

### 3 非接触形状測定における最適な測定条件の検討

久保田将矢, 前田圭治

Examination of optimum measurement conditions for non-contact shape measurement

KUBOTA Shoya and MAETA Keiji

Using a high-precision non-contact measuring device, we verified the effects of lighting during measurement, the effects of flaw detectors applied to the surface and gold deposition, and the optimum measurement conditions for steep slopes. As long as the lighting conditions do not lose color, the effect on the measurement result is small. Since the coating of the spray is uneven and thick, high-precision measurement requires a high level of skill. In the case of gold vapor deposition, the film was thin and uniform, so the effect on the measurement results was small. Low magnification and strong lighting could measure the test piece that had the slope of 80 degrees.

キーワード：非接触三次元測定, 焦点移動法

## 1 緒 言

従来、製品の形状評価は点（二点間距離）や線（一断面凹凸）による評価が行われていた。しかし近年は、点や線による評価に加えて、広範囲の測定ができることや結果が視覚的に理解できることから、面（面粗さ Sa 等）による評価への要望が高まっている。そうした状況により、測定機も面の測定ができる非接触式が普及しており、当センターでも非接触三次元測定機を導入した。非接触式では、接触式と異なり、広範囲を高速に測定できる利点がある。一方で、レーザーなどの光を測定物の表面に照射して、その反射光から測定物の形状を取り込むため、測定物の表面が鏡面や透明である場合や、形状が垂直に近い場合は、正しい測定結果が得られない欠点がある。また、測定物の表面状態（形状や材質、色など）によっては測定できない場合がある。測定できる場合でも照明等の測定条件は値が定められておらず、測定者により異なる設定をする場合や、表面の一部は最適な条件であるがその他の場所では光が強い（弱い）など厳しい条件での測定となる場合があり、これらの測定結果への影響は分かっていない。

そこで本研究では、初めに照明の条件による測定結果への影響について検証した。次に、表面が光を透過する場合、もしくは強く反射する場合に使用する、探傷剤や金蒸着が、測定結果へどのように影響するかについて検証した。最後に、非接触三次元測定機が苦手としている急傾斜の測定について、最適な測定条件について検証したので報告する。

## 2 測定機について

### 2.1 装置概要

今回の研究に用いた測定機はブルカーアリコナ社製のインフィニートフォーカス G5 (図 1) である。この装置

は、Z 軸を走査しながら焦点の合った場所の XYZ 情報と色情報を取得して、それらを合成して三次元画像を作成する、焦点移動法という測定方法を採用している。この測定方法の特徴としては、測定速度が速いこと、複雑な形状も測定できることである。一方で、合焦させる目的物がないバフ研磨以上の鏡面仕上げが施されている面や、細かい粒子でできている石膏像、表面が白色の測定物は焦点が合わないために測定できない。

次に装置の仕様について述べる。レンズは、5 倍、10 倍、20 倍、50 倍、100 倍の 5 種類の倍率がある。このうち 10 倍と 20 倍のレンズは、ワーキングディスタンスの広い HX レンズとなっており、Z 軸の測定可能範囲が非常に広がっている。また、回転ユニットも付属しており、工具などの測定物を全周測定することが可能である。

測定したデータの分析機能として、高さのコンター図表示や表面の線粗さや面粗さの算出、断面プロファイルの表示と出力、差分解析などが搭載されている。また、点群処理ソフト Geomagic Design X も導入しており、リバースエンジニアリング（製品を測定して図面や CAD データを作成すること）といった用途にも利用可能である。

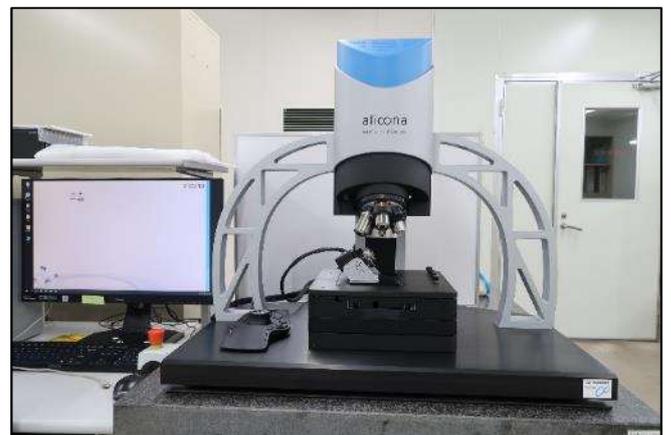


図 1 インフィニートフォーカス G5

## 2.2 測定方法

実際の測定手順を以下に示す。測定時の照明の操作は、照明の種類と強さ、コントラストの3種類を調節することができる。照明の種類は、同軸落射照明とレンズに取り付けるリングライトの2種類がある。リングライトはLEDが円形状に並んでいて、点灯する位置を任意に選択することが可能である。また照明の強さ（輝度）は、測定機が自動で最適な強さに設定するか、手動で任意の強さに設定するかを選択することができる。コントラストは0.0から4.0まで0.1間隔で設定できるが、基本的には0.2から1.5の間で使用している。照明条件を設定後、測定したいXYZの領域を設定すれば、その範囲内の測定データを得ることができる。

