

ロボット記述言語に基づくドローン開発支援ツール - Tobas : 全てのドローンのためのフライトコントローラ -

1 背景

近年の産業用ドローン市場規模の急速な拡大の背景には、ドローンの頭脳であるフライトコントローラの発展がある。Pixhawk などのオープンソースハードウェアと PX4 や ArduPilot などのオープンソースソフトウェアの発展により、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る。

図 1 は従来のフライトコントローラで飛ばせる機体と飛ばせない機体を平面図にまとめたものである。黒線がフレーム、赤線がプロペラ、白黒の円が重心を表す。ソースファイルを直接編集することなく飛ばせる機体は、図 1 左のように重心が中央にあり、等しい大きさのプロペラが重心回りに均等に配置されている。それに対し、図 1 中央のように重心が中央から外れている機体や異なる大きさのプロペラを用いている機体は従来のフライトコントローラでは扱えず、飛ばすためにはユーザ自身が多少の物理演算を行う必要がある。さらに、図 1 右のようにプロペラが大きく傾いている機体や飛行中に重心が変化する機体は従来のフライトコントローラの設定範囲を超えており、特異な機体構造を最大限利用することはできない。

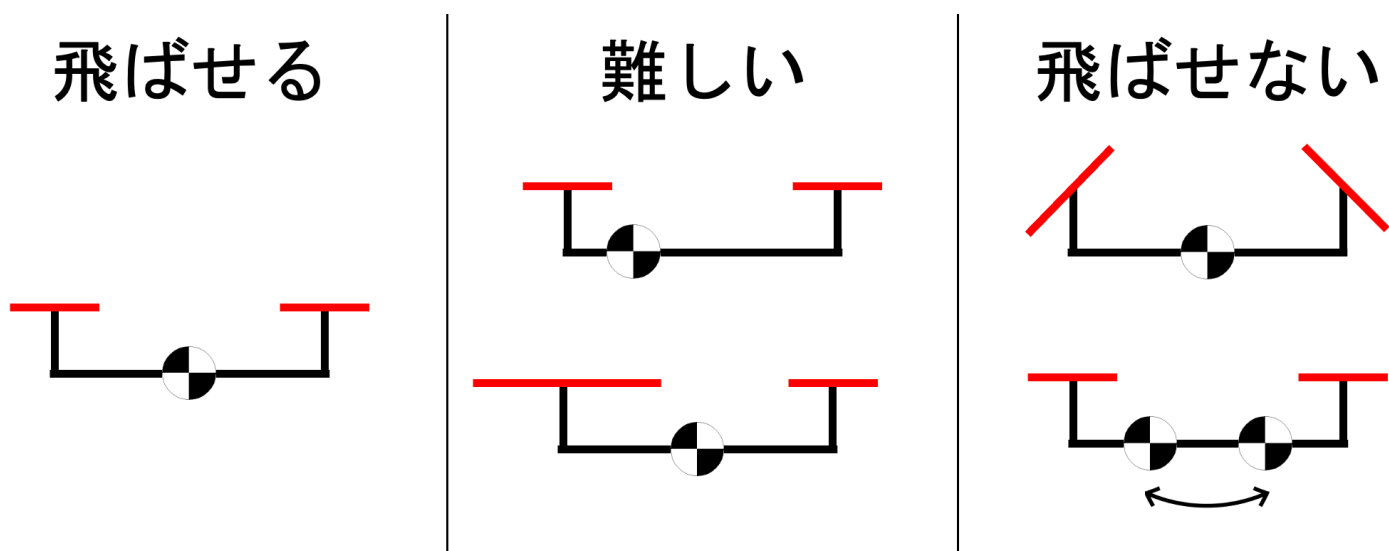


図 1: マルチコプターの様々な機体形状の模式図。黒線がフレーム、赤線がプロペラ、白黒の円が重心を表す。

図 1 中央や右のような機体構造をもつドローンが飛行可能になると、超音波センサを搭載したマルチコプターによる構造物の非破壊検査や傾け厳禁の荷物の搬送など、従来は困難であった様々なミッションが遂行可能になる。ドローンの活用範囲が広がる中、それらを可能にするフライトコントローラの開発は日本のドローン産業の発展に大きく貢献すると考えられる。

