調査・報告

ドローンを活用した3D計測技術に関する調査研究

高橋　靖*　松本　好勝*　浦井　和彦*
馬場　大輔**　大野　宏***

A Report of Measurement technology for Three-dimentional Shape Data by Utilizing Drone

TAKAHASHI Yasushi*, MATSUMOTO Yoshikatsu*, URAI Kazuhiko*,
BABA Daisuke** and OHNO Hiroshi***

1. 緒　　言

近年，進歩が著しい無人航空機ドローンを活用した 3D 形状計測技術については，地形測量，自然災害調査，建築物・構造物の検査・点検などの用途で開発が進められている。

一方で県内には，鉄道車輌，船舶，建設機械，化学プラントなど，比較的大きな製品の製造に携わる企業が存在している。これらの大型製品がその性能を期待どおりに発揮するためには，寸法，形状，幾何公差など，作られた製品の計測とその精度管理が重要となる。

しかしながら現状では，大型の製品や部品の寸法測定は，生産者が独自で設備投資を行う場合，高価なものとなり，大きな負担となってしまうことに加え，測定自体も対象物が大きくなるほど困難となる。高価な測定機を導入し，計測を行っている企業も存在しているが，一般的には上記の理由から精度の高い計測を実施できない企業は多い。

そこで本調査研究では，このような問題を解決するため，ドローンを活用した 3D 形状計測技術について，現状の 3D 計測技術で実現できる精度の確認や技術課題の把握を行い，企業ニーズに整合した研究テーマの提案を探索することを目的に，調査研究を行った。

*　上越技術支援センター
**　下越技術支援センター
***　研究開発センター

2. 活動概要

2.1　セミナーの開催

ドローンの活用方法における最新技術，およびドローンを活用した三次元計測技術を県内企業へ情報提供するため，セミナーを 2 回開催した。内容を以下に示す。

第 1 回ドローン計測研究会
開催日：平成 28 年 8 月 9 日（火）
会場：上越テクノスクール　人材開発センター実習場，および体育館
参加者：61 社，105 名
演題 1：「UAV 利活用に必要な考え方」
講師：国立大学法人岐阜大学　工学部付属インフラマネジメント技術研究センター
教授　沢田 和秀 氏
内容：ドローンを用いた空中写真測量を土砂災害・落石対策に活用する事例を交えながら説明。ドローンは空中写真撮影・測量の分野において大変有効なツールである一方，運用目的を明確にすること，および運用方法の適性を事前に検討することの重要性を解説していただいた。
演題 2：「ドローンの基礎と現状～ロボット産業の展望」
講師：金井度量衡（株）　執行役員 UAV 企画開発部部長　吉田 雄一氏
内容：ドローンは空中写真撮影・測量のほか，

様々な分野において大変有効なツールである一方，システムとして脆弱なために運用する上でのトラブルやリスクがあり，法令，規則の遵守が求められる点などを啓発していただいた。

第 2 回ドローン計測研究会
開催日：平成 29 年 2 月 7 日（火）
会場：上越テクノスクール　人材開発センター実習場
参加者：34 社，51 名
演題 1：「デジタル写真測量の基礎から応用」
講師：ジオアカデミーコンサルタント
田中 邦一 氏
内容：デジタルカメラで撮影した画像から，撮影位置を再現し，3D 計測をする原理と，それに使われる主要なソフト，応用分野などについて解説していただいた。
演題 2：「ドローン計測研究会の調査報告 」
講師：上越技術支援センター　高橋 靖
内容：市販のデジタルカメラと SfM（Structure from Motion）ソフトを用いた 3D 計測の事例などを紹介するとともに，研究会の活動内容について説明した。

2.2　ニーズ調査

ドローンを活用した 3D 形状計測に関する県内企業ニーズを把握するために，企業訪問による聞き取り調査を実施した。調査では，①大型製品測定，②プラントの現物合わせ，③現場点検補修，の 3 つのニーズを想定し，該当する企業への訪問調査を実施した。また，セミナー開催時にアンケートを実施した。以下に，ニーズ調査，アンケート結果の内容を示す。

