

■ 経常研究

三次元座標測定機を用いた非接触形状測定の精度向上に関する研究

長田 和真・鈴木 大介・西村 通喜・米山 陽*

Study on accuracy improvement of the non-contact form measurement using the coordinate measuring machine

Kazuma OSADA, Daisuke SUZUKI, Michiyoshi NISHIMURA and Akira YONEYAMA*

要 約

三次元座標測定機に付属している非接触ラインレーザープローブを用いた測定に関する測定技術やノウハウの蓄積を目的に研究を行った。測定物に対するレーザー光の入射角度が変わることで測定結果に差異が生じる傾向が認められた。段差測定の結果からは 1 mm 程度の段差であれば焦点を変えることなく高精度な測定をすることが可能だと分かった。測定物の粗さや光沢などの表面状態に関しては、粗さの大小が測定結果に与える影響は小さいが、光沢度の大小が測定結果に与える影響は大きいことが分かった。光沢度が大きいと点群データが欠落するなどの問題が発生するが、艶消しの測定前処理を施すことで安定した測定を行うことが可能になることを確かめた。

1. 緒 言

複雑化・多様化する製品の形状を測定するにあたり非接触形状測定に注目が集まっている。当センターが保有している三次元座標測定機には非接触形状測定用のラインレーザープローブが付属しているが、レーザー測定にはどの程度の誤差が含まれているのか分からない、測定物の表面状態（粗さ、光沢）などにより測定を良好に行うことができないなどの課題がある。そのため、レーザー測定を行うたびに条件を検討しており、時間的なロスが発生しているのが現状である。そこで本研究の目的は、三次元座標測定機を用いた非接触レーザー測定について測定精度や測定方法、前処理に関する技術やノウハウを蓄積し、今後の測定業務に活用することにある。

2. レーザー測定条件の検討

2-1 三次元座標測定機

本研究に用いた三次元座標測定機の仕様を表 1 に示す。

2-2 実験方法

レーザー測定における基礎的な条件を検討するために、レーザーの照射強度、ラインレーザープローブの走査方向、艶消し処理の有無が測定結果に与える影響を調査した。レーザー光の入射角度は測定物に対して垂直とした。測定物は(株)ミットヨ製のセラミックスブロックゲージの精度面である。ブロックゲージを接触式プローブで測定した結果を元に評価用のモデルを作製し、レーザー測定で取得し

た点群データをモデルに照合して偏差のカラーマップ評価を行った。点群データ処理およびカラーマップ評価に用いたソフトウェアは 3D systems 社の Geomagic Verify である。レーザーの照射強度は装置で設定が可能な 1mW および 15 mW の 2 条件を検討した。ラインレーザープローブの走査方向については、測定物の長手方向に対して図 1 のように 2 方向測定した。また、焦点は測定物に対してレーザー光を入射した際に最も反射光が得られる高さとし、その高さを変えることなく測定を行った。艶消し処理には(株)タイホーコーザイのミクロンチェックを使用した。

表 1 三次元座標測定機の仕様

装 置 名	門移動型三次元座標測定機	
メ ー カ ー	Carl Zeiss	
型 式	ACCURA II 9/12/8	
非接触プローブ	LINE SCAN (ラインレーザー)	
公称精度	MPE _{-PF(OT)}	X 32.2 μm, Y 32.6 μm
	RMS	X 5.1 μm, Y 4.9 μm
接触プローブ	RDS-VAST XXT TL3	
公称精度	MPE ^E	1.6 + L/350 μm
	MPE _p	0.9 μm
	RMS	X 5.1 μm, Y 4.9 μm
ス タ イ ラ ス	φ 3.0 mm ルビー球	

* 山梨県工業技術センター

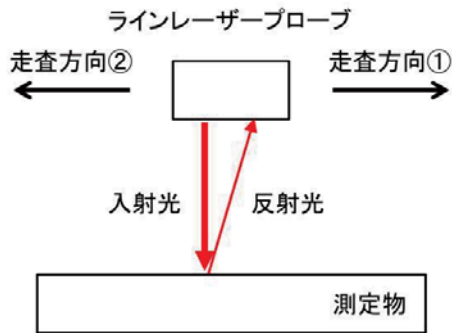


図1 ラインレーザープローブの走査方向

2-3 実験結果

表2にカラーマップ評価結果、図2にカラーバーを示す。暖色（赤色）側は取得した点群データがモデルに対してプラス方向、寒色（青色）側はモデルに対してマイナス方向に位置することを示している。

