機内持ち込み型飛行データ測定システムの開発と 実機飛行実習の学習内容充実への活用

Development of Carry-On Data Logging Systems to Improve Real Flight Education Program

山口 皓平^{※1}
Kohei YAMAGUCHI

砂田 茂^{※1}
Shigeru SUNADA

井戸田 典彦^{※2}
Norihiko ITODA

辻 本 邦 之^{※3}
Kuniyuki TSUJIMOTO

佐 伯 達 夫^{※2}
Tatsuo SAEKI

The real flight education program is a selective education for undergraduate students who aim to take lead roles in aircraft technology or industry. After taking some homework and classroom lectures, selected students experienced four basic and characteristic motions of aircraft on an actual airplane in 2017. In a view of attended students' opinion, this paper proposes an improved education program employing some data logging systems for the real flight in 2018. As an easier and less expensive method to take flight data, we developed a data logging system combining a single board computer and sensor board. In addition, a voice-oriented communication system was constructed. We also briefly report the results of a trial implementation of the data logging by smartphones.

Keywords : Real Flight, Engineering Education, Flight Data Logging

キーワード : 実機飛行, 工学教育, 飛行データ取得

1. はじめに

文部科学省宇宙航空科学技術推進事業「実機飛行を通じた航空実践教育の展開」とは、次世代の航空科学技術を担う人材育成を目的とした教育プログラムであり、平成28年度から平成30年度までの3年間実施された。その活動は、大学・産業界が連携し、JAXAや自治体の協力を得て行う中高生対象の「アウトリーチ活動」、共同参画機関大学の航空に関する実験環境の向上を行う「フライト教育・ミニ実験」、そして、全国の大学生を対象に、実際の飛行機を用いて飛行試験を体験させる「実機飛行教育」の3つである。

本論文で扱う実機飛行教育では、平成28年度を実習内容の構築と教材の作成に充て、平成29年度から実際の飛行機を用いた飛行実習を実施した。全国の応募者から選抜された40名程度の大学生は、事前に配布される専用のテキストと演習問題で一通りの事前学習を行う。また、飛行試験開始の前日には講義形式で航空機力学の基礎を学び、翌日からの飛行実習に臨む。実習においては、「縦静安定」「長周期特性」「短周期特性」「縦操縦性」の4項目に関する試験を約90分のフライトの中で体験する。実習には、三菱ダイヤモンドエアサービス社（DAS社）所有のMU-300機（図1）を用いる。また、飛行試験中の

図1 MU-300機外観（ダイヤモンドエアサービス株式会社提供）

飛行データをDAS社所有のApplanix社製Position and Orientation System (POS)¹⁾によって取得する。実習後、学生はPOSによって取得した飛行データを解析し、事後に課される課題に取り組むことでカリキュラムを終了する。飛行機の基本的な運動特性の学習を座学による知識の習得だけで終わらせるのではなく、実際の現象として体験・解析する本試みは、参加学生が学んだ内容を深く理解する機会を提供するだけでなく、その学習意欲を大きく向上させることが期待できる。

本論文では、飛行実習の初回（平成29年度）で見出された反省点を元に、平成30年度に行った内容充実のための工夫とその効果について述べる。具体的には、「個人が機内に持ち込むことの可能な飛行データ取得システムの開発」、「飛行実習を円滑に行うための環境構築」、「飛行

2019年3月1日受付

※1名古屋大学大学院工学研究科

※2三菱重工(株)

※3(株)NTT データ MHI システムズ

試験の内容を深く理解するための学生の役割分担」の3点に取り組んだ。本研究で実施した内容により、今後の実機飛行実習の内容充実、ひいては実習を行う機会の拡大に資することを目的とする。

