

ISO15530-2, -6 (アセスメント測定) による CMM 測定の不確かさ算出*

和合 健**、米倉 勇雄**、鄭 鋼***

ISO15530-2, -6 (アセスメント測定)で示す CMM 測定の不確かさ算出方法を検証するために、計測分科会形状計測研究会の持ち回り測定として 12 機関による円筒ゲージの持ち回り測定を行った。この規格は、測定戦略がキーワードとなり、測定目的を達成するための測定方法の選択が重要となる。実験の結果、CMM 測定の不確かさを算出することが出来たが、ボールプレート測定と同等程度の労力を要することがわかった。

キーワード：CMM、測定戦略、円筒ゲージ、不確かさ¹⁾

Calculation of uncertainty of CMM measurement according to ISO15530-2, -6 (assessment measurement)

WAGO Takeshi, YONEKURA Isao and ZHENG Gang

Round robin test using cylinder gauge was performed in order to verify calculated values as uncertainty of CMM measurement according to ISO15530-2, -6 (assessment measurement). Joint experiment was to participate among member of Form Measurement Working-group located under Measurement Division Party as 12 institutions. A measurement strategy was keyword on this standard, so important was select of measurement method to realize measurement purpose. As a result, uncertainty of CMM measurement could be calculated, although much load was needed to accomplish ISO15530-2, -6 standard as well as ball-plate measuring load.

key words : CMM, measurement strategy, cylinder-gauge, uncertainty

1 緒 言

CMM に関する測定の不確かさ算出方法が現在 ISO のワーキンググループで検討されている。ISO15530-2 及び-6 (複数測定戦略による方法, multiple measurement strategies)は、不確かさの小さいゲージを CMM 上に任意に複数回配置し CMM 測定での繰り返し誤差を不確かさとする考え方である。ここでゲージの配置及び CMM による測定方法、測定形態は測定目的に依存するため作業者が独自の判断で選択できる。これを測定戦略と呼び ISO15530-2 及び-6 でのキーワードとなる。中小企業開発能力強化推進事業 (テクノブリッジ長期) において小型歯車の精度評価が要点になっており、そこで使用する CMM の測定誤差を明らかにすることが課題となっている。

ここでは、多機関の異なる測定戦略による CMM の不確かさを算出し、規格の有用性を確認することを目的に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持ち回り測定として 12 機関による円筒ゲージの持ち回り測定を行った。

2 参加機関

持ち回り測定の参加機関は、独立行政法人産業技術総合研究所計量標準総合センター (以下 NMIJ/AIST という) を主導として、岩手県工業技術センター、福島県ハイテクプラザ、埼玉県産業技術総合センター、静岡県浜松工業技術センター、山梨県工業技術センター、石川県工業試験場、鳥取県産業技術センター、広島県立東部工業技術センター、(株)ミットヨ、(株)東京精密、(財)機械振興協会技術研究所の全 12 機関である。

3 不確かさ算出^{2), 3)}

3-1 ISO15530-2による不確かさ算出 (あるワークピースを1回測定した場合の不確かさ算出)

(1) 寸法測定

寸法測定における ISO15530-2 による不確かさ U_2 は、式 (1) で与えられる。

* 中小企業開発能力強化推進事業

** 電子機械技術部

*** (株) ニュートン

$$U_2 = k \times \sqrt{u_{rep}^2 + u_{geo}^2 + u_{corr}^2} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 u_{rep} は測定の一連の標準不確かさ、 u_{geo} は円筒ゲージの幾何学形状の標準不確かさ、 u_{corr} はブロックゲージによるスケール校正の標準不確かさとなる。

(2) 幾何偏差測定

幾何偏差測定における ISO15530-2 による不確かさ U_2 は、式(2)で与えられる。

$$U_2 = k \times \sqrt{u_{rep}^2 + u_{geo}^2} \quad \text{式(2)}$$

3-2 ISO15530-6 による不確かさ算出 (マスターピース校正による不確かさ算出)

(1) 寸法測定

寸法測定における ISO15530-6 による不確かさ U_6 は、式(3)で与えられる。

$$U_6 = k \times \sqrt{\frac{u_{rep}^2}{n_1} + \frac{u_{geo}^2}{n_2} + u_{corr}^2} \quad \text{式(3)}$$

ここで、 n_1 は繰り返し数、 n_2 は円筒ゲージポジション数となる。

(2) 幾何偏差測定

幾何偏差測定における ISO15530-6 による不確かさ U_6 は、式(4)で与えられる。

$$U_6 = k \times \sqrt{\frac{u_{rep}^2}{n_1} + \frac{u_{geo}^2}{n_2}} \quad \text{式(4)}$$

