

## 計測分科会形状計測研究会第二回ボールプレート持ち回り報告

大澤 尊光<sup>\*</sup>, 高辻 利之<sup>\*</sup>, 佐藤 理<sup>\*</sup>, 前澤 孝一<sup>\*</sup>, 米山 陽<sup>\*\*</sup>,吉田 勉<sup>\*\*\*</sup>, 坂之上 悦典<sup>†</sup>, 木村 勝典<sup>††</sup>

(平成18年7月7日受理)

## Second domestic comparison of ball-plate caribration in Japan

Sonko OSAWA, Toshiyuki TAKATSUJI, Osamu SATO, Koichi MAEZAWA, Akira YONEYAMA,  
Tsutomu YOSHIDA, Yoshinori SAKANOUÉ, Katsunori KIMURA

## 1. はじめに

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では、科学的知見の獲得、会員間の情報交換、参加者の技能向上などを目指して、さまざまなゲージを対象とした持ち回り測定を行っている。2004年秋の計測分科会で、ボールプレートの第二回持ち回りが提案され、その開始が決議された。その後、参加者の募集、参加者間でのプロトコルの合意を経て、持ち回りは開始された。本報告は、2004年11月から2005年5月にかけて行ったこのボールプレートの第二回持ち回りについて、その概要、結果、および考察について報告するものである。

## 2. 概要

## 2.1 目的

2003年末から2004年夏にかけて、三次元測定機(CMM)用のゲージであるボールプレートの第一回持ち回り測定を行った<sup>1)</sup>。ボールプレートの校正における参加者にとって一番困難な作業は、いかにして長さのトレーサビリティを確保するかである。そこで第一回の持ち回りでは、産業技術総合研究所(産総研)による校正値がついたボールステップゲージと一緒に持ち回った。ボールステップゲージはボールプレートと似た形状をしているため、校正値をボールプレートの測定値に移す作業は比較的楽であり、したがって参加者の測定結果も良好であった。

\* 計測標準研究部門 長さ計測科

\*\* 山梨県工業技術センター

\*\*\* 富山県工業技術センター

† 京都府中小企業総合センター

†† 鳥取県産業技術センター

そこで第二回では、ボールステップゲージの代わりに、より一般的な長さ標準器であるブロックゲージを使って第一回と同様の持ち回りを行った。ボールプレートとブロックゲージは形状が異なるため、CMMによるプロービング点の配置も異なり、したがって単純には長さのトランスファーができない難しさがある。しかしながら参加者はその作業により、CMMの特性、長さのトレーサビリティ、不確かさの算出等について、より理解が深まることが期待できる。

## 2.2 参加者

第一回の持ち回りに参加しなかった機関を中心に参加者を募った結果、参加者は表1のように産総研を含めて6機関になった。表1には併せて、持ち回りのスケジュール、CMMのメーカーと機種が記載されている。

鳥取県はCNC式とマニュアル式の両方のCMMを用いた。佐賀県は、報告書のドラフトAが公表される前に、自らデータの取り下げを申請した。ドラフトAの公表前の取り下げはプロトコルで認められている。

したがって産総研を除いて5台のCMMが使用された。なお、プロトコルに従い、参加者名と測定結果は全て明らかにし、それぞれの対応が取れる状態で結果は発表される。

## 2.3 使用機器

ボールプレートはドイツRetter社製の外形寸法420 mmのものであり、25個のボールが83 mm 間隔で5行5列のレイ状に配置されている。このボールプレートは財団法人機械振興協会技術研究所のご厚意により持ち回り用に提供されたもので、ここに感謝の意を記します。ボールプレートの熱膨張係数として製品の仕様書に記された

表1 参加者リスト

開始	終了	期間	機関	CMM
2004/11/15	12/4	3 weeks	産業技術総合研究所	Leitz PMM866P
12/5	2005/1/8	5	山梨県工業技術センター	Zeiss ZMC550
1/9	2/5	4	富山県工業技術センター	Mitutoyo HKN807
2/6	3/5	4	京都府中小企業総合センター	Leitz PMM866
3/6	4/2	4	鳥取県産業技術センター	Zeiss UPMC550 Mitutoyo A221
4/3	5/14	5	佐賀県産業技術センター	Leitz PMM12106
5/15	5/29	2	産業技術総合研究所	Leitz PMM866P

$11.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ を用い, その不確かさは $1.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} (k=2)$ と仮定した.

