

現場環境における三次元測定機の高度化に関する研究 (第4報)*

一回転式プロービングシステムの評価—

大 西 徹** 中 西 正 一*** 高 増 潔†

Study on Improvement Methods of CMM (Coordinate Measuring Machine) in Workshop Environment
— Evaluation of Articulating Probing System—

Tohru OHNISHI, Shoichi NAKANISHI and Kiyoshi TAKAMASU

In recent years, the CMM (Coordinate Measuring Machine) quickly has been spreading in the manufacturing industry. With this phenomenon, the environmental condition and installation site of CMMs has been changed from the temperature control room to the workshop environment and the production line without air conditioning. However, even in severe environment the demand to high accuracy measurements by CMM has been enhancing still more. Therefore, the methods to evaluate and realize the high accuracy measurements by CMM in workshop environment have been investigated. In this paper, we evaluated the influence of measurement error of indication within form, size and location errors by articulating probing system. Furthermore, we experimentally tested the influence of measurement error of indication within form, size and location errors, and proposed the method to evaluate location errors with the value of the squareness error of the position of the reference sphere and the position of measurement.

Key words: CMM, coordinate measuring machine, workshop environment, articulating probing system

1. 緒 言

三次元測定機（座標測定機，Coordinate Measuring Machine, 以下 CMM）は，機械部品の三次元形状，寸法，位置などを測定するために，広く機械産業分野で利用されている測定機であり，CMM の高度化は，品質保証のうえで必要不可欠な要求である．生産システムが，グローバル化していく中で，部品を国際的に発注，受注することが生産の効率化において重要となり，CMM による測定は，測定室や恒温室で使われている状況から広く工場や生産現場（以下，現場環境）で使われるようになってきている．一方，このようなシステムでは，部品の設計，加工，組立工程を通して，品質保証を効率的に行い測定の不確かさを評価することが，コスト面からも重要な技術となっている¹⁾．

CMM を利用した測定における不確かさの評価については，多くの研究があるが CMM の精度評価，幾何学誤差の補正，測定戦略の影響などが大部分で，測定環境の影響を考慮したものは少ない．しかし，現場環境で CMM を使う場合には，温度，振動，ゴミ，供給空気などの環境の影響や校正方法，経年変化などの管理方法が問題となる．本研究では，現場環境で CMM を使う場合に問題となる要因を解析し，問題解決のための提案を行うことにより，現場環境における三次元測定の高度化を行うことを目標とする^{2)~4)}．

第1報²⁾では温度変化による不確かさについて検討し，温度ドリフトを補正する方法を提案した．第2報³⁾では CMM の 21 個の幾何学誤差のうち，寄与率が高く，現場環境で校正可能と考えられる直角誤差について検討し，簡易で短時間に現場環境で CMM の直角誤差を評価するとともに，補正する方法を提案した．第3報⁴⁾では現場環境に置かれた CMM について，低熱膨張製のブロックゲージと普通（鋼製）のブロックゲージとの目盛誤差を比較することによりスケールとワークの温度計を補正する手法を提案した．

三次元的に複雑な形状の製品を測定するためには，複数のスタイラス，または，スタイラスの姿勢を変化させることが必要不可欠である⁵⁾．JIS 規格には，固定マルチスタイラスプロービング誤差と回転式プロービングシステム誤差の指示誤差として，形状誤差，サイズ誤差，位置誤差が示されている．回転式プロービングシステムの評価原理は，プロービングシステムを異なる 5 つの姿勢を用いて，検査用標準球の形状，サイズ，位置を測定する．5 つのそれぞれの姿勢において，検査用標準球上の 25 点の測定を行う．したがって，5 つの位置に対して全部で 125 点の測定を行う．5 つすべての当てはめ球について，中心座標 (X,Y,Z) の範囲を計算する．これらの範囲の最大が回転式プロービングシステムの位置誤差 AL である．さらに，125 点すべてを使って最小二乗球に当てはめ，形状およびサイズの指示誤差を調べる．この解析によって回転式プロービングシステムの形状誤差 AF およびサイズ誤差 AS を得ることができる⁶⁾．回転式プロービングシステムの異なる姿勢を用いて行う測定もマルチスタイラス測定という．

