

# 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

Demonstration of Closed-loop Engineering Through Cooperation with a 3D Scanner and 3D Printer.

木村勝典・吉田裕亮・新見浩司・佐々木郁哉  
Katsunori Kimura, Yuusuke Yoshida, Kouji Niimi and Ikuya Sasaki

近年、製品の設計・製造・検査などの一連の工程においてデジタルデータを使って効率化する試みがデジタルエンジニアリングとして取り組まれている。更に、デジタルデータを活用してものづくり工程の PDCA を効果的に回す事による生産性の向上や 3D ものづくりにおける設計・試作・評価を行うことで製品開発の高度化と高付加価値化を進めることのできるクローズドループエンジニアリングに対する期待が高まっている。本研究ではクローズドループエンジニアリングを回す際に用いるツールの 3D スキャナと 3D プリンタの検証を行い、その有用性や効果的な利活用方法に繋がるノウハウを蓄積することができた。

## 1. はじめに

当センターでは平成 23 年度に非接触三次元デジタイザーを導入し、測定データと CAD データとの比較検証や寸法測定評価の支援を積極的に開始した。また、測定精度の向上と測定データの取得率向上のため前処理として反射防止スプレーを塗布しているが、この前処理が測定値に与える影響度も明らかにしてきた。3 次元造形については、平成 26 年度に 2 台の 3D プリンタを導入し、3 次元データ活用のノウハウの蓄積とあわせて試作支援の強化を進めてきたところである<sup>1) 2)</sup>。

今回、平成 27 年度から国立研究開発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に参画し、3D スキャナと 3D プリンタによるクローズドループエンジニアリングの実証を行っている。このプロジェクトに参加することで、当センターで所有している装置とは異なる機種での測定精度や造形精度の情報収集とともに 3 次元データの新たな活用方法の手法についても知見を深め、今後のデジタルエンジニアリングにおける支援強化に繋がる取組を進めている。

プロジェクトで提案された立体的な器物を 3D プリンタで造形し、各測定機による測定結果と CAD データとの比較や経時変化の把握を行う全参加機関が行う「全体課題<sup>3)</sup>」と、同じくプロジェクトで提案された 2 次元的な器物を画像測定機を用いて測定することで、造形機の倍率誤差および直角度誤差

を把握し、更に求めた補正値を設計データに反映することでより高精度な造形を行う方法を検討する 4 つの地域に分かれて 2 地域ごとに行う「地域課題 2<sup>4)</sup>」について取り組んでいる。その結果、3D スキャナと 3D プリンタの特性把握だけでなく、その有用性や優位性および効果的な利活用方法に繋がるノウハウを蓄積することができた。

## 2. 全体課題

### 2.1 造形精度の検証

3D プリンタで造形した器物の造形精度について検証を行った。3D スキャナによる測定結果と CAD データとの比較を行い、その偏差についてカラーマップ表示した。

#### 2.1.1 造形装置および器物

造形装置については、図 1 および表 1 に示す機種を用いて、図 2 に示すレイアウト①及び②の設定で造形（器物サイズ 100mm 角）を実施した。造形直後と後処理後の器物の写真を図 3 に示す。



図 1 造形装置外観

表 1 造形装置の仕様

装置	AGILISTA-3100	ProJet5500X
造形エリア	297×210×200mm	533×381×300mm
造形ピッチ	0.02mm	0.016mm
造形樹脂	半透明アクリル	ABS ライクアクリル

