



| | |
|--------------|---|
| Title | ドローンの基本原理とペイロードの測定 |
| Author(s) | |
| Citation | 令和6（2024）年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書．2025 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/101289 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和6年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

| | | | | | |
|---------------------|---|----------|---------------|--------|----|
| ふりがな 氏名 | ひらやま いぶき 平山 聖輝 | 学部 学科 | 工学部 応用理工学科 | 学 年 | 3年 |
| ふりがな 共同 研究者氏名 | | 学部 学科 | | 学 年 | |
| アドバイザー教員 氏名 | 石川 将人 | 所属 | 工学研究科 | | |
| 研究課題名 | ドローンの基本原理とペイロードの測定 | | | | |
| 研究成果の概要 | 研究目的, 研究計画, 研究方法, 研究経過, 研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い, 盗作剽竊にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。) | | | | |

研究目的

Amazon が一部地域においてドローンによる配達に着手したというニュースが報道されてからというもの, ドローンは我々の生活においてより身近なものになってきている。そこで本研究では無人航空機, ドローンを実際に自作することでドローンの基本原理を学ぶことを目的とする。また遠隔操縦にて実際に飛行させ, そのペイロードを測定することで荷重がある場合の飛行安定性も調査する。

研究計画

7月～8月中旬

購入したドローン自作キットの部品の規格, 仕様を調査し, どれだけの時間滞空出来るか予想する。(正しい設計手順は全体のサイズや目標滞空時間を決めてから部品の選定に移るが, 今回は自作キットを購入して, なぜその部品はこの仕様になっているのかを考えるという手順を踏む)

8月中旬～9月末

ドローンの脳FC(フライトコントローラー)の環境構築, 各パラメータを理解する。ドローンは機体のフレームやモータ, プロペラやESCと呼ばれる回転数伝達装置のほかにそのモータの回転数を決めるFCと呼ばれる部品がある。この中身がドローンの姿勢を保つための複雑な計算を実行しており, そのソフトウェアの内容を書籍の力を借りながら理解する。

10月～11月中旬

飛行テスト, RC送信機によるマニュアル操作, 自律飛行の実施FCの中身が理解できたら次は実際にドローンを動かす。この際地上からドローンに信号を送信する信号機を用いてドローンが正常に飛行できるか検証し, 問題なければ自律制御に移っていく。複雑な計算を行うドローンだが,

現在普及しているオープンソースソフトウェア (OSS) ArduPilot のソフトウェアを用いて短時間の自律制御を実現する。

11月中旬～12月

各パラメータと積載重量、重心の位置の関係を探る。積載する重量が変化した場合の姿勢維持にどのような影響が出るのか、どのように修正すればよいのかを調べ上げ、FC 内の各パラメータを変更する。場合によってはより強力なモータなどを買って部品の見直しも行う..

研究方法

1. ドローンの全体像とハードウェアの理解

まずはドローンがどのような仕組みで飛行できているのかという全体像を把握し、そこから機体システムと推進システムに分けて各部品がどのようなシステムを構成しているのか理解することを目指す。

2. オープンソースソフトウェアと姿勢制御アルゴリズムの理解

つぎにドローンが自分の姿勢をどのように測定し、その姿勢を安定させているのかという姿勢制御アルゴリズムの原理について理解する。また姿勢制御アルゴリズムを実装するためにもちいられているソフトウェアの概要が公開されているので理解に努める。

3. フレームやフライトコントローラ (FC) など各部品の購入と組み立て

各部品の役割を理解したのち、市販のフレームや姿勢制御の指令を行う FC などの部品を購入し、組み立てる。

4. 遠隔通信機器の理解

ドローンの遠隔操縦を行うための遠隔通信機器、RC プロポ通信機の仕組みを理解する。また送信機側にはドローン操縦を容易にするための初期設定を施す必要があるためその初期設定も行う。

5. FC 内のセンサや RC 受信機、コンパスなどの校正

FC から送られる指令電圧とセンサや通信機の値を紐づけるための校正 (キャリブレーション) を行う。これは地上局システムとして用いることができるパソコンのアプリ「Mission Planner」にて初期設定の項目から操作できるためマニュアル通りに初期設定を進める。

6. 国土交通省が定める無人航空機の機体登録

100g 以上の無人航空機は国土交通省が管轄する無人航空機の機体登録をする義務が法律により課せられているため法律に従って機体登録をする。

7. 飛行テストとペイロードの測定

ここまでの手順を踏むことでようやく自作ドローンを飛行させることができる。安定した飛行ができるかをテストし、うまく飛行できればドローンの積載重量であるペイロードを測定する。

研究経過

研究方法 1～6 までの準備を終えて飛行したときの経過を示す。今回のドローンは荷物を運ぶ運搬を目的としているので荷物受け用の箱を 3D プリンタで印刷し (図 1)、プロペラを取り付けて電源をつなげ、Alt hold モードにしてスロットルを上げてみた。(図 2)