回転式プロービングシステムでは，異なる姿勢の各プローブを校正するための校正球の位置と測定位置で CMM の直角

* 原稿受付 平成 24 年 7 月 20 日

** 正 会 員 一般財団法人 機械振興協会 技術研究所（東京都東久留米市八幡町 1-1-12）

*** 正 会 員 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター（東京都江東区青梅 2-4-10）

† 正 会 員 東京大学工学系研究科（東京都文京区本郷 7-3-1）

誤差に差があると、それぞれのスタイラスの相対的な位置座標が変化し、位置誤差が大きくなる。

現場環境に置かれた CMM のプロービングシステムにおける不確かさ要因として、回転式プロービングシステムによる測定の手指示誤差である、形状誤差、サイズ誤差、位置誤差があり、これらを評価することは重要である。

本報では、現場環境に置かれた CMM について、回転式プロービングシステムによる測定の手指示誤差である形状誤差、サイズ誤差、位置誤差の影響に関して測定位置を変えて実験的に評価した。また、CMM の測定位置の違いによる直角誤差を評価するとともに、位置誤差について校正球の位置と測定位置の関係を検討し、校正球の位置と測定位置の直角誤差の値を用いて位置誤差を評価する手法を提案した。

2. 指示誤差の評価実験

2.1 指示誤差の評価実験の条件設定

表 1 に回転式プロービングシステムの仕様を示す。この回転式プロービングシステムは、表 1 に示す範囲で姿勢を変えることができ、測定が難しいワークにもアクセスしやすくなる。

図 1 に示す回転式プロービングシステムを用いて、5 つの姿勢 (P_1 : CMM の-Z 軸方向, P_2 : -X 軸方向, P_3 : -Y 軸方向, P_4 : X 軸方向, P_5 : Y 軸方向) で各プローブの校正を行ない、それぞれのスタイラスの先端球の球径および中心座標 (それぞれのスタイラスの相対的な位置座標) のパラメータの設定を行った。5 つの姿勢 ($P_1 \sim P_5$) で各プローブに対して、測定球 (ミットヨ製 $\phi 20\text{mm}$, 材質: セラミック, 真円度 $\leq 0.13\mu\text{m}$) を JIS B7440-5 に従って、図 2 に示す 25 点の測定を行い、位置、形状、サイズを評価することで、指示誤差である、位置誤差 AL , 形状誤差 AF , サイズ誤差 AS を求めた^{8)~10)}。

図 3 に示すように回転式プロービングシステムの各プローブを校正するための、校正球 (東京精密製 $\phi 25.4\text{mm}$, 材質: セラミック, 真円度 $\leq 0.13\mu\text{m}$) を測定定盤上の 2 つの位置 (L_{LF} , L_{CC} , 定盤からの高さ 150mm) に設置し、それぞれの校正球の位置に対して、測定球を 3 つ配置 (L_1 , L_2 , L_3) した。なお、測定球の高さは校正球の高さに対して、100mm 高い位置に設置した。

JIS B7440-5 に従って、5 つの姿勢 ($P_1 \sim P_5$) の各プローブと全プローブに対する X, Y, Z の中心位置、形状、サイズ (直径) を求めた。

2.2 指示誤差の評価結果

表 2 に 2 つの校正球の位置とそれぞれの測定球の位置における位置誤差、形状誤差、サイズ誤差の比較を示す。この結果から、校正球と測定球との設置位置に関係なく、サイズ誤差は小さく、最大で $0.6\mu\text{m}$ となった。このことから、校正球によって、回転式プロービングシステムのパラメータ設定を行うときの、スタイラス先端球の球径測定が影響し、誤差は小さいことが確認できた。これに対して位置誤差と形状誤差は、校正球と測定球との位置関係によって変化していることが確認できる。また、校正球を L_{CC} に設置したときに、 L_{LF} に設置したときに比べて、測定位置に関係なく位置誤差と形状誤差が小さくなることが分かった。これは、校正球を L_{CC} に設置したときのほうが、校正球と 4 つの測定球との位置関係が近くなるためだと考えられる。

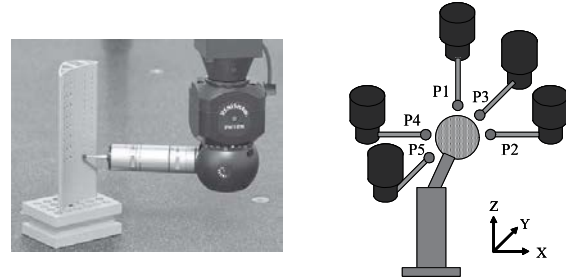


Fig. 1 Relationship between reference sphere and 5 orthogonal positions on articulating probing system

