

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	工作機械のマスカスタマイゼーションを実現する再構成可能な生産システムに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	井上真一
Author(English)	Shinichi Inoue
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12682号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:進士 忠彦,初澤 毅,吉田 和弘,田中 智久,赤坂 大樹,吉岡 勇人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12682号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	井上 真一		審査員主査： Chief Examiner	進士 忠彦

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

多様な仕様の工作機械は強固な製造産業の基盤である。工作機械は“道具としての機械”という使命を有しており、仕様が多岐に渡るため、ユーザ毎のカスタマイズが要求される。よって、工作機械の生産システムにおいては、同じ作業を繰り返す従来のマスプロダクション手法の適用が困難である。仮に、自動化システムを適用した場合、仕様毎に製造工程が変化してしまい、工程の負荷が変動し、自動化システムの工程負荷をバランスさせスループットを最大化させることが困難となる。このため、工作機械を生産する組立工場における生産システムは、人手による作業に頼っており、非効率となっている。 本研究の目的は、工作機械のマスカスタマイゼーションに対応するため、“多品種生産”と“自動化”の両立が可能な生産システムを提案し、その有効性を示すことにある。具体的にはワークセルを再構成しながら多様な組立を行う生産システムを提案し、実際の工作機械の加工セルおよび組立ラインのなかで効果的に自動化可能であることを実証している。 生産システムが柔軟性を備えると複雑性が増し、その管理が困難になる。この管理可能性の問題を解決する方法を提案した。具体的解決策として、多数のワークセルを物理的に分散させる代わりに、少数の AGV (Automatic Guided Vehicle) および Autonomous Mobile Robot を用いて、限られた物理的リソースから多数の仮想ワークセルを構成し、自動化設備の稼働率を上げ、効率的な自動化を実現した。Mobile Robot の特徴である自律的変容性を活かし、Mobile Robot と仮想ワークセルを組み合わせることで、異なる多数の工程から構成される多品種生産を可能にした。技術的課題の解決法として、Mobile Robot の要件、自律制御方法、精密位置決め方法等の提案を行い、それらを実装し、その効果を確認した。 次に工作機械の精密組立の自動化について提案を行った。工作機械の製造において“母性原理”を乗り越えることは不可能とされており、最終的に人によって“摺り合わせ”を行うことが必要とされている。このため、工作機械の製造は自動化が困難といわれてきた。本研究では、事前準備工程において人手による調整作業を完了させておくことにより、自動化システムで主要ユニットの組立を可能とした。大重量ユニットの組立においては、2 台のロボットによる協調作業によりクレーンレスによる自動組立を可能とし、多関節ロボットハンド状の視覚センサと力センサを用いることにより、はめ合いを含む精密組立を Mobile Robot によって実行可能とした。リニアガイド、ボールねじ等の真直度と平行度の調整は、あらかじめ加工プロセスで基準面の精度出しを行い、組立時に基準面を利用することで、精密な自動組立可能とした。また、多関節ロボットにおいて形状拘束するハンドを適用し、複雑な形状の部品を扱えるようにした。ボールねじテンション張り工程においては、レーザ測長器と減速機を用いて自動組立を可能とした。
--

柔軟な生産システムでは、スケジューリングにおける複雑性の増大を如何に管理可能な状態に持ち込むかが課題となる。変化するボトルネックに対して、システム自らが工程負荷の平準化を行える必要がある。本研究では、フレキシブルな機械加工セルとワークフローが激しい組立ラインを実例に最適化スケジューリング問題の解決方法を提案した。ジョブやリソースの組合せ最適化問題を解きメイクスパンを最小化させ、得られた最適なスケジューリングを実際の実生産システムに適用する。ただし、組合せ最適化問題では組合せ数が膨大となる問題があるため、解決策として量子アニーリングを用いたハイブリッドソルバーによって、組合せ最適化スケジューリング問題を解くことを提案した。対象とした機械加工セルおよび組立ラインについて QUBO 行列に適合した数理モデルを提案し、D-WAVE 社の量子アニーリングを用いた Leap Hybrid Solver (LHS) により、スケジューリング問題を解き、その有効性を確認した。

本研究では工作機械のマスカスタマイゼーションの実現のため、迅速に変容可能な自律自走型 Mobile Robot を用いた再構成可能な生産システムと、柔軟性が増した生産システムを管理可能とする仮想ワークセルの適用と、量子アニーリングマシンを用いた組合せ最適化スケジューリングの組合せにより、市場の求める「多品種少量生産」とマスプロダクションに匹敵するコスト実現のための「自動化」の両立する生産システムを提案した。そして、横型マシニングセンタの主要ユニット組立という工作機械の限定された生産の範囲であるが、その実装を行い、有効性を確認した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	井上 真一		審査員主査： Chief Examiner	進士 忠彦	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The manufacturing industry's capability to supply various machine tools is the foundation. Machine tools have the mission of being "a machine as a tool" and are required to follow the user's ideas. For this reason, the customization of machine tools for each user is required, but from the perspective of a production system, the process load changes depending on the specifications, making it challenging to maximize factory throughput by equalizing the process load. Even if conventional mass-production automation solutions were applied, operating the equipment efficiently would be challenging. Therefore, production systems of machine tools have a problem of depending on human manual work.

The purpose of this research is to propose a reconfigurable production system that is compatible with "high-mix production" and "automation" to respond to the mass customization of machine tools and to demonstrate its effectiveness. This research proposed a production system using a Mobile Robot that reconfigures a small number of work cells in response to frequent changes in the specifications and quantities of the target products and assembles the products with productivity equivalent to mass production.

As production systems become flexible, scheduling optimization requires many parameter combinations. It makes it challenging to manage the system. This research proposed applying a hybrid solver using quantum annealing. In the case of flexible machining cells, a mathematical model was proposed to solve the flexible job shop scheduling problem with tool switching constraints (FJSST). Even in assembly lines with intense workflows, the method was proposed to solve the scheduling problem for major units' assembly of horizontal machining centers.

The production system was constructed in an actual machine tools assembly line, demonstrating that various assembly tasks could be done effectively.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).