

小型ドローン操縦者育成システムの構築について

久芳頼正¹・仁田佳宏²・萬代宰¹

¹ 工学部創生工学科システム情報分野

² 工学部創生工学科建築・土木分野

Construction of small drone pilot training system

Yorimasa KUBA, Yoshihiro NITTA, Osamu MANDAI

Abstract

In this study, we proposed a pilot training curriculum for small drones and clarified its effectiveness. Anyone can obtain intermediate-level maneuvering skills by the feedback learning method. With this learning method, a drone moves safely in a small space using a drone camera. We have created an automatic flight program for inspection of narrow areas. We are considering building a multiple drones system for inspection.

Keywords: *drone, drone pilot, inspection, training system*

1. はじめに

広い分野で、さまざまなドローンを情報収集に利用する機会が増えてきている。災害現場の状況把握や対象物の全体像を俯瞰とらえるなどの場面で頻繁に利用されている。これは、機体の位置を確認しながら操縦する『目視制御』が比較的簡単にできる場合での利用例が多い。一方、機体の位置を目視確認せずに機体カメラ映像だけで操縦する制御方法は、高度な操縦技術が必要となり、これを実現するためのハードルが高くなっている。最近では、トンネル内の壁面状況を確認するために、高速道路維持作業や地下鉄のトンネル内状況把握等への適用が試行されている。これらの多くが、ドローン操縦者の育成から開始しているのは、興味深い点である。ある対象物の点検等を行う場合、これまでは点検を専業とする事業者への依頼が多かった。そのために、点検費用の確保が年々、簡単に処理できる状態ではなく、悲惨な事故になってしまった事例も多い。

近年では、ドローンを利用した視認作業が多用されるようになり、ドローン操縦をできる検査企業が多くなった。一方で、操縦者と検査技術の専門家の両方を兼ねた人材の育成を試行して、自社内でのドローン技術者養成に乗り出している企業も散見される。

本研究では、点検作業等を考慮して、ドローン機体に設置されているカメラの映像だけでドローンを制御できる操縦者を育成する手法を提案し、その有用性を検討する。さらに、手動操縦と自動飛行プログラムの併用を考慮した、飛行制御用データ収集も視野に入れて、ドローン利用の適用分野拡大に役立つことを期待している。現時点では、取得した映像の検査処理に関しては、関係する分野の専門家やAI技術の利用を想定したシステムの開発の基礎を検討している。

2. 操縦についての考察

専門的な機械の操縦で、現在、広く社会に認知されている技術は、「自動車の運転（操縦）」である。日本においては、自動車の運転免許取得には、実技、法令の試験があり、教習所等での実習経験を積むことで、免許取得を支援している。この自動車の運転に着目すると、移動中に『車の全体像』が把握できなくても操作ができるまでの教習を受け、資格試験に合格した者が運転することを許可されている。この自動車運転では、運転者の視認できる範囲の映像（図 1）のみにより運転操作を行っている。運転席から車体の幅が認識でき、走行路の道幅との比較ができる。この運転能力は、映像情報の取得と運転結果のフィードバックとある程度の訓練時間により、能力に差のある対象者たちが最低限の安全運転を習得できている。この運転席からの景色から運転者は、車の幅、走行の直進性などを経験に基づき、運転に必要な情報を取得している。この操縦支援のために、外的な情報支援として道路上に道幅表示等の表示がある。この道路情報と車の進行状況を照会しながら、車を走らせている。自動車の操縦では、**通行経験の無い道でも安全に走行できる場合が多い。**

自動車の運転に関する検討からドローン操縦に関しても、機体カメラからの映像情報に基づき、飛行経験の無いコースを飛行制御できるような訓練カリキュラムの構築が大きな目標である。



図 1 運転席から見える車体状況の例

機体カメラ映像を利用するドローン操縦の訓練は次のように考えている。

第一段階：目視制御による飛行コースの記憶と飛行経験の蓄積

第二段階：既知の飛行コースを機体カメラ映像と周囲の情報カメラ映像による飛行訓練

第三段階：コースの地図情報は有るが、飛行経験の無い場所での機体カメラ映像による飛行訓練

この第三段階での支援技術として、自動飛行制御プログラムと手動操縦の併用を検討している。また、機体カメラ映像に画像認識技術と AI 技術を利用し、飛行可能な領域（幅、高さ等）を判定できる情報提供を PC モニタ画面に表示することも検討している。

