

2. 4GHz 帯ドローン無線運用の落とし穴

1. はじめに

急速に発展し続けているドローンの利活用は社会に不可欠な存在にもなろうとしている。ドローンは空中移動体であり、その制御やテレメトリングは無線通信が使用されているが三次元空間を移動するドローンに搭載される無線機器は移動体通信機器の中でも難易度が高い。現在大半のドローンの無線による操縦制御、データテレメータ、ドローンからの映像ダウンリンクは小電力データ通信システムの枠組みの中で無資格無申請で運用できる 2.4GHz 帯が使われている。これらの無線機器は周波数拡散技術や OFDM, MIMO といった最新の技術がどんどん使われてはいるが、「電波のごみ箱」となってしまう 2.4GHz 帯というバンドを使用しているが故の大きな落とし穴を認識する必要がある。

本レポートではドローン運用における 2.4GHz 帯運用についての問題点、運用での留意点について報告する。

2. 「電波のごみ箱」2.4GHz バンド(2400MHz-2500MHz)

2.4GHz 帯(2400-2500MHz)は国際的に ISM Band(Industry Scientific Medical Band)と呼ばれ、わが国では基本的にメーカーや販売店が技適を取得した無線機器であれば資格も届も不要で使える周波数帯である。

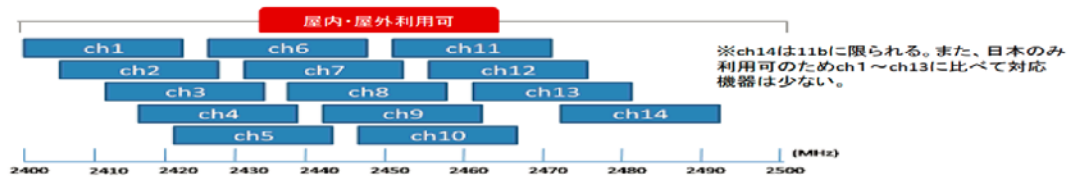
このために用途は多岐に及び「無法地帯化」しているといっても過言ではない。

現在 2.4GHz 帯で使用されている主な無線（高周波システム）は下記のようなものである。

2.4GHz 無線 LAN、構内無線局（移動体識別）、電波ビーコン (VICS)、移動衛星システム(DL)、電子レンジ、アマチュア無線、工業用 RF 発生器、ドローン映像 DL、データ通信機器、ラジコンプロポ、他特定小電力機器、etc.,

2.4GHz といえば誰もが無線 LAN(Wi-Fi)をイメージする。2.4GHz Wi-Fi はスマホで使うことも多いが、市街地ではスループットの低下でほぼ使えない経験をお持ちの方は多いと思う。

2.4GHz帯(11b, 11g, 11nが利用)



5GHz帯(11a, 11n, 11acが利用)

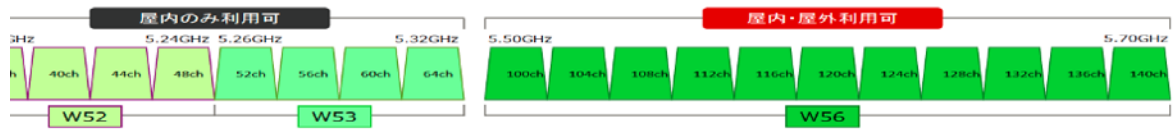


図 1 (Wi-Fi Band)

このため、脱 2.4GHz で、5GHz 帯への移行が進んでいる。5GHz の Wi-Fi バンドは現在 5.2GHz を中心とした W52 バンド、5.3GHz 帯を中心とした W53 バンド、および 5.6GHz を中心とした W56 バンドがあるがここも利用度が上がってきており混雑してきている。しかしながら 2.4GHz 帯と違って運用 CH がオーバーラップしておらず、帯域幅も広いので有利である。残念ながら図 1 に示したように日本では 5GHz 帯は全て空中利用が許可されていないため、ドローンに搭載しての上り下り運用ができないので、従って 2.4GHz 帯にしがみついているのが現状である。

3. 混信に強い FHSS

プロポと呼ばれるドローンの操縦用の無線機は近年では 2.4GHz の ISM 帯を使って周波数拡散方式の一つであるホッピングシステム(FH-SS:Frequency Hopping Spread Spectrum)による運用を行っている。図 2 に FH-SS を使った Bluetooth の概念図を示す。

