

樹脂製積層造形器物を対象とした非接触三次元測定機の精度評価

機械科 柳原 亘*

Accuracy evaluation of CMM with a non-contacting probing system for resin models by FDM

Wataru YANAGIHARA

Using resin models by FDM (Fused Deposition Modeling) as measurement samples, the measurement accuracy of a CMM (Coordinate Measuring Machine) with a non-contacting probing system has been evaluated, comparing with a CMM with a contacting probing system. The measurement results of the CMM with a non-contacting probing system has indicated that the sphericity and the flatness are up to 0.210mm and 0.586mm, respectively, comparing with a contacting probing system. The spherical diameter and the distance between spheres are up to 0.078mm and 0.117mm, respectively, comparing with a contacting probing system. In the case of a dumbbell-shaped standard staying two spheres with a smooth and matte white surface on both sides as a measurement sample, the sphericity is up to 0.064 mm comparing with respect to the reference value, but the errors between the sphere diameters and the sphere distances are within 0.005 mm. This research clarifies the measurement accuracy when measuring resin models by FDM with a CMM with a non-contacting probing system.

Keywords : resin models by FDM, CMM with a non-contacting probing system, measurement accuracy

キーワード : 樹脂製積層造形器物、非接触三次元測定機、幾何公差、寸法、測定精度

1 はじめに

独立行政法人産業技術総合研究所の地域連携戦略予算プロジェクトとして、「3D3プロジェクト（平成28年度～平成30年度）」という取り組みが行われている。本プロジェクトの目的は、3Dプリンタと3Dスキャナの連携により、ものづくりの工程においてPDCAを効率的に回すことで生産性を向上し、より高精度なデジタルものづくりに資することである。プロジェクトの主な内容は、3Dプリンタで造型した器物を3Dスキャナ等の座標測定機で測定し、測定データから解析した補正值等を3Dプリンタの造形プログラムにフィードバックすることで、造形誤差を低減することである。

我々はプロジェクトの目的に賛同し、当研究所が所有している非接触三次元測定機で3Dプリンタの造形器物を測定するという形で参加し、これまで測定に関する知見を得てきた。本報では、これまでに我々が担当した非接触三次元測定機の測定における検証（平成28年度～平成29年度）について報告する。

2 方法

2.1 測定試料

測定試料を写真1と写真2に示す。熱溶解積層方式の3次元樹脂造形装置（Stratasys社製FORTUS 400mc-L）を用いて造形した樹脂製積層造形器物である。材質はABS樹脂で、積層ピッチは0.254mmである。器物の形状は、造型装置の造形精度の検証や形状変形等の傾向把握、及び接触式と非接触式による測定が可能な形状とした。写真1の器物（以下 器物1）は、端に球（φ22mm）を、球と球の間に円柱（φ14mm）と直方体（L18mm）を配置した最大寸法100×100×100mmの形状である。写真2の器物（以下 器物2）は、直方体（L30mm）の各端に球（φ15mm）の中心を配置した最大寸法45×45×65mmの形状である。なお、器物1は、サイズが大きいことや測定箇所及び測定点数が多いという課題があった。そこで、造形時間の短縮と汎用測定機による測定を容易とすることで計測評価時間もあわせて短縮を図るという意図で器物2が考案された。

*) 現 照明音響科

2.2 測定方法

(1) 接触式

測定機を写真3に示す。(株)ミツトヨ製のCNCマイクロコード H503を使用した。空間測定精度は $(0.8+2L/1000) \mu\text{m}$ (L: 任意2点間の寸法mm)である。測定にはプローブ径4mmのマルチスタイラスを使用した(写真4)。

器物1は、写真5のように固定し、座標系を設定した。切欠きのある直方体に最も近い球をS111、S111から切欠き方向にある球をS211とし、S111とS211の中心をX軸上に配置する。S111、S211、S121の中心でなす平面を基準面(XY面)、S111の中心を原点($X=Y=Z=0$)とした。球の測定は、写真6のように頂点1点とその頂点を北極点と見立てた場合の赤道線上5点の計6点とした。平面の測定は、写真7のように中央1点と4隅1点ずつの計5点とした。球と平面は最小二乗法により計算した。本測定から各球の球径、球間



