

氏 名	みやぐちかずお 宮 口 和 男
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3850 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	ボールねじ送り駆動機構の高速化と高精度化に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 久 保 愛 三 教 授 吉 村 允 孝 教 授 松 久 寛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、産業用機器の性能を向上させるため、それらに多用されているボールねじ送り駆動機構の高速化、高精度化、高負荷能力化を図る方法について研究を行ったものである。まず、ボールねじ送り駆動機構の諸特性が機構因子のどのような相互関係で決まるかについて考察した後、運動精度、経年劣化、振動、騒音、温度上昇などの諸特性についてそれぞれの現象を解析し、どのような問題点があるかを検討して、それらを改善する方法について提案した後、それらの有効性を検証している。本論文は、緒論、結論を含めて9章からなっている。

第1章は緒論で、ボールねじの特性が産業用機器に用いられる送り駆動機構の性能に極めて大きな影響を持っていることを述べた後、それに関連する研究の現状を述べ、本研究の目的とその位置づけ、本論文内容の概要を述べている。

第2章では、ボールねじ送り駆動機構の特性すなわち、最高送り速度、最高送り加速度、負荷能力、剛性、固有振動数、運動誤差、温度上昇が駆動機構のどのような因子とそれらの相互関係であるダイナミクスによって決まるかについて考察し、各特性と構造・仕様との関係式を構築している。そして、特に送り距離の短い場合には、最高送り速度以上に最高送り加速度が必要駆動時間の短縮に対する支配的因子であることを実証している。

第3章では、ボールねじの摩擦特性が運動精度に及ぼす影響について考察している。すなわち、運動方向反転時に生じる運動誤差の1つは、ボールの接点数数が変化することが主たる原因であることを明らかにし、これが生じる領域をボール接点数変化領域と名づけて、この領域の新しい摩擦モデルを導いて、理論解析を行っている。また、この結果に基づいて、接点数変化をきたさない機構について研究し、新しい構造のボールねじを実現し、その有効性を検証している。この新構造は製品化され、その性能が市場で高く評価されている。

第4章では、高負荷用ボールねじの寿命を決定しているナット内の最大負荷を負荷分布の均一化を図ることによって減少させ、それによって寿命を延ばす方法について研究している。すなわち、ナット内の負荷分布を求める解析法を提案し、これを用いて、何が負荷分布の不均一化の原因になっているかを考察し、これらの原因を取り除く方法について研究し、その有効性について検討している。

第5章では、高速・高加速度化にともなうボールねじ送り駆動機構の精度の経年劣化について考察している。すなわち、ボールの走行によって生じる直径摩耗率を経年劣化の評価値として提案し、ボールの摩耗が精度劣化に及ぼす影響を解析し、ボールねじの予圧トルクがどの程度残存すれば、実用上大きな問題は生じないかについて研究し、ボールねじの性能の大きな一項目である寿命の推定・評価を可能とした。

第6章では、ボールねじの高速性能を向上させるために、ボールねじの最高回転速度の限界を決めている原因について考察し、それがリターンチューブの疲労強度であることを理論解析によって明らかにし、それを向上させるために取るべきリターンチューブの形状、材質などについて考察し、それらの有効性について検討している。そして、新しい構造のリターンチューブ構造を、従来のパイプではなく高分子材モールドで実現し、大幅な高速性能の向上を果たした。

第7章では、高速化にともなって問題となるボールねじ駆動機構の振動・騒音特性について研究している。すなわち、振

動・騒音を増大させている原因について考察し、それがボールの走行音であることを明らかにした後、その減少方法を究明して、考案された方策の有効性を検討している。

第8章では、高速化にともなう問題となるボールねじの熱変位が精度劣化に及ぼす影響について研究している。すなわち、発熱、温度上昇、熱変位、軸方向剛性について理論的に考察した後、これらの変化を防止する方法について研究し、それらの方法の有効性について研究している。

第9章は、以上を要約した本論文の結論である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ボールねじ送り駆動機構の高速化と高精度化を実現するために、機構の諸特性を支配しているダイナミクスについて解析し、それらを改善する方法を提案し、その有効性を検証する研究を行ったもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. ボールねじ駆動機構の諸特性と駆動機構の構造・仕様の関係を解析し、そのダイナミクスを支配している因子と相互関係を明らかにした。
2. 工作機械の円弧補間運動時に現れる象限切替の際の運動誤差の原因となっているボールねじの摩擦特性の変動がボール接触点数変化によって生じていることを明らかにし、それを減少させて、運動精度を向上させる方法を開発した。
3. ボールねじのナット内で生じているボールの負荷分布の不均一の原因を究明するために、弾性接触理論にもとづいて負荷分布を計算する理論式を構築した。この理論式を用いてボールの負荷分布を均一化し、高負荷用ボールねじの寿命を2倍以上向上させることができた。
4. ボールねじに不可欠なボールの循環部の構造がボールねじの疲労寿命を大きく支配していることを明らかにした後、その改善法について研究し、循環部の形状変更と材質変更により限界となる最高回転数を大幅に上げるとともに、ボールねじの寿命を大幅に向上させることができた。
5. ボールの小径化、ねじの大リード化、保持ピースの挿入などを行うことによってボールねじの高速走行時騒音の大幅な低減を可能とした。また、新しく開発した循環構造であるエンドディフレクター方式を用いることによって、顕著な低騒音化、低振動、好音色化が実現できた。

以上要するに、本論文は産業用機器の高速化・高精度化で問題となるボールねじ送り駆動機構に生じる種々の現象を解析して、それらの問題を解決する方法を考案し、その有効性を実証している。この結果、基礎のみならず、応用の面からも多くの知見を得ており、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の論文として価値あるものと認める。また、平成17年1月31日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。