

三次元測定機の高度利用に関する研究

Study on the high use of the CMM

反転法を用いたツールホルダー測定精度向上に関する研究

Study on the improvement of measurement accuracy by the tool holder using the reversal method.

木村勝典・野嶋賢吾

Katsunori Kimura and Kengo Nojima

高精度測定を実現できる反転法を用いてツールホルダーの測定を行った。その結果、測定戦略や測定箇所
の形状による影響が存在することがわかった。

Using the reversal method high precision measurement of realizable, the tool holder was measured. The result, it
turned out that the factor which affects measured value exists according to a measurement strategy or a measurement
part.

1. はじめに

三次元測定機（以下 CMM）を用いた測定は高精度な測定が行えるとして近年多くの加工現場で利用されている。しかし、CMM そのものに存在する幾何学誤差や測定の不確かさ¹⁾を見積もることは容易ではない。通常 CMM の性能評価としては、ボールプレートやホールプレートを用いた測定を実施して、反転法を用いることにより幾何学誤差を求めることになる。また不確かさについては、測定値に影響を及ぼす要因を定量的に見積もることで信頼性の高い測定結果を導き出すことができる。ところがこのようなゲージ類を用いた評価手法は確立されているが、時間と労力及びスキルを必要とするために製造現場では普及していない。

実際の製品での測定における CMM の幾何学誤差の影響や加工品評価で重要な幾何公差の不確かさについてもこれまであまり検討されていない。ゲージ類においては、測定対象は全て球や円であるために、測定のバラツキや不確かさは、測定長さにより変化する程度で大きな違いは発生しない。しかし、実際の製品の測定箇所は同一の形状ではない上、単純な要素測定から複雑な幾何公差まで様々あり、測定範囲も十分に確保できないものもある。またプローブに対する測定要素の向き等、測定値に影響を及ぼす要因が多く存在しているため高精度な測定を行うことは容易ではない。

今回、実際の製品で高精度な測定を実施するため

にゲージ類での測定評価では把握できなかった測定値に影響を及ぼす要因を探るため、測定対象物として任意形状で複数の測定要素を持つ製品の中から、サイズやコストを勘案し工作機械で使用されるツールホルダーを選択した。そして反転法を用いた測定を実施し、寸法のバラツキの程度及び幾何公差を求めた。また不確かさの算出については、バジェット法および分散分析法を用いて求めた結果について比較・検証を行い、実用性について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 測定機

測定機の概要を表 1 に、外観図を図 1 に示す。

表 1 測定機の概要

高精度三次元測定機（Zeiss 製）	
型 式	UPMC 550 CARAT（門移動型）
指示精度	(0.5+L/900) μm

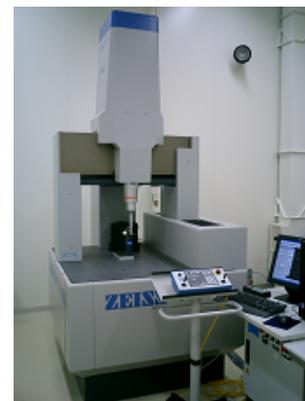


図 1 CMM 外観

2.2 測定対象物

工作機械用ツールホルダーを使用して、各測定部位について寸法及び幾何公差を求めた。使用したツールホルダーの外観図を図2に示す。



図2 ツールホルダー外観

材質はSCM415、線膨張係数は $11.0 \times 10^{-6} [/ K]$ (不確かさ $1.0 \times 10^{-6} [/ K]$)のもので、サイズは図3に示す。

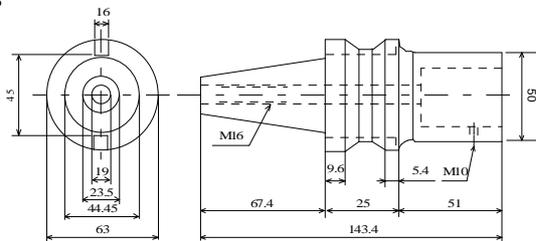


図3 ツールホルダーサイズ

2.3 測定箇所及び算出要素

表2に示す要素の測定を実施、その結果を使用して表3に示す要素の算出を行った。測定箇所については図4に示す。また測定ポイント数は測定範囲内でほぼ均等に任意の8点で、1回の測定毎に点配置を変えながら合計5回の測定を行った。刻印のある箇所についてはその部分を回避した範囲内で同様に測定した。

