

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	井上真一		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	進士 忠彦	教授	審査員	赤坂 大樹	准教授
	審査員	初澤 毅	教授		吉岡 勇人	特定教授
		吉田 和弘	教授			
		田中 智久	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「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」と題し、緒論及び結論を含む全 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、近年の産業の多様化の進展に伴い、工作機械製造メーカに対してユーザ毎に工作機械の仕様変更等のカスタマイズが要求される傾向を述べている。特に 1990 年代後半より、多品種を生産しつつ大量生産と同程度の製造コストに抑えるマスカスタマイゼーションの傾向が顕著であることを述べている。さらに工作機械の従来の生産方式について整理するとともに、フレキシブル生産システムに関する学術研究や事例を俯瞰し、これらの生産方式では工作機械の仕様毎に工程負荷が変化してしまいスループットを最大化することが困難であるという課題を指摘している。以上の背景から本研究では、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」および「自動化」の両立を実現する再構成可能な生産システムを提案し、その有効性を示すことが目的であると述べている。

第 2 章「工作機械の再構成可能な生産システムのコンセプト提案」では、本研究で提案する新たな生産システムの概念について述べている。提案する生産システムでは、多様な仕様の工作機械を製造する際にボトルネックとなる工程に対して、搬送や組立てを担う数種類の無軌道台車（Automatic Guided Vehicle; AGV）をベースとした自律自走ロボット（Mobile Robot）を適用することで、工程負荷に応じて組立セルを動的に再構成し、工程間の生産能力を平準化している。このような生産システムを実現するためのハードウェアとして、各工程を担当する高い自立性および信頼性を有し、人と協働で作業を進める Mobile Robot の実現が不可欠であることを示している。さらに、柔軟に再構成可能な生産システムを運用するためには、Mobile Robot、搬送台車、並びに作業員などの配置および移動を最適にスケジュールするソフトウェアが必要であることを述べている。

第 3 章「工作機械の再構成可能な生産システムの実装」では、再構成可能な生産システムの前提となる高精度位置決めが可能な Mobile Robot に関して、具体的な設計および開発を行っ

ている。まず Mobile Robot に必要となる機能を整理した結果、全方向への移動を可能とするメカナムホイールを採用した駆動系、作業者と同じ空間での動作を可能とする協働型産業用ロボットアーム、衝突回避のための Light Detection and Ranging (LiDAR) および 3D カメラを用いた Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) を採用している。また全ての動作の基礎となる Mobile Robot の高精度位置決めの実現のため、画像ベースの広範囲移動用マップと位置決め用点群マップとを組み合わせることを提案し、位置決め誤差の標準偏差が 70% 低減され、目標である位置決め誤差 $\pm 5\text{mm}$ 以内を達成できることを実証している。これに伴い位置修正のための再位置決め動作が削減可能となり、プロセス完了時間の約 10% 短縮を実現している。

第 4 章「フレキシブル生産システムのスケジューリング」では、組合せ最適化問題を量子アニーリングマシンによって解くスケジューリング方法を提案している。量子アニーリングマシンにおけるハイブリッドソルバーを適用して組合せ最適化問題を解くために、Mobile Robot を備えた加工セルにおけるツールスイッチング制約を伴うフレキシブルジョブショップスケジューリング問題 (Flexible Job Shop Scheduling problem with Tool switching constraints; FJSST) の新しい数理モデルを提案している。構築した数理モデルをハイブリッドソルバーを使用して解いた結果、Python MIP ソルバーが計算時間 120 分で求めた解と比較して、計算時間 2 分で Makespan を約 51% 短縮するスケジュールを求めることが可能であった。また実際の生産現場で使用されるディスパッチングルールと比較しても平均約 8% の短縮が可能であることを確認した。以上の評価により、量子アニーリングを含むハイブリッドソルバーは、FJSST のスケジューリングに有用であることを示している。

第 5 章「結論」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題および更なる研究展望について述べている。

以上を要するに、工作機械の生産システムを対象に、「多品種生産」および「自動化」の両立によるマスカスタマイゼーションの実現を目的として、生産工程のボトルネックを解消する再構成可能な生産システムを提案し、実際に Mobile Robot による各種生産工程の自動化、および量子アニーリングを用いた迅速なスケジューリングを実現しており、本論文は工学上および工業上寄与するところ大である。よって本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」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。