

氏 名	り じゅんたお 李 軍 涛
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 4 6 1 号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	A Study on Scheduling Problems for Robotic Systems (ロボティクシステムのスケジューリング問題に関する研究) (主査)
審 査 委 員	教授 森脇一郎 教授 土屋八郎 教授 黒江康明 助教授 軽野義行 名誉教授 木瀬 洋

## 論文内容の要旨

本論文は、コンピュータ数値制御機器群を備えたフレキシブル製造システムを念頭に、搬送ビークルやロボットアームなどを主な構成要素とする自動搬送システムに注目したスケジューリング問題を研究対象としている。本論文は英文で書かれ、五つの章からなる。

第 1 章は、研究の目的と本論文の概要を述べている。まず 1.1 節では、多数の立体自動倉庫を有する物流拠点で見られる順列循環型搬送システムのスケジューリング問題を概観するとともに、関連する文献を調査している。1.2 節では、フレキシブル生産セル (FMC) の実際的なモデルである 2 機械ロボティク・フローショップのスケジューリング問題を概観するとともに、関連する文献を調査している。1.3 節では、本論文の構成を示している。

第 2 章は、本論文の主要テーマであるスケジューリング問題を組合せ最適化問題としてとらえ、それに対する最適化アプローチの概要を述べている。まず 2.1 節では、スケジューリング理論における代表的なシステム・モデル、制約条件及び目的関数を概観している。2.2 節では、問題の計算の複雑さに応じた基本的なアプローチの概要を示している。2.3 節では、近似アプローチの一つであるメタ解法の概要を述べている。これには、本論文で適用される遺伝的アルゴリズムも含まれている。

第 3 章は、順列循環型搬送システムについて議論している。まず 3.1 節では、搬送ビークル (ロボット) 間の干渉がシステムのスループット向上を阻害する要因であり、その回避が実際上の重要課題であることを指摘している。3.2 節では、順列循環型搬送システムの定義と、そのスケジューリング問題の定式化を行っている。3.3 節では、順列循環型搬送システムに解析の前提条件を導入し、無限加減速度を有するビークル間の干渉に関する基礎的解析を行っている。3.4 節では、ビークル・ルーティングに対する既存の二つの差立規則を紹介し、それらのスループットや平均待ち時間などに関する理論解析を行っている。3.5 節では新たに、システム定常状態下でのルーティング規則と、周回遅れが発生する非定常状態下での発見的な規則を提案している。3.6 節では、ビークルの加減速度を考慮したときの理論解析を行い、仮想的停止の概念を導入することによって、(近似的に) 有限加減速度を無限加減速度に置き換えることが可能であることを示している。3.7 節では、理論解析の結果の妥当性を計算機シミュレーションによって実証している。3.8 節では、

この順列循環型搬送システムに対するまとめの所見を述べている。

第4章は、2台の機械の間に中間ステーションを持つ2機械ロボティク・フローショップのスケジューリング問題を論議している。まず4.1節では、順列型に限らない一般のスケジュールを扱うことの重要性和難しさを指摘している。4.2節では、対象とするロボティク・フローショップでのジョブの処理過程を記述するとともに、使用される記号を定義している。4.3節では、遺伝的アルゴリズムの基本手順を示した後、これに基づいて、与えられた問題例に応じて非順列型スケジュールを優先的に生成することができる発見的手法を提案している。4.4節では、提案手法の性能を数値実験によって検証し、機械稼働率最大化（等価的に全処理完了時間最小化）と重み付き完了時間と最小化という二つの目的関数のそれぞれに対して、非順列型スケジュールを考慮することの有効性を実証している。4.5節では、この2機械ロボティク・フローショップ問題に対するまとめを述べている。

第5章は本論文の結論であり、ここでの研究成果を総括するとともに、この分野における将来の研究課題を示唆している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文の主たる研究対象は、ロボットが介在した物流システムとフレキシブル生産セルに対するスケジューリング問題である。すなわち、立体自動倉庫などの入出荷搬送システムとして、多数のロボット型ビークルが単一ループ上を巡回する循環型搬送システムを、また、フレキシブル生産セルとして、2台の（加工）機械と中間ステーションの間に搬送ロボットが介在する2機械ロボティク・フローショップを取り上げ、それぞれに対する最適スケジューリング問題を検討している。

循環型搬送システムのスケジューリング問題に対しては、過去の研究成果を含めて統一的な理論解析を行うとともに、新たに周回遅れの干渉に注目し、この干渉を軽減するルーティング規則を提案している。また、従来の解析は無限加減速度のビークルを前提にしていたが、本論文ではビークルの有限加減速度がシステムのスループットに及ぼす影響を評価するために、仮想的停止の概念を提案し、これによって有限加減速度システムを無限加減速度システムに帰着できることを示している。さらに、理論解析の結果の妥当性を計算機シミュレーションによって実証している。

2機械ロボティク・フローショップのスケジューリング問題に対しては、従来の（2台の機械での処理順序が同一である）順列型スケジュールのみならず非順列型スケジュールも考慮した方が、機械稼働率最大化（等価的に全処理完了時間最小化）や重み付き完了時間と最小化に効果があることを指摘した。これを実証するために、遺伝的アルゴリズムに基づいて、与えられた問題例に応じて非順列型スケジュールを優先的に生成することのできる発見的手法を提案し、その有効性を数値実験によって確かめている。

本論文の研究対象はいずれも実システムに基づいたものであり、それらに対するスケジューリングの最適化は、学術的な成果のみにとどまらず、実システムに対しても有益な情報を提供できるものと期待される。なお、本論文の成果の主要な部分は、以下の学術論文等（査読付）において公表されている。

(学術論文)

- 1) Juntao Li, Joe Kuwata, Mingzhe Lu, Hiroshi Kise and Yoshiyuki Karuno: Analysis and Optimization for Automated Vehicle Routing on a Single Loop, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 49 (2006), 202-221.
- 2) Takashi Uehata, Juntao Li, Yoshiyuki Karuno and Hiroshi Kise: Heuristic for a Non-permutation Two-machine Flow-shop Scheduling of Minimizing Total Weighted Completion Time, *Proceedings of 2006 ISCIE/ASME International Symposium on Flexible Automation*, Osaka, Japan, (2006), 503-509.

(紀要論文)

Juntao Li, Hiroshi Kise and Longyun Piao: On Optimal Vehicle Routing for Permutation Circulation-type Vehicle Routing System (in Chinese), *Journal of Soochow University (Engineering Science Edition)*, 24 (2004), 16-18.