

学 位 論 文 題 名

加工プロセスのモデル化に基づく工程設計に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、製造業の停滞による不況を打破するために、製造技術のさらなる高度化とともに、従来の製造技術の伝承のために暗黙知である製造知識の形式知化が求められている。すなわち、製造システムの高度化においては、生産システム等のハードウェアの高機能化とともに、生産にかかわる知識・技術・資源の再利用・再編集可能な形式での蓄積と交換を可能とする情報モデル化技術と、それを用いた生産準備支援システムが重要となる。生産準備アクティビティは、製品モデルから加工プロセスの選択、工作機械の選択、治具やデータ面の決定、加工順序の決定など素材から製品へ変換する全体的な生産工程に関する意思決定を行う工程設計、切削条件などの詳細情報を決定する作業設計、NCプログラムを作成するNCプログラミング、工程設計の結果から工場全体の生産スケジューリングを行う生産計画から構成される。このうち、生産準備の最初のアクティビティである工程設計において、製造技術のコンピュータ支援技術として早くからその重要性が指摘され、多数研究が行われてきたにもかかわらず、高度な自動化は進んでいない。

機械部品のフライス加工に対する従来の加工フィーチャを用いた工程設計システムにおいては、加工フィーチャと加工プロセス情報との関連づけが経験的で曖昧であるため、作業者の介入を必要とするなどの問題点があった。すなわち、加工フィーチャと加工プロセス情報との関連づけが経験的で曖昧である理由として、加工フィーチャ研究の多くは、Hole, Slotといった加工形状に基づく分類が中心であり、単に幾何学的な取り扱いの容易性から選択されており、その分類が加工プロセスとの理論的な関連性がないためである。従って、この問題を解決するために、製品設計データの解釈と加工プロセス選定の自動化を実現するための基礎理論構築が必要とされている。

本論文では、従来の加工フィーチャを用いた工程設計システム構築方法の問題点である、加工フィーチャと加工作業情報との関連づけが経験的で曖昧であるということの解決法として、形状創成関数が表現する数学的な加工プロセスを体系的にモデル化することにより加工プロセスモデルを構築し、それに基づき工程設計モデルを構築する方法論を提案した。具体的には、加工プロセスをV.T.Portmanらの提案した形状創成関数によりモデル化し、加工プロセスの入力情報、出力情報、参照情報を明らかにした。すなわち、工作機械の種類に依存しない入力情報モデルとして、マクロ工具、制御されたテー

ブル運動，包絡拘束式から構成する operating step を，素材に依存しない出力情報モデルとして，工具の作用を表すスweepマクロ工具，スweepマクロ工具包絡面，作用切刃から構成する working tool を提案することにより，入力情報と出力情報の関係が 1 対 1 となる排他的な分類を可能とした．また，加工プロセスのモデルとして operating step から working tool への変換アクティビティを提案し，その逆変換アクティビティとして工法割付作業を表す工程設計モデルを提案した．

次に，工程設計モデル構築のために，入力情報と出力情報の特徴を表すパラメータを抽出し，それに基づき加工プロセスをモデル化してパラメトリックな加工プロセスモデルと提案した．具体的には，パラメトリックな加工プロセスモデルにおける入力情報モデルである operating step のパラメータとして，マクロ工具の次元数，送り運動の自由度及び包絡拘束式数を提案した．また，出力情報モデルである working tool のパラメータとして，スweepマクロ工具，スweepマクロ工具包絡面，作用切刃のパラメータ数を提案した．さらに，それらの定義域を示し，加工プロセスが 15 種類存在することを示した．一方，operating step のパラメータと working tool のパラメータとの関係を 1 次式で表現する事により，工法割付規則の定式化を行いパラメトリックな工程設計モデルを提案し，具体例に適用することにより，パラメトリックな工程設計モデルの妥当性を検証した．

次に，実際の加工工程設計へ適用するため，パラメトリックな工程設計モデルから幾何情報を考慮した工程設計モデルへと拡張した．まず，入力情報と出力情報との関係を幾何学的観点から明らかにするために V.T.Portman らの提案した形状創成関数を用い，3 軸フライス工作機械の加工プロセスを数式にて表現し，operating step と working tool のベクトル表現の具体形を示した．次に，operating step と working tool のベクトル表現に基づき，包絡拘束式を用い，幾何情報を考慮した工法割付規則を導出し，パラメトリックな工程設計で示した点切刃工具と線切刃工具に対する 10 種類の加工法が，幾何学的な工程設計の観点から，16 種類に分類されることを示した．さらにパラメトリックな工程設計と幾何学的な工程設計とを考慮した operating step と working tool の情報モデル表現を EXPRESS-G にて示した．

