3次元地理空間情報による自動飛行システム

ルーチェサーチ株式会社 渡辺 豊

1. はじめに

ドローンなど様々な移動体を用いた計測事業に取り組む目的で2011年に設立した当社は、開発設計から製造、飛行・計測、解析まで一気通貫で対応している点が大きな特徴である。設立時からドローン事業は行っていたが、この10年の間でドローンに関する技術の革新とともに、自然環境の中での活用範囲も拡大してきた。この結果、顧客のニーズに合わせた機体の開発ができ、様々な現場環境に耐え得る品質を確保し、目的にかなった成果をサービス提供している。

これまでのトピックスとして、2014年に首相 官邸で開催された「ロボット革命実現会議」では、 安倍首相の前で今後のロボットの代表例としてデ モフライトを実施した(写真-1)。2016年には、 小型のレーザ照射装置を搭載したドローンで、災



写真-1 首相官邸でのデモフライト

害現場の点群データを取得し、現場での短時間解析の後、3次元測量成果を提供したことに対し、第7回ロボット大賞(国土交通大臣賞)を受賞した(写真-2)。

2. ドローンの主要な活用実績

(1) 災害調査

豪雨災害や地震災害による現場の被害状況をいち早く調査するために、ドローンを活用することは、迅速性と安全性の面から注目されてきた。当社にとっては、2014年の広島土砂災害の調査が大規模災害調査の皮切りであった。災害場所は立入困難な上に、二次災害の危険性もあるため、ロボットの活用は理にかなっている。写真-3は土砂災害現場の撮影画像で、客観的にとらえた現場状況がドローンの有用性を示す日本初の事例となった。



写真-2 第7回ロボット大賞受賞



写真-3 広島土砂災害の撮影画像

しかしながら、上空からの撮影画像では、樹木で覆われている部分の地盤がどのようになっているか判明しない。そこで、カメラの代わりに小型レーザをドローンに搭載し、点群データを取得する手法を開発した。国土交通省の災害調査技術の現場検証に参画し、2016年に航空レーザプロファイラ測量と同精度の調査が可能であるとし、その活用を推奨するという評価を得た。

写真-4に示す 2016 年の熊本地震災害調査では、崩落部を含む斜面一帯をレーザ計測した。様々な現場経験を踏まえて開発した機体が、SPIDER-LX8 (写真-5) である。この機体は 8 枚のロータを上下反転型とし、アーム 4 本で支持している。機体サイズは、120 cm × 110 cm × 70 cm、



写真-4 熊本地震災害の調査



写真-5 レーザ計測の SPIDER-LX8

バッテリやレーザを含む総飛行重量は 24.6 kg, 搭載した小型レーザスキャナ (3.5 kg) からの照 射数は毎秒 50 万回,最大測定距離は 920 m であ る。レーザ計測用には、2 周波 GNSS 測位システ ムと高精度 IMU (Inertial Measurement Unit, 慣性計測ユニット)を搭載している。

通常の人力による調査手法では約2週間を要するところを、ドローンによる2時間のレーザ計測後、現場にあるPC上に図ー1の点群データを生成した。この図から、樹木で覆われた斜面に隠れていた地割れ幅が最大1mであることが判明した。この結果は、人命救助作業継続か否かの判断材料となった。後日、フィルタリング処置した地表面状況が写真-6である。

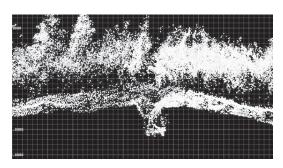


図-1 取得した点群データ

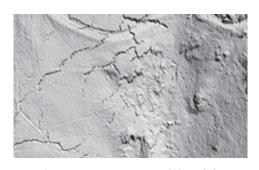


写真-6 フィルタリング後の地表面

日本では、2000年頃から航空レーザ計測が実業務として広範囲に行われるようになったが、有人固定翼機などは対地高度数 km 上空からレーザ計測して $1 m^2$ 当たり数点の点群を取得するのに対し、ドローンの場合は $100 \sim 150 \, m$ が対地高度となるため、得られる点群は $1 \, m^2$ 当たり $200 \sim 400$ 点と高密度となる。低高度飛行のため雲などの影響や反射によるノイズが少なく、これらのフィルタリング作業も容易となる利点を有している。

(2) 構造物点検

国内に存在する橋梁が70万橋と膨大で、また建設後50年以上経過したものが増加しており、緊急性が高い点検作業にロボットを活用できないかと、国土交通省が2013年度から現場検証の公募を開始した。当社はドローンによる構造物点検にあたり、画像撮影からオルソ画像作成、損傷状態抽出、点検調書作成支援までのシステムで参画した。また、2016/2017年度の2年間は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業に認定され、ドローンによる点検システムの改良を図った。

