ノート

非接触三次元測定の形状測定精度評価に関する研究

永井　智裕*　本田　崇*

A Study on Evaluation of Shape Measurement Accuracy of Non-contact 3D Measurement

NAGAI Tomohiro* and HONDA Takashi*

1. 緒　　言

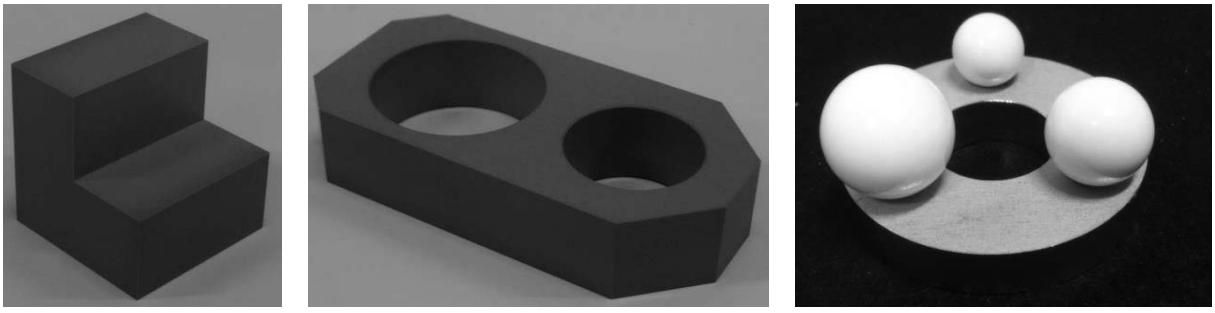
製品の三次元形状を正確に測定することは，品質保証の観点からとても重要なファクターである。近年，接触式の三次元測定機に代表される特定の点間距離の寸法測定だけではなく，製品表面の 3D 形状全体を非接触にて測定し，評価（品質保証）するニーズは増している。

ここで，非接触式測定機には 3D スキャナや X 線 CT 装置のような測定原理の異なるものが多数存在するが，それらを取りまとめた規格というものは現時点で存在していない。例えば，X 線 CT 装置については，VDI/VDE2630 といったドイツ規格に準拠した精度保証をうたっているが，この規格はあくまでも 2 点間の距離について評価した値である。また，3D スキャナについてはメーカー公称値の公開のみであり，参照規格や測定方法が不明確である。そこで本研究では，非接触三次元測定の測定精度および機器による差異について評価を行った。

2. 測定対象の説明

異なる機器にて非接触の測定を行うにあたり，測定対象の検討を行った。3D スキャナは LED 光を測定対象物へ照射して，表面形状をカメラでスキャンする。そのため，光を反射しない黒色，透明な物体，光沢もしくは鏡面状の表面をもつ物体へマッピングできず，スキャンすることができない。一方 X 線 CT 装置は，X 線の物質を透過する性質を利用して測定する機器である。X 線は試料を透過する際に一部が吸収され，密度が大きく，また厚い物体ほど，透過する X 線強度が低くなる。そのため，大きな密度の物体の場合，測定できる形状に制限がある。

本研究では，測定に適する測定対象として，X 線の透過性がよく，また表面の色調がマッピングしやすいセラミック製のジグを検討した。作製した，平面間距離（以下，段差ジグ），穴間距離（以下，穴ジグ），および球間距離（以下，球ジグ）の 3 つの測定用ジグを図 1 に示す。



(a)段差ジグ　　(b)穴ジグ　　(c)球ジグ

図 1　測定用ジグ

*　下越技術支援センター

段差ジグは，段差となる平面間の距離が10mm となるよう作製した。穴ジグについては，直径 20mm と 15mm の 2 つの穴について，穴間の距離が 22.5mm となるよう作成した。球ジグについては，直径がそれぞれ 19.05mm（3/4in.），15.875mm（5/8in.），12.7mm（1/2in.）の球を，配置する台座の穴間の距離が 30.3mm となるよう作製した。

3　非接触測定の設定

3.1　3D スキャナ設定

前述のとおり，3D スキャナではカメラで読み取ったマッピングの情報から，表面形状を測定する。したがって，1 回のスキャンで形状全体を測定できず，全体の測定には様々な向きから複数回の測定を行い，その結果を合成する必要がある。ただし，重ね合わせの処理の際，合成誤差が生じてしまうため，メーカーが公表する精度はワンショット（1 回のスキャン）での精度となる。そこで本研究においてもメーカーの測定に準じて，装置でうたわれる精度（60μm）との比較はワンショットでの測定で行った。測定には 3D systems .inc 製 Geomagic Capture を用いた。図 2 に使用した 3D スキャナの外観を示す。