Table 1 Specification of articulating probing system⁷⁾

Type	PH10
Total angular movement	Horizontal direction $\pm 180^\circ$ in 7.5° steps
	Vertical direction 0° to 105° in 7.5° steps
Cycle time	7.5° step 2.5 seconds
	Maximum 90° move 3.5 seconds
Repeatability of position	$0.4\mu\text{m}$ (2σ)
Manufacturer	Renishaw

Fig. 2 Aiming point of probing

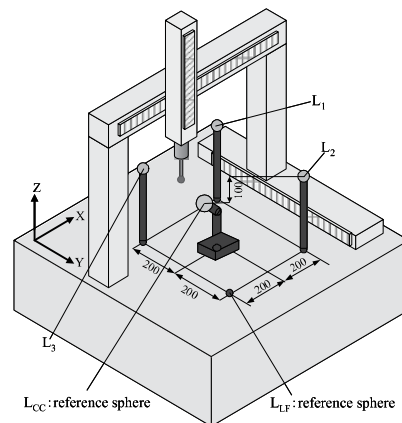


Fig. 3 Positional relationship of reference sphere and test sphere

Table 2 Probing error of positional relationship between reference sphere and test sphere; unit is μm

	L_{LF} : front of the left			L_{CC} : center		
	AL	AF	AS	AL	AF	AS
L_1	3.9	6.2	0.6	2.1	4.1	-0.5
L_2	3.6	5.3	0.6	2.4	3.7	-0.4
L_3	3.5	5.0	0.4	3.2	4.3	-0.5

3. 位置誤差と測定位置の直角誤差との関係

3.1 位置誤差における校正球の位置と測定位置の関係

単一のスタイラスで製品を測定する場合では、位置誤差は無く、形状誤差が位置誤差の影響を受けることはない。これに対して、回転式プロービングシステムにおける形状誤差については、形状誤差だけでなく位置誤差の影響も受けることから、回転式プロービングシステムの位置誤差について検討することは重要である。また、位置誤差は CMM の測定位置

の違いによる直角誤差の寄与率が高いと考えられるため、校正球の位置と測定位置の直角誤差の関係を検討する。

図3の校正球の位置が L_{LF} で測定球の位置が L_1 のときの位置誤差について評価を行う。ここで、校正球の位置 L_{LF} の座標系 (X, Y, Z) に対して測定球の位置 L_1 の座標系 (x, y, z) 、 XY 、 YZ 、 XZ 面の直角誤差をそれぞれ t_{xy} 、 t_{yz} 、 t_{xz} 、とすると、図4(a)に示すように、P2とP4の対向する2組のプロープを用いて測定したときの、 XY 面の位置誤差は、校正球の位置の XY 面の直角誤差 t_{xy-C} と測定球の位置の XY 面の直角誤差 t_{xy-L} の差が、P2とP4プロープで測定した球の Y 方向の位置誤差（中心座標のズレ量）となる。図4および表3では、校正球の位置の XY 面の直角誤差 t_{xy-C} と測定球の位置の XY 面の直角誤差 t_{xy-L} の差を t_{xy-d} と表現する。ここで、プロープの回転中心からの長さを l とすると、式(1)のように表すことができる。同様に、図4(b)に示すように、P2とP4の対向する2組のプロープを用いて測定したときの、 XZ 面の位置誤差は、校正球の位置の直角誤差 t_{xz-C} と測定球の位置の直角誤差 t_{xz-L} の差が、P2とP4プロープで測定した球の Z 方向の位置誤差となる（式(2)）。また、図4(c)に示すように、P3とP5の対向する2組のプロープを用いて測定したときの、 XY 面の位置誤差を式(3)、図4(d)に示すように、P3とP5の対向する2組のプロープを用いて測定したときの、 YZ 面の位置誤差を式(4)に示す。

$$\begin{aligned} AL_{XY-Y} &= l \tan(t_{xy-C} - t_{xy-L}) \\ &= l \tan t_{xy-d} = y_{P2-4} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} AL_{XZ} &= l \tan(t_{xz-C} - t_{xz-L}) \\ &= l \tan t_{xz-d} = z_{P2-4} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} AL_{XY-X} &= l \tan(t_{xy-C} - t_{xy-L}) \\ &= l \tan t_{xy-d} = x_{P3-5} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} AL_{YZ} &= l \tan(t_{yz-C} - t_{yz-L}) \\ &= l \tan t_{yz-d} = z_{P3-5} \end{aligned} \quad (4)$$

