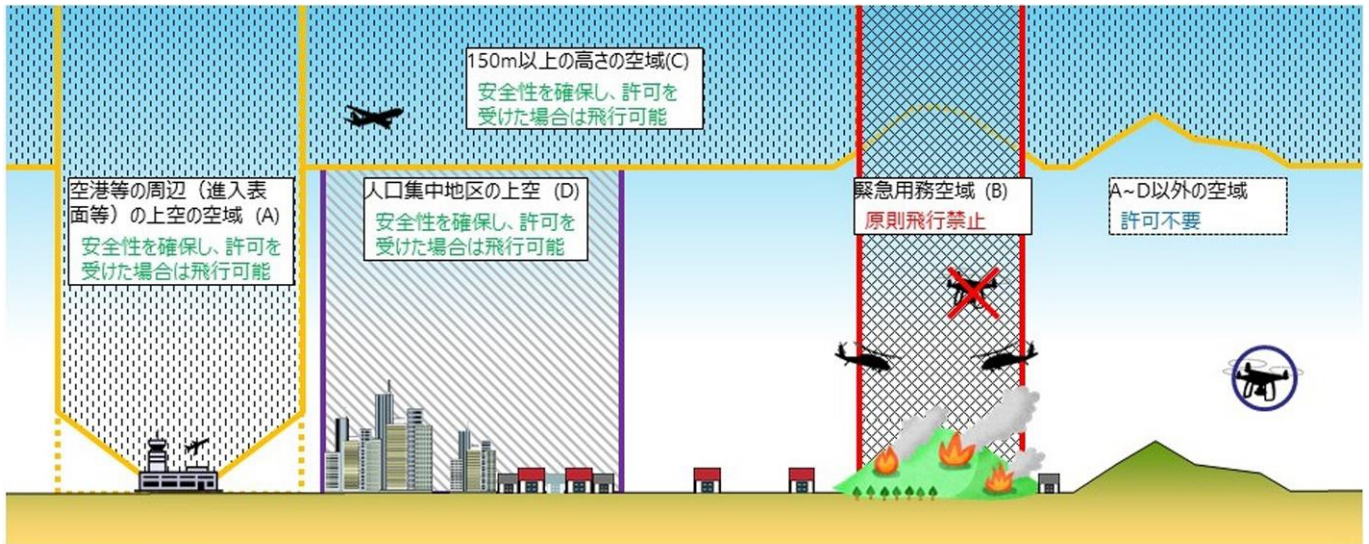




セーフティドローンパイロットを目指して・・・

マルチローター目視外飛行テキスト

～インテリジェントフライトを楽しむ～



アイラップ
DRONE SCHOOL

マルチローター目視外飛行テキスト

目 次

1	インテリジェントフライト機能を使いこなす	2
2	モニター画面の見方	3
3	プログラミング飛行のやり方	5
4	自動帰還の設定	8
5	マルチローターのカメラ設定	10
6	『ヒストグラム』の意味	15
7	絞りとシャッタースピード	16
8	マルチローターの各種安全機能	18
9	マルチローターの操縦は車の運転とよく似ている	20

1 インテリジェントフライト機能を使いこなす

スムーズなシーンを空撮するためマルチローターを自動で飛行させる機能です。マルチローターは、この機能を使うことで、高度な知性があるように飛びます。

専用アプリを使うことで可能となりますが、代表的な機能として、以下のようなものが有ります。



- ①通常...インテリジェントフライトモードを終了します。(通常の飛行に戻ります)
- ②ドロー...画面上で指をなぞって飛行コースを描画すると、その通りに飛行します。
- ③ジェスチャー...両手で万歳して手を振ると、その人を自動撮影します。
- ④アクティブトラック...ロックオンした被写体を認識して追跡します。
- ⑤タップフライ...画面上で一点を指定すると、そこに向かって直線飛行します。
- ⑥トライポッド...飛行速度を 1m/s 以下(=3.6km/h 以下)に制限します。



- ⑦地形フォローモード...使ったことがありません。
- ⑧ポイント・オブ・インタレスト...マルチローターを飛ばして経緯度上の一点(POI と呼びます)を指定し、そこからの距離を指定すると、POI の周りを旋回します。
- ⑨フォローミーモード...送信機を追跡します。AI 認識を行うアクティブトラックと似ていますが、フォローミーは送信機との距離が一定になるように送信機を追跡するもので、送信機を持たない操縦者は追跡しません。
- ⑩ウェイポイント...マルチローターを飛ばしてウェイポイントを記憶させると、ウェイポイントを結ぶ経路で自動飛行します。
- ⑪ホームロック...操縦者を中心に半径方向に離れる方向を『前』として認識します。例えば送信機のエルロンスティックを右に倒しっぱなしにすると、操縦者の周囲を右回りに旋回します。
- ⑫コースロックリセット...設定時に機体が向いている方位を『前』として認識します。例えば東を前と認識すれば、機体の向きに関わらずエレベータースティックを前に倒すと東に向かって進みます。

※ホームロックとコースロックリセットは、直線移動中にラダー舵を打ってもそのままの直線移動を続けます。

インテリジェントフライトモードは、送信機の一時停止ボタンを一度だけカチッと押すと一時停止し、長押しするとインテリジェントフライトモードを終了して通常飛行に戻ります。

