

# UAV搭載の小型レーザ計測の精度検証

延川 熙泰・沖津 実郎（株式会社アスコ大東）

## 1. はじめに

近年、無人航空機（以下、「UAV」）は急速に普及し、その利用範囲も飛躍的に拡大している。画像解析ソフトの技術の向上により、特に測量の知識がなくても、UAVで重複した写真を撮影することで、三次元地形モデル作成を簡単に行えるようになった。これにより、地形測量や災害調査、構造物点検などに利活用される場面が増えている。

一方、これらの空中写真からの三次元地形モデル作成においては、樹木下や陰影部においてのグラウンドデータの取得が困難であった。また、従来型のレーザ計測機器は、計測範囲が広いが、システムが大型になりUAVへの搭載が課題であった。これらを改善すべく、小型のレーザ計測装置とペイロード（最大積載重量）の大きいUAVを組合せたものを使用して、精度検証を行った。

## 2. 使用機器

### 2.1 小型のレーザスキャナ

本計測に使用したレーザスキャナ：VLP-16（Velodyne社製）の特徴は以下のとおりである。（図1）

- ・コンパクトで軽量（約830g）
- ・屋内外での使用が可能（GPSレシーバーとの連動機能支援）



図1 レーザスキャナVLP-16

なお、位置計測システムにはAPI5（Applanix社製）を使用した。API5は、UAV用に開発されたコンパクトな製品である。

### 2.2 UAV

ペイロードが大きく、交換パーツの入手が容易であることからSpreading Wings S1000+（DJI社製）を採用した。UAVには、レーザスキャナ、GNSSアンテナ、IMU、カメラ等を搭載した。（図2、図3）

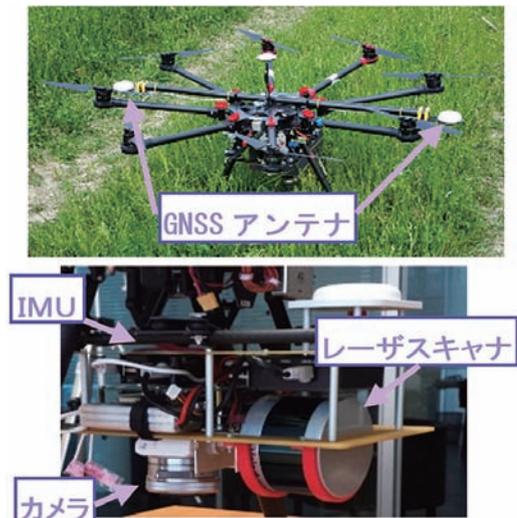


図2 UAVレーザシステム

項目	仕様
センサータイプ	16個のレーザ+検出器
測定範囲・測定視野	水平360° 全方位 垂直30°（±15°）
測定距離	約100m（1m～100m）
測定スピード	5～20Hz
測定ポイント数	約30万ポイント/秒
測定精度	±3cm（1σ@25m）
角度分解能	水平0.1°～0.4° 垂直2.0°
測定距離方式	LIDAR TOF方式
レーザークラス	Class 1 Eye Safe

図3 レーザスキャナ諸元

### 3. 実地検証

#### 3.1 検証フィールド

検証フィールドは大阪府豊能郡能勢町にあるドローンフィールドを使用した。

#### 3.2 データ取得状況

データ取得状況を図4に示す。プールや樹木下の地形データ取得状況が良好であることが確認できる。

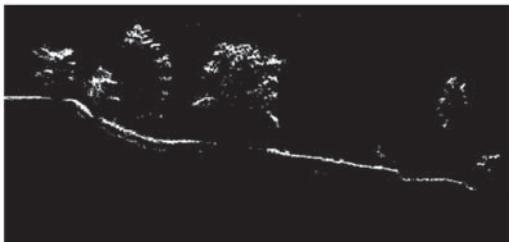
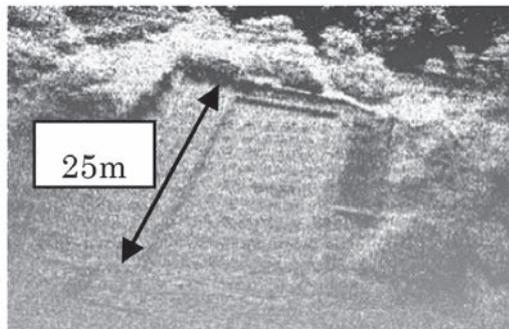


図4 データ取得状況

#### 3.3 キャリブレーション

あらかじめ計測された誤差データを使い、計測器具の偏りを基準値によって補正し、系統的な誤差を消去した。キャリブレーションの手順については、下記に示す。

##### a) 回転軸

ロール軸、ピッチ軸、ヨー軸の直角軸を定義する。これらの軸を中心に回転させることをそれぞれロール (Roll)、ピッチ (Pitch)、ヨー (Yaw) とし、その角度をロール角、ピッチ角、ヨー角とする。

