

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15238

研究課題名（和文）大規模オンライン生産スケジューリング・システムの開発

研究課題名（英文）A study to develop online scheduling systems for large-scale production

研究代表者

翁 ウェイ（WENG, Wei）

金沢大学・GS教育系・准教授

研究者番号：80631522

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大規模生産スケジューリング問題をオンラインで解決できる方法を開発する。2019年度は、ジョブの納期や処理時間・残りワークステーションの数・残り処理時間などの情報からジョブの完成時刻を予測する式とモデルを提案した。それに基づき、2020年度は、連携の工場における実際の問題を対象に、ワークステーションごとに行う処理待ちジョブのリアルタイム並び替え方法を提案し、工場のデータを用いて検証を行った。2021年度は、工場以外の類似問題にも対応できるような汎用モデルを立て、幅広い検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：1. 数学モデルの研究から実際の問題を解決できる研究まで行ったため、理論研究と実応用の両方に貢献した。2. 大規模生産スケジューリング問題を瞬時に解決できる方法の開発に貢献した。3. 大規模生産最適化問題を離散的に解決する最適化方法の開発に貢献した。

社会的意義：1. IoTやIndustry 4.0などの導入によって生産システムの状況をオンラインで収集しながらスケジューリングすることができるような新型生産システムの開発に貢献した。2. 生産スケジューリングの自動化と知能化に貢献した。3. 実際の工場での生産コストの削減とスケジューリング方法の改善に貢献した。

研究成果の概要（英文）： This study aims to develop methods that are able to solve in real time large-scale scheduling problems. In the fiscal year 2019, we proposed equations and a model to estimate the completion time of a job based on information such as the due date, processing time, number of remaining workstations, and remaining processing time of the job. Based on the model, in the fiscal year 2020, we proposed methods to determine in real time the sequence of processing jobs for a real factory and verified the effectiveness by using data of the factory. In the fiscal year 2021, we built a more general model to cope with similar problems and verified the effectiveness by using various types of data.

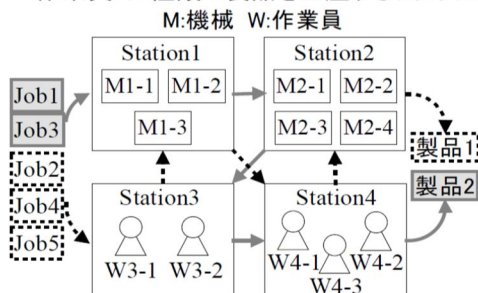
研究分野：社会システム工学

キーワード：生産システム最適化

### 1. 研究開始当初の背景

生産スケジューリングとは、工場の生産ラインや生産システム(図1)において、いつどの機械/作業員がどのジョブを処理するのを計画することである。生産目標に対し最適なスケジュールを提供することが目的である。生産目標は企業によって様々であり、主に生産コストの最小化や生産効率の最大化などを旨とする。そこで、生産スケジューリングは大手企業から中小企業までの企業にとっても必要であり、低コストかつ高効率の業務とサービスの提供に重要な役に立つものである。

図1: 4つのワークステーション 7台の機械と5人の作業員で2種類の製品を生産するシステム



しかしながら、生産スケジューリングはジョブと機械/作業員のすべての可能な組み合わせの中から最適解を探すため、ジョブと機械/作業員の数が多いと計算量が非常に多くなり、数十個以上のジョブと数十台/人の機械/作業員があれば、短時間で解くことが難しい。そのため、研究されているスケジューリング方法のほぼ全てが、オフライン計算を行うものである。オフライン計算とは、生産開始の前にジョブと機械/作業員の情報をすべて分かっていることを前提にスケジューリングする方法である。ジョブと機械/作業員の数が多いた大規模問題の場合に、かなり計算時間が必要とし、得られる解も最適に近いとは限らない。生産開始後、注文新着や変更・キャンセル・機械故障など外乱が発生した場合に、迅速にリスケジューリングすることが難しいことも問題である。オンラインで即時に大規模なスケジューリングができる方法はまだない。

### 2. 研究の目的

本研究は、それらの問題の解決を目指し、既存スケジューリング方法の枠を超えて、生産システムの状況と注文情報をオンラインで収集しながら即時に大規模なスケジューリングを完成できるようなシステムの構築を目的とする。そのため、システム全体のスケジューリング問題をワークステーションごとの一定時間内の小規模スケジューリング問題に分散化し、分散化された後の小規模スケジューリング問題をリアルタイムで解決する方法を提案する。

