

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510172

研究課題名(和文)生産計画とスケジューリングに対する漸進的アプローチ

研究課題名(英文)Progressive approaches to planning and scheduling of production systems

研究代表者

森川 克己 (MORIKAWA, Katsumi)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10200396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：製造企業の競争力強化を生産計画やスケジューリングの分野から支援することを目指し、現状を少しずつ望ましい姿へ変化させていく漸進的な取り組みの1つとして、受注生産の中に見込み生産を部分的に取り入れることの効果を実験的に明らかにした。また、2工程生産システムの生産計画をそれぞれの工程の担当者が作成する状況を想定し、担当工程の生産性を向上させることのできる担当者であれば、システム全体の一括最適化よりもよいパフォーマンスを示す場合のあることを数値実験で示した。

研究成果の概要(英文)：To improve the delivery performance of make-to-order companies, introducing make-to-stock policies in upstream stages is investigated. The number of stages with make-to-stock production can be increased progressively by confirming the performance and resolving related issues. Then, the role of production planner is investigated in a two-stage production system. It is assumed that the planner of a stage can realize higher production efficiency. The developed local optimization model is compared with a global optimization model, and it is observed that the local optimization outperforms under the limited capacity condition in the first stage.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：生産計画 スケジューリング 人間 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

製造企業は厳しい国際的競争環境に置かれており、さらなる生産の効率化が求められている。このような企業の支援を目的として経営工学や生産工学分野を中心に数多くの学術研究がなされているものの、実際の問題解決に必ずしも有効利用されているとは限らないことを実務家へのインタビューなどから感じており、さらなる取り組みが必要であると認識していた。

2. 研究の目的

上述した理論と実務のギャップを小さくするための取り組みの着眼点はいくつか考えられるが、本研究では特に以下の点に着目した。

- (1) 製造企業では日々の生産活動を滞りなく行うことが最優先されるため、たとえ大きなパフォーマンス改善が期待できるといわれても、現状の仕事の進め方や物の流し方を激変させる方法論は採用しにくい。そのため、現状を少しずつ望ましい状態へと近づけていく漸進的な取り組みを支援するアプローチがしばしば必要とされている。
- (2) 生産計画やスケジューリングに人間が能動的に関わっている場合、その役割をモデル化して一体化した形で取り扱うことが重要と考えられる。しかしながら、人間の役割は多様であり定量化が難しいこともあって、依然として研究途上にある。
- (3) 現実的問題の解決を目指した多くの学術研究成果が実務家に十分に伝わっているとはいえず、成果が有効に利用されていない恐れがある。

このような問題意識のもとで、本研究では以下の3つの目的を設定した。

- (1) 生産計画やスケジューリングにおける人間の役割の数理モデル化
- (2) 漸進的生産計画・スケジューリングの数理モデル化
- (3) 研究成果のウェブによる公開

3. 研究の方法

生産計画やスケジューリングにおける人間の役割は、ある製造企業の工程をモデル対象として選び、これを2工程生産システムとしてとらえ、計画立案や調整を担う人間の役割をモデルの中に取り入れる。このような環境において、計画担当者間での情報交換のあり方や、生産効率と総費用への影響をモデル化することで、人間の役割を部分的にはあっても数量的に明らかにする。

漸進的に現状を望ましい姿に変えていく取り組みの支援については、受注生産形態を本来の姿とする企業において、競合他社との受注獲得競争で優位に立つために、受注から納品までのリードタイム短縮を実現することを目的として、部分的に見込み生産を取り入れる問題に着目した。すなわち、まず初工

程のみに見込み生産をまず導入し、その効果を確認してから、見込み生産を適用する工程を少しずつ広げていくという漸進的なステップアップを支援するものである。本研究では対象生産システムを多段階の直列型とし、見込み生産の方針ならびに見込み生産品の顧客注文への引き当て方策をいくつか用意したもとの、それらの組合せに対するパフォーマンスをシミュレーションによって明らかにする。

