

高度な制御のための 運動のモデル化&定式化

藤原 大悟

ここまでで、STEVAL-DRONE01のハードウェアやファームウェアをカスタマイズするために必要な知識について一通り解説しました。

ここからはPID制御の代わりとして、状態フィードバック制御を題材に、ドローン用の角速度制御器を設計して実装し、飛行実験を行います。

本章では準備として、ドローンの動きのモデル化、運動方程式の計算、システム同定実験によるパラメータ調整など、ドローンの制御系設計を行うにあたっての基本的事項について解説していきます。

モデル化についての基礎知識

● 設計の手始めは入力に対する動きを数式で表す

ドローンの(ドローンに限らず航空機についても)飛行制御系の設計を行う際は、いきなり設計に入るのではなく、まずはドローンが各プロペラのモータへの入力に対してどのように運動するのかを数式で表現する作業を行います。それが終わった後に、立てた数式に基づいて制御系の設計を行うという流れです。

ドローンの運動を表現した数式を数学モデルまたは単にモデルと呼びます。プラモデルのように、実物とは異なるものの、ある側面(この場合はドローンの運動)については、実物の特徴をよく反映したものと、いう意味でモデルです。

モデルを作ることをモデリングあるいはモデル化と呼びます。また、モデルに基づいて設計を行うことをモデル・ベース設計と呼びます。

● 航空機の制御設計と言ったら「モデル・ベース」設計

モデル・ベース設計(MBD: Model-Based Design)は、近年多方面でよく耳にするようになりましたが、航空機の飛行制御の世界では昔から当たり前のように行われてきました。モデル・ベース設計の利点は、実物を使わず机上でさまざまな技術検討ができる点ですが、その一方、モデルが実物と乖離していると、例えば設計した制御系を実際にドローンに実装したら制御

性能が思ったほど出ない、最悪の場合離陸困難など、技術検討が無意味なものになりかねません。モデルと実物との間の差異をモデル化誤差と呼び、これをいかに小さくするかが大事になってきます。

● 本章ではモデル化を頑張る

モデル・ベース飛行制御系設計では、大半の時間をモデリングに費やすことも珍しくありません。ただし、モデル化誤差を完全にゼロにすることは困難です。誤差の存在を認めた上で、どこに/どのような/どの程度の誤差が残ったかを把握して、技術検討に取り組むことを心掛けることが肝心です。

本章では、ドローンのモデリングに焦点を当てます。ここからは数式が多くなります。誌面の都合上、簡略化した形になるので、より深く知りたい方は、国内外の機械/航空/制御関係の学会が発行する論文誌を調べることをお勧めします。

● モデル化の前提

ドローンは、 x - z 平面と y - z 平面に関して対称な形状/質量分布であるとし、トリム飛行状態はホバリングとし、ホバリングおよびその近傍(低速飛行)の運動を考え、機体胴体が受ける空気抵抗(有害抵抗)は無視し得るとします。

ここで、トリム(trim)とは釣り合い、つまり機体胴体に働く力の釣り合いが取れた状態のことを言います。これは、例えばホバリングや等速直線運動のような定常状態を指します。どのような飛行状態をトリム飛行状態とするかは設計者が都度決めることとなります。

● ドローンの運動をモデル化するステップ

ドローンの運動をモデル化すると、おおよそ図1のようになります。信号の流れは一部の例外を除いて左から右へ向かいます。左から順に、第1段階としてドローンに働く力やトルクの計算、第2段階として運動方程式の計算による加速度/角加速度の算出、第3段階としてそれらの積分による速度/位置および角速度