

非接触型三次元計測技術の習得と支援実績

長友 敏^{*1}

^{*1}宮崎大学工学部教育研究支援技術センター

1. 概要

近年、製品開発・製造工程管理・品質管理など工業分野での三次元計測の需要が高まっている。中でも、製品に傷を付けず、短時間で計測できる非接触による三次元計測方法の利用は、産業界において増加傾向にある。

本学においても、三次元計測の需要は増加傾向にある。そこで、今回、技術センターの技術研修として、非接触型三次元計測技術の中の一つ、光切断法による計測技術を搭載した非接触型三次元計測器コニカミノルタ製 VIVID910（以下 VIVID910 と記載）を用いた計測技術を習得したことについて報告し、支援実績の成功例・失敗例を紹介する。

2. 三次元計測技術について

三次元計測技術は大きく接触型三次元計測と非接触型三次元計測がある。接触型は、定義された空間に計測対象を設置し、計測対象にプローブを接触させる計測方法が主流である。非接触型三次元計測については、カメラを利用した画像計測が主流となっている。

3. 画像計測

画像計測による三次元計測技術は主として、複数のカメラにて計測対象を撮影し、各カメラの相関関係を求めて計測するステレオ法と計測対象に対してスリットレーザを走査し、レーザの照射点から計測する光切断法がある。

今回研修にて使用した非接触型三次元計測器「VIVID910」は光切断法による計測技術を採用している。

4. 画像計測の原理

カメラによる画像計測を実施した際のカメラ座標からワールド座標への変換の計測原理を説明する。

カメラの焦点から受像面までの距離を焦点距離と置くと、カメラ座標（受像面上の座標）は、カメラの焦点を原点とした座標系において、

$$u = f \cdot \frac{X}{Z}, v = f \cdot \frac{Y}{Z} \quad (1)$$

となる。 $z = \lambda$ とおいて、線形化すると、この関係は以下の行列で表される。

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

一般的には、カメラ座標ではなく、カメラの焦点以外の場所に、原点を置いたワールド座標を用いる。そこでワールド座標系 $w = (X, Y, Z)$ で表すためにワールド座標に対し、回転と平行移動を行う。そこで、(2)式に、回転と平行移動の行列を加え、まとめると(3)式のような 4×4 の変換行列になる。

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

よって、係数 までを求めれば、連立方程式が成立し、カメラ座標からワールド座標が求められ、画像計測による三次元計測が可能となる。係数 は、キャリブレーション（校正）を実施することにより求められる。なお、今回使用した非接触型三次元計測器「VIVID910」については、すでにメーカー開発の段階にてキャリブレーションは完成しているので、ユーザー側でキャリブレーションを実施する必要はない。

3. 光切断法の特徴

光切断法では、物体の三次元形状を高精度に獲得することができる点において優れている。しかし、3点ほど欠点がある。

- ①カメラやレーザが遮蔽されている部分は形状が計測できない点。
- ②スリットレーザを走査するのに時間を要し、走査しているあいだに計測対象が動くと獲得形状が歪んでしまう点。
- ③計測対象にスリットレーザを照射し、レーザ光をカメラで検知して計測するため、計測対象の色が黒色等、レーザを吸収する色の場合、カメラでの検知が出来ず計測不可になってしまう点である。

5. 計測システム

今回使用する VIVID910 非接触三次元デジタイザについての仕様は

- ・精度±0.008mm ・確度 X:±0.22mm Y:0.16mm
 - ・Z:基準面に対し±0.10mm 計測時間 2.5 秒 測定入力対象設置範囲 0.6m~1.2m
- となっている。

VIVID910 は三脚にて固定し、PC に接続して制御する。また、計測対象を固定位置の状態にて回転できる回転ステージを設置し、PC に接続し回転角度を制御する。制御方法はいずれも専用ソフトウェアにて実施する。計測対象は、回転ステージ上に設置し計測する。（図 2 参照）

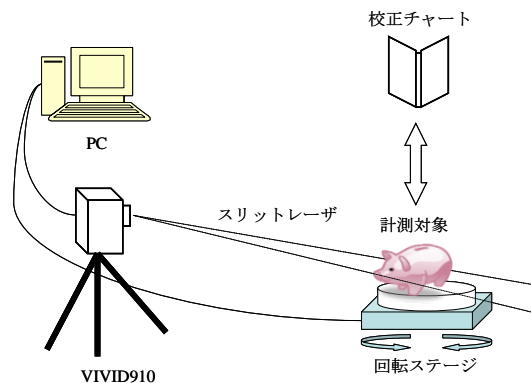


図 2 VIVID910 による計測システム

6. 計測方法

<画像計測>

まず初めに VIVID910 のカメラレンズを計測対象に向けて撮影位置を設定する。次に、専用の校正チャートを回転ステージに設置し、スリットレーザを走査させ計測し、回転ステージの回転角度を検出する。これによりカメラと回転ステージの位置関係を確立する。