長さのトレーサビリティを確保するためのブロックゲージは, 100, 300, 500 mmの3本を使用した. 熱膨張係数として製品の仕様書に記された $10.9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ を用い, その不確かさは $1.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} (k=2)$ と仮定した. 全てのブロックゲージはあらかじめ産総研で校正されており, 校正値は事前に参加者に伝えられている.

ゲージはトランクに入れられて参加者間を輸送される. トランクには, 温度と湿度を常時監視するデータロガーが同梱されており, さらにトランクには衝撃の有無を記録するセンサーが貼り付けられている. 輸送中に衝撃センサーが反応することがあったが, ゲージには目視で確認できるような損傷は無かった. しかしながら参加者自身の不注意により, ゲージに微細な傷が入ることがあったため, 今後の持ち回りにおいてはより細心の注意が求められる.

データロガーで記録された温度と湿度を図1に示す. 温度のグラフは約一ヶ月ごとに温度が低い状態になったことを示している. 持ち回りは冬から春にかけて行われたため, 外気温は20 よりも低いいため, 参加者間を輸送する間に温度が下がったことがわかる. 測定中の温度は

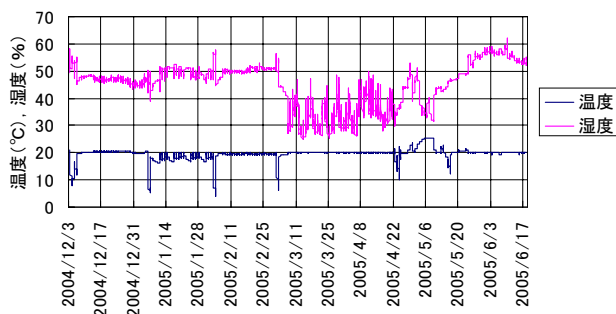


図1 データロガーで記録された温度・湿度

どの参加者においてもほぼ20 近辺であった. 湿度は参加者の環境により, かなり大きな差があるが, ほぼ30 ~ 60%の範囲にあり, 温度・湿度とも測定環境は良好であったといえる.

### 3. 結果

#### 3.1 ボールプレートの安定性

持ち回りの最初と最後に産総研による測定を行い, ボールプレートの安定性を確認した. 図2と図3はそれぞれ, 25個のボールそれぞれの一回目と二回目の測定についてそれらの平均値からの差をプロットしたものであり, 図2はX座標を図3はY座標を示している.

いずれも $0.2 \mu\text{m}$ 以内の差であり, 図中に縦の棒で示した校正の不確かさの範囲内で一致していることから, ボールプレートは持ち回りの期間中, 十分に安定であったといえる.

この持ち回りでは校正結果の参照値として産総研による値を使用することになっている. そこで, ここに示した二回の平均値を参照値として使用した.

#### 3.2 各機関の測定結果

各機関の測定結果を順に示す. ここで注意すべきは測定値の参照値からの偏差の大きさではなく, 偏差が不確かさの範囲内にあるかどうかである. それぞれの参加者が, 各自の装置の性能を十分に発揮し, さらにその測定の不確かさが正しく見積もられているかを確認するのが, 持ち回りの目的である. その判断の基準にはISO/IEC Guide 43-1に示されるEn数を用いた. En数の絶対値が1以下であれば, 不確かさが正しく見積もられていると判断できる.

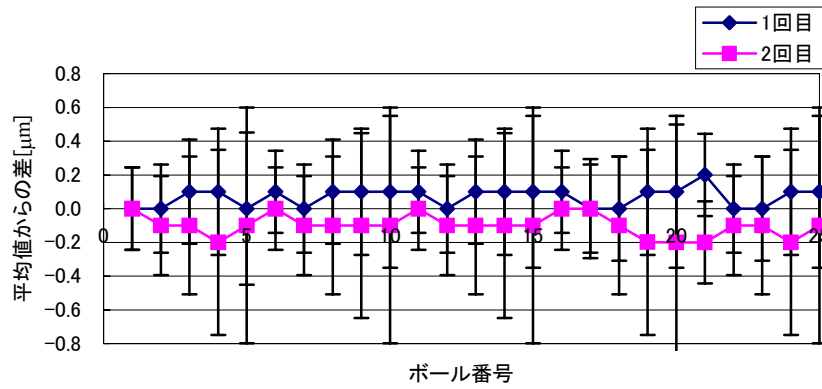


図2 二回測定の平均値からの差 (X座標)