この結果、2019年の道路橋定期点検要領の改定に際し、点検支援技術の性能カタログに新技術として SPIDER が掲載され、ドローンによる撮影画像が近接目視点検へ支援可能となった。写真 - 7 は国土交通省の現場検証状況、写真 - 8 は撮影した画像の例で、0.2 mm のひび割れまで見えている。このシステムは橋梁だけでなく、ダム・港湾などのコンクリート構造物のほか、煙突やタンクなど民間事業の点検にも適用が可能である。



写真-7 ドローンによる橋梁点検(現場検証)

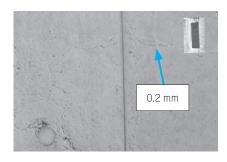


写真-8 橋脚のひび割れ

(3) 各種調査

災害調査や構造物点検のほか、ドローンの活用

ニーズには目覚しいものがある。海岸地帯,河川,湖沼などの植生調査,河床材の粒径と分布調査,森林地帯に太陽光発電設備を計画するための地盤調査,工場設備プラントの上空からの撮影など,新たなドローンの視点からの調査に用いられている。赤外線カメラの撮影により,コンクリート壁面の空洞・剥離調査,レーザ計測による落石調査,ドローンに気象観測用機器を搭載し、上空の気象データの取得,火山灰の分布調査など活用先は多方面にわたっている。

3. ドローンによるリアルタイム 高密度 3 次元計測の効果

(1) 技術概要

当社は、写真-9に示すドローン SPIDER-ST によるリアルタイム高密度 3 次元計測システムを 完成させた。8 枚ロータのドローンには、自己位置推定と現場地図作成を同時に行うことができる LiDAR-SLAM (Light Detection and Ranging-Simultaneous Localization and Mapping) 機能を 有している。これにより、レーザで取得した点群は、専門技術者による解析なしに現場でリアルタイムに 3 次元データを見ることができる点が大き な特徴である。

さらに、3次元空間の中で飛行ルートを定義することで、以降は自律飛行が実現する。加えて、その飛行ルート上に障害物を検知すると、衝突を回避すべくルートを自動的に変更する。その後は当初のルートに従い、自律飛行を継続する。こうした機能は、操縦者の負担を減らすことにつながる。



写真-9 SPIDER-ST 全景

(2) 開発の経緯

2章(1)で紹介した熊本地震災害の例は緊急的措置であり、通常はレーザ計測(測量)結果を現場から持ち帰り、3次元データ解析の経験技術者が解析ソフトを駆使して複雑な地形を再現するのが一般的である。また、計測結果の品質が判明するのが事務所に持ち帰った後のため、計測結果に思わぬミスを発見した場合、解析でカバーできる場合もあるが、現地を再計測するという手戻りが発生することもあり得る。

このため、現場は作業時間が短縮しても、後処 理解析に多大な時間と手間がかかってしまうこと になる。そこで、できるだけ現場で計測(測量) を完結できるように、また、こうした作業量を減 少させられないか、の要望を受けて開発した。

(3) 技術詳細説明

当社の機体(SPIDER-ST)はモータ軸間が80 cm, 自重 $11.2 \, \mathrm{kg}$, 飛行時間 $15 \sim 20 \, \mathrm{分の自動}$ 操縦が可能である。搭載した LiDAR-SLAM・センサは Topaz(NEAR EARTH 社製)で,大きさ $17 \, \mathrm{cm} \times 12 \, \mathrm{cm} \times 14 \, \mathrm{cm}$, 重量 $1.4 \, \mathrm{kg}$ である。レーザ本体は Velodyne Lidar 社の VLP-16で,計測距離 $0.5 \sim 100 \, \mathrm{m}$, 照射水平面 360° ,垂直に $\pm 15^\circ$ まで計測可能で, $1 \, \mathrm{秒間}$ に $30 \, \mathrm{万回照射}$ する機能を有する(写真-10)。

LiDAR-SLAM 機能により、LiDAR から周辺の物体の形状情報を得て、自己位置を明確に把握するとともに地図を作成していく。この時、前方のみならず周囲の様子も同時に判断することができる。また、LiDAR-SLAM によって作成される地図の点群間隔は狭く、密なデータが取得できるため、

3次元形状が判断しやすいことも利点である。さらに、LiDAR-SLAMのスキャニングでは周辺の明るさに影響されにくいため、橋梁下部工点検を行うときに逆光状況や明暗が激しい箇所など場所や時間帯によらずに計測を行うことができる。

ここで、従来のレーザ計測と SPIDER-ST によるレーザ計測の作業工程を比較してみる。従来の計測は、 $2 \sim 4$ 時間現場で作業し、事務所で最適軌跡解析・3 次元計測データ・オリジナルデータの作成を、経験ある解析技術者が解析ソフトを利用して約1日作業して、3 次元点群データが得られる。これに対して SPIDER-ST の場合は、同じ規模のエリアで、飛行直後約1時間の現場作業で、3 次元点群データが求められる。

