

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01216

研究課題名(和文) ロット分割とGAによる多目的な生産スケジュール改善サイクルの開発

研究課題名(英文) Development of Multipurpose Production Schedule Improvement Cycle based on Batch Splitting and GA

研究代表者

椎原 正次 (SHI IHARA, Masatsugu)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：10268229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：ロット分割は、生産スケジュールの改善に有効な手法の一つである。しかし、ロット分割を繰り返すにしたがって、ロット数が増える。その結果として、総段取り時間が増加するだけでなく、スケジューリング問題をより複雑にしてしまう。そこで、総経過時間と総納期遅れ時間の多目的最適化を目指した生産スケジュールの改善サイクルを開発した。このサイクルには、ロットの選定、遺伝的アルゴリズムによるスケジューリング、段取りの改善、ガントチャートによる確認の4つの機能がある。そして、受け入れ可能な生産スケジュールが得られるまで繰り返される。また数値実験を通じて、生産スケジュール改善サイクルの有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Batch splitting is one of the effective methods to improve the performance of schedule. However, the number of batch is increasing according to iteration of splitting a batch. As a result, the number of total setups is increased but also the scheduling problem is made more complicated. Production Schedule Improvement Cycle which consists of four functions was developed in order to minimize the make-span and the total tardiness. The functions are selecting one batch to split, scheduling based on GA, improving setup times and confirming Gant chart. This cycle will be implemented repeatedly until an acceptable production schedule is acquired. The results of some numerical experiments show that the effectiveness of proposed cycle.

研究分野：経営工学

キーワード：ジョブショップスケジューリング ロット分割 メタヒューリスティクス

### 1. 研究開始当初の背景

製造業において設備の稼働率向上や納期順守は、重要な課題である。この問題に対してロットサイズの調整とスケジューリングの両方からアプローチできれば、柔軟に対応することができる。ロットサイズの調整法としては、ロット分割がある。このロット分割は種々の評価尺度に対して同時によい影響を与える。しかし、ロット分割を進めるにつれて段取り回数の増加が問題となる。段取り回数の増加は、段取り時間を増やすことになり、評価尺度に対して悪い影響を与える。さらに、分割されることによりロット数が多くなってしまいスケジューリング問題をより困難にする。また、生産統制などが複雑になってしまう。

スケジューリング問題を実用的に考えれば、最適なスケジュールではなく許容されるスケジュールを生成することが重要である。そこで、最小限のロット分割で受け入れ可能な生産スケジュールを得るための生産スケジュール改善サイクルを開発する。

### 2. 研究の目的

生産スケジュール改善サイクルは、受け入れ可能な生産スケジュールが得られるまで、ロットの分割と遺伝的アルゴリズム(GA)によるスケジューリングを繰り返すものである。図1は、その概念図である。

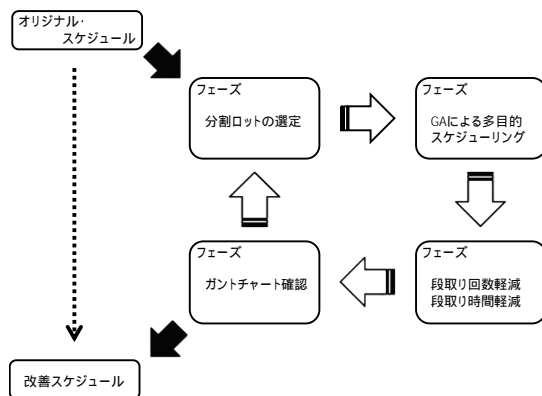


図1 生産スケジュール改善サイクル

まず、ロット分割を考慮せずに生産スケジュールを生成する。このスケジュールが受け入れられない場合に、生産スケジュール改善サイクルは開始される。フェーズでは、与えられたロットの中から一つを選択して二つに均等分割する。そして、フェーズにおいてGAを使ったスケジューリングを実施する。フェーズでは、得られた生産スケジュールの評価尺度を悪化させない範囲で、同種のロットの連続加工を図る。これにより、総段取り回数の軽減を図る。さらに、次の加工ロットの到着前に段取り替えを実施することで、総経過時間を短縮する。最後に、フェーズでガントチャートを表示させて確認する。この際に、目視によりスケジュールを