2 モニター画面の見方



- ①ホームボタン...この画面の前の画面（ホーム画面）に戻ります。
- ②ステータスバー...機体の起動状態や飛行可能状態を表示します。
- ③フライトモード...Position、OPTI、Sport、Atti（※）を表示します。赤色は飛行不可、緑色かオレンジ色で飛行可です。
- (※)Position：（ポジション / 位置、位置一定）
 OPTI：Optical Flow(オプティカルフロー / 光学的な流れ、画像認識)
 Sport：（スポーツ / 運動）
 Atti：Attitude Control（アティチュードコントロール / 姿勢、姿勢制御）
- ④GPS 信号強度...GPS の強度と受信数を表示します。受信数は 16 個程度あれば良好です。
- ⑤ビジョン障害物回避...前方障害物センサー等が有効である事を表示します。無効のときは赤色になります。
- ⑥送信機信号強度...送信機の操縦電波の強度を表示します。
- ⑦ビデオリンク信号強度...マルチローターの映像を送信機に伝送する電波の強度を表示します。
- ⑧機体バッテリー残量...マルチローターのバッテリーの残量を表示します。30%以下になると警報が鳴ります。
- ⑨自動離陸/自動着陸...マルチローターを自動的に垂直離陸、あるいは自動的に垂直着陸させます。

- ⑩スマート RTH (Return to Home : リターントゥホーム) ...指定された高度まで上昇したのち、ホームポイントまで自動帰還します。
- ⑪インテリジェントフライトモード...ウェイポイント (Way Point : 道、航路の点) や POI (Point of Interest : ポイントオブインタレスト / 興味のあるポイント) 等の自動飛行を行う事ができます。
- ⑫コンパス(compass : 方位磁針)...送信機から見て、Nは真北の方向を表し、赤い三角形は機体の向きを表します。
- ⑬水平距離 D(distance : 距離)...マルチローターとホームポイントとの距離を表示します。
- ⑭飛行高度 H(Height : ハイト / 高さ)...地面からの高さを表示します。
- ⑮水平速度 H.S(Horizontal Speed : ホリゾンタルスピード) ...水平方向の移動速度を表示します。
- ⑯鉛直速度 V.S (Vertical Speed : バーティカルスピード) ...上昇下降の速度を表示します。
- ⑰VPS...マルチローターに内蔵されたビジョンポジショニングセンサーの地面からの高さを表示します。
- ⑱地図
- ⑲ISO 感度の設定値を表示します。
- ⑳シャッタースピードの設定値を表示します。
- ㉑F 値の設定値を表示します。
- ㉒露光補正の設定値を表示します。
- ㉓ホワイトバランスの設定値を表示します。
- ㉔撮影形式や SD カードの残容量を表示します。
- ㉕測光とフォーカスの切替を行います。
- ㉖オートフォーカス (AF) とマニュアルフォーカス (MF) の切替を行います。
- ㉗AE ロックの有効・無効を切り替えます。
- ㉘写真撮影モードと動画撮影モードを切り替えます。
- ㉙シャッターボタン
- ㉚カメラの各種設定画面を表示します。
- ㉛撮影した写真や動画のプレビュー画面を表示します。
- ㉜ジンバルスライダー...カメラのピッチ角を表示します。
- ㉝機体前方にある障害物までの測定距離を表示します。
- ㉞機体後方にある障害物までの測定距離を表示します。
- ㉟測光・フォーカスのターゲット位置
- ㊱機体バッテリー残量のインジケータ
- ㊲各種設定画面を表示します。

3 プログラミング飛行のやり方 ウェイポイント

- ① 図の左側にある送信機マークをタップします。



- ② 「ウェイポイント」を選択します。



- ③ 地図上で好きな場所をタップすると、ウェイポイントが作成されます。



- ④ 各ウェイポイントの下の数字は飛行高度です。デフォルトでは 50m と入力されていますが、変更する場合は、高度を変更したいウェイポイントをタップします。
- ⑤ 画面上部に現れた「上下にスワイプして値を調整」で、50m に指を当てて上下させると飛行高度を調節する事ができます。設定が完了したら「OK」を押します。



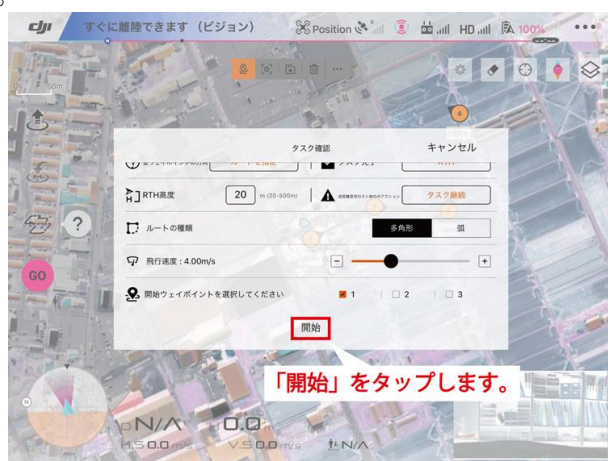
- ⑥ 画面上部のSDカードのようなマークをタップして作成したウェイポイントを保存します。こうしておけば、2つ右隣の三点リーダーから「タスクライブラリ」という項目に入ると、いま保存したウェイポイントがリスト管理されていますので、いつでもウェイポイントを呼び出すことができます。



