

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	山田 雄基	
論文審査担当者:	主査	慶應義塾大学准教授	博士(工学)	柿沼 康弘
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学)	青山 英樹
		慶應義塾大学教授	博士(工学)	村上 俊之
		慶應義塾大学教授	博士(工学)	閻 紀旺

(論文審査の要旨)

学士(工学), 修士(工学)山田雄基君提出の学位請求論文は「Sensorless Cutting Force Estimation in Ball-screw-drive System and Its Application to Chatter Avoidance」(ボールねじ送り駆動系におけるセンサレス切削力推定とびびり振動回避への応用)と題し, 7章から構成されている。

近年, マスカスタマイゼーションに対応するため, 生産システムの柔軟性とロバスト性に対する要求が一層高まっており, 工作機械分野においては異常加工検知や加工最適化に必要不可欠な状態監視技術と, それに基づく安定化技術が求められている。状態監視において, 低コストで持続可能性のある付加的なセンサを用いない切削力推定技術に対するニーズは高いが, 推定精度・帯域の点で課題を残す。本論文の著者は, ボールねじ送り駆動系を対象としたセンサレス切削力推定手法と推定切削力に基づきびびり振動を回避する安定化加工法を提案し, シミュレーションと実験によりその有用性を明らかにしている。

第1章は序論であり, 本研究の位置づけと工作機械における状態監視・異常加工回避技術の課題について概説し, 本研究の目的を述べている。

第2章では, 複数エンコーダを利用した2つのセンサレス切削力推定手法を提案している。第1の手法は, 多慣性系の運動方程式に基づくマルチエンコーダ型外乱オブザーバを応用したものであり, ステージ位置に応じて変動する剛性値に依存することなく切削力推定できることを示している。第2の手法は, モード分解型の切削力推定手法であり, 送り軸の運動を剛体モードと, 機械要素間の相対運動に基づく振動モードに分解し, 各モード空間上で切削力を独立に推定できることを示している。

第3章では, 切削力推定性能を評価するシミュレータと実験装置を説明している。また, 切削力推定の誤差因子となる外力の位置依存性, 外力の周期変動, 内挿分割に伴う位置/角度変動を補償する方法を検討している。

第4章では, センサレス切削力推定における誤差因子の影響を評価している。具体的には, 推定手法の違いや質量の同定誤差, 位相遅れ要素に起因する同期誤差, 角度計測時の量子化誤差の影響をシミュレーションとエンドミル加工試験により評価している。提案したマルチエンコーダベースの推定手法は, モータの電流参照値と回転角度を利用した外乱オブザーバを適用した従来手法よりも切削力の推定帯域が向上することを実験的に示している。

第5章では, モード分解型の切削力推定手法, 特に振動モードでの切削力推定の有用性を評価している。回転-並進間の相対運動を利用することで, 切削力の送り方向成分だけでなく, 静止摩擦力を下回る直交方向成分も含めた切削力推定が実現できることを実験的に明らかにしている。

第6章では, 推定切削力を応用したパラレルターニングのためのびびり振動回避手法を提案している。推定切削力に基づき計測したびびり周波数と主軸回転数から導出される最適ピッチ角差で加工することにより, 実加工中にびびり振動を自律的に回避できることを実験的に確認している。

第7章は結論であり, 得られた成果を総括し, 今後の展望について述べている。

以上要するに, 本論文は, ボールねじ送り駆動系の工作機械におけるセンサレス切削力推定手法および複数工具同時加工における安定化加工法を開発したものであり, 生産工学分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第2（システム統合工学専修）科目担当者で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また, 語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。
--------	--