

学位論文題名

A STUDY ON THE DEVELOPMENT OF GRINDING SYSTEMS  
WITH LEARNING FUNCTION

(習熟型研削加工システムの開発研究)

学位論文内容の要旨

近年、市場環境は個性の尊重、利便さと快適性の追求から、製品需要が多様化し、製品種類の増加、製品ライフサイクルの短縮化が進行している。このような現状に呼応して、機械工場に望まれている生産形態としては多品種少量生産、さらには市場環境の変化に迅速に対応可能なように、生産品種と生産量が比較的容易に変更可能な、変種変量生産へと変化しつつある。しかし、高品質、高精度、高効率を維持しながらこれらの要求に添えていくためには、生産システムは従来とは異なる、例えば生産システムの可塑性の実現などの、新しい機能を具備することが要求されている。この様な現状認識のもとに、本研究は生産システムが具備すべき新しい機能の一つと考えられている機械システムの自律化の実現を目的としたものである。そのために、まず生物、生態系のもつ機能をモデルにそれと生産システムとのアナロジーをとり、人工物である機械システムに関してシステム論的に考察し、その結果に基づいて機械システムに新機能を付加した設計法について、ハードウェアおよびソフトウェアの両面から検討を加える。

これらの検討の結果、生産システムの構成要素である個々の機械に1) 普遍性、2) 親和性、3) 習熟性、4) 自律性、の4つの新機能としての特徴を持つようなシステム、ここで言う習熟型自律機械システムの開発の必要性が導かれた。このような機械システム実現の具体的なアプローチとして本研究では二つの視点から問題をとらえ解決を図る。すなわち、思考領域内問題に対する知能化および行動領域内問題に対する高速・高精度化の実現である。本論文は、機械加工の中で最も安定化困難である研削加工を例にとり、実用化を目指した場合をも含めた研削加工システムの持つ個々の具体的問題に対して、これら新機能の実現に関する理論展開とシステム開発、数値実験と実作業に基づく本アプローチ法の評価等などについて考察を加え議論したものである。

本論文は三部から構成されており、第I部では機械システムの基本構成要素である人間・機械

・制御の関係を思考領域、行動領域の二つの視点から考察し、それらの問題点を解決するために生物、生態系のもつ機能のアナロジーとして新しい概念の習熟型自律機械システムを提案するとともに、システム化が大きく立ち遅れている研削加工への適用例として習熟型研削加工システムの持つ意義について述べている。第Ⅱ部では、思考領域内問題に的を絞り、熟練者がもつ加工ノウハウの中で言葉で表現できない「陰のノウハウ」に着目し、研削準備作業、特にマン・マシン・コミュニケーション、研削条件の最適化に関する問題解決のための実現方法と試作評価結果について考察している。第Ⅲ部では、思考領域内問題解決の基礎であり、人間の手足に相当する行動領域内問題に関して駆動系的高速・高精度化について考察している。特に動作が複雑な輪郭形状加工などを例に新しい制御方法を提案し、試作評価結果について検討を加えている。

各部、各章は以下に示す内容となっている。

## 第Ⅰ部 習熟型自律機械システムの開発

第1章は序論であり、始めに機械生産システムのこれまでの発展の経緯と将来動向について展望し、その有るべき姿を議論している。次に生産システムの現状の問題点と課題について述べ、それらの解決を計るために構成要素である個々の機械が果たすべき役割について考察している。第2章では、始めに生産システムの構成要素である個々の機械が具備しなければならない4つのシステムの特徴について述べ、これらのシステムの特徴を有した習熟型自律機械システムの基本構造について検討している。第3章では、研削加工へ習熟型自律機械システムを適用する意義を述べ、具体的な適用例として習熟型研削加工システムの基本的構造について考察している。更に、習熟型研削加工システムを実現させるために、研削加工における人間の役割を思考領域と行動領域に分け、思考領域の代替としての知能化と行動領域の代替として的高速・高精度化が必要であることを主張している。

## 第Ⅱ部 思考領域内問題としての習熟型研削加工システムの開発

第1章では序論であり、熟練者の思考や判断に大きく依存している研削準備作業の問題点について考察している。更に、それらの問題を解決するためには知能化が必要であり、具体的には人間との親和性を重視したヒューマン・インタフェース、および研削条件最適化機能の構築が必要であることを述べている。第2章では研削準備作業における人間の役割について複数の研削作業現場の事例を調査し、理想的状態で人間が処理すべき作業内容を示している。特に、形状定義作業などについてヒューマン・インタフェースの設計法を述べ、具体的にシステムを試作しその結

果について考察している。第3章では、始めに研削条件最適化に関する従来の研究について考察し、その問題点を指摘するとともに、学習機能を有した新しい考え方の研削条件最適化手法を提案している。具体的には、手続き論的アプローチにより標準値を求め、その標準値に対する熟練者の修正事例を学習する事による最適化手法を提案し、熟練者のノウハウを学習する手段としてニューラルネットワークが極めて有効であると提案している。特に、ニューラルネットワークを現場の生産機械に実装するために解決すべき幾つかの課題と解決方法を示し、計算機実験結果について考察し、システムを試作し実研削評価を行い研削時間として10%から15%の短縮効果を示してその有効性を確認している。

