

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04883

研究課題名(和文) 第4次産業革命を志向したリアルタイム生産スケジューリングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a real-time production scheduling system for the fourth industrial revolution

研究代表者

平林 直樹 (Hirabayashi, Naoki)

大阪府立大学・人間社会システム科学研究科・准教授

研究者番号：80199091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：生産環境の変化に柔軟に対応するためには、リアルタイム生産スケジューリング法の開発が急務となる。従来の不確実環境下での生産スケジューリング手法の多くは柔軟性に欠ける。これに対して、自律分散型のスケジューリング法が提案されているが、近視眼的な情報に基づく簡便なルールによる意思決定を主としているために高精度のスケジュールを得ることは困難であった。本研究では、大域的な情報に基づき静的に生成された非劣スケジュール集合の中からリアルタイムに参照すべき規範スケジュールを選定し、本情報を反映させた自律分散型の意思決定により、高精度のスケジュールを柔軟かつ効率的に決定するスケジューリング法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した生産スケジューリング法は、柔軟性と最適性を共に追求しうる「静的スケジューリングと動的スケジューリングを混在させる規範スケジュールを利用したリアルタイムスケジューリングの枠組み」や時々刻々と変化する生産環境とこれに対応するための意思決定者の選好構造を生産システムへ即座に反映しうる「リアルタイム環境下での選好スケジュールの生成」などのまだ殆ど取り組まれていない新しいアプローチに基づくものであり、製造現場における諸問題を解決すると同時に、環境変動に柔軟に対応しうる生産システムの構築および第4次産業革命推進の一助となるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Real-time scheduling to adjust schedules flexibly is very important to lighten the effects of machine breakdown, crash jobs and the other incidents on the system utilization and customer services. To meet these system dynamics flexibly, autonomous distributed scheduling (ADS) has been proposed. This ADS method is very attractive but has some drawbacks. Decision-making rules based only myopic information used in each component can not always provide a promising feasible schedule but only a possible schedule. To obtain the promising feasible schedule, the proposed method in this study exploits the ADS and the global nondominance property of multiobjective scheduling (MOS). In the proposed method, the ADS is combined with the MOS by using the nondominated schedules in MOS as the normative schedules in ADS. The normative schedules are regenerated in a rolling-horizon manner over a given planning horizon according to a decision maker's preference structure.

研究分野：経営工学，生産管理，最適化手法，計算科学を対象とし，生産スケジューリングや設備レイアウト問題に注力。

キーワード：生産スケジューリング リアルタイムスケジューリング 規範スケジュール 多目的最適化 ディスパッチングルール 自律分散型スケジューリング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災や異常気象ならびに近々の世界的な世情不安により顕在化したように、安定したエネルギーならびに物資の供給が必ずしも保障されない昨今の現状では、不確実環境下での生産スケジューリング技術の開発が急務である。一方、今後の製造業の進むべき一方向を示唆する第4次産業革命の概念に対して、3Dプリンタの利用を前提とした製品設計への取組みが脚光を浴び始めている。現段階では、ハード面から見た生産システムの構築が主な課題ではあるが、今後、ICTを駆使した未だかつてないレベルまで自動化された生産システムが構築された暁には、その機能をフルに発揮し、主目的の一つである顧客要求や環境変化への柔軟な対応力を満足化させるために、フロアレベルでのリアルタイムな管理技術、すなわちリアルタイム環境下での生産スケジューリング技術が不可欠となる。従来計画変更や異常状態を考慮した動的環境に対するスケジューリング法の多くは、スケジューリングの構造が旧来の静的スケジューリングと何ら変わりなく、計算時間短縮化の工夫もされていないため、不確実事象にリアルタイムかつ柔軟に対応することは困難である。

2. 研究の目的

リアルタイム処理を陽に考慮したスケジューリング方式として自律分散型スケジューリング法が提唱されている。そこでは、生産システムの主な構成要素である工作機械、搬送台車ならびにジョブなどが、次に加工すべきオペレーションとこれを加工する機械をリアルタイムに決定するため、機械故障、特急品の割込み、上位生産計画の変更などの不確実な生産環境に柔軟に対応することが可能となる。しかし、従来研究における各構成要素の意思決定法は、実行可能スケジュールを生成することを目的とした簡便なものであり、リアルタイムに得られる近視眼的な情報のみに基づいてスケジュールが決定されるため、良好な評価基準値は得られておらず、大域的な最適性を追求することも困難である。また、自律分散型スケジューリングに関する多くの研究は、小規模な単一目的の問題を対象としており、まだ実用段階には到達していない。