表2 測定部位と要素

No	測定部位	要素
1	P1 (平面)	平面度
2	P2 (平面)	平面度
3	Co (円錐・円) (真円度はCo-Cの位置にて測定)	真円度 円錐角度 円錐頂点座標
4	Cy1 (円筒) (刻印箇所を避ける)	直径 円筒度
5	Cy2-C (円) (刻印箇所を避ける)	直径 真円度
6	Cy3 (円筒・円) (真円度はCの位置にて測定)	直径 真円度 円筒度

表3 評価要素

No	使用データ	要素
1	2,3,4,6	P2 平面に対する Co,Cy1,Cy3 各中心軸方向ベクトルの直角度
2	3,4,6	Cy3 の中心軸に対する Co,Cy1 各中心軸の同軸度
3	3,5,6	C の中心に対する Co-C,Cy2-C,Cy3 の各円の同心度
4	1,2	P1 に対する P2 の平行度
5	1,2,6	Cy3 の中心軸と P1 平面及び P2 平面との交点の2点間距離

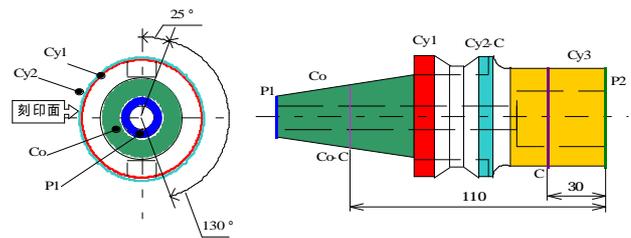


図4 測定箇所

2.4 長さの参照標準

所有するブロックゲージ(以下 BG)を長さ参照標準として用いた。(株)ミットヨ製 BG (セラミックス製: 線膨張係数 $(9.3 \pm 0.5) \times 10^{-6} / K$) で呼び寸法は50、100、200mmの3本を用いた。測定は片方の面を基準として、もう一方の面を点測定し基準面からの距離(10回測定の平均値)を求めた。測定時のセット方向はツールホルダーのセット方向と同じとし、不確かさの算出には、図5に示す3つのポジションで200mmのBGを20回測定し、その平均値を求め、これを3回繰返した合計9データを用いて分散分析により算出した。

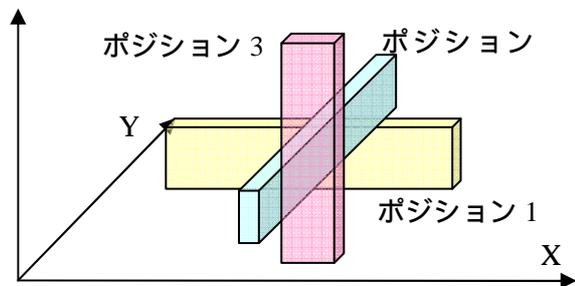


図5 BG測定ポジション

2.5 ツールホルダーのポジション及びセット方法

ツールホルダーの測定に際し、CMM による測定の不確かさを求めるため、ISO の TC213/WG10 において規格化が進められている ISO15530 シリーズの中から、「複数の測定戦略による方法」の ISO15530-2²⁾の手法を利用するために、図 6 に示すように以下の 5 つのポジションで測定を行った。水平位置の場合面 P1 および面 P2 側からシャフトを挿入し、フレキシブル治具にて固定、垂直位置の場合は面 P2 側から治具を挿入し定盤上に固定した。

ポジションの詳細は以下 a) ~ e) の通りとした。

- a) P1 面が Y 軸正方向を向き、刻印面が X 軸正方向を向く場合：Y11
- b) P1 面が Y 軸正方向を向き、刻印面が X 軸負方向を向く場合：Y12
- c) P1 面が Y 軸負方向を向き、刻印面が X 軸正方向を向く場合：Y21
- d) P1 面が Y 軸負方向を向き、刻印面が X 軸負方向を向く場合：Y22
- e) P1 面が Z 軸負方向を向き、刻印面が X 軸正方向を向く場合：Z11

c)



d)



e)



図 6 ツールホルダーポジション

a)



b)