2. 平成29年度の飛行実習について

本章では、平成29年度の飛行実習について述べる。実習全体の構成と参加学生の作業内容に触れつつ、初年度に見出された課題について整理する。

2.1 実習の概要

平成29年度の飛行実習の概要について説明する。先に述べたように、飛行実習は、事前に配布したテキストでの学習を行った上で実施された。4つの試験項目の詳細はテキストに示されており、参加学生は予め内容を理解した上で当日に臨んだ。実習当日は、飛行前ブリーフィングで飛行経路や気象条件などの情報を、パイロットを含むDAS社スタッフと学生間で共有した。ブリーフィングの後、学生はMU-300機に搭乗し、後部の座席に座る1名の学生がPOSの電源を投入した。その後、MU-300機は名古屋空港を出発し、飛行試験実施空域まで飛行した。試験空域では、先に述べた「縦静安定」「長周期特性」「短周期特性」「縦操縦性」の4項目に関する試験を行い、学生は試験の時刻や燃料消費量といった項目を、テキストと同時に配布された記録用紙に記入した。時刻は、パイロットの肉声による合図に合わせて学生が持参した時計から読み取った。なお、出発前に各自の時計を合わせる作業を行っており、時間は搭乗者間である程度同期していた。また、燃料残量などもパイロットから伝えられた。以上が、7人一組の班が約90分のフライト中に行った作業である。計6回のフライトにより、参加学生全42名全員が飛行実習を受講することができた。試験内容や学生の抱いた感想などについては、参考文献²⁾により詳しい。

2.2 平成29年度の実習から見出された反省点

平成29年度の飛行実習は大きなトラブルもなく終了し、次年度以降の改善につながる有益な意見を収集することができた。本節ではそれらについて整理し、次章以降で展開する改善案に繋げる。以下に、本論文で注目し、平成30年度の実習で積極的に改善を試みる点を述べる。

(1) 飛行データの取得方法

先に述べたように、飛行データはPOSによって取得する。電源のON/OFFは1名の学生が行うものの、上空でのデータ可視化手段などが準備されておらず、データ取得の作業が行われていることを学生が実感する機会が無い。飛行データ取得が行われていることを学生により印象付ける方法が導入できれば、学習意欲の向上などが期待できる。また、個人レベルで構築可能なデータ取得の手法が提示できれば、学生が自主的に持ち込んだ機器でデータ取得を行う可能性も拓ける。

(2) 飛行データの提供方法

平成29年度は、POSで取得した6フライト分のデータの内、解析用に1フライト分のみを参加学生に提供した。その方法も、事後課題を解くために必要な時間区間をス

タッフが特定・切出しを行った上で、グラフ化したものを提供するというものであった。POSの出力データは、30以上の項目に渡るデータを特定のサンプリングレートで時刻とともに羅列した若干煩雑なものである。様々な学年の学生が参加する本実習において、全学生が適切なデータ処理能力を持っているとは限らないため、このような提供の形をとった。オリジナルのデータを配布しても学生が比較的容易に解析可能となるような工夫を行えば、学生の作業量は増加するものの、解析の過程でより深く実習内容を理解する機会を提供することが可能である。

(3) 飛行中の機体の状態を確認する方法

飛行試験の実施中はシートベルトを着用する必要がある。試験中に観察できる景色やコクピットの様子などには学生間で差が生じる。試験内容には、パイロットの操舵との関わりが深いものも含まれていることから、機内の席順である種の不平等が生じていることになる。また、POSには上空で飛行データをリアルタイム可視化する手段が無いため、飛行の状態は目視と体感のみで確認することになる。

(4) 飛行中のコミュニケーション方法

飛行試験開始の合図をはじめとする記録用紙への記入に必要な情報は、全てパイロットの肉声によって学生に伝えられた。飛行中の機内ではかなりの騒音が感じられ、特に後方の席に座る学生はパイロットの声を聞くことが困難であるとの感想もあった。

以上が、平成29年度に見出された反省点の代表的なものである。次章以降では、平成30年度で行う改善方策について述べていく。

3. 測定機器の開発と飛行機内の実習環境整備

本章では、先にまとめた反省点を受け、平成30年度に導入した改善案について述べる。具体的には、シングルボードコンピュータと専用のセンサボードを組み合わせた測定機器による飛行データ取得と可視化、スマートフォンによる飛行データ取得の可能性検討、測定機器の運用のために持ち込んだPCを活用することによる、機内におけるコミュニケーション環境の改善である。

