

3Dプリンタの高度活用に関する調査 (第1報)

設計モデルの補正による高精度造形

竹保義博, 山本健, 佐々木秀和, 和田雅行

Research on Advanced Application of 3D-Printer I

High-accuracy Shaping by Correction of Design Model

TAKEYASU Yoshihiro, YAMAMOTO Ken, SASAKI Hidekazu and WADA Masayuki

3Dプリンタの2次元の造形誤差傾向を把握するため、一辺130mm厚さ6mmの正方形の板に直径15mmの円筒穴が格子状に25個配列した造形精度評価用ゲージを出力し、三次元測定機により穴の中心位置座標を測定して設計値との誤差を調べた。次に、得られた造形誤差傾向をもとに、造形後に設計寸法になるようあらかじめ設計モデルを変形した造形精度評価用ゲージを出力し、同様に三次元測定機による測定によって誤差を評価した結果、穴の中心位置座標の最大誤差を補正前の1.2mmから補正後は0.12mm以下に改善できることを確認した。

キーワード：3Dプリンタ、精度評価用ゲージ、造形精度、高精度化

1. 緒言

3Dプリンタによる造形技術は、ものづくりにおける新たな生産手段として実用段階に至っている。県内企業においても同技術に対する関心は高く、多くの企業が将来の導入を検討し、最新の技術動向に注視している。一方で、先導的に3Dプリンタを導入したが、希望する形状に造形できない、使いこなせていないといった問題を抱えている企業もある。現時点では、普及の初期段階であることから活用のための情報が少なく、装置導入後のノウハウ蓄積と、個別の用途に応じた技術課題の解決が必要とされている。

当センターでは、平成27年度よりインクジェット方式とFDM(熱溶解積層)方式の3Dプリンタを導入し、研究と企業支援業務での活用を開始した。企業支援では、広島県立総合技術研究所の技術的課題解決支援事業(ギカジ)制度を利用して依頼のあったモデルの有償での出力サービスを行っており、3Dプリンタを高度に活用して高いレベルのサービスを提供することが求められている。

本報告では、3Dプリンタの活用ノウハウを蓄積することを目的として、造形物寸法の高精度化手法を検討した。3Dプリンタで出力した造形精度評価用ゲージを三次元測定機で測定することにより造形の誤差傾向を把握し、あらかじめ出力形状を予測して変形させた設計モデルを出力することにより造形寸法を高精度化することを試みた。

なお、実験に使用した3DプリンタはFDM(Fused Deposition Modeling/熱溶解積層法)方式に分類され、近年ホビー用途を中心に低価格で販売されている中からPRN3D(マイクロファクトリー株)を選択した(図1)。本3Dプリンタは10万円以下の組み立てキットとして販

売されており、3Dプリンタのしくみを理解し、実験機器の試作や実験用ジグの製作のために導入した。購入者が組み立てることから造形精度は保障されていないが、本実験によって造形精度を改善し、用途によって十分実用に耐えることを確認したので報告する。

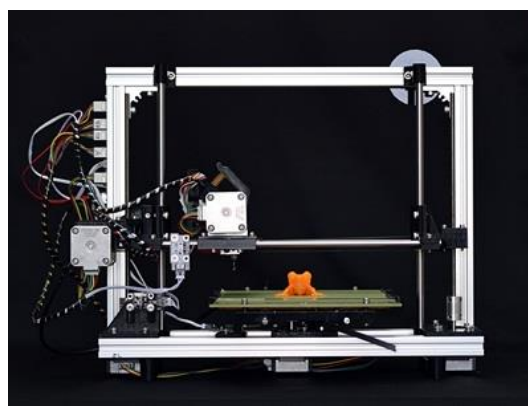


図1 実験に使用した3Dプリンタ

2. 実験方法

2.1 造形精度評価用ゲージ

3Dプリンタの2次元の造形精度を評価するゲージとして、一辺130mm厚さ6mmの正方形の板に直径15mmの円筒穴が25mmピッチで格子状に5×5個配列した薄板ホルプレート设计了。外形を図2左に示す。この形状は、2次元の寸法精度の評価に適し、造形と測定の容易さを考慮している。図のゲージの左下隅には、モデル座標系XY軸のマイナス方向を示す目印を設けている。このゲージは3DCAD(Rhinoceros 5)を使用してソリッドで

モデリングし、3Dプリンタで出力するためのSTLデータへは、同ソフトによりソリッドとポリゴンメッシュ間の最大距離を0.01mmの許容差に設定して変換した。

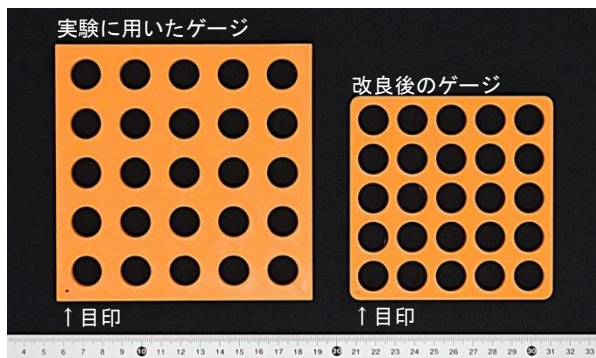


図2 造形精度評価用ゲージ

なお、図2右のゲージは、造形時間の短縮と造形材料の低減を狙って実験後に改良を加えた造形精度評価用ゲージであり、一辺104mm厚さ5mmの正方形の板に直径16mmの円筒穴が20mmピッチで並ぶ。改良によって、造形時間は5時間から2.7時間に短縮し、使用するモデル材料の重量を57gから30gに低減できる。

