

簡易検査ゲージを用いた三次元測定における不確かさ算出について (第1報)

機械材料科 機械スタッフ 柳原 亘* 北川剛弘* 大澤洋文*

Estimation of Measurement Uncertainty for the CMM by Simplified Checking Gage (1st Report)

Wataru Yanagihara, Takahiro Kitagawa and Hirohumi Oosawa

To establish the check technique of CMM(Coordinate Measuring Machine) with facility, we have carried out check of CMM by various gages. We tried to calculate uncertainty of CMM by Simplified Checking Gage, and compared with a conventional technique by step gage.

1. はじめに

三次元測定機は、対象ワーク上に座標軸を設定し、得られた座標値を演算することにより、対象ワークの寸法や形状を三次元的に測定する装置である。一般的な測定器具では困難な測定を、比較的簡単に、かつ効率的に行うことができるため、現在では多くの生産現場に普及しており、製品の精度検査の要となっている。三次元測定機による測定の信頼性を確保するためには、測定機の点検を定期的に行うことが望ましいが、従来から行われてきたブロックゲージ等を用いた点検は時間とコストがかかるため、日常点検に利用することは困難であった。そのため、頻繁に点検を実施できるような簡易な検査法が求められていた。

今回、(独)産業技術総合研究所を中心とした「平成21年度地域イノベーション創出共同体形成事業幾何形状計測研究会」の中で、定期点検用器具として簡易検査ゲージが開発された。そこで、当センターの三次元測定機を用いて、この簡易検査ゲージによる点検を実施し、三次元測定における不確かさの算出を試みた。また、ステップゲージを用いた従来法による不確かさの算出を行い、両者の比較を行った。

2. 簡易検査ゲージのメリット

三次元測定機の点検法は、JIS B 7440-2に定められている。これは、5種類の長さの異なるブロックゲージ、又はステップゲージを測定機上で7方向にセットし、各々の方向で長さを測定した結果から、ゲージの校正値を引いて偏差を算出し、測定機の幾

何学的誤差を推定するという手法である。従来、年1回の定期点検にはこのような方法が用いられてきたが、ゲージのセットや測定に手間が掛かり、温度管理も必要なことから、現場で日常点検に利用することは困難であった。

簡易検査ゲージは、熱膨張係数の小さな材質で作られているため、厳密な温度管理を必要としない。また、セット方法も単に測定機上に置くだけでよく、1回の測定時間はCNC測定で約10分程度と短い。

3. 測定

3.1 測定対象物及び測定量

(1) ステップゲージ

測定対象のステップゲージの仕様を表1に、ゲージの外観を図1に示す。

図2に示すように、ゲージ端面を面測定し、基準面とした。そして、3.4.1(2)に述べる5ヶ所の端面を点測定し、基準面からのX座標値を測定長さとし、測定量とした。

表1 ステップゲージの仕様

ミットヨ社製ステップゲージ※ (シリアル番号: 09AA0712)	
最大測定長さ	610mm
呼びピッチ	10mm
20°Cにおける熱膨張係数	$(10.8 \pm 0.5) \times 10^{-6} / K$