写真3 接触式三次元測定機



写真4 マルチスタイラス

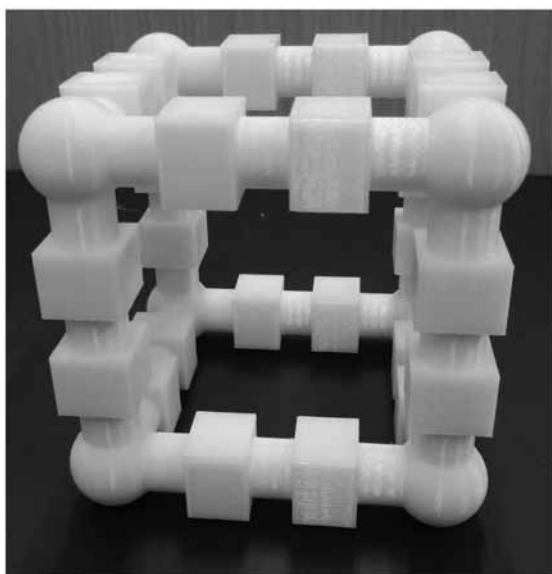


写真1 樹脂製積層造形器物1

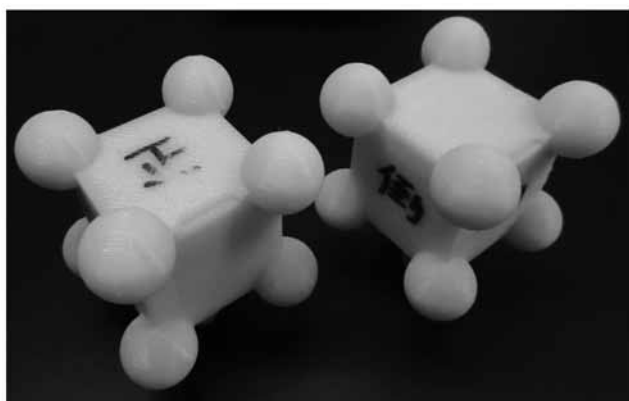


写真2 樹脂製積層造形器物2

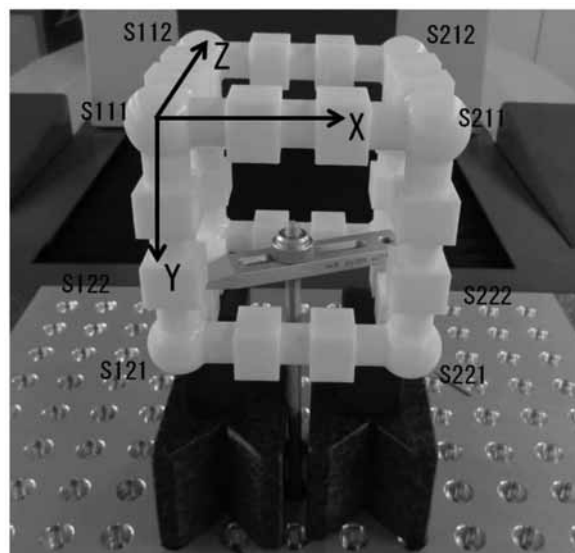


写真5 器物1の固定と座標系の設定

距離、真球度と平面度（直方体上の8面でなす平面：XY面、YZ面、ZX面）を求めた。

器物2は、写真8のように固定し、座標系を設定した。球111から球211の方向をX軸、球111から球121の方向をY軸、そして球111から球112の方向をZ軸とした。器物1の球測定は6点であり、積層造形器物の測定には点数が少なかったことが検証で分かったため、器物2の球測定は、写真9のようにJIS B7440-5 (2013) 6.2.4.4項に従った計25点を測定した。本測定から各球の球径、球間距離、真球度を求めた。

(2) 非接触式

測定機を写真10に示す。東京貿易テクノシステム(株)製のCOMET5-11Mを使用した。カメラレンズは、写真1の器物にエリアサイズ350（平均点間ピッチ0.085mm）、写真2の器物に150（平均点間ピッチ0.038mm）を使用した。測定の際、反射防止スプレーは塗布しなかった。



