

K9 非接触温度モニタシステムを用いた回転軸熱膨張量の推定

小林 滋* 鈴木 孝昌** 横山 和宏* 樹田 正美*

矢澤 幸哲* 岩部 洋育*** 森脇 俊道***

*新潟大学大学院自然科学研究科 **新潟大学工学部 ***神戸大学工学部

1. はじめに

近年工業技術の飛躍的進歩に伴い、工作機械がかなりの高回転域で使用されるようになってきた。ここで問題となるのが主軸部の熱膨張などによる加工精度の劣化であり、精度が上がるほど熱に対する対処の方法が難しくなっている。この問題を解決するために我々は、回転している主軸部の温度を非接触で推定し、主軸の熱膨張を推定するシステムを開発してきた¹⁾²⁾。

今回実際にエアスピンドル(UM200)の主軸、及び外部ケースの温度を計測し、本システムで得られる主軸端面の変位の推定値と静電容量型変位計で得られる実測値を比較し、本システムの性能評価を行ったのでこれを報告する。

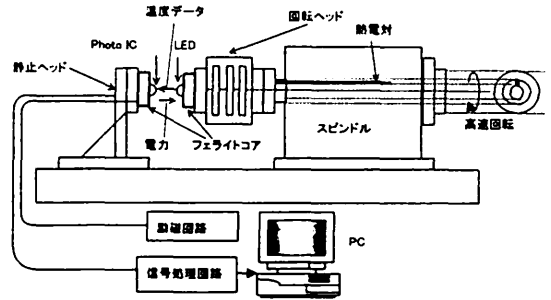


図1 非接触温度モニタシステムの概略図

2. 非接触温度モニタシステムの概要

回転主軸の伸びを推定するために用いた非接触温度モニタシステムの概略を図1に示す。本システムは回転ヘッド(温度センサ(熱電対(8ch))、A/D変換器、電力伝送用コイル、定電圧回路)、静止ヘッド(シリアルパラレル変換回路、励磁回路)、PCからなる。このシステムでは回転体に温度センサを設置し温度センサで得られる温度データをA/D変換器によりデジタルデータに変換する。このデータをLEDを用いて回転ヘッドから静止ヘッドへ非接触で伝送しPC内に取りこむ。また回転ヘッドへの電力供給は、電磁誘導作用を用いて静止ヘッドから回転ヘッドへ非接触で行っている。なお本システムで得られる温度測定精度は標準温度計を基準にして標準偏差で0.1℃である。

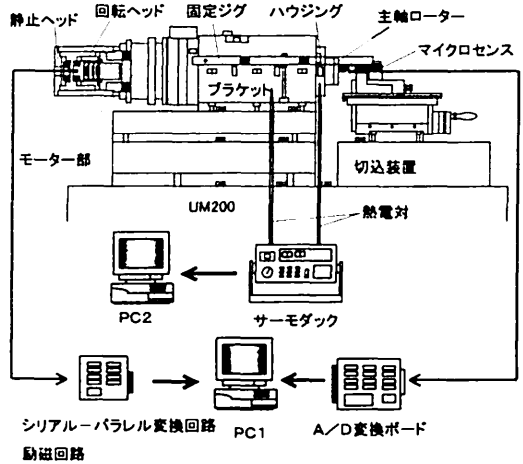


図2 実験装置概要図

3. 主軸端面の変位を推定するシステムの全体構成

UM200の回転軸端面の変位計測を行ったシステムの概略を図2に示す。PC1では非接触温度モニタシステムから送られてくる回転軸内部の温度データを処理する。また今回のシステムで検出される主軸端面の変位は、主軸以外のハウジング、ブラケット、静電容量型変位計を固定する固定ジグの熱変位も含むために、それぞれの箇所に熱電対(サーモダック、測定精度:0.1℃)を設置し温度をPC2で計測している。そしてPC1、PC2で得られる温度データから主軸端面の変位を推定する。また今回、本システムの有効性を示すために主軸ローターの端面に静電容量型変位計(マイクロセンス、測定範囲±25 μm、測定精度10nm)を設置し本システムの推定値と比較した。