3. ドローンの飛行に関して

今回の飛行訓練を検討する過程で、いくつかの大きさのドローンを試してみた。判断基準として

- ・ PC によるプログラム制御ができるか
- ・ 屋内の点検作業等に利用できる大きさか
- ・ 屋内での制御信号の伝達距離は十分か

などにより、主たる訓練機材として、

rezerobotic 社が販売している軽量小型ドローン「Tello」を選択した。この機体サイズであれば、建物内の廊下や階段、大きめの配管内部等での飛行が可能であるからである。

飛行制御プログラムは、記述行数が少なくコンパクトに実装が済み、AI 技術等との連携を考慮して、Python 言語 Ver. 3 系⁽¹⁾を選択した。補助言語として、C# 言語も考慮しておく。これは、大型のドローン機体で採用されているプログラム言語である。

Python プログラムによる飛行制御に関する情報は、ネット上にも書籍でも公開されており、今後の自動飛行制御での利用も考慮している⁽²⁾。

4. 飛行訓練に関して

飛行訓練の第一段階、第二段階では、スマートフォン、タブレット等の情報携帯機材とPCによる操縦を実施した。スマートフォンやタブレットでは、販売元の rezerobotic 社が提供している操縦用アプリケーションを利用した。PCでは、研究室で開発したキー入力制御プログラムを利用した。第二段階の飛行訓練では、周囲の情報カメラをPCモニタに表示して、操縦制御支援に利用した。

飛行訓練の第一段階では、目視制御ができる近接範囲内での飛行訓練を実施した。利用した機体は、小型ドローン「Tello」、DJI 社の中型ドローン「Spark」、中大型ドローン「PAHNTOM2」の3種類であった。Tello 以外の機体は、室外での利用を考慮して販売されている機体で、あくまでも参考のために操縦体験をしてもらった。実施環境は、体育館、大講義室、屋外等であった。中型機の「Spark」には、さまざまなセンサが搭載されていて、物体に近づきすぎると移動を停止して、ホバリング状態になる安全装置がついており、手動操縦時の機体の向き等の学習に役立っていた。具体的には、狭い箇所の通過には、センサの感知能力を考慮した移動方向が有ることが分かった、これは、飛行の自動制御プログラム作成に重要な指針を得ることができた。

操縦者の体感的な問題で、着目した点は、操縦指示の微小入力部分の伝達の難しさであった。ある学生は、タッチ・スクリーン上の操作を好み、別の学生は、操縦レバーの操作を好む等の個人差があった。しかし、微小な動きの制御には、操縦レバー状の機材が良いとの意見が多かった。そのために、PCに接続する Joystick を今後、制御プログラムの入力装置として、採用する決断を下した。点検作業中の微小な位置の移動による撮影を行うには、この Joystick を利用し、カメラの撮影ボタンもこの機材のボタンを指定するようにプログラム設計を変更した。

当初の計画では、「Tello」から「Spark」へ開発環境を移行していき、屋内外での点検を実現す

る予定であったが、2019年4月にDJI社のホームページで「Spark」へのプログラム開発環境は提供しないとの発表があり、中型ドローンでの自動飛行が研究できなくなった。この点に関しては、2019年夏以降に、プログラム開発環境を提供する新しい中型ドローン「Mavic2 Zoom」が発売され、久芳研究室にも導入することができた。しかし、「Tello」で開発したプログラム資産がまったく活用できないため、新規開発を開始することになった。ロボット制御に関しては、この開発環境に継続性の無さが飛躍的な進歩も提供するが、幅広い利用者への技術の伝達は常に期待できないという悪循環の繰り返しである。現在、この問題に対する回答の一つとして、ROS等の試みが行われているが、まだまだ先は長そうである。つまり、劇的な変化は全く期待できない。大学等でのロボット制御システムの教育で、ソフトウェア技術者の養成が進まず、ある程度の技術者数を社会へ提供できないのが、ロボット技術の進歩を著しく遅らせている。かなり、脇道にそれってしまった。

