ノート

画像センシングによる加工対象物の形状認識と良否判定システムの開発

高橋　靖*　村澤　透*　大野　宏**　中部　昇**　三浦　一真*
菊地　郁巳***　児玉　雄治***　高橋　祐介***　丸山　豊***　常川　明***

Development of Inspection System using 3D Scanner

TAKAHASHI Yasushi*，MURASAWA Toru*，OHNO Hiroshi**，NAKABE Noboru**
and MIURA Kazuma*
KIKUCHI Ikumi***，KODAMA Yuji***，MARUYAMA Yutaka***，TAKAHASHI Yusuke***
and TSUNEKAWA Akira***

1. 緒　言

大型鋳物部品を大型マシニングセンタで加工する場合，加工前の寸法のばらつきが大きく，ワークを加工機にセットした際に位置ずれがあるため，調整作業に時間と手間がかかっている。また，加工作業者が間違ったワークをセットする場合がある。このため，このような大型ワークに対し，非接触による機上測定を，安価で，かつ，精度良く実現し，ワーク，治具，刃物台，パレットの三次元点群データから，ワークを基準の位置に正しくセットし，ワーク違いのチェックや工具の干渉チェックを行いたい，といったユーザーのニーズがある。

これらのニーズに対し，（株）ニイガタマシンテクノでは，これまでにステレオカメラを使った形状測定と位置ずれを計測するシステムを開発し，国内展示会に出展し，特許を取得している。しかし，ステレオカメラのシステムは，ワークの表面に特徴がないと計測が出来ないため，マーカを貼る必要があり，また，高解像度カメラを使うため，高精度の校正が必要であり，この作業に手間がかかる，という課題があった。

そこで本研究では，三次元センサを用いて，非接触で機上測定を行い，点群データによる基準ワークと測定ワークの内外判定，ズレ量の計算と表示，測定点の合否判定や，正しいワークをセットしているかの判定を行うことができるワーク寸法・形状測定システムを開発した。

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター
***　（株）ニイガタマシンテクノ

2. ワーク寸法・形状計測システム

2.1 システムの構成

ワーク寸法・形状計測システムは，三次元センサ，パレット，パーソナルコンピューターから構成される。三次元センサの仕様を表 1 に，システムの構成を図 1 に示す。

2.2 検査フロー

検査は図 2 に示すフローにて行う。ワークをパレットに取り付けた後，撮影を行い取付位置の合否判定を行う。パレットの割り出しにより，撮影面を切り替えて，この処理を繰り返す。

表 1　三次元センサの仕様

メーカー	Photoneo
型式	PhoXi 3D Scanner L
測定範囲	x1082[mm] y772[mm] (at 焦点距離 z1238[mm])
スキャンレンジ	z870～2150[mm]
CAL 精度	＜0.2[mm]
点群数	Max 320 万点