## 3 照明条件による測定結果への影響

### 3.1 検証方法

検証は、図2に示す測定精度確認用ツールの中から、半径が1mmの円柱部分を用いた。この確認用ツールは測定条件に照明の条件も含めて定められている。測定条件を表1に示す。今回の検証では、輝度とコントラストの値を変更して測定する。表1の値から、①コントラストは0.8に固定して、自動設定時の輝度を1として20%ずつ変化させる。②コントラストを0.2刻みで変化させて自動で輝度を設定する。2.2節で述べたように、測定条件として輝度とコントラストがあり、その組み合わせは無数に存在するが、今回はハレーションや光不足などの影響を受けずにデータが取得できる範囲の中で条件を設定した。また、照明はリングライトを使用して、同じ条件の測定を2回ずつ繰り返し行った。

測定したデータは、測定機の分析機能を用いて半径を算出し、基準値との差を基準値で割った値を誤差率とした。



図2 測定精度確認用ツール

表1 1mm円柱の測定条件

条件	値	垂直分解能	2.0 $\mu$ m
レンズ	5倍	水平分解能	7.8 $\mu$ m
コントラスト	0.8	基準値	1002.5 $\mu$ m
輝度	自動露光	許容範囲	$\pm$ 1.2 $\mu$ m

### 3.2 測定結果

測定結果を、図3と図4に示す。図中の赤線は、基準値の許容範囲の上限と下限を示している。上限と下限の間が基準値の範囲内となる。1回目と2回目の測定で多少のばらつきがあるが、測定結果に輝度やコントラストの強弱による違いはみられない。どの測定値も基準値の範囲内であることから、照明条件がハレーションや光不足を起こさない範囲においては、照明が測定結果に与える影響は小さいことが分かった。ただし、図5に示すように、測定条件が測定可能範囲内であっても、表1の値から離れるほど測定結果の色が失われて白や黒に近くなり、表面の細かな形状が判別できないデータとなった。測定機は取得データの合成に色情報を用いることを踏まえると、測定時に画面上で色が判別できる範囲で照明を調節する必要がある。このため、色が判別できる範囲の条件で測定すれば測定結果への影響は少ないと考えられる。

