

# レーザ変位プローブ式非接触座標測定機の性能検査\*

和合 健\*\*、池 浩之\*\*

レーザ変位プローブ式座標測定機について、旧 JIS B 7441:2009 で示す性能検査方法に従い、3 種類の検査用標準器を使用して性能検査を行い、非接触座標測定で特徴的な誤差について検証した。その結果、点群の分布を正規分布と仮定し標準偏差  $\sigma$  を算出し、 $\pm 2\sigma$  で PFS を算出した場合、球面形状誤差 PFS が占める割合は寸法測定誤差  $E$  の 41% に減少し適正な値を示した。

**キーワード：非接触座標測定機、ボールバー、性能検査、ノイズフィルタ、球面形状誤差**

## Performance of Laser-Probe-Type Noncontact Coordinate-Measuring Machine

Takeshi Wago and Hiroyuki Ike

Using three types of testing standard gauges, we test the performance of a coordinate-measuring machine (CMM) equipped with a laser displacement probe system against the JIS B 7441:2009 standard (i.e., the old JIS standard). We estimated the characteristic deviations of noncontact coordinate measurements, which were then verified. The estimated points formed a normal-distribution cloud with standard deviation  $\sigma$ ;  $\pm 2\sigma$  error was used for PFS spherical form measurements. For CMM size measurement  $E$ , PFS occupies 41% of the error of indication of the CMM. Thus, PFS tends to decrease and accurately indicates the value of  $E$ .

**key words: noncontact coordinate-measuring machine, ball bar, evaluation of performance, noise filter, error of spherical form measurement**

### 1 緒 言

3 次元 CAD を使用した設計製造が汎用化したことにより従来の幾何形状では定義できない自由曲面製品が多く流通している。その製品を検査するには、点群として測定し評価することが必要になりその機能を有する非接触座標測定機（以下、非接触 CMM）が有効になる。非接触 CMM は、製品に寸法値を与える測定装置であるからその測定における不確かさが重要になる。測定の不確かさは測定値に付く値、所謂、測定値毎の固有値であるが、予め性能検査を行い非接触 CMM に指示誤差を提示できれば算出した測定の不確かさの妥当性の目安に活用できる。非接触 CMM の利用度合いが増している現状において、ISO に先駆けて JIS B 7441:2009（非接触座標測定機の受入検査及び定期検査）が 2009/09/24 に制定された。しかし、ISO に準拠した JIS B 7440-8:2015（製品の幾何特性仕様（GPS）—座標測定システム（CMS）の受入検査及び定期検査—第 8 部：光学式距離センサ付き座標測定機）が制定されたため JIS B 7441:2009 は廃止されたが、旧 JIS B 7441:2009 は JIS B 7440-8:2015 を肉付けする有用な考え方が盛り込まれた規格であった。

ここでは、旧 JIS B 7441:2009 で示す性能検査方法に従い、3 種類の検査用標準器を使用してレーザ変位プローブ式座標測定機の性能検査を行い、非接触座標測定で特徴的な誤差の表示方法について検証した。

### 2 実験方法

#### 2-1 実験装置

性能検査を行った非接触 CMM はメーカーがミットヨ + Nikon Metrology (旧 Metris) による型式 : CRT-AC776-LC15 である。本体がミットヨ製の門移動形の直交座標系 CMM であり、プローブは Nikon Metrology 製のラインレーザ変位プローブである。CMM の仕様は測定範囲が X、Y、Z ; 705、705、605mm、スケールはリニアスケールで最小表示値は 0.1 $\mu$ m である。プローブの仕様はラインレーザの測定幅が 15mm、測定深さが 15mm、製造者が示す測定精度は 8 $\mu$ m (真球度  $\sigma$ ) である。測定装置のカタログ許容値は CMM がタッチトリガプローブ TP200 使用時の最大許容指示誤差  $MPEE = 1.9 + 4L/1000 \mu$ m (L は測定長さ mm) であり L=500mm の場合では 3.9 $\mu$ m となる。プローブの測定精度が 8 $\mu$ m (真球度  $\sigma$ ) であることから CMM