### 第Ⅲ部 行動領域内問題としての習熟型研削加工システムの開発

第1章では研削加工は仕上げ加工であり、高速・高精度加工の要求が特に強く、思考能力だけでなく運動能力そのものの知能化が必要であることを指摘し、クランクピンとカム研削を例として具体的問題点について考察している。第2章では、始めにクランクピン研削加工の高速・高精度化を最も阻害する要因と考えられている工作主軸回転同期精度について計算機実験により数値解析し問題点を議論している。次に、電気式サーボシンクロ駆動の同期制御方式を提案し、具体的にシステムを試作し工作主軸の回転同期精度が $1/3$ から $1/5$ へ改善できたことを示している。第3章では、輪郭形状研削加工の代表例としてカム研削加工における従来の制御方式の問題点を指摘し、その解決のためにNC制御方式を提案しNC輪郭指令データの生成法について理論解析するとともに、高速研削加工で問題となる仕上げ面精度と形状精度の低下を防止するために、自己調整機能と学習機能を特徴とした新しい制御方式を提案し、装置を試作し考察している。この結果、形状精度が $1/2$ から $1/3$ に改善できたことを実研削により示している。

最後に、総括として本研究で得られた成果を要約している。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇  
副 査 教 授 齋 藤 勝 政  
副 査 教 授 島 公 脩  
副 査 教 授 大 内 東

本論文は、次世代生産システムが具備すべき要素技術の一つとされている可塑性機能をシステムの習熟自律機能として具体的に実現する事を目的とし、そのための概念・理論・方法を提案し、続いて具体例を研削加工システムにとり、実際にハードウェア、ソフトウェアを開発・構築し、実切削実験・実作業を通して、提案した概念・理論・方法の検証を行い、種々の新知見を得たものである。

論文は3部からなり、各部3章より構成されている。

第I部では次世代生産システム構築のために人間・機械・制御の関係を、思考領域、行動領域の二つの視点から考察し、生物、生態系のもつ機能のアナロジーとして新しい概念の習熟型自律機械システムを提案している。ここでの提案は次世代生産システムの一つの方向を示していて高く評価できる。第1章は序論であり、生産システムの現状の問題点と課題、それらの解決方法が模索されている。第2章では、生産システムの構成要素である個々の機械が具備しなければならないシステムの特徴とこれらの特徴を有した習熟自律機械システムの基本構造について検討している。第3章では、習熟型自律機械システムの適用例として習熟型研削加工システムの基本的構造について提案し、研削加工における人間の役割を思考領域と行動領域に分け、それぞれの代替としての知能化、高速・高精度化の必要性を明らかにしている。

第II部では、熟練者をもつ加工ノウハウの中で言葉で表現できない“陰”のノウハウ、に着目し、研削準備作業、特にマン・マシン・コミュニケーション、研削条件の最適化に関する問題解決のための実現方法と試作評価結果について考察している。ここで述べられていることは生産システムの可塑性機能実現方法の具体的要素技術の根幹を成すものであり、その概念・方法論共に斬新で高く評価し得る。第1章では、熟練者のノウハウに依存している研削準備作業問題を解決するためにヒューマン・インタフェース、および研削条件最適化機能の構築が必要であることを明らかにしている。第2章では複数の研削作業現場の事例を調査し、理想的状態で人間が処理すべき作業内容を示しそれに基づきヒューマン・インタフェースシステムを試作しその評価を行っている。

る。第3章では、新しい研削条件最適化手法として、熟練者のノウハウをニューラルネットワークにより学習する手法を提案し、更にニューラルネットワークを生産機械に実装するための課題と解決方法を示し、システムを試作し実研削評価を行い研削時間として10%から15%の短縮効果を示してその優れた有効性を確認している。

第Ⅲ部では、行動領域内問題に関して駆動系の高速・高精度化方法を目的として、特に動作が複雑な輪郭形状加工を例に新しい制御方法を提案し、実機開発を行い種々の評価・検討を加えている点は高く評価される。第1章では仕上げ加工としての研削加工では運動能力そのものの知能化が必要であることを指摘している。第2章では、研削加工の高速・高精度化を最も障害する要因と考えられている工作主軸回転同期精度について計算機実験により数値解析し問題点を議論し、また電気式サーボシンクロ駆動の同期制御方式をも提案し、具体的にシステムを試作し工作主軸の回転同期精度が $1/3$ から $1/5$ へ改善できたことを示している。第3章では、輪郭形状研削加工用NC制御方法を提案しNC輪郭指令データの生成法を述べ、高速研削加工で問題となる仕上げ面精度と形状精度の低下を防止するために、自己調整機能と学習機能を特徴とした新しい制御方法を提案し、装置を試作し考察している。この結果、形状精度が $1/2$ から $1/3$ に改善できたことを実研削により示している。

最後に以上の結果を所期の目的と対比しつつ総括している。

これを要するに、著者は生産システムにおける可塑性機能としての習熟自律機能を実現するための理論・方法を提案し、実際にハードウェア、ソフトウェアを開発・構築し実切削実験・実作業を通して、その評価・検証を行ったもので得られた新知見は生産工学・精密工学、応用知識工学の進歩に貢献するところ大である。よって著者は、博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。