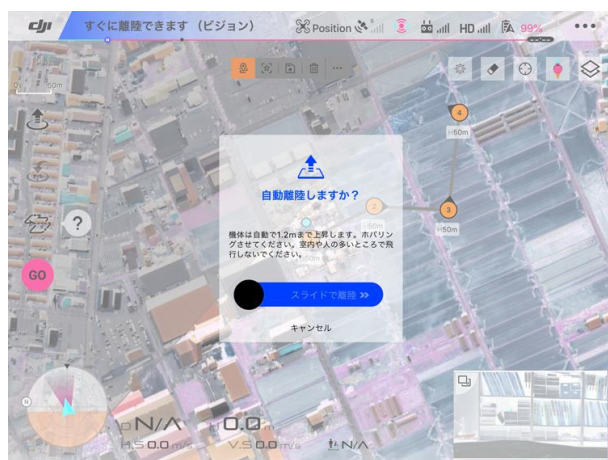
- ⑦-1 画面左側にある緑色の「GO」ボタンをタップすると自動飛行前の設定画面が現れます。「飛行」に示されているのは、ウェイポイント 1 から最後のウェイポイントまでの距離です。「長さ」に示されているのは、ウェイポイント 1 から最後のウェイポイントまでの飛行時間です。ここではタスク完了時の動作を RTH とし、RTH 高度を 20m に設定しています。(周囲にある建物などに衝突しない高度に設定して下さい)



⑦-2 設定が終わりましたら、タスク確認の画面を下にスクロールさせ、「開始」ボタンをタップします。



⑧ 「スライドで離陸」を右にスライドさせると、作成したウェイポイントで自動飛行を開始します。



4 自動帰還の設定

RTH の設定項目について

Phantom4 Pro と DJI GO 4 アプリで解説します。安全飛行において RTH の設定は必ず必要です。

① RTH の動作は飛行距離に応じて異なる

RTH はホームポイントとの距離に応じて異なる動作をします。特に距離 20m 未満の RTH 動作は機種等によって若干の差異があります(20m 未満では無条件で着陸等)。

②以降で RTH を解説しますが、その動作距離はオレンジ色で示した『距離 20m 以上～』です。

距離 3m 未満	RTH が作動してもその場に着陸。
距離 3m 以上～20m 未満	『現在の高度で RTH』※が ON の場合 高度 2.5m 以上...その高度で RTH 帰還。 高度 2.5m 未満...2.5m まで上昇後 RTH 帰還。
	『現在の高度で RTH』※が OFF の場合 RTH が作動してもその場に着陸。
距離 20m 以上～100m 未満	リターントゥホーム高度まで上昇後、3m/s(=10.8km/h)で RTH 帰還。 障害物検知機能も作動。
距離 100m 以上	リターントゥホーム高度まで上昇後、10m/s(=36km/h)で RTH 帰還。 障害物検知機能は作動しない。

※現在の高度で RTH...『MC パラメータ設定→現在の高度で RTH』から設定可能です。

② RTH 設定の準備

③で RTH 設定の種類を解説しますが、その全てに関わる設定です。

(1) ホームポイント設定

RTH でマルチローターが帰還する目的地をホームポイントと呼びます。ホームポイントは起動時や離陸時に自動的に認識されますが、手動設定も可能です。機体の現在位置若しくは送信機の現在位置をいつでも（飛行中でも）ホームポイントに設定できます。『MC パラメータ設定→ホームポイント設定』から設定可能です。

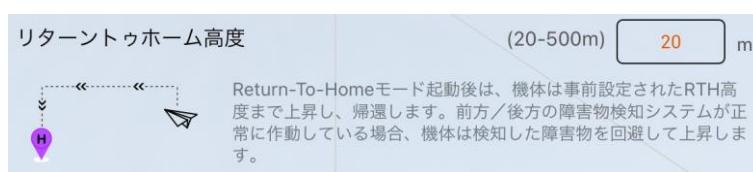


右端の 2 つのマークのうち、左側の矢のようなマークをタップすると機体の現在位置をホームポイントに設定します。右側の人型のマークをタップすると送信機の現在位置をホームポイントに設定します。

(2) リターントゥホーム高度

RTH で自動帰還させる飛行高度を設定します。建物に衝突しないように、想定される帰還ルートや周囲に存在する建物よりも高い高度を指定します。

『MC パラメータ設定→リターントゥホーム高度』から設定可能です。



③ RTH の種類と設定項目

RTH には次に示す 3 種類があります。

(1) スマート RTH

送信機の右のボタン(RTH ボタン)を長押しするか、モニターの RTH ボタン (下の画像) をタップすると起動します。送信機の RTH ボタンをもう一度カチッと押すと RTH をキャンセルできます。



(2) ローバッテリー RTH

バッテリー低下で帰還できなくなる前に自動帰還する RTH です。『機体のバッテリー』で次の 2 種類を設定可能です。

(a) 重度のバッテリーアラーム

ローバッテリー RTH を開始する電圧を指定します。デフォルトは 10% です。帰還できないと判断された場合、その場に着陸します。回収不可能な場所での飛行や海上飛行の際には要注意です。



(b) スマートゴーホーム

上述の『重度のバッテリーアラーム』によらず、電圧の残量と飛行距離の関係から帰還不能になる電圧を自動で決定し、この電圧を下回る前に自動帰還する RTH です。『低バッテリーレベル警告』が出てから 10 秒以上操作しないと RTH が作動します。オンにする事を推奨します。



(c) 低電圧警告 (これは RTH 機能ではありません)