造形については、2つのレイアウトの器物を同時に造形した。それぞれの器物での造形時間等を表2に示す。

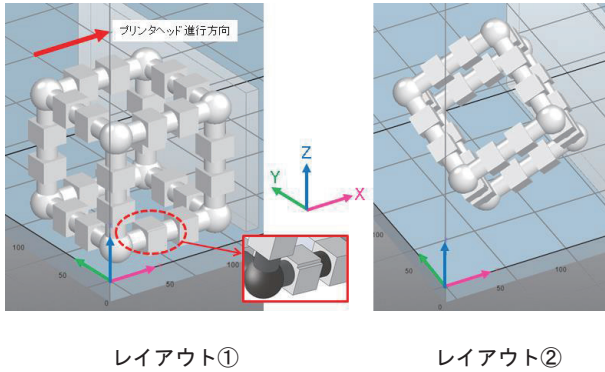


図 2 造形レイアウト

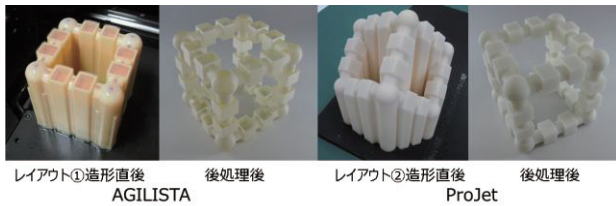


図 3 器物の造形直後と後処理後の状態

表 2 造形時間と使用樹脂量

装置	レイアウト	造形時間	モデル材	サポート材
AGILISTA	①	17h30m	530g	710g
	②	37h10m	730g	1.780g
ProJet	①	23h42m	460g	508g
	②	37h34m	549g	1.350g

それぞれの造形装置での後処理については、AGILISTA 造形器物はへらでベースプレートから外し周辺に付着しているモデル材とサポート材を手で取り除いた後、40℃程度の温水で超音波洗浄を行い自然乾燥させた。ProJet 造形器物は、-20℃の冷凍庫に30分保持後、手でベースプレートから外して、60℃の恒温槽で丸1日保持して周辺のサポート材を溶かして落とした後、60℃程度の温水で超音波洗浄を行い自然乾燥させた。後処理後は20℃に保持された測定室で保管した。

### 2.1.2 非接触測定方法

非接触測定については、図4および表3に示す測定機（COMET5 11M）にレンズはC150を用いて行った。器物は金属ブロック上に載せて回転テーブルにて測定した。全周測定する必要があるため、器物のセット方法を変えてトータル50ショット以上のデータを取得、ソフトで貼り合わせた。2機種、2レイアウトで造形した計4つの器物について同様に測定を行った。AGILISTAで造形した器物は半透明であるため、反射防止スプレーを塗布後に測定を行った。

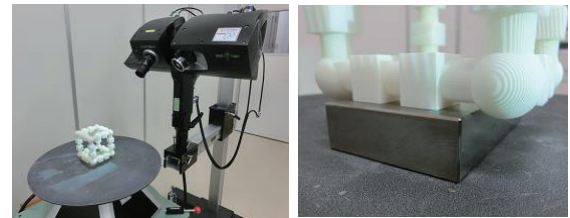


図 4 測定機と器物セット状態

表 3 測定機の仕様

測定範囲 (X/Y/Z)	155×105×70mm
測定点間平均距離	0.038mm
焦点距離	450mm
測定点数	約1100万画素

### 2.1.3 結果と考察

測定したデータとCADデータを面形状位置合わせにて解析し、分割範囲を±0.7mmとしたカラーマップを図5に示す。反射防止スプレーを塗布したAGILISTA造形器物の方がデータ欠損部は少なかった。また、造形機種および造形レイアウトにより器物の歪みや伸縮方向に違いがあることが確認出来た。いずれの場合も器物の形状に対して造形方向が平行となるレイアウト①の方が傾けて造形したレイアウト②よりもCADデータからの偏差は小さかった。器物の形状により、造形方向を決定する必要があることがわかった。

