

座標測定機のラム軸スタイラスオフセットに起因する長さ測定誤差*

和合 健**、池 浩之**

JIS B 7440-2:2013 の 6.5 項で示す手順に従って座標測定機 (CMM) の性能検査を行い、ラム軸スタイラスオフセットに起因する長さ測定誤差 E150 を求めるための様式化を試みた。その結果、規格での指示事項を遂行するための測定位置、スタイラス姿勢、プログラミングなど検査の作業要点を示した。

キーワード : 座標測定機、JIS B 7440-2:2013、長さ測定誤差、ラム軸スタイラスオフセット、EL テスト

Length Measurement Error caused by Ram-Axis-Stylus Offset in Coordinate-Measuring Machine

Takeshi Wago and Hiroyuki Ike

We test the performance of a coordinate-measuring machine against the JIS B 7440-2:2013 6.5 standard. We obtained a testing format that allows the extraction of length measurement error caused by the ram-axis-stylus offset. We identified key points, and showed that standard requires knowledge of the measurement position, stylus direction, sequential program, etc.

key words : coordinate-measuring machine, JIS B 7440-2:2013, length measurement error, ram-axis-stylus offset, EL test

1 緒言

座標測定機の性能検査は、JIS B 7440-2:2013 (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 : 長さ測定) に従って行われる。特に CMM ではラム軸 (Z 軸を構成するガイド軸) を回転軸とするローリング誤差の影響が大きいと言われている。このラム軸の回転により生じる長さ測定誤差を求める検査が EL テスト (Test of length measurement error) である。

JIS B 7440-2:2013 では 6.3 項でラム軸スタイラスオフセットが 0mm における長さ測定誤差 E0 と 6.5 項でラム軸スタイラスオフセットが 150mm における長さ測定誤差 E150 の二つに場合分けして検査することを指示し、EL テストは後者により行われる。6.5 ラム軸スタイラスオフセット 150 mm における長さ測定誤差、E150 では、ラム軸オフセットの既定値は 150mm、測定空間にゲージを配置する位置は 4 水準など、測定方法を明確に規定してラム軸スタイラスオフセットに起因して生じる長さ測定誤差 E150 の定量化を求めている。

ここでは、JIS B 7440-2:2013 の 6.5 項に従った CMM の性能検査を行い、E150 を抽出するための様式化を試みた。

2 実験装置

使用したゲージはステップゲージ (HMC-600、ミットヨ) で、測定範囲は $10 \leq L \leq 610$ mm、メーカーが示す許容値

は呼び寸法 310mm までの中央寸法の寸法差が $\pm 2.5 \mu\text{m}$ 、寸法差幅が $1.2 \mu\text{m}$ 、呼び寸法 310~610mm までの中央寸法の寸法差が $\pm 3.5 \mu\text{m}$ 、寸法差幅が $1.5 \mu\text{m}$ であった。ゲージの線膨張係数は $10.9 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ とした。使用した CMM (UPMC550-CARAT、Carl Zeiss) は門移動型の高精度型で指示誤差は $\text{MPEE} = 0.8 + L/600 \mu\text{m}$ (L は検査長さ mm) であった。

3 実験方法

3-1 測定位置

測定位置は +EL、-EL、E0 と同じ位置の 1 水準のみとし、全測定においてゲージの移動は無かった。ここで +EL とは横向きスタイラスが X 軸の + 方向を向いた姿勢、-EL とは横向きスタイラスが X 軸の - 方向を向いた姿勢、E0 とはスタイラスが鉛直下方向の向きの姿勢をいうが、ここではゲージとスタイラスの干渉を避けるために若干の角度を振った。測定位置は図 1~図 3 のとおりゲージ重心位置が CMM テーブルの中心から X+ 方向かつ Y+ 方向に若干ずれた位置に設置した。ゲージの向きは XY 平面上における回転角では X 軸を基準にして Y 軸 + 方向に 34.9° 傾けて設置した。ゲージの降伏角は ZX 面において X 軸を基準にして X+ 方向でゲージが上を向く姿勢で Z+ 方向に 38.4° 傾けて設置した。

* 平成 24 年度 共同研究・東北復興 CMM 事業

** ものづくり基盤技術第 2 部 (現 素形材技術部)



図1 +EL のゲージ位置



図4 スタイラス姿勢



図2 -EL のゲージ位置



図3 E0 のゲージ位置

3-2 スタイラスの設定

スタイラスはスタイラスエクステンションを加えて、+EL と -EL の場合は交換皿の中心からチップ中心までが 158.4mm の腕の長さとした。スタイラスの設置角度は交換皿をプローブに取り付けた状態で、CMM テーブルの XY 面を基準にして X 軸を起線とすれば、+EL ではスタイラスの向きは 125.2° 方向、-EL では 306.9° 方向とした。チップ径は $\phi 5\text{mm}$ でチップを保持するスタイラスの外