2.6 ツールホルダー測定物座標系の作成方法

座標系の作成は、図 7 に示すように面 P2 を基準面として面 P1 と反対の方向を +X、刻印面の方向を +Y 方向とした。全てのポジションにおいて、同様の座標系を作成した。

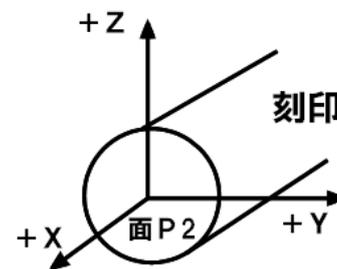


図 7 測定物座標系

2.7 測定プローブ

測定プローブは、8mm で長さ 114.5mm のタイプを 2 本用いて機械座標系±X 方向にそれぞれプローブを取り付けて測定を行った。測定ポイント数は測定範囲に均等に 8 点とした。そして、その内 4 点ず

つを各プローブで測定するマルチプローブ測定を行った。刻印のある部分で測定範囲に制限のある箇所については、その箇所で測定可能な1つのプローブのみで測定した。ワークとプローブの位置関係を図8に示す。



図8 ワークとプローブの位置関係

2.8 測定値および不確かさの算出

測定値はY軸方向にセットしたツールホルダーの4つのポジションで、5回繰返し測定したデータから反転法を用いて算出した。不確かさは、測定値算出で使用したデータにZ軸方向1ポジションの5回繰返しデータを加え計25データをを用いてバジェット法及びISO15530-2²⁾分散分析法を用いて算出した。

2.9 測定中の測定物温度および温度測定の方法

測定中の温度測定は以下の計測器を用いて行った。
機種：白金測温抵抗体（株チノー製）

ツールホルダーおよびブロックゲージの温度については、測定室に十分放置してあるために測定室内温度と同等とした。温度計測器はCMM定盤上の測定領域付近に配置し、測定時に温度計測器の表示値を一定時間毎に読み取り、その読み取り値の平均値を測定時の温度とした。

3. 結果と考察

ツールホルダーの各要素および要素を用いて算出する測定結果リストを表4に示す。また機械座標系Y軸方向に設置した4ポジションで5回繰返し測定した20データのバラツキを図9に示す。参照値には反転法で求めたデータ5回分の平均値を用いた。

表4 測定結果リスト

No	要素	対象
1	平面度	P1
2	平面度	P2
3	円錐角度	Co
4	円錐頂点座標 X	
5	円錐頂点座標 Y	
6	円錐頂点座標 Z	
7	真円度	Cy1
8	直径	
9	円筒度	Cy2-C
10	直径	
11	真円度	Cy3
12	直径	
13	真円度	C
14	円筒度	
15	直径	
16	真円度	
17	直角度	P2 - Co
18		P2 - Cy1
19		P2 - Cy3
20	同軸度	Cy3 - Co
21		Cy3 - Cy1
22	同心度	C - CoC
23		C - Cy2
24		C - Cy3
25	平行度	P1-P2
26	距離	P1-P2

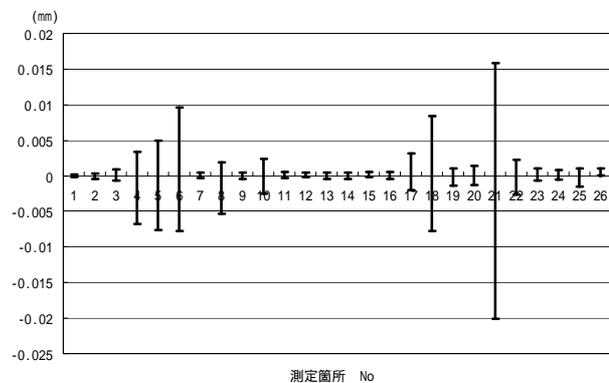


図9 測定データのバラツキ

図9から0.001mm以下のバラツキの小さな要素と最大で0.02mmを超える大きな要素が確認できる。

ボールプレート等ゲージ類の測定においては、参照値から繰返し測定データの最大差が0.0017mm(X軸方向)であった³⁾ことを考えると、バラツキの非常に大きい測定要素の存在が確認できた。