2.2 造形方法

造形精度評価用ゲージを出力する3Dプリンタの主な仕様を表1に示す。

表1 3Dプリンタの主な仕様

モデル名	PRN3D
造形サイズ W×D×H (mm)	170×170×160
造形材料	1.75mm フィラメント
造形可能材質	PLA/ABS
積層ピッチ (mm)	0.05~0.3
ノズル径 (mm)	0.4
造形テーブル	ヒートドベッド
スライサーソフト	cura
本体大きさ W×D×H (mm)	420×250×320

造形精度評価用ゲージの出力は、モデル材料にPLA(ポリ乳酸)3Dプリンタ用フィラメント(三菱ケミカルメディア(株)製)を使用し、造形位置はテーブル中央にモデル座標系と造形機座標系とが平行になるように配置した。主な造形条件を表2に示す。

表2 主な造形条件

項目	条件
造形ピッチ (mm)	0.3
充填密度 (%)	25
壁厚/上底面厚 (mm)	0.8/0.9
ラフト	あり
ノズル温度 (°C)	185
テーブル温度 (°C)	55

2.3 造形精度評価方法

造形精度評価用ゲージの円筒穴の中心位置座標測定は、接触式CMMであるCNC三次元測定機(株)ミツトヨ製、LEGE707)を使用した。測定環境は20±1°Cで、モデル座標系と測定機の座標系が平行になるようにクランプでテーブルに固定し、接触式プローブに直径4mmのスタイラスを取り付けて測定した。測定状況を図3に示す。

測定時の座標系は、テーブル面を基準面(X-Y平面、Z=0)とし、この面の法線方向をZ軸とした。また、目印に最も近い円筒穴の中心をXY平面の原点(0,0)とし、X軸プラス方向の端にある円筒穴の中心を通る直線をX軸とした。全ての円筒穴の中心位置座標は、板厚の中間の高さ(Z=3mm)で内周を均等に12点測定し、測定点から最小二乗円を算出して求めた。

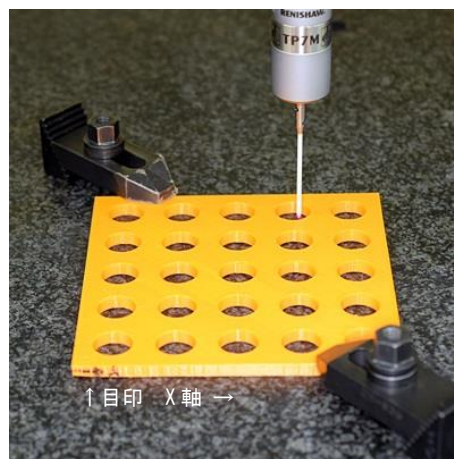


図3 造形精度評価用ゲージの測定状況

3.2 設計モデルの補正

造形精度の評価結果から、造形物の誤差傾向がモデル全体に渡って同様であると仮定し、XY各軸方向の誤差倍率とX軸に対するY軸の直角度誤差を求めた。具体的には、XY各軸方向の誤差倍率は設計値に対する測定値の回帰直線の傾きから求め、X軸に対するY軸の直角度誤差は、Yの測定値に対するXの誤差の回帰直線の傾きから求めた。

得られた誤差傾向をもとに、造形精度評価用ゲージが出力後に設計寸法になるように、設計モデルを補正した。XY軸方向の寸法誤差の補正は、CADのスケール機能を利用して各軸方向に個別に誤差倍率の逆数倍し、X軸に対するY軸の傾きの補正は、CADのシア変形機能を利用してX軸に平行に直角誤差の逆方向に歪めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 造形精度評価結果

測定した円筒穴の中心位置座標について、設計値からの誤差を25倍して設計値に加えてプロットしたグラフを

図4に示す。プロットされた点がXY軸の目盛り線の交点上にあれば設計値どおりであり、交点から離れるほど設計値からの誤差が大きいことを表している。図4から、造形物が全体的に小さく、またX軸に対しY軸がマイナス側に傾いていることが分かる。造形精度の評価結果から求めたX軸の誤差倍率は0.9947で、Y軸の誤差倍率は0.9958であった。また、X軸に対するY軸の直角度誤差X軸のマイナス方向に0.277°であった。