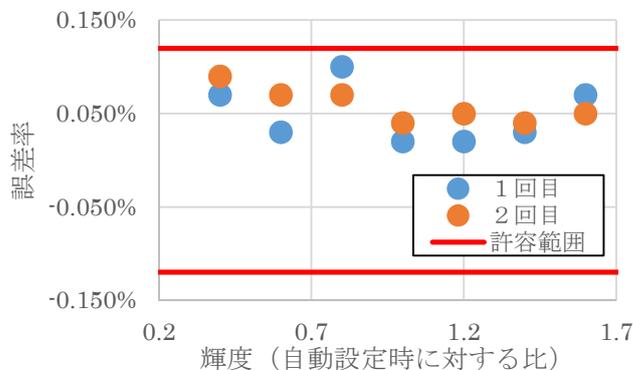


図3 輝度と誤差率の関係

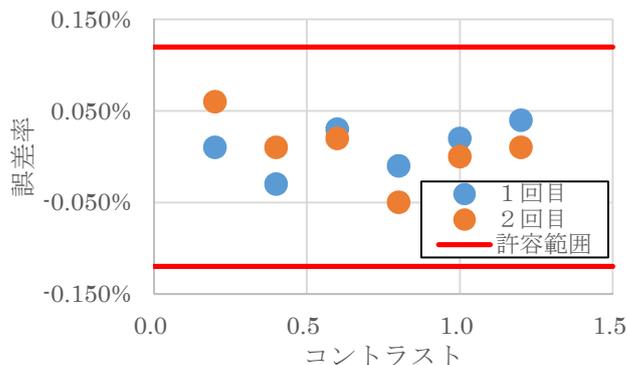


図4 コントラストと誤差率の関係

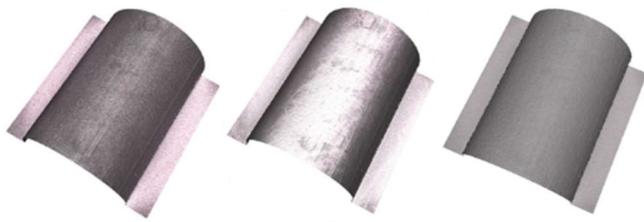


図5 照明条件毎の測定結果  
(左) 適正条件, (中央) 輝度超過, (右) 低コントラスト

## 4 測定面に塗布する被膜の測定精度への影響

### 4.1 検証方法

測定物の表面が光を透過する、もしくは強く反射する場合は、スプレー等の塗布剤で被膜を形成してから測定する。その際に被膜の形成が測定結果へ及ぼす影響を検証した。検証には、カラーチェック時に使用する探傷剤4種類と測定用に開発されたスプレー1種類、金蒸着の合計6種類を使用した。塗布剤の影響を評価するためには、試験片はスプレー等の被膜がなくても測定できることが求められる。そこで、図6に示す試験片を銅で作製した。表面を1500番までのやすりで研磨し、位置合わせ用の圧痕を両端に、測定用の圧痕を中央に打った。この試験片をスプレー用と金蒸着用の2種類作製した。各スプレーは1秒間の噴射を行い、乾燥させてから測定した。金蒸着は、真空状態で1分間の蒸着を2回実施した。

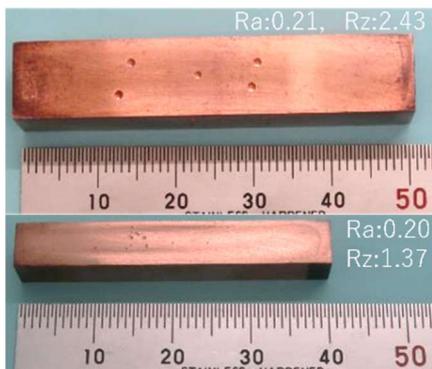


図6 検証用試験片(上)スプレー用, (下)金蒸着用

### 4.2 検証結果

図7に各スプレーの塗布の有無による測定結果の差分を示す。探傷剤2と3は、中心の円が赤く表示されている。これは穴に堆積した探傷剤が、他の平坦な場所と比較して厚くなっていることを示している。また、測定用スプレーは厚みが非常に不均一かつ場所によっては20 $\mu$ mを超える結果となった。探傷剤及びスプレーの計5種類では、被膜の厚みが不均一で部分的に細かな凹凸が生じる等、試行毎のばらつきが大きく、高精度な測定結果が求められる非接触測定機で使用するには適しているとは言い難

い。次に、金蒸着の有無による測定結果の差分を図8に示す。金蒸着では被膜の厚みが非常に薄く、穴が埋まることはなかった。また、試行毎のばらつきも見られなかった。そのため、金蒸着による測定結果への影響は非常に小さいと考えられる。

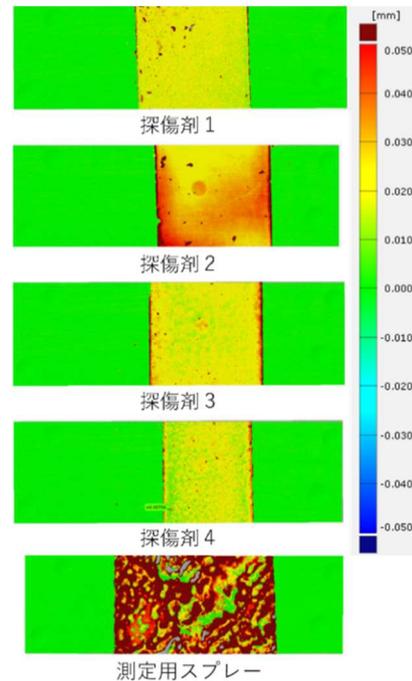


図7 各スプレーの塗布の有無による測定結果の差分結果

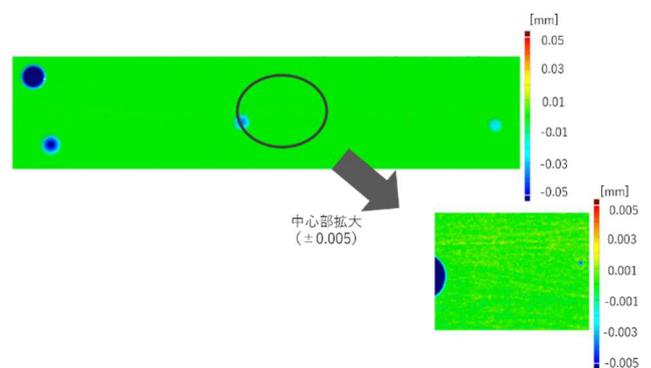


図8 金蒸着の塗布の有無による測定結果の差分

## 5 急傾斜の測定方法の検討

### 5.1 検証方法

その他に測定が難しいケースとして急傾斜の測定がある。これについて測定条件を検討するために図9に示すワークを作製した。本来であれば角度ゲージブロックを用いるべきであるが、角度ゲージブロックは表面が非常になめらかであり測定できないため使用していない。このワークは、各面の表面粗さが約8 $\mu$ m程度となるよう加工した。角度は上から75°, 77.5°, 80°, 82.5°である。これらの面に対して、レンズの倍率を5倍、10倍、