※産業技術総合研究所により10mmごとに校正値が与えられている

*) 現 機械科

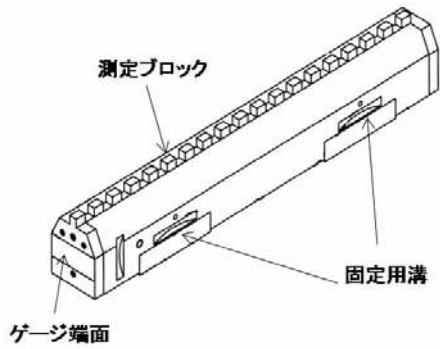


図1 ステップゲージ

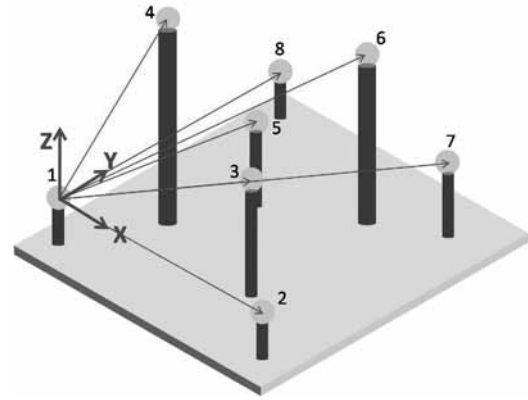


図3 簡易検査ゲージ

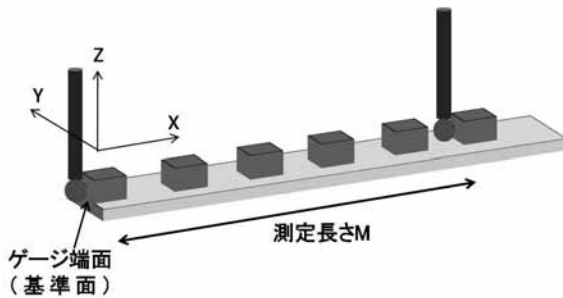


図2 ステップゲージ測定量

(2) 簡易検査ゲージ

測定対象の簡易検査ゲージの仕様を表2に、外観を図3に示す。

図3においてボール1を原点、ボール2をX軸上(正方向)、ボール8をXY平面上にあるとした右手座標系に対して、各ボールの中心座標値を測定した。そして、原点(ボール1)から各ボールまでの距離を算出し、測定量とした。

表2 簡易検査ゲージの仕様

産総研製簡易検査ゲージ* (シリアル番号: 08AA7603)				
ベースサイズ	400×400mm			
Y基準面からの各ボール中心の高さ(mm)	1: 0	2: 0	3: 150	4: 250
	5: 100	6: 200	7: 50	8: 0
各ボールの呼び球径	20mm			
20℃における熱膨張係数	$(0.00 \pm 0.02) \times 10^{-6}/K$			

*産業技術総合研究所により、各ボールの中心座標は校正値が与えられている

3.2 測定環境

測定はすべて、室温 20 ± 1 ℃の恒温室で行った。

3.3 使用機器

(1) 三次元測定機

測定に使用した三次元測定機仕様を表3に、外観を図4に示す。

表3 三次元測定機仕様

機器名	Carl Zeiss 社製 UPMC 850 CARAT	
20℃における測定精度	1軸	$0.5+L/900(\mu m)$
	空間	$0.8+L/600(\mu m)$
プローブ仕様	シャフト長	50mm
	先端球径	8mm



図4 三次元測定機

(2) 温度計

温度測定には、最小目盛0.01℃の高精度サーミスタ温度計D642 (TAKARA TERMISTOR株式会社製) を使用した。なお、温度測定はステップゲージの測定についてのみ行った。

3. 4 測定方法

3. 4. 1 ステップゲージ

(1) 支持方法

ステップゲージは、0° ~90° の範囲で任意に傾斜可能な支持治具を用いて、測定機上に設置した。

(2) 測定計画

測定はJIS B 7440-2に基づいて行った。誤差要因は、測定の反復R、測定方向D、測定長さM、繰返しnとした。

測定方向Dは、本来X、Y、Zの3方向に、空間的对角4方向を加えた7方向で測定を行うべきであるが、当センターの測定機では空間的对角方向の測定ができなかったため、X、Y、Zの3方向に、XY、YZ、ZXの各平面内の対角方向6方向を加えた9方向で測定を行った。

測定長さは、 $M_1=20\text{mm}$ 、 $M_2=100\text{mm}$ 、 $M_3=200\text{mm}$ 、 $M_4=300\text{mm}$ 、 $M_5=400\text{mm}$ 、 $M_6=500\text{mm}$ とした。

測定順序を図6に示す。プローブの方向設定が煩雑なため、今回は測定の能率を考慮して、分割法による多元配置実験²⁾を行った。なお、各測定方向における測定長さの順序は (M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 、 M_6) の順に統一した。測定の反復は各測定方向で3回行った。

(3) 温度測定

温度は室温1箇所(測定機定盤 右中央付近)、ステップゲージ1箇所(中央付近)とし、全測定を通して連続的に測定した。

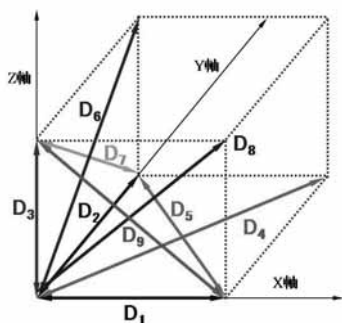


図5 ステップゲージの測定方向



図6 ステップゲージ測定の順序

3. 4. 2 簡易検査ゲージ

(1) 支持方法

簡易検査ゲージは同じ高さのVブロックで3点支持し、測定機の定盤上に自重のみで設置した。

(2) 測定計画

誤差要因は、測定の反復R、測定位置P、測定姿勢T、測定距離M、繰返しnとした。

測定位置Pは、測定機上の手前(P_1)と奥(P_2)の2水準とした。

測定姿勢Tは、図7に示すようにボール1、2を手前に置いた時を0° (T_1)とし、そこから反時計回りに45° (T_2)、90° (T_3)の3水準とした。

測定距離Mは原点(ボール1)と各ボール中心との空間的な距離である。原点以外にボールは7個あるので、7水準となる。

測定順序を図8に示す。ステップゲージの測定と同様に、測定の能率を考慮して、分割法による多元配置実験を行った。なお、 M_1 から M_7 は、それぞれボール1-2、1-3、1-4、1-5、1-6、1-7、1-8間の距離を示す。

