

# 平成 28 年度 卒業論文要旨

## Quad Tilt Wing 機の設計、製作

機械・航空システム制御研究室 1170163 柳澤勇希

### 1. 緒言

近年、無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) への関心が高まっている。無人航空機は、有人機だと近づくことが出来ないような危険な場所に、容易に近づくことができるなど、様々な任務において、有人機では実現不可能な任務を可能にすることから、災害監視や化学観測などで利用されている。

現在、無人航空機は、有人機と同様、多くは固定翼機、回転翼機に分類される。固定翼機は、高速飛行が可能であり、航続距離が長いという利点があるが、離着陸時に滑走路を必要とし、そのために広大な場所を確保しなければいけない欠点がある。回転翼機は、滑走路を必要とせず、垂直離着陸が可能であり、低速巡航、定点滞空が出来るという利点があるが、固定翼機に比べて、航続時間、航続距離、搭載量が劣る。運用時には、与えられた任務に応じて、それぞれ固定翼機、回転翼機<sup>1)</sup>と使い分けられている。

しかし、自然災害時においては、被害状況によって滑走路の確保が出来ない場合や、被害が広範囲に及ぶ場合は、長距離運航を必要とする。また、観測地点では、定点滞空、低速巡航出来る性能が求められる。この条件下で、これらの性能を同時に満たすような航空機として、垂直離着陸 (Vertical Take Off Landing: VTOL) 機がある。

VTOL 機は、固定翼機と回転翼機の性能を併せ持った航空機である。VTOL 機にはティルトローター型、ティルトウイング型があるが、本研究では、ティルトウイング型のひとつである Quad Tilt Wing 機に着目し、機体の制御系設計後の実験を容易に行うための実験用機体として、設計、製作を行った。

### 2. 製作した Quad Tilt Wing 機の概要

機体の主な仕様を表 1 に示す。製作した機体は JAXA が開発した図 1 に示す QTW 機 (McART3) を参考に 3DCAD を用いて設計した。

### 3. 翼の製作

#### 3-1 翼の平面形状の決定

まずは、翼を真上から見た平面形状について考えた。一般的に用いられている翼の平面形状を図 2 に示す。<sup>[2]</sup>

製作に用いた平面形状は矩形翼を選んだ。矩形翼は、橢円形翼、テーパー翼に比べて、製作が容易であること、また、アスペクト比 (縦横比) が大きく、航続性能が良いことから、この形状を選んだ。

#### 3-2 翼型の決定

次に翼型 (翼断面の形状) について考えた。翼型は翼型が上下対象になっている NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) 0008, NACA0010 を選んだ。対称翼は、垂直上昇時など、翼の上下の揚力差がなく、非対称翼に比べて、機体が安定しやすいことから、前翼、主翼には、NACA0008、垂直尾翼には NACA0010 を用いた。

NACA0008 の形状を図 3 に示す。NACA0010 は 0008 型と翼型は同じであるが、最大翼厚比が、0008 型が 8% に対して、10% であるという違いがある。垂直尾翼は、設計した大き

さに対して 0008 型を用いると、翼厚が薄くなり過ぎるため、0010 型を用いた。

#### 3-3 翼の製作

翼のリブ (翼型をした小骨) には、アクリル板を用いた。アクリル板の切断には、レーザー加工機を使用し、リブを製作した。製作したリブの一部を図 4 に示す。

Table1 Design main Specifications.

Full length	800mm	Propulsion device	Electric motor (NTM Prop Drive Series EF-11300kv) × 4
Full width	820mm	Propeller	10 [inch] × 5.5 [pitch] × 4
Total height	318mm	Tilt mechanism section	BM-700 Servo Gearbox × 2
Aircraft weight	5.0kg	Mechanism for moving the flap and ladder	SG-90 Micro Servo × 5 Push rod × 5



Fig.1 JAXA McArt3 [3]

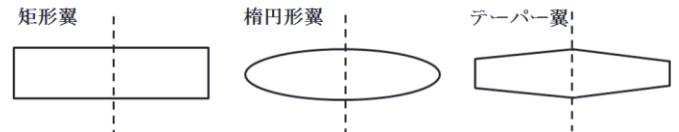


Fig.2 Types of planar shapes of wings



Fig.3 NACA0008 Airfoil [4]