写真8 器物2の固定と座標系の設定

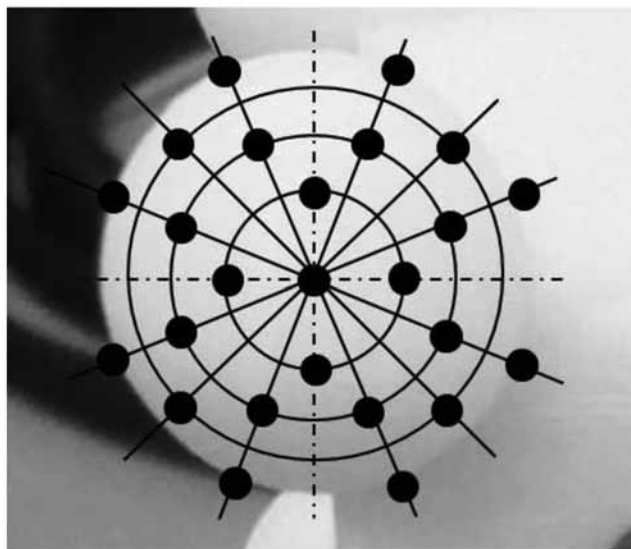


写真9 球の測定点（器物2）

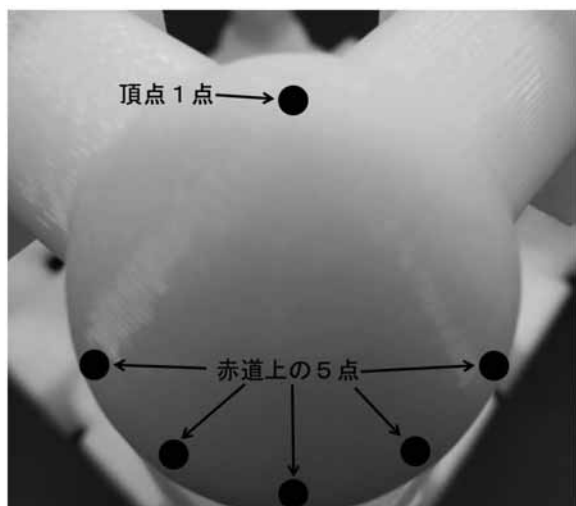


写真6 球の測定点（器物1）

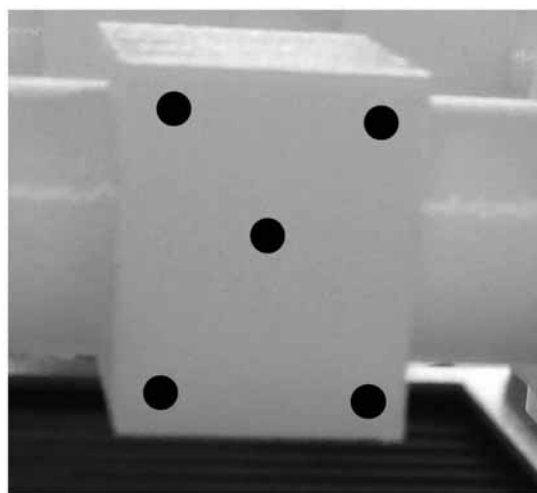


写真7 平面の測定点（器物1）

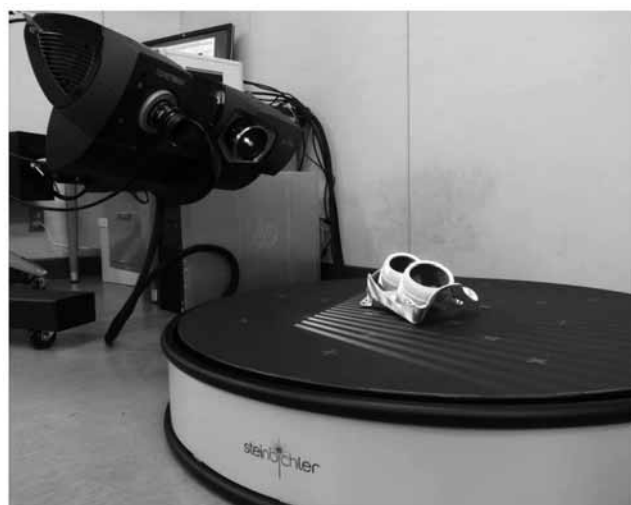


写真10 非接触式三次元測定機

器物 1 は、写真11のように置き、回転テーブルによる自動測定を行った。センサを下向き45° と水平に向けた 2 姿勢で、45度ずつの回転ピッチで計16ショットの測定を行った。測定データの解析には株式会社アルモニコスのspGauge2016.1を用いた。接触式の評価と同様に、各球の球径、球間距離、真球度と平面度を求めた。

