

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760113

研究課題名(和文) 単純形状ナノ精度原器の開発と曲線形状測定機校正法に関する研究

研究課題名(英文) Research on nano-precision simple-form gauge and calibration method of curve measuring machine

## 研究代表者

小森 雅晴 (KOMORI MASAHARU)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90335191

研究成果の概要(和文)：機械装置に用いられる幾何曲線形状を有する部品は、部品表面の微細な凹凸形状が性能・品質に大きく影響するため、専用測定機による曲線形状測定が行われる。しかしながら、現状では測定機検査・校正用原器の精度が低いため、測定機の高い精度を保証することが難しい。この問題を解決するため、本研究では平面と円筒から構成された曲線形状測定用原器を用いた検査・校正法を開発した。この検査・校正法の理論解析を行うとともに、実験を実施し、有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Micro form on the surface of machine parts which have geometrically curved surfaces influences the function and quality of the mechanical devices. Therefore the quality of those parts is inspected using the curve measuring machine. However, the accuracy of the gauge used for evaluation and calibration of curve measuring machines is not high and thus it is difficult to warrant the high accuracy of those measuring machines. In order to solve this problem, the evaluation/calibration method using the gauge for curve measurement which is composed of plane and cylinder is developed. The proposed method is theoretically analyzed. Experiment is carried out and the effectiveness of the method is confirmed.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：機械要素、精密計測

科研費の分科・細目：機械工学 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：計測、測定、原器、形状

## 1. 研究開始当初の背景

機械装置には、複雑な幾何曲線形状を有する部品が多く用いられる。例えば、自動車や風力発電装置などで用いられる部品にはヘリックス曲線が用いられる。このような部品

は、部品表面の微細な凹凸形状が性能・品質に大きく影響し、例えば、振動性能を大きく左右する。このため、製品の検査工程において、専用測定機や三次元測定機による曲線形状測定が行われる。機械部品に要求される精

度がマイクロメートルレベルであるため、これらの測定機にはより高い測定精度を保証することが求められる。曲線形状測定機は、より精度の高い原器を用いて検査・校正がなされる。測定機の精度は原器の精度以上のものとはなり得ないため、原器には極めて高い精度が要求される。しかしながら、現状の原器の精度は低いため、検査・校正された測定機の精度は産業界の要求を満足するものとはなっていない。

## 2. 研究の目的

この問題を解決するために、本研究では単純形状を基本構造とした高精度原器を用いた検査・校正法を提案する。この検査・校正法の有効性を実験により確認する。これにより、曲線形状測定機の高精度保証システムを構築する。

## 3. 研究の方法

次のように研究を進める。

- (1) 単純形状の円筒型平面原器により曲線形状測定機を検査・校正する状況について、バーチャル測定機を用いてシミュレーションを行い、検査・校正方法を構築するとともに、各種誤差要因の影響と問題点を明確化する。
- (2) 円筒型平面原器による曲線形状測定機検査・校正法の検証実験を行ない、有効性を確認するとともに、原器測定作業において発生する問題点を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 緒言

自動車用のトランスミッション、船舶用の減速装置、風力発電装置用の増速装置などで用いられる曲線形状部品では、マイクロメートルレベルの形状誤差が性能・品質に大きく影響する。特に振動騒音性能を大きく左右する要因となっており、商品性に影響をもたらす。このため、製品の検査工程において、曲線形状測定機による測定検査が行われる。しかし、現在、曲線形状測定機の検査・校正に用いられる原器は精度が十分ではない。このため、検査・校正された測定機の精度は産業界の要求を満足するものとはなっていない。それゆえに、高精度な原器による検査・校正法が要求されている。本研究では、ヘリックス形状を測定する曲線形状測定機を対象として、円筒型平面原器を用いた検査・校正法を開発する。

### (2) 円筒型平面原器

複雑な形状と比較すると、平面や円筒のような単純な形状は高精度に製作することが可能である。そこで、本研究では、単純な形状である平面と円筒から構成された円筒型

平面原器を用いた検査・校正法を提案する。円筒型平面原器は概略形状としては円筒形状をしているがその端部が円筒軸に対して傾きを持った平面となっている。この平面を測定平面と呼ぶ。測定平面は曲線形状測定機の測定子によって測定される平面であり、本原器の最重要部位となる。一方、円筒面は円筒型平面原器を曲線形状測定機に設置する際の位置決め基準として用いる。これにより、曲線形状測定機の回転軸と円筒型平面原器の中心軸の位置を一致させる。

円筒型平面原器は対象となるヘリックスと部分的に近い形状を実現することができる。平面や円筒であれば、高い精度の加工が可能であることから、原器の高精度化を実現できる。

### (3) 曲線形状測定機上での円筒型平面原器の測定方法

ヘリックス測定では、誤差のないヘリックス曲線に相当する動きを測定機により実現する。一般に回転ステージを有する曲線形状測定機を用いたヘリックス形状測定では、測定対象物を回転ステージに設置し、測定子を回転軸と平行な方向に移動させるとともに、その軸方向移動量とヘリックスのリード角から決まる角度だけ測定対象物を回転させる。この際に生じる、測定子計測可能方向の偏差が形状誤差となる。通常は、その値を縦軸にとり、回転軸方向位置を横軸にとって出力する。