1 mWにおける測定結果はモデルに対していずれも0.02 mm程度マイナス方向に測定された。走査方向による差は認められず、艶消し処理の有無でも優位な差は認められなかった。15 mWにおける測定結果はモデルとの乖離が大きく、面全体で0.09 mm程度マイナス方向に測定された。走査方向や艶消し処理の有無による影響については1 mWにおける結果と同様に優位な差は認められなかった。

この結果を参考にしてレーザー照射強度1 mW、走査方向①、艶消し処理なしを本研究のレーザー測定標準条件とした。

表2 カラーマップ評価結果（測定条件の検討）

	1 mW	15 mW
艶消しなし 走査方向①		
艶消しなし 走査方向②		
艶消しあり 走査方向①		
艶消しあり 走査方向②		

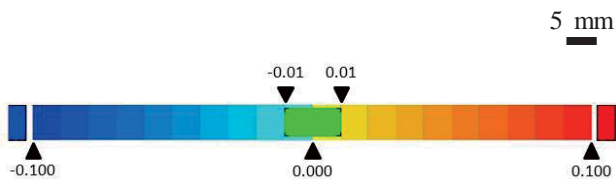


図2 カラーバー（表2~4 共通）

3. レーザー光の入射角度が測定結果に与える影響の調査

3-1 実験方法

測定物に対するレーザー光の入射角度の違いが測定結果にどのような影響を与えるか調査した。ラインレーザープローブにはレーザー照射部、受光部があるため図3のように入射角0 degを基準にそれぞれ反時計周りを入射角の+側、時計回りを入射角の-側とし、 ± 75 degまで15 deg毎に測定を行った。測定物および評価方法は2-2節に示したものと同様である。また、測定条件は本研究のレーザー測定標準条件とした。

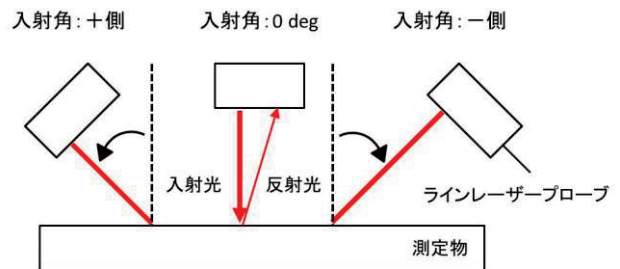


図3 レーザー光の入射角度

3-2 実験結果

表3にカラーマップ評価結果を示す。比較のために表2の1 mW、艶消しなし、走査方向①の結果を入射角0 degにおける結果として流用した。入射角を+15 degにすると、他の結果には見られないような+0.1 mm程度の大きなずれが認められる箇所があった。+30 degから角度を大きくすることでモデルに対して取得した点群データがフィットし、+75 degではモデル全域において点群データが ± 0.01 mmの範囲に収まるような結果が得られた。一方で、0 degから一方向に角度を変更していくと、-45 degでモデル全域において点群データが ± 0.01 mmの範囲に収まるような測定結果が得られた。しかし、-60 degではほぼ点群データが取得できず、得られた点群データをモデルに照合するとモデル全域において+0.05 mm程度の測定誤差が認められた。さらに、-75 degでは完全に点群データの取得ができなかった。このように測定物に対するレーザー光の入射角度の違いにより測定結果が大きく異なることが分かった。これは角度のついた測定物を測定するには点群データが正しく取得できない可能性があることを示唆しているため、そのような形状を有する製品を測定するには注意が必要である。

表3 カラーマップ評価結果（入射角度による影響）

入射角 [deg]	入射角の符号	
	+	-
0		
15		
30		
45		
60		
75		-

5 mm

4. 段差測定の精度の検証

4-1 実験方法

レーザーによる段差測定の精度を検証した。測定物は(株)ミットヨ製のセラミックスブロックゲージの精度面であり、段差はブロックゲージをリングングして設けた。図4に段差測定の概要図を示す。段差が小さいものに関しては基準ブロックゲージの上に2枚のブロックゲージをリングングして、段差が大きいものに関しては基準ブロックゲージの上に1枚のブロックゲージをリングングしてそれぞれ段差を設けた。測定条件は本研究のレーザー測定標準条件とした。レーザー光の入射角度については0 degおよびブロックゲージに対する測定結果が良好であった+75, -45 degの3条件を検討した。レーザーの焦点はベース面に合わせてベース面を測定した後、焦点を変えずに比較面の測定を行った。

