

# 微小円筒形状測定技術と装置の開発

## —小径穴内面の形状測定—

高尾 清利・中山 信一・河野 裕・橋田 鉄雄

### Development of measuring machine for small cylindrical form

#### —a small diameter hall measuring method—

Kiyotoshi TAKAO, Shinichi NAKAYAMA, Hiroshi KONO and Tetsuo KITTA

#### 要 約

小径穴 ( $\phi$  1 mm程度) の寸法精度, 幾何偏差を測定するプローブセンサを開発した。

- (1) 細穴測定用の空気圧感知式プローブセンサを開発し, ベアリング球, 細径パイプ, エアマイクロセンサを用いてプローブヘッドを構成した。
- (2) ピエゾアクチュエータを利用して, フィラーの移動とプロービングポイントの座標位置算出を行った。
- (3) パイプ端面の形状を球と摺り合わせて球形状にすることにより, 真空時の密着性が増し, 測定データが安定した。
- (4) 先端球径1.0mmの場合, 支持部長20mmのフィラーが可能であり, アクセプト比20の細穴測定ができた。これにより, 光を利用できない止り穴形状でも測定範囲が広がった。
- (5) 本システムによって  $\phi$  1.2mmのリングゲージを測定した結果, 穴径で $0.5 \mu\text{m}$ , 真円度で $0.25 \mu\text{m}$ の誤差で測定できた。

#### 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た。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測定には, 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, 従来の測定機器では測定が不可能な箇所もでてくると思われる。

特に小径穴の測定には限界があり, 現在の重要な課題のひとつである。穴の形状の場合, 貫通穴と止まり穴に大きく大別される。貫通穴の場合は光の通過が可能のため, それを利用した研究報告もある。しかし, 小径の止まり穴となると非接触での測定が非常に困難になる。

また接触式の測定機の場合, 必ず接触圧が生じるため, 接触子を長くとることができず, 穴の入り口付近での測定のみが可能となる。

そこで, 測定圧が低く, 従来のタッチトリガー式や板バネ式とはまったく別の方式による接触式の穴測定用2次元プローブセンサについて検討した。

#### 2. 小径穴の測定

接触式による穴の測定方法としては, 先端にルビー等の球がついたフィーラを穴に挿入して測定する方法が一般的で, 三次元測定機や真円度測定機がある。

近年のマイクロマシニングにからんだ細穴測定の研究では, フェルールの $0.125\text{mm}$ の穴を光を利用して穴径を測定する技術やリパイブロスキャニング法<sup>1)</sup>などの研究報告がある。しかし, 前者は貫通穴, 後者は端面近辺での測定に限られてしまう。

また, 現状の三次元測定機で使用されているタッチプローブセンサには, タッチトリガー式や板バネ式などの方式がある。しかし, いずれの方式もフィーラ先端の球と, ワークとの接触を感知するセンサ部との間に一定の距離がある。この距離が接触式プローブセンサの測定誤差の大きな要因となっている。また, 接触式のもう一つの誤差要因として接触圧があげられる。特にタッチトリガー式では $1 \sim 3 \text{ mN}$ 程度の圧力がかかる上, 支持棒の径が先端球の径の6割程度しか得られないため, 支持棒の長さも測定圧によるたわみにより制限される。

本研究は測定対象を, 径が $\phi$  1 mm程度, 止まり穴でアクセプト比10程度の穴に想定し, 低測定圧で, かつ, 先端球が直接センサの役目をするような, 空気圧を利用した穴測定用2次元タッチプローブセンサについて開発を試みた。

## 2-1 センサへの真空圧の利用

フィーラの先端球が直接センサの役目をする方法については従来では通電式があげられる。しかし、これは測定対象物が導電性のものに限られてしまう。

そこで、空気圧の変動を利用する背圧プローブの実験を行った。直径0.8mm、内径0.5mmのコパール製のパイプの一端から内部を真空(600mmHg程度)に引き、露出しているもう一端に球径1.2mmの00級ベアリング球を吸着させる。真空の状態を分解能0.1kPaのエアマイクロセンサで監視する。この状態を、高精度測長機(SIP社製)に固定し、測長機の平坦な測定子を球にあてることによって測定物の接触と考え、球とパイプ端面との間に隙間が生じて真空度が低下した瞬間をプロービングポイントとして、これを繰り返し行った。その結果、繰り返し精度 $0.8\mu\text{m}$ を得ることができた。

以上の結果から、真空背圧を利用したプローブセンサの有効性が得られたため、その高精度化を試みた。

## 2-2 背圧プローブセンサの概要

ピエゾアクチュエータ、極小球、パイプ、エアマイクロセンサ等を用いて、接触式のプローブセンサの開発を試みた。センサ及び周辺装置の構成を図1に、装置全体の外観を写真1に、またプローブヘッドを写真2に示す。

