

平成22年 5月17日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007 ～ 2009
 課題番号：19510149
 研究課題名（和文） 製造業における協働的階層型スケジューリング
 研究課題名（英文） Collaborative and hierarchical scheduling in the manufacturing industry
 研究代表者
 森川 克己（MORIKAWA KATSUMI）
 広島大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：10200396

研究成果の概要（和文）：製造業におけるスケジューリングにおいて3種類の環境における新たな解法を提案した。次に、階層的計画立案や計画調整にかかわるモデルの構築を行った。2工程生産システムでは、下流から上流へ順に計画を立案していく状況での階層的スケジューリングや上流から下流への協働的な計画調整をモデル化し、加えて、各工程を異なるスケジューラが担当することが有益な場合のあることを実験的に確認した。また、人間スケジューラの役割のシステムダイナミクスによるモデル化と評価も行った。最後に、作業者の技能レベルの階層性を考慮した生産計画ならびにスケジューリングと再スケジューリング法を提案した。

研究成果の概要（英文）：This study proposes new solution procedures for three different production environments. For the hierarchical production planning and schedule coordination, several models are developed. In a two-stage production system, the planning flow from the downstream stage to the upstream stage is assumed, and hierarchical planning models and collaborative coordination mechanisms between stages are proposed. In addition, assigning an expert planner in each stage is shown to be favorable under the assumed conditions. The role of human schedulers are also modeled and evaluated via system dynamics. Finally the planning, scheduling and rescheduling models under hierarchical skill levels of workers are developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：経営工学

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：生産管理，生産計画，スケジューリング，階層的問題，人間，ヒューリスティック，最適化

1. 研究開始当初の背景

| 本研究に先立ち，製造企業の実務担当者

者にインタビュー調査を実施した。その目的は、製造企業の生産管理担当者の意思決定を効果的に行うための方法論を学術的な立場から検討することであった。調査の結果、多様な業種や製造環境の中で比較的共通性のある特徴の1つとして、生産計画やスケジューリングの活動が、人間とコンピュータが複雑に関係した協働的かつ階層的構造であることが挙げられる。すなわち、計画業務は実際には複数の計画者が直接・間接的に階層構造で関与しており、上位に位置するスケジューラが中心となり、より望ましい計画をたてるために下位の計画者と協働的関係を構築している。協働的という言葉は、このことに加えてもう1つの意味も含む。それは、計画業務が人間とコンピュータとの協働的作業であるということである。一般にはどちらか一方のみで計画が立案されることはなく、両者がお互いの弱さを補うように働いている。しかしながら、このような現状を対象とした学術的な研究は十分とは言えず、上位の計画者はどのくらい詳細なレベルまで計画を立てるべきなのか、どの程度までをコンピュータの処理に委ねることが望ましいのか、といった質問を実務家から受けても、学術的には答えがないことに気づかされたことが、本研究に取り組む動機付けとなっている。

2. 研究の目的

上述の背景のもと、本研究では以下の2つの主項目について取り組むことを目的とする。

(1) 上位と下位のスケジュールの協働的な意思決定のあり方の研究

上位はどの程度の詳細レベルまでを決定し、下位にどの程度の決定を委ねるべきかは状況に強く依存する。繰り返し性の強い、安定的な環境であれば、上位がほぼすべてを決定することが望ましいであろうし、逆に、繰り返し性が低かったり、現場の不確実性が強い環境では、上位で詳細なレベルを決定しても、現場がその計画通りの生産活動を行えるとは限らない。後者の場合、ある程度工程間の依存度を弱め、上位では比較的大まかな計画を与え、下位が状況に応じた計画を立案できる余裕を残すべきであろう。また、下位は必ずしも受け身的な立場ではなく、上位のスケジューラに対して働きかけをすることで、全体として望ましいスケジュールが得られるような仕組みが必要とされている。このような上位と下位がそれぞれどのような意思決定を担当すべきかについて、いくつかの生産環境を想定し、主として理論的な立場から論究する。

(2) 人間とコンピュータとの協働的役割分担

今日の多くの意思決定は、コンピュータに

よる意思決定が不可欠になっている。スケジューラは多くの場合、コンピュータシステムを使って意思決定を行うが、すべての情報がコンピュータで処理できるわけではなく、人間が判断を行うことがより現実的な要素も多く存在する。この際、どこまでをコンピュータに任せ、どこから人間が担うことが望ましい姿なのかを、具体的な環境を参考にしつつ明らかにする。この際、実務家の意見も多めに参考にする。

3. 研究の方法

大きく3つの方向から研究を実施する。

- (1) 個々のスケジューリング問題自体に対し、更なる高度化に向けた理論的検討を行う。
- (2) 工程間の生産計画の階層性や両者の生産計画の調整方法の検討を行う。
- (3) 生産計画やスケジューリングにおける人間の役割りのモデル化と分析を行う。

