

3D プリンタと 3D スキャナ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

Conduct of closed loop engineering by cooperation of a three-dimensional printer and a three-dimensional scanner

池田 博行*
Hiroyuki Ikeda

抄 録

クローズドループエンジニアリングの効率化や精度向上を目指すにあたって、3D スキャナによる器物の全方向測定工程に改善の余地があると考え、本工程の改善を検討した。腕部に設置した電動モータにより任意の角度に自動回転可能な器物保持用治具を製作したことで、3D スキャナによる測定工程において、手動操作の自動化による効率化につながったほか、測定データの欠損・ノイズが減少し、精度が向上した。

1 はじめに

器物を3Dスキャナで測定して3Dデジタルデータ化し、そのデータを3Dプリンタに入力して造形することで元の器物と同形状の器物を造形することをリバースエンジニアリングと呼んでいるが、造形物の精度は一般的な機械加工精度と比較して大幅に低いため用途は限られている。クローズドループエンジニアリング（産総研地域連携戦略予算プロジェクトで使用される名称）と呼ばれる手法では、リバースエンジニアリングに加えて、3次元形状検査結果を反映してデータを補正することにより造形精度の向上をねらう（図1参照）。さらに、造形物への後加工による機能やデザインの改善やCAE解析結果のデータへの反映を取り入れれば、造形物形状の改良ループを構成することが可能である。

3Dプリンタと3Dスキャナの連携によるクローズドループエンジニアリングにより、3Dデジタルデータを活用した製品開発を行うことができるため、製品開発工程の効率化や3D自由曲面を有するようなデザイン性に優れた形状の製品等の開発に有用であると期待される。しかし、3Dデジタルデータを取り扱うことによる製品開発のノウハウが未だ少ないことや、造形物の精度が低いといった課題があったため、本研究では、特に機器の使用に関するノウハウを獲得すること、また、この手法の効率や精度を改善することを目的とした。

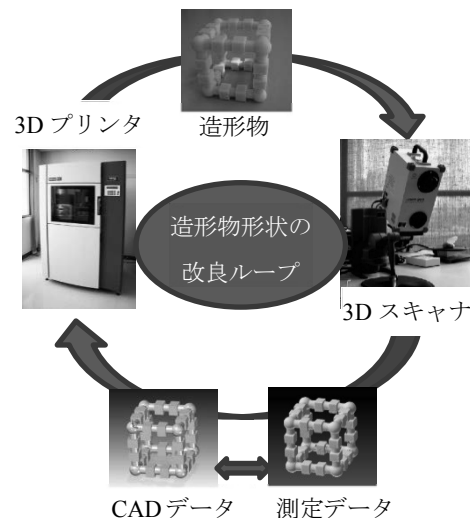


図1 クローズドループエンジニアリング

本手法の工程のうち3Dスキャナでの全方向測定については手動操作が多く、測定手法の観点から効率や精度の改善の余地があると考えられるため、本工程の改善を検討した。

2 方法

2・1 3D スキャナによる全方向測定

使用した 3D スキャナ (VIVID 910 (コニカミノルタ製)) は固定式であり、機器仕様は表 1 に示す通りであった。

本測定機器の測定原理によると、ラインレーザー光を器物に照射し、器物表面からの反射光をセンサで受光して三角法により器物表面の座標値デ

* 機械技術担当

ータを取得する。

表 1. 3D スキャナの機器仕様

型名	非接触 3 次元デジタイザ VIVID 910 (コニカミノルタ(株) 製)
測定方式	三角測量 光切断方式
レーザ出力	クラス 2、最大 30mW、690nm
レーザ出力方式	ラインレーザ方式
レーザスキャン方式	ガルバノミラー方式
出力画素数	640×480 (FINE モード時)
データ処理ソフトウェア	<ul style="list-style-type: none"> • Piligon Edditing tool : ポリゴン編集 • Rapidform : 測定点群データの統合 • spGauge : CAD データと測定点群データの照合

3D スキャナによる測定の外観は図 2 に示す通りであり、器物の全方向測定では、自動回転テーブルを用いて測定対象物の方向を少しずつ変えながら測定を繰り返し、全方向のデータを取得後に専用ソフトで取得データを統合する。鉛直方向軸周りには自動回転テーブルにより設定ピッチで自動回転可能であるが、水平軸方向周りは手動で回転させる必要があり、任意の角度に固定することは困難であった。

