

レーザ干渉計を利用した大型構造体の高精度寸法計測技術の構築* —プローブの開発とプロービング誤差—

和合 健**、竹原 英樹***、辺見 誠雄***

測定長さ 3000mm に対して、公差±0.2mm の要求に対応できる可搬式長大寸法測定器の開発を行った。測定器の構成は、筐体をアングル材、案内ガイドを光学レールによる摩擦滑り式、目盛りをレーザ干渉計として、プローブは手動トリガプローブ、歪ゲージ式プローブ、電気接点式プローブの 3 種類を作製した。改良を加えた最終的な同一位置へのプロービング時の繰り返し誤差は、標準偏差で $\sigma 0.003\text{mm}$ を達成した。

キーワード：長大寸法、寸法測定器、一次元、可搬式、高精度

Study of High Precision Long Size Measuring Instrument using Laser Interferometer

-Development of probe systems and probing deviation-

WAGO Takeshi, TAKEHARA Hideki and HENMI Nobuo

Key words : Long size, Size measuring instrument, 1 direction, Portability, High precision

1 結 言

装置製作を本業とする共同研究企業では、卓上型から数メートルに及ぶ大型の自動機械を製造している。半導体製造や液晶関連製造分野では、エネルギー集約や低コスト化を達成するために、大口径化の進歩が著しく製造装置も大型化の傾向にある。この状況下において大型装置及び部品製造後の寸法計測が大きな課題であり、精度保証に苦慮している。これら製品群の寸法指示値は 3000mm の寸法で公差±0.2mm の要求であり、この精度保証を達成する必要がある。通常、大物製品の寸法測定は大型ガントリー型座標測定機が使用されるが、高額のため中小企業での導入は難しく、生産現場において簡便かつ短時間で寸法検査できる測定器が望まれている。長大寸法を測定するためには、大きな目盛りの物差しをどのような方法で実現するかが要点となり、光学的トラッカー方式、リニアスケール方式、光波干渉方式、光コム方式など多くの方式が挙げられる²⁾。この中でコスト、利便性及び実用性を考慮した場合、光波干渉方式は従来から多く利用され測定原理が明確のため目盛り部の研究要素が省け、かつ安価で携帯性が高いことからここでの活用目的に適している。

そこで今回、光波干渉方式の一つであるレーザ干渉計を用い、実際の製品図面で指示されている測定長さ 3000mm に対して、公差±0.2mm の要求に対応できる長大寸法測定器の開発に取り組んだ。ここでは、特に寸法起点を決定するために重要となるプロービングシステム

開発について報告する。

2 実験方法

2-1 装置概要

長大寸法測定器の概要を図 1、詳細を図 2 に示す。図 1 のとおり案内ガイドをキャリッジが移動し、その移動距離で測定物の寸法を測定する。測定器の目盛りは図 2 のとおり、レーザ干渉計（型式：XL-80、メーカー：レニシヨウ）を利用し干渉ミラーが固定部、反射ミラーが稼働部となり、可動部キャリッジに反射ミラーとプローブを搭載する。案内ガイド方式は、市販されている長大寸法測定に用いるガントリー型三次元測定機では、LM ガイドや空気軸受けが使用されているが、測定器本体の可搬性

