

# ドローン設計・自作に関する研究

山本 淳二

第一工業大学 航空工学部 航空工学科(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)

## Study for Designing and Self Making of Drones

Junji Yamamoto

Department of Aeronautical Engineering, Daiichi Institute of Technology

**Abstract:** With the remarkable growth of drone market recent years, it has become relatively easy to purchase drone components. At the same time, it can be expected that actually designing, making and flying a drone will be a good practical education for students studying aerospace engineering. Therefore, when starting drone study in our laboratory, we aim to realize a unique drone, specifically a VTOL aircraft that combines fixed wings and drones. By this year, we first investigated the necessary points for making drones, and actually made a few our own drones, simultaneously radio-controlled fixed-wing aircraft which is the base of VTOL aircraft and flew them. The half way until realization of VTOL aircraft in our laboratory is reported.

### 1. はじめに

#### 1.1 背景

近年、ドローン関連技術の発展は著しいものがあり、多くの企業や研究機関が、それぞれ特色のあるドローンの研究・開発、また活用方法の研究、実践に積極的に取り組んでおり、今後もその市場は大きく拡大して行くことが予想される。

本学科でも、離島の多い鹿児島県の特異性を考慮し、離島間の迅速な物資輸送を実現させる上で、垂直離着陸型ドローン(VTOL<sup>1</sup>型ドローン)が有利であることを示し、これをベースにした新型ドローンの構想を提案した事例もある(参考文献(1))。VTOL型ドローンは、離着陸時はドローンモードで離着陸するため滑走路が不要かつ任意のポイントでホバリングも可能であり、また水平飛行時は飛行機モードで主翼の揚力を利用して飛ぶため燃費に優れ航続距離を大きく伸ばせる。

これらそれぞれの利点を生かした機体がVTOL型ドローンであり、実際に物流や測量他さまざまな用途に活用できる可能性も高く、図1に示すような、すでに実用化されている機体もあり、それ

らを活用した実証実験等も活発化している。



ドイツ WINGCOPTER 社殿  
WINGCOPTER  
(参考情報(2))

日本エアロセンス社殿  
エアロボウイング  
(参考情報(3))

図1. VTOL型ドローン実用例

VTOL型ドローンはコンベンショナルな固定翼機に加えドローンの要素を加えた航空機であるため、それを設計、製作、飛行を実現させるには固定翼機の空力、構造、制御等の従来の航空工学の知識はもちろんのこと、ドローンを制御する重要な部品であるFC(フライトコントローラー)のプログラミング、設定等のIT(Information Technology)的要素を含め、多くの工学的要素を身に着ける必要がある。この点からVTOL型ドローンを大学研究室レベルで実際に実現することは、航空工学を学ぶ学生への良い実践教育になり得ると考えられる。

<sup>1</sup>VTOL: Vertical Take-off and Landing aircraft

また、個人でドローンを自作、チューニングして参加する FPV(First Person View)ドローンレースの愛好者の増加等も含め、ドローンの活用が多岐に広がって来たことの恩恵の一つとして、従来高額であった FC 等のドローン構成部品が通販等でも気軽にかつ比較的安価に入手できるようになり、ドローン自作のハードルがそれほど高くはなくなっている背景もある。

## 1.2 本報告内容

以上のような背景を鑑み、前述の当学科新型ドローン提案も参考に、引き続きドローンの研究に取り組む上で、当研究室でも特色のあるドローンを実際に設計、自作、飛行させることを目標とし、具体的には学生の卒業研究の一環として VTOL 型ドローン実現を目指すこととした。そのために、まず実際にドローンを設計、自作する上での必要な事項を調査し、本年度までに数機のドローンを自作、飛行確認、また VTOL 型ドローンのベースとなるラジコン固定翼機の自作や飛行確認等を行ったので、当研究室における VTOL 型ドローン実現までの途中経過として紹介、報告する。

