

【研究論文】

【平成29～30年度 県単研究】

微小形状の全周囲3次元画像計測及びデータ活用に関する研究

荒木 武, 太田 晋一, 小泉 協, 今井 和彦, 小野 仁
機械電子情報技術部

現在, ものづくりの開発現場・生産現場では, 3次元画像計測が普及してきている。しかしながら, 微小形状の3次元画像計測は, 現状, 1方向から計測した3次元画像計測, いわゆる2.5次元が主流であり, 全周囲の3次元画像計測には, 対応できていない。そこで, 本研究では, 全周囲の3次元画像計測データを生成する方法, 及び, それらのデータの活用方法についての検討を行った。

前者については, 微小形状を複数方向から計測し, 位置合わせすることにより, 全周囲の3次元形状データを生成する方法の検討を行い, 16方向計測時に $\pm 20 \mu\text{m}$ 程度の測定精度が得られることを確認した。後者については, 微小金属部品を題材として形状検査や曲面データ生成への活用例を示した。

キーワード: 3次元画像処理, 3次元画像計測, 3次元点群処理

1 緒言

近年, 3次元デジタル等の高精度化・低価格化が進み, ものづくりの開発現場・生産現場では, 3次元画像計測が普及してきている。当センターでは, 平成21年に3次元デジタルを導入し, 県内モノづくり企業への技術支援に活用している¹⁾。

しかしながら, 微小形状の3次元画像計測は, 現状, 1方向から計測した3次元画像計測, いわゆる2.5次元が主流であり, 全周囲の3次元画像計測には対応できていない。そこで本研究では, 微小形状を複数方向から計測し, 位置合わせすることにより, 全周囲の3次元形状データを生成する方法の検討及び精度の検証を行った。更に, 同方法で測定した微小金属部品を題材に, 形状検査や曲面データ生成への活用例を示した。

2 微小形状の全周囲3次元画像計測手法の検討

2.1 3次元画像計測方法

微小形状の3次元計測には, ワンショット測定顕微鏡 VR-3200(キーエンス社製)を用いた。図1に, 測定機の外観を示す。ワンショット測定顕微鏡は, パターン投影方式²⁾により3次元形状を測定することができる装置である。1回の最大測定範囲は, 横24mm×縦18mm×高さ10mmである。測定精度は, 幅 $\pm 5 \mu\text{m}$, 高さ $\pm 3 \mu\text{m}$ である。

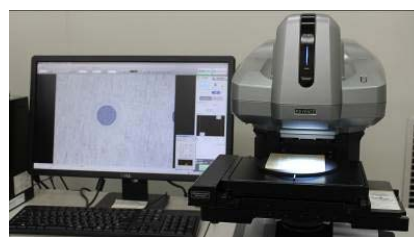


図1 測定機の外観

2.2 全周囲3次元形状データの生成方法

複数方向から計測した3次元画像データを合成して3次元形状データを生成するための基礎検討として, 12方向から3次元画像計測を行い, それらのデータに対して, フィルタ処理, 位置合わせ, 合成処理などを行うことで, 全周囲の3次元形状データを生成する方法について実験を行った。

図2に, ワンショット測定顕微鏡を用いて, 12方向から撮影した3次元画像データを示す。測定物は, 寸法が約 $15 \times 7 \times 8\text{mm}$ の小型の樹脂成形品である。



図2 12方向からの3次元画像計測データ

12方向からの3次元画像計測データに対して、3次元点群データから法線方向を考慮したメッシュ計算、床面除去、孤立点、不連続点のノイズ除去のフィルタ処理を行った。図3にフィルタ処理のプロセスを、図4にフィルタ処理の適用結果を示す。