円筒型平面原器を測定する場合もこの測定方式に従う。円筒型平面原器を曲線形状測定機に設置し、測定平面の最大傾斜方向が測定子計測可能方向に一致する状態とする。この状態とするため、あらかじめ測定機の測定子で測定平面を測定する作業を行い、測定平面の向きを把握し、必要があれば調整作業を行う。

曲線形状測定機は、理論ヘリックスと実際の測定面との偏差を出力する。一般の測定対象物を測定する場合には、実際の測定面は理論ヘリックスを狙って製作されているため、それに近い形状となっている。そのため、通常の測定の際には曲線形状測定機が出力する理論ヘリックスと実際の測定面との偏差は微小である。一方、円筒型平面原器を測定する場合は、ヘリックスと平面との差が出力されることとなるため、偏差は大きくなる。

### (4) 検査法の実験検証

円筒型平面原器を用いて曲線形状測定機の検査実験を行った。まず、原器調整器具を測定機に取り付け、次に円筒型平面原器を設置する。この原器調整器具は水平面内方向に位置調節が可能であるため、原器の中心軸と測定機の回転軸の位置に違いがあった場合

の調整に用いる。

円筒型平面原器の設置完了後、円筒部に曲線形状測定機の測定子を接触させ、回転ステージを1周回転させ、偏心状態の測定を行う。前述の調整器具を用いて原器の位置を調整して、偏心の無い状態とする。

次に測定平面の測定を行う。まず、原器の最大傾斜方向と測定子計測可能方向が平行となるように目視でステージを回転させる。次にその状態で測定平面に測定子を接触させて、格子状に測定を行う。この時の各点の座標と検出器の値を記録する。これを基にして、原器の最大傾斜方向と測定子計測可能方向とが平行となるようにステージを回転させる。

次に測定子と測定平面の接触点が狙った測定位置となるように測定子を移動させる。この作業中に原器と測定子が干渉しないようにするため、測定子を原器よりも高い場所に位置させた状態で測定子の水平面内の位置を調整し、その後、測定子を下方方向に移動させて原器に接触させ、測定機の検出器の出力が0になるようにする。この位置を測定子の基準点とする。次に、測定子を原器の回転と同期させながら回転軸方向に移動させ、測定開始点まで移動させる。その後、回転ステージの回転運動と測定子の直線運動を同期させてヘリックス測定を行う。実験では、曲線形状測定機の有する測定プログラムに従ってヘリックス測定を行った。この結果、円筒型平面原器を用いた測定が問題なく実施できることを確認した。

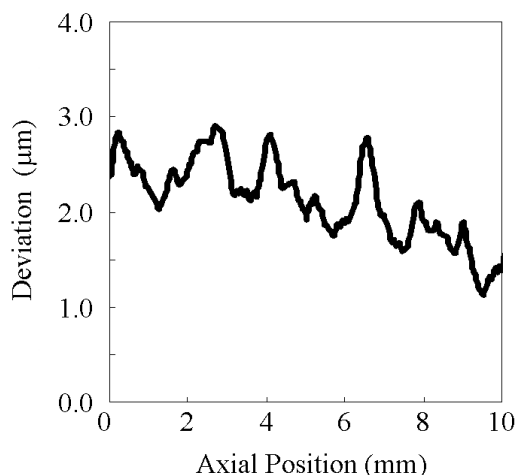


図1 円筒型平面原器を用いた検査法の検証実験結果

実際の測定結果と理論曲線の差を図1に示す。理論曲線は、測定円半径、リード角、測定平面の傾き角度等を考慮して出力した。測定結果グラフにおいて、横軸(回転軸方向位置)は絶対的な位置の精度は必要とされない。このため、測定出力結果の横軸は必ずしも高

い測定精度とはなっていない。この特性は、通常のヘリックス測定では問題は生じないが、円筒型平面原器の測定では影響を及ぼす。これを避けるため、横軸の補正を行った。この結果、図1に示すように曲線形状測定機の測定機能について評価することができることを確認した。図1の測定結果を見ると、曲線が右下がりの形状となっていることが分かる。また、細かな凹凸形状が見られる。このように検査結果を分析することで、測定機の状態を把握することが可能となった。