3.2 位置誤差の実測値とシミュレーション値との比較

校正球と測定球の位置の直角誤差の差から位置誤差を評価するため、第2報³⁾において用いたMCG（マシンチェックゲージ）の101mmのアームを使用して、校正球の位置が L_{LF} と測定球の位置が L_1 のときの直角誤差の評価を行い、式(1)から式(4)に基づいて、位置誤差を評価した結果および校正球の位置が L_{LF} で測定球の位置が L_1 のときの位置誤差を実測定した結果を表3に示す。この結果から、校正球と測定球の位置の直角誤差の差からシミュレーションした値とP2とP4の対向する2組のプロープ（回転中心からの長さ100mm、スタイラス長さ40mm、先端球4mm）およびP3とP5の対向する2組のプロープを用いて位置誤差を実測定した結果とは、1 μ m以内で一致した。このことから、校正球と測定球の位置の直角誤差の差から位置誤差を評価する手法の妥当性が確認できた。

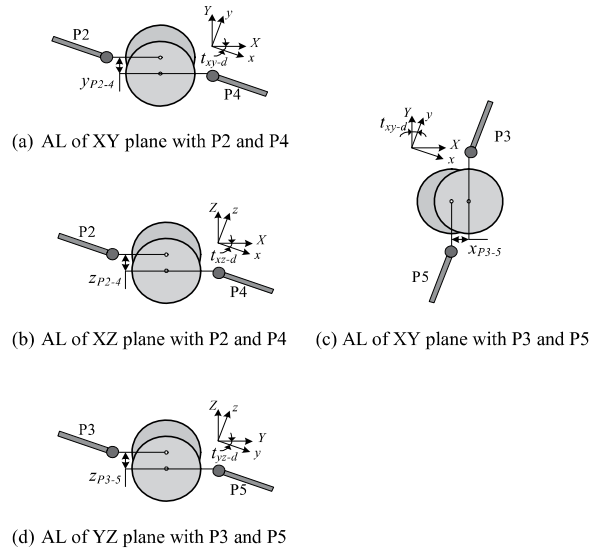


Fig. 4 Location error (AL) of XY, XZ and YZ plane with P2 and P4 or P3 and P5 probe

Table 3 Comparison between simulation of location error and result of location error measurement

Squareness error sec		Difference of squareness error sec		Simulation of location error μ m	Location error measurement μ m	
Position of reference sphere	Position of test sphere					
t_{xy-C}	0.4	t_{xy-L}	3.8	t_{xy-d}	3.4	1.6
t_{yz-C}	-0.1	t_{yz-L}	-5.1	t_{yz-d}	5.0	2.4
t_{xz-C}	2.7	t_{xz-L}	1.9	t_{xz-d}	0.8	0.4

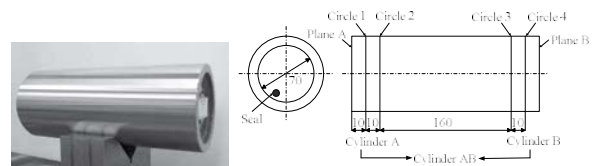


Fig. 5 Measuring elements of cylinder gauge⁸⁾

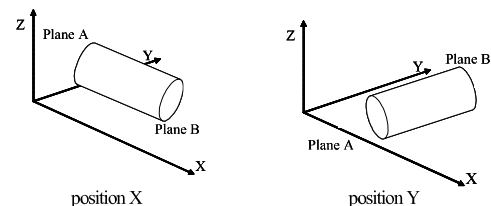


Fig. 6 Setting of cylinder gauge on X and Y position⁸⁾

4. 円筒ゲージ測定における位置誤差の評価

4.1 円筒ゲージ測定の条件設定

円筒ゲージを用いて校正球と測定位置の直角誤差の差から位置誤差を評価する手法の妥当性の検討を行った。図5に銅製の円筒ゲージ（熱膨張係数： $11.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）を示す。

