

# 樹脂 3D プリンタ造形器物の経年変化\*

和合 健\*\*、長嶋 宏之\*\*\*、箱崎 義英\*\*\*\*、菊池 貴\*\*\*\*、黒須 信吾\*\*

樹脂 3D プリンタで製造した器物の経年変化をレーザプローブ式座標測定機で測定した。その結果、レーザプローブ式座標測定機で得られた球位置の経年変化の平均値は、FDM 法で 68.4 $\mu\text{m}$ 、光造形法で 117.2 $\mu\text{m}$  であり、両者を比較すると光造形法によるものの経年変化が大きいことが明らかになった。

キーワード：樹脂 3D プリンタ、レーザプローブ式座標測定機、経年変化

## Secular changes in the moldings of a resin 3D printer

Takeshi Wago, Hiroyuki Nagashima, Yoshihide Hakozaki,  
Takashi Kikuchi and Shingo Kurosu

The secular changes that are produced in the moldings of a resin 3D printer are measured using a laser-probe assisted coordinate measuring machine. The measured mean values of the secular changes are observed to be 68.4 and 117.2  $\mu\text{m}$  for the moldings that are produced using fused deposition modeling (FDM) and laser beam lithography (LBL), respectively. Therefore, it can be confirmed that the secular changes that are produced in the moldings using LBL is larger than that produced using FDM.

**Keywords:** resin 3D printer, coordinate measuring machine equipped non-contact laser probe, secular change

### 1 緒言

クローズドループエンジニアリングは、3D スキャナと 3D プリンタが相互連携することで製造物の形状誤差を収束低減化させる製造手段である。これにより製品製造の高精度かつ高能率化が達成できる。クローズドループエンジニアリングを実現するためには、個々の工程の技術蓄積が必要であり、ここでは樹脂 3D プリンタで造形した器物の経年変化を調べた。

### 2 樹脂 3D プリンタによる造形器物の製作

樹脂 3D プリンタ（以下プリンタと呼ぶ）には、図 1 に示す光造形法（以下、Laser beam lithography : LBL）と熱溶解積層法（以下、Fused deposition modeling : FDM）がある。前者にはシーメット(株)製 NRM-6000 を、後者には Stratasys Ltd 製 FORTUS 360mc S を使用した。造形条件は表 1 の通りである。プリンタ内の配置を、LBL と FDM のそれぞれについてレイアウト 1、レイアウト 2 として、図 2 に示す計 4 個の造形物を製作した。ここで、レイアウト 1 はプリンタの X、Y、

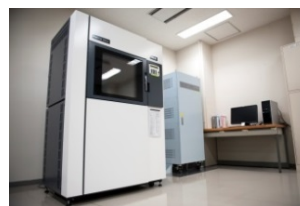
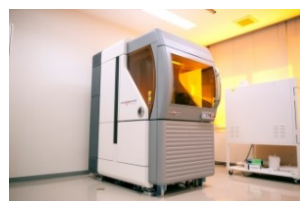


図 1 光造形装置（上図）、FDM 装置（下図）

表 1 造形条件

レイアウト	LBL		FDM	
	L1	L2	L1	L2
積層ピッチ	0.1 mm		0.127 mm	
造形時間	10時間22分 36秒	23時間52分 49秒	49時間4分	70時間34分

L1:レイアウト1, L2:レイアウト2

\* 平成 27, 28 年度 産総研地域連携戦略予算プロジェクト

\*\* 素形材技術部

\*\*\* デザイン部

\*\*\*\* 電子情報技術部

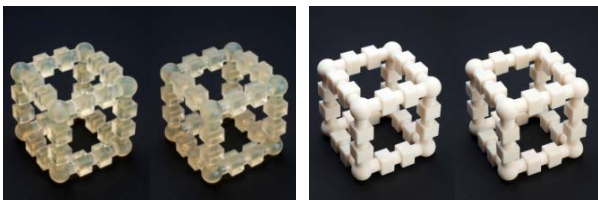


図2 LBL (左), FDM (右)  
(各造形法の左:L1, 右:L2)

Z軸に平行に器物を設置した場合、レイアウト2は器物をX、Y、Z軸からそれぞれ45°傾けた場合である。

### 3 レーザプローブ CMM による経年変化の測定

#### 3-1 実験装置

経年変化に使用した測定機はレーザプローブ式座標測定機 (以下、レーザプローブ CMM)、評価ソフトウェアは Focus Inspection Ver8.3 (Nikon Metology 製、以下 FI8.3) である。経年変化測定の前後で同一の測定機及びソフトウェアを用いた。

#### 3-2 実験方法

経年変化として 1 年間の形状変化を見た。測定番号は表 2 に示した測定テーブルに従い、因子の組み合わせを 8 水準とした。ここで切り欠けの位置とは、器物の向きを決めるために器物の辺に位置する正立方体に切り欠けを付けたもので、その正立方体は前面の下部に位置している。測定手順及び機器操作方法は経年変化前後で同一になるように注意を払ったが、1 年後には測定者の技能が必然的に向上している。特に、図 3.1 に示したプローブが下向きの場合と同様に、図 3.2 の横向きの場合においても、操作技能が向上したことにより、面に対してほぼ 1 回のスキヤニングで測定が行え、重ねてスキヤニングすることが避けられた。

