

微小円筒形状測定技術と装置の開発

—円筒形状外周面の非接触測定—

高尾 清利・中山 信一・平川 寛之・岩間 貴司*

Development of Measuring Machine for Small Cylindrical Form

Kiyotoshi TAKAO, Shinichi NAKAYAMA, Hiroyuki HIRAKAWA and Takashi IWAMA

要 約

非接触で円筒形状の寸法精度、幾何偏差を測定するシステムの構築を行った結果を以下に示す。

- (1) システムは、X、Z及び θ 軸からなり、パソコンNCによる自動測定を可能とした。
- (2) 円筒形状のセンシングには合焦点式のレーザ変位計が有効であり、エッジの検出も受光量にある境を設けることにより可能となった。
- (3) ティーチングによる測定経路の追従により軸径の違う円筒を持つ部品の測定も可能であり、複合的な計測が可能である。
- (4) 本システムによってピンゲージの真円度及びネジの単一リードを測定した結果、在来の測定機（真円度測定機、測定顕微鏡）による測定結果と間に差が生じたが、測定データの処理による影響が大きいと考えられる。

1. 緒 言

近年、製品の小型化や高精度化、さらに光通信分野の急激な技術革新にともない、小径の円筒部品の需要が高まってきている。県内企業においても、このような部品の受注の増加が見られ、光通信産業の成長がうかがえる。

しかし、これらの部品の精度検査には、高価な測定機や熟練した測定技術が必要となる上に、測定に多くの時間を要する場合が多い。また、より小さな部品が増えているため、今後接触式では測定が不可能な部品もでてくると思われる。

そこで、本研究は、小さな円筒形状部品の寸法精度及び幾何偏差を非接触で測定するシステムの構築を行った。

2. システムの構築

一般に円筒形状の部品では、半径法や三点法などによる真円度測定が行われている。半径法で得られたデータは、最小自乗法による線形近似計算や最小領域法による最適化技法によって処理されて偏芯補正される。

本測定システムは、センサにレーザ変位計を用い、基本的に半径法を利用した方法で円筒形状の測定、また、スケールを持たせたX及びZ軸により、円筒形状の軸方向へのセンシングを可能とし、長さや真直度等の幾何偏差も測定できる構造となっている。

測定機本体は、X・Zの直線軸と回転テーブルの θ 軸の三軸からなり、またそれらの駆動を制御するパーソナルコンピュータからなる。

2-1 測定機の仕様

本測定システムは、機器の小型化を図るとともに、小さな円筒形状部品をより高精度に測定するために機械的精度の高精度化を図っている。測定機の外観を写真1に、その概要を図1に示す。

