

「全自動ドローン」で測量と安全巡視を無人化

(株)フジタ 正会員 ○上原 広行
 (株)フジタ 正会員 松岡 祐仁
 (株)センシンロボティクス 長尾 健

1. はじめに

建設業の固有の課題として、就労者数の減少、低い労働生産性、長時間労働への対応などを抱えている。とくに建設現場で働く現場監督は、工程管理・原価管理・品質管理・安全管理などを含む施工管理の業務が多岐にわたり非常に多忙である。また、現場の進捗確認や安全管理のため、日常業務として現場職員が現地に赴き場内を巡視する必要がある。

そうした中、近年の建設現場では、ドローン（無人航空機，UAV，Unmanned Aerial Vehicle）の活用が急速に進んでいる。その用途は、工事の進捗管理や構造物の点検をはじめ、空撮写真を利用した現場の3Dモデルの作成、出来高管理などの活用事例が増えている。ただし、ドローンを飛行させる場合、操縦者と監視人が最低2名必要（写真-1）で、とくに測量に多くの時間がかかる土木現場ではドローン操縦業務の省力化が課題となっている。

そこで、現場オペレータの介在なしに、現場内の安全巡視と測量業務を行う建設現場向け「全自動ドローンシステム」を(株)センシンロボティクスと共同で開発し、建設現場において国内初となる目視外補助者なしレベル3飛行（図-1，無人地帯で補助者なしで飛行できるレベル，現場内はドローン飛行を認知している者のみで，無人地帯として認定される）を実現した。

本技術の開発は、建設現場における省力化・省人化を目標とし、2年前に開発に着手し、複数現場での実証試験による改良を繰り返し現場に対応できるよう機能性の向上に取り組んできた。

本論文では、「北陸新幹線、敦賀車両基地路盤他工事」（福井県敦賀市）と「令和元～4年度横断道羽ノ浦トンネル工事」（徳島県小松島市）における現場試行の検証結果について述べる。そして、全自動ドローンを運用し、日々安全巡視2回、写真測量1回の作業を1カ月間実施した結果、出来高管理（測量から土量算出）に必要な時間を従来の1/4に短縮するとともに、従来は必要だったドローンの操作、補助に携わる人員2名の省力化を達成した成果について報告する（図-2）。



写真-1 ドローンの飛行における人員について

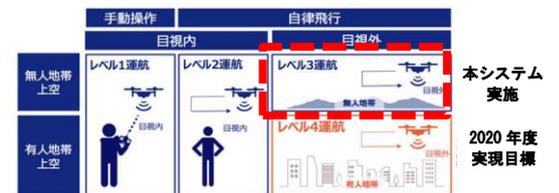


図-1 ドローンの飛行形態
 ※国土交通省「無人航空機の飛行形態」より抜粋

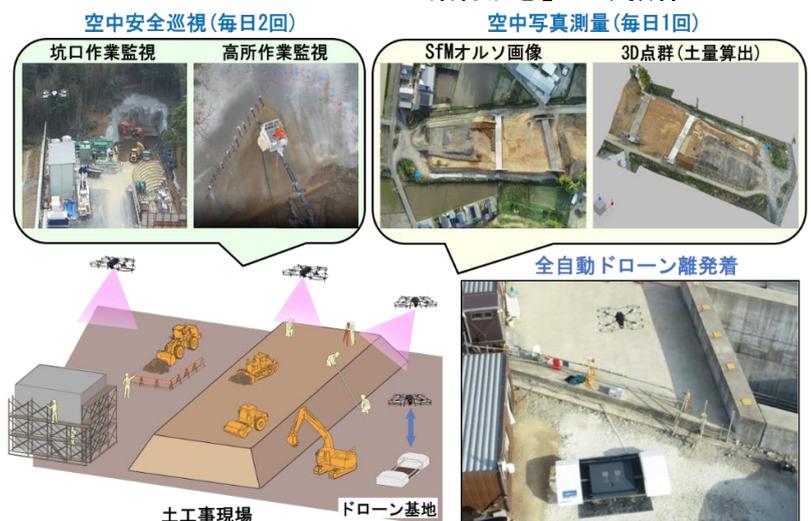


図-2 全自動ドローンによる測量・安全巡視

キーワード 自動，ドローン，UAV，無人化，安全巡視，写真測量

連絡先 〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 SYDビル (株)フジタ 土木本部土木エンジニアリングセンター TEL03-3796-2278

