

機体システム・性能問題 Ver.5.0



Tokyo Drone Academy main campus

問題 1

以下の選択肢から、無人航空機の操作について正しく説明しているものを1つ選べ。

- ① 回転翼航空機の操作では、上下操作をスロットル、前後移動操作をエレベーター、左右移動操作をエルロン、左右旋回操作をラダーという。
- ② マルチローターの操作では、上下操作をエレベーター、前後移動操作をスロットル、左右移動操作をラダー、左右旋回操作をエルロンという。
- ③ マルチローターの操作では、上下操作をエレベーター、前後移動操作をスロットル、左右移動操作をエルロン、左右旋回操作をラダーという。

正解と解説

①

マルチローターの操作では、上下操作をスロットル、前後移動操作をエレベーター、左右移動操作をエルロン、左右旋回操作をラダーといいます。



4. 無人航空機のシステム

4.1.4 回転翼航空機（マルチローター）

(1) 機体の特徴

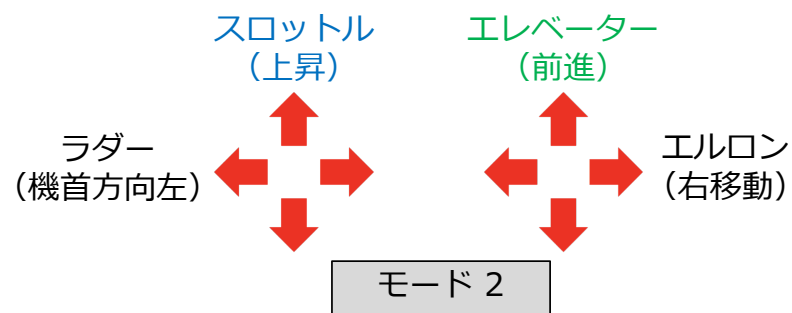
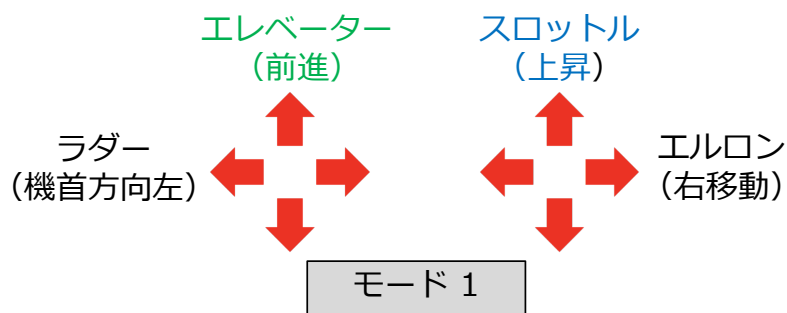
4) 回転翼航空機（マルチローター）と機体の動き

・ 回転翼航空機（マルチローター）を操縦する際に、機体の動きを指示するために用いられる用語として以下のものがある。

- スロットル：上昇・降下
- ラダー：機首方向の旋回
- エルロン：左右移動
- エレベーター：前後移動

スティックによる
機体のコントロール

*モード 1とモード2では、エレベーターとスロットルが逆になります。



問題 2

揚力発生の特徴についての記述として、適切ではないものを1つ選べ。

- ① 迎角を大きくすると揚力も大きくなるが、大きくしすぎると、空気の流れは翼の表面から剥離し、揚力は減じ、抗力が増大し、失速を招く。
- ② 上面の湾曲が下面より大きな翼型は、効率よく揚力を発生できる。
- ③ 飛行機は失速状態になっても、急降下はしない。

正解と解説

③

流れと垂直方向に作用する力を揚力、流れの方向に働く力を抗力といいます。

翼やプロペラが大きな迎角をもつと、流れは翼の表面から剥離し、揚力は減じ、抗力が増大し、失速を招くことがあります。

飛行中の飛行機が失速状態に陥ると、機体は急降下を始めます。

※「故障などによって飛行中に推力を失ってもすぐには墜落しない」というのは、滑空飛行状態になった場合であり、失速状態の場合は急降下する。

翼の断面形状が上面の湾曲が下面より大きな翼型は、効率よく揚力を発生できるので翼型やローター断面に利用されます。

4. 無人航空機システム

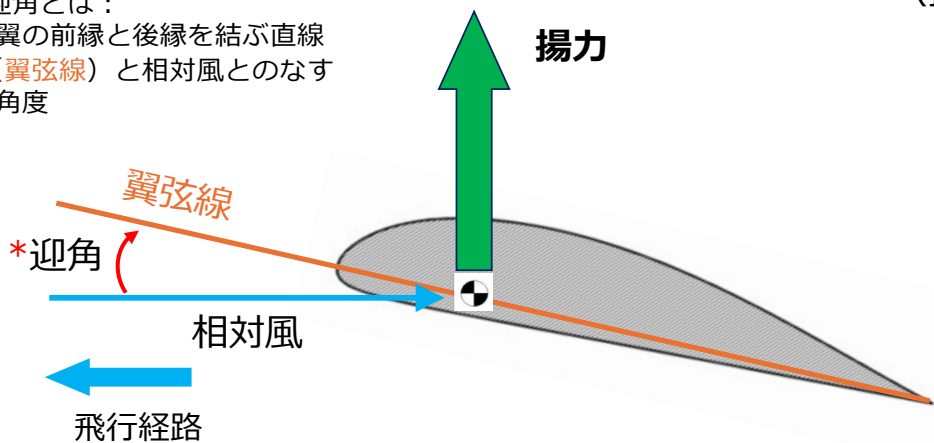


4.1.2 飛行機

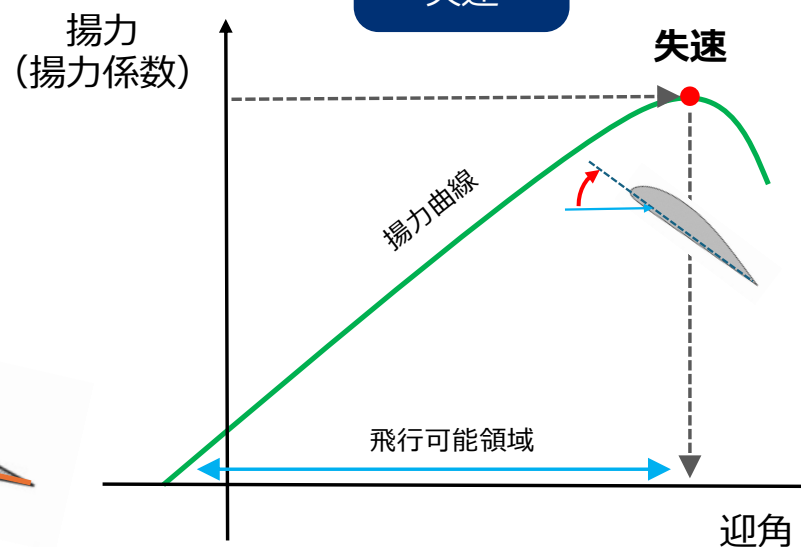
(1) 機体の特徴 (1/2)

揚力

*迎角とは：
翼の前縁と後縁を結ぶ直線
(翼弦線) と相対風とのなす
角度



失速



- 基本的な揚力発生原理は、回転翼のプロペラブレードも同じです。

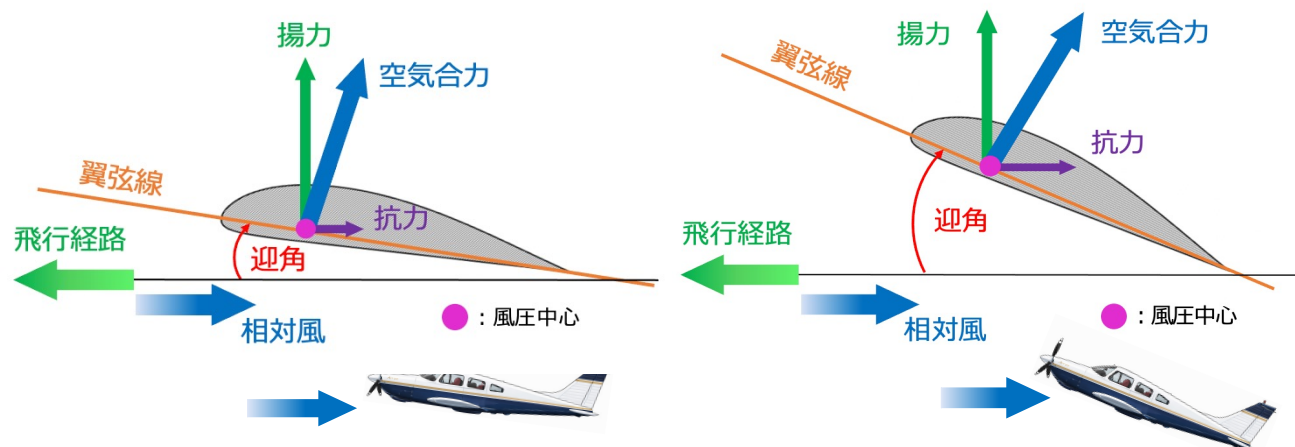
4. 無人航空機のシステム



4.3 飛行原理と飛行性能

4.3.1 無人航空機の飛行原理 & 4.3.2 揚力発生の特徴 (1/4)

翼に働く空気力



飛行機の飛行経路と相対風の関係



迎角とは、相対風に対する翼弦線との角度で、迎角が限界に達すれば、機体姿勢に関係なく失速が発生します。



- 飛行機の翼に相対風が作用すると、空気**合力**が発生します。
- 空気**合力**の相対風に対する垂直成分が「揚力」で、水平成分が「抗力」になります。
- 機体飛行姿勢に関係なく、相対風に対する迎角が「ある一定の角度」に達すると失速が起こります。

問題 3

回転翼航空機（マルチローター）について、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 機体外周に配置された各ローターの回転数を調整することで、上昇・降下や前後左右移動、ホバリングや水平回転をさせることが出来る。
- ② ローターピッチ角を変えるためのスワッシュプレートが付いている。
- ③ ローターの数が多いほどペイロードは増えるが、故障に対する耐性は低くなる。

