

3Dプリンタ造形物の寸法精度向上に関する研究

宮崎智詞***, 島崎景正*, 佐藤宏惟*, 南部洋平*

Study on Improvement of Dimensional Accuracy in Three-dimensional Printer Modeling

MIYAZAKI Tomonori***, SIMAZAKI kagemasa*, SATO Hirotsada*, NANBU Yohei*

抄録

近年3Dプリンタの高度化により、造形物が試作だけでなく製品として利用可能になりつつあり、より設計値に近い高精度な造形が求められている。しかし一般的に3Dプリンタの造形誤差（設計値との誤差）については明らかにされていない。本研究では、当センターで保有するインクジェット方式の3Dプリンタについて、三次元測定機及びX線CT三次元測定機を用いて造形誤差要因を検討し、CADデータに補正をかけることにより、設計値誤差±0.1mm以下となるように寸法精度の向上を図った。

キーワード：3Dプリンタ，CADデータ，三次元測定機

1 はじめに

3Dプリンタの高度化により、造形物が試作だけでなく製品として利用可能になりつつあり、より設計値に近い高精度な造形が求められている。一方で3Dプリンタについては、解像度（積層ピッチ）は判明しているが、造形誤差（設計値との誤差）については判明しておらず、造形方式やモデル材の種類による造形誤差要因についても不明な点が多い。実際、当センターの3Dプリンタについても、マイクロメータを用いた測定から造形方向によって±0.2mm程度の造形誤差、同じ方向を造形した場合でも±0.1mm程度の誤差があることが経験的にはわかっている。そのため、ネジやシリンダー等はめ合いがあり、寸法精度が必要な部品については、あらかじめ3Dプリンタ用にCADデータ（設計値）を修正する必要がある。

本研究では、より具体的な造形誤差を評価するため幾何形状の3Dモデルを造形し三次元測定により造形誤差要因として考えられる大きさ・配置・形状について寸法評価し、補正方法を検討したうえで、補正量をCADデータに適用し、造形モデルの寸法精度への影響を検証した。

2 実験方法

2.1 造形装置概要

本研究で使用したインクジェット方式の3Dプリンタの仕様及び条件を表1に示した。

表1 3Dプリンタ仕様

メーカー・型番	Stratasys・OBJET260 CONNEX3
造形サイズ (X/Y/Z 軸)	255×252×200(mm)
造形解像度 (X/Y/Z 軸)	600×600×1600(dpi)
積層ピッチ (Z 軸)	30µm
モデル樹脂	RGD720(硬質透明)
サポート樹脂	SUP705(不溶性)

***現 埼玉県先端産業課

* 技術支援室 機械技術担当

2.2 造形物の形状

造形物として、図1のような CAD データを設計した。造形サイズによる影響を調べるために四角形(15mm 角)と丸穴(φ10mm)で構成された計 57 個のブロックを等間隔に配置した格子形状(以下 Plate)、補正評価用の 20mm と 10mm の角形で構成された形状(以下 Cube)、はめ合い評価用の φ10mm ボス形状(以下 Boss)を作成した。

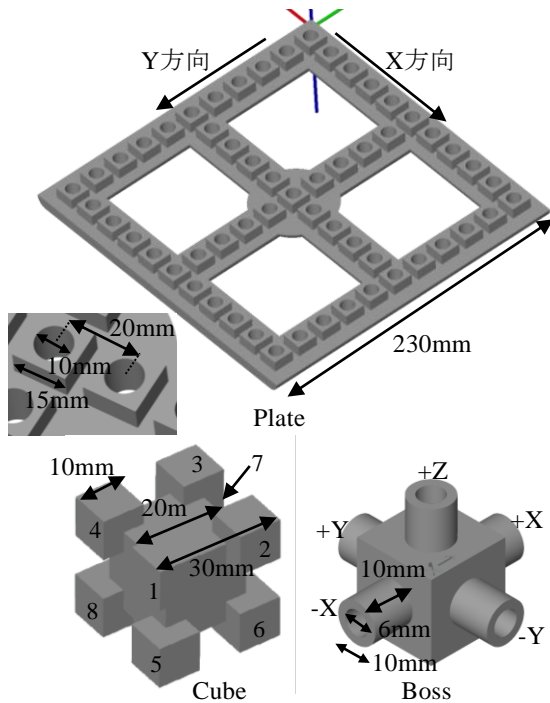


図1 造形物形状 (STLデータ)