この円筒ゲージの端面（平面A）と4箇所の断面の円（円1、円2、円3、円4）の測定要素を図6に示すポジションXと

ポジション Y の 2 つのポジションで、図 7 に示す回転式プロービングシステムの対向する 2 組のプローブ（回転中心からの長さ 100mm、スタイラス長さ 40mm、先端球 4mm）を用いて測定した。ポジション Y の配置はポジション X での円筒ゲージの中央部分を基点として 90 度の回転を行った。この基点は、CMM の測定領域のほぼ中央とした。測定点の配置は、図 8 に示すように、端面および円測定ともに、2 組のプローブを用いて 9 点ずつの 18 点の等間隔測定を行い、繰り返し 5 回の測定を行った。測定要素は、図 5 における平面 A、円 1、円 2、円 3、円 4 に加え、円 1 と円 2 から円筒 A、円 3、円 4 から円筒 B を作成し、円筒 A と円筒 B から円筒 AB を作成した。これらの測定要素から平面度、真円度、円筒度の幾何偏差を算出した⁸⁾。

校正球の位置は、図 9 に示す 4 箇所（ L_{RF} 、 L_{CF} 、 L_{LF} 、 L_{CC} ）で、回転式プロービングシステムを用いて、異なる 5 つの姿勢（ $P_1 \sim P_5$ ）で各プローブの校正を行ない、パラメータを設定した。ここで、校正球の位置における t_{xy} 、 t_{yz} 、 t_{xz} の直角誤差は、校正球の位置を示す添え字を付加する。

4.2 円筒ゲージ測定の評価結果

図 10 に 4 つの校正球の位置で円筒ゲージの端面と円の測定要素をポジション X と Y の 2 つのポジションで、回転式プロービングシステムの対向する 2 組のプローブを用いて測定し、平面度、真円度、円筒度の幾何偏差を算出した結果を示す。これらの結果から、ポジション X に比べてポジション Y は真円度と円筒度の値が小さくなっている。これは、ポジション X の場合、P3 と P5 の対向する 2 組のプローブを用いた円筒ゲージの測定であり、校正球の位置と測定位置の t_{yz} の直角誤差の差が大きいため位置誤差も大きくなったと考えられる。これに対して、ポジション Y の場合、P2 と P4 の対向する 2 組のプローブを用いた円筒ゲージの測定であり、校正球の位置と測定位置の t_{xz} の直角誤差の差が小さいため位置誤差も小さくなったと考えられる。これらのことから、測定位置による直角誤差の差は、 t_{yz} の直角誤差に比べて t_{xz} の直角誤差のほうが小さいと考えられる。また、ポジション X の場合は、校正球と測定位置が近いほうが真円度と円筒度の値が小さくなっていることが確認できる¹¹⁾。

4.3 MCG を用いた位置誤差の評価

3 章において示したように、校正球と測定球の位置の直角誤差の差から位置誤差を評価するため、図 11 に示す 9 箇所の位置で MCG の 101mm のアームを用いて直角誤差の評価を行った。MCG の支柱（ L_M ）は位置によって左右（L, R）、前後（F, B）、中間（C）を示す添え字を付加する。また、MCG の支柱の位置における t_{xy} 、 t_{yz} 、 t_{xz} の直角誤差は、MCG の支柱の位置を示す添え字を付加する。9 箇所の位置で直角誤差を評価した結果を表 4 に示す。この結果から、測定位置によって直角誤差の変化は最大 t_{yz} で 6 sec 程度あることが確認できた。

測定位置による直角誤差の変化は、位置誤差となり、図 12(a) に示すように端面の測定においては、ポジション X、Y とともに、校正球の位置と測定位置の t_{xy} の直角誤差の差が位置誤差となる。また、円の測定では、ポジション X において、図 12(b) に示すように、校正球の位置と測定位置の t_{yz} の直角誤差の差が位置誤差となり、ポジション Y において、図 12(c) に示すように、校正球の位置と測定位置の t_{xz} の直角誤差の差が位置誤差となる。

