

図15-a ステップゲージの測定の不確かさ (前)

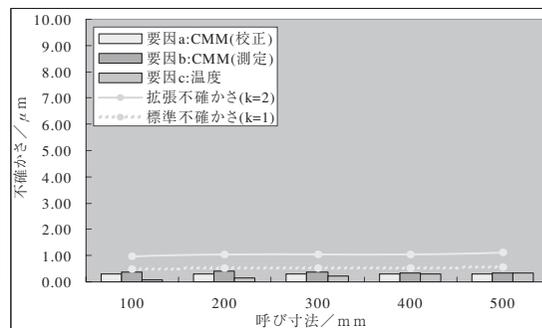


図15-b ステップゲージの測定の不確かさ (後)

5. 結果

5.1 三次元測定機 (CMM) による測定の不確かさの算出

測定の不確かさの要因として、① CMM の不確かさ (校正値の無補正、経年変化) ② CMM の指示値 (分解能、繰り返し精度)、③ 温度 (熱膨張係数、スケールの温度、測定物の温度) が挙げられる。また、比較測定による測定の不確かさの算出手順が明確になった。

5.2 三次元測定機 (CMM) の精度改善

比較測定、温度補正、防風処置により、平面間距離 (100mm ~ 500mm) の測定の不確かさ (K=2) は、3.9 ~ 8.5 μ m から 1.0 ~ 1.1 μ m に改善され、より精度の高い測定への適用が可能となった。

6. まとめ

品質保証上、あらゆる測定器に対してトレーサビリティの確保が要求されるようになってきている。トレーサビリティの確保には不確かさの見積もりは必須であり、一般の計量器の校正における不確かさのみならず、一般の測定機を用いた製品の測定における不確かさまで要求されることが予測される。本報において、三次元測定機の不確かさが見積もられ、製品測定の信頼性が確保された。

参考文献

- 1) 計測標準高度化に関する研究：(財) 機械振興協会 技術研究所、平成 16 年 3 月
- 2) 不確かさ見積もりに関するガイド：(独) 製品評価技術基盤機構 認定センター 平成 17 年 7 月)

研究開発事業部
装置開発部
課長

秋山 明

TEL. 045-759-2121
FAX. 045-759-2155

研究開発事業部
装置開発部

田嶋 正紀

TEL. 045-759-2121
FAX. 045-759-2155

株式会社 IHI
技術開発本部
生産技術センター 生産技術開発部

井本 治孝

TEL. 045-759-2200
FAX. 045-759-2201

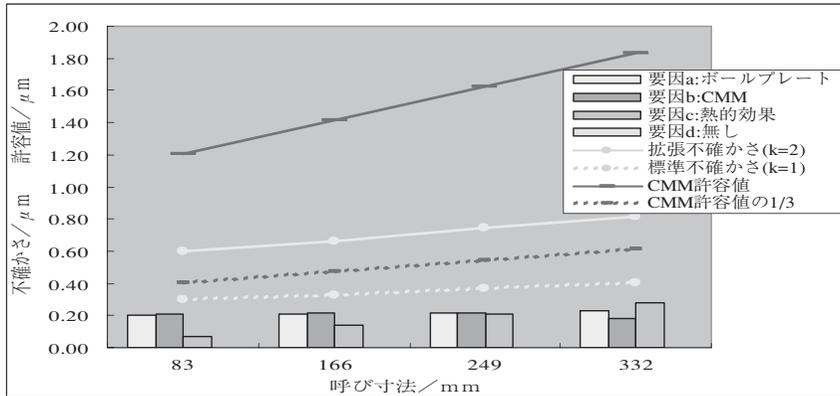


図13 ボールプレートによる校正の不確かさ（寸法指示誤差）

トの温度差は± 1.0℃から± 0.5℃以内に縮小した。図 14 にボールプレートによる校正（寸法指示誤差）の不確かさを示す。温度補正を行わなくても、防風処置を行うことにより不確かさは 2.3μm (k=1) から 1.4μm (k=1) に縮小した。

