

三次元測定機を用いた真円度測定の高精度化

岩本竜一*，栗毛野裕太**，堀之内悠介*

High-precision Roundness Measurement Using a Coordinate Measuring Machine

Ryuichi IWAMOTO, Yuta KURIGENO and Yusuke HORINOCHI

本研究では、三次元測定機とリングゲージを用いた真円度測定の高精度化手法について提案する。本手法は高精度のリングゲージを準備し、これと比較測定を行うことで、大型の金型など真円度測定機に積載できない金型のガイドポスト穴等のような高い測定精度を要求される測定対象部位について、真円度測定機に比べて測定精度がやや不足する三次元測定機とリングゲージを組み合わせる使用することにより $1\ \mu\text{m}$ 程度以下の真円度形状を評価できる可能性を見出した。

Keyword : Coordinate Measuring Machine(CMM), Roundness, Point Measurement, Scanning Measurement, Roundness measuring machine

1. 緒 言

三次元測定機は、各種機械部品の加工穴の直径、真円度、穴間ピッチ等をミクロンオーダーの精度で、容易に測定することが可能であり、その汎用性と高精度という特徴から、自社製品の加工精度を確認するためのツールとして広く用いられている。

一方、真円度測定機は、三次元測定機に比べて桁違いの高精度（サブミクロン以下）で真円度を評価できるが、穴または軸の真円度測定に特化した専用の測定機であるため、三次元測定機に比べてあまり普及していない。真円度測定機は回転テーブル上に対象を積載して測定する方式が一般的のため、大型製品は回転テーブル上に積載できず測定できないことも普及していない一因である。

近年、県内においても電気自動車のモータ部品に代表されるような金型の発注が増えてきている。これらの金型は、モータ部品の大型化・高精度化に伴って金型自体も大型化し、要求される加工精度も併せて厳しくなっている。このような背景から、金型の証となるガイドポスト穴の位置、直径、真円度形状を極めて正確に測定しておくことが重要である。従来、このような金型の精度評価は、数ミクロン程度の測定精度を有する三次元測定機を用いることが多かった。しかし、ガイドポスト穴の測定に要求される測定精度が、 $1\ \mu\text{m}$ 程度以下と三次元測定機の性能と同等あるいはこれを超える状況が生まれてきている。そこで本研究では、三次元測定機を用いて真円度測定の高精度化にトライしたので報告する。

2. 測定対象部位・精度および測定手法

2. 1 測定対象部位・精度

前項で述べた測定対象をより具体的に規定する。本研究において測定対象として想定している製品は、一般的なテーブル回転式の真円度測定機に積載できない 1m を超えるような大型サイズの金型である。また、その測定対象部位は、金型の証となるガイドポスト穴で直径がおおよそ $30\sim 50\text{mm}$ 程度である。この測定対象部位において問題となる真円からの形状のズレは、金型加工前のセッティング時の傾きに伴って発生するわずかな楕円形状、もしくは加工時のびびり振動等に伴って発生する $3\sim 5$ 山程度の奇数山形状の2種類に大別される。現場からの聞き取りでは、3山の奇数山形状の発生が問題となることが多い。2種類いずれの形状においても $1\ \mu\text{m}$ 程度以下の真円度が求められる。

電気自動車のモータ部品は、薄い電磁鋼板を金型内で多数積層して製作されるため、ガイドポスト穴のわずかな形状のズレであっても、金型内の複数の加工工程においては、その積層工程の増加に伴って誤差として累積し製品精度に悪影響を及ぼす可能性があるため、このような高精度な加工が求められている。

図1に真円度測定の一般的な方法をまとめた。図中の左側の方法が精度は低いが高価で簡易な方法であり、右側の方法は高価格ではあるが高精度な測定方法である。

本研究では、一番高い精度で測定可能な真円度測定機よりはやや精度の劣るものの、県内で広く普及している三次元測定機を用いて、 $1\ \mu\text{m}$ 程度以下の真円度形状を評価する方法について検討した。

