

加工機上における形状評価の研究（第一報）

Study on shape evaluation on processing machines

電子・機械技術部 機械・加工科 渡邊孝康 小野裕道
電子・機械技術部 ロボット・制御科 近野裕太

5軸MCのタッチプローブで基準器を測定し、芯ずれ、方向特性、繰返し範囲、速度による影響を評価した。また、測定の補正量を算出した。同じ器物の真円度と平面度を5軸MCと三次元測定機（CMM）で測定し結果を比較した。その結果、X-Y平面では補正量の方
向によるばらつきは4.0[μm]以下で補正量は測定速度と線形に変化することが分かった。
算出した補正量でワークの測定を行った結果、三次元測定機（CMM）との差は4.0[μm]
以下に収まることが分かった。

Key words: 機上計測、マシニングセンタ、三次元測定機

1. 緒言

マシニングセンタ（以下、MCと略記）には、加工機上での加工物の位置を検出するタッチプローブが付属している。これまでは主に加工前の位置決め作業に使用されていたが、近年、タッチプローブと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できるとの報告がある¹⁾。この技術の普及は、生産性向上、省人化につながると期待され、当所では令和5年度にMCのX軸、Y軸での長さ測定誤差を明らかにしている²⁾。

一方、真円度や平面度の測定を行うためには、多点を測定し形状を求め、求めた形状の精確さ、繰返し範囲を明らかにする必要がある。また、タッチプローブを使用した測定では、芯ずれ、方向特性、繰返し範囲や測定速度による影響等を考慮した任意方向の補正量が必要であることが知られている³⁾。

そこで、本研究では5軸MCのタッチプローブで基準器を測定し、芯ずれ、方向特性、繰返し範囲、速度による影響を評価した。また、測定の補正量を算出し、同じ器物の真円度と平面度を5軸MCと三次元測定機（CMM）で測定し結果を比較したので報告する。

2. 実験

2. 1. リングゲージによる補正量の測定

5軸MCのX軸、Y軸の2軸を使用しリングゲージの形状測定を行い、タッチプローブの芯ずれ量、方向特性、速度による影響を調べた。使用したMCとタッチプローブの諸元を表1、表2に示す。直径50[mm]のリングゲージを図1のとおり主軸中心直下に設置した。リングゲージの位置は、てこ式ダイヤルゲージを使用して芯ずれ量2[μm]、タッチプローブの芯ずれ量を4[μm]以内に調整した。割り出したリングゲージ中心位置をX軸、Y軸の中心座標とし、自動測定では

4.5[°]間隔で32点測定し、スキップ位置に記録された座標値をカスタムマクロ変数に格納後、DPRNTで出力し、測定した点群から最小二乗法で真円度、中心座標、直径及び標準偏差を求めた。幾何要素の計算はPythonで作成した演算ソフトを用いた。測定速度の影響を評価するため自動測定では3種類の速度と、テパハンドルによる手動測定を8点で行った。手動測定は、各軸のジョグダイヤルを1[μm]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。測定条件は表3のとおりである。

表1 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2 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° 赤外線オプティカル信号伝達方式
繰返し精度[μm]	0.35
X・Y軸2D方向特性[μm]	±0.25
X・Y軸・Z3D方向特性[μm]	±1.75
測定圧力XY[N]	0.06
+Z[N]	2.55
スタイラス直径[mm]	6
スタイラス長[mm]	100

表3 リングゲージの測定条件

リングゲージ 呼び直径[mm]	50
測定動作	自動、手動
測定速度[mm/min]	
自動	30, 60, 90
手動	不明
測定点数	
自動	32
手動	8
測定時室温[°C]	20.9
測定時基準器温度[°C]	17.8