次に、5回繰返し測定したデータから求めた反転法後の結果と参照値からの差のバラツキを図10に示す。

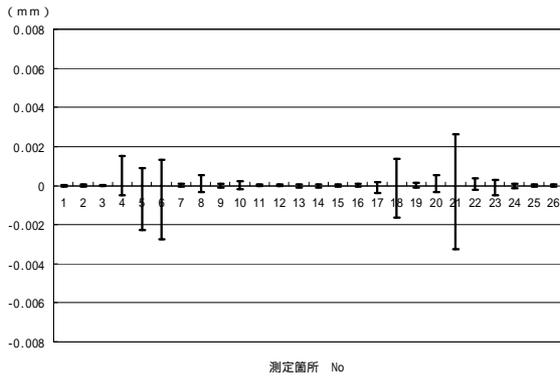


図 10 反転法後の解析データのバラツキ

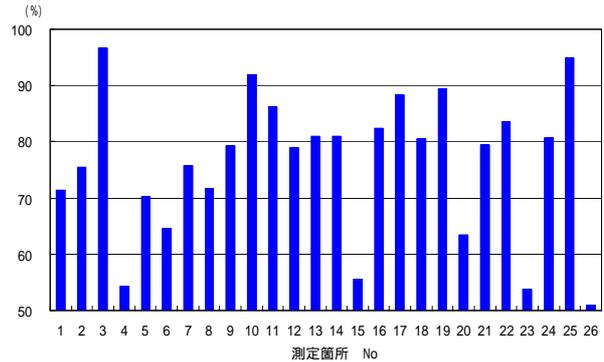


図 11 反転法によるバラツキ低減率

反転法により測定機の幾何学誤差による測定値への影響がキャンセルされ、一部の測定要素を除き結果のバラツキが相当低減されている。測定結果リスト No で 4、5、6、18、21 は、バラツキの程度を 0.001mm 以下に低減することが出来なかった。対象となった要素は No4、5、6 が円錐の頂点座標、No18 が面 P2 と円筒 Cy1 の直角度、そして No21 が円筒 Cy3 と円筒 Cy1 の同軸度であった。もともとの測定データのバラツキが大きかったこともその理由として考えられるが、円錐形状は CMM の各測定軸との関係が平行および垂直にはならないため、測定時にプローブが 3 軸とも移動しながら測定することと併せて反転法により各軸に対して 180deg 回転させてセットすることから測定箇所にズレが生じるため、その他の測定箇所に比べて測定結果のバラツキが大きくなったものと考えられる。また No18 と 21 の測定要素は異なるが、データムと比較するのがどちらも円筒 Cy1 であった。Cy1 は測定幅がわずか 10mm しかなく、併せて測定範囲の一部に刻印があり円周角度 130deg の範囲に測定が限定されるため、測定結果のバラツキが大きくなったと考えられる。実際の製品を測定する場合、全ての測定対象で十分な測定範囲が確保できるとは限らないため、このような狭範囲における測定の際の影響を定量的に把握するデータを得ることが出来た。

続いて、反転法による各測定要素への効果を見るため、バラツキの低減率を図 11 に示す。機械部品の

測定評価を行う際に、高精度測定を実現するため反転法を用いても測定データのバラツキ低減率が一定でないことが明らかになった。また全ての要素において反転法により 50% 以上低減できることがわかった。特に No3、10、25 はそれぞれ円錐角度、直径 Cy2-C、平行度 P1-P2 であるが、これらの要素は反転法を用いることによる測定結果のバラツキが 90% 以上低減できた。これは、測定形状が CMM の直交 3 軸に平行でない要素を有していること、測定の際に用いるプローブが±X 方向のどちらかに限定されていること、および測定範囲が狭範囲であることから反転法を用いて幾何学誤差の影響がキャンセルされ測定精度向上が図られたと考えられる。反対に低減率が低かった No4 の円錐頂点 X 座標値、No 15 の円 C の直径、No 20 の円筒 Cy3 と円錐 Co の同軸度、No 23 の円 C と円 Cy2 の同心度、No 26 の面 P1 と面 P2 の距離であるが、No15、23、26 については、測定要素が円と面に限定されて安定した測定が行えること、No20 同軸度は測定データのバラツキが大きくなかったことと、どのポジションでも同程度のバラツキであったことから、反転法による低減率があがらなかったものと考えられる。No4 については、測定データのバラツキの程度を低減できなかった理由と同様に、測定ポイントが各セットポジションで異なりデータのバラツキが大きく反転法の効果を得ることができなかったことと、機械座標系の Y 軸に平行にセットしたため X 軸方向座標値への影響が大き