* 生産技術部,

** 生産技術部（現 産業立地課）

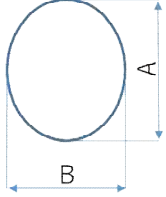
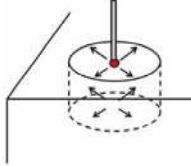
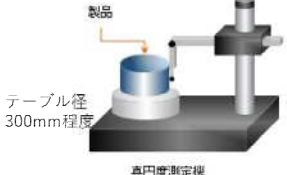
直径差を測る ＜最も安価＞ (数百～数ミクロン)	Vブロックを利用する ＜安価＞ (数十～数ミクロン)	三次元測定機を利用する ＜高価、汎用的＞ (数ミクロン～)	真円度測定機を利用する ＜専用機＞ (数ミクロン～サブミクロン～ナノ)
 AとBの直径差の 1/2を真円度とする	 1回転させて 振れの1/2を 真円度とする	 取得した空間座標から直接 円を計算して、最大最小偏差 から真円度を求める	 高精度回転テーブルに 製品芯合わせ&回転させて 半径差から真円度を演算
どこが最大?最小? 大径苦手 内径苦手	おむすび形状で誤差過大 内径苦手 大径・小径共に苦手	汎用性と価格がトレードオフ 複数円ピッチを同時に測定可能 <u>真円度測定機に比べ精度劣る</u>	規格化された唯一の手法 直接、直径測定不可 テーブルサイズに制限

図1 真円度測定方法

2. 2 測定手法

三次元測定機において、真円度測定機のように高精度で測定することができない大きな理由の一つとして、プロービング誤差の存在が挙げられる。

図2は当所の三次元測定機の検出器の構造図である¹⁾。図に示すように検出器は測定子（以下、スタイラス）を3点支持構造で保持する仕組みとなっている。この構造によってスタイラス軸方向と直交する水平方向面内において測定力の方向性の違いが発生する等の理由により図3のようなプロービング誤差の発生が避けられない²⁾³⁾。この誤差は、3点支持構造に依存するので検出器を把持するプローブヘッド部の首振り機構により図2中矢印のように検出器本体を回転させると、図3の誤差形状もこれに伴って同様に回転する。

何らかの方法によりこのプロービング精度を低減することができれば、三次元測定機で高精度に真円度を評価する可能性が見出せる。

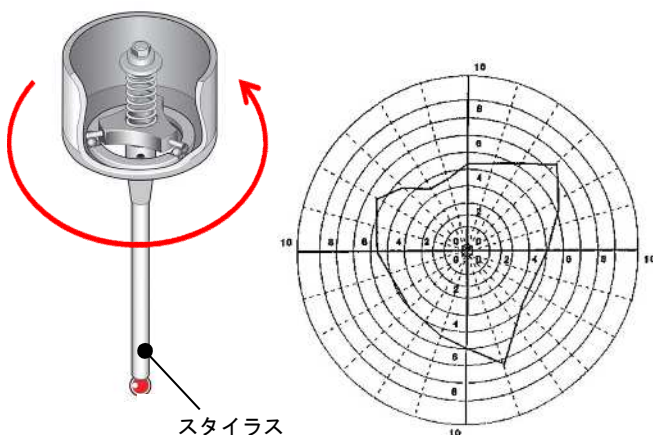


図2 検出器構造図

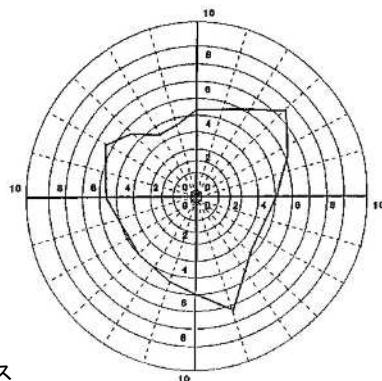


図3 プロービング誤差の一例

3. 実験方法および結果

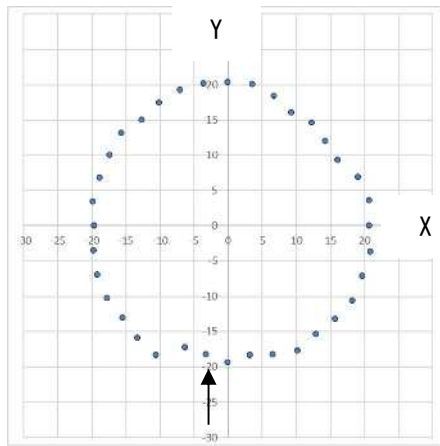
3. 1 プローブ角度割り出しとポイント測定

プロービング誤差の方向性を低減する手法として、検出器の検出方向を任意の一定方向とすることで、図3のような方向性の違いを一定値にでき、結果としてプロービング誤差を低減できる可能性がある。しかし、検出器の検出方向を一定方向とすると、円測定においては円周360°中の一方向しか測定できない。ここで、先述の首振り機構を使えば、検出器自体のプロービング誤差が一定値での円測定が可能となる。このためには、まず検出器の誤差の方向性をあらかじめ知っておく必要がある。