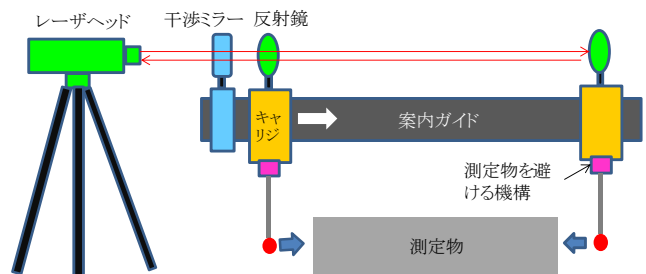


図 1 長大寸法測定器の概要

* 平成 31 年度公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 公設工業試験研究所等共同研究

** 素形材プロセス技術部

*** 鈴木機械株式会社

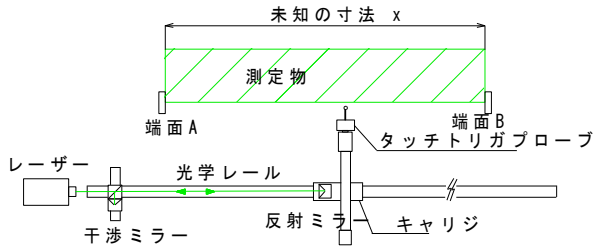


図 2 構成の詳細図

が損なわれる。可搬性を優先するには梁の撓みに強い断面設計されたレールを用い、その案内面をベアリングまたは摩擦滑りで走行するキャリジが適すると考えた。寸法測定での起点位置を定めるためのトリガ方法は機械式、電気式など多様であり実験を通して精度と操作容易性により決定する。

2-2 手動トリガプローブ

測定物の両端面間距離を測定するためには両端の起点を決定する必要があり、ここでは起点が明確に定義できる接触式プローブとした。精度、コスト、利便性など多くの状況に対応するために多種のプローブを用意した。図 3 に手動トリガプローブを示す。三爪チャックにチップ径 $\phi 5\text{mm}$ のスタイラスを取り付けた構成で、三爪チャックのシャンクをプローブホルダで保持する。手動トリガプローブは作業者が感覚的にスタイラスを測定物の端面に押し当てる方法である。トリガ発生方法はスタイラスを測定物端面に押し当てた状態で、一方の面の時に制御ソフトウェアの F1 ファンクションキー、もう一方の面で F2 のファンクションキーを押す方式とした。

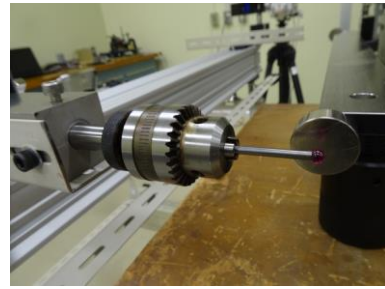


図 3 手動トリガプローブ

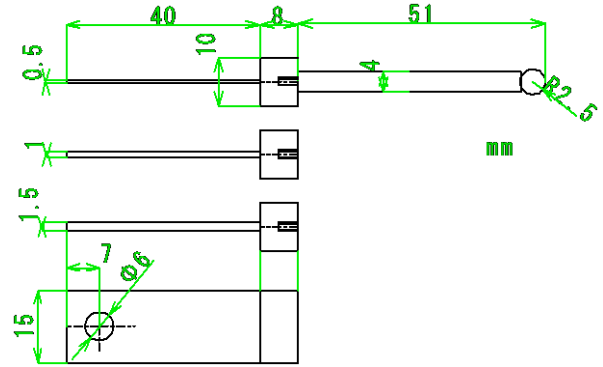


図 4 歪ゲージ式プローブの図面

2-3 歪ゲージ式プローブ

2-3-1 原理

図 4 に歪ゲージ式プローブの図面を示す。板バネがプローブ部となりこの面の両側に歪みゲージを貼る。板バネ部の厚さは 3 水準で $t0.5\text{mm}$ 、 $t1.0\text{mm}$ 、 $t1.5\text{mm}$ である。使用した歪ゲージ (型式: KFGS-5-120-C1-11_L5M2R、メーカー: KYOWA) はゲージ長が 5mm で鋼材の歪測定に適する。図 5 に歪みゲージ式プローブの外観を示す。プローブは板バネ部の $\phi 6\text{mm}$ の貫通穴で治具にねじ留め固定した。図 6 に回路図を示す。歪ゲージを板バネの両側に貼るため歪ゲージは 2 枚必要になり、ブリッジボックスの接続はアクティブダミー法 (2 ゲージ法) とした。図 7 に歪ゲージ測定器 (型式: WGA-670B、メーカー: KYOWA) と絶縁型デジタル入出力ターミナル (型式: DIO-0808TY-USB、メーカー: コンテック) を示す。歪ゲージ測定器はプローブの板バネの曲げ方向に対してプラス方向とマイナス方向でトリガの閾値を設定して、閾値を超えた場合にトリガが出力される。歪ゲージ測定器からのトリガ出力は、絶縁型デジタル入出力ターミナルを経由して、パソコンに取り込んだ。

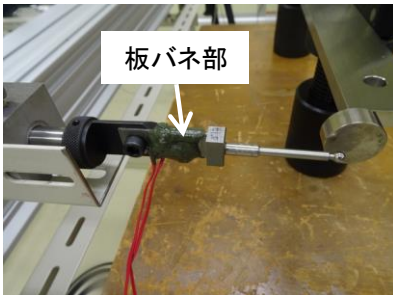


図 5 歪ゲージ式プローブ

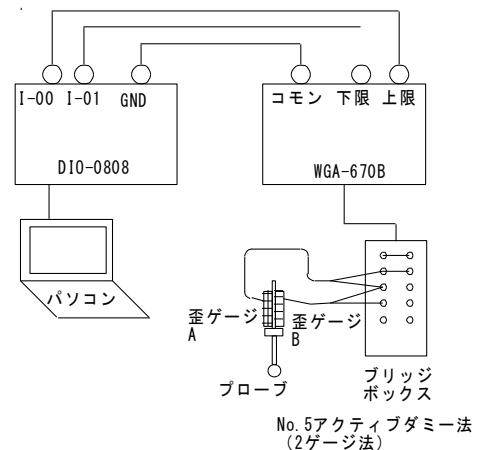


図 6 回路図

2.3.2 プロービング誤差の評価方法

歪ゲージ式プローブのプロービング誤差は、図 8、9 に示した定盤上に治工具や測定機器を配置した評価ベンチで求めた。この装置の標準値は、 8.5mm のブロックゲージを二つのジョウで挟んで作成した。案内ガイドは

直定規を利用し、プローブの板バネ部をバイスで挟み、バイスの側面と直定規を接触させて走行させた。バイスの移動距離は、歪ゲージ式変位変換器 (型式: TCL-10M、メーカー: TEAC) からの電圧信号をシグナルコンディショナ (型式: TC-11、メーカー: TEAC) で増幅しその電圧値をアナログ入力器 (型式: NI9215、メーカー: National Instruments) でパソコンに取り込んだ。制御ソフトウ

エアは、LABVIEW2019（メーカー：National Instruments）を使用して図 10 のとおり端面 A と端面 B でトリガを発生させて寸法測定を行うアルゴリズムとした。



図7 歪ゲージ測定器

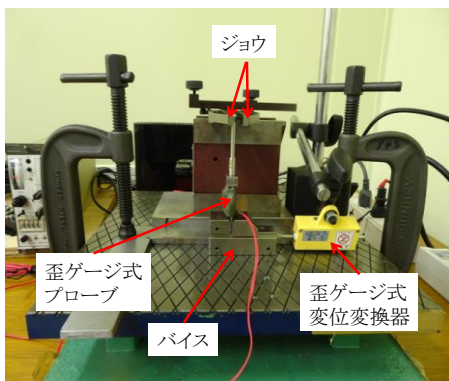


図8 歪ゲージ式プローブの誤差評価ベンチ

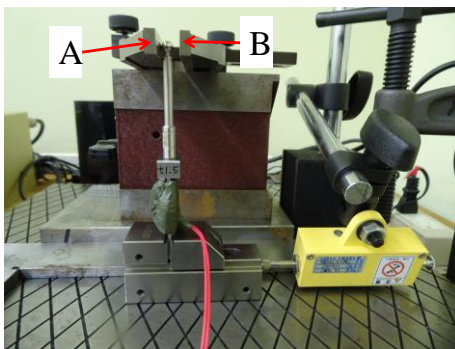


図9 標準値の与え方

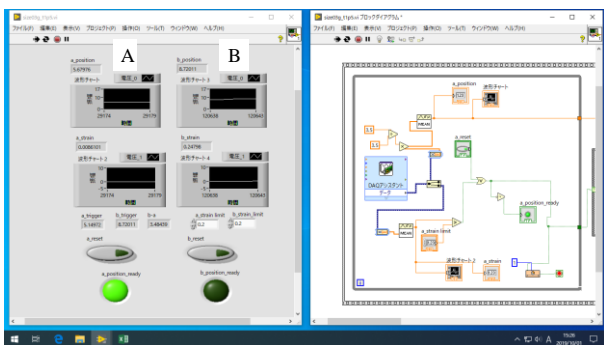


図10 制御ソフトウェア(LABVIEW2019)

図 11 に長大寸法測定器に取り付けて使用する電気接点式プローブ（型式：TP1、メーカー：レニショー）を示す。これは 120° 分割 3 接点配置にて、接点が離れた時にトリガが発生する B 接点方式によるもので、主な仕様を表 1 に示す。このプローブは手動式利用として設計されたもので、触圧 0.15N は通常の CNC 式三次元測定機で汎用的なプローブ TP200 の触圧 X, Y 方向 0.02N と比較して大きい。触圧が鈍感であるためオーバートラベル量は Z 方向 8.5mm と大きく、手動測定時の間違っただけでプローブの損傷を回避できる。

2-4-2 制御ソフトウェア

電気接点式プローブを制御するソフトウェアを二つ用意した。一つは、レニショーがレーザ干渉計 XL-80 を制御するために提供している汎用アプリケーション CARTO、もう一つはプログラム言語 VisualBasic6.0 により独自作成したソフトウェアである。以下、それぞれの制御ソフトウェアを CARTO 及び VB6 と表記する。

(1) CARTO の場合

図 12 にレーザヘッドにトリガ信号を取り込むための外部コネクタ、図 13 に制御画面、図 14 に回路図を示す。CARTO での測定方法は、予めターゲットに基準長さを入力し、2 点間の測定後に基準長さから差分して測定値を求める。CARTO でプローブを利用する場合は回路図のとおり XL-80 のレーザヘッドの外部接続コネクタ 14 ピンと 17 ピンを利用して電気接点式プローブインターフェース（型式：PI200-3、メーカー：レニショー）と接続した。

(2) VB6 の場合

図 15 に制御画面を示す。VB6 では Position1 と Position2 が各端面位置となり、端面間距離は Position1 と Position2 の差分で算出される。測定物の線膨張係数による温度補正機能が利用でき、プロービング方法はプロービング前に Trigger_ready ボタンを押し、その後端面へのプロービングを行う。図 16 に電気接点式プローブインターフェースとの接続、図 17 に回路図、図 18 にフローチャートを示す。VB6 でのプローブのトリガ取り込み方法は、XL-80 の外部コネクタを利用せずパソコンに直接、絶縁型デジタル入出力ターミナルにより、トリガ信号を取り込んだ。

表1 TP1の主な仕様

触圧	0.15N
繰返精度(2σ)	0.5μm
XY・2D方向性	±2.0μm
オーバートラベル	Z方向 8.5mm 横方向 ±19.5°

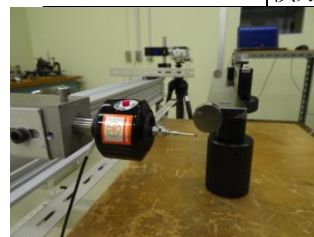


図11 電気接点式プローブ



図12 外部コネクタ

2-4 電気接点式プローブ

2-4-1 原理

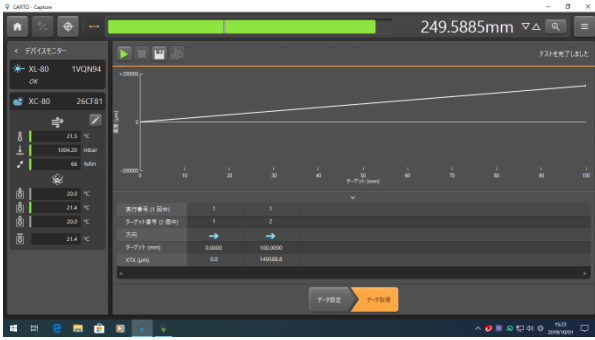


図13 CARTOの制御画面

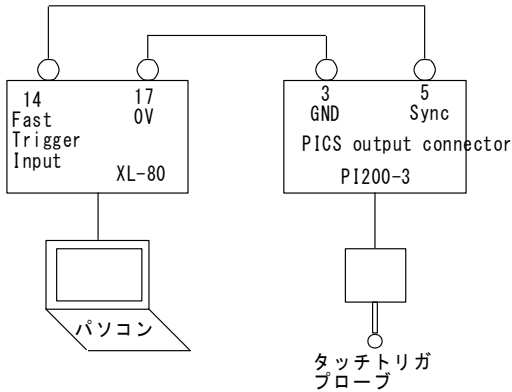


図14 回路図

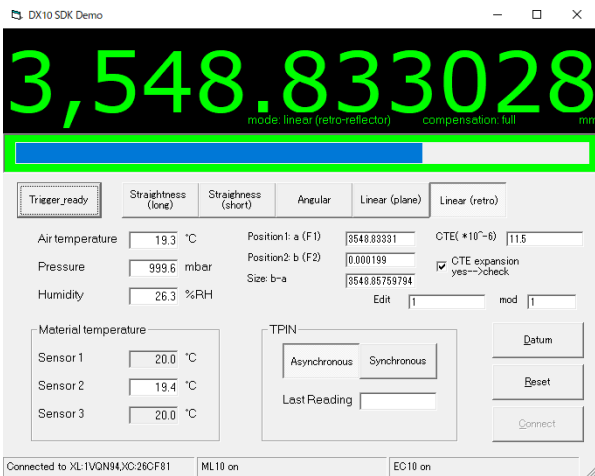


図15 VB6の画面

絶縁型デジタル
入出力ターミナル

電気接点式プローブ
インターフェース



図16 電気接点式プローブインターフェース

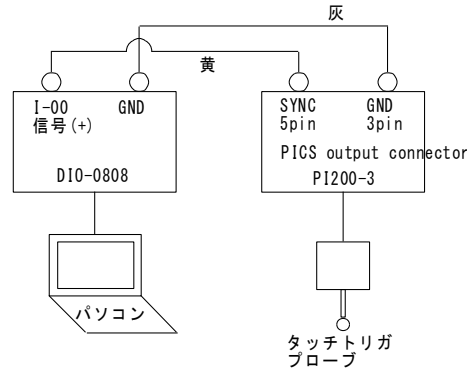


図17 回路図

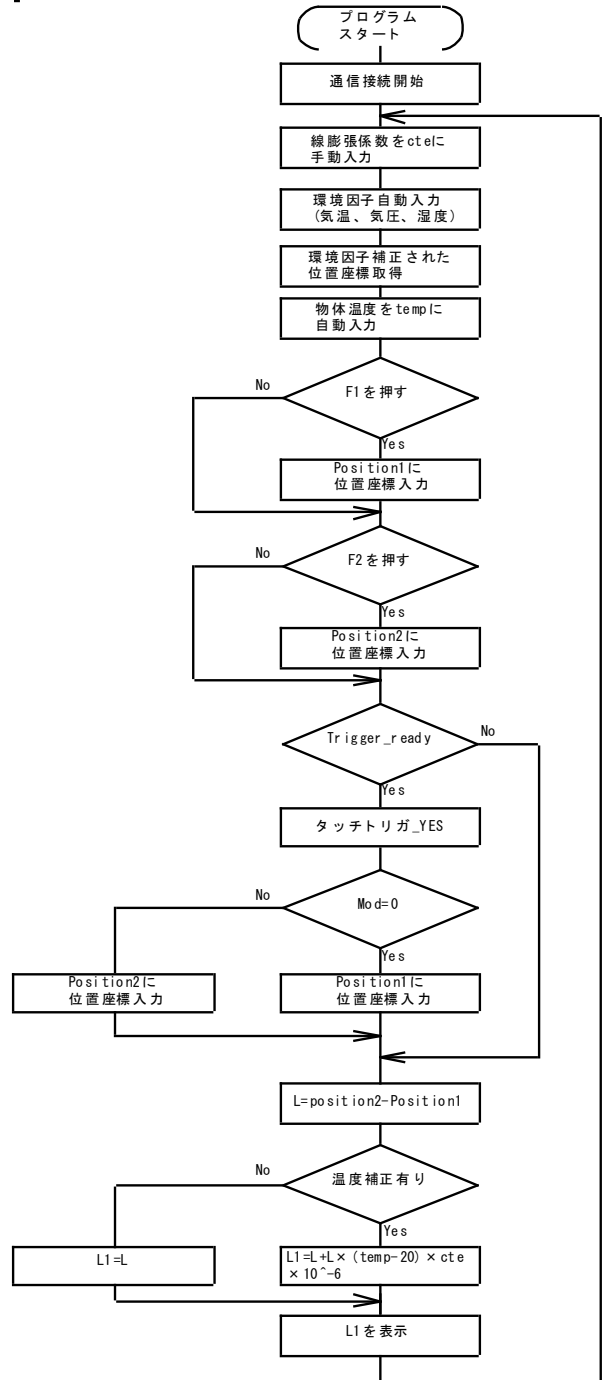


図18 VB6のフローチャート

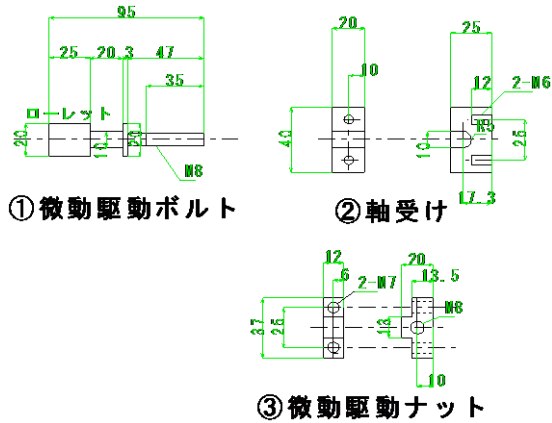


図23 微動治具の図面

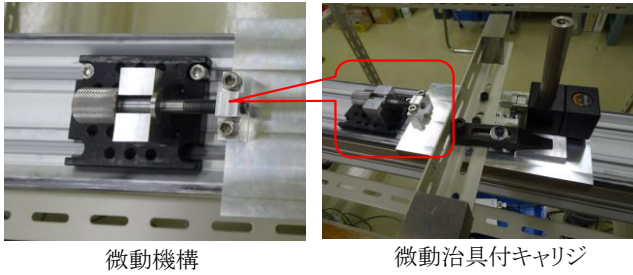


図24 微動治具の適用

3-5 加力機構の付与

胴長キャリジの案内ガイドと光学レールの案内ガイドは、常に接触している必要があり、この両面が離れることでヨーイングが生じて長さ測定誤差になる。そこで図25、図26に示す加力機構を付与して、両面が自動的に常に接触している状態を作り出した。

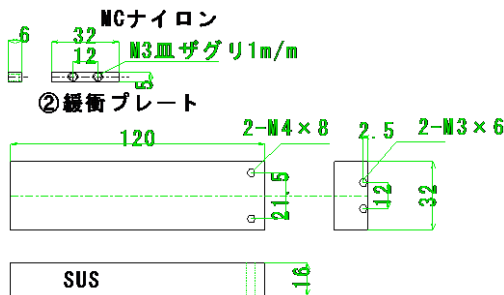


図25 加力機構の図面

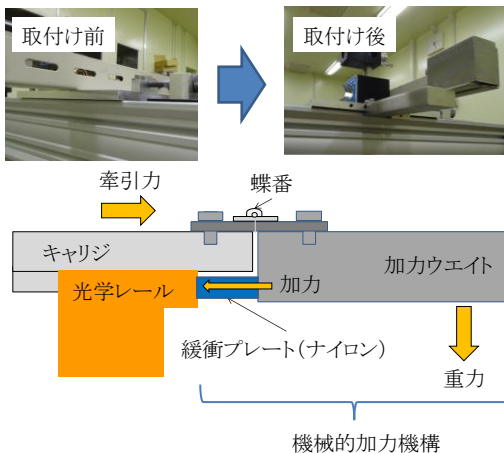


図26 加力機構の改良前との比較

3-6 改良後の測定誤差

長寸法測定器の電気接点式プローブの場合で各種改良後の測定誤差を求めるために、同一位置に繰り返し回数5~10回の繰り返し測定を行い、 σ を算出した結果を図27に示す。3種類の改良治具を付与した結果、改良以前のA(カタログ品キャリジ+手動)が σ 0.706mmであったのに対し、胴長キャリジ+微動治具+加力機構を導入したEでは σ 0.003mmに改善された。

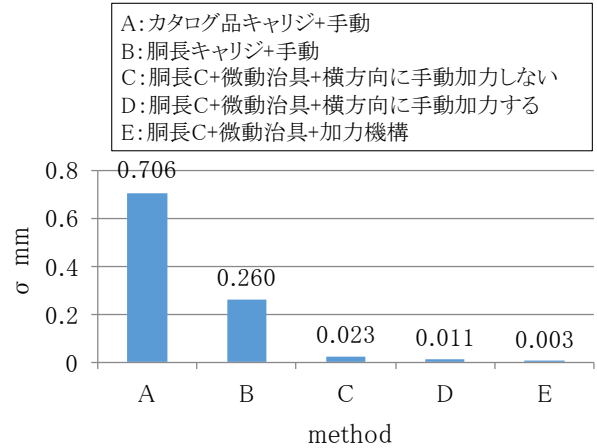


図27 改良後の測定誤差

4 結 言

可搬式かつ製品図面での測定長さ3000mmに対して公差 ± 0.2 mmの要求に対応できる長寸法測定器の開発を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 筐体をアングル材、案内ガイドを光学レールによる摩擦滑り式、目盛りをレーザ干渉計とした構成としてキャリジ上に搭載したプローブで端面間の寸法測定を行う長寸法測定器を試作した。
- (2) プローブは手動トリガプローブ、歪ゲージ式プローブ、電気接点式プローブの3種類を作製した。制御ソフトウェアはレーザ干渉計メーカーが提供するCARTOと汎用プログラム言語VisualBasic6.0で独自作成したプログラムの二つが利用可能であった。
- (3) キャリジの胴長化、微動機構、加力機構を加えた改良を行った結果、同一位置へのプロービング時の繰り返し誤差は標準偏差で σ 0.003mmであった。

謝 辞

本研究は、公益財団法人 JKA の機械振興補助事業公設工業試験研究所等共同研究で実施された。本事業に関わられた関係者の方々に感謝を表す。

文 献

- 1) 青木保雄:改訂精密測定(1)、コロナ社、p63、p209(1995)