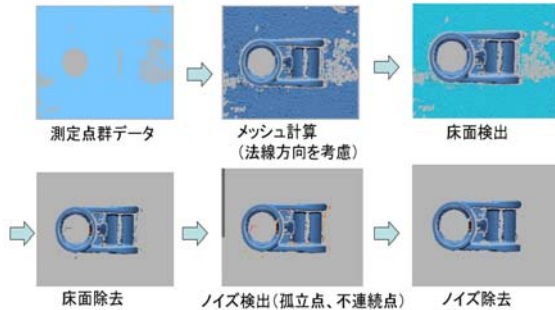


図3 フィルタ処理のプロセス

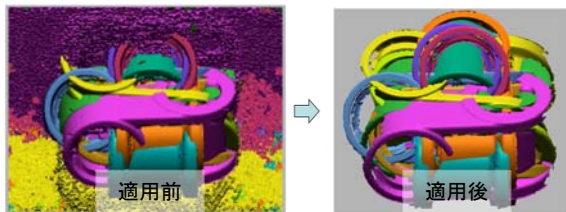


図4 フィルタ処理の適用結果

次に、最小二乗法で全体の誤差が最小になるベストフィット手法により位置合わせを行った。図5に示すように、位置合わせの際には、位置合わせのための基準データの選択により、成功するケースと失敗するケースがあった。位置合わせのための基準データには、多くの向きの面が含まれている測定データを選択することが重要であることが分かった。図6に、位置合わせ後のデータに対して、合成処理を適用した結果を示す。



図5 位置合わせで成功するケースと失敗するケース

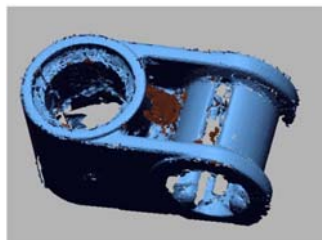


図6 合成処理後の結果

2.3 測定精度の検証

最初に、1方向から撮影した3次元画像計測データの測定精度について検証を行った。セラミックス製ブロックゲージBM3-32-3 (ミツトヨ社製) から標準寸法が3,6,10mmの3種類を選び、図7に示すように平面上に密着させた状態で真上から3次元画像計測を行い、各ブロックゲージ表面と密着面との間の投影距離(5点平均値)を求めた。図8がその結果であり、測定機の仕様である高さ精度 $\pm 3 \mu\text{m}$ を満たすことを確認した。