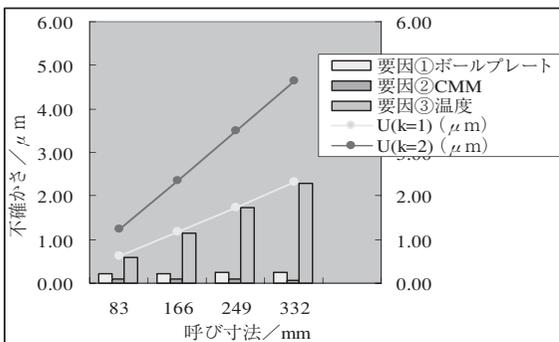
4.2 系統的な不確かさの要因への対策

比較測定、温度補正、防風処置による結果に基づき、ステップゲージの測定の不確かさの低減効果を見積もった。図 15 - a にステップゲージの測定の不確かさ（低減前）、図 15 - b にステップゲージの測定の不確かさ（低減後の見積もり）

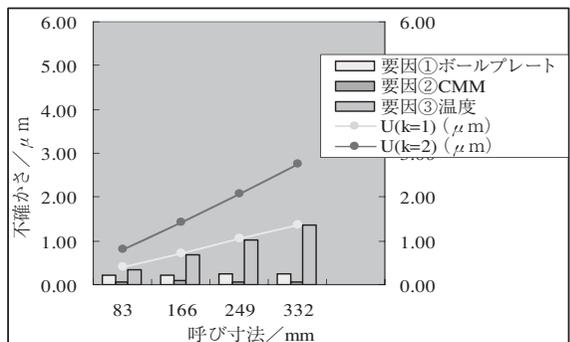
を示す。ステップゲージの測定の不確かさ (k=2) は、3.9μm ~ 8.5μm から 1.0μm ~ 1.1μm に低減すると見積もられた。