調整する。

以上の手順により、許容できるスケジュールが得られれば、改善サイクルは終了する。スケジュールが受け入れられなければ、次のサイクルに移り、再びフェーズにおけるロット選定が実施される。

繰り返されるサイクルが少ないほど、ロットの増加が抑えられ、計算のためのCPU時間も短くなる。そのため、1サイクル当たりの効果が最も大きくなるように、各フェーズを設計する必要がある。

### 3. 研究の方法

最初に、総経過時間の短縮化を目的とした生産スケジュール改善サイクルを開発する。その後、総納期遅れ時間と総経過時間の多目的最適化を図る。さらに、GAにかかわるスケジューリング手法についても検討する。

(1)生産スケジュール改善サイクルの効率化  
各フェーズにおける課題は、次のとおりである。

#### フェーズ

総経過時間の短縮量は、分割されるロットによって異なる。分割数を抑えるには、フェーズにおいてより短縮効果の大きいロットを選択する必要がある。

#### フェーズ

段取り時間の影響を考慮に入れた効果的なスケジューリング手法の開発が不可欠である。段取り回数の軽減方法としては、Jacobs and Bragg の Repetitive Lots Procedure(RLP)がある。同種のロットを同じ機械で連続処理する場合には、段取り替えが不要になることを活用した手順である。本研究では、椎原と水谷が開発したnDSGAに、このRLPを取り入れたアルゴリズムを開発する。

#### フェーズ

フェーズで得られたスケジュールに対して、総経過時間を悪化させないことを前提にして段取り回数の軽減を図る。同種の作業を連続して処理できる順序に変更を試みる。また、Jeong et al.が提案しているロットの到着前段取りを取り入れることで、遊休時間に段取り替えに着手する効果を検討する。

#### フェーズ

フェーズおよびでは、機械的にスケジュールの生成と改善が図られる。そこで、生産スケジュールをガントチャートに表現し、画面上で確認と改善が図れるシステムを構築する。

#### (2)多目的最適化への対応

総経過時間だけではなく総納期遅れ時間も併せて最適化できるように改良する。このためには、納期遅れを短縮化するための手法をGAに導入するとともに、パレート解の算出が必要となる。また、多目的最適化においても、総経過時間の短縮化の効果が著しく低下しない仕組みが必要である。

#### (3)GAにかかわるスケジューリング手法

生産スケジュール改善サイクルの実行に

必要な計算時間は、フェーズのスケジューリングが最も大きい。そのため、計算時間の短縮化を図るには、GAに代わるスケジューリング手法を確立することである。そこで、タブーサーチによるスケジューリング手法を検討する。

#### 4. 研究成果

前述の課題を解決するための方策を検討し、いくつかのアルゴリズムを開発した。その概要と数値実験による有効性を記す。数値実験では、乱数の初期値を変更して、様々な環境で100試行ずつ実験して平均値を計算している。

##### (1)生産スケジュール改善サイクルの効率化 ロットの選定法

総経過時間は任意のロットの総加工時間よりも長くなることから、総加工時間の最も長いロットを分割対象に選定する方法(LTPT)がある。本研究では、機械ごとの加工時間の長短やクリティカルパス上にある作業の加工時間の和から選定する方法(CPT)を提案した。

図2は結果の一部である。分割数が10を超えると、総経過時間と総段取り回数に明確な差異が確認できる。CPT法はLTPT法に比べて遊休時間を減少させるが、総段取り回数を増やす傾向にある。そのためCPT法は、段取り時間の影響が小さいとき、総経過時間の短縮に有利であることがわかる。また、図では分割数10までにおいて平均値による差異は確認しづらいが、CPT法の方が良い結果になった箇所が多い。

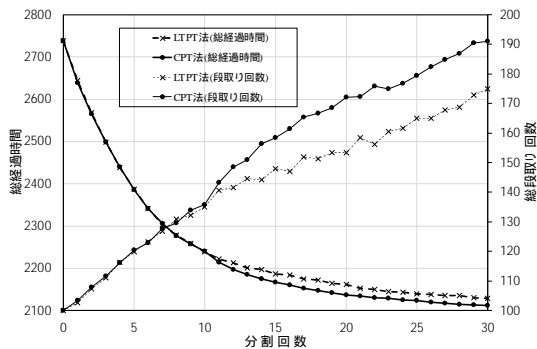


図2 ロットの選択法の比較

##### 段取り時間の影響を考慮したGA

ロット分割により同種のロットが複数存在することになる。同種のロットを連続で処理する場合には、段取り替えが不要となる。そこで、前述のRLPを適用すれば、段取り回数の軽減を図れるが、遊休時間の短縮の効果が薄れる懸念がある。そこで、段取り時間の影響を考慮しつつ適度にRLPを適用するGAが必要である。さらに、RLPの概念を拡張することで、より強い効果が期待できる。

