

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	センサ信号解析および機械学習に基づくエンドミル加工の状態モニタリング
Title(English)	
著者(和文)	高口 順一
Author(English)	Junichi Kouguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12687号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:進士 忠彦,吉野 雅彦,田中 智久,赤坂 大樹,中野 寛,吉岡 勇人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12687号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名	高口 順一	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	進士忠彦	教授	審査員	中野 寛	准教授
	審査員	吉野雅彦	教授		吉岡勇人	特定教授
		田中智久	准教授			
		赤坂大樹	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「センサ信号解析および機械学習に基づくエンドミル加工の状態モニタリング」と題し、緒論および結論を含む全 5 章から構成されている。 第 1 章「緒論」では、まず製品の複雑化と製造プロセスの高度化が社会的に求められる中、加工状態のモニタリングが重要な技術であることを指摘している。続いて、エンドミル工具による切削加工の状態モニタリングに関する現状を俯瞰し、小径エンドミル工具による高速回転での切削加工への適用における課題を述べている。このような背景から、本研究の目的が、加工中のセンサ信号の解析および機械学習を適用することで、小径エンドミル工具による切削加工の状態モニタリングを実現することであると述べている。 第 2 章「モデルベースアプローチによる切削力および振動モニタリング」では、切削動力計を使用せず主軸頭へ固定した加速度センサによりモデルベースアプローチに基づく切削力および振動のモニタリング方法を提案している。まず工具先端付近で発生する高周波の振動が加速度センサの計測値に含まれるため、センサ信号に対して逐次 2 次回帰近似を適用して一刃周期の加速度変動と高周波振動成分とを分離し、モデルベースアプローチにより切削力を推定する方法を提案している。さらに、切削力および振動の状態を表す二つの特徴量を定義し、切削加工の状態モニタリングを行うことを提案している。この方法により、直線送り加工やコーナー加工において、X、Y、並びに Z 方向に対して切削力および振動のモニタリングが可能であることを確認している。さらに異常振動や摩耗した工具による切削力変動など加工中に問題となる状態を意図的に発生させ、提案した特徴量によりこれらの状態のモニタリングが可能であることを示している。このように、小径エンドミルによる高速回転での形状加工に対して、切削力および振動の適切なモニタリングを実現している。 第 3 章「工具主軸の静的変位のモニタリング」では、工具主軸の静的変位のモニタリングおよびそれを利用した高精度な切削力の推定方法を提案している。まず、外部センサにより切削加工中に工具主軸の半径方向の静的変位が存在することを確認したうえで、変位センサを追加することなく静的変位を推定する方法を提案している。具体的には、テーブル送り駆動系のモ
--

ータエンコーダとテーブルリニアスケールとの相対変位をテーブル変位と定義し、テーブル側の運動方程式から工作物に作用する切削力を推定する。次にその反作用が工具に作用するとして工具主軸の静的変位の推定値を求め、工具主軸の力学モデルに基づき高精度な切削力を推定する方法を提案している。実際に一定切込み量での直線送り加工、切込み量が変化する加工、加工方向が変化する加工を通じて提案方法の評価を行った結果、提案した方法を用いることで従来法に比べて高精度に切削力を推定可能であることを確認している。

第4章「機械学習を用いたモデルパラメータ同定による切削力推定法」では、機械学習を適用することで機械構造のモデルパラメータ同定を高精度に行う方法を提案している。この方法は実際の加工中に計測した切削力および加速度データを学習に用いるため、特別な装置やシミュレーションデータを必要としないという利点を有する。本研究では、機械学習の手法の一つである多層パーセプトロン (Multilayer Perceptron: MLP) を用いてモデルパラメータを同定することで切削力推定を行っている。提案する機械学習による同定を行うことで、一定切込み量での加工だけでなく、切込み量が変化する場合でも切削力の推定が可能であることを確認している。また加工方向の変化、主軸回転速度の変化、並びに工具形状や被削材種を変更した場合の推定切削力を検証し、学習データと異なる加工条件に対しても高精度な切削力推定が可能であることを示している。さらに、提案する機械学習においても中間層を追加してパラメータ数を増やした MLP 構成を用いた場合、より高精度な切削力の推定が可能であったことより、中間層の追加が有効であり拡張性を有することを確認している。

第5章「結論」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題および更なる研究展望について述べている。

以上を要するに、本論文は小径エンドミル工具による切削加工の状態モニタリングの実現を目的として、計測した加速度センサ信号の処理による切削力および振動状態のモデルベースモニタリング、送り駆動系の情報の追加による主軸系の静的変位のモニタリング、並びにモデルパラメータ同定に機械学習を用いた高精度な切削力推定を実現している。このように加工状態モニタリングの実現に対して有用な提案と実験的確認を行っており、本論文は工学上および工業上寄与するところ大である。よって本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。