

ブロックゲージ比較測長器のかたよりに対する不確かさ評価の高精度化手法の提案

群馬産技センター ○細谷肇, 群馬繊維工試 眞下寛治, 産総研 尾藤洋一, 産総研 榎原研正

Proposal on accuracy improvement technique for gauge block comparator uncertainty evaluation

Gunma Industrial Technology Center, Hajime HOSOYA

Textile Research Institute of Gunma, Kanji MASHIMO

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Youichi BITOU, Kensei EHARA

To use a gauge block comparator with no collection of the known comparator deflection error, the uncertainty of the deflection error has to evaluate. In the evaluation usually a step gauge, which is made from two gauge blocks, is used. But uncertainty of the step value is as large as the comparator deflection error. Therefore we have proposed an uncertainty reducing technique of the step gauge, and confirmed the effectiveness of the proposed technique.

1. はじめに

ブロックゲージの比較測定は、ブロックゲージ長さの校正を行うための測定であり、標準ブロックゲージと被校正ブロックゲージ間の段差 d を比較測長器で測定する。例えば、2本のブロックゲージの温度と熱膨張係数が等しい場合には、標準ブロックゲージの長さを L_s とすると被校正ブロックゲージの長さ L は $L=L_s+d$ となる。比較測定の結果 d には比較測長器自身が持つかたよりが重畳しているが、 L を求める際にかたよりの推定値分の補正を行わずに、不確かさの成分として考慮する場合がある。この場合の不確かさには比較測長器のかたよりの評価に用いる基準段差の標準値に含まれる誤差による影響、すなわち基準段差の不確かさが含まれる¹⁾。一般に基準段差は光波干渉計で校正された2本のブロックゲージで構成する。したがって基準段差の不確かさの値は、ブロックゲージ校正の不確かさの $\sqrt{2}$ 倍の値となり、これが比較測定の不確かさのほとんどをしめてしまうことが多い。

この対策として、文献2)では、かたよりの評価に、複数の基準段差を用いることで、真値からの誤差ばらつきの平均効果を実現でき、不確かさ評価式の信頼性を高めることが出来ることを示した。

今回、段差を構成するブロックゲージの組合せを工夫することで、基準段差の誤差の影響をさらに低減させる手法について提案する。

2. かたより評価の高精度化手法

文献2)で用いた複数 (N_{ref}) の基準ブロックゲージは、基準段差の標準値に含まれる誤差 γ が全て独立となるようにするため、各段差値において1本のブロックゲージを複数回使用する(例えば、 $4\mu\text{m}$ の基準段差を構成する場合に、 1.001mm と 1.005mm 、 1.005mm と 1.009mm というように2度使用する)ことは避けた。ここでは、逆に1本のブロックゲージを複数回使用した場合を考える。この場合、ブロックゲージの誤差を基準段差の測定結果の平均を取った段階でキャンセルできてしまう可能性がある。このことについて以下考察する。

校正済みのブロックゲージ2本で構成した1組の基準段差(段差の標準値 l_{ref} 、その不確かさ u_{ref})を用いてかたよりの評価を行う場合、基準段差の真の値を λ_{ref} 、標準値に含まれる誤差を γ とすると、以下のように書ける。

$$l_{ref} = \lambda_{ref} + \gamma \quad (1)$$

また、ブロックゲージの真の長さを Λ 、光波干渉計による校正の誤差を Γ とするとブロックゲージの校正値 L_G は、

$$L_G = \Lambda + \Gamma \quad (2)$$

と示せる。ここで、段差を構成する2本のブロックゲージをそれぞれ a, b とし、 a を比較測長の基準側、 b を被校正側に用いているものとする。その場合、基準段差の標準値に含まれる誤差 γ は、

$$\gamma = \Gamma_b - \Gamma_a \quad (3)$$

と表せる。ブロックゲージの光波干渉による校正の不確かさを u_G とすると次式で評価される。

$$E[\Gamma_a] = E[\Gamma_b] = E[\Gamma] = 0, \quad V[\Gamma] = E[\Gamma^2] = u_G^2 \quad (4)$$

