

学位論文題名

線形ハイパーパッチによる三次元形状モデル表現と型加工システムの開発

学位論文内容の要旨

近年、金型製作において、CAD/CAMを活用した技術集約型への変革が要請され、高効率・高信頼性のシステムの実用化が課題となっている。すなわち、型加工システムの高効率・高信頼性を達成するには、CADデータを入力とし、加工情報を生成するプロセスの高効率・高信頼性を実現することが絶対的に必要となる。この観点から、CADデータから加工情報を生成する際の問題を整理し、その原因を明らかにすると共に対応すべき技術・方法を提案し、実用的な型加工システムの実現が望まれている。

CADデータから型加工のための加工情報を生成する場合に要求される事項は次の通りである。

①加工の直接的対象である製品形状と加工環境である工作機械、型枠、治具、工具を同時に認識できる(モデル化できる)形状モデル化機能が必要である、②加工の進行によって、素材が製品形状に推移する際の間形状の表現が可能でなければならない、③工具経路演算において演算の頑強な安定性と高速性を可能とする形状モデルが必要である等である。

これらの型加工システムに望まれる機能に対して、本論文は独自の「線形ハイパーパッチ形状モデル化手法」を提案し、①金型加工に適した「加工(基準)モデルとモデラ」の開発、②そのモデラを用いた工具経路生成方法の開発、③提案手法に基づいた具体的型加工システムの構築により提案手法の実用性の検証を行っている。

第1章は序論であり、本研究の背景、概要および論文の構成について述べた。

第2章は本研究の研究対象である型加工システムにおける現状の問題点、課題を明らかにしている。すなわち、加工対象である金型を設計・生産における製品を生産するに必要な全ての情報を包含した製品モデルとして捕らえ、その位置づけ、役割を明確にし、金型をその金型で生産される製品の設計情報(形状など)に、種々の情報処理を施した「金型と言う新たな製品」であると定義した。この観点から金型モデルは設計・生産を通して一元的に扱うことを理想としている。然し、現実的には、各工程固有の情報処理が必要であり、情報量の上からも「その工程に適したモデル」を設けることが実践的であることから、型加工用として「加工モデル、ツールモデルと呼ぶ」概念の必要性と、その機能としては次の要件を満たす必要があることを指摘した。①製品形状を表す自由曲面と、型構造を表す解析的な立体形状が同時に扱えること、②製品成形が数工程にわたる(プレス、鍛造など)変形形状、また機械加工の工順(荒、中仕上げ、仕上げ)における中間形状が扱えること、③設計変更、成形上の形状補正などの形状変更が容易に行えること、④加工における工具経路生成にあたって、信頼性が高く、且つ高速の干渉チェックを可能とする数式表現であること。

第3章ではこれらの要件を満足する形状モデルとして、ボクセル(Voxel)モデラを変形した「線形ハイパーパッチ形状モデラ」を開発しDIMOS(Digital Model of Solid)と名付けシステムに導入した。このツールモデルは型形状(製品部および構造部)をメッシュ分割し階層構造化してお

り、その最下位構造を基本形状要素である「線形ハイパーパッチ」で構成している。本基本形状要素は「殻と実の二重構造」より構成され、「実」は製品形状を多面体近似したもので、その実を包む直方体として「殻」を規定している。この実の角点が殻の枠上を移動することによって形状を表現する事を基本としている。本モデリング方式を導入することによって、ツールモデルを自由曲面と解析的な立体形状を「同一の形態」で表現することが可能となった。更に工具および工作機械の形状をも本方式で表現が可能となり、工具経路生成に必要な形状を包含したモデル形成が可能になった。これによりモデリングの処理ツールの数の削減とアルゴリズムの単純化が図れ、結果として、出力された工具経路チェックを必要としない高い信頼性のあるデータ生成の高速処理が実現出来た。更に、変形状や加工の中間形状を扱い易くする目的で、基準となるモデルを補完する補助モデルとして、本体（製品）に対してそれをカバーする意味で名付けた「鞘」モデルを導入した。これにより前述の各種変形・変更の対応を容易とした。