評価は，測定した点群データをもとに，それぞれ所定の形状となるよう最小二乗法にて近似して求めた。よって，なるべく多くの測定点から形状が作成できるよう，測定にあたっては，もっとも解像度の高い設定とした。測定は同じ向き・設定にて 5 回繰り返し実施した。

3.2　X 線 CT 装置設定

X 線 CT 装置では，線源より測定対象に X 線を照射し，ディテクタにて二次元の X 線透視画像を取得する。測定対象を 360 度回転させながら全周方向に対して像を連続して撮影し，そのデータから三次元モデルを再構築することで，非破壊での内部観察や寸法測定が可能である。

測定にあたっては，観察対象を X 線源に近づけることで像を拡大でき，解像度の高い画像を取得できることから，測定用ジグはできるだけ線源に近い配置とした。また，X 線の出力強度等，条件による変化を考慮し，すべての測定ジグに対して同じ撮像条件にて測定した。測定回数については，3D スキャナと同様，5 回繰り返し測定を実施した。撮像条件を表 1 に示す。

測定には Nikon Metrology .inc 製計測用 X 線 CT システム MCT225 を用いた。図 3 に使用した X 線 CT 装置の外観を示す。本装置の測定精度は，9+L/50μm（L：測定長さ）である。

表 1　X 線 CT 装置撮像条件

項目	設定値	項目	設定値
管電圧	220kV	フィルター	Cu 1.0mm
管電流	120μA	撮影枚数	1,800枚
露光時間	1,000msec	フレーム数	1枚

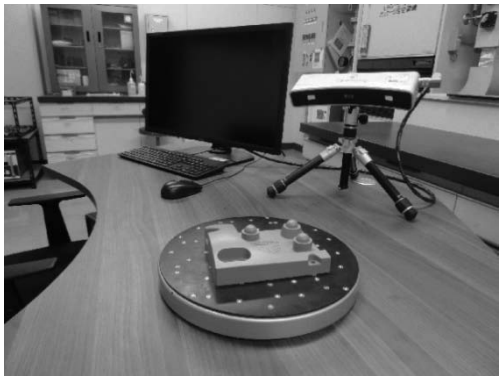


図 2　3D スキャナ外観

図 3　X 線 CT 装置外観

4　測定結果

4.1　三次元測定機による検証

作成した各種ジグによる非接触式三次元測定機の精度評価を進めるにあたり，まず精度の高い接触式の三次元測定機にてジグを計測し，評価を行った。測定は，10 回繰り返し実施した。測定には Carl Zeiss 製 UPMC 550 CARAT を用いた。本装置の測定精度は U3=0.8+L/600μm（L：測定長さ）である。

測定結果を表 2 に示す。結果より，標準偏差が小さく，再現性の高いデータが取得できていることがわかる。よって，本データから得られた平均値を真値と仮定して，測定評価用の基準値とした。

4.2　非接触測定結果

それぞれの機器による測定結果を表 3，4 にそれぞれ示す。次節以降，この結果をもとに三次元測定機の平均値との比較を行い，平均値の差異および最大値と最小値で整理した。

4.3　形状の評価

距離の評価にあたり，穴ジグと球ジグについて，測定中心となる穴と球の形状評価を実施した。図 4 に形状の測定結果のまとめを示す。

3D スキャナについては，三次元測定機の測定結果との差は大きいものの，球の直径が小さい場合を除けば，うたわれた精度内であった。これは，ワンショットで取得できる測定点数に対して測定対象のサイズが小さい場合，最小二乗法で近似できる十分なデータ量が得られなかったためと考えられる。よって，球形状については，直径が 3/4in.以上でなければ，装置でうたわれている測定精度内の結果が得られないことがわかった。

X 線 CT 装置については，どの形状測定においても，三次元測定機との測定結果との差異は小さく，ばらつきも非常に小さいことが確認できた。また，これらの値は，装置でうたわれている測定精度内であった。

表 2　三次元測定機による測定結果

計測項目	段差ジグ	穴ジグ			球ジグ					
	段差 10mm	穴直径 20mm	穴直径 15mm	穴間距離 22.5mm	球直径 3/4in.	球直径 5/8in.	球直径 1/2in.	球間距離 3/4⇔5/8	球間距離 5/8⇔1/2	球間距離 1/2⇔3/4
平均値(mm)	10.002	19.999	14.998	22.500	19.052	15.878	12.707	30.344	30.267	30.580
標準偏差(mm)	0.00006	0.00005	0.00006	0.00015	0.00009	0.00012	0.00010	0.00009	0.00011	0.00007