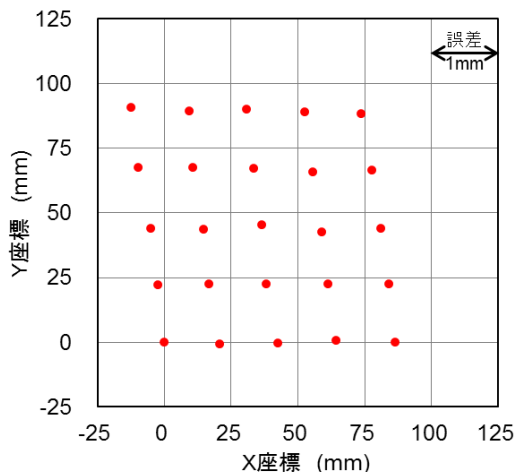


図4 造形精度評価結果 (誤差 25 倍)

造形物が設計値に対し小さくなるのは、3DプリンタのX,Y軸がステッピングモータによりプーリーとタイミングベルトを介して駆動されており、単位距離を駆動するために必要なステッピングモータのパルス数の設定値が小さいことが原因と考えられる。さらに、造形時のモデルの温度に比べ測定時の温度が低いことから、造形後に熱収縮していることも原因の一つと考えられる。一方、X軸に対しY軸がマイナス側に傾いている原因は、購入後の組み立て精度が悪かったため、組み立て精度がそのまま反映された結果と考えられる。

3.2 設計モデルの補正

得られた誤差傾向をもとに造形精度評価用ゲージが出力後に設計寸法になるように、設計モデルをCADのスケール機能を利用してX軸方向に1.0053倍、Y軸方向に1.0042倍拡大し、シア変形機能を利用してX軸のプラス方向へ平行に0.277°歪めて補正した。

3.3 補正後の再造形結果

造形精度評価ゲージについて、補正したモデルを3Dプリンタで出力し、三次元測定機により測定した結果を図5に示す。プロットされた円筒穴の中心位置座標がXY軸の目盛り線の交点上に近づいたことから、造形精度が改善されたことが分かる。造形精度がどの程度改善されたかを定量的に見るために、円筒穴中心位置の原点からの設計距離を横軸に、設計位置座標との誤差を縦軸にしてプロットしたグラフを図6に示す。補正前は最大約1.2mmあった誤差が0.12mm以下に改善された。今後は、

複数個の造形精度評価用ゲージの出力と測定による造形のばらつきを考慮した誤差補正や、造形装置の組み立て直しによる誤差補正、造形条件の見直しなどによって更なる造形精度の改善が見込まれる。

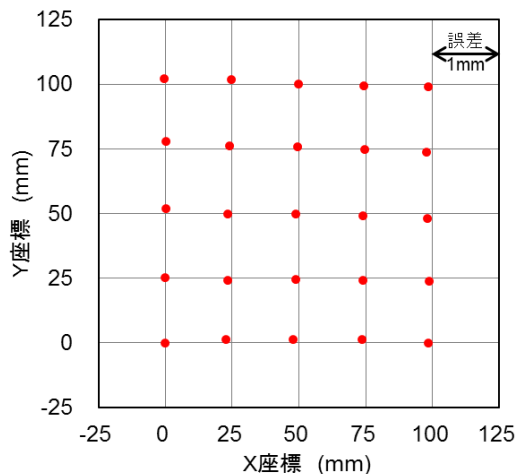


図5 補正後の造形精度評価結果 (誤差 25 倍)

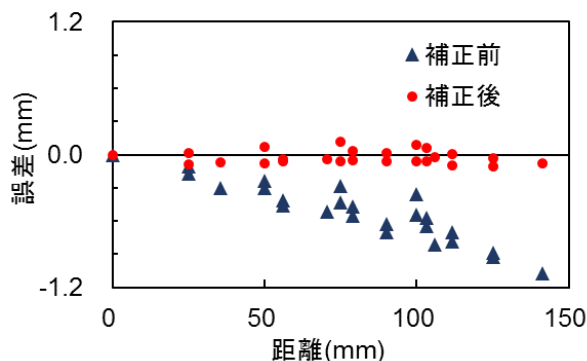


図6 原点からの距離と穴中心位置の誤差

4. 結 言

3Dプリンタで出力した造形精度評価用ゲージを三次元測定機により測定し、得られた誤差傾向をもとに設計モデルに補正を加えることで造形精度を改善できることを示した。

一方、本報告では触れなかったが、造形精度評価用ゲージの円筒穴の直径は設計値の15.0mmに対し補正後で平均14.8mmであった。これは、設計モデルの表面位置よりも造形物が0.1mmはみ出していることを示しており、これまでの実験ではみ出し量は造形条件によって異なることが分かっている。また、産業技術総合研究所と全国公設試および関連企業で行っている「3D3プロジェクト¹⁾」では、3Dスキャナーと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において、造形物の経時変化による寸法変化が存在することが明らかとなった。その他、実際の3Dプリンタの活用場面では、STLデータのメッシュ精度が造形精度に影響を与えるなど様々

な誤差要因が存在することが判明している。

現在、上記誤差の低減方法や、3次元の造形精度の評価と補正の方法などについて検討を進めており、今後も導入した3Dプリンタの高度な活用のために、ノウハウの蓄積に努める。

文 献

- 1) 産総研地域連携戦略プロジェクト3D計測エボリューション (3D3 プロジェクト) 実施ガイドライン全体
課題：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 (2017) .