

題 目 局所線形モデルを用いたセルフチューニング制御系の設計  
(Design of Self-Tuning Control Systems using Local Linear Models)

氏 名 今井 慎一

石油プロセスや化学プロセスに代表される産業システムの多くは、不確かさのあるシステムや非線形性を有するシステムが数多く存在している。したがって、望ましい制御性能が得られるように設計した制御システムであっても、制御性能を維持するためには、時間の経過や操業条件の変化などに対応して、制御系を再設計する必要がある。また、実システムへの実装化を考えた場合、複雑な制御構造のために実装化が不可能であったり、あるいは制御パラメータのもつ物理的意味が不明確になるなどの理由から、化学プロセスなどのプロセス制御を扱う企業の現場においては、今なお PID 制御手法に代表される古典制御手法に頼るところが大きいのが現状である。

一方、これまでの制御系設計は、制御対象の特性が既知であるという想定に基づくものであったが、実在のプラントの中には、特性を前もって正確に把握するものが困難なもの、あるいは、特性が環境条件や動作条件に応じて変動するようなものが数多く存在している。したがって、制御理論が盛んに研究される一方で、実システムへの応用に関して、種々の障害が生じ、制御工学における理論と実際へのギャップが指摘されてきた。この問題は、制御対象の有する”不確かさ”という言葉で総称されるようになり、この不確かさを陽に取り扱った制御系設計の研究がおこなわれるようになった。セルフチューニングコントローラはその中の一種であり、制御対象の不確かさを時々刻々推定し、その情報を制御系設計に取り込み、これに基づいて望ましい制御系設計を行う手法である。セルフチューニングコントローラの高度化に関する研も数多く行われているが、従来のセルフチューニングコントローラは線形システムに対するものがほとんどであり、非線形システムに対するセルフチューニングコントローラの実システムへの応用例はあまり報告されていない。

さらに近年、システムの入出力データをデータベースに蓄え、必要に応じて、過去に大量に蓄えられているデータベースにより要求点に類似したものを抽出し局所モデルを作る、データ駆動型(Data-Driven : DD)アプローチが提案され注目を浴びている。これは、コンピュータ装置の発展により、大量のデータの保存及び読み出し、書き込み、検索などが可能となったためである。データ駆動型アプローチでは、簡単な局所モデルを用いて対象の大域的特性を近似するため、従来法と比べるとはるかに事前情報が少なくてもよいという大きな利点を有している。また、ニューラルネットワークなどのような学習時間という概念が存在しないという特徴がある。これまでに、固定の PID 制御器を補完する形で Just-in-time 法を用いた方法や、オペレータによるあらかじめ調整された PID パラメータをデータベースに蓄え、要求点に対して、データベースから PID パラメータを抽出する方法、システムの特長や状態に対して、PID パラメータが自己調整される方法などが提案されている。しかし、データ駆動型アプローチにおいても、大量のデータベースを処理するため、ニューラルネットワーク等同様に、その計算時間について問題となっている。

以上のように、セルフチューニングコントローラでは、計算時間は比較的短いですが、強い非線形性を示すものには不適である。また、データ駆動型アプローチにおいても、非線形性に対する適用能力は高いが、計算時間が長いという両者の手法には、メリットとデメリットがある。

そこで、本研究では上記の問題を解決するために、局所線形モデル用いたセルフチューニング法、ならびにデータベースの切り替え機構を有するデータ駆動型制御系の設計について提案する。具体的には、非

線形システムに対して、複数の局所線形モデル構築し、各局所線形モデルに対応したコントロールパラメータ又は PID パラメータを個々に求め、これに重み付けを行い制御系を設計する方法と、非線形システムをいくつかのサブシステムに分け、サブシステムごとにデータベースを構築し、これらを適切に切り替えてコントロールパラメータ又は PID パラメータを設計する方法の 2 つのアプローチに基づいてセルフチューニング制御系の設計法について提案する。その結果、非線形システムに対して数値シミュレーションを本手法に適用し、その有効性を確認した。さらに、計算時間について、従来手法と比較した結果、計算時間を大幅に削減できる結果が得られた。また、熱プロセスシステムおよび磁気浮上などの実システムにおいても有効性を確認した。

本論文は以下のように、第 1 章序論、第 2 章局所線形モデルを用いたセルフチューニング極配置制御系の設計、第 3 章局所線形モデルを用いたセルフチューニング PID 制御系の設計、第 4 章データベースの切り替え機構を有するデータ駆動型制御系の設計、第 5 章結論の 5 つの章から構成される。

第 1 章では、研究の背景として、セルフチューニングコントローラ、およびデータ駆動型アプローチの基本構成、ならびに実システムにおいて多く用いられている PID 制御について述べる。さらに、現在の制御における問題点を概説し、次に本研究の目的と位置づけについて述べる。

第 2 章では、局所線形モデルを用いた極配置制御系について考察する。ここでは、各局所線形モデルに対応したコントロールパラメータを個々に求め、これに重み付けを行うことで、セルフチューニング制御系を設計する方法について考察し、その有効性を、いくつかの数値例を通して検証する。さらに、計算時間についても言及する。

第 3 章では、局所線形モデルを用いた PID 制御系の設計について考察する。具体的には、広く産業界で用いられている PID 制御系について、第 2 章の極配置制御法に基づいて PID パラメータを調節する方法について考察する。また、いくつかの数値例を通して提案法の有効性を検証する。さらに、プロセス制御の一種である水位プロセスシステムならびにリニアモーターカー等で用いられている磁気浮上装置について考察した手法を適用し、その有効性を実験的に検証する。

第 4 章では、データベースの切り替え機構を有するデータ駆動型制御系の設計について考察する。データ駆動型アプローチは、非線形システムに対して、良好な制御性能をえることができるが、計算時間が長いという欠点を有している。そこで、非線形システムをいくつかのサブシステムに分け、サブシステムごとにデータベースを構築し、これらを適切に切り替えてパラメータを生成する手法について考察する。さらに、本手法の有効性を、数値例及び計算時間について検証する。また、実験例として熱プロセスシステムへの適用を通して考察する。

第 5 章では、本研究を総括するとともに、残された問題点について言及する。