4 実験装置および方法

4-1 測定面の清浄化及び検査結果

円筒ゲージとブロックゲージの脱脂方法は、リグロインをベンコット (綿布) に少量染みこませ軽く丁寧に拭いた。ゲージのハンドリングは白綿手袋を装着して行った。ゲージの測定面を詳細に観察したが傷は見られなかった。

4-2 実験装置

CMM は、図1に示す Zeiss 製 UPMC550-CARAT を使用した。表1に示すとおり CMM の最大許容指示誤差の初項値は、 $0.8 \mu\text{m}$ であり、 $1 \mu\text{m}$ 以下の測定精度を有する可能性があり実験により確かめる。参照機関から示されたプロトコルでは、測定での融通性が大きく、ゲージ保持、スタイラス、測定方法等の測定戦略について測定者が最適方法を選択しなければならない。ここでのゲージ保持は、図2に示す独自に製作したクランプ治具を使用した。

図3に示すとおりクランプ治具の特長は、張り出し部を極力小さくしかつプローピングを妨害しない構造とした。クランプはモールドを使用しゲージに損傷を与えず、クランプ治具は治具本体と一体化しているためポジション Z 測定での姿勢変化や測定テーブル上を容易に移動できる。スタイラスは、スタイラス交換を行わない方法を

選択した。交換を行わないためスタイラス交換システムの再取り付けによる位置誤差は生じない。その代わりにすべての測定を1本のスタイラスで行うためスタイラスエキステンションが長さ200mm、径 $\phi 20\text{mm}$ と長く、たわみの生じる恐れがある。スタイラスは、2本使用し、測定テーブル上面に対して水平に設置した。スタイラスの向きは、2本のスタイラスが同一線上の反対向きになるように設置し、2本とも長さ40mm、チップ径 $\phi 5\text{mm}$ とした。スタイラスエキステンションの材質はアルミニウム、スタイラスの材質は鉄を使用した。ゲージは、治具にクランプ固定し、治具は、CMM テーブルにネジ止めた。

4-3 シリンダーゲージ

図4に示す大菱計器製スチールシリンダ (以下、円筒ゲージという) を測定物として使用した。円筒ゲージは、呼び寸法: 201mm、呼び直径: 80mm、熱膨張係数は 20°C において $11.5 \times 10^{-6}/\text{K}$ である。CMM のスケールはブロックゲージで校正した。使用したブロックゲージは、ミツトヨ製スチールブロックゲージ、呼び寸法: 80、200mm の2本、熱膨張係数は 20°C において $10.9 \times 10^{-6}/\text{K}$ である。

表1 CMM の主な仕様

型式	UPMC550-CARAT
メーカー	Carl Zeiss
モデルタイプ	門移動型
操作方式	CNC
プローブ方式	平行バネ差動トランス
測定範囲	550×500×450mm
最大許容指示誤差	$MPE_E = 0.8 + L/600 \mu\text{m}$



図1 CMM の全景

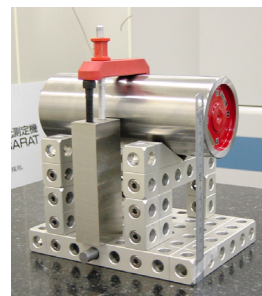


図2 独自に製作した治具 図3 治具による固定

4-4 実験方法

測定方法は、表 2 に示す測定要素項目について図 5～図 8 に示す 4 通りのポジションにおいて 1 ポジションあたりスタイラス交換システム 1 本のみを使用し、表 3 に示す測定テーブルに従って測定を行った。各ポジションにおける移動は、ソフトウェアによる座標回転コマンド Y は共通であるが、スタイラス番号が異なるのでポジション変更の都度スタイラス校正を行った。

ポジション Z では、測定パスが他のポジションとは異なるのでポジション Z 用に新たに作成した。ポジション Z では、CMM に向かって右側のスタイラスが円筒ゲージの底面測定時に固定治具と干渉するために、スタイラスエキステンション長さ 60mm、径 $\phi 11\text{mm}$ のアルミニウム製を使用した。スタイラスエキステンションを使用したことから全長が 100mm になりたわみ誤差を生じる恐れがある。

プロービング方向は、手動によるプロービングのため、斜め方向からのプロービングの場合、面に垂直に当たっていないと思われ、誤差発生要因になる可能性がある。測定点数は、プロトコル指示に従い 1 要素について最低 8 点以上とした。

