

抗力の変化がドローンの飛行特性に及ぼす影響

The Effect of Changes in Drag on the Flight Characteristics of the Drone

○丸祐明¹, 吉田洋明²

*Hiroaki Maru¹, Hiroaki Yoshida²

Abstract: Recently, there are many drones for various purposes, such as agriculture and delivery, but they all have similar shapes. However, if an airframe shape with flight characteristics suitable for each application is obtained, more functional drones can be built. In this study, the flight characteristics of a drone at varying drag and center of gravity positions are analyzed by flight simulation using a simplified model in a 2D plane.

1. はじめに

近年では農業用, 配達用, 検査用等といった様々な用途のドローンが存在し, 企業などが研究開発を行っている. しかし, 現状のドローンはどれも似た形状をしている. だが, 各用途にあった飛行特性を持つ機体形状が得られれば, より機能性の高いドローンが製作できる. 本研究では, ドローンの各用途に合った機体形状を提案するため, 抗力を変化させ, 抗力と重心位置を変化させた際のドローンの飛行特性を2次元平面での簡略化されたモデルを用い, 飛行シミュレーションによって解析を行う.

2. 解析モデル

今回のモデルを Fig.1 に示す. 重心より上に抗力があり, プロペラが下に位置している場合の機体を示してある. 抗力を受ける部分は球体で代表する. これは簡単のためどの方向に飛行しても姿勢によって抗力が変化しないようにするためである. また, 機体およびプロペラ部分でも抗力は発生するが, 今回は球体以外の抗力は無視し, 球体の大きさを変化させて抗力を変化させる.

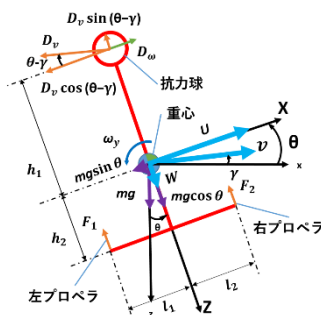


Fig.1 Drone's Simulation Model^[1]

3. 運動方程式^[2]

Figure1 に示したモデルの運動方程式, 座標変換の方程式を式(1)~(6)に示す.

$$\dot{U} = \frac{1}{m} \{D_\omega - D_v \cos(\theta - \gamma) - mg \sin \theta\} - \omega_y W \quad (1)$$

$$W = \frac{1}{m} \{-F_1 - F_2 - D_v \sin(\theta - \gamma) + mg \cos \theta\} + \omega_y U \quad (2)$$

$$\dot{\omega}_y = \frac{1}{I_y} \{h_1 D_v \cos(\theta - \gamma) - h_1 D_\omega - F_1 l_1 + F_2 l_2\} \quad (3)$$

$$\dot{x} = U \cos \theta + W \sin \theta \quad (4)$$

$$\dot{z} = -U \sin \theta + W \cos \theta \quad (5)$$

$$\dot{\omega}_y = \dot{\theta} \quad (6)$$

ここで, m [kg]: 機体質量, g [m/s²]: 重力加速度, x [m]: 固定座標における x 軸方向の重心位置, z [m]: 固定座標における z 軸方向の重心位置, U [m/s]: 機体座標における X 軸方向の速度, W [m/s]: 機体座標における Z 軸方向の速度, v [m/s]: 進行方向の速度, D_v [N]: 並進速度による抗力, D_ω [N]: 回転による抗力, F_1 [N]: 左プロペラの推力, F_2 [N]: 右プロペラの推力, l_1 [m]: 機体中心から左プロペラまでの距離, l_2 [m]: 機体中心から右プロペラまでの距離, h_1 [m]: 重心から抗力中心までの距離, h_2 [m]: プロペラから重心までの距離, θ [°]: 水平面からの機体の角度および γ [°]: 経路角である.