20倍、照明をリングライトと同軸落射照明、コントラストの値を0.3, 0.5, 0.8にそれぞれ変化させて最適な条件について検証した。

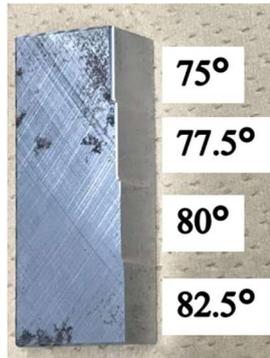


図9 測定ワーク

## 5.2 検証結果

検証結果を表2に示す。表中の○は、欠落が1, 2個程度で測定できたこと、△は欠落が生じているが角度は測定できたこと、×は欠落が多いことを表している。

レンズの倍率に注目して結果を見ていくと、20倍レンズでは最も小さい75°の傾斜角の測定も厳しい結果となり、10倍では照明の条件次第で77.5°の傾斜角が測定できる結果となった。一方で5倍レンズでは、照明条件によらず80°の傾斜角まで測定できた。これらの結果から、急傾斜の測定におけるレンズの倍率は、低倍率の方が適していると考えられる。照明の条件に注目すると、同軸落射照明よりもリングライト照明を用いた場合の方が、より急角度の測定ができた。続いて、コントラストの値に注目する。図10は、77.5°を10倍レンズ、リングライトで測定した結果である。コントラストが0.3の左側と0.8の右側とでは、欠落の数に大きな差が出ている。その他の条件では図10ほど大きな差は現れなかったが、コントラストが高い時に急角度の測定ができる傾向にある。今回の測定では、コントラストを設定後、光の強さを自動で定めているが、コントラストの値と比例して光も強くなっている。つまり、コントラストの値を高く設定することで、ハレーションを起こさずに、光をより強くすることができるようになっている。照明の種類やコントラストの検証結果は、測定面によりたくさんの光を強く当てる条件の方が良い結果が得られることを示唆している。以上から、急傾斜の測定においては、照明をリングライト、コントラストを高め設定した状態で、低倍率レンズを使用したときに測定できる角度が最大になると考えられる。

ここでは、測定機側の測定条件について検証を行った。一方で、測定の可否を決める要因は、測定物側にもあると考えられる。今後、測定物の表面状態による測定結果への影響について検証を行う必要がある。

表2 検証結果

同軸落射照明					リングライト						
5倍 レンズ	角度				5倍 レンズ	角度					
	75°	77.5°	80°	82.5°		75°	77.5°	80°	82.5°		
コントラスト	0.3	○	○	○	×	コントラスト	0.3	○	○	○	×
	0.5	○	○	○	×		0.5	○	○	○	×
	0.8	○	○	○	×		0.8	○	○	○	×
10倍 レンズ	角度				10倍 レンズ	角度					
	75°	77.5°	80°	82.5°		75°	77.5°	80°	82.5°		
コントラスト	0.3	△	×	×	×	コントラスト	0.3	○	×	×	×
	0.5	△	×	×	×		0.5	○	×	×	×
	0.8	△	×	×	×		0.8	○	○	×	×
20倍 レンズ	角度				20倍 レンズ	角度					
	75°	77.5°	80°	82.5°		75°	77.5°	80°	82.5°		
コントラスト	0.3	△	×	×	×	コントラスト	0.3	△	×	×	×
	0.5	△	×	×	×		0.5	△	×	×	×
	0.8	△	×	×	×		0.8	△	×	×	×

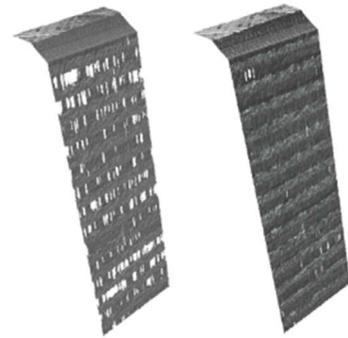


図10 コントラストの違いによる結果  
(左) 0.3, (右) 0.8

## 6 結 言

今回の検証では、当センターに導入された非接触測定機を用いて様々な条件で測定を行った。その結果以下のことが分かった。

- (1) 照明条件について、実物と同程度の色が得られる条件であれば、測定結果への影響は小さい。
- (2) カラーチェックに使用される探傷剤を用いて作製した被膜は厚みにばらつきがあり高精度の測定には適さない。一方で、金蒸着は安定して薄く均一な被膜を作れるため測定結果に与える影響が小さい。
- (3) 急傾斜の測定においてはレンズの倍率を下げ照明を強める方が適している。