

# シームレスドローン

＝RTK-GNSS と UWB センサーの併用による屋内外自動航行技術の開発＝

○荒木寿徳（㈱アース・アナライザー） 西川啓一（iシステムリサーチ㈱）  
三輪昌史（徳島大学）

## 1. はじめに

2020年度の日本国内におけるドローン関連の市場規模は1932億円にのぼり、2025年には6427億円に達すると見込まれている（図1）。利用される分野はこれまで農業用がずっと大部分を占めてきたが2020年度には遂に点検業務が農業用を上回り、今後ますます活用が拡大していくと予想されている（図2）。特にインフラや設備点検での利用が顕著となっており、橋梁や鉄塔、プラントやビルといった点検対象に対して適した機体と飛行方法が求められるようになってきている。このような状況からそれぞれに特化したソリューションが提供されはじめており、これまでドローン飛行に関しては操縦者が目視飛行でマニュアル操作するしかなかったケースも自動航行で飛行させることが可能となってきている。

しかし点検業務に使用する自動航行には点検対象に対して一定距離を保った飛行や、ピンポイントでの方向転換、狭隘部での飛行などが要求されるため高い飛行精度が求められることになる。これを解決するために我々はRTK-GNSSによるドローン自動航行技術の開発を進め、「高精度自動離着陸・航行ドローン」[1]を完成させた。このドローンの完成によって高層建築物の測定や、橋梁点検、法面の計測等の実績を積んできておりその飛行精度は実証済みである。

その「高精度自動離着陸・航行ドローン」もGNSS信号いわゆる全地球測位システムの位置情報があればこそ高い飛行精度を発揮できるわけだが、橋梁の下や工場の内部などのGNSS信号が遮断されてしまう場所ではたちまちその制御を失ってしまう。

しかも点検業務においては、決められた経路で決められたポイントの写真や動画データを取得してくることが求められるため、ただ飛行するだけでは用をなさない。GNSS信号を受信できるGNSS環境下と同じようにGNSS信号を受信できない非GNSS環境下でも位置情報を取得しながら飛行し、確実に必要なデータを取得してくるドローンを使用する必要がある。このようなニーズから、「シームレスドローン」を開発することになった。

本稿では屋外（GNSS環境下）と室内（非GNSS環境下）を自由に行き来し、位置情報を常に取得しながら自動航行するドローン（以下、シームレスドローン）について紹介する。



図1 ドローン市場の推移[2]

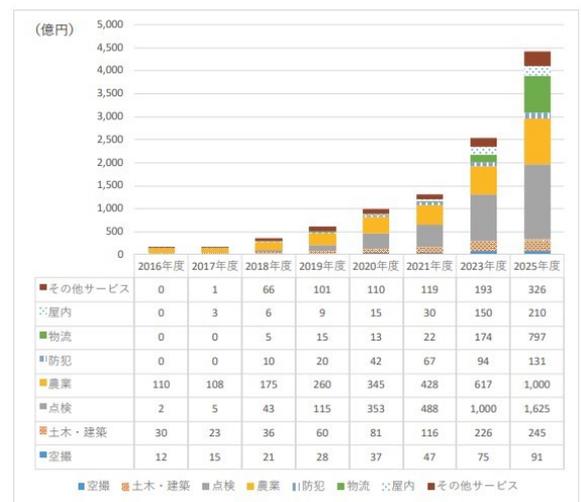


図2 ドローンの利用用途別推移[3]

## 2. シームレスドローンの仕組み

「高精度自動離着陸・航行ドローン」はマルチ衛星、マルチ周波数に対応した受信機を搭載しており、関西圏では40機前後の信号を受信する事が可能である。これら衛星から受信した電波に基準局からの補正データを加え、さらにマルチパスやノイズの解析を行い、精度を保てる電波のみを使用し測位する。これにより水平方向6mm、高さ方向10mm（メーカー値）の精度で飛行することが出来るというものである。

この「高精度自動離着陸・航行ドローン」に非GNSS環境下でも飛行できる機能を付加したものが「シームレスドローン」である。非GNSS環境下にあっても

衛星からの位置情報（全地球測位システム）と変わらぬ位置情報を受け取って自動航行する事が可能なため、これまで調査・点検が困難であった室内や橋梁下などの場所でも業務を可能にすることが出来る。

非 GNSS 環境下で位置情報を取得するための仕組みとして、まず飛行経路を網羅できる位置にセンサーを設置しセンサー間でドローンを感知できる空間を構築する。その空間を以下「セル」と呼ぶ。