椎原と水谷が開発したnDSGAには染色体の構造に特徴があり、スケジュールの生成方法

を決定する遺伝子部が存在する。図3に示されるように、T3の遺伝子の値によってRLPの適用を決定させるように染色体を拡張した。

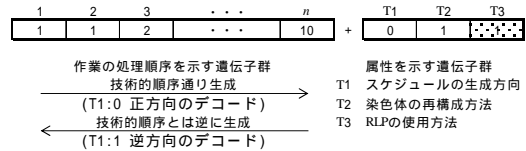


図3 染色体の構造

図4は、RLPの導入効果を示した一例である。分割が進むにつれてロットの数は増加するが、その種類数は変化しない。そのため、分割回数が多いときほど、総段取り回数や総経過時間に差異がみられる。特に、後半部分では、RLPが導入されていないと十分に探索されていないことが明らかである。

GAの集団におけるT3によって分類された個体数の時系列変化を図5に示した。図5では段取り時間0の分割回数5、段取り時間30の分割回数5および15の段取り替えの影響が異なる3種類をグラフ化している。これは、段取り替えの影響が小さい順である。遺伝子座T3の値「0」は、RLPを全く適用しない個体である。探索が進むにつれてその個体数は単調減少を示しているが、段取り替えの影響を受けて柔軟に探索していることがわかる。RLPを部分的に適用する個体の数は、図5とは対照的に単調増加となっており、GAの淘汰により環境に適した個体ほど生存しやすいことから起きる現象である。

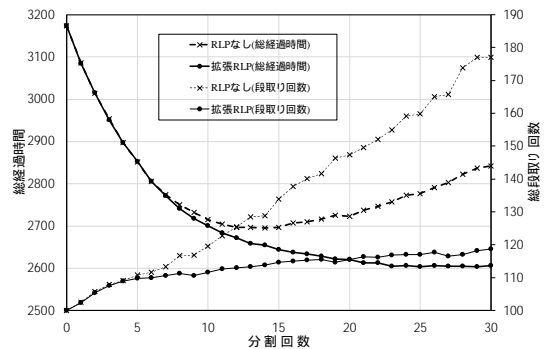


図4 RLP導入の効果

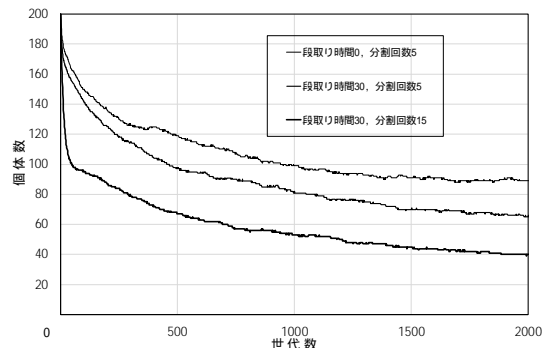


図5 遺伝子 T3「0」の個体数の変化

### 段取り回数と段取り時間の軽減法

フェーズにおいて、同種のロットの連続処理による段取り回数の軽減を考慮したスケジュールの生成がなされている。しかし、総経過時間に影響を与えない段取り替えは多数存在していると考えられる。そこで、すべての作業に対して染色体に示されている順に、作業順序の変更を検討し、総経過時間を悪化させることなく総段取り回数を軽減するアルゴリズムを開発した。

次に Jeong et al. のロットの到着前段取り替えを適用する。これは、ある機械で加工が完了した後に遊休時間が発生する場合、その時間を使用して段取り替えを実施するものである。遊休時間が有効利用されることになり、総経過時間の短縮につながる。

これらの方策の効果を示したのが、図6である。フェーズで得られたスケジュールと比べて、総段取り回数が軽減と総経過時間の短縮が実現していることがわかる。しかし、前者は分割数が増すにしたがって効果が大きくなるのに対し、後者は小さくなっていることがわかる。

