

3D デジタルカメラ「FinePix REAL 3D W3」の撮影画像を用いた「3D計測システム」の開発

増田 智紀*, 石山 英二*, 玉山 宏*

Development of “3D Measurement System” Using Images Taken with a “FinePix REAL 3D W3” 3D Digital Camera

Tomonori MASUDA*, Eiji ISHIYAMA*, and Hiroshi TAMAYAMA*

Abstract

We have developed a size and 3D objects measurement system aimed at creating a more user-friendly and inexpensive system than conventional measurement machines. As a result of this development, we created a “3D Measurement System” which consists of a multi-view camera and software on a PC to take measurements and 3D models of objects using the multi-view images. The features of this system are its adoption of an easy to use, compact and light commercially available 3D digital camera, the “FinePix REAL 3D W3”, with diverse output consisting not only of measurements, but also color 3D models.

1. はじめに

建築・土木作業現場における測量や現場記録、建造物内の設備配置の把握や図面作成、文化財のデータアーカイブやCG作成、工業用製品のサンプル作製のための3Dモデリングなど、さまざまな分野で寸法や形状の計測が必要とされる。従来の寸法、形状の計測作業については、専門知識を持つ人の操作を必要とするレーザータイプなどの計測機を使った、大掛かりな計測となることが一般的である。また、これらの装置は高価であったり、計測用データの取得に時間がかかったり、装置のサイズが大きかったりということがあり手軽に計測できるシステムではなかった。そこで当社では、より簡便に寸法や形状の計測作業が可能なるシステムを目標に開発を行ない、簡単に撮影ができる民生用3Dデジタルカメラ「FinePix REAL 3D W3」の撮影画像から、PC上のソフトウェアにて計測対象物の寸法計測、3D形状を出力する「3D計測システム」を開発し、2010年より販売を開始した。



Fig. 1 3D measurement system.

2. ステレオ画像による3D計測の原理

システムについて説明する前に、ステレオ画像から3D計測を行なう原理について説明する。

基本原理は、異なる2つの位置から撮影された被写体の画像上の位置の違いに基づく三角測量である。

まず初めに、2つのカメラの光軸が平行になった状態で並んでいる場合（以下、平行ステレオと称する）を考える。平行ステレオにおいては、基準画像上において座標 (u, v) にある3D座標の情報は次式によって求められる¹⁾。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \times B / (u - u') \\ v \times B / (u - u') \\ f / p \times B / (u - u') \end{bmatrix}$$

u' は参照画像上にて同一対象物が写っている画像の位置（以下、対応点と称する）の水平座標である。 $u-u'$ を

本誌投稿論文（受理2011年10月21日）

*富士フィルム（株）R&D統括本部
電子映像商品開発センター

〒331-9624 埼玉県さいたま市北区植竹町1-324

*Electronic Imaging Products Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Uetake, Kita-ku, Saitama-shi, Saitama 331-9624, Japan

視差といい、奥行きは視差に反比例する。これは、実際に片目ずつで物を観察した時に、近い物ほど視差が大きく、左眼で見た場合と右眼で見た場合で大きく移動して見えることでも理解できる。また、Bは2つのカメラ間の距離であり、これを基線長という。fはレンズの焦点距離である。pは画素ピッチである。

平行ステレオ状態で3D演算を行なうことは以下の利点がある。

まず、前述した式にあるように、非常に簡単な計算式によって3D座標を求めることができ、計算速度を速めることができる。

また、基準画像の計測したい座標に対して、参照画像の対応点は必ず垂直座標が同じになるため、対応点探索の際は画像の中で計測したい座標と同じ垂直座標の1ラインのみを対象とすればよく、対応点を見つける処理を単純化することができる。一方、平行ステレオ状態でない場合は、計測したい座標によって探索する方向が異なるので、探索の処理が複雑になる。

以上の理由から、平行ステレオ状態にて計測を行なうのが望ましいが、2つのカメラを完全な平行ステレオになるように組み付けるのは現実的に困難であり、実現できない。

そこで、実際のステレオカメラで撮影された画像を元に画像変換を行ない、平行ステレオで撮影された場合の画像を生成する。これを画像の平行化という。平行化の処理には、事前に正確に求めた2つのカメラのそれぞれの状態、および位置関係を用いる。2つのカメラのそれぞれの状態とは、具体的にはレンズによるディストーション、レンズの焦点距離と画素ピッチ、画像中心の座標であり、これらを内部カメラパラメータと呼ぶ。2つのカメラの位置関係とは、具体的には基準カメラに対するもう一方のカメラの位置と回転量であり、これらを外部カメラパラメータと呼ぶ。内部カメラパラメータと外部カメラパラメータを求めることをキャリブレーションという。キャリブレーションは、ステレオ画像による3D計測の精度に直結するので、最も重要な処理といってもよい。