表 2 測定テーブル

試験No.	1	2	3	4	5	6	7	8
製造方法	FDM				LBL			
製造での置き方	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
切り欠けの位置	X軸	X軸	Y軸	Y軸	X軸	X軸	Y軸	Y軸

※ L1:レイアウト1, L2:レイアウト2

レーザ強度はFDM及び光造形法ともにモニター画面で確認し、操作者が適正と判断する範囲で適宜調整した。レーザプローブ CMM の測定定盤上の温度は平均値 20.4℃、変動範囲 0.7℃であった。

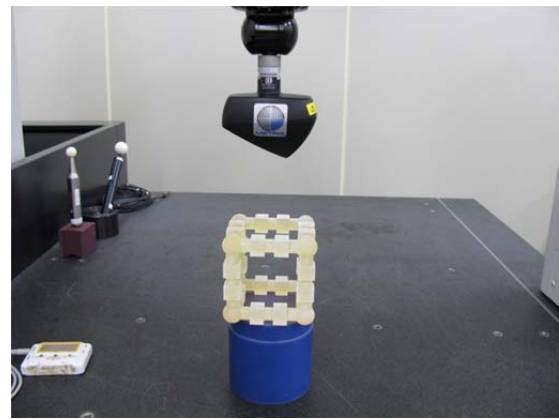


図 3.1 レーザプローブ CMM による測定  
(プローブ姿勢 A 軸 0deg、C 軸 0deg)

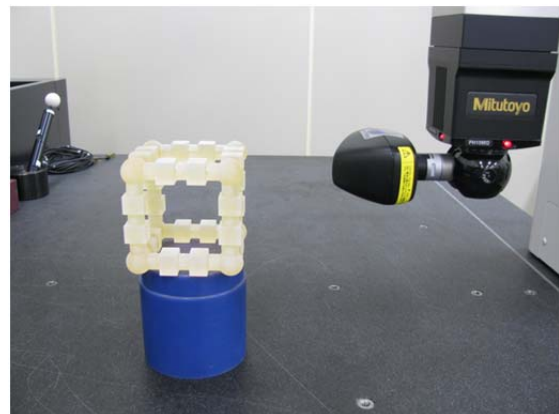


図 3.2 レーザプローブ CMM による測定  
(プローブ姿勢 A 軸 90deg、C 軸 -90deg)

#### 3-3 結果及び考察

設計値と測定値の位置合わせは最小二乗法によるベストフィットコマンドを利用した。また実験番号の名称は以下の法則に従って与えた。例えば FDM\_L1\_X は、製造方法が FDM、製造時の配置がレイアウト 1、レーザプローブ CMM による測定時の切り欠け位置が X 軸上であることを意味している。また LBL\_L2\_Y は、製造方法が LBL で、製造時の配置がレイアウト 2、切り欠け位置が Y 軸上であることを意味する。測定で得られた経年変化前後の値を利用し、設計値照合によるそれらの差を算出した。設計値照合時の設計値は経年変化前の測定値とした。

図 3.3、3.4 に経年変化の結果を示す。この図は角部に位置する 8 球の球中心座標を設計値からの差を算出し、誤差倍率 40 倍で誇張表示したものである。また、各図右下の黒枠で囲まれた数値は経年変化後の測定値から変化前の測定値を引いた数値である。その計算式は 1 球あたり X、Y、Z 軸の 3 個の情報を持ち 8 球では 24 個で、基準合わせ 3-2-1 で基準とした球では 0 の座標値が 6 個あるため、24-6=18 個の平均を取った数値であり、各実験番号の経年変化の大きさを示している。