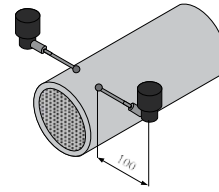


Fig. 7 Relationship between cylinder gauge and articulating probing system

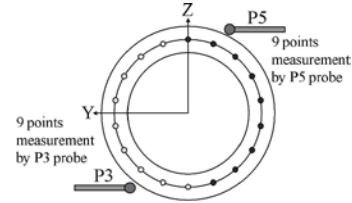


Fig. 8 Arrangement of measuring point on plane measurement

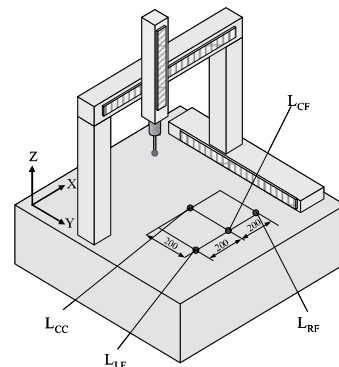
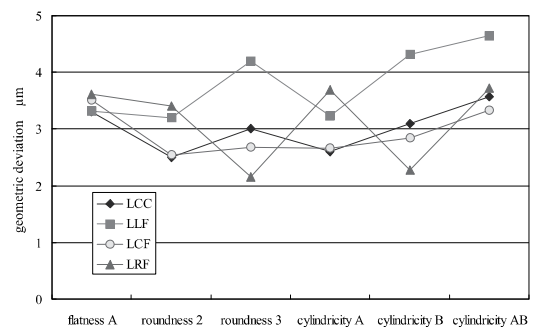
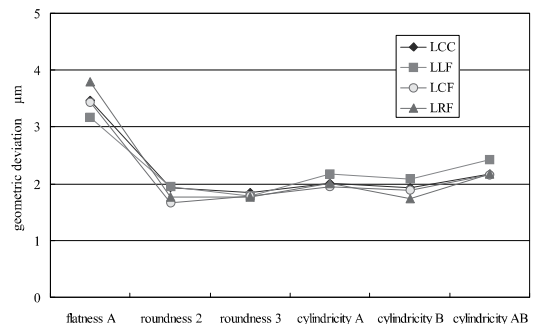


Fig. 9 Arrangement of reference sphere



(a) Geometrical deviation of cylinder gauge on position X



(b) Geometrical deviation of cylinder gauge on position Y

Fig. 10 Geometrical deviation of cylinder gauge on position X and Y

ポジション X および Y における円筒ゲージの測定要素（平面 A，円 1，円 2，円 3，円 4）ごとの測定位置の直角誤差を MCG の支柱の位置が L_{MRC} ， L_{MCC} ， L_{MLC} および L_{MCF} ， L_{MCC} ， L_{MCB} の位置の直角誤差と距離の関係から求めた。ここで，平面 A の測定位置を L_{PA} ，円 1 から円 4 までの測定位置をそれぞれ L_{C1} ， L_{C2} ， L_{C3} ， L_{C4} とする。また，ポジション X と Y（X，Y）を示す添え字を付加する。測定位置における直角誤差は，測定位置とポジションを示す添え字を付加する。

校正球の位置が L_{RF} でポジション X における円筒ゲージの測定要素が平面 A（ L_{PA-X} ）のときは，P3 と P5 の対向する 2 組のプロープを用いた測定であり，校正球の位置と測定位置の t_{xy} の直角誤差の差が位置誤差となる。

式（1）から式（4）に基づいて，校正球の位置が L_{RF} でポジション X における円筒ゲージの測定要素が平面 A（ L_{PA-X} ）のときの位置誤差を式（5）に示す。また，校正球の位置が L_{RF} でポジション X における円筒ゲージの測定要素が円 1（ L_{C1-X} ）のときの位置誤差を式（6），ポジション Y における円筒ゲージの測定要素が円 1（ L_{C1-Y} ）のときの位置誤差を式（7）に示す。

$$AL_{XY-X-PA} = l \tan(t_{xy-LRF} - t_{xy-LPA-X}) \quad (5)$$

$$AL_{YZ-C1} = l \tan(t_{yz-LRF} - t_{yz-LC1-X}) \quad (6)$$

$$AL_{XZ-C1} = l \tan(t_{xz-LRF} - t_{xz-LC1-Y}) \quad (7)$$

4.4 幾何偏差の実測値とシミュレーション値との比較

各ポジションの校正球の位置における平面度を評価している端面の測定位置の位置誤差を式（5）に基づいて求めた。また，真円度を評価している円の測定位置の位置誤差を式（6）および式（7）に基づいて求めた結果と図 10 に示す平面度，真円度，円筒度の幾何偏差の実測値の中の最小値を表 5 に示す。ここで，円筒度 A と B については，評価している円 1，円 2 と円 3，円 4，円筒度 AB については，評価している円 1 から円 4 の測定位置の位置誤差の最大値を円筒度の評価したときの位置誤差とする。この結果から，同じ評価項目でも，円筒ゲージの設置位置および校正球の位置によって位置誤差が変化していることが分かった。