また、3D空間上の理論分解能は原理的に下記の式にて表わされる。

$$\Delta X = \Delta Y = \frac{Dp}{f}, \Delta Z = \frac{D}{B} \times \Delta X$$

$$\Delta X = \Delta Y = \frac{Z}{f/p}, \Delta Z = \frac{Z}{B} \times \Delta X = \frac{Z^2}{(f/p) \times B}$$

本システムの場合、FinePix REAL 3D W3は、基線長は約75mm、広角端にて焦点距離6.3mm、記録画素数がLサイズで3648pixel、CCDサイズが1/2.3型であるので、撮影距離における分解能の概算値はTable 1のようになる。遠距離側では奥行き方向の分解能が急激に劣化

する。したがって、本システムでは3m程度までの近距離を推奨撮影距離としている。

Table 1 Relationship between distance and resolution.

カメラと計測対象物の距離	$\Delta X \ \Delta Y$	ΔZ	ΔZ の距離に対する割合
1m	0.3mm	3.6mm	0.3%
3m	0.8mm	32.4mm	1.1%
5m	1.3mm	89.9mm	1.8%
10m	2.7mm	359.7mm	3.6%

3. システムの構成

システム全体はFig. 2のような構成となっている。計測対象物の撮影はカメラ単体によって行ない、撮影画像を用いた計測処理はPC上のソフトウェアにて行なう。

カメラは当社から販売されているFinePix REAL 3D W3を使用する。上記カメラを本システムにて使用する際の仕様をTable 2にまとめる。

カメラによって撮影されたステレオ画像ファイルをPCに保存し、アプリケーションソフトウェアにて読み込む。読み込んだ画像に対して、カメラごとのキャリブレーションデータを用いて平行化処理を行なう。作成された平行化ステレオ画像を用いて、3D寸法情報や色情報の付いた3D形状データを演算、出力する。

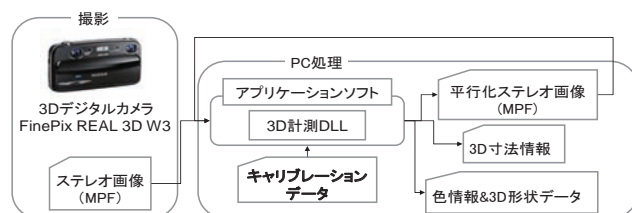


Fig. 2 Composition of the system.

Table 2 Specifications of camera used for measuring.

重量	250g (付属バッテリー、メモリーカード含む)
寸法	124mm × 65.9mm × 27.8mm、最薄部21mm
有効画素数	1,000万画素
焦点距離	f=6.3mm (35mmフィルム換算：約35mm)*1
絞り	F3.7 ~ F8
液晶モニター	3.5型3D表示高精細カラー液晶、レンチキュラー方式、約115万ドット (視野率約100%)
記録メディア	内蔵メモリー (約34MB) SD/SDHC対応メモリーカード
記録方式	MPO + JPEG または MPO *2
電源	充電式リチウムイオンバッテリーを付属別売り品にて、AC電源接続も可能

*1 : 3D計測用途以外で使用時は、f=6.3mm ~ 18.9mm (35mmフィルム換算：約35mm ~ 約105mm相当)

*2 : CIPA (カメラ映像機器工業会：Camera & Imaging Products Association) 規格によるマルチピクチャフォーマット準拠

4. システムの技術的特徴

4.1 民生用デジタルカメラでの撮影に対応した処理

従来の3D計測機では計測が困難だった狭く入り組んだ形状を持つ被写体や動物のように移動する被写体も簡単に撮影・計測できるように、軽量、小型の民生用3DデジタルカメラFinePix REAL 3D W3を撮影用カメラとして採用している。民生用カメラでも高精度な計測を実現するために、2つの処理を行なっている。まず、本システム用に販売するカメラでは、カメラ1台ごとに専用キャリブレーションデータを計測・生成している。次に、PCソフトウェアにて撮影ごとに変動するカメラの状態を検出し、補正して3D計測処理を行なっている。