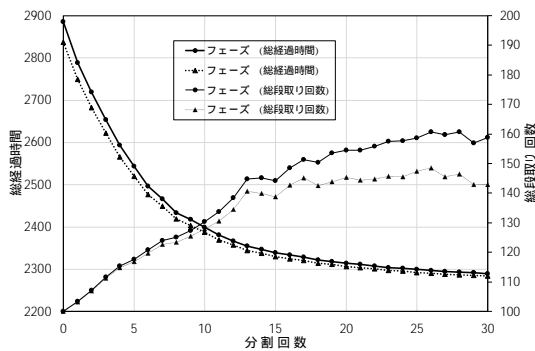


図6 段取り回数の軽減と前段取り替え効果

### ガントチャート描画システム

フェーズでの分割が行われた後のロット情報とフェーズの終了後に得られた染色体とロットの情報を CSV(Comma Separated Values)形式のファイルで受け取り、両ファイルから図7のようにガントチャートを表示させる。クリティカルパスは太い黒枠で強調されている。このガントチャートを目視で確認し評価する。

また、任意の作業の順序をドラッグ・アンド・ドロップで変更することができる。この操作により染色体が変更され、結果は2段目に表示され総経過時間も再計算される。順序変更の結果をもとのスケジュールと比較検討できる。この例では、機械4の4番目の作業と9番目の作業が同じ仕事番号であり、それを連続して処理するように順序を変更している。クリティカルパスに影響はなく総経過時間は変化しないが、総段取り回数が141回から139回になり、2回の軽減が実現している。

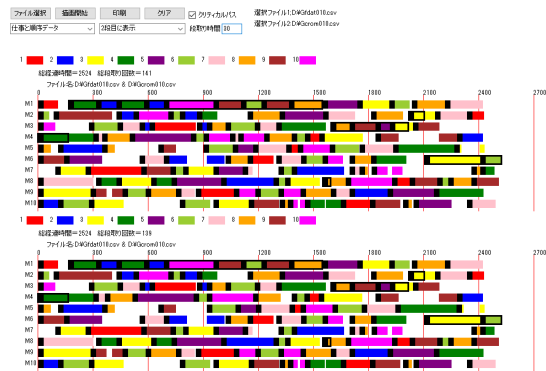


図7 ガントチャートによる最終調整

### (2)多目的な生産スケジュール改善サイクル

総経過時間と総納期遅れ時間の多目的最適化を図るためには、新たな世代交代の仕組みと総納期遅れ時間の改善手法をGAに組み込む必要がある。前者は総経過時間の長短により世代交代をする個体と総納期遅れ時間の長短により世代交代をする個体に分けることで対応させた。一つの集団の中で、2種類の方針で世代交代を進めることになる。そして、遺伝的操作でつくられたすべての個体を対象として、総経過時間ごとにより小さい総納期遅れ時間を記録する。計算終了後に、総経過時間の小さい方から順に総納期遅れ時間を比較して、パレート解を作成する。後者については、スケジュールの一部で EDD や SLACK を使用して改善を図る。

図3で示した染色体に対して、さらに T4 と T5 の遺伝子座を追加することで、世代交代の方針や納期ルールの選択を行わせる。ロットの選定に使用する CPT 法では、現在のスケジュールをもとにしている。そのため、総経過時間最小のスケジュールを基にする場合を短縮方針 A とし、総納期遅れ時間最小のスケジュールを基にする場合を短縮方針 B とする。

図8は、納期遅れ時間と総経過時間の短縮効果を示したものである。短縮方針 A は総経過時間の短縮に有利で、短縮方針 B は総納期遅れ時間の短縮に有利である。総経過時間においては、遺伝的操作により作られた個体数が同じにもかかわらず、単一目的の GA よりも短い総経過時間が得られている。

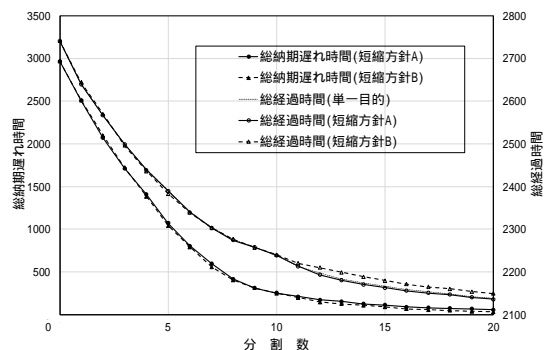


図8 多目的なGAの実行結果

図9は、分割数ごとに得られたパレート解の個数をグラフ化したものである。短縮方針Aの方が多くなっており、分割数が大きいほど差が広がっている。これは、ロット分割数が大きくなるにつれて、短縮方針Bの方が総納期遅れ時間が0になる試行が多くなるためだと考えられる。