写真 5 測定状況



(a) 防風無し



(b) 防風有り

図14 ボールプレートによる校正（寸法指示誤差）の不確かさ（温度補正無しの場合）

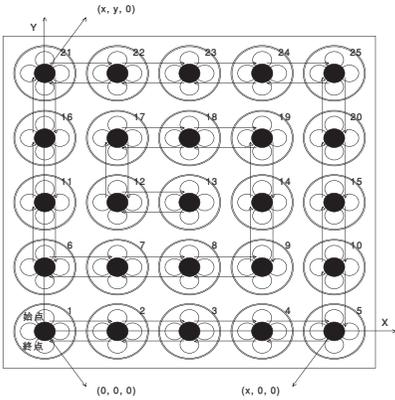


図8 ボールプレートの座標系

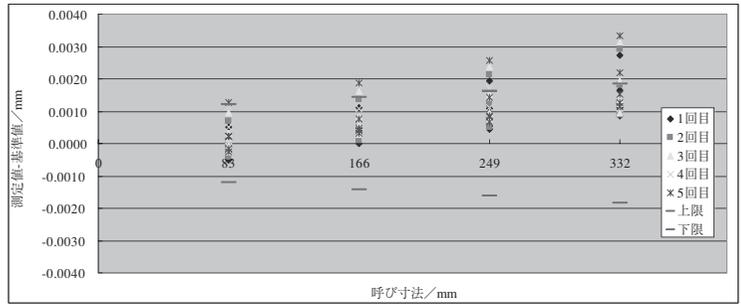


図9 ボールプレートの寸法指示誤差（一次元）

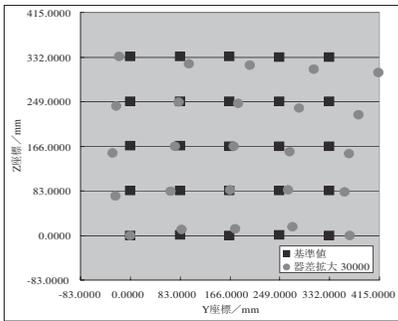


図10 寸法指示誤差（二次元）

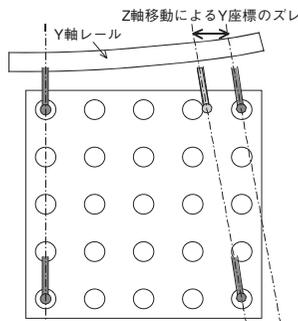


図11 Y軸真直度（予測）

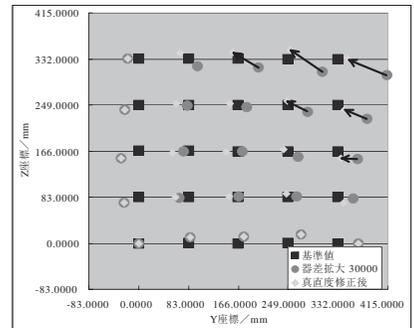


図12 真直度修正の誤差予測

③ボールプレートの寸法の経年変化

b. 三次元測定機の指示値

①読み取りの分解能

②繰り返し性/ランダム効果

c. 熱的效果

①スケールとボールプレートの熱膨張係数

②スケールとボールプレートの温度差

③スケールの温度の20℃からの偏差値

ボールプレートによる校正（寸法指示誤差）の不確かさを図13に示す。校正の不確かさは許容値の1/3以下であることが一般的であるが、三次元測定機の許容値 $((1.0+L/400) \mu\text{m})$ 、Lは測定長(mm)の1/3 $(0.4 \sim 0.6 \mu\text{m})$ に対して不確かさ $(k=2)$

は $0.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ と、若干大きな値を示した。不確かさの要因毎に評価してもこれ以上の低減は困難であり、使用した三次元測定機での校正の不確かさの限界と考えられる。尚、 $k=1$ の不確かさであれば許容値の1/3は満足できる。