## 2. ドローン自作に関する調査および自作状況

### 2.1 自作方法概要

ドローンを自作する上での基本的な知識を調査、理解する目的で、まず一般的なドローン自作キットを購入し学生とともに #1 号機として組み立てた。本キットに限らず、市販の安価な部品を通販等で入手する場合、マニュアルが付属していないケースが多いが、インターネット上で比較的容易に必要な情報を入手することができた。また、自作の入門ガイドとして参考文献(5)を参考にした。ドローンの基本的な構成部品、組み立て、セッティング方法概要を以下に示す。

#### (1) ドローン構成部品

ドローン自体の基本的な構成部品は、フレーム、プロペラ、モーター、FC (フライトコントローラー)、ESC (エレクトリック・スピード・コントロ

ーラー) と意外とシンプルである。これら機体自体の部品に加えて、パイロットの操作入力を送る送信機 (プロポ) とそれを受信する受信機、およびモーターを駆動させるためのバッテリーが必要となる。この中で、かなめとなる部品は FC 及び ESC であるが、これによりドローンの安定した飛行が制御される。FC にはジャイロや加速度計が内蔵され、機体の姿勢角や加速度を検知するとともに、プロポからのパイロット信号とをミックス演算し各モーターへ適切な信号を出力する。ESC は FC からの信号に応じた電圧・電流をモーターに供給する。図 2 に小型ドローンの代表的構成部品を示す。



図 2. ドローン構成部品

#### (2) 組み立て方法

基本的に上記(1)の部品をフレーム上に取付け組み立てる。部品の配置位置は、モーター、プロペラはフレーム形状により必然的に決まるが、FC、ESC や受信機、バッテリーは、それぞれの大きさやフレーム上の空間、全体での重心等を考慮して設定する。配線は、FC、ESC および受信機のマニュアル等を参照して適切に配線する。図 3 に小型ドローン組み立てと配線の状況を示す。



図 3. ドローン組み立て・配線状況

### (3) FC セットアップ

FCには、ドローンを制御するためのソフトウェアをインストールし、正常に機能するようにするためのセットアップが必要となる。ソフトウェアを提供する代表的なプロジェクトとしては、LibrePilot、Betaflight、ArduPilot等があるが、これらはいずれもオープンソースの形式を取っているため、インターネット上に FC セットアップ用アプリケーションを含め必要な情報が無料公開されている。これらを PC にダウンロードして使用する。設定は FC と PC を USB ポートを介して接続し実施する。図 4 に Betaflight での設定状況を示す。

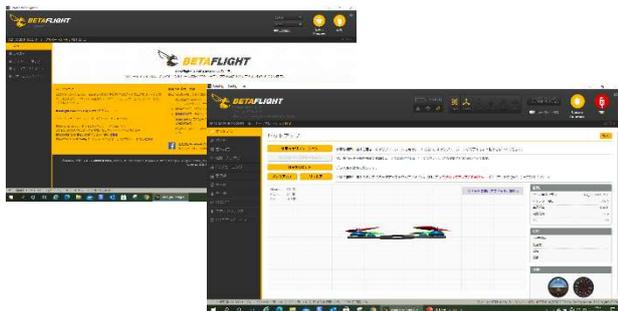


図 4. FC 設定状況(Betaflight)

## 2.2 自作機概要

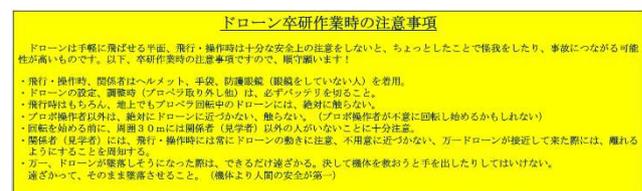
前述した市販キットによる機体を含め、段階を踏んで数機の自作機を製作した。以下、代表的な 3 機についてその概要と得られた教訓等を記す。

### 2.2.1 #1 号機-LibrePilot 機

市販キットに含まれていた FC (製品名: CC3D) は、LibrePilot に対応したものであり、これを使用しセッティング、飛行を試みた。

当初、筆者および学生ともに不慣れなこともあり、安定した飛行はなかなか難しく、ホバリングも安定しなかった。飛行は室内で行ったが、機体の不意の動きや墜落などから、飛行中の安全に対する十分な注意が必要なことやステップを踏んで徐々に飛行に慣れて行くことが重要であることを教訓として学び、ヘルメットや手袋の着用等の安全や飛行上の注意事項の設定などを行った。

