

# 各種輪郭形状測定機の性能比較と測定誤差\*

和合 健\*\*、浅沼 拓雄\*\*

自動車部品等の形状測定は、その形状や材質に適した測定方法を選択して三次元測定機や光学式形状測定機等により行われる。この場合、測定機それぞれの測定原理により測定遂行が制限される場合も多い。接触式輪郭測定機は、測定物の表面を触針で走査し、高精度測定と汎用性を具備する。ここでは、接触式輪郭測定機を対象に検出器原理の異なる機種を比較を行ったが、測定誤差に差異は表れなかった。

**キーワード：輪郭形状測定機、性能比較、測定誤差、検出器原理、測定完遂度**

## Comparison of Performance and Measurement Errors of Contour-Measuring Machines based on Different Principles

Takeshi Wago and Takuo Asanuma

Coordinate-measuring machines (CMMs) can measure the shape of workpieces made from varying materials, such as automobile parts and other parts. However, the measurement is often limited by the measuring principles used by the CMM. By scanning the surface of the workpiece with a stylus, contour-measuring machines are versatile and provide high-precision contour measurements. In this research, we compare the measurement errors obtained from several different contour-measuring machines. We find no difference in measurement error between the contour-measuring machines.

**key words : contour-measuring machine, performance comparison, measuring deviation, detection principle, measurement realizable**

### 1 緒言

輪郭形状測定機は、機械加工やプラスチック成形により製作した部品の輪郭形状を高精度に測定する装置である。特に現状で輪郭形状測定を行う場合に、微細かつ高精度の要求が高く、座標測定機やレーザ式形状測定機では測定原理の制限から対応できない状況が多くなっているため、接触式専用機を導入することとした。ここでは本装置の設備導入にあたり輪郭形状測定機の性能調査と、導入された機種を使用して標準球を測定した事例での測定誤差の考察を行ったので報告する。

### 2 実験方法

#### 2-1 輪郭形状測定機の基本仕様

輪郭形状測定機の製造メーカーを調べた結果、日本国内に東京精密、ミットヨ、小坂研究所の代表的な3大メーカーが存在する。この3社のカタログを取り寄せて仕様数値を比較したところ、3社で大きな差は見られなかった。表1に3機種の仕様<sup>1,2,3)</sup>を示す。赤塗りが注目点であり、検出器原理は3機種で異なる機構を有し、接触式輪郭測定で重要となる登坂測定では3機種とも77°登坂測定が可能である。

#### 2-2 持ち回り測定

カタログの仕様数値だけでは各社の測定機の特長が分

からないことから、測定サンプルを独自にワイヤ放電加工機で製作し、三次元測定機(UPMC550-CARAT、Carl Zeiss社)で比較のための標準値の値付けを行った。その後、測定サンプルを持参して3社の工場に赴き、独自に作成した指示書に従って輪郭形状測定を実施した。参考までにこの3社の工場は、北関東エリアに集中して立地されており、2日間で測定を終えることができた。後日、同じ測定サンプルを郵送し、2回目の輪郭形状測定を実施した。

#### 2-3 測定指示書

測定物は「77degサンプル」とし図1~3に示す。77degサンプルは横方向94mm、高さ44mm、奥行き15mmで、材料は焼入れした合金鋼である。ワーク座標系は以下のとおり設定した。空間軸は測定機の定盤面、回転軸は図1のID16点、ID38点が成す直線であり、ID16の1mm領域とID38の3mm領域の複数点を使用することとした。ゼロ点X、ZはID18円とX軸とのXマイナス側の交点として、Y軸は規定しなかった。次に測定方法の注意点を(1)と(2)に示す。

(1) 各社の輪郭形状測定機(ハードウェア)の基本性能を検査するため、77°の傾斜面(ID25線、ID26線、ID29線、ID32線)の測定では測定物を傾斜させて測定し、オーバーラップ部を繋ぎ合わせて合体させるなどのソフトウェアを利用した測定は行わないこと。

\* 平成24年度 文部科学省 地域イノベーション戦略支援プログラム (次世代モビリティ開発拠点プロジェクト)

\*\* ものづくり基盤技術第2部 (現 素形材技術部)

