

# 3D3プロジェクトへの取り組み

久富 茂樹

## 3D3 Project

Shigeki KUDOMI

**あらまし** 製品の開発から製造、検査にいたる工程の効率化が求められており、デジタルデータを活用したもののづくりが進められている。国立研究開発法人産業技術総合研究所では3D2プロジェクト、3D3プロジェクトを立ち上げ、公設試験研究機関が参画して研究会活動に取り組んでいる。当所も、3Dプリンタと3Dスキャナに関する技術向上を図るため、これらのプロジェクトに参加し研究課題に取り組んだ。

ガイドラインの手順に従って器物の造形、測定を行った結果、当所の3Dプリンタでは、X軸、Y軸方向について、設計値より0.05mm～0.15mmほど小さく造形されるのに対して、Z軸方向については設計値より0.1mm～0.15mmほど大きく造形された。この影響を受けて、同じ形状であっても、造形時の姿勢を変えると寸法誤差の傾向が変わることが確認された。同じ器物を約10か月後に再度測定し経時変化を調べたところ、器物内部をスパー条件で造形した器物の球直径は、ソリッド条件器物の球直径と比較して経時変化が小さいという結果になった。また、四面体器物と、その各辺に平行して配置したダンベル型1次元器物を同時に造形し、ダンベル型1次元器物から求めた6つの球間距離を用いて四面体を構築した結果、四面体器物と1次元器物から構築した四面体の倍率誤差はほぼ同じ結果となった。

**キーワード** 3Dスキャナ、3Dプリンタ

### 1. はじめに

近年、県内企業においてもデジタルデータを活用したもののづくりが進められており、製品の開発から製造、検査にいたる工程の効率化が求められている。このような要望に応えるため、当所においても、平成21年度に3Dスキャナを、平成25年度に3Dプリンタを導入し、多くの県内企業に利用していただいている。このような動向は全国的なもので、他県の多くの公設試験研究機関でも、方式は様々であるが、3Dスキャナや3Dプリンタが導入されている。このような状況の中、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）が、平成27年度に産総研地域連携戦略予算「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」（3D2プロジェクト）を立ち上げた。さらに本年度は「3D計測エボリューション」（3D3プロジェクト）として継続、発展し、これらのプロジェクトに公設試験研究機関が参画して研究会活動に取り組んでいる。当所も、3Dプリンタと3Dスキャナに関する技術向上を図るため、これらのプロジェクトに参加している。3D2プロジェクトでは、球、円柱、直方体で構成される器物を造形し、3Dスキャナで測定することで、造形精度を確認した。3D3プロジェクトでは、3D2プロジェクトで造形した器物の経時変化を確認する全体課題と、各地域で選

択する地域課題の二つの研究課題を実施した。本報では当所におけるこれらの課題の実施結果について報告する。

### 2. 課題の概要

本プロジェクトの実施にあたり運営協議会が組織され、全体課題、地域課題ともに、運営協議会で実施ガイドラインが作成された<sup>[1~3]</sup>。造形および計測はこの実施ガイドラインに基づいて行った。

#### 2. 1 全体課題

全体課題は、3Dプリンタで造形した器物を3Dスキャナで計測し、器物の誤差評価と、その経時評価を行うものである。図1に全体課題の器物形状を示す。コーナーに球が配置され、球と球の間に円柱と直方体が配置された形状になっている。各部の詳細寸法は割愛するが、外形寸法が100mm x 100mm x 100mm程度の大きさである。図中の記号は球番号を示す。レイアウト①は、S111を原点、辺S111-S211をX軸、辺S111-S121をY軸とした配置であり、レイアウト②は、レイアウト①の状態からX、Y、Zの軸周りにそれぞれ45度回転させた配置である。この形状を3Dプリンタで造形し、造形した器物を3Dスキャナで形状測定を行い、以下の項目について求める。

- ・各球の中心座標、直径、各球の中心間距離

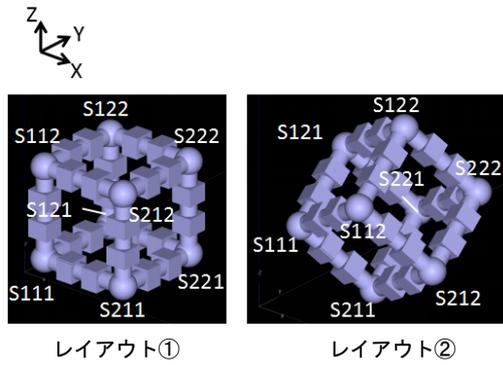


図1 全体課題の器物形状

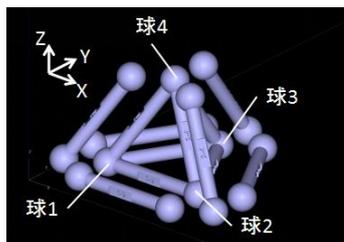


図2 地域課題の器物形状

- ・直方体上の8面でなす平面を求めたときの各平面の直角度
  - ・円柱部の中心座標，直径および各円柱の軸の角度
- また，1年間ほど経過した時点で同様の測定を行い，経時変化を調べる。

