

微小円筒形状測定技術と装置の開発

—円筒外周と穴内面間の幾何偏差測定—

高尾 清利・河野 裕・佐野 正明・中山 信一

Development of measuring machine for small cylindrical form

—a measuring method of geometric deviation for cylindrical form—

Kiyotoshi TAKAO, Hiroshi KONO, Masaaki SANO and Shinichi NAKAYAMA

要 約

微小円筒形状物の測定技術の確立を目的に、過去2年間の技術開発の成果を基にして、幾何偏差計測のためのシステムの再構築、機構の融合化、さらに測定の自動化について検討し、装置の開発を行った。

- (1) 前年度開発した細穴測定用の空圧式プローブセンサのフィーラを小型化し、先端球に真球度の高い $\phi 0.6\text{mm}$ のボールレンズを使用して $\phi 0.8\text{mm}$ 穴用のフィーラを作製した。その結果、前年度の $\phi 1.2\text{mm}$ 用プローブと同様の測定精度で計測することができた。
- (2) 空圧式プローブセンサを用いた細穴測定の装置について、画像処理装置やピエゾアクチュエータ、XYステージ等を使用して測定の自動化のためにシステムの再構築を行った結果、プローブの穴への自動挿入、プロービング、結果処理をPC上の操作でできるシステムとなった。
- (3) 平成9年度及び10年度の開発成果を融合して円筒の外周面及び穴内面の幾何偏差を測定できるシステムについて検討した結果、接触式の空圧式プローブと非接触式のレーザ変位計を組み合わせる測定システムに再構築した。

1. 緒 言

光通信事業の技術革新や電化製品の小型化などにもない、小径の円筒部品の需要が高まるとともに、加工部品の多様化、加工精度の高品質化が進んでいる。県内企業においても、このような微小部品の受注が増え、それに伴い加工技術の進歩が伺える。

しかしそれら加工品の寸法及び幾何精度の測定には、測定機メーカーの用意する機器を用いて行いが、小径深穴形状のように現状の測定機器では測定不可能な形状が増加しつつある。

本研究は、3年計画で行った共同研究の最終年度にあたるもので、平成9年度はレーザ変位計を利用した円筒外周面の非接触自動測定¹⁾について、また平成10年度は空圧式プローブセンサの開発による小径穴内面の接触式測定技術²⁾について開発を行った。

さらに本年度は、過去2年間の開発成果の高度化、融合化及び自動測定化について検討した。

2. 空圧式プローブセンサの高度化

前年度開発した空圧式プローブセンサ²⁾は、小球と細径パイプを用いてフィーラを構成し、パイプ内の真空圧の変

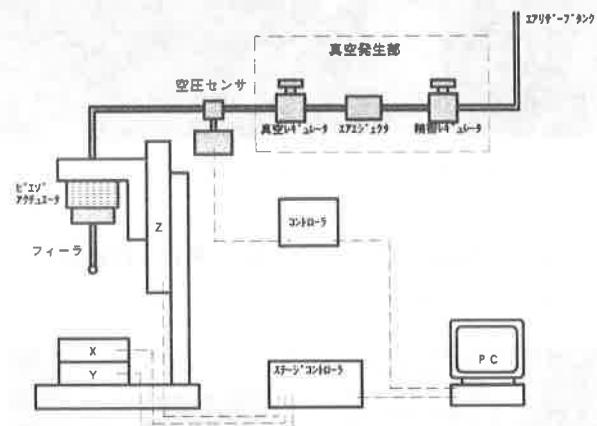


図1 空圧式プローブセンサの概要

動を利用して、座標値をセンシングするセンサである。その概要を図1に示す。

昨年度は、測定対象の穴径を $\phi 1.2\text{mm}$ 程度に絞って開発し、空圧式プローブセンサの実用性について検討した結果、その有効性を見いだすことができた。