2. システムの概要

本システムは、自動離着陸、自動充電、開閉式ハッチなどを備えたドローン基地（「SENSYN Drone Hub」：株式会社センシンロボティクス提供）と、当社の建設現場での安全巡視ノウハウや、簡易にドローン測量が可能な「デイリードローン®（2018年2月発表の簡易ドローン測量技術）」、標定点と呼ばれる測量用の目印を設置せず、高精度な出来形計測が可能な「斜め往復撮影ドローン（2020年12月発表のドローン測量手法）」の技術を組み合わせたシステムである。指定時刻に基地からドローンが自動的に離陸し、事前に指定したルートを通り、測量と安全巡視を実施後、自動で着陸し、充電を実行する機能を現場運用レベルまで向上させた。

(1) ドローン基地

ドローン基地には、風速・気温・相対湿度・雨量・気圧を測る気象計が搭載され、飛行中に風速など設定条件の閾値を超えた場合、自動で基地へリターンする機能を搭載している。

また、自動離発着警報機搭載により、ドローンが離発着する際には回転灯とブザーで周囲に周知することができる。また、外部監視カメラによりドローンの離発着状況や飛行状況を常に監視することができる。このような補助システムの連携により、過酷な建設現場の環境に耐えうる堅牢性の高いシステムとなった。

着陸精度向上の工夫として、ドローン基地に、機体の着陸誘導のための赤外線センサーを搭載し、機体がドローン基地の直上まで降下した際に機体の赤外線センサーを認識、この情報を元に機体制御しドローン基地から位置がずれないように着陸制御を行う仕組みである。

機体の充電については、機体の脚部とドローン基地の金属面が接触することで充電を開始する。充電時間は満充電まで1時間（40分で80%）である。

また、本システムにはFlightAware（航空便リアルタイム追跡）機能が搭載され、周囲の航空機飛行状況をネット上で確認でき、より安全な飛行が可能である。

ドローン基地の仕様を表-1、システム構成図を図-3に示す。

(2) ドローン機体

ドローン機体は、SENSYN Mark-2を使用した。仕様は表-2に示す。搭載カメラの仕様を表-3、表-4に示す。

ドローン機体には、カメラを2台搭載できるものであり、1st ジンバルには、RGBカメラと赤外線カメラ、2nd ジンバルは用途に応じて、ズームカメラと写真測量用カメラに切り替えることができる（写真-2）。

表-1 ドローン基地仕様

サイズ	対角 88.8cm
重量	7.5kg (1st ジンバルのみ)
入力電源	25分 (ホバリング時)
動作保証温度	-10°C ~ +40°C
防水・防塵性能	IP54相当
耐風性能	10.0m/s
充電時間	(空の状態から) 約40分で80% 約1時間で満充電

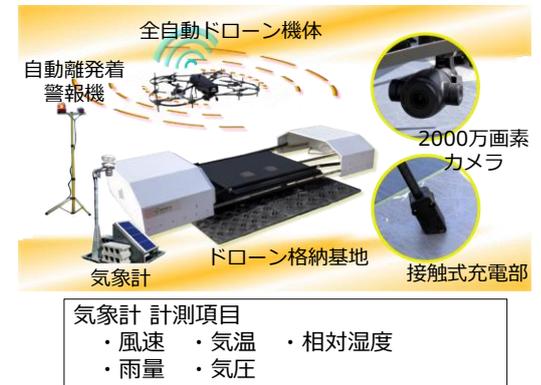


図-3 全自動ドローンシステム構成図

表-2 ドローン機体 (SENSYN Mark-2) 仕様

サイズ	1.89m(縦)*1.77m(横)*0.8m(高さ)	
重量	149kg	
入力	100V~240V AC / 16A	
動作保証温度	-10°C ~ +40°C	
防水・防塵性能	IP54相当	
耐久性能	100,000回以上の開閉テスト済み	

表-3 搭載カメラ仕様 (1st ジンバル)

カメラ：1stジンバル		
	RGB Camera (Fixed lens)	Thermal Camera
センサー	1/2.5" CMOS 8.5MP	FLIR Boson
サイズ	1920 (H) x 1080 (V) 200万画素	320 (H) x 256 (V) 8.5万画素
レンズ	DFOV=57.4 HFOV=47.3 EFL : 7.2mm	HFOV= 92 or 50 EFL : 2.3mm
ビデオ解像度	1920 x 1112 30fps	640 x 512 9fps