##### b) レーザ計測

飛行コース (図5) の通りにフライトを実施し、ロール、ピッチ、ヨーの姿勢誤差を抽出するためレーザ計測を行った。

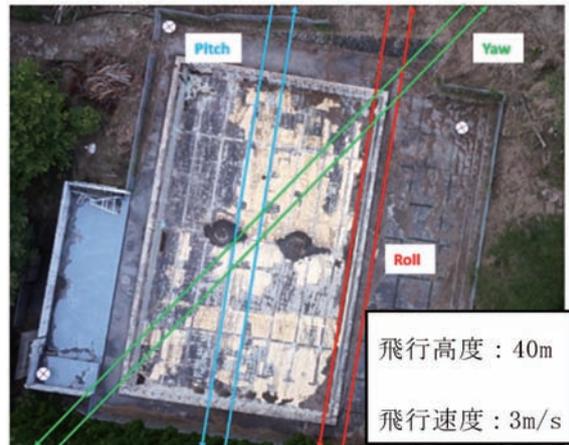


図5 飛行コース

##### c) 対空標識

姿勢誤差を補正後、補正值と精度検証を行うため点群で判読可能な明瞭な構造物とその周囲に対空標識を5箇所設置してトータルステーションで座標計測を行った。対空標識は直径90cmの木製の円板で短脚に据えた。(図6)

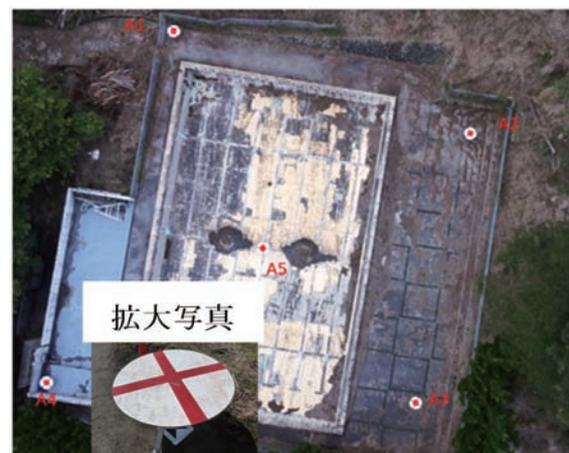


図6 対空標識設置箇所

##### d) 航跡解析

取得したレーザデータと位置姿勢データと固定局のデータを使用し、POSPac (Applanix社製) で航跡解析を行った。航跡解析の結果、測位している衛星数に不足はなく、位置精度はメーカー公称値 (水平、標高精度10cm) を満たしていた。(図7)

##### e) 輪郭線決定法による姿勢誤差の算出

点群データより判読が明瞭な構造物や対空標識を元に姿勢誤差を算出した。

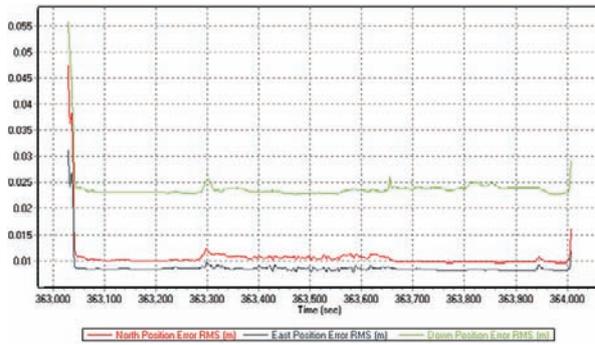


図7 最適軌跡解析標準偏差

f) 等高線決定法による姿勢誤差の算出

3次元CADソフトMicroStation (Bentley社製) 上の点群処理ソフト (TerraMatch) を使用して建物や地形のスロープ等での調整計算を行い、姿勢誤差の補正値を算出した。(図8)

g) 精度検証結果

輪郭線決定法 (3-3-e) と等高線決定法 (3-3-f) で算出した各姿勢誤差を補正した点群データとトータルステーションの実測値を比較検証した。なお、対空標識による補正は行っていない。(表1、表2) より等高線決定法で算出した各姿勢誤差を補正した点群データの方が良い精度結果となった。輪郭線決定法は構造物の傾きを求めるのに対して等高線決定法は地形の傾きを求めるため全体の点群精度が向上したのではないかと考えられる。