図1 3Dプリンタで作成した荷受け



図2 飛行を試みたときの様子

しかし、スロットルを一番上に上げてても機体が持ち上がらなかった。公式の HAWK'S WORK の動画では同じ設定で持ち上がっていたため設定ミスであることは考えにくい。そこでよくプロペラを見てみると1つのプロペラはスロットルの上がり下がり反応して回転数が増減しているのだが、ほかの3つはうまく回転数が増加していない様子が確認できた。

ドローンの部品にはパワーモジュールというものがある。これは2Sで最大7.4VのLiPoバッテリーから5Vを基準とするFCに情報をうまく伝えるための変換用モジュールである。はじめての飛行を試みた際はこのパワーモジュールがあるためESC側のBECは必要ないと理解していた。しかし、パワーモジュールが一番近いESCだけ回転数をうまくモータに伝達しており、ほかのモータは回転数が増加していないという状況からBECが不足していると考え、各ESCにBEC機能を追加したものを4つ購入し、はんだ付けをし直した。BEC機能が付いていないESCは図3に、買inaおしたESCは図4に示す。



図3 ESC (BECなし)



図4 ESC (BECあり)

これで飛行できると思い、もう一度飛行させるとやはり初めてのときと比べて各モータの回転数が増加していることが確認できた。(図5)



図5 ESCを付け替えた後の飛行テスト

しかし、依然として機体が持ち上がらず、Mission Planner の画面では”Potential Thrust Loss(1)”のメッセージログが表示される。このエラーメッセージはあるモータ番号（今回であれば1番）のモータ出力が飽和していることを示すメッセージである。^[2]対処法としては推進系をより強力なものに変えるか全体の重量を減らすかというハードウェアの対処が必要になるということが公式ページに書いてあった。総重量を減らすための工夫は足部分を取り外すこと、荷受を付けずに飛行させてみることにより既に実施していたので推進系を見直してみることにした。するとテストと接続していた LiPo バッテリーの電位が低く、アラート音が鳴り始めていたので、これまでの飛行テストによる電位の低下が原因であると考えた。LiPo バッテリーの充電器は別売りで、2S 用の充電器かどうか確認したうえで購入する必要があるため注意する。

LiPo バッテリーの基準電位は 3.7V であることは既知であったが、最大電位は 1S で 4.2V であり、充電する前は 3.3V 程度になっていた。充電してみるとそれぞれのセルが 4.16V になるまで給電できたためバッテリーの電位は最大近くまで充電できたことになる。この状態で無荷重状態の飛行を試みたところ、初めて機体を宙に浮かせることができた。その時の様子を図 6 に示す。飛行がうまくいったことから次にペイロードを測定すべく、まずは荷台 (192.02g) を持ち上げられるかどうかテストをしたところ、これも持ち上げることができた。しかし、一度無負荷で飛行させた後は当然バッテリーの電位が下がっているのて高度 1m 程度のところまでしか飛行させることができなかった。その時の様子を図 7 に示す。

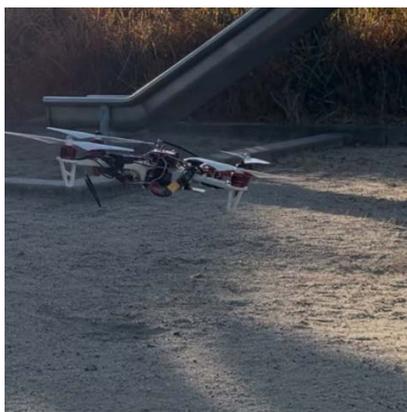


図 6 初飛行（無荷重）



図 7 負荷状態の飛行（荷台のみ）

このあと荷台に一つだけおもり (0.6kg) を荷台の中に入れて飛行を試みたが、すでに電位が 3.8 V 程度になっていることと 0.6kg が重すぎるという二つの理由から再び”Potential Thrust Loss”のメッセージログとともに飛行できなかった。その時の Mission Planner の画面を図 8 に示す。