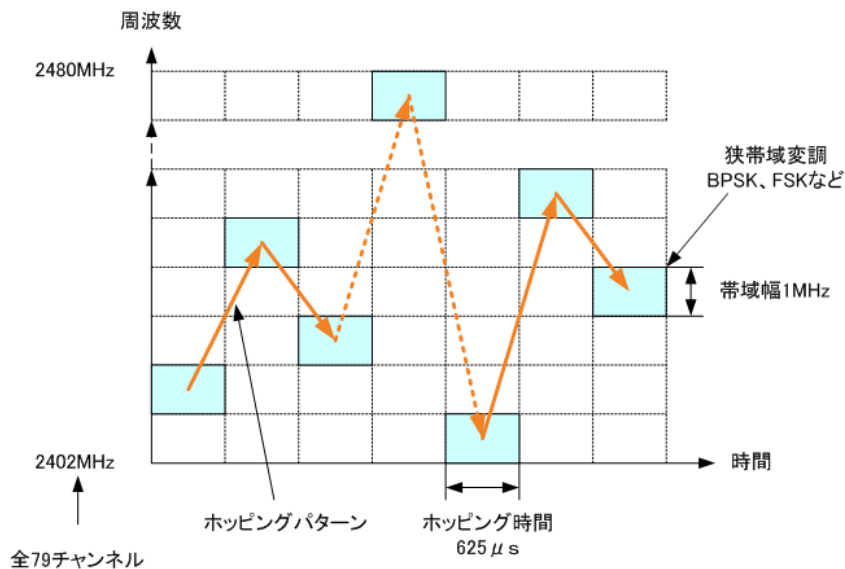


図 2 (FH-SS)

操縦用無線信号はデータ量も少なく低レートでもあるうえ電波密度も高く、2.4GHz 帯の Wi-Fi バンドを縦横無尽にホッピングするため、きわめてバンド内の他 CH 混信に強いが、後述する受信機側の感度抑圧に関しては非力である。

4. 映像のダウンリンク

ドローンの操縦に欠かせないのが FPV(First Person View)運用をするための機体に搭載したカメラ映像を無線で地上へダウンリンクすることであるが、2.4GHz 帯を使った OFDM 無線機が主流となっている。

帯域幅 10MHz から 20MHz を使用して伝送し、基本的には FDMA であるから、2.4GHz Wi-Fi バンドでは同時同場所での運用数は限られる。

専用の映像ダウンリンク無線機では混信 CH が出現すると、自動的に空き CH へ移動するように設計されていることが多いが、バンド全体が混信波で埋まってしまっているということにならない。

また、操縦用の FH-SS 制御信号も 2.4GHz 帯で使用するの、機体側では下りの映像送信信号が同じく機体に搭載した操縦用の受信機を混信・抑圧するため、TDD(Time Division Duplex)を使って、時分割多重運用をしていることが多い。

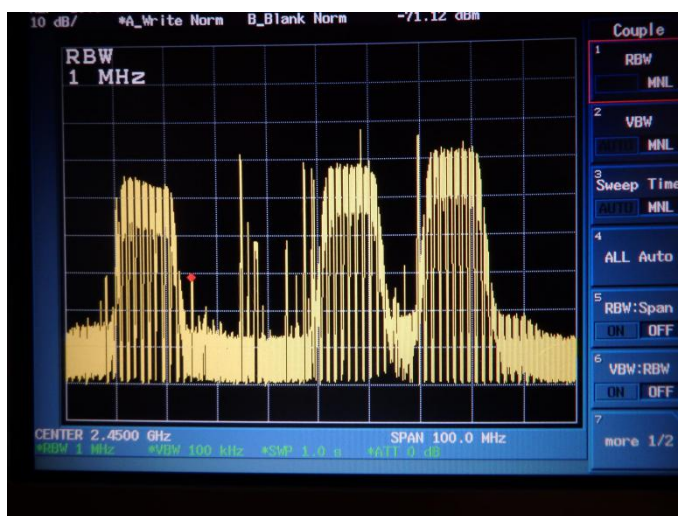


写真 1 (2.4GHz 帯での 3CH 同時運用)

