

1. 担当 PM

五十嵐 悠紀（お茶の水女子大学 理学部 情報科学科 准教授）

2. クリエータ氏名

土肥 正義（フリーランス）

3. 委託金支払額

2,736,000 円

4. テーマ名

ロボット記述言語に基づくドローン開発支援ツール

5. 関連 Web サイト

- ドキュメント：<https://tobas-wiki.readthedocs.io>
- X：<https://twitter.com/dronewotobas>

6. テーマ概要

近年、ドローンの頭脳であるフライトコントローラの発展により、産業用ドローン市場規模が急速に拡大している。オープンソースにより、専門知識を持たない人でもドローンの開発が可能になったが、従来のフライトコントローラには飛ばせる機体形状が限られているという課題があった。本プロジェクトでは、従来のフライトコントローラでは飛ばせないような機体形状のドローンでも安定して飛行させられるような、ドローン開発支援ツール「Tobas」を開発した。Tobas は機体制御器、Gazebo プラグイン、Setup Assistant から成り、力学や制御工学に関する専門知識をもたない人でも使えるように仕上がっている。

7. 採択理由

本プロジェクトは、ドローンのリンク構造や質量特性を取得して、それに基づいて制御器を構築することで、既存のフライトコントローラの拡張性の低さを解決し、読み込んだドローンを元に現実に即したシミュレーションができる環境を提供する提案である。ドローン自作機を開発をしているユーザが感じて

いる課題を明確にし、それを解決する支援ツールの実現を目指すもので、シミュレーションの粒度を少し粗くしているもののそれでもそれなりの難易度があり、未踏的挑戦がある。実装可能性も高く、社会的意義が大きいと期待して採択した。

8. 開発目標

本プロジェクトでは、ロボット記述言語に基づく制御器を構築し、既存の飛行制御器と異なり機体のリンク構造や質量特性を詳細に考慮することで、あらゆるドローンに対して高精度な制御を可能にするようなドローン開発支援ツールを開発することを目標とする。また、読み込んだドローンを元に現実に即した空力シミュレーションを提供する必要な設定は GUI で完結し、専門的な知識がなくてもユーザが設計したドローンをシミュレーションできる環境を実現することを目指す。ソフトウェア全体を ROS (Robot Operating System) に対応させ、その拡張性を最大限確保する。また、専用のハードウェアを用意し、シミュレーションとほぼ同じインタフェースで実機でも動作するようにする。

9. 進捗概要

本プロジェクトではドローン開発支援ツール「Tobas」を開発した。Tobas の主要要素は図 1 に示すように、機体制御器、Gazebo プラグイン、Setup Assistant の 3 つである。