3.1 Raspberry Pi[®]とNavio2による飛行データ取得

シングルボードコンピュータであるRaspberry Pi³⁾と、専用のセンサボードであるNavio2⁴⁾を組み合わせて製作した測定機器による飛行データ取得手法の提案に関して述べる。Raspberry Piは、もともと教育用に開発された名刺サイズのシングルボードコンピュータであり、現在は趣味やビジネスの分野でも幅広く利用されている。Navio2は、Raspberry Pi専用のセンサボードであり、3軸加速度、角速度、磁気センサ(IMU)を搭載している。Raspberry PiとNavio2を組み合わせた機器は、マルチロータ型Unmanned Aerial Vehicle(UAV)などの小型フライトコントローラとして数多くの使用例が既に数多く存在する。本研究では、この機器をMU-300機に搭載し、機体速度や姿勢といったデータの取得を行う。図2に、実際に開発した機器を示す。なお、使用するmicroSDHC

図2 Raspberry PiとNavio2による飛行データ取得システム

図4 iBFDによる飛行データのリアルタイム可視化の様子

図3 Mission Plannerによるデータ可視化の様子

カードとの相性や動作状況などを試行錯誤した結果、今回はRaspberry Pi 2を用いている。Navio2はRaspberry Piに取り付けられ、3Dプリンタで作成した専用のケースに収められている。ケースは、Raspberry PiのLANポート、USBポート、Navio2のGPSアンテナ用コネクタに干渉しないように設計されており、外部機器との接続も引き続き可能である。また、内部にヒートシンクとCPUクーラーを設け、上空における動作の安定化を図った。なお、飛行中の振動が測定に及ぼす影響を考慮し、底部にはラジコン用の防振マウントを取り付けた。GPS及びIMUによる測定値は、飛行データの算出に利用される。ここでは、文献⁵⁾に示されるカルマン・フィルタを用いることで各センサによる取得値を相互補完し、高精度な算出を目指した。さらに今回は、MU-300機内にラップトップPCを持ち込み、算出した飛行データのリアルタイム可視化にも取り組む。可視化には、UAVをはじめとするドローン用の地上コントロールステーションであるMission Planner⁶⁾を利用する。図3に、提案システムによって取得したデータをMission Plannerによりリアルタイム可視化している様子を示す。画面左上には、現在の機体速度と高度、姿勢が表示される。また画面右半分には、任意の物理量の時間変化をグラフ表示可能である。なお、画面左下に表示されるのは、各種設定用のタブである。

3.2 スマートフォンによる飛行データ取得

本論文では、スマートフォンによる飛行データ取得の試みについても、実験的に提案する。スマートフォンには、先に紹介したPOSやNavio2と同様にIMUとGPS受信機が搭載されており、理屈の上では飛行データの取得

が可能である。また、ここ数年で急速に普及している背景から、今回の実習に参加する学生の多くが所持していると考えられる。将来、学生所有のスマートフォンを用いたより手軽なデータ取得を可能とするため、本論文では2種類のスマートフォン用アプリケーションによるデータ取得手法を提案する。1つ目は、HASC Logger⁷⁾を用いる手法である。HASC Loggerは、人間行動センシングを行うための行動センシングデータ取得サポートツールである。スマートフォンを人体装着型センサとして用い、端末を所持する人間の行動を、GPS信号による位置情報とIMUの計測値の時系列データとして記録する機能を持つ。記録したデータは、連携するPC用ソフトHASC Tool⁸⁾を利用して可視化・解析することが可能である。今回は、HASC Loggerを搭載したスマートフォンを機内モードで運用し、機体に取り込む。ただし、HASC Loggerの機能は各センサの計測値の記録のみであり、相互補完による高精度化やリアルタイム可視化の機能を持たない。

次に、iOS用アプリであるintegrated Backup Flight Display (iBFD)⁹⁾を利用したデータ取得手法について述べる。iBFDは、飛行機の計器が故障した場合にスマートフォンを簡易計器として使用する目的で開発されたものであり、姿勢、高度、速度、垂直速度、横方向加速度をリアルタイム表示する機能を有している(図4)。HASC Loggerの場合と異なり、iBFDはカルマン・フィルタを用いた高精度化の機能を単体で有している。今回の実習にあたり、データの記録・出力機能を追加しており、学生は飛行実習中にあたかも計器を観察するかのような体験が可能だけでなく、自らのスマートフォンで記録したデータの解析にも取り組むことができる。