(図 5 参照)



### 飛行のコツ、注意点

#### > 飛行

- ① まず、かなりゆっくりとスロットルを深く直前まで上げて、スロットル 操作量とモーター回転の感覚を得る。これを慣れるまで繰り返す。
- ② 次に、10-30cm位まで浮かす。すぐに下す。これを慣れるまで繰り返し実施し、感覚を得る。
- ③ 次に、もう少しだけ浮かしてみる。この際、機体は地面効果もあり、前後左右にすべると思うので、滑り出したら、すぐに着地させる。これを慣れるまで実施。
- ④ 次に、10-30cm位の 高度で、滑りだしたら、右のロール、ピッチの操作で機体を中心にとどませる(ホバリングする)努力を繰り返す。ただし、この高度では静止したホバリング状態を得ることはできないと思う。ロール、ピッチの操作感覚、スロットルを上げ過ぎない 感覚を得る訓練を繰り返す。
- ⑤ ④で慣れて来たと思ったら、もう少し高度を上げるつもりでスロットルを上げてみる。機体はすべると思うので、同じようにロール、ピッチの操作の練習。壁等にあたりそうになったら、早めにスロットルを下げて着陸させる。(少々 当てでも壊れないとは思わぬ)
- ⑥ ⑤で慣れて来たなら、高度を1.1.5mくらいに上げる練習をする。危ないと思ったらすぐ着陸させるが、ロール、ピッチを微調整しながら1.1.5mの 高度まで上げられるとホバリング状態に入りやすい。
- ⑦ ⑥でホバリングできる感覚が得られれば、地面効果を弱めたいために、ロール、ピッチの操作をほとんどせずに比較的乗算(1.1.5mまで)上げられるようになる。ホバリング状態に入りやすくなる。
- ⑧ このようになれば、基本は、まずスロットル操作に集中して高度(1.1.5m)を安定させ、あとは、ゆっくり落ちていってロール、ピッチを安定させる感覚がホバリング状態を作りやすい。
- ⑨ 壁や天井にあたりそうになって、コントロールできないと思ったら、衝突、墜落させても良いので、スロットルを下げる(左ノード)だけに意識する。少々では壊れない(と思う)。

図 5. #1 号機と教訓

### 2.2.2 #2 号機-Betaflight 機

LibrePilot 機の飛行が安定しない一つの原因として、機体が比較的大きく(プロペラ対角距離:280 mm、重量: 375 g)、飛行時の慣性が大きいわりに FC (CC3D) が F1 系と呼ばれる比較的演算速度

の遅い CPU を使用しているためではないかと考えた。よって、次に小型(プロペラ対角距離: 150 mm、重量: 170g)で演算速度も速い F3 系の FC (SP Racing) を使用して機体を製作した。部品はキットではなく個々に選定して揃えた。結果、ホバリングも含め、かなり安定した飛行ができる機体が完成した。なお、Betaflight 設定のガイドとして参考文献(5)を参考にした。図 6 に#2 号機概要を示す。



図 6. #2 号機-Betaflight 機

### 2.2.3 #4 号機-Ardupilot 機

#1 号機および#2 号機で使用した FC のソフトウェア (LibrePilot/Betaflight) は、オープンソースとして公開されているファームウェアをユーザーが FC にインストールして使用する。よって、ユーザーが自分でファームウェアのプログラムコードを作成または変更することは想定されていない。VTOL 型ドローンを目指す上では、ドローンモードと飛行機モードの遷移 (トランジション) も必要であり、それに対応したソフトウェアが必要となる。そこでユーザー自身がソフトのプログラムコードも作成、変更でき、自由度が高くかつ実績、適用例も豊富なオープンソースプロジェクトである Ardupilot を適用することとした。Ardupilot は、ドローンをはじめ固定翼やローバー等の自動操縦もサポートしており、VTOL 型ドローンも固定翼のカテゴリ内でサポートされている (図 7 参照)。これに習熟することは VTOL 型ドローン実現のみならず、さまざまな拡張性が期待できる。よって、まず Ardupilot 習熟の一環として以下(1)~(4)のような事項を実施した。