かったと考えられる。

次にバジェット法及び分散分析法を用いて算出した不確かさを表5に示す。

表5 不確かさ

NO	対象	項目	不確かさ	
			バジェット法	分散分析法
1	P1	平面度	0.0007	0.0001
2	P2	平面度	0.0008	0.0003
3	Co	円錐角度	0.0012	0.0005
4		円錐頂点座標 X	0.0082	0.0040
5		円錐頂点座標 Y	0.0164	0.0080
6		円錐頂点座標 Z	0.0100	0.0049
7	Cy1	真円度	0.0008	0.0002
8		直径	0.0102	0.0021
9	Cy2-C	円筒度	0.0008	0.0003
10		直径	0.0050	0.0015
11	Cy3	真円度	0.0009	0.0003
12		直径	0.0016	0.0006
13	C	真円度	0.0035	0.0017
14		円筒度	0.0035	0.0017
15	P2-Co	直径	0.0018	0.0006
16		真円度	0.0012	0.0005
17	P2-Cy1	直角度	0.0035	0.0017
18			0.0082	0.0040
19			0.0017	0.0007
20	Cy3-Co	同軸度	0.0016	0.0007
21			0.0156	0.0076
22	C-CoC	同心度	0.0032	0.0015
23			0.0018	0.0008
24			0.0013	0.0005
25	P1-P2	平行度	0.0018	0.0008
26	P1-P2	距離	0.0011	0.0004

測定値に影響を及ぼす要因から不確かさを求めたバジェット法と比較し、複数回測定した結果から不確かさを求めた分散分析法の方の不確かさが小さく見積もられる結果となった。分散分析法がセットポジションごとに求めた測定結果の標準偏差から算出するのに対して、バジェット法では全ての測定データの標準偏差データを用いることも影響していると思われる。現場での不確かさ算出のためにはバジェット法及び分散分析法共に同程度の測定時間の確保や労力は必要であるが、CMMの幾何学誤差を算出することが困難であることを考えると、分散分析法を用いた不確かさの算出は、測定データから容易に導き出せる実用的な方法として有効な手段であると考えられる。

4. おわりに

ツールホルダーを対象に反転法を用いた測定により、実際の製品の高精度測定の可能性と測定値のバラツキの程度の定量把握、及び不確かさの算出を行った。その結果

- 1) 測定データのバラツキの程度は、測定要素により異なることがわかった。
- 2) 反転法を用いることでゲージ類と同様、任意形状製品の測定データのバラツキを低減できることがわかった。そして、測定要素によりその低減率が異なることを明らかにした。
- 3) 不確かさの算出では、分散分析法は測定データから容易に算出できる実用的な方法として有効な手段であると考えられる。

以上、ゲージ類とは異なり、測定戦略や測定箇所形状により、測定値への影響が存在することを定量的に明らかにすることができた。

謝 辞

本研究は、(独)産業技術総合研究所が実施した計測分科会主催の「任意形状ワーク持ち回り測定」に参加した結果である。この持ち回り測定に参加した以下の機関の方に感謝します。

(独)産業技術総合研究所 大澤 尊光 氏、岩手県工業技術センター 和合 健 氏、福島県ハイテクプラザ 緑川 祐二 氏、群馬県立群馬産業支援センター 東毛産業技術センター 鏑木 哲志 氏、埼玉県産業技術総合センター 宇野 彰一 氏、東京都立産業技術研究センター 中村 弘史 氏、山口県産業技術センター 永田 正道 氏、広島県立総合研究所東部工業技術センター 竹保 義博 氏、広島県立総合研究所西部工業技術センター 山下 弘之 氏、熊本県産業技術センター 川村 浩二 氏、(株)東京精密 荒井 正敏 氏、(株)ミットヨ 阿部 誠 氏、(株)メトロテック 榎本 幹雄 氏

文 献

- 1) 飯塚幸三; 計測における表現のガイド, 日本規格協会
- 2) 知的基盤部会計測分科会形状計測研究会
ISO15530-2, 6, アセスメント測定, Protocol Final(2005).
- 3) 木村勝典; 鳥取県産業技術センター研究報告
No10, p.9-14(2007).