今年度は、より小さな穴径測定のためのフィーラの小型化と、より高精度に測定するための測定の自動化について検討した。

2-1 フィーラの小型化

測定対象穴径を $\phi 0.8\text{mm}$ 程度に設定し、プローブ先端球 0.6mm 、パイプ径 $\phi 0.5\text{mm}$ 、パイプ長 10mm でプローブセンサの製作を行った。また、先端球にBK7のボールレンズを使用することにより、いままで使用していたベアリング球（クロム鋼球）に比べ、高い真球度による測定の高精度化と、軽量化による測定圧力の軽減化を図ることができた。プローブ先端部を写真1に示す。

球とパイプの接触面はバルブシートの役目をするため、その接触状態がパイプ内の真空状態の安定性に大きな影響を及ぼす。そのため、パイプ端面は球と摺り合わせ研磨によって成形し、先端球のパイプ端面吸着時の安定化を図った。

このフィーラを用いて、 $\phi 0.8\text{mm}$ のゲージを測定した結果、穴寸法誤差 $0.6\mu\text{m}$ 、標準偏差 $0.25\mu\text{m}$ で安定的に測ることができた。

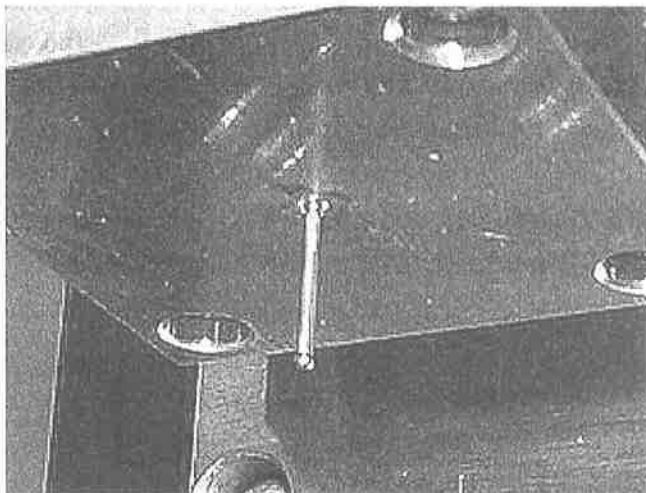


写真1 先端球径 $\phi 0.6\text{mm}$ のフィーラ

3. 空圧式プローブによる穴測定の自動化

平成10年度の成果である空圧式プローブセンサによる細

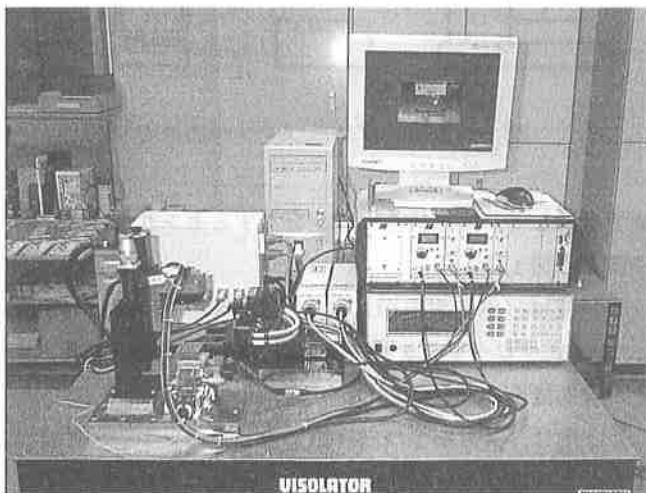


写真2 システム全体

表1 システムの仕様

ピエゾアクチュエータ	軸数	2軸 (X/Y)
	印可電圧	0~150V
ピエゾドライバ	移動距離	各軸 0~100 μm
	入力電圧	0~10V
プローブセンサ	出力電圧	0~150V
	方式	工業技術センター式 (空圧プローブ)
CCDカメラ	画素数	41万画素
	ビデオ入力	モノクロ
	ビデオ出力	モノクロ
	光学系	2方向分岐型
画像処理	画像の切り替え	投光器のシャッター切り替えによる
	検出時間	50ms
	検出分解能	1/100画素
XYステージ	検出精度	1/4画素
	駆動力	マイクロステップモータ
	送り機構	ミニチュアボールネジ
	位置決め分解能	0.1 μm
	位置決め精度	0.2 μm