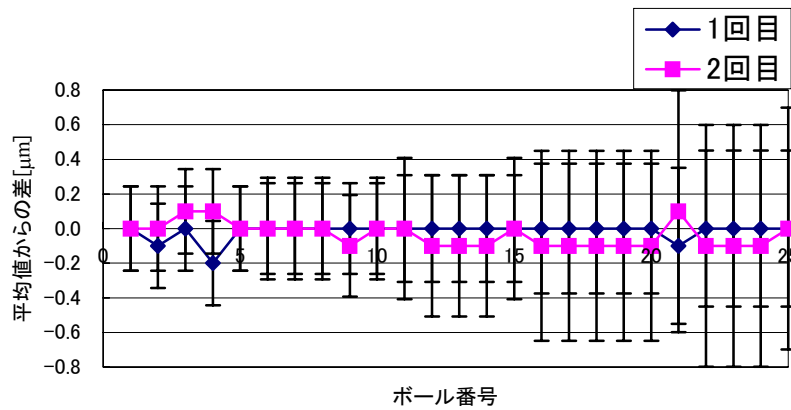


図3 二回測定の平均値からの差 (Y座標)

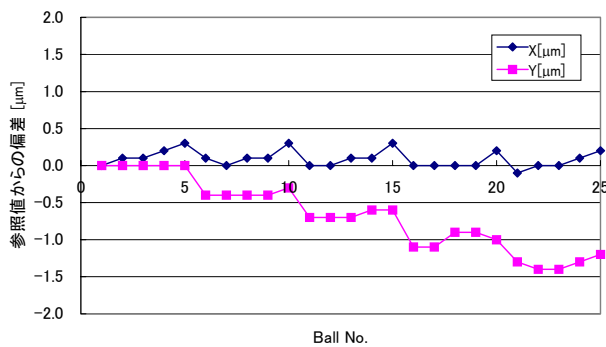


図4 山梨県の測定値 (参照値からの偏差)

表2 山梨県のEn数

ボール番号	X	Y	ボール番号	X	Y
1	0.00	0.00	14	0.07	0.50
2	0.10	0.00	15	0.18	0.50
3	0.08	0.00	16	0.00	0.77
4	0.14	0.00	17	0.00	0.77
5	0.18	0.00	18	0.00	0.63
6	0.10	0.39	19	0.00	0.63
7	0.00	0.39	20	0.12	0.70
8	0.08	0.39	21	0.10	0.77
9	0.07	0.39	22	0.00	0.83
10	0.18	0.29	23	0.00	0.83
11	0.00	0.59	24	0.07	0.77
12	0.00	0.59	25	0.12	0.71
13	0.08	0.59	-	-	-

### 3.2.1 山梨県工業技術センター

測定結果の参照値に対する偏差を図4に, En数を表2に示す. X軸に関しては極めて良好な結果である. Y軸に関しては長さ依存の誤差が見られるが, En数の絶対値は1以下であり, 不確かさが正しく見積もられているといえる.

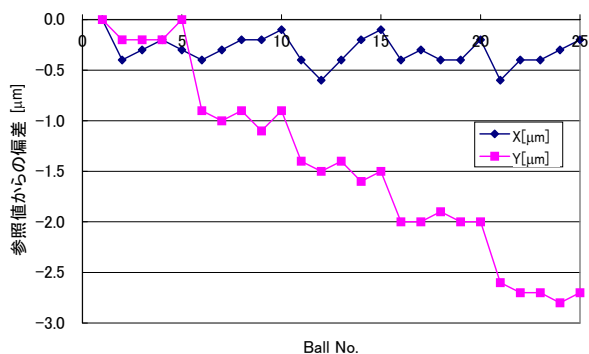


図5 富山県の測定値 (参照値からの偏差)

### 3.2.2 富山県工業技術センター

測定結果の参照値に対する偏差を図5に, En数を表3に示す. X軸に関しては良好な結果である. Y軸に関しては長さ依存の大きな誤差が見られる. 全ての結果に関して, En数の絶対値は1以下であり, 不確かさが正しく見積もられているといえるが, 装置のスペックを考慮すると結果の向上が可能と思われる.