4. 熱電対の設置位置と熱膨張推定式

図3に非接触温度モニタシステムで温度を測定した箇所、すなわち回転軸内の熱電対の設置箇所を示す。今回の測定では、加工機の主軸熱膨張の推定を行うため加工物を固定せず、主軸だけに熱電対を設置している。ch4は回転ヘッド内部の温度を測定する為に使用している。また熱電対で測定できない箇所(温度は近傍する熱電対の温度で0次補間をして求め、全体の熱膨張

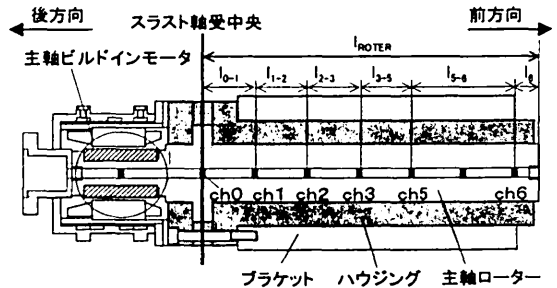


図3 回転軸内の熱電対の設置位置

は各部の熱膨張の和 ($\sum \rho \cdot l \cdot \Delta \theta$) として考える。ここで ρ は熱膨張係数、 l は測定箇所の長さ、 $\Delta \theta$ は測定開始時からの温度上昇である。この時の主軸ローターの熱膨張の推定式を以下に示す。

回転軸の伸び:

$$\Delta l_{\text{ROTTER}} = [(\Delta \theta_0 + \Delta \theta_1) / 2 \cdot l_{0-1} + (\Delta \theta_1 + \Delta \theta_2) / 2 \cdot l_{1-2} + (\Delta \theta_2 + \Delta \theta_3) / 2 \cdot l_{2-3} + (\Delta \theta_3 + \Delta \theta_4) / 2 \cdot l_{3-5} + (\Delta \theta_4 + \Delta \theta_5) / 2 \cdot l_{5-6} + \Delta \theta_6 \cdot l_6] \times A_{\text{SUS}}$$

$$l_{0-1} = 52.5 \text{ mm}, l_{1-2} = 52.5 \text{ mm}, l_{2-3} = 52.5 \text{ mm}$$

$$l_{3-5} = 52.5 \text{ mm}, l_{5-6} = 105.0 \text{ mm}, l_6 = 25 \text{ mm}$$

$$A_{\text{SUS}} = 10.3 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]: \text{ステンレス鋼}$$

次にハウジング、ブラケット、固定ジグの熱電対の設置位置を図4に示す。ハウジング、ブラケット、固定ジグの熱膨張は、各部に取りつけられた熱電対で得られる温度データ(サーモダック)を元にして求める。ハウジングの熱膨張については、熱電対を設置している箇所からハウジングの箇所が離れているので、サーモダックの測定点 $\Delta \theta_{h1}$ 、 $\Delta \theta_{h2}$ から1次補間からハウジングの温度 $\Delta \theta_{h1}$ 、 $\Delta \theta_{h2}$ を推定し、その平均値からハウジングの熱膨張を求める。以下に各部の熱膨張の推定式を示す。

ハウジングの伸び:

$$\Delta l_{\text{Hous}} = A_{\text{Hous}} \times l_{\text{Hous}} \times (\Delta \theta_{h1} - \Delta \theta_{h2}) / 2$$

$$\Delta \theta_{h1} = \Delta \theta_{h1} + (\Delta \theta_{h1} - \Delta \theta_{h2}) / l_{h1-h2} \cdot l_{h1-h1}$$

$$\Delta \theta_{h2} = \Delta \theta_{h2} - (\Delta \theta_{h1} - \Delta \theta_{h2}) / l_{h1-h2} \cdot l_{h1-h2}$$

$$l_{h1-h2} = 44.5 \text{ mm}, l_{h1} = 22.5 \text{ mm},$$

$$l_{h1-h1} = 12.5 \text{ mm}, l_{h2-h1} = 35.0 \text{ mm}$$

$$A_{\text{SUS}} = 10.3 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]: \text{ステンレス鋼}$$

ブラケットの伸び:

$$\Delta l_{\text{bra}} = A_{\text{C}} \times l_{\text{bra}} \times \Delta \theta_{\text{bra}}$$

$$l_{\text{bra}} = 15.0 \text{ mm}$$

$$A_{\text{C}} = 11.5 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]: \text{鋳鉄}$$

