

論文の内容の要旨

論文題目「Aircraft Flight Control Using a Coefficient Diagram Method: Modeling, Controller Design and Simulation Analysis with a Case Study of Fixed-wing Aircraft」

(係数図法を用いた航空機の飛行制御：モデリング，制御器設計およびシミュレーション解析：固定翼機のケーススタディ)

学位申請者: ASA EKACHAI

キーワード : 飛行制御 CDM モデリング モデル規範型適応制御 シミュレーション

本研究では、係数図法 (Coefficient Diagram Method) を用いて航空機、特に固定翼機を例に、機体の2種類の運動 (縦と横方向) に対する状態フィードバック制御系を構築し、さらにモデル規範型適応制御を導入することにより前記状態フィードバック制御系の性能を向上させるとともに、機体モデルに含まれる非線形性にも対応可能な飛行制御システムを構築することを目的としている。

飛行力学は、空力学、剛体力学、構造力学、そしてシステム理論が関与する学際的分野である。我々の日々の生活における飛行機の重要性は論を待たないが、飛行力学の分野で開発される様々な理論や手法が機体の設計や開発、特に機体の形状や必要な力学特性の実現、マニュアル操縦または自動操縦下における可制御性、さらには自動飛行システムの実現等に大きな影響を及ぼすことは言うまでもない。取り分け、制御機器、センサ、通信機器、ネットワーク、CAE 技術の目覚ましい発達に助けられ、自動飛行制御システムの開発が目覚ましい速度で進められている。一方で、自動飛行制御システムの核をなす制御系の部分が過度に複雑になる傾向にある。ファジー制御やニューラルネットワーク制御などの新しい手法も提案されているが試行錯誤的な色彩が強く幅広い利用には至っていない。非線形性を正確にモデル化することは困難であり、定常的な状態においては機体の動力学モデルを縦と横方向の運動として独立に扱えることが知られている。その前提のもとに効率よく飛行中の機体を制御することが可能で、かつ制御系の構造が簡便で設計理念が理解しやすい手法を提供できれば、制御系の設計および評価に要する時間短縮にもつながり効果的である。

本研究では、係数図法に基づくモデル規範型適応制御 (CDM-designed Model Reference Adaptive Control: ACDM-RAS) を採用し、その参照モデルとして同様に係数図法

を利用して導出した状態フィードバック制御系（CDM-designed State-feedback Control System: ACDM-SS）を用いている。後者の状態フィードバック制御系は縦（longitudinal）と横方向（lateral-directional）の2種類の制御器から構成され、両者の運動を同時に制御する。制御系の設計に係数図法を用いることで設計プロセスを簡略化する一方で、モデル規範型適応制御を導入することで、線形化に起因する誤差による飛行時の影響を軽減できることを高度制御と向機首角度制御の2通りについて数値シミュレーションを通じて示している。また機体モデルに非線形性が含まれる場合、そして外乱除去性能についても、適応制御の導入の効果が示されている。

本論文は6章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序章である。本章では研究の目的と背景について述べる。本研究で扱う飛行制御系の設計法および機体のモデリングに関する従来研究とそれらの課題について言及する。さらに、論文の構成と各章の概要について説明している。

第2章は、本研究で対象とする機体の動力的モデルについて詳述している。一般的には機体は非線形微分方程式で表されるが、機体の運動の微小変化の安定性を議論する場合、機体の縦と横方向の運動を分けて扱うことができることから、縦と横方向の運動方程式をそれぞれ4個の線形微分方程式として導いている。

第3章は、前章で述べた線形機体モデルを用いた制御系の設計手法である係数図法について説明している。具体的には、係数図法における制御系設計で重要とされる3つのパラメータ（安定度指標、等価時定数、限界値）とそれらの導出方法について述べている。

第4章は、第2章で求めた縦運動および横方向運動の線形機体モデルに必要な修正を加えた上で、機体の運動を統合化した状態変数モデルとして導出している。続いてその機体モデルに基づき、第3章で述べた係数図法を適用することで状態フィードバック制御系を構築する方法について説明している。さらに比較参照のため、その状態フィードバック制御系を参照モデルとするモデル規範型適応制御系についても説明している。

第5章は、第4章で記載した2種類の制御系（状態フィードバック制御系とモデル規範型適応制御系）を用いた数値シミュレーションにより、高度制御および向機首角度制御について性能評価および比較を行っている。

第6章は結論である。本章では第2章から第5章を総括するとともに本論文における主たる成果および今後の発展性についてまとめている。

以上のことより、本論文は、機体の縦と横方向の運動を統合化した状態変数モデルに係数図法を適用しフィードバック制御系を構築することで、簡易的に飛行シミュレーション環境を提供できることを示した。さらに、モデル規範型適応制御と組み合わせることで状態フィードバック制御単体の場合に比べて様々な飛行条件に対しより安定した飛行性能を実現できることを示した。将来的には、動翼の予期せぬ故障など、飛行中の条件変動に対する考察や異なる機種への応用など更なる利用と展開が期待される。