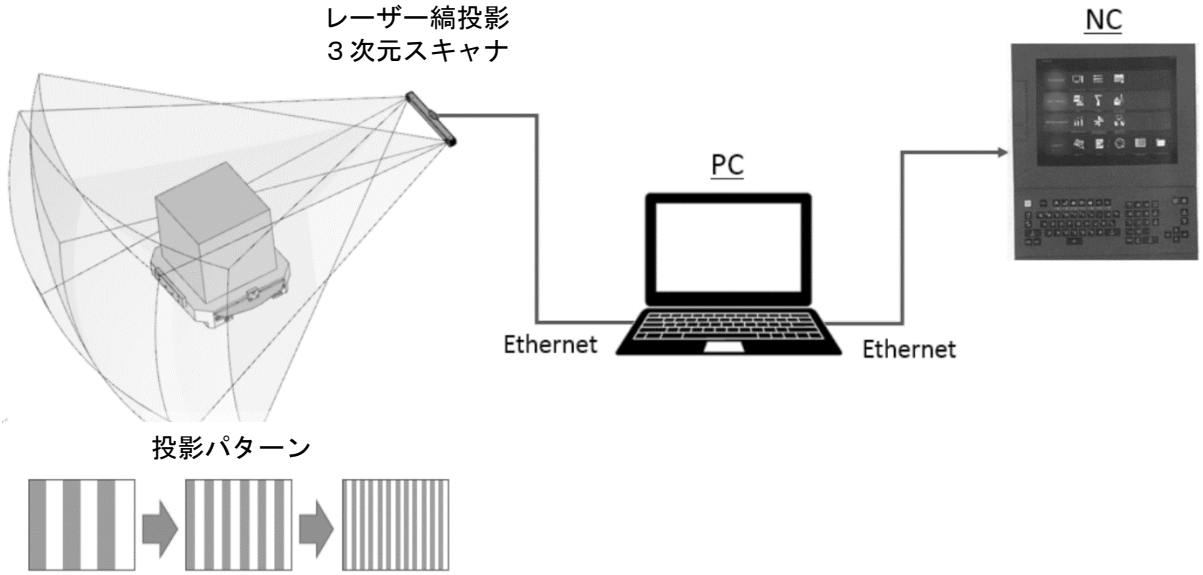


図１　システムの構成

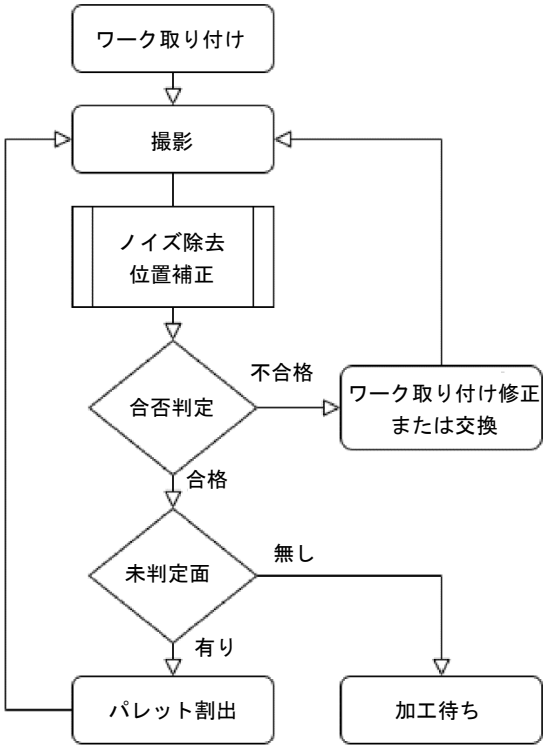


図２　検査フロー

3.　基準データと測定ワークの内外判定

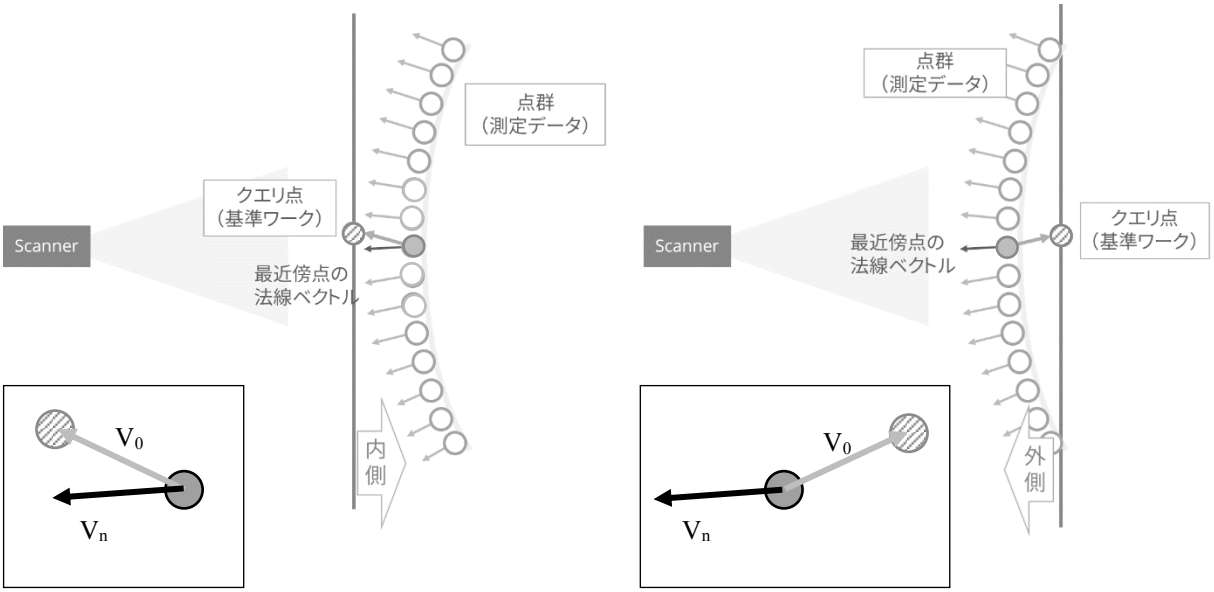
3.1　ずれ量の絶対値の算出

基準ワークの所定の点をクエリ点とした測定ワークの点群における近傍点探索を行う。ここでは近傍点探索を高速に行うアルゴリズム KD-tree（k-dimensional tree）を利用した。求めた近傍点 n 点で近似平面を生成し，クエリ点（x_1, y_1, z_1）と近似平面$ax + by + cz + d = 0$との距離 h を以下の式により算出し，ずれ量の絶対値とする。

$$h = \frac{|ax_1 + by_1 + cz_1 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