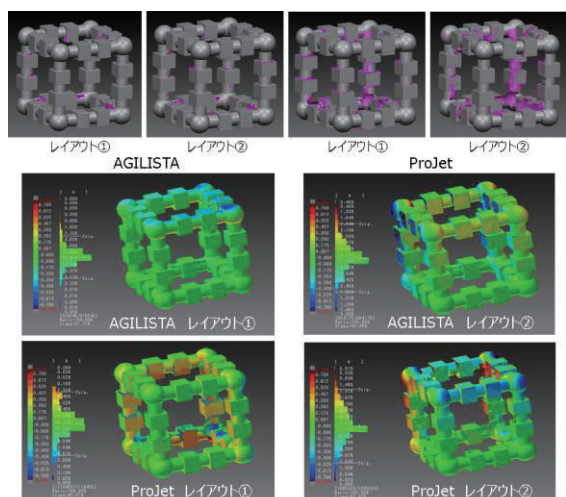


図5 STLデータの状態とカラーマップ

## 2.2 経時変化検証

造形精度を検証するために造形した器物について一定期間（約11ヶ月）保管した後、再度測定を行い、変形量を把握した。非接触測定方法は造形精度を検証した方法と同様な方法で測定を行った。造形時期および測定時期について表4に示す。3Dプリンタにより造形した器物が時間の経過と共に変形するのかわからないのか、また、変形する場合はどの程度であるのかの検証を行った。

表4 造形時期および測定時期

造形時期	2015年10月2日
第1回測定時期	2015年11月6～10日
第2回測定時期	2016年9月23～29日

### 2.2.1 保管方法

図6に示す通り、室温20℃の測定室に保管した。ただし7月～10月の間はECO活動実施のため、22℃とした。



図6 保管状況

### 2.2.2 結果と考察

AGILISTA 造形器物については前回と同程度のデータ取得が行えたが、ProJet 造形器物については表面にサポート材の原料であるワックスが滲み出てきた影響から、反射防止スプレー無しの状態では

平面・円筒の測定が困難となった。そのため、データ取得の範囲が第1回目の測定データよりも少なくなってしまった。

経時変化による偏差結果を図7に示す。AGILISTA 造形器物については2つのレイアウト共に偏差分布が $\pm 0.05\text{mm}$ 以下に大部分が収まっていることから、経時変化の影響は小さいと思われる。ProJet についてはこの偏差分布が $\pm 0.1\text{mm}$ レベルとなっていることから AGILISTA よりも経時変化の影響が大きいことがわかった。今回は20～22℃の恒温室にて保管しており、温湿度の影響が小さかったこともそれほど大きな変形をしなかった理由と考えられる。

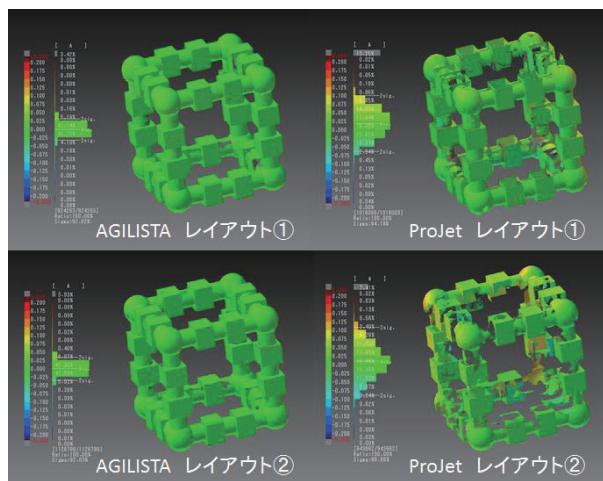


図7 カラーマップ（分割範囲 $\pm 0.2\text{mm}$ ）

## 3. 地域課題2

### 3.1 2次元的な器物によるXY面内における誤差評価

3Dプリンタを用いて造形した2次元的な器物を用いてXY面内における誤差評価を、画像測定機を用いて造形器物に配置した穴位置精度について定量的に把握した。その値を元に設計図面を修正することで造形誤差を低減し高精度な2次元的な器物造形（穴位置精度目標 $20\mu\text{m}$ 以内）を図る試みを行った。