2 目的

本プロジェクトの目的は、上記のようなドローンでも安定して飛行させられるようなフライトコントローラを開発することと、それを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することである。

3 開発の内容

以上の目的を達成するため、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 の主要要素は機体制御器、Gazebo プラグイン、Setup Assistant の 3 つである (図 2)。

機体制御器

Gazeboプラグイン

Setup Assistant

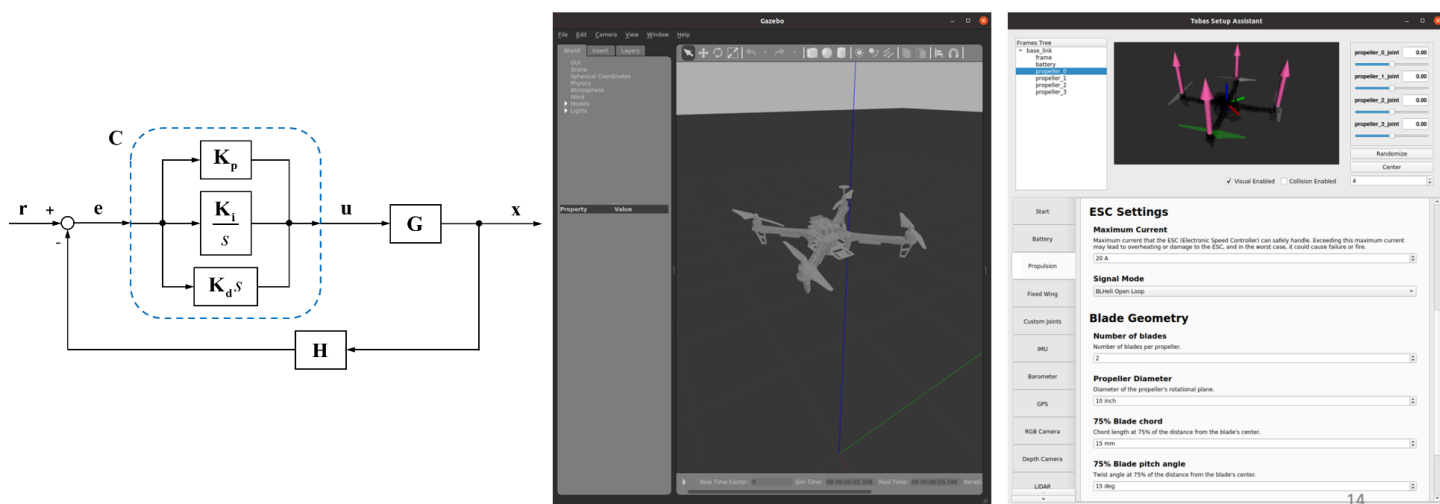


図 2: Tobas の構成要素 .

3.1 機体制御器

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 3 は機体制御の流れを簡単に表した図である . 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が，本プロジェクトではその過程を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 .

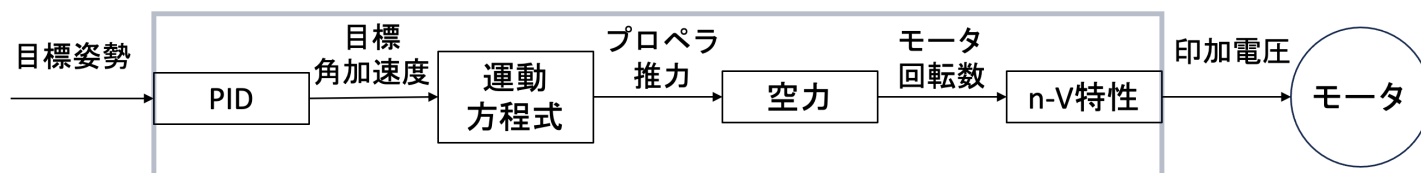


図 3: 機体制御において，目標姿勢がモータの印加電圧に変換されるまでの流れ .

3.2 Gazebo プラグイン

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 .

