

# 機上計測による長さ測定誤差の比較

## Comparison of length measurement errors on-machine measurement

電子・機械技術部 機械・加工科 渡邊孝康

基準器を用いて、3軸マシニングセンタ、5軸マシニングセンタ、CMMそれぞれのX軸、Y軸の長さ測定誤差と長さ測定誤差の繰返し範囲を調べた。その結果、長さ測定誤差はCMM、5軸マシニングセンタ、3軸マシニングセンタの順で小さく、両マシニングセンタの繰返し範囲は1.0[ $\mu\text{m}$ ]だった。またボールバー試験を行い、両マシニングセンタのX軸とY軸の長さ測定誤差の差は、機械本体の運動精度に起因していることを明らかにした。

Key words: 機上計測、マシニングセンタ、三次元座標測定機、ボールバー試験

### 1. 緒言

機械加工したワークの寸法測定は通常三次元座標測定機（以下、CMMと略記）等の専用の測定機を使用することが多く、当所でもCMMで企業からの依頼に対応した計測を行っている。

一方、マシニングセンタ（以下、MCと略記）には、加工機上での主軸の位置を検出するタッチプローブが付属している。主に加工前の位置決め作業に使用されているが、近年、MCの各軸位置決め精度の向上に伴い、加工後のワークの寸法をそのまま加工機上で測定する、いわゆる機上計測を行うための製品が実用化され、販売されている<sup>1) 2)</sup>。しかし、この方法で長さ測定誤差を明らかにした例は少ない。

そこで、本研究では当所保有のMCとCMMを対象に、寸法が明らかな基準器を用いて長さ測定誤差を比較した。また、MCでボールバー試験を行い、機械の運動精度が長さ測定誤差に与える影響を比較したので報告する。

### 2. 実験方法及び結果

#### 2. 1. 測定方法

測定は、CMMの検査規格である「JISB-7440-2 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」を参考に、各機械のX軸、Y軸について実施した。基準器には、呼び寸法450[mm]のチェックマスタ（ミツトヨ製HMC-450）を用いた。チェックマスタの各ブロックの中央寸法を真値として誤差を比較するため、測定位置は各ブロックの中心とした。基準ブロック端面からの呼び寸法70[mm]、150[mm]、290[mm]、430[mm]の4か所を順に3回繰返し測定した。基準器は各機械のX軸、Y軸と平行に設置し、温度が測定環境の室温と平衡になるように設置してから時間をおいて測定した。表1に基準器の諸元、図1に実際に使用した基準器を示す。

表1 基準器の諸元

メーカー	(株) ミツトヨ
型式	HMC-450
測定範囲[mm]	$10 \leq L \leq 450$
中央寸法差の許容値	$310[\text{mm}] \leq \pm 2.5[\mu\text{m}]$
	$< 310[\text{mm}] \pm 3.5[\mu\text{m}]$
寸法差幅の許容値	$310[\text{mm}] \leq 1.2[\mu\text{m}]$
	$< 310[\text{mm}] 1.5[\mu\text{m}]$
検査温度[°C]	$20 \pm 1$
熱膨張係数[1/K]	$10.3 \sim 11.3 \pm 0.19 \times 10^{-6}$



図1 使用した基準器

#### 2. 2. 3軸MCでの測定

測定は、3軸MC（三菱重工業製M-V5B）の主軸にタッチプローブ（BIGDAISHOWA製POINTMASTER）を装着して行った。タッチプローブは主軸に装着後、振れが無いように調整し、予め主軸回転中心とプローブ検出位置の差をX+、X-、Y+、Y-方向について測定し、補正量とした。測定は、基準器を載せたテーブルを各軸のジョグダイヤルで1[ $\mu\text{m}$ ]ずつ移動させ、タッチプローブが接触した時の座標指示値を読み取り記録した。この座標指示値から補正量を加えた値をブロック中央の座標指示値とし、長さを算出した。算出した長さチェックマスタの検査値の差を長さ測定誤差とした。表2に3軸MCの装置諸元、表3にタッチプローブの諸元、表4に測定条件（補正量含む）、図2に使用したMC、図3に測定時の状況を示す。