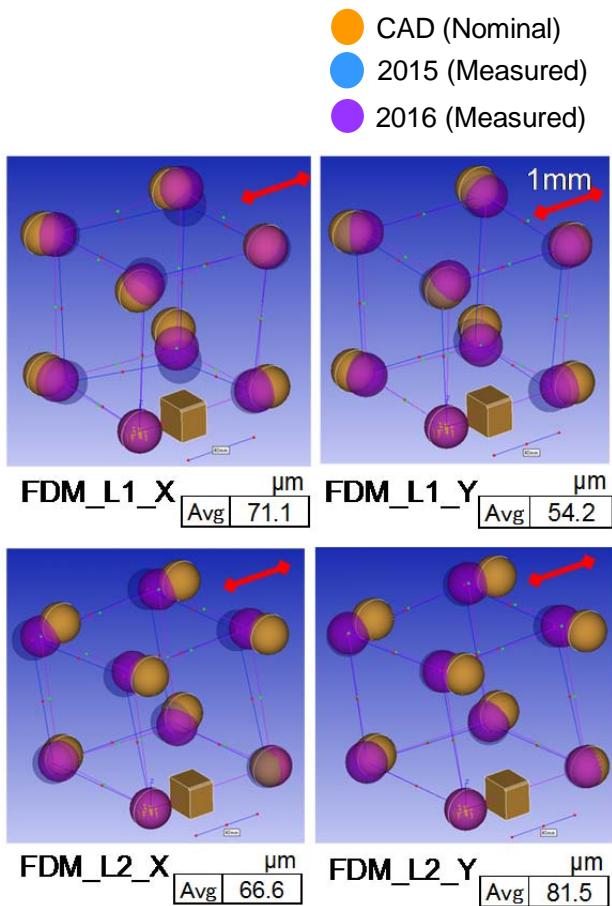


図 3.3 FDM の場合の経年変化

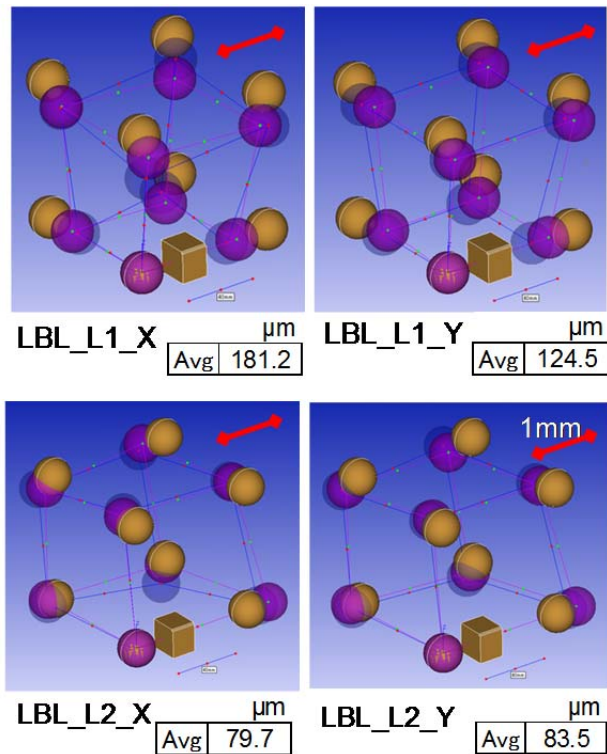


図 3.4 LBL の場合の経年変化

経年変化の大きさと方向の傾向は、FDM と LBL の同じレイアウト番号と切り欠け位置の軸で傾向が類似している。しかし予想通り、レイアウトの違いでは、経年変化の大きさと傾向が大きく異なっている。これは積層方向の違いによって残留応力の開放される大きさと方向が異なるためと推測される。

一方で予想に反した結果として、切り欠け位置を X 軸と Y 軸とした CMM 上での測定で、配置姿勢の差によって測定値の差が大きく、X と Y の差は FDM\_L1 で 16.9 $\mu\text{m}$ 、FDM\_L2 で 14.9 $\mu\text{m}$ 、LBL\_L1 で 56.7 $\mu\text{m}$ 、LBL\_L2 で 3.8 $\mu\text{m}$  となった。これは CMM の測定誤差と考えられる。CMM プローブの走査方向は X 軸上を X 軸の正方向に稼働するようにプログラミングし、その点間ピッチは 0.6mm とした。

一方、切り欠け位置を 90°回転することで造形物表面にある筋模様の方向が変わり、筋模様とラインレーザの交差方向が平行または垂直に切り替わることで測定誤差が発生することも測定誤差の原因の一つになっていると推測された。言い換えれば、走査方式の測定機を利用する場合は反転法を適用することで測定誤差が容易に抽出できたため、反転法は必須であると思われる。最終的な経年変化の結果は、各造形法での平均値として FDM で 68.4 $\mu\text{m}$ 、LBL で 117.2 $\mu\text{m}$  となり、LBL が FDM より 48.8 $\mu\text{m}$  大きくなった。

#### 4 結 言

樹脂 3D プリントによる造形物の経年変化を、レーザプローブ式座標測定機で、測定開始時とその 1 年後の変動値を球中心座標により測定し、以下の結果を得た。

- (1) 熱溶解積層法(Fused deposition modeling:FDM)では経年変化の平均値が 68.4 $\mu\text{m}$ 、光造形法 (Laser beam lithography:LBL) では経年変化の平均値が 117.2 $\mu\text{m}$  となった。
- (2) 測定誤差を表す切り欠け位置の X 軸と Y 軸の違いが、Lbl\_L1 で 56.7 $\mu\text{m}$  と大きくなった。これは、造形物表面にある筋模様の方向がラインレーザプローブの走査方向に影響を及ぼしたためと考えられ、ラインレーザプローブによる測定時には反転法を利用した測定誤差の確認が必須である。

#### 謝 辞

この研究は、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) で実施した。本共同研究に携わったすべての共同研究者の方々に感謝します。