械台数や工程数がかわっても同じである。

以上のことから、段取り時間に関係なく同種のロットを連続で処理するよう

表4 最小値を得るのに要した個体数の平均値
(5機械5工程・段取り時間0)

ジョブ数 \ 分割数		1	2	4	8	16
		5jobs	GA1	109.2	4687.0	3668.6
	GA2	109.2	3253.7	1991.7	1126.5	1094.0
10jobs	GA1	5913.9	4293.2	2425.5	1792.3	1683.2
	GA2	5913.9	3180.5	1356.6	622.0	571.7
15jobs	GA1	4898.1	2813.4	1900.2	1557.1	1156.1
	GA2	4898.1	2101.8	878.4	434.1	347.9

ロット分割による段取り時間の増加を考慮した遺伝アルゴリズム

表5 最小値を得るのに要した個体数の平均値
(5機械5工程・段取り時間2)

ジョブ数		分割数	1	2	4	8	16
5jobs	GA1		108.8	10647.6	12277.1	12062.9	12221.6
	GA2		108.8	5582.3	1938.9	481.5	303.3
10jobs	GA1		6753.6	12243.1	11746.1	11410.0	12023.2
	GA2		6753.6	3823.4	838.1	343.9	322.5
15jobs	GA1		5422.5	10815.5	11128.9	11935.1	11500.2
	GA2		5422.5	2313.3	448.3	304.7	316.2

表6 最小値を得るのに要した個体数の平均値
(5機械5工程・段取り時間8)

ジョブ数		分割数	1	2	4	8	16
5jobs	GA1		126.4	10138.8	13293.0	13512.1	14268.9
	GA2		126.4	4523.8	608.1	291.5	254.3
10jobs	GA1		6748.2	11588.1	12188.6	12295.0	13608.1
	GA2		6748.2	2415.4	300.6	257.7	252.1
15jobs	GA1		5158.3	10575.7	12260.0	12149.6	13749.3
	GA2		5158.3	977.1	292.4	259.5	239.7

な個体を第1世代に与えることで探索効率が向上していると考えられる。

6. 結 言

本研究では、段取り時間の影響の影響を考慮して遺伝アルゴリズムを改善しその有効性を検証した。ここでは、第1世代の個体に同種のロットを連続して加工しやすい染色体を与えることで改善を図った。そしてシミュレーションにより優先規則法や従来アルゴリズムと比較した結果、改善されたアルゴリズムは良好な総経過時間が得られた。これは、段取り替え回数を抑える解を探索できているからだと考えられる。さらに段取り時間0のときでも、探索効率が向上していることが明らかになった。

しかしながら段取り時間の影響が大きくなると、このアルゴリズムでも十分な解が得られないこともわかっている。このため、さらに改善されたアルゴリズムが必要になると考えられる。

参 考 文 献

- [1] 椎原正次, 栗山仙之助, 能勢豊一: “ジョブ・ショップ・スケジューリングにおけるロット分割の効果”, 日本経営システム学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 9-15(1997).
- [2] B. J. Wagner and G. L. Ragatz: “The impact of lot splitting on due date performance”, Journal of Operations Management, Vol. 12, pp. 13-25(1994).
- [3] 椎原正次, 栗山仙之助, 能勢豊一: “ジョブ・ショップ・スケジューリングにおけるロット分割数と最大滞留時間の関係”, 日本経営システム学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 47-53(1998).
- [4] 椎原正次, 栗山仙之助, 能勢豊一, 安田浩一: “優先規則ごとの段取り回数の違いを考慮した場合のロット分割の効果”, 日本経営システム学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 23-30(2000).
- [5] 椎原正次: “ロット分割と遺伝アルゴリズムによるスケジューリング”, 神戸学院経済学論集, Vol. 37, No. 1・2, pp. 39-50(2005).
- [6] F. R. Jacobs, D. J. Gragg: “Repetitive lots: Flow-time reductions through sequencing and dynamic batch sizing”, Decision Sciences, Vol. 19, No. 2, pp. 281-294(1998).
- [7] S. C. Kim, P. M. Bobrowski: “Impact of sequence-dependent setup time on job shop scheduling performance”, Internal Journal on Production Research, Vol. 32, No. 7, pp. 1503-1520(1994).
- [8] 宮崎茂次, 橋本文雄: “確率的ディスパッチング法の動的スケジューリング問題への応用—ジョブ・ショップ・スケジューリングにおける確率的ディスパッチング法に関する研究”, 日本経営工学会誌, Vol. 28, No. 1, pp. 84-90(1977).
- [9] 椎原正次, 橋本文雄: “製作リードタイムを尺度としたディスパッチング・ルールの評価とその考察”, 日本経営システム学会誌, Vol. 13, No. 1, pp. 21-26(1996).