

氏 名	テイ 程	キン 金	リョウ 良
学位(専攻分野)	博 士	(工 学)	
学 位 記 番 号	博 甲 第 151 号		
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
研 究 科・専 攻	工学科学研究科 情報・生産科学専攻		
学位論文題目	Studies on Optimal Scheduling Problems for Automated Manufacturing Systems		
審 査 委 員	(主査) 教 授 木 瀬 洋		
	教 授 山 本 鎮 男	教 授 三 宮 信 夫	

論 文 内 容 の 要 旨

近年の計算機及び数値制御技術の急激な進歩は多種少量生産を目指した柔軟な自動生産システムの実現を可能にしている。その代表例が MC (Machining Center) などの多種加工機とそれらを結ぶ AGV (Automated Guided Vehicle)、ロボットなどのマテリアルハンドリングシステムからなる FMS (Flexible Manufacturing System)、FMC (Flexible Manufacturing Cell) 及びロボティクスセル (Robotic Cell) などである。現在、このような自動生産システムを効率よく運用するために最も重要で、かつ、最も困難な問題は、多種の製品の加工日程を決定する計画問題、すなわち、スケジューリング問題であると言われている。従って、このような自動生産システムに対するスケジューリング問題は、オペレーションズ・リサーチ、経営工学、機械工学、システム工学、情報処理工学、人工知能工学などにおいて最も注目を浴びている研究テーマの一つである。

本論文は特に、このような自動生産システムの特徴の一つである AGV やロボットによる搬送に注目し、これらに関する以下のスケジューリング問題を検討している。

1. 中間作業を伴う 2 機械自動生産システムの最適スケジューリング問題；
2. 順列型フローショップスケジューリング問題；
3. m -機械フローショップ型自動生産システムの最適スケジューリング問題；
4. フレキシブルフローショップスケジューリング問題。

本論文はこれらの問題を組合せ最適化の立場から論じている。すなわち、まず、各問題を計算複雑さの観点から、効率よく解ける問題とそうでない (NP 困難な) 問題に分類する。効率良く解ける問題に対しては多項式時間オーダの厳密解法を与えている。NP 困難な問題に対しては分枝限定法による厳密解法またはヒューリスティックに基づく近似解法を提案し、それらの性能を数値シミュレーションなどによって検証している。

本論文は 7 章からなり、それらの概要は以下のとおりである。

第 1 章では、上記の四つのテーマを中心に自動生産システムのスケジューリング問題の最近の研究を概観している。

第 2 章では、スケジューリング問題の定義、スケジューリング問題に対する基本的な方法論の基本原則を述べている。

第 3 章では、中間作業を伴う 2 機械自動生産システムの最適スケジューリング問題を論議している。このシステムにおいて 2 機械間に配置された中間ステーションは仕掛かり用バッファの役割を果たすと共に、

洗浄などの中間作業を行う。本章ではこのシステムに対し中間作業時間が部品に依存する2機械フローショップ型スケジューリング問題を定式化し、 $O(n^2)$ 時間の最適アルゴリズムを提案している。また、このシステムの特珠な場合である中間ステーションが1台の機械に隣接する場合、 $O(n \log n)$ 時間の最適アルゴリズムを提案している。これらはいずれも従来の結果の一般化あるいは改良となっている。

第4章では、古典的 m 機械フローショップスケジューリング問題を取り上げている。古典的 m 機械フローショップスケジューリング問題は組合せ最適化問題の典型例として今日でも活発に研究されている。また、多くのFMSオペレーションはフローショップとしてモデル化できるので、この問題はFMSなどでも重要である。しかし、この問題は(問題規模の多項式オーダーの計算量で)解けないことを強く示唆するNP困難問題に位置づけられている。実際、この問題に対して多数の分枝限定法が提案されているが、100部品を超えるような大規模問題を解くに至っていない。

本章では、まず、この問題の最適性に関する優越規則を見出し、これをファジィ化するという全く新しい手法を提案している。さらに、このようなファジィ手法を導入した分枝限定法を提案し、数値実験によってその性能を検証している。この結果、この分枝限定法は従来より1桁規模の大きい問題例に対して極めて高い確率で最適解を与えることを実証している。

第5章では、 m 台の加工セル、1台のAGV及びローディング、アンローディングステーションからなるフローショップ型自動生産システムに対し、最大完了時間を最小化する最適スケジューリング問題を論議している。このシステムは第3章の2機械自動生産システム及び第4章の古典的フローショップの一般化である。このような生産システムは現実のFMSの典型例と見なしうるにもかかわらず、スケジューリング問題に関する解析的研究例は少ない。本章ではまず、この問題を定式化した上で、近似的に古典的 $(m+1)$ 機械フローショップスケジューリング問題に帰着させ、この結果に基づいてファジィ近似を導入した分枝限定法を提案している。広範な数値シミュレーションによってファジィ近似がこのような拡張問題に対しても極めて有効であることを実証している。

第6章では、各工程が1台以上の同一機械を持つ多工程柔軟フローショップのスケジューリング問題を取り上げている。この問題はこれまでに最大完了時間最小化問題の研究がなされている。本章ではこれをさらに一般化し、各部品が準備時間と納期を持つ最大納期ずれ最小化問題に対する新しい近似解法を提案する。すなわち、元の問題を各工程の並列機械スケジューリング問題に分解し、それらをシフティングボトルネック手法によって解いていくことによって最終的に元の多工程問題の近似を得るというアプローチを提案している。また、並列機械スケジューリング問題に対しては問題の可逆性を利用した良いヒューリスティックを提案している。広範な最適解に近い近似解を与えることを実証している。

第7章は、本研究の結論であり、各章で明らかになった諸結果をまとめ、これに基づいて今後の研究課題を示唆している。

論文審査の結果の要旨

本論文は多種少量生産を目指した柔軟な自動生産システムに対するスケジューリング問題を論じている。

この様な自動生産システムでは柔軟な搬送、搬入及び搬出の自動化のために機械間に無人搬送車やロボットが介在していることが特徴である。この方面のスケジューリング問題は現在、スケジューリング研究の最もホットなトピックスとなっている。

本研究はスケジューリング問題を組合せ最適化の立場から解析している。すなわち、この立場から見て、効率良く解ける問題は極めて限られており、ほとんどはそうでない(いわゆるNP困難である)ことが知られている。本研究では効率的に解ける問題を新たに発見することに成功している。他方、NP困難問題に対してはファジィ推論に基づいた分枝限定法という新しい厳密解法を提案し、それによって従来よりも1桁以上規模の大きい問題例を解くことに成功している。また、各工程が並列機械からなるというより複

雑なシステムのスケジューリング問題に対してはボトルネック手法に基づいた新しい近似解法を提案し、それによって従来より近似度の高い解を得ることに成功している。

以上、本研究の成果は国際的水準に達している。また、実生産システムをモデル化している点から工学的価値が高いと認められる。

なお、本論文の成果の一部は、European Journal of Operational Research、電気学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会の各論文集及び3つの国際会議のプロシーディングに計7編掲載になっており、さらに、2編投稿中である。また、これらのうち6編において申請者が筆頭著者である。