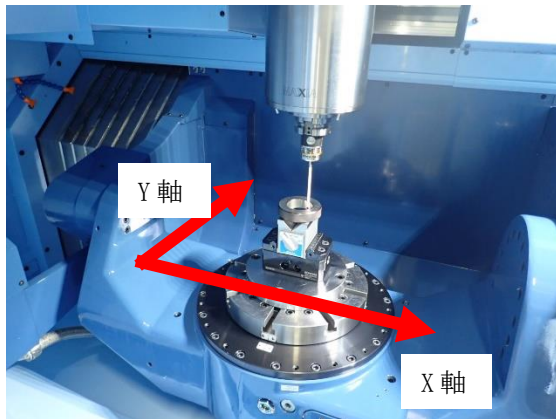


図1 リングゲージの測定

2. 2. 円筒スコヤの測定

外径測定の基準器として、「JISB-7539 円筒スコヤ」規格品の円筒スコヤを測定した。設置状況を図2、測定条件を表4に示す。測定した点群に2. 1の結果から算出した補正値を適用し、真円度、直径、標準偏差を算出した。3回測定し繰返し範囲を求めた。CMMでも測定し、結果を比較した。

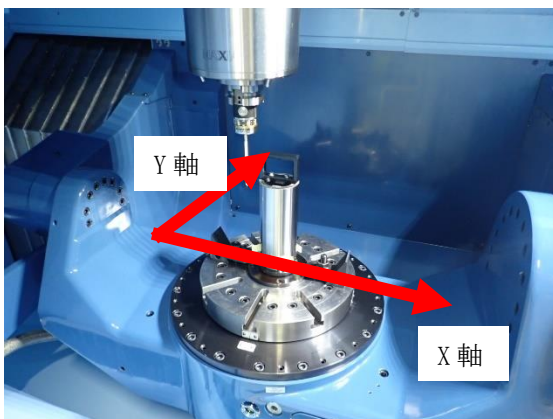


図2 円筒スコヤの測定

表4 円筒スコヤの測定条件

円筒スコヤ 呼び直径[mm]	70
測定動作	自動
測定速度[mm/min]	30
測定点数	360
繰返し数	3
測定時室温[°C]	20.5
測定時基準器温度[°C]	18.0

2. 3. 等径ひずみ円筒の測定

実際のワークを想定し、どの方向で2点測定しても直径は同じで真円度は大きい等径ひずみ円筒に加工されている円筒の外周を測定した。設置状況を図3、測定条件を表5に示す。測定した点群には、2. 2同様補正値を適用し、真円度、直径、標準偏差を求め、CMMの測定値と比較した。

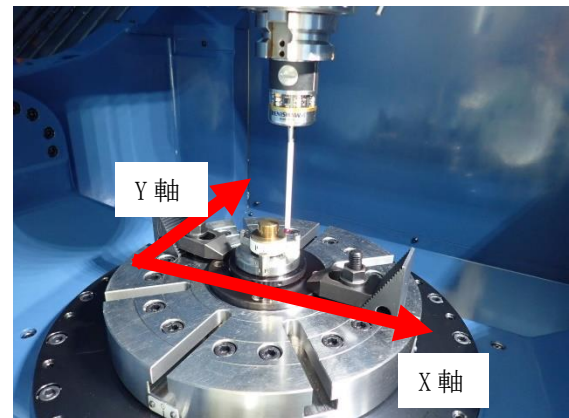


図3 等径ひずみ円筒の測定

表5 等径ひずみ円筒の測定条件

呼び直径[mm]	20
測定動作	自動
測定速度[mm/min]	30
測定点数	360
測定時室温[°C]	18.7
測定時ワーク温度[°C]	17.8

2. 4. タッチプローブ長さの測定

Z軸方向の測定における測定速度の影響及び繰返し範囲を調べる目的で、石定盤上面を基準位置とした高さ測定を行った。高さの基準位置は、図4に示すとおり主軸端面に長さ100[mm]のブロックゲージが入る高さを基準位置とした。測定条件は表6のとおり、各速度で3回繰返して測定し繰返し範囲を調べた。