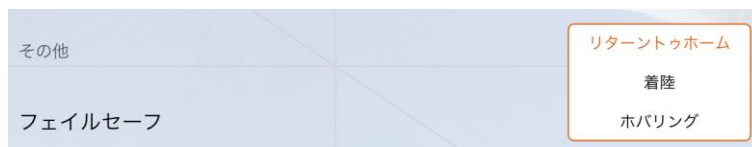
警報を鳴らす電圧を指定します。デフォルトは 30% です。警報が鳴ったら直ちに帰還させて下さい。



(3) フェイルセーフ RTH

何らかの原因で操縦電波をロストしてから 3 秒以上経過すると RTH が作動します。完全自動制御となる為、障害物検知機能や高度設定が重要になります。操縦電波が回復すると RTH は終了して操縦可能になります。

『MC パラメータ設定→詳細設定→フェイルセーフ』で設定可能です。



5 マルチローターのカメラ設定

Phantom4 Pro、DJI GO4 アプリで解説します。

① カメラ設定画面

DJI GO4 アプリにおいて、以下画像で示す場所をタップするとカメラ設定の画面が表示されます。



(1) カメラ設定画面その 1



(a)Auto は、絞りとシャッタースピードを自動決定します。

(b)A (Aperture : アパーチュア / レンズ口径) は、絞り優先モード。F 値を指定するとシャッタースピードを自動決定します。

(c)S (Shutter : シャッター / よろい戸) は、シャッタースピード優先モード。シャッタースピードを指定すると絞りを自動決定します。

(d)M は、マニュアルモード。絞りとシャッタースピードを手動で指定します。

- (e)ISO は、ISO 感度を指定します。値を大きくするほど明るくなりますが、画質低下が大きくなります。
- (f)Aperture は、絞り (F 値) を指定します。値を大きくするほど写真が暗くなります。
- (g)Shutter は、シャッタースピードを指定します。分母を大きくするほど写真が暗くなります。
- (h)Ev (Exposure : エクスポージャー / 暴露、さらす) は、露光補正です。M モード以外で有効で、写真の明るさを調節できます。

(2) カメラ設定画面その 2



- (a)シングルショットは、シャッターを押すと 1 枚だけ撮影します。最も基本的な撮影スイッチです。
- (b)マルチプルは、連写を行う事ができます。野鳥を撮る時などに使えます。
- (c)AEB(Auto Exposure Bracketing : オートエクスポージャーブラケティング)は、設定通りの露出と、やや明るくした写真と暗くした写真を自動で撮影します。
※ Bracketing (括弧、同類として区分される)
- (d)タイマーは、シャッターを押してから撮影するまでの時間を指定します。
- (e)パノラマは、動画形式のデータで 360 度の景色を撮影して球状に収録できます。
- (f)写真サイズは、4:3 にすると 4864×3648 ピクセル、16:9 にすると 5472×3078 ピクセル、3:2 にすると 5472×3648 ピクセルになります。
- (g)画像形式は、JPEG にすると撮影画像を JPEG 画像で保存し、RAW(Read After Write : リードアフターホワイト、ロウ/生の、未加工の) にすると RAW 画像と呼ばれる形式で保存します。RAW は撮影された画像の生データで、保存時の補整による画質低下を伴いません。Photoshop などの専用ソフトがあれば、好きなように補整し、好きな形式で JPEG や PNG などの画像形式で保存できます。RAW 画像の拡張子は.DNG です。
- (h)ホワイトバランスは、ケルビン値 (色温度: 昼白色/ちゅうはくしょくで 4600K ~5500K) を環境色に合わせると写真の色味が白くなるように補正されます。カラーフィルターとしても使えて、曇りはオレンジフィルター、蛍光灯は青フィルターです。
- (i)カラーは、写真の色的な雰囲気を選択できます。個人的には TrueColor を主に使っています。

(3) カメラ設定その3



- (a) ヒストグラムは、露出の適正度を見るのに使います。正規分布になるように露出を調節します。
- (b) フロント LED 自動消灯は、写真撮影・動画撮影時に、マルチローター前方下部のランプを消灯します。
- (c) 露出オーバーは、撮影画面で白飛びしている部分が網掛けされます。
- (d) 動画字幕は、動画撮影時の経緯度や高度などの飛行データを動画と別に記録してくれます。字幕再生機能のあるプレーヤーで再生すると表示されます。(VLC メディアプレーヤー等)
- (e) AF フォーカスアシスタントは、AF 時に撮影画面を拡大してピント合わせを見やすくします。
- (f) MF フォーカスアシスタントは、MF 時に撮影画面を拡大してピント合わせを見やすくします。
- (g) グリッドは、撮影画面に三分割構図などの構図線を表示します。
- (h) 中心点は、撮影画面に日の丸構図などの中心点を表示します。
- (i) ちらつき防止は、動画撮影時に蛍光灯のちらつきを抑制します。商用電源周波数 50Hz エリアでは 50Hz に設定し、60Hz エリアでは 60Hz に設定します。
- (j) SD カードフォーマットは、SD カードのデータをフォーマットします。ただしエラーになる事がある為、PC 側でフォーマットした方がよいです。

(4) カメラ設定画面その 4 (動画撮影時のみ設定可能)