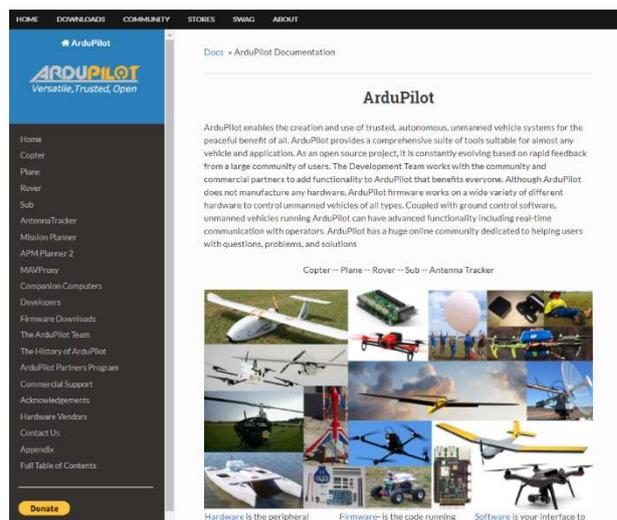


図 7. Ardupilot ホームページ  
(参考情報(6))

### (1) Ardupilot 機(#4 号機)の自作

図 8 に Ardupilot 機を飛行させる際の全体構成を示す。Ardupilot に対応した FC ハードウェアは種々市販されているが、一般的で汎用性も高いものとして Pixhawk (商品名) がある。FC の各種設定は PC にインストールした GCS (Ground Control Station) を使用して行う。GCS のアプリケーションソフトとしては、Mission Planner (M/P) が一般的である。また、機体には GPS を搭載する。



図 8. Ardupilot 機全体構成  
(参考情報(6))

Ardupilot では M/P および FC の通信には Mavlink (Micro Air Vehicle Communication Protocol) というプロトコルが使用され、接続は USB を介した有線でも行えるが、PC と機体に送受信デバ

イスを設定した無線通信(テレメトリー)も可能であり、飛行中の機体姿勢、飛行経路他を M/P 上でモニターできる。テレメトリー送受信デバイスとしては、プロポと同じ 24GHz 帯を使用し、日本の技術適合証の取れている Xbee S2C を使用した。M/P では、飛行経路の設定や飛行ログの記録も可能であり、PC 上での飛行シミュレーションも可能である。図 9 に#4 号機の完成状況を示す。



図 9. #4 号機-Ardupilot 機

## (2) 自動飛行コード作成

Ardupilot では、オープンソースとして GitHub(参考情報(7))上で公開されている DroneKit Python というアプリ開発キットを使用して、ドローンを自動飛行させる他、ユーザー独自のアプリケーションを Python コードで作成することができる。習熟の一環として、本 DroneKit Python を使用して簡単な自動飛行の Python コードを作成し、M/P 上で SITL (Software In The Loop) というシミュレーターを使用してシミュレーションと実機での飛行を実施した。図 10 に状況を示す。

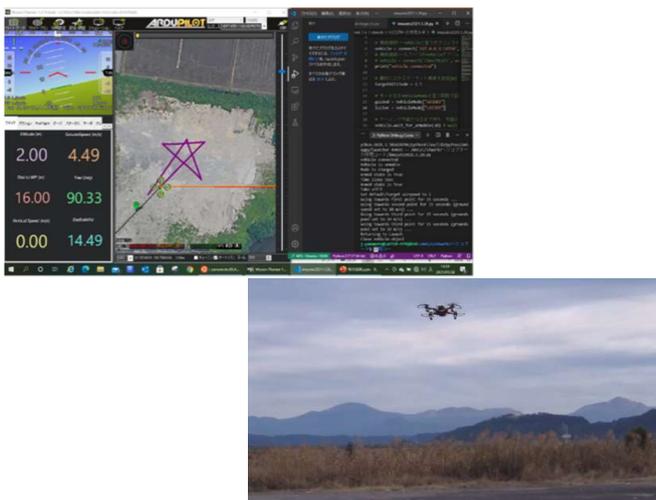


図 10. シミュレーションと実機確認 (DroneKit Python)