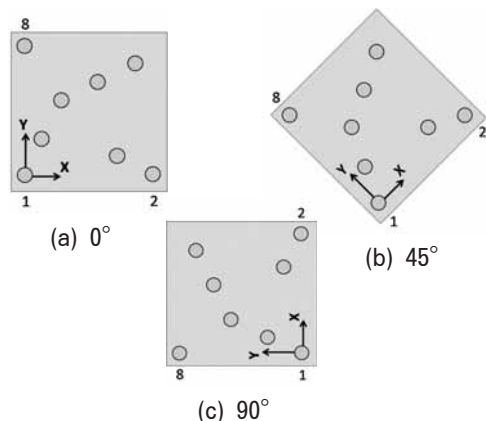


図7 簡易検査ゲージの測定姿勢

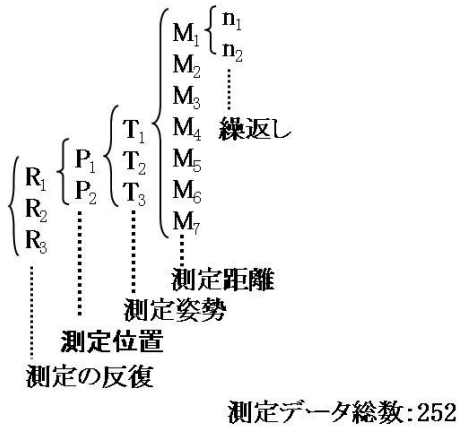


図8 簡易検査ゲージ測定順序

4. 結果と考察

4. 1 温度測定結果と熱膨張補正

ステップゲージ温度の測定結果を表4に示す。表中の値は、各測定方向における測定中のゲージ平均温度である。平均温度から、測定長さごとの熱膨張分を計算し、各データから差引くことで20℃における長さに換算した。

表4 ステップゲージ温度の測定結果

測定方向	平均温度(℃)
D1	20.10
D2	20.02
D3	20.18
D4	20.12
D5	20.04
D6	20.08
D7	20.04
D8	20.07
D9	20.11

4. 2 ステップゲージ測定における不確かさの算出

各誤差要因に起因する変動を推定し、不確かさを算出するために分散分析を行った。その結果を表5に示す。なお、分析にあたり上記の熱膨張補正を行ったデータからゲージの校正値(20℃の値)を差引い

た偏差を特性値とした。

4. 2. 1 分散成分の推定

期待値の構造式を基に、有意な誤差要因について分散成分を以下のとおり推定した。

(1) 繰返し誤差e3: $\sigma_{e3}^2 = 0.0172$

(2) 2次誤差e2:

$$\sigma_{e2}^2 = (V_{e2} - V_{e3})/2 = (0.0315 - 0.0172)/2 = 0.0071$$

(3) 交互作用D×M:

$$\sigma_{D \times M}^2 = (V_{D \times M} - V_{e2})/6 = (0.4704 - 0.0315)/6 = 0.0731$$

(4) 測定長さM:

$$\sigma_M^2 = (V_M - V_{D \times M})/54 = (1.5484 - 0.4704)/54 = 0.0200$$

(5) 1次誤差e1:

$$\sigma_{e1}^2 = (V_{e1} - V_{e2})/12 = (0.1887 - 0.0315)/12 = 0.0131$$

(6) 測定方向D:

$$\sigma_D^2 = \{V_D - V_{e1} - (V_{D \times M} - V_{e2})\}/36 = \{1.0453 - 0.1887 - (0.4704 - 0.0315)\}/36 = 0.0116$$

(7) 一般平均m:

$$\sigma_m^2 = \{V_m - V_D - (V_M - V_{D \times M})\}/324 = \{3.4942 - 1.0453 - (1.5484 - 0.4704)\}/324 = 0.0042$$

4. 2. 2 合成標準不確かさ及び拡張不確かさの算出

上記の各誤差要因の分散成分を足し合わせ、その平方根をとり、合成標準不確かさを求めると、

$$uc = (\sigma_{e3}^2 + \sigma_{e2}^2 + \sigma_{D \times M}^2 + \sigma_M^2 + \sigma_{e1}^2 + \sigma_D^2 + \sigma_m^2)^{1/2} = (0.0172 + 0.0071 + 0.0731 + 0.0200 + 0.0131 + 0.0116 + 0.0042)^{1/2} = \pm 0.3594 (\mu m)$$

