

# 測定位置教示による非接触3次元測定効率化の研究

笠原竹博\* 上田芳弘\* 米沢裕司\*

鋳物や鋳型，プレス製品など，成型品と設計図との照合のため，非接触3次元測定装置が利用されている。この場合，全体の表面を漏れなく測定することが必要であり，影になる部分を避けながら測定対象と装置の相対位置を何度も変えて測定し，データを分割，合成することで製品形状を得ている。複雑形状の製品では影となる箇所が多いことから，形状データの抜けや重複測定する箇所が多くなるなど，測定時間が必要以上に長くなっている。本研究では，製品設計で作成した3次元CADデータを利用して，レイトレーシング法を用いたシミュレーションを行い，測定回数が最小となる測定対象と装置の相対位置を教示するシステムを開発した。実際の鋳物を用いた開発システムの評価を行い，従来よりも測定回数を大幅に削減できることを確認した。

キーワード：非接触3次元測定装置，デジタイザ，最適測定位置，シミュレーション

## Study of the Efficient Position Instruction Method Using 3D CAD Data for 3D Digitizers

Takehiro KASAHARA, Yoshihiro UEDA and Yuji YONEZAWA

Non-contact 3D digitizers are used in molding, casting, and stamping for comparing products with designs. Measurements are conducted while adjusting the positions of the digitizer and the measurement target; there is, however, the problem that the adjustment is difficult for objects with a complicated shape. Thus, through simulations using the product's 3D CAD data and the ray tracing method, we have developed a system for calculating the optimal measurement position that can minimize the number of measurements required. Moreover, we evaluated the developed system using a molded product and its 3D CAD data. As a result, it was confirmed that the number of measurements can be reduced by using the developed system.

Keywords: non-contact three-dimensional measuring, digitizer, optimal measurement position, simulation

### 1. 緒 言

鋳物や鋳型，プレス製品など，成型品が設計図どおり作られていることを確認するため，非接触3次元測定装置(図1)(以下，測定装置)が利用されている。測定装置は，光の照射部(図1ではレーザー光照射を利用)とカメラ撮像部があり，レーザー光が照射されている測定対象をカメラで撮像して三角測量の原理により，対象の表面形状を測定する。このような測定方法であるため，測定可能な面は「レーザー照射可能」かつ「カメラで撮像可能」な面に限られ，1回の照射・撮像では対象面の一部しか測定できない。よって，測定対象全体を漏れなく測定するため，測定装置の位置を試行錯誤して変えながら測定している。特に対象の形状が複雑な場

合，「照射可能な面」かつ「撮像可能な面」の条件を満たす測定位置を推定することは難しく，ムダな測定を繰り返す場合も多い。そのため，複雑な形状であっても測定すべき箇所の全てを漏れなく，効率良く測定することが求められていた。

そこで，製品設計時に作成した3次元CADデータを利用して，事前に適切な測定位置を算出するシステムを開発した。具体的には，CADデータからシミュレーションによって最適測定位置を算出する計算方法を考案・設計し，実装した。また，計算によって得られた測定位置に合わせて測定装置と測定対象間の位置と向きを正確に設置するための測定ステージを作製した。さらに，実際の鋳物製品を用いて開発システムの評価

\*電子情報部

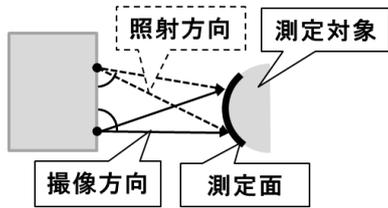
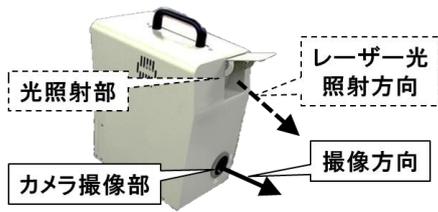


