

主論文審査の要旨

近年、加工システムにおいては高速・高精度化が進み、複雑形状の加工が可能となっている。その中で、加工状態の把握は、加工精度や加工品質の確保の点から加工現場における重要な課題となっている。これまでは、加工中の音や振動、また切りくずの状態などから熟練者が加工状態を把握し、それぞれに応じた対応をとってきたが、自動化が進む中、加工状態の監視技術および最適加工のための制御技術は加工分野において研究・開発が急がれている重要な要素技術の一つになっている。また、生産システムにおける加工中の計測・監視技術は、高効率・高品質のものづくりへの要求に応えるための重要な基礎技術にもなっている。加工中のモニタリング技術に関しては、従来から多くの研究がなされてきた。加工状態の把握には音や振動のセンシングに加え、加工負荷（切削力）の測定、モータ負荷の検出、切削温度の検出などを中心に研究が行われてきた。一方、エンドミルを用いた切削加工は金型加工をはじめとして、様々な機械部品の加工に広く用いられており、また小径エンドミルは精密 3 次元金型加工及び微細加工に広く用いられている。しかし、小径工具は強度が低く、加工中の破損が問題となっており、小径工具を用いた加工における加工状態の監視や工具の破損予知技術の開発が求められている。

学位論文申請者らは、これまでに切削中の工具挙動を監視するための CCD カメラによる工具投影画像を用いたインプロセスによる画像取得システム、画像解析による工具挙動の計測システム、さらにはこれらのシステムを利用した監視手法の開発に取り組んできた。このシステムを小径エンドミル加工に適用すると、これまで困難であった切削力や、工具摩耗・破損の検知にも利用できる可能性があることから、一連の研究に取り組んできた。

本論文では加工中の工具挙動を二次元的に捉え解析するために、2 台の高速度 CCD カメラを用いて、工具の送り方向と送りと直角な方向から加工中のエンドミルの工具挙動を測定する二次元モニタリング計測システムを新たに構築した。構築したシステムによる溝加工および側面加工における工具挙動を 2 方向から測定し、高速回転中の工具の運動状態、工具の変形による切削力の推定、工具摩耗の進展状況、工具の運動が加工精度に及ぼす影響など、工具の運動、変形に伴う様々な加工現象を非接触で捉えることができることを明らかにした。特に、高速回転での切削中の工具挙動については、工具 1 回転中の工具の回転角度の変化に伴う工具の切刃位置と工具たわみの関係や、刃先状態と工具たわみの関係についても検討した。本論文の構成は以下のとおりである。

第 1 章では、研究の背景と目的、小径エンドミルの監視システムに関する既往の研究についてまとめた。

第 2 章では、加工中の工具挙動が監視できる二次元モニタリングシステムの提案を行った。提案しているシステムは 2 台の高速度 CCD カメラを工具の送り方向と送りと直角な方向に配置し、これまで開発している画像取得および画像解析システムを二次元モニタリングシステムにも応用し、工具の二次元的な運動状態と工具挙動が解析できること明らかにした。さらに、高速回転中の工具 1 回転における運動状態を分析できる方法も開発した。

第 3 章では、構築した工具挙動の二次元モニタリングシステムを用いて、エンドミルによる溝加工の高速切削における切刃位置と工具たわみを精度良く測定することを示し、工具 1 回転中の工具たわみの周期的な変化を明らかにした。また、工具のたわみを二次元的に測定し、送り方向とそれに直角な方向の最大のたわみは、それぞれ異なる工具回転角度の切刃位置で現れることを明らかにし、これまでに得られなかった新しい知見が得られた。

第 4 章では、本モニタリングシステムを用いて加工形態が異なる側面加工における工具挙動、溝加工における切削条件と工具挙動の変化、切削力との関係、被削材料の違いによる工具挙動を調べた。溝加工と側面加工では切刃位置による送り方向の工具挙動が異なること、切削条件による工具挙動の変化とそれによる切削力の推定が可能なこと、被削材料による工具挙動の違いを明らかにして、本システムの有用性を明らかにした。

第 5 章では、本システムを用いて加工開始から加工終了に至る一連の工具挙動と被削物の加工部形状との関係を調べ、工具挙動のモニタリングによる加工面の加工精度の推定と工具摩耗の検知について検討した。加工中の工具挙動と加工後の加工部形状の比較から、工具の二次元的な変動は加工部の真直度や傾きにも影響することを明らかにし、工具挙動の測定による加工精度推定の可能性を見出した。さらに本システムを用いた工具刃先の摩耗状態の監視についても調べ、加工中の工具の刃先形状のモニタリングにより工具摩耗・損耗の推定も可能であることが示された。

第 6 章では、本論文の総括を述べた。

以上の結果から、構築した二次元工具挙動モニタリングシステムは、二次元的に工具たわみが非接触かつインプロセスで測定でき、また、その解析結果から切削力の推定、加工精度の推定、摩耗状態の検知が可能となり、エンドミル加工における加工状態の監視システムとして有用であることが示された。

最終試験の結果の要旨

審査委員会は、学位論文提出者に対して論文の内容ならびに関連分野について諮問を行った。その結果、当該の研究分野および関連の分野について十分な知識と理解力を有していると判断した。また、学位論文提出者は、これらの内容の一部を国内外の学術誌および国際会議の論文 4 編(掲載可を含む)として公表しており、またこれに関連する講演発表 5 件、国際会議発表 4 件も行っている。審査委員会は、当該分野の研究者としての十分な研究遂行能力をもち、外国語による論文作成能力および口頭発表能力についても、研究者として十分な能力を持つと判定し、最終試験は合格とした。

審査委員	産業創造工学専攻機械知能システム講座担当教授	里中 忍
審査委員	産業創造工学専攻機械知能システム講座担当教授	石飛 光章
審査委員	産業創造工学専攻先端機械システム講座担当教授	峠 睦
審査委員	産業創造工学専攻機械知能システム講座担当准教授	岩本 知広