

ドローン安全飛行に要する空域および機器の課題抽出と定量評価， ならびに技術的改善法の研究(第 1 報)

電子・情報担当 主幹研究員 幸 嘉平太

Extraction and quantitative evaluation of airspace and equipment issues required for UAV safe flight,
and research on technical improvement methods (1st Report)

Kaheita YUKI

Electronics and Information Technology Section

要 旨

ドローンのフライトエリアは、一般の航空機と大きく異なり、相当な低空域である。産業用途が少なかったエリアであるため、無線の伝搬や干渉、地磁気の補足、風況の変化など、知見に乏しい領域である。ドローンの安全運行には、この低空域の特性を正しく理解する必要がある。本研究では、3 要素の計測を上空で可能とするドローンの開発した。本稿では、環境評価ドローンの概要とテストフライトでの計測結果を紹介する(本研究は 10 月より、NEDO プロジェクト JPNP17004 の一環として取り組んだ)。

1. ドローンフライトエリアの特徴

ドローンのフライトエリアは、航空法により、高度 150m 未満と規定されている¹。航空機やヘリコプターが飛び交う高高度の空域と異なり、地上に近い低空エリアである。このような空域を飛び交う産業用機器は従前にはない。そのため、無線通信でのノイズ状況や伝搬特性、地磁気の状態、風況などの知見が乏しい。

2. フライトエリアでの課題

2.1. 無線通信

無人機であるドローンは、無線通信による遠隔操作を前提としている。地上から機体制御の信号を送る上り信号「テレコントロール」、機体から地上へ機体情報を送る下り信号「テレメトリ」。双方向通信の「リアルタイムかつ常時確保」がドローンの運用には必須である。空中撮影や安全確保のため、映像伝送を行うドローンも多い。その場合は、より広帯域の無線通信を要する。

登場当初よりは、無線通信の品質は大きく向上したが、現在でも、飛行中に無線通信が途切れる、いわゆるリンク切れの状態の発生は少なくない。テレコン・テレメトリーの通信が途絶える事態は、絶対に避けなければならない。衝突や墜落など、重大な事故に直結する要因となる²。

自動車・航空機・船舶などは、EMC 関連の規格や評価法が、長い歴史を経て確立されている。ドローンの無線装置については、電波法上の技適の有無が求められて

いる程度である。実装される無線通信装置の評価法について、公的な規格・基準が強く求められるが、実際の策定には当面の時間を要する³。

2.2. 地磁気センシング

高高度かつ無障害物の上空では、静磁界は安定的に磁北を示していると考えられるが、低空域や、構造物・金属体の周辺ではどのように擾乱されているかは不明である。実際に、コンパスエラー発生(飛行不能)との表示も珍しくない。ドローンのフライトにおいて、地磁気のセンシング性能も極めて重要である。飛行中のドローンは、「機体の位置については GNSS」、「機体の向きについては磁北」を参照する。自己位置を特定できても、地磁気による磁北を精度よく確定できなければ、自己回転を始めたり、八の字的な飛行を始めたりなど、フライトが不安定になる。向きを正確に把握できなければ、飛行方向の判断も難しい。

地磁気は当然ながら静磁界であるが、静磁界に関する規格や基準は少ない。直流給電での鉄道の車両内や架空沿線について、医療器具や TV 受像機に関する規格がある程度である。静磁界の影響を受ける産業用機器が少なかったため、また、地磁気自体が機器や人体に及ぼす影響が極小であるため、などが主な理由である。

2.3. 風況特性

マルチコプターを制御することで飛行するドローンは、原理的に、突風や煽り風に弱い。建築物や構造物、地

¹ 特別な許可・承認を得れば、高度 150m 超の飛行も可能である。

² 通信途絶による機体のロストや墜落という事故は、少なくない(出典：航空局ドローン事故報告書)。

³ ISO TC20/SC16 にて議論が進んでいる状態。

表の凹凸など、複雑化な形状で構成される低空域は、航空気象などの対象外であり、全く異なる風況が考えられる。

ドローンのフライトエリアである低空域における風況特性について、知見を積み重ねることも重要である。

3. 環境評価ドローンの開発

上記の考察を踏まえ、ドローンがフライトする低空域を対象とし、未知の要素の強い以下 3 要素の評価を行うドローンを設計・開発することとした。

3.1. イミュニティ面の評価

EMC の観点から機体の性能評価を考えた場合、機体からのエミッションノイズの評価も必要ではあるが、飛行中のドローンは近接する(接地する)対象機器がごく稀であり、ノイズの与対象がそもそも少ない。機体と操縦者、およびその通信経路のイミュニティ耐性の評価が、第一に重要となる⁴。本評価ドローンでは、上空における電波の伝搬・干渉の状況、感度抑圧を与える可能性のある電波源、イミュニティソースの有無調査を目的とした。リアルタイム式 USB 型スペクトラムアナライザを搭載し、フライト中、実時間での観測・ロギングを可能とした。同アナライザは小型・軽量・高速の特徴があり、ドローン搭載に好適である。