## 2. 2 地域課題

当所が所属する北陸・東海・近畿地域（中分科会）は，地域課題として，「低次の幾何誤差の簡易な評価」を実施した．本課題は，複雑な手順や器物形状を使わずに実施可能な評価方法の確立を目的に設定された課題である．図2に地域課題の器物の形状を示す．中央部に球と円柱で構成された四面体が配置されており，各球間距離は80mm，球直径は20mmの大きさである．その四面体器物の各辺と平行にダンベル型1次元器物が配置されている．この状態で3Dプリンタによって造形し，四面体器物，ダンベル型1次元器物をそれぞれ3Dスキャナでそれぞれ測定する．評価項目として，各球の直径，真球度および各球間距離を求める．また，各軸の倍率誤差および直角度誤差を求める．

## 3. 造形方法

### 3. 1 造形に使用した装置

造形には材料押出方式（FDM）の3DプリンタであるFORTUS360mc-L（Stratasys製）を使用した．造形材料（モデル材）はABS樹脂（ABS-M30）で，色は乳白色のものを使用した．

### 3. 2 全体課題の器物の造形

器物は平成27年9月下旬から11月中旬にかけて，表1に示す4条件で造形した．充填方法のソリッドとは，モデル内部に材料を密に充填する造形モードで，スパーズとは，モデル内部が格子状になり空間ができる造形モードである．

表1 全体課題器物の造形条件

|            | 器物A    | 器物B    | 器物C    | 器物D    |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| 造形レイアウト    | レイアウト① | レイアウト② | レイアウト① | レイアウト① |
| 造形ピッチ [mm] | 0.127  | 0.127  | 0.254  | 0.127  |
| 充填方法       | ソリッド   | ソリッド   | ソリッド   | スパーズ   |

### 3. 3 地域課題の器物の造形

器物は平成28年11月下旬から12月下旬にかけて，表2に示す3条件で造形した．

表2 地域課題器物の造形条件

|            | 器物E   | 器物F   | 器物G   |
|------------|-------|-------|-------|
| 造形ピッチ [mm] | 0.127 | 0.127 | 0.254 |
| 充填方法       | ソリッド  | スパーズ  | ソリッド  |

## 4. 測定方法

### 4. 1 測定に使用した装置

非接触3D測定には，RANGE7（KONICA MINOLTA製）を使用した．本装置は，三角測量・レーザ光切断方式の3Dスキャナである．造形器物を無処理で測定したところ正しく測定ができず，データの合成時にノイズや段差が目立ったことから，全体課題，地域課題とも器物に白色（つや消し）の水性塗料をスプレーした．測定後のデータ処理，検査ソフトウェアには，Geomagic Verify（3D SYSTEMS製）を使用した．

### 4. 2 全体課題の器物の測定

測定は23℃の環境で，回転テーブルを使用し，1姿勢につき，30度ステップで回転させて360度分のデータ（12データ）を取得した．しかし，それだけでは下になった面のデータが取得できないため，器物の設置面を変えて3姿勢で同様のデータを取得した．取得した計36データ（12データ×3姿勢）をソフトウェアで位置合わせ，合成処理を行った後，ノイズ除去（小さいクラスタの削除，重なったデータの削除など）を実施した．その後，ソフトウェアで課題の測定項目について数値を求めた．

1回目の測定は平成28年1月に実施し，2回目の測定は約10か月後の平成28年11月に実施した．その間，器物は直射日光が当たらない場所で保管していた．保管時の空調管理は行っていない．

### 4. 3 地域課題の器物の測定

地域課題の器物の測定も全体課題の場合と同様にして行ったが，四面体器物については，ガイドラインに記載されたマルチステップ法によって値を求めた．具体的に

は、四面体器物は頂上になる球を代えることによって4つの姿勢をとることができるため、それぞれの姿勢で測定、位置合わせ、合成、数値算出までを行い、最後に4姿勢の結果を平均する手法で求めた。

