

無人航空機 (UAV) レーザ計測システム「TOKI」の開発

中日本航空株式会社 ○鈴木浩二, 高橋弘, 高野正範, 瀬口栄作
 一財) 砂防・地すべり技術センター 萬徳昌昭*, 福池孝記, 皆木美宣
 株式会社 コハタ 長井伸正
 (*現所属: 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部)

1. はじめに

近年、無人航空機 (以下「UAV」) の開発は目覚ましく、計測技術としての活用が飛躍的に拡大している。その多くは写真測量技術を応用した SFM (Structure from motion) 処理であり、高精細な画像から詳細かつ高精度な解析が可能となってきた。一方、写真測量では植生下の地形を高精度に再現できないことや、解析のための基準点の設置、膨大な写真を使用するため解析に時間を要すること等の課題が挙げられる。本稿では、軽量かつ高性能なレーザスキャナ (Riegl 社製 VUX-1) を UAV に搭載して実施した基礎検討と実地での検証結果について報告する。

2. 開発の経緯

2. 1. 初期型の開発と課題

開発の体制として、利用目的と実施場所の検討及びデータ評価を一財) 砂防・地すべり技術センター、ドローンの運航全般を (株) コハタ、機材の統合とデータ解析を中日本航空 (株) が実施した。

開発の目的として、有人機の航空レーザ測量 (以下「航空レーザ測量」) と同じ構成を UAV で実現することにより、より高密度・高精度なデータを取得することを主眼とした。低高度での計測は、航空レーザ測量でも容易には取得できない下層植生下の地表面を高精度に取得できる。ただし、軽量化されたとは言えレーザ測距装置の重量は 3.6kg、GNSS/IMU と記録制御用 PC、ケーブル、カメラ等、トータルで 10kg を超える構成となる。このシステム構成でフライト可能な UAV として、ペイロードの大きい産業用無人ヘリコプター (ヤマハ社製 R-MAX L18: 図 1) に機材を搭載し基礎的な試験を行った。

初期型によるデータ取得は、平成 26 年 10 月 15 日に白老飛行場で実施した。取得されたデータを解析した結果、安定した精度と高精度な距離分解能が確認できた (図 2)。一方で、カメラによるリアルタイム画像監視や操縦者を中心とした半径 150m、高さ 150m の円柱状の範囲内でしか飛行できない等のプラットフォームの制約が多く、フライト能力に比べて計測可能なエリアが狭すぎるという点が課題であった。

2. 2. マルチロータタイプ「TOKI」の開発

マルチロータタイプの開発は、平成 27 年 7 月から開始した。当面の開発方針として、高精度化を保ったまま構成機材の軽量化を図ることと、安定した自律飛行ができるマルチロータタイプの UAV を製作することであった。

軽量化として、GNSS/IMU を通常の航空機搭載タイプから小型 GNSS アンテナと IMU ボードに変更、記録制御 PC やケーブル、ユニットの架台等も全て軽量化を図った。GNSS/IMU とレーザとの結合調整は、車両に搭載し地上走行等で試験し統合テストを行った。

マルチロータタイプの UAV は、VUX-1 の特徴である 330 度の視野角を確保できる構造とするため 4 軸として、それぞれに上下反転の 8 つのモーターを搭載した 8 枚プロペラタイプとした (図 4)。機材の設計から組み立て、試験飛行まで約 4 ヶ月を要した。

開発したシステムの構成は表 1 のとおりであり、統合化されたシステムを「TOKI」と命名した。

3. 実地での検証飛行

3. 1. 調査フィールドと調査飛行

12 月上旬から基礎的な試験飛行を繰り返し、安定した飛行を確認した。実地での検証飛行は国土交通省総合政策局公共事業企画調



図 1 初期型への機器搭載状況

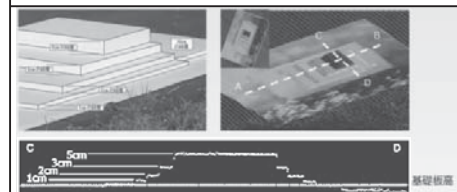


図 2 基礎解析(距離分解能・精度)



