

BIM の活用によるドローンの屋内飛行システム 「BIM × Drone」の開発と運用実証

松原 拡平

建設現場が抱える労働生産性向上に向けて現場巡回業務の自動化技術に注目がされており、施工管理者に代わってドローンによる飛行巡回を可能とするドローンの屋内飛行システム「BIM × Drone」を開発した。ドローンに搭載された VSLAM と BIM を活用することで、GNSS が受信できない屋内環境であっても安定した自律飛行を可能とした。

キーワード：ドローン、BIM、省人化省力化、GNSS、VSLAM

1. はじめに

2019 年 4 月から施行された「働き方改革関連法案」による残業時間の上限規制は、建設業においては 5 年の猶予が与えられていたが、2024 年 4 月から施行が開始された。4 週 8 閉所など抜本的な対策は取られているものの、従来の労務手法を変えなければ生産性を維持することができない。

また新規入職者が減少している問題については、建設技能者だけでなく施工管理に携わる人の減少も顕著である。施工管理者の人手不足などによる影響から、建設現場における品質や安全管理機能の低下が危ぶまれている。

これらの問題に対して、施工管理者の省人化及び省力化につながる技術として巡回業務を自動化する技術が注目されている。施工管理者は建設現場の定期巡回を行い、現場の状況の把握と記録に努めているが、巡回業務が定常業務を占める割合が非常に高く、施工管理者の業務時間を圧迫している。そこで日々の業務の中で定常作業となっている現場巡回業務をロボットに置き換える、巡回時間を削減する。巡回に使用されるロボットは用途に合わせて UGV や四足歩行ロボットなど多岐に亘るが、建設現場のように床の環境が日々変わり、床の状況に左右されず空間全体を移動可能なドローン飛行による点検がより有為である。

ただしドローンを自動で飛行するためには常に自己位置をシステム上で管理するため、GNSS (Global Navigation Satellite System: 以下 GNSS) や RTK の技術を用いた位置情報を取得する必要がある。建設現場における巡回ルートの多くは上部に天井等で遮られ

た環境であるため、GNSS から位置情報を取得することが困難である。解決する方法として事前に手動飛行を行う教示作業（以下ティーチング）があるが、建設現場の環境が変化し飛行ルートを変更するたびに手動飛行とティーチングが必須となるため実用的ではない。そこで現在建設現場の高度化に期待がされている BIM (Building Information Modeling) の仮想空間がドローン飛行の実空間飛行に活用できるものとして着眼した（図-1）。

今回、BIM 上でドローンの飛行ルートを設定し、実空間でドローンの屋内飛行が可能になるシステム「BIM × Drone」（以下本屋内飛行システム）を開発し、建設現場での運用を実施した内容を紹介する。

2. 開発した内容

一般的に使用される屋外ドローンは GNSS から位

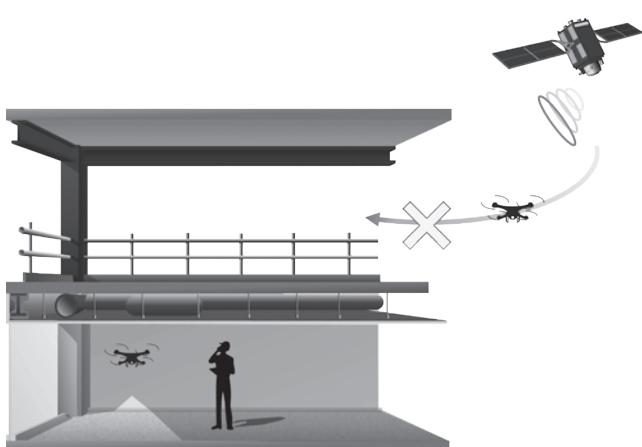


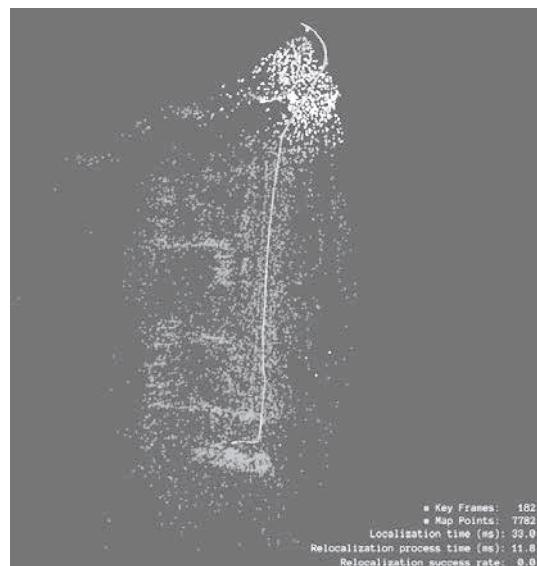
図-1 建設現場屋内飛行のイメージ

置情報を取得し、任意の地点に沿って飛行し、目的地まで到達する。一般的な GNSS を利用した場合の測位精度は 5 ~ 20 m であり、大まかにルート設定する際は不足ないが、飛行ルートに対して高い精度を求める際は RTK 測位を併用し、1 ~ 5 cm での飛行を実現する。しかし、屋内においては GNSS の電波が到達できないことや、都市部においては近接する建物の影響を受けることで正確に電波を受信することができないため、高精度な位置測位が困難である。対策としては壁や床に AR マーカやビーコンなどを活用し、ドローンに位置情報を認識させる方法があるが、今回開発した本屋内飛行システムはドローンに搭載された自己位置推定手法技術 Visual SLAM (以下 VSLAM) と 3D モデルである BIM を活用する。以下に開発した内容を解説する。



