

1999年12月27日

機械・構造システム 工学専攻	
申請者氏名	崔 新

紹介教官氏名	堀内 幸
--------	------

論文要旨(博士)

論文題目	Study on an Air-spindle with Permanent Magnetic Bearing Combined for Improved Rotational Accuracy and Stiffness (永久磁石式磁気軸受併用によるエアスピンドルの高精度高剛性化に関する研究)
------	--

(要旨 1,200 字程度)

本研究は、エアスピンドルの回転精度を上げるとともに高剛性化を図るために、新しく考案した永久磁石式磁気軸受併用型エアスピンドルを設計・試作し、その性能を明らかにすることを目的とする。これが実現すれば、超精密加工の加工精度や真円度測定器の測定精度を格段に向上させることができ、その意義は大きい。

この磁気軸受は4対の永久磁石と電歪素子(PZT)をエアスピンドルの軸の周囲に配置したもので、PZTの伸縮によって磁力を変化させ、エアスピンドル軸の回転誤差を抑制するものである。この新しく考案された永久磁石式軸受は発熱が小さい特徴があり、超精密分野に適用できると考えられる。

第2章においては、まず、提案したハイブリッドスピンドルを試作した。システムオープンループの静特性と動特性を調べた上で、MATLABを用いてブラックボックスのARXモデルを同定した。それに基づき、本システムが可制御可観測ことを確認した。そこで、外乱をリアルタイムで抑制するために、PID制御器を構築し、また、エアスピンドルの再現性が高い回転誤差を補償するために、繰返し制御を導入した。その結果、300~1200rpmの回転速度の範囲で回転精度を30~50nmから6~10nmに向上させることができた。また、一回転あたりの回転誤差のrms値を2~3nmに小さくできた。一方、負荷3Nまで無限大の静剛性が得られ、5~600Hzの周波数領域に動剛性が5~15dB向上した。

第2章において、3点法を用いてスピンドルの回転誤差を測定するとき、微小変位計ターゲットリングの形状誤差の高周波数成分を正確に測定することができない問題があった。第3章では、この問題を解決するために、3点法におけるセンサの最適ロバスト配置角を求める手法を検討した。まず、3点法の誤差解析を行い、具体的には、誤差の伝播率の概念と本論文で定義した取り付け誤差の拡大率を利用してセンサノイズとセンサプローブの取り付け誤差によって起こされる測定誤差を解析した。次に、取り付け誤差にロバスト性を持つ最適配置角を求めるアルゴリズムを導いた。すなわち、予備測定と本測定を行うような”2段階測定法”を提案した。その有効性を各種条件でのシミュレーションで検証した。

第4章においては、第2章で考案したハイブリッドスピンドルの改良を行うとともに、本スピンドルを用いて超精密切削実験を行い、実用的性能の評価をした。まず、U型のヨークを永久磁石ブロックに取り付けることによって磁気ループをクローズドにし、漏れ磁束を減らし、絶対磁力と制御力を大きくした。その結果、7.5Nまで無限大の静剛性が得られた。次に、微小変位計のターゲットリングとして、アルミニウム製リングの代わりに、銅メッキしたステンレス鋼リングを採用し、温度安定性を高めた。そこで、この改良型スピンドルを用いて、切削加工実験を行い、仕上げ面の真円度を測定してスピンドルの実用的性能評価を行った。その結果、低周波数領域において真円度を向上させることができた。

第5章において、本研究の結論と今後の展望を述べている。