作成した Python コードは PC 上で実行し、connect() 関数を用いて機体へ接続する。接続先が SITL の場合は PC 内の機体のポート、実機の場合は送受信デバイスを介した実機のポートを指定して接続した。

## (3) 新フライトモード作成

Ardupilot では機体制御用各種フライトモードのプログラムコード(C++)が設定され、GitHub 上で公開されており、それらのコードをユーザーが改良、修正することが可能である。前項と同様に習熟の一環として簡単なフライトコードを作成し、SITL でシミュレーションおよび実機での飛行確認を実施した。作成したコードは、機体にピッチ、ロール、ヨーの一定の姿勢角を与えサークル状の飛行をするシンプルなものである。図 11 にシミュレーション状況を示す。



図 11. シミュレーション (新フライトモード)

## (4) 静止推力・電力消費量測定

ドローン、VTOL を含めた飛行機を設計する際の主要な緒元の一つが推力である。また VTOL 型ドローンの大きなメリットの一つは、飛行機モードでの水平飛行による燃費(電力消費量)の低減である。

よって静止推力および電力消費量を特別な装置を必要としない簡易な方法で計測する方法を考案し、実際に数種類のモーター、プロペラ、バッテリーについて実測した。電圧、電流値は前述の Mission Planner でモニターできるため、その機能を使用した。以下に簡易計測方法概要、図 12 に計測状況と結果例を記す。

簡易計測方法概要；

- ・ドローンが推力を下方に出すようにプロペラをさかさまに取付ける
- ・ドローンを一般の計量秤の上に設置
- ・電圧値、電流値は Mission Planner でモニター
- ・計量秤、電圧、電流値をストップウォッチの時間とともにデジカメで動画として記録
- ・横軸に時間、縦軸に推力、電圧、電流値をグラフにプロット
- ・電流値を時間で積分することで電力消費量 [mAh]を算出

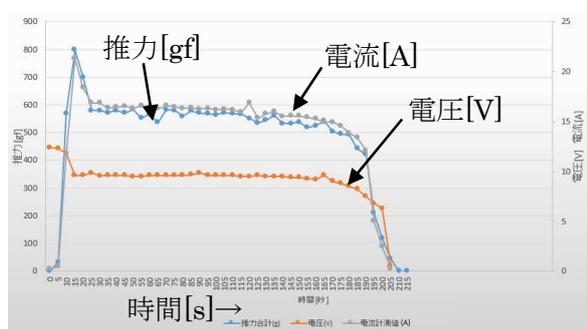


図 12. 静止推力・電力消費量測定状況

### 3. ラジコン固定翼機自作・検討状況

VTOL 型ドローンは水平飛行時は通常の固定翼として飛行するため、ドローンに関する習熟と平行して、固定翼ラジコン機に関してもその特性を理解し、安定した飛行ができる機体を設計、製作、

飛行させるスキルに習熟することが必要である。そこで、ネット上で設計情報が公開されている実績のあるラジコン機を自作、飛行させることにより、まずラジコン機の定性的な特性を把握することにした。