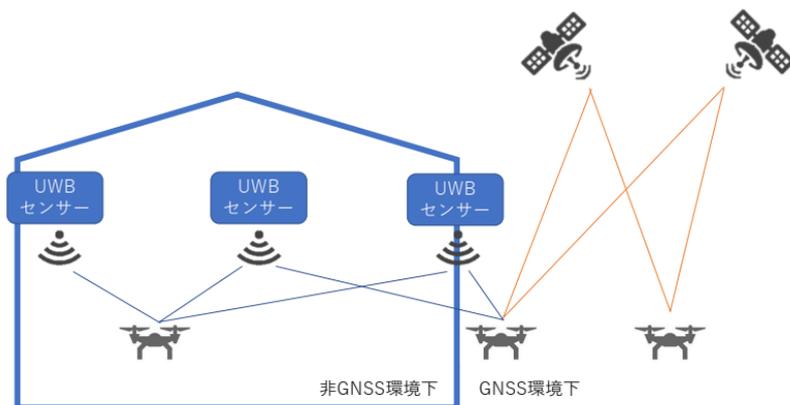


図3 シームレスドローンの仕組み



図4 センサユニット



図5 タグユニット

使用したセンサーとタグは Ubisense シリーズ 9000 を採用

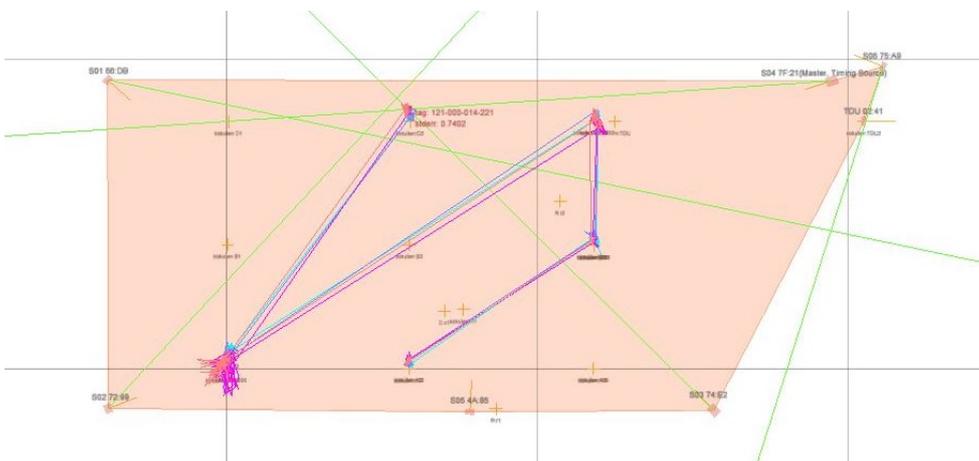


図6 セル内のセンサー位置とタグの軌跡

セルの中ではドローンに搭載したタグ（図 5）をセンサ（図 4）が検知し、3つ以上のセンサーが同時に検知することによってセル内でのドローンの位置が確定される。その確定された位置を GNSS 信号と同じ NMEA フォーマット情報に変換してドローンに送信すると、ドローンは屋外で飛行していた時と同様に GNSS 信号を受け取ったと認識し、室内でも

飛行プログラムの座標通りに飛ぶことになるわけである。

最初にタグを設置してセンサー感度を測定してみたが、タグが1個では位置情報のばらつきが大きく、そのままドローンに反映されてしまう。実証実験ではドローンに搭載するタグの個数を2個～4個と複数個載せ、信号受信の間隔を100msと200msで

それぞれ飛行させ、より精度良く飛べる組み合わせを見出そうとした。

図6はタグを4個搭載させたドローンの位置情報をプロットしたもので、このようにタグを感知したセンサーからの位置情報で4本の軌跡が得られる。図左下ではセンサー感度が弱い所にタグを搭載したドローンが進入すると位置情報にばらつきが生じることが表れている。このばらつきが大きいエリアではドローンが安定飛行することが出来ないためこれらの4つの位置情報を平均化して位置を確定させることにした。信号受信の間隔についてはセンサーの感知速度が400回/sであるため測定の限界は4個タグで受信間隔を100msとするのが最大となる。この測定限界の状態からタグを3個、2個と減らし受信間隔を100msから200msへと間隔を空ける測定を行った(図7)。



図7 実験条件

【ホバリング】	タグ2個	タグ3個	タグ4個
受信間隔 100ms	半径1.0m程度 △	半径1.0m程度 △	半径1.5m程度 ×
受信間隔 200ms	半径0.5m程度 ○	半径0.5m程度 ○	半径1.0m程度 △

表1 各条件でのホバリング結果

その実験の結果を表1に示す。

やはり測定限界のタグ4個で100msの受信間隔では位置情報のばらつきが大きくホバリングが安定しなかった。受信間隔を200msにした時の方が機体は安定しタグの数も2個と3個が安定して飛行できた。2個より3個の方が1つのタグ信号が切れても残りの2個で平均できるので、3個の方が望ましいと考える。この後のシームレスの実験にはタグ3個一受信時間200msの組み合わせを採用することにした。

### 3. シームレスの実験(信号の切替え)

いよいよ実際にドローンを室内(非GNSS環境下)に進入させる実験となるわけだが、ここで屋外でのGNSS信号と室内での位置情報(以下、疑似GNSS信号という)を切り替えるタイミングを考慮する必要がある。

