

# 三次元センシング技術に関する研究\*

隈本 武\*<sup>1</sup>

Study on Three-Dimensional Vision Measuring Technique

Takeshi KUMAMOTO

物体等の動作解析を行うためには、奥行き情報や運動情報を得ることが必要不可欠である。そのためには、何らかの方法で三次元情報をセンシングしなければならない。そこで、第1報では、カメラ2台を用い、ステレオ画像法による三次元画像計測技術について報告した。今回の研究では、カメラ1台による画像計測システムを2つ提案し、それらを用いて三次元画像計測及び三次元動画像解析を試みた。そして、実験結果より、提案システムで三次元計測及び三次元動解析が可能なことを示した。

キーワード：三次元画像計測、三次元動画像解析、合わせ鏡、プリズム、ステレオ画像法

## 1 はじめに

ヒューマン・コミュニケーション機器の開発で重要となる、人・物体等の動作解析を行うためには、奥行き情報や運動情報を得ることが必要不可欠である。そこで、第1報<sup>1)</sup>では、カメラ2台によるステレオ画像法<sup>2)</sup>を用い、複数の画像（二次元情報）から三次元空間の座標情報を復元する三次元画像計測技術について報告した。

しかし、ステレオ画像法は複数台のカメラが必要であるため、もしこれが1台のカメラで構成できるようになれば、装置がコンパクトかつ低コストになること、カメラ間の同期制御が必要なくなること等の利点が出てくる。

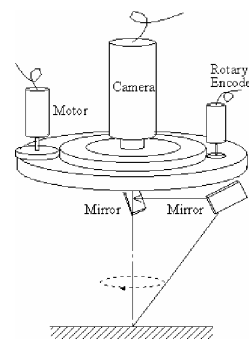
そこで、本研究では、カメラ1台のみで複数の画像を得ることのできる画像計測システムを2つ提案し、それらシステムを用いて三次元画像計測技術の確立を行うことを目的とした。

さらに、三次元動画像解析を行うことができるアルゴリズムを考案し、提案システムを用いて三次元動解析技術の確立を行うことも目的とした。

## 2 実験方法

### 2-1 合わせ鏡を用いた計測システム

本計測システム（図1）は、CCDカメラの先端に、モータで回転する合わせ鏡を有する回転装置を設置した構造となっている。



[構成]



[外観]

図1 合わせ鏡を用いた計測システム

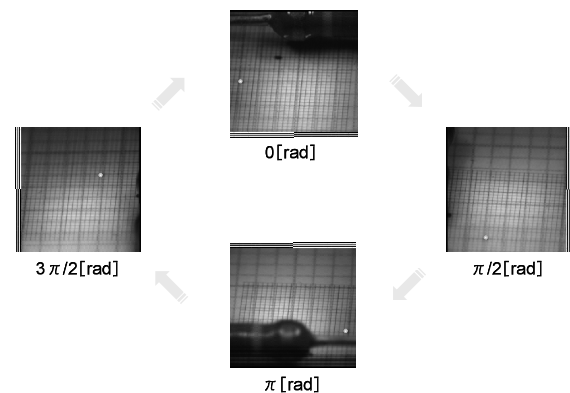


図2 取得画像

\* 三次元センシング技術に関する研究（第2報）

\* 1 現 機械技術センター

回転装置の合わせ鏡は、対象が良好に撮影できるように角度の調節が可能となっている。また、合わせ鏡の回転角が読みとれるよう、ロータリーエンコーダも設置してある。本システムで取得したマイクロメータの画像を図2に示す。

このような回転による計測システムの最大の利点は、回転角が小さい画像、つまり画像変位が少なく対応付けがしやすい画像から順次対応付けを行っていき、カメラが最も離れた回転角度 ( $\theta = \pi$  [rad])、つまり精度が一番良い画像同士で三次元復元を行うことができるという点にある。

### 2-2 ウエッジプリズムを用いた計測システム

次に、ウエッジプリズムを用いた画像計測システムを考案した(図3、4)。本システムの機構は、基本的には合わせ鏡方式と同じであるが、プリズムを回転させるだけでよいため、高速回転(3,600rpm)が可能である。よって、移動速度の速い対象の画像取り込みが可能となっている。本システムで取得したマイクロメータの画像を図5に示す。

