

## 映像を活用した移動体の3次元位置計測システムの開発

安藤ハザマ 正会員 ○紫垣 萌

正会員 早川健太郎

正会員 澤城光二郎

### 1. はじめに

マシンコントロール (MC) /マシンガイダンス (MG) 技術をはじめ、移動体の位置情報を取得する手法として GPS は広く用いられており、GPS 搭載の MC/MG 建機は、多くの現場で盛土の品質管理等に活用されているが、GPS 情報を正常に受信できない屋内や構造物の近傍では、位置情報の取得が困難になる。この場合、代替技術として自動追尾 TS(トータルステーション)を用いる手法があるが、別途測量機器が必要になることに加え、機器構成も複雑になるという課題がある。そこで著者らは GPS 情報に依存せず、かつ簡易な機器構成で移動体の3次元位置を計測するシステムを開発した。本稿ではシステムの概要と、計測結果の精度検証実験について報告する。

### 2. システムの概要

本システムは映像中のマーカーを検出、トラッキングし、その軌跡を3次元座標に変換、記録するソフトウェアである。計測状況の模式図を図-1に、システムの運用フローを図-2に示す。本システムで使用する資機材は映像取得用の汎用ビデオカメラ、移動体に取付けるマーカー、基準点およびその座標値、ソフトウェア処理用の汎用 PC であり、運用フローは現場で行う作業とソフトウェア処理に分かれる。

現場作業では図-1のように、計測範囲の4隅に基準点を設置し、移動体にマーカーを取付け、計測範囲を挟み90度に向かい合うように2台のビデオカメラを設置して、作業の様子を撮影する。なお、カメラは画角内にすべての基準点が映るように調整し、固定する。撮影した映像中から、ソフトウェアの画像処理により、移動体に取付けたマーカーを検出し、その結果からマーカーの3次元位置を計測する。画像処理の詳細を以下に述べる。

#### 2-1 マーカー検出のアルゴリズム

設定した色および形をもつマーカーを映像から検出した結果を図-3に示す。ここでは直径20cmのピンク色の球体をマーカーとして採用しており、マーカーに近い色要素をもつ画素を映像中から閾値処理により抽出する。画素が一定以上の面積を持つとき、その領域をマーカーとして検出する。検出した領域の最も離れた2点をマーカーの直径とみなし、直径の中点をマーカーの位置としている。

#### 2-2 マーカーの3次元位置計測のアルゴリズム

マーカーの3次元位置計測には、映像中の基準点とカメラパラメータを用いる。基準点は計測範囲の4隅に設置し、測量により座標値を得ておく。この座標値と映像データを関連付けるため、映像中の基準点を指定し座標値を付与する。加えてカメラパラメータを入力することで、2台のカメラの位置および姿勢が推定される。そして推定結果から、それぞれに映るマーカーとの距離、方向をもとに、三角測量の原理によりマーカーの3次元位置を計測する。この位置計測を、映像の各フレームに対して実施することで、移動体の軌跡の計測および記録を行う。計測結果を3次元グラフ上に表したものを図-4に示す。

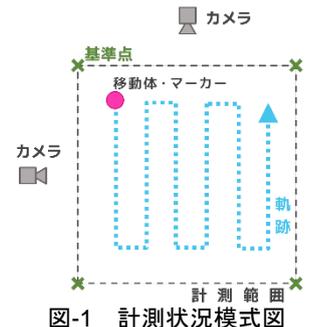


図-1 計測状況模式図

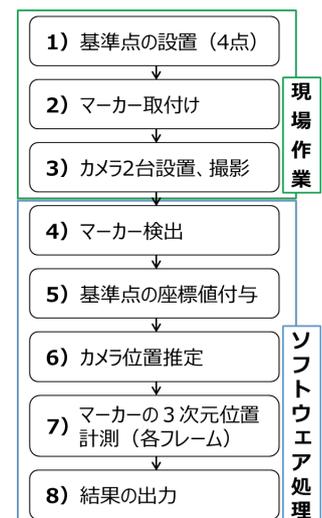


図-2 システム運用フロー



図-3 マーカー検出結果

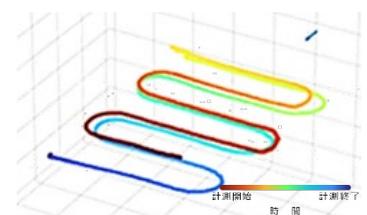


図-4 3次元軌跡

キーワード 映像, 3次元位置計測, 画像処理, トレーサビリティ

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間5 1 5-1 安藤ハザマ技術研究所 TEL 029-858-8815