表1 輪郭形状測定機的主要仕様

項目	CONTOURECORD 2600G, 東京精密	FORMCORDER DSF600, 小坂研究所	FORMTRACER CS-3200, ミツトヨ
検出器原理	レーザ光回折スケール	直動リニアスケール	円弧リニアスケール
検出器のZレンジ	50mm	58mm	60mm
検出器のZ分解能	0.025 μm	0.05 μm	0.02 μm
Z軸コラムの調整範囲	450mm	500mm	400mm
X軸の測定範囲	200mm	200mm	200mm
X軸の測定分解能	0.1 μm	0.5 μm	0.05 μm
指示誤差:Z軸	0.8+4H/100 μm	1.0+0.04H μm	0.8+2H/100 μm
傾斜面の追従性	登り77° /下り83°	登り77° /下り83°	登り77° /下り87°
測定力	10-30mN(手動)	10-30mN(手動)	10,20,30,40,50mN(自動)
スタイラスの長さ	最大値で52mm	最大値で42mm	最大値で42mm
標準スタイラスの先端角	円錐形, 最小値で両角24°	円錐形, 最小値で両角16°	円錐形, 最小値で両角20°
スタイラスの先端R	R25 μm	R25 μm	R25 μm
ソフトウェア	ワーク座標設定, 形状解析, 設計値照合など各種補正及 び解析機能	ワーク座標設定, 形状解析, 設計値照合など各種補正及 び解析機能	ワーク座標設定, 形状解析, 設計値照合など各種補正及 び解析機能

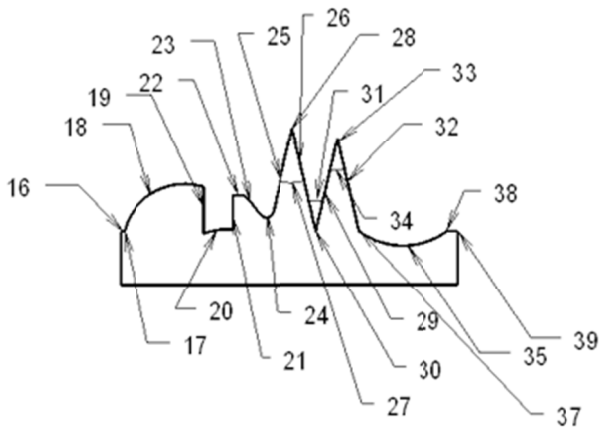


図1 77deg サンプルの測定指示位置

(2) 指示した測定物座標系において、図1に示したすべての箇所を測定すること。測定結果の表示方法は、各直線、円及び点のプロパティとして示すこと。例えば、77°の傾斜面はID25線、ID26線、ID29線、ID32線のプロパティとして角度、X軸及びZ軸との交点座標、真直度を示すこと。また、例えば円と線の測定では真円度、真直度も示すこと。

また、77deg サンプル測定の要点は以下に示す①～④である。①ワーク座標系を定義した状態で77°の傾斜角度及び真直度が正確に測定できるか。②ID28点のZ29mmの山高さを正確に測定できるか。③8mm間隔の壁に囲まれた部分円(ID20円)が正確に測定できるか。④以上の測定が各社の標準装備スタイラスで対応できるか。ただし、スタイラスの先端角の腹が測定物に接触して誤差が生じる場合は特注スタイラスを用いても良い。