### 3.2 造形装置および器物

造形は造形精度の検証で用いた2つの3Dプリンタにより行った。造形器物の外観と穴断面図を図8に示す。 $\phi 2\text{mm}$ の穴をXY方向15mmピッチで配置した。

また造形した器物を図9に示す。各3個造形した。

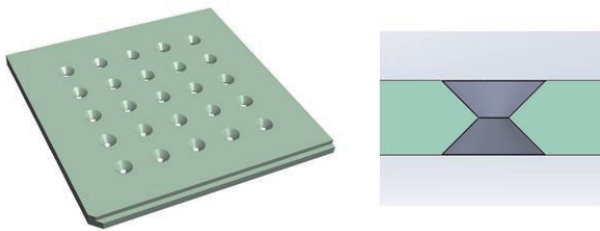


図8 2次元的な造形器物の外観と穴断面形状

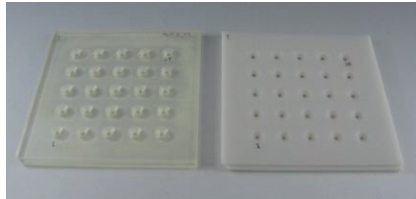


図9 器物 (左:AGILISTA 右:ProJet)

### 3.3 造形後の処理方法

器物は造形後のサポート除去時や洗浄時に熱が加わることから、器物が反らないように注意し後処理を行った。洗浄後の反りが目視で観察されたProJetで造形した器物については、乾燥時に器物を平らな金属プレートで挟み込み乾かした。処理後は20~23℃の部屋にて保管した。

### 3.4 器物の測定

#### 3.4.1 測定機

器物の測定は図10に示す画像測定機を用いて行った。

測定機の主な仕様を表5に示す。



図10 画像測定機

表5 測定機の仕様

機器名	VM-250 : (株)ニコン
測定精度	3.5+L/200 μm
測定視野	10×8mm ~ 1×0.8mm
最小単位	0.5 μm

#### 3.4.2 測定方法

まず器物を測定機上にセットする際のアライメ

ントについて、金属ブロックを測定機テーブル手前に置き、その端面が機械座標系のX軸に対してずれ量が0.01mm/100mm以内になるようにセットした。そして左側にストッパーとなる小型の金属ブロックを両面テープで固定し、それらに突き当てるようにして器物には負荷がかからない状態としてセットした。測定時のセット状態を図11に示す。

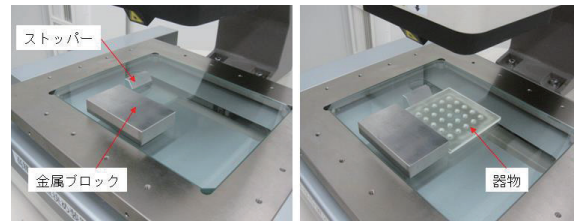


図11 器物アライメントとセット状態

次に測定する際の光量設定では、エッジ検出において光量値のプロファイルを確認し、図12に示すようにハレーションを起こさない最大光量値に設定した。そして、穴のフォーカス合わせは測定する器物の1つの穴の全周が測定画面に入るレンズ倍率とし、エッジ検出をコントラスト設定で行った。この設定で測定している各器物の穴の画像を図13に示す。

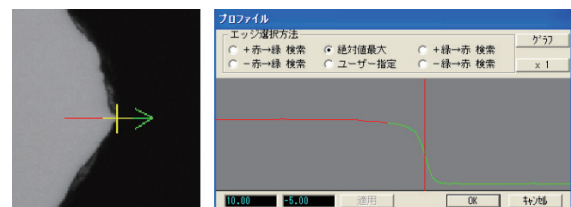


図12 エッジ検出のための光量値設定

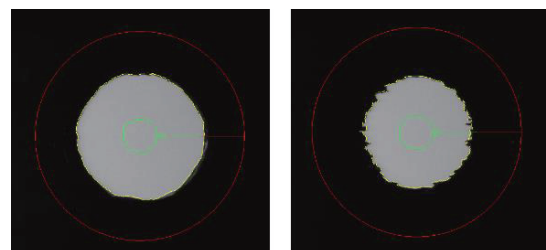


図13 穴画像 (左:AGILISTA 右:ProJet)

