

学 位 論 文 題 名

加工形状特徴の依存性に着目した工程設計に関する研究

学位論文内容の要旨

機械加工の工程設計では、従来、設計者が行う製品設計が完了し、図面が出図された後で、生産技術者による工程設計が行われてきた。しかし 1990 年代に入り、計算機を利用した CAD (Computer Aided Design) が発達し、また低価格化がすすみ、広く普及してきたことにより、機械部品の製品設計データが電子化された。特に近年、三次元 CAD を用いて表現されるようになってきたことにより、製品設計データを工程設計にて共有することが可能になり、工程設計や CAM (Computer Aided Manufacturing) による NC データの作成を大きく変えようとしている。これは、三次元 CAD データから計算機を用いて加工形状特徴を抽出し、それに対して工程データを設定し NC データ作成につないでいくものである。

三次元 CAD で製品設計を行い、加工の為に工程設計から NC データの出力につないでいくには、先ず CAD データを入力として、加工の為に形状である加工形状特徴 (Manufacturing Feature) を抽出し、それを工程設計の入力とする方法が一般的である。工程設計や NC データの作成では、この加工形状特徴毎にデータの詳細化が行われることは勿論であるが、合わせて加工方法や技術ノウハウといったものもこの加工形状特徴単位で整理され活用されている。このように電子化された工程設計を CAPP (Computer Aided Process Planning) と呼んでいる。

これまで工程設計では、次の 4 段階の手順を踏んで行われてきた。第一段階では、加工対象部品の特徴を多角的に捉えて分析する。第二段階では、それぞれの加工形状特徴の加工法を選択し、加工する順序を設定する。第三段階では、すべての加工作業を分割グループ化し、適切な加工設備に割り当てる。第四段階では、各加工設備に割り当てられた加工形状特徴の加工を実行するための詳細な加工データを設定する。第二段階と第三段階をマクロ工程設計、第四段階をマイクロ工程設計と呼ぶ場合もある。CAPP の目的は、特に第二段階以降を、大幅に自動化するものであるが、それは第二段階の加工する順序付および第三段階の加工設備への割当を如何に効率よく的確に行うかによって決まる。しかしながら、従来の工程設計手法では、個々の加工形状特徴自体に着目しており、加工形状特徴間の依存性を重視してないため、加工順序付けや加工設備への割り当てを自動で適切に行うことは困難である。

本論文は、このような現況にある工程設計システムにおいて、加工形状特徴の依存性に着目し、加工の基準となり得る面と、それに依存する加工形状特徴の依存関係をあらかじめモデル化 (体系化) し、それを基準に工程設計を実行するという新たな工程設計手法を提案し、生産加工システム上有益な工程設計自動化システムの開発方法論を得ることを目的とした基礎的・実証的研究である。以下、本論文の構成について述べる。

第 1 章では、近年の CAD/CAM システムに代表される設計生産加工システムのこれから進むべき方向性と、そこでの基本的な開発方法論を明らかにした。すなわち、国際規格と情報モデル化言語に

基づくシステム開発方法は、CAD システム等の実装システムからの独立性を高め、汎用的なシステムを構築する基盤的开发方法である事を示した。さらに、提案開発方法論に基づいて工程設計の現状分析を行い、課題を明らかにし、システム化の方向性について示した。

第2章では、本論文が対象とする加工形状特徴の定義とその依存関係の表現方法を示すとともに、現状の加工形状特徴認識システム及び工程設計システムの問題点を指摘した。すなわち、加工形状特徴の分類と定義を定めている ISO 10303-224 を実用の観点からその定義をより詳細化し、実際に出現する形状からの加工形状特徴認識とその依存関係の認識方法を示した。また、現状の加工形状特徴認識システムは面取り形状を含む場合や形状が途中で分断される場合、可能なすべての加工特徴形状を識別できず、実用的な工程設計が行えないなどの問題点があることを示した。さらに、認識された加工形状特徴表現法では、加工順序付けや加工設備への割り当てを適切に行うことが困難であることを示した。

第3章では、加工機械の主軸の方向と直交する平面を捉えて、それを基準面として抽出し、主軸方向と同じ加工方向を有する加工形状特徴を、階層的に抽出し表現することで、加工形状特徴の依存性を表現できることと、基準面とそれに依存した加工形状特徴の集まりを当該工程の対象に割付けるといった工程設計手法を提案した。すなわち、工程設計の入力として、認識された加工形状特徴と、その依存関係を階層的に表現し、それを入力とする工程設計システムを開発し、具体的な工程設計問題に適用し、提案手法の妥当性を確認した。さらに、加工特徴として認識されなかった部分形状についても、相互に隣り合う形状の集まりとして認識し、基準面との依存性を与えることで、あたかも加工形状特徴のように扱う手法を提案し、システムとしての一貫性を失うことなく一連の工程設計作業を行えることを示した。

第4章では、面取り形状を含む形状や加工特徴形状が途中で分断される場合の加工形状特徴認識手法の提案を行うとともに、加工特徴形状が途中で分断される場合、依存関係の表現において、加工干渉の可能性を考慮して、影響を受けた加工形状特徴、影響を与えた加工形状特徴を推定する方法と、そのモデル化手法を提案し、実装システムの開発とその具体例へ適用を通して、提案手法の妥当性を立証した。

第5章では、仕上げ精度やネジなど幾何形状表現を持たない加工形状特徴と、幾何形状と直接的な関係を持つ明示的な加工形状特徴とを統合的に扱うことを可能とするモデル表現を提案した。また、提案モデルを工程設計システムへ実装し、具体例を通してその実用性と有効性を確認した。