ダンベル型1次元器物の6つの球間距離を用いた四面体の構築は以下のように行った。ダンベル型1次元器物の球 $m$ と球 $n$ の球間距離測定値を $l_{mn}$ とし、求める四面体の頂点座標について、球 $m$ に対応する座標を $P_m(x_m, y_m, z_m)$ とする。ガイドラインの座標系設定に従い、 $P_m$ を下記のように求めた。

$$P_1(x_1, y_1, z_1) = (0, 0, 0)$$

$$P_2(x_2, y_2, z_2) = (l_{12}, 0, 0)$$

$$P_3(x_3, y_3, z_3) = \left( \frac{x_2^2 + l_{31}^2 - l_{23}^2}{2x_2}, \sqrt{l_{31}^2 - x_3^2}, 0 \right)$$

$$P_4(x_4, y_4, z_4) = \left( \frac{l_{14}^2 - l_{24}^2 + x_2^2}{2x_2}, \frac{l_{14}^2 - l_{34}^2 + x_3^2 + y_3^2 - 2x_3x_4}{2y_3}, \sqrt{l_{14}^2 - x_4^2 - y_4^2} \right)$$

倍率誤差と直角度誤差は、設計値と実測値の差異を示す指標値であるが、これらは、運営協議会から提供されたエクセルシートを利用して求めた。

## 5. 結果と考察

### 5. 1 全体課題

図3に造形した器物の外観を示す。レイアウト①の器物は問題なく造形できたが、レイアウト②で造形した器物Bは、直方体の角部が下向きに配置された形状であるため、サポート形成パラメータをデフォルト値で造形したところ正常に造形できなかった角部があった。これまでデフォルト設定で造形を失敗した事例が無かったため、新たな知見となった。

結果の一例として、図4に第1回目測定時の球間距離の結果を示す。レイアウト①で造形した器物は、X軸、Y軸方向について、設計値より0.05mm~0.15mmほど小さく造形されるのに対して、Z軸方向については設計値より0.1mm~0.15mm大きく造形された。これは、本機の造形精度上の傾向と思われる、Z軸方向は造形ピッチ分の分解能しかないことがX軸、Y軸方向と異なる傾向を示す結果になった一因と思われる。レイアウト②で造形した器物はレイアウト①で造形した器物とは異なる傾向を示しており、造形の向きが変わると造形物の寸法精度が異なることがわかった。

図5に昨年度と今年度の球直径測定結果の差分を示す。器物Aと器物Cについては、上部の球の直径が増加する結果となった。器物内部をスパース条件で造形した器物Dは、他の器物と比較して経時変化が小さいという結果になった。器物内部の空間によって、器物外形の変形が抑制されたのではないかと考えている。

また、図6から図8に昨年度と今年度の球間距離測定結

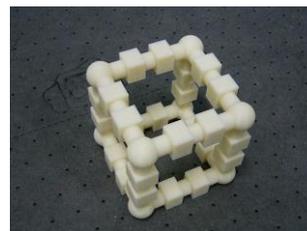


図3 器物Aの外観

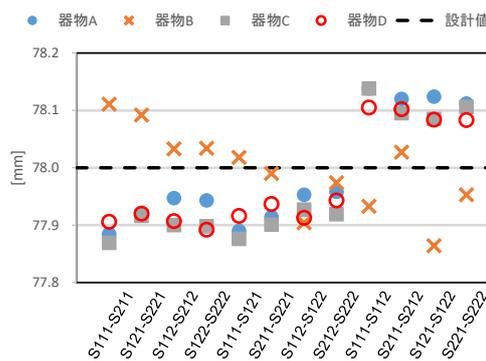


図4 第1回目測定時の球間距離測定結果

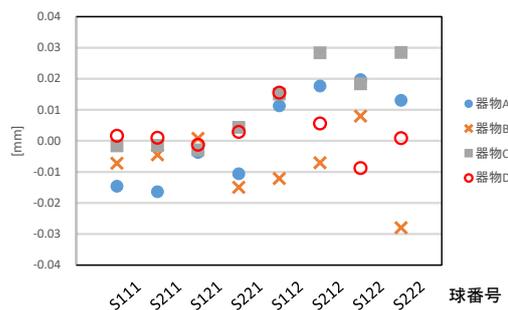


図5 球直径の差分

果の差分を示す。器物Aと器物Cについては、X軸方向、Y軸方向ともに、下部に配置した球の球間距離が増加する結果となった。スパース条件で造形した器物Dは、どの方向、場所でも0.02mm程度増加する結果になった。

### 5. 2 地域課題

図9に造形した器物の外観を示す。左側が四面体器物で、右側がその四面体器物の各辺と平行に配置して造形したダンベル型1次元器物である。

測定結果の一例として、四面体器物から求めた各軸の倍率誤差の結果とダンベル型1次元器物から求めた各軸の倍率誤差の結果を図10、図11にそれぞれ示す。四面体器物から求めた結果とダンベル型1次元器物から求めた結果ではほぼ同じ結果となった。また、内部充填方法をスパースにした器物が他の器物より各軸とも倍率誤差が小さい値となった。スパースの器物は、X軸、Y軸に比べてZ軸の倍率誤差が小

