

計測・制御セクションシリーズ 2
外乱オブザーバ

島田 明 著

コロナ社 (2021 年)

A5 判 284 ページ 定価 4,400 円 (本体 4,000 円 + 税)

ISBN : 978-4-339-03382-3

「外乱オブザーバ」とは、文字どおり「外乱」を推定するオブザーバであるが、大きく分けて2つの系譜がある。

1つが大石潔・大西公平らが発表した伝達関数ベースの方式であり、もう1つが、外乱を未知入力と捉えてシステムを拡張し、一般的なオブザーバ理論を用いて外乱を推定するタイプのものである。本書は両者を横断的にまとめられた初めての著作であるといえる。

外乱オブザーバの利点は、外乱を打ち消すように外乱推定値を帰還することでほぼ完全な外乱抑制制御ができること、パラメータ変動に対してロバストであること、加速度を自由に制御できることなど多数あるが、特に前者の方式は、伝達関数によるわかりやすい表現を用いており、私のような数式の苦手な企業の制御技術者にとって非常に使い勝手の良い制御技術であった。実際に、ロボットアームや磁気ディスク、自動車のエンジン制御など幅広い範囲で、大いに活用させていただいている。以下、本書の内容を順に紹介する。

1章から3章は基礎編であり、外乱オブザーバの基本を、古典制御による伝達関数表現で解説している。まず1章で外乱オブザーバ全体の分類を行い、2章では、なにを外乱と考えるのか、どのような仕組みで推定するのか、推定値をどう使うのか、観測ノイズとモデル化誤差があるとなんになるかについて、DCモータを例に解説している。外乱オブザーバのしくみは、実機とモデルの出力差に逆モデルを掛けることで外乱を推定し、入力に正帰還することで、外乱の影響を除去し、理想的な動作を実現することである。モデルとして摩擦や粘性のない $1/s^2$ のシステムを選んだ場合、全体としては $1/s^2$ モデルとして理想的に動作する加速度制御が実現できる。また、実システムのモデリングとロバスト性についても触れている。外乱オブザーバを用いると、パラメータ変動に対する制御性能や安定性の変化が少なくなり、 H_∞ 制御のように陽に設計に考慮するわけではないが、結果として「ロバスト制御」を実現できる。続く3章では、ロバスト制御理論と外乱オブザーバの関係を確認するため、既約分解を用いた安定化制御系と外乱オブザーバ併用制御系との関係を紹介し、制御対象の

不確かさに対する自由パラメータ $Q(s)$ の設計について解説する。

4章では、現代制御理論の基礎的なオブザーバ理論に沿って、連続時間系での外乱オブザーバを設計する。主に、同次元外乱オブザーバ、高次外乱オブザーバ、最小次元外乱オブザーバ、周期外乱オブザーバを紹介する。また、DCモータを題材として可観測性、すなわちオブザーバ設計の可否について説明する。続いて5章では、デジタル系での設計法を紹介する。制御周期の影響を考慮しつつ実機に実装を行う。また、制御系の極とオブザーバ極を別々に設計できる分離定理についても解説する。

6章から8章では、適用対象として、振動系・通信遅延・マルチレート系への適用を紹介する。まず6章では、振動系での外乱推定を扱う。伝達関数表現での振動抑制制御、2慣性系の外乱オブザーバ設計と安定化制御、外乱オブザーバ併用サーボ系について解説する。7章では、通信遅延、すなわち無駄時間遅れの影響をむだ時間外乱として推定し、安定性を維持するための技術を紹介する。従来知られているスミス法に比べ、遅れ時間に変動がある場合でも安定性を維持することができる。8章では、複数の制御周期を有するマルチレート制御系への適用を紹介する。

9章から11章では、関係するほかの制御理論との併用等を紹介する。9章では、モデル予測制御(MPC)の概要を説明後、外乱オブザーバ併用制御系を紹介している。外付けタイプの外乱オブザーバで推定した外乱をMPCに取り込み外乱を含めた入力制約の中で最適制御を行う。10章では、外乱推定の一種としてカルマンフィルタに触れている。ノイズの影響が大きく、外乱オブザーバの時定数 T を長くせざるを得ない場合、カルマンフィルタを用いることも考えられ、外乱を状態変数に取り込んだ拡大系を用いたカルマンフィルタを紹介する。11章では、パラメータが未知の制御対象の、パラメータと状態変数と外乱とを同時に推定する適応外乱オブザーバを紹介する。

最後12章では速度計測と推定に触れる。速度観測型の外乱オブザーバを実装する場合、ノイズを考慮した高性能な速度計測・速度推定法が重要であるため、速度計測・推定法について解説する。

私自身の「外乱オブザーバ」との出会いは、入社当時に担当した垂直多関節型ロボットアームの関節制御であった。通常のPID制御系のゲインチューニングにひとしきり苦労したあと、外乱オブザーバを用いた加速度制御を適用した結果、どんな姿勢でもピタリと振動が止まったことに大きな感動を得た。「制御技術」の面白さに接し、その後の会社人生が決まったといっても過言ではない。読者の方々が、本書によりそのような感動を味わうことができれば幸いである。ぜひ手元に置いておきたい一冊である。

(富士通 江尻 革)