

大学教育と実務のギャップ解消を目指す 機械工学実習型教育刷新のための調査研究

名古屋大学 教授 原 進

1. 機械工学系学科のための実習型教育刷新について

機械工学系学科における実習型教育は、座学で学んだ4種類の力学（材料力学・熱力学・流体力学・機械力学）や制御工学に基づき、目の前で現象を再現して理論の妥当性や実際の様子を理解し、望んだ仕様を満たす機械製品を製作するために欠かすことができない教育手段である。ところが、そのための予算が厳しい状況で運営している教育機関も多く、使用機器や各種設備も先端とは程遠い「年代物」であることさえ珍しくない。

一方、産業界での実務においては、CAD/CAMに代表される高度な計算機援用による解析・設計、3Dプリンターによる加工・試作等がすでに常識的に行われている。これらの環境を使いこなすのは、本来、大学での座学の内容を十分に修得して、各理論間の関係も理解し、実習型教育も現代的な内容を受けていることが望ましい。しかし、現実の大学教育と実務とのギャップは広がる一方で、このままでは、援用する計算機から得られる数値を鵜呑みにもものづくりを行う受け身のエンジニアばかりになる。このような事態をくい止め、これからの機械工学系学科において期待されるべき人材の育成に資する実習型教育の方法論について調査研究を実施した。

このような実習型教育では限られた時間で最大限の教育効果を引き出すため、プロジェクト型授業（Project-Based Learning: PBL）がよく行われる。名古屋大学工学部機械・航空宇宙工学科では、3年次新規必修授業「設計製図第3」において、複数の力学と制御工学を摺合せながら一つの目的を達成し、3Dプリンターやそれに関連するソフトウェアも使いながら（一部のデジタルエンジニアリングを含めた）モノづくりを行うプログラムを2019年10月に開始した。

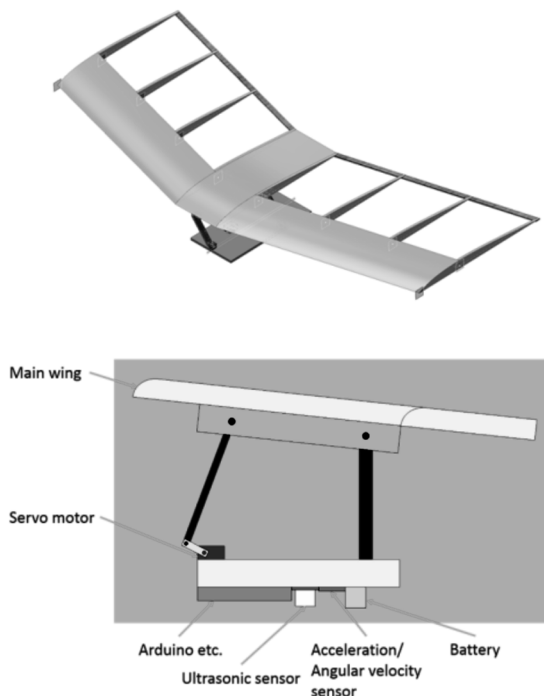


Fig. 1 Schematic figures of a glider robot

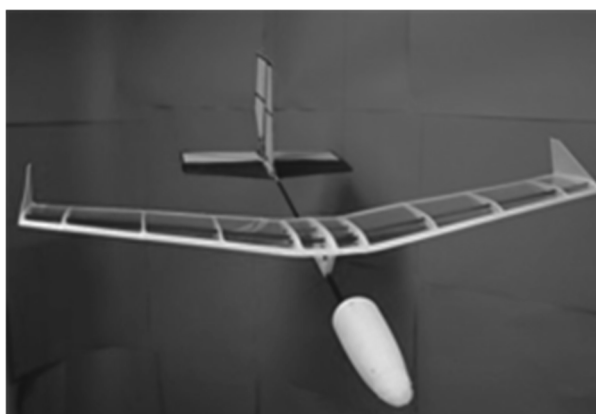


Fig. 2 Overview of a fixed-wing flying robot

2. プロジェクト型授業のための飛行教材の設計と製作

複数の力学や制御工学の摺合せを行うとともに、最近のデジタルエンジニアリングも一部導入できる PBL の対象として飛行教材の設計と製作を取り上げた。飛行教材の場合、与えられた条件（製作費/材料等上限、離陸仕様、ロボット基本構成）のもとで、機体強度と重量の関係を導く材料力学、機体（特に翼）形状と空力特性を考える流体力学、そして、ピッチングとヨーイングに関するフィードバック制御を考えた制御工学、それらを踏まえた設計と 3D プリンターを活用した加工と製作に至るまで、機械工学における複数の重要な理論を活用し、統合化（摺合せ）することで良い評価（飛距離や耐久性など）を得る機体を実現できる（制御工学や材料力学の検討を進める上で、機械力学に関する検討も含まれる）。

当初、報告者は上記の教材例として図 1 のような全翼機であるグライダーロボットを取り上げようとした。これをロボットと呼ぶ意味は、パイロット部の重心移動をアクティブに制御することにより安定な無動力飛行の継続を目指したためである。しかしながら試作してみたところ、この機体の場合、機体状態のセンシングが容易でなく、制御が適切に行えなかったため断念した。次に、図 2 のような固定翼型の飛行ロボットを取り上げた。このロボットの仕様を表 1 に示す。この

