

非接触 3 次元スキャナの測定誤差の把握と高精度測定手法の確立（第 2 報）

— 高精度測定手法に関する検証 —

萩原義人・米山陽・鈴木大介・寺澤章裕・佐藤博紀・古屋雅章・望月陽介・中村哲夫

Study on Grasping Measurement Error and Establishment of High Precision

Measurement Method by Non-contact 3D Scanner (2nd Report)

- Verification about High Precision Measurement Method -

Yoshihito HAGIHARA, Akira YONEYAMA, Daisuke SUZUKI, Akihiro TERASAWA,
Hiroki SATOU, Masaaki FURUYA, Yosuke MOCHIZUKI and Tetsuo NAKAMURA

要 約

従来の高精度測定手法である接触式 3 次元座標測定で対応できない案件に対し、非接触 3 次元スキャナや X 線 CT などの測定手法が活用されている。しかしながらその測定精度は評価サンプルの材質や表面状態に影響されることから高精度な測定を実施できない場合がある。そこで本研究では、非接触 3 次元スキャナの測定誤差を把握するとともに高精度な測定手法を確立することを目的として各種検討を行った。

その結果、測定物の材質や表面状態によって、レーザ強度やパターン投影光の強度等の条件変更やスプレー塗布を併用することで、金属製サンプルでは $\pm 50 \mu\text{m}$ 未満、樹脂製サンプルでは $\pm 100 \mu\text{m}$ 未満の精度で測定が可能となることを確認できた。

1. 緒 言

近年の製品の多様化・複雑形状化に伴い、従来の高精度測定手法である接触式 3 次元座標測定で対応できない案件が年々増加傾向にある。

現在、そのような案件に対しては、非接触 3 次元スキャナや X 線 CT 等が用いられているが、取得したデータは、測定物の特性や測定条件などの影響により、 0.1 mm 単位での測定誤差が生じるなど、安定した測定に支障をきたしているのが実状である。そのため多方面で非接触測定に関する検証・評価が実施されている^{1),2)}。

第 1 報³⁾では、円筒形状サンプルにおける材質の違いによる測定データの取得可否や測定方向に依存する測定値への影響、さらには接触式 3 次元測定との誤差の把握等、高精度な測定を確立するための各種測定結果を得ることができた。

本報では、各種測定物を対象として、当センターが保有する 3 台の非接触 3 次元スキャナを用いて、測定誤差の把握ならびに高精度な測定手法を確立し今後の支援強化に繋げることを目的として、各種サンプルを対象として、各測定機器の測定条件ごとの取得状況やサンプルの厚さ測定を実施し、各種比較検討を行った。

2. 実験方法

2-1 評価サンプル

評価に用いた金属製サンプルを図 1、樹脂製サンプルを図 2 に示す。サンプルの材質は、依頼試験や設備使用などの技術相談案件を鑑み、金属製サンプルとしてステンレス鋼（以下 SUS304）、アルミ合金（以下 AL）、プリハードン鋼（NAK55）、冷間金型用合金工具鋼（以下 SKD11）、銅（以下 CU）の 5 種類、樹脂製サンプルとしてアクリル（以下 PMMA、計 3 色）、ポリカーボネー

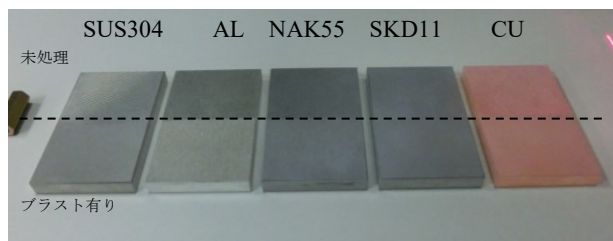


図 1 金属製サンプル

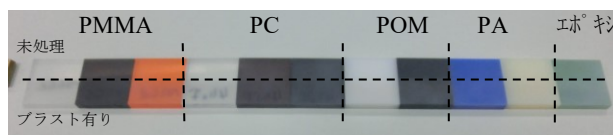


図 2 樹脂製サンプル

ト（以下 PC，計 3 色），ポリアセタール（以下 POM，計 2 色），ナイロン（以下 PA，計 2 色），エポキシの 5 種類を用いた。また，各非接触 3 次元スキャナで測定する際の表面粗さの影響を調査するために，各サンプルの下半分の領域にサンドブラスト処理を施した。サンプルのサイズは金属サンプルが 30×50 mm，t=5 mm，樹脂サンプルが 30×30 mm，t=5 mm である。