- (a)ビデオサイズは、撮影データの縦横サイズとフレームレートを指定します。写真のアスペクト比で行う設定とは無関係です。
- (b)映像フォーマットは、撮影データの拡張子を選択します。MP4 形式と MOV 形式があります。
- (c)NTSC/PAL は、映像規格の違いです。日本では NTSC です。
- (d)カメラ映像符号化は、動画コーデックを選択します。H264 と H265 があります。H264 は MPEG2 の 2 倍の圧縮率があり、H265 は MPEG2 の 4 倍の圧縮率があります (H264 と画質が同等です)。ただし H265 は未対応の編集ソフトもあり、読み込めるように変換する必要があります。そのため通常は H264 で撮影し、容量が少ない状態で長時間の高画質撮影を行いたい場合などに H265 を使うとよいかも知れません。

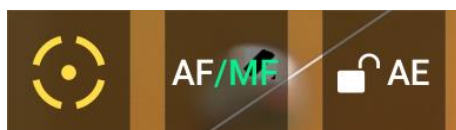
② 自動測光・オートフォーカス

以下画像で示される部分は自動測光とオートフォーカスの設定です。
ここについて解説します。



(a)自動測光

左端を黄色い円のマークにすると自動測光が行えます。撮影画面上で明るい部分をタッチすると暗くなり、暗い部分をタッチすると明るくなります。ただし撮影画面の視界が変化すると測光は変わってしまいます。



(b)AE ロック

右端にある鍵マークの付いた AE のマークで鍵が締まった状態にすると、自動測光で決定した測光を固定する事ができます。説明が前後しますが、自動測光を行うにはこの鍵マークが開いた状態でないと行えません。



(c)オートフォーカス

左端を緑色の四角のマークにし、真ん中の AF/MF で AF にするとオートフォーカスが行えます。撮影画面上でピントを合わせたい部分をタッチすると、そこにピントが合うように自動調整されます(あまり近すぎると自動調整できません)。



(d)マニュアルフォーカス

真ん中の AF/MF のマークで MF にするとマニュアルフォーカスが行えます。撮影画面上でピントを合わせたい部分をタッチし、画面右側のスライダーでピントを手動調整します。



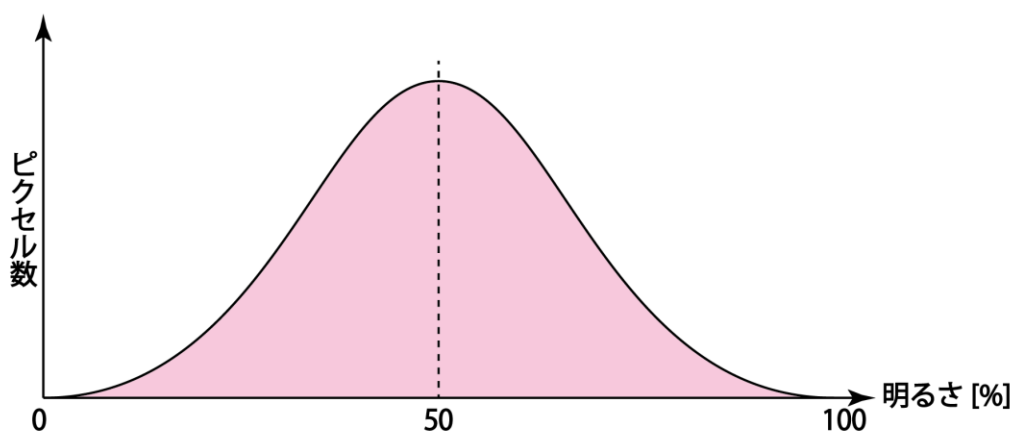
6 ヒストグラムの意味

ドローンのカメラ設定における『ヒストグラム』の意味

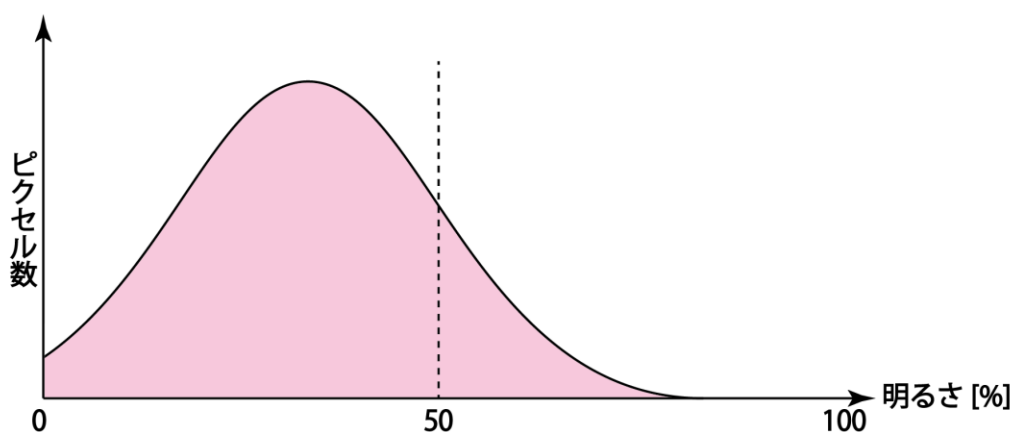
ヒストグラムは、撮影される写真や動画の『露出の適正度』を見るものです。

ヒストグラムは統計学で使われる概念で、ドローン空撮のヒストグラムは横軸に明るさ、縦軸にピクセル数が取られています。

※この解説では明るさに関し、最大値を 100% とした時の割合で表現します。



明るさは右へ行くほど明るく、ピクセル数は上へ行くほど多くなります。
上図のヒストグラムは、明るさ 50% の位置でピクセル数がピークですので、
明るすぎず暗すぎずのピクセルが画面内に最も多く、露出がちょうど良い事を意味します。