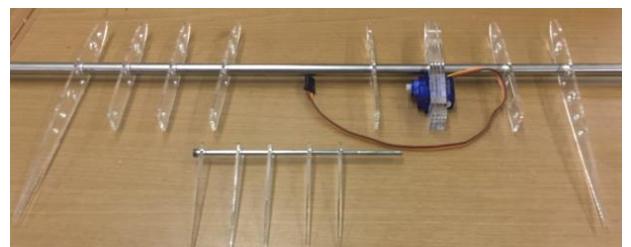


Fig.4 A part of the ribs produced

次に翼表面の製作を行った。翼表面には、カーボンファイバーを用いた。製作方法は以下の手順で行った。

- ① 翼表面用の型を3Dプリンタで製作
- ② 型の表面に取り外すための剥離剤を塗る
- ③ 型の上にカーボンファイバー、その上からカーボンを硬化させるためのエポキシ樹脂を塗る
- ④ 硬化後、型から取り外す

製作した翼表面用の型、翼表面の一部を図5に示す。

#### 4. 胴体の製作

胴体外枠には、アルミフレームを用いた。また、ステンレスプレートをフレーム上面、下面部に取り付けることで、ねじれを起こしにくくした。胴体の全長は、前翼、主翼が傾いても、互いが接触しないように、全幅、全高は、翼を傾けるための機構を収納出来るようなサイズに設計し、その機構を取り付けるためのマウントは3Dプリンタを用いて製作した。製作した胴体を図6に示す。

#### 5. 各部品の選定

##### 5-1 モーター、プロペラ、バッテリーの選定

垂直離着陸、定点滞空を可能にするには、推進装置による推力が必要である。まずは静止推力を求めるために、次式を用いて計算を行った。[1]

$$T = \left(\frac{3}{10}\right)^3 \times \left(\frac{P}{10}\right) \times \left(\frac{N}{1000}\right)^2 \times 22 \quad \dots (1)$$

T: 静止推力 [kgf] D: プロペラ直径 [inch] P: プロペラピッチ [pitch] N: モーター回転数 [rpm] 22: 世界標準プロペラ係数

である。また、モーター回転数 N は

$$N = KV \text{ 値} \times \text{バッテリー電圧} \times \text{モーター回転効率} \quad \dots (2)$$

で求めることが出来る。ここで KV 値とは rpm/V で表す。これらの式から、実験機体を十分に持ち上げられるだけの静止推力を求め、それぞれ部品を選定した。選定した部品は表1に示す。

##### 5-2 ティルト機構部における部品の選定

ティルト機構部は、固定翼機、回転翼機に切り替えるためには重要な部分である。今回は、サーボが既に格納されており、且つ歯車、ペアリングが一体になっているサーボギアボックスを選んだ。歯車のギア比は、サーボギアボックスの仕様上、2:1とした。用いた部品を図7に示す。一体になっていることで、胴体への取り付けが容易であり、また、サーボへの負荷を軽減することが出来ると考えた。

#### 6. 結言

本研究では、制御系設計後の実験を容易に行うための、実験機体の設計、製作を行った。製作した機体を図8に示す。今回の製作から、設計段階で予定していた機体重量より重くなってしまった。今後は、部品の選び直しなどによる機体の軽量化を図ると共に、コントローラーの設計、翼の有効性を検証するために風洞実験を行う必要があると考える。その実験結果を踏まえ、さらなる機体の改良を行っていく必要があると思われる。そして最終的には、飛行試験を実施したいと考えている。

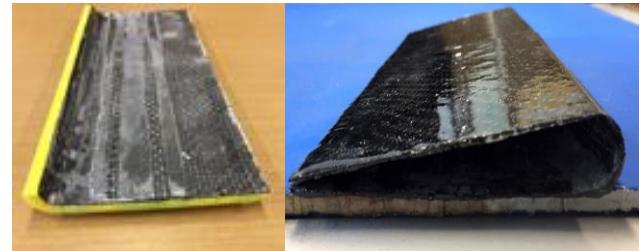


Fig.5 Wing surface mold, Wing surface

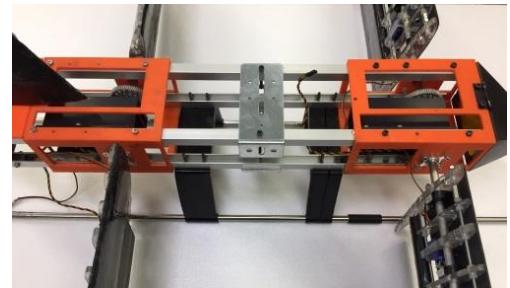


Fig.6 Fuselage produced



Fig.7 Tilt mechanism section



Fig.8 Quad Tilt Wing machine produced

#### 参考文献

- [1]江崎 亨. (2016) QTW (Quad Tilt Wing) 機の設計と試作 高知工科大学制御工学・メカトロニクス研究室学士論文
- [2]牧野光雄(2015). 航空力学の基礎 (第3版) 産業図書
- [3]JAXA McArt3 <http://www.aero.jaxa.jp/>
- [4]NACA0008 Airfoil <http://airfoiltools.com>