本研究では、上述の問題点を解決するために、自律分散型スケジューリングの柔軟性と非劣スケジュール集合から生成される規範スケジュールの大域的最適性を併せもつ高精度の多目的リアルタイムスケジューリング法を提案する。

3. 研究の方法

初年度の令和元年度には、まず、自律分散型スケジューリングにおける各構成要素の意思決定法において、単一尺度により意思決定を行っていた従来法よりも高精度のスケジュールを得るために、複数尺度の優先順位に基づく加重和による自律分散型スケジューリング方式について検討した。その際、それぞれの尺度の基本的な考え方に準じ、各評価項目の情報が意思決定に反映される度合いを、生産システムの状態から判定しうる基準を設け、その基準値に基づきダイナミックに各尺度の重みを設定する方法についても併せて検討した。次に、静的に求めた非劣スケジュール集合の中から意思決定の時刻にふさわしいスケジュールを規範スケジュールとして選定し、これを参照することによってリアルタイムスケジューリングにおける大域的な最適性を追求する枠組みについて検討した。

令和2年度は、前年度に検討した複数尺度の優先順位の加重和による各構成要素の柔軟な意思決定法および規範スケジュールを用いたリアルタイムスケジューリングにおける評価基準値の向上を追求する枠組みをコーディングし、それらのシミュレーション実験を行った。また、これらの検証結果に基づき、時間の経過と共に実績スケジュールと乖離する非劣スケジュール集合の更新方法とこれに伴う規範スケジュールの利用方法について検討した。

本研究で対象とする多目的スケジューリング問題においては、意思決定者の選好構造に即した選好スケジュールを得ることが肝要である。近視眼的な情報に基づき意思決定を行うディスプレイルールによって選好スケジュールを求めることは困難であり、良好な選好スケジュールを得るためには、大域的な情報を基に選好構造を反映させる必要がある。また、各構成要素の意思決定ほどではないが、非劣スケジュール集合は短時間で生成しなければならない。特に選好構造が変化した時点では、非劣スケジュールの更新は急務となるため、良好な選好スケジュールを得るためには、選好構造に沿ったスケジュールが存在すると想定される解空間を重点的に探索する必要がある。令和3年度は、以上の要件を満たすため、解空間に意思決定者の選好構造に基づく選好ベクトルを投影し、これに応じて良好なスケジュールが存在し得る領域を重点的に探索する非劣スケジュール集合の効率的探索法について検討した。これを用いて生成される代替スケジュール集合の中から意思決定者の選好構造に即した規範スケジュールを選択し、その選択結果をリアルタイムスケジュールに反映しうる選好スケジュール生成法について検討した。一方、開発中のリアルタイムスケジューリング法における機械の意思決定および規範スケジュールに基づく意思決定においては、意思決定対象となるジョブを、意思決定時刻に機械のバッファにおいて待機中のジョブに限定していた。これは、即時加工可能なジョブのみを加工対象とすることで、遊休時間の発生を許容しない方針で意思決定法を設定していたためである。しかし、スケジューリング問題では、優先度が高いと判断できるジョブを遊休時間の発生を敢えて許容

して順序付けることにより、良好な評価基準値が得られるケースが存在する。よって、このような意思決定結果の機会を増加させ、良好な選好スケジュールを得るために、機械の意思決定および規範スケジュールに基づく意思決定におけるスケジューリング対象ジョブを即時加工可能な待機中のジョブに限定せず、他の状態にあるジョブをも考慮する手法についても検討した。

4. 研究成果

本研究では、不確定環境環境下におけるリアルタイム生産スケジューリングについて種々検討し、以下の成果を得た。

(1)

自律分散型スケジューリングにおける各構成要素の複数尺度の優先順位に基づく加重和による意思決定において用いる尺度として、XWINQ(Expected Work In Next Queue)、SPT(Shortest Processing Time)、MOPNR(Most Operation Remaining)および納期余裕時間が有効となることを予備実験により明らかにした。また、それぞれの尺度が意思決定に与える重みの値を生産システムの状態に応じてダイナミックに決定する手法を提案した。

多目的複合ランダムサンプルスケジューリング法(Multiobjective Scheduling Method using Complex Random Sampling, MOCRSS)を用いた非劣スケジュール集合の基本的な生成法およびこれに基づく規範スケジュールの基本的な生成法を提案した。

