

任意形状ワーク持ち回り測定（岩手県の場合）*

和合 健**, 米倉勇雄**

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実験として AIST/NMIJ が提示する測定プロトコルに従い、持ち回り実験により任意形状ワークを測定した。要点となる測定戦略は下向きスタイラスのみを使用する方法を選択して行い、測定の不確かさは ISO15530-2 複数測定戦略による方法により算出した。

キーワード：座標測定機、持ち回り測定、測定戦略、測定の不確かさ、任意形状ワーク

Round Robin Test Using Work-piece of Free-defined Feature (In case of Measured by IIRI)

WAGO Takeshi, YONEKURA Isao

Evaluation of performance of coordinate measuring machine (CMM) was performed by use of work-piece of free defined feature according to protocol indicated by NMIJ/AIST as cooperative experiment of round robin test of feature measurement study group in measurement division. Therefore, measurement strategy as important point was decided to use only one piece stylus of vertical direction, and uncertainty of measurement was calculated by multiple measurement strategy method of ISO 15530-2.

key words : CMM, round robin test, measurement strategy, uncertainty of measurement, work-piece of free-defined feature

1 目的

三次元座標測定機（以下、CMM という）は融通性の大きい測定が行える反面、測定方法の違いにより同じワークを測定した場合でも異なる測定結果が得られる可能性がある。測定方法を測定戦略と呼び、ワーク形状に適した測定戦略を選択することが測定要点になる。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実験として AIST/NMIJ が提示する測定プロトコルに従い、持ち回り実験により任意形状ワークを測定したので実験概要と測定結果を報告する。

2 実験装置

CMM はツァイス製 UMPC550-CARAT を使用した。この CMM は門移動形で分解能はスケール分解能となり $0.2\mu\text{m}$ 、指示誤差は $E=0.8+L/600\mu\text{m}$ （L：測定長さ mm）である。CMM は市販品であり大きな改造は行っていない。最終の CMM のメーカ校正は 2006 年 3 月 10 日に行った。CMM のスケール誤差補正のための長さ参照標準は 125mm のブロックゲージを使用した。このブロックゲージは 2003 年 11 月 19 日が最終校正日である。

3 実験方法

3-1 温度

測定室の温度仕様は $20\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿度仕様は $55\pm 5\%$ である。温度は CMM の測定テーブル上に設置したデジタル温度計で測定し、デジタル温度計の表示桁は 0.1°C である。

3-2 ワークの設置方法

スタイラスの着脱誤差を除くために 1 本のスタイラスで測定することとした。ワークの姿勢は 2 水準として図 1 で示す測定 A では垂直置き、測定 B では横置きとした。測定 A はワークの全周を測定できるがスタイラスの向きが反対方向を向く 2 本が必要である。測定 B は鉛直下向きのスタイラス 1 本のみとした。鉛直下向きスタイラスのみではワークの下側を測定することができないがスタイラス剛性が高く幾何形状が優れたワークの場合は要素の部分測定でも小さい誤差で値付けが行える可能性がある。測定 A のスタイラスは図 2 のとおり反対方向の横向きスタイラスで構成されシャフトの長さは 186mm、スタイラスの長さは 48mm、チップ径は $\phi 5\text{mm}$ である。測定 B のスタイラスは図 2 のとおり鉛直下向きの 1 本でスタイラスの長さは 91mm、チップ径は $\phi 8\text{mm}$ である。測定

* 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実験

** 電子機械技術部

表1 温度

(単位:°C)

測定の繰り返し	測定A	測定B	
		通常設置	座標回転後
R1	20.8	20.5	20.7
R2	20.8	20.6	20.4
R3	20.8	20.6	20.5

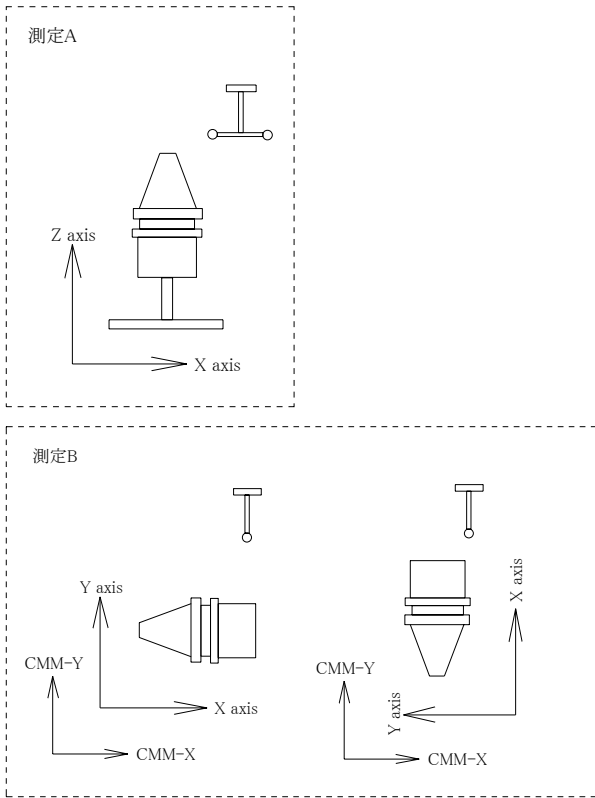


図1 ワークの設置方法 (2水準)