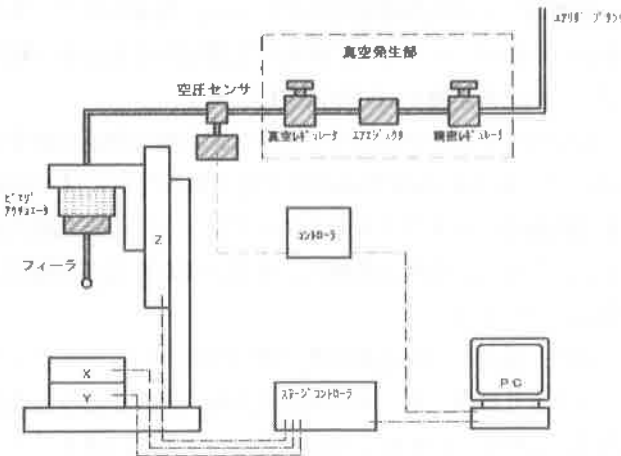


図1 装置の概要

真球度の高い1.0mmのベアリング球をエアエジェクタによって真空状態にした直径0.8mmの細径パイプの端面で吸引し、これをピエゾステージへと連結し、センサヘッドを構成した。

ピエゾステージは、位置決め精度が $0.1\mu\text{m}$ と高く、高速レスポンスでスムーズな動作を行うことができるため、フィーラ移動のための駆動源として、さらにプロービングポイントの座標出力のために利用した。ステージはXY方向それぞれに $100\mu\text{m}$ 可動し、パソコンからの指令により

高精度な位置決めが可能である。

プロービングポイントの検出は、精密レギュレータ後の定圧を使ってエアエジェクタにより安定した真空状態(660mmHg)を作り、真空圧をエアマイクロセンサを用いて監視し、球とパイプ端面の間に生じた空気圧の変化を検知することで行った。

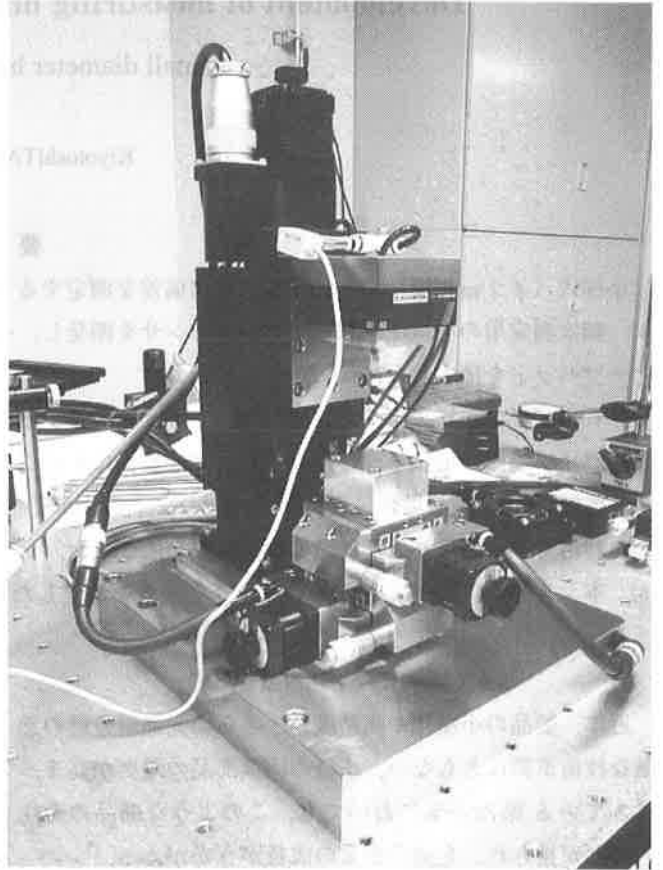


写真1 装置の外観



写真2 プローブヘッド

### 2-3 パイプ端面の形状

球とパイプは、ニードルバルブで言うとバルブシートとコーンの役目をしており、その接触面の形状が真空状態の保持に大きな関わりを持つ。

図2および図3は、パイプ端面と球の接触状態を断面で示したものである。

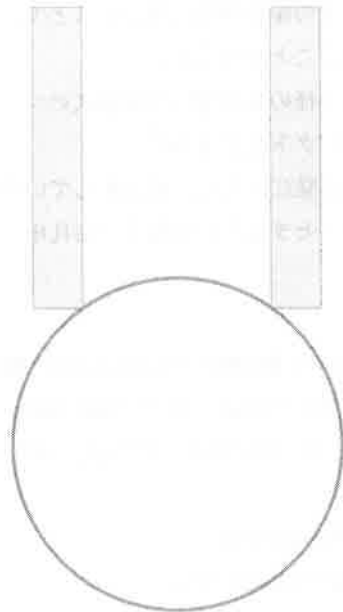


図2 パイプ先端形状 (フラット)