意思決定結果が規範スケジュールに従う仮定の構成要素を設定し、これを他の構成要素と同様に扱うことにより、大域的な情報に基づき作成された高精度なスケジュールが持つ情報をリアルタイムスケジューリングに取り込む手法を提案した。

時間の経過と共に実績スケジュールと乖離する非劣スケジュール集合の更新方法とこれに伴う規範スケジュールの利用方法を提案した。

以上の手法を統合したリアルタイム生産スケジューリング法を提案法1とし、その有効性を、機械の意思決定を納期余裕時間、ジョブの意思決定をSPTとする従来の自律分散型スケジューリング法を比較対象として、シミュレーション実験により検証した。対象とした問題は、平均滞留時間・平均納期遅れ時間最小化の2目的生産スケジューリング問題であり、実験条件は、機械台数5台、総ジョブ数30、各ジョブの各機械での加工時間は、 $[1, 50]$ の一樣乱数に従う、各ジョブの納期は、オペレーションの平均加工時間値 MP に基づく一樣乱数 $[5MP, 40MP]$ に従う、代替加工経路数は、全ジョブ中30%のジョブが1、40%のジョブが2、30%のジョブが3、新規ジョブは10ジョブずつ時間間隔150で生産システムに到着、時間125の機械故障が時刻400と600にいずれかの機械にランダムに2回発生、シミュレーション回数は50回、である。実験で得られた近似度(提案法1による評価基準値の値/従来法による評価基準値の値)の50回の試行による平均値は、平均滞留時間では0.907、平均納期遅れ時間では0.715であり、提案法1によれば、従来法に比べて、平均滞留時間を約9%、平均納期遅れ時間を約28%改善できることが明らかになった。

(2)

解空間に意思決定者の選好構造に基づく選好ベクトルを投影し、これに応じて良好なスケジュールが存在し得る領域を重点的に探索する非劣スケジュール集合の効率的探索法を提案した。これを用いて生成される代替スケジュール集合の中から意思決定者の選好構造に即した規範スケジュールを選択し、その選択結果をリアルタイムスケジュールに反映しうる選好スケジュール生成法を提案した。

機械の意思決定および規範スケジュールに基づく意思決定におけるスケジューリング対象ジョブを即時加工可能な待機中のジョブに限定せず、他の状態にあるジョブをも考慮する拡充型の構成要素の意思決定法を提案した。

以上の手法を統合した意思決定者の選好構造を考慮したリアルタイム生産スケジューリング法を提案法2とし、その有効性を選好構造を考慮しない提案法1を比較対象として、シミュレーション実験により検証した。本実験では、横軸が平均滞留時間、縦軸が平均納期遅れ時間である解空間に、角度がそれぞれ20度、45度および70度の選好方向ベクトルを投影し、納期重視型、均等型および滞留時間重視型の典型的な意思決定者の選好構造を設定した。他の実験条件は上記(1)の場合と同様である。実験で得られた近似度(提案法2による評価基準値の値/提案法1による評価基準値の値)の50回の試行による平均値は、均等型の場合、平均滞留時間では0.965、平均納期遅れ時間では0.986であり、非劣スケジュール集合の重点探索および拡充型の構成要素の意思決定法の効果が見受けられる。同様に、納期重視型の場合、平均滞留時間では0.953、平均納期遅れ時間では0.953、滞留時間重視型の場合、平均滞留時間では0.952、平均納期遅れ時間では0.928の平均近似度が得られた。以上より、提案法2によれば、提案法1に比べて、意思決定者の選好構造が均等型の場合には、平均滞留時間を約3.5%、平均納期遅れ時間を約1.4%、納期重視型の場合には、平均滞留時間を約4.7%、平均納期遅れ時間を約4.7%、滞留時間重視型の場合には、平均滞留時間を約4.8%、平均納期遅れ時間を約7.2%、それぞれ改善できることを明らかにした。また、提案法2の納期重視型と滞留時間重視型における平均滞留時間の平均値を比較すると、滞留時間重視型の方が優れた値が得られ、平均納期遅れ時間の平均値を比較すると、納期重視型の方が優れた値が得られた。このように、納期重視型と滞留時間重視型に対しては、選好構造に即した結果が得られていることが分かった。これに対して、均等型の場合には、他の選好構造に比べていずれの評価基準値に

おいても劣った結果が得られており、3つのタイプの間では、必ずしも選好構造に即した解が得られていないことが分かった。意思決定者の選好構造をより詳細に反映し得る選好スケジュール生成法の開発が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究分担者	森澤 和子 (Morizawa Kazuko) (60220050)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (24403)	

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