図1 測定原理

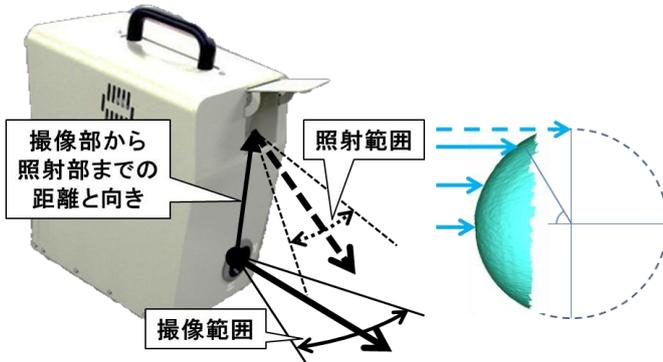


図2 装置仕様パラメータ

図3 面角度限界値

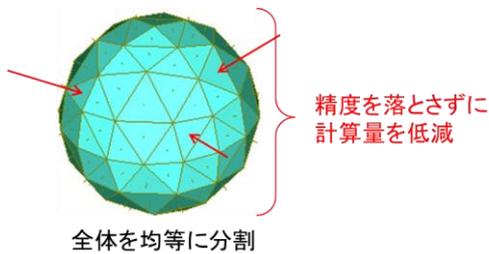


図4 空間内の向きの定義

実験を実施し、本システムの有効性を検証した。本報告では、これらの詳細について述べる。

## 2. 開発内容

### 2.1 計算方法

CADデータを用いた測定位置の算出方法は次のとおりである。

#### ①装置仕様パラメータの利用

シミュレーションでは、レイトレーシング法<sup>1)</sup>を用いるため、光照射部の位置と照射範囲、カメラ撮像部

の位置と撮像範囲の情報を利用する(図2)。また、カメラの撮像方向、あるいはレーザーの照射方向と対象面とのなす角度が浅くなると測定が困難になり、図3に示すように、ある角度以下では測定が出来なくなるため、カメラ視線、およびレーザー照射方向と対象面のなす角度の測定限界値を実測により求めて利用する。

#### ②3次元形状CADデータの利用

測定対象のCADデータから3次元形状データの種類であるSTL形式データ(以下、STLデータ)を作成して利用する。STL形式は、三角形の面法線ベクトルと3つの頂点の座標値が記録される形式であり<sup>2)</sup>、三角形ポリゴンの集合からなるサーフェスデータとして広く利用されている。また、多くのソフトウェアでもサポートされており、IGES形式などの3次元CADデータからも容易に作成できる。

#### ③測定可能箇所と測定不能箇所の分類

②のSTLデータに対してシミュレーションを行い、各三角形ポリゴンの測定の可否を求める。具体的には、読み込んだSTLデータを構成している面のうち、ある一つの面を中心とする球を仮定し、その球表面を均等に分割して得られる図4に示すような面の法線方向を測定装置が取り得る向きとする。そして、図5に示すように、測定装置が取り得る向きのそれぞれから、測定対象物のどの面が測定可能であるかを①のパラメータを用いてレイトレーシング法によって求める。このようなシミュレーションを、測定対象物のSTLデータを構成する全ての面を球の中心にして行う。

これらのシミュレーションによって得られた測定可能な面の和集合を「測定可能箇所」とする。また、測定対象物から「測定可能箇所」を除いたものを「測定不可能箇所」とする。図6に示すように、パイプの内壁のような面は、どの方向からも測定することができず、測定不可能箇所に分類される。測定不可能箇所をあらかじめ求めておくことにより、ムダな測定を防ぐことができる。

なお、図4に示した例では、面の数、すなわち測定装置の向きの分割数は128であるが、その数は512、2048と4倍ずつ増加させることが可能であり、計算に要する時間やシミュレーションの精度を考慮して定めることができる。