まず(1)のスケジューリングの方法論については、(i) 厳密最適化を志向した近似最適化手法の検討、(ii) 運用のしやすさから実際の生産環境で関心の高いディスパッチング規則に対する検討、(iii) 生産環境に存在する不確実性をふまえ、それらの不確実な要因の実現値に影響を受けにくいスケジュールの求め方、の3つの観点から取り組む。それぞれの方法論の前提条件や制約などが異なることより、それぞれ異なる環境を対象とする。

次に(2)については、まず、ロット生産工程と組立工程からなる2工程生産システムを対象とし、それぞれの工程に対する生産計画を順に立案しつつ、組立工程からロット生産工程へと計画を伝えていく環境を対象とし、数理計画問題への定式化と数値計算による分析を行う。この際、実際の環境では計画立案に人間の関与があることを踏まえ、その存在を加味したモデル化を併せて行う。また、作業者の技能レベルも生産計画やスケジューリング決定において考慮すべき重要な要素となっている。注文数量や納期の変更などが生じた際の再スケジューリング法を含む一連の数理計画モデルの構築を行う。

最後に(3)についてはシステムダイナミクスを用いたモデル化を通して、人間の関与がシステムのパフォーマンスにどのような影響を与えるのかを分析する。

4. 研究成果

研究方法に述べた3つの方向に沿って、研究成果を述べる。

(1) スケジューリング方法の更なる高度化

- (i) 組み合わせ最適化問題であるスケジュー

ーリング問題に対する最適化志向の解法として、分枝限定法に着目し、ジョブショップのメイクスパン最小化を柔軟な探索によって実現するフレキシブル分枝限定法を提案した。分枝の際に生成される子問題候補を双方向リストで保存するとともに、現在の最良解を参考にしてバックトラック先を決定する2つの方法を提案した。提案方法は、十分な計算時間を費やすことで最適性の保証が理論的には可能となる一方で、バックトラックにおける柔軟性によって、最良解をより早く見つけ出すことを目指したものとなっている。提案法による探索の高速化をベンチマーク問題への適用を通して確認した。

(ii) 問題の規模や不確実性の存在などより、厳密な最適化手法が適用しにくい生産環境として、半導体製造などに見られるリエントラントラインに着目した。1つのジョブが複数回同じワークステーションを訪問する場合が存在するため、ワークステーションから見たとき、多数の処理待ちジョブの中から次にどのジョブを選ぶかをその都度高速に決定する必要があり、従来から種々の優先規則が提案されている。本研究では公平待ち行列の考え方を採用し、各待ち行列に対して重みを与え、その重みを踏まえつつ各待ち行列を公平に扱うことで、ラインの生産性を高めることを試みた。代表的なルールであるSPT, FCFS, FBFS, LBFSと比較したところ、提案法は常に最良とは言えないものの、安定して上位に位置することが確認された。

(iii) 加工する対象物の状態や加工担当者の違いなどによって、処理時間がばらつくことは実際の生産環境では少なくない。しかしながら、それらの処理時間のばらつきを陽に考慮した最適化は複雑な方法論となりやすい。そこで、最悪の処理時間が実現しても、その際の最適意思決定からの差異ができるだけ小さくなるようなスケジューリングを求めようとするロバストスケジューリングが関心を集めている。しかしながら、このままではほとんど発生しないシナリオに備えたスケジューリングを生成する可能性がある。本研究ではこのようなロバストスケジューリングの問題点に対し、各ジョブが共通の同一納期をもつ1機械スケジューリング問題に着目した。シナリオの生成確率を陽に考慮しない状態で求めたシナリオが、シナリオの集合が削減された状態でも依然として好ましいスケジューリングとなる場合が多く存在する場合のあることを7ジョブ環境において実験的に確認した。これは、スケジューリング作成において、それぞれのシナリオの生起確率に影響を受けにくいスケジューリングを求めるという点において好ましいものと言える。