2.2.1　大型製品測定に関するニーズ調査

対象用途：船舶，鉄道車輌，建設機械などハンディスキャナーでは計測困難なメートルサイズの大型製品，構造物の 3D 形状測定，主要寸法測定など
対象企業：輸送機械製造業，一般機械製造業，金属製品製造業
調査結果：対象企業では，アーム式 3D 測定機や大型三次元測定機などを利用している。

2.2.2　プラントの現物合わせに関するニーズ調査

対象用途：現物合わせ時の現場計測，配管プラント，コンクリートブロックなどのボルトや取付穴の位置計測
対象企業：プラント設計メーカー
調査結果：地上型 3D レーザースキャナーを用いた計測方法が実用化されており，ドローン計測が必要とされない。

2.2.3　現場点検補修に関するニーズ調査

対象用途：風力発電，水力発電，火力発電，太陽光発電などの現場点検やメンテナンス，補修に必要な部品の寸法測定
対象企業：エネルギー機器関連メーカー，メンテナンスメーカー
調査結果：既にいろいろな企業によりドローンを用いた点検サービス技術の開発が進められている。検査方法が規格に定められている場合には，開発した検査技術が採用されないことも想定される。

2.2.4　アンケート結果

2 回実施したセミナーでは，建設業が参加者の 7 割以上を占め，測量における精度確保を具体的にどのように行えば良いか，ドローンによる飛行方法や撮影条件，解析方法などの課題が挙げられていた。一方，製造業の参加は 1 割と少なく，具体的なニーズはみられず，大型製品測定に関する具体的な技術提案が必要であるように感じられた。

2.3　技術動向調査

ドローンを計測装置のプラットフォームとして用いる場合，搭載するセンサには，①小型・

軽量，② 高速計測，高速処理，③安価であることが求められる。そのため，現時点では，レーザースキャンとデジタル写真測量による 3D 形状取得技術が実用化されているのみである。以下にその特徴を述べる。

2.3.1　レーザースキャン

レーザー光をパルス照射し，測定対象から反射するレーザー光との時間差より距離を求め（TOF 方式，位相差方式），GNSS/IMU から得られるセンサの位置・姿勢情報をもとに絶対座標を求め，点群データを収集する。ドローン向けに小型軽量のレーザースキャナーが販売されているが，数千万円と非常に高価である。

2.3.2　デジタル写真測量

ドローンによる空中写真を SfM ソフトにより処理する方法。SfM は重複した連続画像から，特徴点を自動抽出，ステレオマッチング，標定を行い，特徴点の相対座標を求め，別に求めた基準点により絶対座標を得る [1)]。デジタルカメラは一眼レフカメラが多く使用され，数万円から数十万円と比較的安価である。SfM ソフトは，100 万円くらいからフリーのものまで様々あり，その種類やグレードにより，性能，精度に違いがみられる [2)]。

3.　工業技術総合研究所の取り組み

3.1　予備試験

デジタル写真測量，SfM ソフトによる 3D 計測について検討するため，ドローンによる空中写真撮影から，SfM ソフトによる 3D 形状の構築までを検討した。

3.1.1　ドローンによる空中写真撮影

試験機器：DJI Phantom4pro+
試験方法：Point of interest により定点旋回飛行しながら静止画像を任意に撮影した。
飛行高度：＞5m
旋回半径：＞5m
飛行速度：1m/sec
測定対象：小型自動車（日産 AD バン，長さ 4.4m，幅 1.7m，高さ 1.5m）
撮影枚数：30 枚程度
天候：晴れ

3.1.2　空撮画像から 3D 形状の構築

使用ソフト：AgiSoft Photoscan Std
試験方法：SfM ソフトによる 3D 形状の構築
試験結果：図 1 に示す。透明のガラスの部分を中心に，細部の形状が構築できていない。概ね 3D 形状を構築できることはわかったが，まずはドローンに搭載する前の段階の写真測量技術について，更にノウハウを蓄積する必要があると考えられる。