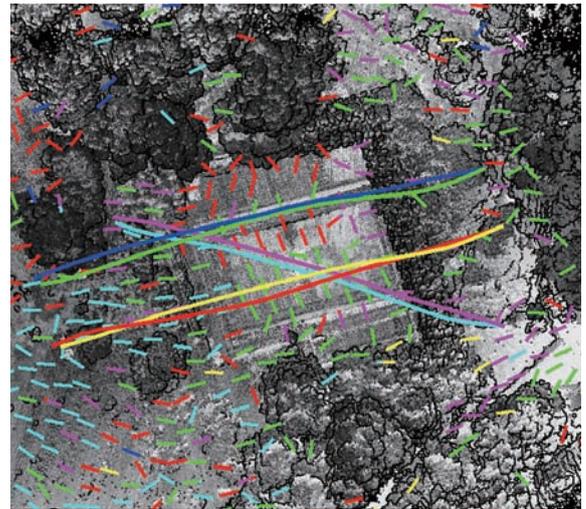


図8 TerraMatchによる補正値算出法

3.4 高度別精度比較検証

等高線決定法による補正値を採用して、対地高度別 (40m・60m) にトータルステーションの実測値との精度比較検証、点密度の比較検証を行った。標高値、水平位置については、相対的に同程度の精度結果となった。(表3、表4) 点密度についても相対的に同程度の点密度の結果となった。(表5)

対地高度別 (40m・60m) のいずれの点群データを用いても数値標高モデルの地図情報レベル500の精度を確保していることが確認できた。

表1 輪郭線決定法で補正した点群データと実測値の比較

対地高度40m

点名	データ	X	Y	Z	DX	DY	DX Y	DZ
A1	GCP	-110371.105	-53817.013	535.820				
	点群	-110371.177	-53817.049	535.858	0.072	0.036	0.080	-0.038
A2	GCP	-110347.868	-53819.072	536.071				
	点群	-110347.872	-53819.043	536.146	0.004	-0.029	0.029	-0.075
A3	GCP	-110343.442	-53798.873	536.011				
	点群	-110343.399	-53798.850	536.080	-0.043	-0.023	0.049	-0.069
A4	GCP	-110368.264	-53789.818	536.490				
	点群	-110368.333	-53789.942	536.570	0.069	0.124	0.142	-0.080
A5	GCP	-110358.579	-53804.877	534.701				
	点群	-110358.637	-53804.916	534.729	0.058	0.039	0.070	-0.028
平均					0.032	0.029	0.074	-0.058
最大値					0.072	0.124	0.142	-0.028
最小値					-0.043	-0.029	0.029	-0.080
標準偏差							0.093	0.069

表2 等高線決定法で補正した点群データと実測値の比較

対地高度40m

点名	データ	X	Y	Z	DX	DY	DXY	DZ
A1	GCP	-110371.105	-53817.013	535.820				
	点群	-110371.140	-53817.008	535.878	0.035	-0.005	0.035	-0.058
A2	GCP	-110347.868	-53819.072	536.071				
	点群	-110347.880	-53819.100	536.105	0.012	0.028	0.030	-0.034
A3	GCP	-110343.442	-53798.873	536.011				
	点群	-110343.415	-53798.922	536.045	-0.027	0.049	0.056	-0.034
A4	GCP	-110368.264	-53789.818	536.490				
	点群	-110368.247	-53789.858	536.571	-0.017	0.040	0.043	-0.081
A5	GCP	-110358.579	-53804.877	534.701				
	点群	-110358.598	-53804.889	534.754	0.019	0.012	0.022	-0.053
平均					0.004	0.025	0.038	-0.052
最大値					0.035	0.049	0.056	-0.034
最小値					-0.027	-0.005	0.022	-0.081
標準偏差							0.044	0.061

表3 高度別標高検証結果

単位:m

対地高度	40m	60m
標準偏差	0.061	0.070
較差平均	0.052	0.060

表4 高度別水平位置検証結果

単位:m

対地高度	40m	60m
較差平均	0.038	0.093
標準偏差	0.044	0.123

表5 高度別点密度検証結果

単位:点/m<sup>2</sup>

対地高度	40m	60m
コース分の点密度	314	275
全コースでの点密度	791	509

## 4. UAVレーザ計測の課題と今後の利活用

### 4.1 UAVレーザ計測の課題

レーザスキャナ (VLP-16) の測定距離は最大100mであることから、地形が複雑になるとレーザが届かない場合があります。飛行高度は60m以下にすることが望ましい。

今後は技術の向上とともにレーザ測定距離の長い軽量化されたレーザの開発が望まれる。

### 4.2 今後の利活用

森林ではグラウンドデータが取得できる特性を活かし、地形測量や災害現場への利活用を提案している。その他、山間部にある転石を特定するための検証実験も実施している。転石の特定方法は、ノイズ除去のフィルタリングをした点群データから等高線を発生させ、等高線の歪みから転石を特定するものであり、確実に転石を特定するには、レーザの反射強度等により転石とノイズを高い精度で区別する等の技術向上が必要とされる。

## 5. 謝辞

本検証を進めるにあたり、協同開発先であるイタリアのSITECO社から多くの助言をいただきましたことを厚く御礼申し上げます。

### ■執筆者

延川 熙泰 (のべかわ ひろやす)  
株式会社アスコ大東



(共著者) 所属は筆頭著者に同じ  
沖津 実郎 (おきつ じつろう)