#### 3.1 自作ラジコン機概要

参考情報(8)に公開されている実績のあるラジコン機の情報をもとに、修理しやすさ等を考慮してマイナーな設計変更を加えた図 13 のようなラジコン機を自作した。

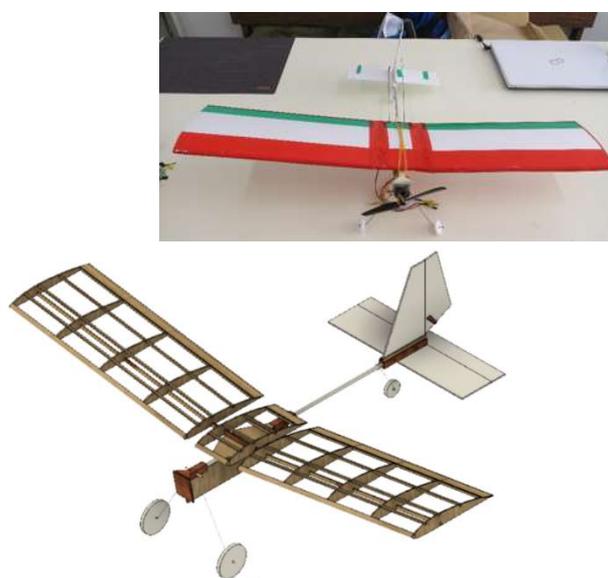


図 13. 自作ラジコン機

#### 3.2 飛行確認状況

自作したラジコン機を体育館で飛行させ、その安定度の確認や操縦の完熟を試み、以下のような事項を確認した。

- ・単発機の顕著な左旋回傾向
- ・重量重心位置、上反角、尾翼面積等の正確な設定、精密な調整の重要性

いずれも飛行機設計において一般的に重要な事項であるが、机上での知識のみでなくラジコン機を実際に飛行させることにより、それらの重要性を学生も身をもって体感した。得られた経験は以降の学生と共有し今後の設計、製作に活かす予定である。飛行状況を図 14 に示す。



図 14. ラジコン機飛行状況

#### 4. VTOL 型ドローン検討

##### 4.1 VTOL 型ドローンの制御

VTOL 型ドローンは、まずドローンモードで垂直離陸し、つぎに飛行機モードに遷移して行くが、遷移中前進速度の増加とともに主翼の揚力が増加し、その分ドローンによる揚力を減少させる制御が必要である。逆の飛行機モードからドローンモードへの遷移も同様である。Ardupilot では、これら VTOL 型ドローンを飛行機の一形態としての QuadPlane としてサポートし、遷移を含めた各種フライトモード用コードも提供している。図 15 にサポートされている QuadPlane の分類を示す。まず、もっともシンプルな形態である Non Tilt 型の VTOL ドローンの実現を目指し、ハードの設計、製作とともに Ardupilot を適用した FC の設定を実施して行く予定である。

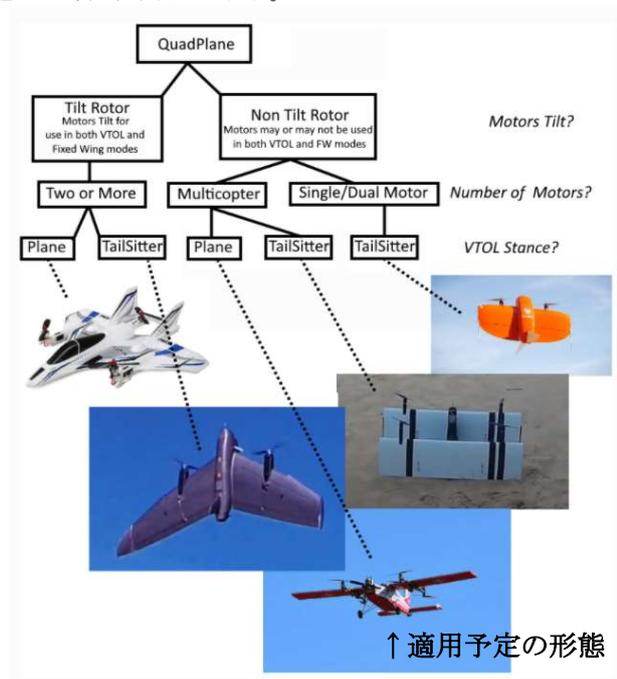


図 15. QuadPlane サポート  
(参考情報(6))