4-2 実験結果

表4にカラーマップ評価結果を示す。0.01 mmの段差を測定すると、入射角0 degではモデルに対して全面0.02 mm程度マイナス方向に測定された。入射角を+75, -45 deg

に変更するとモデル全域において点群データが±0.01 mmの範囲で測定されたこと示す緑色になるような結果が得られた。段差を0.1, 1.0 mmと増加させても0.01 mmの段差測定結果と同様の結果であった。段差を5.0 mmにすると、入射角0 degの場合にはベース面全域が0.02 mm程度マイナス方向に測定されたのに対して、比較面は±0.01mm程度の誤差内で測定された。一方で、入射角が+75 degの結果からはベース面、比較面ともに±0.01 mmの範囲内で測定が行われたことが分かる。入射角を-45 degにするとベース面では±0.01 mmで測定されたのに対し、比較面は±0.01 mmの範囲内で測定された個所もあれば0.01 mm以上プラス方向に測定された個所も見受けられた。10 mmの段差を設けると、入射角0, -45 degの測定結果は段差5.0 mmの場合と同様であったが、入射角+75 degの結果に関しては比較面の点群データは取得できなかった。これは、入射光がベース面で遮られたことが原因だと考えられる。さらに段差を20 mmに設定すると、入射角0 degの場合にはベース面全域が0.02 mm程度マイナス方向に測定されたのに対して、比較面は0.01 mm以上プラス方向に測定された。また、入射角を+75, -45 degにすると、ベース面は±0.01 mmの範囲で測定されたが、比較面の点群データは取得できなかった。この結果から、セラミックスブロックゲージのような材質の場合には0.01 ~ 1 mm程度の段差であればレーザーの焦点を変更せずに測定が行えることが分かった。一方で、段差が5 mmよりも大きくなると測定条件によっては正しい結果が得られない、点群データの取得ができないなど測定結果になにかしらの影響を与える可能性があることが示唆された。

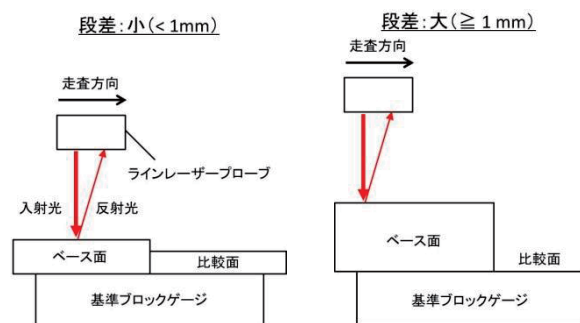


図4 段差測定の概要図

表4 カラーマップ評価結果（段差測定）

deg	0.01 mm	0.1 mm	1.0 mm	5.0 mm	10 mm	20 mm
0						
+75						
-45						

5. 測定物の表面状態が点群データ取得結果に与える影響の調査

5-1 実験方法

測定物の表面状態が点群データ取得結果にどのような影響を与えるか調査した。検討事項は測定物表面の粗さと光沢である。粗さによる影響を調査するために日本金属電鍍社製の比較用表面アラサ標準片を測定した。2枚のアラサ標準片には平面研削、形削、フライス削、正面フライス削の4種類の手法を用いて加工されたRz (JIS B 0659-1:2002)の異なる面が形成されている(図5)。この面に対して本研究のレーザー測定標準条件、レーザー光の入射角度0 degの条件で測定を行った。光沢による影響の調査には自作した光沢度の異なる金属試験片を用いた。30 mm×30 mm×20 mmのNAK 80材をサンドペーパー(#220, 400, 1000, 2000)、ラッピングフィルム(#3000, 4000)により手研磨で加工して光沢度の異なる試験片を計6個作製した。この試験片の光沢度を日本電色工業(株)製のハンディー光沢計PG-IIで測定した後、試験片を光沢度の小さい順に並べて前述の測定条件と同様の条件で測定を行った。また、艶消し処理の有無が測定結果に与える影響も調査した。