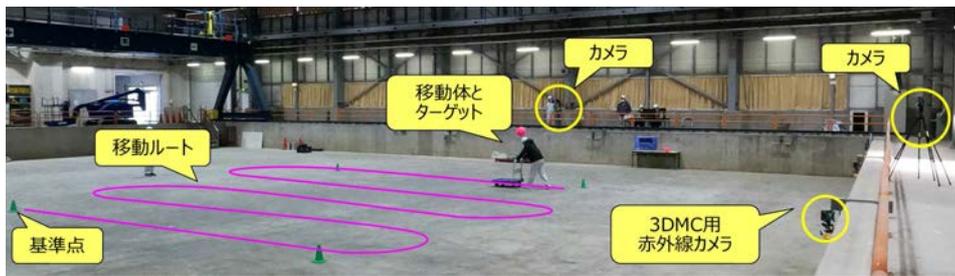


図-5 実験状況



図-6 移動体の構成

表-2 3DMC との較差

計測ケース	カメラ 取付位置	映像の 解像度	較差			
			x軸	y軸	z軸	位置
case1	水平	2K	13.28	5.22	2.24	15.40
case2		4K	7.20	3.70	1.72	9.45
case3	俯瞰	2K	7.75	4.02	4.34	10.23
case4		4K	2.22	2.47	0.86	3.70

### 3. 計測結果の精度検証

本システムで計測した3次元位置の精度を確認するため、3D モーションキャプチャ（以下、3DMC）との比較を行った。3DMCは、赤外線カメラで計測範囲内の反射マーカの3次元位置を計測するシステムで、計測精度は±3mm以内である。

実験の様子を図-5に示す。小型締固め機での転圧作業を想定し、移動体には図-6のように、映像用マーカと3DMC用マーカを取付けた台車を採用した。計測範囲は10m×10mとし、範囲内を2.5mのコース間隔で往復する移動体を3DMCと本システムで同時に計測した。なおカメラは地面から1.5mの高さに水平に、3.5mの高さから俯瞰した2通りで設置し、それぞれ2K解像度と4K解像度の映像を取得した。これらの構成を4つの計測ケースに分類して、3DMCの計測結果を正とし、x, y, z軸方向の較差を算出することで、精度評価を行った。

較差の算出結果を表-2に示す。カメラの向きによる影響を比較するためcase1とcase3, case2とcase4の結果に注目すると、カメラが俯瞰した場合、水平状態よりもx軸は約5~5.5cm, y軸は約1.2cm程度較差が小さくなる。一方で、z軸は約2cm大きくなる。これは、俯瞰した映像を撮影したことで、x, y軸方向の移動が平面的に捉えやすく、z軸方向の移動が捉えにくくなったためと考える。また、解像度の違いによる影響をcase1とcase2, case3とcase4で比較すると、図-7にも示すように、2K映像と比べ4K映像の方の較差は小さかった。これは、解像度が高いほど、映像中でマーカの形状がより正確に再現されるためと考える。総じて本システムの計測結果の位置精度は、2K映像では約±15cm, 4K映像では約±10cmとなった。

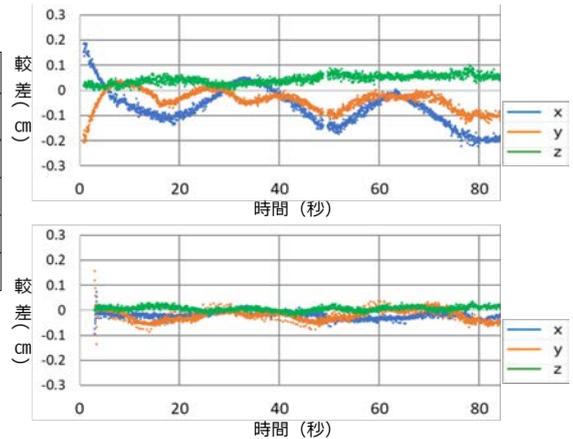
本システムを施工管理に適用することで、小型締固め機による構造物際の転圧作業やバイブレータによるコンクリート締固め作業等、GPS情報が利用困難な環境下の作業においても、位置情報と品質情報を関連付けることができ、施工のトレーサビリティ確保に貢献できるものとする。また、入力する映像が高解像度であるほど計測精度が高くなるため、高い精度で品質管理を求められる作業では高解像度な映像を用いる、等の使い分けが考えられる。

### 4. まとめ

映像を用いて移動体をトラッキングすることで3次元位置を記録するシステムを開発し、計測精度が±10~15cm程であることを確認した。本システムの課題として、遮蔽物によるトラッキングの途切れがある。3次元位置計測には2方向からマーカを捉えた映像が必要であるため、今後は使用するカメラの台数を増やす等の遮蔽物対策について検討し、現場での実用性を高めていきたい。

### 謝辞

本システムの開発および精度検証にあたり、日本アルゴリズム株式会社様には多大なご協力をいただきました。この場を借り、深く御礼申し上げます。

図-7 解像度による計測精度の違い  
(上: case3, 下: case4)