4.2 ソフトウェアの機能

大きく分けて、寸法計測と3D形状出力の2つの機能を持つ。以下に、それぞれの機能について説明する。

(1) 寸法計測機能

撮影画像上の計測対象物について、指定した箇所の3D位置をカメラの位置を原点としたx, y, z座標にて求められる。この座標情報を用いることで、2点間の距離、平面上にて指示した多角形の面積なども求めることができる。また、点と直線、直線間、点と平面の距離等も求めることができる。また、写っている円柱の輪郭を指示することによって直径を求めることもできる。当社ソフトにて建築物の各種寸法を測定した例をFig. 3に表わす。

(2) 3D形状出力機能

撮影画像上の計測対象物の3D形状を画像の色情報と共に出力することができ、さらに、撮影画像上にて指定した特定の箇所のみを出力、または非出力に設定したり、任意に設定した特定の3D位置範囲にある形状のみを出

力したりするフィルタ機能を持っている。3D形状計測に使用する画像とは別に、色情報として使用する画像を選択することも可能なので、高精度な測定用にパターンを照射した画像と照射しない画像から色情報つき3D形状を作成することもできる。出力のフォーマットは、当社独自の色情報付き3D点群フォーマット（CSD形式）に加え、色情報（RGB）と3D形状（XYZ）を各点ごとに羅列したCSV形式や、汎用の3DポリゴンフォーマットであるOBJ形式、STL形式（バイナリ方式）にも対応しているので、CADやCGモデリングソフト等に取り込んで処理することも可能である。本システムにて計測した色情報付き3D形状データの例をFig. 4に表わす。上は撮影したものを正面から見た図、下は3Dデータを左右に回転させた図である。



Fig. 4 Example of 3D model with color data.

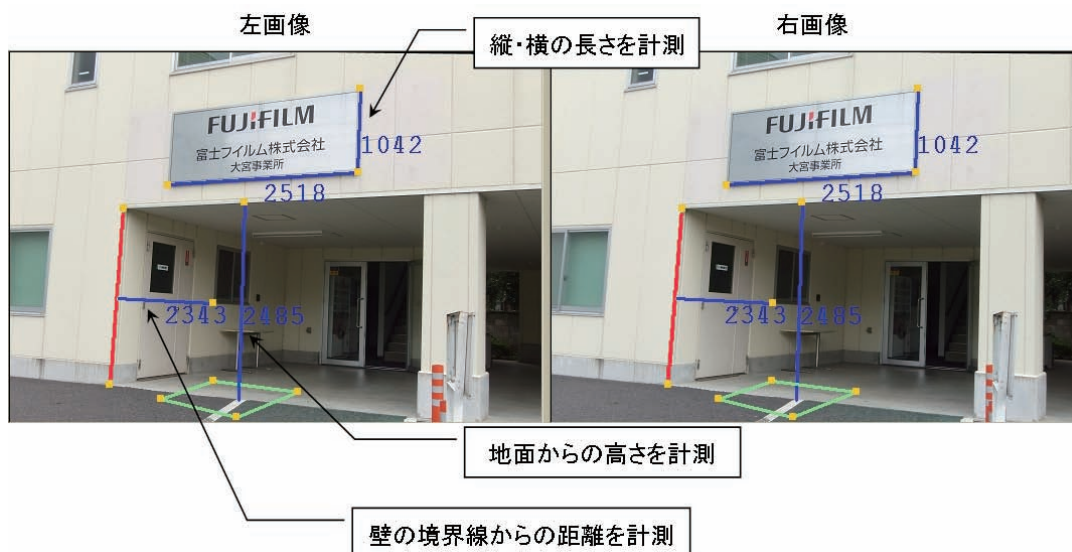


Fig. 3 Examples of measuring function.

