

非接触型三次元計測技術の習得

宮崎大学 工学部教育研究支援技術センター
長友 敏

はじめに

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ユニカミノルタ製 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、今後の活用方法を提案する。

キーワード：接触型三次元計測 非接触型三次元計測 画像計測 光切断法 キャリブレーション

1. 三次元計測技術

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。

2. 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。

3. 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。

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

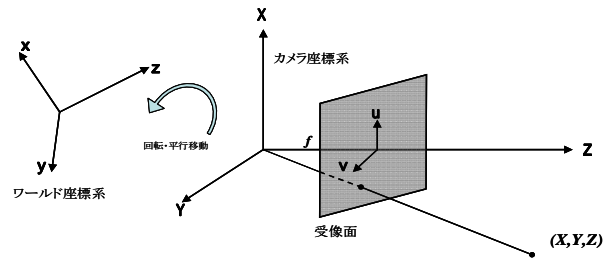
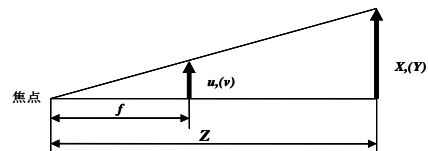


図1 カメラ座標系とワールド座標系

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)のような 4×4 の変換行列になる。

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

よって、係数 $h_{11} \sim h_{34}$ 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 $h_{11} \sim h_{34}$ 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。

4. 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。

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。

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。

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となってしまう点である。

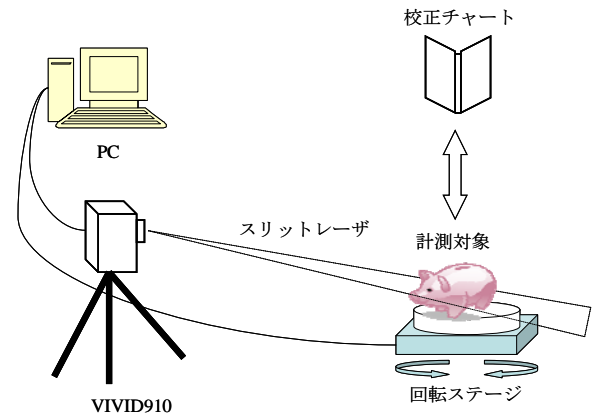


図2 VIVID910による計測システム

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)

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)

<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。

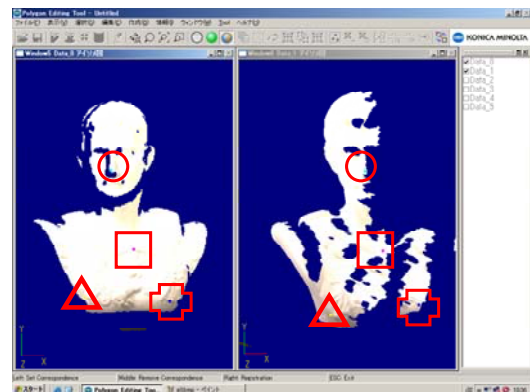


図3 計測データの合成

7. 計測例

<計測例①：石膏像>

レーザの照射点を検知しやすい白色の石膏像(図4左)を計測した。計測データ(図4右)は、レーザが遮蔽された部分および黒色の回転ステージのデータは採取出来ていないことがわかる。回転ステージを 60 度ずつ回転し、360 度計測し、更に不足分(底面など)を計測し合成した。

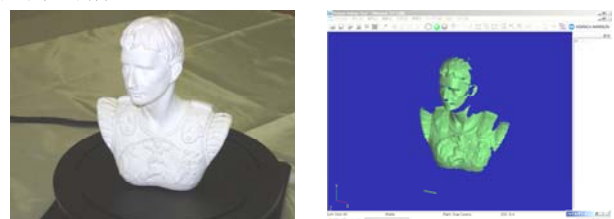


図4 計測した石膏像(写真)と計測データ

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。

<計測例②：金属ブロック>

今回は実際の金属製品を想定し、金属ブロック（図5左）を計測した。計測データ（図5右）は、金属ブロックの形状自体がデータ採取されていない。原因としてはレーザーが反射するため計測点の検知が乱れている。計測不可であった。塗装なしの金属製品の計測は、VIVID910では困難であることが判明した。

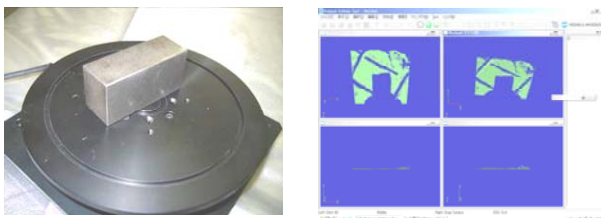


図5 計測した金属ブロック（写真）と計測データ

金属の計測にあたっては、照明の変更やカメラレンズの絞りの調整など、様々な条件を駆使したが、どの結果も形状計測は不可であった（表1）。計測対象を光沢がない別金属に置き換えて、照明など、撮影時の計測環境についての影響を配慮し計測したところ、計測可能であった。レーザーの反射が抑えられた計測対象は計測可能である。しかしながら、計測対象自体に手を加えることは、非接触三次元計測の特徴を十分に生かしていないので、開発メーカーにおいても、今後の大きな課題の1つとなっている。

表1 金属の計測における計測環境と計測結果

計測環境	計測結果
暗室で撮影	形状は検知出来ているが、ノイズが多く計測可能なレベルではない
計測対象を壁で囲んで撮影	通常の計測と特に変化なし 金属に反射し計測不可
レーザーの強度とゲイン・明るさの調整を実施（ソフトウェア）	数パターンの組合せをしたが、全く計測点が認識出来ない。もしくは、金属に反射し計測不可の状態であった
カメラのレンズ調整（倍率）	通常の計測と特に変化なし 金属に反射し計測不可

8. データの活用

計測により得られた三次元データは、必要に応じたファイル形式に変換できる。また、専用のソフトウェアにより不足点の穴埋めや仮想点の追加、データの間引きによる計測点の減点、表面のスムージング化等、様々な再現化の処理も可能である。ただし、寸法計測等で使用する場合は、本来の形状が崩れる場合があるので十分に注意する。

<変換可能なファイル形式>

①ポリゴン（面データ）：DXF, Wavefront, STL, SOFTIMAGINE, VRML2.0, MGF

②点群（座標データ）：ASCII

9. 今後の活用方法の提案

今回、技術を習得したことにより、従来、三次元CADによる設計からしか得られなかった三次元データが、計測により習得できるようになった。また複雑な曲面のデータも容易に得られるようになった。理論上、条件を整理し、マシニングセンタにデータを送れば、製品の再現も可能となる。（ただし、データが点群のため莫大な加工時間が掛かることが予想される。）

また、計測時間が2.5秒の短時間で計測できるため、日々変化する植物など、今後、工学以外分野でも、再現性を要求される提案に対して、十分期待できる技術である。

10. まとめ

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

<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、日変化する植物等の計測にも応用できる。
3. 精度も $\pm 0.22\text{mm}$ 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. カメラやレーザーが遮蔽されている部分は形状が計測できない
2. スリットレーザー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、レーザー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。

11. 今後の技術向上への課題

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、計測技術も日々向上しているので、メーカーの新情報も取り入れ、条件を減らすことが今後の目標である。

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」