径は $\phi 3.5\text{mm}$ 、長さは 50mm である。スタイラスエクステンションの材質はアルミニウムで外径は $\phi 11\text{mm}$ 、長さは 80mm である。E0 のスタイラスはスタイラスエクステンションの根元に角度が調節できる自在治具を取付け、その自在治具の中心からチップ中心までの腕の長さは 146.0mm、スタイラスの降伏角は 59.3° である。交換皿の表面から自在治具の中心までの距離は 44.6mm である。

温度測定は CMM 内蔵温度センサ 2 個を使用し、ゲージ本体に磁力で吸着させた。温度補正は UMESS の DI6511 自動補正機能を活用し、ゲージの線膨張係数は $10.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ とした。スタイラス 3 姿勢による全測定中の温度の平均値は 19.0°C、変動幅は 0.1°C であった。

3-3 因子と水準

信号因子はゲージが与える端面間の寸法として、70mm、130mm、210mm、290mm、350mm の 5 水準とした。標示因子は、測定位置が 1 水準、スタイラスの向きが 3 水準とした。誤差因子は繰り返し 3 回とした。

3-4 計算式

ローリング概算値 ($\mu\text{m}/\text{m}$) の計算式を式(1)に示す。

$$\text{Rolling_dev} = \{(a-b)/(L_a+L_b)\} \cdot 0.001 \quad (1)$$

ここで、a は信号因子水準 1 (寸法 1 : 70mm) における +EL の平均値 mm、b は信号因子水準 1 (寸法 1 : 70mm) における -EL の平均値 mm、 L_a は +EL のスタイラス長さ (ここでは 158mm)、 L_b は -EL のスタイラス長さ (ここでは 158mm)、Rolling_dev はローリング誤差の概算値 $\mu\text{m}/\text{m}$ となる。

4 実験結果及び考察

得られた測定値とローリング概算値を表 1 に示す。ローリング概算値は最大値で -8.4×10^{-4} ($\mu\text{m}/\text{m}$)、最小値で -1.1×10^{-4} ($\mu\text{m}/\text{m}$) となり、検査した CMM はローリング誤差が非常に小さい結果となった。スタイラス姿勢毎の標準値との差 (誤差) を表 2 に示す。3 つのスタイラス姿勢を比較すると、3 スタイラス姿勢の中で誤差の最大

表 1 実験結果 (mm)

	+EL			-EL			E0(参考)		
	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
寸法1	70.0013	70.0015	70.0016	70.0016	70.0017	70.0017	70.0015	70.0015	70.0015
寸法2	130.0012	130.0013	130.0014	130.0017	130.0016	130.0014	130.0014	130.0014	130.0014
寸法3	210.0007	210.0006	210.0008	210.0011	210.0009	210.0008	210.0010	210.0009	210.0009
寸法4	290.0001	290.0003	290.0004	290.0004	290.0003	290.0002	290.0001	290.0002	290.0002
寸法5	350.0000	350.0002	350.0001	350.0000	349.9999	349.9997	349.9998	349.9999	349.9998

	+EL			-EL			E0(参考)		
	平均			平均			平均		
寸法1	70.00147			70.00167			70.0015		
寸法2	130.0013			130.0016			130.0014		
寸法3	210.0007			210.0009			210.0009		
寸法4	290.0003			290.0003			290.0002		
寸法5	350.0001			349.9999			349.9998		

	ローリング概算値【um/m】
寸法1	-6.3E-04
寸法2	-8.4E-04
寸法3	-7.4E-04
寸法4	-1.1E-04
寸法5	7.4E-04

スタイラスの長さ【mm】	
+EL	-EL
158	158

表 2 標準値との差 (mm)

寸法測定誤差 [mm]		+EL			-EL			E0(参考)		
呼び寸法	M	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
寸法1	70	0.0006	0.0008	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010	0.0008	0.0008	0.0008
寸法2	130	0.0012	0.0012	0.0014	0.0017	0.0016	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
寸法3	210	0.0007	0.0006	0.0008	0.0011	0.0009	0.0008	0.0010	0.0009	0.0009
寸法4	290	0.0007	0.0009	0.0010	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0008	0.0008
寸法5	350	0.0010	0.0012	0.0011	0.0010	0.0009	0.0007	0.0008	0.0009	0.0008
			max	0.0014		max	0.0017		max	0.0014
			min	0.0006		min	0.0007		min	0.0007
			range	0.0008		range	0.0010		range	0.0007
			avg	0.0009		avg	0.0010		avg	0.0009
			stddev	0.00024		stddev	0.00027		stddev	0.00022