正解と解説

①

回転翼航空機（マルチローター）は機体外周に配置された複数のローターを高速回転させて飛行する特性を持っています。

機体の姿勢や位置を安定させるためにフライトコントロールシステムを用いてローターの回転数を制します。

また、ローターの数が多いほど故障に対する耐性が向上し、積載可能重量（ペイロード）が増えるという特性もあります。

ローターピッチ角を変えるためのスワッシュプレートが付いているのは、ヘリコプターのみです。

マルチローター機は固定ピッチ角のローター（プロペラ）を使用し、各ローターの回転速度を制御することで機体の運動を制御しています。

4. 無人航空機のシステム

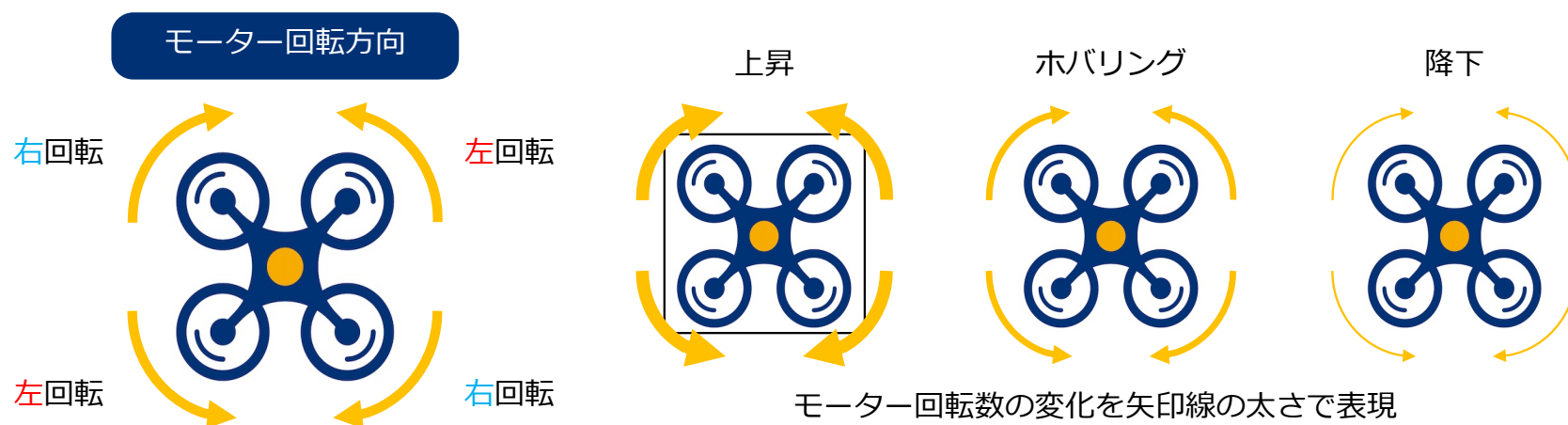


4.1.4 回転翼航空機（マルチローター）

(1) 機体の特徴

1) 上昇・ホバリング・降下

- ・機体に備わる全てのローターを回転させ回転数を増加させていくと、機体重量以上の揚力を得ると上昇し始める。
- ・機体重量と揚力が釣り合い、対地高度が安定した状態を継続するとホバリングとなる。
- ・ホバリング状態からローター回転数を下げると降下する。



4. 無人航空機のシステム

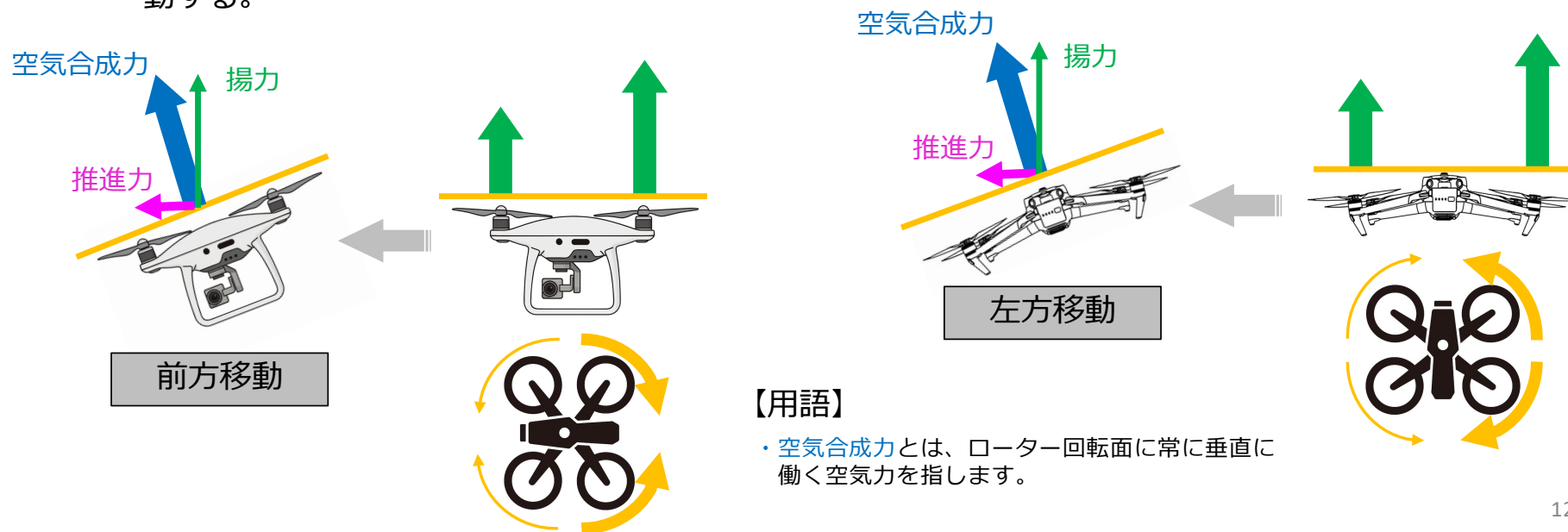


4.1.4 回転翼航空機（マルチローター）

(1) 機体の特徴

2) 前後・左右移動

- 機体の前後左右移動は、その指示した側のローターの回転数を下げ、反対側のローター回転数を上げることで機体が傾き、ローター推力の合力が、指示した方向に傾くので、傾いた方向に機体が移動する。



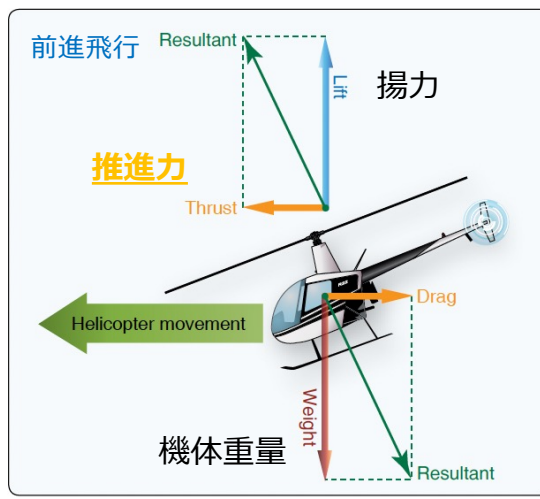
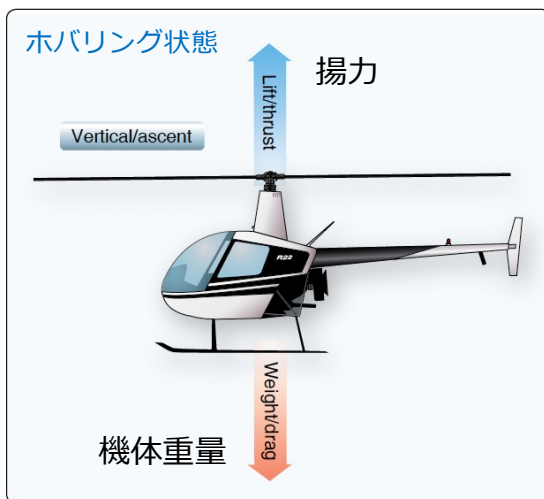
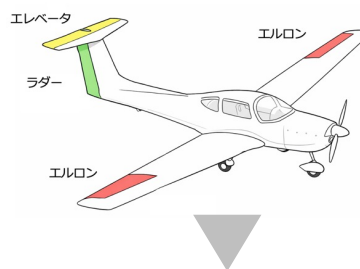
4. 無人航空機のシステム