次に、計測対象を回転ステージに設置し、一定角度（今回は 60 度ごと）にて回転させ撮影し計測をする。360 度回転し、全側面を計測する。注意点としては、計測中に計測対象が動かないことが条件となる。さらに、底面など不足しているデータも計測する。このときも三次元計測器と回転ステージは動かさずに、位置関係を保たなければならない。

<画像処理>

次に、画像計測によって得られたデータを、1つのデータとして合成する。合成方法は専用のソフトウェアにておこなう。2つのデータの同点（特徴点）を手動にて3点以上選択し合成する。（図3）

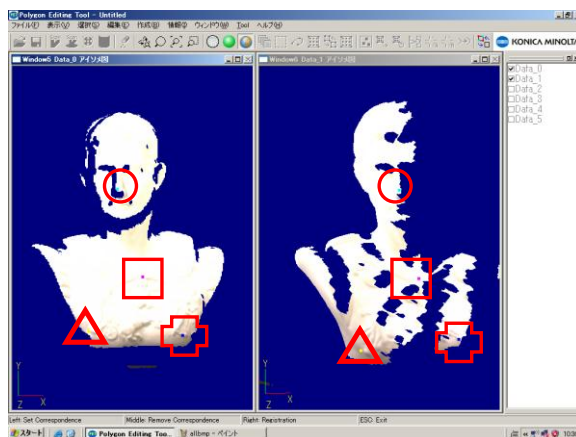


図3 計測データの合成

<計測>

計測したい部分を、ソフトウェア上で計測できる。計測は、直線距離、面積、周囲など様々な部分の計測が可能である。切断などせずに、非破壊で断面積などの計測が可能である。

計測後、確認のため、計測対象の寸法をソフトウェア上での計測値とノギスでの実測を比較したところ、 $\pm 0.1\text{mm}$ 程の寸法誤差であった。表面が白色のため、計測点は問題なく計測可能であるが、合成時に同点（特徴点）が必要となるため、あらかじめ、形状計測への障害がでないような目印をしておくことで合成が容易になる。また、計測対象以外の計測点（ノイズ）を出さないことも重要となる。

7. 研究支援例

<支援例①：人顔モデルの製作>

用途：人顔の三次元モデル化 依頼データ：STLファイル

機械システム工学科の教員から「マスクの効果の研究をするために、人顔の三次元モデルが欲しい」との依頼があった。その際、人顔のモデルは石膏像で可能ということで、レーザの照射点を検知しやすい白色の石膏像を計測した。（図4）この支援では、計測の要求より、人顔のモデリングの要素が大きかったため、口元を中心に、穴埋め処理やスムージング処理も加えて実施した。難点は石膏像が高さ40cmと大きな形だったので、10枚以上の計測が必要であった。結果としては、依頼された教員、学生から十分なデータであると評価された。

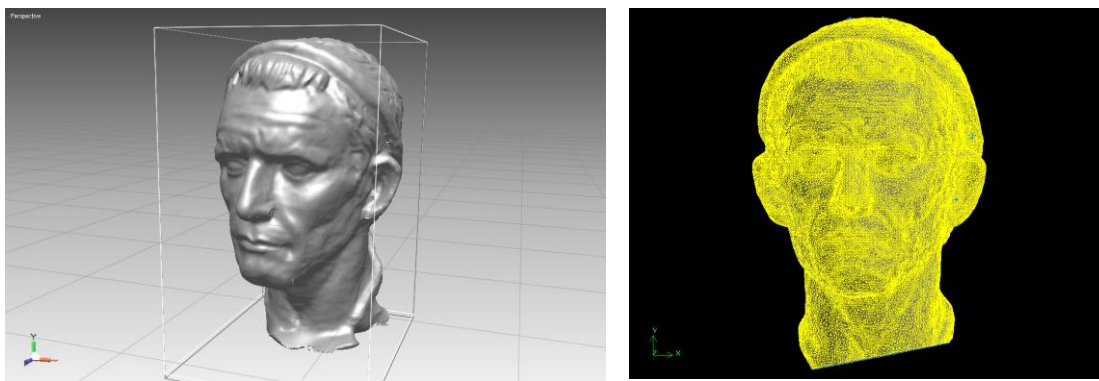


図4 計測した石膏像のデータと研究使用時のデータ

<支援例②：人骨モデルの計測>

用途：人骨モデルの三次化 依頼データ：STLファイル

機械システム工学科の教員より、医学部との共同研究にて、金属製の人骨モデル（図5左）を三次元化したいとの依頼があった。

人骨モデルは金属製ではあったが、光沢があまりないものだったので、そのままのモデルにて計測を試みましたが、レーザーの反射の影響により、計測不可であった。そこで教員と再度相談し、白色のつや消しスプレーを塗布（図5右）して計測したところ、外形は計測出来たが、内側の死角となった部分にレーザーが届かず、計測不可能な形であることが判明した。