このような場合、明るさが 50% よりも低い側にピクセル数のピークがあるので、
明るいピクセルよりも暗いピクセルが画面内に多く、露出が暗すぎる事を意味します。
また、これとは逆にピンクの山が右側にずれていれば露出が明るすぎる事を意味します。

7 絞りとシャッタースピード

カメラは絞りとシャッタースピード、ISO 感度による写りの調整を必要とします。このうち特にわかりにくい「絞り」と「シャッタースピード」について定量的に理解します。

※カメラ表記では、絞りは A または Av (Aperture Value)、シャッタースピード SS または Tv (Time Value) と書かれます。

① 絞り (Aperture Value)

話を簡単にする為に、1 段ごとの絞りを考えてみます。絞りの値は F 値と呼びます。

F 値	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32
数学的意味	$\sqrt{1}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{4}$	$\sqrt{8}$	$\sqrt{16}$	$\sqrt{32}$	$\sqrt{64}$	$\sqrt{128}$	$\sqrt{256}$	$\sqrt{512}$	$\sqrt{1024}$

次に、F 値の定義は以下の数式ですが

$$\text{F 値} = \frac{\text{実焦点距離[mm]}}{\text{レンズ有効直径[mm]}} \dots 1$$

実焦点距離はカメラの構造に依存する量であり、ただの係数と見做せますので、F 値はレンズ有効直径と反比例の関係にある事が本質となります。したがって赤文字だけを抜き出すと

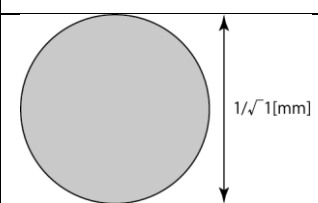
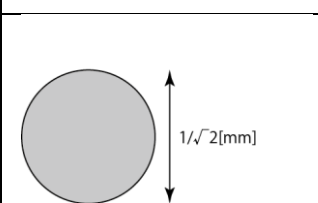
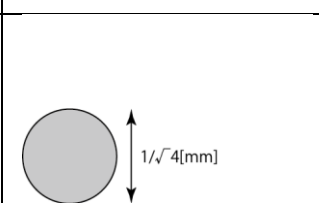
$$\text{F 値} = \frac{1}{\text{レンズ有効直径[mm]}} \dots 2$$

となります。以降は式 2 を用いて解説します。

例えば F 値が $\sqrt{2}$ の場合で式 2 に代入してみると

$$\sqrt{2} = \frac{1}{1/\sqrt{2}}$$

となり、レンズ有効直径は $1/\sqrt{2}$ という長さになります。幾つかの F 値でレンズ有効直径を図にしてみると、

F 値	1(= $\sqrt{1}$)	1.4(= $\sqrt{2}$)	2(= $\sqrt{4}$)
レンズ有効直径	$1/\sqrt{1}$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{4}$
レンズ有効直径の図			
レンズ有効直径の面積	$\left(\frac{1}{\sqrt{1}} \times \frac{1}{2}\right)^2 \times \pi = \frac{\pi}{4}$	$\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{2}\right)^2 \times \pi = \frac{\pi}{8}$	$\left(\frac{1}{\sqrt{4}} \times \frac{1}{2}\right)^2 \times \pi = \frac{\pi}{16}$

「レンズ有効直径の面積」の赤文字に注目すると、F 値を 1 段上げる毎に面積が半分になっていきます。これはレンズに取り込まれる光量も半分ずつ減る事を意味します。したがって F 値の意味としては、

『F 値を 1 段上げると、光量は 1/2 になる』

という事になります。(レンズ有効直径とは、レンズから光を取り込む穴の大きさを

表す量です)

② シャッタースピード (Time Value)

シャッタースピードは、シャッターボタンを押してシャッターが開く一瞬の秒数です。したがって単位は秒です。

話を簡単にする為、1段ごとのシャッタースピードを考えてみます。

1	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000		1/4000	1/8000					
							シャッターが開く時間が長い←										→シャッターが開く時間が短い		

シャッタースピードの意味は単純明快です。分母が小さいほどシャッターが開く時間が長く、分母が大きいほどシャッターが開く時間が短くなります。

したがって、シャッタースピードが長いほど光量が多く、シャッタースピードが短いほど光量は少なくなります。しかも表を見ると、1段ごとに倍の関係になっていてわかりやすいです。赤文字の部分で微妙に単純な倍ではありませんが、殆ど倍の関係であると見て差し支えありません。

③ 絞りとシャッタースピードの関係

ここまでで見たように、絞りもシャッタースピードも1段変化させる毎に光量を半分ずつ変化させます。絞りを絞れば(つまりF値を上げれば)光量は半分になり、シャッタースピードを遅くすれば光量は倍になります。という事はF値とシャッタースピードには光量を維持する関係がある事になります。それが以下の表です。

		F 値											
		1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	
シャッタースピード	8	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
	2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	1/4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	1/8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	1/15	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	1/30	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	1/60	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	1/125	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	1/250	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	1/500	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	1/1000	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	1/2000	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1/4000	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		

F値とシャッタースピードが交わる白背景の大量の数字は、光量に対応する「露出」と呼ばれる値です。露出を維持するには、例えばF値5.6、シャッタースピード1/500で撮影している時の露出は14ですので、F値を8にするにはシャッタースピードを1/250にする事になります。このようにして露出を維持できます。

