研究論文

民生機器を利用した三次元計測システムの開発

依田康宏[*1]、山本昌治[*1]

Development of the 3D Digitizing System Using Consumer Electronic Appliances

Yasuhiro YODA and Masaharu YAMAMOTO

Research and Development Division, AITEC[*1]

民生機器であるデジカメとプロジェクタを用いて三次元計測システムを開発した。計測方式は、プロジェクタから9ビットグレイコード相補パターンを投影したアクティブステレオ方式である。また、計測範囲はプロジェクタの投影範囲により調整でき、最小で横250mmである。開発したシステムにより、平面板を計測したところ、平面度はσ＝0.2mmであった。更に、20.00mmの段差幅形状を計測したところ、平均距離＝20.2mmであった。

１．はじめに

製造プロセスの中で実形状（三次元形状）のデジタルデータを計測する技術は、品質保証のための形状検査等で必要な技術である。三次元計測システムとしては、CMM等の接触式のものと、CCDカメラ等を用いた非接触式のものとがある。

接触式のものは精度は良いが一度に測定できる測定点数は限られる。一方、非接触式のものは一度に多数の点を測定でき、接触式と比較すると精度は低いが、限られた用途では工学的にも利用できる精度に近づいている。

しかしながら、三次元計測システムは一般にソフトウェア、ハードウェア一体の計測器として提供されることが多く、非接触式のものは接触式のものと比較すれば安価ではあるものの、中小企業等にとってはなお割高感のある装置となっている。

本研究は、複雑な三次元形状を迅速に工学的にも利用可能な精度で測定すること、かつ民生機器を利用した汎用的で安価な三次元計測システムを実現することを目的とする。

２．実験方法

2.1 三次元計測システムの原理の概要

図１は開発した三次元計測システムの原理の概要を示し、プロジェクタからは縞パターンを投影する。カメラとプロジェクタは、予めキャリブレーションすることにより、位置、姿勢、画角等を含むパラメータが分かっており、プロジェクタから投影された１本の縞による平面と、カメラの各画素方向への直線との交点から、三角測量の原理により測定物体表面での三次元座標を算出する。

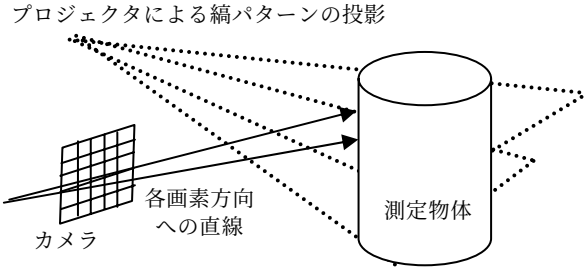

図１　三次元計測の原理

2.2 三次元計測システムの構成

図２は開発した三次元計測システムを示し、民生機器であるデジカメとプロジェクタがそれぞれUSBケーブル、RGBケーブルを介してパソコンに接続されている。パソコンは、デジカメの撮影と、プロジェクタの投影パターンとを制御する。

デジカメは最大解像度2048×1536画素のものを使用し、メーカ付属ソフトによりパソコンからリモート撮影が可能である。このため、デジカメ本体のシャッターを直接押下する必要はなく、測定中にデジカメの位置が変わることはない。測定中はフォーカス、アイリス、ズーム等の条件は一定としている。

使用したプロジェクタは解像度1024×768画素であり、最小の投影範囲で横250mmである。このプロジェクタから投影される縞パターンは、縞の幅が4画素より細かいと、奥行方向に焦点が合いにくくなるため、縞の幅が4画素以上の投影パターンとなるようにした。

また、キャリブレーション用の基準物体として、**図３**

*1 基盤技術部

に示すようにアルミの立方体の三平面上に、20㎜間隔で円環状の溝を切削加工し、その円環を黒く色付けし基準点としたものを用意した。

データの測定及び三次元座標を計算するプログラムの開発はJava言語により行った（**図４**）。また、デジカメ付属のソフトも、開発したプログラムを介して操作している。

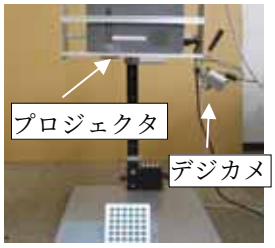

図２　三次元計測システム

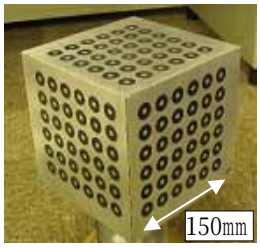

図３　基準物体

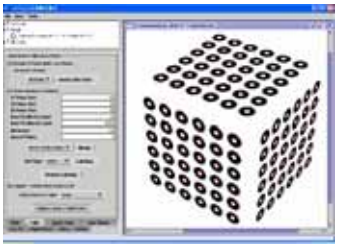

図４　三次元計測システムのソフトウェア操作画面

2.3 投影パターン

プロジェクタの投影パターンとしては、９ビットグレイコード相補パターンを用いた。グレイコードは、縞の境界で隣のパターンと誤認識しても、値の最大誤差が１なので、ノイズに強いことが知られている[1)]。

