

座標測定機のスキヤニング測定*

和合 健**、池 浩之**

座標測定機の連続的な倣い測定、所謂スキヤニング測定は、従来カーブ形状評価のみに使用されていたが、円や立方体など幾何形体の座標測定の高精度化や高速化に有利である。ここでは円筒型基準器についてスキヤニング測定を行い測定誤差について評価した。その結果、真円度では点測定とスキヤニング測定の差は平均値で0.0022mm となりスキヤニング測定の動的誤差は無視できるほど小さいことを確認した。

キーワード：座標測定機、スキヤニング測定、シリンダー形状測定物、分散分析

Scanning Measurement by Coordinate-Measuring Machine

Takeshi Wago and Hiroyuki Ike

Scanning measurements made by coordinate-measuring machines (CMMs) are used to measure curve shapes and can make high-speed and high-precision measurements. In this paper we estimate measurement deviations for a scanning measurement made by a CMM. The difference, which is the mean between point measurements and scanning measurements, is 0.0022 mm, which is sufficiently small to be ignored.

key words : coordinate-measuring machine, scanning measurement, cylinder artifact, anova

1 緒言

座標測定機（以下、CMM という）の通常測定では、プロービングにより取得した1点毎の集まりである離散点により円、平面などの幾何学形状を計算で求めていた。従来、カーブ形状評価のみに使用されていた連続的な倣い(スキヤニング)測定は、円や立方体など幾何形体の座標測定の高精度化や高速化に有利である。

ここでは、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パイロットラボが示すプロトコルに従い、ポイント測定とスキヤニング測定を同一の基準器で行い、それぞれの測定誤差について評価した。

2 実験方法

2-1 測定装置

実験に使用した CMM は、型式が UPMC550-CARAT、メーカーは Carl Zeiss、ソフトウェアの OS は Windows XP、CMM のソフトウェア及びバージョンは UMESS-LX Ver1.0、最終メーカー校正日は平成 20 年 3 月 14 日である。CMM は門移動型の構造でプローブはパラレルツイン式である。CMM の指示誤差は $MPE_E=0.8+L/600\mu\text{m}$ (L は測定長さ mm)である。

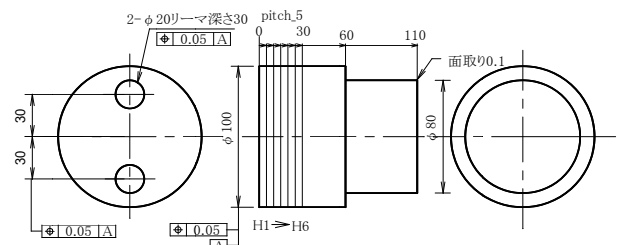


図1 基準器



図2 空間軸 Z+方向

図3 空間軸 X+方向



図4 球の保持方法

図5 球の高さ

* 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）

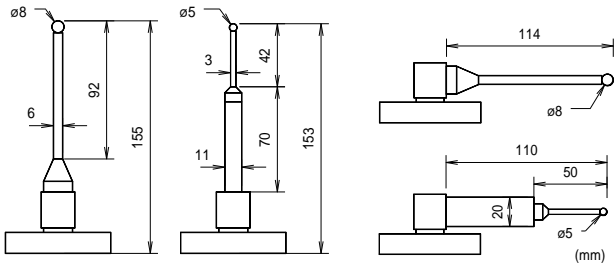


図6 スタイラスの向き

基準器は図1に示す円筒型で上端面から5mm間隔で異なる表面性状を付与したものでH1~H6まで6水準を与えた。基準器の材質はSKS3であり、チップ材質をルビーとした場合に溶着の恐れが無い。