Table 1 Major specifications of the fixed-wing flying robot

Length	1.20 m
Wingspan	0.80 m
Wing area	$1.41 \times 10^{-1} \text{ m}^2$
Average chord length	0.175 m
Dihedral	10 deg
Angle of incident	5 deg
Sweepback angle	3 deg
Weight	0.27 kg

場合、全翼機型よりも機体のセンシングを容易に行えた。さらに、そのセンシング情報をフィードバックするように、モータドライバ、モータ、リンク、駆動ワイヤーから成る駆動系をピッチングとヨーイングそれぞれに合計 2 系統設けてそれぞれの PID フィードバック制御を実現できた⁽¹⁾。

本教材の主な特徴は 3D プリンターを用いて自由に設計可能な機体とプログラマブルなフライトコントローラの使用である。雛形となる設計例と 3D プリントのためのノウハウを始めに講義で、その後はインターネットテキストで継続的に提供することで、受講生は自由に機体を設計し、3D プリントを含めたものづくりに対する知見を向上させることができる。また、フライトコントローラを機体制御のためにプログラミングすることで、製作機体を実際に制御しながら飛行させるまでの一連のプロセスを体験できる。

実際に対象とした飛行ロボットは、2018 年度に本調査研究のために少人数の事前トライアルを実施した際に採用した図 2 の飛行ロボット製作における反省点に基づき、改善を行った図 3 の改良型飛行ロボットである⁽²⁾。主な改良点は図 2 の機体に対して機首の小型軽量化、機首・主翼間の剛性の向上、フライトコントローラの専用基板化である。

まず、図 2 の機体に用いていた円錐形の機首は重く、機体の重心調整のために全長が大型化する傾向があった。そこで改良型では、必要な部品を搭載できる範囲で機首の外形を小型化するため、内部空洞を大きくして体積と重量の低減を図った。この結果、機首の体積は半分以下となり、電装部品込みで 110 g 程度から 80 g 程度まで軽量化できた。



Fig. 3 Overview of the improved flying robot

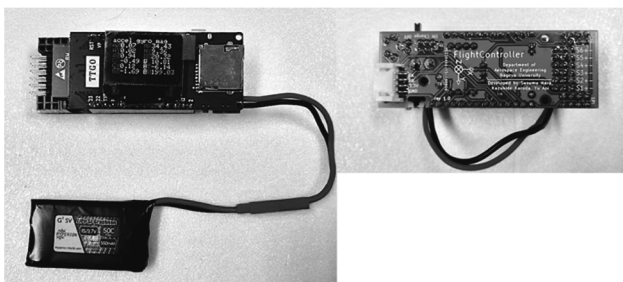


Fig. 4 Improved flight controllers

次に機首・主翼間の接続であるが、図2の機体で使用していたカーボンロッドの剛性が低く機首が主翼に対してねじれることでフライトコントローラのIMU (Inertial Measurement Unit: MPU9250)に振動ノイズが影響する点が問題であった。また、曲げ剛性も不十分であり着地時に機首の衝撃に耐えられず、破断する問題もあった。これに対し改良型では、機首と主翼を3Dプリント可能なジョイント部品を用いて直接接続する構造に変更した。その結果として剛性が向上して振動ノイズが低減するのみならず、着地時に機首と主翼の接続部が破断することが無くなった。また、ジョイント部品を交換することで主翼の取り付け角を容易に変更することが可能となった。

最後に改良したフライトコントローラの専用基板を図4に示す。従来、コントローラは汎用基板に

配線を施したものを使用していたが、取り外しや着地時に破損する問題があった。改良型では専用基板を作成し、拡張性を損なうことなく絶縁性と耐衝撃性の向上を達成した。

3. 今後に向けて

新規授業「設計製図第3」における具体的な取り組み方法として、少人数チームによる図3のような飛行ロボットの設計・製作とチーム対抗の競技会、ならびに競技結果に対する反省会などのプログラムを考えた。2019年10月から始まった本プログラムの概要はすでに著者らの文献^{(1),(3)}で報告しており、特にフィードバック制御を含めた飛行実験の様子についても文献⁽¹⁾で示している。本報で調査研究を行うことで導入された「設計製図第3」のプログラムの教育効果などについては、授業最終日に実施予定の受講生のアンケート結果なども踏まえて、後日、別の機会に紹介したい。

文 献

- (1) Hara, S., Kuroda, K., Aoi, Y., Nakagami, K., Hashizume, K. and Hata, S., “PBL Program Producing Flying Robot in Mechanical and Aerospace Engineering Department”, *Proceedings of the 6th International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering*, (2019), F1-1003.
- (2) 青井・黒田・原, 機械航空系工学科におけるプロジェクト型授業のための飛行教材について, 日本機械学会東海支部第69期総会・講演会 (Tokai Engineering Complex 2020, TEC20) 講演論文集 No.203-1, (2019), 掲載予定.
- (3) 原・黒田・青井, 機械航空系工学科におけるプロジェクト型授業のための飛行ロボットの開発, 日本機械学会2019年度年次大会講演論文集 No.19-1, (2019), S20225.