

建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書【概要版】

- (1) 課 題 名：標定点無しの高精度測量を可能にするドローン測量技術の開発
- (2) 研 究 期 間：平成 29 年度～30 年度
- (3) 交 付 申 請 者 名：西山 哲（国立大学法人 岡山大学・教授）
- (4) 研 究 代 表 者 名：西山 哲（国立大学法人 岡山大学・教授）
- (5) 共 同 研 究 者 名：藤木三智成（国際航業(株)・技術サービス本部アセット推進部長）  
井上浩一（国際航業(株)・技術サービス本部社会インフラ部課長）  
島田徹（国際航業(株)・技術サービス本部防災部部長）  
名草一成（国際航業(株)・技術サービス本部地理空間技術部部長）
- (6) 補助金交付総額：16,218,000 円

(7) 技術研究開発の目的

これまでのドローン写真測量の公共測量マニュアルでは、測量の基準となる標定点（グランドコントロールポイント：GCP あるいは基準点と称する）を高密度に配置しなければ $\pm 50\text{mm}$ の測量を実施することが出来ない。これはシステムの低コスト化が優先された結果、測量時の機体の自己位置を正確に求めるための GNSS（全地球測位衛星システム：Global Navigation Satellite System）および IMU（慣性計測装置：inertial measurement unit）に関して、高精度の測位を可能とする高価な機器を搭載していないことに起因する。その結果、人の出入りが困難な広域を対象とする災害地では、標定点の設置作業が制約となり、ドローンを活用できない。その一方で、災害地対応用としてドローン測量機器を高度化することによって、標定点の設置が不要になるのかどうかの検証ができておらず、ドローン機器に搭載する GNSS や IMU を高コスト化する価値があるのか不明である。本研究では、GCP の設置が不要になる GNSS と IMU の性能を検討し、それらを搭載したドローンが GCP の設置無しでも $\pm 50\text{mm}$ の測量が可能になることを実証する。またその成果を活用して、ドローンを飛行させるだけで、リアルタイムかつ高精度の測量技術を実現することを目標とする。また強風および雨中でも飛行できる全天候型ドローンに測量機器を搭載したドローン測量技術は実現されていない。本研究では、前記の高精度測量を実現する技術と全天候飛行機体技術の融合を図り、災害時の悪天候下でもリアルタイムで測量できるドローン技術を開発する。さらに本ドローン測量技術の普及を図るため、これら高精度測量と安全運航技能を持った技術者を育成する教育システムの構築も同時に実現させ、汎用的技術として本研究成果を広めていく。

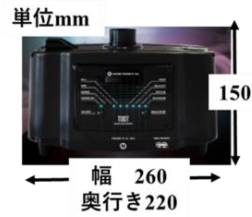
(8) 技術研究開発の内容と成果

【① 標定点設置作業無しでの高精度ドローン測量技術の実現】

① -1 現場実証実験を通してのドローン測量技術の完成

GCP を不要にする GNSS および IMU の性能検討は平成 29 年度で完了している。平成 30 年度は、開発した技術の有用性を現場実験により検証する工程をさらに実施すると共に、災害地対応により適するドローン測量として長距離飛行を可能にするための技術も加えて、本開発項目を完成させることを目指した。具体的な成果は次の通り。

・ハード開発の成果として、高性能 GNSS と IMU と一体化させた総重量 2.5kg 以下（バッテリー6個を搭載時は 10 kg）という軽量のスキャナによるレーザ測量を実現した。仕様を右図に示す。これにより、25 分間の飛行が可能になり、長距離および広範囲の領域を効率よく測量することが可能になった。以下、本機器を使用した結果を示す。



レーザ照射数	6万点/秒
スキャン回転数	30回転/秒
FOV	90度(±45度)
測距精度	4mm/50m、20mm/150m (1σ)
レーザ拡散角	0.3mrad
測位精度	水平±10mm、高さ±20mm
姿勢測定性能	ピッチ・ロール±0.01度、ヘディング±0.02度

・ドローンの自己位置を測位する GNSS が受信する衛星からの電波は、L1(1575MHz)および L2(1228MHz)の2つの周波数を搬送波とした電波信号が送られてくる。この二つの周波数を用いれば、

電離層による速度遅延など誤差要因を定量化できる。平成 29 年度は、この 2 周波 GNSS および IMU を搭載したドローンの精度検証を実施し、±50 mm の高精度写真測量およびレーザ測量が可能なることを実証した。しかし、GNSS は他のさまざまな影響でズレが発生する、あるいは山間部や都市部で GNSS 電波の受信が困難な場所があることが課題となっていた。そこで、平成 30 年度は、移動局の測位をリアルタイムかつ高精度に求める RTK 測量システムを活用したドローン測量の開発に取り組んだ。RTK 測量システムは実用化されているが、GNSS 足労では電子基準点との距離である基線長が長くなると精度が劣化する。そこで本研究開発では、まずドローン測量における基線長と精度の関係を求め、次に、基線長が大きい場合でも高精度測量が可能なる VRS を活用したドローン測量の効果を検証した。これは複数の電子基準点の観測データから、測量現場のごく近傍にあたかも基準点がある状態を作り出す技術である。図-1 は精度検証用に用いたドローンとフィールドの概要である。フィールド内には 2 級基準点を与点にして座標値を取得した標定点と検証点が設置されている。