切替えポイントとしての最良な場所はGNSS信号がRTK-FIX(以下FIXという)していて尚かつばらつきの少ない疑似GNSS信号を受信できる所でなければならない。それぞれの信号を受けることが可能なエリアを特定しそこで信号を切り替えるために数秒間ホバリングさせることとした。この手順で室内に進入及び脱出させる実験をそれぞれ行う。(図8参照)また実験用の飛行プログラムを図9のように作成し、屋外でもその飛行精度確認のために障害物バーの上20cmを飛行させた。(写真2参照)

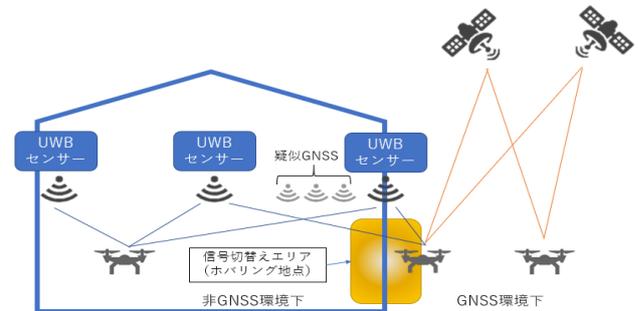


図8 信号切替え位置

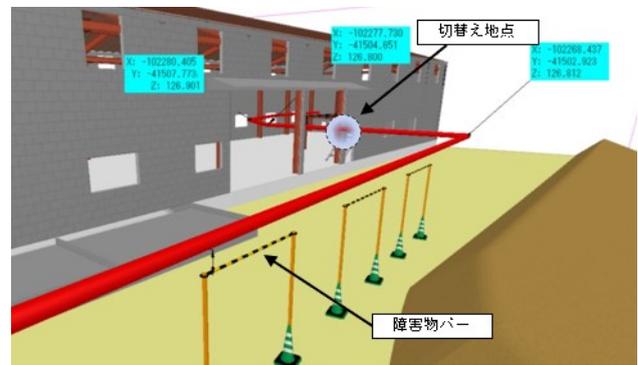


図9 飛行プログラム

まず進入時(屋外→室内)については、屋外のGNSS信号を受けながら飛行してくるため信号切替え地点までは安定して飛行できるが、疑似GNSS信号に切り替わった時にスムーズに飛行を継続できるかがポイントになる。そのためには室内に設置されたセルの空間が屋外の座標系(全地球測位システム)と正確にリンクしていることが必須であるので、各センサーの取付位置を測量系座標で正確に測定する。さらに信号切替え地点から疑似GNSS信号を採用して飛行する際にGNSS信号より疑似GNSS信号を優先させる必要がある。この点においてはホバリン

グしている間に疑似 GNSS 信号の数を増やし、屋外の GNSS 信号より数が上回った時に切り替わるシステムとした。(写真 1 参照)



写真 1 進入時の様子



写真 2 障害物バー20 cm上の飛行

次に脱出時（室内→屋外）であるが、進入時と同様に信号切替え地点まで疑似 GNSS 信号で飛行しホバリングしている間に GNSS 信号が FIX してから切り替わらなければならない。つまり FIX したのを確認してから疑似 GNSS 信号の数を減らし GNSS 信号に切替えるという手順になる。ここでのポイントはホバリングしている間にしっかり FIX するかが重要で、FIX しないまま屋外に出てしまうと飛行は継続できるものの正確かつ安定した飛行は実現できない。

以上の点を改良しながら実験を行い最適な切替えのタイミングを探った。GNSS 信号と疑似 GNSS 信号が共通して受信できるエリアはセンサーの配置を工夫することで広さや位置を変更する事が可能であり、飛行する場所に合わせて切替え地点の設定が求められるであろう。

今回の実験で GNSS 環境下から非 GNSS 環境下へ位置情報を取得しながら自動航行するというところは成功した。

今後の課題としては、信号の切替えをホバリングせずに進行しながら切替れるところまで進化させていきたいと考えている。

#### 4. おわりに

本稿で紹介したシームレスドローンは、調査・点検の分野で非常に有用性を発揮する可能性がある。

特にインフラメンテナンスにおいて、橋梁などの点検ではドローンの離着陸地点が非常に限られてしまう。その原因として水や草木で覆われているところがほとんどであるため真下から出発できる場所は非常に少ないのである。このドローンであれば別の場所から離着陸を行い橋梁下に入ってデータを取得して行くことができる。

これは橋梁に限らずトンネルやプラント、発電所などの複雑な飛行が求められる場所や、GNSS 信号が途中で途切れてしまう場所などにも応用されるであろう。

#### 参考文献

- [1] 西川啓一, 三輪昌史, 荒木寿徳: “高精度自動離着陸・航行ドローン: RTK-GNSS によるドローン自動飛行技術の開発”, 日本工業出版, 検査技術 24(12), 27-32, 2019-12.
- [2] ドローンビジネス調査報告書 2020, インプレス総合研究所, P26, 2020.
- [3] ドローンビジネス調査報告書 2020, インプレス総合研究所, P28, 2020.