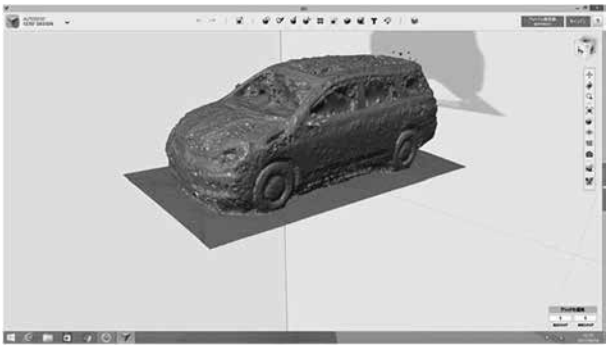

図 1　3D 形状の構築結果

3.2　ドローンを活用した 3D 計測技術の課題

3.2.1　ドローンの飛行制限

現在，日本国内ではドローン飛行の安全運用を確保するため，様々な法律や条例などで規制がかけられている。航空法に抵触する場合には，国土交通大臣の許可を得る必要がある。そのため，屋外で飛行する空域，飛行の方法については注意が必要である。また，航空法に抵触しない空域や飛行方法であっても，私有地で飛ばす場合には，その管理者への許可を得る必要がある。有料のドローンフィールドや屋内飛行であれば特に問題はない。

3.2.2 GPS に代わる屋内測位技術

ドローンを屋内や構造物の下を飛行させる場合は，GPS の電波が及ばないため，これに代わる方法でドローンの位置を測定し認識させる必要がある。この課題への対策としては，SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）や IMES（Indoor MEssaging System），iGPS（indoor GPS）などの技術が既に開発されており [3]，これらの実装が必要となると思われる。なお，市販のドローンでも，CCD カメラや赤外線センサ，超音波センサなどを搭載して安定飛行させるといった測位によらない方法での制御技術の進展がみられるため，これらの内蔵された機能を利用する方法も考えられる。

3.2.3 測定対象の適応性の検討

デジタル写真測量では，いかにピンボケのない写真を撮影するか，また，背景，照明をどのように設定するかなどの写真撮影技術に関するノウハウが必要とされる。また，レーザースキャンでは，透明体や，反射率の低い黒色の対象物など，データ取得の不得意な対象物の表面があり，表面テクスチャーの影響を除去する表面処理方法や適応対策についての検討が必要である。

3.2.4 SfM ソフトの検討

3D 計測に SfM を用いる場合，その精度を向上させるため，撮影枚数，オーバーラップ，サイドラップ，ソフトウェアの種類や処理条件の検討が必要である。

3.2.5 基準設定方法の検討

デジタル写真測量による 3D 計測においては，あらかじめその絶対座標を求めた対空標識の設置，測定対象物へのマーカーの貼付，あるいは一緒に撮影する基準尺の設置が必要になる。それらの基準設定方法が測定精度に大きく影響を与えるとされ，検討が必要である。

4. 結　　言

(1) 2 回のセミナーを開催し，延べ 95 社 156 名の参加があり好評を得た。参加者は建設業が 7 割以上を占め非常に関心が高いことがわかった。一方で製造業は 1 割程度と関心が低かった。

(2) ニーズ調査では，①大型製品測定，②プラントの現物合わせ，③現場点検補修，の 3 つを想定し調査を実施したが，研究テーマ提案につながるような有力なニーズは見つからなかった。また，測定レンジや測定精度は，対象により大きく異なること，既存技術と競合があることもわかった。

(3) SfM ソフトによる 3D 形状の構築を試みたが，細部の形状が再現できず，更にノウハウを蓄積する必要があると考えられる。

参考文献

1) 日本写真測量学会，三次元画像計測の基礎バンドル調整の理論と実践，2016.

2) 近津博文他，UAV 写真測量における三次元モデリングソフトウェアの性能評価，写真測量とリモートセンシング，vol.55, no.2，2016，pp.117-127.

3) 小特集「Indoor 3D～屋内マッピング・屋内測位・屋内ナビゲーションの最新研究」，写真測量とリモートセンシング，vol.55, no.4，2016，pp.232-253.