図５は３ビットグレイコードの投影パターンの例であり、黒に投影された部分を“０”、白に投影された部分を“１”に割り当ててビット的に合計すると、３回の投影で2^3（=8）個の平面が識別可能である。９ビットの場合、512 本の平面の分解能となる。グレイコードを空間的に順番に並ぶように変換したものを空間コードと呼ぶ。

更に、ポジのパターン光と、それを明暗反転したネガのパターン光を投影する相補パターンは、ポジパターンとネガパターンを比較することにより、背景の照明や物体の反射特性の変動等に影響されにくい、安定した空間コードを得ることができる。相補パターンは画像データの数が２倍となり、９ビットの場合は 18 枚必要である。

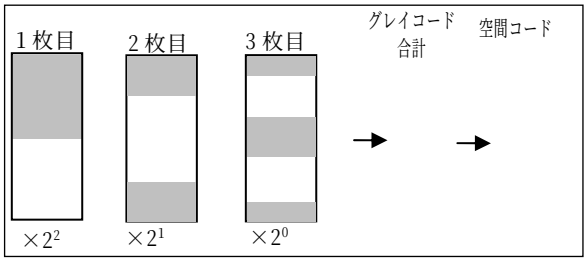

図５　グレイコード（3 ビット）の説明

2.4 三次元計測システムの測定手順

測定としては**図６**に示すデータを測定する。最初にキャリブレーション用に基準物体を測定する。データとしては、パターン光を投影しない通常画像１枚、パターン光を投影した画像 18 枚の合計 19 枚である。一度キャリブレーションした後は、測定物体を置いて同様に合計 19 枚の画像を記録する。

なお、通常画像１枚、パターン光を投影して画像を 18 枚順次記録する手順は自動化されており、画面上からボタンを１回押せば実行できる。

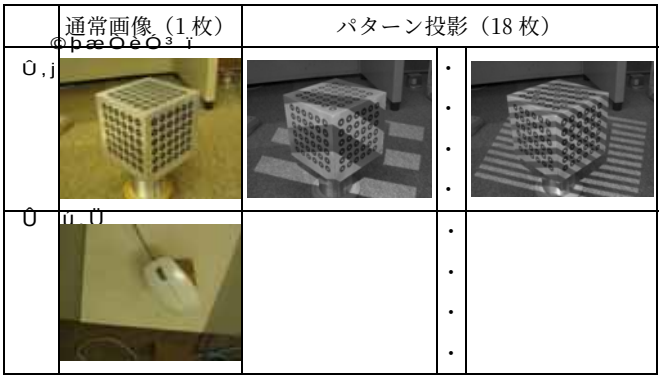

図６　測定データ

2.5 三次元計測システムの計算手順

図７は三次元座標計算におけるデータ、処理の流れを示している。カメラキャリブレーションでは、基準物体の通常画像からカメラの位置関係を表すカメラパラメータを計算する。プロジェクタキャリブレーションでは、パターンを投影した基準物体の画像から、プロジェクタの位置関係を表すプロジェクタパラメータを計算する。

最後に、カメラパラメータ、プロジェクタパラメータを利用して、パターンを投影した測定物体の画像から、測定物体の三次元座標を算出する。

なお、図７におけるデータは全てファイルとして生成

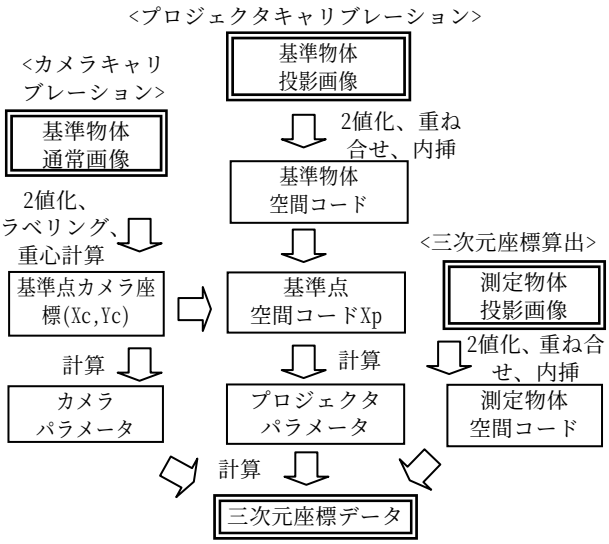

図７　三次元座標計算におけるデータ、処理の流れ