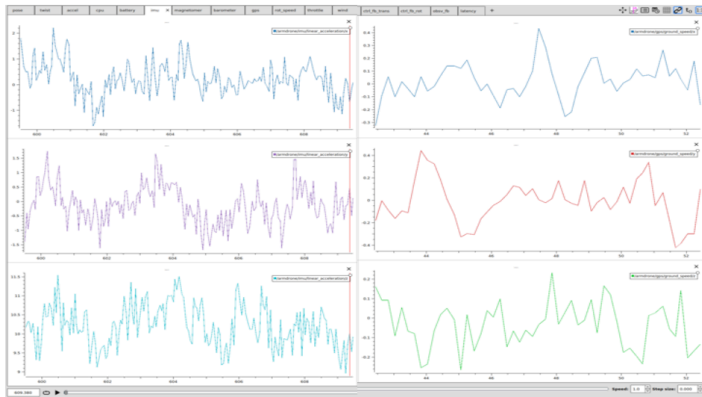
シミュレーションする内容は以下である:

- 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 4) 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 5) . 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。

シミュレーション



実機

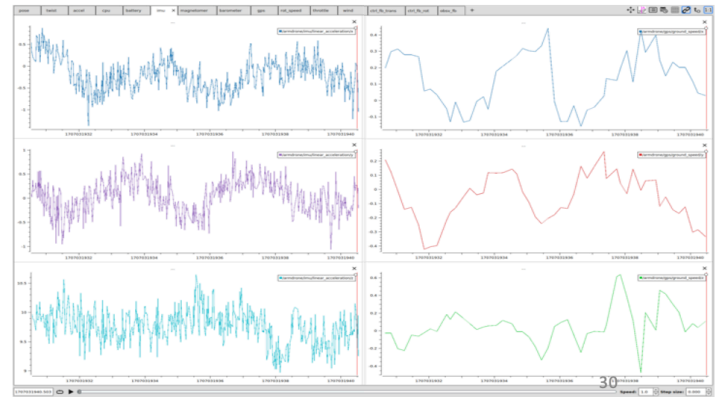
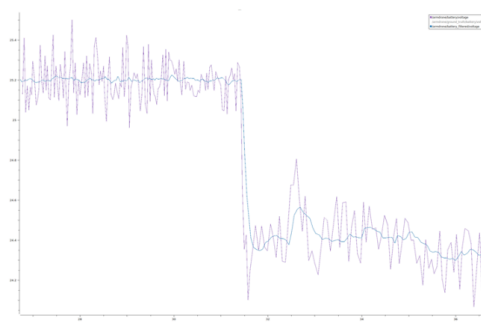


図 4: センサのノイズモデルの再現。

ESCの発火



離陸時の電圧降下



突風・乱流

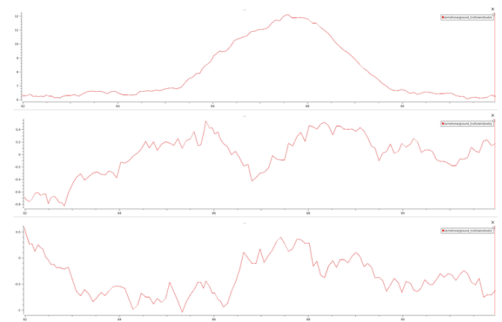


図 5: 事故に繋がる要素の再現。

3.3 Setup Assistant

Setup Assistant は、Tobas のソフトウェアを使用するのに必要な設定ファイルを作成するための GUI である。URDF (Unified Robotics Description Format , ロボット記述言語) 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、Tobas Configuration Package という設定ファイル群を出力する (図 6)。この仕組みはロボットアームのソフトウェアとしてよく知られている MoveIt! を参考にしている。

