

一等無人航空機操縦士 計算問題 予想問題のパターンとポイント

「無人航空機の飛行の安全に関する教則」を抜粋し、ポイントと解き方のコツをまとめます。

70問中計算問題としては以下の5つの項目からそれぞれ一問ずつ合計五問が出題されると見込まれます。

(実際に受験した感想。初期の段階)

合格ラインは90%なので、7問以上間違えると不合格です。

計算問題を取りこぼさないことが合格の鍵となります。

飛行機の推力・回転翼航空機の推力

飛行機の旋回半径

飛行機の滑空距離

水平到達距離

フレネルゾーン半径と必要なアンテナの高さ

ワイエムプランニング 水原康雄
兵庫県宝塚市 mizuhara.yasuo@gmail.com

(1) 飛行機の揚力・回転翼航空機の推力

飛行機の水平定常飛行においては、機体重量 W 、揚力 L 、空気密度 ρ 、飛行速度 V の間に以下の関係がある。

$$W = L \propto \rho V^2$$

プロペラなどの回転翼の推力 T は、空気密度 ρ 、回転角速度 ω の間に以下の関係がある。

$$T \propto \rho \omega^2$$

回転翼航空機(ヘリコプター)及び回転翼航空機(マルチローター)のホバリング時には、機体重量 W と推力 T の間に以下の関係がある。

$$W = T$$

また、回転翼の消費パワー(仕事率) P は、空気密度 ρ 、回転角速度 ω 、推力 T の間に以下の関係がある。

$$P \propto \rho \omega^3 \propto T \omega$$

扇風機や水車など、空気や水などの流体負荷の場合、回転速度の2乗のトルクがかかる。

予想問題パターン

空気密度が0.5倍になるとどうなる？

回転数の増加の割合 = $\sqrt{\text{空気密度比}}$

消費パワーの増加の割合 = $\sqrt{\text{空気密度比}}$

(飛行機or回転翼機のプロペラ回転の)

速度は $\sqrt{2}$ 倍必要

消費パワーは $\sqrt{2}$ 倍必要 (T一定 ω だけ変化)

機体の重さが2倍になるとどうなる？

回転数の増加の割合 = $\sqrt{\text{重量比}}$

消費パワーの増加の割合 = $\sqrt{\text{重量比}}^3$

(飛行機or回転翼機のプロペラ回転の)

速度は $\sqrt{2}$ 倍必要

消費パワーは $(\sqrt{2})^3$ 倍必要 (ρ 一定 Tと ω が変化)

飛行機の推力・回転翼航空機の推力

問題

重量 8 kg の回転翼航空機が、ホバリングしている時の回転翼の回転数が 300rpm であった。2 kg のカメラを搭載して合計 10kg になった場合にホバリングする場合に必要な回転翼の回転数を求めよ。電卓が使用可能である。

- a. 300rpm
- b. 335rpm
- c. 400rpm

正解

b

回転数の増加の割合 = $\sqrt{\text{重量比}}$

$$300\text{rpm} \times \sqrt{10\text{kg}/8\text{kg}} = 335.4\text{rpm}$$

飛行機の推力・回転翼航空機の推力

問題

重量 8 kg の回転翼航空機が、ホバリングしている時の回転翼の回転数が 300rpm で、この時の消費パワーは 5000mw であった。2 kg のカメラを搭載して合計 10kg になった場合にホバリングする場合に必要な消費パワーを求めよ。電卓が使用可能である。

- a. 6250mw
- b. 5600mw
- c. 7000mw

正解

c

消費パワーの増加の割合 = $\sqrt{\text{重量比}}^3$

$$5000\text{mw} \times \sqrt{10\text{kg}/8\text{kg}}^3 = 6987.7\text{mw}$$

(2) 飛行機の旋回半径

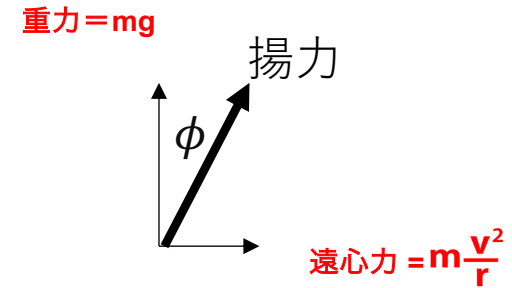
飛行機がバンク角(ロール角) ϕ の定常旋回飛行を行うためには、力のつり合いから、水平定常飛行と比べて $1/\cos\phi$ 倍の揚力が必要であり、飛行速度 V 、旋回半径 r 、重力加速度 g の間に以下の関係がある。

