

## 精密測定高度化に関する研究

### —三次元測定機についての調査—

宇野彰一\* 島崎景正\* 関根俊彰\* 信本康男\*

## Study on Improvement of Precision Measurement Quality

### — Measurement Method using CMM(Coordinate Measuring Machine)—

UNO Shoichi\*, SHIMAZAKI Kagemasa\*, SEKINE Toshiaki\*, NOBUMOTO Yasuo\*

#### 抄録

年々利用頻度の高まっている三次元測定機(CMM)は、構造が複雑なため測定結果に影響する要因が多い。そこで、いくつかの要因について調査を行った。

キャリブレーションについて、高精度三次元測定機ではプローブ構成が複雑な場合でもキャリブレーション方法に注意すれば高精度測定可能であること、三次元測定機はプローブ回転後のキャリブレーションの有無に有意な差がないことを確認した。測定機誤差について、測定位置による差はほとんどなく、反転法を用いて高精度測定が可能であることを確認した。精密測定室1の環境温度が通年で $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内であることを確認した。

キーワード：精密測定、三次元測定機、マルチプローブ、キャリブレーション、反転法

## 1 はじめに

近年、製品開発の高速化に伴い、製品評価である精密測定においても、スピードアップが求められている。また、企業活動のグローバル化に伴い、ISO9000等の認証を取得する企業が増加し、測定精度のみならず、ISOで要求されるトレーサビリティなどのデータの信頼性についての要求・相談が増加している。当センターの依頼試験においては、これら測定の「質」の向上が常に問われており、そのための技術力向上を図る必要がある。

当センターの依頼試験における三次元測定機(以下CMM)の利用頻度は年々高くなってきており、平成17年度では全体のほぼ半数がCMM

によるものである。CMMは万能な反面、構造が複雑なため、測定機本体の幾何学誤差(21種類)やプロービングシステム誤差等の測定機誤差、測定手法(測定戦略)による誤差、環境による誤差等測定結果に影響する要因が多い<sup>1), 2)</sup>。また、過去に実施した研究や持ち回り試験においては、測定機自体の誤差はもとより、測定手法による影響が大きいことがわかっている。

そこで、各種基準器を用いて測定結果に影響する要因について調査・検討を行った。また、通年に渡り環境温度のモニタリングを行い、その影響を調査した。

## 2 実験装置

### 2.1 測定機

CMMには、表1に示す当センター所有の高精度三次元測定機および三次元測定機を使用した。

\* 生産技術部

以下本文中では、三次元測定機一般としてのCMMと区別するため、当センター所有の測定機はそれぞれ「高精度三次元測定機」、「三次元測定機」と表記する。

温度測定には Hart Scientific 社製 精密温度計 The Black Stack Model-1560 を、温度計センサには(株)ネツシン製 白金測温抵抗体を使用した。

表1 CMMの概要

	高精度三次元測定機	三次元測定機
タイプ	門固定型	門移動型
E 精度 $\mu\text{m}$ (L: 測定長 mm)	0.7+L/1000	2.9+4L/1000
測定範囲 X*Y*Z mm	1200*1000*700	705*705*605
プローブシステム	固定式+プローブチェンジャ	回転式プローブ

## 2.2 ゲージ類

CMM の評価には直径 25.4mm の基準球、および図1に示す(株)浅沼技研製三次元測定機用基準器<sup>3)</sup>(以下「CMMゲージ」)を使用した。

CMM ゲージは、ゲージブロック等の端度器と異なり、立体的に配置された12箇所の精密ブッシュを測定するため、実際の三次元測定に近い方法での精度検証が可能である。

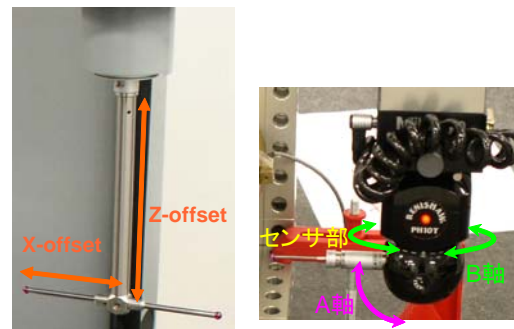


図1 CMMゲージ<sup>3)</sup>

## 3 キャリブレーションについての検討

### 3.1 マルチプローブ

近年、製品の複雑化に伴い、図2のようなマルチプローブによる測定が増加している。マルチプローブは複雑形状が測定可能な反面、プローブ構造が複雑なため誤差要因が多い。過去の持ち回り測定においても、マルチプローブ特有の誤差が確認されている。そこで、それぞれのCMMでマルチプローブを用いた測定、特に測定前のキャリブレーションに着目して検討を行った。