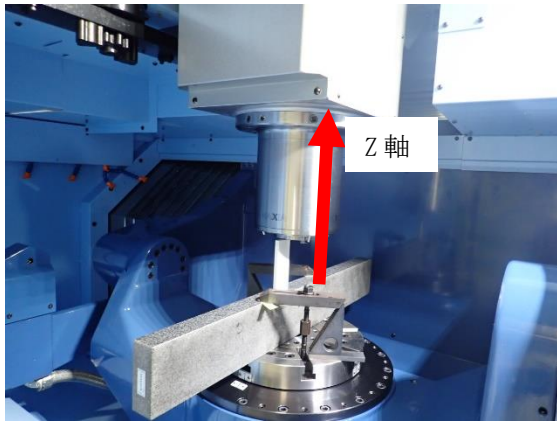


図4 基準高さの測定

表6 タッチプローブ長の測定条件

測定動作	自動、手動
測定速度[mm/min]	
自動	10, 30, 60, 90
手動	不明
繰り返し回数	3

2. 5. 定盤の測定

平面度の測定を行うため、石定盤を機械座標の各軸に直交し1軸の測定動作となるように設置し、X-Y平面、Y-Z平面、Z-X平面として面測定を行った。ワークの設置状況は図5、測定条件は表7のとおりである。

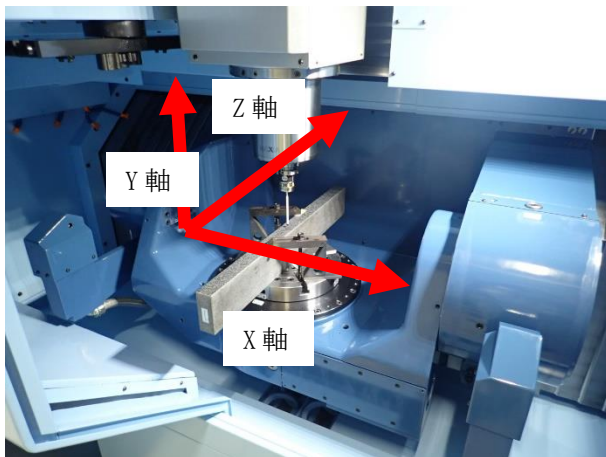


図5 平面度測定（Z軸方向測定）

表7 平面度の測定条件

測定動作	自動
測定速度[mm/min]	30
測定点数	20
測定時室温[℃]	20.0
測定時基準器温度[℃]	18.7

2. 6. 基準球の測定

X軸、Y軸にZ軸動作を加えた2軸動作測定の方特性、速度による影響及び繰返し範囲を調べる目的で基準球の断面円測定を行った。基準球の赤道位置4点と頂点1点で求めた中心座標に対して測定を行った。基準球の設置状況は図6、測定条件は表8のとおりである。

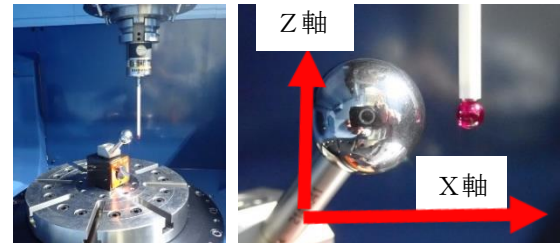


図6 基準球の測定（Z X軸）

表8 基準球の測定条件

基準球	25
呼び直径[mm]	
測定動作	自動
測定方向	YZ ZX
測定速度[mm/min]	30
測定点数	41
繰返し数	3
測定時室温[℃]	20.0
測定時基準器温度[℃]	18.7

3. 結果

3. 1. リングゲージによる補正量の測定結果

測定結果を表9、図7に示す。タッチプローブの芯ずれ量を表すリングゲージ中心座標と測定した円要素中心座標のずれは、てこ式ダイヤルゲージで求めた4[μm]と1[μm]の差だった。方向特性を表す真円度のばらつきは、測定速度を変化させても最大4[μm]以下だった。測定速度の影響を示すリングゲージの直径は速度と比例して増加した。速度増加で接触検知後の信号の入出力の遅れが大きくなったと考えられる。補正量である実効スタイラスチップ半径はリングゲージ半径25.000[mm]と測定した円要素半径の差で算出した。結果を表10に示す。補正量は測定速度と線形に10[mm/min]あたり2.7[μm]増加した。また、算出した補正量をリングゲージの測定結果に適用した結果を図8に示す。補正後の測定結果のばらつきを示しており、測定速度の増加で標準偏差が増加していることが分かった。