実験場所：大阪府貝塚市貝塚ドローンフィールド

- ・ 飛行高度：50m、75mの2高度
- ・ 各高度で6コースの往復飛行
- ・ 秒速3mで飛行



検証点概観

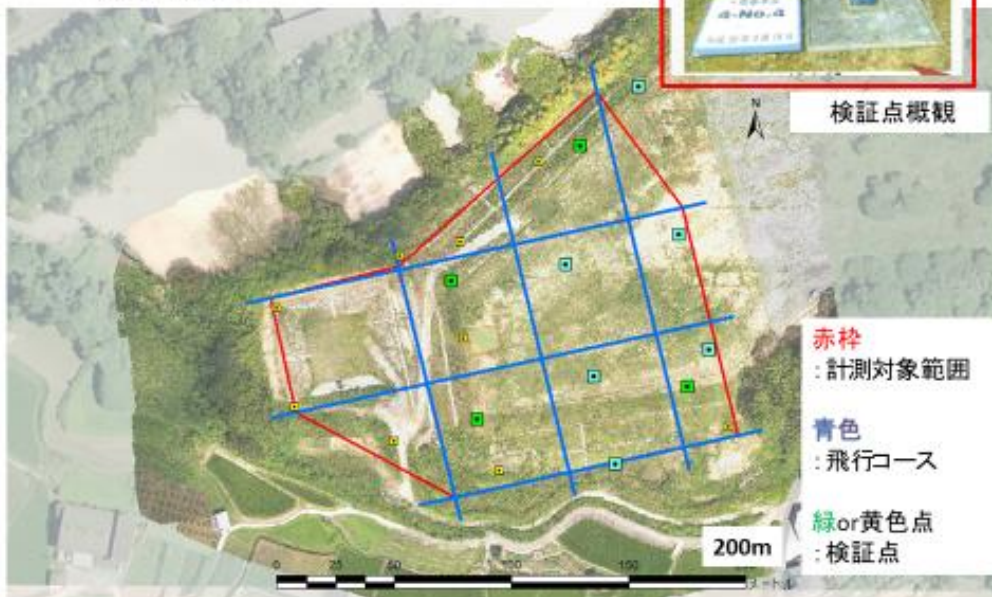


図-1 精度検証を実施したフィールドの概要

図-2には、当フィールドと周囲の電子基準点との距離を示すとともに、それらの電子基準点とフィールド内に VRS 仮想基準点を設けた場合の測量精度を示す。図に示すように、ドローン測量は基線長が 1km レベルでも±50 mm以上の精度になってしまう。また図では往路と復路の測量結果を示しており、これは再現性が良好であることを実証するものである。このように、RTK 測量の適用が困難な場合でも、高精度のドローンレーザ測量を可能にする技術を構築することができた。



図-2 精度検証実験結果の概要

① -2 リアルタイム測量を実現するソフト開発および計測技術のマニュアル化

リアルタイム測量のソフト開発に関しては、自動車両運転技術における自己位置推定と地図作成を同時に行う自律走行技術として開発されている SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を導入することで実現させた。中でも、SLAM 技術の中でも対象物の形状や位置合わせの手法として汎用化している ICP (Iterative Closest Point Algorithm) 技術を導入することにより、データの入力から数時間以内に出来方管理図や数量を算出するためのリアルタイム処理ソフトを構築した。

図-3 は i-Construction での使用を想定して、法面を計測した 2 時期のレーザ点群から ICP 解析により変位分布を算出した結果である。対象法面には変位が発生していなかったため、実際、法面上には変位が生じていない結果が得られたが、図中、法面上の金網等により影響を受けたノイズ (誤差) の他、植生の繁茂状態の相違あるいはコーンが 2 時期目の計測時に設置されたことを定量化している。このように、レーザ点群処理の経験の無い技術者でも i-Construction へ適用できる解析工程を実施することを可能にした。なお、ドローンの飛行からソフト開発まで一連の処理のマニュアル化は、次に記述する②-2「技術者育成機関での講習の実施などによる汎用化技術としての完成」の開発項目と連携した講習会あるいはセミナーにおいて、資料としてまとめたものを配布する等の活動を通してまとめた。