成果のウェブによる公開については、研究代表者が地場の加工食品製造企業との生産計画関連の勉強会に参加できる機会を与えていただいていることを踏まえ、まず加工食品製造企業での生産計画やスケジューリング問題に着目する。加工食品製造企業が直面している問題の特徴や、これまでに開発されている問題解決法について整理する。また今日の問題への関心の高まりを踏まえ、使用済み回収製品の再利用に関連する研究にも対象を広げていく。

4. 研究成果

人間の役割の数理モデル化については、部品加工工程と製品組立工程それぞれに計画担当者が割り当てられている2工程生産システムを対象とした。各担当者は自身が担当する工程を熟知しており生産効率の高い計画を立案できるが、他方の工程の都合を適切に考慮することは容易ではないとする。そのため、両工程の計画を必要に応じて調整するモデルも定式化した。このような分担型の計画法のパフォーマンスを検討するために、両工程を含む1つの全体最適化モデルも構築した。この際、全体最適化モデルでは各工程の能力を十分には引き出せないことを仮定した。各工程の生産能力に2つのレベルを用意して実験したところ、部品加工工程の生産能力制約が厳しい場合に分担型が好ましいパフォーマンスを示すことが明らかとなった。ただし、お互いの情報交換が不完全な場合にはこの環境下でも優位性が失われており、計画作成を分担した際にお互いが正確な情報を共有することの重要性を明らかにした。また、部品加工工程に最低稼働率を定めるとともに、製品組立工程の平均的な先行生産量情報を受け取ることで、分担型のパフォーマンスの向上が実験的に確認できた。現実の環境でも計画担当者間で種々の情報交換がなされていると見受けられることより、上述の項目は計画担当者間での情報交換や計画立案時に留意すべき事項と考えられる。

ここで検討した2工程生産システムにおける計画担当者の情報交換は、相手側には見えにくい情報をお互いに補い合うことで、全体としてよりよいパフォーマンスを達成しようとする構造と見なすことができる。つまり、自身の担当エリアを近視眼的に最適化する際に、全体的な視点につながる情報を相手側から受けるものである。このような枠組み

がスケジューリング問題に効果的に適用できないかという着想のもと、ジョブショップのメイクスパン最小化という古典的問題を選び、双方向探索の適用を試みた。すなわち、通常のスケジューリング手法は時間軸に沿って少しずつスケジュールを構築していくものと見なせるが、これに対して、処理要求を逆順に設定して時間軸をさかのぼるようにスケジュールする方法を用意し、両者が適宜情報交換することで、自身の探索状況を適宜見直すものである。状況に応じて探索を再び最初から始める方法を導入することで探索プログラムが簡潔になり、情報交換によって下界値や有望な探索経路情報を得ることで、効率的な探索が実現できる場合のあることを、従来方法との比較実験から明らかにした。スケジューリングにおいて双方向探索という方法はあまり注目を集めていないようであるが、さらなる工夫を織り込める余地が残されていると考える。

顧客からの注文を受けてから製品を完成させるまでの製造リードタイムを短縮する方法が課題となっている受注生産企業は少なくない。同一の原材料が多段階の直列型生産ラインの最上流工程に投入され、各工程での処理を経て顧客の注文に対応した多様な最終製品が最下流工程から送り出される生産環境において、上流工程に見込み生産を部分的に組み入れていくことでリードタイムの短縮を実現するという漸進的な取り組みを提案した。多くの工程において、単位期間の処理量は作業負荷の増加とともに増加するものの、最大処理量を実現することは実質的に不可能であるという特性が見受けられる。この非線形な関係を clearing 関数で表すという従来研究成果を取り込み、作業負荷を増やすことは処理量の増加につながるものの、滞留も生じやすくなってリードタイムが長くなるリスクも増加するという生産システムの一般的性質を組み入れた。顧客注文に引き当て可能な見込み生産品の選び方や見込み生産品の補充方策を組み合わせたシミュレーション実験より、工程の生産能力制約が比較的厳しい環境では積極的に見込み生産品を注文に引き当てること有益であることが確かめられた。また、生産能力を増加させた状況では作業負荷に注意を払って見込み生産品を注文に引き当てる必要のあることも明らかにした。