2-2 測定技法

パイロットラボが示したプロトコルでの指示事項はすべて行われ、すべての測定をCNC自動測定で行った。円筒ワークピースの固定は、ワークピース材質が鉄系であることからマグネット治具により図2及び図3の形態で吸着固定した。マスター球の保持方法は、図4のとおり円筒ワークピースと同様にマグネット治具で吸着固定した。球測定で特に注意した点は、図5のとおりスタイラス校正時と同等のZ高さ位置になるように調整した点である。CMM定盤からのZ高さはマスター球が275mm、校正球が215mmであり、その差は60mmであった。図6に使用したスタイラスの向きを示す。チップ径はφ8mmとφ5mmの2水準とし、スタイラスの長さは同等に揃えた。

3 因子と水準

表1に因子と水準を示す。測定方法が円筒スキヤニングの測定値点数は、チップ径2種類×スキヤニング速度2種類×測定力2種類×スタイラスの向き2種類×円筒ワークピース材質2種類×測定高さ6箇所×測定の繰り返し3回で合計576点となる。測定方法が円筒ポイント測定の測定値点数は、スタイラスの向き2種類×円筒ワークピース材質2種類×測定高さ6箇所×測定の繰り返し3回で合計72点となる。測定方法が球スキヤニングの測定値点数は、チップ径2種類×スキヤニング速度2種類×測定力2種類×スタイラスの向き2種類×測定の繰り返し3回で合計48点となる。測定項目は、直径、真円度、中心座標X、中心座標Yとした。

4 ワークピースの温度及び温度測定方法

温度変動による熱膨張補正はCNCプログラム内に熱膨張補正コマンドを入れて自動で補正した。温度センサはワークピース表面の2箇所に設置した。測定中の温度をCMM定盤上にデータロガーをおいて測定周期10分で温度測定した結果、最大値19.4℃、最小値18.7℃、変動幅0.7℃、平均値19.0℃であった。環境温度の平均値が19.0℃であり標準温度の20℃から低めの温度環境となっ

ていたが、温度変動幅は全体を通して0.7℃であり良好な温度環境であった。

5 実験結果及び考察

5-1 分散分析

得られた直径、真円度、中心座標X、中心座標Yの4つの測定項目毎に分散分析¹⁾を行い、表2に円筒スキヤニング(直径、真円度)、表3に円筒ポイント(直径、真円度)、表4に球スキヤニング(直径、真円度)の分散分析結果を示す。円筒スキヤニングと円筒ポイントの測定

表1 因子と水準

円筒スキヤニング		水準					
因子		1	2	3	4	5	6
A	チップ径(mm)	φ8	φ5	-	-	-	-
B	速度(mm/s)	5	10	-	-	-	-
C	測定力(N)	0.2	0.1	-	-	-	-
D	スタイラスの向き	Z軸	X軸	-	-	-	-
E	材質	S35C	SKS3	-	-	-	-
F	位置	H1	H2	H3	H4	H5	H6
G	繰り返し(times)	rp1	rp2	rp3	-	-	-

円筒ポイント		水準					
因子		1	2	3	4	5	6
A	チップ径(mm)	φ8	-	-	-	-	-
B	速度(mm/s)	一定	-	-	-	-	-
C	測定力(N)	0.2	-	-	-	-	-
D	スタイラスの向き	Z軸	X軸	-	-	-	-
E	材質	S35C	SKS3	-	-	-	-
F	位置	H1	H2	H3	H4	H5	H6
G	繰り返し(times)	rp1	rp2	rp3	-	-	-

球スキヤニング		水準		
因子		1	2	3
A	チップ径(mm)	φ8	φ5	-
B	速度(mm/s)	3	6	-
C	測定力(N)	0.2	0.1	-
D	スタイラスの向き	Z軸	X軸	-
E	繰り返し(times)	rp1	rp2	rp3