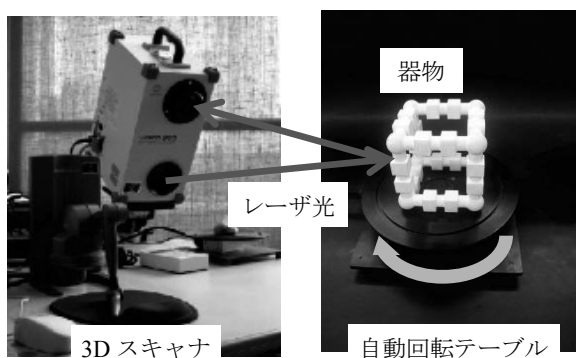


図 2 3D スキャナによる測定

2・2 器物表面への探傷剤の塗布の効果

3D スキャナによる測定結果は測定対象物の材質にも影響を受けることが知られており、本研究のように樹脂材料を使用する場合、表面処理をしないと測定誤差が大きくなった。

器物表面に前処理をしない場合と探傷剤(白色現

象液)を塗布した場合の2つのケースについて3D スキャナで測定した結果を図3に示した。上段は、3D プリンタによる造形物の写真、下段は、その造形物を3D スキャナで測定したデータをそれぞれ示す。下段の図によると、表面前処理無しで3D スキャナで測定したデータ(左)の方が探傷剤を塗布したデータ(右)よりも表面にノイズが多くなっていた。

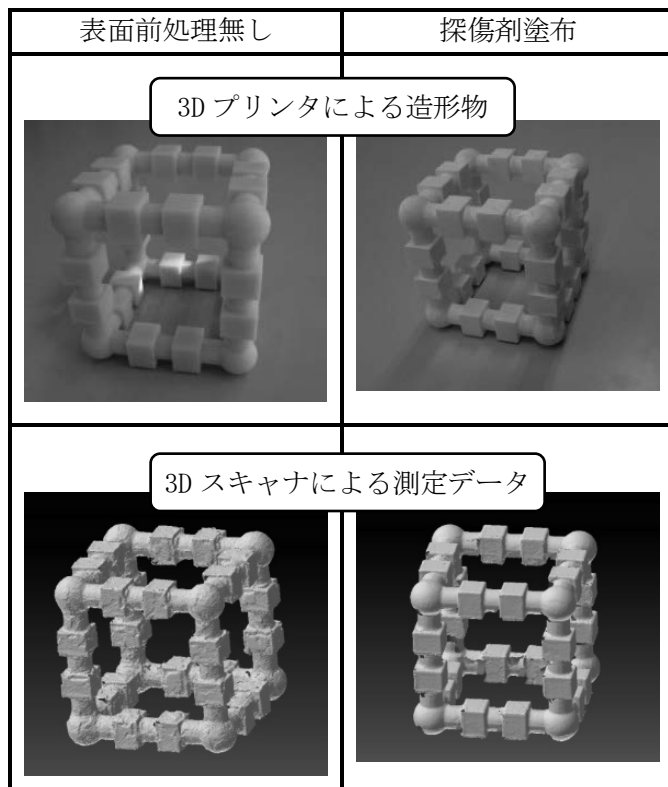


図 3 3D スキャナによる測定結果 (対策前)
表面前処理無し(左)、探傷剤塗布(右)

表面前処理無しの測定データの元 CAD データに対する誤差をカラーマップ化した図を図4に、探傷剤を塗布した測定データの元 CAD データに対する誤差をカラーマップ化した図を図5に示した。ここで、各図の左端はカラーバーを示しており、中心のグレー色を誤差ゼロとして、色が濃いほど誤差がプラス側に大きく、色が薄いほど誤差がマイナス側に大きいことを示す。また、各範囲の分布割合をヒストグラムで表示している。図4と図5を比較すると、表面前処理無しで3D スキャナで測定したデータ(図4)の方が探傷剤を塗布したデータ(図5)よりも誤差の大きい箇所の割合が大きくなっていた。