図 10 に示す各ポジションの校正球の位置における平面度，真円度，円筒度の幾何偏差の実測値が幾何偏差だけでなく，位置誤差の影響も受けているとすると，幾何偏差の実測値の中で位置誤差の影響が一番小さい表 5 に示す幾何偏差の最小値と位置誤差を評価した結果を加えることで幾何偏差をシミュレーションすることができる。図 13 にシミュレーションした結果を示す。図 10 に示す幾何偏差の実測値と図 13 に示すシミュレーション値とは， $1\mu\text{m}$ 以内で一致した。このことから，MCG によって評価した校正球の位置と測定位置の直角誤差の値を用いて，位置誤差を評価する手法の妥当性および CMM の測定位置による直角誤差の違いを MCG によって評価し，その影響を確認したうえで，校正球の位置と測定位置を最適な位置に設置することにより，位置誤差を小さくできることが分かった。

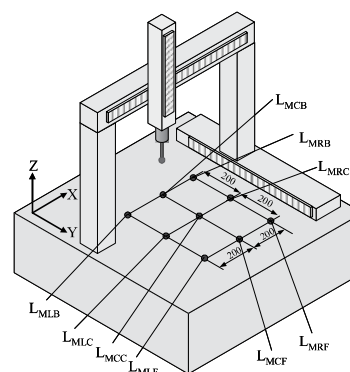
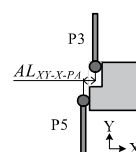


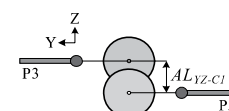
Fig.11 Arrangement of pillar of MCG

Table 4 Result of squareness error on different measuring positions; unit is sec

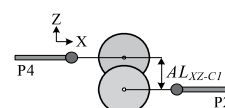
		t_{xy}	t_{yz}	t_{xz}
Left	L_{MLF}	2.3	0.4	2.3
	L_{MLC}	2.5	-0.8	2.5
	L_{MLB}	2.1	0.5	2.2
Center	L_{MCF}	3.5	-3.7	1.6
	L_{MCC}	1.3	-2.8	1.6
	L_{MCB}	3.0	-2.8	2.0
Right	L_{MRF}	3.7	-5.6	2.2
	L_{MRC}	1.6	-4.8	2.2
	L_{MRB}	3.8	-5.1	1.9



(a) AL of Plane A measurement



(b) AL of circle 1 measurement on position X



(c) AL of circle 1 measurement on position Y

Fig. 12 Location error (AL) of plane and circle measurement on position X and Y

Table 5 Evaluation of location error using squareness error of MCG and minimum value of geometric deviation measurement ; unit is μm

		L_{LF}	L_{CF}	L_{RF}	L_{CC}	Mini value
Position X (X)	Flatness A	0.21	0.77	0.86	0.29	-
	Roundness 2	1.16	0.83	1.75	0.38	-
	Roundness 3	1.92	0.07	0.99	0.38	-
	Cylindricity A	1.16	0.87	1.80	0.43	-
	Cylindricity B	1.96	0.07	0.99	0.43	-
	Cylindricity AB	1.96	0.87	1.80	0.43	-
Position Y (Y)	Flatness A	0.03	0.53	0.62	0.53	3.17
	Roundness 2	0.33	0.01	0.29	0.00	1.67
	Roundness 3	0.26	0.07	0.21	0.08	1.76
	Cylindricity A	0.33	0.01	0.29	0.01	1.96
	Cylindricity B	0.26	0.08	0.21	0.09	1.89
	Cylindricity AB	0.33	0.08	0.29	0.09	2.15

5. 結 言

回転式プロービングシステムによる測定の指示誤差である形状誤差、サイズ誤差、位置誤差の評価を行った。サイズ誤差は校正球の位置と測定位置に関係なく小さく、校正球によって回転式プロービングシステムのパラメータ設定を行うときの、スタイラス先端球の球径測定が影響することを指摘した。位置誤差は校正球と測定位置の距離が重要であり、それぞれの距離が離れると直角誤差の差が大きくなるため大きくなる。また、形状誤差もそれにともなって大きくなることを指摘した。さらに、CMMの直角誤差を利用して、校正球の位置と測定位置の直角誤差の値を用いて位置誤差を評価する手法を提案した。