器物 2 は、写真12のように置き、上記と同様に回転テーブルによる自動測定を行った。接触式の評価と同様に、各球の球径、球間距離、真球度を求めた。

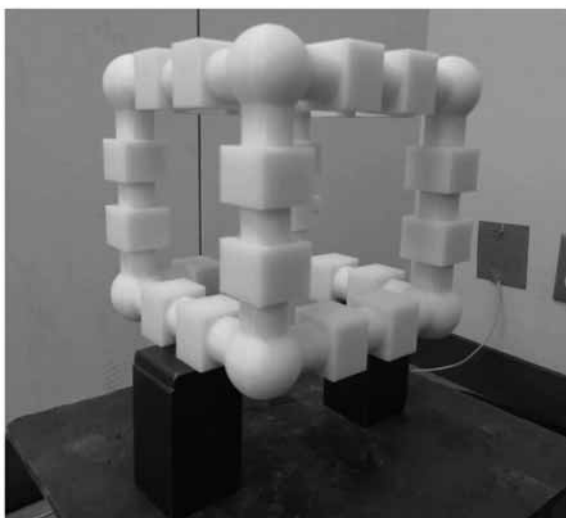


写真11 器物 1 の設置

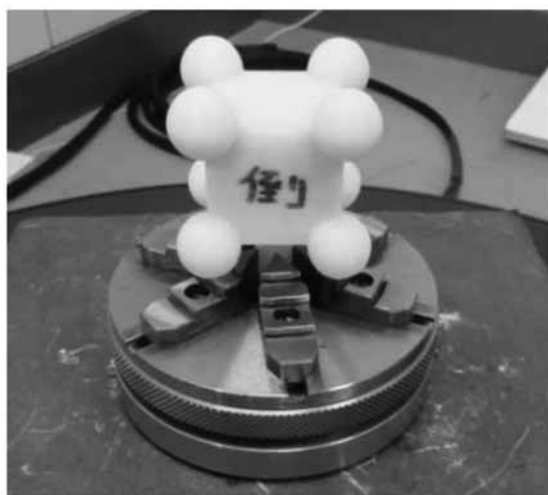


写真12 器物 2 の設置

3 結果および考察

3.1 器物 1 の測定結果について

各測定項目において、接触式と非接触式の測定結果を図 1 ～ 図 4 に示す。球径については、接触式に比べて非接触式が最大で0.173mm大きく測定された。真球度について、非接触式が最大0.684mm大きく測定された。非接触式測定の際のノイズにより、測定点のばら

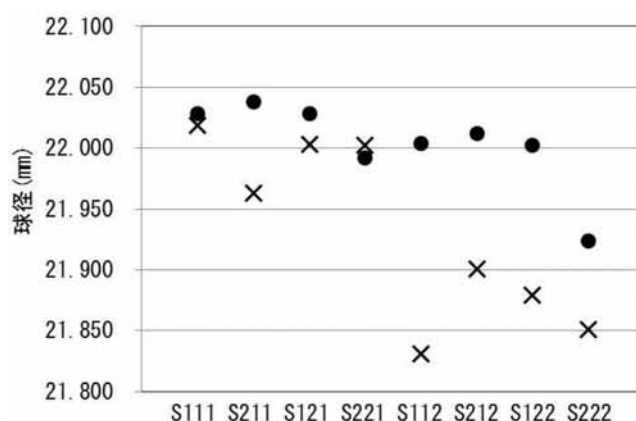


図 1 球径の測定結果 (器物 1)

● : 非接触式、× : 接触式

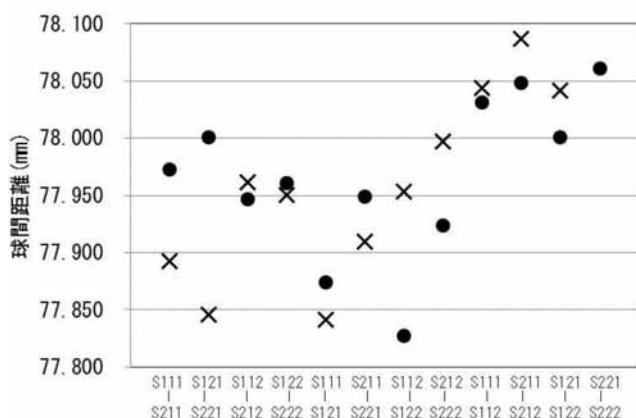


図 2 球間距離の測定結果 (器物 1)

