

# 非接触 3 次元測定における測定位置の最適化に関する研究

安田 星季, 鈴木 逸人, 岩越 睦郎

## Optimization of the Measurement Position in the Non-contact 3D Measuring

Seiki YASUDA, Hayato SUZUKI, Mutsuro IWAKOSHI

キーワード：非接触 3 次元測定, 深度カメラ

### 1. はじめに

非接触 3 次元測定は、レーザー光などの光学技術を応用した 3D 形状測定手法である。本手法は接触式に比べて大量のデータを 1 回の測定で取得できるが、測定機の死角になる領域は測定できないため、データに欠損が生じるという特徴がある。実際の測定作業では、データに欠損が残らないように測定物を多方向から測定する必要があるが、その測定方向・位置は作業者が自身の経験をもとに決定している。

Vasquez-Gomezらは3Dモデルと仮想の測定機の最初の測定位置を規定し、モデルを効率的に再現する一連の測定位置を算出する手法を提案し、コンピュータシミュレーションで提案手法の効果を検証している<sup>1)</sup>。本研究では実機を対象として、測定中の欠損が残るデータをもとに欠損部を効率的に埋める測定方向・位置を算出し、それらを作業者に提示する「測定支援システム」を試作した。

### 2. 測定支援システム

システムの構成と外観を図1に示す。本システムは、「測定位置算出プログラム」と「測定位置提示システム」とからなる。



図1 システム構成と外観

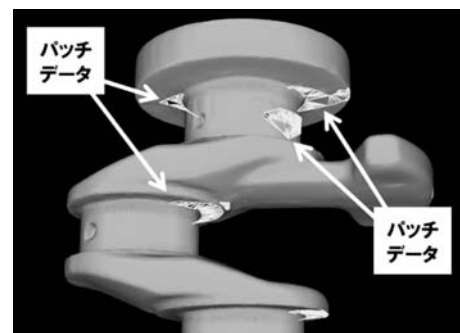


図2 パッチデータ例（クランクシャフト部品の一部）

#### 2.1 測定位置算出プログラム

「測定位置算出プログラム」の処理の流れを以下に示す。

- ① 測定中のデータの欠損部を埋める三角メッシュデータ（以下、パッチデータ）を生成する（図2）。
- ② パッチデータの重心を求める。
- ③ パッチデータの法線ベクトルを求める。

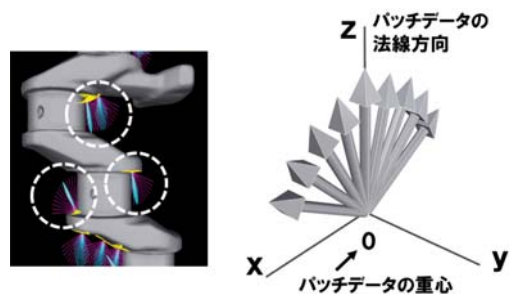


図3 測定方向算出例（○印内）とベクトルの模式図

事業名：経常研究

課題名：非接触 3 次元測定位置の最適化に関する研究

- ④ ②を原点，③をz軸方向とする直交座標系を定め，z軸方向ベクトルを，xz平面上で原点を中心に $\pm 15^\circ$ ， $\pm 30^\circ$ ， $\pm 45^\circ$ ， $\pm 60^\circ$ 回転させたベクトルを求める。z軸ベクトルを回転したベクトルを多数設定することで，計算結果の精度を向上させることができるが，計算コストと精度のバランスを考慮し角度を決定した。測定方向算出例とベクトルの模式図を図3に示す。
- ⑤ 同様にyz平面上で回転させたベクトルを求める。
- ⑥ 測定中のデータと，③，④，⑤で求めた計17個のベクトルとの交差の有無を判定し，交差しないベクトル群を求める。
- ⑦ ⑥のうち，xz平面上のベクトルの数とyz平面上の数を比較し，数の多い方のベクトル群（交差するベクトルが少ない群）の平均ベクトルを求め，これを測定中のデータと最も干渉しにくい測定方向ベクトルとする。
- ⑧ すべての欠損部に対し上記の処理を適用し，欠損部ごとに測定方向ベクトルを求める。また測定機の焦点距離から測定位置を求める。
- ⑨ ⑧の各測定位置から測定できるパッチデータの面積を求め，その値が大きい順すなわち，欠損を埋める面積が大きい順に測定位置をソートする。  
算出した測定位置の例を図4に示す。