表-4 搭載カメラ仕様 (2nd ジンバル)

カメラ：2ndジンバル		
	20MP Camera	Zoom Camera
センサー	APS-C (23.2 x 15.4mm), "Exmor" CMOSセンサー	CMOS 1/2.3"
サイズ	5456 (H) x 3632 (V) 2,000万画素	4000 (H) x 3000 (V) 1,200万画素
レンズ	DFOV=57.4 HFOV=47.3 EFL : 7.2mm	HFOV= 92 or 50 EFL : 2.3mm
ビデオ解像度	—	—

光学Zoom [x] 1x ~ 3.5x
デジタルZoom [x] 1/2.5"



写真-2 ドローン機体

3. 本システムの現場試行

(1) 現場試行の概要

建設現場において、全自動ドローンの検証を以下の試行現場1と2で行った。

① 試行現場1 (写真-3)

工事名称 : 北陸新幹線, 敦賀車両基地路盤他

工事場所 : 福井県敦賀市

発注者 : 独立行政法人鉄道建設・

運輸施設整備支援機構大阪支社

検証期間 : 2019年3月, 12月 造成工にて試行

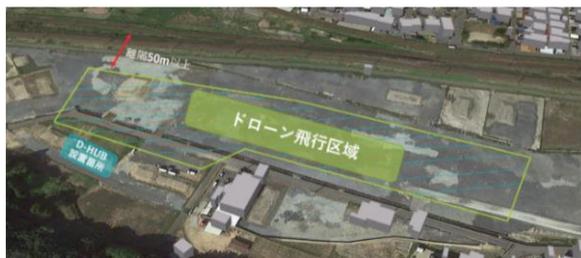


写真-3 試行現場全景 (車両基地造成)

② 試行現場2 (写真-4)

工事名称 : 令和元-4年度横断道

羽ノ浦トンネル工事

工事場所 : 徳島県小松島市櫛淵町久ヶ谷

発注者 : 国土交通省四国地方整備局

検証期間 : 2021年3月~4月 盛土工にて試行



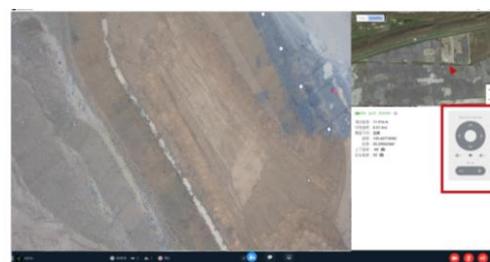
写真-4 試行現場全景 (トンネル工事盛土)

(2) 検証結果

a) 全自動飛行について

ドローン基地は、接触式の自動充電を実施するため、開閉式ハッチを備えた全天候仕様となっている。しかし、当初の試行現場1において、建設現場内の限られた設置条件(強風の影響を受けやすい裸地など)により、まれに自動着陸をミスするケース(手動に切替えて着陸)が発生し、成功率は90%程度となった。突発的な強風と、着陸時の誘導センサーに起因するシステム上の問題であったが、すぐに基地近傍におけるドローン高精度誘導の手法と赤外線センサーに改良を加え、1年後の試行現場2においては、1ヶ月の連続運行(119回飛行)で成功率を100%まで向上させ、頑強性と実用レベルの高さを実現した。

また、試行現場1では、超長距離におけるシステム運行管理の信頼性を検証するため、東京本社と現場福井県の約350km間での映像通信試験を実施し、2ndジンバルカメラの映像で1s程度の遅延となったが、遠隔拠点からでも本システムの運用に問題がないことを確認した(写真-5)。



ドローンカメラのリアルタイム映像



本社(東京)と現場(福井)の映像伝送の様子

写真-5 全自動ドローンの運用状況 (超長距離)

b) レベル3飛行について

レベル3の目視外飛行の必要条件は、操縦者がいないため、運行監視者にドローンの位置情報や電波状態、バッテリー残状態などを常時映し出すモニタと、さらにGPS機能に不具合が発生した場合に自動帰還システムが装備されていること、この安全が100%担保されないと運行は承認されない。

そこで、本システムは、これらの安全機能の不具合に対し、すぐにマニュアル操作に切り替えるバックアップ体制を装備していたが、システム改良後の試行現場2での目視外検証において、飛行中のトラブルは一切発生せず、目視外飛行の安全は確保された。