その他、測定姿勢は反転法による4姿勢、測定回数は各姿勢で5回繰り返し測定を行った。

### 3.5 結果と考察

#### 3.5.1 第1回目の測定結果

設計データを用いて2種類の3Dプリンタで造形した各3つの器物を、5回繰り返し測定した結果の平均値と設計値との差を図14、15に示す。測定結果は誤差を50倍にしてグラフ化した。

AGILISTA造形器物は、全体的にX、Y軸方向共に設計値よりも小さい方向に移動していること傾向であることがわかった。ただしProJetと比較して誤差は小さいが穴位置のずれている方向が一部一定でないところがあった。

ProJetの方も全ての穴位置が設計値よりも小さい方向に移動し、かつその移動量はAGILISTAに比較し大きいことがわかった。また直角度誤差も含まれていることがわかった。

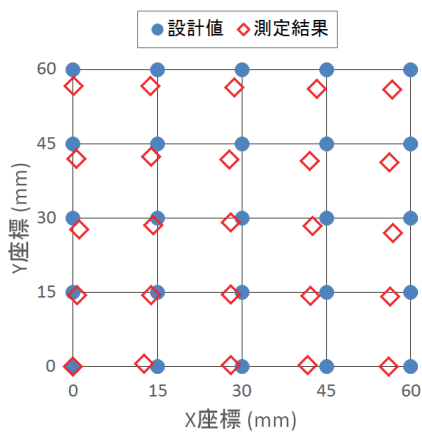


図14 AGILISTA 誤差 (×50) 評価結果

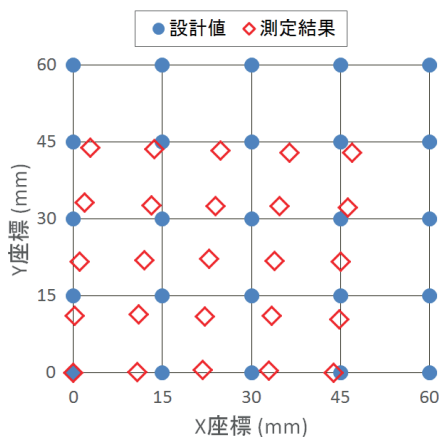


図15 ProJet 誤差 (×50) 評価結果

#### 3.5.2 設計値への補正量の反映と測定結果

2種類の3Dプリンタで造形した各3つの器物を5回繰り返し測定した結果の平均値から、倍率誤差の補正量の見積もりを行った。

AGILISTA造形器物の方では図16に示すように設計値に対して最大誤差量は80μmであった。しかし、造形器物により誤差量や設計値からずれる方向が異なっており単純に補正を行うことが難しい。造形個数を増やすなど更に検証を進めている。

ProJet造形器物の方では、造形した3つの器物共に誤差量、設計値からずれる方向共に同じ収縮傾向を示していたため、補正係数を求めた。図17にX軸方向の補正式を算出した方法を示す。Y軸方向も同様に補正係数を求め、それぞれの設計値での縮小量を計算し、算出した補正値を設計値に反映して再造形を行った。