となる。従って、包含係数を2とすると、拡張不確かさは、

$$U = \pm 0.72 (\mu m)$$

となる。

4. 3 簡易検査ゲージ測定における不確かさ算出

簡易検査ゲージの測定結果について、分散分析を行った結果を表6に示す。

【報告】

4. 3. 1 分散成分の推定

有意な誤差要因について分散成分を以下のとおり推定した。

(1) 繰返し誤差 e_4 : $\sigma_{e_4}^2=0.0282$

(2) 3次誤差 e_3 :

$$\sigma_{e_3}^2=(V_{e_3}-V_{e_4})/2=(0.0701-0.0282)/2=0.0209$$

(3) 交互作用 $T \times M$:

$$\sigma_{T \times M}^2=(V_{T \times M}-V_{e_3})/12=(0.7745-0.0701)/12=0.0587$$

(4) 測定距離 M :

$$\sigma_M^2=(V_M-V_{T \times M})/36=(246.2233-0.7745)/36=6.8180$$

(5) 交互作用 $R \times T$:

交互作用 $R \times T$ の期待値の構造式には2次誤差 e_2 が含まれているが、 e_2 は有意な要因ではないため e_2 と e_3 をプールした不偏分散を差引く。

$$\sigma_{R \times T}^2=\{V_{R \times T}-(S_{e_2}+S_{e_3})/(4+72)\}/28=0.0139$$

(6) 測定姿勢 T :

$$\sigma_T^2=[V_T-\{V_{R \times T}-(S_{e_2}+S_{e_3})/(4+72)\}-\{V_{T \times M}-V_{e_3}\}-(S_{e_2}+S_{e_3})/(4+72)]/84=0.0064$$

4. 3. 2 合成標準不確かさ及び拡張不確かさの算出

合成標準不確かさは、

$$uc=(\sigma_{e_4}^2+\sigma_{e_3}^2+\sigma_{T \times M}^2+\sigma_M^2+\sigma_{R \times T}^2+\sigma_T^2)^{1/2}=\pm 2.6301(\mu m)$$

となる。従って、包含係数を2とすると、拡張不確かさは、

$$U=\pm 5.26(\mu m)$$

となる。

4. 4 考察

両ゲージの測定とも反復 R の影響は認められず、測定の再現性は良好であった。

ステップゲージを用いた測定は、拡張不確かさで

$\pm 0.72 \mu m$ と良好な結果であったが、これは空間的対角方向の測定を行えなかったことが影響していると考えられる。

簡易検査ゲージを用いた測定は、測定距離 M の効果が大きく、拡張不確かさは $\pm 5.26 \mu m$ と大きな値となった。これは図9に示すように、特定のボール(M_2 、 M_4 、 M_5 、 M_6)の値が影響しており、ゲージの剛性の弱さが原因で、校正後のゲージの運搬中にボール位置がずれた可能性が考えられる。従って、ボールを支える支柱を太くするなど、構造を変更し再校正することにより改善できると考えられる。

5. まとめ

ステップゲージ測定ではプローブ交換作業やゲージセットに手間がかかり、まる一日を要した。対して簡易検査ゲージ測定では、プローブは1本で済み、セットも単に測定機上に置くだけなので、半日強で済んだ。簡易検査ゲージを用いることで、従来より簡単に測定機の点検を行えることが分かった。今後は構造を改善し、再度不確かさを算出する予定である。