\* 平成 22 年度 産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会形状計測研究会（共同研究）

\*\* 材料技術部（現 素形材技術部）

の機械精度による誤差はプローブの測定精度に包含されると推測される。

## 2-2 検査用標準器の仕様

検査用標準器は旧 JIS B 7441:2009 ではボールバー、検査用標準球、検査用標準平板の3種類の使用を求めている。ただし、旧 JIS B 7441:2009 では直接的にこの3種類の仕様を規定していないため使用者の判断で3種類の検査用標準器の仕様を決定する必要がある。ここでは、NMIJ/AISTが主催する産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会傘下形状計測研究会で配布された3種類の検査用標準器を使用した。以下に検査用標準器の仕様を示す。ボールバーは材質がカーボン製のバーにSUJ2+TiNコーティングされた球6個が一行に配置されたものでバーの線膨張係数は $0.0 \times 10^{-6}/K$  (不確かさ  $0.1 \times 10^{-6}/K$ )、最大球間長さは500mm、ピッチ100mm、球径 $\phi 45mm$ である。検査用標準球は材質がSCM435で線膨張係数は $11.0 \times 10^{-6}/K$  (不確かさ  $1.0 \times 10^{-6}/K$ )、大きさは $\phi 120mm$ で表面にボールバー球と同等のTiNコーティングが施されている。検査用標準平板は材質がセラミックスで線膨張係数は $7.8 \times 10^{-6}/K$  (不確かさ  $1.0 \times 10^{-6}/K$ )、大きさは $100 \times 300 \times 15mm$ である。この3種類の検査用標準器はJIS B 7441:2009の附属書C (参考) 検査用標準器 C.1 一般で指示された“測定表面は、光学的に均一な拡散面であることが望ましい”を満足していた。

## 2-3 検査用標準器の配置方法

ボールバーを使用して球間距離測定誤差 ES(mm)を求める。旧 JIS B 7441:2009 ではボールバーを7形態の姿勢で非接触 CMM の全域に配置することを指示している。図1(A1)のとおり番号3の配置では高さ270mmのプラスチック製輸送箱を使用してボールバーを設置し、番号4～番号7は図1(A2)のとおり傾斜治具を使用した。検査用標準球を使用して球面形状誤差 PFS(mm)と球直径測定誤差 PS(mm)を求める。検査用標準球は5形態の姿勢で設置する必要がある、図1(A3)のとおり番号1の配置では1辺が150mmの桁形マグネットブロックの上面に置いた。検査用標準平面を使用して平板形状測定誤差 PFF(mm)を求める。検査用標準平面は6形態の姿勢で設置する必要がある、図1(A4)のとおり番号4の配置では治具ブロックの上に高さ265mmの木箱を置きその上に検査用標準平面を設置した。

## 2-4 測定方法及び温度補正

### (1) ボールバーの場合

1個の球あたり直交する3面について1面毎にライン測定をした。ここでライン測定とは、ラインレーザプローブの測定幅15mmのラインと直交する方向に1回走査した(線測定した)測定方法をいう。6球をすべて測定するためには6球 $\times$ 3面 $\times$ 1ライン測定により18回のライン測定を行ったことになる。非接触プローブの測定条件はライン方向の点間距離0.1mm、進行方向の点間距離0.1mmとした。非接触プローブのレーザ強度は5/60とした。

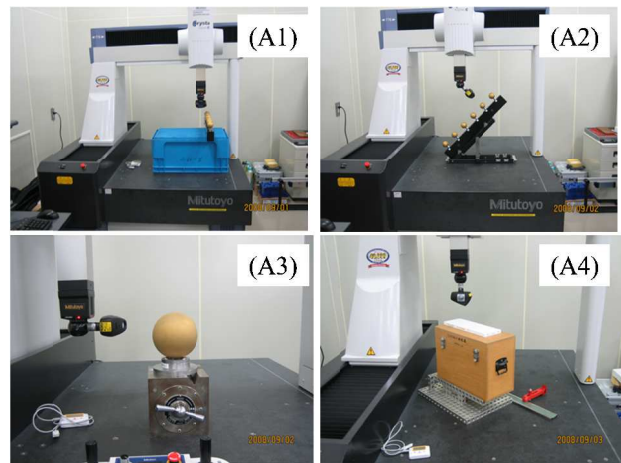


図1 各検査用標準器の配置方法

注) (A1)はボールバーの姿勢が番号3の場合、(A2)はボールバーの姿勢が番号5の場合、(A3)は検査用標準球の姿勢が番号1の場合、(A4)は検査用標準平面の姿勢が番号4の場合。