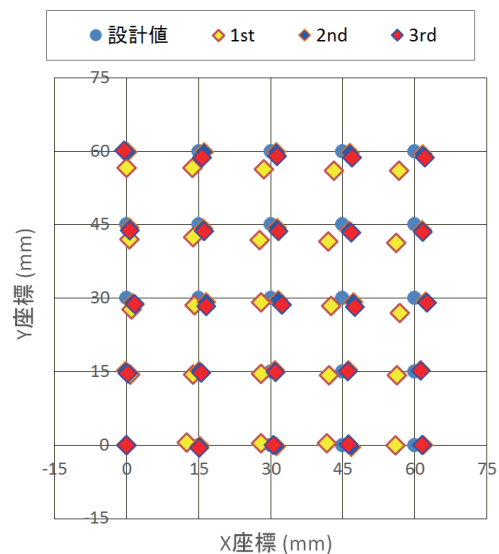


図16 AGILISTA 偏差 (×50) 3個の器物測定結果

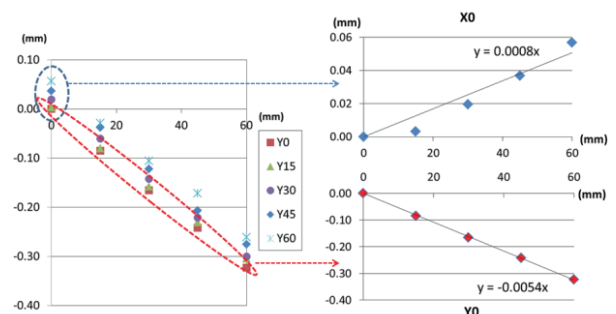


図17 ProJet 造形器物のX軸方向補正式算出

補正後の器物の測定を行った結果、1回の補正だけでは目標値の20 $\mu\text{m}$ 以内に収まらなかった。そのため、1回目の補正後器物の測定結果から再度ずれ量を求め、最初の補正量に加算する方法をとった。そして、この方法での補正を3回実施した結果、図18に示すようにほとんどの穴位置が設計値から20 $\mu\text{m}$ の範囲に入る器物を造形することができた。

最初の造形器物の測定結果では設計値からのずれ量が大きかったProJetであるが、補正値を設計値に反映することで、高精度な2次元的な器物の造形を行うことができた。

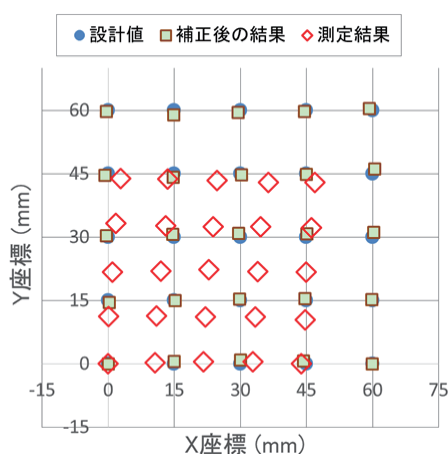


図18 ProJet 誤差 (×50) 測定結果と補正後の結果

#### 4. おわりに

今回3Dスキャナと3Dプリンタの連携によるクラウドループエンジニアリングの実証を進め、造形精度の検証と経時変化評価および2次元的な器物によるXY面内の誤差評価を行った。

その結果、所有する2つの3Dプリンタの造形精度や時間経過による変形挙動および3Dプリンタの倍率誤差および直角度誤差について把握することができた。

また、検証用の器物を用いて測定を行い設計値との違いを補正すれば、樹脂部品としては十分な精度で器物を造形できることもわかった。

今後は、これらの知見やノウハウを生かして県内企業におけるものづくりでの試作開発支援において、より高精度な部品の試作に生かしていきたい。

#### 謝辞

本研究の取り組みについて、参画した産総研プロジェクトのメンバーである産総研計量標準総合センター工学計測標準研究部門の皆様、また参画されている各都道府県の公設試験研究機関の皆様に感謝いたします。

#### 文献

- 1) 木村勝典：非接触測定における反射防止スプレアの測定値への影響に関する研究，2014年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，P849-P850.
- 2) 木村勝典，新見浩司：鳥取県産業技術センターにおける高精度非接触測定手法に関する研究，砥粒加工学会誌，Vol.59 No.7 2015 JUL P384-P387.
- 3) 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」全体課題ガイドライン，(2016).
- 4) 産総研地域連携戦略予算プロジェクト「2次元的な器物によるXY面内を主体とした誤差評価」地域課題2実施ガイドライン，(2016).