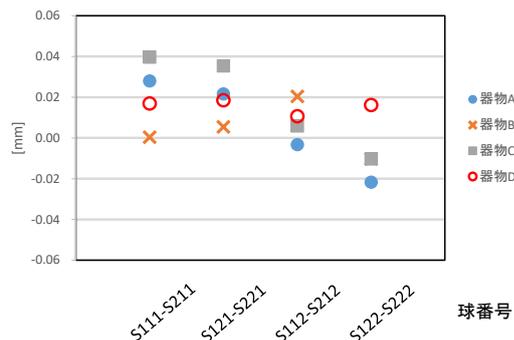


図6 球間距離 (X軸方向) の差分

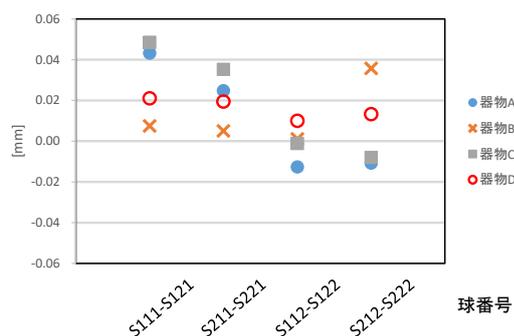


図7 球間距離 (Y軸方向) の差分

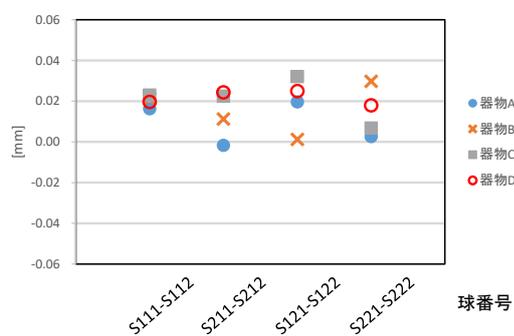


図8 球間距離 (Z軸方向) の差分

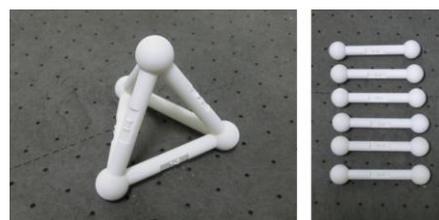


図9 器物Eの外観 (塗装後)

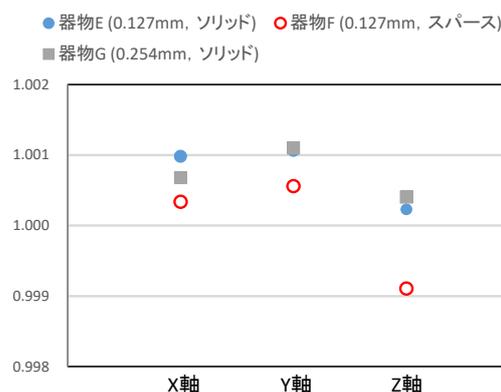


図10 四面体器物から求めた倍率誤差

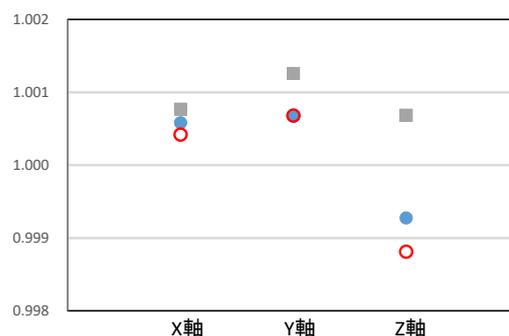


図11 ダンベル型器物から求めた倍率誤差

さい値となった。今回の結果をどのように捉えるかについては、他機関の結果も見て、次年度以降も継続して考えていきたい。

## 6. おわりに

3D2プロジェクト, 3D3プロジェクトに参加することで、造形方法や計測方法について考え直す良い機会になった。内部充填方法による経時変化の違いなど、新たな知見もいくつか得られた。また、本プロジェクトに参加している他の公設試験研究機関やオブサーバ参加している企業との交流で様々な情報を得ることができた。ここで得られた知見や情報を技術支援に活かしていきたい。

## 謝 辞

今回使用した3Dプリンタおよび3Dスキャナは、公益財団法人JKAの補助を受けて導入した。

## 文 献

- [1] 3D2プロジェクト運営協議会, "3D2プロジェクト実施ガイドライン", 2015.
- [2] 3D3プロジェクト運営協議会, "3D3プロジェクト実施ガイドライン 全体課題", 2016.
- [3] 3D3プロジェクト運営協議会, "3D3プロジェクト実施ガイドライン 地域課題1", 2016.