DJI Light Bridge

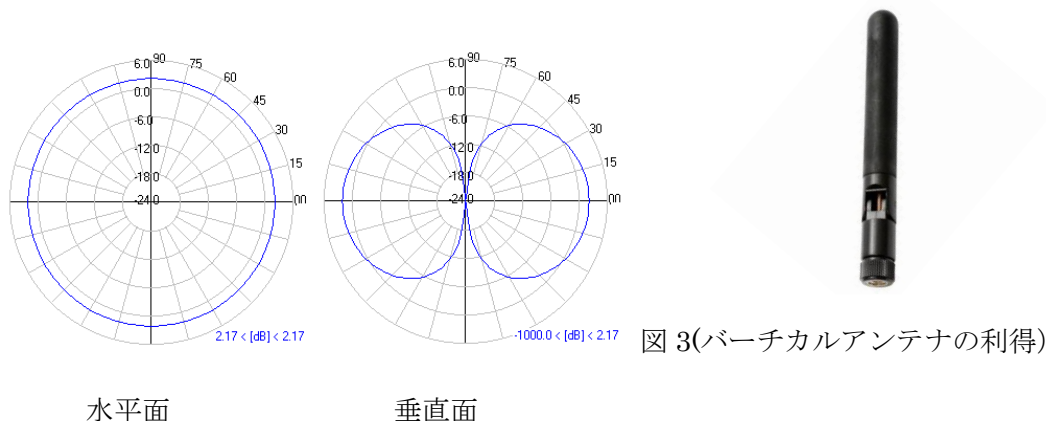
5. 2.4GHz の落とし穴 その1「混信」

2.4GHz 帯は前述のように「電波のごみ箱」であり、市街地においてはその帯域は電波で埋まっており弱肉強食の世界になっている。スマホや無線ルータから発射されている電波と強さはドローンで使っている無線機と基本的に変わりがなく、従って、ドローンを飛行させるエリアがこういった Wi-Fi 無線機器等の電波で埋まっている場所にはドローンの運用には大きな制限が出てくる。Wi-Fi 無線機もドローンの無線機もデジタル信号処理無線機であるから、昔のアナログ TV のように映像が交わることはないが、混信によりデータ伝送のスループットが低下して通信距離の低下、映像の劣化(ブロックノイズ)や伝送遅延(コマ落ち：フレームレートの低下)、映像のフリーズ、ブラックアウトが発生する。

郊外の山間地や海上等ではこういった干渉材料が少ないため、伝送路障害やマルチパスなどに留意すれば結構な距離の運用が可能だが、市街地ではそうは行かない。

6. 2.4GHz の落とし穴 その2「アンテナ」

2.4GHz 帯の無線機のアンテナの大半は「バーチカルアンテナ」と呼ばれる垂直偏波アンテナであり、水平面の指向性は円であるが垂直面での指向性は八の字を横にした形であり、特にエレメント方向への利得はほぼない。



バーチカルアンテナは遠方へ電波を飛ばすために通常エレメントを垂直に設置するため、真上方向は死角となる。無線通信の世界の常識では垂直方向の通信は衛星通信のようなものを除いてないが、ドローンによる空撮の世界ではごく当たり前にある。

DJI のファントムでは機体側のアンテナは脚の 4 本の支柱部分に格納されており、垂直下方に向いている。このアンテナは PC 板によるパターンアンテナであり、基本的な主指向性は機体横方向であって、真下への利得は小さい。地上の操縦側のアンテナも同様であり、基本的にアンテナエレメントから横方向へのビームが主であり、縦方向(エレメント延長上)へのビームは小さい。機体側のアンテナを変更することは難しいが、プロポ側のアンテナはビーム方向が横であることを認識して機体の方向へ対して常に垂直になるように心がける必要がある。



図 4. 操縦側のアンテナ

また、図4.のようにアンテナビーム方向がFPV用のタブレット端末で塞がれている状態は当然ながら好ましくない。

近年では工場や建築現場等の俯瞰図の空撮のニーズは高く、この場合は狭い場所から真上に空撮機体を上昇させることが多いが、電波伝搬では過酷な状態にあることを認識しなくてはならない。

7. 2.4GHzの落とし穴 その3(電力干渉:感度抑圧)

受信の感度抑圧とは、受信機が遠方から到来する微弱な電波を受信しているときに、近くにある強力な電波が入信すると、受信機の利得を絞り込んでしまい、その結果目的の電波が受信できなくなってしまう現象をいう。この強力な電波とは受信バンド外の電波であっても受信機のフロントエンド回路が受信する帯域であれば現象は起きてしまうところが怖い。マイクロエーブの小型汎用受信機ではアンテナ入力端子での妨害波分別は回路構成上狭帯域にはできなく、おおそオクターブバンド(1/2や2倍)の信号は受信してしまう。