受注生産環境では、品種切り替え時に長時間の段取り替え作業を要する場合も多い。上述の研究ではこの段取りに要する作業の存在を無視できるものとしてモデル化したが、段取り作業が無視できない環境においては、周期的な生産品目切り替え方策を導入した。これにより、各品種が生産対象となる期が定まり、顧客の要求するリードタイムを実現するためにどの工程の見込み生産品を当該注文に引き当てること有益かの判断が容易となるとともに、生産現場においても安定的

な生産が実現できるというメリットが生じる。数値実験によって、段取り作業が無視できない環境においても、受注生産の中に見込み生産を取り入れることの効果が確認できている。注文内容に大きな偏りが無い環境下では周期的生産が有益な方策であることを確認した。

研究成果の公開については研究方法で述べたように加工食品製造環境にまず着目した。他の製造業との主要な違いを整理し、効率的な生産を実現するうえで数理計画法を中心とする最適化技法が有益であることを紹介した。段取り作業の存在が無視できない場合の多い環境であり、組合せ最適化技法の活用が効果を発揮することが期待できることを訴えている。また、回収製品を分解して再利用可能な部品を得る作業については、組立作業と逆の特徴をもつこと、回収製品の品質が安定しておらず、必要とする部品量の確保を経済的に行うための方策が重要であることに着目した。特に後者については現実の多様な環境を扱ううえでシミュレーションが有益であり、簡便な方法が企業ニーズに合致しているとの認識に基づき、シミュレーションに基づく近似最適化手法の開発へと展開した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

1. Katsumi Morikawa, Katsuhiko Takahashi, and Daisuke Hirotsu, "Make-to-stock policies for a multistage serial system under a make-to-order production environment," *International Journal of Production Economics*, 査読有, Vol. 144, 2014, pp. 30-37.
DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.02.016

〔学会発表〕(計9件)

1. 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, "需要と歩留まりの不確実性を考慮した回収製品の分解計画に対するシミュレーションアプローチ", 日本経営工学会 2014 年春季大会, 2014 年 5 月 17 日, 東京理科大学.
2. Katsumi Morikawa, Katsuhiko Takahashi and Daisuke Hirotsu, "Make-to-stock policies for a make-to-order serial production system with setup operations," *The 14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2013)*, December 5, 2013, Cebu, Philippines.
3. 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, "クリティカルパス情報を用いた双方向探索によるジョブショップのメイクスパン最小化", 日本経営工学会平成 25 年度秋季研究大会, 2013 年 11 月 16 日, 日本工業大学.

4. 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, “ 双方向探索を用いたジョブショップのメイクスパン最小化 ”, 日本経営工学会平成 25 年度春季大会, 2013 年 5 月 19 日, 慶應義塾大学 .
5. Katsumi Morikawa, Katsuhiko Takahashi, Daisuke Hirotani, “ Global optimization versus human-operated local optimization for a two-stage production system, ” The 13th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2012), December 4, 2012, Phuket, Thailand.
6. 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, “ 2 工程生産システムに対する工程単位の生産計画立案と調整 ”, 日本経営工学会平成 24 年度秋季研究大会, 2012 年 11 月 18 日, 大阪工業大学 .
7. 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, “ 2 工程生産システムに対する生産計画の分担と調整 ”, 日本経営工学会平成 24 年度春季大会, 2012 年 5 月 27 日, 法政大学 .
8. 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, “ 2 工程生産システムに対する分担型と統合型の生産計画 ”, 日本経営工学会平成 23 年度秋季研究大会, 2011 年 11 月 12 日, 岩手県立大学 .
9. Katsumi Morikawa, Katsuhiko Takahashi, Daisuke Hirotani, “ Make-to-stock policies for a multistage serial system under make-to-order production environment, ” The 21st International Conference on Production Research, August 4, 2011, Stuttgart, Germany.

〔その他〕

ホームページ

www.pit.hiroshima-u.ac.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森川 克己 (MORIKAWA, Katsumi)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：10200396