表9 リングゲージ測定結果

測定動作	手動	自動		
測定点数	12	32		
測定速度 [mm/min]	—	30	60	90
直径[mm]	44.011	44.024	44.040	44.056
真円度 [μm]	4.8	1.5	2.8	3.4
円中心 X座標 [mm]	-0.001	-0.002	-0.003	-0.002
円中心 Y座標 [mm]	0.002	0.004	0.005	0.005
半径の標準偏差 σ [μm]	1.7	0.4	0.8	1.0

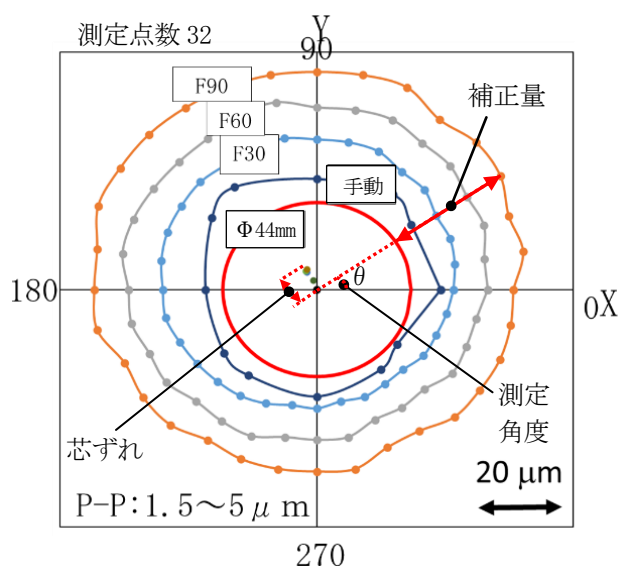


図7 リングゲージ測定結果

表10 リングゲージ測定結果から算出した
実効スタイラスチップ半径

測定動作	手動	自動		
測定速度 [mm/min]	—	30	60	90
リングゲージ半径[mm]	25.000	25.000	25.000	25.000
測定半径 [mm]	22.006	22.012	22.020	22.028
実効スタイラスチップ半径 [mm]	2.994	2.988	2.980	2.972

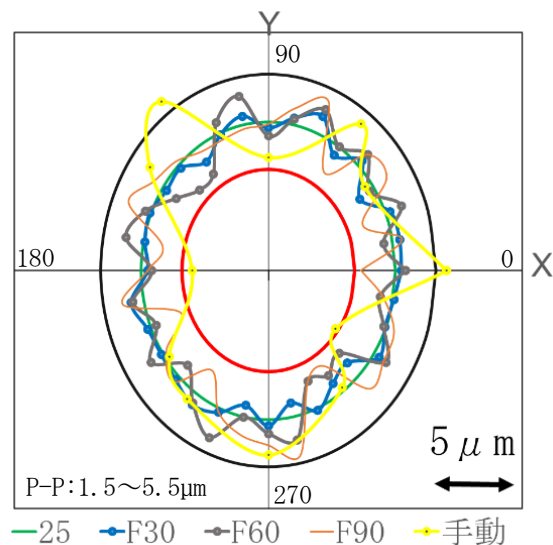


図8 リングゲージ測定結果 補正後

3. 2. 円筒スコヤの測定結果

3. 1で算出した補正量を適用した測定結果を表11に示す。直径値はCMMに比べて4[μm]以下、真円度は1[μm]以下の差だった。繰返し範囲も直径で3[μm]、真円度は1[μm]だった。

表11 円筒スコヤ測定結果

測定値	CMM	5軸MC		
		1回目	2回目	3回目
直径[mm]	70.085	70.082	70.084	70.081
真円度 [μm]	3.0	3.6	3.6	3.1
半径の標準偏差 σ [μm]	0.5	0.5	0.7	0.7