2.3 測定方法

寸法測定については、Cube 及び Boss は X 線 CT 三次元測定機を用い、Plate は三次元測定機を使用した。各々の仕様及び条件は、表2, 3に示した。Plate の場合、各ブロックの端面間の X 及び Y 方向の座標差と X 端面、Y 端面の対称面の交点、丸穴の直径及び中心座標 (XY 値) を測定した。Cube の場合、各ブロックの端面間の X 及び Y 方向の座標差 (10, 20, 30mm) を測定し、Boss は円筒部の外径 (10mm) 及び内径 (6mm) を求めた。

表2 三次元測定機仕様

メーカー・型番	Carl Zeiss・ACCURA II 9/16/8
測定精度	1.4+L/350µm (VASTgold)

表3 X線CT三次元測定機仕様

メーカー・型番	Carl Zeiss・METROTOM800
測定精度	4.0+L/100µm(VDI/VD準拠)
出力	130kV, 123µA
投影枚数	800枚
ボクセル解像度	40µm

2.4 補正方法

得られた寸法測定結果と、CAD データからの設計値との差を求め、差に基づき補正した補正 CAD データから再度造形を行い、同様の寸法測定により補正効果を検証した。Plate では各長さにおける設計値からの距離を求めて全体的なばらつきを把握し、X 及び Y 方向と設計値誤差との1次の近似式により各距離における補正量を算出した。これに加え Cube では形状について局所的なバラつきを把握し二つの方法により補正を行った。1つは XYZ 方向における設計値誤差の平均値から一定倍率で補正量を算出(以下①)し、もう1つはそれぞれの方向ごとに CAD データを修正(以下②)した。

3 結果及び考察

3.1 補正前測定結果

寸法測定結果を図2から図6に示した。図2は、Plate 内における各ブロックの端面から求めた中心位置と丸穴の中心位置についてそれぞれの設計値誤差をプロットした。ブロック端面から求めた中心位置と丸穴の中心位置について同様の傾向がみられた。図3で示したように最大で X 方向に 0.1mm の縮小、Y 方向に 0.15mm の拡大傾向が見られ、各プロットから X 及び Y 方向と設計値誤差との1次の近似式が得られた。図4では Plate 内にある各ブロックの X 方向の幅及び Y 方向の幅の設計値誤差をプロットした。Y 方向は設計値に近い傾向があったが、造形位置との相関は認められなかった。図5は Plate 内の各丸穴の直径の設計誤差をプロットした。ブロック幅に比べ、バラつきが少なく設計値に近かった。図6は Boss の円筒部の外径及び内径の設計誤差を示した。内径は、設計値に近い傾向がみられた。

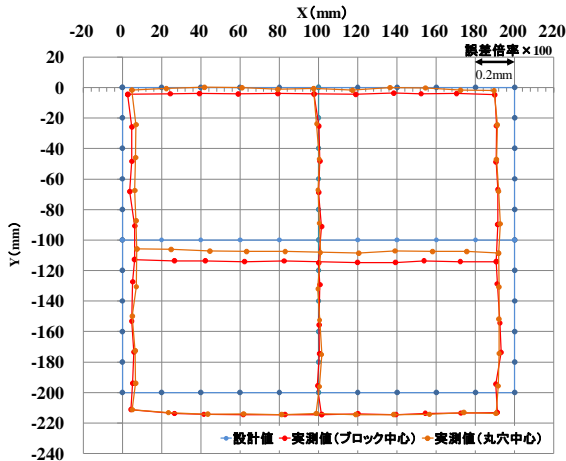


図2 各ブロック中心の設計値誤差

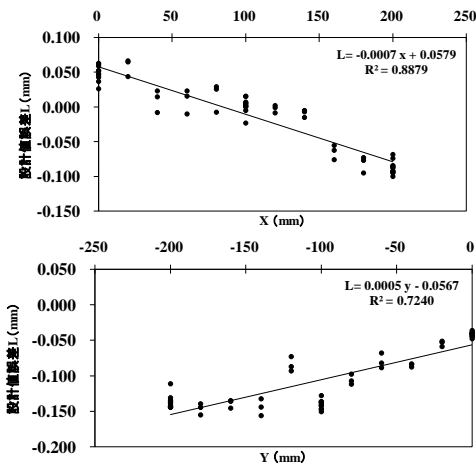


図3 各ブロック中心の設計値誤差 (上: X方向, 下: Y方向)