本手法においては、スマートフォンの種類を固定できない点に注意しなければならない。学生の所有するスマートフォンは様々な機種で、搭載されるセンサの種類が多岐にわたることが予想される。端末固有のスペックの差が結果に影響することが容易に想像できるため、本手法はあくまで実験的なものとする。代表的な端末に搭載されるセンサの性能を確認した上で現状の課題を明らかにし、将来の飛行実習における実用化への指針を示すことを本論文での目標とする。

図5 POSイベントタイムスイッチ

3.3 イベントタイムスイッチの導入によるPOS取得データの改善

平成29年度から引き続き用いるPOSにおいては、煩雑な出力データから学生がイベントの区間を特定しやすくするための工夫に取り組む。POSは、D-sub9ピンコネクタの特定のピンに3.3V以上の電圧を印加することで、その瞬間の飛行データを別ファイルに記録する機能をサポートしている。そこで、POSに任意のタイミングで電圧信号を印加するイベントタイムスイッチ（図5）を製作し、飛行試験中に学生が操作することで、後から特定の試験項目に該当するデータ区間を判別することを容易にした。なお、POSがデータを別ファイルに記録する際には入力電圧が立ち上がったタイミングのみが利用されるため、オルタネイト型のスイッチと動作確認用のパイロットランプにより、学生の操作ミスを防ぐ工夫を行った。

3.4 持ち込みPCによる学習補助システムの構築

先に紹介したRaspberry PiとNavio2による計測システムの操作とデータの可視化を行うため、平成30年度の実習ではPCを機内に持ち込むことになる。この持ち込みPCを利用することで、平成29年度に見られたパイロットと学生間のコミュニケーションの改善、更に、より内容を充実させるための学習補助システムを構築する。まず、機内に持ち込むPCは4台とし、ハブを介して互いに有線LAN接続する。また、Raspberry Piも有線LAN接続によってローカルネットワークに組み込む。次に、パイロット2名と学生7名の計9名分のヘッドセットをPCで運用し、機内の全員と音声通信が可能な環境を構築する。音声通信の機能は、フリーソフトのVoiceChatter¹⁰⁾によって実現した。また、USB接続のwebカメラを機体

の一番前方で運用するPCに接続し、飛行中の景色やコクピットの様子を撮影する。更に、フリーソフトであるUltra VNC¹¹⁾の画面共有機能を用いて残り3台のPCにカメラで撮影した映像を配信し、後方の席に座る学生にも前席に座る学生に近い視覚情報を共有する。

4. 機内のシステム配置と実習内容の充実のための運用カリキュラム

3章までに述べた内容で、平成30年度に導入する新たなシステムを説明した。本章では、それらの機器の機内における運用方法について述べる。平成29年度と比較して複雑化した作業を飛行中に円滑に進めるためのカリキュラム構成を説明し、その周知方法についても触れる。

4.1 システム配置と学生の役割分担について

図6に、機内における各機器の配置を示す。POSはMU-300機内の後方座席のさらに後ろにあるラックに予め固定されており、位置は昨年と同様である。Raspberry PiとNavio2によるシステムは、POSの右側に滑らないように置いた。また、GPSの受信感度を向上させるため、3mのGPSアンテナを窓の近くまで伸ばしている。スマートフォンに関しては、iBFD用のiPhone 6 Plus (iPhone #1) とHASC Logger用のiPhone 6 (iPhone #2) を用意し、iPhone #1を右側後方座席の横、iPhone #2をRaspberry PiとNavio2による機器の後方に置いた。いずれも、滑り止め効果のある素材を敷くなどの工夫を行っている。次に、PCを用いたシステムと各学生の役割について説明する。今回の実習では、図6中の①-⑦で示す7人の学生に対して4台のPCを割り当て、共同利用するものとする。まず学生①は、飛行試験全体を統括するテスト・コンダクタの役割を担う。パイロットとのコミュニケーションや、各試験開始の号令といった作業を行う。学生②は、PC#1を用いてwebカメラとパイロット分のインカム2台を運用する。また、Ultra VNCのサーバを立ち上げ、カメラで撮影した映像を他の3台のPCに配信する。加えて、カメラ映像の録画も行う。また、セットアップ後は特に作業が無くなるので、POSイベントスイッチの操作も行う。学生③は、PC#2を用いて①-③までの学生用のインカム3台を運用する。また、VoiceChatterのサーバを立ち上げて通話環境をセットアップするとともに、全体の会話内容を録音する。学生④