3.2　内外判定

測定データが基準データの内側にあるか外側にあるかを判定する。内外判定では，測定データのクエリ点について，基準データの最近傍点を探索し，測定データのクエリ点と基準データの最近傍点とを結んだベクトル V_0 と，基準データの最近傍点の法線ベクトル V_n を定義し，2 つのベクトルの内積を取る。内積はベクトル同士のなす角が 90° を境に正負が反転する性質があるためこれを内外判定に利用する。内積の性質を利用した内外判定の動作イメージを図 3 に示す。図 3（a）では，クエリ点と最近傍点とのベクトル V_0 と最近傍点の法線ベクトル V_n との内積が 0 よりも大きいため，内側であると判定している。この際のずれ量の符号は「正」となる。反対に，図 3（b）では内積が 0 よりも小さいため，外側判定となり，ずれ量の符号は「負」となる。



(a) 内側判定　　(b) 外側判定

図 3　内外判定

3.3　アプリケーションソフトウェア

アプリケーションソフトウェアは，点群処理ライブラリである Open3D [1]を使い Python で開発した。また，並列処理により高速化を図った。ワーク寸法・形状計測システムの測定画面を図 4 に示す。基準ワークの計 8 点の三次元上のポイントを指定して，測定データの三次元上のポイントとのずれ量を算出し，設定した閾値に入っているかを判定することができる。その結果，全て基準に入っていれば画面上に OK と大きく表示される。

4.　様々な機能

4.1　4 面合成機能

4 面合成機能は，パレット上にあるワークを

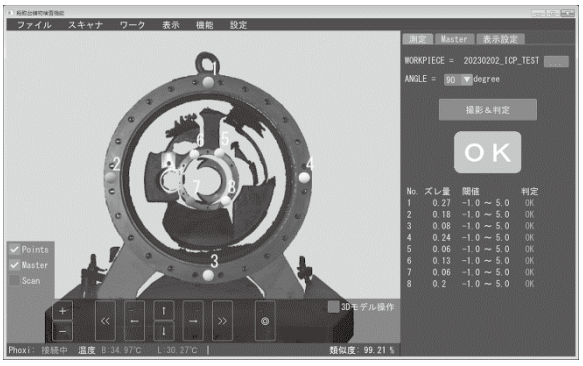


図 4　測定画面

パレットのインデックス機構により，撮影面を 4 方向（0°，90°，180°，270°）に切り替えて撮影し，取得した 4 つの点群データを 1 つの座標系に統合して，4 面合成データ（疑似的な三次元データ）を作成する機能である。

4.2　形状判別機能

ワーク形状判別機能は，加工機にセットしたワークが間違っていないかを判別する機能である。測定した点群データを用いて，ICP（Iterative Closest Point）による位置合わせを行った後，加工データとスキャンデータとの各点の最近傍点距離を計算し，設定した閾値と比較することで実現した。ICP は，2 つの点群の位置合わせに広く用いられるアルゴリズムであり [2]，ソース点群とターゲット点群の対応付け，剛体変換の推定，物体姿勢のアップデート，収束判定を繰り返し，徐々に 2 つの点群を近づけることで，精密に位置合わせを行う。初期姿勢が大きく離れている場合には良い解が得られないことがある。

4.3　STL データ出力機能

NC（Numerical Control）装置の干渉チェック

機能を利用するため，点群データからメッシュデータを作成し，STL 形式で出力する機能を開発した。

3. 結　　言

(1) 三次元センサから点群データを取得し，2 つの点群データによる内外判定，ずれ量を計算するシステムを開発した。

(2) ワーク形状の違いを簡易的に判別するため，4 面合成機能，形状判別機能を開発した。

(3) NC 装置の干渉チェック機能を利用するため，点群データからメッシュデータを作成し，STL 形式で出力する機能を開発した。

参考文献

1) http://www.open3d.org/

2) 金崎朝子他著，“詳解 3 次元点群処理 Python による基礎アルゴリズムの実装”，講談社，2022，pp.64-83.