3.2. 地磁気センシングの評価

磁北を示す地磁気は、 $40\sim 50\mu\text{T}$ という微弱な静磁界であり、鉄筋コンクリートや金属構造物、電力関連施設など、外界環境によって容易に擾乱される。ドローン空域における磁気擾乱の程度も未知である。本評価ドローンに地磁気センシング用 3 軸テスラメーターを搭載することにより、さまざまな環境下における静磁気特性を調査することとした。

3.3. 風向・風速の評価

地表付近や構造物の周辺では、風向や風速が頻繁に変わることを感じることが多い。静磁界の評価と同じく、低空域や建築物の周辺・上下での風況変化について、見出せるパターンがあるのかどうか、どの程度の頻度・強度で変化するのか、などを評価したい。コンパス内蔵型ドローン専用 x-y 軸超音波タイプ風向風速計を実装した。

4. テストフライト・データ取得

環境評価ドローンの第一バージョンが、2 月に完成した。テストフライトを 3 回実施、3 種のデータ取得に成功した (Fig. 5)。文末に、取得データの一部を示す (Fig. 6~9)。

アナライザ出力からは、地上からの上り信号の減衰、機体からの下り信号の特殊性、近隣するバンドに制御信号を大きく上回る電波の存在、などが確認できた。

風速と風向が激しく変化すること、金属構造物やブリッジの構造物の周辺や配下では静磁界が大きく変化することも確認できた。

データ取得ポイントを増やすこと、データ傾向から有意な特性・特徴を抽出すること、などは、次期の課題である。

5. まとめ（今後）

本研究は、年度途中に採択された NEDO プロジェクト「無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発」に包含される形となった。同プロジェクトは 1.5 年間計画であり、現在は 0.5 年を経過、中間報告の段階である。時期的にデータ解析などが不十分であり、データ解析の詳細については、次報で述べたい。今後は、当センタ内敷地を中心に、

- ◆ テストフィールド内
- ◆ 金属フェンス近傍
- ◆ 鉄筋建築物近傍
- ◆ 電波塔近傍
- ◆ 橋梁類似構造物の上下

などでのフライトを予定している。

3 種センシングを同時に行うことを目指した設計であったが、搭載するノートパソコンやタブレットパソコン、USB ハブからのエミッションノイズが、機体本体のコントローラーに悪影響を及ぼすことがわかった。改良の余地を残している⁵。

多様な環境でのフライトを繰り返し、ドローン性能評価に必要なイミュニティ特性・磁気センサー特性・風況特性の知見を蓄積したい。風速計を水平に保つジンバル機構の実装、ペイロードの軽減、試験地の拡大、自動ロギングソフトウェアの開発、などが今後の課題である。

【本研究の成果の一部は、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) の委託業務 (JPNP17004) の結果、得られたものです】

⁴ ドローンの通信には、電波の超過密バンドである 2.4GHz 帯を多用する。

⁵ 当初に用いていた USB3.0 ハブ (一般市販品) が、2.4GHz にわたって、広域にノイズを発していることが分かり、自家中毒の状態であった

(フライトが不安定であった)。ドローンが外部ノイズに対して脆弱であることが判明した。

補足：環境評価ドローンの仕様

■ 機体本体 (Fig. 1)

- ◆ 機種名: DJI 製 Matrice600Pro
- ◆ 対角寸法: 1133mm
- ◆ 寸法: 1668×1518×727mm
- ◆ 重量: 9.5kg
- ◆ 最大上昇速度: 5 m/s
- ◆ 最大下降速度: 3 m/s
- ◆ 運用限界高度(海拔): 2500m
- ◆ 最大速度: 40km/h, 65km/h (無風状態)

■ ロギング装置

- ◆ ノートパソコン (Windows10/64bit, Core i7 10510U, RAM:8GB, SSD480GB)

■ スペクトラムアナライザ (Fig. 2)

- ◆ テクトロニクス製「RSA306B」

- ◆ RF 入力周波数レンジ: 9kHz～6.2GHz
- ◆ 確度: $\pm 20\text{ppm}$
- ◆ インピーダンス: 50Ω
- ◆ 中心周波数分解能: 1Hz (ブロック IQ 時)

■ 地磁気センサー (Fig. 3)

- ◆ x-y-z 軸検出ホール素子型テスラメーター
- ◆ 各軸検出精度: $0.1\mu\text{T}$

■ 風況計 (Fig. 4)

