

令和元年度 東京情報大学総合情報研究所プロジェクト研究
研究実績報告書

1. 研究課題名

墜落しない Flying Taxi 開発のための新しいドローン（マルチコプタ）の構造開発研究

2. 研究組織

区分	氏名	所属・職名
研究代表者	鈴木 英男	総合情報学部 総合情報学科・教授
研究分担者	早稲田 篤志	総合情報学部 総合情報学科・助教
	花田 真樹	総合情報学部 総合情報学科・教授

3. 研究期間

2019 年度

4. 研究の目的

ドバイ、シンガポール、中国、米国などで Flying Taxi（空飛ぶタクシー）の実用化実験が始まっている。しかしながら、そこで採用されるフレームについては、実は故障時の安全性を考慮していないものが多い。そこで本研究では、3 つの Yaw 軸制御方法に着目し、従来にないプロペラ回転方向の組合せによるマルチコプタの実験を行った。その結果として、プロペラが故障しても飛行できる新しいクアッドコプタとオクトコプタを提案する。

5. 研究報告

VTOL 機(垂直離着陸飛行機)において Yaw 軸を制御する方法には、次の 3 つがある。CW とは時計方向(clock wise)の回転を表し、CCW とは、反時計方向(counter clock wise)を表す。

- (1) CW/CCW プロペラの回線数の比率を制御する方法
- (2) プロペラ後方のエルロン翼(またはエレボン翼)を制御する方法
- (3) 2 つのプロペラを相反する方向にチルト制御する方法

図 1 (1) では、CW/CCW の回転数の比率により Yaw 軸を制御する方法を示している。例えば、図 1 (1a)のように、CCW 方向に機体を回転させたいときは、CW 方向のプロペラ回転数を上げ、CCW 方向のプロペラ回転数を下げれば、機体はプロペラ回転の反トルクにより CCW 方向に回転する。一方、図 1 (1b)のように、CW 方向に機体を回転させたいときは、CCW 方向のプロペラ回転数を上げ、CW 方向のプロペラ回転数を下げれば

ば、機体はプロペラ回転の反トルクにより CW 方向に回転する。

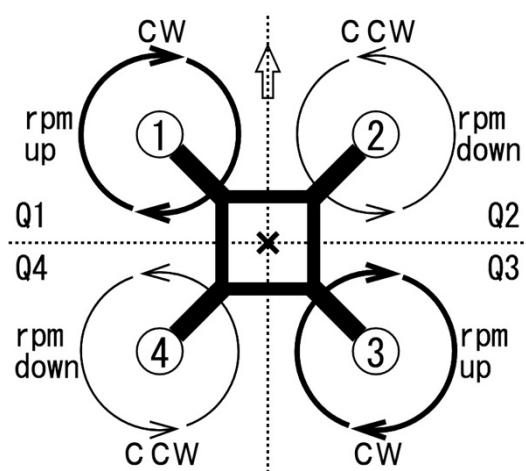
図 1 (2) では、プロペラ後方のエルロン翼(またはエレボン翼)により Yaw 軸を制御する方法を示している。例えば、図 1 (2a) のように、CCW 方向に機体を回転させたいときは、左側のプロペラ後方のエルロン翼を奥に傾けるとプロペラが生成する気流をエルロン翼が邪魔するので機体の左側を手前に動かそうとし、右側のプロペラ後方のエルロン翼を手前に傾けるとプロペラが生成する気流をエルロン翼が邪魔するので機体の右側を奥に動かそうとするので、機体は CCW 方向に回転する。一方、図 1 (2b) のように、CW 方向に機体を回転させたいときは、左側のプロペラ後方のエルロン翼を手前に傾けるとプロペラが生成する気流をエルロン翼が邪魔するので機体の左側を奥に動かそうとし、右側のプロペラ後方のエルロン翼を奥に傾けるとプロペラが生成する気流をエルロン翼が邪魔するので機体の右側を手前に動かそうとするので、機体は CW 方向に回転する。

図 1 (3) では、2つのプロペラを相反する方向にチルトすることにより Yaw 軸を制御する方法を示している。例えば、図 1 (3a) のように、CCW 方向に機体を回転させたいときは、左側のモータマウントをチルトさせることで、左側プロペラ回転面の前側を上げ、後ろ側を下げると、機体の左側を後方に動かそうとし、右側のモータマウントをチルトさせることで、右側プロペラ回転面の前側を下げ、後ろ側を上げると、機体の右側を前方に動かそうとするので、機体は CCW 方向に回転する。一方、図 1 (3b) のように、CW 方向に機体を回転させたいときは、左側のモータマウントをチルトさせることで、左側プロペラ回転面の前側を下げ、後ろ側を上げると、機体の左側を前方に動かそうとし、右側のモータマウントをチルトさせることで、右側プロペラ回転面の前側を上げ、後ろ側を下げると、機体の右側を後方に動かそうとするので、機体は CW 方向に回転する。

