



“35.3915152, 139.4527932” のように “度.分秒” の形で表現される。高さの単位はメートルなので緯度・経度の単位をメートルに変換する必要がある。ここで “緯度・経度及び高さから地心直交座標への変換” を用いる。地心直交座標とは、地球の中心を原点とし、そこから XYZ それぞれの方向に何m離れているかによって空間上の位置を表す手法である。以下に計算式を示す。

$$X = (N + h)\cos\varphi \cdot \cos\lambda, \quad Y = (N + h)\cos\varphi \cdot \sin\lambda$$

$$Z = (N(1 - e^2) + h)\sin\varphi, \quad h = H + Ng$$

ただし、

$\varphi$ : 緯度  $\lambda$ : 経度  
 $h$ : 楕円体高さ  $N$ : 卯酉線曲率半径  
 $Ng$ : ジオイド高  $e$ : 第一離心率  $H$ : 標高

とする。ここで、

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}, \quad e^2 = f(2 - f), \quad f = \frac{a - b}{a}$$

$a$ : 準拋楕円形の赤道半径,  $b$ : 準拋楕円形の極半径である。

図4の面 ABCD を例にとる。面 ABCD の頂点 A,B,C の頂点の座標 (緯度, 経度, 高さ) に対してこの換算を行うと頂点 A,B,C の座標の (X,Y,Z) 値が単位メートルで得られる。この3点に対し平面の式  $ax+by+cz+d=0$  を求める。三次元空間において機体の現在位置  $P_0(x_0, y_0, z_0)$  と平面  $ax+by+cz+d=0$  との距離  $dis$  は以下の式で求められる。

$$dis = \frac{ax_0 + by_0 + cz_0 + d}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

次に、境界へ到達するまでの時間計算を行う。速度  $v$  で飛行し続ける場合、図 5①のようなグラフとなり境界に到達してしまう。これを防ぐために速度  $v$  で飛行中、負の最大加速度  $\alpha_{max}$  で減速し、境界面で速度を 0 にするのに必要な秒数

$$t_c = \frac{v}{-\alpha_{max}}$$

この時の境界からの距離

$$x_c = \frac{v^2}{\alpha_{max}}$$

を求める。現在時刻を  $t$  とすると減速を始めなければならない時間は

$$t - t_c = \frac{dis - x_c}{v}$$

となる。 $t - t_c = 0$ の時図 5②のグラフとなり、 $t - t_c$ より手前で減速を始めると図 5③のグラフのように境界への到達を防ぐことができる。

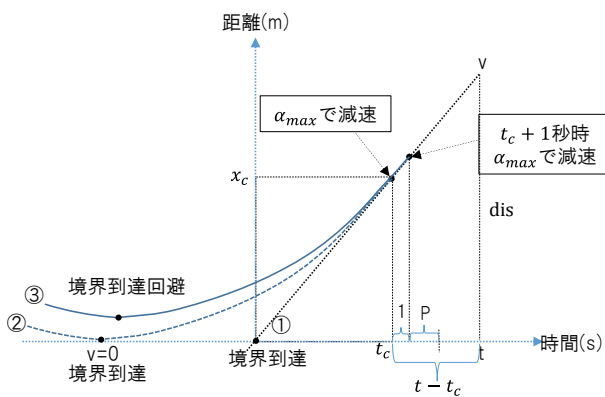


図 5 到達時間

この  $dis$  と  $t - t_c$  を全ての境界に対して求め、 $t - t_c$  が一番小さい境界に対して警告発信・自動ブレーキを行う。

## 2.5 警告発信・自動ブレーキ

図 6 のように飛行状態を場合分けし、 $t - t_c$  と操縦者のスキルで変更する  $P(0.5 \sim 1.5 \text{ 秒})$  の値に応じて操縦者へ警告発信・自動ブレーキ作動を行う。 $t - t_c = 1$  で自動ブレーキを作動させるよう指定している。この自動ブレーキは空域外に出てしまう事の抑止を目的としている。

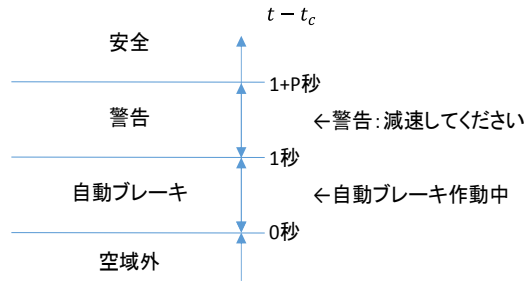


図 6 飛行状態の場合分け

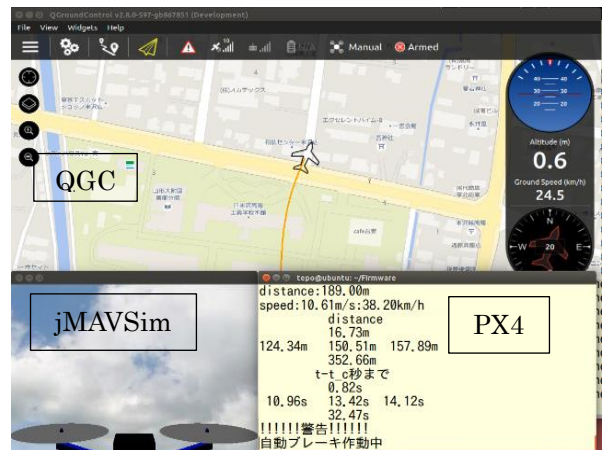


図 7 実行画面

図 7 はシミュレーターの実行画面である。QGC、PX4、jMAVSim のウィンドウから成り、PX4 ターミナルに飛行情報、各境界までの距離、警告類を表示する。この場合では  $t - t_c \leq 1$  となっていて、自動ブレーキが作動中である。

## 3.今後の課題

今回は直方体状の空域制限を設け、自動的に減速させるシステムを作ることができた。今後は空域外へ出てしまった時の自動帰還機能、多面体への対応、風や GPS の誤差等のイレギュラーな事態への対応等更なる性能の向上を目指す。

## 4.参考文献

- [1] PX4 Standard SITL Setup  
 “[https://pixhawk.org/dev/simulation/native\\_sitl](https://pixhawk.org/dev/simulation/native_sitl)”
- [2] 土屋淳、辻宏道, “新・やさしい GPS 測量”, 社団法人日本測量協会(2001)
- [3] 高橋隆雄 “ドローンを作ろう! 飛ばそう!” 株式会社秀和システム(2015)