- ◆ 風速測定範囲: 0～75m/s
- ◆ 精度: $\pm 0.3\text{m/s}$ (0～16m/s)
- ◆ 風向測定範囲: 0～360°
- ◆ 風向分解能: 1°
- ◆ 精度: 4° RMS



Fig. 1 環境計測ドローン(全体)



Fig. 2 スペアナ部



Fig. 3 地磁気センサー部



Fig. 4 風況計部



Fig. 5 環境計測の様子



Fig. 6 インバウンド領域でのスペクトル例(高高度になるほど上り信号が減衰)

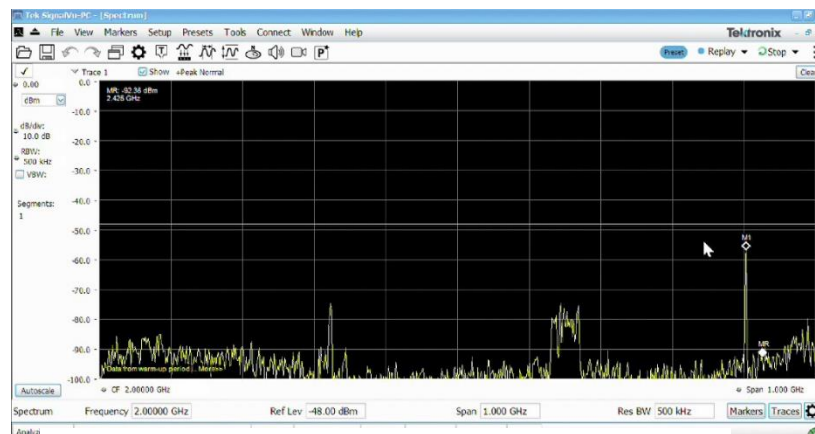


Fig. 7 アウトバンド領域でのスペクトル例 (高度 60m)

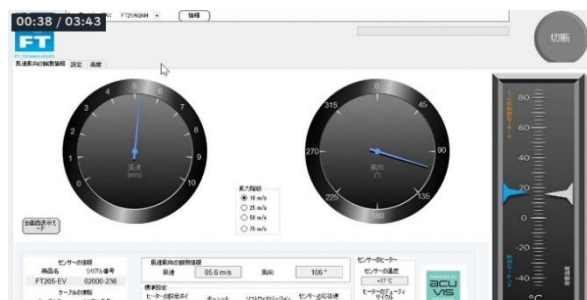


Fig. 8 風況変化の様子(風向・風速ともに激しく変化)

間	X軸[μ T]	Y軸[μ T]	Z軸[μ T]
02月16日14時03分16.7秒	-349.9	169.9	-293.5
02月16日14時03分16.7秒	-349.9	169.9	-293.5
02月16日14時03分16.8秒	-349.9	169.9	-293.5
02月16日14時03分16.9秒	-349.9	170.1	-293.6
02月16日14時03分17.0秒	-349.9	170.1	-293.6
02月16日14時03分17.1秒	-349.7	170	-293.7
02月16日14時03分17.2秒	-349.7	170	-293.7
02月16日14時03分17.3秒	-349.5	170.2	-293.8
02月16日14時03分17.4秒	-349.5	170.2	-293.8
02月16日14時03分17.5秒	-350	170.1	-293.5
02月16日14時03分17.6秒	-349.6	170	-293.7
02月16日14時03分17.7秒	-349.6	170	-293.7
02月16日14時03分17.8秒	-349.8	170.5	-294
02月16日14時03分17.9秒	-349.8	170.5	-294
02月16日14時03分18.0秒	-349.7	170.1	-293.8
02月16日14時03分18.1秒	-349.7	170.1	-293.8
02月16日14時03分18.2秒	-349.7	170.4	-293.7
02月16日14時03分18.3秒	-349.7	170.4	-293.7
02月16日14時03分18.4秒	-349.7	170	-293.7
02月16日14時03分18.5秒	-349.7	170	-293.7
02月16日14時03分18.6秒	-349.7	170	-293.7
02月16日14時03分18.7秒	-349.3	169.9	-293.4
02月16日14時03分18.8秒	-349.3	169.9	-293.4
02月16日14時03分18.9秒	-349.7	169.5	-293.8
02月16日14時03分19.0秒	-349.5	169.8	-293.4
02月16日14時03分19.1秒	-349.5	169.8	-293.4
02月16日14時03分19.2秒	-349.5	169.8	-293.4
02月16日14時03分19.3秒	-349.7	169.7	-294.2

Fig. 9 静磁界変化の様子(広場ではほぼ変化なし)