図6 提案システムと学生のMU-300機内配置

は、PC#3を用いて学生④と⑤用のインカムを運用する。また、Mission Plannerで飛行データを観察するとともに、各々の試験項目における特徴的な時間にフラグを立てる。学生⑤は、PC#3を学生④と共用し、作業の補助を行う。学生⑥はPC#4を用いて学生⑥および⑦のインカムを運用する。また、席の右側に置かれるiPhone#1の画面でiBFDの動作を確認するとともに、表示される飛行データを適宜観察する。最後に学生⑦であるが、学生⑥とPC#4を共有し、作業の補助にあたる。また、離陸前にPOSの電源投入作業、着陸後に終了作業を確実にいき、基準値とする飛行データが確実に取得できるようにする。なお、Mission PlannerによってRaspberry PiとNavio2が取得したデータを観察するのは、全学生共通の作業である。

4.2 学生への作業内容周知について

これまでに述べたように、平成30年度の飛行実習において学生が上空で行うべき作業の量は前年度と比較して増加している。学生は、飛行実習前日の座学において初めて班員と顔を合わせることで、作業の自主練習には限界がある。そこで、学生が上空での作業手順を可能な限り事前に把握できるように、いくつかの対策を行った。まず、上空での作業手順を詳細に記したオペレーションマニュアルを作成し、学生への事前配布を行った。更に、飛行実習前日の座学における90分1コマを提案機器の紹介と作業手順の説明に充てた。この講義では、翌日から用いるRaspberry PiとNavio2システムを実際に動作させながら使用方法を丁寧に説明し、学生への理解を促した。加えて、学生が試験前に機器を直接操作する機会を設けるため、実際の機器を用いた事前リハーサル機会も設けた。本年は、座学を行う日が初対面となる学生が事前に交流を深められるよう、講義の後に1時間程度の懇親会を行った。そこで、懇親会会場の一部にMU-300機内を模して座席を配置し、実際に使用する機器を並べた練習スペースを設けた。参加学生は、班ごとに練習スペースを訪れ、PCの起動から通話環境の構築、画面共有、そしてMission Plannerの操作などを練習する。練習スペースには著者らが待機し、学生が持つ疑問をリハーサルの時間内で解決するように努めた。また、事前に配布したオペレーションマニュアルから各学生の最低限の作業手順を個別にまとめた簡易マニュアルを作成・配布し、理解を深めるように工夫した。

5. 実習における改善案の実施と結果について

4章までに説明した実習の改善案を、平成30年度の実習で実施した結果について述べる。

5.1 実習の実施状況と学生の感想について

平成30年度の飛行実習は、9月11日～13日にかけて行われた。天候の変化により飛行空域の変更を行うなどしたものの、全てのフライトを実施することができた。なお、1日目午後のフライトに学生1名の欠員が発生したため、第一著者が教員代表として搭乗し、上空における学生の実習状況および機器の動作状況を確認した。また、1つのフライトが終わるごとに試験中の状況を学生に対

表1 飛行データ取得作業の状況

Flight No.	POS	Raspberry Pi+Navio2	HASC Logger	iBFD	映像配信
1	○	○	△※2	○	○※3
2	△※1	○			×※3
3	○	○			○
4	○	○			△※4
5	○	○			○
6	○	○			△※5

