

# 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

椎 原 正 次

## 1. 緒 言

本研究はロット分割を考慮したスケジューリングにおいて、遺伝アルゴリズムによる解の性質について分析したものである。ロット分割は種々の滞留時間に対して同時に有効な手法であり、スケジューリング環境や優先規則ごとにその効果が明確にされている [1]。また、納期尺度に対しても有効な手法とされている [2]。さらに、ロット分割の影響を遊休時間の短縮と段取り回数の増加に分けて分析することにより、ロット分割数と総経過時間の関係が明らかにされている [3, 4]。これらの研究の特徴は、優先規則法を使用して、各ジョブをそれぞれの機械に割り付けを行っていることである。

ところで、優先規則法は運用が簡単で良い解が得られるので実用的とされている。そして総経過時間には MWKR (Most WorK Remaining) ルールが有効であり、平均滞留時間においては LWKR (Least WorK Remaining) ルールの有効性が明らかになっている [5]。しかし、さらにより近似解を探索する手法にも関心が高まっており、その一つとして遺伝アルゴリズムがある。この遺伝アルゴリズムを使った解法も既に提案され、優先規則との比較により有効性が明らかにされている [6]。

ロット分割を考慮したスケジューリングの場合には、分割数が増加するに従って、ロット数が増えることになる。そのために遺伝アルゴリズムによって得られる解の性質や、その探索能力を調査する必要がある。

## 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

そこで本研究では、優先規則法を応用して遺伝アルゴリズムを構成した。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のシミュレーションにより、総経過時間やその探索能力を測定した。ここではロット分割の影響を遊休時間の短縮に絞るために、段取り時間を考慮しないものとしている。これ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扱う。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 [7]。
- ④ 与えられた各ジョブを図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 ロット分割による遊休時間の減少を調べるために、段取り時間は考慮しないものとする。

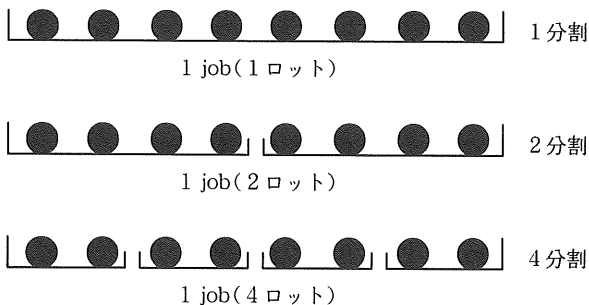


図1 ロット分割とジョブ数の関係

⑥ 評価尺度は、総経過時間とする。

### 3. モデルの性質と遺伝アルゴリズム

#### 3.1 モデルの性質

スケジューリングは組み合わせ最適化の問題である。すべての組み合わせのなかから、最適なものをひとつ探索すればよい。しかし、すべての組み合わせが実行可能ではない。そこで実際に5機械5工程5jobsの環境で問題を一つ作成して、すべての組み合わせについて総経過時間を計算してみた。この問題での組み合わせ総数は、 $(5!)^5 = 24,883,200,000$ 通りである。この中で総経過時間が計算できる組み合わせは、30,155,938通りであった。これは、組み合わせ総数のわずか0.12%にすぎない。

また実行可能な組み合わせを、総経過時間ごとに集計したのが図2である。この図によれば、この問題における総経過時間の最小値は1392であり、その組み合わせは1通りであったことがわかる。そして優先規則法では、MWKRルールやSPT(Shortest Processing Time)ルールが比較的良好な結果になっている。