表2 円筒スキヤニング(直径)及び(真円度)の結果

円筒スキヤニング(直径)						(mm ²)	
Factor	f	S	V	F	E(V)	σ (mm)	
A	チップ径(mm)	1	0.00	0.00001	2.46	σ _e ² +288 σ _A ²	0.0002
B	速度(mm/s)	1	0.00	0.00000	0.05	σ _e ² +288 σ _B ²	NaN
C	測定力(N)	1	0.00	0.00000	0.10	σ _e ² +288 σ _C ²	NaN
D	スタイラスの向き	1	0.00	0.00000	1.27	σ _e ² +288 σ _D ²	NaN
E	材質	1	0.00	0.00022	68.39	σ _e ² +288 σ _E ²	0.0009
F	位置	5	2.34	0.46713	146251.4	σ _e ² +96 σ _F ²	0.0698
G	繰り返し(times)	2	0.00	0.00000	0.00	σ _e ² +192 σ _G ²	NaN
e	誤差	563	0.00	0.00000	-	σ _e ²	0.0018
T	合計	575	2.34	-	-	-	-

円筒スキヤニング(真円度)						(mm ²)	
Factor	f	S	V	F	E(V)	σ (mm)	
A	チップ径(mm)	1	0.00	0.00004	28.23	σ _e ² +288 σ _A ²	0.0004
B	速度(mm/s)	1	0.00	0.00000	0.14	σ _e ² +288 σ _B ²	NaN
C	測定力(N)	1	0.00	0.00000	1.72	σ _e ² +288 σ _C ²	NaN
D	スタイラスの向き	1	0.00	0.00000	0.91	σ _e ² +288 σ _D ²	NaN
E	材質	1	0.00	0.00025	159.21	σ _e ² +288 σ _E ²	0.0009
F	位置	5	0.74	0.14879	95693.4	σ _e ² +96 σ _F ²	0.0394
G	繰り返し(times)	2	0.00	0.00000	0.03	σ _e ² +192 σ _G ²	NaN
e	誤差	563	0.00	0.00000	-	σ _e ²	0.0013
T	合計	575	0.75	-	-	-	-

表3 円筒ポイント（直径）及び（真円度）の結果

円筒ポイント(直径)						(mm ²)
Factor	f	S	V	F	E(V)	σ (mm)
A チップ径(mm)	0	0.00	0.00000	0.00	$\sigma_e^2+72\sigma_A^2$	0.0000
B 速度(mm/s)	0	0.00	0.00000	0.00	$\sigma_e^2+72\sigma_B^2$	0.0000
C 測定力(N)	0	0.00	0.00000	0.00	$\sigma_e^2+72\sigma_C^2$	0.0000
D スタイラスの向き	1	0.00	0.00000	27.29	$\sigma_e^2+36\sigma_D^2$	0.0000
E 材質	1	0.00	0.00000	3.03	$\sigma_e^2+36\sigma_E^2$	0.0000
F 位置	5	0.29	0.05776	3.5E+07	$\sigma_e^2+12\sigma_F^2$	0.0694
G 繰り返し(times)	2	0.00	0.00000	2.36	$\sigma_e^2+24\sigma_G^2$	0.0000
e 誤差	62	0.00	0.00000	-	σ_e^2	0.0000
T 合計	71	0.29	-	-	-	-

円筒ポイント(真円度)						(mm ²)
Factor	f	S	V	F	E(V)	σ (mm)
A チップ径(mm)	0	0.00	0.00000	0.00	$\sigma_e^2+72\sigma_A^2$	NaN
B 速度(mm/s)	0	0.00	0.00000	0.00	$\sigma_e^2+72\sigma_B^2$	NaN
C 測定力(N)	0	0.00	0.00000	0.00	$\sigma_e^2+72\sigma_C^2$	NaN
D スタイラスの向き	1	0.00	0.00000	0.70	$\sigma_e^2+36\sigma_D^2$	NaN
E 材質	1	0.00	0.00000	1.25	$\sigma_e^2+36\sigma_E^2$	NaN
F 位置	5	0.09	0.01756	7032.50	$\sigma_e^2+12\sigma_F^2$	0.0383
G 繰り返し(times)	2	0.00	0.00000	0.01	$\sigma_e^2+24\sigma_G^2$	NaN
e 誤差	62	0.00	0.00000	-	σ_e^2	0.0016
T 合計	71	0.09	-	-	-	-