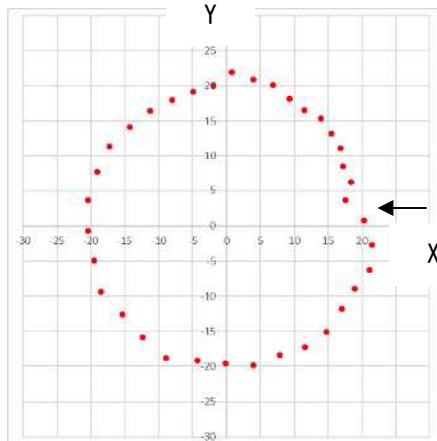
検出器の誤差の確認方法として反転法を利用する⁴⁾。図4は、三次元測定機を用いて市販のリングゲージを、プローブヘッドの首振り機構を利用して検出器の回転方向を0, 90, 180, 270°の4方向に変化させて円測定し、誤差を拡大表示したものである。回転方向に関係なく検出器は同一であるから測定結果はそれぞれ90°回転した結果となるはずである。図を見ると図3に比べるとわずかなではあるが、誤差の方向が90°ずつ回転していることが推察される。図中に特徴的な誤差の形状を矢印で示す。図5は4つの回転方向における測定結果を回転して重ね書きしたものである。繰り返し測定すると検出器の誤差の大きい方向（1～2 μm程度）と小さい方向（1 μm以下程度）があることが明瞭に分かる。図4中(d)において、特徴的な誤差の形状が分かりにくい、検出器本体が非常に高精度タイプであることから誤差の絶対値が小さいことに加え上記の繰り返し測定による誤差が一因として考えられる。