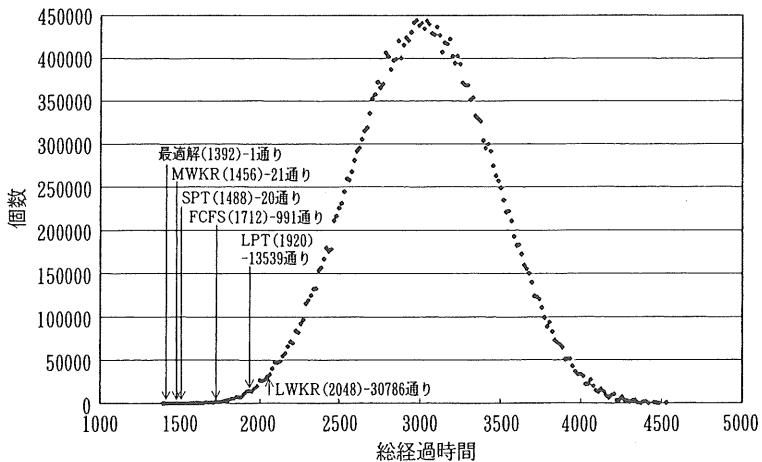


図2 総経過時間の分布

### 3.2 遺伝アルゴリズムの構成

本研究で使用するモデルは、組み合わせの総数に対して実行可能なものは非常に少なく、優先規則法は比較的良好な結果を示すことがわかる。そこで優先規則法の『ある機械に複数のロットが並んでいるときにのみ優先度によって投入するロットを決定する』方法を遺伝アルゴリズムに取り入れる。すなわち加工可能なロットが一つしかない場合には、優先度に関係なく処理を開始するものとする。これにより、どのような組み合わせであっても実行可能で、必ず総経過時間が得られる。また、優先規則法との比較が行いやすいと考えられる。

遺伝アルゴリズムにおける各個体は、ロット数と機械台数の積に相当する遺伝子から構成される。そして各遺伝子は、ある機械における各ロットの優先順位を表すものとする。ある機械で競合が起きたときに、並んでいるロットの中で最も優先度の高いロットが選択されて着手されることになる。このようなアルゴリズムを GA と記述する。

### 3.3 追い越し禁止則

ロット分割により、ロット数が増加することになる。しかし、それらは加工順序や加工時間が同じロットである。そこですべての機械において、同種のロット間の優先順位を固定にすることにより、最初の機械に投入した順序で同種のロットが完成するように遺伝子を調整する。

すなわち、標準では同種のロットであっても別のものとして扱い、遺伝子で表現されている優先順位に従って機械に投入される。そのため、第1工程に最初に投入されたロットでも、第2工程以降の優先順位によっては、同種のロットの中で最も早く完成するとは限らない。

これに対して、第2工程以降も同種のロット内では最初に着手されるように、必ず同種のロット間でソートしておくことが考えられる。この方法を追い越し禁止則と名付けて、GA に組み込むものとする。

#### 4. シミュレーションモデルの設定

この問題では理論解析により分析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分析を行う。シミュレーシ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5 jobs, 10 jobs, 15 jobsの3種類とする。
- ③ 各工程でのジョブの加工時間は32～320の一樣分布に従い，16刻みとする。
- ④ ロット分割の種類は1,2,4,8,16とする。
- ⑤ 遺伝アルゴリズムにおける個体数を100個，世代交代回数を300回とする。
- ⑥ 交叉率は0.9とし，突然変異率を0.1とする。
- ⑦ GA との比較実験のために，FCFS(First Come First Served) ルール，SPTルール，LPT(Largest Processing Time) ルール，LWKRルール，MWKRルールの5種類の優先規則[8]についてもシミュレーションを行う。
- ⑧ 1つ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。

本研究での評価尺度は総経過時間であるが，GAの性質を明らかにするために段取り回数を測定するものとする。ここでの段取りとは，ある機械で異なる種類のロットを加工する際に発生するものとする。