また、近隣に対する安全を考慮して、現場内エリアでレベル3飛行を実施中であることを工事看板や説明会をとおして周知徹底することで注意喚起を行った。

c) 安全巡視機能の検証

現場事務所や遠隔拠点から現場内の様子をリアルタイムに把握可能である(写真-6)。また、AI(人工知能)で対象物を自動抽出する機能(写真-7)も備え、撮影日の異なる同じ場所の画像を比較して現場の変化を把握できるメニューも搭載し、安全巡視業務の高度化を実現した。



(a) ドローン安全巡視飛行



(b) ドローン離発着 充電基地



(c) 安全監視モニタ

写真-6 全自動ドローンの運用状況



写真-7 自動安全巡視 AI 変状比較

d) 写真測量について

写真測量については、要素技術として簡易にドローン測量が可能な「デイリードローン®」と「斜め往復撮影ドローン」の技術があり、今回はそれを組み合わせて、簡易かつ高精度なシステムを確立した写真測量技術を可能にした。

全自動ドローンの写真測量の作業時間（準備～測量～解析）については、上記2つの技術を組み合わせただけであり、簡易ドローン測量と標定点不要なドローン測量手法により、測量面積2haのエリアにおいて、飛行時間を除く従来9時間から今回2時間（従来比1/4）と時短となった（表-6）。また、ドローン飛行時における操作者・監視者の人員についても省力化が可能になった。

全自動ドローンによる出来高測量の成果については、試行現場2において路体盛土工の土量算出の推移で集計した結果、ダンプ積載量からの地山換算と比較したところ、土量算出の差分は1%以内におさまった。検証点についても±5cm以内を満たす結果となった。写真-8の(a)に盛土箇所全景写真、(b)にSfm処理にて3D点群データを点群処理ソフト（福井コンピューター：TREND-POINT）で重ね合わせた結果の一例を示す。

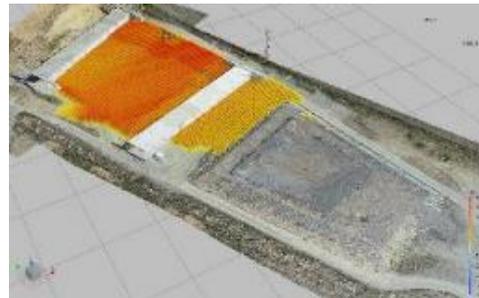
表-6 写真測量の作業時間比較

事前準備～測量～解析時間比較（測量面積2haで検証）				本システム使用	
	手順	適用機器	従来	デイリードローン*1	斜め往復撮影ドローン
事前準備	① 標定点計測	標定点 / GNSS搭載標定点	4時間	1時間	設定点なし
測量	② UAV飛行	ドローン / RTK-GNSS搭載ドローン	0.5時間	0.5時間	RTK-GNSS搭載ドローン*2 (0.5時間)
解析	③ 標識紐付け	SfM / MVS解析ソフト	5時間	2時間	2時間
	④ 点群処理				
	⑤ 点群編集	点群編集ソフト			
	⑥ 3D処理	3次元CAD			
時間合計			9時間	3時間 (従来比1/3)	2時間 (従来比1/4)

*1. 2018年2月に当社が発表した簡易ドローン測量技術
*2. RTK-GNSS測位：高精度GNSS測位技術



(a) 盛土箇所全景



(b) 土量算出画面 (一例) 3D点群データ

写真-8 盛土工 土量算出状況

4. おわりに

本システムは、建設現場では初の目視外飛行・補助者なし飛行レベル3を可能にしたことにより、省人化に加え、作業効率も比較的向上した。以下に5点の特徴を示す。

- ドローン飛行の操縦者と補助者（2名）が不要で100%の省人化
 - 現場の出来高測量と安全巡視業務の時短で現場管理の効率化
 - 独自ドローン技術を導入した自動写真測量で出来高測量業務の時間を従来の1/4に短縮
 - 日々の出来高を土量推移で把握でき工事原価を適正管理
 - 空撮により日々の施工進捗が可視化されるため、施工計画の変更などにも即時対応可能
- 今後は、大規模造成現場などでの導入を進め、トンネル坑内など衛星利用測位システム（GNSS）の利用が難しい条件での導入も検討を進める所存である。