なお、ウエッジプリズムとは、図6に示すように、光を微小な角度に偏角することのできるプリズムである。プリズムを回転させることで、プリズムを通過した光は円軌跡を描くような屈折を生じるため、プリズムを回転させながら取り込んだ静止点の画像は、円軌跡を描くことになる。

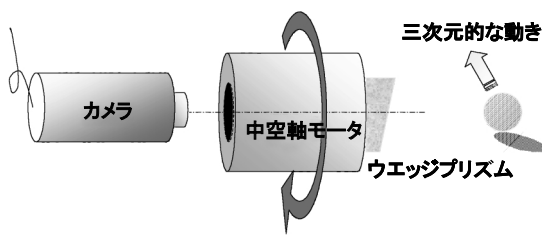


図3 構成

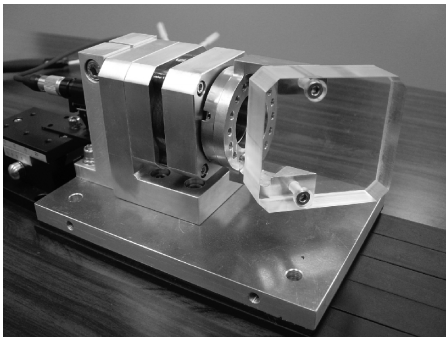


図4 外観

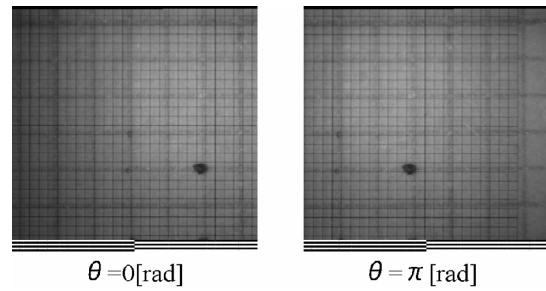


図5 取得画像

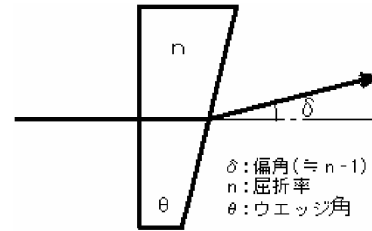


図6 ウエッジプリズムの性質

この円軌跡の径は、カメラと対象物の距離(奥行き距離)と関係があるので、その関係を導き出し三次元計測を行うこととした。

### 2-3 合わせ鏡方式による動画像解析

動いている対象を三次元的に計測する場合、同時刻に異なる角度から撮影した2組の画像が必要である。しかし、提案した計測システムでは、カメラ1台のみを使用するため、基本的には動画像解析は不可能である。そこで、以下のような三次元動画像解析アルゴリズムを考案し、合わせ鏡方式を用いて、動画像解析を行うこととした。

まず、合わせ鏡を対象の動きよりも十分速い速度で回転させるとすると、合わせ鏡が1回転する間、対象の移動速度は一定であると仮定できる。

合わせ鏡の回転開始位置  $P_0$  ( $\theta = 0$  [rad]) から一周した時点  $P_{2\pi}$  ( $\theta = 2\pi$  [rad]) で、追跡点が  $\delta$  だけ移動していた場合を考える(図7)。

移動点は等速運動をしているので、合わせ鏡が  $\theta = \pi$  [rad] の位置にきた時刻に、合わせ鏡が  $\theta = 2\pi$  [rad] の位置から画像を取り込んだと仮定すると、計測点は元の位置  $P_0$  から  $\delta/2$  だけ移動した点  $P_\pi$  の位置に見えると予想される。

よって、合わせ鏡が  $\theta = \pi$  [rad] の位置の時刻に見える計測点の位置  $P_\pi$  と、同時刻に合わせ鏡が  $\theta = 2\pi$  [rad] の位置で見えるであろう計測点の位置  $P_{2\pi}$  の位置関係より、計測点の三次元位置