SPIDER-STでは、飛行中に統合解析(マッチング)が自動的に行われることで、無駄なデータが蓄積されず、また連続面から逸脱した点群をノイズと判断し自動的に消去することから、データサイズを最小限に留めることができる。機体の着陸後、データの抜け漏れ、欠損部などを直ちに確認することで、後日取り直しとなるケースが大幅に減少する。

解析に必要なソフトの維持,技術力の高い技術者の確保,解析時間も不要となる点も含め,測量業務を大幅に改善できる要素がある。

(4) 適用事例 (崩落斜面の計測, 土砂量の算出)

写真 -11 は、2018年7月の西日本豪雨での崩落斜面をブルーシートで応急対策をしていることを示している。SPIDER-ST による飛行中に生成された 3 次元点群データとドローンの飛行ルート(青色)を図 -2 に示す。計測作業中、手元の PC



写真- 10 LiDAR-SLAM・ センサ



写真-11 崩落斜面



図-2 点群と飛行ルート

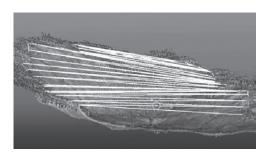


図-3 災害前の標高と崩落面の位置関係

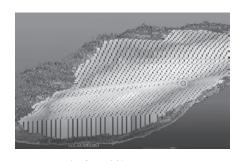


図-4 土砂量計算のためのメッシュ

表一 1 精度検証結果 (単位: m)									
測点	地上基準点座標(VRS)			レーザ計測座標			較差		
	X	Υ	Z	X	Y	Z	Х	Υ	Z
T1	63667.238	-174348.615	208.173	63667.219	-174348.641	208.111	-0.019	-0.026	-0.062
T2	63646.640	-174325.450	198.833	63646.673	-174325.431	198.833	0.033	0.019	0
Т3	63632.778	-174341.792	198.736	63632.784	-174341.797	198.770	0.006	-0.005	0.034
K1	63679.662	-174358.637	210.889	63679.662	- 174358.620	210.892	0	0.017	0.003
K2	63701.436	-174351.591	217.437	63701.444	-174351.564	217.462	0.008	0.027	0.025
K3	63674.730	-174344.703	209.122	63674.701	-174344.736	209.121	-0.029	-0.033	-0.001

上でこれらをモニターすることができる。

崩落斜面と災害前の標高の位置関係は図-3となり、次に崩落した土砂量を算出するために対象エリアを図-4に示すようにメッシュに切り、これらの差分から土砂量として $1.150 \, \mathrm{m}^3$ を算出した。

さらに、SPIDER-ST システムによる 3 次元点群データの精度検証のため、写真 - 11 の崩落斜面で、地上基準点座標(VRS)による測量結果と比較した。座標値の比較結果を表 - 1 に示す。6 測点の RMSE 誤差は、水平方向で 1.9 cm、鉛直方向で 3.0 cm となった。

(5) 適用分野及びメリット

この章で扱ってきた SPIDER-ST による 3次元データ計測のメリットをまとめてみると、作業効率の改善が上げられる。具体的には、3次元データ計測の取得時間の短縮、取得回数の削減、測量と設計作業の行き戻りの減少、等高線図・断面図などの成果品への活用が容易に見込めるなどがある。

土木分野などで多方面への適用が考えられ、設計施工調査における精度の良いペーパーロケーション、用地測量、工事測量分野では、工事進捗管理・3次元出来形管理、床掘やトンネル掘削などの土量算出が想定される。資材管理分野でも、資材の残量調査、在庫管理が可能である。災害調査

でも、(4)で紹介した崩落土砂量の算出が可能である。構造物維持管理における点検調査、林業での現況調査など、新たなニーズも期待される。

なお、このレーザ処理システムはドローンに搭載するだけでなく、手に携えて移動するハンドヘルド方式でも同様な結果が得られる。ドローンの操縦者がいなくても、歩行できる環境が整っていれば可能となる。

4. おわりに

ここ数年の間に、ドローンは飛躍的に技術が進歩し、様々な分野で社会に貢献できる段階に到達してきた。同時に、航空法も追加整備され、国土交通省への飛行申請・飛行許可の手続きが明確となった。操縦者育成のドローンスクールも開校され、万一に備えた保険制度も定着するなど、社会の中でドローンの活躍の場が定まってきている。

今後の動きとして、5G、クラウド、AIの時代が同時進行しており、例えばドローンとの間の通信や画像データ伝送面で飛躍と進展が見込める。 当社は、これまで同様、ドローンの更なる技術開発・計測技術の確立・システムの販売・レンタルへと進んでいくことにしている。