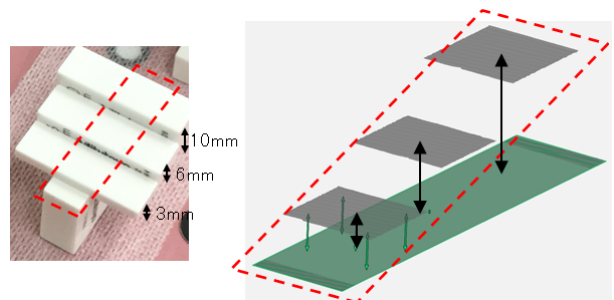


図7 1方向からの測定精度評価方法

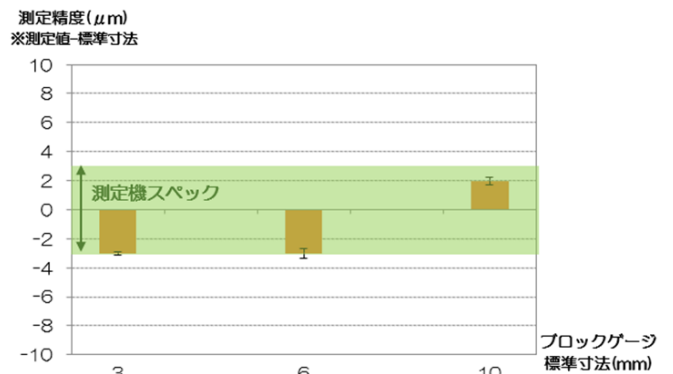


図8 1方向からの測定精度評価結果

次に、図9に示すように、これらのブロックゲージを片半球側の複数方向から撮影して、前節で述べた処理を適用して全周囲の3次元形状データを生成し、その精度を評価した。

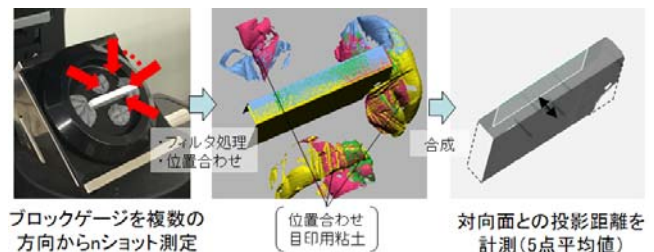


図9 複数方向からの測定精度評価方法

結果、図10のとおり、撮影する方向の数(横軸)が増えるほど測定精度も向上する傾向があるが、これは隣り合う測定領域間で重複する形状データの割合が増える

ために位置合わせの信頼性が増し、更に平均化により誤差の影響も低減するためと思われる。16方向測定時(=全球で32方向に相当)には $\pm 20 \mu\text{m}$ 以内の精度が得られることを確認した。ただし、これはあくまで目安であり、実際は測定物の形状に依存する点には注意が必要である。

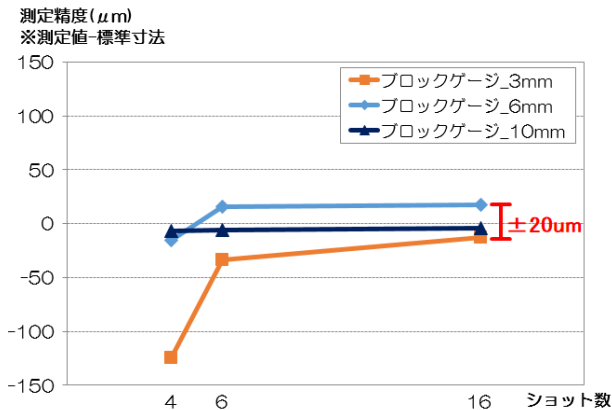


図 10 撮影方向数と測定精度の関係

3 微小全周囲3次元画像データの活用技術の検討

3.1 形状検査への活用

10mm以下の微小かつ精密な工業用部品として、スマートフォン用コネクタ部品を測定し形状検査へ活用した事例を紹介する。同部品は部分的に光沢面があるため、白色スプレーを事前に塗布した上で、前章の方法で、半球側の16方向から測定しフィルタ処理および位置合わせを適用し、合成した結果を図11に示す。

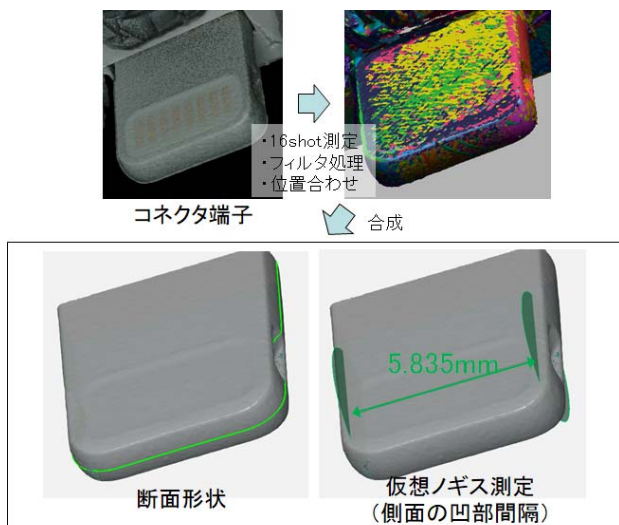


図 11 コネクタ部品の形状検査

外観写真通りの綺麗な全周囲3次元形状データが生成できており、そのメリットとして、左図のようにコネクタ上

側と下側それぞれの平面で挟まれた中間面での断面形状が取得できるほか、右図のように仮想ノギスを用いて側面の凹部間隔を実体の内側から計測することもできる(検査ソフトウェアとしてGOM社のGOM Inspectを使用)。生産ラインでの合否判定や品質管理、不具合解析などへの応用が期待される。