2-4 評価方法

評価方法は、①測定精度、②測定完遂度、③手動操作を含めた使い易さ、④ソフトウェア性能の4項目に注目

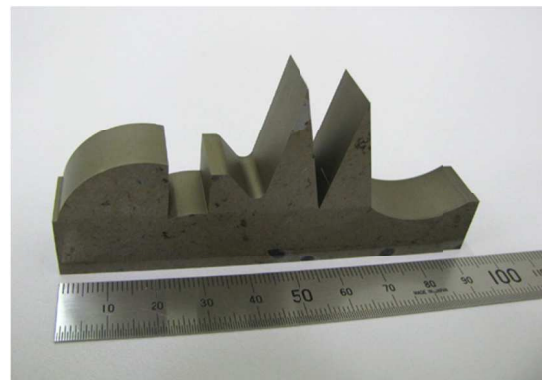


図2 77deg サンプル

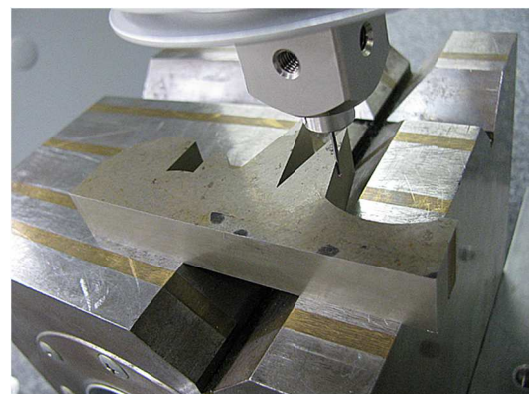


図3 CMMによる値付け

して行った。評価にあたり考慮した点は以下の通りである。①測定精度では、CMMの測定値が標準値となり得るかの疑問点もあることから、3機種間での多数決及び基準値との差による評価とした。ワーク表面が放電面(測定位置で結果が異なる)であり表面粗さの問題、標準値の値付けの正確さについて、部分円、短い直線などは輪郭形状測定機がCMMよりも値付けの不確かさが小さい点を考慮して設定した。②測定完遂度では、特に急勾配の

測定に着目し、垂直壁以降の連続走査測定（77° 斜面の踏破）、ピンポイント位置への着地を評価した。③手動操作を含めた使い易さでは、官能評価となるため測定操作、解析操作を観察し、マウスの画面指示、押しボタンによる動作指示について評価した。④ソフトウェア性能では、測定指示が完遂できるかとし、円と線の交点座標の算出、設計値照合、CAD の読み込みなどを評価した。

### 3 実験結果及び考察

#### 3-1 官能評価の項目

②測定完遂度、③手動操作を含めた使い易さ、④ソフトウェア性能について官能的に評価した結果を以下に説明する。②測定完遂度では、1 回目の持ち回りでは3社とも77°登坂測定は完遂できなかった。ワーク表面が放電加工による梨地性状であるため摩擦抵抗が大きいことも77°登坂測定が完遂できなかった一因であるようだった。しかしながら、ワーク測定1回目で完遂できなかった77°登坂測定はサンプルを各社に郵送後の2回目の測定においては各社とも77°の登坂測定は完遂した。ワーク座標系設定のための回転軸は各社で異なり、ミットヨは手動介入テーブルを使用した。東京精密は円筒ゲージで手動合わせをした。小坂研究所は蛍光灯の光を利用して手動調整した。③手動操作を含めた使い易さは、東京精密の測定操作は画面&マウスで実施し、解析はエキスパート向けで高度解析が行える。ミットヨの測定操作は画面&マウスで実施し、解析は現場向けで使い易く、高度解析も行える。小坂研究所は測定機前の押しボタンを多用する考え方であり、スタイラスの動きを直視しながらスタイラス動作制御が行える。解析は古典風の作りであるが、他2社に引けを取らない高度解析が行えた。結論として、操作性や性能に大差は無く、作業者の慣れの問題と感じた。④ソフトウェア性能は、円と線の交点などの要素計算は全社が完遂した。設計値照合も全社が完遂し、CAD形式コンバートは各社すべてが装備し、各社の特徴があった。ソフトウェア評価による差別化は非常に難しい問題であることがわかった。

#### 3-2 測定誤差

表2に標準値の抜粋、図4に測定結果を示す。各機種とも似た傾向を示した。ここでのA、B、Cは表1の機種の並びとは異なり、順不同である。特にAとBが類似した傾向でCがAとBとは異なる傾向を示した。特に測定指示位置、ID20はワークの高い尖頂部の下に位置する部分円でありZとRで3機種の誤差が同様に大きく算出された。これは、測定でスタイラスアームとワーク尖頂部の干渉を防ぐためにスタイラスの長さや姿勢が通常の場合と異なる形態が用いられた影響であると推測された。また、AとBでID21のXで誤差が大きく、ID21はID20と垂直壁の交点であることからID21の誤差が直接的に影響したと予想される。1回目の同行測定後に2回目はワークを各社に郵送して同等項目の測定を依頼した結果、各社から提出された測定値は3社でほぼ一致していた。