ここで $E[x]$ 、 $V[x]$ は確率変数 x の期待値及び分散を表す。基準段差の不確かさ u_{ref} は γ の2乗の期待値として、

$$u_{ref} = \sqrt{2} \cdot u_G \quad (5)$$

と与えられる。

ここで、ブロックゲージを2本追加し、 a, b, c, d の4本のブロックゲージで、同じ段差の大きさを目標とする独立な基準段差を2組構成し、比較測長器のかたよりの評価に用いる場合を考える。この場合、2組の基準段差の平均値の誤差 γ_4 は、

$$\gamma_4 = \{(\Gamma_b - \Gamma_a) + (\Gamma_d - \Gamma_c)\} / 2 \quad (6)$$

と表される。この平均基準段差の不確かさ u_{ref4} は γ_4 の2乗の期待値として、

$$u_{ref4} = \sqrt{2} \cdot u_G / \sqrt{2} = u_G \quad (7)$$

と与えられる。これは、文献2)で述べた真値からの誤差ばらつきの平均効果 ($u_{ref} / \sqrt{N_{ref}}$) であり、この場合は $N_{ref}=2$ にであるため、1組の場合にくらべ u_{ref} の値は $1/\sqrt{2}$ になる。

次に a, b, c の 3 本のブロックゲージで 2 組のブロックゲージを構成する場合を考える。この場合の段差の構成は図 1 に示す

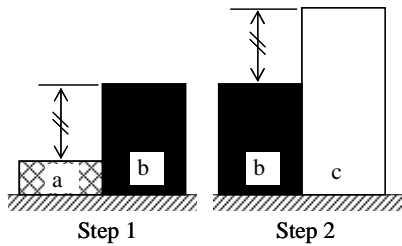


Fig. 1 Reference step for uncertainty evaluation

ようにブロックゲージ b を段差 1 と段差 2 でそれぞれ被校正側と基準側に用いるものである。

この場合、2 組の基準段差の平均値の誤差 γ_3 は

$$\begin{aligned} \gamma_3 &= \{(\Gamma_b - \Gamma_a) + (\Gamma_c - \Gamma_b)\} / 2 \\ &= \{(\Gamma_c - \Gamma_a)\} / 2 \end{aligned} \quad (8)$$

と表される。この平均基準段差の不確かさ u_{ref3} は γ_3 の 2 乗の期待値として、

$$u_{ref3} = u_G / \sqrt{2} = u_{ref4} / \sqrt{2} \quad (9)$$

と与えられる。よって、基準段差の不確かさ u_{ref} を 1 組の基準段差の場合の 1/2、独立な 2 組の基準段差の場合の $1/\sqrt{2}$ にできることが分かる。したがって、基準段差を N_{ref} 組用いる場合は、 u_{ref} を $1/\sqrt{(2N_{ref})}$ に出来ることとなる。

3. 実験的検証

文献 2) では、独立した 5 組 ($N_{ref}=5$) の基準段差を構成することにより基準段差が真値から適当にばらついた状態をつくりだし、誤差ばらつきの平均効果により、かたより値の分布のばらつきが直線的になることも実験的に示した。そこで、今回提案した 3 本のブロックゲージで 2 組の基準段差を構成する方式の場合は、 u_{ref} の影響の低減効果がどの程度得られるか、実験的に検証した。

本方式の場合、基準段差の数は必ず偶数組となる。文献 2) と同様に、評価した段差範囲は $\pm 4 \mu\text{m}$ 、間隔は $1 \mu\text{m}$ 毎であり、 $1.000 \sim 1.010 \text{ mm}$ までのブロックゲージを組み合わせ、比較測長器 (ミツトヨ製 GBCD-100A) にて比較測定を実施した。1 組のブロックゲージ対に対して 5 回の繰返し測定を行い、その平均値を 1 組の基準段差の測定値としている。

図 2~4 に実際の比較測定結果をもとに、各段差でのかたよりの推定値 D_{bias} を平均化したもの (実線) を、各段差を適当に選択した 1 組のブロックゲージとした場合 (点線) と共にプロッ

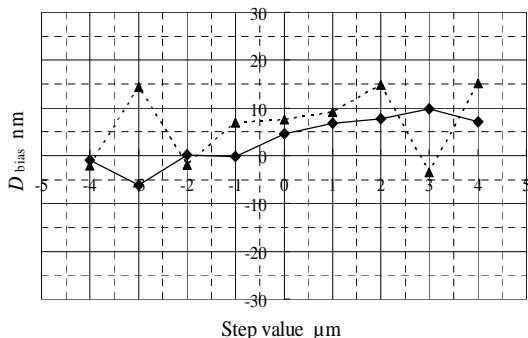


Fig. 2 Averaged distribution of measured D_{bias} ($N_{ref}=6$)

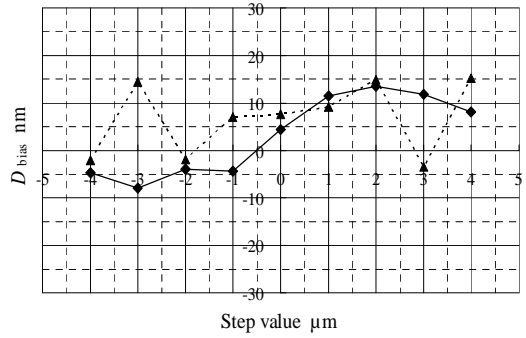


Fig. 3 Averaged distribution of measured D_{bias} ($N_{ref}=4$)

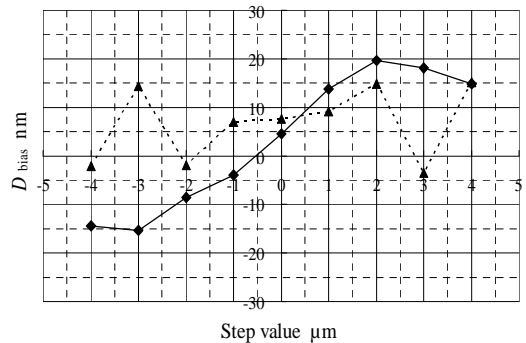


Fig. 4 Averaged distribution of measured D_{bias} ($N_{ref}=2$)

トした結果を示す。基準段差の数は、図 2 は 6 組、図 3 は 4 組、図 4 は 2 組である。いずれの図でも点線と比較し実線の方が直線に近いことが分かるが、特に 2 組 ($N_{ref}=2$) の場合でも 1 組の場合よりも明らかに直線に近い。本方式による基準段差の不確かさ u_{ref} の低減効果が十分にあることが推定される。

また、本方式の場合、評価用として準備すべきブロックゲージの本数が、独立した基準段差を用いる場合と比較して減らせるという利点がある。例えば、独立した基準段差で $N_{ref}=5$ の場合は 12 本のブロックゲージが必要であるが、本方式の場合は、 $N_{ref}=6$ で 11 本、 $N_{ref}=4$ で 10 本、 $N_{ref}=2$ で 7 本であり、実際の比較測長器のかたより評価の準備も容易になると思われる。

4. まとめ

比較測長器自体のかたよりに対する不確かさ評価の高精度化に対する実用的な手法を提案するとともに、実験により効果検証を行った。

- (1) 3 本のブロックゲージから構成した 2 組の基準段差をかたより評価に用いることで、基準段差に用いたブロックゲージの校正の不確かさを $1/\sqrt{2}$ に低減できることを示した。
- (2) 本手法を用いた場合、独立した基準段差を用いる場合と比較し、準備すべきブロックゲージの本数も少なく出来ることを示した。

参考文献

- 1) 尾藤洋一, 榎原研正: 既知のかたよりを補正しない場合の不確かさ評価に関する一考察, 精密工学会誌, 74, 6 (2008).
- 2) 尾藤洋一, 細谷肇, 眞下寛治, 榎原研正: 既知のかたよりを補正しない場合の不確かさ評価 (第 2 報), 精密工学会誌, 76, 9 (2010).