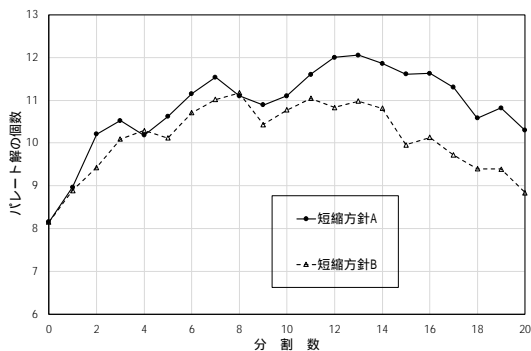


図9 パレート解の個数変化

### (3) タブーサーチによるスケジューリング

GAでは、交叉処理が複雑になるためにCPU時間を必要とする。また、近傍解の作成に明確な方針がなく非効率と考えられる。そこで、タブーサーチによるスケジューリング手法を検討した。本研究で使用したnDSGAと同じスケジュールの生成法を有するnDSTSを開発した。

そして、性能を評価するために、有名なベンチマーク問題であるFisher and ThompsonのFT10(最適解 930)とFT20(最適解 1165)を使用してベンチマークテストを実施した。それぞれ1000回試行し、最適解が得られるまでのCPU時間を測定した。その結果は、表1にまとめられている。新たに開発したnDSTSは、nDSGAよりも高速に最適解を発見していることがわかる。今後、生産スケジュール改善サイクルに取り入れるための研究が不可欠となる。

表1 ベンチマーク問題による比較

	サイズ (仕事数× 機械数)	CPU時間(秒)		比率
		nDSGA	nDSTS	
FT10	10×10	3.6	0.39	0.11
FT20	20×5	3.6	0.23	0.06

### <引用文献>

F.R. Jacobs, D. J. Bragg, Repetitive Lots: Flow-time Reductions Through Sequencing and Dynamic Batch Sizing, Decision Science, 19巻、2号、1988、281-294

椎原正次、水谷泰治、GAによる局所的な遅れのないスケジュール生成に基づくジョブ・ショップ・スケジューリング、日本経営システム学会誌、31巻、1号、2015、1-11

A. Jeong, J. Park, R. C. Leachman, A Batch

Splitting Method for a Job Shop Scheduling Problem in a MRP Environment, International Journal of Production Research, 37巻、15号、1999、3583-3598

Fisher H., Thompson G. L., Probabilistic learning combinations of local job-shop scheduling rules, Industrial Scheduling, Prentice-Hall, 1963、225-251

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

椎原 正次、段取り時間を考慮した生産スケジュール改善サイクルの開発と数値実験、日本経営システム学会誌、査読有、34巻、3号、2018、283 - 294

椎原 正次、局所的な遅れのないスケジュール生成処理を取り入れたタブーサーチによるジョブ・ショップ・スケジューリング、日本経営システム学会誌、査読有、34巻、1号、2017、9 - 19

〔学会発表〕(計6件)

椎原 正次、生産スケジュール改善サイクルのための多目的な遺伝アルゴリズム、日本経営システム学会第60回全国研究発表大会、2018年

椎原 正次、生産スケジュール改善サイクルの性能向上に関する研究、日本経営システム学会第59回全国研究発表大会、2017年

椎原 正次、生産スケジュール改善サイクルの納期尺度への効果、日本経営システム学会第58回全国研究発表大会、2017年

椎原 正次、生産スケジュール改善サイクルの開発と数値実験、日本経営システム学会第57回全国研究発表大会、2016年

椎原 正次、タブー探索法による局所的な遅れのないスケジュール生成に基づくジョブ・ショップ・スケジューリング、日本経営システム学会第56回全国研究発表大会、2016年

椎原 正次、局所的な遅れのないスケジュール生成を組み込んだタブーサーチによるジョブ・ショップ・スケジューリング、日本経営システム学会第55回全国研究発表大会、2015年

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

椎原 正次 (SHI IHARA, Masatsugu)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：10268229