#### 4.2 VTOL 型ドローン試行

実際の VTOL 型ドローンの設計・製作の前に、手軽に VTOL 型ドローンの定性的な感触を得るための試みとして、単純にドローンと自作ラジコン機を結合させての飛行を体育館で試行した。ドローン用の送信機とラジコン用の送信機は別々に 2 人で操作し、まずドローンで浮かせ、飛行機のプロペラで前進させ、ドローンで着陸するというシンプルなものである。ラジコン機では離陸時の安定した滑走による増速が非常に難しいと実感したが、VTOL では機速が不要なドローンモードによる離陸でゆっくりした増速が可能であるため、適切な機体の実現できれば、操縦もしやすいのではないかとの感触も得た。図 16 に VTOL 試行の状況を示す。

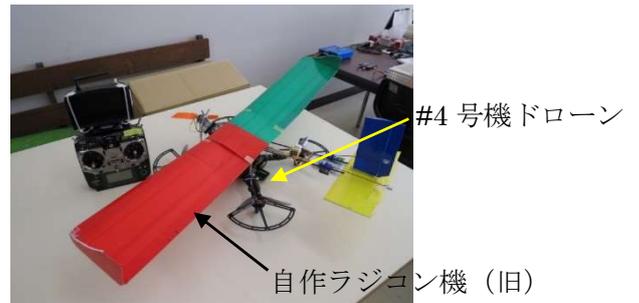


図 16. VTOL 機試行状況

## 5. 今後の予定とまとめ

以上、メリットの多い VTOL 型ドローンを 1 機トータルで実現させて行く過程は、当航空工学科学生への良い工学的実践教育にもなり得るものとして研究を進めているが、その現状までの途中経過を紹介、報告した。

これらの経過で得られた知識やスキルを活かし、今後以下のような過程で、まず最もシンプルな形態である Non Tilt 型 VTOL ドローンを具体的に設計、製作、飛行させたいと考えている。

- (1) ベースとなるラジコン固定翼機の設計、制作、飛行確認
- (2) FC の VTOL 用セッティング、テスト
- (3) Non Tilt 型 VTOL ドローンの設計、製作、飛行実現

その後、その他のユニークな特徴も取り入れ第一工大のオリジナルな VTOL 型ドローン開発も目指して行きたい。

なお、実際に卒業研究の中で実践教育として研究を実行して行く中で、以下のような点への留意が必要であると考え付記する。

- (1) 卒業研究に着手する 3 年時までに航空工学に関する一通りの講義を受けているので、それをこの卒研で実際の設計や製作に落とし込み理解を自分のものとする点を意識づける。
- (2) 未学習の事項、特にドローンに関する事項については、年度のはじめに前年度の卒研成果も含めしっかり説明、操縦も体験させ興味を持たせる。また未学習事項は、3 年時までのカリキュラムに組み込むことも考慮する。
- (3) 研究の過程で逐次出てくる問題や課題をひとつずつ分析、解決して行くことは、難しい点であると同時に、ものづくりのおける一つの重要な過程であり、将来実際の現場で技術者として活躍する上で様々な示唆を得られる貴重な体験となることも意識づける。

## 謝辞

Ardupilot 習熟に関しては、ドローン・ジャパン株式会社殿主催のドローンエンジニア養成塾（第 9 期）に参加させていただいた。本報告にあたっては、塾でのトレーニングにより得たスキルを使って実施した内容も掲載した。有益なトレーニングコースの主催に感謝する。

## 参考文献及び情報

- (1) 中村慎悟ほか：“鹿児島県の特異性を考慮したドローンの研究，第一工業大学研究報告，第 29 号，pp. 11-19，(2017)
- (2) ”WINGCOPTER”， <https://wingcopter.com/>
- (3) “AeroSense エアロボウイング[AS-VT01]”， <https://aerosense.co.jp/vtol-as-vt01/>
- (4) 高橋隆雄：“ドローンを作ろう！飛ばそう！[第 2 班]”，秀和システム，(2017)
- (5) 下山崇：“DETAILED PRACTICAL FULL VERSION\*\*\*DRONE\*\*\*詳細・実践・完全版”，(2019)
- (6) ”ARDUPILOT Versatile, Trusted, Open”， <https://ardupilot.org/>
- (7) ”Where the world builds software”， <https://github.com/>
- (8) ”ラジコン飛行機を作ろう”， <https://horo1929.sakura.ne.jp/index.html#bk00>