表2 CMM測定による標準値（抜粋）

mm				
ID	項目	Nominal by CAD: p	Measured by CMM: q	q-p
19	X	22.000	21.986	-0.015
20	X	28.500	28.510	0.010
	Z	-17.000	-17.129	-0.129
	R	17.600	17.731	0.131
	真円度	0.000	0.001	0.001
21	X	30.000	29.998	-0.002
22	Z	10.000	10.001	0.001
23	X	32.537	32.518	-0.019
	Z	8.000	7.972	-0.028
	R	2.000	2.032	0.032
	真円度	0.000	0.000	0.000
24	X	39.304	39.304	0.000
	Z	5.877	5.877	0.000
	R	2.000	1.998	-0.002
	真円度	0.000	0.002	0.002

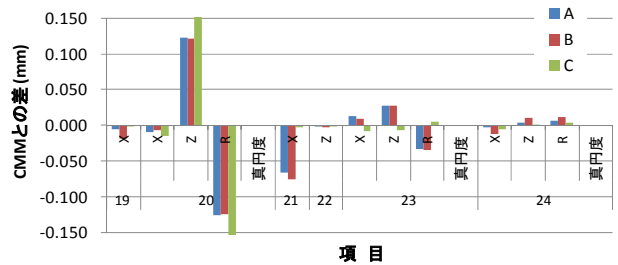


図4 3機種による測定結果

### 4 導入機種での球測定

#### 4-1 実験方法

3社を訪問したサンプル測定の結果では明確な差異は表れなかったことから、装置選定方法は仕様で機種を限定した状況で、3社による入札となった。入札の結果、小坂研究所製輪郭形状測定機、型式 DSF600S が導入され、本装置は横方向をX軸、高さ方向をZ軸とする2軸の測定機であり、先端R25μmのスタイラスを使用して測定物の輪郭を測定する機能を有する。本測定機の性能検証を目的として標準球（軸受球）の直径測定をした。測定に使用したスタイラスは先端角8°の片刃形と先端角16°の円錐形の2種類であり、標準球の校正値はSφ25.4mmである。測定方法は、図5のとおりXYテーブルに標準球を設置し、球の頂点をX、Z軸ゼロ点としてX軸マイナス方向12mmの着地点から測定長さ24mm間の球輪郭を6分の1ずつ6か所、左側から右側に測定した。測定速度は0.1mm/秒、サンプリング間隔は1μm、測定力は10mNとした。測定後、テーブルを180°回転させ1回目の測定と同様に6か所の球輪郭を測定した。①～⑥までの球直径結果を図6、スタイラスが片刃と円錐の2通りで測定後、設計値照合した結果を図7に示す。ここで、①～⑥の各領域の球中心角は、①が登り71°～47°、②が登り47°～24°、③が登り24°～0°、④が下り0°～24°、⑤が下り24°～47°、⑥が下り47°～71°である。