(1) ドローンおよび VSLAM について

本屋内飛行システムにはドローンは日本製の産業用ドローンである「ACSL Mini」(以下本ドローン) (写真一 1, 表一 1) を使用した。本ドローンには、ペイロードとして外部にカメラを取り付けることができ、巡回用途に合わせてカメラを換装して使用する。また本ドローンに内蔵したカメラ画像を独自のアルゴリズムで処理することによる VSLAM が標準搭載されている(図一 2)。VSLAM は、カメラ等のイメージセンサを



表一 1 本ドローンの仕様

| | |
|-----------|--|
| 構造 | 全長 (プロペラ範囲) : 704 mm 高さ : 300 mm 重量 (バッテリ一本含) : 3.15 kg |
| 推進システム | プロポ : 2.4 GHz データリンク : 920 MHz |
| ライト制御システム | オートパイロット ACSL AP3 |
| 性能 | 飛行速度 (完全自律飛行時) : 水平 : 10 m/s (GPS 環境下) 水平 : 2 m/s (非 GPS 環境下) 上昇下降 : 2 m/s 高度 : 150 m (航空法上限) 最大風圧抵抗 : 10 m/s 最大飛行時間 : 48 分 (ペイロード無し) 33 分 (カメラ・ジンバル搭載時) |
| バッテリ | 容量 : 10.000 mAh xl 公称電圧 : 22.2 V タイプ : LiP06S |
| 基本性能 | GPS 環境下、非 GPS 環境下での自律飛行の切り替えが可能 (飛行前) Visual SLAM を用いた非 GPS 環境下 (橋梁下、屋内、建物周辺など) での高精度な自己位置・方角推定 |
| オプション | 2.4 GHz 映像伝送 5.7 GHz 映像伝送 赤外線カメラ+可視光カメラ搭載 |

用いて自己位置の推定と周囲の3次元環境地図の作成を同時にを行う技術で、搭載しているロボットやドローンにおいて操作者の指示に頼らない自律移動が可能になり、衛星による位置測位ができない屋内環境においても自律飛行が可能である。通常の飛行であれば事前マニュアル飛行によるティーチングを活用する。マニュアル飛行時にVSLAMを活用し、ティーチングにより事前マップを生成し、以降の飛行においては事前マップを参照する。しかし建設現場においては環境の変化が日ごとに変化し、頻繁にマニュアル飛行によるティーチングを必要とする。

(2) BIM活用によるティーチングレスドローン飛行

ティーチングを必要としないドローン飛行をするためにBIMを活用した運用システムを開発した(図-3)。BIMを活用することによりドローンの飛行ルートを3次元モデル空間上で設定し、可視化が可能になった。また3次元モデル上での移動量をドローンへの移動量として指示を出すことでティーチングを不要とした飛行が可能となった。以下に使用方法について述べる。

飛行環境と同一のエリアのBIMデータをシステム上に登録し、3次元モデル空間上にドローンの飛行ルートを登録する。BIMモデルは緯度、経度情報を合わせるために設定画面上で地図に重ね合わせる。飛行ルートの設定には通過点(Way Point)を3次元に配置し、登録を行う。飛行開始の指示はPC上からドローンに対して指示を出す。BIMデータは飛行ルートの座標差分を抽出し、ドローン飛行にフィードバックする。またドローンはVSLAMを用いてリアルタイム

で環境地図を生成し飛行する。設定した目的地に到達したドローンは自動的に着陸を実施する。ドローンはペイロードに搭載されたカメラ等を用いて飛行に合わせて任意の点検巡回業務を実施する。

3. 建設現場運用実証について

上記のシステムを用いて実際の竣工間際の建設現場にて飛行実証を実施した。環境としては階段吹き抜けを通じて3次元に飛行ルートを設定し、飛行を実施した。設定した飛行ルートに対して安定した飛行を実現した。また現地の状況としては最上階までの施工が完了しており、GNSSの受信ができない環境であった。吹き抜け部については足場を解体しているため、巡回点検写真の撮影が困難な環境であったがドローンを使用した撮影により所定の場所付近の高画質の画像データを取得することができた(写真-2)。



写真-2 屋内飛行状況



図-3 BIMを活用した運用システム操作画面



写真一 3 開発した小型ドローン

4. 更なる開発について

本ドローンではドローンの幅が 704 mm あり、ドローンの飛行安定性を考慮すると通過できる開口幅が 1,500 mm 以上であった。建設現場での運用を考慮すると用途拡大のためより狭い開口幅にも対応する必要があり、小型のドローンを本屋内飛行システムのラインナップに追加すべく開発をした（写真一 3）。

開発した小型ドローンは縦横 300 mm かつ重さ約 1 kg と本ドローンと比較しても小型化に成功した。通過できる開口幅についても 900 mm となっており、狭小建設現場でも十分に運用が可能である。カメラ本体には VSLAM 用のカメラが内蔵されている。

5. おわりに

本稿では、BIM の活用によりドローンの屋内飛行が可能になるシステム「BIM×Drone」を開発し、建設現場での運用実証を実施した内容について報告した。

現在は建設現場の現場巡視を用途としているが、屋内での安定飛行機能を備えていることからさらなる利用を期待している。多様なセンサを新たに搭載することで、建設業だけでなく様々な業界のニーズに合わせた活用が可能になる。

J C M A

[筆者紹介]

松原 拓平（まつばら こうへい）
 (株)竹中工務店
 西日本機材センター 開発グループ
 主任