#### 5. シミュレーションとその考察

##### 5.1 GAの最大滞留時間における優位性

図3と図4は，シミュレーション結果の一部である。これらの図から，分割数に関係なくGAの方が優先規則法に比べて有利なことがわかる。この傾向

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

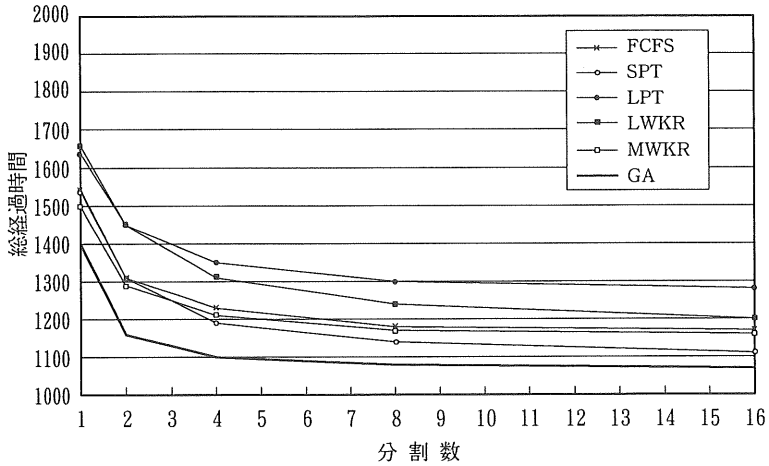


図3 優先規則ごとの総経過時間（5機械5工程5 jobs）

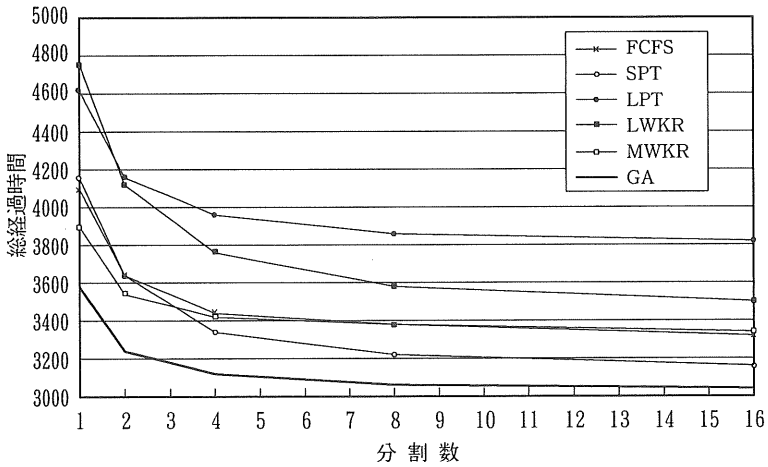


図4 優先規則ごとの総経過時間（10機械10工程15 jobs）

は、すべてのシミュレーション結果で共通である。

ここで着目すべきことは、GAの優位性がロット分割数に対してどのように変化するかである。優先規則間では、その格差が収斂することは既に示されている [1]。またロット分割を考慮すれば、最も総経過時間に有効なルールは

SPTルールである。そこで、SPTルールに対するGAの優位性を図5にまとめた。この図は、SPTルールとの総経過時間の差異をGAの総経過時間で除した結果である。5 jobsの時には、いったんGAとの差は広がるが、その後は収斂していくことがわかる。また15 jobsでは、分割数に対して単に収縮していることがわかる。総経過時間の差が縮まる理由は、分割数に関係なく総経過時間の下限値が決まっているためだと考えられる。すなわち、ロット分割を行ったとしても各機械での総加工時間は一定であるので、最も負荷の高い機械における総加工時間よりも、総経過時間が短くなることはないからである。しかしながら、GAとの格差がいったんは広がるのは、GAでは各機械における各ロットの割り付けが自由なためと考えられる。優先規則は、GAに比べて同種のロットを優先しやすい傾向にある。このことからロット分割は、優先規則よりもGAとの併用の方が高い効果を表すと見える。