飛行訓練の第二段階では、「Tello」を利用した障害物のあるコース飛行では、仁田先生、萬代先生と議論しながら、久芳研究室で開発した学習環境が操縦者のレベル・アップに有効であった。



図2 ドローン 発着ポート

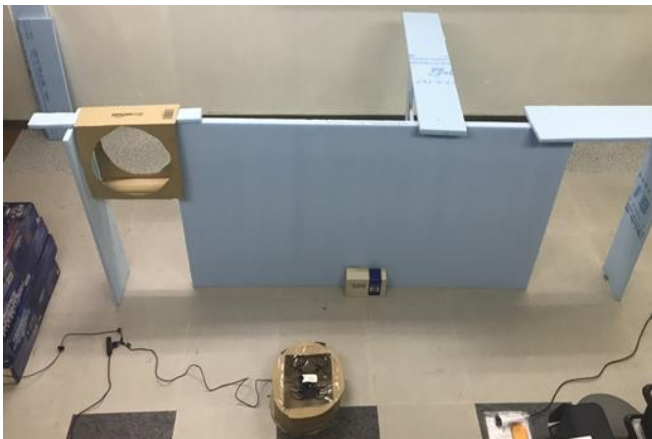


図 3 飛行コースの様子 横側



図 5 飛行コースの俯瞰

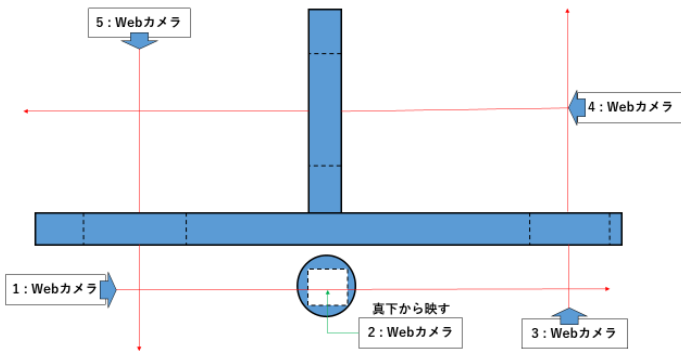


図 4 周辺環境カメラの配置

第一段階の訓練を終了した学生は、第二段階の飛行訓練では、はじめに目視制御で訓練コースを飛行して、操縦が難しい箇所を各自、認識していき、この認識と操縦への反映のフィードバックを数回繰り返した。その後、機体カメラの映像だけを見て、通過困難箇所の状況を提示する周辺環境カメラを参照しながら、何度かこの訓練コースを飛行して、すべて安全に通過できるようになった。利用した機体「Tello」には、周辺を検知するセンサが無いために、初期段階では、何度か衝突も発生したが習熟度が上がると、すんなりと通過できるようになった。この地図情報の理解と操縦への適用のフィードバックに関しては、もう少し、心理的、人間情動的な検討が必要と考えている。自動車の運転での「車幅」に該当する機体の幅をドローン操縦において、認識させるには、プログラム制御において、外部環境と機体の位置

関係等を表示する機能を付加する必要がある。次期実験機体の「Mavic2」にある機体の周辺を検知するセンサデータを取り込み、PCモニタ上に簡易的な飛行状況を表示することを検討中である。ただし、「Mavic2」は「Tello」の4倍近い大きさがあり、屋外での利用が主となるである。配管内等の点検などには、ここ1、2年は「Tello」の利用を考えていくことになるだろう。そのためには、機体カメラが撮影する画像から飛行の安全のための情報を引き出す工夫が必要となる。この第二段階の飛行訓練において、同じように周辺状況カメラを設置して、別の飛行コースを作成する予定である。

飛行訓練の第三段階に進むための基礎研究として、円柱内のドローンの移動を実験してみた。この時、ドローンの推進力の影響で、機体の移動経路が安定せず、第二段階の飛行コースで利用した自動飛行制御プログラムでは、衝突の危険が発生した。流体力学的な層流、乱流の関係が壁面とドローンのモータの回転により発生しているようだ。手動操縦では、ドローンの出力を変化させて、安定して円柱内を通過できる出力設定を調査中である。安定している出力領域は、現状では得られていない。

