

実用長さ標準器の進展

低熱膨張ガラス材を用いたブロックゲージ

ブロックゲージ

ブロックゲージは、ブロックの端面間隔で長さを定義するもので、実用的な長さの標準器として広く用いられている。材質は、スチール、セラミック、タンゲステンカーバイトなどがある。長さは0.5 mm～1000 mmまで様々なものがあり、組み合わせにより任意の長さを構成することが可能である。長さの校正されたブロックゲージは、長さ測定を必要とする現場の9割以上で利用されており、3次元座標測定器(CMM)、電気マイクロメータ、ノギス等の校正に用いられる。ちなみに、日本製ブロックゲージの世界シェアは6割以上と言われている。

近年、CMM、測長器など物体の形状、寸法を測定する装置の高精度化に伴い、その校正に用いられるブロックゲージに対する要求精度は益々高くなってきている。通常行われるブロックゲージの校正では、コンパレータを用いて標準ブロックゲージとの機械的な比較により行われるが、より高精度な用途に用いられるブロックゲージや、さらに一段上の校正標準として使用される標準ブロックゲージは、光波干渉計によって校正される。

長さの標準器としてのブロックゲージの長さは、温度20℃の時の機械的な長さとして定義されており、ブロッ

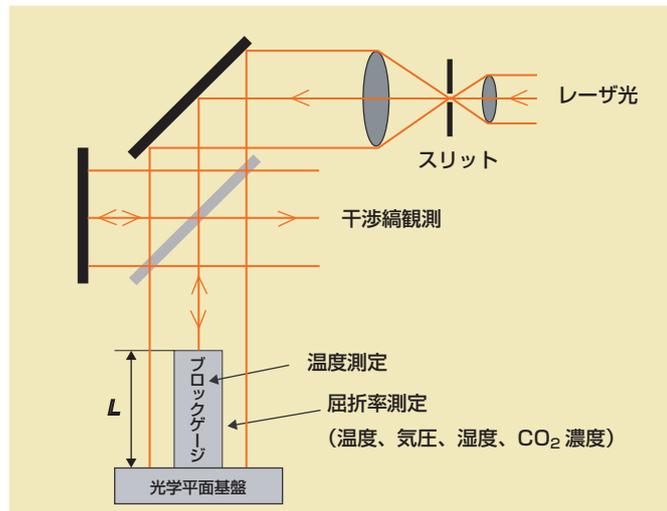


図1 ブロックゲージ校正用干渉計の原理図

クゲージを校正する場合や、ブロックゲージを用いて長さの測定装置を校正する場合には、材料の熱膨張に対する補正が必要となる。特に、CMMのような大型の装置においては、温度環境の調節が容易ではなく、熱膨張補正が校正不確かさの大きな要因となる場合がある。最近、この熱膨張に起因する問題を解決するために、低熱膨張ガラスを材料に用いたブロックゲージが開発され、実際の校正現場においても用いられるようになってきている。なかでも、熱膨張の影響の大きいスチール製長尺ブロックゲージ（長さ150 mm～1 m）の代替品として期待が高まってきている。低熱膨張ガラス製ブロックゲージを用いることにより、単に

熱膨張を小さく抑えられるだけでなく、熱膨張係数そのものの不確かさも相対的に小さくできるので、標準温度(20℃)からのずれが大きい環境下での校正も可能となる。

写真1に低熱膨張ガラスを用いたブロックゲージを示す。形状は従来のブロックゲージと全く同じである。材料としては(株)オハラ製のクリアセラムという低熱膨張ガラス材が用いられている。ここでは、最近標準供給を開始した、低熱膨張ガラス製ブロックゲージの光波干渉計による校正法及びその不確かさを紹介する。ブロックゲージ校正のトレーサビリティでは最も上位である光波干渉計による校正法を確立し、その不確かさを明確にすることで、より高精度な要求に答えられる標準供給が可能になる。



写真1 低熱膨張ガラス(クリアセラム)製ブロックゲージ

光波干渉計による校正

光波干渉計によるブロックゲージの校正法は、光技術としてはさほど難しい技術ではない。校正(不確かさ)のポイントは、環境安定度や環境測定精度



写真2 ブロックゲージ干渉計

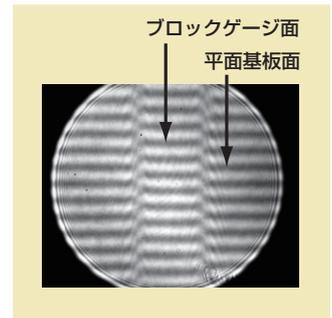


写真3 ガラス基板にリングングされたクリアセラム製ブロックゲージの干渉縞画像

(特にブロックゲージ温度の測定)という点にある。低熱膨張ガラス製ブロックゲージを用いることにより、最も大きい不確かさの要因をほとんど無くすることができるので、校正不確かさを非常に小さくすることが期待される。

低熱膨張ガラス製ブロックゲージ校正用干渉計の原理図を図1に示す。測定では、従来法と同様に、ブロックゲージを光学平面基板に光学密着（リングング）し、ブロックゲージの端面と基板平面間の長さを段差として測定する。干渉計としては、通常ブロックゲージ校正用として我々が独自に開発した干渉計をそのまま用いている¹⁾(写真2)。本装置の特徴は、3本の安定化レーザー（よう素安定化He-Neレーザー、よう素安定化Nd:YAGレーザー、ルビジウム安定化半導体レーザー）を用いている点と、一枚の干渉縞画像から干渉信号の端数部を自動計算で求めている点である。なお、測定のトレーサビリティは、国家標準レーザーにより直接校正されたよう素安定化He-Neレーザーを用いることによって確保されている。

スチール製など通常のブロックゲージに比べ、低熱膨張ガラス製ブロックゲージの表面反射率は非常に低いため、従来のランプを光源としたブロッ

クゲージ測定用干渉計では、干渉信号の取得が困難となる。これに対して、我々が開発した3本のレーザーは、安定度に加え輝度もランプ光に比べ非常に高いため、低反射率のブロックゲージに対しても通常のブロックゲージと同様に干渉縞の測定を行うことができる(写真3)。

校正の不確かさ

今回、低熱膨張ガラス材として使用しているクリアセラムの熱膨張係数は $+0.8 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ であり、その標準不確かさは $0.1 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ である。この熱膨張係数の大きさはスチールに比べて約1/140であり、不確かさの要因のうち約半分を占める熱膨張に関する不確かさが、ほとんど無視できる大きさとなる。また、表面粗さや複素屈折率の違いにより不確かさが変化する可能性があるが、表面粗さ計やエリプソメータにより、それらの影響を調べたところ、不確かさの変化量はほとんど無視

できる大きさであった。

その他、空気屈折率補正の不確かさ、アライメントの不確かさ、リングングの不確かさ等を加えたクリアセラム製ブロックゲージ校正の合成標準不確かさは、長さ1 mのゲージに対して約36 nmと見積もられる。この不確かさは、スチール製ブロックゲージ校正不確かさの約半分である。

今後の課題

長さの標準器としてブロックゲージを使用する場合、その経年変化も重要なポイントである。低熱膨張ガラス製ブロックゲージの場合、長さの経年変化に対するデータの蓄積は、まだほとんどなされていない。低熱膨張ガラス材料の経年変化の大きさ、時定数を明らかにするために、数年オーダーの継続的な測定が今後の課題である。

計測標準研究部門 尾藤 洋一

E-mail : y-bitou@aist.go.jp

高精度な干渉計のための実用安定化レーザーの開発や液晶空間光変調素子を用いた干渉計の高精度化に関する研究を手がけてきた。主にブロックゲージの校正関連業務に従事していることから、リングング（複数のブロックゲージまたはブロックゲージと基盤をつなげて測定に用いる技術）は得意。

現在は、長さ標準（ブロックゲージ）を担当しながら、光周波数コムを利用した新しい干渉計測法の開発に挑戦中。

関連情報

1) 尾藤洋一, 平井亜紀子, 吉森秀明, 洪鋒雷, 大苗敦, 岩崎茂雄, 瀬田勝男:

3本の安定化レーザーを用いた長尺ブロックゲージ干渉計の開発, 精密工学会誌, Vol.68, No.4, p542-p547 (2002).