高精度三次元測定機 (固定式)      三次元測定機 (回転式)

図2 マルチプローブ

### 3.2 キャリブレーション

CMM のキャリブレーションとは直径値のわかった真球を測定することで、スタイラスチップ直径、チップ位置、たわみ量等の特性を把握するため、事前に行う作業である。

表2 高精度三次元測定機の評価条件

スタイラス構成			キャリブレーション方法	
No.	X-offset	Z-offset	モード2	モード3
1	186mm	10mm	5点(*1)	25点(*2)
2	150mm	110mm	短時間	長時間
3	37.5mm	183mm	一般的	高精度

(\*1)頂点1点+赤道4点(90deg刻み)

(\*2)頂点1点+8方向×3断面(各45deg刻み)

### 3.3 高精度三次元測定機について

#### 3.3.1 実験方法

高精度三次元測定機については、図2のようなZX平面内で構成されるマルチプローブを用い、スタイラス構成とキャリブレーション方法を表2のように変化させたときの影響について検討

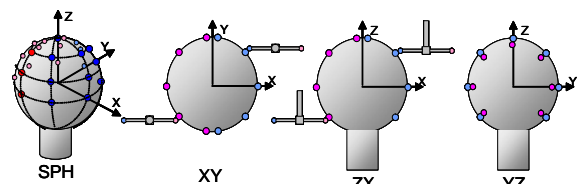


図3 高精度三次元測定機の評価方法

した。測定対象にはキャリブレーションに用いたものとは別の、直径 25.4mm の基準球を用い、各条件において XY、ZX、YZ 平面内を 2 本のスタイラスを用いて測定し、各平面内の合成円の真円度と、全断面データを合成した球の真球度を求め評価した。評価方法を図 3 に示す。

### 3.3.2 結果と考察

結果を図 4 に示す。これより、キャリブレーションモード 2 で ZX 面を測定した場合、他と比べて真球度、真円度が悪いことがわかる。このときの形状は図 5 のように、真円であるべき形状が、大きく崩れていることがわかった。

これは、キャリブレーションモード 2 は測定点数が少ないため、ZX 面のようにスタイラスが折れ曲がる等プローブ構成が複雑で対象性がない場合、キャリブレーションでプロービングした方向以外でのプロービング時のたわみ量をうまく補正できないためと考えられる。

このことから、測定面内でスタイラスが折れ曲がっている等、プローブ構成が複雑な面内の測定の場合、モード 3 によるキャリブレーションが必須であることがわかった。それ以外の場合は真円度、真球度とも 1 μm 前後であった。本実験では差が出やすいように、通常の依頼試験で使用するよりもかなり長めの offset 量で実験を行ったが、上記のキャリブレーション方法を注意することで長めのスタイラスを用いても高精度に測定出来ることが確認できた。

## 3.4 三次元測定機について

### 3.4.1 実験方法

三次元測定機は 1 本のスタイラスを測定部に合わせて回転させる回転式プローブであるため、プローブ回転精度の測定結果への影響考えられる。そこで、CMM ゲージを表 3 に示す 2 通りの方法で測定し、プローブ回転後のキャリブレーションの有無が測定結果に与える影響について検討した。なお、スタイラスには φ 4-40Long(mm) を使用した。

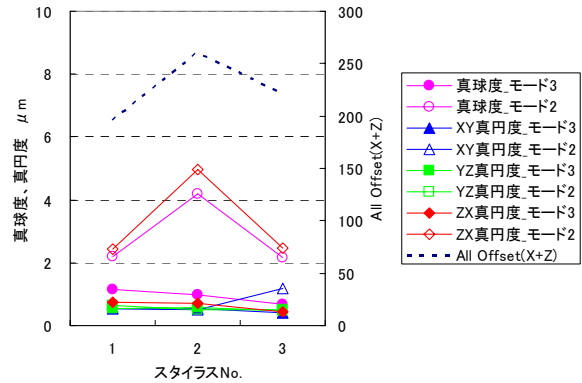


図 4 高精度三次元測定機の評価結果

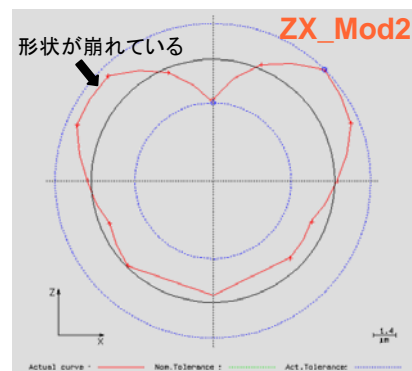


図 5 測定結果例 (ZX 真円度\_モード 2)

表 3 三次元測定機の評価方法

方法 1	一般的に短時間 最初にすべての 方向をキャリブ (波線)	
方法 2	一般的に高精度 プローブ回転の 都度キャリブ (実線)	