8 マルチローターの各種安全機能

高価なマルチローターには、赤外線高度計・気圧高度計・IMU-INS・コンパス・GPS等の各種安定化機能や飛行制御機能が備わっています。離陸地点を記憶させれば飛行中にバッテリー残量が少なくなったり、電波が届かなくなったりしても自動で離陸地点まで戻って来てくれるし、飛行中に操作が分からなくなっても送信機のスティックから指を離せばその場でホバリングしてくれます。(付録 3-1 参照)。

このように高価なマルチローターには安全飛行をサポートする各種機能が備わっていますが、制御の種類を覚えておけば、センサーをオンオフした時や、飛行モードを変更した時にどのような機能が使えるか把握できます。

マルチローターの安全機能には大きく分けて以下の3種類があります。

- (a)IMU や気圧センサーによる、最も基本的で不可欠な安定機能
- (b)電子コンパスや GPS による、3次元座標と方位を認識する機能
- (c)画像認識や超音波センサーによる、鉛直、水平の障害物回避機能※
 - ※ 障害物回避センサー
 - ・水平方向...超音波センサーや赤外線センサー
 - ・鉛直方向...上記に加え、ビジョンポジショニングセンサー

① フライトコントローラー内蔵の各種装置と役割

基本装置 1. IMU (Inertial Measurement Unit : 慣性計測装置)

角速度センサー (=ジャイロセンサー) と加速度センサーを一纏めにした装置です。角速度センサー3軸+加速度センサー3軸=6軸センサーと呼ばれます。

または6軸ジャイロとも呼ばれます。

角速度センサーはヨー軸・ロール軸・ピッチ軸の角速度(回転速度)を検出し、加速度センサーはX軸・Y軸・Z軸の加速度を検出します。

基本装置 2. INS (inertial navigation system : 慣性航法装置)

IMUの初期位置さえ分かれば角度変位・位置変位から変位後の位置や移動速度を推定できます。このようにIMUのみで行われる飛行制御を「慣性航法」と呼び、IMUの変位データを元に飛行制御を行う装置をINS(慣性航法装置)と呼びます。IMU-INSは電波妨害の影響は受けませんが精度の点で不十分であり、後述の電子コンパス・GPS・超音波センサー等の補正があれば尚良いです。

IMUの精度はそれ自体の水平具合に大きく左右される為、IMUキャリブレーションは水平な場所で行う必要があります。

基本装置 3. 気圧高度計

マルチローターの高度を知る方法の一つとして「気圧と高度の関係」を利用する方法があります。高度が上がると空気が薄くなって大気圧が下がりますので、この関係を数学的に計算して高度を求めます。ただし地上付近では突風などの影響で精度が落ち、およその高度を推定するのが精一杯で高度制御にも向かないとされます。この欠点は後述の「超音波センサー」などで補われます。

座標認識装置 1. 電子コンパス

磁北(=カナダ北部にある地磁気のS極を示す磁場)を電流で計測するコンパス装置です。ただし電子コンパスで「真北」を知るには後述の「GPS」が必要です。

IMUはロール角・ピッチ角・ヨー角の変位を計算しますが、IMUに電子コンパ

スを追加するとヨー角を「方位」で計算できるようになり、真北を方位ゼロ度として認識してくれます。

電子コンパスは電磁気の影響を強く受ける為、コンパスキャリブレーションを行う際は、鉄塔、電波塔、駐車場、鉄製のマンホール、水道管などを避け、なるべく広い場所で行う必要があります。

座標認識装置 2. GPS

電子コンパスに必要で、マルチローターの絶対的な位置と高度を把握できる3次元の座標把握システムです。GPSは宇宙空間を周回する多数のGPS衛星と連携して、GPS衛星の正確な時刻と軌道位置を受信し、時刻と光速度の関係からマルチローターの位置を割り出します。電磁波を利用している為、空気が湿っていたり、近くに水面の反射があると精度は落ちます。一方で、**受信するGPS信号の数が多ければ多いほど精度が上がります。**(付録3-2参照)

障害物回避装置 1. 超音波センサー (又は赤外線センサー)

気圧高度計の補助機能ともいえる装置で、超音波を地面に向けて発射し、跳ね返って来るまでの所要時間で現在高度を知る事ができます。このようなセンサーを超音波センサーと呼びます。地上付近では超音波センサーと気圧センサーを組み合わせ高高度な高度制御を行う事ができます。ただし高々度では超音波が届かなくなる為、気圧センサーのみになります。

障害物回避機能としても超音波センサーが利用されています。ただし最近では赤外線センサーが使われています。

障害物回避装置 2. 画像認識センサー (ビジョンポジショニングシステム)

超音波センサーと共にマルチローターの下部に備え付けられており、視覚的な情報から地面との距離を読み取るAIのような機能です。ただし白い地面は認識困難で、水面上でも上手く動作しません。そのため黒いテープや模様のある絨毯を使うなど場面によっては工夫が必要です。

② 飛行モードによる姿勢制御の違い

Pモード (Position)	GPS	障害物検知	ビジョン ポジショニング	IMUと 気圧センサー
Oモード (Optical)		障害物検知	ビジョン ポジショニング	IMUと 気圧センサー
Sモード (Sport)	GPS		ビジョン ポジショニング	IMUと 気圧センサー
Aモード (Attitude)				IMUと 気圧センサー