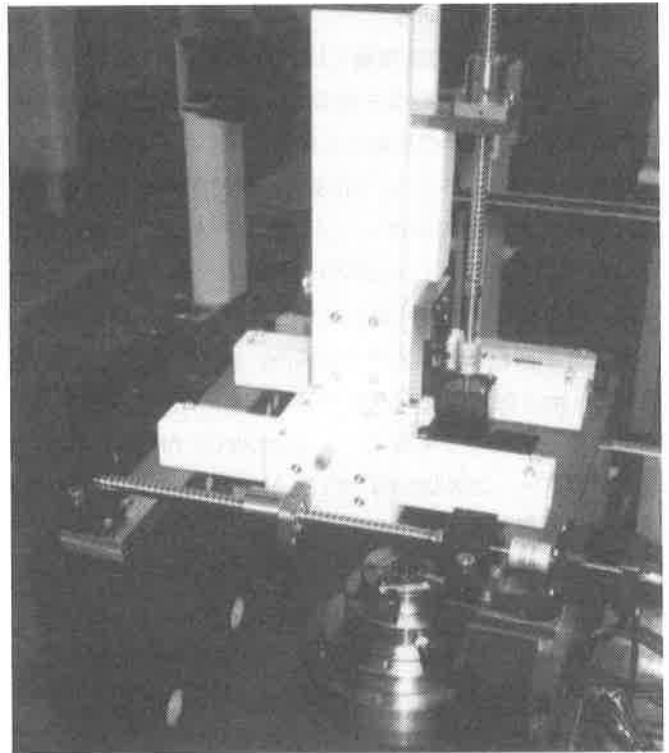


写真1 装置の外観

*山梨県富士工業技術センター機械電子部

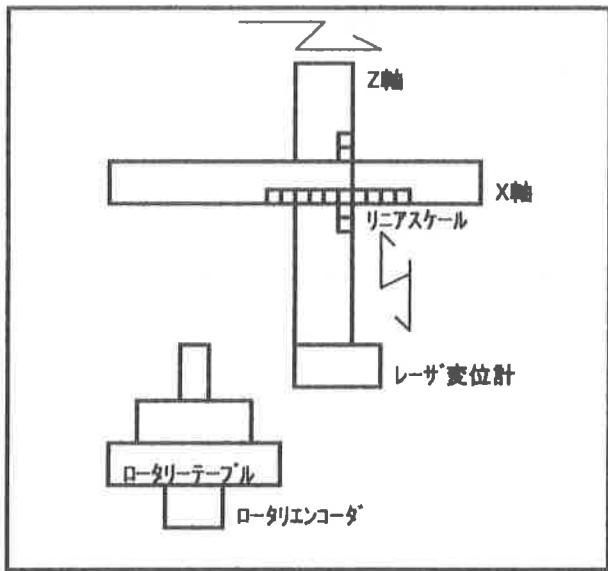


図1 装置の概要

2-1-1 センサ

測定物をセンシングするセンサは、市販のレーザ変位計を用い、これは、合焦点式非接触変位計であり、三角測距式ほど分解能が高くないが、常に焦点位置でセンシングできることから、芯ずれの影響がほとんどなく、円筒形状の測定にも適用できた。さらに、表面の材質の違いによる測定値への影響が少ないために、2種類以上の素材で構成される部品には最適である。

X方向及びZ方向の直線軸には、真直度 $0.05\mu\text{m}$ 以下のセラミックス製の空気軸受を配置し、測定物の軸方向と半径方向に対するセンサの移動を可能としている。X軸は剛性をもたすため平行とし、全体的には門型構造である。また、それぞれの軸にはボールネジとモータによる駆動系及びレーザリニアスケールが取り付けられており、 $0.1\mu\text{m}$ 精度の正確な位置決めが可能である。

測定物を回転させるための回転軸 (θ 軸) には、回転精度 $0.05\mu\text{m}$ の空気軸受式のロータリーテーブルを使用した。 θ 軸はモータ直結で駆動させ、3,240,000分割のレーザエンコーダにより、分解能0.4秒の位置決めが可能である。

2-2 制御系の仕様

3つ (X・Z・ θ) の移動軸からなる測定機を自動で制御するため、パソコンNCの技術を応用した。

測定者は、上位ソフトを利用して測定者と測定機の間にあるNCボードにより、測定機をベーシックライクなコマンドで簡単にCNC制御できる。

2-3 測定方法

測定機は、測定者が作成したコマンドにそって測定経路を動き、測定機側からフィードバックされる各軸の位置データ (エンコーダのパルス) 及びセンサの変位量 (アナログ $\pm 6\text{V}$) を三次元データとしてパソコンのメモリに格納する。

また、エッジ部の検出は、受光量のアナログ値に、ある一定の値での境を設けることによりエッジの認識を行わせる方式により、反射光の受光量から判断することが可能である。

非接触表面粗さ計用の校正用段差試験片を用いた溝測定実験においては、 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 程度の誤差で検出することが可能であった。

3. 測定及び評価方法

3-1 基本データの取込み

円筒形状の座標データをX、Z及び θ の三次元データとして得る。

ティーチングによる測定経路に沿ってセンサヘッドが移動し、円筒面のセンシングを行う。各軸のエンコーダのパルスをデータとして上位計算機に渡し、解析を行う。

3-2 誤差要因の補正

各軸の相互間に発生する幾何偏差や、測定物の設置誤差等を補正する必要がある。以下のような方法で行った。

3-2-1 測定子径による誤差

一般には、測定機に準備されている検出器は差動変圧器が多いが、一部非接触 (レーザ、静電容量、渦電流等) 検出器もある。いずれの場合も測定子の寸法やスポット径、電極径が影響し、測定物の真の形状をとらえることは不可能である。しかし、測定子径より大きなフィルタ波長を選択することで、実用上の測定には影響がないと言える。本システムで使用するレーザ変位計のスポット径は $2\mu\text{m}$ であり、データの処理を移動平均法により行っていることから、円筒面の測定に限りこれに関する補正は行わない。

また、段差形状等エッジの存在する形状の測定の場合、あらかじめ標準片の測定によって得られた受光量の境界値を用いてエッジの検出を行う。

3-2-2 レーザ光源の姿勢誤差

レーザ光は、ロータリーテーブルの回転軸に垂直になっていることが理想であるが、図2及び図3に示すように実際

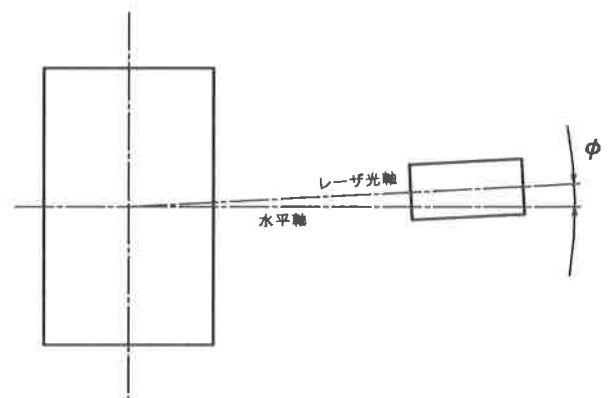


図2 変位計の垂直方向の角度誤差

には垂直面上で ϕ 、水平面上で ψ の取り付け誤差が生じる。 ϕ はレーザの変位量に対して、 $1/\cos \phi$ 倍の影響を与えるが、測定物のチルティングによって円筒の中心軸がZ軸に限りなく平行に近くなると考えると $1/\cos \phi = 1$ とみなして差し支えないため、 ϕ のは無視できる。