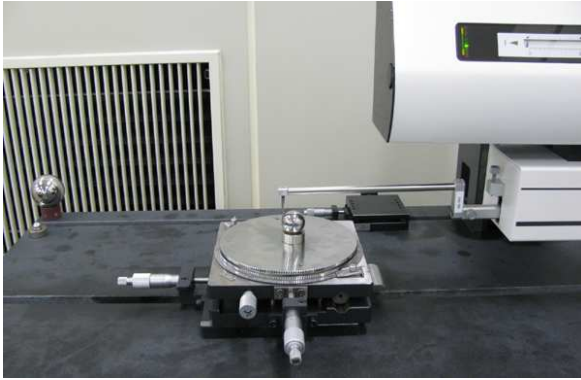


図5 球の測定形態

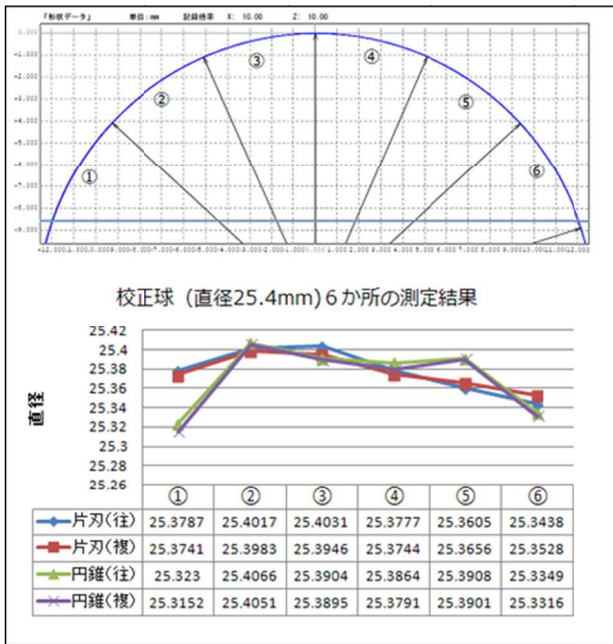


図6 6か所の球直径結果

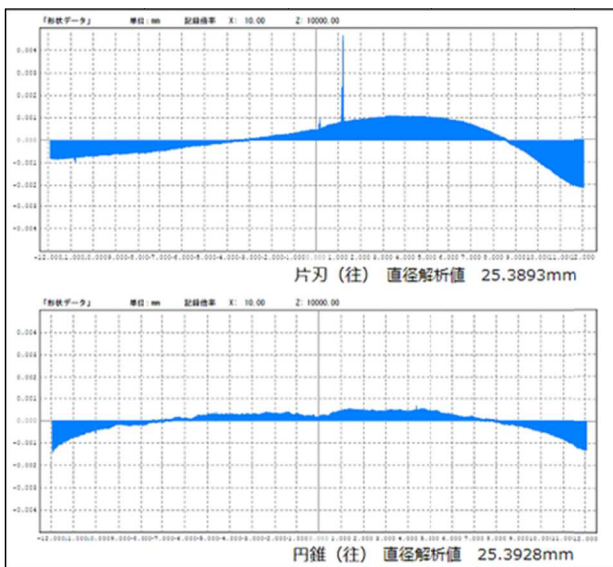


図7 設計値照合結果

#### 4-2 実験結果及び考察

図6より②と③では標準値に近い値となった。両端部①と⑥及び中央部の④では標準値より小さい値となった。図7の設計値照合では両端①と⑥及び中央部下り④と⑤で偏差が大きく、中央の登り②と③で偏差が小さかった。特に片刃でその傾向が顕著であり、片刃スタイラスは引く方向の測定時の下り側でスタイラスの肉厚部での測定になることから干渉など誤差要因の恐れが大きくなった影響と推測された。一方、円錐スタイラスでは干渉による誤差要因は低減し設計値照合の結果では両端部のみで大きな偏差が見られた。しかしながら、円錐スタイラスでは先端部の欠けや摩耗の危険因子の可能性が高くなると思われる。このことから、スタイラス形状と測定物の接触角度と測定方向が測定誤差に影響を与えるので勾配が大きい測定時は注意が必要であることが分かった。

#### 5 結 言

3社の輪郭形状測定機の性能比較を行うため、同一サンプルの持ち回り測定を行い、検出器原理の異なる3機種の測定結果と機能性及び操作性の評価が得られた。

- (1) 測定精度では3社とも差は出なかった。その理由の一つは、CMMによる標準値は値付けの不確かさが大きいことため基準値として信頼性が低い問題であった。もう一つは2回目の測定としてメーカーにサンプルワークを郵送したところ、メーカーから提出された測定値は3社ともほぼ同等の値を示し、3機種の測定誤差に差は生じなかったためである。
- (2) 77°傾斜の連続走査は最後には全社が測定完了した。差別化のためには測定指示の段階で時間軸や操作方法などによる制限が必要と思われた。
- (3) 操作性やソフトウェア性能では各社の特色が反映され明確な差異が表れると予想したが、慣れや好みの点が多くを占め明確な差が表れなかった。

#### 文 献

- 1) 小坂研究所：表面形状・粗さ測定機サーフコーダ DSF600 取扱説明書 (2012)
- 2) 東京精密：表面粗さ・輪郭形状測定機 CONTOURECORD 2600G カタログ
- 3) ミットヨ：CNC形状測定機 FORMTRACER CS-3200 カタログ

#### 謝 辞

持ち回り測定にご協力頂いた、小坂研究所様、東京精密様、ミットヨ様に心からお礼を申し上げます。