T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo 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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	酒井　康徳	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	吉岡　勇人
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	田中　智久

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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．本論文は，以下の全 6 章で構成されている．

第 1 章「緒論」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．また，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．さらに，既存研究の動向に言及した後，本論文の意義及び目的について述べる．

第 2 章「転がり案内の動特性評価手法」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「動特性が有する加振力依存性」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「非線形摩擦が動特性へ及ぼす影響」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「摩擦の非線形挙動を考慮した動特性の簡易解析手法」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「結論」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．

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	酒井　康徳	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	吉岡　勇人
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	田中　智久

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This thesis deals with influence of nonlinear behavior of friction on dynamic characteristics of rolling guideways, and it is composed of six chapters as following. In the first chapter, the background and the purpose of the thesis were described. In particular, it includes influence of the dynamic characteristics on both machine tool dynamics and machining efficiency. In the next two chapters, the experimental results clarified that the nonlinear behavior of friction in microscopic displacement region affects the dynamic characteristics. In the second chapter, a new evaluation method for the dynamic characteristics is proposed. The dynamic characteristics can be evaluated using this method when both external moment and force are applied to a carriage of rolling guideway. The evaluation results showed that the damping ratio of pitching mode is higher than that of rolling mode. It means that the damping capacity of rolling guideway has dependency in directions. The direction dependency is caused by sliding friction between the roller edge face and the raceway. Both of frequency and compliance at resonance of rolling mode are constant. However those of pitching and translational modes show remarkable changes against external force amplitude. This force dependency of the dynamic characteristics are caused by nonlinear behavior of friction. In the fourth chapter, influence of nonlinear behavior of friction on the dynamic characteristics is numerically analyzed by a newly proposed friction model based on Masing rule. As analytical results, tendency of the dynamic characteristics variation against the external force amplitude is changed by slight variation of friction characteristics in microscopic displacement region. In addition, it is verified that both variations of frequency and compliance at resonance against the external force amplitude can be predicted by the proposed friction model. In the fifth chapter, an approximate analytical method for the dynamic characteristics considering nonlinear behavior of friction was constructed. For steady state response analysis, nonlinear friction force is replaced by complex spring equivalently. The approximate solution can be calculated by the harmonic balance method without numerical integration, and is comparable with the solution by numerical integration. Finally, the conclusion and future works of this study were mentioned in the sixth chapter.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).