2-2 測定機

非接触測定に用いた測定機は，ラインレーザ方式 2 機種（株）ミットヨ製 Crysta-Apex C7106（公称精度：25 μm）：以下レーザ①，（株）東京精密製（Carl Zeiss 製）ACCURA II（公称精度：X32.2 μm，Y32.6 μm）：以下レーザ②とパターン投影方式 1 機種（Steinbicher 製（Carl Zeiss 製）COMET L3D：以下投影光）の計 3 台である。また，非接触測定との比較測定用にはマイクロメータを用い，比較評価する測定値は，各評価サンプルの厚さとした。

2-3 測定方法

ラインレーザ方式は，ライン状のレーザを測定物に照射し，その反射光（拡散反射光）を取得することで，三角測量の原理により座標位置を点データとして取得している。パターン投影方式は，縞模様などを測定物に照射し，その状態をカメラで撮影することでワークの表面状態を点データとして取得している。しかし，測定物の材質や表面状態，各種測定器の測定条件等により，いずれの測定器においても良好な測定データを得られないケースが生じてしまう。そこで，非接触測定の測定条件として，表 1 に示すとおり測定機ごとに主なパラメータを変化させて測定を行った。

測定時の評価サンプルの配置方法としては，レーザ方式は機器定盤上（図 3）に，パターン投影方式は回転テーブル上（図 4）に配置し測定を実施した。その後，取得した測定データから解析ソフトにより各評価サンプルの厚さを算出した。各サンプルの厚さの算出に用いた解析ソフトは，3DSystems 製 Geomagic DesignX である。

表 1 各種測定機器の測定条件

測定機	レーザ①	レーザ②	投影光
光源	半導体レーザ		青色 LED
スキャンヘッド角度	0 度，45 度		
測定視野	一定	狭，広	一定
レーザ強度	1～14 mW	1, 15 mW	—
LED 強度	—	—	一定
光沢面設定	—	—	有，無
露出設定	—	—	強，弱

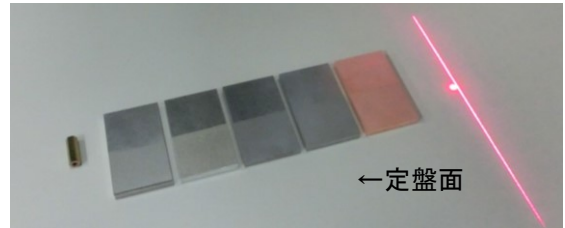


図 3 レーザ方式による測定風景

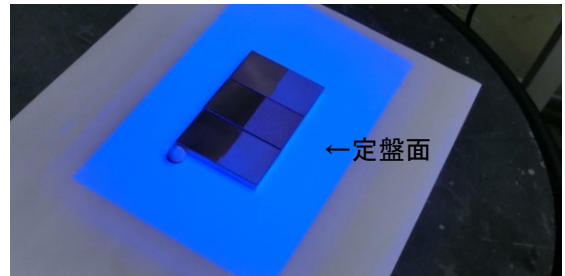


図 4 パターン投影方式による測定風景

また一般的に，非接触測定を実施する際には測定物の材質や表面状態等により測定データを取得できない場合には，スプレーを塗布して測定を行うことがある。そのため，今回の測定では，各評価サンプルにスプレーを塗布しない状態（スプレー無し）での測定とスプレーを塗布した状態（スプレー有り）での測定をそれぞれ行った。