### (2) 検査用標準球の場合

検査用標準球の測定は極1面及び赤道を90度分割による4面の合計5面を測定した。測定方法は、深さ方向固定のエリア測定により行い非接触プローブ LC15 では測定深さが15mmであるため有効な測定深さに位置した球表面のみが測定できる。ここでエリア測定とは、先に説明したライン測定を奥行き方向にずらして複数回のライン測定をする測定方法をいい、広い面積の測定ができる。非接触プローブの測定条件はライン方向の点間距離0.1mm、進行方向の点間距離0.1mm、隣合うライン同士の重なり長さ0.1mmとした。非接触プローブのレーザ強度は5/60とした。

### (3) 検査用標準平面の場合

検査用標準平面の測定は、平面の測定であるため非接触プローブの測定深さの制限に依存しない測定が行えた。測定方法は深さ方向固定のエリア測定で行い1回の測定で平面の全範囲を測定できた。非接触プローブの測定条件はライン方向の点間距離0.5mm、進行方向の点間距離0.5mm、隣合うライン同士の重なり長さ0.1mmとした。非接触プローブのレーザ強度は6/60とした。また、長さ測定で重要となる温度管理は測定中の温度変動の最大値が $21.1^{\circ}C$ 、最小値が $20.2^{\circ}C$ 、変動幅が $0.9^{\circ}C$ 、平均値が $20.5^{\circ}C$ の良好な温度環境であった。温度環境が良好であり非接触 CMM の測定のばらつきが十分に温度影響を超えていると判断したため $20^{\circ}C$ からの偏りを修正するための温度補正は行わなかった。

## 2-5 誤差指標の算出方法

旧 JIS B 7441:2009 では、球面形状誤差 PFS(mm)、球直径測定誤差 PS(mm)、球間距離測定誤差 ES(mm)、寸法測定誤差 E(mm)、平板形状測定誤差 PFF(mm)の5つの誤差指標を算出しその誤差指標の大きさが非接触 CMM の性能であることを示している。各誤差指標の算出方法は、PFS と PFF が測定値分布幅、PS と ES は校正値との差、

EはPFSとPS及びESの和から求められる寸法測定誤差である。

### 3 実験結果及び考察

PFS、Ps、PFF、ES、Eの結果を表1に示す。Eは式(1)のとおりESとPS及びPFSの和から求められる。

$$(L_{mea} - L_{cal}) + P_{S,max} > 0 \rightarrow E = (L_{mea} - L_{cal}) + P_{S,max} + P_{FS,max} \quad (1)$$

ただし、 $E_S = (L_{mea} - L_{cal})$

表2と図2にPFSの算出方法を示す。表2よりNo filterの場合はEの79% (0.2130/0.2688×100)がPFSにより占められている。旧JIS B 7441:2009では5.1一般事項で“明らかに外乱によるノイズであるとわかる測定点は、製造業者と使用者との合意の下、手動で取り除くことができる”と規定している。所謂フィルターの使用を認めているが外乱によるノイズと判定するための基準は示されていない。そこで、PFSを構成する点群の度数分布を図3に示す。このPFSは検査用標準球を番号4の位置で測定したものであり、点数が725230点で構成する正規分布である。しかし、正規分布の本体から負の方向に外れた点が13点でその範囲が0.075mm、正の方向に外れた点が9点でその範囲が0.042mmで合計0.117mmの分布範囲を持っている。このためPFSの55%(0.117mm/0.213mm×100)が0.003%(22点/725252点×100)の点数で形成されていた。