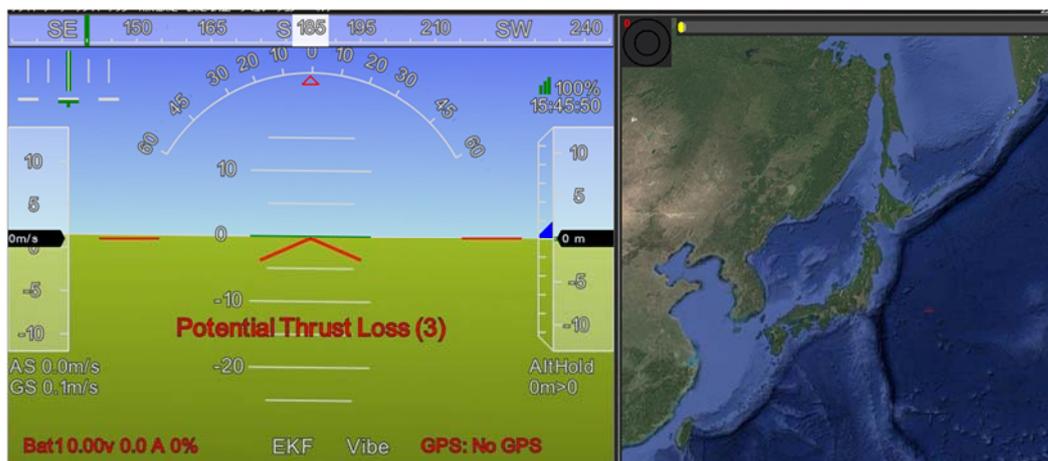


図 8 おもり 1 つ (0.6kg) を持ち上げられなかったときの画面

ここまでの実験結果から二つのことが分かった。一つはバッテリーの充電度合い、つまり電位の高さが推進力に関係しており、今回の機体を持ち上げるにはフル充電することが必須になるということである。もう一つは今回の推進力で持ち上げることができる重量はほとんど機体の重さと等しく、192.02gの荷台に積める荷物は100g程度の軽いものに限定されるということである。今回観測できた飛行できる総重量を計算すると

- ・ 機体フレーム：420g
- ・ 2S-LiPo バッテリー：250g
- ・ モーター：51.99g×4=207.96 g
- ・ ESC：17.9g×4=71.6g
- ・ FC：50g
- ・ RC受信機：20g
- ・ プロペラ：13.25g×4=53g
- ・ GPS：31g
- ・ パワーモジュール：20g
- ・ 荷台：192.02g

合計 1315.58g=1.31558kg

という結果が得られた。よって今回の機体のペイロードは荷台分の192gだということができる。

しかし、ドローンの本来の目的は人間が移動できない上空を自由に行き来し、人の邪魔にならない航路で荷物を届けることにある。したがって今回のような高度が1m程度しかない飛行では実際に運用することが難しい。そこで無負荷状態で1m以上高度が取れるかどうかを確かめるためもう一度充電して飛行させてみた。そのときの様子を図9に示す。



図9 1m以上の高度をとったときの様子

およその概算ではあるが3m程度まで上昇することが確認できたので今回の最高高度は3mとする。しかし最高高度を維持する前にバッテリーの電位が低くなってしまったせいか地面に戻ってきてしまうという現象がみられた。ここまでの一連の実験結果から今回の機体を運用するには推進力が不足していることがわかった。対策はバッテリーの電位が多少下がっても高度を維持できるようにモーターの回転数を上げることである。今回扱ったモーターは920KVであったがこのKV値を上げて飛行を試みると状況は改善される可能性がある。DCモーターは回転数を上げるとトルクが減少するというトレードオフがあるが、今回モーターが回すのは13.25gのプロペラであるためトルクの減少は影響が小さいと考えられる。

研究成果

研究を通してドローンの種類, 機体の構成, 各 부품の役割, 内部状態の推定アルゴリズムやPID制御の工夫などのドローンの原理を学ぶことができた. また原理が分かっているにもかかわらず実際に組み立てて運用しようとすると思い通りにならないことが多々発生し, ドローンの機構に対するより深い理解を得ることができた. 今回ドローン製作を通して本に書いてあること以外で学べたことは

- GPS がなくても飛行できるが遠隔操縦のみになること
- Loiter モード, RTL モードは GPS モジュールによる位置情報が必要であること
- 地上局システムとリンクして監視しながら飛行させるには図 1.12 のようなテレメトリ通信用のマイコンが必要になること
- バッテリーと FC の間だけでなく各 ESC にも BEC を実装する必要があること
- 推進力を上げるには機体の重量を減らすこととあわせて LiPo バッテリーの充電をすることが効果的であること
- 総重量が 1.3kg を超える場合には型番 9450 のプロペラであっても 920KV より大きい KV 値のモータを使う必要があること

の 6 点であった. 研究目的であるペイロードと推進系, 機体重量との関係は表 1 のようになる.

表 1 ドローンの機体重量, および推進系とペイロードの関係

| 機体重 量[kg] | BLDC モ ータ[KV] | 2S-LiPo バ ッテリー [mAh] | バッテリー最 大電位[V] | プロペラサ イズ[inch] | ペイロ ード[g] |
|--------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| 1.124 | 920 | 5200 | 8.32 | 94 | 192 |

参考文献

[1] 野波健蔵, 鈴木智, 王偉, 三輪昌史: 「ドローンの作り方・飛ばし方」 オーム社

[2] Ardupilot 「Thrust Loss and Yaw Imbalance Warning」

https://ardupilot.org/copter/docs/thrust_loss_yaw_imbalance.html (2024/12/18 参照)