表2 3軸MCの諸元

メーカー	三菱重工
型式	M-V5B
制御器	FUNACSeries18-MA
X軸移動量[mm]	800
Y軸移動量[mm]	510
Z軸移動量[mm]	460
直線軸位置決め精度XYZ	±0.003[mm]/全長
直線軸繰返し精度XYZ	±0.0015[mm]/全長

表3 3軸MCタッチプローブの諸元

メーカー	BIGDAISHOWA
型式	POINTMASTER
検出方式	通電式
スタイラス復元精度	±1[μm]
測定圧力XY	0.6[N]
ボール直径[mm]	6
スタイラス長[mm]	40

表4 3軸MCの測定条件

測定動作	手動
X+補正量[mm]	2.996
X-補正量[mm]	2.995
Y+補正量[mm]	3.002
Y-補正量[mm]	3.000
繰返し数	3
測定呼び長さ	70, 150, 290, 430
室温	9.2°



図2 3軸MC

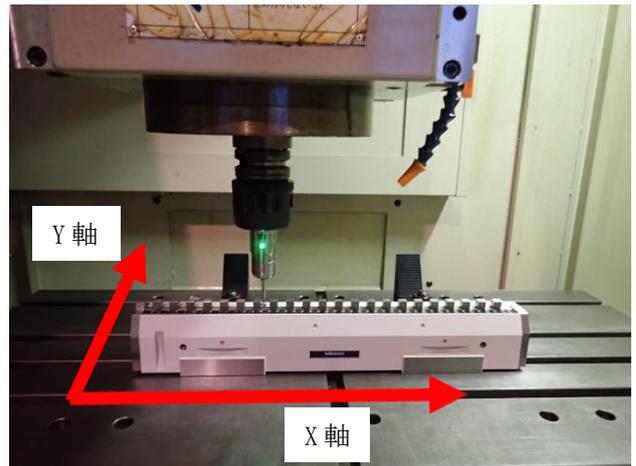


図3 3軸MCのX軸測定

測定結果は図4のとおり。長さ測定誤差は測定長さ  
に比例して大きくなり、測定長さ 430[mm]の X 軸で  
50[μm]、Y 軸で 25[μm]と、X 軸は Y 軸に比べ大きい結  
果となった。繰返し範囲は 1.0[μm]と小さかった。

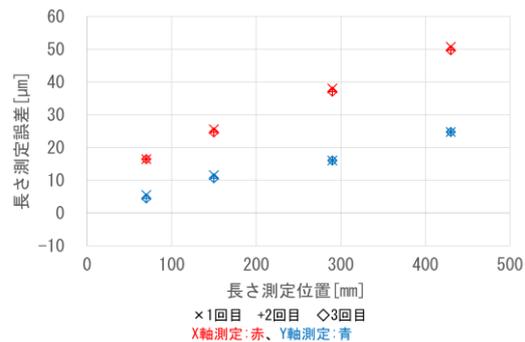


図4 3軸MC 測定結果

### 2. 3. 5軸MCでの測定

測定は、5軸MC（松浦機械製作所製 MX-520）の主  
軸にタッチプローブ（レニショー製 OMP400）を装着し  
て行った。基準器の温度平衡を確認するため、熱電対  
を使い基準器の両端面、MCのテーブル、室温を測定  
した。タッチプローブは主軸に取り付けて調整し、先  
端球の主軸1回転時の振れ量を6[μm]とした。主軸回  
転中心とプローブ検出位置の差をX+、X-、Y+、Y-方  
向について測定し、補正量とした。測定は、自動測定と  
し、タッチプローブが接触し制御器にトリガー信号が  
入力された際の座標指示値をカスタムマクロ変数に書  
き込んで記録し、測定値とした。この座標指示値から  
補正量を加えた値をブロック中央の座標値とし、長さ  
を算出した。算出した長さとチェックマスタの検査値  
の差を長さ測定誤差とした。表5に5軸MCの諸元、  
表6にタッチプローブの諸元、表7に測定条件（補正  
量含む）、図5に使用した5軸MC、図6に測定時の状  
況を示す。