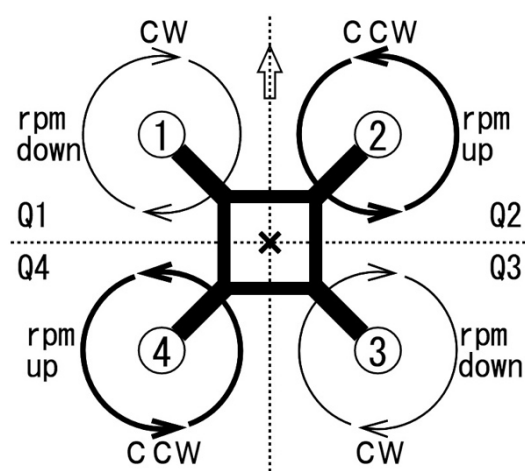
鈴木ら[1]は次を明らかにした。図 1(1a)の一般的なクアッド X 型エアフレームでは、1つのプロペラが故障すると墜落する。図 2 の一般的なフラットヘキサ X 型エアフレームでは、文献[1]の Figure. 21 で解説したように、故障したプロペラの対角線反対側のプロペラの推進力がほぼゼロとなり、正常な飛行が難しくなり緊急着陸せざるを得ない。図 3 の一般的なオクトコアックス X 型エアフレームでは、文献[1]の Figure. 4 で解説したように、1つのプロペラが故障しても飛行はできるが、前後左右に飛行するだけで、その度に CW/CCW の比率が変化してしまうので、毎回ヨーイングを修正する必要があり乗り心地が悪くなる。

鈴木ら[2]では、鈴木ら[1]の効率を改善するために、図 4 や図 5 などのデンスプロペラという新しいプロペラ配置構造を示している。図 4 や図 5 の特徴は、4つの象限 Q1, Q2, Q3, Q4 の各象限の中で、それぞれ1つのプロペラが故障しても、すなわち、8個のプロペラ中4個のプロペラが故障しても、故障したプロペラの隣のプロペラが2

倍の推進力を発生させることで、故障前とまったく同じ動きとなり、安定性をまったく損なわずに3次元を自由に飛行することが可能な方式である。そして、デンスプロペラ構造を用いることで、エネルギー効率を損なわずに、機体サイズをコンパクトにできている。