ただし,

1: 日大理工・院 (前)・精機, 2: 日大理工・教員・精機

$$D_v = \frac{1}{2}\rho(U^2 + W^2)SC_D \quad (7)$$

$$D_\omega = \frac{1}{2}\rho h_1^2 \omega_y \sqrt{\omega_y^2} SC_D \quad (8)$$

である。

ここで、 $\rho[\text{kg/m}^3]$ ：大気密度， $S[\text{m}^2]$ ：抗力が受ける球の投影面積， $C_D[-]$ ：抗力係数である。

4. シミュレーション

式(1)~(6)を用いて、ドローンの飛行シミュレーションを行った。Table1 にシミュレーション条件，Table2 に初期条件を示す。

Table1 Simulation Conditions

名称	単位	数値
重心から抗力中心までの距離 h_1	[m]	0.1, -0.1
抗力球の半径 r	[m]	2
機体の質量 m	[kg]	2
プロペラの推力 F_1, F_2	[N]	9.81
Y 軸回りの慣性モーメント I_y	[kgm ²]	10
機体中心から各プロペラまでの距離 l_1, l_2	[m]	0.3
大気密度 ρ	[kg/m ³]	1.225
抗力係数 C_D	[-]	0.50
重力加速度 g	[m/s ²]	9.81

Table2 Initial Conditions

名称	単位	数値
機体座標 X 軸方向の初期速度 U_0	[m/s]	0
機体座標 Z 軸方向の初期速度 W_0	[m/s]	0
Y 軸回りの初期角速度 ω_{y0}	[rad/s]	0
x 軸方向の初期位置 x_0	[m]	0
z 軸方向の初期位置 z_0	[m]	0
Y 軸回りの初期角度 θ_0	[°]	-5

5. シミュレーション結果

抗力が重心より上にある場合 ($h_1=-0.1\text{m}$) と下にある場合 ($h_1=0.1\text{m}$) のシミュレーション結果を Fig.2 と Fig.3 にそれぞれ示す。

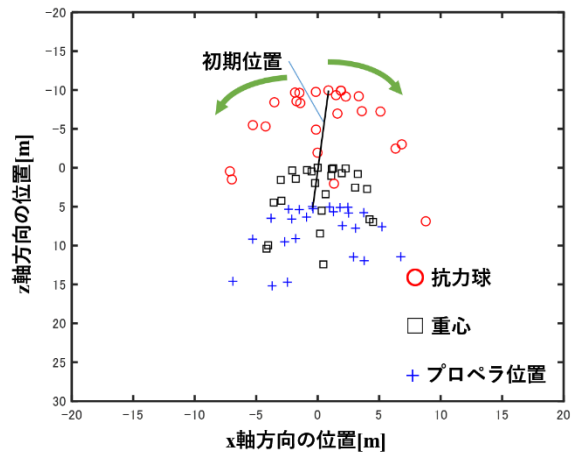


Fig.2 Simulation Result ($h_1 = -0.1\text{m}$)

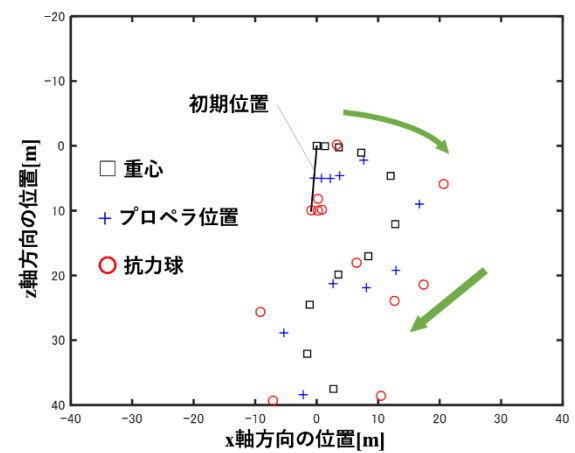


Fig.3 Simulation Result ($h_1 = 0.1\text{m}$)

Figure2 の抗力が重心より上の場合では傾いた姿勢を戻そうとするが，Fig.3 の抗力が重心より下の場合には姿勢を戻さず，墜落した．このことから抗力が重心より上にある方が安定になると考えられる。

6. おわりに

今回の条件では抗力が重心より上にある場合では安定に近づくことが分かった．今後はドローンがどの条件で安定になるかを安定解析によって明らかにしていく。

参考文献

- [1] 川柳亮二：「航空機の飛行力学」，森北出版株式会社，(2017) ．
- [2] 嶋田有三・佐々修一：「飛行力学」，森北出版株式会社，(2017) ．