3. 3. 等径ひずみ円筒の測定結果

3. 1で算出した補正量を適用した等径ひずみ円筒の測定結果を表12、図9に示す。直径値はCMMに比べて2[μm]以下、真円度は1[μm]以下の差だった。また、等径ひずみ円の形状の特徴を正確に測定できた。

表12 等径ひずみ円筒の測定結果

測定値	CMM	5軸MC
直径[mm]	19.991	19.989
真円度[μm]	22.5	22.1
半径の標準偏差 σ [μm]	7.03	7.09

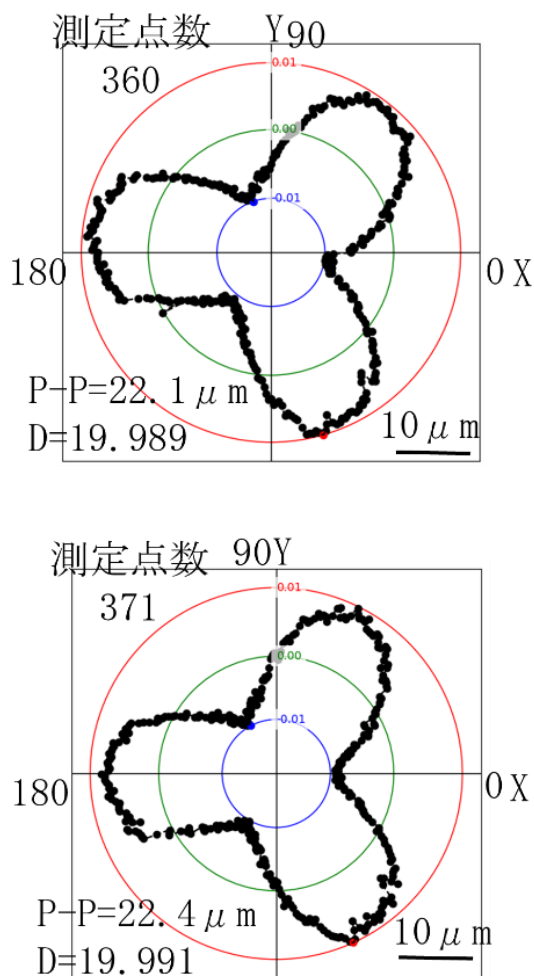


図9 等径ひずみ円筒測定結果
(上：5軸MC、下：CMM)

3. 4. タッチプローブ長さの測定結果

測定結果を表13に示す。タッチプローブ長は測定速度と線形で減少した。その量は10[mm/min]あたり2.7[μm]だった。接触時の速度の増加による信号入出力の遅れが影響していると考えられる。繰返し範囲は速度によらず1[μm]以下だった。

表13 タッチプローブ長測定結果

測定動作		手動	自動			
測定速度[mm/min]		—	10	30	50	90
測定回数	1回目	185.371	185.368	185.363	185.354	185.347
	2回目	185.371	185.368	185.363	185.354	185.348
	3回目	185.371	185.368	185.363	185.354	185.347
繰返し範囲[μm]		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

3. 5. 定盤測定結果

測定結果を表14に示す。平面度はX-Y平面、Y-Z平面、Z-X平面でCMMに比べて3[μm]以下だった。また、測定平面から最小二乗法で算出した基準平面から各データ点までの法線方向の距離の偏差を示す平面度の曲面の偏差のCMMとの差は1[μm]以下だった。

表14 平面度測定結果

測定機	CMM	5軸MC		
測定速度[mm/min]	180	30		
測定平面	XY	XY	YZ	ZX
測定方向	Z-	Z-	X-	Y+
平面度[μm]	1.8	3.9	3.9	4.9
平面度曲面の偏差LFD[μm]	0.6	1.2	0.9	1.4