表5 5軸MCの諸元

メーカー	松浦機械製作所
型式	MX-520
制御器	MATSURAG-TECH31IB
X軸移動量[mm]	630
Y軸移動量[mm]	560
Z軸移動量[mm]	510
直線軸位置決め精度 XYZ	±0.001[mm]/全長
直線軸繰返し精度 XYZ	±0.001[mm]/全長

表6 5軸MCタッチプローブの諸元

メーカー	レニショー
型式	OMP400
検出方式	ストレインゲージ
信号伝達方式	360° 赤外線オプチカル信号伝達方式
繰返し精度[μm]	0.35
※スタイラス長 100[mm]	
測定圧力 X Y [N]	0.06
スタイラス直径[mm]	6
スタイラス長[mm]	100

表7 5軸MCの測定条件

測定動作	自動
測定速度[mm/min]	10
X+補正量[mm]	2.987
X-補正量[mm]	2.990
Y+補正量[mm]	2.995
Y-補正量[mm]	2.987
繰返し数	3
測定呼び長さ	70, 150, 290, 430
室温	20.4°
基準器温度	17.0



図5 5軸MC

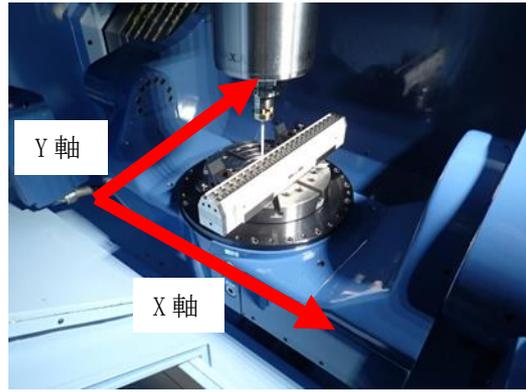


図6 5軸MCのX軸測定

測定結果は図7のとおり。長さ誤差は3軸MCと違い、測定長さと比例せず、最も大きい誤差はX軸が測定長70[mm]の場合で10[μm]、Y軸が測定位置70[mm]の場合で4[μm]とX軸はY軸に比べ大きい結果となった。X軸、Y軸とも繰返し範囲は1.0[μm]と小さかった。

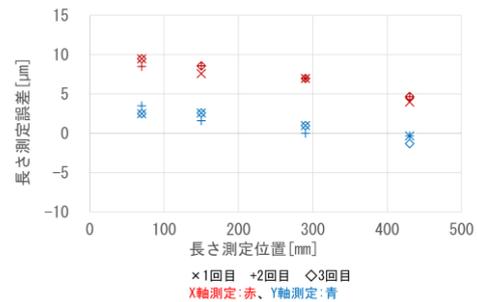


図7 5軸MC 測定結果

## 2. 4. CMMの測定

MCとの比較を目的とし、当所のCMMで基準器の測定を行った。測定は、CMM（ミットヨ製 CRYSTA ApexS776）と倣い測定プローブ（ミットヨ製 SP25M）を使用した。プローブはキャリブレーションを行い、自動測定により測定した。表8にCMMの諸元、表9に倣いプローブの諸元、表10に測定条件、図8に使用したCMMを示す。

表8 CMMの諸元

メーカー	ミットヨ
型式	CRYSTA-ApexS776
X軸測定範囲[mm]	800
Y軸測定範囲[mm]	510
Z軸測定範囲[mm]	460
最大許容誤差	±1.7+3/1000L[μm]
※SP25M, SH-1 使用時	

表9 CMMプローブの諸元

メーカー	ミットヨ
プローブヘッド	PH10M
プローブ	SP25M, SH-1
検出方式	レーザ
スプリングレート [N/mm]	0.2~0.6
スタイラス直径 [mm]	4
スタイラス長 [mm]	50