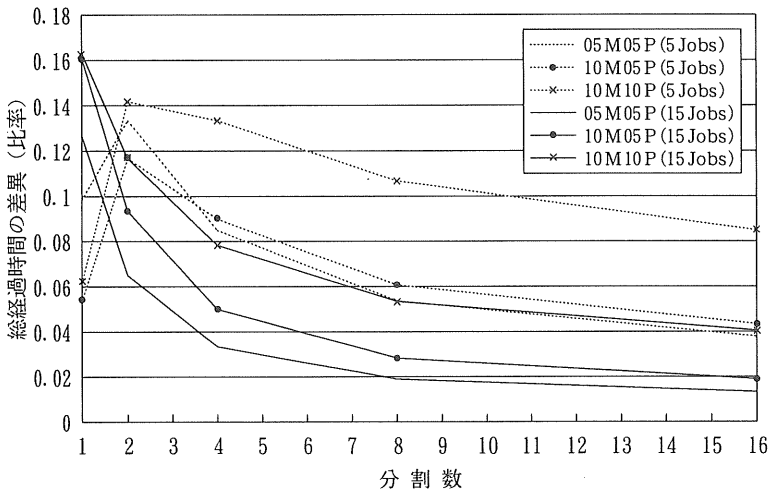


図5 GA と SPT ルールとの差異

## 5.2 段取り回数の比較

本モデルでは遊休時間の短縮を評価するために、段取り時間は不要としている。しかし、それぞれの手法での解の性質を比較するために、総段取り回数を

### 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

測定してその平均値を算出した。この結果の一部が、表1と表2に示されている。両表によれば、優先規則法に比べてGAは段取り回数が増えている。この差は分割数が増加するに従って、広がっている。このことがロット分割の効果を高めていると考えられる。逆に考えれば、ロット分割の効果を高めるには、同種のロットを連続で加工すべきではないことがわかる。

表1 総段取り回数の平均値(5機械5工程5jobs)

分割数 手法	分割数				
	1	2	4	8	16
FCFSルール	25	34.671	52.105	85.725	151.917
SPTルール	25	36.963	57.129	92.891	161.952
LPTルール	25	31.557	38.466	47.563	63.484
LWKRルール	25	36.696	56.529	88.014	142.361
MWKRルール	25	30.227	34.943	42.649	57.425
GAルール	25	43.094	83.482	161.408	316.787

表2 総段取り回数の平均値(10機械10工程15jobs)

分割数 手法	分割数				
	1	2	4	8	16
FCFSルール	150	248.292	436.095	802.322	1525.746
SPTルール	150	251.536	433.502	771.681	1426.314
LPTルール	150	209.806	278.627	365.857	504.611
LWKRルール	150	247.823	413.998	691.074	1175.797
MWKRルール	150	190.006	230.206	295.222	418.614
GAルール	150	289.605	570.318	1125.394	2222.856

### 5.3 ロット分割数と平均探索回数

ロット分割によるロット数の増加が、GAの探索速度に与える影響について調査した。表3～5はそれぞれのスケジューリング環境において、総経過時間の最小値を見つけるのに要した個体数の平均値をまとめたものである。表では追い越し禁止則を適用した場合とそうでない場合の両方について、平均探索回数を示している。これらの表から、分割数が増えるに従って、平均探索回数は一旦増加することもの減少していくことがわかる。分割数が増えることによ



表3 ロット分割数と平均探索回数（5機械5工程）

ジョブ数 \ 分割数		1	2	4	8	16
5 jobs	標準	109.177	4025.93	3703.389	2992.643	2690.657
	追い越し禁止則	109.177	4686.989	3668.553	2532.923	1937.178
10 jobs	標準	5913.906	3951.968	2743.149	1966.486	1737.437
	追い越し禁止則	5913.906	4293.205	2425.488	1792.334	1683.247
15 jobs	標準	4898.134	2453.472	1710.852	1447.102	1314.208
	追い越し禁止則	4898.134	2813.402	1900.217	1557.143	1156.119

表4 ロット分割数と平均探索回数（10機械5工程）

ジョブ数 \ 分割数		1	2	4	8	16
5 jobs	標準	18.823	1050.313	1690.561	1416.255	1322.616
	追い越し禁止則	18.823	1727.328	1996.463	1139.088	898.312
10 jobs	標準	2135.155	2963.924	2270.029	1501.434	1275.644
	追い越し禁止則	2135.155	2981.608	2133.347	1308.289	1181.611
15 jobs	標準	4120.754	2645.429	1588.085	1339.22	1246.19
	追い越し禁止則	4120.754	2684.522	1711.041	1301.168	1140.131

表5 ロット分割数と平均探索回数（10機械10工程）

ジョブ数 \ 分割数		1	2	4	8	16
5 jobs	標準	69.415	6761.572	9329.785	8172.741	6221.868
	追い越し禁止則	69.415	6011.276	9078.361	8148.618	5942.05
10 jobs	標準	7834.331	11113.978	9621.861	7590.675	6962.603
	追い越し禁止則	7834.331	11153.894	9646.819	8220.965	6959.56
15 jobs	標準	11282.372	10182.039	8924.221	7194.473	6794.553
	追い越し禁止則	11282.372	10420.073	9597.561	7006.325	6813.357