次に表2及び図2に示した手動フィルター(Manual filter)で外乱ノイズの点を除去した場合の点群の分布を考察する。表中のNo filterは手動フィルターを適用しない場合、Manual filterは点群の分布を作業者が確認して正規分布本体から外れた点を外乱ノイズと決定して除去した場合、±3σは点群の分布が正規分布と仮定して標準偏差σを算出して6σの範囲とした場合、±2σは同様に4σの範囲とした場合である。この結果、PFSを±2σの分布幅とした場合のEは0.095mmとなった。

フィルターにより外乱ノイズの除去方法と分布幅の決定方法による計4通りでPFSを算出したところEが0.269mm~0.095mmの幅で変化した。このことから、旧JIS B 7441:2009ではフィルターの適用基準とPFS算出における分布幅の検討が必要であった。

2015年に規定されたJIS B 7440-8:2015は、ここで示した旧JIS B 7441:2009の欠点を補う方法を示している。

表1 各誤差指標の結果 (No Filterの場合)

(mm)		
球面形状誤差 (a)	$P_{FS}$	0.213
球直径測定誤差 (b)	$P_S$	0.047
平板形状測定誤差	$P_{FF}$	0.013
球間距離測定誤差 (c)	$E_S$	0.009
寸法測定誤差 (a)+(b)+(c)	$E$	0.269

表2 PFSの算出方法

Index	Range of distribution			
	No filter (Max-Min)	Manual filter (Max-Min)	±3σ	±2σ
$P_{FS}$ (mm)	0.213	0.095	0.059	0.039
Points (piece)	725252	725230	723076	688989
Removal points (piece)	0	22	2176	36263
$E$ (mm)	0.269	0.151	0.115	0.095
$P_{FS}/E \times 100$ (%)	79	63	51	41

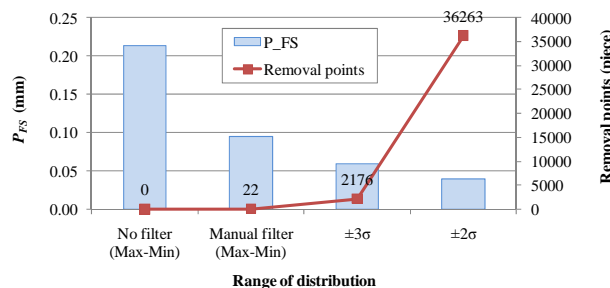


図2 PFSの算出方法

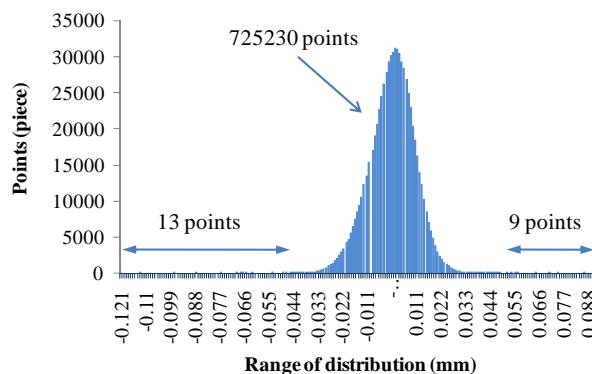


図3 PFSを構成する点群分布

### 4 結論

旧JIS B 7441:2009に従い非接触CMMの性能検査を行い以下の事項が明らかになった。

- 1) このJIS規格では外乱ノイズの判定基準が明確に示されていないためフィルターを未使用の場合はPFSが0.213mmと算出され、その場合のEは0.269mmと算出され、PFSがEの79%を占めた。
- 2) 点群の分布を正規分布と仮定し標準偏差σを算出し、±2σでPFSを算出した結果0.039mmとなりその時のEは0.095mmが得られPFSが占める割合はEの41%に減少した。
- 3) JIS B 7440-8:2015は、ここで示した旧JIS B 7441:2009の欠点を補う方法を示している。

### 謝辞

本研究は、産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会形状計測研究会の共同研究として行われた。実験を行うにあたり本共同研究に参加されたNMIJ/AIST、公設試及び企業の研究員の方々には貴重なご指導を頂き、この場を借りて感謝を表す。