

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04552

研究課題名（和文）組み立てラインと部品加工の同期化を考慮したスケジューリング手法に関する研究

研究課題名（英文）A Research on Integrated Scheduling Method Synchronizing Flowshop and Jobshop

研究代表者

松川 弘明（Matsukawa, Hiroaki）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：30242275

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：フローショップスケジューリングとジョブショップスケジューリングのモデルを構築し、数値実験を通じて同期化の効果を確認した。また、ロットサイズの決定については、個体管理を行い、同じ部品を連続加工するときには1つのロットにまとめることにし、個体間では段取時間発生しないことにし、スケジューリングの制度を上げることにした。現場では設備側と部品側の不確実性によって、工程前に待ち行列ができる場合があり、加工リードタイムが指数関数的に増加する特徴があることを考慮し、待ち時間を含めた加工リードタイムの推定モデルを考案した。バックワード計算とフォワード計算における同期化失敗時の必要部品数を同期化安全在庫とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義はジョブショップスケジューリングとフローショップスケジューリングを統合する時に発生するずれを利用して安全在庫を設定し、両者の同期化を実現したことである。また社会的意義にはSAPなどERPシステムに組み込まれているMRP展開における問題を解決することができる方法を提案し、その実装に向けて様々なトライアルを実施し、生産企業と連携してMESの中核問題を解決し、MESエンジンとして動かせるような研究および開発を行ったことである。

研究成果の概要（英文）：An integrated scheduling model considering flow shop and job shop scheduling was constructed. We confirmed that the violation of synchronization between the flow shop and job shop scheduling will produce increase of make-span, therefore violates due date. To prevent the due date violation, we proposed safety stock calculation method which placed between the flow shop and job shop. Scheduling are performed for individual parts, and lot size is created if consecutive parts are same, deleting setup time between parts and parts. Furthermore, due to uncertainties on the machining and parts feeding, queues will occur before machine, and processing lead times including waiting time will increase exponentially. To cope with this problem with continuous improvement of lead time precise, we proposed an estimation model using capacity, load, and lead time.

研究分野：複合領域

キーワード：ジョブショップスケジューリング フローショップスケジューリング 最適化 安全在庫 同期化 MES

1. 研究開始当初の背景

近年、製造業を取り巻く市場が大きく変化している。顧客の略好の多様化により、顧客の要求を満たす多様な製品を提供しなければならず、メーカーは多品種少量の製品を短期間で生産することが求められるようになった。さらに、市場競争の激化や製品ライフサイクルの短縮化により、メーカーは需要変動に対応できる柔軟な生産ラインを持つ必要が生じている。このような市場の変化を背景に、インバウンドおよびアウトバウンドを含めたサプライチェーン全体の最適化が必要になっている。一方、近年インダストリー4.0とスマート工場が注目を集めている。スマート工場はインダストリー4.0の重要な構成要素であり、スマート工場では生産システムの統合や工程間の同問化の必要になっている。したがって、サプライチェーンマネジメントの研究分野においても、工程間の同期を始めとした全体最適を考慮することが重要であると考えられる。

しかしながら、生産スケジューリングの視点において、大きな問題が2点ある。1点目は、製造現場において、生産計画と生産スケジューリングに乖離が生じていることである。一般的に、生産スケジューリングは、MRPを用いて最適な計画として作成される。しかし、日程計画を作成する際、現場の負荷や資源制約は考慮されていない。これにより、生産計画と生産スケジューリングに乖離が生じてしまう。これは、欠品や過剰在庫、納期遅れの原因となり、結果としてコストの増加や顧客満足度の低下に繋がる。このため、現場の負荷や資源制約など、実際の製造現場での問題点を考慮し、生産スケジューリングを行う必要がある。

2点目は、スケジューリングの研究分野において、同期に関する研究が少ないことである。これまで、日程計画問題やフローショップスケジューリング、ジョブショップスケジューリングは、独立の問題として扱われてきた。しかし、製造現場での全体最適の重要性が高まっており、それぞれの問題を同時に考慮した研究が数少ないことは重大な問題であると言える。これらの問題は欠品や過剰在庫、納期遅れのリスクを高め、スマート工場化に向けた障壁となっている。このため、製造現場全体を最適化するための生産スケジューリングの同期モデルを構築する必要がある。

2. 研究の目的

上記背景から、本研究では組み立て型生産工場を対象に、組み立てラインのフローショップスケジューリング問題と部品加工のジョブショップスケジューリング問題を同期させる生産スケジューリング生成方法を提案した。また、実際の工作機械の製造現場での問題点や生産スケジューリングの手法を考慮した、より実用的なモデルを構築し大規模問題として適用した。これにより、製造現場全体の最適化を図り、欠品や過剰在庫、納期遅れを防止することを実現することを目的とする。