3.2 曲面データ生成への活用

測定された3次元形状データは点(正確にはポリゴン)の集合体としてのSTLデータであり、これをCAD図面のように曲面データとして生成(リバースエンジニアリング)することができれば、そのデータを基に新規デザインを作成したり、CAEに活用したり、幅広い用途が見込める。

ここで、自由曲面を含まない単純で幾何学的な形状の場合は、ノギスで測定して新規に図面を作成した方が効率的な場合もあるが、自由曲面が多い形状の場合は、測定した3次元形状データを基に曲面データを生成する方法が有効となる。この作業は、専用ソフトウェアである程度自動的に実施することができるが、汎用的な機能のため、設計者の意図する図面生成を望む場合は、手動での作業も必要となる³⁾。

10mm以下の微小かつ精密で自由曲面が多い金属部品として、バッジを測定し曲面データ生成に活用した事例を紹介する。今回、曲面生成精度として、測定精度と同じレベルの $\pm 20 \mu\text{m}$ を目標とした。前節同様、サンプルに白色スプレーを塗布した上で、32方向(=半球側の16方向×表裏2面)から測定しフィルタ処理および位置合わせを適用し、合成・座標変換した結果を図12に示す。

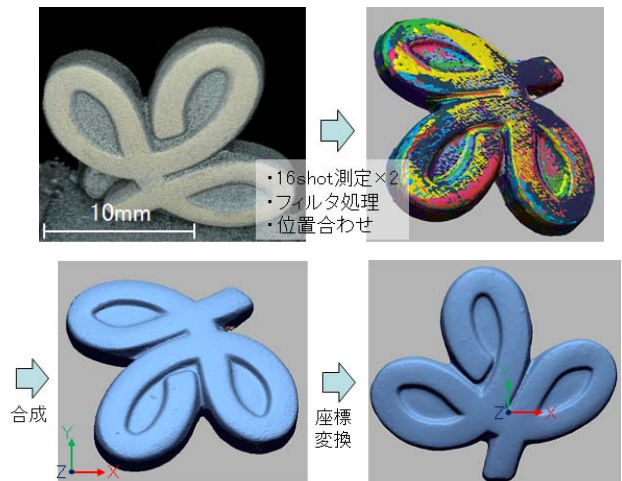
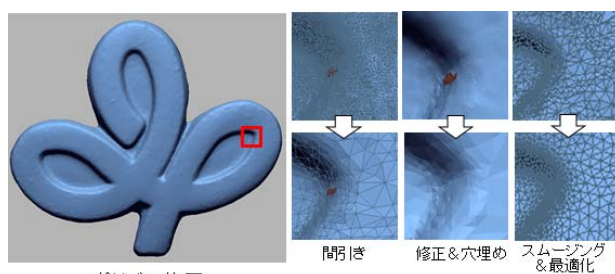


図 12 バッジの曲面データ生成(その1)

この段階では、測定データはポリゴンの集合体であり、これを整えて綺麗にしておく、後の曲面データ生成作業が捗る。図13の通り、間引きによって曲率の低い部分にはデータ密度を粗くして軽量化し、微小な穴などは修正し、スムージングを適用し更にポリゴンの三角形が均一になるように最適化する。



ポリゴン修正
図 13 バッジの曲面データ生成(その2)

ここまでの下処理を実施した後、いよいよ曲面データ生成作業に入る。図14の通り、最初に3次元形状の曲率に応じて領域分割を行い、最外周の輪郭を抽出し幾何形状でフィッティングしてから押し出して立体化する。その立体形状を、表面(“み”の文字部分)にフィッティングした曲面でカットし、以降同様に細かい部分についても輪郭抽出&カット・面取り・フィレットを駆使して形状を削り出していく。生成した形状は、元の測定STLデータと比較してカラーマップ検査を実施し、精度の足りない部分を微調整していく。