表10 CMMの測定条件

測定動作	自動
測定速度 [mm/s]	8.0
基準変位量 [mm]	0.15
繰返し数	3
測定呼び長さ	70, 150, 290, 430
室温	20.3

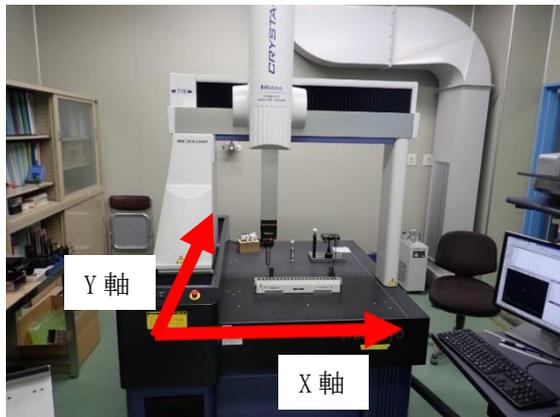


図8 CMM

測定結果は、図9のとおり。X軸、Y軸とも最大許容誤差の範囲内の結果で、繰返し範囲は大きくても0.8[μm]だった。

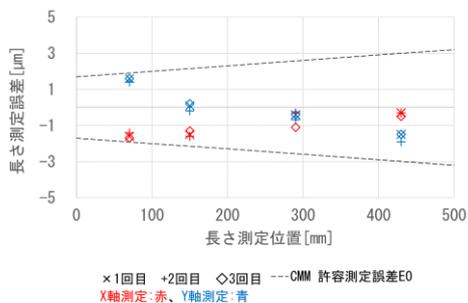


図9 CMM 測定結果

## 2. 5. ボールバー試験

MCでX軸とY軸の誤差が異なったため、原因を調べる目的で、ボールバー試験を行った。ボールバー試

験は、工作機械で時計周りと反時計周りに円運動を行うことで運動精度を調べる方法で、JIS B6190-4 (ISO230-4)「工作機械試験方法通則—第4部: 数値制御による円運動精度試験」に試験方法が規定されている。表11に装置諸元と測定条件、図10に使用した試験機を示す。

表11 ボールバーの諸元と試験条件

メーカー	レニショー
型式	QC20
計測精度 [μm]	±0.7+0.3%L
最大サンプリングレート [Hz]	1000Hz
試験平面、回転角度 [°]	XY、360 [°]
ボールバー長さ [mm]	150
送り速度 [mm/min]	1000

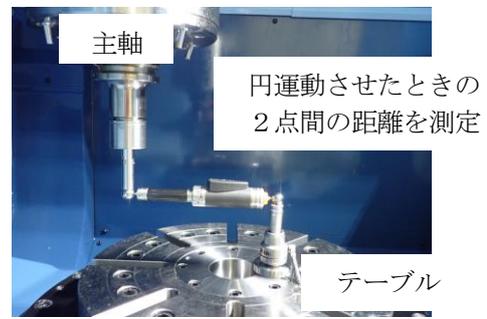


図10 ボールバー試験

3軸MC、5軸MCでボールバー試験した結果を図11、表12に示す。

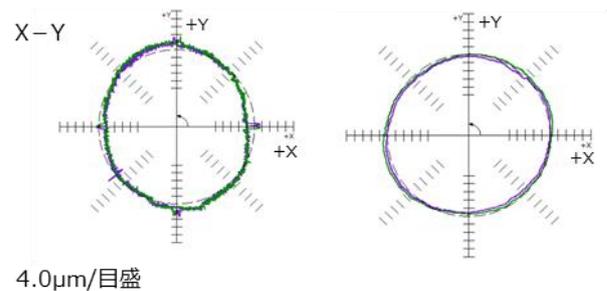


図11 ボールバー試験結果  
(左: 3軸 MC 右: 5軸 MC)

表 1 2 ボールバー試験結果

単位[ $\mu\text{m}$ ]

項目	3軸MC		5軸MC	
	X軸	Y軸	X軸	Y軸
真直度	-1.1	0.1	-1.1	0.0
+周期偏差	0.8	0.8	0.4	0.7
-周期偏差	1.0	1.1	0.4	0.4
真円度	13.1		5.3	
中心オフセット	44.2	14.7	-1.8	-1.4
+ガタ	0.8	0.4	1.2	-0.6
-ガタ	0.6	-0.6	-0.3	-1.0
+反転突起	6.9	3.2	-0.1	0.8
-反転突起	3.3	3.1	0.6	0.3
+バックラッシュ	0.5	0.8	-0.3	0.0
-バックラッシュ	1.2	0.9	-0.2	-0.5