この手法により検出器誤差の小さい方向（プロービング誤差の小さい方向）を抽出できるので、検出器はこの方向だけを使うこととし、円測定時はプローブヘッドの

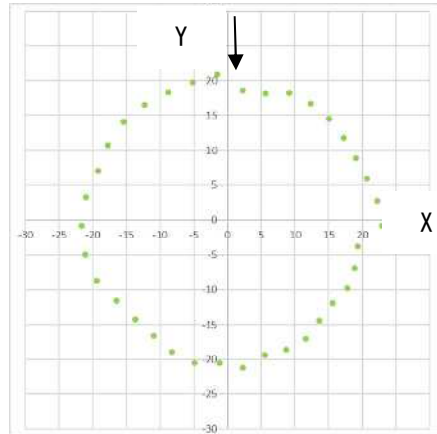
(a) 0°



(b) 90°



(c) 180°



(d) 270°

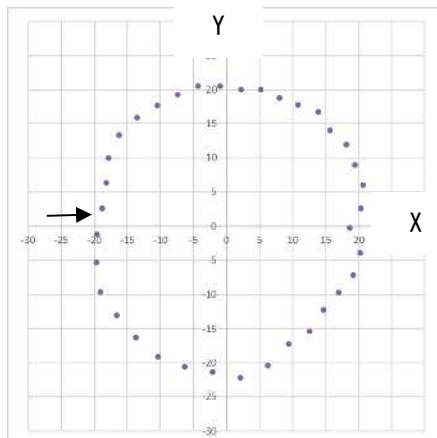


図4 プローブ角度割り出し

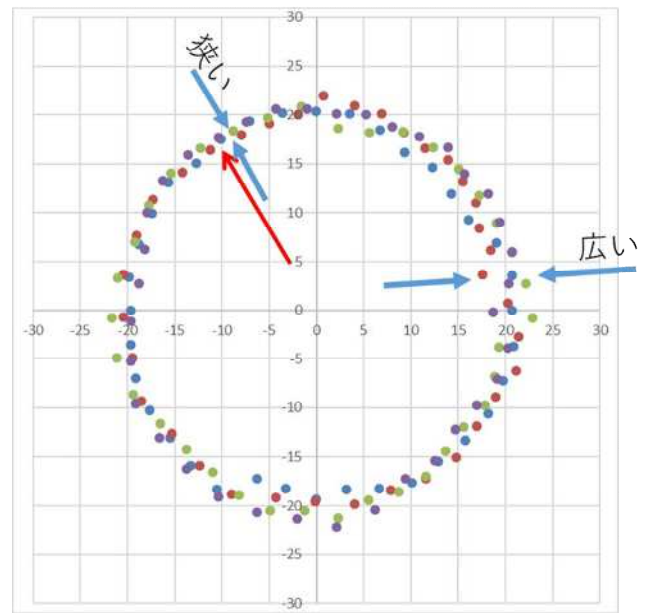


図5 プローブ角度割り出し重ね合わせ



図6 リングゲージ

首振り機構を使って検出器本体を回転させることでプロービング誤差を低減できる。

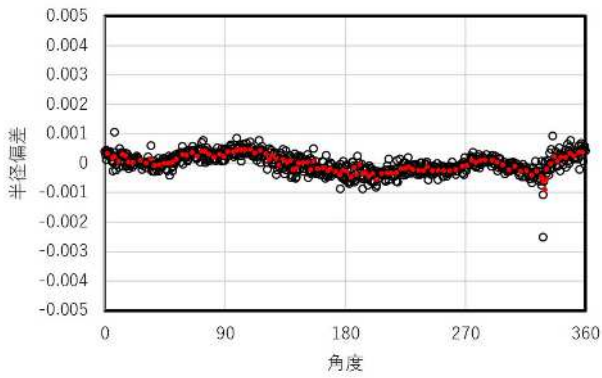
しかし、この方法は測定に多くの時間を要し、首振り機構の分割数も制限がある(7.5°ピッチ)こと等の理由から、最終的には採用しなかった。

3. 2 リングゲージとスキャン測定

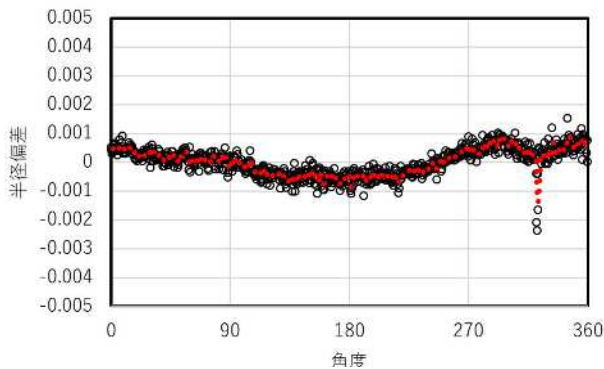
より迅速に真円度評価を行うことを目的として、前項と異なる方法によりプロービング誤差を低減する方法を検討した。

まず、図6に示すようなリングゲージを2種類用意した。サイズは、内径30mm、全長40mm、外径約57mmで、金型ガイドポスト穴のサイズを想定している。位相確認用に外径の一部にDカットを施してある。

2種類のうち1つは、極めて高精度に加工されておりこれをOK品と呼ぶ。もう一つは、リングゲージ製造時のチャック力を微調整することで、故意に、わずかな三山形状となるよう変形させて製作されたもので、これをNG品と呼ぶ。



(a) リングゲージ OK 品



(b) リングゲージ NG 品

図9 三次元測定機によるリングゲージの測定再現性

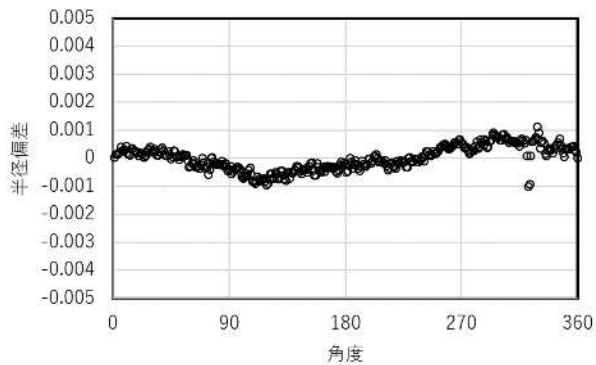


図10 リングゲージ OK 品—NG 品の差分表示

分かる。

ここで、三次元測定機で得られたOK品のリングゲージの測定結果が理想の円形状であり、真円度0（ゼロ）と仮定することとした。もし、三次元測定機による真円度測定結果が0（ゼロ）であれば、図中の半径偏差が0～360°に渡って0ということになる。