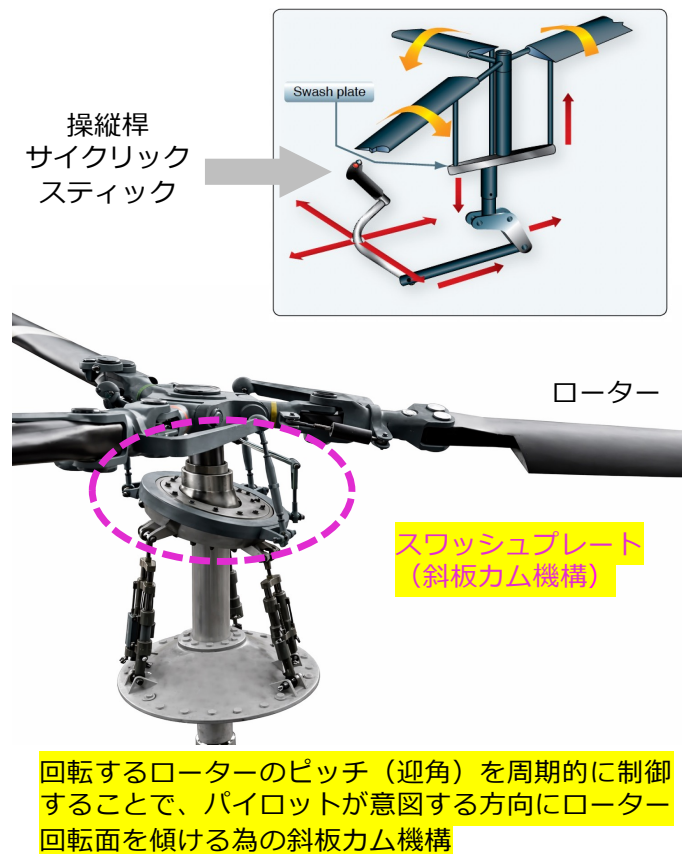
4.1.3 回転翼航空機（ヘリコプター）

(1) 機体の特徴

スワッシュプレート機構



出典：FAA Helicopter Flying Handbook



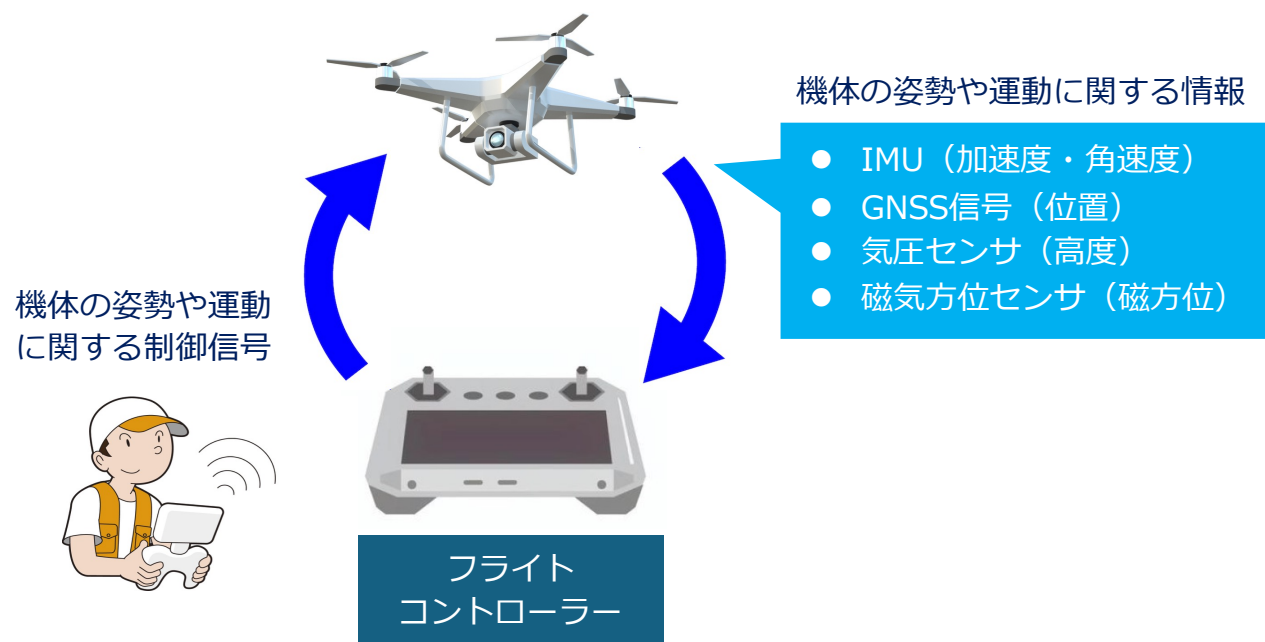
4. 無人航空機のシステム



4.4 機体の構成

4.4.1 フライトコントロールシステム

(1) フライトコントロールシステムの基礎



問題 4

以下の選択肢のうち、無人航空機の運航に使用される電波の周波数帯について不適切なものを1つ選べ。

- ① 169MHz帯は主に 2.4GHz帯及び5.7GHz帯の無人移動体画像伝送システムの無線局のバックアップ回線として使用される。
- ② 電波の周波数帯や出力、使用するアンテナの特性、変調方式、伝送速度などによって通信可能な距離は変動しないように調整されている。
- ③ 無人航空機の運航において使用されている主な電波の周波数帯は、2.4GHz帯、5.7GHz帯、920MHz帯、73MHz帯、169MHz帯である。

正解と解説

②

無人航空機の運航に使用される主な電波の周波数帯は、2.4GHz帯、5.7GHz帯、920MHz帯、73MHz帯、169MHz帯です。

これらの中で、169MHz帯は特に2.4GHz帯及び 5.7GHz帯の無人移動体画像伝送システムの無線局のバックアップ回線として使用されます。

電波の周波数帯や出力、使用するアンテナの特性、変調方式、伝送速度などによって通信可能な距離は変動します。

問題 5

以下の選択肢から、エンジン機について最も適切なものを1つ選べ。

- ① エンジン機は、エンジンの回転を動力にローターを回転させ揚力と推力を得ている。
- ② エンジン機の燃料に種類はなく、すべてガソリンを使用している。
- ③ エンジンの種類により、潤滑方式、着火温度は異なるが、燃焼サイクルは一定である。

正解と解説

①

エンジン機は、エンジンの回転を動力にローターを回転させ、揚力と推力を得る仕組みです。エンジンにはガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ジェットエンジン、グローエンジンなどの種類があり、これらのエンジンはそれぞれ潤滑方式、燃焼サイクル、着火温度などが異なります。

そのため、各エンジンに対応した燃料を適切に扱う必要があります。

特に、オイル等を混ぜた混合燃料を使用する場合は、指定された混合比で使用する必要があります。

問題 6

以下の選択肢から、無人航空機の機体の動力源に関する特徴について正しく説明しているものを1つ選べ。

- ① 電動機のメリットは振動や騒音が少なく軽量化が可能で、飛行時間が長いという特徴がある。一方、エンジン機は飛行時間が短く、騒音が大きいというデメリットがある。
- ② エンジン機のメリットは、振動や騒音が少なく軽量化が可能だが、飛行時間が短いというデメリットがある。一方、電動機は飛行時間が長く長距離飛行が可能だが、騒音が大きいというデメリットがある。
- ③ 電動機のメリットは振動や騒音が少なく軽量化が可能だが、飛行時間が短いというデメリットがある。一方、エンジン機のメリットは飛行時間が長く長距離飛行が可能だが、騒音が大きいというデメリットがある。

正解と解説

③

無人航空機の機体の動力源として主に用いられる電動機とエンジン機は、それぞれ異なる特性を持っています。

電動機は振動や騒音が少なく、これにより軽量化が可能です。その一方で飛行時間が短いというデメリットがあります。

エンジン機は飛行時間が長く、長距離飛行が可能な点でメリットがありますが、エンジンによる騒音が電動機に比べて大きいというデメリットがあります。

このように、それぞれの特性を理解し、目的に応じて最適な動力源を選択することが重要となります。

問題 7

以下の無人航空機のモーターやローターに関する説明の中から、最も適切なものを1つ選べ。

- ① マルチローターにおいて、ローターは反時計回転（CCW：カウンタークロックワイズ）のみに合わせた形状となっている。
- ② ブラシモーターは自動ブラシで清掃するため、内部の清掃が不要であるが、ブラシレスモーターに比べ、静音性や耐久性に劣る。
- ③ ブラシレスモーターは、モーター内部の清掃、ブラシの交換が不要で、静音性や耐久性もある。

正解と解説

③

ブラシレスモーターは、その名の通りブラシ（電気接触部）がないモーターで、メンテナンスが容易（モーター内部の清掃、ブラシの交換が不要等）、静音で、長寿命という特徴を持っています。

ローターは通常回転方向（時計回転（CW：クロックワイズ）／反時計回転（CCW：カウンタークロックワイズ））に合わせた形状となっており、モーターの回転方向に合わせて取り付けする必要があります。

4. 無人航空機のシステム



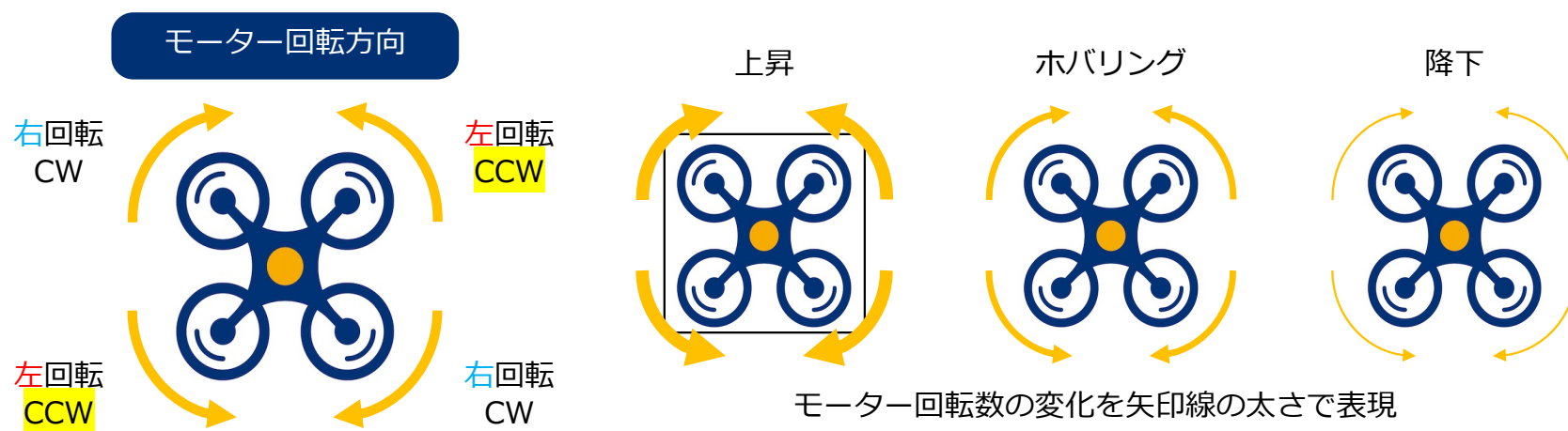
4.1.4 回転翼航空機（マルチローター）



(1) 機体の特徴

1) 上昇・ホバリング・降下

- ・機体に備わる全てのローターを回転させ回転数を増加させていくと、機体重量以上の揚力を得ると上昇し始める。
- ・機体重量と揚力が釣り合い、対地高度が安定した状態を継続するとホバリングとなる。
- ・ホバリング状態からローター回転数を下げると降下する。



問題 8

以下の選択肢のうち、無人航空機の物件投下装置について、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 物件投下装置は、搭載位置や対象物が定められているため、投下装置の特性と機能を理解する必要がある。
- ② 物件投下装置は、物件が揺れない構造となっているため、正しい取り付け位置であれば、飛行中の重心移動について考える必要性は低い。
- ③ 物件投下用のウインチ機構で吊り下げるとは、物件の揺れ、投下前後の重心の変化が著しいため行うべきではない。