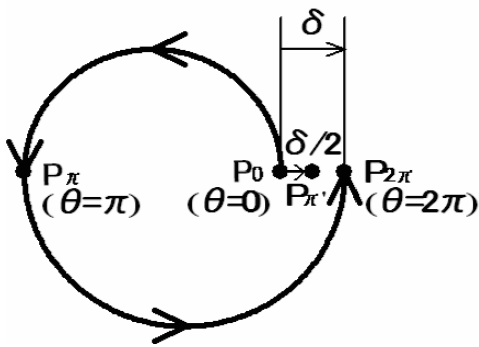


図7 運動体の円軌跡

を計算することができる。

同様に、他の回転角についても、回転角に対し  $\pm \pi$  [rad] の画像データを用いることで、式(1)(2)の2点  $P_m, P_{m \pm \pi}$  より三次元計測が可能となる。

$$P_m = P_{\theta + \pi} \quad (1)$$

$$P_{m \pm \pi} = \frac{\delta_\theta}{2} \quad (2)$$

ただし、 $\delta_\theta$ は、

$$\delta_\theta = P_{\theta + 2\pi} - P_\theta \quad (3)$$

である。

よって、合わせ鏡を回転し続けることで、対象の運動状態の変化を連続的に計測することができるため、三次元動画画像解析が可能となるわけである。

### 3 結果及び考察

#### 3-1 合わせ鏡方式の実験結果

あらかじめ三次元的な形状が既知であるものを計測することで、計測性能の評価を行うこととした。そこで、今回は、計測対象物をマイクロメータとした。

各回転角での視差より、計測対象の三次元形状

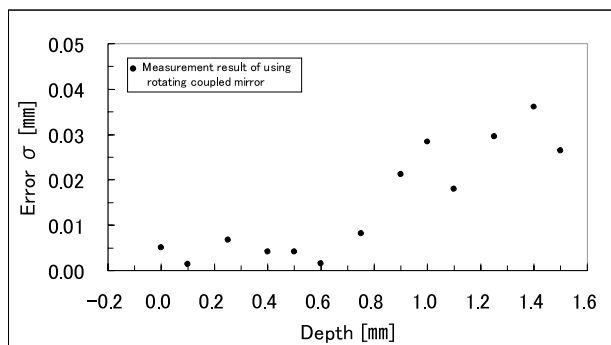


図8 実験結果

を計算するプログラムを開発し、回転角が小さい画像から、順次、画像相関により計測点を追跡して実験を行った。

図8に、奥行き方向の誤差を示す。なお、この結果には系統誤差が含まれているため、ある程度誤差を取り除くことが可能と考えられる。

#### 3-2 ウエッジプリズム方式の実験結果

既知の奥行き距離 ( $Z=30, 60, 90, 120, 150$  cm) にある、静止した計測対象点を、本システムで円軌跡画像として取得し、それを画像処理することで円の輪郭を抽出した。それら計測画像の一部 ( $Z=30, 150$  cm) を図9に示す。そして、その円軌跡径と奥行き距離との関係を調べた。その結果を図10に示す。

これにより、円軌跡の径を求めることで、奥行き距離を求めることができるため、本システムを用いての三次元計測が可能となった。

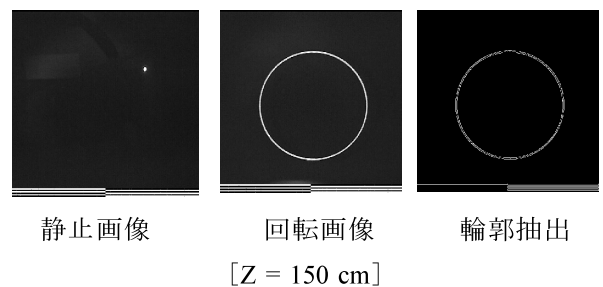
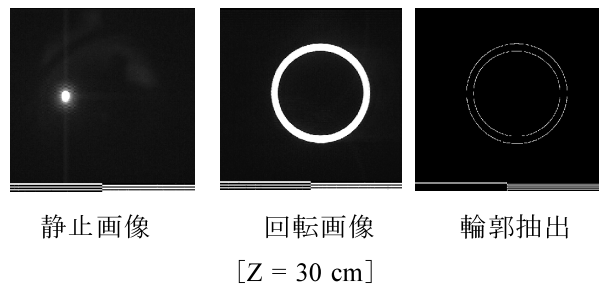