図9のNG品の測定結果を、OK品との差分値を抽出することで補正した。この結果を図10に示す。もし、この方法で図7(b)のような形状が表現できたのであれば、図10中に3つの山と谷が表示されるはずであるが、残念ながらそのような結果とはなっていない。

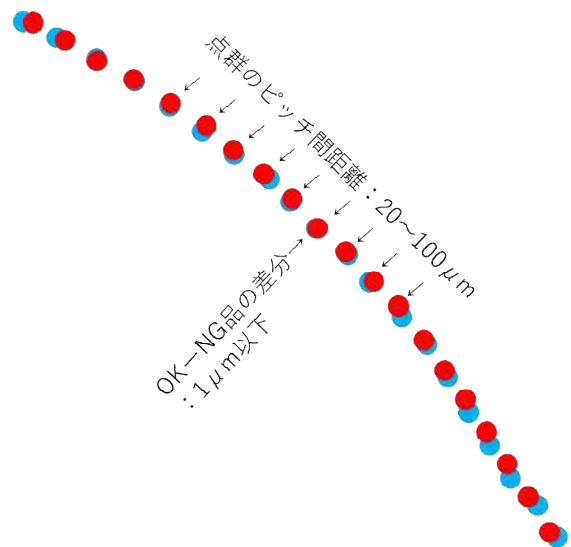


図11 点群データのピッチ

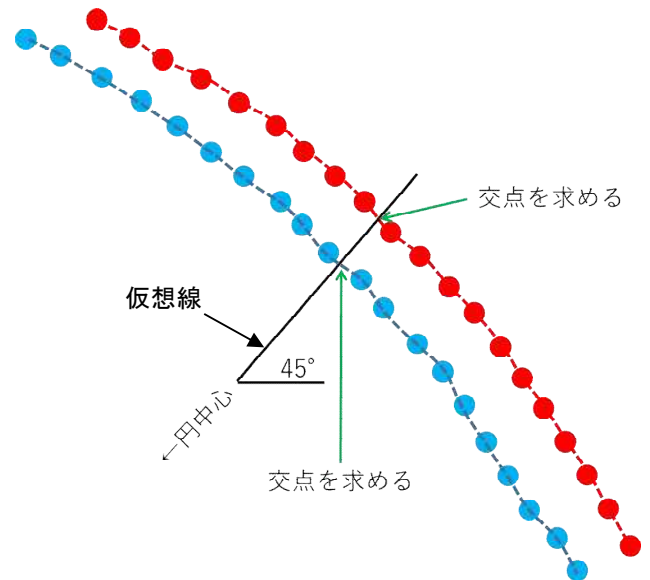


図12 点群データの計算処理

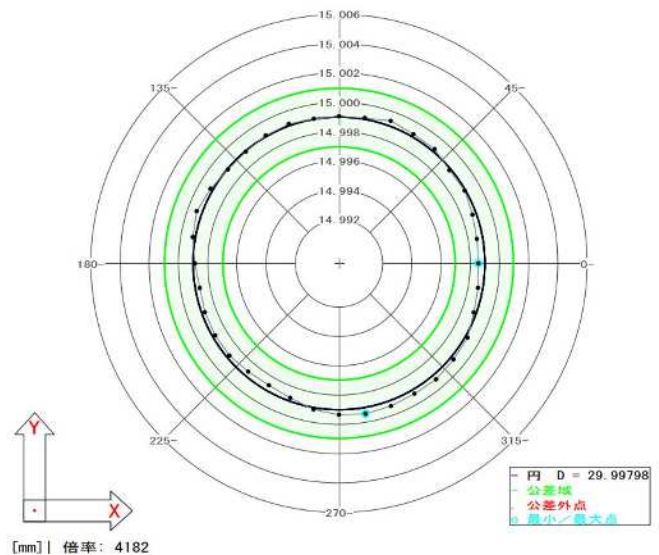


図13 真円度評価結果

これには2つの理由が考えられる。第一に、図9中の320°付近に異常値が認められる点である。OK品、NG品両方に認められることから、これはおそらくスタイラス表面の微細なキズによるものと推定される。通常の三次元測定では、多点測定（あるいはスキニング測定）をすることにより測定結果として問題になることは無い。