※1 POSによる時系列データ取得には成功したものの、イベントスイッチを押すタイミングが多く、各試験項目のタイミングを後から特定するのが若干困難になった

※2 アプリは正常に動作したものの、GPS受信感度不足

※3 PC#1のVNCサーバが動作不良、映像配信できず

※4 PC#3でVNC viewerの映像がフリーズ

※5 PC#2以外への映像共有不可、PC#2の表示も不安定

してヒアリングし、次のフライトに臨む班へ飛行前ブリーフィングで情報を共有した。結果として、飛行高度到達後にPCを起動し、着陸準備前にシャットダウンするという複雑な作業であったものの、全てのフライトにおいて概ね正しく手順が実行され、フライトデータが得られた。次の表1に、全6フライトにおける飛行データ取得作業の状況を示す。POSについては、全てのフライトで正常なデータ取得が行われた。ただし、イベントスイッチを押すタイミングについては各フライトの学生②に一任していたことから、フライト2のみ押す回数が極端に多く、後からデータを解析する際にイベントを判別しづらくなる事態が発生した。Navio2については、全てのフライトにおいて正しくデータ取得が行われた。iBFD、HASC Loggerについては、飛行中概ね正しく動作していたものの、GPSの受信性能が十分でなかった。結果として、GPSの情報を利用して算出する物理量の計算精度が悪化した。撮影動画の配信では特にトラブルが多く、フライト2については画面共有自体が不可であった。

次に、各学生の作業に対する印象について調査した結果について述べる。図7に、①～⑦までの学生が自分の役割の難易度についてどのように感じたかを5段階で調

図7 役割に対して学生が感じた難易度のアンケート調査結果 (有効回答数35)

図8 事前配布マニュアルに対する学生の満足度のアンケート調査（有効回答数35）

査した結果を示す。ただし、学生の参加者41名に対して有効回答数が35であり、学生番号によって回答数に差が生じている。作業を難しいと感じたのは主に学生③と④であり、これらの学生には他のPC操作者とは異なる特殊な作業が課される。学生③は、最も多くのインカムをセッティングする必要がある、そのことが影響したと考えられる。学生④については、Mission Plannerを用いてNavio2が記録した飛行データにフラグを立てる作業があり、学生⑥などと比較すると手順が若干増加していることから、作業の難易度が高い印象を与えた可能性が高い。また、図8は事前配布したマニュアルへの満足度を調査したものである。特に細かい手順の多かった全ての学生④が「どちらかといえば満足」を選択しており、マニュアル内容の充実を好意的に評価していることが分かる。一方で、PCでの作業量が比較的少ない学生①、②、③、⑥は1～2名が「どちらかといえば不満」を選択している。これらの結果から、今後の実習におけるマニュアル作成においては、学生の役割ごとに内容を工夫することの有効性が示唆された。実際、前日リハーサルで配布した簡易マニュアルは学生②、③、④、⑥それぞれに向けて専用のものを用意しており、その有効性を指摘する声もアンケートの自由記述欄に見られた。

5.2 取得データと学習内容充実の可能性について

取得した飛行データをもとに、今後の実習内容を充実させることの可能性を探っていく。飛行データの例として、図9aにPOS, Raspberry PiとNavio2によるシステム, HASC Loggerで計測したピッチ角速度, bにPOSとRaspberry PiとNavio2によるシステムで得られた機体高度の値を示す。ただし、紙面の制約から、6番目のフライトの長周期運動特性試験のデータのみを示す。図9aから明らかなように、今回用いた全ての角速度センサの計測値が良く一致している。このことから、スマートフォンがGPSの受信感度不足によるデータの相互補完の性能で劣るものの、今後の計算アルゴリズムの進歩や端末の高性能化により、飛行データ取得の一手法として実用化することが十分期待できることが分かる。また、図9b

a) ピッチ角速度の計測値

b) 高度の計算例

図9 各システムによる取得飛行データの例

から明らかなように、Raspberry PiとNavio2による高度の計算値がPOSのものとはよく一致している。紙面の都合で省略したピッチ角の計算値についても、試験終了後の差異が大きくなる傾向が見られるものの、長周期運動の振幅や周期を計算する用途には十分な精度のデータであった。これらより、提案機器による取得データが飛行実習で取り扱う運動の解析に有用であることが示された。