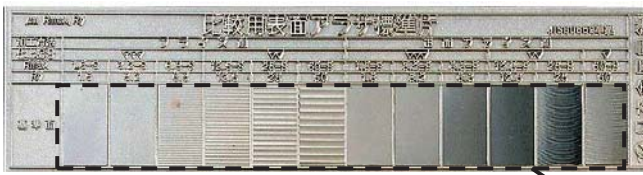
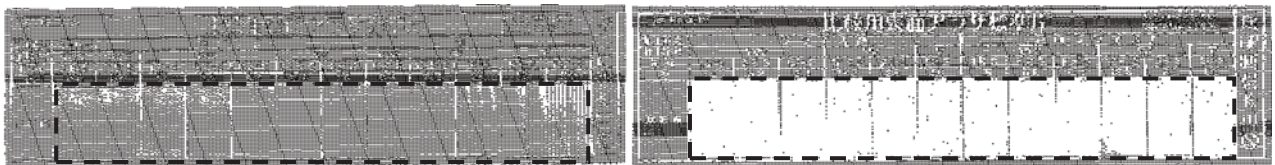


図5 アラサ標準片 (2枚のうち1枚) 加工面

5-2 実験結果

図6にアラサ標準片の点群データ取得結果を示す。平面研削面はRz 0.8~25, 形削面はRz 6.3~100の粗さでそれぞれ加工されているが、いずれの加工面においても点群データの取得が可能であった(図6(a))。一方で、Rz 1.6~50で加工されたフライス削面ならびに正面フライス削面を測定するといずれの加工面においても点群データの取得が困難であった(図6(b))。粗さの大小による点群データ取得結果の大きな差異は認められなかったが、光沢による測定結果の差異が認められた。目視によるアラサ標準片の観察を行うと、フライス削面および正面フライス削面は平面研削面および形削面と比較して光沢が大きかった。このことが点群データの取得の可否に影響を与えたと考えられる。そこで、測定物表面の光沢が点群データ取得結果に与える影響を調査するために光沢試験片を作製して測定を行った。表5に光沢試験片測定結果(光沢度および点群データ)を示す。手研磨加工の番手が大きくなるにつれて光沢度も大きくなるのが分かる。光沢試験片のレーザー測定を行うと、#1000までの試験片は点群データの取得が可能であったが、#2000の測定結果では一部点群データの取得ができていない個所が認められた。さらに光沢度が大きい#3000, 4000の試験片を測定すると、点群データの欠落が多くなる傾向が認められた。次に、試験片全体に艶消し処理を施してから再度レーザー測定を行った。その結果、いずれの試験片においても点群データの取得が可能であった。このことから、表面の光沢度が大きい製品を測定する際には艶消しの測定前処理が有効であることが分かった。



(a) 平面研削、形削面測定結果

(b) フライス削、正面フライス削面測定結果

5 mm

図6 アラサ標準片の点群データ取得結果

表5 光沢試験片測定結果 (光沢度および点群データ)

5 mm

番手	#220	#400	#1000	#2000	#3000	#4000
光沢度	83	138	324	440	463	489
艶消しなし						
艶消しあり						

6. 結 言

三次元座標測定機に付属する非接触レーザーシステムを用いた測定に関する各種実験を行うことで測定技術やノウハウを得た。以下、得られた知見について記す。

- (1) レーザーの照射強度を1, 15 mWと変えてセラミックブロックゲージの精度面を測定したところ、1 mWの条件を利用した方が精度の高い測定が可能であることが分かった。
- (2) 測定物であるセラミックブロックゲージに対するレーザー光の入射角度を変えて測定を行うと、測定誤差が大きくなる、点群データの取得が困難になるような入射角度が存在することが分かった。傾斜面を持つような測定物を測定する際には測定誤差が大きくなる可能性があるため、注意が必要である。
- (3) セラミックブロックゲージの段差測定からは0.01~ 1 mm程度の段差であれば高精度な測定が可能であるが、1 mm以上の段差を測定する場合には測定誤差が大きくなる可能性があることが分かった。
- (4) 粗さや光沢など測定物の表面状態が測定結果に与える影響について調査した。粗さの標準片を測定した結果、Rz粗さの大小によらず点群データを得ることが可能であった。光沢が測定結果に与える影響については光沢試験片を作製・測定することで調査した。光沢度324 (#1000) で仕上げた面については点群データを取得することができたが、光沢度440 (#2000) 程度から点群データの欠損が発生することが分かった。光沢度が大きい測定物に関しては、艶消しなどの測定前処理を行うことで測定が行えることが分かった。