● : 非接触式、× : 接触式

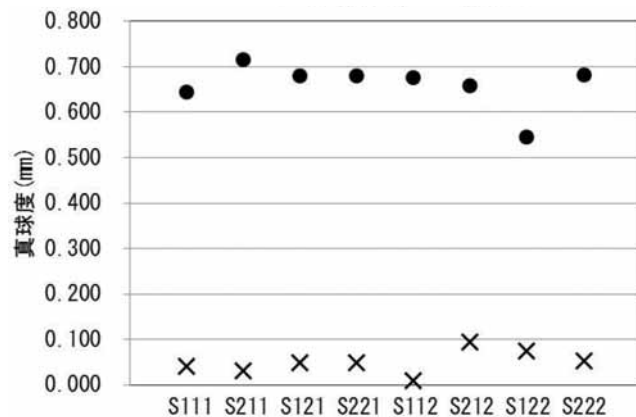


図 3 真球度の測定結果 (器物 1)

● : 非接触式、× : 接触式

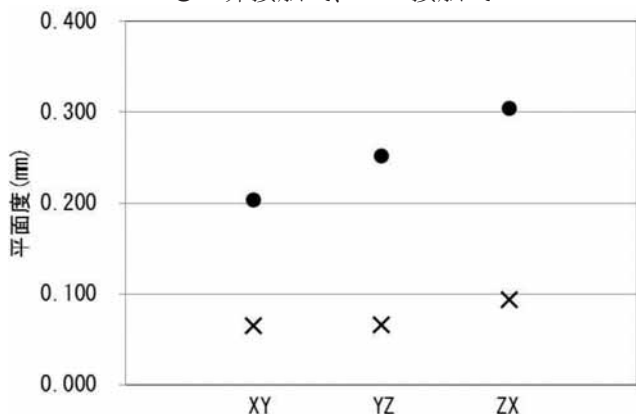


図 4 平面度の測定結果 (器物 1)

● : 非接触式、× : 接触式

つき（計算した球に対する各点の偏差）が大きくなったことが原因と考えるが、これが球径の結果にも影響したと考える。平面度については、最大で0.210mm大きく測定された。真球度と同様にノイズが原因と考えるが、平面はセンサに対する測定面の向きが測定範囲でほぼ一様であるため、球に比べて差分が小さかったと考える。球間距離については、プラス側で最大で0.155mm、マイナス側で最大0.126mmの差分であった。樹脂製積層造形器物自体が、反射防止スプレー無しでは測定点が欠落しやすく測定しにくい材質であるため、単ショットの測定データを重ねる際にずれが生じたことが主な原因と考える。

3.2 器物2の測定結果について

各測定項目において、接触式と非接触式の測定結果を図5～図7に示す。球径については、器物1と同様にほぼ非接触式の方が大きく測定され、最大で0.078mm大きく測定された。真球度については、非接触式が最大で0.586mm大きく測定された。球間距離については、全ての結果がプラス側であり、最大で0.117mmの差分であった。

3.3 寸法標準器について

プロジェクトの一環で、表面が滑らかで艶消しの白で塗装された球体が両端にあるダンベル型の寸法標準器（写真13）を非接触三次元測定機で測定した。エリアサイズ350（平均点間ピッチ0.085mm）のカメラレンズを用いて、センサを下向き45°に向けた姿勢において90度ずつの回転ピッチで計4ショットの測定を行った。球径、球間距離と真球度を算出した。基準値に対して真球度は最大0.064mm大きく測定されたが、球径は最大0.001mm、球間距離は最大0.005mmの誤差となった。本標準器は非常に測定しやすい表面状態であり、測定点の欠落がほぼ無いため、重ね合わせも高精度に行うことができた。ノイズの影響で真球度は1/100mm台の大きさであるが、球径と球間距離は最小二乗法で算出した球により求めるため、結果として1/1000mm台の誤差で収まったと考える。