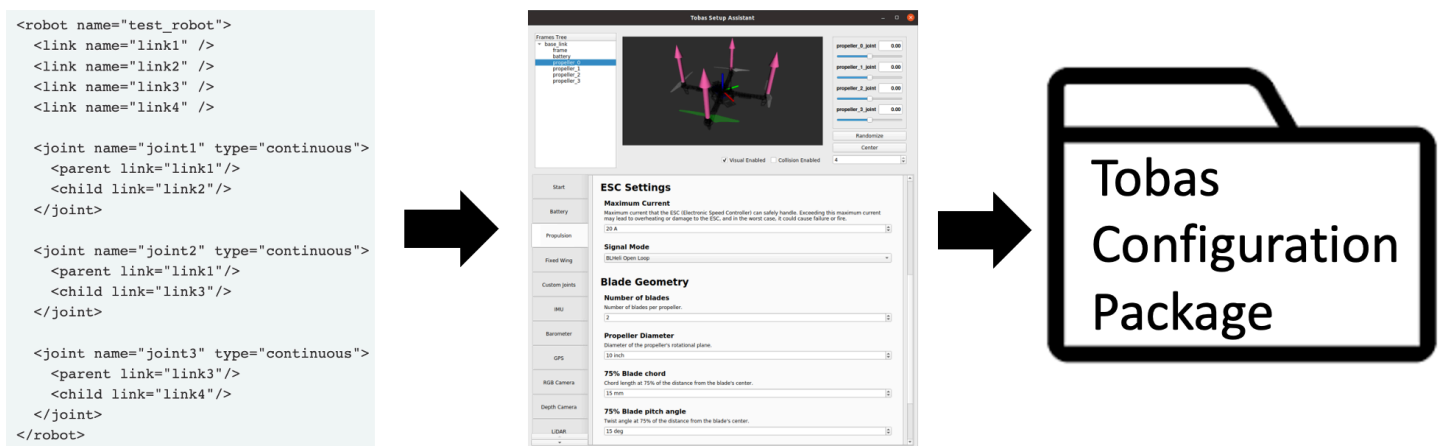


図 6: Tobas Setup Assistant の役割。URDF を読み込み、設定ファイル群を出力する。

4 従来の技術との相違

従来のフライトコントローラと Tobas の最大の違いは、機体の運動を決めるダイナミクスを詳細にモデル化していることである。従来のフライトコントローラは機体の回転運動を決める重要なパラメータである慣性モーメントを過度に簡略化しているのに対し、Tobas では URDF を読み込むことで完全な力学パラメータとその時間変化を考慮する。また、従来のフライトコントローラを使用する場合はまず与えられた機体形状の中から 1 つ選ぶのに対し、Tobas では URDF に表現されてさえいればあらゆる機体形状を試すことができる。さらに、従来のフライトコントローラではモータの内部抵抗を無視していたのに対し、Tobas では GUI の設定からモータとプロペラを組み合わせたときの非線形のダイナミクスを推定し、飛行制御に利用している。

5 期待される効果

Tobas により期待される効果は大きく分けて 4 つあると考えている。

1 つ目は、機体設計の自由度が増加することである。従来のフライトコントローラを使用する場合は、フレームリストに載っている型から 1 つ選び、フライトコントローラで飛ばせるようにドローンを作るのが基本である。それに対し、Tobas を使う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。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（図 7）を飛ばすことでその有効性を示した。

2 つ目は、飛行性能が向上することである。これは特に基本的な対称型から外れたドローンで顕著であり、上に挙げたような力学パラメータや推進系のモデル化誤差が減少することで、制御ゲインを上げて安定性を保てるようになる。

3 つ目は、ゲイン調整の手間が省けることである。機体のダイナミクスを詳しくモデリングすることで PID 制御の部分を機体に非依存な形で取り出すことができ、飛行前に解析的に無難なゲインを決定することができるようになる。

4 つ目は、実機に即したシミュレーションが可能になることである。機体の詳細な情報を取得し、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、金銭的なコストを減少させることができる。



図 7: 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。

6 普及・活用の見通し

今後は Tobas を国内外の機体メーカーに売り込み、フィードバックを得ながら機能改善を行っていく。2024年3月時点で複数のメーカーからの前向きな評価を得ており、UI やライセンス管理が整えば年内の実用化も可能だと考えている。

しかし、今の所 Tobas の利点として着目されていることは主にゲイン調整の手間が省けることと現実に即したシミュレーションができることであり、機体設計の自由度の増加に関しては、未だ積極的に活用したいという意見は聞いていない。これは、それによって可能になるアプリケーションが見えないことが原因だと考えている。そこで、私自身 Tobas を用いて従来のフライトコントローラでは困難だったミッションを可能にすることで、Tobas の有効性を示していく予定である。

7 クリエータ名(所属)

土肥 正義(フリーランス)

(参考) 関連 URL

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