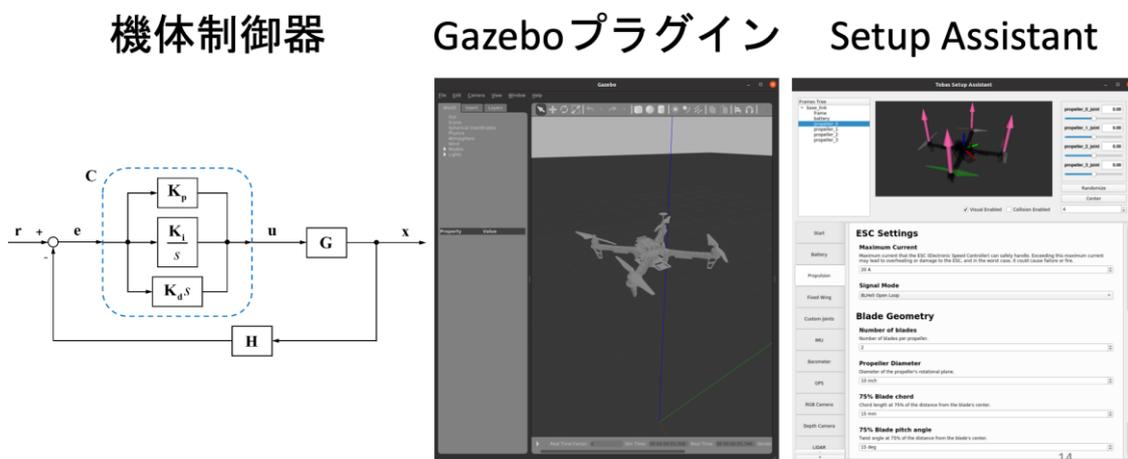


図 1 : Tobas の構成要素

Tobas の構成要素の 1 つ目である「機体制御器」は、機体の位置姿勢の安定化および目標値に追従させる機能を持つ実行ファイル群である。図 2 に機体制御の流れを示す。印加電圧からモータのダイナミクスに従って回転が発生し、そこから空気力学に従ってプロペラの推力が発生し、そこから運動方程式に従って機体の角加速度が発生し、それが時間積分されて機体の姿勢が変化するという因果関係が存在する。この一連の流れを本プロジェクトでは詳しくモデル化

することで、様々な機体形状に対応させている。運動方程式からモータのダイナミクスまでの部分は機体設計段階で推定可能であり、正しく設定することでモデル化誤差を減少させ、それに伴い飛行性能を向上させることができる。

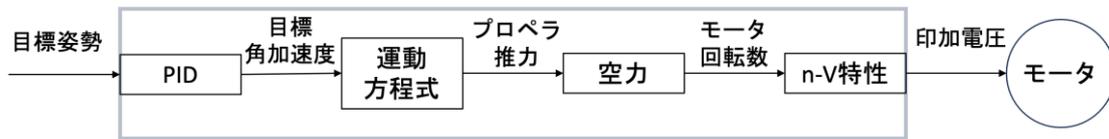


図 2：機体制御において、目標姿勢がモータの印加電圧に変換されるまでの流れ

Tobas の構成要素の 2 つ目である「Gazebo プラグイン」は、ドローンを構成する各要素を Gazebo 上でシミュレーションするための共有ライブラリである。シミュレーションする内容は以下である：

- センサ系：6 軸 IMU, 地磁気, 気圧, GNSS
- 駆動系：バッテリー, ESC, モータ, プロペラ, 固定翼
- 環境系：定常風, 突風, 乱流
- その他：モデル化誤差

センサ系のノイズモデル (図 3) や駆動系のダイナミクスに加え、過電流による ESC の発火、離陸時の電圧降下、突風などの事故に繋がる要素を再現している (図 4)。また、空力系の定数にはある程度のモデル化誤差が発生することを想定し、シミュレーション内でロバスト性を評価できるようにしている。



図 3：センサのノイズモデルの再現

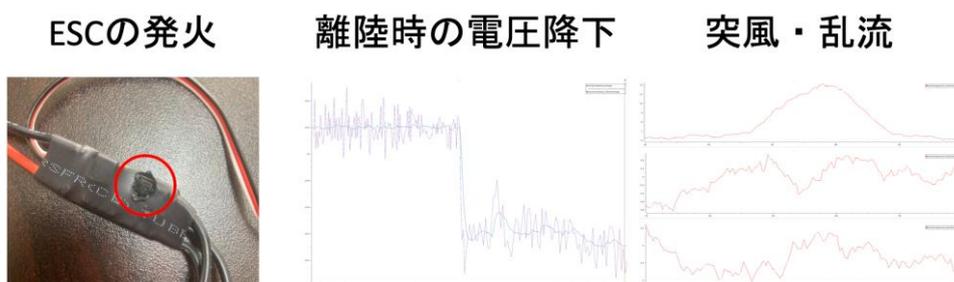


図 4：事故に繋がる要素の再現

Tobas の構成要素の 3 つ目である「Setup Assistant」は、Tobas のソフトウェアを使用するために必要な設定ファイルを作成するための GUI である。ロボット記述言語である URDF (Unified Robotics Description Format) からドローンの機体構造を取得し、URDF には表現されていないドローン特有の設定を行い、設定ファイル群 Tobas Configuration Package を出力する (図 5)。