### 3. 研究の方法

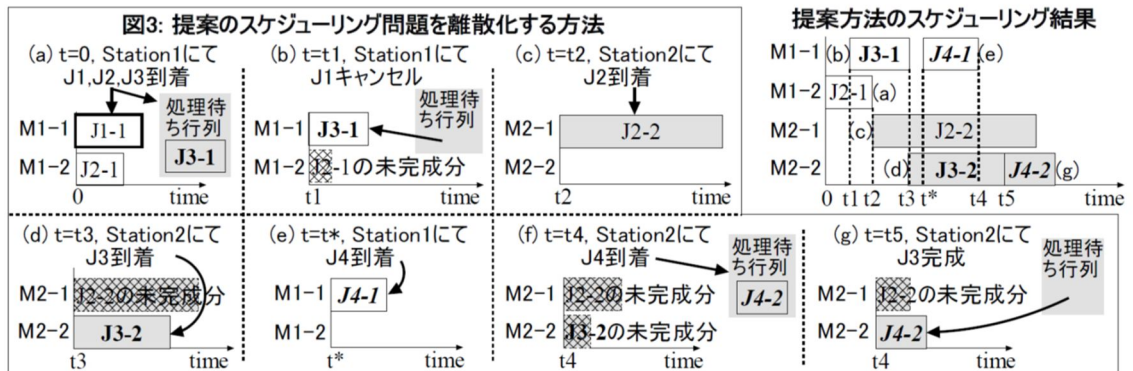
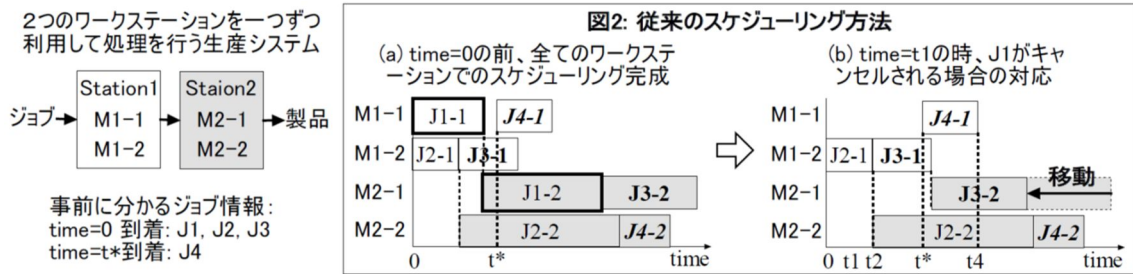
提案のシステム全体のスケジューリング問題をワークステーションごとの小規模スケジューリング問題に分散化する方法は、注文を受けてからすぐにジョブを生産システムに投入し、投入されたジョブを最後のワークステーションまで一括にスケジューリングを行わず、到着したワークステーションのみでスケジューリングを行うものである。即ち、ジョブから見ると、一つ一つのワークステーションへ進みながら、ちょこちょこ先行のスケジューリングを行う方法である。ワークステーションから見ると、新規ジョブが到着したり処理待ちのジョブが変更されたりする時点で改めてワークステーション内のジョブをスケジューリングする方法である。

具体的なやり方は、図2の左側に示す問題を例に図3に示している。ワークステーションごとの処理待ちジョブを一列に待たせ(図3(a)、図3(f))、列の先頭のジョブを空いている機械/作業員に処理させる(図3(b)、図3(g))。そうすれば、ワークステーション内のスケジューリング問題は、処理待ちジョブの並び替え問題となる。新規ジョブの到着や処理待ちジョブの変更・機械故障などがあった場合に、その時点で改めて処理待ちジョブを並び替えれば、新たなスケジュールが完成する。

従来のすべてのジョブを一括にスケジューリングする方法(図2)に比べ、提案方法は三つの優位点を持つ: 1. 一回あたりの計算量はかなり少なく、瞬時に完成可能である。2. 生産開始後のジョブ新着や変更などがあった場合に、スケジューリング済の部分に影響が少なく、その後のワークステーションでのスケジューリングへの影響もほぼない(図3(b)、図3(e))。3. 各ワークステーションで分散的に立てたスケジュールを合わせた全体的結果は従来の方法よりも良い(図3の右上に示したように、生産総時間が短い)。