りロット数が増加するので組み合わせ総数は増加するが、探索回数は逆に減少することになる。

また機械台数と工程数が同じ環境では、平均探索回数が最大となる個所に特色がある。すなわち、ジョブ数と分割数の積に関係があるものと考えられる。

## 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

例えば表3の5機械5工程では、10 jobs相当のときに極大値となっている。実際に5 jobsでは2分割、10 jobsでは1分割の時に、平均探索回数が最も大きくなっている。15 jobsのときは表中の1分割となっている。

この原因を調べるために、3.1節で使用した問題においてロット分割が解の性質にどのような影響を与えているかを調査した。それぞれの分割数ごとに30,155,938通りの組み合わせをランダムに与えた。その結果得られた総経過時間の分布を図6にまとめた。この図から分割数が多くなるに従って、総経過時間の分布が左によると同時に、そのばらつきも少なくなっていることがわかる。これが、平均探索回数が減少する理由だと考えられる。

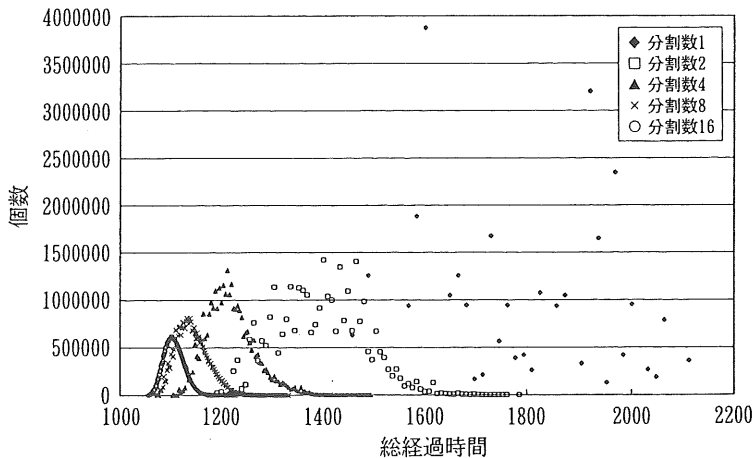


図6 分割数ごとの総経過時間の分布

### 5.4 追い越し禁止則の効果

先程の表3～5には、追い越し禁止則の効果が示されている。2分割のときは標準の方が有効であるが、分割数が増えるに従って追い越し禁止則の有効性が顕著となる。これは、追い越し禁止則により総組み合わせ数を低減することができるが、逆に探索の多様性が減少するために、このような傾向が生じるものと考えられる。

## 6. 結 言

本研究では、優先規則法を応用した遺伝アルゴリズムを構成した。そして機械台数や工程数、ジョブ数を組み合わせたいくつかのスケジューリング環境のもとで、総経過時間や総段取り回数、探索速度を測定した。このシミュレーション結果をまとめて分析することで、ロット分割と遺伝アルゴリズムの有効性を示すとともに、得られる解の性質について明らかにした。

今回は遊休時間の短縮に着目したために、段取り時間を考慮しないものとした。そのために、優先規則に比べて総段取り回数が多い結果になっている。今後は、段取り時間の影響を考慮したアルゴリズムの開発と、その性質を研究する必要があると考えられる。

## 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, p.p. 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, p.p. 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, p.p. 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, p.p. 23-30(2000).
- [5] 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, p.p. 21-26(1996).
- [6] 西川禰一, 玉置久: “ジョブショップ型スケジューリング問題に対する遺伝アルゴリズムの一構成法”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 27, No. 5, p.p. 593-599(1991).
- [7] 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, p.p. 84-90(1977).
- [8] 橋本文雄, 帆足辰雄, 黒澤敏朗, 加藤清著: 『新編生産管理システム』, 共立出

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  
版株式会社, p.p.114-116(1998).