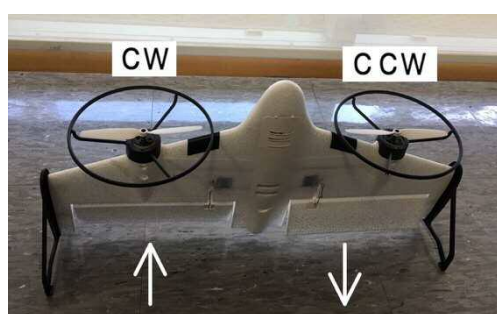


(1a) CCW 方向に機体を回転させるとき

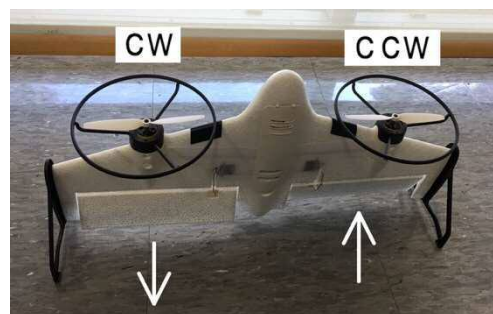


(1b) CW 方向に機体を回転させるとき

(1) CW/CCW の回転数の比率による Yaw 軸制御

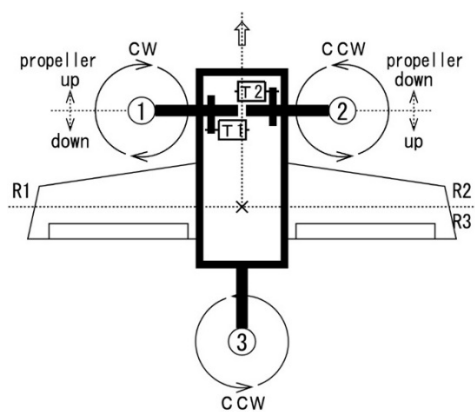


(2a) CCW 方向に機体を回転させるとき

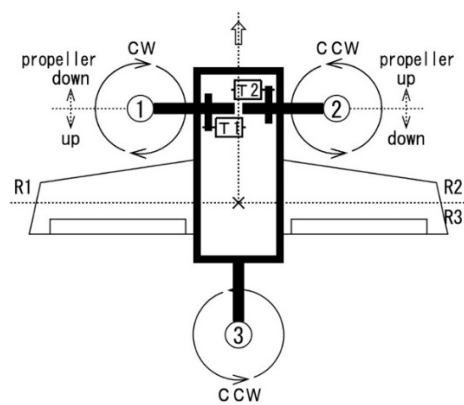


(2b) CW 方向に機体を回転させるとき

(2) プロペラ後方のエルロン翼(またはエレボン翼)による Yaw 軸制御



(3a) CCW 方向に機体を回転させるとき



(3b) CW 方向に機体を回転させるとき

(3) 2つのプロペラを相反する方向にチルトすることによる Yaw 軸制御

図 1 様々な Yaw 軸制御

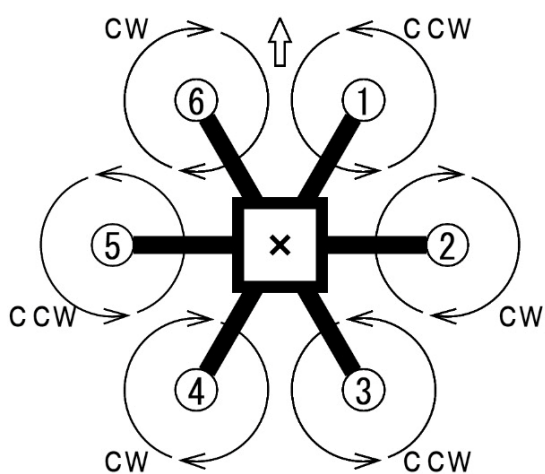


図 2 Flat Hexa X 型

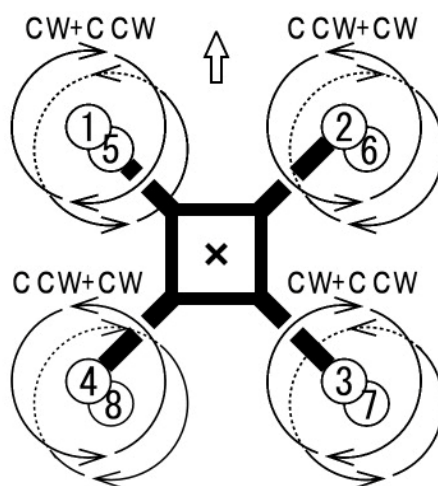


図 3 Octo Coax X 型

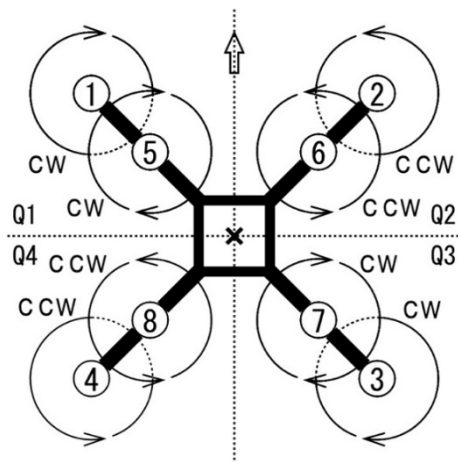


図 4 Octo Dense X type 2 型

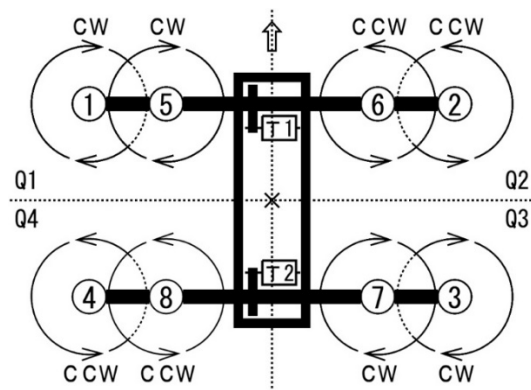


図 5 Octo Dense tilting X 型

参考文献

- [1] H. Suzuki, K. Matsushita, M. Hanada, S. Suzuki, T. Shinohara, N. Nijima, and T. Nakamura : “A New Stable Multicopter Avoiding Crashes without the Detection of Rotor Failure -- A New Direction in Multicopter Design --,” 53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA Propulsion and Energy Forum, Atlanta, GA, USA, (2017.7.12), pp.1-28. <https://doi.org/10.2514/6.2017-5091> .
- [2] H. Suzuki, K. Matsushita, M. Hanada, S. Suzuki, T. Shinohara, N. Nijima, and T. Nakamura : “A New Fault Tolerant Multicopter Using Dense Propellers for Size Compacting -- A New Direction in Multicopter Design Part 2 --,” 54th AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA Propulsion and Energy Forum, Cincinnati, Ohio, USA, (2018.7.11), pp.1-14. <https://doi.org/10.2514/6.2018-4888> .

6. 成果の公表

米国航空宇宙学会 AIAA Propulsion and Energy Forum (2020.8)にて公表予定。