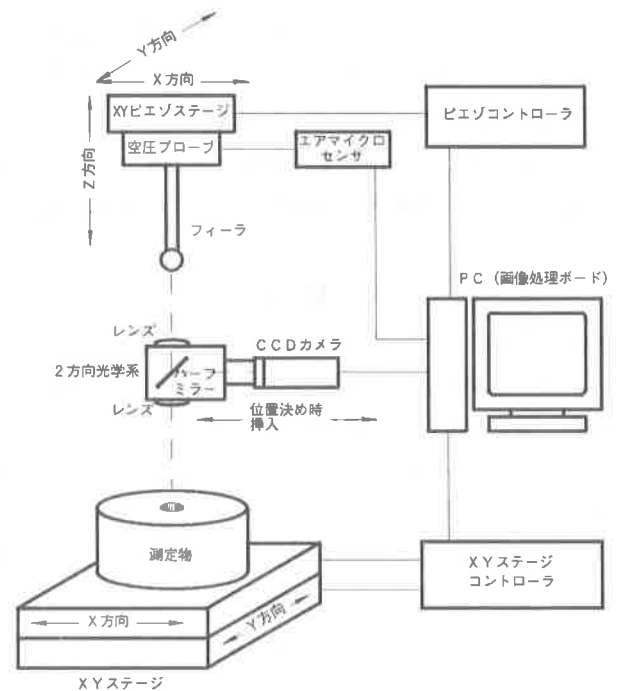


図2 システム全体概要図

穴測定について、システムを再構築し測定の自動化を試みた。システム全体を写真2、システムの概要を図2、システムの仕様を表1にそれぞれ示す。

3-1 フィーラと測定穴の位置決め

先端球の小径化を進めると、目視による測定穴へのフィーラの挿入が困難になる。また、フィーラの挿入後、自動プロービングを行う前の先端球の初期位置が、穴の中心にあることが望ましい。そこで、フィーラを穴に挿入する前に、先端球と測定穴のX/Y座標方向に対する芯出しを自

動で行うシステムについて検討した。その結果、画像処理を用いた芯出しシステムを開発した。測定部の機構を図2及び写真3に示す。

システムは、CCDカメラと2方向光学系、画像処理装置、XYステージ、Zステージで構成し、測定物の穴及びプローブの先端球をCCDカメラで観察し、その画像データ処理による両者の中心位置のズレ量を算出、XYテーブルにより位置決めを行う機構である。

穴と球を同一の光学系で観察するため、上下2方向の画像を取り込むことが可能な光学系を作製し、これをCCDカメラに取り付けた(写真4)。これは、投光器の切り替えによって、上下方向の画像を別々に取り込むことが可能である。これをW軸ステージによって測定部へ移動し、画像データを取り込む。写真5は測定部に光学系が挿入されている状態を示す。

位置決めにあたり、あらかじめ、基準となる円形状を画像として取り込み、1ピクセルあたりの寸法をキャリブレーションしておく。次に、取り込んだ穴の画像の中心位置と先端球の中心位置を最小自乗法を用いて算出し、双方の中心位置のズレ量をXYステージコントローラにフィードバックし、測定物の移動により位置決めを行う。図3に測定穴の画像処理状態を示す。処理プログラムはVISUALCで開発し、PCの画面で操作できるように開発した。