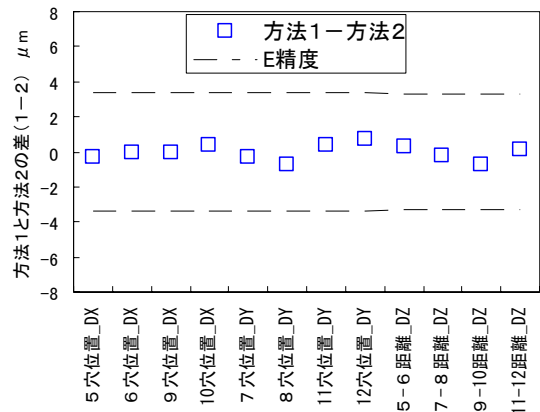


図 6 三次元測定機の評価結果

### 3.4.2 結果と考察

結果を図6に示す。方法1、2の差は $\pm 0.8 \mu\text{m}$ 以下であり、測定機E精度より十分小さいことがわかった。そのため、実用上は方法1で問題ないことがわかった。

## 4 測定機誤差についての検討

### 4.1 実験方法

依頼試験の際は、測定物の大きさや測定のしやすさに応じて、様々な位置に測定物を置いて測定する。そこで、CMMゲージを用いて、測定範囲全体における測定機誤差についての検討を行った。XY測定範囲全体をカバーするため、図7のように、高精度三次元測定機は9箇所(P11~P33)、三次元測定機は5箇所(B11~B33)にゲージを置き、それぞれの箇所で測定を行った。

スタイラスには、高精度三次元測定機は $\phi 5-60\text{Long}(\text{mm}) \times 4$ 方向+ $\phi 3-35\text{Long}(\text{mm})$ (-Z)方向、三次元測定機は $\phi 4-40\text{Long}(\text{mm})$ を使用した。

### 4.2 結果と考察

#### 4.2.1 測定位置による差について

実験結果を図8に示す。マークは全測定箇所の平均値の校正値からの偏差量を、バーは全測定箇所の平均値からのばらつきの範囲を示す。

ばらつきに関しては、高精度三次元測定機、三次元測定機ともE精度の範囲内であり、測定位置による差はほとんどないことがわかった。

しかしながら、三次元測定機のY方向の寸法偏差にE精度を大きく超えるものが見られる。

一般的に三次元測定機のようにXZ軸の載ったY軸(門)の移動する門移動型のCMMは、門が移動することによる測定機誤差が出やすいと言われている。本実験で確認された寸法偏差が、測定機誤差によるものかどうか、つぎに反転法による検討を行った。