ブロックゲージの測定は、円筒ゲージの測定をすべて終了した後にを行った。図 9～図 12 に示すとおり、ブロックゲージはマグネットチャックにより固定した。ブロックゲージの測定は、ポジション X 及びポジション Y は、鉛直下向き $\phi 8\text{mm}$ 長さ 85mm を使用し、ポジション Z では、円筒ゲージのポジション Z で使用した短い方のスタイラスを使用した。ブロックゲージの測定は、プロトコル指示に従い、繰り返し 20 回を 1 測定として 1 ポジションあたり 3 回の測定をした。

4-5 環境温度

環境温度は、表 4 に示すとおり円筒ゲージ測定では変動幅で 0.4°C 、 20°C からの偏差は平均値で 0.5°C となった。

ブロックゲージ測定では、変動幅で 0.3°C 、 20°C からの偏差は、平均値で 0.5°C となった。円筒ゲージ及びブロックゲージのすべての測定において CMM の温度補正機能を使用した。

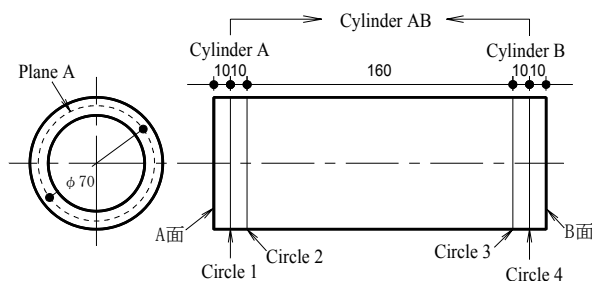


図 4 測定要素および測定箇所

表 2 測定要素項目

評価項目	要素	デーラム
平面度	平面A	円筒B 平面A
真円度	円2, 円3	
円筒度	円筒A, 円筒B, 円筒AB	
同軸度	円筒A	
直角度	円筒A, 円筒B, 円筒AB	
直径	円2, 円3	
長さ	面A, 面B内1点ずつ2点間距離	

表 3 測定テーブル

	ポジション1	ポジション2	ポジション3	ポジション4
測定1				
測定2				
測定3				
測定4				
測定5				

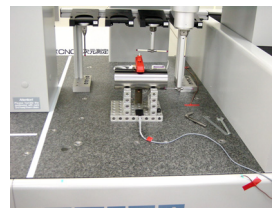


図 5 ポジション X1

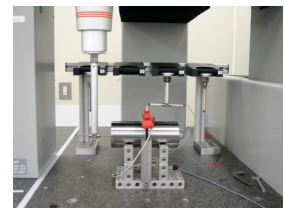


図 6 ポジション X2

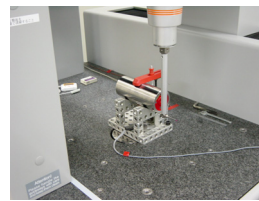


図 7 ポジション Y

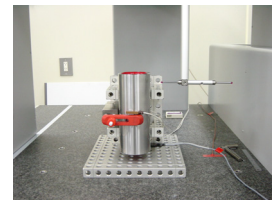


図 8 ポジション Z

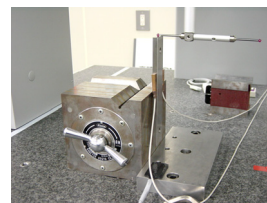


図 9 X 軸でのブロック
ゲージ 200mm

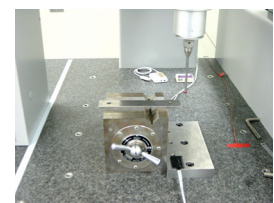


図 10 Z 軸でのブロック
ゲージ 200mm

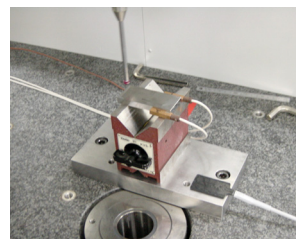


図 11 Y 軸でのブロック
ゲージ 80mm

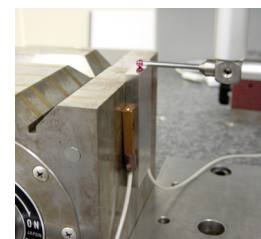


図 12 Z 軸でのブロック
ゲージ 80mm

表4 環境温度 (単位:℃)

	円筒ゲージ 測定	ブロックゲー ジ測定
max	20.7	20.6
min	20.3	20.3
range	0.4	0.3
mean	20.5	20.5

表5 平面度測定結果

	ポジション1	ポジション2	ポジション3	ポジション4
測定1	0.0005	0.0007	0.0006	0.0029
測定2	0.0004	0.0005	0.0005	0.0031
測定3	0.0004	0.0006	0.0005	0.0030
測定4	0.0004	0.0006	0.0005	0.0031
測定5	0.0006	0.0005	0.0005	0.0028