5. 性能

5.1 処理時間

当社のアプリケーションソフトにおいて、Intel Core2 Duo 2.40GHz RAM容量2GByteのPCにて処理した場合、画像の読み込みからキャリブレーションの修正、平行化画像の作成までの計測が可能となるまでの時間が20秒から30秒かかる。寸法計測は即時に処理され、3D形状計測の時間が20秒から30秒である。これらの処理時間は、計測対象物とカメラ間の距離、計測対象物の形状または大きさ（奥行き幅）、模様によって異なる。

5.2 精度の目安

精度については、代表的特性として2つの評価例について説明する。

(1) 寸法計測による精度評価

Fig. 5に示すような平板チャート上の8箇所の寸法を計測し、平均誤差とばらつきを評価した。計測は撮影距離2m, 5mについて行ない、それぞれの距離でのチャートの寸法はTable 3に表わす。計測結果をTable 4にまとめる。

Table 3 Size of charts.

	内側		外側	
	縦	横	縦	横
撮影距離 2m	0.3m	0.4m	0.7m	1.1m
撮影距離 5m	1.2m	1.6m	2.1m	3.6m

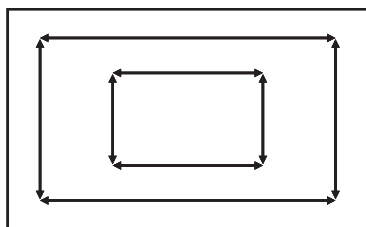


Fig. 5 Measured positions.

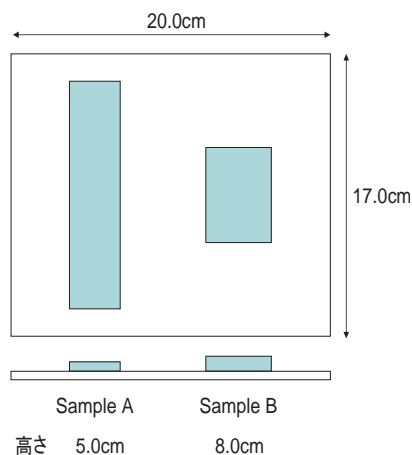


Fig. 6 Measured sample.

Table 4 Measuring performance at distance.

カメラと計測対象物の距離	平均誤差	偏差
2m	-0.13%	0.39%
5m	-0.16%	0.50%



Fig. 7 3D model of sample.

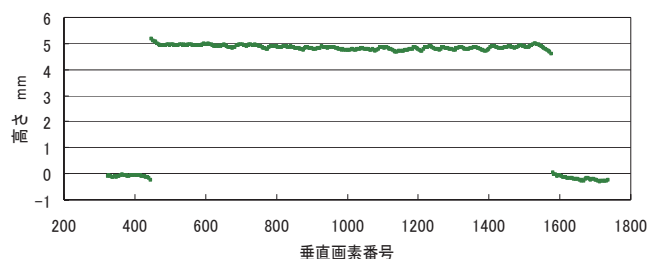


Fig. 8 Section of Sample A.

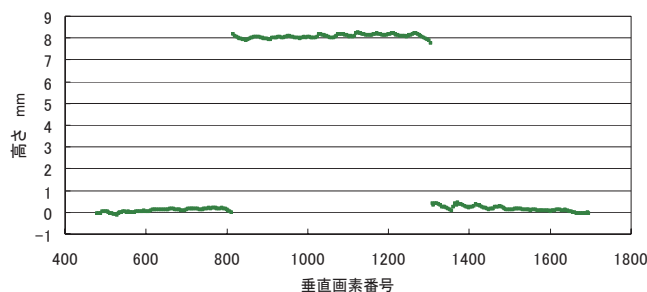


Fig. 9 Section of Sample B.

(2) 3D形状出力による精度評価

平板上に置いた2種類のサンプルA, B（形状、寸法はFig. 6を参照）を、高さ方向について正面から約50cmの距離にて撮影し、全体を3D形状出力した（Fig. 7）。

また、それぞれのサンプルについて、縦方向に切断した断面形状をFig. 8, Fig. 9に表わした。

6. おわりに

本報告では、3DデジタルカメラFinePix REAL 3D W3の撮影画像から簡単に目標物の寸法・面積・立体形状を計測する「3D計測システム」について説明を行なった。今後は、3D計測の市場において本システムが広く利用されるように、ニーズに合わせたさらなる機能、性能の向上に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 徐 剛, 辻 三郎. 3次元ビジョン. 共立出版, 1998, p.95.

(本報告中にある“Intel Core Duo”はインテルコーポレーションの登録商標です。“FinePix”, “FinePix REAL 3D”は富士フイルム（株）の登録商標です。)