トライコプター型のカイト翼ティルトローター機の開発

葉山 清輝^a 入江 博樹^a

^a熊本高等専門学校

1. はじめに

マルチコプターは垂直離着陸が可能で空中での自由度が高く、測量、観測等に有用であるが、2 次電池を動力源に用いるため飛行時間の制約がある。一方、固定翼機は離着陸に滑走路が必要であり空中での静止はできないが、マルチコプターより長時間飛行できる。以前我々は、Fig.1 に示す角度可変の主翼を有し最適な迎角となるよう自動調整するマルチコプターを提案した。水平飛行に滑らかに遷移することができ、水平飛行時に主翼の揚力を得てホバリング時の 66% 程度の省電力で飛行できることを示した⁽¹⁾。また上記の利点を有し可搬性も良い機体として、Fig.2 に示す柔軟性のあるカイトを主翼として（以下、カイト翼）付加したマルチコプターを考案・試作して 79% 程度の電力で飛行が可能であることを示した⁽²⁾。更に、カイト翼付きトライコプターの一部のローターを 45 度程度までティルトさせ水平飛行遷移できる機体も試作した⁽³⁾。

本研究では更なる省電力飛行を目的として、トライコプターとして離着陸でき、ローターが完全にティルトして水平飛行に遷移するカイト翼ティルトローター機を考案し開発したので報告する。

2. 提案する飛行体

2.1 原理

Fig.3 に考案したティルトローター機の概観を示す。ローターがティルト時に正面を向くように T 字型のトライコプターを機体とした。前方 2 ローターをサーボモータによって 90 度ティルトさせ前方への推力を得て水平飛行に遷移することができる。機体の重心とカイト翼の空力中心が一致するように設計した。

2.2 開発した機体について

使用したモータは最大出力約 180W、プロペラは直径 9 インチで単独の推力は最大 560g である。LiPo バッテリー (3S-11.1V, 2200mAh) を電源に使い、電池を含む機体重量は約 961g である。市販のフライトコントローラ (FC) の APM2.5 (ArduPilot Mega 2.5, 3D Robotics)⁽⁴⁾ を搭載し

Fig. 1. Y3 tricopter with variable pitch wing.

Fig. 2. Flexible kite wing attached tricopter.

Fig. 3. Concept of the proposed aircraft

てトライコプターの姿勢制御を行った。カイト翼は取付角および面積が自在に設定でき、ここでは低速でも十分な揚力を得るため取付角 35 度、翼面積 0.39m²とした。

Fig.4 に試作機の電子系統図を示す。2.4GHz の R/C (ラジオコントロール) 送受信機を操縦に用いている。APM2.5 には 3 軸加速度センサ、3 軸ジャイロセンサ、地磁気センサおよび気圧センサが搭載され、オープンソースの姿勢制御と飛行制御用のソフトウェアを利用することができる。前方 2 ローターのティルトは送信機のボリューム操作により手動で行う。

Fig. 4. Block diagram of the proposed aircraft.

Trial Production of Kite Wing attached Tricopter with Tilt Front Rotors

Kiyoteru Hayama^a, Hiroki Irie^{ab}

^aNational Institute of Technology, Kumamoto College

Fig. 5. Tilt of the front rotors.

前方 2 ローターのティルトの様子を Fig.5 に示す。ラダー操作によりヨー軸で機体が回転する場合は、Fig.5(a)のように左右ローターは逆方向にティルトする。前進する際には、Fig.5(b)のように両方のローターが前方にティルトする。

3. 飛行試験

試作した機体の試験飛行を行った。Fig.6(a)に示すように機体は垂直浮上後、水平に姿勢を保ってその場にホバリングできた。前方 2 ローターをティルトさせていくと機体は前進し、Fig.6(b)のように水平飛行に遷移した。この時の機体にかかる力の釣合いについて Fig.7 に示す。 $F_{R,L}$ の推力によりカイト翼の揚力 L を発生し尾翼の揚力 L_T により姿勢を維持しながら飛行するため後方ローターの F_T は不要となる。

Fig. 6. Flight image of the proposed aircraft.

Fig. 7. Weight and balance acting on the aircraft.

Table 1. Power consumption at difference angle of rotors.

Flight attitude	Power consumption
Hovering without tilt of rotors	93 W
Level flight with 45° Tilt rotors	77 W
Level flight with 90° Tilt rotors	64 W

機体の消費電力について Table 1 に示す。ホバリング時は 93W の電力を要するのに対し、ローターのティルト後は 64W の電力で飛行できた。

4. おわりに

トライコプターとして離着陸でき、前方 2 ローターを完全にティルトして水平飛行に遷移するカイト翼によるティルトローター機を考案し開発した。今後は更なる省電力化と長時間飛行を目指す。

謝 辞

本研究は科研費基盤研究(C)(17K06952)の助成を受けた。

文 献

- (1) 葉山清輝,入江博樹: "マルチコプターをもとにした垂直離着陸機の製作とその応用", 第 22 回スカイスポーツシンポジウム講演集, pp.13-16, 2016 年 12 月
- (2) 葉山清輝, 宇佐啓, 本田涼, 入江博樹: "カイト翼を有するマルチコプターの試作", 第 55 回飛行機シンポジウム, 島根県民会館, JSASS-2017-5202, 2017 年 11 月
- (3) 葉山清輝,入江博樹: "カイト翼によるティルトローター型垂直離着陸機の試作", 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2018 年 12 月, 3D5-07
- (4) PM| Open source autopilot: <http://ardupilot.com>