写真13 寸法標準器

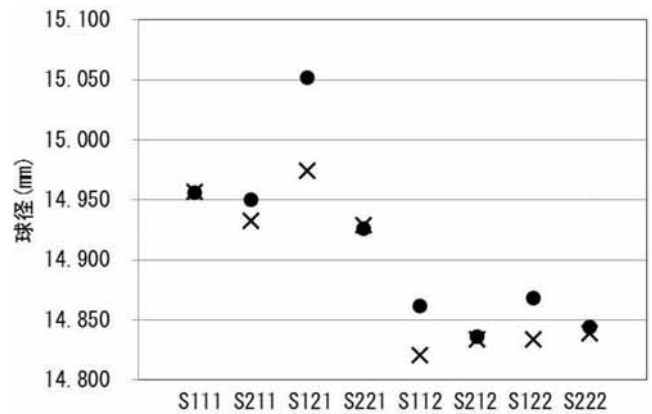


図5 球径の測定結果（器物2）

●：非接触式、×：接触式

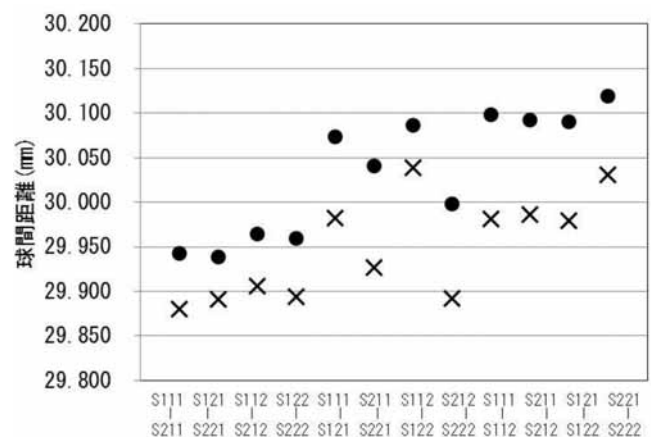


図6 球間距離の測定結果（器物2）

●：非接触式、×：接触式

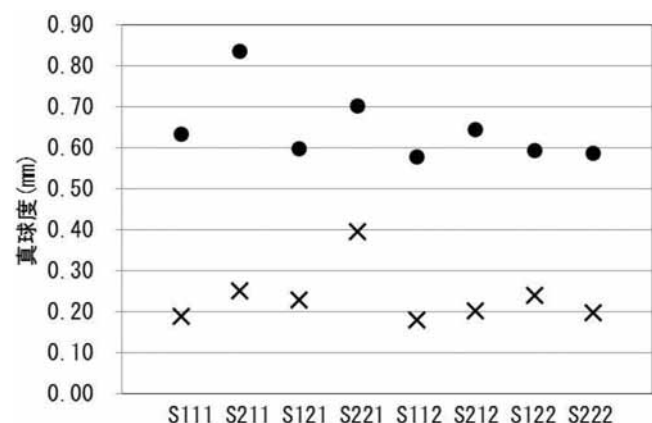


図7 真球度の測定結果（器物2）

●：非接触式、×：接触式

【報告】

4 まとめ

樹脂製積層造形器物を測定試料とし、接触式三次元測定機による測定結果と比較することで、非接触三次元測定機の精度評価を行った。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 非接触三次元測定機による測定は、接触式三次元測定機に比べて、幾何公差の結果が、真球度で最大0.586mm、平面度で最大0.210mm大きく測定された。また、球径では、最大0.078mm、球間距離では最大0.117mm大きく測定された。
- (2) 表面が滑らかで艶消しの白で塗装された球体が両端にあるダンベル型の寸法標準器を、非接触三次元測定機で測定した結果、基準値に対して真球度は最大0.064mm大きく測定されたが、球径と球間距離は0.005mm以内の誤差となった。
- (3) 非接触三次元測定機による測定はノイズが発生しやすく、計算した幾何形状に対する各点のばらつきが大きいことで、幾何公差が悪くなったと考える。樹脂製積層造形器物自体が、反射防止スプ

レー無しでは測定点が欠落しやすく測定しにくい材質であるため、単ショットの測定データを重ね合わせる際にずれが生じ、球径と球間距離については誤差が大きくなったと考える。

本研究により、樹脂製積層造形器物を非接触三次元測定機で測定する際の測定精度が明らかになった。本プロジェクトで得た知見を今後の機器使用や技術指導に活かしていく。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター：産総研地域連携戦略予算プロジェクト「3Dスキャナと3Dプリンタの連携によるクローズドループエンジニアリングの実証」ガイドライン Final, 11-19 (2015).
- 2) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター：産総研地域連携戦略予算プロジェクト「3D計測エボリューション」(3D3プロジェクト) 実施ガイドライン, 12-16 (2017).