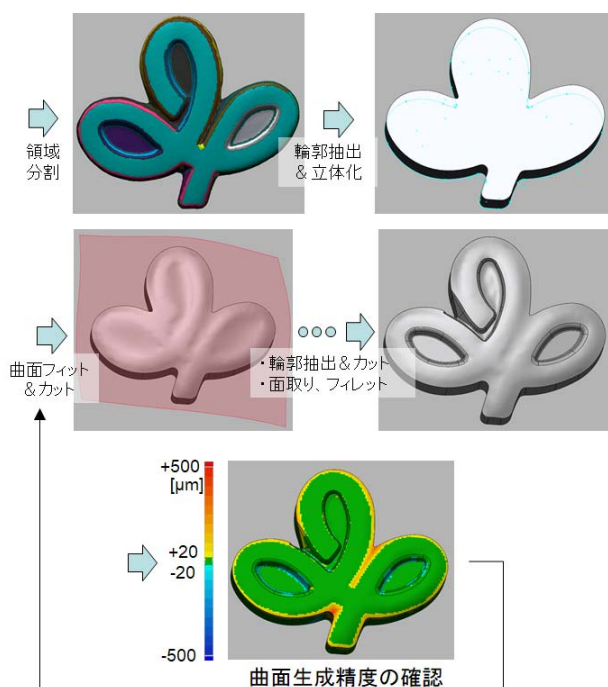


図 14 バッジの曲面データ生成(その3)

最終的に完成した曲面データおよび曲面生成精度評価結果を図15に示す。裏面はバッジのピン止め部分であり、元々の形状が幾何形状から少し歪んでしまっているため生成した曲面との差異が一部発生しているが、それ以外の部分ではほとんどの領域で目標とした $\pm 20 \mu\text{m}$ の精度を達成することが出来た。

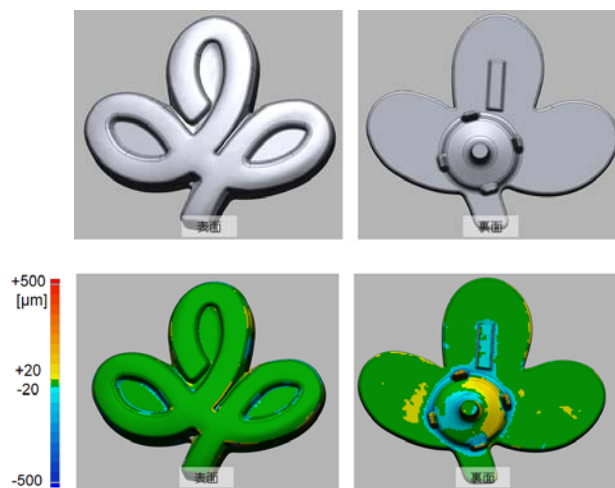


図 15 バッジの曲面データ生成(その4)

4 結言

微小形状を複数方向から計測し、位置合わせすることにより、全周囲の3次元形状データを生成する方法の検討及び精度の検証を行った。更に、同方法で測定した微小金属部品を題材に、形状検査や曲面データ生成への活用例を示した。

3次元画像計測とデータ活用に関する宮城県内のものづくり企業からのニーズは年々増加している。本研究により得た知見やノウハウを、迅速に実際の県内企業に対する技術支援に活用することで、ものづくりの開発現場・生産現場での生産性向上や不具合低減に寄与したい。

参考文献

- 1) 太田 晋一：“3Dデジタイザの概要(解説記事)”，(公社) 鑄造工学会東北支部 会報2017.3 第52号, 2017.
- 2) 吉澤 徹：「最新 光三次元計測」, 2007.
- 3) 太田 晋一ほか：“ものづくり現場での生産性向上ニーズに対応した3次元画像処理技術の開発”，平成28年度 宮城県産業技術総合センター研究報告 No.14, 2016.
https://www.mit.pref.miyagi.jp/kenkyu/Report_No_14.pdf