Pモードは、全機能が有効です。

Oモードは、Pモードを屋内で適用してGPS信号を受信できない場合などに自動でOモードになります。

Sモードは、最高速度が72km/h (=20m/s)になり、水平障害物検知が無効になります。(付録3-3参照)

Aモードは、IMUと気圧センサーを除く全機能が無効になります。ほぼ手動操作です。

③ 付録

(1) 角度制御と角速度制御

送信機のスティックを傾けると機体も傾きますが、スティックを中立に戻すと機体も水平に戻る制御方式は「角度制御」と呼ばれます。その名の通り、スティックを倒した角度に応じて機体を傾かせる方式です。スティックを多く倒せば機体も大きく傾き、スティックを中立にすれば機体の傾きは0度になります。**スティックを離すとその場でホバリングするのは角度制御のマルチローターです（スティックを中立に戻すバネが内蔵されています）。**

これに対し、送信機のスティックを傾ければ機体は傾くものの、スティックを中立に戻しても機体が水平に戻らない制御方式は「角速度制御」と呼ばれます。これはスティックの倒し加減に応じて機体を傾ける「動作を行うか」を制御しています。

スティックを少し倒すと機体はゆっくりと傾き続けます。大きく倒すと機体は速く傾き続けます。ここでスティックに戻すと、機体はそれまでに傾いた角度のままになります。スティックを中立にしても機体の傾きは0度に戻りませんので、0度にするには逆の舵を打つ必要があります。

(2) GPS のしくみ

GPS 衛星には原子時計が搭載されており、軌道位置と現在時刻を「信号」として常に発信しています。マルチローターが「信号」を受信すると、1 基目の衛星では球の表面として位置が絞られ、2 基目の衛星では円周上として位置が絞られ、3 基目の衛星では円周上の 2 点に位置が絞られ、これに地球を加えるとマルチローターの位置が絞られます。

ただし受信側では原子時計が使われていないのが一般的で、これによる測位ズレを補正するには GPS 衛星を少なくとも 4 基以上受信する必要があります。現実のマルチローターでは 16 基前後の「信号」を受信しています。

※その他の測位ズレの補正項目としては、GPS 衛星と受信機との相対速度による時間経過量の遅れや、GPS 衛星が地上に比べて弱い重力場を周回している事による時間経過量の進みも考慮されます。

(3) マルチローターの最高速度

この解説テキストは Phantom4 をモデルとしており、以下 URL の諸元表によるとスポーツモードでは最高速度 72km/h です。トライポットは 3.6km/h (=1m/s) 以下です。上昇速度はスポーツモードで最大 6m/s、下降速度はスポーツモードで最大 4m/s とされています。

※Phantom4 諸元表 (DJI 公式サイト)

<https://www.dji.com/jp/phantom-4/info>

9 マルチローターの操縦は車の運転とよく似ている

① 認知・判断・操作

「自動車の運転では、**認知・判断・操作**が重要になる。」とモータースクールの学科教本では教えています。実際の運転でも、この 3 つをサイクルとして常に無意識的に、あるいは意識的に行っています。

マルチローターの操縦では、「送信機の手元ではなく機体を見る」ことが重要です。なぜかと言うと、マルチローターの「姿勢」を見ない事には「**認知**」ができないからです。つまり機体がいまどんな状態になっているかを知らなければ、次のどんな「**判断**」が適切かを考えることが出来ないからです。

認知と判断がきちんとできれば、あとは「**操作**」するのみです。車の運転では「認知 7 割・判断 2 割・操作 1 割」という重要な比率があり、認知と判断だけで 9 割を占めています。マルチローターの操縦も本質的には自動車の運転同様、認知・判断・操作のサイクルが重要になります。

マルチローターが水平状態で安定して飛行できるのは何故かと言うと、IMU などのセンサーがマルチローターの姿勢を検知（認知）し、それを元に姿勢制御のフィードバック値をプロセッサで計算し（判断）、プロペラを回転させるモーターに回転状態の変更指令が送られる（操作）という流れで常にコントロールされている為です。

② アクセル・ブレーキの感覚

運転免許の技能教習で初めて自動車を運転した頃、アクセルとブレーキの踏み加減が分からなくて急発進や急ブレーキになった経験のある人は多いのではないのでしょうか。

マルチローターのプロポ操作でも、P モードと S モードではまだ良いですが、特に A モードでは手動である為、スティックの操作感覚を練習して覚えておかなければなりません。

スティックを倒しっぱなしにすればマルチローターは進みっぱなしとなりますが、スティックを中立に戻せば元の位置に戻るわけではなく、その場に停止するだけです。

また、スロットルの操作感覚は特に難しいです。急上昇や急降下は避け、一定速度で上昇下降、水平移動、自在飛行ができるようになるまで練習しましょう。

③ 機体の操縦特性

自動車は基本的に、アクセルを踏めば発進し、ブレーキを踏めば止まります。進路はハンドルで制御します。ところが乗り慣れていない自動車では「操作感覚」が何となく異なっており、アクセルが軽かったり、ブレーキが踏み難かったりします。乗り慣れていない自動車は運転前に練習して感覚を慣らした方が安全です。

これと同じ事がマルチローターにもいえます。機種が同じマルチローターでもスティックのバネの強さが異なっていたり、送信機の形状が異なるなど、違うマルチローターでは基本的に操縦感覚が異なるので、慣れるよう練習が必要です。