第6章では、加工形状特徴の依存性に、各加工形状特徴の機能や現有の加工設備に依存した手続きを付加することで、工程設計の自動化が可能であることを、工程設計システムへの実装と具体例への適用を通して、明らかにした。

第7章では、結論として本研究において得られた成果をまとめた。

また追補として、本論文の考えに基づいたシステムにて、ISO 14649 規格で定めた CNC データモデルに適用し、本規格に潜在する問題点などを明らかにした。

最後に、加工形状特徴の依存性に着目した工程設計が、工業的に有益であること、又、加工形状特徴の認識では、幾何としての判断に加えて、加工の立場での判断が必要であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	小野里 雅 彦
副 査	教 授	金 井 理
副 査	教 授	金 子 俊 一
副 査	教 授	北 裕 幸
副 査	准教授	田 中 文 基

学 位 論 文 題 名

加工形状特徴の依存性に着目した工程設計に関する研究

近年、機械部品設計データの電子化により、三次元 CAD データから計算機を用いて加工形状特徴を抽出し、それに対して工程データを設定し NC データ作成といった一貫したコンピュータ処理が定着しつつある。特に工程設計は、加工対象部品の特徴を分析し、それぞれの加工形状特徴の加工法を選択し、加工する順序を設定し、すべての加工作業をグループ化し、適切な加工設備に割り当て、割り当てられた加工形状特徴のための詳細な加工データを設定するといった作業を行うため、設計と生産をつなぐ重要な設計システムである。

しかしながら、従来の工程設計システムでは、個々の加工形状特徴毎に工具、加工データの設定は可能であるが、加工形状特徴間の依存性を考慮した加工順序付けや加工設備への割り当ては作業者の経験に依存していた。

本論文は、このような現況にある工程設計システムにおいて、加工形状特徴の依存性に着目し、加工の基準となり得る面と、それに依存する加工形状特徴の依存関係をあらかじめモデル化（体系化）し、それを基準に工程設計を実行するという新たな工程設計手法を提案し、生産加工システム上有益な工程設計自動化システムの開発方法論を得ることを目的とした基礎的・実証的研究である。また、システムの実装と具体例への適用を通して、以下の新知見を得ている。

まず、近年の CAD/CAM システムに代表される設計生産加工システムのこれから進むべき方向性と、そこでの基本的な開発方法論を明らかにしている。すなわち、国際規格と情報モデル化言語に基づくシステム開発方法は、CAD システム等の実装システムからの独立性を高め、汎用的なシステムを構築する基盤の開発方法である事を指摘している。さらに、提案開発方法論に基づいて工程設計の現状分析を行い、課題を明らかにし、システム化の方向性について述べている。

次に、本論文が対象とする加工形状特徴の定義とその依存関係の表現方法を示すとともに、現状の加工形状特徴認識システム及び工程設計システムの問題点を指摘している。すなわち、加工形状特徴の分類と定義を定めている ISO 10303-224 を実用の観点からその定義をより詳細化し、実際に出現する形状からの加工形状特徴認識とその依存関係の認識方法について述べている。また、現状の加工形状特徴認識システムは面取り形状を含む場合や形状が途中で分断される場合、可能なすべての加工特徴形状を識別できず、実用的な工程設計が行えないなどの問題点があることを具体的に

指摘している。さらに、認識された加工形状特徴表現法では、加工順序付けや加工設備への割り当てを適切に行うことが困難であることを指摘している。

本論文ではこの問題点を解決するために、加工機械の主軸の方向と直交する平面を捉えて、それを基準面として抽出し、主軸方向と同じ加工方向を有する加工形状特徴を、階層的に抽出し表現することで、加工形状特徴の依存性を表現できることと、基準面とそれに依存した加工形状特徴の集まりを当該工程の対象に割付けるといった工程設計手法を提案している。すなわち、工程設計の入力として、認識された加工形状特徴と、その依存関係を階層的に表現し、それを入力とする工程設計システムを開発し、具体的な工程設計問題に適用し、提案手法の妥当性を確認している。さらに、加工特徴として認識されなかった部分形状についても、相互に隣り合う形状の集まりとして認識し、基準面との依存性を与えることで、あたかも加工形状特徴のように扱う手法を提案し、システムとしての一貫性を失うことなく一連の工程設計作業を行えることを示している。

次に、面取り形状を含む形状や加工特徴形状が途中で分断される場合の加工形状特徴認識手法の提案を行うとともに、加工特徴形状が途中で分断される場合、依存関係の表現において、加工干渉の可能性を考慮して、影響を受けた加工形状特徴、影響を与えた加工形状特徴を推定する方法と、そのモデル化手法を提案し、実装システムの開発とその具体例へ適用を通して、提案手法の妥当性を立証している。

さらに、仕上げ精度やネジなど幾何形状表現を持たない加工形状特徴と、幾何形状と直接的な関係を持つ明示的な加工形状特徴とを統合的に扱うことを可能とするモデル表現を提案するとともに、提案モデルを工程設計システムへ実装し、具体例を通してその実用性と有効性を確認している。

最後に、加工形状特徴の依存性に、各加工形状特徴の機能や現有の加工設備に依存した手続きを付加することで、工程設計の自動化が可能であることを、工程設計システムへの実装と具体例への適用を通して、明らかにしている。

これを要するに、著者は、加工形状特徴とその依存性に基づく機械加工の工程設計に関して基礎理論を展開し、その表現方法と、実装方法に関して多くの新知見を得たものであり、機械加工における工程設計作業の自動化に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。