### 3. 考察

#### 3. 1. 各機械の比較

3軸MC、5軸MC及びCMMの測定結果の比較を行った。比較は、X軸、Y軸それぞれ各測定1回目の結果で行った。結果を図12、図13に示す。

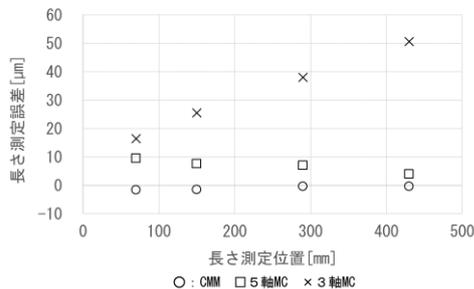


図 1 2 X 軸結果比較

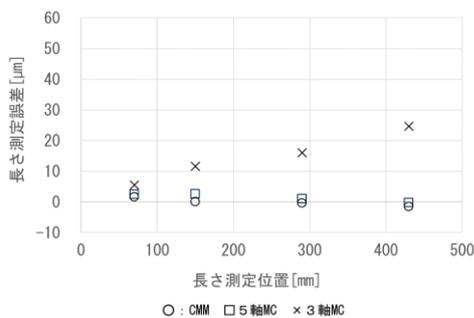


図 1 3 Y 軸結果比較

X軸、Y軸いずれも長さ測定誤差はCMM、5軸MC、3軸MCの順に小さかった。特に、5軸MCではCMMと比較しても差が小さい結果となった。3軸MCと5軸MCでは機械の位置決め精度、位置決め繰返

し精度及びプローブの繰返し範囲も異なるため、長さ測定誤差の大きさの順序は妥当な結果と考えられる。特に、5軸MCは軸移動量をリニアスケールで検出し指示値を補正するフィードバック方式が採用され、位置決め精度が高い。一方、3軸MCはリニアスケールがなく、位置決め精度が低いため、長さ測定誤差には差が出たと考えられる。なお、3軸MCでは測定時の室温が9.7[ $^{\circ}\text{C}$ ]で標準の20[ $^{\circ}\text{C}$ ]から低いため、熱膨張の影響を受けていると考えられる。より正確に比較するためには、CMMと同じ20[ $^{\circ}\text{C}$ ]環境での測定や、熱膨張が小さい基準器を使った室温の違いによる長さ測定誤差の評価が別途必要と考えられる。

#### 3. 2. マシニングセンタの X 軸、Y 軸の差の原因

ボールバー試験の結果から、3軸MC及び5軸MCいずれもX軸の真直度のずれがY軸よりも大きく、長さ測定誤差の傾向と一致した。X軸とY軸の長さ測定誤差の原因は機械本体の運動精度に起因するものと考えられる。

### 4. 結言

本研究では、MCを対象に机上計測の精度の検証に取り組んだ。その結果、以下の知見を得ることができた。

- 長さ測定誤差は、本研究の実験条件では、CMM、5軸MC、3軸MCの順に小さかった。
- 3軸MCは最大の長さ測定誤差がX軸の430[mm]で、51[ $\mu\text{m}$ ]だった。
- 5軸MCは最大の長さ測定誤差がX軸の70[mm]で10[ $\mu\text{m}$ ]だった。
- 3軸MC及び5軸MCの長さ測定誤差の繰返し範囲は1.0[ $\mu\text{m}$ ]だった。
- 3軸MC及び5軸MCともY軸に比べX軸の測定誤差が大きかった。
- ボールバー試験の結果、長さ測定誤差は機械の運動精度が影響する。

#### 参考文献

- 1) “技術・ソリューションプレミアムソリューション NC ゲージ”. オクマ株式会社. <https://www.okuma.co.jp/solution/nc.html>, (参照 2024-2-22) .
- 2) “工作機械用ワーク/工具計測システム”. レニショー株式会社. <https://www.renishaw.jp/jp/probing-and-tool-measurement-systems-for-machine-tools--6073>, (参照 2024-2-22) .