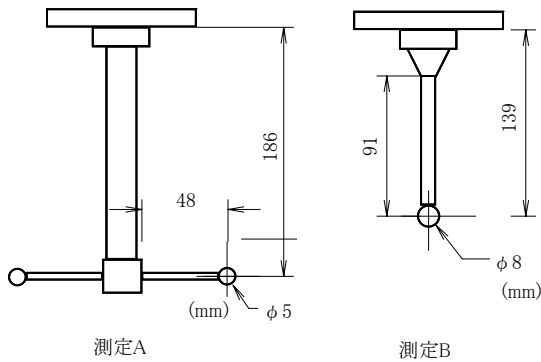


図2 使用したスタイラス

Aと測定Bのワーク固定方法をそれぞれ図3と図4に示す。測定Aでは測定の繰り返し3回とし1姿勢のみで測定した。測定Bでは図1に示すとおりXY面上でX軸に平行に置き、測定の繰り返し3回で測定した。その後、ソフトウェアによりCMMのZ軸を中心軸として反時計回りで90°回転してCMM機械座標系のY軸に平行に置き、測定の繰り返し3回で測定した。ワーク座標系は測定Aと測定Bは同じとして、図5に示す平面P2で平面測定を行い空間軸設定及びゼロ点、円筒Cy3上で任意位置を円測定をして円の中心点でゼロ点とした。回転軸設定は行わなかった。測定中の温度は測定Aと測定Bを通して表1のとおり平均値が20.6°C、変動幅は0.4°Cであった。

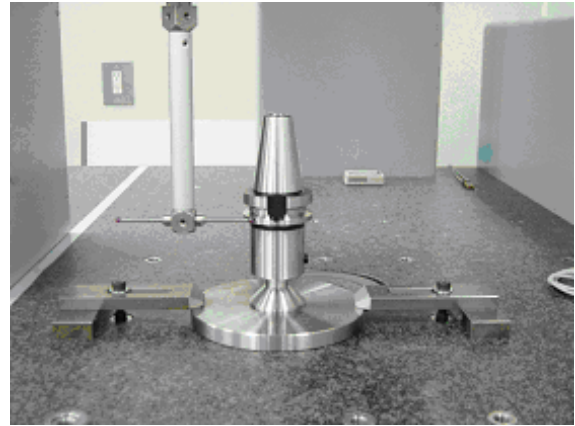


図3 測定Aのワーク姿勢

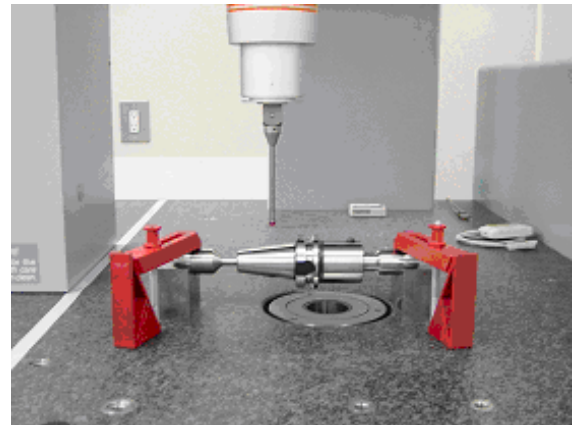


図4 測定Bのワーク姿勢

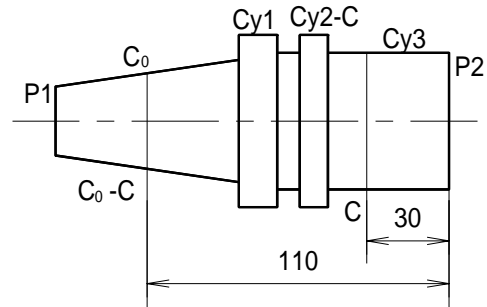


図5 任意形状ワーク

4 実験結果及び考察

測定Aの結果を表2、測定Bの結果を表3に示す。測定Aと測定Bはどちらもブロックゲージを使用したスケール誤差補正と温度膨張補正を行った。測定回数は測定Aで3回、測定Bで6回であり、測定Aはワーク取り外しが無く測定Bはワークの姿勢変化を行っている。表2