(2) 工程間の生産計画の階層性や両者の生産計画の調整方法の検討

まず、ロット生産工程と組立工程の2工程から構成される生産システムを対象とした生産計画のモデル化を行った。ロット生産工程では段取り替えに要する時間が制約となっており、ある程度の量を一度に生産する必要があり一方で、組立工程は顧客の多様な需要に柔軟に対応するためにすべての製品を少しずつ生産できると仮定する。製品組立計画をまず立案し、それを実現しうるロット生産計画を作成するという計画フローの中で、各工程における階層的な生産計画モデルを構築した。さらに、ロット生産工程の都合を考慮した製品組み立て計画を求めるためのフィードバックモデルを構築した。これは最適化理論よりもむしろ実際に計画担当者が行っている交渉手順を参考としたものである。これら一連のモデルを部分最適化モデルと呼ぶこととする。理論的には対象工程をすべて包括した全体最適化モデルも構築できることより、部分最適化モデルと全体最適化モデルの比較を実験的に行った。その結果、ロット生産工程の組み合わせの性質や計画期間を毎期ずらしていくことが影響して、全体最適化モデルが必ずしもよい結果を与えとは限らないことを確認した。さらに、工程ごとに計画を立案する部分最適化は、各工程の状況を熟知した計画担当者の存在を仮定している。このような計画担当者は工程のもつ能力を最大限に引き出すことができると仮定し、全体最適化では各工程の潜在的な能力を一部引き出せないと設定すると、部分最適化モデルが常に低費用な計画を導いた。これらより、対象としている環境において各工程に計画担当者を配置する現在の方法は、仮定した環境下のもとでは合理的なものと考えられることを確認した。

また、作業者の技能のレベルに基づく生産計画とスケジューリング、ならびに注文の変化に伴う再スケジューリング法について研究を行った。作業者の技能水準によって、処理できる注文種類が異なることを踏まえ、注文の変化を見越したスケジューリングならびに再スケジューリング法を提案し、実験的にそれらのパフォーマンスを比較したところ、注文変化に備えて技能の高い作業者の生産能力をゆるやかに確保する方法が平均的には好ましいことを確認した。

(3) 生産計画やスケジューリングにおける人間の役割りのモデル化と分析

生産計画やスケジューリングにおける人間の役割りの重要性は認識されているが、それを整理して具体的なモデルに表すことは、人間の役割りの明確化において重要と考えられる。そこで、生産計画とスケジューリングをそれぞれ異なる人間が担当する環境において、それぞれが状況に応じた意思決定を行う状況をシステムダイナミクスによってモデ

ル化した。特に生産環境が不安定で不確実な要素が含まれる状況において、将来を見越した意思決定による負荷の平滑化や、現場や営業部門との情報交換による不確実性の低減において、人間の役割の重要性が認められた。

これら一連の研究においては、数学的な議論が行えるようなモデル化が中心とならざるをえず、直接的な考慮ができなかった要素も少なくない。人間の関与を明示的に研究することの重要性は研究発表を通して他の研究者や実務家からも指摘を受けている。今後は各モデルの更なる充実を目指すとともに、実際の生産環境とリンクさせることで、研究当初の課題の解決により近づくことを目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- (1) Katsumi Morikawa and Katsuhiko Takahashi, A flexible branch and bound method for the job shop scheduling problem, Industrial Engineering & Management Systems, 査読有, Vol. 8, No. 4, 2009, pp. 239-246.
- (2) Katsumi Morikawa Katsuhiko Takahashi, Daisuke Hirotsu and Takayuki Kataoka, Reentrant line scheduling using weighted fair queuing, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol. 60, No. 3E, 2009, pp. 183-190.

[学会発表] (計7件)

- (1) 森川克己, 高橋勝彦, 広谷大助, 作業者の技能の階層性を考慮した生産スケジューリングと再スケジューリング, 日本経営工学会平成22年度春季大会, 2010年5月15日, 東京都千代田区
- (2) 森川克己, 高橋勝彦, 2工程生産システムの生産計画における局所最適化と全体最適化, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会2010, 2010年3月15日, 東京都新宿区
- (3) Antrawan Junaputra, Katsumi Morikawa, Katsuhiko Takahashi, Daisuke Hirotsu, Production planning and scheduling for multi-site manufacturing by considering hierarchical workforce, The 20th National Conference of Australian Society for Operations Research, 2009年9月28日, ゴールドコースト, オーストラリア
- (4) Katsumi Morikawa and Katsuhiko Takahashi, A flexible branch and bound method for the job shop scheduling

problem, The 9th Asia-Pacific Industrial Engineering & Management System Conference, 2008年12月5日, バリ, インドネシア

- (5) Katsumi Morikawa and Katsuhiko Takahashi, Collaborative production planning for a two-stage production system, The 15th International Symposium on Inventories, 2008年8月23日, ブダペスト, ハンガリー
- (6) 森川克己, 高橋勝彦, 確定的環境における2工程生産システムの生産計画に関する研究, 日本経営工学会平成19年度秋季研究大会, 2007年10月21日, 北海道小樽市
- (7) Katsumi Morikawa and Katsuhiko Takahashi, Analysis of the human role in planning and scheduling via system dynamics, The International IFIP TC5, WG 5.7 Conference on Advances in Production Management Systems, 2007年9月18日, リンシェーピング, スウェーデン

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.pse.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・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 10200396

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: