

可搬式長大寸法測定器用長さ標準器の開発*

和合 健**、生内 智**、磯部 和夫***

独自に開発した可搬式長大寸法測定器の校正で用いる長さ標準器の製作を行った。長さ標準器の種別は端度器として、端度測定部は SUS303 材、軽量化のために筐体は CFRP による構成、測定長さは 850mm とした。製作した長さ標準器の質量は 1021g で作業性が高く、さらに線膨張係数はメーカーが示す $0.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ であることを検証、確認した。そして標準値を値付けした結果、20℃で 850.592mm $\pm 0.002\text{mm}$ (2σ) が得られた。

キーワード：端度器、炭素繊維強化プラスチック、線膨張係数、標準値、可搬式長大寸法測定器

Development of Size Standard Gauge for Relocatable Long Size Measuring Instrument

WAGO Takeshi, OBONAI Tomo, ISOBE Kazuo

Key words : End gauge, CFRP, Coefficient of thermal expansion, Standard value, Relocatable Long Size Measuring Instrument

1 はじめに

半導体装置筐体などの大型製品の寸法測定には、長さ 3000mm において公差 $\pm 0.2\text{mm}$ の要求がある。しかし、汎用的な三次元測定機（以下、CMM¹⁾）では測定範囲の問題があり対応できない。そこで筆者らは、一軸方向の長さ測定でこの測定要求を満足した独自の可搬式長大寸法測定器（以下、WASUM）を開発した²⁾。しかし、WASUM の実用化を進めるためには、使用者が校正で用いる長さ標準器が必要となる。

そこで本研究では、可搬性を有する長さ標準器の性能として必要な軽量性、高剛性、低熱膨張性および防錆性などを満足する長さ標準器の開発を目指した。

2 既存の標準器での検証

2-1 実験方法

WASUM に適した長さ標準器を設計するために、既存の標準器を利用して測定実験を行い、要求される標準器の設計仕様を検証した。使用した標準器は有限会社アイエス・エンジニアリング製の樹脂製棒状端度器（以下、Resin Bar Gauge : RBG）であり図 1 に示す。この標準器の端度測定部の材質は樹脂（MC ナイロン、MC901）で、その表面はフライス加工仕上げの平滑な面である。そして棒状筐体は CFRP（炭素繊維強化プラスチック）製であり、これらは表 1 のような材料特性を有している。この標準器を使用して図 2 の（ア）接触式 CMM（UPMC550-CARAT）、（イ）トラッカー式座標測定機、接触式プローブ（T-POINT）、（ウ）トラッカー式座標測定機、非接触式プローブ（TSCAN

CS+）、（エ）WASUM の 4 機種で長さ測定を行い、誤差を比較した。RBG の寸法位置は、（エ）WASUM でのプロービング誤差を低減するため、一方向プロービングで行える図 1 で示した寸法位置とした。装置の型式と指示誤差を表 2 に示す。ここで、（イ）と（ウ）の指示誤差はトラッカ一部の追跡精度でありプロービング誤差を含まない。

まず、（ア）の測定誤差を求めるために、長さ 1000mm のブロックゲージ（以下、GB1000）を測定した結果を表 3 に示す。使用した GB1000 の中央寸法⁴⁾の校正値は $-0.15 \mu\text{m}$ であり、十分に小さく無視できる。GB1000 の標準値は 1000mm とすると、測定値の平均値は 1000.0018mm となり、標準値 1000mm を差分すると誤差は $+0.0018\text{mm}$ となった。接触式 CMM メーカーの示す指示誤差は $E = \pm 0.7 + L/600 \mu\text{m}$ であることから、測定長さ $L=1000$ では $E = \pm 0.0024\text{mm}$ となる。その結果、誤差が指示誤差を下回り（ア）接触式 CMM の現状精度が確認された。

次に 4 機種で RBG を測定して結果を比較した。4 機種

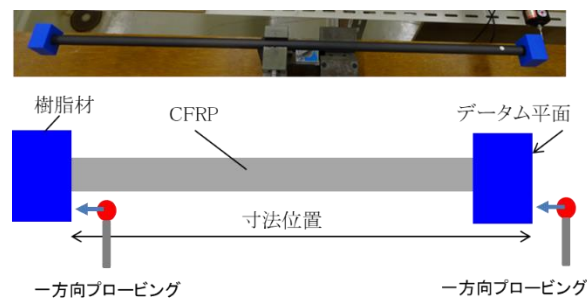


図 1 樹脂製棒状端度器 (RBG)

* 令和 2 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 素形材プロセス技術部

*** 有限会社アイエス・エンジニアリング

表1 樹脂製棒状端度器の主な特性

棒状筐体 ³⁾	
型式, メーカー	CCM-190C, 日本カーボン(株)
曲げ強度	160 MPa
線膨張係数	(軸方向) $0.2 \times 10^{-6} /K$
	(径方向) $5.7 \times 10^{-6} /K$
端度測定部	
材質	MCナイロン, MC901
線膨張係数	$90 \times 10^{-6} /K$



(ア) UPMC850-CARAT

(イ) T-POINT



(ウ) TSCAN CS+

(エ) WASUM

図2 標準器の検証に用いた4種類の測定器

表2 各装置の指示誤差

記号	型式	メーカー	指示誤差(μm)	E μm, L=1000mm
(ア)	UPMC850-CARAT	Carl Zeiss	$E=0.7+L/600$	2.4
(イ)	T-POINT	Carl Zeiss	$E=0.05+0.05 \times L/1000$	100.0
(ウ)	TSCAN CS+	Carl Zeiss	$E=0.05+0.05 \times L/1000$	100.0
(エ)	WASUM	開発器	$\pm 60 (2\sigma, L=3000\text{mm})$	≤ 60.0

表3 (ア) 接触式CMMによるGB1000の測定結果

mm			
No.	端面1: p	端面2: q	q-p
1	-0.0004	1000.0014	1000.0018
2	-0.0002	1000.0013	1000.0015
3	-0.0006	1000.0014	1000.0020
4	-0.0004	1000.0013	1000.0017
5	-0.0006	1000.0016	1000.0022
6	-0.0001	1000.0015	1000.0016
Average	-	-	1000.0018

での測定値は、各機種での使用前校正後の補正された値である。測定方法は図1の右側の端度平面で平面測定をして空間軸かつX軸ゼロ点を設定し、対の端度平面までの寸法を繰り返し3回測定し、平均値を測定値とした。

表4 RBGを各装置で測定した時の誤差

mm				
記号	Device	Value: s	Nom: t	誤差: s-t
(ア)	UPMC850: Nom	1001.1160	1001.1160	0
(イ)	T-POINT	1001.0681	1001.1160	-0.0479
(ウ)	TSCAN CS+	1000.6198	1001.1160	-0.4962
(エ)	WASUM	1001.1485	1001.1160	0.0325

2-2 結果及び考察

表4に(ア)の値を参照値とした場合の他3機種の差を示す。これより、装置の測定誤差は(イ)が-0.0479mm、(ウ)が-0.4962mm、(エ)が0.0325mmとなった。(ウ)の非接触式プローブで誤差が大きいのは、測定物表面の光学特性によりプロービング誤差が発生しているためと推測された。この標準器は、筐体に棒状のCFRPを利用することで軽量化が図られ、作業性が良好であった。そこで今後開発する標準器も筐体にCFRPを活用し設計した。

3 WASUM用長さ標準器の設計及び試作

3-1 標準器の設計

図3には、RBGを基にWASUM用長さ標準器として設計した棒状端度器(以下、Cube Bar 850: CB850)の図面、図4に全景、図5に端度測定部を示す。開発した本標準器の端度測定部は、可搬式に対応するための剛性と耐食性を有し快削性もあるSUS303材とし、基準面は研削加工により表面粗さRz 6.3 μm、直角度0.005mm(L=30mm)とした。また端度測定部の形状は測定面を明確にするためにL字状とし、先端に凸形状を設けることで測定位置の目安とした。なお、本標準器の基準長さは850mmとし

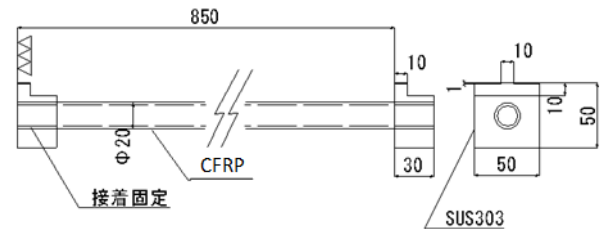


図3 CB850の図面



図4 CB850の全景



図5 左右の端度測定部

た。その理由は、所内で保有するCMM(メーカー:ミットヨ、型式:CRT-AC776- TP200、以下、CMM_TP200)で測定可能な長さとしたためである。

3-2 寸法精度

開発した標準器をCMM_TP200で測定した結果、両端の端度測定部の形状精度は、左側端度部の測定端面をデータムとした場合、右側端度部の直角度が垂直方向で0.002mm(L=50mm)、水平方向で0.041mm(L=50mm)であった。平面度は0.001mm(□20mm)、表面粗さはRz 2.28 μmであった。端度測定部(SUS303材)と筐体(CFRP材)の接合方法は、接着剤塗布後に定盤上に静置させ、水平方向は直定規にならって接着固定した。この接着固定方法では、直角度は水平方向で0.041mm(L=50mm)となり、垂直方向と比較して誤差が大きくなった。しかし、水平方向では測定範囲を□10mmの範囲に限定すれば直角度0.0082mm(L=10mm)となり、使用者校正する測定器の精度に十分対応できると判断した。

3-3 機械剛性

次にCB850の機械剛性について、既存の長尺ブロックゲージ(以下、Long_GB)と比較して検証した。Long_GBの断面寸法は横35×高さ10mmの姿勢、長さ850mm、材質の密度は鉄7.86 g/cm³、保持形態は両端点支持、荷重方法は梁の中心に5 Nを鉛直下方に点荷重として中心部のたわみ量を理論計算した結果、0.269mmと算出された。CB850は同様の支持及び荷重方法として、たわみ量を測定した結果、0.117mmとなった。これより、CB850の機械剛性は、対Long_GBの比較では2.3倍(0.269/0.117)となった。

3-4 質量

CB850の質量は電子天秤による測定から1021gが得られた。これは長さ600mmのステップゲージ、例えばミットヨ製515-722の質量14 kgと比較すると、約14分の1の質量となり可搬性や作業性に有効と考えられた。

3-5 線膨張係数の測定

3-5-1 実験方法

長さ測定はJIS規格⁴⁾にて20°Cで測定することが規定されており、20°Cからの温度差による測定物の膨張分は補正により取り除く必要がある。そこで開発した標準器のCTE(Coefficient of thermal expansion:線膨張係数)を実験により求めた。CTEは、12.7°Cと20.5°Cの2つの温度でCB850の長さ測定をして、温度差と膨張長さからCTEを算出した。通常、測定機は温度管理がなされた20°Cの部屋に設置されており、高精度な測定機を12°Cの環境下に置くことは現実的ではない。測定物を一旦12°Cの環境下に置いて、その後20°Cの部屋に移動させる方法は、異なる温度下の空間で測定物を持ち運び、時間の経過もある中で、測定時に12°Cのまま保たれるかの疑念も残る。物体表面温度計で測定時瞬間の温度を測定したとしても内部温度までは分からない。

そこで測定方法は、12°Cと20°Cの温度環境下に測定機

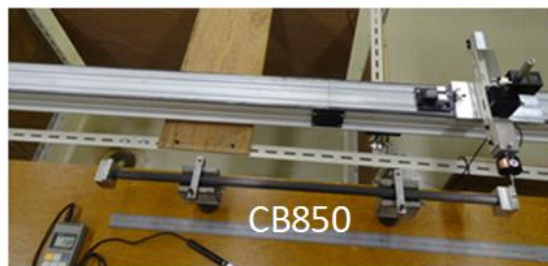


図6 WASUMを用いたCB850の長さ測定(室温12.7°C)

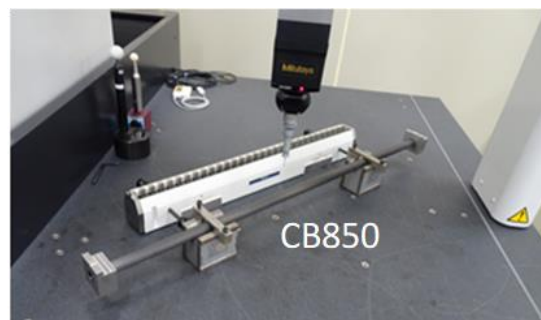


図7 CMM(CRT-AC776-TP200)を用いたCB850の長さ測定(室温20.5°C)

表5 測定結果

No.	n (回)	σ (mm)	補正後平均値 (mm)	温度 (°C)
1	5	0.0073	850.6049 :L ₁	12.7 :T ₁
2	12	0.0010	850.5925 :L ₂	20.5 :T ₂
-	-	-	-0.0124 :L ₂ -L ₁	7.8 :T ₂ -T ₁

を設置し、測定物をその雰囲気中に長時間慣らしてその温度下で長さ測定を行う方法とした。12°Cの温度域では図6のWASUMを、20°Cの温度域では図7のCMM_TP200を使用し、長さ測定を行った。そして、それぞれブロックゲージ、ステップゲージ(515-722、ミットヨ)との比較測定により温度補正をして、最終的なCB850の長さの測定値を求めた。CMMの指示誤差はE=1.9+3L/1000 μm、温度測定はそれぞれの測定器が持つ温度計を利用した。複数回測定での平均値を測定値とし、CTEは式(1)で算出した。

$$CTE = (L_2 - L_1) / (L_{20} \times (T_2 - T_1)) \quad (1)$$

ここで、L₂は温度が高い方の測定長さ(mm)、L₁は温度が低い方の測定長さ(mm)、L₂₀は20°Cでの測定長さ(mm)、T₂は高い方の温度(°C)、T₁は低い方の温度(°C)となる。

3-5-2 結果及び考察

表5に2水準の温度でのCB850の測定長さを示す。低い方の温度12.7°Cでの長さ測定値が高い方の温度20.5°Cでの長さ測定値より大きくなった。これは低い方の温度の長さ測定で使用したWASUMの指示誤差が±60 μm(2σ)であるため、WASUMの測定のばらつきが影響してマイナスの温度膨張になったと考えられた。CFRP筐体のメーカーが示すCTEは0.2×10⁻⁶ K⁻¹であり、温度差7.8°Cでの膨張長さは0.0013mmと計算されるのでT₂-T₁=

0.0124 mm は WASUM の測定の際のばらつきを考慮すると妥当な結果と思われる。ここで SUS303 材の CTE は $18.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ であり、純鉄の CTE $11.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ と比較して大きい。SUS303 材の CTE の大きさがマイナス値の原因の一つになり得るが、端度測定部が一方方向のプロービングであることから SUS303 材の熱膨張は相殺されるため無視できると考えた。結論として WASUM の測定誤差が影響しているものの、式(1)で算出した CB850 の CTE は $-1.8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ となりメーカーが示す CTE と近い値であることから、CFRP 管体の CTE は非常に小さく、低温度膨張性能を有していることを確認した。

3-6 標準値の値付け

値付け方法は、測定長さ 850mm に対応できる CMM_TP200 を使用して、図 5 に示した CB850 の端度測定部間の長さ 850mm 位置の正確な長さを測定した。測定物座標系は図 8 のとおりとし、測定位置は丸印で示した $\phi 10\text{mm}$ の領域とした。測定回数は連続した 3 日間で 1 日に一度、繰り返し 12 回の測定を行い、3 日間で計 36 個の測定値から平均値を算出し、その値を標準値とした。CB850 と平行に設置したステップゲージで目盛り補正および CMM 付属温度計の温度で熱膨張補正をした。得られた結果を表 6

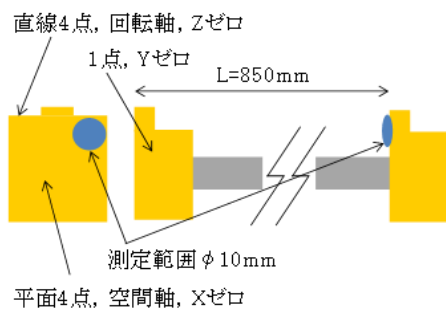


図 8 測定物座標系

表 6 CB850 の標準値

mm				
No.	n	Temperature(°C)	Average	2σ
1	12	20.5	850.5925	0.0020
2	12	20.2	850.5921	0.0020
3	12	20.2	850.5915	0.0016
STD	36	20.3	850.592	0.002

STD: Standard value



図 9 CB850 の輸送箱 (図中の金尺は 1000mm)

に示す。その結果、標準値は $850.592\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ (2σ) が得られた。

4 輸送箱の製作

最後に、長さ標準器は遠隔にある 2 台の測定機の性能比較や自身の標準値を校正するために遠隔地への輸送が多用される。そのため輸送時の外乱から長さ標準器を保護する輸送箱が必要となる。そこで図 9 に示す輸送箱も製作した。輸送箱は防湿性と衝撃吸収性の高い木製とし、CB850 の円筒管体部の固定では、端度測定部付近の管体首部および管体中心部の 3 か所を U 字治具で支えて固定した。さらに、端度測定部を中に浮く固定方法 (図 9 の左図) としたことで、輸送時の振動から生じる管体の暴れを抑制した。輸送箱の質量は 3994g、CB850 と合わせた総質量は 5015g となり、両端の取手を利用することで容易に可搬できる。

5 結 言

可搬式長寸法測定器 (WASUM) の使用者校正で用いる長さ標準器の製作を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 長さ標準器の種別は端度器として、端度測定部は SUS 材、軽量化のために管体は CFRP の構成とし測定長さは 850mm とする CFRP 製棒状端度器 (CB850) を製作した。端度平面間の幾何形状は直角度 0.0082mm ($L=10\text{mm}$) となり、使用者校正する測定器の精度に対応できた。
- (2) CB850 の機械剛性を長尺ブロックゲージとのたわみ量比較で算出した結果、機械剛性は対長尺ブロックゲージでは 2.3 倍となった。また CB850 の質量は 1021g となり、例えば測定長さ 600mm のステップゲージと比較すると 14 分の 1 となり良好な作業性が確認できた。
- (3) 長さ標準器で必須となる線膨張係数を実験で求めた結果、CB850 の線膨張係数はメーカーが示す $0.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ とほぼ同等となり、低熱膨張性能を有することが証明された。CB850 の標準値を値付けした結果、 20°C で $850.592\text{mm} \pm 0.002\text{mm}$ (2σ) が得られた。

文 献

- 1) JIS B 7440-1:2003 製品の幾何特性仕様 (GPS) 一座標測定機 (CMM) の受入検査及び定期検査 - 第 1 部: 用語
- 2) 和合健、竹原英樹、辺見誠雄: 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 -、岩手県工業技術センター研究報告第 23 号 (2021)
- 3) 日本カーボン (株) Web Site: CCM®カタログ (2020)
- 4) JIS B 7506:2004 ブロックゲージ