一方、円柱の素材が薄いビニール状のモノであるために、ドローンの推進力の影響で変形して



図 6 円柱実験の機材



図 7 円柱実験の様子

おり、別の素材、たとえば塩ビの円柱等での通過実験を行い、安定通過のためのドローン推力を検討する予定である。

5. 飛行訓練に結果のまとめ

今回の飛行訓練カリキュラムでは、

- ・目視制御による飛行制御技術の習得は学習時間に個人差はあるが、一定の水準までは到達することが期待できる。
- ・目視制御ではない、機体カメラのみの飛行制御技術の習得には、個人差がかなり存在しており、学習時間の差が大きい。
- ・地図情報は提供されて、目視制御を体験していない飛行コースの実験ができていない。実際の検査飛行の練習カリキュラムが未完成である。

が明らかとなった。

6. 自動飛行と手動飛行の併用について

自動飛行制御プログラムの進展状況は、指定した数値データに基づき、飛行する部分は完成している。しかし、カメラ等の外部情報による飛行制御や手動制御の割り込み等が未完成である。現状では、障害が発生した箇所で、ドローンが回収不能となってしまう危険性が高い。

ドローンの用途別の選択も小型ドローンの適用範囲では「Tello」を使い、屋外では「Mavic2」を選択せざるを得ないという状況である。

ドローンの機種が異なることよりも開発システムが異なることが今後、大きな障害となると容易に創造できる。今後のプログラム言語の選定に関しては、次の3点を考慮する必要がある。

- ・画像処理等の情報（サブルーチン、ツール等）が多い。
- ・A I 技術との併用が容易である。
- ・利用機体での開発情報が存在する。

現状では、Python 言語と C # の併用を視野に入れている。最初に問題となるのは、今後の PC での開発環境を何にすべきかである。今回は、意図的に「Windows アプリ」に限定して、開発を進めてみたが、ロボティクス機材の制御や画像処理技術に関する情報提供が Linux 環境や ROS 環境に比べて、遅れている状況であった。開発に協力してくれた今年までの卒研究生はロボティクス関係の職場でも活躍できる状況ではあるが、今後の学生育成に関しては、これからのロボティクス関係分野に適用されるであろう開発環境を検討すべきである。最悪の場合、Windows アプリへの開発環境の提供は今後、減少する可能性も大である。

最後に、現状で久芳研究室が保有する PC 制御可能なドローンの写真を示しておく（図 8）

「Mavic2」の小型機種が 2019 年末に販売されたが、2020 年 2 月末でプログラム制御の開発環境の情報はまったく出てきていない。今後は、大学等での市販品購入によるシステム開発ができない状態にならないことを強く希望する。



図8 ドローンの大きさ比較

7. まとめ

ドローンの利用分野や使用範囲がすごいスピードで広まっていき、「在るモノを上手に使う」段階に来ている影響か、プログラム開発での飛行制御があまり必要とされていない実感が強く、これまでの研究開発を備忘録的にまとめてみたが少し、大学の研究室レベルでもやれることも明らかになった。目視制御でのドローン飛行に関しては、企業間の情報端末へのアプリケーション提供と安価で適切な機能レベルの機材の開発の競争に移行している。一方、画像情報、センサ情報を利用したドローンのプログラム制御は未だ、途上段階にあり、研究レベルでの挑戦ができる状況である。

今後も足利大学スタイルのロボティクスに関する教育カリキュラムの構築と内容充実を進めていく予定である。

最後に、ここ5年間のドローン関係の研究に協力してくれた卒研究生、大学院生の皆様に大いに感謝いたします。

参考文献

- (1) Tello SDK Ver.1.3.0.0
<http://www.ryzerobotics.com>
- (2) たとえば、
 高橋隆雄, Scratch でトイドローンをプログラミングして飛ばそう, (2018), 株式会社 秀和システム

原稿受付日 令和2年2月28日