固定ジグの伸び:

$$\Delta l_{\text{Si}} = A_{\text{Si}} \times [l_1 \cdot \Delta \theta_{\text{Si1}} + l_2 \cdot (\Delta \theta_{\text{Si1}} + \Delta \theta_{\text{Si2}}) / 2 + l_3 \cdot \Delta \theta_{\text{Si2}}]$$

$$l_1 = 87 \text{ mm}, l_2 = 132 \text{ mm}, l_3 = 107 \text{ mm}$$

$$A_{\text{Si}} = 1.01 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]: \text{スーパーインバ}$$

これらの伸びから主軸端面の変位を求めるが、回転軸の変位はスラスト軸受けを中心に前方向、ハウジング、ブラケット、固定ジグの伸びはスラスト軸受を後方向に伸ばすように考えると最終的な主軸の端面の変位は以下の式となる。

主軸端面の変位:

$$\Delta l_{\text{DISPLACE}} = \Delta l_{\text{ROTTER}} - \Delta l_{\text{Hous}} - \Delta l_{\text{bra}} - \Delta l_{\text{Si}}$$

6. 実験結果

図5に本システムで得られた主軸の端面の変位推定値とマイクロセンスによる測定値を示す。測定開始時から120分までは、回転数を 0 min^{-1} とし、主軸への供給エア温度および静油圧テーブルへの供給油温度の影響による、主軸端面の変位を計測した。次に、回転数 5000 min^{-1} の状態で180分間計測し、最後に再び 0 min^{-1} の状態で120分間計測した。

この時、主軸の温度が均一であると考えられる測定開

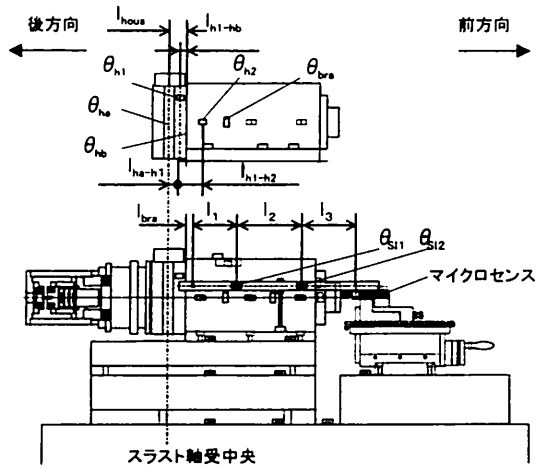


図4 外部ケースの熱電対の設置位置

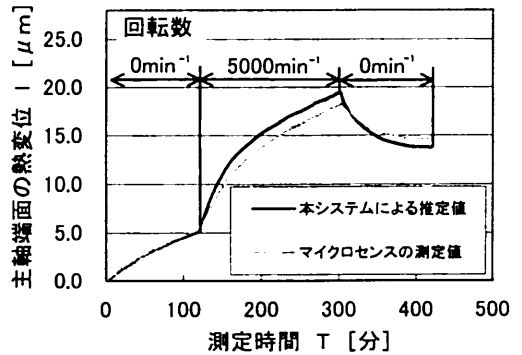


図5 本システムとマイクロセンスの比較

始時から120分までの推定精度は最大偏差で $0.17 \mu\text{m}$ となったが軸を回転させた状態では端面変位 $19 \mu\text{m}$ において最大 $1.5 \mu\text{m}$ の測定誤差が観測された。

7. まとめ

回転体内部の温度を遠隔計測し、温度分布から回転体端面の熱変位を推定した。その結果、回転体内部の温度が均一に近い場合には非常に高い推定精度が得られることが確認された。

今後、回転している状態(各部の温度が異なる場合)での測定精度の向上、加工物を設置している場合の端面の変位測定を行って行く予定である。

[参考文献]

- 1) 小林、他:「非接触温度モニタシステムを用いた回転主軸の伸びの推定」平成12年度電気学会東京支部新潟支所研究発表会予稿集、p79(2000)
- 2) 横山、他:「回転軸における温度情報の光テレメータリングに関する研究(第3報) - 主軸の熱膨張・熱変位のオンライン推定 -」、精密工学会誌、65, pp. 150-154(1999)