3. 結果および考察

3-1 測定データの取得状況について

金属製サンプルならびに樹脂製サンプルを各種測定器で測定した後に，その測定データを解析ソフトに読み込んだ結果の一部を表 2 に示す。

金属製サンプルの測定結果より，レーザ方式においてはレーザ強度を高い条件に設定し測定を行うことでサンドブラスト処理の有無関係なく，安定したデータ取得が可能となることを確認できた。しかしパターン投影方式では，投影光弱の条件においてサンドブラスト有のデータ取得が良好であったものの，レーザ方式と比較すると測定データの取得状況は良好でないことが確認できた。また樹脂製サンプルに関しては，レーザ方式においてもパターン投影方式においても全体的な傾向としてデータ取得が困難であることを確認することができた。表 2 に示される結果では，データを取得できている状態にも見えるが，図 5 に一例を示すが，PMMA と PC の正面方向からの測定データ（レーザ①強）を確認したところ，レーザ光や投影光が透過したり，ノイズのような離散データが生じるなど安定した取得状況では無いことが確認できた。しかし，材質や表面状態によってはレーザ強度やパターン投影光の強度等，条件を変更することで測定が

表2 測定結果（測定データの取得状況）

素材 測定条件		金属製サンプル					樹脂製サンプル										
		S U S	A L	N A K 55	S K D 11	C U	PMMA			PC			POM		PA		エ ポ キシ
							透 明	茶	橙	透 明	茶	黒	白	黒	青	白	
レーザ①弱	未処理	[測定結果の取得状況]															
	ブラスト	[測定結果の取得状況]															
レーザ①強	未処理	[測定結果の取得状況]															
	ブラスト	[測定結果の取得状況]															
レーザ②弱	未処理	[測定結果の取得状況]															
	ブラスト	[測定結果の取得状況]															
レーザ②強	未処理	[測定結果の取得状況]															
	ブラスト	[測定結果の取得状況]															
投影光弱	未処理	[測定結果の取得状況]															
	ブラスト	[測定結果の取得状況]															
投影光強	未処理	[測定結果の取得状況]															
	ブラスト	[測定結果の取得状況]															

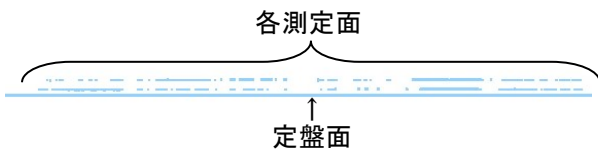
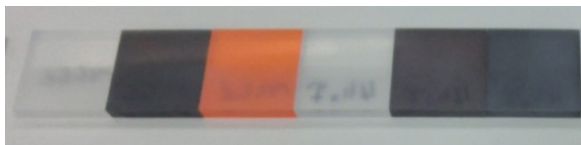


図5 正面方向から見た測定データ（レーザ①強）

可能となることも確認できたため、解析ソフトによる厚さ測定と接触式測定との差分値を測定し比較検証を行った。

3-2 測定結果の比較検証について

表2の測定結果をもとに、良好にデータ取得が行えた各評価サンプルの測定データから解析ソフトにより算出した厚さの値と、接触式測定で求めた各評価サンプルの厚さの値との差分値を算出し、その測定誤差表を作成した。その測定誤差表を表3に示すが、表中の各記号は接触測定値との誤差レベルを示し、◎が±20 μm未満、○が±20 μm以上～50 μm未満、△が±50 μm以上～100 μm未満、▲が±100 μm以上、×が測定不可を示している。

この結果より、金属製サンプルについては、レーザ方式を用いることで、ほぼ±50 μm未満の精度でサンドブラスト処理の有無に関係なく測定が可能となることを確認することができた。それに対し、パターン投影方式では、

SKD11 に関しては±50 μm～100 μm 未満の精度で測定できたものの、他の金属材質に関しては、±100 μm 以上の誤差が生じるという結果であった。このことから金属材質を測定する際には、レーザ方式を用いることでより高精度な測定値を得られることが確認できた。

また樹脂製サンプルについては、レーザ方式ならびにパターン投影方式においても、全体的に±100 μm 以上もしくは測定不可という結果がほとんどであったが、サンドブラスト処理を施したサンプルが±20 μm 未満の精度で測定可能となる測定機器ならびに測定条件が存在したり、サンドブラスト処理無しでも材質によっては±100 μm 未満の精度で測定が可能となるなど有益な結果を得ることができた。

3-3 測定結果と表面状態の関係について

2-3 項でも述べたが、非接触測定で良好なデータを取得できるかどうかは測定物の材質や表面状態が大きく影響していると思われる。これまでの測定結果では、特に樹脂製サンプルにおいて測定機器や測定条件の違いによってデータ取得の優位性が異なることを確認でき、測定方式や測定条件の重要性を認識することができた。