4. 三次元測定機の精度改善

4.1 偶然的な不確かさの要因への対策

これまでの校正結果と不確かさの分析から不確かさの要因のうち測定物の温度変化の影響が大きいことが判明したため、防風処置の効果を確認した。

写真5にボールプレートの測定状況を示す。測定中の三次元測定機のスケールとボールプレー

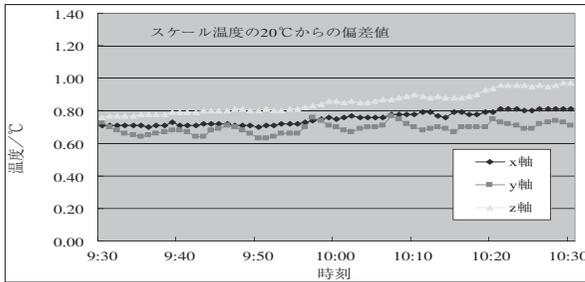


図5 スケール温度の 20℃からの偏差値

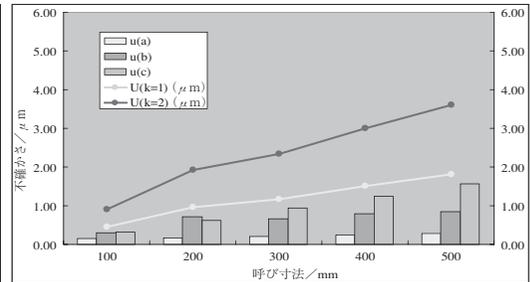


図6 校正の不確かさ(寸法指示誤差)補正後

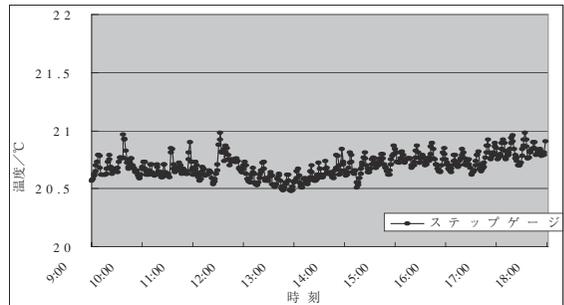
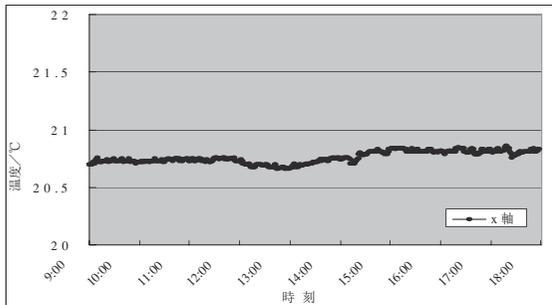


図7 校正中のX軸スケールとステップゲージの温度差

えられるため、空調の風からステップゲージを可能な限り隔離することが不確かさを低減する手段として有効と考えられる。今回の校正においては、スケールとステップゲージの温度差は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ であったが仮に $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ にすることができれば校正の不確かさは $1.8\mu\text{m}$ から $1.3\mu\text{m}$ に低減が可能となる。

3.2 ボールプレートを用いた校正

校正に使用したボールプレート(レッター社製 $332\text{mm} \times 332\text{mm}$ PTB 値付け)の概略図、測定順序、座標系を図8に示す。各平面(xy、yz、zx)に平行に三次元測定機の測定範囲の中央付近に設置し、各5回の測定を行う。評価項目は寸法指示誤差と直角度である。ボールプレートでの校正結果を一次的に寸法指示誤差(Y軸、YZ平面/ $X=500\text{mm}$ に設置、温度補正有り)を図9に示す。

ボールプレートでの校正結果を二次元的に評価

する例として、寸法指示誤差(YZ平面、YZ平面/ $X=500\text{mm}$ に設置、温度補正有り)を図10に示す。一次元での評価に加えて直角度、真直度、ねじれ等を予測することができる。この例の場合はZ軸方向に移動したときのY座標の寸法指示誤差の変化がY軸方向の位置によって異なることから、図11に示すようにY軸の真直度が大きいことが予測できる。それに基づいて真直度を補正すれば図12に示すように寸法指示誤差も改善可能と考えられる。

3.2.1 校正の不確かさの算出

長さに関する一般的な算出方法を参考に、ボールプレートによる校正(寸法指示誤差)の不確かさを見積もった。以下に不確かさの要因を示す。

a. ボールプレートの標準不確かさ

①校正値の無補正

②ボールプレートの校正

表1 不確かさの要因 (ステップゲージによる校正)

| 不確かさ成分 | U | 評価方法 |
|---|-------|------|
| ステップゲージによるCMMの校正 (寸法指示誤差) | U | |
| a.ステップゲージ | u(a) | |
| ①校正値の無補正 | u(a①) | タイプB |
| ②ステップゲージの校正 | u(a②) | タイプB |
| ③ステップゲージの寸法の経年変化 | u(a③) | タイプB |
| b.CMMの指示値 | u(b) | |
| ①読み取りの分解能 | u(b①) | タイプB |
| ②繰返し性/ランダム効果 | u(b②) | タイプA |
| 1 反復(1回) | | |
| 2 測定位置/姿勢(x, y, z, xy, yz, zx, xyz) | | |
| 3 測定長さ(100mm, 200mm, 300mm, 400mm, 500mm) | | |
| 4 繰返し(1回, 2回) | | |
| c.熱的効果 | u(c) | |
| ①スケールとステップゲージの熱膨張係数の差 | u(c①) | タイプB |
| ②スケールとステップゲージの温度差 | u(c②) | タイプB |
| ③スケールの温度の20℃からの偏差値 | u(c③) | タイプB |