$$\frac{V^2}{r} = g \tan \phi$$

例えば、飛行速度 10m/s、バンク角 20° の場合の旋回半径 r は、重力加速度 $g \cong 9.8\text{m/s}^2$ 、 $\tan 20^\circ \cong 0.36$ であるので、以下のように求められる。

$$r = \frac{V^2}{g \tan \phi} = \frac{10^2}{9.8 \times 0.36} \cong 28 \text{ m}$$

また、 $\cos 20^\circ \cong 0.94$ であるので、1.06 倍の揚力が必要である。



飛行機が旋回している時は、
揚力 $\times \cos\phi$ と重力 (鉛直方向のつりあい)
揚力 $\times \sin\phi$ と遠心力 (水平方向のつりあい)
がそれぞれ釣り合う

揚力 $\times \cos\phi =$ 機体の重さ $\times g$ 式1
揚力 $\times \sin\phi =$ 機体の重さ $\times V^2 / r$ 式2
式2 \div 式1 で導出できる。

バンク角と旋回半径の関係は、機体の重さや揚力に関係ないことがポイント

予想問題パターン

バンク角15度なら旋回半径は何メートル？

バンク角15度ならから揚力が何倍必要？

飛行機の旋回半径

問題

飛行機が、飛行速度25m/s、バンク角 30° で定常旋回した時の 旋回半径として、正しいものを1つ選びなさい。ただし、重力加速度は 9.8m/s^2 、 $\tan 30^\circ = 0.58$ とする。電卓が使用可能である。

- a. 105m
- b. 110m
- c. 115m

正解

b

$$\text{旋回半径} = \frac{\text{飛行速度}^2}{\text{重力加速度} \times \tan(\text{バンク角})} = \frac{25^2}{9.8 \times 0.58} = 109.95\text{m}$$

飛行機の旋回半径

問題

飛行機が、飛行速度25m/s、バンク角 30° で定常旋回した時の揚力は水平定常飛行時の揚力の何倍必要か。ただし、重力加速度は 9.8m/s^2 、 $\cos 30^\circ = 0.87$ 、 $\tan 30^\circ = 0.58$ とする。電卓が使用可能である。

- a. 1.0倍
- b. 1.3倍
- c. 1.15倍

正解

c

水平定常飛行と比べて $1/\cos(\text{バンク角})$ 倍の推力が必要 $\frac{1}{\cos(\text{バンク角})} = \frac{1}{0.87} = 1.149$

(3) 飛行機の滑空距離

飛行機の滑空時に飛行経路が水平面となす角を滑空角(降下角)とよぶ。無推力の定常滑空飛行状態での滑空角 γ は、揚力 L 、抗力 D によって以下のように求められる。

$$\tan \gamma = \frac{1}{L/D}$$

揚抗比の意味だけ押さえられればよい。
滑空距離 = 高度 × 揚抗比

よって、ある高度 h からの滑空距離 d は以下のように求められる。

$$d = \frac{h}{\tan \gamma} = h \cdot L/D$$

揚抗比が大きいほど滑空距離が長い
グライダーで30、ジェット旅客機で15くらい

ここで、 L/D は揚抗比である。

例えば、揚抗比15の無推力の定常滑空飛行状態であれば、滑空角 γ は

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{1}{15} \cong 3.8^\circ$$

予想問題パターン
揚抗比が30なら滑空距離は何メートル？

となり、高度 $h = 100\text{m}$ からの滑空距離 d は、

$$d = 100 \times 15 = 1500\text{m}$$

となる。

飛行機の滑空距離問題

高度300メートルを飛行している揚抗比15の飛行機が、無推力となった。

定常滑空飛行状態の飛行距離として、正しいものを1つ選びなさい。電卓が使用可能である。

- a. 4500m
- b. 5000m
- c. 3000m

正解

a

$$\text{滑空距離} = \text{高度} \times \text{揚抗比} = 300 \times 15 = 4500\text{m}$$

(4) 水平到達距離(水平投射の場合)