そこで、次に各評価サンプルの表面状態が測定結果にどのような影響を及ぼしているのかを検証するために各評価サンプルの表面粗さや拡散反射率と測定結果との比較検証により関係性を調査した。

表4に、各評価サンプルをレーザ①強で測定した際の測定結果と各評価サンプルの表面粗さおよび拡散反

表3 測定誤差表

(接触測定値との差分(μm) : ◎=±20未満, ○=±20~50未満, △=±50~100未満, ▲=±100以上, ×=測定不可)

測定条件		金属製サンプル					樹脂製サンプル											
		S U S	A L	N A K 55	S K D 11	C U	PMMA			PC			POM		PA		エ ポ キ シ	
							透 明	茶	橙	透 明	茶	黒	白	黒	青	白		
レーザ①弱	未処理	×	×	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	ブラスト	◎	△	◎	○	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
レーザ①強	未処理	◎	△	◎	◎	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	△	▲	×	×
	ブラスト	◎	△	◎	◎	◎	△	○	△	◎	○	○	×	◎	△	△	◎	◎
レーザ②弱	未処理	○	○	◎	○	○	×	×	×	×	×	×	△	▲	▲	▲	▲	▲
	ブラスト	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎	○	△	▲	▲	▲	▲	▲
レーザ②強	未処理	○	◎	◎	○	◎	×	×	×	×	×	×	▲	△	▲	▲	▲	▲
	ブラスト	◎	◎	◎	◎	◎	×	◎	×	×	◎	△	▲	▲	▲	▲	▲	▲
投影光弱	未処理	▲	▲	▲	△	▲	×	×	×	×	×	×	△	×	▲	▲	×	×
	ブラスト	▲	▲	▲	△	▲	▲	▲	▲	◎	○	○	△	▲	▲	▲	▲	▲
投影光強	未処理	▲	▲	▲	△	▲	×	×	×	×	×	×	×	▲	▲	▲	×	×
	ブラスト	▲	▲	▲	△	▲	▲	▲	▲	◎	○	○	×	▲	▲	▲	▲	▲

射率を示す。この表で示す拡散反射率は、レーザ①で使用されるレーザ波長が 635 nm~660 nm であることから、そのほぼ中間にあたる 650 nm における各評価サンプルごとの拡散反射率である。表面粗さは(株)小坂研究所製 Surfcoorder DSF1000 型を用いて、拡散反射率は、(株)島津製作所製 SolidSpec-3700 を用いて測定を行った。

表4の結果より、金属製サンプルに関しては、表面粗さの値に関係なく、全て17%以上の拡散反射率が得られており、全体的に高精度な測定結果を得られていることが確認できた。しかしALのように、サンドブラスト処理を施され高い拡散反射率を得ている表面状態でも測定精度が良好でないサンプルが存在することも確認できた。また、樹脂製サンプルに関しては、金属製サンプルほど拡散反射率は高くないものの、10%程度の拡散反射率があれば高精度な測定が可能であることを確認することができた。しかし、POMやPAなどのように、拡散反射率が高くても良好な測定データを取得することが困難なサンプルも存在するということが確認できた。

以上の結果から、金属・樹脂製サンプルともに、測定面の拡散反射率が高いほど良好な測定データを得られやすい傾向があることを確認できた。しかし、拡散反射率以外にも測定データの取得を困難とする何らかの要因が存在することも判明した。

3-4 スプレーを塗布したサンプルの評価について

3-1~3-3 項における各結果より、非接触3次元スキャナでは測定困難な材質が存在することを確認できた。そこで、非接触測定時に拡散反射率を高めるための手法の一つとして用いられているスプレー(株)イチネンケミカルズ製マイクロチェック)を各評価サンプルに塗布し測定結果の比較評価を行った。表5にその評価結果の1例として、レーザ①の各条件における樹脂製サンプルの最良の結果を示すが、スプレーを塗布して測定条件を樹脂材料ごとに変更することで接触式測定との差分が全て100 μm 未満となり、高精度な測定を実施することが確認できた。ちなみにスプレーの塗布厚さをコンフォーカル顕微鏡(レーザテック(株)製H1200型)で測定したところ8~10 μmであった。今回の測定評価では高精度な測定を実施することができたが、スプレー塗布の厚さならびに厚さのムラが測定精度に影響することが懸念されるため、スプレーを塗布して測定を行う際にはその手法を確立したうえで実施することが重要である。