#### ④測定面積を考慮した測定位置順の決定

測定可能箇所に対して、順次測定位置の算出を行う。まず、算出した測定可能面のうち測定面積が最も大き

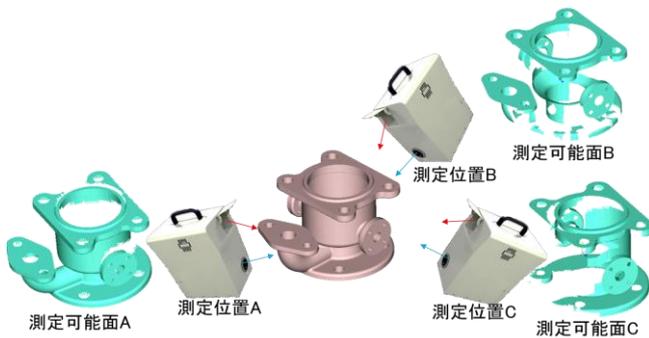


図5 様々な測定位置からの測定可能面の算出例

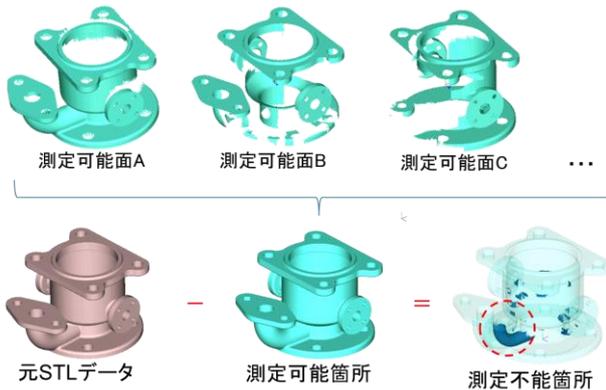


図6 測定可能箇所と測定不可能箇所の算出例

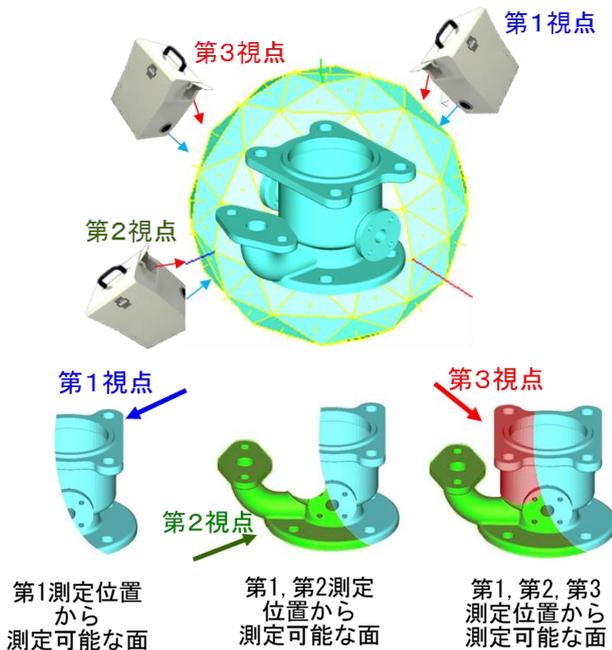


図7 測定位置の決定例

くなる位置を第1の測定位置と決定する。次に「第1測定位置から測定可能な面」を除いた測定可能箇所を対象にして、測定面積が最も大きくなる位置を第2の測定位置と決定する。続いて「第1, 第2測定位置から測定可能な面」を除いた測定可能箇所を対象にして、測

定面積が最も大きくなる位置を第3の測定位置と決定する(図7)。同様に、第4以降の測定位置も順次決定する。決定した測定位置に合わせて対象をセットする測定ステージ(後述)に合わせた回転2軸, 平行移動2方向に加え, 対象を表裏どちらに設置するかを示すパラメータ1つ, 合計5つの測定位置パラメータを算出する。

## 2. 2 システム開発

2. 1 の計算方法を実現するためのPC上で動作するシステムを開発した。開発したシステムには, 装置パラメータやCADデータファイル名の入力画面を設け, これらの変更を容易に行えるようにした。また, シミュレーション精度の設定画面を設け, 精度に応じて測定装置の向きの分割数を変更するようにした。

これらパラメータ等の入力後に, 計算実行ボタンを押すと, 測定可能箇所と測定不能箇所の計算を行い, 測定不能箇所をSTL形式でファイル出力できるようにした。続いて, 測定位置の計算を行い, 測定位置の順序ごとに5種類の測定位置パラメータをファイル出力するとともに, それぞれの測定位置から測定可能な箇所をSTL形式でファイル出力できるようにした。

計算時間は, PCの性能やCADデータの複雑さ(面の数), 設定によって異なるが, 今回利用したPC (CPU: Core i7-2600K,メモリ:16GB)において約6万面のデータを対象にし, 向きの分割数を512として計算を行った場合には, 6時間程度を要した。

## 2. 3 測定ステージ作製

測定対象と測定装置の位置を, 2. 2 で得られた計算結果に従って正確に設置する必要がある。そのため, 図8のような測定ステージを作成した。ステージは $\phi$ ,  $\theta$ の2つの回転軸を持ち, かつXYの2方向に平行移動できる構造とした。測定装置を斜め下45°に向けて固定する(図9)ことにより,  $\theta$ 軸が $\pm 45^\circ$ 回転することで, 測定対象の真横から真上までの測定をカバーすることができる。また, 測定対象は表向きあるいは裏向きのどちらにも設置できるようにした。測定を行う際には, PCからの出力に従い第1回目のステージをセットして測定, 続いて2回目のステージをセットして測定し面の合成を繰り返しながら順次測定を行う。