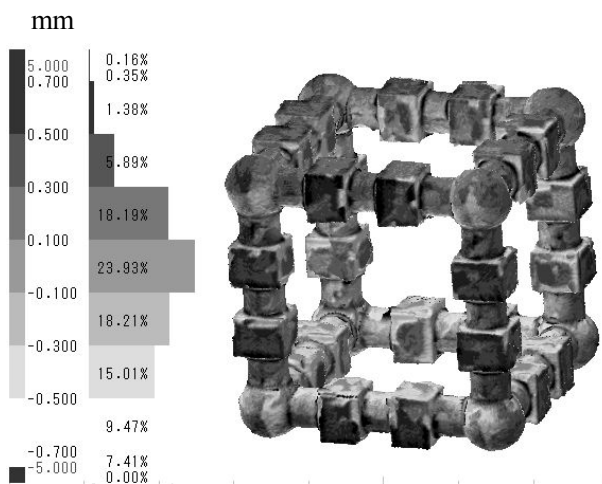


図4 誤差カラーマッピング図（対策前）
表面前処理無し

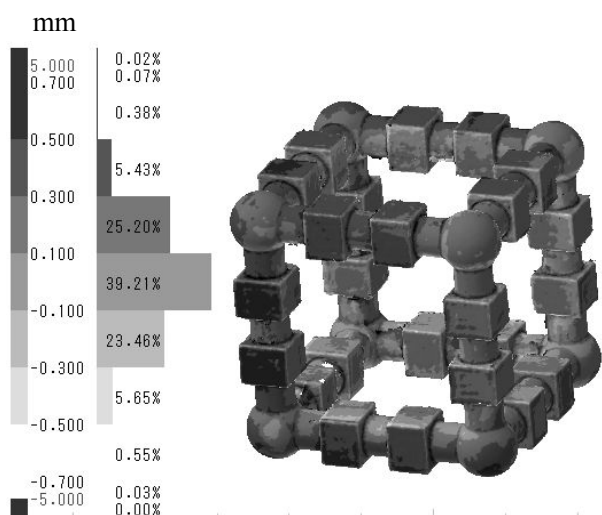


図5 誤差カラーマッピング図（対策前）
探傷剤塗布

次に、器物表面に前処理をしない場合と探傷剤(白色現象液)を塗布した場合の2つのケースにおける測定誤差を数値で比較するため、元のCADデータとの比較により標準偏差、最大誤差をそれぞれ算出した結果を表2に示した。

表2によると、探傷剤を塗布した方が測定誤差算出値が低くなっていた。

表2 表面前処理有無による測定誤差算出値の比較

	標準偏差	最大誤差
表面前処理無し	0.287	1.81 mm
探傷剤塗布	0.197	1.33 mm

以上より、本研究のように樹脂材料を使用する場合、3D スキャナでの測定の際は表面に探傷剤を塗布することが必要であると言える。しかし、探傷剤は剥がれやすいため、3D スキャナでの測定時に手動で姿勢を変える度に手で触れる等して探傷剤が剥がれてしまうという問題がある。測定精度に影響があるだけでなく、剥がれた箇所へ再度、塗布し直すという余分な作業が発生してしまうことになる。

また、探傷剤を塗布すると表面前処理無しの場合と比較して測定精度は改善するものの、図5のカラーマップ図によると、以下に列挙するような特徴が見られたことから、依然として3D スキャナの測定に起因する誤差が大きいことが推定された。

- ・レーザ光の届きにくいと思われる器物内側にデータ欠損が多い。
- ・円筒部と直方体部の接続箇所は膨張傾向があり、測定値は大きくなる傾向がある。
- ・直方体のエッジ部は丸みをおびる傾向があり、測定値は小さくなる傾向がある。

2・3 3D スキャナによる測定誤差の推定要因

測定手法の観点から推定される3D スキャナによる測定誤差の要因は以下の通りである。

- ・自動回転テーブルによる回転は鉛直方向軸周りのみであるためレーザ光の届きにくい箇所があり、データ欠損の要因となっている。
- ・エッジ部や輪郭はレーザ照射角によっては、うまく反射光を受光できないため、データ欠損やノイズが発生しやすい。レーザ照射角は直角に近いことが望ましい。
- ・水平軸方向周りの手動回転時には表面に塗布した探傷剤(白色現象液)が容易に剥がれてしまう。

2・4 対策

2・3に列挙した測定誤差の推定要因に対する対策として、3D スキャナを用いて器物の全方向を測定する際に器物の水平方向軸周り角度を任意に変えられるように、腕に電動モータを設けた器物保持用治具を製作した。これにより、自動回転テーブルによる鉛直方向軸周り回転に加えて、水平方向軸周りの回転についても自動回転が可能となった。製作した器物保持用治具の写真を図6に、3D スキャナによる

測定の外観については図7に示した。

この対策を施すことにより、届きにくい箇所にも測定用レーザー光を照射できるようになったほか、各箇所に直角に近い角度でレーザー光を照射できるようになり、測定データの欠損やノイズが減少した。また、治具で器物をつかんだまま角度を変えられるため、器物表面に塗布した探傷剤が剥がれてしまうことが少ない。測定精度が向上したほか、手動操作の自動化による工程の効率化にもつながった。