表 3　3D スキャナによる測定結果

計測項目	段差ジグ	穴ジグ			球ジグ					
	段差 10mm	穴直径 20mm	穴直径 15mm	穴間距離 22.5mm	球直径 3/4in.	球直径 5/8in.	球直径 1/2in.	球間距離 3/4⇔5/8	球間距離 5/8⇔1/2	球間距離 1/2⇔3/4
平均値(mm)	10.008	19.983	15.011	22.496	19.072	15.878	12.706	30.351	30.264	30.554
標準偏差(mm)	0.00127	0.00250	0.00648	0.00143	0.01386	0.05627	0.04636	0.02020	0.00285	0.00908

表 4　X 線 CT 装置による測定結果

計測項目	段差ジグ	穴ジグ			球ジグ					
	段差 10mm	穴直径 20mm	穴直径 15mm	穴間距離 22.5mm	球直径 3/4in.	球直径 5/8in.	球直径 1/2in.	球間距離 3/4⇔5/8	球間距離 5/8⇔1/2	球間距離 1/2⇔3/4
平均値(mm)	10.006	20.001	14.999	22.502	19.051	15.876	12.705	30.346	30.270	30.583
標準偏差(mm)	0.00030	0.00041	0.00022	0.00029	0.00027	0.00021	0.00017	0.00038	0.00045	0.00027

4.4　距離の評価

形状測定の結果から算出された 2 点間距離の測定結果について，図 5 に示す。

3D スキャナについては，段差と穴間距離において，三次元測定機の測定結果との差異が小さく，ばらつきも小さかった。これらの値は，装置でうたわれている測定精度より非常によい結果であった。ただし，形状の評価が十分できていない球間の距離については，測定対象によるばらつきが大きく，また三次元測定機の平均値と差異が小さい対象でも，ばらつきの大きな結果もあった。

形状の評価と同様，X 線 CT 装置はすべての条件における距離の測定において，三次元測定機の測定結果との差異が小さく，ばらつきも小さいことが確認できた。これらの値は，装置でうたわれている測定精度内の値であった。

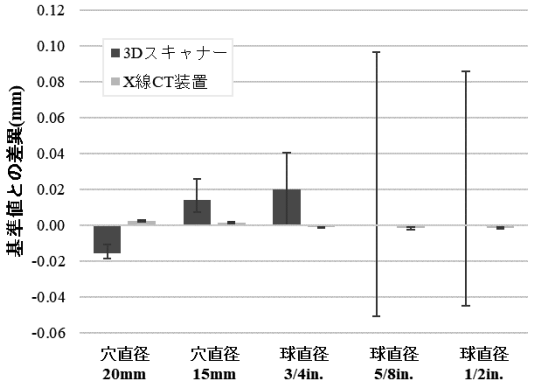


図 4　測定結果（形状測定）

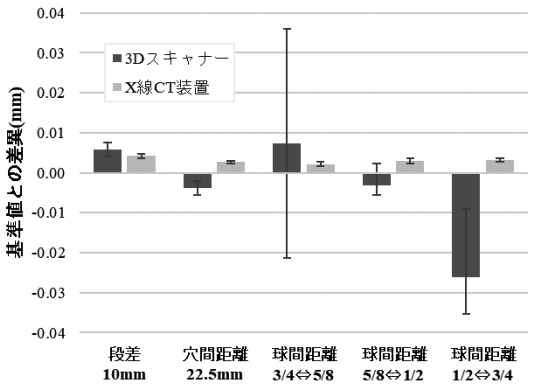


図 5　測定結果（2 点間距離）

4.5　考察

3D スキャナについては，形状・距離はうたわれた精度内であることがわかった。ただし，球形状についてはある程度対象となる形状が大きい必要があり，本研究では 3/4in.以上の場合，精度内の結果となった。よって，対象の制限はあるものの，利点として，ワンショットによる測定であることから，短時間で簡易的な評価ができることが挙げられる。評価の際には，本研究で実施したように，5 回程度繰り返し測定を行い，ばらつきを確認することで，測定結果が妥当であるか判断できると考えられる。

X 線 CT 装置については，うたわれている 2 点間距離の精度にかぎらず，表面形状についてもその精度内で測定できていることが確認できた。よって，2 点間距離の測定だけでなく，形状の評価についても活用できることがわかった。

5.　結　　言

（1）非接触三次元測定の測定精度評価のため，セラミック製の測定用ジグを作製し，三次元測定機，3D スキャナ，X 線 CT 装置による測定を行い，三次元測定機での測定結果に対して，それぞれの測定差異を確認した。

（2）3D スキャナについては，測定対象の制限はあるが，装置がうたう精度内にて，1 ショットで簡便に測定ができることが確認できた。特に，球形状については，直径 3/4in.以上の大きさが必要という結果となった。

（3）X 線 CT 装置については，装置が保証する 2 点間距離の測定精度だけではなく，表面形状測定についても高い精度で測定できることが確認できた。

（4）3D スキャナ，X 線 CT 装置，どちらの装置も得意・不得意があるため，用途に応じての使い分けが必要である。