正解と解説

①

無人航空機の物件投下装置は、搭載位置や対象物が定められているため、装置の特性と機能の理解が必要です。

また物件が揺れない構造となっているわけではなく、飛行中の重心移動について考慮した飛行が必要です。

特に、物件投下用のウインチ機構で吊り下げる場合は、物件の揺れ、投下前後の重心の変化に注意しなければなりません、行うべきではないとは言えません。

なお、DJI FlyCart30などは吊り下げ時の重心の変化を演算し、安定飛行する機能を有しています。

問題 9

以下の選択肢のうち、電波の性質について正しく説明しているものを1つ選べ。

- ① 干渉とは、2つ以上の波が重なり弱め合うことを指し、強め合うことについては干渉とは言わない。
- ② 電波は高周波数であるほど、障害物をより回り込むことができる。
- ③ 電波は2つの異なる媒質間を進行するとき、反射や屈折が起こり、常に入射角と反射角の大きさは等しくなる。

正解と解説

③

電波は進行方向に障害物が無い場合には直進し、2つの異なる媒質間を進行するときには反射や屈折が起こります。

その際、常に反射の法則（入射角と反射角の大きさは等しい）が成り立ちます。

周波数が低い（波長が長い）ほど、障害物をより回り込むことができる回折の性質を持ちます。

また、2つ以上の波が重なると「強め合ったり弱め合ったり」する干渉の特性も持っています。

問題 10

以下の選択肢から、送信機から無人航空機への指令の流れに関する最も適切なものを1つ選べ。

- ① 送信機側の部品であるメインコントローラーからの指令を、機体の受信機で受け取り、モーターなどを駆動させて機体を操縦する。
- ② 遅延を無くすため、送信機からの指令は、直接モーターなどに送られる。
- ③ 送信機からの指令は、機体受信機 → 機体メインコントローラー → モーター等の順で送られる。

正解と解説

③

送信機（遠隔操縦装置）から送られた指令は、次の順に伝わり、機体を動かします。

1. 送信機（遠隔操縦装置）：操縦者のスティック操作を電波で送ります。
2. 機体の受信機：送信機からの電波を受け取ります。
3. 機体のメインコントローラー（フライトコントローラー）：受け取った指令と、IMU・GNSS・気圧センサなどの情報をもとに、機体の姿勢や運動を計算します。
4. ESC（エレクトロニック・スピード・コントローラー）／モーター：計算結果に基づいて各モーターの回転数を調整し、揚力や推力を変えます。

①は誤りです。メインコントローラーは送信機側ではなく、機体側に搭載されている部品です。

②は誤りです。送信機からの指令は、モーターに直接は送られません。機体の安定はメインコントローラーがセンサ情報をもとに制御しているため、指令は必ずメインコントローラーを経由します

問題 11

大型機（飛行機）の特性について、適切ではないものを1つ選べ。

- ① 大型機はペイロードが大きい分、機体が大きい分、風の影響をより受けやすくなる。
- ② 大型機（最大離陸重量 25kg以上）はペイロードを大きくすることができ、ガソリンエンジンなど推進動力の選択肢も広がるのでより長距離・長時間飛行も可能となる。
- ③ 大型機は慣性力が大きいことから、増速・減速・上昇・降下などに要する時間と距離が長くなる。

正解と解説

②

大型機はその大きさからペイロードが大きく、長距離・長時間飛行が可能であり、また風の影響を受けにくいという特性を持っています。

しかし、その反面、事故発生時の影響が大きいいため、操縦者の習熟度及び安全意識が十分に高くなければならないとされています。

さらに、大型機は機体の慣性力が大きいいため、増速・減速・上昇・降下に要する時間と距離が長くなり、障害物回避や緊急着陸地点の選定には特に注意が必要となります。

また、大型機は一般に小型の機体よりも騒音が大きいいため、飛行ルート周囲への配慮も必要とされています。

問題 12

以下の選択肢のうち、リチウムポリマーバッテリーの取り扱いについて最も適切ではないものを1つ選べ。

- ① バランスコネクタがついているものは、充電時にそのコネクタを充電器へ接続することが重要である。
- ② 複数のセルで構成されたリチウムポリマーバッテリーは、セル間の充電量のバランスを補正しながら充電することが重要である。
- ③ 複数のセルで構成されたリチウムポリマーバッテリーは、効率的な放電のため、セル間の電圧差を生じさせるように充電することが重要である。

正解と解説

③

リチウムポリマーバッテリーは複数のセルで構成されており、各セルの充電量のバランスを適切に保つことが重要です。

バランスが著しく崩れたまま充電を行うと、セル間の電圧差が生じ、一部のセルが過放電状態になることでバッテリー全体の劣化が進みます。

そのため、バランスコネクタを装備したバッテリーでは、充電時にこのコネクタを充電器に接続することが推奨されています。

問題 13

無人航空機の種類と特性について、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 回転翼航空機（マルチローター、ヘリコプター）は飛行機に比べ、長距離・長時間の飛行が可能で、飛行機は垂直離着陸やホバリングが可能、パワードリフト機は両者の特性を組み合わせたものである。
- ② 飛行機は回転翼航空機に比べ、飛行速度が速く、エネルギー効率が高いため、長距離・長時間の飛行が可能である。パワードリフト機は最大離陸重量25kg以上のペイロードの大きい飛行機のことを指す。
- ③ 回転翼航空機（マルチローター、ヘリコプター）は垂直離着陸やホバリングが可能で、飛行機は速度とエネルギー効率に優れ長距離・長時間の飛行が可能、パワードリフト機は両者の特性を組み合わせたものである。

正解と解説

③

無人航空機には回転翼航空機（マルチローター、ヘリコプター）、飛行機、パワードリフト（Powered-Lift）機などがあります。

回転翼航空機は垂直離着陸やホバリングが可能という特徴があります。飛行機は垂直離着陸やホバリングはできませんが、回転翼航空機に比べて飛行速度が速く、エネルギー効率が高いため、長距離・長時間の飛行が可能です。

パワードリフト機は、回転翼航空機のように垂直離着陸が可能で、巡行中は飛行機のように前進飛行が可能です。両方の特徴を組み合わせた機体となっています。

問題 14

無人航空機の飛行に関する記述の中から、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 機体の前後・上下を含む面に空気流入の向きを投影したときに、前後軸とのなす角を迎角といい、上方から空気が流入するときに迎角は正である。
- ② 飛行機は基本的に、ピッチを変化させるための舵が「水平尾翼にあるエレベーター」、ロールを変化させるための舵が「主翼にあるエルロン」、ヨーを変化させる舵が「垂直尾翼にあるラダー」である。
- ③ 機体の前後・上下を含む面と空気流入の向きの面のなす角を横滑り角といい、機体左側から空気流入するときに横滑り角は正である。

正解と解説

②

飛行機の姿勢は、機首を上げ下げするピッチ、機体を左右に傾けるロール、機体の左右の回転を示すヨーの角度で表現されます。

これらの角度を変化させることで、飛行速度の向きを制御することが可能となります。

飛行機は基本的に、ピッチを変化させるための舵が「水平尾翼にあるエレベーター」、ロールを変化させるための舵が「主翼にあるエルロン」、ヨーを変化させる舵が「垂直尾翼にあるラダー」です。

機体の前後・上下を含む面に空気流入の向きを投影したときに、前後軸とのなす角を迎角といい、「下方」から空気が流入するときに迎角は正です。

機体の前後・上下を含む面と空気流入の向きの面のなす角を横滑り角といい、機体「右」側から空気流入するときに横滑り角は正です。

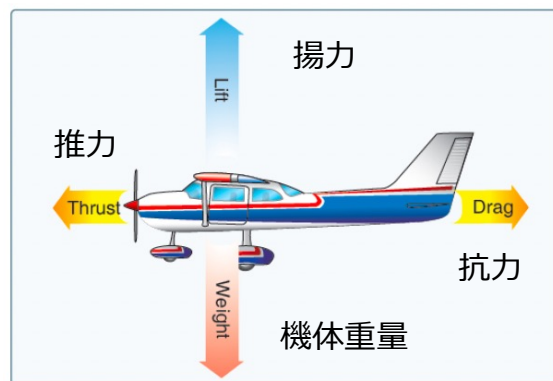
4. 無人航空機のシステム



4.1.2 飛行機

(1) 機体の特徴 (2/2)

機体の重心
周りに働く力



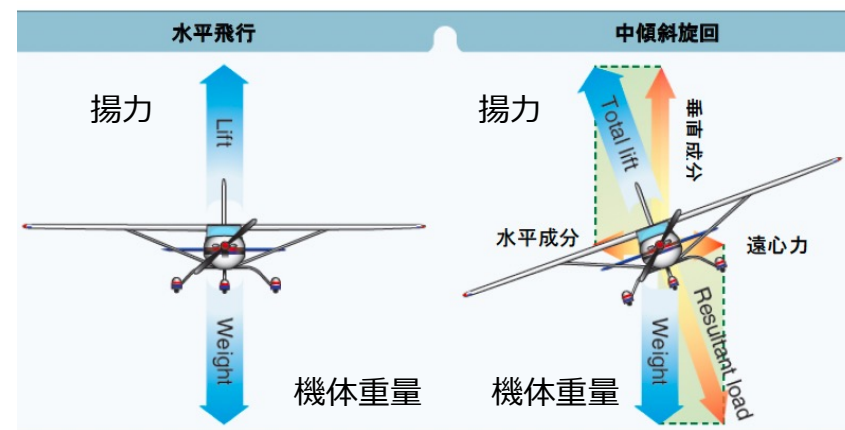
ピッチ : エレベータ

ロール : エルロン

ヨー : ラダー



旋回による
釣り合い



出典 : 国土交通省「飛行の力学」

<https://www.mlit.go.jp/common/001480705.pdf>

機体姿勢
コントロール

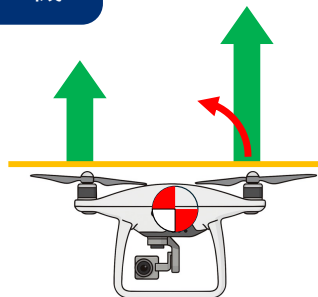
4. 無人航空機のシステム



4.3 飛行原理と飛行性能

4.3.1 無人航空機の飛行原理 & 4.3.2 揚力発生の特徴 (3/4)