最終的に医療機器と同等レベルの精密なデータを要求されたため、今回の依頼は教員の満足するデータとはならなかった。依頼対応については、依頼段階で、計測点数、ファイル形式などの確認が重要であり、データ取得後の活用範囲を十分に把握する必要があった。



図5 人骨モデル（左：スプレー塗布前 右：スプレー塗布後）

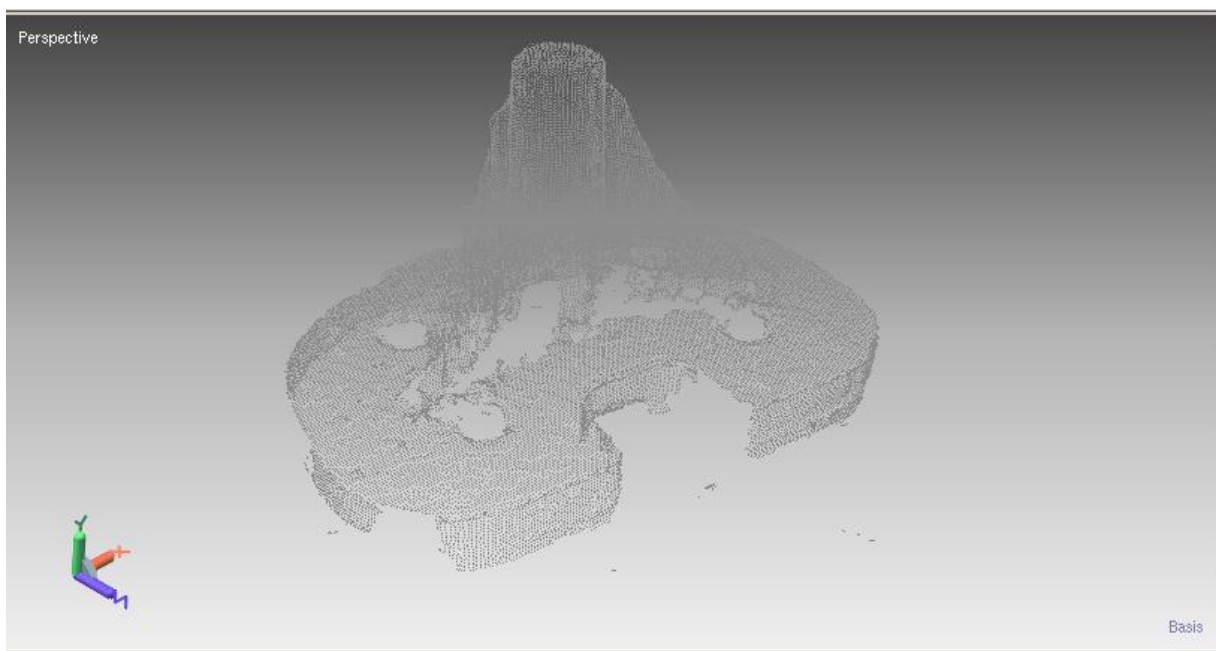


図6 計測した人骨モデルの三次元データ（塗布後のモデル）

8. まとめ

最後に、非接触型三次元計測器，VIVID910 の計測について，長所と短所に分けてまとめる。

<長所>

1. 非接触式であるので，計測対象を傷付けずに計測できる。
2. レーザ走査 2.5 秒の短時間で計測できるため，日々変化する植物等の計測にも応用できる。
3. 精度も±0.22mmと高精度であるので，データの信頼性に問題はない。
4. 小型なので，計測器自体の移動がしやすい，
5. 目的に応じたファイル形式に変換できる。

<短所>

1. カメラやレーザが遮蔽されている部分は形状が計測できない
2. スリットレーザを走査しているあいだに計測対象が動くと獲得形状が歪んでしまう
3. 金属や黒色など，レーザが正しく照射されない表面の計測対象は計測できない。
4. 照明など，計測環境の変化により，計測する条件が変化する。

9. 今後の展開

現在，一定条件の下での計測は可能であるが，少し条件が変わると対応に時間が掛かってしまう。今後，植物等，数時間で変化する計測依頼があった場合，全計測時間の時間短縮が大きな課題となる。時間短縮を実施するため，予め，条件変化に対応するための計測環境のデータベースを蓄積する必要がある。また，昨年導入された三次元CAMとの応用技術利用を充実させる必要があると考えています。

参考文献 1)徐剛 辻三郎著 3次元ビジョン

2)宮崎大学工学部機械システム工学科編 機械システム工学実験Ⅰ・Ⅱ「B6 光切断法による曲面形状計測」