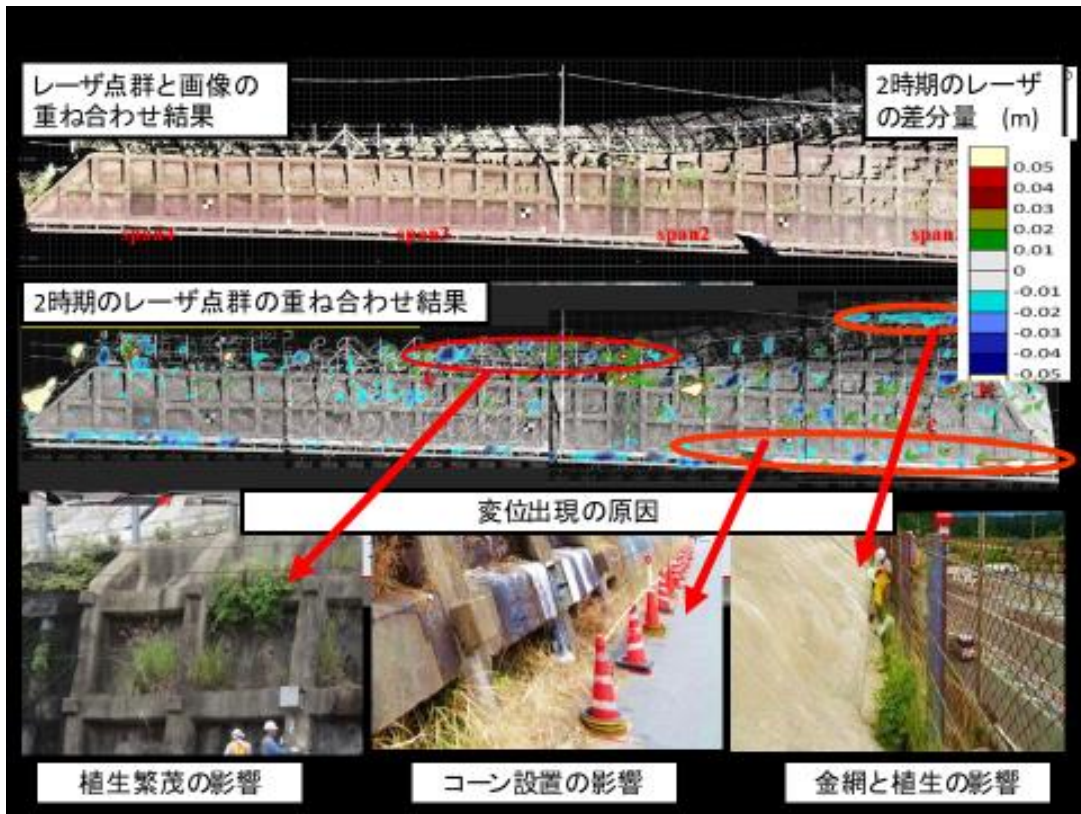


図-3 ICP 解析によるレーザー点群の自動重ね合わせ結果事例

【② 災害発生時環境下での測量技術の完成および安全かつ高精度測量技能の育成】

③ -1 全天候型高精度ドローンを用いた高精度測量技術の完成



左図は、平成 29 年度に完成させた 2 重反転 8 枚羽根構造を有するドローンの飛行試行の状況を示すものである。地上での風速約 8m/s、雨天（時間雨量 5mm）下の飛行であり、実績より約 10m/s の強風下でも飛行可能である。この全天候型ドローンによって、強風下でも出来形計測として $\pm 50\text{mm}$ 以下、数量計測として $\pm 100\text{mm}$ 以下の測量を実現するために必要な姿勢制御技術を検討し、強風下での高精度測量の可能性を取りまとめた。図-4 は、 $\pm 50\text{mm}$ の測量精度を得るために必要な姿勢制御を定量化したものである。

強風下でのドローンの姿勢角が大きくなっても理論的には $\pm 50\text{mm}$ の測量精度は確保できることが分かり、また図に示す赤点は図-1 のフィールドにて実際の測量実験にて得られた値であることから、全天候ドローンによる高精度測量が実施可能であることを実証した。

③-2 技術者育成機関での講習の実施などによる汎用化技術としての完成

平成 29 年度に準備した教育研究機構等での講習を実現させ、本技術の普及に向けた体制の整備を行うことで本研究開発による高精度測量技術の汎用化を実現させた。具体的には、既存のスクール事業のカリキュラムと本研究の計測マニュアルを連携させ、その内容を講習