マルチローター機



モーター回転数を変化

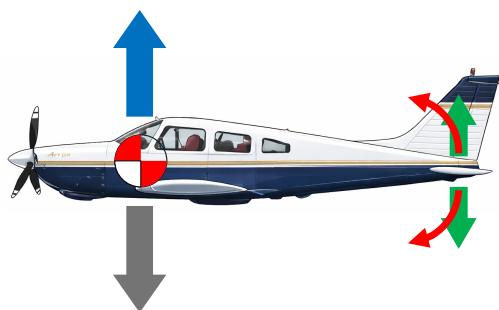
ローター回転面の傾斜

推力の発生



例：前傾姿勢

固定翼機



エレベーター操作

ピッチ姿勢変化

飛行経路の変化



例：上昇姿勢



重心位置

モーメントとは？

力学において物体を回転させる力の作用を指し、重心位置（支点）からの距離と加わる力の積で表示

問題 15

以下の選択肢から、リチウムポリマーバッテリーの特性について適切ではないものを1つ選べ。

- ① リチウムポリマーバッテリーは見かけの放電容量が減少する現象が起きにくい。
- ② リチウムポリマーバッテリーの電解質は不燃物である。
- ③ リチウムポリマーバッテリーはゲル状のポリマー電解質を有したバッテリーである。

正解と解説

②

リチウムポリマーバッテリーはゲル状のポリマー電解質を採用したバッテリーで、無人航空機の電源として多く使用されています。

その特性として、エネルギー密度が高く、電圧が高い、自己放電が少ない、メモリ効果（継ぎ足し充電などで浅い充放電を行った場合に見かけの放電容量が減少する現象）が小さい、そして電解質が可燃物であるという特徴があります。こ

れらの特性から、多くの用途で利用が可能ですが、電解質が可燃物であることから、取り扱いには注意が必要です。

問題 16

回転翼航空機のローターの特徴について、もっとも適切なものを1つ選べ。

- ① ヘリコプターはブレードのピッチ角を固定し、プロペラの回転数を変化させてピッチ、ロールの制御を行い、テールローターの回転数を変化させてヨーの制御を行う。
- ② プロペラの回転により機体には反トルクが作用するが、マルチローターは1つのプロペラを異なる向きに回転させることで、反トルクを相殺する。
- ③ マルチローターのブレードのピッチ角は固定であるため、各プロペラの回転数を変化させ、ピッチ、ロール、ヨーの運動を行う。

正解と解説

③

プロペラの回転により機体には反トルクが作用しますが、マルチローターは偶数個のプロペラを半数ずつ異なる向きに回転させることで反トルクを相殺します。

マルチローターのブレードのピッチ角は固定であるため、各プロペラの回転数を変化させ、ピッチ、ロール、ヨーの運動を行います。

ヘリコプターのメインローターは 1 回転する間にブレードのピッチ角を周期的に変化させる可変ピッチ機構を持ち、ブレードのピッチ角を変化させることで、ピッチ、ロールの制御を行い、テールローターの回転数を変化させてヨーの制御を行います。

問題 17

以下の選択肢の中から、エンジン機の整備について適切ではないものを1つ選べ。

- ① エンジンの整備知識が不足している場合は、専門の整備業者に依頼する。
- ② 一定の総飛行時間毎に、メーカーの整備手順に従って整備を実施する。
- ③ エンジンの整備技能があれば、メーカーの整備項目は参考資料とし、自身で内容を決めるべきである。

正解と解説

③

エンジン機の整備は、一定の総飛行時間毎に行われ、その整備内容はメーカーが定めた整備手順に従って実施することが必要です。

運航者がエンジンの整備に関する知識及び技能が不足している場合は、専門の整備業者に依頼しましょう。

問題 18

以下の選択肢のうち、フレネルゾーンについて適切ではないものを1つ選べ。

- ① フレネルゾーンの半径は周波数が高い、またはお互いの距離が短くなればなるほど小さくなる。
- ② 無線通信での「見通しが良い」という表現は、アンテナ間が物理的に見えていることを指す。
- ③ フレネルゾーンの半径を考慮してアンテナの高さを決めるときには、地面や海面も障害物として考える。

正解と解説

②

フレネルゾーンは、送信と受信のアンテナ間の最短距離を中心とした楕円体の空間で、無線通信での「見通しが良い」状態は、このフレネルゾーンが確保されている状態を意味します。

フレネルゾーン内に壁や建物などの障害物があると、受信電界強度が確保されず通信エラーが起こり、通信距離が短くなります。

また、フレネルゾーンの半径は周波数が高く（波長が短い）またはお互いの距離が短くなればなるほど小さくなります。

地面や海面も障害物となるため、これらを考慮し、アンテナの高さを確保する必要があります。

4. 無人航空機のシステム



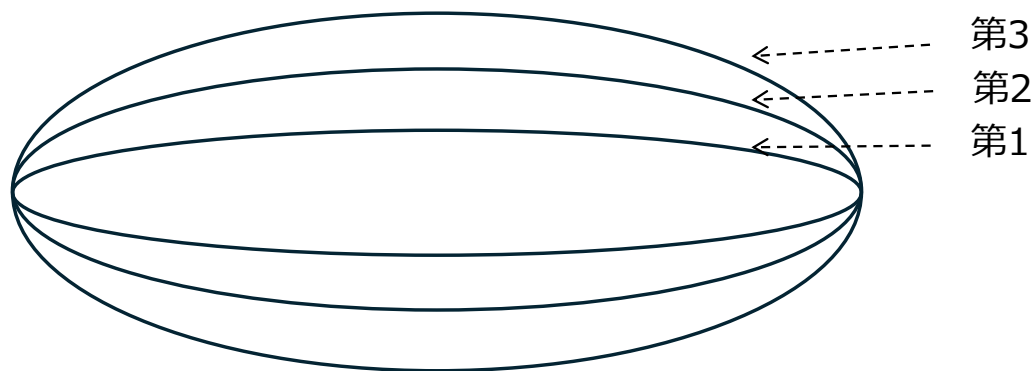
4.5 機体以外の技術要素

4.5.1 電波

(1) 電波の特性

3) フレネルゾーン

- ・ この空間は一つだけではなく、第一、第二、第三と外側に向かって複数存在し、ラグビーボール状の空間が、内側から外側へ重なっていく構造です。
- ・ このうち、通信品質に最も大きな影響を与えるのが、最も内側の第一フレネルゾーンです。教則で扱うフレネルゾーンは、この第一フレネルゾーンを指しており、本章でも特に断らない限り、単に「フレネルゾーン」と呼びます。



4. 無人航空機のシステム

一等



4.5 機体以外の技術要素

4.5.1 電波

1) フレネルゾーン半径と必要なアンテナの高さ (1/2)

- ・ 送受信点の中間点で、フレネルゾーンを輪切りにした円の半径を、フレネルゾーンの半径と呼び、【式1】のように表されます。

(6) 電波と通信に関わる基本的な計算

$$R = \sqrt{\lambda \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{1}{D}} = \sqrt{\lambda \times \frac{D}{4}} \quad \dots \quad \text{【式1】}$$

ここで、

R : フレネルゾーン半径 [m]

λ : 波長 [m] $\lambda = \frac{300}{f}$ (f : 周波数 [MHz])

D : 送受信機アンテナ間の距離 [m]

問題 19

目視外飛行のために必要な装備について、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 目視外飛行において、補助者を配置していても、不具合発生時に対応する危機回避機能（フェールセーフ機能）は必要である。
- ② 目視外飛行において、補助者を配置していれば、機体カメラの装備は不要となる。
- ③ 目視外飛行において、補助者を配置しない場合でも、機体の針路、姿勢、高度、速度及び周辺の気象状況等を把握できる操縦装置までは求められない。

正解と解説

①

目視外飛行では、補助者の有無に関わらず、自動操縦システム、搭載カメラ、不具合状況を地上で監視できる操縦装置、そして不具合発生時に対応する危機回避機能（フェールセーフ機能）が必要です。

これらは、飛行中の安全性を確保するために絶対に必要な装備です。

また補助者を配置しない場合に追加する必要がある装備として、機体の針路、姿勢、高度、速度及び周辺の気象状況等を把握できる操縦装置等が挙げられます。

4. 無人航空機のシステム



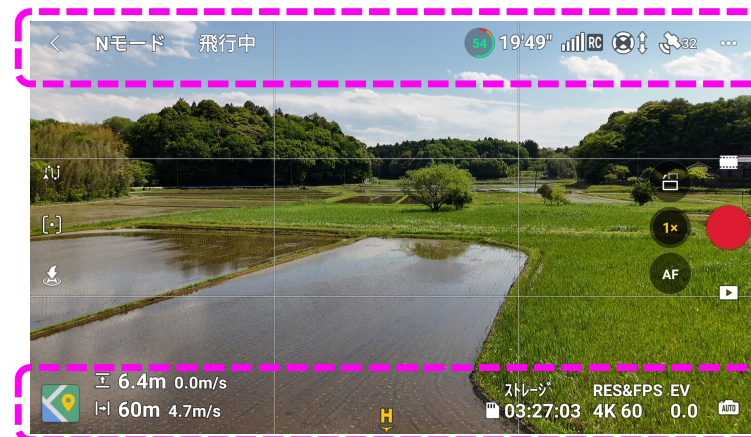
4.2.2 目視外飛行

(1) 目視外飛行と目視内飛行の違い

- ・ 目視外飛行では機体の状況や、障害物、他の航空機等の周囲の状況を直接肉眼で確認することができないので、機体に設置されたカメラや機体の位置、速度、異常等の状態を把握することが必要である。



- 目視外飛行では、機体の飛行姿勢や障害物との距離の把握を、遠隔操縦装置に表示される機体搭載カメラ映像や、テレメトリーと呼ばれる機体情報を活用しながら飛行させています。
- 特に飛行中の発見と回避が困難な鳥との衝突防止は、無線通信の維持と同様、目視外飛行で最も注意すべき事項となります。