任意形状ワーク持ち回り測定（岩手県の場合）

のとおり測定 A ではワークの取り外しが無いため標準偏差が小さい。測定 B ではワークの姿勢変化があるため姿勢変化前と後では測定値が異なるため標準偏差が大きくなっている。ここでの標準偏差は正規分布に従うことが予想され、偏りは補正で取り除く事が出来るので標準偏差の大小は任意形状ワークの値付けに影響しないと考えた。逆に測定 B は姿勢変化を与え、多くの測定回数の効果から任意形状ワーク値の母平均により近づいていると判断した。測定 A ではワークの全周を測定できるが

2本の異なるスタイラスによる測定が必要になる。測定 B ではスタイラスは鉛直下向きの1本で済むがワークの下側のプロービングが出来ない。今回のワークの特性を考えるとワーク使用時となる加工での工具振れ誤差を低減するためにワークとなるホルダーはスピンドルチャックに対して平行に取り付けるために高精度な加工が行われていると予想した。また、旋削及び円筒研磨による加工が適する円筒ワーク形状であるため円筒及び円の幾何公差が優れていると予想した。これらのワーク特性を測

表 2 測定 A の結果

測定要素			(mm)	
			平均値	標準偏差
P2	平面	平面度	0.0053	0.0000
Cy3-C	円	直径	49.9962	0.0001
		真円度	0.0018	0.0000
P1	平面	平面度	0.0031	0.0000
C0	円錐	頂角	16.5946	0.0000
C0-C	円	真円度	0.0013	0.0001
Cy1	円筒	直径	62.9911	0.0000
		円筒度	0.0057	0.0001
Cy3	円筒	直径	49.9963	0.0000
		円筒度	0.0067	0.0001
Cy2-C	円	直径	62.9820	0.0001
		円筒度	0.0016	0.0001
C0/P2	直角度		0.0186	0.0001
Cy1/P2	直角度		0.0338	0.0006
Cy3/P2	直角度		0.0060	0.0001
C0/Cy3	同軸度		0.0065	0.0003
Cy1/Cy3	同軸度		0.0637	0.0011
C0-C/C	同心度		0.0223	0.0003
Cy2-C/C	同心度		0.0014	0.0001
Cy3/C	同心度		0.0003	0.0001
P1/P2	平行度		0.0089	0.0001
P1-P2	2点間距離		143.4569	0.0000

表 3 測定 B の結果

測定要素			(mm)	
			平均値	標準偏差
P2	平面	平面度	0.0016	0.0004
Cy3-C	円	直径	49.9966	0.0001
		真円度	0.0003	0.0001
P1	平面	平面度	0.0005	0.0002
C0	円錐	頂角	16.5942	0.0001
C0-C	円	真円度	0.0005	0.0002
Cy1	円筒	直径	62.9908	0.0014
		円筒度	0.0018	0.0012
Cy3	円筒	直径	49.9944	0.0001
		円筒度	0.0042	0.0000
Cy2-C	円	直径	62.9855	0.0021
		円筒度	0.0030	0.0008
C0/P2	直角度		0.0131	0.0074
Cy1/P2	直角度		0.0202	0.0013
Cy3/P2	直角度		0.0046	0.0024
C0/Cy3	同軸度		0.0081	0.0028
Cy1/Cy3	同軸度		0.0638	0.0108
C0-C/C	同心度		0.0081	0.0048
Cy2-C/C	同心度		0.0039	0.0007
Cy3/C	同心度		0.0026	0.0024
P1/P2	平行度		0.0033	0.0002
P1-P2	2点間距離		143.4606	0.0004

表 4 真円度測定機による結果

測定要素			(mm)
			測定値
P2	平面	平面度	0.0017
Cy3-C	円	直径	-
		真円度	0.0004
P1	平面	平面度	0.0006
C0	円錐	頂角	-
C0-C	円	真円度	0.0005
Cy1	円筒	直径	-
		円筒度	-
Cy3	円筒	直径	-
		円筒度	0.0022
Cy2-C	円	直径	-
		円筒度	-
C0/P2	直角度		0.0024
Cy1/P2	直角度		-
Cy3/P2	直角度		0.0010
C0/Cy3	同軸度		0.0039
Cy1/Cy3	同軸度		-
C0-C/C	同心度		0.0010
Cy2-C/C	同心度		-
Cy3/C	同心度		0.0019
P1/P2	平行度		0.0003
P1-P2	2点間距離		-

