

どのようなモータへの指令がどのような推力や
空力トルク、機体の動きを生むのか

[ご購入はこちら](#)

飛行制御シミュレーション・プログラム [1] メイン・コード

藤原 大悟

表1 今回の実験で使用するソースコード (筆者作成)

ファイル名※1	省略名※2	説明
runsimnl.py	(なし)	シミュレーションを実行する
idexpdata.py	si	システム同定実験データを読み込む
acmdl.py	ac	機体運動計算を1ステップ実行する
ctrl_ol.py	co	アウト・ループ姿勢角度制御を1ステップ実行する
ctrl_il.py	ci	インナ・ループ角速度制御を1ステップ実行する
ctrl_cd.py	cd	コマンド分配則の計算を1ステップ実行する
ahrs.py	ah	AHRSの計算を1ステップ実行する
senmdl.py	sn	センサ・モデルの計算を1ステップ実行する
rotation.py	rt	回転姿勢に関する関数の定義

※1: 拡張子“.py”を除いた部分がモジュール名となる

※2: モジュール名の省略名

本章と次章では、マルチロータ・ヘリの非線形機体運動シミュレーションのソースコードを解説します。ソースコードは表1に示す9個のファイルからなります。この中のrunsimnl.pyはシミュレーションを実行し、結果を表示するソースコード・ファイルであり、プログラムを実行する起点です。残りの8個のファイルは、runsimnl.pyのソースコードから呼び出されるモジュールであり、単体で起動しません。表1のファイル名の拡張子“.py”を除いた残りの部分がモジュール名となります。省略名は、モジュールをインポートする際に用いるimport文のasの後ろに書く名称です。

本章では、runsimnl.pyの内容を解説し、制御器を含む機体の運動を計算機上で再現計算する、非線形機体運動シミュレーション計算の処理の流れを説明します。残り8個のコードは次章で解説します。

想定するマルチロータ・ヘリ

今回のシミュレーションで想定するマルチロータ・ヘ

リを写真1に示します。対象の機体や計算に使う数式は、本誌2020年3月号と2022年9月号^{(1), (2)}で解説したもののから一部変更しています。第4部Appendix2に、ソースコード各部と、過去号に掲載した数式の対応関係を示します。過去号は本誌サポート・ページで関係する章を確認できます。参照ください。

主な変更点の1つ目は、機体座標系の軸の方向です。文献(1), (2), (3)では機体の右方を x 軸、前方を y 軸、上方を z 軸としていましたが、一般的な航空機力学の慣例に倣うよう、前方を x 軸、右方を y 軸、下方を z 軸に変更します。以下、機体座標系を、 B 系と呼び、3軸それぞれを x_B 軸、 y_B 軸、 z_B 軸と呼ぶことにします。地面に固定する基準座標系についても、機体座標系の変更に合わせて軸の方向を変更します。基準座標系は、 N 系と呼び、3軸それぞれを x_N 軸、 y_N 軸、 z_N 軸と呼ぶことにします。 x_N - y_N 平面は水平面、 z_N 軸は鉛直下方が正となります(写真1)。

主な変更点の2つ目は、アクチュエータ・モデルです。アクチュエータ・モデルとは、機体に取り付けられた4つのモータとプロペラが、モータに与える指令値に対し、どのような推力や空力トルクを生じさせるかを表した数式です。文献(1), (2), (3)では、ホバリング状態を基準とした線形モデルで表していましたが、これを文献(4)の式(5)~式(7)で表される非線形モデルに置き換えます。また、モータへの指令値についても、文献(1), (2), (3)では0~2000の範囲で表されるPWM指令値(マイコンのタイマのレジスタ値[LSB])としていたところ、正規化し、0~1の範囲の無次元指令値に変更します。モータ・プロペラの番号1~4は写真1に示す通りです。

コード解説① 使用するモジュールの読み込み

シミュレーション計算の処理の流れを図1に、ソースコードの抜粋をリスト1に、それぞれ示します。

3~12行目で、以後使用するモジュールを読み込みます。汎用なのは、numpyとmatplotlibの2つで、残りの8つは非線形機体運動シミュレーション