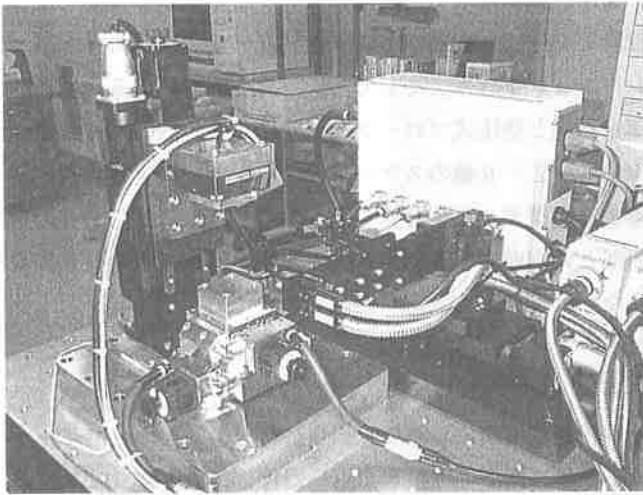


写真3 測定部の機構

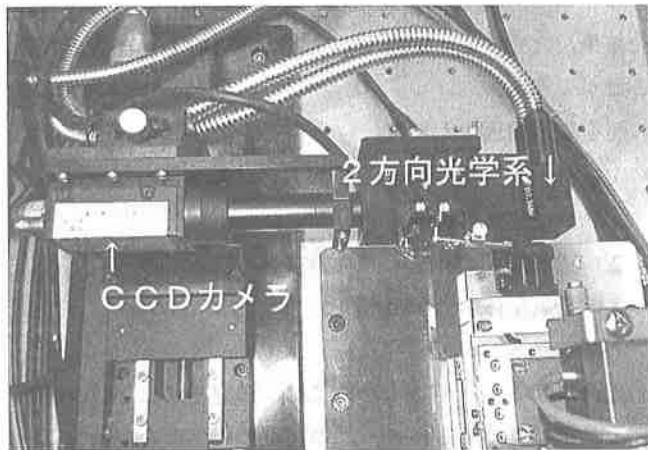


写真4 CCDカメラ及び光学系



写真5 光学系の挿入状態

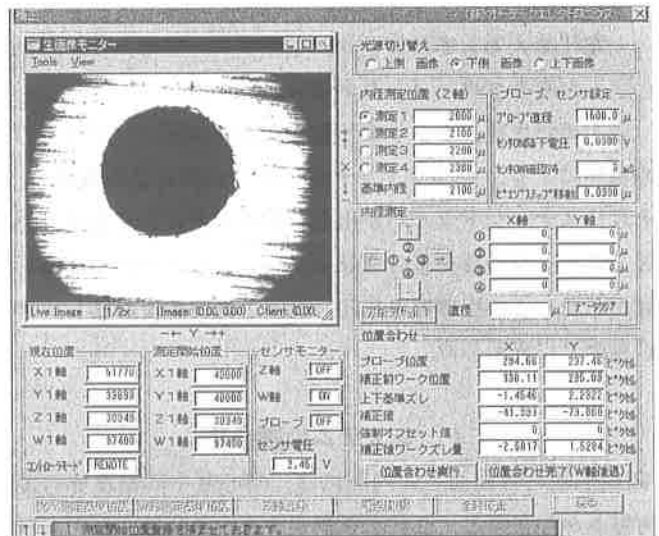


図3 測定穴の画像処理画面

3-2 プロービングの自動化

プローブセンサは、 piezoアクチュエータによりX及びY方向に100 μ m移動できる。プロービングポイントの検出は、パイプ内の真空圧の変化²⁾をエアマイクロセンサを用いて行い、プロービング動作は、XYステージによる測定物の移動と、piezoアクチュエータによるプローブセンサの微動により行う。

piezo素子は高速レスポンス性があり、ストレンゲージを使用してクローズドループ制御することによって、ヒステリシスの無い直線的な動作が可能となる。また位置決め精度が高く、ドライバからのアナログ信号で位置決め分解能も小さいため、 piezoアクチュエータの精密測定分野、プローブセンサへの応用を試みた。

今回使用している piezoアクチュエータは、0 ~ 150V の電圧入力で 0 ~ 100 μ m 変位する。またアクチュエータ用ドライバは、0 ~ 10V 電圧を入力すると、ドライバからアクチュエータへ 0 ~ 150V が出力される。これを利用して、PC に拡張した D/A 変換ボードからの 0 ~ 10V 出力を、ドライバを介して piezoアクチュエータに 0 ~ 150V とし て入力し、位置決め動作（プロービング動作）を行う。

XY ステージは、マイクロステッピングモータと精密ボールネジによる位置決め機構で、位置決め分解能 0.1 μ m、位置決め精度 0.2 μ m で、各軸 3 mm の移動が可能である。