図 3 点群データの鳥瞰画像

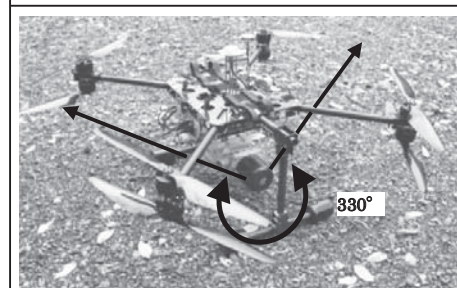


図 4 マルチロータタイプ「TOKI」

表 1 開発したシステム「TOKI」の構成

機材	機器名称	製造	性能等(メーカー仕様)
プラットフォーム	KL-8HL	ciDrone製	航続時間10分(バッテリー50%)、平均時速20km/h
レーザ測距装置	VUX-1	Riegl製	有効測定レーザ: 500,000点/秒、計測高度350m 波形記録方式、視野角=330度、測定精度10mm
GNSS/IMU	AP20	Applanix製	速度誤差: 0.01m/sec、IMU測定レート: 200hz
垂直用カメラ	GR	RICOH製	毎秒のインターバル撮影

整課の取り組み「次世代社会インフラ用ロボット現場検証」に参加し、奈良県五條市大塔町赤谷地区にて現地検証を実施した。

現地検証では災害状況の把握を目的としており、飛行基地から調査対象斜面までの距離は、フェーズ2では約1km（目視で確認できない状況）、フェーズ3では約500mとなっている。フェーズ2からの調査は12月16日に実施した。斜面脚部を斜面に平行して1フライト（1コースのみ）を取得した。フェーズ3からの調査は、12月17日には、斜面脚部から湛水池までの飛行と、斜面下部を中心とした2フライトを実施した。当初の計画では、斜面上部まで含む3フライトを予定していたが、強風のため作業を中止した。

3. 2. 解析処理

(1) 速報処理（準リアルタイムデータ：図6）

フェーズ2では現地に立ち入りが出来ない状況を想定している。そこで現地の検証点を使用せず、機体のGNSS/IMU情報のみで解析を行った。解析は現地で実施し、約30分で点群データを作成した。斜面脚部から計測しているが、視野角が330度（片側165度）であるため斜面中腹までデータが取得できている。

点群はノートパソコンでも稼動するビューワソフトで現地確認した。ビューワソフトには、等高線発生や点群断面確認機能に加え、点群の最下点を表示する簡易的なフィルタリング機能も有しており、植生に覆われた非崩壊斜面の植生下の状況が把握できる。この時点では、機体位置は固定局（電子基準点等）とのキネマティック解析を行っていない単独測位であるため、絶対値としては大きな較差を持っているが、相対的な地形形状は十分把握できる。

(2) 高精度解析処理（後処理後のデータ：図7）

高精度解析処理では、電子基準点のデータをダウンロードして機体位置のGNSS/IMU解析を行い、計測後6時間で高精度な点群データを作成した。この段階で現地に整合したデータとなり、任意地点の縦横断解析、各種地形解析による主題図作成、地表面の状況把握、精度検証等が可能となる（計測後8時間で精度検証まで実施）。

(3) 取得データの評価

本検証で得られたデータと検証当日に実施した実測との精度検証結果を以下に示す。

表2 計測結果

	計測コース	計測面積	照射設定	概略点密度	精度	備考
フェーズ2	1コース	約0.3km ²	100,000点/秒	100点/m ²	±15cm	長距離に設定
フェーズ3	8コース	約0.5km ²	500,000点/秒	300点/m ²	±2cm	高密度に設定
航空レーザ測量との比較						
参考)	対象地域を1コースで計測		400,000点/秒	4~16点/m ²	±10cm	回転翼を想定

フェーズ2の速報値でも、航空レーザ測量に近い精度が得られた。また、対象物との距離に応じてレーザ照射設定を変えることで、長距離からの計測が可能となり、斜面に近づけない状況でも広域のデータが取得できた。フェーズ3では、GNSS/IMUの解析を行うことで、非常に高精度な結果を得ることができる。取得データは空中写真の地上画素寸法に近い点密度があるため、判読性に優れていることが確認できた。視野角の広い計測は、複数コースが重複する地区では多方向からレーザが照射されるため、航空レーザ測量以上の豊富な情報を得ることが確認できた。