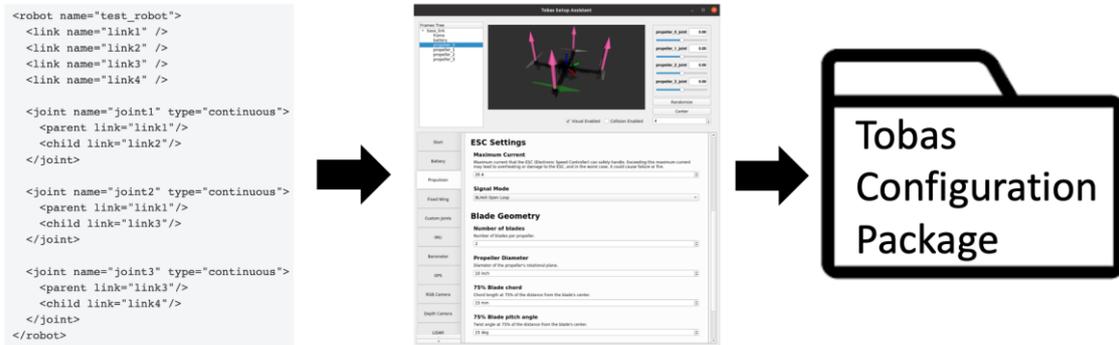


図 5 : Tobas Setup Assistant の役割
URDF を読み込み、設定ファイル群を出力する。

開発した「Tobas」を利用することで可動部を持つ機体や非平面ロータ配置の機体など、ミッションに合わせてあらゆる機体を試すことができるようになった。本プロジェクトでは非平面ロータ配置かつロボットアームを搭載した機体を飛ばすことでその有効性を示した (図 6)。



図 6 : 非平面ロータ配置かつロボットアームにより飛行中に重心が変化するドローン

プロジェクトを進めるにあたっては、現場でのインタビューを重ねてきた。産業用器のフライトコントローラを本プロジェクトで開発するフライトコントローラにそのまま置き換えるのは信頼性の観点から難しいとの声を聞き、プロジェクトの方向性を変えて、まずは既存のフライトコントローラ（ArduPilot）のシミュレータとしての活用を目指すこととした。また、プロジェクトの進め方としては、ゴールの方針は明確にしつつも、直近のゴールを常に意識して進めていた。具体的には、「既存のフライトコントローラをシミュレーションすることで従来大変だった実機でのパラメータチューニングの手間を減らすことに挑戦する」「クアッドコプタの実機試験に成功する」という具体的な目標を毎月立てて、それに向けて確実にクリアしていった。プロジェクトマネージャーともよく連絡を取り、ミーティングを重ねた。現状を報告することで、これまでの方針、今後やることなどが整理されて、明確になっていった。

10. プロジェクト評価

本プロジェクトでは、これまでのフライトコントローラでは飛ばすことが難しいとされていた形状のドローンを安定して飛行させることができるようなドローン開発支援ツール「Tobas」を開発した。Tobasは機体制御器、Gazeboプラグイン、Setup Assistantから成り、力学や制御工学に関する専門知識をもたない人でも使えるように仕上がっている。

従来のフライトコントローラでは飛ばすことが難しい形として、可動部を持つ機体や非平面ロータ配置の機体などが挙げられるが、Tobasを使って自由に設計して試すことができるようになった。実際にプロジェクト期間中に非平面ロータ配置かつロボットアームを搭載した機体をTobasで設計し、飛行中に重心が変化するようなドローンでも実際に飛ばすことで、有効性を示したことは評価に値する。

また、Tobasで設計することで、力学パラメータや推進系のモデル化誤差が減少するようにでき、制御ゲインを上げて安定性を保てるようになった。実際に即したシミュレーションも可能となり、実機で起こりうる現象をシミュレーションで再現することで、実機試験にかかる時間的なコスト、金銭的なコストを減少させることができるようになった。

Tobasでは、機体制御器、Gazeboプラグイン、Setup Assistantを開発したが、どれも力学や制御工学に関する専門知識をもたない人でも使えるように仕上がっている。従来飛ばせなかった機体形状でも飛ばすことができるという、世の中の常識を変えることができるような技術・仕組みを提案し、実装して具体化させ、産業用のドローン開発を加速させる可能性を見せた点を評価する。

11. 今後の課題

現状は土肥氏自身でドローンを設計し、飛ばしている段階にとどまっているため、今後は Tobas を土肥氏以外のユーザに使ってもらっての設計および実機実験へと進むことを目指して欲しい。様々な産業でのドローン開発・活用の可能性があると考え。具体的に現場におけるヒアリングを行い、フィードバックを得ながら機能改善を行い、世の中へ展開して欲しい。