また、 ψ については、回転テーブルの中心と測定物の軸芯とが完全に一致することは不可能であるため、回転角度によってオフセット h が生じる。従ってこの ψ が大きな誤差要因となるのは塚田らの報告⁵⁾のとおりで、円筒形状測定における半径法に直接影響を与えるものである。

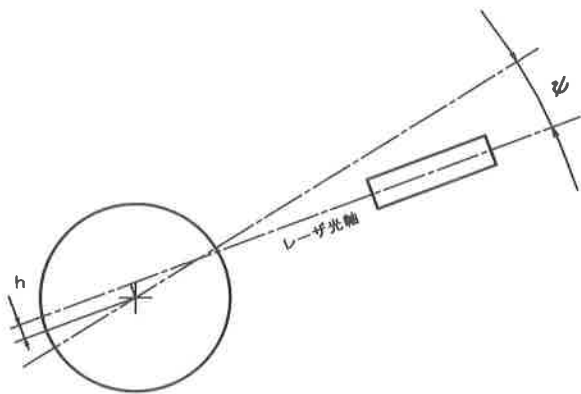


図3 変位計の水平方向の角度誤差

しかし、このオフセット h を直接把握することは難しいため、繰り返し最小自乗法により偏心成分を十分に除去し、 $h=0$ と処理して計算を行う。

3-2-3 軸間の機差

2軸間の誤差要因としては、X軸とZ軸の直角度、及び各軸のピッチング、ヨーイングなどがある。これらも、機器の構造上完全に除去する事は不可能であり、特に直角度に関しては、測定データに大きな誤差を与えるため、補正をかける必要がある。

X軸とZ軸の直角度は、直角スコヤを用いて計測し、補正係数を求めた。これにより、2軸間に生じる角度偏差はある一定の角度を持った直線的な偏差であったため、簡単な数式で補正を行うことができた。

4. 測定結果及び考察

外形2mmのピンゲージの真円度測定、及び外径3mm、リード4mmのボールネジを軸方向に測定した結果を表2に示す。ただし在来機として、真円度測定は真円度測定機(RTH社TR300)、ネジのリード測定は測定顕微鏡(TOPCON社TUM)により測定し、その仕様を表1に示す。

真円度測定では、わずかに測定結果に違いがあるが、これはTR300においては測定データのフィルタリングを1-50UPRで行い、本システムでは移動平均法を利用して行ったためと考えられる。本システムでは、電気的なフィルタは使用せず、ソフトウェア上で処理を行っていることから、

今後いくつかの平均化処理プログラムを用意する必要がある。

表1 在来測定機の主な仕様

	真円度測定機(RTH TR300)
テーブル回転精度	0.05 μ m
ゲージ分解能	0.012 μ m
コラム真直度	$\pm 5 \mu$ m

	測定顕微鏡(TOPCON TUM)
スケール	マグネットスケール
スケール分解能	1 μ m
測定範囲	X: 200mm Y: 100mm

表2 開発機による測定結果

	本システム	TR300
真円度測定結果	0.75 μ m	0.55 μ m

	本システム	測定顕微鏡
ネジリード測定 (単一リード平均値)	3.997mm	3.999mm

またリード測定では、測定物のアライメントや芯だしの正確さが大きく結果に影響してくる。また、スポット径2 μ mのレーザ光でセンシングしており、段差への落とし込み時の誤差が0.5 μ m程度あることが、測定結果に影響を与えている。

5. 結 言

今回の研究開発は、小さな円筒形状物の外周面の非接触測定を高精度に行う測定機を目標に行った。装置の設計、アSEMBル、ソフトウェアの開発、さらに測定データの補正等、一連の開発過程を経て測定装置の完成を見ることができた。

実測による在来機との比較では、ピンゲージの真円度測定で0.2 μ m、ネジのリード測定で3 μ m違いが生じた。これらの誤差の要因としては、測定データの補正やフィルタリ

ング等の処理による影響が大きいと考えられるが、心出しプログラムの高度化及びチルティングテーブルの整備を行うことも必要である。また、段差形状のセンシングにおいては、レーザ光の受光量の調整を測定物毎に行うことが必要と思われる。さらに、今回スポット径の影響については補正を行わなかったが、溝形状の測定のためのスポット径によるオフセットの補正を行うプログラムを作成することによって、より測定データの信頼性の向上が図れると考えられる。

本システムの開発にあたり、協力をしていただいたTHK(株)及び(株)中村製作所の皆様方にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 干大海, 塚田忠夫: 偏心軸の三次元形状測定と関連形体の精度評価 (第一報), 精密工学会誌, 61, 7, 969 (1995)
- 2) JISB7451-1991真円度測定機
- 3) JISB0621幾何偏差の定義及び表示
- 4) 青木保雄: 改訂精密測定 (2), コト社 416 (1968)
- 5) 塚田忠夫, 干大海, 橋本裕之: 偏心円筒部品の断面形状と関連形体の精度評価に関する研究 (第一報), 精密工学会誌, 58, 12, 2105 (1992)