ステップゲージによるCMMの校正 (寸法指示誤差) の不確かさU(k=1)は、

$$U^2(k=1) = u^2(a) + u^2(b) + u^2(c)$$

$$u^2(a) = u^2(a①) + u^2(a②) + u^2(a③)$$

$$u^2(b) = u^2(b①) + u^2(b②)$$

$$u^2(c) = L^2 \theta^2 u^2(c①) + L^2 \alpha^2 u^2(c②) + L^2 u^2(c③) u^2(c①)$$

L : ステップゲージの長さ

θ : スケールの20℃からの温度偏差

α : ステップゲージの熱膨張係数

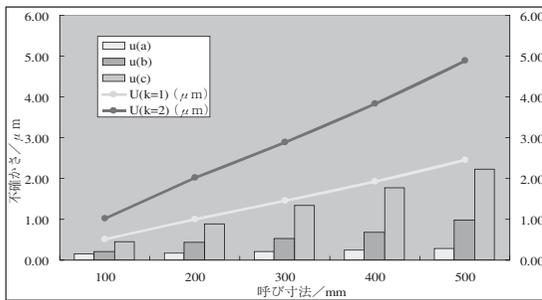


図3 ステップゲージによる校正の不確かさ

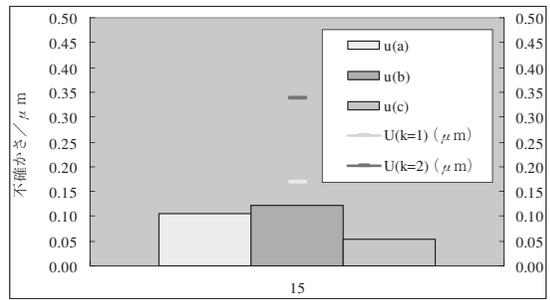


図4 プロービング誤差の不確かさ

として大きいことが分かる。この偏差値が生ずる要因として、①スケールの単純な熱膨張、②その他の複雑な変形等の二つに分類できる。①による不確かさは補正により除去が可能であり、図6に示す通り補正後の寸法指示誤差の不確かさ(500mm:ステップゲージの測定範囲)は、 $2.5\mu\text{m}$ から $1.8\mu\text{m}$ ($k=1$)に低減された。②による不確かさは補正による除去が困難であるため、スケール温度のばらついた複数の条件で校正を行ったと

きの不確かさを再度算出する必要がある。

3.1.2 偶然的な不確かさの要因の算出と評価

熱的効果の要因のうちスケールとステップゲージの温度差も不確かさの要因として大きいと考えられ、温度差の原因としては図7に示すように、ステップゲージの温度変化の影響が大きいと考えられる。カバーに覆われているスケールと比べステップゲージは空調の風の影響を受けやすいと考