実際のプロービング動作は次の手順で自動的に行われる。

- 1) フィーラを測定穴の中心に挿入後、XY ステージを 30 μ m 毎のステップ動作で一定方向に移動させる。
- 2) 先端球が穴の内面に接触してセンサが感知したら、ステージを 2 ステップ (60 μ m) 戻し、再び 1 ステップ移動させる。この動作により、XY ステージのもつバックラッシュを取り除く。
- 3) piezoアクチュエータに、直線的に変化するように電圧を入力して変位させ、空圧プローブセンサが感知した時をプロービングポイントとする。

以上の動作後、センサが作動した時点の piezoドライバの電圧により、piezoアクチュエータの移動量を算出し、それにステージドライバが出したパルス量により算出した XY ステージの移動量の合算で、プロービングの座標値を算出した。この座標値から穴の直径、真円度を計算し、PC 画面上に表示した。

4. システムの融合化

円筒形状の外周面と穴内面には、同心度や同軸度等の幾何偏差が存在する。これらを測定するためには、外周面測定技術と穴内面測定技術の融合化が必要となる。

そこで、9 年度製作した非接触円筒外周面測定装置と、10 年度開発の空圧式プローブセンサによる穴内面測定装置を用いて幾何偏差測定を行うために、それぞれ独立しているシステムの融合化、再構築について検討した。

その結果、機構的な面での完全な融合化は非常に困難であるため、円筒外周面測定装置の機構に、穴内面測定用プローブの技術を取り入れ、1 機構 2 センサの方式でシステムの融合化を図った。

まず、標準となる円筒形状のゲージを測定し、レーザ変位計と空圧式プローブセンサの相互の位置関係のキャリブレーションを行う。そして、レーザ変位計による外周面の測定結果と空圧式プローブセンサによる穴内面測定結果のもつ X・Z・ θ 軸のスケールのデータと、センサの変位量等より座標データを計算するものである。これにより、外周面と穴内面間に存在する幾何偏差を測定できるシステムとなった。

5. 考 察

細穴測定技術の高精度化、自動化を図るため、フィーラの小型化、画像処理技術を用いた位置決め動作、piezoアクチュエータを用いたプロービング技術について検討し、システムを構築した。そして、 ϕ 0.8mm のゲージを測定した結果、穴寸法誤差 0.6 μ m、標準偏差 0.25 μ m で測定することができた。

測定誤差要因としては、

- 1) フィーラ挿入後の XY ステージの移動誤差及びバックラッシュによる誤差
 - 2) 空圧式プローブセンサのプロービング誤差
 - 3) 装置全体の姿勢誤差
- があげられる。

測定値の精度を高めるためには、測定結果に補正をかけることが必要であるため、この補正値の精度を高めることが重要となる。

6. 結 言

今回の開発は、過去 2 年間の開発技術をより実用的なものにすることができた。

- 1) 小径穴の測定では、さらに小型化したプローブセンサと画像処理技術や piezoアクチュエータを用いた測定の自動化を実現することができた。
- 2) プローブセンサの小型化では、 ϕ 0.6mm の小球を用いたフィーラの製作により、 ϕ 0.8mm 深さ 8 mm 程度の止まり穴の内径測定が可能となった。これを用いた測定で、穴寸法誤差 0.6 μ m 標準偏差 0.25 μ m で測定することができた。
- 3) 測定穴とプローブの先端球を同時に観察できる光学系の製作により、CCD カメラの画像を用いて、位置決め動作の自動化を行い、さらに piezoアクチュエータと XY ステージの制御により測定の自動化も実現できた。
- 4) 幾何偏差の測定では、過去 2 年間の開発技術を融合し、1 機構 2 センサの方式でシステムの再構築を行い、円筒形状の外周面と穴内面間の幾何偏差測定を可能と

した。今後は、小径穴測定の高度化をねらい、より小径の球を用いた接触式のフィーラの開発を進めるとともに、完成した自動測定技術により繰り返し精度の高い測定機を目指す。

本システムの開発にあたり、協力をしていただいた㈱オーテックエレクトロニクスの皆様方にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高尾清利ほか：微小円筒形状測定技術と装置の開発（第一報），平成9年度山梨県工業技術センター研究報告書（1998）
- 2) 高尾清利ほか：微小円筒形状測定技術と装置の開発（第二報），平成10年度山梨県工業技術センター研究報告書（1999）