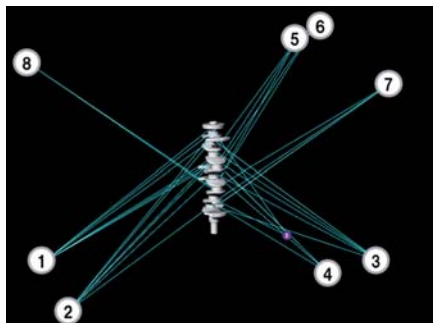


図4 算出した測定位置例

(丸数字：測定位置および欠損を埋める面積が大きい順位を表す。直線：測定位置とパッチデータ重心を結んだ線を示す。)

## 2.2 測定位置提示システム

「測定位置提示システム」は、「測定位置算出プログラム」で作成した測定位置，測定方向ファイルを読み込み，深度カメラ（Microsoft社製，Kinect v2）で撮影された測定室の映像に「目標位置」として重ねて表示する。また，測定機に貼付した「ARマーカー」により4点の空間座標，法線ベクトル，IDが取得でき，マーカーを追跡することで測定機的位置をリアルタイム表示する。作業者は画面を見ながら，測定機が目標位置に重なるように配置し，測定を行う。作業の流れを図5に，提示画面例を図6に示す。

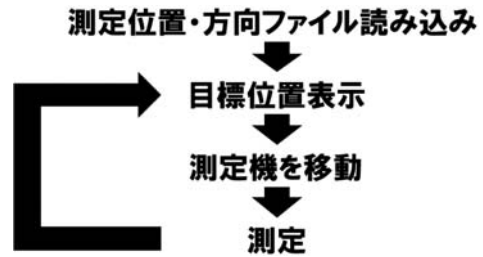


図5 作業の流れ



図6 ARマーカーと提示画面例

## 3. 効果の検証

開発システムの効果を検証するために複雑な形状をもつ試料を用意し実験を行った。

### 3.1 クランクシャフトの測定例

クランクシャフトは，エンジンの主要構成部品の一つであり，ピストンの往復運動を回転力に変えるための軸である。測定に用いたクランクシャフトの外観を図7に示す。

クランクシャフトに対し初期の測定状態では欠損箇所が20箇所（図8），測定物全体の表面積に対する測定データが得られた面積の割合（測定面積割合）は97.5%であった。この状態のあと，作業者が測定機を手動で配置して測定した回数と測定面積割合について，従来手法と本システム使用の場合を比較した結果を図9に示す。