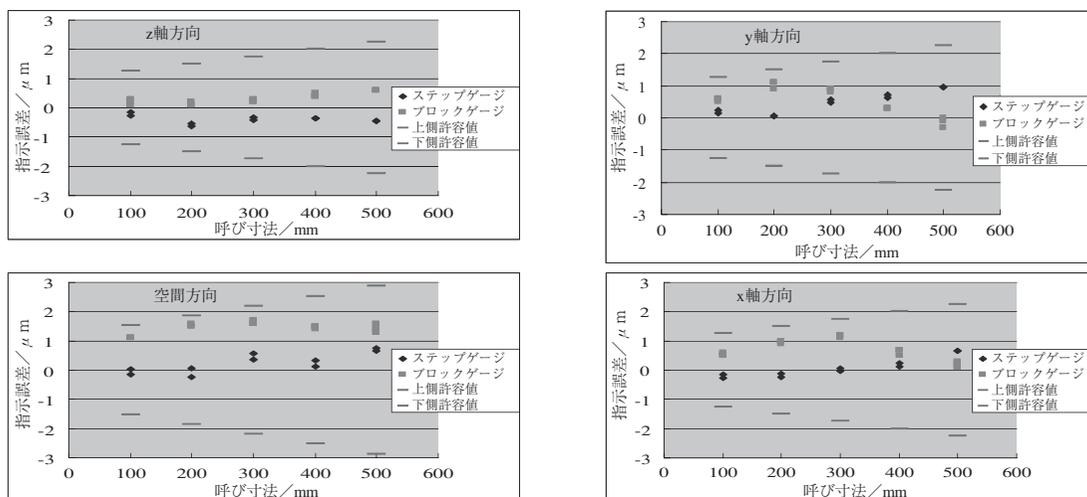


図1 ステップゲージによる校正結果（寸法指示誤差）



写真4 検査用標準球

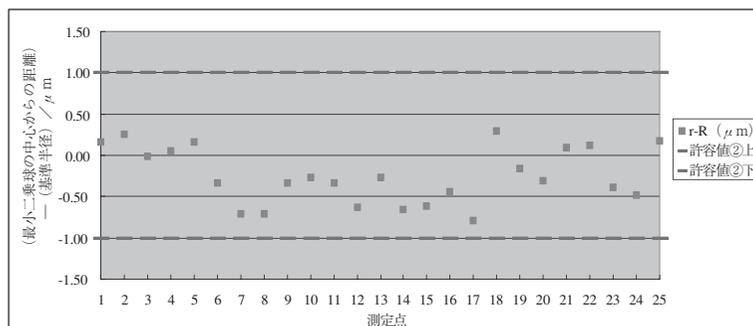


図2 検査標準球の中心からの距離と標準球の公称半径との差

した。中心から各測定点までの距離の最大と最小の差であるプロービング誤差は $1.1\mu\text{m}$ であった。

3. 校正の不確かさの算出および評価

3.1 ステップゲージを用いた校正

ステップゲージ（寸法指示誤差）による校正の不確かさの要因を表1に挙げる。

ステップゲージの校正証明書のデータと、ステップゲージの5種類の長さを三次元測定機により7種類の位置/姿勢で繰り返し測定した結果と、三次元測定機の各軸のガラススケールとステップゲージの温度を測定した結果から求めた不確かさを図3に示す。寸法指示誤差の不確かさ(500mm:

ステップゲージの測定範囲)は、 $2.5\mu\text{m}$ ($k=1$) であった。検査用標準球によるプロービング誤差における不確かさの要因は表1に準じて分類した。検査標準球によるプロービング誤差の不確かさを図4に示す。不確かさは $0.2\mu\text{m}$ ($k=1$) であった。

3.1.1 系統的な不確かさの要因の算出と評価

図3（ステップゲージによる校正の不確かさ）より、表1で大きく分類した不確かさの要因のうち熱的効果の要因が最も大きいことがわかる。中でも図5に示す通り、校正中の各軸のスケール温度が $20.8^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$ でありスケール温度の 20°C からの偏差値 (0.8°C) が不確かさの要因



写真1 三次元測定機



写真2 ステップゲージ

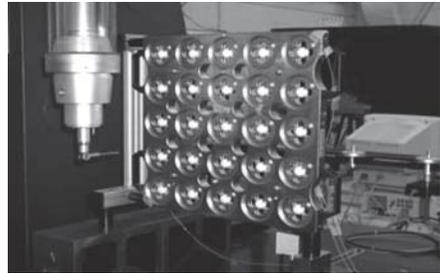
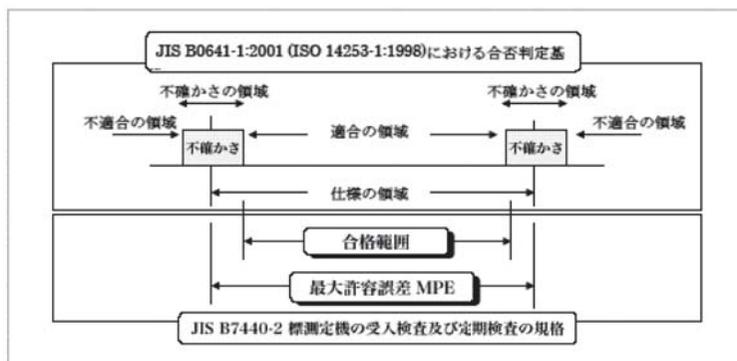