値は-ELが0.0017mmであるが+ELとE0も0.0014mmとなりほぼ同等である。最小値、範囲、平均値、標準偏差もほぼ同等の良好な結果となった。これはゲージを全く移動しなかったこと、スタイラス3姿勢とも同じプログラムで測定を行った効果が大きく寄与していると考えた。その結果、ここで検査したCMMは良好な校正状況を維持していると判断できる。

以下に実験で得られた所感を列記する。

- ここではゲージ位置が1水準、スタイラス姿勢が3水準としたためゲージ位置を全く移動させずに測定が行えた。それは、保有していたスタイラス交換皿が3個とそれに接続するスタイラスエクステンション及びスタイラスを個別に揃えることが出来、プローブ校正が一度に行えたためである。(プローブ校正のためゲージを移動させる必要が無かった)
- E0 スタイラスでは図4のとおり腰折れ機構を持ち角度調整が可能な自在治具を利用した。しかし、ゲージの基準面にスタイラス方向を平行に揃えることに非常に苦労した。最終的にはスタイラス交換皿をプローブに接続

した形態で、ネジを軽くロックして現物合わせの方法で平行出しを行い、正確な平行を達成できた。

- +EL スタイラスと-EL スタイラスをゲージの基準面に平行に設置する作業は、交換皿をプローブから外して角度調整を実施しても容易に平行出しが行えた。
- CNC プログラムはE0 スタイラスで作成した1個のプログラムで3姿勢の測定が行えた。ただし、+EL スタイラス、-EL スタイラスでは若干のプログラム修正が必要であり、プログラム修正箇所を以下に示す。
- EL スタイラスの場合：X軸ゼロ点は呼び値25mm駒の+X方向端面をプロービングしたため-EL スタイラスの場合は、この部分のプログラム修正は必要ない。空間軸の設定は基準面を平面測定した。この時に平面の-X軸方向のZ軸下方の点がφ5mmチップスタイラスのスタイラス長さ50mmでは届かないので若干+X方向に測定点を修正する必要がある。
- +EL スタイラスの場合：X軸ゼロ点設定時に、-EL スタイラスの場合とは異なり呼び値25mm駒の+X方向端面のプロービングとしたため物理的にこの端面をプロービングできない。解決策は呼び値25mm駒の-X

方向端面をプロービングして、その後原点を+X方向に9mmオフセットする方法で解決した。また、-ELスタイラスと同様に基準面の平面測定で測定できない点が生じたので使用するスタイラスで届く位置に測定点を変更して平面測定を行った。

- 端面位置座標への正確なプロービング方法は、中間点を適宜入力し、任意位置へ手動のティーチングプレイバック方式でプログラミングし、プロービングではステップを使う。プログラム終了後にエディタ編集でプロトコル指示のプロービング直前位置に位置決めする座標修正を行う方法が良い。繰り返し3回はループ関数を利用した。
- 率直な感想は、ゲージ位置が1箇所だったので1日程度の作業量で済んだが、ゲージ位置が規格で示す4水準ではある程度の作業量になるような感じがした。ELテストがCMMの性能検査で必須の検査項目であるならば、公設試がELテストを実施するための作業要点を提示することも必要であると感じた。

5 結 言

JIS B 7440-2:2013 6.5項に従い、ラム軸スタイラスオフセット150mmに起因して生じる長さ測定誤差E150を求めた。その結果、規格での指示事項を遂行するための測定位置、スタイラス姿勢、プログラミング及び検査の作業要点を把握し、示した。作業要点は以下のとおりであ

る。

- スタイラスエキステンションの構成部品を複数揃えることが出来れば、ゲージ位置は1水準で完遂できる。
- スタイラスエキステンションで腰折れ機構治具を使用してスタイラス向きをゲージと平行に設置するには、プローブに取り付けた状態で行えば良い。
- +EL スタイラスと-EL スタイラスの場合は、プローブから外して角度調整してもゲージの基準面に合わせることができる。
- CNCプログラムはE0 スタイラスで作成した1個のプログラムで3姿勢の測定が行えるが、+EL スタイラスと-EL スタイラスの場合で若干のプログラム修正が要る。
- 端面位置座標に正確なプロービングをするCNCプログラミング方法は、手動のティーチングプレイバック方式で一旦プログラムを作成して、後に編集エディタで正確なプロービング直前位置に書き換える方法が良い。

謝 辞

本研究は、東北復興CMM事業において独立行政法人産業技術総合研究所をパイロットラボとして東北6県公設試の共同研究として実施された。本実験に関わられたNMIJ/AIST並びに東北6県公設試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。