会およびセミナーにて公開して普及させた。

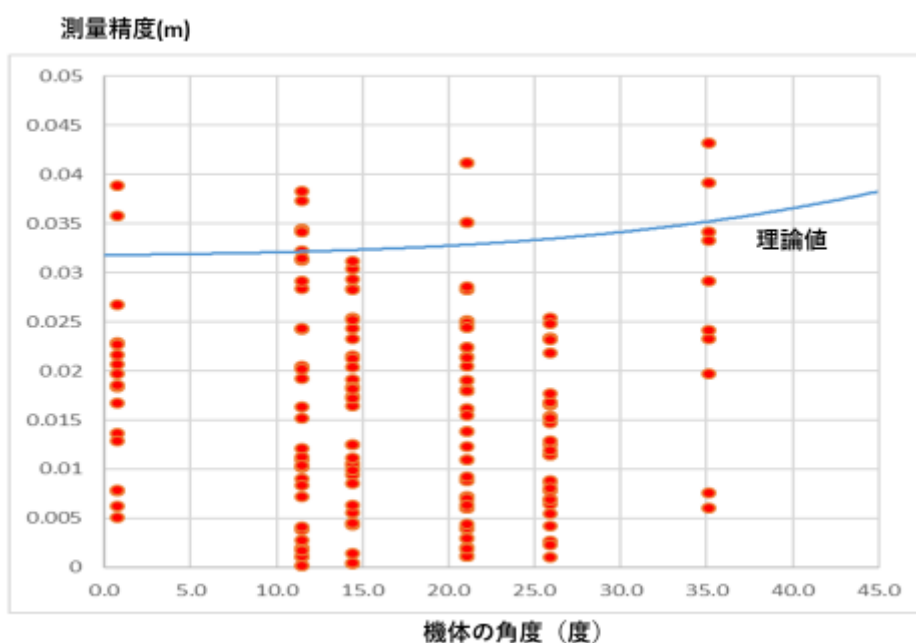


図-4 ドローン機体の角度に対して機体直下の測量精度検証結果

平成 29 年度に準備した教育研究機構等での講習を実現させ、本技術の普及に向けた体制の整備を行うことで高精度ドローン測量技術の汎用化を実現させた。具体的には、既存のスクール事業のカリキュラムと本研究の計測マニュアルを連携させ、次に講習会およびセミナーにて本研究開発の内容を公開し、汎用化させた。図-5 には、一般社団法人ドローン測量教育研究機構と連携して実施したセミナーのプログラム例を示す。

**DSERO 平成30年度 第2回セミナー**

**i-Constructionの推進と DSEROの取組み**

**2019 1/30 WED 11:45~17:15**

**会場 きゅりあん(品川区立総合区民会館)**

13:05~13:45	第一部 基調講演	i-Constructionの推進とドローン測量への期待	五道 仁美	(国土交通省 大臣官房 技術審議官)
13:45~14:25	第一部 特別講演 1	我が国のi-Construction・測量分野の今後	西山 哲	(岡山大学大学院 環境生命科学研究科 教授)
14:25~14:40	第二部 事例発表①	DJI社製PHANTOM 4 RTKの性能に関する検討	和久津 龍太	(国際航業株式会社)
14:40~14:55	第二部 事例発表②	ドローン測量支援ツールPADMS-SmartSOKURYO	柴 浩一	(株式会社/スコ)
14:55~15:10	第二部 事例発表③	i-Constructionを推進する上での地方業者の実情と課題	安田 晃昭	(株式会社安田測量)
15:10~15:20	休憩	展示ブース見学・商談等		
15:20~15:50	第二部 展示発表④	ドローン搭載型Lidarの活用事例 陸上から水底までのスキャン		株式会社アミューズワンセルフ

図-5 本成果の汎用化のために開催したセミナーのプログラム例

(9) 論文発表等に関する件数

原著論文 (査読あり)	原著論文 (査読なし)	原著論文以外 (新聞・雑誌等)	その他 (パネル・ポスター等)	合計
0 件	2 件	0 件	2 件	4 件

(10) 知的財産権に関する件数

特許権 (取得)	特許権 (出願)	その他 (実用新案・商標等)	合計
0 件	0 件	0 件	0 件

(11) 成果の実用化の見通し

本研究の成果は国土交通省近畿地方整備局における i-Construction のモデル事業への適用が検討されるに至った。具体的には、紀南河川国道事務所管内の国道 42 号すさみ串本道路有田上第二トンネル終点側坑口付近、同じく国道 42 号すさみ串本道路中平見トンネル終点側坑口あるいは国道 42 号すさみ串本道路宇の平見トンネル終点側坑口付近といった複数の現場への適用が検討されており、2019 年度には、これらの現場を対象にした本研究開発の成果に基づくドローン測量を実施する予定である。

さらに本研究開発の成果の普及と汎用化を図るため、講習会およびセミナーを実施したが、民間会社と本技術の導入する技術提携が実現した。具体的には、株式会社アミューズワンセル、深空株式会社、アイサンテクノロジー株式会社といったドローンメーカーが本成果を導入するに至った。2019 年度は前述の国土交通省での現場への適用が開始されることで、本成果の実用化がさらに広まると考える。

(12) その他

無 し