3. 研究方法

本研究ではまず組み立てラインのフローショップスケジューリング問題を解く。組み立てラインのスケジュールは組み立て時間に依存するが、それは部品がすべてそろった時である。一方、部品をいつまでに製造し終わればよいかは組み立てラインのフローショップスケジューリングから出力される組み立て開始時間によって決まる。本来はフローショップスケジューリング問題とジョブショップスケジューリング問題を統合し、統合スケジューリングを行うことべきであるが、現実世界ではそれぞれ独立にスケジューリングを作成するだけでなく、多くの場合MRP

によって最終製品の基準生産計画（MPS）から部品構成表（BOM）と部品加工のリードタイム（時間単位は事前に決めるタイムバケット）に基づいて展開され、部品加工の終了時間が決まる。学術的にもスケジューリングを行う手法は組み合わせ爆発を回避するために、フローショップスケジューリングの手法とジョブショップスケジューリングの手法で分離されている。

分離独立したスケジュールを作成してもよいが、重要なことは二つのスケジューリングの結果が同期化することである。本研究ではこの同期化に着目し、同期化を目指してフォワードスケジューリングとバックワードスケジューリングを行うと同時に、同期化が崩れた時にはそれを補うための安全在庫を設定する方法を構築する。

具体的には、先に組み立てのフローショップスケジューリングを行うバックワードスケジューリング手法、先に部品のジョブショップスケジューリングを行うフォワードスケジューリング手法で全体のスケジューリングを作成する。この時、バックワードスケジューリングの結果とフォワードスケジューリングの結果に乖離が生じる。この乖離を減らすために、バックワードの次にフォワード、その次にバックワードスケジューリングを行い、二つのスケジューリングの結果の乖離を最小限まで落とす。最後にこの乖離を用いて安全在庫水準を決定する。スケジューリングを行うアルゴリズムには汎用オプティマイザーソフト Optseq (Logopt 社)を使用した。

4. 研究成果

本論文では、提案モデル1として、部品加工工程と製品組立工程を同期させた生産スケジューリングの作成方法を提案した。また、提案モデル2として実際の工作機械の製造現場を考慮した実用的なモデルを提案し、大規模問題として適用した。数値実験1では、提案モデル1と従来モデルの比較を行った。数値実験1-1は、提案モデル1においてボトルネック志向の納期で、数値実験1-2は、提案モデル1において総生産能力志向の納期で行った。数値実験1-3は、部品加工工程と製品組立工程を同期化しない従来モデルにおいて、決められた納期で行った。結果、提案モデル1は、部品の中間在庫と段取りコストを削減できることを示した。特に、機械の生産能力に余裕があるときには安全在庫を大幅に削減できることが分かった。また、完了時刻については、納期を守って納品することを条件として、提案モデル1において部品加工と製品組立の同期化を行うことにより、メイクスパンを最短にするだけでなく、安全在庫も最小にすることで全体最適な生産スケジューリングを作成することができた。数値実験では、組み立て工場の実データを参考に、大規模問題を生成し、それを用いてスケジューリングを行った。その結果、2530個の部品のすべての工程における開始時刻と終了時刻を最適に定めることができた。

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 0件）

1. 著者名 Abir TRABELSI, Hiroaki MATSUKAWA	4. 巻 72
2. 論文標題 Commitment Option Contract Selection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Industrial Management Association	6. 最初と最後の頁 234-244
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11221/jima.72.245	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 Ting WANG, Guixiang JIN, Hiroaki MATSUKAWA	4. 巻 73
2. 論文標題 Research on Product Platform Configuration with Module Options	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Industrial Management Association	6. 最初と最後の頁 92-103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11221/jima.73.92	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 Ting WANG, Jian WANG, Hiroaki MATSUKAWA	4. 巻 16
2. 論文標題 Integrating optimal configuration of product platform and supplier selection in mass customization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	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） 10.1299/jamdsm.2022jamdsm0060	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 Ting Wang, Jian Wang, Guixiang Jin & Hiroaki Matsukawa	4. 巻 60
2. 論文標題 Product platform configuration decision in NPD with uncertain demands and module options	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Production Research	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00207543.2022.2127962	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 Abir TRABELSI, Hiroaki MATSUKAWA	4. 巻 72
2. 論文標題 Commitment Option Contract Selection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 245-258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.72.245	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 松本 卓夫, 久保寺 静, 志田 敬介, 松川 弘明	4. 巻 72
2. 論文標題 プロセスチェーン工場における2工程ライン設計問題に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 65-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.72.65	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 Guixiang JIN and Hiroaki Matsukawa	4. 巻 17
2. 論文標題 A Research on an Integrated Model of Load Balancing and Job-shop Scheduling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Innovation and Supply Chain Management	6. 最初と最後の頁 171-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14327/iscm.17.171	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 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 柴李路欣, 松川弘明
2. 発表標題 フローショップスケジューリング問題とジョブショップスケジューリング問題の同期化に関する研究
3. 学会等名 日本経営工学会生産物流部門産学連携交流会
4. 発表年 2022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
---------	---------