表4 球スキヤニング（直径）及び（真円度）の結果

球スキヤニング(直径)						(mm ²)
Factor	f	S	V	F	E(V)	σ (mm)
A チップ径(mm)	1	0.00	0.00000	25.38	$\sigma_e^2+24\sigma_A^2$	0.0000
B 速度(mm/s)	0	0.00	0.00000	0	$\sigma_e^2+24\sigma_B^2$	0.0000
C 測定力(N)	0	0.00	0.00000	0	$\sigma_e^2+24\sigma_C^2$	0.0000
D スタイラスの向き	1	0.00	0.00000	0.10	$\sigma_e^2+24\sigma_D^2$	0.0000
E 繰り返し(times)	2	0.00	0.00000	0.05	$\sigma_e^2+16\sigma_E^2$	0.0000
e 誤差	42	0.00	0.00000	-	σ_e^2	0.0000
T 合計	47	0.00	-	-	-	-

球スキヤニング(真円度)						(mm ²)
Factor	f	S	V	F	E(V)	σ (mm)
A チップ径(mm)	1	0.00	0.00000	8.58	$\sigma_e^2+24\sigma_A^2$	0.0000
B 速度(mm/s)	0	0.00	0.00000	0	$\sigma_e^2+24\sigma_B^2$	0.0000
C 測定力(N)	0	0.00	0.00000	0	$\sigma_e^2+24\sigma_C^2$	0.0000
D スタイラスの向き	1	0.00	0.00000	0.04	$\sigma_e^2+24\sigma_D^2$	0.0000
E 繰り返し(times)	2	0.00	0.00000	0.27	$\sigma_e^2+16\sigma_E^2$	0.0000
e 誤差	42	0.00	0.00000	-	σ_e^2	0.0000
T 合計	47	0.00	-	-	-	-

項目が直径と真円度で因子 F：位置と因子 E：材質の分散比（F 値）が大きいこれは作爲的に表面粗さを変えたためであり当然の結果である。また、円筒スキヤニングの真円度で因子 A：チップ径の分散比が 28.23、円筒ポイントの直径で因子 D：スタイラスの向きの分散比が 27.29 であり F 表の信頼限界 5% で有意と判定された。しかし、円筒スキヤニングと円筒ポイント及び球スキヤニングにおいて誤差分散 V_e が非常に小さいことから見かけ上分散比が大きくなる算出されていると予想されるため、以後は期待値 E（V）から算出した標準偏差 σ で直接的に因子の効果とそのばらつきの大きさを判断する。ここで NaN（Not a Number）とは計算出来ない程小さい数値を意味する。測定方法が円筒スキヤニングはすべての因子で複数の水準を割り付けたため因子内の水準の効果が

表5 円筒スキヤニングと円筒ポイントの絶対値比較

(mm)					
Method	Height	Diameter	Roundness	X coordinate	Y coordinate
円筒スキヤニング:sc	H1	100.0146	0.0055	-0.0041	-0.0022
	H2	99.8260	0.1096	0.0009	0.0000
	H3	99.8259	0.1069	-0.0019	-0.0001
	H4	99.8897	0.0597	-0.0012	-0.0001
	H5	99.8895	0.0621	-0.0025	0.0000
	H6	99.9163	0.0441	-0.0032	0.0000
円筒ポイント:po	H1	100.0125	0.0054	0.0001	0.0001
	H2	99.8256	0.1052	0.0007	0.0001
	H3	99.8256	0.1048	-0.0020	0.0000
	H4	99.8914	0.0576	-0.0013	0.0000
	H5	99.8915	0.0596	-0.0028	-0.0002
	H6	99.9193	0.0422	-0.0032	0.0000
Diff=sc-po	H1	0.0020	0.0001	-0.0043	-0.0023
	H2	0.0004	0.0044	0.0002	-0.0001
	H3	0.0003	0.0021	0.0001	-0.0001
	H4	-0.0016	0.0020	0.0001	-0.0001
	H5	-0.0021	0.0025	0.0003	0.0001
	H6	-0.0031	0.0019	0.0001	-0.0001
Average of Diff		-0.0007	0.0022	-0.0006	-0.0004