表6 同軸度測定結果

	ポジション1	ポジション2	ポジション3	ポジション4
測定1	0.0177	0.0084	0.0112	0.0180
測定2	0.0053	0.0118	0.0132	0.0143
測定3	0.0155	0.0033	0.0046	0.0091
測定4	0.0074	0.0087	0.0066	0.0190
測定5	0.0035	0.0095	0.0028	0.0136

表7 ISO15530-2による不確かさ

評価項目	要素	不確かさ(mm)
平面度	平面A	0.002467
真円度	円2	0.000449
	円3	0.000656
円筒度	円筒A	0.000257
	円筒B	0.000337
	円筒AB	0.000434
同軸度	円筒A	0.010449
直角度	円筒A	0.001678
	円筒B	0.012640
	円筒AB	0.014863
直径	円2	0.000823
	円3	0.000841
長さ	面A, B内1点ずつ	0.002000

表8 ISO15530-6による不確かさ

評価項目	要素	不確かさ(mm)
平面度	平面A	0.001233
真円度	円2	0.000221
	円3	0.000323
円筒度	円筒A	0.000125
	円筒B	0.000165
	円筒AB	0.000215
同軸度	円筒A	0.004802
直角度	円筒A	0.000838
	円筒B	0.006292
	円筒AB	0.007430
直径	円2	0.000422
	円3	0.000431
長さ	面A, B内1点ずつ	0.001016

5 結果及び考察

表5に示す平面度をはじめ、真円度、円筒度はサブミクロン台の良好な結果となったが、表6に示す同軸度や直角度は誤差が大きい。同軸度の誤差が大きい原因は、円筒の高さ10mmに比べて径が80mmと大きいこと、真円度、

円筒度による外周点のばらつきが軸の方向ベクトルに大きく影響したためと推測した。

同軸度を正確に測定するためには、円筒の長さを径に対して大きく測定する必要があると思われる。直角度は、基準要素とする平面Aからの測定長さが算出式に大きく影響する。円筒Aで0.0007 μ m、円筒Bで0.0058 μ m、円筒ABで0.0074 μ mと基準要素とする平面Aからの測定長さが大きい程数値が大きく妥当な結果と思われる。表7に示すISO15530-2の不確かさと表8に示すISO15530-6による不確かさを比較するとISO15530-6で不確かさが小さい。ISO15530-6の算出式で U_{rep} と U_{geo} をn数で除算しているためである。

二つの規格による不確かさの数量程度の妥当性を今後の実験により確かめる必要があると思われる。

6 結 言

ISO15530-2、-6 アセスメント測定のプロトコルに従い測定を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 同軸度の誤差が大きく、原因は、円筒高さ10mmに対して径が80mmと大きく外周点のばらつきが軸の方向ベクトルに大きく影響したためである。
- (2) 直角度は、検査長さから決定され、円筒Aで0.0007 μ m、円筒Bで0.0058 μ m、円筒ABで0.0074 μ mの順であり、大きさの並びは妥当な結果となった。
- (3) ISO15530-2の不確かさに比べISO15530-6で不確かさが小さく、ISO15530-6の算出式で U_{rep} と U_{geo} をn数で除算しているためである。

最後に、ISO15530-2、-6 アセスメント測定のプロトコルに従い測定を行った結果、すべての指示による測定を行うことができた。測定前はボールプレートの値付け測定の場合と比較して易しい測定の認識だったが、実験を始めてみると、ボールプレートと同等程度の作業量と感じた。

ISO15530-2、-6 アセスメント測定は、Z方向の測定が必要になりスタイラス選択及び測定プログラム追加が必要になることで、単純円筒測定においてボールプレートなみの作業量を要する。さらに、ISO15530-2、-6 アセスメント測定のキーワードとなる測定戦略により作業者に任される融通性が大きいこと、円筒ゲージ固定の過程で非常に苦勞した。円筒ゲージ固定では、固定治具製作のために、ワイヤ放電加工、旋盤加工、ねじ加工などの加工技術が必要となった。ISO15530-2、-6 アセスメント測定による測定戦略とは、これらの固定治具製作による加工技術を含む広い意味での測定技術を指すものと感じた。

文 献

- 1) BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML : Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO (1993)
- 2) NMIJ/AIST: ISO 15530 マスターピース校正 Draft B-2 (2005)
- 3) 森口繁一: 統計的方法, 日本規格協会 (2003)