しかし、本研究の目的とする1 μ m程度以下の真円度形状を表現することを目的とする場合、このキズによる異常値の有無によって、計算される円の中心位置がわずかにズレることにより、結果として半径の差分値に影響が出ることが分かった。したがって、このような異常値を確認・除去する目的でスキニング測定が有効であると推察できる。3.1節のようなポイント測定では、このようなキズによる異常値があった場合、キズによるものなのか測定対象の本来の形状によるものなのか測定データを見るだけでは判断することが困難であるため、本手法にはスキニング測定が推奨される。

第二に、スキニング測定により得られた点群データの取り扱いに伴うものである。図11に示すように、スキニング測定の点群データは、あらかじめ設定した一定のピッチで取り込まれる。このピッチはおおよそ20~1000 μ m程度に設定される。一方、本手法で必要な半径方向の偏差は1 μ m以下の精度が必要である。実際にスキニング測定により得られた測定点を使った偏差の計算では半径方向の偏差に円周方向の偏差も含まれることとなり、計算の誤差となりうる。そこで、図12に示すようにスキニング測定により得られた輪郭線と円中心を通る仮想線（図では45°の例を表示）との交点を計算し、その差分を使って真円度形状を評価することとした。この方法は、実際の測定点は使わず計算によって得られた仮想点のみを使って表現している。この結果を図13に示す。図は、円中心を通る直線は0から360°まで10°刻みの直線とし、輪郭線との仮想点を計算している。NG品を測定した図13では、図7(b)と同じような三山形状が表現できた。これらの計算は、三次元測定機のプログラムの中ですべて可能である。

4. 結 言

本研究では、三次元測定機とリングゲージを用いた真円度測定の高精度化手法について提案した。本手法は高精度なリングゲージを準備するだけで、金型のガイドポスト穴等のような高い測定精度を要求される場合に、測定精度がやや不足する三次元測定機を用いて評価できる可能性を見い出した。

本手法では、穴の直径が大きくなった場合、三次元測定機本体の指示誤差が測定長に伴って大きくなるため適

用することが困難になると推定される。三次元測定機のメーカーによる精度検査において使用する最短のブロックゲージ長はおおよそ50mm程度であり、指示誤差の初期項に相当するこの範囲であれば適用できると考えている。

謝 辞

本研究に使用した三次元測定機は、2021年度のJKA補助事業で導入したものであり、謝意を表します。また、本研究で使用したリングゲージの製作に協力いただいた株式会社末吉精密工業の神部剛治、入木貴弘の両氏に併せてお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) レニショー社 カタログ
- 2) 株式会社ミットヨ 三次元測定機取扱説明書
- 3) 計測分科会資料「CMMの都市伝説」
- 4) CMM自己診断ゲージの持ち回り測定 ○岩本竜一、市来浩一 工業技術連絡会議機械金属連合部会第29回計測分科会幾何形状評価研究会

付 録

使用した測定機の仕様

・三次元測定機

メーカー：株式会社ミットヨ

型 式：LEGEX776

仕 様：測定範囲X700×Y700×Z600mm

最大積載荷重500kg

検出器SP25M

座標測定機の長さ測定誤差

$E0=0.38+L/1000$ (μ m) 以下

L 測定長さmm

オフセット付長さ測定誤差測定

$E150=0.48+L/1000$ (μ m) 以下

L 測定長さmm

シングルスタイラス形状誤差 P_{FTU} 0.45 μ m以下

・真円度測定機

メーカー：株式会社ミットヨ

型 式：RA-2200AS

仕 様：最大測定径300mm

最大測定高さ300mm

最大積載荷重30kg

径方向回転精度 $0.02+3.5H/10000$ (μ m) 以下

H 測定高さmm

軸方向回転精度 $0.02+3.5R/10000$ (μ m) 以下

R 半径mm