4. 結 言

非接触3次元スキャナの測定誤差の把握ならびに高精度測定手法を確立するために各種評価を行った結果、以下のことが確認できた。

- 1) 金属製サンプルの測定を実施する際には、レーザ方式を用いてレーザ強度を高め設定することで、安定した測定データが取得可能となることを確認できた。

表4 レーザ①強の測定結果と表面粗さおよび拡散反射率との関係

(接触測定値との差分(μm) : ◎=±20未満, ○=±20~50未満, △=±50~100未満, ▲=±100以上, ×=測定不可)

素材 サンプル条件		金属製サンプル					樹脂製サンプル											
		S U S	A L	N A K 55	S K D 11	C U	PMMA			PC			POM		PA		エ ポ キシ	
							透 明	茶	橙	透 明	茶	黒	白	黒	青	白		
未 処 理	表面粗さ(μmRa)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.2	0.2	0.7	0.1
	拡散反射率(%)	40	17	25	26	40	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	62	4	8	50	6
	測定誤差	◎	△	◎	◎	◎	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	▲	×
ブ ラ ス ト	表面粗さ(μmRa)	0.7	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	0.4	0.9	0.6	0.5	0.7	2.0	2.0	1.0	1.8	1.2	
	拡散反射率(%)	44	48	36	36	65	11	5	12	9	6	7	61	10	10	50	14	
	測定誤差	◎	△	◎	◎	◎	○	○	△	◎	○	○	×	◎	△	△	◎	

表5 スプレー塗布の有無におけるレーザ①強の樹脂製サンプルの測定結果

(接触測定値との差分(μm) : ◎=±20未満, ○=±20~50未満, △=±50~100未満, ▲=±100以上, ×=測定不可)

素材 サンプル条件		樹脂製サンプル										
		PMMA			PC			POM		PA		エ ポ キシ
		透 明	茶	橙	透 明	茶	黒	白	黒	青	白	
未 処 理	スプレー無し	▲	×	▲	×	×	×	△	○	△	△	○
	スプレー有り	△	◎	△	○	◎	◎	△	○	△	△	△
ブ ラ ス ト	スプレー無し	△	○	△	◎	◎	○	△	◎	△	△	◎
	スプレー有り	○	○	○	○	◎	◎	△	△	△	△	△

2) 測定物の材質や表面状態によっては、レーザ強度やパターン投影光の強度等の条件を変更することで測定が可能となることを確認できた。

3) 金属製サンプルの厚さ測定に関しては、レーザ方式で得られた測定データを用いることで、±50 μm未満の精度で測定が可能となることを確認できた。

4) 樹脂製サンプルの厚さ測定に関しては、全体的に高精度な測定が困難ではあったが、測定機器や測定条件の設定次第で±100 μm未満の精度で測定が可能となることを確認できた。

5) 金属・樹脂製サンプルともに、測定面の拡散反射率が高いほど良好な測定データを得られやすい傾向があることを確認できた。

6) 各評価サンプルにスプレーを塗布し測定を行った結果、金属製サンプルならびに樹脂製サンプルとも非常

に高精度な測定を実施できることが確認できた。

参考文献

- 1) 長田和真, 鈴木大介, 西村通喜, 米山陽: 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, 平成28年度山梨県富士工業技術センター業務・研究報告, pp.54-58 (2016)
- 2) 産業技術総合研究所: 3Dスキャナと3Dプリンタの連携によるクロズドループエンジニアリングの実証 (2016)
- 3) 萩原義人, 米山陽, 鈴木大介, 寺澤章裕, 佐藤博紀, 古屋雅章, 長田和真, 中村哲夫: 非接触3次元スキャナの測定誤差の把握と高精度測定手法の確立(第1報), 平成30年度山梨県産業技術センター研究報告, pp.117-119 (2019)