T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	摩擦の非線形挙動を考慮した転がり案内の動特性予測
Title(English)	Prediction Method for Dynamic Characteristics of Rolling Guideways considering Nonlinear Behavior of Friction
著者(和文)	酒井康徳
Author(English)	Yasunori Sakai
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9969号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉岡　勇人,井上　裕嗣,山浦　弘,高原　弘樹,田中　智久
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9969号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

論 文 要 約

THESIS OUTLINE

専攻：
Department of 機械制御システム　専攻

学生氏名：
Student's Name 酒井 康徳

要約
Thesis Outline

【論文題目】

摩擦の非線形挙動を考慮した転がり案内の動特性予測

【論文構成】

本論文は以下の 6 章で構成されている．

第 1 章：緒　　論

第 2 章：転がり案内の動特性評価手法

第 3 章：動特性が有する加振力依存性

第 4 章：非線形摩擦が動特性へ及ぼす影響

第 5 章：摩擦の非線形挙動を考慮した動特性の簡易解析手法

第 6 章：結　　論

【論文内容】

本論文では，「摩擦の非線形挙動を考慮した転がり案内の動特性予測」と題して，微小変位領域における摩擦の非線形挙動が転がり案内の動特性に及ぼす影響を実験及び数値解析により解明している．

第 1 章では，工作機械技術の変遷について述べた後，加工中に生じるびびり振動の抑制という観点から工作機械設計においてその動特性を検討することの必要性を示した．さらに，工作機械案内として広く使用されている転がり案内の動特性が，工作機械全体の動特性に大きな影響を及ぼすことや，転がり案内の動特性を評価・予測することの重要性を述べた．また，既存研究の研究成果について言及した後，本研究の意義及び目的を明示した．

第 2 章では，既存の転がり案内の動特性評価手法の例を示し，その特徴や問題点について述べた．また，工作機械に組み込まれた状態の転がり案内には，加工条件によって様々な方向及び大きさの負荷が複合的に作用するため，これまで検討されてこなかったモーメントと荷重が同時に作用する荷重条件下での動特性評価の必要性を示した．その後，既存の評価手法の問題点を改善し，モーメントと荷重を同時に作用させて行える新たな動特性評価手法を提案し，実際に転がり案内の動特性の評価を行った．この評価手法では，剛体コラムを転がり案内のキャリッジ上面に取り付け，そのコラム先端を加振することで転がり案内の動特性を評価する．本手法により，テーブルの姿勢誤差に大きな影響を及ぼすピッチングモード及びローリングモードの振動振幅を高い SN 比で検出し，そのモード特性を評価できる．評価の結果，ピッチングモードの方がローリングモードよりも減衰比が高くなることを明らかにし，減衰の方向依存性の存在を示した．また，ピッチングモードは送り方向の並進運動を伴って発生することを観測しており，転動体端面とキャリッジとの間で生じる摩擦減衰により減衰の方向依存性が生じることを明らかにした．

第 3 章では，負荷の大きさが転がり案内の動特性に及ぼす影響について述べた．提案手法による動特性評価を加振力の大きさを変えて行い，送り方向に加振した場合の周波数応答関数が加振力の大きさによって変化すること，すなわち送り方向の動特性に加振力依存性が存在することを明らかにした．前述のピッチングモードの減衰比は，加振力の大きさによって大きく変化し，加振力が定常摩擦力（クーロン摩擦力）程度になると極大値を有することを示した．また，加振力が小さい範囲では，前章の実験では観測されなかった送り方向への共振（並進モード）が発生することを確認した．

第 4 章では，摩擦の非線形挙動が動特性の加振力依存性を発生させる要因となることを理論的に明らかにした．摩擦の非線形挙動を Masing 則と呼ばれる履歴則を用いてモデル化し，送り方向の動特性を数値計算により解析した．その結果，摩擦の非線形挙動が送り方向の動特性に加振力依存性を発生させることを示した．また，負荷の大きさが定常摩擦力よりも大きくなると並進モードの共振現象が消失することを理論的に解明した．さらに，摩擦特性と動特性の加振力依存性との関係を詳細に検討したところ，摩擦特性のわずかな差異によって加振力の大きさに対する共振振動数及び共振点コンプライアンスの変化傾向が著しく変わることを示した．最後に，並進モードの振動数及びコンプライアンスの加振力に対する変化を実験と理論解析とで比較し，提案摩擦モデルを用いた理論解析の妥当性を検証した．その結果，実験と理論解析結果は良く一致しており，提案摩擦モデルを用いて転がり案内の送り方向の共振特性を予測できることを示した．

第 5 章では，転がり案内の動特性解析の高効率化を実現するために，前章で提案した摩擦モデルを基にして複素ばねを用いた等価摩擦モデルを新たに構築し，周波数応答（定常応答）を簡易的に解析する手法を提案した．この簡易解析手法は，非線形な摩擦特性を等価な複素ばねで置換し，調和バランス法を用いて周波数応答解析を行うものである．複素ばねを用いた等価モデルによる簡易解析の結果は，第 4 章で示した数値積分による解析結果とよく一致することを確認した．

第 6 章では，本研究で得られた知見や残された課題，今後の展望について述べた．