

# 卒業論文要旨

## サーボによるラダー機構を用いたトライコプターの開発

制御・メカトロニクス研究室 近持 佑幸

### 1. はじめに

トライコプターの操縦特性を改善することを目的として、実機の製作およびモデリングを行った。そして、線形システム方程式を求めた。今回の発表では、その結果について報告する。

### 2. 試作したトライコプター

図 1 に試作したトライコプターの写真を示す。機体の大きさはプロペラを含めた全幅：760 mm，全長：640 mm，そして高さ：140 mm である。機体と配線だけの重量は 360g であり，電子部品を加えると合計 920 g である。後方（図の上側）のモータだけがサーボと接続されたラダーの上に設置されており， $x^B$  軸の垂直方向にモータを傾けることができる。

なお，図 1 の  $x^B$  は機体座標系の  $x$  軸を表し，その方向に通常は進行する。番号は各モータに割り振ったものであり，変数の表現に利用する。材料は主にアルミニウム，一部にカーボンファイバーとポリ乳酸を使用した。

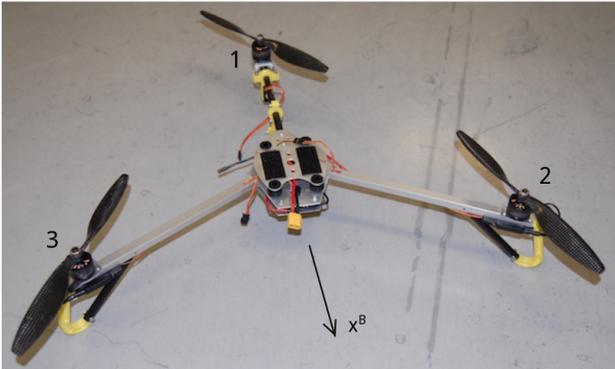


図 1: Tricopter

### 3. システム方程式の導出

#### 3.1 モデリング，および変数の導出

モデリングしたトライコプターの並進・回転に関する運動方程式から 9 つの変数を求めた [1]。運動方程式は式 (1) と式 (2) の通りである。変数は表 1 にまとめた。

$$m\dot{V}_{cog} = F_{cog} \quad (1)$$

$$\dot{H} = M_{cog} \quad (2)$$

ここで， $m$ ：機体総重量 [kg]， $V_{cog}$ ：機体重心の速度 [m/s]， $F_{cog}$ ：機体重心にかかる力 [N]， $H$ ：角運動量 [kg·m<sup>2</sup>/s]， $M_{cog}$ ：機体重心周りのモーメント [N·m]，ドットは時間微分を表す。

表 1: Variables.

状態変数	機体重心の速度 機体軸周りのオイラー角 機体軸周りの角速度	$u, v, w$ $\phi, \theta, \psi$ $p, q, r$
入力変数	モータの回転速度 サーボ角	$\omega_i$ ( $i = 1, 2, 3$ ) $\delta$

### 3.2 未知数の定数化

前節で得た変数には未知数が含まれている。システム行列および入力行列を線形化する上では，モータの出力および機体構造に関する計測である。モータが生ずる推力，誘導回転力および回転速度を電子天秤とタコメータを用いて測定した。各パーツの重量とそれらの機体重心からの距離を用いて，離散的に慣性モーメントを計算した。その結果を表 2 にまとめる。

なお，定常値を表すのに 0 を下付き文字とした。誘導回転力とは，モータの回転の反作用で生ずる機体を回転させる力を指す。

表 2: Summary of Constants

Name of constants	Value	Unit
$x^B$ 軸周りの慣性モーメント: $I_{xx}$	0.0150	kg·m <sup>2</sup>
$y^B$ 軸周りの慣性モーメント: $I_{yy}$	0.0118	kg·m <sup>2</sup>
$z^B$ 軸周りの慣性モーメント: $I_{zz}$	0.0258	kg·m <sup>2</sup>
推力係数: $k_{thr}$	0.00002	N·sec <sup>2</sup> /rad <sup>2</sup>
誘導回転力係数: $k_{rtf}$	0.000003	N·sec <sup>2</sup> /rad <sup>2</sup>
定常サーボ角: $\delta_0$	0.151 (8.63)	rad(deg)
定常モータ回転速度: $\omega_0$	388	rad/sec
前方アーム: $l_f$	0.285	m
後方アーム: $l_r$	0.235	m
機体全重量: $m$	0.920	kg

### 3.3 システム方程式，そして線形化

MATLAB でシステム行列  $A$  と入力行列  $B$  を計算した。ここでは，用紙の都合上システム方程式だけを示す。要素は発表の際に示し，ここでは導出方法について述べる。

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (3)$$

まず，各変数の定常値を  $\phi$  だけ  $\pi$  と，その他を 0 と定義する [2]。加えて， $A$  と  $B$  の各要素を変数で偏微分する。その後，定義した定常値を代入した。これは安定微係数の導出方法に基づいている [1]。以上の手順でシステム行列と入力行列の要素を計算した。

### 4. おわりに

この要旨では，試作したトライコプター，およびモータと機体構造に関する計測から線形システム方程式の導出することに関して述べた。今後は，解いた線形システム方程式を用いて制御設計およびシミュレーションを行う。そして，完成した制御システムをトライコプターに適用して，飛行させる。

### 参考文献

- [1] 加藤寛一郎・大屋昭男・柄沢研治，航空機力学入門，東京大学出版会，1982
- [2] Karl-Johan Barsk, Model Predictive Control of a Tricopter, 2012