図9 計測画像

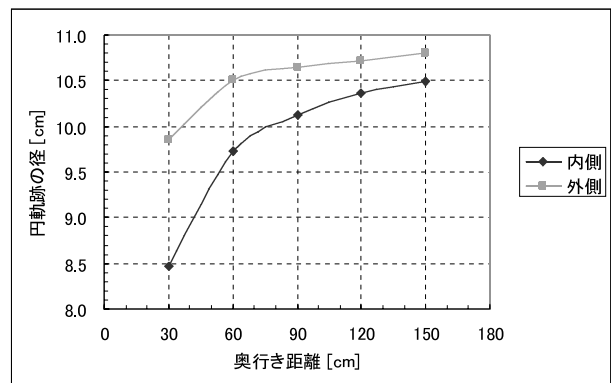
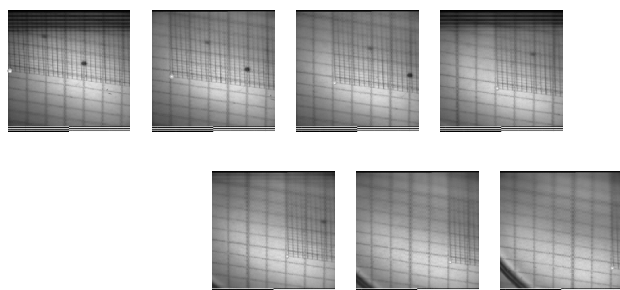


図10 円軌跡径と奥行き距離との関係

### 3-3 三次元動画画像解析の実験結果

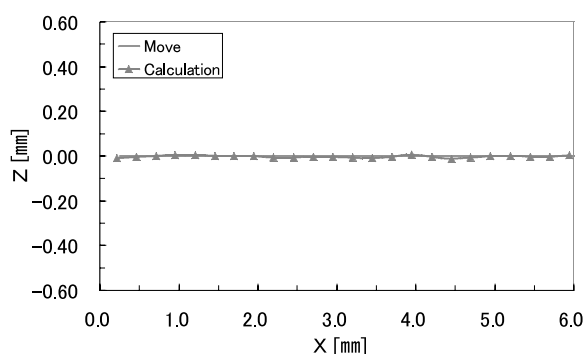
性能評価を行うために、精密電動X-Z軸ステージを用いた。計測対象点を既知の速度で動作させ、その時に撮影した画像（図11）を用いて動解析を行った。

円軌跡アルゴリズムを用いて、動画画像解析を行った結果を図12に示す。計測対象点の動作に対して、解析結果がほぼ一致していることが分かる。



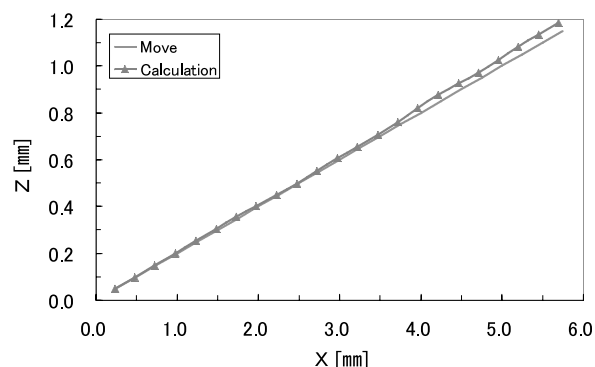
[0deg.側の方向から見た点の移動]

図11 計測画像



$$\omega = \pi / 2 [\text{rad/s}], V_x = 0.125 [\text{mm/s}]$$

$$V_y = 0.000 [\text{mm/s}], V_z = 0.000 [\text{mm/s}]$$



$$\omega = \pi / 2 [\text{rad/s}], V_x = 0.125 [\text{mm/s}]$$

$$V_y = 0.000 [\text{mm/s}], V_z = 0.025 [\text{mm/s}]$$

図12 実験結果

### 4 まとめ

本研究では、カメラ1台のみで複数の画像を得ることのできる2つの画像計測システム、(1) 合わせ鏡を用いた計測システム (2) ウェッジプリズムを用いた計測システムを検討した。そして、各々のシステムで三次元計測の実験を行い、三次元情報の復元が可能であることを示した。その結果、検討を行った計測システムは、新たな三次元計測システムとして有効なものとなりうることが分かった。

更に、合わせ鏡を用いた計測システムを用い、 $\pm \pi$  [rad] 画像に対して円軌跡のアルゴリズムを適用することで、三次元動画画像解析が可能なることも示した。

今後は、具体的に対象物を選定し、例えば、金属材料の変形や微生物の運動など、三次元的な動作変化について計測実験を行っていく必要がある。

### 5 参考文献

- 1) 隈本武, 宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告, 46, 95 (2001)
- 2) 徐剛, 辻三郎: “3次元ビジョン” 共立出版 (1998)