表3 富山県のEn数

ボール番号	X	Y	ボール番号	X	Y
1	0.00	0.00	14	0.04	0.43
2	0.15	0.09	15	0.02	0.40
3	0.08	0.09	16	0.18	0.40
4	0.04	0.09	17	0.11	0.40
5	0.05	0.00	18	0.11	0.38
6	0.18	0.34	19	0.08	0.40
7	0.11	0.37	20	0.03	0.40
8	0.05	0.34	21	0.27	0.40
9	0.04	0.41	22	0.15	0.42
10	0.02	0.34	23	0.11	0.42
11	0.18	0.37	24	0.06	0.44
12	0.22	0.40	25	0.03	0.42
13	0.11	0.37	-	-	-

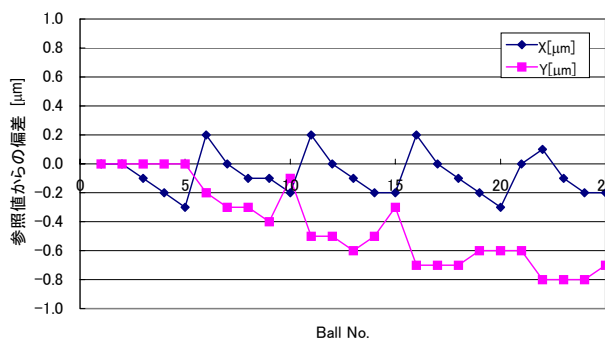


図6 京都府の測定値 (参照値からの偏差)

表4 京都府のEn数

ボール番号	X	Y	ボール番号	X	Y
1	0.00	0.00	14	0.25	0.83
2	0.00	0.00	15	0.20	0.50
3	0.17	0.00	16	0.53	0.88
4	0.25	0.00	17	0.00	0.88
5	0.30	0.00	18	0.17	0.88
6	0.53	0.45	19	0.25	0.75
7	0.00	0.67	20	0.30	0.75
8	0.17	0.67	21	0.00	0.59
9	0.13	0.90	22	0.22	0.79
10	0.20	0.22	23	0.17	0.79
11	0.53	0.83	24	0.25	0.79
12	0.00	0.83	25	0.20	0.69
13	0.17	0.99	-	-	-

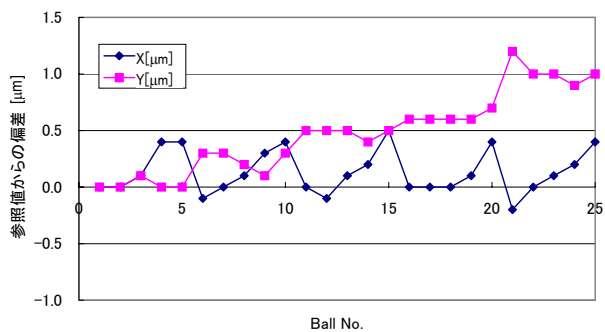


図7 鳥取県 (Zeiss) の測定値 (参照値からの偏差)

表5 鳥取県 (Zeiss) のEn数

ボール番号	X	Y	ボール番号	X	Y
1	0.00	0.00	14	0.12	0.25
2	0.00	0.00	15	0.28	0.31
3	0.06	0.06	16	0.00	0.36
4	0.24	0.00	17	0.00	0.36
5	0.23	0.00	18	0.00	0.36
6	0.06	0.19	19	0.06	0.36
7	0.00	0.19	20	0.23	0.42
8	0.06	0.13	21	0.13	0.68
9	0.18	0.06	22	0.00	0.57
10	0.23	0.19	23	0.06	0.57
11	0.00	0.31	24	0.12	0.51
12	0.06	0.31	25	0.23	0.57
13	0.06	0.31	-	-	-

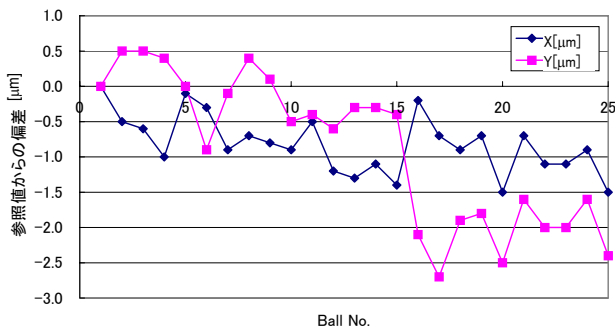


図8 鳥取県 (Mitutoyo) の測定値 (参照値からの偏差)

### 3.2.3 京都府中小企業総合センター

測定結果の参照値に対する偏差を図6に、En数を表4に示す。X軸に関しては極めて良好な結果である。Y軸に関しては長さ依存の誤差が見られる。値そのものは今回の持ち回りの中でもっとも優れているが、En数の絶対値が1に限りなく近いものがあり、不確かさが若干過小見積もりになっている可能性がある。