この結果，99.8%以上の測定面積割合を得る測定回数は，従来手法では10回で，本システムでは8回となり，従来手法に比べて測定回数を約20%削減することができた。

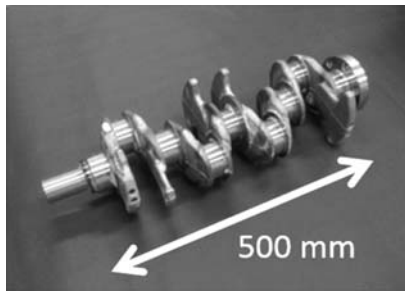


図7 部品外観（クランクシャフト部品）

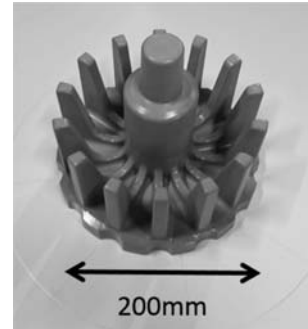


図10 部品外観（プーリー用木型）

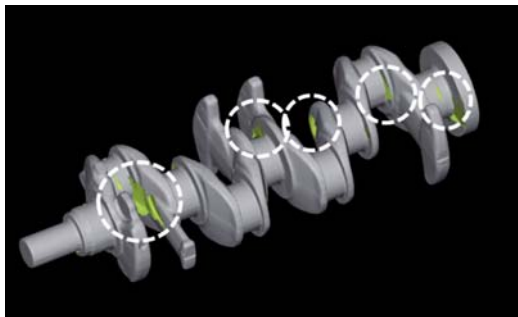


図8 初期の測定例と欠損状態（○印内が欠損部分）



図11 初期の測定例と欠損状態（○印内が欠損部分）

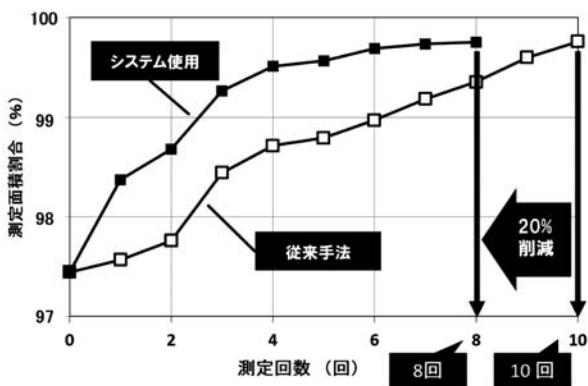


図9 クランクシャフトでの測定回数と測定面積割合

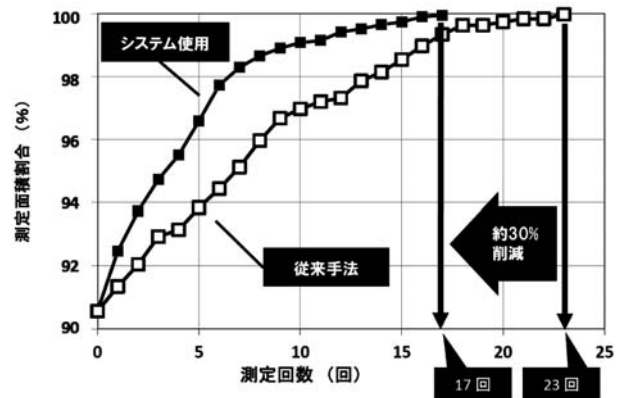


図12 プーリー用木型での測定回数と測定面積割合

### 3.2 プーリー用木型の測定例

鋳造でプーリーを製造するために用いる木型を対象に実験を行った。測定に用いたプーリー用木型の外観を図10に示す。

プーリー用木型に対し初期の測定状態では欠損箇所が28箇所（図11）、測定面積割合は90.4%であった。測定面積割合が99.8%以上となる回数を従来手法と本システム使用の場合とで比較した結果、従来手法では23回で、本システムでは17回となった。従来手法に比べて測定回数を約20%削減することができた（図12）。

以上の2例から、本システムを用いた場合、従来手法と比較して測定回数を約20%程度削減できることが明らかとなった。一方、システムを適用した場合の作業時間の変化を調べた結果を図13に示す。クランクシャフトの場合、システムを適用すると作業の準備時間が測定時間に加算され、全体の作業時間も増加した。プーリー用木型の場合も作業の準備時間が測定時間に加算され、全体の作業時間の削減効果を相殺していた。今後、本システムを実用化するためには作業の準備時間を削減し、効率的なシステムの運用を実現することが課題である。

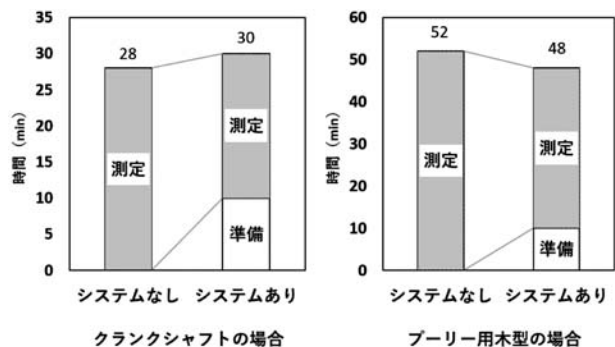


図13 システム適用による作業時間の変化

#### 4. おわりに

本研究では、深度カメラなどを用いて非接触3次元測定作業を効率化する「測定支援システム」を試作し、その有効性を確認した。今後は本研究で得られた知見を関連する研究や道内企業の技術支援などに活用していく。

#### 参考文献

- 1) J. Irving Vasquez-Gomez et.al : Volumetric Next-best-view Planning for 3D Object Reconstruction with Positioning Error, International Journal of Advanced Robotic Systems, No.11 Vol.159, pp.1-13, (2014)