4. 無人航空機のシステム

4.2.2 目視外飛行

(2) 「無人航空機の許可・承認の審査要領（カテゴリーII）」に基づく目視外飛行のために必要な装備（1/2）

① 機体装備要件

- a. 飛行経路を維持できる自動操縦システムを装備し、機体に設置されたカメラ等により、機体の外の様子を監視できること
 - b. 地上において、無人航空機の位置及び異常の有無を把握できること（不具合発生時に不時着した場合を含む。）。
 - c. 不具合発生時に危機回避機能（**フェールセーフ機能**）が正常に作動すること。当該機能の例は、以下のとおり。
 - ・ 電波断絶の場合に、離陸地点まで自動的に戻る機能（**自動帰還機能**）、又は電波が復帰するまで空中で位置を維持する機能
 - ・ GPS等の電波に異常が見られる場合に、その機能が復帰するまで空中で位置を保持する機能、安全な自動着陸を可能とする機能、又はGPS等以外により位置情報を取得できる機能
 - ・ 電池の電圧、容量又は温度等に異常が発生した場合に、発煙及び発火を防止する機能、並びに離陸地点まで自動的に戻る機能、若しくは安全な自動着陸を可能とする機能 等
- フェールセーフ機能の一つである「自動帰還機能（Return to Home）」は、「5.2.3 緊急時の対応」で説明します。



5. 無人航空機の操縦者及び運航体制

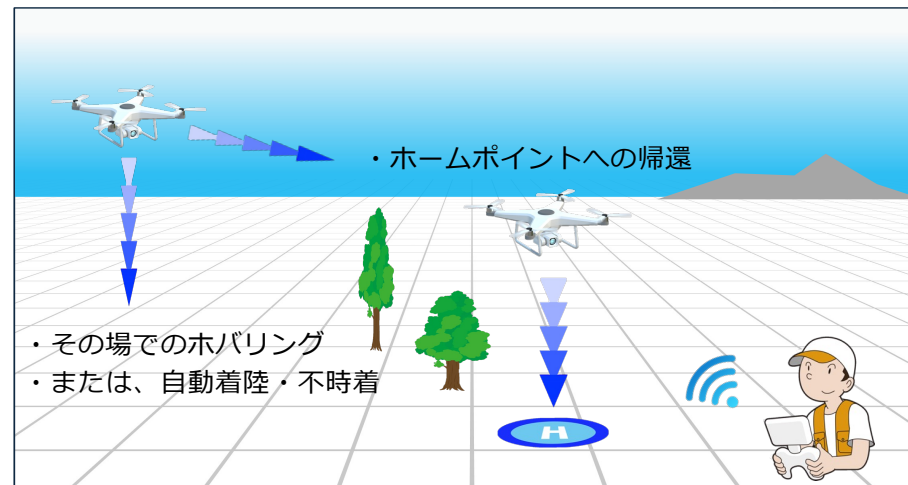


5.2 操縦者に求められる操縦知識

5.2.3 緊急時の対応

(1) 機体のフェール・セーフ機能

*自動帰還が作動する為には、機体搭載GNSS受信機が、正常作動していることが条件です。



- 主な自動帰還機能（Return to Home）

- ① バッテリー残量の低下（状況によっては、ホームポイントへ辿り着けない可能性あり）
- ② 遠隔操縦装置と無人航空機間の機体制御通信の途絶
- ③ 操縦者の意思に基づく自動帰還の発動

問題 20

回転翼航空機（ヘリコプター）の大型機に関する特性について、適切ではないものを1つ選べ。

- ① 小型の機体と比較してエンジン騒音やローター騒音が大きくなる。
- ② ホバリングでは早めに操舵することが必要である。
- ③ 慣性力が大きいため、操縦時の機体挙動は早い。

正解と解説

③

回転翼航空機（ヘリコプター）では、最大離陸重量が25kg以上の大型機の場合、慣性力が大きくなるため、操舵時の機体挙動が遅れ気味になります。

これは、特に定点で位置を維持するホバリング時には早めに操舵する必要があるという意味です。

また、一般的に大型の機体は小型の機体よりもエンジン騒音やローター騒音が大きくなるとされています。

問題 21

回転翼航空機（マルチローター）の最大離陸重量 25kg以上の大型機の特徴について、不適切なものを1つ選べ。

- ① 小型機と比べ、飛行時機体から発せられる騒音が大きくなり周囲への影響範囲も広がる。
- ② 機体の対角寸法やローターのサイズやモーターパワーが大きくなることで、揚力が大きくなり、上昇・降下や加減速などに要する時間と距離が短くなる。
- ③ 機体の対角寸法やローターのサイズやモーターパワーも大きくなり、飛行時の慣性力も増加し、上昇・降下や加減速などに要する時間と距離が長くなる。

正解と解説

②

回転翼航空機（マルチローター）の最大離陸重量 25kg以上の大型機の特徴としては、機体の対角寸法やローターのサイズやモーターパワーも大きくなり、飛行時の慣性力も増加し、上昇・降下や加減速などに要する時間と距離が長くなることが挙げられます。

また、飛行時、機体から発せられる騒音も大きくなり周囲への影響範囲も広がります。

これらの特性を理解することは、大型機を適切に操縦するために必要となります。

問題 22

以下の無人航空機の飛行に用いられるセンサの説明の中から、適切でないものを1つ選べ。

- ① LiDAR はレーザー光を地上に照射したときの出力値から高度を計測する。
- ② 超音波センサは音波の反射時間から高度を計測する。
- ③ 気圧センサは、気圧の変化を歪みゲージを利用して読み取り、高度を計測する。

正解と解説

①

高度センサには、気圧センサ、超音波センサ、LiDARなどがあり、それぞれ気圧の変化、音波の反射時間、「レーザー光の反射時間」から高度を計測します。

4. 無人航空機のシステム



4.4 機体の構成

4.4.1 フライトコントロールシステム

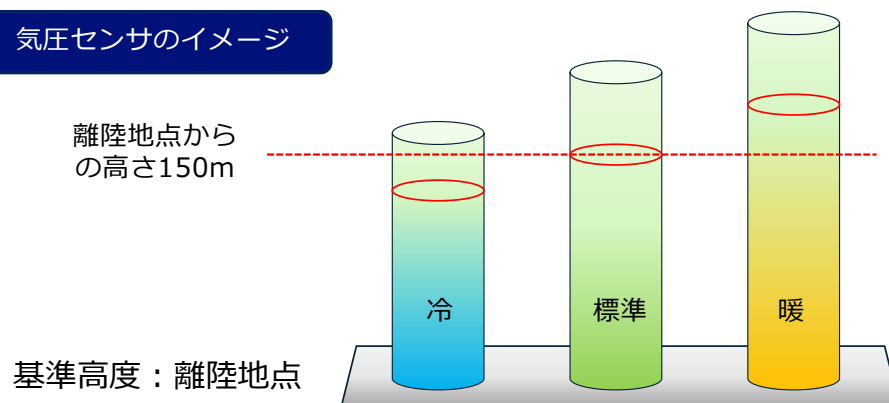
(2) 無人航空機の飛行に用いられる各種センサの原理及び使用環境 (3/3)

4) 高度センサ

・ 高度の計測には主に以下のセンサがある。

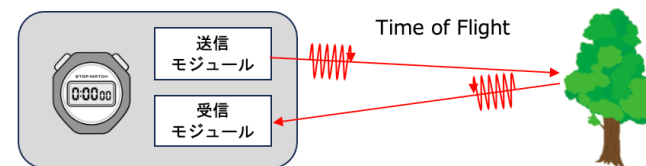
- ① 気圧センサは、気圧の変化を歪みゲージを利用して読み取り、高度を計測する。
- ② 超音波センサは、音波の**反射時間**から高度を計測する。(Time of Flight Type)
- ③ LiDARはレーザー光(赤外線)を照射し**反射時間**から高度を計測する。(Time of Flight Type)

気圧センサのイメージ



基準高度：離陸地点

ToF センサのイメージ



送信モジュールに使用される電磁波

- ミリ波レーダー (24 GHz帯電磁波)
- LiDAR (近赤外線パルス)

問題 23

以下の選択肢のうち、送信機のアンテナから発射される電波について、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 送信機のアンテナから発射される電波の強さは、方向により異なることはない。
- ② アンテナの角度は調整できるので、操縦時の送信機の持ち方や無人航空機的位置を考慮して最適なアンテナ角度を設定する必要がある。
- ③ 送機のアンテナ角度を調整すると、無人航空機の飛行速度や高度に影響を与える。

正解と解説

②

送機のアンテナから発射される電波の強さは方向により異なります。

そのため、操縦時の送信機の持ち方や無人航空機の位置を考慮して、最適なアンテナ角度を設定する必要があります。

アンテナの角度が直接、飛行速度や高度に影響を与えるということはありません。

4. 無人航空機のシステム

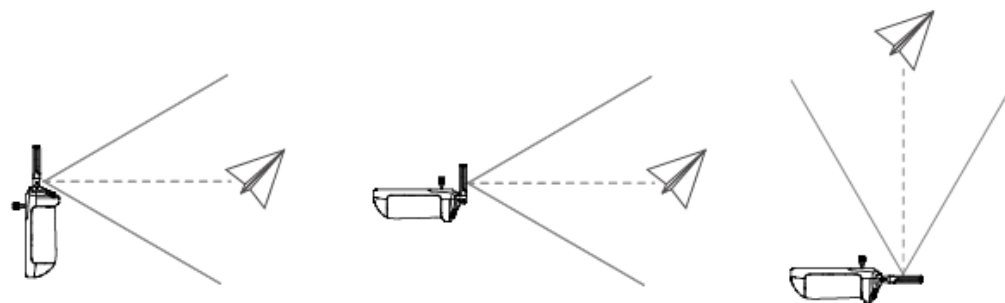


4.5 機体以外の技術要素

4.5.1 電波

(4) 電波の送信、受信に関わる基本的な技術 (2/2)

- ・ 無指向性アンテナといっても、三次元的に完全均等な放射は存在せず、垂直アンテナの場合、水平方向はほぼ均等だが、上下方向には強弱がある。
- ・ アンテナの軸方向は電波が弱いため、軸が通信相手に向かないよう、放射が最も強い方向を相手に向けて調整する必要がある。
- ・ なお、これはあくまで一例であり、詳細は各機器の取扱説明書を参照されたい。