第4章では提案する「線形ハイパーパッチ形状モデル」へのCADデータ及び測定データからの変換方法について述べたものである。変換の対象としては、①CADモデルからの変換、②デジタイジング（スキャニング）の点群からの変換の2種類の方式を提案した。特に、点群からの変換においては、点群から任意の点（座標値）を求める方法として、点列での「形状特性の抽出」と「重み係数」を付加した「直線挿入法」を組み合わせている。また、二方式の併用によりCADデータと計測データの折衷を可能とし、モデル創成と変更の柔軟性の向上を図った。

第5章では、提案形状モデルに基づく工具経路生成方式について述べたものである。最近、15 m/分の切削送りを可能とするNC型彫機が導入され、より微細な形状を、より高速で加工し、磨きなどの手仕上げ作業の軽減と、機械加工の効率化へ移行して来ている。このためには仕上げのやり易い形状の削り出しと、食い込み（工具干渉）の無い工具経路の生成が不可欠であり、機能としては豊富な工具経路の種類と、使用可能な工具の種類への対応が必要である。更に、数百万点/型の出力点を納期を遵守し、経済上も有利で高速なコンピュータ処理が求められる。

金型は仕上げでも、機械加工でも難しい部位は凹形状部である。仕上げでは手や工具が入り難く、機械加工では工具干渉の起り易い部位である。従って、この部位の削り出しが型加工の生命線の一つと言える。本部位の処理の要は「干渉チェック」機能にあり、干渉を確実にチェック、除去し、高信頼性の出力を高速で行うことである。これへの対応として本システムでは下記二方式を活用して、工具を直接モデルに当てる「接触方式」での高品質、且つ高速での工具経路生成を可能とした。すなわち、①DIMOSのメッシュ構造と階層構造を活用して、工具干渉の粗（ラフ）チェックを高速での判定法、②DIMOSの基本形状である直方体の干渉を、その最小・最大値の配列（順列）をコンピュータのビットパターン化して処理する「ミニ・マックス順列法」を提案し確実に高速な工具干渉回避アルゴリズムを開発した。

第6章では提案した「線形ハイパーパッチ形状モデル」と工具干渉回避アルゴリズムを基礎とした型加工システムの実現により、具体的金型加工に適用し、①工具経路生成工数の80%低減、②強力な干渉チェックを高速で可能としたことにより、最適な工具とその経路の生成が可能となり、食い込みの無い高能率の加工を実現、③高品位な加工により、磨きなど仕上げ作業工数が60%以上の低減を確認した。

第7章は本研究の結論であり、得られた成果の概要を述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岸 浪 建 史
副 査 教 授 五十嵐 悟
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 土 谷 武 士

学位論文題名

線形ハイパーパッチによる三次元形状モデル表現と型加工システムの開発

近年、金型製作において、CAD/CAMを活用した技術集約型への変革が要請され、高効率・高信頼性のシステムの実用化が課題となっている。すなわち、型加工システムの高効率・高信頼性を達成するには、CADデータを入力とし、加工情報を生成するプロセスの高効率・高信頼性を実現することが絶対的に必要となる。この観点から、CADデータから加工情報を生成する際の種々の問題を整理し、その原因を明らかにすると共に対応すべき技術・方法を提案し、実用的な型加工システムの実現が望まれている。

CADデータから型加工のための加工情報を生成する場合に要求される事項は次の通りである。①加工の直接的対象である製品形状と加工環境である工作機械、型枠、治具、工具を同時に認識できる（モデル化できる）形状モデル化機能が必要である、②加工の進行によって、素材が製品形状に推移する際の間形状の表現が可能でなければならない、③工具経路演算において演算の頑強な安定性と高速性を可能とする形状モデルが必要である等である。

これらの型加工システムに望まれる機能に対して、本論文は独自の「線形ハイパーパッチ形状モデル化手法」を提案し、①金型加工に適した「加工(基準)モデルとモデラ」の開発、②そのモデラを用いた工具経路生成方法の開発、③提案手法に基づいた具体的型加工システムの構築により提案手法の実用性の検証を行っている。