高度 h を飛行する飛行速度 v の無人航空機が、揚力を失い落下を始める場合を考える。無人航空機を質点とみなせるものとし、空気抵抗は無視できると仮定すると、落下開始地点から地上に墜落するまでの水平距離 x は、

$$x = v \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

で求めることができる。但し、 g は重力加速度である。

水平に投射されたものは自由落下しながら水平方向に一定の速度で移動する。

自由落下の距離 $h = \frac{1}{2}gt^2$
水平方向の移動距離 $x = vt$
から導出できる。

水平移動距離 = 速度 × 落下までの時間

予想問題パターン
ドローンが水平飛行している時に推力を失えば墜落まで何メートル進むのか？

水平到達距離(水平投射の場合)

高度50メートルを4 m/sで水平飛行している回転翼機が、トラブルで無推力となった。空気抵抗は無視できるとして、トラブル開始から地上に落下するまでの水平移動距離として正しいものを1つ選びなさい。重力加速度は 9.8m/s^2 。電卓が使用可能である。

- a. 12.8m
- b. 15.0m
- c. 11.7m

正解

a

$$\text{水平移動距離} = \text{速度} \times \text{落下までの時間} = \text{速度} \times \sqrt{\frac{2 \times \text{高度}}{\text{重力加速度}}} = 4 \text{ m/s} \times \sqrt{\frac{2 \times 50 \text{ m}}{9.8 \text{ m/s}^2}} = 12.77 \text{ m}$$

1) フレネルゾーン半径と必要なアンテナの高さ

フレネルゾーンの半径:R(m)、送受信アンテナ間距離:D(m)、使用周波数f(Hz)、波長:λ(m) とすると、これらの間には以下の関係がある。

$$R = \sqrt{\lambda \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{1}{D}}$$

上記式を用いた、送受信アンテナ間距離:100m、使用周波数:2.4GHz のときのフレネルゾーンの半径の具体的な導出方法を以下に示す。

上記の前提条件より、

- 送受信アンテナ間距離:D=100m
 - 使用周波数:f=2.4×10⁹Hz
 - 波長:λ=(3×10⁸)÷(2.4×10⁹)=0.125 m(光の速度を3×10⁸m/sとした場合)
- と求めることができる。

以上より、フレネルゾーンの半径Rは、

$$R = \sqrt{\lambda \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{1}{D}} = \sqrt{\lambda \times \frac{D}{4}} = \sqrt{0.125 \times \frac{100}{4}} \doteq 1.77 \text{ m}$$

よって理想的なアンテナの高さは1.77m以上となる。

なお、実際にはフレネルゾーン半径の60%以上のアンテナ高さが確保できていれば、フレネルゾーンに障害物がない場合と同等の通信品質を確保できるといわれている。この条件にて必要なアンテナの高さを計算すると、1.77×0.6≒1.1m以上となる。

教則の公式を変形した
 $2R = \sqrt{\lambda D}$

フレネルゾーンの直径は
 $\sqrt{\text{波長} \times \text{アンテナ距離}}$
を覚えるとよい。

フレネルゾーンの半径の60%
以上の高さを確保すること。

予想問題パターン
教則の例が出題される。

フレネルゾーン半径と必要なアンテナの高さ

使用周波数が2.4GHz、送信側と受信側の距離が1,400mの場合のフレネルゾーン半径の60%の値 (m) として、次のうち最も適切なものを1つ選びなさい。ただし、光速は 3×10^8 m/sとし、 $\sqrt{2}=1.41$ 、 $\sqrt{3}=1.73$ 、 $\sqrt{5}=2.24$ 、 $\sqrt{7}=2.65$ を用いてもよい。電卓が使用可能である。

- a. 4.0m
- b. 4.5m
- c. 5.0m

正解

a

$$\begin{aligned} \text{フレネルゾーンの直径は} & \sqrt{\text{波長} \times \text{アンテナ距離}} = \sqrt{\frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} \times 1400} = 13.2\text{m} \\ \text{半径} \times 60 \text{ パーセント} & = 13.2 \times 0.6 = 7.92 \end{aligned}$$

波長は光速 / 周波数 ギガは 10^9