#### 4.2.2 反転法による検討

反転法とは測定物を180deg反転して測定し、反転前後の平均をとることで、測定機自体の誤差

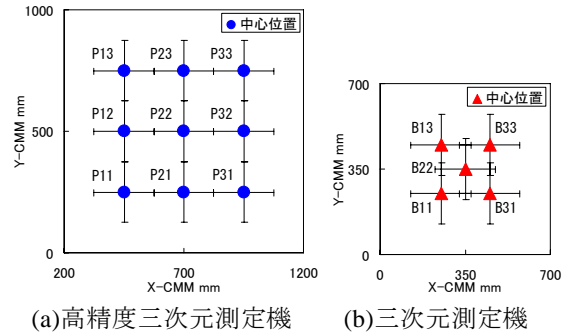


図7 CMMゲージの位置

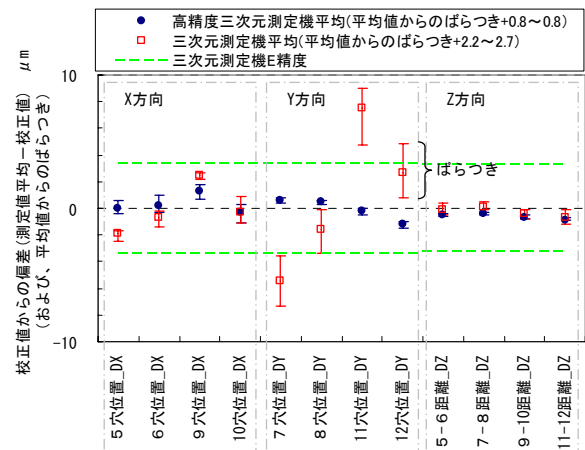


図8 各位置平均値の偏差量とばらつき

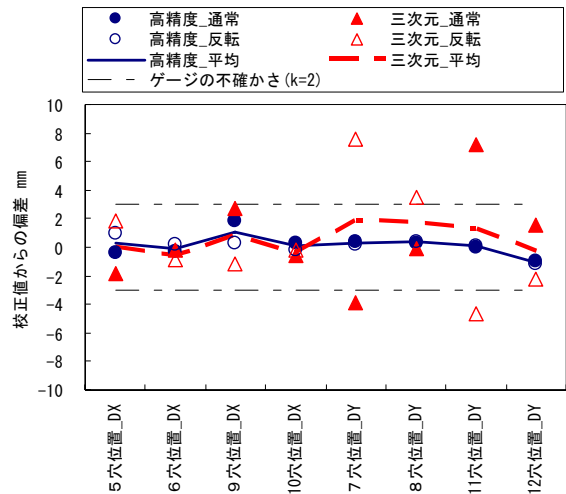


図9 反転法による評価結果

を打ち消す手法で、特に高精度を要する測定に用いられる。

そこで、測定範囲中央(図7のP22、B22の位置)において、CMMゲージをZ軸回りに180deg回転(反転)して同様の測定を行った。

結果を図9に示す。全項目においてCMMゲージの不確かさ範囲内の結果を得た。これより反転

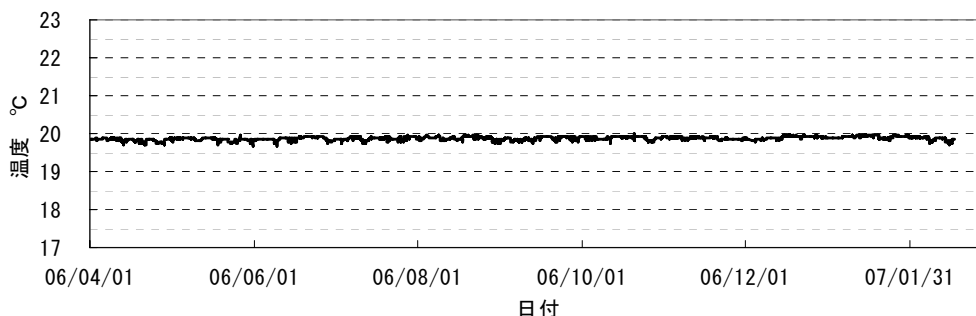


図 10 精密測定室 1 室温履歴

法を用いることでより高精度な測定が可能であることが確認できた。

また、反転法によって減少した偏差量が CMM の誤差ということになる。三次元測定機の精度検査ではこのような誤差は認められず、本実験により改めて JIS<sup>4)</sup>に基づく検査では現れない誤差があることが確認された。そして、依頼試験においても三次元測定機の Y 方向の寸法測定については注意を要することがわかった。

## 5 測定環境温度について

### 5.1 実験方法

精密温度計を用い、平成 18 年 4 月から平成 19 年 2 月までの精密測定室 1 の環境温度をモニタリングした。サンプリングは 15 分ごとに行った。

### 5.2 結果と考察

結果を図 10 に示す。全期間中の平均温度は 19.88°C、最高温度 20.01°C、最低温度 19.66°C であり、測定室 1 の室温公称値 20°C±0.5°C を十分満たすことを確認した。

また、温度変動が A タイプの不確かさと考える<sup>5)</sup>と、室温の不確かさは  $2\sigma = 0.09^\circ\text{C} (k=2)$  であるため、この期間の精密測定室 1 の室温  $T_1$  は、

$$T_1 = 19.88^\circ\text{C} \pm 0.09^\circ\text{C} (k=2)$$

と表せる。

## 6 まとめ

(1) マルチプローブのキャリブレーションについて検討を行った。高精度三次元測定機はプローブ構成が複雑な場合でも、キャリブレーション方法に注意すれば高精度に測定できること、三次元測定機はプローブ回転後のキャリブレーションの有無に有意な差がないことを確認した。

(2) 測定機誤差についての検討を行い、測定位置による差は E 精度以下であること、反転法を用いることで高精度な測定が可能であることを確認した。また、JIS に基づく検査では現れない誤差があることを確認した。

(3) 精密測定室 1 の環境温度を通年にわたり測定し、室温公称値以内であることを確認した。

### 参考文献

- 1) 高増潔：三次元測定機の高精度化と不確かさ評価，2004 高エネ研メカ・ワークショップ報告集，MW04-04 (2004)，  
<http://lcdev.kek.jp/MechWS/2004/>
- 2) 大澤尊光：CMM校正について，ホールプレートを用いた CMM 校正法研修会資料，(2006)
- 3) (株)浅沼技研ホームページ，  
<http://www.asanuma-g.jp/>，2006.7.31
- 4) 製品の幾何特性仕様 (GPS) - 座標測定機 (CMM) の受入検査及び定期検査 - 第 2 部：寸法測定，2003
- 5) 今井秀孝：計測における不確かさの表現ガイド，日本規格協会，(1996)32