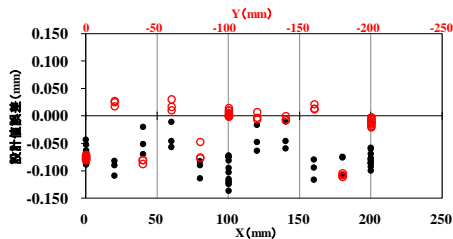


図4 Plateブロック幅(15mm)の設計値誤差

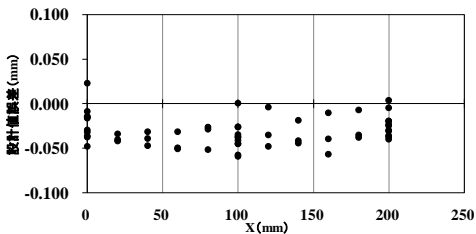


図5 Plate丸穴直径(10mm)の設計値誤差

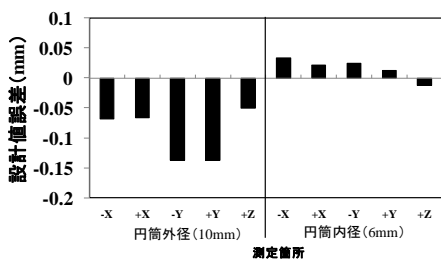


図6 Boss円筒直径の設計値誤差

次に Cube の寸法測定結果を図7、CT データと CAD データとの照合計算結果を図8に示した。X 及び Y 方向ともに造形物は、CAD データと比べて縮小傾向にあり、両方向とも $-0.05 \sim -0.20\text{mm}$ の範囲でバラつきがあった。XY 方向の誤差平均値は -0.11mm であった。Z 方向については他の2方向に比べ設計値誤差が少なかったが上段に配置された1~4の10mm角形部については、拡大傾向にあり、図7から底面(-Z面)のみずれが大きいが分かった。X 及び Y 方向それぞれの設計値誤差を平均して得られた補正倍率は、X 方向に $+0.64\%$ 、Y 方向に -0.45% となった。

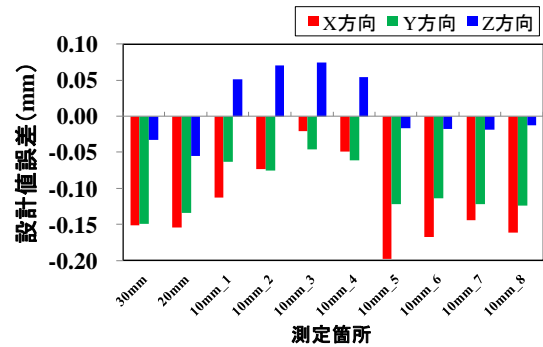


図7 Cube_設計値誤差

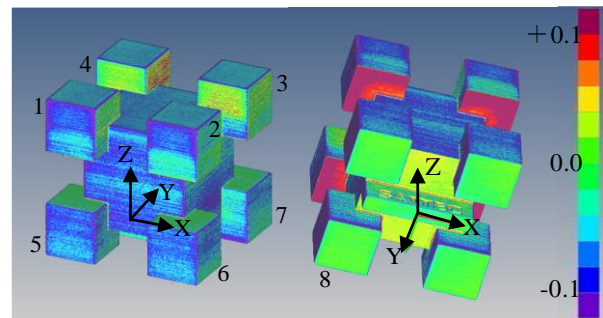


図8 Cube_CAD比較

3.2 補正後測定結果

3.1 で得られた測定結果より、2.4 に記載した①、②の2つの方法で補正した CAD データを用いて再造形を行った。Z 方向の補正については、図9で示したように、サポート樹脂の代わりにモデル樹脂を一定の隙間をあけて配置した。寸法測定結果を図10~図13に示した。①は、XY 方向の誤差平均値は -0.12mm で、補正効果が見られなかった。②の誤差平均値は、 -0.06mm で、①に

比べ補正効果が見られた。Z 方向については Cube、Boss とも設計値誤差が小さくなった。

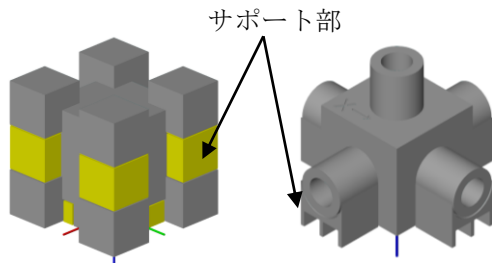


図 9 Z方向の補正 (モデル樹脂によるサポート)