3. 6. 基準球測定結果

測定結果を表15、図10に示す。直径値、真円度共に繰返し範囲は1[μm]以下となった。図10より、補正量を表す基準座標(基準球半径12.5[mm]とスタイラス半径3.0[mm]から求められる半径15.5[mm]の座標)と測定点座標の差は、Z軸方向よりX、Y軸方向で10[μm]大きい。これは、スキップ信号でワーク座標系を記録する際、Z座標はタッチプローブ長補正が適用された座標であるのに対し、X、Y座標は未補正の座標値を記録したことが原因と考えられる。また、測定角度で基準座標と測定点座標の差が変化したのは、測定角度により、X、Y軸方向の測定速度が変化しているためと考えられる。以上からZ軸動作を伴う測定では、測定角度ごとに異なる補正量が必要であることが分かった。

表 15 基準球測定結果

測定断面		YZ	ZX
直径 [mm]	1 回目	30.973	30.974
	2 回目	30.973	30.974
	3 回目	30.973	30.974
繰返範囲[μm]		0.0	0.0
真円度 [μm]	1 回目	2.6	2.8
	2 回目	2.4	2.3
	3 回目	2.5	2.8
繰返範囲[μm]		0.2	0.5

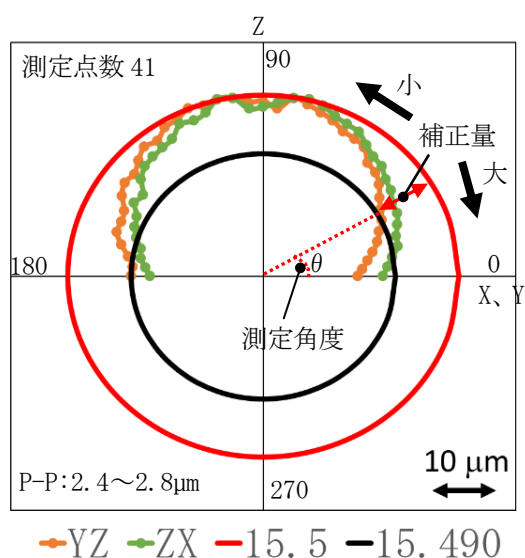


図 10 基準球測定結果

4. 結言

本研究では5軸MCのタッチプローブで基準器を測定し、芯ずれ、方向特性、繰返し範囲、速度による影響を評価した。また、測定の補正量を算出した。算出した補正量を適用し真円度と平面度の測定を行った。その結果、次の結言を得た。

- (1) X-Y平面に平行に設置したリングゲージを基準に測定した芯ずれを示す中心座標のずれは、てこ式ダイヤルゲージで求めた4[μm]と1[μm]の差だった。
- (2) X-Y平面に平行に設置したリングゲージを基準に測定した方向によるばらつきを示す真円度は、4[μm]以下だった。
- (3) X-Y平面に平行に設置したリングゲージを基準に測定し算出した速度による影響を示す補正量は測定速度と線形で増加した。その量は10[mm/min]あたり2.7[μm]だった。
- (4) X-Y平面に平行に設置した円筒スコヤと等径ひずみ円筒を円測定し、補正量を適用し直径と真

円度を求め、CMMの結果と比較した。差は直径で4[μm]以下、真円度で1[μm]以下だった。

- (5) X-Y平面に平行に設置した定盤上のZ座標を測定したタッチプローブ長は測定速度と線形で減少した。その量は10[mm/min]あたり2.7[μm]だった。繰返し範囲は1[μm]以下だった。
- (6) X-Y平面、Y-Z平面、Z-X平面に平行に設置した定盤の平面を測定し、平面度をCMMの結果と比較した。すべての平面で差は4[μm]以下だった。
- (7) 基準球をX-Z平面とY-Z平面で測定し、Z軸動作を加えた2軸動作での測定時の方向特性、速度による影響を調べた。その結果、直径と真円度の繰返し範囲は1[μm]以下だった。また測定角度で補正量が異なることが分かった。

参考文献

- 1) 武部隆. 工作機械用タッチプローブの計測技術. 精密工学会誌, Vol75 No.11, 2009, p.1273-1276.
- 2) 渡邊孝康, 機上計測による長さ測定誤差の比較. 令和5年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告書, 2024.
- 3) 永澤毅洋, 井原之敏. マシニングセンタにおけるタッチプローブを用いた機上計測の基礎的研究. 2012年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, 2012, p.923-924.