

伝熱シミュレーションを用いた高速回転軸受けスピンドルの熱変形予測

機械科 長津義之 鷺坂芳弘* 船井 孝
鈴木敬明
碌々産業株式会社 片山哲也 川津和司

Prediction of Thermal Deformation of High Speed Ball Bearing-Spindle using Heat Transmission Simulation

Yoshiyuki Nagatsu, Yoshihiro Sagisaka, Takashi Funai,
Takaaki Suzuki, Tetsuya Katayama and Kazushi Kawatsu

1. 目的

切削加工機の熱変形対策として、装置各箇所の加工時の計測温度から変形を予測し、熱変形を補正する手法が多く用いられている。しかし、この手法は事前に温度及び熱変位の繰り返し測定試験が必要であり、また、補正システム構築の際には経験則に基づいた予測手法が用いられることが多い。

本研究では、伝熱及び熱変位シミュレーションを用いた熱変位予測及び補正法の開発を行う。今回は、ベアリングやモータのロータ・ステータの発熱量、冷却部の熱伝達係数など、シミュレーションにおいて直接測定が難しいパラメータを多数必要とする高速オイルミストスピンドルを対象とし、そのパラメータ取得法を検討した結果について報告する。

2. 実験方法

(株)碌々産業製マシニングセンタ用オイルミストスピンドル（最高回転数60,000rpm、最大出力3kW）を対象とした。スピンドル運転時の温度及び熱変位を測定し、その結果を元にシミュレーションパラメータを算出した。

2.1 スピンドル測定

スピンドルを検査台に取付け、装置表面各部に7箇所及び冷却オイルの導入及び導出管に2箇所、オイルミスト排気管に1箇所それぞれT熱電対を貼付した。スピンドル下端の下方変位（z軸変位）は渦電流変位計（分解能 $0.4\mu\text{m}$ ）を用いて計測した（図1）。

スピンドル運転は、開始後60,000rpmを90分間保持後、停止した後、その間の各点温度及び熱変位を測定した。

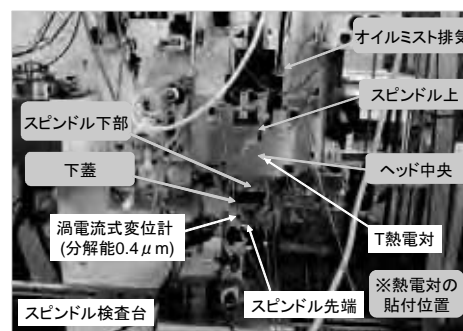


図1 スピンドルの温度・変位測定試験

2.2 スピンドルモデル

シミュレーションに用いたスピンドルモデルを図2に示す。

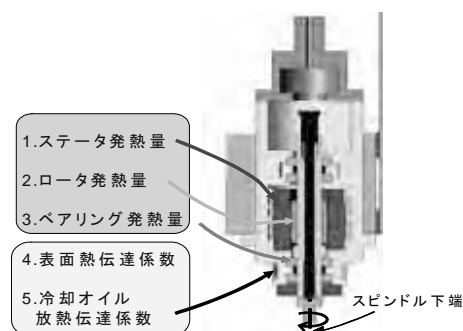


図2 スピンドルモデル

算出パラメータは、スピンドルのロータ、ステータ及びベアリングの発熱量並びに冷却オイル及び外壁の熱伝達係数の計5つとした。

*) 現 浜松工業技術支援センター

2. 3 パラメータ計算

各部温度の実測値と計算値の差の自乗和を評価関数Jとし、Jを最小化させるパラメータを算出した。算出手順は図3のように、回転時の熱平衡状態について定常解析し、その後に回転停止後の温度降下について非定常解析を行い、極小値を求めた。

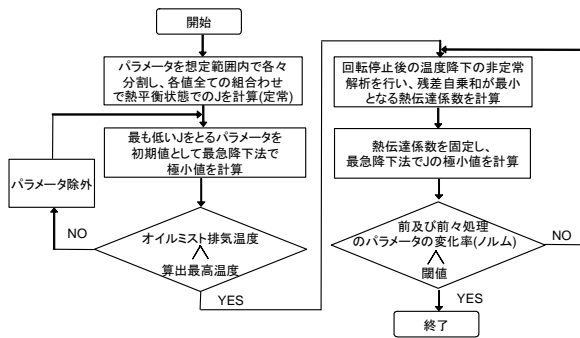


図3 シミュレーションパラメータ算出法

3. 結果

得られたパラメータを用いて60,000rpmの熱平衡状態での伝熱シミュレーションを行い、得られた温度分布を実測値と比較した結果を図4に示す。各点の温度差は1.8℃以下となった。

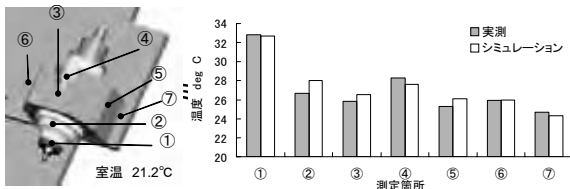


図4 各部温度 (60,000rpm熱平衡状態)
(右) 各測定点温度 (左) 測定箇所

図5は、表面の測定点で最も温度上昇が大きい下蓋部について非定常解析を行い、温度の時間変化を計算した結果である。回転開始から停止後の温度変化の差は1℃以下となった。

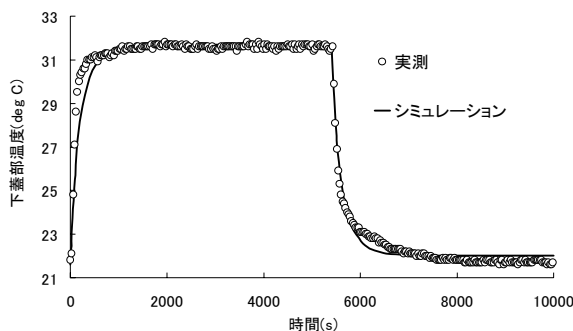


図5 下蓋部非定常解析結果

さらに、60,000rpm熱平衡状態でのシミュレーション結果を用いてz軸変位の計算を行った結果、実測とシミュレーションでは10%以下の差であった。

4. まとめ

高速オイルミストスピンドルを対象として、スピンドル実機による温度計測結果を用いて、伝熱及び熱変位シミュレーションパラメータ算出を行った。

その結果、温度変化を1.8℃以下で精度良く予測できることが示された。

直接測定困難なこれらのパラメータを特定し、シミュレーションの予測精度が向上すれば、熱変位補正システム構築の際の温度測定点の最適化、繰返しの熱変位測定試験の省力化が可能になる。加えて、熱変位を抑えるスピンドル設計にも応用可能である。

今後は、

- 1) 回転数の変動に合わせたパラメータ最適化
- 2) 主軸の傾きの予測
- 3) 空気静圧軸受け等、他の高速スピンドルへの適用

以上について取り組む予定である。

参考文献

- 1) 平澤義光他：工作機械主軸スピンドルの熱解析，NTN TECHNICAL REVIEW, No.76, 74-79 (2008).
- 2) 堀 三計他：基本特性データによる工作機械構造の熱変形量推定，日本機械学会論文集 (C編), Vol.64, No.621, 1836-1841 (1998).