第1章は序論であり、本研究の背景、概要および論文の構成について述べた。

第2章は本研究の研究対象である型加工システムにおける現状の問題点、課題を明らかにしている。すなわち、加工対象である金型を設計・生産における製品を生産するに必要な全ての情報を包含した製品モデルとして捕らえ、その位置づけ、役割を明確にし、金型をその金型で生産される製品の設計情報(形状など)に、種々の情報処理を施した「金型と言う新たな製品」として定義した。この観点から金型モデルは設計・生産を通して一元的に扱うことを理想としている。この目的のために型加工システムは次の要件を満たす必要があることを指摘した。①製品形状を表す自由曲面と、型構造を表す解析的な立体形状が同時に扱えること、②製品成形が数工程にわたる(プレス、鍛造など)変形状、また機械加工の工順(荒、中仕上げ、仕上げ)における中間形状が扱えること、③設計変更、成形上の形状補正などの形状変更が容易に行えること、④加工における工具経路生成にあたって、信頼性が高く、且つ高速の干渉チェックを可能とする数式表現であること。

第3章ではこれらの要件を満足する形状モデルとして、「線形ハイパーパッチ形状モデル」を提案し、DIMOS(Digital Model of Solid)と名付けシステムに導入した。この形状モデルは型形状(製品部および構造部)をメッシュ分割し階層構造化しており、その最下位構造を基本形状要素である「線形ハイパーパッチ」で構成している。本基本形状要素は「殻と実の二重構造」より構成され、「実」は製品形状を多面体近似したもので、その実を包む直方体として「殻」を規定している。この実の角点が殻の枠上を移動することによって形状を表現する事を基本としている。本モデリング方式を導入することによって、形状モデルを自由曲面と解析的な立体形状を「同一の形態」で表現することが可能となった。更に工具および工作機械の形状をも本方式で表現が可能となり、工具経路生成に必要な形状を包含したモデル形成が可能になった。これによりモデリングの処理ツールの数の削減とアルゴリズムの単純化が図れ、結果として、出力された工具経路チェックを必要としない高い信頼性のあるデータ生成の高速処理が実現出来た。更に、変形形状や加工の中間形状を扱い易くする目的で、基準となるモデルを補完する補助モデルとして、本体(製品)に対してそれをカバーする意味で名付けた「鞘」モデルを導入した。これにより前述の各種変形・変更の対応を容易とした。

第4章では提案する「線形ハイパーパッチ形状モデル」へのCADデータ及び測定データからの変換方法について述べたものである。変換の対象としては、①CADモデルからの変換、②デジタイジング(スキャニング)の点群からの変換の2種類の方式を提案した。特に、点群からの変換においては、点群から任意の点(座標値)を求める方法として、点列での「形状特性の抽出」と「重み係数」を付加した「直線挿入法」を組み合わせている。また、二方式の併用によりCADデータと計測データの折衷を可能とし、モデル創成と変更の柔軟性の向上を図った。

第5章では、提案形状モデルに基づく工具経路生成方式について述べたものである。型加工システムの情報処理の要は「干渉チェック」機能にあり、干渉を確実にチェック、除去し、高信頼性の出力を高速で行うことである。これへの対応として本システムでは下記二方式を活用して、工具を直接モデルに当てる「接触方式」での高品質、且つ高速での工具経路生成を可能とした。すなわち、①DIMOSのメッシュ構造と階層構造を活用して、工具干渉の粗(ラフ)チェックを高速での判定法、②DIMOSの基本形状である直方体の干渉を、その最小・最大値の配列(順列)をコンピュータのビットパターン化して処理する「ミニ・マックス順列法」を提案し確実に高速な工具干渉回避アルゴリズムを開発した。

第6章では提案した「線形ハイパーパッチ形状モデル」と工具干渉回避アルゴリズムを基礎とした型加工システムの実現により、具体的金型加工に適用し、①工具経路生成工数の80%低減、②強力な干渉チェックを高速で可能としたことにより、最適な工具とその経路の生成が可能となり、食い込みの無い高能率の加工を実現、③高品位な加工により、磨きなど仕上げ作業工数が60%以上の低減を確認した。

第7章は本研究の結論であり、得られた成果の概要を述べた。

これを要するに、著者は型加工システムの高信頼性・高効率を実現するため独自の形状モデル化手法の提案を行い、実用システムへの適用を通して、提案手法の有効性を実証すると共に、実用上、有益な多くの知見を得ており、生産情報工学の分野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。