## 2. 4 開発手法の評価

開発手法の評価を行うため, 最大幅120mm程度の鋳

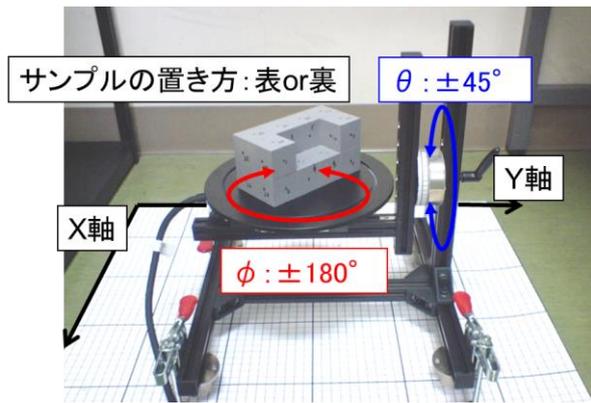


図8 測定ステージ



図9 固定した測定装置

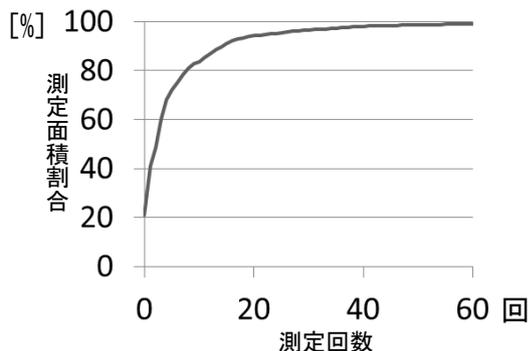
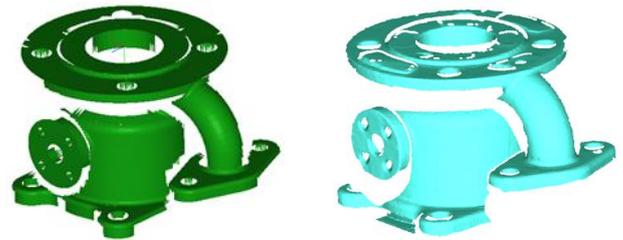


図10 測定面積割合の推移

順	SET	φ	θ	X[mm]	Z[mm]	測定面積[%]
1	裏	337	47	5.6	-97.3	19.7
2	表	25	57	15.5	-16.4	38.0
...						

図11 測定位置パラメータ



シミュレーション結果例

実測結果例

図12 シミュレーション結果と実測結果例

物のCADデータを対象にシミュレーションを行った。図10は測定面積割合の推移を示したものであり、30回で測定可能箇所の大部分である95%以上を測定できる結果となった。シミュレーション結果の測定位置パラメータの例を図11に示す。次に実測評価を行った。

シミュレーション結果に対する実測結果測定面を図12に示す。非接触3次元測定装置のユーザによるこの鋳物の測定結果では、必要とされる面の測定を20回で終えた。一方、シミュレーション結果を用いて実際に測定を行った結果、これと同じ面積の測定を12回で達成したことから、測定回数を4割低減できた。また、シミュレーション結果と実測結果が概ね一致していることがわかる(図12)。

#### 4. 結 言

非接触3次元測定装置の適切な測定位置を3次元CADデータから算出するシステムを開発した。また算出結果に合わせて正確に位置合わせを行うためのステージを作製した。これらを用いることで、効率的な測定が可能になり、測定回数を削減できた。今回は手動のステージを用いたが、これを自動化することでさらなる効率化が期待できる。

#### 謝 辞

貴重なサンプルとデータ、ならびに実験の場を提供いただいた (有)小松鋳型製作所、同じく実験の場を提供いただいた (株)谷田合金に感謝します。

#### 参考文献

- 1) Andrew S. Glassner. 最新3次元コンピュータグラフィックス特集. 株式会社アスキー, 1991, p.213-222.
- 2) Nobuki HIRAMINE. “STLファイルフォーマット”. <http://www.hiramine.com/programming/3dmodelfileformat/stlfileformat.html>, (参照 2014-07-01).