尚、本研究で制作した治具の使用できる器物の寸法や重量には制限があるが、器物保持部の爪形状や電動モータを変更することで様々な器物に対応することが可能である。

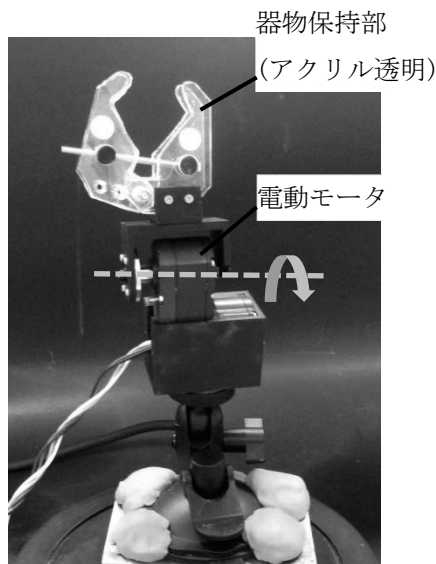


図6 器物保持用治具

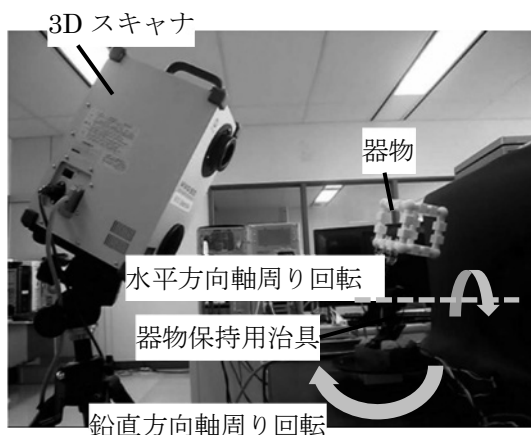


図7 3D スキャナによる測定の外観

3 結果及び考察

3・1 結果

器物保持用治具を使用した際の測定データの元 CAD データに対する誤差をカラーマップ化した図を図8に示した。図8によると、誤差 0.5mm 以上の箇所は約 2%程度に収まっていた。

また、対策前と対策後の誤差評価結果は表3に示す通りであり、対策したことにより、標準偏差、最大誤差ともに改善した。

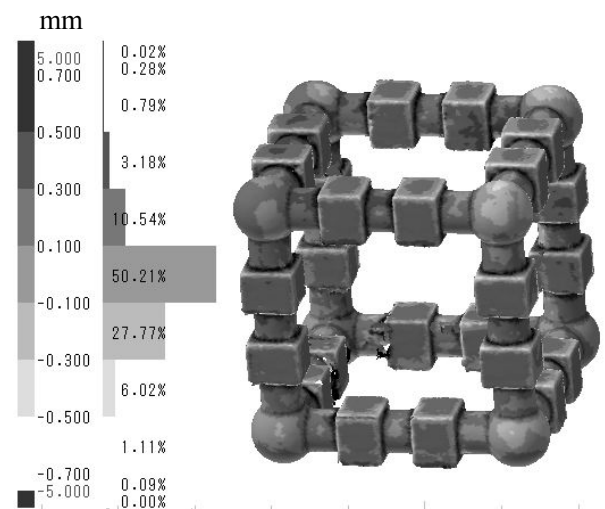


図8 誤差カラーマップング図(対策後)

表3 対策前後の測定誤差算出値の比較

	標準偏差	最大誤差
対策前	0.197	1.33 mm
対策後	0.182	0.96 mm

3・2 考察

表3の測定誤差算出値は元の CAD データとの比較であるので、3D プリンタの造形誤差も含まれるが、何らかの測定機で測定することが必要である以上、3D プリンタの造形誤差のみを分離して評価することは困難である。ただし、図8によると、対策前と比較して測定データの欠損やノイズは低減されているものの、誤差の大きな箇所が残っており、レーザー光の届きにくい箇所のデータ欠損や、エッジ部や輪郭にノイズが多い等の 3D スキャナの測定に起因する特徴が表れている。また、真球度や平面度等の幾何公差については接触式三次元測定機による測定結果の方が大幅に小さいとの報告があり、更なる 3D スキャナの測定精度向上が必要であると考えられる。

4 まとめ

本研究において、クローズドループエンジニアリング手法の効率化と精度改善を目的として、3D スキャナによる測定時の器物保持用治具を製作した。本研究を通じて得られた成果は下記の通りである。

- (1) 反射光を受光しにくい材料を 3D スキャナで測定する際に、事前に器物表面に探傷剤を塗布する効果や 3D スキャナによる測定データの誤差が生じやすい箇所について等、3D 器物測定に関するノウハウを得られた。
- (2) 本研究において製作した器物保持用治具を用いることで、手動操作の自動化や余分な作業の除去につながり、3D スキャナによる器物全方向測定の工程を効率化することができた。また、測定データの欠損・ノイズが低減され、測定精度

が向上した。これらにより、クローズドループエンジニアリング手法の改善に寄与できた。

謝辞

本研究の研究テーマは、産総研地域連携戦略予算プロジェクト「H27 年度 3D2 プロジェクト」「H28 年度 3D3 プロジェクト」の取組課題のうちの一つであり、実施ガイドラインや研究会での討議内容を参考にさせて頂きました。また、器物の CAD データは本プロジェクトの運営協議会より提供されたものを使用しました。関係者各位に厚く感謝致します。

参考文献

- 1) 吉澤徹 編著. 最新光三次元計測. 朝倉書店. 2006, 2, p. 13-23.