写真3 ボールプレート



による検査」に規定されている。

従来の考え方である「測定の誤差」は、「測定値－真値」を意味していた。しかし、現実には「真値」というのは知り得ない値であり、厳密には「測定の誤差」の値も得られないということになる。これに対して「不確かさ」とは、どんなに高精度に行われた測定の結果にも存在する「疑わしさ」をわかりやすく数値化することを目的とした考え方である。JISでは測定の不確かさのことを「測定結果に付随した、合理的に測定量に結びつけられ得る値のバラツキを特徴づけるパラメータ」と

説明している。わかりにくい表現であるが、簡単に言うならば「測定値の真値が存在する範囲」という意味になる。

JIS B0641-1では、不確かさを含んだ測定結果の適合・不適合については以下のように考えている。

2.2 検査用標準球を用いた校正（プロービング誤差）

JIS B 7440 - 2 (2003)に基づき、検査用標準球（写真4）の半球上の25点の測定点から最小二乗法により球の中心を求め、各測定点までの距離と標準球の公称半径との差を図2にプロット

三次元測定機の校正と不確かさによる信頼性確保

秋山 明 * 田嶋 正紀 ** 井本 治孝 ***
Akira Akiyama Masaki Tajima Harutaka Imoto

近年、一般の計量器において不確かさの見積もりは必須となりつつあり、三次元測定機においても ISO / TS 23165-2006 (座標計測機 (CMM) 試験の不確かさ評価のための指針) が制定され、将来的に測定に対する不確かさが要求されると予測される。本報では、三次元測定機の校正に使用されるアーキテクチャ 2 種類 (ステップゲージ、ボールプレート) により校正を行い、その結果から三次元測定機の不確かさの算出および評価を行い、要因を分析し精度改善を試みたので紹介する。

キーワード：三次元測定機、校正方法、不確かさ

1. はじめに

製造業において導入が進んでいる三次元測定機 (CMM: coordinate measuring machine) は、多種多様な製品の測定が可能で、三次元測定機を用いた計測が商取引を伴う場合や法規上の必要性がある場合には、品質保証上、トレーサビリティの確保が要求されつつある。そのためには不確かさの見積もり (推定) が必須となる。

本報では三次元測定機の信頼性を確保するための手法として、ステップゲージおよびボールプレートを用いた校正における不確かさの見積もりを紹介する。写真 1 から 3 に今回使用した三次元測定機、ステップゲージおよびボールプレートを示す。

2. 三次元測定機の校正

2.1 ステップゲージを用いた校正

JIS B 7440 - 2 (2003) : 「製品の幾何特性仕様 (GPS) - 座標測定機 (CMM) の受入検査及び定期検査」に基づいた校正方法によりステップゲージによる校正を行った。

図 1 に寸法指示誤差の結果を示す。メーカーの定期検査時の指示誤差 (ブロックゲージ) と比較し、 $1.5\mu\text{m}$ 以内の違いであり後述の不確かさ $2.5\mu\text{m}$ ($k=1$) の範囲内で校正結果は一致していると考えられる。

(注 1) k は包括係数で、 $k=1$ は信頼水準が約 68% の場合。 $k=2$ は信頼水準が約 95% の場合。

(注 2) 不確かさとは

「不確かさ」は JIS B0641-1 「製品の幾何特性仕様 (GPS) - 製品及び測定装置の測定

* 研究開発事業部 装置開発部 課長
** 研究開発事業部 装置開発部
*** 株式会社 IHI 生産技術センター 生産技術開発部