得られた結論は以下のとおりである。

- (1) CMMの測定位置によって、直角誤差が変化していることを指摘した。
- (2) MCGによって評価した校正球の位置と測定位置の直角誤差の値を用いて、位置誤差の評価が可能であることを確認した。
- (3) 校正球の位置と測定位置を最適な位置に設置することにより、位置誤差を小さくできることを確認した。

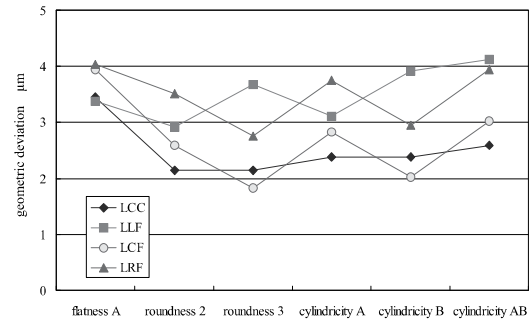
今後は、現場環境の問題点である振動、ゴミ、空気などの環境の影響や校正方法、温度計の設置位置などの管理方法について検討し、現場環境のCMMの高度化を目指す。

謝 辞

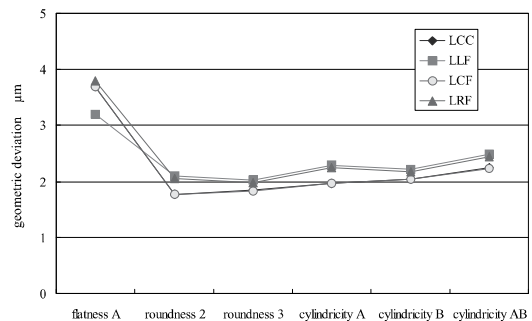
この研究は、競輪の補助金を受けて行われたことを付記して謝意を表します。また、産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会形状計測研究会の共同研究として行った円筒ゲージのISO15530-2, 6 アセスメント測定では、本報を実施するにあたり、多くの部分を参考にさせていただきました。深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 高増潔：バーチャル三次元測定機計測，計測と制御，**40**, 11 (2001) 801.
- 2) 大西徹，高瀬省徳，高増潔：現場環境における三次元測定機の高度化（第1報）－温度ドリフトの評価および補正－，精密工学会誌，**73**, 2 (2007) 270.
- 3) 大西徹，高瀬省徳，高増潔：現場環境における三次元測定機の高度化（第2報）－直角誤差補正－，精密工学会誌 **73**, 7 (2007) 818.
- 4) 大西徹，高瀬省徳，高増潔：現場環境における三次元測定機の高度化（第3報）－低熱膨張ブロックゲージを用いた温度補正の評価－，精密工学会誌 **76**, 5 (2010) 541.
- 5) 高増潔：光，非光による形状計測 精密測定の課題，2006年度精密工



(a) Simulation result of geometrical error of cylinder gauge on position X



(b) Simulation result of geometrical error of cylinder gauge on position Y

Fig. 13 Simulation result of geometrical error of cylinder gauge on position X and Y

- 会秋季大会シンポジウム資料，39.
- 6) JIS B 7440-5 : 2003 (ISO 10360-5 : 2001 と同等) 「製品の幾何特性仕様 (GPS) ー座標測定機 (CMM) の受入検査及び定期検査ー第5部：マニピュレータースタイル測定」.
- 7) RENISHAW Catalog : Probing systems for co-ordinate measuring machines.
- 8) 形状計測研究会：ISO 15530-2, -6 アセスメント測定 Protocol (Final)
- 9) 佐藤理，大澤尊光，高辻利之：ISO 15530-2, 6 アセスメント持ち回り測定結果報告，第34回計測分科会資料，156.
- 10) 荻野健，阿部誠：ISO 15530-2, 6による校正の不確かさ評価方法についての考察，第34回計測分科会資料，142.
- 11) J.-P. Kruth, P. Vanherck, C. Van den Bergh, B. Schacht, Interaction between workpiece and CMM during geometrical quality control in non-standard thermal conditions, Precision Engineering 26, (2002), 93.