### 3.2.4 鳥取県産業技術センター (Zeiss)

測定結果の参照値に対する偏差を図7に、En数を表5に示す。X軸に関しては良好な結果である。Y軸に関しては長さ依存の誤差が見られる。Y軸に関しては、他の機関も含めて全て長さ依存の偏差があるが、この結果のみ偏差の傾向が他に比べて正負が逆になっている。両軸とも、En数の絶対値は1以下であり、不確かさが正しく見積もられているといえる。

### 3.2.5 鳥取県産業技術センター (Mitutoyo)

測定結果の参照値に対する偏差を図8に、En数を表6に示す。両軸とも、En数の絶対値は1以下であり、不確かさが正しく見積もられているといえる。偏差そのものは小さくないように見えるが、この測定機がマニュアル測定機であることを考慮すると偏差はむしろ小さいと言わべきで、測定者の熟練と努力が伺い知れる。

### 3.2.6 佐賀県産業技術センター

2.2節に記した通り、データは取り下げられた。

## 3.3 トレーサビリティの確保

第一回と第二回の持ち回りの相違点は、長さのトレーサビリティを確保するための補助ゲージとしてボールステップゲージを使うか、ブロックゲージを使うかの違

表6 鳥取県 (Mitutoyo) のEn数

ボール番号	X	Y	ボール番号	X	Y
1	0.00	0.00	14	0.09	0.02
2	0.04	0.04	15	0.12	0.03
3	0.05	0.04	16	0.02	0.17
4	0.08	0.03	17	0.06	0.22
5	0.01	0.00	18	0.07	0.16
6	0.02	0.07	19	0.06	0.15
7	0.07	0.01	20	0.12	0.21
8	0.06	0.03	21	0.06	0.13
9	0.07	0.01	22	0.09	0.17
10	0.07	0.04	23	0.09	0.17
11	0.04	0.03	24	0.07	0.13
12	0.10	0.05	25	0.12	0.20
13	0.11	0.02	-	-	-

いである。

ボールプレートは、全てのボールを同じブローピング点配置で測定し、ボール中心座標間の距離を計算で求める。ここで、「同じブローピング点配置」ということが重要であり、CMMのブローピング誤差が全てのボールに対して同じように影響する。ボール中心座標を計算する際、中心座標を「引き算」するため、ブローピング誤差の影響は互いに打ち消しあい、結果としてボールプレートの校正値はCMMのブローピング誤差の影響をあまり受けない。ボールステップゲージについても同様である。

それに対してブロックゲージの両端の測定面は互いに反対方向を向いているため、ブローピング方向も対向する向きになり、ブロックゲージの長さを測定した際にはCMMのブローピング誤差はキャンセルされない。

一方、CMMには測定長さに依存しないブローピング誤差の他に、測定長さに依存する誤差(リニア誤差と呼ぶ)がある。ボールプレートの測定結果に長さ標準をトランスファーするためには、CMMのリニア誤差を補正する必要がある。ところがブロックゲージの測定結果にはリニア誤差に加えてブローピング誤差が含まれており、そのままではボールプレート校正における補助ゲージとして使用できない。

そこで文献1)にあるように、複数のブロックゲージを測定して、その結果を一次式で近似すれば、その傾きをリニア誤差、切片をブローピング誤差と考えられる。そこで本持ち回りでは100, 300, 500 mmの3本のブロックゲージを校正値付きで参加者に提供した。

ブロックゲージを用いたりニア誤差の補正は、ボールステップゲージを使った場合に比べて難しく、参加者には第一回目よりも高い技能が要求されたが、結果は満足できるものであった。

#### 4. まとめ

全ての測定結果のEn数の絶対値は1以下であり, 結果は満足できるものであった. これは参加者の測定技能と解析能力が十分に高いことを示唆している. 参加者には第一回の持ち回りに比べて, ブロックゲージを補助ゲージとして使用することによる余分な労力が強いられただろうが, その分CMMについての理解がより深まった. 最後に, ボールプレートを提供いただいた財団法人機

械振興協会技術研究所に改めて感謝するとともに, 本持ち回りにご協力いただいた計測分科会及び形状計測研究会の関係者・会員にお礼を申し上げます.

#### 参考文献

- 1) 大澤尊光, 高辻利之, 黒澤富蔵, 梅津健太: 座標測定機用二次元幾何ゲージ校正に関する技術情報, 産総研計量標準モノグラフ第8号(2005).