これらの方法の詳細を2019年度から2021年度にかけて設計・修正・改善・検証を行った。2019年度は、ジョブの納期や処理時間・残りワークステーションの数・残り処理時間などの情報からジョブの完成時刻をリアルタイムに予測する式とモデルを提案した。この予測方法は、ワ

ワークステーションごとのジョブを並び替える方法の中で使用する。2020年度は、連携の工場における実際の問題を対象に、ワークステーションごとに行う処理待ちジョブのリアルタイム並び替え方法を提案し、工場のデータを用いて検証を行った。2021年度は、工場以外の類似問題にも対応できるような汎用モデルを立て、幅広い検証を行った。



#### 4. 研究成果

2019年度に提案したジョブの完成時刻をリアルタイムに予測する式とモデルは、既存のリードタイム予測方法より精度高くジョブの完成時刻を予測することができる。ジョブの完成時刻を精度よく予測すれば、どのジョブが急いでやらなければならないのか、どのジョブをちょっと待たせてもよいのかについて正確に判断できる。そのため、その後提案したジョブの処理順序を決定する方法にも役に立ち、リードタイムの予測に利用することもできる。

2020年度に提案した工場の実際の問題を対象としたワークステーションごとのジョブを並び替える方法は、ジョブごとの納期と予測完成時刻を比較することでジョブの優先順位を決定し、優先度の高いジョブを先に処理させることでジャストインタイムのジョブ完成を実現できる。スケジューリング分野でよく使われる進化型アルゴリズムなどに比べ、大規模問題に対し、わずか一割程度の計算時間で倍以上良い解を得られることがシミュレーションで分かった。

2021年度に提案した汎用モデルは、工場のデータに加えて任意に生成された様々なパターンとサイズのデータを用いて検証を行った。シミュレーションの結果によると、既存方法より数倍以上良い解を即時に得られることが分かった。工場のデータを利用する場合は、生産のエネルギーコストや在庫コスト・作業員の人数などをすべて削減できることが確認できた。この成果は、オペレーションズ・リサーチ分野のトップジャーナル Journal of Manufacturing Systems に発表された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Wei Weng, Junru Chen, Meimei Zheng, Shigeru Fujimura	4. 巻 63
2. 論文標題 Realtime scheduling heuristics for just-in-time production in large-scale flexible job shops	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Manufacturing Systems	6. 最初と最後の頁 64-77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmsy.2022.01.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hongqing Ye, Haochen Wang, Huade Su, Jin Lin, Wei Weng, Meimei Zheng	4. 巻 1983
2. 論文標題 Joint optimization strategy of condition-based preventive replacement and spare parts ordering for multi-unit systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1983/1/012120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Song Wen, Chandramitasari Widyaning, Weng Wei, Fujimura Shigeru	4. 巻 140
2. 論文標題 Short-Term Electricity Consumption Forecasting Based on the Attentive Encoder-Decoder Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 846 ~ 855
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejeiss.140.846	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurniawan Bobby, Song Wen, Weng Wei, Fujimura Shigeru	4. 巻 2020
2. 論文標題 Distributed-elite local search based on a genetic algorithm for bi-objective job-shop scheduling under time-of-use tariffs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Evolutionary Intelligence	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12065-020-00426-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Weng Wei	4. 巻 2020
2. 論文標題 Realtime production scheduling and control systems in smart industry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 60~61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21820/23987073.2020.8.60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bobby Kurniawan, W. Chandramitasari, Alfian A. Gozali, Wei Weng, Shigeru Fujimura	4. 巻 15
2. 論文標題 Triple chromosome genetic algorithm for unrelated parallel machine scheduling under time-of-use tariffs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 208,217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Alfian A. Gozali, Bobby Kurniawan, Wei Weng, Shigeru Fujimura	4. 巻 15
2. 論文標題 Solving university course timetabling problem using localized island model genetic algorithm with dual dynamic migration policy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 389,400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Hongqing Ye
2. 発表標題 Joint optimization strategy of condition-based preventive replacement and spare parts ordering for multi-unit systems
3. 学会等名 4th International Conference on Mechanical, Electric and Industrial Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wei Weng
2. 発表標題 Production control methods for time-based manufacturing in a real factory
3. 学会等名 2020 4th International Conference on Automation, Control and Robots ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Cunwu Sun
2. 発表標題 Two-stage newsvendor problem with loss aversion and probability weighting effects
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qingwei Wang
2. 発表標題 Production and pricing decisions in a product-service system supply chain
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wei Weng
2. 発表標題 A rule for lead time estimation in general production shops
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------