問題 24

飛行機の飛行特性について、正しいものを1つ選べ。

- ① 飛行中に故障等により推力を失った場合、すぐに墜落してしまうため、高い操縦技術が必要となる。
- ② 横方向の移動はバンクターン（旋回）で行うが、姿勢安定装置を使用しない場合はバンクターンの操作はラダーのみで行う。
- ③ 安全に飛行できる最低速度が決められており、それ未満での低速飛行ができない。

正解と解説

③

飛行機は高速飛行、長時間飛行、長距離飛行が可能であり、その特性からエネルギー効率が高いとされます。

一方、低速飛行や垂直離着陸はできず、広い範囲を必要とします。

また、飛行機は滑空するため、突然のエンジン停止などで推力を失ってもすぐには墜落しないという特性があります。

また、一般に、安全に飛行できる最低速度が決められており、それ未満での低速飛行ができません。

横方向の移動はバンクターン（旋回）で行いますが、姿勢安定装置を使用しない場合はバンクターンの操作はエルロンとエレベーターの複合です。

問題 25

以下の選択肢の中から、GPSやGNSSについて最も適切なものを1つ選べ。

- ① 複数の人工衛星から同時に受信しなくても、受信した時間から計算をして位置を特定できる。
- ② 4基の人工衛星から受信できれば、それ以上の人工衛星から受信しても、安定性は一定である。
- ③ GNSSは最低4個以上の人工衛星からの信号を同時に受信することでその位置を計算する。

正解と解説

③

GPS（Global Positioning System）は、アメリカ国防総省が、航空機等の航法支援用として開発したシステムです。

GPSに加え、ロシアの GLONASS、欧州の Galileo、日本の準天頂衛星 QZSS等を総称して GNSS（Global Navigation Satellite System/全球測位衛星システム）と言います。

GNSS は最低4個以上の人工衛星からの信号を「同時に」受することでその位置を計算することができます。

機体に取り付けられた受信機により最低4基以上の人工衛星からの距離を同時に知ることにより、機体の位置を特定しています。

なお、安定飛行のためには、より多くの人工衛星から信号を受信することが望ましいです。

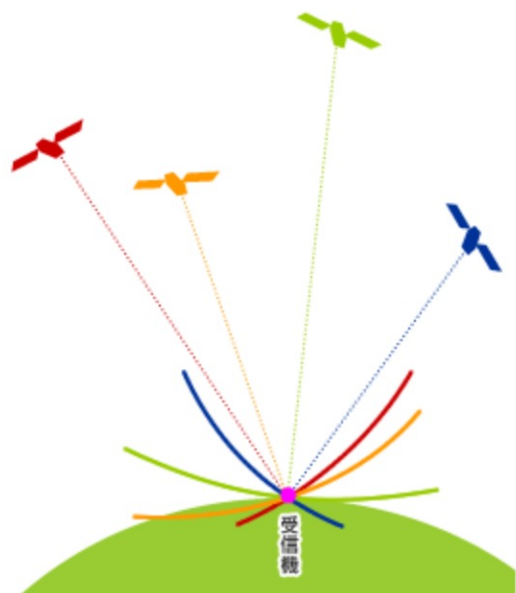
4. 無人航空機のシステム



4.5 機体以外の技術要素

4.5.3 GNSS

単独測位方式の原理



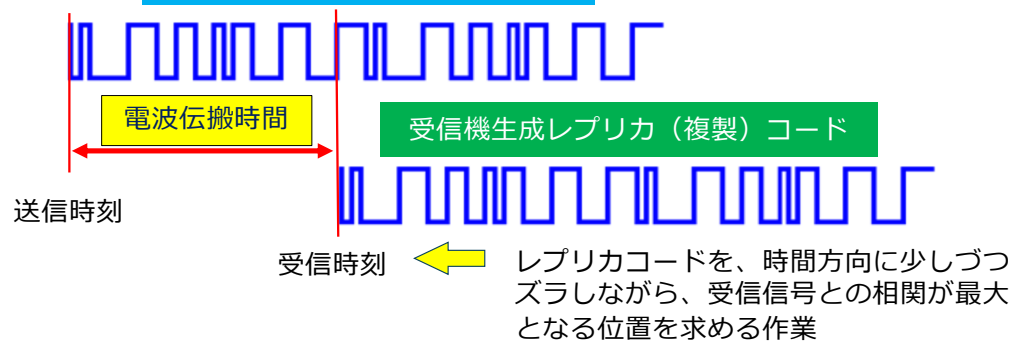
4つの距離がひとつに交わる点

引用元：みちびき（準天頂衛星システム）

$$\text{GNSS衛星との距離} = \text{電波伝搬時間} \times \text{電波の速度（光速）}$$

- ・ 電波伝搬時間による距離計算には、軌道上の衛星位置を特定する必要があります。
- ・ 軌道上の各衛星位置は、測距信号に含まれる「航法メッセージ」より計算して取得しています。

受信信号（擬似ランダムコード）



問題 26

無人航空機の夜間飛行について、最も適切なものを1つ選べ。

- ① 機体に搭載されたビジョンセンサーは、画像情報が不要なため、夜間時でも衝突回避・姿勢安定などの安全機能が動作する。
- ② 夜間飛行のため、無人航空機は姿勢や方向が正確に視認できる灯火を有する必要があるが、無人航空機の飛行範囲が照明で十分照らされている場合は、この限りではない。
- ③ 姿勢と方向が正確に視認できる灯火を有する無人航空機を用いた場合、離着陸地点、緊急着陸地点、飛行経路中の回避すべき障害物について視認するための地上照明は不要である。

正解と解説

②

夜間飛行は機体の姿勢や進行方向が視認できないため、灯火を搭載した機体が必要です。ただし、無人航空機の飛行範囲が照明等で十分照らされている場合は、この限りではありません。

その場合も屋外で飛行させる場合は航空局の承認申請が必要であることに注意しましょう。また操縦者の手元で位置、高度、速度等の情報が把握できる送信機を使用することが望ましいです。

地形や人工物等の障害物も視認できないため、離着陸地点や計画的に用意する緊急着陸地点、飛行経路中の回避すべき障害物も視認できるように地上照明を当てる必要があります。また、機体に搭載されたビジョンセンサーはカメラで撮影した画像を基にデータ処理するのが一般的で、夜間に対応していない場合は、衝突回避・姿勢安定などの安全機能が使用できない可能性があることに注意が必要です。

3. 無人航空機に関する規則



3-1.2 航空法に関する各論

(2) 規制対象となる飛行の空域及び方法（特定飛行）の補足事項等

2) 規制対象となる飛行の方法

a. 中間（日中）における飛行（2/2）



参考情報

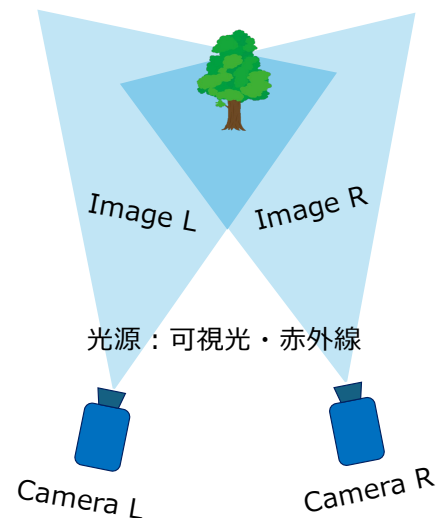
- ✓ 夜間飛行を行う場合は、**操縦者が無人航空機の姿勢と方向を正確に把握**できるようにするため、無人航空機に**灯火**を装備し点灯させておくことが求められています。
- ✓ ただし、この要件は、無人航空機の飛行範囲が照明等で十分照らされている場合には適用されません。
(例：ナイター設備のあるグラウンドでの飛行)
- ✓ なお、航空機と異なり、灯火の色や配置に関する規定はありません。



A4. 無人航空機のシステム

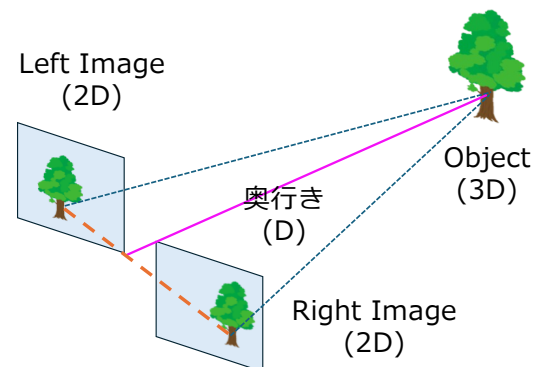
A4-5.4 障害物センサの種類と探知性能限界 — Stereo Sensorによる奥行き・深度測定の仕組み

Stereo Sensorの概要



- 「左右 2 つのカメラ (= 光学センサー) から得られる画像の差」を利用して、物体までの距離 (= 奥行き・深度) を計算するセンサー です。
- 人間の目と同じしくみで、右目と左目の“視差”から距離感を得ているのと同じ原理です。

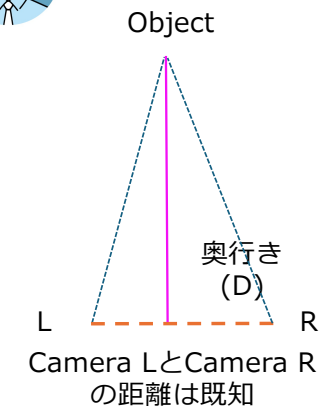
奥行き・深度測定の仕組み



- ① 左右2つのカメラで、同じ物体を別の角度から撮影する
- ② 画像内の同じ物体（特徴点）を見つける
- ③ 左右の画像での位置ズレ（視差）を測る
同じ物体でも、
 - ・ 近い物体：左右画像でのズレが大きい
 - ・ 遠い物体：ズレが小さいという特徴があります
- ④ 三角測量の原理で “距離 = 奥行き” を計算する