6. まとめと実機飛行実習の今後の展望について

全国から大学生を募り、実際の飛行機を用いてその運動特性を体験する実機飛行教育は、座学と実学を結び付ける機会として大変効果的である。本論文では、実機飛行教育の学習効果を高めるとともに今後のさらなる発展に資する成果を得るため、初年度のカリキュラムに様々な工夫を加えた成果について報告した。Raspberry PiとNavio2による計測システムはPOSと比較し得る飛行データの取得精度を実現し、実機飛行教育実施のハードルを下げることに成功した。また、スマートフォンによるデータ取得の試みも、今後の検討次第で十分な精度を獲得する可能性があり、より多くの学生に飛行データ取得とそれに伴う学習の機会を提供し得ることが分かった。

今回の提案機器で取得した飛行データは、飛行実習の終了後、参加した学生に提供されている。今後、それらを使用したより効果的な事後学習課題の模索、学生が作業内容に抱いた感想を参考に役割の調整やマニュアルの改変を行うなど、効果的な実機飛行教育を目指した提案を続けていく。

謝 辞

本研究は、地球観測技術等調査研究委託事業「実機飛行を通じた航空実践教育の展開」の助成を受けたものです。また、平成30年度の実機飛行実習に参加された大学生の皆様には、データの取得作業やご意見のフィードバックなど、多大なるご協力を賜りました。ここに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Applanix社：Applanix, Webページ, URL: <https://www.applanix.com/>, 参照日：2018-11-20
- 2) 佐宗章弘：第55回 飛行機シンポジウム：特別企画「実機飛行を通じた航空実践教育の展開」開催報告, 66-9, pp.287-289, 2018
- 3) Raspberry Pi Foundation(ラズベリーパイ財団)：Webページ, URL: <https://www.raspberrypi.org/>, 参照日：2018-11-20
- 4) EMLID社：Navio2製品ページ, EMLID, Webページ, URL: <https://docs.emlid.com/navio2/>, 参照日：2018-11-20
- 5) ArduPilot Extended Kalman Filter：Webページ, URL: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-apm-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>, 参照日：2018-11-20
- 6) Ardupilot Mission Planner Home:Webページ, URL: <http://ardupilot.org/planner/>, 参照日：2018-11-20
- 7) HASC Human Activity Sensing Consortium HASC Logger：Webページ, URL: <http://hasc.jp/tools/hasclogger.html>, 参照日：2018-11-20
- 8) HASC Human Activity Sensing Consortium HASC Toolメニュー：Webページ, URL: <http://hasc.jp/tools/hasctool.html>, 参照日：2018-11-21
- 9) iBFD(App store)：Webページ, URL: <https://itunes.apple.com/jp/app/ibfd/id1195301027?mt=8>, 参照日：2018-11-21
- 10) VoiceChatter(Source Forge 紹介ページ)：Webページ, URL: <https://sourceforge.net/projects/voicechatter/>, 参照日：2018-11-21
- 11) Ultra VNC 公式ホームページ：Webページ, URL: <https://www.uvnc.com/>, 参照日：2018-9-14

著 者 紹 介

山口 皓平

2017年 京都大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学 助教
専 門 飛行力学, 宇宙機の軌道ダイナミクス
連絡先 kohei.yamaguchi@mae.nagoya-u.ac.jp

砂田 茂

1992年 東京大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学 教授
専 門 空気力学, 飛行力学
連絡先 shigeru.sunada@mae.nagoya-u.ac.jp

井戸田 典彦

1989年 東京大学大学院修了
学 位 修士(工学)
現 在 三菱重工業株式会社
専 門 飛行力学, 空気力学

辻本 邦之

1985年 電気通信大学
学 位 学士
現 在 株式会社NTTデータMHIシステムズ
専 門 ソフトウェア設計, ICTインフラ技術
連絡先 kuniyuki_tsujimoto@nmhis.mhi.co.jp
<http://zero1962.world.coocan.jp/>

佐伯 達夫

1989年 豊橋技術科学大学 電気・電子工学課程 卒業
学 位 工学士
現 在 三菱重工株式会社