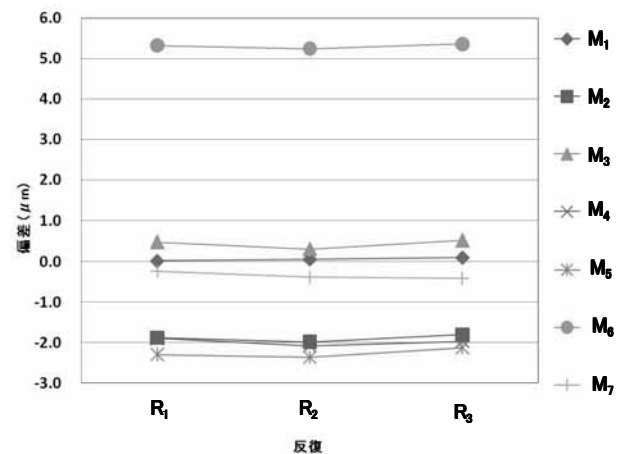


図9 簡易検査ゲージにおける各測定距離の偏差

謝辞

本研究は、『平成21年度地域イノベーション創出共同体形成事業 幾何形状計測研究会』の活動の一環として行った。

本事業において貴重な助言を頂いた、計量標準総合センター (NMIJ/AIST) 大澤尊光氏・佐藤理氏、

長野県CDT研究所中村哲夫氏に感謝します。

参考文献

- 1) 大澤洋文他：『三次元測定機を用いたボールプレート測定における不確かさ算出について』浜松工業技術センター研究報告書，(2008)
- 2) 田口玄一他：『経営工学シリーズ18 実験計画法』日本規格協会，(1979)

表5 ステップゲージ測定の分散分析表

誤差要因	二乗和S	自由度φ	不偏分散V		不偏分散の期待値
一般平均 m	3.4942	1	3.4942	**	$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 12\sigma_{e1}^2 + 18\sigma_{R \times M}^2 + 6\sigma_{D \times M}^2 + 54\sigma_M^2 + 108\sigma_R^2 + 36\sigma_D^2 + 324\sigma_m^2$
測定方向 D	8.3625	8	1.0435	**	$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 12\sigma_{e1}^2 + 6\sigma_{D \times M}^2 + 36\sigma_D^2$
測定の反復 R	0.1550	2	0.0775		$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 12\sigma_{e1}^2 + 18\sigma_{R \times M}^2 + 108\sigma_R^2$
一次誤差 e1	3.0194	16	0.1887	**	$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 12\sigma_{e1}^2$
測定長さ M	7.7420	5	1.5484	**	$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 18\sigma_{R \times M}^2 + 6\sigma_{D \times M}^2 + 54\sigma_M^2$
交互作用 D×M	18.8165	40	0.4704	**	$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 6\sigma_{D \times M}^2$
交互作用 R×M	0.5769	10	0.0577		$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2 + 18\sigma_{R \times M}^2$
二次誤差 e2	2.5187	80	0.0315	**	$\sigma_{e3}^2 + 2\sigma_{e2}^2$
繰返し誤差 e3	2.7850	162	0.0172		σ_{e3}^2

表6 簡易検査ゲージ測定の分散分析表

誤差要因	二乗和S	自由度φ	不偏分散V		不偏分散の期待値
一般平均 m	2.3406	1	2.3406		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 42\sigma_{e1}^2 + 12\sigma_{T \times M}^2 + 18\sigma_{P \times M}^2 + 12\sigma_{R \times M}^2 + 36\sigma_M^2 + 28\sigma_{R \times T}^2 + 42\sigma_{P \times T}^2 + 84\sigma_T^2 + 126\sigma_P^2 + 84\sigma_R^2 + 252\sigma_m^2$
測定の反復 R	0.7221	2	0.3611		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 42\sigma_{e1}^2 + 12\sigma_{R \times M}^2 + 28\sigma_{R \times T}^2 + 84\sigma_R^2$
測定位置 P	0.1892	1	0.1892		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 42\sigma_{e1}^2 + 18\sigma_{P \times M}^2 + 42\sigma_{P \times T}^2 + 126\sigma_P^2$
一次誤差 e1	0.4945	2	0.2473		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 42\sigma_{e1}^2$
測定姿勢 T	3.4035	2	1.7017	*	$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 12\sigma_{T \times M}^2 + 42\sigma_{P \times T}^2 + 28\sigma_{R \times T}^2 + 84\sigma_T^2$
交互作用 R×T	1.8395	4	0.4599	**	$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 28\sigma_{R \times T}^2$
交互作用 P×T	0.0231	2	0.0116		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2 + 42\sigma_{R \times T}^2$
二次誤差 e2	0.3874	4	0.0968		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 14\sigma_{e2}^2$
測定距離 M	1447.3400	6	246.2233	**	$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 12\sigma_{T \times M}^2 + 18\sigma_{P \times M}^2 + 12\sigma_{R \times M}^2 + 36\sigma_M^2$
交互作用 R×M	0.6658	12	0.0555		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 12\sigma_{R \times M}^2$
交互作用 P×M	0.3776	6	0.0629		$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 18\sigma_{R \times M}^2$
交互作用 T×M	9.2938	12	0.7745	**	$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2 + 12\sigma_{T \times M}^2$
三次誤差 e3	5.0490	72	0.0701	**	$\sigma_{e4}^2 + 2\sigma_{e3}^2$
繰返し誤差 e4	3.5565	126	0.0282		σ_{e4}^2

* : 危険率 5% で有意

** : 危険率 1% で有意