三角測量の原理



問題 27

以下の無人航空機のモーターやESC（エレクトロニクススピードコントローラー）に関する説明の中から、最も適切なものを1つ選べ。

- ① ESCは操縦機側に取り付けられている部品で、モーターの回転数を制御し、ローターの回転数を増減させることで揚力や推力を調整している。
- ② ESCは操縦機側に取り付けられている部品で、モーターの回転数を一定に保つためのデバイスであり、揚力や推力の調整には直接的な影響を与えない。
- ③ ESCは機体側に取り付けられている部品で、モーターの回転数を制御し、ローターの回転数を増減させることで揚力や推力を調整している。

正解と解説

③

無人航空機の飛行には、揚力と推力の微妙な調整が求められ、これにはモーターの回転数の制御が重要となります。

ESC（エレクトロニクススピードコントローラー）はモーターの回転数を制御するためのデバイスで、モーターで駆動されたローターの回転数を増減させることにより揚力や推力を変化させています。

なおESCは機体側に取り付けられている部品です。

4. 無人航空機のシステム



4.4 機体の構成

4.4.2 無人航空機の主たる構成要素（構成部品）

(3) ESC（エレクトロニック・スピード・コントローラー）

- ・ モーターの回転数は、ESC（エレクトロニック・スピード・コントローラー）により制御されている。
- ・ 各モーターの回転数を増減させることにより、揚力や推力を変化させ、機体の姿勢や運動を制御している。



- ESCは、バッテリーの直流電力を三相交流に変換し、ブラシレスモーターの回転数を制御する装置です。
- フライトコントローラからの指示に基づき、ESCが各モーターの回転数を調整し、その結果として姿勢や運動が変化します。
- ESCは、過電流や過熱に対する保護機能を持つ場合があります。

ESCの機能

- ② 指示に基づく各モーターの回転数を調整・変更
- ③ 機体姿勢・速度変化
- ① 機体の姿勢や運動に関する指示



問題 28

以下の選択肢のうち、マルチパスについて適切でないものを1つ選べ。

- ① マルチパスによって電波が弱くなり一時的に操縦不能になった場合は、電波到達の遅延をリセットするため、送信機の電源を一度切ることが適切な判断である。
- ② マルチパスは電波が複数経路を通る現象で、電波到達までにわずかな遅れが生じ、一時的な操縦不能の一因となる。
- ③ マルチパスによって電波が弱くなり一時的に操縦不能になった場合は、送信機をできるだけ高い位置に持ちアンテナの向きを変えることが適切な判断である。

正解と解説

①

マルチパスは、送信アンテナから放射された電波が山や建物などによる反射、屈折等により複数の経路を通して伝搬される現象です。

これにより電波は到達するまでにわずかな遅れを生じ、これが一時的な操縦不能の一因となります。マルチパスによって電波が弱くなり一時的に操縦不能になった場合、送信機をできるだけ高い位置に持ち、アンテナの向きを変えて操縦の復帰を試みることを推奨されます。

4. 無人航空機のシステム



4.5 機体以外の技術要素

4.5.1 電波

(1) 電波の特性

1) 直進、反射、屈折、回折、干渉、減衰 (3/3)

・ 干渉

複数の電波が重なり合うことで通信が不安定になる現象です。2.4GHz帯は、無線LANやBluetoothなど多くの機器が共用しているため、電波環境によっては、映像の途切れや操縦信号の不安定が生じることがあります。

・ 減衰

電波が徐々に弱くなる現象です。距離が離れるほど弱くなり、また壁や建物などの障害物を通過するたびに弱くなります。このため、ドローンを遠くまで飛ばしたり、障害物の多い場所で操縦したりすると、電波が届きにくくなることがあります。なお、水中では電波が吸収されやすく、大きく減衰します。

4. 無人航空機のシステム



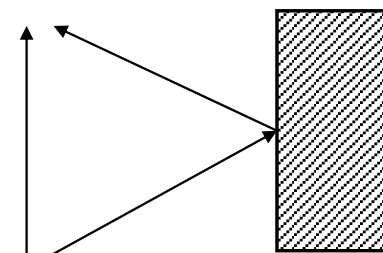
4.5 機体以外の技術要素

4.5.1 電波

(1) 電波の特性

2) マルチパス

- ・電波が建物や地面で反射して、複数の経路で受信機に届く現象です。直接届く電波と反射した電波は到達するタイミングがずれるため、強くなったり弱くなったりして受信状態が不安定になります。
- ・さらに、電波の強さが十分でも、信号のタイミングが乱れると情報を正しく読み取れず、データの欠落や誤りが生じやすくなります。
- ・このように、一時的に操縦が不安定になった場合は、送信機をできるだけ高い位置に持ち、アンテナの主な放射方向を機体に向けて向きを調整します。また、操縦者自身が数歩移動することで、電波が打ち消し合って弱くなる位置から離れ、受信状態が改善することがあります。
- ・改善しない場合は、機体がフェールセーフ動作（例：ホバリング、帰還、着陸など）に移行する可能性があります。運航に大きな影響を与えます。



問題 29

以下の選択肢から、リチウムポリマーバッテリーの取り扱い上の注意点について正しく説明しているものを1つ選べ。

- ① リチウムポリマーバッテリーは充電が進むとガスを発生させ膨らむが、これは通常の現象である。
- ② リチウムポリマーバッテリーは、強い衝撃に対して耐性があり、衝撃により発火する可能性は低い。
- ③ バッテリーのコネクタの端子が短絡した場合、発火する可能性がある。

正解と解説

③

リチウムポリマーバッテリーの取り扱い上、注意が必要な点としては過放電や過充電、バッテリーへの強い衝撃、コネクタの端子の短絡が挙げられます。

これらの状況が発生すると、バッテリーの劣化が進行し、寿命が短くなる可能性があります。

また、内部でガスが発生し、バッテリーが膨らむ原因となることもあります。

さらに、これらの状態が発生した場合、発火する可能性があるため、取り扱いには十分な注意が必要です。



4. 無人航空機のシステム

4.6 機体の整備・点検・保管・交換・廃棄

4.6.1 電動機における整備・点検・保管・交換・廃棄

(2) リチウムポリマーバッテリーの保管における主な留意点

- ・バッテリーの劣化を遅らせるため、長期間使用しない時は、**充電60%を目安**に保管すること。
- ・**満充電の状態での保管**又は**飛行後の放電状態での保管**は、電池の劣化が進みやすく電池が膨らみ、使用不可になることが多いので行わないこと。
- ・短絡すると発火する危険性があるため、バッテリー端子が短絡しないように細心の注意を払うこと。
- ・機体コネクタとバッテリーを接続したままにしないこと。
- ・万が一発火しても、安全を保てる不燃性のケースに入れ、突起物が当たってバッテリーを傷つけない状態で保管すること。
- ・落下させるなどの、衝撃を与えないこと。
- ・水に濡らさないこと。
- ・バッテリーを高温（35度C超え）になる環境で保管しないこと。

- リチウムポリマーバッテリーに関する留意点は、Li-ionバッテリーにも適用されます。





4. 無人航空機のシステム

4.6 機体の整備・点検・保管・交換・廃棄

4.6.1 電動機における整備・点検・保管・交換・廃棄

(3) リチウムポリマーバッテリーの交換

- ・ 交換時期のチェックが特に重要なものとして、リチウムポリマーバッテリーが挙げられる。
- ・ リチウムポリマーバッテリーが膨らんでいる場合は、過充電などでバッテリー内部に可燃性ガスが発生している可能性があるため、早めに交換を行う。

(4) リチウムポリマーバッテリーの廃棄方法

- ・ 無人航空機の運航で生じる廃棄物は、各地方自治体のルールに従って廃棄しなければならない。
- ・ 事業で用いたリチウムポリマーバッテリーを廃棄する場合は、法律に則り「産業廃棄物」として廃棄する。



- リチウムポリマーバッテリーに関する留意点は、Li-ionバッテリーにも適用されます。

問題 30

無人航空機におけるペイロードの積載とその影響について、不適切なものを1つ選べ。

- ① 飛行機については、離着陸エリアの広さによってもペイロードが制限される可能性がある。
- ② ペイロードの最大積載量とペイロード搭載時の飛行性能は取扱説明書に記載されていても、飛行高度、大気状態によって異なることがある。
- ③ 機体に安全に飛行できるペイロードの最大積載量が定められている場合、機体重量が変化しても航空機の飛行特性は変化しにくい。

正解と解説

③

無人航空機では、ペイロードが飛行特性に大きく影響を及ぼします。

特に、機体の重心位置の変化は飛行特性に大きな影響を及ぼすため、ペイロードの有無によって機体の重心位置が著しく変化しないよう注意が必要です。

また、ペイロードの最大積載量と飛行性能は、飛行高度や大気状態、離着陸エリアの広さによっても異なり、機体重量が変化すると航空機の飛行特性（安定性、飛行性能、運動性能）は変化します。

また、飛行機は垂直着陸ができないため、離陸には滑走路が必要です。

機体重量が大きい（重いペイロードを搭載している）と長い滑走路が必要となります。

そのため性能的には搭載できても、離着陸エリアが狭い場合はペイロードを調整する必要があります。

4. 無人航空機のシステム



4.3 飛行原理と飛行性能

4.3.4 無人航空機のペイロード搭載

- ・無人航空機には、ペイロードを搭載できない機体を除き、機体ごとに安全に飛行できるペイロードの最大積載量が定められている。
- ・ただし、ペイロードの最大積載量とペイロード搭載時の飛行性能は**飛行高度、大気状態**によっても異なり、また飛行機の場合は離着陸エリアの広さによっても異なる。
- ・機体重量が変化すると、航空機の飛行特性（安定性、飛行性能、運動性能）は変化するため、注意が必要である。
- ・機体の重心位置の変化は、飛行特性に大きな影響を及ぼすため、ペイロードの有無によって機体の重心位置が著しく変化しないようにしなければならない。（特に固定翼機を対象とした記述）



- **ペイロード**とは、産業機であれば、機体の外部に装着する特殊カメラ等、農業機であれば薬剤タンクに入れる液体、物流機であれば積載貨物が相当します。
- 機体重量が増すとそれを支える為の揚力を増やす必要があり、固定翼機であればエンジン推力や機体速度を、回転翼機であればローター回転速度を増やす必要があります。
- 一般的に、推力は空気密度が高い（高度が低い）ほど大きくなる傾向があります。