最後に，提案した加工プロセスのモデルに基づく工程設計の具体的な適用例を通して，本研究の有効性を示した．

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	岸 浪 建 史
副 査	教 授	島 公 脩
副 査	教 授	土 谷 武 士
副 査	教 授	大 森 隆 司

学 位 論 文 題 名

加工プロセスのモデル化に基づく工程設計に関する研究

近年、製造業の国際的連携および製造システムの高機能化において、生産システム等のハードウェアの高機能化とともに、生産にかかわる知識・技術・資源の再利用・再編集可能な形式での蓄積と交換を可能とする情報モデル化技術と、それを用いた生産準備支援システムの構築が重要となってきた。生産準備の中核機能である工程設計において、コンピュータ支援技術導入の重要性が早くから指摘され、多数研究が行われてきたにもかかわらず、高度な自動化は進んでいない。機械部品のフライス加工に対する従来の加工フィーチャを用いた工程設計システムにおいては、Hole、Slot といった加工形状に基づく分類が中心であり、単に幾何学的な取り扱いの容易性から選択されており、その分類が加工プロセスとの理論的な関連性がないため加工フィーチャと加工プロセス情報との関連づけが経験的で曖昧であるため、作業者の介入を必要とするなどの問題点があった。従って、この問題を解決するために、製品設計データの解釈と加工プロセス選定の自動化を実現するための基礎理論構築が必要とされている。

本論文では、従来の加工フィーチャを用いた工程設計システム構築方法の問題点である、加工フィーチャと加工作業情報との関連づけが経験的で曖昧であるということの解決法として、形状創成関数を用いて加工プロセスを数学的かつ体系的にモデル化することにより加工プロセスモデルを構築し、それに基づき工程設計モデルを構築する方法論を提案した。具体的には、加工プロセスを V.T.Portman らの提案した形状創成関数によりモデル化し、加工プロセスの入力情報、出力情報、参照情報を明らかにしている。すなわち、工作機械の種類に依存しない入力情報モデルとして、マクロ工具、制御されたテーブル運動、包絡拘束式から構成する operating step を、素材に依存しない出力情報モデルとして、工具の作用を表すスイープマクロ工具、スイープマクロ工具包絡面、作用切刃から構成する working tool を提案することにより、入力情報と出力情報の関係が 1 対 1 となる排他的な分類を可能としている。また、加工プロセスのモデルとして

operating step から working tool への変換アクティビティを提案し、その逆変換アクティビティとして工法割付作業を表す工程設計モデルを提案している。

次に、工程設計モデル構築のために、入力情報と出力情報の特徴を表すパラメータを抽出し、それに基づき加工プロセスをモデル化してパラメトリックな加工プロセスモデルと提案した。具体的には、パラメトリックな加工プロセスモデルにおける入力情報モデルである operating step のパラメータとして、マクロ工具の次元数、送り運動の自由度及び包絡拘束式数を提案している。また、出力情報モデルである working tool のパラメータとして、スイープマクロ工具、スイープマクロ工具包絡面、作用切刃のパラメータ数を提案している。さらに、それらの定義域を示し、加工プロセスが 15 種類存在することを示している。一方、operating step のパラメータと working tool のパラメータとの関係を 1 次式で表現する事により、工法割付規則の定式化を行いパラメトリックな工程設計モデルを提案し、具体例に適用することにより、パラメトリックな工程設計モデルの妥当性を検証している。

次に、実際の加工工程設計へ適用するため、パラメトリックな工程設計モデルから幾何情報を考慮した工程設計モデルへと提案モデルの拡張を行なっている。まず、入力情報と出力情報との関係を幾何学的観点から明らかにするために V.T.Portman らの提案した形状創成関数を用い、3 軸フライス工作機械の加工プロセスを数式にて表現し、operating step と working tool のベクトル表現の具体形を示している。次に、operating step と working tool のベクトル表現に基づき、包絡拘束式を用い、幾何情報を考慮した工法割付規則を導出し、パラメトリックな工程設計で示した点切刃工具と線切刃工具に対する 10 種類の加工法が、幾何学的な工程設計の観点から、16 種類に分類されることを示している。さらにパラメトリックな工程設計と幾何学的な工程設計とを考慮した operating step と working tool の情報モデルを EXPRESS-G 用い表現するなど独自の基礎理論を展開すると共に、提案した加工プロセスのモデルに基づく工程設計の具体的な適用例を通して、本研究の有効性を示している。

これを要するに、著者は、工程設計のための基礎理論に対する新知見を得たものであり、システム情報工学および生産情報工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。