4. おわりに

開発した「TOKI」は、軽量化や安定化等、今後も更なる改良を進める予定である。「TOKI」による詳細かつ高品質なデータにより、微地形や植生把握、地すべり観測等への適用研究も進めていく予定である。本報告は、国土交通省総合政策局公共事業企画調整課の「次世代社会インフラ用ロボット現場検証」での検証データを利用させていただいた。ここに記して謝意を表します。

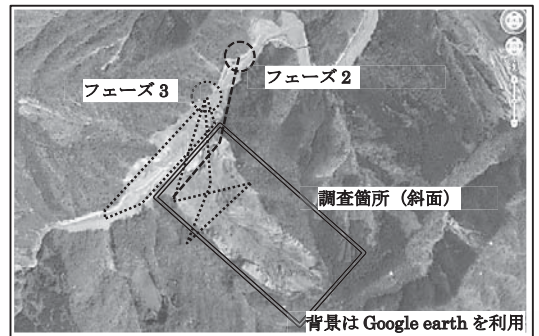


図5 現地検証場所（奈良県赤谷）

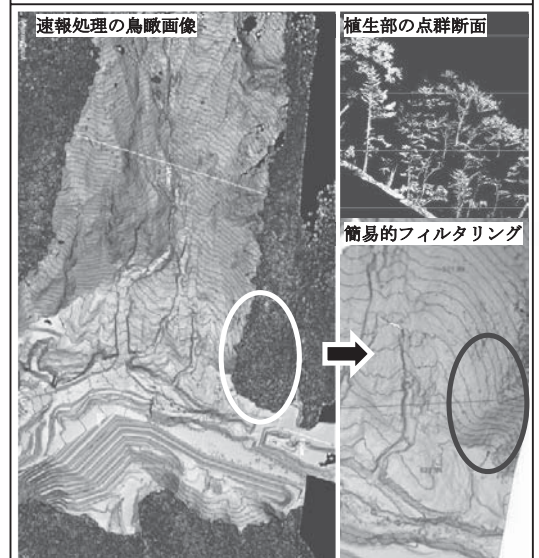
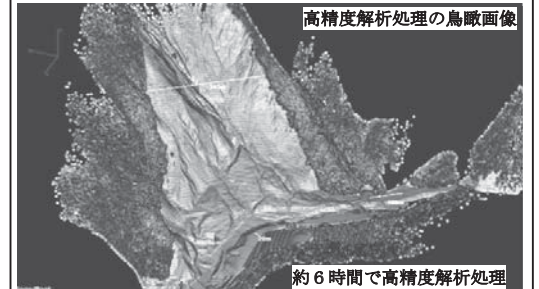


図6 速報処理（約30分）



約6時間で高精度解析処理

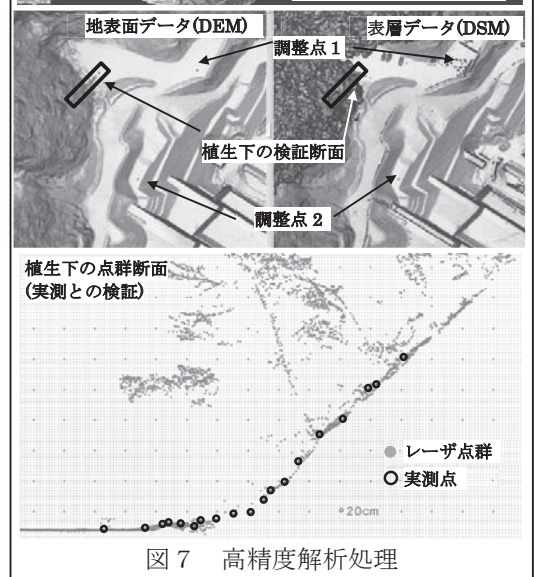


図7 高精度解析処理