判定できる。その結果、作業者の判断で割り付けた因子 A、B、C、D は σ が非常に小さく因子内の水準間で有意差が無い。図表として掲載していないが円筒スキヤニングと円筒ポイントでの因子 E：材質の σ は測定項目の中心座標 Y の場合に NaN であるのに対し、測定項目の中心座標 X では 0.010mm 程度の大きな値であった。これは、プロトコルで円筒ワークピースの空間軸を Z 軸と X 軸の 2 水準で測定する指示があった。空間軸が Z 軸の場合の中心座標 X とは MCS（機械座標系）の X 軸による測定、空間軸が X 軸の場合の中心座標 X とは MCS が Z 軸により測定が行われていた。対して中心座標 Y では空間軸が Z 軸と X 軸のいずれの場合でも MCS の Y 軸で測定が行われていたため、MCS の異なる 2 軸を使用した中心座標 X で因子 E：材質の σ が大きくなったと推測される。球スキヤニングでは、全ての因子の σ が 0.0000mm（影響を与えない非常に小さい数値）となり動的測定の影響による誤差は見られなかった。

本実験の要点は動的な走査測定と離散的な点測定の場合の測定のばらつきの比較であり以下に考察した。測定項目が直径の場合に円筒スキヤニングの因子 F：位置の σ は 0.0698mm、円筒ポイントの因子 F：位置の σ は 0.0694mm となり同等の値となった。また、測定項目が真円度の場合に円筒スキヤニングの因子 F：位置の σ は 0.0394mm、円筒ポイントの因子 F：位置の σ は 0.0383mm となりこちらも同等の値となった。この結果、動的な測定方法に起因する誤差の発生が懸念されたスキヤニング測定は離散的な点測定の場合と同等のばらつきで測定が行われていたことから、動的な影響の誤差は非常に小さいと言える。

5-2 絶対値の比較

表 5 に高さ毎に平均化した円筒スキヤニングと円筒ポ

イント及び両者の絶対値の差を示す。両者の差は、直径が -0.0007mm であり動的な測定方式による絶対値での誤差は表れていない。真円度は 0.0022mm となり円筒スキヤニングの方が大きく算出された。これは、スキヤニング測定はサンプリング周期が密な測定方法であるため表面粗さの山から谷までが高密度で測定された良い効果であると推測される。X、Y座標値は円筒スキヤニングと円筒ポイントの差はX座標で -0.0006mm 、Y座標で -0.0004mm となり絶対値での差は見られなかった。

6 結 言

スキヤニング測定は、従来は連続形状の評価にのみ使用されて来たが、高密度な点測定による高精度測定への適用が期待されている。ここでは、点測定とスキヤニング測定を比較した結果、以下の結論が得られた。

(1) 円筒形状ワークピースを使用して動的なスキヤニング測定と離散的な点測定の誤差傾向と誤差の大きさを分散分析により比較した結果、ばらつき大きさは同等であることからスキヤニング測定での動的誤差は非

常に小さい。

(2) 絶対値で比較した場合は、スキヤニングと点測定では直径の差は -0.0007mm となり動的な測定方式による誤差は表れていなかった。真円度ではスキヤニング測定はサンプリング周期が密な測定方法であるため、高密度な測定が行われた結果、スキヤニング測定が 0.0022mm 大きな値となり精密さが向上していると推測される。

文 献

1) 田口玄一：第3版実験計画法(上)、丸善(1992)

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。