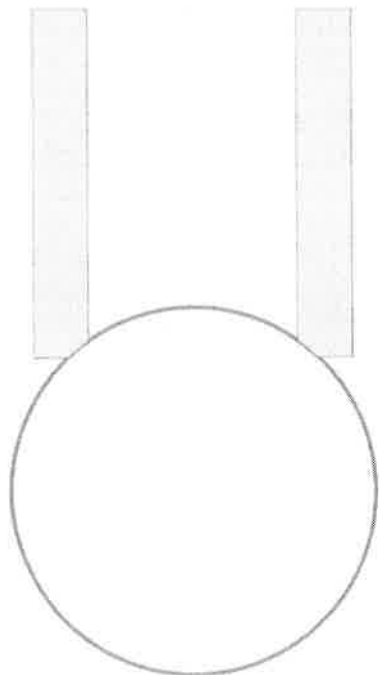


図3 パイプ先端形状 (摺り合わせ)

実験当初、パイプの端面はフラットな状態に研磨しており、穴と端面で構成されるエッジ部分で真空を維持していた。しかし、パイプ内の真空状態の安定性が欠け、その結果、測定データにばらつきが生じ、繰り返し精度に大きく影響していた。

そこで、接触前の状態での真空度の安定度を増すために、パイプと球との接触面を摺り合わせにより球面の研磨面とした。これにより、球とパイプとの気密性が増し、その結果、測定時の真空状態の安定性が高まり、良好なデータを得ることができた。

### 3. 測定及び評価方法

プロービングポイントを検出するエアマイクロセンサは0～5Vのアナログ出力であり、付属の表示器により分解能0.1kPaである。これを用い、測定物と球とが接触する時の真空の変化を実験してみた。その結果を図4に示す。

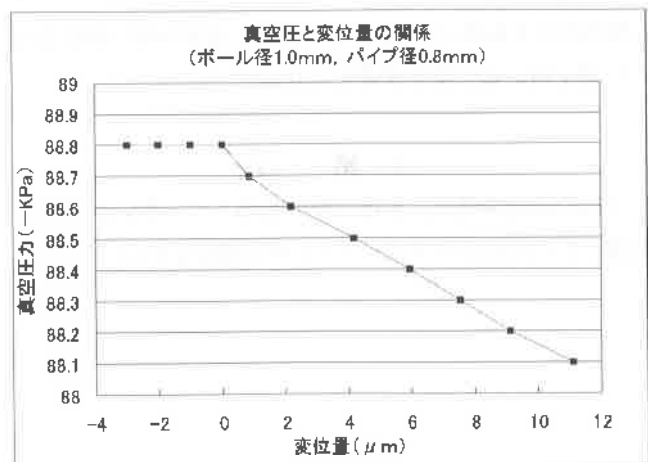


図4 真空圧と変位量の関係

図で示す変位量0の位置が球と測定物が接触したポイントで、それ以前（接触する前）は一定の真空圧であり、それ以後（接触後）はパイプ端面と球との隙間が大きくなるにつれ真空度も下がっていく。これを利用して、プロービングポイントの検出を行った。

また、プロービングポイントのXY座標値は、ピエゾアクチュエータの移動量から算出し、球の半径分補正することにより実際の穴内の座標点とした。

### 4. 測定結果及び考察

1.2mmのリングゲージを測定した結果を表1に示す。

測定データは、穴内の中央部を72点プロービングした点データから計算し、最小自乗法により平均化を行った。その結果、径測定で0.5 μm、真円度で0.1 μmの誤差で測定

することができた。

表1 リングゲージ測定結果

	検査表	実測値	標準偏差
直径	1.2000mm ( $\pm 0.2\mu\text{m}$ )	1.2005mm	$0.30\mu\text{m}$
真円度	$0.15\mu\text{m}$	$0.25\mu\text{m}$	$0.18\mu\text{m}$

測定誤差の要因としては、

- 1) エアマイクロセンサの分解能
- 2) 真空圧(エアジェクタによる)のばらつき
- 3) 球の真球度
- 4) ピエゾアクチュエータの移動誤差

などが考えられる。

さらなる高精度化を図るため、エアマイクロセンサのA/D変換を8bitから12bitとし、球を真球度の高い精密なルビー球を用いる、などが考えられる。

## 5. 結 言

今回の研究開発は、小径でかつ貫通していない止り穴を対象とした接触式のプローブセンサの開発を中心に行った。

接触式でも非接触式でもいろいろな制約条件があるなか、今回考案した真空圧を利用したプローブセンサは、低測定圧化とフィーラ自体のセンサ化が可能であり、先端球径1.0mm、支持部長20mmのフィーラの構成により、アクセプト比20の細穴測定が可能となった。これにより、光を利用できない止り穴形状においても測定範囲が広がった。また、さらなる小型化で、より小径な穴の測定が可能であると考えられる。

さらに、ピエゾアクチュエータをフィーラの移動とプロービングポイントの座標検出に用いたことで、ピエゾの利用技術を開拓することができた。

今後は、より小径の球を用いて接触式のフィーラとしての限界までコンパクト化を進める。

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

## 参考文献

- 1) 十大海、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(1995)969
- 2) 三井公之：マイクロ部品の形状・寸法測定、精密工学会誌、63、3(1997)327
- 3) JISB7451-1991真円度測定機
- 4) JISB0621幾何偏差の定義及び表示