表 5 測定 B の不確かさの算出

測定要素			(mm)	
			ISO15530-2 U(k=2)	標準偏差 U(k=2)
P2	平面	平面度	0.0020	0.0008
Cy3-C	円	直径	0.0004	0.0002
		真円度	0.0005	0.0002
P1	平面	平面度	0.0007	0.0004
C0	円錐	頂角	0.0006	0.0002
C0-C	円	真円度	0.0008	0.0004
Cy1	円筒	直径	0.0062	0.0028
		円筒度	0.0056	0.0024
Cy3	円筒	直径	0.0002	0.0002
		円筒度	0.0001	0.0000
Cy2-C	円	直径	0.0094	0.0042
		真円度	0.0034	0.0016
C0/P2	直角度		0.0332	0.0148
Cy1/P2	直角度		0.0032	0.0026
Cy3/P2	直角度		0.0106	0.0048
C0/Cy3	同軸度		0.0126	0.0056
Cy1/Cy3	同軸度		0.0460	0.0216
C0-C/C	同心度		0.0199	0.0096
Cy2-C/C	同心度		0.0031	0.0014
Cy3/C	同心度		0.0107	0.0048
P1/P2	平行度		0.0009	0.0004
P1-P2	2点間距離		0.0016	0.0008

定行為の選択基準とした結果、測定 A と測定 B ではワークの部分要素測定であっても測定 B による鉛直下向きのスタイラスによる測定が誤差の小さい値を付けることができると判断した。結論として測定 B による結果を決定値とすることとした。表 4 に真円度測定機（テーラーホブソン製 TR300）による測定結果を示す。真円度測定機の回転テーブルの振れ誤差はメーカー提示値で $0.025 \mu\text{m}$ である。表 3 の測定 B の結果と比較すると平面度や真円度、円筒度など単独要素の幾何公差の場合で差の平均値が $0.46 \mu\text{m}$ となり CMM による測定が真円度測定機と同等程度の正確さであった。しかし、直角度や同軸度、同心度、平行度など 2 つの要素で算出する幾何公差の場合は差の平均値は $4.89 \mu\text{m}$ となり単独要素の場合と比べると正確さが低い。これは、CMM と真円度測定機の測定原理に依存するもので、真円度測定機はピックアップスタイラスによる振れ量から測定値を求めるため直接的に幾何公差を測定しており、サンプリング周期も小さく膨大な測定量から計算される。CMM による 2 要素の幾何公差を求める方法は少ない測定点数から三次元方向ベクトルを使用して検査長さにおける二つの方向ベクトルの差から幾何公差が計算される。仮に 500mm の検査長さで $2 \mu\text{m}$ の差を測定する場合は角度に置き換えると 0.000229° となり $2/10000^\circ$ の精密さが要求される。以上から CMM を使用して 2 要素の幾何公差を求める場合には注意が必要と思われる。

5 測定の不確かさ

任意形状ゲージ測定における不確かさは、ISO15530-2 複数測定戦略による方法¹⁾による算出では因子 A：ワーク位置の水準数が 2 つと少ないために幾何誤差 u_{geo} の影響が不確かさに大きく反映している。一方、6 通りの測定における単純な標準偏差の方法は CMM の指示誤差よ

りも非常に小さく過小評価であると判断し、ここでは ISO15530-2 複数測定戦略による方法により算出した値を不確かさとして表 5 に示した。

6 結論

ワークの設置方法を CMM テーブル上に垂直置きの場合と横置きの場合とした二つの方法で測定を行い以下の結論が得られた。

- (1)ワークが横置きの場合は部分要素の測定ではあるが鉛直下向きの 1 本のスタイラスで測定ができる。ワーク特性が高精度加工によるものであるため、ここではワーク横置きの 1 本のスタイラスで行う測定方法が正確な値付けができると判断した。
- (2)真円度測定機と CMM の幾何公差結果を比較したところ、真円度、平面度など 1 要素による幾何公差は両者の差は平均値で $0.46 \mu\text{m}$ となり良好な測定となっている。直角度や同軸度など 2 要素による幾何公差は両者の差は平均値で $4.89 \mu\text{m}$ となり 2 要素による幾何公差を CMM で測定する場合は注意が必要である。
- (3)任意形状ゲージ測定における不確かさは ISO15530-2 複数測定戦略による方法により算出した。

文 献

- 1) 和合健, 米倉勇雄, 鄭鋼: ISO15530-2, -6 (アセスメント測定)による CMM 測定の不確かさ算出, 岩手県工業技術センター研究報告書, 第 13 号, (2006)