2.4GHz帯でいうならば、1.5GHzぐらいから3GHzぐらいまでの強い電波は感知してしまう。従って、2.4GHz帯にひしめき合っているWi-Fi無線機の混信とは別な技術課題である。

現在2.4GHz帯(2400MHz-2500MHz)の上方及び下方の周波数には多くの無線機が稼働しているが、携帯電話基地局もその一つであり、市街地であるならいたるところのビルの屋上などの高所に設置されているので、2.4GHzで空中を飛行するドローンにとっては感度抑圧の原因となる大敵である。

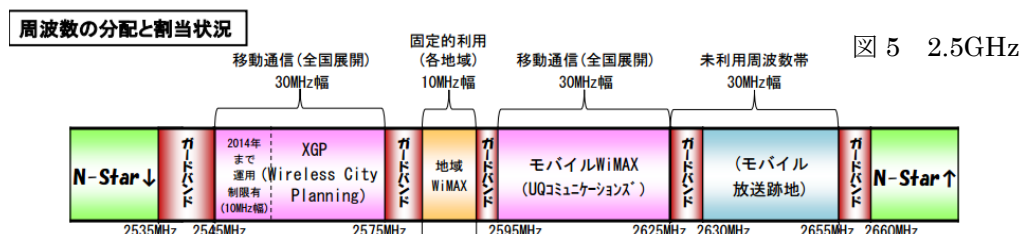


図5は2.4GHz帯の上方のバンドの2.5GHz帯を示す。LTE携帯無線やWiMAXに使われており、街中には基地局のアンテナが林立している。

筆者もビル群の俯瞰映像を依頼されて空撮していた時にビル屋上に設置されていた(後で気がついた)WiMAXの2.5G基地局の電波の感度抑圧を受けて、2.4GHz操縦信号がロスト、RTHがかかり、いきなりUターンしてきてあわてた経験がある。

こういった基地局から発射される出力電力は強大であり、ドローンの無線電波はあっさり降参してしまう。

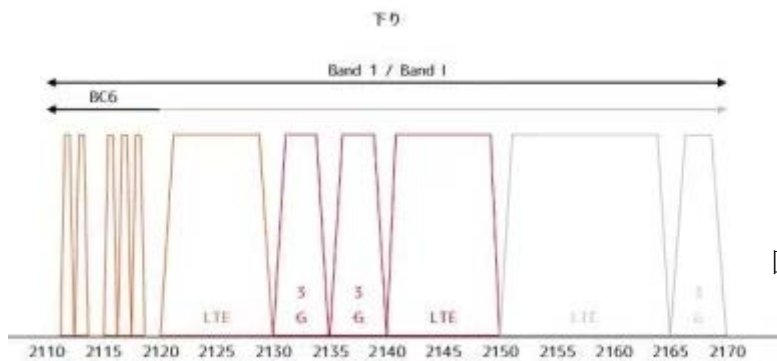


図6 2.1GHz帯

図6は2.4GHz帯の下方に位置する2.1GHz帯であるが、ここも携帯電話BAND1のLTEやG3が占領しており、ドローンが使う簡易で安い受信機では飛び込んでしまう周波数帯であるから要注意である。

携帯電話のバンドの700/800MHz/900MHzはドローンで使用している920MHzテレメータ無線に影響を与えるのでこれも要注意である。

鉄塔やビルの屋上に設置されているアンテナの外観からはどのバンドの無線局であるのかは専門家でない限り判別はできない。

とにかく電波塔やビルの屋上にアンテナ群が100m以内ある場所は要注意であり、近づかないことが肝要である。

8. まとめ

以上のように2.4GHz帯を使用して飛行するドローンでは留意する事項が多々ある。

特に市街地での空撮やイベント等の業務でドローンを運用する場合には要注意である。

イベント等での上空運用に際しては、いかに熟練したドローンオペレータであっても、操縦電波途絶は相当なリスクが発生することは自明である。

2.4GHzのバンド内の混雑状況の把握のみならず、2.4GHzの上下バンドの強力な基地局等の商用無線局の電波状況、電界強度を飛行の前に事前調査しておくことは運用のリスクヘッジとしての重要項目である。

2017年4月9日
日本ドローン無線協会 戸澤洋二