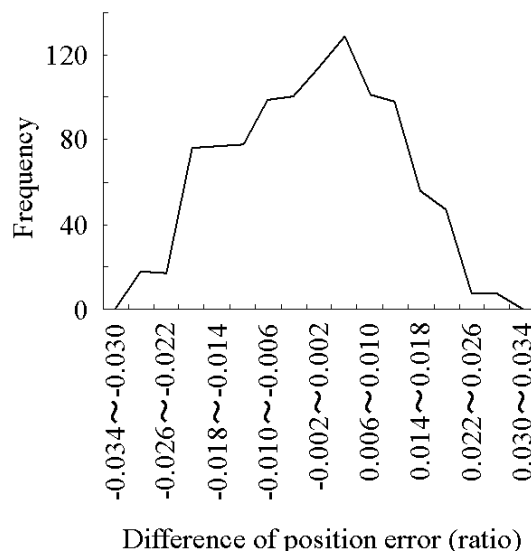


図2 位置誤差推定精度検証結果

#### (5) 円筒型平面原器を用いた校正法

前述のように、円筒型平面原器を曲線形状測定機で計測することにより、曲線形状測定機の状態を把握することはできるが、それだけでは個々の原因を把握することはできない。そこで、測定機の誤差要因の分析を目的とした校正法の開発を行った。まず、測定誤差要因として考えられるものをリスト化し、各誤差要因の校正可能性を調査した。誤差要因の種類によっては別の測定手段を用いることで校正することができるものも存在するため、それらについては別の方法で校正すると想定した。その結果、円筒型平面原器を用いて校正する必要のある誤差要因を抽出した。次に、これらの誤差要因の分析法を開発した。誤差要因には様々なものが存在するが、異なる誤差要因であっても測定結果に与える影響が同じ場合がある。検討を行った結果、このような誤差要因を含む場合は、単純な分析法では誤差要因の分析を正しくできないことが明らかになった。そこで、バーチャル測定機を用いて、対象となる誤差要因が存在した場合に測定結果が受ける影響の調査を行った。それを基にして、誤差要因の影響特性を明らかにするとともに、この特性を

利用した校正アルゴリズムを開発した。

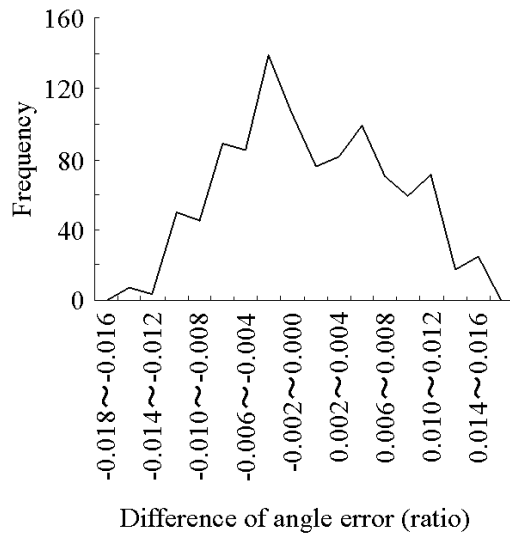


図3 角度誤差推定精度検証結果

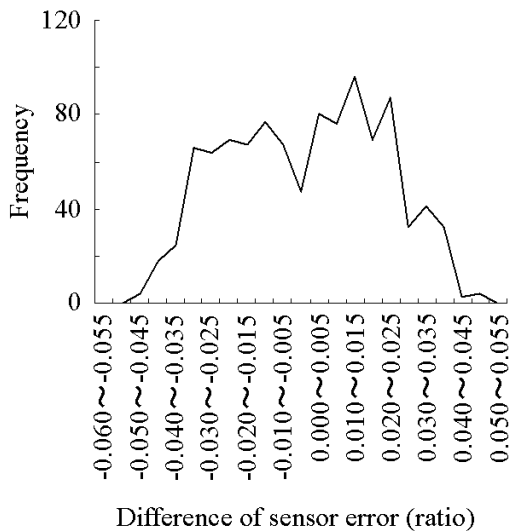


図4 センサ誤差推定精度検証結果

開発した校正アルゴリズムの有効性の検証を行った。検証実験はシミュレーション上で行った。バーチャル測定機に対してあるばらつきを有する誤差要因を与え、その状態で仮想的に円筒型平面原器を計測し、仮想測定結果を出力する。仮想測定結果の曲線と理論曲線の差を求めることで測定機の状態を示す曲線が得られる。これに対して、校正アルゴリズムを適用し、誤差要因の分析を行った。多数回のシミュレーションを行い、位置誤差を推定した。与えた位置誤差と推定された位置誤差の差の分布を図2に示す。横軸は与えた位置誤差の最大値と前述の差の比率を示す。この結果、推定結果は、与えた位置誤差の最大値の±3%の範囲内となっている。ま

た、誤差要因として角度誤差を取り上げ、シミュレーションを行い、誤差を推定した結果を図3に示す。角度誤差の推定結果は、与えた角度誤差の最大値に対して±1.6%の範囲内であることがわかる。同様に、図4はセンサ誤差について校正アルゴリズムを適用し、推定した結果である。センサ誤差の推定精度は、与えた誤差の最大値に対して±5.5%以内となっている。これらの結果、提案した校正法が高い推定精度を有していることを確認できた。また、図より、対象とする誤差要因によって推定精度の高さが異なることがわかった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線) なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小森 雅晴 (KOMORI MASAHARU)  
京都大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：90335191

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし