

非接触式三次元測定機における測定精度評価法(第1報)

機械科 柳原 亘* 針幸達也

Evaluation of measurement accuracy for CMM with non-contacting probing systems(1st Report)

Wataru Yanagihara and Tatsuya Hariko

The inspection method of CMM (Coordinate Measuring Machine) with non-contacting probing systems is specified to JIS B 7441. But there are as following problems;

- (1) The measurement conditions and analysis conditions are not clearly defined.
- (2) The standard material of face-to-face dimension is not clearly defined.
- (3) The comparison method with CMM with contacting probing systems is not defined.

So, it was tried to evaluate measurement accuracy of CMM with non-contacting probing systems in this study.

1. はじめに

三次元測定機(以下 CMM)は立体形状の寸法や形状を測定する装置であり、生産現場に広く普及している。CMMには接触式とレーザやカメラ等を用いた非接触式があり、非接触式CMMは複雑形状も高速で測定し、変形しやすい柔らかな物も測定できることから、近年利用が増えている。

CMMの測定精度を保証するためには、定期的に検査を行うことが望ましい。接触式CMMの検査方法はJIS B 7440-2に規定されており、値付けされた異なる長さのブロックゲージ等の標準器を測定機上で異なる位置・姿勢で測定し、その偏差を評価する。非接触式CMMの検査方法もJIS B 7441に規定されており、球面形状、球径、平面形状、球間距離、面間距離について、JIS B 7440-2と同じように被測定物を異なる位置・姿勢で測定し、その偏差を評価する。

上記のように非接触式CMMの検査方法についての規定はあるが、非接触測定には測定面性状(粗さ、色等)、測定環境(温度、外乱光等)、解析条件(フィルタ)等の測定結果に影響を与える可能性がある誤差要因が多種多様に存在する。また、面間寸法評価における標準器については、ブロックゲージ等は測定面の面積が狭いことや反射率が大きいことから、

非接触測定用の標準器としては適していない。このため、各製造企業や使用者が独自に標準器を製作し、各々の測定条件や解析条件で検査をしているのが現状である。

また、従来品質管理の要であった接触式CMMに比べて非接触CMMの測定精度がどの程度なのかの検証が十分に行われてこなかった。

本研究において、独自に製作した標準器を用いて非接触式CMMの精度検査を実施し、接触式CMMとの比較を試みたので報告する。

2. 不確かさ

近年、測定値の信頼性を表す用語として「不確かさ」という尺度が使われ始めている。不確かさとは、測定対象の「真の値」が測定値に対してどの程度のばらつきの範囲内にあるのかを規則に従って算出したものである。従来は、測定値の信頼性を「誤差」という概念で表現しており、誤差を算出するにあたって真の値が既知であることを前提としていた。しかし、真の値は本来は未知数であり、我々は真の値に最も近いであろうと思われる値の推定値を求めていることになる。さらに、その推定値の周りには測定値がばらついている。そのばらつきが不確かさである(図1)。不確かさは、測定結果の質を示す指標と

*) 現 光科

なり、計量器の校正においてその結果が国家計量標準と連鎖を保っていること、つまり、トレーサビリティ体系を保つ場合に必要となる。また、トレーサビリティ体系とは直接結びつかなくても、学術研究や工場での量産品の製造等、今後ますます市場の国際化が進むにつれて不確かさが必要となる。本研究では、精度評価の指標として不確かさを算出した。

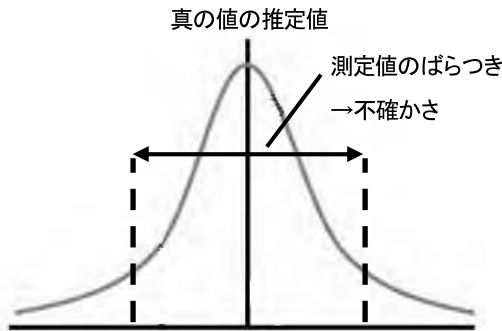


図1 不確かさの概念

2. 実験方法

2.1 測定装置

測定に使用したCMM本体と非接触式センサを図2に、仕様を表1に示す。非接触式センサは、被測定物に照射されたレーザースポットをセンサ内部のCCDに結像させ、その結像位置によって被測定物までの距離を測る構造となっている¹⁾。データ解析にはGeomagic社製の「Geomagic Qualify 2012」を使用した。なお、測定は全て20±1℃の恒温室で行った。

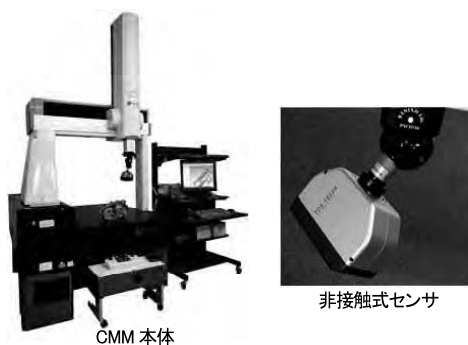


図2 測定装置

表1 測定装置仕様

CMM本体	製造元・型式	(株)ミツトヨ製 Crysta-Apex C776
	20℃における測定精度	(4.5+4.5L/1000) μm L: 測定距離(mm)
非接触式センサ	測定範囲	X: 705mm Y: 705mm Z: 605mm
	製造元・型式	パルステック工業(株)製 TDS-1622H
	測定精度	球直径測定誤差: 20 μm (2σ)
	測定Z幅	60mm

2.2 標準器

測定に使用した標準器を図3に示す。この標準器は既存の部材を用いて測定距離評価用に独自に製作したものである。面と球の部材を平板上に間隔を空けて設置し、面間距離、球間距離、面-球間距離を測定することができる。各部材には白い塗料を塗り、レーザの反射を強くしている。また、(独)産業技術総合研究所で製作された傾斜台により、標準器を高さ方向に傾けられるようになっている。

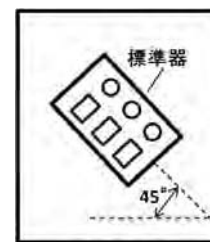


図3 標準器

2.3 測定速度を誤差要因とした精度評価

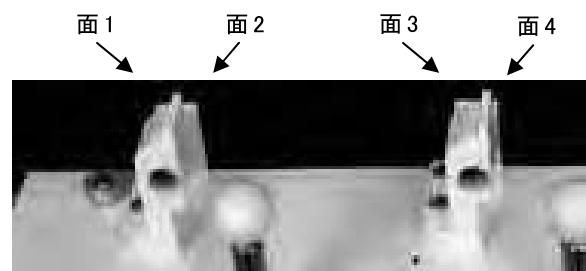
(1) 実験計画

1章で述べたように、非接触測定には様々な誤差要因が考えられるが、今回はセンサを動かす測定速度を誤差要因として精度評価試験を実施した。測定



測定機手前

図4 測定姿勢



測定距離 … 面1-面2、面1-面3、面1-面4
面2-面3、面2-面4、面3-面4

図5 測定距離

【報告】

姿勢は測定機定盤上で図4のようにセットし、1姿勢で測定した。測定距離は図5のように6水準とし、繰返しは3回とした。センサを測定面に対して45度傾けて、標準器全体をスキャン測定した。また今回は、面間距離測定の要望が多いことを考慮し、面間距離のみを対象とした。

(2) 面間距離測定

測定したデータについて、解析ソフト上で図6のように対象とする位置に面を張り、面間距離を算出した。面間距離の算出方法は、一方の面の中心点を自動で算出し、その中心点から他方の面へ垂線を下ろしてその垂線の長さを面間距離とした。



図6 面間距離

2.4 非接触式CMMと接触式CMMの比較

(1) 実験計画

測定はJIS B 7440-2とJIS B 7441の評価方法に沿って行った。標準器を6姿勢に設置し、非接触式CMMと接触式CMMの測定を行った。JISに最大限倣うようにするため、今回は球間距離についても測定を行った。測定姿勢は図7のように、X、Yの1軸方向の2水準と、高さ方向に45度傾けた状態でXY平面上姿勢を変えた4水準である。Z軸方向の姿勢に関しては下向きの面をレーザーで照射することができないため行わなかった。測定距離は図8のように、面間距離については15水準、球間距離については3水準とし、繰返しは3回とした。非接触測定では、

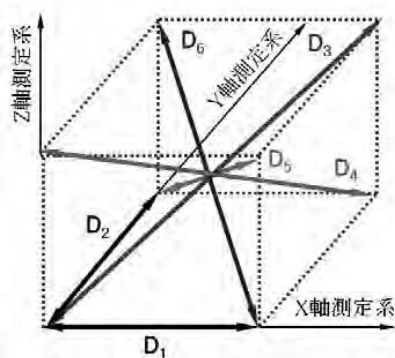


図7 測定姿勢

2. 3(1)と同様に、各測定姿勢でセンサを測定面に対して45度傾けた状態で標準器全体をスキャン測定した。接触測定では、各測定姿勢で接触プローブを測定面に対して平行に当たるように測定した。面については6点、球については5点で測定した。

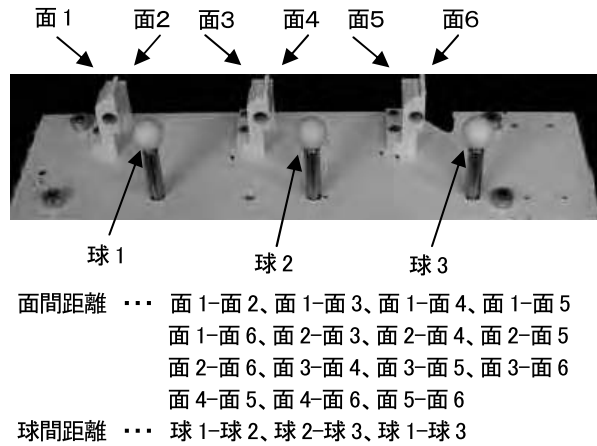


図8 面間と球間における測定距離

(2) 面間距離測定と球間距離測定

ア 非接触測定

面間距離については、2. 3(2)と同様な方法で算出した。球間距離は図9のように、測定データから球を自動作成し、その球中心を算出した。そして対象とする2つの球の球中心間の距離を測定距離とした。



図9 球間距離

イ 接触測定

測定で得た座標データを解析ソフトに入力し、そのデータを用いて、面と球を作成した。面間距離と球間距離の算出方法は上記と同様である。

3. 結果と考察

3.1 SN比による不確かさ評価

不確かさの算出はSN比²⁾というばらつきの評価尺度を用いた。始めに測定で得られたデータを図10の形式でまとめる。列に測定距離Mをとりデータを表に記入する。

【報告】

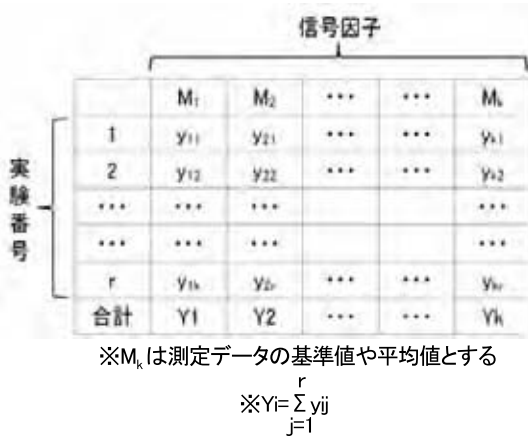


図10 測定データのまとめ方

表のデータを用いて、以下に示す要素を計算し、最終的にSN比を求める。

有効度数： $R=r \times [\sum M_i^2 - (\sum M_i)^2] / k$

全変動： $S_T = \sum y_{ij}^2 - (\sum y_{ij})^2 / (r \times k)$

水準間の変動： $S_m = (\sum Y_i^2) / r - (\sum y_{ij})^2 / (r \times k)$

誤差変動： $S_e = S_T - S_m$

誤差分散： $V_e = S_e / \{k \times (r-1)\}$

SN比： $\eta = \{ [S_m - (k-1) \times V_e] / R \} / V_e$

SN比は「感度/ばらつき」で表すことができ、SN比が大きいほど、その測定値の精度が高いことを表している。SN比ηから不確かさを求める簡易式は $3/\sqrt{\eta}$ となる。この簡易式で求めた不確かさは包含係数K=3(信頼水準99%)における拡張不確かさに相当する³⁾。

3.2 測定速度における精度評価結果

2.3節の実験で得られたデータを用いて不確かさを算出した結果、

$u = \pm 3.1 \mu m (K=3)$

となった。さらに、上記で求めたSN比は全測定データから算出したものであるが、各水準ごとに不確かさを算出した結果を図11に示す。仮に各水準の不確

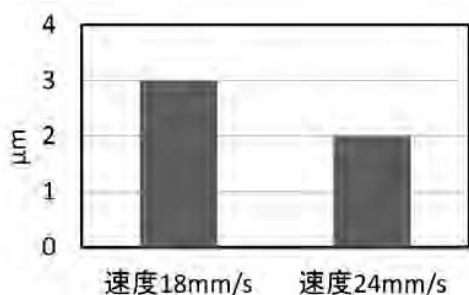


図11 各測定速度における不確かさ

かさの差が大きければ、その誤差要因は測定結果に影響しやすいことが分かる。図11より不確かさの差は1μmで、全体の不確かさも3.1μmであるから、本センサの±20μmという精度に比べて小さな値となった。よって、測定速度は非接触式CMMによる測定結果に影響を与えにくく、繰返し精度もあることが分かった。

3.3 非接触式CMMと接触式CMMの比較結果

2.4節の実験で得られたデータを用いて、不確かさを算出した結果を図12に示す。

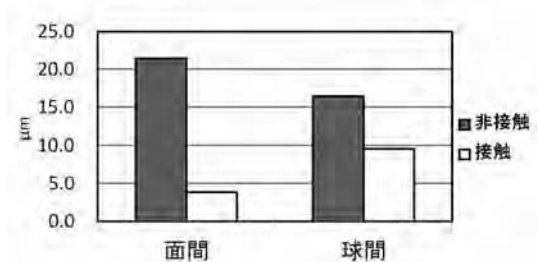


図12 非接触と接触における不確かさ結果

図12より、接触測定では球間距離の不確かさが面間距離に比べて大きい結果となった。これは、球測定の際は異なる方向から接触子を当てていること、及び、球は面に比べて接触子の当たる角度が一定でないことが原因と考えられる。

非接触測定では面間距離の不確かさが球間距離に比べて大きい結果となった。各面の中心位置について調べてみると、繰返しのばらつきが数百μmと面の中心位置の算出結果のばらつきが大きいことが分かった。面形状の標準偏差は繰返しでほとんど変わらないことから、解析上での面張り設定の不確かさが影響していると思われる。よって、面の張り方、面間距離の算出方法について検討が必要である。

非接触測定で測定姿勢ごとに不確かさを算出した結果を図13に、接触測定で測定姿勢ごとに不確かさを算出した結果を図14に示す。非接触測定ではX軸方向(D1)に測定した時の不確かさが大きい。接触式の結果においても同じ傾向が出ていることから、測定機本体にX軸方向の機械的誤差が生じている可能性がある。また、X軸方向の姿勢で測定する際、センサをY軸方向に振りながらスキャン測定することから、一般的にいわれている門型CMMのY軸方

【報告】

向の倒れも原因になっている可能性がある。

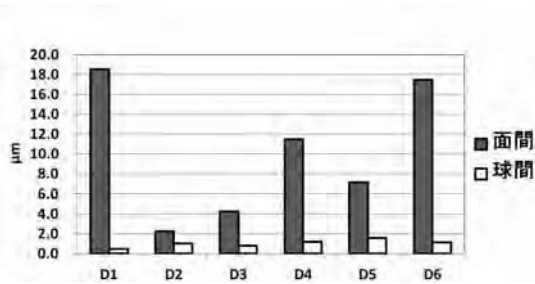


図13 測定姿勢ごとの不確かさ結果 (非接触測定)

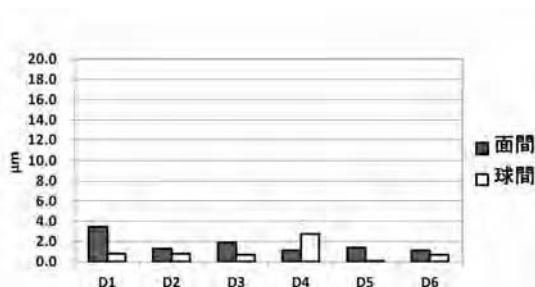


図14 測定姿勢ごとの不確かさ結果 (接触測定)

今回の非接触測定と接触測定の比較においては、非接触式は面で測定し、接触式は点で測定したため、厳密に同じ測定箇所を評価していない。面はそれ自体の平面度や組み付け方によって傾きが生じるため、どの位置を測定したかによって結果が異なることが考えられる。厳密に非接触式と接触式で同じ箇所を評価できる方法の検討が必要である。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 測定距離評価用の標準器を試作した。

- (2) 測定速度を誤差要因とした不確かさは $\pm 3.1 \mu\text{m}$ (99%の信頼性)となり、測定精度、繰返し精度に影響を与えないことが分かった。
- (3) JISに沿った検査を実施し、面間距離の不確かさは、解析手法の不確かさも含んでいるため、非接触データを使った面間距離評価の方法を検討する必要がある。
- (4) 接触式との比較において、より厳密に同じ測定箇所を評価できるような方法が必要である。

今後は、非接触測定結果と接触測定結果の比較方法についてより深く検証すること、測定速度以外の誤差要因についても調査する予定である。

謝辞

本研究にあたり、測定機の使用や標準器の製作等、様々なご支援をいただいたパルステック工業株式会社及び独立行政法人産業技術総合研究所の皆様へ深く感謝します。

参考文献

- 1) 吉澤 徹編著：最新 光三次元計測, 13, 朝倉書店 (2010).
- 2) 矢野 宏：計測管理の実際, 29, 工業調査会 (1986).
- 3) 柳原 亘他：三次元測定機におけるSN比を用いた不確かさ評価について, 静岡県工業技術研究所研究報告, 第4号, 176-180 (2011).