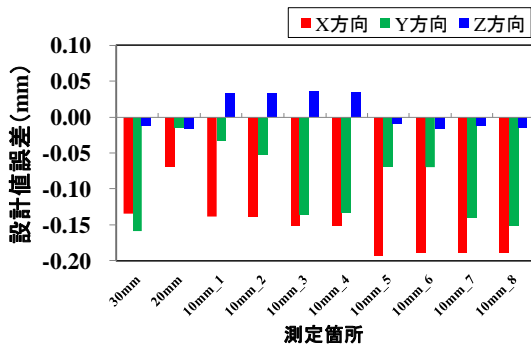


図 10 Cube_補正後設計値誤差 (補正①)

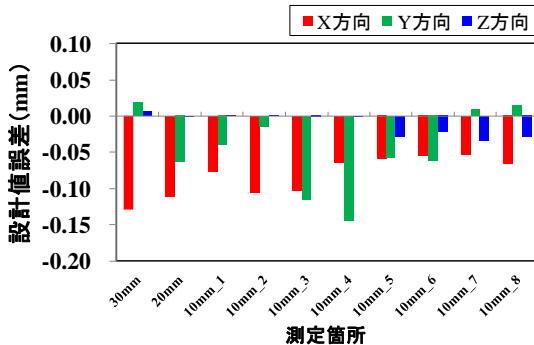


図 11 Cube_補正後設計値誤差 (補正②)

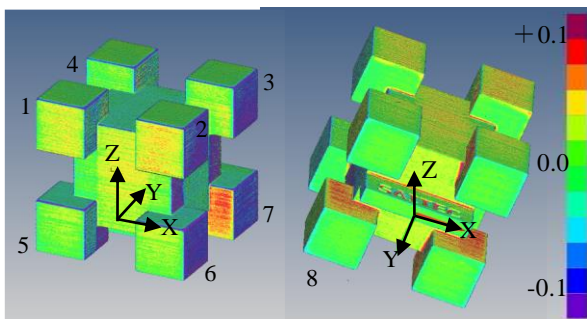


図 12 Cube_CAD比較(補正②)

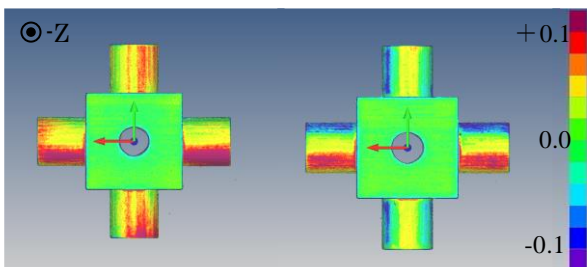


図 13 Boss_ CAD比較(左:補正前, 右:補正後)

3.3 考察

Plateの測定結果から、造形領域に対し比較的大きい造形を行う場合や、穴や溝位置など補正量を考慮することが有効と考えられる。Cubeの測定結果から、XY方向は平均して0.1mm程度小さく造形され、X方向がY方向より設計値との誤差が大きい傾向があることがわかった。しかし、ばらつきの範囲も0.1mm以上あることから、造形の繰り返し誤差やZ方向(積層方向)による影響も誤差要因として考慮し、補正方法を検討することが今後の課題である。Z方向は、隙間なく積層された位置では、設計値誤差 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内であったが、サポート樹脂の上に積層された場合、図7で示したとおり誤差が大きくなった。本結果では、Z方向はCADデータの補正よりサポート部としてモデル樹脂を近傍に配置することで補正効果を得られた。ただし、図13のように円筒のような曲面の場合、補正効果が低かったため形状によって、別の補正が必要である。

4 まとめ

インクジェット方式の3Dプリンタにおいて幾何形状の3Dモデルを造形した後、3次元測定による寸法評価を行い、造形誤差範囲と要因を調べた結果に基づいたCADデータの補正により、造形精度の向上を図った。設計値誤差から見積もった補正量によってCADデータを補正し、また、別の造形物を配置することで、造形精度が $\pm 0.1\text{mm}$ 程度になった。誤差要因や補正量についてメーカーや造形方式によって異なるため、今後は造形精度検証のため3Dモデルや評価方法の最適化を検討し、技術支援の高度化を目指したい。